

自動制御研究連絡委員会報告  
ーメカトロニクス教育と研究への提言ー

平成9年6月20日

日本学術会議  
自動制御研究連絡委員会

この報告は、第16期日本学術会議自動制御研究連絡委員会の審議結果を  
取りまとめ発表するものである。

- 委員長 高野政晴（第5部会員、関西大学工学部教授）
- 幹事 古田勝久（東京工業大学大学院情報処理工学研究科教授）  
橋本康（愛媛大学農学部教授）
- 委員 荒木光彦（京都大学大学院工学系研究科・工学部教授）  
有本卓（立命館大学理工学部教授）  
片山徹（京都大学大学院工学系研究科・工学部教授）  
木村英紀（東京大学大学院工学研究科・工学部教授）  
佐野昭（慶應義塾大学理工学部教授）  
背戸一登（日本大学理工学部教授）  
西川禎一（第5部会員、大阪工業大学情報科学部長）  
橋本伊織（京都大学大学院工学系研究科・工学部教授）  
梅干野晃（東京工業大学大学院総合理工学研究科教授）  
吉川恒夫（京都大学大学院工学系研究科・工学部教授）
- 協力者 仁川暁美（三菱電気株式会社電力工業システム技術部長）  
小菅一弘（東北大学工学部教授）  
板尾清（中央大学理工学部教授）  
黒崎泰充（川崎重工業株式会社電子制御技術開発センター長）

# 「メカトロニクス教育と研究への提言」

## 目次

内容	ページ
1. はじめに	1
2. メカトロニクスの発展の歴史	4
2.1 メカトロニクス技術の潮流	4
2.2 メカトロニクスシステムの広がり	4
2.3 イノベーションの方向	6
3. メカトロニクス教育の現状（大学）	11
3.1 メカトロニクス教育とは	11
3.2 制御系学科におけるメカトロニクス教育	11
3.3 電気・電子・情報系学科	12
3.4 機械系学科におけるメカトロニクス教育	13
3.5 メカトロニクス教育の課題	14
4. メカトロニクス教育の現状（産業界）	15
4.1 企業を取り巻く市場環境の変化	15
4.2 各産業分野で要求されるキーテクノロジー	15
(1) 電子産業	16
(2) 家電産業	16
(3) 重電産業	16
(4) 産業機械産業	17
(5) 事務機械産業	17
(6) 医療・福祉機器産業	18
(7) 自動車産業	18
(8) 航空・宇宙産業	19
(9) 船舶・海洋産業	19
(10) 鉄道車輛産業	20
(11) 建築・土木産業	20
4.3 現在のメカトロニクス教育が抱える問題点	20
(1) 工学教育の課題	20
(2) メカトロニクス教育の問題点	21
4.4 企業内教育の目標とメカトロニクス教育の概要	22
(1) 開発、設計者に求められる要件	22
(2) 企業内教育の目標	23
(3) メカトロニクス教育の概要	23
(4) メカトロニクス教育の実施要領	25
(5) メカトロニクス教育の具体的事例	26
4.5 メカトロニクス教育に対する要望事項	29
(1) 要素技術とシステム技術の体系的な理解度の向上	29
(2) メカトロニクス機器の挙動の観察とシステム構成力の強化	29
(3) 他分野の技術との関連づけの強化	30
(4) 人間生活により密着したメカトロニクス教育の実施	30
5. メカトロニクスに取り組む世界各国の状況	32
6. メカトロニクス教育と研究への提言	34
7. 各産業を支えるメカトロニクス教育	36
ツリーマップ図	39

## 1. はじめに

今世紀（20世紀）は科学技術の急速な展開に促されて新しい産業が数多く起こり、工業化が拡大し、洗練された時代であった。動力飛行機が初めて地上を飛んでからまだ90年しか経っていないが、航空機産業は今や成熟しつつあり、自動車の生産も始まってから今や120年を経ようとしているが、今や成熟産業となっている。原子核を見出し、核分裂を発見してからわずか数十年を経ずして我々は原子力発電所を築き、原子力エネルギーを日常的に消費している。トランジスターを発明し、電子や光を制御する方法を知ってからわずか50年しか経っていないが、我々は今やコンピュータとデジタル通信を日常生活の糧とするようになった。

自然科学の重要な発見は20世紀の始め頃から1960年前後までに集中したが、我々の日常生活の洗練化をもたらしたテクノロジーの波は、むしろ第2次世界大戦が終了して数年を経た1950年前後から今日に至る約50年間で激動的であった。現在、先端科学技術の名が冠せられる高付加価値製品や、先端的技術として工業化され、製品化されたものはほとんど過去50年間に起こされた。特に日本の産業界が、世界の産業技術の発展に対して貢献し得たものは、ほとんどがメカトロニクス関連技術の最近25年間にわたる急速な発展と展開であった。その最大のきっかけは、半導体技術を中心としたエレクトロニクス技術の進展であったが、直接的な動因はLSI化されたチップのマイクロコンピュータの開発（1971年）であった。これは、もっと大きな波としてコンピュータとデジタル通信技術（C&C）の革命をもたらし、今、マルチメディアの時代を迎えている。

21世紀の科学技術の中心的な流れはC&C（Computer&Communications）が引き継ぐであろうが、先進国では急速に進む高齢化社会を迎え、科学技術は高齢者ケアと医療および福祉の問題に貢献しなければならなくなる。発展途上国は今や急ピッチで産業化を押し進め、エネルギー多消費型の先進国に追いつく過程で環境問題が地球規模的な広がりで見ることが予測されようとしている。21世紀に入って10年を経ずして、農業問題やエネルギー問題も重要度を増し、そして切実になってくるはずである。こうして、21世紀では、高齢者ケア、医療と福祉、地球環境に寄与できる科学技術を推進し、省資源と省エネルギー化の実現をはかる技術を育成し、これらを推し進めるための企業化と産業化をはかることが重要になろう。

そして、メカトロニクスはそのような方向づけを与え、進展させる基本技術であるはずである。上で述べたように、そして第2章でも詳しく述べるように、過去25年の間日本の先端産業を支えたものはメカトロニクス技術であった。それは21世紀を迎えても続くはずである。すなわち、メカトロニクスはC&Cと実世界（real world）をリンクする科学技術であるからである。コンピュータは情報処理機械であり、通信は人々や機械が、機械あるいは人へと情報伝送を行うことを容易にする技術であり、各種メディアは音声や画像、映

像を貯え、編集し、出力できる技術に関係する。しかし、人間そのものの活動、すなわち、人間の日常生活における手作業そのものや、機械の各要素の動きの調整、それに、人間や機械の活動の場である実世界（工場や製品製造のプロセス、環境、病院やリハビリテーションの施設、家の中）との物理的触れ合いはメカトロニクス技術によって達成される。この意味でメカトロニクスはコンピュータと実世界とを結ぶリンクを作る技術である。20世紀の先端産業に見られるメカトロニクス製品はエレクトロニクスと機械の融合技術であった。21世紀には、この融合技術をエレクトロニクス（あるいはコンピュータ）と人間の日常行動との融合技術にまで広げて行かなければならない。言い換えると、”human-oriented mechatronics”が医療や福祉、老人ケアの諸問題に寄与しなければならない。勿論、エレクトロニクスと機械の融合の更なる進展をはかることも一層重要であり、これが省資源と省エネルギー化の新たな技術展開につながって行くはずである。

このような状況の中で、メカトロニクス技術を進め、展開し、上述の諸問題に役立てることのできる人材の育成は十分に考えられているだろうか。日本の大学教育ではメカトロニクス関連の教育はどのようになされているのであろうか。日本の大学では、工学部の各学科は専門別に設立され、伝統的に「電気工学科」、「機械工学科」「建築土木工学科」等々が中心になり、ここに技術者はいわゆる「電気屋」、「機械屋」、「土木屋」、等々と色分けして卒業し、産業界に入っても、お互いの領分に踏み込まないで住み分けを続けて来た。コンピュータが誕生し、情報科学技術の重要性が叫ばれ、ここ20年の間に沢山の情報工学科あるいはコンピュータ科学技術を指向する学科群が設立された。こうして、新たに「コンピュータ屋」の誕生を見たが、メカトロニクス技術を展開するための人材は育ったのであろうか。1970年代にソフトウエア危機が叫ばれ、日本の津々浦々にまで情報工学科の卒業生が行き渡った現在、こうして純粋に育まれた「コンピュータ屋」は実世界をほとんど理解できない技術者となっていることが指摘され出している。すなわち、産業の現場を。知り得ず、物を作るプロセスを理解できないまま、コンピュータとそれらを結ぶネットワークの中の仮想空間におけるシンボル操作にしか興味をもてなくなっているか、あるいは、そのような技術にしか自分の能力を発揮できなくなっている。工場や病院、自然環境や農場といった実世界からの情報発信を受けることが出来ず、これら実世界との相互作用が取り扱えないのである。

こうして、現在の工学部卒業の多くの技術者は自分の出身母体となった専門にあまりにも固執し、メカトロニクスの新しい展開についていけないままに終わっている。メカトロニクスはシステム化技術であるエレクトロニクス技術とアクチュエータ技術を駆使して、対象物の運動をセンシングし、そしてそれぞれの物理量をリンクし、複雑な対象を協調させて動かす技術である。その意味で、メカトロニクスの諸要素を学び、統合化する原理を知り、システム設計できる固有の人材を育てねばならない時期に来ている、第3章、第4章で述べるように、現時点でメカトロニクスをシステム化技術として把え、カリキュラムを

整え、学科新設されたものは日本全体で数個の学科があるに過ぎない。むしろ、日本の産業界において、個々の企業が社内教育としてメカトロニクス教育に取り組み、人材養成に当たってきたのが現状である。メカトロニクス技術者は、今まで、企業個々の社内の現場あるいは社内教育によって育てられたのである。繰り返して強調するが、メカトロニクスはシステム統合化の技術であり、従って、電気工学や機械工学の諸技術と物理的諸要素の融合の技術でもある。そして、未来に必要な人間と機械の物理的な触れ合いはメカトロニクスの新たな展開を必要とする。

本報告書は、過去25年、日本の先端産業がメカトロニクス指向で進んできたことを指摘しつつ、21世紀を望見できる現在、その進むべき道を着実に歩むようにするために採るべきメカトロニクス研究の体制と教育体制を調査し、議論し、提言をまとめる。

## 2. メカトロニクスの発展の歴史

### 2. 1 メカトロニクス技術の潮流

機械の制御技術の源流は、18世紀末にジェームス・ワットの発明した调速機にあるといわれている。さらに時代を下って行くと20世紀初めから、自動車、航空機、船舶の発達があり、1957年には、人工衛星の打ち上げがあった。さらにこのころ、MITのハリソンによって電気制御による高精度な回折格子刻線機（ルーリングエンジン）が実現され、数値制御工作機械の基礎研究が始まった。

以上の歴史を受けてメカトロニクスに関する新技術の萌芽を辿ると、表1に示すように1960年代初頭にプロセスオートメーションの幕があき、1960年代後半には、電気制御技術によるメカニカルオートメーションの時代が始まった。さらに1970年代に入るとIC、LSIによる機電一体時代すなわち、メカトロニクス時代が萌芽し、1970年代後半に至って、マイクロプロセッサの導入による機・電・情の本格メカトロニクス時代を迎えた。この間1962年に発振に成功した半導体レーザが1970年には室温で連続発振した。これを受けて1980年初頭に機・電・情・光のオプトメカトロニクス技術が芽を出した。しかし、技術の組合せはあっても融合にはほど遠く、未だメカトロニクスの一形態にとどまっていたといえる。

1980年代後半になり、半導体分野での微細加工技術の応用によって、マイクロマシニングの研究がさかんになり、各種センサやマイクロアクチュエータの実現の可能性が増してきた。これに加うるに、機械技術の微小化を極限まで追求するマイクロメカニズムの研究が進み、これらを総合したマイクロメカトロニクスの時代がやってきた。

1990年代になると光を媒介にして、情報とエネルギーが融合する形態のいわゆるマイクロメカフォトン技術が芽ばえるとともに、先行のマイクロメカトロニクス技術に光技術が加わったマイクロオプトメカトロニクスの時代が出現した。さらに1990年代後半は、分子・原子レベルまで進むナノマシンを主体にして、ナノ制御、ナノセンシングが加わってナノメカトロニクスともいべき時代に入ったと考えられる。

