

システム技術開発調査研究

15 - R - 21

21世紀における社会システム推進のための  
課題と施策に関する調査研究

報告書

- 要旨 -

平成16年3月

財団法人 機械システム振興協会

委託先 株式会社ドゥリサーチ研究所

KEIRIN



この事業は競輪の補助金を受けて実施したものです。

## 序

わが国経済の安定成長への推進にあたり、機械情報産業をめぐる経済的、社会的諸条件は急速な変化を見せており、社会生活における環境、防災、都市、住宅、福祉、教育等、直面する問題の解決を図るためには、技術開発力の強化に加えて、ますます多様化、高度化する社会的ニーズに適応する機械情報システムの研究開発が必要であります。

このような社会情勢に対応し、各方面の要請に応えるため、財団法人機械システム振興協会では、日本自転車振興会から機械工業振興資金の交付を受けて、経済産業省のご指導のもとに、機械システムの開発等に関する補助事業、新機械システム普及促進補助事業等を実施しております。

特に、システム開発に関する事業を効果的に推進するためには、国内外における先端技術、あるいはシステム統合化技術に関する調査研究を先行して実施する必要がありますので、当協会に総合システム調査開発委員会（委員長 放送大学 教授 中島尚正 氏）を設置し、同委員会のご指導のもとにシステム技術開発に関する調査研究事業を民間の調査機関等の協力を得て実施しております。

この「21世紀における社会システム推進のための課題と施策に関する調査研究報告書」は、上記事業の一環として、当協会が株式会社ドゥリサーチ研究所に委託して実施した調査研究の成果であります。

今後、機械情報産業に関する諸施策が展開されていくうえで、本調査研究の成果が一つの礎石として役立てば幸いです。

平成16年3月

財団法人機械システム振興協会

## はじめに

本報告書は、財団法人機械システム振興協会より、株式会社ドゥリサーチ研究所が平成 15 年度事業として受託した「21 世紀における社会システム推進のための課題と施策に関する調査研究」の成果をまとめたものである。

21 世紀に入り、我々を取り巻く社会環境は大きく変化している。世界的な規模で進む環境問題を始めとして、発展途上国の人口増大に伴うエネルギー消費量の拡大、冷戦後の不安定化する国際情勢、知識社会・ネットワーク社会の進展、先進国の共通課題である社会の少子高齢化・社会ストック（道路等の公共建築物等）の老朽化といった、明らかに 20 世紀とは異なる社会構造に転換しつつある。

ところで機械システムは、従来、生産ロボットや CAD/CAM 等の情報系システムと機械とを結びつけ、個々の要素技術・システムを利用者のニーズに合った形で融合させたものとして開発が行われてきた。しかしこのような 21 世紀の社会構造の変貌に伴い、従来の機械システムの概念では対応できなくなっていることは確かである。すなわち要素技術の組み合わせのみならず、規制や制度、社会との連携といった俯瞰的な視野から、社会システムとしての機械システムというものを考えていく必要がある。

わが国では、総合科学技術会議を中心に、重点分野における要素技術開発を推進しており、大学や公的研究機関での技術シーズを実用化していくためのベンチャー施策も多く取り組まれている。このような先端的な要素技術を開発し、それらを統合化、総合化し、国民生活に資するシステムとして提示していく過程において、機械システムの役割は今後ますます重要視されてくると考えられる。

本報告書では、21 世紀の社会システムの変化に対応した、新しい機械システムの概念について再定義し、今後の機械システムのあり方について検討を行った。また検討の結果として機械システムの研究開発において解決が求められる課題や施策展開をまとめた。

この調査研究が、機械システムの新しい方向性を示し、21 世紀の国民生活に資する機械システムの技術開発を行う際の一助となれば幸いである。

平成 16 年 3 月

株式会社ドゥリサーチ研究所

21世紀における社会システム推進のための課題と施策に関する  
調査研究報告書

- 要旨 -

目次

序

はじめに

1 . 調査研究の目的.....	1
2 . 調査研究の実施体制.....	2
3 . 調査研究成果の要約.....	9
3 - 1 調査の目的と方法 .....	9
3 - 2 機械システム技術の再定義.....	11
3 - 3 社会の構造的変化の方向と機械システム技術が対応すべき分野の検討.....	18
3 - 4 対象とする機械システム技術分野の現状と研究の方向の検討 .....	23
4 . 調査研究の今後の課題と展開.....	41
4 - 1 21世紀機械システムのイメージ.....	41
4 - 2 21世紀型機械システムの振興に向けて.....	43
4 - 3 課題から抽出される具体的プロジェクト分野.....	45

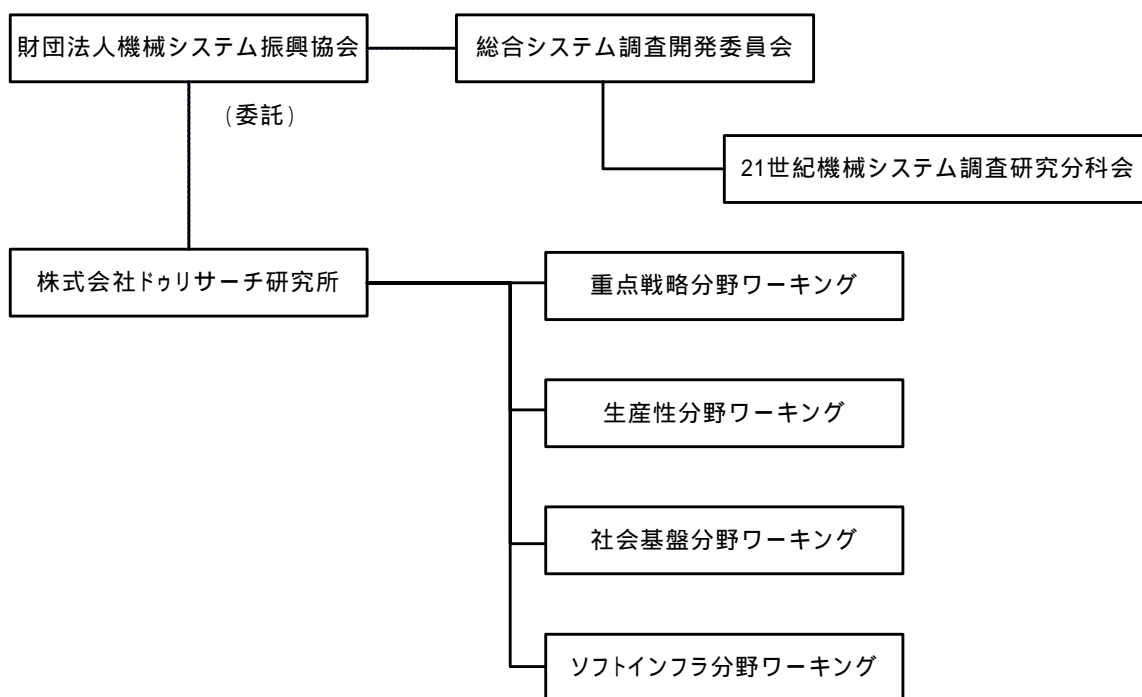
## 1 . 調査研究の目的

21 世紀のわが国の社会は急速に高齢化が進むとともに、人口の減少過程に突入することが明白である。また、経済状況も長期に亘る不況、デフレそして中国を始めとするアジア諸国の産業の発展もあり、わが国の経済、そして社会生活の円滑な発展を期待することはなかなか難しい状況にある。このような状況に対応して豊かな社会生活を送るためには、新しい技術開発、そして新しい産業の創設が不可欠である。政府の施策においてもこのような認識に立って技術開発が大きなテーマとなっている。

そして、このような新しい技術を実際に産業や社会生活において実用化するためには機械システム技術が極めて重要である。本調査では、社会ニーズに即したシステム技術の展開について、調査研究し、今後の技術開発の方向性を提示することを目的とする。

## 2 . 調査研究の実施体制

本調査研究は、財団法人機械システム振興協会の委託を受けて、株式会社ドゥリサーチ研究所が、所内に学識経験者および専門家で構成される4つのワーキンググループ（重点戦略分野、生産性分野、社会基盤分野、ソフトインフラ分野）を設置し、以下の体制で実施したものである。



## 総合システム調査開発委員会 委員名簿

(順不同・敬称略)

委員長	放送大学 教授 東京多摩学習センター所長	中 島 尚 正
委 員	政策研究大学院大学 政策研究科 教授	藤 正 巖
委 員	東京工業大学 大学院総合理工学研究科 知能システム科学専攻 教授	廣 田 薫
委 員	東京大学 大学院工学系研究科 助教授	藤 岡 健 彦
委 員	独立行政法人産業技術総合研究所 つくば中央第2事業所 管理監	太 田 公 廣
委 員	独立行政法人産業技術総合研究所 産学官連携部門 シニアリサーチャー	志 村 洋 文



## 21世紀機械システム調査研究分科会 委員名簿

(順不同・敬称略)

委員長	放送大学 教授 東京多摩学習センター所長	中 島 尚 正
委 員	株式会社 東 芝 執行役常務	有 信 睦 弘
委 員	独立行政法人産業技術総合研究所 つくば中央第2事業所 管理監	太 田 公 廣
委 員	東京大学大学院 工学系研究科 教授	大 場 善次郎
委 員	独立行政法人産業技術総合研究所 産学官連携部門 シニアリサーチャー	志 村 洋 文
委 員	三菱重工業株式会社 常務取締役	柘 植 綾 夫
委 員	東北大学大学院 工学研究科工学部 教授	中 島 一 郎
委 員	東京大学大学院 新領域創成科学研究科 教授	大 和 裕 幸

## 21世紀機械システム調査研究

### 重点戦略分野ワーキンググループ メンバーリスト

(順不同・敬称略)

氏名	所属	役職
中島 一郎 (主査)	東北大学大学院工学研究科 技術社会システム専攻	教授
石原 慶一	京都大学大学院エネルギー科学研究科	教授
薄井 充裕	日本投資政策銀行 情報通信部	部長
永壽 伴章	独立行政法人 産業技術総合研究所 機械システム研究部門	部門長
白井 泰雪	東北大学未来科学技術共同研究センター	助教授
中西 友子	東京大学大学院農学生命科学研究科	教授
矢野 元啓	三井物産株式会社 無機化学品事業本部	上席執行役員/本部長

## 生産性分野ワーキンググループ メンバーリスト

(順不同・敬称略)

氏名	所属	役職
大和 裕幸 (主査)	東京大学大学院 新領域創成科学研究科	教授
有信 陸弘 (主査代理)	株式会社東芝	執行役常務 研究開発センター長
青山 藤詞郎	慶應義塾大学理工学部 システムデザイン工学科	教授
梅田 靖	東京都立大学工学部	助教授
新野 秀憲	東京工業大学精密工学研究所	教授
松木 則夫	独立行政法人産業技術総合研究所 ものづくり先端技術研究センター システム技術研究チーム	研究チーム長
元橋 一之	一橋大学イノベーション研究センター	助教授
(オブザーバー)		
井上 弘基	財団法人機械振興協会経済研究所 調査研究部	主任研究員

## 社会基盤分野ワーキンググループ メンバーリスト

(順不同・敬称略)

氏名	所属	役職
柘植 綾夫 (主査)	三菱重工業株式会社	常務取締役
板橋 功	財団法人公共政策調査会 第一研究室	室長
浦 環	東京大学生産技術研究所	教授
木戸出 正継	奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科	教授
小鍛冶 繁	独立行政法人産業技術総合研究所 知能システム研究部門	副研究部門長
西田 泰	科学警察研究所 交通部交通安全研究室	室長
林 秀樹	三菱重工業株式会社 機械事業本部 風水力・一般機械部	次長
別府 信宏	財団法人防衛技術協会	会長

## ソフトインフラ分野ワーキンググループ メンバーリスト

(順不同・敬称略)

氏名	所属	役職
大場 善次郎 (主査)	東京大学大学院工学系研究科	教授
伊東 乾	東京大学大学院情報学環・学際情報学府	助教授
岸本 亨	NTT環境エネルギー研究所 エコ・コミュニティプロジェクト	プロジェクトマネジャー
玄場 公規	東京大学大学院工学系研究科	助教授
坂口 光一	九州大学大学院工学研究院	助教授
佐久間 一郎	東京大学大学院新領域創成科学研究科	教授
星川 安之	財団法人共用品推進機構	専務理事・事務局長
古川 正志	国立旭川工業高等専門学校 制御情報工学科	教授
本間 一弘	独立行政法人 産業技術総合研究所 人間福祉医工学研究部門 医用計測グループ	研究グループ長
吉見 隆	独立行政法人 産業技術総合研究所 知能システム研究部門 3次元視覚システム研究グループ	主任研究員

### 3 . 調査研究成果の要約

#### 3 - 1 調査の目的と方法

21 世紀のわが国は急速に高齢化が進むとともに、人口の減少傾向が続くものと予想される。また経済状況も長期に亘る不況、デフレ圧力、そして中国を始めとするアジア諸国の追い上げが加わり、国際競争力が低下する中で、わが国経済および社会生活の円滑な発展を期待することが難しい状況にあるとも言える。

しかしながら、わが国そして国民は、これまでも多くの困難を克服して新しく、豊かな社会国民生活を切り開いてきた。例えば、わが国でも政府等が中心となって世界規模での環境問題に対する取り組みを行っているが、これにより 21 世紀においては、環境にまつわる様々な問題・課題の改善が見込まれ、より豊かな社会の形成が期待されている。このように環境問題のような経済的な制約となる困難な状況にも対応し、新しい技術開発、そして新しい産業を創出することによって、豊かな社会生活を送ることができると考えられる。

政府の施策においても、このような認識に立って技術開発が緊要なテーマとして取り上げられている。そして、このような新しい技術を実際に産業や社会生活に生かしていく（実用化していく）ためには、機械システム技術が極めて重要となってくる。本調査研究では、産業の再構築と社会ニーズに即した機械システム技術の展開について、調査研究し、今後の技術開発の方向を提示することにある。

本調査研究では、重点戦略分野、生産性分野、社会基盤分野、ソフトインフラ分野の四つのワーキンググループを設け、そこでの検討を下に、調査研究を行った。具体的には、関係する政府資料の検索・収集に努めたほか、各委員間の自由な討論とオブザーバーや学術関係者の考え方をレビューする形を採った。

本調査研究で特に留意したのは、21 世紀の新しい機械システムとはどう考えるべきか検討をするとともに、社会の構造変化の方向性、ならびに機械システム技術が対応すべき分野の検討である。すなわち、社会生活の構造変化の方向、豊かな生活を築いていくために必要な社会的ニーズの掘り起こしとそれらに関連した社会システムについて、政府のとりまとめた各種資料を参考にしつつ、その明確化を行うとともに、各分野の求められるシステム技術のイメージや政府の技術開発プロジェクトとの関連、システム開発に係わる特性に関してより詳細に検討している。

最後に本調査では対象とする機械システム技術分野の現状と研究の方向を検討した。すなわち、上記の調査と分析を通じ、社会システム分野の中から選ばれた機械システム技術に関連する研究の状況や方向について、個別分野ごとに専門家や関係者の意見をヒアリングして、今後の検討すべき当該分野での具体的システム技術のアイデアを抽出し、それらの開発段階や国際的な競争優位性、開発リスク、開発上の問題点等の開発特性を整理し、それぞれの課題や問題点の洗い出しを行った。

### 3 - 2 機械システム技術の再定義

ここで調査研究の主題となる「機械システム」<sup>i</sup>を、どのように定義するかは、議論の分かれるところである。機械<sup>ii</sup>とシステム<sup>iii</sup>との融合と捉えるのか、それとも機械とシステムとを一体のものとして捉えるか、様々な議論がある。こうした議論によって出てくる背景として指摘できることとして、機械システム自体が絶え間ない技術進歩が新しいシステム概念を生み出し、機械システム自体が常に変容を遂げているからである。その意味で、時代に適応する「機械システム」の再定義が必要となっている。

