

3. 2 主要な基本学術研究課題, 並びに各課題のTree構造と概要

3. 2. 1 地域調和形製品の設計技術

前節で要約したように, 地域調和形製品を広く定義付けすると, それは, 狭義の地域調和形製品の他に, 間接的に各地域の文化の違いや民族性の違い等に関連がある工芸品的製品, 個体差対応製品, 並びに感性適応製品を含むことになる⁽⁶⁾. すなわち, これら製品は, 人々の美的感覚や嗜好, 感受性, 身体的特徴等に, 一面では, 密接に関連するためである.

そこで, 広義の地域調和形製品を念頭に, その設計技術に係わる研究課題のTree構造を, ここで策定してみたい. この場合, まず考慮すべきのは, 出来得れば, 地域調和形製品の例を具体的に描き, それらを参考にして議論を展開することであろう. しかし, 地域調和形製品の概念そのものが, ここの二三年の間に浮上してきたものである⁽⁷⁾, 二, 三の試行的な製品はあるものの具体的な例を羅列すること自体は未だに困難である. 敢えて具体的な名称をあげると, 現状では次のようになるであろう.

工芸品的製品 : 21世紀を前提とした場合, 現時点では, 具体的に名称を特定できない. 但し, 考えられる姿としては, 「江戸時代の象嵌細工や漆細工を施した火縄銃や刀剣」, あるいは「18世紀の欧州に於ける室内装飾の役目も兼ねたローズ旋盤」に似たものであろう.

個体差対応製品 : この製品の代表的な例は, 生体補綴機器(人工股関節, 人工義歯等)であり, 21世紀対応の高付加価値製品の一つとして工業先進国で現在大きく注目されている. 但し, 民族により, 又, 同じ民族でも人により, その寸法, 形状のみならず, 生体拒絶反応との関連で材質も変ることがある. 要するに, 典型的な一品種一個生産製品であり, ここに設計, 製造の難しさがある.

感性適応製品 : 使用する人々の感性や感覚, 嗜好等を念頭に於いて設計, 製造する点では, 工芸品的製品と似ていると解釈できるが, 現代工業製品の範疇で, 製品にアメニティ重視の外観, 機能及び性能を付与するところが異なっている. この種製品は, 現在鋭意開発が進められつつあり, 例えば「アメニティ重視設計のCNC自動旋盤」がある.

地域調和形製品 : これについては, 既に概略的な説明を行ってあるが, ここで再度その特徴を述べておくと, それは, 「各地域の人々のメンタリティ, すなわち精神面への適応を各地域の気候, 風土, 社会構造等の物理的因子への適応以上に考慮した製品」である.

さて, 以上のような製品を前述の「Cultural Difference-Based Manufacturing Structure」で, しかもそれに適した作業・労働組織で生産することになると, それらの設計技術に係わる具体的な研究課題はどのようになるのであろうか. 現時点で指摘できることは, 少なくとも「思考モデルベース形生産」および「生産文化」と言う二つの中項目課題を検討することである. ちなみに, 前者は「人間の深い知識を抽出, 体系化して, それらをコンピュータ環境へ移植することにより高付加価値製品を生産することを目的としたもの」, 又, 後者は「文化や民族性の差異が生産技術に如何に影響するかを解明するもの」であり, 「人間の深い知識の後天的側面は, その人の育った環境に大きく影響される」と言われることを考慮すると, 広い観点からは, 後者は前者に含まれることになる. そこで, 以下では, 対象とする研究課題を, 大きく「思考モデルベース形生産」として整理して, 議論を進めることにしたい.

ところで, 思考モデルベース形生産(THOMAS:Thought Model-Based Manufacturing Systems)に対しては, 既に先行的, 先導的な研究が, 前者については我が国を中心に, 又, 後者については欧米, 特に欧州を中心に行なわれている. そこで, 一つの試みとして, それら研究をTree構造で整理してみると, 図3. 3に示すようになる⁽⁸⁾. なお, 図中「Industrial Cul

ture」は、生産文化を社会科学や政策科学の分野から研究しているものであり、それ成りのTree構造を作成することは可能であるが、ここでは省略してある。又、感性適応製品の設計に欠かせない「使用者の製品に対する感性や嗜好面からの希求」に係わる深い知識については、現在のところ情報及び分析不足のため、Tree構造の作成は今後の課題として残されている。ここで、更に、思考モデルベース形生産の今後の課題を予測、分析してみると、図3. 4に示すような、Tree構造を作成することができる⁽⁵⁾。この場合、注目すべき点は次のとおりである。

- (1) 深い知識の抽出、理解では、「設計者の感覚、すなわち座りのよい設計は良い設計である、あるいは感じのよい設計は良い設計であると言う感覚」の定量化。
- (2) 生産文化では、「深い知識と民族性の関連の分析」。
- (3) 新しい課題では、「技術および技倆の伝承方法論」の確立。

要するに、益々生産技術と文化との関連が進行する方向へ研究領域が拡大すると予測されるが、これは生産技術の根幹を成すハードウェア的技術の重要性が低下することを意味するのではなく、逆に益々増大することになる。従って、「生産技術の本質を十分に理解、咀嚼した上での技術と文化の融合」を如何に進めるべきかが今後問われることになる。そのような観点から図3. 4を眺めて頂くと、「草の根的生産技術知識の体系化」が挙げられている理由を理解できるものと思われる。なお、このような思考モデルベース形生産技術が確立されれば、地域調和形製品、その創出システム、関連体制等が具体化し、国際協調のみならず国際競争の面でも大きく貢献することになる。又、副次的効果として、例えば、合理的な技術移転の方法論の確立も期待でき、国際社会に大きく貢献できるであろう。

ところで、図3. 3及び図3. 4は、未だ直接的に地域調和形製品の設計技術のTree構造に遡昇華されていないが、これらより間接的には、地域調和形製品の設計に係わる研究課題を理解することは可能と考えられるので、当面のところ、これらの図は、そのような観点から眺め、利用することになる。

3. 2. 2 超精密・極限技術

生産という行為を考えると、その原点となるのが加工である。既存のモノを所望の形に変えるのが加工であり、加工技術の発展はあらゆる生産技術の発展に影響を及ぼす。加工技術は生産技術の中で、モノそのもの、つまりhardwareに最も近い位置にあり、代表的なhardware主導型技術と考えることができる。

一方、hardwareに関する技術を飛躍的に発展させるためには、従来常識として不可能であったことを可能にするような新しい展開が必要である。これには、それぞれのパラメータに関する従来の限界を更新するような極限技術をもにすることが最も有効である。これによって、従来は考えることができなかったような全く新しい手法や製品が現実のものとなってくる。

以下、加工技術に関して将来一層重要性が増すと考えられる高精度化・微細化に関して少し詳しく考察してみる。

まず、乗物、機械をはじめとする構造物を考えてみると、これには、より一層の信頼性が要求されるようになる。例えば、乗物においてはその高速化に対する安全性確保のため、また、電子機器においてはその高集積化に伴って高密度化した機能の維持のためなどである。信頼性確保のために基本となる必要条件の一つが生産における精度の高さである。超精密加工、超精密組立て等の製造工程における超精密化と、それを可能にするための評価技術としての超精密測定技術が確立されなければならない。

一方、人類は作り出す構造物の大きさについてもその限界を広げていくことは必至である。特にその微細化は、高度な機能の手本とも考えられる生体、つまり極限にまで高密度化された脳や、微細メカニズムの極致である筋肉などに接近するための重要なアプローチである。これを押し進めるためには、電子デバイスはもちろん、マイクロサージェリー、マイクロインス

ペクションなどの医療分野をはじめ、機械、装置の小型化、機能集積化に伴うアクチュエータ等の微細化など、広範な分野で技術革新が必要となる。このために、超微細加工、超微細部品の組立技術が確立されなければならない。これらの技術は上記超精密加工技術の基盤のうえになりつつある技術ではあるが、微細化という別の視点からの対応が必要であり、より多様な技術開発を行って初めて実用レベルに到達することができるものである。

超精密加工、超微細加工に関しては、設計形状を現実の製品上に転写していく要素（例えば工具）、つまり形状指定要素（SSE）の超精密化と超微細化が実現されなければならない。また、この転写の過程で、その忠実性を妨げる要因（例えば熱変形による誤差発生）、つまり誤差発生要因（EGF）を極限まで抑えていかなければならない。また、単純な要素部品（スピンドル、ギヤ、電子部品、センサなど）やプリアセンブリされた要素（モータ、アクチュエータ、エンコーダ、測定ユニットなど）を組み立てて最終製品とする工程にも、締結やマニピュレーションの超精密化がなされなければならない。

また、これら個々の加工、組み立てに関する技術開発と表裏一体のものとして、その環境の制御、評価の確立、そして素材の確保が必要である。すなわち、超精密環境、超精密測定、超高品質材料の裏付けがあってはじめてSSEの理想化やEGF対策を実現することができるのであり、正しい組み立て、マニピュレーションが実行できるのである。

