

製造業における源流管理

——コンカレント・エンジニアリングと人工現実感の寄与——

長 岡 一 三

- I. ま え が き
- II. 従 来 の 対 応
- III. これからの対応のポイント
- IV. 具体的な方法
- V. あ と が き

I. ま え が き

これからの製造業において最も重視しなければならない点は、従来にもまして社会の公器を自覚しながら、従業員に生きがいと豊かな生活を保証しつつ、個々の顧客のニーズに常に的確に反応する商品を安価に提供しつづけるということである。

このために顧客のニーズを早く正確に把握し、それに最も適応した商品をつくりあげて、いち早く顧客に届け、しかも適正な利潤を確実に得るために、様々な方法をあみ出してこれを実行するということである。

ここでは、製造が軌道に乗るまで、すなわち商品の企画段階からはじまって量産に至るいわゆる製造活動の源流部分について、上に述べた背景のもとに、とくに創造性を求められるこれからの仕事に対する取組みについて考察をする。

II. 従 来 の 対 応

新しい商品がつくりだされる従来の過程を考えると、常に顧客のニーズに耳を傾け、ニーズがキャッチされたとき、あるいは自社に新しいシーズが生まれたとき、企画部門を中心として、それらに適応した商品がどのようなものであって、それが市場に提供されたときの社会に与えるインパクトとともに、商品の量、品質、期限といったものが検討される。そして必要な設備、人、方法、素材の調達を検討した上で大まかな企画がつくられ、利潤の確保がほぼ確認された段階で、検討業務は企画部門の手を離れて開発または設計部門に移される。そして引き継がれたこれらの技術部門では、その取組みに当たって、まずシステム選択のために、使用上の諸問題については、随時仮想モデルに対してCAE(コンピュータ援用エンジニアリング)などによる解析が行われ、製造上明確でない点については、関係部門と協議が繰り返され、

組立性評価法(DAC)なども参照しつつ、製造の可能性はもちろん、部品の手配、作業の手順などに至るまで一応の確認が行われる。そして品質、原価、納期などを勘案して設計定数(システムパラメータ)が決定されて、許容差設計、公差の決定を経て(ここまでをCADコンピュータ援用設計で行いたい現状ではほとんど不可能である)、それらの確定したデータを用い、はじめてCADによる作図(この場合のDはDraft)という作業が実行されて、製作のための図面が作成される。そして図面がほぼ完成に近付いた段階で何度かDR(Design Review)による検討会議が持たれ、関係者のアドバイスを得ながら図面の修正が実施される。

このように企画から設計に至る過程は、従来直列形で行われたために多くの問題が派生した。例えば企画部門では開発部門や設計部門との連携プレーが必須であるにもかかわらず、それが不十分なために、とかく独断的な企画が生まれがちであった。また開発や設計部門でも、実際の生産に際しての材料や工程を明確にするために、試作部門や製造部門と徹底的な打ち合わせが持たれなければならないにもかかわらず、その対応が十分尽くされないままに、できた製作図面が製作しにくいものであったり、できあがった製品の機能が当初の意図とかけはなれたものになるといった現象がしばしば起こっていた。最後にDRで締め括る場合にも、大幅に設計を変えるなどということは製品の納期などを考えるとき、時はすでに遅いというのが実情であった。

さらに個々の技術にも問題が多い。まずCAEについて、現在の一般的な市販のCAEでは、同一の場にはいない多人数の関係者が同じ対象物をコンピュータ上に置いて知恵を出し合い合議できるような場を持つということはきわめて困難であり、これからの設計検討に必須の手法とされる、顧客、社会、そして企業の利益に繋がる「品質工学」や「人間工学」などに関するデータを加味して検討できるようなソフトもなく、生産以降の様々な工程設計を包括しているようなもの—文字通りエンジニアリングができる—ものもない。そこで必要に応じて適宜組み合わせを変えながら、一括して検討の俎上に載せるために、それらの個別のソフト(例えば、品質工学であれば計量研究所が開発したCAMPS—コンピュータ支援による計測と工程の設計と管理システム、品質機能展開であればITI社のCAPTUREといったもの)を別に動かしながら、CAEの実行過程でそれらの答えを人間が判断しつつ意識的に取捨選択しながら、計算を進めなければならないのが現実である。従ってそれらのデータに対する取り扱う人間の判断次第で、全体の結論に差異を生ずるということになる。

CAEの場合、筆者が数種類の市販のソフトを実用した経験からいえば、CAEで正確な答えを得るためには、現在最も一般的なCAEの手法であるFEA(有限要素解析)のソフトからして、操作の煩雑さや、解析モデルの作成に要する時間の長さといった問題はおくとしても、例えば対象物の構成材質の差異に対する見方、経時変化や耐久性についての考え方、締結支持部分の取扱い方、メッシュの切り方などについて、数多くの実験結果を踏まえそのデータに裏

