

CIM から COM に向かって

— 製造業の再生と全体的最適化 —

黒田 充

1. はじめに

近年における情報技術の進歩は人類が長い年月をかけて築いた既成概念をつぎつぎと打ち砕き、社会全体に未曾有の変革をもたらそうとしている。よく知られているように、情報技術が備えている力の源泉は情報技術間と言うに及ばず他の技術との間に見られる高い融合性である。つまり、情報技術は既存の技術や技術的概念と結合し、その機能を飛躍的に高めたり、新しい展開を可能にする。われわれにとってとりわけ関心のある製品開発、生産技術、経営・管理技術もその例外でありえず、それらと密接にかかわり合っているオペレーションズ・リサーチも同様である。

本稿では、国や地域の経済エンジンとしての役割が再認識されはじめている一方、内需の低迷と円高になおも足を取られている製造業を取り上げ、その再生のための救済策として全体的最適化を柱とする製造業の総合的経営概念 COM を示し、COM の枠組みの中でのオペレーションズ・リサーチの新しい可能性を検討するとともに、その役割を果たすために望まれるオペレーションズ・リサーチの姿を描くことにしたい。

2. 情報技術の進歩と製造業における全体的最適化の胎動

驚嘆に値する近年における情報技術の進歩を『バーチャル・コーポレーション』の著者ダビドゥとマロンは次のように表現している[1]。「コンピュータに関する記憶容量、信頼性、コスト、電力消費量、処理速度という5つの指標の過去40年間の進歩を足し合わせると — 厳密には重なる部分もあるので、単純には合算できないかもしれないが — それは30桁に

もなる。このようなレベルの変化は、人間のものさしをはるかに超えるものである。いわば単一原子の直径が銀河系の直径まで膨張したに等しい。」30桁という数字の信憑性はともかくとして、コンピュータの価格・性能比は指数的に増加しており、その上昇振りにはとどまるところを知らない勢いがあるかのようなのである(表1参照)。

オペレーションズ・リサーチ(OR)の最先端の応用においては、通常、大規模問題の処理という容易に乗り越え難い壁が待ちかまえている。大規模問題の解 — 数学的最適解である必要はない — が経済的に求められるという意味で用いる規模の克服はその定義をはるかに超える大きな意味を持っていると言ってよい。それは、本当に解決が望まれている重要な問題の解を自由に利用したり、長年の念願であったあるいは理想の概念である全体的最適化への道を開くことを意味している。やや大げさな言い方をすれば、大規模問題へのORの応用可能性はそれ自体の死活を決める分れ道であることが少なくない。もし、規模の克服に失敗すれば、ORはおのずから解決の重要度の低い問題あるいはローカルな問題の解法という評価に甘んじざるを得なくなるからである。

以上の文脈から、ORの存在は情報技術の発展に頼っている寄生植物のそれかのように受け止める読者がおられるかも知れない。そのような読者には、逆に情報技術のみによって何ができるかをうかがいたい。企業とくに製造業において情報技術がその機能を発揮するためには、システムという媒体を通す必要があり、システムの有効性はその設計に反映されるユーザの経営・管理技術の水準に依存していると言ってよい。つまり、情報技術もまた経営・管理技術やORと意図的かつ適切に結合されてその存在意義が生じる場合が少なくない。以下において、情報技術とORが適切に結びついた事例を示そう。

くろだ みつる 青山学院大学 理工学部 経営工学科
〒157 世田谷区千歳台6-16-1

表1 情報技術の進歩を示す処理時間の短縮***

| パーソナル・コンピュータ | | | | |
|--------------|-----------|-----------|------------|-----------|
| 発売年 | 1988 | 1991 | 1993 | 1994 |
| 機種名 | PC-9801RX | PC-9801DA | PC-9821Ap2 | PC-9821An |
| CPU | 80286 | i386 | i486DX2 | Pentium |
| 周波数 | 12MHz | 20MHz | 66MHz | 90MHz |
| | 処 理 時 間* | | | |
| 問題1 (7×40)** | 68秒 | 47秒 | 2秒 | 1秒 |
| 問題2 (8×51) | 337 | 223 | 16 | 9 |
| 問題3 (22×100) | 1314 | 805 | 85 | 38 |

