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

正員 小山 健 夫* 正員 本田 拓 英**

A Fundamental Study on Manufacturing Planning and Control System for Shipbuilding CIM

by Takeo Koyama, *Member*

Takuei Honda, *Member*

Summary

Nowadays integrated systems for manufacturing, namely CIM systems: Computer Integrated Manufacturing systems, are required in many industrial fields to meet their heavy requirements. Also in the shipbuilding field, we believe that CIM can be very beneficial. In this paper, it was made clear what kind of information is required for building a CIM system especially from the point of view of manufacturing planning and control of shipbuilding. Then the model representation of a shipyard, SYMFONIC, Ship Yard Model FOr PlanNIng and sCheduling, was proposed.

With the model, SYMFONIC, we propose a basic system for planning and scheduling, which is based on an Object-oriented representation, and Rule-based programming.

1. 緒 言

現在、造船業のみならず広く製造業一般において、産業構造の変化とその要請に応えるため、従来からの CAD/CAM 統合といった概念をさらに越え、設計・製造計画・製造管理・経営/営業という製造業のもつあらゆる活動における情報処理・情報伝達を統合化した次世代システムに対する要望が高まっている。このような概念は近年になって CIM すなわち Computer Integrated Manufacturing と呼ばれるようになってきた。

造船業においてはその特質である大規模構造物の短納期による少数受注生産という事情により、設計・製造の統合化、製造現場に対する工程計画・工程管理という問題などにおいてそのシステム化は大きな困難の伴うものであり、それらの多くは従来からの手法が熟練工により踏襲されているのが現状である³⁾。

しかし生産性のさらなる向上、今後の熟練工の減少といった造船業の現状における諸問題を解決してゆくためにはその手段として情報処理伝達の統合システム CIM の構築が有力な解決をもたらすものと考え¹⁾⁶⁾、造船 CIM における工程管理問題の展開を中心に次のような点に関する研究

を行った。

i) 造船においてはそもそも製造システムとしての製造情報とは何であるのかが不鮮明であるまま、熟練工どうしによる情報伝達に中心をおく現在の仕組みが成立している。製造情報の統合化システムの開発をめざすにあたり、一貫システムとして必要な製造情報とはどのようなものであるかを考察し、造船における設計情報→製造情報→工程計画・管理にいたる情報処理・伝達過程を明らかにする。

ii) 前項の考察に基づき、工程管理のための造船工場のモデル表現 SYMFONIC (Ship Yard Model FOr planNIng and sCheduling) を提案し、これによってシステム上に設計情報、製造情報がどのように表現され、これをもとにどのような工程管理を展開することが可能かを検証する。

iii) SYMFONIC に基づき、とくにスケジューリングに関してルールベース型の問題解決を行うシステムを試作する。

2. 製造工場と工程管理

製造工場の機能を分類すると、製造工場は直接製品の工作に携わる現業機能と現業機能に対する管理情報を伝達・処理する機能からなっており、後者の機能はさらに 4 つに分類でき、それぞれの機能は次のようなものであると考えられる²⁾ (Fig. 1)。

i) 経営・営業機能: Business Functions

* 東京大学工学部

** 日本アイ・ビー・エム株式会社 (研究当時 東京大学大学院)

Fig. 1 CIM and Manufacturing Management

主として経営活動を中心に製造工場に対する動機づけと購買管理を行う。

ii) 製品設計機能：Product Design

「経営・営業」の要求に応える製品を具体的な形として描き、最終製品と同値な表現に表わす。

iii) 製造計画機能：Manufacturing Planning

「製品設計」の作成した製品情報についてこれを実際に製造するための情報を作成する。

iv) 製造管理機能：Manufacturing Control

「製造計画」までで作成された製造のための情報を現業機能に対して課し、それらを管理・統制しながら最終製品の完成へ導く。

CIMとはこれら4者の情報処理の統合化を目指すものであるが、これらの機能が現実の工場における個々の組織やシステムに一意に対応しているとは限らない。現行システムとはこれらの機能のうち電算機処理化のできる箇所を順次システム化してきたものであり、情報の統合や一貫性を考慮しているものではない。CIM構築の立場としては工場本来の機能に立ち返り情報の流れを定義する必要がある。

