

博士論文

日本の造船会社の製品アーキテクチャ戦略

向井 悠一郎

## 目次

1 章 本研究の問題意識 .....	3
1.1 本研究の背景と問題意識 .....	3
1.2 戦後の造船産業の変遷と日本・韓国・中国の造船産業 .....	9
1.3 日本の造船業の競争力ー2010 年代の分析 .....	23
1.4 国際競争の激化と船の設計への注目 .....	28
1.5 本研究の構成と概要 .....	32
2 章 先行研究と本研究のフレームワーク .....	34
2.1 はじめに .....	34
2.2 製品開発に関する研究 .....	36
2.3 人工物のシステムの観点 .....	39
2.4 製品アーキテクチャの概念と分類 .....	40
2.5 製品アーキテクチャの階層性 .....	51
2.6 製品アーキテクチャの変化 .....	58
2.7 複雑な製品システム .....	63
2.8 先行研究の小括とリサーチギャップ .....	66
2.9 本研究のフレームワーク .....	68
3 章 海事システムと製品の概要 .....	74
3.1 海事産業 .....	76
3.2 製品の種類（船種） .....	80
3.2.1 ばら積み船 .....	82
3.2.2 タンカー .....	86
3.2.3 コンテナ船 .....	93
3.2.4 液化ガス運搬船（LNG 運搬船・LPG 運搬船） .....	98
3.2.5 船種に関する小括 .....	105
3.2.6 事例記述における船種について .....	110
3.3 船種別の価格（市場について） .....	112
3.4 船舶の製品システム（船体） .....	118
3.5 機関室内の船用機器 .....	123
3.5.1 主機 .....	125
3.5.2 主機以外の船用機器（補機） .....	134
3.6 造船の設計、生産プロセス .....	136
3.7 事例研究の導入（方法と対象） .....	140
4 章 有力顧客との関係を活かした設計選択：今治造船のハンディサイズばら積み船の事例 .....	143

4.1	今治造船の概要、沿革、竣工実績について .....	144
4.2	船体設計.....	151
4.3	機関室設計 .....	157
4.4	愛媛船主（波方船主・伯方船主）との関係.....	160
4.5	小括.....	165
5 章	多様なニーズに対応する製品多様化と中モジュラー化：大島造船所のパナマックスの ばら積み船の事例 .....	168
5.1	大島造船所の概要、沿革、竣工実績について .....	168
5.2	船体設計.....	175
5.3	機関室設計 .....	178
5.4	小括.....	183
6 章	多様なニーズに対する「原価企画」と中モジュラー化：A 社のカムサマックスばら積み 船の事例.....	185
6.1	A 社の概要、沿革、竣工実績について .....	185
6.2	船体設計.....	191
6.3	機関室設計 .....	194
6.4	小括.....	200
7 章	特定の海事システムに対するすり合わせ設計の選択：名村造船所の WOZMAX の事例 .....	202
7.1	名村造船所の概要、沿革、竣工実績について .....	202
7.2	船体設計—25 万 DWT 級鉄鉱石ばら積み船「WOZMAX」を中心に .....	211
7.3	機関室設計 .....	221
7.4	小括.....	225
8 章	結論と今後の課題 .....	229
8.1	本研究のまとめ .....	229
8.2	本研究の貢献と今後の研究課題.....	237
8.2.1	学術的貢献 .....	237
8.2.2	実務的貢献 .....	239
8.2.3	ディスカッションと今後の研究課題 .....	239
	参考文献.....	244

## 1 章 本研究の問題意識

### 1.1 本研究の背景と問題意識

一般に、企業の競争優位は、業界構造分析の対象となる 5 つの要因（業界の対抗度・新規参入の脅威・売り手の交渉力・買い手の交渉力・代替品の脅威）のような外部要因と、経営資源と組織能力といった企業の内部要因の双方が絡み合って実現され、持続するものであるとされる（例えば、網倉・新宅，2011）。ものづくり企業であれば、自社の組織能力や組織構造、あるいは市場や顧客のニーズ、コスト制約、安全や環境などに関する社会的な制約、設計・製造に関する技術力やノウハウといった技術的な制約、その他の環境条件や偶然の事象など様々な要因を勘案しながら、“どのような製品をつくるのか”を意思決定し、競争力に結びつけようとする（藤本，2004）。この“どのような製品をつくるのか”に関する概念のひとつが、アーキテクチャである。アーキテクチャとは、人工物のシステムの性質に関する概念であり、システムとしての人工物をどう切り分けて、どうつなぐか（まとめるか）に関するものの見方、考え方であり、設計思想とも言い換えられる。そして、このアーキテクチャ（設計思想）は、市場や顧客の要求に対応して、設計者や企業などの供給側が選択されるものである（Ulrich, 1995；藤本・武石・青島編，2001 など）。よって、アーキテクチャ（設計思想）は、ものづくり企業の意思決定の対象であるといえる。

このようにアーキテクチャは多様な要因が影響して選択されるが、その中で意外にこれまで看過されてきた要因があると考えられる。それは、生産対象となる製品あるいは工程の「大きさ」である。ホンダ・アコードの開発においてスタイル重視で低くしたボンネット内にエンジンと補機類をどのように納めるか（藤本・クラーク，2007）、生産ラインの制約がある中で初代ホンダ・オデッセイの全高をどうするか、ノート PC の大きさ（躯体と半導体など内蔵される部品との大きさに関わる相対的な関係。後述）をどうするか、ソニーやカシオの製品小型化に関わる能力についての議論（Praharad and Hamel, 1990）、大型タンカーをどのように作るか（真藤，1980；前間，2005）、人の手のひらの制約からサイズがさほど変化しないスマートフォンの高度化にともなって積層セラミックコンデンサの搭載点数の増加と小型化・大容量化が進んでいる・・・人工物としての絶対的な大小は様々であるが、こうしたものづくり企業による製品開発・生産に関するこれらの取り組みに関して共通して言えるのは、他の何かに対する（相対的な）「大きさ」が問題となり、その「大きさ」を企業が選択することで製品や事業の競争力に何らかの影響があったということである。こうしたことから、企業の戦略や競争力に影響を与える要因はこれまで数多く検討されてきたが、それらに加えて、（相対的な）「大きさ」もまたひとつの要因でありうるのではないかというのが、本研究の背後にある発想である。

そこで、本研究の問題意識は、企業がその開発・生産する製品の競争力を維持するために、人工物の「大きさ」と、その他の設計属性、とくにアーキテクチャ（設計思想）のコンビネーションをどのように選択するのかを明らかにすることである。



ここで「大きさ」は、第一義的には人工物の容積で定義される。例えば『広辞苑』によれば、「大きい」とは「(物の形)にいう容積・身長などが多くの場所を占めている。かさ張っている」<sup>1</sup>とある。さらに、『新明解 国語辞典』によると、「(二つ以上の物がなんらかの条件で比較出来る場合)その比較対象を包み込んだと想定した時、一方(=主格)が他方(=比較対象)をその中に含み、なおかつ余りが有るようにすることが出来る様子だ」<sup>2</sup>とある。そこで本研究では、人工物の「大きさ」を、体積(それを構成する長さ・幅・高さ)の相対的な「大きさ」として第一義的に定義する。なお、この定義には重量や質量が直接的に含まれていないが、体積と重量・質量は比重を通じて物理的に連動するのが(少なくとも重力が働く地球上では)自然であると考えられるので、重量・質量も「大きさ」と密接に関連するものとして捉えることとする。

このような相対的な概念として理解される「大きさ」と、他の設計属性のコンビネーションを企業がどのように選択し、競争力を持ちうるのかということに本研究は焦点を当てる。そのために、本研究は造船産業、それも日本の「中手」(専業)造船会社の貨物船(ばら積み船)の事例に注目することとする。船には物理の理論的には「大きく」することに限界がないため、船の「大きさ」をどのように選択するのかということ自体が、造船会社の製品開発戦略において重要なポイントとなる。こうしたことから、本研究では「大きさ」に焦点を当てるために造船会社の事例に注目する。

なお、ここでいう「大きさ」とは、船という人工物の絶対的な大きさ(全長が数百 m であるとか、重量が数万トンといった大きさ)ではなく、あくまでも相対的な大きさのことである。相対的な大きさというのは、大きさを変えにくいものと比べたときの、ある主体の設計選択によって選択される人工物の大きさである。重さも含めて考えると、例えば古典的な物理法則が働き始める大きさ(原子に対する相対的な大きさ)、細胞の大きさ、人の手や指などの大きさ、人体そのものの大きさ、地上構造物の大きさなどは、大きさに関して固着的な(変えにくい)物体である。また、本研究が注目する造船産業に引き寄せて言えば、船用部品と呼ばれる船の機関室に搭載される部品は、歴史的な経緯により、その大きさを造船会社が変わえることは難しいものであり、これも大きさに関しては固着的であるといえる。

こうした大きさに関して固着的なものと、設計主体によって選択される人工物の大きさとの相対的な関係もまた、上記のアーキテクチャ(設計思想)の選択をはじめとする、製造企業の意味決定に影響を与えられられる。例えば、同じ PC でも、ノート PC とデスクトップ PC では、製品アーキテクチャは異なっている(藤本, 2001a; 2004; 伊藤薫, 2005; 延岡, 2006 など)。デスクトップ PC は、躯体のサイズが半導体をはじめとする部品のサイズに対してゆとりがあるため、冗長な設計が可能となり、その結果、比較的モジュラー的な

---

<sup>1</sup> 新村編 (2008)

<sup>2</sup> 金田一・柴田・山田・山田編 (1995)

アーキテクチャが選択される傾向がある。それと比べると、ノート PC は電子部品のサイズに対して躯体のサイズのゆとりがないため、部品間の関係を微調整した設計を行う必要がでてくる。その結果、デスクトップ PC と比べると、インテグラルなアーキテクチャが選択される傾向がある。さらに時間がたつと、ノート PC でも、人間の指の大きさにボタンやキーボードやそれが付く躯体のサイズはさほど変わらず、一方でムーアの法則が働き半導体や回路基板は加速度的に小型化した。すると、ノート PC でも、以前とくらべると冗長な設計が可能となる場合があり、そうした製品はモジュラーな設計が選択されるようになり、中国などで生産されるようになる傾向も見られた<sup>3</sup>。

また、例えば、同じ自動車でも、異なるアーキテクチャが選択される傾向がみられる。比較的コンパクトな乗用車はモノコックボディを持つ比較的インテグラルな設計が選択される傾向が強い。一方、トラックのような比較的大きな自動車の場合はボディ・オン・フレーム構造となり、比較的モジュラーな設計が選択される傾向が強い。このように、産業分類上は同種の製品とみられるような製品であっても、その相対的な「大きさ」が製品アーキテクチャの選択に影響する要因のひとつでありうると考えられるのである。

ただし、本研究は、こうした「大きさ」のみによって製品の設計選択などの製造企業の意思決定がなされると述べるものではない。一般的に、市場規模、顧客の要求や嗜好、環境や安全といった社会的要求などの需要側の要因と、コスト制約、生産設備、組織構造、組織能力、技術力、知識やノウハウ、企業間関係などをはじめとする供給側の要因という、様々な要因が製造企業の設計選択に影響を与えると考えられる。しかし、上記のような PC のアーキテクチャの違いや、後述の Praharad and Hamel (1990) によるソニーについての言及を考えると、経営学の一般的な議論においてこれまで意外に看過されてきた要因として、生産対象となる製品あるいは工程との相対的な「大きさ」の概念もあるではないかと考えられる。

こうした企業による相対的な「大きさ」と製品アーキテクチャの選択に関して、本研究では、日本の「中手」造船会社のばら積み船の設計の事例に着目する。これは、そうした企業がばら積み船を主力製品とし、後発国のキャッチアップに直面しながらも、2010 年代まで競争力を維持する中で、船体の大きさによって異なるアーキテクチャを選択する傾向が観察されたからである。

このような観点から本研究は議論を進めることになるが、これは企業におけるイノベーションに注目するものであるといえる。企業におけるイノベーションに関しては、Schumpeter (1934) 以来、経営学では Myers and Marquis (1969) やプロジェクト SAPHO

---

<sup>3</sup> 一方で、例えば、パナソニックのレッツノートは以前から「超すり合わせ型」と指摘されているが（小川，2007）、耐衝撃性をはじめ高度な機能が要求されるハイエンドモデルであるため、製品内部は冗長な設計とはならず、どちらかというインテグラルなアーキテクチャが選択され、依然として国内で生産されている。

(Rothwell et al., 1974) など、企業がどのようにイノベーションを起こすことができるかが議論されてきた。また、技術的な要素のダイナミズムが企業や産業の競争環境に影響を与えることから、例えばプロダクトライフサイクル (PLC) 仮説 (Vernon, 1966) などの議論もなされてきた。さらに、Abernathy (1978) によって製品・工程ライフサイクル仮説が提示され、後にライフサイクルの逆転ないし再出発、すなわち脱成熟化の可能性が指摘された (Abernathy, Clark and Kantrow, 1983)。

その後、設計論を導入した製品開発に関する研究 (Clark and Fujimoto, 1991 など) が盛んになり、Henderson and Clark (1990) や Ulrich and Eppinger (1994)、Ulrich (1995) 以降、製品アーキテクチャの概念が経営学に導入され、より詳細に製品や工程の技術が議論されるようになった。製品アーキテクチャの概念は、組織デザインや分業構造 (Sanchez and Mahoney, 1996 ; Baldwin and Clark, 2000 など)、それに伴ってコスト競争力に影響を与えること (伊藤宗彦, 2005)、国際分業の構造に影響を与えることなどから (藤本・新宅, 2005 ; 新宅・天野, 2009 など)、1990 年代以降の経営学において注目されてきた。

さらに近年、安全、環境などの社会的な要求の高度化、厳格化をうけた複雑化問題に対して、製品アーキテクチャの観点から設計上の戦略が議論されてきた (Simon, 1969 ; Ulrich and Eppinger, 1994 ; Ulrich, 1995 ; 藤本, 武石, 青島編, 2001 ; 青木, 安藤, 2002 など)。こうした議論は、主に PC やソフトウェアといった電子・論理の分野に注目した議論と (Langlois and Robertson, 1992 ; Cusumano and Selby, 1995 ; Baldwin and Clark, 2000 ; Gawer and Cusumano, 2002 ; 立本, 2013 ; 伊藤宗彦, 2005 など)、自動車やエレベーターや建築物などといった質量のある分野に注目した議論がある (近能, 2001 ; 柴田・玄場・児玉, 2002 ; Mikkola, 2003 ; 武石, 2003 ; 具, 2008 ; 藤本・野城・安藤・吉田, 2015 など)。

これらはいずれにせよ、人工物を階層的なシステムとして捉える議論と、そこから発展した製品アーキテクチャの議論では、製品単体をシステム最上位に置いた分析が多かった。しかし、ある製品も、その周辺の消費空間そのものも、階層構造の一階層として示すことが可能である (Langlois and Robertson, 1992)。例えば自動車という製品を、下位の階層はエンジンやシャシーやボディといった部品からなり、一方で、自動車そのものはカーライフという上位の消費システムを構成する道路、保険、移動などといった要素とならぶ構成要素であると見なす見方である (藤本, 2002b)。これらの議論は、人工物とその補完財との関係によって、基本的な設計特性が選択されるという議論であったとも言える。このように考えると、生産ラインの制約によって車高が抑えられた初代ホンダ・オデッセイの例<sup>4</sup>は、生産ラインという当該製品の周囲の補完財との相対的な物理的な関係によって、設計が決定された事例であると考えられることもできる。このように、人工物の階層性を前提とすれば、焦点をあてる人工物が単体の製品であっても、それはより上位の (ハード的な製品とは限らない) シ

---

<sup>4</sup> GAZOO ウェブサイト ([https://gazoo.com/car/history/Pages/car\\_history\\_017.aspx](https://gazoo.com/car/history/Pages/car_history_017.aspx)) 2016 年 12 月 31 日アクセス。

システムを構成する一要素として位置づけることが可能である。

また、このような観点から、上位階層に対するすり合わせ要素を下位の階層内に集約する「カプセル化」と、上位階層におけるモジュラー化が同時に起こる（新宅・善本，2009；新宅，2009）といった現象を捉えることができる。本稿は、このように製品システムを階層構造で捉え、焦点を当てる製品だけではなく、その製品を取り巻く使用環境など、ハード／ソフトの別を超えた諸要素も合わせて人工物システムとして分析することを試みるものである。

このように、設計する人工物の、質量の有無、人間と比べたときの相対的な「大きさ」、使用される環境（人工物、地球・・・）といった人工物の補完財との相対的な「大きさ」の関係性によって、複雑性や製品アーキテクチャといった、その人工物の基本的な設計特性が変わってくると考えられる。しかし、このような人工物の「大きさ」が企業の設計において重要な要素のひとつであり、それが企業の競争力に与える影響については、従来、あまり議論の対象となつてこなかったと思われる。

例えばコア・コンピタンスの概念を提唱した Praharad and Hamel（1990）によると、ソニーのコア・コンピタンスは、製品を小型化（minituarize）する能力であると指摘した。製品を小型化するために、技術者とエンジニアとマーケターが顧客ニーズと技術のポテンシャルに関することの理解を共有する必要があると指摘していた。また、カシオは、マイクロプロセッサの設計、材料科学、超薄型精密ケーシング技術といった多様な技術やノウハウをまとめることによって、小型カード型電子計算機、ポケットテレビ、デジタルウォッチをとといった小型化した製品を生み出したと指摘している。このように、顧客のニーズと企業の技術の両方によって、企業は製品の小型化をすすめることができた。このような議論から、経営学の議論をする上で、小型化という人工物の「大きさ」の問題、物理的要因に着目することも重要であるといえる。

逆に、大型化が企業の製品開発戦略において重要であった事例もある。例えば、原油タンカーは、1950年代から1973年の第一次石油危機までの間、産油国から消費地までの長距離のため、大量輸送による輸送コストの削減のニーズが強く、日本の造船所において、年々大型化が試みられてきた（前間，2005；池田，2015など）。この時期は、石油メジャーによる長期・大量・安定輸送が市場で指向され、30万載貨重量トン（DWT）以上のULCC（Ultra Large Crude Oil Tanker）が建造されるようになり、1976年竣工であるが最高で55万DWTまで出現した。しかし、第一次石油危機以降、それよりはやや短い期間・小口輸送の需要が主となり、20～30万DWT程度のVLCC（Very Large Crude Oil Tanker）が主流となった。このような大型化の試みにおいて、VLCCやULCCに対応するために大型ドックを建設できる地に移転したり、既存工場でも大型ドックの新設などが行われた。この事例は、市場の需要の動向の影響と、同時にドックという製品に比べればサイズに関して固着的な生産設備の影響を受けて、企業が手がける製品の大きさを選択していた事例であると言える。このように、市場のニーズの影響と、生産設備との相対的な関係から、製品の「大きさ」が選択

され、当時の企業の競争優位に結びついていた。このことから、人工物の相対的な「大きさ」が、企業の戦略や競争力を説明するひとつの要因でありうると考えられる。

このように、企業のものづくり活動において選択される人工物の「大きさ」（絶対的な大きさではなく、他の何かとの相対的な「大きさ」）が、企業の競争力に影響を与えうる要因のひとつであることが考えられる。しかし、この点は、これまで意外と看過されてきたと考えられる。そこで、本研究ではこうした観点から議論を進めるために、造船産業に注目する。船は、これまでの歴史で、巨大なものや一度に大量の輸送に使われる乗り物として重宝されてきた。例えば、江戸時代に江戸・大坂間の物資輸送に使われた菱垣廻船という船は約 150 トンの荷物を運ぶことができたが、当時の陸上輸送手段と比べればはるかに大量の荷物の輸送ができていたと考えられる（池田，2008）。20 世紀以降においては、詳細は 3 章や各社の沿革の中で言及されるが、より大きな船体を設計し、生産することは、造船業界にとっては重要なイノベーションであった。この意味では、ソニーをはじめとする、小型化がイノベーションの歴史であった電子機器業界とは対照的である。ただし、物体に 2 乗 3 乗の法則<sup>5</sup>が働き、その点、浮力で支えられる船は巨大化の限界がなく、昔から大量輸送手段として用いられてきたものの、その「大きさ」は無限に拡大してきたわけではなく、港湾や運河などサイズに関してより固着的なものとの相対的な関係によって制約されてきた（川崎，2017）。

こうしたことから、人工物の「大きさ」が企業の設計選択に与える影響を検討するにあたり、造船業に注目することが適当であると考えられる。この際、注目する船の「大きさ」とは、絶対的に大きな人工物としての大きさではなく、上記で検討してきた相対的な「大きさ」である。

---

<sup>5</sup> そもそも物体には 2 乗 3 乗の法則が働く。2 乗 3 乗の法則とは、ある物体の寸法を 2 倍にすると、面積（底面積、表面積）は 2 乗の 4 倍、体積（容積）は 3 乗の 8 倍に増える法則のことで、比重が一定ならば物体の重量も体積に比例して 8 倍になる法則である。川崎（2017）によると、陸上の人工物は底面や車輪などの接地面がその重量を支えるため、物体が大きくなることに伴って重量が 8 倍に増加しても、地面の強度の限界から、必ずどこかで「地面にめり込んで動けなくなる」（川崎，2017，p19）ことになる。自動車であれば車輪数を増やすか、舗装によって地面を強化するといった対策があるとはいえ、陸上の人工物には巨大化の限界がある。それでは飛行機はどうか。川崎（2017）の説明では、揚力は翼の面積に比例して 2 乗で増えるが、機体の重量は 3 乗で増えるため、機体の大型化には限界がある。一方、飛行船であれば飛行機のような制約を受けない。しかし、安全性、積載効率、運動性能の弱点から、19 世紀後半以降にフランスやドイツで実用化されたものの、観測用や広告用などを除き輸送手段としてあまり普及しなかった（天沼，1995）。こうした他の人工物と比べると、船の重量は浮力で支えられ、浮力は水面下の体積に比例する。よって、理論上、船はどこまでも巨大化できる。すなわち、絶対的な「大きさ」についての選択の自由度が高いことになる。しかし、実際には航路、港湾、建造するドックなど、船を取り巻く補完財によって、船の大きさが規定される（川崎，2017）。

ここで、本研究が、なぜ、企業による相対的な「大きさ」とアーキテクチャの階層的選択を主なテーマとするようになったのか、その背景を述べる。もともと、筆者は造船産業に加えて、建築物やトラック産業など、大きな人工物の開発や生産に関する研究に取り組んできた。その中で、マネジメントに関わる選択において、人工物の「大きさ」という概念が意外と看過されている可能性を考えるようになった。さらに、造船産業の研究を進める中で、マネジメントにおいて重要になる「大きさ」とは、人工物としての絶対的な大きさというよりも、当該人工物の周囲にあって大きさが変わりにくい、他の制約的な補完的な人工物に対する相対的な「大きさ」であることが考えられた。つまり、これまで議論されてきた様々な要因に加えて、そうした相対的な「大きさ」が当該人工物のアーキテクチャの選択に影響を与え、また、人工物の他の階層にも影響を与え、それが企業の競争力に影響を与えることがあるらしい、ということであった。こうして、人工物の相対的な「大きさ」とアーキテクチャの階層的な選択を本研究のテーマとするようになった。

そこで、本研究は、造船産業に注目することを通じて、企業がその開発・生産する製品の競争力を維持するために、人工物の物理的な性質、とくに（上記で検討した、相対的な）「大きさ」とその他の設計属性のコンビネーションをどのように選択するかを明らかにする。この問題意識にこたえることを通じて、製品の開発における製品設計のマネジメントに関して理論的に貢献すると同時に、実務者が製品設計を考察する際に留意すべき点を示唆することを目的とする。

## 1.2 戦後の造船産業の変遷と日本・韓国・中国の造船産業

本稿は、造船産業に注目する。この造船産業は、1970年代の造船不況以降、日本に関しては、悲観的な見方をされることが多かった（例えば大阪読売新聞（2013年5月19日）、日本経済新聞（2015年1月29日））。さらに、国別の生産量で見ても、日本から見ると後発国である韓国が1990年代末から2000年にかけて、中国が2000年代半ばに日本を追い抜いている。こうしたことから、例えば、韓国の造船産業が低コストと生産量で日本を圧倒したような印象が持たれることが多い。

たしかに、かつての韓国企業は低い人件費を活かした低価格戦略をとっていた（Cho and Porter, 1986）。しかし、韓国造船業の賃金は高騰し、2000年代以降、日本と大きな差はなくなった。また、低賃金をベースに成長してきた中国造船業に、価格競争では勝てない立場になった。そのような状況の中、2000年代以降、韓国が先発国である日本よりもむしろ高付加価値、先端技術を追求した製品戦略をとるようになっていった。

加えて、実際には、日本の造船業自体も、縮小・停滞が一貫して続いていたわけではなく、1990年代、2000年代には生産量を拡大していた（図1-1）。その中でも、高業績をあげている一部の日本企業があった。こうした企業は、韓国勢のような高価格のハイテク船への集中を強めておらず、むしろ、小型のばら積み船を取り扱う製品の中心に置いて、大きな利益

を上げていた（上小城，2004；麻生，2007；2008；中村・深澤・武田，2011；具・加藤・向井，2010；Mukai，2015）。

このような造船業の状況を理解するために、ここで、第2次世界大戦後の造船産業の歴史をふり返る。民需においてまず世界一であったのはイギリスであった。しかし、戦後すぐに鉚打ち工法から溶接工法へと生産技術の大きな転換が起きた。戦時中の戦時標準船の建造のころから、囚人など熟練度の低い労働者による建造を可能にするため、ブロック建造法が部分的に導入されていた<sup>6</sup>。ブロック建造法とは、船舶をブロックに分けて、地上であらかじめ組み立て、ドックでブロックどうしを接合する生産方法である。この際に一部で溶接も採用された。しかし、強度などの問題が残ったため、ブロックどうしの接合などは鉚打ちによって行われた（粕谷，2012）。

終戦後、多くの船が戦争で消失し、残存していた船も質の低い戦時標準船が大半であった。そこで、1947年に開設された復興金融金庫により海上輸送力強化のために財政資金融資が開始され、その後、1949年以降は「計画造船」政策として財政資金融資方式が引き継がれた。しかし、この計画造船は国内海運業向けの政策であったが、建造能力を満たすには不十分であったため、造船業界は海外向けの輸出船受注に注力するようになった（日本造船学会，1977；吉識，2007）。

1950年代に入ると、1950年に朝鮮戦争が起き、一時的にタンカーの海上運賃が高騰し、タンカー建造ブームが起きた。このブームは短期間で終わったが、日本の造船所は高い鋼材価格による割高な船価、単一為替レート（1ドル360円）の採用により、長い納期を嫌うギリシャ船主の短納期の受注に限られるなど、厳しい受注状況であった。そんな中、NBC 呉造船所<sup>7</sup>を中心に溶接・ブロック建造法が導入されるようになる。ブロック建造法自体は上記

---

<sup>6</sup> 1918年に、川崎造船所がいわゆる「ストックボート」（受注前に生産を開始し、並行して買い手を見つけることで短納期化を図る標準設計の船）を大量建造したとき、鉚接ではあったが、船台工程に入る前にサブ・アッセンブリが行われていた。この後、第二次世界大戦中、三菱重工長崎造船所若松工場、播磨造船松の浦工場などで改E型戦時標準船を建造する際、溶接によるブロック建造法が採用された。これらの工場では、囚人などの熟練していない作業でも作業できるようにブロック建造法が採用された。ただし、この頃の鉄板は溶接に適していなかったと言われており、ブロック組立は溶接、ブロックどうしの接合は鉚接というような、部分的に溶接を用いたブロック建造法であった（日本造船学会，1977；高柳，1993）。

<sup>7</sup> このNBC 呉造船所は、アメリカのNBC（National Bulk Carrier）社が、自社船を作る目的で旧呉海軍工廠の設備を借り受け、1951年から操業していた。真藤（1980）によると、この工場に関する日本政府との借用契約の中に、「日本の同業他社が工場見学し、純粋な技術的問題に質問することに対して開放するという条項が入っていた」という。このため、多くの日本の造船関係者が見学に訪れ、国内の他の造船所にNBC 呉造船所の生産方式が普及していった。NBC 呉造船所では、当時の日本の他の造船所では建造されていないような、世界でも当時としては最大船型となるような大型のタンカー、鉱石船（ばら積み船）を生産していた。後述の今

のような方法であるが、1950年代から60年代にかけて、まず溶接技術が自動化し、かつ片面からの溶接作業で間に合うようになった（片面衡合わせ自動溶接法）。これにより、ブロック部材の組立効率が良くなった。加えて罫書きや切断、曲げ加工などの自動化や精度の向上が見られた。こうした要素技術の向上があわさって、溶接・ブロック建造法が普及した。また、ブロック建造法を実行しようとする、船台あるいはドックでの総組工程前に、必要なブロックが必要なだけそろっている必要がある。また、造船工場のボトルネックである総組工程での効率と生産性向上のためには、緻密な精度管理・品質管理も必要であった。そこで、先行艤装（総組工程前にブロックに艤装作業を施すこと）の導入、工作図<sup>8</sup>の作成、アメリカのQC手法の導入、PERT（Program Evaluation and Review Technique）<sup>9</sup>の採用などが進められた。こうして日本の造船業界において溶接・ブロック建造法が確立されていった（日本造船学会，1977；1997；真藤，1980；伊丹・伊丹研究室，1992；吉識，2007；福島，2012；粕谷，2012）。

このような溶接・ブロック建造法を、産業の立ち上げ期にあった日本企業が積極的に導入する一方で、多くのイギリス企業は鉚打ち工法にこだわって衰退した。さらに、当時最も工業化が進んでいたアメリカからは民需向けの造船企業が現れなかった。それは、アメリカ国内の海運需要が小さいこと、軍事用の方が収益性が高くかつ先端技術を追求できること、ギリシャ系船主に代表される外航海運船主という主な需要家がコスト重視で、グローバルに発注をかけていたこと、などからアメリカ企業が民間造船市場であまり大きな存在とならなかった（伊丹・伊丹研究室，1992）。

一方の日本は、戦前の海軍に由来する技術や人や設備の蓄積が、戦後の民間の造船産業の土台となった。敗戦によって、軍需から民需へ転換がせざるを得なかったのである。さらに

---

治造船の檜垣俊幸氏も1960年にこの工場を訪れていたと言われている（今治造船，2005）。

<sup>8</sup> NBC 呉造船所で生産される大型のタンカーや鉱石船の基本図はアメリカ（の設計外注先）で作成された。それをいかに効率よく生産するかを、真藤恒をはじめとする日本側の技術者中心となって、アメリカから派遣されてきた技術者（NBC 呉造船所発足時は3人だったと言われている）が検討し、工作図（生産設計）が生み出された。この工作図は、組立図、部材表、カッティングプラン（1枚の鋼板に複数部材を効率よく配置する裁断図）などの総称であり、施工管理、進捗管理に用いられた（真藤，1980；高柳，1993；吉識，2007；原田，2012）。前間（2005）によると、工作図は「いつ、いかなる船を、いかにして作るかまでも考えて図面にしてほしい」という真藤の考えに沿ったものであった。真藤（1980）によると、同所が海軍工廠だった頃の西島亮二技術大佐による現場の管理方式と、終戦直前に真藤が航空機の生産方法を学んでいたことが、この発想の起源になっていた。

<sup>9</sup> 1950年代にアメリカで開発された。プロジェクトを構成する各アクティビティの所要時間とアクティビティ間の相互関係を推定し、プロジェクト全体にかかる時間を見積もり、クリティカルパスを発見し、無駄な時間（余裕時間）を排除するための手法。クリティカルパス法（CPM）と基本的な発想は同じである（加藤，1965；藤本，2001）。



日本では、造船という労働集約的な組立産業における溶接・ブロック工法といった新しい生産技術の導入による飛躍的な生産性向上、鉄鋼や船用部品など関連産業の充実、国立大学の造船学科を中心とした豊富な人材供給、楽観的な観測にもとづく政府の助成、国内企業間での激しい競争があった（伊丹・伊丹研究室，1992）。

また、溶接・ブロック建造法やそれに付随するマネジメント技術に加えて、生産技術の発達、製品設計の自由度を高め、製品技術も発達した。例えば、「球状船首」は、船首の下部を球状にし、波の抵抗を打ち消す効果があるが、これは線状加熱曲げ機、ローラー、プレスによる冷間曲げ加工により可能になった（日本造船学会，1977；伊丹・伊丹研究室，1992）。

また、エネルギーの石油転換に伴う需要増、1954 年後半からの海運市況の回復、1956 年のスエズ危機などにともなう石油輸送の需要増加、長距離輸送化ニーズの高まりを受けて、タンカーの必要船腹量が増加すると同時に、船型の大型化<sup>10</sup>も進められた。そのような中で「ずんぐり船型」<sup>11</sup>とよばれる経済船型が開発された。この「ずんぐり船型」は従来の船型に比べ、幅広の形状である。吉識（2007）によると、船体を単純に大型化すると、建造設備の制約があるうえ、厳しい条件下での運航性能（推進性・復原性・操縦性）と強度の維持のために必要な鋼材量が増えることから、幅広な形状にすることで、鋼材量の増加をできるだけ抑えたという。また、ずんぐり船型で積載量の増加を図るためには、港湾や航路の制約条件内で喫水を深くした方がよいことから、喫水 15m を越えるものも出てきた<sup>12</sup>という（吉識，2007）。

吉識（2007）によると、このような短く、太く、深い形状でネックとなる推進抵抗の解決に、産官学の共同研究体制や各社の試験水槽<sup>13</sup>などの設備の拡充が寄与したという。さらに、大型タンカーの軽量化と強度の問題を両立させるため、タンクの区画数や構造部材の配置の見直し、材料の改善（高張力鋼板の採用）などが進められたという（吉識，2007）。

加えて、運航船舶の増加に伴う乗組員不足が問題となり、船舶運航の機械化、自動化の関心が高まり、船橋から機関室に操縦指令を出すエンジンテレグラフ方式、機関室の状況をモニタリングする制御室の設置、係船装置の自動化、タンカー荷役装置の自動化も進み、1 隻の必要乗組員数の減少と作業環境の改善が図られた（日本造船学会，1977；真藤，1980；伊丹・伊丹研究室，1992；吉識，2007；粕谷，2012）。

---

<sup>10</sup> この頃、粗鋼生産量も増加し、鉱石専用船をはじめとするばら積み船の大型化も進んだ。とくに鉄鉱石の輸送も長距離輸送が多く、輸送コスト低減に有効であったことから、鉱石専用船の大型化も進んだ。

<sup>11</sup> 「真藤船型」とも呼ばれた（原田，2012）。

<sup>12</sup> 吉識（2007）によると、ずんぐり船型の登場以前は喫水 11.5m 程度が限度だったという。

<sup>13</sup> 吉識（2007）によると、戦前から試験水槽を保有していたのは三菱重工業のみであった。他の民間企業が新設した試験水槽は超大型タンカーの建造ブーム後に本格的に稼働し始めたところが多い。しかし、省エネ船の開発などで活用されている。また、試験水槽を持たない企業は、主に日本造船技術センターの水槽を利用している（吉識，2007）。

こうした生産技術、製品技術の発達<sup>14</sup>により、1956年に日本がイギリスを抜いて世界一となり、1968年には世界シェア50%を超えた（伊丹・伊丹研究室，1992）。このような圧倒的なシェアを持つ日本が、1960年代後半の数年間で生産能力を倍増する設備投資を行なった。しかし、直後の1973年のオイルショックを契機に需要が急減し、新設の設備は数年で過剰設備となり構造不況と呼ばれる状態になった。この対策として、1970年代後半以降の日本では政府主導の設備削減が行なわれていく。日本造船工業会の「造船関係資料」でデータを得られた1972年以降の国別の竣工船の推移（図1-1）をみると、1975年を境に日本と西欧諸国の生産量が急速に減少していることが分かる。

しかし日本の設備削減の背後で、低い人件費を活かしてギリシャ系など欧州の外航船主から安値受注を獲得し、逆に設備を増強したのが韓国であった。韓国では1972年の現代重工業のウルサン（蔚山）工場設立を機に造船産業が立ち上がり、以来、先発国の日本や西ヨーロッパ諸国へのキャッチアップを開始した。現代重工業に続き、三星重工業や大宇重工業といった財閥系メーカーが参入し、1980年代に入ってから本格的に生産体制が確立した。1986年には竣工量で西ヨーロッパ諸国を追い越して世界第2位となる。1990年代に入ると、各社は積極的な設備投資によって竣工量を伸ばし、2000年に日本を追い抜いて世界第1位となった（図1-1）。

2000年代に入ると、中国をはじめとする発展途上国の経済成長に伴って、総需要が急増する中、世界の造船産業の竣工量は3倍以上に増加した。2000年代前半は、韓国と日本が建造量を競いながらともに成長したが、2000年代後半になると、韓国が日本を引き離して大きく成長している。また、2000年代後半には同時に韓中の逆転も起きている。中国造船業が急成長して、成長する韓国造船業をさらに急スピードで追い上げ、2010年に韓国を抜いて世界第一位となった。

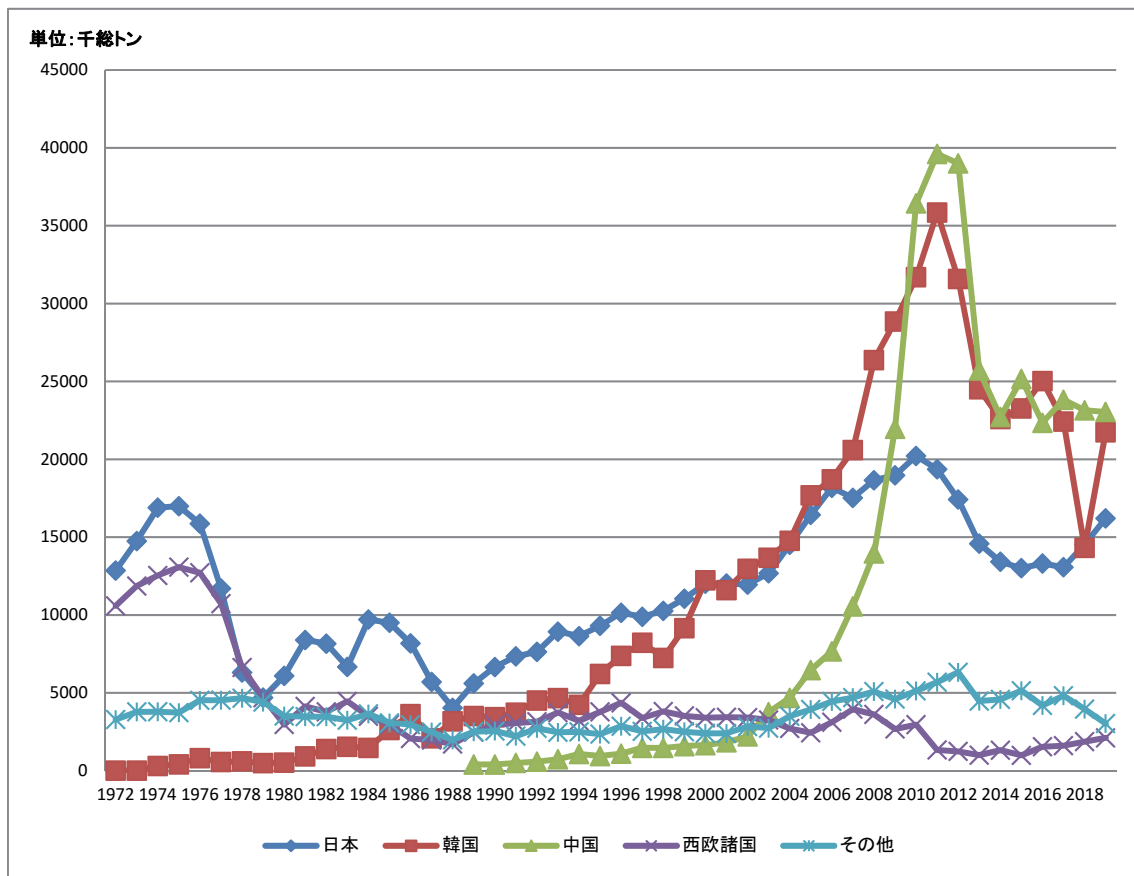
こうして、2000年代の成長をけん引した日本・韓国・中国の3か国で現在の世界全体の竣工量の90%以上のシェアを占めるに至った。この時期、日本は韓国や中国に生産量で追い抜かれたが、決して衰退しているわけではなかった。ただし、2008年のリーマンショックによる世界需要の停滞で船舶の受注は激減した結果、2011年以降は3か国ともに竣工量は減少した。減少に転じるまでのタイムラグは、造船では一般的に受注から納船まで約2年のリードタイムがあるためである（上小城，2004；Mukai, 2015；向井・新宅・朴・辺，2015）。

さらに、2010年代後半に入ると、中国と韓国の竣工量が拮抗するようになった。日本の竣工量もほぼ横ばいで推移していたが、2018年のみ韓国を上回り、世界第2位の竣工量となった。このように、日本は、韓国、ついで中国にキャッチアップされたが、竣工量で追い抜かれた後、竣工量およびシェアを急速に落としていないことが分かる。

---

<sup>14</sup> 製造技術、製品技術の開発において、産官学の共同研究体制も寄与したと考えられる（伊丹・伊丹研究室，1992；吉識，2007；粕谷，2012）。

図 1-1 世界地域別竣工量（総トン数）の推移（1972～2019 年）



対象は 100 総トン以上の船舶。

単位は、千総トン(100 の位を四捨五入)。なお、出所の資料では、2014 年以降の単位は万総トンになっているため、2014 年以降の値の一の位（千総トン）は 0 とした。

中国は、1972 年から 1988 年まではその他に含まれる。

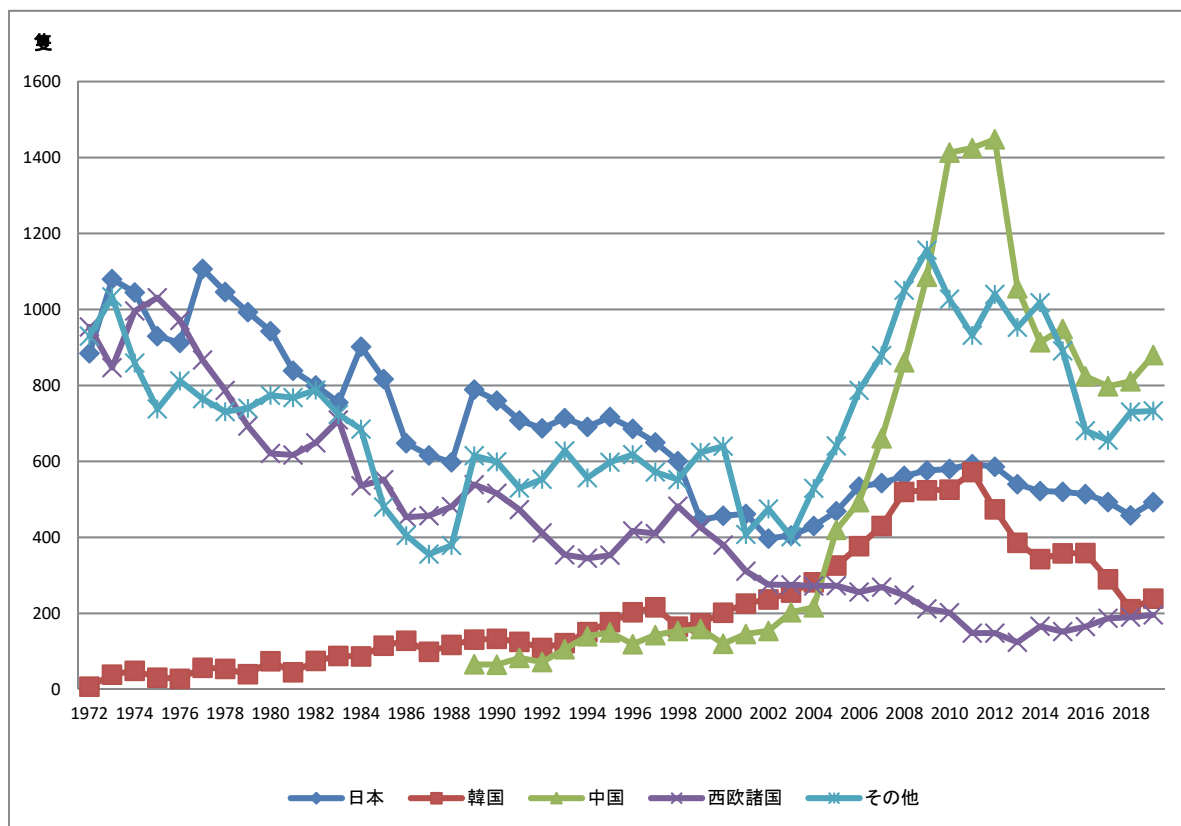
西欧諸国とは、旧西欧造船工業会 (AWES: The Association of West European Shipbuilders) に加盟する 13 か国（ベルギー、デンマーク、フランス、ドイツ、ギリシャ、イタリア、オランダ、英国、フィンランド、ノルウェー、スウェーデン、スペイン、ポルトガル）を指す。なお、出所の資料では、2014 年以降、「欧州」の表記になっている。

その他のうち、1989 年以降は中国を除いた値。

(出所) 日本造船工業会（各年の 3 月もしくは 4 月）「造船関係資料」をもとに筆者作成。

ここで、隻数ベースで国・地域別の竣工量の推移をみると、図 1-2 のようになる。1970 年代から 80 年代にかけては、日本と西欧諸国の合計が拮抗していたが、いずれも、減少傾向にあった。韓国は、1970 年代以降緩やかに増加傾向を続けていたが、2010 年頃をピークに減少傾向に転じている。中国は 2000 年代に急激に隻数を増加させていた。

図 1-2 世界地域別竣工量（隻数）の推移（1972～2019 年）



対象は 100 総トン以上の船舶。

中国は、1972 年から 1988 年まではその他に含まれる。

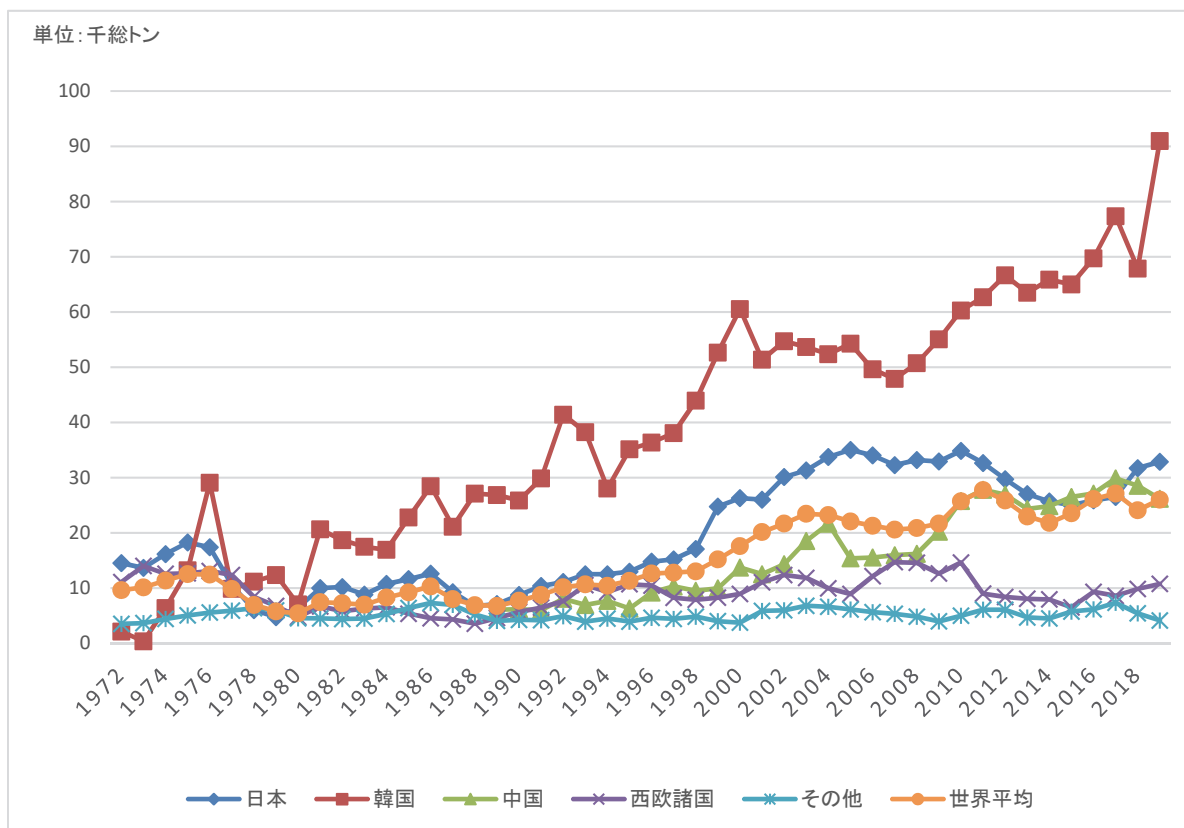
西欧諸国とは、旧西欧造船工業会（AWES：The Association of West European Shipbuilders）に加盟する 13 か国（ベルギー、デンマーク、フランス、ドイツ、ギリシャ、イタリア、オランダ、英国、フィンランド、ノルウェー、スウェーデン、スペイン、ポルトガル）を指す。なお、出所の資料では、2014 年以降、「欧州」の表記になっている。

その他は、1989 年以降は中国を除いた値。

（出所）日本造船工業会（各年の 3 月もしくは 4 月）「造船関係資料」をもとに筆者作成。

そこで、各国・地域の総トン数ベースの竣工量（図 1-1）を隻数（図 1-2）で割り、竣工船の平均の総トン数の推移をみると、図 1-3 のようになる。ここから、他国と比べて韓国は平均総トン数が上昇している、すなわち、作っている船の大型化の傾向が顕著に見られる。日本は、1990 年代から 2000 年代にかけて緩やかに大型化の傾向はみられるものの、2000 年代半ばごろから横ばいとなっている。中国は 2000 年代に緩やかに大型化傾向し、2010 年代では平均すると日本と同程度のサイズの船を作っていることがみてとれるが、竣工量の増加は、竣工隻数の急増によって、竣工量を増やしたことがうかがえる。

図 1-3 世界地域別竣工船の平均総トン数（1972～2019 年）



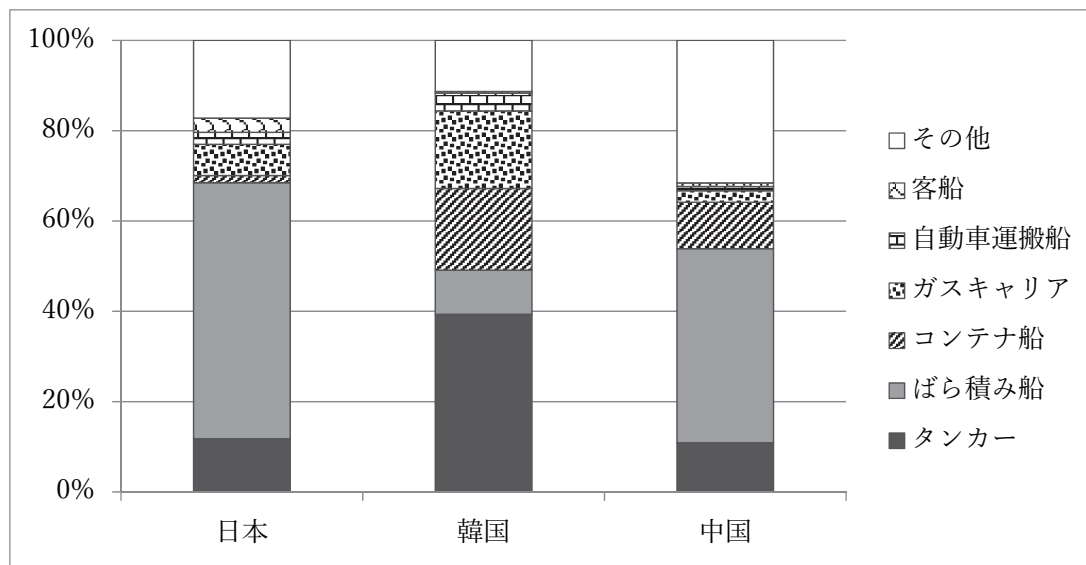
単位：千総トン(100 の位を四捨五入)。なお、出所の資料では、2014 年以降の単位は万総トンになっているため、2014 年以降の値の一の位は 0 とした。

(出所) 日本造船工業会（各年の 3 月もしくは 4 月）「造船関係資料」をもとに筆者作成。

こうして、日本を追い抜き、中国に追われる立場となった韓国は、賃金高騰<sup>15</sup>を背景にして、2000 年代以降、コンテナ船やガスキャリアなど船種を高付加価値船にシフトした。直近の日本造船工業会の資料で見ることができる船種別の手持ち工事量をみると、日本・韓国・中国の 2013 年 12 月末時点の手持ち工事量が、日本ではばら積み船の比率が 60%と、中国の 40%よりも高い比率になっている。これに対し、韓国ではばら積み船の比率は 10%弱に過ぎず、コンテナ船が 30%弱、LNG 船が 20%強を占めている（図 1-4）。

<sup>15</sup> 韓国造船会社の 2014 年の一人あたり平均年間給与は約 738 万円（7,347 万ウォン）であり、日本の大手造船会社の平均とほぼ同等か上回る水準である（対馬，2015）。

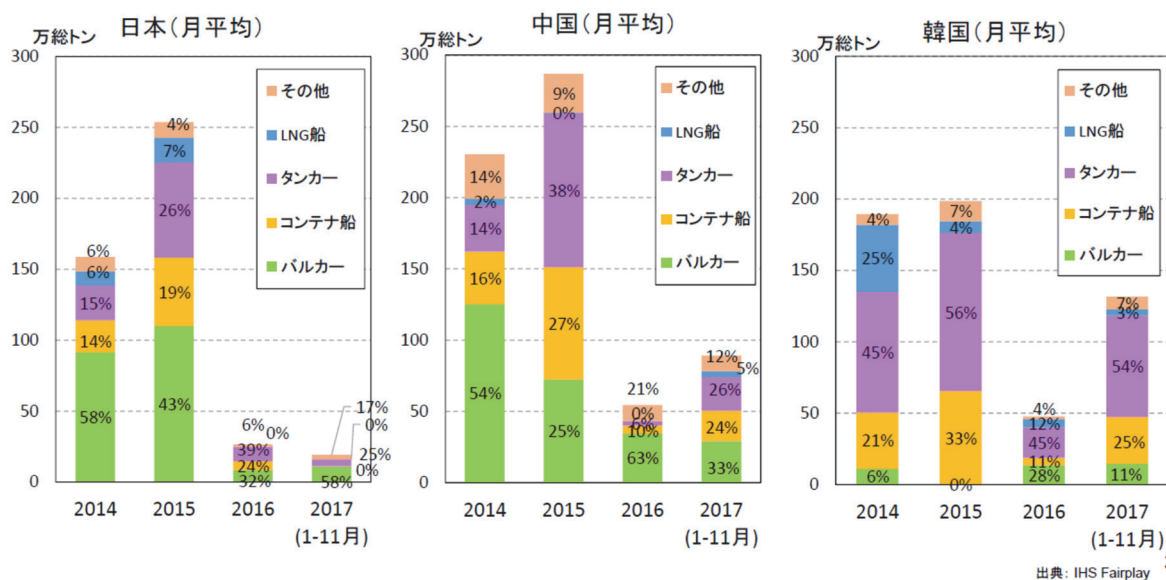
図 1-4 船種別手持ち工事量（2013 年 12 月末）（日本・韓国・中国）



（出所）日本造船工業会「造船関係資料」（2014 年 3 月）をもとに筆者作成。

さらに、2014 年から 2017 年の 3 国の受注量、受注船種をみると、日本はばら積み船（バルカー）の割合が比較的高く、韓国はタンカーの割合が比較的高くなったことがわかる（図 1-5）。中国もばら積み船の割合が比較的高いが、割合は日本よりも低くなっている。

図 1-5 日本・中国・韓国の受注量・受注船種の比較



（出所）国土交通省海事局（2017）（p32）より引用。

また、2014 年から 2018 年の竣工量（総トンベース）でみると、ばら積み船については日

本と中国が、タンカーについては日本・中国・韓国が競合していた（国土交通省海事局，2020b）。

このように、国によって、大きな割合を占めている船種が異なり、船種によって大型化のニーズが異なっていた。とくにタンカーなどは大型船の需要が大きく、タンカーの割合が多い韓国の竣工船の平均総トン数を押し上げる結果となったと考えられる。以上のことから、近年は、日本は工数が比較的少なく小型の船、韓国は工数のかかる複雑性の高く大型の船を得意としていることが考えられる（中村・深澤・武田，2011；向井，2015；2016a；向井・新宅・朴・辺，2015）。

以上に見てきたように、戦後の造船産業は欧州、日本、韓国、中国という順番でキャッチアップが起きていた。そして2010年代の状況は、日本の「大手」造船企業は設備過剰と韓国とのコスト競争で苦しくなった。韓国は低い人件費を活かしつつ日本や欧州の技術導入から出発した後、膨大な投資により製品設計・生産技術を高度化した。中国は依然として低コストながら低品質とされ取引価格が低いという構図であった。ここまでは雁行形態論（例えば赤松，1956；小島，2003）の主張通りである。しかし、2010年代には、ばら積み船などの非先端技術的な船種で、しかも比較的小型のハンディサイズなどを主力とする一部の日本の造船会社（「中手」<sup>16</sup>）が史上最高の業績を実現し、特殊なプレーヤーになっていたという点は、これまでの国際分業の議論とは状況が異なっていた（上小城，2004；具・加藤・向井，2010；中村・深澤・武田，2011；Mukai，2015；向井，2015；2016a；b）。

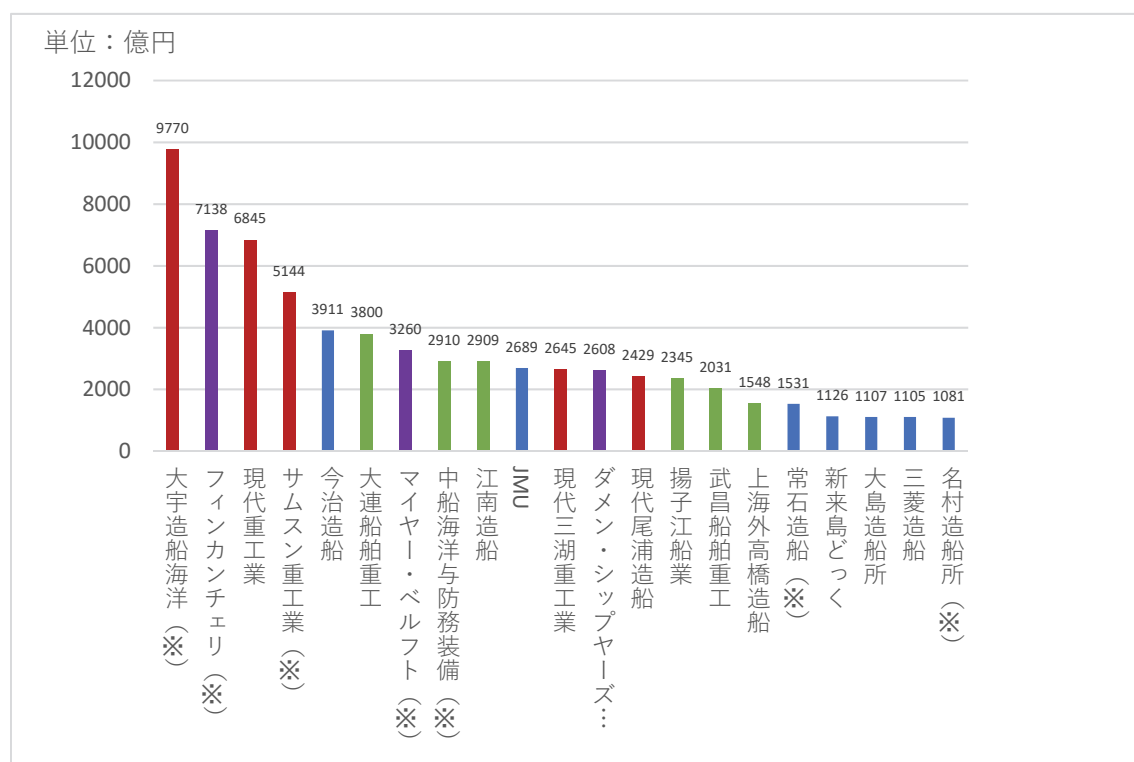
それでは、最近の状況について、企業別にみるとどうであろうか。国土交通省海事局

---

<sup>16</sup> 造船業界では「中堅」ではなく「中手」と呼ばれることが多い。これは生産能力にもとづくもので、1978年の特定不況産業安定臨時措置法の施行前後にとられた、生産能力を削減する政策によって定着した呼び方である。当時、造船業が「特定不況産業」に指定され、需給のギャップを解消するために、各造船所に過剰な設備能力の削減が求められた。このとき、1万総トン以上の船舶の建造可能な設備（船台またはドック）があり、年間建造量（進水量ベース）が100万総トン以上の企業が「大手造船所」とされ、7社（三菱重工業、石川島播磨、日立造船、川崎重工業、三井造船、住友重機械工業、日本鋼管）が該当した。これに対し、「中手造船所」は2分類に分かれる。ひとつは、1万総トン以上の船舶が建造可能な施設があり、年間建造量が10万総トン以上100万総トン未満の企業で、17社（現在の今治造船、常石造船、大島造船所、名村造船所など）が該当した。もうひとつの「中手造船所」は、年間建造量10万総トン未満の企業として16社である。さらに「その他」の分類があり5000総トン以上1万総トン未満の船舶を建造可能な施設をもつ21社が該当した。この分類にもとづき、どのくらい設備能力を処理するかが定められた（日本造船学会，1997；伊丹・伊丹研究室，1992；具・加藤・向井，2010）。こうしたことから、造船産業の「大手」・「中手」の区別は、生産量の実績などの点ではあまり意味がないものとなっている（粕谷，2012）。近年では、今治造船、常石造船、大島造船所、名村造船所、新来島どっくのような生産量の比較的多い「中手」造船企業は、「強手」と呼ばれることもある（麻生，2007）。

(2020b)によると、CSSCなど中国の竣工量の多い企業が欠損値であることに留意する必要はあるが、2018年時点では造船会社のうち年間の売上高上位を韓国企業が占めている<sup>17</sup>。日本企業は、今治造船が3911億円で5位に位置しているほか、JMUが2689億円、常石造船、新来島どつく、大島造船、名村造船所が1000億円台となっている(図1-6)。

図1-6 造船企業の売上高ランキング(2018年)



注：海事プレス社調べをもとに入手可能な公開資料より作成。業績非開示の企業は含まない。  
造船・海洋事業の売上高。造船専門企業は会社全体の売上高。中国は売上高に準ずる数値。

海外造船所の邦貨換算売上高は決算期中の平均為替レートで算出。

※の企業は単体決算ではなく、連結売上高を示す。

(出所) 国土交通省海事局(2020b)(p13)をもとに筆者作成。

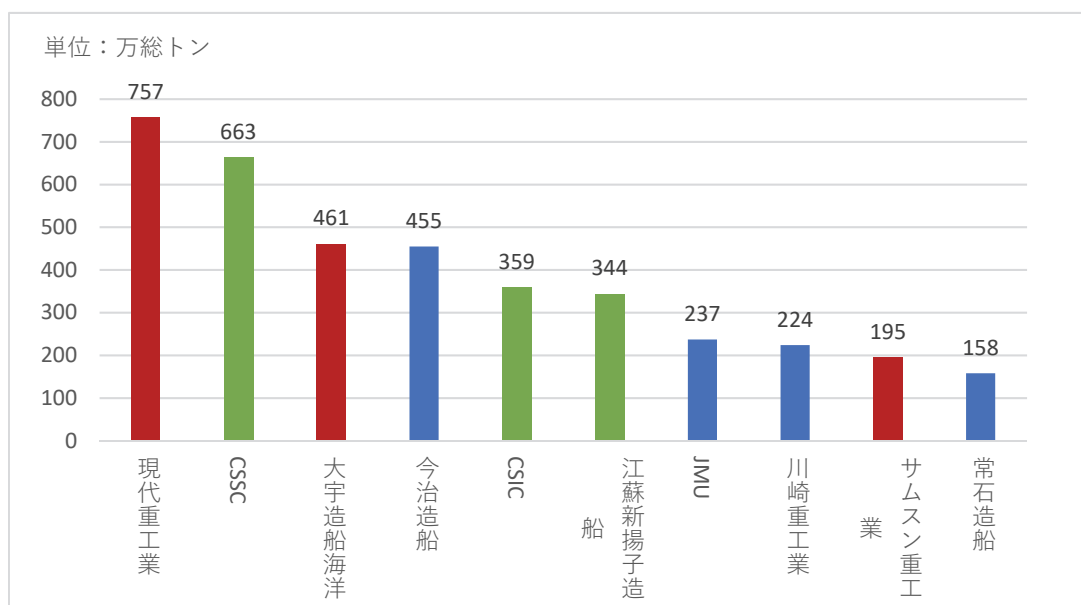
企業(グループ)別の竣工量を見ると、韓国の現代重工業、中国のCSSC、韓国の大宇造船海洋につづいて、日本の今治造船が4位に位置している(図1-7)。世界全体で5886万総

<sup>17</sup> 年間建造量の少ないフィンカンチェリ(イタリア)、マイヤー・ベルフト(ドイツ)、ダメン・シップヤーズ(オランダ)といったヨーロッパの企業が上位に入っているが、これらの企業は海洋開発関連の船舶やクルーズ船などの高価格の船種を中心に生産している(国土交通省海事局, 2020b)。



トン（2018 年）のうち、各企業のシェアを見ると、現代重工業や CSSC は 10%を超えている（図 1-8）。今治造船は約 8%である。さらに、2019 年 3 月には現代重工業が大宇造船海洋を買収することで両社が合意し<sup>18</sup>、2019 年 11 月に CSSC と CSIC は統合し中国船舶集団（CSGC）が発足した<sup>19</sup>。一方、日本では今治造船と JMU が 2020 年 3 月に資本業務提携を締結<sup>20</sup>し、2021 年 1 月 1 日に商船の営業・設計の合併企業である「日本シップヤード」が発足する<sup>21</sup>。

図 1-7 造船企業グループ竣工量（上位 10 社）（2018 年）



<sup>18</sup> 日本海事新聞 2019 年 3 月 12 日

<sup>19</sup> 日本海事新聞 2019 年 11 月 27 日

<sup>20</sup> 日本海事新聞 2020 年 3 月 30 日

<sup>21</sup> 当初は 2020 年 11 月 1 日設立予定であったが（日本海事新聞 2020 年 9 月 24 日）、海外での承認に時間がかかったため 2021 年 1 月 1 日に延期された（日本海事新聞 2020 年 11 月 25 日・12 月 18 日、今治造船ホームページ（<https://www.imazo.co.jp/news/201218/>）2020 年 12 月 29 日アクセス）。

図 1-8 造船企業グループ竣工量シェア（上位 10 社）（2018 年）

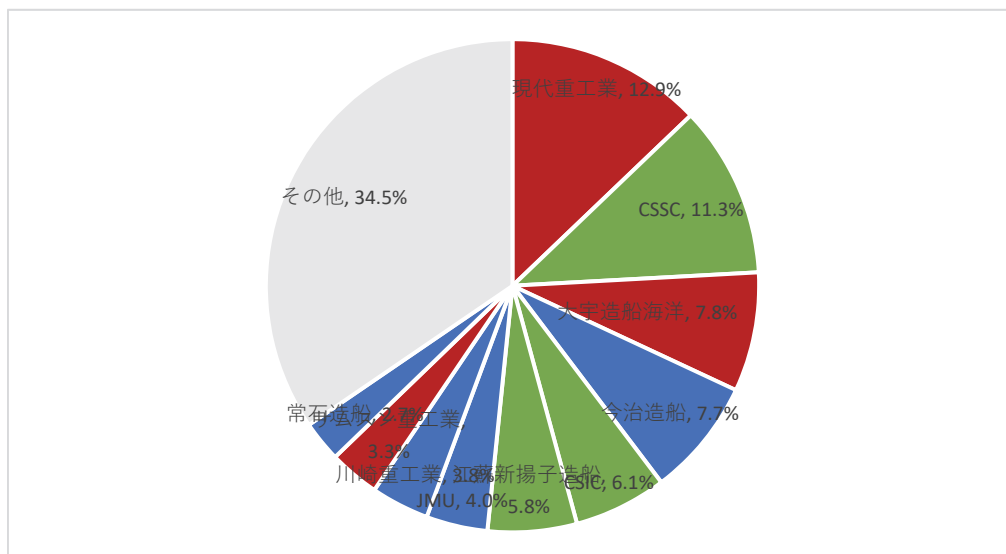


図 1-7、1-8 注：

現代重工業は、現代三湖重工業、現代尾浦造船、現代ビナシンを含む。

CSSC（中国船舶工業集団）は、上海外高橋造船、滬東（ことう）中華造船、上海江南長興造船などグループ 8 社を含む。

今治造船は、岩城造船、新笠戸ドック、しまなみ造船、あいえず造船、多度津造船、南日本造船を含む。

CSIC（中国船舶重工集団）は、大連船舶重工集団、青島北海船舶重工ほか 5 社を含む。

JMU は JMU アムテックを含む。

川崎重工業は、中国の南通川崎中遠川崎船舶工程（NACKS）、大連中遠川崎船舶工程（DACKS）を含む。

サムスン重工業は、サムスン重工（寧波）を含む。

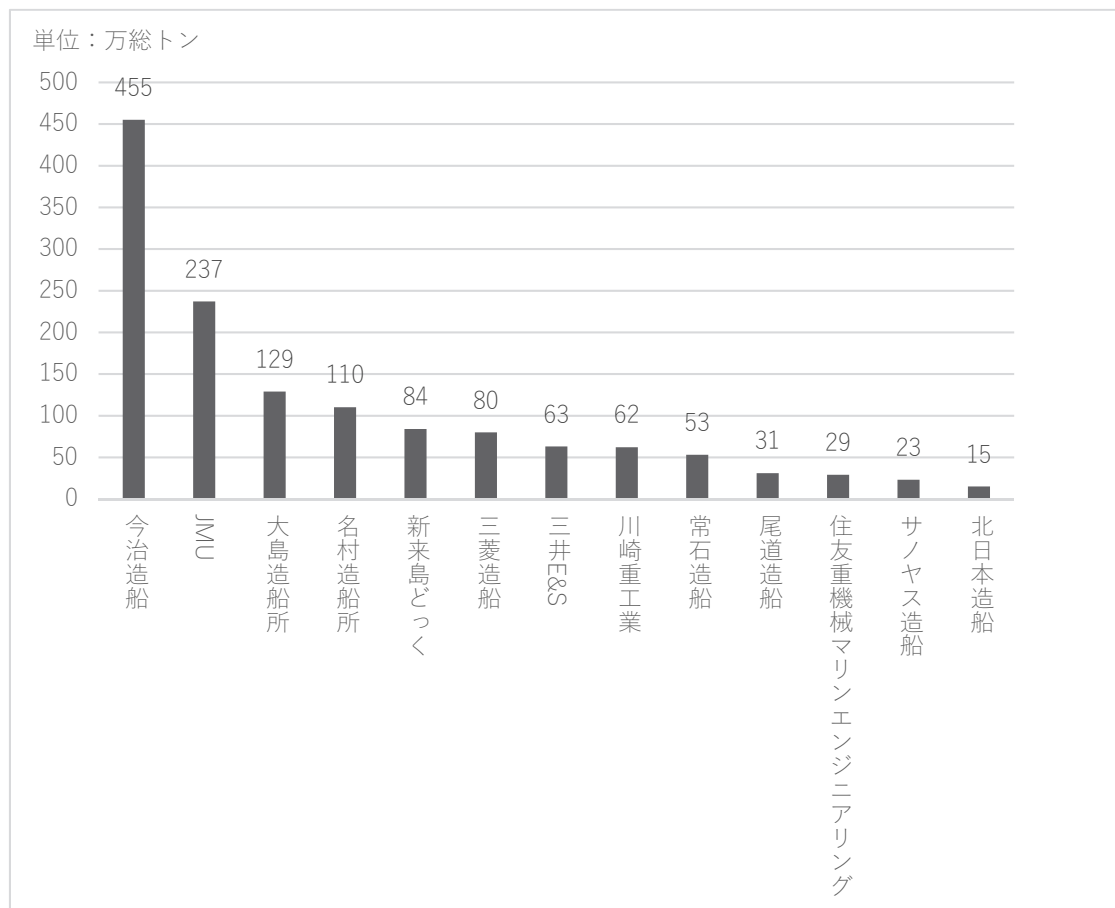
常石造船は、中国の常石集団（舟山）造船、フィリピンの TSUNEISHI HEAVY INDUSTRIES（CEBU）,Inc を含む。

（出所）国土交通省海事局（2020b）（p12）をもとに筆者作成。

日本国内の造船会社の竣工量をみると、図 1-9 のようになっていた（2018 年）。1 位が今治造船、2 位が JMU となるが、以下、大島造船所、名村造船所、新来島どつくと、造船専門企業がつづいている。なお、図 1-9 においては、常石造船と川崎重工業は海外拠点の生産量を含んでいない。海外の生産量を含めると、常石造船が 158 万総トン、川崎重工業が 224 万総トンとなるので、それを含めると川崎重工業が 3 位、常石造船が 4 位となる。このように、日本の造船会社の生産規模についてみると、「大手」（前述）企業と同等かそれ以上の生産量をもつ「中手」（あるいは「強手」と呼ばれる造船専門企業が高い地位を占めて

いることが分かる<sup>22</sup>。

図 1-9 国内造船会社竣工量ランキング（2018 年）



注：

今治造船は、岩城造船、新笠戸ドック、しまなみ造船、あいえず造船、多度津造船、南日本造船を含む。

名村造船所は、函館どつく、佐世保重工を含む。

新来島どつくは、新来島波止浜どつく、新来島豊橋造船、新高知重工を含む。

三井 E&S 造船は、新潟造船、四国どつくを含む。

常石造船は、フィリピン、中国を含まない。

<sup>22</sup> 前述の今治造船と JMU の資本業務提携の他にも、常石造船が三井 E&S 造船の株式の一部を取得する方向で協議を開始したり（常石造船ホームページ

（<https://www.tsuneishi.co.jp/news/release/2020/12/4911/>） 2020 年 12 月 29 日アクセス）、三菱造船が香焼工場を大島造船所に売却する検討を進めている（大島造船所ホームページ

（<https://jp.osy.co.jp/topics/5098/>） 2020 年 12 月 29 日アクセス）（日本海事新聞 2020 年 12 月 8 日）。

川崎重工業は NACKS、DSCKS を含まない。

尾道造船は佐伯重工業を含む。

(出所) 国土交通省海事局 (2020b) (p9) をもとに筆者作成。

以上にみてきたような、戦後から最近までの造船産業の変遷は、従来の雁行形態論では説明しきれない現象であるといえる。そこで、本論文では、キャッチアップされた日本において、韓国にキャッチアップされた後の 2000～2010 年代に、なお国際競争力を維持していた「中手」造船会社の、特にばら積み船に焦点を当て、大型人工物の設計・製造企業がどのような方法で設計の選択を行い、国際競争力を維持しようとするか、という問題に焦点を当てることとする。なお、ここでいう設計の選択とは、結局、当該人工物の「大きさ (寸法)」と「設計思想 (アーキテクチャ)」のコンビネーションの選択ということになる。前節で検討したように、「大きさ」は当該人工物とそれ以外の何ものかとの相対的な概念である。相対的な概念ということは、当該人工物とそれ以外の何ものかとのどのような関係性を持たせるか、すなわち相互依存関係に関する概念である「設計思想 (アーキテクチャ)」の問題でもあるといえる。したがって、人工物の設計者 (あるいは企業) によってなされる設計の選択とは、「大きさ」と「設計思想」をどのように選択するかという問題に相当する。

本論文の目的は企業による大型人工物の設計選択が競争力に与える影響を検討することであるので、とくに、韓国や中国といった日本からみて後発の国のキャッチアップが完了した 2000～2010 年代において競争力を維持した日本の「中手」造船会社のばら積み船の設計に焦点を当てることとする。

### 1.3 日本の造船業の競争力—2010 年代の分析

前節で検討したように、造船産業全体で見ると、先発国である日本企業がむしろ非高付加価値の分野で競争優位にある。一方、韓国企業の方が高付加価値の分野で競争力を持っている。このような違いは何によって生じているのであろうか。そこでまず考えられるのは、市場へのアクセスであるが、本論文で中心的に取り上げる外航船の場合、市場自体はグローバルであるため、この点に関して日韓 (あるいは中) で決定的な格差が生まれるとは考えにくい。

そこで別の要因として資本や技術的資源を検討すると、技術者の供給源が豊富で規模が大きい韓国企業が設計・生産工数が多くかかる高付加価値船を作る能力があると考えられる。2000 年代、韓国と日本の造船会社の 1 社あたりの設計技術者を比べると、日本は多くとも 1500 人程度、平均して 500 人程度である一方、韓国企業は 1000 人から 3000 人程度であった (大野, 2012)。しかも、韓国の造船会社は国内他産業と比べて待遇も悪くなく、有力大学からの人材供給も安定していた。このように韓国企業は、日本企業と比べて設計、生産に投入できる経営資源が豊かであるため、技術集約的で工数をより多く必要とする製品分野において優位性を持つことが可能であった。したがって、2000 年代の韓国企業は比

較的複雑（高付加価値）で大型の製品を作り、良いパフォーマンスを実現していた。これに対して、一部の日本企業は比較的小型でシンプルな製品に集中することにより、結果的に優位に立つことができた。その一方で、依然として複雑で大規模な製品（技術集約的で工数も多く要する）を重視した日本企業は、韓国企業にシェアを奪われ、競争力を失っていったと考えられる（上小城，2004；中村・深澤・武田，2011；具・加藤，2013b；Mukai，2015；向井，2015；2016a）。

さらに、日本企業のコスト競争力について検討するために、複数の企業へのヒアリングをもとに、各国造船拠点の物的労働生産性を比較する。この調査は日本と韓国の造船会社のうち、ベトナムへの新造船工場建設を検討したことのある複数の企業に、自社本国拠点との賃金、生産性<sup>23</sup>の比と、部品の国内あるいは現地調達率を聞いてみた。さらに、別のある日本の造船会社にも日本と中国の拠点に関して同様に聞き取り調査をした結果をあわせると、表 1-1 のようになった<sup>24</sup>。

表 1-1 日本、韓国、中国、ベトナムの造船所のコスト比較（2014 年時点）

	賃金 (日本=100 とした 対比指数)	生産性 (日本=100 とした 対比指数)	部品の国内調達比率 (金額ベース)
日本	100	100	95%以上
韓国	100	85	40～70%
中国（日系と中国の 合弁企業）	20～30	65	30～40%
中国（現地企業）		25	
ベトナム (現地企業)	10	15	?

（出所）向井・新宅・朴・辺（2015）（p186）より引用。

<sup>23</sup> 同等の船種、サイズの船 1 隻を生産するのに必要な製造工数について各社に質問した。本稿ではその製造工数の逆数を生産性としている。したがって、この生産性はいわゆる付加価値生産性ではなく、物的労働生産性に相当するものである。また、設計工数を加味したものではない。

<sup>24</sup> 賃金や生産性については一国内でも企業間あるいは拠点間で差があると思われるが、ここでは単純化のために一国内では基本的に同等とみなしている。

船種によって異なるが、一般的に 1 隻の船舶建造にかかるコストは、調達費約 70%（鋼材 36%、主機 9%、購買品（船用部品、装備品など）24%）、加工費（労務費）27%、設計費 2%、その他の経費 2%程度である。このうち、船舶建造コストの 30%弱を占める労務費についてみると、日本にとっても韓国にとっても中国に生産拠点を置くことが必ずしも魅力的とは言えないようである。賃金は確かに低い、低い生産性によって、トータルの労務はそれほど低くならない。さらに、コストの 7 割を占める調達品について、中国では輸入が多いために調達費は日韓よりも高くなる。日系企業と中国の合弁企業による中国の製造拠点の場合は、筆者によるヒアリングによると、中国ローカル企業よりは生産性が高いが、日本ほどではないとのことであった。下流工程の艤装作業などでは、複雑な手作業が必要になることが多く、そうした工程での作業効率の差が依然として残っていると考えられる。このようなことから、賃金の安い中国がコスト競争力をもっているとは必ずしも言えない状況にあり、昨今の中国の賃金急騰は、中国造船業の競争力を著しく低下させる要因になっている。さらに、日韓複数の企業の技術者によると、中国造船会社の品質は、日本や韓国のレベルに達していない。このような状況から、日韓両国の生産拠点の競争力は維持されていると考えられる。

次に、日本と韓国を比較してみる。表 1-1 から、賃金はほぼ同等、生産性では日本の方が 2 割程度優れている。したがって、加工費（労務費）は日本が韓国と同等かむしろ安い可能性があることが分かった<sup>25</sup>。過去の調査によると、1998 年時点で日本の賃金を 1 とすると韓国の賃金は 1/2～1/3、日本の生産性を 1 とすると韓国は 2/3～1/3 であったという（長塚, 1998；海事産業研究所, 2001）。この当時と比べると、生産性の格差は縮小していたが、同時に賃金も上昇していたため、労務費としては、2010 年代もそれ以前も日本が有利であったといえる。

さらに生産コストの 70%程度を占める調達コストについては、日本では 95%以上を国内で調達することができるが、韓国では 70%以下であった。また、ドリルシップの装備品などはヨーロッパからの調達比率が高い。中国も現地の船用部品産業が育っておらず、日本や韓国からの輸入が多い。こうした船用部品産業の状況を考えると、調達コストについては日本が最も有利であった可能性がある（Mukai, 2015；向井・新宅・朴・辺, 2015）。

一般的に、造船産業では、ブロックの巨大化によって先行艤装率を向上させ、溶接自動化を進めるにしても、結局は受注設計・受注生産が基本であり、技術の習得に数年を要する溶接工が欠かせない。その溶接工の人件費は、経済成長や建設需要の増大といった他産業を含めたマクロ経済の要因によって上昇しやすい。したがって、造船所の溶接作業の生産性を向上させることがコスト競争力に効いてくると考えられる。逆に、韓国企業と対照的にローテク分野にとどまらざるを得なかった日本の「中手」造船会社（具・加藤, 2013b）の一部は、

---

<sup>25</sup> 中国拠点と比べてみても、現地で生産性に優れる日中合弁企業でようやく日本拠点と対等、中国現地企業だと生産性が低い賃金も低いためやや低コストであるとみられる。

生産性を向上させ、コスト競争力を高めることにより、人件費の高い先進国でありながらも、非先端技術、非高付加価値分野で競争優位を保ち続けたと考えられる。

さらに、船用部品や鋼板は船級と呼ばれる基準を満たす設計品質、製造品質が必要となる。これが可能な船用部品産業が日本に育っていたことが、日本の造船会社の調達コストに関して有利に働いていたと思われる。部品産業の面では韓国造船会社は日本の後塵を拝していると思われる。

以上のような、2010 年代の主に日本の造船業界と国土交通省による自己評価にもとづくと、1 隻あたりの生産コストの大部分を占める労務費および調達費に関しては、2010 年代においては依然として日本がコスト競争力を持っていたと思われる。このことから、韓国企業にとっては、コスト競争力を高めるために生産性の向上とサプライヤー育成を図ることが 2010 年代以降の課題であったと考えられる。

こうした後発国の追い上げは海外進出の誘因の一つであるが、日韓の造船会社の海外進出に関しては、企業によって様々なパターンが混在している。日本では、今治造船のように調達で有利な瀬戸内地域に集中し、買収を通じて国内で拡大している企業がある。一方で、積極的に海外進出している企業もある。例えば、川崎重工業は中国の海運大手中国遠洋運輸集団（COSCO）との合弁企業に出資して中国に進出しており、常石造船は独自資本で中国やフィリピンに進出している。

一方の韓国でも同様の企業間の差異が観察される。現代重工業では、労働者の質、船用部品の調達の観点から、海外進出はあまり考えず、むしろ国内生産を維持・強化する方針である。一方、三星重工業はベトナムへの進出を図っている。三星重工業は中国のブロック工場の操業において賃金上昇や転職率の高さに直面し、中国への新造船事業進出は躊躇した。そこで、より低コストで生産できる可能性のある国を検討する中で、ベトナム南部のカインホア省カムラン湾が浮上した。当初、ここは大島造船所が進出を計画していたが、後に撤退した場所である<sup>26</sup>（日本海事新聞 2014 年 6 月 13 日）。ベトナム政府は代わりに誘致する企業を探していた。そこに、すでに電力や空港などの大型インフラ開発の政府と共同で実施する合意を結んでいた三星重工業が手を挙げた。これは、低コスト生産という経済的側面だけでなく、政治的側面も勘案した検討であると考えられる（日経産業新聞 2014 年 6 月 19 日）。こうしたことから、三星重工業は中国ではなく、ベトナムを選んだ。表 1-1 のように、現在のベトナムの生産性は低水準であるが、指導によって 60~70 のレベルまで引き上げられると期待されている（Mukai, 2015；向井・新宅・朴・辺, 2015）。

ここまでみてきたように、現在の造船市場の 90%を占める日本・韓国・中国に関しては、

---

<sup>26</sup> 海運マーケット低迷によって船価が低水準の回復に長期間かかると見込まれたこと、竣工隻数の高水準推移による船腹需給ギャップ拡大、円安などで投資回収のめどが立たないこと、国内拠点の生産性向上によってコスト競争力の維持が見込まれることなどが理由として挙げられる。

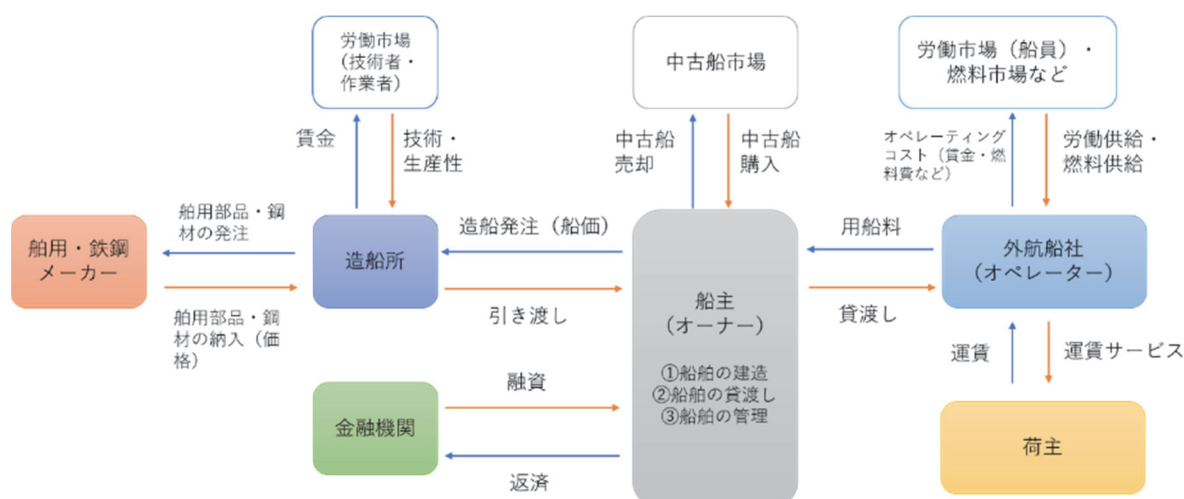
標準船で競争力を維持する日本、高付加価値に集中する韓国、必ずしもコスト競争力をもたない中国という構図になっている。国別に造船業界の状況を見るとこのようにいえるが、それでは製品の競争力についてはどうであったであろうか。

国土交通省海事局（2020b）によると、ばら積み船は日本製が韓国製、中国製より燃費性能が優れているが、タンカーやコンテナ船については差がなかった。品質については、中古船価格を分析し、船齢 10 年未満のばら積み船は日本製が、韓国製・中国製よりも高い価格が付くが、それ以上の船齢では差があまりないとされていた。また、タンカー、コンテナ船については船齢にかかわらず差があまりないとされていた。

以上にみてきた造船・海事産業の構図をまとめると図 1-10 のように表される。荷主からの運賃、オペレーティングコストなどを反映した用船料収入、中古船市場の状況、金融機関からの融資をもとに、新造船市場の船価が決まり、それにもとづいて船主から造船所に発注される。造船所はそうした船価を売り上げ（インプット）とするが、一方で人件費（賃金）、船用部品や鋼材などの調達コスト（アウトプット）となる。本節でこれまでみてきたことをまとめると、このインプットとアウトプットのバランスを考えたときに、韓国や中国にキャッチアップされた後も日本の造船所はそうした各国に対抗しうる競争力を維持していたといえる。

ここまでの競争力分析は、2010 年代における、主に日本の造船業界と国土交通省の自己評価である。しかし、こうした 2000～2010 年代の日本の造船業の競争力分析においては、設計属性、特にアーキテクチャ（後述）の選択が競争力にどのような影響を与えたかについては、直接的な言及は少ない。本論文が着目するのは、この設計属性と競争力の関係である。

図 1-10 外航海運における取引構造



（出所）国土交通省海事局（2020c）（p28）をもとに筆者作成。



#### 1.4 国際競争の激化と船の設計への注目

そこで、本論文では造船会社による船の設計に注目するが、本節ではまずその前提として最近の状況を抑える。まず、最近の製品価格（船価）に関して、船主業の瀬野洋一郎・瀬野汽船社長による、国土交通省の交通政策審議会海事分科会海事イノベーション部会での指摘では、日本造船と中国造船の船価差が約 20%以上あり、例えば、200,000DWT ケープサイズバルカー（ばら積み船）の船価が中国で 50 億円弱（米ドル契約）だが日本では約 20% 高の 60 億円強となること、LNG 炊き仕様の 200,000DWT ケープサイズバルカーでも中国で約 70 億円、日本では約 90 億円となるとされている<sup>27</sup>。ばら積み船市場では、日本と中国が競合しているが（国土交通省海事局，2020b）、この指摘のように最近のばら積み船については、比較的船齢が若い場合に限って性能・品質について優位で、新造船価格が 20% 高い状況である。しかし、前節の表 1-1 によると、日本と中国でコスト差がさほどない状況が考えられた。

このギャップの背景を考察すると、まず、1990 年代末以降、中国では各地で大規模な投資が行われ「大型新鋭造船所」が次々に建設されて生産能力が飛躍的に拡大し、2000 年代以降は海外船主からの受注も大量に獲得するようになっていた（張，2011）。その後、リーマンショック後の造船不況期に入ると、中国政府は 2013 年以降に「優良造船所のホワイトリストを作成し、掲載された造船所に対して中国政府の支援を優先的に実施する」<sup>28</sup>政策<sup>29</sup>をとり、さらに老朽船の前倒し廃棄に対する船主へのスクラップ補助金の支給という需要喚起策をとった。加えて、中国の金融機関の融資は特定の有力な国営造船所に集中した（日本船用工業会・日本船舶技術研究協会，2016）。さらに 2000 年代から「国輸国造」の方針の下で建造能力強化がはかられていた国営企業 2 社（CSSC、CSIC）が、2019 年に政府主導で統合された（国土交通省海事局，2020b）。このような形で、政府支援により競争力強化が図られてきた。さらには、近年、公的支援を背景にした安値受注が行われているとの見方もあり<sup>30</sup>、こうした市場の歪曲を是正するために OECD 造船部会に非加盟国である中国に参加が要請されている。こうした状況によって、前節の表 1-1 の日中のコスト差が少ないことと、瀬野社長が指摘する日中で船価に 20% 程差があるということのギャップがもたらされたと考えられる。

いずれにせよ、新造船価格は用船料と見合ったものにする必要があるが、日本製が中国製と比べて 20% ほど高いということは、そうはなっていないということである。造船会社に

---

<sup>27</sup> 瀬野（2020）（<https://www.mlit.go.jp/maritime/content/001359738.pdf>）（2020 年 9 月 27 日アクセス）

<sup>28</sup> 日本船用工業会・日本船舶技術研究協会（2016）より引用。

<sup>29</sup> しかし、ホワイトリストに掲載された造船会社の一部が経営破綻し、ホワイトリストの信頼性が疑念がもたれている（日本船用工業会・日本船舶技術研究協会，2016）。

<sup>30</sup> 例えば日本海事新聞 2020 年 7 月 20 日。

発注する船主は、オペレーターからの用船契約を締結したり、用船料収入を見込んで船を発注する。その用船料はオペレーターが荷主から得る運賃収入をベースに決まる（図 1-10）。よって、海上輸送の運賃が船価に影響することになる。そして、外航海運は世界単一市場であり、オペレーター、船主は海外勢との価格競争を踏まえた運賃、用船料を設定する。したがって、そうした運賃や用船料を踏まえた船価にする必要が出てくる。

そこで、ばら積み船の貨物の運賃を示す BDI（バルチック・ドライ・インデックス）<sup>31</sup>をみると、リーマンショック以降、長期的に低迷しており、2018 年は年平均 1348、2019 年は 1341 と、2010 年頃と比べると半分以下となっている。なお、2020 年は新型コロナウイルスの感染拡大の影響で 411 まで急落している（日本船主協会・日本海事センター, 2020）。また、乾貨物の定期用船料の推移も、2010 年と比べると 2019 年はおよそ半分になっている（国土交通省海事局, 2020d）。

このように運賃が低迷し続けている状況であるため、前述の瀬野社長は、

「日本でも今契約しないと 2～3 年後の船台に空きが出ることは確実で、2～3 年後に空きが出るのに造船各社の皆さまは危機感がないと思う。造船工業会では、日本と中国・韓国との船価差は造船所のコスト差、中国製の鋼材、船用品、政府助成金が集まった結果と分析され、船舶の性能とか中古売船時のプレミアム、政府支援でカバーできると発言しているが、今すぐ海外荷主の運賃レベルにしないと新造船を成約することはできない」<sup>32</sup>

「現在は日本荷主より海外荷主が大半の荷物を持っている。海外荷主の運賃では中国建造の船舶を投入するしか方法がないことを日本の造船各社にはぜひ理解してもらいたい。私が提案しているのは、日本の造船所・オペレーター・船主が皆で努力・協力し、中国との船価差 20%を 5%ぐらいにしないと日本の造船所で日本オペレーター、日本船主、海外船主の建造はなくなる。このことを警鐘として鳴らしている」<sup>33</sup>

と指摘している。日本の船主が日本の造船会社に発注する場合でも、性能や品質で優れていても価格差を許容できる状況になく、価格競争力を高める必要に迫られていることが分かる。さらには、

「造船所関係者がじくじたる思いで話す。「これまで日本造船所と中国造船所は、スペック、品質面、信頼性の 3 点で日本造船所に優位性があるとされてきた。そこに長く日本の造船業界が安住してきた経緯もある。しかし、最近の海外勢の入札では船価のほか、スペック面でも中国勢が先行している」（中手造船所）」<sup>34</sup>