これら深まり行く先端要素技術と画像処理、新制御理論、コンピュータ利用技術が融合して、システムインテグレーションという水平展開が幅広く追求され、新たな機能機器が生み出されると共に、新たな生産技術が産業界を中心に続々と誕生している。

### 2. 2 メカトロニクスシステムの広がり

メカトロニクスをシステムとして捉えるなら、高度情報社会において、人間の頭脳に当るコンピュータ、神経に当る通信網と並んで重要な役割を担うのが、五感・手足に当る情報センシング・表示・動作などの制御系、すなわちメカトロニクスシステムである。

図1のように、メカトロニクスシステムをとらえる。巨視的には巨大コンピュータシス

テムと通信システムに接続されて、メカトロニクスシステムが三位一体となっている。このうち、メカトロニクスシステムに焦点を合わせてみると、その具体的機能は以下のように考えられる。

1. 指令・信号を感知する役目のセンシング機能
2. 供給されたエネルギーを動力に変換する動力機能
3. 指令通りにメカニズムを動かす運動機能
4. 情報記憶・処理から、判断・思考へと高度化を目指すプロセッシング機能
5. プロセッシング機能とセンシング機能からの情報に基づき、動力と運動を適切に制御する制御機能

メカトロニクスシステムにはこの5つの機能を全部備えるもの、または一部備えるものがあり、外部からの指令あるいは信号などの刺激(入力)によりさまざまな応答(出力)を示す。まず入力には次のインターフェイスに関わるものが考えられる。

1. ヒューマンインターフェイス：人間の声や指の動作
2. コンピュータインターフェイス：コンピュータからの直接信号
3. ネイチャーインターフェイス：自然界からの音、振動、電磁波、において、温度、イオン濃度などの物理量

出力は、ディスプレイ・プリンタ・音声出力などによる視聴覚情報提示、情報検索、変換・蓄積・自動運転車・自動操縦飛行機などによる走行・運搬・自動化作業・知能ロボットにおける状況判断による行動などのさまざまな形態となる。

表2は、メカトロニクスシステムの存在分野という観点から整理したものである。宇宙、空中、地上、海洋、地下とその適用範囲はおびただしく広い。また、利用分野でも、交通・物流、建設、生産、地球観測、アミューズメントなどに広く浸透している。

一般的手法に従うならば、メカトロニクス技術も材料、部品、機器(装置)、システムという機能レベルの階層として分類することができる。一方、これらの技術を生み出す基盤技術として、マイクロ加工、光モジュール組立、計測・制御技術がある。さらに根源的には、これらを実現するためのシステム構築、仕様抽出、具現化手順などにかかわる設計技術が不可欠である。図2は、オプトメカトロニクスに密接に関連する技術を、具体的にレベル分析したものであるが、機能レベル、製造レベル、設計レベルに分けて表すことができる。すなわちメカトロニクスは、機械の機能を実現するための技術でありながら、機械そのものを製造するために不可欠な技術でもあり、さらにそれらを設計する段階でシステムインテグレーションの概念がメカトロニクスの本質的概念として不可欠であると言うこともできる。



## 2.3 イノベーションの方向

物理学の世界を振り返るとき、18世紀後半から始まった産業革命およびそれ以降の近代技術や産業に大きく影響を与えた科学はニュートン力学などの古典物理学であった。ニュートン力学は、人の目にみえるマクロの世界であり、エネルギー革新にその真価が発揮された。つまり人間の筋肉労働を蒸気機関、自動車、船、一般機械などで代替し、重厚長大産業を発展させてきた。しかし、これらの産業は資源を大量に消費することで成り立つため地球環境破壊につながった。

これに対し、20世紀前半にほぼ確立した現代物理学、その中核となる量子力学は今世紀後半から21世紀に向かうハイテク革命を推進する科学である。これは分子、原子の超ミクロの世界の科学を形作り、情報、エレクトロニクス、バイオ、新素材、マイクロマシンなどの先端技術を、続々と開花させてきた(表3)。

図3に具体例としてのミニチュアリゼーションの展開を示す。ミニチュアリゼーションの推進のために集積回路，“集積機構”，“集積情報”の諸技術を深め、これを三位一体として捉え、融合化を図ることが求められる。このようにして微小化による高性能化、高機能化の実現と微小人工物の多数使用による新機能の実現が可能となってきた。

図4に、マイクロメカニズムを核にした各種技術の集合体・融合体からなるマイクロメカトロニクス技術を示す。ここでのマイクロメカニズムは精密機械系のものとシリコンなどの半導体系のものが含まれ、マイクロ理工学の裾野の上にマイクロメカトロニクスが広がっている。

以上のように進展してゆく要素技術をベースに画像処理、構造解析ソフトウェアなどの最新のコンピュータ利用技術を採り入れつつ、メカトロニクスは製品の付加価値を一段と高める統合設計、システムインテグレーションという概念で表現される新技術へと間断なきイノベーションの道を歩んでいるといえる。

表1 新技術萌芽の概略年代

年代	技術の進歩と新しい時代の兆し
1960～	化学工業，重機械工業中心のプロセスオートメーション
1965～	電気制御技術の導入によるメカニカルオートメーションの時代
1970～	IC, LSIなどの電子技術の導入による機械・電気の時代 (初期のメカトロニクス)
1975～	マイクロプロセッサの本格導入による機械・電気・情報の時代 (メカトロニクス)
1980～	半導体レーザーの実用による機械・電気・情報・光の時代 (オプトメカトロニクス)
1985～	プロセス加工技術の導入による電気・物理・機械・情報・光の時代 (マイクロメカトロニクス)
1990～	情報とエネルギーの融合を実現する光・化学・物理・電気・機械・情報の時代 (マイクロメカトロニクス)
1995～	ナノマシンとナノ制御，ナノセンシングの融合の時代 (ナノメカトロニクス)

表2 メカトロニクスシステムの存在分野と具体例

適用空間 目的	宇宙 空中	陸上	地下	海洋
輸送	スペースシャトル イナーシャガイダンス	自動操縦車 インテリジェント 交通システム	ファジィ制御 の地下鉄	自動化船 海洋情報都市
建設	宇宙ステーション	高層免振ビル 柔構造ビル	ジオフロント	海洋都市
生産	無重力工場	自動化工場 (CIM, FA) 自動倉庫	植物工場	海洋牧場
観測	観測衛星 (ボイジャ) 大気温湿度計測 (アメダス)	生態系観測	マグマ観測 地震波観測	海底隆起観測 海中濃度観測

表3 科学の進歩と産業構造の変化

科学	古典物理学 ニュートン力学（17世紀末） 熱力学，電磁気学， 無機化学など	現代物理学 量子力学（20世紀初頭） 原子物理学，有機化学， 分子生物学など
主要対象	マクロの世界 （人の目に見える大きさ）	ミクロの世界 （人の目に見えない大きさ）
技術へのインパクト	エネルギー革新 （筋肉の代替効果）	情報革新 （脳神経系の代替効果）
産業への応用分野	熱機関（蒸気機関など），製鉄， 造船，自動車，化学工業，初期 段階の石油化学など	エレクトロニクス，原子力， 新素材，石油化学，バイオテク ノロジーなど
産業のキーワード	重厚長大	軽薄短小
地球環境への影響	エネルギー・資源多消費型（厳 しい）	エネルギー・資源節約型（優し い）
産業史へのインパクト	18世紀後半からの産業革命を 支える	20世紀後半から21世紀にか けての技術革新，ハイテク革命 を支える

