

国際競争環境の新動向とアジアにおける 技術戦略に関する調査研究

平成13年5月

財団法人 産 業 研 究 所
委託先 財団法人 政策科学研究所

KEIRIN



この調査研究は、競輪の補助金を受けて実施したものです。

要 約

1. 製品・生産システム・需要構造の変化を伴って、デジタル経済下のメガ・コンペティション時代に入り、競争環境は不透明でかつ変化は急速となっている。情報化とオープン化が絡み合いつつ進展し、主導的な経営戦略が変容してきた。中核能力を確保し「選択と集中」を図る一方で、それ以外の業務・事業を徹底してアウトソーシングする動きが加速している。この中で、製品を市場に供給する全プロセスを抱える「垂直統合モデル」から、企画・開発・販売等に集中してその他を専門企業に外注する「水平分業モデル」が、米国などグローバル企業で優位になっている。技術開発の加速化やコスト・利益構成の変化、株主価値指向の国際標準経営の浸透などで、アウトソーシング戦略は、コンピュータ業界から他業界へ、米国から欧州・アジアへ、伝播しつつある。

同時に、製造業におけるIT革命はeファクトリー化と様々なビジネス・モデルを生み出している。SCMの導入、ネット調達（B to B）、三次元CADデータを活用した試作レス設計や全工程・関連企業間での共有によるスピード化・効率化など、モノづくりシステムの改革が急速に進展している。また、このことが、国際的な生産ネットワーク（Cross-national Production Network）の形成をより容易にしており、国際的な水平分業や途上国を含めた横並びの競争の時代を技術的に支えている。

2. アジアは、高度成長を通じて実現してきた産業構造や輸出市場、投資市場の変化を、経済危機後の展望においても踏まえる必要がある。東アジアには実体経済に立つ工業立国の道が開けており、モノ・カネ・ヒトのグローバリゼーションが展開できれば、引き続き「世界の成長センター」であり「世界の工場」である基盤を備えている。

危機からの回復は、財政発動の景気刺激策やとくに通貨安・賃金抑制と米国に支えられた輸出などによるもので、不透明感は免れない。しかし、アジア経済危機と復活を通じて、アジア経済が抱えている様々な課題は明らかになっている。さらに自律的な経済発展のためには、サポーティング・インダストリーと中小企業の育成、労働集約型業種の域内再配置、成長産業分野の人材開発を行いつつ、厚みを持つ産業基盤の強化を図る必要がある。また、金融システムの改革や企業構造の改革、アジア資本の海外投資、高付加価値経済・高技術水準分野へのシフトなどに取り組まねばならない。

既にアジアでは、パソコンや半導体産業のように、世界からの生産を集中させつつ、国境を越えた産業ネットワークが蓄積されている。海外からの直接投資が産業基盤・技術基盤を押し上げ、近年の中国の台頭で域内競争も激化している。基盤としての物流ネットワークの整備、生産管理の進展、研究開発・デザイン活動の開始、政府の産業育成政策なども実施されている。ハイテク開発や科学研究も徐々に活発化している。シンガポールのバイオ研究のように世界レベルの成果をあげるものもあり、ハイテクVBIにも勢いがある。

3. 米国の復活の背景に、インターネットを切り札に、部品調達から生産、物流、販売までを包括的に効率化するサプライ・チェーン・マネジメントによる経営革新がある。構築されてきた企業間ネットワークを利用して米国では90年代前半から、設計・開発だけに集中するファブレス（無工場）メーカーが台頭する一方

で、様々なアウトソーシング・ビジネスが成長している。この中で、下請け型企業と異なり、エレクトロニクス・メーカーと対等な戦略的パートナーとして、製造に加えて、設計や物流、販売、アフターサービスなど顧客サービスを提供するまで発展してきたEMS（エレクトロニクス・マニファクチャリング・サービス）が注目されている。情報・通信機器の分野を中心としたモノづくりの成長ビジネスである。ハードの利益率の低下と変動の激しい情報・通信機器市場の世界的な拡大を前に、完成品メーカーは経営資源を企画・開発等に集中して成長市場への新製品の投入を速めると同時に、在庫負担や設備投資に係わるリスクを回避する手段として、生産の外注化を進めた。その受け皿となったEMS企業は、グローバルな景況には不安を持ちつつも、コスト競争力をもつ生産者として存在感を増している。

EMSの内製部門に対する強みは、特化した設備・技術・マネジメント能力による短納期能力とコスト競争力にある。これは、標準化を活用した規模の利点、高稼働率を生む顧客の多様性、製造関連の全要素の企業全体での標準化・効率化（部品メーカーに対する交渉力を支える利点）、アジア等の大消費地に近く人件費が安い工場立地などによる。EMS企業は、メーカーの工場売却と同時にその工場での生産分を受託するという方式とM&Aで急速に生産規模を拡大してきた。特に、米系EMS企業のアジアにおける生産能力の拡充と、台湾・シンガポールなどのアジア系EMSの成長が目立つ。EMS企業間の拠点拡充競争の影響はアジアでも顕在化している。この中で、最先端半導体ファウンドリーの資金・技術供与などに見られるように、米国－アジアの水平分業が推進されている。

米国で出現したこのビジネスが製造業を大きく変えようとしている。デル・コンピュータをはじめ、IBM、ヒューレット・パッカード、シスコ・システムズ、エリクソンなど、あらゆる完成品メーカーが既にこれを利用しており、自社の製造設備をEMSに売却し製造を委託する傾向が強まっている。完成品メーカーは自社製造ではEMSを活用するライバル企業に対応できない状況が生まれてきている。

4. 日本の国際競争力の源泉たる製造業のモノづくり、生産技術が揺らいでいる。台湾などアジア各地に育ったEMS企業群が、日本の工場の存在を危うくし、東南アジアの現地工場も中国の追い上げに苦しんでいる。高度な技術の移転が一層容易になり、アジア企業は技術面でも日本勢との距離をなくしてきた。従来の系列等の成功体験から抜けられず、委託生産に消極的であった日本企業も、委託生産を拡大しており、EMS市場は拡大が見込まれる。2000年に入って、日本の大手エレクトロニクス・メーカーの間でも、遅ればせながらEMSビジネスに参入したり、海外のEMS企業に内外の自社工場を売却する動きも出ている。EMS時代に耐え得る生産体制の見直しが始まっている。日本の急造のEMSが先行グループに対して競争力を持ち得るか否かは不透明であるし、外部委託の行き過ぎや無原則は中核能力とその錬磨努力の喪失につながる懸念もある。しかし、生産機能を事業として捉え、市場性と経済合理性を徹底追及して構造改革を進める動きは、再び日本の競争力向上への期待を持たせるものである。

アジアと日本経済は金融経済上も実体経済上も緊密な依存関係にある。この中で日本型生産システム・事業体制は「日本一極集中」から「アジア地域全体」の中に広がり再編成されようとしている。雇用問題などを抱えながらも国内外の生産拠点の機能の再設定・再編強化、場合によっては切り離しが進むと思われる。日本産業空洞化や貿易収支悪化の懸念も強いが、日本の特質である、アジアを中心に高度化多様化してき

た国際分業の世界経済、企業経営のプラス効果を追求することが重要である。国際分業は比較優位の再構築の手段である限り、懸念する必要性は少ない。

アジアでは、外資系の直接投資をテコに、低賃金の労働集約的産業から高度な技術分野にわたる広い分野で中国が台頭し、日本主導の雁行型の発展が崩れてきた。最近の対アジア投資の主たる担い手は欧米であり、「日本不在」のまま欧米とアジアが結びつきを強めていることが危惧される。日本は、東アジアを舞台にした大競争時代に入って、直接投資による技術移転から環境協力まで、アジア大の相互依存関係を深め、中国の成長を東アジア発展の起爆剤とすべく、各国と協調して日本経済の再生に活かす必要がある。

目 次

要 約

はしがき

委員名簿

第1章 先端技術の動向と国際競争環境	1
1. 1 先端技術の動向とアジアの機能	1
(1) 産業技術力への高まる関心と特徴	1
(2) アジアの機能	2
1. 2 IT技術の展開－「デジタル生産システム」等の動向	3
(1) IT革命のモノづくりへの浸透	4
(2) 情報化とオープン化の進行－オープン・リソース経営	6
1. 3 「世界最適経営」をめぐる競争	8
第2章 アジアの動向と国際競争上の位置	10
2. 1 アジアの動向	10
(1) アジア経済構造の変化	10
(2) 経済危機と回復からの教訓	11
(3) 実体経済に立つ工業立国の道	12
2. 2 パソコン・半導体産業の発展にみる強さ	14
(1) アジアにおけるパソコン・半導体生産の発展	14
(2) 発展の基盤条件	18
(3) アジアで成長しつつあるハイテク開発・研究	20
第3章 米国企業のアウトソーシングとアジア展開の特徴	28
3. 1 米国企業のアウトソーシング－製造業でのネットワーク生産の進展	28
(1) サプライ・チェーン・マネジメントによる効率化	28
(2) eビジネスの浸透と生産工程の軽量化	30
(3) 新たな段階を迎えるアウトソーシング	31
(4) ファブレスを舞台にした成長－半導体の事例	32
3. 2 米国エレクトロニクス産業の復活の背景	33
3. 3 eマニュファクチャリングと契約製造企業EMSの台頭	35
(1) eマニュファクチャリング	35
(2) EMS（エレクトロニクス・マニュファクチャリング・サービス）	36

3. 4	アジアへのEMSの展開と日本進出	39
(1)	アジアEMS時代	39
(2)	米国－アジアの水平分業時代－半導体ファウンドリーの事例	41
(3)	中国の急成長とEMS	42
(4)	EMS企業の日本進出	45
第4章	アジア・日本再生戦略としての提起	48
4. 1	日本企業の取り組み－アジアを視野にした新生産体制	48
(1)	生産体制・生産技術の見直し－アジアの追い上げ	48
(2)	EMSの活用への動きと課題	49
(3)	日本型EMSへの動き－キョウデンの事例	51
(4)	EMS時代に対応する日本企業	52
(5)	国内生産体制の改革による対応	55
4. 2	アジア・日本再生戦略	58
(1)	アジアと日本の密接な相互依存関係	58
(2)	アジア大国際分業の促進	58
(3)	アジアの活力が変える日本の製造業	60

資料編

1.	アジアのEMS群像（日経産業新聞）	(1)
2.	先端技術動向調査委員会概要	(5)
2.1	医療福祉技術と産業化	(5)
2.2	宇宙情報技術の最近の話題	(20)
2.3	これぞ中小企業の智慧	(28)
2.4	我が国建設業の技術について	(37)
2.5	文化財保存への先端技術応用	(47)
2.6	DNA研究の最近の進歩と新しいバイオテクノロジー	(52)
2.7	生物の不思議～分子機械としての細胞からヒトまで	(57)
2.8	光産業技術の未来とベンチャービジネス	(62)
2.9	植物の不思議～情報伝達機構	(66)

は し が き

本調査研究は、平成12年度事業として当研究所が財団法人 産業研究所より委託を受けて実施したものである。

メガコンペティションの進行と情報通信技術によるインフラストラクチャー革新は、先端技術を含む国際化したビジネスと競争力の構造を変えつつある。企業のコアコンピテンスへの特化や、アウトソーシングやコソーシングの進展、とくにネットワーク型生産（国際化したものは Cross-national Production Network(CPN)）という生産システムの変化などが新しい国際競争競争の環境を創りだしている。先端技術をめぐる多様な動向も加わり、国際競争環境は不連続で不均等な変化をみせている。

こうしたグローバル競争環境の動向の中で、経済危機から回復過程にあって、中長期的にみても生産・技術拠点として重要なアジアをどう活かすかは日米企業等の課題であり、対応を誤れば戦略的な失敗を被ることになる。情報通信技術を活用したアジアにおける企業ネットワークの重層化とオープン経営の構築をめぐるパフォーマンスに絡んで、とくに中小企業の海外生産マネジメントにとって、新たな環境動向とその意味を明らかにする必要がある。高い成果を得ている米国企業の事例にも学びつつ、我が国はアジアの経済回復との好循環を形成する「アジア・日本再生戦略」を推進するうえで、「アジア・ネットワーク」時代の到来を踏まえた展開方向の見直しを行う時期にあり、論点を明確にしておく必要がある。

このため本調査では、国際競争の動向とアジアの位置づけ、ならびにアジアを含めアウトソーシングを戦略的に活用している米国企業の実態、我が国のアジアにおける技術戦略の構成要件に関する調査検討を行った。今後の政策検討に資することができれば幸いである。

なおプロジェクトの実施に際しては、「先端技術動向調査委員会」(委員長：杉浦賢財団法人機械振興協会副会長)を財団法人 政策科学研究所内に設置して調査をすすめた。調査に関連して、多くの方々からご協力や貴重なご教示を得た。末尾ながら深く御礼を申し上げる次第である。

平成 13 年 5 月

財団法人 政策科学研究所

先端技術動向調査委員会名簿

[委員長]

杉浦 賢 (財) 機械振興協会 副会長 (平成 13 年 1 月まで)
(財) ファナック FA ロボット財団理事長 (平成 13 年 2 月より)

[委員]

(50 音順・敬称略)

伊丹 敬之 一橋大学大学院商学研究科 教授
伊藤 薫 日本興業銀行産業調査部 部長
岩下 信正 (株) イーグルテクノロジー 社長
川上 佳子 あさひ銀行法人事業部主任
川名 和美 (財) 中小企業総合研究機構 客員研究員
五島 昭寿 中日本ダイカスト工業 (株) 代表取締役会長
澤田 三帆子 ホロネット (株) 取締役営業部長
島 弘志 (株) 山武 常務取締役・研究開発本部長
杉山 涼子 (株) 杉山・栗原環境事務所 環境・廃棄物コンサルタント
仙田 勤 日本電気 (株) 専任顧問
棚橋 祐治 (財) 新エネルギー財団 会長
橋本 久義 政策研究大学院大学 教授
堀 幸夫 金沢工業大学 副学長
松野 建一 (財) 製造科学技術センター常務理事/フォトンセンター所長
丸山 瑛一 理化学研究所 フロンティア研究システム長
吉村 融 政策研究大学院大学 学長
若松 馨 群馬大学工学部 助教授
大熊 和彦 (財) 政策科学研究所 主席研究員

[研究協力者]

三上 喜貴 長岡技術科学大学 教授

[事務局]

大熊 和彦 (財) 政策科学研究所 研究部長・主席研究員 (再掲)
藤澤 姿能子 (財) 政策科学研究所 主任研究員
高取 明香 (財) 政策科学研究所 研究助手

第1章 先端技術の動向と国際競争環境

1. 1 先端技術の動向とアジアの機能

(1) 産業技術力への高まる関心と特徴

科学技術の新しい知識による産業技術力の強化と蓄積・活用は、経済そのものの力を強化し、ソフトパワーの比重を増した国力を拡大することができるという考え方は既に一般化している。我が国でも科学技術基本法の成立の背景的認識となっている。現代の新しい科学と技術の革新は、かつて想像できないような力を国と産業に与えている。経営戦略上も国家戦略上も、先端技術の動向を分析し、その意味を捉えて対応を図ることは必須である。なお、一方で、イノベーションは科学技術のシーズ側の革新によってのみ起こったり、牽引されるわけではないことに留意しておく必要がある。顧客・市場・社会が主導するケースもあるし、非知的なイノベーション、すなわち、様々な生産要素の新しい組み合わせにより起こるものもある。新しい世紀を迎え、競争力の基盤たる経済社会の在り方も問われてはいるが、むしろ、狭い比較優位の技術開発から人間・社会・企業ビジョン優位の技術開発に視点を転換する必要もある。

先端技術ならびに様々な要素の革新と組み合わせにより牽引される今日のテクノイノベーションは、1) プロダクト・イノベーション（商品の革新）、2) ビジネス・イノベーション（事業の革新）、3) テクノロジー・イノベーション（技術の革新）、4) マーケット・イノベーション（市場の革新）、5) ヒューマン・イノベーション（技術人材の革新）、6) オーガニゼーション・イノベーション（組織の革新）、7) グローバル・イノベーション（グローバル化の革新）、8) インフォメーション・イノベーション（情報システムの革新）を伴いながら（山之内昭夫『新・技術経営論』日本経済新聞社）、企業構造・産業構造・経済構造が急速に変化している。技術革新の中では、とくに情報技術（IT）が注目される。250年前の産業革命から90年代の初頭まで、最も重要な技術革新は、「産業化（蒸気機関からロボットまで）」「運輸（鉄道からジェット機まで）」「通信（電信から携帯電話まで）」「コンピュータ化（大型コンピュータからパソコン、マイクロプロセッサまで）」と言われてきたが、90年代半ばから急速に根本的に変化をもたらす力としてインターネットを中心とするコンピュータ・ネットワークが浸透し、あらゆるビジネスにインパクトを与えていることは明らかであろう。情報技術のもつ潜在力の巨大さと深さは、企業構造・産業構造・経済構造変革が不可避であることを認識させられる。

今日の国際競争環境の新たな動向に関連して、先端技術のフロンティアで起こっている、既成の枠組みでは捉えられない新たなビジネス競争の質や基盤の変化に注目する必要がある。その変化は不連続で急速かつ不均等に現れる傾向があり、ベンチャー・中小企業がこの分野で大きな役割を演じているように、機動的戦略的な対応が必要である。したがって、先端技術の開発動向や産業動向、競争環境の変化等を、具体的なフロンティア事例を通じてモニタリング・分析し、新たな競争環境の質や基盤の変化を発見的に抽出することが、経営主体の側にも政策側にも必要である。

（注）本調査委員会では、先端技術のフロンティアで起こっていることを、改めて第一線の研究者・実務家から予断を持たずに説明を受け、競争環境の変化や戦略的な意味、政策的含意などを検

討した。その概要は資料編にまとめてある。

なお、先端技術の開発が、かつてのように先進国の一部に限定されておらず、開発拠点が途上国を含め急速に国際的に広がってきていること、さらに、現在の先端技術製品量産技術は経済発展段階に関係なく、ある一定の条件さえ満たせばどこでも受容可能になり、生産拠点が国際的に広がっていることも極めて重要な特徴である。

我が国は、第二期科学技術基本計画で「国際競争力があり持続的発展ができる国の実現」を基本的な方向として掲げている。現下の経済社会がもつ諸課題を克服し、付加価値の高い財・サービスを創出し、雇用機会を十分に確保することで、国際的な競争環境の中で我が国の経済が活力を維持し、持続的に発展を遂げ、国民の生活水準を向上させられる国が目指されている。

科学技術基本計画では、国家的・社会的課題に対応した研究開発の重点化分野として、1) ライフサイエンス分野、2) 情報通信分野、3) 環境分野、4) ナノテクノロジー・材料分野、5) エネルギー分野、6) 製造技術分野、7) 社会基盤分野、8) 宇宙・海洋などフロンティア分野を取り上げている。さらに、近年、急速な知識の蓄積や新しい考え方、技術の発展によって、異分野間の融合や、新たな科学技術の領域が現れることが多くなっていることにも機動性を持つて的確に対応している。

ここで改めて、産業技術の面から留意すべき点は、先端技術が一般に技術シーズ先行で開発される体制があり、社会・市場との関連での具体的な開発目標が不明確なままに進められがちであることである。今日のイノベーションは複雑かつ極めて多様で、様々な構成要素の相互作用、需要サイドの牽引力を直視して推進されなければならない。また、先端技術は様々な分野横断的な基盤技術に支えられ、その応用たる製品・サービスの実現・普及あるいは生産・流通過程での展開でも様々な経営資源・社会資源との結びつきが必要であることが一般的であることである。したがって、全てを単独の研究機関・企業が担い抱え込むことができなくなっており、戦略的な連携が不可欠なことになっている。連携の相手は、セクターや業種、規模、国の内外を問わないことになる。本調査の軸の一つであるアジアは、開発・生産や成長市場の販売などのネットワーク拠点として急速に成長している。

産業技術力は、各国の産業の国際競争力の源泉であり、国民生活を支えるあらゆる産業活動を活性化していく原動力として、また、地球規模課題の解決や知の創造・蓄積・移転と結びついて世界貢献や国の安全保障とも関連して、国際的に位置づけられている。したがって、次世代産業技術を推進すると思われる先端技術をめぐっては、国際的には、地球規模のメガコンペティション（大競争）の時代になって、独占禁止法、知的所有権や国際標準（デファクト・スタンダードを含む）をめぐる様々な争いが頻発する厳しい世界であることが、一層明らかになってきた。

（２）アジアの機能

メガコンペティションの進行と情報通信技術によるインフラストラクチャー革新は、国際化したビジネスと競争力の構造を変えつつある。企業のコアコンピテンスへの特化や、アウトソーシングやコソーシングの進展、とくにネットワーク型生産（国際化したものはCross-national Production Network(CPN)）という生産システムの

変化などが新しいグローバル競争の環境を創りだしている。しかも、先端技術をめぐる多様な動向も加わり、グローバル競争環境は不連続で不均等に变化している。実態に即した様々な問題発見・問題認識、機動的で戦略的な対応が必要なゆえんである。

こうしたグローバル競争環境の動向の中で、中長期的にみても生産・技術拠点として重要なアジアをどう活かすかは、主要先進国の戦略的な課題である。グローバルな経営活動の展開と様々な販売・生産・開発拠点の配置を進めている日本と米国や欧州企業等の課題であり続けており、また、新たにアジアの中でも投資国として登場してきた国々でも、アジアにおける企業ネットワークの重層化とオープン経営の構築をめぐるパフォーマンスに注目が集まっている。

アジアは経済危機を経て、日本企業との関係は根底から変わりつつあるといってもよい。日本国内で普及し終えた製品の生産を移管するタイプは鳴りを潜め、先端製品も含めた世界戦略の中で利益極大化の拠点として位置づけ直されつつある。急速に経済回復する中でサポーター・インダストリーなど域内ネットワークを整備し、情報通信技術を使ったコミュニケーション基盤も活用して、新しい技術ネットワークによる国際的な産業基盤としての姿も見せ始めている。この間もアジアは徐々に技術力を高めており、世界の工場としての実績と経験、経営力を通じて、エレクトロニクス産業などではグローバルな国際分業の極の一つとして発展基調にある。また、米国等からの帰国研究人材やインターネット環境を活用してバイオテクノロジー開発拠点を形成したとの評価も高いシンガポールをはじめ、独自の技術が萌芽するとともに、種々の研究開発拠点（サイエンス・パーク）の整備が進行するなど、政府主導で活発に展開している。近年の動向については、第2章で具体的に扱う。

しかし、既に米国は、90年代からの製品や需要構造の変化に戦略的に対応するとともに、生産システムの構造的変化のみならずインターネットを利用したグローバルな研究開発ネットワークをも活用して、国際競争を優位に進めようとしている。

我が国は、金融経済のみならず実体経済面でも、日本とアジアの経済回復の好循環を形成する「アジア・日本再生戦略」を推進すべき局面にあり、「アジア・ネットワーク」時代の到来を踏まえた展開方向の見直しを行う時期にある。回復し始めたアジアの戦略的な位置づけをいかに早く見直し、アジアとの新たな補完関係をどう築くかが問われ始めている。アジアとの関係を深めなければならない我が国の中小企業にあっても、技術移転・技術調達の新しい局面を迎えて、対アジア関係では戦略的な再編成が迫られている。

本報告書では、第2章で、アジアの動向と国際競争上の位置を概観し、第3章で、米国の国際的な生産ネットワークや新しい生産受託専門業種EMSのアジア展開をはじめ、米国－アジア水平分業体制の事例を扱っている。第4章では、アジアと日本の密接な相互依存関係を踏まえた、アジアの活力を活かすべくアジア大で展開するアジア－日本再生戦略の考え方を検討した。

1. 2 IT技術の展開－「デジタル生産システム」等の動向

情報化の浸透

IT（情報技術）革命は、あらゆる情報をデジタル化しネットワーク化して様々な分野の業態や競争力構造

を変えてきた。ITは距離や時間を超えて組織や人間の間のデータ・情報・知識の共有や創発を引き起こす威力と潜在力をもつツールである。製造業では、「熟練」をコンピュータにインプットすることや三次元CAD（コンピュータによる設計）を活用した試作を行うこと、工作機械やロボットのNC（数値制御）により紙の図面を大幅に減らし開発・生産の期間を劇的に短縮すること、ネット調達（BtoB）などが浸透し、工場は取引情報がリアルタイムに交錯する“eファクトリー”に変貌しつつある（日経産業新聞 2000.1.1～12.1 連載 42回『It's IT 製造業』など）。

前段のIT革命によるモノづくりへのインパクトについては、次（1）項で扱う。

後段のBtoBの動きは全ての業種にわたり浸透している。半導体などの多くの電子部品はスペックがほぼ世界共通であり、ネット市場の急伸の軸となろう。自動車・自動車部品でも、米国のビッグスリーが主導しており、我が国のメーカーもネット調達・販売を模索し始めている。その他、化学製品、運輸・物流、紙・事務用品なども徐々にネットに乗り始めた。この動きが経営のオープン化を促し、新しいビジネスモデルを創出しているため、その意味と典型的な製造業でのアウトソーシングの事例について（2）項で扱うことにする。

（1）IT革命のモノづくりへの浸透

a. デジタル生産システム

今日の国際競争環境の変化の中でも、コンピュータ等のエレクトロニクス技術の高度で広範な実用化、ノン・テクノロジー・イノベーションによる経営手法と戦略の変化、ネットワーク・インフラの影響、とりわけ世界的な標準ネットワーク・インフラの構築のもつ意味は極めて大きいと思われる。これは、受発注データやCAD/CAMデータなど企業間取引の電子化を促進するだけでなく、製品デザイン、設計、開発、加工、生産、管理などのモノづくりプロセスまで、ネットワーク上で実現するバーチャル・マニュファクチャリング（デジタル生産システム）への動きを促すものである。したがって、従来の時間と空間の制約を大きく変更するものである。

既に、アパレル、自動車、家電など先進的なメーカーでは、モノづくりプロセスはシミュレーション技術によりコンピュータ・システム上で行われ、完成品メーカーと部品メーカーとのCAD/CAMデータや電子データのやりとりはネットワークを通じてなされている。これを系列内や個別の通信プロトコルやフォーマットに閉じこめずに、業界標準で構築できれば、デジタル生産システムの流れは加速する。

デジタル生産システムへの大きな期待の一つは、シミュレーション技術を活用して事前検証・評価を行うことにより、モノづくりプロセスのやり直し・失敗による時間や経費のムダを省き、顧客変更や修正要求にも迅速に対応できることである。したがって、これまでのデザイン・設計プロセス段階から、素材・金型等の成型加工にまでも展開してきている。さらにメーカーとサプライヤーがネットワーク上で、在庫・納期管理、調達・生産・販売計画、物流管理、工場経営までも、緊密に情報を交換し共有しながら、事前検証・最適設計・軌道修正することができる。

このことはモノづくりの価値創造にも大きな環境変化が生じていることを示すものである。モノづくりの主要な価値創造は実際の工場・現場よりデジタル生産プロセスにシフトし、そこでいかに付加価値の高いモノづくりを行うかにかかってくると思われる。ここではネットワークを通じて顧客とインタラクティブに情報を交換・共有

しながら、モノづくりの価値創造プロセスを進めていくことができ、顧客に合った、ないし顧客との相互作用で双方が発見した製品を注文生産し、顧客の満足する付加価値を創造するという価値創出の差異化を図るという新たな展望も生まれている。

また、重厚長大産業といわれる既存の大企業でも、在庫削減、稼働率向上、納期短縮、調達コスト削減などでめざましい成果をあげたIT導入や電子商取引への取り組みの気運は確実に高まっている。我が国でも素材、産業資材の取引サイトは百花繚乱の様相を呈し始めている。経営合理化が促進されると共に、効率的な取引は価格、品質の競争も激化させる。

b. デジタル時代のコンカレント・エンジニアリング

デジタル時代にはコンカレント・エンジニアリング（並行的同期的な開発・生産）が際だった効率や創造性を発揮させることになる。これは、金型などを経由する生産工程でいえば、CAD（コンピュータによる三次元設計）、CAE（CADで設計した製品性能のコンピュータによるチェックと最適設計）、RP（三次元CADで設計された立体形の光造形や紙・金属粉末積層による試作品出力）、CAM（CADデータ・周辺情報を加工してNC工作機械入力）、CAT（コンピュータによる測定・検査・評価システム）が支えている。CADデータが全て段階のマスターモデルとなり、変更を含め全てがオンライン上で処理・管理できる。したがって、各作業工程のデザイナー、設計者、技術者、職人はこのデジタル・データのみならず、情報・技術・目的などの認識を共有化する必要があり、経営層も同様な認識をもって戦略的な行動を行わなければならないようになってきたともいえる。

三次元CADは、米国では航空機メーカーのボーイングが、設計と製造現場に最初に導入し、続いて自動車産業に普及した。日本では米国自動車産業の動向を知った日本の自動車メーカーから導入されつつある。三次元CADは部分的な導入では効果はあまりない。そのデータをマスター・モデルとして、一貫した一元的データとして使用すること、つまり、CAD/CAE/RP/CAM/CAT/金型CADまで一貫した流れを構築して効果が発揮される。製造工程を全て見直す意識改革も必要だが、同時にソフト人材の育成が重要課題となってくる。これからの製造現場は、製造業というよりは情報産業に近い形態になっていくと思われる。開発リードタイムも大幅に短縮されることが報告されている。

留意すべきことはコンピュータ支援ソフトによるモノづくりが高度化・普及してくると、アジア諸国などでもバーチャル・エンジニアリングを導入してくることである。日本でも新興企業インクスで非熟練者が実施しているように、金型三次元CADまで導入すれば技能の蓄積がなくても相当に精密な金型を作ることも可能になる。適切な教育さえすれば、短期のうちに金型や試作品でさえも作る現代型の“急造職人”が多数生まれている。すなわち、モノづくりで発揮されてきた日本人の優れた技能が、コンピュータ技術に徐々に置き換えられる事態が広がっている。

こうして三次元CADに代表されるデジタル時代に入り、データの標準化と知識マネジメントという新たな段階を迎えることになった。データベースの構築・セキュリティと管理、新たな技術基盤上での人材育成などの新たな課題を生み出しながら、本格的なネットワーク・システムが展開され始めた。エンジンや各種ユニットの共通化も技術的基礎を与えられて、調達の革新も現実化してきた。しかも、マシニング・センターで実物を作

る現場は国内である必要はなくなった。日本でいえば国内でCAD作業を行い金型づくりは外国で行えることになる。技能の技術化と技術の国際化の普及を視野に入れて、日本の製造業の戦略を考えなければならない（馬場錬成「大丈夫か日本のもの作り」プレジデント社 2000 年）。

コンピュータのハード、ソフト、通信回線技術の全てに米国が圧倒している現在、この技術と融合の中に製造技術が革新すれば、米国製造業の競争力が強化されるのは必定である。事実、様々な製造現場の様変わりが報告されている。韓国、台湾、中国を代表とするアジア各国・地域は、製造現場のインフラを急速にデジタル技術に切り換えており、相対的に安価な人件費・地代や国の優遇措置のもとで、世界の工場とする機能を高度化している。近い将来、日本のモノづくりは、米国製造業の巻き返しとアジア各国・地域からの追い上げに挟撃され、危機に直面するのではないかという危機が抱かれている。しかし、モノづくりの現場でITの能力が本格的に発揮されるのはこれからであり、日本企業の製造現場の強さをどう織り込むかが極めて重要になっている。

（２）情報化とオープン化の進行ーオープン・リソース経営

a. コア・コンピタンスとアウトソーシング

情報化とオープン化が絡みあいながら進展してきたことにより、企業競争力の実体が大きく変わってきた。この中で「経営組織のオープン化」「オープン・リソース経営」「バーチャル・コーポレーション」という考え方が広がっている。ここには、コア・コンピタンス（中核的能力）のみを保持して、それ以外の業務は外部の資源をオープンに即応的に活用する戦略がある。このように、得意分野への「選択と集中」による資産効率の向上を目指し、資産売却とアウトソーシングを進める動きが加速している。オープン化は企業経営の基底的な動向といえるが、この動きを促した背景として、また成功のための道具として、IT（情報技術）がクローズアップされている。

IT革命は、あらゆる業界でビジネスモデルを変化させている。例えば、IT革命の旗手であるベンチャー企業は、コア・コンピタンス以外の業務を徹底してアウトソーシングすることにより、企業規模や経営資源のハンディキャップを克服しようとしている。オールド・エコノミー企業の間では徐々に拡大した製造アウトソーシングであるが、ニュー・エコノミー企業では最初からビジネスモデルの重要な要素として取り込んでいる。

また、90年代前半に始まったアウトソーシングは業種を越えて拡大している。米国では、生産ばかりでなく、人事、経理といった管理部門、物流・在庫管理、販売などあらゆる部門を外部に発注することが広がっている。経営のスリム化が企業業績の向上につながり、最近までの息の長い好景気を支えてきた。米国大企業の規模は年々小さくなり、十年前まで米国労働者の3割を雇用していた米国五百大企業は、今日では1割強しか雇用していない。マイクロソフト社も社員数は2万3千人で巨大企業といえる規模ではないが、これはソフト開発以外の業務を徹底して外部に委託した結果である。

この動きを加速しているものに、サプライチェーン・マネジメントという考え方がある。原材料メーカーから顧客までのサプライサイド全体の情報やモノの流れを速くすることができれば競争優位が確立できることから注目されている。顧客の需要パターンや製品の技術的成熟度などに応じて部品調達先や製造拠点をダイナミック

に最適化するサプライチェーンの構築が目指されているが、このためには情報システムや様々な調達源のコーディネート機能などが必要であり、全て自前で行うことが困難である。本調査研究で扱う、世界各地に生産拠点を展開したり、多数の顧客のサプライチェーンを補完している契約受託生産業種EMSなどはこの点で優位にあり、部品製造や物流機能など、EMSの提供するバーチャル・サプライチェーンを活用することも増えてきた。

b. 垂直統合モデルから水平分業モデルへ

製品を市場に供給するために必要なあらゆるプロセスと資産を社内に抱える「垂直統合モデル」は、20世紀には圧倒的に優勢であった。しかし、前世紀末から、米国などでは、商品企画、製品開発、販売を行う企業が、部品製造や製品組み立て、物流を別の専門企業にアウトソーシング（様々な形態の外部委託、外注）するという「水平分業モデル」が優位になってきた。水平分業モデルは、財務的に負担となる工場の施設設備や人員をアウトソーシングすることで、企業は環境変化に柔軟に対応し、研究開発などに経営資源を集中できるようになる。また、アウトソーシング先では、特化したレイヤーでの激しい競争を通じて獲得できる競争力、多数の顧客対応を通じて達成しえる資産効率、特定領域での先端課題に正面から取り組むことを通じた技術革新創出力などの利点が期待できる。

これまではアウトソーシングに伴う危惧、例えば、市場参入障壁がでにくいことから競争力の源泉が衰退するのではないか、取引コストや情報交換コストが高く時間がかかるのではないかと、という危惧があった。しかし、これらの危惧も、経営資源の選択と集中を図るコア・コンピタンス経営の実績やe-コラボレーション用ソフトの普及を含めた情報ネットワークの活用範囲やレベルの拡大、モジュラー型製品アーキテクチャーなど標準化の進展などにより、軽減されてきた。その結果、水平分業モデルへのシフトは、米国ではスピード経営や株主指向経営の流れもあって、エレクトロニクス、自動車、製薬、金融サービスなど多くの産業分野で進展することとなった。

エレクトロニクス産業でいえば、デバイス、アSEMBル、ブランド＝マーケティングの三つの要素の取り組み方に大きな変化が起こっている。日本の大手エレクトロニクス・メーカーは、社内に三要素を全て抱え込む垂直統合のビジネス・モデルに長らく立っていたといえる。これは10年前のIBMやヒューレット・パッカートのモデルだったものである。三要素が別々に最適化・高度化を図ろうとすると、しばしばベクトルが揃わなくなる。もともとデバイスは外販指向に、アSEMBルは工場稼働率をあげようと他社製品の生産指向に、ブランド＝マーケティングは社内にはない製品を仕入れ販売する製品ラインアップ指向を示す傾向にある。個別最適化では相互にベクトルが揃わず全体最適とはならない。これに対して、全てを社内に抱えずに三要素を独立させ、各々のコア・コンピタンスに集中した方が各々の競争力が高まることを狙った水平分業のビジネス・モデルが、米国を中心に広がってきた。

とくにアSEMBル部門から育ったEMS企業は、コンピュータや通信機器のベンチャーがスピーディに成長することを可能とし、90年代の米国の製造業の復活を支えたといえる。日本メーカーも自社のコアコンピタンスを構築し、コアでないものを売却しアウトソーシングする方向が検討される必要がある。競争力ある商品を作り出すブランド・メーカーであることを望めば、自ずと分離するのはアSEMBル工場になる。エレクトロニクス機器

の付加価値が半導体などのデバイスに集中していく中で、アセンブルの付加価値は減少傾向にあるからである。

このようにエレクトロニクス業界を中心に、工場の売却や切り離しが加速してきている。日本経済を支えてきた製造業が再生方策を模索しており、株主利益の最大化、ITの活用など、グローバルな事業戦略を背景に、工場が大再編の波に洗われている。

c. グローバル・スタンダード経営からの圧力

株主価値の最大化を追求するグローバル・スタンダード経営の圧力も、この傾向を促進させている。米国ではキャッシュフローを重視する経営が指向され、事業リストラクチャリング、サプライチェーン導入など、様々な方法を用いて業務と経営のスピードをあげようとしている。とくにベンチャー企業は、資金調達の必要からも、従業員にストック・オプションを支給しているところが多いこともあり、株主価値の最大化に力を入れている。この中でアウトソーシングの拡大が有力視されてきた。資産効率を反映するROA（総資産利益率）などの指標に関心が高まっているが、ここでは資産圧縮の効果が大きい。店舗や物流拠点、情報システムから社員寮まで売却して賃借することも日常的になっている。また、エレクトロニクス産業を中心に、製品の市場動向が不透明でライフサイクルが短い環境では工場の稼働率は一般に不安定で、資本コストの観点からは、アウトソーシングの受け皿である、複数顧客を持つEMS企業の方が社内生産に比べてコスト的に有利なケースが出てきた。生産設備や敷地などの固定資産はもちろん、運転資金、部品や製品の在庫などの流動資産の一部も企業のバランスシートから除くことができる。

d. 製造業企業の企画開発重点化・サービス化—工場の大再編

製造業では、基幹プロセスである製造をアウトソーシングし、企画・開発に注力する事例が増大している。本調査報告書で触れるように、受け皿である製造アウトソーシング業界は、単なる製造の委託だけでなく、従来メーカーが行ってきた設計やサプライチェーン構築などの製造を取り巻く様々なサービスを提供する総合的サービス業に変身しつつある（稲垣公夫『EMS戦略』ダイヤモンド社2001など）。コンピュータ業界から進展したアウトソーシングは、通信機器・システム製造業界でも急速に普及してきている。技術革新の加速化やコスト・利益構成の変化への対応、株主価値の増大を重視するグローバル・スタンダード経営との適合性もあり、米国から起こって欧州やアジアに伝播しつつある。

後述するように、我が国の強みとされた生産技術の行方や、経済混乱後も世界の生産基地としての基本的な性格を変えないアジアと生産ネットワークが緊密な、我が国製造業の在り方とも関連して、十分な分析と含意の抽出が重要である。

1. 3 「世界最適経営」をめぐる競争

上記の動きは米国の企業・産業界で活発である。高速・大容量で低コストの業界標準のネットワーク・インフラをいち早く構築し、これを利用したビジネスモデルを構築し、新たな企業経営（デジタル・マネジメント）

や企業組織（情報組織）を創出しようとしている。電子商取引、バーチャル・コーポレーション、サプライチェーン・マネジメント（SCM）、ビルド・トゥ・オーダー（BTO）、バーチャル・マニュファクチャリング、キャッシュ・フロー経営などがその例である。

代表例は、米国自動車業界が構築した ANX という情報通信基盤の中核である。その基本コンセプトは「ユーザー中心、業界・世界標準、統合されたネットワーク・サービス、低料金・高品質なサービス、ハイセキュリティ」である。これを利用して、意思決定などのビジネス・スピードアップ、在庫・通信などのコスト削減、高品質サービスの提供などが期待されている。最大の効果は、企業・業界・国境の壁を越えて、世界中で最も安くて良質な部品・資材を調達し、低在庫で世界最適地でスピーディに生産し、タイミングよく販売する「世界最適調達・生産・販売」すなわち「世界最適経営」を実現できることにある。日本の自動車業界のカンバン方式やジャストインタイム生産は企業系列という閉じたグループ取引内で既にこうした効果を実現していたが、これらの動きは、業界全体あるいは世界規模で実現できるネットワーク・インフラを構築しようとするところが特徴である。

既に、米国、欧州、日本の自動車業界も連携して、世界的規模で業界共通の低コストで標準的なネットワーク・インフラを構築する動きを見せている。

世界的なネットワーク・インフラの整備が、このように世界市場での自動車メーカー間の生き残り競争を一層激しくさせる（既に国境を越えた企業間提携・合併が活発で業界の世界的再編が加速されている）一方で、一部の大手、先進メーカーだけでなく、中堅メーカーやベンチャー企業にも知恵と努力次第で、新たなビジネスチャンスや生き残りの可能性を提供すると思われる。

本調査の焦点である、日本企業のアジアを中心とした経営資源・ミッションのグローバルな再配置が、世界最適経営の観点から、どのように合理的に進められるか、という問題がある。既に製造業では総売上高に占める海外比率が高まっている。ソニーやキャノンのようなグローバル企業では 70% 以上になっている。こうした国際競争で優位に立っている企業の多くは「開発－生産－販売」というサイクルを、世界中で当該業務が最も有利に展開できる場所を実施することを通じて高収益を指向している。これを支えているのは情報技術（IT）革命である。

日本企業に効率向上を求める市場圧力は強まる一方といえる。

足りない経営資源を補う戦略提携は当然であるが、その相手としてアジアが台頭し始めている。回復し始めたアジアの戦略的な位置づけを以下に早く見直し、アジアとの新たな補完関係をどう築くかが、問われている。

アジア拠点の任務は一変してきている。先細りの若年労働力、経営資源の一層の集中を迫る次世代技術の開発、一方で急速なアジアの生産能力の向上などによる追い上げ、激しさを増す世界規模の競争を勝ち抜くには、アジアを世界で最も重要な生産拠点にすることが必要になってきた。かつてのような日本国内で普及を終えた製品の生産を移管するタイプの拠点は姿を消し、世界戦略の中で利益を極大化するための拠点として位置づけ直す動きである。拠点の役割を先端商品の生産・開発にまで広げ始めた。

第2章 アジアの動向と国際競争上の位置

2. 1 アジアの動向

(1) アジア経済構造の変化

NIES・ASEAN・中国の東アジアは、80年代後半から90年代にかけて高度成長を続け「東アジアの奇跡」「世界の成長センター」と呼ばれた。高度成長要因はASEAN地域を中心に急増した直接投資であった。まず、アジア経済危機以前に変化していた東アジア経済の産業構造や輸出市場・投資市場の変化を踏まえる必要がある。

第一に、産業構造が工業化へ大きくシフトした。しかも、台湾や韓国など先発グループでは、すでにサービス経済化が始まっている。輸出構造も、80年代後半から輸出指向型工業化が反映されてきた。

第二に、輸出工業化にともない東アジアの貿易が、当初の高度成長を支えた対米輸出中心主義から、アジア域内貿易へと比重がシフトしてきた。東アジア〈NIES, ASEAN4、中国〉の対米輸出比率は、85年の34%から95年に24%へと低下した一方、域内輸出の比重は、85年の22.1%から、90年に対米輸出を初めて上回り、95年に33.8%となってさらに上昇を続けている。これに日本を加えれば、巨大な東アジア域内貿易となる。

域内貿易拡大の背景には、80年代後半から日系企業とNIES・ASEAN資本による域内直接投資活動が活発化したことを契機に、日本-NIES-ASEAN-中国を軸とした部品・機材・製品の水平分業化が進み、同時に技術、カネ、ヒトが行き交って、東アジア域内の相互依存関係がこの10年で緊密化したことがある。日本-NIES-ASEAN-中国というアジア大の規模で、情報と人的ネットワークをもつ日系企業やアジア地場資本、東南アジア華人資本などが、直接投資と貿易活動を通じて有機的に動けば、東アジア経済に新たなダイナミズムをもたらすことになる。

既に日系企業の部品調達でも、日本からの輸入に依存する従来のパターンは後退し、代わりに現地調達のほか、コストと品質での競争力次第で域内のどこからでも調達する経営が主流となってきた。もちろん、アジア通貨危機後の東アジアからの対米輸出の増加が、アジア経済の立ち直りに大きく貢献したことは事実だが、東アジア域内貿易の重要性は保たれている。通貨危機の打撃を直接的に被らなかった台湾やシンガポールですら98年に経済成長率が著しく鈍化したのが、これは輸出の4割が危機に陥った東アジア向けであったからである。東アジア域内にはある種の相互依存関係が構築されている。

第三に、直接投資の担い手として東アジア資本が本格的に登場してきた。これまでは日系企業と欧米資本などの多国籍企業がアジアの直接投資を主導してきたが、80年代後半からの投資ブームは、日系企業と並んで台湾企業をはじめ韓国、香港、シンガポールのNIES資本が担った。さらにマレーシアやタイ、インドネシアのASEAN資本も海外直接投資を展開した。賃金上昇などで競争力を失ったNIES・ASEANの労働集約的産業は、日系企業がやってきたように、生産拠点を周辺諸国に移したり、収益性の高いサービス産業や金融セクターに海外投資するようになった。

(2) 経済危機と回復からの教訓

a. アジア経済危機

97年7月にアジア通貨危機が発生し、アジア経済は大打撃を受け、98年に一転して東アジア諸国の6ヶ国はマイナス成長に陥った。同時多発型で、公的国際支援決定後も危機が進行するなど、新たな特徴をみせた経済危機であった。経済・企業情報の不透明性など、好調時に問題にされなかったアジア共通の問題が改めて注目され、危機波及を加速した。アジア支援でリーダーシップを発揮すべき日本において経済低迷が長期化し、金融システム不安が発生したことの影響も大きい。

この中で、もともと急速な発展に潜んでいた危機要因も顕在化した。ASEAN主要国では総じて高成長の中で経常収支の改善は進んでおらず、緩やかな資本取引規制のもとで次第に短期資金の依存度が高まっていた。海外から急速に流入した短期資金は、金融監督体制が未整備な中で不動産建設事業などに向かい過剰投資を発生させた。資金導入のための為替政策は通貨の過大評価と米国ドル相場の上昇も絡んで輸出の急速な鈍化をもたらせた。

b. 経済危機からの回復

しかし、アジア経済は通貨危機の混乱から落ち着き、99年頃からすでに回復基調に入っている（最近米国不況の影響が出てきてはいるが）。国による程度の差はあるものの、予想以上に早い回復である。

通貨危機を直接被らなかった中国と台湾、シンガポールを除き、「東アジアの奇跡」と賞賛されていたNIE S・ASEAN諸国は、98年の経済成長率が大幅なマイナス成長に転落したが、98年後半に底を打ち、99年初めからはっきりとV字型の回復へと反転した。

景気好転の要因は、1) 財政発動の景気刺激策と、2) 輸出好調によるものであった。通貨危機直後のIMF型緊縮政策が景気悪化につながったことから、98年半ばから、独自路線をとるマレーシアをはじめ、各国政府とも財政支出と利下げに転じ、同時に金融システムの改革を積極的に進めている。一方で、98年末頃から輸出が好転して、製造業生産などの実物経済が動き出した。ちょうどエレクトロニクス需要の世界的なサイクルも96年の需要低迷期から上昇期に転じ、エレクトロニクス主導の輸出が経済を牽引した。米国の高成長市場は持続していた。また、電機・電子産業を中心に域内分業が発展している東アジア経済の回復の相乗効果なども見られた。しかも、経済危機でアジアの通貨安と賃金抑制もあり、これらの産業の輸出割合が比較的高い諸国の輸出競争力が99年から改善された結果である。

しかし、経済活動全般における生産性と効率が改善された結果でないことに注意すべきという指摘もある。設備投資が伸びたのは一部であり、内需が依然として低迷しているところが多い。輸入の伸びに徐々に経済回復の明るさが反映している。外国直接投資は規制緩和して再導入を図っている。なお、90年代後半の世界的な企業の合併・買収(M&A)の増加はアジアでも欧米から活発化した。とくに通貨危機後も不活発な日本と対照的に、欧米や台湾・香港・シンガポールは増加している。

c. 経済危機と回復からの教訓

アジア各国の経済危機と回復の局面を通じて、アジア経済が解決すべきさまざまな課題を抱えていることが再認識された。自律的な経済回復とさらなる経済発展のためには、金融システムの改革や企業構造の改革、産業基盤の強化と高付加価値経済へのシフトなどに取り組まねばならない。

通貨危機後に顕在化した実物経済の欠陥（低生産性、低投資効率、短期資金流入問題を伴った金融システムの不備など）は、通貨危機が起こる前の高度成長時代にすでに指摘されていた。高度成長は、経済構造を急速に変化させたが、反面、その変化のスピードがあまりにも急激なため、成長の歪みや欠陥が生じたのである。

第一に、製造業自体の構造の脆弱さの問題が改めて浮上した。半導体やICに代表される多国籍企業による輸出指向型のエレクトロニクス産業では、なお部品の輸入依存率が高く、外資企業と国内産業とのリンケージがまだ弱い。電子部品や自動車部品などの分野では日系企業の進出が進展したが、経済全体の中で地場企業・中小企業の役割が小さく、裾野産業（サポーティング・インダストリー）が十分に育成されていない。経済全体で工業基盤が狭いことや輸入依存度が高いことに関連している。

他方、近年の大規模投資により設備能力が過剰気味である。自動車産業などでは、国内市場向け産業の過剰生産がアジア通貨危機で表面化し、回復を遅らせている。また、自動車産業は自由化に直面し、国際競争の環境に生き残れるのかという問題もでてきた。最近の対中国投資の拡大により、中国の労働集約製品の供給量が今後増大するので、東アジア市場の供給過剰も危惧されている。

第二に、外国資本の直接投資の効率が悪化している。景気過熱傾向のもとで生産要素（資本と労働）の大量投入による成長寄与が大きく、技術進歩や経済効率の向上による部分が小さかった指摘は否定しえない。しかし、投資効率・生産効率の向上は容易なことでない。外資導入に依存せずに、地場企業を育成し、産業間、産業内のリンケージを強化する中で、生産が伸び輸入に依存せずにその波及効果が国内でも巡回していくシナリオの実現に向けた様々なアプローチが必要になろう。

なお、失業率はやや高止まりのままであるが、中長期的には東アジアは労働力不足に陥る公算が高い。労働力不足に伴って輸出競争力に響く賃金上昇の問題がある。熟練労働者やエンジニア、専門職などの人材不足も認識されてはいたが、未だ多くの国で対策が不十分である。時間がかかるエンジニアを志望する能力のある若者が減る中長期的な問題点は従来から指摘されてきた。外国人労働者、人材育成、産業構造高度化の問題などとリンクした対策が必要である。世界的な企業間競争が激化し情報ネットワーク化が進む中で、電子・電機など今後の成長を見込まれる産業分野の人材開発・教育水準の向上が重要である。

なお、日本経済研究センターの報告書『2020年 アジアの産業競争力』（2000年）によれば、アジアがこれからも短期的にも中長期的にも、5%台の力強い成長を期待できるとしている。

（3）実体経済に立つ工業立国の道

a. 実体経済に立つ工業立国の道

東アジアは工業化により成長して産業構造が高度化しつつあるとはいえ、生産・輸出を指向したモノづく

り中心の工業立国に根ざしていることは常に念頭に置くべきであろう。このことは、グローバル競争の中で僅かな売上利潤率を確保するために、為替の安定という環境と、コストの削減や生産性の向上が常に求められるということである。また、通貨・金融危機と回復から学ぶこととして、IMF・米国流の資本自由化要請に盲従するのではなく、金融・資本の自由化は実物経済を基盤とした自由化となるべきである。発展途上国に必要な資金は安定した長期資金であり、また、直接投資のように設備投資になり生産能力を生み出す資金である。

もちろん、アジア諸国の金融システムの脆弱さ・不安定さは、今後も時間をかけて整備し、改善されねばならない。不良債権の処理、金融機関の再編に向けて道筋をつけ、また短期資金流入による外貨準備の増加が過剰流動性を生むため、不胎化政策をとれるよう国債市場を育成したり、間接金融（金融機関を経由したファイナンス）への依存体質を改善するために、株式市場や公社債市場を育成強化する必要があることが指摘されている。

b. 生産性主導型の成長と産業構造の高度化・高付加価値化

ほとんどのアジア諸国は、やはり生産性主導の成長に本腰を入れて取り組むことになる。従来の東アジア経済の発展に指摘された欠点は、経済効率が悪いことであった。これからは、投資効率を高め、人材育成による人的資本の向上など、生産性向上に支えられた成長を実現することが課題である。労働力不足時代を前に、いかに総合要素生産性（広い意味での技術進歩を計るもの）の向上を図るかが鍵である。貯蓄率が高く労働の質も高いという東アジア経済の体質を生かし、投資効率の改善や生産性の向上が期待できれば、安定成長の持続が可能はずである。

新たな経済環境のもとで、東アジアは各国とも産業構造のさらなる高度化をめざそうとしている。ここでは、民間主導の市場原理による経済運営と現実的な産業政策が展開される必要がある。共通する発展戦略は例えば次のものが含まれよう。

第一に、輸出指向の工業化路線の継続である。東アジアには工業品の世界の生産・輸出基地として基盤を作りつつあり、既に主要工業品の世界生産でのアジアのシェアは、極めて高いものがある。

第二に、より高付加価値、高技術水準の分野へのシフトである。労働力不足と賃金上昇が不可避であり、また、世界市場への供給品質を確保するうえでも、機械化・自動化の導入や人材育成が要請される。日系企業による生産移管が進み、最新式の設備機械と生産システムが現地で稼働することで、人材育成と技術移転が必至になる。

第三に、技術が成熟・標準化し、競争力が低下した労働集約型業種の海外進出がさらに活発化することへの対応がある。80年代後半からアジア資本の海外直接投資が活発になったが、産業の高度化によりさらに促進され、アジア企業の本格的な海外投資時代が来る。

第四に、産業構造高度化のため、高度情報技術（IT）化産業、ハイテク産業の展開である。

第五に、サポーティング・インダストリー（裾野産業）と中小企業の育成強化である。

c. サポートینگ・インダストリーの発展機会の拡大

付加価値の高い輸出指向工業を支えるサポートینگ・インダストリーと中小企業の育成強化は、極めて重要である。外資企業が地場企業から部品・中間財を現地調達することによって国内産業とのリンケージが強化され、産業構造の裾野が広がる。通貨危機でも、部品の現地調達率が高い輸出メーカーは、為替リスクを低減して大きな輸出収益をあげ伸張したので、地場サポートینگ・インダストリーの役割が改めて評価された。

通貨危機後に、地場企業には、部品の組立工程を外資企業から受注する機会が拡大した。後述するように、日系企業は、労働集約的組立工程を含めてすべて自社内に取り込む考え方を脱して、部品の現地調達のみならず、労働集約度の高い組立工程を地場サポートینگ・インダストリー企業に下請けに出すようになった。これは、金型製作から部品製造と部品の組立てに至るまで一貫生産を行うなど、実力を備えてきたローカル・サプライヤーに、さらに飛躍の機会を提供するものである。政府主導の育成策に依存するだけでなく、外資企業とサポートینگ・インダストリー企業とのリンケージが、市場経済の展開の中で実質的に構築されつつある。