と、非価格競争力についても最近では中国勢に接近されつつあるという見方もある。

---

<sup>31</sup> 乾貨物の海上輸送運賃指数で、1985 年 1 月の運賃を 1000 とした指数である。

<sup>32</sup> 日本海事新聞 2020 年 8 月 24 日

<sup>33</sup> 日本海事新聞 2020 年 8 月 24 日

<sup>34</sup> 日本海事新聞 2020 年 10 月 12 日

こうした状況を受けて、実際に、船主の国内調達比率は低下傾向にあり、1995 年には日本の海運業から日本の造船会社への発注割合が 96%であったが、2016 年には 77%となっている（国土交通省海事局，2020b）。加えて、最近では、日本の金融機関が日本の船主に融資するにあたり、日本の造船所で建造することが重視されなくなりつつあり、

「かつて地域経済を旗印にしていた地銀は中国建造船への融資はご法度に近い状況だった。しかし、今や大手船主が中国造船所に新造船を発注する以上、中国造船所の中で、どの造船所が OK、どの造船所が危ない、という考え方に変わってきている」（船舶部）  
具体的には、中国造船所のリスク管理として 1.国営系（上海外高橋造船など） 2.民間系造船（韓通船舶重工集団など） 3.日系造船所（NACKS〈南通中遠海運川崎船舶工程〉、常石集団〈舟山〉造船など）一の 3 区分。国営系と日系の造船所の建造船なら「問題ない」という判断が大勢だ。」<sup>35</sup>

という状況に変わってきている。

以上にみてきた最近の状況をまとめると、まず海運市況を受けて運賃が長期的に低迷しているため、用船料は省エネによるオペレーティングコストの節約分を反映したものになりにくい。そのため、中古船価格市場での日本製船舶の優位が弱まったため、従来、日本の造船会社の顧客であった日本船主・オペレーターも、安価な中国製へのシフトを見せつつある。それゆえ、日本の造船会社は、中国製よりも高い船価を付けにくい状況になっている。

このような近年の状況を踏まえて、瀬野社長は、次のように船の設計に注目した提言をしている。

「各船型を開発する場合は、造船所各社で設計、水槽試験などをして省エネ、積み高を独自開発しているので、各社で多額の開発費が発生し船価に上乘せされる。例えば、ばら積み船、自動車船、コンテナ船、タンカーなどを日本連合がモデル船の設計を行い、各造船所でマイナーチェンジすれば、開発費の各社負担が大幅減となり船価ダウンが可能となる。また各造船所でブロック割の詳細設計、図面などが各造船所で違っているので、一本化すれば船価ダウンできる」<sup>36</sup>

「船用関係なども同じ方法でコストダウンし船価ダウンに寄与する。私がイノベーション会議で申し上げた中国との船価差 20%を縮める努力が必要であるが、申し訳ないが造船所の皆さまは危機感がないと感じた。直近のマーケットリポートでは、大型船は中国や韓国の造船所で成約されていて日本の造船所はほとんど見当たらない。国土交通省と造船所で進めている先進船舶などは先の話であり、現在契約しなければ 2～3 年後の船台が空くことになる」<sup>37</sup>

こうしたアイディアは、かつての平時あるいは戦時標準船でもみられたものであるが、い

---

<sup>35</sup> 日本海事新聞 2020 年 10 月 12 日

<sup>36</sup> 日本海事新聞 2020 年 8 月 24 日

<sup>37</sup> 日本海事新聞 2020 年 8 月 24 日

ずれにせよ、製品の価格競争力を高めるためにはコスト低減が必要で、そのためには設計段階から遡って検討する必要があることを示唆しているといえる。

このような中で、持続可能な開発目標（SDGs）の観点から、一方では環境性能の高度化も求められている。例えば地球温暖化対策としては、国際海事機関（IMO）において採択され、2013 年から発行している EEDI（Energy Efficiency Design Index：エネルギー効率設計指標）規制は、外航の新造船<sup>38</sup>を対象に、1 トンの荷物を 1 マイル運ぶのに排出されると見積もられる CO<sub>2</sub> を段階的に削減することを義務づける規制で、2013 年比で、2015 年から 2019 年は 10%、2020 年以降は 20%、2025 年以降は 30% の削減を求めるもので、この基準を満たさない船は運航できなくなるものである<sup>39</sup>。加えて、IMO で GHG 削減戦略<sup>40</sup>を採択している。このほかにも、NO<sub>x</sub>（窒素酸化物）規制や SO<sub>x</sub>（硫黄酸化物）規制といった大気汚染対策の規制、バラスト水管理条約などの海洋環境保全のための規制が、近年立て続けに施行、強化されている<sup>41</sup>。

このように、コスト低減と環境性能の高度化を両立することが求められており、造船会社の製品開発の重要性がますます高まっている状況であるといえる。日本の造船産業においては、かつては「大手」造船会社が技術開発をリードし、その成果を「中手」造船会社に展開するという構図があった。「大手」は豊富な人材と試験水槽などの充実した研究開発設備を活かして技術開発を主導し、「中手」は「大手」と提携したり、「大手」の退職者を採用するなどしてその技術を吸収した。しかし、「大手」は事業規模を縮小するなどしている。一方、「中手」は技術力まで高めている企業は一部にとどまり、かつての「大手」の役割を担うには至っていないと、国土交通省海事局（2020b）では指摘している（図 1-11）。このような状況において、とくに「中手」造船会社の製品開発の重要性が高まっていると考えられる。

しかし、前述のように 2010 年代においても、ばら積み船を中心的に手がけていた国際競争力を持つ日本の中手造船会社では、設計上の工夫が競争力に貢献していたと考えられる。この視点が、既存の研究では希薄であったと考えられる。よって、本論文は、企業による大型人工物の設計選択の一例として、日本の造船業、とくに、新興国のキャッチアップ後も国

---

<sup>38</sup> 2013 年 1 月 1 日以降に建造契約が締結される船、建造契約がない場合には 2013 年 7 月 1 日以降に建造契約が締結される船、2015 年 7 月 1 日以降に引き渡しされる船と定義されている。

<sup>39</sup> 国土交通省海事局（<https://www.mlit.go.jp/common/001133387.pdf>）2020 年 9 月 27 日アクセス

<sup>40</sup> 国際海運全体の GHG 削減数値目標として、①2030 年までに燃費効率（輸送量あたりの GHG 排出量）40%以上改善、②2050 年までに GHG 総排出量 50%以上削減、③今世紀中なるべく早期に GHG 排出削減排出ゼロが盛り込まれている（国交省海事局，2020b）。

<sup>41</sup> 商船三井ホームページ

（<https://www.mol.co.jp/sustainability/environment/regulation/index.html>）2020 年 9 月 27 日アクセス

際競争力を維持してきた、2000～2010 年代における中手造船業のバラ積み船における設計選択に焦点を当てることとする。

図 1-11 造船業界における事業規模・技術力に関する模式図

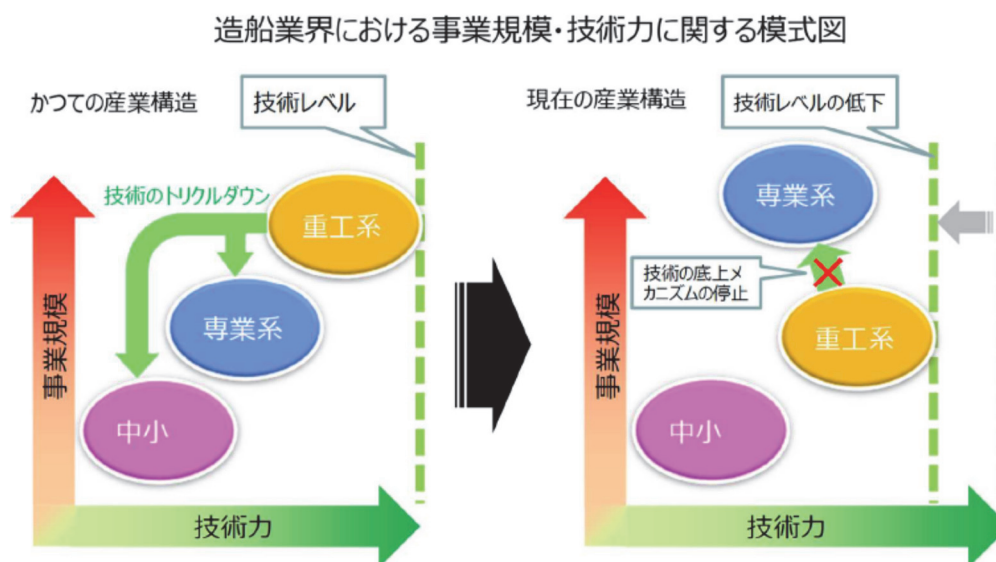


図 14 造船業界構造のシフト

(出所) 国土交通省海事局 (2020b) (p24) より引用

## 1.5 本研究の構成と概要

本研究の構成は、図 1-12 のようになる。

まず、本章 (1 章) では、本研究の問題意識とその背景を提示した。

2 章では先行研究をレビューし、リサーチギャップと分析枠組みを検討している。先取りすると、本研究が取り組むべきリサーチギャップは、企業の競争力に影響を与える 1 つの要因とされてきたアーキテクチャの階層的選択というテーマについて、人工物の相対的な「大きさ」という要素を加えて実証的に論じた研究が意外になされていないことであると考えられた。また、製品アーキテクチャに関する概念整理も行なう。

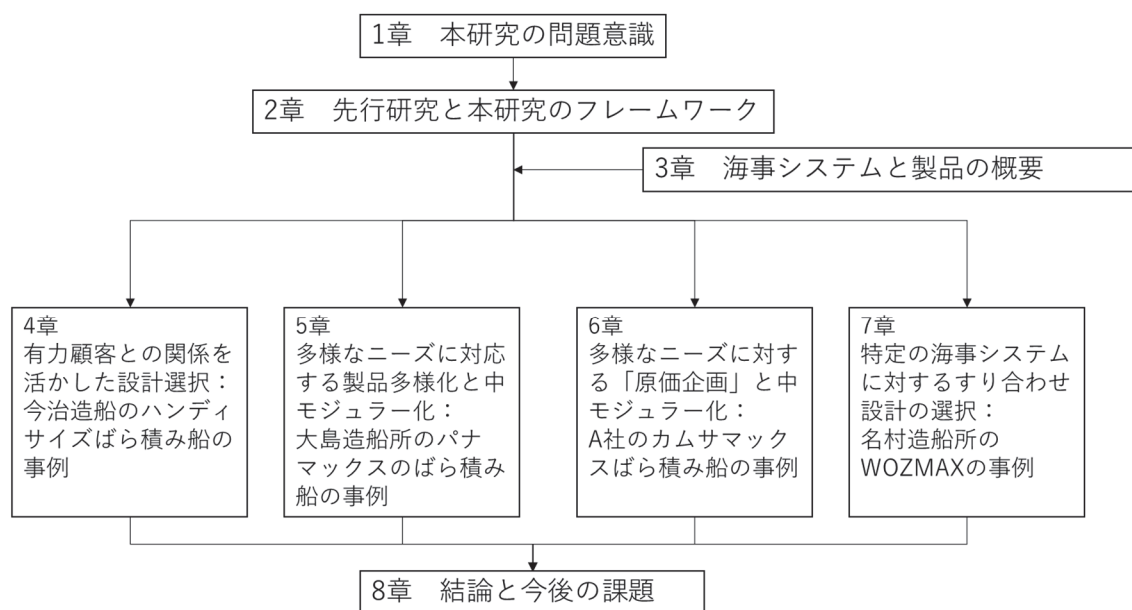
3 章では、本研究の実証分析の対象とする造船・海事産業の概要、本研究の分析枠組みを造船・海事分野に適用すること、海事システムの階層構造のどこに本研究が焦点を当てる必要があるのか、また (製品カテゴリーにかかわらず) 製品価格が造船会社によってコントロールしにくいものであることなどを確認する。加えて 3 章では 4～7 章の事例研究の方法、対象の選定を説明している。

4～7 章が企業の事例研究である。4 章は有力な愛媛船主との関わりの深い今治造船によるハンディサイズのばら積み船の開発の事例である。5 章は多種多様なばら積み船を手がける大島造船所のパナマックスサイズの製品開発の事例である。6 章は原価企画による開発プロセスを導入した A 社のパナマックスサイズのばら積み船の開発の事例である。7 章は特

定の用途（海事システム）に特化した名村造船所の鉄鉱石専用ばら積み船の開発の事例である。

8章は、以上の事例研究を踏まえ、本研究の結論を述べ、貢献と残された課題を検討する。先取りすると、本研究で取り上げた事例から、製品の相対的な「大きさ」と製品アーキテクチャの階層的な選択を適切に組み合わせることによって、企業が競争力を持ちうる可能性が考えられた。そして、リサーチギャップに対する本研究の貢献は、意外と看過されてきた人工物の相対的な「大きさ」という要素を加え、製品アーキテクチャの階層的選択というテーマについて実証的に論じた点であることを述べる。また、大きさに関して固着的な補完財や部品などに対する相対的な「大きさ」と、それにあわせて階層によって異なるアーキテクチャの選択を行うことにより、企業の競争力に貢献する可能性を指摘することができた。一方で、相対的な「大きさ」と適合的なアーキテクチャの選択をしなかった場合に競争劣位になる可能性についての検討が、今後の検討課題であることを指摘する。

図 1-12 本研究の全体構成



（出所）筆者作成。

## 2 章 先行研究と本研究のフレームワーク

### 2.1 はじめに<sup>1</sup>

1 章で述べたように、本論文は、企業による大型人工物の設計選択と競争力への影響を明らかにすることを目的とする。そこで、本章では、人工物の設計選択に関わる先行研究を参照する。具体的には、人工物の新設計（機能と構造の新結合）による経済成果の達成に関わるイノベーション論や製品開発論、人工物の階層システムに関する議論、および人工物の機能構造関係やインターフェース設計に関するアーキテクチャ論（その階層性とダイナミクス）についての先行研究をレビューする。その上で、本章において、本研究で議論するための企業の設計選択に関するフレームワークを示す。

前章でとりあげたように、本研究が注目する船舶のような物理的に大規模な人工物は、自ずと必要な資源は多くなる。外航船の船舶の場合、1 隻で全長数百 m×全幅数十 m×全高数十 m と、あらゆる人工物の中で巨大な製品である。1 隻あたり部品は 30 万点、鉄鋼は 8000 トン程度必要である（関西造船協会編集委員会, 2010）。VLCC(20 万載貨重量トン数(DWT)クラスの油槽船) 1 隻を 1 日運航するのに、重油は約 100 トン必要である（坂井・池田, 2002）。

このように物理的に大規模な人工物を開発する場合、大量の資源を動員し、設計活動において膨大な問題解決を行なう必要が出てくる。また、大規模な人工物を利用するのにも膨大なエネルギーが必要となるため、その経済性や環境性も重大な問題となる。さらに、容積や重量が巨大ということは、生産するにも利用するにも人命の危険と隣り合わせとなるため、安全性も重要な問題となる。航路や港湾など使用環境における制約、あるいは特定の使用状況といった海事システムをどのように勘案して設計するのかも重要となる。このような製品設計は、どのように製品アーキテクチャを選択するのかという問題であるともいえる。

そこで本章では、製品開発論に関する研究や、経営学において人工物のシステム観として代表的な製品アーキテクチャに関する研究および近年の人工物の複雑性に関する議論を参照する。

まず、Schumpeter (1934) をはじめ、経済学や経営学においてイノベーションは重要な論点でありつづけてきた。経営学では、Myers and Marquis (1969) やプロジェクト SAPPHO (Rothwell et al., 1974) など、企業がどのようにイノベーションを起こすことができるかが議論されてきた。また、技術的な要素のダイナミズムが企業や産業の競争環境に影響を与えることから、例えばプロダクトライフサイクル (PLC) 仮説 (Vernon, 1966) などの議論もなされてきたが、PLC 仮説では製品と構成の相互作用の観点が欠けていた。これに対して、製品と工程の相互作用に着目した Abernathy (1978) の製品・工程ライフサイクル仮説は、大きな製品イノベーションが頻繁に起こる製品革新期から始まり、ドミナントデザ

---

<sup>1</sup> 本節は、向井 (2020a) を大幅に加筆、修正したものである。

インの登場をきっかけに工程革新期へと移行し、製品・工程ともに標準化・効率化が進む反面、技術革新が減少するという意味でシステムが硬直化する（生産性のジレンマ）という非可逆的なライフサイクルをたどるとした。この不可逆性について、後にライフサイクルの逆転ないし再出発、すなわち脱成熟化の可能性が指摘された（Abernathy, Clark and Kantrow, 1983）。

その後、設計論を導入した製品開発に関する研究（Clark and Fujimoto, 1991 など）が盛んになる。中でも、技術そのものの変化はあまり見られずとも部品間の技術的な関係が変化するという製品アーキテクチャの変化が、企業や産業の競争力に大きな影響を与えることが注目されるようになった（Henderson and Clark, 1990）。これをきっかけに、製品アーキテクチャの概念が経営学に導入され、より詳細に製品や工程の技術を議論の対象にすることが可能になった。製品アーキテクチャの概念は、組織デザインや分業構造（Sanchez and Mahoney, 1996；Baldwin and Clark, 2000 など）、それに伴ってコスト競争力に影響を与えること（伊藤宗彦, 2005）、国際分業の構造に影響を与えることなどから（藤本・新宅編, 2005；新宅・天野編, 2009 など）、1990 年代以降の経営学において注目されてきた。

さらに近年、安全、環境などの社会的な要求の高度化、厳格化をうけ、あらゆる製品の開発は、ますます複雑化に対処する必要性に直面している。こうした複雑化問題に対して、これまでの議論では、製品アーキテクチャの観点から、要素間の相互依存性を事前にできるだけ解決するモジュラー化などの設計上の戦略が議論されてきた（Simon, 1969；Ulrich and Eppinger, 1994；Ulrich, 1995；藤本・武石・青島編, 2001；青木・安藤編, 2002）。PC やソフトウェアといった電子・論理の分野では、処理すべき情報量が増大しているが、事前のインターフェースのルール化やそれに伴う分業体制の構築が進むことが議論された<sup>2</sup>（Langlois and Robertson, 1992；Cusumano and Selby, 1995；Baldwin and Clark, 2000；Gawer and Cusumano, 2002；立本, 2013；伊藤宗彦, 2005 など）。一方で、例えば自動車やエレベーターや建築物などといった質量のある分野において、開発組織は環境、安全などの市場や顧客からの制約条件の厳格化による急激な複雑化に直面し、製品の首尾一貫性（Clark and Fujimoto, 1990）と設計簡素化やプラットフォームや部品（群）の共通化<sup>3</sup>の両立が模索されている（近能, 2001；柴田・玄場・児玉, 2002；Mikkola, 2003；武石, 2003；具, 2008；藤本・野城・安藤・吉田編, 2015 など）。

このように、多くの企業が直面する人工物の複雑化という課題に対してどう対処するこ

---

<sup>2</sup> コンポーネント間の相互作用が発生しうる複雑な製品を、相互に独立なコンポーネント群に分解することをモジュラー化というが、それは問題解決（コーディネーション）の局所化によって開発活動の簡素化を図ることでもあるといえる（Baldwin and Clark, 2000；青木・安藤編, 2002；中川, 2011）。

<sup>3</sup> 例えば、近年の自動車産業では、フォルクスワーゲングループの「MQB」のような事例が挙げられる（長島, 2014）。



とができるのかについて、これまでの経営学は製品アーキテクチャの概念を用いて議論してきた。これを言い換えると、人工物というシステムをどのような階層構造にするか、という問題でもある。そこで、2章では、そうした人工物の階層性の観点から製品アーキテクチャに関する議論を概観し、本稿においてどのような議論を行う余地があるのかを検討する。

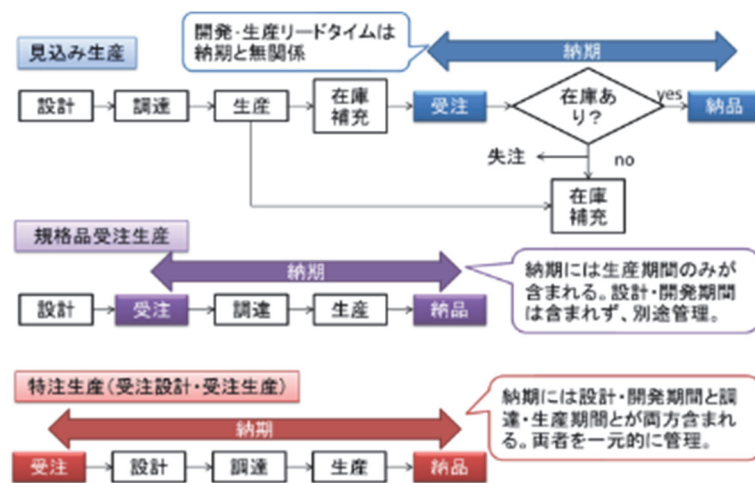
## 2.2 製品開発に関する研究

ここで、本稿は特注品（受注設計・受注生産）が基本的なパターンとなるような産業財企業の製品開発に注目する研究である。こうした企業の持続的な優位性を支える裏の競争力の源泉は、人工物の設計活動に負うところが大きいと考えられる。そこで、設計論の概念を導入した経営学の議論を参照する。

人工物の設計とは、ニーズに対して概念設計、基本設計、詳細設計、生産設計のプロセスを経て人工物の動作原理や挙動（機能）と構造や形状を決めて設計解を生み出すことである（竹村，2001）。公理的設計論によると、要求機能と自然環境、社会・技術的制約、使用場所などの制約条件を満たし、同時に生産面の制約を考慮に入れて製品システムが設計される（Suh，2001）。次に、機能をどのように構造に配分するか、すなわち製品アーキテクチャが選択される（Ulrich and Eppinger，1994；Ulrich，1995）。このとき、構成要素の多数性と構成要素間の関係性が製品設計の複雑性を規定する（Ashby，1956；Thompson，1967；Simon，1969）。こうしたことから、製品開発論の要点は、企業の競争力向上のために、いかにニーズと設計解の一致度を高めるかということと、いかに設計解をより高い生産性あるいはより低いコストで生み出すかということに集約される。

こうして考えると、企業の競争力の背景として製品開発マネジメントに着目する場合、特注生産（受注設計・受注生産）の製品に注目することは有意義である。なぜなら、設計が納期に含まれているタイプの製品（図 2-1）の方が、設計解を生み出す生産性が企業の競争力に直接的に影響しやすいと思われるからである。

図 2-1 見込み生産・受注生産と納期の関係



(出所) 藤本 (2001b) をもとに筆者加筆修正。

プロダクトライフサイクル仮説 (Vernon, 1966) などでは、製品と製造工程の相互作用という視点が含まれていなかった。これに対して、Abernathy (1978) の製品・工程ライフサイクル仮説は、大きな製品イノベーションが頻繁に起こる「製品革新期」から始まり、「ドミナントデザイン」の登場をきっかけに「工程革新期」へと移行し、製品・工程ともに標準化・効率化が進む反面、技術革新が減少するという意味でシステムが硬直化していく（生産性のジレンマ）という非可逆的なライフサイクルをたどるとしている。この不可逆性については、後にライフサイクルの逆転ないし再出発、すなわち「脱成熟化」の可能性が指摘され、修正される (Abernathy, Clark and Kantrow, 1983)。

いずれにせよ、ある産業や製品のライフサイクルの進化の過程では、基本設計のバリエーションは減少するというのが基本的な発想であったといえる。このように、製品に関する不確実性が低くなると、設計は単にパラメータを選択するだけのことになる (Clark, 1985)。この後、設計論を用いた製品開発に関する研究が盛んになり (Fujimoto, 1989 ; Clark and Fujimoto, 1991 など)、さらに製品アーキテクチャの概念が経営学の議論に導入されることになる (Henderson and Clark, 1990 ; Wheelwright and Clark, 1992 ; Ulrich, 1995)。

経営学において、製品開発に関する研究は 1960 年代から存在するが (藤本, 2002a ; 桑嶋, 2002)、産業財の製品開発を分析した Myers and Marquis (1969) によると、アイデア創出、問題解決、製品の使用段階からなるイノベーションにおいて、アイデア創出では企業外部の情報が重要であるという。イギリスのサセックス大学の科学政策研究グループ (Science Policy Research Unit ; SPRU) によるプロジェクト SAPPHO は、化学産業や科学機器産業を分析し、いくつかのプロジェクト成功要因を挙げる中で、市場情報の理解も含まれていた (Rothwell et al., 1974)。Allen (1977) は、航空宇宙やエレクトロニクス産業の研究所の組織に注目し、テクニカル・ゲートキーパーが所内のネットワークの結節点とな

り、イノベーションに影響することを指摘した。また、von Hippel (1988) は、リード・ユーザーの声が科学研究機器や半導体用設備などのイノベーションの源泉であると指摘した。

以上の研究をはじめとして、1980 年代半ばまでの研究は、主に当時の最先端技術を使うような、国家的なプロジェクトを含む産業財開発か基礎研究に焦点が当てられた。そのため、プロジェクトの成否に関わる議論は進んだが、企業の競争力に製品開発がどう影響するのにかんする視点はあまりなかった。また、こうした分野は顧客がそもそもプロであり、市場あるいは顧客のニーズは明確なものであった。そのため、イノベーションに必要な情報源が開発組織の外部にあるという議論が盛んになったと考えられる。

1990 年代に入ると、製品開発の競争力への影響を主眼に置いた研究が盛んになった。その端緒となった Fujimoto (1989) と Clark and Fujimoto (1991) は、開発組織のプロセス（組織能力）→開発パフォーマンス（開發生産性・開発リードタイム・総合商品力）→総合的な競争力という因果関係を明らかにした。その中で、市場のニーズが曖昧で多面的な消費財である乗用車の開発に関して、ユーザーのニーズと製品の設計をつなぐ製品コンセプトを企業側が創出し、製品設計に反映させることを通じて消費者に提示する外的統合を図ることが、プロジェクトの成功に必要なことも指摘している。

その後、Fujimoto (1989)、Clark and Fujimoto (1991) の自動車産業の分析にもとづく視点が、他の産業に応用されるようになった。例えば Iansiti (1998) は、技術変化のスピードが速い大型コンピュータ用パッケージモジュール分野では、先行技術開発と製品開発のすり合わせによる技術統合が企業の競争力にとって重要であると指摘した。Pisano (1994) は、プロセス産業である医薬品産業では、工程開発が開発パフォーマンスに大きな影響を持つことを明らかにした。Cusumano and Selby (1995) は、マイクロソフト社において、多数の自律的なチームが並行してモジュールの設計、テストを行なうことにより、開発期間を短縮できていると指摘した。

さらに、Christensen (1997) によると、既存顧客の声に忠実に対応した HDD メーカーが新たな小型化ニーズを見落とし、結果的に凋落すると述べている。主要顧客（14 インチ時代のメインフレームメーカー）の意見に忠実に従えば従うほど、8 インチへの世代交代という潜在的なニーズを見落としてしまうという。桑嶋 (2003) は、化学産業の製品開発に注目し、産業財の製品開発といえども、忠実に顧客の要求に沿うだけでなく、最終消費者の潜在ニーズを先取りし、提案型の製品コンセプト開発（「顧客の顧客」戦略）がプロジェクトの成否を分けるとした。また富田 (2008) も、消費財企業を顧客に持つ産業財企業の事例から、産業財企業が最終消費者のニーズを汲んで、消費財企業に能動的に提案する重要性を指摘している。

このように、Fujimoto (1989) と Clark and Fujimoto (1991) 以降、製品開発研究の対象が広がった。その結果、製品開発の効果的なパターンは一通りしかないということではなく、製品の技術や市場の特性によって、様々なパターンがあることが明らかになった。同時に、産業財の製品開発においても、イノベーションに有効な情報源が企業外部にのみあるとも

言い切れないことが明らかとなってきた。

しかし、近年の産業財の製品開発に関する議論は、技術の変化が依然として早いか、技術変化の不確実性が高いか、または論理設計が製品開発の中心となるようなソフトウェア産業や、目に見えない化学反応によって製品が作られるサイエンティフィックな産業に焦点が当てられることが多かった。一方で、製品開発研究の対象が広がったとはいえ、自動車産業とは異なる組立型の大規模な産業財製品で、かつ技術的にも成熟化した産業の製品開発において、どのようにアーキテクチャが選択されるのかについては、依然として研究の余地があると考えられる。

こうした製品の開発に関しては、複雑性への対応に焦点を当てた議論がなされてきた。その一つが、構成要素の多数性や多様性への対応に注目した、1960年代から80年代の製品開発論や、1990年代後半から2000年前半のCoPSの議論である（Hobday, 1998）。もう一方は、構成要素間の相互依存性に注目した製品アーキテクチャ論である（Ulrich, 1995）。これらの議論については、以降の節で参照する。

## 2.3 人工物のシステムの観点

システムとは、多様に関連し合う多数のサブシステムから成り立つ人工物である（Simon, 1969）。すると、この人工物の複雑化が意味するのは、構成要素の多数性（部品点数が多い）と多様性（種類が多い）（Ashby, 1956）、構成要素間の相互依存性（Thompson, 1967）が考えられる。前者の構成要素の多数性と多様性に関しては、1960年代以降の製品開発論（Myers and Marquis, 1969 ; Clark and Fujimoto, 1991 など）や、CoPS プロジェクト（Hobday, 1998 ; Brusoni, Prencipe and Pavitt, 2001 など）などによって議論されてきた。後者の構成要素間の相互依存性に関しては、Henderson and Clark (1990) に端を発する 1990 年代以降の製品アーキテクチャ論において議論されてきた。また、Arthur (2009) は、技術とは基本的なコンセプトを物理的形態に変換するものであり、その物理的形態がよりよい構成部品に代替・改善されながら変化する過程で複雑化すると指摘している。

ここで、人工物をシステムとして捉える観点に立ち返ると、まず、人工物であるシステムは、階層的な構造によって捉えることができる<sup>4</sup>（Simon, 1969 ; Henderson and Clark, 1990）。サイモンは、複雑なシステムを「多数に関連し合う多数の部分から成り立つシステムである。（中略）そのようなシステムにおいては、全体は部分の合計以上のものである」<sup>5</sup>と指摘している。さらに、階層的システムあるいは階層を「相互に関連するいくつかの下位システムから成り立っており、その下位システムがまた順次、もっとも低いレベルの基本的な下位システムに至るまで、それぞれ階層的構造をもって連なっているシステムである」<sup>6</sup>としてい

---

<sup>4</sup> 建築学や都市工学の研究においても、こうした観点を採用している（Alexander, 1964）。

<sup>5</sup> 稲葉・吉原訳（1999）p219・220。

<sup>6</sup> 稲葉・吉原訳（1999）p220。

る。すなわち、システムは、下位（サブ）システムに分割することができ、その下位システムの入れ子構造によって構成される階層構造を持つものであるといえる。ただし、サイモンは、「全体のデザイン（complete design）を機能的な構成要素に分解する仕方が、ただ1つしかないと考える理由はまったく存在しない」<sup>7</sup>と述べていたり、物理学や生物学の比喻を用いて「現実にもみられるほとんどのシステムでは、どこで分解の作業をやめ、どのレベルの下位システムをもって基本的なものとみなすかについては、ある程度の恣意性が伴う」<sup>8</sup>と述べている。このように、システムのサブシステムへの分割の仕方にはある程度の恣意性を伴い、唯一解が存在するわけではないことも指摘している。

このような階層的システムは、下位のサブシステム間の相互作用とサブシステム内部における相互作用に分けて考えられる。そして、「準分解可能性」をもつシステム<sup>9</sup>とは、サブシステム間の相互作用は弱く、サブシステム内部の構成要素間の相互作用は強いシステムである。さらに、サイモンは、アーキテクチャを設計要素間の結合状態であると定義した。このように、階層構造によってサブシステム間の相互作用とサブシステム内部の相互作用を区別することによって、全体の複雑なシステムを認識することができるとしている（Simon, 1969）。

この後、Clark（1985）は、こうした階層構造的な視点を取り入れて技術の進化について議論した。Clark（1985）は、製品コンセプトの階層構造的な性質に注目し、例えば自動車の進化の歴史において、動力機関としてガソリンエンジンが選択されると、次にボディ構造が決まっていくような形で、焦点が下位階層に降りていきながら産業が進化してきたことを指摘した。このように、階層構造的な視座で技術進化を捉えることにより、その製品の供給側の企業と顧客側が製品について学習する過程で、主要な設計や技術が選択がだんだんと階層構造の下位階層に焦点が移ることを、産業進化のプロセスとして説明した。

## 2.4 製品アーキテクチャの概念と分類

本章ではここまで、人工物の階層性を土台として、これまでの経営学における製品開発論やイノベーション論の議論の変遷を概観してきた。その結果、経営学において、どのような製品なのかという、人工物の性質を捉える概念の重要性が高まってきたといえる。そうした概念が、本節で述べる製品アーキテクチャである。本節や次節で検討を加えるが、この製品アーキテクチャに関して、人工物の階層性の観点を導入した議論を行う余地は依然として残されていると考えられる。

---

<sup>7</sup> 稲葉・吉原訳（1999）p153。

<sup>8</sup> 稲葉・吉原訳（1999）p220・221。

<sup>9</sup> 例えば柴田・玄場・児玉（2002）は、システムの準分解可能性を技術の進化や製品開発において、サブシステムへの分割がなされる過程で準分解可能なシステムが実現すると指摘している。

前節まで概観してきた先行研究の議論の後、イノベーション研究において製品アーキテクチャの概念を用いた議論<sup>10</sup>が盛んになった (Henderson and Clark, 1990 ; Ulrich and Eppinger, 1994 ; Ulrich, 1995 ; Baldwin and Clark, 2000)。一連の研究では、製品への要求機能を各構造部分 (部品) にどう配分し、部品間のインターフェースをどのように設計するかに関する、基本的な設計思想が製品アーキテクチャであるとされた。すなわち、製品アーキテクチャは、機能・構造間<sup>11</sup>、あるいは構成要素間の相互依存性に関する概念である。この製品アーキテクチャの概念が経営学に導入されて以来、製品の機能をどのような構造によって実現するのかが議論されてきた (Ulrich and Eppinger, 1994 ; Ulrich, 1995 ; 藤本・武石・青島編, 2001)。

そうした製品アーキテクチャは、まず、インテグラル型とモジュラー型に大別される。インテグラル型は、製品の機能と構造 (構成要素) の対応関係が複雑に絡み合っており、また構成要素間の相互依存関係が高いため、構成要素間のインターフェースのルール化がなされていない状態を表している。ルール化されていない分、構成要素間の関係を柔軟に変更することが可能である。したがって、あるひとつの構成要素の変化が、全体の変化を引き起こす。ゆえに、製品全体の性能向上や、構成要素間の関係の最適化が可能である。一方で、製品の複雑性が増し、調整にかかる負荷が高くなる性質がある。

モジュラー型は、製品の機能と構造の対応関係が相対的に単純であり、構成要素間のインターフェースのルール化がなされることによって、構成要素間の相互依存性が軽減された状態を表している。このため、個々の構成要素の設計は他の構成要素とある程度無関係に進めることができるため、構成要素ごとの技術革新が可能である。また、ある構成要素のみの交換が可能であるため、ユーザーに対する選択肢を広げることができる (Langlois and Robertson, 1992)。一方で、構成要素間のインターフェースのルールが設計に対する制約となり、製品全体としての機能の最適化や重量や容積の最小化が難しくなり、余分な機能やスペースを持たせておくため、製品全体として冗長な部分が多くなるというデメリットがある (Ulrich, 1995)。

さらに、構成要素間の関係性やインターフェースに関する設計ルールが 1 社内で閉じて

---

<sup>10</sup> アーキテクチャの概念は、システムの相互依存関係に関する考え方であるため、製品以外にも、工程アーキテクチャや組織アーキテクチャといった、製品以外への適用も可能である。例えば化学製品やガラス製品のように、製品を構成要素に分解することが困難か、あるいは意味があまりないプロセス産業に関する研究では、アーキテクチャを分析するのに製造工程間の相互依存関係に注目している (藤本・桑嶋編, 2009)。ただし、本稿では、議論の混乱を避けるため、基本的に製品アーキテクチャに焦点を当てた検討を行う。

<sup>11</sup> Göpert and Steinbrecher (1999) は、製品の機能的階層 (functional hierarchy) と構造的階層 (structure/physical hierarchy) の相互依存関係によって、製品アーキテクチャを定義した。この定義にもとづいて、具・加藤・向井 (2010) は船舶という製品システムの分析を試みている。

いる状態をクローズ型アーキテクチャ、業界全体で標準化され、企業を超えて構成要素の寄せ集めによってシステムを構成することができる状態をオープン型アーキテクチャという（藤本，2001a；青島・武石，2001）。複数の異なる企業が事前に明らかになっているインターフェースのルールに沿って部品を設計し、その寄せ集めで全体システムが機能するのであれば、それはオープン・モジュラー型ということになる。逆に、部品の有効な組み合わせが1社内で閉じているが、その企業内ではインターフェースのルールが標準化していて、社内の複数の製品で共通設計の部品を活用して製品全体が完成する場合、クローズ・モジュラー型ということになる。これに対して、部品間のインターフェースのルール化が難しかったり、機能的・構造的な相互依存性が高く、各部品を微調整しながら製品全体を構成するような場合、クローズ・インテグラル型ということになる。

このように製品アーキテクチャは原理的には機能と構造の関係性あるいは構造間の関係性の違いによっていくつかのタイプに分類される<sup>12</sup>。その製品アーキテクチャの性質の違いは、技術的な要件だけではなく、市場や顧客からの機能に対する要求によっても影響されるものである（Ulrich，1995；藤本，2001a；青島・武石，2001）。

ただし、製品全体がインテグラル型かモジュラー型か、あるいはオープン型かクローズ型かという分類で単純に二者択一で見なすことはできない。実際にはインテグラル型かモジュラー型か、あるいはオープン型かクローズ型かは、あくまでも程度問題である。もう少し詳細に言えば、人工物は階層構造で表現されるが、その人工物がインテグラル型なのかモジュラー型なのか、またオープン型なのかクローズ型なのかは、どのレベルについて言っているのかで異なるものである。例えば、PCに搭載されているインテルのCPUは、PCの他の部品に対してはオープンであるが、マイクロプロセッサの中身はクローズである。

また、製品システムの階層構造のある同じレベルを詳細にみても、インテグラル型なのかモジュラー型なのか、オープン型なのかクローズ型なのかを、単純にどちらか一方の性質であるとするのは難しい。例えば、自動車という製品をある同じレベルの集成度でみたとしても、バッテリーのように比較的オープン型の部品もあれば、サスペンションのようにクローズ型の部品もある。自動車という製品全体としてみると、異なるタイプのアーキテクチャをもつ部品の混成体であるといえる（藤本，2001a）。このため、ある人工物が「インテグラル型である」「モジュラー型である」「クローズ型である」「オープン型である」と表現される場合、それは、製品システムやサブシステムや部品など、フォーカスするレベルにおいてある製品アーキテクチャの特性が強く表れているということになる。

これを踏まえた上で、これまで、製品アーキテクチャがインテグラル型かモジュラー型か、あるいはクローズ型かオープン型かという相対的な性質の違いや、そうした製品アーキテ

---

<sup>12</sup> 製品アーキテクチャの最も基本的な分類は＜インテグラルかモジュラー＞かという分類になるが、それに随伴する現象として＜カスタマイズ設計か標準設計か＞という分類もありうる。この点に関しては、本節の後の記述において検討する。

クチャの性質と業界構造や組織構造、企業間取引のあり様との関係が議論されてきた (Henderson and Clark, 1990; Langlois and Robertson, 1992; 1995; Ulrich and Eppinger, 1994; Ulrich, 1995; Sanchez and Mahoney, 1996; Göpert and Steinbrecher, 1999; 國領, 1999; Baldwin and Clark, 2000; 藤本, 2000; 2001a; 2013; 青島・武石, 2001; 楠木・チェスブロウ, 2001; Langlois, 2002; 伊藤宗彦, 2005; Fixson and Park, 2008)。

この製品アーキテクチャが変化すると、企業の盛衰に大きなインパクトを与えるとして注目された。その端緒である Henderson and Clark (1990) は、コンポーネントの基幹技術が大きく変わることなく（強化される程度）、製品アーキテクチャだけが変わるイノベーションをアーキテクチャ・イノベーションと定義した。そこでは、半導体製造装置産業の事例を取り上げ、アーキテクチャ・イノベーションに直面した既存企業は、情報フィルターを発達させているために新たな製品アーキテクチャやそれに関する知識の習得が阻害されると述べた。このように製品の基本的な技術は変わらずとも、企業の盛衰に大きな影響を与えるという点から、アーキテクチャ・イノベーションが注目されるようになった。このような議論では、市場が決定する製品全体のアーキテクチャに対する供給企業の適応の可否が焦点となった。

他方、最近では、組織がもつ知識や調整プロセスによって製品アーキテクチャが規定される可能性も論じられてきた。こうした議論は、遍在する知識の統合化（具, 2008）や、部門間の調整による選択（福澤, 2008）というプロセスとして製品アーキテクチャの変化を説明している。これは、製品アーキテクチャを、組織がどのように選択するのかに着目した研究であった。

以上の議論から、市場や顧客のニーズと製品アーキテクチャが無関係ではないといえる。すなわち、製品全体（マクロ）のアーキテクチャは市場や顧客によって選択されるものであるが、それに対応して、その内部構造（ミクロ）のアーキテクチャをどのように選択するかが、製品開発組織や設計者にとって選択の余地がある部分であると考えられる。特に、複雑な製品の場合、製品 1 単位当たりの内部構造の設計工数が膨大になると考えられるため、ミクロ・アーキテクチャの選択が競争力の重要な要素になりうると考えられる。

こうした議論の端緒となった、Ulrich and Eppinger (1994) は、製品開発組織による製品アーキテクチャの決定に関して以下の 4 段階を挙げている。

- ①製品の機能と構造の概略図 (schematic) を作成する。
- ②概略図に示された要素をいくつかのまとまり (chunk) に割り当てる。
- ③大まかな幾何学的なレイアウト (geometric layout) を作成する。
- ④まとまり (chunk) 間の主要な（事前に予想できる）相互作用と、付随的な（事前に予想しにくい）相互作用<sup>13</sup>を明らかにする。

---

<sup>13</sup> 例えば、プリンターであれば、紙のトレイからプリント機構側に排出される紙の流れは早い



このように、Ulrich and Eppinger (1994) は、上記の製品アーキテクチャの決定段階の③や④において、物理的な要因に関しても言及している。しかし、一連の製品アーキテクチャの議論においては、Ulrich and Eppinger (1994) が指摘したような物理的な要因に関する視点が欠けがちであったと考えられる。

こうした製品アーキテクチャの選択は、ある製品である市場に対応するときに勘案される差別化 (differentiation) と共通化 (commonality) のバランスの取り方と強く関係する (Ulrich and Eppinger, 1994 ; Roberson and Ulrich, 1998 ; 柴田・玄場・児玉, 2002)。すなわち、製品アーキテクチャの選択は、市場や顧客の要求にも影響されるということである。これを言い換えると、製品や部品と、それが使われる上位システム (補完財) との関係によって、インテグラル／モジュラーという相互依存関係や、標準／カスタマイズという製品間の共通化・差別化に関する設計の選択、つまり製品アーキテクチャが規定されるということである。このような製品アーキテクチャの選択は、特にハードウェアの製品であれば、部品がより上位の製品システムに組み込まれるとき、あるいは人間によって使用されるとき、設計対象となる製品・部品とその上位システムとの物理的な相対的關係が影響すると考えられる。

なお、本研究における製品アーキテクチャに関する表現に関して、ここで断っておく。相互依存性の概念である製品アーキテクチャの基本的な分類は、インテグラルかモジュラーかということになるが、その選択に伴う現象として、その製品のカスタム部品比率、社内共通 (標準) 部品、業界 (オープン) 標準部品比率の違いが出てくる。Ulrich (1995) によると、モジュラー型アーキテクチャは、標準化を可能にすると述べている。機能と部品 (構造) が一対一対応することになるが、そうした部品は、同じ機能を発揮する他の製品でも利用できるよう (useful) になる。また、モジュラー型アーキテクチャの場合、インターフェースは分離 (decoupled) 可能になる。すなわち周辺の他の部品が変化しても、当該の部品は変化しなくてもよくなる。すると、多様な状況 (settings) において、標準的なインターフェースや共通部品が利用可能になる。このように、モジュラー型の製品アーキテクチャを選択することと、部品やインターフェースが標準化することは随伴的な現象であるといえる (インテグラル型のアーキテクチャであれば逆になる)。

さらに、実際にアーキテクチャの定量的な測定を試みた大鹿・藤本 (2006) では、アーキテクチャ (インテグラル的であるかどうか) の代理変数として、部品やインターフェースの設計がカスタム (その品種・機種専用設計)、社内共通 (標準)、業界 (オープン) 標準かど

---

段階から想定しやすいが、紙のトレイの中にあるアクチュエーターから発生する振動がプリント機構の動作を阻害するような相互作用は、機能要素を実際に物理的に作ってみてから明らかになることである (Ulrich and Eppinger, 1994)。

うかといったことに関する当事者の主観的評価を用いていた<sup>14</sup>。これは、Ulrich（1995）で指摘されていた、上記のような製品アーキテクチャがインテグラル的であるときに観察されやすい現象が、実際に観察されたのかを製品の関係者の主観からアプローチする方法である。

こうした議論を踏まえると、インテグラルかモジュラーかという選択とカスタマイズ設計か標準設計かという選択は、上記のように随伴的な現象であることも考えられ、別個の問題とは言い切れない。

ただし、「カスタマイズ設計」と言った場合に、それが用途（あるいは当該人工物の補完財）に対する特殊的な設計であるということと、顧客要求（嗜好や気まぐれなどを含む）に対する特殊な設計であるということは、同じ意味とは言えない。すなわち、ある人工物 A の設計にあたり、周囲の補完的な人工物 C との関係から、C に対して最適になるようにすり合わせて A を設計することを考える。このとき、A の設計は C 特長的（C-specific）な設計であるが、これは C という補完財に対してカスタマイズされた設計であるという意味になる。ここで、仮に C を所有する主体が（あるいは占有する主体や、設計主体などもありうる）、A の顧客（発注者）であるならば、A の設計は補完財カスタマイズ設計であると同時に、顧客特長的な設計であるともいえる。例えば、仮にトヨタがデンソーに対してプリウスのエアコンシステムを承認図方式で発注しているとする、プリウスのエンジンルームに収まるような「相対的な大きさ（と形状）」をもったエアコンシステムが、デンソーによって設計されることになる。この場合、「プリウスのエンジンルーム」特長的設計、すなわち補完財特長的設計であると同時に、顧客（発注者）であるトヨタ特長的設計であるともいえる。このように、補完財の設計主体と、当該人工物の顧客が一致している場合は、補完財に対するカスタマイズ設計と顧客に対するカスタマイズ設計が重なることが考えられる。上記の Ulrich（1995）や大鹿・藤本（2006）の議論は、こうした補完財の設計主体と当該人工物の顧客が同じであることが前提となっていたと考えられる。

しかし、本研究が対象とする海事産業のような場合、当該人工物（製品。船舶）の顧客と、補完財（港湾などからなる航路）の設計主体あるいは所有・占有主体は、必ずしも一致しない。むしろ別の主体であることが多い。このような場合、補完財特長的設計と顧客特長的設計は必ずしも同じ意味ではない。要するに、製品（船舶）の設計が補完財（港湾）に対して最適になるようにカスタマイズ（すり合わせ）設計になるとしても、それが顧客に対するカスタマイズ設計であるとは限らないということである。また、製品内部の空間的なゆとりなどによって構造的な冗長性があり、顧客の個別的な要求に応えることが許容され、顧客要求に対してカスタマイズ設計がなされた場合、これをインテグラル型アーキテクチャであるとは言いきれない。冗長性があるために、標準的なモジュールの組み合わせなどで個別的な

---

<sup>14</sup> 製品アーキテクチャを測定するのに、多数の機能、部品、工程などの要素の特性を当事者から聞き出すのは非現実的であるため、代替的に採られたアプローチであった。

顧客要求に対応される場合も考えられるのである。

以上から、本研究の問題意識に関連させると、当該人工物のアーキテクチャ選択と連動するのは、当該人工物と物理的な関係性をもちうる補完財に対するカスタマイズ設計かどうかの問題であって、単に顧客の個別の要求に対するカスタマイズ設計かどうかの問題ではない。

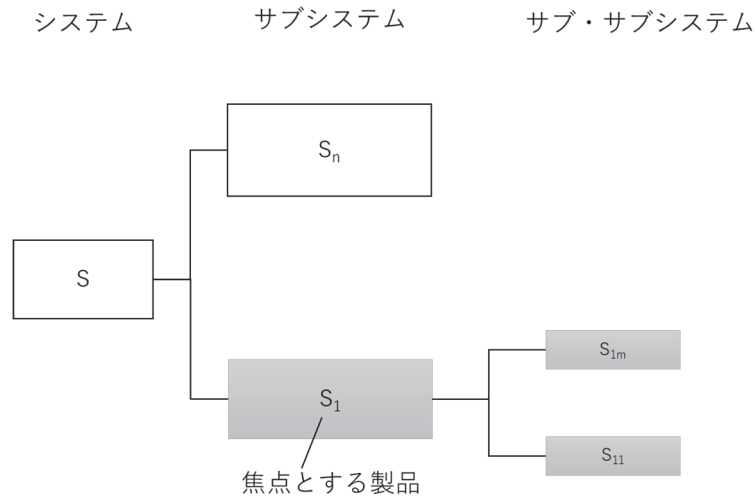
したがって、インテグラルかモジュラーかというアーキテクチャ選択の問題とカスタマイズ設計か標準設計かという問題は随伴的な現象であり、別個の問題とはいえないものの、カスタマイズの対象が補完財（用途）なのか顧客なのかについて慎重に議論する必要があると考えられる。

このような概念である製品アーキテクチャの選択に関して、Ulrich and Eppinger (1994) にもとづくと、製品の機能を実際の構造にどう割り当て、どうつなぐか、とくにハードウェア製品であれば物理的な配置と接続をどうするかということについては、設計組織による選択が行われる。ただし、それは、技術的要因によってのみ決まるものではなく、市場や顧客の要求に影響されて決まるものであることが、先行研究で議論されている（Ulrich and Eppinger, 1994 ; Ulrich, 1995 ; 藤本・武石・青島編, 2001）。

これを前提として、本節では、以降、製品アーキテクチャの違いを階層構造によって説明する。先にも触れたように、人工物は階層的な構造によって示すことができるシステムである。こうした階層的システムはサブシステム間の相互作用とサブシステム内部における相互作用に分けて考えられる。こうした人工物システム論に立脚すると、製品アーキテクチャとはシステムの状態を捉える概念であり、階層構造を用いて製品アーキテクチャを整理することができる（藤本, 2002b ; Fujimoto, 2018）。

この視点にたつと、まず、何らかの製品を作っている企業があるとする。人工物をシステム（ $S$ ）、それを構成するサブシステム（ $S_i$ ）、さらにサブシステムを構成するサブ・サブシステム（ $S_{ij}$ ）の3階層からなるとする。このうち、上記の企業は、サブ・サブシステムの  $S_{ij}$  を作るか調達するかしてサブシステムの  $S_i$  を作り、トータルシステム  $S$  を作る別の企業ないしプレーヤーに売っているとする（図 2-2）。このとき、サブシステムレベルの  $S_i$  に焦点を置くと、サブ・サブシステム間の関係（ $S_i$  内部における、 $S_{i1} \sim S_{im}$  の関係）は  $S_i$  の中アーキテクチャ、 $S_i$  の上位システムである  $S$  にどのように組み込まれているのか（ $S$  内部における  $S_1 \sim S_n$  の関係）が外アーキテクチャとなる。

図 2-2 人工物の階層構造



(出所) 藤本 (2002b)、Fujimoto (2018) をもとに筆者作成。

このように、 $S_1$  に焦点を置いて中アーキテクチャと外アーキテクチャの選択パターンを考えると、図 2-3 のように 4 つの基本パターンがある。

1 つ目は、 $S_1$  が中インテグラル・外インテグラルのパターンである。この場合、 $S_1$  の内部構造は、 $S_1$  を構成するサブ・サブシステム間（仮に  $S_{11}$  と  $S_{12}$  とする）の関係がすり合わされているか、 $S_1$  特殊的（スペシフィック）な設計となっている。かつ、 $S_1$  が組み込まれるシステム  $S$  に対しては、 $S$  を構成する他のサブシステム（仮に  $S_2$  とする）との関係がすり合わされているか、 $S$  に対して特殊的（スペシフィック）な設計となっている。この場合、 $S_1$  は、その内部も、顧客などの上位システムとの関係も、インテグラルですり合わせが必要なので、高コストになりがちである。

2 つ目は、 $S_1$  が中モジュラー・外インテグラルのパターンである。この場合、 $S_1$  の内部構造は、 $S_1$  を構成する  $S_{11}$  と  $S_{12}$  の関係は  $S_1$  特殊的ではない設計がなされている。かつ、 $S_1$  が組み込まれるシステム  $S$  に対しては、 $S_2$  との関係がすり合わされているか、 $S$  に対して特殊的な設計となっている。この場合、 $S_1$  は、その内部はモジュラー化によって簡素化が図られるが、顧客などの上位のシステムとの関係は、複雑であったり特殊な要求にすり合わせされたインテグラルな設計となる<sup>15</sup>。

3 つ目は、 $S_1$  が中インテグラル・外モジュラーのパターンである。この場合、 $S_1$  の内部構造は、 $S_1$  を構成する  $S_{11}$  と  $S_{12}$  の関係は  $S_1$  特殊的な設計がなされている。かつ、 $S_1$  が組み込まれるシステム  $S$  に対しては、 $S_2$  との関係が寄せ集めのであったり、 $S$  に対して特殊的ではない設計となっている。この場合、 $S_1$  は、その内部は製品や製造技術によるすり合わせ設計

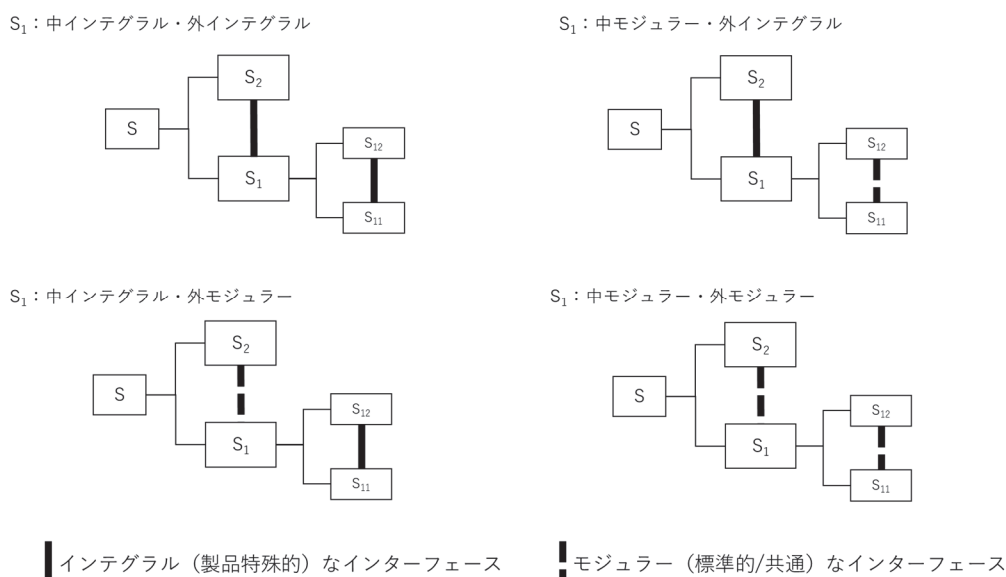
<sup>15</sup> いわゆるマス・カスタマイゼーションはこのセルに該当し、例えばキーエンスの FA（ファクトリー・オートメーション）用センサーなどの製品が  $S_1$  に相当する（延岡，2006）。

がなされるが、顧客などの上位システム S からみるとブラックボックス化された標準部品となる<sup>16</sup>。

4つ目は、S<sub>1</sub>が中モジュラー・外モジュラーのパターンである。この場合、S<sub>1</sub>の内部構造は、S<sub>1</sub>を構成するS<sub>11</sub>とS<sub>12</sub>の関係はS<sub>1</sub>特殊的不是な設計がなされている。かつ、S<sub>1</sub>が組み込まれるシステムSに対しては、S<sub>2</sub>との関係が寄せ集めのであったり、Sに対して特殊的不是な設計となっている。この場合、この場合、S<sub>1</sub>は、その内部は比較的単純な設計となり、顧客などの上位システムSからみると、コモディティ的な部品ということになる。

以上のように、人工物を階層構造で捉えることにより、焦点となる製品のアーキテクチャ選択のパターンを整理することが可能となる。

図 2-3 中・外アーキテクチャの選択パターン



（出所）藤本（2002b）、Fujimoto（2018）をもとに筆者作成。

さらに、インテグラル型／モジュラー型という分類の他、構造要素間のインターフェースが、どの程度の範囲で公開されるのかによる分類軸もある。これは、オープン型かクローズド型に大別することができる。構造要素間のインターフェースのルールが社内にもみ公開されているのがクローズド型、社内に閉じておらず業界内に公開され共有されているのがオープン型である。この分類軸によって、製品アーキテクチャは表 2-1 のように分類することができる。ただし、表 2-1 のインテグラル型でオープン型のセルは、機能と構造の関係が複雑で、構造要素間のインターフェースが複雑ないしルール化されていないものが、一般に公開されるということになるが、それは公開する意味がないため、実際には存在しないと考

<sup>16</sup> 例えば、S を PC とすると、インテルの CPU などが S<sub>1</sub> に相当する。

えられる（國領，1999；藤本，2001a；柴田・玄場・児玉，2002）。

表 2-1 クローズド／オープン特性による製品アーキテクチャの分類

	インテグラル型	モジュラー型
クローズド型	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 機能要素と構造要素の関係は複雑</li> <li>● 構造要素間のインターフェースは複雑（ルール化されていない）</li> <li>● インターフェースは公開されていない</li> </ul> <p>例：自動車・オートバイ・軽薄短小型家電</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 機能要素と構造要素の関係は単純</li> <li>● 構造要素間のインターフェースは単純（ルール化されている）</li> <li>● インターフェースは公開されていない。</li> </ul> <p>例：メインフレームコンピュータ・工作機械・レゴ</p>
オープン型	<p>（理論的には存在しうるが、実際にはありえないと考えられる）</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 機能要素と構造要素の関係は単純</li> <li>● 構造要素間のインターフェースは単純（ルール化されている）</li> <li>● インターフェースは一般に公開され、業界内で共有されている</li> </ul> <p>例：デスクトップPC・パッケージソフト・自転車・金融商品</p>

（出所）藤本（2001a）、柴田・玄場・児玉（2002）をもとに筆者作成。

こうしたアーキテクチャの定義は、前節でも検討したが、製品差別化と部品共通化のバランスに関わる概念となっている（Ulrich and Eppinger, 1994；Roberson and Ulrich, 1998；柴田・玄場・児玉, 2002）。すなわち、インテグラル型のアーキテクチャの製品では、部品の共通化を進めようとするほど製品の差別化が難しくなる。製品の差別化を図ろうとするほど、その製品に特殊な（専用の）部品を用いる比率が高くなる。一方、モジュラー型のアーキテクチャの製品では、共通部品の組み合わせ方を変えることによって製品全体としての差別化は可能であるため、部品共通化の度合いを高めることと製品差別化の度合いを高めることは両立しうる（柴田・玄場・児玉，2002）。このように、製品アーキテクチャに関する見方は、機能要素と構造要素の関係性あるいは構造要素間のインターフェースから規

定されるものであるが、同時に、部品共通化の度合いからも捉えることができるものである。

これまで述べてきたように、製品アーキテクチャは構造・構造関係で見るという見方と、機能・構造関係で見るという見方がある。構造・構造関係はインターフェースで見るという見方であり、機械製品に限定される見方である。製品アーキテクチャの定義に対してより忠実なのは、機能・構造関係で見の方であり、機能対構造の関係が比較的一対一対応であるとモジュラーであるということになる。それをもし部品で見れば、機能完結部品ということになる。機能完結部品ということは、設計をするときに他の設計要素と連動する連立方程式的な解き方ではなく、単独の方程式を解けば良いということになる。このような場合、共通部品化、標準化はしやすくなると考えられる (Ulrich, 1995; 藤本, 2001a)。このように考えると、カスタマイズ／標準設計というアーキテクチャの判定は、製品アーキテクチャを部品の特性で見るという代理変数的な見方をすることにあたる。例えば、オープン型のアーキテクチャであれば、業界標準部品が占める割合が多い。クローズド・モジュラー型であれば社内共通部品の比率が大きい。クローズド・インテグラル型の場合には、連立方程式を解くのにパラメータが全部変わってしまうため、製品特殊部品が多い。例えば、自動車は 70% が製品特殊部品、パソコンは 90% が業界標準部品と一般的には言われている (藤本, 2001a;b)。このように、製品アーキテクチャを部品の特性で見るという見方もありうると考えられる。実際に、産業の国際競争力 (輸出比率) を説明する追加的な要因として、国に偏在する組織能力と製品ごとに異なる製品・工程アーキテクチャ (設計思想) の間の適合関係を検討した大鹿・藤本 (2006) では、代理変数的に製品の関係者の主観にもとづいた、部品やインターフェースのカスタム設計の程度によってインテグラル度を表していた。このカスタム設計の程度というのは、補完財 (その部品が収まる製品の周囲の部品など) との関係を表したものであるといえる。ただし、前述のように、補完財に対するカスタマイズ設計かどうかという意味では、アーキテクチャの選択 (インテグラルかモジュラーか) とカスタマイズ設計の程度は随伴的な現象として捉えることが可能である。しかし、顧客の個別的な要求に対するカスタマイズ設計は、それが必ずしもインテグラル (すり合わせ設計) であるとは言い切れない。

このような、人工物の性質を機能要素と構造要素間の関係性か、構成要素間の関係性<sup>17</sup>で定義される (さらにそれに伴って、カスタマイズか標準かという特性の違いにも現れる)

---

<sup>17</sup> このような構造要素間の相互依存関係をマトリクスで把握する DSM (design structure matrix) という手法もある。この DSM を提示した Baldwin and Clark (2000) は、そもそも、設計パラメータという機能要素と構造要素の関係を行列形式で記述することを提唱していた。しかし、機能要素への分解を行うことが困難なことから、実際には行列の双方に構造要素を列挙し、構造要素間の相互依存性を把握しようとすることが多い。しかし、製品システムの階層のどこに焦点を当てるのかによって構造要素間の技術的關係に関する認識が変わってしまうことと、異なる産業間での比較に適していない (中川, 2011)。製品アーキテクチャが既存の産業分類を超えた分析を可能にする概念であること (藤本, 2001a) を考えると、製品アーキテクチャ論における DSM の活用には限界があるといえる。

アーキテクチャ<sup>18</sup>は、階層構造を用いて整理することによって、どこにフォーカスして、どこについての性質を説明しているのかを明確にすることができる。

## 2.5 製品アーキテクチャの階層性<sup>19</sup>

前節でみたように、製品アーキテクチャの議論では、人工物の階層構造の観点を導入することによって、人工物のどの部分がどのような特性をもっているのかが明らかにすることができる<sup>20</sup>。この観点からみると、人工物システムの部分ごとに異なるアーキテクチャの選択がなされることは十分に考えられる。しかし、このような点に関する研究は意外と少ない。そこで、本節では、人工物の階層性を製品アーキテクチャの分析に明示的に応用した議論と、製品アーキテクチャに関するいくつかの先行研究を階層構造の観点から解釈することによって、製品アーキテクチャの議論に人工物システムの階層性を導入することが有効であり、かつ本研究が取り組むべきリサーチギャップであることを確認する。

まず、階層構造の観点から製品アーキテクチャを分析した議論<sup>21</sup>として、Langlois and Robertson (1992) を挙げることができる。Langlois and Robertson (1992) は、据え置き音響機器とマイクロコンピュータの事例を通じて、製品システムを構成要素間のインターフェースのルールが事前に決められたモジュラー型を選択することにより、構成要素の中の設計は他の構成要素とは独立して並行して進めることができ、構成要素単位でのイノベーションが促進されることを説明した。また、構成要素が交換可能であるため、ユーザーの選択肢が広がる。ただし、システム全体としての最適設計が難しくなる。さらに、例えば、音響機器にとどまらず、モニターやビデオカセットなどを含んだホームエンターテインメントシステム全体、すなわち個別の構成要素レベルではなくシステム全体のイノベーション

---

<sup>18</sup> ただし、インテグラル型かモジュラー型かという分類は、明確に境界があるわけではなく、先にも述べたように、あくまで程度問題である。

<sup>19</sup> 本節は、向井 (2020a) を大幅に加筆、修正したものである。

<sup>20</sup> 前節で検討したように、人工物のシステムの階層構造を前提とし、どこにフォーカスするかによって、アーキテクチャの中・外を区別することが可能になる。

<sup>21</sup> 本稿で取り上げるもの以外にも、階層構造の観点から解釈することで、議論がより明確に理解される研究もある。例えば、Brusoni, Prencipe and Pavitt (2001) は、航空機用ジェットエンジンにおけるコントロール・システムの事例から、組織の境界（作っている範囲）と知識の境界が一致していない緩い結合 (loosely coupled) の組織が、アナログからデジタルへの以降に成功したとしているが、この様子を階層構造で表現すると一目で理解することができる。また、武石 (2003)、具 (2008)、中川 (2008) などの製品アーキテクチャの変化に関する議論も、サプライヤーの組織の境界と知識の境界を製品システムの階層構造上で整理すると、サプライヤーが自社で作っているよりも広範な（システミックな）知識を有することによって、アーキテクチャの変化に対応したり、あるいは自ら促したりすることが可能になることが、より明確に理解される。



に対しては、モジュラー化は適していないとも指摘している。この指摘は、イノベーションの対象となる「製品」をどう定義するか、つまり人工物システムの階層のどのレベルを焦点にするかによって、適切なアーキテクチャや企業や産業の構造が異なることを示唆している。

アーキテクチャの選択や変化と業界構造の変化の適合関係を述べたのが Fine (1998) である。Fine (1998) は、コンピュータ産業の事例を取り上げ、インテグラル型の製品システムでは垂直統合的な業界構造、モジュラー型の製品システムのときは垂直分業型の業界構造の中で製品開発や生産がなされると指摘した。これによると、コンピュータを構成する部品間の関係が曖昧（インテグラル型）であった時期は 1 社で全ての部品を開発していたが、IBM がモジュラー型を採用したパーソナルコンピュータ（PC）の登場以降、その IBM コンパチブルコンピュータと呼ばれる、IBM のインターフェースに準拠したコンピュータや部品の製造に特化した企業が興隆した。また、Fine (1998) は、自転車産業を取り上げ、1930 年代に社内で部品を内製、組立する体制を取った Schwinn 社の、クローズ・インテグラル型の自転車が競争力をもった。しかし、1980 年代にマウンテンバイクが出てくると、各部品レベルの進化が進み、その部品が業界標準に沿っていて、それを組み合わせたオープン・モジュラー型の製品が競争力を持つようになり、例えば組立専門のジャイアント社が興隆するようになり、逆に Schwinn 社は経営危機に直面した。以上から、Fine (1998) は、製品システムはインテグラル型とモジュラー型のどちらにも変化しうるものであり、それに合わせた開発や生産の組織構造が選択されることを主張した。この議論も、人工物システムの階層のどのレベルを焦点としてイノベーションを起こすのかによって、適切なアーキテクチャや企業や産業の構造が異なることを示唆している。

製品アーキテクチャは相互依存関係に関する概念であるが、部品間の関係性と製品差別化について論じたのが Whitney (1988) である。Whitney (1988) は、製品システムを新規設計する部品と既存の標準部品を区別し、製品開発を行なう前に標準化する部品のバリエーションと部品間のインターフェースを事前に決めておくことで、部品の組み合わせによって多様な製品を生み出すことができ、製品差別化できると主張した。

さらに、Robertson and Ulrich (1998) は、自動車のインストルメンタルパネルの裏側の支持部品のように、部品の機能が顧客側の求める製品機能にあまり影響しない部品については複数の製品間で共通化を図り、ユーザーから見える表側のプラスチックの表面はモデルごとに新規設計することにより、製品差別化とコスト削減が同時に達成できると主張した。つまり、部品の設計が製品全体の機能に影響を及ぼす程度によって、アーキテクチャ選択を分けることで、差別化とコスト削減を両立しうると指摘した。

Reinerstein (1997) は、製品システムを比較的变化の大きな構成要素と、比較的安定している構成要素に分け、変化の大きな構成要素が他の構成要素に与える影響を抑えることで、製品全体としての差別化とコスト削減を両立できると述べている。

こうした製品差別化とコスト削減を両立するための製品アーキテクチャの選択に関連し

て、より詳細に議論したのが朴（2001）である。朴（2001）は、工作機械の製品開発の事例を取り上げ、企業は製品開発において、まず、製品を製品レベル（工作機械）、ユニットレベル、部品レベルという階層に分けると指摘している。その上で、この事例では、ユニットレベルはコアユニットと周辺ユニットと新規設計ユニットに分類される。このうち、新規設計ユニットは自動工具交換装置であり、納入先別に新規設計される。また、周辺ユニットはスライドなどであるが、性能別に数種類の標準シリーズを用意し、社内でインターフェースを統一し、複数の製品で流用している。これに対して、コアユニットに分類される主軸頭は、ユニットレベルでは標準シリーズ化せず、より下位階層の部品レベルで標準シリーズ化している。主軸頭を構成する部品を、加工物に直接回転力を伝達する主軸をコア部品、ギアトレインを新規部品、モーターとハウジングを新規部品に分類している。このうち、主軸に関しては、インターフェースの寸法を統一し、それ以外の部分については切削性、回転速度、精度、剛性、動剛性というユーザーの加工法に関わる性能基準に対応して、多様なバリエーション（90 種類）を用意した上で、主軸の性能向上に合わせて標準シリーズをさらに増加させていた。これに対して、トルクと回転速度を基準に周辺部品は 20 種類用意していた。

この事例から、朴（2001）は、製品システムを階層構造で整理した上で、技術革新による変化が激しくユーザーのニーズへの対応するために決定的に重要になるコアユニットと、そうでない周辺ユニットに分類する必要性を指摘している。さらに、コアユニットについては、その下位階層の部品レベルで技術革新やユーザーニーズに対応するコア部品と、それ以外の部品に分類し、コア部品のインターフェースの設計ルールを決めた上で多様なバリエーションを標準として用意するという、緩やかで拡張性のある部品の標準化によって、設計コストの上昇を抑えつつ納期の時間制約にも対応し、部品の組み合わせで多様な製品が実現でき、製品差別化につながると指摘した。このように、朴（2001）は、製品システムを階層構造で捉え、部品間の相互依存関係ではなく、ある階層における専用部品、標準部品の構成によって製品アーキテクチャを分析していた。

このような製品アーキテクチャの選択に関して、中国市場におけるテレビの部品の事例は、重要な先行事例である。新宅・加藤・善本（2005）によると、カラーテレビとそれに取り付けられるブラウン管は、一般的にその間の微調整が必要な、インテグラル度の高い関係にある。しかし、そのブラウン管を内製しているか否かは企業によって異なる。例えば中国市場では、日系のテレビメーカーにはブラウン管を内製している企業としていない企業がある。また、ブラウン管を内製する能力がある企業は、内製していない日系企業や中国企業にブラウン管を外販している。ブラウン管はベア管と偏向ヨークからなるが、ベア管のみで外販される場合と、ベア管に偏向ヨークを組み付けて調整済みの状態（ITC）で外販される場合がある。ベア管に関しては、標準化が進んでおり、異なるテレビメーカーで共通のベア管を使うことが可能である。このようなベア管を購入したテレビメーカーは、自社仕様の偏向ヨークを生産または調達し、ブラウン管に組み付けて調整する。この調整作業が最終製品の品質を保証する上で重要となる。日系企業は、ベア管を購入していることが比較的多い。

一方で、偏向ヨークとテレビシャシーはすりあわせが必要であるため、ITC は各テレビメーカーに個別にすりあわせが行われた状態で納入されるブラウン管となる。中国企業はほぼ全てこの ITC を購入している。ITC 調達によって、偏向ヨークとテレビシャシーの調整作業の工数や設備投資や人材育成や部品在庫管理を省略することができる。一方で、ブラウン管供給側でなされるすりあわせの調整範囲は狭く、高画質による差別化は実現しにくい。中国企業は、ITC を調達することにより、偏向ヨークとテレビシャシーの調整能力を持たずに、製品差別化を犠牲にしながらも最低限の品質を確保したカラーテレビを生産することができていた。

丸川（2007）によると、中国のテレビ市場における中国メーカーは、基幹部品のブラウン管による差別化戦略よりも、低価格を追求する方を選択した。そのため、中国のテレビメーカーは、自社でブラウン管を開発・製造するのではなく、ブラウン管を外部から調達するという「垂直分裂」した産業構造を選択していた。ただし、中国メーカーは、オープン・アーキテクチャを選択していたというわけではなく、複数のメーカー製の偏向ヨークにそれぞれ合わせた専用のブラウン管を組み合わせ、ひとつの型番のテレビに搭載していた。丸川（2007）によると、このような中国製のカラーテレビは、日本企業製のものと比べると画質は劣るが、中国市場における中国ブランドのカラーテレビの消費者がそこまでの画質を求めていると中国企業は割り切り、それよりも低コストでブラウン管を調達することを重視した結果である。そのため、取引を見ると一見、業界標準品のオープンな取引にみえても、設計自体はクローズド・インテグラル型が選択されていた。このような取引形態にすることで、競争圧力が高まり、安い価格でブラウン管を調達することが可能になっていたのである。

新宅・善本（2009）は、液晶テレビパネルのアーキテクチャ分析によって、日本、台湾、韓国企業の分業構造を議論している。このアーキテクチャ分析では、まず、液晶テレビという製品システムを構成するサブシステム（チューナー、画像処理回路、液晶パネル・モジュール）の階層に注目して分析している。この階層では、液晶パネル・モジュールと画像処理回路の間のインターフェースのデジタル化したことと<sup>22</sup>、半導体技術の進歩に伴って画像処理 LSI でカバーできる機能領域が拡大しサブシステム間のすりあわせ要素を半導体に「カプセル化」したことによって、サブシステム間の相互依存性が低くなり、モジュラータが高くなったという。さらに、実際には液晶パネル・モジュールは各メーカーの技術（パネル技術・プロセス技術）の独自性によって特性が違い、それと画像処理 LSI との相性も違ってくるという。これに関して、日本企業の高級品などでは LSI は内製される一方、日本企業の普及機種や中国企業では汎用 LSI を外部の専門メーカーから調達される。汎用 LSI が採用される場合、液晶パネル・モジュールに対応する画像処理 LSI のパラメーター・リストが提供されることにより、両者の微妙なマッチング作業が軽減され、結果的に相互依存関係が解消

---

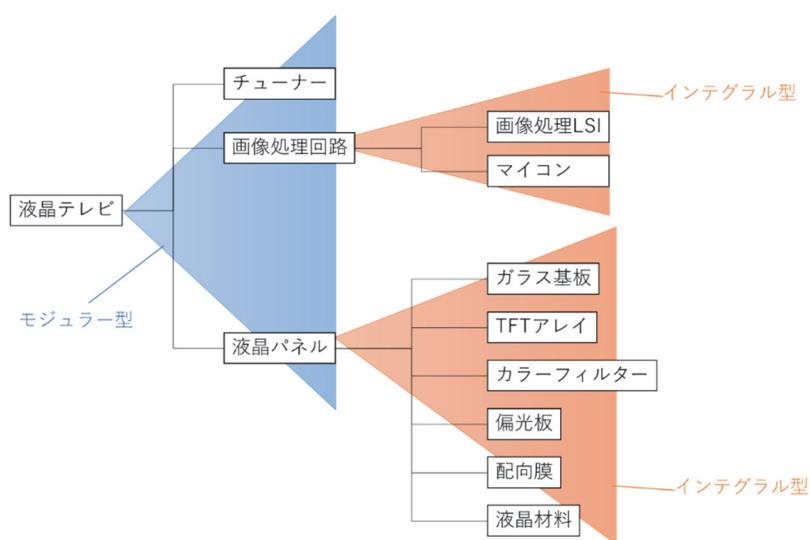
<sup>22</sup> LVDS（Low Voltage Differential Signaling）という高速の信号伝送を実現するための入出力信号レベルの仕様が採用された（新宅・善本，2009）。

されていると指摘されている。より下位の階層については、新宅・善本（2009）によると、液晶パネル・モジュールを構成するカラーフィルターと偏光板など、部材間の相互依存性は高いという。

このように、液晶テレビにおいては、高性能を追求するなど戦略的な意図がなければ<sup>23</sup>、画像処理回路や液晶パネル自体は統合度の高い設計がなされ、一方でその上位階層にあたる液晶テレビ全体では画像処理回路と液晶パネル・モジュールの相互依存性を低めて、モジュラーな設計がなされている。加えて、製品知識の集約された汎用性の高い画像処理 LSI を外部から調達することが可能である。また、こうした LSI メーカーから提供されるリファレンス・デザインをベースにパラメーター・リストを選定することで、中国や台湾の後発企業は製品技術や部品知識がなくても液晶テレビを設計することが可能になり、部品メーカーの技術力に依存する形で、キャッチアップしていった（新宅・善本，2009）。

以上、新宅・善本（2009）は、階層構造をもつ製品システムとして液晶テレビを分析していた。これを図示すると図 2-4 のようになるであろう。このように階層構造の視点から分析することによって、産業全体としては上位システムのモジュラー化と下位システムのインテグラル化が同時に進むことや、高画質化による差別化を図るかどうかによって、サブシステム間の相互依存性をどうするか（微妙なマッチングを自社で行うか行わないか）という製品アーキテクチャの選択が異なってくることが指摘された。

図 2-4 液晶テレビパネルの階層図



（出所）新宅・善本（2009）をもとに筆者作成。

<sup>23</sup> 日本のテレビメーカーは、ハイエンド機種については、画像処理 LSI を自社設計し、製品知識やシステム化のノウハウを LSI の中に「カプセル化」することで高画質化を図り、テレビの製品差別化を図っている（新宅・善本，2009）。

新宅（2009）は、製品システムの階層性に注目して、DVD レコーダーのアーキテクチャを分析している（図 2-5）。DVD レコーダーを階層別にみると、最上位階層の DVD レコーダーや、それを構成するサブシステムである DVD ドライブはモジュラー型である一方、DVD ドライブを構成する部品の光ピックアップやモーターはインテグラル型（すり合わせ型）である<sup>24</sup>。このように、各階層、部品単位でアーキテクチャを分析すると、インテグラル型の部品の組み合わせでモジュラー型の製品システムが構成されているということになる。

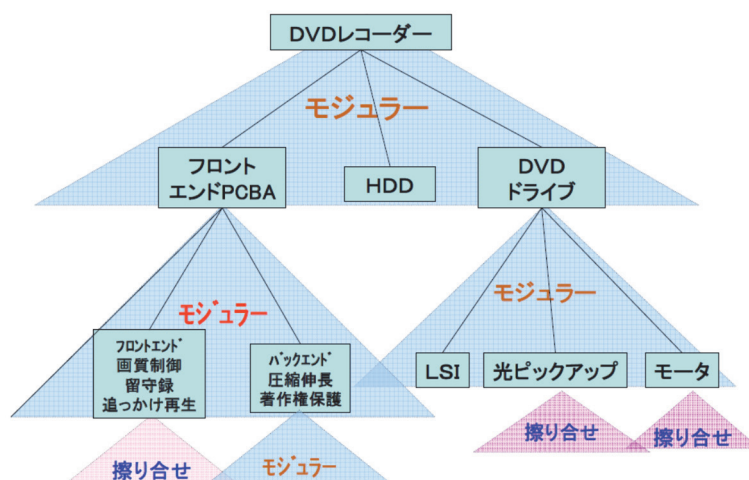
さらに、新宅（2009）は、こうしたアーキテクチャの分析によって、日中の分業構造を明らかにしている。モジュラー化した DVD プレーヤーのレベルでは、部品を外部から調達し組み合わせれば作ることができたため、中国の新規参入企業でも生産が容易になっていた。一方で、モジュラー化せずインテグラル型を維持した部品（光ピックアップ）は、商品化から 20 年以上経過した時期でもなお日本企業が高いシェアを持っていた。こうした分析を踏まえて、新宅（2009）は、モジュラー化は製品システムのある階層において局所的に生じ、また別のところではすり合わせのノウハウの「カプセル化」が起こる、逆に言えばそうした「カプセル化」が他の場所でのモジュラー化を促すと指摘している。

このように、製品システムの内部構造を階層構造にしたがって製品アーキテクチャ分析を行うことによって、企業の製品開発戦略（朴，2001）や製品アーキテクチャの選択の違い（新宅・善本，2009）、入り組んだ分業構造（新宅，2009）を検討することが可能となることがいえる。また、製品アーキテクチャを分析するためには、階層構造のどこにフォーカスしていて、どこが外アーキテクチャで、どこが中アーキテクチャに当たるのかを区別することが重要であることがいえる。

---

<sup>24</sup> ここで、DVD ドライブに注目すると、DVD ドライブの外アーキテクチャはモジュラー型、中アーキテクチャはモジュラー型となる。光ピックアップに注目すると、光ピックアップの外アーキテクチャはモジュラー型、中アーキテクチャはインテグラル型ということになる。

図 2-5 DVD レコーダーのアーキテクチャの階層構造分析



(出所) 新宅 (2006) より引用

本節での検討をふまえると、Langlois and Robertson (1992) をはじめとする、人工物を階層的なシステムとして捉え、そうした階層的視点を導入した製品アーキテクチャの議論では、製品単体を全体システムとした分析が多かったといえる。しかし、ある製品も、その周辺の消費空間そのものも、階層構造の一階層として示すことが可能であると考えられる。これは、例えば自動車という製品を、下位の階層はエンジンやシャシーやボディといった部品からなるが、一方で、カーライフという上位の消費システムを構成する道路、保険、移動などといった要素とならぶ構成要素と位置づけられる（藤本，2002b）ということである。このように、人工物の階層性を前提とすれば、焦点をあてる人工物が単体の製品であっても、それはより上位の（ハード的な製品とは限らない）システムを構成する一要素として位置づけることが可能である。このように製品を見なすことによって、他のどの構成要素との相互依存関係を考える必要があるのか、どのような製品アーキテクチャを選択すべきか、といったことがより明確になると考えられる。

しかし、本節で見てきた階層構造を導入した製品アーキテクチャの議論では、そうしたハードウェア以外の上位のシステムまでをも射程に入れた議論は少なかったと考えられる。本節での検討から、焦点を当てる製品だけではなく、その製品を取り巻く使用環境など、ハード／ソフトの別を超えた諸要素も合わせて人工物システムとして捉えた製品アーキテクチャの議論を行うことが、本研究が取り組むべきリサーチギャップであると考えられる。

また、Langlois and Robertson (1992) は人工物の階層性の観点を導入した製品アーキテクチャの議論を行ってはいったものの、その内容は一方向的にオープン・モジュラー化する過程を説明していたにすぎない。しかし、実際には、新宅 (2009)、新宅・善本 (2009) が行った分析からも分かるように、階層によってインテグラル（すり合わせ）、クローズド・モジュラー、オープン・モジュラーの使い分け、要するに階層によって異なるアーキテクチャ

が選択されることが考えられる。とはいえ、これらの議論は、どのようなシステムの中で当該製品（部品）が使われるのか、また、どのような部品を使わなくてはいけないのか、といった人工物の階層システムの各階層にかかる制約については、主たる分析対象ではなかった。しかし、製品アーキテクチャは、設計主体が市場や顧客の要求に対応して選択するものであることを考えると（2.4 節）（Ulrich, 1995 など）、階層によって異なるアーキテクチャの選択の背景として、そうした各階層にかかる制約も考慮に入れて分析を行うことが、本研究に残されたりサーチギャップであると考えられる。

そこで本研究は、人工物の階層性の観点を導入することにより、階層によって異なるアーキテクチャの選択がなされる可能性について検討を行うが、この際、ハードウェア以外の上位のシステム（例えば顧客の使用環境など）をも焦点を当てる人工物の階層に組み込んで分析する。この点が、既存の議論とは異なるところである。

なお、こうした議論を試みる前提として、本研究は、製品アーキテクチャ選択は供給側の技術的要因によってのみ決まるものではなく、そもそも市場や顧客側の要求に左右されるものであるとの立場をとる。これは Ulrich (1995) をはじめとした経営学における製品アーキテクチャの議論の大前提であるが、この立場については本研究も踏襲することをここで付言しておく。

## 2.6 製品アーキテクチャの変化<sup>25</sup>

ここまで検討してきた製品アーキテクチャが変化することにより、企業の競争力や産業構造に大きな影響を与えることから、経営学で注目されてきた。また、人工物の複雑性や製品アーキテクチャの議論において、組織の境界や組織が持つ知識の範囲が焦点になることが多かった。本節ではこの点に注目して簡単に整理するが、その際、階層構造の視点から既存の議論を捉え直す。これにより、前節で検討した人工物の階層性を製品アーキテクチャ論に明示的に結びつけた議論が意外と少なかったことと、その有用性を確認する。

製品のイノベーションに対応する組織に関する議論で、知識に着目したものとして Henderson and Clark (1990) が挙げられる。Henderson and Clark (1990) は、組織が持つ知識として、コンポーネント知識（コンポーネントの技術に関する知識）とアーキテクチャ知識があるとした。その上で半導体露光装置メーカーの Kasper を事例として取り上げた。そして、コンポーネント技術は変わらずコンポーネントのつなぎ方が変わるアーキテクチャル・イノベーションに直面したとき、既存企業は既存技術にもとづいて確立したアーキテクチャ知識を持っているために情報フィルターが発達し、新たな製品アーキテクチャやそれに関する知識の習得が阻害されると述べた。

この考え方を受けた Sanchez and Mahoney (1996) によると、製品アーキテクチャが不確定なときは、コンポーネント開発組織間の調整が必要となるため、固い結合の組織構造が

---

<sup>25</sup> 本節の記述は、向井（2013）の一部を加筆・修正したものである。

適しているという。そして、製品アーキテクチャが確定し、標準的なインターフェースによってコンポーネントがつながれるモジュラー型の製品であれば、ゆるい結合の組織構造による開発が可能になるという。すると、コンポーネントのサプライヤーはコンポーネント知識、製品メーカーはアーキテクチャ知識の蓄積に集中すればよいことになる。

楠木・チェスブロウ (2001) もモジュラーな製品の場合はバーチャル型、インテグラルな製品の場合は統合型の組織構造が適格的であるという。そして、既存の製品アーキテクチャに適した組織構造とそれに伴う知識の持ち方（アセンブラーはアーキテクチャ知識、サプライヤーはコンポーネント知識）が、新たな製品アーキテクチャの変化への対応の障害になるという。これを回避するために、アセンブラーも新しいコンポーネント開発を手掛けて新しいコンポーネント知識を獲得しつつ、アセンブラーとして新しいコンポーネントの製品システムへの影響を認識し、それに合わせた新しいアーキテクチャ知識を獲得する必要があるとしている。

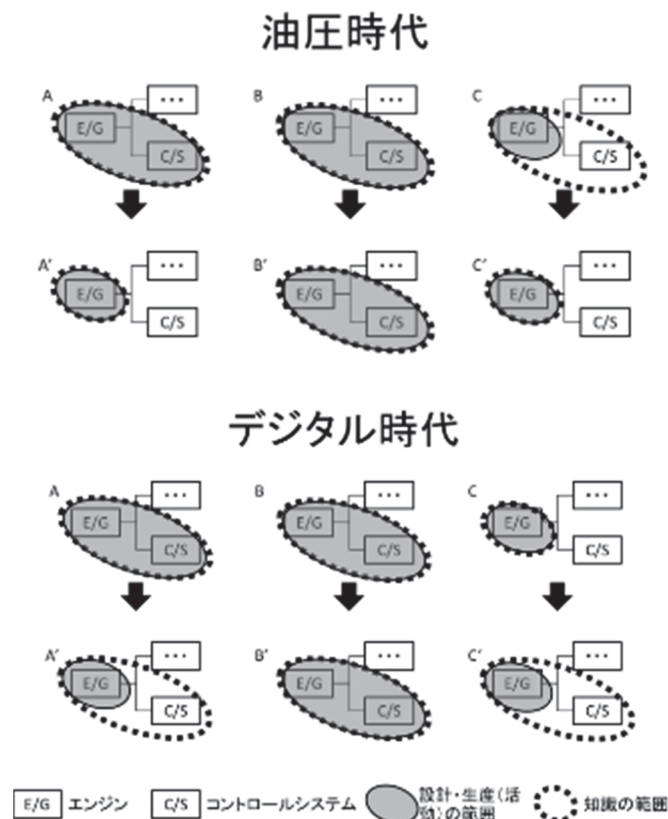
こうしたイノベーションと組織や知識に関する先行研究の多くは、組織の活動範囲と知識の範囲が一致することを前提としていた。さらに、イノベーションに直面した既存企業1社の盛衰に関心が向けられていた。しかし、製品が複雑になるほど、1企業ではなく複数の企業によって開発や生産される。すると、先行研究のように1社が全てのコンポーネントを手掛け、コンポーネント知識を蓄積することは難しくなると考えられる。このようなとき、どのように知識の範囲を設定すればよいのかを Brusoni, Prencipe and Pavitt (2001) は論じていた。

Brusoni et al. (2001) は、航空機エンジンのコントロールシステムの油圧時代とデジタル時代の開発を取り上げた。この事例を通じて、設計・生産の境界と知識の境界が必ずしも一致しないことを指摘した。論文では2×2のマトリクスとして説明されているが、製品システムの階層構造の上に組織が手がけている範囲と知識の範囲を重ね合わせると、Brusoni et al. (2001) の注目点がより明確に理解できる (図 2-6) (Mukai, 2014)。

そして、異なるコンポーネント間の技術変化の不均衡への対処、製品レベルでのコンポーネント間の予測不能な相互依存性への対処のために、システムインテグレータが主導するゆるい結合の組織を形成するのが有効であるという。システムインテグレータは、活動範囲以上に知識の範囲を広げることにより、コンポーネント間の変化速度の不均衡あるいは製品レベルでの相互依存性の予測不可能な状況に適応する。要するに、複雑、大規模な製品において、コンポーネント全てを手がけるのは無理でも、それについて知識を持つことはイノベーションへの対応に有効であるという。



図 2-6 組織の手掛ける範囲と知識の範囲の変遷



(出所) Brusoni et al. (2001) をもとに筆者作成。

さらに、Brusoni et al. (2001) では、ゆるい結合の組織ネットワークのまとめ役としてシステムインテグレータを位置づけていた。システムインテグレータは、詳細設計および生産を専門サプライヤーに外注しながら、サプライヤーの仕事（R&D、設計、生産）を調整するために内部に基本設計やシステム統合能力を保持するとした。さらに、システムインテグレータは、既存の製品アーキテクチャにおいて社内外で設計、生産されるインプットの変化や改善を統合するためのアーキテクチャ知識（Henderson and Clark, 1990）を持っている。加えて、システムインテグレータは、よりダイナミックな役割を持ち、新しいアーキテクチャを実現するのに必要な能力を持っているという（Prencipe, 1997 ; 2000）。

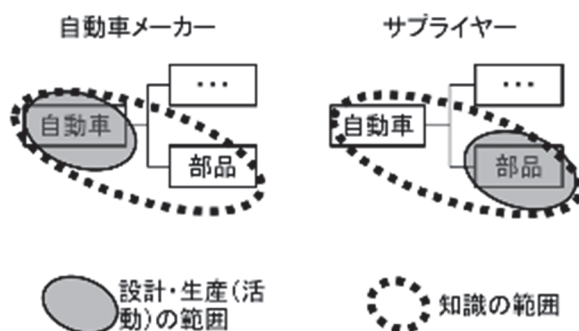
Ulrich (1995) では、分業されて作られたコンポーネントを調整し、インテグラル型製品として統合するのがシステムインテグレータとしている。つまり事後的なすり合わせを行なう存在である。一方、モジュラー型製品を作るときに、コンポーネント間の標準を定義し、分業の割り当てを行なうのがシステムアーキテクトであるとしている。つまり、事前の分業、サブシステムの仕切りを行なう存在である。

以上より、Brusoni et al. (2001) が定義するシステムインテグレータは、Ulrich (1995) の定義するシステムインテグレータとシステムアーキテクトの中間的な性質を持っている

と考えられる。コンポーネントの設計を外部に出すという事前の分業の仕切りはシステムアーキテクトの役割である。サプライヤーの仕事を調整し、システムレベルの相互依存性に対処し製品として統合するのは Ulrich の言うシステムインテグレータの役割である（向井, 2013）。

Brusoni et al. (2001) の後、他の研究者も組織の活動の境界と知識の境界のギャップに着目した議論を展開している。例えば武石（2003）は、自動車メーカーとサプライヤーの分業において、統合知識（アーキテクチャ知識）と部品知識（コンポーネント知識）<sup>26</sup>をどのように持つべきかを議論している。自動車の場合、部品に用いられる技術を知らずに、新技術を採用した部品を評価し、製品としてまとめることは困難である。加えて、自動車のように製品アーキテクチャがインテグラル型の傾向が強いと、部品内部の問題なのか部品間の相互作用の問題なのか判別しづらくなる。したがって、とくにコンポーネント技術の新規性が高いプロジェクトにおいて、自動車メーカー側は統合知識のみならず部品知識を持つことによって、優れた開発成果を得られるという。サプライヤー側も部品を自ら開発する能力（部品知識）に加えて、その部品が自動車全体の中でどのような位置づけで、他の部品とどのような関係性があるかを理解すること（統合知識）も必要になるという（図 2-7）。このように、自動車産業の事例をもとに、メーカー側とサプライヤー側が互いの領分に踏み込み、重複して知識を持つ必要性を指摘している。

図 2-7 自動車メーカーとサプライヤーの知識の範囲



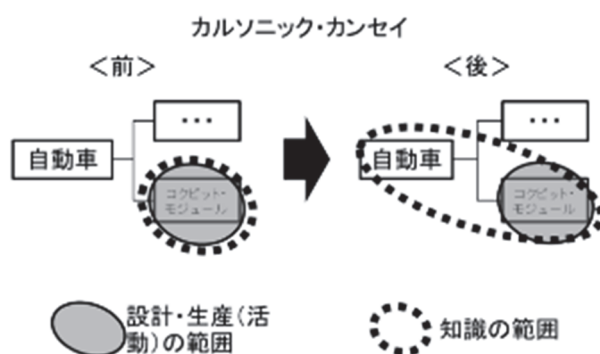
（出所）武石（2003）をもとに筆者作成。

具（2008）は、日産のサプライヤーのカルソニックカンセイの事例を通じて、サプライヤ

<sup>26</sup> ただし、武石（2003）の言う統合知識は、個々の部品間の調整・統合に要する知識を指している。したがって、武石（2003）によると、統合知識と部品知識をすべて合計しても、製品開発に必要な知識がすべて賄えるわけではないという。これは、製品全体のアーキテクチャそのものに関する知識も含めてアーキテクチャ知識とする Henderson and Clark（1990）よりも狭い定義であるといえる。

