

審査の結果の要旨

氏名 向井悠一郎

論文題目 日本の造船会社の製品アーキテクチャ戦略

企業による製品設計の諸選択は、その企業や事業の競争パフォーマンスに大きな影響を与える可能性がある。本論文は、企業の製品開発において、製品の「大きさ(size)」の選択が、その設計特性、とりわけ「製品アーキテクチャ」の選択に対してどのような影響を与えるかについて、理論的・実証的な検討を加えた研究である。実証分析の対象は、日本の造船産業、とりわけ中手造船所と呼ばれるいくつかの企業による「ばら積み(貨物)船」の製品開発・設計活動である。これらの企業・製品は、2000～10年代において、韓国・中国造船業との厳しい国際競争の中でも一定の競争優位を保持していたことが知られている。

ここで「設計」とは、製品や工程などの人工物の機能・構造関係を生産に先立って確定する活動であり、その機能要素と構造要素の分割・結合に関する抽象的な対応関係をアーキテクチャ（設計思想）と呼ぶ。製品技術や工程技術の選択に加えて、企業によるアーキテクチャの選択は、製品の機能やコスト、事業や企業の競争優位や収益性に大きな影響を与えうることが知られている。

他方、製品の「大きさ」は、最も基本的な構造設計要素の一つだといえるが、その選択が企業・産業の活動や業績に対して与える影響については、意外にも既存研究は少ない。一般に企業の製品開発においては、設計者が直面する機能要件(自動車であれば動力性能・燃費・安全性・快適性等)や制約条件(燃費・環境規制、安全規制、燃料価格等)に適合する形で製品の構造設計が行われ、その過程で当該製品の大きさも内生的に決まると言える。しかし逆に、何らかの理由で、企業が製品の「大きさ」を主体的に決めることによって当該製品・事業・企業の競争優位を獲得しようとする場合、この「大きさの選択」は、この企業の他の意思決定と、どのような相互作用を持つだろうか。この問いに対し本論文は、船舶という、大きさの選択に関して技術的な自由度の高い製品を、実証研究対象として選んでいる。

本論文は、特に、企業による製品の「相対的な大きさ」の選択が、製品アーキテクチャ特性（特にモジュラー性/インテグラル性）の階層構造に対して影響を与え、その間のある種の適合関係が、当該製品の競争優位に貢献する可能性に着目している。ここで論者が考察する「相対的な大きさ」とは、当該製品を取り巻く、固着的な(大きさを変えにくい)補完財、操作者、環境要素などに対する「相対的な大きさ」である。例えば船舶であれば固定的な港湾設備、スマートフォンであれば操作者の指の大きさに対する「相対的な大きさ」である。

以上の予備的な説明を踏まえ、次に本論文の概要を記す。

1 章では、本研究の背景と問題意識を提示する。製品アーキテクチャが当該製品・事業・企業の競争力に与える影響については多くの研究蓄積がある。しかし、競争優位を目指す企業が、製品の大きさ、特にその周囲の補完の人工物等に対する「相対的な大きさ」を主体的に選択する場合に、当該企業の諸活動、とりわけ他の設計特性の選択にどのような影響を与えるだろうか。こうした意味での「大きさ」の研究は意外にも手薄であった。本論文は、特にアーキテクチャ（設計思想）という前述の設計属性に着目し、競争優位のために、自社製品のある「相対的な大きさ」を選択した企業が、どのような製品アーキテクチャを選択する傾向があるかを体系的に考察することを、本論文の目的と規定している。

実証分析の対象としては、前述の理由により、日本の造船・海事産業、とくに国際競争が激化した 2000～10 年代にも依然競争力を維持した中手造船企業のばら積み船における、各社の「大きさ」の選択と、船舶・海事システムのアーキテクチャ特性の間の関係について実証的な比較分析を行うとしている。