2. 2 パソコン・半導体産業の発展にみる強さ

ここでは、アジアにおけるパソコン・半導体生産を支える産業ネットワークの蓄積を概観するとともに、今後の発展の諸条件として物流ネットワーク、生産管理、研究開発・デザイン活動および政府の政策などを取り上げる。

(1) アジアにおけるパソコン・半導体生産の発展

a. パソコン生産ネットワーク

アジアへの生産集中傾向は、パソコンの最終組立段階よりも部品生産においてより顕著である。パソコンは数千の部品から構成され、主要部品であるマイクロプロセッサ、メモリーなどの半導体、ハードディスクドライブ（HDD）やCD-ROMなどの各種記憶装置、ディスプレイ装置、入力用のキーボードやマウス、電源装置などの生産者もまた広範にアジアに生産拠点を展開している。そしてこれらの部品は、日本や、太平洋を越えて世界最大のパソコン生産拠点である米国にも供給されており、これら多数の生産拠点を結ぶ水平分業のネットワークを通じてパソコンが生産されている。

こうしたことから、アジア地域はパソコンおよびその部品生産においてネットの輸出者である。世界のエレクトロニクス製品総輸出に占めるアジアの比率は過半を占め、国によって若干の相違はあるもののパソコン・半導体産業はアジアの輸出指向型成長路線をリードしてきた典型的な産業群でもある。

一口にパソコンの生産者と言っても、全く性格の異なる二つの主体、すなわち、進出した多国籍企業とアジアのローカル企業との二つのカテゴリーに分けて考えることが必要である。

まず多国籍企業の動向について見ると、産業ネットワークの中心に位置するのは米国のパソコンメーカーで

ある。今日世界の主要なパソコンメーカーは米国、欧州、アジア・太平洋という三つの需要地に各々生産拠点を配置している。欧州市場ではアイルランドとスコットランドが二大生産集積地であり、アジアではシンガポールがその役割を果たし、最近ではこれにマレーシアと中国が加わりつつある。

欧州、アジアへの工場展開が始まったのは80年代の前半であるが、当初からパソコンの需要地でもあった欧州と異なり、アジアへの工場進出当初、この地域でのパソコン需要はそれほど大きなものではなかったから、家電産業のような輸入代替効果はなく、もっぱら輸出指向型の産業として定着してきた。その第1号としてアップルは早くも81年にシンガポールにボードの組立工場を建設し、やがて80年代末には完成品の生産を開始した。現在では日本市場向けを含むアジア市場向けの全製品をシンガポールで生産している。世界第1位のパソコンメーカーへと急成長を遂げたコンパックの場合は、本拠地ヒューストンに生産拠点を有するほか、欧州では87年からスコットランドで欧州向けの生産を開始し、アジアでは86年にシンガポールでボードの生産を開始した。その後90年からパソコンの最終組立てを開始し、現在ではノートブック型製品については世界向けの全量をここで生産している。通信販売／直販方式などにより急成長を遂げたデルコンピュータ等も成長市場であるアジアへの進出を本格化し、マレーシアのペナンおよびマラッカにそれぞれ生産拠点を開設した。このほか、各社とも中国市場に照準を定めて中国の天津、上海あるいは華南地域に工場進出を行っている。

次にローカル企業の動向であるが、日本以外でローカル企業によるパソコン生産が一定の規模に達しているのは、中国、韓国、台湾およびシンガポールの4カ国・地域である（つい最近では、これにインドが加わりつつある）。以下国別に概観しておこう。

中国では、80年代の後半からDOS互換機が生産が細々と始まったが、90年代に入って技術輸出上の制約も緩和され、米国メーカーが積極的な製品輸出と技術供与を開始して以来、パソコン市場は急速な成長を遂げている。国内メーカーも近年、外国企業との合併設立・技術導入を積極的に進め、国内生産体制を整備しつつある。外国資本100%の企業は依然として存在しない。

一方、台湾では工業技術研究院（ITRI：Industrial Technology Research Institute）のリーダーシップによりデスクトップパソコンの生産プロジェクトが70年代末に開始され、80年代末には商品化が行われた。また89年にはITRIの下に66社の台湾メーカーが集まってノート機開発のコンソーシアム、Computer and Communication Laboratory（CCL）が結成され、政府資金を投じて開発が開始された。インテルのプロセッサ386を搭載した最初の製品は90年に出荷され、今日では日米欧の主要パソコンメーカーのほとんどが台湾からのOEM供給を受けるまでに成長した。主要メーカーは自社ブランドで販売を行っているが、生産の主力はOEMである。近年ではモデル変更のとりわけ早いノート機に対するODM（Original Design Manufacturer）と呼ばれる供給方式が急速に増加しており、日米欧の多数のパソコンメーカーが台湾からのODM供給を受けている。これは、調達メーカーが製品スペックやアイデアだけを伝え、あとは供給メーカーが製品をデザインし、部品調達を行って生産するという方式である。

シンガポールでも有力なローカルメーカーが育ってきている。

b. アジアにおける半導体生産

アジア地域への半導体投資拡大はパソコン、通信機器、家電製品等の「シリコン・インテンシブ」な電子製品生産拠点がアジア地域へと集中しつつあることの反映であるとともに、中国、台湾、ASEAN各国において強力な半導体産業の育成策および誘致政策が採られてきた結果である。ASEANでは、シンガポールとマレーシアがエレクトロニクス産業でリードしている。税制支援などの半導体産業誘致策や水道・電力などのインフラの整備がまずまずであることなどが背景にある。ただ半導体生産では原材料や製造装置の調達を主に日系企業に依存してうえ、付加価値の低い後工程が中心であった。

またその投資内容を見ても、これまでは後工程と呼ばれる組み立て・検査工程が主体であったのに対して、最近では回路パターンの焼き付けを行う拡散工場（ウェハーファブ）がアジア各地に続々と新設されつつある。これまで日本以外で本格的なウェハーファブを有しているのは中国、韓国、台湾、シンガポールのみであったが、96年に入ってマレーシアで2件、タイでも2件のウェハーファブ建設の動きが急浮上してきた。これらの中には日立、テキサス・インスツルメンツ（TI）などのような多国籍企業の計画もあるが、スピンオフした米国人技術者やローカル起業家の計画も含まれ、今後の同地域におけるウェハーファブの動向は予断を許さないものになりそうな気配である。

アジアの半導体産業の中でも特異な位置を占めるのが台湾の半導体産業である。台湾は半導体の開発と事業化に国を挙げて取り組んできた。政府は74年に工業技術研究院（ITRI）の一機関として電子工業研究所（ERSO）を設立し、IC研究開発プロジェクトを次々と立ち上げて政府資金を集中的にERSOに投下した。そしてERSOを半導体技術者育成の拠点にするとともに、そこにモデル工場を建設し、これを事業会社化することで半導体産業の核となる企業を設立してきた。台湾で1、2位の半導体メーカーはこのようなモデル工場がベースとなって設立された企業である。近年も官民共同の半導体技術研究を開始するなど政府の支援も引き続き強力である。

生産額での台湾の半導体産業が世界に占めるシェアは急増しているが、それ以上に世界のコンピュータ産業に占める重要性は極めて大きい。それは機動力に富んだ、すそ野の広いICデザイン能力とファブ機能とが有機的に結合して存在するからである。現在台湾には60社を超えるICデザイン会社があるといわれる。米国の有力IC設計会社はそのほとんどが台湾のファウンドリーと提携関係にあり、加えて米国留学から帰国した多数の技術者がそこで働いている。そしてこうした特色を持つ半導体産業の存在がパソコン完成品およびマザーボードの一大OEM／ODM拠点としての台湾を支えているといえる。とくにハイテクアイランドとも称される台湾ではエレクトロニクス産業の存在感が急上昇しているので、特記して次c項でさらにやや詳細に触れることにする。

これに続くのがシンガポールであり、国策企業SCMおよびTECH（シンガポール政府とTI等の合併）の2社がファウンドリーサービスおよびDRAM分野のウェハーファブとして活動している。日本企業もシンガポール政府との合併でDRAMファブを建設した。

一方、中国もまた合併方式によりウェハーファブを誘致している。90年代の初頭、中国はウェハーサイズが3～4インチ、線幅が3～5ミクロンレベルの技術を用いて年間1億個前後の生産を行っていたにすぎないが、中国当局は巨大な潜在規模をもつ国内通信コンピュータ市場を背景に、強力な交渉力をもって各国の

通信コンピュータ・メーカー（その多くは半導体メーカーでもある）からの技術移転を求めてきた。各国企業の中国への半導体工場展開の背景にはこうした条件も作用しているようだ。

なお、組立検査工程はアジア各地に広く分散しているが、とりわけ集中しているのはマレーシアである。

c. 台湾にみる情報関連機器生産の成長要因

台湾の主力産業は80年代半ば頃までは、繊維など低賃金を強みとする産業だった。所得水準が向上して労働力投入型の産業競争力が薄れたため、産業構造の転換が必要であったが、短期間にパソコン・周辺機器の組立加工基地へと変貌した。現在では、情報・通信機器の生産額で、米国、日本について世界第三位であり、うち、ノート型パソコンでは首位、半導体生産能力でも韓国を抜いて三位になる見通しである。また、周辺機器では、90年代になって台湾の情報関連機器の生産高の増勢は目覚ましい。世界シェアの高い主なものに、スキャナー（85%）、CD-ROM（70%）、パソコンのマザーボード・電源供給源（各66%）、キーボード（65%）、マウス（60%）、モニター（58%）、ノートブック型パソコン（40%）、CD-ROMドライブ（33%）などがある。たとえばモニター生産台数では、86年には日本、台湾、韓国の順だったが、90年には韓国、台湾、日本となり、96年からは台湾、韓国、日本となった。

日本のメーカーは、これらの部品を台湾から購入し、国内で組み立てることが多かった。しかし、生産コストで台湾に勝てないため、生産形態の見直しが始まり、台湾での生産比率が上がっている。製品開発は日米などのメーカー、生産は台湾という分業体制が進むとみられる。これは半導体製造の場合と同じ構図である。成熟した製造技術が途上国にそっくり持ち込まれ、日本がコスト競争で負ける構図である。戦後、製造業で米国を追い抜いた日本が、今度はアジア諸国に追い抜かれようとしている。

近年、台湾では、先進国メーカーからの受託生産が、広汎な品目で増加している。設備投資も活発化している。これまでは基幹部品を輸入に依存してきたが、液晶パネル生産で日韓を急追している他、次世代の12インチウェハ対応の半導体工場を建設するなど、輸入依存構造を是正しつつある。

台湾の情報・通信機器分野の競争力の源泉として、第一に、政府によるハイテク産業の育成策がある。

1) 学術研究機関から企業への技術移転促進策、2) 米国のハイテク産業の集積地「シリコンバレー」をモデルに、「新竹科学工業園区」を台湾北部に開設し、ハイテク企業と理工系大学を誘致、3) 優遇税制、政府系金融機関による出資・低利融資、がある。企業関連の税金が一般に安いことに加え、事業立ち上げから5年間続く免税措置や設備投資の輸入税での自動化システム免税優遇などがある。さらに、政府は、ハイテク産業育成の基本法を2009年末まで延長し、官民共同の半導体技術研究を開始したほか、創業支援策など、引き続き強力な支援策がとられている。

第二に、米国シリコンバレーからのUターン技術者が持つ人的ネットワークがある。米国のファブレス企業（開発・設計に特化し、製造は外部に委託する企業）が台湾企業に生産を委託しているなどの形で活きている。60年代より台湾から優秀な学生や裕福な家庭の子弟が多数米国に留学した。留学後も米国に残った人が多かったが、今日の台湾の繁栄と活発な企業活動を見て、Uターンする人材も多くなった。なかでも理科系の在米台湾留学生は主として電子技術開発の拠点であるシリコンバレーに集まったという。こうした人材が台湾に帰ってネットワークを活用して企業を起こす一方で、台湾企業のシリコンバレー進出が始まってい

る。シリコンバレーに存在する台湾系メーカーは150社あるという。電子技術関連の企業の若き指導的人材は、米国文化と英語文化で育った人々であり、台湾の今後の企業活動も技術開発も米国とのコネクションの中で推進していくとみられる。

第三に、特定の製品・工程に特化した複数の中小企業による分業ネットワークができていることがある。企業の組み合わせを変えるだけで、ニーズの変更に柔軟な対応が可能である。また、特化によるスケールメリットから低コストを達成している。

もともと、台湾の起業家精神や競争活力も大きい。「エイサー」の名で知られるパソコンメーカー「宏碁電腦」を除いては、ファウンドリーと呼ばれる受託生産業者が多く、中小企業が活躍し、競争が激しく企業の浮沈も激しい。ハイテク優遇措置があることも加えて、有能な社員は独立心が強く、技術や営業戦略を覚えたとすぐ会社を離れて独立するといわれる。

第四に、汎用製品・部品の生産を、コスト削減のために中国・東南アジアへ移転してきたことがある。台湾の製造現場は強いが、成熟した製造ラインを導入し、優遇税制措置や安い人件費を活かして生産性をあげているのが実態である。情報関連機器の技術革新は速く、短ライフサイクルであり、製造ラインも装置もそれほど大がかりなものではない。資金さえ投入すれば、最新ラインや装置を設置してどこでもできる。安いコストを求めて、他国や地域に製造現場が移転していく動きが台湾にもあり、中国本土などへの海外投資が活発である。また、安価な外国人労働力を受け入れていることも同様である。

なお、99年9月に台湾中部大地震が襲ったが、早くも10月にはその悪影響を脱することができた。電機・電子の生産拠点が北部に集中し、被害は軽かったためである。

今後は、一層の研究開発投資やブランド力の向上が課題と見られている。

(2) 発展の基盤条件

a. 輸送・物流インフラ

アジアのパソコン・半導体産業においてこのような水平分業体制が成立し得たのは、まず第1に、整備された国際輸送・物流インフラが利用可能であったことである。例えばシンガポールとベナンの間は通関手続きを含めて1日、シンガポールとインドネシアのバタムの間も2日という時間距離で結ばれている。製品自体のライフサイクルが短く、しかも工場間の部品移動が中心となるエレクトロニクス産業の生産拠点を結ぶ物流は、このような迅速さがとりわけ要求される。太平洋に面する主要港湾をそのコンテナ取扱高で上位15位まで示したデータをみると、然他港を引き離して常に1、2位を競う香港、シンガポールを筆頭に、台湾の2港（高雄、基隆）、韓国の釜山、米国西海岸のロサンゼルス、ロングビーチと神戸、横浜、東京がその上位を占めている（神戸については95年の大震災後取引高は大きく減少した）。さらに、ベナン、ポート・クランといったマレーシアのコンテナ港も急成長を遂げている。

航空輸送インフラの現状については省略するが、ここで国際輸送・物流の効率および安定性を左右するもう一つの側面として通関手続きの問題について触れておこう。貨物の輸出入に伴う複雑な手続きの問題は、古くから各国の輸出入事業者の頭を悩ませてきた問題である。これを解決すべく国連、国際海事機構（I

MCO) 等さまざまな場で手続き簡素化が話し合われてきたが、手続きの完全電子化によって簡便かつ迅速に行う方法が幾つかのアジアの港湾で導入されつつある。電子的データ交換 (EDI: Electronic Data Interchange) と呼ばれるこの方式は、欧州における市場統合に当たっても重要な課題となり、EU委員会も TDIS と呼ばれるプロジェクトを通じて各国にその導入促進を働きかけてきた。シンガポールと香港は現在、これを最も完全なかたちで実現している貿易港でもある。

EDIの導入は他のアジア諸国にも広がっている。通関手続きについては何かと悪評のあるインドネシアにおいても、95年にEDIの推進組織が設立され、97年4月からジャカルタの積み出し港であるタンジョン・プリオク港で運用が開始されたとのことである。しかしインドネシアの場合まだ多数の課税品目が存在することから付属書類の提出が要求されるケースが多く、電子化の効果は必ずしも十分に発揮されるには至っていない。

本章で言及されるアジアの主要なエレクトロニクス生産拠点は、広大なアジア全体を見渡せば文字どおり「点」としての存在にすぎない。それらは、整備された物流施設と自由貿易港あるいは保税地区として簡便な通関手続きが実現している数少ない「点」にすぎないのである。今後ASEANの新しい工業区やベトナム、中国の輸出加工区がこうした「点」の一つとして成長し得るか否かの第1条件はこの点にあるといえよう。

b. 生産管理システムの標準化: ISO9000 の普及

密接な協業を必要とする水平分業ネットワーク上では品質管理や生産管理といった製品横断的な管理技術の共有が重要である。そしてこの分野で日本が果たしてきた歴史的役割は小さくない。特に家電、エレクトロニクス部品工場の進出に伴う日本流の品質管理運動の定着はアジア各国における品質管理の基礎を形成する上で大きな役割を果たしてきたと評価されている。そして90年代に入って急速に普及した国際品質管理標準 ISO9000 シリーズはこれにグローバルなベースで共通の枠組みを提供する契機となった。

国際標準化機構 (ISO: International Standard Organization) によれば、96年末までに世界中で7万件を超えるISO9000シリーズにかかわる承認が行われ、その対象国の総数は76カ国におよぶという。先進国以外ではアジア地域が最も導入が進んでおり、とりわけ輸出指向型の工業化を遂げつつあるASEAN各国では、北米、欧州地域の輸入者がISO9000シリーズの取得を要求する中で熱心にその導入を図ってきた。96年末時点でのASEAN地域内のISO9000取得企業数は合計1,000社余りであるが、その伸びは著しく、また各国において導入促進のための体制整備も着々と進展しつつあることから、今後ますます導入企業数は増加するものと見込まれる。

各国で検査、認定に当たる機関の整備状況を見ると、シンガポール、マレーシア、タイ、フィリピンでは、ISOの参加機関であり、また各国における国内標準の制定機関となっていたSISIR、SIRIM、TISI、DPSがそれぞれの国における担当機関となっており、インドネシアでは、新たに担当機関SUCOFINDOが設立された。実際の運用に当たっては各国の機関ともLloyd's (英国)、ABS、UL (米国)、DNV (ノルウェー)、SGS (フランス)、JQA (日本)、RWTUV (ドイツ) といった先進国の品質保証機関や検査機関との間で協力協定を締結し、相互認証、挙動認証等の形態をとって運用している状況である。今後、廃棄物対策等の新しい観点を含め広義の生産管理技術の共有化が重要な課題となってくると予想されるが、そ

の際、こうした検査機関を結ぶ検査、認証実務のネットワークは重要な役割を果たすことになるものと考えられる。

c. 生産拠点から製品デザインの拠点へ

今日のパソコン産業は同じエレクトロニクス産業の中でも家電産業とは大きく異なる産業構造を有している。すなわちパソコンの心臓部とも言べきマイクロプロセッサ（MPU）とオペレーティングシステム（OS）が事実上Intel、Microsoft 両社のほぼ独占状態にあり、基本的なアーキテクチャー設計に関する限り、両社以外の持つ自由度は極めて限定されている。反面パソコンを構成する部品群は緩やかながらも標準化が進んでおり、次々と発表される新しい部品を組み合わせる一つの製品としてまとめることがパソコン生産者の競争に任された世界となっている。従ってパソコンの最終組み立ては原理的には誰でも参入できる産業であり、事実、アジアのいたる所に小規模な生産者が存在する。こうした中で他に先んじて新しい製品コンセプトを打ち出し、低コストで組み立て得る企業のみが生き残ることができるわけであり、さらにその過程で派生する各種インターフェース等をASICチップとしてデザインする能力が付加価値の源泉となる。またもう一つの戦略はDRAMやハードディスクドライブ（HDD）のような量産型の部品市場に挑戦するやり方である。

こうした観点から評価すると、前者のアプローチでは台湾がリードしており、韓国は後者のアプローチをとってメモリー市場で成功した。シンガポールは両方のアプローチを行っているが、まだその地歩は確たるものではない。中国についてみると、中国語の情報処理に固有の領域で達成した成果は大きい、パソコン技術全体としてみるとまだ主要なプレーヤーとは言い難い。

（３）アジアで成長しつつあるハイテク開発・研究

アジア各国・地域のハイテク開発や科学研究が活発化している。アジア発の独自研究も生まれ、ハイテクVBの起業にも勢いがある。各国政府も、バイオ、情報通信を核に、ハイテク支援策を強化し、先進国製造業の下請け基地としての産業発展とは異なる経路の産業発展を視野に入れ始めてきた（日経産業新聞00.5.17～6.1など）。2000年10月の25ヶ国首脳が参加した第3回アジア欧州会議（ASEM）では、経済問題を討議し、情報技術（IT）やバイオテクノロジーなど先端技術分野で協力体制を構築することで合意している。

とくにバイオ研究に注力しているのは、情報技術（IT）に続く有望分野として見ていること、欧米主導で技術の標準化が進んでいるIT分野に比べ技術の成熟度が低く参加余地があり、医薬品や農業など応用面でアジアを舞台にした事業化機会が多いことによる。

膨大な遺伝子資源が眠り研究者層も厚い中国は関心の的で、香港の大学は共同研究体制を進めている。日本が国内研究を中心に進める中で、アジア各国・地域は米国や中国とのつながりをもとに、有力な研究拠点として成長する可能性がある。

シンガポールは情報技術（IT）でアジアの先頭を走るが、そのインフラ整備の上に構築する次世代産業育成（バイオ産業を、電機、化学、エンジニアリングに次ぐ製造業の第4の柱とする）の布石を打つべく、

政府主導でアジア有数の研究体制を作りつつある。また、医薬品やバイオ部門での有力海外企業の誘致により技術とノウハウを学び、国内企業育成に取り組んでいる。2000年4月にはバイオ研究者の大量養成を目的とし海外研究支援と帰国後ポストを用意する「生命科学人材開発プログラム」を発表した。既に、国立シンガポール大学では国際チームが、受精卵から取り出す胚性幹細胞（ES細胞）のほぼ無限の増殖技術を開発し、臓器再生技術上で注目されている。同大学には、流出頭脳を米国やカナダから引き戻して87年に設立され、この分野で最も先端をいくとして評価され（かつてScience誌がアジアの科学技術を集めた際にASEAN地域で取り上げた唯一の研究所）、約20ヶ国から約250人の研究者が集まる分子細胞生物学研究所（IMCB）があり、生命現象を細胞や遺伝子レベルで解明し、医薬品開発や病気の新治療法の研究、フグ毒など多彩な研究が進められている。英国製薬企業グラクソから長期の研究委託も受けている。アジア拠点の研究機関でここまで目立った研究実績を上げているところは、日本を含めてもそう多くはない。この敷地に、日本と協力してアジアのバイオ研究者を結集して、米欧に匹敵するアジア太平洋生命科学研究所APLSI（欧州拠点は74年設立、アジアでは日本は80年頃提案し非実現）を作る構想も浮上した（日本経済新聞00年6月10日）。もともと同国は、自国をアジアにおける科学技術の「ハブ」と位置づけ、積極的に外部人材を導入している。代表的なシンガポール大学附属分子農業生物学研究所（95年設立）では中国科学院との交換プログラムも運営している。ハイレベルな中国系人材「ハイテク移民」の動きは世界の研究動向にも影響を与えつつある。96年にはバイオ・インフォマティクス・センターも発足した。さらに広くハイテクVBの起業を奨励する「テクノプレナーシップ」支援のための政府ベンチャーファンド設定、教育システム改革、関連施設整備、国主導推進の弊をただす規制緩和などを、次々打ち出した。他のASEAN地域では依然として農業研究の占める比率は高い。しかし、農業の存在しないシンガポールにあつては生物系の研究者をすべて投入できる、という優位性があるかもしれない。

台湾のバイオ研究でも既に、陽明大学などのチームが国民病ともいえる肝臓ガンに関連した遺伝子の発見を行った。また中央研究院が遺伝子配列を簡単にチェックできるDNAチップを開発し、製造技術のライセンスを受けたバイオVBが供給に乗り出した。地域固有の病気に関連した遺伝子研究など他でできない研究活性化に寄与することが期待されている。台湾では、ハイテク振興策を既に一本立ちした情報技術（IT）からバイオなど今後の期待成長分野にシフトしている。96年には米国NIHをモデルに国家衛生研究院を設立し大学などとの連携を強め、新竹科学工業団地近郊にバイオ関連企業を集中的に立地させる計画を推進している。経済部では海外製薬企業と国内資本の提携などに国主導で取り組んでいる。診断薬開発から抗ガン剤の研究などを担うバイオ企業に専門的に投資するファンドの設立も政策支援している。もともと中小企業を中心に起業家精神が旺盛な台湾で、他にも半導体などの技術者養成や新事業立ち上げ支援の施策が目立っている。

中国でも、企業の研究開発拠点を誘致する、「香港サイエンスパーク」で、半導体などのファブレス型のエレクトロニクス企業などが順調に進出して第一期が2001年後半にスタートする。また官民共同の研究拠点として応用科学技術研究所（ASTRI）が、73年設立以降エレクトロニクス技術開発を先導した台湾の工業技術研究院（ITRI）をモデルに、活動を始める。ITRIでは当局のバイオ研究強化路線にしたがって、バイオメディカルエンジニアリングセンターを新設し、インキュベーション施設や貸与型のオープンラボを用意し

て企業の支援を行っている。香港では「輸入優秀人材」という移住受け入れ制度で99年末に始まり中国本土から高度な知識・技能を持つ人材を迎え、バイオと漢方の結合研究などハイテク振興に期待している。香港や台湾ではバイオVB投資を専門にする投資企業が登場している。

アジアでは農業バイオへの関心も高まっている。先端技術では欧米が先行しているが、東南アジア地域での取り組みも活発化している。爆発的な人口増加を支える食糧増産への期待など、需要が支える開発意欲と、資金不足など残された課題を解決する若い研究者の活力が実用化を加速させ始めている。こうした中で、ベトナムは2010年を目標とした長期経済計画を策定し、商業化前提研究を重視したバイオ産業の振興に乗り出した。ベトナムには将来性をにらみ、香港、韓国、豪州、シンガポールやマレーシアからバイオ企業が盛んに進出している。フィリピンでは90年に最高科学政策決定機関である科学技術調整委員会（STCC）がバイオ研究推進の計画書を策定し、マレーシアも2020年までに先進国に追いつくための戦略分野としてバイオ産業を指定している。国の研究開発費の8割が農業関連のタイでも93年に英国ゼネカセードが遺伝子組み換えトマトの圃場実験を開始した。技術移転が人材養成に最も必要として企業誘致も活発である。もともと、本国で許可されていない新種のウイルスや技術を持ち込んだり、突然の撤退決定などでトラブルになる事例も少なくない。信頼できるパートナー選定など成熟が必要でもある。もともと海外の植物や種子の輸入は、防疫上の理由から厳しく制限され、またチェック体制が未整備な問題が露呈するおそれも多い。

しかし、遺伝資源を保有する途上国と資金・技術力をもつ先進国の関係が徐々に変わり、遺伝資源をめぐる知的所有権などの国際ルールに途上国が異議を唱える例も増えてきた。日本とアジアのバイオ産業は生物多様性資源の有効利用・知的所有権の整備などで、深く結びついており、公平性と透明性の高いルール作りが望まれている。遺伝資源を持たず、先端技術の応用でも欧米に後れをとった日本が、東南アジアとの連携強化を本気で考え始めるべき時期が来ているという指摘もある。

なお、2000年9月には、日本を含むアジア地域を中心に12ヶ国・地域のインキュベート（企業ふ化）施設・機関が集まる「アジアサイエンスパーク協会」が発足し、施設運営や産学交流についての情報・ノウハウ交換を行い連携を強化することになっている。日本、中国、韓国、台湾、シンガポール5ヶ国・地域のサイエンスパーク、リサーチパークで組織した「東アジア・サイエンスパーク協会」が前身で、マレーシア、香港、インド、ベトナム、スリランカ、ロシア、イランを加えて衣替えしたものである。

ASEAN諸国の技術政策は、三上喜貴編著『ASEANの技術開発戦略』（1998,日本貿易振興会）に詳しいが、JETROによる調査報告書『各国における産業技術・技術政策に関する調査報告書』（2000年）によれば、東アジア主要国の政策内容は次のとおりである。欧米を含まないどの国も先進国・途上国の区別無く、科学技術研究開発の重要性を強調し予算増や人材育成に努めると共に、「研究成果の実用化促進」「産官学連携の促進」「競争的資金配分」等を強く主張し、組織改革や助成制度を鋭意推進している。

a. 台湾

研究開発支出は1986年 NT287 億ドル、1995年 NT1250 億ドル（注：NT 1億ドルは約 320 万 USドル）である。国内産業の総R&D支出は1995年でNT749 億ドル。これは産業生産高の1.06%に相当し、先進国の産業界と比べるとまだかなり低い。

概要

1997年12月に、台湾で初めての「科学技術白書」が編集された。これは21世紀の国家科学技術発展計画のマスタープランとなるものである。このマスタープランにより、科学技術の進歩促進、経済成長の加速、生活の質の向上、国防能力の確立が期待されている。白書では、自由貿易化に伴う国際競争力への対応、環境保護の高まりとの調和のとれた発展、情報社会への対応、といった、これからの重要な課題に対処する中核的な手段として科学技術は高く位置づけられている。

21世紀に向けた科学技術開発のマスタープランで、最初の10年間で目指すのは以下の通りである。

*アジア太平洋地域研究の本拠地

今後5年で、国際的に著名な研究者、研究所を所有し、複数の重要分野で第一級の貢献を果たし、アジア太平洋地域における科学技術の主要センターとなる。

*アジア太平洋地域ハイテク製造センター

技術集約的産業の生産高を2010年には全製造部門の50%以上とし、技術輸出を技術輸入とバランスがとれるまで高める。製造会社従業員の15%が学位を持つ。多国籍企業が増え、外国の多国籍企業が台湾へきて提携を求める、この結果、台湾はアジア太平洋地域ハイテク製造センターとなる。

*技術先進国

- ・コア科学ベースの工業パーク：台湾全土の適当な場所に設立する
- ・衛星科学パーク：コア・パークの付近に民間または公共開発ハイテクパークを設立し、支援産業を集める
- ・科学都市：コア、及び衛星科学パークを地域文化とバランスのとれた科学都市の中核として利用する
- ・ハイテクアイランド：主要なインフラ完了後、研究組織、メーカー、サービス会社、科学産業パーク、科学都市をネットワークで結び、台湾をハイテクアイランドにする。さらに、技術と人間性のバランスのとれた認識の風潮のもとで、医療、環境、国防の改善が進み、2010年までに台湾は技術先進国に変身する。

科学技術開発の戦略

科学技術開発の4つの目的—科学技術標準の向上、経済開発の促進、生活水準の向上、防衛能力の確立—を達成するため、以下の12の戦略を実施する。

- ・着実なR&D予算の増加を維持し、人的資源の適格性を改善し続ける。
- ・R&D資源の利用を統合し、大学のR&D能力を流動化する。
- ・フロンティア研究と国家的プロジェクトを推進する。
- ・重要産業技術を開発する。
- ・科学パークを増やして、研究成果の実現を促進する。
- ・国家的インフラ(NII I)プログラムの実施。
- ・持続可能な開発を達成し、研究開発による公共の福祉を改善する。

- ・ 科学技術政策の健全で合法的な基盤を確立する。
- ・ 科学技術と人間性の調和を図る。
- ・ 国際協力を強化し、中国本土との交換を促進する。
- ・ ハイテク教育及び大衆の認識の幅を広げる。
- ・ 防衛技術 R&D を強化し、民間貿易協力を促進する。

b. シンガポール

1998 年の研究開発支出額は通貨危機の影響が残っているにもかかわらず、対前年比 18.4% 増の 25 億 Sドルである。この内、民間部門の支出額は 15.4Sドルで、全体の 61.6% を占めている。

産業技術政策

1996 年、シンガポール政府は、それまでの国家技術計画(1991-1995 年)に続く、更に高い目標を掲げた国家科学技術計画「National Science Technology Plan 2000」を発表した。同計画は 1996～2000 年に総額 40 億 Sドルを投入して研究開発能力を高める計画であり、以下の3点を目標としている。

*国内での自主的な技術開発能力を高める

国内の大学や国立研究所の新産業技術創出能力を高めることを重点とし、政府はこうした観点から産官学の共同研究開発プロジェクトを積極的に支援する。公的な研究セクターは産業界との共同研究や受託研究に取り組み、新しい産業分野や製品を生み出すことを奨励し、政府は優先的に資金を投ずる。一方では、長期的視野からの研究も重視する。

*民間産業界の研究開発活動を更に活発にする

助成制度、税制等により一層の活性化を図る。国家科学技術庁は、1996～2000 年における国全体の研究支出総額を 110～120 億 Sドルにしようとしている。

*2000 年までに更に 5000 人の研究者を育成する

国内での研究者育成に加え、外国からの人材のリクルートを推進する。これらの計画実施により、2005 年の見通しとして研究開発費の GDP 比で 2%、研究者数の労働人口比で 1 万人あたり 90 人という、指標が示されている。

(なお、97 年に開始した高速回線網による「シンガポールワン」をもつ。)

ベンチャー企業育成関連政策

*ベンチャーキャピタルの動向

現在、88 億 Sドル (約 6160 億円) のベンチャーキャピタルが約 70 の運営グループと 280 人の専門家によって運営されている。アジア向けのベンチャーキャピタルが多く、政府はシンガポールをベンチャーキャピタル・ハブとして育成しようとしている。投資の 2/3 は情報・通信、マルチメディア等の技術先端企業に投資されている。シンガポール経済開発庁は、優遇税制等でベンチャーキャピタルの活動を支援している。

*大学によるベンチャー育成

南洋工科大学では、1999 年 1 月に、大学のイノベーションセンター内に「テクノロジー・セントリウム」を開設し、特に商業化を目指す研究開発の成果を展示し、企業家への情報を提供し、提携・投資を募る事業

を開始した。

c. マレーシア

研究開発資金：総研究開発費は1994年の6.1億リンギから96年は5.5億リンギに減少した。内訳は民間が73%、公的機関が19%、高等教育機関が8%である。農学53%、バイオ14%と、圧倒的に農学分野への比重が高い。

科学技術政策

第7次マレーシア開発計画（1996～2000年）においては、科学技術に関する事項で1章を割いており、主な事項は以下のとおり。

- ・ 科学技術計画と管理システムの強化（適切な政策と組織改革の実行）
- ・ 技術、資本を最大限に有効活用し、実用化を志向した研究開発を進める。
- ・ 教育、訓練及び研究開発に対する投資を増やす。
- ・ 高い経済効果をもたらす技術分野（情報通信、マイクロエレクトロニクス、バイオテクノロジー、先端生産技術、新素材、環境、エネルギー）において技術開発力を強化する。
- ・ 産官学連携の促進。中小企業の技術力向上。
- ・ 民間企業における新技術の確保、開発、技術移転を促進する。
- ・ ハイテク産業への転換、投資を促す環境の整備。

上記の方針に従い、国全体の科学技術政策を監督する組織である「科学研究国家国民会議」の改組、国研や大学が外部から受託研究を受けることの奨励、公共研究機関の公立向上のために民営化の推進、等が実施されている。

アジア通貨危機への対策として、輸入削減や一次産品増産につながる研究（食料、パーム油、ゴム、木材等関係）に助成が優先されている。今後の優先分野として、マイクロエレクトロニクス、新素材、航空機産業をあげている。また、研究成果の実用化促進のため、研究機関や大学の成果実用化・投資セクションを再編し、研究者に対してもストックオプションを含むインセンティブの付与の方向にある。さらに、民間部門の研究開発の推進、人材育成、知的所有権の保護等にも重点を置く方針である。

今後の方向

外資導入政策の変更から、より高付加価値分野、生産性向上が期待される製造技術の改善に研究開発の重点を置こうとしている。その分野としては、情報通信、マイクロエレクトロニクス、バイオ、先端製造技術、先端材料、環境エネルギー等のハイテク分野である。また、今後特に中小企業の技術向上が重要と考えており、そのための予算を投入することになっている。

（なお、高度情報化構想「マルチメディア・スーパー・コリドー（MSC）」を持ち、外資優遇策を用いて情報通信ハブを目指している。）

研究開発支援策

***研究開発優遇制度**

研究開発体制の基盤強化のために、各種投資優遇措置が取られている。契約研究開発会社（関連企

業以外に研究開発サービスを行う会社)、研究開発会社(関連会社あるいはその他の会社に対して研究開発サービスをマレーシア国内で行う会社)、社内研究開発(自社事業のために社内で行われる緩急開発)、ハイテク産業、等に対して種々の税額控除制度や免税措置が設けられている。

*補助金、融資等(例)

・重点分野研究強化プログラム(IPRA)

公的研究所、大学、政府機関に対する100%補助金であり、機関ベースではなくプロジェクトベースで採択される。

・工業研究開発補助金プログラム(IGS)

マレーシアのR&D経費はGDPの0.34%であり、うち民間は48%である。民間のR&Dを強化しマレーシアの競争力強化を目的とした補助金(最大補助率70%)。

・科学技術人材開発基金

先進的製造技術、先進材料、情報技術、マイクロエレクトロニクス、バイオの5分野のポストドク、修士卒業生に対し、奨学金を与え、育成を支援。

・マレーシア技術開発公社(MTDC)

政府と産業界の共同出資公社である。企業が実施する商業化のための市場調査、製品のプロトタイプ的设计、商品等の試験、機器の購入、技術ライセンスの取得、特許の取得、マレーシア人の海外での技術習得、専門家受入れ、等々に補助を行う。

技術移転の動向

研究成果の実用化については、科学技術環境省でIPRA(重点分野研究強化プログラム)の実用化支援、通産省ではMTDC(技術開発公社)を通じた技術志向型ベンチャー企業の支援が行われている。

国研及び大学から民間への技術移転については、「公的研究部門は、市場のニーズを踏まえた効率的かつ効果的な研究開発を行っていく必要がある」とした上で、民間との橋渡しとなるコンサルタント部門を設置し、研究所自体の民営化も進めている。さらに、これらの機関を今後徐々に公社・民営化していくこととしている。また研究者に対しては、知的所有権の一部の権利を認めたり、ストックオプション制度の導入も進められている。

d. タイ

2000年度の科学技術関係予算は、「科学技術・エネルギー環境の費目で6,162百万バーツ」「教育6,874百万」「農業3,250百万」「鉱工業779百万」の計17,066百万バーツであり、総予算の2.0%である。

科学技術政策

経済計画である「第8次国家経済社会発展計画(1997~2001年)」では、科学技術に関する事項として、「技術普及に関する一層の努力」「科学技術に関する基盤整備」「研究開発の効率改善」「科学技術関連機関の効率的運営の強化」という方針の基に研究開発費をGNPの0.75%までにすることを目標に、そのための手段として「科学技術研究における能率の改善」「植物及び動物にかかわる品種改良」「省エネ技術開発」「民間における研究の促進」「技術移転の強化」を挙げている。

また科学技術政策の指針となる「国家科学技術発展計画（1997～2006年）」において、「世界市場で競争できる製品生産のための技術の獲得」「生活と社会の質の向上と発展のために諸資源の有効使用」「長期的な科学技術のインフラ強化」を目的として、人材養成、技術普及、研究開発、基礎構造の各方面について実行すべきこと等を規定している。

特に、経済危機により科学技術政策の必要性に対する認識が高まっており、経済が回復基調にある中で産業に関する研究開発強化が重要政策課題の一つになっている。

研究開発支援策

***税制**

・科学技術に関する研究を民間等から請け負う公的又は民営の機関は、基礎研究又は実用性のある研究実行に要した人件費支出の免税措置を認める。

・研究開発設備及び用器具に関する減耗／減価償却

・研究開発用器具、材料に対する免税・減税措置

***財政措置**

・低利融資：科学技術・環境省による民間部門に対して低利貸付金を奨励する「研究開発流動助成金」、国家科学技術開発庁による中小規模の企業に対する「低利貸付金」

・補助金：国家研究委員会事務局による「物理学・数学」「化学・薬学」「農学・生物学」「工学・産業研究分野」への援助金交付、国家科学技術庁による「遺伝子及び生命テクノロジー」「国家金属素材テクノロジー」「国家電子コンピュータ」の3つのセンターに対する援助金、研究援助金事務局による「直接実用化援助金（実表化の可能性を持つものが対象）」等がある。

（注）国家科学技術庁：半官半民の独立機関で、民間の研究開発に対して中心的な役割を担っている。

***その他**

国家科学技術庁による、産業指導サービス、知的財産サービス、テクノロジーマーケット展示会開催、技術の引受・選択能力開発支援、国家研究委員会による共同研究開発促進等がある。また、投資奨励委員会事務局による一定条件の研究開発に対する投資奨励政策がある。

経済危機と科学技術政策

タイの経済危機は主として、企業の非生産的投資による金融・財政問題と国家を支える基盤整備の欠乏という二つの要因に依るとされている。バブル崩壊は1997年から始まり、その時期は第8次計画の初期であったため、第8次計画、政府方針、国家科学技術発展計画に基づく国家科学技術発展に影響を与え、その結果一部の計画が変更された。

研究支援面では、経済危機後資本を有効に活用するため国家研究委員会は国家的研究課題を設定し、危機復興に貢献できる研究方針を推進した。その緊急課題は、民間部門の研究開発投資促進・支援計画と研究開発成果利用計画、の二つである。

このため、科学技術環境省は他の関係機関と協力して経済復興計画を作成し、7つの委員会を任命し対応。科学技術面の人材開発、技術移転能力の向上、競争力強化に役立つ技術研究開発向上、科学技術の基礎構造の発展、科学技術面の運営効率の向上等を強化する方針が示された。

第3章 米国企業のアウトソーシングとアジア展開の特徴

3. 1 米国企業のアウトソーシング製造業でのネットワーク生産の進展

(1) サプライ・チェーン・マネジメントによる効率化

a. デル・モデル

84年の創業から15年で米国市場で最大のシェアをもつパソコン・メーカーにまで成長したデルコンピュータは、超スピード経営を実現する「デル・モデル」で知られる。駆動力は顧客から直接注文を受け、受注生産して生産する「ダイレクト・モデル」である。リードタイムの絶え間ない短縮を情報技術（IT）とネットワークで追求し続けている。インターネットを切り札に、部品調達から生産、物流、販売までを包括的に効率化するSCM（サプライ・チェーン・マネジメント）の抜本的な再構築に取り組んでいる。スピード重視で、新たなソフト開発でも自社開発よりも既存パッケージソフトを活用する。企業内だけでなく取引先とも経営情報をリアルタイムで共有し、業務を大幅に効率化する。部品会社には製品開発情報まで開示し、ネット上で製品の共同開発まで踏み込んでいる。さらに、2000年初めにデルと主要ユーザー企業との間の企業間電子商取引（B to B）を構築し、データ交換や製品の受発注、決済までもネット上で処理することになっている。顧客も大幅な業務効率化やコスト削減につながる。電子商取引ではデルはコンピュータ業界の草分けであり、94年に作った自社サイトを拠点に96年にはインターネットを使ったパソコンの受注販売を開始している。既に売り上げ高の半分近くがネット販売で、1/40ともいわれる大幅な顧客対応コスト削減を実現している。2000年9月にはPCサーバーの大幅値下げ攻勢も開始している。顧客の声を直接聞いて常に最善の仕組みを追求し変化し続けることを経営トップのリーダーシップで堅持している。社内でも決済や従業員評価もネット上でなされる徹底ぶりが報じられ、日常業務の効率化も生産性向上の具体的な成果として誇っている。もっとも現在は、株価低迷もあり自社株購入権の神通力にも陰りがあり、今後の経営が注目されている。

b. サプライ・チェーン・マネジメント（SCM）

サプライ・チェーン・マネジメント（SCM）も、近年の他の重要な経営革新手法と同様に、米国製造業が競争力を向上させた日本を研究して構築したアプローチである。日本の「系列」をモデルに、情報技術を組み込み徹底的な標準化によるベスト・プラクティス指向で発展させたものが、現在の米国製造業のSCMである。米国の製造業は内製化率が高く、90年代に入っても、例えば、日本の自動車メーカーは内製部品は20%以下で残りは外部調達なのに対し、米国の自動車メーカーは50%以上の部品を社内生産していた。完成車の生産台数はほぼ同じでも、GMの従業員数はトヨタ自動車に比べて10倍を必要としていたといわれるが、製品を作る上での生産体制の違いに起因するものである。系列がもつ密接な協力関係は、単なるセツトメーカー（完成品メーカー）と外注先の関係に留まらず、本社工場と分工場の関係にも近い。生産工程での協力が、JIT（Just In Time）や協業的分業生産による人件費抑制等のコスト低減のみならず、製品の設計・開発の同期化を図るコンカレント・エンジニアリングが実現でき、製品競争力の強化につながったこ

とはよく知られている。米国製造業は、日本に学び部品の外部調達率を高める構造改革を進めたが、分業の効率化を実現するには、企業間のコミュニケーションの効率化が前提となる。それを推進したのがネットワーク技術の発展や国レベルでのネットワーク・インフラの整備である。広大な国土での最適な物流を行うロジスティックスの研究等も加えて、「系列」とは異なる、今日の米国製造業のSCMが構築された。

一方、日本の製造業は「系列」を背景としているため、情報技術を取り入れたSCMには大手のセットメーカーをリーダーとして取り組んでいる。情報技術を基盤としたSCMを構築してきた米国製造業の競争力強化に押され、とくに米国市場での競争優位を維持してきた組立ラインの進出による完成品の現地生産や、アジア諸国への生産拠点進出によるコスト削減だけでは、スピードと同期性による効果には対抗できなくなってきた。

「生産」活動が伴う製造業では、完成された商品だけではなく、生産活動に伴う原料・資材・部品の調達及び物流・在庫が発生する。完成品の物流と違い、半製品、仕掛け、工程の要素が有り、それぞれの受け払いの情報が把握できなければ、全体の同期が取れなくなる生産活動の管理は、現在でも製造業の最大の課題である。高度成長期の大量生産から、80年代の海外を含む事業展開による多品種・小ロット・短納期対応を経て、90年代に入り、利益重視・間接費削減のコストダウンや共通化、及び開発期間の短縮を求められてきた製造業は、供給過剰が問題となってきた昨今、部品メーカーにおいても、顧客の需要を把握し、物流・在庫を重視せざるを得なくなってきた。製品自体の品質は良いのが当然で、「良い製品」は差別化されて売れるという状況にはなり難くなってきた。したがって、顧客（それもできるだけ最終顧客）の需要をいち早く把握し、コストの圧力と生産設備、人員、在庫、輸送手段等の資源の制約条件下での事業計画を需要・供給のバランスを取りながらコンカレントに行える仕組みが不可欠になってきた。産業界全体がSCMに取り組み出した環境下では、このネットワークに入らなければ生き残れない。

製品のサプライ・チェーンにおいて重要なコンセプトはコンカレント・エンジニアリングであり、それを構成するソリューションはCAD/CAM/PDMなどである。CADのデータは1アイテム当りのボリュームが大きいいため、従来のネットワーク環境では通信コスト負担が厳しく、スピードと効率向上を阻害する要因だった。インターネットを基盤としたネットワーク・インフラの整備により、CADのデータも、時間・距離・国境を超えて流通・共有することが現実となった。さらに、グローバルな製品のサプライ・チェーンが促進されつつある。

c. 自動車業界に見る業界全体でのSCMへの取り組み

グローバルな製品のサプライ・チェーンの促進は、米国では稼動したANX（Automotive Network eXchange）が象徴している。米国自動車業界では、業界全体がグローバル・メガ・コンペティションに勝ち残るための「協調と競争の原理」による経営再構築に取り組んでいる。企業間取引における業界EDI及びCAD図面のデータ交換手順の標準化や、MAP（Manufacturing Assembly Pilot）と呼ばれるコミュニケーション・プロセスの改善による情報流通を最適化する仕組みの確立により、3次サプライヤーまでの情報流通が従来の1/4に短縮されるなどの取り組みが、その条件を用意したことになる。これらに関連業種業界までもも包含して作る共通ネットワーク基盤がANXである。インターネット技術を活用し、低コストを実現するとともに、セキュリティの確保されたネットワーク・インフラによって、受発注等の企業間取引処理だけではなく、CAD

データの通信が促進され、コンカレント・エンジニアリングを推進する環境が整うこととなり、製品開発のスピード・効率が加速する。また、オープンな共通ネットワーク上に見積り・入札を募集することにより、自動車メーカーにとっては最適なサプライヤーの選択が可能となり、サプライヤー側は公正な競争によるビジネス・チャンスが拡大する。ANXによる生産コスト削減効果は、米国自動車業界全体で2兆700億円と試算されており、完成車1台当りでは、工場出荷価格の1割に相当するコストダウンが実現できるとされている。このANXには、欧州、日本も追随している。

(2) eビジネスの浸透と生産工程の軽量化

米国産業では、全ての業務プロセスをIT（情報技術）で貫通するeビジネスが席卷していることが報じられている。インターネットを使った新サービスのサービスだけではなく、製造業では付加価値の源泉だった生産工程の軽量化が加速している。設計・開発や顧客対応の仕組みをITで重装備したeマニュファクチャリングとファブレス化である。

米国は、流動性の高い労働事情でスキルやノウハウが継承、向上していかない構造的問題に対して、CAD（コンピュータによる設計）などで汎用的なパッケージソフトを採用して対応してきた。90年代に入って、カスタマイズソフトが安価な汎用ソフトで代用可能になったことで一気に展開が広がった。その使い方の戦略性が問題になってきた。また設計データの高速伝送システムで立地条件を越えた製造が当然となり、データ加工がビジネスになる一方で、スピードが最重要になっている。

さらに、資材調達や開発、製造など、機能ごとに多様な情報技術が活用され、業務プロセス全体をネットをもとに組み替えて新しいビジネスモデルを作ることが競争力の源泉となってきた。上述のパソコン業界のデルコンピュータのように注文と同時に生産を始める“デル・モデル”が各業態で、部品構造がより複雑な自動車のようなところでも、模索され始めている。モジュール生産システムもその中から生まれてきた。部品サプライヤーが車をモジュールごとに製造して完成者工場を組み立てる方式であるが、対応できるサプライヤーは限定され、アSEMBラーとの力関係も変えていく大きな転換が起こりつつある。

さらにネットの活用で、本質的には、顧客に対する訴求ポイントが不透明な成熟市場で、メーカー側で想定する品質ではなく、客が本当に求める品質を徹底的に追求して無駄なコストを減らし新たな価値開発を行うことの展望が出ている。この点では米国でも模索は始まったばかりであり、もともとモノづくりの匠の技術に優れた日本が有効活用できる可能性もある。

最近も、典型的なハイ・パフォーマンス企業が報じられている。

モーターや制御機器の製造を主力とする機械大手のエマソン・エレクトリックは、世界中に移転した工場とネットが利益の源泉である。毎年約2,000の作業工程が各工場間を移動している。イントラネットでコンカレント（同時並行）に設計、試作、品質解析、生産管理を進め、世界中の工場群を統括している。これは、デジタル・コンカレント・エンジニアリングと呼ばれる、設計や製造、販売など部門の垣根を越えて担当者がネット上で開発作業を同時並行する仕組みの上になっている。

なお、コダックをはじめ、小売り大手のウォルマートや日用品大手のプロクター・アンド・ギャンブルなどが実

験に取り組んでいるCPFR（コラボレーティブ・プランニング・フォーキャスティング・アンド・リプレニッシュメント）もイノベータティブである。これは、メーカーや小売り、物流企業が共同で販売促進を企画し、需要を予測して商品をタイムリーに納入し、極限まで在庫も圧縮する仕組みである。単なる需要情報を越えた協業システムであり、サプライチェーンに比べ高い精度の需要予測をメーカーも立てられ、商品供給も迅速化する効果がある。関連ソフトの開発も活発化している。

（３）新たな段階を迎えるアウトソーシング

a. 米国でのアウトソーシングの活用

米国経済は現在不透明感を増しているが、90年代に低迷を続けた日本経済に対し、アメリカ経済はニューエコノミーを喧伝しつつ繁栄を謳歌していた。米国の成功の理由として注目されるものが、企業経営におけるアウトソーシングの活用である。アウトソーシングが時代動向に適合した戦略手法である背景は、第1章で扱った。

米国の失業率は低下したが、むしろ業績のよい企業は人員削減を続けていることが知られる。トップ500企業の雇用者数は、この10年で約25%削減されたといわれる（フォーチュン）。企業組織をスリム化させることで、変化に即応できる体制を整え、大競争の時代に立ち向かっているといえる。米国企業は、人員削減を、社内コスト削減のためだけに行ってきたのではない。経営をスリム化したうえで、国際競争力の回復と確保、そのための経営革新を行ってきた。コアコンピタンスを選択・設定し特化して、その分野での競争力確保に物的・人的資本を集中させてきた。その過程で、企業活動を支える分野から不得意分野をはじめ選択し、外部の専門企業に委託するアウトソーシングが広く活用され、結果として人員が減少し、コスト削減が達成されてきた。労働市場に放出された人材は、その多くが人材派遣業に吸収されたといわれる。

米国で競争力確保の手段として活用されたアウトソーシングは、日本での利用携帯はやや視点が異なっている。日本では景気低迷、低収益の下で、社内コスト削減を目的としたアウトソーシングが多かった。確かに、業務の一部を外部企業へ委託すれば、受けた企業はスケールメリットを働かせ、結果的に委託企業にとってのコスト削減効果が享受されている（旧通商産業省委託『アウトソーシングのコスト削減効果分析調査報告書』98年3月富士通総合研究所）。もちろん、コスト削減のみを期待する安易なアウトソーシングは、受託企業、委託企業双方で多くの問題が発生し、知的資産の散逸や追加的コストの発生が危惧されることもある。あくまでもコスト削減は結果であり、これを目的とした活用は危険ともいえる。

b. 新しいアウトソーシングの段階へ

日米のアウトソーシング利用の現状には基本的違いがあるが、米国でも80年代には、日本の利用目的と大差はなかったといわれる。相違はアウトソーシング利用の発展段階の違いと捉えることもできる。しかし、この相違は、企業活力に与える影響からみれば、極めて大きい。

日本では、とりあえず切り離せる業務（Push-Out）を中心としたアウトソーシングという発想で検討され、インハウスとアウトソーシングするものとの業務の見直しを抜本的に行わずにアウトソーシングすることが多い。例

えば、情報システム分野では、社内システムの見直しは行われず、オペレーション業務のみをアウトソーシングする事例が多い。この場合には、しばしば委託者は人材派遣の延長という意識しかなく、受託側も企業固有のシステムを受けて運営しなければならず、独自システムに習熟するための追加的コストが発生する。また、複数企業から受注しても、規模の経済性を享受することができない。これに対して近年の米国では、新事業に乗り出す際にも、外部の専門ノウハウを獲得しよう（Buy-In）として、アウトソーシングを活用するケースもみられる。これに対して、日本の活用は、いまだコスト削減中心のPush-Out型に留まり、アウトソーシングの可能性を活かしきっていない。

今後のアウトソーシング利用にあたっては、事業・業務の見直しを行う中で、視点を広げることが重要となる。すなわち、委託・受託企業双方のもつ専門性を利用しあう形（コンソーシング）である。その過程では、部門の一部をアウトソーシングするのではなく、部門そのものをアウトソーシングする形が増大するものと考えられる（大石邦弘、FRI Review 98.10）。

（４）ファブレスを舞台にした成長—半導体の事例

半導体の歴史は激烈な技術革新の続く企業の興亡が繰り返されている。90年代に世界の盟主に返り咲いた米国半導体産業の巨人たちは、永遠の「盛者」を目指した大胆な経営改革を続けている。ここではファブレスという主体をめぐって、新技術を創造する半導体企業がとめどもなく生まれる米国のダイナミズムが表れているので、その事例を紹介する。

