

製造分野における 離散系シミュレーション技術の展開

上野 信行

1. はじめに

製造業においては、CIM (Computer Integrated Manufacturing, 統合生産管理) の概念のもとに、FMS, FA等を導入して、新工場建設、既存工場のリフレッシュにより、物流効率化、省力、リードタイム短縮等の実現を図ろうとしている。[1][2][3]

このような統合化された新しい生産・物流管理システムの構築に際しては、ハード・ソフト両面における各種の技術分野[4]の適用が必要であるが、とりわけ、事前検討としての設備能力・レイアウト決定、その運転方案の作成および、注文の生産計画、物流計画の適正化[5]が非常に重要な要素である。

これらの事前評価、意思決定の問題は、近年は、その検討範囲の広さ、内容の深さ、精密さが求められ、従来のK&K法(勘と経験)のみでは対応が不可能である。特に、誰か(たとえば、企画部門)のつくった企画案内容の後追いの検討ではなく、メリットの創出(たとえば、簡素化設計による設備費削減案)の道具としてシミュレーション技術の活用が求められている。[6][7]

しかし、企業においては、その必要性は認識されているものの、「シミュレーションを行なうには専門家が必要である」「検討に時間がかかる」あるいは「シミュレーションを行なわなくても結果は自明である」等といった誤解があり、その定着化にはまだ課題が多い。

このような中で、筆者は、次のような基本認識をもってシミュレーションによる解析を進めていくべきだと考えている。すなわち、

- ①シミュレーション・ケース・スタディは、有力な検討道具であるが、その活動は、一種のコスト(費用)である。したがって、シミュレーション(ケース・スタディ)活動はコスト以上の改善効果が期待できる領域テーマを対象に実施されなければならない。

②また、シミュレーションは前提条件、設計諸元等がオープン化された環境のもとで、結果がイメージアップされ、このような状況の中で意思決定を行なうという意味において、新しい企業の内の意思決定スタイル(あるいは文化)をつくりうる。

本報告は、以上のような視点に立脚して当社にて進めているシミュレーション・アナリシス活動について紹介するものである。

2. シミュレーションの対象テーマと狙い

製造分野におけるシミュレーションの活用の局面は、下記の2つに大別できると思われる。

その1は、設備導入企画時のケース・スタディツールとしてのシミュレーション技術の活用である。これは経営戦略上から新工場の建設が企画される時や従来の製造方式を改善したり、新設備を導入したりする場合であり、シミュレーション技術を設備導入企画のケース・スタディツールとして活用するものである。

その2は、操業スケジューリングツールとしてのシミュレーション技術の活用である。この場合は、日々の操業管理における操業の事前予想の道具として使用されることになり、人間系を介してネック工程を抽出したり、適正な操業計画作成を支援するものである。

図1に対象部門とその検討テーマおよび経営上の期待効果を示す。

次に、設備導入企画時のケース・スタディツールとしてのシミュレーションモデルと操業スケジューリングツールとしてのその関係を述べる。シミュレーションモデルは、当初は設備導入企画用として活用され、結果は設備の設計に反映されることになる。一方、このモデルは別の見方をすれば設備導入後の操業イメージを前もって模擬しているとも解釈できることから、操業管理業務設計、ひいては操業計画システムの機能要件を定義しているともみなせる。したがって、設備導入以後は、日々の生産管理のスケジューリングツールとして活用され