工程管理とは広義・狭義の意味があろうが「製造計画機能」「製造管理機能」の2つに対する通称名であると考え、これらの機能に対応する具体的なはたらきとして Process Planning と Scheduling を挙げ、これらの情報処理段階を次のように定義した。

i) 設計機能が「製品の実際」のすがたかたちを描き「製品情報」を定義する。

ii) Process Planning では、製品情報について「製造現場に関する概念的な知識」に基づき製造のための方法・手順を決定する。すなわちそれらは作業内容・作業順序・作

Fig. 2 Process Planning and Scheduling

業工数・使用機器・使用材料・精度条件などである。

iii) Scheduling では「実際の製造現場における具体的な状況に関する知識」に基づいて製造のための情報を加える加工処理を行う。すなわち Process Planning の結果を時間・現場機材の活用観点から展開し、納期その他の条件を満たす日程計画を作成するものである。

Process Planning までの段階では工場における個々の製品を対象として行なわれるが、Scheduling の段階になると他の製品情報とあわせ工場単位の計画を作成する必要があることは重要である (Fig. 2)。

この概念に基づき造船業における設計 Process Planning と Scheduling の具体的なはたらきを考察する。

2.1 設計

Process Planning に対する入力情報としての「設計情報」とは、現状のように解釈の余地を工程下流に先送りするものではなく、製品の「十分な定義」を行なうものであると考える。

この「十分な定義」とは製品を構成する部材の一品一品を表現する情報および完成製品における「部材と部材の関係」を表現する情報から成り立っていると考える。

2.2 Process Planning

造船 Process Planning 機能は「製造現場に関する概念的な知識」をもって設計情報の加工処理を行い、次のような決定を行う。

- ・設計情報から作業の抽出を行う。設計情報とは概念的に作業を想定しているものではなく、現場に対する指令としての作業を設計情報から読み取ることがまず必要である。

- ・各作業について使用機器・使用原材料・作業工数などの作業条件の設定を行う。

- ・組立作業のために部品をひとまとまりに扱う構造物 (Structure) を定義する。

- ・並列に置かれた同種の作業をひとまとまりに扱うことを設定する (切断…ネスティング, 運搬…パレット)。

- ・各作業間の順序の設定を行う。

- ・精度管理のための伸ばし, 溶接開先, 溶接方法などの

作業条件を設定する。

2.3 Scheduling

Process Planning の結果を時間軸上に展開し、納期その他の条件を満たす日程計画を立てる。現状では Process Planning に相当する情報が明確に定義されていないため、製造対象についての具体的な作業管理量の把握によらず、定量的な評価のない余裕を見込んだ日程計画を経験や過去の実績に基づいて作成している。

本研究では Scheduling においては「実際の製造現場における具体的な状況に関する知識」をもって Process Planning 情報の処理にあたり、次のような処理を行うものとする。

- ・各作業について時間軸展開の可能な現場レベルまでの作業単位までに細分化する。

- ・並列に置かれた同種の作業をひとまとまりに扱うことの設定をさらに日程計画の面から行う。

- ・各作業についてその条件の未決定事項の決定を行う。これは現場レベルの使用機器の具体名および作業を行う時間に関する決定を行うことである。

従来の日程計画とは 1. 全作業量の把握・山積み→2. 山くずしによる日程計画→3. 日程計画に基づく作業分配というものであった。しかし現場に対する最小作業単位までがこの段階までに定義されていれば日程計画と作業分配・機器予約は同じ次元の問題である。具体的な使用機器名までの予約の裏付けをもった実行可能な日程計画を作成することにより、製造現場に対する作業命令を完成させることが Scheduling の機能であると考えている。これにより「見込み」であった余裕は定量的に把握され、日程計画改善の方向が明確になる。