#### 3 - 2 - 1 機械システム技術を再定義する上での前提

「機械システム」の定義をめぐるには、種々の考え方がある。例えば、微細なマイクロチップを取り上げると、それ自体は小さな物体に過ぎないが、その能力に着目するならば巨大な物流システムにも匹敵する役割を果たす。このように考えた場合、マイクロチップは機械システムと同等か、それ以上の能力を持つ。その意味では、マイクロチップ自体を「機械システム」の範疇に入れて議論することが考えられる。しかし一方では、もっと広い意味で、つまり社会システムとの関連において「機械システム」を捉える必要があるという考え方もある。

これは従来の機械要素を汲み上げたシステムだけでは、第一に本来の目的とする社会的ニーズを実現できないこと、第二に機械を利用する人あるいは人々の関係や意識、枠組みとしての組織、制度といったもののありようが、その有効性に大きな影響を与えるからである。このことから経済社会に有効に働き、価値をもたらす機械システムは機械要素の汲み上げだけでなく、人を含むマネジメントや組織を含めたものを一体として捉え、こうした社会ニーズに応えられるサービスを提供できるシステムでなければならない。これは、社会システムとして機械システムの規模が大きくなるにつれて、また、関与する人間の数が増えるにつれて、機械そのものよりも組織やそのマネジメント、制度といったものが、その有効性に対し貢献する割合が高くなるからである（図1）。

機械システムを再定義する上で、情報化社会、ユビキタス・ネットワーク社会は一つの示唆を与える。現代において情報化は全ての機械に対して行われつつあり、システムとしてネットワークの中に内在化し、新しい価値を生み出している。ここで情報システムは、機械システムの個々の機能が働くために判断あるいは意志決定を迅速に行うためのものであり、機械システムを動かす組織や判断のプロセスをどのように最適化するか検討した上で、構築されるものである。既存の意志決定システムをそのままにして情



報システムを単純に導入しても初期の効果が上がらないことは、よく知られるところである。すなわち機械システムの再定義を考える上でも、情報の役割もしくはそれを管理・コントロールする役割というものを検討する必要がある。

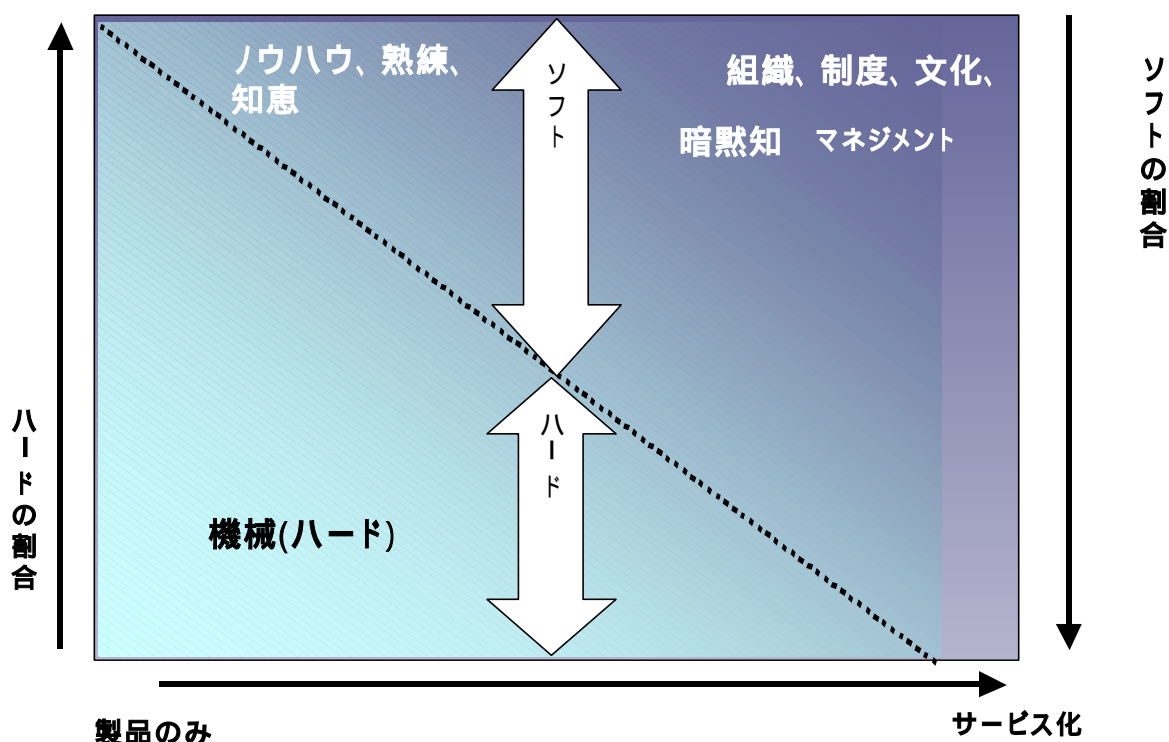


図1 機械システムの範囲の拡大とソフト化(1)

他方、調査研究では、機械システムの定義に関し、次のような考え方もある。すなわち新しい機械システムを考える場合、大事なことは「人間との係わり」の中で機械システムをどのように見るかということであり、範囲を限定して言うならば、物理側もしくは人間と、この新しいネットワーク情報空間との接点に係わるもの、もしくは情報では置き換えられない物理的なネットワークに係わるものを「機械システム」と定義する考え方である。具体的には、「マンマシン・インタフェース」と呼ばれるものや「エージェント型自立分散システム」等が想定される。つまり、ここでは「情報の流れ」とは別に「ものの流れ」というものを考え、そのネットワークを実現するもの、それを「機械システム」と定義するというものである。その例としてはエネルギーネットワークや物流ネットワーク等を挙げることができる<sup>iv</sup>(図2、3)。

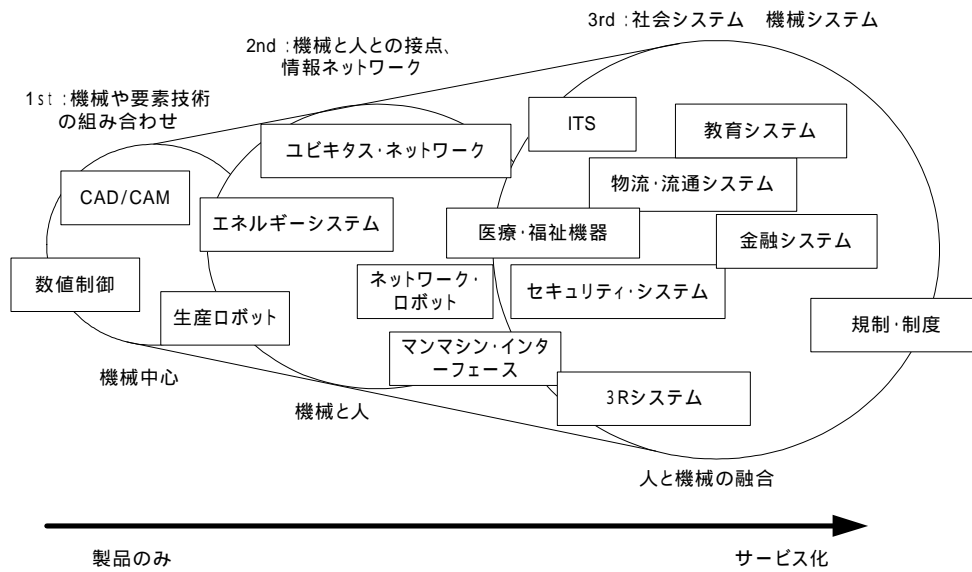


図2 機械システムの範囲の拡大とソフト化(2)

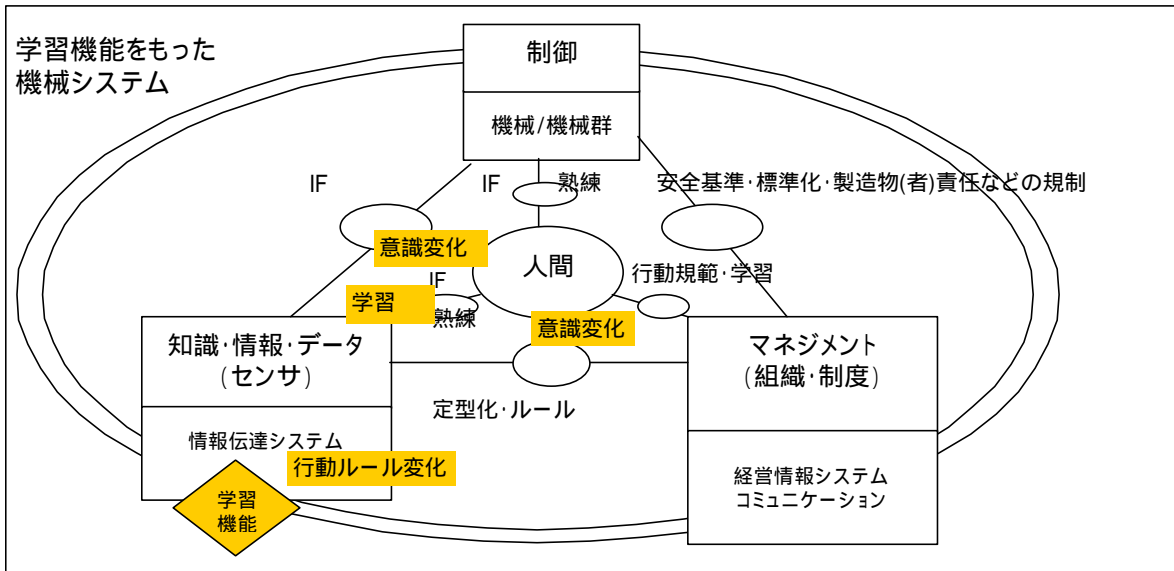
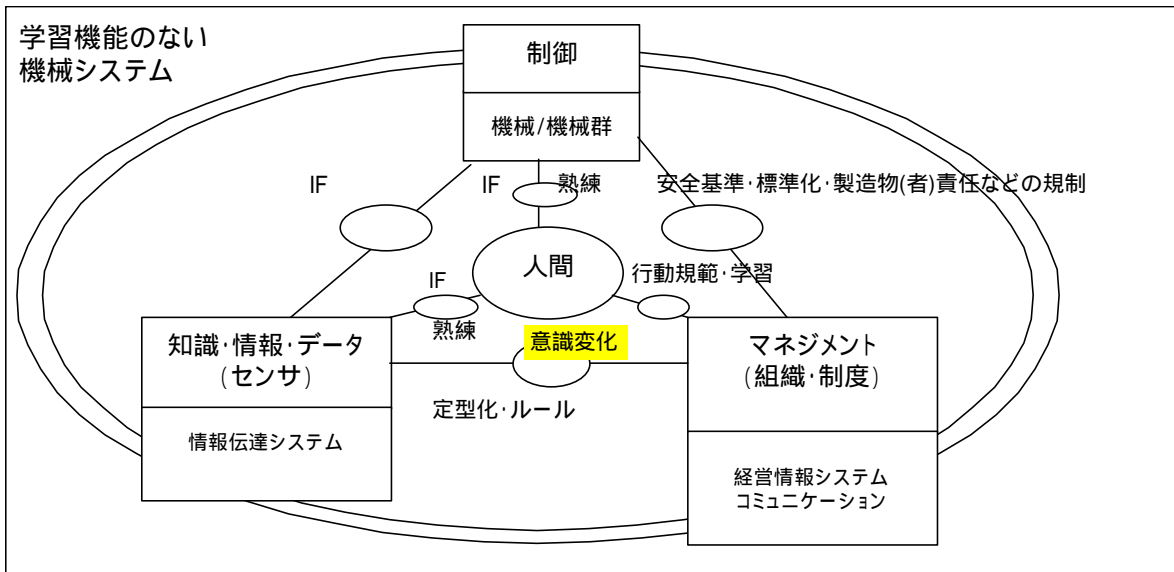


図3 機械と情報システム、人間の関係

### 3 - 2 - 2 機械システムにおける技術開発の重要性

機械システムの定義を再考する上で、次に留意しなければならないのは、国際環境の変化に対応した施策を遂行する必要性である。

エネルギー、環境等の世界的規模での大きな課題が顕在化する 21 世紀において、従

来のようにわが国より進展した欧米諸国に追随し、わが国の強みである生産技術等を生かすことによって順調に発展してきた時期とは異なり、わが国が世界のフロントランナーになる必要がある。他方、製造業においても中国、韓国等の急速な追い上げを受けている現状を鑑みると、わが国の継続的な発展と安全と快適な国民生活の維持に極めて重要な機械システム振興のためには、国を始めとする公共機関および企業に代表される民間分野と学術分野がより有機的に結びつきながら、それぞれの役割分担を果たし、効率的な振興を図る必要がある。

重要なのは国家としての方向、国家目標を達成するためのロードマップの策定や戦略的な技術開発の推進等、公共分野の役割である。政府としても、この重要性を認識し、総合科学技術会議で包括的な振興策を策定するとともに、機械システムにおいても重要な構成要素となる情報通信、ライフサイエンス、ナノ・新材料、環境・エネルギーの重点四分野の振興策等、各種の具体的な技術開発政策および予算措置を講じる必要がある。これらの技術開発は当初コスト高になることは否めず、短期的には民需につながるかどうか、疑問が残されるにしても、フロンティアの技術開発を推進することは、国家戦略上からも重要な政策であり、ここでの国の果たす先駆的な役割が期待される。

もちろん、機械システムを振興する上でも上記のような国の役割もさることながら、重要なことは民間部門や大学を始めとする学術部門の役割である。学術部門はより長期的・基礎的な視野に基づいた研究開発活動に大きな役割を果たす。より短期的で民需につながる有効な技術開発では、民間の活力を利用することが望ましいと考えられる。ただ、機械システムが、その性格特性から巨大化する傾向にあり、個別の民間企業では対応できないケースも多く、複数の企業間連携やさらに各々の特徴を生かし、より効率的な役割分担を果たすため、産学官連携を強める必要がある。特に複雑かつ高度なニーズに対応する 21 世紀機械システムの技術開発において、異分野の技術や人間、組織をマネジメントする技術および仕組みの重要性がますます高まっていると考えられる。

### 3 - 2 - 3 機械システム技術の再定義

機械システムの定義に関しては色々な考えがあるが、その違いは基本的に人間との係わりの中で機械システムをどのように見るかということである。人間は機械システムの外側にあり、物理（機械）的システムや新しいネットワーク情報空間とはインターフェイスで接していると考えられる見方がある。こうした機械システムには生産ロボットや CAD/CAM、数値制御といった機械や要素技術の組み合わせからなる個体に近いものと、情報ネットワークによって個別システムが結ばれ、制御されるネットワーク型の機械シ

ステムがある。

一方、人間と機械が相互に関係しあっており、相互のパフォーマンスが全体の系の働きに影響を及ぼすといった密接な関係にある場合、機械システムは人間そのものを含めたものとして取り扱う必要があるという考えがある。すなわち、本調査研究で言う「機械システム = 社会システム」という考えである。

例えば「安心・安全」を確保する上では社会全体のソリューションが必要となっている。すなわち、「安心・安全」を確保するには、人間と機械システムが一体となった社会システムとして捉えなければ、目的を効果的に達成できないと予想されるからである。他方、コミュニティに着目したときも同様なことが言え、社会の基本的なプラットフォームを形成するコミュニティを円滑に機能させるには、社会の仕組みや制度等「人間の要素」がより重要な意味を持つと考えられる。

また、人工物による環境破壊や、医師たちがデータを診るだけで人間としての患者を診ないという批判等、科学技術の進歩が果たして人間の幸福に貢献しているのかという根本的な疑問が提示される。科学者も工学者も、こうした根本的な疑問に答えていく必要があり、そのためには人間と機械システムを別々に捉えるのではなく、一つのシステムを構成する要素として把握していくことが不可欠である。

すなわち、より重視されるのは、人間と機械システムをどのように「融合」していくのかという問題意識である。それは機械システムの進化が、人間の意識の変化をもたらし、逆に人間の意識の変化は機械システムに新しい期待を寄せるようになり、それが相互に影響を与えながら新しいパラダイムを作り上げていくと考えられるからである。