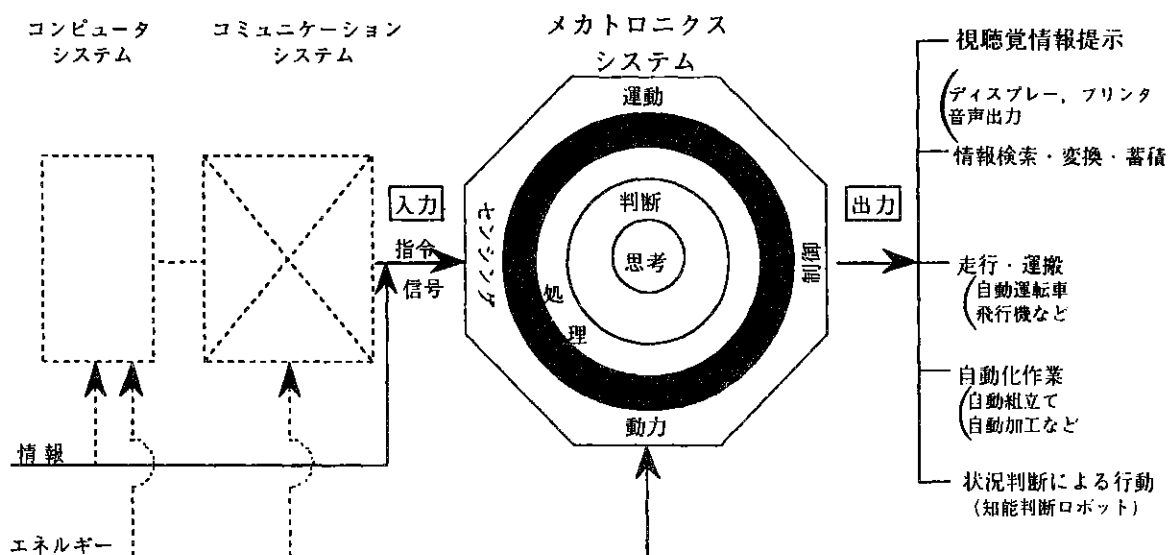


図1 メカトロニクスシステム

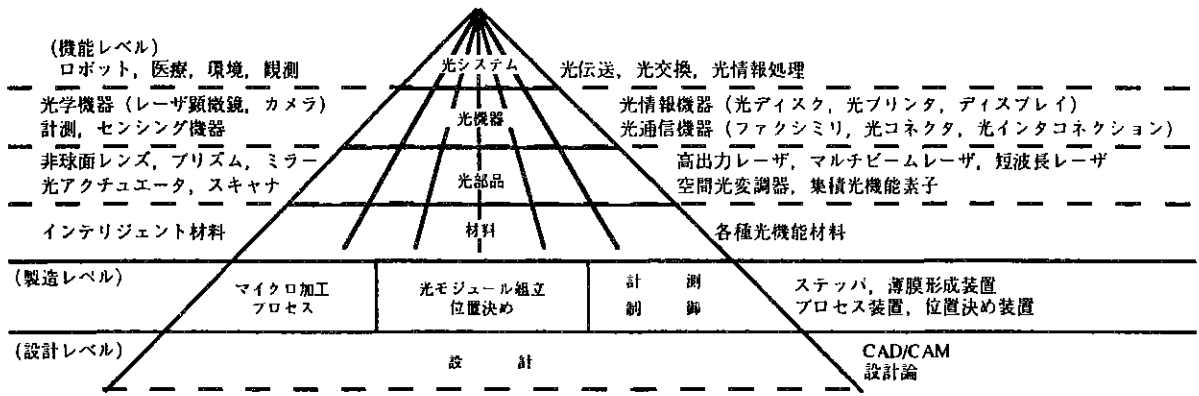


図2 オプトメカトロニクス像

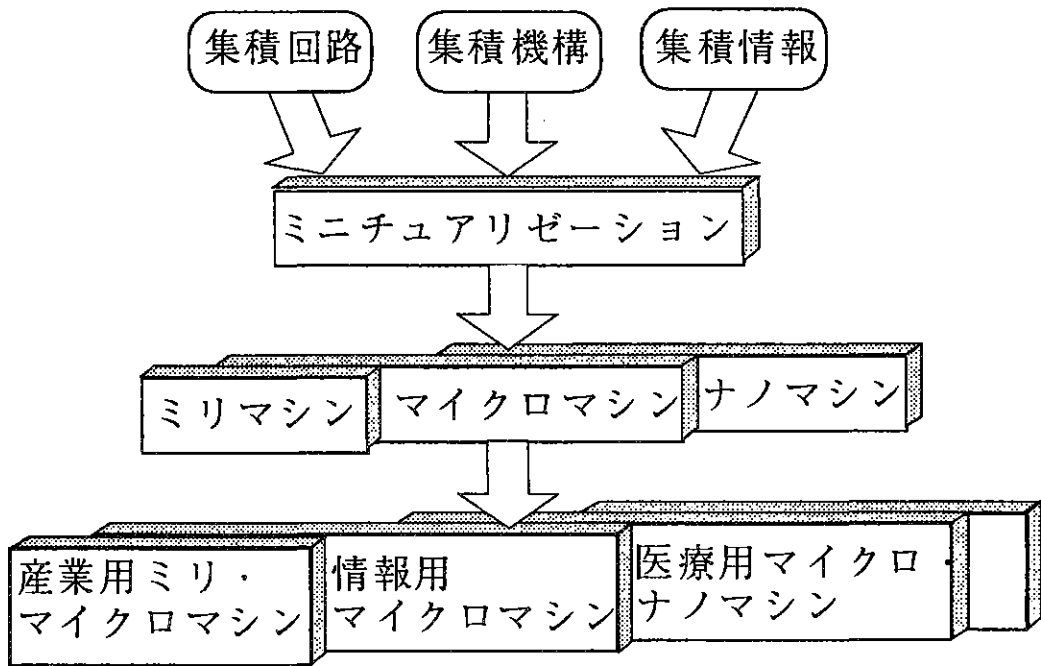


図3 ミニチュアリゼーションの展開

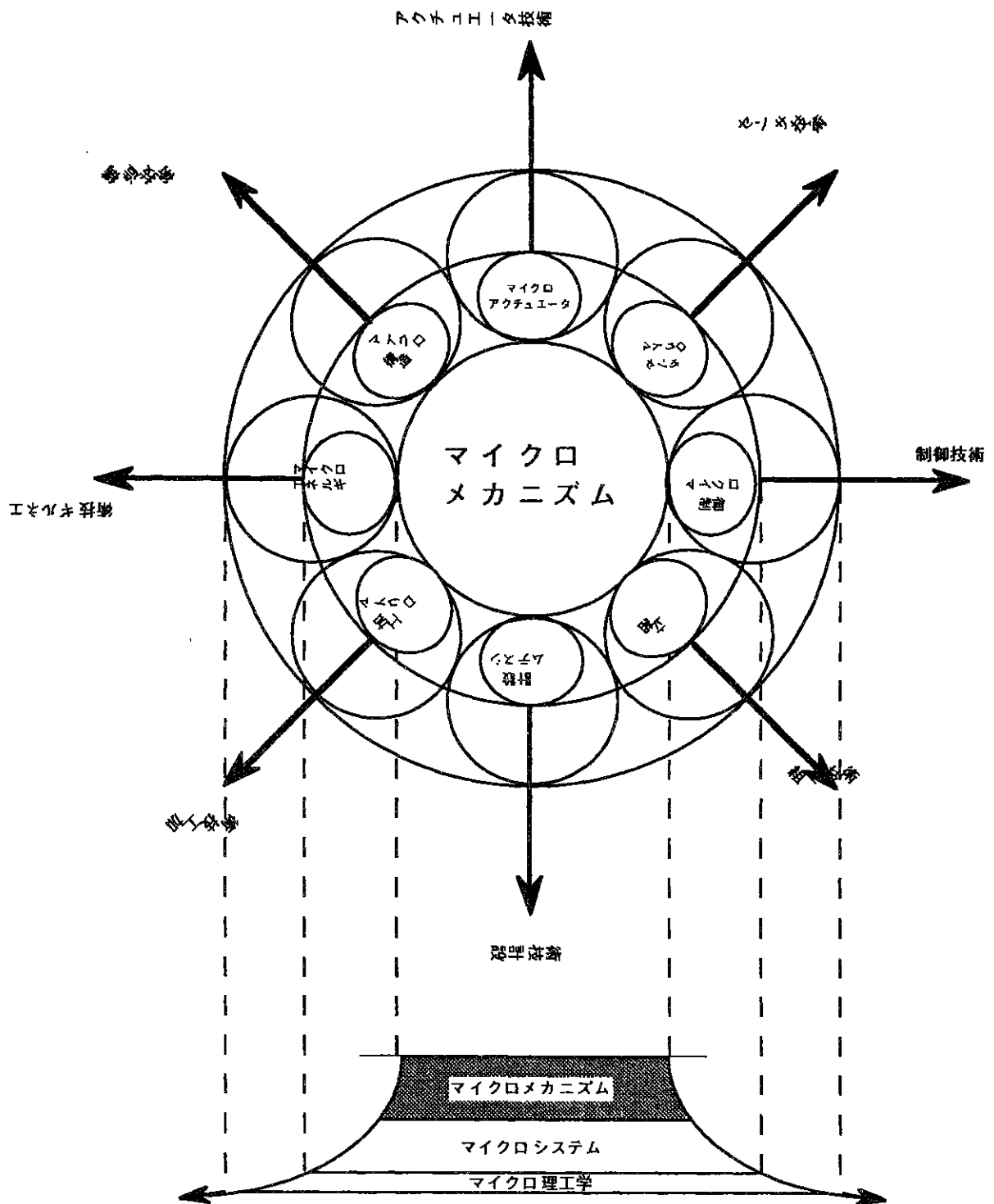


図4 マイクロメカニズムの世界

### 3. メカトロニクス教育の現状（大学）

#### 3. 1 メカトロニクス教育とは

メカトロニクスは、機械技術と電気・電子技術の融合によって誕生したが、単なる技術の融合ではなく、融合することによって新たな価値を生み出すことに成功した新しい学問領域である。現在のメカトロニクス技術の状況を考えると、単に機械と電気・電子技術というよりも、機械技術と、電気・電子・情報技術を含む他分野の様々な技術を融合して、新たな価値を生み出す技術がメカトロニクスであると言える。

世界中にメカトロニクスという言葉が浸透した中で、1994年に行われた米国マサチューセッツ工科大学の機械工学科のカリキュラム改訂において、その教育目標として「システムインテグレータ」を生み出すことを掲げ、システムインテグレーションを教育するという観点から、カリキュラムを全面的に見直していることは極めて興味深い。また、マサチューセッツ工科大学の機械工学科は、よく知られているように、ロボットコンテストを教育の一環として取り入れており、コンテスト形式の創造性教育においても長い歴史があるのは、偶然ではないような気がする。

様々な技術を融合して新しい価値を生み出すとともに、自ら変化し新たな方向を模索することは、いろいろな分野の基礎技術として取り入れられている伝統的な機械工学では、極めて重要なことであろう。日本の教育システムと米国の教育システムは必ずしも同一ではないので一概には言えないが、マサチューセッツ工科大学におけるシステムインテグレーションの重視は、米国でも、メカトロニクスの重要性が認識されていることのあらわれではないかと思う。

大学におけるメカトロニクス教育を考えると、メカトロニクスの構築に必要な基礎学問の教育のみならず、技術の融合によって新しいものを創造する工学としてメカトロニクスを体系化することが必要であるが、そこには未解決の難しい問題もいろいろと含まれている。以下では、メカトロニクスの誕生・発展に深い関係を持つ制御系学科、電気・電子・情報系学科、機械系学科における学部教育を中心にその現状を考える。尚、計測系学科もメカトロニクスと関係が深いですが、手元にある資料を見る限り、メカトロニクスとしての教育はあまり積極的に行われておらず、一部の大学で、ロボット、センサ、マイクロマシンなどに関係する科目がカリキュラムに含まれているだけなのでここでは割愛する。

#### 3. 2 制御系学科におけるメカトロニクス教育

制御工学は、「モーション・コントロール」などの言葉に代表されるように、メカトロニクスと深い関係のある分野である。初期の代表的なメカトロニクス製品である、NC工作機械や産業用ロボットなどからわかるように、制御工学は、メカトロニクス誕生の過程において大きな役割を果たしてきたし、最近まで、分野によっては、モーション・コント

ロールそのものをメカトロニクスと見なしてきた分野もある。制御という単語をその名称に含む学科も複数の大学に存在し、制御理論・制御工学の発展に大きな役割を果たしてきた。また、これらの学科のカリキュラムには、メカトロニクス関連の科目もいくつか含まれている。

制御（フィードバック制御）の歴史が、蒸気機関におけるJames Wattの调速器から始まったことはよく知られているが、制御は、元来、その対象に強く依存した技術であった。制御技術は、工学として発展・体系化されるとともに抽象化され、すべての工学に応用できる理論的学問として位置づけられるようになり、現在に至っている。

日本学術会議自動制御研究連絡委員会が平成6年に纏めた、自動制御研究連絡委員会報告「基幹工学としての自動制御—その将来像と教育のあり方—」によると、現在の制御工学が目指しているのは、すべての工学の基幹としての学問・すべての学科の専門基礎教育としての学問であり、その中核を、普遍的な制御理論・制御技術の発展においている。実際、制御工学に関係する学科では、制御理論・制御技術の教育を中心にカリキュラムを構成し、メカトロニクス関係の科目はいくつか講義されてはいるが、メカトロニクスそのものの教育はほとんど行われていない。また、メカトロニクスは制御理論応用の一分野とみなされることが多い。

メカトロニクス系を構築する場合、数式モデルが導出できれば、制御理論はシステムの挙動・安定性に関して有効な解析手段を提供してくれるが、どのようにモデル化すればいいのか、あるいは、どのようなシステム・技術をどのように組み合わせればいいのかについては何の情報も提供してくれない。メカトロニクスにおいては、その対象をよく理解することが極めて重要であり、伝達関数や状態方程式などに基づく抽象的な議論が全く役に立たないのは、多くの研究・教育者の認めるところである。制御工学は重要な技術であるが、理論的・理学的な学問を追究する制御工学と、工学としての特徴が強いメカトロニクスは、その目指す方向がかなり異なり、制御工学教育そのものでメカトロニクス教育を代用することは不可能である。

新しい重要な学問として制御工学が認識されるようになり、社会に多大な貢献をしてきたように、メカトロニクスも、新しい学問領域として社会に認知される必要がある。James Wattの蒸気機関に始まり、飛行機の自動制御、通信機器、化学プラント、各種ハイテク機器など、次々と大きな貢献をしてきた制御工学の成功に学ぶ点は多いと思われる。

### 3.3 電気・電子・情報系学科

電気・電子・情報系の学科のメカトロニクス教育の現状は、計測系の学科と同様である。また、平成4年に科学技術会議から出された、“諮問第19号「ソフト系科学技術に関する研究開発基本計画について」に対する答申により、ソフトウェアに重点をおいた教育が益々加速されつつある。

情報工学は、メカトロニクスにとって重要な要素技術であるが、メカトロニクスは実世界に直結した学問であり、対象から乖離したソフトウェア重視の教育は、メカトロニクスのように実体を伴う学問には何の役にも立たない。かつて、一世を風靡した人工知能工学が、エキスパートシステムの構築以外、新しいものを何ら生み出せていないことからわかるように、ソフトウェア重視の姿勢が、実世界でいかに役に立たないかは、多くの研究者・教育者によって指摘されていることである。

翻訳の世界では、例えば英文科を卒業した人よりも、機械工学や電気工学などのように英語とは関係のない専門教育を受けた人のほうが適しているといわれている。仮に英語を知っていても、専門分野を持たない翻訳者は、その対象となる分野をよく知らないので、翻訳作業ができないという意味である。メカトロニクスにおいても同様のことが言える。メカトロニクスが対象とするものを良く知らないと、例えば情報工学に長けていても、それを応用することすらできない。メカトロニクス教育には、ハードウェアを重視した新しい教育体制が必要である。ハードウェアに関する深い知識があってはじめて、ソフトウェア科学の成果を生かすことが可能となる。

### 3. 4 機械系学科におけるメカトロニクス教育

産業界でその重要性が認識されると共に、メカトロニクスは、有用な工学の一分野として認められ、国内外の学会に、メカトロニクスに直接関係する部門や論文誌がいくつも誕生している。日本機械学会には、ロボティクス・メカトロニクス部門が誕生したし、1996年から、米国を代表する2つの学会、米国電気電子学会（IEEE）と米国機械学会（ASME）が共同で、IEEE/ASME Transactions on Mechatronics の発行を開始した。

また、現在、国内の多くの大学で学科改組が進行中であり、特に機械系の学科には、「機械」と、「電子」・「制御」・「情報」・「知能」・「システム」等の単語を組み合わせた名前を持つ新しい学科が数多く生まれており、次世代の機械工学を意識した大学教育・研究を目指した改組が行われている。これら機械系の学科では、新しい機械の創造やこれからの機械工学の発展に欠かせない重要な技術であるという認識から、何らかの形で、メカトロニクスそのものやメカトロニクス関連の科目をカリキュラムに組み込んでいるところが多い。