うえの のぶゆき 住友金属工業㈱

〒100 千代田区大手町1-1-3

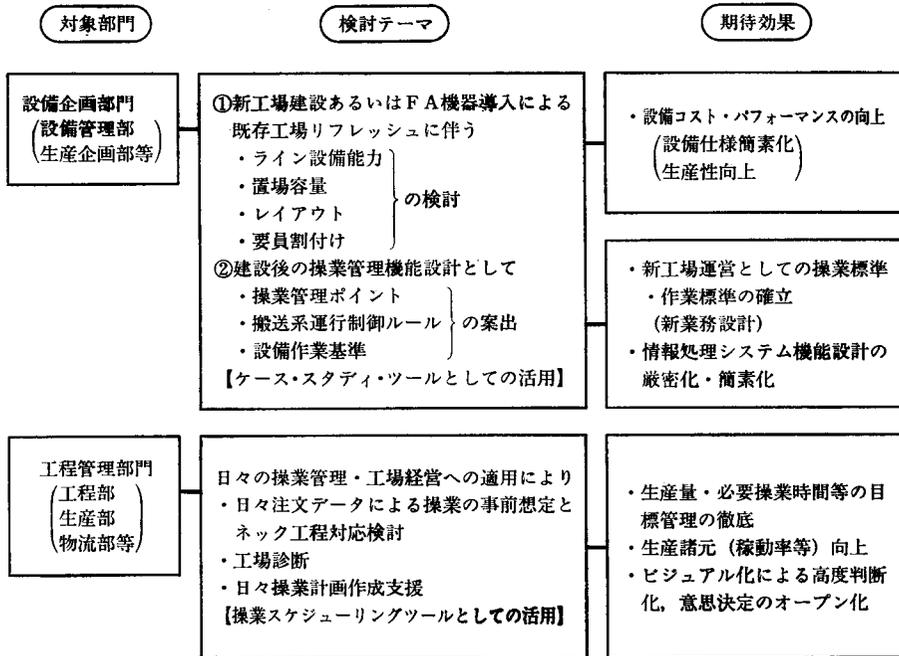


図 1 シミュレーションの検討テーマと期待効果

る。次に、このスケジューリングツールは、日々の状況変化を織り込んで進化させていくと、将来は、モデルからの情報をもとに新しい設備導入企画の必要性が指摘できるようになる。

このように、製造分野においてはシミュレーションモデルは、設備管理(新設備導入企画)の重要なツールで

あるとともに、同時に操業管理の重要なツールともなりうることを述べていることになる。(図2参照)

3. シミュレーションの必要性

それではどうして、昨今シミュレーションが多用されるようになったか?について述べる。

新設備導入企画時を例に、最近の生産・物流改善を検討する際の背景を次に示す。(表1参照)。

①対象が広範囲である

主要な生産設備のみならず、全生産設備、搬送設備(AGV、クレーン、コンベア等)をも対象に加えた検討が求められている。

②対象物件が細密化している

代表的品種にとどまらず、全品種を対象とせざるを得なくなっている。たとえば、段取替ロスを試算するためには全品種を対象とし現品1品1品の挙動の把握が必要である。

③検討内容が深化・精緻化している

代表データ(代表的品種構成・サイズ構成)による静的な平均値的検討ではなく、負荷ピーク時、低負荷時などを想定した動

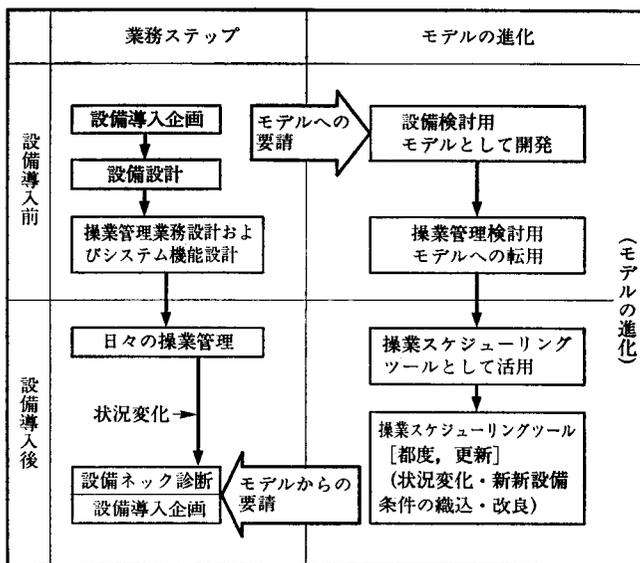


図 2 シミュレーションモデルの進化

表 1 検討課題の変遷

傾 向	従 来	最 近
対象の 広範囲化	代表設備 └─ 主要生産設備	全設備 └─ 全生産設備 └─ 搬送設備 (搬送車, クレーン, コンベア)
対象物件の 細密化	代表的品種・サイズ	全品種・サイズ (1品1品)
検討内容の 精緻化	• 平均値的サイクル タイム • 静的	• 平均値的 • ピーク～最低負荷時 • 1品1品の動的流れ

的な検討が求められている。

4. シミュレーションモデルの進化の プロセス

一大規模フローショップ型工場ラインを事例として—当初、設備導入企画用に開発したモデルが、操業管理用として活用されて（進化して）いる。これを最近の事例にて紹介する。