一側が製品システム側に知識の範囲を広げていく過程を説明している。当初のカルソニックカンセイは、日産のコクピットモジュール（納入単位）の単なる外注先であった。それが、納入単位内の設計の見直しや裁量権の見直し（部品の品質責任範囲の見直しなど）を進める過程で、車両全体に関する知識を獲得していった。こうして、最終消費者のニーズや車両全体の機能要件を踏まえた提案を日産に行なうまでになった（図2-8）。Brusoni et al.(2001)の事例がメーカー側がサプライヤー側のコンポーネント知識をもつ“上から下へ”の知識の拡張だとすれば、具（2008）の事例は“下から上へ”の知識の拡張であるといえる。

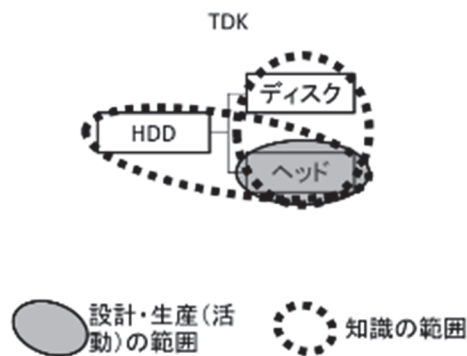
図 2-8 自動車サプライヤーの知識の範囲の変化



（出所）具（2008）をもとに筆者作成。

中川（2008）は、HDD 産業のシステミック・イノベーション（製品の全体設計を変更するようなイノベーション）における部品サプライヤーの対応に注目している。HDD はヘッドとディスクなどから構成される。このヘッドが薄膜ヘッドから MR（磁気抵抗）ヘッドに変わったことにより、ディスクとの技術的な相互関係が変化した（システミック・イノベーション）。このとき、ヘッドのサプライヤーである TDK はディスクなどの自社の事業領域以外の知識や、HDD 製品全体に関する知識を蓄積していた。さらに、蓄積した他領域の知識をもとに、他の部品を担当する企業や完成品メーカーと連携して開発を行っていた（図2-9）。これにより、組み合わせてみないと分からないディスクとヘッドの技術的な相互作用の問題を素早く解決し、最適化することが可能になったという。このことから、システミック・イノベーションに際して、コンポーネントのサプライヤーは自社の事業領域を超えた知識の獲得と活用が必要であるという。いわば、“下から上へ”も、“下から横へ”も知識の範囲を拡張すべきであると述べている。

図 2-9 HDD 産業の知識の範囲



(出所) 中川 (2008) をもとに筆者作成。

以上のように、武石 (2003)、具 (2008)、中川 (2008) などの研究では、アーキテクチャを見直した後でシステムを統合するために、サプライヤーの視点から部品をどのように設計するかに関する議論がなされてきた。

こうした先行研究における製品アーキテクチャの変化や、知識のあり方を階層構造で捉え直してみると、図 2-6～2-9 のように理解することができる。このように、製品アーキテクチャに関する議論は、階層構造で分析することによって、より考えやすくなるが、それを明示的に試みた研究は少ないと考えられる。

このような本節の検討からも、階層構造の観点から製品アーキテクチャの議論を行なうことが重要であることがうかがえる。

## 2.7 複雑な製品システム<sup>27</sup>

先にも述べたように、本稿が取り上げる船舶は、1 隻あたりの部品点数 20～30 万点、鉄鋼の使用量が 8000～1 万トンにもなると言われる複雑で大規模な人工物である（関西造船協会編集委員会，2010）。このような複雑で大規模な人工物は、相互作用のある多数のサブシステムやコンポーネントからなる。その開発に際しては製品システム全体をまとめるために、コンセプト設計の段階においてアーキテクチャが検討され、以降の設計段階では、それを踏まえてシステム設計の段階ではサブシステムやそれ以下のコンポーネントへの分解と統合作業が行なわれる（Ulrich and Eppinger, 1994）。このように、アーキテクチャの選択が特に重要となるのは、複雑な人工物の開発においてである。そこで、本節では人工物の複雑性が製品設計にどのような影響を持つのかについての議論を参照する。

複雑なシステムは、多様に関連し合う多数の部品から成り立つシステムであるとされる（Simon, 1969）。すなわち、人工物が複雑であるということは、要素の多数性（部品点数が多い）あるいは要素の種類が多い（多様性）という意味と（Ashby, 1956）、要素間の相

<sup>27</sup> 本節の記述は、向井 (2014) の記述を加筆・修正したものである。

互依存性が高い(インテグラル)／低い(モジュラー)という意味が考えられる(Thompson, 1967)。そして、それが人間の認知限界があるなかでどのように対処できるのかという議論がなされ、その一環でアーキテクチャに関する議論も展開された。

近年では、人工物の複雑性に注目した研究は、イギリスの「CoPS (Complex Products and Systems) イノベーションセンター」によって、1990 年代後半から 2000 年代にかけて取り組まれた。センターの目的は、複雑で高付加価値な産業用の製品、システム、建築物、ネットワークにおけるイノベーションの理解を深めることとされた。このセンターのディレクターを務めた Hobday は、CoPS を高コストな技術集約的な製品、システム、ネットワーク、契約と定義した。さらに、複雑性を、カスタマイズされたコンポーネント数、必要とされる知識やスキルの範囲、作ることに関わる新知識の程度などを反映する概念であるとした。Woodward (1958) の<プロジェクトー小バッチー大バッチーマスプロダクションー連続生産>というフレームワークに従うと、CoPS はプロジェクトから小バッチに相当し、設計、プロジェクトマネジメント、システムエンジニアリング、システム統合が重視される傾向がある。

CoPS の開発・生産プロセスはプロジェクトになることが多い。そのプロジェクトは、複数の組織の一時的な連携となり、ひとつの供給企業の境界を超えるものである。多様なサプライヤー、ユーザー、監督官庁、専門家をつなぐネットワークとなる。このネットワークにより、設計、アーキテクチャ知識を伝達し、サプライヤーに特有のリソース、ノウハウ、スキルを組み合わせることが可能になる。同時に、複雑な製品を開発するには、複雑性に対する開発組織の処理能力も必要になる(藤本, 2013)。

したがって、複数の組織間の調整や、多様な知識の活用が重要になる。例えば航空機の開発では、材料、ソフトウェア、流体力学、情報通信に関する幅広い知識が必要となる。自社の技術的な能力から乖離した専門企業と密接に連携することにより、多様なスキルや技術のインプットを広げ、最終的な製品システムとして完成させることができるという(Vicenti, 1990)。

2000 年前後に、こうした CoPS に関する一連の研究が行なわれてきた(Hobday, 1998; Barlow, 2000; Gann and Salter, 2000; Geyer and Davies, 2000; Brusoni, Prencipe and Pavitt, 2001; Davies and Hobday, 2005)。その中で代表的な研究として Brusoni et al. (2001) がある。彼らは航空機用ジェットエンジンのコントロールシステムの油圧機械世代とデジタル世代に関する研究を行なった。この事例研究から、組織の手がける境界と組織が持つ知識の範囲の間にはギャップがあることを明らかにし、CoPS の開発において、組織が作る範囲以上に知識の範囲を拡張しておく重要性を指摘した。ただし、各世代の中での変化を捉えているが、油圧からデジタルへの変化を捉えていなかった。その他、CoPS プロジェクトの研究において、システムインテグレータの役割については議論されているが、上記のような油圧機械式からデジタル式への変遷やアーキテクチャの変化といった根本的な変化に関する検討はあまり行なわれていない(Mukai, 2014)。

人工物の複雑性に関して、Simon (1969) の後、研究者と実務家の双方から製品アーキテクチャの概念が注目されるようになった (Ulrich, 1995 ; Baldwin and Clark, 2000)。製品アーキテクチャとの関係で言えば、製品の複雑性は、製品機能、製品構造、生産工程の要素多様性、および顧客満足に要素間、製品機能の要素間、製品構造の要素間、生産工程の要素間の相互依存性に関わる問題である (藤本, 2000)。その中でも、とくに製品構造的な相互依存性、製品機能的な相互依存性が高いパターンをインテグラル・アーキテクチャ、低いパターンをモジュラー・アーキテクチャと呼んでいる (Ulrich and Eppinger, 1994)。

しかし、CoPS プロジェクトの一連の研究では、研究対象の製品システムの構成要素数の多さや構成要素間の相互依存性の高さから、インテグラル・アーキテクチャである前提のもと、インテグラル・アーキテクチャに対応する組織構造やシステム統合者の役割に主眼を置いてきた。一方で、複雑性に対処するためにどのようにアーキテクチャを選択したり、変化させたりすることができるのか、といった議論はあまりなかった。

以上の CoPS の議論の他、製品の複雑性に関して、最近では日本でも議論されるようになってきた。

藤本 (2013) は、製品のユーザーが使用経験を重ねることによって、その製品への機能要求を高度化、精緻化させることが、製品設計の複雑化、製品アーキテクチャのインテグラル化を促すと述べている。このように、人工物を利用する際の物理的、知識的、社会的制約が厳しいとき、あるいは利用者からの機能要求の高度化があるとき、その人工物は複雑化しやすいという。

そうであるならば、製品が比較的重かったり容積が大きかったりする物体で、機能を発揮するために多くのエネルギーや材料を消費するか、あるいはその大きさゆえに事故や有害物質の問題が発生するような製品の場合、省エネ、省資源、安全性の追求など、課せられる社会的な制約がより厳しくなることが考えられる。すると、利用段階での操作の精緻化、生産段階の転写精度の向上、設計の精緻化が必要となり、設計が複雑化していくと考えられる。

こうした状況に対して、機能要件や制約条件の緩和は実現しにくいいため、製品アーキテクチャのモジュラー化など設計の簡素化、あるいは開発組織の組織能力の強化が考えられる。ただし、デジタル家電や小型情報機器のような質量やエネルギーが小さい製品においてはモジュラー化が急速に進むが、質量やエネルギー面の制約が厳しい自動車や大型産業機械においてはさほど進まず、その分、組織側の調整能力の強化を図る必要がある (藤本, 2013)。

以上のように、人工物の複雑性に関する先行研究では、市場 (利用者)、社会、技術などの人工物を取り巻く存在からの要求や制約が、人工物の設計特性にどう影響するかという議論がなされてきた。しかし、こうした議論を通じて、大規模な製品であればその質量をどう処理するか、言い換えると、製品・部品と、それが使われる上位システムや補完財の規模との物理的な相対的な関係が重要な問題になることも同時に分かってきた。しかし、このような物理的な要因が設計にどう影響するかという点は、議論の余地が残されていることがうかがえた。

## 2.8 先行研究の小括とリサーチギャップ

2.2 節、2.3 節で検討したように、人工物の設計とは、技術と市場に関する階層構造的な意思決定であるといえる (Clark, 1985)。より具体的には、市場や顧客のニーズに対して、概念設計、基本設計、詳細設計、生産設計のプロセスを経て人工物の動作原理や機能と構造や形状を決めて設計解を生み出すことであるといえる (竹村, 2001)。

このように考えると、製品開発には、製品アーキテクチャの選択のような基本的な設計特性の選択が含まれることになる。2.4 節で検討したように、製品アーキテクチャとは、製品への要求機能を各構造部分 (部品) にどう配分し、部品間のインターフェースをどのように設計するかに関する基本的な設計思想のことである。この製品アーキテクチャの選択は、ある製品である市場に対応するときに勘案される差別化 (differentiation) と共通化 (commonality) のバランスの取り方と強く関係する (Ulrich and Eppinger, 1994; Roberson and Ulrich, 1998; 柴田・玄場・児玉, 2002)。

これを言い換えると、製品や部品と、それが使われる上位システム (補完財) との関係によって、インテグラル/モジュラーという相互依存関係や、標準/カスタマイズという製品間の共通化・差別化に関する設計の選択、つまり製品アーキテクチャが規定されるということである。そして、2.4 節で言及したように、製品アーキテクチャの選択は、市場や顧客の要求に影響されるものである。なお、2.4 節での検討から、機能・構造間関係あるいは構造・構造間関係という相互依存関係が<インテグラルかモジュラーか>という分類および選択と、製品や部品の設計特性が<カスタマイズか標準か>という分類および選択は、当該人工物と補完的人工物との関係に関する限り、随伴的な事象であると考えられる。すなわち、機能対構造の関係が比較的一対一対応であるとモジュラーであるということになるが、そうした場合、機能完結部品が比較的多くなる。機能完結部品ということは、設計をするときに他の設計要素と連動することではなく、自律的に設計解を求めれば良いということになる。このような場合、社内標準設計、あるいは企業の境界を越えたオープンな標準設計が選択されやすくなると考えられる (Ulrich, 1995)。実際、製品アーキテクチャが<インテグラルかモジュラーか>の違いに連動して、製品 (あるいは部品) を構成する部品の<カスタマイズ設計か標準設計か>の比率が違っていた (藤本, 2002b; 大鹿・藤本, 2006)。このように、両者は互換的な概念として用いられてきた。しかし、2.4 節から、補完財に対するカスタマイズと顧客の特殊な要求に対するカスタマイズは異なるものであり、前者はインテグラルな製品アーキテクチャが選択されることと随伴する現象であることが考えられ、後者はそうではないことが考えられた。そこで、本研究では、補完財に対する特殊設計と顧客に対する特殊設計の違いに留意しながら、<インテグラルかモジュラーか>という概念と<カスタマイズか標準か>という概念を互換的に用いることとする。

以上を前提に、2.5 節で検討したように、人工物の階層性を取り入れて製品アーキテクチャの議論を捉えてみると、部品がより上位の製品システムに組み込まれるとき、あるいは人



間によって使用されるとき、設計対象となる製品・部品とその上位システムとの物理的な相対的關係が、製品アーキテクチャの決定に影響すると考えられる。そして、それは、技術的要因によってのみ決まるものではなく、市場や顧客の要求に影響されて決まるものであるといえる (Ulrich and Eppinger, 1994 ; Ulrich, 1995 ; Robertson and Ulrich, 1998 ; 藤本・武石・青島編, 2001 など)。加えて、そうした市場や顧客の要求は製品アーキテクチャの変化を促す要因となるが、2.6 節で検討したように、そうした様相も人工物の階層構造を取り入れることによって分析することができる。

また、2.4 節、2.5 節の検討から、製品アーキテクチャの分析を行なうにあたっては、人工物システムの階層のどこにフォーカスしていて、どこが外アーキテクチャで、どこが中アーキテクチャに当たるのかを区別して検討することが必要になる。このような点からも、人工物の階層性の観点からアーキテクチャを議論することが重要であると考えられる。

このような製品アーキテクチャの選択が特に重要となるのは、2.7 節で取り上げたような複雑な人工物の開発においてである。複雑なシステムは、多様に関連し合う多数の部品から成り立つシステムである (Simon, 1969)。よって、人工物が複雑であるということは、要素の多数性 (部品点数が多い) あるいは要素の種類が多い (多様性) という意味と (Ashby, 1956)、要素間の相互依存性が高い／低いという意味が考えられる (Thompson, 1967)。

2.7 節で検討したように、このような人工物の複雑性と製品アーキテクチャの関係に関して、CoPS の議論では、研究対象の製品システムの構成要素数の多さや構成要素間の相互依存性の高さから、インテグラル・アーキテクチャである前提のもと、インテグラル・アーキテクチャに対応する組織構造やシステム統合者の役割に主眼を置いてきた。複雑性に対処するためにどのようにアーキテクチャを選択したり、変化させたりすることができるのか、といった議論はあまりなかった (向井, 2014)。

さらに、人工物の複雑性に関する先行研究では、市場 (利用者)、社会、技術などの人工物を取り巻く存在からの要求や制約が、人工物の設計特性にどう影響するかという議論がなされてきた。すなわち、科学、技術、ノウハウのような知識的な制約、環境規制、安全規制、制度のような社会的制約が厳しい場合、また利用者の評価能力の進化によって顧客からの機能要求が高度化するような場合、人工物は複雑化する傾向にあると論じられてきた (藤本, 2013)。

しかし、人工物に課せられる制約のうち、物理的な要因が設計特性にどう影響するかという点は、あまり議論されてこなかったといえる。Ulrich and Eppinger (1994) によると、機能・構造関係を決めること、構造をいくつかのまとまり (chunk) に割り当て、幾何的なレイアウト (geometric layout) を作成し、まとまりの間の相互作用を明らかにすることが、製品の基本的な設計特性の選択である。このような物理的な設計は、特に質量や形のあるハードウェアの人工物であれば重要であると考えられる。それにもかかわらず、物理的な要因が設計特性に選択にどう影響するかは、既存研究ではあまり着目されてこなかったといえる。



このような問題は、2.5 節で検討したように、製品アーキテクチャの階層性の観点から議論することができる。2.5 節で見てきた階層構造を導入した製品アーキテクチャの議論では、そうしたハードウェア以外の上位のシステムまでをも射程に入れた議論は少なかったと考えられる。2.5 節での検討から、焦点を当てる製品だけではなく、その製品を取り巻く使用環境など、ハード／ソフトの別を超えた諸要素も合わせて人工物システムとして捉えた製品アーキテクチャの議論を行うことが、本研究が取り組むべきリサーチギャップであると考えられる。

さらに、人工物の階層性を分析視座とした Langlois and Robertson (1992) の議論は、全体的にオープン・モジュラー化していく過程を説明するにとどまっていたといえる。しかし、実際には、新宅 (2009) や新宅・善本 (2009) が行った分析において、上位階層に対するすり合わせ要素を下位の階層内に集約する「カプセル化」<sup>28</sup>と上位階層におけるモジュラー化が同時に起こる現象、つまり階層によって異なるアーキテクチャが選択されることがありうると考えられる。すなわち、2.4 節においても検討されたが、市場や顧客のニーズや技術的制約といった、製品アーキテクチャの選択に影響を与える要因、制約が人工物システムの階層によって異なるということが考えられる<sup>29</sup>。しかし、先行研究では、そうした点まで明示的に考慮に入れた議論はあまりなされてこなかった。

そこで、本研究は人工物の階層性の観点を導入することによって、製品アーキテクチャの選択に関する議論を展開する。この際、焦点を当てる製品だけではなく、その製品を取り巻く使用環境など、ハード／ソフトの別を超えた諸要素を人工物システムの構成要素として分析する。これまで、そうしたハードウェア以外の上位のシステムまでをも射程に入れ、階層構造的な製品アーキテクチャの選択について検討した議論は少なかったと考えられる。

そこで本研究では、以降の章において、製品システムの階層性の観点から、物理的な要因が製品の設計特性の選択にどのように影響するのかを見ていくこととする。

## 2.9 本研究のフレームワーク

そこで、人工物とそれを取りまく補完財との関係、および人工物の内部構造に関しては、図 2-10 のように階層構造であらわすことができる。

これは、Simon (1969) や Langlois and Robertson(1992)や新宅 (2009) をはじめとする先行研究で述べられてきたように、人工物のシステムが階層構造で表される入れ子構造になっていることを示している。これらに端を発する先行研究の議論を踏まえると、ある製品を設計するということは、それと補完財との関係性を設計することであるともいえる。これ

---

<sup>28</sup> 本稿の以降の章において「カプセル化」という表現を用いる場合、特に断りがない限り、この意味で用いることとする。

<sup>29</sup> こうした議論からも、製品アーキテクチャの選択は、顧客や市場のニーズからの影響を受けるものであることが分かる。

が、人工物全体（製品レベル）の設計に当たると考えられる。さらに、製品レベルの内部のサブシステム（あるいはサブ・サブシステムである部品レベル）に関しては、人工物全体とサブシステムや部品との関係性を設計することである。この部分が、知識的、社会的、物理的な制約を受けるが（藤本，2013）、このうち、これまであまり議論されてこなかった物理的な制約によってどのような影響を受けるのかを、造船会社の事例を取り上げて以降の章で検討する。

前節までも検討したように、インテグラル型かモジュラー型かという分類は、明確に境界があるわけではない。実際にはインテグラル型かモジュラー型か、あるいはオープン型かクローズ型かは、あくまでも程度問題である。もう少し詳細に言えば、人工物は階層構造で表現されるが、その人工物がインテグラル型なのかモジュラー型なのか、またオープン型なのかクローズ型なのかは、どのレベルについて注目するのかで異なる。

また、製品システムの階層構造のある同じレベルを詳細にみても、インテグラル型なのかモジュラー型なのか、オープン型なのかクローズ型なのかを、単純にどちらか一方の性質であるとするのは難しい。例えば、自動車という製品をある同じレベルの集成度でみても、バッテリーのように比較的オープン型の部品があれば、サスペンションのようにクローズ型の部品もある。自動車という製品全体としてみると、異なるタイプのアーキテクチャをもつ部品の混成体であるといえる（藤本，2001a）。また、前章で取り上げたが、DVD レコーダーでも、DVD レコーダーを階層別にみると、階層の最上位の DVD レコーダーや、それを構成するサブシステムである DVD ドライブはモジュラー型である一方、DVD ドライブを構成する部品の光ピックアップやモーターはインテグラル型（すり合わせ型）である（新宅，2009）。このように、各階層、部品単位でアーキテクチャを分析すると、インテグラル型の部品の組み合わせでモジュラー型の製品システムが構成されている。このように、ある人工物が「インテグラル型である」「モジュラー型である」「クローズ型である」「オープン型である」と表現される場合、それは、製品システムやサブシステムや部品など、フォーカスするレベルにおいてある製品アーキテクチャの特性が強く表れているということになる。

また、これまでの先行研究において、製品アーキテクチャは、機能要素と構造要素間の関係性か、あるいは構成要素間での関係性で定義されるが（Ulrich，1995）、同時に製品差別化と部品共通化のバランスに関わる概念ともなっている（Ulrich and Eppinger，1994；Roberson and Ulrich，1998；柴田・玄場・児玉，2002）。インテグラル型のアーキテクチャの製品では、部品の共通化を進めようとするほど製品の差別化が難しくなる。製品の差別化を図ろうとするほど、その製品に特殊な（専用の）部品を用いる比率が高くなる。一方、モジュラー型のアーキテクチャの製品では、共通部品の組み合わせ方を変えることによって製品全体としての差別化は可能であるため、部品共通化の度合いを高めることと製品差別化の度合いを高めることは両立しうる（柴田・玄場・児玉，2002）。このように、製品アーキテクチャに関する見方は、機能要素と構造要素の関係性あるいは構成要素間のインタ

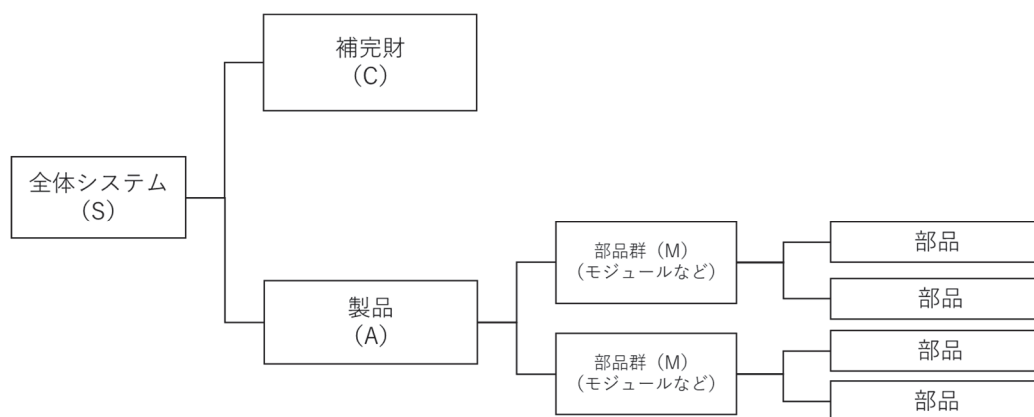
ーフェースから規定されるものであるが、同時に部品共通化の度合いからも捉えることができるものである。

このような製品アーキテクチャの把握方法に関して、中川（2011）は、単一産業の事例分析では主要コンポーネント間の関係性に焦点を当て、複数産業間の統計分析では部品の専用品・標準品比率に焦点を当てていた。一方、朴（2001）は、1事例の分析であるが、サブシステムと部品の専用品・標準品比率に注目していた。

このように、製品アーキテクチャの把握にあたり、構造要素間の関係性に着目するか、部品（構造要素）の設計が専用であるか標準であるかに着目するのか、両方の方法がありうる。

以上の議論を、システム全体（S）があり、そのサブシステムとして製品（A）やその補完財（C）といった構成要素が連なるという階層構造に置き換えて表現すると図 2-10 のようになる。本稿では、この階層構造の観点から、物理的な要因が設計特性にどのように影響するのかを検討する。

図 2-10 人工物システムの階層構造図



（出所）筆者作成。

そこで、本稿では、階層構造で海事システム全体を整理し、製品のアーキテクチャ（インテグラルかモジュラーか、あるいは（補完財に対して）カスタマイズか標準か<sup>30</sup>）をとらえることとする。そのために、海事システムの構成要素として船を位置づけ、その船を設計するにあたり、どのような製品アーキテクチャの選択がなされるのかを検討する。

ここで、海事システムについて、以降の章に先立って簡単に説明する。海上で人や物を運ぶ海事システムは、どこを通り（航路）、何を積み（積荷）、どのように運ぶのか（船）、そ

<sup>30</sup> 2.4 節で検討したように、インテグラルかモジュラーかという選択とカスタマイズか標準かという選択は、当該人工物と補完財との関係に焦点を当てた検討に限って言えば、随伴的な事象であるといえる。ただし、補完財に対するカスタマイズ設計と、顧客の特殊な要求に対するカスタマイズは分けて考える必要がある。

れをどのように作るのか（生産設備）という要素で構成される。これらの組み合わせによって、いわば海運ソリューションが成立する。本稿が着目する造船・海事産業の概略を階層構造で描いてみると、図 2-11 のようになる。

次章でより詳細に検討するが、ここで前もって概略を述べる。航路は、どこから（積み地）、どこまで（おろし地）、どのルートを通るかで構成される。例えば、ヨーロッパとアジアの間を運航する場合、想定される貨物の積み地はダンケルクなのかロッテルダムなのか。また、想定される荷揚げ地（おろし地）は、横浜なのか神戸なのか瀬戸内海のどこかなのか。あるいは、特定のどこかではなく、あらゆるところが荷揚げ地・荷下ろし地として想定されるのか。こうした荷揚げ、荷下ろしの港湾があり、その設備や地形の条件などを考慮して、船が設計される。加えて、パナマ運河やスエズ運河やケープタウンやマラッカ海峡や北極海を通過するのか、あるいはあらゆるところを通過すると想定するののかも考慮されて、船が設計される。

何を運ぶかというのは、積荷の問題である。積荷によって船の種類（船種）が分かれることになる。（人以外の）積荷は、大きく分けると乾貨物と液体貨物がある。乾貨物は、20 世紀半ば頃まで一般貨物船（general cargo ship）と呼ばれる、雑貨、穀物、鋼材、石炭など様々な積荷を運ぶ多目的の貨物船で運ばれていた。

その後、貨物の多様化に対応して、輸送コストの削減や輸送効率の向上を目的とし、一方で港湾整備が進んだことによって、貨物ごとの専用船が開発され、貨物船の種類が増加した（長塚, 1998；関西造船協会編集委員会, 2010）。こうして乾貨物の中でも、鉄鉱石や穀物、木材チップなどを運搬するためのばら積み船が登場し、ほぼ同時期に液体貨物である原油を運ぶタンカーが登場した。さらに、その後、乾貨物船としてはコンテナ船や自動車運搬船、液体貨物船としては LNG や LPG などの液化ガス運搬船などが登場した（具・加藤・向井, 2010）。

どのように運ぶのかは、船（船体）そのものの問題である。この船の作り手が造船業である。造船業は、製品である船を使用する海運側の航路や積荷に対応させた製品（船体）を作る。上述のように船体は積荷にあわせた船種が選択される。また、航路にあわせたサイズや形状や装備などが選択される。船体の構成要素は、一般的に船殻、機関室、居住区<sup>31</sup>である。このうち、船種ごとに大きく違うのは、積荷スペースである船倉部と荷役装置からなる船殻（いわゆるどんがら）の部分である。居住区は乗員が乗るスペースであり、寝泊まりする居住室と、船を動かす操縦室からなる。機関室は船の推進のための機器類（船用機器）を納めるスペースである。

このような船（船体）をどのように作るのかが、造船工場の生産設備である。造船工場の

---

<sup>31</sup> 船橋（ブリッジ）とも呼ばれる。船の推進に左右両舷の外輪を用いていた時代に、船全体を見渡しながら操船できるように、外輪間をつないでやや高い位置に操船する場所を設けていたことに由来している。

生産設備の中でも、とくにドック（あるいは船台）が一般的にボトルネックであり<sup>32</sup>、そのドックをいかに効率よく使うことができるかが、造船会社にとっては重要になる。逆に言うと、このドックが、どのような船（船体）を作るのかに関わる制約条件となる。すなわち、造船会社は、ドックのサイズ以上の船を作ることができない。そして、そのドックの拡張工事は、莫大な設備投資と監督官庁の許認可が必要となる。ドックは単に掘ればいいものではなく、浮力が働いていない状態の船体を支える骨組みの埋設や地盤の補強が必要となる。また、1章で概観した造船不況期以降の業界全体での能力削減政策の名残により、ドックの拡張は様々な法規制や監督官庁の許認可を要するようになっており、造船会社の一存で容易に拡張できるものではない。すなわち、本研究で焦点を当てる相対的な「大きさ」に関連して言えば、サイズに関して固着的な生産設備との関係によって、作る船（船体）の「大きさ」が選択される。

海事システム全体を成立させるために、上記の航路や積荷、あるいは生産設備を所与として、船の設計がなされる。その船の設計の担い手が造船会社（の設計部門）である。航路は、海底地形など自然条件は変えることができないが、運河や港湾のように人工的に変えることができるものがある。とはいえ、運河や港湾もそう簡単に変える拡張することはできないものであり、サイズに関して固着的である。積荷は、社会的な需要によって変化するものでもあるが、何を運ぶかは造船会社や海運会社（オペレーター）がコントロールできるものではない。このように、航路や積荷は変化しうるものではあるが、一方でコントロールできない側面もある。いずれにせよ、船の設計を担う造船会社にとっては、短期的には所与の条件であるといえる。また、生産設備は造船会社内の要素であるが、製品（船）と比べると、やはりサイズに関して固着的であり、製品のサイズを選択する上では制約条件となる。

以上、2章の検討から、企業の競争力に影響を与える1つの要因とされてきたアーキテクチャの階層的選択について、人工物の相対的な「大きさ」という要素を加えて実証的に論じた研究が意外になされていないことが、リサーチギャップであると考えられた。また、2章から、製品システムを階層構造で捉え直すことによって、焦点を当てる製品だけではなく、その製品を取り巻く使用環境など、ハード／ソフトの別を超えた諸要素も合わせて人工物システムとして分析することが可能になることが分かった。このような人工物システムの階層性の観点から、市場・顧客のニーズや技術的要因や制約が人工物システムの階層によって異なることが考えられる。それにも関わらず、この点を明示的に勘案した議論はこれまで少なかった。2章から、このような点がリサーチギャップであることが示唆された。

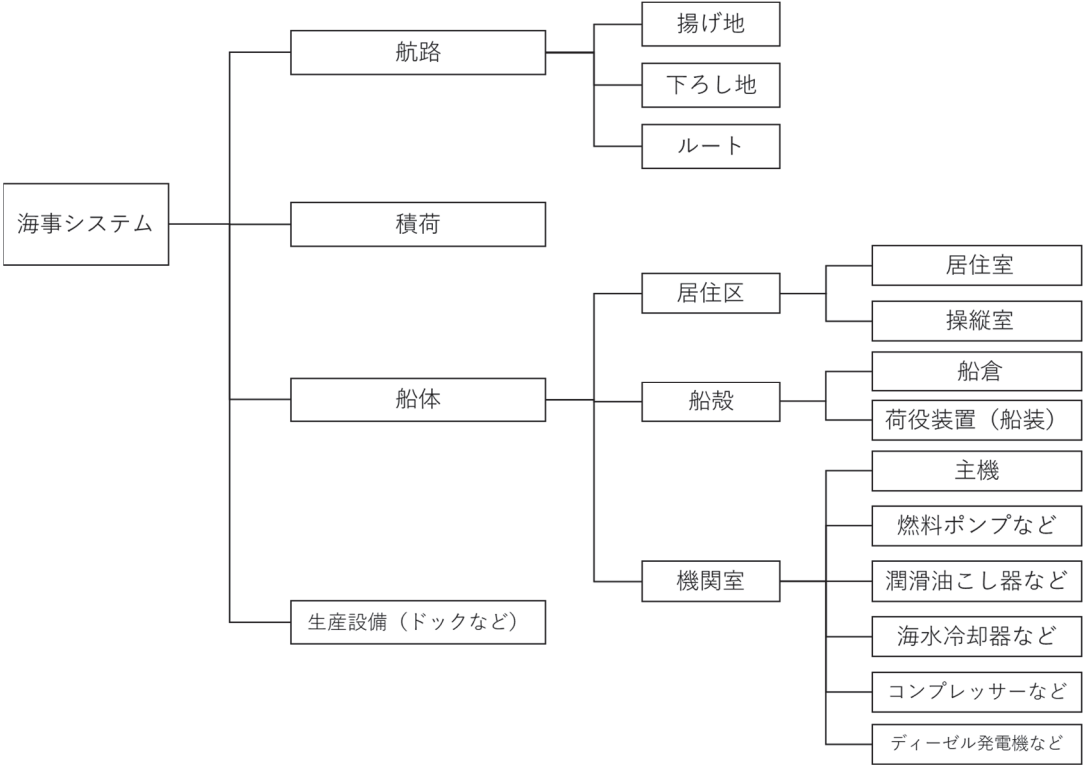
こうしたことを踏まえて、本論文の事例研究では、以上のように海事システム全体を階層構造として捉え、船という製品もその一部を構成するシステムであると見なす。このような見方によって、以降の章で扱う事例を分析する。これによって、船という製品システムを設

---

<sup>32</sup> 3章3.6節参照。

計するときに、どのように製品アーキテクチャが選択されるのかを分析することが可能になる。

図 2-11 海事システム全体の階層構造（本稿のフレームワーク）



（出所） 具・加藤・向井（2010）、向井（2011）をもとに大幅に加筆修正。

### 3 章 海事システムと製品の概要

2 章で確認したように、製品はそれが使用される環境の中で入れ子構造になっており、その制約下で設計選択がなされる。さらに、製品のサブシステム以下の階層の設計は、その製品設計の制約を受ける。したがって、製品アーキテクチャ戦略を議論するにあたっては、製品単体よりも上位の階層、すなわち、その製品の補完財を含めた使用環境から、入れ子構造になっている階層構造にしたがって設計選択に注目する必要があると考えられる。

そこで、3 章では、まず産業の全体像（海事産業）、製品（船体）、機関室を中心にそのサブシステムを概観することにより、海運など使用環境を含めた海事システム全体の制約下に製品設計がなされ、その製品設計を行うにあたって部品間の調整問題が機関室に集約されることを確認する。それ以降の節は、各企業の事例を取り上げ、海事システム全体の制約下での製品設計と、そうした性質を持つ機関室の設計をどのように行っているのかに注目する。

このように本章では、実証研究の対象である船舶が、あくまでも海事システムの中のサブシステムであるという、人工物の階層的システムのアプローチを採る。すると、同じ海運用の船舶でも、海事システムを構成する他の補完的なサブシステム、例えば積荷、港湾設備、航路上の設備（運河など）、荷主および関連業者、船主、オペレータなどの違い、さらにはシステムの下位層の船用機器産業などの影響を受け、その結果、船種によって、ビジネスモデル、運航パターン、設計特性、技術選択、大きさの選択などが異なってくる可能性がある。

そこで本章では、外航海運船舶の主な船種であるばら積み船、タンカー、コンテナ船、液化ガス運搬船について、それぞれの海事システムと船舶の特徴の比較分析を試みる。すると、結論を先取りすることになるが、海事システムやその目的の違いに応じて、船舶の設計選択や技術選択には、船種によって顕著な違いがあることがわかる。

しかし、海事システムのサブシステムに位置づけられる船舶（船体）の大きさの選択、特に主な補完的サブシステムである港湾設備、生産設備（ドックなど）、航路などとの関係による相対的な大きさに関して、船種が違っても共通する傾向がみられた。それは、相対的な大きさが拡大するのに従い（より大型の船型になると）、補完的サブシステムが制約条件となり、当該船舶が補完的サブシステムに対して特殊的な（カスタマイズされた）設計が選択される傾向である。このことは、船舶（船体）の相対的な大きさの選択が、階層構造の中でアーキテクチャの選択に影響を与える可能性を示唆している。

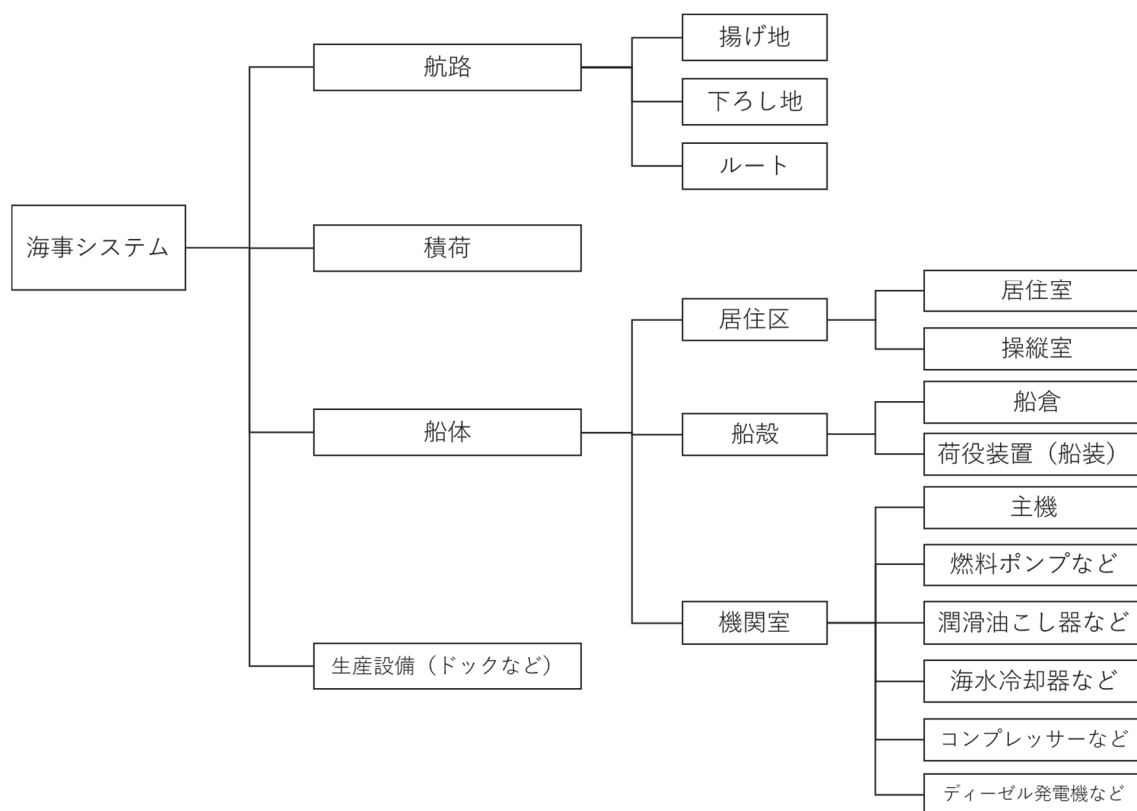
本章では、海事システムおよび船舶がもつ、上記のような特徴に関して、詳細な検討を加えることとする。

まず、海事システムの全体像を階層構造で表現すると、図 3-1 のようになる。造船や海運などはまとめて海事産業と呼ばれる。その中で、造船業は、製品である船を使用する海運側の諸要素（用途、航路、港湾、定期／不定期といった運航形態・・・）に対応した、製品（船

体)を作る。船体は積荷にあわせた船種が選択され、また航路、港湾、運航形態にあわせたサイズや形状や装備などが選択される。船体は、一般的に船殻、機関室、居住区<sup>1</sup>からなる。このうち、船種ごとに大きく違うのは、積荷スペースである船倉部と荷役装置からなる船殻（いわゆるどんがら）の部分である。また、居住区は乗員が乗るスペースであり、寝泊まりする居住室と、船を動かす操縦室からなる。機関室は船の推進のための機器類（船用機器）を納めるスペースである。さらに、船体は、ドックや船台などの生産設備が制約条件となってサイズが選択される。

以下、本章では、この階層構造に従って、海事産業、製品（船体）の種類および製品システム、さらに特に機関室について、そしてどのように製品が作られるのか（設計、生産プロセス）を概観する。

図 3-1 海事システムの階層構造（2 章より再掲）



（出所）具・加藤・向井（2010）、向井（2011）をもとに大幅に加筆修正。

<sup>1</sup> 船橋（ブリッジ）とも呼ばれる。船の推進に左右両舷の外輪を用いていた時代に、船全体を見渡しながら操船できるように、外輪間をつないでやや高い位置に操船する場所を設けていたことに由来している。



### 3.1 海事産業

本節では、本稿で主に注目する造船産業を取り巻く海事産業の全体像を概観する。海事産業は、造船会社の顧客である船主（オーナー）、海運会社、ユーザーと、造船会社に対する供給業者である船用工業、製鉄会社、港内外注の委託先（直接作業）などからなる。なお、本節は主に具・加藤・向井（2010）、具・加藤（2013a）の記述に依拠している。

#### <造船会社>

造船会社は船（船体）の設計と製造を担う。造船会社は船の設計、顧客からの受注、船用部品サプライヤーや製鉄会社への発注を行う。調達された鋼材は、切断・曲げ加工・溶接してブロックとして組み立てられる（3.6 節参照）。同時に、船用部品類の先行艤装も行われる。ブロック同士をゴライアス（大型門型）クレーンもしくはジブクレーンでドックまたは船台に搬送され、そこでブロック同士を溶接（搭載）して総組立される。進水、艤装（船内艤装）、海上試運転され、顧客に引き渡される（後述）。具・加藤（2013a）によると、顧客との引き合いに半年程度、設計期間が2年程度、生産期間が半年程度かかるので、一般的な納期はトータルで3、4年となる。ただし、この期間は、市況、ドックの空き状況をはじめとする造船会社の繁忙の状況、鋼材メーカーや船用部品サプライヤーの状況、顧客の事情などによっても変動するものである。

生産のボトルネックは、一部の韓国企業をのぞき、総組立（大型ブロックの溶接組み立て）を行う船台ないしドックでの総組立工程であることが一般的である。さらに、ドックは、拡張するのに国交省の許認可を要するだけでなく、船を支えるための補強、あるいは周囲のクレーンや加工作業場などとの兼ね合いがあるため、容易に拡張することはできない。そのため、ドックのサイズは相対的に固着的であるといえ、手がける船のサイズを選択する上での制約条件となることがある。

また、造船は一般的に受注設計・受注生産で上記のように3年程度の納期となり、またドックをすぐに拡張できない<sup>2</sup>。このため、需要減の時期があると、不況がしばらく続くことになる（「構造不況」）（具・加藤，2013a）。実際に日本では、1960年代末から70年代初頭にかけての大型タンカーの建造ブームの際、各社が大規模な設備投資によって工場新設や既存工場を拡張したが、直後の第1次オイルショックをきっかけに、1990年代に至るまで不況が続いた（具・加藤，2013a）。このように、長い納期と変化させにくい生産設備を前提に、船の設計を選択することになる。

#### <顧客>

造船会社の顧客は、船主（オーナー）であるが（1章図1-10）、より詳細に言えば、船主（オーナー）、オペレーター（外航船社など海運会社）、荷主（あるいは商社）がいる。船主

---

<sup>2</sup> 立地制約、巨額の設備投資、国土交通省への申請と許可が必要である（具・加藤，2013a）。

(オーナー)は、造船会社から購入した船をオペレーターに用船(貸渡し)する場合と、中古船市場などに転売する場合がある。前者のようにオペレーターに用船する場合は、長期的な用船契約を結んだ上で造船会社に船の建造を発注する場合もあれば、あらかじめ船を保有しておいて短期的なスポット契約で用船する場合もある。次節でふれるように、自社所有または長期用船か短期的なスポット用船か、定期船か不定期船か、といった運航形態のうち、どのような運航形態が主となるかは、船種などによっても異なるものである。

オーナーにとっての収入は用船料である。用船料は、例えばばら積み船であればBDI(バルチック・ドライ・インデックス)といった運賃指標(1.4節参照)に示されるような需給バランスに基づく市況に左右され、それに影響されて船価が左右される(3.3節に後述)。加えて、船は寿命が長いので投機目的で事業を営むオーナー(例えばギリシャ船主)も存在する(具・加藤, 2013a)。また、日本では、オペレーターに貸渡しするオーナーとして波方船主(愛媛船主)と呼ばれるオーナーが有名である(4章)。いずれにせよ、顧客であるオーナーは、用船料や市況の変動など相場の状況をモニタリングした上で、造船会社に発注をかける。

オペレーターは、船の運航会社である。前述のオーナーと用船契約を結び用船料を払って船を借りて運航する場合と、オペレーターが自ら船を調達して自社所有船として運航する場合がある。オペレーターの顧客は荷主(または商社)ということになるが、荷主から運賃を得て、輸送サービスを提供する。オペレーターにとっては、船員の人件費や、運航する燃料費、船のメンテナンスコストが費用となる。運賃が収入となるが、その運賃はBDIのような需給バランスを反映する市況によって決まる。また、輸送契約はスポット契約の場合もあれば、特定の荷物、航路で10年超の長期契約の場合もある(7章)。オペレーターが自社所有する場合や、オーナーからの用船でも長期の輸送契約が事前に決まっているような場合、想定する用途に対して人件費、燃費、メンテナンスコストなどが効率的になるように、また請け負う荷物と船員の安全性を確保するため、運航経験などをもとにオペレーターが造船会社に対して設計に関する要求を行うことがある(具・加藤, 2013a; 川崎, 2017)。

荷主は、オペレーターと輸送契約を結び、オペレーターに荷物の輸送を委託する。荷主の輸送需要は、景気動向や資源などの荷物の需要によって左右され、それによって前述のBDIのような運賃指標の変動が生じ、それに応じて用船料が左右され、船価が影響される(具・加藤, 2013a; 川崎, 2017)。

### <船用工業(サプライヤー)>

船用工業とは、船に搭載するエンジン(主機)や補機(3.5節)を供給する企業である。造船会社は船を設計し、鋼材と船用部品を調達し、切断・曲げ加工・溶接して船を造っているが、船用部品のほとんどを外部調達している。エンジンを内製する一部の「大手」造船会社も、ライセンス生産である。また、「中手」造船会社は、エンジンは全て外部のサプライ

ヤーから調達している（具・加藤・向井，2010；具・加藤，2013a）。

主機には、船用タービン（蒸気タービン、ガスタービン）とディーゼル機関があるが、ディーゼル機関がほとんどの商船で用いられている。船用ディーゼルエンジンには、高速、中速、低速がある。高速エンジンは毎分 1000 回転以上で、2,000～4,000 回転で運航されるものはモーターボートなどが積む。中速エンジンは毎分 300～1000 回転で、内航船の小型フェリーの主機や補機として使われる。低速エンジンは 1 分間 300 回転以下で、本稿が主に焦点を当てる外航の貨物船は、ほとんどこの 2 ストローク低速ディーゼルエンジン（後述）を主機として用いる<sup>3</sup>。この低速エンジンに関しては、MAN B&W（1981 年にドイツの MAN 社がデンマークの B&W 社を買収）、フィンランドのヴァルチラ社（1997 年にスイスのスルザー社、イタリアの GMT 社を買収）、日本の三菱（UE）の 3 社がライセンサーとして製造企業にライセンス供与を行なっている。なお、低速エンジン市場では、この 3 社のうち、近年は MAN B&W が 80%以上の世界シェア（2017 年時点）を占めている（後述）（いよぎん地域経済研究センター，2007；田山，2007；粕谷，2012；日本船用工業会，2018）。

主機以外の船用部品もほぼ全ての部品を造船会社は外部から調達している。各種の船用工業メーカー（サプライヤー）は少数企業による寡占状態である一方、造船会社は多数あるため、造船会社は船用部品メーカーとの関係で言えば不利な立場になる。この背景は、具・加藤（2013a）によると、造船会社はオイルショック以降の不況期に政策的に保護されて企業数が温存されたが、一方の船用工業メーカーは保護政策がほとんどとられずに淘汰が進んで寡占化したことと、船用工業メーカーも、陸上（非海洋（造船））分野への多角化を進め、造船用途の依存度を低下させたことであるという。こうした経緯により、交渉力に関しては、船用工業メーカー側が造船会社に対して有利な立場となっている。

こうした歴史的な経緯のために、船用部品はほぼ全て業界標準品となり、船種、寸法、出力などのスペックに応じたグレードがカタログで用意されていることが多い。造船会社は、このような業界標準の船用部品を調達し、組み合わせて生産することになる。よって、船用部品は形状や大きさに関して固着的であるが、船尾部に配置される機関室などは狭隘で空間的な制約がある。このため、船用部品の配置や接続（艤装設計・作業）に関わる負担は、造船会社側が担うことになる（具・加藤・向井，2010；向井，2011；具・加藤，2013a；八木，2015）。

### <製鉄会社>

造船会社は、製鉄会社から鋼材を調達する。具・加藤（2013a）によると、製造原価の 6 割程度を鋼材費が占める。鋼材の調達金額は、搬入の約 1 年前～半年前に決まることが一般的であるが、これは船の受注・設計よりも後のタイミングである。また、具・加藤・向井（2010）によると、製鉄会社の集中度の高さと立地制約のため、造船会社は比較的近隣の製

---

<sup>3</sup> ただし、LNG 運搬船では蒸気タービンなどが主機として使われる場合もある（後述）。

鉄工場から調達するのが一般的である。さらに、造船会社の工場敷地の制約などのため（古くからある工場の敷地は狭かったり、効率的ではない形であることが多い）、低価格時に鋼材を調達し保管することが難しい（具・加藤・向井，2010）。こうしたことから、製鉄会社に対して造船会社の交渉力は不利であり、造船会社の製造原価の 6 割を占める鋼材の調達コストは、コントロールしにくい要素となっている。

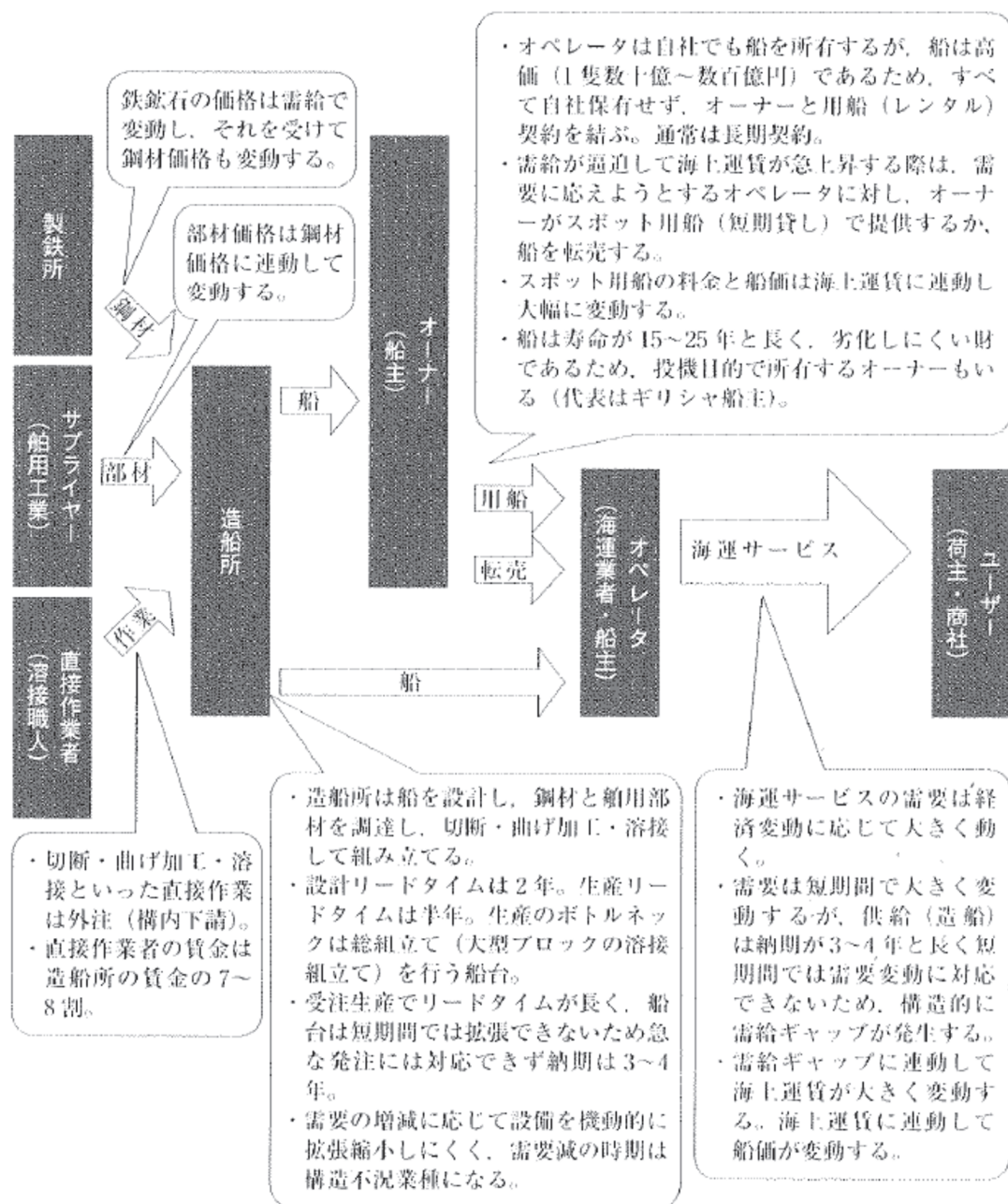
#### <直接作業者>

造船会社の工場内の生産プロセスに関わる作業（後述）のうち、切断、溶接、曲げ加工といった直接作業を担うのは、主に構内外注業者（構内下請け）に所属する作業者である。切断では設計データにもとづいて NC 印字装置で罫書、自動切断などが行われていたり、比較的まっすぐな並行ブロックの溶接作業などではロボットなどを用いた自動化も試みられ、実現していたりする。しかし一方で、ブロックの溶接でも細部は人の手を要する。また、曲げ加工（冷間加工、熱間加工）、曲面形状の溶接、配管類の加工など、設計図を理解し、作業できる熟練作業者を要する作業が依然として多い。こうした熟練作業者を育成するのには 10 年程度を要する（池田，2009；具・加藤，2013a）。こうした構内作業者の賃金は、造船会社の直接雇用の 8 割程度の水準であると言われている（具・加藤，2013a）。

以上の造船会社およびそれを取り巻く各業界、プレーヤーについては、具・加藤（2013a）が簡潔にまとめている（図 3-2）。このような産業構造のため、造船会社は、調達コストを自らコントロールすることも難しく、また製品価格を自らコントロールすることも難しい立場にある。このようなサプライチェーンの川上、川下双方からのプレッシャーを受けながら、造船会社は船を設計、生産する必要があるといえる。

図 3-2 海事産業の構造

図 12-4 造船産業のビジネス・システム



（出所） 具・加藤・向井（2010）、20頁より。

（出所） 具・加藤（2013a）p376より引用。

### 3.2 製品の種類（船種）

つづいて、製品の種類（船種）と、それぞれにおける大きさの 카테고리などを中心に概説する。図 3-1 でいえば、船体の階層に着目することになる。船体は、積荷にあわせた船種が選択され、航路、港湾、運航形態にあわせたサイズや形状などが選択される。後述するが、

船種によってサイズのカテゴリー分けは異なり、どの船種に関しても、相対的に大きいサイズのカテゴリーほど特定の積荷、航路、港湾、運航形態といった限定的な運用を想定した設計がなされる。一方で、相対的に小さいサイズのカテゴリーほど複数種類の積荷を積載できたり、あらゆる航路で運航したり、港湾に着いたり、柔軟な（汎用的な）運用を想定した設計がなされる。本節では、船種ごとに分けて、造船産業において製品の大きさが設計に影響している様子を概観する。

まず、一般的な海運の統計において、商業に従事する商船と、軍艦などの艦船は異なる区分である。その商船の種類は、貨物を運ぶ貨物船 (cargo ship)、旅客を運ぶ旅客船 (passenger ship)、漁船や作業船などに分けられる<sup>4</sup> (長塚, 1998)。

このうち、本節で取り上げるのは、主な貨物船であるばら積み船、タンカー、コンテナ船、液化ガス運搬船である。貨物船の種類は、しだいに多様化（専用船化）する傾向がある。これは、坂井・池田 (2002) によると、安全性、積載効率、荷役効率などを向上させるために、貨物や使用される航路などの条件に合わせた船舶のイノベーションが継続されているためであるという。

貨物船は乾貨物船 (dry cargo ship) と液体貨物船 (wet cargo ship) に大きく分けられる。長塚 (1998) によると、20 世紀半ば頃まで、乾貨物は、数個の貨物倉（船倉）に船殻が区分けされハッチがついた構造の「一般貨物船」が主流で、様々な原材料や製品を運ぶ船であったという。

その後、輸送コストの削減や輸送効率の向上と、港湾整備が進んだことによって、積載貨物ごとの専用船化が進んだことで、船種が多様化した (長塚, 1998 ; 関西造船協会編集委員会, 2010)。こうして、現代では鉄鉱石や穀物、木材チップなどを運搬するばら積み船、原油や液体の化学製品などを運搬するタンカー、コンテナ船、LNG や LPG などの液化ガス運搬船、自動車運搬船などが登場した (具・加藤・向井, 2010)。本節で取り上げる船種うち、ばら積み船、コンテナ船は乾貨物船、タンカーやガス運搬船は液体貨物船である。

以下、外航の貨物船の中で比較的多いばら積み船、タンカー、コンテナ船、ガス運搬船について説明する。

なお、本節は長塚 (1998)、坂井・池田 (2002)、いよぎん地域経済研究センター (2007)、Stopford (2009)、関西造船協会編集委員会 (2010)、船の百科事典編集委員会編 (2015)<sup>5</sup>、川崎 (2017) の記述に依拠している。

---

<sup>4</sup> なお、長塚 (1998) では、推進器（プロペラ）を持たない非自航式のバージ、石油掘削機や洋上プラントなどは船舶とはいえないが、推進器をもつ自航式の石油掘削船などは作業船に含まれるとされている。

<sup>5</sup> 同書所収の、橋本 (2015)、井上 (2015a;b;c;d;e)、光田 (2015)、森田 (2015)、渡辺 (2015)。

### 3.2.1 ばら積み船

1 章でも述べたが、本論文の事例（4～7 章）では、日本の中手造船会社のばら積み船の設計に注目する。そこでまず、ばら積み船について説明する。ばら積み船は、鉄鉱石、石炭、穀物（小麦、大豆、トウモロコシなど）、塩などの撒積（ばら積み）乾貨物を、梱包せずに積載する船である<sup>6</sup>。長塚（1998）によると、戦後、輸送量が大幅に増大し、積載のために貨物を袋詰めすることが非効率になった。そこで、袋に入れない状態<sup>7</sup>のまま、船殻内に仕切られた船倉に貨物をそのまま積むばら積み船が開発された。ばら積み船は、例えば、鉄鉱石専用船、石炭専用船、チップ専用船、塩運搬船があるが、その総称である（長塚，1998）。

ばら積み船の場合、上記のような貨物をどれでも積めるように設計されるが、比重が重い鉄鉱石だけは対応していないこともある。ばら積み船の船殻の断面形状をみると、現在は二重底となっているのが一般的であり、上部の両サイドに傾斜（30 度以上<sup>8</sup>）のある「トップサイドタンク」と、下部の両サイドに傾斜（45～50 度<sup>9</sup>）を持った「ホッパー部」によって、荷崩れを防止する<sup>10</sup>（図 3-3）（坂井・池田，2002；井上，2015d；森田，2015；造船テキスト研究会，2017）。一方で、ばら積み船の中でも鉄鉱石専用船の場合は、比重が大きいため、左右両サイドに大きなバラストタンクを持ち、船底の二重底も高くなり、強度も強くなっている（図 3-4）（坂井・池田，2002；井上，2015e）。

---

<sup>6</sup> 乾貨物と液体貨物を両方積めるようにした、鉱石兼油槽船（ore / oil carrier）、鉱石・撒積兼輸送船（ore/ bulk/ oil carrier）といった兼用船もある。森田（2015）によると、こうした船の船殻構造は鉄鉱石専用船に近くなり、鉱石輸送時は中央部に、原油輸送時は中央部と両舷のバラストタンクに積載される。運行効率を上げるために、ある航海では鉄鉱石の輸送に従事し、その次に原油の輸送に従事するような使い方により空荷航海を減らす工夫がなされたり、また、ばら積み船の市況とタンカーの市況を比較して、随時採算の良さそうな市場に投入するといった使い方が想定され、とくに 100,000～300,000DWT 程度の大型船が 1970 年代までに盛んに建造されていた（森田，2015）。しかし、近年は、積み荷の切り換え時の清掃、保守費用、割高な船価のため、ほとんど作られなくなっている（森田，2015）。

<sup>7</sup> このような状態を撒荷（ばらに）という（長塚，1998）。

<sup>8</sup> 造船テキスト研究会(2017)p15

<sup>9</sup> 造船テキスト研究会(2017)p15

<sup>10</sup> 中にはトップサイドタンクを設けず、ハッチの開口部を幅いっぱいを持たせたオープンハッチタイプと呼ばれるばら積み船もある。坂井・池田（2002）によると、オープンハッチタイプは、荷役効率や船殻のスペース効率がよくなるが、高価になりやすいという。

図 3-3 ばら積み船の船殻部の断面形状



(出所) 日本船主協会・日本海事センター (2020) p6 より引用

図 3-4 鉄鉱石専用船の断面形状



(出所) 日本船主協会・日本海事センター (2020) p8 より引用

ばら積み船は、載貨重量トン数で分類すると、一般的にハンディサイズ、ハンディマックス、パナマックス、ケープサイズに分類される<sup>11</sup>。

外航船のばら積み船の場合、40,000DWT 未満のものはハンディサイズと呼ばれる。甲板にクレーンなどの荷役設備が備えられており、荷役設備が乏しい港湾にも就航できる。また、多様な貨物に対応しており 1 隻で複数種類の貨物に対応していることが多い。例えば森田 (2015) は、石炭、穀物、セメント、鋼材、木材、非鉄金属などを挙げている。

40,000～60,000DWT までのばら積み船は、ハンディマックスと呼ばれる<sup>12</sup>。この中でも、50,000DWT 以上のものはスープラマックス (Supramax) と呼ばれ<sup>13</sup>、ハンディマックスの中では主流となっている。ハンディマックスも荷役装置 (クレーン) を船に備えている (図

---

<sup>11</sup> 本節の分類は森田 (2015)、造船テキスト研究会 (2017) に依拠して説明しているが、この分類は固定的なものではなく、時代によって変化する。例えば、近年、ハンディマックスと呼ばれていても 60,000DWT を超えるものが登場している。また、パナマックスが指すサイズも、パナマ運河の拡張工事により変化しているが、新パナマ運河に対応したサイズについては、従来のパナマックスと区別して「ポストパナマックス」と呼ばれることもある。

<sup>12</sup> 輸送貨物も寄港地も同じようなハンディサイズと区別する必要が薄れつつあるとも言われている (森田, 2015)。

<sup>13</sup> 最近では、60,000DWT を超えるスープラマックスも登場している (森田, 2015)。



3-5)。輸送貨物は多様で、ひとつの船で複数種類の貨物を運搬できるようになっていることが多い<sup>14</sup>。例えば、森田（2015）は、石炭、穀物、鉄鉱石、鋼材、非鉄金属などを挙げている。

こうしたハンディからハンディマックスにかけての比較的小型のばら積み船は、航路や貨物のフレキシビリティが高く、大型船と比べると短期的ないしスポット的な輸送契約で運航されることが多い（中村・深澤・武田，2011）。

図 3-5 ハンディマックスのばら積み船



（出所）日本船主協会・日本海事センター（2020）p6 より引用

60,000～100,000DWT 程度のばら積み船は、パナマックスと呼ばれる。かつては 80,000DWT 程度までがパナマックスと呼ばれていたが、近年では 100,000DWT までの船型がパナマックスと呼ばれるようになっている（池田，2015；森田，2015）。これは、パナマックスが旧パナマ運河を通航できる最大船型であり、全幅 32.3m、全長 294.1m、喫水 12m 以内であったが、2016 年にパナマ運河の拡張工事（新パナマ運河）が竣工し、全幅 49m 全長 366m、喫水 15.2m に制限が緩和されたことによる。森田（2015）によると、これを見越して、拡張工事完了の数年前からポストパナマックス<sup>15</sup>という従来より大型の船も建造されるようになった。パナマックス以上のサイズになると、前述のハンディサイズ、ハンディマックスと異なり、船にはクレーンなどの荷役設備を持たないことが多く、港湾側の設備を用いて荷役が行なわれる（森田，2015）。パナマックスの輸送貨物は多様であり、森田（2015）は石炭、穀物、鉄鉱石、非鉄金属などを挙げている。

---

<sup>14</sup> 40,000DWT から 60,000DWT 程度の木材チップ専用船（チップ船）もこの中に含まれることがある。チップ船は、製紙原料の木材チップを輸送するばら積み船の一種だが、木材チップは比重が軽く、容積がかさばるので、船殻の貨物スペース（船倉）を深めにとったり、トップサイドタンクがないといった特徴がある（森田，2015）。森田（2015）によると、積荷役は港湾のローダーを利用するが、揚荷役は船側の荷役設備（クレーンなど）を利用する。木材チップを運ぶのが主目的だが、比重の小さな大豆糟、タピオカ、スクラップなども輸送することがあるという。

<sup>15</sup> ニューパナマックス、ネオパナマックス、オーバーパナマックスなどとも呼ばれることがある。

また、パナマックスの中でも、ボーキサイトの積み出し港として有名なギニアのカムサー  
ル港に入港可能な、全長 229m に抑えられたタイプは、カムサマックスと呼ばれている（6  
章）。とはいえ、積荷に関しては、カムサマックスであっても、ボーキサイト専用ではない。  
例えば、カムサマックスを主力製品とする常石造船では「石炭だけでなく穀物、鉄鉱石など多  
様なばら積み貨物の搭載を可能にする設計で、高い輸送効率と汎用性を実現しています」<sup>16</sup>  
と述べているように、多様な積荷（したがって多様な航路）を想定した設計がなされる。

100,000DWT 以上のものは、ケープサイズと呼ばれている<sup>17</sup>。貨物を満載したときにパナ  
マ運河やスエズ運河、マゼラン海峡を通航できない大型船は、南アフリカの喜望峰（Cape  
of Good Hope）かホーン岬を經由して太平洋、大西洋、インド洋の間を行き来する。喜望  
峰に由来してこの呼称が用いられている。ケープサイズのばら積み船の主な輸送貨物は、鉄  
鉱石や石炭である。他のサイズと比べると、積荷は特化しており、井上（2015d）によると  
93%が鉄鉱石または石炭を専門に運ぶ船であるという。ケープサイズのばら積み船も荷役  
設備は船側になく、港湾側の設備で積み込み、陸揚げが行なわれる（図 3-6）（森田，2015）。

さらに、ケープサイズの中には港湾にあわせて、いくつかのタイプに細分化されることがあ  
る。例えばフランスのダンケルク港の制限にあわせて全長 289m、全幅 45m としたダン  
ケルクマックス、世界最大の石炭積み出し港であるオーストラリアのニューキャッスル港  
の制限にあわせて全長 300m、全幅 47m としたニューキャッスルマックス、瀬戸内海に多  
くある製鉄所のバースにあわせて全長 300m、全幅 50m、喫水 18.2m とした瀬戸内マック  
スなどがある（井上，2015d；森田，2015）。また、オーストラリア西部の鉄鉱石積み出し  
港の入港制限にあわせた鉄鉱石専用船である 250,000DWT 級の「WOZMAX」（全長 330m、  
全幅 57m、喫水 18m）もケープサイズに含まれる。さらには、ブラジルの鉄鉱石積み出し  
港に合わせた 380,000～400,000DWT 級の鉄鉱石専用船「ヴァーレマックス」（例えば  
380,000DWT 級の 1 番船は全長 362m、幅 65m、喫水 23m）もケープサイズに含まれる。

このように大型のばら積み船の場合、限られた航路と積荷であることが多く、長期的な契  
約で運航されることも多くなる（中村・深澤・武田，2011；池田，2015）。

---

<sup>16</sup> 常石グループホームページ（<https://www.tsuneishi-g.jp/news/press/2015/01/3740>）（2020  
年 11 月 5 日アクセス）。

<sup>17</sup> 最大で 400,000DWT 級 VLOC がある。これはブラジルの資源大手ヴァーレが所有し、ブラ  
ジルとアジア（中国、マレーシア、オマーン）の間で運航している（森田，2015）。

図 3-6 ケープサイズのばら積み船



(出所) 日本船主協会・日本海事センター (2020) p8 より引用

以上をまとめると、60,000DWT 程度までのいわゆるハンディサイズからハンディマックスと呼ばれる比較的小型のばら積み船の場合、多様な貨物を積めるような船殻を持っている。さらに、長尺のパイプなどの鋼材、木材、コンテナなども積めるようになっているものも多い。また、こうした比較的小型のばら積み船の場合、船側に荷役装置（クレーン）を設けることが多い。すると、荷役設備のない港でも貨物の陸揚げ、積み込みが可能になり、輸送する貨物や航路を柔軟に設定できるため、多様な貨物や航路に対応できる。それゆえ、海上輸送需要が伸びていながらも、港湾設備の整備があまり進んでいない新興国への航路に投入するニーズが高い。また、短期あるいはスポット契約による運航が多くなる（中村・深澤・武田，2011）。

一方で、おおむねパナマックス以上の大きさのばら積み船の場合は、比較的、積載できる貨物の種類が限られていることが多い。特にケープサイズ以上になると、中国向け鉄鉱石輸送に依存する傾向がある。また、パナマックス以上のサイズでは、荷役装置を持たないことが一般的である。これにより、クレーンなどを装備するコスト、メンテナンスするコストを削減することができる。こうした比較的大型のばら積み船の場合、貨物の荷揚げ、積み込みは陸上側の荷役設備に依存するため、特定の貨物や航路で運航されることになる。このように、比較的大型船になるほど、船体設計は貨物の積み地、揚げ地の港湾設備に左右される（中村・深澤・武田，2011；井上，2015d；e；森田，2015；商船高専キャリア教育研究会，2016；川崎，2017；造船テキスト研究会，2017）。また、長期契約による運航が多くなる（中村・深澤・武田，2011；池田，2015）。

なお、ばら積み船の航海速力は、一般に時速 13～15 ノット程度である。ばら積み船の場合、一般的に機関室は船尾に位置し、2 ストロークの低速ディーゼルエンジンが使われる（井上，2015d；造船テキスト研究会，2017）。

### 3.2.2 タンカー

本研究では主にばら積み船に焦点を当てるが、主要な船種は他にもある。ここではタンカーについて述べる。

タンカーは、原油、石油製品、化学製品、動植物油などの液体貨物を輸送する船である。

長塚（1998）によると、タンカーが開発される前は、木樽やドラム缶などに液体を入れ、それを一般貨物船に積載していたという。しかし、輸送量の増加に伴い、船殻内部を区画で仕切り、特定の液体貨物を積める構造をもち、ポンプや配管設備を装備したタンカーが開発され、さらに、液体の種類にあわせたタンク構造を持たせた専用船が開発された（長塚，1998）。

タンカーも、ばら積み船と同様に、船殻、居住区、機関室からなる。居住区、機関室ともに船尾部に配置される点も、ばら積み船と同様である。一般的に、航海速度は時速 13～15 ノット程度で運航され、低速の 2 ストロークディーゼルエンジンが用いられる点もばら積み船と同様である（Stopford, 2009）。しかし、乾貨物（ドライバルク）を運ぶばら積み船と、原油や石油製品などの引火性の液体（リキッドバルク）を主に運ぶタンカーでは、船殻内部の構造や、機関室の構造が異なっている（坂井・池田，2002；造船テキスト研究会，2017）。

船殻について、タンクは、海洋の汚染防止のため、カーゴタンク（油槽）、バラストタンクの配置や大きさが IMO（国際海事機関）規則で決められている。さらに、現在のタンカーは二重船殻構造となっている<sup>18</sup>（図 3-7・3-8）。原油タンカー、プロダクトタンカー、ケミカルタンカーとも、一般的に二重船殻構造である（恵美，2010）。

また、タンク内の液体貨物が自由にタンク内を移動するため、船が傾くとそちらに移動して転覆しやすくなるため、多数の隔壁<sup>19</sup>を設けて船の復原<sup>20</sup>性を保つ構造になっている（坂井・池田，2002；井上，2015b）。また、タンクの底部には蒸気を用いた過熱管が装備され、オイルの温度を上げて粘度を下げて荷役しやすくなるようになっている（造船テキスト研

---

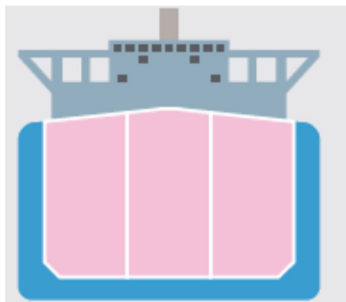
<sup>18</sup> 船殻の外板（船底・船側）が 1 重のものをシングルハル、2 重のものをダブルハルという。シングルハルだと、座礁や衝突などによる損傷が軽微な場合でも、積荷の原油の流出による環境汚染が深刻になりうる。そこで、ダブルハル構造によって、そうした危険性を減らしている（井上，2015b）。川崎（2017）によると、元々、引火性の液体を積むタンカーについては、船底が破れても船の中に液体が入っているので、浸水しない（船が沈没しない）ため、一重底の構造が認められていた。しかし、1989 年のエクソン・バルディーズ号（210,000DWT）の座礁の際、周辺の環境、海洋生物に大きなダメージを与えたことをきっかけに、1992 年に MARPOL 条約（船舶による汚染の防止のための国際条約）が改正され、1996 年以降に建造されるタンカーのダブルハル化が義務化された（川崎，2017）。その後、シングルハルのタンカーについては、原則、船齢 25 年で廃止され、最終使用期限も 2015 年とされた。また、MARPOL 条約締結国は、2015 年以降に、シングルハルのタンカーの入港を拒否する権利を有することとなった。こうした法規制の改正を受けて、現在ではほとんどのタンカーがダブルハルとなっている（井上，2015b；Stopford, 2009；川崎，2017）。

<sup>19</sup> 縦通隔壁で左舷、中央、右舷に 3 分割されているのが一般的である。長さ方向は載貨重量により異なるが、例えば 240,000DWT 級だと 5 つ程度に分割され、15 個ほどのタンクとなるとされる（坂井・池田，2002）。

<sup>20</sup> 船が傾くと、船隊に働く浮力の作用点が移動して、船に働く重力の作用線と浮力の作用線がずれ、船を直立状態に戻そうとする回転力が生まれる。これを復原力という（池田 2017a）。

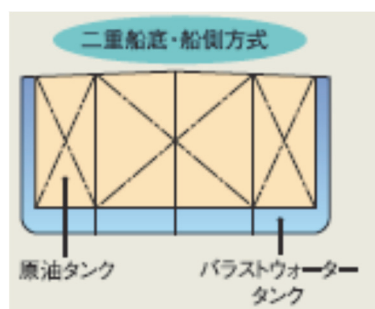
究会，2017)。

図 3-7 タンカーの船殻部の断面形状



(出所) 日本船主協会・日本海事センター (2020) p 7 より引用

図 3-8 タンカーのダブルハル化



(出所) 日本造船工業会 (2006) p7 より引用

さらに、基本的に、タンカーは産油国から消費地には積荷を満載するが、消費地から産油国に向かうときは空荷である。空荷でも安全に運航できるようにバラストタンクの設置<sup>21</sup>が国際条約で定められている (井上，2015b)。

タンカーは、陸から船への積み荷、船から陸への揚げ荷のどちらの場面でも、陸側のパイプと船側のパイプを結合する<sup>22</sup>。陸から船への積み荷の際は陸側のポンプ、揚げ荷の際は船側のポンプが用いられる (井上，2015b)。船側のポンプは、機関室前部にあるポンプルーム

---

<sup>21</sup> そのため、消費地から産油地に向かう際、浮き上がるのを防ぐためにバラストタンクに海水を注入して、運航可能な喫水まで沈める。そのバラスト水は、産油国で石油を積む前に排出される。このとき、フィルターで除去しきれない微生物が、外来生物として生態系を破壊するという問題があり、2004年にバラスト水管理条約が採択され、バラスト水の使用を最小限にすること、最も近い陸地から200海里以上離れた水深200m以上の水域でバラスト水を交換することなどが定められた (井上，2015b；Stopford, 2009)。

<sup>22</sup> 原油タンカーの場合、港外のシーバースで荷役が行われることが多い。陸から離れた海上であるため、火災の危険性が少なくなる (井上，2015b)。

に設置される<sup>23</sup>。送油パイプは、大量に送油できるメインラインが使用され、加えて残油をさらうストリップラインも備えられており、計 2〜3 本の送油パイプがあることになる（坂井・池田，2002；井上，2015b）。また、バラストタンク用の独立したバラストラインがあり、水と油が混ざらないようになっている（坂井・池田，2002；井上，2015b；造船テキスト研究会，2017）。また、タンクには修理や検査、あるいは荷揚げ時にタンク内を洗浄する洗浄装置が装備されている（坂井・池田，2002）。

機関室に関しては、船尾に配置される点、低速の 2 ストロークディーゼルエンジンが用いられる点では、ばら積み船と同様である。しかし、機関室内の配置や構成は大きく異なる。可燃性の液体を運ぶため、液体から発生する気体が機関室に入り込まないように、機関室はオイルタンクより後方に配置される。タンクと機関室の間には隔壁があるが、機関室側の配置は、隔壁の直後のあたりに、空き区画、ポンプルーム、燃料油がくる（井上，2015b）。さらに、イナートガス（不活性化ガス）システム（後述）なども機関室内に設置される（井上，2015b；造船テキスト研究会，2017）。荷役などのために、蒸気を作るボイラーもばら積み船よりも大型のものが必要となる（造船テキスト研究会，2017）。こうしたことから、一般的にタンカーの機関室は、ばら積み船よりも部品点数が多くなりやすく、複雑な構造になる。

また、積荷のオイルや、空荷時の原油の残りかすによるガスは引火の危険性がある。そこで、ボイラーの排ガスを利用して、イナートガス（不活性化ガス）をオイルタンク側に送り込む装置<sup>24</sup>が設置されている。これにより、オイルタンク内から酸素がなくなるため、爆発する危険性がなくなる（坂井・池田，2002；井上，2015b）。こうした機器類が機関室内に配置される点が、ばら積み船と異なる部分である。

主なタンカーには、原油タンカー、プロダクトタンカー、ケミカルタンカーがある<sup>25</sup>。原

---

<sup>23</sup> 坂井・池田（2002）によると、ポンプルームには複数種のポンプ（メインポンプ、ストリップポンプ（往復動ポンプ）、エダクター（原油を高速で噴射するジェットポンプ）、バラストポンプ）、パイプラインを切り替えるためのバルブ類がある。メインポンプは揚げ荷用で、蒸気タービン駆動で毎分 1000 回転以上の渦巻ポンプが使われる。例えば、VLCC では、1 時間に 4000〜6000m<sup>3</sup> 能力のメインポンプが 3〜4 台設置される。渦巻ポンプは油面が低下すると使えないため、残油をさらう別のポンプもある。さらに、最近の VLCC では原油を高速で噴射するエダクター、往復動ポンプがある。バラストポンプにも渦巻きポンプが用いられ、さらうのにはエダクターが用いられる。

<sup>24</sup> 坂井・池田（2002）によると、「排気ガスの冷却装置、すすや硫黄燃焼物を除去する装置（スクラバー）、湿気を除去する装置（デミスター）、ガスをタンクへ送る送風機、タンク内から石油ガスが機関室に逆流するのを防止する装置などからできている」（同書 p47）という。

<sup>25</sup> 他にも濃縮オレンジジュースを運ぶタンカーもある。これは、マイナス 10℃ に保たれたタンクを持ち、主にブラジルから運ばれる。タンカーが埠頭に着桟すると、ジュースフレキシブルホースと地化パイプラインを経由して、ターミナル側にあるタンクにジュースが送られる

油タンカーは油田で掘削された原油を製油所まで輸送する。プロダクトタンカーは、製油所から消費市場近くまで石油製品を運ぶ。ケミカルタンカーは、ベンゼンやトルエンやアルコールや硫酸などの無機質化学品、動植物油などを運ぶ。以下、この3種類のタンカーを概観する。

#### <原油タンカー>

原油タンカーは、原油を産油国（中東、ロシア、ベネズエラ、西アフリカ）から世界各国の製油所や備蓄基地に向けて輸送する役割を担う。海洋の汚染防止、航海や荷役の安全性、製油所の処理能力<sup>26</sup>、貯蔵設備の容量などの観点から、一度に大量に輸送するニーズは強いが、港湾の喫水制限などを考慮して最適なサイズが選択される。一般的に、他の船種よりも比較的大型の船が主流となっている。一般的に、原油タンカーは、載貨重量トン数によって、主に VLCC（Very Large Crude Oil Carrier）、スエズマックス（Suezmax）、アフラマックス（Aframax）<sup>27</sup>、パナマックス（Panamax）に分けられる。

パナマックスは、50,000～80,000DWT、最大喫水は 12m 程度、全幅 32.2m である（井上，2015b；光田，2015）。これらは近距離航路で使われることが多く、黒海、北海、カリブ海、東シナ海、南シナ海、地中海などで使われている（光田，2015）。80,000～120,000DWT のものがアフラマックスと呼ばれ、最大喫水は約 15m 程度、全幅が 42m であることが多い（井上，2015b；光田，2015）。石油輸出国機構（OPEC）非加盟国の石油輸出国だと、石油の輸出港や運河が小さく、VLCC など大型船が使えない場合は、こうしたサイズの船が使われる（坂井・池田，2002；井上，2015b；光田，2015）。

スエズマックスは、スエズ運河を通航しうる最大船型という意味で、100,000～200,000DWT、最大喫水は 18m<sup>28</sup>のものを指す。ただし、運河にかかるスエズ運河橋の高さが 70m であるため、喫水上部の高さが 68m に制限されている。西アフリカから欧米諸国、

---

（井上，2015b；日本ジュース・ターミナル（<http://www.fcoj.co.jp/products/system.html>）2019 年 8 月 20 日アクセス）。

<sup>26</sup> 製油所の処理能力は、小規模な製油所で 1 日 10 万バレル、大規模な製油所は 1 日 60 万バレル程度である。積載容量が約 200 万バレルの VLCC を使っても、小規模な製油所で 20 日に 1 回、大規模な製油所では 3.3 日に 1 回は輸送する必要がある（光田，2015）。こうしたことから、1 度に大量に輸送することが求められやすい。

<sup>27</sup> AFRA とは、Average Freight Rate Assessment の略。1954 年 4 月から、ロンドン・タンカーブローカーが作成しているタンカーの運賃指数である。79,999DWT の約 50 万バレルの油を運ぶことができるタンカーが慣用的に「アフラマックス・タンカー」と呼ばれるようになった。現在では、名前の由来に関わらず、通常、80,000DWT～120,000DWT のタンカーを指す（光田，2015；Stopford, 2009）。

<sup>28</sup> 2010 年にスエズ運河が浚渫され、喫水 21m の VLCC も通航可能になった（池田，2015；井上，2015b）。



黒海から欧米諸国など、中距離航路に就航することが多い(坂井・池田, 2002; 光田, 2015)。

VLCC は 200,000DWT 以上、最大喫水 21m<sup>29</sup>であり、全長は 320~330m 程度、全幅は 50~60m 程度となる(図 3-9)。原油の積載能力では約 200 バレルある。さらに、VLCC の中でも 300,000DWT 以上となるものを ULCC (Ultra Large Crude Oil Carrier) と呼ぶこともある<sup>30</sup>。VLCC は中東からアジアや欧米、西アフリカからアジアやアメリカといった長距離航路が主要な航路となっている(坂井・池田, 2002; 光田, 2015)。

原油タンカーの場合、製油所を持つ買い手(輸入者)の石油会社が輸入側の港(仕向港)までの輸送費用を負担する場合(本船渡し(FOB: Free on Board))で、その石油会社が輸送を手配する。この場合、石油会社は輸送の安定化のため、必要な船腹の半分以上(50~80%程度)を自社保有あるいは長期用船する(光田, 2015)。産油国(売主)側が運賃を負担する条件で石油会社が原油を買う場合(運賃込み(CFR: Cost and Freight))、産油国側の石油生産会社が船を手配し、製油所や備蓄基地まで輸送される。この場合、産油国の石油生産会社あるいは国営のタンカー運航会社が一定のフリート(船隊)をそろえる(光田, 2015)。オイルメジャー(国際石油資本)は、産油国の採掘権を持ち、同時に世界各国に自社の製油所を持ち、自社内で原油を輸送するが、この場合も、一定数の原油タンカーを保有あるいは長期用船する(光田, 2015)。このように、原油の輸送では、いずれの場合でも、原油タンカーは自社保有あるいは長期用船が主になる。その上で、季節変動などによる不足分については 1 航海ごとの輸送契約(スポット契約)で補完する形がとられる(光田, 2015; Stopford, 2009)。

図 3-9 VLCC 原油タンカー



(出所) 日本船主協会・日本海事センター (2020) p7 より引用

<sup>29</sup> 原油を満載してマラッカ海峡を通過できる最大喫水が 21m である。マラッカマックスと呼ばれることもある。ULCC などこれよりも喫水が深い船はロンボク海峡を迂回する(坂井・池田, 2002)。

<sup>30</sup> 井上 (2015b) によると、ULCC 級だと、停船状態からフルスピード(毎時 14 ノット)程度に到達するのに 1 時間以上、逆にフルスピード状態でエンジンを停止してから停船までに 1 時間以上かかる(距離は 10km 以上進む)。また、井上 (2015b) によると、入港して係留する際は、3000~4000 馬力程度のタグボート 4、5 隻が必要であったり、着栈の際は船の重量が大きいために、毎秒 5cm 以下のスピードにしないと栈橋やフェンダーを破壊するという。



#### ＜プロダクトタンカー＞

プロダクトタンカーは、製油所で原油から精製された石油製品を輸送する。プロダクトタンカーには、ナフサ、ガソリン、灯油、軽油を運ぶクリーンプロダクトタンカーと、重油を運ぶダーティプロダクトタンカーがある（井上，2015b；造船テキスト研究会，2017）。

クリーンプロダクトタンカーは、それぞれ少量の製品を多種類輸送することが多いことと、異なる製品が交ざらないように、タンクの区画、ポンプの台数が原油タンカーより多い。また、製品がさびで汚れないように、タンク内は全面がさび止め塗装される（造船テキスト研究会，2017）。一方のダーティプロダクトタンカーは、タンクの区画やポンプの台数、タンク内が無塗装であることも原油タンカーに近い<sup>31</sup>（造船テキスト研究会，2017）。

光田（2015）によると、一般的にプロダクトタンカーは、製油所で生産された石油製品のうち、ある国や地域で余剰な製品を不足している国や地域へ輸送したり、製品価格差が地域間で生じたときに、裁定取引による利益獲得を図った製品取引に伴う輸送に使われるという。このため、大量輸送の需要が少ないので、原油タンカーと比べると小型であることが多くなる（図3-10）<sup>32</sup>。プロダクトタンカーの主なサイズには、LRⅡ型、LRⅠ型、MR型がある。LRⅡ型は 90,000～110,000DWT 程度で原油タンカーのアフラマックス相当のサイズ、LRⅠ型は 60,000～80,000DWT 程度で原油タンカーのパナマックス相当のサイズ、MR型は 30,000～50,000DWT 程度である（光田，2015）。

また、プロダクトタンカーは、余剰製品の輸送や、それにより裁定取引を行うために使われるため、原油タンカーと比べると市場参加者は多様で、産油国や精製国の石油会社、商社、トレーダー、オイルメジャー、石油化学会社などである（光田，2015）。航路も一定ではなく、石油製品に対応した港であれば就航する可能性がある。このため、原油タンカーのように限られたプレーヤーの固定船腹による輸送ではなく、多様な市場参加者によるスポット用船が一般的となる。よって、船主や海運会社は、臨機応変に船を用意することができる船隊を整備しておくか、他社との共同運航などによって、様々な石油製品の取引を組み合わせることで効率よい配船を行うことが必要とされる（光田，2015）。

---

<sup>31</sup> 最近では、原油タンカーの中の一部にプロダクトを積めるようにしたものもある。

<sup>32</sup> ただし、大型船が全くないわけではなく、最大で 160,000DWT のプロダクトタンカーもある（井上，2015b）。

図 3-10 プロダクトタンカー



(出所) 日本船主協会・日本海事センター (2010) p17 より引用

#### ＜ケミカルタンカー＞

ケミカルタンカーは、液体の化学物質を運ぶためのタンカーである (図 3-11)。例えば、井上 (2015b) は、石油化学品 (ベンゼン、トルエン、キシレンなど)、硫酸などの無機質化学品、動植物油、アスファルトや硫黄など高温溶融貨物を挙げている。これらの貨物に対して、基本的に特定の積荷に特化した設計が行われ<sup>33</sup>、タンク内の塗装は積み荷によって異なる材料が使われる。井上 (2015b) によると、積み荷の性質、一回に運ぶ貨物量、寄港地のターミナルの制約などにより他のタンカーよりも小型で、10,000DWT 以下のものが世界で 3 分の 1 程度を占めているとされる<sup>34</sup>。

図 3-11 ケミカルタンカー



(出所) 日本船主協会・日本海事センター (2010) p 16 より引用

### 3.2.3 コンテナ船

つづいて、主要な船種であるコンテナ船についても説明を加える。コンテナ船<sup>35</sup>は、陸上

---

<sup>33</sup> 40,000DWT 程度のケミカルタンカーだと、タンクの区画を 30～45 個程度に細かく分け、多数の種類の製品を同時に積載できるようになっているものもある (造船テキスト研究会, 2017)。

<sup>34</sup> ケミカルタンカーとしては大きめのものでも 30,000DWT～40,000DWT 程度であるという (井上, 2015b)。

<sup>35</sup> 本節ではリフトオン・リフトオフ式のコンテナ船について説明する。コンテナ船にはリフト

輸送で利用されていたコンテナを、海上輸送にも利用したものである。一般的に海上輸送用のコンテナのサイズは、長さ 20 フィート (6.906m)、幅 8 フィート (2.438m)、高さ 8 フィート (2.438m) または 8 フィート 6 インチ (2.591m) の規格のコンテナを船殻や甲板上に数段重ねで積載して輸送するものである<sup>36</sup> (商船三井, 2018)。コンテナ船では、一般的に積載能力は載貨重量トン数ではなく、TEU (Twenty feet equivalent unit) という 20 フィートコンテナ換算の積載個数の単位で表す<sup>37</sup>。

このコンテナの中に製品、原材料、部品、雑貨など様々な貨物をまとめて入れる<sup>38</sup>ため、荷役が簡単にでき、雨中でも荷役が可能であることから定期船として普及した (臼井, 2013a; 渡辺, 2015)。コンテナ船登場以前、多種多様な乾貨物の商品を箱詰めしたり、木枠を組むなどの梱包を行った上で一般貨物船に積み込んでいたが、貨物量と種類の増大により、荷役効率の改善が必要となっていた (長塚, 1998)。そこで、陸上輸送で用いられていたコンテナを活用することが考案され、クレーンなどの荷役設備を備えたコンテナ船専用の港湾の整備も進み、陸上輸送と海上輸送のインターフェースの標準化が図られた (武

---

オン・リフトオフ式 (Lift on/ Lift off) とロールオン・ロールオフ式 (Roll on/ Roll off) がある。リフトオン・リフトオフ式は、コンテナを陸上または船上の荷役装置を使って積載、陸揚げする。一般に、コンテナ船と呼ぶ場合、この方式を指すことが多い。ロールオン・ロールオフ式は、フォークリフトやトレーラーを用いて、船尾あるいは船側のランプウェイからコンテナを積み込む方式である。スペース効率はリフトオン・リフトオフ式に劣るが、陸上の荷役設備を簡単にできたり、コンテナ以外にも自動車などを積める利点がある (坂井・池田, 2002; 造船テキスト研究会, 2017)。

<sup>36</sup> 海上輸送のコンテナは ISO で規格化されているが、貨物の増加と多様化により、コンテナの種類は増えている。20 フィート型の他に、40 フィート型 (長さ 40 フィート×幅 8 フィート×高さ 8 フィート 6 インチ) もある。近年では、45 フィート型 (長さ 45 フィート (13.716m) ×幅 8 フィート×高さ 8 フィート) や、高さ 9 フィート 6 インチ (2.891m) の背高コンテナもある。海上コンテナの総重量は、20 フィートタイプで約 17,900~20,320kg である。コンテナの自重は、20 フィートタイプで 1,700kg、40 フィートタイプで 4,000kg である (井上, 2015a)。

<sup>37</sup> 40 フィートコンテナ換算の FEU (Forty feet equivalent unit) の単位を用いることもある。

<sup>38</sup> 海上輸送用のコンテナは、用途によって数種類ある。ドライコンテナは、衣類や電気製品のような一般貨物、自動車部品、電気製品を入れる。冷凍冷蔵コンテナ (リーファー) は、果物、食肉、アイスクリーム、化成品などを入れる。各コンテナに温度を維持できるような冷凍、冷蔵機能がついている。フラット・ラック・コンテナは、屋根、側面、扉のないコンテナで、大型機械や大型車両を入れる。コンテナヤードで上からも横からも中に貨物を搭載できる。フラット・ラック・コンテナを数個並べてヘリコプターを積むことも可能である。タンク・コンテナは、タンクを鋼材で枠組みした構造で、原酒、ワイン、醤油など液体状の食料品や、液体状の化学薬品を入れる (坂井・池田, 2002; 井上, 2015a; 渡辺, 2015; 商船三井, 2018)。

石・高梨, 2001)。坂井・池田 (2002) によると、コンテナ船は元々、1966 年にアメリカのシーランド社が世界初のコンテナ船サービスを北米・欧州間で開始し、日本では 1968 年に日本郵船が日本・北米間でコンテナ船を就航させ、現在では定期船が主力となっている。このように、コンテナを利用することにより、雨中の荷役が可能になり、貨物を積む港も陸揚げする港もコンテナ船専用であることが多く、運航が比較的安定することから、定期船が主力となっている (臼井, 2013a; 渡辺, 2015)。