注) 市販されている実用的なCAE(CADもほぼ同断)のマニュアルは膨大なもので、例えばパソコン

打ちされた場合にのみ可能であるということである。

実例として、筆者並びに、F E Aにはほとんど経験のない理工系の学卒者3人に各種の市販のソフトの手ほどきをして、圧延機のワークロールの軸受箱（チョック）の解析をさせた結果、例えば軸受箱の最下点（下ロールの場合、上ロールなら最上点に当たる）内径位置に発生する最大変位に、平均値に対して11.5%のばらつきを生じた。さらに問題なのは、その平均値が、実験にも通曉しているF E Aの経験者が行った計算結果を基準とした時、それと18.0%の差異が認められたという点である。鋼板の板厚精度に影響を及ぼす軸受箱の変形にこれだけの差異があるということは、徹底した薄肉化が迫られている軸受箱の設計に際して、とうてい許されることではない。しかし、さらに3種類の市販のソフトで、それぞれのメーカーに条件を提示して計算を依頼した結果をみると、上述の熟練者の値を基準としてそのばらつきが18.3%に達した。因みに、この場合、材料の破損に繋がるとされる、せん断ひずみエネルギー定説の von Mises 応力の最大値を比較しても、軸箱の最下点（下ロールの場合）外側位置で、計算者間のばらつきが14.5%、さらにソフトメーカー間のばらつきも、その平均値に対して14.6%であった。加えて一社の計算では応力の最大値が当該位置にはないという結果が得られた。

従って市販のソフトに頼って安易な姿勢で解析に臨めば、得られる答えは実際と大きく食い違うことが考えられる上に、ここにさらに人間の不確定な判断力が加わるという実態からみて、経験豊富な人間の操作が期待できない限り、市販のほとんどのC A Eソフトによつて的確な予測（真の形状最適設計）を手中にすることは、現在の段階では、とうてい不可能といえるようである。

またC A D（Dはこの場合 Design を意味する）についても、顧客の意見はもちろん、法規や過去に蓄積されてきた社内の諸データや方針に至るまで容易に呼び込むことのできるいわゆる「知的C A D（インテリジェントC A D）」とよばれるものの充実が急務である。筆者自身で数種類のC A Dソフトを実用した結果からすれば、C A Eと繋がっているという触れ込みの高価なソフトを使用した場合でも、C A Dが設計者の意図を理解したり、設計者の意志に応じてシステムが適正な指示や示唆を与えるということはほとんど皆無であるといってよい。そしてモデルの作成に当たっても、孤立無縁で自身の記憶や耳で他人の教示を仰ぎながら、マニュアル類を参照しつつ進める設計作業において、設計者への負担というものは極めて大きいものがある。そして描画（Draft）に際しては、個々の設計者の資質と能力に頼る従来の設計と大差のない程度の、操作に関する技能的な知識と訓練が必要であり、しかもその操作知識が値段に比例して膨大複雑になり、その全てを記憶していなければ戦力が半減してしまうようなソフトがほとんどであるといっても過言ではない。

\\ンペースのソフトが開発されて普及しはじめた EMRC 社の NISA II などはA4サイズで3千ページにも及ぶが、その内容も概念の説明が少なく、操作方法もシステムからのメッセージ、プロンプト、メニューのワークで、ディスプレイを見ながら理解できるようになっているとはいいがたく、その製本の不親切さとも併せ、ビギナーならずとも手にあまるものが多い。

筆者は、設計作業には長年の実績を持っているが、CADには全く未経験の設計者に簡単な機械要素の設計をさせた場合、所要設計時間と設計繰り返し回数の関係について実験したことがある。その詳細は省くが、設計時間は繰り返しに対して最初ほぼ一次的に低減して行くが、その実験式の方向係数は、とくに年齢との関係が深く、中年（45歳）以上になると急激に0に近付いていくということ、またソフトが変われば操作も新規巻き直しに近いが、これはとくに年齢との交互作用が強く、中高年ではほとんど前に使用していた別のCADにおける熟練の成果を期待できないということが分かった。

現在のCADにはまだ問題が多いという指摘は、単に筆者一人の見解ではなく、長年CADを使い込んだユーザからも同様の声があがっている⁽¹⁾。また、こうして描かれた図面に関しても、最近、日本機械工業連合会、国際ロボット・FA技術センターがCADと直後の工程であるCAM（コンピュータ支援加工または生産）とのデータ交換や情報伝達すら不十分と感じているユーザが多いとの調査結果を発表している⁽²⁾が、CADがその程度のものであるというこの現実には、筆者自身使い込んでみて痛感させられてきたところである。

III. これからの対応のポイント

これからの製造業では、上に述べた連携プレーや打ち合わせが単に人と人との間で行われるのではなく、多様な情報がコンピュータによって洩れることなく伝えられ積み上げられるということ、そしてISDN（総合デジタル通信網）やインターネットなどを利用することによって多数の人間と対象物との交流（CSCW Computer Supported Cooperative Work. グループウェア、これをさらに広くグループテクノロジーと総称している場合もある）を可能にし、さらにそれをAR（Artificial Reality 人工現実感。人工現実感には遠隔現実 Tele-reality と、仮想現実 Virtual Reality が含まれている）によって仮想作業環境を起点として、空間共有の概念が導入され、疑似体験などを通じて、より正確確実に把握されることが必要である。こうすることによって同時期に対象物をより多面的にみて、多数の人間のアイデアの集約を計ることができるようになる。そこには過去に蓄積された関連商品の設計、製造、販売、原価に関するデータや法規、さらに経営指針なども折り込まれ、必要な情報が具体的な制約条件として実感でき、さらにこのようにするべきであるといった示唆などが、洩れなく示されるように配慮されていなければならない。