改組後の新しいカリキュラムには、機械力学、熱力学、流体力学、材料力学等の機械系学科の伝統的な科目に混じって、電気・電子・制御・情報・システム関連の科目とともに、メカトロニクス関連の科目が組み込まれているが、一部の例外を除いて、それらのカリキュラムは、伝統的な学問を教育するためのカリキュラム構成と同様の考え方に沿って構成され、必ずしも、メカトロニクス教育が確実に実施されているとは言えないのが現状である。

前述したように、マサチューセッツ工科大学がシステムインテグレーションを全面に打



ち出し、全ての科目の教育を通してシステムインテグレーションを教育しようと、そのカリキュラムを吟味しているのとは対照的である。伝統的な機械系の学問はアナリシス主体の学問であるが、メカトロニクスはシンセシス主体の学問である。メカトロニクスを教育するには、従来の機械系の教育カリキュラムにとらわれない新しい教育体系の確立が必要であり、それにはまだまだ試行錯誤できる環境が必要である。

### 3. 5 メカトロニクス教育の課題

大学教育の現状を考えると、今日の電気・機械産業に不可欠なメカトロニクスが、効率よく教育されているとは言えないのが現状である。企業によっては必要に迫られ、企業自身で、社内教育としてメカトロニクス教育を行っているという事実が、残念ながらそのことを示している。

本章の冒頭で述べたように、メカトロニクスを効率的に教育するには、それに必要な関連科目をカリキュラムに加え、単に教えるだけでは十分ではない。それらの技術をいかにして融合し、新しい価値を生み出すかについての体系的な教育が必要であるが、まだ曖昧な点が多い。例えば、

(1) 何を要素技術として教育すればいいか。

メカトロニクスに対するイメージは人それぞれである。メカトロニクスといっても多種多様で、その要素技術は対象や分野に大きく依存する。何を要素技術として教えればいいのか、何が基礎なのか、教育の枠組みをどのようにすればいいのかなど、ガイドラインが存在しない。この状況は、ある意味では、かつての制御工学と似ているのかもしれない。

(2) いかに創造性を育むか。

技術を融合する場合、融合する技術の知識があっても、新しい価値を創造することはできない。創造性がいかに大切かについては、いろいろなところで指摘されてきたが、いかに創造性を教育するかは、方法が確立していない工学教育共通の大きな問題である。など、解決しなければならない問題が多い。

レオナルドダビンチが生み出した数々の作品に代表されるように、かつて、技術と芸術はアートとして一体のものであった。アートから技術が分離し、その技術がさらに細分化して生まれた現在の工学に対し、メカトロニクスは、細分化された技術を再び融合することによって、もとの技術では実現不可能な、新たなものを創造する新しい学問である。大学教育に於いても、伝統的な教育方法にこだわらない、新しい教育体系の確立が必要であると思われる。そのためには、メカトロニクス学科の創設等の検討が必要であると思われる。

## 4. メカトロニクス教育の現状（産業界）

### 4. 1 企業を取り巻く市場環境の変化

今後、わが国の産業界が目指す方向は、総じていえば、次の二つになる。ある程度市場が成熟したコモディティー分野では、コスト、品質面で最適な部品、素材を国際的に調達し、最適地で生産していくといった徹底したコスト削減のためのグローバル化戦略である。高付加価値化が求められる製品分野では、電子・情報技術の進歩を受け、キーテクノロジーを創出し、先進的製品や情報システム型製品の企画、開発を強化・推進する戦略である。

わが国の企業が世界の市場で生き残るためには、これらの二つの方向を取ることが極めて重要であるが、とくに後者の方向に関連して、今後、次の三つの観点で、メカトロニクス技術がますます重要になることが予測される。

その一つは、高付加価値化製品への要求や新たな経済社会へのニーズに対応して、情報関連技術と機械関連技術、ひいては人間生活との「融合化」により、全く新たな付加価値を体化した「情報システム型製品」を出現させることである。ここでは、人間生活に密着した高度で多様なニーズを迅速に、かつ機動的に取り込んで、人間生活を支援・改善する先進的製品、情報システム型製品を企画、開発することが要求されている。

他の一つは、従来からの機械産業の中核である精密加工技術に、急速に進歩しつつある電子・情報関連技術を融合させ、従来とは異なる製品の加工・生産システムを出現させることである。ここでは、世界の他の国ではできない独自の加工方法、製造方法を実現し、生産を確保し、生産の空洞化を防止することが要求されている。

他の一つは、オープンシステム、ダウンサイジング、ネットワーク、マルチメディアなどの技術革新の成果を取り入れて、設計者や開発技術者のニーズに適合した設計システム、データベース、パッケージソフトの開発などにより、従来にない設計システムを出現させることである。ここでは、開発・設計者の生産性の向上を図るとともに、技術者をより上流の企画、機能設計へシフトし、プロダクト・オン・デマンドを志向していくことが要求されている。

### 4. 2 各産業分野で要求されるキーテクノロジー

つぎに、各産業分野の動向とそれらを実現するために要求されるキーテクノロジーを概観すると以下のようなになる。これらのキーテクノロジーに見られるように、いずれの産業分野においても、メカトロニクス技術が新たな展開で大きな比重を占めており、今後、メカトロニクス技術は、情報・通信、人口、環境、医療・福祉、都市関連の分野の市場で、中核的担い手になっていくことが予測される。同時に、部品産業も含めた新規・成長分野の発展の苗床的機能を担っていくことが予測される。

### (1) 電子産業

この分野は、今後とも成長が期待されるが、電子デバイス、最終製品ともに、海外生産や海外からの部品調達が拡大する。一方、大容量DRAM、液晶などの高度な加工技術が必要とする汎用部品、サーバー用コンピュータ、ATM交換機などの高信頼性が要求される製品は、国内での生産が持続される。情報端末機では、国産MPUの使用など、アプリケーション分野との連携が一層進むことが予測される。この分野に要求されるキーテクノロジーは次のようになる。

- ・ 半導体分野では、DRAMの大容量化のための先進的加工技術、設計自動化技術、Cu-CVDなどの多層金属配線技術。
- ・ コンピュータ分野では、高速アクセス技術、高速伝送技術、MPUの高速化・多機能化・低消費電力化技術、並列処理アーキテクチャ技術、アプリケーションとの連携技術、液晶ディスプレイの高機能化などの周辺技術。
- ・ ソフトウェア関連分野では、マルチメディア情報の伝送・圧縮・入出力処理技術、音声・手書きなどのインターフェース技術、データベースの曖昧検索に用いる自然言語処理技術、暗号・認証技術、不正アクセス防止技術。

### (2) 家電産業

この分野では、高付加価値製品への移行から、壁掛けTV、マルチメディア対応製品の開発が期待されている。また、深刻化する廃棄物問題に対応して、リサイクルを推進するなどの環境問題への取り組みがますます重要になっている。一方、家庭内情報ネットワーク化などによる新規製品の開発、在宅・福祉サービス機器、教育・学習機器、ホームショッピングシステムなどの生活関連市場が拡大することが予測される。この分野に要求されるキーテクノロジーは次のようになる。

- ・ AV製品分野では、MPEGチップやDSPによる画像圧縮技術、壁掛けTVの実用化に向けた大画面、高輝度、高視野角を実現する液晶技術、学習機能、ナビゲーションソフト、ユーザーインターフェース技術。
- ・ 白もの家電分野では、各製品をネットワークした家事サポートシステム、ユーザーフレンドリーなインターフェース技術、環境問題に対応したリサイクル関連技術。
- ・ 情報システム型家電分野では、住宅内の設備・機器のシステム化技術、通信ネットワークと接続した住宅情報化技術、コンテンツビジネスに関連した音楽産業、映像産業との連携技術、在宅・福祉サービスシステム技術。

### (3) 重電産業

重電市場は、高度化、柔軟化、高信頼化の方向に移行しつつあり、従来の製品をより発展させたタービン、低損失送電・配電機器、低公害発電設備、高信頼送電・配電設備の開

発が進むと予測される。一方、輸送機関における快適性、省エネの要請を受けて、インバータ制御モータが主流になりつつある。さらに、住宅、医療・福祉、流通・物流、都市・防災などの領域へも拡大しつつあり、これらのシステムの信頼性、安全性を常に維持するためのハードウェア、メンテナンス技術が重要になっている。この分野に要求されるキーテクノロジーは次のようになる。

- ・ 発電分野では、ガスタービンの高温化技術、燃料電池などの高効率発電技術、石炭ガス化発電技術、コンバインドサイクル技術、太陽光・風力発電技術、ごみ発電技術。
- ・ 送変電分野では、100万V送電技術、DC送電技術、パワーデバイスを用いた系統安定化技術、パワーデバイスの高耐圧大容量化技術、電力貯蔵技術。
- ・ 工業分野では、パワーエレクトロニクスによる制御技術、産業用プラントのシステム制御・監視技術、コンピュータネットワークを駆使したマルチメディア技術、ニューラルネットによる制御技術を活用した自律分散ネットワークシステム技術。
- ・ 情報システム型分野では、従来の系統制御、システム制御技術をベースとしたマルチメディア・電子技術との融合、リサイクル処理装置、低環境負荷廃棄物処理システム、排熱・廃棄物有効利用支援情報システムなどの環境関連技術、エネルギー制御システムなどの住宅関連技術、高感度MRIの医療・福祉関連技術、マルチメディア応用型道路監視制御システム、ビル総合エネルギーシステム。

#### (4) 産業機械産業

工作機械に関しては、引き続き国内生産が維持されると予測されるが、その前提として、リニアモータ、パラレルリンク機構などの新しいコンセプトに基づく高度な技術力の維持が課題となる。さらに、開発、設計、生産、物流、経営に至る情報の流れを統合的に処理・管理できる次世代生産システムも新たなビジネスとして期待される。この分野に要求されるキーテクノロジーは次のようになる。

- ・ 工作機械分野では、高速・高精度加工を実現するための静圧軸受・磁気軸受技術、リニアモータ利用の送り機構、パラレルリンク機構を実現するための精密・高剛性アクチュエータ技術、高速フィードバック制御技術、NCのオープンアーキテクチャ技術。
- ・ 情報システム型分野では、汎用OSの利用によるNCのオープンアーキテクチャ化技術、パソコンを利用したNC工作機械、統合化生産システム。

#### (5) 事務機械産業

事務機械に関しては、デジタル化、システム化によって、電子・情報産業との急速な接近が予測される。これらの産業との連携により、高付加価値の新規製品やシステムを供給していくことが進みつつある。この分野に要求されるキーテクノロジーは次のようにな

る。

- ・ 複写機分野では、カラー化、高精細化に対応した電子写真技術、コンピュータの出力やFAX機能を兼ね備えた複合機器関連技術。
- ・ パーソナルOA機器分野では、次世代携帯情報機器、低消費電力関連技術、高密度実装技術
- ・ 情報システム型OA機器分野では、パーソナルな携帯情報機器、消費電力、重量、容積などの制約に対応した電子・情報技術、無線通信インフラ技術。

#### (6) 医療・福祉機器産業

この分野は、今後、大きな産業を形成する可能性を秘めている。例えば、急速な高齢化社会への対応や障害者への対応から、医療・福祉サービスの質・量の拡充が緊急課題となっている。さらに、サービスのアウトソーシングや情報化で、とくに大きな市場が顕在化しており、医療機器のリース・レンタルやその保守管理、医療施設運営、検査代行、患者搬送サービスなどで新たなビジネスチャンスが生まれつつある。この分野に要求されるキーテクノロジーは次のようになる。

- ・ 治療装置分野では、重粒子放射線がん治療装置、陽子線がん治療装置、精密位置決め装置、高精密画像処理装置。
- ・ 診断装置分野では、SOR装置、電子線入射装置、電子線加速装置、高精密画像処理装置。
- ・ 介護分野では、介護ロボット、患者搬送システム、患者監視システム、介護支援機器、身体機能代行機器。
- ・ 情報システム型機器分野では、高度情報技術を用いた在宅医療検査装置、リアルタイム3次元画像診断装置、医療施設保守・管理システム、在宅介護支援システム、社会参加支援サービスシステム。

#### (7) 自動車産業

この分野は、今後、環境・安全面での要請が新たな市場創出につながっていくことが予測される。環境面では、燃費向上と排ガス低減のトレードオフ問題の解決、リサイクル技術などのエネルギー・環境分野での技術開発、先進的予防・安全技術、事故回避制御技術、ナビゲーションシステム、これらとインフラ整備が一体になったインテリジェント交通システム、などの新たな情報技術との融合が課題となることが予測される。この分野に要求されるキーテクノロジーは次のようになる。