こうしたことから機械システムと人とを対立概念で捉えるのではなく、機械システムを人間と融合一体化する方向で捉えるのは必然であると考えられる。

ここで一つの設計イメージを提示すると、21世紀の機械システムは、マーケティングの手法であるニーズのセグメンテーションに基づき機能仕様を明確にし、それぞれの購買者が「使って幸せになる」、「使ってより賢くなる」ように価値を設計するものと考えられる。ここで指摘しておきたいのは、技術的要素もさることながら、重要な機能として、購買者や利用者、影響を受ける関係者から得た情報・評価のフィードバックやそれに基づく修正・改善、さらには「説得」が継続的に行われる、ということである。

機械システムがこうした考え方や条件を満たすためには「インテグレーション」という概念がコア技術として取り上げられなければならない。インテグレーションとは、バラバラの部分・要素を有機的に統合し、集大成することにある。

しかし、ここでのインテグレーションの意味は、要素の統合にとどまらず、各要素を

有機的に統合することで、新たな価値を設計し直すという積極的な意味合いを付加することにある。すなわち、複雑化した社会構造の中、マスではない個人の幸せを実現するためには、従来のように個々の技術要素やソフトウェアを目的に合わせて統合するだけでなく、新しい価値を創造するために、必要な知識やノウハウといったものを動員し、さらには利害関係者全体を組織や制度、あるいは文化や慣習といった意識のレベルまで踏み込んで積極的にマネジメントすることが求められるのである（図4）。

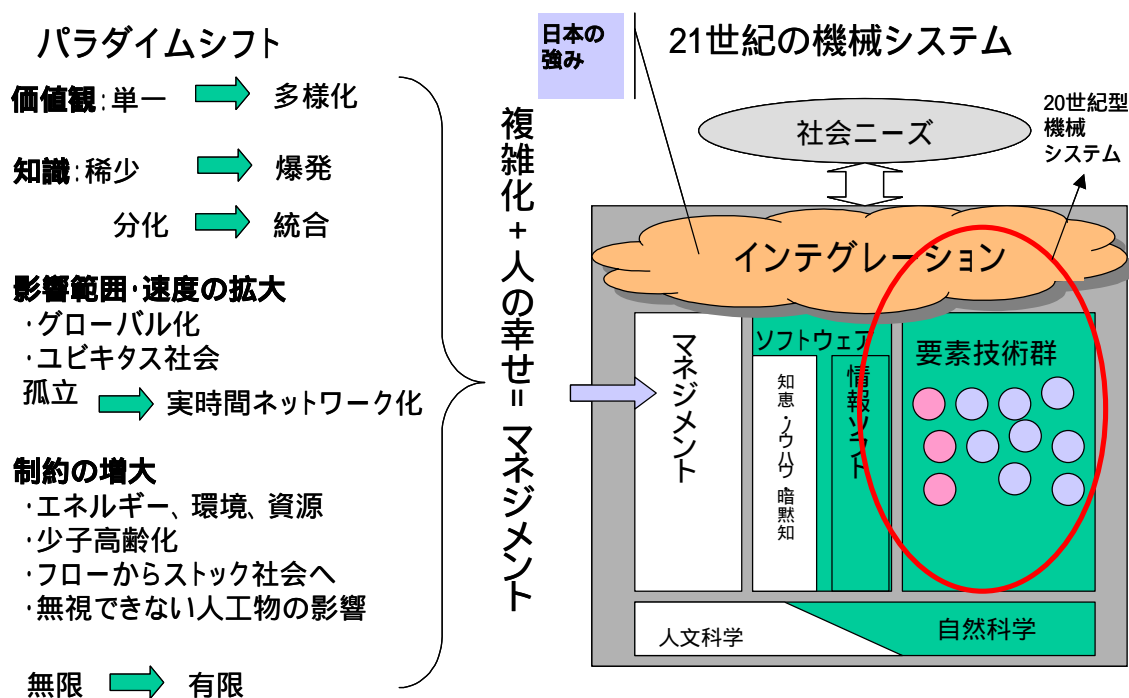


図4 パラダイムシフトに対応する機械システム

この場合、当然のことながら、機械システムに直接関与する関係者はもとより、利用者あるいは周辺の人々を含めた関係者間のコミュニケーションや「すり合わせ」が重要となる。説得と対話、すなわち、コミュニケーションを通じたシステムに対する評価を、フィードバック・集積していく過程で機械システム的设计思想に対する理解が関係者間で深まり、機械システムがさらに進化するものと期待されるからである。

こうした観点に立つと、従来は工学や自然科学が中心であった機械システム的设计において、今後、人文科学での知識や考えが重要な位置を占めるようにならざるを得ない。

### 3 - 3 社会の構造的変化の方向と機械システム技術が対応すべき分野の検討

#### 3 - 3 - 1 新技術が後押しする機械システム

科学技術の発展に関連させ、21世紀を展望すると、豊かな国民生活像というものが描くことができる。すなわち現在までの科学技術の発展によって、我々の生活が大きく変化し経済的な発展を遂げてきたように、今後も科学技術の発展は我々の営みに大きな影響を与えていくと考えられる。

現実の世界にも、その萌芽を認めることができる。例えば、コンビニエンス・ストアもこれら機械システムの支援がなければ実現できなかったビジネスモデルであるし、コンビニエンス・ストアの登場は少なからず人々のライフスタイルを変えた。

そのバックグラウンドを支えるのは、情報システムや流通システム等、機械システムである。国民の二人に一人は携帯電話を持ち、様々なサービスが得られる。いつでも、どこからも、誰もが必要な情報に接することを可能とするユビキタス社会の到来も間近に迫っている。私たちの職場に目を向ければ仕事のありようを劇的に変えているのも、やはりコンピュータおよびコンピュータに支援された機械システムの存在である。生産現場も変化しており、設計支援にはCADが使われ、いまや無人工場等珍しくもなくなった。

新しい技術開発も急速な勢いで進展を見せている。ナノ技術、DNAの研究、バイオテクノロジー、ライフサイエンスや生命ロボットの研究、IT、水素エネルギー・太陽エネルギー研究、さらに環境問題や循環型社会の実現等は次世代の戦略的技術開発分野として注目される。これらの技術的課題を解決し、これらの技術が社会的ニーズに即応できるならば、未来社会は大きく変わっていくはずであり、未来社会を切り開く上で、社会ニーズとの接点として機能する機械システムは不可欠な要素の一つと言える。

#### 3 - 3 - 2 変容する社会と機械システム

未来社会を切り開く機械システムが直面する社会の大きなトレンドや問題として、以下の11の項目を取り上げ、そこでの課題を抽出した。

##### (1) 少子高齢化社会のわが国経済への影響

- ・ 2006年をピークに人口減少に向かう日本。
- ・ 2043年には高齢者(65歳以上)と生産人口がおよそ1:1となる。

- ・ GDP の減少（経済成長率がマイナスへ）。
- ・ 生産者が減り、消費者が増える社会へ。
- ・ GDP 減少を補填する生産性向上も限界がある。
- ・ 拡大指向から少子化社会へのモードの社会全体の切り換えが必要。

#### （２）世界的な食料・エネルギーおよび環境問題

- ・ 世界人口は 2005 年に現在の 2 倍の 100 億人に膨張。
- ・ 途上国での人口爆発によって経済、エネルギー、環境のトリレンマの危機発生。
- ・ 資源不足、エネルギー不足、食料不足、自然災害発生、環境難民の大量発生等、連鎖的破壊の懸念。
- ・ 地球規模での多国間相互協力が不可欠。
- ・ 食料生産にかかるエネルギーが今後の課題で、低エネルギー食料生産が必要。
- ・ エネルギーを絡め、農業と食料問題を戦略上の視点から再検討すべき。

#### （３）資源問題とリサイクル社会への移行

- ・ 資源の有限性、環境問題から省資源が必要。
- ・ リサイクルは一部では進展しているが、建設廃材の処理が課題。
- ・ リサイクルすることで誰もが利益を得られるようなソフト面での取り組みが必要。

#### （４）ストック社会におけるメンテナンスの経済効果

- ・ 省資源・省エネルギー型社会を構築する上で、メンテナンスは経済、社会的側面から重要な課題。
- ・ 公共ストックに関しては合理的なメンテナンスを施し、人工物の長寿命化によって社会ストックの増大させることが必要。
- ・ 保安・保守（設備維持、改善）技術の伝承や人材育成が遅れている。
- ・ ライフサイクルメンテナンスを企業文化として定着させることが重要で、そのため規制や義務化だけでなく、経済的インセンティブの仕組みが必要。
- ・ 更新投資に対する PFI も一つのアイデアである。

#### （５）熟練技術の伝承および工学教育問題

- ・ 経済合理性追求、数値データ依存が強く、人間の持つ複合的な能力を軽視する傾向。
- ・ 人から人への生の技術情報伝達機能が不全に陥っている。



- ・ 熟練技術者の育成と確保はわが国の産業基盤を確保するために重要な課題。
- ・ 若者の生産現場離れを防ぐためにも、小さなころからのものづくり教育が必要。
- ・ 重要なことはものづくり現場での疎外感を取り除く生産の仕組み。
- ・ 工学部離れは魅力ある工学教育がないこと、機械、機械システム全体を俯瞰するインテグレーション能力をもたせる教育が実施されていないこと。

#### ( 6 ) 安心と安全に対する脅威の増大

- ・ 科学技術は安心・安全に関する要素技術やシステム技術をもたらすが、安心・安全はこれだけではなく、社会制度的なものとして一体となって効果が生じるもの。
- ・ 人為的な脅威からの安心・安全分野では犯罪の増加、特に国際化と凶悪化が進み、社会システム自体が自壊の危機にある。
- ・ 情報・ネットワーク技術の進歩により、同定、認証技術の向上や監視システムの普及が可能になったが、人との協働なくしては、効果が薄くなる。
- ・ 防犯・安全システムの高度化とプライバシーのトレードオフが問題となる。
- ・ 人々の暮らしの基盤である人工物システムの安心・安全分野では、安心・安全に携わる技術者による社会への説明責任が要求される。
- ・ 人工的に創ったシステムに対し、発生抑止や被害防止等の事前対策に加え、発生後の緊急対応や被害軽減、復旧・復興等の事後対策も含めた総合的な対策が必要。
- ・ 人の生存を脅かす感染症や環境からの安心・安全の課題対応には、特に関連分野の結集と迅速かつ有機的に連携したプロジェクト的な研究や制度的対応が必要。

#### ( 7 ) 巨大化するシステムへの不安の増大

- ・ 科学技術がもたらした負の資産や影響に対する不安は、科学技術を利用したシステム全体が人々にとって「見えない」「分からない」ものになってきているという不安が原因。
- ・ 提供された製品やサービスを利用して、あるいは事故があつて初めて気付く、隠れた危険の存在が社会の脆弱性を高める。
- ・ こうした巨大システムに携わる工学者は社会や国民からの批判や疑問の声に答えていくべき説明責任が求められる。

#### ( 8 ) 従来のコミュニティの崩壊と新たなコミュニティの形成

- ・ 知識ベースへの経済への転換が求められている中で、大学や中央に蓄積さ

れている技術や知識を産業界や地域に橋渡しする仕組みが不十分。

- ・ 地域イノベーションとしての試みがされているが、地方自治体の裁量権の大幅な拡大なしには本来の地域活性が機能しない。
- ・ ユーザーの視点から技術を見ることが重要になり、人口規模の小さい地域は利用者の意見を反映することができる社会環境を持っている。
- ・ 中央集権的なコミュニティの崩壊と、その後の新たなコミュニティ構築の模索。
- ・ コミュニティづくりが上手くいけば、地域の活性化も同時に進展するという好循環環境を創ることが必要。
- ・ 機械システムを使用することで幸せになれるという機械システムの付き合い方を検討することが必要。

#### ( 9 ) ベンチャー型事業育成の課題

- ・ ベンチャービジネスの製品を大企業や公的機関が購買する習慣がない。
- ・ ベンチャー側も創る能力はあっても、売ることに関心が薄いので、マーケティング指向にビジネスを変えていくことが必要。
- ・ 地域の最大のビジネスである医療や介護等のサービスに目をつけたビジネスは有望。
- ・ テイラーメイド型のきめ細かさから対応が必要となる分野にベンチャー企業の活動の場がある。

#### ( 10 ) 医療・福祉分野の予算削減：予防医学、健康維持、医学と工学との融合、共生社会

- ・ 医療費や福祉分野の予算の削減。
- ・ 予防医学、健康維持が今後の重要課題。
- ・ 自己責任と自己判断を支援するサービスが医療の柱となる。
- ・ 科学技術が進歩し、医療への応用が急速に進むことが期待される。
- ・ 従来の部分的な手術手法の最適化ではなく、調達から術後の管理まで全体のマネジメントが大きな課題となり、医学と工学の融合も不可欠になる。
- ・ 社会復帰や障害者等の社会参加を支援する医療・福祉器具は「ユーザー」の視点が重要で、ユーザーがきちんと製品を評価しそれをフィードバックする仕組みが必要。
- ・ 社会的弱者が健常者と同様のコストで製品が使えるような共生社会の構築が必要。

( 1 1 ) ものづくりの基盤確保の課題

- ・ 生産基地の海外移転でものづくりの基盤が喪失しつつある。
- ・ 単なるコスト優位比較、短期的な企業経営の都合による海外生産ではなく、ものづくりの戦略的視点から海外生産を見直す必要がある。
- ・ わが国の強みは技能者の中に蓄積された暗黙知で、そこから生まれる高品質な製品。
- ・ 安く売るのではなく付加価値の高い製品を創る方向への転換が不可欠。
- ・ 今までの問題は製品全体の構想を考えてこなかったこと。

( 1 2 ) ニーズとシーズのミスマッチ、経営スタイルの変革が課題

- ・ わが国には多くの優れたシーズが存在するがそれが有効に産業化に結びついていない。
- ・ 従来と異なり、単一の技術では社会変化を促すほどのインパクトを持ち得ないし、複数の技術が一緒になって初めて大きな力を発揮するようになってくる。
- ・ 社会的に大きな成果を上げるには異分野との連携が不可欠になる。
- ・ 新しい研究分野を開拓するには若い人に評価させ、プロセスを大事にする仕組みが必要。
- ・ 技術進歩の激しい中であって迅速な意志決定を行う経営者やマネジメントの存在が重要（「リスク回避」「コンセンサス重視」では対応できない）。

### 3 - 4 対象とする機械システム技術分野の現状と研究の方向の検討

#### 3 - 4 - 1 ワーキンググループのガイダンスおよび論点整理

本調査研究では、重点分野ワーキンググループ、社会基盤分野ワーキンググループ、生産性分野ワーキンググループ、ソフトインフラ分野ワーキンググループの四分野に分かれ、それぞれ社会構造の変化の方向、機械システムの再定義、社会ニーズの掘り起こしとそれに関連した社会システムに関して検討した。これらの詳細な検討の内容は各論編に記載している。

##### (1) 重点分野ワーキンググループ

このワーキンググループでは、わが国の戦略的な技術開発という観点で検討を行ったが、総合科学技術会議で議論されている重点四分野(IT、ナノテク、ライフサイエンス、環境)は、いかにもアメリカの後追いではないかという印象もあり、日本の実情と国際競争力を確保する上で、それだけで本当に力になりうるのかという考え方もある。むしろ、わが国の強いところはどこか、伸ばすべき分野はどこか、そうした全体的なバランスを考える中で、政策的に重点四分野を位置づけて見る必要があるということである。そのため、ワーキンググループでは、主として重点四分野以外に、重要な課題があるのではないかと、そうした観点から検討を進めた。

その結果、重点四分野の投資を集中させているが、その他の分野でも現在より重視すべきものがあるのではないかと、長期的視点のみであるため国際競争力上重要と思われる産業化や技能の部分にまで踏み込んでいないのではないかと、国家目標をより明確化する必要があるのではないかと、等の諸点が指摘された。また特に、重点四分野については、納税者の観点からも、これまでの投資によって産み出された要素技術をいかに社会に資するようにシステム化していくことが重要であると考えられる。