3. 造船工場モデル SYMFONIC

前章で述べた Process Planning・Scheduling のための情報を処理・伝達することが造船における製造計画・管理機能であり、これらの情報を統合システム上に表現するための造船工場モデル SYMFONIC を構築した。

SYMFONIC は工程管理のための情報表現として Process Planning および Scheduling の問題を解決するために次のような事項を表現するものである (Fig. 3)。

- 設計情報の表現
- 製品の表現
- 製造現場の表現
- 製造作業の表現
- 工程管理のための知識・制約条件の表現

これらを表現するために SYMFONIC ではオブジェクト指向の知識表現を用い、最上位のクラスとして Primitive, Relation, Structure, Task, Operation をもち、これらのサブクラスおよびそれぞれのクラスに属するメンバから構成される (Fig. 4)。

Fig. 3 Model Representation of the Shipyard

Fig. 4 Basic Classes and Their Attributes and Primary Subclasses of the Shipyard Model SYMFONIC

Primitive は物理的なモノを表わし、Relation はあらゆる 1 体 1 の「関係」を表わす。さらに Primitive や Relation によって定義されたものをとりまとめて扱うための表現形式が Structure である。Task には工場全体にとっての管理単位である製品ごとの管理情報が表現され、具体的な作業の表現は Operation に記される。

3.1 設計情報の表現

設計情報は Primitive クラスのサブクラスである Parts

クラスのメンバおよび Relation クラスのサブクラスである Parts-Parts, Geometric, Relation のメンバによって表現される。例えば 2 枚の Plate を溶接した構造物を表現した設計情報は Fig. 5 のように表現される。

3.2 Process Planning の表現

Parts 情報と Parts-Parts, Geometric, Relation 情報を用いることにより、設計情報の十分な表現が可能となるが、これを実際に製造する場合には、加工されたいくつかの Parts をひとまとまりにして組立作業が行われるものである。

Fig. 5 Representation of the Design Information

構造体 A
Structure S3

構造体 B
Structure S1

構造体 C
Structure S2

Fig. 6 Example of Structures and Assembly

り、Process Planning によってこのための設定がなされると先述した。

例えば Fig. 6 において構造体 A のような構造を組み立てるためにはまず B の構造と C の構造をそれぞれに適した定盤で組み立て、それをさらに A のような構造を組み立てるために適した定盤で組み立てるという手順を経る場合、その表現は Fig. 7 のようになる。Parts の組立のための構造体表現は Structure クラスのサブクラスである Assm. Structure クラスのメンバによって表現される。

これらによって表現された対象に対する作業の表現は Operation クラスのメンバとして記され、作業の生じる元となっている Parts や Parts-Parts, Geometric, Relation のメンバとの間で相互にバインドという参照関係をもつことによって表現される。

Fig. 5 の例では Plate が 1 枚設計情報に記されているとは Cut という作業が 1 つ必要である、ということを意味するわけであるから、Plate を Cut する作業 Cut. P1 が P1 のもつ Operation 属性スロットに記入され、バインド・参照関係をもつことになる (Fig. 8)。

同様に Parts-Parts, Geometric, Relation が 1 つ設計情報に記されているとは Weld という作業が 1 つ必要である、という意味を持つので、P1 と P2 を溶接する作業 Weld. P1P2 が P1P2 のもつ Operation 属性スロットにバインドされる。