またこのようにすることによって、これらの企画の推進に当たっては、顧客の参画も求めて、実際の体験を通じて部品の細かい仕様にまで彼らの意向を尊重し反映して、顧客が自身で自分のオーダーメイドの品物をつくり上げているという実感を持たせることも可能になる。

いずれにしても、これからの製造業の商品開発には、日本でトヨタ自動車が開発主査制度を設けて先鞭をつけ、RAD（新車開発総責任者）制度で実績を挙げた本田技研工業などとくに自動車メーカを主体に普及し、その後日本的生産の長所を取り入れようとした米国企業の支援

のために、米国防高等研究計画局（DARPA）が1980年代に研究を始めたといわれる、企画設計時点における「コンカレント・エンジニアリング（Concurrent Engineering または Simultaneous Engineering）」の精神を、従来の開発と試作段階程度の間といった狭い範囲にとどめることなく、さらに広範囲に深く推し進めることが必要で、このためにはARなどの新しい技術を駆使した情報処理がポイントになる。

ただしこれらの前提には、単に WAN（Wide Area Network）や PDM（Product Data Management）システムを構築するというだけでなく、様々な分野で人間の知恵をコンピュータに教え込む方法と、多様な情報を相互にリンクする仕方、そしてこれらに対処する人間の心技に渡る教育などに、より深い研究と洞察が必要であることを理解して置かなければならない。

IV. 具体的な方向

1. コンカレント・エンジニアリングの推進

コンカレント・エンジニアリング（CE）という言葉は目新しいが、実は上述した通り日本ではこの言葉が意味するような「開発と設計との並進」、あるいは開発から最終の出荷までも並列・同期化するという手法は、すでに第二次大戦後の経済復興に際して自然にみだされた知恵として存在してきた。ただし、日本の場合のそれは、大部分が人間のコミュニケーションや熱意によって支えられてきたものであって、コンピュータなどによる正確で洩れない情報（ただしその情報をインプットするのは人間である場合も多い）の上に立って行われる「人間の判断」で進められるというものではないという点が、新しいコンカレント・エンジニアリングとは大きく異なっている。

ここで人間が記憶したり人間同志お互いの気配りに頼っているという事実は、人間の技能、判断力、対応能力といった力量次第によるということであり、また同じ人間でも恒常的に同じ能力を発揮し続けるとは限らないという点などに問題がある。事実最近不況からの脱出を意図して、あらためて既存部品の見直しを実施した企業が、寸法の僅かに違う部品がこの数年大手を振ってまかり通っていたという実態に、驚きを新たにするとともに、部品を共通化して、部品点数を半減あるいは数%にも減らすことができたなどという実態が、多数報じられるようになった。⁽³⁾ また、これを支えてきた人間についても、ここ数年来若い優秀な人間の製造業離れが次第に深刻になり、転職にも抵抗感が少なく、かつそれが日常化する傾向にあり、単に員数合わせの人間も増加して、その企業に骨を埋める覚悟とか、生産に対して身を挺して努力するというような姿勢が次第に影をひそめつつある。もちろん製造業自身でも従来にも増して従業員の教育や訓練には努力をしているが、これからの製造業では当然この対応を視野に入れて置くことが必要であり、さらに海外へ進出した場合にはこういった事態への対応は必須のものと考えられなければならない。

また人間の持っている情報自体の処理にも問題が多い。筆者の経験では、従来ほとんどの製造業で、それぞれの分野で個々の人間が、製造、販売、アフターサービスなどの過程で耳にし体験したデータを個人的に所持しているが、これが情報として吸い上げられ、基準を考慮して取捨されたり、演繹あるいは帰納されて、誰でも活用できるように加工されるということが少なく、さらにその実用の過程で他の情報を併せて補完され、より使いやすいようにリファインされるということがほとんどないという事実が問題である。

さらに情報の内でも、従来、企業に製品の社会に与える影響について考察するという習慣や、環境、資源に対する関心が乏しかったために、関連する情報の入手ルートも比較的脆弱で、情報の評価や選択にも定見を欠くという企業の実態が改善されなければならない。日本における最近の「リサイクル法」の制定、「廃棄物処理法」の改正、「産廃施設整備促進法」の審議や、世界的にも、環境ISOと略称されている「ISO 14000」の審議の進展などともなっており、素材から製品に渡る広範な情報が提供されるようになっているが、それらの情報を自社の製品に的確に結び付けていく手法が学ばなければならない。

なお最近、従来の日本の製造業が得意としてきた、現場での改善一本槍のステップバイステップ活動に加え、広く関連部門に参加を求めて、情報革命をキーとして現状の否定から出発、トップダウンで飛躍的な解決のための戦略を打ち出し、その後日本式のボトムアップに転換して、その戦略の現場への定着を図るために一人一人が改善を進めるという方式、いわゆる「リエンジニアリング」によって、従来のステップバイステップ活動よりも半分以下の短い時間で目的を達成しようとする活動が海外で成果を上げている。日本でも今後はこのような手法が効果を生むものと考えなければならないが、そのためにもコンカレント・エンジニアリング手法はその実行のためのポイントのひとつとなる。⁽⁴⁾