一方、こうした高度の加工、組み立て、評価技術は次世代のコンピュータ技術の支えを必要としていることは明らかであり、その汎用性能の一層の向上と、超精密、超微細に対応するカスタマイゼーションが進むことが予想される。しかし、現状での超精密切削や超微細穴あけなどでは究極的にはオペレータの感性が最後の精度、微細度の限界を引き出しており、高度に知能化されたコンピュータシステムが用いられる21世紀となっても、この関係はほぼ継承されるものと予想される。すなわち、超精密、超微細に適合する感性を具えた高度熟練技能を有するオペレータが強く必要とされるであろう。

精密化、微細化は共に一般的命題であり、加工に限らず、組み立てその他、ありとあらゆる生産技術のそれぞれに課せられている。各技術は原理も歴史もさまざまであり、従って、精密化、微細化の手法もさまざまであることが予想されるが、SSEの理想化、加工単位の超微細化、EGFの除去、抑制、などの共通の視点から追究していくことで、ある程度の技術共有も可能となるであろう。その意味からも、加工法に偏らない視点を持つことのできる工学者、技術者の育成は、精密、微細生産技術が21世紀を迎えるにあたっての急務であると考えられる。

3. 2. 3 人間性重視生産システムおよびマン・マシンインターフェイス

現在の日本における生産活動がこのまま継続するならば、日本は世界の生産拠点の一つとして、また生産科学における世界のリーダ国として、世界人口100億の生命と生活の安定を考えた生産科学の在り方を検討しなければならない。生産科学の対象となるものは、地球上の全生物であり、それらの生体系の保存である。そしてその生体系の中で『特異な存在として支配力を持つヒト・人類』の生活環境、そして特に限定するならば生産に携わる人の生産作業環境がその対象となる。

20世紀末に生じ始めた民族の分離独立、そして移動と融合の中で他国籍化するヒト集団の取扱い、特に人間性、民族性の尊重と平等主義の中での生産科学とそのヒューマンウエアへの関わり合いは重要な課題である。

(1) ヒトにやさしい生産システム

人間性重視型の生産システムは大きくは地球上に生存する全生物を対象とした平等な取扱い（global satisfaction）であり、地域差を配慮し地域特化を考慮した地域環境型の social satisfaction であり、そして生産環境 factory satisfaction を対象とする。その内容は図3.6に示されよう。

(2) 生産環境の変革と改善

コンピュータ支援による生産システム、設備、生産情報の取り扱いの自動化はさらに進めら

れるだろう。生産現場の自動運転、無人管理化が図られ、21世紀初めには少なくとも72時間の連続無人運転可能な生産ラインを持つ工場が見られるようになる。そして人と生産設備の空間的、機能的な分離作業が推進される。しかし20世紀末の製造業界を支えている10数万の部品加工組立て中小企業では、生産現場の完全無人化システムの導入は極く一部に限られ、熟練工の技能による運転と生産設備のコンピュータ支援による自動運転とが混在した製造ラインとなっていよう。

生産の自動化の高度化に備えるために、まず24時間連続運転を可能とするM/C、FMS、FTLの周辺で作業を行うオペレータ、保全工のための作業環境の整備が必要である。作業領域と安全・通路領域、物流領域の区分、重量物・移動物の安全管理、粉塵・ミスト・ヒュームの排除、騒音・振動の低減、放射線・電磁波からの防御、明るさの確保などが基本として実行される必要がある。これらは日本、米国、ECなどの生産先進国のみならず、生産技術の発展途上国においても必要である。

このためには、生産環境を保全するための評価システムとその維持システムの構築が行われねばならない。

(2-1) 作業環境の評価基準

人が生産現場で快適でやり甲斐のある作業を行うためには、表3.1の右項に示した評価レベルの環境維持が必要である。

(2-2) 安全環境、防災システムの構築

生産現場が快適であるための条件は、表3に示すように安全管理体制と労働災害防止策、労働条件の充実(1800時間への取組、休暇制度の改組、…)、福祉施設の改善、健康の増進と管理、などが上げられている。

まず、人と設備のための生産環境の整備が必要である。これには前項の作業環境の評価基準が厳密に設定されており、ここでは環境基準の維持管理方法が問題となる。すなわち環境のセンシング技術である。粉塵、ミスト、ヒューム等のマップとその時間的な流れ、騒音分布と発生源探索、照度分布の測定方法と管理技術の開発が必要となろう。

労働災害の防止には、人を生産設備から分離・隔離することから行われる。人の作業領域と設備の稼働領域のそれぞれの占有確保である。領域境界は危険域として指示され、侵入防止策がとられる。人の機能差による安全域、安全レベルを指示するためにエルゴノミック設計が行われる。災害発生を仮想しての防災・避難をシミュレーションし経験・訓練するシステムの構築が進められよう。緊急医療設備とそのオペレータの育成も必要である。

生産設備には状態監視のための各種センシングシステムが設備される。状態の傾向管理により危険が予知され、予防保全による危険回避が行われる。特に、危険物の遮断・隔離の自動化システムの構築と防災管理シミュレータによる仮想訓練システムの開発が要請される。

さらに、日常からの健康管理を行う計画保全体制、定期点検体制が設けられる。福祉施設、産業医によるリフレッシュシステム、バイオリズムコントロール設備が準備されよう。

(3) マン・マシン・インターフェイス

生産現場における人と生産設備とのかかわり合い、すなわち生産の立場での人と技術の関係を科学的に最初に論じたのがF.W.テイラーであり、この100年前の工場の管理思想は現代における人間と機械の関係にそのまま持ち続けられている。すなわちテイラーが提唱した生産の科学的管理法は機械工場での人の労働作業の内容を、工程解析、動作解析により詳細に科学的に分析し、この結果から最も効果的な作業標準を作り上げ、工場の全労働者を組織的に厳格に管理することにより工場全体の生産効率を高めることを目的としたものである。ここで作業者と設備機械は使用者であるオペレータと被使用者である生産設備との主従関係に入り、自動化、無人化が進む中で対立の時代に入ったとみることができよう。

CNCによる機械駆動の自動化が進み、NCの制御レベルが高度化するにしたがって生産にかかわる技術的あるいは管理的問題はもっぱら経営者、管理者、専門技術者の腕に委ねられ、現場の労働者はこれらの生産管理、労務管理の問題から完全に隔離され、無縁の存在となった。すなわち技術の問題は、技能を含めて完全に管理者、技術者の手中に落ち、労働者は機

械・設備から分離され切りはなされてしまったのである。

人と機械設備の関係を完全に断ち切り、そして対立した形でとらえるのは高度に自動化された無人化工場の中では当然の、さらには理想的な形態として考えられようが、中小企業の機械加工組立ラインにこの姿は見られない。より日本的な生産体制として、人間と機械とが融和し、混全一体とした結合のもとで高能率、高良品率の生産を行って来ている。人と生産設備の分割隔離が行われる一方で、人と機械の新しい融合・対話の形式が生まれてくる。そして新しい社会環境、経済環境下における、人と生産設備とのインターフェイスシステムを構築する必要が生じてくる。

必要となるマン・マシン・インターフェイスの主な内容は次のようになる。

(a) 相互学習機能

生産設備の自動化・無人が高度化するにしたがって、生産技術、生産システムの稼働に對し、人のかかわり合いがより重要となる。設備の運転、保全に関する人の判断と操作、働きかけが設備の機能・成果を高めることになる。このときの人の働きかけが設備の改善につながり、技術の向上がもたらされる。すなわち設備からの生産情報が人の技術・技能と熟練者の勘で理解会得され、新しい生産知識の蓄積と新しい生産設備が誕生し、人と生産設備との技術学習に関する相互作用をさらに緊密化させる。

このような相互学習機能を高めるためには設備機械、生産技術、オペレータとその小集団機能が生産情報の獲得・蓄積を容易とする体質、体制を整える必要がある。

(b) 相互認識機能

生産設備の長時間無人自動運転を実現するために、各生産設備とそれらに投入される加工物・仕掛り品そしてオペレータとの相互認識を得るためのインターフェイスが必要である。

生産の流れに不具合を生じるのは、各生産設備間の接続点であり、仕掛り、段取りを連続的に停滞することなく流すために、加工物位置、着脱確認の情報が常に操作・監視する人すなわちオペレータへ、そして設備、加工物自身にもそれぞれに認識されていなければならない。人間オペレータを含めて生産に関連する設備、加工物がID認識票を所有し、格納・倉庫、自動搬送装置（AGV）、工場内物流に関する生産情報ネットワーク、データベースが準備されることになる。

(c) エルゴノミック機能—人間工学からのアプローチ

生産にたずさわる管理者、作業員、オペレータの高齢化、身体障害者の雇用均等制の拡大に伴い、生産設備と作業員との干渉、接触の状況解析が行われ、それらの分類とその対応が考慮される。健常者と身障者の動作分析、熟練技能者と未熟練者、未訓練者との知識偏差と訓練機能の解析が詳細に行われさらに教育用の展開スケジュールが準備されてゆこう。

生産設備の操作に関する人間の行動と意思決定の評価法と自動点検システムが構築される。

(d) 国際化・無国籍化のための共通言語機能

生産技術移転の国際化を加速するために、仕向け地向けへの伝達手段として、生産設備関連の言語・記号の標準化、共通化が準備されよう。一部には図案による国際標準表現技法が利用されているが、安全、操作、確認評価の詳細事項についても必要である。

