

## <論 文>

# 二つの技術政策再検証 — 超LSIと第五世代コンピュータ —

中 村 清 司

## 1. はじめに

わが国が資本と輸入の完全自由化を実施した1970年代半ば以降のコンピュータ産業を対象とした政策—コンピュータ産業政策—において、ほとんど唯一の有力手段となった技術政策（技術開発支援政策）のなかで、「超LSI技術の開発」（1976～79年度）と「第五世代コンピュータの開発」（1982～92年度）はその代表的なものであった。もとより技術政策は、それ以前でもコンピュータ産業政策の重要な手段の一つとされてきた。富士通、日本電気、沖電気による「FONTAC」の開発（1962～64年）やこれに日立、東芝、三菱電機や通産省工業技術院電気試験所（現電子技術総合研究所：以下電総研）、東京大学も参加した「超高性能電子計算機の開発」（1966～71年度）が実施され、さらに国産6社の3グループによる「電子計算機新機種開発」（1972～76年度）が続いた。

1970年代半ばまでの技術政策は、後発国であったわが国のコンピュータ産業が、国内市場の保護という競争制限政策の枠の中で、IBMに代表される先進メーカの既存技術へのキャッチアップを目指したことを最大の特徴としていた。同時に、複数の企業が技術研究組合を組織し国から補助金なり委託費を受けながら、研究開発は分担して各社がそれぞれ行った点でも共通していた。つまり国内産業の国際競争上の必要に応じ、国内企業間の競争下の摩擦を回避しつつ、技術開発を促進するという方法が取られたのである。そしてこれらの技術政策は、国内企業が特に遅れていた大型機の要素技術の開発と先行していたIBM機に対抗する新機種の開発を通じて、キャッチアップを加速した。

これに対して超LSIと第五世代コンピュータの二つの技術政策は、技術的フ

ロントランナーとして目標設定が必要になったという点だけでも、従来の技術政策と大きく異なるものになったが、技術開発の成果に対して、二つのプロジェクトは対照的な評価を受けた点でも注目される。超LSIプロジェクトは、大成功をおさめた例として高い評価が集中した。とりわけ市場で競争する各社の技術者が一つの共同研究所に集まって、文字通りの共同研究を遂行したことが注目され、最大の成功要因とされた<sup>(1)</sup>。一方の第五世代プロジェクトには、早い時期から「失敗」とする評価と人工知能という未踏分野への貢献を評価する二つの意見が半ばした<sup>(2)</sup>。

超LSIプロジェクトが終了してからすでに20年を経過し、第五世代コンピュータが実現を目指した1990年代ももうすぐ終わる今日、両プロジェクトについて現在の市場と技術の状況を踏まえて再検証してみる必要があると思われる。産業政策の一つとして両技術政策を検証しようとする本稿では、政府と企業の関係に主たる焦点をあて、政策の発端と遂行プロセスを跡づけることによって、それらの成果を再検証してみたい。

## 2. 超LSIの開発

### 発端

超LSIプロジェクトの発端も、自由化とIBMの動きに対するコンピュータ業界の反応であった。1973年に日本政府は集積回路については74年12月に100%の資本自由化と全素子の輸入自由化を、コンピュータについては75年12月に100%の資本自由化と本体を含むすべての輸入自由化を行うことを決定した。コンピュータ産業育成の基本であった市場保護政策が放棄されることになったのである。同じ73年に、テレックス社から独禁法違反で告訴されたIBMが法廷に提出した内部資料の中から、IBMが1980年代初めを目標に1メガビットのDRAMを搭載した新機種「フューチャー・システム (FS)」を開発中であるという情報が流出し、富士通の池田敏雄専務を通じて日本にもたらされた<sup>(3)</sup>。当時、日本

の半導体メーカーは4キロビットのDRAMの量産を開始したところであり、電電公社の電気通信研究所でも16キロビット・メモリーの開発に着手していた段階であったから、80年代初頭に1メガビットの超LSIが登場するという情報は大きな脅威を与えた。池田や電気通信研究所集積回路研究部長豊田博夫らは、通産省や電電公社、コンピュータメーカーなどの首脳陣に、超LSI開発の体制整備を働きかけた。

動きが早かったのは、米沢滋総裁がAT&Tのベル研究所で超LSI開発の実際を見てきた電電公社の方であった。電気通信研究所では1975年2月、日本電気、富士通、日立の協力を得て、2年ずつ2期（予算各200億円）の4年計画で、64キロビットDRAMの開発を目標とした超LSI開発をスタートさせた。<sup>(4)</sup> 一方、通産省にも74年に日本電子工業振興協会の電子材料技術に関する研究会から、「極限型LSI」あるいは「超高性能LSI」の開発に関する提案書が提出されたものの、通産省の反応は鈍かったという。<sup>(5)</sup> 結局、通産省では、75年に入ってから「次世代電子計算機用超LSI研究開発計画」に関する議論を始め、7月に官民のメンバーを集めて「超LSI研究開発政策委員会」を発足させた。コンピュータ業界は、82年にFS対抗機を市場に出たいとし、2000～3000億円と見込まれる開発費の半額に相当する国庫補助を求めた。しかし、先の「新機種開発補助金」と2度続けてコンピュータ全体を対象とする補助金を獲得することは困難と判断した通産省は、FS対抗機の中核となる超LSIの開発に絞った補助金獲得に乗り出した。<sup>(6)</sup> 業界の通産省に対する最大の期待は、これまでと同じく補助金の交付にあったのである。

