2108 情報の段階的詳細化による生産資源統合設計支援システム

Implementation of Integrated Design System of Manufacturing Resources based on the Concept of Stepwise Refinement of Information

正 青山和浩（東大） ○正 武市祥司（東大）
西本 哲（川崎造船）

Kazuhiro AOYAMA, The University Of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Japan 113-8656
Shoji TAKECHI, The University Of Tokyo,
Satoru NISHIMOTO, Kawasaki Shipbuilding Co., 1 Kaswasak-cho, Sakaide, Japan 762-8507

In order to design of manufacturing systems, new concepts are proposed in this report. First concept is the stepwise refinement process and information model of manufacturing system. Second concept is the master model that is the core of integrated manufacturing systems including several application systems. This master model is combined with the concept of the stepwise refinement process and information model. Then this information master model is described which is useful to simulate and to evaluate the planned production system according to design processes. This report shows the prototype system for the design environment for a production system, which has several functions for integration closely with a commercial line simulator, a scheduler, and an optimization module.

Key Words: Integrated System, Master Model, Manufacturing Systems Design, Simulation, Optimization

1. はじめに

近年の顧客ニーズの多様化や製品開発サイクルの短縮などに起因した生産要求の変動に対応し、販売機会を逃さないようにするために、製造業では柔軟な生産体制を確立することを求められている。このような趨勢の中、製造の観点からは工場全体にわたる生産資源の効率の再配置・運用等が求められている。すなわち、生産資源の総体としての工場をどのように設計して編成していくかという工場設計とでも呼ぶべき生産システムの構築が注目されるようになっている。

工場の設計を支援することを目的としてシミュレータやスケジューラなども数多く存在しているが、工場のモデル化の容易性、モデル拡張の容易性、複数システムの連携機能などの点において十分な機能が備わっていないという問題が指摘されている⁽¹⁾。工場は非常に大規模かつ複雑な生産システムであるという観点からのシステム設計、および様々な視点からの事前評価が必要となるのである。

そこで、本研究では工場における生産資源の設計と評価を統合的に扱い、工場を多面的に評価しながら効率的な設計の実現を支援できるシステムを目指す。具体的には、加工・組立型の製品を生産対象とする中品種中量生産型の工場を想定し、工場設計における課題を整理し、工場を表現する情報モデルおよびその情報

モデルを生成するための工場設計機能のモデル化に関して検討する。そして、上記のモデル化に基づいた工場設計支援システムのプロトタイプを実装し、製造シミュレータやスケジューラなどのアプリケーション・システムとの高度な連携を実現する統合的な設計環境を構築することを目的とする。

2. 生産資源の統合設計のために

2.1 情報の階層性と段階的詳細化

工場設計は「生産資源に対する稼働の形態と方法の規定」を設計する行為である⁽²⁾と考えられ、構想段階における工場のミッション決定から、個々の製造設備の運用スケジューリングにいたるまで様々な設計フェーズが存在する。この設計フェーズの進行にしたがって工場情報は段階的に詳細化される。つまり、各々の設計フェーズに応じて工場情報の階層が存在している。そして、上下階層の情報の間にも、あるいは同じ階層に属する情報の間にも、情報生成に関する利用・被利用関係や、対応関係・割当関係といった様々な関連が存在する。これらの階層や関連は、工場設計における情報の生成過程での様々な要求に応じて、情報を段階的に変換・抽出する過程（工場設計の“横の流れ”）と各設計フェーズにおける段階的に情報を詳細化する過程（工場設計の“縦の流れ”）の二種類の軸によって整理することができる(Fig.1)。

2.2 段階的詳細化のための情報モデル

工場設計では、各フェーズにおいて生成される製品情報、工程情報、作業情報および工場情報などの情報が設計情報として必要である。本研究では、これらの情報の要素を実体とし、情報要素間の関連をインタフェイスとして各々の設計情報を陽に表現する。さらに上記の情報の具体的な処理機能として以下を定義する。

- ・設計情報を生成する機能：設計情報を新たに生成する機能
- ・設計情報を抽出する機能：工場設計の異なるフェーズの情報をもとに新たな情報を生成する機能（例えばある製品情報をもとにした工程情報の生成）。この機能により "横の流れ" を生成する。
- ・設計情報を詳細化する機能：設計情報を詳細化（展開）し、新たな情報を生成する機能。この機能により "縦の流れ" を生成する。

工場の情報モデルとして、構成要素であるショップやセルなどの生産資源を実体(Node)として表現し、それらの接続関係をインタフェイス(Link)として表現するネットワーク構造⁽³⁾を採用する(Fig.2)。このネットワーク構造では工場内物流が表現されていることになる。また、実体はさらに詳細な実体により構成されるという階層性を持たせることにより、段階的な詳細化に応じた工場の階層構造の表現が可能になる。さらに、インタフェイスにも階層性を持たせる。なお、工場を表現する具体的な情報は、実体およびインタフェイスに記述される属性情報であるとする。