また国際化の徹底のため、共通言語の展開と教育スケジュールが組み込まれなければならない。

3. 2. 4 環境に調和する生産技術

3. 2. 4. 1 従来の環境と産業の関係

産業技術の発展と関わって環境問題が身近に意識されるようになった契機は、排気ガス、工場廃水等による環境汚染であった。一方、大気中のCO₂の増加、フロンによるオゾン層の破壊

等も観測結果に基づいて報告され、工業生産との関係で問題点の把握と解決の方策が探られている。

資源、エネルギー等の限界を認識する必要と関連し、これらの問題に予見的に警告を与えたのはローマクラブの提言であった。しかし、その後の社会、経済状況の変化があって、意識はされつつも、万全の処置がとられてきたとは言い難かった。最近の世界政治状況の変化や、厳しい経済不況に直面し、将来の方向を探索することと併せて、工業生産のあり方についても見直す機運が盛り上がっている。

1960年代後半の米国カリフォルニアでは、霞がかかったように見えた光景が見られた。確たる証拠は無かったものの、既に論議を呼んでいた大気汚染に関わる現象と言ってよいものであった。我国自動車生産台数は翌年百万台を越え、その後の発展は、目の当たりにしてきたものである。その間、1978年以降の排気ガス規制と関連したSOX問題の克服、最近ではNOX問題の解決を必要としながらも、折々の課題の解決を図る歩みであった。特に、JITに代表される生産システムには、自動車生産の本家である米国にも影響を与える程に、一時期を画する実績が残されている。

工場廃水問題は、1960年代に問題となった水俣病に象徴される。その後、工場廃水浄化の取り組みが真剣に行なわれ、問題の解決が図られた。担当者によって屢々説明されるように、廃水は工場に入ってくる水よりも浄化されている状況が達成されている。また、都市部においては下水道の整備が進められ、生活廃水の処理にも大きな効果が挙げられていることは、随所の現象に見るとおりである。かつては、汚染が進み汚濁の甚だしかったお茶の水駅下の神田川の透明度が改善されていることは、その代表である。

自動車、電機製品に代表される大型消費財の増加は、これを廃棄する際の処理に問題を生み出している。1960年代後半、米国内では、豊かな自然環境の中に突如として現われた廃棄物処理場と、製造されたときの精緻さは見る蔭もなく積み上げられた廃車の姿は、隆盛な産業国家に未解決の課題を見る思いであった。現在の我国にあっても、廃棄物処理の場所に窮している現状からは、未だに解決をつけることが難しいままになっていることが認識され、課題解決の難しさが知られる。

最近では、我国でも、廃車の路上放置、産業廃棄物の不法投棄等がしばしば見られ、美観を損ねている上、国、地方自治体等管理機関にとって、問題を提起している。然るべく、廃車を処理している場合でも、その工程は魅力溢れる製品を造り上げる過程とはかけ離れた雑然としたものである。

このような状況は、廃棄物の処理、あるいは、その再利用の問題を考えることに契機を与え、さらに遡って、工業生産のあり方も再考を迫るものであった。その背景には、

- ・工業製品の廃棄場所を最小に留めるようにすること
- ・工業製品の廃棄に環境調和を考えること
- ・廃棄に際して再利用による資源の節約を図ること
- ・作業者にとって優しい生産過程であること

等の要請を挙げることができる。

3. 2. 4. 2 環境調和型生産の研究動向

自動車の廃棄の問題を見ると、ドイツのように、廃車を生産地に持ち帰って処理することの法律的な義務付けを考える国もでてきている。我国では、古くから古紙の回収処理再生が行なわれ、そのルートも経済ベースとして成り立っていた。しかし、故紙のように回収の流通が成り立っている場合でも、市価が低迷すると、回収が機能しなくなることが起きており、法律の規制があるとしても、再生利用には、利用者の意識を含めた経済性との整合が課題である。

環境問題を考慮した生産のあり方については、早くから再生、利用の発想が提案されていたが、成長が目ざましかった際には、ややもすれば後向きの処置ととられる再生についての共通の認識が得難く、真剣な取り組みには至らなかった。しかし、成長が限界に直面し、使用され

た大量商品の廃棄と処理が課題となり、途上国の今後の発展に当たって同様の問題の解決策を模索する段階になって、これまでのように、生産と消費のみに焦点を当てていた製造の考え方から、製品がその寿命を終わるに際し、廃棄に留まらず、部品として、原材料として再利用を考える製造の考え方をとる必要性が指摘されるようになった。我国では、機械技術研究所が、1980年代後半より、環境調和を目指した生産のあり方を探索し、エコファクトリー概念を提示、この中で進めるべき研究課題についても例示をしている。その後、工業技術院内で、大型プロジェクトへの可能性を探る先導研究の課題にも採択され、基礎的研究が進められている。この頃より、世界的にもこの課題に対する機運が盛り上がっている。国際生産工学会議(CIRP)内でも、1992年総会で調査研究を行なう研究グループが生まれ、キーノート論文の作成、課題の探索等が進められている。このような活動の中から、1993年の総会では、「Product Life Cycle」の論文5件が報告されている。また、論文誌の編集、国際会議にも、参考文献(12)や(18)に見るように、この方向を意識したものが出てきている。

これらの動向は、現在のところ、環境を考慮した生産について、そのあり方を論じている段階であり、要素技術に関する研究や成果の報告は今後の課題である。しかし、既に企業としても概念の構築に取り組み、課題解決の方向を提示した報告もなされており、今後の進展が期待される。要素技術として一分野を形成する分解技術に関しては、CIRPのキーノート論文として纏められており、少なからずの企業体に取り組み始めていることが引用に明かである⁽¹⁶⁾。

エコファクトリー概念は既に井上等によって詳しく提示されている^(8, 9, 10, 11)。その核心は図3.7に集約される。即ち従来の生産の概念は、製品が設計、生産の流れで需要家に供給される一方向性であったことに対し、分解、回収、再利用の流れを構成することによって、資源、エネルギーの有効利用、廃棄物の減少等を図り、環境に調和する生産の実現を目指すものである。このため、設計、生産技術のあり方、これを推進するための研究課題等についても考察されている。図3.7には、各領域に関する研究課題例を記載している。図3.8は、このような流れを考えた時、設計に必要とされる環境を概念的に示している。図3.7のサイクルを視野においたコンカレント設計の重要性が指摘されている。

GlantschnigはAT&Tにおける環境調和を考慮した生産の概念を示し、基本的にエコファクトリーのそれと変わらない発想の基づいていることを示している⁽¹²⁾。

図3.9はこれに関連し、DFE(Design for Environment)原理に基づく生産と環境との関連を説明している。製品の廃棄性に関しては、廃棄を極小にするべく、表を用いて定量化、評価する手法を提示している。注目すべきことは、企業体として既に概念を明確にすることからはじめ、これに具体的に取り組む試みを始めていることにある。

WeuleはDaimler-Benz社のProduct Life Cycleに関する考え方を示している⁽¹³⁾。解体技術に関する力点はエコファクトリーの場合ほどには明確でないが、材料、プロセス等の化学的処理等について、より具体的に記述されている。AT&Tの場合にも見るように、海外では、企業体が明確な概念の下に、環境調和型の生産について考察し、これを論文としても著わす状況であるのに対し、我国の場合、研究機関として、エコファクトリーの取り組みを世界的にみても早い時期に明らかにできているものの、企業体の取り組みは外部からみたときに必ずしも明確ではなく、企業の社会的役割の視点からも、早急な対応が望まれる。

Tipnis, Altingは、何れも環境調和型の生産を考えると時の概念とこれを推進する時に考慮すべき事項を明らかにしている^(14, 15)。Tipnisは、製品のLife Cycleを考慮した設計とするためには、Paradigm "E"をとるべきこととして、Ecology, Environment, Energy, Economy, Empowering, Education, Excellenceを項目に挙げている。また、Altingは、環境破壊、膨大な廃棄物、職業的健康障害、再利用不可能な資源廃棄の増加等が急速に進みつつある現状を改善する生産を考慮する必要性を指摘し、大量生産文化から、持続的に生産を続ける文化への変更とそれに必要な手法を論じている。

図3.7に示されているように、生産に還流ルートを考えることによる重要な要素技術は解

体、分解技術である。Jovane等はこれに関するキーノート論文を纏め、幅広い現状調査を行なっている⁽¹⁶⁾。表3.3は製品設計において分解を考慮する時の規準を示したものである。この論文には欧州の関係者が多く携わり、その視点からの研究が引用されているが、企業体であっても、既に分解技術の開発に関する様々な努力がなされていることが伺える。

分解、再利用にあっても、実際には、材料、部品等によって、処理は異なる。図3.10は工業製品全般について、その処理の現状を示している⁽¹⁷⁾。また図3.11は自動車部品に関する処理の状況を示している⁽¹⁸⁾。これらの状況は、廃棄物を極力少なくし、資源の節減を極力図ることに向けて、今後とも改善を図るための指標でもあり、その努力は始まったところである。