2 章では、以上の研究目的を踏まえ、船舶を含む複雑な人工物（被設計物）は階層的なシステムとして把握できるという観点から、主に製品アーキテクチャに関する先行研究を行っている。例えば船舶は、船殻・機関室・居住区を主たる構成要素とし、さらに機関室は最適に配置・結合された一群の船用機器（エンジン、ボイラーなど）を構成要素とする内的な階層構造を持つ。一方、より上位の海事システムに対しては、船舶自体が一構成要素に過ぎず、それは海事システムの構成要素である港湾設備、運河、操船技術、積荷（荷主）、燃料供給系などと相互補完的な関係にある。そして、海事システムや船舶のアーキテクチャ特性（インテグラル性／モジュラー性など）は、階層や部位によって異なる可能性がある。

こうした人工物の階層性に関する文献研究から、本研究で焦点を当てる船舶に関しても、その内部（例えば機関室）の「中アーキテクチャ」だけではなく、その上位階層である海事システムの他の構成要素、例えば港湾・航路設備との間の「外アーキテクチャ」の分析も同時に必要であることが分かる。例えば、造船企業による船体の大きさの選択は、一方において、機関室の船用機器群に対する「相対的な大きさ」を通じて、船体の中アーキテクチャに影響を与えるが、同時にそれは、その船の特定の港湾・航路設備に対する「相対的な大きさ」も規定し、これにより、当該船舶（特に機関室）の中アーキテクチャと、船舶の外アーキテクチャ（海事システムの中アーキテクチャ）が、いわば同時に影響を受けるのである。

また、アーキテクチャ論の一連の再検討により、ある上位システム（例えば海事システム）の中アーキテクチャ特性と、その下位システム（例えば船舶）の「特殊性」の間の論理的な関係も明確になる。例えば、ある船舶の用途特殊性(application-specific)と顧客特殊性(customer-specific)は、相互に関連はするが異なる概念と把握すべきである。そして、上位システムの中アーキテクチャ特性(インテグラル／モジュラー)とより直接的に関係するのは、下位の「用途特殊性」の方である。例えば、海事システムの中アーキテクチャがインテグラル型寄りなら、船は用途特殊的（特定航路専用的）な最適設計の船体、他方それがモジ

ュラー型寄りなら、航路間で共用できる用途汎用的な標準設計の船体となりやすい。

一方、アーキテクチャ特性と顧客特殊性(カスタマイズ性)との関係は、直接的ではない。確かに、仮に1つの航路(用途)が1顧客に専有されているなら、航路専用船(用途特殊船)は即、カスタム設計船(顧客特殊船)でもある。しかし、1航路を複数の顧客が共有する場合は、顧客が、1種類の航路専用船のみを買うか(用途特殊・顧客間共通)、あるいは、好みや慣習など航路と関係のない顧客特殊要求を通す結果、顧客ごとに設計の異なるカスタム船(用途特殊・顧客特殊)となるかは不確定である。つまり、上位システムの中アーキテクチャとより直接的に関係するのは「用途特殊性」であり、「顧客特殊性」ではない。

3章では、本研究の実証分析の対象である造船産業、船舶、海事システム等について、より詳細かつ広範な考察を加えている。船舶に関しては、主な船種について、その設計上・技術上の特徴を整理している。

また、船舶の上位階層にある「海事システム」を、船舶がどこを通り(航路・港湾)、何を積み(積荷)、どのように運ぶのか(船舶、操船技術)、どのように作るのか(生産設備)といった諸要素を含む上位システムと規定する。船舶はこの海事システムの下位システムであり、造船会社は、上記の海事システムの諸要素が課す制約条件や機能要求(用途)を前提に、当該船舶の製品設計を行う。

貨物船の場合、ばら積み船であれ、タンカーであれ、コンテナ船であれ、その内部構造は大きく船殻、機関室、居住区に分かれる。船殻は、積載効率、エネルギー効率、安全性などの機能要求や規制を高水準で満たすために最適設計され、さらに特定の航路の条件(運河や港湾設備の制約)に合わせた用途(航路)特殊設計が行われる場合もある。一方、機関室に入るエンジンやボイラーなど、いわゆる船用機器は、歴史的その他の理由により概ね国際的な業界標準設計であり、その寸法形状は固着的である。この結果、船殻に囲まれ、荷室と隣接し、かつ舶用品群が配置・連結される機関室は、最適設計の船殻、荷室最大化のためのスペース制約、標準設計の船用機器の間で板挟みになり、機器の配置設計も含め、最も設計上の苦労・工夫の多い部位となっている。他方、居住室は船殻とは独立的に設計できるモジュラー的な部位である。そこで、本論文では、第1に海事システムの構成要素としての船体(船殻)、第2に機関室と船用機器などその下位システム、この2領域に焦点を絞る。