中長期的な視点からは、エネルギー・環境・食料問題は、一体として解決することが望ましいとの方向が打ち出された。また、環境問題と関連させたりサイクル、メンテナンス・信頼性に関する分野、産学連携にかかる問題等、個別具体的な問題に立ち入り検討が行われた。問題解決方向として社会ニーズに対応した、要素技術の組み合わせ(システム化)イメージを創り上げる能力、省庁をまたいだプロジェクトの構想、既存の技術・知識ストックの活用、共同研究の進め方や知的財産権の保護のあり方等が重要課題として指摘された。

## (2) 生産性分野ワーキンググループ

ここでは、生産性確保の基本的視座を「効率概念から高付加価値生産」パラダイム転換に置き、 厳しい国際環境に立つわが国の製造業の現状、 生産拠点、生産技術の海外移転の影響、 ものづくりの基盤になっていた中小企業の疲弊、 少子高齢化社会による生産性低下の懸念、 経営の国際化の立ち遅れ、 情報社会および知識社会参入とソフト分野の立ち遅れ、 若者の製造現場離れ、 等の問題と課題の抽出が行われた。

課題解決の方向として、 製品全体の戦略構想を持つことの必要性、 品質を全面に押し立てた日本製品の戦略展開、 モジュール化からインテグレーション重視の戦略展開、 リースやリサイクル等ユーザーへのサービスや新しい価値の提供等を戦略の柱とすることが指摘された。こうした戦略を実現するためには、マネジメントのリーダーシップの役割が大きい。衰退しつつあるものづくりでの競争力確保面では、 ものづくりの本質に触れ、ものづくりに参加していることが実感できる生産システム、 高齢者や社会的弱者の潜在的能力を活性化させ、社会的に活用できるように支援する機械システム、 技能伝承システム、 循環社会適応型の機械システム、 迅速な価値創造を実現する設計試作支援システム等、わが国の強みを生かした開発が望まれる。

## (3) 社会基盤分野ワーキンググループ

このワーキンググループでは、人々が社会生活を営む上で、重要な社会基盤分野、ならびにフロンティア分野における機械システムのあり方について検討を行った。そこで重要な視点として確認されたことは「安心・安全」にかかる問題であった。安心・安全を破壊する脅威については3つの分野(地震等、自然からの脅威、人の生存を脅かす病気や環境問題からの脅威、テロ、犯罪等、人為的な脅威)を取り上げ、ソフトおよびハードの両面から検討が行われた。そこでは、問題の性格からして一国で対応できない問題については国際協調が必要であること、大量に蓄積しつつある人工物の維持・補修が重要となること、安心・安全が主観的要素を持っているという性質上、人間を内包するシステム、あるいは人間の能力を最大限生かすシステムとして考える必要があること、が指摘された。

ネットワーク社会での技術的な問題に言及すると、監視技術やセンサー、あるいは認証、同定等の個体識別技術を導入する際には、情報セキュリティは当然として、個人のプライバシー保護に対する制度やルールの整備等が重要になる。さらに、長期的なエネルギー供給の安定や地域格差是正、持続的経済発展による社会の安定確保、フロンティア分野での技術開発におけるマルチユース発想の必要性についても検討された。

#### (4) ソフトインフラ分野ワーキンググループ

このワーキンググループでは、社会が必要とする「ニーズ」の視点から、人間と機械システムにかかる様々な論点が出された。まず社会およびコミュニティが成立する前提は「ひと」にあるとの考え方に立ち、人々の社会生活を維持していく上での必要な分野として、人づくりの課題、健康や福祉、そのための地域活性化、新規事業や企業の育成等の問題を取り上げ、その変化の方向や課題について検討を行った。

課題解決の方向として、新たな機械システムの概念が必要であること、医療や福祉の基盤づくり、すなわちライフサポートの推進の必要性、次世代の人づくりの必要性、特に必要とされるのは、メンテナンス人材育成、技術者教育の必要性、地域でのイノベーション創造メカニズムの必要性等の諸点であった。新しい機械システムの概念としては「利用することで幸せになる」あるいは「オープンシステム」、「フィードバック」という視座が必要で、例えば、テイラーメイド型の機械システムや地域住民との合意形成プロセスを重視した機械システム、インテリジェント手術室、ペットロボット等の学習型機械システムが取り上げられた。

#### (5) 大きな課題分野の抽出

以上の四分野での検討と社会的トレンドや問題を踏まえ、キーワードを抽出、それらを整理することで、新たな課題抽出を行った。図5はキーワードを並べ、整理したものである。こうした分析から、機械システム全体に共通な課題、高付加価値化、生産性向上に係わる分野、安心・安全な社会構築に係わる分野、地域格差是正、フロンティアに係わる分野が抽出された。以下では分野毎に機械システムの開発課題や方向性を検討した。

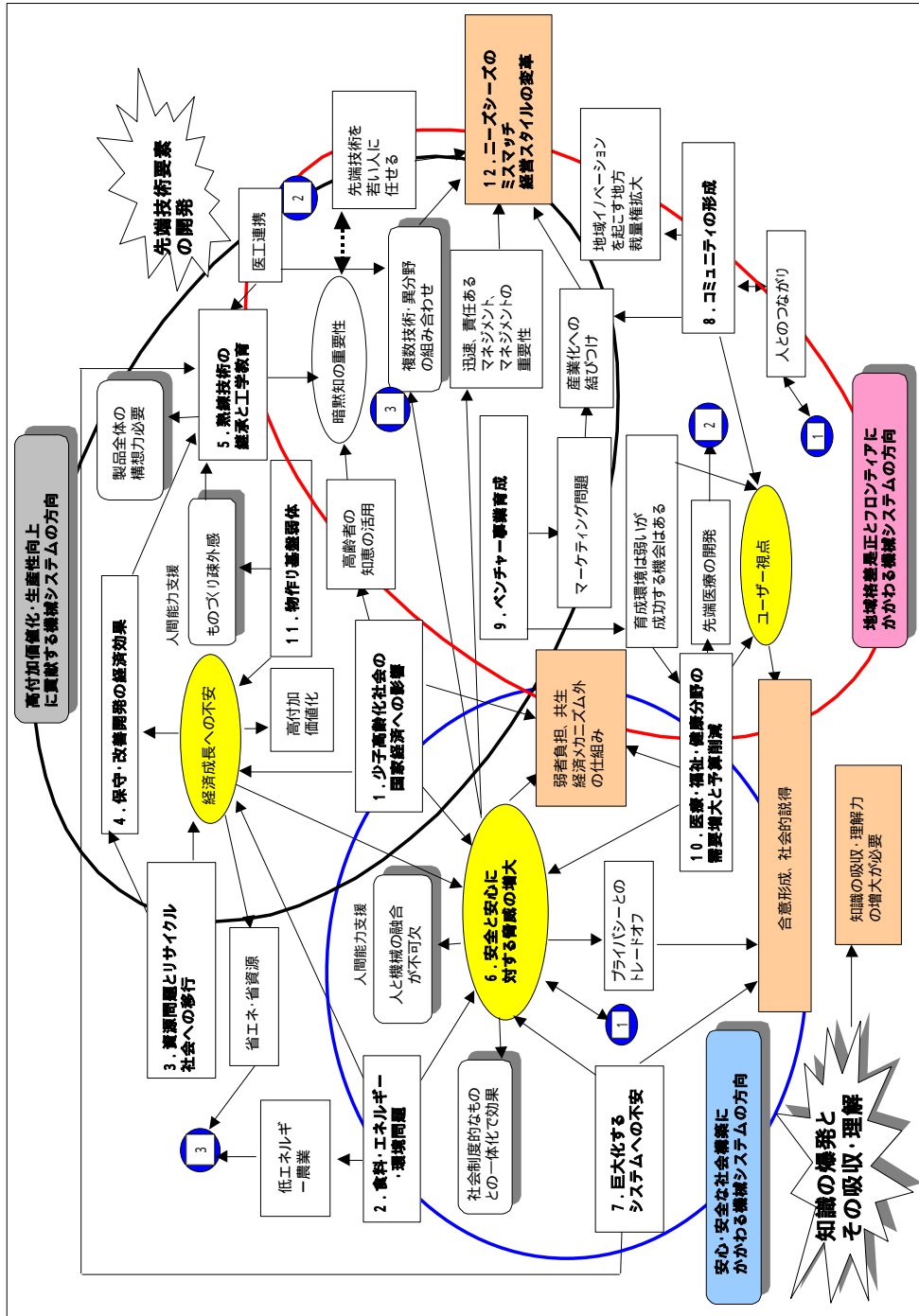


図5 キーワードによる大きな課題分野抽出

### 3 - 4 - 2 機械システム全体に係わる共通テーマ

4つのワーキンググループで検討された課題において共通的に取り上げられたものを共通テーマとして以下に示す。

#### (1) 機械システムの「再」位置づけ

機械システムの再位置づけを以下の観点から行った結果、機械システムはその開発において、人間および人間が構成し運営する社会システムとの長期的持続的相互関連性も含めて検討する必要があるということである。すなわち、人間の生活と調和し、人間の活動を助け、あるときは人間とともに考え、学習、進化する機械システムのイメージである。

機械システムは次世代の新応用分野を創り出す重要な役割を果たす、比較優位を持つ次世代のリーディングセクターである。

21世紀の機械システムは限りなく社会システムに接近しながら、その役割は従来の生産の効率化や生産性向上のための機械システムとしてだけでなく、広く人々の生活に受け入れられていく機械システムの開発が期待される。

機械システムの中に制度的なものや人間との係わり合いを含むこと、すなわち人の要素を組み込むことで柔らかなシステムを構築していく必要性が高くなる。

幾何級数に知識が増大する知識社会においては高度化する機械システムに対する使い手側、開発側の理解力が問題となるため、効果的、効率的な学習や教育を支援する機械システムの役割が期待される。

新しい機械システムを社会に導入し、定着させ理解を得るためには、人々に技術の内実を説明し、その社会的有用性を社会的に説得していくプロセスが必須となる。

少子高齢化社会において、知恵と経験を持つ高齢者や身障者の社会参加を促すために、働く意志がありながら、体力的に問題を抱える高齢者や身障者の能力支援を行う機械システムが期待されている。

#### (2) 共通的な課題と解決の方向

##### 機械システムの開発・生産方式の変化

- ・ 社会ニーズから抽出される価値を具現化する開発方式の研究（例、物の販売から機能サービス提供へ、使い捨てから循環型のビジネスモデルへ、迅



速な開発・生産・販売・評価のサイクル化、リスク回避型ビジネスモデル等)

- ・ 産学官等異分野、異組織との間での効率的技術開発方式の研究(例、産学官連携技術開発マネジメントや組織間のルールづくり等)

社会的説得あるいは合意形成方法の開発

- ・ 技術者だけの世界観ではシステムが社会に受け入れられないため、物理的システムの持つ特性や影響について社会的な説得、合意形成づくりが必要。そのための科学的合理的方法論の研究が必要。

効果的、効率的な学習・教育方式の開発

- ・ 心理学や情報技術、脳生理学等の研究成果を使って、効率的に学習の速度を高める方法論やシステムの開発が知識社会には必要(例えば、e-ラーニングやシミュレーション、ロボット・コンテスト的な学習方法等)
- ・ 膨大な知識の活用に関する方法論の検討も必要(例えば、知識蓄積、検索、人間の分析、発想力等)

人間の持つ能力を最大限に活用する人間支援システムの開発

- ・ 高齢者や身障者等の社会的弱者がその能力を最大限生かすために必要とされる身体機能支援システムは国民経済的にも福祉的にも必要。
- ・ また、こうした身体機能支援システムを効率的に生産・供給できるシステムも検討する必要がある。コスト負担方法に関する検討も必要。

### 3 - 4 - 3 高付加価値化・生産性向上に係わる開発課題と方向

生産性分野ワーキンググループを中心に、社会基盤分野、ソフトインフラ分野、重点分野でも検討されたテーマである。わが国の製造現場は考えている以上に劣化しているが、これをよみがえらせるには、従来の考え方を大きく変える必要がある。すなわち、従来の「量産」、「大型化」等といった生産側の論理ではなく、現在の環境変化の中で、わが国の強みを明確に認識するとともに、何が求められているのかをしっかりと把握し、それに合った製品やサービスを戦略的に提供することである。

#### (1) 日本の製造業の強み

わが国の製造業は現場に蓄積された世界に誇ることができる固有の技術が存在する。

これらを特定し、強化していくことが重要である（図6）。

#### 技術の深みや作り込みの強み

- ・ ハードディスク（HDD）型ではなく、ガスタービン型の生産に見られる現場の知恵と経験（暗黙知）で勝負する。

#### ナレッジマネジメントの視点からの設計の見直し

- ・ 設計のデジタル化の進展と技術移転の容易性のジレンマを解決するには、常に、暗黙知をコア技術とする「インテグレーション」を行う能力を養うことであり、それに沿った企業のナレッジ構造を構築していくことである。

#### 下流を意識した循環型ビジネスモデル／環境適合型設計の構築

- ・ 環境に関しては公害問題や自動車の排気ガス問題で先進的な動きを行い、現在でもこれらの分野での競争力は高い。こうしたことから世界に先駆け、大きな潮流である環境問題への対応で主導権を握ることが必要。これには、単純に製品設計において環境適合材料や部品を使用するという考え方ではなく、会社の組織編成も含めたビジネスモデルそのものも検討することが必要。

#### 日本の文化力を生かす

日本の製品やサービスは「ジャパン・クール」と呼ばれ、海外での評価が高い。日本の「ものづくり」、「作り込み」、「すりあわせ」等が評価されているわけで、感性と技術の融合というわが国のソフトパワーをさらに強める必要がある。

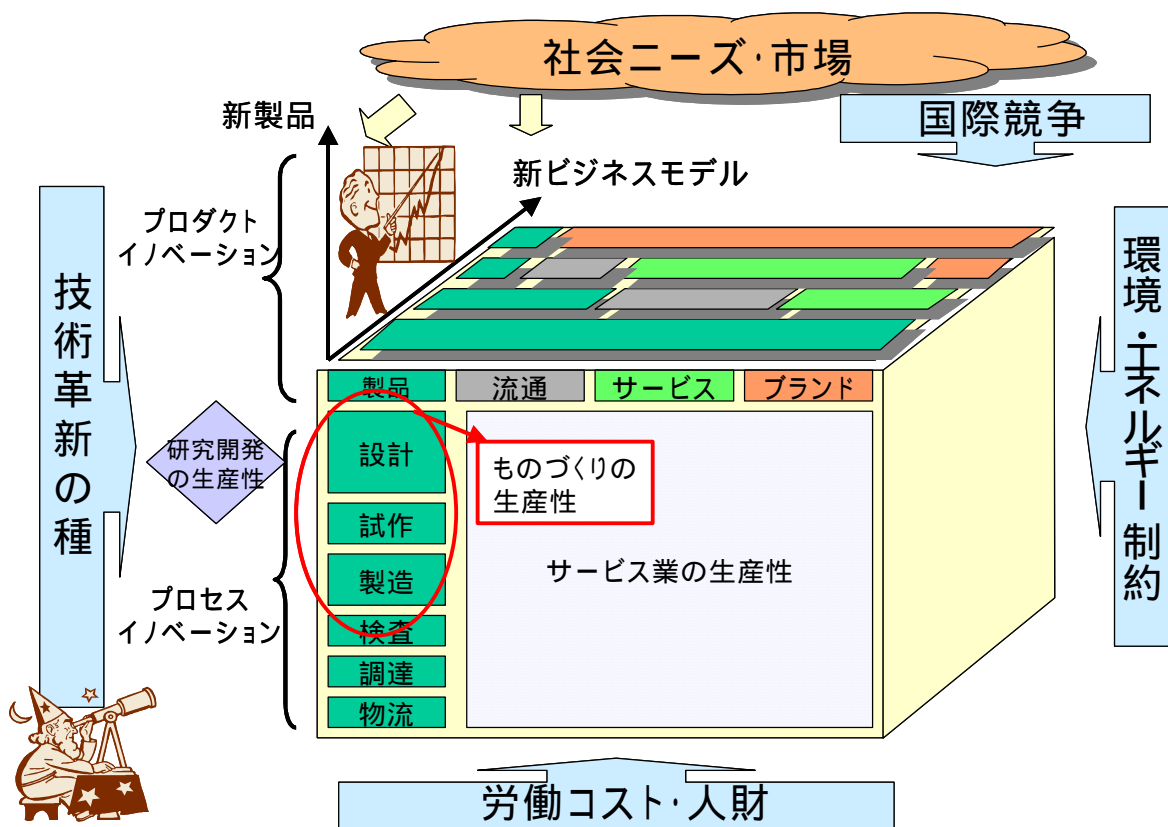


図6 高付加価値化、生産性向上に係わる課題分析の枠組み

## (2) 高付加価値化・生産性向上に貢献する機械システムの方向

プロダクトサイクルとしては、途上国への生産移転が宿命である製品分野があるが、わが国の持つ強みである製造現場を中心に、コスト・品質・デリバリー能力を高め、国際競争力を維持すること、また、より付加価値の高い製品分野にシフトすることで国際競争力をつけることが必要である。さらに、国内において社会的な障害があることで高付加価値化や生産性の向上が進んでいない分野があるので、これを変革していくことが必要である。

