

第7章 生産活動のモデル化

前章までは、設計活動における製品モデルの必要性と、製品モデルの生成をシステムによって支援する方法について述べてきた。この製品モデルの情報を有効に利用し、生産計画を実施することによって生産活動における作業情報を予め獲得することが期待できる。さらに、生産活動を計算機内部で模擬することによって事前に生産活動の矛盾をチェックすることなども期待できる。そこで本章では、

- ・計画に必要な作業情報をどの様に情報として収集すべきか
- ・十分な作業情報が得られた場合、計画作業をどの様に実施すべきかの項目を中心に、これまでに定義された製品モデルの情報を有効に利用し、生産計画を支援するシステムの構築に関する考察を行う。そこで、以下に示す流れにしたがって、生産活動（特に生産計画）において要求される情報やそれらの情報の処理機能を考察する。
- ・生産計画を構成する工程計画、日程計画の役割を整理し、生産計画における情報と情報の処理機能を考察する（7.1節）。
- ・設計で生成された製品モデルの情報から、生産活動の対象の製品モデルである組立モジュール（中間製品に相当する製品モデル）を抽出する概念を考察する（7.2節）。
- ・生産活動において必要となる生産環境の情報を提供し、また、生成された作業情報を管理する主体となる生産環境のモデルを考察する。さらに、造船における生産活動の特徴を整理することによって、生産環境のモデルとして作業資源モデル、工程資源モデル、工場モデルなどを定義する（7.3節）。
- ・作業に関する情報を管理する作業モデルを定義する。（7.4節）
- ・組立モジュールの接合関係情報を利用し、組立順序の入力から工程順序、作業順序に関する情報を生成する工程計画のモデルを考察する（7.5節）。さらに、そのモデルに基づいた工程計画支援システムの構築に関して述べる（7.6節）。
- ・作業の日程情報を生成する日程計画のモデルに関して考察する（7.7節）。さらに、そのモデルに基づいた日程計画支援システムの構築に関して述べる（7.8節）。
- ・複数船を同時期に建造する際における生産計画の対応に関して考察する（7.9節）。
- ・本研究で構築した生産計画支援システムを用いた実行例を示す（7.10節）。
- ・生産活動を仮想的に計算機内で実行し、部品の詳細な形状情報を生成する過程を考察する（7.11節）。

7.1 生産計画によって生成される情報の整理

本節では、生産計画を工程計画と日程計画に分類し、工程計画と日程計画において生成される情報を整理することによって、生産計画における工程計画と日程計画の役割を整理する。

7.1.1 工程計画によって生成される情報

造船における建造方法の特徴であるブロック建造法により、造船の生産工程は、複数の工程に分割されている。そのため、4.5.4項で述べたように、工程計画は、複数の工程間の「物の流れ」を計画する工程設計と、工程内で行われる「作業の流れ」を計画する作業設計から構成される（Fig.7-1-1）。

本研究では、工程設計で認識される作業として工程作業、作業設計で認識される作業として実作業を定義する。以下に各々の作業の定義を述べる。

(1) 工程作業（工程設計において認識される作業）

「変換活動、運搬活動、停滞活動」の視点から生産活動を捉えると、生産活動を「物の流れ」として表現することができる。また、ブロック建造法を生産活動の基盤とする造船業では、ブロックの組立順序と、ブロックを制作する工程の情報によって、工程間のブロックの流れ（「物の流れ」）を表現する工程の繋がりが、工程設計において計画される。また、工程の繋がりが計画されることによって、変換活動に付随する運搬活動、停滞活動が明確にされる。

ところで、「物の流れ」を重視して生産活動を表現する場合、具体的な作業は考慮する必要がなく、必要となるのは作業の概略的な表現である。この概略的な表現とは、例えば、「ブロック A とブロック B を溶接してブロック C を製作する」という変換活動を記述する場合、「溶接機 W を使用して、溶接部 D を溶接する」という具体的な作業表現ではなく、「ブロック A とブロック B を結合させてブロック C を製作する」といった生産対象を中心に据えた作業の表現である。本研究では、以上のように生産対象を中心に捉えた作業を工程作業と定義する（Fig.7-1-2）。

工程作業の定義によって、工程計画で認識される生産活動の「物の流れ」を、生産活動における工程作業の流れとして捉えることができる。したがって、工程作業は、後述の(2)で定義する実作業とは異なり、「物の流れ」における「変換活動、運搬活動、停滞活動」を作業として捉えるものである。例えば、変換活動が行われる工程における工程作業の作業情報として以下のような情報が生成される。

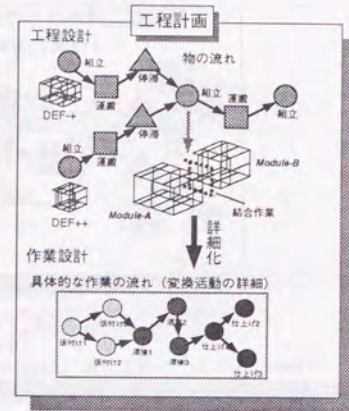


Fig.7-1-1 工程設計と作業設計

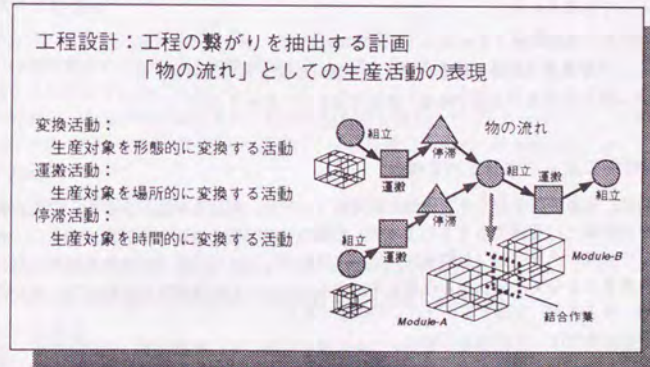


Fig.7-1-2 工程作業の認識

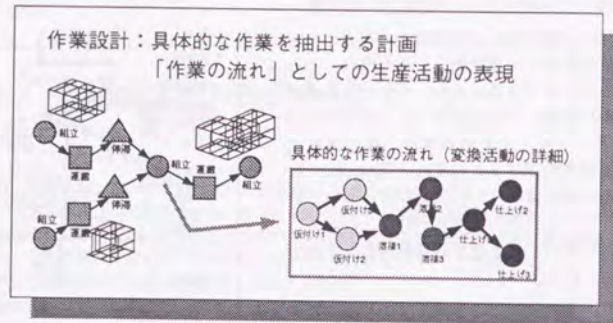


Fig.7-1-3 実作業の認識

- ・Where: どの工程 (小組立工程, 大組立工程など) で
- ・Who: どれだけの作業員数 (変換活動は何名, 運搬活動は何名) が
- ・How: いかなる生産活動 (変換活動, 運搬活動, 停滞活動) を行うか

(2) 実作業 (作業設計において認識される作業)

「物の流れ」をベースとした工程設計によって得られる工程作業は、様々な「変換活動」が行われる工程の繋がりを重視したものである。これに対して、「変換活動」において実施される具体的な作業 (例えば、溶接機 W を使用して、溶接部 D を溶接するなどといった作業) を抽出し、作業内容を確定し、それらの作業の順序を計画する必要がある。この計画によって生成される作業の順序は、上記 (1) で述べた「物の流れ」に対して「作業の流れ」として捉えることができる。以上の計画は、工程計画の作業設計において行われるものである。

本研究では、工程作業が概略的に捉えられた作業であることに対して、実際の生産活動で行われる詳細で具体的な作業を実作業と定義する (Fig.7-1-3)。実作業は、生産活動を「作業の流れ」として捉えるための作業であり、仮付け作業、溶接作業などが相当する。したがって、以下のような情報が作業情報として生成される。

- ・Where: どの生産設備 (クレーン, 溶接機など) で
- ・Who: どの作業員 (溶接作業員 A さん, 玉掛け作業員 B さんなど) が
- ・How: いかなる作業 (玉掛け作業, 溶接作業など) を行うか

7.1.2 日程計画によって生成される情報

日程計画は、生産活動を行う生産環境の時間的 (日程的) 制約を考慮しながら、工程計画で獲得された作業を時間軸上に展開することによって、作業の日程情報を決定する計画である。ここで、日程計画によって生成すべき情報 (日程情報) は、工程計画によって生成された作業情報 (どの生産設備で、どの作業員によって、いかなる作業を実施するかといった作業情報) に加えて、その作業をいつ (開始時刻, 終了時刻) 実施するかといった情報である。

ところで造船業では、日程情報の管理レベルの違いに応じて、搭載計画, 中日程計画, 工程別日程計画, 小日程計画などの様々な日程計画が存在する (4.2.2 項参照)。本研究では、これらの日程計画に共通する計画機能に着目し、先に定義した工程作業と実作業を、時間軸上に展開する計画を日程計

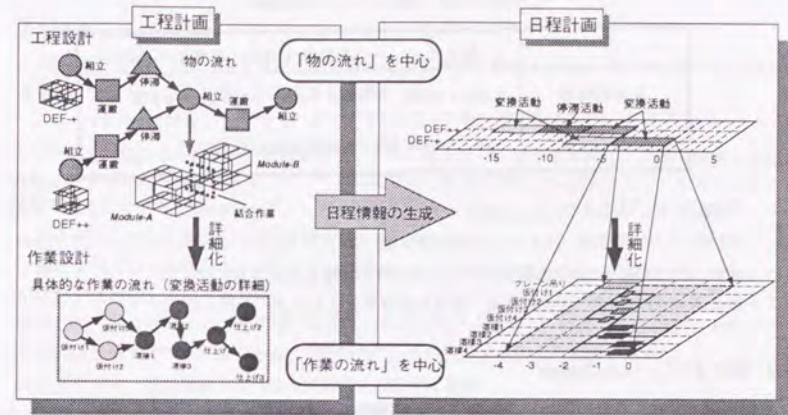


Fig.7-1-4 工程計画と日程計画

画と考える (Fig.7-1-4)。つまり本研究では、

- ・生産活動を「物の流れ」として捉えることによって獲得することができる工程作業を時間軸上に展開する計画
- ・生産活動を工程における「作業の流れ」として捉えることによって獲得することができる実作業を時間軸上に展開する計画

の両計画を共に、「作業を時間軸上に展開する計画」として捉え、日程計画を工程計画で生成された作業の日程情報を生成する計画として認識する。

この日程計画の認識によって、以下に示すように工程作業, 実作業の作業情報の管理レベルに応じた作業日程が獲得できるものと考えられる。

(1) 工程作業の日程情報

生産活動全体の円滑な実施を促すために、生産活動を構成する様々な「変換活動, 運搬活動, 停滞活動」間の時間的整合性を確保する必要がある。つまり、「変換活動」の順序を考慮し、各々の「活動」を実施する日程を矛盾なく決定しなければならない。また、「運搬活動・停滞活動」の時間的調整も併せて行われ、生産活動全体における時間的整合性が確保される。したがって、工程作業には 7.1.1 項の (1) で述べた作業情報に対して作業を行う日程情報 (下線部) が追加され、以下に示す情報が最終的に決定される。

- ・When: いつ (開始時刻と終了時刻)
- ・Where: どの工程 (小組立工程, 大組立工程など) で
- ・Who: どれだけの作業員数 (変換活動は何名, 運搬活動は何名) が
- ・How: いかなる生産活動 (変換活動, 運搬活動, 停滞活動) を行うか

(2) 実作業の日程情報

「変換活動, 運搬活動, 停滞活動」で行われる様々な実作業を円滑に実施するために、各作業間の時間的整合性を確保する必要がある。したがって、実作業には 7.1.1 項の (2) で述べた作業情報に対して、作業を行う日程情報 (下線部) が追加され、以下の情報が最終的に決定される。

Table 7-2-1 組立モジュールの抽出

	組立モジュールを抽出する際に考慮すべき点
形造的考慮	・組立ての際の、他の組立モジュールとの構造的な干渉
作業的考慮	・組立ての際に使用する生産設備の制約、能力

- ・ When: いつ (開始時刻と終了時刻)
- ・ Where: どの生産設備 (クレーン、溶接機など) で
- ・ Who: どの作業員 (溶接作業員 A さん、玉掛け作業員 B さんなど) が
- ・ How: いかなる作業 (玉掛け作業、溶接作業など) を行うか

7.2 組立モジュールの抽出

実際の設計では、設計段階の早期からブロック分割が検討されることによって、搭載ブロックが認識される場合が多い。しかし本研究における設計は、最終製品である船の満足すべき機能を実現するための構造や部品の定義を目的としている。このために、ブロック分割の検討は (設計後の) 生産計画で行われるべきであると考えている。そこで本節では、設計によって生成された製品情報から、搭載ブロックやパネル状内構材などの中間製品である組立モジュールを抽出することを考える。

7.2.1 組立モジュールの抽出機能の定義

(1) 分配機能とカット機能

組立モジュールを抽出する際には、以下に挙げるように、組立モジュールの形状や作業の実施を考慮すべきであると考えられる (Table 7-2-1)。

・ 形造的な考慮

抽出された組立モジュールの形状が直接的な問題となり、組立の際に他の組立モジュールと構造的な干渉を生じてしまい、組立作業に影響を及ぼす場合も考えられる。したがってこの様な問題が発生しないために、組立モジュールの形状を考慮し、組立モジュールを抽出する必要がある。

・ 作業的な考慮

組立作業には、生産設備に強く依存した作業が多く存在する。ロンジ差込み工法、井桁工法、単板工法などがその良い例である。したがって、作業内容に適した組立モジュールの抽出が行われる必要がある。また、作業で使用されるクレーンなどの運搬設備の能力によって、組立モジュールの形状、重量が問題となることも考えられる。このように、作業内容や、作業に使用する設備を考慮した組立モジュールの抽出が必要である。

ところで本研究では、6.7 項で述べたようにカット機能を利用することによって、船体構造を構成する部材を部品化し、多数の部品情報を生成している。それらの多数の部品の中から上記の考慮の基に、任意に組立モジュールを抽出する方法を考える。本研究では、組立モジュールを抽出する機能として組立モジュールの分配機能を定義している。

組立モジュールの分配機能は、既に生成されている組立モジュール (上位層) を構成する多数の部品の中から、新たに生成する組立モジュール (下位層) の構成部品を任意に選択することによって、新たに組立モジュールを生成する機能である。

分配機能

上位層の組立モジュールを構成する多数の部品の中より部品を抽出することによって、新たな組立モジュール (下位層) を生成する機能

したがって、組立モジュールの分配機能としては、組立モジュールを構成する部品を任意に抽出する機能が必要であると考えられる。そこで本研究では、部品を抽出する機能として、以下に示す二つの機能を定義している (Table 7-2-2)。

a) 組立モジュールを構成する部品を幾何的に抽出する機能

組立モジュールを幾何的に抽出する機能を Fig.7-2-1 に示す。この抽出機能は、組立モジュールに対して指定した面と組立モジュールを構成する部品の形状情報との幾何学的な位置関係を利用して、組立モジュールを構成する部品の中から部品を選択し、複数の下位の組立モジュールに部品を振り分ける機能である。本研究では、この指定する面を分配面と呼ぶ。

b) 組立モジュールを構成する部品を直接的に抽出する機能

上記 a) で述べた組立モジュールを幾何的に抽出する機能だけでは、Fig.7-2-2 に示すような組立モジュールを生成することは困難である。その理由は、この図に示すような下位の組立モジュールを生成することが可能な分配面を指定することが困難であるからである。そこで本研

Table 7-2-2 組立モジュールの分配

	機 能
幾何的に分配	・ 複数の部品で構成される船体構造に対して、指定した面との位置関係を利用することによって、船体構造を構成する部品を複数のブロックに振り分ける
直接的に分配	・ 振り分けられた組立モジュール間の任意の部品の移動 ・ 直接的に部品を選択して組立モジュールを定義

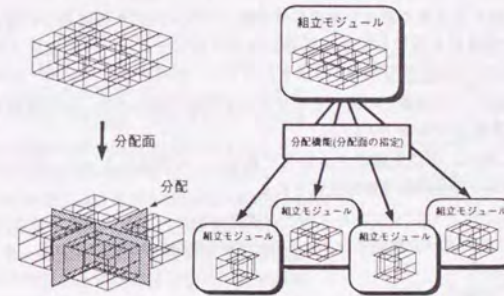


Fig.7-2-1 幾何的な組立モジュールの抽出

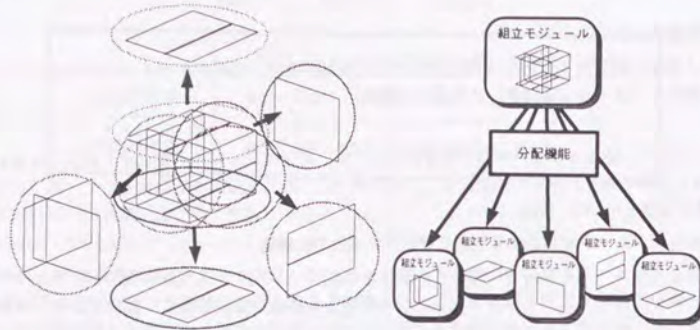


Fig.7-2-2 直接的な組立モジュールの抽出

Table 7-2-3 カット機能と分配機能の差異

機能の種類	機能の概略
カット機能	分割面を指定し、カット機能によって部品を分割する
	部品と部品との接合関係情報を生成する
分配機能	分配面の指定、直接的な部品の選択によって部品を振り分ける
	組立モジュールと組立モジュールとの接合関係情報を生成する

究では、この問題に対処することを目的に、組立モジュールを構成する部品を直接的に選択することによって抽出する機能を定義している。Fig.7-2-2は組立モジュールを構成している部品を直接的に選択することによって、下位の組立モジュールが生成された例を示している。

(2) 分配機能とカット機能との差異

本研究では、設計によって生成された部材に対して、カット機能を利用することによって部品化を行い、船体構造を構成する多数の部品を生成している。これらの複数の部品から構成される船体構造に対して、部品の分配機能を利用して生産活動に必要な組立モジュールを生成する。本研究では、カット機能と分配機能を組合わせて利用することによって、任意の組立モジュールを生成する。

ここで、カット機能と分配機能との違いを生成される情報の違いの視点から整理すると、以下のようによまとめることができる (Table 7-2-3)。

- ・カット機能は、新たに部品を生成する機能である。この機能によって、新たに生成される部部品と部品との間の接合関係情報が生成される。
- ・分配機能は、ある組立モジュールから新たな組立モジュールを生成する機能である。この機能によって、5.5節で述べた組立モジュール間の接合関係情報が生成される。

7.2.2 管理物量の収集

生産計画を行うためには、生産活動において必要となる作業量や作業時間を予め獲得することが重要である。実際の生産計画においては、生産する製品の情報から作業量や作業時間を予測する見積作

業が行われている。

見積作業は、計画を立案するために必要となる作業量や作業時間の情報を、

- ・製造すべき製品 (中間製品) が有する情報から集計される、中間製品の重量や接合線長さなどの管理物量
- ・過去の実績と蓄積された経験・勘などの情報

を利用することによって求める。この作業量や作業時間は、管理物量の詳細度や信頼度によって大きく影響されるため、製品情報から獲得する管理物量の集計作業は重要な作業となる。

そこで本研究では、以下に示すように部材の製品モデル、接合関係情報の製品モデルを基に管理物量を集計することを考える。

(1) 部材と接合関係情報の製品モデルから得られる管理物量

Fig.7-2-3(A)に示す様な板部材二枚が接合している構造は以下の情報を有している。

a) 部材の製品モデル

- ・形状情報、板厚
- ・材質及びその他の属性
- ・接合関係情報 (接合関係情報の製品モデル) (Fig.7-2-3(B))
- ・部材の種類 (板材、骨材)

b) 接合関係情報の製品モデル

- ・接合の幾何情報 (接合の位置、接合方向)
- ・接合関係にある部材情報 (部材の製品モデル) (Fig.7-2-3(B))
- ・接合の種類 (隅肉、突合せ)

以上の情報から、生産計画に必要な管理物量として得ることが可能な情報を以下に整理する。

・部材に関する管理物量

部材の製品モデルの情報から塗装面積、母材から加工するために必要な切断線長、さらに部材の重量、重心、材質等の情報が得られる。

・溶接 (接合) に関する管理物量

接合線に対する部材の接合方向は接合関係にある部材の製品モデルの情報から得ることができる (Fig.7-2-3(C)における矢印)。この接合方向の情報と JIS 規格 (JIS Z 3003) [JIS 溶接] の溶接姿勢判定 (Fig.7-2-4) の方法を利用することによって上向き溶接、下向き溶接、立向き溶接、水平溶接等の溶接姿勢に関する情報を得ることができる。また、この溶接姿勢の情報と部材の製品モデルの情報を基に、生産現場における基本的知識の記述による AI の手法を利用して、溶接方法を自動的に選択させることも可能である。したがって、溶接に関する管理物量としては、溶接姿勢別あるいは溶接方法別の接合線長などを収集することが可能である。

(2) 組立モジュールから得られる管理物量

設計された船体構造に対して、設計者が任意に分割面

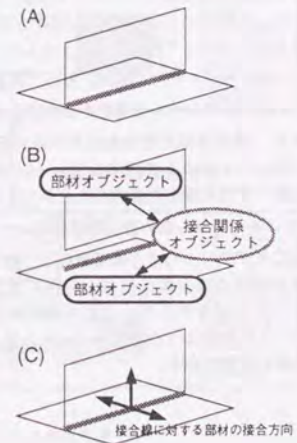


Fig.7-2-3 部材情報と接合関係情報

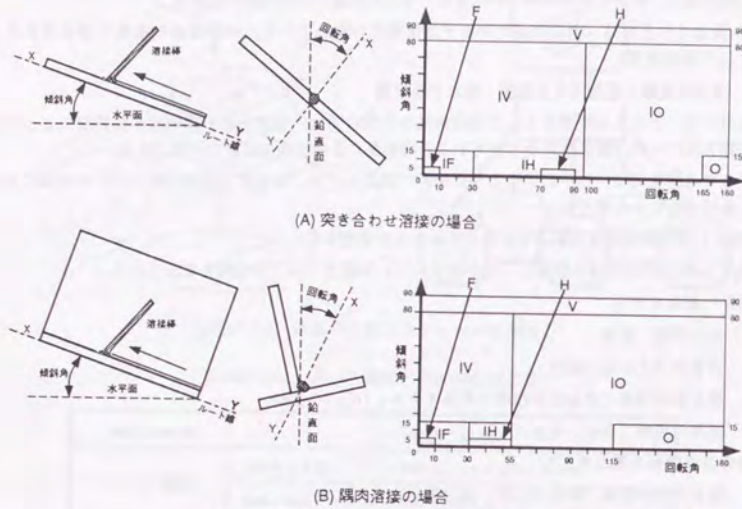


Fig.7-2-4 溶接姿勢の判定 (JIS Z3003)

や分配面を指定することによって、船体構造から複数の組立モジュールを抽出することができる。本研究における組立モジュールの抽出は、実際のブロック分割に相当するものと考えられる。

この生成される組立モジュールには、組立モジュールを構成している部品の製品モデルが管理されている。したがって、構成する部品に関する接合関係情報の製品モデルを間接的に利用することができる。したがって組立モジュールに対しても、以下の情報(管理物量)が得られる (Fig.7-2-5)。

- ・組立モジュールの重量、重心、投影面積、構成する部材数
- ・組立モジュールを構成する全接合線に対して、接合線長さ、溶接姿勢別の接合線長さ

また、接合関係情報の製品モデルに記述されている接合線の幾何情報を座標変換することによって、Fig.7-2-6のように組立モジュールの組立姿勢を変更した場合においても、その組立姿勢に応じた接合線の管理物量を収集することができる。

(3) 組立モジュール間の接合関係情報から得られる管理物量

組立モジュールの接合関係情報は、複数の部材の接合関係情報によって構成される。したがって、個々の部材の接合関係情報から得られる管理物量を様々な形式で集計することによって、組立モジュールを結合する際に必要な溶接線に関する管理物量を拾い出すことが可能である。例えば、Fig.7-2-7に示すような組立モジュール間の接合線の全長や溶接姿勢別の接合線長さなどの管理物量が容易に集計可能である。

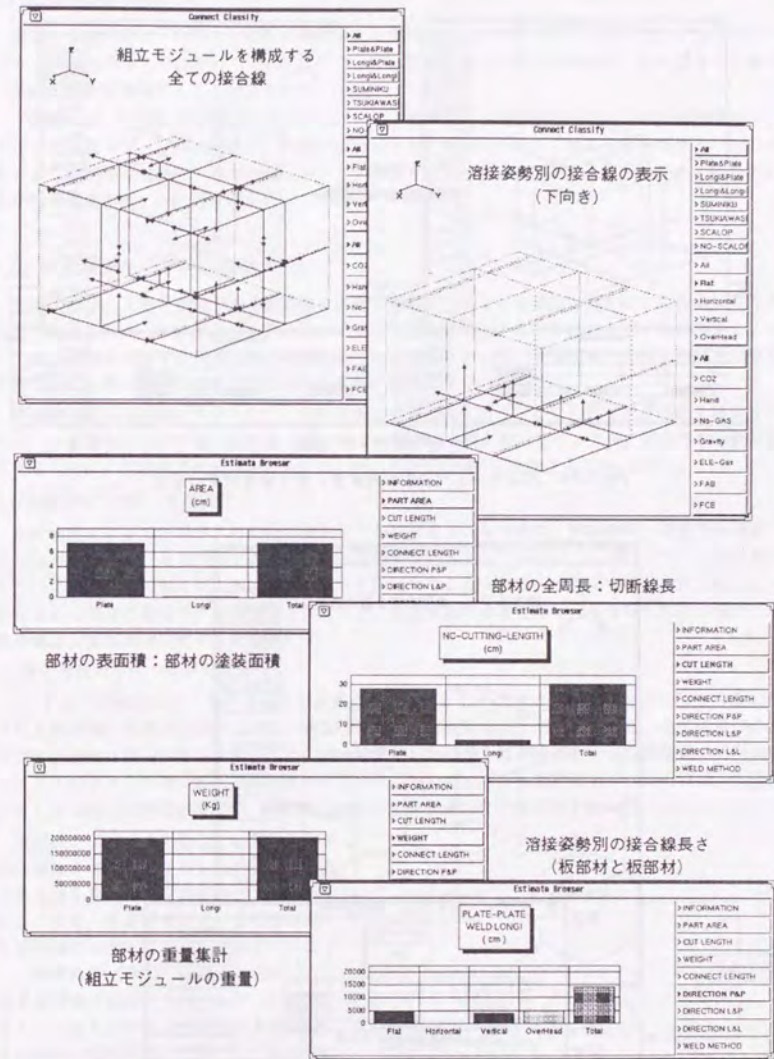


Fig.7-2-5 組立モジュールから得られる管理物量

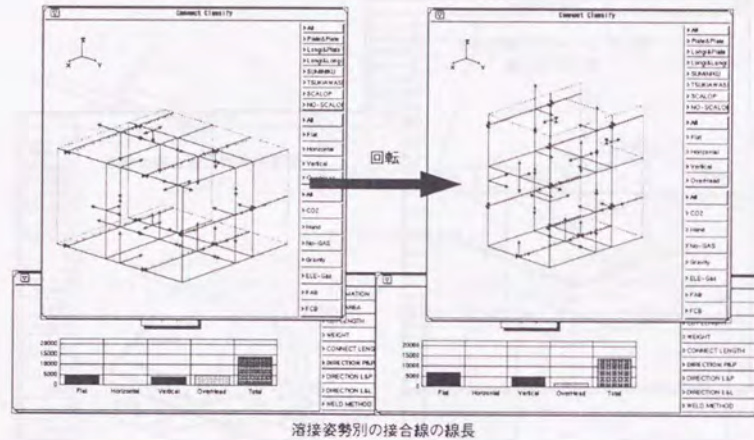


Fig.7-2-6 組立モジュールの姿勢変更に伴う管理物量の変化

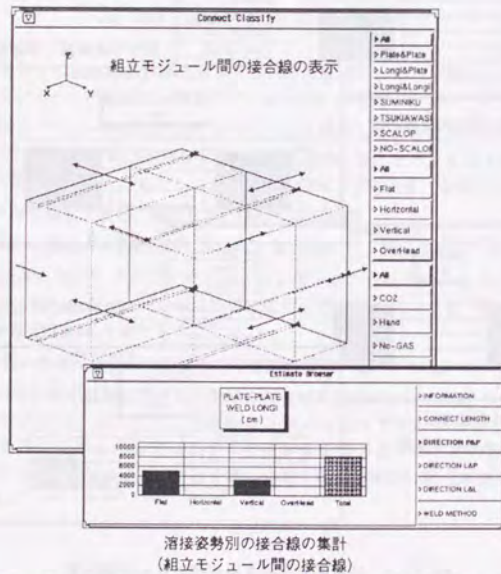


Fig.7-2-7 組立モジュールの接合関係情報から得られる管理物量

7.3 生産環境のモデル

現実の生産活動は、作業をする際に使用される生産設備と、作業を行う生産労働力から構成されている生産環境のもとで行われている。したがって、生産計画を立案する際には、生産環境が生産活動に及ぼす影響を無視することはできない。

本研究では、工程間を流れる物のモデルとして組立モジュールを定義しているが、生産環境のモデルはこの組立モジュールと同様に、生産計画を行う上で重要なモデルであると考えられる。そこで本節では生産環境に着目し、生産環境と作業との関係を整理し、作業に関する情報を生成するために必要な生産環境のモデルを考察する。

7.3.1 生産環境のモデルの機能

生産環境は、工場を構成する生産設備や生産労働力が有する生産機能を素材や中間製品に対して機能させることによって、新たな中間製品、および最終製品を造り上げる役割を担うものである。つまり、生産活動を構成する変換活動、運搬活動、停滞活動において、生産環境はそれらの活動を実現化するために必要であり、生産活動における重要な構成要素である。

本研究では生産環境をモデル化し、工程計画や日程計画を行うために必要な生産情報を提供するために、生産環境のモデルを定義する。また、4.6.1項で述べた生産環境のモデルに要求される要件を満足するために、定義する生産環境のモデルに対して以下の機能を付加する (Fig.7-3-1)。

(1) 作業情報の生成、管理機能

設計活動によって生成された部品の製品モデルに記述される情報は、形状情報、接合関係情報、属性情報が主であり、生産活動で必要となる作業情報は生成されていない。したがって、生産計画を行うためには、作業情報を何らかの手段によって生成する必要がある。本研究では、設計活動によって生成された部品の製品モデルの情報を利用して、生産活動で必要となる作業情報を生成し管理する機能を備えた生産環境のモデルを定義する。

(2) 計画情報の生成、管理機能

(1)で述べた機能によって作業情報が生成される。しかし、現実の生産環境では、溶接作業に使用される溶接機の台数は有限であり、作業を行う定盤の広さも有限であるといった、生産環境が作業に及ぼす物理的な制約が存在する。また、同一時刻において異なる溶接部を一つの溶接機で同時に溶接することはできない等の時間的な制約も存在する。したがって、生産計画を行うためには、生産環境が有するこれらの物理的な制約、時間的な制約を十分考慮しなければいけない。

本研究では、以上の物理的な制約や時間的な制約を考慮し、生産計画の立案を支援する機能を備えた生産環境のモデルを定義する。また、生産活動における作業情報を生産環境のモデルに管理させることによって、作業負荷(作業の山積み・山崩し)に関する情報を容易に獲得することが期待できる。つまり、作業負荷に関する情報は、生産設備の使用状況の把握や、工場全体の生産効率の把握などに有効に活用できるものと考えられる。