CIM（コンピュータ統合生産）などの企業活動の流れに乗せて、コンカレント・エンジニアリングへの対応を組織的に構築して、人間どうしのコミュニケーションや製造設備の機能のあり方などを、風通しよく協調的に、またフレキシブルな姿勢で効率よく進めようという議論⁽⁶⁾や、その具体的な動きも顕著になってきた。例えば最近発表されたYHP社の八王子事業所⁽⁷⁾の場合は、市場ニーズの複雑化、競争の激化、製品ライフサイクルの短縮化などの背景のもとに、今後益々重要になってくる新しい商品の開発期間の短縮化と、各セクションの役割の複雑細分化によるコミュニケーションの不徹底さ、さらに企画や設計部門などの源流部分が持つ商品の品質、原価、納期に対する影響力の大きさなどについて、あらためて認識された結果、1980年代からコンカレント・エンジニアリングを実現するための方策として新しいCIMである「MPN (Manufacturer's Productivity Network)」の構築をはじめた。同社ではこのために、設計作業に対して、工程設計などの同時設計や製造工程を考慮するように徹底し、開発と生産情報の共有化とその有効活用を図り、開発時点で3次元ソリッドモデリングシステムと解析シミュレーションシステムとを駆使して、理論的に設計、評価、製造方法、製造設備

などを行う技術を確立して、企画段階で関係部門間の合意を取り付けた後は、各部門が自律的に行う並列作業を前倒しでするようにした。

しかし、このようなシステムが効率よく機能するためには、まず設計が後工程を十分に考慮すること、そしてその技術情報が後工程で利用しやすい形になっており、かつそれが適正に管理されていることと、後工程の情報がいち早く設計にフィードバックされるということがポイントになる。こうして技術情報の「データベース」の構築ということが最重要課題になってくる。同社のMPNではこの「データベース」をCIMにのせて、企画、開発から商品を市場に提供するところまで、さらに最近ではアドバンスCEと称して、利益を得て投資を回収するまでの期間を対象として、ネットワークを張り巡らそうとしている。さらに、この種のコンカレント・エンジニアリングの支援ソフトも市販され始めているが、例えばオージス総研社などが開発中のものでは、オブジェクト指向の技術を導入することによって支援を行うので、前後工程が見通せ、技術情報の利用が容易なアプリケーションの開発ができ、設計期間を大幅に短縮できるなど画期的な効果が期待されている。

しかしこのようなコンカレント・エンジニアリングを実現するためには、情報が誰の目にも的確に見えているということが大切である。

2. ARの意義

これを解決する手段のひとつとしてARの利用ということが考えられる。ARでは音声や視覚を通じて臨場感を体験でき、立体感のある画像から実体をとらえやすく、各種の計算や、設計などに当たって、顧客を含めて多数の関係者の意見や知識、そして知恵といったものを引き出しやすいという以外に、コンピュータ内部の仮想工場に必要な品質、原価、納期などに適合した製造が可能であるかどうかなど、材料や部品の調達や作業手順をシミュレーションして、工程やスケジュールを確認することも比較的容易である。ただし従来の段階では高価な割にそのレベルは低く、ようやく最近になって広範な情報を用いて対象表現を行うプロダクトモデルが提案されたり、ロボットの形状表現、干渉チェックなどのシミュレーションが実現し、CAEにも適用されるようになってきた⁽⁸⁾。また仮想環境におけるシミュレーションについても、実世界の工場を仮想体験する遠隔臨場感制御システムである仮想工場と実際の工場とが情報のやりとりする実仮想統合形生産の高度化や、実際の作業を総合的にモデル化する作業を、モジュール構造や分散シミュレーションを導入して進めようという機運が盛り上がってきて⁽⁹⁾、これがコンカレント・エンジニアリングの手法に新しい活気を添えることが期待されるようになった。

(1) CAEについて

上述したように、現在市販のCAEでは操作者の過去の経験の程度が処理結果に大きな影響を及ぼす場合が多く、対象モデルを「品質工学」や「人間工学」などの面から多面的にとらえ

ということも難しい。そしてさらに大きな問題は遠隔地や実作業現場との協同作業が困難であるということであり、操作者自身も彼の前後に位置する工程との交流に比較的消極的であるという点である。これらを解決するためには、まず操作者の取組み姿勢からはじまって、製品に対する人間の感性の問題に至るまで、データベースを利用するエキスパートシステムによってコンピュータが自律的に適時に適切な対応をすることと、会話などを通じて常に簡単に最良のガイドが期待できること、そして多数の人に実体験の場が簡単に提供されることが必要である。もちろんそこには企業活動全体の流れの中で、社会への影響や、リサイクルも含む様々な制約条件をコンピュータが知悉していて、操作者の操作を制肘したり支援をする。しかもそれらのデータが、エキスパートシステムから内挿的に得られるものばかりではなく、データとして記憶していて推論したり、学習的シミュレーションからは得られない領域にまで踏み込むことのできるシステムであることが望ましい。つまりいわゆる創造的シミュレーションが可能なシステムが要望される。ここでいう創造的シミュレーションとは、一般的にいわれている、コンピュータに新しい材料、新しい構造、新しい加工技術などに関する統一的な法則を教えることによって、従来になかったものを生み出そうとするといった、万事が機械任せということではなく、すでに存在する情報はもれなくコンピュータが記憶している上に、現実企業活動の実務に携わっている多数の人達、あるいは必要に応じて多数の企業内外の識者が同じ立場にたってそれぞれの意見を交換し、新しい発想を競う場がコンピュータの中に持たれ、そこに新しい創造作業が練り上げられるということである。