4.1 対象ラインの概要

本ラインは、図 3 に示すように、搬入～出荷まで約30工程40設備を有するフローショップ型ラインである。月間約10000ジョブが製造されており、品種数も多く、また品種サイズにより長大な段取替が発生したり、各作業設備別の作業負荷変動も激しいという特徴がある。

本ラインの操業ルールとしては、①ライン上での追い抜き禁止、②並列設備では、要員面の制約から同時段取替の禁止や、設備遊休時間最小となるジョブの各設備への配分などがある。表 2 に主要操業ルールを示す。

4.2 ライン設備能力評価[8][9]

—設備導入企画段階でのシミュレーションの活用—

4.2.1 狙い

既存工場のリフレッシュを図る目的で工場内のネック工程を改善し、ラインとしての能力を向上させることにより、操業要員のシフトダウンが可能か

どうかの検討を行なったものである。

4.2.2 検討課題と内容

シミュレーションで検討すべき具体的課題は、

- (1) 複数設備群のラインとしての能率（能力）を算定すること
- (2) 30%能率アップするためのネック設備を摘出し設備改善案を見つけること
- (3) さらに操業適正化のための個別設備操業法（たとえばラインオフ）の効果算定を行なうこと

である。

そこで、物の流れ方の基本部分については、汎用シミュレーション言語を用いてジョブの1つ1つの動きを記述した。また、各設備の操業ルールについては、ルールごとに固有のロジックを組み込んでおり、これらは、FORTRAN 言語にて記述している。特に、並列設備については、適正稼働設備数決定およびジョブの適正設備配分機能を織り込んでいる。また、モデルには段取替条件、準備作業条件などを織り込み、非稼働原因（材料待

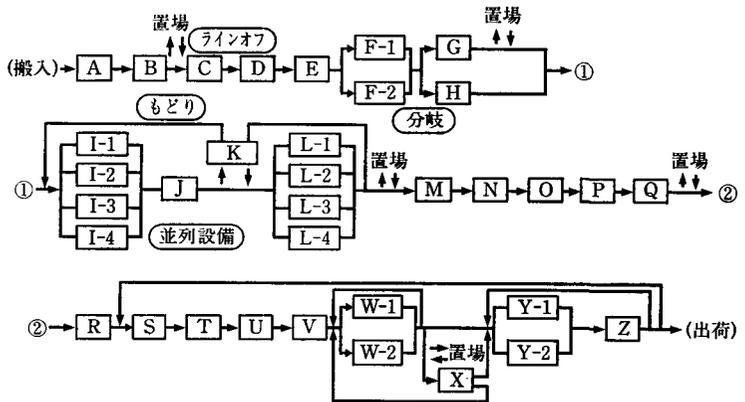


図 3 フローショップ型生産ラインの工程フロー

表 2 フローショップ型生産ラインの主要操業ルール

- | | |
|----------------|---------------------------------|
| ① ライン上の作業順序ルール | • ジョブグループ（段取条件同一のジョブ）単位での追い抜き禁止 |
| ② 並列設備におけるルール | • 待ち時間最小となるジョブのライン配分 |
| ③ 分岐・もどりのルール | • 同時段取替禁止 |
| ④ ラインオン・オフのルール | • 分岐点での比率配分は一定 |
| ⑤ その他 | • もどり品優先処理 |
| • 備品取替ルール | • 設備点検作業ルール |
| | など |

ち、進行待ち、段取替)の詳細な検討が可能なるようにした。全体構成を図4に示す。

4.2.3 結果

シミュレーションの結果から約30%の能率アップのためには、E、I、L工程の設備能率向上の必要性が判明した。そこで、本案をベースに、設備改善案画(含 費用見積、効果予想)を作成し、審査部署にて投資効果チェックを行なったうえで、実行に移された。

この事例の場合、プログラム・ステップ数は約2500、シミュレーション時間は1ケース当り約25分(2MIPS級CPU)である。

4.3 シミュレーションモデルの操業管理への適用

4.3.1 概要

前節のような設備改善を行なったとしても、操業管理上の課題は残る。たとえば、

- ①各設備では、前後工程の能率差によりジョブ1本単位に作業待ち(物流停滞)が発生し、稼働率が低下する。
- ②操業状況の先読みができないため、事前に物流停滞発生に対する対応策が打てない

である。

そこで、設備導入企画用に開発したモデルをコンパクト化して日々の操業計画立案用に位置づけることとした。

対象とする工程については、設備導入企画用のモデルをもとに全体に影響のないところは省略し、17工程に厳選してコンパクト化した。

また、操業管理用として活用するために、データの入力を容易に行なえるようにするとともに、結果のガントチャート表現など出力帳票を充実することにした。図5に操業計画シミュレータの概要を示す。