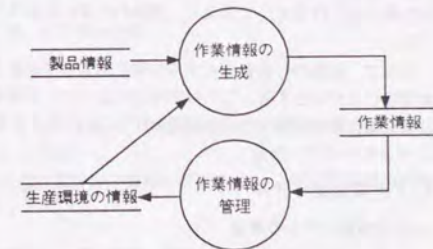


Fig.7-3-1 生産環境のモデルの機能

また本研究では、生産環境のモデルを製品モデルとは独立して定義することによって、

- ・生産設備の配置替えや生産現場における組織変更に対して、生産環境のモデルに記述する情報を変更することによって対応する。
- ・複数船を対象とした生産計画を支援する。

などを可能とする、システムを構築することを考慮している。

7.3.2 生産環境と作業の関係

既に述べているように、工程計画には工程作業を計画する工程設計と、実作業を計画する作業設計が存在するが、各計画で必要とされる作業情報の質は異なる。本研究では、この必要とされる作業情報の質の違いは、作業情報を生成する際に利用される生産環境の情報の違いであると考えた。

本研究では、生産環境のモデルとして作業資源モデル、工程資源モデル、工場モデルを定義している。そこで、以下に示すように工程作業と実作業の各々の作業に関する生産環境を整理する。

(1) 実作業に対応する生産環境（作業資源モデル）

作業設計では、詳細な作業単位である実作業の情報が生成される。この実作業の情報を生成するためには、工程作業に関する概念的な生産環境の情報と比べると、より具体的な生産環境の情報が要望される。したがって、詳細な作業情報を獲得するためには、実際の作業に直接関与する生産設備（例えば、溶接作業を行う際に使用する溶接機）、生産労働力（例えば、溶接作業を行う作業員）を表現し、詳細な作業情報の抽出を行う必要がある。例えば、溶接作業を実作業として捉えた場合、その作業を実現化する生産環境は溶接機と溶接作業員であると考えられる。

そこで、作業を行う場所（定盤など）、使用される設備（クレーン、炭酸ガス溶接機など）、作業を行う作業員（溶接作業員など）、等の作業に直接関係する作業資源モデルを実作業に対応する生産環境のモデルとする。この対応付けによって、作業資源モデルの役割は、工程内における実作業の情報を生成したり、それらの作業情報を管理することでであると認識することができる。

(2) 工程作業に対応する生産環境（工程資源モデル）

工程作業は、生産活動を「物の流れ」として捉えることによって認識される作業である。本研究では、組立モジュールを工程間を「流れる物」として定義している。更に、組立モジュールおよび組立モジュール間の接合関係情報を利用して工程作業の作業情報を獲得することを提案している（例えば、組立モジュールの接合作業は個々の接合部の詳細な溶接作業として認識されるのではなく、組立モジュールの結合作業として認識され、作業情報が生成される）。したがって、工程作業に対応する生産環境は、実際の作業に直接関与する生産環境（例えば、溶接作業を行う際に使用する溶接機、溶接作業を行う作業員）ではなく、実際の作業に直接関与することはない生産環境が相当するものと考えられる。

そこで、複数の作業資源モデルの構成によって定義される工程資源モデルを工程作業に対応する生産環境のモデルとする。この対応付けによって、工程資源モデルの役割は、工程設計において生成される工程作業の情報の生成や管理を行うことでであると認識することができる。

7.3.3 作業資源モデル

(1) 作業資源モデルの機能

切断作業、曲げ作業、溶接作業、運搬作業などの具体的な作業は、作業を行う定盤（場所）や使用される設備、および作業を行う作業員等が有する固有の生産機能によって実現化される。そこで、作

業資源モデルに作業を行う際の生産機能・生産能力の情報を記述する。これにより、ある作業資源モデルによって作業が可能であるか、可能でないかの判定を行ったり、生産計画で必要となる作業の情報として作業時間・作業コストの情報を生成する。

また、生産計画は、定盤・設備の使用日程や作業員の作業日程を求めることが最終目的であるので、作業資源モデルに作業の日程情報を管理する機能が必要である。本研究では、この作業の日程情報を管理する機能を定義し、実際の組立定盤や設備、および作業員のスケジュールの生成や管理を可能としている（Fig.7-3-2）。

(2) 作業資源オブジェクトの定義

システムに作業資源モデルを実装するために、作業資源オブジェクトを定義する。このオブジェクトは抽象的なオブジェクトであり、実際の施工場所や設備、作業員などをオブジェクトとして定義するために、作業資源オブジェクトのサブ・クラスとして施工場所オブジェクト、設備オブジェクト、作業員オブジェクトが定義されている。以下にシステムに定義された作業資源オブジェクトの構成を示す。

a) 施工場所オブジェクト

施工場所オブジェクトは、定盤の様に作業を行う場所を作業資源として定義するものである。したがって、作業を行うことが可能な広さ（建屋内の場合は高さも必要である）の情報を生産能力の情報として持つ。また、使用状況を管理する機能も有する。

b) 設備オブジェクト

設備はその生産機能によって、切断設備、曲げ設備、溶接設備、移動設備、塗装設備などに分類される。これらの各々の設備には様々な生産機能に対応した種類があるので、種類毎に設備オブジェクトを定義する必要がある。本システムで定義した設備オブジェクトを以下に挙げる。

・移動設備オブジェクト

対応する設備の種類：リフト・マグネット、クレーン、トレーラー等

情報として記述される能力：吊り上げ能力・搭載能力（重量制限や移動速度など）の情報（Table 7-3-1）

・溶接設備オブジェクト

対応する設備の種類：炭酸ガス溶接機、FCB（Flux Copper Backing submerged arc welding）

溶接機、FAB 溶接機等

情報として記述される能力：溶接能力（姿勢別の溶接スピード）の情報（Table 7-3-2）

・切断設備オブジェクト

対応する設備の種類：プラズマ切断機、ガス切断機等

情報として記述される能力：切断スピードの情報

c) 作業員オブジェクト

作業（溶接作業、組立作業、運搬作業）を行う場合の、作業員の能力（作業を行う処理能力）を作業員の情報として作業員オブジェクトに記述する。また、クレーン操作や溶接作業をする際には資格が必要であるので、作業員が有する作業資格の情報も記述する。この作業資格の情報により、作業が可能か否かの判定が行われる。

7.3.4 工程資源モデル

前項において述べた作業資源モデルは、現実の造船工場における、設備や作業員などの作業に直接

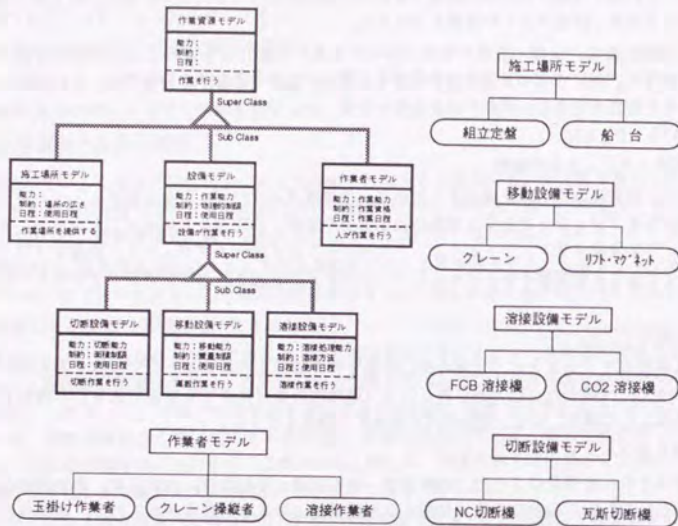


Fig. 7-3-2 作業資源オブジェクトの構成

Table 7-3-1 移動設備オブジェクトに記述される移動能力の情報

	能力 [min/Kg]	準備時間 [min]	外し時間 [min]
Lift-Magnet	0.05	5	5
Crane 5 ton	1.5	25	15
Crane 10 ton	1.5	35	25
Crane 25 ton	1.5	45	25

Table 7-3-2 溶接設備オブジェクトに記述される溶接処理能力の情報

溶接設備	能力 [m/min]	準備時間 [min]	外し時間 [min]
Gravity Welding	0.3	15	10
CO2 Semi-Auto Machine	Flat	0.1	15
	Horizontal	0.07	15
	Vertical	0.05	15
	Over Head	0.03	15
FCB Welding Machine	0.4	15	10
FAB Welding Machine	0.3	15	10

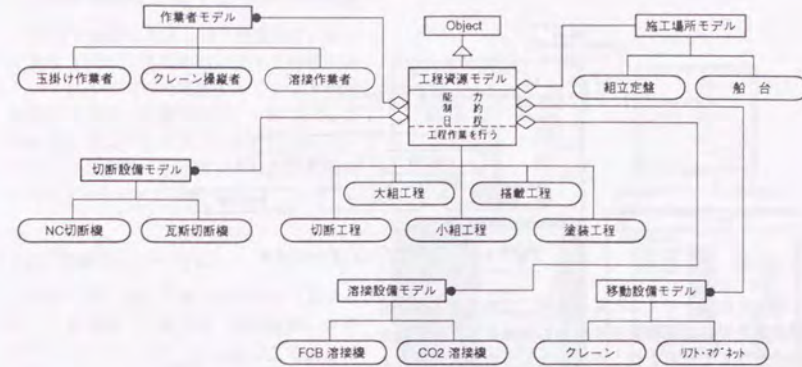


Fig. 7-3-3 工程資源オブジェクトの構成

関係する生産環境を、生産環境のモデルとして定義されたモデルである。これに対して工程資源モデルは、加工工程、組立工程などの工程自体が生産機能を有した概念的なものとして捉え、生産環境のモデルとして定義されたモデルである。

実際の工程が様々な生産設備や生産労働力によって構成されるのと同様に、工程資源モデルは、工程に存在する様々な作業資源モデルによって構成されるものと定義される。工程資源モデルの生産機能・生産能力は、構成要素である作業資源モデルが有する情報によって確定されるものと考える。したがって、工程資源モデルは、作業資源モデルの上位の概念と考えることができる。ここで言う上位の概念とは、工程資源モデルを作成するために複数の作業資源モデルが存在するということである。また、実際の工程としては、加工工程、小組立工程、大組立工程、外業工程などの様々な工程を挙げることができるが、工程資源モデルは、その構成要素である作業資源モデルによって各々の工程が有する生産機能・生産能力は確定される。したがって、作業資源モデルさえ定義しておけば、作業資源モデルの組合せとして工程資源モデルを表現することができ、各々の工程毎にモデル化を行う必要がないと考えられる。

工程資源モデルは、工程内において実施される全ての作業に関する情報を、統括的に管理する役割を担うモデルとして定義される。つまり、工程資源モデルは、自己の構成要素である作業資源モデルが管理する作業情報を利用することによって、工程全体における作業情報の管理を行う。

また、システムに工程資源モデルを実装するために、工程資源オブジェクトが定義されている。この工程資源オブジェクトには、複数の作業資源オブジェクトが記述される (Fig. 7-3-3)。

7.3.5 工場モデル

工程資源モデルの概念をさらに拡張させると、造船工場 (工場全体) はその構成要素である工程 (工程資源モデル) の集合体として表現することができる。そこで、複数の様々な工程資源モデルで構成される生産環境のモデルを工場モデルとして定義する。この工場モデルは、工程資源モデルの上位の概念となる。

工場モデルの生産機能・生産能力は、工場を構成する工程資源モデルの生産機能・生産能力によっ

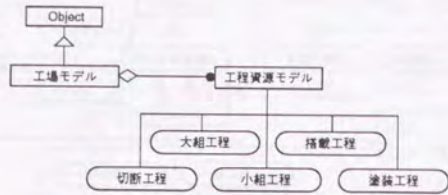


Fig.7-3-4 工場オブジェクトの構成

で確定されると考えられる。また、工場モデルはその構成要素である工程資源モデルの生産計画情報を総合的に管理する役割を担うモデルとして定義される。また、この工場モデルの主な役割は、工程資源モデルの情報を管理することである。そのため、工場モデルは、後述するように工程作業や実作業を割り当てる対象としては定義されていない。

また、システムに工場モデルを実装するために、工場オブジェクトが定義されている。工場オブジェクトには、自己の構成要素として複数の工程資源オブジェクトが記述される。このことによって、生産環境に関する全ての情報が、工場モデルによって管理されることになる (Fig.7-3-4)。

7.3.6 生産環境のモデルの構成と定義

生産環境のモデルとして定義された「作業資源モデル」と「工程資源モデル」および「工場モデル」は、Fig.7-3-5に示すような階層構造を構成する。また、これらの生産環境のモデルはそれぞれが独立しており、各々の構成要素を自由に追加、削除することが可能である。したがって、生産環境の自由な組合せ (構成) が可能である。

構築されたシステムでは、生産環境 (工場) の構成を自由に定義することを支援するために生産環境のモデルの設定ツールを構築している (Fig.7-3-6)。この設定ツールの使用により、工場オブジェクト、工程資源オブジェクト、作業資源オブジェクトなどの自由な組合せが可能である。さらに、Fig.7-3-7に示すように、工程資源オブジェクトや作業資源オブジェクトに記述されている生産能力などの情報を、必要に応じて自由に修正することもできる。

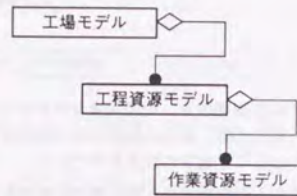


Fig.7-3-5 生産環境のモデルの階層構造

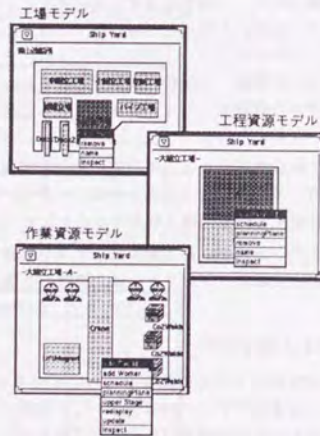


Fig.7-3-6 生産環境のモデルの設定ツール

7.4 作業情報を記述するモデルの定義

7.1節で整理したように、生産計画によって生成される作業情報には様々な情報があり、これらの情報を管理することは、生産計画のシステムを構築する上で重要なことである。そこで本節では、生産計画によって生成される様々な作業情報を記述し管理するモデルについて考察する。

7.4.1 作業モデルの定義

作業とは、製品を現実のものとするために、生産活動 (変換活動, 運搬活動, 停滞活動) において実施される行為である。造船場では、以下の様々な作業が挙げられる。

変換活動: 配置 (配材) 作業, ブロックの反転作業, 仮付け溶接作業, 溶接作業, 切断作業, 曲げ作業など

運搬活動: 搬入作業, 移動作業, 搬出作業など (場所の移動のみを施す作業)

停滞活動: 待ち作業 (時間的経過のみを施す作業)

また、以上の様々な作業を実際に行うためには、作業を行う対象、使用する生産設備、作業を行う作業員が必要である。したがって、作業を情報の面から捉えよと次の情報が必要であり、これらの情報を作業情報として表現する必要があると考えられる。

・作業の対象に関する情報 (作業対象)

例えば作業対象となる中間製品や搬出作業の場合のブロック (本研究では組立モジュールとして表現している)、溶接作業の場合の溶接部など

・作業を実施する作業員や生産設備に関する情報 (作業環境)

例えば溶接作業の場合の溶接作業員と溶接機、配置 (配材) 作業やブロックの反転作業の場合の玉掛け作業員とクレーン

本研究では、これまでに生産の対象となる製品を計算機内に表現するモデルとして製品モデルを定義した。また前節では、造船工場における生産環境のモデルとして、生産環境のモデルを定義した。そこで、以下に示すように、作業情報を記述する際に、製品モデルや生産環境のモデルを利用することが考えられる。

・作業の対象となるもの (作業対象): 製品モデル

・作業を実施するもの (作業環境): 生産環境のモデル

以上に示した情報の記述によって、「作業の対象となるもの (製品モデル) の情報」と、「作業を実施する環境 (生産環境のモデル) の情報」によって作業が確定されると考えられる。このことは、作業対象の情報と作業環境の情報とから、生産計画の立案に必要な作業情報が生成されるということである。

また、生産活動のように複数の作業が組合せられる場合には、作業の順序に関する情報は重要であ

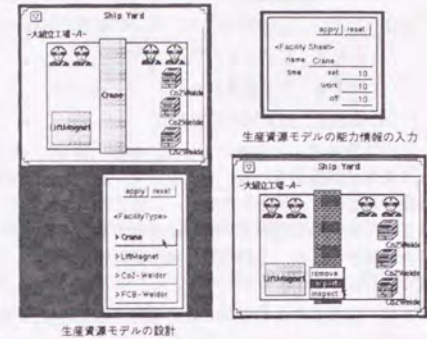


Fig.7-3-7 作業資源モデルの設定例

る。本研究では、個々の作業に対して作業の前後関係を相対的に記述することによって、作業順序を記述するものとした。この前後関係の情報によって、作業の流れを認識することができるだけでなく、作業を時間軸に展開する際にも有効に利用できる。

以上の検討より、本研究では、以下の情報が記述されるモデルとして作業モデルを定義する。

- ・作業対象：製品モデル
- ・作業環境：生産環境のモデル
- ・作業順序：作業間の前後関係

この作業モデルの定義によって、何が（誰が）、何に対して、どの作業の前後に作業を行うかという作業情報が獲得される。したがって、記述する情報の内容と、その情報の組合せによって、作業の種類（溶接作業、移動作業など）に応じた作業情報や、次項（7.4.2項）で述べる作業の管理レベルに応じた作業情報を獲得することが可能である。したがって、作業の種類が異なる場合や作業の管理レベルが異なる場合（工程作業と実作業の場合）においても、作業モデルを一般的に利用することが可能であると考えられる。

また、作業モデルをシステムに実装するために、<作業オブジェクト：Operation_Object>を定義している。

7.4.2 作業モデルの階層構造の定義

生産活動における作業の認識は幅広い範囲に及ぶものである。例えばブロックとブロックの結合を考える場合は、溶接すべき溶接線一本一本の溶接作業といった作業の具体的な認識や、ブロックとブロックとの結合作業といった作業の概略的な認識など様々である。このような認識の違いは作業の管理レベルと深く関係しており、生産計画においても、計画の目的に応じて作業は様々なレベルで認識されている。

本研究では、7.1.1項で述べたように、例えばブロックの結合を具体的な溶接作業のレベルで捉えた実作業と、ブロックの結合作業を概略的に捉えた工程作業を定義している。つまり、実作業で定義される作業は具体的な作業であり、工程作業で定義される作業は概略的な作業であるといえる。これをFig.7-4-1のように示すことができる。そこで、工程作業の作業モデルと実作業の作業モデルを以下に示す。

(1) 工程作業の作業情報を記述する作業モデル

本研究では、生産活動を「物の流れ」として捉えるための作業として、工程作業を定義している。ここで生産活動を「物の流れ」の視点から捉えた場合、この「物の流れ」の核（流れる物）となるのは組立モジュールである。したがって、工程作業の作業対象は、この組立モジュールを中心とした製品情報となる。具体的には、組立モジュールおよび組立モジュールの接合関係情報が生産対象の情報として記述される。また、生産環境の情報としては、生産活動を「物の流れ」として捉えるために、工程資源モデルの情報が記述される。本研究では、以上の工程作業に関する作業情報を作業モデルに記述している。この工程作業の作業情報が記述された作業モデルを特に「工程作業の作業モデル」と呼ぶ。

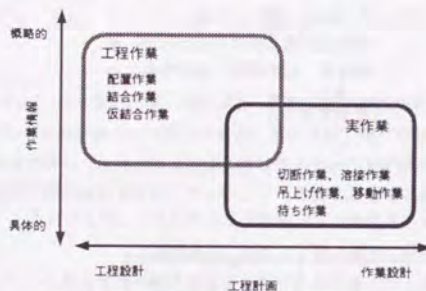


Fig.7-4-1 工程作業と実作業の作業モデル

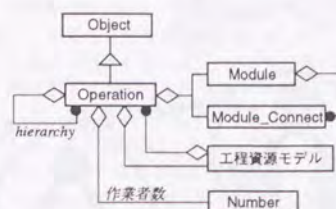


Fig.7-4-2 工程作業の作業オブジェクト

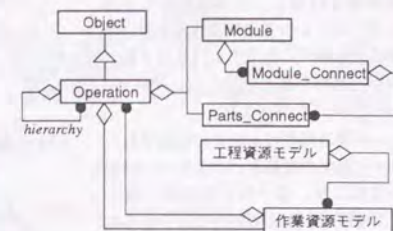


Fig.7-4-3 実作業の作業オブジェクト

また、本研究で構築されているシステムでは、Fig.7-4-2に示すように工程作業の作業オブジェクトに情報が記述されている。

(2) 実作業の作業情報を記述する作業モデル

実作業は、実際の生産活動で行われる具体的な作業に相当するものである。例えばこの実作業は、炭酸ガス溶接の作業や、クレーンによるブロックの移動作業などであり、具体的な作業内容を伴う実際の作業に対応する作業である。本研究では、この実作業に関する作業情報を作業モデルに記述している。この実作業の作業情報が記述される作業モデルを特に「実作業の作業モデル」と呼ぶ。この実作業の作業モデルは生産活動を構成する作業の基本単位となるものである。

詳細かつ具体的な作業情報を生成するために、実作業の作業モデルには、作業対象の情報として組立モジュールや、部品間の接合関係情報が記述される。また、作業環境の情報としては、作業資源モデルの情報が記述される。したがって、組立モジュールの移動作業、個々の溶接部の溶接作業などの個々の実作業に必要な作業時間は、作業対象である製品情報から得られる管理物量と、使用する設備の作業資源モデル、および作業を実施する作業員の作業資源モデルに記述されている生産能力の情報から詳細に求められる。

また、本研究で構築されているシステムでは、Fig.7-4-3に示すように実作業の作業オブジェクトに情報が記述されている。

本研究では、以上のように工程作業の作業情報は工程作業の作業モデルに、また、実作業の作業情報は実作業の作業モデルに記述されている。ところで、実際の作業においてもブロックの結合という工程作業は、鋼板の溶接作業という実作業によって構成されるといった関係が存在する。したがって、工程作業の作業モデルと実作業の作業モデルは互いに深く関係するものであると認識することができる。本研究では、作業モデルに階層構造を適用し、工程作業の作業モデルと実作業の作業モデルの関係を階層的に関係付けている。具体的にはFig.7-4-4に示すように、工程作業の作業モデルの情報として実作業の作業モデルが記述されている。

作業モデルは、実作業の作業モデルと工程作業の作業モデルが中核であるが、作業モデルの階層構造を利用することによって、様々なレベルの作業の表現が可能である。例えば、7.5.7項で述べる工程作業群の作業を作業モデルとして表現する場合である。

7.4.3 作業時間の見積り

作業を行う日程情報を獲得するためには、作業を時間軸上に展開する必要がある。このためには、作業を実施するために必要となる時間（作業時間）の情報が不可欠である。この作業時間を求める際

には、作業の対象となる製品から管理物量を収集し、管理物量から時間を求めるための見積関数「 f (管理物量)」を用いて算出する(見積)ことが一般的である[山本67][栗岡69][有吉64](Fig.7-4-5)。

この見積関数は、長年の経験や勘、および過去の実績などによって、様々な造船工場、様々な生産工程、様々な生産設備や生産労働力において各々独自の関数が定義されているようである(一般的な関数として定義されていない場合もある)。したがって見積関数は、7.5節で定義した生産環境のモデルに深い関係があるものと考えられる。本研究では、見積関数を生産環境のモデルに記述される生産能力の情報に対応する関数であるとされており、作業に必要な作業時間を、作業モデルに記述されている以下の情報より求める。

- ・製品モデルから得られる管理物量
- ・生産環境のモデルの生産能力の情報

したがって、工程作業の作業モデルや実作業の作業モデルに記述されている情報に応じて、その作業モデルの管理レベルに応じた作業時間を算出することが可能である。

なお、見積関数は厳密であることが望まれるが、見積関数は実際の造船所によって定義されるべきものであると考え、本研究では見積関数の厳密な定義は目的としていないことを断っておく。

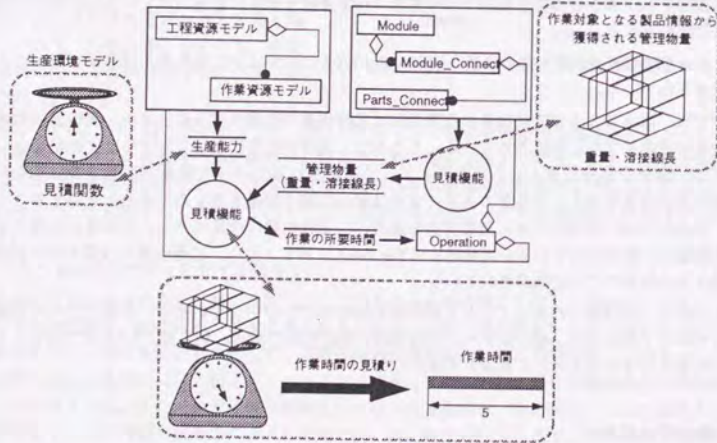


Fig.7-4-5 作業時間の見積り

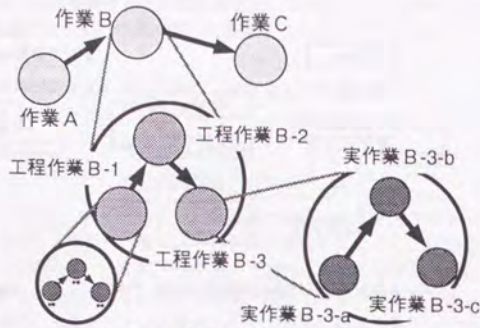


Fig.7-4-4 作業モデルの階層構造

7.4.4 作業の日程情報の生成

生産計画において、最終的に必要とされる作業情報は、作業に必要な時間の情報ではなく、「何時から何時まで作業を行うか」といった作業を実施する日程に関する情報(日程情報)である。本研究では、この日程情報を生成する流れを以下のように整理した。また、システムにおいても、この整理に基づき日程情報の生成が実装されている。

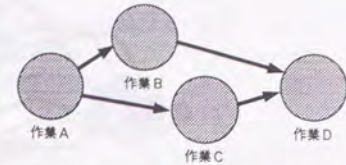


Fig.7-4-6 フロー・ダイアグラム

- ・作業モデルに記述されている作業の前後関係の情報から、作業モデルのフロー・ダイアグラム(Fig.7-4-6)を生成する[関根65]。
 - ・7.5.3項で述べた作業時間の見積りなどによって、個々の作業モデルの作業時間を算出する。
 - ・PERT(Program Evaluation and Review Technique)手法に基づいて、時間軸への展開を行う。
 - ・時間軸への展開によって、作業モデルに作業の日程情報(開始時刻と終了時刻)が記述される。
 - ・日程情報を基に、ガント・チャートによって日程を表示する。
- (本システムにおける、作業の日程情報のガント・チャートによる表示に関しては、7.8.1項で詳細に述べる)

7.5 工程計画のモデル化

本節では、既に定義している組立モジュール、生産環境のモデル、作業モデルを有効に利用し、工程計画のモデル化について考察する。

7.5.1 工程設計のモデル化

船舶の建造における組立工程は、外業(船台)、大組立、小組立などの複数の工程で構成されている。各工程では、製造途中にある中間製品に対して、部品または別の中間製品などを付加する活動によって、その工程における最終製品を組上げる作業が行われる。この製品要素を付加する作業には、何等かの順序関係が必要である事は容易に推察される。この順序関係は、組立作業においては組立順序に相当する。

また、先行する組立工程は、後続の組立工程に必要な製品要素を供給するといった工程間の前後関係を明確に把握することが重要である。したがって、工程計画における工程設計の役割は、

「製品を製作するために要する『物の流れ』を決定する」

ことであると考えられる。つまり、工程設計は各々の工程間の変換活動を決定し、「物の流れ」の筋道を決定する設計である。そのために一つの組立工程内における組立手順の決定と、組立工程間の物流の整合性保持のための情報生成が必要になると考えられる。以上から工程設計では

- ・各工程内における組立順序
- ・様々な工程間の『物の流れ』

の項目が決められる必要がある。本研究では、これらの項目を決定するために、組立工程を中心に以

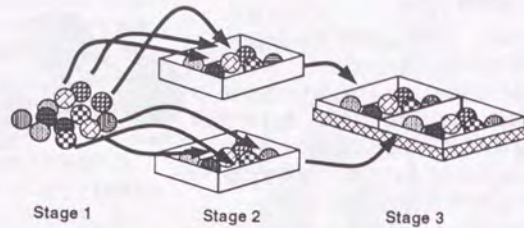


Fig.7-5-1 工程設計のモデル化

下のように工程設計のモデル化を行った (Fig.7-5-1)。

・工程における組立順序

- 1) 計画の対象である工程を「仮想的な箱」としてモデル化する。
- 2) 組立作業を、組立モジュールを「箱」に入れる作業として表現する。
- 3) 「箱に入れる組立モジュールの順序」として組立作業の手順が表現される。

・工程間の「物の流れ」

- 4) 「箱」の関係を利用して、前後工程間の関係 (例えば、Stage2に対応する工程 (前工程) と Stage3に対応する工程 (後工程) との関係) を表現する。

7.5.2 グラフによる組立順序の表現 (組立グラフの生成)

生産活動を、「仮想的な箱に対して製品要素を入れる」とモデル化することによって、組立順序を「製品要素 (組立モジュール) を箱 (工程) に入れる順序」として表現した。この表現において、組立順序が得られる過程は以下になる。なお、本研究では、組立モジュールの組立順序を作業モデルの有向グラフで表現することを考えている。

製品要素間の接合関係を念頭におき、製造途中にある製品に対して、新たな製品要素Nを付加する場合を考えてみる。例えば、ブロック搭載の工程を考えた場合、製品要素Nは搭載するブロックNとなる。この場合、そのブロック (製品要素) Nよりも先行して船台 (箱) に搭載され、ブロック (製品要素) Nと接合されるべきブロック (製品要素) Xが一個以上存在することは明らかである。この時想定したブロック (製品要素) Nを後続要素、ブロック (製品要素) Xを先行要素とすれば、船台に最初にブロックを搭載する (空の箱に最初に要素を入れる) 場合 (先行要素が存在しない場合) を除き、全ての後続要素には必ず一個以上の先行要素 (先行要素群) が存在する。

以上のように生成された、先行要素と後続要素の二要素間の対応関係を表現する際に、各要素をグラフのノード (節点) として捉えることによって、製品要素の付加順序を製品要素の有向グラフで表現することが可能である [山崎 73]。本研究では、ブロックの製品モデルとして組立モジュールを定義しており、先に述べた製品要素は組立モジュールが相当する。したがって、組立モジュールの組立順序を組立モジュールの有向グラフとして表現することができる。また、この組立モジュールを作業対象にする作業モデルを生成する (組立モジュール一つに対して作業モデルを一つ生成する) ことによって、組立順序を作業順序として認識することができる。さらに、組立モジュールの有向グラフをもとに、作業モデルの有向グラフを生成することができる。本研究では、この作業モデルの有向グラフを組立グラフと定義する (Fig.7-5-2)。

組立グラフ

組立モジュールの組立順序を、作業モデルの有向グラフとして表現するグラフ

7.5.3 工程作業の抽出のモデル化

前項では、工程における組立順序を作業モデルの有向グラフによって表現することを述べた。工程計画の次の段階では、組立作業を行うために必要な作業を、決定された組立順序の情報から抽出することが要求される。「仮想的な箱」を工程として捉えた工程設計のモデルでは、複数の組立モジュールから一つの組立モジュールを生成するために必要となる作業として、以下に整理する作業が考えられる。