80年代に日本の大攻勢で転落したかに見えた米国であるが、90年代にはインテルなどが劇的に復活した。それは強さの一面面に過ぎない。90年代の米国には年商1兆5千億円という、技術の専門性と独創性の2つを備える巨大な“メーカー”が生まれていた。自らは工場を持たず、通信やデジタル家電向けなどの半導体設計で世界をリードするファブレス企業群である。米国で上場する大手30社の株式の時価発行総額は4兆円規模に達している（日本経済新聞 99.9.27）。

ASIC（特定用途向けIC）分野で日本メーカーを駆逐するザイリンクスとアルテラ、高速通信用の半導体製品で新技術を生み出すブロードコム、ASICの受注からサンプル出荷までにかかる時間を大幅に短縮、快進撃を続けるクイックロジックなど、米国のファブレスは88年に約50社だったが400社に急増している。野心に燃える技術者が新たなビジネスに果敢に挑戦し、VCが資金、ファウンドリーが製品、優れた大学教育システムが人材を提供するファブレス業界は米国の強さの象徴である。インテルやTIなどの大手がファブレスとの融合を急速に進めており、それが新たな活力ともなっている。インテルは99年に通信機器向け半導体のファブレス大手のレベルワンを22億ドルで買収したが、その他にも有力なファブレスや半導体ソフト企業などを買収した。21世紀に向けて通信などの高成長分野に一段と集中し、覇権を握るためには未来技術の宝庫であるファブレスを胎内に取り込み、自らの成長の糧にすることが欠かせない。大手は設計ベンチャーへの出資も積極化しており、それが新たな有力ファブレスになる仕組みである。

半導体産業の強さは一つ一つの企業の興亡に左右されるものではなく、絶えず新しい時代の勝者を生み出せるかどうかといえる。80年代後半に世界の頂点を極めた日本も栄光の時代は長くは続かなかった。新

しい技術の潮流を生み出す担い手をはぐくむ母胎がなければ、一つの成功もつかの間の夢で終わってしまう。

3. 2 米国エレクトロニクス産業の復活の背景

エレクトロニクス産業では、「国際化」、「規制緩和（市場メカニズムの拡大）」、「デジタル化経済の拡大」という構造的変化が進行する中で、米国企業が目覚ましい復活をとげ、技術的優位を実現している。エレクトロニクス産業の競争力構造に重大な影響を与えたもう一つの変化を、カリフォルニア大学バークレー校のS.コーエン&M. ボーラス教授は、大略、次のように指摘している（FRI Review 1998.10 など）。

a. 製品の変化：“open-but-owned” 型製品の台頭

表 3.1 EMS 業界トップ 20 社

（単位：売上高は 100 万ドル）

No. 社名	本社	99 年売上高	従業員数	工場数
1 ソレクトロン	カリフォルニア州	8,948	40,000	23
2 SCI システムズ	アラバマ州	7,224	30,250	37
3 セレスチカ	カナダ	5,297	19,000	30
4 フレクストロニクス	カリフォルニア州	3,219	18,000	40
5 ジェイビル・サーキット	フロリダ州	2,433	15,000	22
6 ナットステール・エレクトロニクス	シンガポール	1,824	10,000	12
7 サイネックス	カリフォルニア州	1,482	832	5
8 サンミナ	カリフォルニア州	1,217	7,220	34
9 エンバーサル・サイエティック・インダストリアル	台湾	932	3,980	7
10 DIIG ^(*)	コロラド州	923	8,000	12
11 MSL	マサチューセッツ州	921	5,000	7
12 ベンチマーク・エレクトロニクス	テキサス州	878	7,000	14
13 C-MAC インダストリーズ	カナダ	791	6,000	38
14 エルコテック	フィンランド	752	6,147	10
15 ACT マニュファクチャリング	マサチューセッツ州	696	2,950	7
16 ベンチャー・マニュファクチャリング	シンガポール	576	3,200	10
17 JIT ホールディングズ ^(*)	シンガポール	529	4,150	6
18 プレクサス	ウィスコンシン州	492	3,000	11
19 SMTC マニュファクチャリング	カナダ	452	3,000	9
20 MCMS	アイダホ州	441	2,200	5

(*) 2000 年 4 月にフレクストロニクスが買収

（出所：Manufacturing Marketing Insider 誌）

第1に、製品の性格の変化である。ネットワークを前提とした市場製品の性質の変化である。これは基本仕様、とくにインタフェースの技術仕様がオープンで、かつ知的所有権として所有されている“open-but-owned”型と呼ばれる製品群である。デファクト・スタンダードをめぐる争いから一種の連合指向をもたらす一方で、いわゆる「ネットワークの外部性」の結果として代替システムへの移行が困難になる(lock-in効果)。このlock-in効果の維持がしばしば現実的には困難なために、基本技術仕様の水準を追加的連続的に高める戦略が重視される。

一方で、エレクトロニクス分野では、OS、アプリケーション・ソフト、基礎的部品技術等が、各々独立してデファクト・スタンダードを争ってきた。この結果、垂直的生産システムをもつ企業の支配力が弱まり、各技術分野で、基礎的技術仕様をもつ企業の支配力が強くなってきた。加えて、こうした「スペシャリスト」企業は、IBMを代表とする垂直的生産システムを有する企業の常套手段である拡大路線を採らない。現在企業は、将来の基本技術仕様の発展によって得られる利益の総体に対するマーケットシェアを考えて行動するようになっている。

こうした製品の性格の変化は対応する企業戦略の変化を生み出した。この企業戦略の変化は、産業のパワー・バランスを、垂直統合型企业から、いわゆる「ウintelizm (Wintelism)」の新世代の企業群に有利なものとした。

b. 生産システムの変化ーアジアを舞台にしたネットワーク型生産システムへの移行

第2に、垂直的生産システムからネットワーク的生産システムへという生産システムの変化である。その中でも国際的なネットワーク的生産システムは“Cross-national Production Network(CPN)”と呼ばれるが、米国企業のアジアでの展開が注目される。日本企業に部品や製造技術等について依存せずに、アジアで“CPN”を展開させ、日本企業に対抗可能な生産基盤を確立した。米国のエレクトロニクス企業は、コンシューマー・エレクトロニクス分野の轍を踏まなかった。この変化への対応方向が、本報告書の焦点である。

企業の研究開発、製品開発、製造、販売、アフターセールス・サービス等に至るバリュー・チェーンの全てを何らかの形で実施していたのが垂直的生産システム企業であり、従来はIBMのように支配的な企業形態であった。ところが米国エレクトロニクス企業では、垂直的生産システム形成を回避し、新しい製品・ソフトウェアの規格設定に注力し、デファクト・スタンダードを巡って競争し、連合(coalition)形成を追求する企業が急成長してきた。

例えば、デル・コンピュータは「デル・モデル」と呼ばれ急速に影響を広げたビジネス・モデルを創出した。デル・コンピュータは、ユーザーから注文をインターネットを介して代理店を通さずに直接受けているが、支配するバリュー・チェーンは唯一、販売チャネルだけである。その他は全て他の企業が支配的である。従来なら実施すべき研究開発はマイクロソフト社やインテル社が実施し、重要部品の供給は日本企業やその他アジア諸国の企業が担当した。そして製品の輸送はフェデラル・エクスプレス社が担当した。このデル・モデルを可能としている企業がソレクtronなどのEMS企業である。

こうした成長企業は、ネットワーク的生産システムでは、アジア企業に注目したCPNの確立に努力し、低コストでグローバル展開ができた。つまり、現地企業との連携により、巨大な投資を回避しつつ、グローバルな

意味で拠点を世界各地に築くことが可能となった。同時に、コンシューマー・エレクトロニクス分野とは異なり、日本企業に独占的な優位を許すことなく、アメリカ企業にとっての供給基盤を確立できたとされる。

以上のネットワーク型生産システム（CPN）は、15年かけて構築されてきた。とくにアジアという特殊で異なった発展段階が並存する地域では、米国企業の“Asian Production Network”が実現できた。米国企業はアジアの多様性を効率的に利用してCPNを確立した。ここでは生産システムの進化もあり、単純な低賃金、低輸送費を追求した結果ではなく、技術などを統合する「ネットワークの経済」とも呼べる経済合理性が駆動力となっている。

c. 需要構造の変化

第3に、需要構造の変化である。ネットワーク化された情報システムに移行した需要構造の変化も加わり、米国企業は有利なポジションについた。すなわち通信事業の規制緩和が米国を、需要構造を先導する市場に変え、その市場が技術的仕様の決定に関して圧倒的な支配力を持つことになり、結果としてグローバル・スタンダードを米国企業がリードすることになった。しかも、米国企業は、日本企業の行動様式の学習の中から情報技術を取り込む形で対日競争力を貯えてきたことにも留意すべきである。

3. 3 e マニュファクチャリングと契約製造企業 EMS の台頭

(1) e マニュファクチャリング

70年代から80年代にかけて日本の製造業は、旺盛な設備投資と現場のボトムアップの改善活動に支えられて、品質や生産性で優位にあった。しかし今日、大胆に組織やプロセスの構造改革を図る米国企業に大きな差をつけられたと評価されている。米国企業の戦略ツールに、アウトソーシングとも関連するが、IT革命の積極導入がある。

米国産業では、全ての業務プロセスをITで貫通するe-ビジネスが席卷した。インターネットを活用した新しいサービスだけでない。製造業では付加価値の源泉だった生産工程の軽量化が加速している。柔軟に姿を変える「超軽量工場」を支えるのが、設計・開発や顧客対応の仕組みをIT導入で革新するe-マニュファクチャリングである。

アウトソーシングは、前述のエレクトロニクス産業のように、産業構造を垂直統合型（事業に必要な資源を自社内に整備する方式）から水平分業型（事業に必要な資源を領域別に専門化したアウトソーシング企業に委託する方式）にシフトさせている。

アウトソーシング業界の発達は、ベンチャー企業の輩出を助け、またシスコ・システムズのようなバーチャル企業モデルの恩恵を受ける大企業の発展を支えている。シスコは顧客注文の97%がインターネット経由であるが、その対応プロセスは社内にはほとんどない。対応する世界中の34工場のうち自社工場は2カ所だけであり、ここでは技術的に複雑で設計変更が多い、いわゆるハイエンド製品を担当する。それ以外は、EMS企業が部品調達から製造、出荷まで担っているが、品質・納期とも社内工場並といわれる。このため在庫

は45%減、リードタイムは75%減、新製品の市場化までの期間は25%減となったとされる。

さらに進んで、米国では90年代前半から、次々と新製品が出るIC（集積回路）分野などで設計・開発だけに集中するファブレス（無工場）メーカーが台頭し始め、台湾メーカーなどに製造委託する事例が増えてきた。その一方で、ファブレスと対になるものとして、ファブリケーション（組み立て）を持つ強みが変幻自在なレボリューション（革命）を起こすモノづくり「ファブリューション」がもう一つの潮流になりつつある。

（2）EMS（エレクトロニクス・マニュファクチャリング・サービス）

a. 米国育ちのEMS（エレクトロニクス・マニュファクチャリング・サービス）

上記のアウトソーシングの受け皿企業が発展した形態に「EMS（エレクトロニクス・マニュファクチャリング・サービス：契約製造企業）」と呼ばれるものがある。米国で80年前後から発祥し、十数年前からモノづくりの成長ビジネスとして定着しはじめ、90年代の後半から急成長しているものである。EMS企業は、コンピュータ製品・周辺機器、通信機器、携帯電話、セットトップ・ボックスなどのエレクトロニクス製品を、完成品メーカーに対してOEM（相手先ブランドによる受託生産）供給する。しかし、従来の下請け型企业と異なり、複数の完成品メーカーと取り引きしつつも、製造開始直前までの設計変更を受けるなどの柔軟性をもつ。90年代前半に、米国では製造アウトソーシング業界が、単純な組み立て作業だけを受け持つ労働集約的な下請け（当初はCM；Contract Manufacturingと呼ばれた）から、エレクトロニクス・メーカーと対等な戦略的パートナーとしてEMSに生まれ変わってきた。関係は垂直・上下ではなく、水平・対等である。現在では、製造に加えて、設計や物流、販売、アフターサービスなど顧客サービスを提供するように発展しているところもある（Business Week 2000 May 29 など）。製品に関するサービスの提供に特化したアウトソーシング・ビジネスの一種である。

もちろん、ここにはSCM（サプライ・チェーン・マネジメント）に代表される、企業間の緊密な連携関係がインターネットにより実現されている環境がある。完成品メーカーから納入業者まで、受発注情報、設計情報が共有されているからこそ、可能となったのである。

EMSは90年代に入り、情報・通信機器の分野を中心に急成長している。その背景には、1) 製品価格の継続的な下落によるハードの利益率の低下と、2) 商品サイクルが短く、市場変動の激しい情報・通信機器市場の世界的な拡大がある。完成品メーカーは経営資源を企画・開発等に集中して成長市場への新製品の投入を速めると同時に、在庫負担や設備投資に係わるリスクを回避する手段として、生産の外注化を進めた。その受け皿となったEMS企業は複数の顧客を持つことで、市場変動に強く、コスト競争力のある生産者として存在感を増している。

米国ソレクトロン（カリフォルニア州）などの新興のEMS専業メーカーが、IBMなどの工場を従業員ごと買収し、生産規模と技術力を高めている。業界最大手である米国ソレクトロンSolelectron社は、優れた品質を実現した機関に与えられるマルコム・ボルドリッジ賞を、91年と97年の2回受賞している（87年の同賞設置以降で複数回の受賞は初めてである）。既に、米国のエレクトロニクス業界の製造原価の25%を製造アウトソーシングが占めており、10年後には80%以上になるという予測もある。2003年の世界のEMS市場規模は

1999年の2倍超の1490億ドル（18兆円強）に拡大するという試算もある。

米国で出現したこのビジネスが製造業を大きく変えようとしている。デル・コンピュータをはじめ、IBM、ヒューレット・パッカード、シスコ・システムズ、エリクソンなど、あらゆる完成品メーカーが既にこれを利用しており、自社の製造設備をEMSに売却し製造を委託する傾向が強まっている。完成品メーカーは自社製造ではEMSを活用するライバル企業に対応できない状況が生まれてきている。

従来は委託生産に消極的であった日本企業も委託生産を拡大しており、EMS市場は今後も拡大が見込まれる。また、後述のように、日本の大手エレクトロニクス・メーカーの間でも、遅ればせながらEMSビジネスに参入したり、海外のEMS企業に自社工場を売却する動きも出てきた。

b. EMS企業の強みと発展

米国のエレクトロニクス産業でのアウトソーシングは時間をかけて育ってきた。しかし、コンピュータ業界で十数年かけて到達したアウトソーシング率は、携帯電話その他の通信システム製造では、ここ数年で達成されそうな勢いがある。今や、エレクトロニクス・メーカーの製造だけでなく、設計、部品調達、サプライチェーン管理、物流、さらには製品修理に至るまで、物理的製品に伴うあらゆる業務を請け負うことができるまでに成長した。

EMS企業の強みは、主に内製部門に対するコスト競争力にある。これは、1) 標準化を活用した規模の利点、2) 需要変動を吸収し需要の安定成長と高い稼働率を生む顧客の多様性の利点、3) 製造に関連する全要素をEMS企業全体で標準化できる利点（これは一方では部品メーカーに対する交渉力を支える利点ともなる）、4) 巨大EMS企業が展開した大消費地に近く人件費が安い工場立地の利点などによる。また、製品の市場化期間の短縮が重要となっており、大手EMSは、工場とは別に顧客メーカーの開発部門が集中しているシリコンバレーやリサーチトライアングル、ダラスなどに新製品導入センターを設置している。また、大手エレクトロニクス・メーカーではグローバルな製造体制が事業展開上極めて重要になり、そのサポートも大手EMS企業の強みの源泉である。これらの利点や蓄積を生かして大手EMSはベンチャー企業に対するトータル・サポート機能を供与できる不可欠な存在になりつつある。

さらに薄利多売の厳しい利益構造を介して、徹底した企業競争力の向上のための経営革新、ベストプラクティスを追求したマネジメント革新、顧客分散によるリスク低減策などを旺盛に行う企業家精神に満ちた業界であることが、現在の成長をもたらしたといっても良い。間接費用の縮小努力や標準化の追求の姿勢は一つの業界文化ともなっている。

EMS業界の発展の契機となったのは、80年代後半に電子回路の組み立てにSMT（表面実装技術）と呼ばれる新しい生産技術が導入されたことにある。SMTはプリント基板上に遙かに多数の部品を詰め込むことを可能にし、かつ自動化率を大幅に引き上げた。しかし一方で設備投資は遙かに膨大になり、中堅メーカーは独自の生産ラインを持てず、SMTの開発・製造をEMS企業に委託するようになった。高度化する技術は徐々に巨大メーカーとEMS企業の世界のものとなってきた。

加えて、同時期に、パソコン開発に後れを取ったIBMの特別チームが大胆なアウトソーシング戦略を採用したこともある。下請けにすぎなかったEMS企業が力をつけ、以降エレクトロニクス・メーカーから製造をア

アウトソーシングする機運と実績が積み重ねられた。EMSの業務範囲は、当初のプリント基板の手挿入業務から、徐々に、製造、出荷、製品修理の受託、一方で設計、生産管理などのサポート業務に拡大した。このプリント基板組み立て工程という共通項目があることが、エレクトロニクス産業を母体に製造アウトソーシングの受け皿EMSが成長した背景にある。つまり、EMS産業は、株主価値の増大を重視するグローバルスタンダード経営やニューエコノミー企業の経営戦略のうえで、重要な位置を占めており、有望な成長産業になりつつあるといわれる。

さらに、高まった技術力をベースに、90年代には、ボックス・ビルトという装置組み立てから検査までの受注、さらにEMS企業の工場からエンドユーザーへの直接出荷形態までが展開することとなった。最近では、個々の製品ではなく、顧客の特定の製品群の特性や販売戦略をふまえた最適なサプライチェーン全体の構築といった高度サービスまでが提供されている。ここでは、メーカーは、製品企画、製品開発、マーケティング、販売といった領域に機能が限定されており、全く新しい棲み分けが始まっているともいえる。

EMSはさらに効率化を指向している。99年には、コンピュータ周辺機器販売とパソコン・ワークステーション製造を手がける米国シネックスは、顧客だけでなく、競合他社ともEDI（電子データ交換）システムを接続して在庫がない場合に他社の倉庫から即日出荷する体制をとっている。周辺機器が値崩れが早いので大量在庫リスクを回避することと、オンデマンド供給を両立させる「ワン・ソース・サービス」を構築した。同社は台湾のパソコン大手マイトックの米国グループ企業であるが、ヒューレット・パカードやコンパックなど複数のメーカーから製造を請け負うEMSで急成長している。一方、部品に信号処理ボードを組み込み、ファブレス企業が生産委託先のEMS企業のライン稼働状況をパソコン上で監視しつつ、生産管理するシステムも、信号処理サーバー開発VBのエレクトロニクス・フォー・イメージング社により可能になった。生産に特化したEMS、生産部門を切り離して開発に経営資源を集中するファブレス、いずれもスピードと効率を徹底的に追及するIT（情報技術）が生み出したビジネスである。

c. EMS企業の大規模化とニッチ化

EMS市場の拡大に伴い、新規参入者が増大し、EMS企業間の競争も激しさを増している。その中で、大口の契約が大手のEMS企業に集中するという傾向が強まってきた。設計、ロジスティックスといった機能とグローバルな生産ネットワークを備えた大手EMS企業の優位性が高まったためである。EMS企業が規模の経済性を最大限に発揮するには、生産プロセスや使用部品の標準化が重要になる。そのためには、製造のみならず、設計、資材調達のプロセスから受託する必要がある。かつ、価格や市場変動のリスクを軽減するためには、納期の短縮が不可欠であり、主要市場に近接した生産拠点と量産に適した低コスト生産拠点をうまく組み合わせて活用していくことが求められるという事情がある。既存のエレクトロニクス家電メーカーなどから生産設備を相次いで買収して注目を浴びたEMS同士でも、熾烈な競争が始まっている。

この中で、EMS企業間でも、近年、激しいM&A合戦が繰り広げられている（日本経済新聞01.2.4など）。シンガポール系のナットスティー爾・エレクトロニクスは、2000年2月に日本のNECから米国の通信機器工場を2億ドルで買収して注目されたが、9ヶ月後に米国EMS大手ソレクtronに24億円で買収された。同じくシンガポール系のJITホールディングスも、2000年11月ナスダックに公開しているフレクストロニクスに買収

された。

生産コストに集中した競争力が勝負だけに、規模の利益を追求する同業他社との間のM&Aが活発化してきたといえる。最近になって米国のITブームが冷却し、その景気が後退したことも、EMSを買収合戦に駆り立てている。台湾や香港では近年EMSの設備増強が続いてきたので、供給過剰が顕在化して、生き残りをかけて勝ち組に入ろうと同業他社を力づくで飲み込む風潮が強い。

EMS企業の企業が成長し、大手エレクトロニクス・メーカーの規模に接近してくると、部品調達に関して有利な条件を獲得する場合も出てくる。急速に成長の上位集中が起こってきている。エレクトロニクス・メーカーも各部門が個別にEMS企業何十社に発注するよりも、集中して発注することが効率的なこともあり、EMSの選択と集中が進みつつある。

一方で、EMS業界では、これらメガEMS企業に関心を示さない特定領域に特化したり、特定製品で際だった技術力をもつ、いわばニッチEMSも活路の一つである。

これらが生産技術のさらなる高度化多様化の動向の中で、どう対応していくのか注目される局面を迎えつつある。

なお、M&AでアジアEMSが守勢な理由は、資本力が弱いことであり、多機能化しつつある受託体制の整備にも問題がある。同時に、部品調達力もアジアEMSの弱点ともいえる。自己調達ルートが確立していれば受注元から支給もしくは指定される部品は少なくなるが、アジアEMSは自己調達率は極めて低いのが現状である。半導体の逼迫などで商機を逃すケースも近年みられた。しかしアジアでも人脈や国際化、製品選択の工夫などで対抗しようとの機運が出てきたことが報じられている。とくに独特の商慣行に対応するノウハウを持ち人脈も豊富な台湾勢には展望がみえる。また、シンガポールのオムニ・インダストリーズは、資本充実のためにナスダックへの株式公開も視野に入れながら、米国物流企業と業務提携し製品配送サービスに参入する。

3. 4 アジアへのEMSの展開と日本進出

(1) アジアEMS時代

EMS企業はもともと、メーカーの工場売却と同時にその工場での生産分を受託するという方式で急速に生産規模を拡大してきた。生産ネットワーク強化のためにEMS企業を買収する工場数は年々、増加しており、99年には100件を超えた。特に、米系EMS企業のアジアにおける生産能力の拡充が目立つ。また、ここ数年来、EMS企業間の拠点拡充競争の影響がアジアでも顕在化している。

99年の売上高をベースにしたEMS企業のランキングをみると、ベスト10の多くは米国企業であるが、シンガポール企業2社と台湾企業1社も顔を出している。アジアEMS企業の代表事例4社を紹介した日本経済産業新聞の連載記事を、本報告書の資料に付した。

こうした動きを受けて、アジアに「EMS時代」が到来したことが報道されている（日本経済新聞01.2.3-4など）。欧米の電子機器メーカーの比較的労働集約的な製品は、東アジアのEMSメーカーが製造受託す

ることが急速に拡大している。欧米のパソコン、携帯電話メーカーは自らは工場を持たず、研究開発に特化して、モノづくりはEMSに特化している。その受け皿がアジアのEMSである。

東南アジアで最初のEMS工場はシンガポールであったとされるが、その後当地の人件費の高騰などからマレーシアに拠点がシフトし一大集積地を形成するようになった（稲垣公夫『EMS戦略』ダイヤモンド社2001）。台湾もODMと提携・融合をしつつ成長し、最近タイやインドネシアにも進出が報じられている。シンガポールと台湾の例を示す。

a. シンガポール

近年のEMS企業の大規模化は、シンガポールの同業界にも影響を及ぼしている。シンガポールには同国に立地する多国籍企業の下請けから発展した多数のEMS企業が存在する。しかし、上記の2社を除くと売上高が1億ドルを超えるのは5社であり、ほとんどが小規模企業である。2000年8月、EMS企業としては世界17位、国内4位のJITホールディングスをフレクトロニクスが買収した。フレクトロニクスは地場の大手射出成型メーカーも傘下に納めており、シンガポールを足場にアジアの生産能力強化を図っている。

規模ではフレクトロニクスに次ぐナツスチール・エレクトロニクスは、準公営鉄鋼メーカーの子会社であったが、株式の50.3%がソレクトロンに売却された。シンガポールのEMS業界は、買収されるか、買収するかという変動の時期を迎えた模様である。このナツスチール・エレクトロニクス社は、自社ブランドのパソコンはいっさい生産せず、アップルのiMacの独占受託をはじめ、ヒューレット・パッカード、IBM、コンパック、インテルの仕事を請け負ってきた。

b. 台湾

EMS企業ベスト10には1社しか登場していないが、台湾企業は製造のアウトソーシングにおいて大きな役割を果たしている。

当初は多くの台湾企業は、繊維やスポーツシューズ、電機などの分野で、米国メーカー向けに相手先ブランドで生産するOEM（相手先ブランドによる生産）ビジネスで成長してきた。台湾はパソコンの一大生産国であるが、製品の多くはOEMの形態で世界の主要メーカーに供給されている。台湾企業におけるOEM経験の蓄積と他社との差別化の必要性の増大によって、設計プロセスから受託するODM（自社設計による生産；オリジナル・デザイン・マニファクチャラー）も増えている。エイサーのような台湾企業に多いODMは、パソコンなどの設計を自ら企画・設計してパソコン・メーカーに持ち込む事業形態である。ODM企業はパソコンやネットワーク機器などの特定製品分野で特化して成長し、低価格が重視される普及品については調達するケースが多い。

しかし、90年代に「多数のメーカーから生産を請け負うことで大量生産体制を組み安価にモノを作る」ビジネスモデルで急速に台頭した米国EMS企業に対抗するため、台湾でEMSが台頭し、急拡大している。ODMは、設計段階からの請負と自社ブランド販売を行うことがEMSと異なる。基本的考え方の異なる台湾育ちのODMと米国育ちのEMSが、EMSの設計機能の向上や顧客の共通性から徐々に接近し、EMSがODMと提携するなど動きをみせてきたことも最近の特徴である。それに加えて、ロジスティックスの請負の広

まりにより、ODMメーカーの業務内容は自社ブランド製品の生産がある点を除くと、EMSに限りなく近づいており、EMSを名乗るメーカーも増加している。パソコン市場の成熟化を睨んで、台湾企業は製品構成を変えていく必要に迫られており、それが台湾企業のEMS化を促進することになるとみられる。

台湾企業と米系EMSとの間の提携も活発化している。パソコンメーカーのマイタックは92年にサイネックス（米）に出資し、同社のBTO（受注生産）センターを活用してグローバルな生産ネットワークを築いた。同じくパソコンメーカーのFICは広州に大規模な生産法人を設立し、EMS業務を開始したが、SCI（米）が生産能力を確保するために、現地の生産法人に出資している。FICは中国における生産力不足を解消したいソレクトロンとの提携も検討している。

（２）米国－アジアの水平分業時代－半導体ファウンドリーの事例

前章で扱ったようにアジアの生産・技術力が急上昇するに伴って、国際的な分業体制の構図が大きく変容している。しかも、その中に米国製造業とアジアの生産・技術力の新たな結びつきの事例が極めて多数見出すことができる。半導体産業での最先端技術をめぐる米国大手－アジアファウンドリー連合の事例を紹介する。

半導体産業でも「アジアのファウンドリーが日本に追いつくには10年かかる」と言われた時期があった。しかし、最先端の量産技術でもアジアが先行するケースが増え、日本を脅かす存在になりつつある。

その例をシンガポールのチャータード・セミコンダクターに見ることができる。同社はファウンドリーの下請け企業のイメージを打破する“スーパーファウンドリー”と称されている。99年には、総事業費3千億円強という2つの巨大工場を稼働させた。生産能力はウェハー換算で合計6万枚程度に達する。国内大手5社合計の最先端ラインを上回りそうな規模だが、日本の半導体大手からの注文を含め、注文を捌ききれないという（日本経済新聞99.5.27）。

この2つの工場は出資メンバーと生産技術がまったく異なっている。一つは米国ルーセント・テクノロジーズが資金と技術を提供する合弁工場であり、日本に先行して最小線幅0.18マイクロメートルクラスの量産を開始した。もう一つは米国ヒューレット・パカード（HP）が資金を分担し、生産はモトローラが銅配線を含めた0.15マイクロメートルの微細加工技術を供与している。日本では2001年からの技術が既に動き出すことになった。

これまで台湾のTSMCなどのファウンドリー大手企業は独立色が強かったが、チャータードは米国大手と資金、技術の両面で密接に手を組む戦略をとっている。ルーセントなどは設備投資負担を軽減できる。チャータードも新工場の半分程度は自社で活用でき、事業飛躍の糧となる。米国－アジアの本格的な水平分業時代の幕開けを意味するが、日本にとって脅威となっている。日本メーカーは95年から北米市場などでASIC（特定用途向けIC）などの受注をファウンドリーに相次いで奪われた。次世代の量産技術は簡単ではないのでファウンドリーの急成長も壁にあたるともみられていたが、米国大手がアジアとの水平分業を積極化し始めたことで、情勢は急変してきた。

日本でも東芝がアジアメーカーとの水平分業の構築に動き始めた。台湾のワールドワイド・セミコンダクター・

マニファクチャリング社 (WSMC) に対して0.15マイクロまでのロジック系の先端量産技術までも供与した。技術の流出を気にしつつも、キャッシュフローとコストを考えれば不可避な選択とされる。しかし、日本企業は「量産技術にこそ付加価値がある」という固定観念から抜け出せないかのようである。国内に過剰設備、過剰人員を抱えている状況にあつては、ファウンドリーの活用などの提起が困難とされる。しかし、もはや低コストを武器にするファウンドリーへの流れは避けて通れない。

日本の製造業はアジアとの水平分業に先行的に取り組んできたといえる。しかし、半導体だけ「生産技術は生命線。敵に塩を送るわけにはいかない」という論理がいつまで通用するのか危惧される。決断が遅れれば、米国大手－アジアファウンドリー連合に外堀を埋め尽くされ、一段と厳しい状況に追い込まれかねない。

(3) 中国の急成長とEMS

a. 中国の急速な台頭

アジア経済は日本、アジア新興工業経済地域 (NIES)、ASEANの順に“離陸”してきたが、“後ろからきた”中国が急速に追い上げ、外資を集めている。中国への直接投資が急増し、ASEANの比重が低下している。中国はASEANが得意としてきた産業分野が全て揃い始めている。シンガポールの電子・通信機器メーカーやソフト関係の人材、タイ、マレーシアに多い自動車や家電の組み立て産業、インドネシアやベトナムより安い労働力、加えて広大な土地と12億人の市場がある。香港が返還され、台湾から資本と技術が流入している。食品、化学、自動車などの多国籍企業も続々参入している。既に中国は、鉄鋼、セメント、石炭、化学肥料、テレビの生産量 (1999年) は世界一位となっている。アジア貿易に占める比率も14% (1999年) に上昇して、日本に次ぐ輸出国になっている。

世界の工場、中国の躍進ぶりは統計にも鮮明に表れる。既に99年に日本の中国からの輸入額は4兆8754億円に達し、史上初めてEUからの輸入額 (4兆8618億円) を超え、米国 (7兆6395億円) に次ぐ位置についた。2000年度上期 (4～9月) はさらに増勢にあり、台湾と香港を加えたグレーターチャイナ (大中華圏) からの輸入額は3兆9891億円と、米国の3兆8694億円を上回った。低価格衣料品に加え情報技術 (IT) 革命で需要が膨張した事務用機器、電子部品が急増している。「安かろう悪かろう」の中国製品イメージは遠くなり、日本企業の「いいモノを安く」の実体を中国が奪いつつある。日本企業は、安価で品質も向上している中国製品・部品の調達を増やし、また台湾メーカーに生産委託したパソコンなどもデスクトップ型などは主に中国で生産して直接日本に輸出している。日本の大手商社も2000年に中国政府から輸出貿易権を獲得していることもあり、今後とも増勢が続くと思われる。この結果、中国が日本の産業構造に組み込まれた形で、相互依存関係は今後さらに強まることになるとみられる。

これまでの、中国への生産移転はコストに占める人件費比率の高い組み立て産業が中心であり、展開すればその産業が使う部品や素材、工作機械の輸出が増えるというのが一般的な認識であった。しかし2000年に入って中国は、極小コンデンサーなどの部分的領域では高機能製品までも日本の半値近い価格で作り始めた。機械メーカーも納入先の中国工場の設立に動いている。

このように、つい最近まで生産移転の受け皿の主役だった東南アジアも経済成長で人件費が上昇する一

方で、中国が、低人件費、技術力向上、巨大な潜在市場規模を武器に急速に台頭してきており、内外の各企業にとってその利用能力が問題になり始めた。

2001年3月、東芝は国内のブラウン管テレビの生産を全面的に中止し、デジタルテレビを含め、中国に生産を移管する方針を打ち出した。理由は、中国の方が、製造コストが安く、品質も遜色ないことである。電機各社は一斉に中国にシフトしている。日系の電機・電子メーカーの生産拠点数は、1992年から1999年で、中国は42から264へ、マレーシアは121から137へ、タイは63から93へ、台湾は93から74へ、シンガポールは71から59へ、各々変化しており、中国の伸びは突出している（さくら総合研究所調査）。

改革開放後に進出した外資系企業も十年以上の中国での操業経験で、品質管理の水準を本国並に引き上げることに成功している。国内の雇用確保を考慮する日本企業は、それでも米国企業と異なり、工場の中国への完全移転に消極的だった。だが、現在、日本企業は日本市場での製品価格の下落と株価重視経営への転換（総資産利益率ROA重視）に直面して、主要製品の本格的輸入に走り始めている。

コンピューター、半導体、携帯電話などのハイテク分野では、まだ国際的な競争力を持つ中国メーカーは育っていない。だが、この分野では欧米勢が大幅に先行し、例えば、携帯電話では、ノキア、モトローラ、エリクソンの3社がシェア上位を独占している。コンピューターや情報システムでは米IBMが高シェアを確保している。ソフトウェア開発でも米インテル、モトローラなどが好待遇で優秀な技術者を囲い込み、成長している。

現在、最大の激戦の事業分野は携帯電話をめぐる市場である。上海とその近郊の蘇州、無錫など、いわゆる長江デルタ地帯には、欧米メーカーを中心に携帯電話関連の工場が数多く集積し、さながらグローバル競争の縮図になっている。背景には、世界に類を見ない中国の市場規模があり、携帯電話の加入者数は1999年末で4324万人、2000年の1年間にさらに2500万人が新たに加入したと予想されている。2005年には中国の携帯電話の加入者数は3億人に達する見込みである。この巨大市場を狙ってノキアやモトローラが早い時期から中国に携帯電話の生産拠点を設けたのは、中国で勝利することが世界で勝つための必要条件になるという判断である。中国でのコスト・品質競争で勝ち抜けば、そこから世界市場に輸出しても極めて高い競争力を確保するのは間違いない。携帯電話は半導体、液晶、精密部品を高密度に実装した「ハイテク部品の固まり」であるが、進出EMSの米国ソレクトロンは「予想を大幅に上回る売上げの伸びもさることながら、生産技術、品質面でも世界最高水準の域にある」と自信を持っている（日経ビジネス2000.11.27号／中国は世界の工場）。

b. 中国でのEMSの展開

現在最も注目されるEMS企業の進出集中地は、中国である。

中国は78年の改革・開放政策以降、外国からの直接投資を徐々に受け入れ、今日では国家経済の重要要素である。外資系企業は、99年末、中国の総輸出の45.5%、総生産の27%に達している。米英独仏など欧米先進国を除き、日本とともにアジアの四小龍（香港、台湾、シンガポール、韓国）と後発五虎（マレーシア）が、徐々に直接投資を進め、新しい製造業の国内分業形態を発展させている。

米台の巨大EMS企業など先発グループは、中国に中核工場を持ち、人件費の安さと部品産業の急速

な集積を活かした短納期方式を活用し始めている。1996年にEMSの世界最大手米国ソレクトロンは蘇州に携帯電話工場を構え、99年度は前年の8倍に売上高が急伸している。台湾企業も90年代末に人件費の安い中国に巨大なEMS工場を建設することを決め、2000年後半から2001年前半にかけて続々操業し始めた。中国広東省に本拠を構える台湾系EMSの精成科技（GBM）は液晶モニターなどを受託生産しているが、99年8月に設立されたばかりだが、既に世界の有力企業10社を取引先としている（日本経済新聞00.12.8）。従業員15,000人、工場敷地22万㎡を擁して、顧客開発以前から大量受注体制を備えて急成長している。ネットビジネスに注力し製造分野では台湾の巨大化戦略に遅れがちであった香港電機各社も、CCTテレコムがEMSビジネス指向を宣言したように、中国工場を増強・稼働させた。

人件費の安い中国に立地した巨大規模のアジアEMSが機能し始めた時に対応できる日本の工場がどれだけあるか、危惧する声も多い。

中国を舞台に日本型EMSを模索する企業もある。電子部品専門商社の加賀電子は、上海市内の保税區に土地を確保して、中国でのEMS事業を行う100%出資の子会社を設立した。基板の高密度実装に不可欠な電子部品の表面実装サービスを請け負うが、2001年から生産を開始し、5年以内にEMS製造ラインを6ラインに増やす計画をもつ。日系メーカーの中国への本格進出をにらんで先手を打った行動である。既に、広東省に自社工場と協力工場を組み合わせ、事務機器関連製品を受託生産している。多品種少量生産ときめ細かい受託サービスで日本のユーザーを開拓しようとしている。もっとも、中国ビジネスでの成功体験の少ない日本企業には厳しい挑戦になるという指摘もある。

c. 日本企業が迫られる選択

日本企業はアジアの生産拠点の重心を、中国かASEANか、どこに置くかが問題になってきた。東南アジアだからといってコストが安い時代は終わっている。調達コスト、生産性向上で国内と変わらない意識とスピードが要求されるようになった。これまでは生産拠点の立地で、中国は、シンガポール、タイ、マレーシアなどと同列に扱っていたが、「中国だけははずせない」と考えるようになりつつあるという（朝日新聞01.1.9）。中国には、共産党一党独裁という政治リスクがあるが、そうした「中国リスク」にもかかわらず、外国企業による関心は高まっている。しかも、いったん築いた東南アジアのインフラを生かしたいとすれば、東南アジアと中国の間での工場立地や調達の最適配分が問題になる。企業や工場のグローバルな競争力を一段高いレベルに引き上げるための戦略的アプローチが必要になっている。

現在、東南アジアの拠点を維持する理由は、もちろん育成してきた部品や素材など関連産業の厚みや物流インフラなどの蓄積があるが（一部で中国が追い越し始めている）、中国以外に拠点をもちリスク分散、地元への配慮などの非経済的要因が多くなってきているといわれる。中国に工場を移すだけでなく、中国に工場を持つEMS企業へのパソコンなどの生産委託が2000年から急激に増えている。

松下電器産業などASEANに大きな生産基地を集中させてきた企業も、中国の拠点との棲み分けを真剣に検討し始めた。既に広東省には部品産業が集積し、魅力は増している。パソコンや携帯電話などは広東省が一大生産拠点となり、上海周辺にも日本や台湾企業が次々と進出中である。

我が国の電子部品（デバイス）メーカー各社の中国進出も新段階にある。内外の携帯電話メーカーや家

電メーカーが本格的に中国に進出するのに伴って、高精度の部品を供給したり、EMS事業を手がけたりする拠点を開設し始めている。ここでもこれまでの人件費の安さを目当ての単純な組み立て工場から、より付加価値の高い製造拠点を目指す段階に、狙いが変わり始めている。これまでなかった高付加価値製品の生産を始める部品メーカーも出てきた。東京電波は2000年末に中国で携帯電話に使う水晶関連部品の製造を始めると報じられた。中国には携帯電話の基幹部品の国内調達を義務づけたローカルコンテンツ法があり、欧米進出メーカーを中心に水晶関連部品を供給する体制を先行して構築することになる。さらに部品各社は中国で開発やマーケティングを強化し始めている（日本経済新聞00.3.6）。世界中の電機・情報関連機器メーカーが中国に集まり、最先端の技術動向やニーズを中国で集めやすくなってきたことがある。いずれ中国が最先端製品の開発や製造の重要拠点となる日も近いとされるが、国内との経営拠点配置を、雇用や競争力を勘案しながら、どうしていくのか、難しい舵取りを迫られている。

なお、日本の進出企業の中国での競争相手は欧米企業であるが、最も主要な協力企業は、OEM、ODMに求められる厳格な製造基準と品質に比較的応ずることができる台湾メーカー企業である（陳「東アジアの産業分業における競争と協力」NIRA 政策研究 Vol.14No.3、2001）。

（４）EMS企業の日本進出

EMS企業がグローバルな生産体制と消費地近辺でのグローバルな供給構造を形成しても、日本市場だけは市場参入は容易でなかった。今後EMSの高い成長サイクルを維持する上でも、日本市場の取り込みは必要と考えられるが、現実にはEMSと日本企業との間の壁に直面して、EMS自体も単独での参入の困難さに気づき始めた。系列下で下請け構造や外注構造を構築してきた日本企業は、外部の企業を利用することに不慣れであり、また、長期の関係で共有される経験知・暗黙知が通用しないEMSには発注意図や情報が伝達しにくい体質がある。日本企業との間に介在して翻訳するゲートウェイ機能を提案する動きも出てきた（近野泰、NRI Research NEWS 2001.1 など）

しかし、近年、急速に内外の生産拠点の見直しの中で、日本企業の海外生産拠点の売却や国内拠点の売却さえ起こってきて、事情は変わりつつある。メーカー各社は低収益部門の外注化を加速させる一方、得意分野や高成長分野は自社に残し、他社からも製造を受託するなど自らEMS事業に乗り出す動きもある。1998年に、三菱電機が米国の携帯電話製造工場をEMS最大手の米国ソレクトロンに売却し、製造委託に切り替えると発表したことから、ようやく我が国でもEMS時代が徐々に語られ始めた。これが急速に、2000年には、NEC、ソニー、シャープなどが同様に自社工場を売却したり、EMSメーカーに製造委託する動きとして表面化している。

2000年10月には、ソニーが生産子会社の一部をソレクトロンに売却し、カーナビやリチウムイオン電池の製造を委託すると発表した。過去には、日系海外製造工場が売却される事例はあったが、国内大手電子機器メーカーの工場が直接EMS企業に買収された初の事例として衝撃を与えた。ソニー中新田（宮城県）を工場設備、社員ごと、台湾の1工場とともに、米国EMSのソレクトロンに売却し、以降はソレクトロンに生産委託することにした件である。今後も独自部品を搭載した先端製品は内部で生産するが、それ以外は外部

委託する方向にあるという。もともとトランジスタのラジオやテレビで成長していた頃はアSEMBル工程の多くを外部委託していたので先祖返りともいえる。

EMSの動きは、情報通信・家電製品等の組み立て分野にとどまらず、半導体産業にも波及している。99年1月に新日本製鉄が台湾の半導体UMCグループに売却して生まれた日本ファウンドリー（本社・館山市）は、日本で唯一の半導体EMSであるが、当初の赤字から約120億円の黒字に急転換している。2000年11月にはシャープと資本業務提携して、70億円の出資を受けて、フラッシュメモリーの生産を受託している。

既に、米国ソレクトロン社は1992年に日本事務所を設立しているが、2000年にはSCIシステムズ社（米国）、セレスティカ Celestica 社（カナダ）ジェイビル・サーキット Jabil Circuit 社（米国）などが相次いでいる。北米EMS企業の日本市場への進出が本格化している。

表 3.2 日本企業の生産拠点の海外のEMSへの売却ないしEMS化の事例

年 月	売却企業	所在地	買収企業	製品分野
1997年2月	ICL（富士通）	イングランド	セレスティカ	コンピュータ
1998年10月	三菱電機	米国	ソレクトロン	携帯電話
1999年1月	新日本製鉄	日本	UMCグループ	半導体
2000年4月	NEC	米国	ナットステール・エレクトロニクス	通信機器
2000年6月	NEC	ブラジル	セレスティカ	通信機器
2000年10月	ソニー	日本・台湾	ソレクトロン	カーナビ等
2000年12月	NEC	英国	セレスティカ	携帯電話

大手EMSが時を同じくして日本進出を果たした背景には、日本メーカーの考え方が変わり、EMSを戦略的に利用しようとするところが増えてきたことがある。とくに主要顧客である欧米のコンピュータ、通信機器メーカーの売り上げ成長が鈍化している兆しがあるだけに注目度が高い。薄利多売のEMSにとっては高成長が絶対条件で、世界のアSEMBルの1/3が集まる日本での事業開発には強い期待がある。コスト高の日本工場の買収の狙いは、次のようなところにあると観測されている（週刊東洋経済 2001.3.3 など）。

①規模の拡大

規模の拡大により、部品調達コストを引き下げることができる。また、全世界に生産拠点を設けることで最適地生産が可能となる。規模の競争に勝てないEMSは淘汰される方向にある。

②日本の顧客の取り込み

日本流の系列・垂直統合型のビジネスモデルに切り込み、日本のブランドメーカーからデジタル情報家電の

受託拡大（プリント基板の制作等だけでなく、完成品の生産請負）を狙っている。

③日本国内に拠点を設置

狙いは、a) 日本の工場内に眠る生産技術の取り込み b) 日本メーカーから受託した際の試作・開発拠点 c) 欧米メーカー製品（特にハイエンド製品）を日本市場向けに生産する量産工場、というところにある。

「デジタル民生機器をはじめ、日本の工場の技術力は高い。従業員の能力も高水準だ。工場買収は単なる資産の取得ではなく、ノウハウや技術を吸収し、日本企業と戦略的な生産協業関係を築くことに狙いがある。（中国やメキシコなど）世界各地に工場を抱えており、技術やコストを勘案しながら製品ごとに最適な場所で生産することができる。日本の工場で得た設計・量産技術を海外の工場に移転することも考えている」（ジェイビル・サーキット社メイン社長、日本経済新聞01.2.7）

アジア企業も、技術力や品質管理能力の高い日本の工場のM&Aに注目し始めている。既に台湾半導体メーカーは新日本製鉄の国内半導体工場を1999年に買収し日本ファウンドリーとして再生させている。また、台湾の希華晶体科技は2000年春に明電舎から水晶振動子生産の米沢工場と子会社を買収し、日本での事業拡大計画を検討している。

第4章 アジア・日本再生戦略としての提起

4. 1 日本企業の取り組みーアジアを視野にした新生産体制

(1) 生産体制・生産技術の見直しーアジアの追い上げ

日本の国際競争力の源泉たる製造業のモノづくりはどう変わるのか、どう変えなければならないかが、議論の焦点になってきた。これまでは、急激な円高や途上国の追い上げを受けた日本企業は、従来は、外部の企業に製造を委託するのではなく、普及品から順次、人件費の安い海外で自ら生産する方法によって、激しいコストの引き下げ競争などに対応してきた。アジアの雁行型発展モデルにのった展開であった。

しかし、我が国の内外の生産体制は急速に見直しを迫られている。直接投資により世界の工場としての力をつけてきた東アジアが、生産技術のシステム化・デジタル化により高度な生産拠点を受容できるようになり、また近年の投資先として外資系の加工組立企業の立地が進み産業集積地が形成された中国が一気に比重を増してきたことで、国際分業体制が大きく変貌してきた。また広く、東アジアにおける現地への技術移転が進み、各国・地域の生産基盤が各々特徴はあるが高度化し、また貿易投資障壁の低減が進みモノ・カネ・ヒトの移動が円滑化して企業の活動が地域大で自由に行う環境が整備されていることが、東アジアの分業体制を高度化してきた。この中で、我が国の肝心の生産技術も激しく追い上げられ、半導体から金型まで、日本のお家芸といわれた生産技術の圧倒的な優位は揺らいでいる。自前の生産技術信仰を捨て、アジア勢との新たな協力関係を探らなければ、日本の製造業全体がアジア勢の背中を追う状況すら招きかねない。

例えば、日本の半導体各社は1996年から3年間、不況で巨額の赤字に陥った。その間に韓国・台湾勢は最先端製造機器を購入し、無駄を省いた高効率生産ラインを作った。世界に誇るハイテク技術を韓国台湾勢に供与していた日本勢だが、立場が逆転した。急速、これらを手本に生産革新が進められている。ミネベアや新日本製鉄では経営が困難だった工場が台湾企業が出資して日本ファウンドリーとなったが、これが短納期重視の台湾流の生産手法で復活したことも注目されている。半導体市況が好転したこともあり2001年3月期にはV字型回復といわれる営業利益はあげている（そのため転換が遅れているという指摘もある）。

アジア企業は技術面でも日本勢との距離をなくしている。例えば、沖電気工業はデジタル家電で利用が見込まれる近距離無線技術ブルートゥース対応の半導体チップの生産を、シンガポールのファウンドリー大手のチャータード・セミコンダクターに全面委託する。既に、独特の回路製造ノウハウを要する技術を保有していると評価している（日本経済新聞00.12.7）。半導体だけでなく、精巧なプラスチック部品の金型でも模型メーカーのタミヤは相当量をフィリピン工場で作っている。コンピュータで作った設計データを装置に入力すれば、場所を問わずプラ模型の命である金型が製造できる技術革新も、こうした動きを後押ししている。

このように急速に進展するアジア企業が日本の製造業に改革を迫っている。

(2) EMSの活用への動きと課題

内製化や系列生産よりも高効率なEMS企業が幾つかの分野では急成長している。EMSビジネスがアジアでも展開し、これとの関係がエレクトロニクス産業での競争力に影響するようになっている。台湾などアジア各地に育ったEMS企業群が日本の工場の存続を危うくし、頼みの綱ともいえた東南アジアの現地工場も中国の追い上げに苦しんでいる構図がはっきりしてきた。

生産技術が製品の差別化につながることで過去に成功体験をもつが故に、委託などで自社のノウハウが外部に流出することを嫌い、外部から学ぶことを避けてきたとすら見られる日本の製造業は、その対応を迫られている。

a. EMSに対する対応

EMSを活用して米国企業などが戦略的機動的な動きを見せているおり、我が国でも、系列の見直しやEMSの利用を含め外部調達体制の見直しが徐々に進んできている。これまで日本の企業は競争力の乏しい部門や拠点に未だに多く抱え込みすぎていると思われ、EMSを利用するメリットは大きい。既に、前3章で触れたように、我が国もこれまでは普及は緩慢であったが、EMSを利用するケースは急速に拡大していくであろう。

これまでの典型的なEMSとのつきあい方の事例には、次のようなタイプがある。

- ・ (プリント基板実装について) 個別部門毎にEMSに発注し“外注先”として利用
 - ・ 海外のアSEMBル工場については(貿易摩擦対応のものも多く)EMSに積極的に売却し資産圧縮を図る。
 - ・ 国内工場は個別努力でEMS的な業務(他メーカーからの受注等)を行い稼働率向上と雇用確保を狙う
- しかし、このような個別工場ごとに収益性を判断し、駄目なところは売却や閉鎖を行うというアプローチは戦略的とはいえない。残すべきコア事業と判断すればアSEMBル工場は社内に残し、それ以外の工場は海外工場を含め一つの企業体にまとめ上げ、資本的な切り離し(できればマネジメント・バイ・アウト、無理なら株式上場)によるEMS化を進めるべきという指摘もある(週刊東洋経済01.3.3)。

より戦略的なEMSへの態度は、例えば、次のようなものであろう。

- ・ (小型情報家電など) デバイスとの距離が近い製品のアSEMBル工場は社内に保持する。
- ・ その他のアSEMBル工場は、海外工場を含むグローバルなEMSに再編し独立させる。
- ・ 上記で規模を確保できない場合には、他の国内EMSとの統合か、既存のEMSへの売却を行う。

現在はエレクトロニクス産業を主体にしているが、部品の共通化が進む自動車などでもEMSをめぐる同じような動きや課題が生まれる可能性もある。

b. 外部委託に伴う留意点—中核能力の衰退

EMSの活用で、同一企業内でのコスト競争力がある部門とない部門の選別が激しくならざるをえないことに留意する必要がある。競争力がないと判断されその分野から撤退すると、雇用不安などが生じる懸念がある。また、企業が自社の強みを見極められないと、本来中核事業とすべき分野まで社外に委託して、結

果的に空洞化することも懸念の一つである。とくに、製造の外注化による“両刃の剣”として、日本製造業の技術力やノウハウなどの知的財産の流出や製造技術向上の源泉の喪失などの危険が伴うことがある。

外部委託の行き過ぎが、自社の中核能力の喪失や錬磨努力を怠ることにつながる懸念が現実化した事例がある。

例えば、2000年9月中間期に百六億円の最終赤字を出して社長が退任したソニー子会社のアイワはその事例と報じられている（日本経済新聞00.11.14）。同社は1980年代半ばの円高に対応してアジアへの生産移管、外部企業への製造委託を進め、低コスト経営による低価格品の販売で収益力を高めた。しかし他社の追随とアジアメーカーの追い上げで価格優位性が薄れる一方で、5割を越える生産委託体制が次世代技術開発をおろそかにし、9割に達した海外生産が国内ニーズへの対応を遅らせたとされる。

危険を克服する鍵は、コア部分の事業・商品を拡大する不断の努力にあり、これは従来以上に重要になってくる。また、委託先に事業を丸投げせず協力し、共に成長する必要もある。選択と集中は、様々な連携を伴ってこそ磨かれる戦略である。

工場の位置づけにしても、何でもアウトソーシングすればよいというわけにはいかない。自社製品の差別化に影響するコアの活動や部品は、社内にとどめておくべきである。また、生産能力は外注しても、知識は外注するな、というのが共通の原則といえる。企業はEMSに対する標準化能力を放棄してはならない。調達の仕組みとしてEMSが良いかどうかは、製品の基本設計思想に応じて決めるべきで、原則なき外注は論外といえよう。

もっとも、このアイワの競争力低下の事例は、アジア企業が急速に力をつけてきた証でもあり、担い手の多くは欧米や日本から委託を受けて生産するEMSを母体に着実に力をつけた企業群である。技術水準の高い現地メーカーの工場があれば、わざわざ投資して工場を建てる必要はない、とする考え方もある（東芝・中川常務）。東芝は、中国の家電メーカー4社と技術提携して冷蔵庫や洗濯機などいわゆる白物家電を委託生産する。課題は、競争力の衰えたアジア拠点の活性化という点になる。

c. 取引コストからの選択－市場取引と組織内取引

EMSを含む外部調達・委託と内製の問題は、理論的には、企業組織の編成の選択、とくに市場取引と組織内取引の選択の問題であり、最も基本的な考え方は、広い意味での取引コストによるものである。市場と組織はともに資源配分システムとして機能をもつので、このような代替が可能である。系列や下請け企業群、そして事業部やカンパニーの多くがそうである「中間組織」は、その混成である。

今日、日本の製造企業では生産リスクから生じる取引コストが問題になっている。生産リスクとは、製造設備を自前で抱えることにより、投資資金が回収されるまで製造活動が特定製品の生産に固定化される傾向があることから、顧客ニーズ動向に機動的に対応できずに競争力を失う可能性である。デジタル・ネットワーク時代とともに急進展する市場の変貌は、このようなリスクから生じる取引コストをかつてなく大きくしている。

日本の製造企業は、今やお家芸のモノづくりであっても、全て自前でやっているとグローバル競争に勝てないジレンマに直面している。これまでの製造機能を担ってきた中間組織（の一部）を本体企業から切り離し市場化することによって切り抜ける戦略が模索されており、大手電機メーカーの間にバリエーションが出てきて