Operation クラスはその属性として Fig. 9 に示すようなものを持っている。

このうち、使用原材料、使用機器、先行・後続作業、所要時間などが Process Planning においてクラスまでのレベルで記入される。

3.3 Scheduling の表現

前項の Process Planning がなされた段階に加え、さらに

Fig. 7 Representation of the Structure for Assembly

Fig. 8 Bind and Cross-Reference In the Operation Class

Fig. 9 Attributes of the Operation Class

Fig. 9における上部の属性値をメンバのレベルまで記入し、さらに下部の属性値すなわち時間予約関係の情報を記入し、作業条件を完成させることが Scheduling の機能である。

本モデル SYMFONIC 上における Process Planning および Scheduling 機能とはこれらのオブジェクト表現に基づき、オブジェクト間のメッセージ送受信およびこれらを統括するメソッドの定義によりシミュレートされる。

4. スケジューリングシステム

SYMFONIC の表現に基づきスケジューリングについてルールベースにより問題解決を図るシステムを試作した。スケジューリングとはいわゆる計画型問題であり、問題の空間において目標・goal にいたるみちのり・path を探索してゆくものである。この問題解決の探索過程において制約となる条件の表現が SYMFONIC 上に表現されている各作業についての使用機器条件、並行作業を含む作業の順序関係などの Process Planning 情報や、製品単位での納期設定であり、さらにこれらに基づき探索・推論を進めるためのプロダクションルールを用いて、各作業に対する具体的な使用機器の割当てとその時間予約を行う⁴⁾⁵⁾⁸⁾。

基本的な探索過程は各作業ごとにその余裕時間見積、使用機器の空き時間、順序関係から予約優先順序を決定しながら事象駆動型の時間予約を行ってゆくものであり、記述された制約条件を満たした実行可能な日程計画を作成する。

システムの構築には Common Lisp をベースとし、オブジェクト指向表現、プロダクションルールによる推論機構などを備えた AI システムシェルと呼ばれるツール KEE を利用した。

本スケジューリングシステムによる日程計画の例を示す。

例 1)

Fig. 10 A のような構造物の設計情報・Process Planning

Fig. 10 Example of Structure and Its Representation in SYMFONIC

Fig. 11 Windows for Execution (1)

情報を SYMFONIC モデル上に展開したものが Fig. 10 B である。P3 は曲げのある Plate であり、その部品情報、関係情報が表現されている。この例の Scheduling を行った実行スクリーンを Fig. 11 に示す。window A は工場内の機器設定を示しており、window B には設計情報から抽出された作業が示されている。window C には各作業間の順序関係が製品単位での製造開始から製造終了にいたるまで示されている。その結果、各作業の日程計画を window D に示す。黒いバーが実行予約時間帯であり、白いバーは PERT 法による最早開始、最早終了、最遅開始、最遅終了の各時刻を表わしている。

切断、曲げ加工、溶接およびその間の運搬作業の各工程において条件を満たした日程計画が作成されている。

例 2)

Fig. 13 では Fig. 12 のような 3 つの構造体からなる構造物の組み立て段階における溶接作業についてその日程計画を作成している。3 つの構造体を作成する作業はそれぞれ並行作業として設定されている。window A には溶接作業の順序関係が示されており、window B には各機器、すな

Fig. 12 Example of the Structure Assembly

わち溶接機に対する作業の時間予約状況が示されている。

この例について、使用できる機器の時間帯制約を変更した場合の日程計画の 2 つのケースについてその結果を

Window B

Fig. 13 Windows for Execution (2)

Fig. 14 Output Example: Schedule change due to Constraint Change

Fig. 14 に示す。A は B に比べて、各溶接機の使用できる時間帯が制限された分、納期設定が延長された場合をシミュレートしたもので、それぞれ条件にそった日程計画が作成されている。

例 3)

実際の船体構造への適用も全く同様に可能であり、Fig. 15 のような二重底構造を例として設計情報・Process Planning 情報を作成しこれを本スケジューリングシステムを

Fig. 15 Example of the Ship Structure

適用することにより Fig. 16 のような日程計画結果が得られる。

例 4)