コンテナ船の輸送システムはハブ・アンド・スポーク方式となっている (井上, 2015a; 渡辺, 2015)。航路としては、大型のクレーン (ガントリークレーン) やコンテナ置き場 (コンテナヤード) が整備されたコンテナ埠頭を持つ基幹港湾 (ハブ港) の間を結ぶ路線と、そうしたハブ港から近隣の国、地域の港湾を結ぶフィーダー路線がある (井上, 2015a)。ハブ港としては、例えば、井上 (2015a) は、ロッテルダム、コペンハーゲン、シアトル、オーランド、ロサンゼルス、シンガポール、香港、上海、高雄、釜山を挙げている。さらに、上海や釜山から日本の地方の港の路線はフィーダー路線と呼ばれる (井上, 2015a)。一方、日本でも比較的大きな港である横浜や神戸などは、コンテナ埠頭の整備、拡張を進めている (池田, 2009; 池田, 2017b; 井上, 2015a)。例えば、横浜港は 2019 年 3 月に 20,000TEU 級の大型のコンテナ船が入港できるように、水深 18m、3 基の大型のガントリークレーンを設置し、5 月にはコンテナ船運航最大手のデンマークの A・P・モラー・マースクの 14,000TEU 級のコンテナ船が就航した (神奈川新聞 2019 年 5 月 20 日)。

世界の主要航路については、アジア・北米間、アジア・欧州間、欧州・北米間が「東西基幹航路」と呼ばれている。また、アジア域内には多数の航路があり、荷動き量は大きくなっている (渡辺, 2015; 池田, 2017b)。

コンテナ船の大きさについては、1960 年代では 750TEU 程度が主流だった。その後、パナマ運河を通行可能なように幅 32.2m 以下、積載能力で 1,000TEU~3,000TEU のものが主流であったが、近年では 3,000TEU 以上のものが増えている。さらに近年では 10,000TEU 以上のものも就航しており (図 3-12)、20,000TEU 以上<sup>39</sup>の船も登場している。このように、とくにハブ路線用のコンテナ船が大型化しているのは、コンテナ 1 つあたりの輸送コストを抑えたり、船会社の船隊数を減らして効率を上げることなどがあるとされる<sup>40</sup> (坂井・池田, 2002; 渡辺, 2015)。ただし、そのためには受け入れる側の港湾の荷役設備の大型化や喫水の拡大なども必要になる (臼井, 2013a; 上野, 2016; 池田, 2017b)。また、コンテナ

---

<sup>39</sup> 2017 年 3 月にサムソン重工で竣工した、商船三井の「MOL Triumph」が世界で初めて 20,000TEU を超えた。この船は全長 400m、全幅 58.8m となっている (商船三井ホームページ (<https://www.mol.co.jp/pr/2017/17020.html>) 2019 年 8 月 21 日アクセス)。

<sup>40</sup> 海運会社 (あるいはそのコンテナ船事業) の提携 (アライアンス) の拡大や合併が盛んになり、アライアンスや合併企業全体で、従来の比較的小さなコンテナ船からより大型のコンテナ船に切り替える動きがある。

を船倉に入れるための開口部をできるだけ広くとるために甲板が狭くなったり、積載効率を上げるために縦通材を廃したりすることで、強度面で厳しくなりがちである<sup>41</sup>（池田，2008）。加えて、荷崩れ防止のために、横揺れを防ぐ装置（フィン・スタビライザー、減揺水槽（アンチローリングタンク）など）が装備されることもある（井上，2015a）。このように、コンテナ船の場合、受け入れる港湾も、船そのものも、船体の大型化に伴う対策が必要になってくる。

図 3-12 コンテナ船（13,900TEU）



（出所）日本船主協会・日本海事センター（2020）p6 より引用

渡辺（2015）にしたがって、コンテナ船をサイズで分類<sup>42</sup>すると、主に沿岸航路用の 1,000TEU 未満、近海航路用の 1,000TEU 以上 3,000TEU 未満、遠洋航路用の 3,000TEU 以上に分けられる。さらに遠洋航路用については、3,000 以上 5,000TEU 未満はパナマックス、5,000TEU 以上 8,000TEU 未満をポストパナマックス、8,000TEU 以上をスーパーポストパナマックスと呼ばれている。このなかでも特に、14,000TEU 級の船は、パナマ運河拡張工事を見据えて開発された（渡辺，2015）。

コンテナ船も、船殻、居住区、機関室からなる。機関室、居住区の配置は、ばら積み船やタンカーと異なることがある。ガントリークレーンを甲板に搭載しているような小型船の場合は機関室、居住区ともに船尾にある。一方で、船にそうした荷役装置を持たない、比較的大きなコンテナ船になると、機関室は船尾のままで居住区を前方に、あるいは居住区と機関室両方を船尾よりやや前方や中央部に配置させる場合もある。これは、甲板上にもコンテナを積み上げるため、前方視界を確保するためである。このような場合は、居住区、機関室

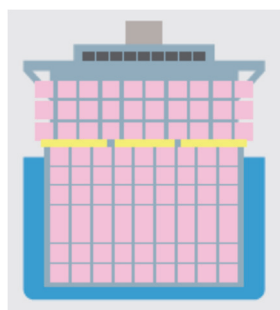
<sup>41</sup> 高張力鋼板の採用など、材料の工夫によっても強度を補われることがある。

<sup>42</sup> Stopford（2009）では、499TEU 以下の船をフィーダー船、500～999TEU の船をフィーダーマックス、1,000～1,999TEU の船をハンディ、2,000～2,999TEU の船をハンディなしサブ・パナマックス、3,000～3,999TEU の船をパナマックス、4,000～4,999TEU の船をポストパナマックス、6,000TEU 以上の船を VLBC（Very Large Box Carrier）と呼んでいる。また、Stopford（2009）によると、2006 年に、フィーダー船の 29%、フィーダーマックスの 48%、ハンディの 53%、サブパナマックスの 43%が荷役装置を備えているのに対し、パナマックスでは 9%にとどまり、ポストパナマックスと VLBC では荷役装置を備えた船はなかった。

の後方にも、コンテナを積載するスペースが設けられる（坂井・池田，2002；恵美，2010；井上，2015a；川崎，2017；造船テキスト研究会，2017）。

コンテナ船の船殻は、二重船殻（ダブルハル）構造になっている（図 3-13）。その中の船倉はセルガイドと呼ばれる鋼鉄製のレールが垂直に設置されており、これに沿ってコンテナが搭載される（セルラー・ホールド）。このセルガイドは、航行中の荷崩れ防止の機能も持つ。さらに、コンテナの間隔が狭いため、荷役を容易にするために、上に向かって広がった形状のレールがついている（エントリー・ガイド）（坂井・池田，2002；井上，2015a）。高速化のために、船体の水線より下は流線型になっており、直方体であるコンテナを積載すると、無駄なスペースが生まれる（坂井・池田，2002）。さらに、コンテナは艀口の直下には積載できないので、船側との間や艀口と艀口の間にも無駄なスペースが生じる。このため、船倉の開口部をできるだけ広くとり、積載効率を上げるために船底までまっすぐな形状になるようにしている（坂井・池田，2002；井上，2015a）。また、甲板上にもコンテナが積載される<sup>43</sup>。これには、甲板上の突起物（ポジショニング・コーン）にコンテナをはめ込み、そのコンテナの上に金具を取り付けてさらにコンテナを積み上げるタイプと、甲板上にもセルガイドを設けているタイプがある（坂井・池田，2002；井上，2015a）。また、甲板上には固縛作業を行う足場（ラッシング・ブリッジ）が設けられる（坂井・池田，2002；恵美，2007；井上，2015a；池田，2017b）。

図 3-13 コンテナ船の船殻部の断面形状



（出所）日本船主協会・日本海事センター（2020）p6 より引用

荷役装置の有無は船舶のサイズによって異なる。小型船は荷役装置が船側にあることが多く、大型船になるほど船側に荷役装置を備えず、荷役は港湾側の設備<sup>44</sup>で行われる（恵美，2010；Stopford, 2009）。大型船の場合、港湾側のガントリークレーンでコンテナを吊った状

<sup>43</sup> 6 段程度積み上げるのが一般的になっている（池田，2009）。

<sup>44</sup> 陸上の荷役設備には、岸壁上に置かれたコンテナを移動させたり、トラックに積み込んだりする機械、コントロールセンターなどがある。大規模なコンテナ埠頭ではこうした設備が整備されている（井上，2015a）。

態で甲板上を移動することで、積み込み、陸揚げを行う。ガントリークレーンの背後にはコンテナヤードがあり、コンテナが保管される。このため、大型船に対応したコンテナ埠頭には、50m 以上のリーチ、40m 以上の高さのガントリークレーンがあることが多い（井上，2015a；池田，2017b）。一方で、フィーダー路線に就航しているような小型船の場合は、ガントリークレーンを甲板上に設けているものも多く、これによりコンテナの積み込み、陸揚げを行う（坂井・池田，2002）。

次に、コンテナ船の機関室について述べる。コンテナ船は、主に定期船で用いられるため、貨物船の中では最も運航速度が速い船種である（いよぎん地域経済研究センター，2007；井上，2015a）。より詳細に見ると、大型船の方が速度は速い傾向がある。これは、前述のように、コンテナ船による海上貨物輸送がハブ・アンド・スポーク方式のような形態となっており、ハブ港の間を結ぶ航路と、そこから周辺国、地域を結ぶ近距離の航路がある（フィーダーサービス）。大規模な間の長距離航路では大型船が使用されることが一般的であり、航海時間を短くすることにより、輸送サービスを提供するのに必要な隻数を減らすことができる。逆に、近海、沿海航路の寄港回数の多い近距離輸送（フィーダーサービス）の場合、大型のクレーンがなかったり、コンテナをストックするスペースがあまり広くない港であることも多い。そうした航路では一般的に 2,000TEU 以下の小型のコンテナ船が用いられるが、こうした小型船では速度の重要性は低い。例えばフィーダー船と呼ばれる 499TEU 以下の船は平均 14.0 ノット、500～999TEU の船が平均 16.8 ノットである（Stopford, 2009）。一方で、Stopford（2009）によると、2,000～2,999TEU の船が平均 19.0 ノット～21.2 ノット、3,000～3,999TEU の船が平均 22.5 ノット、4,000～4,999TEU の船が平均 24.5 ノット、6,000TEU 以上の船が平均 25.2 ノットである。

コンテナ船の機関室は、小型船の場合は船尾に配置されるが、1,000TEU を超える船では船尾からやや前方（全長に対して 1/3～1/4 程度）のところに配置されることもある（井上，2015a）。8,000TEU 以上の大型船の場合、視界確保のために居住区は前方に、機関室は船尾と、両者の位置が離れることが多い（井上，2015a）。コンテナ船の主機も、低速の 2 ストロークディーゼルエンジンが使われる。しかし、運航速度がばら積み船やタンカーよりも速いため、シリンダー数が例えば 12 シリンダー<sup>45</sup>、10 万馬力程度と、より大型で出力の大きなエンジンが使われる。この主機とプロペラは、1 軸で直結している（井上，2015a；川崎，2017）。

### 3.2.4 液化ガス運搬船（LNG 運搬船・LPG 運搬船）

液化ガス運搬船（ガスキャリア）も主要な船種のひとつである。液化ガス運搬船には、主

---

<sup>45</sup> 例えば、250,000DWT 級のばら積み船の WOZMAX や 300,000DWT 級の VLCC 原油タンカーでも 7 気筒程度である。

に LPG（液化石油ガス）運搬船と LNG（液化天然ガス）運搬船の 2 種類がある。どちらも液化したガスを運搬する船である。こうした液化天然ガス船のサブシステムは、船殻、居住区、機関室からなる。居住区、機関室の配置は船尾部にあるのが一般的である（恵美, 2010；川崎, 2017）。

### <LNG 運搬船>

LNG 運搬船のサイズについては、就航する航路に対応していくつかのタイプに分類される。日本郵船 LNG 運航研究会（2006；2015）によると、75,000m<sup>3</sup> 級の地中海マックス（35,500DWT、54,000GT、全長 237m・幅 36m・深さ 21.5m・喫水 9m）、150,000m<sup>3</sup> 級の東京湾マックス（72,000DWT、100,000GT、全長 288m・幅 43.5m・深さ 26m・喫水 11.5m）、165,000m<sup>3</sup> 級の大西洋マックス（82,000DWT、109,000GT、全長 300m・幅 46m・深さ 26m・喫水 11.5m）、177,000m<sup>3</sup> 級の新パナマックス（88,500DWT、全長 300m・幅 48.9m・深さ 27m・喫水 11.5m<sup>46</sup>）、210,000m<sup>3</sup> 級のカタールフレックス（101,000DWT、137,000GT、全長 315m・幅 50m・深さ 27m・喫水 12m）がある。

日本郵船 LNG 運航研究会（2015）によると、以前は東京湾マックスに収まり、125,000m<sup>3</sup> 程度（70,000DWT 級）が一般的であったが、輸送コストの削減を図るために大型化する傾向があり、近年ではより大きな 145,000m<sup>3</sup> 程度が多くなっているという。さらに、近年では、2008 年に三星重工業が竣工した 266,000m<sup>3</sup> 級の「Q-max」を皮切りに、カタールマックス級（約 125,000DWT、全長 345m・幅 53m・深さ 27m・喫水 12m 程度）と呼ばれる大型船が出てきている。これはカタールプロジェクトにあわせ、カタールとイギリスなどの専用ターミナル間で用いられている（日本郵船 LNG 船運航研究会, 2006;2015;井上, 2015c）。

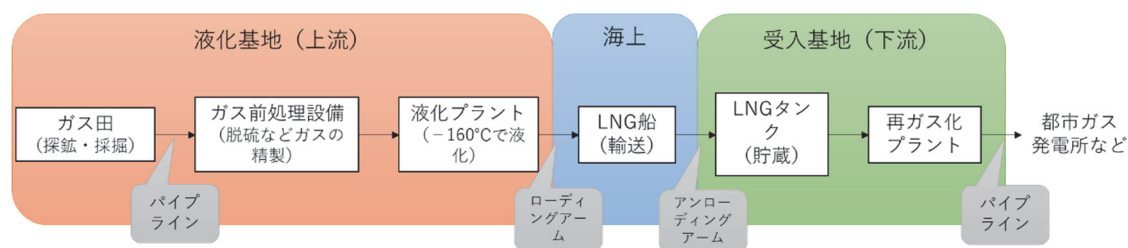
LNG は、産出地の液化設備で体積を約 600 分の 1 にするためにマイナス約 162°C で天然ガスが液化され、消費地まで運ばれる。橋本（2015）によると、LNG の供給網（サプライチェーン）には上流と下流がある。上流は、ガス田の探鉱・採掘、開発（掘削、プラントなど生産設備の建設）、生産（液化、貯蔵）などの事業がある。こうした事業は主にカタール、インドネシア、マレーシア、オーストラリアなどにおいて、産出国国営企業やオイル・ガスメジャー企業が担っている。下流には受入基地があり、貯蔵、再ガス化、輸送・販売などの事業がある。下流の事業の担い手は、日本や韓国や欧米など先進国の電力会社やガス会社が主で、LNG の買い手となっている。上流と下流の間をつなぐのが LNG 運搬船による海上輸送である（図 3-14）（日本郵船 LNG 船運航研究会, 2006；2015；橋本, 2015）。

---

<sup>46</sup> 総トン数（GT）については、出典の日本郵船 LNG 船運航研究会（2015）に記載がなかった。



図 3-14 LNG のサプライチェーン



（出所）橋本（2015）、日本郵船 LNG 船運航研究会（2006）をもとに筆者作成。

LNG の売買契約は一般的に長期契約であり、用船契約も長期となる<sup>47</sup>（日本郵船 LNG 船運航研究会，2006；2015；橋本，2015）。また、超低温の可燃性の液体を輸送するため、タンク内の防熱、圧力管理など高い技術が必要となる（井上，2015c；橋本，2015）。他の船種と比べると船価は高い（3.3 節）（いよぎん地域経済研究センター，2007）。

船殻は二重船殻構造になっており、船殻に取り付けられるタンクの中に液化天然ガスが積み込まれる。備船期間が 25～30 年程度と長いことが多く、船主側は疲労寿命 40 年を想定しており、各船級協会もそれにあわせて 40 年耐用を前提に疲労強度を算出している<sup>48</sup>（坂井・池田，2002；日本郵船 LNG 船運航研究会，2006；橋本，2015）。

LNG を貯蔵するタンクは、形式によって、モス型、メンブレン型、SPB（Self-supporting Prismatic shape IMO type B）型に分かれる。吉識（2007）によると、モス型は、1969 年にノルウェーのモス造船所が開発を開始し、1973 年に初就航させた。その後、日本企業では川崎重工業、三菱重工、三井造船が技術提携を行い、1981 年の川崎重工業による初竣工以降、主に日本のメーカーで生産されている。メンブレン型は、1962 年にノルウェーで開発されたメンブレン（しわ）構造の特許をフランスのガスオーシャン社が取得した方式である（吉識，2007）。その後、1964 年にガスオーシャン社が技術開発会社としてテクニガス社を設立し、1969 年に初めて竣工させた。また、ほぼ同時期にフランスのガストランスポート社が異なる材質のメンブレン方式を開発しており、1971 年に竣工させた。1970 年代、スロッシングによる疲労破壊（後述）などでモス型より不利であったが、材料を変更するなど改良して建造実績を増やした（吉識，2007）。1970 年代まではアメリカやフランスの造船所で採用されていたが、日本では 1993 年に日本鋼管の初竣工以降、三菱重工など一部で生産されている。近年、メンブレン型 LNG 運搬船を盛んに生産しているのは現代重工業や三星重

<sup>47</sup> ただし、近年、LNG の売買取引全体に占めるスポット契約（2 年以内）の取引量が 2 割程度を占めるようになってきている（橋本，2015）。

<sup>48</sup> 主要航路ごとに平均的な海や気象条件を定めておき、各主要航路を適当に按分して疲労強度を算出する。ただし、その前提となる海や気象条件が船級協会によって異なるため、世界的に統一された基準はない（日本郵船 LNG 船運航研究会，2006）。

工業などの韓国企業である。SPB 型は 1982 年に石川島播磨重工が開発した方式で、船殻から独立した方形タンクとなっている（糸山，2012；日本郵船 LNG 運航研究会，2015）。モス型 LNG 船は、タンクは球形で、アルミ合金のタンクの外面に発泡プラスチックやポリウレタンの防熱材が貼られている。船殻から独立したタンク<sup>49</sup>に LNG を閉じ込め、タンクがガスの圧力維持と重量を維持する方式である（図 3-15・3-16）（坂井・池田，2002；吉識，2007；糸山，2012；井上，2015c）。タンクの大きさは、125,000m<sup>3</sup> 級の船に搭載されるもので、直径 40m ほどになる。タンクは、高圧に耐えることと、熱遮断が求められる。長所は、船殻から独立しているために座礁や衝突時の危険性が小さいこと、船体の変形の影響を受けにくいこと、振動による中身の液体がタンク壁面に与える影響（スロッシング）が少なく壊れにくいこと、任意の液量を積載することができることである（坂井・池田，2002；橋本，2015；商船三井，2018）。短所は、船殻部の空間効率が悪いこと<sup>50</sup>、生産工数が多くかかること、甲板上に飛び出た形状のために空気抵抗が大きいこと<sup>51</sup>、トン数（スエズトン数）が大きくなりがちで、通航料や税金が高くなりやすいことである（坂井・池田，2002；吉識，2007；恵美，2010；糸山，2012；井上，2015c；橋本，2015；川崎，2017）。

図 3-15 モス型 LNG 運搬船



（出所）日本船主協会・日本海事センター（2020）p7 より引用

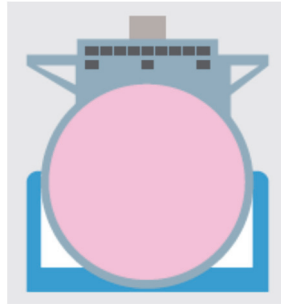
---

<sup>49</sup> 船殻の内側にドリフトトレイと呼ばれる支持台を取り付け、それにタンクを取り付ける。

<sup>50</sup> LNG は原油よりも比重が軽い物質であるため、モス型の LNG 運搬船と原油タンカーを比べると、載貨重量のわりに大きなサイズになりがちである。例えば、70,000DWT 級のタンク容積 125,000m<sup>3</sup> のモス型 LNG 運搬船の全長は 293m、全幅 41.6m、喫水 10.9m 程度となる。この全長・全幅は、原油タンカーだと 130,000DWT 級と同等、喫水は 50,000DWT 級と同等である（坂井・池田，2002）。

<sup>51</sup> この欠点を補うために、球形のタンクをカバーで覆ったさやえんどう型もある（図 3-17）。

図 3-16 モス型 LNG 運搬船の船殻部の断面形状



(出所) 日本船主協会・日本海事センター (2020) p7 より引用

図 3-17 さやえんどう型 LNG 運搬船



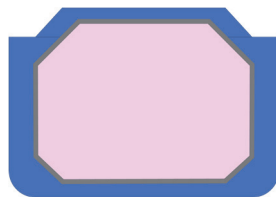
(出所) 国土交通省海事局 (2014) p14 より引用

メンブレン<sup>52</sup>型 LNG 運搬船は、船殻全体で LNG の圧力と重量を受け止める方式である。タンク外壁は船殻内壁と密着しており、薄いタンクは密閉と超低温を維持する機能だけを担い、圧力や重量の支持は船殻が負担する構造であり、タンク自体は薄くできるため重量を低減できる (図 3-18) (坂井・池田, 2002; 吉識, 2007; 商船三井, 2018)。メンブレンのタンクは、材質が熱変化の影響を受けやすいステンレス鋼やニッケル鋼が用いられることが多く、タンクの内側に特殊なしわを作って、温度変化を吸収する。また、船殻のタンクを支持する面に断熱材を張り巡らせる (坂井・池田, 2002; 井上, 2015c)。メンブレン方式の長所は、船殻部のスペース効率が低いこと、甲板上に出るタンク高を低く抑えられ居住区の高さを上げる必要がないため航行中の空気抵抗を抑えられること、悪天候の影響を受けにくいことがある (坂井・池田, 2002; 橋本, 2015; 商船三井, 2018)。また、生産工数もモス型より少なく済む。短所は、外部から保守点検できないこと、振動による内部の液体のスロッシングが起りやすく任意の液量を積載することができないことである (坂井・池田, 2002; いよぎん地域経済研究センター, 2007; 池田, 2015; 井上, 2015c; 橋本, 2015; 川崎, 2017; 造船テキスト研究会, 2017)。

---

<sup>52</sup> もともと薄い膜という意味で、タンクの薄い金属膜を指している。

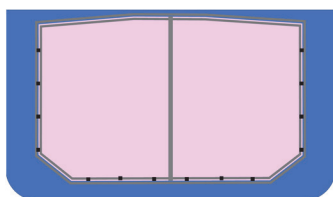
図 3-18 メンブレン型 LNG 運搬船の船殻部の断面形状



(出所) 国土交通省海事局 (2014)、商船三井 (2018) をもとに筆者作成。

SPB 方式は、モス方式と同様に船体から独立した構造をもっている。SPB 方式は、1982 年に石川島播磨重工が開発した。船殻内部にタンクを支える台を設け、それに角形のタンクの点検スペースを確保しながら取り付けられるものである。タンクの内部には縦通隔壁 (中心線隔壁) が設けられており、強度維持とスロッシングの低減が図られている。タンクの材質はモス型と同様にアルミ合金である (図 3-19) (豊田・楠本・渡辺, 2012)。長所は、スロッシングの低減とスペース効率の高さが両立されること、タンクの高さが抑えられ前方視界を確保しやすいこと、甲板を広くできることである。短所は、建造コストが高いことである (吉識, 2007; 橋本, 2015; 造船テキスト研究会, 2017)。

図 3-19 SPB 方式 LNG 運搬船の船殻部の断面形状



(出所) 豊田・楠本・渡辺 (2012)、国土交通省海事局 (2014) をもとに筆者作成。

LNG 運搬船の揚げ荷は、タンク内の電動ポンプを用いて行われる。超低温の液体を扱うので、原油タンカーとは全く異なる特殊なポンプが必要である。航行中に気化するガスは、大規模な設備を要するため、再液化しない。また、産出地から消費地までは LNG を搭載した状態で運航されるが、消費地から産出地までは空荷で運航されるため、船体の安定化と推進効率を下げないために空荷運航 (バラスト運航: バラストタンクに海水を入れ、喫水を沈めた状態での運航) される (日本郵船 LNG 船運航研究会, 2015; 糸山, 2012; 井上, 2015c)。しかし、LNG の比重が軽いため、さほど喫水を深くすることができない。日本郵船 LNG 運航研究会 (2015) によると、138,000m<sup>3</sup> の LNG 運搬船でも満載喫水が 11m、空荷喫水が 9m 程度であるという。

運航速度は、一般的にどのサイズでも毎時 20 ノット程度となっている (Stopford, 2009; 糸山, 2012)。主機は、液化したガスの一部は輸送中に気化するため、その気化した天然ガスを燃料としてボイラーを燃焼させ、そこで発生した蒸気によって駆動するタービンエンジンを備えることが一般的である。また、日本郵船 LNG 運航研究会 (2015) によると、近

年では、LNG も燃料として使うことができるディーゼルエンジン<sup>53</sup>が開発され、LNG と重油の両方を燃料として使う二元燃料ディーゼルエンジン（DFD）や、重油のみを燃料とするディーゼルエンジンも使われるようになってきたり、電気とディーゼルエンジンを組み合わせた推進機関も登場しているという。一般的に地中海マックスや東京湾マックスでは蒸気タービン、大西洋マックスでは4ストロークのDFD、カタールマックスでは2ストロークの低速ディーゼルエンジンが用いられる（日本郵船 LNG 運航研究会 2006；2015）。このように、LNG 運搬船でも低速ディーゼルエンジンが使われはじめているのは、低速ディーゼルエンジンの方が燃費が良いためである。例えば、地中海マックス級に搭載される出力 17,000kw 程度の蒸気タービンは 1 日あたり 120t だが、カタールマックス級に搭載される低速ディーゼルエンジンは出力 35,000kw と 2 倍程度だが、燃費は 1 日あたり 120t 程度で同じくらいである（日本郵船 LNG 船運航研究会, 2006；2015；井上, 2015c；Stopford, 2009；造船テキスト研究会, 2017）。

### <LPG 運搬船>

LPG は家庭用、タクシー用など様々な用途があり、国内輸送需要も盛んであり、小型の内航船も多い。また、LPG の輸送は売り先、積地、揚地、などが不特定な取引も多いため、LPG 運搬船の運用は柔軟性が求められる。

LPG はプロパンあるいはブタンであるが、これを液化した状態で運ぶ。それらの LPG は冷却（プロパンはマイナス約 42 度、ブタンはマイナス 0.5 度）・常圧状態で液化させるか、常温・高圧状態で運ぶか 2 種類があるが、外航に使われることが多い大型船では一般的に前者が用いられ、内航船が主となる小型船では加圧式が使われる。冷却式の場合、防熱剤がタンク内側にあり、表面はステンレスで覆われる。冷却式でも -42℃で液化するので、LNG より技術的には容易である（坂井・池田, 2002；いよぎん地域経済研究センター, 2007；井上, 2015c）。

LPG の輸送も、LNG と同様に密閉された状態で行われる。LPG 運搬船の運航の流れについては、井上（2015c）が次のように説明している。まず、外航船の LPG 運搬船は消費地（日本）から産出地に向かう際、タンクや荷役用パイプの損傷を防ぐため、気化した LPG ガスを満たすことで予冷される。次の産出地での積荷作業では、外気に LPG ガスが放出されないように密閉された状態で、液化ガスが陸から船に積み込まれると同時に、船内の気化した LPG ガスが陸上側に送られる。次に産出地から消費地への航行において、運行中に気化する LPG ガスは、再液化装置で液化してタンクに戻される。次の日本での陸揚げでは、船の各タンクにあるポンプを用いて、陸側に接続したパイプを通じて送られる。このとき、タンク内の圧力が一定になるように、同時に陸上から船に気化ガスが送られる。

LPG 運搬船の船殻は、一重船側、二重船底構造となっている。タンクの形状は、LNG 運

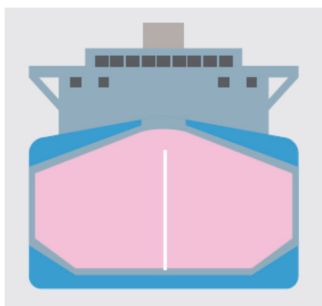
---

<sup>53</sup> 主に 4 ストロークである。

搬船の SPG 方式に近い、独立方形タンクが使われる（図 3-20）。二重船底の上におかれた支持台の上にタンクが設置され、そのタンクの上に甲板がくる構造となっている（吉識，2007；恵美，2010；井上，2015c；造船テキスト研究会，2017）。

主機関は、一般的に 2 ストロークの低速ディーゼルエンジンが用いられる。

図 3-20 LPG 運搬船の船殻部の断面形状



（出所）日本船主協会・日本海事センター（2020）p7 より引用

### 3.2.5 船種に関する小括

ここまで、外航の貨物船として主に用いられる 4 つの船種の特徴を整理してきた。これをまとめると表 3-1 のようになる。船種によって主流となるサイズやその分類は異なっているが、それぞれの船種の中で、相対的に大きい小さいかによって、共通する考え方があることがみて取れた。すなわち、相対的に大型のカテゴリーになるほど、特定の積荷にあわせた船殻の設計となったり、運航できる航路や港湾に限られ、そうした特定の航路や港湾にあわせた船体の設計がなされる。このように、比較的大きいカテゴリーほど特定の用途に合わせた設計がなされる傾向があることがみて取れた。逆に、船種の中で相対的に小型のカテゴリーになるほど、多様な積荷を積み込める船殻設計や、多様な港湾で荷役可能なように荷役装置が装備されたり、いろいろな航路を通航できるような船体の設計になる。このように、それぞれの船種の中で比較的小さいほど、さまざまな用途に対応する汎用性が求められる傾向があることが分かった。

なお、近年ではその中でばら積み船のシェアが最も多くなっている（図 3-21）。ここまで見てきた各船種の特徴を踏まえた上で、本研究では、ばら積み船の設計に着目する。

表 3-1 主な船種と用途

専用船のタイプ	用途と特徴
ばら積み船	<p>一般的に不定期船で用いられる。航行速度は 15 ノット/時程度である。鉱石や穀物などを梱包せずにばら積み状態で運搬する。一般的なばら積み船の船殻は一重で、貨物の流動を防ぐために船殻上部にバラストタンクなどを設けている。鉄鉱石などでは、船殻構造を二重底にし、貨物重量や衝撃に耐えられる構造になっている。比較的小型の船は多様な航路、荷物を想定し、荷役用のクレーンを装備し、設備のあまり整っていない港湾でも荷役が可能になっている。大型船には荷役装置はあまり装備されない。鉄鉱石の運搬などで、不定期でも、比較的限られた航路で運航される。主機は 2 ストロークの低速ディーゼルエンジンが使われる。</p>
タンカー	<p>一般的に不定期船で用いられる。航行速度は 15 ノット/時程度と、ばら積み船とさほど変わらない。多数に区切られた船殻に原油や石油製品、化学製品などの液体を貯蔵・輸送する船である。環境や安全性の観点から、二重船殻構造が義務づけられ、強度と航行の安定性のために縦横方向に区画が分けられる。また、積荷が引火性であることから、船殻と機関室の間もやや複雑な構造となる。他の船種とくらべて比較的大きなサイズになりやすく、とくに原油タンカーでは 30 万 DWT 級の VLCC タンカー (Very Large Crude Oil Carrier) などもある。こうした大型の原油タンカーは限られた運航航路に投入される。石油製品や化学製品については、その時々需要の過不足に対応した運航を行うことがあるため、原油タンカーよりは小ぶりのものが主となり、フレキシブルに運用される。主機は 2 ストロークの低速ディーゼルエンジンが使われる。</p>
コンテナ船	<p>一般的に定期船で用いられる。国際規格のコンテナを運び、陸上輸送と連携している。コンテナの規格は 20 フィートと 40 フィートの 2 種類がある。積載容量は 20 フィートで換算されて、TEU (Twenty Equivalent Unit) 積みで呼ばれる。貨物船の中では最速の専用船で、大型船では 25 ノット/時程度である。1980 年後半までは、パナマ運河の幅に合わせた船幅 32.2m 以下が採用されたが、近年では輸送コストを安くするために幅広船型の採用により大型化が進んでいる。開口部が広い船殻構造で、かつ比較的高速で運航されるために細い船体であるため、大型化にあたって必要な強度を出すことがハードルとなる。ハブ・アンド・スポーク型の輸送システムとなっているが、とくに大型船は大型のコンテナ埠頭が必要になるため、大規模な港の間を結ぶ航路で運航される。小型船は、ハブである大型港から地方へのフィーダーサービスで用いられるため、コンテナ埠頭の設備が十分でないところにも就航できるように、荷役装置を船に備えてい</p>



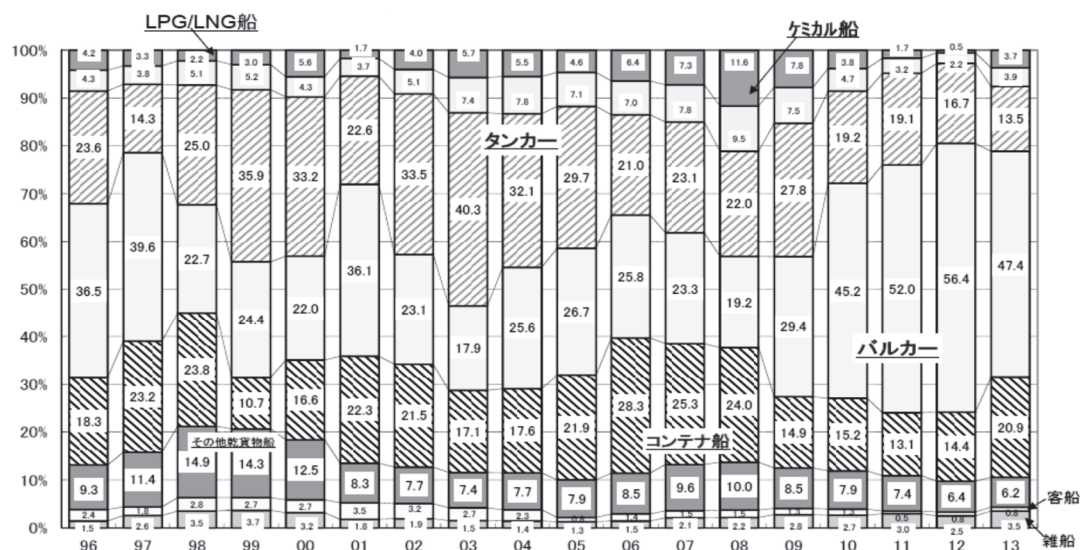
	<p>る。主機は2ストロークの低速ディーゼルエンジンが使われるが、ばら積み船やタンカーと比べると高速運航が可能のように、シリンダー数を増やすなど大出力化が図られる。</p>
<p>液化ガス運搬船(LNG 運搬船・LPG 運搬船)</p>	<p>LNG 運搬船は、不定期船で運航されるが、LNG の取引にあわせた長期用船が主となる。運航スピードは 20 ノット/時程度であることが一般的で、ばら積み船やタンカーよりは速いが、コンテナ船よりは遅い。−162℃で液化した天然ガスを運ぶ。主なタンクの形式は、モス方式とメムブレ方式がある。球形タンクを用いるモス方式は船体から独立した球状のタンクに LNG を閉じ込め、圧力維持と重量を維持する方式である。その形態は高圧に耐えると同時に熱遮断が求められる。スロッシングがない分フレキシブルな積荷が可能となったり、メンテナンスが容易であったり、タンクの強度を船殻で保証しなくて良いため、安全性が高い。しかし、球形で高さがある分空気抵抗や前方視界、船体のサイズに対してスペース効率が悪いいため、税金や通行料が割高になることが不利である。モス型は日本メーカーが中心となって生産している。モス型と同様に独立したタンク構造をもつ SPB 方式は、一部の日本のメーカーが生産しているが、高価で、あまり普及していない。メムブレ方式は、船殻全体で LNG の圧力と重量を支える方式である。タンク外壁と船殻内壁が密着している。薄いタンクは密閉と超低温を維持する機能だけを担う。船殻が LNG の圧力や重量を支える。このため、タンクの重量を低減できる。また、スペース効率高い、甲板上の高さを抑えられる分、空気抵抗や前方視界についても有利である。しかし、スロッシングがあるため、フレキシブルな積荷ができないこと、船殻の変形や疲労の影響を受けること、タンクと船殻が密着した構造である分、タンクのメンテナンス性が劣ることが不利である。韓国メーカーが主に生産している。主機は輸送中に燃料として気化した天然ガスを燃料として使うタービンエンジンを備えるものが主流であるが、近年の大型船では燃料コストの観点から 2 ストローク低速ディーゼルエンジンや電気推進と組み合わせたものも出てきている。</p> <p>LPG はランダムな取引が多いため、不定期船で用いられる。そのため、LPG 運搬船の運用は柔軟性が求められる。LPG は冷却・常圧状態で液化させるか、常温・高圧状態で運ぶか 2 種類があるが、外航に使われる大型船では一般的に前者が用いられ、内航船が主である小型船では加圧式が使われる。冷却式でも −42℃で液化するので、LNG より技術的には容易である。船殻は、一重船側、二重船底構造で、タンクは LNG 運搬船の SPB 方式に似た方形独立構造である。2 ストローク低速ディーゼルエンジンが用いられる。</p>

(出所) 長塚 (1998)、坂井・池田 (2002)、いよぎん地域経済研究センター (2007)、関西



造船協会編集委員会 (2010)、具・加藤・向井 (2010)、船の百科事典編集委員会編 (2015)、  
Stopford (2009)、川崎 (2017) をもとに筆者作成。

図 3-21 世界船種別竣工シェアの推移



(注) 1. IHS (旧Lloyd's Register) 資料から作成。  
2. 対象は100総トン以上の船舶。

\*バルカー：ばら積み船

(出所) 日本造船工業会「造船関係資料」(2014年3月)より引用。

### 3.2.6 事例記述における船種について

以降の章において、公刊資料（海事プレス社発行の「KP DATA」）を用いて、どのような船種を企業が生産しているのかを記述している部分がある。この際、本文中および図表中に記載される船種は、前述の各節に沿った表記となっているが、この分類は「KP DATA」よりも大まかな分類となっている。その対応は以下の表 3-2 のとおりである。これは、「KP DATA」に表記される船種の細かさが一定していないことと、インタビューや各社の提供資料、その他の公刊資料、書籍といった 2 次資料を用いるにあたり統一した表現を採用することによって混乱を避けるためである。

なお、この分類は、「KP DATA」の付属のメモ「お読みください」、および Lloyd's Register-Fairplay(2008)<sup>54</sup>、Clarkson Research Studies(2014)、恵美(2010)、池田(2009)、池田(2015)、船の百科事典編集委員会編（2015）を参考にしている。

表 3-2 「KP DATA」の船種分類と本論文記載の船種分類の対応表

KPDATA 表記の船 種		本文、図表中の船種
CT	chemical tanker	タンカー
GC	general cargo ship	タンカー
OIL	crude oil tanker	タンカー
PC	products tanker	タンカー
BC	bulk carrier	ばら積み船
CHIP	chip carrier	ばら積み船
CMNT	cement carrier	ばら積み船
LG/B	log/bulk carrier	ばら積み船
LM/B	lumber(timber)/bulk carrier	ばら積み船
O/B/O	ore/bulk/oil carrier	ばら積み船
OR/B	ore/bulk carrier	ばら積み船
OR/O	ore/oil carrier	ばら積み船
ORE	ore carrier	ばら積み船
PROBO	products/ore/bulk/oil carrier	ばら積み船
CONT	container carrier	コンテナ船
MPC	multipurpose cargo ship	コンテナ船
s-CN	semi-container carrier	コンテナ船

<sup>54</sup> Lloyd's Register-Fairplay(2008)内の A categorisation of ships by type-cargo carrying ships(p8-11)

LEG	liquefied ethylene gas carrier	ガスキャリア
LNG	LNG carrier	ガスキャリア
LPG	LPG carrier	ガスキャリア
CA/B	car/bulk carrier	自動車運搬船
PCC	pure car carrier	自動車運搬船
PCTC	pure car/truck carrier	自動車運搬船
NAVY	naval vessel	艦船
PATL	patrol boat	艦船
FRY	car ferry	客船
PSS	passenger ship	客船
BRG	barge	その他
DRG	dredger	その他
FISH	fishing boat	その他
HEVY	heavy lifter	その他
OTHR	other vessel	その他
PHYS	physical research vessel	その他
PUSH	pusher	その他
REF	reefer carrier	その他
RIG	offshore oil drilling(vessel)	その他
SUPP	supply vessel	その他
TRNG	training ship	その他
TUG	tug boat	その他

(出所)「KP DATA」などをもとに筆者作成。

### 3.3 船種別の価格（市場について）

本節の最後に、船種ごとの価格を示す。各船種の中では、相対的に大きなサイズのカテゴリーほど価格が高く、小さなサイズのカテゴリーほど価格が低い傾向にあることが見て取れる。

市場における船種別の割合は図 3-21 のようになっている。ばら積み船、タンカー、コンテナで世界の竣工量（総トン数ベース）のうち、8～9 割を占めている。そのうち、近年、ばら積み船が 5 割程度を占めている。

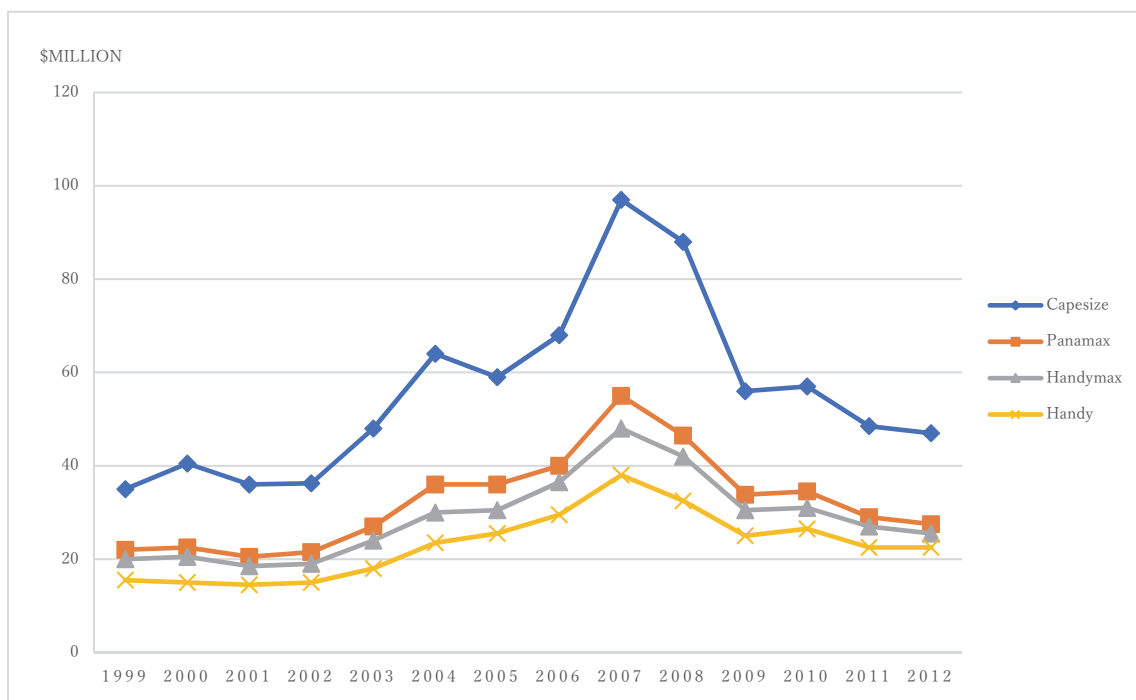
船種別の市場価格は図 3-22～3-25 のようになっている。需給により大きな変動があるが、船種による違いをみると、基本的にばら積み船の市場価格が最も低価格であることが分かる。

次章以降、ばら積み船の事例に焦点を絞るので、ばら積み船に関してここで言及する。ばら積み船のうち、比較的船価が安定しているのは、ハンディからハンディマックスにかけての小型のものである（図 3-22）。これは、大型のばら積み船が中国向け鉄鉱石輸送への依存度が高いのと対照的に、前節で述べたように輸送貨物や航路が多様であることから需要が安定していることが考えられる。また、2000 年代に比較的大型の船の新造船が急増し反動で受注が低迷したのと対照的に、老齢船が比較的多く新造船の発注残が少なかったこと、大型船よりも船価が相対的に安くリスクが低いため自己資金や銀行融資が確保しやすいことなども要因として考えられる（中村・深澤・武田，2011）。そのため、パナマックスサイズとハンディマックスサイズでは、船価が近接する時期があったり、瞬間的には逆転することもある。また、船価は、例えば BDI（バルチック・ドライ・インデックス）のように海上輸送の需給バランスによって運賃指標が左右され（1.4 節、3.1 節）、それによって用船料が影響され、その用船料をベースに新造船の交渉が行われ、船価が決定される（具・加藤・向井，2010；Stopford, 2009）。

したがって、船の貨物の積載量など、船の「機能」によって単純に価格が決まるものではなく、投機目的や需給バランスなど、造船会社にとってコントロールできない外部要因によって製品の価格が決まることになる。

こうしたことから、大型船ほど高価格、小型船ほど低価格という形で、船の載貨重量トンと船価が必ずしも連動するわけではない。そのため、大型船ほど高価なのでカスタマイズ対応ができ、小型船ではできないということにはならない。大型船でも小型船でも、造船会社ではコントロールできない船価のプレッシャーに直面しながら、船の設計が行われることになるのである。

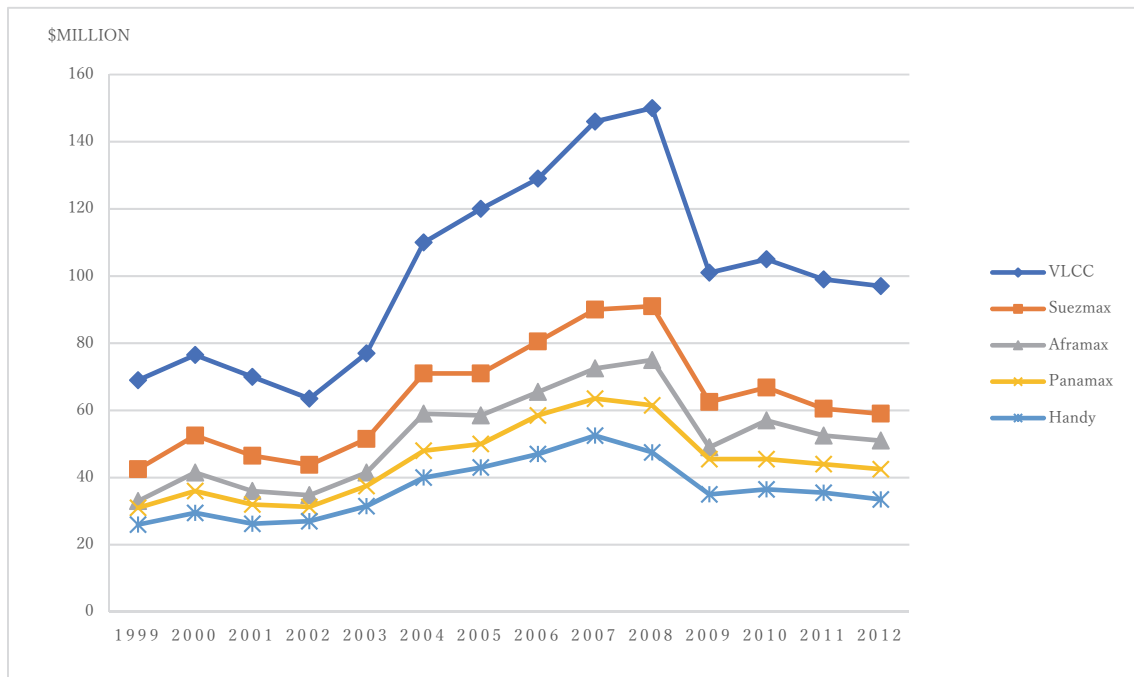
図 3-22 ばら積み船船価



CapeSize は、170000dwt (1999～2006 年)、180000dwt (2007～2012 年) の船価である。  
 Panamax は、75000dwt (1999～2006 年)、76000dwt (2007～2012 年) の船価である。  
 Handymax は、51000dwt (1999～2006 年)、57000dwt (2007～2012 年) の船価である。  
 Handy は、30000dwt (1999～2006 年)、35000dwt (2007～2012 年) の船価である。

(出所) Clarkson 『World Shipyard Monitor』(各年版) 内の”Shipbuilding Price Trends”を元に筆者作成。

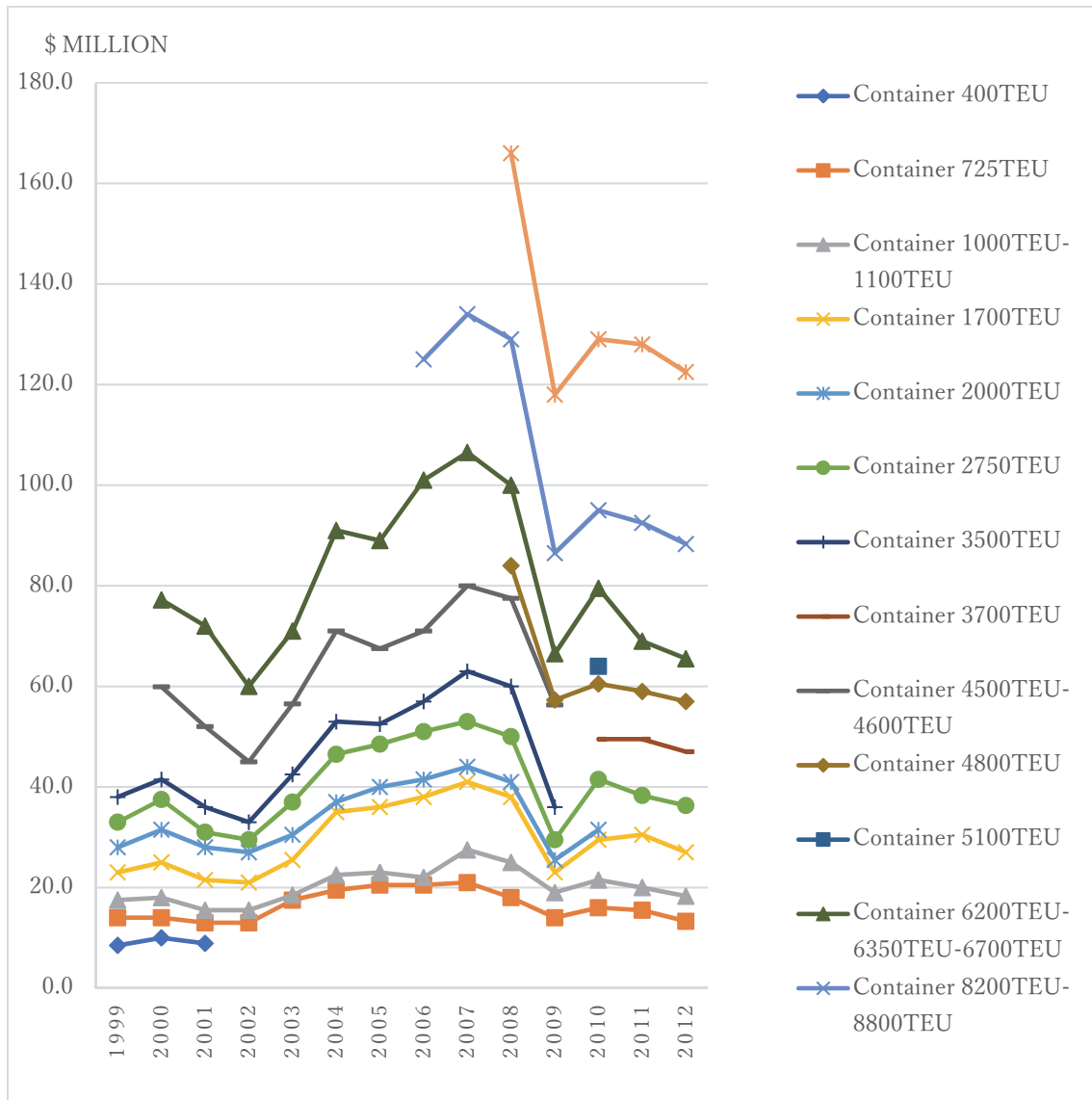
図 3-23 タンカー船船価



VLCC は、300000dwt（1999～2006 年）、320000dwt（2007～2012 年）の船価である。  
 Suezmax は、150000dwt（1999～2006 年）、157000dwt（2007～2012 年）の船価である。  
 Aframax は、110000dwt（1999～2006 年）、115000dwt（2007～2012 年）の船価である。  
 Panamax は、68000dwt（1999～2001 年）、70000dwt（2002～2006 年）、75000dwt（2007～2012 年）の船価である。  
 Handy は、47000dwt（1999～2006 年）、51000dwt（2007～2012 年）の船価である。

（出所）Clarkson『World Shipyard Monitor』（各年版）内の”Shipbuilding Price Trends”を元に筆者作成。

図 3-24 コンテナ船船価



13000TEU は 2008～2012 年の船価である。

8200TEU は 2006～2009 年、8800TEU は 2010～2012 年の船価である。

6200TEU は 2000～2006 年、6350TEU は 2007～2009 年、6700TEU は 2010～2012 年の船価である。

4600TEU は 2000～2006 年、4500TEU は 2007～2009 年の船価である。

4800TEU は 2008～2012 年の船価である。

5100TEU は 2010 年の船価である。

3500TEU は 1999～2009 年の船価である。

3700TEU は 2010～2012 年の船価である。

2750TEU は 1999～2012 年の船価である。

2000TEU は 1999～2010 年の船価である。



1700TEU は 1999～2012 年の船価である。

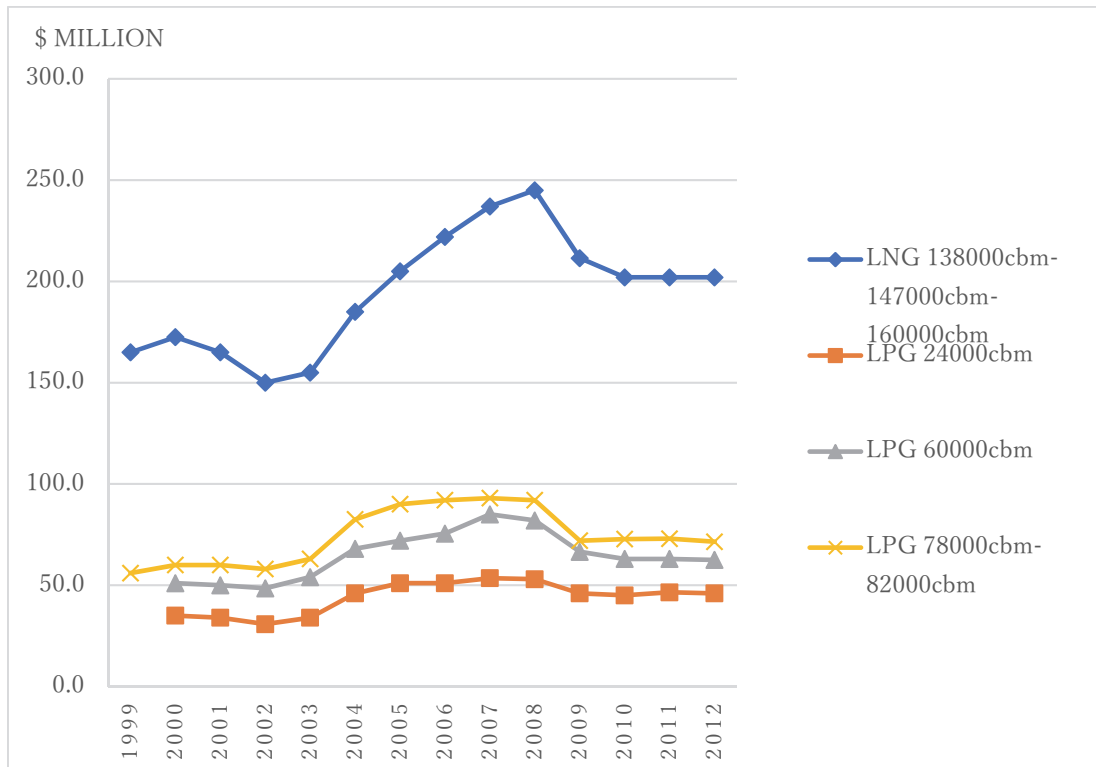
1100TEU は 1999～2001 年、2007～2012 年の船価である。2002～2006 年は 1000TEU の船価である。

725TEU は 1999～2012 年の船価である。

400TEU は 1999～2001 年の船価である。

（出所）Clarkson 『World Shipyard Monitor』（各年版）内の”Shipbuilding Price Trends”を元に筆者作成。

図 3-25 ガス運搬船船価



LNG は、138000cbm (m<sup>3</sup>) が 1999～2004 年、147000cbm が 2005～2006 年、160000cbm が 2007～2012 年の船価である。

LPG の 78000cbm が 1999～2006 年、82000cbm が 2007～2012 年の船価である。

LPG の 60000cbm が 2000～2012 年の船価である。

LPG の 24000cbm が 2000～2012 年の船価である。

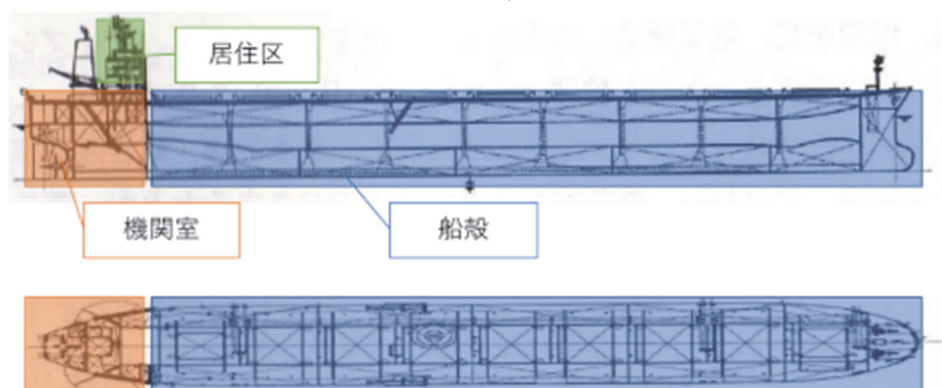
(出所) Clarkson 『World Shipyard Monitor』(各年版) 内の”Shipbuilding Price Trends”を元に筆者作成。

### 3.4 船舶の製品システム（船体）

本論文の目的は、企業による大型人工物の設計選択と競争力への影響を検討することであるので、その準備として、やや細かいが設計論的な説明を行っている。そこで、本節は、製品のレベルでどのような設計がなされるのかを述べる。前節でみたように、船舶の製品分野（船種）は、積み荷や用途に応じて、ばら積み船、タンカー、コンテナ船、LNG 運搬船などと分かれる。この順番でより高価格に、より部品点数も多くなり、より高度な技術が必要とされることがみてとれた。用途によって船種が決まり、さらに想定される航路や港湾によって、サイズや船体、装備品などが決まっていくことが分かった。逆に、ハンディサイズのばら積み船などでは、多様な貨物や航路に対応可能な設計が選択されることが分かった。このように、海事システムの中で製品システムの設計が決まり、その製品システムの設計のなかで、サブシステムである船殻、機関室、居住区が決まり、さらにサブシステム以下の階層の設計が決められていく。前節は、全体システム（海事システム）の階層の中で製品システムが選択されることを確認する節であったといえる。それにつづく本節は、製品システムレベルでどのような設計がなされるのか、すなわちどのようなサブシステムで構成されるのかを見ていく。

ここで、船舶（船体）の製品システムをみると、一般的に機関室、船殻、居住部からなっている（図 3-26）。前節の積荷による船種の違いは、主に荷物の積載スペースである船殻の違いに表れる。船体（船舶）を海事産業の中に位置づけられるものとして、階層構造で表現すると図 3-1（図 3-28）のようになる。

図 3-26 船舶の製品システム



（出所） 具・加藤・向井（2010）をもとに筆者加筆修正。

そもそも、外航船の場合、1 隻の全長数百 m×全幅数十 m×全高数十 m と、あらゆる人工物の中で大規模な製品である。1 隻あたり部品は 5 万～30 万点、鋼材は 8000～1 万トン程度必要となる（関西造船協会編集委員会, 2010; 日本造船工業会, 各年版）。例えば、VLCC（200,000DWT）クラスの原油タンカー1 隻を 1 日運航するのに、重油は約 100 トン必要となる（坂井・池田, 2002）。このように、船舶は物理的に大規模な人工物であるため、設

計するにも利用するにも膨大な資源やエネルギーが必要となる。そのため、経済性や環境性が重要になる。さらに、容積や重量が巨大ということは、生産するにも利用するにも人命の危険と隣り合わせとなり、安全性も重要な問題となる。また、陸側の設備や港湾、航路などとの相互作用や干渉にも配慮する必要がある<sup>55</sup>。特に船体設計は、燃費やスピードなどの経済性や、強度などの安全性に大きく影響する（長塚, 1998; 関西造船協会編集委員会, 2010）。また、航路や港湾などの設備や地理的な制約、使用状況といった補完的な海事システムとの相互作用や干渉も考慮する必要となる。特に、船体が大型化すればするほど、入港できない港や通行できない水路などが増えるという意味で、海事産業において補完的な存在である海運インフラの制約が厳しくなる（長塚, 1998）。これに関しては、前節で見たように、どの船種でも大型になるほど、運航するルートや用途が限定的であることに表れている。また、顧客にとっては、同じサイズの船体であれば、その中で貨物を搭載する空間（船殻）を最大化することにより、輸送効率が上がり、経済性が向上することになる。

船の内部にある機関部は、船の推進機能を担うサブシステムである。機関部の設計は、搭載する部品（船用部品）の制約が課せられる。船用部品は、基本的に船級承認を受ける必要があるため、ほぼ全て業界標準品となる。さらに、主機の設計は、船用部品の選択、レイアウト（配置）やインターフェース（配管）設計に大きく影響する。主機の設計は、MAN B&W、ヴァルチラ（Sulzer）、三菱 UE の 3 社がライセンスを保有している。日本の造船会社は川崎重工や三井造船といった主機を生産するサプライヤーから調達している。こうした主機のサプライヤーは、自社で主機を開発するのではなく、MAN B&W、ヴァルチラ、三菱 UE の 3 社のうち 1 社ないし 2 社とライセンス契約を結び、ライセンシーとして主機を生産し、造船会社に納入している。

船の機関は何日も連続で運転され、かつ洋上でメンテナンスが行われるため、機関室の内部は一定数の機関士などの乗組員が操作、保守・点検をおこなうための空間が必要となる（池田, 2017a）。一方で、船全体としては貨物の積載量を最大化するため、船殻部分をできるだけ大きくし、逆に機関室をできるだけ小さくすることが求められる（長塚, 1998; 関西造船協会編集委員会, 2010）。したがって、機関部の設計は、船のサブシステムとしては船体設計の影響を強く受ける。このように、機関部の設計は、船体設計の制約を外側から受けながら、内側からは業界標準である部品の制約を受けることになる。造船会社は、この制約下で船用部品の配置・配管を設計することになる<sup>56</sup>。

---

<sup>55</sup> 前節で検討したように、コンテナ化は、海運側と陸運側のインターフェースを標準化、あるいはモジュラー化した例であるが、これも船と周囲の補完財との関係性に関わる事例であるといえる（武石・高梨, 2001）。

<sup>56</sup> 居住区は、一般的に、船種が同じであれば船員数はさほど変わらないため、設計もほとんど変わらず、船のサイズの影響をあまり受けない。また、基本的に甲板上に載せるので、船体や機関部から比較的独立して設計可能である。以上より、本稿の分析の対象としない。

前述のように、船舶（船体）の製品システムをみると、一般的に機関室、船殻、居住部からなっている。その中で、機関室と居住区の位置を見ると、機関室、居住区ともに船尾部にあるものが多い<sup>57</sup>。機関室の位置は船首部、中央部、船尾部の3カ所がありうるが、船尾部に位置することが多い（図 3-25）。これは機関室が船尾にあると、主機と直結するプロペラとの距離が短くなり、プロペラ軸を短くすることができ、伝達効率を良くすることができるためである<sup>58</sup>。これにより、貨物スペース（船殻）や荷役スペースを大きくとりやすいこともメリットである（坂井・池田，2002；庄司，2015；造船テキスト研究会，2017）。

居住区（船橋）は操船、居住スペースである。この居住区に関しても、船首部、中央部、船尾部に位置する可能性があるが、船殻と分けることや、機関室と近づける方が乗員配置を分離しないで済むメリットがあることから、船尾部に位置することが多い（庄司，2015）。ただし、居住区に関しては、前方視界の確保のために中央部や船首部に位置する場合もある（図 3-27）。1960 年代に建造されたオイルタンカーなどは中央部に居住区があるものもあった。例えば、1962 年に竣工した蒸気ガスタービン搭載の「日章丸<sup>59</sup>」などがある（庄司，2015；川崎，2017）。大型のコンテナ船では居住区の真上ではなく、機関室よりやや前方、船体の真ん中寄りに居住区を置いていることもある。これはデッキ上にコンテナを積むために、船尾部に居住区を置くと操縦室から前方視界を確保しにくいことや、居住区の設置部分が船体中央付近の構造材となって船体の強度を出すことができるためである。また、自動車運搬船や客船などでは船首部に居住区があるものもある（川崎，2017）。いずれにせよ、居住区は、上部構造物とも呼ばれていて、外板と一体となった強度の強いものではなく、甲

---

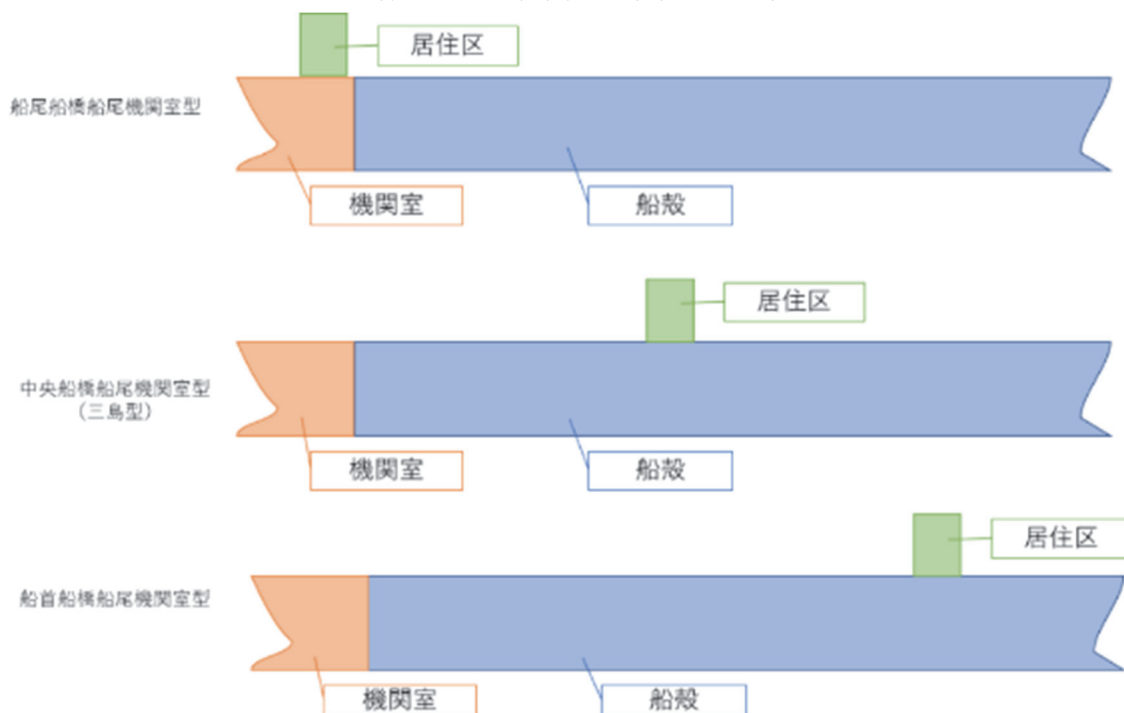
<sup>57</sup> 蒸気船の登場以降、蒸気機関の大きさと、左右両舷に推進器（外輪）を設け、前方視界を確保するために機関室、居住区（船橋）が船体中央部に配置された。中央部に居住区（船橋）があるものは「三島型」とも呼ばれる。その後、1950 年代までの一般貨物船では中央部に機関室、居住区があるものが多かった。この配置は、貨物の有無にかかわらず、船体を水平に保ちやすいメリットがある。一方で、中央のエンジンから船尾のプロペラまで長いシャフトでつながる必要があり、スペース効率が悪く、エネルギーの損失も大きくなるというデメリットがあった（池田，2017a）。第2次世界大戦前、戦中は中央機関・中央船橋型が外交貨物船の主流であったが、戦後、ばら積み貨物の取引単位が大きくなったことに伴い船尾機関・船尾船橋型が登場し、次第に増加していった。日本造船学会（1973）によると、1956 年（第12次計画造船）では中央船橋型（三島型）が見られなくなった。この後、1960 年代以降、船舶の大型化と主機のディーゼル機関化とそれに直結するプロペラによる推進が普及するにしたがい、船殻の最大化と積載効率のために機関室は船尾に位置することが一般的になった。

<sup>58</sup> プロペラに伝えられる出力（伝達馬力）は、主機からプロペラにつながる軸系の摩擦などがあるため、主機の出力（主機馬力）から損失がある。一般に、伝達馬力：主機馬力は、船尾に機関室がある場合が 1：1.03、船体中央に機関室がある場合が 1：1.05 である（造船テキスト研究会，2017）。

<sup>59</sup> 当時世界最大船型の 74,869GT、132,334DWT であった。

板上に設置される建物である（池田，2017a）。このように、居住区に関しては、機関室と比べると、前方視界以外には船体あるいは船殻からの制約を受けずに位置を決めることができる。

図 3-27 船体における機関室・居住区の配置パターン



（出所）八木（2015）、池田（2017a）、造船テキスト研究会（2017）をもとに筆者加筆修正。

一方で、機関室は、船体を所与としたときに船殻最大化のために、機関室は最小化することが求められる。また、推進器であるプロペラと主機が直結することから船尾部に配置せざるを得なくなる。船尾部はプロペラやプロペラ軸などに加えて操舵機、舵軸などもある。さらに、船尾部は、水から受ける抵抗<sup>60</sup>により複雑な曲面で絞られた形状になり、プロペラか

<sup>60</sup> 船体を受ける抵抗には、空気抵抗と水から受ける抵抗（流体抵抗）がある。水から受ける抵抗には摩擦抵抗、粘性圧力抵抗、造波抵抗がある。摩擦抵抗は、水の粘性によって船体の表面と水がこすれることで生じる。水中の船体の表面積に比例して大きくなる。最近では、摩擦抵抗の低減方法として、小さな気泡を発生させて抵抗を減らす技術の実用化が進められている。粘性圧力抵抗も水の粘性によって発生する抵抗である。水中を物体が進むと、物体前方では水が押されて圧力が高くなり、後方では物体に水が引きずられて圧力が低くなる。さらに、物体から水（流体）が剥離する際に物体後方に発生する渦により、物体後方の表面に働く圧力が低下し、物体前方との圧力差が大きくなる。このように、粘性のある水中を物体が移動することによって発生する圧力差が粘性圧力抵抗である。造波抵抗は船が航行する際に、水面が波打つことによって働く抵抗である。この波は、空気と水など2つの流体の境界に発生するものであ

らの振動に対応して強度を出すためにフレーム間隔を狭めたりする。機関室は、このような複雑で狭隘な構造になりやすい船体の船尾部の内側に配置され、船体部材との位置関係と保守性能を考慮した船用部品の配置をする必要がある（八木，2015）。

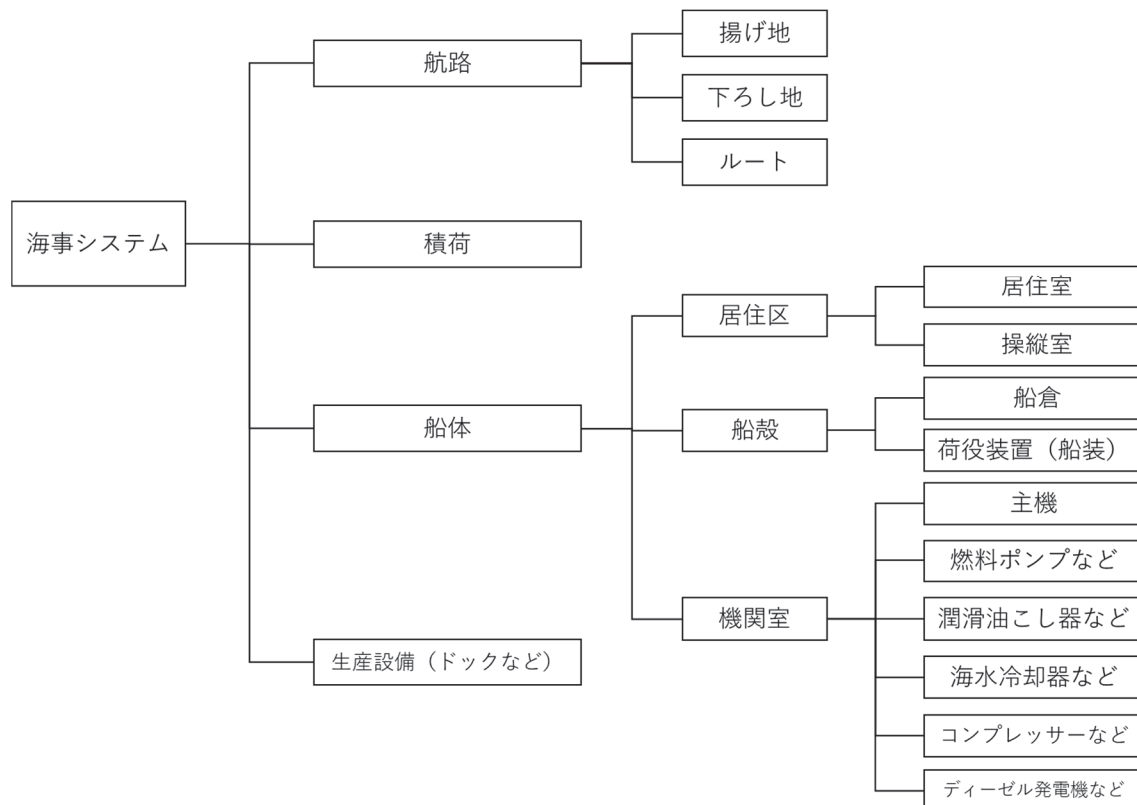
このように、海事システム全体の制約を考慮して1隻の船（船体）の設計がなされる。その船体の内部では、比較的独立して設計される居住区と、積載能力のために船体内において優先で船殻が設計される一方で、機関室（内の部品の配置）の設計は船体の制約を強く受けることになる。

ここまで、本章において見てきた海事システムを、本稿の階層構造のフレームワークに即して描くと図3-28のようになる（機関室内の船用部品については次節で概観する）。次章以降の事例研究では、船の外形（船体）設計が船のサイズによってどのように影響されるのか、その内部の機関部の設計が船のサイズによってどのように影響されるかをそれぞれ見ていく。以上に見てきたように、船体を構成する居住区・船殻・機関室の階層は、どのようなサイズであっても、一般的に、居住区は独立的で、船殻は最大化要求があり、それに応じて機関室は最小化要求がある。したがって、どのような船でもこの階層はインテグラルと見なすことができると考えられる。そこで、この階層については事例研究の章では、検討の対象外とし、海事システムの構成要素としての船体の階層と、機関室以下の階層に焦点を当てることにする。

---

るため、潜水艦や飛行機では基本的に発生しない。造波抵抗は速度を上げると大きくなる。船を細長くすれば粘性圧力抵抗と造波抵抗を小さくすることができるが、安定性が落ちるためバランスをとる必要が出てくる。粘性圧力抵抗を抑えようとする、船首が丸く、船尾が尖った流線形が適しているが、この形状は造波抵抗が大きくなる。造波抵抗を抑えるには、船首が尖り、船尾が丸い形状が適している。そこで、実際の船体は、水面近くでは船首が尖った形状、水面下では船首が丸い形状となることが多い（池田，2009；川崎，2017）。

図 3-28 船舶・海事産業の階層構造（再掲）



（出所）具・加藤・向井（2010）、向井（2011）をもとに大幅に加筆修正。

### 3.5 機関室内の船用機器

前節のように製品システムとしての船舶を見たとき、その下位階層に船用部品が位置づけられる。そこで本節は、船体を構成するサブシステムの中でも、とくに機関室内の主要構成部品がどのようなものであるのか、その機能や主機との関係について概説する。なお、本節の記述は坂井・池田（2002）、今橋・沖野（2008）、池田（2009）、金子（2015）、川崎（2017）に依拠している。

ただし、説明の誤りがあるとすれば、それは筆者によるものである。

まず、船舶の機関室に設置される船用部品は、推進力を発生させる主機（主機関）と、それ以外の機能を持つ機器類（補機）に分けられる<sup>61</sup>。補機には発電機、ボイラ、ポンプ類、圧縮機類、燃料などの清浄機類、汚水処理装置、造水装置などさまざまなものがある（図 3-

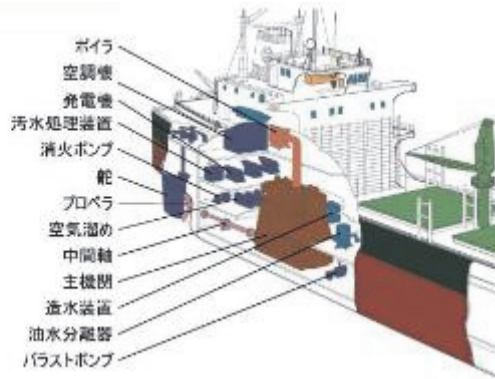
<sup>61</sup> この主機、補機の分け方は坂井・池田（2002）、池田（2009）に従っている。なお、川崎（2017）は発電機（発電用エンジン）を補機としている。金子（2015）や川崎（2017）の分類は、機関室の船用部品には推進力を発生させる機械（主機）とそれ以外の部品があるという意味では、坂井・池田（2002）や池田（2009）と表現が異なるものの同様の分類であるといえる。



29)。

こうした船用部品は、基本的に船用部品サプライヤーが製造する、業界標準品である。

図 3-29 機関室内の船用部品のイラスト



(出所) 日本船用工業会 HP (<http://www.jsmea.or.jp/j-top/index.html>) (2019 年 8 月 22 日アクセス) より引用。

前節で触れたように、船体の中では、積荷スペースである船殻の寸法や形状が決まったうえで、機関室の設計が行われる。さらに、造船テキスト研究会 (2017) によると、長さ方向では、プロペラ軸の長さ (図 3-30 の A)、主機関の寸法 (図 3-30 の B<sup>62</sup>) が所与である。これにより、船用機器の配置や配管に与えられる空間 (図 3-30 の C) が決まる<sup>63</sup>。また、高さ方向では、船底から甲板までの高さや、主機の高さやピストンの引き抜きに必要なスペースもあるため、機関室内のフロア数を自由に増やすことも難しい (坂井・池田, 2002 ; 造船テキスト研究会, 2017)。

こうした制約がかかる中で、機関室内の設計をすることになる。よって、機関室内部には業界標準品である主機や、その他の船用部品などのサイズについて固着的な要素があり、一方で、機関室外部 (外形) は船体設計によって決められる。そうした内外のサイズの兼ね合いがある中で機関室を設計する必要があるということになる。

なお、船種による違いについては、前述のように、例えばばら積み船とタンカーとでは、タンカーの方が構成要素は多くなりやすい。また、タンカーの方が、隔壁と主機の間に空間を設ける必要が出てくる。このように、船種によっても必要な技術や構成要素が違い、機関

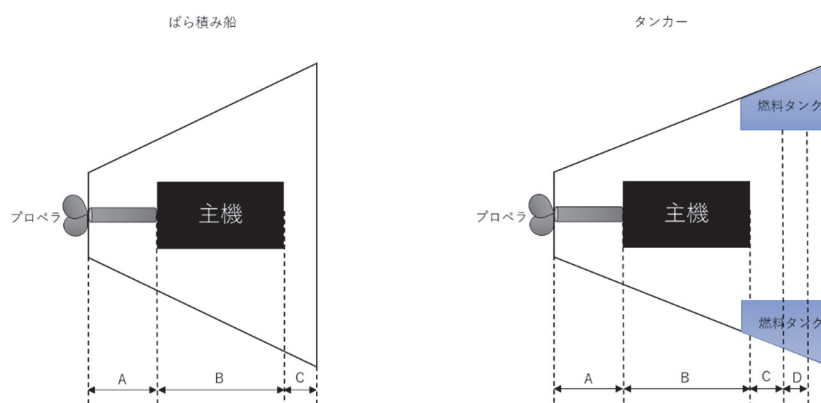
<sup>62</sup> B はカタログの寸法から採ることができる (造船テキスト研究会, 2017)。

<sup>63</sup> さらに、例えば、3.2 節で述べたように、ばら積み船とタンカーでは使われる主機はどちらも 2 ストローク低速ディーゼルエンジンで、必要な出力も近くシリンダー数なども同等程度であるため、主機寸法も同程度になる。しかし、タンカーの場合、カーゴオイルポンプやバラストポンプ駆動用のタービンを配置するスペース (図 3-30 の D) が必要となる。また、タンカーの場合、船殻と機関室の間の隔壁の直後にさらに空き区画が必要となる (3.2.2 節)。

室のレイアウトに関わる制約条件が異なるため、本研究の以降の章ではばら積み船に絞って機関室の設計を検討する。

なお、機関室の艤装<sup>64</sup>（設計）は、機関室内に搭載される船用部品（主機、補機など）の要目や仕様を決めて選択し、配置（レイアウト）を決め、配管・配線などの設計を行なうことを指す。したがって、この機関室の艤装設計が、機関室の中アーキテクチャを決めることになる。

図 3-30 機関室の長さの決定要素



（出所）造船テキスト研究会（2017）（p104）をもとに筆者加筆修正。

### 3.5.1 主機

主機（主機関）とは、船の推進のために用いられ、プロペラを回す機関のことである。本稿が対象とする外航の商船の場合、LNG 運搬船で主機に蒸気タービンなどが用いられる以外は、ほとんどはディーゼルエンジンが用いられる（坂井・池田，2002；金子，2015）。船舶用のディーゼルエンジンは、後述するように比較的低回転（毎分 60～200 回転程度）で、長い場合 2 週間ほどの長時間連続して、年間 8,000 時間ほど運転される（川崎，2017）。さらに、外海の荒波の中で質の低い燃料を用いて長時間運転されることと、熱効率向上と高出力化のためシリンダー内の圧力は上昇傾向にあることから、部品にかかる負荷が高い（今橋・沖野，2008）。さらに、外航船の船用機関については NO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub> などの規制がかけられている。

主機のディーゼルエンジンのクランク軸とプロペラ軸は直結している。そのプロペラ軸

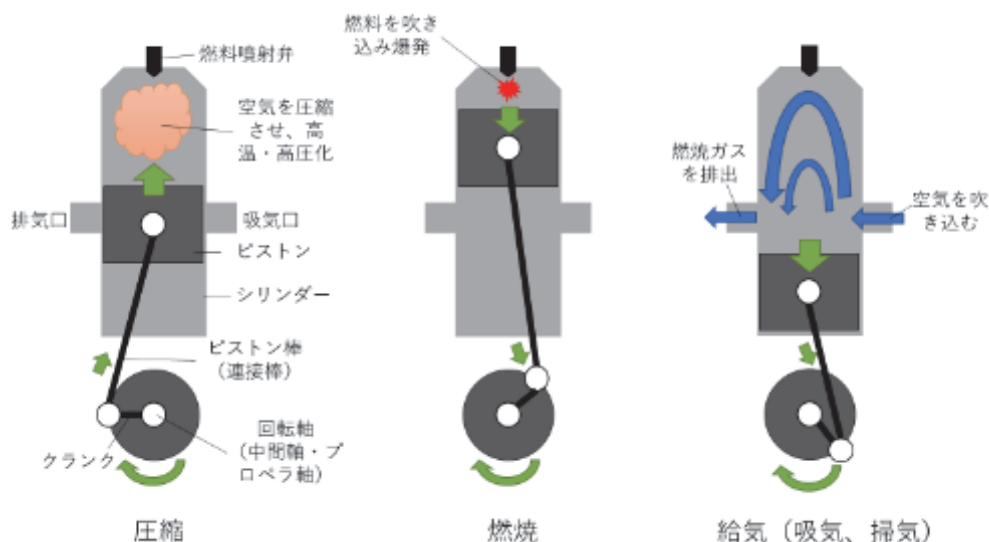
<sup>64</sup> 本節では機関艤装に関わるものについて言及している。そもそも船の艤装とは、航行に必要な機器や設備のスペックや仕様を決め、配管・配線の設計、および取り付け作業のことを指し、大きく分けて船体艤装、機関艤装、電気艤装の 3 つがある（関西造船協会編集委員会，2007；池田，2009）。なお、船体艤装は操舵、係船、荷役に関わる装置や部品などに関わる艤装である。電気艤装は、電気機器に関わる艤装である。

から船尾部の海側にあるプロペラに動力が伝えられる。主機の回転数とプロペラの回転数は等しくなる<sup>65</sup>。

ディーゼルエンジンは点火装置がなく、空気を圧縮させ高温状態になったシリンダー内に燃料を噴射して着火させる。1 ストローク（サイクル）の行程は、①まず空気をシリンダー内に吸入し（吸気、掃気、給気<sup>66</sup>）、②その空気を圧縮させ（圧縮）、③燃料をシリンダー内に噴射して爆発させ（燃焼）、④ガスを排気する（排気）。このサイクルが繰り返される。

この①～④の間にクランク軸が1回転するものを2ストローク（2サイクル）エンジン（図3-31）、2回転するものを4ストローク（4サイクル）エンジン（図3-32）という。クランク軸の回転数が同じであれば、爆発回数は2ストロークエンジンが4ストロークエンジンの2倍となるため、動力もほぼ2倍となる<sup>67</sup>（今橋・沖野，2008）。

図 3-31 2ストロークエンジンのシリンダー内の動作



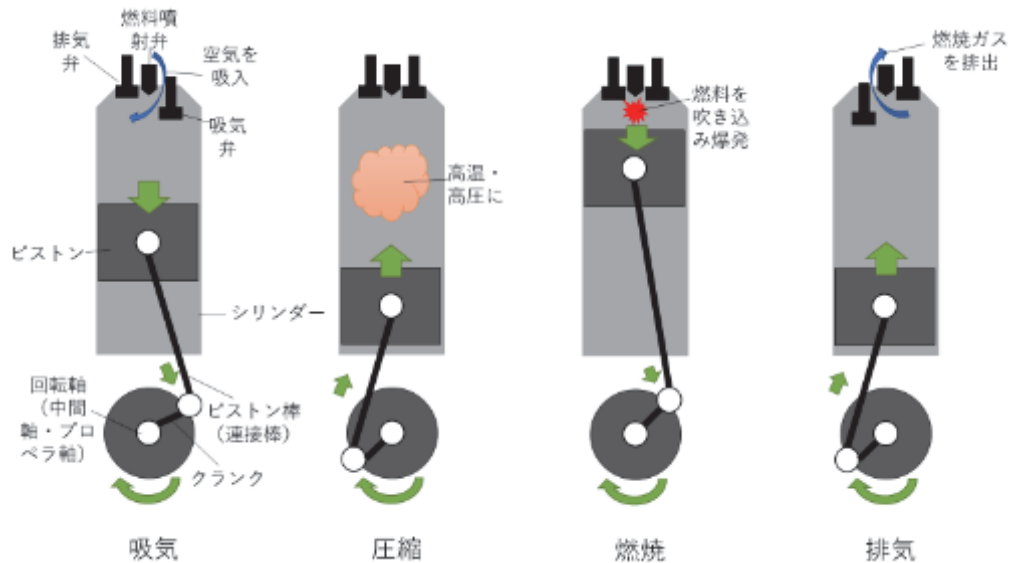
（出所）坂井・池田（2002）、田山（2007）、池田（2017）をもとに筆者加筆修正。

<sup>65</sup> 後進については、モーターボートや1000GT程度の船であれば、歯車式の逆転機とクラッチを用いられる（川崎，2017）。しかし、川崎（2017）によれば、外航の貨物船程度の大きさの船の場合、搭載される主機の馬力に対応した逆転機やクラッチを作るのが困難であるという。そこで、非効率であるものの、前進・後進の切り替えのたびに主機のシリンダーの着火タイミングを変えて逆回転させる（自己逆転式）（川崎，2017）。

<sup>66</sup> 2ストロークエンジンの場合、シリンダー内への空気の吸入によってシリンダー内の排気ガスが掃除されるという意味で掃気とも言う。4ストロークエンジンの場合、この行程で空気がシリンダー内に充填されるという意味で、給気とも言う。また、過給器などで加圧した空気を導入する場合は給気、加圧しないで空気を導入する場合は吸気という（今橋・沖野，2008）。

<sup>67</sup> 坂井・池田（2002）によると、実際には1.5～1.75倍程度になるという。

図 3-32 4 ストロークエンジンのシリンダー内の動作



(出所) 坂井・池田 (2002)、田山 (2007)、池田 (2017) をもとに筆者加筆修正。

一般に、外航の貨物船では 2 ストロークが用いられ<sup>68</sup>、内航船やフェリーなどでは 4 ストロークエンジンが用いられることもある (坂井・池田, 2002; 池田, 2009)。外航の貨物船で 2 ストロークが主流である理由は、同じ出力であれば 4 ストロークよりもシリンダーの肉厚を薄くできるためと、構造をシンプルにでき故障を少なくできるためである<sup>69</sup> (坂井・池田, 2002)。また、エンジンで発生させるエネルギーの約 50% がプロペラ軸に伝わり<sup>70</sup>、効率が高いことも理由である (川崎, 2017)。加えて、2 ストロークの方が、逆転操作が容易であることや、回転変動が小さいといったメリットも挙げられる (今橋・沖野, 2008)。ただし、今橋・沖野 (2008) によると、低負荷時に、空気を送り込む補助装置が必要になると指摘されている。

主機のディーゼルエンジンは、回転数が低い低速エンジンが用いられる。船舶用のディーゼルエンジンは、定格回転数によって毎分 300 回転以下の低速、毎分 300～1000 回転の中

<sup>68</sup> ただし、前述のように、LNG 運搬船では、地中海マックスや東京湾マックスでは蒸気タービン、大西洋マックスでは 4 ストロークの DFD、カタールフレックスでは 2 ストロークの低速ディーゼルエンジンが用いられる (3.2.4 節参照)。

<sup>69</sup> 一方、4 ストロークの利点は、2 ストロークと比べてガスがより高圧で燃焼効率が高いため高燃費である (坂井・池田, 2002)。また、4 ストロークの方が、吸気 (給気) 行程と排気行程をピストンが強制的に行うので、残留排気ガスが 2 ストロークと比べて少なく、確実に燃焼させることができることもメリットとして挙げられる (今橋・沖野, 2008)。

<sup>70</sup> 自動車用のエンジンでは約 30% ほどであるという (川崎, 2017)。

速、毎分 1000 回転以上の高速に分けられる（川崎，2017）。この中で、外航の外航船は、一般的に低速で 2 ストロークのエンジンが用いられている<sup>71</sup>。これは、主機と直結するプロペラの最適な回転数が毎分 60～200 回転程度とされていて、それに合う回転数領域が低速であるためである（川崎，2017）。船の推進効率を高めるためには、プロペラの回転数を少なくした方がよいが、船体のサイズや形状に対して全く自由にプロペラを設計することはできないので、具体的には外航のタンカーやばら積み船など運行速度の低い船種では毎分 80～120 回転、それよりは速度の高い外航のコンテナ船などでは 100～200 回転程度であることが一般的である（坂井・池田，2002；川崎，2017）。

また、主機の側で回転数を低くして同じ出力を出すためには、シリンダーの長さを長くしてピストンの行程を長くする方（ロングストローク）が有利である。例えば、三井造船（三井 E&S マシナリー）や川崎重工で製造されている 2 ストローク低速ディーゼルエンジンである MAN B&W ME 型の 12 気筒の「12G90ME-C10.5 (-GI)」<sup>72</sup>は、1 シリンダーのストローク（行程）は 3260mm、ボア（口径）は 900mm となっている（川崎重工業，2017；三井 E&S マシナリー，2019）。

さらに、このような船舶用の 2 ストロークの低速エンジンの場合、このようにシリンダー自体が大きだけでなく、主機全体の全高が比較的高い「クロスヘッド型」という構造が採用される（田山，2007）。これは、田山（2007）によれば、C 重油のような質の悪い燃料を燃焼させることで生じるかす（燃料残渣物）が軸受けなどに入り込まないようにする必要があるので、燃焼室（シリンダー）とクランクケースが分けられた「クロスヘッド型」が適しているためである<sup>73</sup>（図 3-33）。加えて、クランク軸も大きくなるため、エンジンの幅も大きくなる<sup>74</sup>（今橋・沖野，2008）。

---

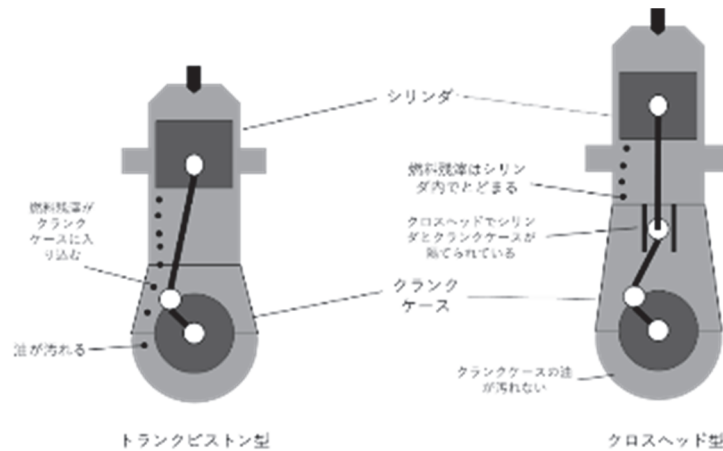
<sup>71</sup> フェリーや Ro/Ro 船などでは中速、高速船などでは高速が用いられることもある。

<sup>72</sup> 出力 74,880kW (101,837PS) (毎分 84 回転) である。

<sup>73</sup> ちなみに自動車用エンジンのように良質で均質な燃料を使う場合、クランクケースが汚れにくく、シリンダーとクランクケースを分ける必要がないため、ピストンの運動が連接棒を介して直接クランク軸に伝わる「トランクピストン型」が採用される。そのため、「クロスヘッド型」よりもエンジン全体を比較的にコンパクトにできる（田山，2007）。