いるということである。

この戦略で鍵となるのは、生産リスクを新たに負うことになる生産子会社やファクトリー・センターの製造機能自体である。これらの製造現場で生産リスクを負担できるような事業再構築や効率化が実現できなければ、外部組織・下部組織へのリスク押しつけ策に終わることになる（京都大学大学院藤井秀樹教授）。

（３）日本型EMSへの動きーキョウデンの事例

96年にIBMカナダから生まれたセレスティカが一気にEMS 3位に成長した例もある。日本版EMSがどう活動するか、負ければ他のEMSに買収されたり閉鎖されることもある厳しい競争があるが、シスコやサンを育てた米国EMSのように、新しいベンチャーを育成する役割も期待され、今後の展開が注目される。

a. キョウデン

低価格品を主体に国内コンピュータ市場で急成長したソーテックの「隠れメーカー」として名をはせる企業キョウデンは、プリント基板試作を土台に電気製品の開発・生産一貫受託を目指している（日経ビジネス2000.7.24など）。同社は、99年12月にソーテックの株式の46.9%を保有し、その関係を深めて、製品の企画と販売をソーテックが、設計・試作・生産をキョウデンが分担する体制をとり「一貫支援事業」のモデルケースを作ろうとしている。将来は物流やアフターサービスまで一貫した支援を引き受けるEMS企業化しようとしている。セットの開発・製造ノウハウの獲得と納入先の安定確保を目的にパソコン・メーカーのソーテックに出資したのは、その背景があるからである。

キョウデンは、電気製品や産業用機器に使われる各種プリント基板を顧客企業の要望に合わせて短納期で試作する「下請け」を脱して、多品種少量の試作用基板に的を絞って業態を大きく変えようとしてきた5年ほど前から、メーカーの要望に応じて、他社の製品を相手先ブランドで自社の工場で試作・生産し、迅速に納入する仕組みを作っている。多品種少量の試作・生産技術は多数の顧客に支持され、基板開発や量産、外装ケース試作、金型設計と次々に事業領域を拡大し、顧客は大手電機メーカーなど3,500社にも拡大している。高技術を要する多品種少量生産から出発しただけに海外EMS企業と異なり、付加価値は得られやすいとも見られている。これまでキョウデンは、プリント基板の量産設備と基板への部品実装設備までは自前で整えてきたが、最終組み立てラインは持っていない。量産については韓国や台湾の協力工場に発注している。これらの工場は既に米国ヒューレット・パカードやNECなど日米の大手メーカー製品を量産しており、品質面での心配は少ない。基板実装や最終製品の組み立てを行ってEMS事業の中心拠点となる本社第二工場（長野県箕輪町）の稼働を前に、EMS事業を本格化するため2001年4月にEMS営業部・EMS事業部を新設した。

この成長の背景には、「迅速に、価格を抑えて、多くの製品をつくれる」工場へという、製造業の地殻変動がある。これを可能にするのは、あらゆる電気製品で進展したデジタル化であり、共通部品の共通化の進展である。アナログ技術を詰め込んだこれまでの家電製品などは、メーカーの独自規格に固められ、新規参入は極めて困難であった。デジタル家電は業界標準の半導体チップと基本ソフト（OS）で動くパソコン的

な製品に進化するといわれる。共通部品の組み合わせという流れの中で、小規模企業でも最終メーカーと対等に競争ができるようになっていく。

部品商社がもたない試作能力と、基板試作事業で培った膨大な顧客の製品開発情報をもって、一貫支援事業を展開する方針である。製品寿命の短縮に拍車がかかり、大手メーカーが国内生産コストに悩む中で、一貫支援事業への需要は増大する傾向にある。

b. 急造EMSの課題

しかし日本の急造のEMSが、米国や台湾の先行グループに対して競争力を持ち得るかについては不透明である。第一に規模の問題がある。先行グループは、複数社からの受託で大量生産し部品調達や製造のコストを大幅に下げるEMSの強みを、各国の証券市場から資金調達しつつ発揮している。また、本格的なM&Aで従業員規模が20,000人を越える企業も珍しくない。“力の勝負”にどこまで耐えられるか危惧する声も大きい。第二に、“甘え”の問題がある。独立しても日本のEMSは旧本社からの受託生産が中心で、親会社のない海外EMSが厳しい緊張の中でコストダウンなどに取り組む態勢と比べて、どう優位を構築するか。第三に、先行グループが中国に中核工場を持つなど、一層のコスト競争力や短納期戦略を強めている問題である。

(4) EMS時代に対応する日本企業

a. EMSとの関係と競争

本格的なEMS時代を前に、モノづくりシステムの改革が不可欠である。

SCMの導入、三次元CADデータを活用する試作レス設計のようなITを活用した新たなモノづくりシステム、生産ラインでの個別製品管理による多品種少量生産、検査工程の無人化など、すでにエレクトロニクス企業も生産部門の効率向上の努力を重ねている。

まず、アSEMBル工場は社外との競争にさらされる。EMSと競争し、できるだけ価格や技術を提供できなければ、売却や閉鎖を覚悟しなければならないという、これまでの曖昧な状況の断ち切りが迫られてくる。いずれにせよ、効率向上により余剰となった人員と生産能力の解決が迫られることも共通の課題である。工場のリストラクチャリング・閉鎖の名分に使われることを危惧する声もある。

対応方向の一つは、他社からの受注、すなわち自社工場群の一部を独立させEMS化する方向の模索である。工場側の「甘え」を払拭してアジアEMSに負けない低コストの生産体制を作ることが公式的な見解である。もう一つは、余剰分の切り離しであり、EMSなどへの売却により移行をより調整しやすくする方向である。ソニーの国内工場のソレクトロンへの売却はその例といえる。

EMSが活躍し始めた土俵はコンピュータであるので、NECや富士通はかなり以前からプリント基板の製造をEMSへアウトソーシングしており、つきあいも古い。とくに98年度決算の赤字転落を契機にNECは工場の売却や自立化を積極的に進めてきた。

98年に、三菱電機が米国の携帯電話製造工場をEMS最大手の米国ソレクトロンに売却し、製造委託に

切り替えると発表したことから、ようやく我が国でもEMS時代が徐々に語られ始めた。2000年末、ソニー、松下電器産業は自社の製造部門を分離しEMS化する方針を打出した。製造部門は社内EMS企業として、グループ企業製品の生産受注を外部と競うと同時に、グループ外からの受注による成長という可能性を手にする。

参照モデルとなっているのは、デル、シスコシステムズやサン・マイクロシステムズなどの米国の急成長企業と思われる。付加価値の低い工場機能を徹底して外部委託へ切り替える一方、経営資源を開発とマーケティング、有望分野に集中するなど、自前主義を捨てて、変化の激しい市場に対応する体制づくりを進めている。メーカー各社は低収益部門の外注化を加速させる一方、得意分野や高成長分野は自社に残し、他社からも製造を受託するなど自らEMS事業に乗り出す動きもある。

製造機能の強化に向けた取り組みの主な事例を紹介する。

b. ソニー

カンパニー制をとるソニーは、モノづくり戦略の大幅な見直しが進んできている。

ソニーは2000年にソニー中新田（宮城県）を工場設備、社員ごと、台湾の1工場とともに、米国EMSのソレクトロンに売却し、以降はソレクトロンに生産委託することとして話題になった。今後も独自部品を搭載した先端製品は内部で生産するが、それ以外はどんどん外部委託する方向にある。もともとトランジスタのラジオやテレビで成長していた頃はアSEMBル工程の多くを外部委託していたので先祖返りともいえる。

ソニーで進んでいるのは、生産部門の分社化や売却、生産委託を主な柱とする「ファブレス（工場を持たない）戦略」である。ソニーはEMSの動向と期を一にして、EMCS（Engineering, Manufacturing & Customer Services、製造・設計・顧客サービス）構想を掲げ、アSEMBル工場である製造子会社12社を統合して新しい別会社を2001年4月に設立することを発表した。既に各工場はベルトコンベア方式の専用工場から、セル方式の汎用工場に生まれ変わり、複数の製品を分担して全体の工場稼働率をあげていく考えである。自立した以上、他社受注も可能となる。年商1兆8千億円で社員12,000人の高効率工場が誕生することになる。将来は海外工場も含めることを目指しているとされる。新会社は、ソニー製品の設計、製造から顧客サービスまでを請け負うことになる。このように従来は、社内カンパニーや事業部に工場が所属していたが、柔軟な生産がしにくいため、経営効率を高める新たな改編である。また、同様に、工場の独立性を高めて競争力を確保すべく、半導体生産拠点の統合も決定している。

もちろん、世界的なEMSをベンチマークに競いながら技術革新、効率化を進める必要があるが、欧米でも製造部門を独立させて他社受注を始めた多くが失敗している。EMCSがEMSと比較してどのような動きを辿るのか注目されている。

c. NEC

NECも同様に製造機能の競争力を再構築しようとしている。

2000年4月に米国オレゴン工場を大手EMSナットステール・エレクトロニクスに売却した。これはもともと貿易摩擦の中、米国でビジネスを行うための必要条件として設立されたもので、98年からの資産見直しの対

象とされていた。工場自体の競争力を高め、NEC以外の仕事をとることも認めた実績をもって、投資銀行などの仲介者を間に立ててEMSと売却交渉を進めたものである。固定資産や在庫負担が減り、工場に張り付く運転資金もなくなった。EMSとの契約で製品購入価格が数年間にわたり徐々に低くなるため、総益計算上のメリットは明白に出ている。NEC、従業員、EMSのそれぞれが利益を享受したといえる。

さらにNECは、携帯電話など組み立て中心の海外工場を自社で保有するよりも、国内工場やEMS企業から製品を調達した方が、市場や技術の変動に即応しやすいことから、海外工場を売却する方向で検討を進めている。携帯電話の欧州向け製造拠点である英国工場（開発・製造子会社からの分離）、北・南米向けのメキシコ工場、アジア向けの中国工場の3つの海外工場を売却すべく、カナダ・セレスティカ社などとの契約が報じられている。その一方で、台湾企業2社と携帯電話端末の委託生産契約を結び、徐々に調達を切り替えコスト削減を図っている。これらの動きは、3ヶ年で連結人員を15,000人削減する計画とも連動している（日本経済新聞00.12.13,12.14,01.1.5）。

同時に、国内工場は、「雇用」を守る面から競争力のある形に変身させて生き残りを図る方針にある。従来、NECの生産子会社はほとんどをNEC向けに出荷してきたが、親会社の傘下では、コストや市場開拓の意識が弱まりがちであり、EMSへの転換でシステム改革を目指すものとみられる。2年後を目処に情報通信機器関連の国内約10工場は分離する方針である。さらに、半導体を除く17工場のうちパソコンなどの組み立て拠点5～7工場を、グループ外からも受託するEMS企業として独立させることとし、資材調達から製造、物流まで一貫した生産技術・生産改革を支援する全額出資子会社を設立する。一方、不採算の約5工場を売却か統合する方向で検討するとしている（日本経済新聞01.3.29）。生産改善活動など競争力の源泉といわれ、また雇用問題から自社生産を維持してきた国内工場も、IT関連機器の生産に伸び悩みが出始めた中で、抜本的な構造改革が必要と判断されてきたわけである。

d. 松下電器産業

一方で、松下電器産業は自社本体での製造機能を基本的に維持しつつ見直す方向をとっている。すなわち、2001年度からの3ヶ年中期基本計画「創生21計画」での「伝統的な（開発・製造・販売一体の）事業部から製造機能を分離・独立させる」という注目されている方針である。その目的は、製造部門の収支責任の明確化、小規模工場の大規模効率工場（ファクトリー・センター）への集約、デバイス（デジタル・ネットワーク製品の製造原価の8割を構成するといわれ、同社の固有の強みがある）などの独自技術を核とした製造専門集団の創造という点にある。事業部制の枠は残るが、分離独立後のファクトリー・センターは他の事業部や外部企業からも受注できるようになるとされる。

製造機能の分離独立は、従来の事業部制のもとで起こりがちであった、製品が赤字でもモノづくり現場である工場自体は収支責任を負わない問題や、画一的な製造活動を続け急速な市場変化に迅速に対応できない問題などに対応するもので、製造機能の競争力回復が目指されている。一部の工場では、将来、他社製品も積極的に受注できる体制づくりを目指す。藤沢工場はAV機器の組み立てをやめ、今後有望なマグネシウム合金の部品生産を始めるモデル工場とされる（日本経済新聞2001.2.11）。

なお、松下電器産業の中村社長は「超・製造業」への自己革新のリーダーシップをとっているが、デジ

タル・ネットワーク時代を背景に、デバイスの重視、製造時間の短縮、サービスの拡充という要件を指摘している。

e. 富士通

富士通も、採算性の低いハード部門の効率化を推進する一方でソフト・サービス分野の体制強化を進めてきているが、工場再編を推進するため2001年4月に「製造力強化推進室」を新設した。本体の情報処理やツール関連工場、関連企業の生産工場を含めて再編に着手することになり、EMS企業化や製造拠点からソフト・サービス拠点への転換を推進するなど抜本的な構造改革を進めるとみられる。

アジア生産拠点のEMS化

製造部門のEMS企業化は、アジアに立地する生産子会社にどのような影響を及ぼすのであろうか。従来の事業部制の下では、在外生産法人はAV事業部、パソコン事業部といった個別事業部の管轄下にあり、事業部の国内主力工場から技術支援等を受けて、特定分野の生産に特化してきた。しかし、勝ち残るEMS企業の条件として、グローバルな生産ネットワークが不可欠だとすれば、在外生産法人をもEMS業務に適した形に再編していくことが必要になろう。

日本の電機大手が稼働率を高めるために、アジア拠点で自社製品にこだわらず自らEMSへと進み始めたといふ例もある。日立製作所は、冷蔵庫や洗濯機などの白物家電事業で独ボッシュ・シーメンスと提携した。アジア向け製品の共同開発などの理由だけでなく、2002年からタイでドラム式洗濯機の合弁生産を始めるが、さらにエアコン分野の弱いボッシュ・シーメンス向けに日立タイ工場からOEM（相手先ブランド生産）共有することになっている。

(5) 国内生産体制の改革による対応

工場の海外移転が相次ぐ中で、国内で生き残るための生産技術革新の指向も強まっている（日経ビジネス2000.8.28など）。日本企業の製造現場はこれまで高い生産性を実現し、また、厚い産業集積・技術集積をもとに日本でしかできない高い生産技術を保持してきた。しかし、主に内外の人件費格差と市場対応の機動性の減退などから革新が迫られている。

生産部門の高度な効率化への要請は極めて強い。コスト削減、短納品化、製品ライフサイクル短縮への対応、需要変動への対応など、生産部門を取り巻く環境がさらに厳しさを増している。高度な効率化の要請に応えるには、IT活用やセル式工程編成による生産システムや現場管理の改革だけでなく、生産構造の改革という軸も不可欠である。

従来、日本企業の生産体制の意外な甘さの問題も指摘されている。国内外の需要が弱まり始めても資材調達や組み立て部門が機敏に反応できず、調達価格の引き下げに遅れをとったり製品を作りすぎたりして、コストが膨らんできたことがある。また、資材調達や組み立て、物流など各部門はバラバラに動きがちであり、これを解消するため、本社が前面に出て各部門をコントロールすることが一つの方策となる。

日本の製造業は、生産機能を一つの事業として捉え直し、市場性と経済合理性を徹底的に追求して、構造改革を進める必要が出てきた。

a. eエンジニアリングで生産革新を

モノづくりの技術やスキルでは依然として日本企業は強い。材料や在庫の配置、生産工程、設備や人の動きに細かく丁寧な配慮がされた、高い製造技術を持つ工場は極めて層が厚い。しかし品質と生産性を作り込み「磨き」をかけるのに長けているが、革新ができないという弱点もある。事業上の効果からみて unnecessaryな製品や生産工程までモノづくりの磨きをかけ続け、新しいビジネスチャンスへの対応に迅速に力を結集できず、動きが遅い。

習慣化した過剰配慮や現状磨き型の行動様式を見直し、現場・現実・現実発想を生かしながらも、価値の創出を意識してデジタル技術を織り込んだ新たな生産革新を生み出す必要がある。ここではe-エンジニアリングといわれる、モノづくりをデジタル情報を素材とした新しいプロセスで実行する技術を通じて、プロセス革新と製品・生産革新を進めることが機軸となっていくと思われる。3次元CAD（コンピュータによる設計）やeマニファクチャリングのようなコンピュータ・ソフトウェアのツールの開発と適切な業務での導入が不可欠である。既に自動車メーカーや電機メーカーでも、製品や生産工程・生産装置・従事人間をデジタルデータに置き換える試みが始まっており、開発期間の短縮や無駄のない生産ラインの実現が達成されている。

このように、昨今、生産技術・設備開発では、三次元CAD/CAMなどIT活用によって、従来不可能であった設備設計や組立生産性を格段に向上させている。この分野でのIT活用力を高め、プロセス革新を続け、さらに強い競争優位を確立することが追求されるべきである。また、調達をはじめ、経営全局面で戦略的にITを活用することも追求されるべきである。

b. 工場の自立化・独立採算の考え方による競争力向上

その一つの方向が、工場の自立化と独立採算である。事業部制の下で、ほとんどの工場は、工場の生産性や付加価値が明瞭になっていない。この独立採算化では、EMS時代にあつては、社内仕切値ではなく市場価格で見るのが重要で、市場価格で換算して利益が出るか出ないかを評価する必要がある。事業部と工場のもたれ合い関係を解消して、工場の市場価格対応力をつけることが目標となる。工場の現在の力を市場のものさしで評価し、それを高めるためにも、工場の自立化は意義がある。

とくに、工場の自立化はオープン化により競争力の向上に結びつくことになる。自社のものばかりでなく、他社の多様な製品を製造することにより、競争環境に直接置かれることになる。競争に晒され、また顧客と直接接することで、工場が発揮できるサービスの重要性を認識し、マーケティング感覚を身につけることが期待される。

c. 生産機能の事業化と日本型EMSの可能性

米国では、90年代に電子機器関連企業が大胆な選択と集中の戦略をとり収益力と競争力強化を図ってきたが、前章で扱ったように、これは付加価値の低い量産品は、開発設計とマーケティングのみを自社で行

い生産は完全外注化を進める一方で、高付加価値の先端的商品は自社で生産も行う体制をとった。この受託サービスに特化したのがEMSという米国生まれのビジネスモデルであった。EMS企業は力をつけるにしたがって、受託業務を拡大し、発注側にとって便利で戦略的なパートナーとなってきた。今日は米国系ばかりでなく、アジアでも国際的なネットワークの中で活躍し、台湾や香港系のEMSは中国にも進出し、日本の製造業のライバルとなっている。日本のEMSへの対応は米国等と比して十年以上遅い。

日本の製造業にとって、資本の在り方を含め、EMS化やEMS企業の育成、EMS企業の利用方法などは、緊急に整理すべき問題である。

現実には、日本企業の製造部門が完全独立して生産受託事業で経営を維持していくのは極めて困難である。しかし、一部を除いて、日本企業の製造技術や品質は米国EMSと比べれば未だに極めて高いという評価が多い。米国EMSの国内工場買収の狙いには、我が国企業の高い生産技術の移転ということもあることを想起したい。近年、我が国のアSEMBル工場では、在庫や仕掛かり品の圧縮やモチベーション問題から、コンベアライン生産方式からセル式（屋台式）生産方式に転換するなどにより、大きな成果を上げている例もある。日本企業のこの強さを活かしきることができれば、日本発のEMSは価値もあり、競争力もある。得意領域に絞り込み、コア技術を活用しながら、不足技術や周辺事業を必要に応じて調達・購入（M&Aなど）して独立事業体として経営することは可能であり、挑戦してよいことと思われる。この方向では、とくに、どこからでも仕事をとってくるマーケティング活動や事業の確立・発展を担う創造的な企業家精神を持つ工場経営者が必要である。従来、土壌がなかっただけにその発見・育成が大きな課題となってくるであろう。

国内回帰の動き

なお、国内生産体制の革新の動きとともに、最近になって電機メーカーが相次いで家電製品生産の国内回帰を打ち出していることも注目される（日経産業新聞01.2.7）。製造技術の低下に対する危機感もある。一貫して続いてきたAV機器等の生産の空洞化傾向に歯止めがかけられるか否か注目されている。生産現場からの技術革新が鍵を握ることになる。

典型的には“渡り鳥経営”の先駆けとも言われたアイワの事例がある。同社は、経営打開策として国内唯一の製造拠点（アイワ岩手）をテコ入れし、2002年までに国内生産比率を現状の1割から3割に引き上げる。グループ外への生産委託も5割から2割へ縮小する方針という。直接のつまづきは、中国メーカーとの価格競争の激化やICなど部品調達の遅れなどがある。しかし、委託先の技術指導に人員を割かれ、競争力の源泉である商品開発力が衰えるなど、生産機能を手放した日本で深刻な問題があったとされる。

国内生産強化の動きの要因には大きく2つがある。

一つは、家電のデジタル化により、製造コストに占める部品の比率が高まった結果、相対的に人件費比率が低下して、海外生産のメリットが薄れたことがある。カラーテレビの例では、デジタルテレビで使用するフラッシュメモリー量はアナログテレビの6倍に増えている。AV機器のコストの人件費比率は、アナログ時代の12-15%から、デジタル機器では4～5%に過ぎないという。

加えて、商品寿命が短くなることがある。海外生産で大量に生産して各地域に供給するよりは、消費地近くで生産した方が商品サイクルの切り替えに対応しやすく、在庫圧縮も進むことになる。

第二に、製造技術の低下に対する危機感がある。生産が空洞化すれば生産技術の進歩は止まる（マザー工場を国内に残す選択がされた事例もある）。海外に急展開した80年代から続くコンベア生産は少ない品種を大量に作りきるニーズは調和的であったが、多品種少量生産にはなじまない。そこに部品不足が重なって、投入時期を逸した大量の在庫を抱えることになったアイワの事例は、大きな反省材料である。

アイワはアイワ岩手を基幹工場として、生産方式はコンベア式から、多品種少量生産に適したセル式に切り替えた。半導体オーディオやDVD（デジタル多用途ディスク）関連機器の生産強化を図る一方で、ここかえあマレーシア、インドネシア工場に生産技術を移転していく考えとされる。シャープも家庭用液晶テレビの生産を栃木工場で拡大する方針である。継続するAV機器生産の空洞化傾向に歯止めがかかるかどうかは、生産現場からの技術革新の動向にも拠ってくる。

4. 2 アジア・日本再生戦略

（1）アジアと日本の密接な相互依存関係

アジア経済の激動を通して見えたことは、アジアの経済危機が、日本経済の再生にとって大きな足かせとなったと同時に、日本の長引く金融不況が、逆にアジア経済の回復を遅らせかねないという、アジア経済と日本経済の密接な相互依存関係である。「マネー経済化」のもとで、アジア経済と日本経済は、緊密な実体経済上の相互依存関係に加えて、金融経済の面でも相互依存関係にあることも示された。アジアの経済混乱では、これまで順調で期待が大きく、危機への備えも乏しかっただけに、ダメージは深刻であった。いずれの産業も生産・販売面、財務面での打撃は大きかった。今回の教訓は、日本企業のグローバルな事業展開に伴うリスクの所在を改めて確認し、今後に生かしていく必要性を認識したということである。内需対応型産業を中心に、ASEANでの事業展開自体に疑問符をつける向きもあったが、あまりにも偏った見方といえよう。今後日本産業が、アジア、ASEANとどう関わるべきか、より広い視野で検討すべきである。

第2章で扱ったように、アジア経済は急速に回復している。もちろん、輸出依存の回復であるため、米国経済の減速に直撃される不透明感や日本経済が依然足踏み状態であるという懸念材料もある。しかし、様々な統計を通じて、モノ、カネ、ヒトのグローバル化とともに、東アジアは世界の成長センターとしての存在感を高めている。

（2）アジア大国際分業の促進

日本産業のアジア国際分業は経過とともに高度化、多様化してきた。はじめは、主に日本で生産した部品をアジアの低賃金労働を活用して委託ないし現地進出工場を組み立てていた。この過程で日本から部品産業が進出し現地の部品産業も発展し、中核部品や高機能素材を除く多くの部品は現地生産するようになった。その後80年代半ばからの円高進展で、現地市場向け輸出、KD生産を中心としたアジア戦略は一変した。日本からの欧米向け輸出はコスト競争力上限界を迎え、アジアを低コスト生産拠点として活用する動

きが活発化した。現地の消費市場に対するKD生産方式から、トランスプラント（移植工場）方式に転換して、生産拠点としての連携が深まった。

貿易財部門の代表である家電、自動車、産業機械などの機械工業は、円高経済時代を迎え、アジアからの部材調達やアジアへの組み立て工場の移転とそこからの製品輸入の増加が同時に進行した。アジア各国は輸出指向の工業化を実現して経済成長に成功したが、その背景には日本からの資本財、部品、原材料等の輸出や技術移転がある。この中で、国内生産は減少し、国内産業は空洞化が現実となってきたが、日本企業によるアジア大の国際分業が進みつつある（土屋勉男『日本企業はアジアで成功できる』東洋経済新報社1999など）。輸出型機械組み立て産業や部品産業の一部がアジア・シフトし日本国内で生産が減少しても、東アジアを連結するとプラス・サム型の成長が進みつつある。日本に集中してきた生産システム・事業体制が、日本とアジアという新たな地域的広がりの中で再編、再生されようとしている。同時に、日本国内では、「アジア支援産業」とでも呼ぶべき新たな事業が拡大しつつある。その内容は、アジアの低賃金労働力を活用して商品組み立てを行う開発、設備（資本財）、部品・原材料（生産財）、生産技術、ソフトウェア・エンジニアリング技術（サービス）などの開発・生産支援事業である。

日本とアジアの国際分業が、世界の生産拠点、モノづくり拠点としての役割を担うこととなった。アジアからの輸出の増大、GDPの増大が、アジア諸国の国民所得の向上、購買力の向上に結びつき、とくに90年代以降は、市場（需要）のアジアの役割が高まり、アジアは需給の両面で、世界貿易に多大に貢献した。日本、アジアにおける貿易、投資の相互依存関係が高まり、国際分業はさらに高度な発展を実現しようとしていた。アジア通貨・金融危機により、日本、アジアの国際分業は一旦、構造調整局面を迎えたが、国際分業の高度化、多様化傾向はさらに進展するとみられる。東南アジア諸国連合（ASEAN）自由貿易地域（AFTA）構想により、2002年から貿易自由化が段階的に始まることになって、この傾向は加速されることになろう。

アジアでは、外資系の直接投資をテコに、低賃金の労働集約的産業から高度な技術分野にわたる広い分野で中国が台頭し、日本主導の雁行型の発展が崩れてきた。もはや国の発展段階による棲み分けが行われる時代ではなく、先端産業を含む競争が活発化している実体を直視すべきである。中国では、外資系の加工組立企業の立地が進み、地場部品企業も集積し始め、双方が集積の好循環を生み出した。最先端技術の受容能力も比較的広範にある。テレビ市場に見られるように現地企業の急速な台頭もある。こうして、東アジアを舞台とする、新しいアジア大競争の面が強まってきた。こうした活力を日本企業が利用しない手はない。

しかし、最近の対アジア投資の主たる担い手は欧米であり、「日本不在」のまま欧米とアジアが結びつきを強めていることが危惧される。日本は、東アジアを舞台にした大競争時代に入って、直接投資による技術移転から環境協力まで、アジア大の相互依存関係を深め、中国の成長を東アジア発展の起爆剤とすべく、各国と協調して日本経済の再生に活かすことが必要である。

前述のように、アジアと日本経済は金融経済上も実体経済上も緊密な依存関係にある。この中で日本型生産システム・事業体制は「日本一極集中」から「アジア地域全体」の中に広がり再編成されようとしている。雇用問題などを抱えながらも国内外の生産拠点の機能の再設定・再編強化を進める必要がある。日本とア

アジアは共生関係があり、日本の経営資源、技術・ノウハウの積極的な移転、共同化、協業化を通じて、潜在成長力の高いアジアを取り込めれば、プラス・サム型の発展が追求でき、それが日本企業の生き残りの道でもある。日本一極に閉じた構造を是正し、アジア大の広がりの中で国際分業関係を再構築することが不可欠である。そのためには、国内にどんなコア・コンピタンス（競争力の源泉）を残し強化するか、また日本から製品や機能の一部をどう移転して国際分業関係を構築するか、その戦略的構想が必要である。留意すべきことは、場合によっては量産製品でさえ、国内で十分生き残りを図れることもあり、戦略的能力こそが問われていることである。また、日本国内から生産機能のある程度移しても、付加価値の源泉を国内に残し利益を計上している企業は少なくない。アジアからの輸入でも、物流ロジスティックを革新、統合すれば、国内生産以上に収益源ともなりえる。国内部門とアジアを中心とした海外の現地法人を連結ベースでみると、さらに利益が拡大することも可能になる。

もちろん、新たな比較優位産業を開発することが我が国の大きな課題となる。モノづくりの範囲を製造にのみ限定せず、ハード・ソフト・システム・サービス、さらに環境・リサイクルに至る全分野に広げ、その中で、独自性の高い製品・サービスとコア・コンピタンスを確立する必要がある。

日本産業空洞化や貿易収支悪化の懸念も強いが、日本の特質である、アジアを中心に高度化多様化してきた国際分業の世界経済、企業経営のプラス効果を追求することが重要である。国際分業は比較優位の再構築の手段である限り、懸念する必要性は少ないと思われる。

（３）アジアの活力が変える日本の製造業

アジアの動きはダイナミックである。例えば、アジアは、インターネット普及率にみるように、日本を凌ぐIT化を進めている。新しいビジネス・モデルともいうべきEMSへの対応が速やかであった。台湾やシンガポールなどではEMSが高成長を示し、欧米のハイテク・メーカーの競争力復活を支えてきた。タイにも普及し始め、今後は中国でも普及することになると思われる。さらに、インドや中国などが台頭し域内でも競争が激化している。インドは周知のようにコンピュータのソフトウェアの輸出が経済成長を主導している。中国はアジア最大の直接投資の受け入れ国であり、エレクトロニクス分野を中心に、「世界の工場」に変貌しつつある。産業構造を次世代に対応させる政策も積極的である。シンガポールはハイテク企業家の育成・確保に注力し、「サイエンス・ハブ」の開発に着手している。タイの自動車産業が輸出産業化してきたこともその事例とみることができる。

こうしたアジアの活力が日本の製造業を変えつつある。

東アジアは、例えば、世界の電子部品市場で存在感を増してきている。とくに年間１億台以上の増加を続ける携帯電話市場の急拡大などで、あらゆる電子部品が不足して注目が集まったアジア製部品が信頼を勝ち得始めている。日本のエレクトロニクス企業はアジア部品と補完しながら競合する時代に入った。国際的な価格競争・調達競争に勝ち抜くには、安くて直ぐ手に入る部品の囲い込みが欠かせず、アジアの部品企業の発掘に余念がないと報じられている（日本経済新聞00.9.5）。安さだけが魅力ではなく、技術と品質が向上し、日本製に負けない部品が生まれていることが背景にある。従来、日系企業の部品にこだわってい

た日本の電機・情報機器メーカーも国籍や生産地にこだわる余裕がなくなってきている。日系部品メーカーは台頭する現地企業に対応できるか問われ始めている。

長期的にアジア経済圏の今後の発展を考えると、自由貿易と投資の自由化の積極策が重要な役割を果たす。我が国はアジア経済でのリーダーシップを発揮するとともに、アジア各国・地域から期待の大きい技術移転による東アジアの市場経済の活性化に貢献すべきである。

資料編

1. アジアの EMS 群像（日経産業新聞）

2. 先端技術動向調査委員会概要

- 2.1 医療福祉技術と産業化
- 2.2 宇宙情報技術の最近の話題
- 2.3 これぞ中小企業の智慧
- 2.4 我が国建設業の技術について
- 2.5 文化財保存への先端技術応用
- 2.6 DNA 研究の最近の進歩と新しいバイオテクノロジー
- 2.7 生物の不思議 - 分子機械としての細胞からヒトまで
- 2.8 光産業技術の未来とベンチャー・ビジネス
- 2.9 植物の不思議～情報伝達機構

1. アジアのEMS群像 (日経産業新聞)

〈オムニ・インダストリーズ概要〉
 本社所在地 シンガポール
 売上高 8億4430万4千4百円 (99年12月期実績)
 純利益 2957万4千4百円 (同)
 主要生産品 プラスチック部品、パナソニック、通信機器、パナソニック、通信機器、パナソニック、通信機器
 主要取引先 エス・エル・エル
 ホームページ http://www.omni-industries.com

電機・電子関連の製造業で、EMS (電子機器の受託生産事業) が急速に台頭している。世界の家電や情報機器メーカーが資源の有効活用の一環として、EMSへの工場売却や生産委託を加速し始めた。一方、EMS相互間の受託競争も激化し、電機・電子分野はまさに「乱世」の様相を呈してきた。アジアでEMSの新興勢力として注目される企業の戦術と課題を深める。

アジアEMS群像

オムニ・インダストリーズ (シンガポール)

その後は開発・設計、金型製造、試作品製作、商品修理などに手を広げ、九九年には米国企業と提携し物流サービスを開始した。家電や情報機器メーカーがアイデアを持ち込めば、オムニが設計、製造、物流、アフターケアまで一手に引き受ける。

同社が設備増強に力を入る背景には、EMS業界のM&A (合併・買収) 台戦激化が、たゞ、一方で「EMSも規模を大幅に拡張する代わり」

規模拡大しM&Aに先手 資金力、ナスダック公開がカギ

「我々はワンストップ・サービスを提供する会社」。オムニ・インダストリーズのリーダー・キム・ボック最高経営責任者 (CEO) は、シンガポールの本社でこう語った。同社は一九九一年にプラスチック部品製造会社として創業、



オムニ・インダストリーズのシンガポール本社工場

模の拡大が続けば、結局は競争を有効活用できずにリストラを余儀なくされた家電や情報機器メーカーの二の舞になる」 (日系電機メーカー幹部) との指摘もある。が、リCEOはあくまで楽観的。「既存の家電・情報機器メーカーはいまだに自社ブランド製品の二五％しか委託生産していない。我々が成長する余地は大きい」と強調する。

「規模の拡大と意思決定の速さは両立できる」というのもリCEOの持論だ。各国にカントリーマネジャを任命、国ごとの収益に責任を持たせる。一つの案件を巡り、オムニの複数の工場が受注競争戦を展開することもある。

投資計画も最終的には本社のコスト削減がEMSの競争力の源泉だからだ。オムニも規模拡大を急ぐ。M&Aのどの承認が必要だが、原則として各工場が立案する。買収などもそれぞれの工場の業績次第だ。現場に意思決定の権限を大幅に委譲する代わり、

経営責任を明確にするシステムだ。

オムニはシンガポール市場に上場した九七年から増収増益を続け、九九年十二月期の連結売上高は前年比倍増の八億四千四百二十万4千4百円、純利益も同七九％増の二千九百五十七万4千4百円を記録した。大和総研シンガポールのブランチ・K・サルマー氏は「近く発表される二〇〇〇年十二月期の増収増益は前年比四〇％超の増益になる」と予測する。

「オムニが解決している米店頭株式市場 (ナスダック) への公開が実現するかどうかカギになりそう」。

いまのところ業績は好調だが、不安がないわけではない。一つは部品調達力。シンガポールのナットステイルが買収された理由の一つは、昨年前半に半導体供給がひっ迫した際、部品が入手できず商機を逃したことを言われている。ただ、オムニの場合は車下部品商社機能を持つエテック・コンポーネンツ社があり「安定的な部品人手体制が整った」 (リCEO) と自信に満ちている。

残るハードルは今後も規模を拡大しM&A合戦を勝ち抜くための資金力。この課題を解決する意味でも、オムニが検討している米店頭株式市場 (ナスダック) への公開が実現するかどうかカギになりそう。

リーマネジャを任命、国ごとの収益に責任を持たせる。一つの案件を巡り、オムニの複数の工場が受注競争戦を展開することもある。

投資計画も最終的には本社のコスト削減がEMSの競争力の源泉だからだ。オムニも規模拡大を急ぐ。M&Aのどの承認が必要だが、原則として各工場が立案する。買収などもそれぞれの工場の業績次第だ。現場に意思決定の権限を大幅に委譲する代わり、

アジアEMS群像

■2

台湾、シンガポールなどと同様、タイでもEMS（電子機器の受託生産事業）が成長し始めている。電話機などを手掛けるカルコンプ・エレクトロニクス、英企業傘下でパソコン用ディスプレイ中心のデルタ・エレクトロニクスなどだが、その中でも顕著な放

つのがハナ・マイクロエレクトロニクス。徹底したリスク分散と中間段階の製品への特化が際立っている。

〈ハナ社概要〉
バンコク 73億バーツ
(2000年12月期連結)
21億バーツ(同)
純利益 21億バーツ(同)
主要生産品 半導体部品、ICパッケージ、ディスプレイ、メモリ、システム部品など
主要取引先 アジア、オーストラリア、北米、ヨーロッパ
ホームページ http://www.hanagroup.com

ハナ・マイクロエレクトロニクス

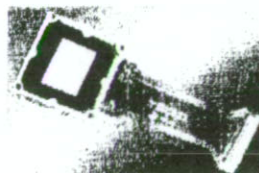
(タイ)

トロンクス。徹底したリスク分散と中間段階の製品への特化が際立っている。

一九九九年夏、米中西部オハイオ州ツインズパーク。ハ



ハナ社の子会社「ハナ・マイクロディスプレイ・テクノロジー」(米オハイオ州)



オハイオで生産開始した超小型液晶ディスプレイ

素早く多角化リスク分散

中間製品に特化、利幅を確保

ナの経営陣が、経営難に陥った米ベンチャー企業の超小型LCD（液晶表示装置）工場を訪れた。「技術に将来性があるし、価格も安かった」。直後に買収を決めた。この工場はハナ・マイクロディスプレイ・テクノロジー（HMT）

として再出発した。HMTはビデオカメラのビデオ（液晶表示装置）工場を訪問した。技術に将来性があるし、価格も安かった。直後に買収を決めた。この工場はハナ・マイクロディスプレイ・テクノロジー（HMT）

から早速、生産を受託した。ハナは設立して二十年あまりだが、この短い歴史は自己革新の連続だ。インドネシアの出身・オランダ国籍の華僑であるスイ・ヤム・ハン金蔵が創業した時は、スイスの大手時計メーカーSMH向けのム

アジレント・テクノロジーなどを通じて情報を収集し、出物を素早く買収した。CFO（最高財務責任者）のデリー・ワイアー氏は「ワン・カスターマー、ワン・プロダクトへの依存はリスクの多いことではない。今後素早

く多角化してバランスを保つことが重要」と語る。二〇〇〇年十二月期、ハナの売上高は七十三億バーツ（約二百億円）。構成は、電子機器の半導体部品（PCBA）が高価格品のタイ工場と低価格品の中国・上海工場併せてほぼ半分。発光ダイオード（LED）など光関連が三割、手元に残ったICパッケージが二割。二〇〇一年からHMT

ハナのもう一つの分散は経営陣にある。役員にはオーストラリア人のワイアー氏やドイツ人も加わる多国籍ぶりである。柔軟に動けるのは、様々な見方をぶつけ合っているから」とワイアー氏は自覚している。（バンコク）和田滋

アジアEMS群像

■3

「日本では日本に合ったやり方が必要になる」。米中堅EMS（電子機器の受託生産事業）、マニファクチャーズ・サービス（MSL）、マサチューセッツ州）の日本法人、日本エム・エス・エル（東京・目黒）の杉井盛生取締役

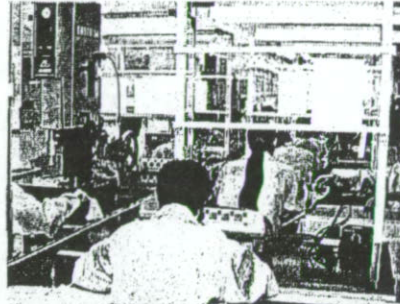
＜マニファクチャーズ・サービス概要＞
 △本社所在地 米マサチューセッツ州
 △売上 高 17億5800万円
 （2000年12月期速報）
 △純利益 400万ドルの赤字（同）
 △主要生産品 プリント基板、大型コンピューター、パソコン、携帯電話など
 △主要取引先 システムズ、エリクソン、IBM、インテル
 △ホームページ <http://www.msl.com>

マニファクチャーズ・サービス

（米 国）

は言い切る。EMSは米国でこそ情報技術（IT）市場の成長を支えた花形産業だが、日本での事業展開は試行錯誤の連続だった。

MSLが日本に進出したのは一九九六年。米国では最大手のソレクトロンに次ぐ先発組だ。当時、EMSのアジア



携帯型音響機器を製造するマニファクチャーズ・サービスの中国・深圳の工場。に好奇心を持ち、「当初からこもるだけだと思ってた」(杉井氏)。

しかし実際の受注は獲得に結びつけるには数々の障害があった。

MSLはこの五年間で大手情報機器、OA機器、カーナビゲーションなどの大口顧客を地道に獲得。ようやくユーザーが延べ十社に達し、本格的な受注活動が始まろうとしている。

MSLは苦勞して得た営業ノウハウを武器に極限に立ち、今後、日本への製造拠点を進出も検討する。

九四年設立のMSLの特色は、かつてサン・マイクロシステムズの事業部門の社長を務めた創業社長、メリア会長の人脈を生かし、ベンチャーキャピタルの強力な支援を受けてきたこと。豊富な資金力を武器にIBMやスリーコムなどの工場を次々に買収。創業わずか六年で従業員は五千人、二〇〇〇年十二月期の売上高は九一％増の十七億ドルに達した。

ただ、中国でも厳しい競争が待ち構えている。二〇〇三年でEMS企業への転換を図った台湾系の電子メーカーが押し寄せ、中国社への附け込みやすさ（原料供給の欧米企業と比べる。独特の西側社会制度が残るアジア社会に比べて）で対応できるか、実力が問われている。

（アジア部 徳永純）

「日本流」でユーザー獲得

欧米他社に先駆けノウハウ

進出の主流は、欧米系の情報機器、家電メーカーが生産拠点を数多く構える東南アジア諸国。系列企業を従えたメーカーからの受注は多い。日本は敬遠されがちだった。

新興勢力のMSLは他社が未開拓の日本を重視する戦略を打ち出した。

× × ×

例えば、同様の米国のメーカーは、EMSが生産を受託するのに必要な製品・部品の仕入れ、原料、品質など詳細を記した書類を完備しているのが普通だが、製造管理の

に製造拠点をもち、日本にもアジアでの売上高比率はまた一七％に過ぎない。米国経済に減速感が出る中、リスク分散の観点からもアジアの比率

香港のCCTテレコムは中国を舞台に生産体制を急速に拡大中だ。「中国」こそ世界のモノ作りの中心になる「クレメント・マック会長」との判断からだ。

〈CCTテレコムの概要〉
本社所在地 香港
売上高 15億7200万香港ドル
(99年12月期)
純利益 1億1000万香港ドル(同)
主要生産品 コードレスホン、携帯電話など
主要取引先 GE、トムソン、モトローラ、
パイナトーン、ディクソンなど
ホームページ <http://www.cct.com.hk>

CCTテレコム

(香港)

二月八日、マック会長は世界各社の取引先や香港メディアの記者を引き連れ、山東省・青島市に向かった。同社は中国最大の総合家電メーカー、海爾と合併で携帯電話の生産会社を設立したばかり。そのお披露目が目的だ。



エンジニアや幹部もほとんどが中国人(恵陽工場)

中国立地の強み生かす

自前で実装機、原価低減に全力

「Haier(海爾) 給も交渉中だ。設計能力を持つEEMS(電子機器の受託生産事業)企業として事業展開したい」
電話を中国国内に供給する「と、製造業への回帰を願った。」
主にコードレスホンを生産

「輸出価格は一台米ドル。合併会社の売上高利益率は約二〇%の見込み」
「。会費ではマック会長の威勢のいい話が聞いた。」
「これに先立つ一月十日、同会長は香港の記者を、広東省恵陽市の主力工場に」
「世界の電機メーカーが中国に立地するEEMSへの生産委託を急拡大し始めた。わが社が中国で」
「の生産ノウハウと設備を持つ」
「費用の過半を占める表面実装機を自作した。恵陽工場の「ドラゴンライン」だ。」
「市販の機械は一台の高速機」

「一九八〇年代初めマック氏が電話機の製造からスタートしたCCTは現在、世界最大の級のコードレスホンメーカーに成長した。二年前のネットブームに乗って多くの香港企業と同様、同社もインターネット関連ビジネスに手を染めた。最近、ネット関連子会社の株式は一部売却した。」
「EEMSに再び注力するのは生かし効率的なモノ作りを極める」という同社の基本戦略の反映だ。」
「。中国の安い人件費だけをあてにしているわけではない。同社は最近、プリント基板製造の主要工程で、慣習で競争が激しくなっている「ドラゴンライン」だ。」
「(香港) 鍾麗儀(通称)」

「する恵陽工場は月産百五十万台能力。これを六月には二百五十万台にまで引き上げる。恵陽市に隣接する東莞市でも近くは話機などの生産を開始する。」
「各工場の従業員はもうろく、エンジニアや幹部もほとんどが中国人。人件費の高い香港人は、全従業員が約一万人の恵陽工場ではほんの二三人。中国の利点を徹底的に生かし効率的なモノ作りを極める」という同社の基本戦略の反映だ。」
「。中国の安い人件費だけをあてにしているわけではない。同社は最近、プリント基板製造の主要工程で、慣習で競争が激しくなっている「ドラゴンライン」だ。」
「市販の機械は一台の高速機」

2. 先端技術動向調査委員会概要

本調査委員会では、先端技術のフロンティアで起きていることを、改めて第一線の研究者・実務家から予断を持たずに説明を受け、競争環境の変化や戦略的な意味、政策的含意などを検討した。以下に概要を示す。なお、文責は事務局の（財）政策科学研究所にある。

- 1) 医療福祉技術と産業化
- 2) 宇宙情報技術の最近の話題
- 3) これぞ中小企業の智慧
- 4) 我が国建設業の技術について
- 5) 文化財保存への先端技術応用
- 6) DNA 研究の最近の進歩と新しいバイオテクノロジー
- 7) 生物の不思議 - 分子機械としての細胞からヒトまで
- 8) 光産業技術の未来とベンチャー・ビジネス
- 9) 植物の不思議～情報伝達機構

2.1 医療福祉技術と産業化

講師：菊地眞氏（防衛医科大学校医用電子工学講座教授）

平成12年度 第1回先端技術動向調査委員会（2000.7.10）

2.1.1 菊地氏の講演

（1）はじめに

本日は、「医療福祉関係の技術の産業化」というタイトルでお話をさせていただきます。

私はもともと、電気工学の出身ですが、医学部に移り、medical engineering（医療技術）に取り組んできました。日本ではこの分野での真の意味での専門家が非常に少ないというのが現状です。

所属をしている防衛医科大学校は、防衛庁直轄の大学校で、昭和49年に防衛庁長官であった中曽根康弘氏が、自前の防衛医官が足りなくては困るということで、当時の日本医師会の武見太郎会長との協力で作った学校です。武見先生が文部省系の大学医学部にはない特色を出したいというご意向で、出来た講座が「医用電子工学講座」です。武見先生は当時から、「これからの医学は、scienceやtechnologyなくしては、臨床医学を含めてできない」とおっしゃっておられ、非常に先見の明がおありになり、文部省系の大学ではできない専門講座をお作りになったわけです。私は当時東京女子医大の桜井靖久先生の下で講師をしていたのですが、慶應出身ということもあって、武見先生からご指名をいただき、33歳で初代教授を任されることになりました。戦後では最年少教授で（その後の規則改正で、この記録はおそらく今後も破られることはないのではないかと思います）、重責を任されることになりました。

本日は、「百聞は一見にしかず」ということで、スライドやビデオを用いて、お話をしたいとおもいます。「医療福祉技術」というのは、皆さんがお考えになっている以上に身近なものであることがおわかりいただけるのではないかと思います。

経済再生ということで、日本の21世紀をIT革命で行うという話があります。経済が充実することは必須ですが、環境やヒト自身が健康でなければ、どんなに経済がよくても、真の意味での幸せにはなれないわけです。おそらく21世紀は、経済や環境以上に人々のQOL（Quality of life）が求められる時代になるのではないのでしょうか。その場合、やはり技術の進歩がそれを下支えする必要があります。その意味で、今後必要な技術、産業化すべき方向性について述べたいと思います。

限られた時間なので、ご参考のために、文献資料をご用意しました。

・「機械振興」2000年6月号：特集／21世紀の医療と医療機器産業

55頁からの「医療機器技術の現状と将来」は、(財)医療機器センター事務理事の筋内氏が執筆されていますが、私も関わっている厚生省の研究班で検討している、医療機器の医療におけるTAの検討（一昨年から実施）についてもふれられています。

・「通産ジャーナル」1999年9月号：特集／超高齢社会と医療・福祉産業の展開

当時の機情局の広瀬局長、石井威望先生（東大の医学部から機械工学に進まれ、今日のIT革命の旗振り役。東大外科におられたとき、私の教授だった桜井先生が木本外科で同門）、オムロン会長の立石氏との座談会の記録。

・5月25日朝日新聞夕刊の記事「それぞれのバリアフリー」

ISOの中で、今後はあらゆるプロダクトがハードウェアだけではなく、ソフトウェアやサービス、環境というすべてについて、高齢者や障害者を意識したもののづくりにすべきということを日本が発案して、検討をしています。政策宣言が年内にISOとIECの共管で出る予定になっています。これは国際規格という立場から全産業界に共通する理念になってくるものです。

（2）医療技術の変遷【スライド説明；以下Noがスライド番号】

*講演録中のNo.は、当日プレゼンテーションされたスライドの番号であるが、量が多いために掲載は省略している。

重要なもののみ提供をいただいたので最後に添付した（図1～5）。

1【国民全体の健康がどうなっているか】

医療技術や福祉についてお話するときに重要なことなのですが、現在の国民全体の健康がどうなっているかを把握する必要があります。日本の医療、国民健康の変遷についてみてみます。

1960年代（昭和30年代半ば）から、日本の医療環境は大きく変わってきました。昭和37年に国民皆保険の制度が導入されたことによって、世界的にみても医療に対して非常に手厚い施策が打たれました。また第2次世界大戦後の経済の復興とあいまって、死亡率が激減し、それに伴い平均寿命が鰻登りに上昇していきました。現在、男女共に世界一の長寿国になりました。それと同時に、医療費も増加してきたわけです。最近では約30兆円と国の予算の3分の1弱にまで達しています。

2【医療変化の因子】

今日お話する医療技術も、1960年代頃から、いわゆる電子技術等を導入するようになってきて急激な進歩が始まりました。

今後の医療の問題をお話するときに必ず出てくる4つのキーワードがあります。

「高齢化」社会が急速に進むと、それに伴い疾病は「慢性疾患」になり、ある意味で非常に手が掛かる状態になると、「医療需要」が未曾有に拡大することになる。国としてはこの三要因に対応していくことは非常大変だということで、それをバランスさせる唯一の手だてとして「医用技術の進歩」が必要になってくるわけです。

3【医療と福祉の連続性（図1）】

最近、高齢化社会ということで、介護保険をはじめ高齢者の問題が語られるわけですが、一般には、医療は病院の話で福祉は社会の話というように、福祉の問題と医療の問題というのは別個であると認識されているようですが、実は、一体化しているという概念を持つことが重要であると思います。結局求められることは、QOLの向上であり、その一番底辺にあるのは、心身の機能を正常にもどす、cureするという意味で医療技術がある。その医療技術に裏打ちされて、なおかつリハビリテーショ

ンの必要な状態、あるいは高齢化に伴い健康ではあるが身体能力が衰えて自立ができにくくなる、介護が必要になってくる。つまり、医療と福祉介護は分けて考えることはできない。

結局は、医療技術によって、(若年層を含め)高齢者が心身の健康を保ち、それに基づいて、高齢者支援や福祉介護を考えていく必要がある。その意味で、基盤をきちんとするということが一番重要であると思います。

4【華岡青洲の乳房摘出手術の絵】

現在の日本では、最先端の医療を極めて安く受けることが、当たり前のように思いますが、その歴史をみてみたいと思います。

この絵は、華岡青洲が朝鮮朝顔(マンダラゲ)を全身麻酔薬として用い、乳ガンの切除手術を初めて実施した図と言われています。1800年頃のことです。これが、日本の西洋医学の夜明けと言われています。1795年には杉田玄白の『解体新書』が出され、オランダから西洋医学が入ってきた頃です。つまり200年程前に初めて医学らしいものが日本に伝わってきたわけです。

5【帝国大学の中央手術場(1916年卒業アルバムより)】

その後100年たって、第2次産業革命が起こり、あらゆる科学技術が大きく進歩した時代ですが、医学については1916年の東大の中央手術場の写真はこんな状態で(魚河岸でマグロを切っているような感じで)、機械らしいものは何もありませんでした。当時はドイツ医学でした。

6【初の国産レントゲン】

1885年にレントゲンがX線を発見しました。1911年(明治44年)には国産初のレントゲンを島津が作りました。ちょうど今から100年前がひとつのエポックでありました。そしてちょうど今年が2000年というのも、DNAその他の新技術の面でまさに新世紀がはじまろうとしているように思います。

7【内科診療の写真】

明治37年(1904)の当時の内科の診断というのは、聴診器で音を聴いている状態で、医療はまさにアートでした。教授が「これは肺の〇〇性疾患の音だね」というと若い医者は何も言うことができなかった時代です。

8【シーメンス製の心電計】

大正の初期(1913~14)にシーメンスの心電計が初めて日本に入ってきました。

9【小型化した心電計】

一方、最近では心電計も非常に小型化しています。心筋梗塞で急に倒れた場合、胸に置けば心電図が測れるようになっています。完全に電子化が進んでいます。

10【手術場における監視装置の普及】

電子化は1948年にアメリカのベル研でトランジスタが出たのが最初です。その後50年代に10年かかってトランジスタラジオに代表されるように民生技術になり、60年代に大幅に医療技術に導入されました。日本でも、日本ME学会設立が1962年(昭和37年)、日本人工臓器学会も、日本内臓研究会から発展して1962年に設立されました。

11【除細動装置】

心臓がいよいよ危なくなったときに除細動という電気ショックをかけるのですが、最近ではこれもIT革命によって、そのタイミングについてもコンピュータが判定して自動的に除細動がかかるようになっています。

12【ペースメーカー】

最近では埋め込み型のペースメーカーが出来ていて、細動が起きやすいヒトの場合、ペースメーカーの中にdetector(検出器)があって、コンピュータが判断して除細動を施すことができます。つまり、本来ドクターがやっていた部分までを機械そのものがやる時代になっています。アメリカのFDA(食品医薬局)では許可がでていますし、日本でも臨床に用いられるという時代になってきています。

13 【X線CT】

X線CTは、全身用は1975年に第1号機が関東通信病院に導入されました。頭部用CTの第1号機は東京女子医大に入りました。

14 【ハンスフィールド】

X線CTは1972年に英国の技師ハンスフィールドが発明しました。彼は英国のEMIの中央研究所のPhDです。79年にはノーベル医学生理学賞を受賞しています。モノが出てから7年での受賞はおそらく最短でしょう。ペニシリンを発見したフレミングも、1928年にロンドン大学で溶菌現象を発見し、ノーベル賞は1945年に取っています。ペニシリンですら17年かかっているわけです。その間に第2次世界大戦があったために受賞できたとはいわれています。戦争もなく、7年での受賞というのは、いかにこのCT技術のインパクトが強かったかということを如実に語っていると思います。