- ・ エネルギー・環境分野では、リーンバーンエンジン（希薄燃焼エンジン）をさらに進化させた超低公害車用インテリジェントエンジン、電気、ハイブリット、水素などの低公害車の開発、家電同様のリサイクル技術の開発。

- ・ 安全の分野では、ドライバーモニタリング技術、運転警報システムなどの先進的な予防・安全技術の開発。
- ・ 電子・情報応用分野では、運転情報支援や事故回避制御のためのインテリジェント交通システム。
- ・ 情報システム型製品分野では、ナビゲーションシステムやインテリジェント交通システムを支える通信技術、電子技術、センサー技術、GPSなどの位置検出技術、地図情報などのデータベース技術、情報通信インフラ、通信衛星、道路情報データベースなどの電子・情報関連技術の進歩に対応した新しい概念にも基づくインフラ整備。

#### (8) 航空・宇宙産業

この分野は、超音速機関連ではエンジン全体の統合制御、回転翼機では能動防振技術や地上地形を考慮した危険回避システム、固定翼機ではエンジンと機体との統合制御などが鋭意検討されている。宇宙分野では、多くの課題解決のためにメカトロニクスへの期待が大きい。軌道上で作業するためのマニピュレーション機構、それらの遠隔操作技術、それらに関連してのVR技術、宇宙構造物の自動展開機構、柔軟構造物の制振制御、ドッキングあるいは切り離しのための機構およびその制御・計測技術などがある。この分野に要求されるキーテクノロジーは次のようになる。

- ・ 超音速用エンジン全体の統合制御、ヘリコプターの安全運行システム・能動防振技術、エンジンと機体との統合制御
- ・ 保守整備支援システム、故障診断システム
- ・ 宇宙用マニピュレーション技術、遠隔操作技術、柔軟構造物の制振技術、ドッキングあるいは切り離しのための機構およびその制御・計測技術

#### (9) 船舶・海洋産業

この分野は、国際的なサバイバル競争の真っ只中であって、生産合理化が目下の急務として進展しつつある。溶接・塗装など製造のあらゆる工程の自動化、組立精度の計測の自動化および高精度化などが要請されており、さらに生産計画のスケジューリングなど管理面の高度化も要請されている。一方、テクノスーパーライナなど各種高速艇の出現やRVOなどの開発により、姿勢制御など運転操作への要請がはるかに高度化しており、これに伴い、設計段階における解析・シミュレーション技術も重要になっている。この分野に要求されるキーテクノロジーは次のようになる。

- ・ 生産合理化関連では、溶接・塗装など各種製造工程の自動化・高速化、組立精度の計測の自動化および高精度化、生産スケジューリングの自動化
- ・ 高速艇関連では、姿勢制御技術、障害物検知技術
- ・ 海洋構造物関連では、水中作業ロボット、水中溶接の自動化

#### (10) 鉄道車輛産業

この分野は、高速化・快適化・安全性向上を中心課題として技術革新が急展開中である。高速化に伴い、快適な乗り心地をそこなわないための制振制御、傾斜制御が導入段階であり、トンネルへの突入速度が上がることから、車内の換気制御の向上なども課題となっている。この分野に要求されるキーテクノロジーは次のようになる。

- ・ 高速化関連では、制振制御、傾斜制御技術
- ・ 設計・製造面では、衝突シミュレーションなどの解析技術、溶接の自動化
- ・ 保守面では、軌道状態の自動計測システム、車輛モニタ装置

#### (11) 建築・土木産業

この分野は、1990年代に入りメカトロニクス技術が急速に取り入れられるようになった。超高層ビルや橋梁主塔においては、強風による渦励振を抑える制振装置が導入されるようになった。また、1995年1月17日に発生した阪神・淡路大震災の結果、とくに免振装置に期待が集まるようになった。ビルとビルとを結んで同時に制御する方式、構造部材に埋め込む制振装置など、研究レベルの新しい提案も活発で、さらに進展するものと思われる。他方、建築の合理化も近年急速に進展しつつあり、ビルのジャッキアップ工法や柱の溶接の自動化、コンクリート打設、鉄骨塗装などの分野でメカトロニクスが急速に取り入れられると思われる。この分野に要求されるキーテクノロジーは次のようになる。

- ・ 制振関連では、アクティブ制振技術、アクティブ・パッシブ融合のハイブリッド制振技術、免震構造
- ・ 建築合理化関連では、ビル建設工事の自動化、塗装のロボット化、計測の自動化
- ・ 設計面では、橋梁などの建設中途における変形を考慮したシミュレーション技術、風などの外乱による振動を予測するシミュレーション技術

### 4. 3 現在のメカトロニクス教育が抱える問題点

#### (1) 工学教育の課題

以上概観したように、現在産業界で必要としているキーテクノロジーは、非常に広い分野におよんでいる。このような中であって、現在の工学教育の抱える共通的な課題は、次のようになる。

##### (a) 地球規模問題への対応

科学技術の進展により急変した産業界では、人口、環境、エネルギーなどの地球規模の問題を抱えており、従来の工学的考え方が破綻している。これからの工学教育は、これらの地球規模の問題を解決していくための新しい考え方、視点に立ってなされる必要がある。

## (b) 技術の急速な発展への対応

科学技術の発展に伴い教える必要のある知識量は、年々増大している。しかし、大学での講義内容は、旧態依然のままであり、変化中での共通基礎技術の分析とその変化に対応した教育が不十分である。さらに、基礎技術をどのように活用して世の中の変化に対応すべきかという考え方の教授が十分なされていない。限られた時間内で、これらの新しい問題に対する取り組みをどのようにするかということも課題である。

## (c) 境界領域分野への対応

上述したように、産業界で抱える課題は、一つの専門分野では片付かない広い分野におよんでいる。このため、単に個々の共通基礎技術を教えただけでは、ほとんど応用が効かないのが実態であり、周辺技術の教育が必要である。境界領域および新しい領域の増加が急速であることに関連して、どのような研究・教育体制で、周辺の教育をどのようにすべきかが課題である。

## (2) メカトロニクス教育の問題点

つぎに、メカトロニクス教育が抱える問題点を整理すると、次のようになる。

### (a) 要素技術が不明確

第1の問題は、メカトロニクス技術がどの範囲の技術までカバーするのか非常に曖昧であるということである。メカトロニクス技術という言葉で片付けられているが、その定義が曖昧で、人により受け取り方がまちまちである。このため、メカトロニクスの要素技術が何であるかが明確にされておらず、それらの体系的な教育がなされていない。メカトロニクスの要素技術としては、例えば、機械（機械要素、機構、トライボロジー）、制御、計測（含むセンサー）、アクチュエータ、電子回路、情報処理（コンピュータ、言語、プログラミング）などの項目が挙げられる。これらのメカトロニクスの要素技術を体系化し、教育の枠組みを作る必要がある。

### (b) システム技術が不明確

第2の問題は、メカトロニクスのシステム技術が何であるかが明確にされていないことである。システム技術が何であるかを明確にし、複数の技術分野にまたがる要素技術を体系化し、それら一連の中で教育がなされていないのが問題である。メカトロニクスのシステム技術としては、例えば、要求仕様からシステムコンセプトの構築、システムの機能・性能評価、挙動・運動を実現するためのカラクリの創出、アルゴリズムの構築、システムシミュレーション（機械と電気の連成問題）、コンピュータグラフィックスによるアイデアの具現化と評価、コンピュータを意識しないマン・マシンインターフェースなどの項目が挙げられる。これらのメカトロニクスのシステム技術を体系化し、要素技術とリンクさせた教育の枠組み作りと体制の確立が必要である。これには、メカトロニクスを専門に取り扱う学部・学科の創設の検討も必要である。



### (c) ロボット技術への偏向

他の問題は、メカトロニクス技術を必要としている製品分野が非常に多岐にわたっており、教育のターゲットが絞り難い点である。ロボット、放電加工機などの産業機器、VTR、FDDなどの精密電子機器、ワイヤボンダなどの半導体製造装置など、メカトロニクス技術を必要としている製品分野は非常に広い。しかも、必要としているメカトロニクス技術は、製品分野によって個々に異なる。これに対して、現在大学で取り上げられているメカトロニクス技術は、ロボット技術に偏向しすぎている。もう少し大学間で、メカトロニクスの代表的な製品分野を分担し、各大学で特色のある研究・教育の拠点を作る必要がある。

### (d) 機構、電子回路、制御（ソフト）の不整合

メカトロニクス機器の開発、設計では、機構、電子回路、制御（ソフト）の三つの分野の技術の整合が要求される。これに対して、大学での教育は、制御に重点が置かれており、使用者のニーズに対応した新しいメカニズムが創出できる機構に係わる教育が手薄である。さらに、電子回路にいたっては、ほとんどなされておらず、例えば、AV機器などで信号の取り入れ、取り出しをするインタフェースの部分で、機械側と電子側で要求される信号に対して不整合が生じているのが実態である。このため、これら学際的な分野を扱う研究・教育制度を構築し、広い視点に立ったバランスのよい教育が必要である。

### (e) 自律性を育成する教育の欠如

これまでの講義は、知っている者が知らないものに教える形式である。この形式の教育は、権威主義に陥りやすく、学生はややもすると、受け身になりがちである。工学的思考をするためには、ある程度の知識が必要であるが、さらに必要なことは、自ら考え、自ら創造する習慣を身に付けることである。メカトロニクス教育に求められるものは、機械と電気の融合による高付加価値製品を創出していくための素養を育てることである。ここでは、知識もさることながら、それらを活用し、新しいものを創り出していくための興味、意欲、自信を植付ける必要がある。このためには、学生時代に、原理原則を肌で感じたり、誰も正解を知らない問題にチャレンジする機会を多く作るといった学生の自律に基礎を置いた教育も取り入れるなどの「教育の多様化」を進める必要がある。これには、工学実験、コンテスト、卒業研究などを通り一遍に行うのではなく、工学的素養を育成するような内容に改革する必要がある。

## 4. 4 企業内教育の目標とメカトロニクス教育の概要

### (1) 開発・設計技術者に求められる要件

企業では、実際の製品の開発・設計にあたる技術者には、次の事項が求められる。

(a) 専門分野に関する判断だけでなく、周辺分野との関係を考慮した情報の統合による判断や決定が必要になる。

(b) 時間、予算、人員、情報などの資源の制約の中で、業務処理（判断、決定、連絡、調整、書類作成、情報など）を行うことが必要とされる。

(c) コスト、品質、納期、安全などに関するリスク回避への配慮が要求される。

(d) 複雑多岐な要素を含み、計画に対する変更、修正、問題解決をタイミングよく処理することが必要とされる。

(e) 異文化、対人関係、集団生活、チームワーク、意志疎通などの面でも高い能力が要求される。

企業内教育では、専門知識とそれらの応用方法を習得させると同時に、製品の開発・設計の過程で生じる上述のような周辺の課題を習得させることも重要である。後者の大部分の教育は、各職制においてOJTでなされるが、異なる機種の開発・設計経験者から、異なった視点でそれらを習得させることも重要である。

## (2) 企業内教育の目標

このような要求の中にあって、企業では、社内教育は、次の目標でなされている。

(a) 大学では習得が困難な製品固有の共通基礎技術とそれらを統合して製品を作り上げていくシステム技術を習得させる。

(b) 社内の各種のマニュアル、スタンダードなど、企業が保有する経験とノウハウを習得させる。

(c) 経験の豊富な諸先輩から、製品の開発過程での苦労談や失敗談を聞き、製品の開発哲学を学ぶとともに、諸先輩との人的パイプを形成する。

(d) 諸先輩も講義の準備の過程で、バラバラになっていた知識を体系化し、整理するとともに、欠落していた技術、弱い技術を見直し、今後の指針にする。

(e) 自ら学ぶ気風を育成する。

このように、社内教育は、業務遂行能力を高めるために必要な最低限の基盤技術や周辺領域の知識・技術を社内の先輩諸氏から直接学び、さらに、社外から得られない実践的な知識、ノウハウを学ぶ場となっている。同時に、講師となる諸先輩もバラバラになっている知識を体系化し、整理して自己を見直すとともに、開発哲学を披露する場にもなっている。