### ものづくり基盤を活用する分野

- ・ 需要即応型生産システム（モジュール型からインテグレーション型へ戦略的シフトが必要であり、そのためには熟練技術の保全・発展が不可欠）

- ・ 先端微細加工・生産システム（研究開発と熟練技術者の保全・発展が不可欠）
- ・ 高齢者の生産現場への復帰のための環境整備（熟練技術者の持つ暗黙知を次世代につなぐこと）

#### 効率から「高付加価値」への転換～価値の創造

- ・ 単純なコスト削減や増益ではなく社会ニーズに対応した価値を他に先駆け創造するためには、マーケット指向の組織文化への転換が必要である。
- ・ 「誰にも真似のできない製品やサービス」「ブランドが確立された製品やサービス」を出していくには絶え間ないイノベーションを創り出すメカニズムが組み込まれる必要がある。
- ・ 単純な部品・製品供給から問題解決のためのシステム化による付加価値の向上も高付加価値化の道であるが、これには規制や慣行等、社会システムの壁を打破する努力や能力も必要となる。

#### 従来見過ごされてきた高付加価値、生産性向上分野

日本の市場では規制や慣行等社会的障害によって十分に高付加価値化、生産性向上が図られてこなかった分野がある。こうした分野は単に新しい技術の導入で解決できるものではなく、関係する人々の意識改革や制度・規制の国内外での調整が必要とされる。

- ・ 科学技術フロンティアとしての農水産業
  - エネルギー多消費型食料生産から低エネルギー消費型食料生産へ
  - 食料問題、環境問題を解決する農業生産への転換
  - 科学技術進歩を積極的に活用した農水産業分野の技術開発の必要性
- ・ インテリジェント医療
  - 臨床に密接に結びついた医療機器やシステムの開発が加速しているが、医療機器メーカーが治療分野に消極的なため欧米製機器に依存。
  - メーカーと医療関係者の現場でのニーズとシーズがすれ違っているのが現状。
  - 医療と工学の壁をなくし、現場で使いやすい機器や器具を開発することが必要。
- ・ 物流の効率化
  - 情報の流れとももの物理的移動の同時化を行う物流システムが必要（オンデマンド出版、ものを運ばない流通システム等）

- 人為的な規制の排除とものを運ばない産業立地の考えへの転換
- ・ ソフトウェア生産
  - 詳細にこだわる日本人の性格が基幹業務ソフトのパッケージ化を阻害
  - 現場にフィッティングさせるソフトウェアサービスの需要は高く、それに必要なツールとしてのパッケージが生産性向上に必要。

### 3 - 4 - 4 安心・安全な社会構築に係わる開発課題と方向

日本社会が目指すべき方向として、人々が安心して心豊かに、質の高い生活を営むことができる「安心・安全」の社会を実現することである。その前提は言うまでもなく社会秩序の維持にある。そうした問題意識から本調査研究では、豊かな社会を実現するには、まず、その基礎となる社会における安心と安全を確保し維持することが重要であるとの認識に立ち、そのために機械システムがどのような役割を果たすべきか、また、その課題を検討した。

#### (1) 安心・安全社会構築の視点

安心と安全について、これまでわが国では社会生活一般において、深く考える必要がなかった。その理由の第一は、一定レベルの安心と安全が得られてきたこと、第二に共有できる文化を持ち、それが同質性と相互扶助といった特性を生みだし、その美徳が日本社会に定着していたこと、第三に戦後獲得した高い経済成長や小さな所得格差、国際協調の枠組みによる恩恵が大きかった。

しかし、増加する犯罪、国際的なテロリズム、ネットワークに依存した社会インフラの脆弱さが指摘され、人々の生活は不安定になっている。機械システムと関連させて言えば、これらの社会的に要請に応えるため、今後、「安心・安全な社会」の構築に係わる技術開発は必要不可欠なものとなってくる。同時にテロや犯罪を封じ込めるには、もちろん、社会的合意の上に立つ、社会制度的な様々な取り組みと一体となって初めて効果が得られるものである。

#### 脅威の特質と技術的課題

安心と安全な社会の構築に向けて実施する対策は、対象とするリスクによって多種様々である。まず、社会の脅威となる要因としては、犯罪、事故、自然災害、サイバー空間の問題、健康問題、社会生活上の問題、経済問題、政治や行政の問題、環境・エネルギー問題を挙げることができる。中でも、サイバー犯罪、テロ攻撃、感染症、

大都市災害、工場等における産業事故、環境問題等は、喫緊な取り組みが必要である。

これらのリスクの共通した技術的対策としては、脆弱性の発見、対策・効果把握のための被害予測シミュレーション、危険性を評価しその評価結果を広域的に表示・伝達する技術、被害発生時の情報収集・情報提供、被害者の心理的ケア、リスクコミュニケーション等が挙げることができる。以上に関連した社会的対策としては、プライバシーの保護、被害回復のための助成・支援・対策情報の広報、専門家の養成、国内外の対策組織の連携を挙げることができる。

地球的規模の課題として認識されるのは、環境問題である。環境問題の中でも、とりわけ地球温暖化の原因とされる二酸化炭素対策は重要な課題である。問題の性格と深刻な事態からして、これは「改良」レベルの問題ではなく、まさしく「革命的」とも言える技術開発の達成が必要な課題である。この分野について、幸いにしてわが国は誇るべき経験と技術を持っている。

#### 安心・安全の社会制度の構築

以上の課題に取り組むに際しては、もちろん先端的な技術開発も必要であるが、同時に既存技術の転用やその組み合わせ、社会問題を解決し円滑に運営するための、いわゆる社会技術と呼ばれる技術も含め、科学技術と社会制度の両面から、問題解決にあたるべきである<sup>vi</sup>。このうち、第一に喫緊または長期的な課題解決のための政策目標と取り組むべき課題の優先順位を明示し、速やかに実施に移すべきである。第二に安心と安全を脅かす要因を駆除する上での、それら課題に対応する基礎・基盤の整備（課題対応に関連した各分野を総集し、迅速かつ有機的に連携したプロジェクト的な取り組みができること）が必要である。第三に問題の性格がグローバル化している現在の状況を鑑みるに、国際機関あるいは関係諸国との連携協力関係を築くことが重要であるとともに、国際標準の取り決めも重要と考えられる。

また、個人の行動の自由とプライバシーの問題や、誤認、誤動作による市民への不利益の発生問題等、市民レベルとの調整が必要になってくると思われる。そのため、積極的に NGO や NPO を育成支援し、市民活動にインセンティブを与える仕組みをつくる必要がある。技術開発面からはこうした市民参画が容易にでき、コンセンサスが効率的に得られるような支援手法やシステムの開発が求められる（図7）。

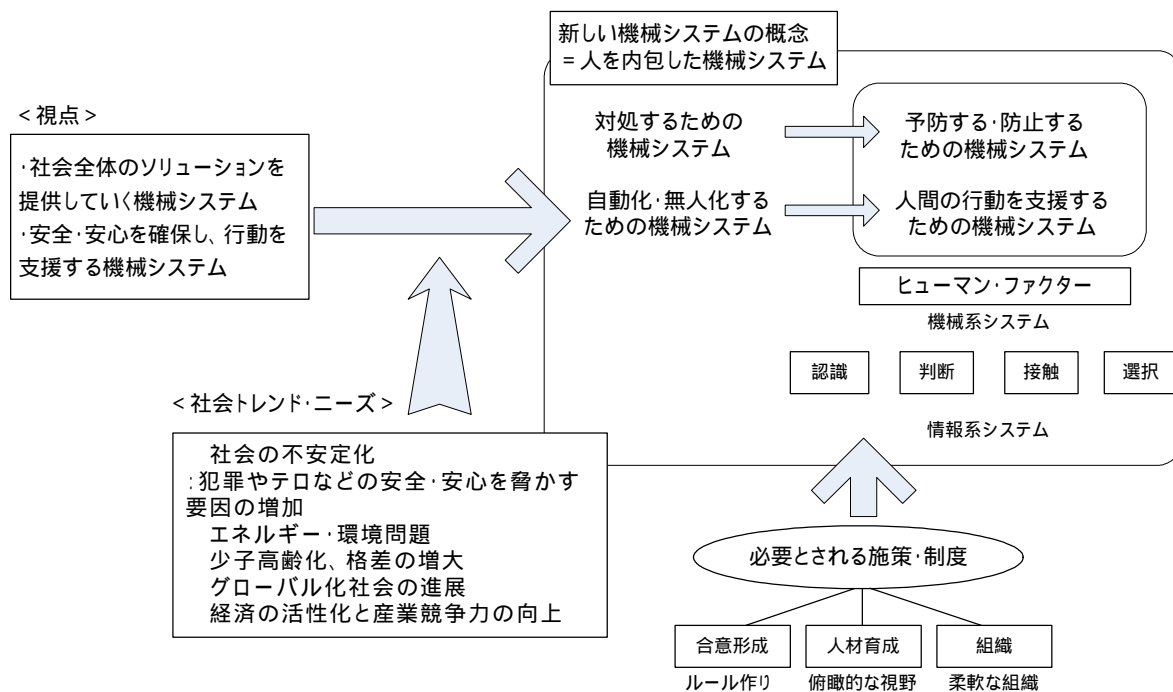


図7 安心・安全の社会構築に係わる課題抽出の枠組み

## (2) 安心・安全に貢献する機械システム開発の方向

安心・安全に関する技術の研究開発を推進するためには研究基盤の整備が重要である。こうした体制や基盤の整備を進めていくには、安心・安全に関する知識体系の整理・蓄積を行う学問領域の構築や、関連する分野における人材の育成、政策レベルの調査分析、国内外の動向把握が必要である。

技術開発の方向としては、以下の各技術的課題をクリアーしていくことが重要である。ここで留意しておかなければならないのは、プライバシーとの関連である。このためには法規制や社会への説明等、ルール作りが不可欠である。

人々の暮らしの基盤である社会システムの安心・安全を実現する分野

- ・ 人工物に対する効率的、効果的な保守・点検・修理等のメンテナンスシステム（リサイクルも含める）
- ・ 防災対策としての被災3日間の自立支援の重要性を踏まえた災害支援システムや防災予防システム
- ・ 交通事故や災害時の安全性向上のための ITS

人の生存を脅かす感染症等の病気や環境問題から安心・安全を守る分野

- ・ トレーサビリティ等、食の安全確保するシステム
- ・ 有害物質の管理システム
- ・ 代替医療を含む医療・検査システム

テロや犯罪等の人為的な脅威から安心・安全を守る分野

- ・ 個人認証・同定システム
- ・ 危険物および危険人物の探知、監視、追跡、処理等の管理システム

社会の安定をもたらすエネルギー問題、地球温暖化に対応する分野

- ・ 二酸化炭素処理システム
- ・ クリーンエネルギー供給システム
- ・ 省エネルギー関連システム

### 3 - 4 - 5 地域格差是正とフロンティアに係わる開発課題と方向

地域における過疎化や経済の衰退等、わが国の地域の疲弊度合いは深刻で、この停滞からどうやって抜け出すのか、政治的にも社会的にも大きな焦点となっている。必要な政策措置は、地方および地域の活性化である。言うまでもなく地域活性化のためには、土台となるコミュニティの活性化や新産業の創出あるいは伝統的な地域産業の振興等が必要不可欠となる。

#### (1) 地域活性化のための社会システムに関する課題

地域活性化を考える際、地域産業振興とともに、社会システムを再検討する必要がある。

##### ベンチャー育成とイノベーション創出メカニズム

現在、地域の振興・活性化との関連で注目されるのは、ベンチャービジネスである。しかしながら、行政や地方自治体が手厚く各種の助成策を講じているにもかかわらず、日本でベンチャービジネスが上手くいっている例はあまり多くない。根付かない理由として、ベンチャー企業がマーケティング指向でないこと、購買する企業や公共機関が実績主義であること等、ベンチャー企業そのものの問題と社会風土や制度の問題が指摘される。

しかし、高度な機械システムを活用したハイテク・サービスであれば、地域密着型の



ベンチャーが伸びる可能性はある。高齢者の職場復帰支援や子育て支援、自動化や省力化が進んでいない医療や福祉等の情報ネットワークや高齢者介護システムを構築していくこと等、あまり既存の大企業が手掛けていないサービス分野の機械システムの開発である。

こうしたベンチャー企業だけではなく、既存の中小地場企業が第二創業という形で元気になる方策も検討すべきである。第一創業であれ、第二創業であれ、企業が継続的に成長していくためには、常にイノベーションが創出されるメカニズムが地域の中に組み込まれていなければならない。その意味では、地域の産学官による人材育成は長期的な方策として重要である。

ここでは、大学と実社会（企業の現場）がお互いに影響を与えながら好循環を創り出す「循環型教育システム」等が考えられる。これは産学連携をさらに進め、教育機関と企業が一体となり、技術者を教育訓練する循環型プログラムである。

テクノポリスや産業クラスター、知的クラスター等、地域振興の政策が行われ、内発型産業興しへの政策的シフトが実施されている。しかしながら、リーダーシップの欠如とともに、地域内での自立型企业や組織が少ないため、自由度が制限され、地域として一丸となってリスクを取ることが難しい状況にあり、本来のクラスターとしての働きができていない。

#### コミュニティの「つながり」復活と情報プラットフォーム

コミュニティには社会が抱える諸問題が凝縮する形で顕在化あるいは内在化している。例えば、高齢者介護、身障者の介添え、子育て、教育問題、環境保全や防犯等の安心・安全の問題、希薄な住民の連帯意識等、種々雑多であり、それは特定コミュニティに由来する固有の問題もあれば、コミュニティ全般に係わるような共通課題も存在する。

特に、問題となっているのが、コミュニティの基盤である人と人との信頼をベースとした「つながり」の希薄化である。情報ネットワークがそれを解決するわけでもないが、「つながり」の構築支援ツールとしては有効である。こうした住民相互が顔なじみとなる「つながり」を創出するための仕掛け（生活情報プラットフォームやより進化した社会生活プラットフォーム、ライフサポートセンター等）や各種プロジェクトが紹介・提案されている。

#### 機械システム実験の場としての地域

機械システムがユーザー視点からの評価を受け、利用者を幸せにするように進化していくためには、実験的に導入する場所が必要である。こうした受け皿として、地域の住民が積極的であれば、その人口規模の小ささからオペレーション面で優位性を持っている。ここでは、コミュニティとしての課題である医療・福祉・健康関連、環境関連、ひとづくり関連、交通システム、さらには先端的技術を用いたシステムに至るまで広範囲