* 3種類的一般型0-1計画問題を異なった機種上で同一の陰的列挙アルゴリズムによって解いた結果

** $(m \times n) = (\text{制約式の数} \times \text{変数の数})$

*** 黒田研究室調べ (1995.2)

石油精製への線形計画法の応用はORの代表的な適用例として長い歴史を持っている。石油精製業は中長期の生産計画、短期の生産計画、各種の生産スケジューリング、石油配船スケジューリング、製品配送スケジューリング等の一連の最適化問題をかかえており、それらを統一的に解くことによって、異なった産油地から原料を調達し、需要に応じてさまざまな製品を生産し、需要家に必要量を確実に供給するという企業の課題がはじめて果たせる。しかしながら、実際には線形計画法が利用できるものは上層・中層の計画問題であり、最下層の計画問題であるスケジューリング問題は、制約の数の多さとその緩和の難しさのために、線形計画法の適用が阻まれ続けてきた。文献 [2], [3] では、内点法を拡張した PDNB (Primal Dual Newton Barrier) を用いて処理の高速化をはかり、多期間にわたる生産スケジューリングを混合整数計画問題として定式化した上、メタヒューリスティックスを援用し、大規模問題を現実的な時間で解く道が開けたことが報告されている。

現実の問題を解決するためには、制約数が約5,000、連続変数が約7,000個、0-1変数が約100個の大きさの混合整数計画問題を取り扱う必要があるが、この規模の問題でも主要記憶容量32MBのワークステーションを用いて650秒で解けるようになったということである。これは最先端のORの技術と情報技術がうまくかみ合って、企業の重要課題の解決に結びついた事例であると言える。

半導体の製造工程はウェハに同一の集積回路を多数作り込む前工程とそれらを切断して部品を製造する後

工程に分けられる。前工程の完成品を作るためにはウェハは数100の加工工程を経る必要がある上、製造装置がきわめて高価であるために、同一のウェハを同種の装置群で繰り返し加工するループ状の加工経路が設定される結果、前工程は仕掛品の流れが錯綜するジョブショップの形態をとる。通常、1,000ロット近くの仕掛品が数10の装置群の間を移動するため、これは大規模のジョブショップの典型的な例と見なされている。

ジョブショップは生産システムの中で運用が最も難しく、その最適化をはかる手段としてシミュレーションが通常用いられる。しかし、半導体の前工程のような大規模のジョブショップが対象の場合、1回のシミュレーション・ランの実行だけでも長時間を費やすため、異なった条件下でランを繰り返す必要がある最適化の状況にあつては、シミュレーションは事実上目的を果たし得る手段ではなかった。文献 [4] では、この問題を解決する新しい方法が述べられている。

生産システムの運用を目的とした従来のシミュレーションの方法では、コンピュータの主要記憶内に状態記述モデル(シミュレータ)を構築し、外部記憶に格納した工場管理用データベースからデータを必要の都度取り出して状態記述モデルの更新に利用する。これに対し、新しい方法では管理用データベースのうちの必要な部分を主要記憶内に直接格納し、それ自体を状態記述モデル(シミュレータ)として用いる。つまり、この場合のシミュレーションは外部から与えられた実行規則(これも状態記述と見なせる)にもとづいて主要記憶内のデータベースを更新する操作に他ならない。

したがって、シミュレータは状態も実行規則も解釈の対象となるデータと見なすインタプリタに他ならず、数100行の小さいプログラムを書くだけで作成できる。

現在のコンピュータの低価格化はCPUよりもメモリに関して早く進んでおり、メモリ・アクセスの高速化をはかるためにメモリを多量に使用方法が選ばれている。データ構造はスプレー木を使用し、頻繁にアクセスするデータのアクセス時間が短くなるように適応的に構造を変化させる手法を用いて、平均アクセス時間の短縮をはかっている。1ヵ月分のシミュレーションを実行するためには、数10メガバイトのメモリを要するが、計算時間はワークステーションで5分から10分程度におさえられる。この事例は、進歩しつつある情報技術の特徴をオペレーションズ・リサーチの観点から巧みに利用した両者の新しい結合方法を示す例であると言えよう。

3. CIM 再考

3.1 CIM の概念

製造業における情報技術の応用に関する総合的な概念であるCIM(コンピュータ統合生産)が日本に広く紹介されて以来、ほぼ10年の歳月が経過しようとしている。当時の文献[5]によれば、CIMを「製造業における情報の一元化とそれにもとづく各部門の統合」と考える基本的理解および「CIM導入は必然である」という受け取り方に関して、技術者や管理者のCIM観は一致しているものの、工場の自動化をめざすFAとの区別、CIMの目標、CIM導入上の重点課題や導入の進め方、CIMに期待する経営上の効果などに関しては、各人のキャリアや立場を反映してその考え方はさまざまであり、日本のCIMは共通の理念が形成されないまま始まったことがわかる。これはウエスチングハウス社やジェネラルモーターズ社のような米国の大企業が最先端のコンピュータ技術を駆使して開始しようとした生産体制の改革の旗印がCIMであり、当初から日本の製造業はCIM導入を受け身の姿勢で開始せざるを得なかったからである。