3.2.4.3 環境調和型生産技術への期待

廃棄物処理の問題は、自動車の路上放置等も欧州が目指しているように廃車の生産地への持ち帰りその他の規制、放置され易い場所の環境整備等によって、改善が進むことも事実である。技術的課題としては、この種の問題解決に際しては、ある種後処理の感を否めないこともあって、取り組みにためらいのある面も確かである。しかし、かつて廃水、排気ガスの処理問題が生じた時に、同様な論議がなされたとき本田宗一郎氏は、「我国は歴史的に西欧技術を追いかける立場に立たざるを得ないことで経過してきたが、初めて同じ立場で技術的解決を考えることができる課題である。これに立ち向かおう」と技術者を鼓舞されたと聞く。

現在は企業の展開も地球規模に広がっている。自動車の生産にあっても、生産拠点が地球規模で展開している中、我国の経済、社会環境の中で、作業環境の改善を図りつつ、高度の自動化を実現する努力が続けられ、この過程では、自然環境との調和を図る設計、生産のあり方も考慮されつつある。環境に関わる生産方式に関し、我国から解決策の提言がなされ、新しい生産工学の展開に貢献することが期待される。

3.2.5 仮想生産

新製品や新システムの創造、設計、運用などを支援する方法論や汎用的ツールの開発ならびにその利用法の確立が、製造業の存立をかけて求められている。例えば、最近注目をあびているコンカレント・エンジニアリング(concurrent engineering)、ライフサイクル・エンジニアリング(life cycle engineering)、リエンジニアリング(re-engineering)などを実行しようとした場合をみても、対象となる問題や環境に対して、最も有用と考えられるシステムとその構成要素、また人間の役割などについて、実世界とはほぼ同程度のレベルであらかじめ十二分に可能性を検討しておくことが不可欠といえるからである。しかも、その検討は一般性と継続性をもち続ける仕組みに支えられていなければならない。

上記の様な視点に立つとき、仮想生産(virtual manufacturing)は根幹的な鍵技術の一つになるものと考えられる。仮想生産(virtual manufacturing)とは、生産に関わる種々のプロセスを計算機内で仮想的に実行することである。以下、仮想生産の主要な構成要素と解決すべき技術開発課題について述べる。

仮想生産を実現するためには、実世界での生産システムを構成する機器、人間、ソフトウェア等の要素を計算機内にモデル化し、さらにそれらが従うべき自然法則を制約として計算機内に組み込む必要がある。そのようにして構築された仮想的な生産環境でのシミュレーションを行なうことで、どのように生産のプロセスが行なわれるかを評価することが可能となる。

仮想生産は図3.12に示すように、さまざまな要素技術を結集させた総合的な概念である。

(1) モデリング技術

生産システムのモデルを計算機内に構築していく技術は、仮想生産の根幹をなす技術であるといえる。そこにおいて解決すべき課題は数多く存在するが、それらを、a)対象種別、b)アスペクト、c)ライフサイクル、d)詳細度の4つの面から整理してみる。

(a) 対象種別

仮想生産においては、多様な対象を取り扱う必要がある。その中で主要なものは素材から完成品にいたる製品（プロダクト）と、それを製造する工場である。製品のモデル化に関してはこれまでプロダクトモデルとして多くの研究、開発がなされている。他方、工場に関しては汎用的なモデル構築の概念は薄いといえ、これからの研究開発の必要性が大である。さらには、プロダクトモデルと工場モデルを組み合わせ、実際の生産を構成するためのプロセスモデルに関する研究も重要である。

(b) アスペクト

生産システムおよびその構成要素はその見方に応じた様々な様相（アスペクト）を有している。たとえば、機能、属性、構造、振舞い（挙動）、価値などである。生産システムのモデル化に際しては、こうしたアスペクトごとに異なるモデル・スキーマが必要となる。従来の研究ではおもに属性と構造のモデル化に主眼が置かれてきており、その他の機能、挙動、価値に関するモデル化の方法論は確立していないといえる。

(c) ライフサイクル

仮想生産を時間の長いスパンで考えると、製品、工場、プロセスのそれぞれについて計画、設計から廃棄、再利用にいたるライフサイクルを一貫してモデリングしていくことが必要となってくる。これまではライフサイクル上の特定のステージを対象としたモデル化が主であり、ライフサイクルを通した対象表現については今後の研究課題である。

(d) 詳細度

生産システム全体を計算機内にモデル化すると、莫大な記述量になることが予想される。そうした多量のデータを整合性をもって管理し、必要な情報を効率よく検索、推論、計算するためには、データの詳細度に応じたモデルの管理が必要である。すなわち、全体に対する大まかなモデルから、各部分に関する詳細なモデルまで、目的に応じた記述範囲と詳細度を有するモデルの研究が必要とされる。

(2) シミュレーション技術

モデルとして構築された生産システムが、与えられる条件下でどのように動作し、変化していくかを導くシミュレーション技術は仮想生産の予測能力を決定する重要な技術である。シミュレーション技術をここでは、処理速度に関するリアルタイム性、結果の精度に関する高度リアリティ、ならびにシミュレーションシステムの構成に関わる開放性の3つの点から、その技術課題を述べる。

(a) リアルタイム性

仮想生産を実生産と情報面で等価なものにするために、時間的に同等の応答性を有することが望まれる。そうしたシミュレーションにおけるリアルタイム性を実現するためには、処理の高速化に対するハードウェアとソフトウェアの両面からの改善が必要である。ハードウェア面では、近年その発達が目ざましい並列、超並列計算機の利用があり、ソフトウェア面では定められた時間内にその時点での最善の結果を出す時間保証処理、より効率的な処理を行なう高速計算アルゴリズムや近似計算法の開発などが挙げられる。

(b) 高度リアリティ

仮想生産でのシミュレーションでは、そこで生じた事象が物理的な諸制約を満足していることが重要である。そうした物理的に妥当なシミュレーションを物理シミュレーションとよぶことにすると、仮想生産のリアリティを高めるためには、より高度な物理シミュレーションを実現することが重要となる。また、仮想生産を人間に対してより現実味をもって呈示するためには、ハードウェア、ソフトウェア両面において進展の著しいコンピュータ・グラフィックスの技術を積極的に援用していくことが望まれる。

さらに、シミュレーション内における個々の処理に対するリアリティを高めるために、シミュレーション内において、実際の機器の制御言語や通信プロトコルをそのまま用いることができるようにする技術を確立することが大切である。

(c) 開放性

開放性に関しては、(i) シミュレーションに関してこれまで蓄積されてきた知的資産の活用、(ii) シミュレーションの過程へのユーザの関与、の2点を実現することが重要である。

前者に対しては、シミュレーション機能のモジュール化とインタフェースの標準化をはかることで、異なるシミュレーション・システムを水平的統合（機能分割）ならびに垂直的統合（階層化）を可能とする。

後者に関しては、ユーザが仮想生産の一要素となり、シミュレーションの進行を監視したり制御できるような、高度なコミュニケーションを有した対話的なシミュレーション手法が必要である。これに関しては、現在注目を集めている仮想現実(virtual reality)の技術が利用可能であろう。

(3) 高度利用技術

仮想生産が上記の技術課題を解決することで実現されたときに、それを有効に利用していく技術の開発も重要である。ここでは仮想生産の実生産への適用と、教育への利用のための技術課題について述べる。

(a) 仮想-実世界接続

仮想生産が情報面において実生産の忠実な複製であるのならば、仮想生産はさまざまな実生産システムの構成要素のテストに用いることができよう。たとえば、仮想生産システムに実機器を組み込んで、各種のインタフェースに関するテストを実施したり、機器の制御プログラムを実機でテストする前にまず仮想生産システム上の仮想機器上でテストを行ったりすることが考えられる。こうした仮想生産と実世界との接続は、仮想生産の成果を計算機内に留まらせることなく、実生産システムに反映させるためにも重要な研究課題となる。

(b) 生産工学教育

仮想生産は生産工学の教育に関して大きな用途を持つと考えられる。たとえば、生産システムがどのような構成要素、要素間の関係から成り立っているかを、計算機内に構築された仮想的な生産システムを参照したり運用したりしながら学習していくことが可能となろう。また、生産システムの設計や運用に関しても、自分で仮想的な生産システムを設計し、運用していくことで、多くの経験を積むことができるであろう。

仮想生産は、生産に関するさまざまな内容を計算機内で表現、操作できるように形式化、組織化している。このことは、生産工学に関するさまざまな知識が仮想生産に盛り込まれるとみることができ、仮想生産の実現は、生産に関するさまざまな知識を“活かした”形で整理することに有効であると考えられる。