続く4~7章は、日本の中手造船会社4社(今治造船、大島造船、A社、名村造船)の設計技術者に対する実態調査の1次資料や、各企業に関する公刊資料やデータ・文献等の2次資料に基づく定性的な比較事例研究である。

4章では、相対的に「小型」のばら積み船を得意とする今治造船の事例を取り上げる。同社は、主力のハンディサイズのばら積み船において、多様な航路・港湾設備・積荷等に同一設計の船体で対応する、汎用的な標準船方式を選択している。よって、海事システムに対してはモジュラー型寄りの外アーキテクチャである。

一方、その機関室の設計は、小型船のスペース制約ゆえに、機器類の配置を最適化したものを標準型の機関室設計としている。つまり、船体設計と機関室設計を共に標準化・汎用化

し、個別の顧客の注文に応じる顧客特殊設計(カスタマイズ船)にはしていない。なお、外モジュラー的(汎用的)な船体アーキテクチャと、中インテグラル的な機関室アーキテクチャというこの設計選択は、複数の有力な地元船主(愛媛船主)によって支持されている。

このように、今治造船の主力船は、船体が相対的に小型であるため、船体の外アーキテクチャはモジュラー型(特定の海事システムや航路に特化しない汎用設計)、機関室の中アーキテクチャは船舶のモデルごとに標準化されたインテグラル型寄りを選択している。

5 章は、今治造船のハンディサイズより大きいパナマックス型ばら積み船(パナマ運河通過可能な船幅を特徴とする)を得意とする大島造船所の事例である。同社がドックの効率的活用(4隻同時建造)の観点から主力に選んだ「中型」パナマックス船の場合、船体設計においては、積荷や航路に関する顧客の多様な要求に対応する複数のラインナップが用意され、また、標準型の推奨パターンを予め用意しつつも、顧客要求に対するカスタマイズ設計も許容する柔軟な設計方針が採られている。つまり同社の船体設計は、海事システムが求める用途の多様性に対し、複数の標準モデルを推奨しつつも、顧客特殊設計にもある程度応じるという中間的な外アーキテクチャを選択している。

一方、機関室設計においては、複数の船用部品群をまとめた「ユニット」という中間的な階層を設けて「機関室→ユニット→船用機器」の3層構造とする。そして、「ユニット」内部の機器配置設計は製造性も考慮した最適設計(中インテグラル)とし、それを社内標準の推奨パターンとする一方、そうした社内標準ユニットの組み合わせで顧客の個別要求の多様性にできるだけ応える「中モジュラー」型のアーキテクチャを選択している。

6 章は、A 社における「中型」のカムサマックスばら積み船の事例である。A 社の船体の基本設計の外アーキテクチャは、受注前に特定の港湾や運河など補完財の条件(用途)に適合させる用途特殊的な標準設計を志向するが、個別の番船設計においては、顧客特殊的な詳細設計対応も許容する中間的な設計アプローチとなっている。

A 社はまた、原価企画とその手段としての VE 手法(所与の製品機能を設計合理化によるコスト低減で実現する価値工学)を導入しており、それに基づき、機関室設計においては、船用機器群をできるだけ機能完結的に分割した社内規格の「モジュール」が開発されている。これらの「モジュール」群は、複数の船舶モデル間、あるいは異なる番船間で流用可能な共通モジュールである。このように、「中型」が主力の A 社では、同じく「中型」が得意な大島造船と同様、機関室設計においては、共通モジュールの組み合わせで多様な顧客ニーズに対応するモジュラー型寄りの中アーキテクチャが選択されている(原価企画指向の A 社の方がモジュールの機能完結性をより強調するという点で両者に違いはあるが)。