ここにARの発展が大きな意義を持つようになる。最近NTT社やNEC社がARで行う共同作業として、視線の位置を調べる位置・角度センサ、操作者の視野と同じ映像を撮影する電荷結合素子(CCD)カメラ、操作者の目に映像を投影する液晶ディスプレイ、音声の送受機で構成する離れた場所での作業⁽¹⁰⁾について発表している。さらにNEC社では、共同デザイン実験システム、直接に手で仮想物体を扱うダイレクトハンドリング方式、そして遠隔地の人たちと仮想空間を共有するための分散形VR通信制御方式を開発して実験に成功している。

なお、この分散形VR通信制御方式は遠隔地間で情報を共有化する方式で協調作業の要になるものなので若干触れておく。この方式では各参加者のワークステーションがそれぞれ仮想世界の情報を持ち、その仮想世界をグラフィックスで表示し、参加者の操作によって仮想世界が変更された場合には変更情報を通信しあって同一性を保つというものである。この方式は、1台のホストコンピュータがあって、それに複数の端末からアクセスして、ホストコンピュータが持つ仮想世界の情報を各端末から操作する方式であるから、ホストコンピュータが3次元の仮想世界情報を持っていて、その内容を操作者ごとの視点に応じたグラフィックスにして各端末に送る処理を絶えず行う集中形のARに比べて、より高速な表示が可能になるとしている。⁽¹¹⁾

すでに筆者は「創造機」というものを提案しているが、仮想生産のためのコンピュータ・シミュレーションの展開としては、例えば図1のようなイメージの上に、さらに企画、設計から⁽¹²⁾
⁽¹³⁾

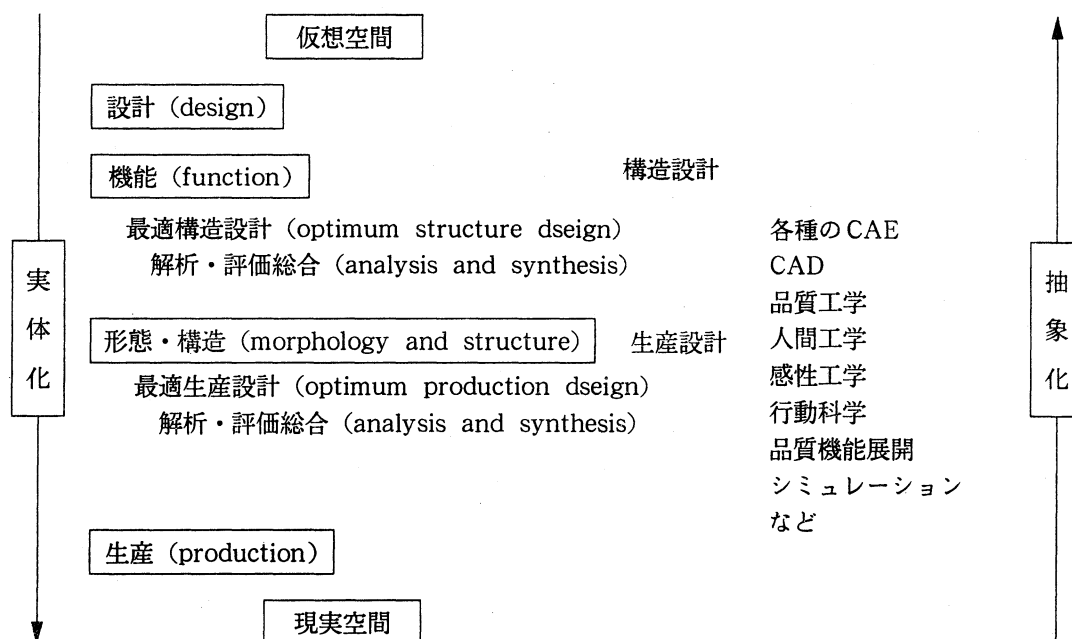


図1 仮想生産の展開

生産、販売に至る広範囲の関係者の知恵を積み上げられるようなチャンネルを設けることが必要である。筆者の「創造機」では関係者をそれぞれの専門分野に固定して考えるということではなく、全ての領域にまたがって自由に発表させることによって、かえって有意義なアイデアが期待できるというものである。この場合ARを応用すれば実情に疎い関係者にも問題の所在を明確にすることが容易であり、彼らの新しいアイデアも専門家に分かりやすく理解してもらえると利点がある。