2.3 システム統合のためのマスターモデル

工場設計においては、多数の検討項目からの設計案の評価が必要であり、製造スケジューラやシミュレータなど様々な視点からの評価を可能とするアプリケーション・システムとの連携は重要である。しかし、アプリケーションの実行に必要な情報の生成は、同種のアプリケーションであっても微妙に入力情報の形式が異なるために、各アプリケーションごとに個別の対応が必要である。そこで、アプリケーションのための情報生成の効率化のために、利用する各アプリケーション

Fig.1 Vertical and Horizontal Flow of the Factory Design

Fig.2 Hierarchical Network Representation for Factory

ンの情報モデルの中間モデルを作成し、設計情報とこのアプリケーション・モデルとの対応関係を明確にし、モデル生成の労力を省力化する仕組みが必要となる。さらに、アプリケーションの出力結果の情報は他のアプリケーションの入力情報となる場合も多く、アプリケーションに関する情報を、工場設計の情報と併せて一元的に管理することが望まれる。

本研究では、これらの情報の一元的管理を実現する情報モデルを生産資源設計環境マスターモデル（以下、マスターモデル）と名づけて、2.2 節で述べた情報の段階的詳細化を実現する階層的ネットワークから構成される工場の情報モデルの概念を展開することを試みる。マスターモデルは情報の種類によって分類された6つの領域から構成される（Fig.3）。これらの情報間には領域を越えた関係も記述され、全体で一つの情報のネットワークを形成する。各情報枠に記述される内容を以下に示す。

- ① 製品情報：BOM（Bill Of Materials；部品構成表）等の製品設計情報から得られる製品の構成情報。製品を構成する部品の情報や、部品間の接続情報を含む。
- ② 工程情報：上述の製品情報に組立・加工の工程情報を付加した情報。具体的には工程と部品との入出力関係情報と工程間の順序情報とを加える。
- ③ 割付情報：割付候補となる資源（設備、作業）の能力、コスト等の情報と、工程とそれらの資源との割付関係情報が記述管理される。
- ④ 資源情報：生産資源の構成情報と生産資源間の関連情報を記述管理する。具体的情報として設備レイアウトや配員の情報などを含む。
- ⑤ 生産情報：生産する品目、数量、期間（納期）についての情報。生産システムのミッションとなる。
- ⑥ 作業情報：生産情報と工程情報を基に生成される実際の作業の情報。

2.4 迅速な設計評価と最適化支援のためのデザインマネージャ

工場設計案は、生産に要するコスト、生産目標に対する生産量（リードタイム）、設備稼働率、在庫回転率、不適合品率（不良率）などの評価項目により総合的に評価されるべきである。迅速な評価を行うために

Fig.3 Components of Master Model

は、設計変更にあわせて評価が自動的に行われ、常に最新の評価値が計画者に提示されることが望まれる。また、状況に応じて評価基準を任意に変更できることも必要である。さらに工場の最適設計を行うためには、設計・解析・評価の繰り返しのサイクルを自動的に処理し、特定の条件や評価基準の下における設計変数の最適な組合せを求めることが必要である。最適化を実行するためには、各解析ツール（評価アプリケーション）との緊密な連携や、設計変数・目的関数の管理、モデルの情報の変更機能などが必要とされる。

本研究では、デザインマネージャを導入し、マスターモデルを中核とするアプリケーションとの連携による迅速な評価と最適化を実現化することを試みる。デザインマネージャは、アプリケーションと入出力の制御や最適化のためのマクロ処理を行うために、以下の機能を有する。

- ・ 中間モデル抽出機能：マスターモデルに記述された情報を基に解析目的に応じた中間モデルを抽出する。
- ・ アプリケーション情報生成機能：中間モデルから、使用したいアプリケーションに必要な情報を抽出する。この抽出機能は、入力ファイルの生成を処理し、アプリケーション毎に用意する必要がある。
- ・ 結果情報の読込機能：アプリケーションの実行結果として得られた情報を、中間モデルを介してマスターモデルの情報として格納する。
- ・ 設計変数、制約条件の指定：マスターモデルが管理する生産資源の設計情報から、設計変数、制約条件として指定したい情報を任意に選択する。また、最適化の結果として受け取る設計変数の読込先もこの機能を利用して特定する。
- ・ 目的関数の指定：設計者は、目的関数を任意に宣言することが出来る。目的関数は、マスターモデルが管理する様々な情報やアプリケーションの結果情報などを利用して、設計者が具体的に定義可能である。
- ・ 試行錯誤の自動化（最適化）：最適化計算機能を持つ外部システム（例えば、iSIGHT など）を連