7 章は、名村造船所において近年の主力製品となった「大型」の鉄鉱石専用ばら積み船 WOZMAX の事例を取り上げている。WOZMAX の船体設計は、西オーストラリア・上海間の鉄鉱石輸送という特定の海事システム(特に水深の浅いオーストラリア側の積出港の構造)に対して用途特殊的に適合した最適設計が徹底しており、その意味で WOZMAX モデルの船体は、明確に外インテグラル指向だといえる。一方、特定の主力船主(鉄鉱石の荷

主企業)からの発注が集中したこともあって、船体に関しては、同種設計モデルの建造が続く傾向があり、その意味では「用途特殊のだが顧客特殊ではない」という性格が強かった。同社ではこれを「異船主同型」と呼んでいる。

一方、機関室設計においては、船体が比較的大きいため、業界標準設計の船用機器に対して相対的に大きい空間が確保されており、その結果、前出の今治造船、大島造船、A社の機関室設計と比べると、船用機器類の配置設計においてより大きな自由度を持つ。したがって、大島造船やA社のように、共通モジュール群を含む3層構造を用意する必要はなく、船用機器単体レベルの配置・配管・結合の組み合わせで顧客特殊な機関室設計に応じることができている。つまり名村造船では、大島造船やA社よりも粒度の小さい構成要素によるモジュラー型アーキテクチャという形で、顧客の多様な要求に対してより柔軟なカスタマイズ設計(顧客特殊設計)の余地を残した機関室設計が行われている。

このように、WOZMAXの事例では、船舶が港湾設備に対して「相対的に大きい」ため、船体の外アーキテクチャは、特定の航路・港湾設備という海事システム内の補完財に対して、より徹底した設計適合を行う必要があった。つまり、外インテグラル型の船体設計が選択されていた。一方、機関室設計においては、相対的に大型ゆえに空間的余裕があるため、粒度の小さいユニットによる中モジュラー的なカスタム設計が可能となっていたのである。

8章では本研究の全体をまとめ、本研究の結論、学術的貢献、今後の課題などについて述べている。これらについては以下の議論と重複するので割愛する。

本論文の概要は以上であるが、その評価は以下の通りである。

第1に、製品開発論・技術経営論・イノベーション経営論等において、近年重要性を増している「製品アーキテクチャ論」に対して、製品構造設計の最も基本的な要素でありながら看過されがちであった「大きさ」という、シンプルだが重要な属性に光を当てたこと、そして競争優位を指向する企業による製品の「大きさ」の選択が、当該製品のアーキテクチャ特性の選択に影響を与える可能性を指摘したことは、関連研究領域における既存の知識蓄積に対する重要な貢献だと評価できる。より具体的には、製品開発論・技術経営論的に見て意味のある「大きさ」の概念は、その絶対的な大きさではなく、上位システムの機能や用途に関して補完的な他物、特に大きさを変えにくい固着的な補完財・補完物に対する「相対的な大きさ」であることを示唆したのは、従来明確には論じられていなかった知見である。

第2に、企業による製品の「相対的な大きさ」の決定が影響を与えるのは、単なる一層的なアーキテクチャ特性ではなく、「アーキテクチャの階層構造」であることを明らかにした。すなわち、焦点を当てたある製品(例えば船舶・船体)の「相対的な大きさ」を企業が選択した場合、それは、(i) 当該製品と上位システム(例えば海事システム)との関係、例えば海事システムの中アーキテクチャ特性、および船体の外アーキテクチャ特性に影響を与えると同時に、(ii) 当該製品と下位システム(例えば機関室・船用機器)との関係、例えば機関室の中アーキテクチャ特性、および船用機器・モジュールの外アーキテクチャ特性に影響を与えるということ、つまり「アーキテクチャの階層性」の重要性が本研究によって明らか

になった。

より具体的に言うなら、本論の重要な結論は以下の2つの命題に集約化できる。

①ある製品の大きさを、その主たる固着的補完財に対して相対的に大きくする選択をした場合、当該製品の外アーキテクチャはインテグラル化しやすい（上位システムは中インテグラル化しやすい）が、当該製品の中アーキテクチャは選択の自由度を得るため、インテグラル化もモジュラー化も可能で、不確定である。