80年代の米国の経営者にとって、急速に進行する製造業の空洞化を阻止し、日本の製造業に対抗し得る競争力を保持することが緊急の課題であり、無人化工場の実現を最終的なゴールとするCIMをその手段として期待したいきさつがある。当時の米国においては、CAD、CAM、CAE、FMS、MRP、LAN、データベース、分散処理等のコンピュータ利用技術を最大限に活

用する生産の手法として理解されることが多かったようである。たとえば、P. G. Rankyは著書『Computer Integrated Manufacturing』[6]の中で、「CIMは自動化の島(islands of automation)を分散処理システムのもとに結合して製造業のすべての階層でコンピュータ支援と制御、高度に統合した自動化を実現することに関係する。CIMを進めるにあたっては、分散型コンピュータネットワークと情報処理技術、人工知能、データベース管理システムを徹底して利用する。」と述べている。

3.2 日本的 CIM の誕生

米国において、CIMが製造業の生産性を改善する手段として理解され、経営者主導の下に自動化投資と情報化投資を推進力とするCIM構築が進められたのに対し、日本の製造業ではやがてCIM構築を企業や事業所のターゲットに置いて全社的プロジェクトとして進める独自のCIMが見られるようになる[7]。日本的と呼べるこのCIMにおいては自動化はCIMを特徴づけるものではなく、むしろ別の理念がCIM構築を支配しているように見える。このようなCIM構築の背景には、すでに日本の製造業に浸透していたJIT(Just In Time)生産方式の影響があったと考えられる。

JIT生産方式においては自動化によって作業者を工場から排除する考えはなく、経済性を十分考慮した最小限の自動化が行なわれる。また、作業には改善能力と意欲を高めるための教育と訓練が施され、技術革新等の変化に対応しながら継続的な改善を進める生産システムの自律機能がその役割として期待されるが[8]、この考え方はCIMの導入時にはすでに日本の製造業で広く受け入れられていた。

日本的CIMの特徴としてこのような人間重視の思想とともに従来からある管理技術の活用が挙げられよう。多くの日本の製造業では、CIM構築にあたってJITの主要なノウハウであるかんばん方式、シングル段取り、1個流し、混流生産を含む各種の改善策を用いるとともに必要な自動化を進め、生産リードタイムの短縮に力が注がれた。こうして短納期生産の仕組みができあがると、製造部門と販売部門をネットワークで接続する利点が顕著に現われる。引き合い段階で、顧客の要求に応じ納期を即座に知らせることができても納期が長ければ受注に結びつかないし、また製品の種類によっては、製品在庫を保有せずに、たとえば受

注後 24 時間以内納入というような定時間内製造出荷体制の実現が可能になる [9]。このような製販統合型の CIM は日本の CIM の主流を占めるまでに至り、80 年代末までに業務用冷凍機・冷蔵庫、システムキッチン、乗用車、高級既成服、スポーツ・シューズ、食品などのさまざまな製品を取り扱う製造業でその構築が見られるようになった [10]。

3.3 CIM のゆくえ

90 年代に入りバブルの崩壊とともに、日本の製造業における CIM 構築の意欲は下火になったかのよう見えるが、製造業の生き残りをかけての水面下の戦いはむしろ熾烈となり、前述の事例が示すような従来には見られなかった新しい動向が認められ始めている。それは TQC や JIT のような従来の日本の製造業のお家芸と言ってよい全社的な活動とは次元の異なる専門家グループ主導の改革の芽が出てきたことである。これは製造業のビジネスプロセスの改革が専門的な知識を要する領域に踏み込まざるをえなくなってきた事実を暗示している。

この点に関連して、圓川は次のように述べている [11]。「このように統合の範囲や質が拡大してくると、確かに“見えるようになる”効用は潜在的に大きいかもしれないが、それが真に生販のリードタイム短縮などのビジネス・スピード向上に結びつくためには、あらゆる場面で創造的な価値を生み出す部分での人の重要性や、実質的に“見えるようになる”ことになるための組織間の連携の必要性やそれを阻害する縦割りの組織の壁を打ち破る変革がむしろ重要であることがわかってきた。前者の意味では、CIM は自動化・無人化の“人を機械に置き換える”という発想に加えて、“人の能力を最大限に発揮させる”というパラダイムを加えたといっても過言ではないだろう。」このように、圓川は人間の創造性を重視する人間中心の CIM 実現を標榜しており、また本稿のキーワードになっている全体的最適化にも触れ、その実行における人間の役割の重要性が再認識されつつあると述べている。

人見 [12] もこれからの生産のあり方としてまず人間主体（フレキシブル）生産を挙げている。そこでは、技術中心的完全自動化（full automation）の欠陥を補う手段としての人間の必要性和労働者に技術者としての誇りと労働者の喜びを与えることの大切さを述べている。次に望まれるあり方として高付加価値生産を取り上げ、日本の製造業の効率の低さを指摘し、薄利多