15 【ハンスフィールド受賞と浜松医大・高橋先生の新聞記事】

79年はハンスフィールドとコーマック（CT画像処理の再構成アルゴリズム作成のアメリカのタフツ大学の物理学教授）という2人の物理学者が、ノーベル医学生理学賞を受賞しています。ここで申し上げたいことは、実は浜松医科大学の高橋先生が、彼らがやる10年前（60年代）からX線CTの基本部分、人体を輪切りにしてX線画像を撮るということをやっていたのです。しかし、日本にはそれを援助する目がなくて、ノーベル賞を逃したということになります。

これから21世紀に向けて、日本の医療技術、福祉関係の技術のために、本格的に国をあげて支援していく必要があると思います。

16 【3次元CT】

最近のCTは高速化しており、目の前にいる患者さんの映像を3次元で示すことができます。そして、このような情報をもとに手術が行われるようになっていきます。

17 【MRI】

MRIは軟部組織を描出するのにうってつけですが、目の前で検査をしている患者さんのナマの絵が、縦・横・斜めでも撮れるわけで、このような画像技術の進歩が過去40年の大きな話題だと思います。これについては、後ほどビデオもご覧いただきますが、最近ではこの画像をオンタイムで利用しながらコンピュータ・イメージ・アシステッド（CIA）による手術が質をあげるために行われています。

18 【番傘をさして手術】

東京女子医大の心臓外科の榊原先生は、東大の木本外科の一門で、東京女子医専（現女子医大）に赴任されたのですが、当時の女子医専は、手術場の窓にも穴があいているほどで、蠅が入ってきたり、雨漏りがするような状況だったそうです。入局1年目の若い医者の仕事は、雨水が術野にはいらないように番傘をさすのが役目であったという話もあるくらいでした。実は、この写真は先生一流のユーモアで、ヤラセだったそうですが、これで女子医専の窮状を訴え、財界その他から相当資金を集めたということです。

先生は、「世界の榊原」と言われていますが、これは動いている心臓をそのまま開胸手術すると細かいことができないし、長時間の手術ができないので、一旦止めてゆっくり手術をするために、血液を抜いて酸素化して戻すという体外循環という方法を医療機械の方とともにローラーポンプや酸素化の技術を開発した功績で有名になりました。

今日の臨床医療も、医療技術を得た教室が有名になっています。

19 【最近の手術室】

これは、最近の大学病院のごく普通のオペ室です。市中病院でも、心臓や脳外科のあるところでは、当たり前前の機器です。医療の現場というより工場の最先端オートメーションのシステムのような感じで、技術なくて医療はできない状況です。かつて武見先生はこのような環境になることを予測されていたのだと思います。

20 【電気メス】

米国MITの電気工学科教授であるボビー氏が開発した電気メスです。1930年代の話ですが、当時、開頭手術は出血が多くて非常に難しかったのですが、ボビー氏の発案で、高周波を流してジュール熱で出血を止めたらということで、電気メスを1928年に考案しました。それをMGH（マサチューセッツ・ゼネラルホスピタル）の脳外科のハーベイ・クッシング教授が使い、「脳外科の父」と呼ばれました。当時はドイツ医学が世界の先端であり、日本の場合には1870年に政府がドイツ医学を導入して各地に医科大学を作りました。アメリカは当時は医学については後進でありましたが、脳外科に関しては電気メスの開発のおかげで、一気に世界一に躍り出たわけです。ドイツは電気メスの能力を評価しなかったために、脳外科ではアメリカから2歩も3歩も遅れをとることになりました。

21 【科学→技術移転の変化（図2）】

以上、お話してきたように、1900年前後に医療技術の大きな転換があったわけです。もう一つの転換は第2次世界大戦後の半導体をはじめとする新技術の導入によるものです。ここで注目しなくてはならないことは、サイエンスから出てきたモノがテクノロジーにトランスファーするときの時相が、どんどん早くなっているということです。特に医療技術の場合は産業技術とは異なり、目の前にいる患者さんが主体ですので、コスト効果や場合によっては安全性すら度外視しても導入したいというのが基本的考え方です。今日“SCIENCE”や“NATURE”に載るような純粋科学が明日は医療現場に来ているというような時代というのはまんざらウソではないという現状です。あとでお話するDNA関係はまさにその状況にあります。

つまり、サイエンスからテクノロジーへの移行期間が非常に短いということは、先のサイエンスを予測できなければ追いつかないということだとも言えます。日本で産業化をして高品質で廉価な技術を出していくということは、21世紀の医療技術にとって非常に重要な役割であると思います。世界にはまだ医療技術が充分になく、困っている国々はたくさんあります。日米欧の三極がそれなりの責務を果たしていく必要がある。そのときに、サイエンスのベースからきちんと見ておかねばいけないと思います。

22 【技術依存の現状】

現在の医療は技術に依存しているわけですが、1960年以降約40年にわたって、極めて医学に貢献してきたのがメディカルエンジニアリングです。しかし社会全体から見ると、高度先進医療はすべてがバラ色であったわけではありません。

23 【漫画】

ひとつは、やはり高度先進医療にはお金がかかる。これはアメリカのジャーナルに掲載された漫画です。看護婦長が、患者のデータを見て「なかなか状態がいいじゃない。この一つ（お金）を除いては…」と言っている。

24 【1995年の新聞記事】

これは1995年の新聞記事ですが、現在では医療費はすでに30兆円に近づいている現状で、これは国家予算の3分の1弱を占めているわけです。ところが、このことを認識している医学生はほとんどいない、医療関係者全体をみてもそういうセンスには極めて疎いというのが現状です。

もちろんこの膨大な30兆円というものが無駄になっているということではありません。一般家庭で収入の3分の1を医者に払うとなると、これは大変なことで、文化的な生活を維持することは難しくなる。しかし、国の場合はある意味の社会投資、社会還元になっているわけですから、見方によってはもっと医療費は高くてもという話もあります。東大におられた経済学の宇沢先生もそういうお話をされています。

25 【医療費の比較表】

アメリカでも1980年代で医療費の高騰が問題になりました。しかしこの詳細を1985年にできたTA（テクノロジー・アセスメント）の国際学会が調査をしています。例えば、オーストラリアのデータですが、結石破碎治療装置の経費を分析比較しています。外科手術はせず、衝撃波を与えて石を砕いて流す方法がありますが、その機械であるESWLは当初3億（現在は数千万円）でしたが、それが高いか否かという評価を、前後の入院費用も含めて計算したところ、もっとも上手く適用した場合

は、開腹手術の半分の費用で済むという結果が出ています。つまり、高度先進医療技術は、トータルでみると、必ずしも金食い虫ではないわけです。

26 【93年のMEジャーナルの表紙】

このように定量的に議論することがevidenced based medicine、あるいはそれに基づくTA、cost-effectiveness分析です。これは、93年のアメリカBME学会のジャーナルの表紙です。一人の男性が崖っぷちに立たされていて、大きな耳に向かって“advocacy”を叫んでいます。この大きな耳はワシントンをしており、崖っぷちに立たされた先端医療技術が、ワシントンの政府に向けて、「先端医療技術は、結局は役に立つ」と叫んでいるのです。アメリカの場合は、医療技術を最先端の知的高付加価値優良産業と位置づけていますが、それを既に93年には学会がアピールしているわけです。

27 【NIHで講演する上院議員】

それを受けて、NIHがバイオエンジニアリング・コンソーシアム（BECON）をつくり、今までの医療技術とこれからのバイオエンジニアリングを合体して優良産業として21世紀も一人勝ちをねらって、様々な取り組みをしています。98年2月にはワシントン郊外にあるNIH（国立保健研究所）で講演会を開いています。その際に、上院議員（もと心臓外科医）が出席して、1本30万円くらいする使い捨ての心臓カテーテルを例にとり上げて優良企業であることを宣伝しているわけです。

アメリカでは政府や議員が、いろんな場面で相当後押ししています。例えば、92年にBECONの基になったある会合の発会式に私も日本から唯一参加したのですが、そのときには当時の大統領補佐官が厳戒体制のもと基調講演をされました。アメリカ全体としてヘルスケア技術に非常に関心が高いことがわかります。

28 【医療政策の変遷】

医療全体としては、1960年からの変化をみると、ほぼ10年刻みで医療政策がかわってきています。

60年代は医療の量を増やす時代でした。医療機関をどんどん増やした。70年代になると、ほぼ充足して生きた医療機関の質を上げることに力を入れた。これは60年代からでた新しい医療技術を導入するということに対応しました。80年代になるとコストがかかることが問題とされ、90年代にはクオリティとコストのバランスをいかにとるかということが命題となりました。では2000年以降はどうなるか。多分、バランスよりも高度先進医療が世界的に進む情勢を踏まえ、日本としてはその流れに遅れずにのっていく必要があるのではないかと思います。結局はそれがいい意味でコストにも跳ね返ってくることになるでしょう。

29 【医療技術の変遷】

医療政策は60年から10年毎に変化してきましたが、医療技術そのものについては、私見ですが、自分自身の経験から以下のように三世代に区分して考えています。まず60年から75年、75年はパーソナルコンピュータが出てきた時代です。次が75年から90年で、これが画像技術が大幅に医療に入った時代です。

(3) 最先端の医療の手術状況【ビデオ上映】

computer assisted surgeryの最先端の状況をお見せしたいと思います。これは、昨年の夏に全米で放映されたものです（先生が25分を5分間に短縮）。

頭に大きな腫瘍ができた女性の手術です。当初は必ず運動と感覚能力の部分で麻痺が生じるとどの脳外科医も手術を拒否していました。ハーバード大学にcomputer assisted surgeryの病院があって、そこで手術をしたわけです。MRIを撮って、コンピュータを使い、脳の血管や腫瘍を詳細に描出し、それを基に手術がはじまります。非常に微細な手術が要求されます。腫瘍をとった後に、磁気のパルスをかけて、手の反応をみるなどの運動感覚領域の同定を行います。MRIの画像だけでなく、機能検査を手術最中に加えてはつきりと部位を同定しています。

手術の前には、3次元の立体像が見えるゴーグルをかけ、医者は患者やその家族に状況を詳細に伝えて、患者自身のデシジョンを聴いてオペに入ります。彼女の場合は、「感覚系は犠牲にしてもいいが、できるだけ運動機能は保持したい」という希望がありました。

麻酔をして骨をはずしていますが、この術室にはビデオカメラが設置されていて、それに重ねるように絵を描き、立体的に広がりと深さが映し出されます。腫瘍除去の手術のポイントは腫瘍が周辺組織のどこまで浸潤しているかを見極めることです。残せばかならず再発してしまうので、ギリギリのところで取らなければなりません。一度深い麻酔を覚めさせて、患者の頭がい骨は開いているけれど、意識があり、外科医と応答しながらオペを受けています。電気刺激をかけて、どこまで神経系がつながっているかを詳細にしらべてマーキングしていきます。もし腫瘍が神経や運動領域まで達していたらどうするかについて、事前に患者自身と話し合っています。外科医はその意を受けて、ギリギリの所まで切る手術をします。この場合の画像の利用はプリミティブではありますが、今後もっと進んでいくでしょう。特に深さについては画像支援がなければ、外科医の手がでなかったわけです。腫瘍は病理組織検査の結果それほど悪性ではなかったのですが、相当量を切り取ることになりました。結局彼女は無事に退院できたわけです。

アメリカでは、こういう非常にチャレンジアブルなものが、ゴールデンタイムに全米に放映され、多くの子供達も見えています。世のため世のためになる職業、あるいは儲かる仕事というものははっきりとわかるようです。日本の場合、ゴールデンウィークに、子供達に将来何になりたいかを聞いたアンケート結果が出ていましたが、男子はほとんどがスポーツ選手でした。7位くらいに学者・研究者があって、ちょっとホッとしましたが…。日本もアメリカのように、将来の仕事としてもっと魅力的で世の中に役立つ分野を子供達にアピールしていく必要があると思います。

(4) 今後の医療技術の方向性

30 【侵襲から低又は無侵襲治療へ】

computer assisted surgeryと同時に、今後の治療を中心とした技術がどういう方向性で進むかについてお話します。これは低侵襲治療になっていくと思います。できれば外科的に切らずに noninvasively (非侵襲的) に治療する、あるいは内服で治療する。それが大きな方向です。外科医もお腹を切らずに治療する時代になってきているわけです。

31 【狭心症の冠動脈】

狭心症で血管が細くなっているところにカテーテルを入れ、バルーンを膨らませて幅を広げ、血管内視鏡 (直径1.5ミリ以下) でみると、血管内壁の荒れた様子がよくわかります。

32 【NEDO プロジェクト】

そこで、通産省のNEDOのプロジェクトですが、5年で1テーマで予算は3～5億円、防衛医大、浜松フォトニクス、フクダ電子、三菱電線の4チームで、血管の中に光ファイバーを入れて、レーザー治療するものを開発しました。

33 【カテーテル】

心臓の冠状動脈の Laser angioplasty (レーザー動脈内手術) というもので、危険な部位を血管の中で手術するものです。

34 【カテーテルの断面】

ヒトの場合、心筋梗塞の起こる場所は直径1.5ミリくらいです。そこが詰まってしまうわけです。その中にカテーテルを入れるのですが、心臓が動いている状態で微細な手術をしなければなりません。下手にレーザーで血管壁に穴を開けてしまうと危険なことになります。直径1.6ミリ程度の細径カテーテルの断面には7ルーメンといって7つの孔が開いています。

35 【レーザー治療】

血管の中にカテーテルを入れた後、バルーンを膨らませて血液がくるのを遮断し、生理食塩水で透明に洗って、光をガイド光として当てて、フォーカスしてレーザーで狙い打ちにするとという多機能を、1.5ミリ直径の中でしかも動いている心臓にのっている血管の中で行うわけです。現代の先端医療技術はここまでできています。

36 【血圧計】

minimum invasively ということで、これはいわゆる非観血血圧計です。

37 【無侵襲連続血糖値測定システム】

血圧や心拍は物理的生体信号ですが、高齢者が増えてくると、糖尿病や肝疾患など、血液生化学で、従来なら採血して検査するものを、長時間採血しないでモニターすることが非常に重要になってきます。そこでNEDOから資金を得て、NECの中央研究所と防衛医大で開発しました。

38 【無侵襲連続血糖値測定システム】

皮膚表面を吸引することにより採取される吸引組織液の糖濃度を微小なイオン感受性電界効果型トランジスタ (ISFET) バイオセンサによって連続測定するものです。採血せずに得られる吸引組織液の糖濃度が血糖値と良好な相関を示すことを利用しています。

39 【蚊】

蚊は究極の低侵襲吸血技術を持っているわけですが、これをマネしようとするものがbio-mimickingの試みです。

40 【マイクロマシン、ギア】

日本が世界でも最先端を行くマイクロマシンの世界です。0.1ミリ以下のギアです。

41 【マイクロマシン】

マイクロマシンの開発は、通産省も財団をつくり、90年代に華々しく取り組んできました。最近見直しの時期に入って、医用マイクロマシンは少し後退気味ですが、今後の展開分野で医療福祉部門は非常に有望であると思います。

42 【米軍での最先端技術】

アメリカ軍は、世界中に兵隊を送っていますが、怪我などに備えて、そこでも最先端の技術を使っている例をお話します。

43 【デジタルタグ】

医療情報関係の一例ですが、兵隊はもともと認識票を常に付けていますが、デジタルのタグ (dog tag) をつけると、戦場のどこにだれがいるのか司令室で分かるようになっていきます。最近は戦闘服の下にウェアラブルコンピュータの元祖のようなジャケットを着て、何処を撃たれた兵隊が何人いるかをモニターしていて、ヘリコプターの出し方、野戦病院で治療する場合は、本土から画像を使って専門医がリモートオペをする。衛生兵はその場の処置だけをするというくらいになっています。このようなアメリカ軍の技術も、どんどん民生化しています。最近では、computer assisted surgeryをさらに進めて自動化したrobotic surgeryも始まっています。

44 【脳の時代】

90年代は、脳の時代と言われ、大型の研究費も投入されましたが、ある意味ではピークは過ぎたのではないかと思います。

45 【ゲノム解析：読売新聞記事】

では、2000年以降の医療技術はどうなるか。これからはやはりDNAの時代になると思います。ほぼヒトのゲノム解析は終わったわけで、ヒト遺伝子の構造の地図ができあがったことになります。化学でいえば元素の周期律表を手に入れたわけで、これからアメリカはこの周期律表をもとに産業化を進めようとしています。そこが日本人と考え方の違うところです。1900年当初に合成化学が出てきて、ナイロンなどの一大産業ができました。これも化学者が試験管を振っていただけは産業化されなかったわけで、産業化のために化学プラントを作ったり、関連のエンジニアリング技術が成熟しなければならなかった。今、アメリカは、ゲノム解析自体は単純な解析作業であり、ポストゲノム、疾患との対応やそれを使った医療技術を開発する人材の育成に取り組んでいます。アメリカの大学は工学部をバイオサイエンスで再編成して、従来の電気、機械、情報と、生物・化学の学生が同じところで勉強して、融合しながら新しいものを作り出すような環境に変わってきていますし、それが唯一大学の生き残りであるとさえ言われています。

46 【ポストゲノム】

これからは、DNA構造と疾患、さらにタンパク合成がどうからむかについて研究をしていかなければなりません。ゲノムは解析時代から応用の時代に入ってきています。

昨年2週間程、米国の現地調査をしました。政府機関、大学、ベンチャー企業、研究所をまわってきました。そこで感じたことは、2000年以降はDNA利用技術、それは食糧だけでなく、医療技術やヘルスケアに取り組むべきだということです。

47【通産省の取り組み】

通産省でも来年に向けて、予算措置をしています。DNA関連技術はかなりレベルの高いものであり、アメリカと日本、そして一部のヨーロッパの国でしか取り組めない技術です。それを高品質でコストもさげず世界に供給するには、やはり日本が第2の半導体、自動車として位置づけて取り組むべきものだと思います。

48【アメリカの取り組み】

アメリカでは、すでに前述のバイオエンジニアリング・コンソーシアム（BECON）ができています。大学でも、ITからDNAまでを取り入れています。日本も対応をあやまると、さらにアメリカに水をあけられることになるかと危惧します。

49【大学の取り組み】

ジョージア工科大学やシアトル大学医学部の中などに、産業界が出資してバイオサイエンスの研究所が続々とできています。また、そこで研究する人材は、世界中から集めてきます。日本も、これからは日本人だけでなく、質の高い人材を世界から雇い入れるようにしなければならないと思います。また、世界から来てくれるだけの魅力のある研究環境や立地条件を整える必要があります。

【DNAチップ】

日本では、まだ国産のものができていません。チップはレーザー光でスキャンして見るのですが、1万塩基くらいが入っていて、患者さんのサンプルを入れると、スリットを通して浸透して、特殊なDNA部分だけが共合的に結合して、この場合は蛍光標識をレーザーでスキャンすると疾患に由来したDNA変異が分かります。これからは、ベッドサイドで、患者の目の前で、例えば白血病の種類がわかるようになり、それで治療方針も変わるようになる。現状では1枚40万円位しますので、これでは臨床はもちろん、研究でもなかなか使えません。

50【DNAチップ】

ヒトのDNAの構造がはっきりしてきて、その中の極めて短い部分をカットして基盤状の上につけるということを、国産でやろうとしています。疾患毎にチップを作って行ければ、専用で極めて迅速にDNAレベルで診断がつくことになります。

51【移植技術】

次に移植技術についてお話しします。これは鼠蹊部に手を移植した状態です。10年位以前のスライドですが、事故で手を切断された場合に、それをまた手術でつけないおすのですが、事故で切り口が摩滅している場合に、着く側の腕が十分に回復するまで待つて移植をするわけです。しかしそのままでは切断された手の組織が死んでしまうので、自分自身の組織に一部植えておいて再手術するという事です。最近では、これを体外循環で、箱の中で酸素化した血液をまわして行うことも可能です。

52【再生医療】

アメリカが今取り組んでいる再生医療は、自分自身あるいは人からもらった細胞を化学プラントの中で増殖して使うということが行われています。例えば、肘や膝の軟骨、火傷の治療のための皮膚を、ベンチャー企業で作っています。

これは、stem-cell（幹細胞）といって、生まれたての赤ん坊の細胞がいろんな臓器に変化していく幹の細胞です。これを使って細胞増殖させ、サイトカインなどの生化学物質でコントロールすると上手く育ちます。その育った細胞をscaffold（足場）といって、3次元のマトリックスの上で生かしてやる。これは合法的な現代の錬金術と言えましょう。アメリカではまだ割礼をしているので、それで取った組織をただ同然で買い取っています。赤ん坊なので免疫反応も低く、細胞をバラバラにして育てます。

53【皮膚のシート】

たとえば、皮膚のシートは火傷の治療に使います。他人の組織を使いますが、場合によっては患者からあらかじめ皮膚や軟骨の細胞を取って、会社に送り、それを育てて治療に使うわけです。

54 【MBE2乗（図3）】

1987～88年頃にアメリカがこれらの技術も組織工学（Tissue Engineering）と命名して、さまざまな取り組みが行われ、DNA同様にここでも10年日本は水をあけられたと言われています。

これからは、従来からのメディカル&バイオロジカル・エンジニアリング（MBE）に、新たにモレキュラーバイオロジー（DNAに代表される分子生物学）のMBとインダストリアル・エンジニアリングのEが加わり、(MBE)²領域が21世紀に出てくると思います。2乗の持つ意味は大きく、乗数部分が1以上になりませんと増えていかないわけです。アメリカは90年代に産官学を急速に整備して、(MBE)²のMBE部分を1以上に持ち上げましたが、日本はまだ1以下にあるわけで、それ故に今後を非常に危惧しています。

（5）高齢者問題

55 【高齢者問題】

これまでは医療技術の最先端についてお話してきました。高齢者に必要なのは必ずしもハイテクだけではありません。

56 【要介護数の推計】

未曾有の高齢社会に入っているわけですが、全人口1.2億人のうち約3千万人が高齢者、そのうちの1割（300万人）が要介護者です。要介護のうち施設で介護できるのはそのうちの4分の1程度で、あとは家族が看ているわけで、厚生省も介護保険の導入にふみきったわけです。65歳以上を高齢者と定義し、全人口の14%以上を高齢者が占めると、定義上でも高齢化社会と呼びます。我が国は1994年にすでに14%を越えています。

57 【障害に対する概念の変化】

そうすると、一般の経済活動を含めて、消費者の4人に1人がお年寄りということになるわけです。当然、お年寄りの求めるものを供給しなければモノは売れない時代になります。特に高齢者は健康だと言っている、心身の機能は低下してくるわけです。かつてはリハビリテーションは第2次世界大戦の戦傷兵の治療から出発したわけですが、それが1960年代のアメリカの公民権運動からハンディキャップを持つ者は社会的に処遇すべきであるという、結果の平等を求める考え方が出てきました。それが80年代から、WHOが「高齢者・障害者の10カ年」を打ち出してから、最近では“ディスアビリティ”ということで、社会における機会の平等を求める方向に変わってきました。これは障害者も高齢者も若者も元気な人も全部が機会平等でなければいけないということです。

58 【総合的システムの必要性】

そういう観点から、バリアフリーという考え方が出てきました。したがって、これからは“医療と福祉と保健”の三位一体の総合的政策システムが必要になります。

59 【医療モデルから生活モデルへ】

つまり、医療だけをやっていても片手落ちになるわけです。最近、WHOなども障害者問題を語る際に従来の医療モデルではなく、高齢者を含めた障害者の生活モデルとして考えるべきであると提言しています。

60 【日本ロボット工学会誌の表紙】

これを技術の方から考えると、これは日本ロボット工学会の学会誌の表紙ですが、高齢化社会がロボットの出番であると言い始めました。しかし、実際はこれだけでは足りないのです。

61 【介護支援】

現在、介護支援の中でメカトロニクスが必要とされている部分は、人間の尊厳を保つこと、つまり、排泄、入浴、食事介助の部分です。例えば、おじいさんなら、下の世話は息子の嫁にはしてもらいたくないわけです。

62 【介護支援】

したがって、排泄、入浴、食事、移動（移乗）をメカトロニクスを中心とした技術で、自立支援するわけです。

63 【生活支援】

しかし、そういったもので、たとえ生かされていたとしても、それは何のためなのか、という問題が出てきます。当然、社会とインテグレートしていかなければならない。リハビリ工学、医学の狭義の学問分野や技術があると同時に、生活支援そのものを考える必要があるわけです。この9月には、通産省が後押しして（仮称）日本生活支援工学会をつくることになっており、新しい学問分野が形成されようとしています。さらに社会ではユニバーサルデザイン、（財）共用品推進機構などもできています。

64 【特別ではない障害者・高齢者】

社会全体が、障害者や高齢者を特別視できない状況になっています。特にあと10～15年で日本では4人に1人が高齢者になる時代です。高齢者は特別な問題ではありませんし、彼らが豊かな生活を送れるようにしようというのが最近の考え方です。

65 【ISOの動き】

現在、ISOの中には消費者政策委員会（COPOLCO）がありますが、そこではものづくりの国際規格の中に消費者（ユーザー）の意見を入れようという考えがあります。このCOPOLCOに対して1998年に日本から提案したもので、これからのものづくり（ハード、ソフト、サービス、環境）のすべてを、障害者・高齢者を意識したものにすべきということで、それを具体的に条文化するためのワーキンググループが出来ました。私が委員長をしています。最近、ISOの技術側であるテクノロジーマネジメントボード（TMB）でガイドラインの作成をしています。

来年には、ヨーロッパのCENやCENELECがISO・TMBのガイドラインを規格として導入することを決定しています。今後急激にこのような考え方が、建築や工業デザインの他に産業界の全てにわたって浸透していくと思います。

（6）まとめ

66 【今後の日本を支える分野】

今後の日本を支える分野は15分野ほどありますが、その中に医療福祉技術があがっています。雇用創出という意味では、介護の関係で相当数にのぼると言われています。

67 【今後の医療技術のあり方】

特に大事なことは、これまで医療技術、福祉は“アブリアリに善（作った技術は必ず役に立つ）”だったのですが、今後は費用・効果が求められ、社会そのものが求めているものを的確に把握し、ニーズとシーズのボタンの掛け違いが起らないようにしていかなければならないと思います。

68 【医療制度の満足度】

これからは、ある意味で洗練された技術やサービスを提供すべきです。これはアメリカの製薬工業会のアンケートで、先進11カ国の医療制度の満足度を調査した結果です。日本の場合、これだけ高度の医療を廉価で享受しているにもかかわらず、満足度は低く約30%です。アメリカは保険制度に問題があって10%、50%以上が満足しているのはカナダぐらいです。多分日本の満足度の低さは、医療技術には満足していても、ドクターや医療スタッフからの適切な情報・コミュニケーションがないことへの不満が現れているのではないのでしょうか。そのミスマッチの結果ではないかというのが、医師会などの関係者と議論した際の結果で、医療界で問題になっている点です。

69 【情報のミスマッチ】

インフォームドコンセントという言葉がありますが、みんなが求めているものに対して、実際に与えられているものが非常に粗末なものであるのだと思います。

70 【やさしい医療技術（図4）】

今後、医療技術や福祉技術の産業化にとって必要なことは、それを受ける消費者の感覚、国民の求めているものを見極めることが大切だということです。湾岸戦争時の雑誌に出ていた絵ですが、もう外交政策上ミサイルを撃つ時代は終わり平和外交であるということです。これは医療福祉技術の目からみても同様です。つまり、国民が求めているものは、最先端のガラギ

ラした技術ではない、やさしい医療技術が求められているわけです。疾患がなおり、QOLが上がるものが求められているわけです。しかし、鳩がバラを加えて音速の2倍で飛行する戦闘機から飛び出すためには、その部分には間違いなくハイテクが必要になるわけです。

71 【21世紀の医療技術（図5）】

21世紀の医療技術には、ハイテクも必要であり、ローテクも必要で、これは産業界として非常に大きな裾野を持っていることになります。

72 【新しい日本のコンセプトをつくるべき】

最後に、このような話題をアメリカ人の先生と議論する際に、非常にうらやましいと思ったことがありました。つまり、この40年間の医療技術が、医学・医療に何をもたらしたかを考えると、彼は三つにまとめた訳です。第一がデバイスそのもの、第二はそれらをまとめたシステムです。日本人同士で話すとここで終わってしまう訳ですが、彼らは第三のインパクト、より大事な要素として、医療技術が医学・医療のコンセプトそのものを変えてきたことだと言うのです。新しい医療技術を核にして、それがもたらす医学・医療上の影響、コストの問題、産業構造の変化などの問題を多面的に考え、新しい日本の医療コンセプトと施策をつくるべきだと思います。医療福祉はまさに“ナショナルディフェンス”であると思います。どこまで、人、物、金、技術を投入すれば、国民が安心して暮らすことができるコンセンサスが得られるかといった感覚です。

2.1.2 質疑応答

質問：機械工学と化学の融合に非常に興味がありますが、ITとBTが一体になって進んでいるのが医療技術の分野であると思います。気になる点はクローン技術です。これは神の摂理に反するというので、どの国でも禁じているわけですが、部分クローン、例えば移植技術はどのへんまで許されることになるのでしょうか。

菊地：今日は産業化に焦点を当ててお話しましたが、ご指摘の点は非常に基本的な部分であり、十分に議論がなされ、国民的コンセンサスがないと、むしろ産業が阻害されることになる可能性があります。現在食品の問題で、遺伝子組み替え食品の問題が取り上げられ、ある意味で過剰反応を示している部分が見えます。これは国民性なのかもしれません。今後、医療技術の中にどんどんバイオテクノロジーが入ってくると、一部他人の遺伝子が入るのではないかという心配がでてきますが、これは厚生省、科技厅とも非常に大きな関心を持っていて、自治医大の学長高久先生が座長で、遺伝子あるいは生体組織をつかった医療技術の倫理問題について答申が出されています。今後も徐々に内容が整備され、それを踏まえて産業化を進めていくことになると思います。当然遺伝子の組み替えは人への適用は厳密に世界各国で規定していて、それを踏み外した形で医療に適用されることはありません。また、組織工学では赤ん坊の割礼した細胞を使うという話をしましたが、それが個人のDNAに入って影響を及ぼすと言うことはありません。一般的には非常に強い免疫反応がありますし、免疫反応が起こらないようにして使うことが常識になっていますので、そういうバリアを崩すことを倫理を超えては行われたいと思います。

質問：アメリカに比べて10年水をあけられたというお話ですが、その差を狭める解決法はどういうものなのでしょうか。教育問題か、資金の問題か、システムの問題か、体制の問題か。

菊地：おそらく、この問題は医療福祉関係の技術だけではなく、産業界全体の問題だという気がします。差を縮めるというより、これはもう埋まらないと思います。とくにDNA応用分野ではすでに特許が抑えられていて、それをぐりぬけるためにはカウンター特許として、日本もいい特許をとっていくしか方法がないというのが産業界の話です。お互いに良いものを相互的に乗り入れて、場合によっては相手の特許にお金を払って使っていくということです。

なぜ日本でDNAチップができなかったのかというと、日本は半導体産業があり、また生物工学分野でも優秀であったわけですが、やはり各々の分野で縦割り、その間で技術融合が生じる場がなかったからだと思います。米国はベンチャーを含め、

各々が横断的に関わって良いものをつくっていくフロンティア精神があるのだと思います。今後の日本では、複合化技術をどう効果的に進めるかが問題です。これからは単品技術では勝負出来ない状況だと思います。今まで生物学と工学は水と油のように思われてきましたが、アメリカの大学では同じクラスで勉強しているという状況です。私は、臨床の医師の資格はありませんが、現在癌温熱療法学会の学会長を仰せつかっております。今はそういう時代なのです。これから、日本（人）も発想を豊かにしていく必要があると思います。

質問：ということは、お金を投入してもダメということでしょうか。例えば2倍にするとどうでしょう。

菊地：2倍にしてもダメだと思います。非常に悲観的ですが、マンパワーの問題です。

質問：お金を使ってアメリカから呼んでくるというのは？

菊地：それはいいと思います。アメリカでも10年間人材を育てて、それで今日の産業化が見えてきた。つまり人づくりにもっと力を注ぐべきだと思います。これは医療福祉技術の分野だけではなく、今後日本が生き残っていくために必要なことでしょう。ある程度、戦略的に分野を決めて重点的に人をつぎ込むべきです。ビデオ上映の際もお話しましたが、学校教育だけが全てではなく、テレビ番組などを通じて若い人にフロンティア精神を植え付けることもできるわけです。外国では高校生くらいで、自分はスポーツで生き残るか、頭脳で勝負するかを考える時期があるわけですが、現在の日本の場合には小学生くらいでプロスポーツ選手になれるかどうかの振り分けがあって、もし素質がなければ後は夢も希望もないのが実状ではないでしょうか。

質問：以前棚橋氏が電子商取引の話で、日米の差は、ビジネスモデルができるか否かであると言われましたが、今日のお話もおなじようなことと考えてよいでしょうか。

菊地：個人的な印象ですが、医療・福祉技術においても早くビジネスモデルをつくるべきだと思います。医療や福祉は特別の話題と考えている人が多く、一般人が入り込む余地はないという感じがあるようですが、それを払拭すべきだと思います。むしろ、一般の人が何をしてもらいたいのかということが原点なのです。特に高齢者福祉はビジネスモデルのなかで進めるべき課題ではないでしょうか。これまでのように国が与えるもの、措置という形では、対応できない状況になっています。完全に自由経済市場の中で進めていくセンスが必要だと思います。

司会：ありがとうございました。（拍手）

図1 (スライド3) 【医療と福祉の連続性】

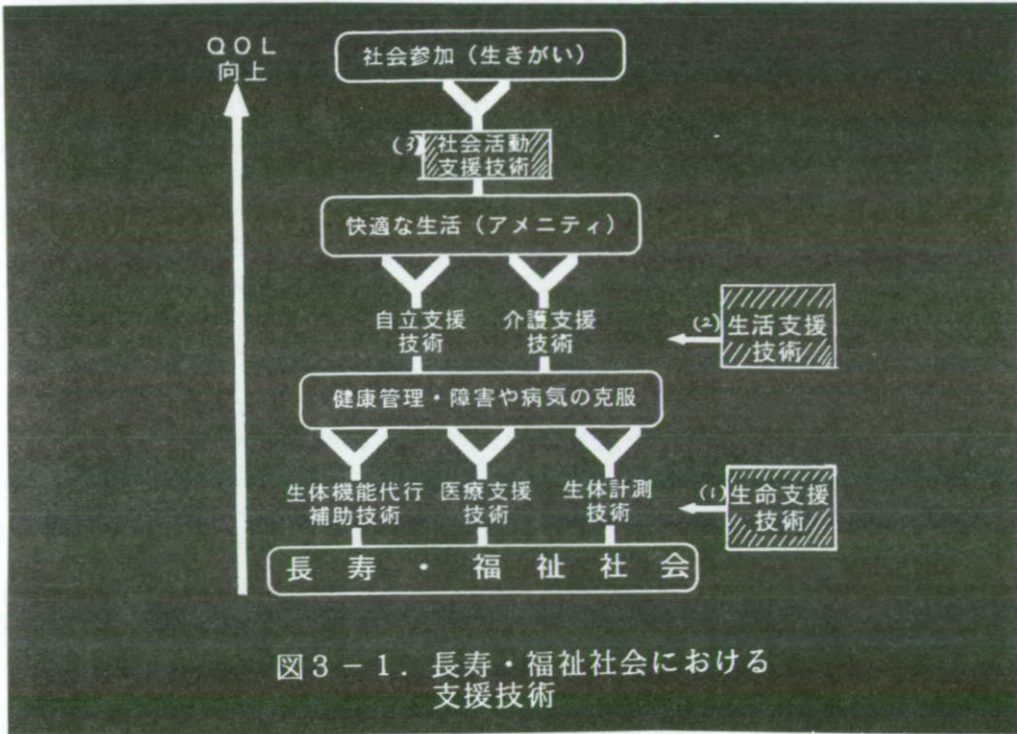


図2 (スライド21) 【科学→技術移転の変化】

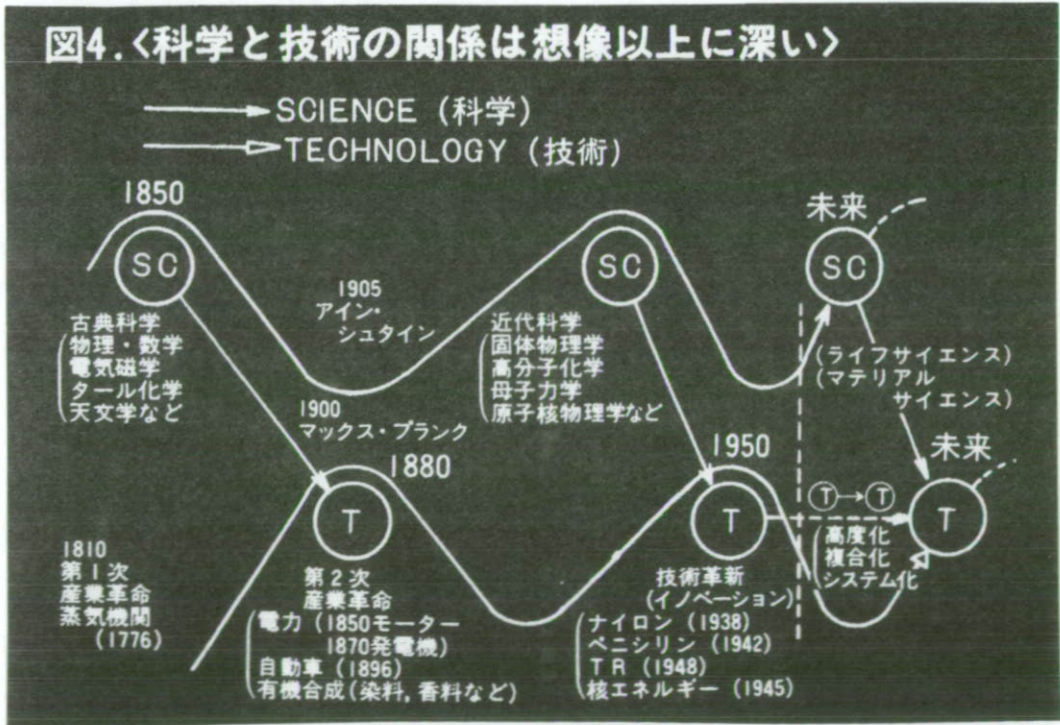


図 3 (スライド 54) 【MBE2 乗】

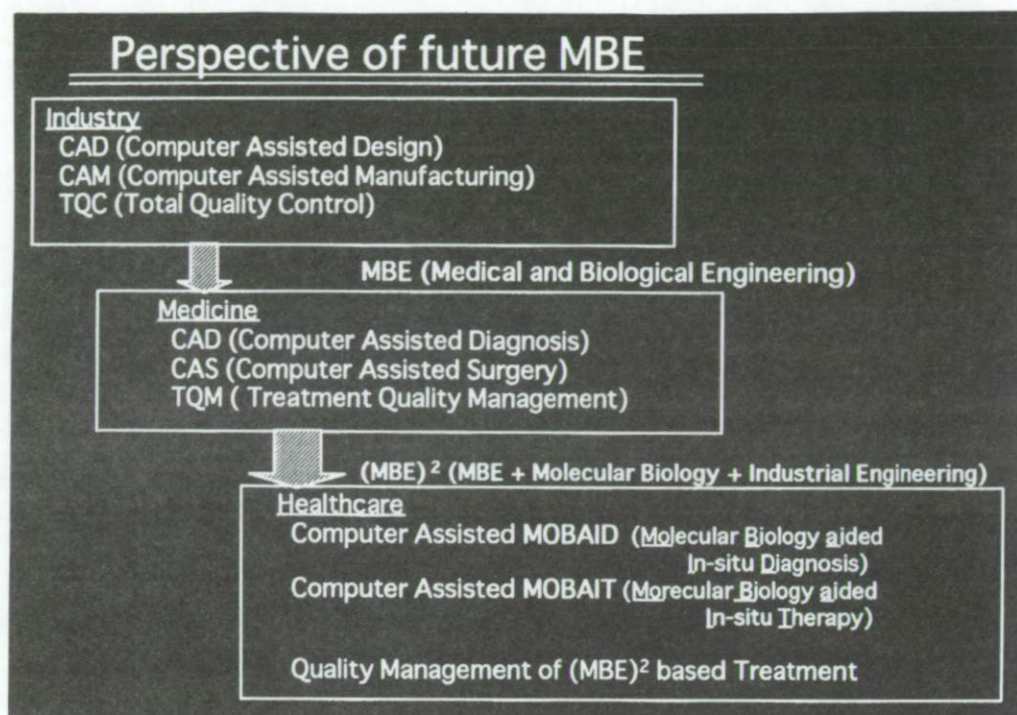


図 4 (スライド 70) 【やさしい医療技術】

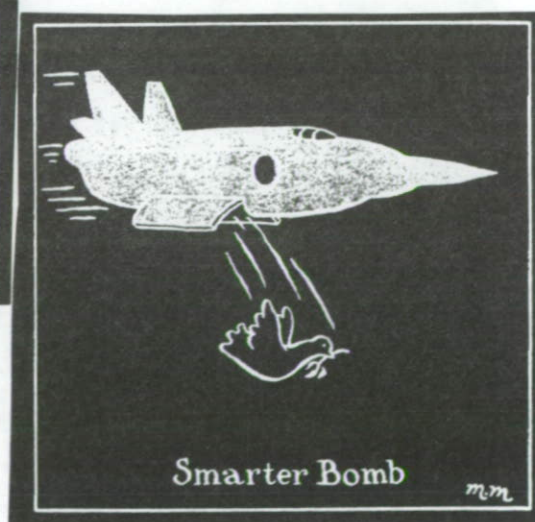
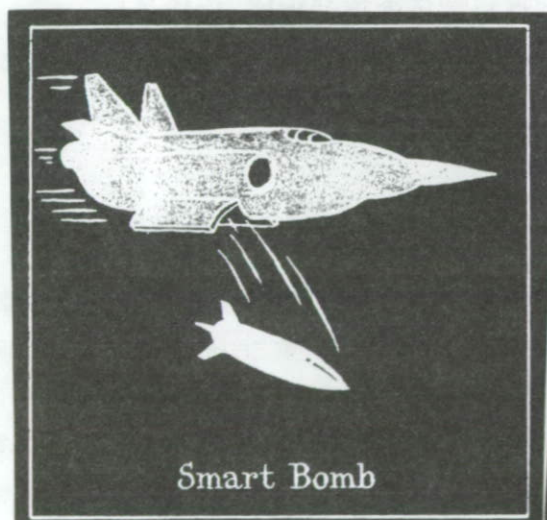
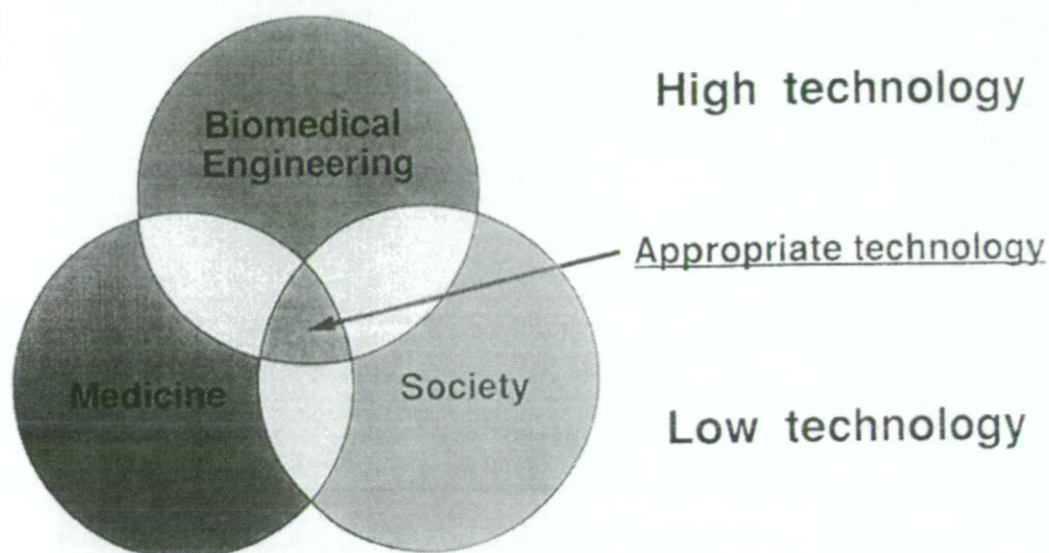


図5 (スライド71) 【21世紀の医療技術】



2.2 宇宙情報技術の最近の話題

講師：坂田俊文氏 ((社) 資源協会 地球科学技術推進機構 機構長)

平成12年度 第2回先端技術動向調査委員会 (2000.8.3)

2.2.1 坂田氏の講演

(1) 情報技術とは

人間が外界から受ける情報のうち視覚はその80パーセントを受けると考えられている。網膜に投影された画像は脳に記録され、心理的、物理的な行動がおこされる。網膜に投影される画像は第一段階で知覚、第二段階で認識されそして記録される。認識によって既に記憶されている画像と対比し、分類され選択が行われる。情報源（人間を含めて）からの信号はさまざまなルートによって受信される。一対一、一対複数、複数対複数などの情報の発信側から受信側への通信ルートは多数ある。現在では情報の授受は人間の音声からラジオ、テレビ、インターネットから衛星通信に至るまで多様化している。情報の流通ルートは情報の急速な発展によってメディア産業を成長させ大きな広がりを見せている。

画像情報技術は医学の分野ではX線診断に始まり、CTスキャンに至るまで発展している。工学の分野は設計やデザイン、生産ラインの監視、ロボット制御や管理などその応用範囲は限らない。カメラは従来の光学レンズ系とフィルムの組み合わせは電子系の記録素子へと変わって来ている。同じくフィルム・ムービーもビデオの登場によって姿を消してから久しい。地球観測を目的とした人工衛星に搭載された画像センサーは、数百キロ上空から地上数メートルまで解像する画像がえられる。これらの画像からさまざまな情報を引き出す事ができる。画像情報技術はこれらの画像となったデータから情報を抽出し解析し、判読するなどの技術をいう。現在ではグラフィック・デザインからコンピュータ・イメージングまでを包括した技術まで発展している。

画像情報技術の応用分野は広く文化財の復元、調査、考古学での探査技術、航空機や車両などの事故調査、犯罪調査、核施設の監視、査察、軍事面では偵察情報まで利用されている。このような画像情報技術の急速な伸びは通信情報技術とコンピュータ技術の発展に負うところが大きい。また、これらの技術の進歩はハードウェアやソフトウェアの技術レベルの高度化によって更に大きく展開しつつある。

(2) 画像解析技術

画像情報は人間にとって最大の情報システムである。多分、人間はいままで地球上に登場した生物の中でもっとも優れた動物かも知れない。視覚や嗅覚という個々のセンサーの優れた生物は多くあるが、少なくとも五つの感覚器官からの情報を瞬時に集め判断し行動に移す事のできる生物は少ないだろう。しかも、記憶という巨大なメモリーから瞬時にデータを検索し、対照しながら論理的な判断を下す事ができるのは人間の持つ頭脳というシステムかもしれない。このシステムは視覚センサーに入力された二次元空間に広がる形とスペクトルすなわち強弱信号の広がりのコンボリューション重ね合わせ効果であり、その時間的な変化である。この問題の研究課題としては脳と視覚のメカニズムの解明やコンピュータ シミュレーションなどがある。また一方、入力されてくる情報の解明を課題とする分野がある。画像計測処理研究はカメラやセンサーなどから得られた画像情報をコンピュータや画像解析システムによって画像の計測を行うことを目的としたものである。また動画像計測処理は工学的視点から様々な自然現象の観察や解明、物理計測や、光学的測定や医学的情報解析そして地球観測にまで応用されている。二次元空間に広がる形と輝度やスペクトルの情報はある現象を瞬間的に停止した状態とすれば、時間を凍結したとも考えられる。高速記録は間歇的に非常に短い時間で、ある状態を連続的に記録する方法である。可視化情報記録は爆発や高速飛翔体や運動体の解析のために考えられたもので、高速度写真撮影として古くから利用されていた。現在でもロケットや航空機や自動車などの運動解析や事故分析などにつかわれている。

(3) コンピュータ画像処理

一般に画像処理と呼ばれる分野は画像情報から必要な情報を取り出し、歪んだ画像や不確実な情報を修復、補正する技術である。最終的には人間の持つパターン認識、記憶された情報やデータ、記憶や経験などによって解釈や判読が行われる。これらの技術的な手続は次のように進められている。画像から情報を抽出するには画面全体に広がる状況を把握し、個々の部品と思われる画面の配置や組み合わせを考えなければならない。このため、画面全体に対し前処理の幾何補正、強調、放射量などの補正を行う。さらに、画面の統計処理を行い特徴抽出などが行われる。続いて領域分割、構造解析、重回帰分析など分類処理を行って、画像としての後処理をして終わる。

これらの情報処理システムの流れは情報処理の基本的なもので、多量な画像情報を短期間に処理するシステムなのである。このシステムの流れは通信情報と類似のモデルと同一に考えられていて、伝送系や雑音などを含めた回路モデルとして取り扱われている。コンピュータの利用は人間の持つ高度の判断能力を越える特徴をもっているからである。その特徴の一部として次ぎのことが考えられる。それは(1) 多次元、多種類の画像情報の処理、統計分類などが高速で可能である、(2) 繰り返しの単純処理が高速で可能である、(3) 画像の並べ換えや信号変換、たとえばカラーの変換などが簡単である、(4) 処理に必要なハードウェアやソフトウェアを任意に組み合わせられる、などである。現在の画像処理はコンピュータの能力と人間の持つパターン認識の能力を重ねたマン・マシン・システムなのである。

現在ではコンピュータによる画像処理は一般的であり、データ処理もアナログからデジタルに変わり高速処理が行われる。その結果、再現性のよい正確な画像ができ、三次元処理のような幾何学的処理が容易で、短時間で自由な画像表現ができ、パターンやグラフィックを描くことが容易になり、CGと呼ばれるコンピュータ・グラフィックスが誕生した。

産業の分野では設計やシステム・デザインなど、また製図などはCAD (Computer Aided Design)、CAM (Computer Aided Manufacturing)、CAE (Computer Aided Engineering) が登場した。研究や開発の分野ではシミュレーションや実験結果の

グラフィック化などが可能になり、さらに、営業、事務、工場などでは、様々な管理をグラフィック化し管理するなどのビジネス・グラフィックスなどが一般化した。

グラフィック・デザイン、アニメーションやビデオ・テキストなどは幅広い技術として定着しており、コンピュータ画像技術の応用面での主流となりつつある。医学や考古学や絵画、彫刻などの美術の世界のような従来の技術の体系の中では関係のない領域でも、新しい共通な技術になってきている。

(4) 宇宙での画像技術

人類が宇宙から地球を見ることが出来たのは今世紀になってからである。コペルニクスによって地球が回転する球体であると予測してから450年以上たってからである。人類はじめての人工衛星はスプートニクで1957年に打ち上げられた。宇宙から地球をはじめて眺めたのはガガーリン宇宙飛行士で「地球は青かった」という歴史に残る言葉を伝えたのである。人工衛星による地球観測は1972年以来、本格的な観測が始められるようになった。地球環境問題が人類全体の共通の課題として取り上げられるようになると、地球観測の重要性が認識されるようになった。従来、地球観測は人によって地表を歩き、海を航海し、山に登り、僻地を歩いて長い間地図や海図を作りあげ、観測データを蓄積して地球を調べてきた。しかし、広い地球を短時間で定期的に観測することは難しかった。人工衛星による観測はこれを可能にした技術で、しかも森林、農地、河川、湖水、そして都会に至る様々な状況や自然災害にいたるまで観測や監視を可能にした。この観測手段は従来の技術を越える新しい方法として注目されるようになったのである。人工衛星は1957年に初めて人類によって打ち上げられて以来、今日まで約4,500基が宇宙空間に送り出されている。1,000キロから500キロ程度の高度で極軸方向に周回するのにわずか100分程度である。人工衛星による特徴は短期間に広い地域を観測できるという特徴がある。代表的な人工衛星の軌道は極軌道と静止軌道がある。極軌道は主に地球観測に使われている衛星で、高精度のセンサーを搭載し、地表を撮影し画像データを地上の受信局に送りこんでくる。静止軌道の衛星は赤道上空3万6千キロにあつて地球の回転速度と同じ速度で地球を回っている。従って、衛星は何時も同じ位置に在ることになり、静止状態に見えるので静止軌道衛星と呼ばれる。静止軌道にある衛星の多くは何時も地球を同方向から見る事が出来るので、通信衛星、放送衛星そして気象衛星などのおかれる軌道になっている。しかし、地上解像力は低く、広域を対象とする目的のものの利用が多い。一方、極軌道衛星は観測幅は約200キロから50キロくらいであるが、地上解像力は現在では10メートル程度である。地球環境調査にとっては観測幅と解像力の点では十分であろう。しかし、スペクトルの広がりはまだ必要であろう。最近ではマイクロ波領域を合成開口レーダでカバーでき全天候型の観測衛星が実用化した。

人工衛星から送られて来る画像信号は衛星の飛行中の衛星本体の揺れに関係しており、これらを刻々計算しながら補正して行かなければならない。また、観測幅から地球の曲率を考慮すると幾何学的補正が必要になる。現在使われている地球観測衛星の場合、太陽同期で定時に観測地点を通過する軌道にある。そのため、太陽からの照射エネルギーを常に計測し補正しなければならない。一方、合成開口レーダSARのようなアクティブセンサーを用いた場合は観測信号を画像信号に直さなくてはならない。このようにして、いろいろな信号の処理が必要で、地上のグランドツールで得られたデータや既存の観測データを加えて情報の抽出が行われる。

(5) 地球環境の監視

地球環境の監視は人工衛星の登場によって常時監視が可能になった。今まで考えられてきた地球の自然の状況は地上の調査や海上での観測のデータを長い間かかって蓄積したものを分析して得られたものだ。また、全地球の状況を把握するには非常に長い時間を必要とし、中には数十年もかかって観測しデータを蓄積しているものもある。しかし、人工衛星による地球観測が本格的に行われるようになると、従来の地球に関する知識は飛躍的に増え、地球に対する概念が大きく変わったのである。人工衛星がとらえた数多くの地球環境データは、いままでの地表や海洋での観測では得られなかった地球全体の物理的、化

学的、生物学的な様々な現象を明らかにした。

太陽からエネルギーを地球が受けとった結果、海洋や地表の温度のパターンが変わり、雲を発生させ、風をおこし、海面では波をつくりだした。このように大気の状態を知ることによって植生の変化、例えば森林や耕地、草原や湿原の状況を推測でき、水分の変化は赤外線などの反射や吸収によって地表や海面の温度分布をとらえることが出来たのである。環境の変化は長い期間にわたってのデータの比較によって知ることなどが多く、そのためのデータの蓄積の充実が望まれている。特に、広範な対象地域を画像化してみる技術はその対象を指定したり、二次平面として状況を把握したりすることができる。このことは極めて重要な技術であって、数百メートルの幅で数百キロメートルの長さの対象地域を瞬時にしてとらえてしまうことである。従来までは観測船や観測点や調査隊などの計測によって得られた「点」としてのデータから「面」としてのデータに変わったことが重要である。このことは情報の革命であって地球観測を飛躍的に大きく前進させたのである。

遠隔探査と呼ばれるこの技術は「リモートセンシング」として知られ、その技術的地位を向上した。最近では人工衛星やそれに搭載するセンサーの研究、開発も年々進み、また地上系の受信技術も向上してきた。世界的にも衛星受信局が増え、データの取得も容易になりネットワークも除々につくりだされている。人工衛星による観測は地球環境科学に新しい視点を与えた事は確かである。特に地球規模の環境変化は広域的だけでなく、複合的で自然のもつ複雑なシステムをもっている。これらの問題に対処するためにコンピュータによる解析が大きく影響してくる。これらのハードウェアやソフトウェアも地球観測を目的とした領域で大きく寄与している。一方、環境科学の分野の中にこれらの技術の積極的な利用も増えてきている。グローバルな環境情報だけでなく、地域的な所やローカルな場所などにも常時観測や監視の必要性が高まっておりその期待は大きい。