## (3) メカトロニクス教育の概要

### (a) 講座の内容

メカトロニクスの技術講座は、三つの要素で構成されている。その一つは、機械要素、機構、制御、サーボメカニズム、位置決め機構、センサー、精密計測などの要素技術である。他の一つは、設計例、事例紹介などを通じて、要素技術をいかに製品の開発、設計に適用していったか、システム化をどのように進めたかという具体的事例である。他の一つ

は、講師の開発の苦労談、失敗談、開発に対する考え方などの開発ノウハウや開発哲学である。講座の内容は、業務の経験や年数に応じて、段階的に受講できるようになっており、これによって、受講効果を高め、効率的な能力開発ができるように配慮されている。

#### (b) 講座の対象分野

メカトロニクス機器の製品分野は、非常に多岐にわたっているので、それらを一括して教育するのは難しい。このため、比較的技術が共通している製品分野を三つに分けて講座を設けている。その一つは、ロボット、放電加工機などのように機構とその制御を中心とした産業機器の分野である。他の一つは、VTR、FDD、プリンターなどのように精度設計や信号のやり取りが中心となるファインメカニクス機器の分野である。他の一つは、ワイヤボンダなどのように高速化や画像処理が中心となる半導体製造装置の分野である。

#### (c) テキスト

使用するテキストは、二つの種類で構成されている。その一つは、講座を半日単位の単元に分け、担当する講師が各單元ごとに20～30ページのテキストを作成したもので、講師のこれまでの実務経験の集大成である。他の一つは、社内の技術委員会で、関連する製作所の経験豊富な技術者が集まって作成した技術要覧、ノウハウ集、タブー集などであり、社内のノウハウ、実戦的な知識を共有財産としてまとめたものである。

#### (d) 講座のレベル

講座のレベルは、三つの段階に分けている。その一つは、入社後1～3年目の人を対象にした初級コースである。このレベルでは、ある特定の製品分野や技術分野の基礎的な知識を与えることを狙いとしている。他の一つは、入社後4～6年目の人を対象にした中級コースである。このレベルでは、ある程度自律的に仕事ができるように、開発に対する着眼点や要素技術の応用の仕方などを中心に応用力を強化することを狙いとしている。他の一つは、入社後7年目以上の人を対象にした上級コースである。このレベルでは、完全に自律して仕事が遂行できるように、テーマを与えて、半年間自律的に一つのテーマに取り組ませ、その間にベテランの技術者が定期的に進捗状況を聞き、討論、方針などを決めながら自律性を高めることを狙いとしている。さらに、高度化した在来技術、先端技術、企業にとって新しい技術など、技術者が常に目を向けておくべき技術動向を把握させるための教育を行うことも狙いとしている。

#### (e) 講座の時間

一つの講座は、通常1週間単位で実施される。講義と演習の時間は、午前8時から午後5時であるが、午後5時以降も、討論、講師を囲む会などを実施して、受講者同志が日頃抱えている問題を討論したり、講師から直接経験談、ノウハウ、考え方などを聴く場が設けられている。

#### (f) 講座の回数

講座の回数は、初級・中級コースは、毎年1講座を開催している。上級コースは、2年

間隔で開催している。

#### (g) 講座の開催期間

講座の開催期間は、初級・中級コースが5日間、上級コースが半年間となっている。

#### (h) 講師の構成

講師の構成は、初級・中級コースは講座長1名、副講座長1名、講師10名程度で構成し、講座長は部長クラスの人が担当し、講師の人選、単元の構成などを全責任を持って行っている。上級コースは、講座長1名、副講座長1名、講師20～30名程度で構成し、講座長は、社内でもその分野の権威者として認められる人が担当し、講師も一線の技術者が担当している。さらに、講師は、大学から招聘する場合もある。これは、とくに新しい技術に技術者の目を向けさせたい場合に実施される。

#### (i) 参加人数

初級・中級コースの参加人数は約20名程度で、各職制に推薦を依頼し、推薦された人の中から、必要度を勘案して、人数を定員以内に絞りこんでいる。上級コースの参加人数は数名で、学位の取得、短期的に自律性を育成するなどの職制の必要性に応じて人選し、目的が明確なものだけに絞りこんでいる。

#### (j) 事前課題

異なる製作所から経験年数や担当分野が異なる技術者を集めると、知識・技術レベル、受講の動機がまちまちである。このため、受講者の講座に対する理解度や満足度に問題がでるなど、非常に教育し難い問題が生じる。このため、受講が決まると、関連する基礎技術について予習を課している。講座によっては、募集の段階で、演習問題や基礎知識を問う問題を提示して、これらの問題が容易に解答できることという条件を提示している。さらに、講座に対する要望や期待を提出させ、ある程度それらの要望や期待にも応えるようにしている。

#### (k) 事後フォロー

初級コースでは、終了テストと講座についてのアンケート調査を実施し、理解度を把握するとともに、講座の内容や講義の仕方の問題点を把握し、講座の運営の参考にしている。中級コースでは、課題のまとめや講座についてのアンケート調査を実施して、初級コースと同様の把握をするとともに、課題のまとめの段階でテクニカルレポートライティング能力の向上も図っている。上級コースでは、講座で取り上げた課題について技術論文のまとめと社外発表を義務付け、技術論文・資料をまとめる経験を積ませるとともに、自分でまとめた内容に対し、社内外から批判をしてもらう機会を設けている。

### (4) メカトロニクス教育の実施要領

各講座のカリキュラムは、次年度に実施する講座が決定され、講座長が講師を人選し、講座長と講師が討議して決定する。講座のカリキュラムが決まると、開講講座がリストア

アップされ、各講座の概要をまとめたパンフレットが作成される。このパンフレットが各職制に前年度に配布される。各職制では、業務の現状と個人の能力を把握したうえで、技術者の育成目標・計画を策定しているので、この育成計画に基づいて、計画的に技術者の派遣を計画する。

#### (5) メカトロニクス教育の具体的事例

企業で行っているメカトロニクス教育の具体的事例として、ロボット講座とファインメカニクス講座の概要を表1と表2に示す。これらの技術講座は、中級コースの例であり、約30の機械技術講座の一環として実施している。すなわち、熱・流体、構造・振動、材料強度など、約30の機械技術講座が設定されており、ロボット講座、ファインメカニクス講座は、基礎講座を受講してある程度の基礎的な素養が身についた技術者を対象に、中級講座として実施している。したがって、これらの講座では、特定の機種に限定して、要素技術を巧みに組み合わせて、新しい製品を創り出していく素養を身に付けさせることを意図している。

表1 ロボット講座

単 元	時 (h)	内 容
システム設計	3.5	・ ロボット全体のシステム設計
ロボット本体の設計	4.5	・ 機構を中心とした設計 ・ 機構と構造, アクチュエータの選定
機械要素	3.5	・ 動力伝達機構 ・ 軸受 ・ ケーブル
電気要素	4.5	・ アクチュエータ (電気, 油圧, 空気) ・ 検出器 (エンコーダ, レゾルバ) ・ ブレーキ
構造解析	3.5	・ 剛性, 強度, 材料特性 ・ 熱
動 解 析	4.5	・ 振動解析 ・ 振動計測
制 御	3.5	・ サーボシステム ・ コントローラ (H/W, S/W)
シミュレーション	2.0	・ シミュレーション ・ 3次元計測法
グリップハンド	2.5	・ 各種の構造の特徴 ・ 使用例
ロボット言語	3.5	・ システムとその構成 ・ プログラム例 ・ オフラインプログラミング ・ ロボット言語の標準化
界外センサと そのシステム	2.5	・ 各種センサの特徴 ・ システムへの応用
今後の動向と展望	2.0	・ FA・ロボット技術の今後の動向と展望

表2 ファインメカニクス講座

単 元	時間 (h)	内 容
ファインメカ概論	1.0	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ファインメカの現状 (開発状況)</li> <li>・AV情報機器の概説</li> <li>・ファインメカ技術の現状 (CAE/CAD技術)</li> </ul>
精密回転機構	2.0	<ul style="list-style-type: none"> <li>・精密軸受 (精密転がり軸受, スパイラルグループ軸受)</li> <li>・伝動機構 (摩擦伝動, 歯車伝動, ブレーキ)</li> <li>・回転精度解析 (ワウフラッタ, 歯車振動)</li> </ul>
精密計測・解析	2.5	<ul style="list-style-type: none"> <li>・精密計測 (長さ, 重さ, 力, 変位)</li> <li>・振動解析</li> </ul>
テープ走行機構	3.5	<ul style="list-style-type: none"> <li>・テープ走行系とその設計法</li> <li>・テープ走行系の駆動方式</li> <li>・テープ走行系の精度解析</li> </ul>
テープ走行機構系のCAE/パソコン実習	4.5	<ul style="list-style-type: none"> <li>・テープ走行系の設計CAE</li> <li>・CAEの適用例</li> <li>・パソコンを用いたCAEの例題演習</li> </ul>
精密機構・構造設計	3.5	<ul style="list-style-type: none"> <li>・VTRの機構設計</li> <li>・成形品設計 (プラスチック成形, アルミダイカスト)</li> </ul>
電子機器サーボ・小型モータ	4.5	<ul style="list-style-type: none"> <li>・回転サーボ理論, シミュレーション</li> <li>・回転センサ</li> <li>・小型モータおよびそれによる駆動</li> </ul>
光ピックアップ	3.5	<ul style="list-style-type: none"> <li>・光ピックアップの構成要素</li> <li>・光ピックアップ方式</li> <li>・サーボシミュレーション</li> </ul>
精密位置決め機構	4.5	<ul style="list-style-type: none"> <li>・磁気ディスクの回転機構</li> <li>・磁気ディスクの位置決め機構</li> <li>・位置決め精度解析・計測</li> </ul>
精密機器の材料特性と構造設計	3.5	<ul style="list-style-type: none"> <li>・精密機器の主要材料特性</li> <li>・強度・剛性解析</li> <li>・摩擦摩耗要因解析</li> </ul>
精密加工	2.0	<ul style="list-style-type: none"> <li>・電子デバイスの精密加工</li> <li>・精密機構部品の加工</li> <li>・超精密加工の現状</li> </ul>
今後の動向	2.0	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ファインメカ製品の市場・技術動向</li> <li>・開発戦略</li> </ul>

#### 4. 5 メカトロニクス教育に対する要望事項

最後に、企業側からのメカトロニクス教育に対する要望事項をまとめると次のようになる。

##### (1) 要素技術とシステム技術の体系的な理解度の向上

長年にわたって企業勤めを経験し、年々新人の仕事ぶりに接して感じることは、機械技術者の卵がメカトロニクスの問題にぶつかって、すぐには手が出せないという現象である。すなわち、実際の問題、例えば、機構のダイナミックスの問題を取りあげると、問題の系のモデル化をやたらに複雑にして、既存のソフトウェアを用いて、計算機で解こうとする姿に直面する。この結果、得られた解は、問題の本質的な理解の不足、モデル化の不適當、定数の取り扱いのミスなどにより、まったく誤った結果を導くことさえある。これは、往々にして単にツールを使うことに終始し、現象を理解しようとする姿勢に欠けていることによる。

この第1の原因には、大学でのメカトロニクス教育が理学的であって、工学的でないことが挙げられる。すなわち、メカトロニクス機器・システムの実際の状況から、要点を捉えて力学的問題の形にする直感力が育成されていない点である。これは、大学で教える教官が実際の製品をよく知らないために、きれいごとで終わる理学的な部分しか授業で取扱わないことにも起因する。これを改善するためには、工学上の実際問題を例としたメカトロニクス教育が行われることを要望する。

この第2の原因には、メカトロニクス教育における実験や演習の軽視が挙げられる。たとえ理学的に偏重した教育が行われたとしても、工学的な例題により、十分実験や演習が行われていれば、工学的基礎としての素養やセンスが身につくはずである。通り一遍の実験や演習を課するのではなく、ロボット、交通システム、ジェットコースタなど、見ただけでも楽しく、工学系の学生の意欲を誘うような実験や演習をもっと増やすことを要望する。

##### (2) メカトロニクス機器の挙動の観察とシステム構成力の強化

メカトロニクス機器は、ほとんどのものが動く事象を扱うので、教室で黑板や紙の上でのみの教育を行うのは不合理である。できるだけ、机上実験、模型実験、実機による実験、ビデオなどを活用して、目の前で動くものを実際に観察しながら教育を行うのが望ましい。学生のときから限りなくメカトロニクス機器の挙動を観察し、それらの全体的な挙動を頭の中にイメージとして蓄積し、メカニズムとの相関関係を理解することが、メカトロニクス機器を設計するためのベースを作り上げる基礎となる。