売型生産から脱却するために各企業が独創的で高付加価値をもつ高度製品の開発・設計とゆとりのある生産によって、適正な利益をあげる必要性を述べている。その他、省資源・環境保全型生産および社会的適正生産を挙げ、これらのあり方の実現を期待する戦略的統合生産システムに CIM の未来像を重ね合わせている。

4. CIM と COM

4.1 情報の収集から創造へ

CIM や SIS（Strategic Information System）など近年発達した情報技術の利用形態においては、情報の収集、記憶、利用の手続きが広く用いられている。POS（Point of Sales）を利用した販売管理、POP（Point of Production）を用いた工場の進捗管理、製品設計における設計情報の再利用、各種のエキスパートシステムの構築はその典型的な例である。ところが、最近情報の利用形態についての新しい概念が生まれ、その重要性が理解され始めてきた。

それは、情報を創造し、それによって企業の経営目的や管理目的を効果的に達成しようとするものである。たとえば、衣装デザイナーは、高品位の画像処理システムを利用することによって、イメージに従ったスタイル画を瞬時に描画するだけでなく、スタイル画のモデルがまとう衣装の柄や色彩、さらに織維の質感すらも画面上にリアルに表現することができる。もちろん、画像形成に顧客が参加したり、また商品の実物がなくても商取り引きをその場で行なうことも可能である。

この手法は、画像を 3 次元に表現して、好みの角度から眺められるようにすると、ビルや住宅の設計、建物の内装の計画等にも利用できる。さらに、連続的に画像を形成すると、画像を見ているデザイナーや顧客は建物の中に入って内部を見て廻っているかのような錯覚をいだく。しかし、これは錯覚ではなく未来の存在物（もしそれを選択するならば）を時間の壁を乗り越えて見ているというのが正しいのかもしれない。このような技術は最近バーチャル・リアリティと呼ばれる [13]。

今述べた時間の超越は製造業において意匠設計や製品設計に限らず工程設計や工程管理においても行なわれ始めている。たとえば、冷延、鍍金、塗装を行なっている製鋼会社のある事業所では、現実の工場そっくりのシミュレータを大型コンピュータのメモリ内に構築し、リアルタイムシミュレーションを実行して生産計画が持っている問題点を事前に発見し、対応策を立

案している [14]。これも、バーチャル・リアリティの事例と考えることができ、実際にユーザはシミュレータを「もう1つの〇〇製造所」と呼んでいる。

読者はすでにお気づきのとおり“情報の創造”とはモデルの構築と利用であり、経営目的や管理目的に合致したモデルを構築し、ビジネスチャンスを生かしたり、ビジネスサイクルを短縮する情報をほしのままに作り出すことを指している。モデルの概念自体は新しいものではないが、その利用形態に大きな違いが認められる。問題はこのような変化を情報技術の連続的な進歩の1つの過程と考えるか、従来の経営技術や管理技術にイノベーションをもたらすと考えるかである。筆者の立場は後者であり、CIMにパラダイムがまた1つ加えられたと考えている。

4.2 新しいパラダイム COM の形成

すでに指摘されている“人間中心の CIM”というパラダイムと、前述した“情報の創造”というパラダイムは、本稿のテーマである“全体的最適化”のための具体的な方法を提供し、一方“全体的最適化”は組織全体の方向性を示すかじ取りの役目をし、それらが一体となって製造業の新しいパラダイムを形成しつつあるかのように見える。ここでは、このパラダイムを“COM (Computer Optimized Manufacturing)”と呼ぶことにしよう。

“COM”は米国でコンカレント・エンジニアリング (CE) 領域の一部の研究者間で次世代 CIM を指す言葉として用いられており [15]、その概念は明白にされていないが CE を重視する最適化を指向すると想像され、本稿で示す COM に包含される概念を持つものであると思われる。

COM を CIM 構築という連続的な試みの中での新しい目標として考えるか、CIM に替る製造業のトータル・システムを示す新しい包括的概念としてとらえるかは、“COM”を使用する立場によって変えればよいと思っている。しかし、いずれにしても情報技術の高度利用という点に関して COM も CIM の延長線上にある概念であることは間違いはなく、製造業で過去において蓄積された CIM の技術的資産の活用を前提とする必要がある。大事なものは CIM の概念との違いを意識し、COM 構築を製造業における新しい展開のトリガーとして用いることである。