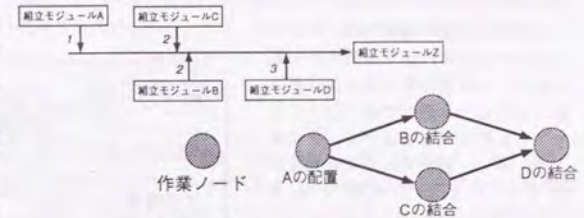


Fig.7-5-2 組立グラフの生成

必要となる作業として、以下に整理する作業が考えられる。

- ・配置作業: 組立モジュールを工程の「箱」へ入れるために必要な作業。例えば定数上に組立モジュールを配置したり、組立途中の組立モジュール上に別の組立モジュールを配置する作業
- ・結合作業: 「箱」に入れようとする組立モジュールと、既に「箱」の中に入っている組立モジュール群とを結合するための作業。また、この結合作業には結合の前準備としての仮結合作業が存在する場合があります

以上の作業は、本研究で定義している工程作業に相当する作業である。その理由は、工程設計では、「物の流れ」を中心に捉えた生産活動の流れを決定することが目的であるので、取付け作業、溶接作業という具体的な作業が認識されるのではなく、組立モジュールの結合作業といった概略的な作業が認識されるからである。

以上のように抽出される工程作業は、作業モデルとして生成され、前項で生成された組立グラフを構成する作業モデルに記述される (Fig.7-5-3)。また、これらの工程作業の作業モデルには作業対象となる製品モデルの情報が記述されており、配置作業の作業モデルには組立モジュール、結合作業や仮結合作業の作業モデルには組立モジュール間の接合関係情報が記述される。

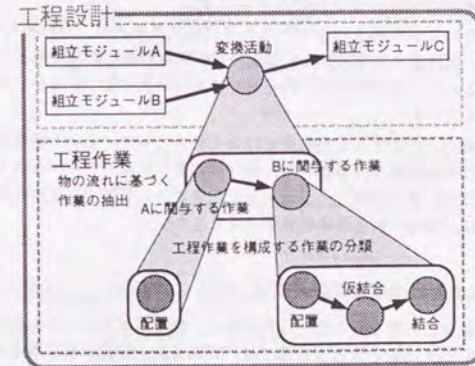


Fig.7-5-3 工程作業の抽出

- ・配置作業の作業モデル
作業対象は、組立モジュールである。
- ・仮結合作業の作業モデル/結合作業の作業モデル
作業対象は、組立モジュールの接合関係情報である。

7.5.4 実作業の抽出のモデル化 (作業設計のモデル化)

工程計画の次の段階では、具体的な作業である実作業を抽出する必要がある。この実作業の抽出は作業設計に相当し、本研究では、以下に示すように実作業を抽出することを考えた。また、抽出された実作業は作業モデルとして生成される (Fig.7-5-4)。

例えば、工程作業として組立モジュールの結合作業を例にした場合、結合作業の作業モデルには、対象の情報として組立モジュール間の接合関係情報が記述された。これに対して、実作業は、具体的な複数の溶接作業などが相当するので、溶接作業の作業モデルには、個々の部品間の接合関係情報が作業対象として記述される必要がある。この部品間の接合関係情報は、部品が属する組立モジュールの接合関係情報に記述されている。したがって、組立モジュール同士の結合作業の作業モデルに記述されている組立モジュールの接合関係情報から、実作業の対象となる部品の接合関係情報を抽出し、実作業の作業モデルに部品の接合関係情報を作業対象として記述することが可能である。以上のことから、本研究では、作業設計における実作業の抽出を、先に抽出された工程作業の詳細化として考えている。

また、生成される実作業の作業モデルとして、上記の溶接作業の作業モデルの他に、組立モジュールの配置作業の作業モデル、仮付け作業の作業モデルが考慮されている。この配置作業の作業モデルの作業対象には組立モジュールが記述され、仮付け作業の作業モデルには接合作業の作業モデルと同様に、部品の接合関係情報が記述される。

7.5.5 製品の組立姿勢の表現

実際に作業を行う際の作業姿勢は、作業効率に対して大きな影響を与えるものである。大型の構造物を組立対象とする造船業では、作業を行う際に頻りに製品姿勢を変更することは困難であり、また作業姿勢は、作業条件となる製品の組立姿勢の情報によって決定づけられる。したがって、製品の組立姿勢を考慮した組立順序を決定することは、作業効率の面から重要である。

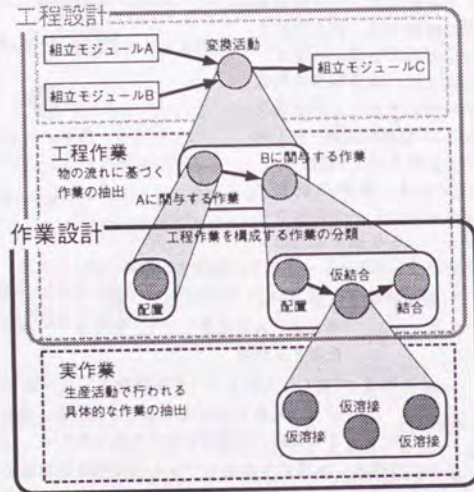


Fig.7-5-4 実作業の抽出

この組立姿勢を考慮するための一つの方法として、次の方法が考えられる。製品モデルの形状情報が製品の組立姿勢を表現する情報であるとみなし、組立姿勢を変更する場合は、製品モデル形状情報を座標変換することによって、製品の姿勢を直接変更する方法である。

しかし本研究では、組立姿勢の情報を製品モデルの形状情報とは独立させた情報として捉え、作業の情報として記述することを考えた。この組立姿勢の情報は、工程計画において組立順序を指定する際に、組立定盤に最初に置かれる組立モジュールの姿勢の情報として入力される。7.6.2項において、この組立姿勢に関する具体的な情報を述べるが、記述される組立姿勢の情報は、作業量を見積る際に組立姿勢の作業に対する影響を考慮するために利用される。また、この組立姿勢に関する情報は、作業モデルに記述される。

7.5.6 工程間の計画情報の接続のモデル化

これまでに述べてきたように、様々な工程 (例えば搭載工程、大組立工程) において、組立順序を指定することによって、組立順序を表現する組立グラフや、様々な工程作業の作業モデルや実作業の作業モデルを生成し、個々の工程毎に工程計画の情報を生成することができる。しかし、個々の工程における工程計画の情報が独立していたのでは、工場全体の工程計画の情報として利用されることは困難である (Fig.7-5-5(A))。本研究では、この問題に対処するために、個々の工程において生成された工程計画の情報の接続を考えた。この工程計画の情報の接続を以下に示す。

・工程作業群の作業モデルの生成 (組立グラフの縮約)

ある工程において生成された組立グラフを構成する複数の作業モデルを一つに纏め (組立グラフの縮約)、一つの作業モデルを生成する。この生成された作業モデルを工程作業群の作業モデルと呼ぶ。作業モデルの階層構造を利用することによって、工程作業群の作業モデルには、複数の工程作業の作業モデルの情報が記述されている。

・前後工程間の接続

ある工程 (工程 N) における工程作業群の作業モデル (作業モデル A とする) と、その工程に対して後工程になる工程 (工程 N+1) の組立グラフを構成する作業モデル (作業モデル B とする) は、同レベルの作業モデルと認識することができる。したがって、作業モデル A と作業モデル B に作業の前後関係を記述することによって、工程 A の工程計画の情報と工程 B の工程計画の情報を接続することができる (Fig.7-5-5(B))。

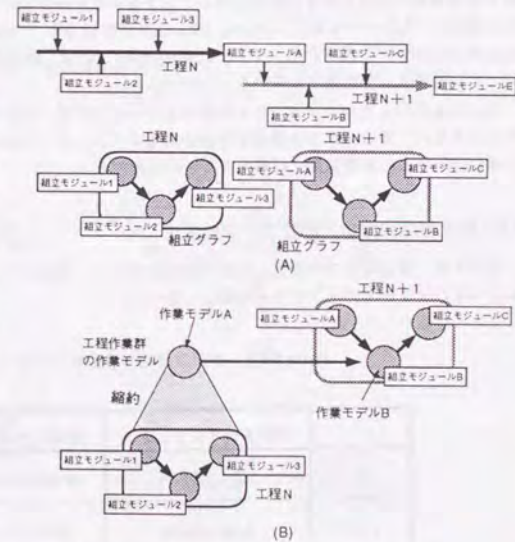


Fig.7-5-5 工程間の計画情報の接続のモデル化

7.6 工程計画支援システム

本研究では、前項で述べた工程計画のモデルに基づき、工程計画を支援するシステムを構築している。そこで本節では、工程計画のモデル化に基づいて構築された工程計画支援システムに関して述べる。なお、本節では、組立モジュールをシステムに実装する組立モジュール・オブジェクトを単に組立モジュールと記述することを断っておく。

7.6.1 組立モジュールの接合グラフ

組立モジュールの接合関係は、組立モジュールの接合関係情報を利用することによって、Fig.7-6-1に示すようにグラフとして表現することができる [Wilson85] [小野寺68]。本研究ではこのグラフを組立モジュールの接合グラフと呼ぶ。

この接合グラフをシステムに実装するために、グラフのノードに対応した<Node_Object>とグラフのリンクに対応した<Link_Object>を定義している。<Node_Object>には、ノード部分の情報として接合関係を構成する実体(組立モジュール)が記述され、<Link_Object>には、リンク部分の情報として実体間の接合関係情報が記述される。設計が終了し、さらに組立モジュールの抽出が終了した段階で、抽出された組立モジュールを基に<Node_Object>が生成され、組立モジュールの接合関係情報から<Link_Object>が生成される。また、<Link_Object>には、接続関係にある二つの<Node_Object>がノードの情報として記述されている (Table 7-6-1)。

Fig.7-6-1に示した接合グラフ中に表示されている数字は、組立モジュール間の接合線の合計長さである。さらに、接合グラフを構成する接合関係オブジェクトの情報からは、全ての接合線の長さや接合線の方向などの管理物量を収集することが可能である。

7.6.2 組立順序の指定と組立グラフの生成

本項では、接合グラフを利用した組立順序の決定と、決定された組立順序の情報から生成される、組立作業のフロー・ダイアグラムに関して述べる。

Table 7-6-1 グラフ表現のためのオブジェクトの定義

	対応するオブジェクト	記述される情報 (オブジェクト)
ノード	Node Object	接合関係を構成する組立モジュール
リンク	Link Object	組立モジュール間の接合関係情報

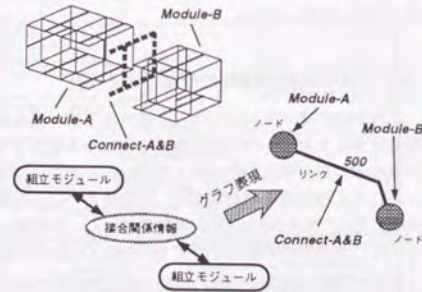


Fig.7-6-1 組立モジュールの接合グラフの生成

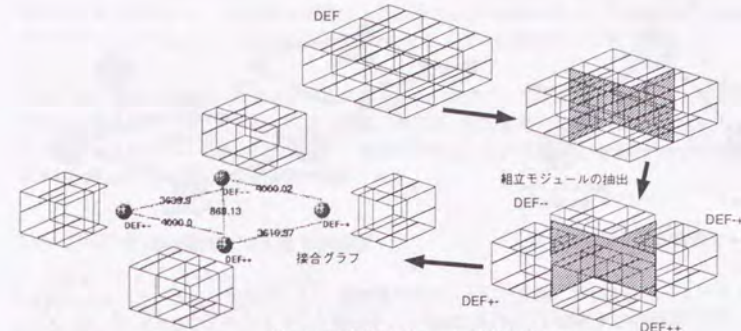


Fig.7-6-2 組立モジュールの接合グラフ

(1) 接合グラフと組立グラフ

組立モジュールの接合グラフの段階では、接合関係を表現するリンク<Link_Object>には組立順序を表現する方向は存在しない。したがって、表現された接合グラフは無向グラフである。しかし、計画者が、組立モジュールの組立順序を入力した場合 (ノード:Node_Object に対して組立の優先順序が入力される), リンクの方向はそのリンクを構成するノード間の組立順序によって自動的に求められる。リンクの方向が決定されることによって、無向グラフであったものが有向グラフとして表現される。さらに、組立モジュールを作業対象とする作業オブジェクトが生成され、組立モジュールの有向グラフをもとに、作業オブジェクトの有向グラフである組立グラフが生成される。

(2) 組立グラフの生成の流れ

組立グラフの生成過程を、Fig.7-6-2に示す例を用いて以下のように説明する。図に示す例はブロックの搭載工程を念頭にしたものであるが、7.6.6項で示すようにブロックの組立工程においても同様である。

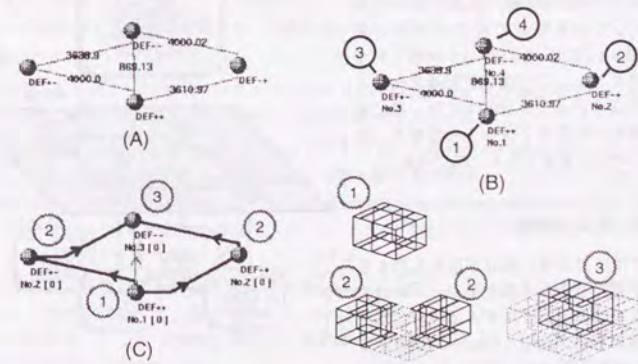


Fig. 7-6-3 組立順序の入力と組立順序のグラフ表示

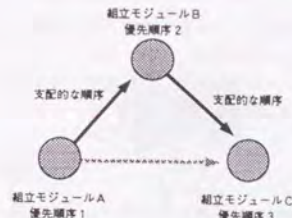


Fig. 7-6-4 支配的な組立順序の決定

- 1) 組立モジュール [DEF] は、組立モジュールの分配機能 (7.2.1 項参照) によって、4つの組立モジュール ([DEF++], [DEF+], [DEF-], [DEF--]) から構成されるものと定義されている。これらの組立モジュール間には接合関係情報が存在し、Fig. 7-6-3(A) に示すように接合グラフが生成される。
- 2) Fig. 7-6-3(B) に示すように組立モジュール (組立ブロック) の接合グラフを構成するノードに対して、「仮想的な箱」に入れる優先順序を決めると (図中の○で囲った数字は組立の優先順序を示す)、組立作業における先行ブロックと後続ブロックの順序が相対的に決定され、先行要素、後続要素を表現した有向グラフが生成される。
- 3) 組立モジュールの有向グラフに対して、Fig. 7-6-4 に示すように支配的な先行後続関係であるリンクを強調すると、Fig. 7-6-3(C) の様に表示される。
- 4) 上記 2) および 3) において生成された有向グラフを構成するノード毎に、作業オブジェクトが生成され、さらに、作業オブジェクトの有向グラフである組立グラフが生成される (Fig. 7-6-5)。組立グラフを構成する作業オブジェクトには、組立モジュールが記述される。

(3) 組立グラフの管理

生成された組立グラフの情報は、組立モジュールの階層構造を利用して管理されている。例えば、組立モジュール [DEF] に、組立モジュール [DEF] を構成している複数の組立モジュール ([DEF++], [DEF+], [DEF-], [DEF--]) の組立グラフの情報が記述される。この情報が記述されることによって、組立モジュール [DEF] には、自己を構成している複数の組立モジュールの情報と、組立順序の情報とが共に管理される (Fig. 7-6-6)。

7.6.3 組立姿勢に関する情報

本システムでは、計画者が組立順序を入力する際に、最初に定盤に置かれる組立モジュールの組立姿勢の入力を要求する。システムは入力された組立姿勢の情報を基に、組立モジュールを組立の際の作業空間の座標系を求め、情報として絶対座標系 (設計における座標系) から作業空間の座標

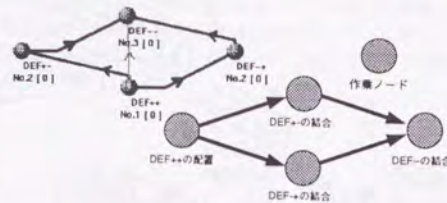


Fig. 7-6-5 組立グラフの生成

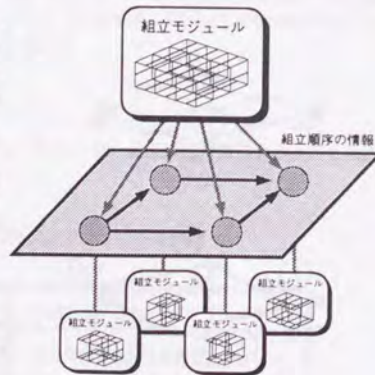


Fig. 7-6-6 組立モジュールの階層構造を利用した組立グラフの管理

系への変換行列を生成する。つまりシステムでは、作業の対象となる製品モデルの形状情報を直接座標変換するのではなく、作業姿勢の情報として、設計された座標系から、作業を行う座標系への変換行列を算出している。この変換行列の情報は、組立グラフを構成する作業オブジェクトに記述される。

作業量を見積る際には、この変換行列が利用され、設計された座標系で収集された管理物量が作業を行う座標系における管理物量に変換される。例えば、溶接姿勢の情報では、設計された座標系で定義されている接合関係情報の幾何情報が、変換行列によって作業を行う座標系における幾何情報に変換され、組立姿勢に応じた管理物量が算出される。

7.6.4 工程作業の作業オブジェクトの生成

(1) 作業オブジェクトに記述される情報

本システムでは、工程作業は作業オブジェクトとして生成されている。この工程作業の作業オブジェクトには、組立モジュールまたは、組立モジュールの接合関係オブジェクトが作業対象として記述され、工程資源オブジェクトが作業環境の情報として記述される。工程作業である配置作業・結合作業・仮結合作業に対応した作業が、作業オブジェクトとして生成され、以下のように情報が記述される。

- ・配置作業の作業オブジェクト
作業対象は、組立モジュールである。
- ・仮結合作業の作業オブジェクト/結合作業の作業オブジェクト
作業対象は、組立モジュールの接合関係オブジェクトである。

作業情報の生成に必要な管理物量は、作業の対象となる組立モジュールおよび組立モジュールの接合関係オブジェクトを利用することによって収集される。具体的には、組立モジュールの重量、大きさなどの管理物量が組立モジュールから収集され、また、組立モジュール同士の結合作業に関する溶接姿勢別の溶接長さや溶接方法別の溶接長さなどの管理物量が、組立モジュールの接合関係オブジェクトから収集される。

また、作業を何人の作業員によって行うかといった情報は、作業時間の見積りの際に影響を与える情報である。計画者は、作業を行う作業員の子定数を作業情報として自由に入力することができる。入力された作業員の子定数が考慮され、作業時間が算出される。

(2) 作業オブジェクトの生成の流れ

本システムにおける工程作業の作業オブジェクトの生成過程を、先の組立モジュール [DEF++] と組立モジュール [DEF+] の組立作業を例にして説明する (Fig. 7-6-7)。

1) 配置の対象は組立モジュール [DEF++] であるので、工程作業の作業オブジェクトとして、組立モジュール [DEF++] を配置する作業に相当する配置作業の作業オブジェクト (Operation(Move-Module[DEF++])) が生成される。この時点で、Operation(Move-Module[DEF++])) に作業対象の情報として組立モジュール [DEF++] が記述される。また、計画者は、配置作業を行う作業員の子定数を、作業を実施する作業員の情報として入力する。

この際に、計画者は、組立モジュール [DEF++] を定盤上にどのような姿勢で配置するかを指定する。この指定によって、組立モジュールの変換行列が算出され、作業情報として記述される。以降の作業は、この変換行列で求められる座標系 (作業空間における座標系) で管理物量が求められ、作業情報が獲得される。

2) 組立モジュール [DEF++] と組立モジュール [DEF+] とを結合させるために、組立モジュール

[DEF+]を結合場所に配置する。作業の対象となるのは組立モジュール[DEF+]であるので、上記1)と同様に配置作業の作業オブジェクト(Operation(Move-Module[DEF+]))を生成する。また、配置作業を行う作業者の予定数を入力する。

3) 組立モジュール[DEF++]と組立モジュール[DEF+]の接合箇所は組立モジュールの接合関係情報より求められる。この場合、組立モジュールの接合関係情報を基に組立モジュールの仮結合作業の作業オブジェクト(Operation(PreWeld-Module[DEF++]&Module[DEF+]))が生成される。この仮結合作業の作業オブジェクトに記述される作業対象は、組立モジュール間の接合関係情報である。また、計画者は、仮結合作業を行う作業者の予定数を入力する。

4) 上記3)と同様に組立モジュール[DEF++]と組立モジュール[DEF+]との結合作業の作業オブジェクト(Operation(Weld-Module[DEF++]&Module[DEF+]))が生成される。この結合作業の作業オブジェクトに記述される作業対象は、組立モジュールの接合関係情報である。また、計画者は、接合作業に対しても、作業を行う作業者の予定数を入力する。

5) 以上の流れにしたがって、配置作業の作業オブジェクト、仮結合作業の作業オブジェクト、結合作業の作業オブジェクトが生成される。

また本システムでは、これらの作業オブジェクトの作業順序は、配置作業、仮結合作業、結合作業の順序であるとしており、各工程作業が生成された時点において、作業の前後関係は自動的に生成されている。

6) 組立グラフのノードとなる作業オブジェクトは、複数の工程作業の作業オブジェクトによって構成されている。例えば、組立モジュール[DEF+]を組立モジュール[DEF+]に結合させる作業では、配置作業の作業オブジェクト、仮結合作業の作業オブジェクト、結合作業の作業オブジェクトで構成される。

以上の2)~6)の処理を他の組立モジュール[DEF+],[DEF-]に対して同様に行うことによって、組立モジュール[DEF]の組立手順が表現された組立グラフが生成される。

7.6.5 実作業の作業オブジェクトの生成

本項では、前項で述べたように生成された工程作業の作業オブジェクトから、実作業の作業オブジェクトが生成される過程について述べる。

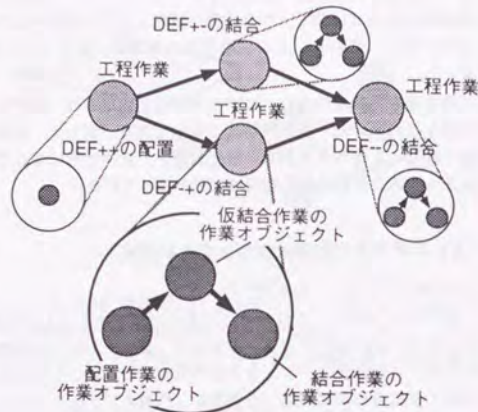


Fig.7-6-7 工程作業の作業オブジェクトの生成

(1) 作業オブジェクトに記述される情報

本システムでは、生産活動で行われる配置作業、仮付け作業、溶接作業等の具体的な実作業の作業情報を管理する作業オブジェクトとして、配置作業の作業オブジェクト、仮溶接作業の作業オブジェクト、溶接作業の作業オブジェクトが定義されている。これらの作業オブジェクトには、配置作業の場合には組立モジュール・オブジェクトが、また仮付け溶接や溶接作業の場合には部品(部材)の接合関係オブジェクトが各々の実作業の作業対象として記述される。さらに、作業環境として作業資源オブジェクトが記述される。また逆に、作業資源オブジェクトには、作業情報として実作業の作業オブジェクトが記述される。

・配置作業の作業オブジェクト

生産環境の情報として移動設備オブジェクトが選択される。作業対象は、組立モジュールである。

・仮付溶接作業の作業オブジェクト/溶接作業の作業オブジェクト

生産環境の情報として溶接設備オブジェクトが選択される。作業対象は、部品の接合関係オブジェクトである。

(2) 作業オブジェクトの生成の流れ

7.6.5項では、工程作業の作業オブジェクトが生成される過程を述べた。本項では、実作業の作業オブジェクトの生成過程を、組立モジュール[DEF+]を組立モジュール[DEF++]上に移動し、溶接部(W1, W2, W3, W4)を溶接する例を用いて説明する(Fig.7-6-8)。

1) 工程設計において生成された工程作業は概略的な作業であるので、作業設計では具体的な作業情報を生成することが期待されている。この例においては、配置作業の作業オブジェクトが組立モジュールの配置作業として生成される。また、作業対象として組立モジュール[DEF+]の情報がこの作業オブジェクトに記述される。

2) 作業設計においては、組立モジュールの接合箇所の情報は組立モジュールの接合関係オブジェクトに記述されている個々の部品(部材)の接合関係オブジェクトが相当する。したがって、W1, W2, W3, W4の四つの接合関係オブジェクト毎に、仮付溶接作業の作業オブジェクトが生成される。これらの作業オブジェクトは、Operation(PreWeld-W1), Operation(PreWeld-W2), Operation(PreWeld-W3), Operation(PreWeld-W4)である。これらの作業オブジェクトには、各々の実作業に対応した接合関係情報と、作業を行う作業資源オブジェクトが情報として記述される。また、作業に要する時間は、各々の作業オブジェクトが有する接合関係情報

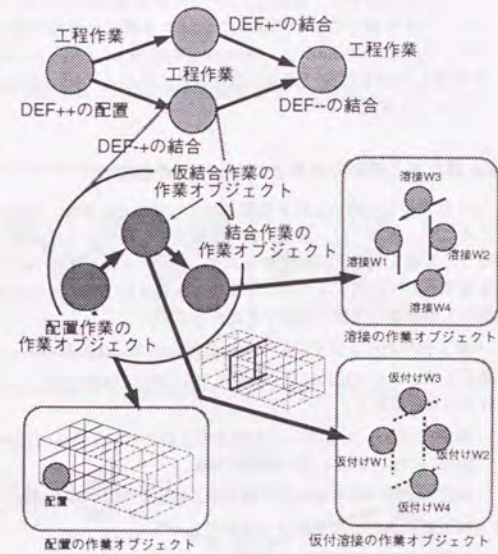


Fig.7-6-8 実作業の作業オブジェクトの生成

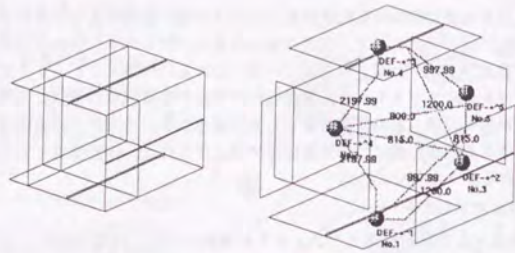


Fig.7-6-9 搭載ブロックを構成する組立モジュールの接合グラフ

報から得られる管理物量と、作業資源オブジェクトの情報を利用することによって算出される。
 3) 上記2)と同様に、組立モジュールの接合関係オブジェクトより、部品(部材)のW1, W2, W3, W4の四つの接合関係オブジェクト毎に、溶接作業の作業オブジェクト Operation(Weld-W1), Operation(Weld-W2), Operation(Weld-W3), Operation(Weld-W4)が生成される。各々の実作業に対応した接合情報(部品の接合関係オブジェクト)が作業対象の情報として溶接作業の作業オブジェクトに記述される。

7.6.6 異なる工程間の作業オブジェクトの接続

7.6.1項で示した組立工程を搭載工程として考えた場合、先行する組立工程である大組工程が存在する。そこで、本項では、前項における組立モジュール [DEF+]を対象にして、その組立モジュールを製作する大組工程の工程計画のシステムにおける流れを示す。さらに、大組工程と搭載工程の前後関係を情報として記述するために、生成された大組工程の工程計画の情報と、既に生成されている搭載工程の工程計画の情報と接続する流れも示す。

(1) 大組工程における組立モジュールの接合グラフの生成

組立モジュール [DEF+]は、大組工程において複数の組立モジュールが結合されることによって造られていると考える。

- ・組立モジュール [DEF+]を構成する組立モジュール ([DEF-+^1], [DEF-+^2], [DEF-+^3], [DEF-+^4], [DEF-+^5])を抽出する。
- ・組立モジュール [DEF+]を構成する組立モジュールの接合グラフを生成する (Fig.7-6-9)。

(2) 大組工程における組立グラフの生成

7.6.1項で述べた組立工程(搭載工程)と同様な手順によって、大組工程においても組立順序の情報が確定される。その結果として、組立グラフが生成される。

- ・組立順序の入力を行う (Fig.7-6-10(A))
- ・組立モジュールの先行・後続関係を表現した有向グラフが生成される (Fig.7-6-10 (B))。
- ・搭載工程と同様な処理を行うことによって、組立モジュールの組立作業の順序を表現する組立グラフが生成される。(Fig.7-6-10 (C))。

(3) 組立グラフの縮約と作業オブジェクトの接続

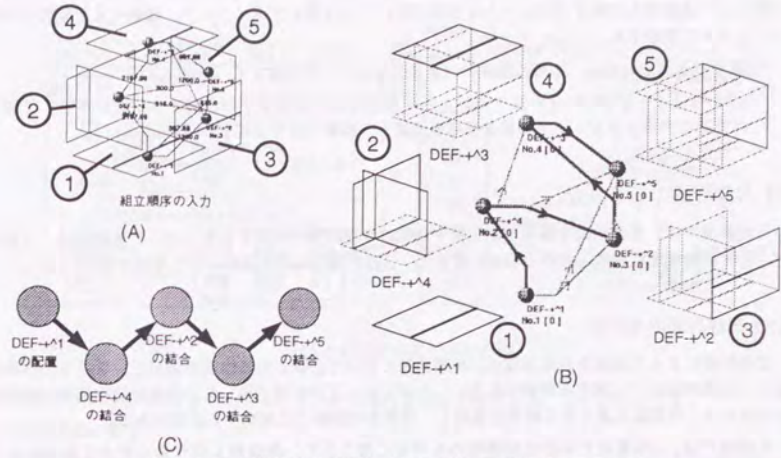


Fig.7-6-10 先行する組立工程(大組工程)の組立グラフの生成

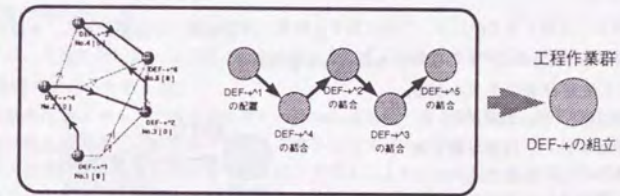


Fig.7-6-11 大組工程の組立グラフの縮約(工程作業群の作業オブジェクトの生成)

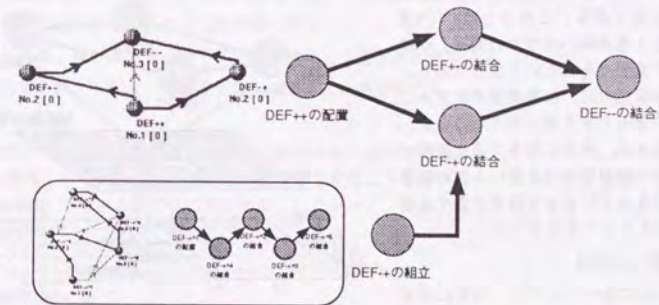


Fig.7-6-12 前後工程間(搭載工程と大組工程)の作業オブジェクトの接続

上記(2)において生成された組立グラフを縮約し、組立モジュール [DEF+] を組立工程を一つの作業として認識する作業オブジェクトを生成する。この作業オブジェクトと、後続する工程の作業オブジェクトに接続する。