<sup>74</sup> 低速ディーゼルエンジンでも、4 ストロークの場合、ピストンと連接棒が直接つながっている分（トランクピストン型）、2 ストロークよりもエンジンを小型化できる。また、中高速のディーゼルエンジンはすべて 4 ストロークであるが、そもそも低速ディーゼルエンジンに比べてストロークが短く、さらにピストンとコネクティングロッドが直接つながっているため、比較的にコンパクトにできる（今橋・沖野，2008）。

図 3-33 2 ストロークエンジンの内部構造（トランクピストン型とクロスヘッド型）



（出所）田山（2007）（p189）をもとに筆者加筆修正。

使用燃料については、2 ストローク低速ディーゼルエンジンには、低質で値段が安く、世界中どここの港でも入手可能な C 重油が使われることが多い<sup>75・76</sup>。ただし、C 重油は粘性が高く（アスファルトに近い）、燃料供給のために加熱の必要があり、加熱器が付けられる。また、不純物が多いため、こし器や清浄機が必要になる。

このように、外航船の主機は、大きなシリンダーによって推進効率を高めて燃費を良くすることができ、安価な質の低い燃料を利用することができる 2 ストローク低速ディーゼルエンジンが採用されることが多い。

このような大型の低速 2 ストロークのディーゼル主機については、開発に多くの費用と時間がかかるため（造船テキスト研究会，2017）、少数のライセンサーが設計し、そのライセンス供与を受ける多くのライセンサーが生産している（今橋・沖野，2008；具・加藤・向

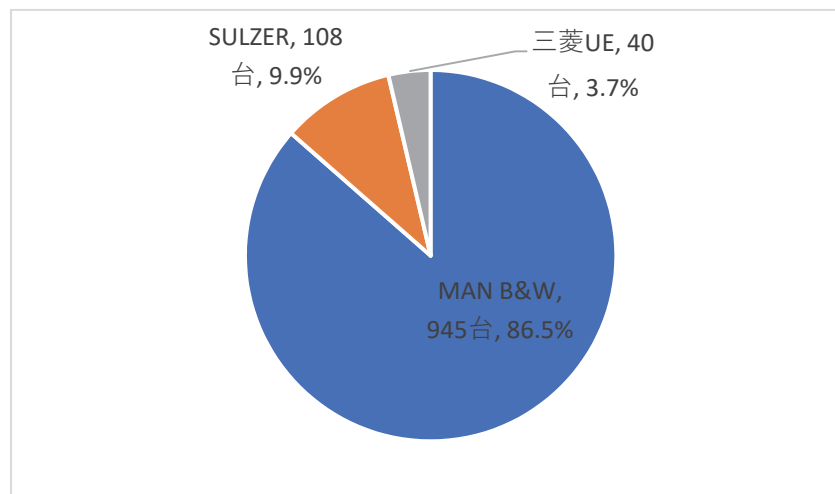
<sup>75</sup> 2 ストローク低速ディーゼルエンジンの燃料は C 重油だが、C 重油は定常運航域で使われる。ただし、港湾接岸時や低速運転時は A 重油が使われる。このため、A 重油と C 重油の切換が必要となる（今橋・沖野，2008）。

<sup>76</sup> 船用ディーゼルエンジンの中で、低速、中速は C 重油が主に使われる。高速は A 重油や軽油が主に使われる。中速エンジンは主に補機の発電用のエンジンとして使われ、かつては A 重油が燃料として使われていたが、オイルショック以降、燃料費削減のために C 重油が使われるようになり、そのために噴射装置、排気弁などの改良が行われた（今橋・沖野，2008）。



井，2010)。ライセンサーには MAN B&W、Sulzer、三菱 UE の 3 つがある<sup>77・78</sup>。ライセンサーの 3 ブランドのシェアは図 3-34 の通りである。台数ベースで見ると、MAN B&W がシェア 86.5%、Sulzer が 9.9%、三菱 UE が 3.7%であり、MAN B&W が高いシェアを占めていることが分かる。

図 3-34 2 ストロークディーゼル機関のブランド別生産状況（2017 年）



注：2017 年に竣工した 2000DWT 以上の商船に搭載された主機関を集計したものである。

（出所）日本船用工業会（2018）「各国船用機関の生産動向（第 43 号）」をもとに筆者作成。

この 3 社がライセンサーとなり、主に韓国や日本のライセンサーが生産している（今橋・沖野，2008；具・加藤・向井，2010）。業界全体で見ると、エンジンの全生産量のうち、99.8%をライセンサーが生産している（日本船用工業会，2018）。

3 社の中で最大のシェアを持つ MAN B&W のライセンサーは世界中にある。例えば日本

<sup>77</sup> 三菱以外の低速船用ディーゼルエンジンのライセンサーは、元々、デンマークの B&W（バーマイスター・アンド・ウェイン）社、スイスの Sulzer（スルザー）社であった。1981 年にドイツの MAN 社が B&W 社、1997 年にフィンランドの Wärtsilä（ヴァルチラ）社が Sulzer 社の事業を買収した。このため、以降、エンジンブランドとしては、MAN B&W、Wärtsilä-Sulzer となっているが、本節では日本船用工業会（2018）の表記に従い、Wärtsilä-Sulzer を Sulzer と表記している。

<sup>78</sup> なお、4 ストロークのディーゼルエンジンについては、世界全体でライセンサーによる生産割合が 72.2%、ライセンサーによる生産割合が 27.8%である（2017 年）。MAN B&W やヴァルチラもそのブランドの半数以上を自社で生産している（日本船用工業会，2018）。この 2 社以外にも、アメリカのキャタピラ、韓国の現代重工業、ノルウェーのベルゲンなどが自社で開発、生産している。日本では、ヤンマー、阪神内燃機工業、ダイハツディーゼル、新潟原動機、赤阪鐵工所などが自社開発している。

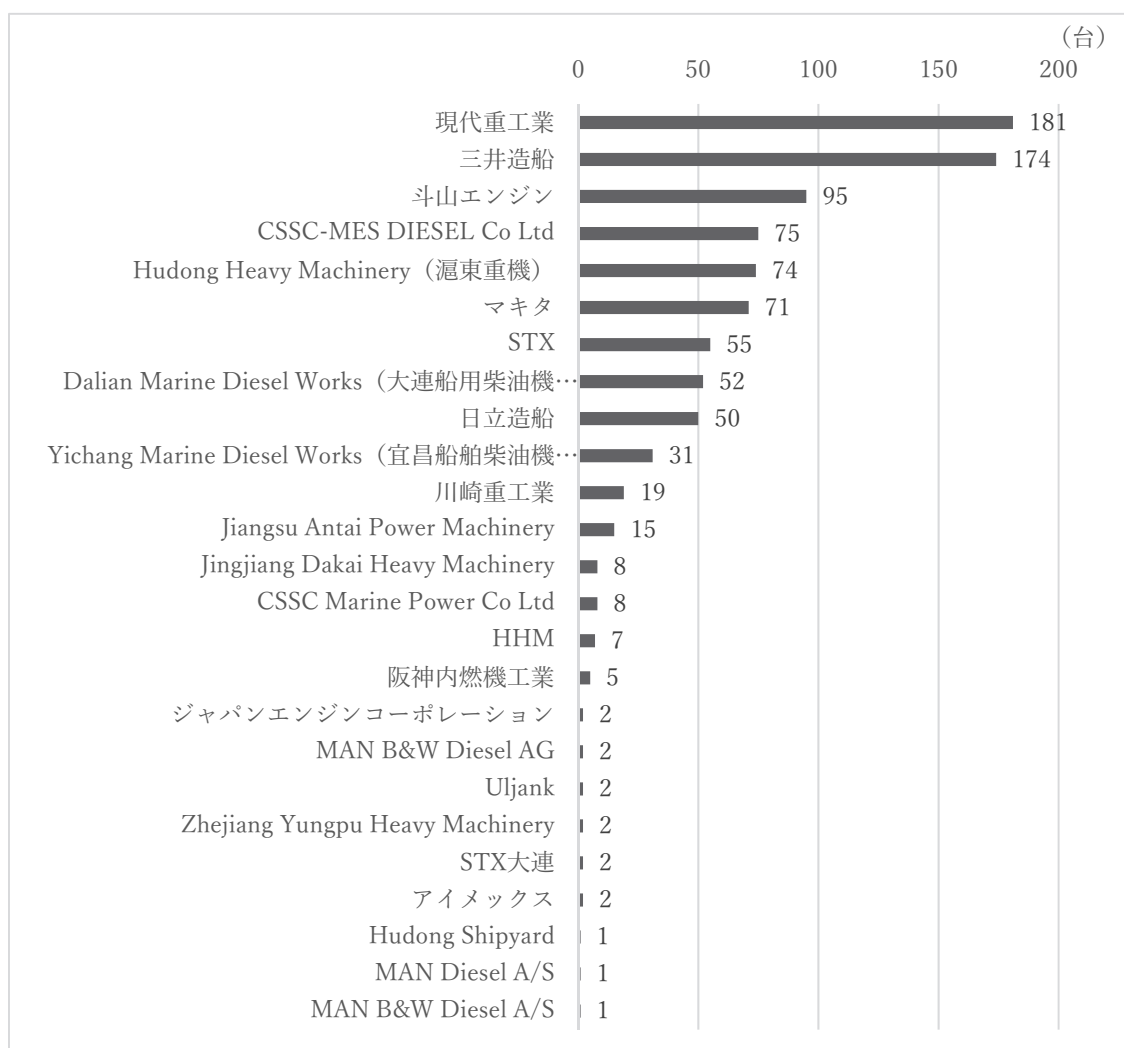
では川崎重工業、三井造船（三井 E&S マシナリー）、日立造船、マキタなど、韓国では現代重工業、ドゥサン(斗山)エンジン、STX など、中国では国営の中国船舶工業集团公司(CSSC)グループの CSSC-MES Diesel や滬東重機（Hudong Heavy Machinery）、国営の中国船舶重工集团公司（CSIC）グループの大連船用柴油機廠（Dalian Marine Diesel Works）などがある。台数ベースで見ると<sup>79</sup>、ライセンサーの中では、現代重工業、三井造船（三井 E&S マシナリー）のシェアが高く、斗山エンジン、CSSC-MES Diesel が続く（図 3-35）。このうち、生産台数が最も多い現代重工業は、MAN B&W エンジンについては全量輸出している（日本船用工業会，2018）。

---

<sup>79</sup> ただし、日本船用工業会（2018）の「第 9 表ディーゼル機関のブランド別、ライセンサー・ライセンシー別生産状況」のブランド別の生産台数と「第 12 表ディーゼル主機関のメーカー別製造実績」の生産台数が一致していないので、本稿の図 3-34 の台数と図 3-35・3-36・3-37 のメーカー別の台数の合計は必ずしも一致しない。



図 3-35 2 ストローク低速ディーゼル主機関（MAN B&W）製造メーカー別生産台数  
（2017 年）

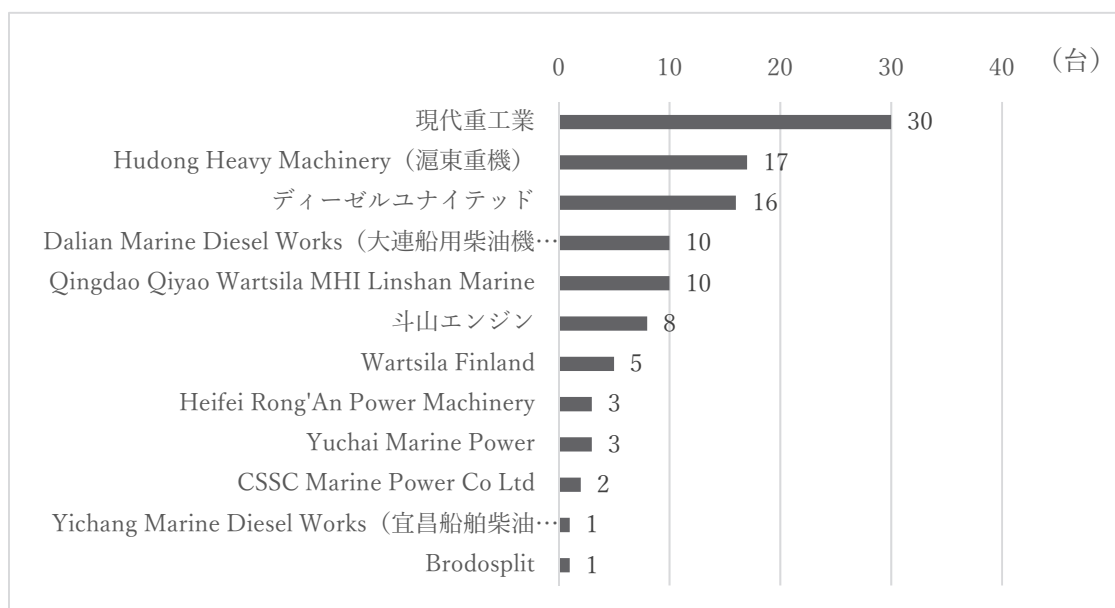


注：2017 年に竣工した 2000DWT 以上の商船に搭載された主機関を集計したものである。

（出所）日本船用工業会（2018）「各国船用機関の生産動向（第 43 号）」をもとに筆者作成。

Sulzer のライセンシーには、日本では旧・ディーゼルユナイテッド（現・IHI 原動機）、韓国では現代重工業や斗山エンジン、中国では滬東重機などがある。Sulzer についても、現代重工業の生産台数が最も多いが、このうち 2 台が輸出されている。現代重工業に次いで、中国の滬東重機、日本のディーゼルユナイテッドとなっている（図 3-36）。

図 3-36 2 ストローク低速ディーゼル主機関（Sulzer）製造メーカー別生産台数（2017 年）

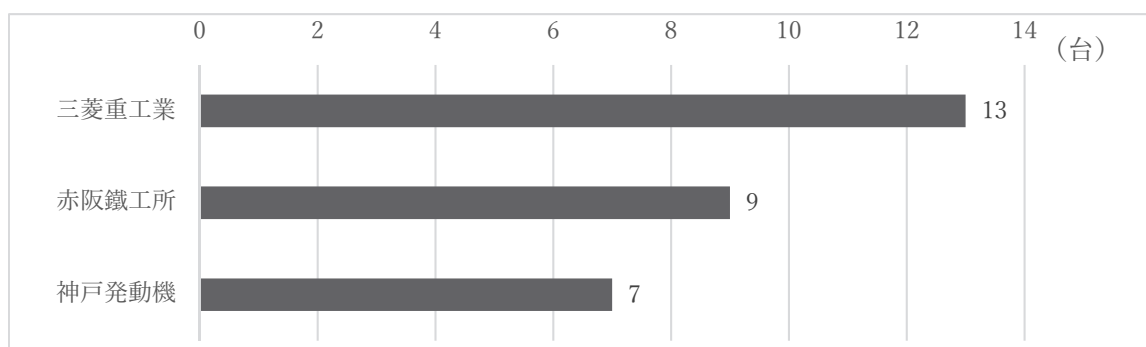


注：2017 年に竣工した 2000DWT 以上の商船に搭載された主機関を集計したものである。

（出所）日本船用工業会（2018）「各国船用機関の生産動向（第 43 号）」をもとに筆者作成。

三菱 UE は、ライセンサーの三菱重工業と、ライセンスの旧・神戸発動機（2017 年 4 月よりジャパンエンジンコーポレーション）、赤阪鐵工所がある。三菱 UE に関しては、日本のメーカーのみ生産している（図 3-37）。

図 3-37 2 ストローク低速ディーゼル主機関（三菱 UE）製造メーカー別生産台数（2017 年）



注：2017 年に竣工した 2000DWT 以上の商船に搭載された主機関を集計したものである。

（出所）日本船用工業会（2018）「各国船用機関の生産動向（第 43 号）」をもとに筆者作成。

### 3.5.2 主機以外の船用機器（補機）

機関室内にある補機については、航海中、停泊中の両方で常に動かす必要があるものと、航海中に主機を動かしているときに必要なものに分けられる（坂井・池田，2002）。坂井・池田（2002）では、常時必要な補機として、発電機、GS（General Service）ポンプ（雑用ポンプ）、清水ポンプ、サニタリー（衛生用）ポンプ、通風装置、冷凍装置などが挙げられている。また、航海中に必要な補機として、坂井・池田（2002）では、ディーゼル機関の場合、空気圧縮機、冷却海水ポンプ、冷却清水ポンプ、潤滑油ポンプ、燃料清浄機、潤滑油清浄機、燃料供給ポンプ、燃料移送ポンプなどが挙げられている。

今橋・沖野（2008）、金子（2015）にもとづくと、これらは機能によって、主機に燃料を供給する系統（燃料油清浄機など）、潤滑油を供給する系統（潤滑油清浄機など）、主機の部品を冷却する系統（清水ポンプなど）、空気を供給する系統（空気圧縮機など）などに分けることができる<sup>80</sup>。さらに、これらに加えて、発電と配電、蒸気の発生と供給、船体制御のための機器がある。

#### ● 燃料供給系

坂井・池田（2002）によると、以下のようなになる。まず、二重底などにある燃料タンクに貯蔵されている燃料が、燃料タンクから燃料油移送ポンプによって燃料油沈降タンクに送られる。その燃料油沈降タンクで燃料が加熱され、比重の違いを活かして不純物（かすや水分など）を沈降させて油分と分離させる。この油分は、清浄機（Purifier や Clarifier）<sup>81</sup>に送られ、遠心力によってさらに不純物を分離させる。これによって不純物が少なくなった燃料油は、燃料油常用タンクに貯められる。そこからこし器<sup>82</sup>を経て、主機にある燃料油噴射ポンプに送られ、加圧されてシリンダー内に霧状の燃料が噴射される（坂井・池田，2002）。

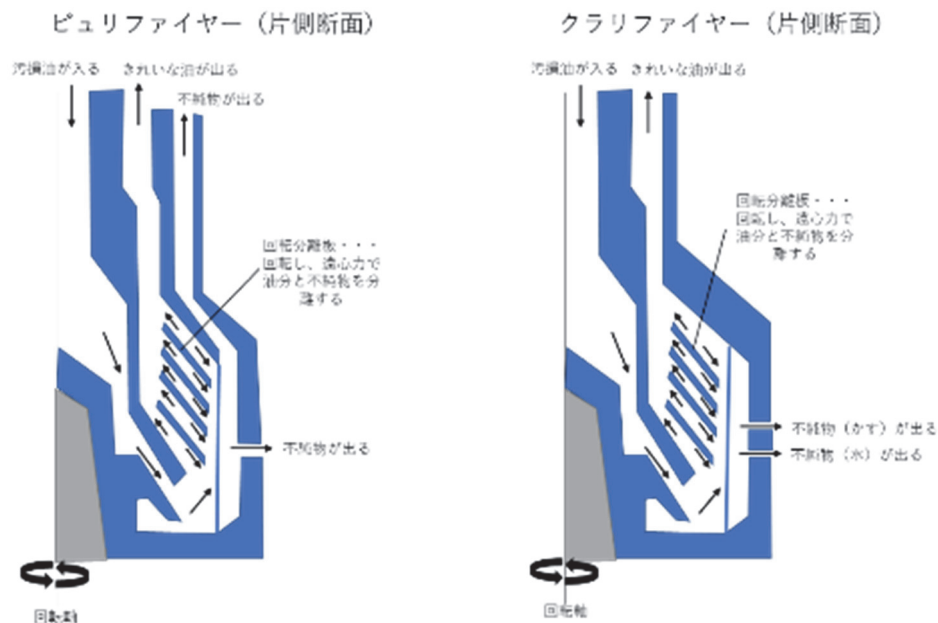
---

<sup>80</sup> 金子（2015）では、これらを主機の構成要素として挙げているが、本節では、推進用のディーゼル機関と分けるため、補機類の項目で説明することにする。

<sup>81</sup> 回転する筒の内部に回転分離板が複数枚取り付けられていて、回転分離板に沿うように油が流入し、回転による遠心力によって、比重の異なる油と水やスラッジを分離する仕組みである（図 3-38）（今橋・沖野，2008）。

<sup>82</sup> こし器では、スラッジや水をフィルターで濾過する。今橋・沖野（2008）によると、フィルターの目が細かいほど濾過の効果は高いが、目詰まりしやすくなるため、主機に近づくにつれて段々と目が細くなるように複数のこし器が配置される。

図 3-38 燃料油清浄機の構造



（出所）今橋・沖野（2008）p228 をもとに筆者加筆修正。

### ● 潤滑油供給系

今橋・沖野（2008）によると、この機能は以下の構成になる。クランクケースに付いている油だまりに潤滑油があり、そこからポンプ<sup>83</sup>を用いて潤滑油が送られ、こし器<sup>84</sup>などを通過し、油冷却器<sup>85</sup>に入って冷却される。その油は分岐配油管によって、主機などの中で運動する部品に供給される。こうして機関部品を通ってきた油はクランクケースの油だまりに戻り、再び、このサイクルをたどる。

### ● 冷却系

冷たい海水を利用して、高温になる主機を冷却する機能である。今橋・沖野（2008）によると、海水を用いる海水冷却器によって清水や油を冷却し、その冷却された清水がシリンダーや過給器を冷却する。冷却された油は潤滑油供給系の機器を冷却する。圧縮後の吸入空気は海水で直接冷却される。機関室内で冷却に用いられた海水は船外に放出され、代わりに新たな冷たい海水が取り込まれる。

<sup>83</sup> 潤滑油ポンプには機関駆動と電動があるが、大型のエンジンの場合、電動であることが多い（今橋・沖野，2008）。

<sup>84</sup> こし器は金網を使って油を濾過する（今橋・沖野，2008）。

<sup>85</sup> 冷却器は、中に多数の管が通っており、その管の中を冷却水が通り、その管の周りを潤滑油が通ることで冷却される（今橋・沖野，2008）。

## ● 空気系

ディーゼルエンジンを起動するのに必要な圧縮空気を作る機能である。坂井・池田(2002)によると、電動のコンプレッサーで作られた圧縮空気は、圧縮空気槽にためられ、エンジンを起動する際にシリンダー上部の起動弁に行き、そこからシリンダー内に注入され、ピストンが動くという仕組みになっている。

さらに、坂井・池田(2002)によると、出力を増やすために、大量の空気をシリンダーに供給するための過給器<sup>86</sup>が主機の上部などに取り付けられている。

## ● 発電・配電

船内のポンプ類、照明、通風装置、無線電信装置、航海計器、係船装置や操舵装置などを動かす電気を発電、供給する機能である(坂井・池田, 2002;金子, 2015)。坂井・池田(2002)によると、発電機にはディーゼル発電機、タービン発電機<sup>87</sup>、主機駆動発電機<sup>88</sup>がある。川崎(2017)によると、ディーゼル発電機は、一般的に4ストロークの高速回転のエンジンが使われ、故障による電源喪失を防ぐため、複数台設置される。

機関室内に収まる、機関室の各機能を構成する補機(船用部品)の概略は以上のようなが、一般的に、これらの船用部品はカタログ購買される。一方、前節でふれたように、機関室のレベルでみると、船殻を最大化する必要から、機関室は最小化することが求められる。すると、造船会社が船の設計において調整しなくてはならない問題は、最小化する必要がある機関室の中に、業界標準の船用部品をどのように配置するかという問題に行き着く。

## 3.6 造船の設計、生産プロセス

本研究は、造船会社の設計に着目するものである。そこで、本節では造船会社における設計から生産、引き渡しまでの一般的なプロセスを述べるが、先に全体像を示すと、図 3-35 のようになる。

## ● 設計

まず、船主(注文主)が建造したい船に対する基本的な要求事項(積荷の種類、1回に運ぶ量、就航航路、幅・喫水などの運航上の制約条件、速度、納期など)を造船会社に打診する(川崎, 2017; 池田, 2008)。

---

<sup>86</sup> この過給器は、主機の排気ガスで排気ガスタービンを動かし、送風機を駆動するターボチャージャーとなっている(坂井・池田, 2002)。

<sup>87</sup> 補助ボイラーと主機からの排気ガスの余熱で作る蒸気を用いるもの(坂井・池田, 2002)。

<sup>88</sup> 主機を発電機としても利用するタイプのもの(坂井・池田, 2002)。

この引き合いがあると、基本設計がはじまる。造船会社が船主（注文主）からの基本要求事項を満たす設計を行い、船価を見積もる。このとき、造船会社は船体の長さ、幅、喫水などの主要目、船型、速度、機関（出力）、船内配置、積載能力、荷役方法などの項目が要求を満たすかどうか、使いやすいかどうか、安全性について船級などの規則に定められた項目を満たすかどうか、といった検討を繰り返し<sup>89</sup>、見積を船主（注文主）に提示、協議する（引き合い）（川崎，2017；池田，2008；2017a）。提示した条件で船主から発注の内示を受けると、造船会社は船のシステム全般を規定したより詳細な仕様書、配置関係を図示した一般配置図、居住区配置図、機関室配置図を作成する。こうした基本設計がまとまった段階で船主（注文主）と協議し、契約を締結する（池田，2009）。

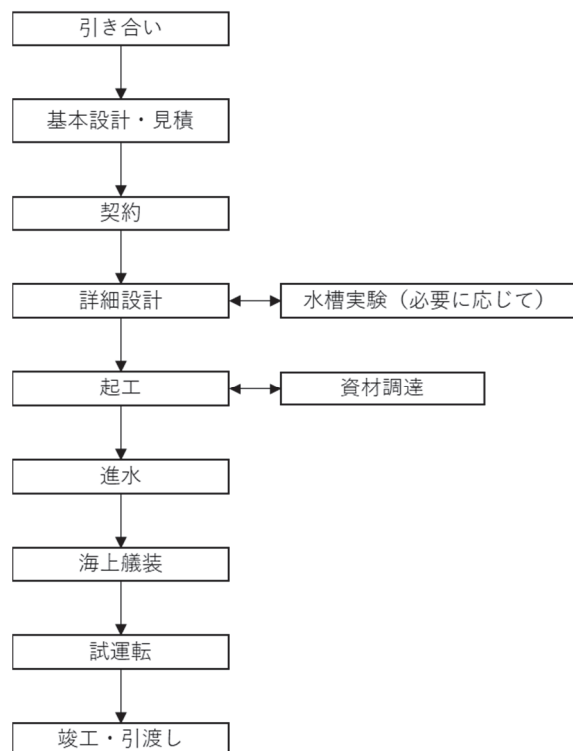
契約をすると、つぎに詳細設計・生産設計<sup>90</sup>に入る。ここでは、船首尾、居住区、船殻などの船体の各部位の詳細な構造設計や、機関艙装をはじめとする各部位の艙装（鉄艙装、管艙装、電装など）の詳細設計が行われる。また、鋼板からどのように無駄なく部材を切り出すか、どのような順番でブロックを組み立てたり艙装品を組み付けるかといった船の建造に必要な図面を作る（池田，2009；2017a）。さらに、詳細設計にもとづいて、生産設計においてクレーンの能力を考慮したブロック分割や、総組み立て工程（船台・ドック工程）のブロック搭載スケジュールが決められる（池田，2017a）。こうした詳細設計・生産設計の作業と並行して、鋼材や船用部品といった発注も行われる（図 3-39）。

---

<sup>89</sup> この繰り返しは「デザイン・スパイラル」と呼ばれている（池田，2008；2017a）。

<sup>90</sup> 詳細設計・生産設計の段階で、いくつかの種類の図面がアウトプットされる。ここで主な者を取り上げると、まず基本構造図（Key Plan）は、船体全体や各部位の強度や振動特性を検討、解析し、船体の各部位の板厚や骨のサイズなどの強度情報を示したものである。これで船級協会の承認をうける。船級承認を経て、船体をいくつかのブロックに分割したブロック分割図を作り、ブロックごとに構造詳細図（Yard Plan）を作る。このタイミングで、船体の鉄艙装（荷役装置のや装備品の詳細設計）、管艙装（船体の各タンクをつなぐ配管、船殻の通風など、居住区の配管や空調などの詳細設計）、電装、機関艙装などの設計を行う。このあたりが最も調整やすり合わせが必要なフェーズである。こうした詳細設計図を生産現場に展開するために、ブロック姪、部材名、部材番号などを図面に記入して政策情報を織り込んだ工作図が作られる。さらに、一品展開図（一品図）として、それぞれの部材の大きさ、場所などを盛り込んだ設計図面が作られる。この一品展開図ができる段階で NC データと外観ができあがる（具・加藤・向井，2010；関西造船協会編集委員会，2010）。

図 3-39 造船会社の設計から引き渡しまでの一般的なプロセス



（出所）川崎（2017）、池田（2008；2009）、日本造船工業会（2006）、具・加藤・向井（2010）をもとに筆者作成。

## ● 生産

こうした設計プロセスを経て、それにもとづいて資材の調達がなされ、その資材が納入されると（水切り）、以降は生産プロセスとなる。日本国内の造船所における典型的な生産プロセスは図 3-40 の通りである<sup>91</sup>。

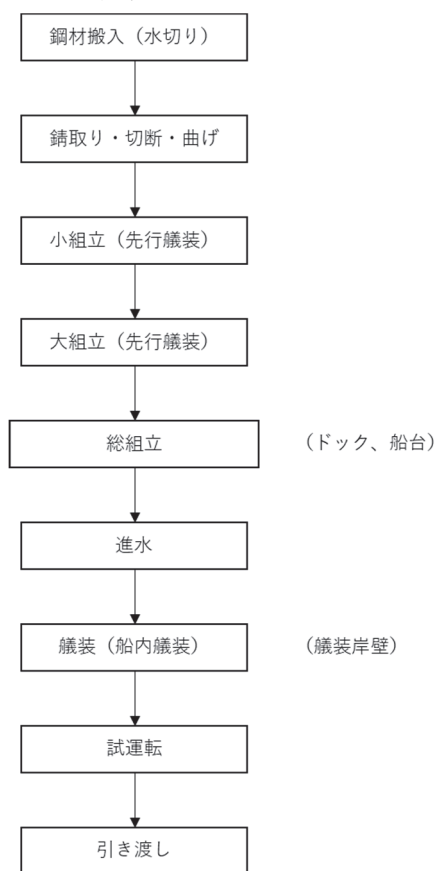
造船所は鋼材を製鉄所から購入する。搬入（水切り）された鋼材を、工場で切断・曲げ加工・溶接して小ブロックを作る。小ブロックをいくつか溶接で接続して徐々にブロックを大きくし、総組立工程に供給する大ブロックを作っていく。ブロック生産工程の各段階において塗装作業も行われる。なおブロックは、船首や船尾部など複雑な曲面形状のブロック（曲げブロック）と、船体中央の並行ブロックがあり、これらを分けて作られることもある。また、このブロックを作る段階で、一部の船用部品の搭載やその配管接続などをブロックの中にあらかじめ施しておく先行艤装も行われる。こうした大ブロックや船用部品の先行艤装済みのブロックあるいは船用部品群はドックのそばまで搬送され、ゴライアスクレーンまたはジブクレーンで吊り上げてドック内に置かれ、ここで大ブロック同士が溶接される（総

<sup>91</sup> なお、韓国の造船所は大ブロック組立工程とその移動、大ブロック同士の総組立工程が国内造船所とは相当異なる。

組立工程)。この総組立工程で船の形となる。また、総組立工程において、主機やプロペラなども搭載され、運転可能な状態にされる。この総組立工程の後、進水させ、艀装岸壁などで居住区、船殻、機関室などの残りの艀装作業が行われる。

この一連の生産プロセスの中で、一般的にボトルネックになるのは船台・ドックにおける総組立工程（大ブロックを溶接する工程）であるといわれている（具・加藤・向井，2010；具・加藤，2013a）。しかし、ドック（あるいは船台）は、造船不況期（1章）以降の設備拡張に関して抑制的な規制に加えて、そもそも浮力が働かない船体を支える必要があるためにフレームの埋設や地盤の強化などが必要になることから、そう簡単に能力を拡張することができない。そこで、ボトルネックの工程の作業負荷を減らすため、総組立前の先行艀装や、総組立後の進水後にも艀装作業が行われる（池田，2009；具・加藤・向井，2010；川崎，2017）。また、ブロックをつり上げるクレーンの能力を増強することで、より大型のブロックを作り、総組立工程でのブロック搭載個数を減らし、ブロック同士の溶接作業を削減するといった取り組みもなされる（池田，2009；具・加藤・向井，2010；向井・新宅・朴・辺，2015；八木，2015）。

図 3-40 造船会社における一般的な生産プロセス



（出所）日本造船工業会（2006）、池田（2009）、具・加藤・向井（2010）をもとに筆者作成。



### 3.7 事例研究の導入（方法と対象）

4 章以降は、事例研究である。本章で確認したように、製品レベル（船体）はその上位システムである海事産業との相互依存関係を勘案した設計、すなわちアーキテクチャ選択がなされる。船体は、船殻、居住区、機関室からなる。船殻は貨物を載せる部分であるため、船体の中では常に最大化して積載効率を高める必要がある。居住区は、船殻や機関室と比べると、比較的独立的に設計がなされる。これに対し、機関室は、使用環境によって設計が決定される船体の中で、船殻最大化を図ることと引き換えに最小化が求められる。さらに、機関室内に搭載される船用部品は、船体に最適化されるわけではなく、既存設計の業界標準品である。すると、船全体の設計における調整問題は、機関室内の船用部品のレイアウトやつなぎ方をどのように設計するのか、すなわち機関室内のアーキテクチャ選択という部分に集約される。

このように、造船産業において、製品の設計におけるアーキテクチャ選択が、船体レベルと機関室内部（船用部品）レベルでなされることが、3 章を通じて確認された。そこで、4 章以降の事例研究では、造船各社がこれら 2 つの階層においてどのようにアーキテクチャ選択を行っているのかに注目していく。

4 章以降の事例の調査方法は、複数の対象企業の設計技術者に対するセミストラクチャード・インタビューによって得られた 1 次資料と、各企業に関する公刊の資料やデータ、文献などの 2 次資料にもとづく定性的な事例研究である。

対象は、筆者が 2009 年から 2016 年にかけて訪問した造船会社のうち、「中手」造船会社と呼ばれる造船専門の 4 社、今治造船、大島造船所、A 社、名村造船所を取り上げ、各社のばら積み船の製品開発を選択する（表 3-3）。

これらの事例の選択理由は、第一に、これらの 4 社は、いずれもばら積み船を主力としていることである。ばら積み船は外航船舶においては最も大きな割合を占めており（1 章）、造船業界において最も代表的な船種（セグメント）であるといえる。

これらの事例を選択する第二の理由は、上記の日本の「中手」造船 4 社は、いずれも 2000 年代に生産量が増加しており、少なくともこの時期は、ある程度、新造船事業が堅調であると思われることである。そうした状況から、近年ではこれらの「中手」は、「大手」造船会社を大幅に上回る受注量、生産量、業績をあげようになっていることから、「強手」とも称されることもある（日本経済新聞 2004 年 6 月 24 日；麻生，2007）。このように、これらの 4 社は競争力を維持していたこと、事業環境などが類似していることから、そうした事例を選択することで、その他の条件をできるだけ揃えることができ、製品開発における製品アーキテクチャの選択について検討できると考えられるからである。

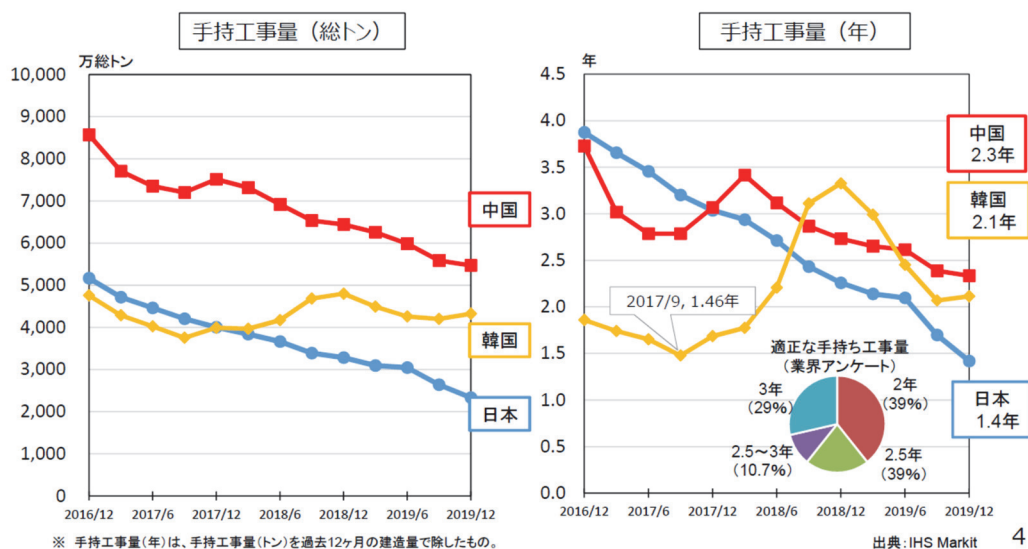
なお、ここ数年、業界全体で受注量が減少しており、日本全体では、2019 年 12 月時点で手持ち工事量が 1.4 年と 2 年を下回っている（図 3-41）。日本の造船所では、2 年分以上の手持ち工事量が適正とされており、それと比べて半年分以上下回っている状況である。この

ように、造船不況期で受注残が減少する局面では、採算性が悪かったり、造船会社側が積極的に受注したい船種・船型でなくても、操業を維持するために受注を得ようとする考えられる<sup>92</sup>。こうした局面では、製品アーキテクチャを設計する側が選択するという能動的な行動をとりにくくなると考えられる。そこで、製品アーキテクチャの選択にあたっての設計側の認識を捉えることが可能になると考えられるため、比較的好況期であった 2000 年代から 2010 年代初頭にかけての話に焦点を絞ることとする。

第三に、2000 年代の企業別のトータルの生産量が 100～数百隻と開きはあるが、100 隻であっても造船業界の中では生産量が多い方である。また、主力製品の生産隻数をみると、同一モデル 200 隻が商船として戦後最多とされる業界において、いずれも数十隻と、比較的多い方である（海事プレス，2013）。上の第一、第二の理由としてあげた点に関して、代表的な企業が、上記の日本の「中手」造船会社 4 社であったといえる。そうした事例に絞ることにより、生産量に関する条件をある程度コントロールした上で、事例の検討が行えると考えられるためである。

本研究の問題意識に対して、実証研究の方法と対象が以上のように決まった。そこで、以降の 4～7 章では大きさと設計の選択、具体的には「相対的な大きさ」と「アーキテクチャの階層」の選択という観点から、この 4 社の比較分析を行うこととする。

図 3-41 近年の手持ち工事量の推移



（出所）国土交通省海事局（2020b）（p9）より引用。

<sup>92</sup> 日本海事新聞 2020 年 7 月 17 日

表 3-3 4～7 章で取り上げる造船会社

		今治造船	大島造船所	A 社	名村造船所
平均総トン数		45238	34554	39614	57853
生産隻数（2000～09）		594	256	363	127
設計者数		380	152	300	180
代表的な船種		ばら積み船	ばら積み船	ばら積み船	ばら積み船
代表的な製品 例（※1）		ハンディ BC (28BC)  (約 1.8 万 GT)	ハンディマッ クス BC (56BC)  (約 3.1 万 GT)	パナマックス (82BC)  (約 4.3 万 GT)	WOZMAX (25 万 DWT 級鉄鉱石ばら 積み船)  (約 13 万 GT)
	累計竣工隻数 (2000～ 2009)	97（※3）	27（※4）	32（※5）	20（※6）

（※1）公刊資料<sup>93</sup>をもとに生産量が多いモデルか船型・船種の中で最多のもの、または 2000 年代において「シェアが高い」、「他社と比べて得意である」とヒアリングで述べられたものを挙げている。

（※2）公刊資料<sup>94</sup>・各社ホームページ掲載の実績またはヒアリングによる。

（※3）「28BC」は 200 隻（1992～2014 年）

（※4）47 隻（2000～14 年）

（※5）「カムサマックス」は 150 隻（2008～15 年）。

（※6）「WOZMAX」（2010～15 年）の隻数。

（出所）インタビューおよび、各社のホームページ、公刊資料をもとに筆者作成。

<sup>93</sup> 対馬・功刀・武田（2011）、海事プレス（2013）、海事プレス（各年版）「KP DATA」

<sup>94</sup> 対馬・功刀・武田（2011）、海事プレス（2013）、海事プレス（各年版）「KP DATA」

## 4 章 有力顧客との関係を活かした設計選択：今治造船のハンディサイズばら積み船の事例<sup>1</sup>

### 4 章 有力顧客との関係を活かした設計選択：今治造船のハンディサイズばら積み船の事例<sup>1</sup>

2 章での検討から、製品システムを階層構造で捉え直すことによって、焦点を当てる製品だけではなく、その製品を取り巻く使用環境など、ハード／ソフトの別を超えた諸要素も合わせてのシステムとして人工物のもつアーキテクチャを分析することができることが考えられた。その上で、企業が、手がける製品の相対的な「大きさ」という物理的な要因と、製品の設計特性（製品アーキテクチャ）の選択をどのように行い、競争力に影響するのかを検討することが、本研究の課題であるといえる。

さらに、2 章で検討した階層構造的な見方を用いて、3 章において船およびそれを取り巻く海事システム全体を概観したところ、図 3-28 の階層構造図のように表現することができた。

すると、次の課題は、具体的な船の設計において、「相対的な大きさ」と「アーキテクチャの階層」の選択を議論することである。そこで、以降の章では、それぞれの造船会社は具体的な事例を取り上げ、実際にどのように「相対的な大きさ」と製品アーキテクチャが選択されているのかを検討する。

3 章では海事システムの違いという見地から外航海運に使われる船舶の設計的特徴を船種ごとに分析した。そこでは、船舶の「相対的な大きさ」が設計特性（例えばアーキテクチャ）に対して持つ影響に、船種の違いを超えた一般的な傾向性が存在する可能性が示唆された。そこで 4 章以下では、最も大きなセグメントであるばら積み船に絞り、「相対的な大きさ」の選択が設計選択に与える影響について、日本の「中手」造船会社を対象とした比較分析を行う。こうした「中手」造船所は、1 章でも概観したように、2010 年代に国際競争力を維持したことが知られているので、その設計選択には合理性があると推測されるからである。

ここまでの議論を踏まえ、4～7 章においては、日本の中手造船会社 4 社による、いわゆるばら積み船における設計選択、特にアーキテクチャの階層的な選択について、事例分析により比較を試みる。この際、とくに製品の「大きさ」が設計選択に与える影響に焦点を当てる。そこで本章では、まず、比較的小型の船を主力製品としている今治造船の事例を取り上げる。

---

<sup>1</sup> 本章は、今治造船丸亀事業本部で行われた、設計部門担当の役員 2 名、経理部門担当の役員 1 名に対するインタビュー（2014 年 5 月 8 日、肩書きは当時）、および公開資料、今治造船ホームページにもとづく。なお本章は、向井（2020b）の記述を加筆、修正したものである。

#### 4.1 今治造船の概要、沿革、竣工実績について

1901年に檜垣為治氏が檜垣造船所を創業した。その後、為治氏の次男の正一氏によって、1940年に檜垣造船所と今治、波止浜の他の個人造船所と合同で今治造船有限会社が設立された。1940年には、今治の鉄工所や建築会社などの商工業者が出資した今治船渠株式会社も成立している。この両社が1942年に合併して、今治造船株式会社（以下、今治造船）が発足した。戦後、正一氏は、終戦時に今治造船をやめ、1946年に檜垣造船所を設立していた。一方で、今治造船は1954年に経営不振から休業していたが、檜垣家の正一氏と息子の俊幸氏をはじめとする兄弟が中心となり今治造船を買収する形で操業を再開し、同時に鋼船の生産に移行した。1959年に一番船を竣工させた499総トン（GT）の「F型標準船」（後述）は、内航船の鋼船化の需要に合致して成功し、後の「ISシリーズ」につながった。また、1960年代にはタンカーなどの大型の外航船への進出<sup>2</sup>のために新工場建設を検討し、1970年に丸亀工場（現在の丸亀事業本部<sup>3</sup>）を建設した。1980年代に入ると、瀬戸内海の造船会社を買収し<sup>4</sup>、また1984年には西条工場を建設した（今治造船，1977；2005；横山，2001）。なお、今治造船は、造船専門の「中手」造船会社（非上場<sup>5</sup>）である。

2012年には生産隻数の累計が2000隻になった。特に1990年代以降生産量を伸ばしており、近年では年間100隻超の生産量となっている。日本国内の造船ではシェア約26%（総トン数ベース、2012年）と、国内最大の生産量となっている。

生産拠点は、瀬戸内海に9か所の新造船工場<sup>6</sup>をもち（2016年12月時点）、海外に造船工

---

<sup>2</sup> 檜垣俊幸氏は、1960年にNBC（ナショナル・バルク・キャリア）の呉工場において、建造中の80,000DWT級のタンカーを見ていた（横山，2001；今治造船，2005）。

<sup>3</sup> 同社の製品開発の拠点となっている。また、2018年には曳航試験水槽と対航性能試験水槽を備えた船型開発センターを建設した（日本海運集会所，2017）。

<sup>4</sup> 1979年西造船、1980年今井造船、1983年岩城造船、1986年幸陽船渠、1993年新山本造船、2001年ハシゾウ、2005年しまなみ造船、新笠戸ドックをグループ傘下に収めている。

<sup>5</sup> 営業利益率のデータは得られなかった。

<sup>6</sup> 新造船の建造拠点は、本社（今治工場）（船台1基：166×28m、ドック1基：211×43m）、丸亀事業本部（ドック3基：270m×45m、370m×45m、610m×80m）、西条工場（ドック1基：420m×89m）、広島工場（旧幸陽船渠）（ドック2基：378m×59m、350m×56m）、岩城造船（ドック1基：215m×38m）、しまなみ造船（船台1基：200×34m）、新笠戸ドック（ドック1基：255×50m）、あいえず造船（ドック1基：178×30m）、多度津工場（ドック1基：380m×60m）がある（今治造船，2014；今治造船ホームページ

（[http://www.imazo.co.jp/html/comp/news\\_list.html](http://www.imazo.co.jp/html/comp/news_list.html)）2017年1月1日、2020年9月3日アクセス）。2017年9月に完成した丸亀事業本部の第3号ドック（610m×80m）は、深さ11.7m、1,330tゴライアスクレーン、50tジブクレーン2基を備えており、20,000TEU級の大型コンテナ船や300,000DWT級タンカーや400,000DWT級鉄鉱石ばら積み船などの大型船の建造が可能になっている（日本海事新聞2017年9月20日；10月2日；10月26日；日本海

場は持っていない<sup>7</sup>。設計部門は丸亀工場に集約されている。国内の生産拠点は瀬戸内海地方に集中しており、自社で設立した拠点と、企業買収によって獲得した拠点とがある。

近年は、「大手」造船企業との提携も行っている。2017年には三菱重工業、大島造船所、名村造船所との技術提携<sup>8</sup>、2019年7月には今治造船から三菱重工海洋鉄構へのVLCCタンカーの建造委託<sup>9</sup>が行われた。さらに2020年3月には、JMU（ジャパンマリンユナイテッド）と資本業務提携および合併会社設立について合意された<sup>10</sup>。

生産量は、1980年代から90年代前半にかけては年間20隻程度で推移しているが、2000年代に急速に伸びており、2012年には年間100隻超となり、近年は国内最大の生産規模となっている（図4-1）。これは、前述のように瀬戸内海地方の企業を買収したことに加え、1995年に西条工場第一期工事（ブロック工場）完成、2000年に西条工場第二期工事（大型ドック）完成、2002年に幸陽船渠（現広島工場）、岩城造船に新ドック完成、2004年に今治工場の新ドック完成、2017年9月の丸亀事業本部の第3号ドック建設といった設備の拡張を進めたことによるものである。また、2015年1月には元常石造船の多度津工場を買収している。

製品については、船種は1980年代から一貫してばら積み船の比重が高い。その他、タンカーやコンテナ船、自動車運搬船、LNG船も手がけている（表4-1～4）。これは、複数の船種の設計・生産能力を維持しておき、需要の変化に応じて主力船種を切り替えることによって、船価変動リスクを回避するという方針のためである。最近でいえば、東日本大震災後、電力が火力にシフトすることを見込んで、その燃料となる石炭輸送用のばら積み船の受注に集中した。また、大型の20,000TEU積みのコンテナ船や178,000m<sup>3</sup>積載のLNG船も手がけている。さらに20,000TEU積みのコンテナ船（全長約400m×幅約59m）などの大型船建造に対応するため、丸亀事業本部では長さ600m×幅80mのドックを2017年9月に建設した<sup>11</sup>。

---

運集会所、2017；今治造船ホームページ（<https://www.imazo.co.jp/news/170922/>）2020年9月3日アクセス）。

<sup>7</sup> ただし、ブロックの一部は大連の自社工場で組み立て、国内拠点に輸送している。

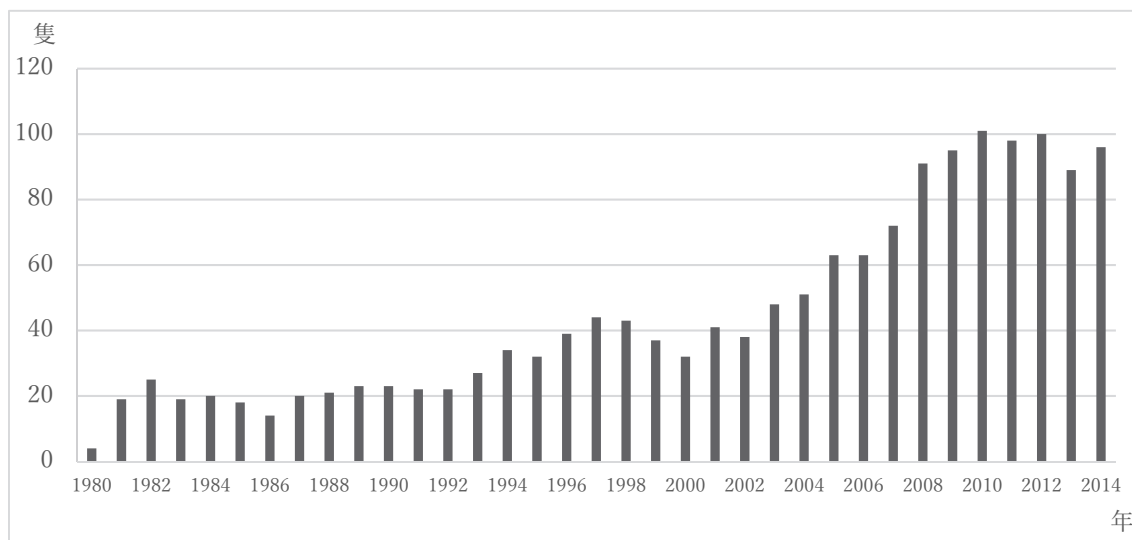
<sup>8</sup> 日本海事新聞2017年6月15日

<sup>9</sup> 今治造船ホームページ（<https://www.imazo.co.jp/news/190627/>）2020年9月9日アクセス

<sup>10</sup> 今治造船ホームページ（<https://www.imazo.co.jp/news/200327/>）2020年9月9日アクセス

<sup>11</sup> 今治造船ホームページ（[http://www.imazo.co.jp/html/comp/news\\_list.html](http://www.imazo.co.jp/html/comp/news_list.html)）（2017年1月1日アクセス）、日本海事新聞2017年9月20日・10月2日

図 4-1 今治造船 竣工隻数



(出所) 海事プレス (各年版)「KPDATA」をもとに筆者作成。

今治造船は従来から「船のデパート」を標榜しているが、このように同社は割合を変化させながら、複数の船種を手がけていた。以下では、過去はどのような船種・サイズの船を作られてきたのかを概観する。

海事プレス社の「KP DATA」に掲載されている竣工船の隻数をみると、1980年代の10年間、船種については半分以上がばら積み船となっている(表 4-1)。サイズについてみると25,000GT未満の比較的小型の船が半分以上となっている。船種・総トン数のクロス集計でも、183隻中72隻と、小型のばら積み船の竣工隻数が最も多くなっている。また、次に多いのはやはりばら積み船で、25,000GT以上50,000GT未満の31隻となっている。よって、183隻中103隻と約56%が50,000GT未満の比較的小型のばら積み船となっている。

ただし、こうした小型のばら積み船だけではなく、50,000GT前後(25,000GT以上50,000GT未満、50,000GT以上75,000GT未満)のタンカー、50,000GT未満のコンテナ船や自動車運搬船なども手がけていた。

表 4-1 今治造船 船種・総トン (GT) 数別竣工隻数 (1980～1989 年)

	25000GT 未 満	25000GT 以 上 50000GT 未満	50000GT 以 上 75000GT 未満	75000GT 以 上 100000GT 未満	100000GT 以上	計
ばら積 み船	72	31	1	0	0	104
タンカ ー	6	12	11	0	0	29
コンテ ナ船	7	10	1	0	0	18
ガスキ ャリア	0	0	0	0	0	0
自動車 運搬船	12	9	2	0	0	23
客船	2	0	0	0	0	2
艦船	0	0	0	0	0	0
その他	7	0	0	0	0	7
計	106	62	15	0	0	183

(出所) 海事プレス「KP DATA」をもとに筆者作成。

つづいて、1990 年代の竣工船についても同様に概観する (表 4-2)。すると、1990 年代に竣工したのは 323 隻と、1980 年代から約 1.8 倍に生産量を増やしている。323 隻の中で、最も多いのは 25,000 総トン (GT) 以上 50,000GT 未満のばら積み船の 91 隻、ついで 25,000GT 未満のばら積み船で 48 隻となっており、これらで全竣工船の約 43%を占めている。1980 年代と比べると、比較的小型のばら積み船が多いことは同じであるが、その割合は減少している。

そのかわりに、50,000GT 以上 75,000GT 未満のタンカーや、25,000GT 未満のコンテナ船の竣工船が大幅に増加している。50,000GT 以上 75,000GT 未満のタンカーの割合が増えた分、1980 年代と比べると、全体の中で 50,000GT 以上の割合が増加していることがうかがえる。なお、「KP DATA」によると、同社の中では大型のドックがある今治造船丸亀事業本部 (1971 年完成) と 1986 年に買収した幸陽船渠において生産されていた。



表 4-2 今治造船 船種・総トン (GT) 数別竣工隻数 (1990～1999 年)

	25000GT 未 満	25000GT 以 上 50000GT 未満	50000GT 以 上 75000GT 未満	75000GT 以 上 100000GT 未満	100000GT 以上	計
ばら積 み船	48	91	3	6	0	148
タンカ ー	23	8	43	0	0	74
コンテ ナ船	45	11	9	0	0	65
ガスキャ リア	1	0	0	0	0	1
自動車 運搬船	2	2	5	0	0	9
客船	2	0	0	0	0	2
艦船	0	0	0	0	0	0
その他	24	0	0	0	0	24
計	145	112	60	6	0	323

(出所) 海事プレス「KP DATA」をもとに筆者作成。

2000 年代に入ると、全体の竣工隻数が 596 隻と、1990 年代の 10 年間の約 1.8 倍に増加している。船種でみるとその中で最も多いのは、ばら積み船で約 6 割を占めており、1990 年代よりも割合は増えている。また、サイズでみると、50,000GT 以上の比較的大型の船型の割合が増加しており、なかでも 1990 年代にはなかった 100,000GT 以上のものを手がけるようになっているのが大きな特徴である (表 4-3)。「KP DATA」によると、幸陽船渠で生産されているガスキャリア (LNG 船) 2 隻を除いて、100,000GT 以上のばら積み船とタンカーは、すべて 2000 年に大型ドックを完成させた西条工場で作られている。

ばら積み船のなかで最も多いのは 25,000GT 以上 50,000GT 未満、ついで多いのが 25,000GT 未満であることは、1990 年代と同様である。1990 年代と異なるのは、75,000GT 以上 100,000GT 未満および 100,000GT 以上の比較的大型のばら積み船が大きく増えていることである。

1990 年代と比べると、50,000GT 以上のコンテナ船が増えている。こうしたコンテナ船はすべて幸陽船渠において作られている。

表 4-3 今治造船 船種・総トン（GT）数別竣工隻数（2000～2009 年）

	25000GT 未 満	25000GT 以 上 50000GT 未満	50000GT 以 上 75000GT 未満	75000GT 以 上 100000GT 未満	100000GT 以上	計
ばら積 み船	111	171	12	48	24	366
タンカ ー	10	40	22	0	8	80
コンテ ナ船	48	4	47	5	0	104
ガスキ ャリア	0	0	0	0	2	2
自動車 運搬船	1	0	38	0	0	39
客船	2	0	0	0	0	2
艦船	0	0	0	0	0	0
その他	3	0	0	0	0	3
計	175	215	119	53	34	596

（出所）海事プレス「KP DATA」をもとに筆者作成。

2010 年代前半に関しては、竣工隻数 484 隻中 425 隻と約 88%がばら積み船である点が、2000 年代以前との大きな違いである（表 4-4）。これは、2011 年の東日本大震災をきっかけに火力発電用の石炭輸送の需要が増大し、石炭輸送向けのばら積み船を重点的に受注し対応したためである。その分、ばら積み船以外の船種の竣工割合が大幅に減少しており、「船のデパート」としてはやや特殊な状況にあったと考えられる。実際、『COMPASS』（2015 年 3 月号）の中で、同社の檜垣幸人社長は「オールラウンドにどんな船型でも対応できれば、それだけ不況に強くなる。船型特化した造船所の方がコスト競争力は高いかもしれないが、世界の海運マーケットがどう動くかで、新造船の需要は変わる。例えば次はタンカーの需要が噴くかもしれない。2020 年にはバルクが低調で需要がコンテナと LNG だけになるかも

しれない。造船所としてレパトリーをそろえておけば、その都度話もいただける」と述べている（中村・対馬・廣末，2015）。このコメントから、同社としては、多様な船種、船型を作る能力を備えておいて、その時々市況や需要にあわせて何を中心に作るかを変化させていることがうかがえる。

また、同じ記事の中で、同社の檜垣幸人社長は「高付加価値の船はもうかるように見えるが、必ずしもそうではない。やはり基礎はバルクのような船種でコストを合わせる力をつけることだと思う。安い船価で鍛えられた造船所が、高付加価値船でも競争力が出るものと思っている。」と述べている（中村・対馬・廣末，2015）。このコメントからは、同社は、多様な船種を手がけつつ、ばら積み船を主力として位置づけていることがうかがえる。

表 4-4 今治造船 船種・総トン（GT）数別竣工隻数（2010～2014 年）

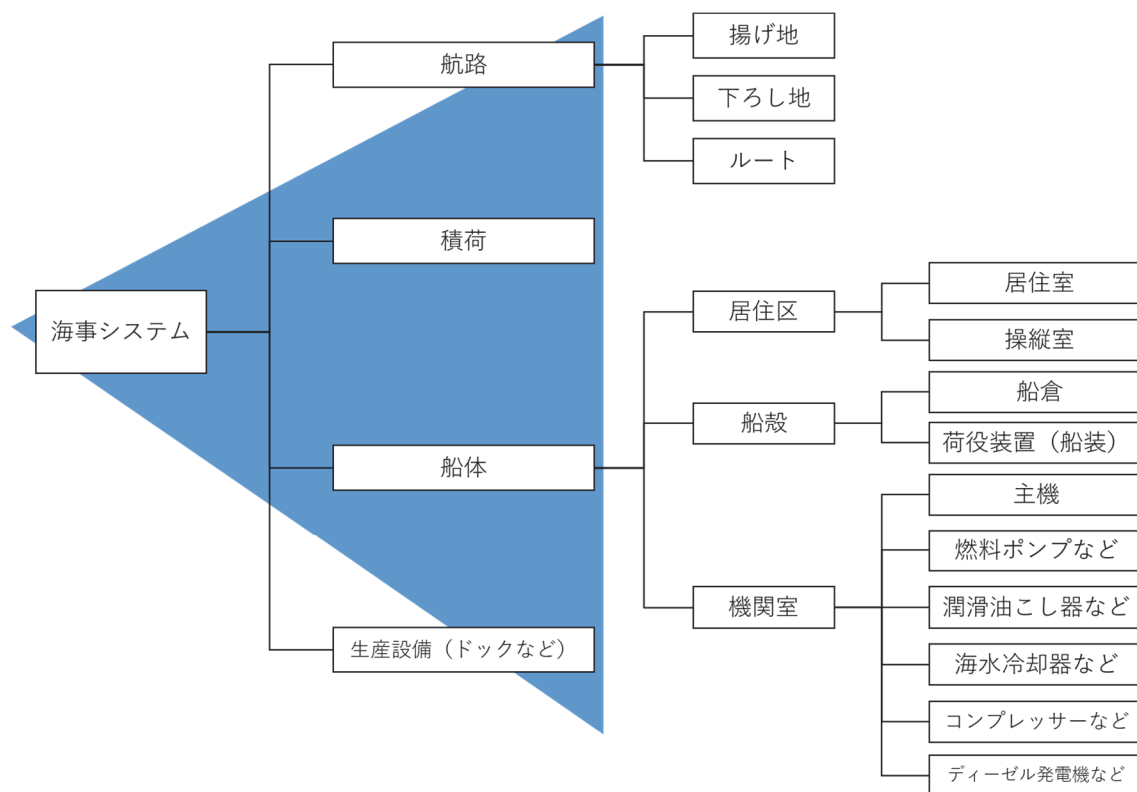
	25000GT 未満	25000GT 以 上 50000GT 未満	50000GT 以 上 75000GT 未満	75000GT 以 上 100000GT 未満	100000GT 以上	計
ばら積 み船	168	110	48	88	11	425
タンカ ー	0	17	0	0	1	18
コンテ ナ船	6	0	7	2	0	15
ガスキ ャリア	0	0	0	0	1	1
自動車 運搬船	0	0	25	0	0	25
客船	0	0	0	0	0	0
艦船	0	0	0	0	0	0
その他	0	0	0	0	0	0
計	174	127	80	90	13	484

（出所）海事プレス「KP DATA」をもとに筆者作成。

## 4.2 船体設計

上記のように、どの船種についても 1980 年代、90 年代は 50,000GT 未満の中小型船が大半であった（表 4-1、2）。その後、2000 年代以降になると、50,000GT 以上の船も増加している（表 4-3、4）。本節では、今治造船の船体設計の階層について記述する（図 4-2）。

図 4-2 階層構造における本節の着目点（今治造船の船体設計）



（出所）筆者作成。

前述のように、同社はばら積み船、タンカー、コンテナなど複数の船種を作っているが、それぞれの船種で「シリーズ船」を用意する標準船戦略がとられていて、いくつかの船型に絞られている。これについては、インタビューにおいても、「船型開発に力を注いでおり、ワールドスタンダードの船型を生み出すこともしばしばある」<sup>12</sup>と述べられていた。

たしかに、同社は 1960 年代に内航船から外航船（近海船）の建造に進出したが、このとき「IS シリーズ（イマバリシップ）」<sup>13</sup>と呼ばれる同型船のシリーズを開発している。この

<sup>12</sup> 設計部門担当の役員 2 名のコメント（2014 年 5 月 8 日）。

<sup>13</sup> これ以前にも「標準船」の船型開発を行っていた。それが、「F 型標準船」と呼ばれるもの

「IS シリーズ」の中で「IS-6」<sup>14</sup>(6,000～6,500DWT)はベストセラーとなった<sup>15</sup>。溝田(1997)は、「IS-6」の成功要因として、

- ・ 「IS-6」は船主や実際に運航に携わる船員からの要望を聞いて問題点をすぐに改良したこと
- ・ 他社の同クラスの船と比べて 10%以上貨物の積載量が多くできることやエンジンルームが比較的コンパクトであったこと
- ・ 生産現場での複数のジブクレーンの運用でブロックの大型化を実現したことによる短納期が船主に訴求したこと
- ・ 自動車の販売のように船を 5 年周期で買い換えるような中古市場の創造とそのため購入資金を保有船の下取りの売却益と傭船料収入からの延べ払い方式を導入したこと

---

である。「F 型標準船」自体は、船舶改善協会が 1939 年に制定したもので、総トン数は 499～640 総トン (GT) とされた。この「F 型標準船」は、輸送能率の悪い木造戦時標準船に代わって内航船として石炭輸送を担わせる目的のものであった (日本造船学会, 1973)。ただし、企業間では「標準船と言いながらも基本性能が同じである以外は機材の規格や細部の設計に統一性はなかった」(今治造船, 2005、p105) ため、「総トン数 490 総トン、載貨重量 771 重量トン、航海速力 10 ノット、主機ディーゼル、最大馬力 600 馬力、主要寸法 50.0×8.4×4.2 という主要目ではあったが、細部においては今治造船のオリジナリティを生かすことができたのである」(今治造船, 2005、p105) と述べられている。この今治造船設計の「F 型標準船」の第 1 番船が波方船主の瀬野汽船向け「第十五長久丸」(1959 年竣工) であったが、これは総トン数が 499 総トン、載貨重量トンが 850DWT となっていた (なお、この 1959 年に同社は木船から鋼船に切り替えている)。この「第十五長久丸」を皮切りに他の波方船主向けにも「F 型標準船」を生産するようになった。これらの「F 型標準船」は、檜垣俊幸氏によると「来島型標準船に対抗して造った船」(今治造船, 1977、p111) で、特徴については「弥幸汽船社長・真木政之は『檜垣正一伝』でヒットの秘密を端的に言い表している。『今造のシリーズ船は内航船からの伝統で、499 総トン型なら (積み高は) 800 重量トンが普通だったのに 850 重量トン

(D/W) 積める船型を開発するなど、絶えず研究して合理化船を造った。D/W が大きいだけ D/W ベースの用船料が増える』」(今治造船, 2005、p 106) と述べられている。たしかに、前述の第一番船 (第十五長久丸) 以降の今治造船の F 型標準船は 499GT、載貨重量 850DWT となっている。また、今治造船の F 型標準船の設計については、「設計のスタッフが手薄で、図面を造るのもいっぱいという状態であった。受注があれば船主に『同じ型の船を造りませんか、それなら安く出来ますよ』と話した。同型船なら、資材も大量に一括購入が出来、同時にコストも安く済んだ。図面もすべて同じものを使用するだけでよかった。よちよち歩きの今治造船が、トップの来島船渠に対抗するには同型船方式しかないという『お家の事情』があった」(今治造船, 2005、p106) と述べられている。

<sup>14</sup> 1966 年 1 月に竣工した第 1 番船の「第一山久丸」(2,999GT、5,327DWT) の船主は、「F 型標準船」の第 1 番船「第十五長久丸」と同じ瀬野汽船であった。

<sup>15</sup> 「IS-6」シリーズは、1976 年までに 80 隻あまりが建造された (今治造船, 1977)。

を指摘している。

また、船主の要望があらかじめ織り込まれていた。「IS-6」については2,999GTと3,000GTを下回ることから「乙種の船長免状の所有者でも船は動かせる。しかも傭船料は積みトン数によって決まるから同じ総トンの船なら積みトン数で100から150DWTはちがうISシリーズ船の方が船主にとって有利であった」（今治造船，1977、p116-117）こと、「今治造船さんは独特の船型で、船主の好むような経済的な船を造った。1トンでも10トンでも荷が多く積める船を造る、というのが今治造船さんの同型船シリーズの特色にもなっていますが、船主にすれば設備にしてもいろんなものはつけんでもいい。余計なものをつけると修理その他でかえって手がかかる。ともかく余計積まんと傭船料もらえん。その船主の要望にあった経済性の高い船を今治造船は造ってくれた。なんぼ安い船でも能率のよくない船ではかえって困る・・・」（今治造船，1977、p117）という船主のコメントが挙げられている。

こうしたことに加えて、溝田（1997）は、「船舶では船主の注文が一人一人皆違い、趣味や嗜好が色濃く出るが、これに対して同社は『趣味や好みに拘ると船価も高くなるだけですよ。まず、船を見てください。』という船主説得法」があったことを指摘している。船主のニーズを抑えた仕様であったため、溝田（1997）が指摘するような「船主説得法」が可能となり、同一設計の同型船を大量受注することが可能となったと考えられる。

このような同型船として生産するメリットとしては、1隻あたりの設計工数を減らせること<sup>16</sup>、資材や船用機器を安く一括購入できること<sup>17</sup>、現場作業者の習熟によってスピードア

---

<sup>16</sup> 今治造船（1977）において、「図面はひとつで足りた。ひとつ作れば第2船以降は同じ図面が使える。船によって多少の違いはあっても、基本的な船型、船内の部屋の組み具合、機器の据え付け位置などはみな変わらない。原図も型抜も同じものでいける。1船ごとに大量の図面を新しく揃える必要はなくなった」（p115）と述べられている。

<sup>17</sup> 今治造船（1977）において、「資材、機器類は同型のものを一括して購入できた。常に同型でならしていけるから現場もラクに仕事が運ぶ」（p115）と述べられている。

ップすること<sup>18</sup>、これらによってコストダウンが見込めること<sup>19</sup>などがあげられる<sup>2021</sup>（溝田，1997；今治造船，2005）。

この後、1990年代から2000年代にかけて、主力の「シリーズ船」は、（スモール）ハンディと呼ばれる小型のばら積み船であった。これは、今治造船の「IMABARI 28」（通称「ニッパチ」）とも呼ばれている28型（28,000DWT級）ばら積み船で、1990年に建造を開始し、2009年3月に累計100隻、2012年10月に累計200隻を建造している<sup>22</sup>。これは、同一船型の累計生産量としては日本最多<sup>23</sup>である（海事プレス，2013）。このスモールハンディサイズのばら積み船の後継製品は、37,000DWT級ばら積み船やその改良版の38,000DWT級ばら積み船「BARI-STAR」（2010年建造開始）である。38,000DWTの「BARI-STAR」は、2017年5月に累計建造隻数が100隻<sup>24</sup>となっている。

他にも、ハンディマックスの61,000DWT級ばら積み船「I-STAR」（2010年建造開始）

---

<sup>18</sup> 今治造船（1977）において、「現場の工員も同型の船を何隻か手がければ、船の隅々まで掌握できたし、作業にも習熟する。図面を持たなくても工員の頭の中に作業の内容は入っている。工作の段階で悪いところが出てくれば改善もできた。むずかしいポイントも判っているからとくに念を入れて気をつける」（p115）と述べられている。

<sup>19</sup> 今治造船（1977）において、「以上によって可能となる大幅なコストダウン。たとえば資材、機器の購入では鉄板からバルブまで、何隻分かを一括して購入できるから納入する側もラクだし、仕入れ価格も安くつく。図面がひとつでいいことや、工員の作業に対する習熟度は作業のスピードアップを可能とし、それは工期の短縮にもつながった。さらに維持費も安くつく」（p116）と述べられている。

<sup>20</sup> 他にも、今治造船（2005）には、「ここらの船主は、工務監督など派遣せんようになる。それは来島でも同じだけど、型さえ決めれば、ほとんどお任せで行く。後で悪ければ直させればいいけん」（p146）という船主のコメントが紹介されており、発注する近隣の船主側が現場監督などを派遣しなくてもよくなることも挙げられている。

<sup>21</sup> 一方で、同型船のデメリットについて「同型船のマイナス面では技術上の問題もある。工員はなるほど作業には習熟するが、同型船を永く続ければ技術的にマンネリ化の恐れもないではない。造船は経験工学だといわれるが、技術面からいけば船型が変わるほど経験が積める。とくに若い人の場合はその傾向も強い」（今治造船，1977，p117）と指摘されている。

<sup>22</sup> 今治造船（2016）、今治造船ホームページ（<https://www.imazo.co.jp/news/121029/>）（2020年9月3日アクセス）

<sup>23</sup> 2013年3月時点。今治造船以外で、戦後の単一造船会社による同一船型の生産量として多いのは、IHIの「フリーダム（14,800DWT）」（174隻）、三井造船の56型バルカー（150隻）、常石造船の「カムサマックス（82,000DWT）」（140隻）、同じく常石造船の「TESS58（58,000DWT）」（130隻）などである（海事プレス，2013）。

<sup>24</sup> 今治造船ホームページ（<https://www.imazo.co.jp/news/170530/>）（2020年9月3日アクセス）

<sup>25</sup>は、累計建造隻数が2015年に100隻（2015年10月）<sup>26</sup>、2019年に200隻（2019年8月）<sup>27</sup>となっている。76型バルカー（76,000DWT）が2001年に建造を開始し、2014年4月までに190隻の生産実績がある<sup>28</sup>。

ここから、「IMABARI 28」（「ニッパチ」）を取り上げる。この「ニッパチ」以前には、今治造船では24型（24,000DWT）のばら積み船を生産していた。その後継製品として28型（28,000DWT）の開発がはじめられたが、ハンディサイズのばら積み船市場での差別化のため、載貨重量を増やすことにした。同時に、開発当時（1988年）に今治造船の船台<sup>29</sup>で生産可能な最大サイズの船体が設計された。そこで、「国内の運航を考慮すると喫水は10mを超えられない。前船型を継承して喫水は約9.7mに据え置いた。その上で、長さ・幅・総トン数を船台の制限ぎりぎりまで増やした」（海事プレス、2009）ことから、28,000DWTとなった。

また、この船体の中で船殻を最大化するため、エンジンルームを短くするようなタンク配置、機器配置とした。船殻は、それまでハンディサイズだと4ホールド（船倉が4つ）が一般的であったところ、5ホールド設けられた。さらに、1・3・5ホールド搭載と2・4ホールド搭載の組み合わせで2港で荷物を積むことも可能なように船倉が設計された。甲板上のデッキクレーンは、開発当時一般的であった25トンよりも大きな30.5トンのクレーンを採用した。また、強度の強いハッチカバーやハッチ開口部を広めにとり、荷役しやすくしている<sup>30</sup>。この「ニッパチ」は、長さ・幅・型深（船底のキールから上甲板までの垂直距離）や主要なスペックをほぼ変えずに生産され続けた<sup>31</sup>。このような「ニッパチ」のような小型

---

<sup>25</sup> 載貨重量を2,000DWT増やして63,000DWT級とし、主機関や省エネ技術を改良して燃料消費量を約12%削減した「NEW I-STAR」が2013年に開発され、2016年に1番船が竣工している。今治造船（2016）、今治造船ホームページ（<https://www.imazo.co.jp/news/131030/>；<https://www.imazo.co.jp/news/160511/>）（2020年9月3日アクセス）にもとづく。

<sup>26</sup> 今治造船ホームページ（<https://www.imazo.co.jp/news/151001-2/>）（2020年9月3日アクセス）

<sup>27</sup> 61型の「I-STAR」（61,000DWT級）と63型の「NEW I-STAR」（63,000DWT級）をあわせた隻数。今治造船（2016）、今治造船ホームページ（<https://www.imazo.co.jp/news/190829/>）（2020年9月3日アクセス）、日本海事新聞（2019年9月2日）にもとづく。

<sup>28</sup> 2014年5月8日インタビュー

<sup>29</sup> 「『今治本社工場1号船台の最大船型』という想定の下、大型化に取り組んだ」（海事プレス（2009）という。この1号船台は、1980年に15,000GT、28,000DWTに拡張されている（今治造船、2005）。

<sup>30</sup> 「特に木材積み配慮した」（海事プレス、2009）設計や装備である。

<sup>31</sup> 今治造船ホームページ（<http://www.imazo.co.jp/html/comp/news/090330.html>）（2014年6月17日アクセス）、および海事プレス（2009；2013）の記述にもとづく。海事プレス



の船については、多様な航路や積荷がありフレキシブルに使用されることを考慮した設計になっている<sup>32</sup>。

このように、「シリーズ船」は、基本的に 1 度設計した寸法やスペックを 10 年以上変えずに生産し続けている。この「ニッパチ」のような「シリーズ船」の船体設計については、同社の設計技術者に対するインタビューにおいて、

「省エネ付加物などが追加されることはあるが、モデルライフの間は基本的に番船ごとに設計が変えられることはない」<sup>33</sup>

述べている。

また、同社では、

「一度設計した船の基本設計は基本的に変えない」<sup>34</sup>

「シリーズ船の考え方としては、基本的に船型を変えない」<sup>35</sup>

とのことであった。これは、

「変えるのが必ずしもいいわけではない。実績がある方がいいこともある」<sup>36</sup>

との考えがあるためである。ただし、同一設計での連続建造は、

「200 隻同じ船型を作り続けても、工賃は 20%しか下がらない」<sup>37</sup>

と述べられており、コストへの影響は限定的であると認識されている。

船体設計の中で船殻と機関室の関係に関しては、

「図面の修正がある場合、船殻の要件が優先される。船殻をまずきちんと固めてから、艀装に入る」<sup>38</sup>

---

(2009) によると、1 番船が竣工した 1990 年以降のルール改正や顧客からのフィードバックによる改良はあったものの、開発時のスペックは変えなかったという。さらに、海事プレス

(2009) の記事において、檜垣清志常務取締役営業本部長（※肩書きは 2009 年当時）は「オペレーターさんから使い勝手が良いと好評を博し、船型大型化の流れの中で当初の船型を変えずに提供してきた。LBD（※長さ・幅・型深（筆者注））をまったくいじらずに 100 隻造ったのは、おそらく世界でも数少ない例だろう。ハンディサイズ型では後継船として 37 型を開発し受注しているが、船主さんから厚い信頼を受けている 28 型は今後も営業を続ける」と述べている。

<sup>32</sup> 檜垣俊幸社長（肩書きは 2001 年当時）は「小さい船は、あっちこっちに行きます。大型船はカーゴの種類、寄港地も少なく、用船先もある程度決まっています。小さい船はそれが多い」（横山，2001）と述べている。

<sup>33</sup> 設計部門担当の役員 2 名のコメント（2014 年 5 月 8 日）。

<sup>34</sup> 設計部門担当の役員 2 名のコメント（2014 年 5 月 8 日）。

<sup>35</sup> 設計部門担当の役員 2 名のコメント（2014 年 5 月 8 日）。

<sup>36</sup> 設計部門担当の役員 2 名のコメント（2014 年 5 月 8 日）。

<sup>37</sup> 設計部門担当の役員 2 名のコメント（2014 年 5 月 8 日）。

<sup>38</sup> 設計部門担当の役員 2 名のコメント（2014 年 5 月 8 日）。

とインタビューにおいて述べられている。

なお、居住区に関しては、

「シリーズ船が変わるときでも、居住区が不変ということはある。標準化できるものは標準化する。いまは空力特性を改善した居住区<sup>39</sup>を作っている」<sup>40</sup>

と述べられており、居住区は船殻や機関室との相互依存関係は薄くなっている。

そのため、

「居住区の種類は船の大きさに合わせて共通化している」<sup>41</sup>

と述べられており、他のサブシステムからは比較的独立した設計がなされている。

### 4.3 機関室設計

本節では、サブシステム以下の階層である機関室の設計（艤装設計）<sup>42</sup>に着目する（図 4-3）。前述のように、例えば「ニッパチ」の場合、全長の中で船殻を最大化するために、機関室（エンジンルーム）はできるだけ短くなるように、タンクや機器の配置が決められる<sup>43</sup>。載貨重量 28,000DWT に見合ったホールド（船倉）容量を確保するためには機関室を縮小する検討が必要になる。これについては、「開発時の設計担当者だった戸国洋介常務取締役設計本部長によると、この（※ホールド（筆者注））容量確保のために機関室を縮小する検討に大変苦労したという。機関室を小さくすると、室内の機器配置や工作作業が非常に厳しくなる。担当者は何度も検討を重ね、調整を続けて機関室を縮小できるタンク配置に成功した」（海事プレス、2009）と述べられている。

このように小型ばら積み船のシリーズ船は、限られたサイズの中で機関室が最小化されるような設計がなされる。その上で、

「モデルライフの途中で省エネ付加物の追加や、主機の変更はあるが、基本的に船型に影響

---

<sup>39</sup> 「エアロ・シタデル」という空気抵抗の低減や海賊対策を考慮した居住区を開発し、2013 年 6 月竣工の 95,000DWT 級のポストパナマックス型のばら積み船（「IS NEXTER」）に初搭載され、「シップ・オブ・ザ・イヤー2013」を受賞した。以降、例えば 84,000DWT 級や 200,000DWT 級ばら積み船など、様々なサイズの船に搭載されている（日本海事新聞、2014 年 6 月 10 日；2014 年 12 月 3 日；2015 年 1 月 7 日；今治造船ホームページ（<https://www.imazo.co.jp/news/140613/>；<https://www.imazo.co.jp/news/141203/>；<https://www.imazo.co.jp/news/150106/>；<https://www.imazo.co.jp/ship/technology/>）2020 年 9 月 9 日アクセス）。

<sup>40</sup> 設計部門担当の役員 2 名のコメント（2014 年 5 月 8 日）。

<sup>41</sup> 設計部門担当の役員 2 名のコメント（2014 年 5 月 8 日）。

<sup>42</sup> 機関室内の船用部品、設備などの配置や取り付け（配管など）に関する設計のこと（3.5 節参照）。

<sup>43</sup> 今治造船ホームページ（<http://www.imazo.co.jp/html/comp/news/090330.html>）（2014 年 6 月 17 日アクセス）の記述にもとづく。

を与えない変更にとどめる」<sup>44</sup>。

また、

「シリーズ船の設計は、主機変更を見込むほどの冗長性は持たせていない」<sup>45</sup>

とのことであった。ただし、仮に主機の変更があったとしても、

「エンジンが新規設計といっても、据え付けはあまり変わらない。エンジンの変更にあわせて補機類が変わることは少ない」<sup>46</sup>

とのことであった。

このような小型ばら積み船のシリーズ船の機関室に使われる船用部品は、業界標準品である。今治造船は生産量が多いため、

「サプライヤーに対して船用部品のロット発注が可能で、ジャストインタイムなど、造船所都合に合わせた調達が可能」<sup>47</sup>

である。

船用部品は、ドックで搭載するにあたり、

「機能ごとに分けているのではなく、場所によって分割」<sup>48</sup>

し、この分割単位を「ユニット」<sup>49</sup>と呼んでいる。「ユニット」に関しては、

「船のサイズに関わらず、『ユニット』はローフロア3つ、発電機周り2つ程度である。上甲板にも『ユニット』がある」<sup>50</sup>

が、

「それ以外は、個別にドック工程で搭載、またはブロック工場での先行艤装で搭載されている」<sup>51</sup>

という。

また、

「昔はこの『ユニット』が多かったが、今はパイプ類の先行艤装が基本」<sup>52</sup>

---

<sup>44</sup> 設計部門担当の役員2名のコメント（2014年5月8日）。

<sup>45</sup> 設計部門担当の役員2名のコメント（2014年5月8日）。

<sup>46</sup> 設計部門担当の役員2名のコメント（2014年5月8日）。ただし、「エンジンにあわせて、熱交換器は変わる。これはカスタム設計になることもある」とも述べられている。

<sup>47</sup> 設計部門担当の役員2名のコメント（2014年5月8日）。

<sup>48</sup> 設計部門担当の役員2名のコメント（2014年5月8日）。

<sup>49</sup> 他の大島造船所（5章）、A社（6章）、名村造船所（7章）の事例においても、「ユニット」と呼ばれるものはあるが、それとは無関係である。本章での「ユニット」は、あくまでも今治造船の中で呼ばれる「ユニット」である。

<sup>50</sup> 設計部門担当の役員2名のコメント（2014年5月8日）。

<sup>51</sup> 設計部門担当の役員2名のコメント（2014年5月8日）。

<sup>52</sup> 設計部門担当の役員2名のコメント（2014年5月8日）。

という。

これは、近年の隻数の増加に対応するために、ドックの総組立工程の期間を短縮する必要が生じ、それに対応するためにブロックを大型化させたことで、場所ごとに分割するよりも、先行艀装率を高め、ドックでの艀装作業を削減することの方が重視されるようになったためであると考えられる。

また、同社では、あるモデルの番船間では、

「機器の容量によってある程度配置がパターン化している。ある同じモデルであれば、機器の容量が変わることはあまりなく、据付もあまり変わらない」<sup>53</sup>

という。さらに、

「あるモデルの設計において、主機の変更を見込んでいない」<sup>54</sup>

という。

船用部品について檜垣幸人社長は「当社は比較的、幅広いメーカーと付き合っているようにみえますが、船種・船型などに応じてメーカーを固定して標準化を図っています」(山田, 2006)と述べている。

このように、モデルチェンジの時以外は、基本的に船型を変えないので、10 年以上にわたって（機関室内の）艀装設計に課せられる制約条件も比較的変わらない。こうして、「今治のニッパチ」のように、同一船型の船を量産し、ほぼ同一の（機関室の）艀装設計が繰り返し採用される。

また、同じ船種であれば、船の大きさが違っても、

「機関室の設計はさほど変わらない」<sup>55</sup>

とのことであった。しかし、船種が違うと、

「主機、補機はさほど変わらないが、機関室の設計は全然変わってくる」<sup>56</sup>

とのことであった。ばら積み船と例えばタンカーを比べると、

「タンカー特有の機器類や機器と機器の組み合わせなどが変わってくる」<sup>57</sup>

という。

このように、今治造船の「ニッパチ」のようなハンディサイズのばら積み船の機関室設計においては、空間的により制約が厳しい設計となり、冗長性を持たせない設計思想、すなわちインテグラルな設計が選択されやすくなることが考えられた。これは、歴史的経緯から業界標準的である船用部品や乗組員の大きさといったサイズに関して固着的なものとの相対

---

<sup>53</sup> 設計部門担当の役員 2 名のコメント（2014 年 5 月 8 日）。

<sup>54</sup> 設計部門担当の役員 2 名のコメント（2014 年 5 月 8 日）。

<sup>55</sup> 設計部門担当の役員 2 名のコメント（2014 年 5 月 8 日）。

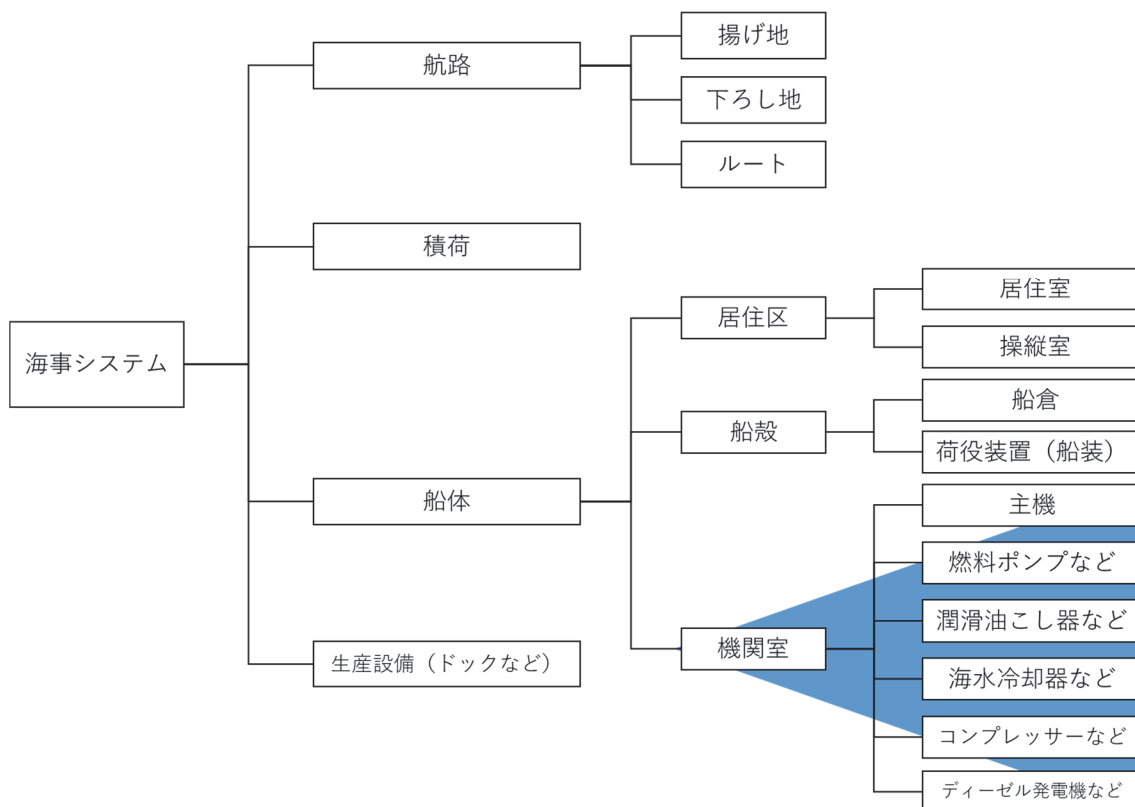
<sup>56</sup> 設計部門担当の役員 2 名のコメント（2014 年 5 月 8 日）。

<sup>57</sup> 設計部門担当の役員 2 名のコメント（2014 年 5 月 8 日）。

的な関係から、レイアウトやインターフェースが設計されるため、厳しい制約条件をクリアするために冗長性のないインテグラルな設計が選択されることになることが理由であると考えられる。

本節で焦点を当てた機関室とは、壁面に囲まれた空間だけではなく、機関室内に搭載される主機、その他の船用部品（補機類）が含まれる。主機や補機自体は業界標準品であるが、モデル（「ニッパチ」）特殊なレイアウトで配置され、モデル特殊な設計のパイプ類（インターフェース）などで接続された一塊のパワートレインとなっている。このパワートレインを仮に「主機・補機セット」と呼ぶならば、その「主機・補機セット」と壁面（内壁）で囲まれた空間を合わせて機関室となる。その機関室の設計がモデル特殊というのは、パイプ類やレイアウトといったインターフェースがすり合わせ（モデル特殊）設計であるということである（ただし、主機、補機自体は業界標準品（オープン・モジュラー）である）。

図 4-3 階層構造における本節の着目点（今治造船の機関室設計）



（出所）筆者作成。

#### 4.4 愛媛船主（波方船主・伯方船主）との関係

今治造船が同一設計の船舶を長期間にわたって生産することができた背景の一つとして、顧客の「愛媛船主（波方船主）」の存在があげられる。今治造船の企業理念としても「船主とともに伸びる」ことをうたっており、地元の愛媛船主との共同歩調を強調している。また、

前節までの記述においても、船主との関係性に関する言及が見られた。さらに、今治造船は、オペレーター業及びオーナー業を行なう正栄汽船<sup>58</sup>（1962 年設立）という会社を自ら経営している。この正栄汽船を活用することにより、オペレーションや用船に関する情報を製品開発側にフィードバックすることが可能になっている。また、正栄汽船の船が新規の船用機器を採用することで実績を重ね、船主が抱えるリスクの低減をはかっている。加えて、今治造船と正栄汽船が一体となって海外のオペレーターとの取引を開拓している。このように、今治造船は正栄汽船も実質的に社内に抱えることにより、顧客（船主およびオペレーター）のニーズをくみ取り、製品設計に反映することができる体制となっている。

このような造船会社と船主など顧客、さらには船主にファイナンスする金融機関や用船する海運業界、船用部品サプライヤーなどによる産業集積を海事クラスターと称され、川上から川下までフルセットの海事クラスターが形成されていることが、他国と比べての日本の特徴であるという見方もある（国土交通省海事局，2020b）。

造船会社から見て川下側である、船主あるいは海運業界についてみると、船籍じたいは便宜置籍国であるパナマやリベリアが世界的にも高い割合となっていて、日本は 10 位である（表 4-5）。

表 4-5 国・地域別の船舶登録（船腹量）

順位	国・地域	隻数	万総トン	国別保有割合（総トンベース）
1	パナマ	8,089	21,619	15.5%
2	リベリア	3,754	17,484	12.5%
3	マーシャル諸島	3,710	16,127	11.5%
4	香港	2,590	12,760	9.1%
5	シンガポール	3,267	9,249	6.6%
6	マルタ	2,197	8,091	5.8%
7	バハマ	1,336	6,092	4.4%
8	中国	6,541	5,840	4.2%
9	ギリシャ	1,356	3,958	2.8%
10	日本	5,346	2,959	2.1%
11	キプロス	1,053	2,330	1.7%
12	デンマーク	629	2,131	1.5%
13	インドネシア	9,547	1,908	1.4%

<sup>58</sup> 今治造船の代表取締役社長の檜垣幸人氏が、正栄汽船の代表取締役社長を務めている。また、檜垣幸人氏の前の社長である檜垣榮治氏は、正栄汽船在籍時に乗組員としての乗船経験がある（横山，2001）。

14	ノルウェー	674	1,702	1.2%
15	ポルトガル	542	1,553	1.1%
16	イタリア	1,461	1,467	1.0%
17	マン島	341	1,443	1.0%
18	米国	5,747	1,212	0.9%
19	韓国	3,036	1,166	0.8%
20	イラン	1,072	1,110	0.8%
	その他	59,080	19,624	14.0%
	世界合計	121,368	139,825	100.0%

(注) 中国には、香港および台湾を含まない。

各国の海外自治領、第二船籍制度<sup>59</sup>については本国の船籍に含まれている。

2019 年末の数値

端数処理のため、末尾の数字が合わない場合がある。

(出所) 日本船主協会・日本海事センター (2020) (p21) より引用。

しかし、日本の船会社が保有する船の 80%以上が外国籍であり、実質保有<sup>60</sup>する船腹量は、ギリシャに次いで世界 2 位、世界シェアは 11.5% (載貨重量トンベース) を占めている (図 4-4) (日本船主協会・日本海事センター, 2020)。

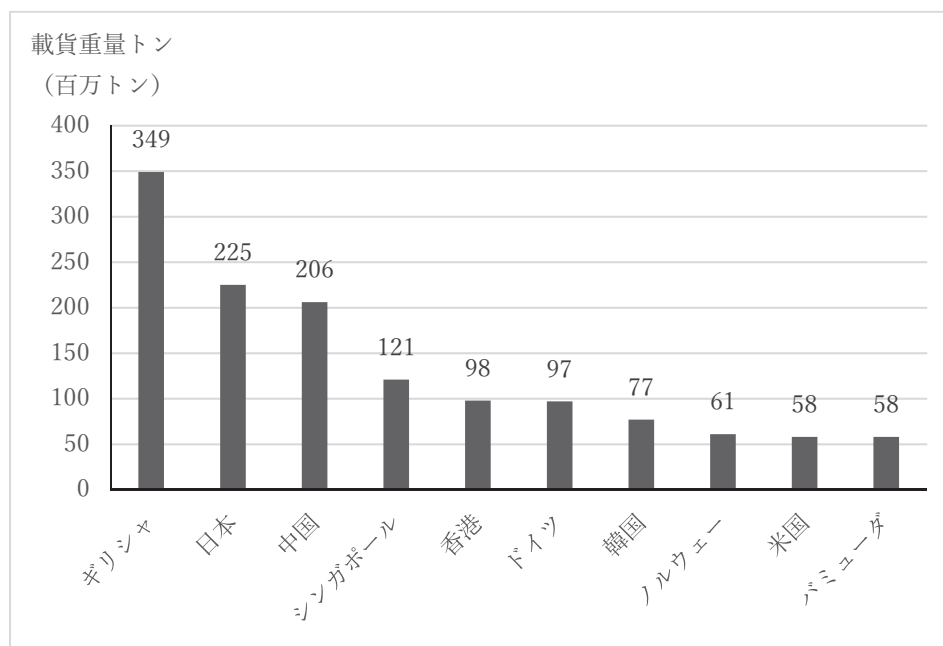
このように、造船会社とあわせて、有力な海運業界が存在することによって、日本に海事クラスターが形成されていることがうかがえる。