CIM の概念は日本において幅広く解釈されているため、CIM と COM との境界は必ずしも明瞭ではな

い。そこで、両者の違いを明示するために、米国から当初学んだ CIM の概念をその原型と見なし、それと COM を対比してみたい。

- (1) キーワード 統合 (integration) に対して全体的最適化 (total optimization)。CIM が形態を重視しているのに、COM は目的指向である。
- (2) 基本概念 CIM が自動化・システム化を極限まで追求する技術的概念の色合いが濃いのにに対し、COM は製造業の理想的形態を目指す経営的概念である。
- (3) 方法 情報技術・自動化技術への依存度が高いのにに対し、COM ではそれらとともにあらゆる経営技術・管理技術を利用する総合的アプローチを用いる。特に、全体的最適化の観点に立った組織の改革を重要な手段とする。
- (4) 対象 生産プロセス中心からビジネス・プロセス全体に拡大する。製品開発・設計と製造プロセス (工程) との情報論的一体化とそれらの統合概念の差別化が企業の収益性改善に大きな意味を持つと考える。
- (5) 情報技術の利用形態 情報の収集・記憶・利用に対し、情報の創造が加えられる。いいかえれば、広い意味でのシミュレーションが方針決定、設計、運用を目的として日常的に利用されるようになる。
- (6) 人間に対する基本姿勢 自動化・システム化による人間の排除に対し、人間の能力を最大限に活用する仕組みの構築を重視する。
- (7) 経営者のマインド 巨額投資型改革から経営資源有効活用型改革に変わる。
- (8) 企業の目標 シェア重視の競争的優位から穏健な収益性重視にもとづく社会と自然との共生へと変わってゆく。

以上の対比をまとめると表 2 のようになる。

5. 全体的最適化と OR

5.1 全体的最適化の概念

COM を支えるパラダイムは全体的最適化であることを述べたが、はたして全体的最適化など実際にできるのかと疑問を持たれる読者が多くに違いない。確かに、全体的最適化はトータルシステムの最適化と考えられるから、トータルシステムを定義できない限り数学的な意味での最適化は不可能である。しかし、全体的最適化という言葉は間違いなく世の中に存在して、言葉としてその役割を果たしている。つまり、これに

表2 CIMとCOMの対比

| 項目 | CIM* | COM |
|------------|-------------------|--------------------|
| キーワード | 統合 | 全体的最適化 |
| 基本概念 | 技術的概念 | 経営的概念 |
| 方法 | 情報化技術と自動化技術への依存度大 | 組織改革を含む総合的アプローチ |
| 対象 | 生産プロセス中心 | ビジネス・プロセス全体 |
| 情報技術の利用形態 | 情報の収集・記憶・利用 | 情報の収集・記憶・利用+情報の創造 |
| 人間に対する基本姿勢 | 排除の対象 | 人間の能力の最大限の活用 |
| 経営者のマインド | 巨額投資型改革 | 経営資源有効活用型改革 |
| 企業の目標 | シェア重視の競争優位 | 収益性を基礎とする社会と自然との共生 |

*ここではCIMの原型という意味で“CIM”を用いている。

は部分だけを考えて最適化をすることが全体にとって無意義だったり、場合によっては弊害をもたらすという意味があり、部分的最適化の反義語として用いられている。

それでは、全体的最適化はどうすれば実現できるであろうか。もとより直接的な方法があるわけではなく、その方便として間接的な方法が考えられる。つまり、部分的最適化が実際に行なわれていないかどうかを調べ、行なわれていればそれを排除するというものである。しかし、部分的最適化を排除する上位のシステム・レベルでの最適化を行なってもそれが全体的最適化に寄与するという保証はなく、これがいま述べた帰納的アプローチの泣き所である。そのため、トータルシステムの“あるべき姿”を描き、その実現に役立つ最適化になっているかを確認したり、検証するという演繹的アプローチの併用が必要になる。

実際のところ、このような全体的最適化の方法論は日本の製造業で一般的に用いられていると言ってもよい。すでに述べたJITには全体的最適化の考え方が色濃く現われている。JITは、よく知られているとおり、1人の卓越した技術者大野の創意工夫の賜物である[16]。JITの中には彼の考案による多くのノウハウがあるが、その中で全体的最適化の例として際立っているのが、「ライン・ストップを恐れるな」という概念的な手法である。ライン・ストップは大きな損害をもたらすものであることは明らかであるが、むしろ必要に応じてラインを止め、その原因を顕在化してライン・ストップを必要としないラインを最終的に作り上げることが、全体的な目標である“ジャスト・イン・タイム”

に適っているという考え方を表わしたものである。

5.2 全体的最適化のためのOR

ORが大規模の問題や重要な問題の解決に利用されることの大切さを本稿の冒頭で述べたが、それは前節で示した全体的最適化という枠組みの中での利用の必要性を説いたものである。大規模の問題も重要な問題も企業の“あるべき姿”が明白に示されていたり、技術者や管理者の間で正確に認識されていなければそれらを定義すること自体が難しくなるため、“あるべき姿”の提示や認識がORの活用の大きな前提なのである[3], [17], [18]。さて、そのような前提の下でORを利用する方法は大別して次の2つに分けられる。