- ・組立グラフを縮約し、工程作業群の作業オブジェクトを生成する (Fig.7-6-11)
- ・組立モジュール [DEF+] と組立モジュール [DEF++] とを結合する作業オブジェクトと、工程作業群の作業オブジェクトの前後関係を記述し、前後工程を接続する (Fig.7-6-12)。

7.7 日程計画のモデル化

日程計画では、生産活動を構成する工程や作業の日程情報が生成される。そこで本節では、作業モデルの日程情報を生成するための機能に着目し、日程計画のモデル化について考察する。

7.7.1 日程計画のモデル

工程計画によって生成される情報は、生産活動において必要となる作業の抽出と、それらの作業の順序 (作業の流れ) に関する情報である。したがって、工程計画で得られた作業の日程情報を獲得するためには、作業に必要な時間を算出し、作業を時間軸上に展開する必要がある。

本研究では、「作業モデルを生産環境のモデルに割り当て、時間軸上に作業モデルを展開すること」を日程計画のモデルとして定義する (Fig.7-7-1)。以下に、このモデルにおける情報の生成と管理に関して述べる。

(1) 作業時間の算出

作業を時間軸上に展開するためには、作業に要する時間 (作業時間) が必要である。本研究では、

- ・作業の対象となる製品モデルの情報から得られる管理物量
- ・作業を行う生産環境のモデルが有する生産能力の情報 (見積関数)

によって作業見積を行い、作業時間を算出する。したがって、7.5節で述べた工程計画によって獲得された工程作業や実作業に要する作業時間を算出するためには、それらの作業に対応する生産環境の情報が必要である。このことは、「作業モデルと生産環境のモデルの関係」が情報として重要であるということである。そこで本研究では、生産環境のモデルに対して作業モデルを割り当てることで、作業モデルと、作業に関与する生産環境のモデルとの関係付けを行い、この関係を利用することによって作業に要する時間を算出することを考えた。

(2) 時間軸への展開

上記(1)で述べたように、作業に要する時間が求められると、既に工程作業や実作業の作業情報として求められている

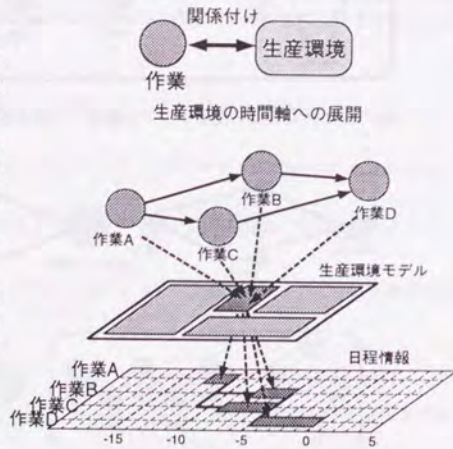


Fig.7-7-1 日程計画のモデル化

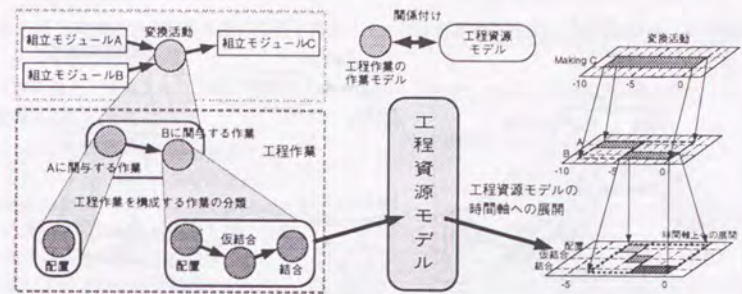


Fig.7-7-2 工程作業の日程計画

作業順序の情報を利用することによって、作業を時間軸上に展開することが可能となる。

(3) 作業情報の管理

日程計画のモデルによって生成される、作業モデルと生産環境のモデルとの関係は、生産環境のモデルが実施すべき作業を管理する際に有効に利用することができる。

7.7.2 工程作業の割り当て

本項では、工程計画によって生成された工程作業に必要な作業時間の獲得に関して述べる。

(1) 工程資源モデルへの割り当て

工程作業の作業モデルと工程資源モデルの共通の特徴は、様々な工程によって構成される生産活動を全体的に捉えるために、工程間の繋がりを重視したモデルであるということである。したがって、工程作業の作業モデルを工程資源モデルに割り当てることによって、生産活動を工程間の繋がりと捉えることが可能な生産情報の生成が期待できる (Fig.7-7-2)。

工程作業に必要な作業時間は、工程作業の作業モデルに記述されている作業対象の製品モデルの情報と、工程資源モデルに記述されている生産能力の情報より求められる。

- ・配置作業：組立モジュールと工程資源モデル
- ・仮結合作業：組立モジュールの接合関係情報と工程資源モデル
- ・結合作業：組立モジュールの接合関係情報と工程資源モデル

(2) 組立姿勢の考慮

既に工程設計において得られている製品の組立姿勢の情報を利用することによって、作業姿勢を考慮した作業見積りが可能である。特に、溶接姿勢を考慮した管理物量を、製品の組立姿勢の情報を利用することによって見積ることが可能である。したがって、製品の組立姿勢を考慮した作業時間の算出が期待できる。

7.7.3 実作業の割り当て

本項では、工程計画によって生成された実作業に必要な作業時間の獲得に関して述べる。

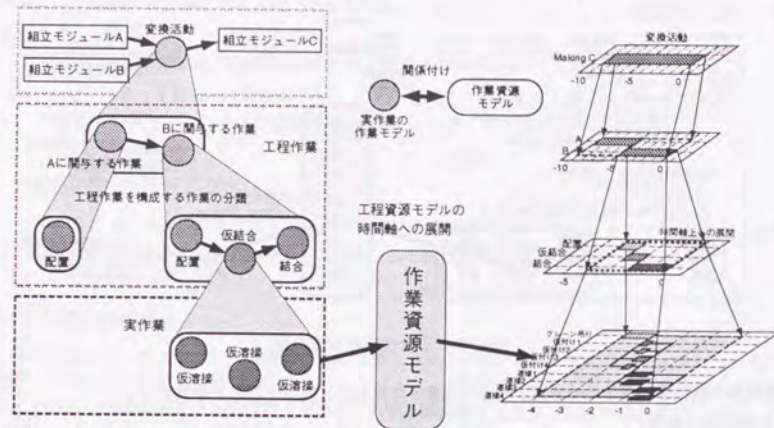


Fig.7-7-3 実作業の日程計画

(1) 作業資源モデルへの割り当て

実作業モデルは既に述べているように、工程内における詳細で具体的な作業を表現する作業モデルである。したがって、実作業を処理する生産環境のモデルは溶接機、クレーン、作業員などの作業資源モデルが相当する。そこで、生成された実作業を作業資源モデルに対して割り当てることによって、実作業に必要な作業時間を獲得する (Fig.7-7-3)。

(2) 溶接部に関する情報の考慮

実際の作業を行うためには詳細な作業内容に関する情報が必要である。特に溶接作業の際には、開先形状、溶接のパス数等の情報は溶接施工の情報として重要であり、これらの情報によって作業時間が確定される。本研究では、溶接部における溶接設計の情報に着目し、溶接の実作業の作業情報として開先形状やギャップ、パス数などの情報を記述することによって、詳細な作業情報を生成することを考慮している。

7.7.4 作業の日程情報の生成

前項で述べたように、作業モデルを生産環境のモデルに割り当てることによって、作業に要する作業時間が算出される。そこで本項では、作業時間が求められた工程作業および実作業を時間軸上に展開し、それらの作業の日程情報を生成することについて述べる。

(1) 工程作業の日程情報

工程計画で生成される工程作業の作業モデルには、作業の前後関係や、作業に要する作業時間の情報が記述されているので、容易にフロー・ダイアグラムを生成することが可能である。さらに、PERT手法を利用することによって、作業情報を時間軸に展開することが可能である。

工程計画によって生成された組立グラフをもとに、工程作業の日程情報を生成する流れを以下に示す。

- 1) 工程作業に要する作業時間が、割り当てられた工程資源モデルの情報を利用することによって算出される。
- 2) 上記1)で得られる作業時間の情報と組立グラフの情報を基に、工程作業を時間軸上に展開する (Fig.7-7-4(A))。
- 3) 時間軸上に展開された工程作業の日程は、ガント・チャートによって表現される。

(2) 実作業の日程情報

実作業に要する作業時間が獲得されると、これらの実作業の作業時間を基に、実作業を時間軸へ展開する必要がある。本研究では、時間軸へ展開する際に作業の階層構造を利用し、上位階層にある工程作業の日程情報が時間的制約となり、その工程作業の作業時刻の範囲内に実作業が配置される (Fig.7-7-4(B))。本研究では、実作業には明確な順序関係が存在しないものと考え、実作業には前後関係を指定しない (例えば、溶接線 A の溶接作業の後に溶接線 B の溶接作業を行うなどといった詳細な作業順序は指定しない)。

(3) 作業の日程情報の修正

生成された作業の日程情報を変更する場合には、前後関係にある作業の日程情報の整合性を保持することと、階層関係 (階層の上下関係) にある作業の日程情報の整合性を保持することが重要であると考えられる。本研究では、これらの日程情報の整合性を保持するために以下のことを考慮している。

・作業の前後関係 (停滯作業の生成)

一般的に、前後関係にある作業の日程情報には矛盾を生じさせないことが重要である。本研究では、作業情報として、作業の前後関係にある作業が記述されている。したがって、容易に自己の開始時刻や終了時刻が矛盾していないかチェックすることができる (Fig.7-7-5)。また、前後関係にある作業間に「空き時間」が生じる場合がある。この場合は、作業のフロートとして捉えることができる。

ところで、前後工程間を接続するために生成された作業の前後関係は、単なる「空き時間」として捉えるこ

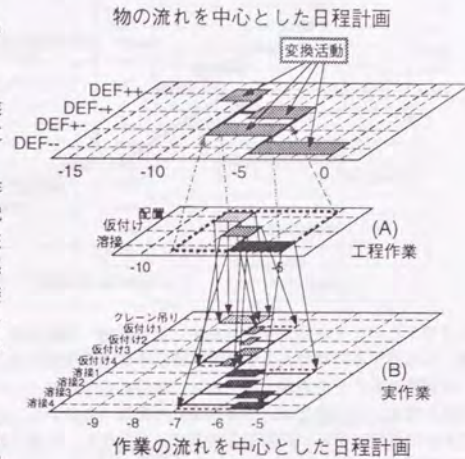


Fig.7-7-4 工程作業・実作業の時間軸への展開

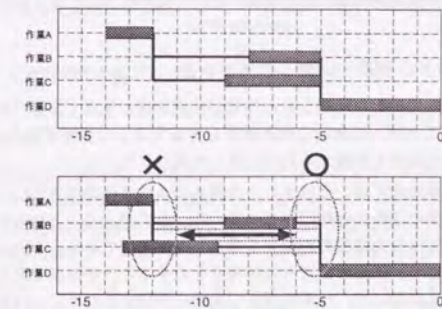


Fig.7-7-5 作業の日程情報の修正

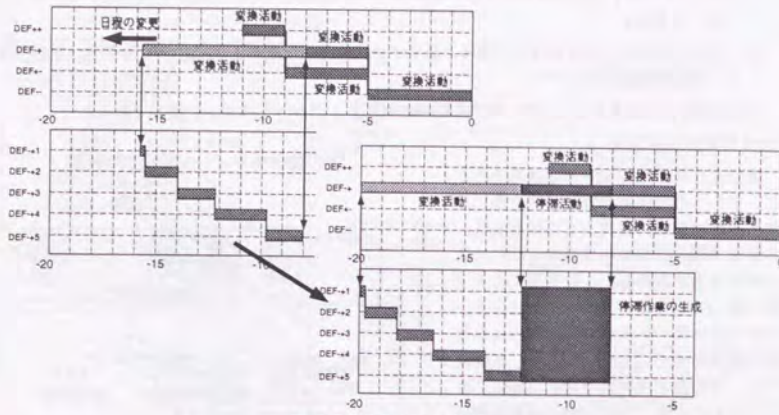


Fig.7-7-6 停滞作業の生成

とはできない。これは、生産活動を「変換活動、運搬活動、停滞活動」として捉えた場合の「停滞活動」に相当する時間であるからである。そこで本研究では、前後工程間の計画の接続に対して、円滑に物が流れることを表現するために、停滞活動を作業として表現することを試みた。この作業を停滞作業と呼ぶ。本研究では、停滞作業は作業間（先行する工程の工程作業群の作業モデルと後続する組立工程の作業モデル）に生じる作業であると考え、作業の前後関係の情報を利用して、停滞作業の生成を考慮した。この考慮により、作業の日程情報を修正すると、作業の前後関係の情報より、自動的に矛盾なく停滞作業が生成される (Fig.7-7-6)。

・作業の階層構造

本研究では、生産計画における作業の管理レベルに応じて、階層構造を用いて作業を表現している。したがって、作業に Fig.7-7-7(A) に示すような階層構造が存在する場合は、上位階層の作業の日程情報が変更された場合（日程を変更した場合）、下位階層の作業の日程情報はその変更に応じて修正される必要がある。また逆に、下位階層の作業の日程情報が変更された場合は、上位階層の作業は下位階層の作業の日程情報によって修正される必要がある (Fig.7-7-7(B))。

7.7.5 山積み・山崩しのモデル化

時間軸上に展開された作業が生産環境に及ぼす影響（例えば作業負荷の状況）を情報として把握することは、全体的な生産効率を考慮する上で重要である。実際の生産計画では、「山積み」が作業負荷の状況を把握するために多く利用されている。

本研究では、生成された作業モデルには作業情報として、日程情報や作業対象の情報、および作業環境の情報などが記述されている。したがって、これらの情報を利用することによって、任意の時刻における作業負荷の情報を得ることが可能である。さらに、それらの情報を連続的に表示することによって、作業の山積みの情報を生成することが可能である。本研究では、作業を時間軸上に展開した時点において、作業負荷を定量的に評価するために、作業負荷、作業量、必要となる作業人数などを指標とした山積みの情報を得ることが可能である (Fig.7-7-8(A))。また、作業モデルに記述されている作業の日程情報を修正することによって、作業の山崩しを行うことも可能である (Fig.7-7-8(B))。

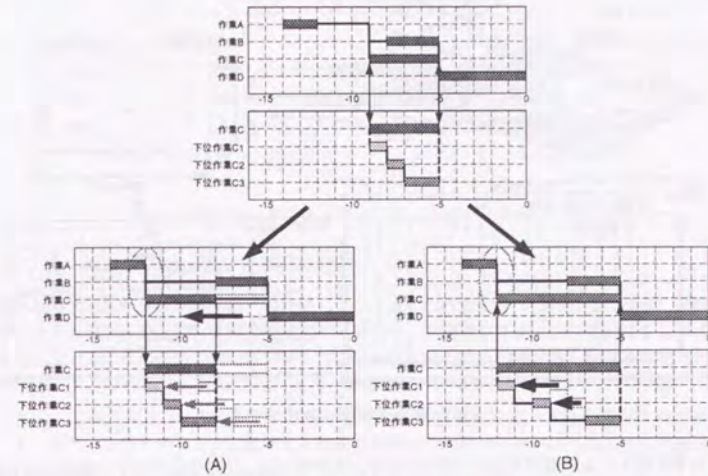


Fig.7-7-7 作業の階層構造と日程情報の修正

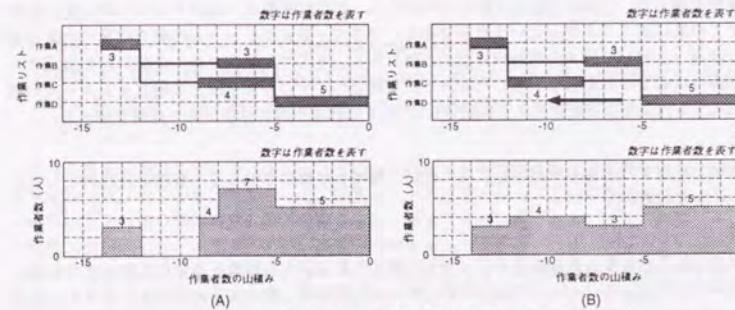


Fig.7-7-8 「山積み」と日程情報の修正による「山崩し」

7.7.6 生産環境の制約のモデル化（組立定盤の制約モデル）

これまで述べてきた生産計画では、現存する生産設備、作業者等の作業に対する制約（使用可能な設備の数量の制限、作業可能な作業者の人数の制限など）は考慮されていない。しかし現実の問題としては、工程資源が有する生産設備、作業者等による制約は計画を立案する上で重要な因子であると考えられる。そこで本研究では、工程資源の制約として組立定盤の広さ（面積）の制約に着目し、以下のようにモデル化した。

組立工程では、組立モジュールの組立（搭載）の待ち時間をできるだけ短縮することが日程計画における原則である。しかし、例えば定盤の使用効率を考慮すると、必ずしも組立スケジュールの通り

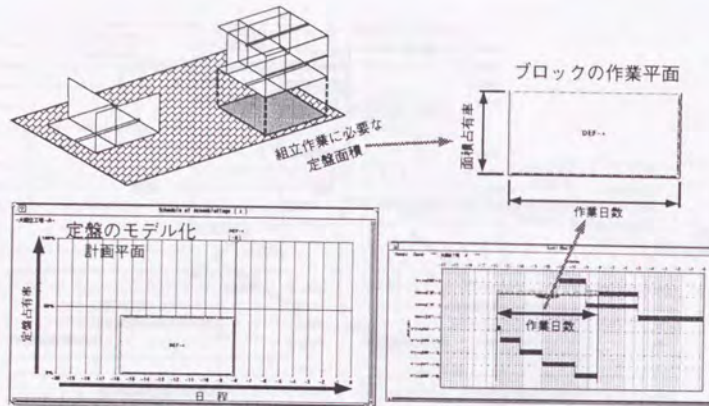


Fig.7-7-9 組立定盤の制約モデル

に組立作業を行うことは適切ではない場合がある。本研究では、工程資源が有する設備の中で最も制約が大きいものと考えられる定盤の広さ（面積）を考慮し、山崎の研究[山崎 73]を参考に定盤計画のモデル化を検討した。

一般に定盤計画とは、「何棟の組立工場のどの場所で、どの中間製品（組立モジュール）を、何時から何時までの間に組立てるか」という計画である。つまり、組立モジュールの組立作業に必要な場所や必要な時刻（日程）に関する情報の管理が必要である。そこで本研究では、定盤計画を表現するために、計画の対象となる定盤を表現した計画平面を設定し、その計画平面上に組立モジュールの組立作業を表現する作業平面を配置する（Fig.7-7-9）。以下に計画平面と作業平面の定義を述べる。

・計画平面

計画平面は、計画する定盤をモデル化するために、縦軸を定盤面積軸とし、横軸を日程軸として表現したチャートである。

・作業平面

作業平面は、組立の対象となる組立モジュールの組立作業に関する情報を視覚化したものである。作業平面の横寸法を組立モジュールの組立作業に要する作業時間、縦寸法を組立作業に要する定盤面積をとった矩形形状として表現する。

7.8 日程計画支援システム

本節では、日程計画のモデル化に基づいて構築された日程計画支援システムに関して述べる。また、日程情報の表示や修正、作業オブジェクトを生産環境のオブジェクトに割り当てるなどといった操作を視覚的に支援するために、GUI(Graphical User Interface)を用いた直接的な操作環境を備えたシステムが構築されている。

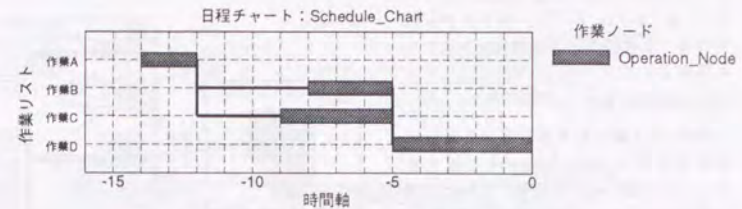


Fig.7-8-1 ガント・チャート・オブジェクト

7.8.1 ガント・チャートによる日程情報の表示

時間軸上に展開される作業は、様々な評価によって適切な作業配置（作業日程の決定）が必要となる。本システムでは、時間軸上に作業を展開する場合に、計画者の直接的な作業配置を支援することが考慮されている。そのため、計画者に対して直接的な計画作業を支援するものとして日程計画の作業情報のガント・チャート（Gantt Chart）表現を考慮した。

本システムでは、ガント・チャートによる計画情報の表示のために、日程を表現するための日程チャート、また、日程チャート上に展開する作業を表現した作業ノードが以下のように定義されている（Fig.7-8-1）。

・日程チャート・オブジェクト :<Schedule_Chart_Object>

生産計画の日程を表示するために、横軸に日付目盛、縦軸に作業リストを表現したチャートである。

・作業ノード・オブジェクト :<Operation_Node_Object>

作業ノードは、個々の作業を棒状に表現するものであり、棒の長さが作業時間に相当するものである。作業ノードには、作業オブジェクトの情報が記述されている。

本システムにおけるガント・チャートでは、日程チャートの時間軸と、作業ノードの時間軸との時間単位は一致させている。したがって、作業ノードの日程チャート上の位置情報によって、作業ノードに対応する作業の開始時刻、終了時刻を容易に得ることが可能である。また、作業ノードは、前後の作業スケジュールに矛盾が生じない範囲で日程チャート上に自由に移動させることが可能である。移動された作業ノードは、自己の日程チャート上の位置によって作業の開始時刻や終了時刻が修正される。

上述した機能をシステムに実装することによって、日程チャート上に作業を表現する作業ノードを配置することで、作業の開始時刻や終了時刻の決定および作業状況を視覚的に把握することができ、日程計画を支援している。

7.8.2 工程作業の作業オブジェクトの割り当て

本システムでは、工程作業の作業オブジェクトを工程資源オブジェクトに割り当てる機能がシステムに実装されている。ここで、7.6.2項で述べたように、工程計画支援システムで生成された組立グラフの情報は、組立モジュールの階層構造を利用することによって管理されている。したがって、生産環境のモデルへの工程作業の作業オブジェクトの割り当ては、「組立対象となる組立モジュールを工程資源オブジェクトに割り当てる」ことによって表現することができる。これらの操作には、GUIを

用いた直接的な操作環境が提供されている (Fig.7-8-2)。以下に、本システムにおける、工程作業の日程情報が生成される過程を示す。

(1) 作業時間の算出

前節 (7.7 節) の工程計画で生成された組立モジュール [DEF++] と組立モジュール [DEF+] とを結合する際の工程作業を例として、作業時間の獲得方法について考えてみる。この場合、工程作業の作業モデルである結合作業オブジェクトに必要な作業時間は、作業対象となる組立モジュールの接合関係情報から見積られる管理物量と、工程資源オブジェクトから得られる生産能力 (溶接の処理能力などの情報) によって算出される。

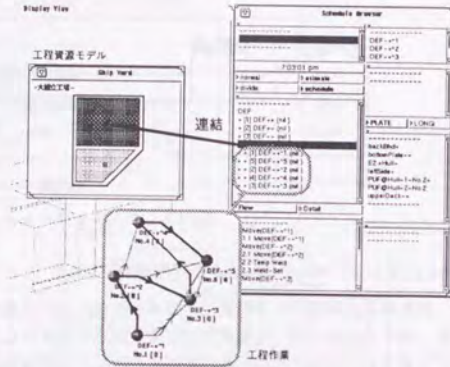


Fig.7-8-2 工程作業の作業オブジェクトの工程資源オブジェクトへの割り当て

(2) 時間軸への展開 (日程情報の生成)

工程計画で生成される工程作業の作業オブジェクトには、作業の前後関係、作業に必要な作業時間の情報が記述されているので、容易にフロー・ダイアグラムを作成することが可能である。さらに、PERT 手法を利用することによって、作業情報を時間軸に展開することが可能である。本システムでは、ガント・チャートをシステム化しており、日程計画の対象となる工程作業の作業オブジェクトをガント・チャート上に配置することができる。

7.5.5 項で示した工程計画支援システムによって生成された組立グラフを、時間軸上に展開した例を以下に示す。

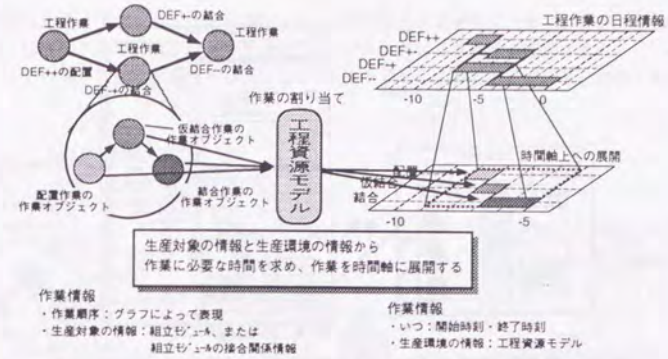
- 1) 工程作業に要する作業時間が、割り当てられた工程資源オブジェクトの情報 (見積関数) を利用することによって算出される。
- 2) 上記 1) で得られる作業時間の情報と組立グラフの情報を基に、工程作業が時間軸上に展開される。
- 3) 時間軸上に展開された工程作業は、ガント・チャートによって表示される (Fig.7-8-3)。
- 4) ガント・チャートの機能を利用することによって、この工程における山積み情報を、Fig.7-8-4 のように求めることが可能である。

7.8.3 実作業の作業オブジェクトの割り当て

本システムでは、Fig.7-8-5 に示すように、実作業の作業オブジェクトが作業資源オブジェクトに割り当てられ、実作業の日程情報が獲得されている。以下に、本システムにおける実作業の日程情報の生成過程を示す。

(1) 作業時間の算出

組立モジュール [DEF++] と組立モジュール [DEF+] とを結合するために必要な接合作業 (例えば、溶接線 W を溶接する作業) に要する作業時間は、実作業である溶接作業の作業オブジェクトを、作業資源オブジェクト (溶接機オブジェクトと作業員オブジェクト) に割り当てることによって求めら



- 生産対象の情報と生産環境の情報から作業に必要な時間を求め、作業を時間軸に展開する
- | | |
|--|---|
| <p>作業情報</p> <ul style="list-style-type: none"> ・作業順序: グラフによって表現 ・生産対象の情報: 組立シユ-6, または組立シユ-8の接合関係情報 | <p>作業情報</p> <ul style="list-style-type: none"> ・いつ: 開始時刻・終了時刻 ・生産環境の情報: 工程資源モデル |
|--|---|

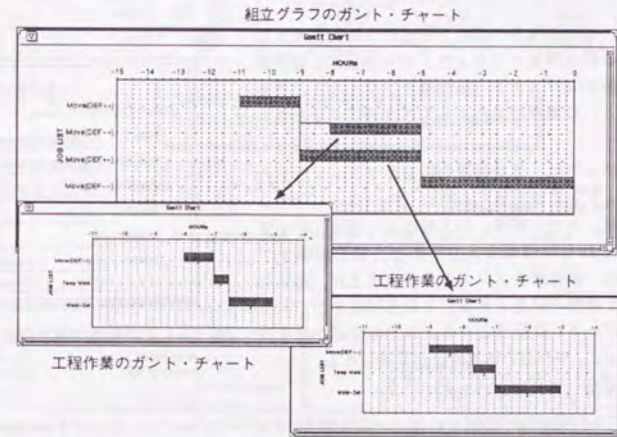


Fig.7-8-3 工程作業の作業オブジェクトのガント・チャート表示

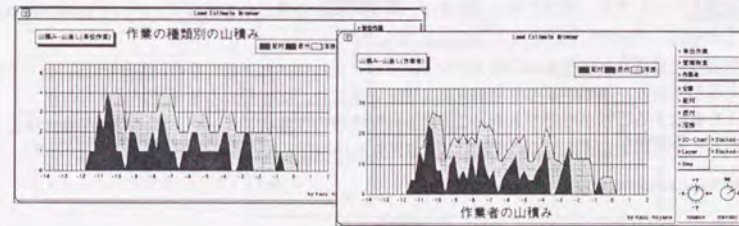


Fig.7-8-4 山積み情報

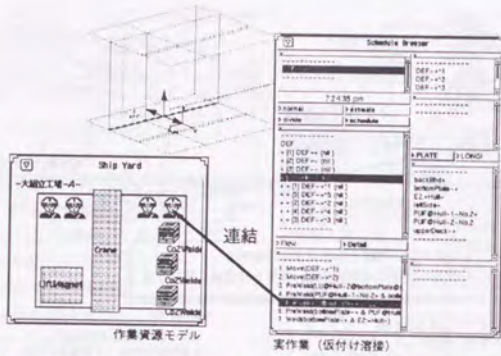


Fig.7-8-5 実作業の作業オブジェクトの作業資源オブジェクトへの割り当て

れる。つまり、溶接作業の作業オブジェクトに記述されている、部品間の接合関係オブジェクトから得られる管理物量と、作業資源オブジェクト（溶接機オブジェクトと作業者オブジェクト）の処理能力によって溶接時間が算出される。

また本システムでは、溶接作業の作業オブジェクトを作業資源オブジェクトに割り当てる際に、Fig.7-8-6に示すように、開先形状、ルート間隔、パス数などの情報入力を行う。それらの情報を入力すると、接合関係オブジェクトを基に、溶接線オブジェクトが生成され、溶接部に関する詳細な情報が記述される。この溶接線オブジェクトは作業オブジェクトに記述される。以上の詳細な作業情報の入力によって、実作業の作業時間が見積られる。

accept | cancel

<Select Welding Machine>

Parts 1: LU@Hull-2@bottomPlat

Parts 2: LU@Hull-2@bottomPlat

method: CO2 |> FCB

length: 25

pass: 1

position: Flat |> Vertical

Over |> Horizon

Fig.7-8-6 溶接部の詳細な情報の入力

(2) 時間軸への展開 (日程情報の生成)

実作業に要する作業時間が見積られると、日程情報を生成するためには、実作業を時間軸へ展開する必要がある。本システムでは、作業オブジェクトの階層構造を利用し、工程作業の作業オブジェクトに記述されている作業時刻が、実作業の作業オブジェクトの作業時刻を制約するように時間軸に展開されている。例えば、溶接の実作業は工程作業の結合作業に制約を受け、結合作業の作業時刻の範囲内に展開される。また、配置された実作業は、時間的制約を満足する範囲内において自由に再配置が可能である。

日程計画で生成される実作業の作業オブジェクトは、先に述べた工程作業の作業オブジェクトと同じ機能を有しており、工程作業の作業オブジェクトと同様に、実作業の作業オブジェクトのガント・チャートを作成することが可能である。この場合、実作業の作業オブジェクトは、工程作業の作業オブジェクトと階層構造を構成しているため、作業情報を詳細化したものと認識できる (Fig.7-8-7)。

7.8.4 作業の日程情報の修正

実作業の作業オブジェクトは階層関係にある工程作業の作業オブジェクトの時間的制約を受けて、時間軸上に展開される。また、実作業の作業オブジェクトに日程情報が記述されると、この作業オブジェクトから構成される工程作業の作業オブジェクトの日程情報が修正される。本論文におけるこれ