本シミュレータは、試行時において計画精度を確認のうへ、工場事務所内パソコンに搭載され、計画担当者が約1~2回/週活用している。具体的な活用としては、

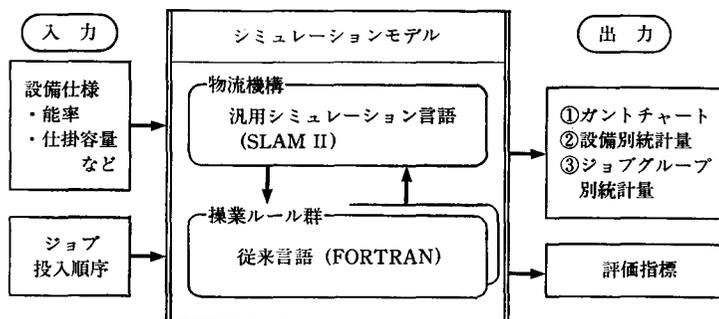


図4 シミュレータの構成

- ①週間操業計画を立案し、計画結果表を各職場に配布している。
- ②出荷日時の予測ができるので、配車計画作成のための情報提供を行なっている。
- ③立会日時スケジューリングの回答・調整用に使う等である。

今後は、汎用機と本シミュレータの間をネットワークにて結合し、注文データ・在庫データ等の入力を自動化することにより「汎用機+パソコンによる分散型操業計画システム」を実現することとしている。

5. 当社におけるシミュレーション活動の展開

5.1 活動のトレンド

'88年に、当社システムエンジニアリング事業本部数理技術室にシミュレーションソフト(言語タイプ)を導入し、事例研究を開始した。

翌'89年にシステム関係上司の理解を得て、最新シミュレーション技術習得を狙いとして、システム技術部会の中にWGを結成し、本社・各所からキーマンを募り、技術ポテンシャルアップと人材育成に着手した。

以来、WG(Working Group)にて技術基盤をかため、'91年に最終報告書を作成し、それ以降は、全社展開を図ることとなった。表3に当社におけるシミュレーション活動のトレンドを示す。

この間テーマは50件以上を越えたが、そのうちの代表

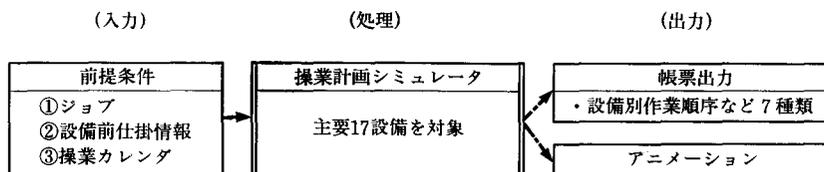


図5 操業計画シミュレータの概要

表 3 当社におけるシミュレーション活動のトレンド

位置づけ	年度	内 容	備 考
導入期	'88	シミュレーションソフト(言語タイプ)の導入 事例研究開始	適用事例累計50件以上
技術確立期	'89	システム技術部会 「汎用シミュレーション技術」WG 発足 技術ポテンシャルアップ・人材育成着手	
	'90	キーマン育成研修会(第1回)	
	'91	アニメーション技術(視覚化)積極活用 WG 最終報告	新技術開発 ・モデル再利用 ・新ソフト評価
発展期	'92	対話型新ソフト導入	
	'93	生産・物流シミュレーション技術 推進全社チーム結成	

的事例を表4に示す。

5.2 全社的展開の施策

(1) 全社横断チームの結成

増大化するシミュレーションテーマの組織的推進，普

取拡大を狙いとして，設備部門の部長クラスを長に，全社チームを結成した。チームメンバーは，設備部門，自動化推進部門，企画・IE部門を代表する管理職クラスであって，このチームのもとに以下の施策を実施することになっている。

(2) 教育

WGのもとで「キーマン育成研修会」をスタートした。2回/年であり，現在まで6回をかぞえ約70名が受講した。内容は，パソコンによるモデル化実習を行なうこととし，本社で行なう集合教育(3泊4日，約10~15名/回)と各製造所ごとに行なう2~3カ月のOJTがある。