(6) 防災、危機管理

大規模な災害として、地震、火山噴火、台風、洪水、森林火災などの自然災害、石油タンクの火災、タンカーからの油流出、原子力施設の事故、化学工場の火災、河川の汚染など我々の生活の周辺には多くの災害がおきている。地球規模の災害から地域の災害まで24時間世界中で何らかの事故がおき、災害が発生している。小規模に起きている災害もひょっとすると大規模の災害になるかもしれない。周期的に発生する事故もあれば突発的に発生するものもあり、その予知、予防、対策はまさに時間の争いである。様々な防災システムや観測、監視、探査、偵察は行われているが十分ではない。またこれらの情報の伝達のための通信システムも完璧とは言えない。このような状況から防災、危機管理の面から画像情報を積極的に取り入れようとする動きがある。その一例として、人工衛星による情報収集がある。宇宙通信は地上システムが使えなくなっても通信衛星によって行える点で早くから実用化している。一方、観測衛星などによる情報は短時間で広域を観測、監視が出来ると言うことから検討が行われている。これらのシステムは人工衛星ばかりでなく航空機やヘリコプターで可能であり、現在も行われている。最近では飛行船や将来はスペース・ステーションからも考えられている。

これらのシステムについて検討されている例をあげてみよう。「複数衛星による監視システム」はスペース・セグメントとグランド・セグメントに分かれ、通信、観測、測地、気象などの人工衛星からのデータを宇宙と地上でリンクし定常的な運用を行う。ここでは緊急時用としてのシステムを内蔵しており、独立させていない。この理由は緊急時の運用を常に行っておくことが出来るからである。この地上システムは人工衛星からのデータの受信局とデータを処理、解析するセンター、これらの管制局に分かれ、情報を伝達するセンターから様々な機関や地方の機関に伝える。ここから送り出される情報は高速で多量のもので、特にここでの画像情報は短時間で処理、解析、判読されたものでなければならない。神戸の地震災害の場合では地震発生時点で各国の人工衛星に要請して、災害地域を撮影し解析を行っている。1995年の時点での地上解像力は最高2.7メートルであり、これによって衛星画像データによる災害地域全体の状況把握ができた。現在では1メートルの解像力の画像データが取得できるので詳細な状況判断ができるであろう。また、画像処理速度も早くなっており、セミリアルな情報の取得が期待される。このような動きは国際的になってきて地球規模の情報通信ネットワークが構築されるだろう。

(7) 衛星による査察

第二次大戦の終結後、世界を二分して米ソの間に始まった冷戦は探査や偵察や監視と呼ぶ手段が必要になった。地上における活動より効果的な高空からの偵察が隠密に行動できる手段として注目された。1950年代に高高度偵察機によるスパイ飛行が行われる様になった。しかし、U-2と呼ばれる米国の偵察機がミサイルでソ連側に落とされてから偵察、監視行動は人工衛星へと移行した。軍事衛星は1960年代に始まった手段である。初期は写真カメラによる撮影によって撮られたフィルムの回収を行っていた。その後、電子画像と高度通信技術が使われコンピュータの高度化によって新しい情報技術になった。

現在、軍事衛星と呼ばれる種類は広く偵察、査察、通信、電子情報収集、気象、監視、データ中継、観測などの目的に使われている。偵察、監視などの衛星に搭載されている光学センサーは車両、戦車、航空機、ミサイル、艦船や軍事施設などの監視を行うため、約200から300キロメートルの高度から地上で数センチの解像力をもっている。一方、マイクロ波による合成開口レーダを搭載した衛星からは気象や昼夜に関係なく地上の状況を監視できる様になっている。衛星の寿命も長くなり数年におよび軌道上にとどまることが出来るようになった。軍事衛星の目的も時代とともに変わり外交の手段にもなり、局地的な国際紛争などは衛星査察の映像として公開したり、相手に見せることによる紛争抑止の方法に使われることがある。

チェルノブイリ原子力発電所の事故は世界中にショックを与えたニュースであった。この状況は人工衛星によって観測され、その画像解析の結果は現場の状況ある程度まで把握できた。1986年当時の人工衛星の地上解像力は10メートルが一般に提供されていたもので、1メートルの解像力が手にできる現在の状況からみれば技術の差は大きかった。現在ではこの事故を契機にして核施設の国際的監視や査察が衛星画像から行われている。

北朝鮮（朝鮮民主主義人民共和国）の原子力施設、寧辺も衛星画像処理の監視下に置かれた。軍事査察の例として有名なものは多くある。キューバに配置したソビエトのミサイルの画像の公開。イスラエルとエジプトの中東戦争、インド・パキスタン紛争、最近では湾岸戦争が記憶に新しい。もっとも最近の事件では、北朝鮮のテポドン・ミサイルである。人工衛星による監視、査察は1960年代から始まり、その情報技術は今日では非常に高度のものとなっている。

(8) グローバルな情報収集

21世紀に向かう世界の動きは人口の増加、環境の変動、エネルギーの供給、食料の確保など様々な問題を抱え、社会の多様化や複雑な国際問題などが予想される。従来の将来への予測は公開され分析や整理された情報やデータで出版物、新聞、雑誌、放送などから得られたものが多い。このような手段で得られた情報では判断や行動や計画立案の時点での遅れや誤りが多い。そこで独自の自己の情報システムによって常時短時間に情報を集めておき、それぞれの専門分野の手によって分析されていることが望ましい。そこで世界中のあらゆる情報を収集し分析を行い、国レベルから企業レベルに至る長期的展望から戦略的計画を調査、企画、立案をすることが必要とされるだろう。また、将来の社会的な動きや変化を予測するためにも様々なシステムが考えられている。さらに、地球の環境を知るためにも地球のあらゆる地域からデータが集められてくるだろう。ここで収集されるデータは地球環境変動から自然災害、気象情報など地球上の様々な情報から世界の穀物などの食料、エネルギーの生産から消費、人口の推移、都市の動態、各国の地理、社会、経済、政治、法律、言語、民族、宗教など広範にわたる。これらのデータベースは常にメンテナンスされており、外部の要望によりデータが供給されていなければならない。

これには国や公立の研究機関や大学などのあらゆる機関が結ばれていて、様々な領域の専門家が集まり多くのスタッフが参加し、いろいろな専門家も招聘や委嘱もされていなければならない。情報の収集には、現在急速な展開をしているマルチメディアが利用され、宇宙通信や人工衛星による観測や監視などが期待されている。

しかし、現在の日本の社会は情報について混乱している面がある。メディアの氾濫によって、また公開情報の本来の意味が十分理解されずに進んだり、インターネットの普及によって情報の混乱がおきている。現在考えられている情報社会は単なる技術だけのものではないからで、社会のなかに新しい情報を受け入れる構造インフラストラクチャーが十分にでき上がっていないからである。このような理由で国際的な情報社会の動きの中での将来への歩みに危惧が感じられる。それは、経済金融の面で

も情報通信ネットワークの高速化によって大きな変革が行われようとしている。

現在では、24時間海外から情報がいってきている。この情報は様々な形のもので、正確な情報もあれば誤った情報、意図的な情報もある。従って、情報の分析や解析はシステムテックな組織でなければならない。世界的な動きは早いテンポで変わっている。そして、経済や社会の動き、政治や外交、紛争やクーデタ、軍事的な情報などばかりでない。資源や農産物の収穫情報、気象の情報、災害の情報、環境の情報などどきりがない。このような理由で情報技術の役割はますます重要になってきている。

(9) 画像技術産業への期待

第二次大戦以降、自動車産業や電子産業の分野での大きな変化は高品質の製品や商品を市場に送り出したことである。それを可能にしたのが生産技術の向上で、生産システムに画期的な変化をもたらした。さらにコンピュータによる自動制御やプログラム化やロボットの導入である。特に生産ラインに配置されたロボットは人間に変わる能力が求められ高度の視覚情報処理が必要になった。このような高度の自動計測システムの手法の研究開発のために、画像計測処理と処理アルゴリズムの重要性が認識されつつある。画像技術による半導体産業の高度化は超微細加工までが生産ラインに使われるようになり、光学顕微鏡や電子顕微鏡の視野の加工が実用化しつつある。一方、最近では科学技術の面での画像情報への期待も大きい。特に科学計測への応用として物理、化学そして生物などの現象解析や観察には最も有効な手段として多く使われている。

画像情報は膨大なデータを記録し蓄積することになる。これらのデータを有効に利用することによって得られる効果、その価値は大きくなるであろう。また、そのためにはこの技術分野では緊密なデータネットワークが必要となってくるだろう。このような画像計測の研究によって得られた研究成果は基礎から応用までに広がっている。そして、それらは様々な領域から参加した研究者によってもたらされたものである。これからの新しい産業や科学技術の面でその成果が期待されてくるだろう。

(10) 高速情報通信の時代

21世紀が始まる。20世紀は人類にとって様々な大きな科学や技術の成果を残した。飛行機や自動車などの交通機関の革命であり、エネルギーとしては原子力の開発であり、コンピュータの開発と普及である。特に重要なことは人類の宇宙への進出である。1957年人工衛星スプートニクによる宇宙への挑戦である。以来38年の人類の宇宙活動は通信、放送、地球観測、惑星探査と展開し新しい科学技術の時代の幕を開いた。一方、1900年の初頭の世界の人口は16億で50年後の1950年には25億で50年間に9億人増えたことになる。ところがその後の50年の2000年における人口の予測は60億で50年間に35億の人口増加になる。こうなるとエネルギー、水、食料、居住などの供給に多くの問題が予想され、人類の社会に大きな変化が起き、現在の世界の社会構造、政治や経済や情報の領域で根本的な改革が必要になるかもしれない。現状の社会の動きや経済の動き、国際情勢などは世界に張り巡らされた情報ネットワークによってよく知られるようになっている。テレビやラジオや電話やファックスによって世界中がつながっているけれど完全でない。都市災害や工業地域の事故のような人為的災害、火山噴火や地震や洪水などの自然災害などが常に起きており、国際紛争も絶え間なく起きている。これらの状況は一刻も早く周知し、防災や救助の対応や対策が必要になる。

このような多量の情報が地球上に飛び回っている現状であるが、これから更に多くの正確な情報が短時間に必要となるだろう。画像情報は人間の取得する情報の最も多くを視覚から得て、最も早く理解できるものである。文字や音声と共に短時間で送り、受ける技術が研究され開発されてきた。そして、有線に始まった通信技術は光ファイバーから宇宙通信に至るまで発展した。高速画像通信は瞬時にして地球上のあらゆる地域に送受できる技術として早急に開発しなければならないのである。

画像情報技術は新しい領域の技術である。コンピュータ、高速通信、人工衛星などの最新技術を組み合わせる事によって構成される。画像から情報を取り出すという技術は人間の脳によるパターン認識から始まり、これを電子的なハードとソフトに変えたシステムとしたもので、これからの応用はさらに広がってゆくだろう。

(論説「画像情報技術」坂田俊文より作成)

(11) OHP (掲載省略)

- 1: 宇宙からみた地球: 地表の情報がどこまで見えるかは解析の技術
- 2: 伊能の観測地図: 歴史的な絵、歩いて観測したものだが精度が高い
- 3: 人工衛星の日本地図: 帯状に観測して最後に合成する
- 4: 人工衛星写真: 実際は雲もとれている
- 5: 夜間撮影: 明かりも見える。点々は人口5万以上の都市
- 6: 別な日の夜間撮影: 日本海の烏賊つり船の明かりも見える
- 7: 明かりの分類: 赤は熱赤外、黄色は明かり。都市の温度がわかる
- 8: 夜間撮影の日本海: 韓国の状況がわかり、エネルギー消費の推測に活用できる。日韓漁業協定線もわかる
- 9: 海水温度: 平均0.5度の差で表示。暖流、寒流がわかる、なぜなら漁船は温度の境目にいる。つまり魚は温度に敏感。いろいろな情報を組み合わせて分析ができる
- 10: 関東地方の赤外線映像: 地形情報 (断層線、構造線もわかる)、海岸線の変化や火山の溶岩の変化もわかる
- 11: 東京撮影: 造成地と古い河川、海岸線もわかる (古い時代の環境がわかる)
- 12: 観測衛星の役割: 視覚情報、データ情報、データ処理
- 13: 人工衛星は時代とともに変遷: 解像度があがっている
- 14: 対象物: 河川、湖、砂漠、草原、森
- 15: 季節変動、流水、雲、海水温度
- 16: 国際的にデータ交換するネットワーク: 回線で交換
- 17: 観測衛星はブロードな情報がとれる。短時間で起きる情報から長期間情報までプレート、植生変動、土壌の変化、地震、気圧の変化、火山など。地球全体をまわって情報をとる。システムのちがう衛星を組み合わせる
- 18: 波長帯: 搭載するセンサーは人間の目にちかいものになっているが限界がある。ランドサットではスペクトルの幅が広がる。解像度が高くなってきている。重要なのはセンサーの幅。合成開口レーダーも精度があがっている。光学から合成へ
- 19: センサー幅別の映像サンプル: 温度は赤外線。対象毎のスペクトルの差がある。水分の分布。地表、構造物、雪と雲の区別。岩石の種類は、搭載センサーでかわる
- 20: センサーによる分解能: 衛星毎に映像が違う
- 21: 解像度をあげるニーズがあるが、どこまであげるか? 例えば、神戸地震の映像は、フランス衛星の解像度では、シミュレーションで1メートルまでにすると高速道路のけたまで見える。2メートル以下はアメリカの干渉があつて難しい。現在は2.7メートル。アメリカのイコノスは1メートルで売り出す (ある意味で方針転換をした)。シミュレーションで画像処理をしている。地上を600キロ上空からみて2mか2.5mの解像度でとれば判読が可能。
- 22: 解像度の比較: アメリカ偵察衛星15cm。ナンバープレートまで見えるか? これは1ミリ解像でないと見えない。
- 23: 都内渋谷駅: 1m解像度。軍事用では常時監視している
- 24: 1m解像度のイコノスの画像: デジタル処理をしている。区画整備されているところは判読がよくできる
- 25: 静止軌道と周回軌道の説明
- 26: 湾岸戦争時のクウェートの映像: 空港施設、石油掘削状況も見える
- 27: 北朝鮮のヨンピョン: 原子力研究施設。丘に核燃料製作、廃棄物処理施設らしきものが判読できた。世界最初の映像である。
- 28: 解像16mの東京
- 29: 大阪: 大和川を境に古墳がある。合成開口レーダーとあわせる。遺跡調査に使える
- 30: 世界の人工衛星の数の表: 全体数1997. 12。トータル5000。現在は6000くらい

- 31: 衛星の種類 : 気象、通信・放送、地球観測など。
- 32: 地球観測の例: 米国ランドサットシリーズ。5号は生きている。現在7号。日本のMOSは10年飛んで休止。各国が目的別に高度を変えて飛んでいる
- 33: 各国の衛星も解像度をあげる傾向にある
- 34: 98-99の計画: 遅れ気味になっているのは資金不足のため。
- 35: 次世代の計画: 解像度があがって1m。ロケットの不具合で打ち上げ遅れの傾向
- 36: SAR電波センサー搭載衛星: 今後増える。通産の計画 JERS1。Lバンド。
- 37: 注目しているのはイメージングレーダー。噴火口や雪氷の分布がわかる。
- 38: 技術比較
- 39: Xバンド、Lバンドを積んで伊豆諸島を観測: 合成開口レーダーでとると、変化(隆起)がわかる
- 40: 砂と岩、水の比較: 砂漠の中のピラミッドを見つける。岩盤を見つける。80のピラミッド。チェックリストある。ファラオの数があわない。痕跡が掘し出される。
- 41: レーダーの性能があがりよくとれる。ドームをとると、電波がぬけて席がみえる。
- 42: 電波でとり、地形を見る。地殻変動10cmくらいでわかる。目で見えないものが画像処理でわかる
- 43: 見えるものが画像処理で変わる。構造物の弁別。素材の判別
- 44: 干渉法で地震後の地殻変動をはかる。淡路島。
- 45: 富士山: 電波でみると溶岩の違いがわかる。木で覆われている既成噴火口もわかる
- 46: 通常の富士山。光。
- 47: 墳墓データ
- 48: 衛星やシャトルをつかって様々な実験: エンデバーでは、トポグラフィックマップ。全世界の映像を電波でとった。
- 49: シャトルでの撮影: 裏返って逆さに飛ぶ。2電波でステレオでとる。シャトルやステーションでとるのは今後の仕事。
- 50: 気流のうごき: 乾燥した湖が見える
- 51: ステーションでの観測

2.2.2 質疑

質問: 光と電波で地形をはかると、資源の賦存はわかるか。

坂田: 資源探査は合成開口レーダーでできる。ERS1はLバンドセンサーをつけたので、地形がよくわかる。金鉱もわかる。ただし情報公開が難しい。これは日本が得意な分野である。地雷探査も可能である。できる。分布がわかる

質問: 地表の中の情報もわかるのか。深さはどれくらいか。

坂田: xバンドは地表、Lバンドは深く入るので、砂はそこの中がよく見える。周波数と方向の組み合わせで見える。超乾燥地帯で10mまでわかる。地雷は地下40cmに埋まっていると材料で判別できる(金属、プラスチック、木製など)。軍事施設のまわりには地雷があるのがわかるが、その情報はオープンにしていない。地域を限定して観測する。軍事的な意味で、アメリカの圧力は大きい。

質問: 周波数の長い電波で深いところまで観測できるか。

坂田: 地上の構造物がじゃまをして散乱してあまり深くまでわからない。

質問: 本分野での中小企業の市場はあるか。

坂田：衛星技術は軍事技術の転換で、民生化でオープンになっている。遠隔探査、非破壊検査、温度分布調査などの補助技術でのアピールしている。ただし、センサー部分は軍事と関係あって、なかなか情報が出ない。

衛星の部品は信頼性の向上が課題であり、部品も高性能で単品ものなので、これをうまく民間用にするといい。どこの国もすべて国産でつくることは難しいので、少数で単品で特殊ものを世界に供給するというのは、大企業でなく中小企業でねらうところではないか。その意味で、まだ日本で手をつけていない分野もある。

質問：人間の動きは観測できるか？ 木造住宅は見える？

坂田：その可能性はある。砂漠のゲリラは見える。

質問：米兵には一人一人センサーがついているという話を聞いたことがあるが、それだと、動きもわかるのではないか。

坂田：個人にセンサーをつけるのはセキュリティ強化のためである。偵察衛星で見ることはしていないと思う。

質問：現在活動している衛星はすべて把握できているか。

坂田：技術開発衛星（軍事）は、国連に登録し、軌道も提出している。核探知衛星は高度10万キロで高い所を飛び、覆面衛星もある。日本はこれから地球観測衛星をあげるところである。

質問：北朝鮮はミサイルをあげる技術はあるのか。

坂田：あげられると思う。衛星は軌道に乗せる技術が必要でミサイルより難しい技術（とくに静止軌道は難しい）。

2.3 これぞ中小企業の智慧

講師：竹内 宏氏（（株）新興セルビック 代表取締役）

平成12年度 第3回先端技術動向調査委員会（2000.9.6）

2.3.1 竹内氏の講演

主査：本日お話しいただきます竹内先生を簡単にご紹介したいと思います。竹内宏先生は昭和21年5月23日に神奈川県でお生まれになりました。そのあと、中学2年のときから、伯父様が経営する金型工業で働き始めまして、昭和45年都南金型製作所に入社されました。48年にはお父様と一緒に新興金型製作所を設立されまして、59年に社長にご就任なさっています。そのあと、昭和62年に新興セルビックという会社を設立されまして、社長を兼務していらっしゃいます。

この新興セルビックという会社は、社員が合わせて20人弱という、ご自分では町工場とおっしゃっていますが、この町工場が金型や成形関連の技術のびっくり箱のような存在となりまして、大手メーカーや海外メーカーも一目置く存在に成長しています。竹内さんのモットーはアイデアでございまして、他人をあとと言わせるような商品を開発するお仕事をずっとなさってまいりまして、非常に開発力のある会社をお育てになっています。

本日は「これぞ中小企業の智慧」という題ですので、いろいろなご経験、ご体験を踏まえながら、お話をうかがえるものと思っています。それではお願いいたします。

（1）金型成型の変遷

竹内：中学2年まで、私は長野県の富士見にいました。親父は仕上げ職人だった関係で手先が非常に器用でした。東京の伯父が、プラスチックの金型という仕事があるから出てきてやらんかということで、一家総出で町工場の密集する大田区の蒲田

に来て、6畳と3畳の一家5人の生活がスタートしたわけです。伯父がスポンサーで、親父が社長というスタイルです。そのころからプラスチックの金型にずっと興味を覚えて、学校から帰ってきて、磨いたり、穴を開けたり、そんな経験をしていました。

高校をやっと卒業して丁稚奉公に出るわけです。基礎は中学のときにできていましたので、2年ぐらいたつと、自分でプラスチックの金型を一型受け持つようになった。そうすると、商社の人が独立せんか。機械はおれが買ってやると言う。一人職人を独立させると、そこに機械のマーケットが広がるというわけです。そのころ、ちょっと金型ができるというだけで、いろいろな人たちが声をかけてきた。「独立せんか、仕事は世話をしてやる。それで、機械はおれがリースで貸してやる。」金型という看板をあげただけで、仕事が確実に確保できた。民需が起業家をどんどんつくっていったのです。

プラスチックの金型というのは、プレスもたぶんそうだと思いますけれども、まだ手作業でつくっていた。技術というより技能で作っていた。設備も、フライス盤とボール盤があれば、だいたい金型屋はできた。ボール盤だけでも金型はできました。たとえば、アイロンの金型をつくらうとすると、アイロンの形状に穴をどんどん開けていって、それをタガネで張り付ける。しかし、それがやはり需要にこたえられなくなってきた。それは、軽量化や量産効果で、効率的な生産のために金型の需要が非常に伸びてきたからです。

金型メーカーはそれに対してどのようにこたえるかという、装置産業（装置でモノをつくる）に転換していった。ですから、装置で金型ができるようになってしまうと、これは実際にある話なんです、最初は、大手メーカーが金型メーカーに金型をつくらせていたので、当時は、その主導権を金型メーカーが持っていた。だから納期の主導権も金型メーカーができないと言えばできなかった。どんな大手メーカーであろうが、その製品を世の中に出すことはできなかった。これではいかんということで、ソニーが装置産業になったのを見定めて、たとえばモノづくりが好きな連中を1000人集めて金型メーカーをつくったというのが、埼玉県にあるソニーマックスという会社です。大事に手で行っていたモノづくりから、装置産業にされることによって資本の世界に入ってしまったわけです。

そういうなかで、ブラザ合意を迎えたわけです。そしてそのブラザ合意で仕事がなくなりました。その前に、過去においてプラスチックの金型をだいたい3000型つくらせていただきました。その3000型をつくることによって会得したことは、打ち合わせによるユーザーの悩み。それとそれを成形する成形メーカーの悩み。それを実際につくる金型メーカーの悩み。それを会得したと思っています。

なぜ3000型も油だらけになってやってこれたかという、食うためだと思っていたんですけれども、いま思えば、徹夜して、やっとの思いで金型ができたものをお得意さんに届ける。それで、「うまくできたね」というひと言で、その疲れもすべて飛んでしまうんですね。ですから、きれいな事を言うわけではないんですけど、お得意さんの言われたとおりにモノをつくっていれば、生きてこれた。けれども、いま事情が若干変わって、なかなかお得意さんが仕事をくれなくなりました。これはブラザ合意を機に、顕著に出てきた。私も仕事なくなりました。それでも社員はいる。

どうしようかということで、最初新製品をつくらうということは一切なくて、ただなくなった金型の受注をどうやって確保するかということで考えたわけです。昔から思っていたんですけれども、金型というのは非常に重い。そのなかに入れ子という核になる部分、製品部を放り込むわけです。枠があって、中の製品がある。これをワンセットで常に売っていたんです。

われわれもそれをつくっていたわけです。けれども、枠と外側を分離して、この枠を成形メーカーに預けると、中身だけです。重量が10分の1くらいになってしまう。金型が宅急便で動くようになるし、成形機に取り付けるときも、いままではチェーンブロックで吊っていたものが、手でスポッと入れられるようになっちゃうわけです。

これをつくってメーカーさんに預けて、優先的に仕事をもらおうと思ったら、ある人が完れるのではないかと言ってくれた。製品を預けるなんて、さもない話をすると言ってくれた人。それをつくらせると言ってくれた人。これを売らせると言ってくれた人。そして、これを使わせると言ってくれた人が、1週間という短い間に出てきたんです。

金型というのは職人の世界ですから、人の意見なんて聞かないんです。まず、自分が一番という認識が強いんですから、金型メーカーが、金型に対する提案をしたところで、これはだれも見向きもしてくれない。というので、新興セルビックという会社を

つくって、販売に入ったわけです。

お金がありませんので、最初に、たとえば専門誌に毎回毎回、新製品ができるたびに投稿していった。投稿することによって、原稿代がもらえる、記事は読んでくれるんですね。年間に4点ぐらいの新製品を開発しているので、年間に4回専門誌に投稿する人間がいれば、これはそうとう目立ちます。発信をすることによって、いろいろな受償が始まって交信が始まってきた。

最初の10個ぐらいは、一人でやっていたんですけども、交信を始めるうちに、オリジナル製品をつくるという環境、インフラがあまりそろっていないのですが、自分が発信することで、まわりの仲間が、おれはこういう考え方をもっているんだけど、ちょっと手伝ってくれないかとか、お前はこう言っているけれども、おれはこう思うよという交信がどんどん始まってきた。その仲間が、いま法人になりましたが、協同組合アイデア工房という存在です。メンバーは5、60人で形成されておりますが、モノづくりの卓越したプロたちです。たとえば、そのメンバーのなかには、何でも計算できるやつがいる。また、世の中で売っているパーツ部品のカatalogが全部頭のなかに入っている、歩くCatalogというやつがいるわけです（笑）。

たとえば、橋本先生がこんな製品はどうだというアイデアを持ってくると、テーマに即した一人をピックアップして、この製品に対して議論するわけです。私自身も自分で提案して、自分は100だと思っていますけれども、人の評価というのは0.1ぐらいなんです。100だと思ってくるものを、みんなで評価してやると、そのままでは0.1なんですけれども、みんなで評価することによって100以上の製品になるわけです。

開発を重ねていくと、最初は金型製品の周辺だったんですが、次第に成形機のようなものが入ってくるわけです。周辺の開発がだいたい終わったのではないかとと思っています。もちろんまだまだ、掘り起こせばいくらでも出てくると思いますけれども。

(2) プラスチック成型の実現～金型を使わない成型方法の開発

いまわれわれがいちばん面白いというのは、金型がなくてプラスチック製品ができたということです。6月の初旬ですけれども、NHKの9時からのテレビ番組で、ITが製造業を変えるという番組がありました。テレビを見ていた方もいらっしゃると思いますが、情報が三次元データになって、それをインターネットにのせて情報のやりとりをする。図面も、二次元でできたんですけれども、やはり三次元が急務になっています。

三次元化することによって、あるいはインターネット、ITの情報にのせることによって、地域の格差というのは必ずなくなってくる。面白いメールが私の手元にあります。6月29日のもので、深センにいる友人からのものです。

きょうは中国の深センの職安に行きました。私の職探しではありません。そこにブースを構えて求人募集のチラシを張ったとたんに、黒山の人がだかりになりました。私に中国語で何やら話しかけてくる人もいます。われ先に履歴書を渡そうとする人、人、人です。一人ずつ履歴書を見て面接の約束をし、会社に来てもらいます。だいたい2週間で採用です。メカの設計者がほとんどCADを使えると主張しています。それもプロ・イーです。

CADには、ハイエンド系とミッドレンジ系があります。ハイエンド系というのはどちらかというと大型コンピュータでやりますけれども、ミッドレンジ系は通常のパソコンで動作するCADです。このなかにアメリカのプロ・イーというソフトがあります。これが日本ではだいぶ高かったんですが、現在では安いもので260万ぐらい。「それもプロ・イーです。どうしてか」と、町で1400円で海賊版が売っている……。1400円なんですね。それと、また新しい情報で、UNIXというハイエンドのソフトがあります。これは3万だそうですね。日本ですと、やはり500万以上ですね。

これはやはり政府がモノづくりに対してインフラを整えているんですね。とくに金型産業はモノづくりの基幹になるということで、韓国もそうなんですけれども、それなりの税制の優遇をしています。日本は、それは勝手にやりなさいということだと思います。

とりあえず1400円です。いいとか、悪いとかの問題ではないんです。彼たちの給料は、深センの町のなかでだいたい4万ぐらいですね。これはご存じだと思いますけれども、少しはずれると、だいたい1万6000円ぐらいです。ということは、1万6000円の給料で1400円のソフトを買うのはものすごく簡単なんですね。こうやって彼たちの三次元武装が始まっているということなんです。

日本は取得するのに1年かかるのか、買ったけれども、ほこりをかぶっているとか聞きますが、こちらではバンバン使っています。戦場で、日

本では武器を磨いたり、どの武器がいいか検討会を開いているうちに、武器がどんどん新しくなり、古いものは買うより待ったほうがいいだろうとのんきなことを言っているうちに、こちらでは模造拳銃だろうが、落ちている手榴弾であろうが、とにかく使っています。ここは戦場ですから、とにかく武器を持たなければ話になりません。

しつこいようですが、武器が日本はやはり高いです。「三次元CADへの設計が、これからの基本になれば、日本は完全に取り残されてしまうでしょう。いままでの技術がまるで使い物にならなくなる日が突然来ることを、日本人は技術神話に溺れて気がついていません。先日の、設計製造フェアで見せていただいた金型レス工法……」。金型がなくて、プラスチック製品をつくらうというのですが、「こちらから三次元データをお送りすれば、カーステレオのフロントの大きさだと、いくらぐらいでやっていただけますか」

というメールです。

このメールのなかの、日本で残るモノづくり、あるいはすみ分け、分担化ができるのではないかなと思います。日本でもし残るとすれば、たぶん試作の金型をより速くつくって、立ち上げまでをいかに短くするかということだと思います。けれども、試作金型というのは前からあった工法です。それを単に速くするわけですから、速くしたところで2割ぐらいなんです。だから、従来の考え方でいこうとすると、頑張ってもせいぜい2割しか短縮できない。ここで考え方を変えなければいけない。

ケータイのサンプルを持ってきましたが、これをつくるのに金型を使うと10日間かかりますけれども、実際には10日間ではなく、2週間ぐらいかかります。費用も200万以上かかります。それがプラスチック成型だと、データをもらえば翌日にお渡しできます。金型は使っていませんが指定された材料です。光造形、ラピッドプロトタイピングという世界をたぶんご存じだと思います。私も10年前にあれに出会ったときに、これからはモノづくりってこんなふうになるんだなとつくづく感じました。でも、10年たったけれども、材料についての改革がぜんぜんない。ということは、あくまでも光造形で、熱硬化性の樹脂であったり、紙であったりするわけです。

私がなぜできるようになったかという、プラスチックの成形機はインデクションマシーンというもので、小さいものを打つのに、非常に大きな機械で打つ。これを私は環境開発のなかで小さくできないかと考えた。たまたま全手動式の成形機をつくりました。モノづくりの原点にふーっと戻っていったんです。テーブルの大きさのものが、手で動かすという原点に戻っただけで、コンパクトな全手動式の成形機になった。これを見たある会社の事業部長が、これからたぶんモノづくりというのは量産ではないだろう。必要なときに、必要な場所で、必要な数だけ出てくる。それを、コンビニでものを買うようになる。要するに異種のものがどんどんその場で出てくるようになる。そうすると、ストックを置くのではない。そのためにはどうしても組立ラインのなかに、製品の供給装置がいる。それが成形機だった。もうまくいけば200台買ってやる、ただし1台200万だよという話をいただきまして、アイデア工房のメンバーで、何でも計算できるやつ、それと歩くカタログと、成形に詳しいやつと私と4人で、実はこれから成形機をつくるよ、通常につくったのでは面白くないから、変わったことをやっていこうということになった。いろんな工夫を重ねて、成形機というのはどんどん小さくすることができた。どんどん小さくなって、ピンポイント成形をやらうと言ったら、みんな面白かったんだけど、1台も売れなかった。ちょっと早すぎたかな（笑）。

それで、ものすごく古くから確立されているマシニングセンターの主軸の横に、これもものすごい古い技術の成形の射出、押し出しユニットを取り付けたんです。それで樹脂を入れると、ひも状にヒューと出てくる。試行錯誤の末、棒の上に樹脂を積み重ねて棒を回転させると、裏表の加工ができるようになった。これで三次元データを午前中にいただければ、翌日渡せます。従来の考え方でいくと、せいぜい頑張っても20%でしょう。人海戦術でやるしかない。考え方を変えるとコストも推して知るべしです。

ゴム製品も金型がないと柔らかくて加工できないのですが、窒素ガスを吹きつけて、まず凍らせて硬くして加工します。そうすると、ゴム製品も金型がなくてできる。

樹脂ができて、エラストマーができたわけだから、当然金属もやりたいという話になる。ヨーロッパとかアメリカなんかでは、貴金属粉末にレーザー光を当てて、これもデータだけでモノをつくらうと、それは先端技術だと彼たちは考えて進んでいるわけで

す。日本も、そこにかかわる研究開発に少なくとも国の予算を20億以上使っています。私が考えたのは、マシニングセンターの主軸の横に電気溶接機のトーチをくっつけちゃえと。ですから、一般の人たちのモノの考え方というのは、モノとモノとをくっつけることが溶接技術なんですね。ですけれども、粘土を押し出していくのと同じように、電気溶接機でスーッともっていくと、モノができますよね。そこでハタッと気がついたんです。

ちょっとモノづくりのスタイルが、従来と考え方が違うぞ。モノづくりというのは、基本的に世界中が削り出しなんですよ。ですから、モノに応じた部材を用意して削っていくわけです。95%切り粉になる場合もあるわけです。その切り粉をどうしてリサイクルするかという議論も非常に重要だと思っています。けれども、切り粉を出さない工法がそこにあってもいいのではないかと考えています。この工法は前例がないからというので、助成対象になかなかない。日本は前例主義なんです。検討段階まではぜひ持ち上げていただきたいと思っています。それで、先ほどのなかで、では樹脂がうまくいった。エラストマーがうまくいった。金属がうまくいった。では、水で金型ができないか。当然、みんな考えると思います。水で型ができたら面白いよな。では、どうするか。

私は、友人に製氷、氷をつくっているやつがいて、その冷凍庫のなかに入って、注射器を持って人間NCをやったんです。水を垂らしながら、冷凍庫のなかに入っていくと、その水がボトンと垂れて、つららになるわけです。このつららでモノができたら楽しいなと。それで、マイナス15度くらいですと、富士山のような山になる。けれども、マイナス25度の環境だと、つららのように起きてくるわけです。

マシニングセンターの主軸の横に、NC制御できますから、そこで水をツートと垂らしていったら、氷点下環境においておくと、氷になりますよね。それで加工したんです。そうすると、切削性がいいんです。それを鋳物の砂のなかに埋めて、じっくり溶けるのを待ったら、型ができと思った。ものの見事に失敗しました。壁も一緒に水が溶けちゃったんです。これは壁のなかに、その砂のなかにボンドを入れることで解決しました。隣の職人の人が、ヒューヒュー鋳型に吹きつけているんですね。何を吹きつけているのと聞いたら、CO₂を吹きつけているんだという。砂の型を早くつくるために、このなかに水ガラスを入れておくんだ。それで、CO₂を吹きつけることによって、水ガラスが反応して、型が早く固化して、早く型ができる。だったら、ドライアイスで鋳物をつくったらどうだと言ったら、ボートとしているんです。CO₂で型ができるじゃないか。CO₂は圧縮をかけると、ドライアイスになる。それでドライアイスを加工したんです。溶けるのも早いけれども、加工できたんです。そこに水ガラスを含んだ砂をかけていたら、鋳物の型ができちゃうんです。これは面白い。ドライアイスの製造装置を見に行ったら、レンガの大きさのものが、1時間に60個出てくる。こんな生産のいいものはありません。それで、これを見てうれしかったのが、何でレンガの型かと思ったら、ドライアイスもちゃんと型を使っていた。そのなかに顆粒をぶち込んでおいて、圧縮をギュギュッとかけると、ポロツと出てくるわけです。

このように出発点は成形機を小さくしただけで、ここまで伸びてくるんですね。私はこういうことができていると思っていなかったんです。現場経験が豊富な人たちがこういう能力に気がつかずに、どんどんいなくなってしまう環境が非常にあると思うので、とても危惧しています。

(3) ITを使った展開～アイデアを進化させるしくみ

金型に組み込むマイクロコンピュータをつくりました。私が話をしている開発製品は、ニーズがあってやっているのではないです。ニーズがあってやるものというのは、公知の事実ですから、必ずいつか参入するし、みんなが考えていることなんです。ですから、自分でニーズをつくっちゃうんですね（笑）。

これをつくったきっかけも、金型というのはけっこう高価なんです。高いけれども金型自身が何個売ったか、覚えていないんですよ。だから、5年前に、私はこれからISOだとかいろいろな管理基準ができてきて、金型が何個売ったか、当然そういうことが必要になるだろう。それで金型にくっつけるカウンターをつくるつもりだったんです。それで、なるべく小さいもの、20部品ぐらいのものをつくり始めたんですけれども、プラスチックの金型は速いものでもワンサイクル10秒くらいですから、メカカウンター

でも十分なのです。ですけれども、プレスで金型になると、ワンサイクル、1秒間に10回とか20回ですから、メカカウンターでは追従できない。そこでアイデア工場の電子部品の得意なやつ、回路の得意なやつを呼び寄せて検討した。金型に組み込むショット数の管理、これをやれば商品になると思ってスタートしたのが、できあがったら管理したい現物に情報を入れておこうよという考え方になった。そしてまわりを見たら、管理したい現物に情報が入っていない。いま、どのようにして扱おうかと思って、困っています。ITと言われますけれども、現物が伴わないと、ITだけではもうどうにもならないですね。これはソニーに採用を決定いただきました。キャノンも採用決定いただきました。ソニーは世界に52工場あります。日本からせつせと、金型を出荷したいとか、成形機とか備品を持っていくわけです。備品とか成形機というのは、工場にありますけれども、金型は外注になる。そうすると、金型の成形条件表みたいなものを金型と一緒に送るんです。紙で動いていた情報が、デジタル情報になるわけですね。そうすると、ソニーのマレーシア工場には金型が2000型あって、成形機が500台あって、その他の装置が200台くらいある。それを五つのグループで分かれて管理している。グループのサーバーのなかでは、そのグループが管理している資産状況が全部わかるわけです。管理者がだれで、購入金額がいくらで、修理記録がこうなっている。これを、今度はグループサーバーからインターネットで、マレーシアサーバーに入れるわけです。マレーシアにあるソニーの全工場の資産が全部パソコンのなかに映し出されます。それと同じように、メキシコにはメキシコサーバーがある。スペインにはスペインサーバーがある。福島には福島サーバーがある。これをインターネットで管理する。全世界に散らばっているすべてのものが管理できます。

いちばん最初に金型に付けるカウンターが欲しい。さっきもそうだったんですね。成形機がデカイなところから、どんどん進歩していく。では、これはハイテクですかというと、結果としてはハイテクだけれども、手法はそうとうローテク。だけど、光造形と比べて、どうですか。時間にしても、装置にしても、光造形だって5000万も1億もするんです。これを国の工業技術センターが、国の予算を使って、いまもどんどん買っているんです。それで、われわれが買ってくださいと言っても、前例がないから買ってもらえない。やはり町工場の叫ぶ力、声。比較的大きな声になっていますけれども、なかなかこういう声を発せないというのが現状です。

5年ぐらい前なんですけれども、うちの金型の人間が小さい部品を受注して、290万で金型を受けてきたんです。こんなに小さいから、ずいぶんもうかったな、いいねと言ったら、実は社長、これはホットランナーなんです。ホットランナーはいくらと聞いたら、220万なんです。聞いてください。290万総額の金型のうち、ホットランナーの費用が220万なんです。安くしてよと言ったら、安くできないとただ一言。それで、自分で作ろうということになり、どっちみちつくんだったら、世界で最小のものをつくらうということで、最小のホットランナーチップをつくった。通常ですとこのシステムが一つの金型にワンシステムですから、小さい金型とか、数が出ない金型というのは、これはコントローラーも全部ひっくるめて40万も50万もしますから、これをユニット化し、いろいろな金型にベタベタ張りつけよう。そうすると、イニシャルコストが分散される。ホットランナー化することによって、成形サイクルが半減されます。ということは、ふつうだと2個取りの金型をつくっていたものが、ホットランナーにすると、1個取りで済むようになるんですね。だから、金型のコストが当然3割から4割くらい下がります。

電子部品の高級な材料になると、キロ当たり3000円とか4000円とかして、その9割を捨てているのが現実なんです。なぜ、そういうふうにならざるを得なくなったかということ、ホットランナーシステムは小さいものがなかったということと、交換式でなかったということなんですね。これを交換式にすることによって、イニシャルコストが分散されます。

ですから、このようにすると、ひょっとしたら海外でモノをつくらなくてもよくなるのではないかと、考えています。それとこれは1個取りなんですけれども、新しい工法で、高い材料になればなるほど、樹脂を加熱していればしているほど、する期間が長ければ長くなるほど、樹脂の劣化という問題で、樹脂特性がどんどんダメになるわけです。とりえずこれもユニット化することによって、成形部品を海外でやる必要がなくなる可能性があります。

・ほく以上に経験した人たちというのが、大田区、品川区、日本をひっくるめて無限にいるわけです。彼たちが潜在能力として、自社製品を持つということに気がついていない場合が非常に多い。たまたま気がついたというか、いろいろな人に助けられたというか、それはごく稀なケース、レアケースだと思うんですね。ですから、ここの経験者の人たちの持っている能力を、い

かに引っ張りだすかだと思います。

アイデアというのは不思議なもので、私もアイデア工房をやっている、アイデアを持っていますね。これをみんなで大事に製品化してやるんです。このシステムは、製品化したときに売り上げの7%がアイデア工房に入ってくる。売り上げですよ、利益ではない。そのうちの4%がアイデア工房の運営費になる。そして、3%は提案者のところに還元する。それから、その製品に対して、その製品に必ずかかわる名前を付けてやる。アベさんの提案でできたものは、これは竹内、新興セルビックで売っているけれども、実はこれはアベさんが考えたんだとわかるようなネーミングにします。

持っていたアイデアをわれわれが取り出してやって、製品化してやると、彼は頭のなかに一つのアイデアがあるうちは、次のアイデアというのはなかなか出てこないですね。それを取り出してやることによって、次にもっといいものが出てくるんですね。だから、アイデアが進化してくる。ですから、その取り出してやるシステムがアイデア工房です。アイデア工房の4%のお金がたまると、大自慢大会をやる。おれはこんなことをやってきた。どうだっとう胸を張るわけです。そんな機会をつくることによって、モノづくりの活性化が進むのではないかな。やはり自分の能力に気がついていない経験者というのが、はくはあまりにも多いと思う。だから、これをいかに掘り起こすかということが、町工場の自立への一歩になるのではないかな。

町工場も、加工するときに使われる治具だとか、自分で考案したものは、5個や10個くらい持っています。それを商品化してやるシステムみたいなものができれば、彼たちはまた次にもっと面白いものをつくってくるでしょう。そのように考えています。

2.3.1 質疑

質問:アメリカの金型の技術と比較した場合に、やはりモノづくりの点ではアメリカの開発技術というのはたいへんなものだとされているんですが、そこはどう見ておられますか。

竹内:金型だけに絞ると、何でそんなに速くつくらないといけないのか、というのがアメリカの考え方です。日本のシステムそのものというのは、やはり短期間で消費、使い捨てシステムなんです。早く製品を回転させて、どんどん捨てていこうというシステムに対して、ドイツだとかアメリカの場合にはそうではなくて、一つのモデルを3年とか4年とか使いながらという、システムの違いがモノづくりの速さの違いになっているような気がします。速いことがいいことだというのは、本当なのかという疑問はありますね。

質問:技術に対する反抗精神で固まっておられるような方ですね。(笑)

竹内:反面技術屋ってダメだな、経営者に向かないなというのを最近つくづく感じています。最初のホットランナーでは、これではゲートがあるということを大前提で開発して特許を出しました。特許にも金を使っています。けれども、今度のホットランナーでは、ランナーがあることを前提としていないんですね。だから、自分でいちばん最初、否定する前は、技術をどうして銀行が評価してくれないんだ。特許はどうして担保にならないんだと真剣に考えていたんですけども、自分で簡単に否定しちゃうと、そういう技術は、担保にならないというのを考えるようになったんですね。否定をしはじめると、すべてを否定しちゃうんですね。いま否定することが楽しみになっています。

それと同時に、これはわれわれのこれからの課題なんですけれども、技術屋であれば開発で、おれはこれだけやったよたぶん終わると思います。しかし、たまたまうちのピープロセスというのに魅せられた商社人間が、世の中に広めようということで、いろいろなところに持っていくんですけども、たまたま10年間開発していると、材料メーカーにしても、だいたいコンタクトがあるんです。どちらかというと、私も金型をつくっていて、入社試験をするときに、手が動くか。足が動くか。話す言葉もまともだから、よし、あしたから頑張ろうなということで、金型屋はそれで十分通ったんです。人材も、学歴は必要ないですけども、やはり頭脳明晰であって、それなりの知識が旺盛でないと、なかなかモノづくりのなかでも生き残っていけないんだろう。

質問:特許は海外にもどんどん出しておられるということで、そのへんの手続きなんかは13人の会社でどうやっておられるのか。

外部に委託されるのか。

竹内：新興セルビックを興すときに、特許というのはけっこう夢があるじゃないですか。何にもなくて、現場で金型だけをつくっていた人間が、ひょっとしたら特許を持てるかもしれない。だけどこれから大事になってくるよな。大手メーカーと対等に付き合うには、やはり特許武装するしかないなということで、新興セルビックを興すときの最初の社員は、はく一人と顧問弁護士でスタートしたんです。

いずれにせよ、戦うというのを太前提でやっていますから、自分で出したものというのは、弁護士も弁理士も付きません。だって、人の出した特許を、弁護士、弁理士が弁護してくれるはずがない。ということで、これは全部外部でやっています。

実際に装置を売っているんですけども、従来の延長線であると、皆さんどちらかというと受け入れてくれるんですけども、新しいものはなかなか受け入れてもらえないのが現状です。しかし町の金型メーカーだとか、モノをつくる人たちがそういう考え方になったら、変わることに流されるのではなくて、変える喜びみたいなものは出てくるんじゃないですかね。とくに特許なんですけれども、材料を供給しながら加工する方法というのは、あるようでないんです。

意見：いまのようなアイデアは、たとえば通産局が募集している補助金にびったりだと思んですが。

竹内：前例がないということでぜんぜんダメですよ。その申請のなかに、前例との比較で、そこははくはいつも空白なんです。

意見：たぶん、私の解釈では、従来の考え方で固まっている人が審査するからいけないんです。

意見：従来の考え方で審査したって、面白いですよ。

竹内：だけど、自分でかみ砕くことができないと難しいのです。

意見：ただ、委託みたいなものでやると、公開しなければいけなくなってしまう、独占はできなくなってしまうかもしれないですね。

竹内：大手との契約では、不係争義務、特許では争わないという義務、新たな提案については、共同出願義務をオプションとして内容に付加しています。同時に、共同出願した内容を、第三者の許諾請求があったときには無償で公開するという条項もあります。

はくはたまたまたくさん持っていますので、特許ということに対してあまり執着はないんですけども、たとえば一つとか二つ持っていると、それに対して執着してということよりも、やはり大手メーカーが来て商談するというだけで舞い上がってしまって、言いなりになってしまうパターンが多んじゃないですかね。本来ならば、中小企業の財産であるものが、大手の論理によって、自分の周辺をまとめられ、特許で出されてしまうと、やはり真ん中が周辺で覆いかぶされてしまいますから、特許として使いにくい、一般のものになりにくいということになるでしょうね。

質問：特許の費用はどのくらいですか。

竹内：トータルで2億以上使っていると思います。仕事をもらうために設備投資した場合には、翌日から稼げますよね。こういう設備を入れましたから、仕事をくださいと言うと、翌日から売り上げになる。特許の製品になってしまうと、想像していたもの、これくらい売れるだろうというものの10分の1を設定するんですね。だけど、現実にはさらにその10分の1なんです。

それで浸透してくるのに、類似のような考え方であれば、意外と「ああ、いいね」で通るんですけども、そうでないものに限れば、やはり5年とか6年とか、浸透してくるのに時間がかかります。大変です。

質問：中小企業の工場の場合、御社のように特許をほかに持ちてあって、研究開発に回すお金がある場合は別として、もう少し小さい企業で、非常にいいアイデアを思いついたけれども、たとえば主導権は大手に取られているとか、あるいは通常の資金繰りで精一杯で開発費が出せないで、そういったアイデアが表に出ないケースは非常に多くご覧になっていらっしゃるのでしょうか。

竹内：そうですね。思ったより、私は金型メーカーにいてよかったなと思っています。モノづくりの現場にいて。たとえば、アイ

デアがあって、モノをつくろうとしたときに、どうしても図面が必要になってくるんですね。せっかくいいアイデアがあっても図面が描けないと、そこで費用が発生しますよね。秘密保持契約だとか、この人にほんとうに話していいんだろうかと、まず不安がありますよね。

まして量産しようとなると、金型が必要になってくる。私は型屋なので全部自分でやっています。

そしてアイデアを出す人というのは、ものすごく多いんですけれども、実際に行動する人って、ほとんど皆無に近いですね。だから、まずアイデアが出てきたら、それをまず行動して動かすことだと思うんです。アイデアを持っていた人が、特許を出すんですけれども、アイデアの段階で出すために、どうもその理論がチグハグなんです。だから、特許を出す前に、まず自分でつくることです。自分でつくって、実際に立証して出した特許と、頭のなかで描いた特許は根本的に違います。理論上で出した特許というのは、ほくは全部つぶせると思っています。

主査：たいへん興味のあるお話でした。どうもありがとうございました。

開発製品と技術情報（新興セルビックコレクション）

第01弾	87年11月	発売	ユニット金型	『コマンドシステム』
第02弾	88年06月	発売	金型内ゲートカット（回転切断）	『ゲートカットユニット』
第03弾	88年11月	発売	微細スブルー（ハイサイクル仕様）	『スブルーリーマ』
第04弾	89年02月	発表	経験工学による現場理論	『高温成形法』
第05弾	89年12月	発売	糸引き問題を簡単解決	糸引き防止『K2』
第06弾	89年12月	発表	経験工学による現場理論	『高精度金型の芯合わせ機構』
第07弾	90年04月	発売	金型内ゲートカット（スライド切断）	『ゲートカットユニット』
第08弾	90年05月	発売	多機能高温コントローラ	『スーパーブルー』
第09弾	90年09月	発売	全手動式射出成形機（キャリアタイプ）	『ハンディトライ』
第10弾	91年01月	発売	全手動式射出成形機（デスクトップタイプ）	『ハンディトライ』
第11弾	91年07月	発表	経験工学による現場理論	『ランナープレート不要論』
第12弾	91年11月	発売	電極ホルダー	※『サブマリンAB』
第13弾	92年01月	発売	サービスパーツ	『ランナーバッシング』
第14弾	92年04月	発売	適性/型締圧力・射出圧力検出計	※PLゲージ『インテック』
第15弾	92年06月	発表	移動ゲートによるスクランブル射出	東京都助成事業『I/II』
第16弾	93年03月	発表	移動ゲートによるスクランブル射出	東京都助成事業『III/IV』
第17弾	93年10月	発売	サービスパーツ	※『システムフック』
第18弾	93年10月	発売	射出シリンダー洗浄具	※色変え具『翔太』
第19弾	93年10月	開発	コニカルスクリュウ	※『BeVeL』
第20弾	94年03月	発売	負圧ストロークガスベンド	※『Tystron』
第21弾	94年04月	発売	金型内樹脂ガス量計測システム	『ガスゲージ』
第22弾	94年06月	発売	移動式射出成形機（メイキングフィーダー）	※『BeVeL20/30』
第23弾	94年12月	発表	新製造ライン（超カンバン方式）	『スクランブルライン』
第24弾	94年12月	発売	非円形ピンポイントゲート	『スクエア/ライフルゲート』
第25弾	95年01月	開発	超小型射出ユニット（コードタイプ）	『3D Gear』
第26弾	95年02月	限販	鹿プラスチック脱塩装置	※環境エネルギーセンター
第27弾	95年03月	開発	複合加工機（プレス+成形）一体機/油圧	※『フライングプレス』
第28弾	95年06月	発売	移動式射出成形機（メイキングフィーダー）	※『BeVeL60/100』
第29弾	95年09月	発売	ホットメルトアプリケーション/デスクトップ	『3D SELL』
第30弾	96年02月	限販	積層IC一括封止プレス（半導体製造装置）	『HITACHI』
第31弾	96年09月	発売	卓上混練機/被覆含浸ノズル	『MX BeVeL』
第32弾	96年10月	開発	複合加工機（プレス+成形）一体機/電動	※『フライングプレス』
第33弾	96年10月	発売	カラクリ取り出し器	※『Mr KANEKO』
第34弾	96年10月	発売	流動速度計付テストピース金型/ダンベル等	※『新ISO規格』
第35弾	96年10月	限販	バーインテスト装置（半導体検査装置）	『HITACHI』
第36弾	97年02月	限販	KGD検査装置（半導体検査装置）	『HITACHI』
第37弾	97年06月	開発	超小型射出ユニット（ベレットタイプ）	『DNA』
第38弾	97年10月	開発	新工法（MC+DNA/P）樹脂	『P-Process/P』
第39弾	98年03月	開発	新工法（MC+DNA/M）非鉄金属	『P-Process/M』
第40弾	98年08月	開発	金型・機械機器搭載用マイコン	※『Euro Count』
第41弾	98年08月	発売	交換式マイクロプローブ（ホットランナー）	※『コマンド/グローバス』
第42弾	99年05月	発売	交換式無滞留マニピュレーター（ホットランナー）	『CG UNIT』
第43弾	99年09月	発売	一軸多面3次元加工機	『MARIONET』

※印はアイデア工場の提案により開発致しました。

SHINKO SELLBIC CO., LTD.
URL add <http://www.sellbic.com>

2.4 我が国建設業の技術について

講師：荒木幸生氏（清水建設(株)技術研究所企画部担当部長）

平成12年度 第4回先端技術動向調査委員会（2000.10.5）

2.4.1 荒木氏の講演

（1）日本のゼネコンの伝統的特殊性

1) 業態的特殊性

業種としては、歴史が古く、大手同族経営の会社は創業100年以上である。清水建設は、1804年創立で、200年近い。初代頭の清水きすけは富山の宮大工であり、江戸に上ったのが文化元年であった。多くの創業者は著名者の出入り大工・業者であり、きすけは渋沢家の出入り大工だった。渋沢家の薫陶をうけて会社組織になった。論語とそろばんの精神をもって会社経営を進めた。

所轄の官庁は建設省ができるまでは、内務省の警視庁であった清水は戦前に会社組織になったが、多くは「組組織」のままであった。業界全体では、60～70万社ですそ野は広いが、大手が5社、6番目からは桁違いの規模になる。しかし、大手トップでありながら、業界シェアは低い。