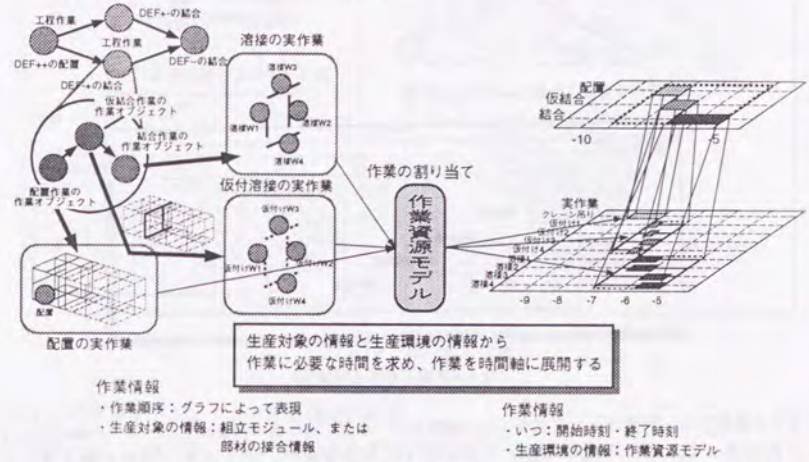


Fig.7-8-7 実作業の作業オブジェクトのガント・チャート表示

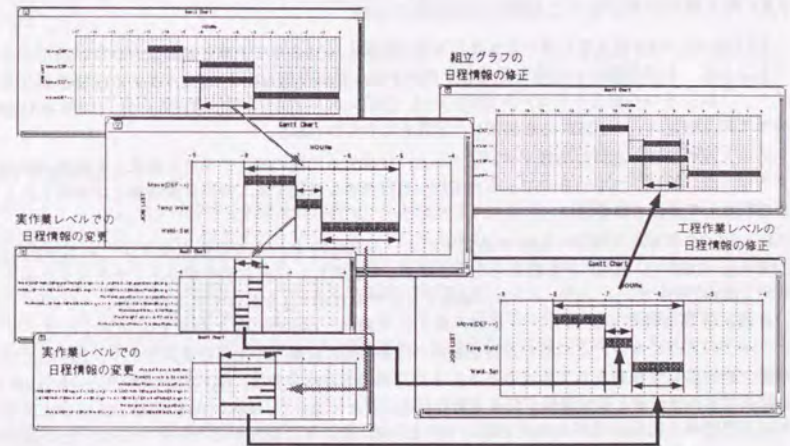


Fig.7-8-8 実作業の日程情報の修正

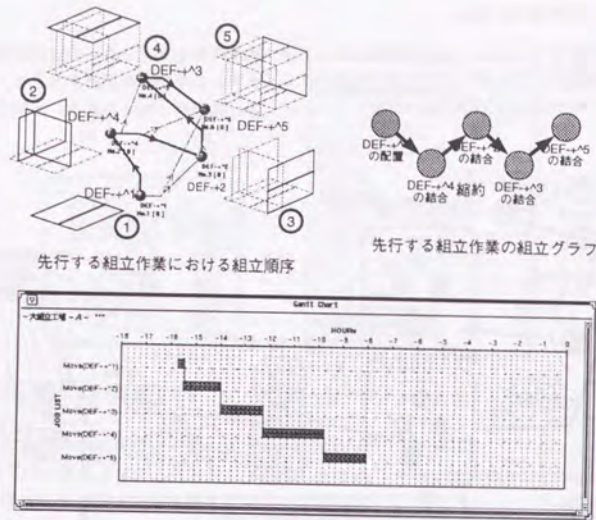


Fig.7-8-9 前工程の日程計画

までの説明では、計画はトップダウン的に進行していたが、実作業の作業オブジェクトが確定されることによって、工程作業の作業オブジェクトの日程情報が、ボトムアップ的に修正される (Fig.7-8-8)。

7.8.5 前工程の日程計画と工程間の日程計画の接続

7.8.2 項から 7.8.4 項までに述べた処理と同様の処理を、7.5.2 項で生成され組立グラフに適用することによって、組立作業における日程情報を獲得することが可能となる。Fig.7-8-9 に示したガント・チャートは、5つの組立モジュール [DEF-+^1], [DEF-+^2], [DEF-+^3], [DEF-+^4], [DEF-+^5] を組合せて組立モジュール [DEF-+] を製作した日程を示すものである。

この工程の工程作業群の作業オブジェクトと、後続する工程の組立グラフを構成する作業オブジェクトは、既に接続されているので、この工程の日程情報と後続する工程の日程情報とは接続された日程情報として生成される。

Fig.7-8-10 に示した例は、(A) が組立モジュール [DEF] を、4つの組立モジュール [DEF++], [DEF+], [DEF-], [DEF-] を組合せることによって生成した日程を示すガント・チャートである。また、(B) に示すガント・チャートは、組立モジュール [DEF-+] を製作する日程である。ここで、(B) の日程に必要な時間を算出し、一つの作業として纏め、(A) の日程と合成すると (C) のガント・チャートのようなになる。この際の日程を纏めた作業は先に定義した工程作業群であり、(B) の工程作業を一纏めにした作業として生成される。また、この工程作業群は、(A) の組立モジュール [DEF-+] を組立てる工程作業と前後関係が記述される。このことによって、(A), (B) の異なる工程が接続される。工程作業と工程作業群の関係を図示すると、(D) のように表現することができる。他の組立モジュールの場合も同様にして接続される。

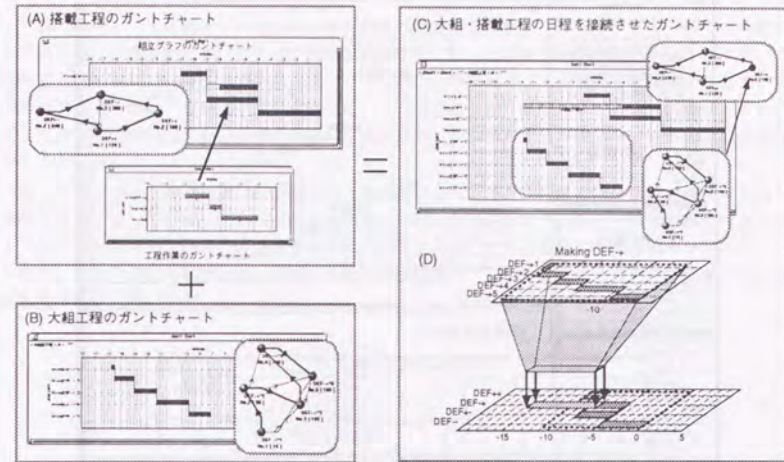


Fig.7-8-10 日程計画の接続

7.8.6 工程資源オブジェクトの作業情報の管理

本研究では、工程作業の作業オブジェクトは工程資源オブジェクトと関係付けられているので、工程資源オブジェクトが工程作業の作業情報を管理することは容易である。例えば、前項で例にした組立工程における作業情報を表示させると、Fig.7-8-11 に示すように、その工程で行うべき全ての作業の日程情報が得られる。また、それらの作業情報を利用することによって、工程における山積み情報が獲得できる。

また、実作業は作業資源オブジェクトに割り当てられているので、作業資源オブジェクトを中心に作業日程を整理することによって作業者毎や設備毎のガント・チャートを生成することが可能である (Fig.7-8-12)。

7.8.7 定盤計画システム

本システムでは、7.7.6 項の生産環境の制約モデルが実装されており、計画平面、作業平面がそれぞれ計画平面オブジェクト、作業平面オブジェクトとして定義されている。作業平面オブジェクトの時間軸と作業面積、計画平面オブジェクトの時間軸と定盤面積は各々単位が一致している。このため、作業平面を計画平面上に配置すると作業平面の横軸方向の位置により、組立モジュールの組立工程の開始時刻、終了時刻が容易に求められる。また、計画平面上に複数の作業平面を配置した場合でも、組立定盤における定盤の使用状況が視覚的に把握でき、定盤計画の立案を支援することができる。

Fig.7-8-13 に定盤計画の例を示す。この定盤計画ではブロックが占有する面積が定盤の許容面積を越えてしまっている (Fig.7-8-14(A))。したがって、定盤計画システムにおいてブロックの作業平面を計画平面上で移動し、定盤計画を修正する必要がある。例えば組立モジュール [DEF-+] の作業平面の日程を変更すると Fig.7-8-14(B) のようになる。

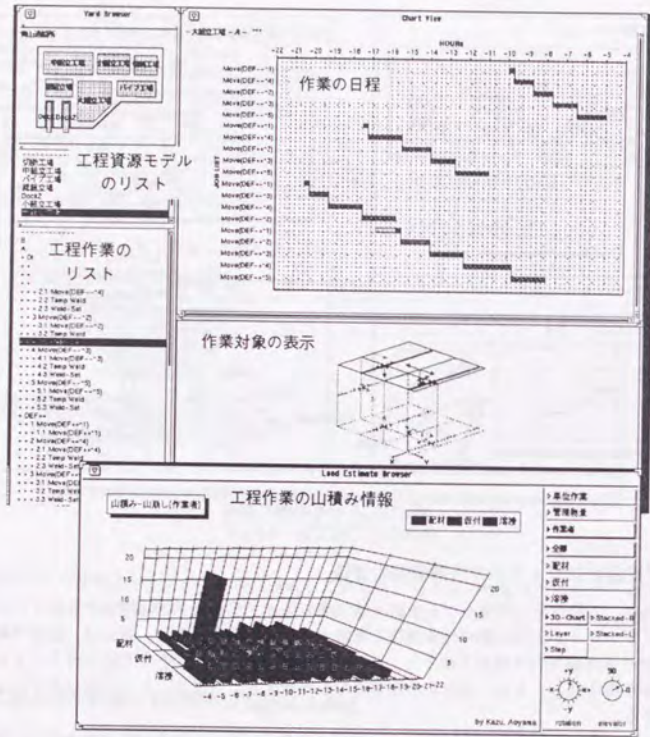


Fig.7-8-11 工程資源オブジェクトの作業情報の管理

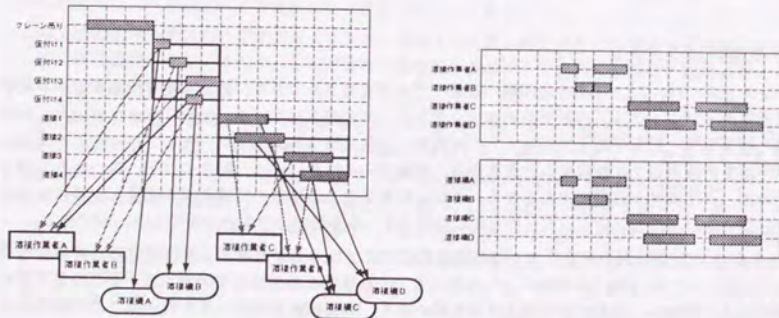


Fig.7-8-12 作業資源オブジェクトの作業情報の管理

7.8.8 停滞作業の作業オブジェクトの生成

ガント・チャートを利用した直接的な計画情報の調整機能により、ガント・チャート上の作業ノード（棒グラフ）を移動して、作業の日程情報を操作することが可能である。また、7.8.7項で述べた定盤計画システムにおいても、ガント・チャートと同様に作業オブジェクトの日程情報を変更することが可能である。これらの操作や変更を行う際に、気を付けなければならないことは、操作する作業に対して作業の階層構造や前後関係を考慮し、各作業の日程情報に矛盾が生じないように計画の修正を行うことである。

本システムでは、停滞作業は作業間に生じる作業であると考え、作業の前後関係の情報を利用して停滞作業を生成している。この停滞作業の作業オブジェクトが生成されると、停滞の関係にある作業オブジェクトに対して作業の前後関係の情報が記述される。この考慮により、計画チャート上において作業ノードを修正移動すると、作業の前後関係の情報より、矛盾なく停滞作業の作業オブジェクトが生成される（Fig.7-8-15）。

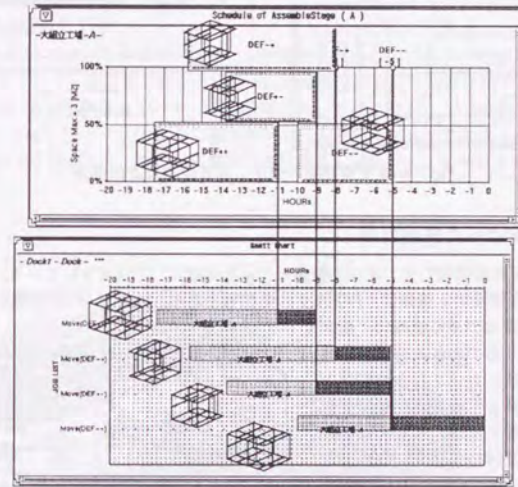


Fig.7-8-13 定盤計画システムの例

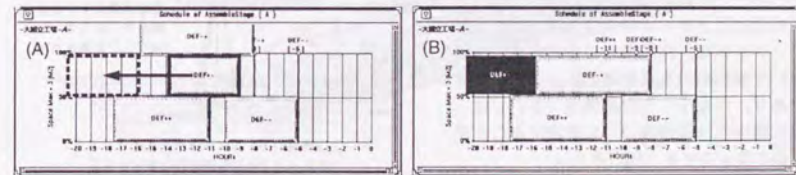


Fig.7-8-14 定盤計画の修正

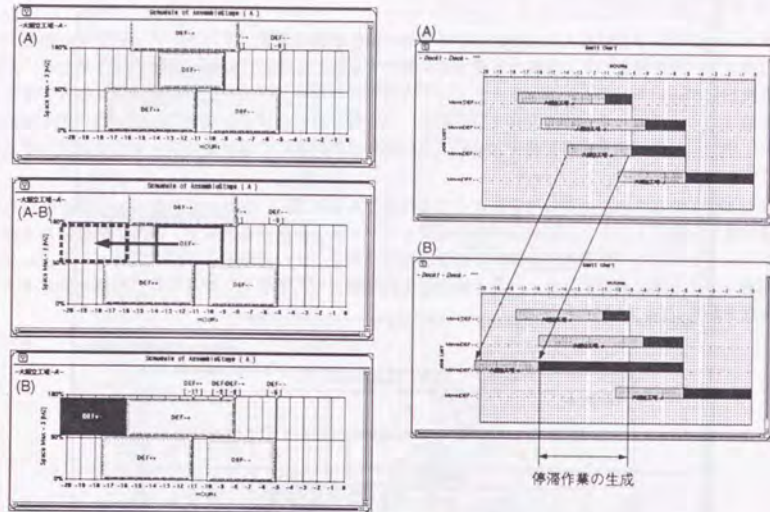


Fig.7-8-15 定盤計画の修正による停滞作業の生成

7.9 複数船を対象とした生産計画

本研究で定義する生産環境のモデルは、製品モデルとは独立して定義されている。また、生産環境が生産計画において管理する情報は、作業モデルの情報である。したがって、船毎に生成される工程作業や実作業の作業モデルの情報は、生産環境のモデルに割り当てられる時点で、作業の情報という意味においては全て同列となる。つまり、作業を管理する生産環境にとっては、異なる船を建造するために生成された作業を、全て同様に扱うことができるということである。工程計画の段階では、製品情報が主体となって生産計画の情報を作業情報として管理するが、日程計画の段階においては、割り当てられた生産環境が主体となって計画情報を管理する。

以上のことから本研究における生産計画のシステムは、作業情報の管理の構造上において複数船の生産計画を行うことが可能であり、作業を行う生産環境においては、全て同一の作業情報として管理することが可能となっている (Fig.7-9-1)。

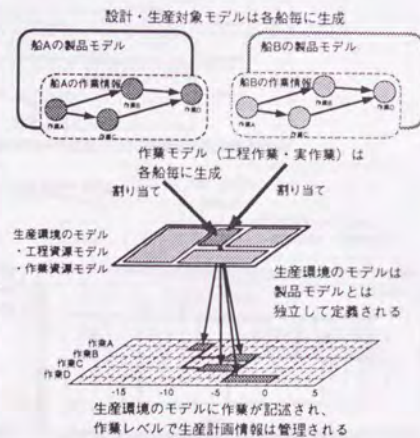


Fig.7-9-1 複数船を対象とした生産計画

7.10 システムの実行例

本節では、本研究で構築された生産計画支援システムによって、どのように生産計画が立案されるかを、システムの実行例を用いて示す。

(1) 生産計画の対象となる船体構造

Fig.7-10-1(A)に示すようなバルクキャリアを対象として、生産計画を行う。このバルクキャリアは、第6章の設計のシステムで生成された船体構造である。

(2) 生産計画を実施する生産環境の情報

生産計画を実施する造船所のモデルとして、Fig.7-10-2に示すような工場を想定した。この工場は、生産環境を設定するツールを使用することによって定義されたものである。この工場は様々な建屋や船台などから構成され、さらにそれらの情報として様々な工程資源オブジェクトが定義されている。それらの工程資源オブジェクトには、個々の生産能力に関する情報が記述されており、さらに作業資源オブジェクトである作業員オブジェクト、設備オブジェクトが定義されている。これらの作業資源オブジェクトは、工程資源オブジェクトに管理されている。

(3) 搭載ブロックの接合グラフ

船体構造 (Fig.7-10-1(A)) を、カット機能と分配機能を利用してブロック分割し (Fig.7-10-1(B)), さらに組立モジュールとして搭載ブロックを抽出した結果を Fig.7-10-1(C) に示す。図では抽出された組立モジュールは 21 個定義されている。この段階において組立モジュールの接合関係情報を利用することによって、Fig.7-10-3 に示すように組立モジュールの接合グラフが生成される。また、組立モジュール間の接合関係情報より、溶接線に関する管理物量も獲得することができる。

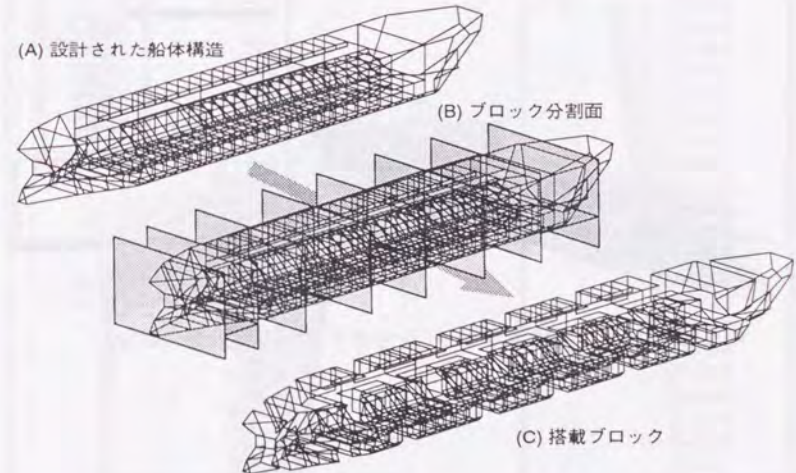


Fig.7-10-1 生産計画の対象となる船体構造

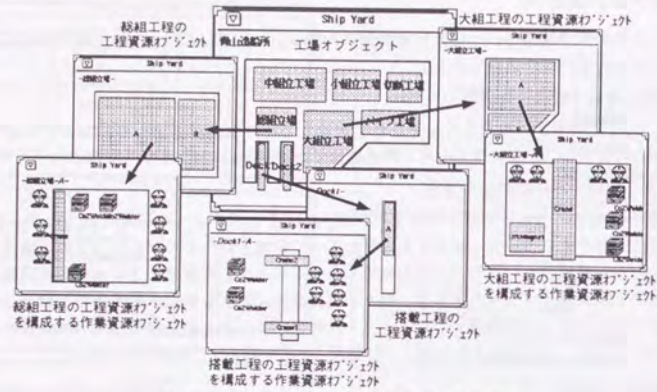


Fig.7-10-2 生産計画を行う生産環境のモデル

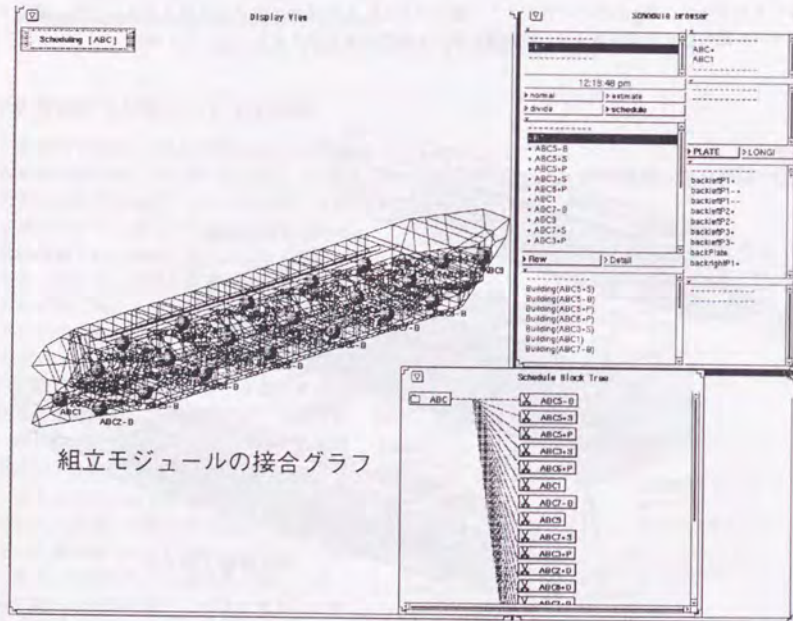


Fig.7-10-3 搭載ブロックの接合グラフの生成

(4) 搭載の工程計画 (組立グラフの生成)

計画者がGUIを用いて、組立モジュールの搭載順序 (組立順序) を指定する。組立モジュールの接合グラフに搭載の優先順序が記述され、接合グラフは Fig.7-10-4 に示すような有向グラフになる。この有向グラフを利用して、組立作業を作業オブジェクトのフロー・ダイアグラムとして表現する組立グラフが生成される。組立グラフを構成する作業オブジェクトには、作業対象の情報として組立モジュールが記述される。

組立グラフを構成する作業オブジェクトを基に、組立モジュールの配置作業の作業オブジェクトや、結合作業の作業オブジェクトなどの、工程作業の作業オブジェクトが、自動的に生成される。また、それらの作業オブジェクトには、組立モジュールや、組立モジュールの接合関係情報が作業対象の情報として記述される。作業オブジェクトの階層構造によって、生成された工程作業の作業オブジェクトが組立グラフを構成する作業オブジェクトに記述される。

(5) 搭載工程の日程計画 (工程作業の割当)

上記 (4) のように生成された組立グラフを、ドックの工程資源オブジェクトに割り当てる。この際に、計画者が、結合作業や配置作業に要する人員数などを入力する。入力された人員数を考慮し、工程作業の作業オブジェクトに記述されている情報 (作業対象として記述されている製品モデルの情報) と、工程資源オブジェクトの情報 (生産能力の情報) とから、作業に要する時間が自動的に算出される。また、この求められた作業時間は、工程作業の作業オブジェクトに記述される。

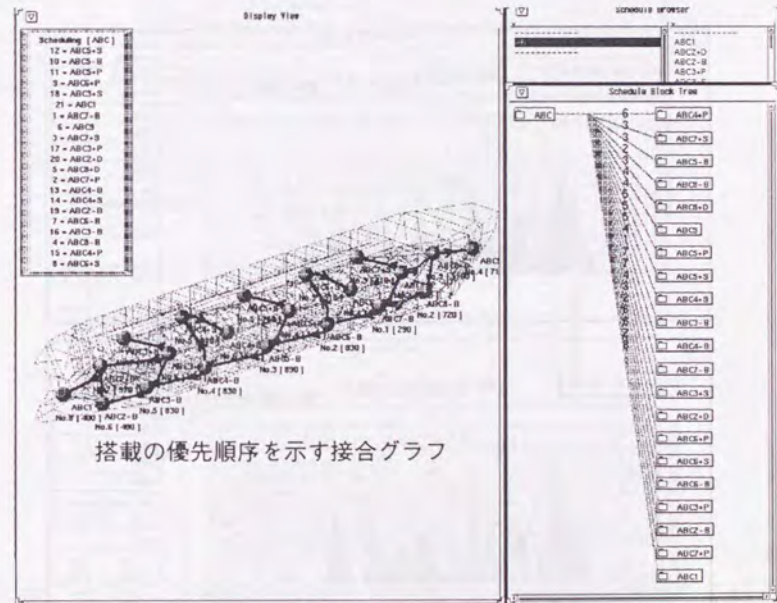


Fig.7-10-4 搭載の工程計画 (工程設計)

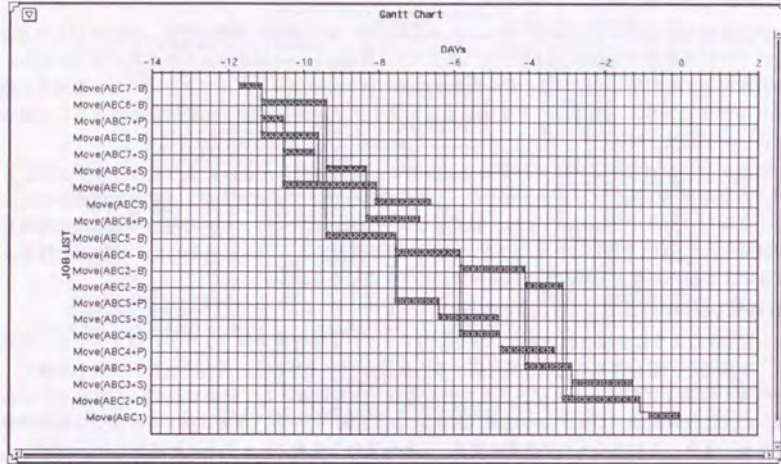


Fig.7-10-5 搭載の日程計画 (工程作業の割当)

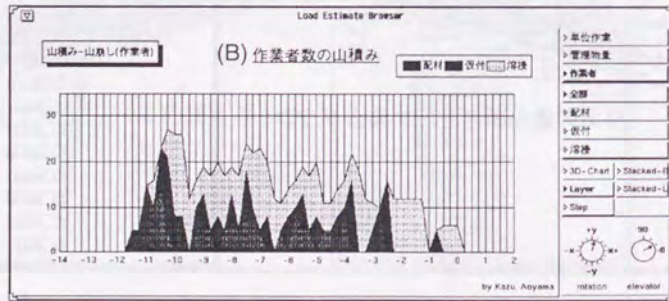
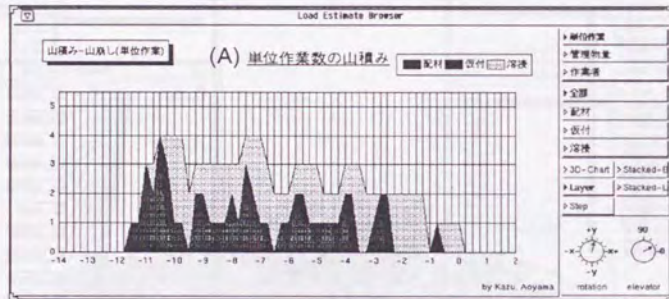


Fig.7-10-6 搭載工程の山積み (工程作業)

さらに、作業オブジェクトの前後関係の情報を利用することによって、PERT手法に基づいて各作業の日程情報を算出する。その結果をガント・チャートで表示したものをFig.7-10-5に示す。Fig.7-10-5に示す作業ノード(棒グラフ)は、ドックの搭載ブロックに対する作業スケジュールを示すものと理解できる。

(6) 搭載工程の山積み (工程作業)

上記(5)のように、工程資源オブジェクトに工程作業の作業オブジェクトが割り当てられることによって、工程作業の日程情報が獲得される。また、この作業オブジェクトには、作業対象の情報や作業人員数が記述されている。したがって、工程資源オブジェクト毎に、作業オブジェクトの情報を利用して、管理物量(重量、溶接線など)、必要人員数などの山積みを表示したグラフを生成することができる。Fig.7-10-6(A)は、作業種類別の作業量の山積みのグラフであり、Fig.7-10-6(B)は、作業の種類別の作業人数を山積みしたグラフである。

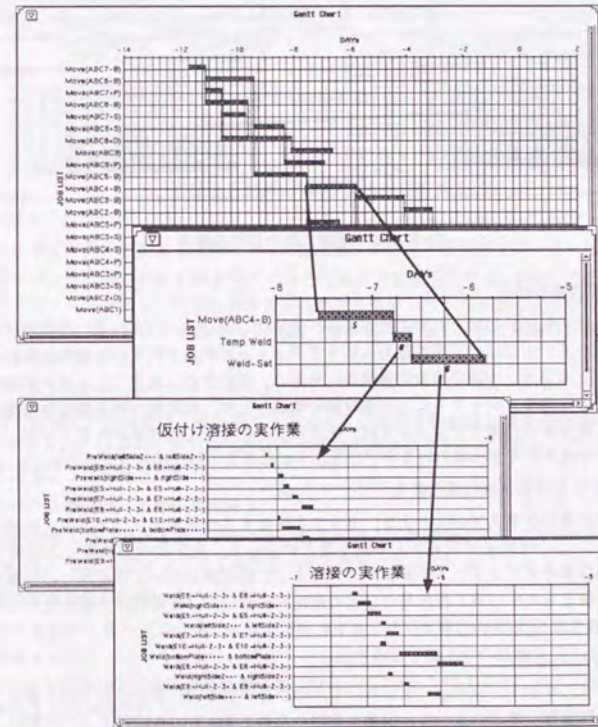


Fig.7-10-7 搭載工程の実作業の抽出

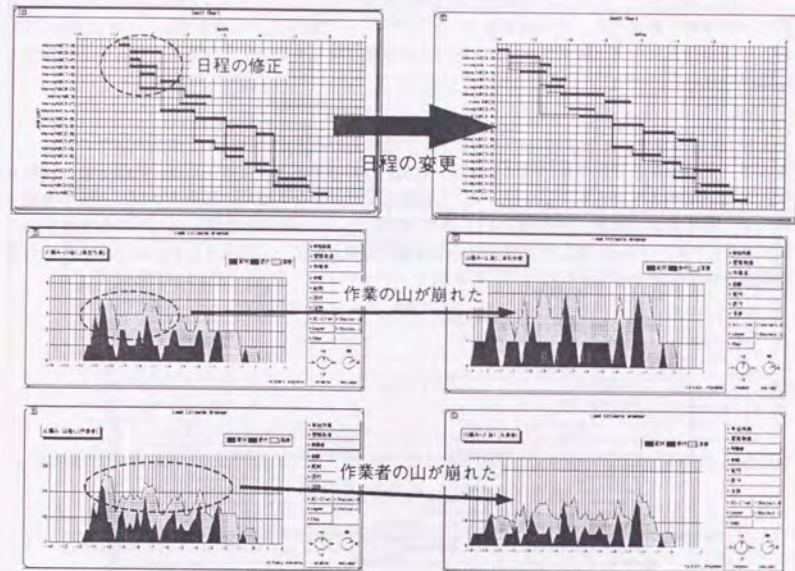


Fig.7-10-8 搭載工程の日程の修正

(7) 搭載工程の実作業の抽出

計画の次の段階として、生成された工程作業の作業オブジェクトから実作業の作業オブジェクトが生成される。本システムでは、工程作業の作業オブジェクトに記述されている作業対象の情報（組立モジュールや組立モジュール間の接合関係情報）を基に、実作業の作業オブジェクトが自動的に生成される。実作業の作業オブジェクトには作業対象の情報として、部品間の接合関係情報等が記述される。生成された実作業の作業オブジェクトは、生成の素となった工程作業の作業オブジェクトに管理される。なお、生成される実作業の作業オブジェクトには作業の前後関係は記述されていない。

(8) 搭載工程の小日程計画（実作業の割当）

生成された実作業の作業オブジェクトを、ドックを構成する作業者オブジェクト、設備オブジェクトに割り当てる。この作業オブジェクトの割り当てによって、まず、作業に要する時間が算出される。この際に、作業者オブジェクトや設備オブジェクトに記述されている作業能力の情報が考慮される。次に、既に決定されている工程作業の日程の範囲内において、時間的に矛盾を生じない日程が求められ（Fig.7-10-7）、実作業の作業オブジェクトに記述される。