さらに本研究では KEE のもつ多重世界機構 KEE worlds を利用し、探索過程における状態変化の過程を記憶し、推論ルールのみでは望ましくない結果に探索が進んだ

Fig. 16 Output Example for Scheduling

Fig. 17 Backtrack Production by KEE Worlds

場合に推論過程の状態をさかのぼり、あらたな探索経路へ推論を進めるバックトラック機能を実現した。ここではルールによる状態変化の結果を一つの world として記憶し、この world を評価する別のルールによってその world が無効であると評価されるとバックトラックを行うものである。この機能に関しては試用段階の域にとどまっているが、特に厳しい制約を課し、一般的なルールのみでは対応の困難である場合には有効であるといえる。このバックトラックを行った場合の実行例を Fig. 17 に示す。window A に示すツリーが推論の探索過程を示し、黒く塗られた丸は無効とされた world であり、バックトラックが行われ、新たにツリーの枝を展開し、探索を続けて行く。

本スケジューリングシステムは作成されたルール規模および実行速度などの点においてはプロトタイプの段階であるが、Process Planning および Scheduling のための情報を表現する工場モデル SYMFONIC に基づき一貫システムとしての連携によって成立している点において特徴づけられるものであると考える。

5. 結 言

本研究によって得られた知見は以下の通りである。

(1) CIM システムとは製造の情報処理伝達機能を統合化するものであり、このためには工場機能の本質的な概念に照らして伝達処理される情報の構造とその流れを構築しなければならない。

(2) 工程管理の機能として Process Planning と Scheduling を挙げ、造船製造工程において重要でありながらその姿の定まらなかった造船 Process Planning についてその機能を定義し、「製造現場の概念」に基づき情報を処理する内容を定義した。この結果に基づいて現場に送る作業命令を完成させる立場として Scheduling を位置づけ、「製造現場の実際」に基づき情報を処理する内容を定義した。

(3) オブジェクト指向に基づく工程管理のための造船工場モデル SYMFONIC を提案した。SYMFONIC によって設計情報、製品情報、製造現場、製造作業、工程管理のための知識・制約条件が十分かつ簡潔に表現される。

SYMFONIC に基づき Process Planning, Scheduling のはたらきを定義・表現した。

(4) SYMFONIC に基づきスケジューリング問題をプロダクションルールによって解決するシステムを試作し、統一貫システムによる造船工程管理問題の解決への方法を示した。日程計画のような計画型問題におけるモデルの重要性とプロダクションルールに基づく推論によるシステムの有効性を示した。

謝 辞

本研究を進めるに当たり東京大学大学院金雁氏には多くの有益な助言をいただきました。川崎重工坂出造船工場福田柳生氏、石川島播磨重工業中村光政氏を始めとする SR 210 関係の各氏には多々お世話になりました。厚く御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 小山健夫：造船 CIM にむけて、造船におけるシステム技術シンポジウム，日本造船学会（1989）。
- 2) Groover: Automation, Production Systems and Computer Integrated Manufacturing, Prentice-Hall (1987)。
- 3) 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，日本造船学会（1984）。
- 4) 大須賀節雄：次世代 CAD/CAM のための知識処理の応用，マグローヒルブック（1985）。
- 5) 日経マグローヒル社：着実に実用化が進む計画型エキスパートシステム，日経 AI, 1988.4.25 付録
- 6) 小山健夫：将来の造船業と CIMS の位置づけ，第 13 回夏季講座，日本造船学会（1987）。
- 7) 斉藤正男，溝口文雄：知的情報処理の設計—LISP による知識ベースシステムのアプローチ，コロナ社（1982）。
- 8) M. Fox: Constraint-Directed Search: A Case Study of Job-Shop Scheduling, Ph. D. Th., Computer-Science Dept. Carnegie-Mellon Univ. (1983)。
- 9) 松本信二ほか：エキスパートシステムによる建築作業のスケジューリング，オペレーションズリサーチ No. 11 (1987)。