なプロジェクトが対象となり、コミュニティの特性に合わせ導入することができる。

また同時に、ユーザーからの評価や社会への説得、合意形成手法についても研究し、ケースを蓄積することが必要である（図8）。

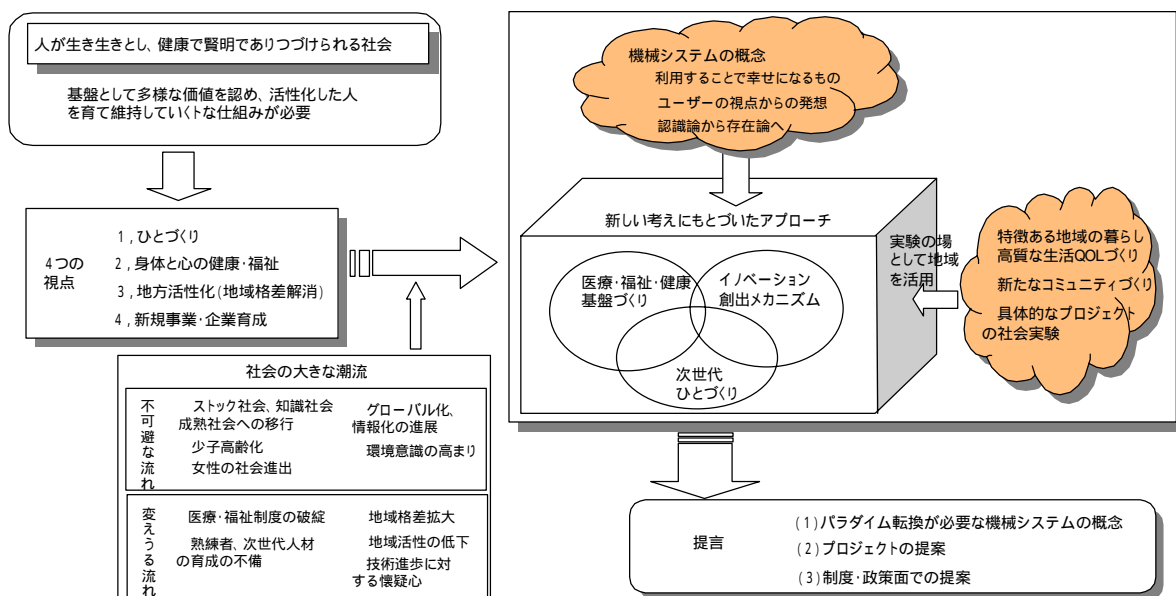


図8 地域格差是正・フロンティアに係わる課題分析の枠組み

## (2) フロンティア分野の産業化の課題

大学等は長く産業から離れて研究活動を行ってきた。そのため、目前にニーズがあるのに大学側はそれを知らず、目前にシーズ(宝)があるのに、民間企業はそれを認知できず、結果として重要な発明発見が死蔵されているという状況を作っている。

先端技術を民間に移転していくためには、シーズとニーズを結び、技術と人間をつなぐ「ユーザー・インターフェース」の視点が必要であり、それを制度的に補完するインフラと共通プラットフォーム構築が必要である。すなわち、先端技術や先進システムを「人に近づけ・馴染ませる」ための「知の体系の構築」が必要であり、一つにはユーザー・サイエンスの確立であり、もう一つは、産学連携による実現ロードマップの共有化である。さらにマルチユースの考えのもと、開発技術の市場を創出することである。

### ユーザー・サイエンスの確立

欧米流に「アイデアを思いついたら作ってみる」「まずは試してみる」の精神を具

現化できる環境を作る。言い換えれば、個別具体的な問題を臨床的にピースミルに確かめていくという考え方である。すなわち、「デザイン」「コンセプト」「プロトタイプング」を重視するエンジニアリング手法の革新が必要である。

#### 産学連携による実現ロードマップの共有化

システムを実現するロードマップを産学連携のもとで互いに共有、分担推進し、双方が定期的に確認できるようなメカニズムを構築することが必要である。具体的な動きはすでに東北大学が中心となった半導体製造装置プロジェクトとして行われており、成功している。ここでは、研究開発の事業化にまつわる「死の谷」は存在していない。

### (3) 地域格差とフロンティアに係わる機械システム開発の方向

地域格差是正とフロンティアに係わる機械システム開発の方向としては、以下のような開発課題が考えられる(図9)。

#### コミュニティの基盤となる構成員同士のつながりを促進する分野

#### 特徴ある地域の暮らし方、高質な生活 QOL づくりを促進するプロジェクト

- ・ 新産業の振興と併せ、既存の施設を活用した集積システムの開発(例: 情報システムや身体工学の視点を取り入れたライフサポートセンターやブレイン体育館の整備)
- ・ 地域サービスの確保や新産業(環境)に係わる分野の機械システムの研究開発
- ・ 単なるアイディア的な新産業創出ではなく、地域の中にイノベーション創出メカニズムを持つ「イノベーション・クラスター」を構築すること。それには地域の構成員の意識変革や目標設定、それをやりとげるための組織づくり等、地域の体質を大きく変化させることが必要である。
- ・ 大学の存在する地域においては、現在の高等教育の質を高めることが期待される。また実社会と大学の間での循環型教育システムの構築なども検討される。
- ・ 他に先駆けて行う新分野に関しては、地域はその規模等から考え社会実験を実施するのに適しているので、積極的に事業化するプロジェクトを取り入れていくこと。その際に規制や制度の問題がある場合には特区という形での事業化環境整備を行うことも視野に入れるべきである。

#### フロンティア分野の産業化

- ・ 省エネルギー農業に向けての植物研究に係わる分野（バイオ技術やIT技術を駆使した農業フロンティア）
- ・ 海洋・宇宙に係わる分野（応用分野の他分野への移転やセンサー等）
- ・ クリーンエネルギー、省エネルギーに係わる分野（改善ではない革命的な技術によるもの）

こうしたプロジェクトでの基本的な視座は「使って幸せを感じ」「よりに人間に接近し」にあり、具体的には「人々の生活をサポート」「高齢者や障害者の生活を助ける」「使って快適」「使って賢くなる」といった学習効果とフィードバック機能を持つ機械システムの開発が望まれるところである。特に介護や医療の分野は、人々の生活と密接に関連させながら機械システムの開発を進める必要があり、喫緊の課題と認識される。例えば、身体運動可視化システムの開発をベースとしたブレイン体育館構想は、一つの示唆を与えている。

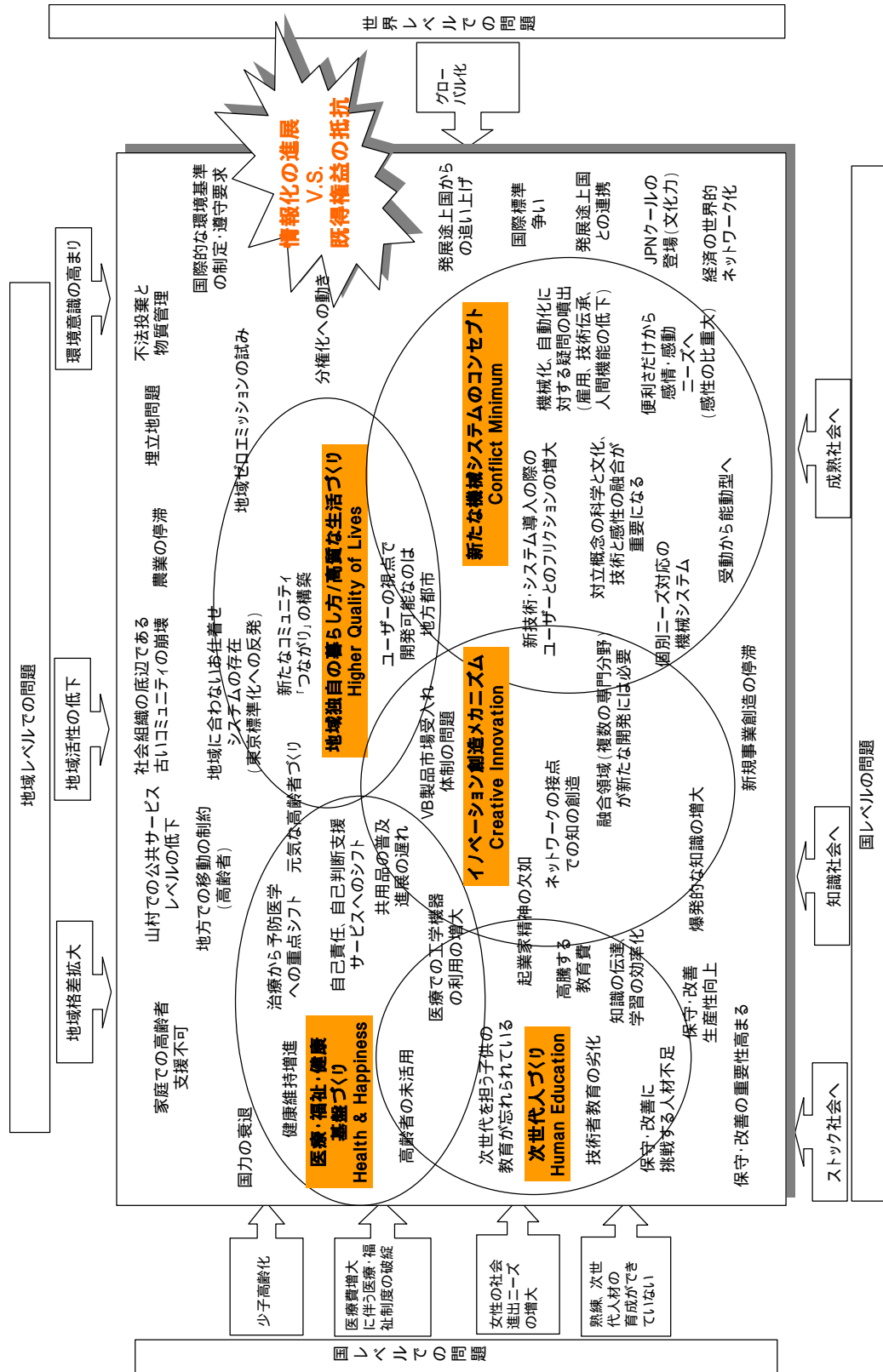


図9 地域格差是正、フロンティア分野での課題整理

## 4 . 調査研究の今後の課題と展開

### 4 - 1 21世紀機械システムのイメージ

#### 4 - 1 - 1 人間を内包する機械システム

わが国は、20世紀を通じてメカトロニクスは世界一となった。そのプラス面を継承しながら、21世紀においては、どの分野を伸ばしていくか、戦略目標を明確に設定する必要である。その際、20世紀の機械システムや科学技術が引き起こしたマイナス面にも目を向けるべきである。この一例として人間疎外がある。例えば、無人化による雇用の減少や自動化による技術伝承システムの喪失等の問題である。さらに言えば、ユーザーにとっての利便化は、提供されたシステムを使う人間の持つ能力の劣化を引き起こす、等の問題もある。その意味で20世紀までのメカトロニクスが前提としたパラダイムの本質的な再検討が必要となっている。

21世紀のパラダイムの下では、シーズ側は、それぞれの戦略的課題に対し、その最適展開を図る必要がある。つまり個別対応の必要性である。他方、人間との係わりで言えば、21世紀の機械システムは20世紀と違って身勝手にも「利便性」、「効率性」だけではなく、使うことで「人がより幸せ」を感じ、使うことで「人がより賢くなる」あるいは「使うことでより健康になる」という矛盾した命題を抱え込まなければならないのである。工学者たちは、こうした課題に対応する哲学的思考を持ち合わせていなければ対応不全に陥ることになる。

従来、我々は新しい機械システムは新しい技術によって作られたものを念頭において検討してきた。21世紀の機械システムはマーケティング手法であるニーズのセグメンテーションに基づいて機能仕様を明確にし、それぞれの購買者が「使うことで幸せになる」ように価値を設計することになる。重要な機能として、購買者や利用者、影響を受ける関係者との間での評価のフィードバックやそれに基づく修正・改善、さらには説得が継続的に行われることになる。そうした機械システムの関係者間でのコミュニケーションによって相互の意識が変化し、機械システムの設計思想に対する理解が進むことになる。本調査研究で機械システムが単なる物理的システムではなく、社会システムとして「再」定義したのもこうした理由からである。

#### 4 - 1 - 2 パラダイムシフトに対応する機械システム：コアとしての「インテグレーション」

人間と機械システムをどのように「融合」していくのかという問題意識が重要である。それは機械システムの進化が、人間の意識の変化をもたらし、逆に人間の意識の変化は機械システムに新しい期待を寄せるようになり、それが相互に影響を与えながら新しいパラダイムを作り上げていくと考えられるからである。こうしたことから機械システムと人とを対立概念で捉えるのではなく、機械システムを人間と融合一体化する方向で捉えるのは必然であると見られる。

機械システムがこうした考え方や条件を満たすためには「インテグレーション」という概念がコア技術として取り上げられなければならない。インテグレーションとは、バラバラの部分・要素を有機的に統合し、集大成することにある。しかし、ここでのインテグレーションの意味は、要素の統合にとどまらず、各要素を有機的に統合することで、新たな価値を設計し直すという積極的な意味合いを付加することにある。すなわち、複雑化した社会構造の中、マスではない個人の幸せを実現するためには、従来のように個々の技術要素やソフトウェアを目的に合わせて統合するだけでなく、新しい価値を創造するために、必要な知識やノウハウといったものを動員し、さらには利害関係者全体を組織や制度、あるいは文化や慣習といった意識のレベルまで踏み込んで積極的にマネジメントすることが求められるのである。

## 4 - 2 21世紀型機械システムの振興に向けて

### 4 - 2 - 1 科学技術立国において重要な役割を果たす機械システム

少資源のわが国は21世紀においても、引き続き貿易立国を目指す必要がある。その場合の経済社会の牽引力となるのが科学技術であることは論を待たない。しかし、科学技術が国民の幸せを実現し、持続的な経済発展を維持していくためには技術シーズと社会ニーズを結ぶ機械システムの介在が必要不可欠である。すなわち、国民生活の質の向上を図り、能動的な社会を構築していくには、自然や生態系の維持を念頭に置きつつも、エネルギー・環境・食料等の諸課題の解決を図る必要があり、それを可能とするのが機械システムを中心としたイノベーションの連鎖であると考えられる。

しかしながら、私たちが解決を図らなければならない諸課題は複合的であり、相互に連鎖性と共振関係を持つのが特徴である。例えば、人口問題は食料とエネルギーの問題に連鎖し、エネルギー問題は環境問題に共振作用するという特徴である。資源生産性を高めるには、リサイクルやメンテナンスが重要な要素を占めるようになるのもこのためである。したがって問題の解決には幅の広い総合的な視野が必要となる（図10）。