- (1) 戦略的なORの活用
- (2) 戦術的なORの活用

前者はCOMにおいて欠かせないORの利用法である。ビジネス・プロセスの革新にあたって何らかの改革案を提出する必要があるが、それらは通常リスクが伴うため、リスクを予見しそれを事前に最小化する手立てを準備しなければならない。また、仕事の仕方を変更する場合、必ずと言ってよいぐらい組織のイナーシャ（惰性）がプロセスの革新を進める障害になる。この障害を取り除くためには、組織の各階層の人々の理解を取りつけることが必要であり、改革の検討段階からの関係者の参加が望ましい。ORのモデルには時間の壁を乗り越えて予想される事態や状況を現出する情報クリエイターとしての役割と関係者とのコミュニケーションを円滑にする媒体としての役割が期待できる。特にそれがシミュレーション・モデルであって、

さまざまな条件の変化に応じて、システムのふるまいがどうなるかを目で再現できるアニメーションが実行できる場合、その効用は大きい。多くの人々の対話を実現し、意思の統一をはかる戦略的なORはCOM実現の鍵となるものである。

次に、戦略的ORの一例を示そう。生産方式の変更は製造業におけるビジネス・プロセス革新の代表的なものである。ある金型部品の製造業者は10,000点以上に及ぶ標準的な製品を製造している。顧客の注文に応じて24時間以内に製品を出荷することを基本方針としているため、従来は需要予測にもとづいて製品在庫を保有していた。しかし、製品の多様化によって在庫量が増大し、在庫費用の増加が収益を圧迫してきたため、生産方式の変更を迫られていた。新しい生産方式は製品在庫量を大幅に削減してその代りに中間在庫を保有するものであり、ポートフォリオ効果によって在庫費用の縮小が望める。だが、この方式を受け入れるためには、受注後に中間在庫品を加工して24時間以内に出荷できる生産体制の確立が前提となる。

そこで、約2,500種の製品と約300種の中間在庫品を取り扱う生産・在庫システムのシミュレーション・モデルが開発され、従来の生産方式と何通りかのオプションのある新生産方式を比較検討するためのシミュレーションが行なわれた。その結果、原材料・中間在庫品を資材として行なう加工の発注サイクルを5日から1日に短縮するとともに、原材料・中間在庫品への注文の割付け方式をロット割付けから混合割付けに変更することにより、在庫費用の約70%の削減とともに受注後24時間以内の製品出荷ができることが明らかになった[19]。

この結果にもとづき、その製造業者は新生産方式導入のための詳細な検討を始めることにした。新方式の構想自体は以前から企業内で話題になっていたが、新方式が持っているリスクに対する明確な評価が得られず、その実現に向けて踏み出せなかった。経営上の意思決定とその実現に役立つ情報を創り出す、いま述べたような戦略的なORの利用法に、ビジネス・プロセス革新の手法としての大きな期待が持たれ始めている。

戦術的なORの利用法はシステムの最適設計や最適運用をはかるためにORを用いるもので、ORの利用においては長い歴史を持っている。しかしながら、すでに述べたとおり、情報技術の未発達やORの手法自体の未成熟のために、必ずしもORが製造業で十分に活用されてきたわけではない。むしろ、製造業の抱え

る重要な問題、とりわけ大規模の問題に対して全体的最適化の観点からORが効果的に利用されるようになったのは最近のことである。大規模な問題とは言い難いが、全体的最適化の問題を取り上げたORの事例を紹介しよう。

これは前述の事例の戦術的レベルの問題を取り扱ったものである。すでに述べたように、新方式を導入する前提として発注サイクルの短縮と混合割付け方式の実施が示された。しかし、従来の生産方式で発注サイクルを5日にしていたのにはそれなりのわけがある。金型部品の製造工程の主要部分は鉄鋼の大板を縦方向に切断して幅の異なる条材を作成し、それらの条材をさらに横方向に切断して長さの異なったさまざまな製品の部材を作るというものである。さて、主要な製造工程である大板の切断作業と条材の切断作業を行なうにあたっては、さまざまな注文を資材に割付ける問題(cutting stock problem)を解く必要がある。これは製造業の典型的な組合せ問題としてよく知られており、整数計画法が利用できる[20]。割付け問題の解の有効性の尺度としては、通常歩留りが取り上げられ、この製造業者でも歩留り98%以上が割付けの要件として定められている。従来は、ヒューリスティック・アルゴリズムを用いて割付けを行なっていたが、歩留り98%以上の割付けができない場合は、コンピュータが作成した解を手直しして使用する。また、発注サイクルを短縮すると注文の種類と量が減少し、良い割付けがしにくくなる。このような歩留りの特質と人間の時間を考えて、発注サイクルを長く設定してきたいきさつがある。