なお、これからの製造業が仕事を進める上で重視しなければならないもののひとつは、いわゆる「ロバスト（頑健）」を求める「品質工学」である。また顧客に的確にフィットする商品を提供するためには、それを使用する人間を対象とした「人間工学」の追及ということだけではなく、満足度の高い職場からよい製品が生まれるという事実⁽¹⁴⁾からも、製品そのものをつくりだす人間に対する「人間工学」を考えなければならないということである。「品質工学」はいわゆる「タグチメソッド」⁽¹⁵⁾に代表される比較的新しい思想であり、安定性の高い設計基準をできるだけコストを上げずにつくるために、「パラメータ設計」などを行うという考え方である。この方法は、新しい商品の設計や加工工程にも、また従来の製品や工程の見直しに対しても画期的な威力を発揮する。筆者の実験でも利得（最適と現状との差）が数十%のアップから数倍に達するデータが得られたことも多いが、再現性をみると、経験者の判断に任されている因子や特性値の選び方が結果に大きな影響を及ぼしていることがわかる。例えば信号と出力の関係を調べる時、明確な誤差因子を取ってその調合が正しければ、他の偶発的な誤差条件に影響されないということがないが、誤差因子の影響に繰り返しのばらつきのあるような偶然性のあるものを取上げた場合には、最適条件に近づく程出力に差がでず、再現性が悪くなる。この「品質

工学」はとくに従来人間の技能で補われてきた下流の製造工程を、源流（技術開発や設計などの時点）に遡って、「パラメータ設計」によって確実なものにして置くことができるという点で、これからの日本の製造業にとって活目に値する手法といえる。そこには品質を社会的な観点で損失としてとらえ、社会のとのかかわりを明確にすること、品質特性を最適化するための評価尺度を作成すること、混合型直交表による実験を行うこと、品質とコストとのトレードオフで工程管理の最適化を図ることなど、それぞれに関係者の衆智を集めることが必要であり、ここにARを利用することによって、参加者の認識を高め、アイデアが生まれやすい環境をつくることができる。

最近、日本政府が主導する21世紀を目指した新しい生産システムIMS（知的生産システム）の品質設計のプロジェクトでも、前述のCAMPSの知能化ということがICAMPSの名で進められているが、IMSではその予備研究の中にGNOSIS（知識の体系化で、企画から生産までをひとつのネットワークで結ぼうというもの）計画があり、設計部門と生産部門を結ぶのに米国デネブ社が市販した3次元工場生産シミュレーションツールであるQUESTを中核に据えるという方向が固まっており、VF（仮想工場）の概念も取り上げられようとしているので、ICAMPSの推進に当たっても上述の点にも着目して討議されるということが期待できる。

一方、「人間工学」は「エルゴノミクス」と同義ですでに多数の文献がみられるし、市販や自製の計測機器、ソフト、シュミレータ、評価技術などもいくつかがみられるようになった。⁽¹⁸⁾平成2年に制定された工業技術院の大型工業技術研究開発（大型プロジェクト）である「人間感覚計測応用技術の研究開発」（研究開発期間9年間）の研究開発目標としてあげられているのは、「感覚測定や評価手法を確立し、人間の感覚を推定できる感覚評価シュミレータを開発し、さらに人間の感覚を設計に反映できる設計支援システムを開発しようとする」⁽¹⁹⁾などであり、この開発にはARが「模擬環境提示技術」として、重要な地位を占めるものと考えられる。そしてこれにはスレーブの動作時に生じた作業情報を操作者にフィードバックするバイラテラル制御方式の研究がポイントになってくる。ただし人間の場合には、身体の故障や疲労とともに当然精神の疲労が問題になる。従来人間を身体の面のみからみるという傾向が強かったが、両者は本来一体の（相影響する）ものとして考察されなければならないということと、人間の個人差、例えば年齢、性別、過去の経験など幅広い横断的、総合的な視点からの評価ということが不可欠になる。また長時間の仮想体験が人間にとってどの程度実体験と異なる影響を与えるかということも問題で、現在のARはそのほとんどが操作者の頭部、眼、耳、手、脚などに実体験にはない負担をかけるようになっているから、この負担を軽減するためには、人体各部の位置の連続的な計測、あるいは脳波や心電図といった生体信号やデータスーツの利用などを考えなければならない。

顧客の好みやイメージを実際の設計に翻訳するシステムである「感性工学」の分野にもARが登場しはじめている。例えば松下電工が開発したVSDSS（仮想空間意思決定支援システム）、

CSS（顧客満足支援）システムによる「システムキッチン模擬体験システム（感性 ViVA システム）」では、理想のキッチンについてあいまいなイメージしか描けなかったり、多方面のカタログを見て混乱した顧客にARで要望通りのキッチンを提示するものである。⁽²⁰⁾さらに最近同社が発表した家一軒分を疑似体験できる多人数住空間疑似体験システムでは、従来の頭部塔載形ディスプレイにだけでなく、幅約6mで高さ約2mの大形の円筒形スクリーン上に立体映像として投影することによって、住まいのプランナーと複数の客が同時に住空間を疑似体験し、仕様の決定に反映させることができる。この場合オペレータが頭部へ従来と同じゴーグル、手にはグローブを着用し、20人までの人間（顧客）は3D（立体）メガネと無線ヘッドホンを装着して、オペレータの動きと操作につれて、スクリーン上に写し出される住空間立体映像を前にして、複数の人間がオペレータが体験している状態を見ながら、臨場感に近い感覚を味わおうとするものである。東レでも、言葉でほしい生地イメージを入力すれば、希望通りのつや、触りごころの生地やデザインを出力するシステムを開発中であるが、それをさらに脳波で評価する研究にも取り組んでいる。