---

<sup>59</sup> 本来の船舶登録制度とは別に特定地域を定め、そこに登録された船舶について、配乗要件、船舶税制、船員税制、社会保障制度などを緩和する制度で、そうした緩和策を通じて自国船の維持・拡大を図ろうとするものである (森, 2005)。

<sup>60</sup> 日本の船会社が保有する日本籍船および海外子会社が保有する外国籍船の合計。

図 4-4 世界の国・地域別保有船腹量（2019 年 1 月）



（出所）日本船主協会・日本海事センター（2020）（p26）より引用。

その中でも特に、瀬戸内海を中心とした海事クラスターの存在が注目されている（いよぎん地域経済研究センター，2007；寺岡，2012）。2013 年の世界の実質船主の内、日本の船主は 11.5% を占め、世界 2 位の規模であるが（図 4-4）、その中で、外航船主に絞って内訳をみると、東京都に次いで愛媛県にはこうした外航船主が多数存在する（表 4-6）。こうした外航船主は「愛媛船主」あるいは集中している地名をとって「波方船主」や「伯方船主」などと呼ばれている。彼らの外航船オーナー業は「愛媛方式」と呼ばれている（日本海事センター，2012；いよぎん地域経済研究センター，2014）。

愛媛船主あるいは波方船主は、国内の大手海運会社などに船をリースして用船料を得る外航船オーナーである。もともと、愛媛県内に数多く存在した内航海運業者（1967 年時点で 1051 事業者）のうち、1960 年代後半にみずからは運行せず、オペレーターに貸す業態（オーナー業）で近海船に進出する業者があらわれた。さらにその後、近海船市場が飽和したときに、一部のオーナーが遠洋船に進出し、今治の外航オーナー業が発展した<sup>61</sup>。

<sup>61</sup> さらにさかのぼると、来島水軍以来、江戸時代初期から存在している。波方船主が発展するきっかけは、江戸時代末期に成立した波止浜塩田の運営において、資材となる砂（土船）や素灰（素灰船）、生産された塩を輸送するようになったことである。その後、明治から昭和初期までは機帆船で燃料の石炭を山口や九州北部から輸送する船を運航するようになった。朝鮮戦争特需により、石炭輸送の内航海運が回復すると、機帆船から小型鋼船に切り替えられていった。この時、機帆船から鋼船への移行が早かった波方町や伯方町の船主が「波方船主」、「伯方



こうしたオーナー業のビジネスモデル（愛媛方式）は、①金融機関から資金を借りて造船所に発注する、②オペレーター（運航会社）と用船契約を結び、船舶を貸し渡し、用船料を得る、③オペレーターから得た用船料、船舶の売船で得た金で金融機関からの借りた金を返済する、④売船益を活用して、新規の船舶建造を発注する、というものである（日本海事センター，2012）。今治にいるオーナーで大規模なのは、瀬野汽船（波方発祥）、日鮮海運（伯方）、洞雲汽船（波方）、正栄汽船（今治市小浦町）である。これらの会社を含めた今治の外航オーナー業の年間用船料収入は 3800 億円であるという。2014 年 1 月時点で愛媛県全体の外航船保有隻数は 69 業者 1035 隻<sup>62</sup>、そのうち 10 隻以上保有する中堅以上の船主が 25 業者 834 隻だった。2004 年と比較すると、国内全体の外航船保有隻数は 857 隻、35.7%の増加だったが、愛媛船主の保有隻数は 508 隻、96.4%の増加と、ほぼ倍増していた（表 4-6）。これは、愛媛船主が 2000 年代の海運好況期に積極的に保有隻数を増やしていたことを表している（いよぎん地域経済研究センター，2014）。

こうした外航船舶オーナーは、市場動向をリアルタイムで注視し、それに合わせてフリート戦略を考え、近隣の造船所に発注を行なっている。今治造船は、その外航船舶オーナーからの引き合いと自社での見通しをすり合わせて、注力する船種・サイズを決める。加えて、外航船舶オーナーの動向に海外顧客も影響を受ける。したがって、こうしたオーナーのニーズに対応することにより、海外需要も同時に取り込むことが可能となる。こうして、今治造船は、ある程度の生産量が見込めるため、前述のように近隣の有力な船用部品メーカーに対してロット発注を行なうことができ、ジャストインタイムの調達が可能になっている。この点で、重要部品を日本から輸入する中国と比べて、短いリードタイムと低コストで部品調達が可能になっている。

こうした外航船オーナーと強い結びつき<sup>63</sup>を持っているのが、日本で最大の生産量の今治

---

船主」、「愛媛船主」として知られるようになった。同時に、小型鋼船の動力がディーゼル機関となり、機帆船よりも速く、正確で、計画的な大量輸送が可能となり、船員手配も容易になった。その上、保険の加入により船の不動産価値が認められ、銀行からの資金調達も容易になり、経営が安定しはじめたため、オペレーターに用船するオーナー業を営む業者が生まれてきた。その後、1960 年に日本の高度成長による住宅建築ブームが起これと、ラワン材などのフィリピン、マレーシア、インドネシアなどの南洋材の需要が増加した。これに伴い、愛媛船主がいち早く近海船運航に進出した。しかし、1960 年代後半の近海船建造ラッシュが原因で船腹が過剰になると、1972 年から 1974 年にかけて近海船建造が禁止された。すると、愛媛船主は中古船を売却し、その売却益をもとにより大規模な遠洋船に進出していった（愛媛県生涯学習センター，1995；日野，2014）。

<sup>62</sup> 2014 年の国内船主の外航船保有隻数は 3316 隻、そのうち東京が最多で 1781 隻（シェア 53.7%）、次いで愛媛県が 1035 隻（同 31.2%）、3 位が広島県で 155 隻（同 4.7%）となっている（表 4-6）（いよぎん地域経済研究センター，2014）。

<sup>63</sup> 今治造船（2005）には、昭和 30 年代初め頃から、近隣の愛媛船主や金融機関の担当者たち

造船であった。前節までで言及したように、鋼船に一本化したときに開発した 1950 年代の内航船「F 型標準船」や、1960 年代の約 6000DWT の近海船「IS-6 シリーズ」のころから、波方船主の瀬野汽船や伯方船主の日鮮海運などからの注文を受けている。これらのシリーズは、今治造船の創業家の檜垣俊幸氏が開発を主導した船で、機帆船から小型鋼船の内航船、近海船へと愛媛船主が事業を移行させたのと同時期であった。実際、これらのシリーズの開発にあたっては、檜垣俊幸氏が独自の調査や愛媛船主とのやりとりを通じて需要を把握し、製品設計に反映させたという（今治造船，1987；愛媛県生涯学習センター，1995）。

このように、今治造船は 50 年以上前から地元の船主との結びつきをもとにした製品開発を行っており、「船主とともに伸びる」という企業理念を製品設計に反映させてきたといえる。今治造船が重視した地元顧客が有力な船主であったことや、自らも顧客と同じ事業を持ちノウハウを蓄積したことで、累計 200 隻の「今治のニッパチ」のような標準船を開発できたと考えられる。

表 4-6 船主の所在地（都道府県）別外航船保有隻数・構成比の推移

	2000 年		2004 年		2008 年		2014 年	
	隻数	構成比	隻数	構成比	隻数	構成比	隻数	構成比
東京	1355	59.0%	1423	58.3%	1764	57.6%	1781	53.7%
愛媛	465	20.3%	527	21.6%	767	25.0%	1035	31.2%
広島	137	6.0%	111	4.5%	145	4.7%	155	4.7%
大阪	65	2.8%	63	2.6%	84	2.7%	94	2.8%
兵庫	125	5.4%	135	5.5%	135	4.4%	82	2.5%
その他	149	6.5%	182	7.5%	169	5.5%	169	5.1%
合計	2296	100.0%	2441	100.0%	3064	100.0%	3316	100.0%

注：構成比は端数を四捨五入しているため、合計が 100% とならない場合がある。

（出所）いよぎん地域経済研究センター（2014）（p3、図表-4）より引用。

#### 4.5 小括

今治造船のハンディサイズのばら積み船の開発事例におけるアーキテクチャの階層的選択をまとめると図 4-5 のようになる。この事例では、船体（製品）を焦点として分析すると、製品の外アーキテクチャ、すなわち海事システムに対して、多様な港湾、航路に投入できるサイズが選択され、クレーンを積んでいるような設計となっており、一般的に特定の補完財との設計調整がなされているというわけではなかった。この意味で、海事システムに対して、外モジュラー的な設計が選択されていたと言える。ただし、本社ドックのサイズに合わせて船体のサイズが選択されていたことから、船体とドックの関係に関してはインテグラル（す

---

が今治造船の事務所に自然発生的に集まって昼食を一緒にとっていたことや、瀬野汽船の創業一族と家族ぐるみの付き合いがあることなどが書かれている。

り合わせ) であるといえる。

次に、機関室（壁面で囲まれた空間と主機・補機類）に焦点を当てて検討した内部の中アーキテクチャ<sup>64</sup>については、船体設計（モデル）に最適に調整された設計が採用されていた（ただし、個別の顧客の要求に対するカスタマイズはなされていない）。

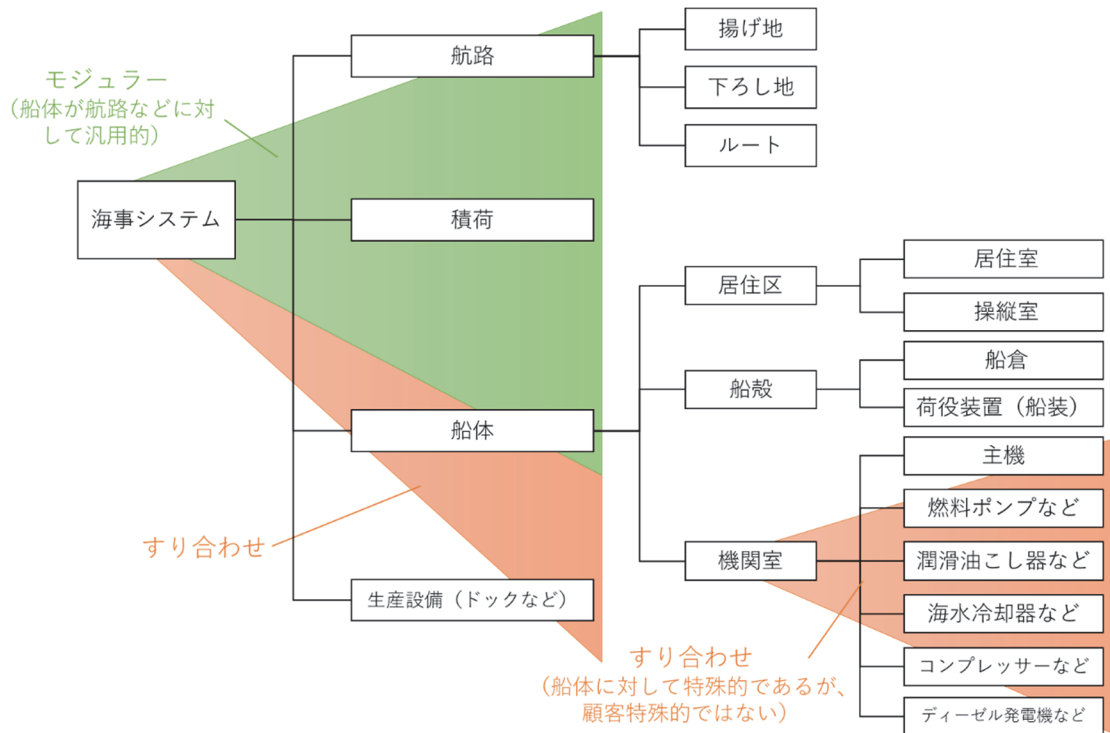
このようなハンディサイズという比較的小型船の場合、空間的により制約が厳しい設計となると考えられる。それは、歴史的経緯から業界標準的である船用部品や乗組員の大きさといったサイズに関して固着的なものと、それよりは可変的な機関室の空間との相対的な関係によって、船用部品のレイアウトやインターフェースが設計されるため、厳しい制約条件をクリアするためにインテグラルな設計になることが考えられる。さらに、このような機関室は、一旦、そうした厳しい制約をクリアするレイアウトやインターフェースの設計を行なったら、後はあまり（個別的な顧客要求に対する）カスタマイズの余地がなくなることが考えられる。このように、こうした比較的小型の船の中アーキテクチャは、冗長性のないインテグラルな設計が選択される傾向があることが考えられる。

以上、本章でとりあげた今治造船の「ニッパチ」は、船舶（製品）全体は海事システムに対して標準的な設計（外モジュラー）が選択されていたが、製品の内部（中アーキテクチャ）はインテグラル的（モデル特殊的）な設計がなされていた。その中アーキテクチャを構成するのは、機関室（内壁＋主機補機セット）である。機関室は、外インテグラル（モデル特殊的）な設計が選択されていたといえるが、個々の主機・補機といった船用部品自体は業界標準品（中オープン・モジュラー）だが、パイプ類などのインターフェースはモデル特殊的な設計が選択されており、機関室の中アーキテクチャとしてはインテグラル的であるといえる。

---

<sup>64</sup> 3章で確認したように、船体を構成する居住区・船殻・機関室の階層は、どのようなサイズであっても、居住区は独立的で、船殻は最大化要求があり、それに応じて機関室は最小化要求がある。したがって、どのような船でもこの階層はインテグラルと見なすことができると考えられる。そこで、この階層については検討の対象外とした。

図 4-5 今治造船のアーキテクチャの選択



(出所) 筆者作成。

以上の今治造船のハンディサイズのばら積み船の設計においては、船体レベルで「カプセル化」(新宅, 2009; 新宅・善本, 2009) がなされていることが考えられた。これは、階層構造の製品 (船体) レベルにおいてすり合わせをしていないということではない。製品レベルでは、海事システムに対する調整を行っており、その調整の要素は製品の中に「カプセル化」されている。製品設計においては、有力な船主との近い関係を活かして、多様な使用パターンを勘案した汎用性のある設計を提案し、それが有力な顧客から支持されていることによって、そうした設計思想を選択できていることが考えられた。

そうした調整は、サブシステム以下に集約される。サブシステムレベルである機関室の設計については、インタビューから、機関室を小さくするために機器配置などの調整を重ねて設計が決められていた。

このように、調整する要素を製品内部にカプセル化しておくことにより、今治造船で作られる小型ばら積み船では、個別の顧客の注文ごとに設計を変えないという方針を採用することが可能となっていることが考えられた。

## 5 章 多様なニーズに対応する製品多様化と中モジュラー化：大島造船所のパナ

### マックスのばら積み船の事例<sup>1</sup>

前章では、比較的小型のばら積み船の製品アーキテクチャの選択の事例を検討した。つづいて、本章では大島造船所の事例を取り上げ、それよりはやや大きめの、ばら積み船としては中型の製品開発における製品アーキテクチャの選択を検討する。

#### 5.1 大島造船所の概要、沿革、竣工実績について

大島造船所は、「中手」造船会社の1つで、戦前に大阪で大阪造船所として創業し、戦後も大阪で生産していた。その後、VLCC 建造ブームに至る造船好況期を迎え、1973年に長崎県西海市大島に進出し、「大島造船所」を設立した。その直後に訪れたニクソンショック、オイルショックに伴う設備削減政策に対応するため、大阪造船所は閉鎖された。以降、大島造船所の本社工場1か所（建造ドック1基：535m×80m×13m）のみで生産を行なっている。ここのドック1基で4隻（縦横に2隻ずつ）同時建造を行なっている。非上場企業であり営業利益は一切公表されていないが、インタビューによると過去5年（2010年代前半）の平均の営業利益率は10%以上と製造業として高水準である。

生産量については、1980年代は年間建造隻数一桁台で、稼働率が低水準にとどまっていた。大島造船所は、1970年代から80年代の造船不況期<sup>2</sup>に、「応援派遣」<sup>3</sup>という形で大半

---

<sup>1</sup> 本章の記述は、インタビュー調査および公刊資料、同社ホームページ、同社提供資料にもとづき、向井（2016b）を大幅に加筆・修正したものである。なおインタビュー調査は、2014年9月16日・17日に株式会社大島造船所本社工場において、社長、副社長、設計部部长および設計技術者（船体、機関）、工作部次長、品質保証部長（肩書きはすべて当時）に対して、および2018年2月21日に東京都内の飲食店において副社長、企画部長兼情報システム部長、企画部社員（肩書きはすべて当時）に対して行われたものである。

<sup>2</sup> 大島町の特産品のサツマイモを用いた芋焼酎を製造する長崎大島醸造（1985年3月設立）（大島造船所ホームページ（<https://jp.osy.co.jp/company-information/oshima-shipyard-story/1970-2003-27/>）2020年9月12日アクセス）や、長崎大島醸造内のバイオ事業部（1988年発足）による大島トマト（1989年初収穫）（大島造船所ホームページ（<https://jp.osy.co.jp/company-information/oshima-shipyard-story/1970-2003-32/>）2020年9月12日アクセス）などの農業分野の事業は、この頃の雇用対策の一環としてはじまったという側面もある。

<sup>3</sup> この応援派遣を経験した社員が大島造船所の業務に復帰した後、自動車産業での経験を活かした生産性向上の取り組みが続けられている。さらに、この「応援派遣」を機に、今もトヨタ自動車との人的な交流が継続している。2016年からトヨタ自動車の生産調査部への研修派遣が行われている（大島造船所ホームページ（<https://jp.osy.co.jp/company-information/history/>）

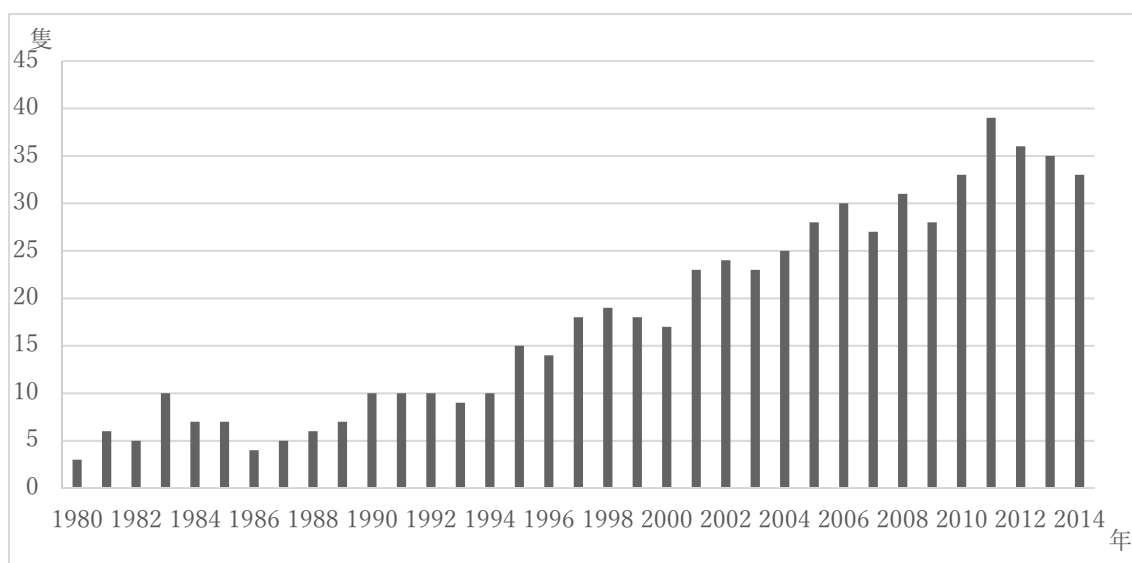
の社員を自動車産業に派遣した。派遣先は日本電装、日野自動車、スズキ自動車、ダイハツなど14社で応援派遣が終了するまで3年7ヶ月間かかった。のべ6459人と社員の約6割が応援派遣を経験し、応援派遣は1人あたり1～6回、1回の期間は半年から1年間であった（大島造船所30年小史編集委員会（2004）および同社提供資料）。

その後、1990年代に入り徐々に生産量が増加しはじめ、2000年ごろには年間20隻程度となった。この間、ドックの増設や拡張などは行なわれなかった。その後、2008年に1,200トンゴライアスクレーン1基を増設し、既存の300tクレーンとあわせて1,000t以上にブロックを大型化することが可能となり、ドックの生産能力が高まった。さらに、2014年にもう1基1,200tゴライアスクレーンを増設した。あわせて、用地拡張なども行い、切断、塗装、総組定盤工場などの新設や拡張も行い、生産能力を強化した<sup>4</sup>。

過去の応援派遣経験者が復帰したことによって自動車産業からのノウハウの移転や人的交流が行われ、工場での生産性の向上の取り組みが続けられている。

近年の竣工隻数は40隻程度とほぼ倍増し、国内3位である<sup>5</sup>（図5-1）。前述のように生産拠点は1カ所、ドック1本であり、生産拠点あたりの生産量でみると国内トップである。

図 5-1 大島造船所 竣工隻数



（出所）海事プレス（各年版）「KPDATA」をもとに筆者作成。

2020年9月9日アクセス）。

<sup>4</sup> 大島造船所ホームページ（<https://jp.osy.co.jp/company-information/oshima-shipyard-story/2004-2016-09/>）2020年9月13日アクセス

<sup>5</sup> 1工場の建造量では、隻数あるいは総トン数のどちらで見ても日本で第1位、世界で第10位である（2013年）。なお、造船産業内では、工事量を反映する総トン数を基準に生産量を見る方が一般的である。

1980年代の竣工船をみると（表 5-1）、船種については、ばら積み船が 60 隻中 29 隻と約半数であり、ついで自動車運搬船が 17 隻と約 3 割、以下タンカー、客船、その他となっている。サイズで見ると、60 隻中 58 隻とほとんどが 50,000GT 未満であった。クロス集計で最も多いのは、25,000GT 未満のばら積み船の 19 隻であった。

表 5-1 大島造船所 船種・総トン（GT）数別竣工隻数（1980～1989 年）

	25000GT 未 満	25000GT 以 上 50000GT 未満	50000GT 以 上 75000GT 未満	75000GT 以 上 100000GT 未満	100000GT 以上	計
ばら積 み船	19	10	0	0	0	29
タンカ ー	0	7	1	0	0	8
コンテ ナ船	0	0	0	0	0	0
ガスキ ャリア	0	0	0	0	0	0
自動車 運搬船	2	14	1	0	0	17
客船	0	0	0	0	0	0
艦船	0	0	0	0	0	0
その他	6※	0	0	0	0	6
計	27	31	2	0	0	60

※このうち、1987 年竣工の 1 隻（バージ船）について GT の値が記載されていなかった。ただし、6000DWT と記載があったため、ここに含めた。

（出所）海事プレス（各年版）「KPDATA」をもとに筆者作成。

1990 年代に入ると、生産量は約 2 倍以上になった。竣工船の船種をみると、135 隻中 129 隻とほぼすべてがばら積み船であり、うち 41 隻が 25,000GT 未満のハンディサイズ相当、87 隻がハンディマックス、パナマックス相当の中型のものであった（表 5-2）。

ばら積み船以外では、自動車運搬船が 6 隻あるが、これは 1990 年から 1995 年にかけて

竣工したものである。

このように、1990 年代に入ると、同社は小型から中型のばら積み船に特化するようになる。そのきっかけは、1991 年に南尚社長が「バルクに特化－多数隻連続建造」という方針を打ち出したことにある（大島造船所 30 年小史編集委員会，2004；大島造船所ホームページ<sup>6</sup>）。以降、ばら積み船の建造に特化するようになり、しだいに業界内では「バルクの大島」と呼ばれるようになっていく。

表 5-2 大島造船所 船種・総トン（GT）数別竣工隻数（1990～1999 年）

	25000GT 未 満	25000GT 以 上 50000GT 未満	50000GT 以 上 75000GT 未満	75000GT 以 上 100000GT 未満	100000GT 以上	計
ばら積 み船	41	87	1	0	0	129
タンカ ー	0	0	0	0	0	0
コンテ ナ船	0	0	0	0	0	0
ガスキ ャリア	0	0	0	0	0	0
自動車 運搬船	0	5	1	0	0	6
客船	0	0	0	0	0	0
艦船	0	0	0	0	0	0
その他	0	0	0	0	0	0
計	41	92	2	0	0	135

（出所）海事プレス（各年版）「KPDATA」をもとに筆者作成。

2000 年代に入ると、10 年間で竣工隻数が 258 隻と、1990 年代の 10 年間の約 2 倍に増加した。竣工船の船種をみると、258 隻中 254 隻がばら積み船と、ほぼすべてばら積み船とな

<sup>6</sup> 大島造船所ホームページ（<https://jp.osy.co.jp/company-information/oshima-shipyard-story/2004-2016-10/>）2020 年 8 月 30 日アクセス。



っており、1990 年代と同様に、ばら積み船に特化している。さらにそのサイズをみると、25,000 以上 50,000GT 未満のばら積み船としては中型船が 210 隻と大半を占めている（表 5-3）。ただし、2000 年代以降は、ばら積み船の典型的な船型だけでなく、多種多様な船型を開発している<sup>7</sup>。

表 5-3 大島造船所 船種・総トン（GT）数別竣工隻数（2000～2009 年）

	25000GT 未 満	25000GT 以 上 50000GT 未満	50000GT 以 上 75000GT 未満	75000GT 以 上 100000GT 未満	100000GT 以上	計
ばら積 み船	25	210	19	0	0	254
タンカ ー	0	0	0	0	0	0
コンテ ナ船	0	1※	0	0	0	1
ガスキ ャリア	0	0	0	0	0	0
自動車 運搬船	0	0	0	0	0	0
客船	0	0	0	0	0	0
艦船	0	0	0	0	0	0
その他	0	3※※	0	0	0	3
計	25	214	19	0	0	258

※2000 年 12 月契約、2004 年 4 月竣工の 1 隻（船種 s-CN（セミコンテナ船）、船主 MASTERBULK PTE）については GT が不明であった。ただし、48,712DWT の記載があったため、ここに含めた。

※※この 3 隻のうち 1 隻は GT 数が不明であった。ただし、47,000DWT の記載があり、2000 年 12 月に同じ船主（MASTERBULK PTE）によって契約された他の 2 隻が 36,324GT（48,661DWT）、32,800GT（48,661DWT）と記載されていたため、ここに

<sup>7</sup> 大島造船所ホームページ（<https://jp.osy.co.jp/company-information/oshima-shipyard-story/2004-2016-12/>） 2020 年 9 月 13 日アクセス

含めた。

(出所) 海事プレス (各年版)「KPDATA」をもとに筆者作成。

2010 年代前半については、2000 年代と同じように、25,000GT 以上 50,000GT 未満のばら積み船が 176 隻中 129 隻と、多くを占めている。次いで多いのは、50,000GT 以上 75,000GT のばら積み船となっている (表 5-4)。ついで、25,000GT 以上 50,000GT 未満のタンカーとしては中型のものが 15 隻あるが、これは「KP DATA」においてはタンカーに分類されているが、液体バルクとドライバルクの混載用の船であり、この構造はばら積み船と類似したものである<sup>8</sup>。

表 5-4 大島造船所 船種・総トン (GT) 数別竣工隻数 (2010～2014 年)

	25000GT 未 満	25000GT 以 上 50000GT 未満	50000GT 以 上 75000GT 未満	75000GT 以 上 100000GT 未満	100000GT 以上	計
ばら積 み船	6	129	22	0	0	157
タンカ ー	0	15	1	0	0	16
コンテ ナ船	0	3	0	0	0	3
ガスキ ャリア	0	0	0	0	0	0
自動車 運搬船	0	0	0	0	0	0
客船	0	0	0	0	0	0
艦船	0	0	0	0	0	0
その他	0	0	0	0	0	0
計	6	147	23	0	0	176

(出所) 海事プレス (各年版)「KPDATA」をもとに筆者作成。

---

<sup>8</sup> 2014 年 9 月 16 日インタビューより。

このように同社は、1990 年代以降、ばら積み船に特化した製品構成をとっており、その中でもばら積み船としては中型のものを中心に生産している。近年のばら積み船の製品構成は表 5-5 のようになっている。これによると、基本的な船体設計は 24 種類ある（Mother lines）。その中で、一部の Mother lines には船体の延長仕様（Elongation line）のラインナップがある。さらに、積荷の性質への対応のために船倉部分の形状（標準版かセミオープンタイプかオープンタイプかなど）や塗料や荷役装置などの違う仕様が用意されており、トータルで 32 種類となっている。

表 5-5 近年の大島造船所のばら積み船のラインナップ

	Mother lines	Elongation Line	Ship type
Standard bulk carrier	37 LINES	37	37SEMI
	525 LINES	525	52SEMI
			50SEMI
		55	55SEMI
			52J-OPEN
	56 LINES	56	56SEMI
			56BC
	60 LINES	60	60BC
		62	62J-OPEN
		63	Salt Carrier
	N60LINES	60	N60BC
		62	62BC
	64 LINES	64	64SEMI
	765LINES	765	N77E
	82LPXLINES	82	82LPX
	82JPXLINES	82	82PX
	81 LINES	85	85BC
			84BC
	90 LINES	90	N90E
		105	105BC
	97LINES	97	97BC
	99LINES	99	99BC
Specialized bulk carrier	55 OPEN	55 OPEN	55 OPEN
	72 OPEN	72 OPEN	72 OPEN
	72J-OPEN	72J-OPEN	72J-OPEN

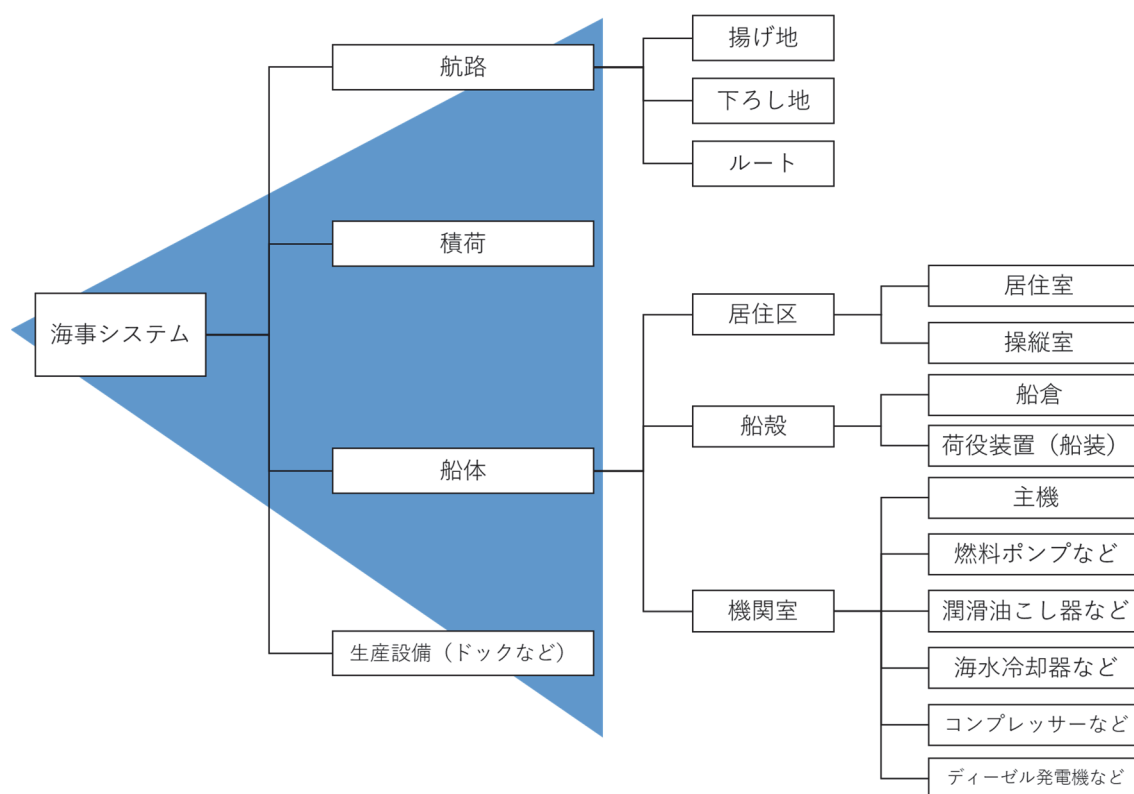
	50J-OPNE	50J-OPEN	50J-OPEN
	385CHIP	385CHIP	385CHIP
	430CHIP	430CHIP	430CHIP
			Light bulk carrier
	35LAKER	35LK	35Laker
			34BXLK
	NB74	74	CABU

（出所）同社提供資料<sup>9</sup>をもとに筆者作成。

## 5.2 船体設計

ここでは、同社の船体設計に注目して、どのような製品アーキテクチャを選択しているのかを取り上げる。本稿の階層構造のフレームワークにもとづくと、図 5-2 の船体設計とそれを構成する船殻・機関室・居住区のサブシステムレベルに注目することとなる。

図 5-2 階層構造における本節の着目点（大島造船所の船体設計）



（出所）筆者作成。

<sup>9</sup> 2018 年 2 月 21 日インタビューにおいて提供していただいた。

大島造船所は、最終組立工程（ドック工程）の生産性を最優先に設計を行なっている。そのため、船体（船殻）の形状は最終組立工程（ドック工程）の生産性に影響を与える場合があるので、できるだけ変えないようにしている。

大島に進出した当時、20 万 DWT 以上の VLCC 級の大型タンカーに対応し、かつ、幅 32.2m のパナマックスであれば 2 隻並列できる余裕を持たせるため、幅 80m・長さ 535m の大型ドックを建設した。さらに、操業開始以来、300t グライアスクレーン 2 基であったが、2011 年、2014 年に 1200t クレーンを増強し、現在は 4 基体制（300t×2 基、1200t×2 基）となっている。このドックサイズと設備を活かして生産性を高めることを重視し、現在では長さ方向は中間で仕切り、幅方向は 2 隻並列させることで 4 隻同時建造を行ない、26 日で 4 隻の作業を完了させている。

船体のサイズは、この 1 ドック 4 隻同時建造体制を崩さないサイズに制約されるため、最大船型でもポストパナマックス程度（約 105,000DWT・約 58,000GT 級）となっており、小型から中型が中心になっている。また、船種もドック作業のばらつきを抑制するために、ばら積み船に特化している。

まず、居住区は、船のサイズが変わっても乗員数はさほど変わらないため、そもそもあまり個別の顧客要求に対してカスタマイズ設計する必要がない。これについては図示すると図 5-3 のようになるが、インタビューで以下のようなコメントがあった。

「居住区は船殻と機関部に合わせる。どんな船体でも居住区の基本構造は同じ。」<sup>10</sup>

「82BC（1 番船は#10454）の居住区は、後で幅が同じ 52BC になどに流用されている。」<sup>11</sup>

「逆にルールが変わると、同じようなサイズの船であっても、そのまま流用できない。古い居住区が欲しい客は要求してくるが、居住区は人命に係わるので安全規制などによりどんどん進化していく。旧型ではダメ。」<sup>12</sup>

「居住区は最大 30 人、最少 22 人、通常 25~30 人が乗る。サイズによる違いはあまりない。安全規制に応じてどんどん新しくなっていく。したがって、同じ年の船にはできるだけ同じ居住区を搭載したい。内部の細かい違いは出てくる。」<sup>13</sup>

---

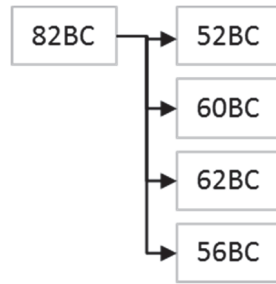
<sup>10</sup> 2014 年 9 月 16 日・17 日同社で行われたインタビューにおける船体設計技術者のコメント。

<sup>11</sup> 2014 年 9 月 16 日・17 日同社で行われたインタビューにおける船体設計技術者のコメント。

<sup>12</sup> 2014 年 9 月 16 日・17 日同社で行われたインタビューにおける船体設計技術者のコメント。

<sup>13</sup> 2014 年 9 月 16 日・17 日同社で行われたインタビューにおける船体設計技術者のコメント。

図 5-3 居住区ブロックの「家系図」



(出所) インタビューをもとに筆者作成。

一方で、船体設計については、基本的に同じ船型であれば船体外側（ライン）は標準設計を用いる。しかし、船型に関する変更がある場合は、船級の変更、ダブルハル化、船首の変更、ブロック分割の変更などがある。こうした場合、変化する部分のみ新設計し、それ以外の部分はできるだけ既存（の中では比較的新しいもの）の船体設計を流用される。

こうした設計方法を同社では「家系図方式」と呼んでいる<sup>14</sup>。図示すれば図 5-4 のようになるが、以下、家系図方式の概略について、インタビューで以下のようなコメントがあった。「原船のライン（船型）で決まるが、内部や構造等が違ってくる。船型はあまり変えない。」

15

「ベース船は出来るだけ新しいものを使う。」<sup>16</sup>

「変化点は船級変更、ルール変更、船首（バウ）・ダブルハル化・主機・補機（機関室設計）などの顧客要求、ブロック分割など。」<sup>17</sup>

例えば、図 5-4 は、765（76,500DWT 級）と 77（77,000DWT 級）のばら積み船の家系図である。インタビューにおいては、

「765&77BC から N77E への変更（#10439）のように、ラインが変更になる場合は、船殻設計は全くの新設計となる。」<sup>18</sup>

と述べられていた。

---

<sup>14</sup> 2014 年 9 月 16 日・17 日同社で行われたインタビューにおける船体設計技術者のコメント。

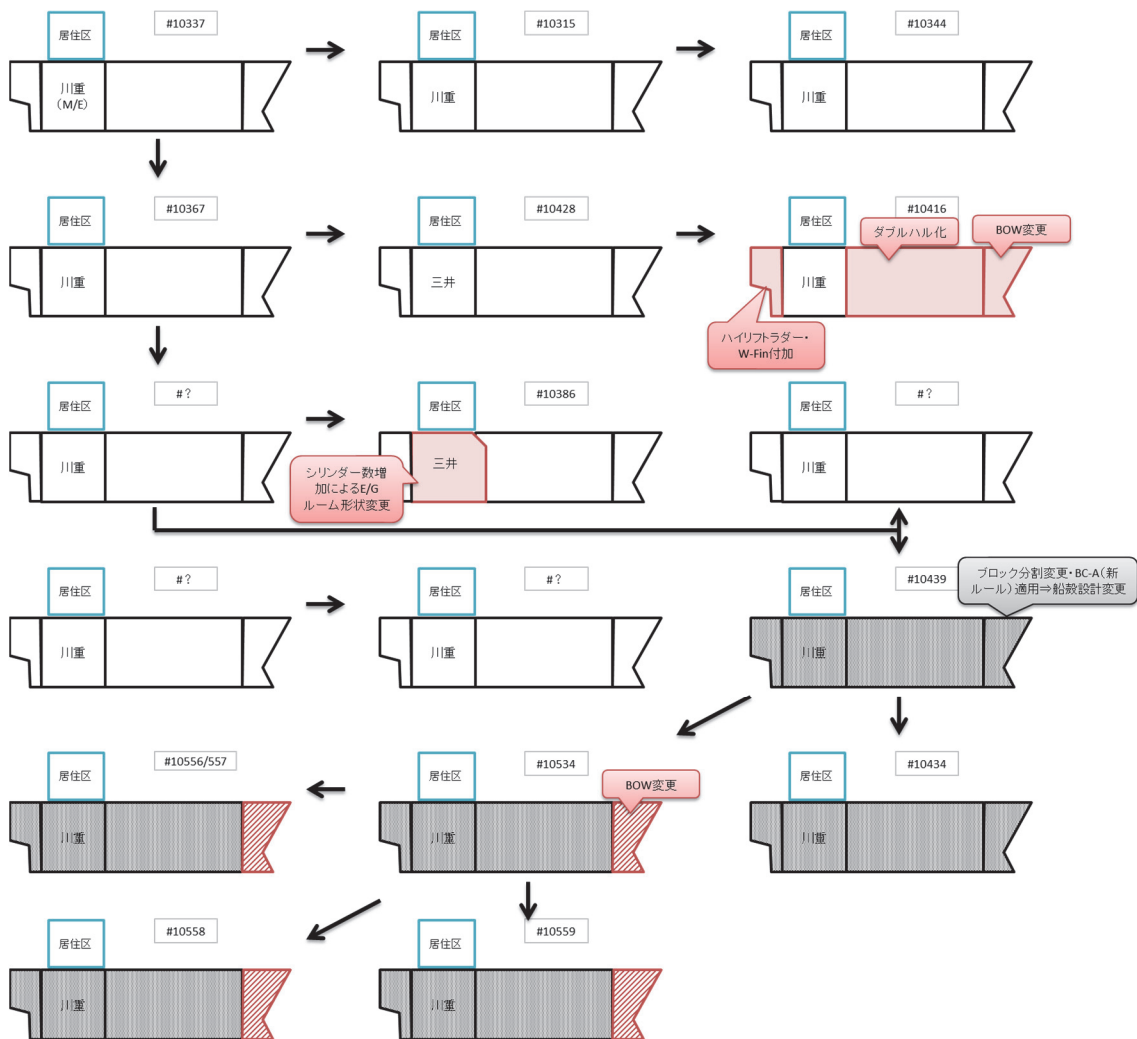
<sup>15</sup> 2014 年 9 月 16 日・17 日同社で行われたインタビューにおける船体設計技術者のコメント。

<sup>16</sup> 2014 年 9 月 16 日・17 日同社で行われたインタビューにおける船体設計技術者のコメント。

<sup>17</sup> 2014 年 9 月 16 日・17 日同社で行われたインタビューにおける船体設計技術者のコメント。

<sup>18</sup> 2014 年 9 月 16 日・17 日同社で行われたインタビューにおける船体設計技術者のコメント。

図 5-4 船殻の「家系図」(765&77BC)



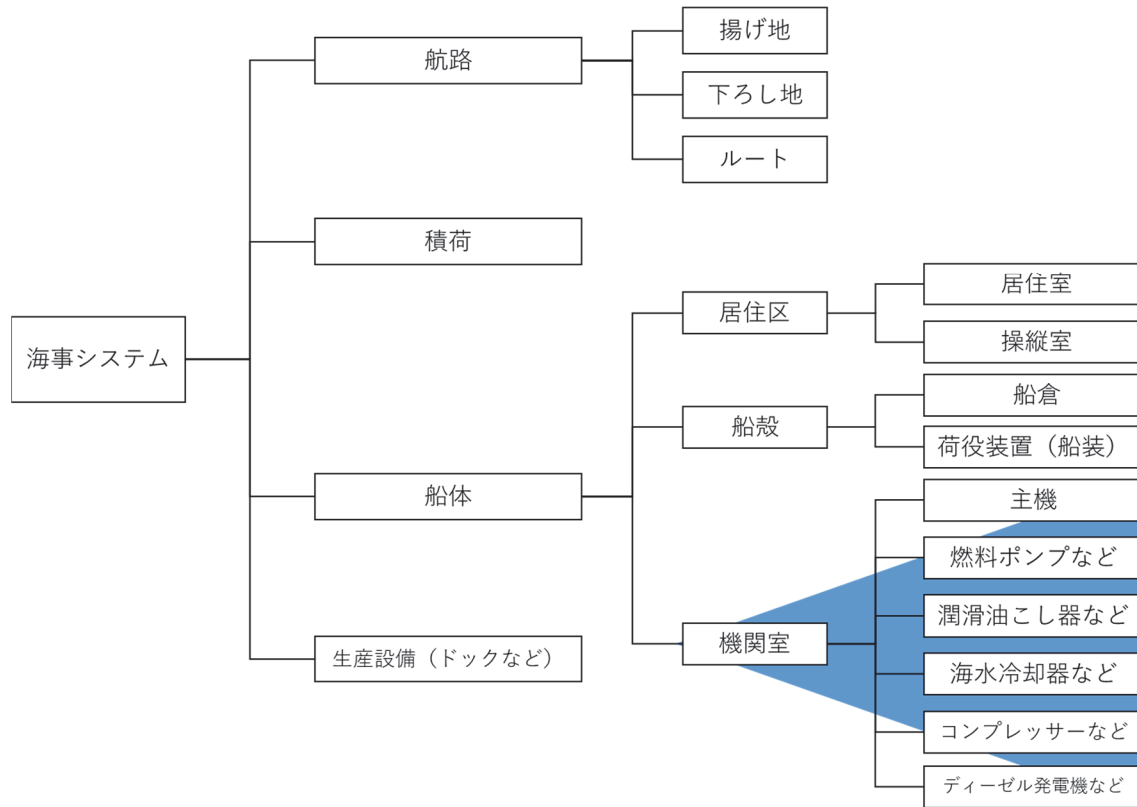
(出所) インタビューをもとに筆者作成。

### 5.3 機関室設計

ここでは、同社の機関室の設計（艤装設計）<sup>19</sup>に注目して（図 5-5）、どのような製品アーキテクチャを選択しているのかを取り上げる。本稿の階層構造のフレームワークにもとづくと、図 5-5 の機関室とそこにどのように船用部品が搭載されるのかに注目することとなる。

<sup>19</sup> 機関室内の船用部品、設備などの配置や取り付け（配管など）に関する設計のこと（3.5 節参照）。

図 5-5 階層構造（大島造船所）



（出所）筆者作成。

機関室設計に関しては、主機、発電機、ボイラーなど艤装設計に影響を及ぼす船用部品に関しては、顧客の運航パターンや使用経験にもとづく要求を受け入れる。そのため、設計が一定でも、これら船用部品の組み合わせが個別の製品（番船）によって異なり、艤装設計も異なるものとなる。そのため、機関室の艤装設計や生産現場での艤装作業は、生産量の増加にともなって負荷が増大した。

大島造船所では、先行艤装（サブアッセンブリー）として、船用部品と周囲の管などをおよそ7～8m四方の台の上で組み合わせる「ユニット」<sup>20</sup>が用いられている。「ユニット」の生産のしやすさ（「工作性」）は、選ばれる船用部品の組み合わせのパターンに左右される。そこで、顧客との交渉に際して推奨の船用部品の組み合わせパターンを用意する。しかし、推奨パターンを用意するものの、そのパターンから外れた要求を受けたときは、新しい「ユニット」を設計して対応する。新たに設計する段階では、当該製品（番船）に合わせた一品一様の「ユニット」となる。

<sup>20</sup> 他の今治造船（4章）、A社（6章）、名村造船所（7章）でも「ユニット」と呼ばれるものはあるが、それらとは無関係である。本章の「ユニット」は、あくまでも大島造船所の中で呼ばれる「ユニット」である。



しかしその後で、この新しい「ユニット」と従来の「ユニット」を比べて、作りやすいものを新しい推奨パターンとして残し、次の番船以降にできるだけ引き継がれる（図 5-6）。

このような設計選択の方法を、大島造船所ではやはり「家系図」方式と呼んでいる<sup>21</sup>。過去のどの「ユニット」からどの「ユニット」へと設計データが継承されたかを記録しておき、新たな「ユニット」設計の際に参照できるようにしている。この機関室の「家系図」方式について、図示すると図 5-6 のようになるが、以下のようなコメントがあった。

「新船から派生するケースを取り上げる。オーナーはそれぞれ別。」<sup>22</sup>

「機関艙装（機装）に影響が大きいのは、主機、発電機、ボイラー。船型が一定でも、これらの組み合わせが番船によって異なってくるので、機装設計も対応する必要がある。」<sup>23</sup>

図 5-6 の機関設計の「家系図」は新船の#10324 番船からの派生の事例を示している。これについては、

「#10324 は主機は三井、発電機はヤンマー、ボイラーは大阪製である。（第 1 世代）」<sup>24</sup>

「#10324 から、ニッシン向け#338（川重・ダイハツ・オルボルグ）、ヤマモト向け#10325（三井・ヤンマー・大阪）、シライ向け#10323（川重・ヤンマー・オルボルグ）が派生させた（第 2 世代）。第 2 世代では 3 つとも新たな艙装設計を行なっている。」<sup>25</sup>

「次に、#10323 から#10328（三井・ヤンマー・大阪）が派生した。（第 3 世代）」<sup>26</sup>

「主機・発電機・ボイラーの組み合わせで見ると、#10324 と#10325 と#10328 が同じである。しかし、第 3 世代の#10328 は、第 2 世代で同じ組み合わせの#10325 ではなく、異なる組み合わせの#10323 から派生している。」<sup>27</sup>

「#10323 から派生したのは、良い設計だったから。機器の組み合わせに応じて艙装設計を行なっていくうちにより良い設計（＝工作性が良い・間違いがない）ができ、“設計が熟成

---

<sup>21</sup> 2014 年 9 月 16 日・17 日同社で行われたインタビューにおける機関設計技術者のコメント。

<sup>22</sup> 2014 年 9 月 16 日・17 日同社で行われたインタビューにおける機関設計技術者のコメント。

<sup>23</sup> 2014 年 9 月 16 日・17 日同社で行われたインタビューにおける機関設計技術者のコメント。

<sup>24</sup> 2014 年 9 月 16 日・17 日同社で行われたインタビューにおける機関設計技術者のコメント。

<sup>25</sup> 2014 年 9 月 16 日・17 日同社で行われたインタビューにおける機関設計技術者のコメント。

<sup>26</sup> 2014 年 9 月 16 日・17 日同社で行われたインタビューにおける機関設計技術者のコメント。

<sup>27</sup> 2014 年 9 月 16 日・17 日同社で行われたインタビューにおける機関設計技術者のコメント。

されていく。」<sup>28</sup>

「メーカーの組み合わせが異なってもその機装設計を流用することがある。」<sup>29</sup>  
と述べられていた。

また、現場での作りやすさのことを同社では「工作性の良さ」と表現されている。この「工作性の良さ」と「家系図」の関係については、設計技術者の間で意識されており、インタビューでは以下のようなコメントがあった。

「性能上の問題はほとんどないため、設計の「すじの良さ」に関しては、工作性の良さが重視される。」<sup>30</sup>

「工作性の良さとは、間違いにくさ、作りやすさである。「ユニット」の組みやすさも含む。特定の主機、補機の組合せにより、組みやすい「ユニット」がある。それが次のベースモデルになる（本家がどんどん変わっていく）。」<sup>31</sup>

「例えば、新船（1 隻目）を作ってみて得られた新たな情報を 2 番船以降に盛り込んでいく。」<sup>32</sup>

「家系図を見て、どの船をベースとして使うかが、効率に影響する。仕様や、用途目的に近い船の設計をベースに使うのが基本。」<sup>33</sup>

「おすすめの船用部品のパターンはあっても、顧客要求がおすすめパターン（機装の家系図）から外れれば、それに答えざるを得ない（大島は顧客要求にできるだけこたえる姿勢。意外に思われがちだが・・・）。」<sup>34</sup>

「技術的にこれでないといけないというのはあまりない。船主の方で使っている実績がある。」<sup>35</sup>

---

<sup>28</sup> 2014 年 9 月 16 日・17 日同社で行われたインタビューにおける機関設計技術者のコメント。

<sup>29</sup> 2014 年 9 月 16 日・17 日同社で行われたインタビューにおける機関設計技術者のコメント。

<sup>30</sup> 2014 年 9 月 16 日・17 日同社で行われたインタビューにおける機関設計技術者のコメント。

<sup>31</sup> 2014 年 9 月 16 日・17 日同社で行われたインタビューにおける機関設計技術者のコメント。

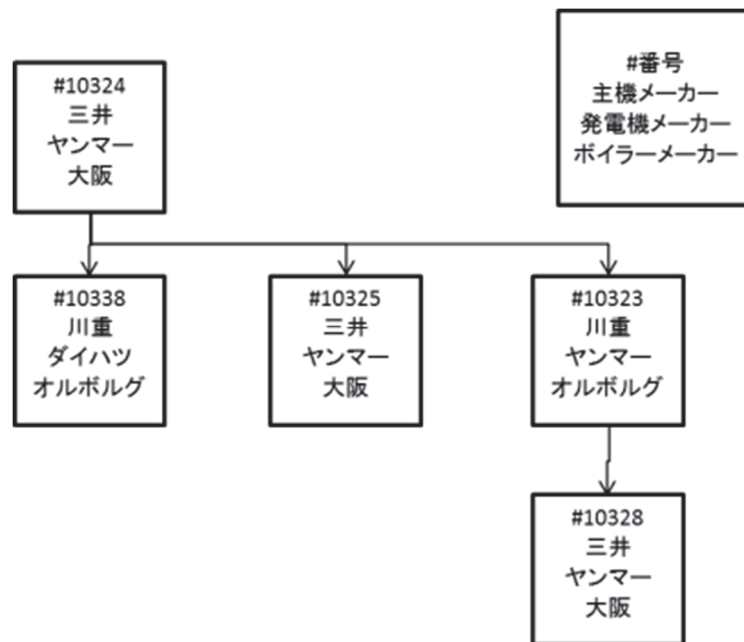
<sup>32</sup> 2014 年 9 月 16 日・17 日同社で行われたインタビューにおける機関設計技術者のコメント。

<sup>33</sup> 2014 年 9 月 16 日・17 日同社で行われたインタビューにおける機関設計技術者のコメント。

<sup>34</sup> 2014 年 9 月 16 日・17 日同社で行われたインタビューにおける機関設計技術者のコメント。

<sup>35</sup> 2014 年 9 月 16 日・17 日同社で行われたインタビューにおける機関設計技術者のコメント。

図 5-6 機関室の「家系図」



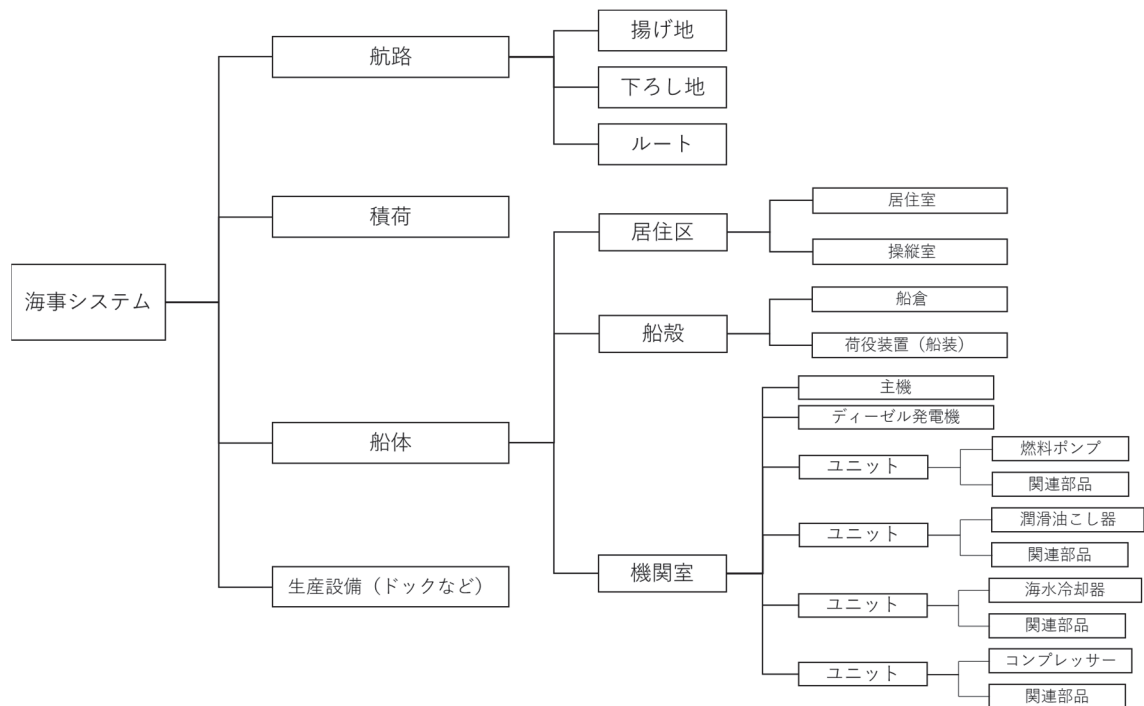
(出所) インタビューをもとに筆者作成。

このように設計案は、顧客要求をきっかけとしてバリエーションを多様化させるが、事後的に生産しやすい設計案が発見されれば、大島造船所としての推奨パターンはその設計案に集約される。このように、大島造船所の中では、「ユニット」の呼び方は変わらなくても、その設計内容が進化し、「ユニット」を構成する部品とその周囲の艤装の「設計が熟成され」ていた。このプロセスにおいて、生産部門から設計部門への「工作性」（作業の間違いにくさ、作業しやすさ）に関するフィードバックが重要な意味を持っている。インタビューによると、設計部門の技術者側は「実際に問題は工作から出てくる」という認識をもち、生産部門側の技術者は「工作から出た声に対して設計は応じてくれる」という認識を持っているという<sup>36</sup>。

このようなプロセスで、「ユニット」内の設計はすり合わされた設計がなされる。そのうえで、内部がすり合わされた「ユニット」の設計がモデル間あるいは番船間で流用されて、1隻あたりの新規設計を減らすという意味で（クローズド・）モジュラー化しているといえる（図 5-7）。こうしたプロセスが、「設計が熟成され」と表現されている。

<sup>36</sup> 実際に、47,000DWT 級のばら積み船の開発の際、生産部門の課長が設計部の中に机を置いて設計案を協議した結果、従来 14 万時間かかっていた生産リードタイムを 99,900 時間まで削減したこともあったという（2014 年 9 月 16 日インタビューより）。

図 5-7 「ユニット」が用いられた大島造船所の階層構造



（出所）インタビューをもとに筆者作成。

#### 5.4 小括

大島造船所では、1つのドックの稼働率を高めるために4隻同時連続建造を行い、それが効率的にできるようにハンディマックスからパナマックスといった中型のばら積み船に特化していた。この意味では、ドックのサイズに対して船体をすり合わせていたといえる。この上で、本章で取り上げた中型ばら積み船の事例では、製品（船体）レベルでは、積荷や航路などに関する多様な要求に対応する多様なラインナップが用意されていた。また、船体の番船設計では、「家系図」方式として必要に応じて1隻1隻で設計を変えていく考え方がとられている。こうしたことから、製品レベルでは海事システムに対してすり合わせた設計が行なわれ、それが顧客あるいは市場から支持されていたといえる。この点については、より上位階層に対するすり合わせ要素の製品レベルでの「カプセル化」はなされておらず、前章の今治造船とはやや異なる設計思想を選択しているといえる。

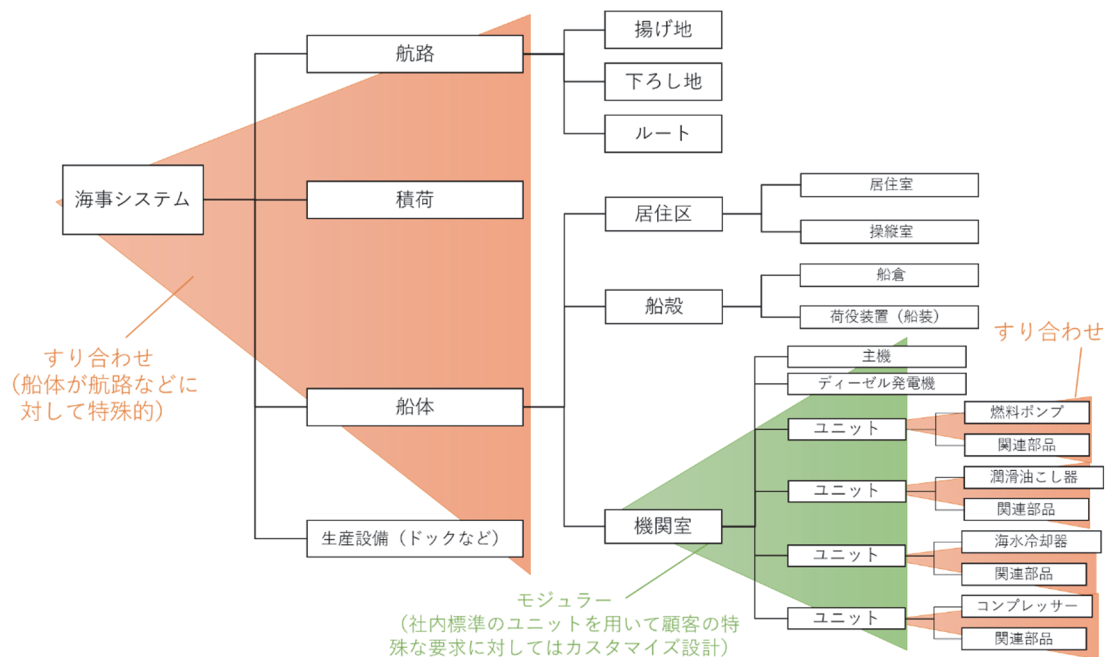
一方で、機関室設計の「家系図」方式がとられていることから、カプセル化（すり合わせの局所化）が、サブシステムレベルと機関室内の「ユニット」レベル（船用部品の部品群）で発生しているといえる。

以上のアーキテクチャの選択を階層構造で分析すると図 5-8 のようになる。大島造船所の場合、特定の港湾設備、航路（運河など）の補完財との調整も求められ、かつ顧客の特殊な要求に対するすり合わせ設計（多様なラインナップ、「家系図方式」）が選択されていた。

このように船体という上位階層から来る最適設計のプレッシャーはありながら、一方で、機関内の艀装設計は標準設計に近づけようとする結果、中間にサブフレーム（「ユニット」）が採用されていた。船体は周辺の補完財との関係からカスタマイズする必要があり、すり合わせ設計が選択されていたが、機関室内部の中アーキテクチャに関しては、（クローズド・）モジュラー型のアーキテクチャが選択されていたといえる。ただし、この「ユニット」は、機能完結性よりも生産しやすさを重視したものであった。

以上から、大島造船所の「家系図」という考え方による船体の設計選択は、用途（航路という補完財）に対して特殊なカスタマイズ設計であり、かつ顧客の特殊な要求を受け入れうる設計であったといえる。大島造船所の機関室の設計選択も同様で、用途特殊な設計であり、かつ顧客特殊な要求を受け入れうる設計が選択されていたといえる。

図 5-8 大島造船所のアーキテクチャの選択



(出所) 筆者作成。

## 6 章 多様なニーズに対する「原価企画」と中モジュラー化：A 社のカムサマックス

### スバラ積み船の事例<sup>1</sup>

4 章で小型スバラ積み船の事例、5 章で中型スバラ積み船の事例を取り上げ、製品アーキテクチャの選択がどのように考えられてなされているのかを検討してきた。本章でも、5 章に引き続いて中型のスバラ積み船の事例を取り上げ、さらなる検討を加えることとする。

#### 6.1 A 社の概要、沿革、竣工実績について

A 社は「中手」造船会社のひとつで、1903 年に創業した海運業がその端緒である。造船事業は、1917 年に現在の本社工場のある場所に造船所を設立したことにはじまり、1942 年に A 社を設立する。その後、1958 年に同社初の鋼船を竣工、1968 年には 200,000DWT ドック（修繕用のドック）（全長 330m×幅 54.5m）が完成した。

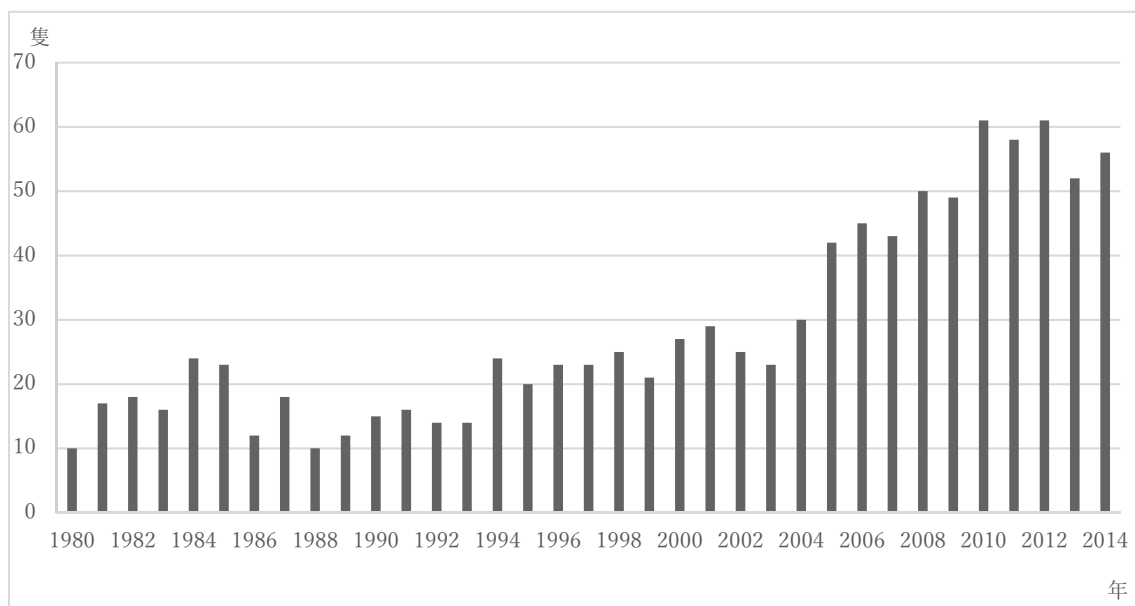
1984 年には「TESS」シリーズ最初の 40,000DWT 級スバラ積み船の「TESS40」を竣工させた。1994 年には海外進出を図り、フィリピンのセブに工場を設立した。このセブの拠点は 2015 年 6 月に累計竣工 200 隻を達成した。2003 年には中国舟山にも新造船工場を設立した。現在の新造船事業の生産拠点は広島県福山市の本社工場（船台 1 基：250.0m×41.5m、建造ドック 1 基：275m×48m×9m）、フィリピンのセブ（船台 2 基：200m×34m、250m×41m、建造ドック 1 基：450m×60m×11.5m）、中国の舟山（船台 2 基：210m×38m、250m×40m、建造ドック 1 基：450m×40m×12.3m）となっている。非上場企業のため断片的であるが、2000 年代後半以降の営業利益率は 10%以上であることが多い（ダイヤモンド会社探検隊、2008；A 社、2012；2015）。

生産量は、1980 年代から 90 年代は 10～20 隻程度だった。それが 2000 年代初頭に年間 30 隻程度となり、その後、2010 年前後には年間 60～70 隻程度に倍増している（図 6-1）。生産量が増えている一方、2000 年代以降の設計技術者の人数は 300 人程度である。

---

<sup>1</sup> 本章の記述は、インタビュー調査および公刊資料および同社ホームページにもとづき、具・加藤・向井（2010）、向井（2011；2016b）を大幅に加筆・修正したものである。なお、本章の元となったインタビューは、2009 年 2 月 16 日（設計部門部長、機関設計グループのマネジャーと一般社員）、4 月 8 日（設計部門部長、機関設計グループマネジャー）、7 月 3 日（設計部門部長、機関設計グループのマネジャーと一般社員）、9 月 8 日（設計部門部長、機関設計のマネジャーと一般社員）、2010 年 2 月 8 日（設計部門船体設計の課長、マネジャー、一般社員）、7 月 22 日に A 社本社工場において行なわれた（肩書きはすべて当時）。また、2010 年 1 月 28 日・29 日に機関設計グループのマネジャーの方からメールでコメントをいただいている。

図 6-1 A 社 竣工隻数



注：多度津（1980 年以降）・セブ（1997 年以降）・舟山（2007 年以降）の竣工隻数を含んでいる。

（出所）海事プレス（各年版）「KPDATA」をもとに筆者作成。

1980 年代の竣工船（表 6-1）を船種別でみると、160 隻中ばら積み船が 90 隻と半分以上を占めているが、ついで自動車運搬船 25 隻、タンカー 23 隻、コンテナ船 15 隻と、ばら積み船以外の船種も 4 割程度生産していることがわかる。また、サイズもあわせてみると、ばら積み船のうち、25,000GT 以上 50,000GT 未満が 66 隻と最多になっていて、つづいてばら積み船の 25,000GT 未満の 22 隻となっている。ハンディマックスのばら積み船である「TESS40<sup>2</sup>」（1984 年に 1 番船が竣工）をはじめ、ハンディマックスからパナマックス程度のばら積み船に軸足を置いたことがうかがえる。

<sup>2</sup> 同社によると、「ハンディマックス・バルカーの主流が 36,000 重量トンだった時代に、他社に先駆けて 40,000DWT 級の「TESS40」を市場に投入し、欧州を中心とした船主に評価されマーケットを広げていきました。またそれまで造船業界で一般的であった「オーダーメイド」型の生産を、市場調査に基づき「標準船型」を策定することで「レディーメード」型に変え、造船所がスタンダードモデルを取り揃えてお客さまの用途に合わせてソリューションを提案するというビジネススタイルを確立する革新性を備えていました」としている（同社ホームページ（2020 年 9 月 3 日アクセス））。

表 6-1 A 社 船種・総トン (GT) 数別竣工隻数 (1980～1989 年)

	25000GT 未 満	25000GT 以 上 50000GT 未満	50000GT 以 上 75000GT 未満	75000GT 以 上 100000GT 未満	100000GT 以上	計
ばら積 み船	22	66	2	0	0	90
タンカ ー	9	10	4	0	0	23
コンテ ナ船	3	12	0	0	0	15
ガスキャ リア	0	0	0	0	0	0
自動車 運搬船	12	13	0	0	0	25
客船	0	0	0	0	0	0
艦船	0	0	0	0	0	0
その他	7	0	0	0	0	7
計	53	101	6	0	0	160

多度津の竣工隻数を含めている。

(出所) 海事プレス (各年版) 「KPDATA」をもとに筆者作成。

つぎに 1990 年代の竣工船をみると (表 6-2)、全部で 195 隻のうち、ばら積み船は 151 隻と約 8 割を占めており、1980 年代と比べてばら積み船の割合が多くなっている。一方で、タンカー、コンテナ船、自動車運搬船の割合が減少している。

ばら積み船 151 隻のうち、25,000GT 以上 50,000GT 未満が 129 隻と最も多くなっている。25,000GT 未満は 16 隻、50,000GT 以上 75,000GT 未満が 3 隻などとなっている。

「TESS40」や後継の「TESS45」(1994 年 1 番船竣工)をはじめとして、同社は 1990 年代にハンディマックスからパナマックス程度の中型のばら積み船の割合をさらに増やしていたことがうかがえる。



表 6-2 A 社 船種・総トン (GT) 数別竣工隻数 (1990～1999 年)

	25000GT 未 満	25000GT 以 上 50000GT 未満	50000GT 以 上 75000GT 未満	75000GT 以 上 100000GT 未満	100000GT 以上	計
ばら積 み船	16	129	3	2	1	151
タンカ ー	7	9	4	2	0	22
コンテ ナ船	6	6	0	0	0	12
ガスキャ リア	0	0	0	0	0	0
自動車 運搬船	0	5	2	0	0	7
客船	0	0	0	0	0	0
艦船	0	0	0	0	0	0
その他	3	0	0	0	0	3
計	32	149	9	4	1	195

多度津・セブの竣工隻数を含んでいる。

(出所) 海事プレス (各年版) 「KPDATA」をもとに筆者作成。

2000 年代に入ると、1997 年に操業を開始したセブが軌道に乗ったことや、2007 年に舟山の生産拠点を設けたこともあり、竣工隻数が 363 隻と大幅に増加している (表 6-3)。船種別で見ると 363 隻中 304 隻と 8 割以上がばら積み船となっている。さらに、サイズ別で見ると、296 隻と大半が 25,000GT 以上 50,000GT 未満となっている。2000 年代は、ハンディマックスの「TESS50」(2000 年に 1 番船が竣工) や「TESS58」(2006 年に 1 番船が竣工) や、パナマックスの「カムサマックス<sup>3</sup>」、2005 年に 1 番船が竣工) を主力として生産

---

<sup>3</sup> パナマックスとしては世界で初めて 80,000DWT を超えた。幅は 32.26m とパナマ運河にあわせた幅となっているが、長さを 229m とし、ポーキサイトの主要な積み出し港であるギニアのカムサール港の入港制限に対応した船型とされた。「カムサマックス (KAMSARMAX)」という呼称は、A 社の登録商標であったが、業界内で 80,000DWT 級

していたことがうかがえる。

表 6-3 A 社 船種・総トン (GT) 数別竣工隻数 (2000～2009 年)

	25000GT 未 満	25000GT 以 上 50000GT 未満	50000GT 以 上 75000GT 未満	75000GT 以 上 100000GT 未満	100000GT 以上	計
ばら積 み船	5	296※	1	2	0	304
タンカ ー	0	0	37	0	0	37
コンテ ナ船	2	0	0	0	0	2
ガスキャ リア	0	0	0	0	0	0
自動車 運搬船	3	4	13	0	0	20
客船	0	0	0	0	0	0
艦船	0	0	0	0	0	0
その他	0	0	0	0	0	0
計	10	300	51	2	0	363

※このうちの 1 隻が 325,000GT の記載であったが、その船は 58,000DWT であったため、32,500GT の誤表記と考えられるので、ここに含めた。

多度津・セブ・舟山の竣工隻数を含んでいる。

(出所) 海事プレス (各年版) 「KPDATA」をもとに筆者作成。

2010 年代前半も、全体で 288 隻のうち 232 隻と、約 8 割が 25,000GT 以上 50,000GT 未満のばら積み船が占めている点では、2000 年代と同様である (表 6-4)。一方で、50,000GT 以上のやや大型のばら積み船の割合が増えている点が、2010 年代の特徴である。これは、2011 年に 1 番船が舟山工場で竣工した 98,000DWT 級のポストパナマックスの「TESS98」

---

のパナマックスクラスのばら積み船を総称する名称となった (ダイヤモンド会社探検隊, 2008 ; 西嶋, 2012 ; 施, 2016 ; 海事プレス, 2013)。

<sup>4</sup>や、2010年にセブで1番船が竣工した180,000DWT級の「T-Core 180」<sup>5</sup>といった、比較的大型のばら積み船も手がけられるようになったことがある。

表 6-4 A 社 船種・総トン（GT）数別竣工隻数（2010～2014 年）

	25000GT 未 満	25000GT 以 上 50000GT 未満	50000GT 以 上 75000GT 未満	75000GT 以 上 100000GT 未満	100000GT 以上	計
ばら積 み船	0	232	17	19	0	268
タンカ ー	0	0	18	0	0	18
コンテ ナ船	2	0	0	0	0	2
ガスキ ャリア	0	0	0	0	0	0
自動車 運搬船	0	0	0	0	0	0
客船	0	0	0	0	0	0
艦船	0	0	0	0	0	0
その他	0	0	0	0	0	0

<sup>4</sup> 西嶋（2012）、同社ホームページ（2020年9月3日アクセス）より。なお、このホームページにおいて、「TESS98」について「ポストパナマックスバルカーとして2008年に開発した9万8千トン型のばら積み貨物船で、当社商品「TESS」シリーズの最新船型です。従来同タイプの船は載貨重量9万トン前後、全長約235メートルが一般的であるなか、「TESS98」は載貨重量トン数を増加するため船の全長をおよそ240メートルに決定。全長を伸ばしながらも国内の石炭輸送の主要港湾に入港できるサイズを維持し、10万トンに迫る載貨重量を確保しています。本船型は船主ニーズを反映して比重の重い鉄鉱石も隔倉積みできるよう船体の強度を高めて汎用性を備え、使い勝手の良さを実現しています。国内の発電所に向けた石炭輸送のみならず、中国やインドなど電力需要や粗鋼生産量が高まる新興国に向けた、石炭や鉄鉱石の旺盛な輸送ニーズにも対応する船型です」と紹介されている。

<sup>5</sup> A 社ホームページ（2020年9月3日アクセス）より。

計	2	232	35	19	0	288
---	---	-----	----	----	---	-----

多度津・セブ・舟山の竣工隻数を含んでいる。

（出所）海事プレス（各年版）「KPDATA」をもとに筆者作成。

## 6.2 船体設計

1980年代から2000年代まで一貫して主力は40,000～60,000載貨重量トン（DWT）<sup>6</sup>の「ハンディサイズ」と呼ばれる小型、80,000DWT程度<sup>7</sup>の「パナマックス」、100,000DWT程度<sup>8</sup>の「ポストパナマックス」と呼ばれる中型のばら積み船である。したがって、50,000GT以下に集中している。ただし、2000年代以降は、最大船型180,000DWT（90,000～100,000GT程度）の建造が可能なドック（長さ450m×幅60m×深さ11.5m）を擁するフィリピン・セブ工場や、同様に国内工場よりもサイズの大きなドック（長さ450m×幅40m×深さ12.3m）を擁する中国・舟山工場の生産比率が高まっていることもあり、50,000GT以上の船型がやや増加していた。

主力のばら積み船のサイズは、ハンディマックスやパナマックスと呼ばれる中型であり、標準船「TESS」シリーズとして販売している。1984年に40,000DWT級の「TESS40」を建造開始して以来、需要の変化に対応して45,000DWT、52,000DWT、58,000DWTなど複数のサイズ（船型）を数年おきに開発している。こうしたハンディクラスのTESSシリーズは、2012年1月時点でシリーズ累計300隻となった。

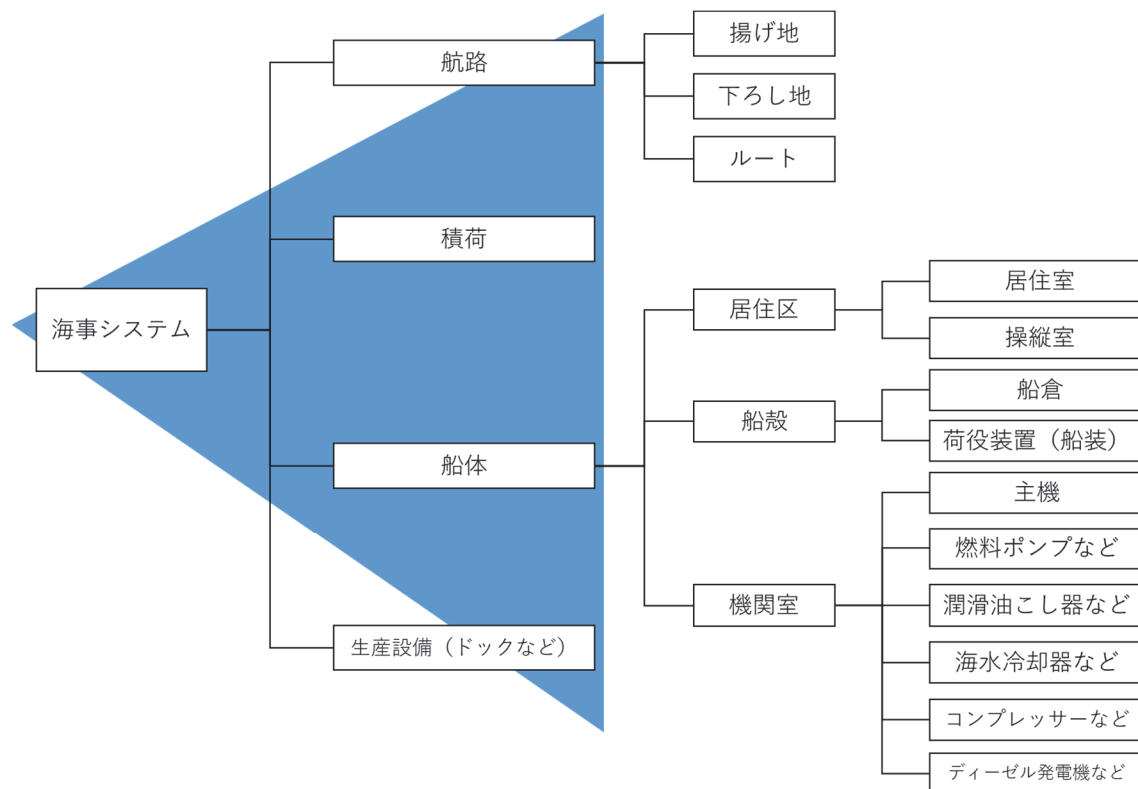
本節では、以下、A社の船体設計に関する考え方について焦点を当てる。これは、図6-2の製品レベルのアーキテクチャ選択に注目することに相当する。

<sup>6</sup> 20,000～30,000総トン（GT）程度。

<sup>7</sup> 40,000GT程度。

<sup>8</sup> 50,000GT程度。

図 6-2 階層構造（フレームワーク）における本節の着目点（A 社の船体設計）



（出所）筆者作成。

前述のように、TESS シリーズという標準船によって、A 社は竣工実績を伸ばしていた。しかし、1990 年代から 2000 年代初めごろの TESS シリーズは、実際には既存設計の製品を製造、販売するものではなく、顧客からの引き合いから設計が開始され、要求仕様に一隻ごとに合わせこむやり方を取り、受注設計・生産方式であった。そのため、実際には 1 隻 1 隻で違いがあり特注品に近い性質を持っていた（具・加藤・向井，2010；向井，2011）。

さらに、当時はばら積み船以外の自動車運搬船や変種のタンカー船も受注していた。同時に 2005 年採択の共通構造規則（CSR）、2006 年採択の燃料油タンクの二重構造化の新規制対応が重なった。そのため、結局、製品開発は受注したものをとにかくこなす状態になっていた。この結果、2000 年代前半までは売上高が増えても、同時にコストも増大し、営業利益率も 0~5%程度にとどまっていた。加えて、受注量の増加と、海外工場の立ち上げにより、生産量が急増することになった。そのため、従来の設計方法では設計負荷が急増していた。

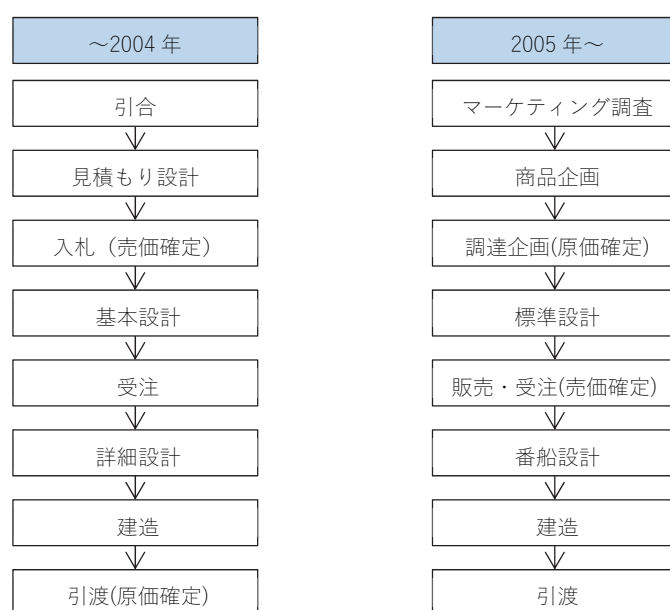
そこで、船体の設計に関しては、原価企画を導入<sup>9</sup>することにより、顧客に対するヒアリ

<sup>9</sup> この時期の原価企画の取り組みに関しては、日刊工業新聞 2007 年 4 月 19 日、中国新聞 2007 年 10 月 24 日においても取り上げられている。なお A 社は、加登（1993）に端を発する原価企画の考え方を導入している（具・加藤・向井，2010）。

ングなどマーケティング調査を行いながら基本設計（標準設計）が固められたうえで、受注するプロセスがとられるようになった（図 6-3）。この原価企画の考え方は、製品の機能によって価格が決まるという前提に立ち、商品企画段階という開発の初期段階から、VE（バリュー・エンジニアリング）によってその機能を実現するための目標原価を下げるという考え方である（ダイヤモンド会社探検隊，2008；対馬，2008；具・加藤・向井，2010）。それゆえ、原価企画の導入を機に、船体がどのような機能から構成されるかが意識されるようになり、例えば、船殻を「Hull Station」、機関室を「Power Station」、居住区を「Living Station」と呼称を変えることも行なわれていた。

ただし、この原価企画の導入によって、個別の番船ごとのカスタマイズ要求に全く対応しなくなったわけではない。番船設計以降のプロセスで細かい顧客要求に対するカスタマイズ対応はなされることになった（図 6-3）（具・加藤・向井，2010；向井，2011）。

図 6-3 設計プロセスの変化



（出所）インタビュー<sup>10</sup>をもとに筆者作成。

こうして開発されたハンディマックスの「TESS58」は、2006年に初竣工し、2015年8月時点で累計160隻となっている。また、パナマ運河の通行が可能な最大船型である70,000～80,000DWTクラスのパナマックスは、82,000DWT級の「カムサマックス（KAMSARMAX）」<sup>11</sup>として2005年に初竣工し、2015年9月時点で累計220隻竣工した。このカムサマック

<sup>10</sup> 2009年7月3日インタビュー

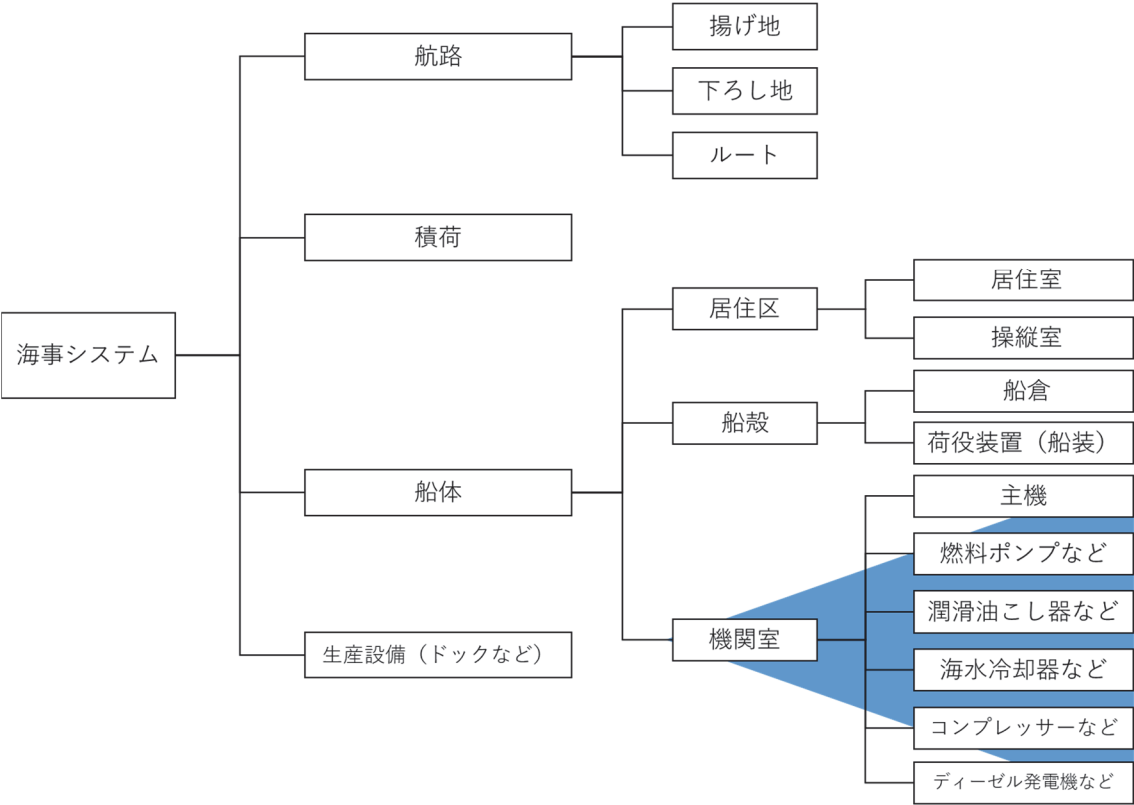
<sup>11</sup> ボーキサイトの主要積出港であるアフリカ西部のギニア共和国のカムサール港に入港可能な

スはパナマックスのばら積み船市場においてトップシェアである（A 社，2015）。これは、2000 年代初頭に BRICs など発展途上国の経済発展による資源輸送の需要増加に際し、同社はばら積み船の中で船腹量が比較的多い 70,000DWT 級に着目した。このクラスは通常全長 225m であるが、カムサマックスではそれを 229m に延長し、浅喫水ながら 82,000DWT 級に積載量を増加させた、かつ多様な港への入港を可能にする設計が行われた（施，2016）。

### 6.3 機関室設計

本節では、A 社の機関室の設計（艤装設計）<sup>12</sup>の考え方に焦点を当てる。これは、図 6-4 のサブシステムレベル以下に注目することにあたる。

図 6-4 階層構造（フレームワーク）における本節の着目点（A 社の機関室設計）



（出所）筆者作成。

最大船長を有していることから命名されている。パナマ運河を通れる船幅を保ちつつ、従来の 76,000DWT 級パナマックスばら積み船よりも全長を 4m 伸ばし 229m とした（全長×幅×高さは 229m×32.26m×20m、総トン数 43,400 トン）。「カムサマックス（KAMSARMAX）」は前述のように A 社の登録商標となっている（対馬・功刀・武田，2011；A 社ホームページ）。

<sup>12</sup> 機関室内の船用部品、設備などの配置や取り付け（配管など）に関する設計のこと（3.5 節参照）。

A社の機関設計技術者へのインタビューによると、そもそも「製品システムとしての船舶を船殻（貨物を積載する「どんがら」の部分）、機関部（動力源）、居住区（船舶の操縦と乗員の生活空間）に分けて認識」<sup>13</sup>しているという。このうち、顧客が最も重視するのは、輸送する貨物を積載する機能である。このため、積載性能を最適化するように船殻の基本設計が優先的に決まる。これについて、A社では、

「造船所のコア技術は、船殻をつくる技術」<sup>14</sup>

「「造船所」の会社組織としては、船体の基本方針に従うのが機関」<sup>15</sup>

と認識されている。このため、1隻ごとに変更されやすかつ優先的に決まる船体設計にもとづいて機関部が設計される。

一方で、機関部に使われる部品（船用部品）は、エンジンを含めて社外サプライヤーからの購買品が大半である。したがって、造船会社は、船用部品の艤装設計、すなわち船用部品をどのように配置して、どのように接続するかについての設計を担っていることになる。この艤装設計については、船体（船殻）優先で設計されるため、船用部品の艤装に残された空間が狭隘で複雑な形状となることが多かった。さらに、顧客が運航経験にもとづいて、船用部品のメーカーや品番の指定することも多かった。例えば、

「燃料系だと、顧客が経験にもとづいた要求を出す。その要求がたとえ20社中1社しかない要求だとしても対応せざるを得ない。すると、それに伴って細々と変更が発生する」<sup>16</sup>状況になる。船用部品は社外の業界標準的なものだが、メーカーや品番などの違いにより、パイプ類の取り付け位置や形状（取り合い）、すなわちインターフェースが変わる。生産現場では、

「最終組立工程であるドックの作業効率を上げるため『ユニット』<sup>17</sup>と呼ばれる先行艤装（サブアッセンブリー）の方法が採用されていた。しかし、『ユニット』を構成する部品が一定ではなかったため、1隻ごとに『ユニット』をすり合わせる設計が必要」<sup>18</sup>な状態になっていた。また、船体レベルでも番船ごとに異なる設計がなされていたため、

---

<sup>13</sup> 2009年2月16日インタビュー

<sup>14</sup> 2009年4月8日インタビュー

<sup>15</sup> 2010年1月29日メール

<sup>16</sup> 2009年9月8日インタビュー

<sup>17</sup> 今治造船（4章）、大島造船所（5章）、名村造船所（7章）においても「ユニット」という表現が出てきているが、それらとは無関係である。本章の「ユニット」は、あくまでもA社で呼ばれる、船用部品にある程度の艤装が施された状態の「ユニット」である。

<sup>18</sup> 2009年2月16日インタビュー



「『ユニット』を機関室に配置する設計も1隻ごとにすり合わされた」<sup>19</sup>と述べられていた。

このような設計方法をとる中、2000年代になると生産量が急増し、顧客の個別的な要求が集中しやすい機関室の艤装設計も負荷の増加に対応しきれなくなりつつあった。そこで、前述の原価企画の導入と同時に、機関室の艤装設計の方法も見直された。

A社が機関室の艤装設計に注目したのは、原価企画を導入し、市場調査をもとに商品企画をする中で、造船所を取り巻くステークホルダー（造船所—船主—用船社—荷主）にもとづき、顧客にとって価値のあるもの、エンドユーザーの価値を高める商品作りをしなければならないという認識が社内で浸透していったことがある。顧客にとっての付加価値は、よりスピーディな運行とメンテナンスの容易さ、広い荷室である。以上を踏まえた上で、船舶のシステムを3つのステーション（船殻（Hull Station）、機関室（Power Station）、居住区（Living Station））に分けて考えることを意識しつつ、より価値向上を図ることができる部分はどこかについて模索するようになった<sup>20</sup>。

そこで、A社では機関室（Power Station：PS）についても設計を見直すこととなった。PSは、船主にとっての機能で言えば、船員費とメンテナンス費、用船社にとっては燃料費に効く部分である。すなわち、PSは運航、物流にとってのコストセンターであるとA社では考えたわけである。また、船舶に占めるHS割合を高め、積載量の増加させるためにも、PSの小型化が必要となる。さらに、スピードを出すにせよ、メンテナンスを容易にするにせよ、PSの高度化を図る必要がある。そこで、A社は船舶システムの中でPSというサブシステムに着目し、顧客価値の向上と商品力のアップを図るようになった。具体的には、顧客価値を生むPSにするためには、次のことをめざすことが考えられた。

- ・ 省スペース化：HSの割合を高め、1隻あたりの積載効率を上げること
- ・ 省人化：通常1隻あたり20人ほど乗務する機関部の乗組員を削減し、船員費を削減すること
- ・ ライフサイクルバリューの向上：メンテナンスしやすい設計、造船所による遠隔監視システムを用いたメンテナンス・プログラムの実施などによりメンテナンス費用を削減すること

価格構成面で見ると、A社の主力船型ベースでHSが約20億、LSが約3～4億、PSが約10億（エンジン5億）をそれぞれ占める。その内、HSとLSはすでに造船メーカーが手掛けているところであるが、顧客価値向上のターゲットとなるPSの場合、材料費が約8割を占める。すなわち、PSはそもそもカタログ製品として発注して持ってくる物が大半で、造

---

<sup>19</sup> 2009年2月16日インタビュー

<sup>20</sup> 2009年2月16日インタビュー

船所としてはそれをまとめ、船全体の機能性を確保している。言い換えれば、統合については造船所が付加価値をつけることができるが、調達部品そのものは造船所がコントロールできない部分も多く、造船所が担う付加価値が相対的に低いところである。PS の原価の大半を占める造船機能部品の設計効率化なくしては、原価企画及び標準船戦略の展開はない。PS 部の改善はサプライヤー（船用工業メーカー）の協力なしでは設計の改善はありえないため、PSSC 活動を始まるようになったのである<sup>21</sup>。

このような経緯で機関室設計の見直しが着手されたが、それ以前の「ユニット」はサブアッセンブリーのための物理的な塊にとどまっていたため、前述のコメントのように

「『ユニット』内部の設計が一定ではなかった」<sup>22</sup>

という状態であった。

それを、サブアッセンブリーの単位を、単に物理的な塊としてだけでなく、燃料清浄、燃料供給、発電などといった機能ごとの「モジュール」にまとめた（表 6-5・図 6-5）。