最適な発注サイクルを検討するためにサイクルが長い場合でも計算時間の爆発的増加の心配がない遺伝的アルゴリズム(GA)が用いられた。しかし、アルゴリズムがいかによいものであっても、発注サイクルが短い場合は注文の組合せが制限されよい割付けができないことは明らかである。そこで、歩留りを高めるためには受注量の多い注文を見越して実際の注文に加えて割付けることが望ましいが、これは在庫量の増加をもたらす危険がある。一方、発注サイクルを長くすると、生産リードタイムが増大し受注後24時間以内出荷という基本的要件が満たせなくなる。それゆえ、資材への注文の割付け、注文の加工順序の決定を含む受注、生産、在庫、出荷の全体の業務を表わしたシミュレーション・モデルを構築し、最適発注サイクルが求められた。

発注サイクルをパラメータとして3カ月間のシミュレーションを実行し、サービス率(24時間以内の出荷の確率)、平均在庫量、歩留りに及ぼす影響を調べた(図1参照)。その結果、発注サイクルを1日に短縮することによって、サービス率はほぼ100%まで上昇するとともに、在庫量も最小化できること、一方、資材の歩留りも平均99%を維持できることが明らかになった[21]。今後、全体的最適化を指向するORの応用において、この事例に見られるような数理的最適化のモデル(この場合はGAを使用)をサブモデルとする多重構造型の大規模シミュレーションモデルを用いる機会が増えてくると考えている。

5.3 定性的ORへの期待

ORの特徴は定量化にあり、問題の定量的な取り扱いによって問題点を明らかにしたり、新しい方策や方式の有効性を人に説明することができる。しかし、定量的に取り扱える問題 — たとえAHPやファジィ理論を用いても定量的な枠組みの中での展開であることには変りはない — に対象を限るならば、ORの魅力は半減する。というのは、全体的最適化の実現は、すでに述べたとおり、“あるべき姿”の創造と“部分的最適化”の発見・抽出のいかんにかかっている。特に“部分的最適化”は組織と関連して生じることが多く、組織の問題はコミュニケーション上の障害、情報経路の迂回などその解明や解決には定量的方法よりも人間

の持っている直感にもとづく定性的な方法がものを言うからである。

CIMは、情報の一元化を目標としたシステム開発や情報インフラの整備によって部門間の情報の流れの停滞の排除や迅速化を促進し、部門間の機能的統合をいままで実現してきた。しかし、多くの製販統合の成功例が示すような部門間の理想的な連携が、情報化によって製造業の各部門間で今後実現してゆくという期待は楽観的である。むしろこれからは全体的最適化の観点から組織のあり方に客観的なメスを入れる努力が必要であり、その場合本来ならばORが備えているべき創造的発想や論理的思考に期待するところが大きい。

“部分的最適化”の発見・抽出、ならびに“全体的最適化”の観点に立った解決策の検討・提示のために企業内でタスク・フォースが形成され、ORワーカーがIEr(インダストリアル・エンジニア)や情報技術者などとともにそれぞれの専門的な立場から問題解決に貢献するという構図が現実のものとなる日がくることを願っている。

6. おわりに

人間の能力を最大限に活用し、たえず進歩する情報技術を効果的・効率的に利用しながら製造業の全体的最適化を指向するCOMは、新しい製造のパラダイムとして多くの製造業にとって検討に値するものである。全体的最適化を実現する方法論はまだ創成期にあり、