さらに、メカニズムを創出する訓練も重要である。新入社員にいくつかの部材を与えて、与えられた入力を与えられた出力に変換する課題を負荷すると、ほとんどの新人は1週間



経っても何等の解答も引き出せないのが現実である。これは、力の変換機構，位置の変換機構，動作の変換機構などの基本的な種々の機構が頭の中で整理されていないことにもよるが，小さいときから自らメカニズムを考えたり，創出したりした経験がないことにも由来する。

したがって，大学でのメカトロニクス教育は，実際のメカトロニクス機器に触れて，その挙動がどのように生じているかを頭の中にイメージとして描けるようにするとともに，自らメカニズムを創り出し，それを動かす経験をさせるといった生きた教育をすることを要望する。

### (3) 他分野の技術との関連づけの強化

技術の目的は，自然の法則を巧みに組み合わせて製品を作るとか，何かの機能を実現することである。いくら卓抜でユニークな発想ができて，現実の製品が作れなければ，単なるアイデアであって，技術ではない。技術はノウハウの塊である。優れた製品を作るということは，ノウハウの積み重ねによって成功するのである。このノウハウの蓄積は，製品との接触によってはじめて実現される。

メカトロニクス技術が関連する実際の問題には，他の技術分野が関連するものが多い。例えば，ロボットのダイナミクスの問題は，構造物の振動や軽量化に伴う材料・構造の問題が介在する。メカトロニクス製品になると，材料，構造，振動，騒音，熱，冷却などの問題が複雑に絡み合っている。メカトロニクス製品の開発・設計では，製品に絡むこれらの問題を見抜き，一つずつ解決しなければよい製品が出来上がらない。メカトロニクス製品の開発・設計を指向するほど，幅の広い専門分野を統合する能力が要求される。しかし，現実問題として，ロボットに関心のある学生は，制御にのみ関心が偏る傾向にある。これでは，ロボットの制御はできて，生産現場で効率的に作動するロボットはできない。

これを改善するためには，メカトロニクス製品に係わるあらゆる技術に関心が向くようなインセンティブを学生に抱かせ，それを育てる教育が必要である。メカトロニクス技術の教育体系を学生に提示し，体系的な教育を行うとともに，学生にメカトロニクス機器の具体的な対象を与え，問題意識を育てたり，新しいものの創造に強い興味を持つような教育を要望する。

### (4) 人間生活により密着したメカトロニクス教育の実施

今後，メカトロニクス技術は，地球規模での人口，環境，医療・福祉，高齢者介護などの分野で，その必要性が増大する。「理学は自然が創造した世界の謎を追い求める学問であるとすれば，工学は人間生活をより豊かにすることを追い求める学問である」という言葉がある。このように，工学ではより人間生活に密着した取り組みが求められる。その中でも，メカトロニクス技術は，今後ますます人間生活との融合が求められる時代になる。将

来の地球規模での問題を見据えたうえで、メカトロニクス教育で何をどのように実施すべきかの見直しを要望する。

## 5. メカトロニクスに取り組む世界各国の状況

メカトロニクスは日本の産業界で生まれた言葉であるが、新しい科学技術を方向づける言葉として世界的にも通用するようになったのは1980年代に入ってからであろう。どの国よりも先駆けて、高水準でオリジナリティの高い製品を創りだし、日本を経済大国に押し上げる原動力となった科学技術がメカトロニクスであったのである。単に製品群の軽薄短小化、機電一体化を表わす言葉から脱皮して、メカトロニクスは科学技術の新思潮を表わすものとして世界的に理解され、認知されたのは1990年前後である。この頃、世界的にもメカトロニクスと名がつく新しい国際的専門誌（ジャーナル）が誕生し出した。

1991年に英国のPergamon Pressから"Mechatronics"と題する専門誌が発行された。オックスフォード大学のR.W.Daniel博士が編集長となり、1年に4冊(quarterly)で発行されたが、1997年には1年に8冊の割合で刊行されている。そのVol.1の創刊号の巻頭言で、編集長のダニエル博士は、カメラやビデオレコーダ、コンパクトディスクとそのプレイヤーを始めとする機電一体の製品群の設計や、工場の自動化、ロボット化に果たした日本の産業技術の顕著な貢献に敬意を表わす言葉として、メカトロニクスが適宜であったことを述べている。

この間、日本でも"Journal of Robotics and Mechatronics"と題する国際誌が1989年発刊されたが、これはかなりロボット研究に寄っていた。そもそもロボットについては、国際的には日本からの発信も早く、日本ロボット学会が編集権限をもち、VSP出版社から発刊されている"Advanced Robotics"は1987年に刊行され、国際的な評価を既に得ている。ロボットそのものを主題にし、あるいはロボットとマニファクチャリングを主テーマとする国際的なジャーナルは1980年代にMIT PressやCambridge大学出版を始めとして、ワイリー社等の出版社によって次々と刊行され、現時点では世界的には20誌にも達しようとしている。

世界で最大級の学会組織であるIEEE (The Institute of Electrical and Electronics Engineers)とASME (American Society for Mechanical Engineers)が協力して、1996年3月に"IEEE/ASME Transactions on Mechatronics"が刊行された。今まで、ほとんど協力関係のなかった電気系の学会と機械系の学会がジョイントに一つの雑誌を発刊することに至った経緯は、その第1号に掲載された原島 文雄・富塚 誠義著の編集方針(Editorial)に書かれている。ここでは、メカトロニクスを仮に、"The synergetic integration of mechanical engineering with electronic and intelligent computer control in the design and manufacturing of industrial products and processes"と定義している。最も強調すべきは、ロボットのマーケットはアメリカではほぼ100億ドルに過ぎないが、メカトロニクス製品のマーケットはその10倍であることを指摘していることである。日本ではその倍率はもっと高く、自動車関連からマルチメディア関連までの製品群を含めると、そのマーケットはとてつもない広がりをもっていることが理解され

よう。

メカトロニクスが科学技術の新しい方向づけを与えることが認知され、理解された1990年前後からヨーロッパの各国の大学の附属研究所、あるいは国立の研究機関として、メカトロニクスの名を冠した研究所が次々と生まれ、また、今迄の研究所の衣替えをはかってメカトロニクス研究所という名前に変更したものが増えている。我々の知り得たものには、次のようなものがある。

- 1) Graduate Institute of Control and Automation, National Taiwan Institute of Technology, Taipei, Taiwan
- 2) Graduate Institute of Mechatronics, Hua Fan College of Humanities and Technology, Shihtin, Taipei, Hsien, Taiwan
- 3) Central Laboratory of Mechatronics and Instrumentation, Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, Bulgaria
- 4) Laboratoire de Robotique de Paris, C.N.R.S, Velizy, France
- 5) Manufacturing Technology Laboratory, IAE (Institute for Advanced Engineering), Seoul, Korea
- 6) Institute for Robotics and System Dynamics, DLR (German Aerospace Research Establishment), Wessling, Germany
- 7) Centre for AI and Robotics, Bangalore, India
- 8) Laboratory for Robotics and Control, Dept. of Precision Engineering and Mechatronics, KAIST (Korea Advanced Institute of Science & Technology), Taejon, Korea
- 9) Center for Automation Research, University of Maryland, Maryland, USA
- 10) Dept. of Mechanics, Robotics, and Machines, Silesian Technical University, Gliwice, Poland
- 11) The Robotics Institute, Carnegie Mellon University, Prttsburgh, USA
- 12) Automation and Systems Research Institute, Seoul National University, Seoul, Korea
- 13) CAD Laboratory for Intelligent and Robotic Systems, The University of New Mexico, Albuquerque, USA
- 14) The Advanced Technology Center for Precision Manufacturing, University of Connecticut, Storrs, Connecticut, USA
- 15) AI & Robotics Research Laboratory, Nankai University, Tianjin, China
- 16) Robotic Systems and Advanced Computer Technology, JPL(Jet Propulsion Laboratory), Pasadena, USA
- 17) Research Institute of Robotics, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing, China
- 18) Robotics and Process Systems Division, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, USA
- 19) The National Advanced Robotics Research Centre, Salford, UK
- 20) Center for Flexible Manufacturing, McMaster University, Hamilton, Ontario, Canada
- 21) Robotics and Flexible Automation Laboratory, Institute of Mihajlo Pupin, Beograd, Yugoslavia
- 22) Robot Research Center, Hangzhou Institute of Electronic Engineering, Hangzhou, China
- 23) Robotics Research Institute, Harbin Institute of Technology, Harbin, China
- 24) Center for Advanced Manufacturing, Clemson University, Clemson, South Calorina, USA
- 25) Institut fur Prozesstechnik & Robotik, Universitat Karlsruhe, Karlsruhe, Germany
- 26) Research Institute of Mechatronics, University of Duisburg, Duisburg, Germany
- 27) Dept. of Control, Robotics, and Computer Science, Politechnika Poznanska, Poznan, Poland

## 6. メカトロニクス教育と研究への提言

種々の観点からメカトロニクス教育と研究の問題点、その発展の歴史、現状と未来を述べた。これらを総括して結論すれば、21世紀においても技術革新を続け、そして人間社会に貢献できる科学技術の中で、日本が先導できるものはメカトロニクスを措いては他にそれほど顕著なものは見当たらない。そして、メカトロニクスの技術革新をになう人材の育成はもはや急を要するとともに来ている。結論すれば、今、最急に、メカトロニクス教育を主眼とする学科群を工学部に新設すべきである。あるいは、大学受験期を迎えようとしている人数の減少に配慮して新学科の創設が不可能ならば、既存の学科の二つないし三つを融合させメカトロニクス学科に改変することを提言する。たとえば、国立大学の多くは機械系や電気系に第二学科的な学科群を数多く創設して来たし、また、情報工学科も数多く造られている。これらの中のいくつかからは、新たな役割を果たすべく、メカトロニクスを指向し、ソフトウェアと電子、機械の一体化を教育の現場においても推進するよう見直すべきである。

メカトロニクス科学技術の最先端についても、新たな研究所の創立をはかるか、既存の研究所の関連セクションの融合化をはかるべきである。そして、21世紀に入って人類が直面する早急の課題に挑戦できる下地を今こそ造るべく、基礎的でしかも先端的なプロジェクト研究に着手し、その成果を積み上げておくことが必要である。以下では、大学の学部および大学院レベルにおけるメカトロニクス関連学科や大学院専攻の必要性と、メカトロニクス関連のプロジェクト研究の必要性をもう少し直接的にまとめておく。

まず、メカトロニクス教育と研究の原点は物造りの科学と工学にあることを強調しておく。そして、コンピュータが生まれ、VLSI化されたことにより、物造りの観点と方法は全く新しくなっていることに注目意をうながしておきたい。すなわち、従来の工学部で教育してきた各学科個別の物造りの方法では、新たなメカトロニクス製品群の創造には対応できないほど、物造りの思想転換が起こっているのである。逆に、メカトロニクス製品群は、その機能を知り得ても、その中味の個々がどのように働いて所望の機能を発揮しているか、見えにくくなっている。製品化のバックグラウンドになっている物理原理とともに、どんな方法で機能化が行われているかが判りにくくなっているのである。メカトロニクス化の背景となっている技術の広がりには、従来の工学系の一学科の枠を越える。すなわち、機械系学科で教える機構学や設計学を越えて、電子工学科群で教える半導体物性やICのプロセス技術に及び、そして、C&C（コンピュータと通信）の革新技術が高機能とインテリジェント化をかなえる。しかも、VLSIによる高機能化は、取りも直さず、製品の本来の目的である物理的対象とのインタラクションをソフトウェア化することによって実現されるのであり、そこには対象の背景となる物理原理の徹底的な理解が必要となる。例えば、現時点で標準化を終え、商品化に至ったDVD（Digital Video Disk）の開発プロセスを見て