'93年からは本社技術研修体系の一環として進めることになっている。

(3) シミュレーションソフト活用環境整備

一貫製鉄所である和歌山，小倉，鹿島を中心にすでに導入済である。

(4) シミュレーションテーマの選定と

歯止め

設備導入企画の起案が行なわれる時に，シミュレーション検討が必要と判定されたテーマについてはシミュレーションケーススタディがないと原則的に承認されない

表 4 シミュレーション適用テーマ (抜粋)

テ ー マ	時期	シミュレーション検討項目	活用レベル
鋼管工場生産性向上[8][9]	'89	・ライン稼働率の評価とスケジューリング	A B
製品構内物流効率化[10][11]	'89	・輸送能力，稼働率，倉庫仕掛検討	A
車両品工場リフレッシュ	'90	・加工工程の設備スペックの決定・スケジューリング・ロジック選定	A B
鋼板工場物流効率化[12]	'91	・台車数，搬送能力，置場能力の検討 ・搬送ルール確立	A B
成品コイル自動搬送効率化	'91	・自動搬送設備能力検討 ・搬送ルール確立	A B
コンテナ物流改善[13]	'91	・コンテナ枚数，クレーン能力検討	A
自動加工ライン能力検討	'92	・ライン設備能力	A
新工場設備能力検討	'92	・設備能力・レイアウト ・スケジューリング	A B
中間素材ヤード能力検討	'93	・ヤード容量とその運用	A B

(凡例) 活用レベル A：設備導入企画へ活用

B：設備導入後の操業計画，搬送制御へも活用済かあるいは活用予定

ことになっている。

(5) 基盤技術開発

適用事例が多数になり、この保存・蓄積と技術伝承も兼ねて再利用技術を開発中である。また、シミュレーションソフトの動向をよく認識し、近い将来に、主導権をとりうるソフトの評価を適確に行なう必要がある。

6. 今後の課題

(1) シミュレーションに対する意識改善の必要性に関して

シミュレーション技術者と上司の両方に意識改革が必要である。シミュレーション

技術者は、シミュレーションは、設備費削減・パフォーマンス向上等の便益を生み出す重要なアナリシス活動であるという固い信念が必要であり、そのもとで費用対効果を見きわめて、テーマの選定を進めるべきである。

たとえば、投資設備費の5%の費用を使って15%ぐらいの効果(便益)を生み出す活動をめざし、その実現を図るべきである。[14]

また、上司においては、「シミュレーションは一種の気休め(保険)だ。いずれにしても後追い検討だろう」などと思わず複雑・高度化する生産プロセスにかかわる設備企画・工程管理の科学的意思決定の1つとして(工程管理技術と呼んでいいかもしれない)、また便益を生み出す活動としてその役割を認知すべきであろう。

(2) シミュレーションの進め方に関して

シミュレーション技術者にとってシミュレーションによって効果を出すためには、「進め方の成功の道」を採用すべきである。シミュレーションはあくまで人間の判断・意思決定を支援する(「思考」を刺激する)道具であると考えられる。

したがって、シミュレーションにより検討を成功させるためには、①優秀な設備技術者 ②工場操業者 ③シミュレーション技術者(含モデル構築者)および④コーディネータが集まり、検討の狙いを明確に把握し、シミュレーション結果から刺激を受け、互いに激しく討議しあう知的共同作業活動が実現できるかにかかっている。また、この活動を理解するスポンサーの役割がきわめて重要といえる。(図6参照)

(3) シミュレーション技術に関して

目的にあった正確なシミュレーションモデルが短時間

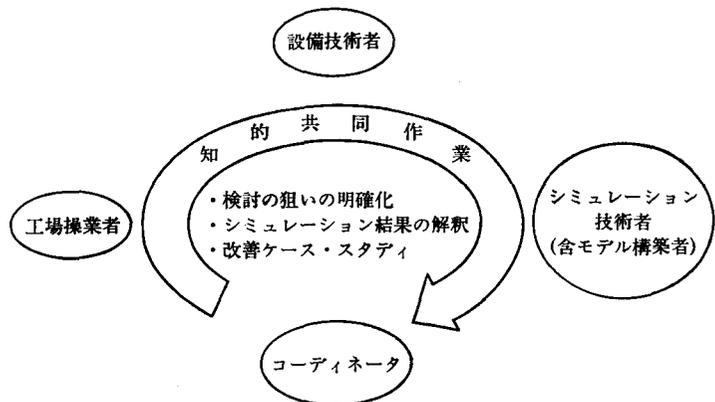


図6 シミュレーションを成功させる道

に作れる技術開発が何よりも必要である。

シミュレーションソフトに習熟することがまず大切だが、今後は既作成モデルの再利用法を確立する必要がある。それ以外に、

- ・シミュレーションモデル構築法の理論化・体系化
- ・モデル検証法の確立
- ・ケーススタディ設定の方法論確立[15]
- ・可視化
- ・生産スケジューリングへの積極的適用[16]