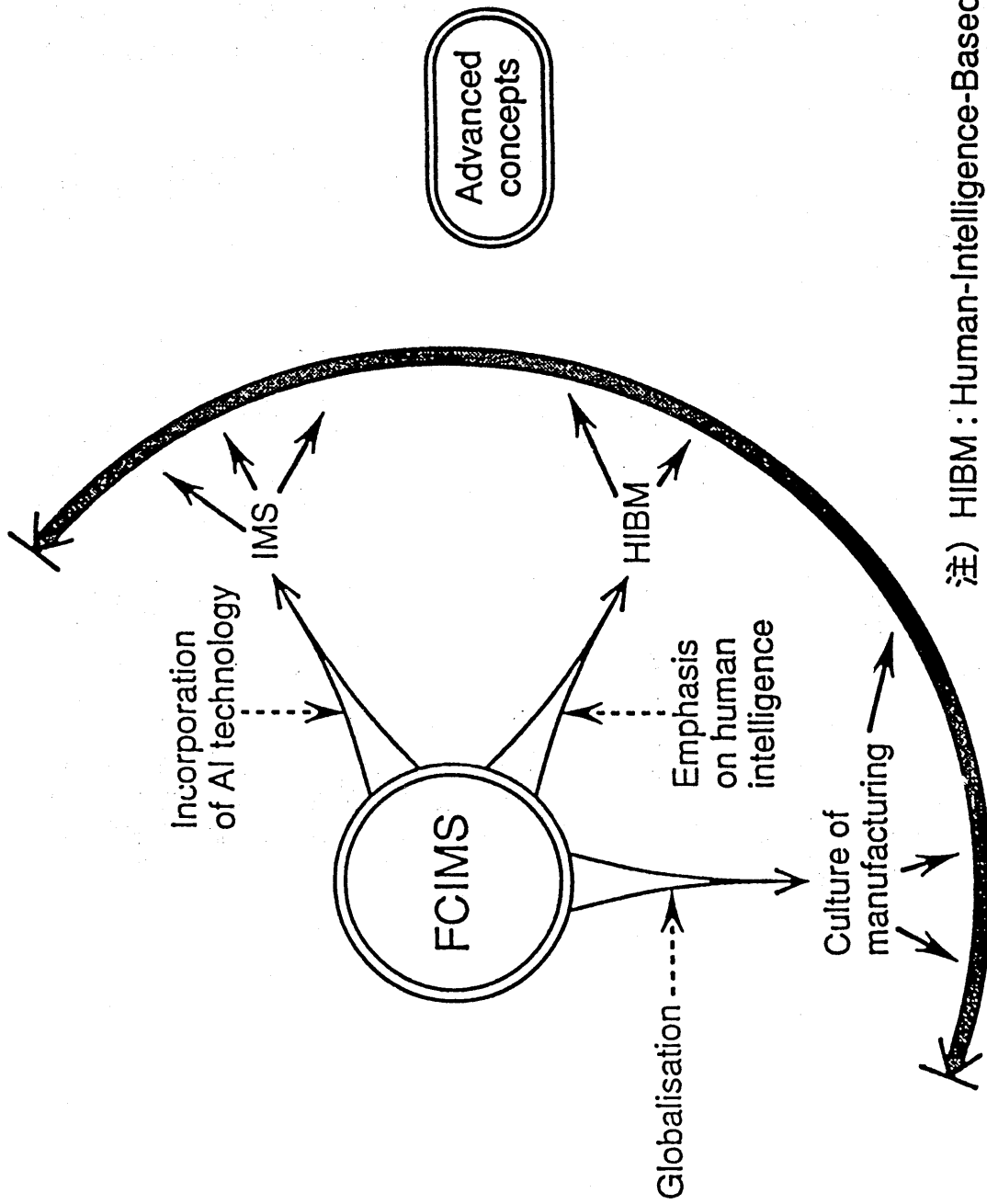


図3.1 人間との係わり合いを重視したときの
FCIMSの発展方向

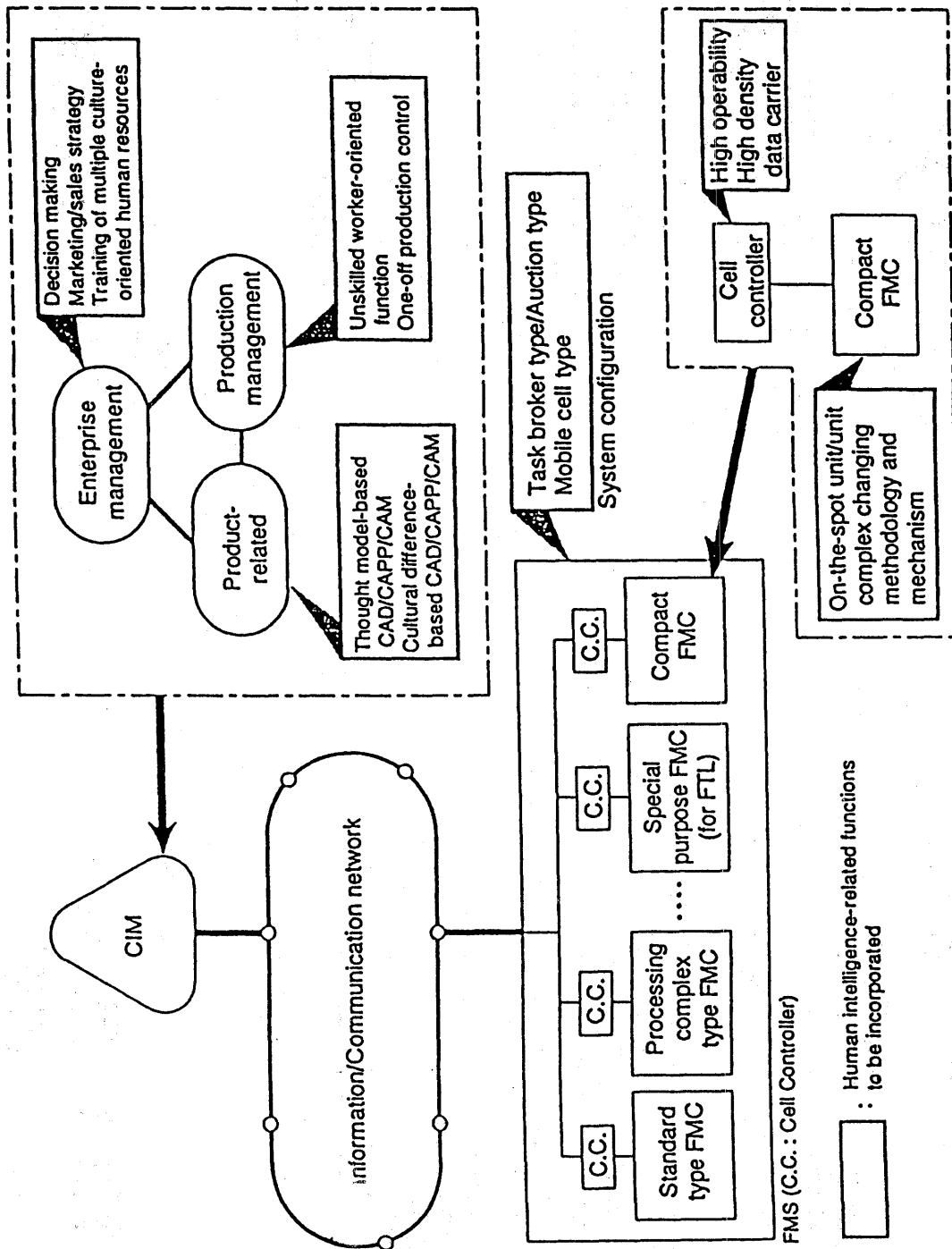


図3.2 Cultural Difference-Based Manufacturing Structureの基本機能の例

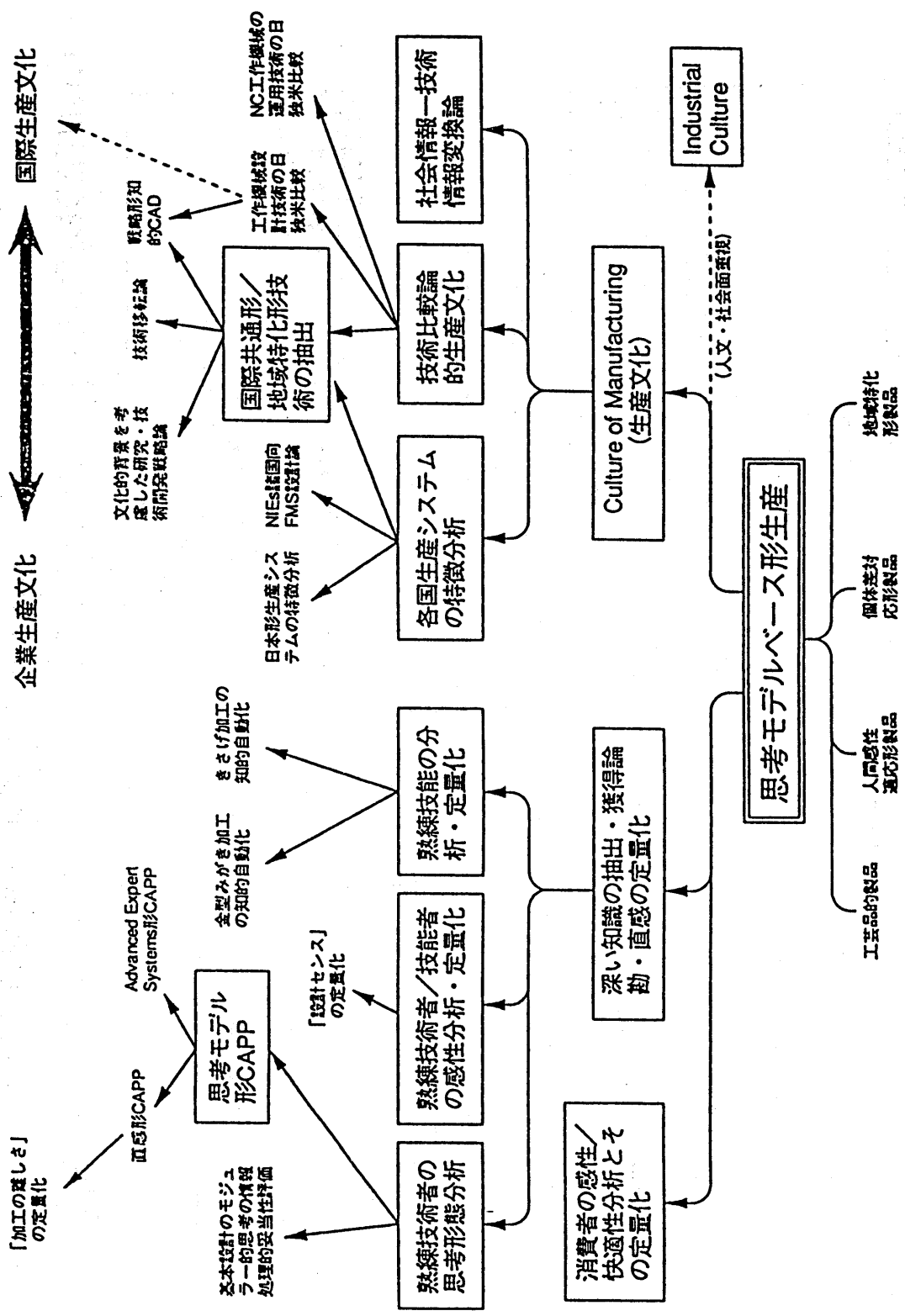


図3.3 思考モデルベース形生産に関する先行的の例