みれば、そこに関与した科学技術の広がりが驚くほど多岐にわたることに気がつく。ここにはMPEG2に代表される画像データ圧縮ソフトウェアのVLSI実装化とデジタル通信の技法、および、超高密度のディスクメモリ技術の一体化がある。しかし、メカトロニクス教育では、これら関連した科学技術をすべて網羅してカリキュラムに取り入れることをめざしてはならない。メカトロニクス教育では学生をすべての科目について完全に教育して送り出すのではなく、基本をきっちりと教育し、対象との物理的相互作用をアナリシスして表示し、設計とシステム化の基本を修得して、物として具現するプロセス（実験）を踏ませることに主眼を置くべきである。そのためには、メカトロニクス教育の基礎はどこまでを含むか、上述の手続きをふめるように教育する基礎カリキュラムのあり方を早急に議論すべき時が来ている。まず、メカトロニクスの研究の体系化をはかるとともに、メカトロニクス教育に最小限必要な基本カリキュラムを作る小委員会を作るよう、学術会議に設立される予定のメカトロニクス専門委員会に提言する。

情報工学系やコンピュータ科学系については、既にかリキュラムの存り方は種々の研究会や学会等で提案され、各大学の情報関連学科で実行に移されている。更に一般的テキストの刊行として情報工学シリーズは幾つかの出版社で試みられているが、メカトロニクス関連については単発的な図書の刊行が見られるに過ぎない。未だメカトロニクスの体系化は議論されていないのである。メカトロニクスがカバーする製品群全体と関連学科は次章で述べる図に表わしてあるが、これらの体系化をはかり、基本カリキュラムを設定することは至難であるに違いない。しかし、これをやらなくして、メカトロニクス教育は実行に移すことができないのである。

メカトロニクス教育の原点は「発見と創造」の喜びを伝えることに置くべきである。メカトロニクス製品群が創り出されたプロセスは真に発見と創造の連続であったに違いない。これを伝えることによってメカトロニクスの学問的体系化もはかれるはずである。そして、メカトロニクス教育の現場において、「発見と創造」の喜びの一端を体得し、これを育てることができるようなカリキュラムを作り、教育環境を整えることが重要である。

## 7. 各産業を支えるメカトロニクス教育

(ツリーマップ図)

メカトロニクス教育が各産業をどのような形で支えているか、それを見える形式で本章末にツリーマップ図を示す。ツリーの地面下が教育体系、地上には関連産業を歴史の古いものから順に上方に延びる構造に現している。以下に、各産業界におけるメカトロニクス技術導入の変遷をまとめる。

### (1) 工作機械産業

既に述べたように、この分野がメカトロニクスの先鞭を付けた。テーブルや工具の精密位置決め制御にパルスモータを使った開ループ制御方式に始まり、DCサーボモータとエンコーダによるセミクロードループ制御、ACサーボモータの開発によって保守管理が容易になり閉ループ制御方式へと数値制御工作機械が発展している。更に、工具の交換を一体化したマシニングセンター、製品の搬送や交換にいち早く産業用ロボットや自動搬送機が開発され、無人化工場へと発展している。

### (2) 自動車産業

この分野における産業用ロボットの導入も早かった。ロボットに作業環境の悪い塗装や溶接を担当させ、一様で高品質な自動車を量産して我が国を一躍世界のトップメーカーに押し上げた。その後、電子制御エンジン、アクティブサスペンション制御の開発、アンチロック、横滑り制御等の運動制御システムの開発はメカトロニクス技術を代表するものとなってきた。目下、自動走行システムの開発に関心が持たれているのは周知の通りである。今後、省エネルギー、操縦安全性、低振動・低騒音等の総合的課題克服に先端的メカトロニクス技術の重要性は明白である。

### (3) 産業機械産業

磁気浮上、磁気軸受はメカトロニクスの典型的側面を有している。これらはメカトロニクス技術が生まれて起こった新しい技術分野である。即ち、磁気力による浮上や回転支持は機械的な接触や摩擦を無くすることができるが、これ自身不安定で制御無くしては実現できない技術である。10万回転を越える超高速回転体や10秒間無重力落下塔の実現はメカトロニクス技術の成果の一つである。目下検討されている次世代交通機関のリニアモーターカーはこれらの技術の応用で実現性が期待される。

### (4) 情報機器産業

代表的な情報の記憶媒体であるハードディスク駆動装置(HDD)を例にとって見ても、パーソナルコンピュータが出回り始めた10年前では20メガ程度であったものが、現在では500メガは普通で、2ギガ、4ギガのものも入手できる。10年前に音楽観賞用に開発されたCDプレーヤのディスクも、現在では書き込み消去自在な光磁気ディスク装置

として出回っている。これもメカトロニクスの典型的な産物である。

#### (5) 建築・土木産業

この分野にも1990年代に入ってメカトロニクス技術が急速に取り入れられ始めた。超高層ビルは強風による渦励振によって緩やかな揺れを起こし、居住性を悪くする。そこで、その揺れを止めるために15年ほど前から米国でマスダンパと呼ばれる制振装置がビルの上層部に取り付けられるようになった。ところが、これは機械式の受動形であったために十分な効果を発揮せず、その後の発展が止まっていた。メカトロニクス技術を得意とする我が国では、この技術を取り入れたアクティブマスダンパと呼ばれるメカトロ制振装置を開発し、ビルの渦励振を大いに制御できることが実証された。現在、我が国では20棟を超えるアクティブ制振超高層ビルが建設されている。この分野は我が国が独壇場であって、まだ日本以外にはこのようなビルは存在しない。世界に誇れる技術である。

長大橋の主塔は建設時に強風に曝される時、渦励振によって自励振動が発生する。ここでもメカトロ制振装置が活動している。最近では、この制振技術の確立によって強風対策が可能になったことから、思い切った軽量スリムな主塔が建設できるようになり建設費の軽減に役立っている。

1995年1月17日に発生した淡路阪神大地震では多数のビルが破壊された。改めて直下型大地震の脅威が示されたわけだが、2つのビルに設置されていた免震装置の効果も立証された。今後はそれを更に改善したメカトロ免震装置の開発が待たれる。高層ビルの制振技術としては、ビル同士をメカトロ制振装置によって連結し、複数のビルを同時に制御する新しい方式も提案されている。これも大地震からビルの被害を防ぐ有力な方法として期待される。

ビルの建設や保守管理にロボットの導入が盛んに検討されている。建設用ロボットは一部に試験段階に入っており、窓拭き、床掃除、コンクリート流しなどのロボット化も試行的に行われている。これらも早い時期に実用化されるものと思われる。建築・土木分野はメカトロニクス技術の格好の応用分野になろうとしている。

#### (6) 精密機械産業

この分野は、時計、カメラ、ビデオ等、メカトロニクス技術に支えられて発展してきた。更に今後は超L S I加工装置やマイクロロボットの実現に向けて発展が期待される。

#### (7) 航空・宇宙産業

航空機は完成度の高いメカトロニクス技術の固まりである。今後の発展が期待されるのは宇宙分野であろう。米国が4年前に打ち上げたハッブル望遠鏡も、その精度を保つためには姿勢制御と振動制御が重要な課題であったが、メカトロニクス技術によって問題が解決されたようである。2000年以降に建設が予定されている宇宙ステーション、そこで作業する宇宙ロボット、宇宙飛行船などは、極端な省エネルギー化の制約の中で所要の機能を持たすメカトロニクスの新たな挑戦が始まろうとしている。

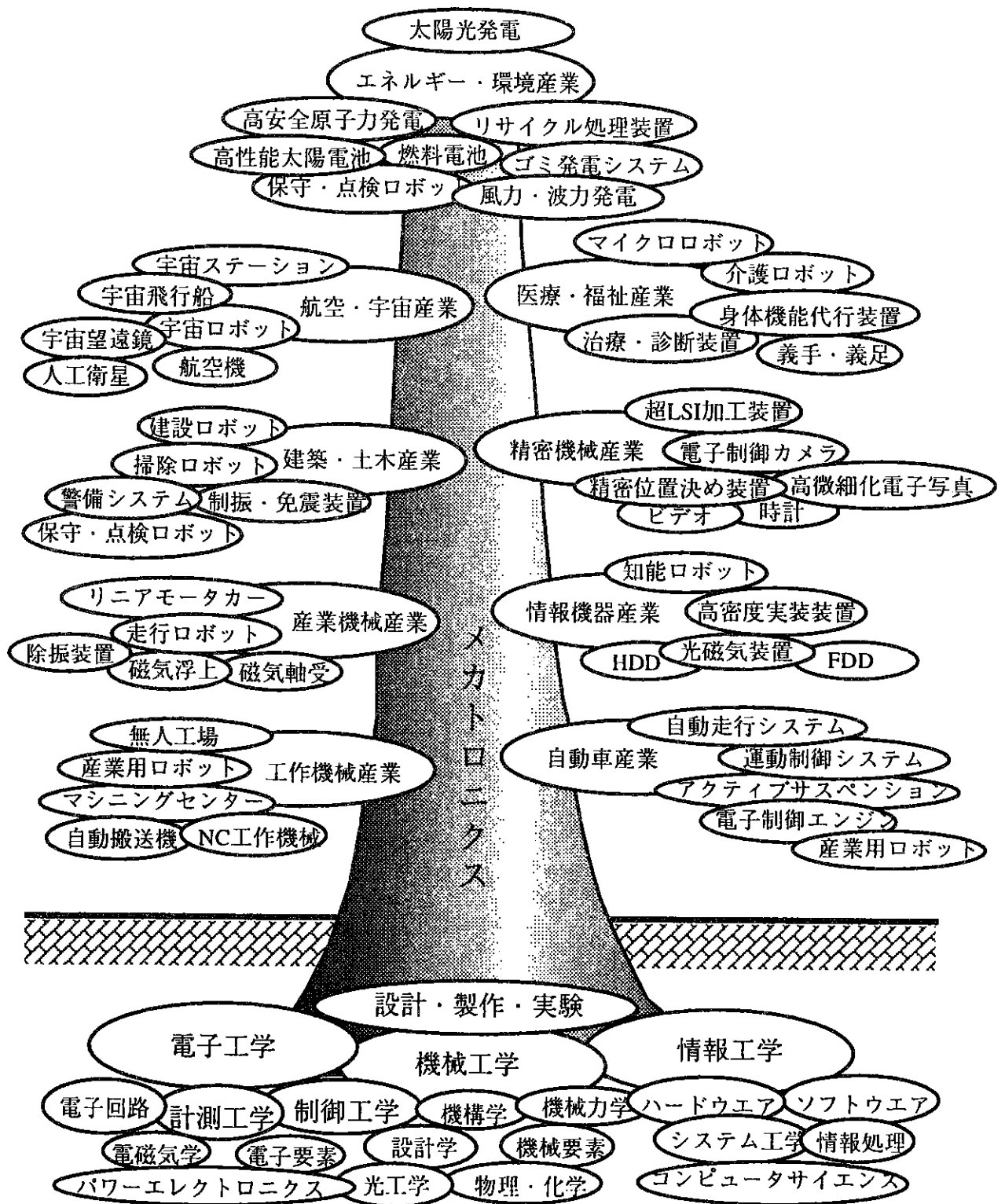


#### (8) 医療・福祉産業

義手・義足は古くから研究が進められてきたが、最近では要素技術の進歩によってメカトロニクス化が進んでいる。強力な磁場を人体に当てるMR診断装置の開発によって、人体の断層撮影が可能になり、ガンや循環器系の問題箇所を発見などに大きな威力を発揮するようになった。これからの課題は、高齢化が進む中で介護ロボット、身体機能代行機器等が開発が早急な課題であるが、これもメカトロニクス技術によって実現するしか方法は無さそうである。

#### (9) エネルギー・環境産業

エネルギーの安定供給は古くからの課題であり、水力、火力、原子力発電によって補われてきた。しかし、今後予想される地球人口の増大、エネルギー源の減少を考えた時、新たなエネルギー源の確保が不可欠であろう。高安全原子力発電プラントの建設、太陽光・風力・波力・地熱発電等あらゆる可能性を模索しなくてはならない。また、リサイクルゴミ処理の将来の大きな課題である。21世紀には、メカトロニクス技術はこれらの実現のために支援技術として役立てなければならない。



各産業を支えるメカトロニクス教育

[付 記]

本報告は、自動制御研究連絡委員会メカトロニクス小委員会において検討した結果を基に作成したものである。

自動制御研究連絡委員会メカトロニクス小委員会

- 有 本 卓 (立命館大学理工学部教授)
- 仁 川 暁 美 (三菱電気株式会社電力工業システム技術部長)
- 背 戸 一 登 (日本大学理工学部教授)
- 小 菅 一 弘 (東北大学工学部教授)
- 板 生 清 (東京大学大学院工学系研究科・工学部教授)
- 黒 崎 泰 充 (川崎重工業株式会社電子制御技術開発センター長)