ゼネコンは自社製品はなく、他社製品を買い、下請け業者を使って組み立てを監督する産業である。材料・部品の調達、製品のよさ以外に、営業戦略で、得意先からとることが基本となっている。

2) 技術的特殊性

経験に基づく伝承技術で、徒弟制度により技能職は丁稚奉公から始まる。親方や頭の家に住み込み修行する。この伝統から、現在でもOJTが基本であり、必ず現場に出される。

丈夫で長持ちする物をつくることが大前提で、資産づくりの手伝いをしている、社会資本をつくりこむ、使い捨てでなく遺すしごとを心がけている。

組み立て産業であり、材料は得意先から仕入れてきた。技術開発を自社で取り組むようになったのは最近のことで、清水建設では200年の歴史の中でまだ50年たらずである。これまでは営業の得意先のニーズを聞いて対応することが当たり前で、自社開発すると得意先をけなしているというかんじがあった。

文化伝統技術が戦後、アメリカの影響を受けるようになって、機能優先というアメリカ的思考方でつくようになった。スクラップ&ビルドで、だめになったら、お金をかけてつくりなおすということだ。しかし、日本には環境の特殊性（湿気、地震、火事、自然環境、社会環境）があるので、壊せばいいというより、やはり根底には丈夫で長持ちするものをつくるというのが基本になっている。

知的所有権の意識、独占意欲が希薄な業界である。新しい技術は業界全体で使うという考え方できていた。しかし最近ではアメリカ的になって、競争関係も出てきている。

技術開発は、事前に開発していくのではなく、工期が長い施設建設で、工事を受注してから開発していくかたちになる。まずは受注するという考えで、戦略的開発は後手後手になる傾向もある。

この業界は、同族経営が多く、研究は道楽というかんじが強かった。研究所の研究員は3～5年に1度くらいひらめいてくれればいいというイメージ。今とはだいぶ感覚が違っていた。20年くらい前までは研究所も受け身で、現場からのニーズに対応するものが多かったように思う。現場の相談機関というかんじであった。

3) 商習慣

重層下請け構造になっている。信頼関係による請負契約であり、入札制度は終戦後に導入された。戦前はほとんどが特命契約であった。技術もサービスのひとつという位置づけであった。設計料もサービスで施工料に含まれている場合がほとんどで、ノウハウを有償でもとめるのは最近のことである。

秩序ある協調、ぬけがけは許さないという発想で、技術も横並び傾向にある。また、得意先は神様であり、言われたことには従う。30～40年前まではこちらからの提案はよけいな世話というかんじで受け取られていた。公共事業を請け負う業者60万、従業員600万、家族・親類2100万人が建設業にぶらさがっているという計算が成り立つ。

(2) 近代化への努力

1) 研究開発

最近はこちらから施主に提言して共同開発するようになってきた。しかし共同開発してそれを他社に売るという問題もある。開発の相手選びは難しく、特定なところと組むと営業的に問題とされる場合がある。中堅中小企業との共同の方がきめ細かくできる面がある。

国際的な状況については、構造技術は世界のトップレベル（地震対応）である。しかし、計画設計やアメニティについては遅れをとっている。

自動化も先端を行っている。自動化・ロボット化は労務者不足への対応でもある。最近の死亡事故は高齢者労務者の事故が多い。

環境対応については、施設のライフサイクルをみて技術開発を進めている。

2) 今後の課題

日建連法人会員64社が、アンケート調査において寄せられた民間発注者の声などを踏まえ、総合建設会社が取り組むべき課題として、次の3点をあげている。

a. 技術・ノウハウのさらなる研鑽・蓄積～与えられた信頼に応える努力

・アンケート結果では、総合建設会社の「工程管理能力」「安全管理能力」「近隣・トラブル等への対応能力」「品質管理能力」等、施工技術・品質などに関する点で高い評価が寄せられている。

・これらの評価に安住することなく、建設物のライフサイクル全般にわたるより高い技術と品質をもって発注者の皆様の信頼に応え、より一層の「顧客満足」を実現すべく、（企業活動の基本としての）技術・ノウハウのさらなる研鑽・蓄積に努める。

b. 「アカウンタビリティ」の向上～自らの機能・役割の積極的アピール

・アンケート結果では、総合建設会社に対し満足できない点として、「コストの透明性」を挙げる意見が多く、提供サービスに関する顧客への「アカウンタビリティ（説明責任）の不足」等が指摘されているものと考えられる。

・総合建設会社の提供する付加価値とそれに要するコストに関する発注者の理解を得るべく、業界団体として、及び個々の企業活動において、自らが果たしている機能・役割等に関し積極的・具体的な説明・アピールを行っていくことにより、アカウンタビリティの向上に努める。

c. 「市場構造の変化」への対応～さらなる「顧客満足度」の実現に向けて

・アンケート結果では、総合建設会社に対し、「ライフサイクル・マネジメント」や「環境分野」への対応等、建設市場の構造変化とも言える事項への対応を望む声が多く寄せられた。

・発注者の多様なニーズに応えるべく、高い技術力と豊富なノウハウに裏付けられた総合力を活かし、(CM業務等、発注方式の多様化への対応等を含め)建設市場の各分野・領域等における構造変化に対する積極的な取り組みを行い、より高いレベルでの『顧客満足』を実現していく。

① 多様化する発注方式

- ・ 企画段階 (PM方式、PFI等)
- ・ 入札段階 (総合評価方式等)
- ・ 設計・施工段階 (CM方式、分離発注方式等)
- ・ その他 (異業種JV等)

② IT (情報技術) 関連

- ・ 情報技術による業務効率化、コストダウン等 (建設CALS、建設資機材調達等)
- ・ 情報技術を活用したサービスの提供 (ホームエレクトロニクス関連、防災システム事業等)

③ 品質／性能保証等

- ・ 法制定に伴う住宅品質確保 (瑕疵担保責任、性能表示等)
- ・ その他 (100年住宅、S/I住宅等)

④ エンジニアリング分野

- ・ 廃棄物処理、水処理関係
- ・ 生産施設関連 (HACCP、バリデーション等)
- ・ エネルギー施設関連 (都市型コ・ジェネレーションシステム等)
- ・ その他 (広域被害予測、環境アセスメント等)

⑤ 環境分野

- ・ 住環境整備 (屋上・壁面緑化等)
- ・ 廃棄物処理、水処理関連
- ・ 建設事業関連 (建設廃棄物のリサイクル推進等)
- ・ 環境調査 (土壌汚染調査等)
- ・ その他 (環境共生緑化・ビオトープ等)

⑥ リニューアル分野

- ・ 構造物長寿命化 (耐震・免震補強等)
- ・ 設備機器更新 (設備の交換等)
- ・ 情報化対応 (通信・電気容量の増強等)

⑦ ライフサイクル・マネジメント

- ・ 診断 (省エネルギー診断等)
- ・ 資産評価 (建設デューデリジェンス等)
- ・ 施設管理 (ビルエネルギー管理システム等)
- ・ 環境管理 (LCCO2の環境影響予測評価等)

⑧ 建設物の保守・運営等

- ・ 建設物の保守・管理等
- ・ 建設後の運営 (PFI等)

(3) 技術紹介

1) 高度な生産技術

品質の向上や工期の短縮、省エネ・省資源化など、建設産業に求められるさまざまなニーズに応えるために、先進のコンピュータ技術や工業化工法、メカトロニクス技術を積極的に導入。その成果として開発・実用化された数々の技術は、建設現場の生産性を高めるとともに、作業環境を確実に向上させている。

・全天候型ビル自動施工「スマートシステム」

躯体工事から仕上げ工事にいたる施工作業と、施工を支援する各種管理業務をコンピュータで総合管理することにより、高層ビルを自動的に建設していく世界で初めて実用化されたシステム。大幅な省力化と建設現場における3Kの追放を実現する。

・建設生産統合システム「CIC」(Computer Integrated Construction)

企画、設計、施工、保全という一連の建設生産活動において、コンピュータ技術を活用し、創造的かつ品質、生産性に優れた建設生産行為を行うとともに、それらの個々の生産活動を有機的に統合するシステム。CICを支える技術には、建物の建設・解体手順を、モデルを使い、コンピュータ画面上でシミュレートする3次元施工計画・管理支援システムや、入力した建物データを、計画・設計・施工の各段階で共有化できる3次元設計施工総合支援システム「VAD」(解析/設計/積算/施工検討等、建築生産の全段階で、通常のコンピュータ処理はもちろん、動画によるビジュアル・シミュレーションを行うことが可能)がある。さらに施工管理システム「検太郎」や「ミーティングボード」などを併用することで、作業の生産性がより向上する。

都市の巨大化や生活空間の拡大と多様化にともない、ますます大規模に、しかも複雑化するインフラ施設。これらを整備・拡充していくためには、より高度な生産技術の開発が必要である。品質の向上はもちろんのこと、安全性や信頼性にも優れた技術を駆使して、トンネルやダム、橋梁などの建設を行っている。また、より一層の自動化・省力化を推進するなど、大規模施設に必要とされる厳しいニーズに応えるために、生産技術を磨き続けている。

・シールド工事の総合自動化

シールド工事におけるセグメントや資材の搬送から、セグメントの供給・組立、掘進の自動方向制御、レールやパイプの自動延伸まで、一連の作業工程を自動化。さらに、これら複数のシステムをひとつの操作盤で総合管理するのが「シールド総合管理システム」である。

・ダムコンクリート自動搬送システム

コンクリートの運搬・打設工程を自動化し、生産性、安全性を飛躍的に向上させたシステム。コンクリートを搬送するトランスファーカー自動運転、バケット台車の自動位置決め装置、および打設現場でのバケット遠隔開閉システムにより構成される。

・RCD (Roller Compacted Dam-concrete) 工法

汎用機械の活用によるコンクリート運搬方法の合理化と、超硬練りのRCD用コンクリートを振動ローラで締め固める点が大きな特徴である。わが国で初めてダム堤体の上端まですべてダンプトラック直送のRCD工法を採用した美利河ダム等の豊富な実績がある。

・高流動コンクリート「SC クリート」

高い流動性と材料分離抵抗性を有したコンクリート。締め固めなしで、構造物の隅々まで確実に充填することができる。温度ひび割れ対策が求められるマスコン向けの低発熱のものから、PC 橋など軽量で早期に高強度が必要とされるものまで、あらゆるニーズに適應できる。(写真:PC 斜張橋の橋桁部分に採用した例)

・高強度コンクリート

コンクリート構造物は、コンクリートの強度を高くすることにより部材厚の減少が図れ、経済的に建設することができる。このようなニーズから開発された高強度コンクリートは、高性能AE減水剤の使用と骨材表面水率を高度に管理する技術により可能

となった。LNG 地下タンクの側壁や超高層ビルの構造壁で設計基準強度 600kgf/cm^2 のコンクリートを打設している。

・鉄筋籠自動溶接ロボットシステム

地中連続壁の鉄筋籠製作作業の自動化システム。産業用多関節ロボットが鉄筋上を連続移動して溶接を行うこのシステムは、鉄筋籠製作作業における省力化、溶接品質、安全性の向上に優れた効果を発揮する。

2) 安全で快適

巨大化、高層化が進むビル建設においては、災害に対する構造上の安全性を確保することはもちろん、内部の居住性を向上させることが、従来にも増して重要なポイントとなっている。超高層ビルにおける風揺れの低減をはじめ、居住性の高い室内環境を実現する各種技術を開発。快適で健康的なうえに、レイアウトの自由度が高いオフィスや住空間を提供する。また、地震や火災に対しても、これまでよりさらに安全性を高める技術を実用化している。

・超高層ビル向け“制振システム”

建物の最上階に設置したおもりを建物の揺れに共振させ、エネルギーを使わずに揺れを吸収する原理に、コンピュータ制御の駆動装置を組み合わせ、建物の揺れを吸収するシステム。超高層ビルの風揺れを低減し、快適な居住性を確保することができる。

その他、上下の梁の間で建物の横揺れを吸収する鋼材ダンパー（中・高層向け）など建物の特性に応じた最適な制振システムがある。

・免震システム

建物の基礎部分に薄い鉄板とゴムを交互に張り合わせた積層ゴムと、地震エネルギーを吸収するダンパーから構成される低・中層ビルに有効な免震システム。さらに、特定のフロアのみに適用する免震床システムも実用化し、建物を地震から守る。

・立体骨組構造非線形地震応答解析

大規模地震に対する建物の立体的な挙動（変形、力など）を、実際の地震波を与えて精度高く解析するシステム。超高層ビルから大空間施設まで、構造安全性の検討に威力を発揮する。

3) 使いやすく便利

オフィスや生産施設には、効率的で使いやすいことはもちろん、快適性や柔軟性といった要素が求められている。新時代の施設づくりを求めるニーズにいち早く、きめ細かく応えるために、多様な角度から研究開発を推進。構想から運営まで一貫した考え方のもと、あらゆるステップに高度なエンジニアリング技術を結集。投資効果を最大限に高めるベストパートナーとして、最適な施設づくりをトータルサポートしている。

・プラントエンジニアリング

現在の生産施設は、FA、CIM 化による統合システムへと移行している。プロジェクトの計画段階から参画し、お客様の要望を的確に捉え、化学、機械、食品、医療等の豊富な実績を有効に活用しながら、情報処理技術を駆使して最適な生産設備を提案する。

・シミズ施設運営管理システム「BECSS（ベックス）」

施設の高機能化に対応した運営管理のトータルシステム。施設管理機能、生活支援サービス機能、ライフケア機能を有し、施設の生涯管理のサポートを行う。また、複数のビルや地域のエネルギー、交通などのさまざまな情報を統合管理するエリアマネジメントシステムにおいて、その主要システムとして機能している。

・電磁波シールド設計システム

建物の使用目的により、周囲の電磁波環境および設定される耐電磁波レベル、周囲で使用される電波との干渉を防ぐ耐干渉性を考慮して、最適な設計を行う。

- ・先端的ロジスティクスセンター

資材・商品の調達から、保管、ピッキング、仕分け、輸送、配送までの「物と情報の管理」ならびに各種自動搬送機器の制御を、すべてコンピュータで処理。物流の効率化を実現する。

- ・工場内物流システム

生産設備の最適なレイアウト設計とともに、生産性をトータルに向上させる保管設備、搬送設備、管理ネットワークを適用領域ごとに最適の機種を選定し、提供する。

- ・生産スケジューリング・システム「差立屋（さしたてや）」

CIM向上において重要な反面、手間のかかる生産スケジューリング作業を合理化。AI（人工知能）を駆使することで、膨大な組合せの中から短時間で最良のスケジュールを立案。計画に基づいた効率的な生産を実現する。

4) 維持と保全

大切な建物をより長く使うために、維持・保全技術の研究開発にも力を注いでいる。建物の機能や品質を、長期間にわたり高く保ち続けるために、耐久性に優れた新素材や、さまざまな補修・リニューアル技術を開発。また既設構造物の健全度診断ならびに設計施工段階における劣化予測など、建設物のトータルメンテナンスをシステム化。さらに保有する技術を駆使して、歴史的建造物の保存と再生にも積極的に取り組んでいる。

- ・旧川崎銀行千葉支店ビル（現千葉市美術館・中央区役所）

貴重な文化遺産である旧川崎銀行千葉支店ビルを保存するために行われた「曳家（ひきや）工事。同ビルを持ち上げ、3日間かけて25m水平移動。近工事の完了後に元の位置へ戻して復元、新しい建物の内部にすっぽりと包み込む「サヤ堂方式」で保存した。

- ・土木構造物維持管理システム

パソコンを用いて、土木コンクリート構造物の設計施工段階における劣化予測・対策検討および、既設構造物の健全度診断業務に関わる調査計画・評価・対策案検討を行うシステム。企画・計画・設計から施工段階まで一貫したメンテナンスを行うことができ、多くの土木構造物の健全度診断に活用されている。

- ・建築設備生涯管理サポートシステム「I-LiCSS（アイリックス）」

床・壁・天井など建築部材から建築設備機器にいたる幅広いメンテナンス業務を、計画的かつ効率的に行うための支援システム。補修・更新時期を事前に予測できるので、設備の故障などトラブルが少なく、建物をより低廉に美しく維持・保全することに貢献している。

- ・コンクリート用超音波画像表示システム

コンクリート構造物の表面をセンサーでなぞるだけで、内部の空隙・充填度・鉄筋などの有無や位置を高精度に検知、その結果を断面画像としてカラー表示できる非破壊評価システム。既存コンクリート構造物の健全性評価はもとより、施工中のコンクリート工事の品質管理および品質保証技術としても適用できる。

5) 工期の短縮

工期の短縮は、お客様の事業にさまざまなメリットをもたらす。より短い期間で建設するために、施工性に優れ、しかも居住性を高めるなどの付加価値をとまなう新構法を次々に実用化。また、建設部材の工場生産により現場作業を大幅に削減するなど、施工方法についても、より一層の合理化を図っている。事業計画に最適なスケジュールで建設を行うために、構工法の高度化をさらに推進していく。

- ・RCコアウォールシステム

鉄筋コンクリートの壁で囲んだ丈夫なコアウォールによって柱をスリムにし、本数を減らすことができる構法。空間が広く使える

ので自由なレイアウトができる。コア部が先行してつくられ、コア内部の設備やエレベータ工事に早く着手できるため、施工性に優れており、また高層ビルにおける地震や強風による揺れも低減、居住性が向上する。

- ・鉄筋・鉄骨複合構造「RCSS 構法」

柱が鉄筋コンクリート（RC）、梁を鉄骨（S）とするハイブリッド（混合）構造。長年の実績をふまえ設計および施工法を確立。躯体工事の大部分を占める配筋・型枠取付作業が大幅に削減されるため、工期はRC造と比べて20%以上短縮される。

- ・全天候工法

開閉式の全天候型仮設屋根を現場に設置することで、天候に左右されずに作業日程を組むことができる工法。工事の種類や建物の構造等にあわせて数タイプを開発。工期の短縮はもちろん、安全性に優れ、作業環境の向上にも役立つ。

- ・RC 超高層集合住宅

鉄筋コンクリートで超高層集合住宅を実現する超高層システム構法。高強度コンクリートや高強度太径鉄筋、システム型枠など工業化工法を駆使して、プランの自由度が高い住宅を経済的に提供する。

6) 高度な空間創造

物流センターや工場、イベントホール、スポーツ施設など、大空間施設に対するニーズの高まりや、超々高層ビル実現への期待。また、次世代半導体をはじめ最先端の製品の製造に必要とされる非常に高度な生産施設の建設など、空間に求められる機能は、時代とともに変化し続けている。このような量・質ともに新しいニーズに応えるために、多様な技術を集積しながら、常により高度な空間創造へのチャレンジを続けている。

- ・スーパーウイング

鉄骨トラスとPC鋼線を組み合わせて、50m～200m級の大スパン屋根を無柱で支える、大空間施設に適した構法。格納庫や物納センター、工場、スポーツ施設、イベント会場など、さまざまな用途に適用が可能である。

- ・膜構造施設

膜材料を屋根に使用した構造で、スポーツやイベント空間から教育施設等まで幅広く採用されている。また、融雪技術を生かして多雪地帯に冬でも明るい施設を提供するなど、構造・環境技術等を駆使して新しい空間の創造を続けている。

- ・クリーンルーム関連技術 生産施設振動対策システム

今後、ますます高度化する次世代半導体製造や先端的研究において問題となる微振動を、水平方向で1/10、鉛直方向で1/5～1/10以下に低減する制振床システム。床がモジュール化されているため、生産ラインの変更に容易に対応。平面サイズも最大3m×3mまで拡張可能。他にも、さまざまなニーズに対応できる技術を保有している。

- ・フラットプレート構法

耐震壁を有効配置し「梁のない住宅」を実現。約30cm厚の床板を採用し梁型をなくし、家具や間仕切りの配置を制約しないフリープランの住宅が建設できる。また遮音性も向上する。

7) 省資源と環境保全

地球環境への配慮は、私たち一人ひとりが真剣に取り組まなければならない社会的な責任である。社会の一員として、環境にやさしい、さまざまな技術を開発、省資源・省エネルギー化に努めている。水や空気、土地を浄化する技術の開発をはじめ、未利用エネルギーの活用による省エネ施設の建設、また、建設現場における廃材のリサイクルや新しい建設素材の開発など。環境保全に対して、幅の広い取り組みを行っている。

- ・地域冷暖房システム

都市基盤のひとつとして、一定地域の建物群へ冷・暖房および給湯の熱を送る施設。熱供給事業の可能性調査、事業

収支をはじめ、各種保有および開発技術を活用して最適なシステムを構築する。

・省資源・省エネルギー・少廃棄物ビル評価システム

建物の建設・運用・解体時に発生する二酸化炭素や消費エネルギー、建設廃棄物などの環境負荷を、設計施工段階で容易に精度よくシミュレーションできるプログラム。構造形成や施工方法の選択などに生かすことで、環境負荷の少ない建物を提案できる。

・土壌汚染浄化エンジニアリング

多彩な処理技術と豊富なノウハウを結集し、調査から分析・評価、処理・処分、メンテナンスなど、「土壌環境の診断から、治療まで」をトータルに実施する。

・ラワン合板代替型枠「エコフォーム」

廃木材のチップから作るパーティクルボードをガラス繊維で補強した、合板に変わる新しい型枠材。型枠材としての強度、固さ、ねばり強さはもちろん、ノコギリによる切断や釘の打ち込み、転用も可能である。

8) 自然の理解

人間の生活空間が広がるにつれて、自然の力を正しく理解し、制御することが、これまで以上に重要な意味を持つようになってきた。軟弱地盤に限らず、地盤や潮流の動きを熟知することは、地震や津波による被害を最小限にとどめるうえで不可欠である。さまざまな環境シミュレーション・システムや、自然の猛威をやわらげる環境制御技術を確立。自然災害に強い施設づくりを提案するとともに、新たな空間利用の可能性を大きく開いている。

・3次元液状化解析システム「ハイパー」

液状化の発生からその対策の有効性までを、実際の地盤と同様な状況を再現して精度高く解析・評価できる世界初のシステム。最適な液状化対策の立案、基礎の合理的な構造設計に役立つ。

・フレキシブルマウンド

膜でできた新タイプの波浪制御構造物。高波時には海水を注入し、膨らませて消波する。海底に没しているため、海域の景観や環境に影響を与えない。ハウステンボス（長崎県）のハーバーに採用されている。

・根入れ式鋼板セル工法

1994年に開港した「関西国際空港」の護岸では、根入れ式鋼板セル工法が採用された。この工法は、鋼製の円筒形セルを海中に沈設して、護岸構造を建設する。施工時の安定性に優れ、施工速度が速いので多くの護岸に採用されている。

・水質予測シミュレーション

ウォーターフロント開発や水際環境再生事業に伴う閉鎖性水域の水質保全対策の一環として、流況、濃度等の水質に関する評価、予測を定量的に行うことができる。

9) 社会基盤の整備

さまざまな自然条件のもとで、人と人、街と街とを結ぶために、橋梁やトンネルなどの構造物を建設する技術の高度化が求められている。建設時の自然条件に対応した安全性、耐久性、施工性に優れた新技術により、その地域の特性にもっとも適した質の高い構造物を建設。また「シビックデザイン」の重要性に着目、施設の美しさや個性にも重点を置き、景観や生態系に配慮した人と環境にやさしい施設づくりを提案する。

・PC斜張橋

長大橋に適した構造特性と、地域のランドマークとして美しい景観を生み出すPC斜張橋の計画・設計・施工に関して高度な技術を確立している。高流動・高強度・軽量コンクリートを開発してPC斜張橋の長大化へ貢献。すでに景観デザインと構造特性をマッチさせた、世界でも類のない「片面吊り曲線PC斜張橋」を完成させている。

- ・P&Z 工法

橋梁上部に設けた移動式架設桁から型枠装置を懸垂し、橋脚の両側に上部工を順次張り出して分割施工するPC長大橋の架設工法。谷間や海上など資材の運搬に制約を受ける場所での建設時に有効である。

- ・S ルーフ工法

複数の小口径シールドマシンをリング状に配置・掘削してトンネルの外周部分を構築。その後、内部を掘削するだけでさまざまな形状の大口径トンネルが建設できる工法。直径 20 ～ 40m の大口径トンネルを効率よく建設できる。

- ・沈埋（ちんまい）トンネル海底移動工法「SCAT（エスカット）工法」

トンネルに接続するアプローチ斜路で沈埋函を製作し沈埋函を沈めたまま斜路から敷設地点まで移動させる工法。ドライドックや大型敷設船を必要とせず、海面の工事占有が少ないのが特徴である。

- ・シールドトンネル地中接合工法「MSD（Mechanical Shield Docking）工法」

先端部に貫入リングと貫入室を備えた2台のシールドマシンにより、トンネル接合を行う。立坑の設置が困難な都市部や海上にシールドトンネルを建設する場合に威力を発揮。従来工法に比べ工期を大幅に短縮、より安全に容易な施工が行えるなど、数々のメリットがある。

10) エネルギー関連施設

石油、液化天然ガス（LNG）、原子力と、エネルギーの多様化が進むにしたがって、それぞれの特性に適した施設に対する需要が高まっている。エネルギー関連施設の建設に必要とされる数々の技術を開発。なかでもLNG地下タンクの建設においては、設計施工のパイオニアとして高度なテクノロジーを確立、世界的に高い評価を受けている。また、岩盤内石油貯蔵や原子力発電施設などの分野においても高度な技術を開発・実用化している。

- ・LNG 地下タンクでの自動化施工技術

地下タンク工事における工期短縮を主な目的として、それぞれの工種で自動化技術を実用化している。例えば、掘削工では高能率揚土システム、側壁工では自動壁面掘削機、鉄筋ユニット化工法、コンクリート自動打設システムなどがある。

- ・超壁厚大深度地中連続壁工法「SSS-G 工法」

水平多軸カッター式掘削機（エレクトロミルなど）により、壁厚 3.2m、深度 150m までの地中連続壁を鉛直誤差 ± 50mm の精度で構築する工法。「明石大橋」基礎、「白鳥大橋」基礎、LNG 地下タンク山留壁などで実績がある。

- ・地中連続壁掘削精度管理システム

掘削精度を高精度に保つシステム。地上部の傾斜計と掘削機の本体傾斜計・深度計により掘削機の偏位量を計算、運転台のディスプレイにリアルタイムで表示する。

- ・安定液総合管理システム

地中連続壁工事の施工品質確保を図るシステム。作液と安定液の適正管理を自動的に行い、廃棄量を量少に抑える。

- ・岩盤内石油貯蔵法「ロックオイルタンク」

石油を地下の大空洞に直接貯蔵する水封式ロックオイルタンク。岩盤解析や水流解析、地盤液状化解析など、さまざまな関連技術を確立し、建設を実現した。

- ・新型炉開発「ABWR」

従来の原子力発電所では銅製原子炉格納容器が採用されてきた。東京電力柏崎刈羽原子力発電所では、6、7号機で鉄筋コンクリート製格納容器（RCCV）を採用している。電力会社との共同研究を通じて新型炉の開発に取り組んできた。

- ・原子炉廃炉・解体工法

役割を終えた原子力発電所の廃止措置については、安全かつ経済的な工法が求められている。原子炉を解体せずに土台から切り離し、地下の保管場所に収納する一括撤去工法(写真)や、放射化した土壌をコンクリートでロボットを使い安全に

解体する工法などに取り組んでいる。

・放射線廃棄物処理・処分技術

原子力発電所から発生する放射性廃棄物は、地中深くの岩盤内に埋設処理される。その安全性を確認するためには、周辺の地下水の性質および流れを正確に把握することが重要である。そのための地下深部ボーリング・採水マシン、地下水流動解析プログラム、地下水流向・流速計測システム等の開発にも幅広く取り組んでいる。

11) 未来構想

宇宙ステーション、空中立体年、砂漠緑化年、海上都市、大深度地下都市など、人間が自然と調和しながら、快適に、そして豊かに暮らせる未来を築くために、建設技術を核としながら、さまざまな分野における研究開発を推進していく。

・宇宙ロボット

大型宇宙構造物組立のための非常に軽量のロボット。人間の作業機能を複数のロボットがそれぞれ分担し、自動的にあるいは遠隔操作によって宇宙ステーションなどの建設を行う。また、メンテナンスロボットは、定期的な損傷検査とメンテナンスを人間に代わって行う。

・ピラミッド型空中立体都市構想「TRY2004」

インフラ機能を組み込んだメガトラス構造立体空間を造り、その中に超高層ビルや住居施設、リゾート施設、ホテルなど、大都市に必要な機能を盛り込んだ「人と地球にやさしい100万人都市」構想。都市全体は2,004mの高さとなる。

・砂漠緑化都市構想「バシフィック」

経済的、文化的協調発展とともに地球環境の保全を目的として、21世紀を象徴する国際都市を砂漠に建設する。面積16,000ha、人口30万人の砂漠緑化都市構想。

・浮体式海上公園「ビッグ・バン・アイランド」

水深30～40mの海上に、日比谷公園とほぼ同じ面積を持つ浮輪型の「ビッグ・バン」と、横浜スタジアム大の貝殻型「ビッグ・パール」を浮かべた浮体式海上公園。

・大深度地下都市構想「アーバン・ジオ・グリッド」

ショッピングセンター、イベントホール、レジャー施設など、地下空間に適した施設を集めた地下大空間施設。地上には緑が多く残される。

2.4.2 質疑

質問：設計料をとらないという習慣だが、大きく難しそうな構造物というのは、だれでも設計できるのか。

荒木：できた現物をみれば誰でもできる。技術的にはすぐおいつくので先発利益は2～3年程度である。

質問：100年マンションというコンセプトがあるが、日本は木造で耐用年数が短い。日本の場合建築業界は200～300年の耐用年数のものをつくらないのか。

荒木：木はもともとは丈夫で長持ちする。木造は樹齢分もつと言われる。しかし、基本は施主の希望に沿うかたちになる。工場もライフサイクルが10年程度である。200年というのも構造的には可能だが、中身の機能が変わるので難しい。機能的変遷にいかにか耐えられるかが課題である。

2.5 文化財保存への先端技術応用

講師：青木繁夫氏（東京国立文化財研究所 修復技術部 第3修復技術研究室長）

平成12年度 第5回先端技術動向調査委員会（2000.11.2）

2.5.1 青木氏の講演

東京国立文化財研究所は、文化庁の附属機関で、定員47名（含事務官5名）で、国立の研究所では最も小さい組織である。文化財保護の研究の他、文化庁の行政需要に応じて政策研究等のアドバイスも行っている。

(1) 文化財保護の変遷

文化財保護は、コレクターは別として一般の人はあまり意識をしないものであり、そのための資金を出すようなこともない。ほとんどが、行政の場で行われる行為であると言える。現在の文化庁が文化財修復に割いている予算は400億円強、補助金加わると約800億円ぐらいである。非常に単位の小さい資金である。各都道府県のもつ文化財保護条例で指定しているものについての修復費用はそれぞれが独自に調達することになっている。

もともと、明治4年に「古器旧物保存方」という太政官布告が出された。これは明治元年の神仏分離令による廃仏毀釈によって、寺院が没落し、それに伴って、伝世してきた美術品の破壊が行われた。興福寺の五重塔が売却されたり、姫路城天守の解体などの事件が起き、「保護」を優先にした対応が行われた。この思想は現在にも受け継がれている。

昭和4年に「国宝保存法」が出来たが、これにより、指定制度が誕生した。また、昭和8年には「重要美術品等ノ保存ニ関スル法律」ができて輸出規制がなされた。これは、明治末から大正にかけて、多くの美術品が流出してしまったことへの対応である。それらは、現在でも世界の主要な博物館にコレクションとして収蔵されている（ボストン美術館、大英博物館等）。

戦後、昭和24年に法隆寺の金堂が消失したことを契機に、翌25年に議員立法による「文化財保護法」が設立した。

われわれのたずさわっている分野は、保存科学であるが、これは昭和8年に東大の美術史の瀧精一教授が、美術品を自然科学的手法で研究していこうと提唱され、古美術保存協議会を設立したことにはじまる。当時は寺田寅彦なども参加している。昭和27年には文化財研究所のなかに保存科学部が設立されて、保存科学の学問分野が固まってきた。所属している修復技術部は文化財の修理をする部署である。次第に規模も大きくなってきている。

扱っていることは、品物の真贋を科学的手法を用いて明らかにすること。品物そのものの資料批判を自然科学的な手法を使って行うこと。保存のための環境（温度、湿度、明るさ等）を維持することを実施している。海外からの作品の流通・展示等に関するケアは、仕様書を作って各博物館・美術館等に提示している。

文化財保護法は改正され、明治以降の近代の文化遺産を指定するようになった。現在では昭和40年代まで対象になっている。美術工芸品、動産については、お雇い外人によるものや初期の頃に輸入したものを含めて、現在指定を行っている。建造物については、かなり最近のものまで保存の対象になっている。指定される前に壊れるなどの問題がおこるため登録制度で管理と保存を行っている。

これまで、指定されたものは、博物館等で保存されていたが、最近のものは動態保存ということで、使う状態・使われる状態での保存という考え方が強くなっている。したがって、従来の修復ではあまり問題にならなかった、構造的強度や摩滅等についても考慮しなければならなくなった。また、ゴム等の保存の難しい材料についても今後の研究課題となる。

また、最近、地方分権の流れを受けて、地方教育委員会への権限委譲が進み、国宝の展示等が文化庁から管理がはなれ（これまでは国宝の展示に際しては文化庁の許可が必要）、使用頻度が高くなると同時に、維持管理の面では行き届かない点が出てきている。例えば東京国立博物館は、これまで特別展（テーマ展）が年1～2回であったが、10年程前からは、

5～6回に増えている。

文化財保護法の改正時にも「活用」をうたっている。これは文化財は公共財であり、税金で保存されているものなので、きちんと公開すべきという考え方になっている。しかし、そのプロセスで、従来以上に品物が傷む危険性をもっているのもので、それをどうやって傷まない方法で次世代に引き継ぐかが重要な問題になっている。

文化財ということばは、昭和23年頃から使われるようになったが、これらは単なる財産とは異なり非常に大切なものなので、その保存については制度的なことも含めて充分に考えていかなければならない問題である。

(2) 文化財保存と先端技術

1) 修復の要素

品物は多くの情報を持っている。この情報の取り方は、人文科学的なもの、自然科学的なのもののいろいろなアプローチの方法がある。修復の場合は医師の臨床検査と同じ様な方法で情報を得る。

考古資料は、その構造・形態、機能・用途、産地、製作・技法、材質、環境等について様々な自然科学的な方法で調査を行い、学問的な研究に還元していく。

最近では、生物学的な問題を含めてDNA検査なども行う。また、劣化については環境とのからみが非常に大きい。現実には、酸性雨などは、外部に設置されているブロンズ像などの劣化問題になっている。保存科学としては、環境問題に対しては、アクティブにアプローチするのではなく、どう守るかという受け身のなかでの対応になる。例えば、これまで使っていた虫殺し（薰蒸剤）が、モンリオール条約により数年後に使用禁止になってしまうため、現在新しい物を開発しているところである。

文化財は、まずホンモノでなければならないというのが大前提であるが、その上で、美的あるいは学問的な「価値」を持っていなければならない。それを「記録」し、「構造調査」「材質調査」「劣化調査」を行う。修復にあたっては、「修復技術」「修復材料」の開発も行う。修復したものの「情報記録」「保存管理」もする。過去の修復についての記録、それを踏まえて、今後どうするか、例えばオリジナルなものだけを残すという方法もある。また、修復の依頼者（多くは博物館）が今後どのように利用するかによっても姿はかわってくる。予算の問題も当然出てくる。

いずれにせよ修復としての基本的概念・理念から、論理的背景のもとでシステムとしてその方法がコントロールされることになる。また、修復後の環境設定（寿命設定）も重要な要素である。

2) 文化財修復の変遷

明治以降のトピックをあげてみる。

修復材料

明治31年に石膏と漆で、熊野速玉大神座像の修理が行われている。石膏はもともと日本にない外来の材料で、モースが大森貝塚を発掘してきた物を復元する際につかったのが最初といわれている。

昭和10年には、宮崎県の西都原古墳から出た金属器をパラフィンで固めている。京都大学の総長をしたハマダコウサク氏がイギリスに留学した際に学んだ方法を使って、鉄製品の錆止め処理を行った。これは、現在再修理をする時期に入っているが、パラフィンを取るのにいろいろな問題が起きている。

昭和17年には奈良霊山寺の三重塔の板絵にアクリル樹脂を使って彩色の剥落止め処理を行っている。溶剤タイプのものである。当時は工業生産されていなかったのが東大の生産研でつくってもらった。

昭和24年に法隆寺の金堂が火災に遭い、25年に焼け残った壁画や伽藍を全面的にアクリル樹脂を使って固定をしている。漆などの天然材料での接着は不可能であり、土壁や炭化した木材の固定のため、大規模に合成材料を使用した最初の例である。これは非常に効果があった。

昭和27年に薬師寺月光菩薩首切り事件があった。地震で頭がゆらぐようになったので、その修復を行う際に、中心に入っ

ている鉄材を切断した。この復元に、漆では強度の問題があって、当時の最先端技術であったエポキシ樹脂を使用した。技術者をスイスのチバガイギーに派遣して半年ぐらいの研修を受けさせてから使用した。

昭和33年には水に溶ける蠟のようなポリエチレングリコールを、木材の保存処理（寸法安定化）のために使用した。保湿性にすぐれ、化粧品にも使用されている。

昭和38年に鎌倉大仏の首の接着にポリエステル樹脂FRPを使用した。鎌倉大仏は関東大震災のときに台座から崩れてその後傾いだかたちで保存されていた。その修復の際に、免震が問題となり、台座にステンレスの板を敷いて、台座が動いた際に、その上を大仏が滑るようにした（現在のような免震措置がなかったため）。傾いだ首の周りにはFRPの帯を内部から巻いている。

昭和44年には出土木材の真空凍結乾燥処理が行われた。方法としては食品のフリーズドライの方法と同じである。通常は水に浸った状態で出土される。それを通常乾燥させると縮むが、凍結乾燥の場合寸法変化は1～2%以内である。

昭和50年には絵画の修理に電子線劣化絹が使われるようになった。絹に描いてある絵は時間経過ですれてしまうので、補修が必要になる。昔は、古い材料を使っていたが、それが払底してしまい、新しい材料を劣化させて修復材料として使うようになった。しかし電子線劣化させたものは油分がぬけていないので補彩に具合が悪いので、最近は紫外線を照射して材料をつくるようになっている。

分析方法

分析に関する最も古い事例は、明治44年のコインの化学分析で、これは東大で行われた。

大正9年には、高槻で阿武山古墳の人骨のX線透視写真を撮影している。これは外国X線写真をとるよりも速い時期であったと思われる。

昭和12年に中国出土の鏡の表面の顔料をX線解析法によって分析している。寺田寅彦氏が行っている。当時この方法は非常にめずらしかったようだ。文化財の調査は非破壊で行い、サンプリングはしないというのが大原則になっている。ただ、X線解析による顔料分析にはサンプリングが必要となり、できるだけ少ない量で分析できるような装置の開発も行っている。現場に持っていけるような可搬型の蛍光X線装置も開発されている。敦煌の壁画顔料の調査などに使っている。

昭和32年に理化学研究所の施設を使って、放射化分析を行っている。これは非破壊分析としては非常に有効なものであるが、分析後に冷却する必要がある。

昭和34年から蛍光X線分析の文化財への応用が本格的に始まっている。一番インパクトがあったのは38年の「永仁の壺」事件である。これは偽物を重要文化財に指定しまったという事件で、その真贋を蛍光X線分析で決着をつけた。

赤外線TVも非常に有効である。きれいな画像が映るので、木簡の解読などを行っている。

プラズマによる出土鉄製品の修復（金属を対象とした修復）

出土鉄製品は、発掘後に急速に錆びてしまい、2年程度で崩壊する。崩壊して形状が不明になるとその資料価値は失われてしまうので、腐食を防止し、可能な限り形状保持が必要となる。

一般的には錆びていないものを錆びないようにするが、文化財の場合、錆びた状態を保存することが必要となり、その処理の原点が異なる。不安定な錆を安定させる処置が必要で、錆を錆させないというものである。錆の原因となる塩類を除去するのに、通常は洗い流すが、とれる量が少ないので、プラズマの方が効果的である（プラズマ処理後に脱塩処理をすると80%程度まで塩類を除去できる）。

象嵌の場合、プラズマ処理で表面の錆がとれやすくなり、象嵌を表出させやすくなった。従来はグラインダーで錆を除去したので、象嵌の表面に擦痕がついていた。

修復の過程で品物の情報を消さないようにしなければならない。そのための技術開発を行っている。この方法の今後の可能性として、近代の文書で紙の上にインクで書かれているものがあるが、インクの成分は鉄成分なので、これを安定化処理できないかを検討中である。

レーザークリーニング

現在研究の最中である。日本では建造物（遺跡・石）にしか使用していないが、欧州では彩色ある木彫や絵画にも使っている。もともとは酸性雨によって形成された大理石の黒い石膏皮膜を除去するために研究が始まった。ケルンの大聖堂などはレーザークリーニングで汚れを取っている。従来のフッ酸を使う様な処理では表面に与えるダメージがおおきく、また修復の際の周りの環境への影響も大きかった。汚染物質の流出への規制からレーザーが有利である。

伝統的な彩色の鉛顔料は、環境影響があるために使用を問題視する向きがあるが、材料を変えることは文化財の本質に関わることであり難しい問題となっている。

親水性シリコンによる遺跡の保存

日本の遺跡は土壌からつくられており、雨や霜、あるいは乾燥等への対策が必要とされる。このような状況を改善して、フィールドミュージアムとして整備し、生きた教材として公開するために、土壌の安定化、水分の保持のために、親水性シリコン樹脂を使っている。コンクリートや煉瓦の酸性雨劣化への保存にも有効であろう。小樽の煉瓦倉庫などの塩類風化防止にも使用している。

土中水分の保持だけでなく、生物変化、コケやカビへの対応を想定して、実験中である。親水基が土中水分を固定し、水が動きにくい状況をつくるのでコケが生えないのではないと思う。これは副次的な効果である。

(3) 文化財保存と国際協力（アジア地域との関係）

海外との事業は共同研究と交流事業を行っている。ユネスコや外務省がかかわっている事業もある。

外交案件として首相が文化交流を約束してきた場合、文化財に関する保存の8割は文化財研究所で対応することになっている。協力の仕方は様々で、無償援助の他、相手国のレベルに応じて、資材・機材の購入の調達のアレンジ、技術の研修、現地担当者のトレーニング等を行う。

日本は世界文化遺産の関係で、ユネスコに多額の資金を出している。ユネスコがつくった委員会に参加する形をとっている。モヘンジョ・ダロは泥の遺跡なので、親水性シリコンの展開のフィールドになる可能性がある。

文化財保護のための交流もさかんで、ウズベキスタンなど、人を受け入れてトレーニングを行っている。

日本の場合、考古学のフィールドが国内にないために、大学研究者のフィールド確保として海外での調査が増えてきた。その場合に、必ず保存修復技術者を同行させる。しかし日本は専門家が少なく、予算的な制約もあり、事後に問題を処理する場合、研究所で対応している。

遺跡の保存・調査は、現地では重要な雇用政策になる。修復事業で、発掘、調査、修復、観光という流れのなかで現地の人の教育、雇用につながり、また収入源になるというメリットがある。日本でも発掘には雇用対策費で予算がつく。

(4) 日本の文化財修復の水準

紙の修復は日本の独壇場である。これは平安時代からの表具技術が連綿とあり、その上で、電子線劣化などの新しい技術を更新している。

考古学の世界の保存処理は、日本は後発であるが、欧州に負けない水準にある。建造物については、木造建造物もかなりの水準。ただし、保存の理念の問題がある。特に古い部材を新しい部材にかえてしまうことが欧州と相容れない部分がある。ユネスコで問題になることが多い。日本から情報発信するようになって、アジアの悪環境をユネスコも文化の多様性をみとめる傾向にある。アジア的理念をアピールしている。

新しい技術開発については、産業的バックグラウンドが充実しないと仕事ができない。しかし、産業界と違う視点をどう受け入れてもらうかが課題であり、文化財修復の現場・立場から出たニーズにどうこたえてもらうのか、連携のあり方も問題である。

2.5.2 質疑

質問：錆の中からどうやって、象嵌があることがわかるのか。

青木：昭和 50 年にこれまで出土した象嵌の例を悉皆調査して統計をとった。時代と形から象嵌の出る確率がわかる。

質問：保存の理念の違いについて

青木：欧州は石の建造物であり、歴史的経過の中で部材を交換することはあり得ない。また、気候も日本に比べるとマイルドである。日本の場合、石は砂岩や凝灰岩などの柔らかい石であるので、石であっても取り替えることがあり得る。また木材の場合、生物被害（シロアリなど）が多く、構造的強度を持ち得ないケースも出てくる。そうすると傷んだ部分を取り替える。これは欧州からみると形式保存であり、かたちのみを保存するだけで、材料のオリジナリティがないという指摘をされる。

質問：絵の修復は逆のようなイメージがあるが…。

青木：不動産と動産とではかなり考え方が違う。とくに古色の問題については動産の場合に言われることで、日本は茶道からの影響が大きい。汚れを美としてみる。欧州では汚れは合理的ではないという発想。錆についても、欧州の金属製品は錆びていない物が多く、形もしっかりしている。電気分解して周りの錆をとったりもしている。日本の場合はそれを取ると形がなくなってしまうものがほとんどであるので、保存状態の違いにもよると思う。日本では錆を取ることで、品物の情報を失うことになる。

質問：分析のための装置は、産業界で使っている物をつかうのか。

青木：殆どの場合、特注で作る。メーカーにこちらのニーズを話して作ってもらう。研究所からも開発費としては出せないなので製品購入の費目を使う。可搬のレーザー開発も課題が多く試行錯誤で作ってもらっている。

質問：普通の使い方とは違うので、開発するメーカーにメリットはあるのか。

青木：研究所が購入する 1 台ではメーカーにメリットはないが、汎用を想定して協力してくれる。可搬型の蛍光 X 線は、ラインに載せたいという意向。非破壊検査ができ、現場に持っていけるということから、分析機器としての応用を狙っているようだ。

質問：複合領域を少人数で対応しているが、専門家の分野、最先端技術を集める努力はどうやって行われているのか。

青木：まず品物があり、それを品物をよくわかる人が必要となる。文科系と理科系が協力しなければならない分野。文科系が 1/3、理科系が 2/3 で、専門は全員が違う。新しい情報収集は個人に任されている。

質問：吉野ヶ里は埋めて保存しているが、三内丸山は公開している。保存は大事だが、展示・観光の観点からみてどうあるべきなのか。

青木：吉野ヶ里の埋め戻しは、遺跡の傷みが激しいためである。単に埋めるのでは困るので、建設省の国営公園になって、現在どう公開するかの研究中である。あと数年で形になっていくだろう。三内丸山も状況はひどくなっているので、きちんと整備されていくだろう。

質問：スミソニアンにある平安朝の扇子の傷みが激しく修復できないかという話を聞いたことがある。何か対応策はあるか。

青木：国際交流事業のなかに、在外日本美術品修復協力事業があり、海外にある日本の美術品の修復を行っている。現在日本画については概ね終了し、漆をやりはじめている。順番を追って進むのではない。財団で文化財修理の助成金を出すところもある。

2.6 DNA研究の最近の進歩と新しいバイオテクノロジー

講師：大石道夫氏（(財) かずさ DNA 研究所所長）

平成12年度 第6回先端技術動向調査委員会（2000.12.8）

2.6.1 大石氏の講演

（1）ゲノム研究の現状

1) 注目されるゲノム

ゲノム研究は最近非常に注目を浴びている。Newsweekの表紙にも取り上げられるほどである。人のゲノムの解読にはあと3年ほどかかると言われているが、この分野がお金になるということがわかってきて、特にアメリカのベンチャーの動きが活発である。公的研究機関との競争もあって、ヒトゲノムが全て解読されたという先走った報道もなされている。

特に注目されているのは、アメリカのセルラージェノミクス社である。1私企業であるが、解読機を200台使って集中的に分析を進めて成果を上げている。普通の研究室で1～2台、かずさDNA研究所でも35台なので、その規模の大きさは桁違いである。コンピュータもペンタゴンに次いで2位といわれている。あと1年半ぐらいで全てを解析しようとしているようだ。

2) ゲノムとは

人のDNAの電子顕微鏡写真をみると、糸くず状のところに情報がならんでいる。人は30億ある。バクテリアは1/1000程度である。ゲノムの大きさではほぼ高等下等が決まると言われている。

ゲノム解析は、1970年から始まっている。原理的な解析方法は、英国サンカ・米国ギルバートのものを踏襲しているが、コンピュータによる近代的な分析（自動解析）により解読のスピードが飛躍的にあがっている。このような状況は誰も予測しえないものであった。

3) かずさDNA研究所

千葉県が年間20億円投資している研究所で、100～120のスタッフがいる。本来国がすべきことを自治体が投資するということで賛否がある。しかし、国の取り組みはなかなか進まなかったというのが現状である。研究者としては、もっと速く投資をと、いろいろ声をあげていたが、結局スロースタートになってしまっている。10年前に政府が思い切った投資をしていたら、世界での日本の状況はもっと変わっていたはずである。

かずさDNA研究所では、1996年前研究所長の下で、らん藻のDNAの解析を行った。世界で3番目であり、360万塩基対を非常に正確に分析した。日本で初めてということで、信用されない面があったが、61のクレームのうち本当に間違っていたのは1つだけであった。

世界で6番目ぐらいの研究所といわれていたが、最近はこの研究所にも政府からの投資が行われているので、もう日本一ではないかもしれない。

4) DNA解析の方法

DNAのサンプルからでてきたスパイクからATGCの4種類の塩基配列を解析する。この原理は英サンガ、米ギルバートの方法である。それを蛍光する技術は日立が開発した。これをコンピュータにかけて解析するシステムを富士通が開発した。

塩基配列だけでなく、遺伝子の抽出を行っている。これは配列の中から、タンパク質をつくるまとまったユニットとして働いている遺伝子を描き出す。コンピュータでプレディクトする。

単純な生物はわかりやすいが、複雑なヒトはわかりにくいと言われていて、実際にいくつあるかはわかっていない。3万とも1

4万とも言うが、5～6万ぐらいではないかと思っている。研究所で分析したらん藻の場合は3000個の遺伝子であった。人の場合遺伝子が5万個ということは、部品5万個の精密機械であるといえる。

(2) 産業への展開

ゲノム解析技術が進んだことにより、いわゆる基礎科学の分野でのインパクトは大きく、分子生物学の方法論が変化した。探すより選ぶ段階になり一層研究が進んだ。しかし、同時に商売の種になるということが分かってきて、アメリカなどでは虎視眈々とねらっていた企業、大学がベンチャーキャピタルを立ち上げている。1600社、10兆円、20万人の雇用、とかなりの勢力になっている。

DNAによるビジネスチャンスが生まれ、技術の実用化も展開しており、従来の基礎科学、応用科学が産業を支えるという構図が、ゲノム技術が間に入ることで、多くの分野が集約されるようになった。特に医薬品、医療、農水山業、新バイオ産業への展開が注目される。

主要 DNA 技術産業には、以下のようなものがあげられる。

- ・ 病因となる遺伝子の同定による新しい医薬品の開発 [高血圧遺伝子の同定]
- ・ 遺伝子工学による新しい生物の創製 [遺伝子操作。植物、農作物の創製]
- ・ DNA 情報及びその関連機器への応用
- ・ 各種 DNA 鑑定確立による臨床への応用 [臨床診断、法医学、親子鑑定など]
- ・ 既存または新しい原理による DNA 解析機器の開発 [シーケンサーを超える解析機器の開発、廉価に正確にできる機器]

1) DNA 医療

・ 生活習慣病（癌、心臓疾患、高血圧、糖尿病など）および精神分裂病、アルツハイマー病など主要疾患の病因（関連）遺伝子の同定。

ヒトの遺伝子は基本的にはほぼ同じだが、1000に1つ（0.1%）、つまり300万個のちがいが個人の違いに反映すると言われている。一卵性双生児の場合は全く同じ遺伝子を持つ。

遺伝子の違いは、性格や病気の感受性の違いとなって現れるが、加齢によって、それが顕在化する。病因遺伝子がわかれば、それが作り出すタンパク質がわかるので、その機能を調べて、どう変えていくかを検討し薬を開発する。これまでのある種「勘」にたよるものではない、論理的に開発する創薬ができる可能性がある。ベンチャーの競争は製薬会社の投資によるものが多く、それが特許となって儲かるということだ。早いもの勝ちの世界である。もたもたしていると全部アメリカが押さえてしまつて、日本はそれを買うはめになる。そういう意味からも、10年前にもっと投資していればよかったという思いがある。

おそらく、数百の遺伝子が病気に関係するもので、その組み合わせで発症するのではないかと思う。5年以内にはほぼ全てがみつかるであろう。

・ 同定された病因遺伝子の情報を基にした主要疾患に対する医薬の開発（ゲノム創薬）

上記の遺伝子情報に基づいてピンポイントで創薬を行う。しかし、これには時間がかかる。とくに安全性の審査がある。今後10～15年で、主要疾患に対しての薬ができるであろう。それによって寿命は5年くらいは延びるのではないかと思う。

・ 個人個人の疾患原因の DNA レベルでの同定とそれに合わせた医薬の投与

みかけは同じ症状であっても、その由来するものは実は違う。それが、DNA レベルでわかるようになれば、個人の遺伝的背景に基づいて処方することが可能となる。テーラーメイドメディスンである。しかしこれが可能となる前提条件は、全ての遺伝子がわかることである。しかしすでに現在さまざまな取り組みが始まっている。薬への感受性をみる研究も始まっている。

血液検査は生化学的なものだが、将来は遺伝子で解析することになるだろう。

癌の場合は、すでに100くらいの遺伝子が見つかった。どの発癌遺伝子での発症かを調べ制ガン剤を投与することが可能になる。100人で5人にしか効かない薬は現在は認可されないが、それが改善されることになり、新しい治療方法である。

海外では非常に関心が高く、遺伝子を見つけるベンチャーが請け負って解析をしている。

ルーゲリッック病のように、1つの遺伝子の異常で起こる病気については、染色体の異常の同定ができています。遺伝子がわかるとそれが染色体のどこにあるかがマッピングできるようになった。

2) DNA 農業

DNA 技術によって、今後の農業は一変する可能性を持っている。

- ・ 遺伝的に変えられたコメ、ムギ、ダイズなどの農業植物の創造
- ・ 遺伝的に変えられた、またはクローン化された家畜の創造

食料、衣料、材料、環境保全など様々な機能をもつ植物は、個人の健康とともに、地球にゲノムがどう貢献する可能性があるか。現在、すでにいろいろな試みがなされている。

農作物の改良としては、例えば病害虫によるロスをなくす、温度の影響を除く、乾燥への対応、肥料（リン酸、窒素、カリ）の開発などがある。窒素は空気中の窒素を固定するものだが、そのエネルギーは膨大で、7億バレルの石油に相当すると言われる。日本では必要以上に窒素を与えており、これは体内で硝酸になってガンになる。

交配で新しい食物を開発する新品種の開発も遺伝子操作で行われている。大きさ、味、病気への耐性が検討されている。トマトの大きさを制御する遺伝子は見つかっていて、統一規格のものを作ることが可能になっている。従来の交配の方法では開発に時間がかかるが、遺伝子操作では1度でできる。

例えば、1カ月で世代交代するタリアーナという植物がある。これは遺伝子も小さく、ゲノム解析がしやすいが、さらに他の植物との共通性が高い。早く花を咲かせる遺伝子を見つけて、それをポプラに入れると6カ月で花が咲いた。国際プロジェクトであり、12月中旬にネイチャーで発表する。