②ある製品の大きさを、その主たる固着的補完財に対して相対的に小さくする選択をした場合、当該製品の中アーキテクチャはインテグラル化しやすい（下位システムは外インテグラル化しやすい）が、当該製品の外アーキテクチャは選択の自由度を得るため、インテグラル化もモジュラー化も可能で、不確定である。

上記の命題①②ともに、上位システムの中アーキテクチャ変化と下位システムの外アーキテクチャ変化に関する予想は非対称的（蓋然性/不確定性）であることに注意を要する。この非対称性は、従来あまり指摘されていなかった知見であり、本研究の貢献といえる。

第3に、製品アーキテクチャと密接な関係を持つ特性である、製品や部品の「用途特殊性(application specificity)」と「顧客特殊性(customer specificity)」は、類縁的であるが異なる概念であり、製品アーキテクチャとより密接に連動するのは前者であることを明らかにした。これについては、すでに論じたので繰り返さない。

第4に、造船産業論の観点からも、製品開発論・製品アーキテクチャ論の観点からこれを再解釈し、近年における日韓中造船業の国際競争の実態をこの観点から明らかにし、いわゆる雁行形態論では説明できない現象（韓国の技術的先行）が起こっていることを指摘し、その中で日本の大手造船企業と中手造船企業の戦略や競争力に差異のあることを指摘したことは、産業研究や国際経営論の面からも興味深い知見であり、今後の深耕に期待したい。

他方で、課題も指摘される。第1に、本研究では「相対的な大きさ」の選択と「アーキテクチャの階層構造」の間のある種の適合性が当該企業・事業の競争力に貢献すると主張し、実際に本論文における、4つの中手造船所の大きさの異なるばら積み船の比較事例分析は、この仮説と概ね整合的であった。しかし逆に、競争優位を失いつつある造船企業において、こうした「大きさとアーキテクチャの適合性」が不在であるかどうかは、まだ検証できていない。例えば日本の大手造船企業のケース、韓中造船企業のケース、中手企業による異なるジャンルの船種のケースなど、徐々にケースを増やし、いずれは計量分析にもつなげることが、今後の方向性として期待される。

第2に、本論文の研究は、結果的には船舶という「大きな人工物」の研究となっているが、本論文が焦点を当てる「相対的な大きさ」という基本概念から考えれば、この研究の結論は、人工物の大きさに関わらず適用可能であるべきで、その検討が今後必要であろう。「相対的な大きさ」の研究は、「相対的な小ささ」の研究でもあり、その意味では、本論文の仮説及び結論は、デジタル機器や半導体のように全く大きさの違う物財にも適用できると考えるのが論理的には自然である。このように、造船以外の産業分野に本論文の議論を拡張す

ることは、今後挑戦すべき課題の一つであろう。

第3に、引用文献の中に最近のものが少ないことも指摘され、今後の課題である。製品開発論・技術経営論は進歩が速い。新しい学問的知見を取り込むことによって、本研究の次の展開を図るべきであろう。

以上のように課題も残るが、本論文は、製品開発論・技術経営論など、技術と設計のマネジメントを扱う経営学の諸領域に対して、「大きさ」という極めて基本的な構造設計要素に改めて光を当て、本質的なのは「相対的な大きさ」であること、それが影響を与える設計特性は「アーキテクチャの階層性」であること、ある人工物の「相対的な大きさ」が上位階層のアーキテクチャ特性に与える影響と、下位階層のアーキテクチャ特性に与える影響には、蓋然性と非決定性というような非対称性があること、そしてこれらの命題の蓋然性を、造船業の設計過程に関する膨大な一次・二次資料で示したことは評価できる。

よって本論文は博士（経営学）の学位請求論文として合格と認められる。

令和3年2月24日

審査委員	大学院経済学研究科	藤本隆宏（主査）
	大学院経済学研究科	高橋伸夫
	大学院経済学研究科	新宅純二郎
	大学院経済学研究科	粕谷誠
	大学院経済学研究科	桑嶋健一