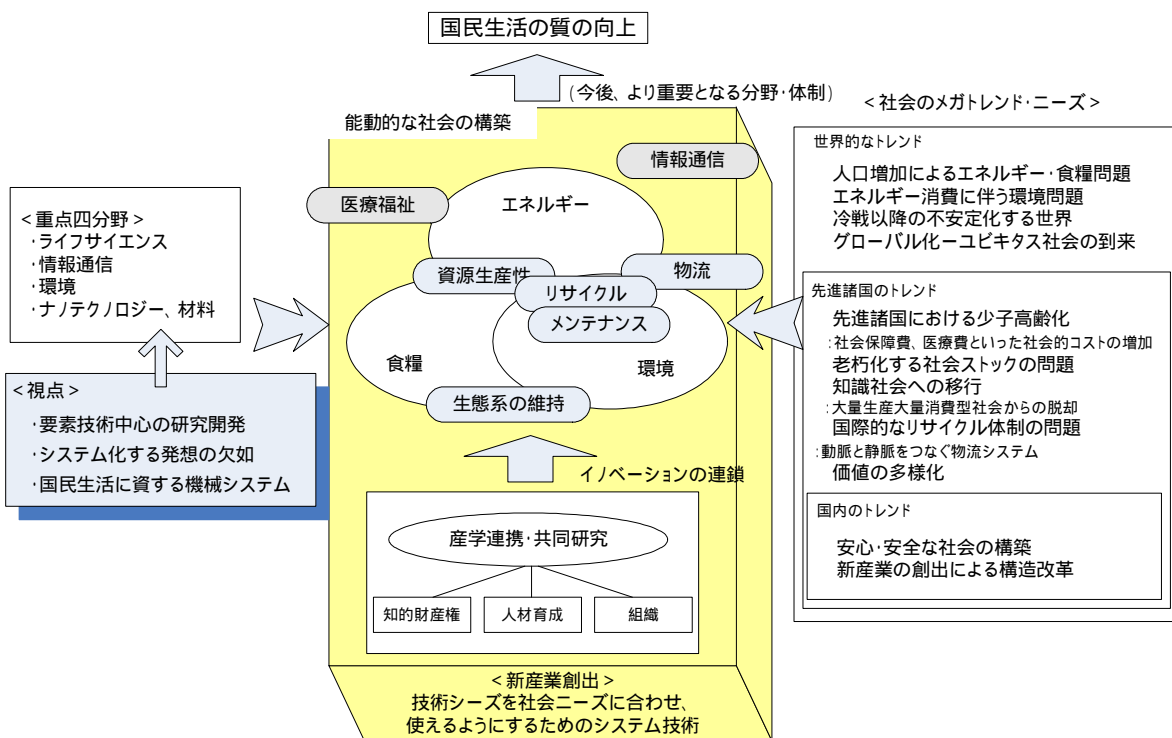


図10 科学技術立国にとって重要な役割を果たす機械システム



21 世紀型機械システムに寄せられる負荷は、要素技術で個別課題に対応するだけでは不十分であり、技術シーズを社会的ニーズに対応させ、インテグレートする新たな技術開発が必要となる。すなわち、要素技術の先端的開発だけでは、新たな産業を生み出すことができず、機械システムが複雑な社会ニーズと技術の芽をつなぎ合わせ価値を創造してこそ産業として技術が生かされるのである。インテグレーションに含まれる要素は、技術要素だけではない。より重要となるのは、知識アーカイブのインテグレーションである<sup>vi</sup>。それゆえ、知識ベースのシーズを機械システムの中に組み入れていくことが必要である。

インテグレーションはわが国の得意とする分野でもあったが、新たなインテグレーションを実現するにはマネジメント要素が重要になるものと考えられる。ここで言うマネジメントとは、組織や制度を含めたもので、全体を俯瞰し、上手に処理する能力のことを指し、20 世紀型から 21 世紀型の機械システムへと進化するには、このようなマネジメント能力は不可欠であり、その人材の養成を含め喫緊の課題となっている。

#### 4 - 3 課題から抽出される具体的プロジェクト分野

ここでは、前節で整理された開発の方向をより具体的なイメージのプロジェクトとして例示した。

##### 4 - 3 - 1 共通的に抽出された 21 世紀型機械システム開発に必要なプロジェクト

以下に示すような研究プロジェクトは、本調査で検討された、パラダイムシフトに対応した 21 世紀型機械システムにとって不可欠な基本機能として考えられる。

技術開発の新たなマネジメントやビジネスモデルが求められる機械システム分野でのベンチマーク研究

- ・ 産学官連携等、異質な組織がいっしょになって新しい機械システムを開発する場合の成功ケーススタディの収集とそれを通じての手順マニュアルの作成
- ・ ビジネスモデルあるいはマーケティングから製品や物理的システムの仕様を決めている企業のケーススタディ

迅速で効率的な学習・教育の達成に係わる機械システム研究分野

- ・ 学習や教育の効率・効果アップをさせる理論やそのための技術、システムのレビューならびに研究
- ・ これらのシステムを具体的な学習や教育システムの開発につなげる機械システム

機械システム導入に対する社会的説得方策に係わる研究分野

- ・ 欧米の合意形成の方法論や社会への説得の方法論に関する研究
- ・ 欧米はこの分野ではかなり進んでいると言われているので、わが国を含め、この分野の専門研究機関や専門家とのネットワークを構築する。

人間の持つ能力を最大限活用する人間支援技術分野

- ・ 高齢者や障害者の就業能力支援技術や機械システムの研究
- ・ 大規模な情報ストックからの適切な情報入手可能な専門知識支援技術の研究
- ・ ひとをやる気にさせる機械システムあるいはエージェント技術の研究

#### 4 - 3 - 2 高付加価値化、生産性向上に係わる機械システム開発プロジェクトのイメージ例

図 11 は高付加価値化、生産性向上に係わる課題やニーズを整理したものである。

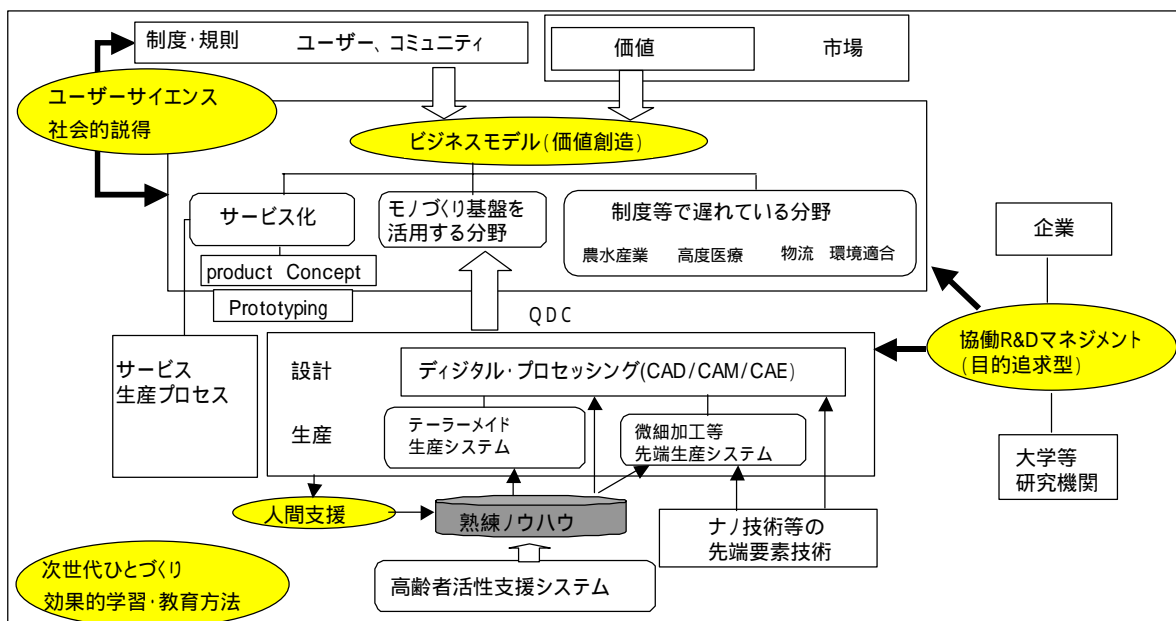


図 1 1 高付加価値化、生産性向上に係わる機械システム開発の具体的事例

意識変革あるいは制度・規制の国内的・国際的調整による需要創出が求められる分野

- ・ 農水産業への工業的生産技術等の先端工業技術の応用によって、生産性の著しい向上が期待される機械システムの研究、特に今後のことを考え、低エネルギー消費型農業の研究とその展開
- ・ 現在、考えられている高度医療システムの国産化計画
- ・ IC タグを利用した物流効率化のための機械システムの研究
- ・ ソフトウェア生産
- ・ より厳しくなる欧州委員会の廃棄物規制の将来を見据えた環境適合設計システムあるいは環境産業の振興、リサイクルシステムの開発、リース型ビジネスの振興等

国際競争力あるものづくり技術基盤を積極的に活用すべき分野

- ・ モジュール化ではない「インテグレーション」生産方式の研究・開発（熟練技術の保全・発展がコア技術となる）
- ・ 需要対応型迅速生産システム（テイラーメイド）の開発
- ・ 超微細加工・生産システムの開発

生産効率中心から「高付加価値」に、ものづくりの方向を転換

- ・ コンセプトからプロトタイピング、フィードバックを迅速にまわす生産方式の研究
- ・ ユーザー・サイエンスの構築（感性重視）

高齢者を積極的に雇用し、有用な労働力として活躍させるシステムづくりおよび労働環境整備等の分野

- ・ 熟練技術の保全と継承システム（熟練を短期間で習得する方法やシステム、熟練技術のデジタル化）
- ・ 高齢者を生産人口として活躍可能とする高齢者就労能力支援システム

#### 4 - 3 - 3 安心・安全な社会構築に係わる機械システム分野の具体的イメージ例

図 12 は、安心・安全な社会構築に関する検討をまとめたものである。この分野では、ほとんどが確実に予見できるものはなく、何時事故や事件が生じるか分からない極めて不確実な環境での機械システムという特徴を持っている。そのため、どうしても人が介在する、あるいは人と機械の共生ということが不可欠になる。また、監視や迅速確実な情報収集が対応を左右することになり、センサー関連技術の重要性が高い。

人々の暮らしの基盤である社会システムの安心・安全を実現する分野

- ・ 保守・点検修理の生産性向上に関する技術、機械システム（修理部品のリサイクル促進のためには、寿命予測等の品質保証が要、企業等での熟練者の雇用問題）
- ・ 防災システム（主として地震対応）のうち被災後 3 日間の自立支援が最もクリティカルであるが、それに対応した電力やガス等の通常エネルギーを使用しない機械システムの開発や訓練システムの開発が必要。その他に予測システムや救出システム、ボランティアの訓練システム等がある。

#### 人の生存を脅かす病気（感染症等）や環境問題からの安心・安全を守る分野

- ・ 未知のウイルスに対する感染ルート特定技術やその装置開発、知識 DB の開発
- ・ 食の安全を確保するための食の安全追跡システムの開発
- ・ 有害物質の管理には電子マニフェストシステムや独自の追跡管理システムがある。拡散のリスクを評価するためのシミュレーションシステムの開発も必要。
- ・ 地球温暖化に対し、その代替技術の開発が必要で、革命的なクリーンエネルギー製造システムを開発する一方、省エネルギー技術の導入、開発を行う。

#### 人為的な脅威からの安心・安全を守る分野

- ・ 個人の認証・同定は米国では入国時に強制的に生体認識技術を用いて行うことで動いている。膨大な生体情報の収集と認識システムの開発が必要。
- ・ 危険物および危険人物の管理では、生体認識センサーが街路に設置されていれば人の識別ができる。プライバシーの問題の解釈窓口が必要になってくるが、問題を起こさない方法が必要である。撮影管等センサー技術の開発が継続的に必要。
- ・ 危険物に関しては探知、監視、追跡、処理を行うためのシステム開発

#### 地球温暖化に対応する技術

- ・ 二酸化炭素処理技術、クリーンエネルギー供給システム、省エネルギーシステムの開発が望まれている。

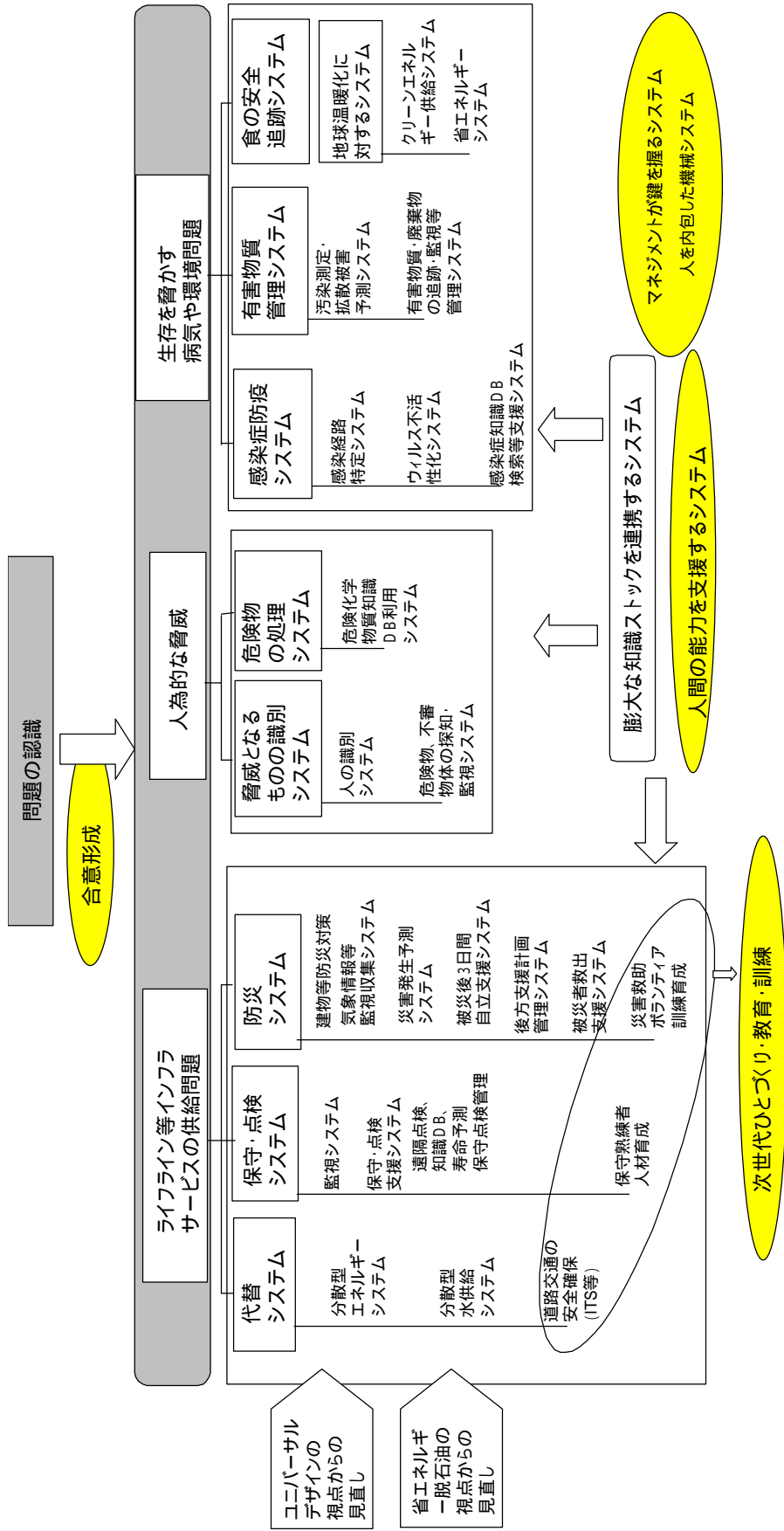


図 1 2 安心・安全な社会構築に係わる機械システム開発の具体的な事例

#### 4 - 3 - 4 地域格差是正とフロンティアに係わる機械システム分野の具体的イメージ例

図 13 は地域格差是正とフロンティアに関する具体的事例をまとめたものである。従来の機械システムは利用者にしてみれば受け身であり、フィードバックもほとんど皆無と考えられる。

これからの機械システムは、柔らかい機械、ロボット型になり(社会システムに近いものは合意形成型)利用者との間で利用者のニーズに機械が合わせるといったフィードバックがかかる形態になる。逆に機械システムを能動的に利用するうちに利用者の意識が「より幸せ」に変化してくる。そういった機械システムを生産するためには、以下の研究開発をしなければならない。

- ・ 製品コンセプトから試作までの簡便化を実現するシステムの開発
- ・ 機械が自ら利用者の行動を学習し意向を汲むようになるエージェントの研究開発

地域格差をなくし、地域の QOL を高めるためには、地域がコミュニティとして健全に運営されていることが不可欠である。

#### 地域活性化のベースとなるコミュニティの「つながり」促進に係わるシステム開発

- ・ 地域活性化のためには、まず、「つながりの基礎」をきちんと築かなければならない。情報環境システムがベースとなり、「つながり」を形成するより高度な社会環境プラットフォームが形成されることによって、不安除去から安心提供、さらにはやすらぎの提供システムへと進化していくと考えられる。
- ・ また「つながり」はバーチャルなコミュニケーションだけではなく、人と人との対面する実世界でのつきあい(人脈)ができなければならないと言われるが、「つながり」をつけるためのソフト面の研究も必要である。