いずれにしても、ARによって、多数の関係者の同一体験から知恵を出し合う場を持つことができるという点で、ARがこれからのコンカレント・エンジニアリングにはあずかって力あるものになると考えられる。

（2）CADについて

CADは図1に示したように、構造設計や生産設計を含む広範な領域をカバーしている。まず、知的な設計支援システムを目指した人工知能技術で、例えば設計条件を与えさえすればシステム内部で自動的にモデリングすることができるような前述の「知的CAD」の実現について考えてみる。

第一段階としては定形設計や類似設計などはエキスパートシステムを充実することによって対応ができるはずで、これは市販のCADソフトに一部登場している。しかし現在の段階では特定の分野に対して極めて使いにくい場合があり、しかもごく単純な図形に利用（Draft）できるにすぎず、新規設計や概念設計などの分野（構造を考案していく過程そのもの、対象の機能や挙動の表現）に至ってはほとんど手つかずの状態である。それは設計の持っている多様さと複雑さのために、開発側としてもどのようなところに焦点を合わせるべきかにとまどいがあるため、必然の結果としてそれに関する研究機関の数も研究者数も少なく、開発のパワーも乏しいためであるといえる。⁽²¹⁾このために現在の急務として、まず産業界と研究機関との協力、つまりお互いがそれぞれの領域を越えて幅広く学びあうということが必要である。また、上に述べたように千差万別のジャンルを持つ設計作業に、画一的に適応するようなエキスパートシステムというものは、完成するまでに長時間を要するし、コストや操作性のいずれを取り上げても、個々のユーザの全てが満足できるものを入手できるなどは本来期待する方がむりという

ものである。従って現在市販のソフトを援用しようとすることは、所詮労多くして功少ないという事実が認識されなければならない。

そこで、自社での開発を目指し、自社に最適なシステムを構築するということになるが、このためには社内の多数の関係者の協力を求め、いわゆる DfX (Design for X で X は Manufacture, Maintenance, Assembly, Disassembly, Recycling など) と呼ばれる新しい視点から、最もふさわしい設計の方法論を具体的に実行できるソフトを開発しなければならない。筆者の経験でも、様々な専門分野の関係者を多数動員すればするほど、自社の製品に対して幅広い視野で最適のオリジナルソフトが開発でき、しかも以後の増補改訂に際しても関係者の関心の持ち方が違うなどで、作業が極めてスムーズに進められるという利点がある。

そして、設計の知能化の必要性についてすでに指摘されているように、⁽²²⁾「技術の急速な進歩と専門領域の極度の細分化によって、設計者にとって必要な技術知識が爆発的に増大しており、また、製品の高度化と複雑化、製品開発におけるさまざまな達成すべき目標の変化によって、工業製品の設計を一人の設計者だけで完全に行うことは不可能になっただけでなく、非常に多岐にわたる種々の分野の知識を総動員する必要性がでてきたために、設計作業内での分業、チーム活動がいわば常態化した」のである。これは設計部門内部においても共同作業が必要となってきたというのである。

いずれにしても設計作業の合理化については全社を挙げた協力が必要であり、このためにはなによりも、作業の内容が誰にとっても分かりやすいものであるということが前提になる。こうしてここにも AR の活用ということが考えられる。

(3) 品質機能展開について

具体的な新製品を開発するとき、品質を保証するための手法が品質機能展開 (QFD) である。この手法では要求品質をいわゆる「品質表」に展開して、部品レベルの品質との関係を明確にするもので、「品質表」の作成、計算 (独立配点法、比例配分法などの計算)、分析、およびデータ管理を支援するソフトも開発されているが、筆者の経験では多変量解析などを併用すれば、単に企画、開発、設計段階のみならず、生産段階においても製品品質に関して、製造時に重点を置くべきところを明らかにでき、製造に当たって有効な指針を得ることができるものである。いずれの場合にも、品質に対する要求や要望を一次機能から二次機能と分けてゆき、最終 (三次) 機能へとまとめ、それを重要度別に区分し、これを品質特性に分類し、序列や評価点を決定する具体的な行動に結び付ける「品質表」の作表作業の際に、作表者の経験が大きくものをいう。

例えば、要求品質の三次機能として「ボルトが決められたトルクで締め付けられている」を品質特性に振り当てるとき、締め付け作業の条件に重点を置くのか、ボルトやボルト挿入穴という対象物の仕上がり状態にポイントを置くのかなど、関係の強さを◎○×などの記号で表わ

す際に、作表者は頭を悩ますことになる。本来このとき実際の作業を行って確認することになるが、一人ずつ同じ作業を何度も繰り返して、関係者全員が確認するには長時間がかかるので、つい少数の経験者に打診して作表してしまおうということになりがちである。

これを現在のARで実現するためには、マスタスレーブ方式で、まずマスタの動作をセンサで検出して、その動作指令をスレーブに送り、スレーブに同等な動作をさせる。そしてバイラテラル制御で、スレーブの動作によって生じた作業情報を変数を介してマスタにフィードバックするということになる。しかしこの変数をどのようにするかについて、より適正とされる方法が模索され、様々な提案がなされている現状では、正確な応答を得られる段階には未だ達していないといわざるをえない。将来このフィードバックが正確に行われるようになったときには、ARは品質機能展開を実行するに際しても、同時に多数の人に体験を共有させることができるという点ですぐれた手法として期待される。