(9) 搭載工程の日程の修正

本システムでは、ガント・チャート上において、GUIを利用して作業の日程情報を修正することができる。この日程情報の修正によって、山崩しを行った例をFig.7-10-8に示す。この例は、搭載工程の日程を修正したものである。図に示すように、ガント・チャート上の作業ノードを移動することによって、作業の日程情報が修正され、その結果として、山崩しが行われている。

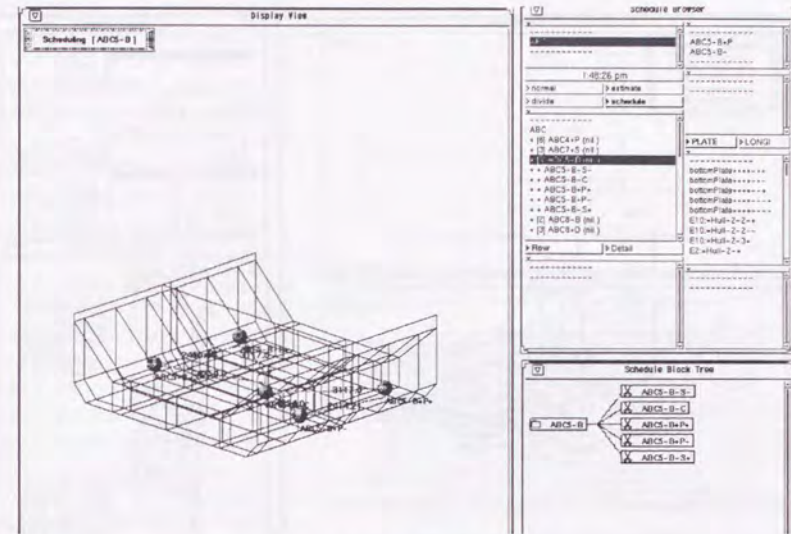


Fig.7-10-9 大組ブロックの抽出

(10) 大組ブロックの抽出

搭載ブロックは、先行する組立工程である大組工程において、複数のブロックから製作される。そこで、搭載ブロックを造るための複数のブロックを取り出す必要がある。Fig.7-10-9は、搭載計画を行った搭載ブロックを分割し、複数の組立モジュールを抽出したものである。この搭載ブロックは、合計5個の組立モジュールより定義されている。Fig.7-10-3で示したのと同様に、組立モジュールの接合グラフが生成される。

(11) 大組工程の工程計画（組立グラフの生成）

搭載計画と同様に、計画者は、組立順序を入力する。入力された組立順序の情報によって、Fig.7-10-10に示すように、組立モジュールの接合グラフが有向グラフで表示される。この情報から大組工程における組立グラフが生成される。

(12) 大組工程の日程計画（工程作業の割当）

生成された大組工程における組立グラフを、作業を行う工程資源オブジェクトに割り当てることによって、Fig.7-10-11(A)に示すような工程作業の日程情報が生成される。

(13) 工程間の計画情報の接続

組立グラフを構成する一連の作業オブジェクトをグループ化して、一つの作業オブジェクト（工程作業群の作業オブジェクト）を定義し、後続する工程である搭載工程の組立グラフと結合する。これによって、Fig.7-10-11(A)に示す日程情報はまとめられて、Fig.7-10-11(B)に示すように搭載工程のガント・チャート上に表示される。

(14) 大組工程の定盤計画

組立工程の定盤の制約を考慮するために、定盤の使用状況を確認する。Fig.7-10-12に示すような視

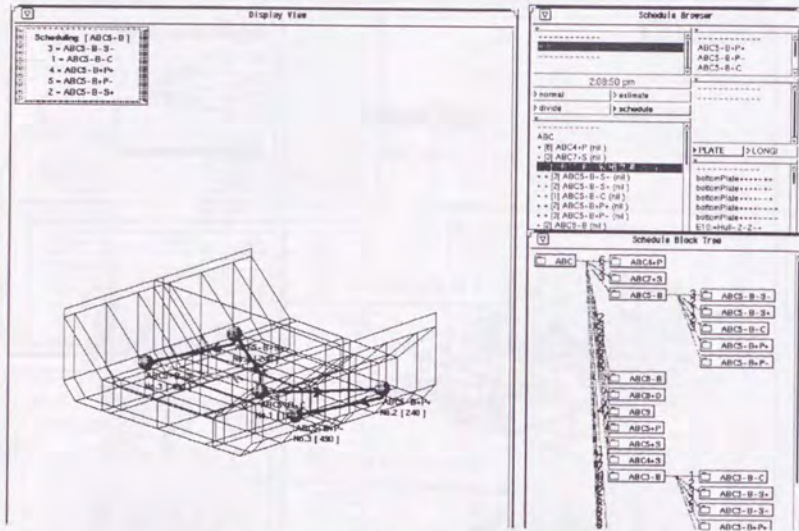


Fig.7-10-10 大組工程の工程計画 (工程设计)

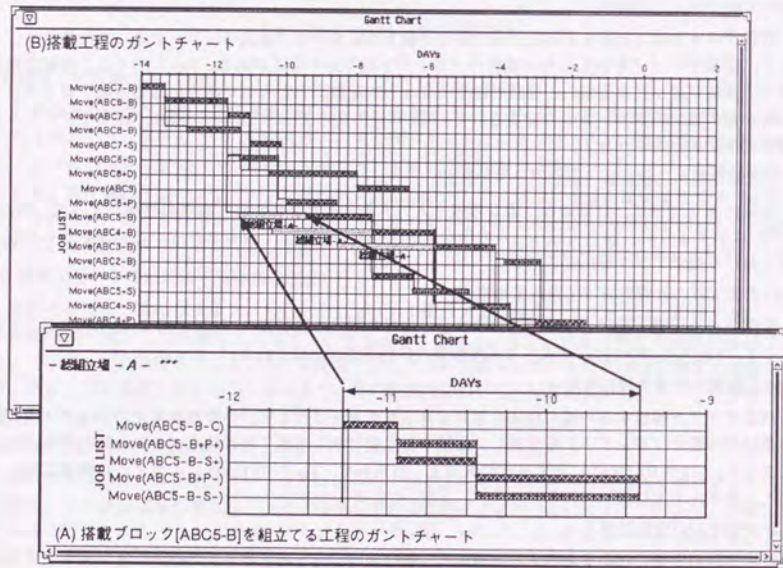


Fig.7-10-11 大組工程の日程計画 (工程作業の割当)

覚的表现によって、定盤の使用状況が適切かどうかを容易に確認することができる。そこで、定盤モデル上で作業平面を移動し、組立工程の日程を修正する。この日程の修正によって、対応する搭載作業との間に停滞に対応する日程情報が生成される。

(15) 大組工程の山積み

定盤における使用状況を把握するだけでなく、作業オブジェクトに記述された情報を利用して、Fig.7-10-13に示すような、様々な物量や作業量に関する山積みのグラフを生成することができる。山崩しは、日程情報を修正することによって、間接的に実現することができる。そこで、定盤モデルにおける作業平面を移動し、組立工程の日程を修正する。この日程の修正によって、Fig.7-10-14に示すように、大組工程における山崩しが行われる。

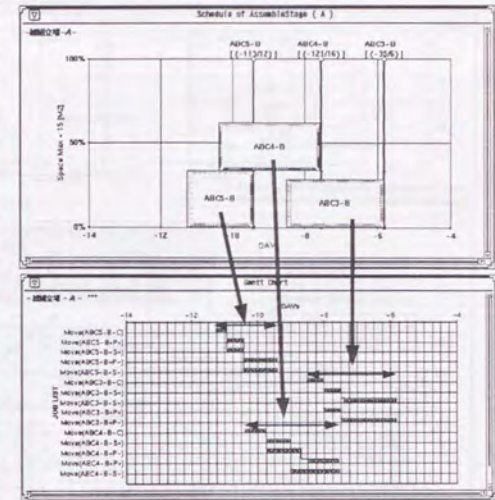


Fig.7-10-12 大組工程の定盤計画

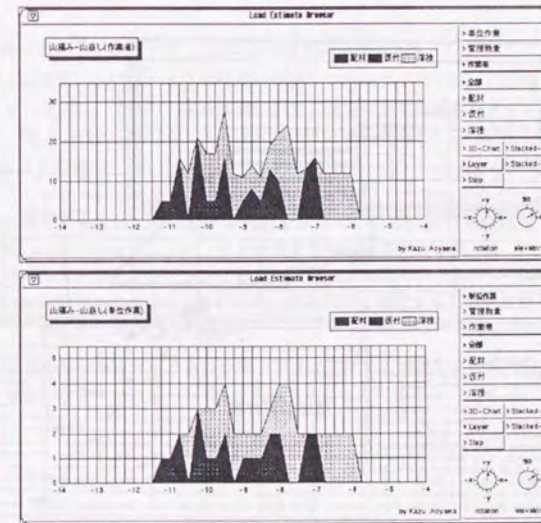


Fig.7-10-13 大組工程の山積み

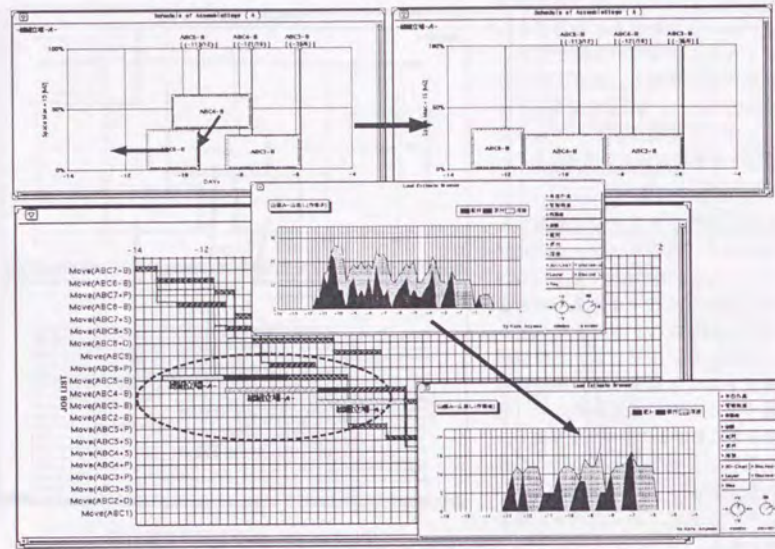


Fig.7-10-14 大組工程の定盤計画の変更による山崩し

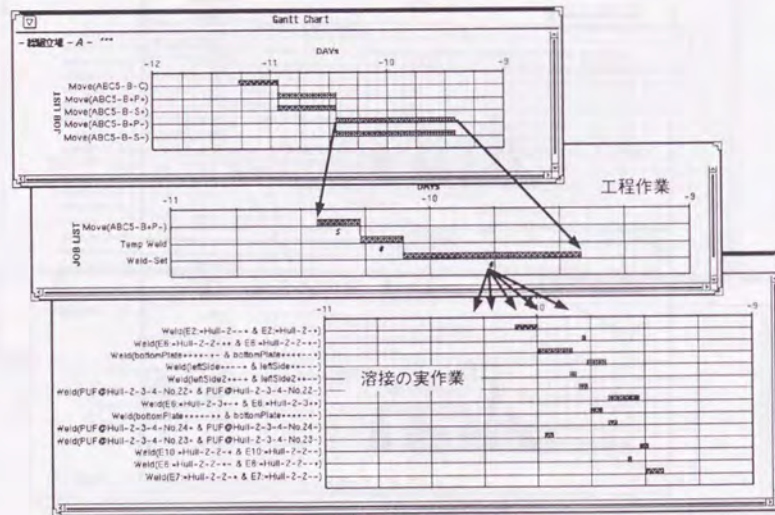


Fig.7-10-15 大組工程の実作業の抽出

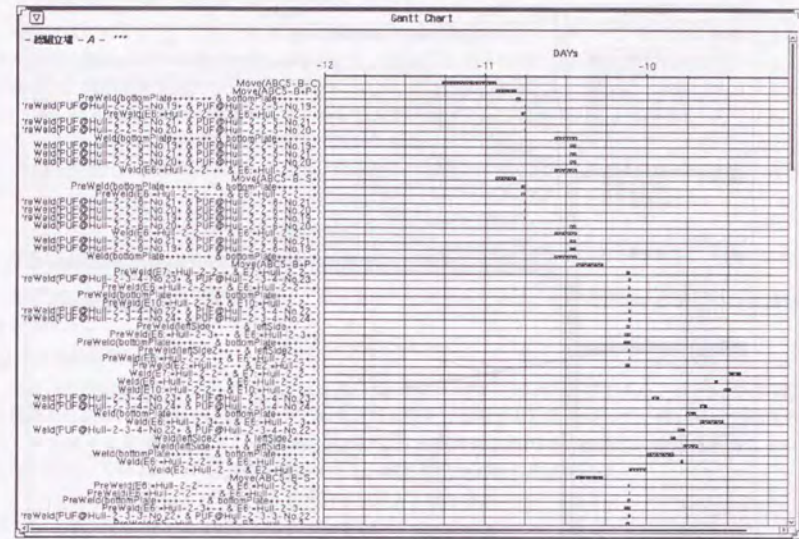


Fig.7-10-16 大組工程の小日程計画

(16) 大組工程の実作業の日程情報 (大組工程の小日程計画)

搭載工程と同様に、生成された工程作業の作業オブジェクトを基に、実作業の作業オブジェクトが生成される。さらに、それらの実作業の作業オブジェクトを作業資源オブジェクトに割り当てることによって、Fig.7-10-15に示すような実作業の日程情報を獲得することができる。

(17) 大組工程の日程情報

以上のように生成された作業情報は、生産環境の情報として管理されている。したがって、Fig.7-10-16に示すように、大組工程において計画された全ての実作業の日程情報を表示することができる。また、Fig.7-10-17に示すように、生産環境単位で日程情報を確認することが可能である。この図は、大組工程の工程資源オブジェクトの日程情報を表示したものであり、先に示した搭載工程と同様に、容易に山積み情報を生成することができ、作業状況を確認することができる。

(18) 作業 (作業資源モデル) の日程情報

Fig.7-10-18は作業資源モデルである作業オブジェクトに関する作業の日程情報を表示したものであり、作業者の作業スケジュールとして利用することができる。

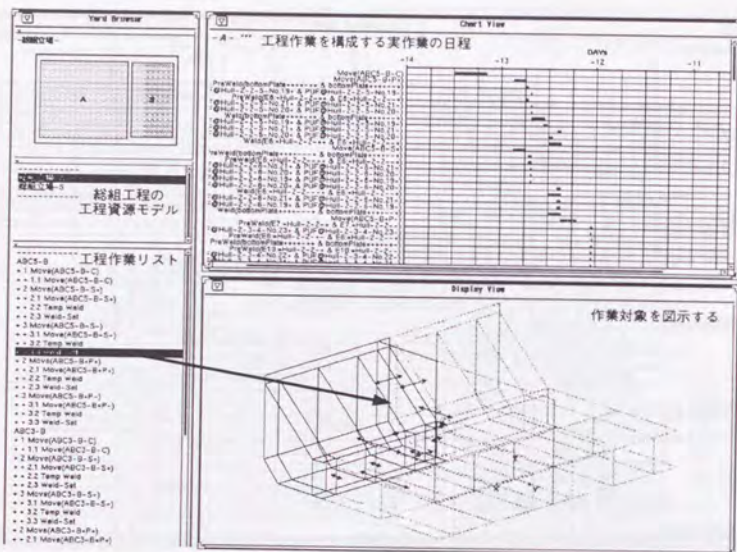


Fig.7-10-17 工程資源モデルの日程情報

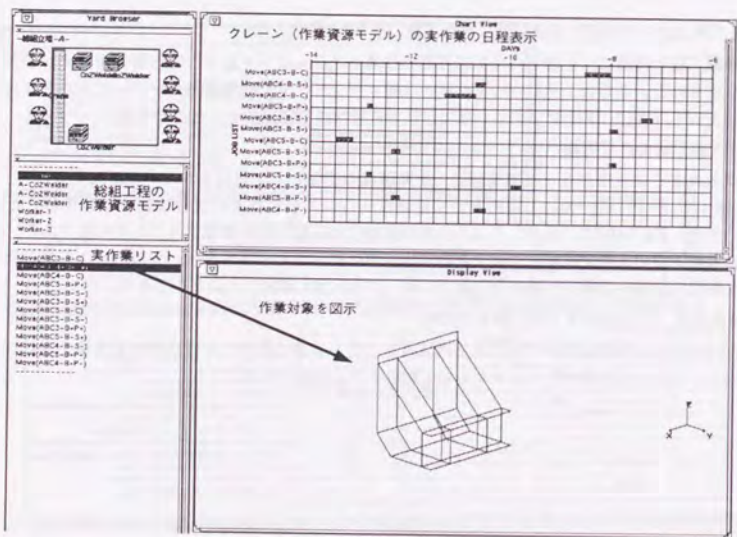


Fig.7-10-18 作業資源モデルの日程情報

7.11 仮想組立による部品の詳細形状の設計

本章ではこれまでに、設計で生成される製品モデルの情報を有効に利用して、計算機の支援による生産情報の獲得に関する検討を行ってきた。その成果として、生産計画支援システムが構築された。本節では、製品モデルの更なる利用方法として、計算機内部に仮想的な生産活動（生産活動のシミュレーション）を表現し、その際に生成される情報を明確にすることを目的とする。特に、スロット、スカラップなどの生産活動に密接に関連している部品の形状情報は、生産活動のシミュレーションによって獲得すべき製品情報であると考え、生産活動の影響を考慮した部品形状を生成することを考察する。

7.11.1 仮想組立機能による部品形状の設計

本項では、生産活動の影響を考慮した部品情報を生成するために、計算機内部に仮想的な生産活動を表現することに関して述べる。

(1) 部品形状の設計

実際の生産活動を行うためには、製品を構成する部品の詳細な形状が必要である。現状における部品情報の生成は、構造設計、詳細設計、生産設計と設計が進行するにしたがって、部品形状を確定するための様々な情報が獲得され、最終的に「原因」と呼ばれる部門で、部品図に展開されることによって行われている。この部品図を観察すると、部品形状を定義する情報には、

- ・ 構造的な設計要求から生成された形状表現による部品情報
- ・ 生産的な設計要求から生成された形状表現による部品情報

などの情報が混在しているものと考えられる。

(2) 仮想組立機能

本研究ではこれまでに、設計機能・カット機能を定義することによって、船体構造を構成する部品情報を生成することができると示してきた。しかし、それらの部品情報として記述される部品形状は、構造的な設計要求から生成された形状であり、先に述べた生産的な設計要求によって生成された形状ではないと理解できる。そこで本研究では、生産活動を計算機内部で模擬し、仮想的に生産を行うことによって、生産的な設計要求を明確にすることを考えた。本研究では、計算機内部における仮想的な組立を行う機能として仮想組立機能を定義する。この仮想組立機能の概要は、以下に示すものである。

- ・ 生産計画で生成された組立手順に従って、仮想的に、船体構造を計算機内部で建造する。この際に、設計で生成されている部材の接合関係情報を有効に利用する。
- ・ 建造する際に、開先形状などの情報を溶接部の情報として入力する。
- ・ さらにパス数などの溶接線の情報を入力する。
- ・ 組立手順に従った矛盾のない部品形状を生成する。

(3) 仮想組立機能を利用した詳細な部品形状の設計

本研究では、生産的な設計要求によって定義される形状情報として以下のものを検討する。生産的な設計要求によって確定される部品の情報の例としては、

- ・ ロンジ差込み方式の組立によるスロット形状の設計
- ・ 先行する溶接部による干渉のためのスカラップ形状の設計

などが挙げられる。これらの設計は、現状の設計活動では整理されることなく、詳細設計、生産設計などを行う設計者が、実際の製造が問題なくできるような部品の形状を決定することによって情報が

生成されている。そこで本研究では、上記のスロット形状とスカラップ形状の設計を例に、仮想組立機能を利用することによって、生産的な設計要求によって確定される部品の情報が生成される過程を考察する。

7.11.2 スロットに関する情報の獲得

ロンジなどがついた構造物において、ロンジが貫通する板に開くスロットの形状は、ロンジとその貫通する板との工作順序に大きく左右されるものとなる。例えばロンジ先付けの場合とロンジ差込みの場合とはそのスロット形状は大きく異なる。したがって、現状の設計では生産設計の段階で組立方法を十分に検討しなければならない。

本研究では、工程計画において組立モジュールを用いた組立順序の検討を行っている。そこで、工程計画の段階において、組立順序を考慮したスロット形状を定義する機能を定義した。また、この機能をシステムとして実装した。

Fig.7-11-1に示す例は、板部品(例えばフロア・プレート)の取付けが先行し、この部品を貫通する骨材が後から取付けられる場合を示したものである。この場合の工法は、ロンジ差込み工法として考え、スロット形状を骨材の形状に合わせたできるだけ小さい貫通部の形状として定義する。

また、Fig.7-11-2に示す場合はこれとは逆に、ロンジが先行して取付けられ、板部品が後から取付けられる場合である。この場合では、スロット形状は図で示すように大きな形状となる。

7.11.3 スカラップに関する情報の獲得

溶接部が部品形状に及ぼす影響の一例として、スカラップが挙げられる。Fig.7-11-3に示すようにフロア・プレートを挿入しようとする場合、既にガーダが隅肉溶接されている時にはフロアにスカラップを設けなければならない。このようなスカラップをどの部品のどの角に設けるかを決定するためには、フロア・プレートを挿入する前に、溶接部が存在し、フロア・プレートと溶接部が干渉するという情報が必要である。したがって、この場合も組立順序の情報が重要である。つまり、純粋に構造設計の思考だけで決められるのではなく、部品の組立段階で、その組立順序によって初めて決定されることである。

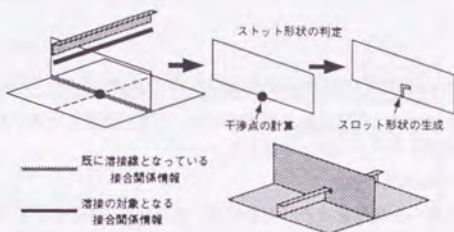


Fig.7-11-1 スロットの設計 (ロンジ差込み工法)

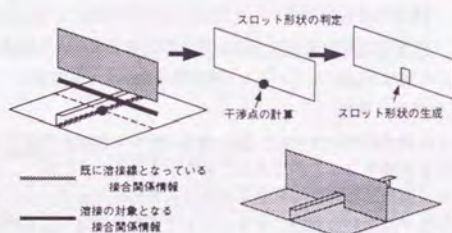


Fig.7-11-2 スロットの設計 (ロンジ先付け工法)

7.11 仮想組立による部品の詳細形状の設計

スカラップを設ける手順は以下の通りである。

- 1) 部品あるいは組立モジュール(ブロック)を移動し、ある組立モジュール(ブロック)上に配置する。
- 2) 部品は自分の形状と溶接線との干渉をチェックし、干渉点を求める。干渉点においてスカラップが必要な箇所については、システムが自動的にスカラップの寸法を要求してくるので入力する。
- 3) 与えられた寸法にしたがってスカラップの形状が定義され、新たな製品情報が与えられた部品となる。

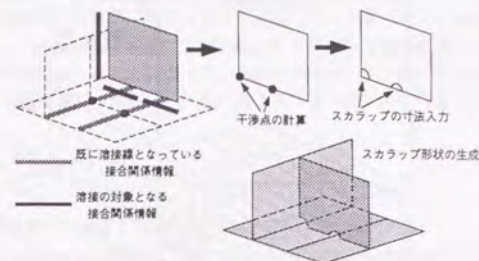


Fig.7-11-3 スカラップの設計

7.11.4 スロット、スカラップ形状の定義

本システムでは、以上のように定義されるスロットやスカラップの形状を、部材オブジェクトの属性情報として記述し(形状フィーチャー・モデルとして情報を記述)、部品の外形形状とは独立させた情報としている。これはスロット形状やスカラップ形状を考慮して部品の外形形状を処理すると、スロット、スカラップという認識が消失してしまうので、部品に関する穴と同様にスロット形状やスカラップ形状は独立させて定義する。このような情報の定義によって、スロット形状やスカラップ形状を認識したい場合は何時でも取り出すことが可能であり、スロット形状やスカラップ形状を容易に修正することが可能である。

7.11.5 部品形状の生成の実例

以上に述べた、スロット形状やスカラップ形状を、Fig.7-11-4に示すような組立順序によって生成した例をFig.7-11-5に示す。仮想組立機能を生産計画支援システムに実装することによって、組立順序に従った部品形状の定義を行うことが可能であることが理解できた。

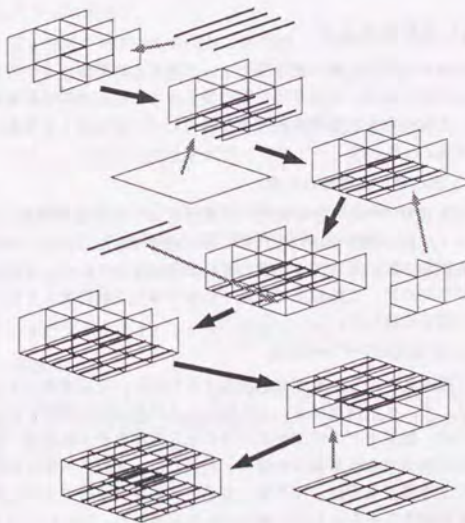


Fig.7-11-4 ブロックの組立例

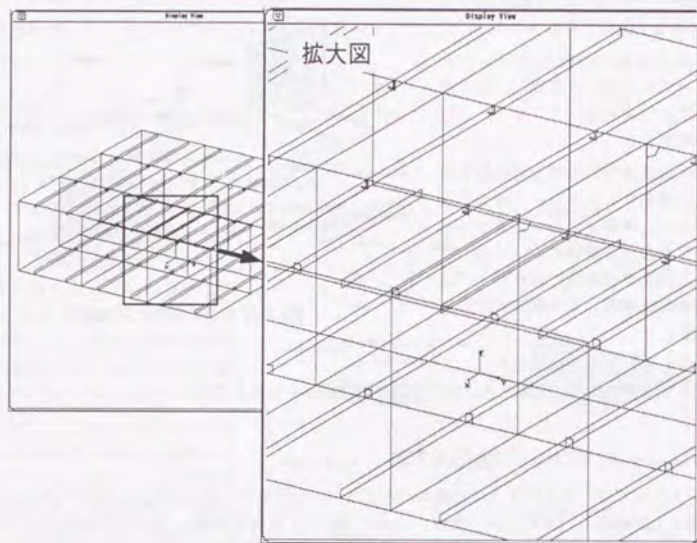


Fig.7-11-5 部品形状の生成の実例

7.12 本章のまとめ

本章では、第5章、第6章によって論じられた製品モデルをベースに、生産情報を獲得するために生産計画のモデル化を中心に論じた。また、生産活動の影響を考慮に入れた製品形状を生成するために、生産活動を計算機内部で仮想的に行うことに関して考察した。以下に、本章で得られた知見を整理する。

(1) 工程作業と実作業の定義

工程設計では、'物の流れ'に重点をおいた作業が認識され、作業の順序関係を検討することによって工程の順序が決定されるものと理解できた。また、作業設計では、工程で行われる具体的な作業が認識され、具体的な作業の流れが決定されるものと理解できた。これらの認識の異なる作業を整理するために、工程設計で認識される作業を工程作業、また、作業設計で認識される具体的な作業を実作業と定義した。

(2) 生産環境のモデルの定義

生産活動を行う生産環境を表現するために、生産環境のモデルを定義した。生産環境のモデルの機能として、生産活動において実施される作業の作業時間を算出する機能を定義した。生産環境のモデルには、製品モデルの情報から得られる管理物量から作業に要する作業時間を算出するために、見積関数に相当する生産能力の情報を記述した。また、作業の認識のレベルに合わせて、工程作業に対応する工程資源モデル、実作業に対応する作業資源モデルを定義した。また、これらの生産環境のモデルを管理するものとして工場モデルを定義した。さらに、以上の生産環境のモデルをシステムに実装するオブジェクトを定義し、生産環境の自由な構成を支援するツールを構築した。

(3) 作業モデルの定義

生産活動で行われる作業を情報として表現するために、作業モデルを定義した。作業モデルには生産活動の対象となる製品モデルの情報と、生産活動を実施する生産環境のモデルの情報が記述される。また、作業の前後関係の情報を相対的に記述することによって、作業の時間軸への展開の際に有効に利用している。さらに、作業モデルの階層構造を定義し、工程作業と実作業の関係を、作業モデルの階層構造として表現した。

(4) 工程計画のモデル化と工程計画支援システムの構築

工程計画における工程作業の生成を以下のように表現した。

- ・複数の組立モジュール間の接合関係を無向グラフとして表現する接合グラフを生成する。
- ・組立順序を指定することによって、接合グラフを基に、組立モジュールの組立順序を有向グラフとして表現する。
- ・組立モジュールの有向グラフを基に、作業モデルのフロー・ダイアグラムとして表現する組立グラフを生成する。

さらに、工程作業を詳細に表現する実作業の生成を以下のように表現した。

- ・工程作業に記述されている製品モデルの情報を利用して実作業の作業モデルを生成し、作業モデルの階層構造を利用することによって工程作業の作業モデルに、生成された実作業の作業モデルを記述する。

また、ある工程における組立グラフを縮約して一つの作業モデルとして生成し、後工程の工程作業と前後関係をつけることによって前後工程間の作業の接続を表現した。この作業モデルを工程作業群の作業モデルと定義した。

さらに、以上のモデル化に基づいて、工程計画を支援するシステムを構築した。

(5) 日程計画のモデル化と日程計画支援システムの構築

日程計画を、工程作業および実作業を生産環境のモデルを利用して時間軸上に展開するものとしてモデル化した。この際に、PERT手法に基づいて時間軸へ展開した。作業を時間軸に展開するためには、作業に要する作業時間の情報が必要であり、以下のように作業時間を算出している。

- ・工程作業を工程資源モデルに割り当てることによって、工程作業の作業対象（製品モデル）から得られる管理物量と、工程資源モデルに記述された生産能力の情報より工程作業の作業時間を算出する。
- ・実作業を作業資源モデルに割り当てることによって、実作業の作業対象（製品モデル）から得られる管理物量と、作業資源モデルの生産能力の情報より実作業の作業時間を算出する。

また、工程作業と実作業は、階層構造によって互いに関係付けられているので、作業の階層関係を有効に利用して、日程計画の情報が生成される。

さらに、以上のモデル化に基づいて、日程計画を支援するシステムを構築した。

(6) 仮想組立機能による詳細な部品形状の生成

計算機内部において組立作業を仮想的に行うことによって、生産活動の影響を考慮した製品形状を設計する機能として仮想組立機能を定義した。この仮想組立機能を利用することによって、組立順序の影響を受ける詳細な部品形状を矛盾なく生成できることを示した。

第8章 設計・生産活動の体系化と今後の課題

本論文ではこれまでに、造船における設計・生産活動のモデル化と、そのモデル化に基づいた造船における設計・生産システムのプロトタイプ・システムの構築に関する考察を行ってきた。そこで本章では、以下に示すように、本研究の目的である設計・生産活動の体系化と、今後の課題について述べる。

- ・これまでに考察した設計・生産活動のモデル化とシステム化によって得られた知見を整理し、設計・生産活動の体系化に関して考察する(8.1節)。
- ・さらに、本研究のシステム化では実現できなかった様々な問題点を整理し、実用的な設計・生産システムを構築するための課題を考察する(8.2節)。