一方で、遺伝子操作への危惧もある。普通の交配と同じであるのだが、そういう理解にならない現状がある。遺伝子組み替えトマトは、腐らせる遺伝子をノックアウトしたものである。遺伝子組み替え大豆は除草耐性を入れている。除草剤を分解するので、体には影響ない。遺伝子組み替えトウモロコシも害虫耐性を入れて収量をあげている。

組み替え植物の安全性への危惧は杞憂にすぎないと思うが、消費者の感情では受け入れられないようである。組み替え食物の方が安全で安全だ。日本では農薬を使う量が世界の5倍と言われる。しかし遺伝子操作をすれば、農薬は100分の1くらいになる。どっちが安全か？ 今の騒ぎはナンセンスとも思える。いずれは科学的に証明されることになるであろう。

カナダ、アメリカでの共同研究では、お米にビタミンAをいれた、ゴールデンライスをつくり、途上国の人をすくうというものがあり、世銀がサポートしている。

(3) 政策形成にあたっての課題

日米の研究開発成果について比較をしてみる。

日本は特許件数は多いが、そこから得る収入はすくない。特にバイオでは完全にアメリカの後陣をはいている。日本の状況は厳しいと言わざるを得ない。情報とバイオの遅れによって、新しい技術・産業がもたらす見通しを立てられないのだ。おそらく、第三のものが出来てきても遅れるのではないかと危惧している。

研究費の比較では、アメリカでは大学への研究費の過半が政府からきている。とくにバイオに戦略的に投資している。リスクが高く企業でできないものは国が投資しようというのだと思う。国が先を見通して投資しないとダメで、繰り返しになるが、もし日本で10年前に600億の20分の1でも投資していればという思いが強い。このまあいけば、農業、医療分野で莫大な損失

が生じ、そのツケを払い続けなければならないだろう。しかし、政府（大蔵）はそれがなかなかわからない。初期投資の差を挽回するのは本当に難しいと思う。ベンチャーキャピタル、税制問題など、日本のバイオの将来は暗いと言わざるを得ない。

1) 世界的にみた日本のゲノム技術・DNA産業の情勢～ Dark side story

- ・8～10万個という有限なヒト遺伝子の外国企業による特許化と独占、それを基に開発された外国製医薬品の輸入による医療費、医薬品費の国家負担の増加。
- ・農業を近代産業として捉えつつある外国巨大資本による新しい安価、高品質なDNA農作物の創出とその輸入による日本の農業の近代化の遅れと食糧自給率の一層の低下。

→原因と対策へのヒント

- ・既存技術・既存産業への過度の配慮、各地域のバランスの重視の結果、新しい革命的な科学・技術（DNA技術、情報など）への国家的戦略の確立、および思い切った集中投資が決定的に遅れた。
- ・外国での基礎的発見を応用につなげる従来の日本の技術開発方式が通用しなくなった（技術開発パラダイムの変化）ことを見通せなかった。
- ・リスクをあえて取って新しい科学・技術を企業化するベンチャー企業がほとんど存在しなかった。

2) 世界的にみた日本のゲノム技術・DNA産業の情勢～ Bright side story

- ・基礎的バイオ研究のレベルの高さ。
- ・DNA解析の自動化、迅速化のために必要な、電子、精密機械、光学などの関連技術レベルの高さ（まだ改良の余地があるので積極的に取り組むべきである）。
- ・酒、醤油、味噌、抗生物質生産などの発酵技術、かけあわせによる農作物の品種改良技術などのレベルの高さ。

3) 立ち遅れている日本のゲノム研究を挽回するために

- ・その重要性、緊急性に鑑み、DNA（ゲノム）研究・技術開発を21世紀の国家的技術戦略の中核の一つに据える。
- ・広範かつ長期に影響力をもつDNA、特にDNA技術・重要遺伝子に関する基本特許などの知的所有権獲得のために基礎的研究を重視する。
- ・流動的かつスピードが速い世界のDNA・ゲノム研究に対応できる日本の有利な条件を生かせる国家戦略を打ち立てる。そのための省庁を超えたトップダウン方式の組織を創出し、少数の有能な実績のある専門家に戦略の立案および施策の遂行を任せる。
- ・DNA研究、DNA技術の基礎・応用・開発を行う国が支援する研究機関を設立し、国家・公立・企業研究機関を集中させて、集積効果を狙う。

アメリカは基礎にしか投資しない戦略を取っており、基礎に特化している。今後は脳のしくみの研究に特化するだろう。応用は他国でやってもらうというスタンスである。

日本の場合、国家戦略をたてようとすると、まず多くの意見をきく。時間がかかって、結局結論がわからなくなる。それではスピードに追いつけない。アメリカでは少数のトップレベル専門家を集めて徹底的な議論をして、即実行に移す。

バイオの領域は多省庁にわたっているので、よけい時間がかかる。もっとトップダウン方式にすべきだ。プロを集めてディシジョンを決めて、失敗したら責任をとってもらうようにすればいい。

バイオは国益のぶつかりあいであり、今の審議会の方式では戦略は立てられない。対象が幅広く多くの省庁に分かれていることも遅れの理由の一つである。日本も技術は持っているので、それを活かす戦略をたてるべきだ。現状はとてものはがゆい。

2.6.2 質疑

質問: 欧州の動向はどうなっているか。

大石: アメリカの動きで欧州の農業の地位が脅かされるという危惧があった。安全性への問題が取りざたされているが、それで輸入を防ぎながら、研究については予算をつけてアメリカに追いつこうと進めている。とくに植物組み替えの研究はさかんである。一方日本はアメリカで問題になったことを契機に研究をやめてしまっている。せっかく先をみて始めた研究がとん挫してしまったことは残念である。もっと戦略的な対応をすべきだ。

質問: 創薬においては副作用があると開発がストップし、その費用が他の薬に転嫁されるということか。5%の人に効く薬の開発は本当に可能なのか。

大石: 薬への感受性検討システムができると、それで厚生省も対応していくことになるのではないかと。

DNA は親から受け継いでいる部分が大い。努力も大事だが…。

質問: 予算が増えればいいのか

大石: そうではない。全体の予算額は増えている。問題は使われ方で無駄が多い。金額が増えれば効率があがるわけではないと思う。研究所は千葉県が出資しているが、内容については口を出さず、トップにまかされているので、その意味ではとても自由である。テーマの変更も可能であり、いつもベストな状況の人の配分が可能である。その分責任も伴うが、変化への対応は迅速にできる。研究者を信用してほしいし、失敗したら（辞職も含む）責任をとるという体制にすべきだろう。

質問: 分析機が34台から200台、予算が20億から40億になるとどうか。

大石: それはかなりのことはできると思う。しかし、バイオが広がりを見せている中で方向性をどう見極めるかが一番問題だろう。先手と次の手を打たないといけないので、硬い枠組みでは困る。また増やすことだけが選択肢ではない。

質問: なぜ千葉県が出資しているのか。

大石: 房総半島のリサーチパーク建設の一環。知事が目利きなのだと思う。しかし、議会では、国がやるべきことをなぜ自治体がするのかという指摘がある。お金は出すが口は出さない。研究所としては、実例を作って国と勝負したいと思う。大事なのは研究者のあまえをなくすこと、行政は研究者を信用することだろう。

2.7 生物の不思議～分子機械としての細胞からヒトまで

講師：古川俊之先生（国立大阪病院名誉院長）

平成12年度 第7回先端技術動向調査委員会（2001.1.11）

2.7.1 古川氏の講演

（1）振り向けば未来

最近、21世紀を迎えて未来予測が方々でなされていますが、やはり100年前から予測は行われていました。2001年の正月号には多くの未来予測の記事が出るだろうと思っていましたが、実際はそれほどでもありませんでした。

100年前の報知新聞では、正月の2日と3日にわたって、100年後の世界はどうなるかという連載がありました。これは非常に有名です。最近よくとりあげられているようです。

もうひとつ、1920年に国学者の三宅雪嶺が100年後の日本にどんなことが起こるかについて、財界、政界、官界の有名人（インテリ）をはじめ、旧制高校、高等女学校の校長先生を含めて、アンケートをとったものがあります。「そんなことはわからない」と突っぱねた人が約半数います。そのほとんどが軍人です。以外に固いのが中学校の校長先生。案外先を読んでいるのが、文芸家・作家で、星新一などのようにSFを書く人などがいます。大学の先生は見通している距離が短いようです。その回答には、貴族院制度の崩壊、男女平等が当然等々、読み出したらきりがなく面白いです（牧野昇氏他有志で復刻版を出版）。その中で、日本画家が、非常におもしろい絵を20枚描いていますが、その一部を紹介します。

「振り返れば未来」というのは、私の造語ですが、この絵を見ていただくと、今のアジア諸国が何に悩んでいるかということがだいたい分かるのではないかと思います。つまり、100年前に我々がこうなるぞと予想していた状況を彼らも希望しているに違いないと思うわけです。

1：煙突と強烈な照明

私の子どものころも、大阪のまちは東洋のマンチェスターと言われ、東海道線が大阪市に近づくとき空が暗くなって、工業が非常に振興していることがよくわかったと書いてある。

雪嶺のアンケートの回答には、それどころではなくて、真っ暗になってしまうので、大きな煙突を立てたところには強力な照明をつけることが義務づけられると言っている。実際にはそうならなくて良かったのですが、重慶がまったくこの調子です。アジア諸国でもこうならないことを今望んでいると思います。

2：富士山切り崩し、琵琶湖埋立

富士山は切り崩されて平地になる。琵琶湖は埋め立てられて工業団地になる。これは両方とも止まった（実現しなかった）のでよかった。しかし、多くのところでこれに類することをしています。山を切り崩してゴルフ場をつくっています。

3：新婚旅行に飛行機

新婚旅行に飛行機で出るなりと言っています。当時はジャンボ機等は想像していなかったので、単葉の飛行機で飛び回っている。

4：美術文化が尊重される

美術、文化が尊重される社会になってそれぞれに担当大臣が置かれるようになると言われています。これは文化庁長官ということで途中までできている。

5：社長は健康のために歩いて通勤、労働者は車で通勤するなり

まったくその通りになっている。大学でも立派な車に乗っているのは学生。

6：女性の外交官、主夫

女性の外交官が出現する。当時としては破天荒な夢だったのだろうが、今では当たり前のことになりました。また、男性が

家庭に引きこもって主夫になる。まだ洗濯機が発明されていないので、洗濯板を使っています。

7: 女中がなくなる

女中がなくなるとともに、言葉も「家政学士」となって、おかみさんと子どもがヘイコラしないと居着かなくなる。

8: 女性の警官

女性の警官が現れ、非常に親切で、国民の受けよしとありますが、今、交通取締にあうとトンデモナイことになりますね。予測は時々楽観的すぎます…。

9: 首相は人気者

首相はみんなに取り囲まれて非常に人気がある。実際は、今はSPに取り囲まれている。

10: 音楽の教養の普及。見方をかえると・・・カラオケ

これは非常に皮肉な絵ですが、音楽の教養が普及するという。これは手風琴とバイオリンの絵だが、見方を変えると、日本の発明として20世紀に残るといわれるカラオケですね。やっていることで満足している点も、同じです。周りは迷惑…。

11: 拡声器の発明。先見性のあるもの

これは大声演説装置。すばらしい発見です。当時はエジソンの発明したロウカン式蓄音機しかなかったもので、それをただ大きくしたような絵になっています。あらかじめ録音したものを再生してその前で手振り身振りをするなり、とあります。もちろん今はそんなことはなく、マイクで街頭演説していますね。

12: 対面電話・・・テレビ

これで芝居もみることができるとあります。想像力の限界というのはおもしろいもので、当時あったものからの想像図（ライトハウス型電話と蛇腹のついたカメラ）になっています。しかし、現物はテレビとして実現したわけです。

13: 人工臓器

表面的なものか、臓器を取り替えるのは不明ですが、好きな顔になれるということで、人工臓器もあります。

雪嶺の予測でも、報知新聞の予測でも、なぜそれがそんなによく当たっているのか。それは、技術を知っているから当たったのではないんです。発明というのは、必ず、みんながこうあって欲しいと望み、それが何時の日か技術者の手によって実現していくのだと思います。空を飛びたいと思う、だから飛行機ができる。あれは偶然発明されたものではありません。

そういうわけで、私は「こういうものが欲しい」ということを先に書こうと思いましたが、それをご紹介します。

1: コンパクトX線装置：ユニット化したX線診断装置

患者に向けてスイッチを切ると、コンパクトカメラのように、銀鉛であろうが、磁気媒体であろうが、それはどうでも構わないのですが、とにかくX線が撮れるという装置です。フィルムの交換はどうするか、などは、光学者が考えればいいことです。とにかくこういうものができるといいなという夢です。

2: 超小型高性能補聴器

これは実際に実験して、できることを証明しています。スパン2メートルで1メートル毎に指向性の強いマイクを2本置く、バックグラウンドを拾うために全方位360度のマイクを1つ置いて、拾った音をデジタル処理をして左右2つ重ね合わせ、バックグラウンドを差し引く。すると共サしたところの音がきっちり聞こえます。ただし、左右1メートルのマイクをつけると周りの人に迷惑。実験ではできるので、それを何とか耳の中に納めるようなことをしてみたらどうかと思っている。私の妄想です。

3: 無傷採血ロボット

病院に入ると採血されて検査をしますが、針を刺すという誠に野蛮な方法である。蚊は人間が気が付かないうちに刺して、血を吸っているの、これをモデルに痛くない採血ロボットをつくってはどうか。

蚊の知能は非常に簡単で、何故血を吸うのか、蚊取り線香で倒れるのかが分かっています。蚊は炭酸ガス濃度が増える

とランダムに飛びます。これは獲物に突き当たるチャンスが増える。ガウス分布をしています。そして、微小上昇気流をつかまえて降りてくる。そうすると熱源に近づき、そこでセンサーで湿気のあるところを探す。したがって、蚊を騙すには、アルコールランプで小さな綿シャーレを暖めると上昇気流に乗って降りてきて、失望してどこかに行く……。失望させないためにはそこにモノを置く。はじめ研究者がリン酸センサーがあると思って、そこにリン酸をおいてみたが、集まってすぐにどこかへ行ってしまった。結果的にはATP（血液の中にもとれる生物活動の原因になるエネルギー物質）を入れておくと、何の栄養もないATPを吸って、満足して飛んでいく。これはATPセンサーがあるからで、ATPを燃料にしているわけではない。ATPのあるところには、餌になる血液と血漿があるということを刷り込まれているわけです。その仕組みを考えて、このロボットも作ればよいと思う。これはある程度できつつある。東大の先端研の軽部征夫教授が、このアイデアをもとに7ミクロンのぶどう糖センサーを1つつくった。しかし、このようなロボットが実現するためには、少なくとも20種類くらいのセンサーができないと無理だろう。

4：地上滑走移動装置。空飛ぶ絨毯ロボット

体の不自由な人を車椅子に乗せているのは野蛮極まるもので、科学が進んだら、超伝導でも何でもいいが、空飛ぶ絨毯ロボットができるといい。

5：調剤ロボット。医薬分業ではあるが……。

医薬分業の流れはあるものの、ITを使って、医者の指示で自動的に薬が出てくるというものがあってもいい。一言「おだじに」といってくればなおい。

6：コイン式健康診断装置

人間ドックを信用する人が多いようなので、街角にボックスをつくってみてはどうか。技術的にはできるはずだと思う。ニーズがないのだろうか。

7：三次元像の超音波診断

超音波技術をいずれ三次元でと言っていたら、パートナーだった馬場かずのり東大助教授が、胎児3次元映像をうつした。胎児のあくびも見える。胎児が母胎でどれくらい快適かを見るようにしたいというのが開発者の希望。これは日本固有の技術で、世界に先駆けている。

8：知能化縫合ロボット。

手術の最後をきれいに縫うロボットを昆虫型で目をたくさんつけてつくったらどうか。これにはモデルがある。ギリシャ時代、兵隊が青銅の剣で切られたときの縫合は糸を使わず戦闘アリの牙でかみつかせ胴体をもぎとっていた。

9：機能性環境調整アパレル。

機能性生地を作る。これは実現するだろう。宇宙服の需要もあるし、石井威望氏が最近ウェアラブルということを行っている。

(2) 生命機械論

現在常識と思われていることの中に、間違った理解がなされてるものが多々あり、指摘したい。

人間の生存率曲線は、生命表ともいい、0歳からはじまって何歳まで生きるかを国勢調査をもとに作成する。医学部卒業者は医師免許の関係で消息がきちんとトレースできるので、24歳以降のデータで生命表を作成してみると、戦死した軍医の世代を除けば、普通の日本人の生命表とほぼ符合する。つまり、医者だから特別に長生きするということではない。

日本の医療の問題で、特に訂正したい点は、看護婦不足の問題である。医療レベルは高くなったが看護婦がたりないので、アジアなど海外から人材を投入し専門教育をして一定期間日本で働いてもらってから自国に帰るというプログラムの話が出ているようだが、実は人口当たりの看護婦数は日本は一流国並みである。決して少なくないはずだが、非常に忙しい。それは患者が2倍、外来患者も2倍であるからだ。これはだれもが自由にどこの病院にでも行くからである。欧州諸国では1990年から療養型病床を分離する方向にシフトをはじめている。生活習慣病を含む療養型の場合には、人手は少なくてもよい。日本は変革

ができずにいるが、療養型の分離が行われるようになれば現状の看護婦が余る事態になるはずである。すでに医者は余っている。医学部もたくさん出来ているが廃校も必要ではないか。米国ではフレミングがカーネギー財団の資金で医学部のランキング調査を行い、その後3年で医学部は半減している。結局フレミングは撃たれたが、血の出る改革によって、欧州と対等の医学になったと言われる。

生命表は各世代の生存率をしめしているが、生まれた直後は死亡率が高い。青少年期には最低となり、40歳あたりから徐々に死亡率は増える。そのカーブは国や時代により異なる。例えば日本の場合、時代が進むに連れて、生存率はあがっているが、これは世代内での競争が激しくなっていることを意味する。途上国の場合は、各世代とも生存率は低く比較的短命である。しかし、最長寿命をみると途上国も先進国もそれほど変わらない。つまり、人間の機械としての性能は同じであると考えることができる。

イギリスで調査した野ネズミのデータも概ね人間と同様の生命表である。ねずみ算でどんどん子どもを産むから増えるということとはまちがいで、多く産まれても、外敵等の関係でかなりが死亡している。野生の山羊（ドールマウンテン・シープ）の生命表は、人間の先進国の生命表と似ていて、初期に死亡率が高いが、そこを過ぎれば長くいきられる。それはオオカミに子どもが襲われることが一因であろう。一方、高崎山のサル生命表は途上国型で死亡率は高く、運良く生き延びたものが天寿を全うする形になっている。猿の場合子育ては母親だけであるために、第1子の死亡率は非常に高い。

以上のことから我々が考えている概念と逆さであることがわかる。ネズミは長生きで、ドールマウンテン・シープは短命というのはまちがいである。

昔の人は産まれてすぐの死亡率が高かった。これは、人間機械論でいうと、初期不良・初期故障が多いということだ。青少年の頃は交通事故や薬物中毒などの事故でしか死亡しない。歳をとると死亡率が上がるのは摩耗故障である。これをワイブル関数にあてはめた。生命表はワイブル関数4つでシミュレートできる。

現在でも初期故障が一番高い。したがって、長生きをさせようと思えば、初期故障をなくす方策を採ればよい。卵子にあう精子は10万個に1個という競争を勝ち抜いて胎児となる。しかし、胎児もかなりの数自然流産をしている。この原因を調査すると多くの場合、生存し続けられない重大な故障を持っている。

人間は寿命を持った機械である。ロスアラモス原子力研究所のヘンスレーが1964年にマウスを使って生命力を計っている。多数のマウスを高温環境で強制運動させ、熱痙攣で死ぬまでに消費したカロリーを調べた。死に至るまで抵抗する能力の上限という意味で生命力に極めて近いと考えられている。日齢に対する曲線の変化は成長期に急速に立ち上がり、ドーム型を形成した後40歳くらいからゆるやかに下降する。そしていかに操作しても寿命は120あたりでとまる。これは我々の遺伝子の中にテロメアという部分があり、それが分裂するたびに短くなって寿命を迎えるためである。

数学的に生命力を求める方法もある。生命力を年代別に比較すると、100年間で増加をしているものの近年は頭打ちの傾向にある。生命力は生物種固有のものであり変化するのはおかしいのだが、数式の上で外的環境の障害因子の強さと同次元であって分離できないので、見かけ上は生命力が増したように見える。

寿命がのびたのは環境が良くなったためで、老人が増えると困るという意見があるが、これは間違いで、健康な老人が増え、見合った生産能力を持っていれば問題はないのである。

生命機械論とは、生命の細胞そのものが機械で出来ているということだ。時間の関係で、今日は、機械であるがゆえのふるまいについて紹介する。

多細胞生物とは、たくさんの生物の合体である。細胞内にも小さなオルガネラがある。細胞の中でいろいろな生物がとりこまれて様々な機能をもつ。

鳥はよくできた生き物である。鳥は酸素マスクがなくともヒマラヤ越えができる。鳥の気囊があり、これがスーパーチャージャーと水を使わないラジエターの働きをしている。鳥の呼吸は、空気を吸うときには肺をとらず、後部の気囊を膨らませる。息を吐くときには後部気囊から肺を通る。空気は一方通行で、後ろから前に肺を通る。血液は心臓が前にあるので、前から後ろに通る。対交流系を形成しており、少ない酸素圧でガス交換できるので、8000メートル級に飛んでもスーパーチャージャーがいらない。これは渡りの鳥だけでなく、全ての鳥類で機能している。前部気囊は大胸筋に分布しており、これは非行エンジンの部分である。相当量出る熱を汗で冷却すると水の補給が必要になり長時間飛ぶことはできない。そこで、空気冷却で対応している。

人間は走るべきではないというのが持論である。人間は走るようにできていない。二本足と四本足とでは、四本足の方が、地面への接着面が大きいし、ブレーキもかかりやすい。しかし1キロカロリーでの移動距離を比べると、エネルギー効率の面では二本足は2倍。サラブレッドは中指の先で走っている。人間は下腿部にまで筋肉エンジンを装着しているので歩くための設計になっている。

2.7.2 質疑

質問：今後の医学の発展で、人間の生命がどれくらい伸びるか。今後の医学の発達で人間の形態はかわっていくのか？

古川：テロメアが寿命をにぎっていることはわかっている。それが短いと早老症になり、延ばせば寿命が伸びるかもしれない。しかし、そうすると、体が大きくなって、時間感覚が長くなる。ネズミの時間から象の時間になる。のんびり生きることになるので、生涯の生産力はかわらないと思う。これは数式上の予測である。

質問：一方でドッグイヤーで忙しい社会になると早死してしまうのか？

古川：機械はぎりぎりのことをすると狂う。したがって、ストレスを栄養にするヒトでないと、ドッグイヤーは暮らせない。多分これからは二極分化して、トップランナーと底辺を支えるヒトに別れていくだろう。トップランナーはどんどん転職する。下支えの人には技術のスキルがある。それは生涯雇用でないといけないので、転職してもおなじ仕事をすべきだろう。

質問：ストレスと寿命の関係はどうなっているか。猿型はストレスが多いというが、人間の生命表がネズミ型になったのはストレスがなくなったということか。

古川：ヒトがネズミ型になったのは、環境がよくなったからである。ストレスについては心理学者が研究している。プラナリアからネズミまで研究されている。開き直り型は長生きするようだが、よくわかっていない。

2.8 光産業技術の未来とベンチャービジネス

講師：石原 聰氏（（財）光産業技術振興協会 理事 開発部長）

平成12年度 第8回先端技術動向調査委員会（2001.2.7）

2.8.1 石原氏の講演

（1）光産業技術と日本

光産業、光技術のコンセプトは日本発であり、かなりの技術力を持っている。今後より発展していくために、ネックとなるのは、技術そのものよりも日本のカルチャーであるということを経験から感じている。

光産業技術振興協会は発足20年になる。当初は実態がないし、ものにはならないだろうとおもわれており、また直接産業とは結びついていなかったが、予測がだいたいたって伸びてきた。光産業の生産額は1980年は850億円であったが、2000年時点で7兆を越え、約100倍の成長を示している。ここまでになるとは思っていなかった。予想は概ねあたって伸びてきたといえる。私も通産省にいて、光伝送関連の調査研究の起案をしていた。当時から、研究は始まっていたがニーズの把握、産業への展開を目標とした。これは光の大プロの元となり、また協会設立にもかかわるものだった。

通産省自体は表舞台には出ず、当然実用化にともなってNTT等の実際の事業が表に出て、光産業が注目されるようになってきている。技術だけでなく、行政と産業が一体となって実用化にむけて取り組んできたと言える。この動きは日本特有のもので、光産業としての発展をしてきた。外国には光産業という言葉はないが、概ねオプトエレクトロニクス、フォトリソに相当するのではないと思われる。

光産業は、光全部を対象としているわけではない。1980年の時点で製品として熟していなかったものを光産業として定義した。1999年の製品別生産の内訳をみると光ディスク（全体の1/4）、光入出力装置（デジカメ・プリンタ・ファックスなど、全体の1/5）、ディスプレイ（液晶・プラズマ、全体の1/5）等がある。光伝送機器装置（光ファイバー）、レーザーなどもある。生産額の推移をみると製品により違いがある。光ディスクは80年代から増えて飽和状態にある。最近ではデジカメ等の光入出力関連が伸びてきている。また、ディスプレイと通信関係も急速に伸びてきている。太陽電池はここ数年立ち上がってきている。

エレクトロニクス関係でも通信関係でも光はのびている分野である。光通信関係の国際会議でも研究発表、製品の展示とも激増していることも驚かされる。これはインターネットの展開でそれを支えるシステム・部品レベルで伸びているということだ。

半導体レーザーも生産額でみても、MDの普及から伸びているし、単価も下がっている。数量が指数的に伸びている。もちろんすべてが伸びているわけではなく、例えば光ディスクの場合、DVDは上がっているが、CDは国内生産額が落ちている。これは価格の面から海外生産シフトになっていることも一因であろう。しかし、市場では大量に生産されている。技術の優位性はまだ日本にある。世界の状況との比較でみると、2000年で30兆、世界の1/4、1/5を日本がしめている。

光技術についても協会では調査をしており、報告書を出している。分野としては、光材料・デバイス、光通信ネットワーク、光メモリ・情報処理、ディスプレイ、入出力、加工・計測、太陽エネルギーなどがある。

また、理科離れを背景に、この分野での人材育成のための啓蒙的なビデオなども制作して展示会などで紹介している。

さらに、今後の社会の変化とシステムとしてどのように光技術が展開すべきなのかを10～15年を想定して、テクノロジーマップをつくっている。短期5年くらいについては企業間の競争で進められるが、中長期や基盤的な視点をしめすことを協会では行い、新しい技術開発へつなげるようにしている。

標準化の仕事もある。デジュールとデファクトがあり、どちらかというとデファクトにシフトしている。技術的云々だけでなく、社会にとってのトータルとしての有効性を考慮する必要がある。

(2) 光と産業

ITと光

インターネットについては、増加する情報量に従来の方法では対処できなくなると考えられている。情報流通は音声からデータ、特に映像情報量が飛躍的に増加するからだ。

3つのネットワークモデルを考えている。まず、「地球規模の国際統合網」である。次が、「地域IPバックボーン網」で、ここが今後のネックとなるノードの部分で、バラバラの情報を読みとって統合するわけだが、パンク寸前の状況。しかし、あまり検討されていないのが現実である。もちろん民間の競争にまかせるべき部分もあるが、公的にもそのあり方を考えていかなければならないだろう。具体的な提言をしていきたいと考えている。特に光パケットのまま、電気を介さずに相手に届けるシステムを考える場合、デバイスの開発が必要となっている。最後が「ユーザアクセスリンク」になる。

ネットワークの他にも、超高速・超高密度情報記録機能、ディスプレイ機能、情報インターフェース機能についても検討している。

現状の社会では緊急の事態にばかり対応していて、先を見ながらの研究や技術開発にあまり熱心でないという傾向がある。それは非常に問題で、トラブルが起きてからではうまく対応できないだろう。戦略的でバランスある研究が重要であるとおもっている。

エネルギーと光

太陽光発電分野の国内生産動向をみると、住宅用太陽発電システムが市場を牽引している。電力分野の使用は、通産省の太陽光発電システム導入支援事業をバックに急速に成長している。しかし、発電コストは他の熱源に比べてまだまだ高く、産業界は必ずしも乗り気ではない。

国際競争力

日本の技術の国際競争力を比較したデータ（日経産業 98.10 技術燦々）をみると、国際競争力の強い技術の約半数は光技術分野である。今後の戦略として、強いところを伸ばすのか、弱いところを後押しするのかを検討するべきだろう。アメリカがナノテクならば、日本は光技術という選択もありうるだろう。科学技術基本計画はニーズ志向型の技術開発になっていて、例外的にナノテクが取り上げられている。これはアメリカも取り上げているということでの投資もあるだろう。もちろん基盤をあげていく意味での支援はいいが、光技術も日本が独自にやっているのだから、戦略的に進めていくべきだろう。技術は強いものの、産業面ではアジア諸国等の追い上げも出てくる。

日本の光の強さを示す例として、台湾や米国でも日本の光協会設立後に同様のものを立ち上げている。連携関係もあり、情報交換の国際会議もある（4カ国・地域の光団体会議）。

日本の半導体技術を使いたいということで、日米合同のオプトエレクトロニクスプロジェクト（JOP）もある。

(3) ベンチャー企業と光技術

新規事業創出についての取り組みはまだあまり成果をあげていないのが現状であろう。新製品・新技術の開発促進と技術向上をめざした技術アドバイザー制度は有効だろう。また、交流会や助成金制度もある。支援システムはあるが、やりたい人がいても、それをサポートする雰囲気がないのが日本の問題ではないか。人材の流動性がまだまだ足りない。国際会議などでは、求人広告ブースなどがあり、人材交流がさかんである。

(4) アジアの体験から

ODAで中国のコンピュータソフトウェア技術研修センターにいた。現地にいて思うことは、やはりそれなりに展開をしていくの

ではないか。そうなったときの日本のあり方についても考える必要をかんじる。

キルギスにも行った経験があるが、ここはソ連のハイテク技術を支えた隠れた基地としての国だった。軍事技術と関連していたために長い間公開されなかった。大統領は、光物理学者のアカーエフ氏で、中央アジアのシリコンバレーを目指している。日本も支援をしている。

なお、参考資料として、以下のものがある。

- ・光協会とは → OITDA ((財) 光産業技術振興協会
- ・光ITを → 「21世紀に光りITを」, O plus E 2001.1
- ・次世代光メモリ応用産技プロジェクト
 - 「ナノメータ制御光ディスクシステムの研究開発—光協会に次世代光メモリ推進機構発足」, エレクトロニクス 1999.3
- ・光分野の新規創造事業
 - 「光ベンチャー支援による新規事業創造」, 機械振興 1998.6
- ・キルギスレポート
 - 「キルギスタンの科学・技術 1993.12 / 1994.7」, 現代のキルギスタン
- ・光産業の現状と展望, オプトニュース 2000 No.3

2.8.2 質疑

質問: 光ルーターの日本の技術レベルはどうか。

石原: 皆無ではなく、光コンピューティングとも関係しているが、あまり全体としては目がむいていない状況である。

研究者としては原理に走りがちで、現実には目が向いている人あるいは中間の研究者は少ない。アメリカは大学の研究者がスピンアウトしたベンチャーがものをするのではないかという危惧がある。大きなブレイクスルーが必要であるが、日本にはポテンシャルはあると思う。ただし、ボトルネックをほっといていいのか、政策的対応も必要だと思う。

質問: 日米の論文の差はどうか。

石原: 1:15で米国が多い。国研はエージェンシー化で予算がつかなくなっている。中身の議論ができていないことが問題だ。NTTも分割に伴って研究者がバラバラになっている。投資されていたものがなくなり、技術開発部隊がいなくなっているのが現状。中長期を担う人材がいない。大学転出組が多く開発費の激減で苦しんでいる。国研も今後評価が入り、難しい局面を迎える。

質問: ALL 光デバイスの可能性はあるのか。ナノに対応できるか。

石原: パケットでの問題は光メモリである。光の信号のままためるのが難しい。しかし原理はあるので、なんとなっていくのではないか。

質問: ベンチャー支援により、育った例があるか。

石原: 見た目の効果がなかなか出ないのが悩みで、成功をとげてから表に出てくるのが現実である

質問：海外生産についてはどうか。

石原：いずれは提携、技術供与になっていく可能性がある。研究開発は日本に残るのかについては、おそらくリードしている間のもうけになる。したがって、海外から追い上げられたらおしまいかもしれない。どこへ出るかもシビアな問題で、技術と賃金に関係してくる。

質問：光コンピュータの研究進展状況は、ややジャーナリズムにのっている感じがするが…。

石原：光技術の情報への応用が試みられている。最先端は、ネットワークパケットだろう。推論ベース、新しい原理追求はあるが、実現するかどうかは不確定である。方式のアイデアはあるがデバイスがおいついていない。

質問：レーザーの売り上げについてはどうか。

石原：生産財、波及効果は大きい。計測、医療等々質的なものについても力をいれるべきではある。

2.9 植物の不思議～情報伝達機構

講師：中西友子氏（東京大学大学院農学生命科学研究科助教授）

平成12年度 第9回先端技術動向調査委員会（2001.3.1）

2.9.1 中西氏の講演

（1）放射線利用の経済規模調査から

科学技術庁の調査で放射線利用の経済規模に関する調査に参加した経験を踏まえ、放射線の有効性についてお話ししたい。

2000年度には日本における放射線利用の経済規模について調査を行った。データを集めるのに大変苦労したが、工業・医学・農学における市場規模の調査を実施したところ、トータルの市場規模は16兆円に達することがわかった。これはGDPの約3.6%に相当する。放射線というとエネルギー関連、特に原子力関係での利用が多いように思われているが、調査結果では、工業部門での利用が多かった。エネルギー以外の市場は8兆6千億円で、その85%が工業利用である。ついで、医学・医療部門が14%、農学関係は1千億円と非常に規模が小さい。工学利用では高品質の半導体をつくるために放射線照射を行っている。国内での照射は難しいので海外で実施し、放射線がなくなった段階で輸入している。

同じ調査の一環で先日アメリカの状況を調査してきた。農業分野では突然変異体をつくるために利用されている。遺伝子組み替えに関する反対が大きくなる傾向のなかで、昔ながらの放射線育種が復活しているのである。また、食品照射にも使われている。USDAとFDAとフロリダの食品照射の工場を調査した。調べてみるとアメリカも縦割りであることがわかった。食品照射については、FDAが食品照射の認定をした後、USDA（農務省）が施行規則、どのような手順で照射すればよいかを決めた。今年から実際の照射を進めていきたいという意向があるようだ。この背景には、食品がもとになった食中毒や病気が多いことが社会的に知れ渡っているためである。2000年2月に認可がおりてから、USDAではマニュアルをつくるなどして、対応している。実験的にはWHOの調査で、食品に放射線を照射しても人体には影響がないことがわかっている。それをどうやって社会的に浸透させるかについて、様々な研究機関にアンケート調査などを実施させ、プロパガンダの方法等について検討をしている。正しい情報を提供すれば7割近くの人が食品照射したものを購入するという結果も出ている。

現在アメリカには食品照射の施設が4カ所（ニュージャージー、アイオワ、フロリダ2カ所）ある。他の州でも食品照射を広めていくための教育プログラムを始めている。理解が浸透した段階で食品が市場に出るという手順になっている。

食品照射に関しては、USDAは標準ルールを作っていて、それを世界標準にしようという動きがある。環太平洋地域での標準ルールをつくれれば日本はそれを受け入れざるを得ない状況になるだろう。標準品であれば植物防疫をとらずに世界中自由に流通できるという時代も到来する。

最終食品を照射すれば、それを宇宙に持っていった場合でもお腹を壊すことはない。そのため、宇宙・軍事分野での開発も進められている。

大学に来てから、農学研究分野での放射線の扱われ方について調べたところ、エポックエポックで、放射線やアイソトープの使われ方に発展がある。近年の遺伝子工学発展にはアイソトープで少量のものをラベリングできるということが寄与している面がある。

放射化分析も行っている。非常に微量のものを測れるので、それで金の鉱脈を植物を使って調べている。これは植物が地面の中の情報（原子）を反映しているということを利用している。これも国内での実験は非常に規制が厳しくなっている。アジアではインドネシアや中国などでの実験が可能であると思う。放射化分析は、調べたいものをビニールに入れて原子炉につり下げて放射化させると元素の絶対量が分かるので、溶液に溶かすことなく、非破壊で絶対量を測ることが可能である。非常に有効な手法であると思う。

(2) 植物と水の話

1) 水的重要性

植物の水についての研究について紹介する。この件は分かっていない部分、不思議な部分がたくさんある。水がどういう形で分布しているのかは、わかっていない。

水は生きている細胞の80%以上を占め、生体は「水の塊」である。水が豊富にある生物は、いわゆる、「みずみずしく」生きている。植物の場合若い時ほど一細胞あたりの水の含量が多い。しかし、細胞中の水の量は時間を経るにつれて次第に減少していくことが知られている。老化していく過程とは水分を徐々に失っていく過程、萎びていく過程ともいえる。

植物は光合成により水と二酸化炭素から糖を作り出す。主に光合成を行っている葉の細胞は水分量が多く、水が不足し始めると光合成能は著しく低下する。水がなければ光合成は成り立たない。一方、植物は無機栄養生物といわれるように、土壤中、水に溶解する無機化合物を吸収し必要な組織に分配している。吸収した無機化合物からは、動物では合成不可能な種々の有機化合物を作り出すことができる。このような光合成に象徴される植物活動の大きな特徴は、高等動物もどんな精密な機械もおよびもつかない、水の高度利用を常時行っている。

水に溶解した無機化合物の吸収・分配とは、情報を運ぶことでもある。水に溶解した種々のイオンによる情報伝達では、化学種の形態、濃度の組み合わせを考えると、数え切れない種類の信号を送っていることになる。この情報処理の複雑性は、動物の脳における情報処理に匹敵するといえるのではないだろうか。

2) 水の吸収と制御

植物にとって必要な水はどのくらいか。トウモロコシの場合、一個体中の水は約2リットルで、生育期にはその100倍もの水を根から吸い上げている。全生育期間中に植物が吸い上げる水分量は、トウモロコシ畑1エーカーあたり1200トンにも達し、これは年間降雨量280ミリに相当する。

根から吸収した水をどう恒常的に葉の隅々まで行き渡らせるのか。気孔周辺の細胞から蒸散によって水が失われるにつれ、顕微鏡レベルでの水の動きが全葉からの大きな水の吸引力となって、通水組織中の水を上部に引っ張り上げるといわれている。しかし、何メートルという高い木の上まで水がどうして運ばれるかについては、現在の植物生理学ではまだよく把握されていない。これには相当な吸引力が必要である。マツの通水組織である仮道管中の圧力を測定した報告では、日の出と共に、 -0.5MPa ほどの水ポテンシャルが蒸散量の増大に伴って下がりはじめ、日中、 -1.5MPa 位になるという規則的な日変化がみられる。日中、樹木中の水が蒸散によってどんどん失われるだけでは、樹木は干からびてしまう。日中の激しい蒸散による仮道管内の圧力の低下はその仮道管内の水柱中に微細な空気の泡を生じさせ、生理的に生じるこの泡によって、水が連続的に動いて樹木から失われないよう水柱を途中で切り、ストッパーとしての役目を果たしている。しかし明け方には圧力の低下が解消されるため、泡がはじけ、いわゆるアコースティックエミッション（爆発音）が測定される。マツでは、色素を含む液（酸性フクシン）を吸収させることにより、水が樹木内を螺旋状に上昇することが知られている。この幹中の水の流れを調べていた人は、アカマツやクロマツが急激に枯れるマツノザイセンチュウによる被害は、樹木中の水の性質が変化したことが原因ではないかという興味深い研究結果を発表している。このセンチュウの感染により仮道管中に揮発性テルペン類が放出されると、水の表面張力が変化し、水柱を切るはずの微細な泡が生成されなくなり、水が樹木から抜けていくために枯死するとのことである。

最近、細胞膜における水チャンネルが発見された。このチャンネルを通して水だけが選択的に細胞内に入るのである。既にナトリウムやカリウムが通るチャンネルは知られていたものの、水はこれらのイオンを運ぶ担体としてではなく、水としての機能があるからこそ細胞は水の上に特異的なチャンネルが必要なのである。

3) 水の蒸散

植物は卒に干された濡れ雑巾に例えることができる。外に干してある雑巾からは常に水が水蒸気として失われる。雑巾は乾

いてしまうので水蒸気はでなくなるが、葉からの水蒸気放出は植物が生きている限り続く。身近な植物鉢でも平均して1平方メートルあたり一日に1.5から3リットルもの水が水蒸気として失われている。生きた植物は部屋の加湿器としても充分役立つ。人工的な加湿器では化石エネルギーの消費を伴い、かつ器内での微生物の繁殖と室内への放出が心配されるが、植物から放出される水は蒸留水であり、私達生体には無害である。

植物が水を失う過程は主に気孔を通した蒸散である。気孔以外の葉の表面は堅いクチクラ層と呼ばれる面で覆われており、水分はなかなか失われない。気孔は葉の表裏両面に分布し、数ミクロンという小さなミクロの穴である。光があたると光合成が始まり、気孔中の炭酸ガス濃度が下がる。そこで気孔が開き炭酸ガスを吸収し始め、また水分を蒸発させる。気孔の開閉を行っている、一對のソーセージのような形をした孔辺細胞は、その細胞中に含まれる水分量が多くなると膨潤して気孔を開き、少なくなると閉じる。孔辺細胞への水の流入は主にカリウムイオンの濃度勾配によることが判っている。孔辺細胞の穴に面した内側の細胞壁は、外側と比較して厚くて弾力がある。水が入ってくると薄くて変形しやすい外側の壁が膨れあがり、内側の壁はこれに引っぱられて外側へ動き気孔が開く。孔辺細胞に水が少なくなると内側の壁の弾力により元に戻り、気孔は閉じる。

また、植物は土壤中の水分量が減少し根が吸収できる水分量が少なくなると気孔を閉じ、土壤中に十分な水分量がある場合には気孔を開く。葉中の水分量に変化が無い場合でも、根が接している土壤中の水分量が少なくなると気孔は敏感に反応し閉じる。土壤中の水分量の大小がどのように気孔まで伝わるかはまだよく判っていないものの、自分自身が吸収できる水量を予想して、失う水分量を制御している。気孔はひとつひとつの大きさは数ミクロンと小さいが、トウモロコシー個体中では約二億も存在し、気孔の全面積を合計すると植物全体では、実に約1~2%を外部に開いていることになる。

4) なぜ水を失うのか

植物体は常時、根から水分を吸い上げ、どんどん水蒸気として失うという活動を行っている。なぜ、一旦吸収した水を再び失ってしまうという、一見無駄と思える行動をしているのだろうか。光合成のみを考えるならば水分を多量に失う活動は無駄である。一つの理由として、太陽光による温度上昇を蒸散によって防いでいることが挙げられる。太陽のエネルギーは毎分1平方センチメートルあたり、約1.5カロリーであり、その約2/3を植物は受け取っている。これだけのエネルギーをただ受け取っているだけでは植物は干乾びてしまう。そのため、水を蒸発させることにより、気化熱としてエネルギーを失い温度の上昇を防いでいる。葉面積100平方センチメートルあたり毎時約1gの水が蒸発しており、受け取るエネルギーの約10%は蒸散作用のために消費している。光合成で転換されるエネルギーは、太陽からのエネルギーの僅か0.2~1%しか占めていないことを考え合わせると、膨大なエネルギーを消費して乾燥から身を守っていることになる。

光合成と蒸散を除いた残りのエネルギー、約90%は何に使われているのか。常に大量の水を吸っては失うことが、一つの植物の活動でもある。その水を動かす活動にかなりの量のエネルギーが費やされているのではないだろうか。植物が生体のホメオスタシスを維持するための重要な活動の一つであると思われる。

5) 植物の有機集合体

植物は常に生育し続けている。幼植物時は上へ上へと伸び続け、開花、結実の過程でも常に成長点を持ちつつ花や実を生育させている。一般に生物の生育は増殖過程と分化過程の二つの異なる過程に分けられている。植物では分化過程においても花や実を生育させるという増殖過程を同時に併せ持っていることになる。このことは、外部の環境に最も厳しく接している植物が、増殖過程を柔軟に変化させることにより、できる限り自分自身が不利とならないように形態を変えていくことができることを意味する。植物一個体とは赤ん坊からお年寄りまでをかかえた有機集合体であり、一個体の中で常に一部を生育させながら、外部環境の変化を増殖という柔軟性のある動きの中に吸収している。みずみずしい赤ん坊を育てるためには常に多くの水を運ぶ必要もある。植物の環境への柔軟性は、マクロレベルでは形態変化として認められるが、ミクロレベルでも遺伝子の転写や翻訳後の過程における制御が非常に素速いことでも示されている。生育過程の中に環境変化を吸収している植物にとっ

て、水を介した情報の伝達も非常に重要な役割を果たしている。

6) 植物の水の像

水は植物中で最も重要な情報伝達の役割を果たしている化学物質であるにもかかわらず、残念ながらその知見は非常に乏しい。これら水の役割を知るためにはまず、植物中の水の分布・動きを知ることが必要である。そのためには、生きている植物体を、生きている状態で調べなくてはならない。いわゆる、「死んだものの科学」ではなく、「生きたものの科学」が必要である。植物中の水の動態をリアルタイムで知ることができれば、今までともすると静的な解析であった植物生理について、動的な立場からの解明が可能となるかもしれない。

何とか植物中の水を見られないだろうか。将来一つの細胞中の水の動きも可視化させてみたい。この夢のような目標を掲げ、植物中の水の分布・動態を調べることに取り組んできた。具体的には、水の可視化に最も優れている中性子線を用い、生きた植物の水の像を撮ってきた。水が示す植物地上部、根および種子の像をはじめ、水分がいかに種子に吸収されていくか、また乾燥過程において小口材からどのように水分が減少していくか、などの水の分布や量の経時変化を可視化させることが可能となり始めた。また、根—土壌系では、根がどのように生育し、どこからどのように水分を吸収しているかについても直接水の像として得られ、根近傍の水分動態変化から根の活動のシミュレーションを行うまでに至っている。特に、根から1ミリ以内の水の動態は、実際の実験が困難だったことから報告がなされていないだけに、水の像が示す生きた根の活動の多様性に驚いている。

(3) OHP による説明より

1: 農学研究の2つの目的

農学研究の目的は大きく持続的食糧生産と環境回復の2つであるが、それは水と微量元素を調べることで行われる。

土砂崩れは岩石が水の作用で風化して土ができることによって生じるが、例えば岸壁の中がどのようなになっているかは、土壌の状況を調べると分かる。土壌が岩石と異なっていオン交換能ができることを利用して調べる。対象地に水をかけ、しみ出してくる水の成分で中の土壌の状況を知ることが可能となる。

微量元素に関連して、植物によってセレンを集めるもの、最近ではひまわりが鉛を集めるということで注目され、環境回復に役立っている。また、植物内の水の流れを追うためにも微量元素は重要である。

< 持続的食糧生産 >

植物機能の解明→

環境適応機構の解明

遺伝子機構・機能の解明

生物間相互作用の解明

新機能植物の開発→

遺伝子資源の探索

生物多様性の解析

新機能植物の創生

環境保全技術開発

物質循環の解明

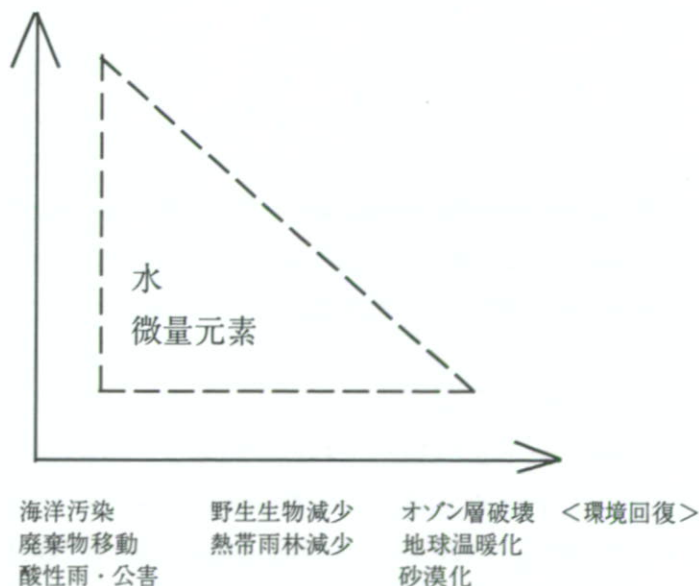
環境負荷軽減技術の開発→

資源の保全・有効利用

環境診断システムの確率

生物多様性の維持

微生物の利用



2: 植物の水の像をとる

植物にとって大切な水の像をとるのに2つの方法がある。

中性子線を使う方法～中性子ラジオグラフィ

研究用原子炉を使う。植物に一方から中性子線をあてて、つきぬけた部分を感光させる。いわば植物のレントゲン写真である。水の多少でコントラストができる。白い部分が水を多く含んでいる。

この方法は工業面ではかなり使われている。飛行機の翼の浸食状況などを調べる。X線ではかたい物しかわからないが、中性子線では柔らかいものも調べられるという利点がある。

水をラベリングする方法

ラベリングした水を植物に吸わせてリアルタイムで水がどう分布しているかを調べる。当初フッ素18でラベリングしていたが、それはフッ素イオンの動きを見ていると指摘され、水そのものをラベル(O15)して実験を開始している。これによって水の動きが非常にゆっくりであることがわかり、フッ素でのラベリングでは、やはりフッ素のイオンを見えていたことがわかった。

ササゲは水を蓄えるしきみを持っていて、乾燥地でも生育できる。この水の動きを調べている。インゲンと比べると、ササゲの方は乾燥しても吸水力活性が高いことがわかった。

3: 根の研究

植物研究者は非常に少ないが、その中で特に根を研究している人は少ない。しかし、植物の根は、人間の脳に相当し、様々なセンサーが根に集中している。したがって、根のことがよく分かれば、その育て方や農業利用に非常に有効であると思う。

根の近傍は根からの分泌物があつて、いろんな微生物がやってくる。根から1ミリ以内は根圏といわれるがあまり研究されておらず、水の動きすらデータがない。

ダイズの根を経時的にとると、X線フィルム法で20から30ミクロン、最小で16ミクロンまで分解能がある。根の活性条件や、土壌条件の差による根の張り方なども研究している。

また、特殊な吸水性ポリマーを近づけると、バリアができてその部分は根が張ることはない。それを利用して、根がデザインできる可能性もある。根は必ずしも深く潜る必要はなく、地上部分を伸ばすこともできる。40センチの土盛りで7～8メートルの樹木が立っている例もある。

4: 樹木の水の分布

樹木の中の水の分布を調査した。水分は年輪を超えて波を打って移動していることがわかった。木は一定年数がたつと真ん中に芯材部(95%が死んだ細胞で堅い部分)ができる。太くなった全てに情報を流すことは大変なので、徐々に真ん中から死んでいく(といっても、最小の情報(5%)は流れるようなしくみになっているようだ)。

杉の乾燥過程を可視化した。芯材部の水の含有量で、黒芯か赤芯かに分かれる。水の含有量の多い黒芯は材木としては歪む可能性があり、赤芯の方がよい材料ということになる。しかし、これは切るまで黒か赤かはわからない。

実際に切った木を時間をおいて撮影すると、乾燥の過程がきれいにわかる。黒芯はなかなか水がぬけないことがわかる。

5: 種子の水の分布

種子中に水分がどう移動するかの調査もした。水をどう調整することができるかで、種子の保存を検討することが可能になる。具体的には、種子に水を吸水させて経時的に水分量を調べる。胚軸部分の変化が非破壊で分かる。これを応用して、コメ、干し柿、豆腐などの乾燥の過程を調べることができる。これらの食品は乾燥のさせ方でおいしさが決まってくる。水の像をとることで様々な応用が可能となろう。ただし、経時的に調査するには国内では難しく、海外での実験にならざるを得ない。

6：3次元の像をとる

根の状況を3次元でとる装置を開発し、CT像をとって3次元化している。土壌条件が変わるとどう水の抜け方、成長が変わるかを調べることができる。

7：植物をたよりに鉱脈を探す

元素は環境の遺伝子である。同じ物を蒔いても土壌の状況で生育状態は変わる。それにより、どんな肥料を与えるべきかもわかるようになる。

また、植物によっていろいろな元素をためるので、それを調べて鉱脈を発見することができる（例：金脈と蘆薈の関係）。

8：放射化分析の展開

放射化分析を経時的に行って、植物組織の様々な元素を分析している。植物内での元素の分布は一樣ではなく、例えばマンガンは古い部分にたまる。遷移元素は根にたまって地上部にはいかない。根の中に、人間でいう血液脳関門のようなものが存在しているようだ。その情報伝達がどのようになっているかについても調べている。

9：植物研究とは

情報のポテンシャルは対象が大きい物ほどある。現在の基礎研究をみると、フィールドと遺伝子工学の間の研究はぬけている。現在は特に遺伝子工学がバワフルであるが、ミクロとマクロの因果律はちがうと思う。植物の1固体、あるいは細胞レベルを対象に研究を進めていきたい。夢は細胞のなかでの水の動きを可視化したいということだ。

中性子線による分析、微量元素による分析は応用範囲が広いことがわかっている。今後もいろんな分野での可能性がある。

2.9.2 質疑

質問：中性子でみるときに、重水をつかって水の動きを見ることはできないのか。

中西：重水に中性子をあてるとトリチウムができ、環境に出てしまうので、規制によって使用できない。

質問：アメリカでは農作物に地下水から汲み上げた灌漑用の水を使用している。日本は大量のダイズやトウモロコシを輸入しているがそれは結果的に、大量の水を輸入していることになるという（年間200億トン）。一方で、塩害があると言われてもいるが、それへの対策はあるのか。

中西：その点は10年ほど前から指摘されていて、塩害でいずれダメになると言われながら現在に至っている。

土壌は地表の15センチ程度であり、土は限りある資源で、一度削り取ると植物は育たない。しかし、土壌学者は非常に少ないのが現状。土壌の専門家が少ないことは大問題である。

質問：植物で、例えば保水能力が一番高いもの、CO₂の固定を一番多くできるもの等というデータはあるか。

中西：CO₂の固定能に差がないというデータもある。CO₂が増えたのは海水温度があがったためと言われる。また、同じ物を植えると成長が悪くなるので、やはりいろんな植物を植える方がいいのではないかと。きちんとしたデータはなく、京都会議以降調査をしている。

質問：森林の炭酸ガス吸収能力のデータはどうなっているか。

中西：現在さまざまなシミュレーションが行われているが、そのデータは外国で推定して出したデータをもとに出されている。実

際に現場で調べたデータはない。地道なデータの蓄積で炭素固定をはかるしかない。

熱帯雨林でどれくらい成長しているかのデータもない。熱帯雨林は年輪ができないが微量放射能をはかると、年輪がわかるかもしれないということで科学研究費で調査を始めている。

政府が戦略をつくれれば、データは集まるはずである。大規模に調査すべきであると思う。

質問：この分野の日本の状況、この分野の研究のゆくえについてはどう考えるか。

中西：JCOの事故以来、ますます規制が厳しくなり実験がしにくくなっている。国内での実験は申請、報告の書類が膨大であり、新規参入は非常に難しいだろう。トライアルがやりにくい状況。

原子炉を使った中性子解析もしにくくなっている。

食品照射も電子レンジはよくてガンマ線になると反対になるのは不思議である。やはりもっとプロパガンダが必要ではないか。