V. あとがき

これからの製造業では創造性を発揮することが強く求められている。そして開発した商品は市場に出すまでの期間をできるだけ短くし、適切な価格で販売することが必要である。このためには開発設計などといった製造過程の源流部分において、できるだけ多くの人たちが知恵を出し合う協同作業を、いかに効率よく機能させるかがポイントになる。現在のマイクロエレクトロニクスの進歩によって、現在ではそれを実現できる素地がつくりだされたといえる。

ここではこれからの製造業として、これらの技術を創造性発揮の場にどのように利用するかということについて論じたが、忘れてはならないことは、どのような技術的な開発もそれを使用するに際して、それに参画し、取捨し、設備を操作する人間の日頃の研鑽と、様々な情報に対する対処の仕方次第で生きるものであるということが銘記されているということであり、常に工程の全てに渡る関係者に自覚を促し、彼らに対する教育と指導に心がけなければならないということである。

引用文献

- (1) 例えば、間瀬俊明「CAD/CAM/CAE はどのように役にたったか、今後の方向は」(『精密工学会誌』60巻4号94巻4号'94年4月) 477ページ。M&E編集部「進展する3次元 CAD-3次元・インテリジェントCADへの期待」(『M&E』'94年4月) 76ページ。
- (2) 井上久仁子「CADとCAMの結合」(『精密工学会誌』60巻4号'94年4月) 497ページ。
- (3) 例えば、下川浩一『自動車業界からの警告』ごま書房、'94年、154~156ページ、Christopher Wood/三上義一訳『合意の崩壊』ダイヤモンド社、'94年、174~178ページなど。最近の記事としては、『朝日新聞』'94年6月4日に日本開発銀行調査部の萩谷純二氏が実例を列挙している。
- (4) 例えば、M. Hammer & J. Champy 著/野中郁次郎監訳『リエンジニアリング革命』日本経済新聞社、'93年。なお本書では、一章(第5章「情報技術の役割」)を割いて、リエンジニアリングに対する情報技術の貢献についても詳細に述べているが、情報に対処する人間の活性化やその教育などについては触れるところが少ない。リエンジニアリングについては最近多数の著書が出版されているが、いずれもこの方面については、ほとんど断絶であるのはまことに残念なことである。

- (5) SME が AUTOFACT '93 の特別カンファレンスセッションで発表した「The New Manufacturing Enterprise Wheel」の説明から。
- (6) '94 年度精密工学会春季大会, および日本機械学会第71期通常総会の学術講演会で多数の論文が発表された。それぞれ学術講演会講演論文集第3分冊(H室), および講演論文集[N](第19室), '94年。
- (7) 斎藤実『実践コンカレントエンジニアリング』工業調査会, '93年。
- (8) 藤本英雄「バーチャルファクトリ実現に向けた仮想生産・遠隔生産・調和形生産」(『M&E』, '94年4月) 86ページ。
- (9) 日本機械学会編『ヴァーチャル・ファクトリー生産の未来像一』第197回講習会資料 '93。
- (10) 例えば, 竹村治雄「臨場感通信会議における仮想物体操作」(『ATRジャーナル』No. 11, '92春) 2ページ, 大谷淳「VRと高度協調作業」9), 33ページ。
- (11) 篠原克也「遠隔地間の協同作業を可能にするネットワーク形仮想現実感システム」(『M&E』'93年11月) 86ページ。
- (12) 長岡一三『チームリーダー成功のポイント』共立出版, '92年, 150ページなど。
- (13) 仲町英治「VRとCAE」9)の51ページの図に若干の加筆をした。
- (14) 例えば, 海保博之『「誤り」の心理を読む』講談社, '86年, 長岡一三「生きがいの感じられる生産現場を実現するためにはどうするか」(『産業と経済—奈良産業大学経済学部創立20周年記念誌』, '94年11月) 91ページ。「人間工学」では, 単に人間の対象物への適合を肉体的な面からみた議論が先行しがちであるが, 人間の満足感というものを精神的な側面から追及するというのも大切なことである。
- (15) 田口玄一他『品質工学講座 第1~7巻』日本規格協会, '88~'90。
- (16) 矢野宏「品質工学の立場と設備管理」(『MECHATRONICS』, '94年3月) 41ページ。
- (17) IMSセンター『知識の体系化:設計及び製造のための構築システムに関する研究成果報告書』(財)国際ロボット・エフ・エー技術センター IMSセンター, '94年, 184ページ。
- (18) 代表的なものとして例えば, 日本規格協会編『図説エルゴノミクス』日本規格協会, '90。
- (19) 人間生活工学研究センター, 日本産業技術振興協会『人間感覚計測応用技術』工業技術院産業科学技術研究開発, '94年, 4ページ。この文献には多数の論文が掲載されており, 最近の「人間工学」に関する研究開発の実状とレベルを知ることができる。
- (20) 野村淳二, 今村佳世「VRプロダクトとそのCIMへの応用」9), 69ページ。
- (21) 長沢勲, 鈴木宏正「知的CAD研究・開発への提言」(『精密工学会誌』60巻4号, '94年4月) 483ページ。
- (22) 富山哲男「設計の知能化」(『精密工学会誌』59巻11号, '93年11月) 1761ページ。