も重要であると思われる。

7. おわりに

製造業における複雑・大規模な生産・物流にかかわる改善には、投資規模が大きくなるとともに、どのような投資内容にするかによって投資の効果が異なってくる。

このために検討の厳密化が不可欠である。シミュレーションは、解決策の定量的評価・イメージアップが図れるという意味でこの検討をより充実したものとするのが可能である。また、シミュレーションは、前提条件、設備諸元等の企業の実力がオープン化され、それを反映してイメージアップされた定量的結果にもとづき経営にかかわるすべての人が共通な認識の上で意思決定が実行できる。

このようにして考えてみると、「シミュレーションを真に戦略的に活用した企業が21世紀へ向けての新しい意思決定スタイル(企業文化)を作り出し、新しい興隆をもたらす」だろうと思われる。なぜなら、現在ほど経営者による真の企業実力の把握の上にもとづいた意思決定が望まれる時代はないだろうか。

[謝辞] 末筆ながら、本分野につきご指導いただき、また今回の執筆の機会を与えていただきました早稲田大学 森戸 晋教授に深く謝意を表します。

また本執筆に貴重な助言をいただいた神戸大学 藤井進教授に感謝します。また、当社システムエンジニアリング事業本部 川野副本部長、徳山上席専門部長、情報・通信研究開発部数理技術室 中川義之・外嶋成留・武田基一・神谷陽子の諸氏および本社・各所関係各位に深く感謝いたします。

参 考 文 献

- [1] 岩田ほか：生産システム学，精密工学講座13，コロナ社（1982）
- [2] 人見：生産管理工学，コロナ社（1983）
- [3] 人見：生産システム工学（第2版），共立出版（1983）
- [4] 岩田：新しい生産システム—CIM：システム／制御／情報，Vol.34，No.3，pp.123～127（1990）
- [5] 上野，中川：シミュレーション最適化の組合せによる生産・物流統合管理システム：オペレーションズ・リサーチ，Vol.35，No.5，pp.273～279（1990）
- [6] 上野：“シミュレーション技術の生産システムへの適用”，計測と制御，pp.134～137，Vol.30，No.2（1991）
- [7] 上野，中川，外嶋：生産・物流効率化へのシミュレーション応用—生産・物流システム設計／再設計への適用—，経営システム，pp.132～139，Vol.1，No.2（1992）
- [8] 外嶋，上野：大規模フローショップ型工場ライン能力評価操業シミュレーション，第2回インテリジェントFAシンポジウム前刷，19／21（1989）
- [9] 上野，外嶋，武田，田村：“大規模フローショップ型生産システムの設備能力再設計法”，システム制御情報学会論文誌，pp.511～516，Vol.4，No.12（1991）
- [10] 上野，中川：“物流効率化とシミュレーション”，オペレーションズ・リサーチ，pp.339～341，Vol.34，No.7（1989）
- [11] N. Ueno, N. Nakagawa, V. Okuno and S. Morito: Steel Product Transportation and Storage Simulation—A Combined Simulation/Optimization Approach—, '88 WSC Proc.（1988）
- [12] 中川，上野ら：シミュレーションを活用した搬送台車の効率的運行方式の決定，日本オペレーションズ・リサーチ学会春季研究発表会アブストラクト集，2-C-6，pp.180～181，（1993）
- [13] 今井ほか：“シミュレーション活用による厚板コンテナ輸送化検討”，システム制御情報学会研究発表講演会講演論文集，pp.93～94，（1993）
- [14] R. K. Millar: Manufacturing Simulation, THE FAIRMONT PRESS, INC, pp.1-3，（1990）
- [15] 上野，外嶋，武田：“ジョブショップ型工場の搬送を考慮した能力評価シミュレーション”，日本オペレーションズ・リサーチ学会春季研究発表会アブストラクト集，2-C-9，pp.192～193，（1990）
- [16] 上野：“鉄鋼業における生産スケジューリングと最適化”，システム／制御／情報，Vol.37，No.4，pp.237～245，（1993）