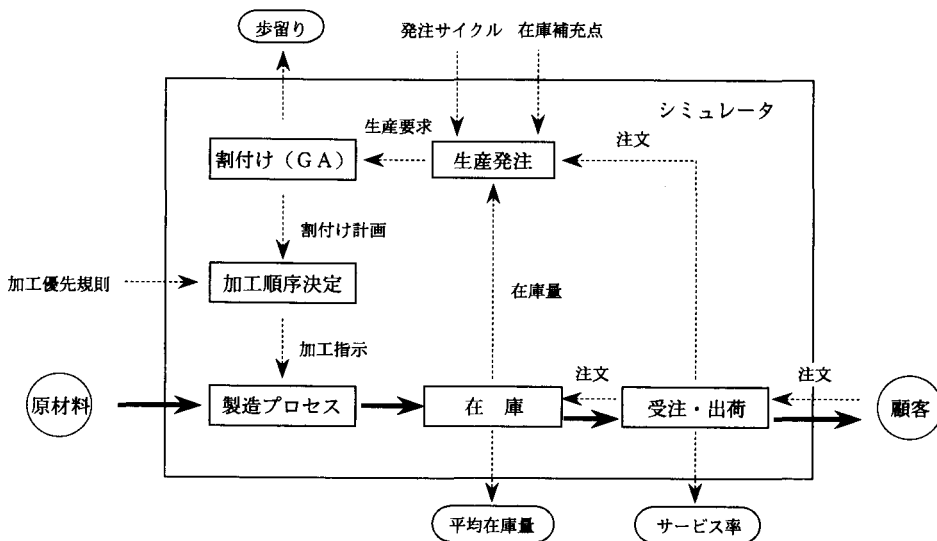


図1 受注・生産・在庫・出荷シミュレータの概要*

*実際に構築したモデルは製造プロセスが2段階から成り、在庫が中間在庫と製品在庫に分かれている。

今後多くの研究と実践を必要とする。われわれの関心事であるORは、全体的最適化の枠組みの中でその潜在的な能力をよりよく発揮するにちがいない。ORがこれから企業でどのような評価を得るかは、ORの方法が今後備え得る性能や機能よりもむしろ、「ORをどう使うか」、「ORをどのように考えるか」というORワーカーの現実問題解決に対する姿勢いかにかかっていると行ってよいと思われる。

参考文献

- [1] W. ダビドゥ, M. マローン (牧野 昇 監訳): 「バーチャル・コーポレーション」, 徳間書店, 1993.
- [2] 伊倉 義郎, 名原 和弘: “石油精製業における生産計画スケジューリング問題へのアプローチ,” 生産スケジューリング・シンポジウム'94 講演論文集, 日本OR学会, pp. 37-42, 1994.
- [3] 伊倉 義郎, 名原 和弘: “石油精製工程スケジューリングへの数理計画法の応用,” オペレーションズ・リサーチ, Vol. 40, No. 5, pp. 255-260, 1995.
- [4] 米田 清, 藤原 睦: “半導体生産工程のシミュレーション,” オペレーションズ・リサーチ, Vol. 38, No. 11, pp. 578-582, 1993.
- [5] 日経メカニカル (創刊7周年記念CIM特集), pp. 58-120, 1986. 4. 7.
- [6] P.G. Ranky: Computer Integrated Manufacturing, Prentice/Hall International, 1986.
- [7] J. R. Rajasekera and M. Kuroda: “Advancement of Company-wide CIM in Japan,” Proceedings of the 2nd International Conference on CIM, pp. 29-34, 1993.
- [8] 小川英次: “「かんばん」精神の強化に動く CIMへの取り組みは段階的に,” 日経メカニカル (創刊7周年記念CIM特集), pp. 102-108, 1986. 4. 7.
- [9] “製販一体型CIMのカギ握る生産リードタイムの短縮,” 日経メカニカル, pp. 16-32, 1992. 3. 2.
- [10] “売れるものをタイムリーに作る,” 日経メカニカル, pp. 26-79, 1990. 4. 2.
- [11] 圓川隆夫: “CIMそしてIMSに向けて,” 経営システム, Vol. 2, No. 1, pp. 4-11, 1992.
- [12] 人見勝人: “これからの戦略的統合生産システム,” 自動化技術, Vol. 25, No. 5, pp. 34-38, 1992.
- [13] 藤本英雄 (編著): 「人工現実感の展開」, コロナ社, 1994.
- [14] 溝口泰弘: “生産・物流管制センターのためのリアルタイム・シミュレーションシステムの開発,” 経営システム, Vol. 1, No. 2, pp. 141-148, 1992.
- [15] H. H. Jo, H. R. Parsaei and W. G. Sullivan: “Principles of Concurrent Engineering,” (Concurrent Engineering, pp. 3-23, Chapman & Hall), 1993.
- [16] 大野耐一: 「トヨタ生産方式 — 脱規模の経営をめざして —」, ダイアモンド社, 1978.
- [17] J. R. Rajasekera: “光ファイバーケーブル工場における対話型スケジューリングについて,” オペレーションズ・リサーチ, Vol. 40, No. 5, pp. 250-254, 1995.
- [18] 永井 恵, 田村亮二, 中川義之, 谷崎隆士, 中島 洋: “分散環境によるマン・マシン協調型スケジューリングシステムの構築,” オペレーションズ・リサーチ, Vol. 40, No. 5, pp. 261-267, 1995.
- [19] M. Kuroda and K. Takeda: “Simulation for Evaluating Alternative Manufacturing Strategies in the CIM Environment,” Proceedings of the 2nd International Conference on CIM, pp. 454-460, 1993.
- [20] C. H. Cheng, B. R. Feiring and T. C. E. Cheng, “The Cutting Stock Problem — A Survey”, International Journal of Production Economics, pp. 291-305, Vol. 36, 1994.
- [21] 竹田 賢, 黒田 充: “一次元割付けにおける歩留りを考慮した切断スケジューリング,” 生産スケジューリング・シンポジウム'94 講演論文集, 日本OR学会, pp. 48-53, 1994.