補助金の受け皿となる開発体制については、業界と大蔵省、自民党の間で意見が対立し、調整は難航した。特に自民党の情報産業振興議員連盟会長の橋本登美三郎は、コンピュータ業界の一本化を強く求め、通産省は、先に3系列化したコンピュータ業界をさらに2系列にまとめること、開発プロジェクトの中に官民一体の共同研究所を設置することで妥協を図り、ようやく話をまとめた。<sup>(7)</sup> また同じ分野に巨額の開発費を投ずることになる電電公社の超LSI開発と

の重複回避も求められた。両者の交渉は、75年7月に河本敏夫通産大臣と米沢電電公社総裁のトップ会談で決着が図られ、通産省プロジェクトはコンピュータ用、電電公社プロジェクトは通信用のLSIを開発するという線引きで合意した。

### 超LSI技術研究組合

業界の2系列化は、富士通と日立のグループに三菱電機を加えることで、日本電気・東芝グループとの2グループという形で実現し、先の3社は1975年12月にコンピュータ総合研究所（CDL）を設立した。こうした準備を経て76年3月、富士通、日立、三菱電機、日本電気、東芝にCDLと日電東芝情報システム（NTIS：74年3月設立）を加えた7社を組合員とする超エル・エス・アイ技術研究組合（以下超LSI技術研究組合）が設立された。期間は76年度から4年間とし、研究開発費は総額720億円、うち国庫補助金300億円という計画であった。組合のマネジメントにあたる専務理事には、通産省OB（68年当時、電子工業課長）で大型プロジェクトの経験も豊富であった根橋正人が就任した。

研究開発の組織体制と目標の設定について、参加企業側と通産省の間でしばしば意見が対立した。準備段階の1975年10月に通産省の超LSI研究開発政策委員会の中に設置された開発計画小委員会では、企業各社の委員たちは官民による共同研究所の設置を非常に嫌ったし、共同研究所の設置が決まったあとも、企業側は共同研究所の規模をできるだけ小さくして研究内容も基礎研究に特化すべきであるとし、大部分の研究はそれぞれの企業において実施したいと強く主張した。<sup>(8)</sup> 結局、共同研究所と二つのグループ研究所（CDLおよびNTIS）によって研究開発テーマを分担することになったが、共同研究所の担当するテーマを、各社固有のノウハウをできるだけ持ち込まなくてすむという意味で「基礎的」な、かつ各社とも関心を持ちうるという意味で「共通的」なテーマに限定することで妥協が図られた。<sup>(9)</sup> 共同研究所には6研究室、CDLには3研究部、NTISには6研究室が設置されたが、CDLの3研究部はそれぞれ富士通、日立、三菱電機におかれ、NTISの6研究室は日本電気に3研究室、東芝に3研究室

がおかれた。各社は、グループ研究所の名称でそれぞれ独自に研究開発を行う自由を確保したのである。

研究開発の目標についても、企業側は実用化の可能性を重視して64キロビットから128キロビットクラスを強硬に主張し、通産省側は国の資金を投入する以上はより長期に生きる技術を対象とすべきであるとして2メガビットを主張した。両者の交渉の結果、「2メガビットの基礎技術の確立」を目標とすることになった。研究開発テーマの分担と資金配分については、さらに深刻な綱引きが行われた<sup>(10)</sup>。一つは、共同研究所とグループ研究所の持分についてであり、もう一つは、企業間の配分であった。研究開発の大きな項目区分は、微細加工技術、結晶技術、設計技術、プロセス技術、試験評価技術、デバイス技術の6分野に分け、それぞれについてより具体的なテーマを設定して、テーマごとに担当研究所と研究室（研究部）が決められたが、できるだけ多くの研究を企業で行いたい企業側と共同研究所の持分を増やそうとする通産省側の綱引きと、それぞれの企業が関心のあるテーマを担当しようとする企業間の綱引きが行われ、妥協と工夫が図られた結果、表－1のような分担となった。

表－1 超LSI技術研究組合における研究開発項目と分担区分

研究開発項目	担当研究所
(1)微細加工技術	
(a)電子ビーム露光技術	共同研究所 1 / 2 / 3 研究室
(b)精密パターン転写技術	共同研究所 1 / 2 / 3 研究室
(2)結晶技術	
(a)大口径結晶育成加工技術	共同研究所 4 研究室
(b)大口径結晶評価技術	共同研究所 4 研究室
(3)設計技術	
(a)高集積デバイス用設計技術	CDL 1 / 2 / 3 研究部
(b)高精度デバイス用設計技術	NTIS 1 / 3 研究室
(4)プロセス技術	
(a)基礎的製造装置等の共通基礎技術	共同研究所 5 / 3 研究室
(b)大口径ウエーハ処理技術	NTIS 2 研究室
(c)大口径ウエーハ適用技術	CDL 1 / 2 / 3 研究部
(d)高集積パターン応用技術	CDL 本社研究室, 1 / 2 / 3 研究部
(e)高精度パターン応用技術	NTIS 5 / 6 研究室
(f)浅い接合形成技術	CDL 1 / 2 / 3 研究部
(g)膜形成技術	CDL 1 / 2 / 3 研究部