携させることにより、試行錯誤のサイクルを自動的に実行させる

3. プロトタイプシステムの概要と実行例

3.1 工場設計の整理とモデル表現

工場設計における情報処理は、「生産資源設計」とそれらの有機的な関連となる「工場内の物流計画」とに大別することができ、さらに「工場内の物流計画」は、「資源レイアウト設計」と「運搬システム設計」の二つの詳細な設計に展開することができる。

- ・ 生産資源設計：生産資源の能力、構成を決定する
- ・ 資源レイアウト設計：生産資源の空間配置、生産資源間の物理的な関係を確立する
- ・ 運搬システム設計：運搬・貯蔵等の生産資源のネットワーク構造で認識される

上記の設計は生産資源に対する視点に基づいており、設計の段階性を考慮すると以下に示す詳細化のステップを繰り返し、設計を進めていく。

- Step1：工場全体、区画（建屋、各種工場）、フロア（ショッパ、ライン、セル）、設備（機器、装置）等の順に段階的に実体を詳細化する
- Step2：詳細化によって新たに生成された実体およびインタフェースの属性・属性値の検討
- Step3：制約ネットワークの構築
- Step4：関連情報を持たないインタフェースの削除

3.2 システムの構成

本システムのプロトタイプは、オブジェクト指向言語である Smalltalk (VisualWorks 5i.4) を用いて構築されている。本プロトタイプは各設計フェーズで情報を生成・管理するシステムより構成されている。また、本プロトタイプの構成は、マスターモデル、デザインマネージャ、外部アプリケーション・システム（スケジューラ：APSTOMIZER、離散シミュレータ：WITNESS、最適化ソフト：iSIGHT）である (Fig.4)。

3.2 システムの実行例

プロトタイプシステムを用いてシリンドラ工場を設計した。本例では、製品情報は既に確定しているものと仮定し、与えられた生産情報を満たし、なおかつコスト最小となる工程順序、生産システムの設備構成、レイアウト、配員、設備ロットサイズの検討を行うことにする。以下、順に説明する。

- 1) 製品情報、生産情報の定義 (Fig.5:A)
 - 1-1) 製品情報として BOM の情報を定義
 - 1-2) 生産情報として目標生産量、納期の情報を定義
- 2) 工程順序計画 (Fig.5:I)
 - 2-1) BOM の情報から部品・中間製品の情報を抽出する。
 - 2-2) 必要に応じて中間製品の情報を追加する。

Fig.4 Configuration of Prototype

- 2-3) 入力部品, 出力部品を指定して, 工程を定義する.
- 3) 資源割付計画 (Fig.5-4)
 - 3-1) 割付として工程情報を抽出する.
 - 3-2) 資源情報 (設備) を定義する.
 - 3-3) 工程と資源 (設備) との割当を検討する.
- 4) スケジューリングによる納期の確認

納期を満たす必要最小限の設備構成を求めるため, 納期を制約条件とし, 設備台数を最小とする最適化を行う.
- 5) 配員計画
 - 5-1) 資源情報 (作業員) を定義する.
 - 5-2) 設備と作業員との割当を検討する.
- 6) シミュレーションによるコスト最小化

資源情報として, 設備償却費, 稼働コスト, 労務費

の情報を入力し, 総コストが最小となるように, 各作業員グループの能力 (人数) の最適化を行う.

7) レイアウト計画

7-1) 設備の形状情報の定義

7-2) 設備レイアウトの検討

8) 設備毎のロットサイズの計画

加工設備に段取り替え時間の情報を入力し, 総コストを目的関数として, 設備毎のロットサイズの最適化を行う.

上記の1) ~ 8) の手順を経て, 直線型の生産ラインレイアウトの工場で, 切断器: 4ロット, 旋盤: 5ロット, ボール盤: 4ロット, フライス盤: 4ロット編成が工場設計の解として求めることができた.

5. まとめ

生産資源設計で利用される情報を整理して, 階層的なネットワークからなる統合設計システムのためのマスターモデルを提案した. さらに, アプリケーション・システムとの緊密な連携による設計案の迅速な評価や設計最適化を可能にするデザインマネージャを提案し, プロトタイプの実装を行った. なお, 本研究の一部は, IMS 国際共同研究 NGMS (Phase II) の一環として行った.

文 献

- (1) IMS 国際共同研究プログラム成果報告書, IMS センター, 2000
- (2) W.K.ハドソン: IE ハンドブック, 日本能率協会, 1994
- (3) 青山他: トップダウン指向設計における製品情報の詳細化の評価手法に関する考察: 日本機械学会, 第11回設計工学・システム部門講演会, OS12-1, 1301 (2001)

Fig.5 Examples of Prototype