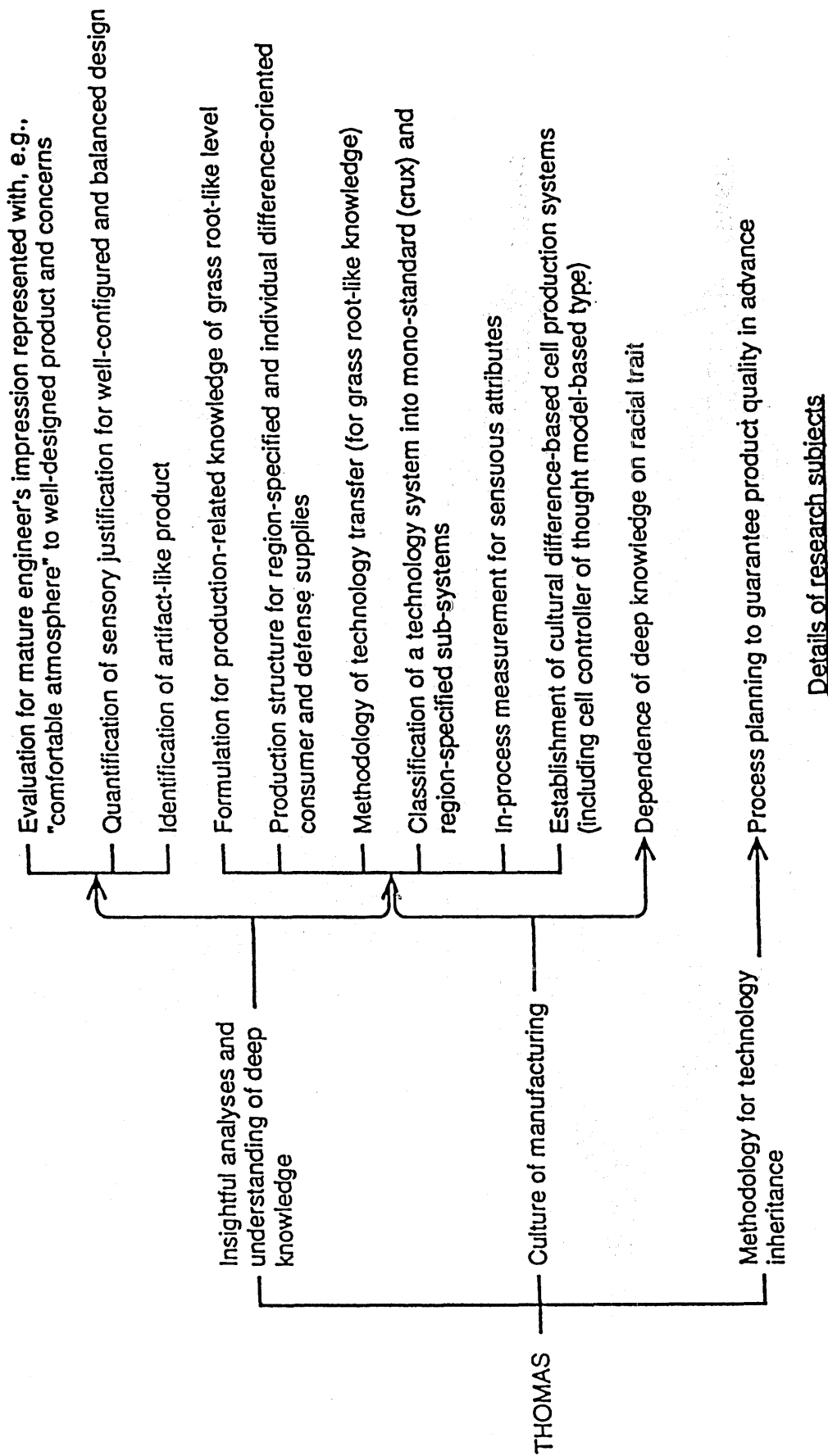


図3.4 思考モデルベース形生産の今後の研究課題の例

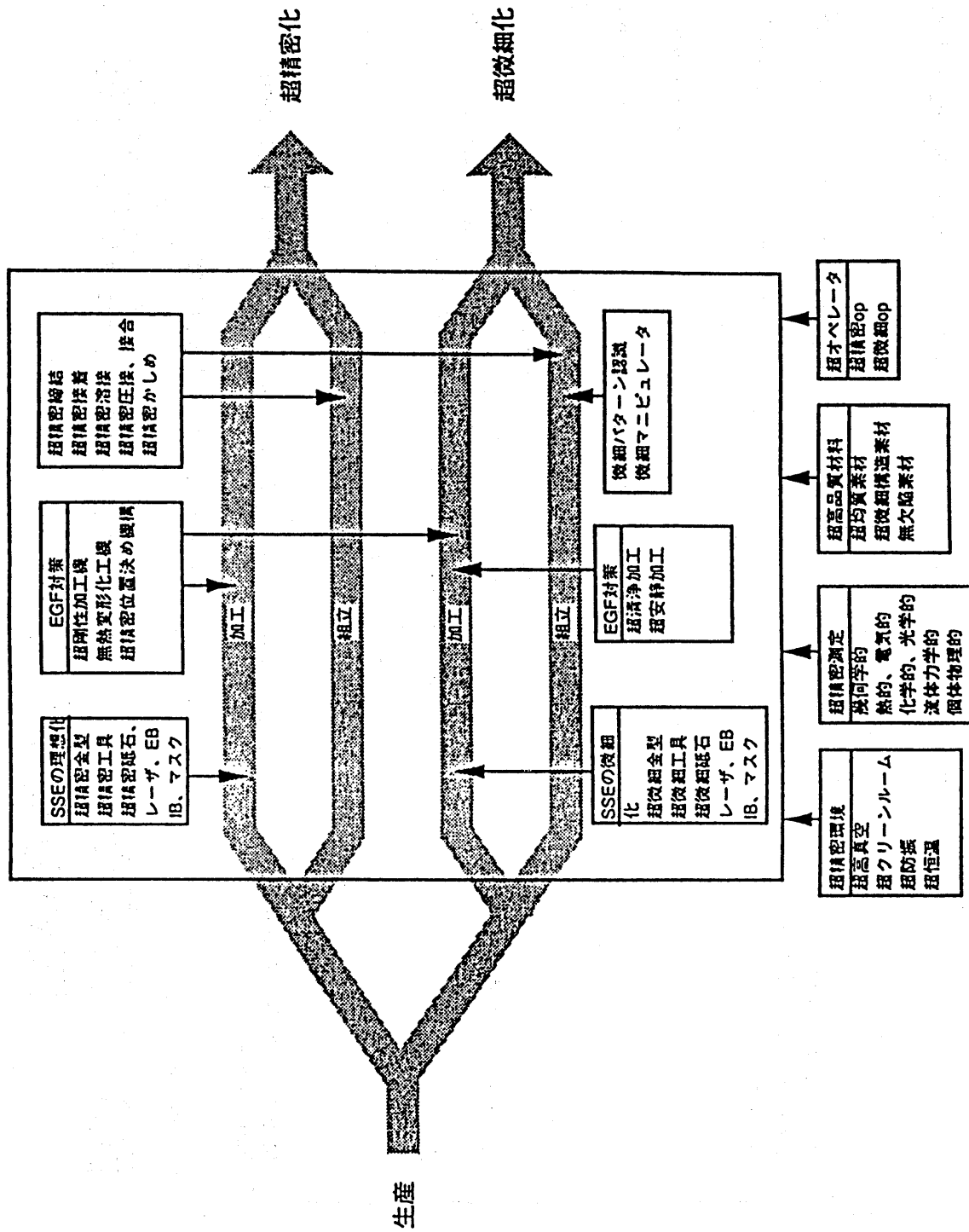


図 3.5 生産の超精密化, 超微細化

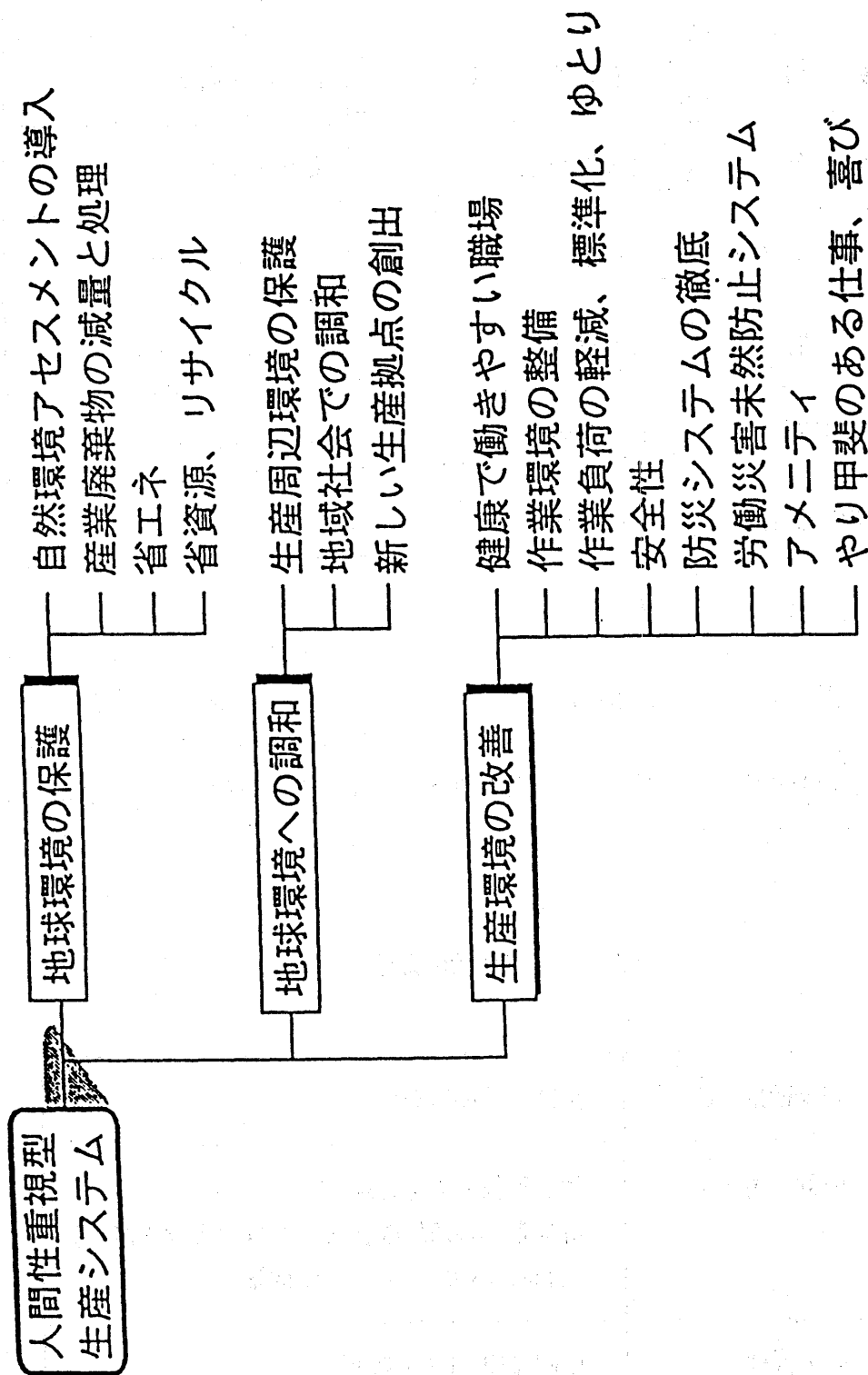


図3.6 人間性重視型生産システム

表 3. 1 作業環境の評価基準

	評 価 指 数	評 価 レ ベ ル
騒 音	等価騒音レベル	75 dB以下
臭 気	感能試験値	基準値以下
オイルミスト	気中濃度	0 mg/m ³
粉 塵	管理濃度	0.3 mg/m ³
有機溶剤	管理濃度	50 ppm
温度・湿度	不快指数	70 以下
汚 れ	汚れ度合い	0
放 射 線	被爆限度	50ミリシーベルト以下
重量物取り扱い	断続作業（連続作業）	10 kg以下（5 kg以）

表 3. 2 安全環境管理

安全衛生管理	生産環境の整備
労働災害防止	生産設備の安全管理 身障者への適用改善（エルゴノミック設計） 仮想防災避難システムの構築
防災管理	生産環境の防災設計 危険物管理 仮想防災管理システムの構築