この「モジュール」の内部は、採用される船用部品に合わせて設計される。採用される船用部品は「モジュール」開発に関与した船用部品サプライヤーのものに限定され、顧客はその選択肢の中から注文することになった。その上で、この機能単位の「モジュール」は社内の規格サイズに合わせた形状で設計され<sup>23</sup>、個別の製品間で流用されるものであった<sup>24</sup>。パイプの総距離を短くできるような船用部品のレイアウトの検討が行われ、箱（ラック）に納められ、モジュールが構成される。これらのモジュールを 3 層のフロアに配置する構造とされた（図 6-5）。さらに、メンテナンスを容易にするために、モジュールごと交換できる構造になっている（具・加藤・向井，2010；向井，2016b）。

この「モジュール」は、船用部品のサプライヤーとの共同開発によって生まれた。これは「PSPO」（Power Station Plug and Operation）と呼ばれ、9 社の船用部品サプライヤーが「モジュール」開発に関与した<sup>25</sup>。これにより、番船ごとの（機関室内の）艤装設計の作業が軽減された（ダイヤモンド会社探検隊，2008；具・加藤・向井，2010；向井，2011；日本造船工業会，2013）。

---

<sup>21</sup> 2009 年 4 月 8 日、7 月 3 日インタビュー

<sup>22</sup> 2009 年 2 月 16 日インタビュー

<sup>23</sup> 「ラック建造方式」と呼ばれている。

<sup>24</sup> 2009 年 4 月 8 日インタビュー

<sup>25</sup> 2006 年に開始し、2011 年末に完了した。2006 年の開始当初は「PSSC」（Power Station Suppliers Committee）と呼ばれ 16 社の船用部品サプライヤーが参加し、A 社側の技術者と共同で新しい発想の機関室設計を企画する取り組みであった（日本海事新聞 2006 年 9 月 4 日）。2007 年以後、この取り組みを「PSPO」に改称し、「モジュール」の採用を前提とした具体的な開発に移行した。PSPO では、短納期やメンテナンス性の向上が図られた。

当初は、PS の設計に関して、A 社単独でアイデアを出し材料費の低減を試みたが、思うような効果は得られなかった。製品開発プロセスの後半に生ずるコスト上昇分について分析すると、大半のものは設計段階で発生していることがわかった。すなわち、PS の部品を部分的ではなく、常に全体を見渡す視点から見直す必要があり、そのためにはサプライヤー（船用機器メーカー）の協力が不可欠であった。そこで、専門家であるサプライヤーの知恵を拝借し、交流を図る目的で、PSSC 結成し、PS の設計の見直しを試みることになった。

PSSC には A 社、主機関、発電機、補助ボイラー、発電機原動機、制御・パネルメーカーなどのメーカーが参加しており、セミ・オープン・ネットワークの形態をとっている。これらのメーカー16社が集まり、チームを結成し、PS 部の省スペース、省人化、LCV 向上を図るための研究テーマを設定し、研究成果の発表を行った（フェーズⅠ）。現在はフェーズⅠが終了し、次のフェーズⅡに移行している。これに伴い、PSSC の名称はのちに PSPO (Power Station Plug and Operation) に変更されている。

PSSC が目指すものは、運搬人件費の革新的削減、輸送効率の飛躍的向上、トータルメンテナンスサービスである。その1つの試みが PSSC は IT を活用したメンテナンスシステム構築と修繕であった。

PSSC は、A 社の呼びかけによって結成し、2006 年 9 月に活動開始した。以後、月 1 回の頻度で会合を持つ。各サプライヤーからエンジニア 2 名が参加し、最初は 50 人程度参加した。会合の場での主なテーマは、PS の無人化、短縮、LCV 向上のための IT、コスト削減である。各チームの成果を点数化し、競い合う形式で進めている。A 社は PSSC の発足のため、平等性に基づいて造船メーカーを含めて様々なメーカーに呼びかけた。内訳をみると、①主機関：5 社（大手は主機関メーカーを内部で持っていた）、②主は電機原動機：3 社、③主発電機：2 社、④補助ボイラー：3 社、⑤配電盤・制御：3 社である。A 社では、サプライヤーが PSSC に参画するメリットとして、サプライヤー選定の上での友好的関係の構築、それぞれの価値向上により得られた利益の公平な配分、Power Station 価値向上のためのノウハウ・ナレッジの共有、新技術開発のための基礎づくり、海外への生産拠点進出のための A 社基盤の活用、新製品における A 社建造船での実用試験の実施などを挙げている。A 社では、活動の進捗管理、成果報告などが行われた。

PSSC 活動を支援するため、A 社がイニシアティブを取りながら、開発予算の支援や出張費も提供されるのみならず、専用会議スペースも A 社内に常置された。また、2006 年にはストラテクト研究所も設立し、人材育成に力を入れるようになった。このように、A 社が主導して関連企業を巻き込みながら、PSSC (PSPO) 活動が進められた。

こうして、機関室の艤装設計を機能別の「モジュール」に分割する取り組みがなされ、8 つのモジュールに分割された。そのモジュールという機能塊は、より細かい機能ごとに分割されたサブモジュール（合計 21 個）に分割され、異なる船型に対応できる機能部品を事前に揃えるところまで行なわれた（表 6-5）。

さらに 8 つのモジュールは、それぞれ数種類のバリエーションが作られた。そうするこ

とで、船型の間で構成部品の共通化率を高めたり、設計の世代間の流用度を高めたりすることができる。新規部品の採用にはそのモジュールの中に入れ替えをすることで、調整コストを削減することができる。

その後、この PSPO の取り組みを踏まえて、2013 年には A 社とボイラメーカーと共同で「補機熱回収ユニット」が共同開発され、2013 年以降に開発されたばら積み船に標準搭載された（施，2016；日本海事新聞 2014 年 12 月 24 日）。

このように、原価企画の取り組みの一環として開発された PS 内の「モジュール」は、機能完結性を意識したものであった。すなわち、顧客の機能要求に対して、「モジュール」の組み合わせで対応することが指向されていた。この機能指向性が、A 社のサブフレーム（「モジュール」）の特徴であるといえる。

表 6-5 機関室のモジュール構成と展開

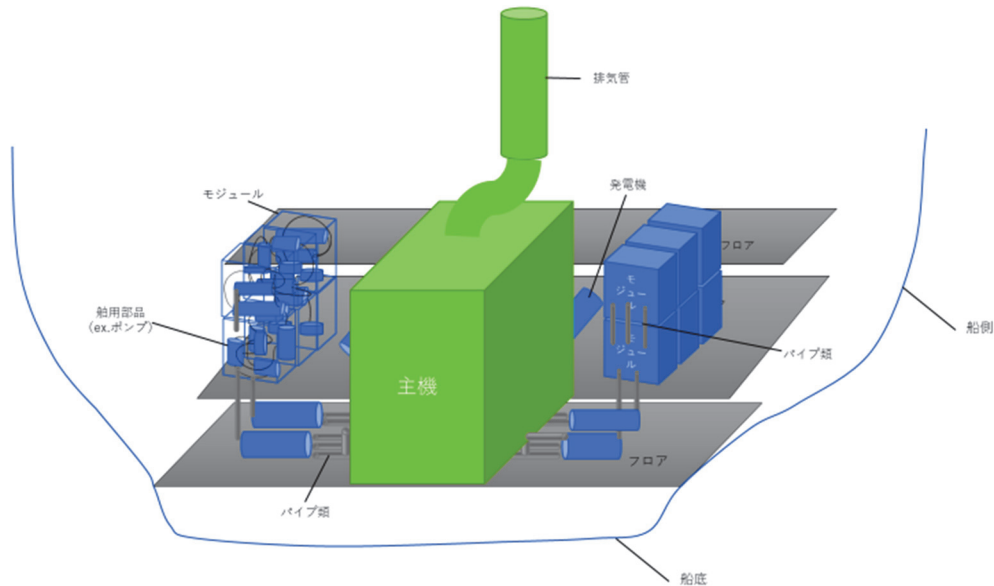
<div>船型</div> <div>モジュール</div>		A タイプ	B タイプ	C タイプ	D タイプ
モジュール名	モジュール構成部品				
燃料 (F1)	$f_{11}$	◎	◎	◎	○
	$f_{12}$	◎	◎	◎	◎
	$f_{13}$	◎	◎	○	□
F2	$f_{21}, f_{22}, f_{23}$	◎	◎	◎	◎
F3	$f_{3i}$	◎	◎	○	○
F4	$f_{4i}$	◎	◎	○	□
F5	$f_{5i}$	◎	◎	○	○
F6	$f_{6i}$	◎	◎	○	○
F7	$f_{7i}$	◎	◎	□	□
F8	$f_{8i}$	◎	◎	○	○

注：i は各モジュール（F 数字）を構成する部品であり、構成部品の数は i で省略表記。

◎は標準装備、○はオプション、□は搭載なし。

（出所） 具・加藤・向井（2010）（p61）より引用。

図 6-5 PSPO の「モジュール」を採用した機関室の内部



(出所) インタビューおよび公刊資料をもとに筆者作成。

#### 6.4 小括

A 社は、本社船台のサイズに合わせてハンディマックスからパナマックスといった中型船を主力としていた。また、このサイズは、海外拠点の船台、ドックのサイズにも適合していた。この意味では、生産設備の条件に対してインテグラル的であったといえる。

本章で取り上げた A 社のカムサマックスのような中型船の場合、特定の港湾設備、航路（運河など）の補完財との調整も求められ、かつある程度多様な港湾、航路にも投入可能なように汎用性を持たせる必要もあった。このような場合、船体という上位階層から来る最適設計のプレッシャーはありながら、一方で、機関艙装は（社内）標準設計を指向し、中間に機能完結的なサブフレーム（A 社の「モジュール」）が採用されていた（図 6-6）。

このような事例から、A 社は、まず製品の階層である船体設計において、原価企画の導入によって、引き合いの前に顧客が使用することが想定される特定の港湾や運河の条件すり合わせる設計を行っていた。このように、海事システムに対してすり合わせがなされた設計を、標準船として作っていた。これは、原価企画により、用途特殊的な設計を選択しつつ、（基本設計では）顧客特殊的な設計は選択していなかったといえる。

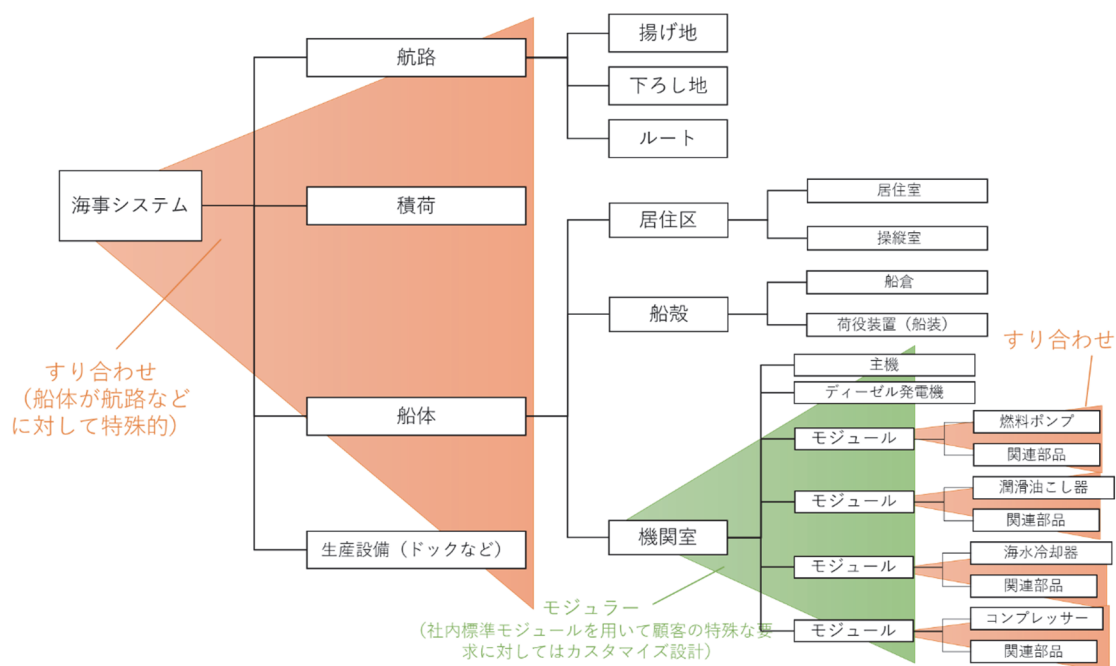
つぎに機関室（PS）に着目し、その下位階層の相互依存関係を見直すための取り組みがなされた。それが PSSC（PSPO）と呼ばれる活動であった。これにより、すり合わせ要素である船用部品の艙装設計作業が集約された「モジュール」が採用された。これはいわばサブフレームであり、複数のモデル間で共通して採用することが可能になっていた。

この A 社の「モジュール」特徴は、機能完結性を指向していたことである。すなわち、顧客のニーズに対して、機能完結的な「モジュール」の組み合わせで対応される。これは、機

関室（PS、すなわち主機とモジュールの集合体である補機のセット全体）からみると、中モジュラー的なアーキテクチャが選択されていて、これによって顧客の要求のバラエティに対応していた。前章の大島造船所の「ユニット」とA社の「モジュール」は、階層構造図で同じ階層に位置づけられるサブフレームであるが、A社は機能完結性を重視している点が特徴であるといえる。

さらに言えば、大島造船所と比べると、A社の原価企画を導入した船体の設計選択は、用途（補完財）特殊的なカスタマイズ設計ではあったが、顧客の特殊な要求に対するカスタマイズ設計はなされていなかったといえる。機関室の設計選択についても、用途特殊なカスタマイズ設計が選択されていたが、顧客の特殊な要求に対しては機能完結的な「モジュール」の組み合わせで対応する設計思想が選択されていたといえる。

図 6-6 A 社のアーキテクチャの選択



（出所）筆者作成。

## 7 章 特定の海事システムに対するすり合わせ設計の選択：名村造船所の

### WOZMAX の事例<sup>1</sup>

ここまでは、中手造船会社の小型から中型のばら積み船の事例を取り上げてきた。次に本章では、名村造船所の事例を取り上げ、ばら積み船の中でもより大型のばら積み船、具体的には「WOZMAX」という大型の鉄鉱石ばら積み船の設計に注目する。この事例を通じて、製品が大型である場合、海事システムとの関係においてどのように製品設計が選択されるのかを検討する。この事例から、大型船の場合、特定の海事システム（航路）が想定され、その制約条件に対してすり合わせられた用途特長的（application-specific）な設計（補完財の航路に対して特種的な設計）が選択される蓋然性が高いことがうかがえた。また、大型船の場合、船用部品に対してより機関室の空間が多くある分、機関室内では冗長な艤装設計が可能になり、機関艤装設計で顧客の個別の要求に対するカスタマイズ設計が選択されやすくなる可能性が考えられた。

#### 7.1 名村造船所の概要、沿革、竣工実績について

本節では名村造船所の概要や近年までの沿革をとりあげ、大型の鉄鉱石ばら積み船「WOZMAX」の開発に至るまでの経緯を概観する。

名村造船所は、名村源之助氏が1911年に大阪で創業した「中手」造船会社の一つである。大型タンカーの建造がブームであった1972年に佐賀県伊万里市に進出することを決定したが、その工場が操業を開始したのはオイルショック後の1974年であった。この九州進出時に、30万トン（DWT）タンカーの連続建造が可能なドック1基（450m×70m×11.5m）を建設し、伊万里事業所は現在までこのドック1基で新造船事業をおこなっている<sup>2</sup>。1979年に大阪工場が新造船事業から撤退、造船不況期の1988年に創業家出身の名村建彦氏が社長を引き継いだ。その後、2007年に函館どつく、2014年に佐世保重工業を連結子会社化して

---

<sup>1</sup> 本章の記述は、名村造船所伊万里事業所におけるインタビュー（2014年9月16日総務部門管理職および事務系社員、2016年5月27日設計部門管理職および基本設計担当の技術者（いずれも肩書きは当時））、および2次資料として同社ホームページや公刊資料にもとづいている。

<sup>2</sup> 同時期に大阪から九州に進出した大島造船所（5章）も30万トン（DWT）級の連続建造が可能なドックを建設した。どちらも30万トン級のドック一本であるが、大島造船所はドックの幅を80mとやや広くとって小型・中型船を4隻（2隻×2列）を同時に建造可能にしたが、名村造船所は中型・大型船を「セミタンデム方式」（片側で1隻を総組立する間に、反対側で次の船の総組立を開始する方式）で建造可能にした。この違いが、大島造船所は小型・中型船を中心に、名村造船所は大型船を中心にするという、製品構成の違いに現れたと考えられる。

いる。このため、現在、グループとしての生産拠点は計3カ所となっている<sup>3</sup>。2011年に新たに創業家の出身の名村建介氏が社長に就任、2013年にはそれまで上場していた大阪証券取引所から東京証券取引所（第一部）へ市場変更している。

名村造船所は中手造船会社に分類されるが、他の多くの中手造船会社と異なり、上場企業<sup>4</sup>である。そこで、売上高と営業利益の推移を図7-1に示す。すると、1990年代後半から2000年代初頭にかけて営業利益率が5%程度であり、2003年には赤字を計上した。しかし、2000年代後半に急速に売上高、営業利益率ともに伸ばした。この背景には、2008年9月のリーマンショック発生までに、大型の25万DWT級鉄鉱石運搬船「WOZMAX」（2500ORE）20隻<sup>5</sup>、22万5000DWT級鉄鉱石運搬船（2250ORE）5隻<sup>6</sup>の受注を獲得したことがある。そうしたことを受けて、2012年度から2014年度には営業利益率が10%を超えていた。2016年以降は営業赤字を計上しているが、業界全体で船腹の需給バランスが改善していないことや船価の低迷、受注自体の減少、鋼材価格の高騰などによるものと考えられる<sup>7</sup>（1章）。なお、本稿は、主に2000年代から2010年代前半に焦点を当てている。

生産量については、1980年代から1990年頃までは5隻以下、1990年代前半から2000年代半ばまではほぼ10隻程度の年間建造量である。2007年以降20隻前後と増加しているのは、函館どつくの生産分を含んでいることと、大型設備投資による建造量増加のためである（図7-2）。

なお、設計者数は名村造船所単体で180人程度である（2014年9月時点）。

---

<sup>3</sup> 新造船の建造拠点は、名村造船所伊万里事業所（ドック1基：450m×70m×11.5m）、函館どつく（船台1基：240m×33.6m）、佐世保重工業（ドック1基：400m×57m×15.6m）である（2017年1月時点）。

<sup>4</sup> 上場している「中手」造船会社は、名村造船所、サノヤス造船、内海造船がある。

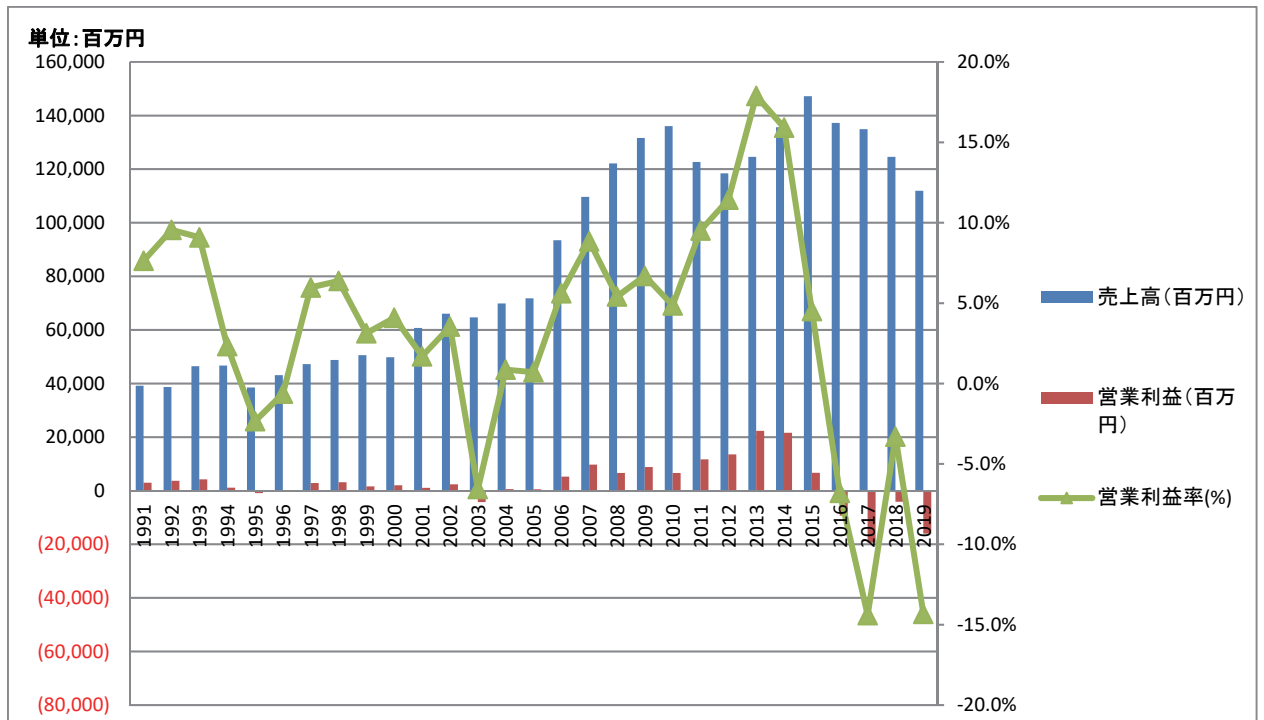
<sup>5</sup> 『KP DATA』によると、2006年10月から2008年5月までに20隻が契約された。

<sup>6</sup> 『KP DATA』によると、2007年3月から2007年12月までに5隻が契約された。

<sup>7</sup> 名村造船所の有価証券報告書（2019年度、第121期）の「事業等のリスク」の中で「・・・新造船事業においては、受注から竣工引渡しまで通常およそ2～3年の期間を要します。厳しい受注環境下において仕事量確保のためやむを得ず受注する場合や将来を見据えて戦略的に受注する場合などは赤字受注となることもあり、受注時点で工事損失引当金を計上する場合があります。船価の建値はほぼ米ドルであり、売上高および工事損失引当金の計上額は、為替レートの影響を受けます。当期におきまして、戦略的な受注活動を行い・・・」（p11）とある。この言及は、2015年度以降では、2019年度に初めてなされている。このことから、直近の時期は事例として焦点を当てる対象から外すこととした。

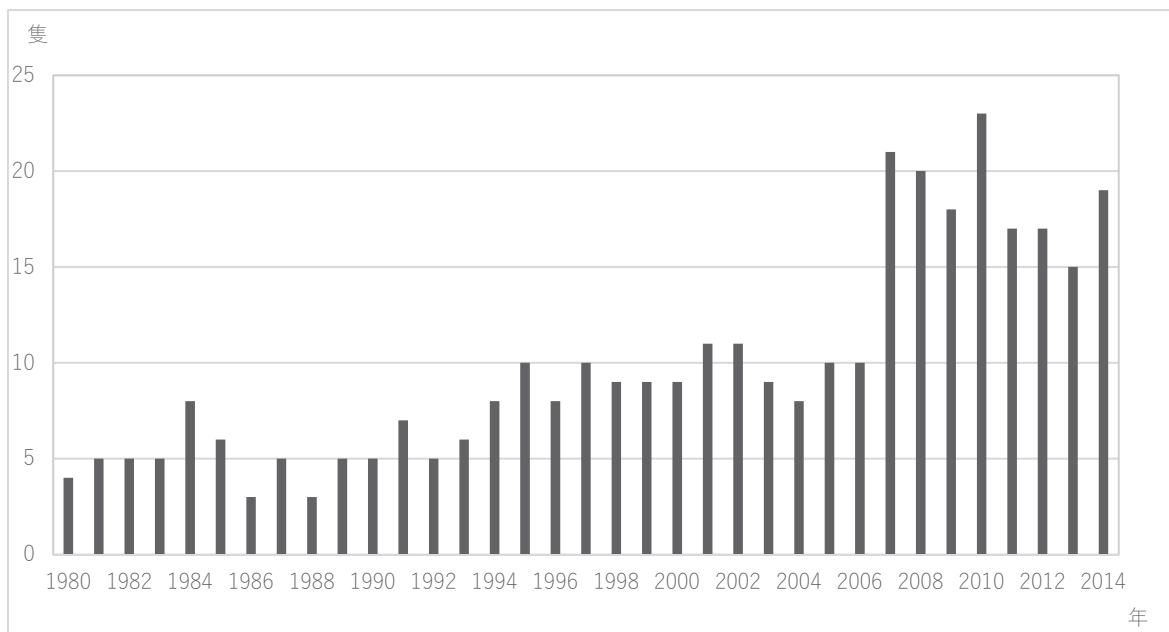


図 7-1 名村造船所（連結） 売上高・営業利益



(出所) 名村造船所「有価証券報告書」(各年度)をもとに筆者作成。

図 7-2 名村造船所 竣工隻数



\*『KP DATA』の記載に合わせたため、2007 年以降の函館どつくの竣工隻数を含んでいる。  
佐世保重工業の竣工隻数は含んでいない。

(出所) 海事プレス (各年版)「KPDATA」をもとに筆者作成。

ここで、名村造船所 55 年史編纂委員会（1967）、名村造船所百年史編集委員会（2012）、対馬・武田（2011）をもとに変遷をたどり、大型鉄鉱石ばら積み船「WOZMAX」の開発に至るまでの経緯を概観する。

名村造船所は、神戸の川崎造船所、大阪鉄工所（後の日立造船）の現場作業員（職工）として務めた後、名村源之助氏が、1911 年に大阪の北安治川に創業した。当初、同社はトロール漁船を生産していた。

その 2 年後に木津川沿いの難波島に工場を移し、「名村造船鉄工所」という社名で、石炭運搬船の建造に乗り出した。第一次世界大戦中の造船好況期を含む 1911 年から 1920 年にかけて、当時としては大型の 800 総トン（GT）から 1000GT 弱程度の船を 11 隻建造した<sup>8</sup>。

第一次世界大戦後には造船不況期に入るが、1919 年に「ストックポート」建造方式<sup>9</sup>の採用、官庁工事への進出、小型の貨物船と旅客船の建造、陸上工事分野への進出、修繕事業への参入によって乗り切った。

1931 年には村尾船渠を買収し、「名村造船所」に改称した。このとき、修繕部門を設置するが、1935 年には新造船の 2.5 倍の収入を修繕事業で稼いでいた<sup>10</sup>。その後、第 2 次世界大戦に向けて新造船の受注が増加し、大阪工場の設備を増強した。この中で、1936 年にソ連向けの曳舟 6 隻を建造したが、これが同社最初の輸出船であった。戦後、1945 年 11 月に戦時中に建造途中であった鋼船「能登丸」を竣工する。1949 年には大阪証券取引所に上場する。このように、同社は大阪にルーツを持ち、今も本社は大阪にある。

1960 年代には、木材運搬船、重量物運搬船、RORO タイプの自動車兼鉄石運搬船を生産するようになっていた。1960 年代後半になると、これらの船種に加え、特に原油タンカーに対するニーズが急速に大型化するなかで、大阪工場が手狭になっていった。そこで新工場の設置を検討するようになり、1971 年に伊万里事業所を建設することが決められた。伊万里事業所は、1974 年に操業を開始した。このため、本工場のドックは 30 万 DWT 級タンカー（ULCC；Ultra Large Crude Carrier）対応の 450m×70m のサイズとなった。しかし、建設途中の 1973 年のオイルショックによって造船不況が到来し、設備削減のために大阪工

---

<sup>8</sup> 名村造船所 55 年史編纂委員会（1967）

<sup>9</sup> 「ストックポート」方式は、受注前に生産を開始し、並行して買い手を見つけて注文を受けるというビジネスモデルであった。とくに川崎造船所の「ストックポート」は、9,100 重量トンの標準設計による貨物船であったが、これにより川崎造船所は生産量を急増させた。第一次世界大戦中の大正 6 年から 7 年にかけて、川崎造船所において採用された船舶の短期大量建造を行うための、溶接ではなく鉚接を用いたサブアッセンブリーを採用した建造方式であった（日本造船学会，1977；1997；高柳，1993；粕谷，2012）。

<sup>10</sup> 対馬・武田（2011）

場は閉鎖される。本工場でも、当初の目的の ULCC は作られず、当時 6 万 DWT 程度だったパナマックスサイズのばら積み船が主力となった。1979 年には創業家の名村源社長を退任し、いったん創業家が経営の一線から離れることになった。同時に、大阪工場を特定船舶製造業安定事業協会に売却し、修繕部門を分社化した。

1980 年代後半に再び造船不況に直面し、1987 年に赤字決算となった。1988 年には、メインバンクが同じ三和銀行であった日立造船と提携し、運輸省が主導した造船業界の設備処理<sup>11</sup>に対応した。同じ 1988 年には当時丸紅に勤務していた創業家の名村建彦氏が社長に就任した。

その後、タンカーや大型ばら積み船の受注に注力した。同時に、IT システムの導入などにより、製造プロセスの生産性向上も行なわれた。1998 年には中手造船会社としては初の 23 万 DWT 級 (114,000GT) の大型ばら積み船 (VLOC ; Very Large Ore Carrier) の開発に成功し、2001 年に竣工した。2003 年には、円高とギリシャのオナシス社向けのスエズマックスタンカーの採算が悪化したため、赤字化した。このように、伊万里事業所の 30 万トンドックを活かすために、中手造船会社としてはタンカーやばら積み船の中でも大型船指向が強いことが同社の特徴であるといえる。

その後、ブロック工場の拡張、新たなクレーンの設置などを行い、ドック 1 本を維持しつつ生産能力を増強した。これにより、ケーブサイズ (17 万 DWT 級) ばら積み船換算で年間 12 隻建造可能になった。同時にさらに大型船の受注に注力し、2005 年には VLOC やケーブサイズなどの大型ばら積み船を中心に 67 隻の受注を獲得した。この中に、リオ・ティント向けの新設計の浅喫水のばら積み船 (9 万 DWT 級) が含まれていた。その後、2006 年には商船三井から 30 万 DWT 級タンカー 2 隻、日本郵船から 25 万 DWT 級鉄鉱石ばら積み船の「WOZMAX」2 隻の受注を獲得した。これらの船の製造効率を高めるために、2007 年には 800t クレーンを追加、1000t 自走式台車を導入した<sup>12</sup>。この 30 万 DWT タンカーの受注により、伊万里事業所の建設当初の目論見が実現したといえる。

2009 年 9 月のリーマンショック発生前までに契約を集中的に締結し、その後の受注残を

---

<sup>11</sup> 1986 年 4 月に制定された「特定船舶製造業経営安定臨時措置法」により、年間生産能力の 20%程度を処理することになった。同時に、資本または役員派遣による系列化によりグループが図られ、8 グループ 26 社に再編成された (具・加藤・向井, 2010)。名村造船所は、日立造船、内海造船とグループを形成することとなった。

<sup>12</sup> 800t ゴライアスクレーンを 2 基にすることで、吊り能力を上げ、CSR (共通構造規則) 対応による重量増を吸収する (日本海事新聞 2010 年 1 月 1 日)。CSR (Common Structural Rule) とは、2006 年 4 月 1 日から適用された、全長 90m 以上のばら積み船と全長 150m 以上の二重船殻オイルタンカーを対象に、国際船級協会連合が各国の船級協会の規則を統一したもの。より堅固な船体にすることを求められるため、鋼材使用量が増加する傾向がある (日本海事協会, 2006 ; 造船テキスト研究会, 2017 ; 日本海事協会ホームページ

(<https://www.classnk.or.jp/hp/ja/activities/csrh/>) 2020 年 9 月 19 日アクセス)。

確保することができた。なお、名村造船所は 2008 年に北海道に本社を置く函館どつく、2014 年に長崎県に本社を置く佐世保重工業を連結子会社化した。2011 年には創業家の名村建介氏が社長に就任した。

つづいて、竣工実績を年代順に概観する。4～6 章で取り上げた他の中手造船会社と比べると、大型船の割合がしだいに多くなっていくことが特徴的である。

1980 年代の同社の竣工実績は、まず船種別にみると、49 隻中 36 隻と 7 割以上がばら積み船となっている（表 7-1）。残りはタンカー 11 隻と自動車運搬船 2 隻である。さらにサイズ別に見ると、36 隻のばら積み船のうち 26 隻が 25,000GT 以上 50,000GT 未満となっており、ハンディマックスからパナマックス程度の中型からやや小型のばら積み船が最も多かったことがみてとれる。ばら積み船のなかで次いで多いのが、75,000GT 以上 100,000GT 未満の比較的大型のカテゴリであった。

また、25,000GT 以上 50,000GT 未満あるいは 50,000GT 以上 75,000GT 未満の、パナマックスやアフラマックスといったサイズのタンカーが主に生産されていたことも見て取れる。

表 7-1 名村造船所 船種・総トン（GT）数別竣工隻数（1980～1989 年）

	25000GT 未満	25000GT 以上 50000GT 未満	50000GT 以上 75000GT 未満	75000GT 以上 100000GT 未満	100000GT 以上	計
ばら積み船	4	26	1	5	0	36
タンカー	1	6	4	0	0	11
コンテナ船	0	0	0	0	0	0
ガスカリヤ	0	0	0	0	0	0
自動車運搬船	0	2	0	0	0	2
客船	0	0	0	0	0	0
艦船	0	0	0	0	0	0

その他	0	0	0	0	0	0
計	5	34	5	5	0	49

(出所) 海事プレス (各年版)「KPDATA」をもとに筆者作成。

1990年代の竣工船を見ると(表7-2)、竣工隻数が77隻と、1980年代と比べて1.5倍以上に増加した。船種別に見ると、77隻中ばら積み船が41隻と5割強に割合が下がっていた。一方で、35隻となったタンカーの割合が増加していた。サイズもあわせてみると、最も多かったのは、1980年代と同様に25,000GT以上50,000GT未満の中型からやや小型のばら積み船34隻であったが、ついで多いのは50,000GT以上75,000GT未満の中型(パナマックス程度)のタンカーが27隻となっていた。

表7-2 名村造船所 船種・総トン(GT)数別竣工隻数(1990～1999年)

	25000GT未満	25000GT以上 50000GT未満	50000GT以上 75000GT未満	75000GT以上 100000GT未満	100000GT以上	計
ばら積み船	0	34	0	7	0	41
タンカー	0	6	27	2	0	35
コンテナ船	0	0	1	0	0	1
ガスカリヤ	0	0	0	0	0	0
自動車運搬船	0	0	0	0	0	0
客船	0	0	0	0	0	0
艦船	0	0	0	0	0	0
その他	0	0	0	0	0	0
計	0	40	28	9	0	77

(出所) 海事プレス (各年版)「KPDATA」をもとに筆者作成。

2000 年代の竣工船をみると（表 7-3）、竣工隻数は 127 隻と 1990 年代と比べて増加した<sup>13</sup>。船種別で見ると、ばら積み船が 104 隻と全体の 8 割以上を占めるようになった。サイズ別に見ると、最も多いのは 1980 年代、90 年代と同様に 25,000GT 以上 50,000GT 未満であるが、それ以外のサイズも増えている。ただし、25,000GT 未満のハンディサイズの小型のばら積み船 20 隻はすべて函館どつくで竣工している。名村造船所単体でいえば、ばら積み船はすべて 25,000GT 以上となっている。1990 年代と比べると、50,000GT 以上のばら積み船が多くなっており、104 隻中 50 隻と約半数がケープサイズと呼ばれる比較的大型の船が多くなっている。

表 7-3 名村造船所 船種・総トン（GT）数別竣工隻数（2000～2009 年）

	25000GT 未 満	25000GT 以 上 50000GT 未満	50000GT 以 上 75000GT 未満	75000GT 以 上 100000GT 未満	100000GT 以上	計
ばら積 み船	20	34	9	32	9	104
タンカ ー	0	1	15	2	1	19
コンテ ナ船	0	0	0	0	0	0
ガスキ ャリア	4	0	0	0	0	4
自動車 運搬船	0	0	0	0	0	0
客船	0	0	0	0	0	0
艦船	0	0	0	0	0	0
その他	0	0	0	0	0	0
計	24	35	24	34	10	127

2007 年以降の函館どつくの竣工隻数を含む。

<sup>13</sup> ただし、表 7-3 は 2007 年以降の函館どつくの竣工隻数を含んでいる。内訳は名村造船所が 106 隻、函館どつくが 21 隻（25,000GT 未満のばら積み船 20 隻、25,000GT 以上 50,000GT 未満のばら積み船 1 隻）である。

(出所) 海事プレス (各年版)「KPDATA」をもとに筆者作成。

2010年代になると、91隻中87隻と大半がばら積み船となった(表7-4)。ばら積み船のうち、25,000GT未満の41隻中36隻は函館どつくの竣工隻数<sup>14</sup>であるため、名村造船所単体でみると、大半は比較的大型のケープサイズの50,000GT以上の船を生産していた。なかでも100,000GT以上が25隻と大幅に割合が増加しているのが、過去と比べて異なる点である。これは230,000DWT級(114,000GT)鉄鉱石ばら積み船(230ORE)や、250,000DWT級(124,000GT)鉄鉱石ばら積み船「WOZMAX」といった大型船の竣工隻数が増えたことによるものである。

表7-4 名村造船所 船種・総トン(GT)数別竣工隻数(2010～2014年)

	25000GT未満	25000GT以上 50000GT未満	50000GT以上 75000GT未満	75000GT以上 100000GT未満	100000GT以上	計
ばら積み船	41	0	9	12	25	87
タンカー	0	0	2	0	1	3
コンテナ船	0	0	0	0	0	0
ガスカリヤ	0	0	0	0	0	0
自動車運搬船	0	0	0	0	0	0
客船	1	0	0	0	0	1
艦船	0	0	0	0	0	0
その他	0	0	0	0	0	0
計	42	0	11	12	26	91

(出所) 海事プレス (各年版)「KPDATA」をもとに筆者作成。

<sup>14</sup> 函館どつくの竣工隻数は、25,000GT未満のばら積み船36隻、25,000GT未満の客船(フェリー)1隻の計37隻である。

このように竣工実績を概観すると、船種については一貫してばら積み船が最多であるが、1980年代から1990年代はタンカーが次に多い（表 7-1・7-2）。2000年代以降になると、タンカーの割合は低下し、ばら積み船の割合が増加している（表 7-3・7-4）。それ以外の船種は、1980年代以降で数隻にとどまっている。タンカーに関しては、1980年代は50,000GT以下の比較的小型のものが主であったが、1990年代以降は50,000GT以上が主になり、大型船への指向を強めていた。そして、2006年に30万DWT級（約160,000GT）タンカー2隻を受注（竣工は2009年10月と2010年9月）し、伊万里事業所の初期の目的を実現した。

ばら積み船については、5万総トン以下の小型・中型も生産しているが、5万総トン以上の大型船の割合が比較的多いことが特徴である（表 7-1～7-4）。2010年代のラインナップは、ハンディサイズの3万4000DWT級ばら積み船（「34BC」）、パナマックスサイズの8万2000DWT級ばら積み船、17万4000DWT以上のケープサイズのばら積み船、中でも25万DWT級の「WOZMAX」である。特に、伊万里事業所の長さ450m×幅70mの大型ドックを活かすために、2000年代以降は20万DWT以上（10万総トン以上）の大型のばら積み船を多く作っていた（表 7-3・7-4）。

名村造船所は、1974年に30万DWT級の大型タンカー建造を想定したドックを建造した。本節で見てきたように、その後、ばら積み船を中心に手がけるようになる中で、大型船を中心とした製品構成となっていく。すなわち、比較的小型のハンディサイズを中心とした今治造船（4章）、ハンディマックスからパナマックスといった小型から中型を中心とした大島造船所（5章）、A社（6章）と異なり、名村造船所は大型のドックを活かした大型船指向を強めていた。

## 7.2 船体設計—25万DWT級鉄鉱石ばら積み船「WOZMAX」を中心に

本節では、名村造船所の大型ばら積み船、とくに「WOZMAX」を中心に船体設計に注目する。フレームワークの図では、図 7-3 に示される階層に注目することになる。

本節で主に取り上げるのは、前節でも言及した25万DWT級鉄鉱石ばら積み船（VLOC）の「WOZMAX」<sup>15</sup>である。この「WOZMAX」は、2000年代半ばに、鉄鉱石需要が急増した中国とその主要産地であるオーストラリアの間の輸送に従事するために開発された船で、積み出し港の制約（喫水）の中で最大限の積載量を確保したものであった。航路は図 7-3 にあるように揚げ地・下ろし地といった端点（ノード）と、ルートからなるが、「WOZMAX」

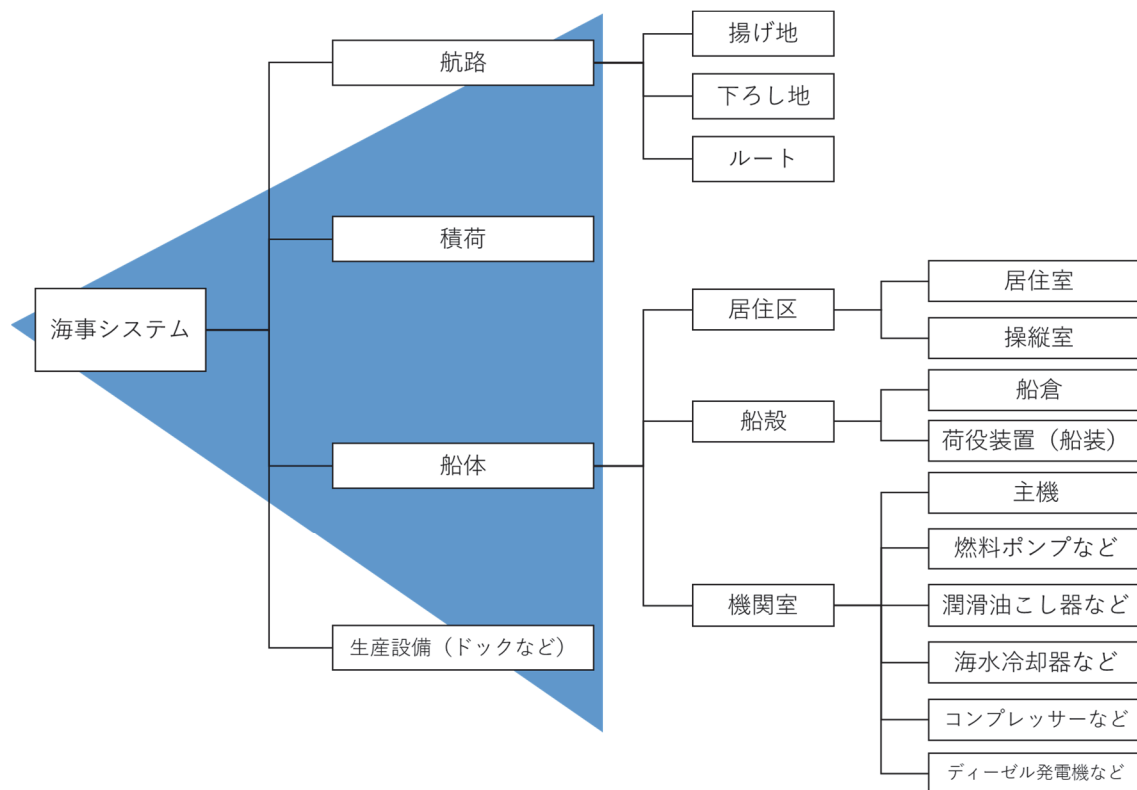
---

<sup>15</sup> 名前の由来は、ウエスト（西）の頭文字 W、豪州の形容略式語 Aussie の記号版 OZ、最大船型を表す MAX を組み合わせたものである（日本海事新聞（2007年3月20日）；日本郵船ホームページ（[https://www.nyk.com/news/2010/NE\\_101027.html](https://www.nyk.com/news/2010/NE_101027.html)）（2020年9月19日アクセス））。



は、そのうちのとくに鉄鉱石の揚げ地（積み出し港）である西オーストラリア州の 3 港の喫水制限にすり合わせた（「WOZMAX」という船からみれば外インテグラルな）設計がなされ、航路特殊的な設計が選択されたという点に特徴がある。本節では、名村造船所によって設計された、こうした特徴を持つ「WOZMAX」の船体設計に焦点を当てる。

図 7-3 階層構造（フレームワーク）における本節の着目点（名村造船所の船体設計）



（出所）筆者作成。

名村造船所の 20 万 DWT 以上のばら積み船は、主に 23 万 DWT 級の鉄鉱石運搬船と、25 万 DWT 級鉄鉱石運搬船の「WOZMAX」である<sup>16</sup>。この「WOZMAX」は資源大手などから計 20 隻の受注を獲得したものである。1 番船は、宝山鋼鉄向けの鉄鉱石輸送に 20 年間の長期契約で従事するために日本郵船から受注した「宝富（Bao Fu）」（2007 年 3 月受注、

<sup>16</sup> 名村造船所が手がけた、20 万 DWT 超の大型の鉄鉱石ばら積み船（VLOC）は、23 万 DWT 級（230ORE）（2001 年に 1 番船が竣工）、25 万 DWT 級「WOZMAX」（第 1 世代）（2010 年に 1 番船が竣工）、25 万 DWT 級「WOZMAX」（第 2 世代）（2017 年に 1 番船が竣工）の順番で登場した。このうち、本節は「WOZMAX」（第 1 世代）に主に焦点を当てている。

2010 年 10 月竣工) である<sup>17</sup>。

なお、3 万 4000DWT (2 万総トン以下) のばら積み船に関しては、従来小型船型を得意としていた函館どつく側と技術交流しながら開発している。パナマックスクラスの中型船に関しては、傘下に収めた佐世保重工業と共同開発を進めている。

タンカーに関しても 5 万総トン以上の相対的に大型の船型が中心で、2000 年代に入り初めて 30 万 DWT 級 (16 万総トン程度) の VLCC を建造し、現工場に進出した所期の目的の船種・船型を手がけたこともある。タンカーは中型の 11 万 5000DWT 級 (アフラマックス) などである。

前述の「WOZMAX」以前、西オーストラリア州 3 港積みの鉄鉱石輸送に従事するばら積み船 (VLOC) としては 23 万 DWT 級が主流<sup>18</sup>で、23 万 DWT 級鉄鉱石ばら積み船は他社でも作られていた (日本海事新聞 1999 年 3 月 2 日; 上杉, 2011)。名村造船所も、23 万 DWT 級の鉄鉱石ばら積み船 (230ORE) を手がけていた。この 230ORE は、日本郵船から受注した新日本製鉄向け鉱石運搬船「遠賀 (ONGA)」(1998 年 11 月受注、2001 年 2 月竣工) が 1 番船であった。この「遠賀」は、中手造船会社として初めての大型鉄鉱石ばら積み船 (VLOC: Very Large Ore Carrier) の竣工であった (日本海事新聞 1998 年 11 月 11 日; 2001 年 2 月 7 日; 2001 年 7 月 2 日; 名村造船所百年史編集委員会, 2012; 名村造船所企画部, 2017)。そのため、230ORE は、過去に実績のない幅広の船体を持ち、かつエンジン出力 (起振力) が大きかった。それゆえ、通常の FEM (有限要素法) による解析に加えて、海上艤装完了後、海上試運転の前に起振機を用いた振動計測<sup>19</sup>を行い、問題がないことを確認するというプロセスが加わった。これにより、防振対策のための追加の補強をせずとも、海上試運転においてもトラブルが生じず、引き渡しまで完了することができた (高橋, 2001)。

このように開発された 230ORE であったが、これは海上人命安全条約 (SOLAS 条約)<sup>20</sup>

---

<sup>17</sup> 日本海事新聞 (2010 年 10 月 28 日)、日本郵船ホームページ

([https://www.nyk.com/news/2010/NE\\_101027.html](https://www.nyk.com/news/2010/NE_101027.html)) (2020 年 9 月 19 日アクセス)。

<sup>18</sup> 世界中の港湾設備や各種の要件に関する情報を管理当局から収集、掲載している Shipping Guides (2006) において、ダンピア港の鉄鉱石積み出し埠頭の図中に 230,000DWT の鉄鉱石ばら積み船が表記されている。ただし、Shipping Guides (2006) には、他 2 港についての表記はなかった。

<sup>19</sup> 船体や上部構造の振動特性を求める計測方法。試運転前に上部構造の問題の有無を確認することを目的とした (高橋, 2001)。

<sup>20</sup> SOLAS 条約は海事関係の基本的な条約であり、航海の安全、とくに人命の安全確保のための船舶構造、設備などに関する技術基準が定められている。加盟国が多数であるため、同条約の規定する詔書を保有することが、各国に入港するための必須条件となっている (日本海事広報協会, 2006)。2004 年 7 月の SOLAS 改正により、2005 年 1 月 1 日以降建造の総トン数 2 万トン以上のばら積貨物船及び総トン数 500 トン以上の油タンカーに対し、貨物倉・貨物タンク・バラスタタンクに保守点検のための点検設備 (Permanent Means of Access) が要求さ

改正前のものであった。2005 年以降に適用される新たな SOLAS 条約の規定に対応するためには、船殻の船倉やバラストタンクに固定された点検設備を設置する必要があった。また、浸水警報及び排水装置の設置も求められたため、船首楼<sup>21</sup>を設けるなどの大幅な設計変更が必要となった（上杉，2011；対馬・功刀・武田，2011）。

この当時、製鉄産業の成長によって中国への鉄鉱石輸入需要が高まっていたが、鉄鉱石の輸送量はオーストラリアから中国へのルートが世界で最も多く、ついで多かったブラジルから中国へのルートよりも 3 割程度多かった<sup>22</sup>。また、2003 年から取引関係のあったリオ・ティント<sup>23</sup>は、CSR（企業の社会的責任）の観点から船齢 25 年以上の大型の鉄鉱石運搬船の運航を取りやめるようになったため、その代替需要が見込まれた（日本海事新聞 2006 年 5 月 30 日）。そこで、リオ・ティントを主なターゲットとして、その鉄鉱石の主要積み出し港である西オーストラリア州の 3 港（ポートヘッドランド、ポートウォルコット、ダンピア）の港湾条件にあわせられることになった。ここの港湾の制約は、喫水に関わる要因が厳しい。喫水に関わる港湾の寸法である航路水深<sup>24</sup>／最大喫水<sup>25</sup>／最大バース水深<sup>26</sup>は、ポートヘッドランドが 14.3m／20.0m／19.7m、ダンピアが 15.5m／18.3m／19.5m、ポートウォルコットが 15.6m／19.6m／19.4m である。航路水深がバース水深よりも浅いが、これは潮位差を利用し、高潮時に航行させるという運用が行われているためである。例えばポートヘ

---

れることとなった（日本海事協会，2003）。なお、日本船主責任相互保険組合ホームページ（<https://www.piclub.or.jp/search/treaty/index/ja>）において、「SOLAS 条約に関する 1978 年議定書<SOLAS Protocol 78>として表示される SOLAS 条約加盟国は 112 カ国ある（2020 年 10 月 28 日現在）。

<sup>21</sup> 船首楼とは前方からの波の打ち込みを防ぎ、デッキ上の機器類の破壊を防ぐために、船首の部分が高くした形状のもの（庄司，2015；池田，2017a）。SOLAS 改正により、ばら積み船に関しては、貨物倉より前部に浸水警報装置や排水装置の設置が必要となった（日本海事協会，2003）。

<sup>22</sup> 2007 年時点の輸送量は、オーストラリアから中国に 1 億 4565 万トン、ブラジルから中国に 9802 万トンであった（二宮書店，2009）。ちなみに、その後、2013 年にはオーストラリアから中国に 4 億 1713 万トン、ブラジルから中国に 1 億 5537 万トンとなっている（二宮書店，2016）。

<sup>23</sup> 2004 年 12 月、名村造船所は 90,000DWT 級のばら積み船 3 隻をリオ・ティントの海運子会社から受注した。この船は鉄鉱石やボーキサイトの輸送に従事する船であった。海外船社との商談は商社が仲介することが多いが、この船の商談は直接行われた（日本海事新聞 2004 年 12 月 15 日；2004 年 12 月 17 日；対馬・武田，2011）。

<sup>24</sup> 入出港してバースに離着岸する際に通航する航路の中で一番浅い部分の基準水面から海底までの水深。

<sup>25</sup> 航路を通航することが許可される船舶の静水状態における最大の喫水。

<sup>26</sup> 荷役を行うバースの水深。

ッドランドでは、7.6m ある潮位差をいかして高潮時に入出港させている<sup>27</sup>（赤倉・瀬間，2011）。このように、この西オーストラリア州の港湾は、喫水の制約が比較的厳しいことが特徴であった。このような条件をもつ港湾への就航を前提とし、さらに幅 70m の名村造船所のドックで建造可能な船型<sup>28</sup>の開発が目指された（日本海事新聞 2008 年 7 月 22 日）。

このような背景から 250,000DWT 級の WOZMAX の開発が着手され、まず、「西豪州にジャストフィットした最大船型開発に絞り込み」<sup>29</sup>、「鉄鉱石の積み出し港で喫水制限の厳しい西オーストラリアの主要 3 港の喫水制限に合わせた」<sup>30</sup>

設計がなされた。そうした設計を行うために、

「オペレーターの日本郵船や NS ユナイテッド海運と協力して港湾の現地調査を行ない」<sup>31</sup> 船体が設計されたと述べられている。このとき、

「それまでは 230,000DWT 級の鉄鉱石ばら積み船があったが、WOZMAX は使用する港湾に対応するため、（満載喫水）18m の浅喫水でありながら載貨重量 250,000DWT を確保するために完全に新規の専用設計」<sup>32</sup>

であると述べられている。これら 3 港の喫水制限に適合させるために、

「船形（ライン）は（230,000DWT と WOZMAX では）全く別」<sup>33</sup> であると述べられている。

それまで、前述のように西オーストラリア州積みの鉄鉱石ばら積み船は喫水制限のため 230,000DWT が主流で、2011 年までに名村造船所も 9 隻の建造実績があった。その

---

<sup>27</sup> 一般的に喫水に関する制限では、余裕水深（船底から海底までの垂直距離。UKC（Under Keel Clearance））が、船の最大喫水の 10%程度とられる。しかし、この西オーストラリア州 3 港では、通常のように余裕水深を最大喫水の 10%程度と固定的に設定されていない。この港では、船舶から当局に提出させる船舶の諸元や貨物重量と、航路上に設置されている波高計のデータをもとに船体動揺量を予測し、出港 24～12 時間前に船舶に算定結果を通知する DUKC（Dynamic Under Keel Clearance）システムによって、航海時の余裕水深を勘案した運用がなされている（赤倉・瀬間，2011；津金，2015）。

<sup>28</sup> 2006 年受注、2009 年 10 月に竣工し、商船三井に引き渡された 300,000DWT 級原油タンカー（VLCC）「アトランティック・パイオニア」は幅 60m であった。足場の設置などドックでの作業や進水時の余裕を考慮すると、この幅が限界であると考えられている（日本海事新聞 2009 年 10 月 2 日；名村造船所百年史編集委員会，2012）。

<sup>29</sup> 上杉（2011）

<sup>30</sup> 2016 年 5 月 27 日インタビュー（設計部門の部長級および技術者）のコメント。

<sup>31</sup> 2016 年 5 月 27 日インタビュー（設計部門の部長級および技術者）のコメント、および名村造船所百年史編集委員会（2012）、上杉（2011）にもとづく。

<sup>32</sup> 2016 年 5 月 27 日インタビュー（設計部門の部長級および技術者）のコメント。

<sup>33</sup> 2016 年 5 月 27 日インタビュー（設計部門の部長級および技術者）のコメント。

230,000DWT 級鉄鉱石ばら積み船（230ORE）の満載喫水は 18.1m であり、それよりもやや浅い喫水になっている。一般的に、載貨重量と船の主要寸法（長さ、幅、喫水など）の間には密接な関係があり、載貨重量を決めるとだいたいの主要寸法が決まる<sup>34</sup>。水の比重などその他の条件を一定とすれば、船の貨物、燃料、水などの最大積み込み可能重量である載貨重量を増やすためには、長さ、幅、深さ<sup>35</sup>あるいは喫水を伸ばすことになる。港湾の水深の制約により深さ（喫水）を不変あるいは浅くしながら載貨重量を増やすには、長さや幅を拡大する必要があるが、今度は長さや幅は港湾の荷役岸壁の長さや設備、通行する運河、海峡などの制約、あるいは建造ドック（あるいは船台）の制約を考慮する必要がある<sup>36</sup>。喫水を深くせずに載貨重量を増やすことに関して、このような条件がある中で、WOZMAX では満載喫水を 18m と、230,000 DWT 級鉄鉱石ばら積み船の 18.1m とほぼ同等に抑えながら 25 万トンの載貨重量とするため、幅を 57m（230,000 DWT 級鉄鉱石ばら積み船は 54m）、全長 330m（230,000DWT 級鉄鉱石ばら積み船は 320m）の新設計とされた。この幅 57m に関しては、それまで幅 55m が限界だと思われていたが、名村造船所、日本郵船、NS ユナイテッド海運が船型の港湾への適合性を現地調査した結果、57m でも入港が認められることが分かったことにより実現したものである<sup>37</sup>。こうして、揚げ地（積み出し港）の条件に対してすりあわされた設計が行われた結果、従来上限とされた 230,000DWT を上回る 250,000DWT が実現<sup>38</sup>した。

船殻については、荷役効率を向上させるため、船倉の大容量化が図られている。同時に、バラストポンプを大型化し、荷役時のバラスト水の出し入れのスピードアップを図っている。これにより、港湾でより大型のアンローダーを用いることができる<sup>39</sup>。

また、生産設計に関しては、「大型船の為、ドックでの足場の枚数が増えることもあり、これを減らす為に構造の最適化やブロック分割の位置を工夫している」（上杉，2011）とされている<sup>40</sup>。福田（2010）によると、生産設計の作業において、3D モデルを 1 隻全体に用

---

<sup>34</sup> 八木・金子（2015）、造船テキスト研究会（2017）

<sup>35</sup> 船体中央部の上甲板から船底までの垂直距離。水面から船底までの深さ（垂直距離）が喫水にあたる。

<sup>36</sup> 八木・金子（2015）、商船高専キャリア教育研究会編（2016）川崎（2017）、造船テキスト研究会（2017）

<sup>37</sup> 対馬・功刀・武田（2011）の記述にもとづく。

<sup>38</sup> WOZMAX の就航後、ポートヘッドランド港において、WOZMAX が 1 隻による鉄鉱石の出荷量の最高記録を複数回更新している（古賀，2017）。

<sup>39</sup> 対馬・功刀・武田（2011）の記述にもとづく。

<sup>40</sup> ただし、福田（2010）は、一部の部材に「アプリケーションソフトの関係上、どうしてもモデリングできない構造が存在する」と述べている。また、3D モデルの利用に関して、それまでの名村造船所は「同業他社に対して、最も遅れをとっていた事は、比較的容易とされていた生産モデルの全船適用もなされていなかった事である。3D モデルの構築と運用の経験、及び

いることを目指したのは、WOZMAX (250ORE) の開発が最初であったという。その結果、全体で188ブロックあるうちの155ブロックが3Dモデルを適用でき、「WOZMAX(250ORE)においては、ブロック内の不具合は他の新設計船に比較して非常に少ない傾向となっている」(福田, 2010) と述べられている。

このように、WOZMAX は積み出し港として西オーストラリア州 3 港が主に想定されていたが、ブラジルの鉄鉱石<sup>41</sup>の積み出し港であるポンタ・デ・マデイラ港への適合も船主の要望に応じて検討されることになった(中山, 2011)。同港は、ブラジルの資源大手ヴァーレ社が保有する鉱山で産出される鉄鉱石の積み出し港<sup>42・43</sup>である。航路水深／最大喫水／最大バース水深は 23.0m／28.0m／24.0m であり(赤倉・瀬間, 2011)、前述の西オーストラリア州 3 港と比べると余裕のある寸法となっている。しかし、同港の問題は潮流が激しいことであり、これが停泊するにあたっての課題となった。そこで、一般的に船装に含まれる係船設備に関して、「当初から問題ない見通しにあった・・・(中略)・・・ポートウォルコットでは調査時には分からなかったが、後になって(ポンタ・デ・マデイラ)<sup>44</sup>港の潮流

---

そのノウハウの蓄積も乏しい状況であった」と述べている。

<sup>41</sup> ブラジルの鉄鉱石は、鉄分含有率が高く高品質であり、比較的高価格である(日本海事新聞 2011 年 4 月 20 日)。

<sup>42</sup> ヴァーレ社がブラジルから中国など東アジアへの鉄鉱石輸送に従事させるために、2011 年頃から投入した 380,000～400,000DWT 級の「ヴァーレマックス」(1 番船は「Vale Brasil」(全長 362m、幅 65m、満載喫水 23m)で、2011 年 3 月に韓国の大宇造船海洋で竣工)も寄港可能である。ブラジル～中国間は約 80 日間(往復)とオーストラリア～中国間の約 40 日(往復)の 2 倍程度の所要時間がかかる。この遠距離の不利を大型化で克服するために開発された船型がヴァーレマックスであった(日本海事新聞 2011 年 4 月 20 日；2011 年 11 月 30 日；2012 年 2 月 14 日)。しかし、当初、中国当局が 350,000DWT 級以上の入港を許可しなかったため、ヴァーレマックスは入港できなかった。そのため、フィリピンのスービック湾を中継基地にして洋上でケープサイズの船に積み替える運用が行われていた(日本海事新聞 2012 年 2 月 6 日；白井, 2013b)。ところが、スービック湾での積み替えについても、2014 年 8 月に積み替え作業で発生する粉塵が豪雨で海洋に流出し、これを問題視したフィリピン政府から停止命令が出された(日本海事新聞 2014 年 8 月 6 日)。なお、2015 年 7 月に中国の港湾へのヴァーレマックスの満載入港が解禁され、同月に山東省・青島の董家口港に入港した(日本海事新聞 2015 年 7 月 30 日)。

<sup>43</sup> また、中国での入港規制に伴い、マレーシアのペラ州テルクルビアにも積み替え基地が設けられた。最大喫水 23m のヴァーレマックスはマラッカ海峡を通航できず、ロンボク海峡に迂回せざるをえない。そこで、ヴァーレマックスはブラジル～マレーシア間の輸送に従事し、マラッカ海峡のインド洋側の入り口にあるテルクルビアでマラッカ海峡を通航可能なケープサイズの船に積み替えて中国などに輸送されるようになった(日本海事新聞, 2011 年 11 月 30 日；2014 年 11 月 11 日)。

<sup>44</sup> 筆者追記。

が激しい事が分かったため、標準仕様外で係船索（ブレストライン）<sup>45</sup>を増やして対応すること」（対馬・功刀・武田，2011）にされた。このコメントから、WOZMAX は、当初は西オーストラリア州 3 港を想定していたが、開発途中からブラジルのポンタ・デ・マデイラ港も投入される航路として想定されるようになったと考えられる。そこで、標準仕様では対応できない潮流が激しいブラジルのポンタ・デ・マデイラ港に対応するように係船装置が追加されたり、強度が高められたりしている。このポンタ・デ・マデイラ港に対応した係船設備は、1 番船「宝富（Bao Fu）」以降、複数の船で採用されている<sup>46</sup>。

また、推進性能と燃費向上のために「Namura flow Control Fin (NCF)」と「舵付きフィン」が装備されている（対馬・功刀・武田，2011；上杉，2011；名村造船所ホームページ<sup>47</sup>）。また、居住区も風圧抵抗軽減を図った形状となっており、推進性能と燃費向上が図られている<sup>48</sup>。

また、推進性能と燃費向上に関しては摩擦抵抗の少ない船底塗料を採用したり、低硫黄燃料油対応の燃料タンクの配置なども行われている。このように、WOZMAX の開発では、「船殻構造の最適設計を心掛け」られていた（対馬・功刀・武田，2011；上杉，2011）。

このように、WOZMAX の船体設計は、上位システム（図 7-3）の構成要素のひとつである航路に対して最適になるように調整されていた。これに関して、荷主側のリオ・ティント（リオ・ティント・マリン）は、新聞記事の中で次のように述べている。

「25 万トン型鉄鉱石船は豪州北西港湾の最大船型だ。われわれが運営する港湾の水深は 18.5 メートルで変更は難しく、入港に最適な船舶設計を追求する必要がある。」<sup>49</sup>

「鉄鉱石のビジネスをグローバルに見てみると、25 万トン型はカナダ・セブンアイランドからの鉄鉱石輸送にも有効活用できる。さらに、将来的にはギニアで進行中のシマンドゥ鉄鉱石プロジェクトへの投入も可能だ。一方、すべての顧客に 25 万トン型が適するわけではないことを認識しておく必要がある。海上輸送は顧客とわれわれの双方

---

<sup>45</sup> 係船索（ロープなど）には船首部から岸壁に張るヘッドライン（あるいはバウライン）、船尾部から岸壁に張るスターンライン、船体側方から岸壁に張るブレストライン、スプリングラインがある。ヘッドラインとスターンラインは、着岸時に岸壁に船を引き付けるものである。ブレストラインは、引き寄せ索とも呼ばれ、船の横移動を防ぐものである。スプリングラインは、船の前後移動を防ぐものである（川崎，2017；造船テキスト研究会，2017）。

<sup>46</sup> 名村造船所ホームページ（<https://www.namura.co.jp/ja/news.html>） 2020 年 10 月 28 日アクセス

<sup>47</sup> 名村造船所ホームページ（<https://www.namura.co.jp/ja/news/news-5460751590938873276/main/0/link/141029.pdf>） 2019 年 9 月 19 日アクセス。

<sup>48</sup> 名村造船所ホームページ（<https://www.namura.co.jp/ja/news/news-5460751590938873276/main/0/link/141029.pdf>） 2019 年 9 月 19 日アクセス。

<sup>49</sup> 日本海事新聞 2011 年 12 月 14 日

のリクワイアメントに適合しなければ実現しない。」<sup>50</sup>

こうしたコメントから、250,000DWT 級の大型船となると、限られた顧客が運航することと、そして大型であるために航路の制約が強く働きやすくなることから、ごく一部の港湾に適した設計がなされると、顧客側は認識していることがうかがえる。

また、港湾の制限に対する船型について、リオ・ティント（リオ・ティント・マリン）側は新聞記事の中で次のように述べている。

「西豪州鉄鉱石の輸出港湾の最適船型は 25 万重量トン級。しかし、われわれは輸入国の港湾制限も考慮する必要がある。17 万重量トン級は非常に高いフレキシビリティを提供してくれる。20 万重量トン級は太平洋のほとんどの鉄鉱石輸出入港にアクセスできるが、東豪州の石炭輸出港や極東の中小港湾には満載入港できない課題がある」<sup>51</sup>  
このコメントから、WOZMAX は、荷下ろし港というよりも積み出し港の条件に対してすりあわされた設計となったことがうかがえる。また、ケーブサイズの中であっても、船体が相対的に小さいほど汎用性が高く、船体が相対的に大きいほど就航できる港湾が制約され、その分、その港湾に最適設計されることになると、荷主（顧客）側が認識されていることがうかがえる。

「船型は契約前に設計が済んでいる」<sup>52</sup>

と述べられており、契約締結前に特定の航路（港湾）との調整が行われていた。なお、「船型は（基本的に）不変だが、顧客要望により、設計を固定化することはできない。名村は言われたら対応する」<sup>53・54</sup>

とも述べられている。このことから、船体設計では、まず、特定の海事システム（例えば航路）に対して特殊な設計が選択されるが、船体そのものに関しては個別の顧客の要求に対応するカスタマイズ設計は行なわれない。ただし、船体艤装（前述の係船装置）や、機関室内の艤装（後述）に関しては、顧客の個別的な要求に応えるカスタマイズ設計もありうると認識されている。

以上のように WOZMAX は開発され、2010 年の 1 番船竣工から 2015 年までで 25 隻が生産された。この時期の WOZMAX は第 1 世代と呼ばれている。

その後、2017 年 5 月に 1 番船が竣工した WOZMAX からは、第 2 世代と呼ばれ、2020 年 8 月までで 5 隻竣工している。さきに見てきた WOZMAX は第 1 世代であるが、第 1 世代では船殻の船倉が 5 ホールド 9 ハッチ（船倉が 5 つ、甲板のハッチ（蓋）が 9 つ）であ

---

<sup>50</sup> 日本海事新聞 2011 年 12 月 14 日

<sup>51</sup> 日本海事新聞 2010 年 7 月 29 日

<sup>52</sup> 2016 年 5 月 27 日インタビュー（設計部門の部長級および技術者）のコメント。

<sup>53</sup> 2016 年 5 月 27 日インタビュー（設計部門の部長級および技術者）のコメント。

<sup>54</sup> 名村造船所の有価証券報告書（例えば、第 117 期、2015 年度）にも「当企業集団製品の大部分が個々の顧客のニーズに対応した単品受注生産であり・・・」（p16）とある。



ったが、「第2世代」では7ホールド7ハッチ（船倉が7つ、甲板のハッチ（蓋）が7つ）となっている。カーゴホールド（船倉）の数を増やすことで、積み付け（バランスを考慮して貨物を配置すること）をより柔軟にでき、ハッチの数を減らすことで港での荷役装置の移動回数を減らすことができ、荷役効率が向上している<sup>55</sup>。係船装置は、第1世代と同様にポインタ・デ・マデイラ港対応の装備が可能になっている<sup>56</sup>。

なお、名村造船所では中型のばら積み船も手がけていたが、船型を開発するたびに開発コンセプトを定め、それをもとに標準の船殻設計が行なわれていた。しかし、このような中型船は、

「荷役、航路がワールドワイドであり、荷物は多岐にわたることから、『異船主同型』になる傾向がある」<sup>57</sup>

という。

この「異船主同型」<sup>58</sup>という社内用語は、

「船殻設計は比較的仕事量が変わらないが、艀装設計はカスタマイズ作業が必要となる」<sup>59</sup>という意味で用いられていた。

この「異船主同型」という言葉が指す意味について付言すると、

- ①まず船体設計については基本的に異なる船主に異なる船体設計（船型）で応じるのではなく、標準の船体設計で対応する（いわば異船主同設計）。
- ②しかし、機関室の艀装設計（後述）に関しては、異なる船主に対して異なる設計（カスタマイズ設計）が必要となることもある（機関室の艀装設計に関しては、いわば異船主異設計）。

ということになる。「異船主同型」という言葉の意味を文字通りにとれば①のみ指していることになるが、インタビューの内容から、この表現の背後には②の意味も含まれていることが分かる。

ここまでみてきたように、WOZMAX は、西オーストラリア州 3 港と中国の間という特定航路で、特定の荷主の鉄鉱石輸送に供されることを前提とされていた。WOZMAX は、特

---

<sup>55</sup> 古賀（2017）、名村造船所ホームページ

（<https://www.namura.co.jp/ja/product/ship/case/20170511.html>）（2019 年 9 月 19 日アクセス）および川崎汽船ホームページ（<https://www.kline.co.jp/ja/news/other/other-5980800556142413106.html>）（2019 年 9 月 19 日アクセス）にもとづく。

<sup>56</sup> 名村造船所ホームページ

（<https://www.namura.co.jp/ja/product/ship/case/20170511.html>）（2020 年 10 月 28 日アクセス）

<sup>57</sup> 2016 年 5 月 27 日インタビュー（設計部門の部長級および技術者）のコメント。

<sup>58</sup> 同じ船主から同一設計の船を連続して受注することを「完全同型船」と呼んでいる。（2016 年 5 月 27 日インタビュー（設計部門の部長級および技術者）のコメントより）

<sup>59</sup> 2016 年 5 月 27 日インタビュー（設計部門の部長級および技術者）のコメント。

定の航路と特定の顧客に対して特殊な設計がなされたことが特徴的であったといえる。そして、この設計にあたっては、航路を構成するノードである西オーストラリア州 3 港の喫水制約が重要な設計の前提条件となっていた。

### 7.3 機関室設計

前節に引き続き、本節では大型のばら積み船（とくに WOZMAX）に注目し、下位階層である機関室の設計（艀装設計）<sup>60</sup>に注目する。これは、フレームワークの図 7-4 に焦点を当ててものである。

まず、機関室設計について、一つのモデルに関しては、

「通常、採用される標準主機関は 1 種類となる」<sup>61・62</sup>

それにもなって、

「関連機器や大物機器（ボイラ、発電機など）のレイアウトはほぼ一緒となり、一つのモデルであれば設計工数ベースで大部分の艀装（配置、配管）設計が番船間で共通になる」<sup>63</sup>

とインタビューで述べられていた。これは、

「舶用機器の性能を満たすために舶用機器メーカーが推奨する艀装がある」<sup>64</sup>

ためである。

しかし、WOZAX をはじめとする大型船の一隻一隻の設計（番船設計）に関しては、

「(船型は契約前に設計が済んでいるが、) どの船型であっても、艀装は一品一様である」<sup>65</sup>

「会社の思想として、(顧客から) 言われたら変える。なかなか同じにはならない」<sup>66</sup>

と述べられており、実際には一隻ごとに（顧客の個別の要求に対する）カスタマイズ設計されていると、同社では認識されている。また、

「ある船の設計でうまくないところは、次の番船以降で改善していく」<sup>67</sup>

---

<sup>60</sup> 機関室内の舶用部品、設備などの配置や取り付け（配管など）に関する設計のこと（3.5 節参照）。

<sup>61</sup> 2016 年 5 月 27 日インタビュー（設計部門の部長級および技術者）のコメント。

<sup>62</sup> ただし、主機メーカーの売り込み、顧客企業の要求などにより、同じモデルであっても 2 種類搭載される場合もある。例えば WOZMAX では開発時に選択された標準主機関は MAN B&W だったが、ある船主向けに三菱 UE の主機関が搭載された。このような場合、MAN B&W と三菱 UE では配管の取り合いが異なるため、機器の配置の設計（機関室配置マシナリアレンジメント）を改めて行なう必要が出てくる（2016 年 5 月 27 日インタビュー（設計部門の部長級および技術者）のコメントにもとづく）。

<sup>63</sup> 2016 年 5 月 27 日インタビュー（設計部門の部長級および技術者）のコメント。

<sup>64</sup> 2016 年 5 月 27 日インタビュー（設計部門の部長級および技術者）のコメント。

<sup>65</sup> 2016 年 5 月 27 日インタビュー（設計部門の部長級および技術者）のコメント。

<sup>66</sup> 2016 年 5 月 27 日インタビュー（設計部門の部長級および技術者）のコメント。

<sup>67</sup> 2016 年 5 月 27 日インタビュー（設計部門の部長級および技術者）のコメント。

と述べられている。これについて、顧客からは、

「これだけの生産量があるのに、よく言うことを聞いてもらえる」<sup>68</sup>

と評価されているとインタビューで述べられていた。

また、“コメント”（顧客が図面を見るポイント。コメントの出所は、荷主よりも、船を直接使うオペレーター（船主）であることが多い）については、

「ばら積み船で、コメントが多いのは、契約段階では燃料系のタンクや濾し器の追加について。建造中はパイプ溶接の部分が多い。パイプをどこに通すかなどでコメントがある」<sup>69</sup>

「小型のばら積み船の方が、スペースがない分、艤装設計に関するコメントが多い。ただし、スペースがない分、変えようがない、対応できないこともある。しかし、大型のばら積み船の場合は、スペースに余裕がある分、変えようがあることも多く、コメントに対応して、艤装設計を変更することが多い」<sup>70</sup>

また、他の部分は

「ポンプやバラスト水処理装置、予備用の機器の追加によって、番船ごとに異なる設計となる。機器追加にともなって、他の機器との相互干渉の問題が発生する。また、機器追加を見込んであらかじめ冗長性を持たせた標準設計などは行っていない」<sup>71</sup>

とのことであった。

また、

「先行艤装した「ユニット」<sup>72</sup>をドックで搭載し、ドック内での艤装作業をほとんどなくしている」<sup>73</sup>

ものであるため、

「『ユニット』の設計自体は、番船ごとに最適設計され、一品一様の様相となっている」<sup>74</sup>

---

<sup>68</sup> 2016年5月27日インタビュー（設計部門の部長級および技術者）のコメント。

<sup>69</sup> 2016年5月27日インタビュー（設計部門の部長級および技術者）のコメント。

<sup>70</sup> 2016年5月27日インタビュー（設計部門の部長級および技術者）のコメント。

<sup>71</sup> 2016年5月27日インタビュー（設計部門の部長級および技術者）のコメント。

<sup>72</sup> 今治造船（4章）、大島造船所（5章）、A社（6章）など他社の「ユニット」と本章の「ユニット」とは無関係である。本章での「ユニット」はあくまでも名村造船所での「ユニット」である。名村造船所では、先行艤装されたブロックで、ドックに搭載する前の状態を「ユニット」と呼んでいる。この「ユニット」は、ドック搭載以降は、ほとんど艤装作業を必要としない。ちなみに、今治造船（4章）では、ドックに搭載される船用部品の場所ごとのまとまりを「ユニット」と呼んでいた。大島造船所（5章）は、7～8m四方にまとめられた船用部品とその周辺の配管類のまとまりでドックに搭載される単位を「ユニット」と呼んでいた。A社（6章）は、ドックに搭載する船用部品とその周辺の配管類の物理的な塊でドック搭載単位を「ユニット」と呼んでいた。

<sup>73</sup> 2016年5月27日インタビュー（設計部門の部長級および技術者）のコメント。

<sup>74</sup> 2016年5月27日インタビュー（設計部門の部長級および技術者）のコメント。

と述べられていた。

こうしたコメントから、名村造船所における「ユニット」の設計は、機関室の艤装設計そのものといえる。

なお、社内標準的な機能別の船用部品をまとまりとしての「モジュール」に関しては、「(12、3年前に)「モジュール」を採用したことはある」<sup>75・76</sup>

しかし、

「一時期、燃料供給モジュールを採用したが、仕様変更の多さから「モジュール」という考え方はなくなった」<sup>77</sup>

「『モジュール』をやっている、顧客要求にあわせてアレンジするため、結局大型ユニットの様相になった」<sup>78</sup>

とのことであった。

これに関して、主力製品である大型船などは規模の大きな運航会社が顧客であることが多く、そうした会社は

「機関長や造船会社勤務の経歴を持つ技術者がいる場合が多く、技術水準が比較的高い」<sup>79</sup>という。そのため、

「船殻設計はさほど変わらない一方、技術力の高い顧客から要望が寄せられる機関の艤装設計は、比較的グレードが高い船用部品の装備が最初から設定されるだけでなく、顧客ごとに機器配置や配管が異なる」<sup>80</sup>

とのことであった。これに対応するために、上述のように、名村造船所は

「言われたら変える」<sup>81</sup>

という方針をとっている。このことは、社内において「異船主同型」と表現されている（船

---

<sup>75</sup> 2016年5月27日インタビュー（設計部門の部長級および技術者）のコメント。

<sup>76</sup> たしかに、2000年頃の名村造船所において機関室の設計でモジュールが採用されていた（佐々木、2000）。佐々木（2000）によると、ドック作業の短縮、設計作業の効率化、設計・生産のミスの削減、作業環境・安全の向上を目的とした。要件は、船種・大きさにかかわらず配置できること、試作を行わず実船に適用可能であること、搭載用の台枠の鋼材量を最小限にすること、ドック作業の複雑さを減らすために先行艤装によって組み立てることとされた。実際には、燃料供給機器モジュール、燃料油清浄機モジュール、潤滑油清浄機モジュールの3つの機能モジュールが開発された。佐々木（2000）では、これらのモジュールが、パナマックス型ばら積み船の複数隻（船番978、979、982、983、990、991他1隻）に搭載されていること、さらにケープサイズ2隻、230BC1隻に適用されていることが紹介されている。

<sup>77</sup> 2016年5月27日インタビュー（設計部門の部長級および技術者）のコメント。

<sup>78</sup> 2016年5月27日インタビュー（設計部門の部長級および技術者）のコメント。

<sup>79</sup> 2016年5月27日インタビュー（設計部門の部長級および技術者）のコメント。

<sup>80</sup> 2016年5月27日インタビュー（設計部門の部長級および技術者）のコメント。

<sup>81</sup> 2016年5月27日インタビュー（設計部門の部長級および技術者）のコメント。

体は異船主同設計だが、艤装は異船主異設計を許容するという意味)。

以上から、名村造船所の「ユニット」の設計とは、実質的に機関室の艤装設計そのものであるといえる。すると、機関室内の配置、パイプ類などの接続に関わる「ユニット」の設計が、顧客の個別的な要求に応えるカスタマイズ設計（顧客特殊設計）になりやすく、大型船の場合、それを可能にする空間的な余裕もある。そして、WOZMAX のような大型船の場合、顧客側の技術的な能力による特殊な要求も強くあるため、カスタマイズ設計（顧客特殊設計）が選択されやすくなることが考えられる。

主力の大型船の WOZMAX の運航会社は、技術力の高い大手運航会社が主であり、かつ荷主は限定的である。航路は西オーストラリアと上海間が主だが、顧客によってはブラジルと日本の間でも運航している。WOZMAX は、船殻設計はサイズが近いばら積み船である 230,000DWT 級鉄鉱石運搬船 (230ORE) がベースであった。しかし、機関艤装に関しては、開発当初の標準主機関として MAN B&W を選択していたため、三菱重工業 UE を標準主機関とする 230ORE ではなく、MAN B&W を標準主機関とするケープサイズの 17 万 4000DWT 級ばら積み船がベースとされた。

このように、艤装設計自体は船のサイズよりも主機選択に左右されるため、主機はできるだけ 1 種類に限定されるのが一般的である。しかし、WOZMAX の場合は、顧客要求により、三菱重工業 UE の主機が採用された番船もあり、その他の番船は標準の MAN B&W が採用され、艤装設計はこれに対応して設計し直されていた。さらに、顧客ごとに詳細な要求が異なるため、「異船主同型」の艤装設計となっている（船体は異船主同設計だが、艤装は異船主異設計を許容するという意味）。

なお、2000 年代の名村造船所の製品は、他社と比べると大型船型が相対的に多いが、ハンディサイズのばら積み船 (34BC) も手がけている。この艤装に関しては、インタビューによると、

「小型船の方がカスタマイズで気を遣うことが多い。物理的にスペースが少ないため」

「大型でも小型でも部品点数はさほど変わらない。どういうシステムを船に乘せるかで複雑さが違う。小さい方が逆に大変」<sup>82</sup>

「34BC であっても、顧客要求に対応して艤装設計をカスタマイズする必要がある。むしろ、34BC の方が他の船型よりもスペースが少ない分、顧客からの要求が多い傾向がある」<sup>83</sup>と述べられていた。ただし、

「スペースの限界から、大型船型よりカスタマイズの難易度が高いこともある」<sup>84</sup>

---

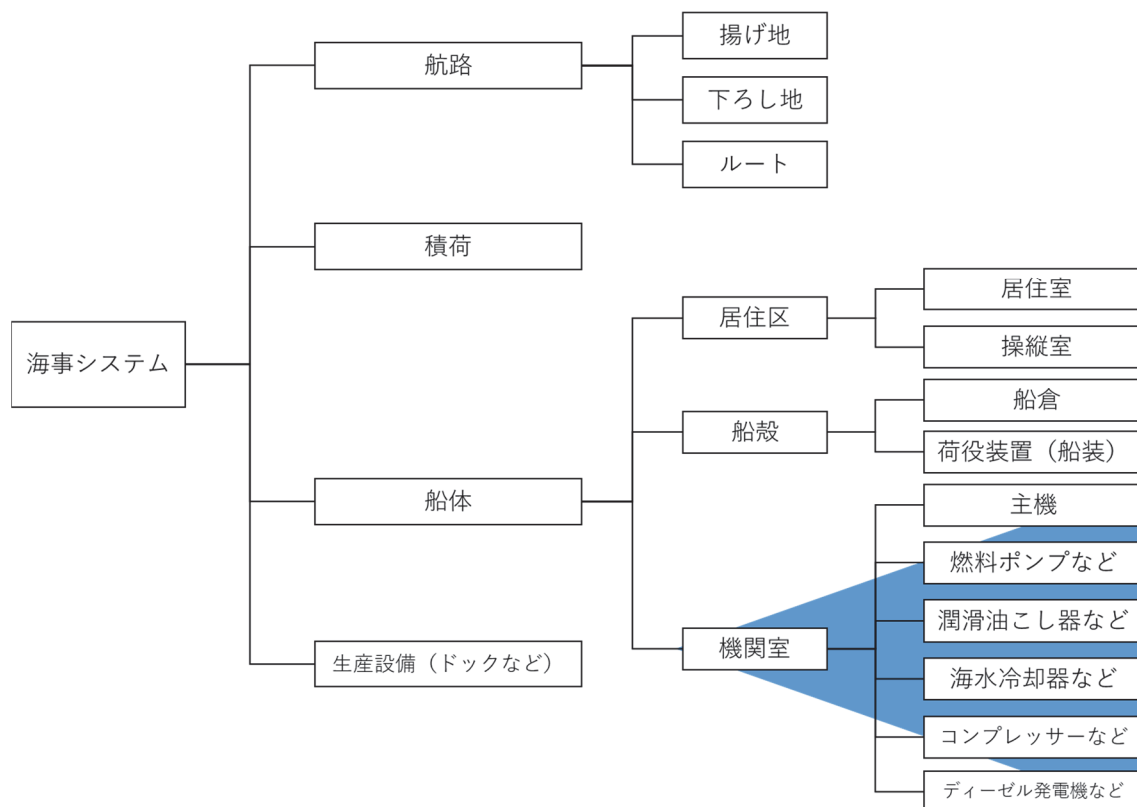
<sup>82</sup> 2016 年 5 月 27 日インタビュー（設計部門の部長級および技術者）のコメント。

<sup>83</sup> 2016 年 5 月 27 日インタビュー（設計部門の部長級および技術者）のコメント。

<sup>84</sup> 2016 年 5 月 27 日インタビュー（設計部門の部長級および技術者）のコメント。

とも述べていた。

図 7-4 階層構造（フレームワーク）における本節の着目点（名村造船所の機関室設計）



（出所）筆者作成。

以上のように、大型船と小型船で業界標準品である船用部品のサイズは大きな違いがなく、搭載される部品点数もさほどの差がない。すると、大型船の場合、船用部品との相対的な関係から機関室により大きな空間があることになり、冗長性のある艤装設計が可能になる。すると、船用部品の選択の自由度が高まり、船用部品の配置・配管などの自由度が高まり、艤装設計では顧客の個別の要求に応えるカスタマイズ設計（顧客特殊的な設計）を選択することが可能になることがうかがえた。

#### 7.4 小括

以上、本章では、名村造船所の大型のばら積み船 WOZMAX の設計に注目した。名村造船所は、生産設備などのリソース（幅 60m まで対応可能なドック）を踏まえ、それを最も効果的に活用できるニーズを探索し、その上で受注を獲得していた。この意味では、まず生産設備に対して船体は、すり合わせた設計が選択されていたと言える。

その上で、本章で主に取り上げた WOZMAX の開発では、顧客企業と協力して港湾を現地調査し開発が進められた（対馬・功刀・武田，2011；上杉，2011；名村造船所百年史編集

委員会, 2012)。これにより、喫水制限の厳しい西オーストラリア州の 3 港に従来入港することができた上限が従来 230,000DWT 級であったが、これと同等の喫水でありながら載貨重量を増やすために船体設計が工夫された 250,000DWT 級の WOZMAX が開発され、20 隻（第 1 世代。第 2 世代を合わせれば 25 隻）の生産実績を上げていた。これは、海事システムを構成する一要素で、制約の最も厳しい西オーストラリア州の鉄鉱石積み出し港に対してカスタマイズした設計を選択した結果、多くの受注を獲得することができたという事例であったといえる。

この WOZMAX の事例から、大型ばら積み船の場合、船体（製品）の設計では、階層構造の上位の海事システムを構成する特定の航路（ノードである港湾、ルートである運河や海峡など）の要件に対してすり合わされたカスタマイズ設計が選択される蓋然性が高いことがうかがえた。

さらに、製品の下位階層の機関室では、「異船主同型」という表現<sup>85</sup>（船体は異船主同設計だが、艀装は異船主異設計を許容するという意味）にもみられるように、顧客の注文ごと（番船ごと）に機器類の配置、配管などでカスタマイズ設計が選択されやすいことがうかがえた。これは、船用部品自体は業界標準であるが、顧客が使用すると想定される期間が長期間に及ぶため、燃費やランニングコストに関する要求が厳しくなる。加えて、大型船の場合、機関室との相対的な関係でより空間がある分、艀装設計（船用部品の配置、配管などの設計）に関して、船用部品の選択の自由度が高まり、配置、配管などの設計の自由度が高まることから、顧客の個別の要求に対応するカスタマイズ設計が可能になる。さらに、大型船の場合、顧客側の技術的な特殊要求も強くある。このようなことから、大型船の場合、カスタマイズ設計（顧客特殊設計）が選択されやすくなることが考えられる。

このような大型ばら積み船の場合を階層構造で分析すると図 7-5 のようになる。船体は、特定の航路（を構成するノードである港湾）に対して設計調整がなされていた。この意味では、船体は補完財に対して特殊な設計が選択されていたといえるが、これは顧客特殊な設計が選択されていたわけではない。これは、航路、特に積み出し港である西オーストラリア州 3 港という補完的な人工物に対して、「WOZMAX」という製品の相対的な大きさが大きくなると、その補完的な人工物が制約条件となり、当該製品はその補完的な人工物に対してすり合わせた（特殊な）設計になる、すなわち補完財（用途）特殊な設計が選択されることが考えられる。しかし、それは、顧客特殊設計（それぞれの顧客に対してカスタマイ

---

<sup>85</sup> 「異船主同型」については 7.2 節で述べられているが、①まず船体設計については基本的に異なる船主に異なる船体設計（船型）で応じるのではなく、標準の船体設計で対応する（いわば異船主同設計）。②しかし、機関室の艀装設計（後述）に関しては、異なる船主に対して異なる設計（カスタマイズ設計）が必要となることもある（機関室の艀装設計に関しては、いわば異船主異設計）。

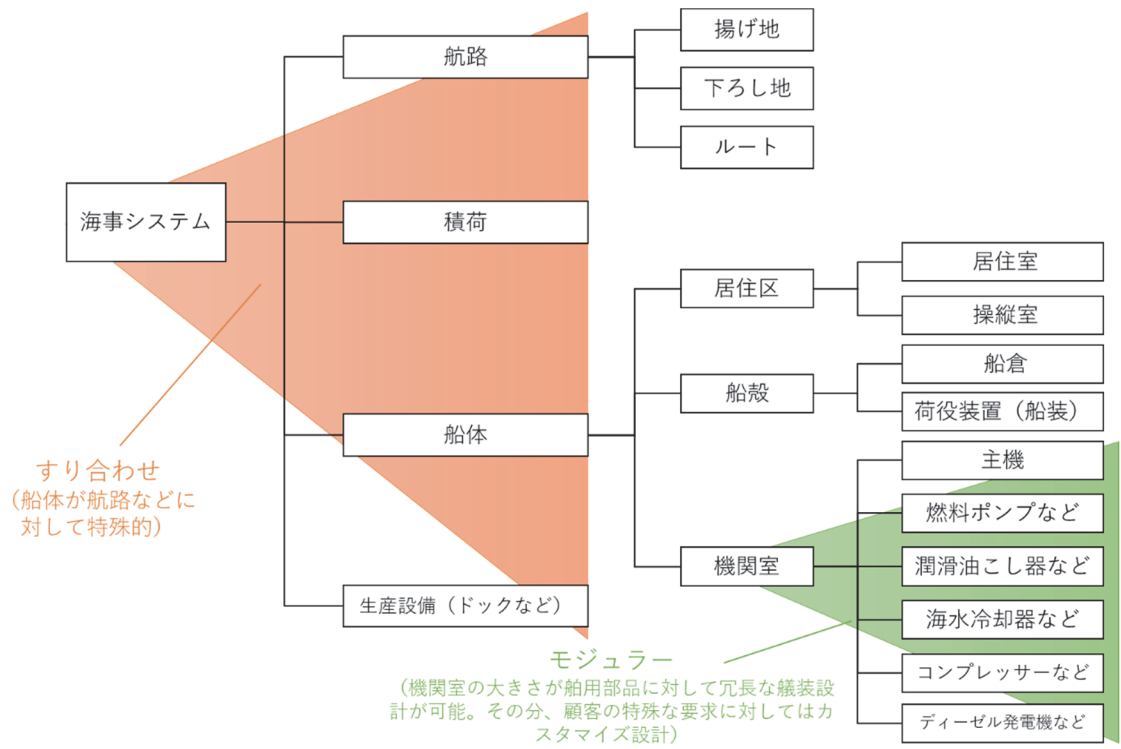
ズ設計) となることを意味していない。同じ航路を利用するのであれば、異なる顧客であっても同じ設計の「WOZMAX」を選択しうる。このことを、名村造船所の船体設計では「異船主同型」(船体は異船主同設計だが、艤装は異船主異設計を許容するという意味) と表現していたと考えられる。このように、製品(船体)の外アーキテクチャについては、名村造船所の「WOZMAX」の事例から、上位システムである海事システムの構成要素である航路(ノードである積み下ろしで着岸する港湾や通航するルートである運河や海峡など)との設計調整が必要になる。つまり、船体を(補完財に対して)可能な限り大きくすると、船体は補完財(用途) 特殊的(外インテグラル) な設計が選択されるが、ただし、それは顧客特殊的な設計とはならない(異船主同型) という蓋然性が示唆されたと考えられる。

つぎに、船体から見て中アーキテクチャである機関室の設計は、「異船主同型」という表現で、「(船体設計は同じでも) 艤装設計は個々の顧客要求に対応してカスタマイズ設計する」という考え方が採用されていた。これは、船用部品との相対的な関係を考えれば、大型船の方が機関室により大きなスペースがあり、その分、船用部品の選択や配置(艤装設計) は自由にでき(言い換えれば冗長性が高いということ)、顧客の個別の要求に答えるカスタマイズ設計な設計が選択されやすくなるということが考えられた。

以上の本章の検討から、大型船の場合、大型であるが故に他の補完財との相対的な関係がシビアになるという技術に関わる要因と、大型であるが故に顧客の個別的なニーズに対応しやすいという顧客に関わる要因の双方から、以上のようなアーキテクチャが選択されやすくなることが考えられた。そして、名村造船所の WOZMAX はその展開例であることが考えられた。



図 7-5 名村造船所のアーキテクチャの選択



(出所) 筆者作成。

## 8 章 結論と今後の課題

### 8.1 本研究のまとめ

製品開発・生産に関する経営学の議論において、人工物の物理的な性質、特に「大きさ」が看過されてきた。さらに言えば、それは当該人工物の周囲にある他の制約的な人工物に対する、相対的な「大きさ」である。そこで、本研究の目的は、相対的な「大きさ」と、製品アーキテクチャなどの設計選択に関わる諸要素が、企業の競争力にどのように影響を与えるのかを検討することとした。具体的には、2000～10 年代に依然高い競争力を持っていたと考えられる複数の日本の「中手」造船会社のばら積み船の製品開発を事例研究の対象とし、それぞれの企業がどのように扱う製品の相対的な「大きさ」と製品アーキテクチャを選択してきたのかを明らかにした。