8.1 造船における設計・生産活動の体系化

設計・生産活動において必要となる情報とそれらの活動の関係を整理すると、

- ・設計活動は、製品に要求される機能を実現するために、製品形状などの製品情報を生成する
- ・生産活動は、設計活動で獲得された製品情報を利用することによって、製品を実体化するための生産情報を生成する

などの関係が存在することを認識することができる。したがって、設計・生産活動における情報を統合化するためには、製品情報を統合的に管理して、設計活動および生産活動における製品情報と生産情報の生成過程を統合的に支援することが要求される。この要求を満足させるためには、

- ・各々の設計・生産ステージにおいて必要となる製品情報の構成を明確にする
- ・既に生成されている情報を有効に利用して、必要となる情報を新たに生成する

などの点に留意し、製品情報や生産情報の生成過程を統合的に支援することが重要である。つまり、以下のことが重要であるということである。

「設計・生産活動において必要となる情報を整理し、情報を統合的に管理する環境の在り方について十分な考察を加える。さらに、その環境における、製品情報の生成過程や利用過程を整理して捉える」

本研究では、船体の主要構造を対象として、造船における設計・生産活動のモデル化に取り組み、設計・生産活動を支援するための設計・生産システムのプロトタイプ・システムを構築した。そして、現実世界において未整理の様々な情報そのものや、その情報の生成や利用を、システム構築の視点から捉えることによって、

- ・設計・生産活動を行う様々なステージにおいて要求される製品情報を明確にすること
- ・異なるステージ間における情報の関連を考慮した、製品情報の関係を明確にすること

などにより製品情報を整理した。さらに、製品情報の生成機能として設計機能、生産情報の生成機能として生産計画機能を定義することによって、情報を統合的に管理する環境における情報の生成を検討した(Fig.8-1-1) [Checkland85]。

そこで本章では、

造船の設計・生産活動における情報の生成や利用などを、

- ・設計・生産活動における情報(製品情報と生産情報)
- ・設計・生産活動における情報の相互間の関係
- ・設計・生産活動における情報を生成・利用するために必要な機能

などの視点から系統立てて整理することによって、本研究の目的である設計・生産活動の体系化の指針を示す。

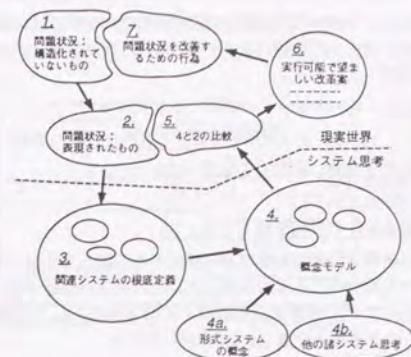


Fig.8-1-1 方法論の概念
(現実世界とシステム思考) [Checkland85]

8.1.1 設計・生産対象に関する情報の整理

本研究では、設計・生産活動において必要とされる製品に関する情報として、以下に示す製品情報を整理した。

・部材の製品情報と接合関係の製品情報

造船において生産の対象となる船は、多数の板部材・骨部材が溶接によって接合される板骨構造物である。この認識から、本研究では、船体構造を構成する板部材・骨部材に関する情報を記述する部材情報と、部材間の接合関係に関する情報を記述する接合関係情報を定義した。また、これらの情報は、造船における他の様々な製品情報を構成する基本要素として位置づけた。また、部材情報は、最終的に部品情報へと変遷する情報であることを示した。

部材情報: 船体構造を構成する板部材・骨部材に関する製品情報

接合関係情報: 部材間の接合関係に関する製品情報

特に、接合関係情報の定義によって、

- ・船体構造を構成する部材間の関係

を情報として整理し、管理することを可能とした。

また、設計・生産活動において要求される製品情報は、様々なステージ毎で異なるため、製品情報は必要に応じて様々な表現される必要がある。そこで、造船における設計・生産活動を整理することによって、設計・生産活動の様々なステージにおいて要求される製品情報として、以下に述べる製品情報を整理した。

・区画の製品情報(部屋)

船倉および区画などの空間に関する情報は、船体構造を表現するためには重要な情報であると考え、製品情報として認識した。本研究では、この空間に関する製品情報を「部屋」と定義した。また、部屋の製品情報は、生成されている複数の板部材の情報と板部材の接合関係情報より生成されるものとした。

部屋：船体構造を構成する船倉や区画および各種タンクなどの閉空間を表現する製品情報

また、部屋の製品情報や部屋を構成する板部材の製品情報は、構造単位の製品情報である箱型ユニットによって管理されている。さらに、生成される部屋の階層構造は箱型ユニットの階層構造として管理されている。

以上に述べたように、部屋の定義によって、

- ・「部屋」と「部屋を構成する板部材」との関係

の製品情報間に存在する関係を整理した。

・構造単位の製品情報 (ユニット)

船体構造を多くの部材から構成される物として捉えるだけでなく、構造として一纏まりの構造単位から構成されるものと捉えた。この構造単位を「ユニット」と定義し、製品情報として認識した。本研究では、船体構造を構成する構造単位として「箱型ユニット」「面型ユニット」「骨型ユニット」の三種類を定義した。

また、構造を構成する部材情報はユニットによって管理されており、生成された製品情報を管理する単位としても有効に利用できることを示した。

ユニット：船体構造を構成する構造単位に関する製品情報

ユニットの定義によって、

- ・「船体構造」と「ユニット」との関係
- ・「部屋」と「箱型ユニット」との関係
- ・「ユニット」と「ユニットを構成する部材」との関係

などの製品情報間に存在する関係を整理した。

・中間製品の製品情報 (組立モジュール)

設計において構造単位を製品情報として認識したように、生産活動における中間製品を製品情報として定義した。本研究ではこの情報を「組立モジュール」として定義した。

組立モジュール：生産活動で認識される中間製品に関する製品情報

生成される組立モジュールを階層構造を利用して管理した。また、組立モジュールの最小単位を部材とした。組立モジュールを利用することによって、小組工程や大組工程などの様々な生産工程をすべて組立モジュールの組立工程として表現することができた。この組立モジュールの定義によって、

- ・「船体構造」と「組立モジュール」の関係
- ・組立モジュール同士の接合関係
- ・組立モジュール同士の階層関係

などの製品情報間に存在する関係を整理した。

8.1.2 情報の生成に関する整理

前項では、設計・生産活動における情報として、最も重要であると考えられる製品情報に関する整理を述べた。この製品情報の整理に基づき、設計活動を製品情報を生成する観点から整理し、さらに生産活動を、製品情報を利用する観点から整理することが可能になる。そこで、設計・生産活動において必要となる、情報の生成過程や利用過程を以下に示すように整理した (Fig.8-1-2)。

(1) 設計活動における情報の生成に関する整理

製品情報の統合的な生成や利用を整理するために、製品情報の生成機能を設計機能として検討した。8.1.1項で整理した部屋・ユニットなどの製品情報の生成は、設計活動における区画設計、主要な内部構造の構造設計に対応するものと考えられ、各設計における設計機能を検討した。

さらに、設計機能によって生成される製品情報を互いに関連づけ、製品情報の構成を明確にする。この整理を基に、単に製品情報だけではなく、設計者が入力した過程 (プロセス) を情報として記述することを検討し、過程に関する情報を製品情報の一部として管理した。

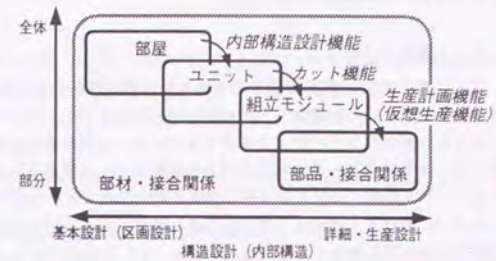


Fig.8-1-2 製品モデルの構成と進化

・空間設計機能の定義

「部屋」を設計する機能を、空間設計機能として定義した。空間設計機能は、既に生成されている複数の板部材と、新たに生成される仕切り板の情報とによって、新たな部屋の形状を矛盾無く生成する機能である。この空間設計機能の定義によって、造船の区画の設計における種々の情報の生成・処理の流れを、整理して捉えることができたものと考えている。また、部屋の設計情報として、部屋を仕切る板の設計情報を記述した。

さらに、部屋の設計順序にしたがって生成される複数の部屋の情報は、部屋の階層構造を利用して管理されている。この部屋の階層構造を利用した情報の管理は、既に生成されている部屋から新たに複数の部屋が生成される過程を、情報として管理することに対応するものと考えられる。

以上の空間設計機能によって、

- ・「部屋」と「部屋を仕切る板部材」との関係
- ・「部屋を構成する板部材」と「部屋を仕切る板部材」との関係
- ・「部屋」と「部屋の内部に存在する複数の部屋」との関係 (部屋と部屋との階層関係)
- ・「部屋の階層構造」と「部屋の設計情報」との関係

などの製品情報の関係が整理された。

・内部構造設計機能の定義

ユニットを設計する機能を、内部構造設計機能として定義した。この設計機能におけるユニットの形状定義では、既に生成されている「部屋」の情報が有効に利用されており、区画と内部構造の間の関係を制約関係として整理した。部屋を管理する箱型ユニットによって、部屋の内部に設計される面型ユニットと骨型ユニットが管理されており、部屋の階層構造と同様に部屋とユニット間の関係も階層的に表現されている。

また、内部構造設計機能では、トランス・リング構造などが有する穴の形状情報や、ロンジ構造などの骨部材の取付線の情報に着目した。それらの情報の記述の際に、幾何学的拘束関係 (寸法情報) を利用することによって、ユニットの設計情報の記述を考慮した。さらに、パラメータを指定することによって内部構造を設計することができるパラメトリック設計の概念も導入した。

以上の内部構造設計機能によって、

- ・「箱型ユニット」と「部屋の内部に設計される面型ユニットと骨型ユニット」との関係
- ・「ユニット」と「ユニットを生成する設計情報」との関係

などの情報の間の関係が整理された。

・カット機能の定義

以上に述べた空間設計機能や内部構造設計機能などの設計機能によって、縦通隔壁や二重底内底板、トランス・リング構造などの製品情報が生成される。さらに、ブロック分割や板厚の差異を持たせるための板割りなどの要求を考慮するために、生産活動に必要な部品情報を生成する機能を定義した。この機能として、部品情報を生成するカット機能を定義した。カット機能を利用することによって、生産活動で必要となる部品情報と接合関係情報を生成できることを示した。

また、このカット機能と、部品を任意に抽出し振り分けることができる分配機能を利用して、生産活動の対象の製品情報である「組立モジュール」を生成することが可能であることを示した。

以上のカット機能によって、

- ・「部材」と「部材を構成する部品」との関係（部材の階層関係）
- ・「船体構造」と「組立モジュール」との関係
- ・組立モジュール同士の関係（階層関係）

などの製品情報間の関係が整理された。

本研究では、上記の設計機能（空間設計機能、内部構造設計機能、カット機能）によって生成される製品情報間に存在する階層構造を積極的に利用している。つまり、設計の順序にしたがって生成された製品情報を、階層的に記述することによって、階層構造における上位階層と下位階層との情報の間に制約関係が存在することを認識した。また、生成された船体構造を設計変更する際に、この制約関係を有効に利用することによって、製品情報の変更を効率よく、かつ矛盾なく実行することを考慮した。

(2) 生産活動における情報生成の整理

設計活動では、製品情報の生成を主目的としている。これに対して、生産活動では、設計によって既に生成された製品情報を基に、製品を実体化するための生産情報が主に生成されている。統合的な情報管理の環境においては、生産情報を生成する際に、既に生成されている製品情報を有効に利用することを考慮する必要がある。そこで、本研究では、生産活動を製品情報の利用過程として捉え、生産活動に必要な情報の定義と、生産情報の生成機能を以下のように整理した。

・生産環境の情報

生産活動を行う生産環境の情報（工場や設備などの制約や能力）は生産情報を獲得する際に重要な情報である。また、この生産環境の情報は、製品情報とは独立した情報である。そこで、生産活動が実施される工場・生産設備などの生産環境の情報を、製品情報とは独立して定義した。生産環境の情報においては、生産環境が複数船の作業情報を管理するなどの、製品情報には直接依存しない管理手法を明示した。

本研究では、生産計画における様々な管理レベルの作業情報を生成・管理するために、以下に示す生産環境の情報を整理した。

作業資源の情報：作業に直接関係する生産設備や作業員などの情報

工程資源の情報：複数の作業資源の情報が記述される情報

工場の情報：複数の工程資源の情報が記述される情報

・作業の情報

本研究では、生産活動で必要となる情報として、作業対象・生産環境（生産設備、作業員）・作業順序・作業日程などの情報に着目し、これらの情報が記述される作業情報を整理した。

作業情報：作業対象・生産環境（生産設備、作業員）・作業順序・作業日程の情報が記述される情報

また、生産計画を分析することによって、生産計画で認識される作業を管理する単位として、以下の作業を整理した。

実作業：実際に行われる具体的な作業（仮付け作業、溶接作業など）

工程作業：複数の実作業から構成される作業

以上の作業の整理によって、

- ・「工程作業の情報」と「実作業の情報」との関係
- ・作業情報の間の前後関係

などの作業に関する情報が記述される作業情報を整理した。

・生産計画機能の定義

生産計画を支援するために、

・組立モジュール間の接合関係情報と組立順序の情報から、工程作業および工程作業の流れを生成する

・工程作業を基に詳細な作業情報である実作業の情報を生成する

などの作業情報の生成機能として工程計画機能を定義した。

また、個々の作業の日程情報を生成するために、

・工程作業の情報と工程資源の情報を関係付けることによって工程作業の日程情報を生成する

・実作業の情報と作業資源の情報を関係付けることによって実作業の日程情報を生成する

などの作業の日程情報を生成する機能として日程計画機能を定義した。本研究では、以上の二つの機能（工程計画機能と日程計画機能）を合わせて生産計画機能とした。

この生産計画機能によって生成される工程作業と実作業は階層的に管理される。また、生産計画で生成される工程作業は、工程作業を詳細化した実作業を制約するものと整理した。この制約関係を利用して、作業の日程情報の整合性を、作業の日程を変更する際に保証することを可能とした。

以上の生産計画機能の整理によって、

- ・「作業情報」と「製品情報」との関係
- ・「作業情報」と「生産環境の情報」との関係
- ・「作業情報」と「日程情報」との関係

などの情報の関係を整理した。

8.1.3 設計・生産活動の整理と体系化

製品情報の定義とその製品情報の生成過程や利用過程を整理すると、Fig.8-1-3に示すように、情報とその情報の生成機能の関係を認識することができる。設計・生産活動において生成される情報の間には深い関係が存在し、特に製品情報として必要とされる種々の情報は、様々な関わり合いを持つことが認識できる。したがって、その情報の間の関係を有効に利用することが、統合的に製品情報を扱う上で重要である。本研究では、製品情報の整理とその情報の生成過程を整理することによって、設計・生産活動を製品情報の関連の視点から整理して捉えることを可能とした。

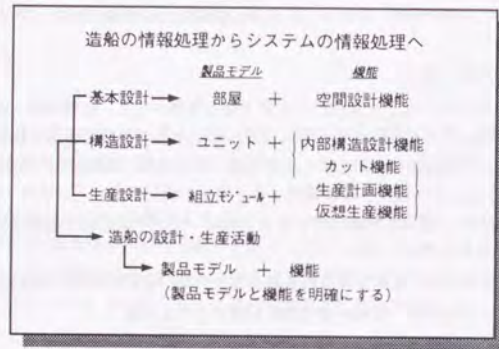


Fig.8-1-3 設計・生産活動における製品情報と機能

また、以上の整理によって、実際の設計・生産活動の表面には現われていない情報の流れを明示することができたと認識している。

以上より、設計・生産活動において、その活動の対象となる製品情報としては、

- ・空間の認識（部屋の概念）、構造単位の認識（ユニットの概念）は、主要構造の設計活動における設計者の設計対象に対する認識において有効である
- ・生産対象を部品の集合体として表現する中間製品（組立モジュールの概念）は、生産計画における計画者の生産対象に対する認識において有効である

ことを理解することができた。さらに、設計活動を、製品情報の関係を利用した設計機能を繰り返し利用して製品情報を生成する活動として捉え、

- ・部屋やユニットを部材と関係づけることは、部材情報の管理に有効である
- ・部材の部品化によって部品情報を生成する機能は、設計機能として有効である

ことを理解することができた。

また、生産活動では、生産計画における工程計画・日程計画を、

- ・工程計画の機能は組立順序、作業順序を確定する計画機能
- ・日程計画の機能は作業時間、作業時刻を確定する計画機能

として捉えた。そして、これらの計画機能を有効に利用し、生産活動で認識される様々な管理レベルの作業情報を獲得・管理するためには、

- ・作業や生産環境を管理レベルに応じて階層的に表現する
- ・作業情報を生成・管理するために生産対象と生産環境との関係を表現する

などが有効であることが理解できた。

以上の整理を総括すると、本研究における、「設計・生産対象のモデル化、設計・生産過程のモデル化、生産環境のモデル化」の検討、およびそれらのモデル化をベースとして構築した設計・生産システムにより、設計から生産までを統合してシステム化するための情報を整理することができた。こ

の整理された情報に基づき、設計活動を製品情報の生成の側面から整理し、さらに生産活動を製品情報の利用の側面から整理することによって、造船の設計・生産活動における情報の生成や利用などを、系統立てて整理することができた。この整理によって、設計・生産活動の体系化の指針を示すことができたと考えている。また、この設計・生産活動における情報の生成や利用は、次項で述べる製品定義スパイラルに集約されるものと考えられる。

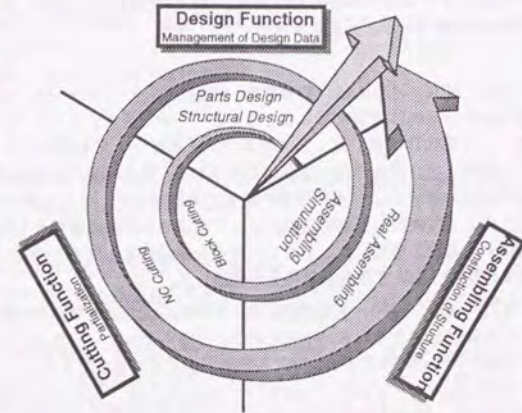


Fig.8-1-4 製品定義スパイラル (Product Definition Spiral)

8.1.4 製品定義スパイラル

本研究では、造船の設計・生産活動における情報の構成、情報の繋がりを整理することによって、製品情報・生産情報の生成や利用の観点から、設計から生産までの情報を統合化する概念を体系的に整理した。この整理に基づき、造船における設計・生産活動の情報の生成・利用の一連の流れを表現する製品定義スパイラルを定義した (Fig.8-1-4)。

製品定義スパイラルは、設計・生産活動における対象である製品情報の変遷する流れを整理したものである。つまり、製品定義スパイラルは、様々な活動に対応した様々な情報の生成機能や利用機能によって、情報が詳細化されて行く様をスパイラルとして表現するものである。このスパイラルは、以下に示す三つのステージから構成されており、造船の設計・生産活動における製品情報の変化する過程を表現している。

1) 設計機能 (製品情報の生成機能: 空間設計機能・内部構造設計機能)

「設計機能」に基づく領域は、造船の設計において製品情報が生成される過程を、設計機能によって表現する領域である。具体的には、空間設計機能によって部屋の製品情報が生成される過程や、内部構造設計機能によってユニットの製品情報が生成される過程は、この領域に対応する。「設計機能」に基づく領域は、造船の設計における基本設計や構造設計に対応する領域であると捉えることができる。

2) 部品化機能 (製品情報の詳細化機能: カット機能)

「部品化機能」に基づく領域は、上流の設計において生成された部材情報から、部品の情報を生成する過程をカット機能によって表現する領域である。具体的には、カット機能の利用により、実際に生産可能な部品の製品情報が生成される過程や、生産活動における組立モジュールの抽出過程は、この領域に対応する。「部品化機能」に基づく領域は、部品情報が生成される領域であり、生産設計に対応する領域であると捉えることができる。

3) 組立機能 (生産情報の生成機能: 生産計画機能・仮想組立機能)

「組立機能」に基づく領域は、生成された製品情報を有効に利用して、生産活動で必要となる生産情報を生成する過程を表現する領域である。具体的には、組立モジュールや部品の製品

情報を利用し、計算機内部に定義された生産環境で、設計された構造物を矛盾なく組上げる生産計画が立案される。「組立機能」に基づく領域は、造船における生産設計や生産計画に対応する領域であると捉えることができる。

製品定義スパイラルは、基本設計・構造設計、ブロック分割、組立てなど、造船における設計・生産活動を体系的に表現するものと考えられる。このスパイラルでは、設計活動を、「設計機能」と「部品化機能」によって表現される活動として整理した。「部屋」の情報の生成からはじまり、部材・接合関係情報の生成に至るまでを、製品情報の生成過程として捉え、その過程を表現する製品情報の構成および生成機能の重要性を認識した。また生産活動を、「部品化機能」と「組立機能」によって表現し、設計活動によって生成された製品情報を有効に利用して、矛盾無く生産情報を獲得する過程を整理した。さらに、その生産情報を生成する過程において重要となる製品情報や生産環境の情報、および生産計画機能を認識した。

また、実際の設計・生産活動における情報の入力および利用の際には、様々なアプリケーション・システムが必要とされる。それらのアプリケーション・システムの位置づけは、製品定義スパイラルを中核に、Fig.8-1-5に示すように整理して捉えることができた。

以上に述べたことから、このスパイラルによって、造船における設計・生産活動の統合的な情報の管理や生成、利用を系統立てて認識することができた。その結果として、設計・生産活動の体系化の指針を示すことができたものと考えている。

8.2 今後の課題

本研究では、オブジェクト指向言語「Smalltalk」を用いて造船における設計・生産システムのプロトタイプ・システムを構築した。このプロトタイプ・システムの構築によって、本研究で提案した設計・生産活動のモデル化の有効性を確認することができた。また、このプロトタイプ・システムによ

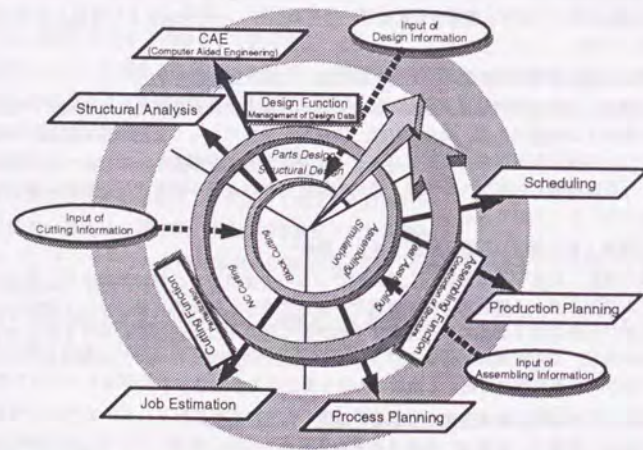


Fig.8-1-5 製品定義スパイラルとアプリケーション・システムの構成

て、造船における設計・生産システムの一つの可能性を明示することができた。しかし、システムの実用化を考えた場合、そのプロトタイプ・システムには解決すべき様々な課題が存在するの事実である。そこで本節では、造船における実際の設計・生産システムを構築するために解決すべき課題を、本研究において構築したプロトタイプ・システムをベースに整理する。後述する整理によって、造船における次世代の設計・生産システムの可能性を考察する。

8.2.1 設計活動における課題

本研究では、設計活動を製品情報の生成過程として捉えている。この前提において本研究で残された課題を以下に整理する。

(1) 曲面・曲線の導入

本研究では、船体構造を構成する部材の形状表現として平面部材・直線部材のみを対象としている。したがって、実際の造船業で扱われている曲面部材や曲がり部材などを形状的に表現する必要がある今後の課題として考えられる。

本システムで定義される部材の形状情報は、その他の様々な部材に記述される情報とは区別されて定義されている。したがって、曲面形状や曲線形状をシステムに導入するためには、部材情報の一部の情報として記述される形状情報のみを、曲面形状や曲線形状に対応させることに相当する。ただし、曲面・曲線の幾何情報を定義することは勿論のこと、現在のシステムに定義されている平面・直線の幾何情報を拡張して、曲面や曲線の幾何計算が矛盾なく実行されることは必要である。

以下に、曲面形状や曲線形状を部材の形状情報として導入する際の、設計機能の対応を整理する。

・空間設計機能の対応

本研究では、空間設計機能によって設計される新たな部屋は、基の部屋の幾何情報であるソリッド・モデルを基に幾何計算することによって生成されるのではなく、部屋を構成する板部材と新たに仕切る板部材との接合関係情報を位相情報として利用することによって生成されている。したがって、船首・船尾部などに曲面部材を導入する場合においても、位相情報を有効に利用した部屋の設計機能のモデル化は現状のままでも十分に有効であり、空間設計機能の部屋の生成処理を修正する必要はないと考えられる。

・内部構造設計機能の対応

内部構造設計機能では、設計者が設計するユニットに対して必要となるパラメータを入力することによって、ユニットを構成する部材を設計することを支援している。この支援の下では、例えば、船首部に曲面部材を定義しその部材に骨部材を取付けることを考えた場合、骨部材の本数をパラメータとして利用するだけでは、複雑な構造を矛盾なく設計することは一般的には困難であり、取付ける部材毎に設計すべきと考えられる。したがって、設計者が取付け線の情報を寸法値などを用いて、一つずつ骨部材を定義する方法を新たに検討する課題が残されていると考えられる。

また本システムでは、平面部材や直線部材を念頭においた形状の入力方法のみを考慮している。したがって、曲面や曲線を導入した際の形状の入力方法の対応が必要であると考えられる。また、寸法の記述も曲面や曲線などに対応させることが必要である。このように、曲面・曲線を導入するためには、製品形状を三次元的に捉える必要があり、設計する対象の設計情報の入力方法の検討など解決すべき課題が存在するものと考えられる。

(2) 艤装設計の導入（配管設計など）

本研究では設計対象として船殻部材のみを対象としている。しかし実際には、船殻部材の他に艤装品なども必要であり、艤装設計をシステムによって支援する必要がある。

艦装設計の代表である配管設計を考えた場合では、骨部材の設計で利用した部屋の壁の情報、さらに配管が導設される区画の情報などの、様々な船殻の製品情報を有効に利用することができるものと考えられる。また、ユニットの概念を利用することによって、配管系統ユニットなどの定義を行い、配管部品を配管系統毎に管理することも有効であると考えられる。

(3) 解析システムとの関係

本研究における設計システムでは、生成された製品情報が妥当であるか否かの検討に関しては全く触れてはいなかった。しかし現実には、設計された情報が妥当であるかの検討は非常に重要であり、単に製品情報を定義する他に、情報を検討する様々な解析システムとの接続が必要であるものと考えられる。接続すべき解析システムとしては、以下のシステムが考えられる。

- ・数値流体計算システム
- ・船体運動解析システム
- ・構造解析システム

一般的に解析システムにおいては、解析目的に対応した様々な解析モデルが存在する。したがって、製品モデルと解析モデルとの間の差異を考慮して、これらのモデルに記述される様々な情報を統合化し、製品を様々な側面から検討することができる設計システムを構築することが重要であると考えられる。

(4) 製品情報の「横の関係」(横の情報の繋がり)

本研究では、様々な製品情報の間の縦の繋がりにおいて、情報の階層構造を主に検討してきた。この階層構造は特に設計過程の情報の記述を考慮したものである。この階層構造によって、設計の流れに依存する製品情報の階層的な情報管理を表現した。また、この階層構造に基づいた情報管理の欠点を補うために、異なる階層間の設計情報の整合性を、製品情報として記述される設計情報(寸法情報・パラメータ)を共有することによって保証するという考慮も行っている。しかしながら、設計情報の共有化などの情報の管理形態を一般的に捉えようと、様々な情報間の関係に関する整理が重要である。また、艦装設計の導入や解析システムとの接続などを実現するためにも、様々な情報間の関係に関する整理が重要であると考えられる。したがって、本研究で検討した設計手順にしたがった製品情報の縦の繋がりである階層構造に加えて、複数の製品情報の横の繋がりを表現するネットワーク形式の情報管理に関する検討は今後の大きな課題である。

8.2.2 生産活動における課題

本研究では、生産活動を設計において生成された製品情報を有効に利用し、実際の製品として実体化するために必要な生産情報の生成過程として捉えている。この前提において本研究で残された課題を以下に整理する。

(1) 曲面・曲線の導入

生産活動において、部材の形状情報に曲面・曲線を導入する際の問題は、曲面や曲線の幾何精度に関する問題である。しかし、この情報以外の情報は現場の平面・直線表現におけるものと差はなく、生産計画においては拾い込まれる管理物量の精度の違いであると理解できる。

(2) 艦装部品の導入

前項(8.2.1項)の(2)で述べた艦装設計への対応が可能となり、艦装品に関する部品情報や接合関係情報が生成された場合には、板部品や骨部品と同様に艦装品を利用して生産情報を獲得することが可能であると考えられる。現状のシステムでは、艦装品に関する作業情報や生産環境の情報などは考慮されていないので、これらの情報を新たに追加する必要がある。しかし、生産計画機能などの基本的な仕様の変更は必要ないものと考えられる。

(3) 部品の詳細な形状情報の生成

本研究では、仮想組立機能によって、生産活動の影響を考慮した部品形状を設計できることを示した。しかし、生成された部品形状は、板厚が形状的に考慮されていない形状であり、実際の部品を鋼材から加工するために必要となる詳細な情報までは生成されていない。したがって、今後の課題として、仮想組立機能を充実し、部品の板厚を考慮した詳細な部品形状を生成する概念を検討し、システム化する必要があるものと考えられる。

(4) 製品モデルの設計で入力される情報の生産過程での有効利用

本システムでは、設計で生成される製品情報としては種々存在するが、それらの全ての情報は、生産の過程において有効に利用されていない。例えば、部屋やユニットなどの多くの製品情報は、生産の過程では全く利用されていない。したがって、本システムでは、設計活動における製品情報と、生産活動における製品情報は単に部材情報と接合関係情報が主体となって繋がっていると表現できる。しかし、生成された情報をより有効に利用し、必要とされる情報を効率的に生成するためには、それらの利用されていない製品情報も、部材情報や接合関係情報と同様に重要な情報として利用する必要があるものと考えられる。そこで、設計における製品情報と生産における製品情報とをより融合するために、生産活動で有効な製品情報は何か、その製品情報は何時利用されるのかを整理して、より統合的な設計・生産システムを構築することが重要であると考えられる。

8.2.3 実用化のためのシステムの課題

(1) 大規模データ・ベースの導入

本研究では、プロトタイプ・システムの構築の際に、オブジェクト指向言語である「Smalltalk」を利用した。このSmalltalkで構築されたシステムは、

- ・オブジェクトの永続性は保証できるが、複数のシステム間での情報の共有化は困難である
- ・大量の情報を管理することには限界がある

といった問題を包含するシステムである。したがって、システムの実用化を目的とする場合、オブジェクト指向データ・ベース(OODB:Object Oriented Data Base)を利用することを検討しなければならない。

オブジェクト指向データ・ベースは、上記のSmalltalkの問題点を解消する様々な情報管理機能を備えている。また、Smalltalk Interface(データ・ベースが管理しているデータ[オブジェクト]を、直接、Smalltalkの環境から利用できるインターフェース)を採用するものも数多く登場している。したがって、このオブジェクト指向データベースを利用する環境のもとでは、永続オブジェクトを管理するデータ・ベース部、そのデータ・ベースから必要な情報を抽出し、必要な情報を生成したり加工したりする部分をSmalltalk部というように、情報を管理するシステムと、情報を生成するシステムとを明確に分離することが可能である。以上のようなシステムを構築することによって、大規模なシステムにも対応することができるものと考えられる。