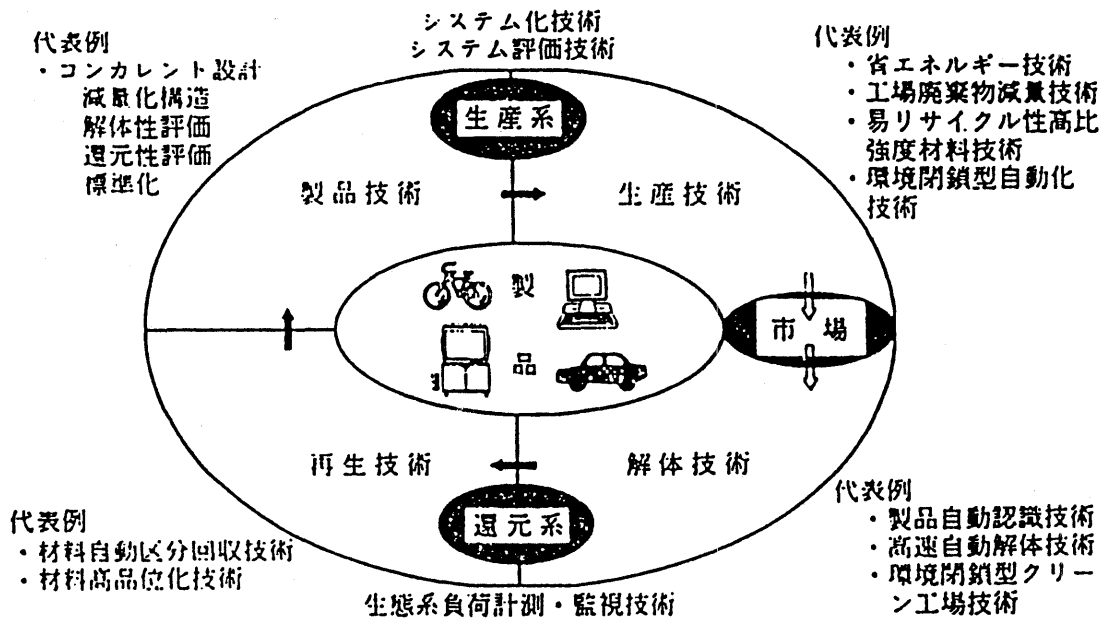


図 3.7 エコファクトリー概念図⁽⁸⁾

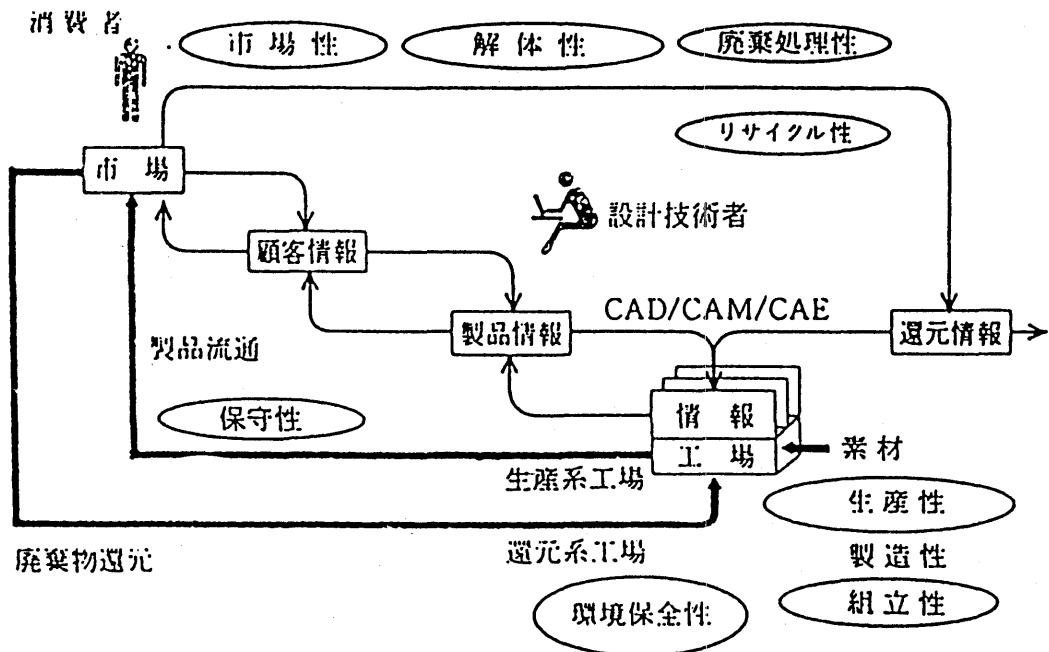


図 3.8 エコファクトリーにおける設計の概念⁽⁸⁾

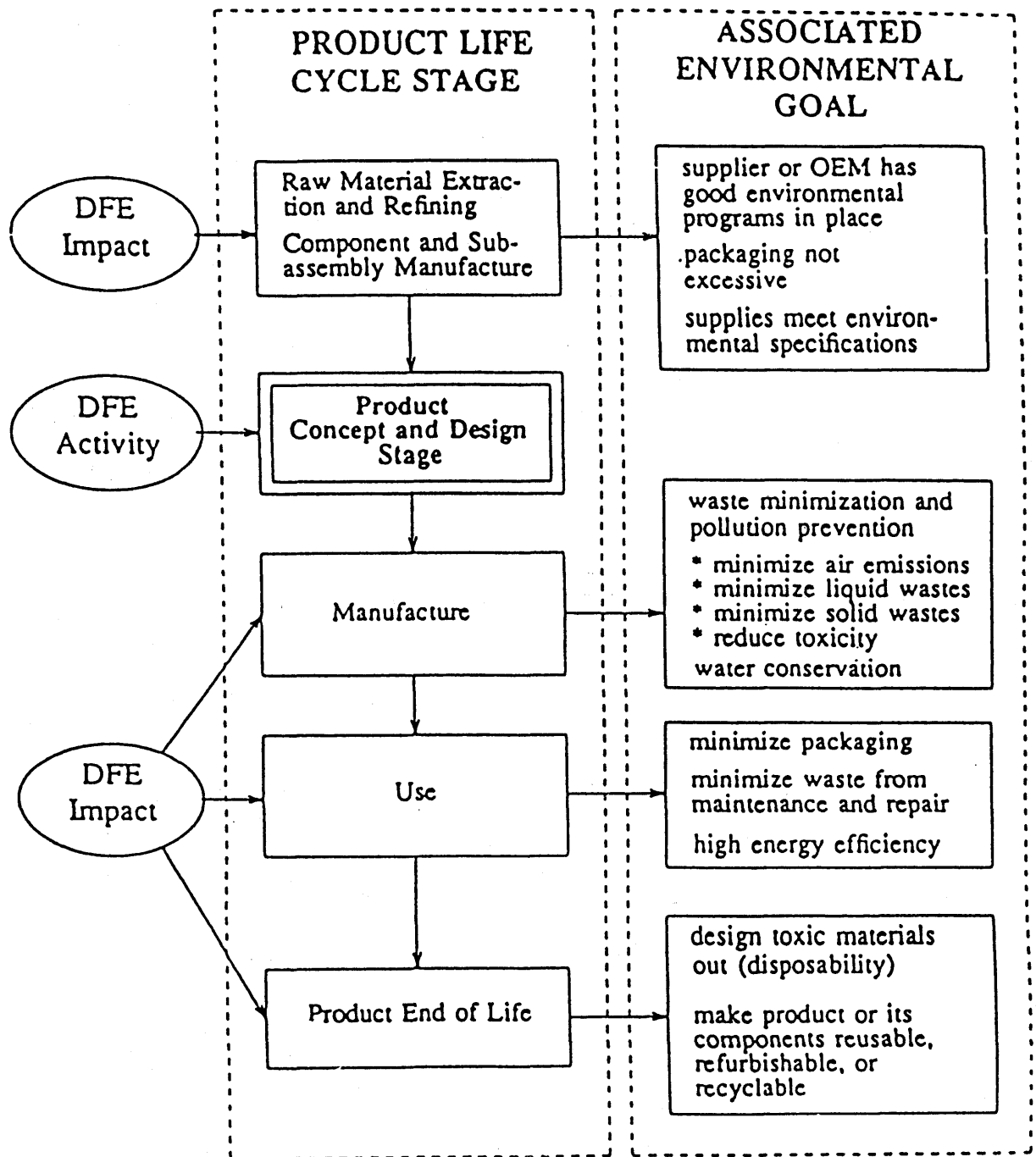


図 3.9 環境を考慮した設計に考慮すべき事項^(1,2)

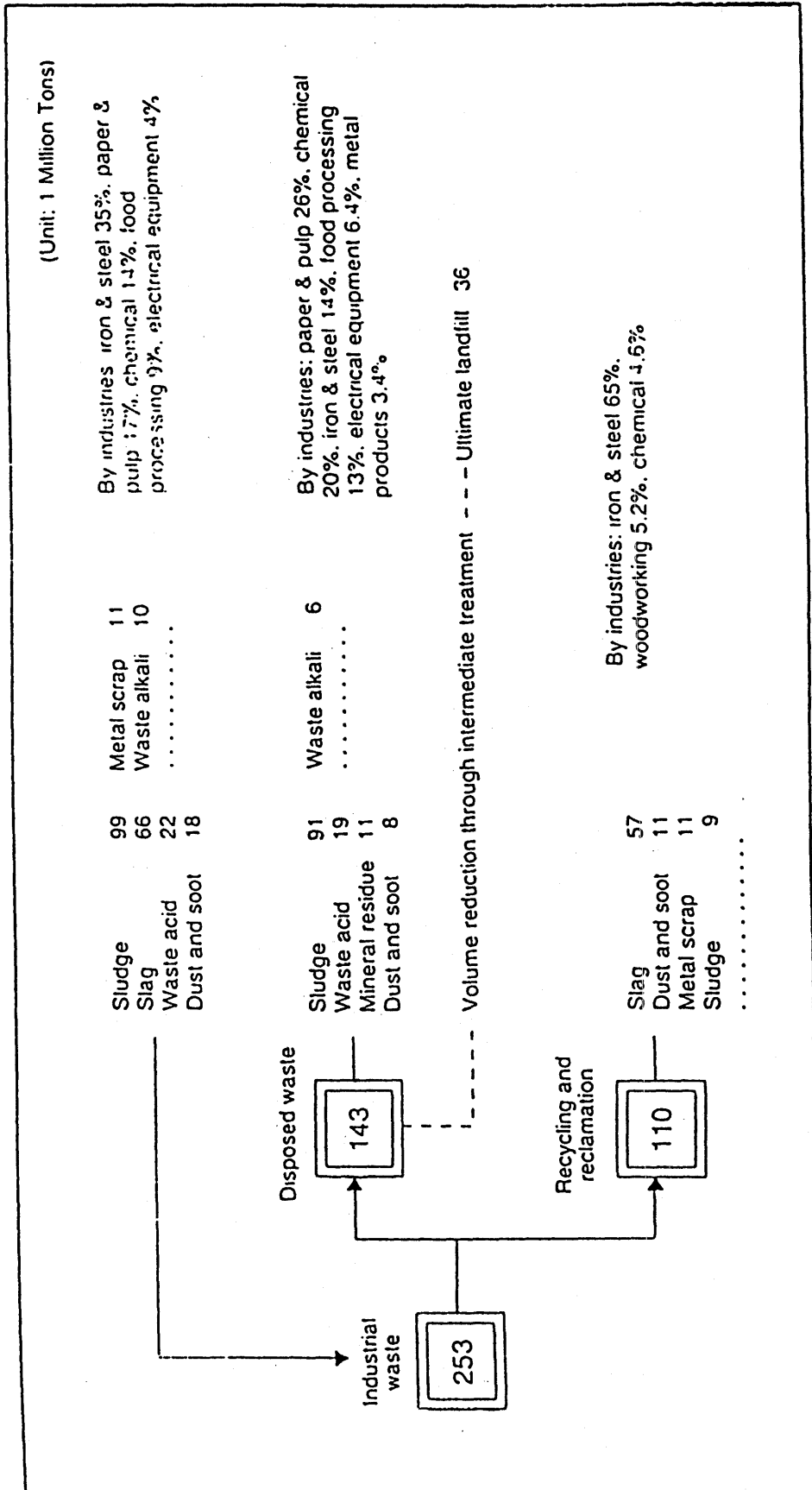


図 3.10 廃棄物処理の現状(1987 年度) (10)