本研究の構成は、まず 1 章では本研究の問題意識とその背景を提示した。2 章は先行研究を整理し、リサーチギャップと分析枠組みを検討した。3 章は、本研究の実証分析の対象とする造船・海事産業の概要、同分野への分析枠組みの適用、4～7 章の事例研究の方法を説明した。4 章は有力顧客との関わりの深い今治造船によるハンディサイズのばら積み船の開発事例である。5 章は多種多様なばら積み船を手がける大島造船所のパナマックスサイズのばら積み船の開発事例である。6 章は原価企画による開発プロセスを導入した A 社のパナマックスサイズのばら積み船の開発事例である。7 章は特定の用途（海事システム）に特化した、名村造船所の鉄鉱石専用ばら積み船の開発の事例である。8 章は結論と本研究の貢献と残された課題を検討している。

各章の概要は以下の通りである。

1 章は、本研究の背景と問題意識について述べている。企業の競争力に影響する要因の 1 つとして製品アーキテクチャ（設計思想）があり、従来、多くの研究蓄積があった。しかし、これまで看過されてきた要因があると考えられる。それは、生産対象となる製品や工程の「大きさ」、言い換えると他の何かに対する相対的な「大きさ」を企業が選択することで製品や事業の競争力に何らかの影響があったということである。そこで、本研究の問題意識は、企業がその開発・生産する製品の競争力を維持するために、人工物の相対的な「大きさ」と、その他の設計属性、とくにアーキテクチャ（設計思想）のコンビネーションをどのように選択するのかを明らかにすることであるとした。なお、本研究のキー概念とする「大きさ」を、絶対的な概念ではなく、相対的な概念として定義している。さらに、本研究の実証分析の対象とする造船・海事産業について、戦後を中心に最近までの変遷を簡単に概観し、この産業分野において 2000～10 年代にかけて依然として競争力を有していたと思われる日本企業に注目する意義を検討している。

2 章では、人工物のシステムの階層性の観点から、製品アーキテクチャに関する先行研究をレビューした。その結果、焦点を当てる製品単体だけではなく、製品を取り巻く使用環境

などの諸要素も合わせてアーキテクチャを分析することが可能であると考えられた。しかし、こうした議論の中で、製品の相対的な「大きさ」という物理的な要因が意外と看過されていたことが指摘された。また、人工物の階層性を分析視座とした先行研究では、システム全体のオープン・モジュラー化の過程を説明するにとどまっていたことも考えられた。しかし実際には、市場・顧客のニーズ、技術的要因や制約など、製品アーキテクチャの選択に影響を与える要素が人工物システムの階層によって異なることが考えられる。それにも関わらず、こうした点を明示的に考慮に入れた議論が従来あまりなされてこなかった。以上の検討から、企業の競争力に影響を与える 1 つの要因とされてきたアーキテクチャの階層的選択というテーマについて、人工物の相対的な「大きさ」という要素を加えて実証的に論じた研究が意外になされていないことが、リサーチギャップであると考えられた。なお、2.4 節において製品アーキテクチャに関する概念を整理し、先行研究では<インテグラルかモジュラーか>と<カスタマイズ設計か標準設計か>の両者を互換的な概念として用いられてきたが、カスタマイズ設計に関しては用途に対する特殊設計 (application-specific) (あるいは補完財に対する特殊設計)、顧客に対する特殊設計 (customer-specific) を区別して議論する必要があることが考えられたため、本研究ではこの点に留意しながら議論を進めることとした。

3 章では、まず、どこを通り (航路)、何を積み (積荷)、どのように運ぶのか (船)、どのように作るのか (生産設備) という要素で構成される海事システムを概観した。その中で造船会社は、海運など使用環境、ドックのような生産設備などの海事システム全体の制約下で製品設計を担うこと、その製品設計では業界標準的でサイズに関して固着的な部品間の調整問題があり、機関室内に集約されるその問題の解決を担うことを説明した。さらに、居住区は独立的で、船殻は最大化要求、それに応じて機関室は最小化要求があることから、一般的にこの階層 (船体の中アーキテクチャ) はインテグラルと見なせるため、事例研究の章では検討の対象外とし、海事システムの構成要素としての船体と、機関室以下の階層に焦点を当てることを述べた。

4~7 章は、複数の対象企業の設計技術者に対するセミストラクチャード・インタビューによる 1 次資料と、各企業に関する公刊の資料やデータ、文献などの 2 次資料にもとづく定性的な事例研究である。

4 章は、今治造船の事例を取り上げ、主力のハンディサイズのばら積み船の設計において、製品 (船体) は、開発当時のドックに対応した最大サイズが選択され、その上で多様な航路や積荷に対応して汎用的な設計が選択されていた。その下位階層である機関室の設計は、機関室を小さくするために機器配置などの調整を重ねて設計が決められていた。そうした調整によって決まった設計は、個別の顧客の注文に対してカスタマイズしない方針が採用されていた。なお、こうした設計思想を選択することが可能であった背景として、近隣の複数の有力な船主 (愛媛船主) との関係を活用していた。このように、今治造船の事例では、製品が相対的に小型の場合、製品から見て外モジュラー型 (汎用的で特定の海事システムにす

り合わせていない)が選択されていた。製品の中アーキテクチャ(3章より、下位階層である機関室の中)は、モデル特種的でインテグラルな設計が選択されていた(ただし顧客特殊的设计ではない)。

5章の大島造船所の事例では、ドックの効率的活用の観点から主力として選ばれたパナマックスのばら積み船の開発における製品アーキテクチャの選択を検討した。この事例では、船体は、積荷や航路などに関する多様な要求に対応する多様なラインナップが用意されていた。さらに、船体の番船設計では、「家系図方式」として作りやすさを考慮した推奨パターンを予め用意しながらも、顧客要求に対するカスタマイズ設計も許容するという考え方が採られていた。こうしたことから、製品レベルでは海事システムに対してすり合わせた設計が選択されていた。製品の下位階層である機関室の中は、製造性を考慮した推奨パターンを予め用意しつつも、顧客の個別の要求にも対応するために社内標準の船用部品の部品群をまとめた「ユニット」という新たな階層を設け、中モジュラー的な設計思想を選択し、「ユニット」内にすり合わせ要素を局所化していた。

6章は、A社の中型のカムサマックスばら積み船の事例を取り上げた。A社は、原価企画によって、船体設計(製品の外アーキテクチャ)は受注前に特定の港湾や運河といった補完財の条件にすり合わせる設計を行っていた。製品の下位階層である機関室の中は、船用部品群を機能完結的に分割した社内規格の「モジュール」が開発され、複数のモデル間、異なる番船間で流用可能になっていた。このように、製品の中アーキテクチャはモジュラー型が選択されていた。大島造船所とは、機関室内に追加された階層(「ユニット」・「モジュール」)の機能完結性が異なっていた。

7章は、名村造船所の、ドックの効率的稼働の観点から主力となった大型の鉄鉱石専用ばら積み船WOZMAXの事例を取り上げた。船体の設計は、同社のドックとの関係から製品サイズが選択され、特定の航路や港湾などで構成される海事システムに対してすり合わせがなされていたことから、製品は外インテグラル型であるといえる。製品の下位階層である機関室の中は、船用部品に対して相対的に大きな空間となり、冗長性のある設計が可能であるという意味でモジュラー型が選択されていた(ただし、1隻ごとに機器類の配置、配管など、顧客要求に対してカスタマイズ設計されていた。これが「異船主同型」と呼ばれていた)。この事例では、製品が相対的に大型の場合、船体(製品)から見て外アーキテクチャはインテグラル型(特定の補完財に対するすり合わせ)が選択される蓋然性が高いことが考えられた。一方で、製品の中アーキテクチャ(本研究では機関室内)は、空間的余裕があることから冗長性のある設計が可能であり、モジュラー的な設計が選択されていた(ただし顧客の個別の要求に対してはカスタマイズ設計)。

以上を踏まえて、本研究の結論を述べると、次のようになる。

当該製品が補完財に対して相対的に大きい場合、外アーキテクチャはインテグラル的になりやすく、中アーキテクチャは選択の自由度が増す。大きさに関して固着的な補完財に対して製品が相対的に大きい場合、製品(船体)設計は補完財に対して特殊な設計が行われ、

全体システム（海事システム）の中インテグラル化あるいは製品の外インテグラル化する傾向が見られた。一方で機関室の艤装設計（中アーキテクチャ）の選択の自由度が増すことになると考えられる。

逆に、当該製品が相対的に小さい場合、外アーキテクチャは選択の自由度が増すが、中アーキテクチャはインテグラル的になりやすくなる。サイズに関して固着的な補完財に対して製品が相対的に小さいとき、ばら積み船では製品（船体）設計は汎用化していた。ただし、本研究では見られなかったが、カスタマイズ設計も選択肢としてはありうると考えられる。このことから、全体システムのアーキテクチャあるいは製品の外アーキテクチャの選択の自由度が増すと考えられる。一方で、製品の中アーキテクチャ（機関室の艤装設計）は最適設計が指向され、インテグラル型が選択される傾向が見られた。

造船会社の事例から、本研究の結論は上記のようになったが、以下、この結論をより詳細に述べることとする。本研究では、人工物の階層性に着目し、研究対象である船舶（船体）（造船会社が設計・生産・販売する）を、その上位システムである海事システムを構成するサブシステムと位置づけた。ここで、船舶を製品 A、海事システムを全体システム S とする（図 8-1）。一方、製品 A と機能的に補完関係にあり、空間的に密接な関係の下で使用されるもう 1 つのサブシステムを（制約的）補完財 C とする。製品 A が船舶とすると、補完財 C は港湾や運河などの航路、あるいは建造ドックのような生産設備などが当てはまる。また、この補完財 C は、何らかの理由により、その大きさや形状を簡単に変えることができない「固着的」な補完財であるとする。

このようなシステムにおいて、全体システム S（海事システム）に対するサブシステムである製品 A（船体）を相対的に大型化する設計上の意思決定を当該企業が行った場合、大きさや形状が固着的な補完財 C（航路など）が構造設計上の制約条件となり、製品 A の設計が補完財 C に対して特殊な設計（特定の用途に対するすり合わせ設計）となる傾向がある。これは、製品 A（船体）と補完財 C（航路など）を構成要素とする全体システム S（海事システム）に対して、製品 A の設計が特殊な設計であるともいえるし、製品 A と補完財 C が補完しあって達成する用途（F とする。機能とも言い換えられる）に対する特殊設計であるともいえる。つまり、補完財 C に対して相対的に大型化した製品 A の設計は、補完財 C（航路）特殊のとも、全体システム S（海事システム）特殊のとも、用途 F 特殊のとも言うことができる。いずれにせよ、船体（製品＝サブシステム A）から見れば外インテグラル的なアーキテクチャが、海事システム（全体システム S）から見れば中インテグラル的なアーキテクチャが選択されやすくなる。

ただし、これは、あくまでも補完財 C（あるいは用途 F）特殊な設計であるということであり、顧客特殊な設計であるということを必ずしも意味しない。補完財特殊な設計の製品が顧客特殊な設計（文字通りのカスタマイズ設計）にもなるのは、製品 A および補完財 C がある特定の 1 プレーヤーに所有あるいは占有されている場合である。

もし仮に、同じ補完財 C（航路）を利用する製品 A（船舶）の顧客、例えば荷主や船主などが複数存在するのであれば、異なる顧客が同じ航路特殊な設計の船舶を買うことはありうる。この場合は、製品 A（船舶）の設計は、補完財 C 特殊な設計であるが、顧客特殊設計であるとはいえない。

逆に、同じ補完財 C（航路）を利用する製品 A（船舶）の顧客であっても、補完財 C と関係のない理由、例えば船主や荷主や乗組員や従業員の好み、あるいは顧客企業の基準などによって、その船舶が顧客特殊な設計になることはありうる。

最後に、就航する航路を選ばず汎用性が重視されていた、今治造船のハンディサイズのばら積み船のように、補完財 C に対して相対的に製品 A が小型であるとき、補完財特殊でない設計であり、かつ顧客特殊でもない設計の場合もありうる。

このように考えると、船舶（製品 A）の設計に関しては、航路（補完財 C、あるいは用途 F）特殊性と顧客特殊性から、（i）航路特殊設計・顧客特殊設計、（ii）航路特殊設計・顧客共通設計、（iii）航路共通（汎用）設計・顧客特殊設計、（iv）航路共通（汎用）設計・顧客共通設計、の 4 つのパターンがありうるということになる。

このパターン分けに沿って整理すると、例えば、名村造船所の「WOZMAX」の場合、補完財が特定の顧客（荷主）に実質的に占有されていた（そのような想定で設計されていた）ので、結果的に顧客特殊な船体設計にもなっていたと考えられる。これは、上記の（i）航路特殊設計・顧客特殊設計のパターンに相当する。

しかし、そうした航路特殊設計の大型船の顧客が複数存在する場合、それらの顧客が、特定の航路（西オーストラリア～中国間）に最適化された航路特殊な船体設計を、標準設計として共有した方が機能的にもコスト的にも合理的であると判断する可能性がある。このような場合、船舶は航路特殊な設計であるが、顧客に対して特殊な設計とはいえない。これは、上記の（ii）航路特殊設計・顧客共通設計のパターンであるといえる。

つぎに、このような比較的大型の船体（製品）の、船体から見て中アーキテクチャ（機関室内）<sup>1</sup>についても検討すると、比較的大型の船舶の場合、業界標準設計である船用部品に対して、機関室空間の船用部品に対する相対的な大きさが余裕があるため、顧客の個別の要求に応じて機関室の艤装設計（部品、あるいはモジュールの配置と結合）を顧客特殊（カスタマイズ設計）かつ中モジュラー的なアーキテクチャにすることが、より容易になる。つまり、ある船体設計（例えば「WOZMAX」）に対して多様な機関室の艤装設計を許容する冗長性があるということである。このように、名村造船所の「WOZMAX」の場合、船舶（製品 A）から見て、その中アーキテクチャはモジュラー的で、かつ顧客特殊設計になっている

---

<sup>1</sup> 本来、船体（製品）の中アーキテクチャは、機関室と船殻の関係（機関室から見れば外アーキテクチャ）ということになるが、ここがインテグラルであることは、どのような船でもあまり変わらないと考えられる（3章 3.4 節）。ここでは、製品の中アーキテクチャという場合、製品のサブシステム（機関室）の中アーキテクチャを指すこととする。

たということである。

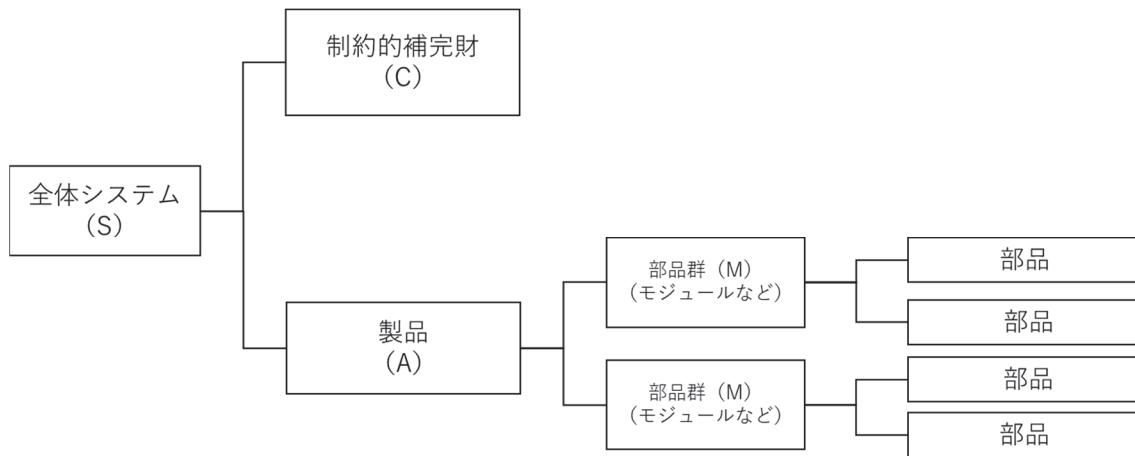
一方、大島造船所や A 社で取り上げた中型船（パナマックス、カムサマックス）の場合、製品（船体）に対して制約となる補完財（航路）の利用者が多様であるため、ある補完財（例えばパナマ運河やカムサール港など）に対して航路特殊的な船体設計が選択される。つまり、補完財（航路）に対してはすり合わせ（航路特殊設計）が選択されていたといえる。言い換えれば、顧客特殊的な設計は指向されていない。この意味で、製品（船体）設計は、上記の（ii）航路特殊設計・顧客共通設計のパターンに相当していた。

しかし、大島造船所や A 社で取り上げた中型船（パナマックス、カムサマックス）の機関室の艤装設計については、顧客特殊的要求に対応する必要性がなくなったわけではなく、それは製品から見て中アーキテクチャ（機関室）において対応される。しかしながら、上記の大型船ほど、業界標準品で大きさに関して固着的な船用部品に対して空間的に余裕のある冗長な設計ができない。そこで、サブフレーム（大島造船所の「ユニット」、A 社の「モジュール」）の階層を設け、この階層のサブフレーム間の関係性をモジュラー化し、サブフレームの組み合わせで顧客の特殊的要求に対応する。つまり、機関室の艤装設計では、船用部品間の関係の調整（すり合わせ）をサブフレーム内に局所化するというアーキテクチャが選択されていた。

一方で、今治造船の小型ばら積み船のように製品が補完財（航路）に対して相対的に小さい場合、特定の補完財に対するすり合わせはなされず（汎用的な標準設計が選択されている）、製品から見て外アーキテクチャはモジュラー的であるといえる。この意味で、上記の（iv）航路共通設計・顧客共通設計であるといえる。

このような製品において、製品から見て中アーキテクチャ（機関室内）については、空間的な余裕がなくなるので、船用部品の配置、つまり機関室の艤装設計はモデル特殊的（製品に対して最適な 1 パターンの設計）となり、その意味ではインテグラル的な標準設計が選択されていたといえる。この場合、顧客特殊的な設計（顧客要求に対するカスタマイズ設計）を行なう空間的な余裕はないので、製品に対して最適な 1 パターンの設計を顧客にオフアーするようになりやすい。この意味では標準設計であったといえる。このように、製品が補完財に対して相対的に小さい場合、いわばスーパーカブや T 型フォードのような標準的でインテグラルな設計思想が選択されやすくなると考えられる。

図 8-1 人工物システムの階層構造図



(出所) 筆者作成。

以上の結論をより一般的に述べると、次のようになる。

図 8-1 において、全体システム (S) を構成する製品 (A) が相対的に大きい場合、補完財 (C) が制約となりうる。つまり、補完財 C に対する当該製品 A の相対的な大きさが原因となり、製品 A の外アーキテクチャはインテグラル型が選択される傾向があると考えられる。逆に、製品 A が大きいことに伴い、製品 A の中アーキテクチャは冗長性のある設計が可能になるため、モジュラー型のアーキテクチャを選択することもできるし、またインテグラル型を選択することも不可能ではない。つまり、製品 A の中アーキテクチャの選択の自由度が大きくなる。それゆえ、その自由度を活かして、顧客の個別的な要求に応えるという意味でのカスタマイズ設計（顧客特殊的设计）も可能になる。このように当該製品 A が相対的に大きい場合、製品 A の外アーキテクチャ（あるいはシステム S の中アーキテクチャともいえる）はインテグラル型が選択されやすくなるが、製品 A の中アーキテクチャは選択の自由度が増すと考えられる。

例えば、本研究における製品 A である船体設計においては、小型船、中型船、大型船と、相対的な大きさが大きくなるにつれて、航路や造船工場にある大きさに関して固着的な補完的人工物 C（港湾、運河、建造ドックなど）に対して特殊な設計になりやすくなっていた。また、小型船、中型船、大型船となるにつれて、機関室の設計がもう一方の大きさに関して固着的な人工物である業界標準の船用部品に対して、空間的な余裕をもつようになる。この余裕を活かして、機関室の艤装設計は、モジュラー的かつ顧客特殊な設計が可能になるし、また逆にただ 1 種類の最適な機関室の艤装設計を顧客に提供することも可能になる。つまり、機関室の設計に関しては、相対的に大きくなるほど、どのような設計を行うかの選択の自由度をもつことができる。どちらを選ぶかは、顧客との力関係や、企業のマーケティング戦略や製品開発戦略しだいである。

逆に、製品 A が相対的に小さい場合、空間的な制約が強くなることから、製品 A の構成



要素（部品群。仮に M とする）間是最適設計が指向され、製品 A の中アーキテクチャはインテグラル型が選択される傾向があると考えられる。すると、顧客の個別的な要求に応える余地がなくなり、標準設計（個別の顧客の要求に特殊な、カスタマイズ対応しない）が選択される。こうして、製品 A の中アーキテクチャはインテグラル型の標準設計となる傾向が考えられる。一方で、製品 A が相対的に小さいということは、製品 A が補完財 C に対して相対的に小さいということなので、製品 A の外アーキテクチャは補完財 C に対してすり合わせた（特殊な）設計も可能であるし、またモジュラー的（すり合わせない標準的）な設計を選択することも不可能ではない。つまり、製品 A の外アーキテクチャは、選択の自由度が増す。このように当該製品 A が相対的に小さい場合、A の外アーキテクチャ（全体システム S の中アーキテクチャ）は選択の自由度が増すが、A の中アーキテクチャはインテグラル型が選択されやすくなると考えられる。

本研究において注目した小型ばら積み船は、一方において海事システム S を構成する外モジュラーなサブシステム A として航路を選ばない汎用性を発揮し、多数の建造を可能にしていた。しかし、他方で、その機関室の艤装設計においては、最適設計が厳しく要求され、顧客特殊的な要求に対応する余裕がないため、標準設計になりやすいことが考えられた。

しかし、小型船でも、そうした最適設計の機関室の艤装設計（中インテグラルなアーキテクチャ）をベースに、海事システム特殊な設計あるいは補完財（あるいは用途）特殊な設計（外インテグラル）を選択することも考えられる。本研究ではそうした事例は観察されなかったが、例えば、新潟東港で利用されている新潟造船（旧新潟鐵工所）製造の曳航船（タグボート）の「朱鷺丸」は、総トン数は 196 トン程度、全長 34.55 メートル、幅 9.7 メートルと小さな船体であるが、大型船の側面を押して着岸させるために 4000 馬力程度と高出力のエンジンを搭載している。また、日本海の強い季節風に対応した操作性、復原性などを備えている<sup>2</sup>。また別の例では、漁船は、魚の種類やその地域の漁獲方法、限られた操業海域の気象や海象に適した製品設計が求められるため、船体の形状や材質、装備品、推進システムなどの違いにより、多種多様な漁船が存在している（池田，2015；酒井，2015）。このような、小型船で海事システムあるいは補完財に対して特殊な船体設計を選択されていると思われる事例については、より詳細な検討を行うことは今後の課題である。とはいえ、こうした事例もあることから、小型船の外アーキテクチャの選択については、比較的自由度が高いことが考えられる。

以上をまとめると、当該製品 A が相対的に大きい場合、外アーキテクチャはインテグラル的になりやすく、中アーキテクチャは選択の自由度が増す。当該製品が相対的に小さい場合、外アーキテクチャは選択の自由度が増すが、中アーキテクチャはインテグラル的になりやすくなる。本研究から、このような人工物の相対的な「大きさ」とアーキテクチャの関係を踏まえた設計選択を行なった企業が、競争力を持ちうることが考えられた。

---

<sup>2</sup> 日本海事新聞 2019 年 10 月 21 日

## 8.2 本研究の貢献と今後の研究課題

最後に、本節において、本研究の学術的貢献、実務的貢献、および今後に残された課題を検討する。先に簡単に述べると、本研究の貢献は、リサーチギャップに対して、意外と看過されてきた人工物の相対的な「大きさ」という要素を加えることで、製品アーキテクチャの階層的選択というテーマについて実証的に論じた点である。大きさに関して固着的な補完財や部品などに対する相対的な「大きさ」と、それにあわせて階層によって異なるアーキテクチャの選択を行うことにより、企業の競争力に貢献する可能性を指摘することができた。

一方で、相対的な「大きさ」と適合的なアーキテクチャの選択をしなかった場合に競争劣位になる可能性についての検討が、今後の検討課題として残されたと考えられる。

### 8.2.1 学術的貢献

第一に、本研究の貢献は、これまで意外と看過されてきた人工物の相対的な「大きさ」という要素を加えることで、製品アーキテクチャの階層的選択というテーマについて、実証的に論じた点である。本研究では、大きさに関して固着的な補完財や部品などに対する相対的な「大きさ」という概念を導入し、それにあわせて階層によって異なるアーキテクチャの選択を行うことによって、企業の競争力に貢献する可能性を指摘した。

そもそも、1章（1.1節冒頭）で取り上げた、過去の経営学における製品開発、生産、あるいはアーキテクチャに関する様々な議論の背後にありながら、意外にこれまで看過されてきた要因があると考えられた。それは、生産対象となる製品あるいは工程の「大きさ」である。もう少し正確に言えば、取り巻く何ものかに対する当該人工物の相対的な「大きさ」の問題である。この概念に焦点を当てることが、本研究の取り組むべき研究の余地であることが考えられた。

そして2章で検討したように、先行研究では、人工物を階層的なシステムとして捉える議論と、そこから発展した製品アーキテクチャの議論では、製品単体をシステム最上位に置いた分析が多かった。しかし、ある製品も、その周辺の消費空間そのものも、階層構造の一階層として示すことが可能であるという指摘もある（Langlois and Robertson, 1992）。これは、例えば自動車という製品を、下位の階層はエンジンやシャシーやボディといった部品からなるが、一方で、カーライフという上位の消費システムを構成する道路、保険、移動などといった要素とならぶ構成要素と位置づけられる（藤本, 2002b）ということである。このように、人工物の階層性を前提とすれば、焦点をあてる人工物が単体の製品であっても、それはより上位の（ハード的な製品とは限らない）システムを構成する一要素として位置づけることが可能である。2章での検討から、このように製品を見なすことによって、他のどの構成要素との相互依存関係を考える必要があるのか、どのような製品アーキテクチャを選択すべきか、といったことがより明確になると考えられた。しかし、これまでの製品アーキテクチャの議論では、そうしたハードウェア以外の上位のシステムまでをも射程に入れ、階

層構造的な視点を明示的に導入した議論は少なかったと考えられる。このようなりサーチギャップに対して、本研究は、海事システムを構成する一要素として船を位置づけ、製品アーキテクチャ分析を行うことによって、より上位のシステムとの相互依存関係をどのように設計するかという点に関する議論を補完したと考えられる。

さらに、人工物の階層性を分析視座とした Langlois and Robertson (1992) の議論では、全体的にオープン・モジュラー化していく過程を説明するにとどまっていた。しかし、新宅 (2009) や新宅・善本 (2009) は、上位階層に対するすり合わせ要素を下位の階層内に集約する「カプセル化」<sup>3</sup>と上位階層におけるモジュラー化が同時に起こる現象、つまり階層によって異なるアーキテクチャが選択されることがありうると指摘していた。すなわち、2.4 節においても検討されたが、市場や顧客のニーズや技術的制約といった、製品アーキテクチャの選択に影響を与える要因、制約が人工物システムの階層によって異なることが考えられる<sup>4</sup>。しかし、先行研究では、そうした点まで明示的に考慮に入れた議論はあまりなされてこなかった。これに対して、本研究は、補完財など他の何ものかに対する当該人工物の相対的な「大きさ」の概念を導入し、製品アーキテクチャの階層的選択を分析することにより、先行研究を補完することができたと考える。

第二に、船のような大規模な人工物の設計を取り上げたことにより、設計特性に影響する制約として議論されてきた社会的要因（環境、安全、法制度など）や知識的要因（科学、ノウハウ、技術）だけではなく、製品の「大きさ」という物理的要因が製品設計の特性に対して影響する要因の一つである可能性を指摘することができた。この点は、既存のアーキテクチャ論や製品開発論に対する一つの貢献であると考えられる。本研究の事例から、製品と補完財との相対的な関係によって、製品設計の選択の仕方、考え方が影響される可能性が考えられた。先行研究では、インテグラル／モジュラーのどちらになるかといった人工物の設計特性に影響をする要因に関して、知識的制約、社会的制約、物理的制約が挙げられていた（藤本，2013）。しかし、知識的制約や社会的制約と比べ、物理的制約に関しては、製品開発論、製品アーキテクチャ論、CoPS プロジェクトをはじめとした人工物の複雑性に関する議論でも、意外と看過されてきた。これに対して、製品アーキテクチャのような設計特性の選択にあたって、造船会社の複数の事例を通じて、製品の「大きさ」も考慮する必要があることが示唆された。

第三に、本研究は、特に 5 章、6 章の事例から、CoPS とされる船舶（Hobday, 1998）でも製品アーキテクチャを変化させうるという可能性を指摘した。先行研究では、例えば CoPS の議論ではインテグラル型＝複雑な製品システムをどうまとめるかが主な論点とな

---

<sup>3</sup> 本稿の以降の章において「カプセル化」という表現を用いる場合、特に断りがない限り、この意味で用いることとする。

<sup>4</sup> こうした議論からも、製品アーキテクチャの選択は、顧客や市場のニーズからの影響も受けるものであることが分かる。

り、複雑性に対処するためにどのようにアーキテクチャを変化させることができるのか、といった議論はあまりなかった。そこで本研究は、CoPS である船舶でも、設計組織が製品アーキテクチャを改変する可能性について検討することで、先行研究を補完したといえる。

## 8.2.2 実務的貢献

第一に、企業が製品アーキテクチャのような基本的な設計特性を選択する際、相対的な「大きさ」による制約＝補完財の規模との相対的な関係にも注意を払う必要があること示唆した。電子部品、自動車部品に限らず、人工物はその周囲の補完財が存在する中で使用される。また、生産するにあたっては、生産設備の制約も当然考慮される。このように、設計対象となる人工物のサイズは、実務的にはあまりにも基本的な要件であるため、逆にそれが設計においてどのような意味を持つのかは考察対象とならなかったと思われる。しかし、本研究では、質量や運動エネルギーが大きく、物理的な制約が厳しくかかる大型人工物の設計を取り上げたことにより、そうした製品の設計を行なうために、例えばサプライヤーや他部門と協業して知識の範囲を拡張し設計選択を見直すことや、あるいは人員を増強してさらなる複雑性に対処することなどが必要となることが示唆された。

第二に、これまで経営学ではなかなか焦点が当てられてこなかった、2010 年代までの日本の造船会社の競争力の背景を検討することができた。本研究は、後発国のキャッチアップにさらされながらも、伝統的な雁行形態論に反して競争力を維持してきた企業の取り組みに注目したことで、そうした企業がどのような取り組みをしてきたのかについて示唆を得られたと考える。それは、単に「ばら積み船を作っていた」といった単純な話ではない。企業規模、リソース、生産量、直面している市場など、諸条件の類似した事例を検討したことによって、企業が相対的な「大きさ」とそれに対して適切な製品アーキテクチャの階層的選択を同時に行うことが、競争力維持に影響を与える可能性が示唆された。このことが本研究の第二の実務的な貢献であると考えられる。

## 8.2.3 ディスカッションと今後の研究課題

第一に、本研究の結論からすると、製品の「大きさ」と適合的な製品アーキテクチャを選択していたことが、競争優位をもたらした要因のひとつであった。逆に言えば、製品の「大きさ」と適合的でない製品アーキテクチャを選択した場合に、競争劣位になりうるということが考えられる。しかし、本研究では、そうした競争劣位であった事例については、調査することができていない。この点は、本研究の今後の課題であると考えられる。

第二に、本研究の議論の他産業分野への応用可能性について、より詳細に検討することも今後の課題といえる。本研究の議論からすると、造船業界のアーキテクチャの選択は、ある意味で 1 章で言及したノート PC と異なる様相であるように思われる。それはなぜか。

製品全体の大きさと部品の大きさの相対的な関係を考えたとき、ノート PC は相対的に製品全体が大きくなるか部品が小さくなると、冗長な設計が可能になりモジュラーな設計が

選択される。ノート PC の場合は、キーボードのサイズなどが人の手のサイズが固着的であるため筐体はそこまで小型化しない。しかし、半導体など内部に搭載される部品は、ムーアの法則が働いて小型化していく。すると、ノート PC の中アーキテクチャは、冗長性のあるモジュラー的な設計になっていくことが多くなると考えられる（レッツノートのような例外はあるが）。

船の場合は、相対的に製品全体が大きくなっても、部品の大きさはほぼ不変である。そのため、船の内部では、冗長な設計が許容され、モジュラーな設計思想が選択されることが考えられる。ここまでは、ノート PC と同様である。しかし、相対的により大型の船になると、顧客のニーズに対してカスタマイズされた特殊設計が選択されることが多くなる。ノート PC は、大型であるほどにカスタマイズ（顧客特殊的）設計が選択されるというわけではない。

この違いが生じる理由は、船の場合、大型になるほど、顧客の要求が厳しくなったり、特殊な限定的なものになる。それは、長期用船契約（20 年超）が一般的になり、一度の航海が長期間・長距離運航となるので安全性の要求が厳しくなる。また、メンテナンス性、操作性、経済性（燃費など）の機能要求も厳しくなる。このように、船は、大型になるほど製品に対する要求が厳格化、高度化することが考えられる。一方で、ノート PC は大型（部品に対して相対的に冗長）になるからといって、一般的に顧客がより長期間使用するものではない。また、メンテナンス性などの機能要求が高度化、厳格化するわけでもない。市場や顧客の要因を考えると、このような違いがある。

さらに、供給側（生産側）の要因を考えると、「200 隻同じ船型を作り続けても、工賃は 20% しか下がらない」<sup>5</sup>とのコメントにもあるように、そもそも大ヒットの船型でも数十隻から 200 隻程度と生産数が少ない業界であり、さほど学習効果によるコスト低減が期待されていない業界でもある。また、大型船になるほど、限定的な海事システムに組み込まれることになるので、生産数も多くても数十隻程度となる。すると、ますます学習効果を期待されにくくなると考えられる。一方で、ノート PC は生産量も数万～数十万台で、一般的に学習効果や量産効果が期待されるのではないかと考えられる。

こうしたことから、船の場合、大型になるほど、顧客の特殊な要求にすり合わせする設計思想が選択されやすくなることが考えられる。このように考えると、製品の大きさ（と部品の大きさとの相対的な関係）というよりも、市場や顧客の性質や、生産数が、製品アーキテクチャの選択に影響しているように考えられ、本研究もそれ自体を否定するものではない。しかし、そうした市場や顧客の性質、あるいは生産数に影響を与える要因のひとつとして製品の相対的な「大きさ」が考えられる。そうであれば、製品の相対的な「大きさ」は、間接的にアーキテクチャ選択に影響する要因のひとつであるとはいえるであろう。

さらに、本研究は、造船会社を取り上げ、どのようにすり合わせているのかといった話に

---

<sup>5</sup> 今治造船設計部門担当の役員 2 名のコメント（2014 年 5 月 8 日）。

注目してきた。航空機の場合、例えばボーイング 787 型機の開発においては、ANA をはじめとするローンチカスタマーの要求が設計に反映され、それが標準設計として採用され、同一設計の航空機を世界中の航空会社やリース会社などの顧客が購入する。これに対して、造船業の場合、一番船の設計が必ずしも標準設計になるとは限らない。2 番船、3 番船・・・と同じシリーズでもカスタマイズ設計がなされることがある。この違いは、メーカーとオペレーターの交渉力の問題（多数の航空会社対少数の航空機メーカー、多数の船会社と多数の造船会社）や、あるいは船の方が積荷が多様であることも考えられるが、2 乗 3 乗の法則により、船の場合、理論上は重量増がいくらでも可能であることによることも考えられる。

最後に、本研究が取り上げた船舶は、世の中の人工物の中では相当大規模なものであり、あくまで極端な例である。本研究の議論が、他の製品・産業にどの程度応用可能なのかを検討することも、今後の課題である。造船産業と同様な製品・産業もあれば、逆の製品・産業もあると思われる。

例えば、造船産業と類似のパターンを見せると考えられる産業としては、建築産業やトラック産業がありうる。建築物は、大規模であるほど高度な建築技術が必要になる。大規模なものほど耐震性などの安全面や周辺住環境への配慮など法規制が厳しくなる。すなわち大規模になるほど、その建築物が存在する周りの環境との関係がセンシティブになる（藤本，2015；志手・藤本，2015）。また、トラックは大型で重量があるほど道路へのダメージがあるので、通行が規制され、用途や通行経路が特殊なものになる（税金も高くなる）。アメリカのクラスエイトや、ヨーロッパや中東などで長距離輸送用の大型トラックの場合、エンジンチェーンやトランスミッションのギア比など製品の階層システムの下位レベルにおいて、顧客ごとにカスタマイズされることも多い。

逆に、電子機器などは造船産業と対照的な様相になると考えられる。例えば、コンデンサは、小型化と大容量化（集積度）が技術進歩の方向であり、小型のものが使われる場合ほど、周辺部品との干渉問題がタイトであることを前提に設計されている。HDD もまた、小型化と大容量化（集積度）が技術進歩の方向である。断続的なイノベーションが起こると小型化し（Christensen, 1997）、より小型の PC など周辺部品との干渉問題の難易度が上がるような、より新分野の電子機器に対応する。ある規格（サイズ）が一定の中では、大容量化される方向で技術が発達する。

また、質量がないソフトウェアのような、論理設計されるものは、物理的制約を考慮する必要がないため、モジュラー化などの設計合理化を急速に進めることができる。

このように他の産業についても検討することにより、本研究の示唆の応用可能性、一般化可能性を考察する必要があると考える。

第三に、過去の造船・海事産業の事例との比較についても、今後に残された課題であると考えられる。本研究においては、2000 年代のばら積み船の製品開発に焦点を当てて議論を展開してきた。その事例では、船は海事システムの構成要素であり、海事システムに対する調整をどのようにするかが、大型船か小型船か中型船かで異なっていた。このように、その船が

使われる海事システムに対して調整がなされるということ自体は、戦前の日本造船業においてもみられた。例えば、日清汽船は揚子江で貨客輸送のために運航した船は、1927 年から 1929 年にかけて建造されたもので、揚子江の水深にあわせて浅喫水の設計がなされていたが、船体振動が大きかった。その後、日中戦争（支那事変）勃発を契機に輸送能力増強のために日清汽船が新造船を計画し、各造船会社に主要寸法、満載喫水、載貨重量トン、最高速力を指定して各造船会社に基本設計の提出を求めた。その結果、浦賀船渠での建造が決定され、昭和 14 年に第 1 船が就航した。この船の船体や機関は浅喫水に対応した設計がなされ、従来の船体振動などが大幅に改善された（日本造船学会，1977）。また、1930 年建造の「畿内丸」<sup>6</sup>、1931 年建造の「霧島丸」の登場をきっかけに、ディーゼルを主機関とする高速貨物船が多数建造され、横浜からサンフランシスコやニューヨークの航路などで就航し、平均 17.93 ノットの速力を記録した。1930 年代に登場した高速の外航貨物船は、日本の船隊の質を向上させる目的で、老齢船の解体・新造船をするものに対して助成金が出されたことで促され、同型船の建造も行われていた（日本造船学会，1977；1997）。また、1930 年代は旧満州などの中国大陆、東南アジア、朝鮮半島、南洋群島などとの人・貨物の輸送力強化が求められた時期でもあった。そこで、近海船でも、例えば、「盤谷丸」（1937 年建造）という貨客船は、サイゴンを経て、チャオプラヤ川（メナム川）を遡行してバンコクに到達するために喫水 4.25m で 2,400DWT を確保する設計がなされた（日本造船学会，1977）。こうした戦前の事例も海事システムに対して調整された船の設計がなされていると捉えることができるが、戦前のこれらの事例は日本政府やあるいは船会社側の既存の顕在化したニーズがあり、それに造船所が対応したという事例であった。これに対して、本研究で注目した事例は、船会社や荷主といった顧客側との意思疎通はあるが、造船会社側から顧客に対してソリューションを提案するという側面があったところが異なる点であると考えられる。このように、過去の事例と現代の事例を比較検討することは、学問的にも実務的にも有意義であるが、これに関するさらなる深掘りは今後の研究課題としたい。

他にも、本研究には研究課題が残されている。本研究は、ばら積み船の事例を対象を絞って議論してきたが、ばら積み船以外の船の場合だとどうなのかについては今後の検討課題である。

本研究は、ばら積み船を主力とする造船専業「中手」（「強手」）に絞って検討してきたが、他社、例えば日本の「大手」企業、韓国企業、中国企業などについても、検討の余地が残さ

---

<sup>6</sup> 畿内丸は、大阪商船が三菱長崎造船所に建造させた。この畿内丸は、主機の性能向上と船体の推進性能向上により、最高速力 18 ノットと、当時としてはきわめて高速な貨物船で、横浜・ニューヨーク間を 28 日で運航した。従来、北米東海岸には、日本から北米太平洋岸までは海上輸送、上陸後は鉄道輸送によって貨物が輸送されていたが、この船の登場により、直接海上輸送で東海岸まで到達するようになった。これが、各社が競ってニューヨーク航路に高性能な船を就航させるきっかけとなった（日本造船学会，1977；拓海，2018）。

れていると考えられる。

さらに、アジアだけではなく、ヨーロッパの企業についても注目すべき近年の動きがある。ヨーロッパの企業の中には、ライセンスなどを保有した船用工業企業が「システムインテグレータ」として、要素技術を統合したシステムを、ヨーロッパだけではなく韓国や中国の企業に提供するビジネスモデルをとっている企業がある（国土交通省海事局，2020b）（図8-2、8-3）。こうした企業の動きが、船舶のアーキテクチャにどのような影響を与えるのかは、今後の検討課題である。

図 8-2 船舶の付加価値領域のシフト

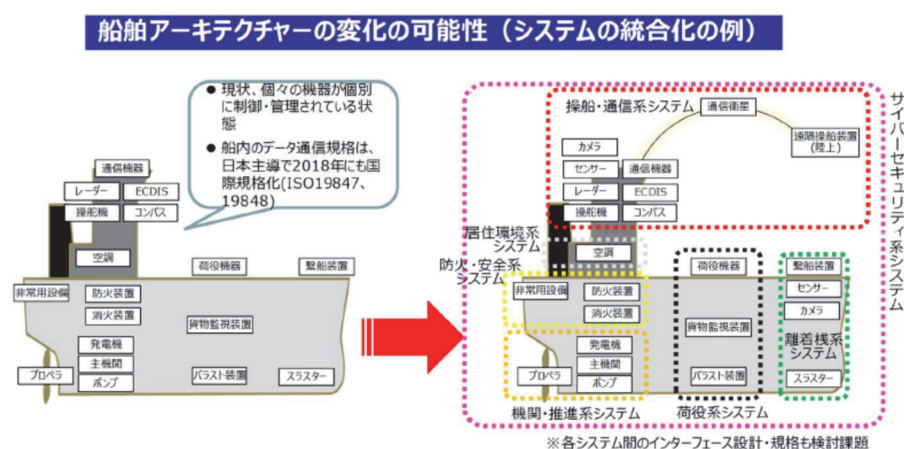


図 16 船舶の付加価値領域のシフト

（出所）国土交通省海事局（2020b）p26 より引用

図 8-3 欧州の巨大システムインテグレーターの台頭

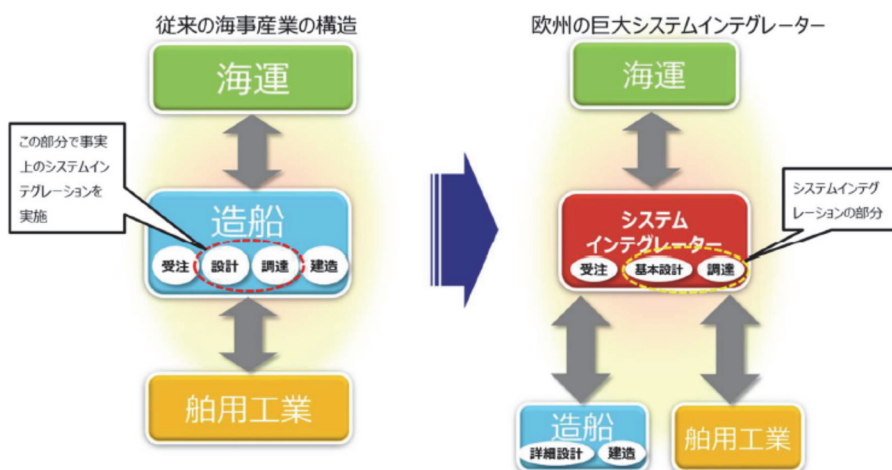


図 17 欧州の巨大システムインテグレーターの台頭

（出所）国土交通省海事局（2020b）p26 より引用



## 参考文献

- Abernathy, W. J. (1978) *The Productivity Dilemma*, John Hopkins University Press.
- Abernathy, W. J., K. B. Clark and A. M. Kantrow (1983) *Industrial Renaissance*, Basic Books.  
(望月嘉幸監訳 (1984) 『インダストリアルルネサンス』 TBS ブリタニカ)
- 赤倉康寛・瀬間基広 (2011) 「潮位を利用したバルクキャリアの入港に関する考察」『国土技術政策総合研究所研究報告』 No.47, 1-39.
- 赤松要 (1956) 「我が国産業発展の雁行形態－機械器具工業について」『一橋論叢』 36(5)、514-526
- Alexander, C. (1964) *Notes on the Synthesis of Form*, Cambridge, MA: Harvard University Press. (稲葉武司・押野見邦英訳 (2013) 『形の合成に関するノート/都市はツリーではない』 鹿島出版会)
- Allen, T. J. (1977) *Managing the flow of technology*. Cambridge, MA: MIT Press.
- 青木昌彦・安藤晴彦編 (2002) 『モジュール化 新しい産業アーキテクチャの本質』 東洋経済新報社
- 天沼春樹 (1995) 『飛行船ものがたり』 NTT 出版
- 網倉久永・新宅純二郎 (2011) 『経営戦略入門』 日本経済新聞社
- 青島矢一・武石彰 (2001) 「アーキテクチャという考え方」 藤本隆宏・武石彰・青島矢一編 (2001) 『ビジネス・アーキテクチャ：製品・組織・プロセスの戦略的設計』 有斐閣, 27-70.
- Arthur, W. B. (2009) *The Nature of Technology: What It Is and How It Evolves*, New York: Free Press.
- Ashby, W.R. (1956) *An Introduction to Cybernetics*, London: Chapman and Hall.
- 麻生潤 (2007) 「造船大手企業の事業統合と建造設備」 同志社商学 58(6), 442-455.
- 麻生潤 (2008) 「造船：大量建造システムの移転と変容」 塩地洋編『東アジア優位産業の競争力－その要因と競争・分業構造－』 2 章, ミネルヴァ書房
- Baldwin, C. Y. and K. B. Clark (2000) *Design Rules: Volume 1. The Power of Modularity*, Cambridge, MA: MIT Press (安藤晴彦訳 (2004) 『デザイン・ルール：モジュール化パワー』, 東洋経済社)
- Barlow, J. (2000). Innovation & learning in complex offshore construction projects. *Research Policy*, 29, 973-989.
- Brusoni, S., A. Prencipe and K. Pavitt (2001) “Knowledge specialization, organizational coupling, and the boundaries of the firm: Why do firms know more than they make?”, *Administrative Science Quarterly*, 46(4), pp597-621.
- Cho, D. S. and Porter, M.E. (1986) “Changing global industry leadership: the case of shipbuilding” in Porter, M. E.(ed) *Competition in Global Industries*. Boston, Mass:

Harvard Business School Press.

張珈銘 (2011)「中国造船業の成長と船用工業－「組立産業型」と「国内供給型」－」『アジア経営研究』17, 157-167.

Christensen, C.M.(1997) *The Innovator's Dilemma: When New Technologies Cause Great Firms to Fail*, Harvard Business School Press(玉田俊平太・伊豆原弓訳(2001)『イノベーションのジレンマ－技術革新が巨大企業を滅ぼすとき』翔泳社).

「造船活況② コスト減・技術で勝負 規格統一や高付加価値船」中国新聞 2007 年 10 月 24 日

Clark, K.B. (1985) "The interaction of design hierarchies and market concepts in technological evolution", *Research Policy*, 14(5), pp235-251

Clark, K.B. and T. Fujimoto (1991) *Product Development Performance*, Boston: Harvard Business School Press. (田村明比古訳 (1993)『製品開発力』ダイヤモンド社)

Clarkson Research (各年版) *World Shipyard Monitor*

Clarkson Research Studies (2014) "World Shipyard Monitor"21(12), Clarkson Research Studies

Cusumano, M. A., and Selby, R. W. (1995) *Microsoft Secrets*. New York: Free Press.

Davies, A. and Hobday, M. (2005) *The Business of Projects: Managing Innovation in Complex Products and Systems*, Cambridge University Press, New York.

ダイヤモンド会社探検隊 (2008)『会社の歩き方 常石造船カンパニー』ダイヤモンド社

愛媛県生涯学習センター (1995)「データベース『えひめの記憶』臨界都市圏の生活文化 第 1 章 海 と 港 に 生 き る」(<http://www.i-manabi.jp/system/regionals/regionals/ecode:1/5/contents>) (2014 年 6 月 17 日・2017 年 1 月 1 日アクセス)

恵美洋彦 (2010)『英和版 船体構造イラスト集 (新装版)』成山堂

Fine, C.H.(1998) *Clockspeed: Winning Industry Control in the Age of Temporary Advantage*, Reading, Perseus Books. (小幡照雄訳 (1999)『サプライチェーン・デザイナー企業進化の法則』日経 BP 社)

Fixson, S.K. and J. K. Park (2008) "The power of integrality: linkage between product architecture, innovation and industry structure", *Research Policy*, 37(8), pp1296-1316

Fujimoto, T. (1989) *Organizations for Effective Product Development: The Case of the Global Automobile Industry*, Unpublished D.B.A. dissertation., Harvard Business School.

藤本隆宏 (2000)「製品開発の基本構造とコンティンジェンシー仮説：問題解決フレームワーク」, 藤本隆宏・安本雅典編『成功する製品開発：産業間比較の視点』有斐閣, 235-256.

藤本隆宏 (2001a)「アーキテクチャの産業論」藤本隆宏・武石彰・青島矢一編 (2001)『ビジネス・アーキテクチャ：製品・組織・プロセスの戦略的設計』有斐閣, 3-26.

- 藤本隆宏 (2001b) 『生産マネジメント入門Ⅰ・Ⅱ』 日本経済新聞社
- 藤本隆宏 (2002a) 「新製品開発と競争力ー我田引水的文献サーベイを中心にー」 『赤門マネジメント・レビュー』 1(1),1-32.
- 藤本隆宏 (2002b) 「製品アーキテクチャの概念・測定・戦略に関するノート」 『RIETI Discussion Paper Series』 経済産業研究所 02-J-008.
- 藤本隆宏 (2004) 『日本のもの造り哲学』 日本経済新聞社
- 藤本隆宏 (2013) 「複雑化分析のフレームワーク」, 藤本隆宏編『「人工物」複雑化の時代』 有斐閣, 27-66.
- 藤本隆宏 (2015) 「建築物と「広義のものづくり」分析」 藤本隆宏・野城智也・安藤正雄・吉田敏編『建築ものづくり論』 有斐閣, 19-60.
- Fujimoto, T. (2018) "A Design-Information-Flow View of Industries, Firms, and Sites," Fujimoto, T. and F. Ikuine(eds.) *Industrial Competitiveness and Design Evolution*, Evolutionary Economics and Social Complexity Science 12, Springer Japan, pp5-41.
- 藤本隆宏・武石彰・青島矢一 (2001) 『ビジネス・アーキテクチャ：製品・組織・プロセスの戦略的設計』 有斐閣
- 藤本隆宏・新宅純二郎編 (2005) 『中国製造業のアーキテクチャ分析』 東洋経済新報社
- 藤本隆宏・K.B.クラーク (2007) 「プロダクト・インテグリティすり合わせの製品開発力」 *"Diamond Harvard Business Review,"* 32 (8) , ダイヤモンド社, 86-102
- 藤本隆宏・桑嶋健一編 (2009) 『日本型プロセス産業 ものづくり経営学による競争力分析』 有斐閣
- 藤本隆宏・野城智也・安藤正雄・吉田敏編 (2015) 『建築ものづくり論』 有斐閣
- 福田良春 (2010) 「船殻 3D モデルの実船適用」 『名村テクニカルレビュー』 13, 52-57.
- 福島武夫 (2012) 『造船王国の新しい選択』 文芸社
- 福澤光啓 (2008) 「製品アーキテクチャの選択プロセスーデジタル複合機におけるファームウェアの開発事例」 『組織科学』 ,41 (3) ,55-67
- 船の百科事典編集委員会編 (2015) 『船の百科事典』 丸善出版
- Gann, D. M., and Salter A. J. (2000). Innovation in project-based, service-enhanced firms: The construction of complex products and systems. *Research Policy*, 29, 955–973.
- Gawer, A., and M.A. Cusumano (2002) *Platform Leadership: How Intel, Microsoft, and Cisco Drive Industry Innovation*, Boston, Mass: Harvard Business School Press. (小林俊男訳 (2005) 『プラットフォーム・リーダーシップ』 有斐閣)
- GAZOO ウェブサイト ([https://gazoo.com/car/history/Pages/car\\_history\\_017.aspx](https://gazoo.com/car/history/Pages/car_history_017.aspx)) 2016 年 12 月 31 日アクセス
- Geyer, A., and Davies, A. (2000). Managing project-system interfaces: Case studies of railway projects in restructured UK and German markets. *Research Policy*, 29, 991–1013.
- Göpert, J. and M. Steinbrecher (1999) *Modular Product Development: Managing Technical*

*and Organizational Independencies*, mimeo.

原田武重 (2012) 『IHI に今も息づくシントーイズム 日本の「モノづくり」を元気にするために』 文芸社

橋本剛 (2015) 「3 章 人とももの運ぶビジネス (海運) 3.3 海運の各分野と市場 LNG 船: ビジネスと市場参加」 船の百科事典編集委員会編 (2015) 『船の百科事典』 丸善出版, 283-291.

Henderson, R. and K. B. Clark (1990) “Architectural innovation: The reconfiguration of existing product technologies and the failure of established firms”, *Administrative Science Quarterly*, 35(1), pp9-30.

日野満 (2014) 「愛媛国際海運業の発達と現状」 清野良榮編 『海事産業の未来と現状 愛媛から世界へ』 晃陽書房, 64-88.

Hobday, M. (1998). “Product complexity, innovation and industrial organization”, *Research Policy*, 26(6), pp689-710.

Iansiti, M. (1998) *Technology Integration*. Boston, MA: Harvard Business School Press.

(NTT コミュニケーションウェア株式会社訳 (2000) 『技術統一理論・経営・問題解決』 NTT 出版)

池田宗雄 (2015) 『船舶知識の ABC (9 訂版)』 成山堂

池田良穂 (2008) 『船の最新知識』 SB クリエイティブ

池田良穂 (2009) 『プロが教える船のすべてがわかる本』 ナツメ社

池田良穂 (2017a) 『トコトンやさしい船舶工学の本』 日刊工業新聞社

池田良穂 (2017b) 『基礎から学ぶ海運と港湾』 海文堂

今治造船 (1977) 『今治造船史』 内航ジャーナル

今治造船 (1987) 『造船一筋無量之航跡: 桧垣正一翁』 内航ジャーナル

今治造船 (2005) 『船造り一筋 喜寿 檜垣俊幸』 海事プレス

今治造船 (2014) 「THE IMABARI SHIPBUILDING GROUP」 今治造船株式会社

今治造船 (2016) 「Partner One 人にも地球にも未来にも For people, earth, and future: The Imabari Shipbuilding Group Corporate Profile」 今治造船株式会社

今治造船ホームページ ([http://www.imazo.co.jp/html/comp/news\\_list.html](http://www.imazo.co.jp/html/comp/news_list.html)) 2017 年 1 月 1 日、2020 年 9 月 3 日アクセス

今治造船ホームページ (<http://www.imazo.co.jp/html/comp/news/090330.html>) 2014 年 6 月 17 日アクセス

今治造船ホームページ (<https://www.imazo.co.jp/news/121029/>) 2020 年 9 月 3 日アクセス

今治造船ホームページ (<https://www.imazo.co.jp/news/131030/>) 2020 年 9 月 3 日アクセス

今治造船ホームページ (<https://www.imazo.co.jp/news/140613/>) 2020 年 9 月 9 日アクセス

ス

今治造船ホームページ (<https://www.imazo.co.jp/news/141203/>) 2020 年 9 月 9 日アクセス

今治造船ホームページ (<https://www.imazo.co.jp/news/151001-2/>) 2020 年 9 月 3 日アクセス

今治造船ホームページ (<https://www.imazo.co.jp/news/150106/>) 2020 年 9 月 9 日アクセス

今治造船ホームページ (<https://www.imazo.co.jp/news/160511/>) 2020 年 9 月 3 日アクセス

今治造船ホームページ (<https://www.imazo.co.jp/news/170530/>) 2020 年 9 月 3 日アクセス

今治造船ホームページ (<https://www.imazo.co.jp/news/170922/>) 2020 年 9 月 3 日アクセス

今治造船ホームページ (<https://www.imazo.co.jp/news/190627/>) 2020 年 9 月 9 日アクセス

今治造船ホームページ (<https://www.imazo.co.jp/news/190829/>) 2020 年 9 月 3 日アクセス

今治造船ホームページ (<https://www.imazo.co.jp/news/200327/>) 2020 年 9 月 9 日アクセス

今治造船ホームページ (<https://www.imazo.co.jp/ship/technology/>) 2020 年 9 月 9 日アクセス

今治造船ホームページ (<https://www.imazo.co.jp/news/201218/>) 2020 年 12 月 29 日アクセス

今橋武・沖野敏彦 (2008)『船用ディーゼル機関の基礎と実際』海文堂出版

井上一規 (2015a)「1 章 船とは何か? 1.1 船の役割 コンテナ船」船の百科事典編集委員会編 (2015)『船の百科事典』丸善出版, 28-32.

井上一規 (2015b)「1 章 船とは何か? 1.1 船の役割 タンカー」船の百科事典編集委員会編 (2015)『船の百科事典』丸善出版, 38-42

井上一規 (2015c)「1 章 船とは何か? 1.1 船の役割 液化ガス専用船」船の百科事典編集委員会編 (2015)『船の百科事典』丸善出版, 43-45.

井上一規 (2015d)「1 章 船とは何か? 1.1 船の役割 ばら積み船」船の百科事典編集委員会編 (2015)『船の百科事典』丸善出版, 46-48

井上一規 (2015e)「1 章 船とは何か? 1.1 船の役割 鉄鉱石専用船」船の百科事典編集委員会編 (2015)『船の百科事典』丸善出版, 49

伊丹敬之・伊丹研究室 (1992)『日本の造船業 世界の王座をいつまで守れるか』NTT 出版

- 伊藤薫 (2005) 「中国産業のアーキテクチャ特性とわが国空洞化論の関係」 藤本隆宏・新宅純二郎編『中国製造業のアーキテクチャ分析』 (2 章) 東洋経済, 23-55.
- 伊藤宗彦 (2005) 『製品戦略マネジメントの構築 デジタル機器企業の競争戦略』 有斐閣
- 糸山直之 (2012) 『LNG 船が分かる本 (新訂版) 』 成山堂
- いよぎん地域経済研究センター (2007) 「西日本の造船業～その現状と今後の展望～」いよぎん地域経済研究センター
- いよぎん地域経済研究センター (2014) 「愛媛の外航海運業 (外航船主) の現状と今後の方向性」 『Challenge & Smile』 No.14-086, いよぎん地域経済研究センター
- 海事産業研究所 (2001) 「日本造船業が直面する国際環境の変化に関する調査研究報告書」 日本船主協会
- 海事プレス (2009) 「28 型バルカー建造 100 隻達成 今治造船」 『COMPASS』 2009 年 5 月号, 58-59.
- 海事プレス (2013) 「同型船建造 100 隻越えが続出 IHI の「フリーダム」の記録も抜かれる」 『COMPASS』 2013 年 3 月号, 66-67.
- 海事プレス (各年版) 「KP DATA」
- 上小城伸幸 (2004) 「日本造船業の構造変化:1989 年以降の好況期における「大手」の低迷と「中手」の台頭」 『一橋研究』, 29(2), pp.7-20.
- 「横浜寄港の欧州航路再開 世界最大級コンテナ船に対応」 神奈川新聞 2019 年 5 月 20 日 (<https://www.kanaloco.jp/article/entry-168747.html>) (2019 年 8 月 22 日アクセス)
- 金子仁 (2015) 「2 章 海を渡る (航海) 2.4 操船 機関運転管理と機関保守管理」 船の百科事典編集委員会編 (2015) 『船の百科事典』 丸善出版, 184-185.
- 関西造船協会編集委員会編 (2010) 『船—引合から解船まで』 (第 3 版) 日本船舶海洋工学会
- 粕谷誠 (2012) 『ものづくり日本経営史 江戸時代から現代まで』 名古屋大学出版会
- 加藤昭吉 (1965) 『計画の科学—どこでも使える PERT・CPM』 講談社ブルーバックス
- 加登豊 (1993) 『原価企画—戦略的コストマネジメント』 日本経済新聞出版
- 川崎重工業 (2017) 「川崎—MAN B&W 2 サイクルディーゼル機関プログラム 1<sup>st</sup> edition 2017」 川崎重工業
- 川崎汽船ホームページ ( <https://www.kline.co.jp/ja/news/other/other-5980800556142413106.html>) (2019 年 9 月 19 日アクセス)
- 川崎豊彦 (2017) 『図解入門よくわかる最新船舶の基本と仕組み』 (第 3 版) 秀和システム
- 金田一京助・柴田武・山田明雄・山田忠雄編 (1995) 『新明解国語辞典』 (第四版), 三省堂
- 古賀大地 (2017) 「株式会社名村造船所 250,000DWT 型鉾石運搬船 第二世代「WOZMAX」の紹介」 『名村テクニカルレビュー』 No.20, 30-35.
- 国土交通省海事局 (2014) 「海事レポート 2014」
- 国土交通省海事局 (2017) 「造船市場の現状」 (第 4 回海事イノベーション部会)

- (<https://www.mlit.go.jp/common/001215818.pdf>) 2020 年 9 月 27 日アクセス
- 国土交通省海事局 (2020b)「海事産業将来像検討会 報告書 令和 2 年 5 月」
- 国土交通省海事局 (2020c)「海事レポート 2020」
- 国土交通省海事局 (2020d)「数字で見る海事 2020」
- 国土交通省海事局 (<https://www.mlit.go.jp/common/001133387.pdf>) 2020 年 9 月 27 日アクセス
- 國領二郎 (1999)『オープン・アーキテクチャ戦略』ダイヤモンド社
- 近能善範 (2001)「自動車部品サプライヤーのマスカスタマイゼーション戦略」『日本経営学会誌』7, 84-95.
- 小島清 (2003)『雁行形態経済発展論』文眞堂
- 具承桓 (2008)『製品アーキテクチャのダイナミズム』ミネルヴァ書房
- 具承桓・加藤寛之・向井悠一郎 (2010)「造船産業のダイナミズムと中手メーカーの製品戦略：国際競争構図の変化と新たな取り組み」東京大学 MMRC ディスカッションペーパー, No.286
- 具承桓・加藤寛之 (2013a)「船舶開発と造船産業 大型人工物の制約とビジネスシステムの不確実性」藤本隆宏 (編)『人工物複雑化の時代』359-387.
- 具承桓・加藤寛之 (2013b)「日韓産業競争力の転換メカニズム—造船産業の事例—」『組織科学』46(4)4-18.
- 楠木建・ヘンリー・W, チェスブロウ (2001)「製品アーキテクチャのダイナミック・シフト」藤本隆宏・武石彰・青島矢一 (編著)『ビジネス・アーキテクチャ：製品・組織・プロセスの戦略的設計』有斐閣, 263-285.
- 桑嶋健一 (2002)「新製品開発研究の変遷」『赤門マネジメント・レビュー』1(6), 463-496.
- 桑嶋健一 (2003)「新製品開発における“顧客の顧客”戦略—化学産業の実証分析を通して」『研究技術計画』18(3/4), 165-175.
- Langlois, R. N. (2002) “Modularity in technology and organization”, *Journal of Economic Behavior and Organization*, 49(1), pp19-37
- Langlois, R. N. and P. L. Robertson (1992) “Networks and Innovation in a Modular System: Lessons from the Microcomputer and Stereo Component Industries”, *Research Policy*, 21(4), pp297-313.
- Langlois, R. N. and P. L. Robertson (1995) *Firms, Markets and Economics Change: A Dynamic Theory of Business Institutions*, Routledge, London. (谷口和弘訳(2004)『企業制度の理論』NTT 出版))
- Lloyd's Register-Fairplay (2008) "World shipbuilding statistics DECEMBER 2008" Lloyd's Register-Fairplay.
- 前間孝則 (2005)『戦艦大和の遺産』講談社
- 丸川知雄 (2007)『現代中国の産業：勃興する中国企業の強さと脆さ』中央公論新社

- Mikkola, J. H. (2003) “Modularity, component outsourcing, and inter-firm learning”, *R&D Management*, 33(4), pp439-454.
- 三井 E&S マシナリー (2019)「MITSUI-MAN B&W TWO STROKE MARINE DIESEL ENGINE ME Programme 2019」三井 E&S マシナリー
- 光田明生 (2015)「3 章 人とものを運ぶビジネス (海運) 3.3 海運の各分野と市場 不定期船 タンカー」船の百科事典編集委員会編 (2015)『船の百科事典』丸善出版, 278-282.
- 溝田誠吾 (1997)『造船重機械産業の企業システム (第 2 版)』森山書店
- 森隆行 (2005)「国際物流の基礎知識 第 2 回 第二船籍制度とは？」『月刊ロジスティクス・ビジネス (LOGI-BIZ)』2005 年 5 月号, 82-83.
- 森田喜信 (2015)「3 章 人とものを運ぶビジネス (海運) 3.3 海運の各分野と市場 不定期船, ドライバルカー」船の百科事典編集委員会編 (2015)『船の百科事典』丸善出版, 268-277.
- 向井悠一郎 (2011)「製品アーキテクチャの変化と組織間コンフリクトの相互作用：船舶の機関部設計の事例」東京大学大学院経済学研究科修士論文
- 向井悠一郎 (2013)「組織の境界と知識の境界の不一致：複雑・大規模な製品の開発—経営学輪講 Brusoni, Prencipe, and Pavitt (2001)—」『赤門マネジメント・レビュー』12(7), 515-536.
- 向井悠一郎 (2014)「複雑な製品システムのイノベーション—経営学輪講 Hobday (1998)—」『赤門マネジメント・レビュー』13(1), 21-36.
- Mukai, Y. (2014) “Technological change from analog to digital: Aircraft engine control system”, *Annals of Business Administrative Science*, 13, 329-342.
- Mukai, Y. (2015) “Cost competitiveness and supply chain of Japanese companies: a case of shipbuilding”, Global Supply Chain Management Conference, 中国・浙江大学, 2015 年 3 月 28 日
- 向井悠一郎 (2015)「非高付加価値市場における日本企業の優位性—造船産業の事例」日本経営学会第 89 回, 2015 年 9 月 4 日, 熊本学園大学
- 向井悠一郎 (2016a)「近年の造船産業の非雁行形態的進化」第 20 回進化経済学会東京大会, 2016 年 3 月 26 日, 東京大学本郷キャンパス
- 向井悠一郎 (2016b)「設計組織による製品アーキテクチャの改変：非高付加価値・非先端技術分野における日本企業の製品開発組織」『日本経営学会誌』37, 29-39.
- 向井悠一郎 (2020a)「製品アーキテクチャの階層性に関するノート」『高崎経済大学論集』63 (1), 139-154.
- 向井悠一郎 (2020b)「すり合わせ要素の「カプセル」としての製品：今治造船の小型ばら積み船の事例」高崎経済大学経済学会ワーキングペーパー, 2020 年 9 月 17 日
- 向井悠一郎・新宅純二郎・朴英元・辺成祐 (2015)「高付加価値船に集中する韓国造船業」



- 『赤門マネジメント・レビュー』 14(3), 169-188.
- Myers, S., and Marquis, D. G. (1969). *Successful industrial innovations: A study of factors underlying innovation in selected firms*, Washington, DC: National Science Foundation.
- 長島聡 (2014)「標準を利用した戦略的クルマづくり 第4回: Volkswagen 社「MQB」の狙い 車両の60%にモジュールを活用 10年かけてコストを回収」『日経 Automotive Technology』2014年1月号, 96-97.
- 長塚誠治 (1998)『21世紀の海運と造船—世界と日本の動向—』成山堂書店
- 中川功一 (2008)「システミック・イノベーションに対するコンポーネントメーカーの事業戦略: TDKのHDD用磁気ヘッド事業の事例分析より」『一橋ビジネスレビュー』56(2), 200-211.
- 中川功一 (2011)『技術革新のマネジメント—製品アーキテクチャによるアプローチ』有斐閣
- 中村直樹・深澤義仁・武田将人 (2011)「ハンディバルカー最前線」『COMPASS』2011年11月号, 海事プレス, 11-19.
- 中村直樹・対馬和弘・廣末繁吹 (2015)「圧倒するメガクラスター 海事都市・今治 統合10年、不況下の成長力」『COMPASS』2015年3月号, 海事プレス, 14-33.
- 中山和彦 (2011)「新船型 250,000DWT 型鉱石運搬船「WOZMAX」の紹介」日本船舶海洋工学学会ホームページ ([https://www.jasnaoe.or.jp/old\\_sites/jasnaoe02/mailnews/west/039/article01.html](https://www.jasnaoe.or.jp/old_sites/jasnaoe02/mailnews/west/039/article01.html)) 2020年9月19日アクセス
- 名村造船所「有価証券報告書」(各年度)
- 名村造船所55年史編纂委員会 (1967)『造船55年』名村造船所
- 名村造船所百年史編集委員会 (2012)『名村造船所百年史』株式会社名村造船所
- 名村造船所 (2016)「有価証券報告書」(第117期)
- 名村造船所企画部 (2017)「20周年記念 株式会社名村造船所 名村テクニカルレビューでみる20年」『名村テクニカルレビュー』20, 10-21.
- 名村造船所 (2020)「有価証券報告書 (第121期)」
- 名村造船所ホームページ (<https://www.namura.co.jp/ja/news/news-5460751590938873276/main/0/link/141029.pdf>) (2019年9月19日アクセス)
- 名村造船所ホームページ (<https://www.namura.co.jp/ja/product/ship/case/20170511.html>) (2019年9月19日・2020年10月28日アクセス)
- 名村造船所ホームページ (<https://www.namura.co.jp/ja/news.html>) 2020年10月28日アクセス
- 「七つの海を支える造船ニッポン⑥ 成長のシナリオは 常石造船カンパニー社長神原勝成氏に聞く」日刊工業新聞 2007年4月19日
- 「韓国サムスン、ベトナム事業多角化、家電やインフラに投資、1兆円規模」日経産業新聞

2014 年 6 月 19 日

日本ジュース・ターミナルホームページ (<http://www.fcoj.co.jp/products/system.html>)

2019 年 8 月 20 日アクセス

日本海事センター (2012)「各県別海事産業の経済学」日本海事センター企画研究部

日本海事広報協会 (2006)「数字で見る日本の海運・造船 (2006 年版)」日本海事広報協会

日本海事協会 (2003)「MSC76 での審議結果の紹介」Class NK テクニカルインフォメーション, No. TEC-0498

日本海事協会 (2006)「技術規則解説 鋼船規則 A 編一部改正並びに鋼船規則 CSR-B 編及び CSR-T 編制定に関する解説 (IACS 共通構造規則 (CSR) の取り入れ)」『日本海事協会誌』276 号 (平成 18 年臨時特集号)

日本海事協会ホームページ (<https://www.classnk.or.jp/hp/ja/activities/csrh/>) 2020 年 9 月 19 日アクセス。

「日本郵船／新日鉄から長期積荷保証。230 型鉱石船を名村に発注」日本海事新聞 1998 年 11 月 11 日

「日鉄海運／ベトナム船員配乗船、4 隻目が運航。三井造船竣工の鉱石船」日本海事新聞 1999 年 3 月 2 日

「名村造船所／23 万トン型鉄鉱石船、伊万里事業所で一般公開」日本海事新聞 2001 年 2 月 7 日

「商船三井／新日鉄と長期積荷保証契約。23 万重量トン型鉱石船、今治で 04 年 6 月竣工。NK K176 型、三井造 177 型を新造用船」日本海事新聞 2001 年 7 月 2 日

「名村造船所／豪リオ・ティントから 9 万重量トン型バルカー 3 隻受注。幅 43 メートル・浅喫水・二重船側」日本海事新聞 2004 年 12 月 15 日

「【ラウンジ】池田幹範・名村造船所取締役営業本部長／大型成約に安どの表情」日本海事新聞 2004 年 12 月 17 日

「豪州資源各社／ケープ型、検査強化。船齢 25 年超の入港排除」日本海事新聞 2006 年 5 月 30 日

「船用メーカーと協力、機関室を高度化」日本海事新聞 2006 年 9 月 4 日

「日本郵船／鉱石船「WOZMAX」正式契約。西豪州積み最大船型、名村造船所と 2 隻」日本海事新聞 2007 年 3 月 20 日

「【海の日特集・海運・造船編】造船各社ニューデザイン開発・投入:名村造船所/25 万重量トン型 VLOC「WOZMAX」:豪州トレードに特化へ」日本海事新聞 2008 年 7 月 22 日

「名村造船所/VLCC 第 1 船を引き渡し。商船三井向け」日本海事新聞 2009 年 10 月 2 日

「【新年号・外航・造船・内航編】国内造船、挑む「生産性」:名村造船所/2 割アップ完了」日本海事新聞 2010 年 1 月 1 日

「【インタビュー】リオ・ティント海運部門エグゼクティブ・ゼネラル・マネジャー ピーター・ライ氏:資源会社の海上輸送戦略」日本海事新聞 2010 年 7 月 29 日

「日本郵船/WOZMAX 第 1 船竣工。「宝富」、宝山鋼鉄向け」日本海事新聞 2010 年 10 月 28 日

「『バーレ・ブラジル』苦難の船出/新造 40 万重量トン型竣工も…アグネリ CEO 更迭」日本海事新聞 2011 年 4 月 20 日

「【インタビュー】ブラジル資源大手ヴァーレに聞く/40 万トン型投入、「大型化はトレンド」。中国港湾受け入れ、整い次第配船へ。マレーシアの輸送中継基地、14 年供給開始めざす」日本海事新聞 2011 年 11 月 30 日

「リオティントマリン COO マイケル・ハーベイ氏:資源会社の海上輸送戦略」日本海事新聞 2011 年 12 月 14 日

「中国船協/中国政府の入港規制、35 万トン超鉄鉱石船対象」日本海事新聞 2012 年 2 月 6 日

「【ドライ市場 資源・穀物メジャーの台頭】(上)/鉄鉱石増産で高まる影響力」日本海事新聞 2012 年 2 月 14 日

「三浦工業・常石造船/補機熱回収装置で特許、常石建造予定船 19 隻搭載へ」日本海事新聞 2014 年 12 月 24 日

「シップ・オブ・ザ・イヤー2013/今治造船建造の 95 型バルカーに。海賊対策「エアロ・シタデル」を初搭載」日本海事新聞, 2014 年 6 月 10 日

「サムスン重工/ベトナムに造船所建設。5 億ドル投資。大島撤退後に後乗り」日本海事新聞 2014 年 6 月 13 日

「ヴァーレ/比国の積み替え設備に停止命令。豪雨で海洋汚染」日本海事新聞 2014 年 8 月 6 日

「ヴァーレ/ブラジル-アジア、トレード変革なるか。マレーシア鉄鉱石基地稼働」2014 年 11 月 11 日

「今治造船/新型居住区「エアロ・シタデル」、丸亀事業本部で見学会」日本海事新聞 2014 年 12 月 3 日

「今治造船/次世代居住区と高延性鋼板、10 月竣工のバルカーに装備」日本海事新聞 2015 年 1 月 7 日

「ヴァーレマックス/中国に初の満載入港」日本海事新聞 2015 年 7 月 30 日

「三菱重工/大島造とも基本合意。商船事業アライアンス、今造・名村含め 3 社」日本海事新聞 2017 年 6 月 15 日

「今治造船/丸亀に新ドック完成。2 万 TEU 型、年 10 隻建造体制」日本海事新聞 2017 年 9 月 20 日

「今治造船/「丸亀の風景を変えた」。超大型船建造へ新ドック稼働」日本海事新聞 2017 年 10 月 2 日

「商船三井・今治造船/国内初の 2 万 TEU 型完成。「海事クラスターの総合力」日本海事新聞 2017 年 10 月 26 日

「現代重の大宇買収/新会社「韓国造船海洋」。中間持ち株会社」日本海事新聞 2019 年 3 月

12 日

「今治造船 累計建造 200 隻を達成 6 万重量トン級 BC シリーズ」日本海事新聞 2019 年 9 月 2 日

「日本海曳船、新造タグボート竣工。新潟造船が建造」日本海事新聞 2019 年 10 月 21 日

「中国船舶集団、正式に発足」日本海事新聞 2019 年 11 月 27 日

「造船ニッポン復活へ号砲。今造・JMU 連合が始動。「日本シップヤード」設立へ」日本海事新聞 2020 年 3 月 30 日

「岐路に立つ日本造船、操業確保へ受注再開。船価回復半ば…手持ち漸減」日本海事新聞 2020 年 7 月 17 日

「【海の日特集/造船大手の構造改革】競争力強化へ業界再編続く」日本海事新聞 2020 年 7 月 20 日

「国交省海事イノベ部会、中韓と船価差 20%超、モデル船設計で費用抑制」日本海事新聞 2020 年 8 月 24 日

「今造・JMU、合併発足、11 月 1 日に延期。海外当局の審査継続」日本海事新聞 2020 年 9 月 24 日

「【国内船主の今】(237) :完全コーポレート融資も。中国造船が台頭、融資判断緩和へ」日本海事新聞 2020 年 10 月 12 日

「今造・JMU 合併、来年 1 月に再々延期。承認手続き大詰め」日本海事新聞 2020 年 11 月 25 日

「【記者の視点/五味宜範】加速する国内造船の再編。多様化する組み合わせに注目」日本海事新聞 2020 年 12 月 8 日

「常石、海外展開急ピッチ」日本経済新聞 2004 年 6 月 24 日

「国内ドック 16 年ぶり新設 今治造船、円安で競争力」日本経済新聞 2015 年 1 月 29 日

日本海運集会所 (2017)「丸亀で“超大型”新ドック竣工披露式を開催」『KAIUN』2017 年 10 月号, 8-9.

日本船用工業会・日本船舶技術研究協会 (2016)「中国造船業の現況に関する調査報告書」日本財団

日本船用工業会 (2018)「各国船用機関の生産動向 第 43 号」平成 30 年 10 月, 日本財団

日本船用工業会 HP (<http://www.jsmea.or.jp/j-top/index.html>) (2019 年 8 月 22 日アクセス)

日本船主協会・日本海事センター (2010)「日本の海運 Shipping now 2010-2011」日本海事広報協会

日本船主協会・日本海事センター (2020)「日本の海運 Shipping now 2020-2021」日本海事広報協会

日本船主責任相互保険組合ホームページ (<https://www.piclub.or.jp/search/treaty/index/ja>) 2020 年 10 月 28 日アクセス

- 日本郵船ホームページ ([https://www.nyk.com/news/2010/NE\\_101027.html](https://www.nyk.com/news/2010/NE_101027.html)) (2020 年 9 月 19 日アクセス)
- 日本郵船 LNG 船運航研究会 (2006) 『LNG 船運航の ABC』 成山堂
- 日本郵船 LNG 船運航研究会 (2015) 『LNG 船運航の ABC (改訂版)』 成山堂
- 日本造船工業会 (各年版) 「造船関係資料」
- 日本造船工業会 (2006) 『造船業パンフレット shipbuilding』, (<http://www.sajn.or.jp/pdf/shipbuilding.pdf>) (2009 年 10 月 1 日、2020 年 12 月 21 日アクセス)
- 日本造船工業会 (2013) 「Japan Shipbuilding Digest」, No.36
- 日本造船学会 (1973) 『昭和造船史 (第 2 巻)』 原書房
- 日本造船学会 (1977) 『昭和造船史 (第 1 巻)』 原書房
- 日本造船学会 (1997) 『日本造船技術百年史』 日本造船学会
- 二宮書店 (2009) 『データブック・オブ・ザ・ワールド 2009 (Vol.21)』 二宮書店
- 二宮書店 (2016) 『データブック・オブ・ザ・ワールド 2016 (Vol.28)』 二宮書店
- 西嶋孝典 (2012) 「事業所紹介 常石造船株式会社」『日本マリンエンジニアリング学会誌』 47 (2), 147-149.
- 延岡健太郎 (2006) 『MOT 技術経営入門』 日本経済新聞社
- 小川紘一 (2007) 「製品アーキテクチャのダイナミズムを前提にした日本型イノベーション・システムの再構築：新・日本型経営としてのビジネス・モデル・イノベーション (その 1)」 東京大学 MMRC ディスカッションペーパー, No.184
- 大野真紀子 (2012) 「アナリストがみた造船産業のこれから (みずほコーポレート銀行産業調査部)」 海運造船新技術戦略寄付講座終了記念シンポジウム発表資料
- 「ものづくりの岐路 (下) 造船 受注激減に危機感 (連載)」 大阪読売新聞 2013 年 5 月 19 日
- 大鹿隆・藤本隆宏 (2006) 「製品アーキテクチャ論と国際貿易論の実証分析」『赤門マネジメントレビュー』 5 (4), 233-272
- 大島造船所 30 年小史編集委員会 (2004) 『明るく強く面白く 大島造船所 30 年小史』 株式会社大島造船所
- 大島造船所ホームページ (<https://jp.osy.co.jp/company-information/oshima-shipyard-story/2004-2016-10/>) 2020 年 8 月 30 日アクセス
- 大島造船所ホームページ (<https://jp.osy.co.jp/company-information/history/>) 2020 年 9 月 9 日アクセス
- 大島造船所ホームページ (<https://jp.osy.co.jp/company-information/oshima-shipyard-story/1970-2003-27/>) 2020 年 9 月 12 日アクセス
- 大島造船所ホームページ (<https://jp.osy.co.jp/company-information/oshima-shipyard-story/1970-2003-32/>) 2020 年 9 月 12 日アクセス

- 大島造船所ホームページ (<https://jp.osy.co.jp/company-information/oshima-shipyard-story/2004-2016-09/>) 2020 年 9 月 13 日アクセス
- 大島造船所ホームページ (<https://jp.osy.co.jp/company-information/oshima-shipyard-story/2004-2016-12/>) 2020 年 9 月 13 日アクセス
- 大島造船所ホームページ (<https://jp.osy.co.jp/topics/5098/>) 2020 年 12 月 29 日アクセス
- 朴泰勲 (2001)「工作機械メーカーの製品開発」藤本隆宏・武石彰・青島矢一編『ビジネス・アーキテクチャ』有斐閣, 195-207.
- Pisano, G. P. (1994) “Knowledge, integration, and the locus of learning: An empirical analysis of process development.” *Strategic Management Journal*, 15, pp85-100.
- Prahalad, C. K. and Hamel, G. (1990) “The Core Competence of the Corporation”, 68(3), 79-91.
- Prencipe, A. (1997). Technological competencies and product’s evolutionary dynamics: A case from the aero-engine industry. *Research Policy*, 25(8), pp1261-1276.
- Prencipe, A. (2000). “Breadth and depth of technological capabilities in CoPS: The case of the aircraft engine control system.” *Research Policy*, 29(7-8), pp895-911.
- Reinerstein (1997) *Managing the Design Factory*, New York, Free Press.
- Robertson, D. and K. T. Ulrich (1998) “Planning for product platform”, *Sloan Management Review*, 39(4), pp19-31.
- Rothwell, R., C. Freeman, A. Horlsey, V. T. P. Jervis, A. B. Robertson and J. Townsend (1974) “SAPPHO updated: Project SAPPHO Phase II”, *Research Policy*, 3(3), pp258-291
- 酒井久治 (2015)「1 章 船とは何か? 1.1 船の役割 漁船」船の百科事典編集委員会編 (2015)『船の百科事典』丸善出版, 53-59.
- 坂井保也・池田宗雄 (2002)『船舶知識の ABC』成山堂
- Sanchez, R. and J.T. Mahoney (1996) “Modularity, flexibility, and knowledge management in product and organization design”, *Strategic Management Journal*, 17 (Winter Special Issue), pp63-76.
- 佐々木英志 (2000)「機関室機器モジュールの開発および実船適用」『名村テクニカルレビュー』3, 44-48.
- Schumpeter, J. A. (1934) *The Theory of Economics and Development: An Inquiry into Profits, Capital, Credit, Interest, and the Business Cycle*, Cambridge, Mass: Harvard University Press. (塩野谷祐一, 中山伊知郎, 東畑精一訳 (1977)『経済発展の理論－企業者利潤・資本・信用・利子および景気の回転に関する一研究』(原著第二版より) 岩波文書館)
- 瀬野洋一郎 (2020)「日本の海運・造船業の基盤強化」(国土交通省第 9 回海事イノベーション部会) (<https://www.mlit.go.jp/maritime/content/001359738.pdf>) (2020 年 9 月 27 日アクセス)
- 施建剛 (2016)「解説 常石造船の技術開発の変遷 連携が実現する未来の船づくり」『日本

- マリンエンジニアリング学会誌』51 (5), 84-85.
- 柴田友厚・玄場公規・児玉文雄 (2002)『製品アーキテクチャの進化論—システム複雑性と分断による学習』白桃書房
- 志手一哉・藤本隆宏 (2015)「建築におけるアーキテクチャの位置取り戦略」藤本隆宏・野城智也・安藤正雄・吉田敏編『建築ものづくり論』有斐閣, 295-358.
- 新村出編 (2008)『広辞苑』(第六版), 岩波書店
- 新宅純二郎 (2006)「東アジアにおける製造業ネットワークの形成と日本企業のポジショニング」MMRC Discussion Paper No. 92
- 新宅純二郎・加藤寛之・善本哲夫 (2005)「中国モジュラー型産業における日本企業の戦略—カラーテレビとエアコンにおける日中分業のケース」藤本隆宏・新宅純二郎編『中国製造業のアーキテクチャ分析』東洋経済新報社, 149-172
- 新宅純二郎 (2009)「東アジアにおける製造業ネットワーク アーキテクチャから見た分業と協業」新宅純二郎・天野倫文編『ものづくりの国際経営戦略』有斐閣, 28-54.
- 新宅純二郎・天野倫文編 (2009)『ものづくりの国際経営戦略』有斐閣.
- 新宅純二郎・善本哲夫 (2009)「液晶テレビ・パネル産業 アジアにおける国際分業」新宅純二郎・天野倫文編『ものづくりの国際経営戦略』有斐閣, 83-110.
- 真藤恒 (1980)『造船生産技術の発展と私』海事プレス
- Shipping Guides (2006) *Guide to Port Entry 2007/2008*, Shipping Guides Ltd.
- 庄司邦昭 (2015)「1 章 船とは何か? 1.2 さまざまな船の分類 外観上の分類」船の百科事典編集委員会編 (2015)『船の百科事典』丸善出版, 83-85.
- 商船高専キャリア教育研究会 (2016)『これ一冊で船舶工学入門』海文堂
- 商船三井 (2018)「暮らしと産業をささえるいろいろな船」(冊子版 PDF) 商船三井
- 商船三井ホームページ (<https://www.mol.co.jp/pr/2017/17020.html>) 2019 年 8 月 21 日アクセス
- 商 船 三 井 ホ ー ム ペ ー ジ  
(<https://www.mol.co.jp/sustainability/environment/regulation/index.html>) 2020 年 9 月 27 日アクセス
- Simon, H.A. (1969) *The Science of the Artificial*, Cambridge, MA: MIT Press. (高宮晋監修, 稲葉元吉・吉原英樹訳 (1977)『システムの科学』ダイヤモンド社)
- Simon, H.A. (1996) *The Science of the Artificial Third Edition*, Cambridge, MA: MIT Press. (稲葉元吉・吉原英樹訳 (1999)『システムの科学 第3版』パーソナルメディア)
- Stopford, M. (2009) *Maritime Economics 3<sup>rd</sup> Edition*, Routledge (邦訳, Martin Stopford 著, 日本海事センター編訳・星野裕志監修 (2014)『マリタイム・エコノミクス第3版 (上巻)』日本海運集会所) (邦訳, Martin Stopford 著, 日本海事センター編訳・篠原正人監修 (2015)『マリタイム・エコノミクス第3版 (下巻)』日本海運集会所)
- Suh, N.P. (2001) *Axiomatic Design: Advances and Applications*, New York: Oxford University

- Press (中尾政之・飯野謙次・畑村洋太郎訳 (2004)『公理的設計：複雑なシステムの単  
純化設計』森北出版)
- 高橋克明 (2001)「230kD.W.T.型 ORE CARRIER 起振機振動計測」『名村テクニカルレビュー』4, 70-76.
- 高柳暁 (1993)『海運・造船業の技術と経営』日本経済評論社
- 武石彰 (2003)『分業と競争』有斐閣
- 武石彰・高梨千賀子 (2001)「海運業のコンテナ化」藤本隆宏・武石彰・青島矢一編『ビジネス・アーキテクチャ』有斐閣,140-157.
- 竹村正明 (2001)「現代的な製品開発論の展開」『組織科学』35(2),4-15
- 拓海広志 (2018)『新訂ビジュアルでわかる船と海運の話』成山堂書店
- 立本博文 (2013)「アーキテクチャ研究再考」藤本隆宏編『「人工物」複雑化の時代』有斐閣
- 田山経二郎 (2007)「船用大形 2 サイクル低速ディーゼルエンジン機関の技術系統化調査」  
国立科学博物館産業技術史資料情報センター編『国立科学博物館 技術の系統化調査  
報告第 8 集』国立科学博物館,185-239.
- 寺岡寛 (2012)『瀬戸内造船業の攻防史』信山社
- Thompson, J.D. (1967) Organization in Action, New York: McGraw- Hill (高宮晋監訳・鎌  
田伸一・新田義則・二宮豊志訳 (1987)『オーガニゼーション・イン・アクション：管  
理理論の社会科学的基礎』同文館)
- 津金正典 (2015)「2 章 海を渡る 2.2 運航 航路：船のルート」船の百科事典編集委員会  
編 (2015)『船の百科事典』丸善出版, 148-155.
- ツネイシホールディングス (2012)「つねいしレポート 2012」
- ツネイシホールディングス (2015)「つねいしレポート 2015」
- 常石グループホームページ (<https://www.tsuneishi-g.jp/news/press/2015/01/3740>) 2020  
年 11 月 5 日アクセス
- 常石造船ホームページ (<https://www.tsuneishi.co.jp/news/release/2010/11/1913/>) (2020  
年 9 月 3 日アクセス)
- 常石造船ホームページ (<https://www.tsuneishi.co.jp/news/release/2011/04/1907/>) (2020  
年 9 月 3 日アクセス)
- 常石造船ホームページ (<https://www.tsuneishi.co.jp/news/release/2020/01/4632/>) 2020 年  
9 月 3 日アクセス
- 常石造船ホームページ (<https://www.tsuneishi.co.jp/news/release/2020/12/4911/>) 2020 年  
12 月 29 日アクセス
- 富田純一 (2008)「機能性ガラスの製品開発—機能が「見える」コンセプト提案」『赤門マ  
ネジメント・レビュー』7(7), 511-534.
- 豊田昌信・楠本裕己・渡辺一夫 (2012)「IHI-SPB LNG 運搬・貯蔵・燃料タンクの安全性」  
『IHI 技法』52 (3) ,48-55



- 対馬和弘 (2008) 「逆風かでも緩めぬ造船改革 ツネイシ 強さは本物か」『COMPASS』 2008 年 11 月号, 22-35.
- 対馬和弘 (2015) 「データウォッチ 738 万円」『COMPASS』 2015 年 7 月号, 83.
- 対馬和弘・武田将人 (2011) 「創業 100 周年名村造船所 不況戦で試される伝統」『COMPASS』 2011 年 3 月号, 53-72.
- 対馬和弘・功刀竜介・武田将人 (2011) 「日本が切り開く新鋭バルカー マーケティング主導の開発船が続々竣工」『COMPASS』 2011 年 1 月号, 54-67
- 上野絵里子 (2016) 「コンテナ船大型化の動向」日刊 CARGO 2016 年 6 月 22 日
- 上杉知幸 (2011) 「250,000DWT 鉱石運搬船 WOZMAX の紹介」『名村テクニカルレビュー』 14, 14-19.
- 白井潔人 (2013a) 「海の物流システム革新事例：商船の変遷史 コンテナ船 上・下」日本海事新聞 2013 年 2 月 18 日・19 日
- 白井潔人 (2013b) 「海の物流システム革新事例：商船の変遷史 ばら積み船 (下) / ヴァーレマックスの誤算」日本海事新聞 2013 年 3 月 18 日
- Ulrich, K. T. (1995) “The role of product architecture in the manufacturing firm”, *Research Policy*, 24(3), pp419-440
- Ulrich, K. T. and S. Eppinger (1994) *Product Design and Development*, New York: McGraw-Hill.
- Vernon, R. (1966) “International Investment and International Trade in Product Cycle”, *Quarterly Journal of Economics*, 80(2), pp190-207.
- Vicenti, W. G. (1990). *What engineers know and how they know it: Analytical studies from aeronautical history*. Baltimore, MD: John Hopkins University Press
- von Hippel, E. (1988) *The Sources of Innovation*, New York: Oxford University Press (榊原清則訳 (1991) 『イノベーションの源泉』ダイヤモンド社)
- 渡辺隆典 (2015) 「3 章 人とものを運ぶビジネス (海運) 3.3 海運の各分野と市場 定期船」船の百科事典編集委員会編 (2015) 『船の百科事典』丸善出版, 259-267.
- Wheelwright, S.C. and K.B. Clark (1992) *Revolutionizing Product Development: Quantum Leaps in Speed, Efficiency and Quality*, The Free Press.
- Whitney, D. (1988) “Manufacturing by Design”, *Harvard Business Review*, July/August, pp83-91.
- Woodward, J. (1958) *Management and Technology*, London: Her Majesty's Stationary Office.
- 八木光 (2015) 「5 章 船をつくる (造船) 5.2 船の設計 詳細設計」船の百科事典編集委員会編 (2015) 『船の百科事典』丸善出版, 469-474.
- 八木光・金子仁 (2015) 「5 章 船をつくる (造船) 5.1 造船決定までのながれ 検討する条件と見積り」船の百科事典編集委員会編 (2015) 『船の百科事典』丸善出版, 451-456.

- 山田和司（2006）「LNG 船事業と船用工業との新たな関係構築に邁進 今治造船檜垣幸人  
社長が描くグループ構想とは」『COMPASS』2006 年 5 月号, 22-33.
- 横山良二（2001）「今治造船創業 100 周年」『COMPASS』2001 年 11 月号 54-86, 海事プレ  
ス.
- 吉識恒夫（2007）『造船技術の進展－世界を制した専用船』成山堂書店
- 造船テキスト研究会（2017）『商船設計の基礎知識』成山堂書店