(2) コンカレント・エンジニアリング

オブジェクト指向データ・ベースの利用によって、複数のシステム間で利用される情報の共有化が実現されると、定義される情報の整合性を保証しながら情報を生成することが要求される。この要求に十分に対応するためには、コンカレント・エンジニアリングに関する検討が必要となる。したがって、今後の課題として、複数のシステム利用者による協調的な情報生成を支援する情報管理手法の検討が挙げられる。

第9章 結論

本研究では、造船における次世代の設計・生産システムを構築することを目的に、「情報の生成と利用」と「情報の構造と情報間の関係」などの「情報」の視点から、造船における設計・生産活動を整理した。本研究で得られた知見は、以下に示すようにまとめられる。

9.1 設計・生産活動のモデル化

本論文では、設計・生産活動をモデル化するために、設計・生産活動に関与する情報や情報処理を「設計・生産対象」「設計・生産過程」「生産環境」に分類し、それらの情報や情報処理を個々にモデル化した。さらに、これらのモデルの組合せによって、造船における設計・生産活動を表現することを検討した。本研究で検討したモデルの概要は、以下に示す通りである。

設計・生産対象のモデル：

部材情報、接合関係情報、部屋、ユニット、組立モジュールなどの製品モデルを定義することによって、主要な船体構造の設計・生産対象のモデルを明確にした。

設計・生産過程のモデル：

空間設計機能、内部構造設計機能、カット機能、生産計画機能、仮想組立機能などの情報を生成する機能を定義することによって、製品情報や生産情報を生成する過程を、それらの機能を利用して表現した。

生産環境のモデル：

工場モデル、工程資源モデル、作業資源モデルを生産環境のモデルとして定義することによって、生産計画に必要な情報を提供し、生成された作業情報を管理する概念をモデル化した。

本研究で得ることができた、上記のモデルに関する知見を、次項に整理する。

9.1.1 設計・生産対象のモデル

造船の設計・生産活動における製品情報を整理し、それらの製品情報を製品モデルとして定義した。

(1) 部材情報と接合関係情報

船体構造は、多数の板部材・骨部材が溶接によって接合される板骨構造物であるとの認識から、船体構造を構成する板部材・骨部材に関する情報が表現される部材情報を製品モデルとして定義した。さらに、部材間の接合に関する情報が表現される接合関係情報を製品モデルとして定義した。これらの部材情報と接合関係情報の製品モデルを、造船における他の製品モデルを構成する基本要素として定義した。

(2) 部屋

船倉および区画などの空間を製品情報として重要視した。この製品情報を「部屋」とし、製品モデルとして定義した。本研究では、複数の板部材の情報とそれらの接合関係情報とから、部屋を生成することによって、基本設計において必要とされる区画形状や、区画容積などの情報を獲得することを可能とした。また、部屋の情報および部屋を構成する板部材の情報は、構造単位の製品モデルである箱型ユニットによって管理されたとした。

(3) ユニット

本研究では、船体構造を多くの部品から構成されるものとして捉えるだけでなく、設計者の認識として有効であると考えられる「構造単位」を製品情報として認識した。この製品情報を「ユニット」とし、製品モデルとして定義した。船体構造を構成する「構造単位」を分類し、「箱型ユニット」「面型ユニット」「骨型ユニット」の三種類のユニットを定義した。また、ユニットによって、構造単位を構成する部材の製品モデルを管理し、生成された製品モデルを管理する単位としても有効に利用することを可能とした。

(4) 組立モジュール

設計における構造単位を製品モデルとして定義したように、生産工程における中間製品を製品モデルとして定義した。この製品モデルを「組立モジュール」とした。また、組立モジュールの最小単位を部品とし、生成される組立モジュールを階層構造を用いて管理した。

本研究では、主要な船体構造は、上記の製品モデルによって表現できるものと理解した。さらに、船体構造の基本設計や構造設計、および詳細設計、生産設計という要求の異なる設計において、有効に利用することが可能な製品モデルを示すことができた。

9.1.2 設計過程のモデル（製品情報の生成機能のモデル）

本研究では、製品モデルの情報を生成するためには、設計過程のモデル化が必要であると認識し、製品モデルの生成過程をモデル化した。そのためにまず、造船設計の特徴を抽出し、設計の流れにおける設計対象の変化を整理した。この整理から、設計の流れに応じて、設計対象は区画から船体構造を構成する部分構造へ、そして部分構造を構成する部材へ、最後に部材を構成する部品へと変化することが理解できた。この設計対象が変化する過程を設計機能によって表現し、以下の設計機能を定義した。

(1) 設計機能の定義

・空間設計機能

部屋の製品モデルを生成する機能として、空間設計機能を定義した。空間設計機能では、部屋の製品モデルだけでなく、船体構造を構成する製品モデルである部材情報や接合関係情報を、矛盾なく生成することを可能にした。さらに、造船の区画の設計における種々の情報の生成を、空間設計機能による部屋の製品モデルの生成として整理することができた。また、空間設計機能によって、部屋を階層的に生成することを示し、生成された部屋を部屋の階層構造を用いて管理した。本研究では、空間設計機能は、造船の区画の設計における製品情報の生成過程を表現する機能であると理解した。

・内部構造設計機能

「面型ユニット」と「骨型ユニット」を設計する機能として、内部構造設計機能を定義した。この設計機能の定義により、船体構造の内部構造の設計を、個々のユニットの設計とユニットの配置の二つに大別して整理することができた。内部構造設計機能では、トランス・リング構造などが有する穴

の形状情報や、ロンジ構造などの骨部材の取付線の情報に着目した。それらの情報の記述の際に、幾何学的拘束関係（寸法情報）を利用することによって、ユニットの設計情報の記述を考慮した。さらに、パラメータを指定することによって内部構造の設計を行う、パラメトリック設計の概念も導入した。

部屋の内部に設計される面型ユニットと骨型ユニットは、部屋を管理する箱型ユニットによって管理されており、部屋と面型ユニット、および部屋と骨型ユニットは、階層構造を構成している。

本研究では、内部構造設計機能は、造船の構造設計における製品情報の生成過程を表現する機能であると理解した。

・カット機能

部材から部品を生成するためには、鋼板厚や型鋼断面形状の差異をもたせるための部材の分割や、ブロック分割のための部材の分割、購入制約（板寸法や型鋼長さの制約）による部材の分割などを考慮する必要がある。本研究では、これらの部材の分割は、部材情報の分割（詳細化）として扱うことが可能であると整理した。空間設計機能や内部構造設計機能によって生成された部材から部品を生成する機能としてカット機能を定義した。

本研究では、カット機能は、造船の詳細設計や生産設計における部品の製品情報の生成過程を表現する機能であると理解した。

(2) 構造的制約の定義

本研究では、「部屋がその部屋の内部に設計されるもの（部屋や、面型ユニットや、骨型ユニット）を制約する」といった製品情報間に存在する制約を、構造的制約と定義した。この構造的制約に着目することによって、空間設計機能によって生成される部屋や、内部構造設計機能によって部屋の内部に設計される面型ユニットと骨型ユニットを、階層的に管理した。

(3) 設計情報の記述

「空間設計機能」と「内部構造設計機能」、および「カット機能」における設計情報の記述を行う際に、幾何学的拘束関係を利用して、寸法の記述による設計情報の記述を可能とした。本研究では、この寸法によって製品形状が制約されることを寸法的制約と定義した。寸法的制約と構造的制約とを組合せることによって、設計情報を階層的に記述し、設計情報の有効な管理手法を示すことができた。

9.1.3 生産過程のモデル（生産情報の生成機能のモデル）

生産活動を円滑に行うためには、実際の生産活動を行う前に、予め計画（生産計画）を行っておくことが重要である。そこで本研究では、設計において生成される製品モデルの情報を利用することによって、生産情報を獲得することを検討した。その主な内容としては、生産計画を工程計画と日程計画に大別して、各々の計画のモデル化を行うことによって、生産情報の生成過程を考察した。さらに、生産活動の影響を考慮した製品形状を生成するために、生産活動を計算機内部で仮想的に行うことについても考察した。以下に、生産過程のモデル化によって得られた知見を整理する。

(1) 工程作業と実作業の定義

工程設計では、「物の流れ」に重点をおいた概略的な作業が認識され、この作業の順序関係を検討することによって工程の順序が決定されるものと理解できた。また、作業設計では、工程で行われる具体的な作業が認識され、具体的な作業の流れが決定されるものと理解できた。これらの認識の異なる作業を整理するために、工程設計で認識される作業を工程作業、また、作業設計で認識される具体的な作業を実作業と定義した。

(2) 作業モデルの定義

生産活動で行われる作業を情報として表現するために、作業モデルを定義した。作業モデルには生産活動の対象となる製品モデルの情報と、生産活動を実施する生産環境のモデルの情報を記述した。また、作業の前後関係の情報を相対的に記述することによって、作業の時間軸への展開の際に有効に利用した。さらに、作業モデルの階層構造を定義し、工程作業と実作業の関係を、作業モデルの階層構造を利用して表現した。

(3) 生産計画のモデル化

本研究では、生産計画を工程計画と日程計画に分類し、各々の計画のモデルとして工程計画のモデルと日程計画のモデルを、以下に示すように定義した。これらのモデルを利用することによって、生産活動に必要な生産情報を生成する過程を整理した。

・工程計画のモデル

工程計画における工程作業の生成を以下のように表現した。

- ・複数の組立モジュール間の接合関係を無向グラフとして表現する接合グラフを生成する。
- ・組立順序を指定することによって、接合グラフを基に、組立モジュールの組立順序を有向グラフとして表現する。
- ・組立モジュールの有向グラフを基に、作業モデルのフロー・ダイアグラムとして表現する組立グラフを生成する。

さらに、工程作業を詳細に表現する実作業の生成を以下のように表現した。

- ・工程作業に記述されている製品モデルの情報を利用して実作業の作業モデルを生成し、作業モデルの階層構造を利用して工程作業の作業モデルに実作業の作業モデルを記述する。

また、ある工程における組立グラフを縮約して一つの作業モデルとして生成し、後工程の工程作業と前後関係をつけることによって前後工程間の作業の流れを簡潔に表現することが可能となった。この作業モデルを工程作業群の作業モデルと定義した。

・日程計画のモデル

本研究では、日程計画は、工程計画で得られた工程作業と実作業の作業モデルの情報と、生産環境のモデルの情報を利用することによって、各作業の日程情報を生成する計画であるとモデル化した。この日程計画のモデルにおいて、作業に要する作業時間の情報、および日程情報の生成を以下のように表現した。

- ・工程作業を工程資源モデルに割り当てることによって、工程作業の作業対象（製品モデル）から得られる管理物量の情報と、工程資源モデルに記述された生産能力の情報の双方の情報より、工程作業の作業時間を算出する。
- ・実作業を作業資源モデルに割り当てることによって、実作業の作業対象（製品モデル）から得られる管理物量と、作業資源モデルの生産能力の情報の双方の情報より、実作業の作業時間を算出する。
- ・作業モデルのフロー・ダイアグラムを利用して、PERT手法による各作業の日程情報を生成する

また本研究では、工程作業と実作業は、階層構造によって互いに関係付けられているので、工程計画で得られた計画情報に矛盾することなく日程計画情報を生成することを可能とした。

(4) 仮想組立機能による詳細な部品形状の生成

計算機内部で組立を仮想的に行うことによって、生産活動の影響を考慮した製品形状を設計する機

能を定義した。この機能を仮想組立機能とした。この機能を利用することによって、組立順序の影響を受ける詳細な部品形状を矛盾なく生成できることを示した。

9.1.4 生産環境のモデルの定義

生産活動を行う生産環境を表現するために、生産環境のモデルを定義した。生産環境のモデルに要求される機能として、作業の作業時間を算出する機能を定義した。生産環境のモデルには、製品モデルの情報から得られる管理物量から作業に要する作業時間を算出するために、見積関数に相当する生産能力の情報を記述した。また、生産計画で認識される作業である工程作業と実作業に対応する生産環境のモデルとして、工程作業に対応する工程資源モデル、実作業に対応する作業資源モデルを定義した。さらに、これらの生産環境のモデルを管理するものとして、工場モデルを定義した。

9.2 設計・生産システムのプロトタイプ・システムの構築

設計・生産活動のモデル化において定義されたモデルを利用し、実際にプロトタイプ・システムを構築した。

(1) 設計支援システムの構築

部屋を生成する空間設計機能、ユニットを生成する内部構造設計機能、部材情報から部品情報を生成するカット機能などの設計機能をシステム化し、それらを統合することによって主要な船体構造の設計支援システムを構築した。このシステム化によって、部屋（区画）、ユニット（主要内部構造）、部材、接合関係などの製品モデルをシステム内にオブジェクトとして定義することを可能とした。

(2) 生産計画支援システムの構築

設計によって生成された製品情報から組立モジュールを生成する機能を実装し、さらに、生産環境をオブジェクトとして定義することによって、工程計画支援システムと日程計画支援システムとから構成される生産計画支援システムを構築した。この支援システムを利用して、生産活動で必要となる作業情報を作業オブジェクトとして生成することができた。

上記のプロトタイプ・システムの構築によって、本研究において定義されたモデルの有効性を確認することができ、モデル間の情報の関係を把握することができた。

9.3 設計・生産活動の体系化

本研究では、設計活動を製品情報の生成の側面から整理し、さらに生産活動を製品情報の利用の側面から整理することによって、設計から生産までを統合してシステム化するための情報を整理した。この情報の整理に基づき、造船の設計・生産活動における情報の生成や利用を、

- ・設計・生産活動における情報
- ・設計・生産活動における情報の相互間の関係
- ・設計・生産活動における情報を生成・利用するために必要な機能

などの視点から系統立てて整理することによって、設計・生産活動の体系化を試みた。以下に、本研究で得られた体系化に関する知見を述べる。

(1) 設計活動の体系化

設計対象・設計過程のモデル化、設計システムの構築によって、主要な船体構造の設計活動を製品

情報の生成と利用の観点から整理することができた。

- ・空間の認識（部屋）、構造単位の認識（ユニット）は、主要構造の設計活動における設計者の設計対象の認識として有効である
- ・部屋やユニットを部材と関係付けることは、部材情報の管理に有効である
- ・部材の部品化によって部品情報を生成する機能は設計機能として有効である

(2) 生産活動の体系化

生産計画の工程計画と日程計画における計画機能を、以下のように整理した。

- ・工程計画の機能は組立順序、作業順序を確定する計画機能
- ・日程計画の機能は作業時間、作業時刻を確定する計画機能

これらの計画機能を有効に利用し、生産活動で認識される様々な管理レベルの作業情報を獲得・管理するためには、以下のことが有効であると認識した。また、造船の生産計画における、製品情報の利用、および生産情報の生成を整理することができた。

- ・生産対象を部品の集合体として表現する
- ・作業や生産環境を、管理レベルに応じて階層的に表現する
- ・作業情報を生成・管理するために、生産対象と生産環境との関係を表現する

また、生産活動の影響を考慮した製品情報を生成するためには、生産活動を計算機内において模擬（シミュレーション）することが有効であることが理解できた。

(3) 製品定義スパイラルの定義

造船の設計・生産活動における情報を整理し、それらの情報の生成や利用を系統立てて整理することによって、造船における設計・生産活動の情報の生成や利用の一連の流れを表現する製品定義スパイラルを定義した。このスパイラルは三つのステージから構成され、各ステージにおける情報の生成や利用は以下に示すように整理できる。

1) 設計機能

船体構造を表現する製品情報が生成される。本研究では、空間設計機能によって部屋の製品情報が生成され、内部構造設計機能によってユニットの製品情報が生成されている。また、部屋やユニットの製品情報と共に、船体構造を構成する部材情報、接合関係情報等も生成されている。

2) 部品化機能

設計機能に基づくステージにおいて生成された製品情報を基に、生産活動において必要となる製品情報が生成される。本研究では、カット機能によって、部品の製品情報と、組立モジュールが生成されている。

3) 組立機能

部品化機能に基づくステージにおいて生成された製品情報を利用して、生産情報が生成される。本研究では、生産計画機能によって、生成された製品情報を有効に利用して、様々な作業情報が生成されている。

以上の(1)~(3)で示したように、本研究によって、造船の設計・生産活動における情報の生成と利用を、系統立てて整理することができ、造船における設計・生産活動の体系化を示すことができたものと考えている。

参考文献

A:

- [雨宮 90] 雨宮俊幸, 造船 CIMS のための工程設計システムの構築, 日本造船学会論文集 第 168 号, 1990
- [雨宮 91] 雨宮俊幸, 造船 CIMS のための工程設計システムの構築 (第 2 報: 近代化工場への適用), 日本造船学会論文集 第 170 号, 1991
- [雨宮 92] 雨宮俊幸, 造船 CIMS の概要 (2-3) 生産計画, 日本造船学会誌 第 759 号, 1992
- [綾 80] 綾日出彦, 船舶の設計・生産支援システムのアーキテクチャーに関する研究, 東京大学学位請求論文, 1980
- [青木 93] 青木 淳, オブジェクト指向システム分析設計入門, SRC ハンドブック, 1993
- [荒井 91] 荒井良尚, 経営工学, 日本機械学会誌, Vol.94, No.873, 1991
- [有吉 64] 有吉 熙・木村正英, 造船内業工程計画の数値計算化について, 造船協会論文集 第 116 号, 1964

B:

- [Baumgart74] Baumgart, B.G.: Geometric Modeling for Computer Vision, Stanford Univ. Comput. Sci. Dept., AIM-249, STAN-CS-74-463, 1974
- [Buckley92] Michael J. Buckley, Conceptual Design Tools: A Key Component of Future CIMS: 第 2 回国際 CIM シンポジウム論文集, 1992
- [Booch91] G.Booch, Object-Oriented Design with Applications, Benjamin/Cummings, 1991

C:

- [Checkland85] Peter Checkland, 高原康彦・中野文平 監訳, 新しいシステムアプローチ (システム思考とシステム実践), オーム社, 1985
- [Chen76] CHEN, P.P., The Entity-Relationship Model Toward a Unified View of Data, ACM Transactions on Database Systems Vol.1 No.1, 1976
- [CIMS89] 造船 CIMS に関する調査研究報告書, 社団法人日本造船研究協会, 1989
- [CIMS91] 財団法人シップ・アンド・オーシャン財団, 平成 2 年度 造船 CIMS パイロットモデルの開発研究 報告書, 1991
- [Coad/Yourdon91a] Peter Coad・Edward Yourdon, Object-Oriented Analysis, Prentice Hall, 1991
- [Coad/Yourdon91b] Peter Coad・Edward Yourdon, Object-Oriented Design, Prentice Hall, 1991

D:

- [土井 91] 土井憲治, 造船 CIMS のためのいい設計エキスパートシステムの研究, 日本造船学会論文集 第 170 号, 1991

F:

- [藤田他 93] 藤田譲・野本敏治・池田敏雄・宮脇伸賢・山下公明・屋鋪一樹, 造船における CIM 関連で何を期待するか, 平成 4 年度溶接シンポジウムテキスト, 日本学術会議溶接研究連絡委員会, 1993
- [福田 93] 福田収一, 計算力学と CAE シリーズ: コンカレントエンジニアリング, 倍風館, 1993
- [松岡/覚野 92] 松岡宏一朗・覚野博幸, 造船 CIMS とは, 日本造船学会誌 第 759 号, 1992

H:

- [服部/笠原 84] 服部幸英・笠原協之, 造船におけるシステム化のあゆみ, 造船におけるシステム技術 第 1 章, 日本造船学会 システム技術委員会第 1 部会編, 1984
- [人見 90] 人見勝人, 生産システム工学, 共立出版, 1990

I:

- [伊藤健 92] 伊藤 健, 造船 CIMS プロジェクト, 日本造船学会誌 第 759 号, 1992
- [伊藤公 91] 伊藤公俊, メンタルモデルとインテリジェント CAD: インテリジェント CAD (下), 朝倉書店, 1991
- [岩田他 82] 岩田一明・沖野教明・佐田登志夫・橋本文夫・室津義定・大場史憲, 精密機械講座 13: 生産システム学, コロナ社, 1982

J:

- [JIS 溶接] 日本規格協会編, JIS ハンドブック: 溶接, 1982

K:

- [木村 86] 木村文彦, CAD/CAM 統合化のためのプロダクトモデリングと知識処理, 機械学会誌, Vol.89, No.815, 1986
- [木村 92] 木村文彦, CIM における CAD/CAM の新展開, 第 2 回国際 CIM シンポジウム論文集, 1992
- [古賀 91] 古賀輝一, 造船 CIMS のための構造設計過程の表現に関する研究, 日本造船学会論文集 第 169 号, 1991
- [小山 89] 小山健夫, 総論 (造船 CIM にむけて), 造船におけるシステム技術, システム技術委員会シンポジウムテキスト (日本造船学会編), 1989
- [小山/本田 89] 小山健夫・本田拓英, 造船 CIM 構築のための工程管理システムに関する基礎的研究, 日本造船学会論文集 第 166 号, 1989
- [小山他 89] 小山健夫・大和裕幸・池田真哉・野崎哲也, 構造物建造のためのプロセス

- ランニングの研究, 日本造船学会論文集 第 166 号, 1989
- [栗岡 69] 栗岡辰巳 他, 船台使用計画の最適化について, 造船学会論文集 第 125 号, 1969
- M:**
- [牧野 90] 牧野 昇, 製造業は永遠です, 東洋経済, 1990
- [Meyer90] Bertrand Meyer 著, オブジェクト指向入門, アスキー出版, 1990
- [峰村 90] 峰村隆久・雨宮俊幸・堀内一敏, 造船 CIMS のための工程管理システムの構築, 日本造船学会論文集 第 170 号, 1990
- [峰村 92] 峰村隆久, 造船 CIMS の概要 (2-4) 生産管理, 日本造船学会誌 第 759 号, 1992
- N:**
- [長澤 89] 長澤 勲, 設計支援のパラダイムとインテリジェント CAD: インテリジェント CAD (上), 朝倉書店, 1989
- [中本 93] 中本秀四郎, 情報を考える, 丸善ライブラリー, 1993
- [仁保 95] 仁保治, 特集「損傷に学ぶ: 7. 現在の損傷防止技術」, 日本造船学会誌 787 号, 1995
- O:**
- [沖野 93] 沖野教郎, 生物型生産システム, 朝倉書店, 1993
- [小野寺 68] 小野寺力男, 数学ライブラリー6: グラフ理論の基礎, 森北出版, 1968
- R:**
- [Rambaugh92] Rumbaugh, J.・Blaha, M.・Premerlani, W.・Eddy, F.・Lorensen, W., 羽生田栄一監訳, オブジェクト指向方法論 OMT, トッパン, 1992
- S:**
- [佐々木 84] 佐々木文夫, 日程計画および工程管理システム, 造船におけるシステム技術 第 16 章, 日本造船学会 システム技術委員会第 I 部会編, 1984
- [樫木 / 河村 81] 樫木義一・河村和彦, 参加型システムズ・アプローチ, 日刊工業新聞社, 1981
- [関根 65] 関根智明, OR ライブラリー11: PERT・CPM, 日科技連, 1965
- [志々田 89] 志々田邦彦, 造船 CAD/CAM の現状, 造船におけるシステム技術, システム技術委員会シンポジウムテキスト (日本造船学会編), 1989
- [清水 89] 清水 健, 設計における AI 技術, 造船におけるシステム技術, システム技術委員会シンポジウムテキスト (日本造船学会編), 1989
- [砂川 83] 砂川祐一, 造船における NC, 造船におけるシステム技術, 日本造船学会: システム技術委員会第 I 部会, 日本造船学会, 1983
- [鈴木 86] 鈴木宏正, 木村文彦, 佐田登志夫, プロダクトモデルに基づく幾何学的拘束

- 関係の記述と寸法処理への応用, 精密機械工学会誌 第 52 巻, 第 6 号, 1986
- [鈴木 89] 鈴木宏正, プロダクトモデリングとインテリジェント CAD: インテリジェント CAD (下), 朝倉書店, 1989
- [鈴木 91] 鈴木宏正, 機械系 CAD のためのプロダクトモデリングの展望, PIXEL, No.100, 1991
- T:**
- [竹内 / 梅村 86] 竹内郁雄・梅村恭司, Smalltalk-80 入門, サイエンス社, 1986
- [竹内 92] 竹内郁雄 編・監修, AI 奇想曲, NTT 出版, 1992
- [寺野 93] 寺野隆雄, 知識システム開発方法論, 朝倉書店, 1993
- [富山 89] 富山哲男, メタモダル概念に基づくインテリジェント CAD, コンピュータロール, No.25, 1989
- U:**
- [上谷 87] 上谷見弘, 統合化プログラミング環境 Smalltalk-80 と Interisp-D, 丸善, 1987
- W:**
- [和田 90] 和田龍児 監修, CIM/MAP 実戦絵とき読本, オーム社, 1990
- [Wilson85] R・J・ウィルソン, グラフ理論入門, 近代科学社, 1985
- Y:**
- [山口 88] 山口富士夫, コンピュータディスプレイによる形状処理工学 [I][II][III], 日刊工業新聞社, 1988
- [山本 67] 山本 登, 船殻工事に適用された流れ作業システム, 造船協会論文集 第 122 号, 1967
- [山崎 73] 山崎真喜, 造船の決定論的計画管理 第 1 報 搭載工程, 造船学会論文集 第 134 号, 1973
- [山崎 74] 山崎真喜, 造船の決定論的計画管理 第 2 報 大組工程, 造船学会論文集 第 135 号, 1974
- [米澤 92] 米澤明憲・柴山悦哉, 岩波講座ソフトウェア科学 17: モデルと表現, 岩波書店, 1992
- [吉川 88] 吉川弘之, 東京大学大学院講義「一般設計学」資料, 1988
- [吉川 / 富山 89] 吉川弘之・富山哲男, インテリジェント CAD (上), 朝倉書店, 1989
- Z:**
- [造船学会 75] 日本造船学会・鋼船工作法研究委員会, 新版鋼船工作法 第 I,II,III,IV,V 巻, 産報, 1975
- [造船学会 88] 日本造船学会, 新しい造船学, 第 13 回夏期講座, 1988
- [造船学会研究会 82] 造船学会研究会, 商船設計の基礎 (上巻), 成山堂書店, 1982

本論文に関連した発表論文

本研究に関連した発表論文を以下に示す。

1. 野本敏治・田畑光敏と共著, 造船CIMのための設計・生産情報獲得支援システムの構築, 日本造船学会論文集 第166号, 1989.12
2. 野本敏治・片山真一・杉本 見と共著, 製品モデルを用いた生産情報の獲得手法の検討—造船CIMのための設計・生産情報獲得支援システムの構築(その2), 日本造船学会論文集 第168号, 1990.12
3. 野本敏治と共著, タンカーの設計・生産支援システムの構築に関する研究—造船CIMのための設計・生産情報獲得支援システムの構築(その3), 日本造船学会論文集 第169号, 1991.6
4. 野本敏治・早川和宏・酒巻宏典と共著, 船体の汎用設計支援システムの研究—造船CIMのための設計・生産情報獲得支援システムの構築(その4), 日本造船学会論文集 第170号, 1991.3
5. 野本敏治と共著, オブジェクト指向による部品設計に関する研究, 第41回応用力学連合講演会講演予稿集, 1992.1
6. 野本敏治と共著, 空間認識と構造設計, 第41回応用力学連合講演会講演予稿集, 1992.1
7. 野本敏治・上原裕士・児玉義光と共著, 製品定義システムにおける生産計画—造船CIMのための設計・生産情報獲得支援システムの構築(その6), 日本造船学会論文集 第172号, 1992.12
8. 野本敏治・荒牧浩二と共著, 構造記述法による船体構造設計法に関する基礎的研究, 日本造船学会論文集 第172号, 1992.12
9. 野本敏治・中西隆之・濱田邦祐と共著, 殻織一体の設計・生産を目的とした配管モデルの研究—造船CIMのための設計・生産情報獲得支援システムの構築(その7), 日本造船学会論文集 第174号, 1993.12

謝 辞

本論文は、東京大学工学部船舶海洋工学科の助手として1990年に採用されて以降、5年余りにわたる研究の成果の一部をまとめたものです。本論文の完成にあたり、本研究に関して様々な助言、御支援を下された多くの関係者の皆様に、心より感謝を申し上げます。

東京大学工学部船舶海洋工学科の野本敏治 教授には、研究当初から終始貴重な御指導を賜りました。ご多忙の中、本論文の構成から詳細な点にいたるまで御指導、御助言を頂きました。また、野本先生には、私が学生として大学、大学院に在籍したときから、船舶工学、溶接工学、CIMなどについての多くのことを教えていただきました。これまでの、先生の適切な御助言、温かい叱咤激励がなければ、本論文の作成はもちろんのこと、研究者として十分な研究をすることはできなかったと思います。ここに改めて厚く御礼申し上げます。

東京大学工学部船舶海洋工学科の吉田宏一郎 教授、小山健夫 教授、大坪英臣 教授、大和裕幸 助教授の皆様には、大変お忙しい中、貴重な時間を頂戴して本論文を査読して頂きました。

吉田宏一郎 教授には、本論文の問題点に関して、海洋工学などの広い見知からの懇切なる御指導、御助言を頂きました。

小山健夫 教授には、本論文の問題点に関して、設計学、システム工学の見知からの懇切なる御指導、御助言を頂きました。

大坪英臣 教授には、本論文の問題点に関して、構造力学、構造設計の見知からの懇切なる御指導、御助言を頂きました。

大和裕幸 助教授には、個人的に査読の時間をかけていただき、本論文の問題点に関して懇切なる御指導、御助言を頂きました。

諸先生方のこのような御指導、御助言に対して、ここに改めて心から感謝の意を表します。

本研究は多くの学生諸君との議論を通じて、その問題点が明らかになり、また彼らと多くの試行を重ねることで、解決する方法を模索することができました。本論文に関する研究が始まってから、共に研究に勤しみ、苦楽を共にしてきた多くの学生の諸君に対してお礼を申し上げます。

私が学生として在学中から研究生活を共にしたハリヤント氏とは、研究に関して多くの議論をさせていただきました。こうした議論が、研究の黎明期において、さらに研究を推進する上で大きな参考になったことと思います。本研究に対して、設計情報の記述の視点などから多くの議論をした濱田邦裕君、構造解析などの様々な解析の視点などから多くの議論をした武市祥司君、本論文の作成にあたり様々な視点から多くの議論をした澤田和弥君をはじめとする多くの学生の諸君には、多くの協力、さらに励ましを頂戴しました。この場を借りて改めて感謝します。これからも、研究室の学生諸君と共に、時には厳しく、時には楽しく、研究を続けていくことは自分にとって重要なことであると認識しました。

また、多くの造船所の方々には、本研究に対する様々な意見、激励などを頂きました。感謝の意を込めて、造船にとって多少なりとも役に立つ研究を、これからも行いたいと思っております。

船舶海洋工学科 生産システム工学研究室の大塚守三氏、榎澤 誠氏、横山 保氏、秘書の鈴木聡子さんには研究活動のご援助を頂き、非常に有難く思っております。

最後に、本論文を作成するにあたりいつも温かく見守ってくれた我が妻 和泉にも感謝します。

本論文に関連した発表論文

平成7年 春

青山和浩

（Faint, mostly illegible text, likely a list of related publications or acknowledgments.)