#### 特徴ある地域の暮らし方、高質な生活 QOL づくりを促進するプロジェクト

- ・ 地新産業の振興と併せ、既存の施設を活用した集積システムの開発(例: 情報システムや身体工学の視点を取り入れたライフサポートセンターやブレイン体育館の整備)
- ・ 地域サービスの確保や新産業(例えば、環境分野)の創出に係わる分野でのイノベーション・クラスターづくり

- ・ 地域実社会と大学との間で相互教育を行う循環型教育システム

#### 地域密接型のフロンティア技術

- ・ 低エネルギー農業に向けての植物研究に係わる分野（バイオ技術や IT 技術を駆使した農業フロンティア）
- ・ マルチユースを基本とした海洋・宇宙分野での先端的機械システムの開発（応用分野の他分野への移転や海外企業に独占されているセンサー等の国産化への道を拓くことも含まれる。例えば、自立型海中ロボットによる海中監視・観測ネットワークシステムが提案された。また、すでに宇宙空間利用として成層圏 IT 基地構想はプロジェクト化されている）
- ・ 石油から脱するという社会を想定し、革命的なクリーンエネルギーや革命的省エネルギーを実現するシステム
- ・ ロボット手術等の先端技術を応用した高度医療システムの適用とそのサービスのビジネスモデル化

これらの導入にあたって障害となる制度や規制に関しては特区扱いによって実現することも考えられる。





i 今日、国民生活が多様化し、それに従って国民のニーズも多様化している。また情報技術を始めとする技術が進展し、高度化した現在においては、これらのニーズに対応するために、従来のある一定分野の技術のみならず、あらゆる分野の種々の技術を有機的に複合利用することが不可欠になっている。

特に近未来に実現すると考えられるユビキタス社会においては、経済活動あるいは社会生活の中で、例えば安価な食料品を始めとする消費財の一品ごとにチップが組み込まれる。また従来機械システムとはあまり縁が薄かったような公共事業、例えば道路の建設にしても、ITSの進展を考えれば機械システムと近似の関係にある。したがって、今後社会生活や経済活動はもとより、地域振興、医療福祉、さらに安全保障問題等、全ての社会、経済活動において機械システムに種々の技術要素が組み込まれ、いわば人と機械が一体となった社会の実現が想定される。

21世紀の機械システムとは、社会、国民のニーズに対応するために、異分野の技術を有機的に結合し、より高い機能を実現したシステム、いわば社会システムそのものと言ってもさしつかえない。すなわち、人工物の生産・消費を効率的に行うだけでなく、持続可能な社会生活を可能とする環境創造・維持・運営を「21世紀の機械システム」ととらえることができる。以上を考慮に入れば、エネルギー、環境問題の解決に等、国民生活の向上を図るのみならず、21世紀もわが国市場側・供給側として世界に優位を保つ、いわば次世代のリーディング・セクターとして機械システムを位置づけることができる。

ii 横光利一の短編に『機械』（昭和5年「改造」9月号）なる作品がある。ネームプレート製造工場で働く「私」と職人の軽部、そして工場主との人間関係を、主人公の自意識を通して描いた作品である。主人公の「私」は、人間の意識の底に「見えざる機械」の力が働いていて、それが人間関係を意志の力では割り切れない方向に促してゆくと考え。機械による人間支配に恐れおののく「私」の被害妄想的な葛藤や、劇薬を扱う職人がしだいに意識を混乱させてゆく、その心理描写はミステリアスである。

機械と人間の関係を文学として取り上げた文学者は、おそらく横光利一が最初の日本人であったと思われる。横光は人間の能力を遙かに超えて「仕事」をする機械に対し、畏敬の念を抱きつつも、ある種の不安を感じ取っていた。現代に生きる私たちも、産業仕組みを大きく変えただけでなく、電子技術や他の産業技術、流通や交通等、社会システムと融合を図りながら、日々その能力を絶え間なく更新していく、システム化された機械の能力に驚愕し、いかに制御しつつ、つき合っていくか、頭を悩ませているということでは昭和初期の横光の時代と基本的な構図は変わっていないように思える。

ところで、機械という言葉が造語され、日本社会に定着するのは幕末から明治初期のことである。漢語であるかに錯覚されるのであるが、実は比較的新しい言葉である。久米邦武編著『米欧回覧実記』（明治9年博聞社刊）に、「機械」という用語が登場する。機械とは machine の翻訳語であり、ドイツ人ルーローの定義によれば、機械とは「抵抗力を有する物体組み合わせで、各部の運動は限定され、相対運動をし、これにエネルギーを供給して仕事をさせるもの」とされる。綱や鎖等は押す力に対しては抵抗しないが、引っ張る力に対しては抵抗するので、機械の一部として使用できる。液体も容器に密封すれば圧縮に対して抵抗するので、これも機械の一部となりうる。ねじ回し、のみ、のこぎり、かんなどは相対運動をしないので、一般に機械と呼ばず道具と言う。ノギス、マイクロメーター、電圧計等、測定等を目的とするものは、機器と呼んで区別することもある。20世紀に入ってから電子工学の進歩が目覚ましく、電子式機械が発達、普及したので、機械という言葉を厳密に定義することは困難になった。

iii 「システム」の日本語訳は、系、体系、組織、制度と訳され、通常は「ある目的のための秩序だった方法、体系、組織」（小学館国語大辞典）あるいは「複数の要素が有機的に関係し合い、全体としてまとまった機能を発揮している要素の集合体」（岩波書店広辞苑）と定義される。古来、人間の客体認知カテゴリーの一つに複数の要素からなる「ある全体」を指示する概念があったと思われる。それらは個々の対象の性質に応じて、群、集合、全体、グループ、系等とよばれてきた。ついであるが明治以前の日本には、「連」「社」「講」「会」「衆」等の類似組織概念がある。

システムという概念は、こうした様々な類似概念の間にある共通の構造（アイソモルフィズム）に注目して、近年、意図的にその理論的洗練が推し進められたものであり、ベルタランフィ等によって、GST（General Systems Theory = 一般システム理論）として体系化されるようになった。

その意味で、システム概念は極めて抽象的なレベルに位置し、システムが、これを構成する個々の要素には還元不可能なある種の「創発的特性」（emergent property）を持つという主張を基礎にしている。その抽象性のゆえに、システムそのものは個々の具体的領域に応じて、〔1〕その単位（要素）の決定において、〔2〕それらが形成する関係の種類の種類において、多様なバリエーションを示す。例えば、力

学的客体の相互引力関係としての太陽系から、個々の役割の機能的相互補完関係によって成立している社会集団に至るまでその適用範囲は広い。こうした考え方（概念化）を踏まえつつ、種々の領域でのシステム分析、システム工学が可能となったのである。

工学におけるシステムという限定された観点からは、日本工業規格（JIS）においては「多種の機械要素が有機的な秩序を保ち、同一行動に向かって行動するもの」（オペレーションズ・リサーチ用語）あるいは「所定の任務（目的）を達成するために選定され、配列され、互いに連関して作動する一連のハードウェア、ソフトウェア、人間要素の組み合わせ」（信頼性用語）と定義される。

#### iv 補論：機械システムの認識論

本調査では、機械システムの再定義の検討を深めるなかで、機械と人間のありようから、さらに進めて機械システム自体の認識論が検討された。例えば、システムは人が含まれるか否か、人が期待するアウトプット（目的）を、機械システムにどのように認識させるのか、その場合のマンマシン・インターフェースとはどういうものか、そもそも科学技術の発展は人間の幸福に貢献できるのか、人間と機械との対話の中から何が生まれるか、そこから生まれるのが新しいパラダイムではないか、いや、人間と機械システムはすでに一体のものであり、未来に向けた機械システムとは、人間と一体のものとしてとらえる必要があるのではないかなど、人間と機械システムに対する認識論である。こうした検討の行き着くところ、再検討の必要に迫られるのが科学技術の存在論と認識論である。

##### （1）デカルト的方法論の限界

この検討の中で浮かび上がった論点のひとつは、すなわち、デカルト的<sup>iv</sup>方法論の限界である。近代哲学あるいは近代科学の祖と呼ばれるデカルトは、今日の近代科学技術の基礎を築く上で大きな貢献をなした。例えば、デカルトには、いわゆる方法論的懐疑という考え方がある。学問において確実に基礎を打ち立てようとするなら、少しでも疑わしいことは疑って見ること、感覚はときとして誤るものだから信頼できず、私が今ここに上着を着ているということも、これは夢でないという絶対的な保証はないから信じられない、と説く。すなわち、方法の懐疑の内に立ち、いっさいを疑ったのち、このように疑っている自己の存在は、明晰で判明な真理であるとし、かの有名な「われ思うゆえに、われあり」(cogito ergo sum)なる形而上的命題を引き出すのであった。これは近代科学が成立する上でもっとも基本的な科学者の態度であると理解される。

デカルトは精神と身体とを激しく分離して考える徹底した二元論者でもあった。すなわち、デカルトは「明晰判明」を真理の基準とする方法によりいっさいを方法的に疑ったのちに疑いぬ真理の第一原理（第一哲学）として「考える自己」を見だし、そこから「思惟する精神」と「延長ある物体」とを相互に独立な実体とする二元論の哲学体系を確立した。精神と肉体を分離するこの考え方に従うならば、精神の領域を扱うのは専らローマ教皇庁であり、その領域（神）に踏み込まない限り、科学者たちは人間の肉体にメスを入れることが許されたのである。この二元論的哲学体系の確立は、中世ヨーロッパの科学技術の発展に大きな影響を及ぼした。ローマ教皇庁の支配のもとにあった科学技術研究が異端審問の恐怖から解放されて、近代科学技術の基礎を築くことを可能したのである。しかし、この二元論的方法論は、後に問題を残すことになるのである。

##### （2）アンチデカルトからキュービク論

今二元論的方法論の限界が指摘される。フランスの百科全書の知識量を前提にすると現在の知識量は10の13乗と言うほど爆発的に増大した。もちろん、こういう言い方は比喻に過ぎないが、確かなことは日々生産されていく知（情報）は無限に増殖し、互いに互いの関係を失い、コントロールを失い、迷路をさまよっていることである。専門領域に潜り込んだ科学者たちは、相変わらず精神と肉体（物質）を分離して考え、科学者たちは互いの連携を失い、全体を把握できない状態が現出しているという指摘もある。これでは人類の福祉や人々の生活の向上あるいは社会への貢献等、科学技術は本来の目的を果たすことができるかという疑問も起こっている。

例えば、自然の本質（生命現象等）を知ろうとすると、目に見える表面的な物質と見るだけでは分からないもの、すなわち、深く考え、記憶し、論理をくみ上げなければ感知あるいは認知できないものに於いて観察し続けたとしても、おそらくは自然の本質には迫ることは不可能なのではないか、実は、

---

そうした指摘する物理学者も現れている。例えば、純粋に物質の本質を究めようとするため原子核や電子という量子の世界に立ち入り探索を始めた物理学者たちは、そこで直面したのが「精神」の問題だった。すなわち、物質世界と精神世界は、デカルトが考えるような二律背反として存在するのではなく、そこには驚くべきことに互いに相通じる回路が存在しているという発見だった。一般相対性理論を構築し、宇宙構造の解明に取り組んだアインシュタインは、その研究の過程で「神はこの世界を別様に作ることができたのか」と、後世の科学者に課題を残した。

そうした指摘は情報科学や医学の分野にも現れている。例えば、情報量の基礎を「ビット」の代わりに「キュービット（量子ビット）」に置き換えるという動きもある。これは従来の「0か1」かの二者択一的なデジタル情報の決定論的方法論からの離脱を意味する。キュービットの場合は、複数の情報、例えば、「0と1」の両方を重ね合わせ、あるいは情報をもつれ（エンタングル）させるという原理的に新しい方法論である。しかし、この方法論は1930年代のチューリングマシンの量子一般化であり、確率論的方法論の援用に他ならないのである。情報科学にキュービットの概念を適用するなら、無限の可能性を押し広げるという説もある。ある報告では、飛躍的な計算能力の向上が達成されるだけでなく、暗号問題での飛躍的な進展や、自己言及的（self reflective）問題対応のほか、最近では第三の感性領域とされる先端的な芸術表現においても、注目されるテーマとなっている。

### （3）対立ではなく融合一体化する機械システムと人間～人を幸せにする機械システム

本研究調査の主題とする機械システムの定義を深める検討のなかでも同様な指摘がなされた。すなわち、機械システムの進化は人間の意識の変化をもたらし、逆に人間の意識の変化は、機械システムに新しい期待を寄せるようになり、それが相互に影響しながら新しいパラダイムを作り上げていくという命題である。それはマンマシン・インターフェースの概念を超えて、機械システムは人間と人間が作る社会システムの変革を促すことになる予見である。その前提となるのは、機械システムと人とを対立するものとしてとらえるのではなく、融合一体化する方向の確認であった。確かに、その未来予想は不確かなものであるが、確実に言えることのひとつは、人は機械システムの存在を抜きには生きられぬということである。

振り返ってみれば、近代科学は物質世界の法則性を体系づけることに力点が置かれてきた。その前提は物質世界と精神世界は、まったく異なる次元に存在すると認識されてきたからだった。しかし、デカルトの時代から世紀を超えて20世紀に入ると、状況は一変する。精神世界も物質世界と同様に、科学の対象として扱われるようになり、その研究の中から新しい法則が発見され、今後もさらに多くの発見が期待される。すでに精神分野における科学は、近代科学の一翼を担う重要な位置を確保しているのである。

そこから生み出された考え方のひとつに、例えば、自然と人間の共生がある。人は自然の一部なのに、人間は自己を含めて果てしなく自然を改造し続けてきたことへの反省である。医学の分野において言えば、人間から取り出すデータは驚くほど増え、またデータの解析技術も大きな発展をみた。それはIT技術の恩恵と言える。新技術の登場は医学の進歩に拍車をかけたのである。しかし、医師たちはデータから患者を見るだけで、人間としての患者自体を診ないという反省もある。諸科学の発展は、人間の幸福を実現する上で本当に役に立っているのかという懐疑が出てくるのもこのためだ。21世紀の科学技術はこうした新たな課題や新たに生じる疑問に答えなければならぬ。以上は、21世紀の機械システムを再定義する上で極めて重要な論点であると言える。

ここでの中間的な結論を言えば、21世紀の機械システムは、社会システムそのものの変化に後押しされ、大きく変化していく可能性がある。特にユビキタス社会に象徴されるIT革命やナノ革命、バイオ革命といったものは、あらゆるものが機械システムに組み込まれて、人間と機械システムが互いに影響を与えながら変容する。つまり、これを市場や社会の側からみれば、環境問題やセキュリティ等の分野の課題を解決する機能として機械システムを位置づけることができる。

<sup>v</sup> インテグレーションと同じような意味で、「すり合わせ」あるいは「システム化」、「マネジメント」という言葉がある。ここではこうした言葉が既に各分野で広く使用され一定の先入観を形成する可能性があるため、「インテグレーション」を選択した。

- 
- vi 文部科学省では、市民・企業・行政セクター等が現実の社会問題を解決するために必要とする方策に適用できる技術(技術的根拠/知識体系)の構築を行うために、平成 13 年度に「社会技術研究システム」を創設している (URL: [http://www.ristex.jp/top\\_j.html](http://www.ristex.jp/top_j.html))。従来の自然科学を中心とする技術的知見のみならず、個人や集団の本性或行動等を対象とした人文・社会科学の知見を統合し、社会における新たなシステムを構築に取り組んでいる。
- vii 知識ベースのアーカイブ(知識ストック)には、歴史や伝統等、文化的なものを内包した知恵・ノウハウ・暗黙知等が含まれ、それらを技術シーズに融合させ、そこに新たな価値創造を目指すのが、ここでいうインテグレーションである。

禁無断転載

システム技術開発調査研究 15 - R - 21

「21世紀における社会システム推進のための課題と施策に関する調査研究」  
報告書（要旨）

平成16年3月

作成 財団法人 機械システム振興協会  
東京都港区三田一丁目4番地28号  
TEL:03-3454-1311

委託先 株式会社ドゥリサーチ研究所  
東京都港区赤坂二丁目17番地62号  
ヒルトップ赤坂3F  
TEL:03-5570-0841