(h)バイポーラプロセス技術	NTIS 5 / 6 研究室
(i)MOSプロセス技術	NTIS 5 / 6 研究室
(5)試験評価技術	
(a)試験評価基礎技術	共同研究所 6 研究室
(b)高集積デバイス試験評価技術	CDL 1 / 2 / 3 研究部
(c)高精細デバイス試験評価技術	NTIS 4 研究室
(d)材料評価技術	CDL 1 / 2 / 3 研究部
(6)デバイス技術	
(a)微小寸法素子等の基礎技術	共同研究所 6 研究室
(b)高集積高速デバイス技術	CDL 1 / 2 / 3 研究部
(c)高精細高速デバイス技術	NTIS 5 / 6 研究室
(d)高集積高密度デバイス技術	CDL 1 / 2 / 3 研究部
(e)高精細高密度デバイス技術	NTIS 6 研究室

出典：『超エル・エス・アイ技術研究組合15年の歩み』 pp.44～45から作成

共同研究所は、当時、光露光技術の限界から超LSIには不可欠と考えられていた電子ビーム露光技術という将来技術の中核とする「基礎的」な微細加工技術と、半導体材料として各社に共通する結晶技術を主たる担当分野とし、その他の分野についてもそれぞれの「基礎技術」を受け持った。共同研究所が、露光技術の中で、半導体メーカーがすでに技術を蓄積している光技術の延長上にはない電子ビーム技術に集中することにしたことは、参加企業が技術者を共同研究所に送りやすくした<sup>(11)</sup>。

共同研究所と企業側のグループ研究所の分担割合は、具体的な研究テーマの数からすると、グループ研究所の方が圧倒的に多かったのである。二つのグループ研究所が受け持った研究開発テーマを見てみるとわかるように、両者はともに設計技術からデバイス技術までを担当し、その中で、「高集積」と「高精細」技術を分担している。両グループとも設計技術からデバイス技術にいたるすべての研究開発を望んだため、「高集積」と「高精細」という「字句を使い分けて重複をさけ」たのである。

研究開発費については、4年間に総事業費736億6000万円が投入され、国が補助金285億9000万円を拠出し、組合員は450億7000万円の賦課金を負担した。費用の中で最大のウェイトを占めたのは、高価な輸入機械の購入と市場調達が困難であった試験研究設備の試作費を中心とした「設備費」で、計画ベースで

458億5900万円、総予算720億円の3分の2近くを占めた。<sup>(12)</sup> このプロジェクトが日本の半導体製造装置産業の成長に大きく貢献したとされていることを裏付けるものである。研究開発要員数を年度当初の計画人員で見ると、表－2の通りであった。年度単位の延べ人数を比較すると、累計2791人（年平均698人）が研究開発に従事したが、うち共同研究所に所属したものが362人で全体の13%、CDLとNTISの2つのグループ研究所に所属したものが2429人で全体の87%であった。グループ研究所が担当した研究開発テーマの多さを反映して、グループ研究所の方が格段に大きなウェイトを占めていたのである。共同研究所のウェイトは、開発テーマで約20%であったとされている。<sup>(13)</sup>

表－2 超LSI組合の研究従事者数の推移

年 度	1976	1977	1978	1979	延べ人数
共同研究所	54	105	104	99	362
CDL	65	290	396	400	1,151
NTIS	186	355	362	375	1,278
合 計	305	750	862	874	2,791

注：年度当初の計画人員

出典：『超エル・エス・アイ技術研究組合15年の歩み』p.39

## 共同研究所

共同研究所は、組合員企業からの出向者に電総研からの出向者を加えた研究者によって構成され、所長には、電総研の半導体デバイス研究室長であった垂井康夫が就任した。共同研究所の研究開発要員の構成については、正確な人数は公表されていないが、電総研からの出向者は、「中立的な人のほうがよいポスト」<sup>(14)</sup>を中心に10名前後であったらしい。電総研からの出向者は、企業からの出向研究者間の調整を主とした研究開発マネジメントに当り、実際の研究開発は、企業研究者たちによって進められたといえる。共同研究所の設置場所についても、「どの組合員も自社の近くに持っていこう」として譲らず、結局、たまたま新しい建物の完成直後でスペースに余裕があった日本電気の中央研究所

の一面を借りることになった。

共同研究所の中には6つの研究室がおかれ、第1～第3の3研究室が微細加工技術、第4研究室が結晶技術、第5研究室がプロセス関連の基礎技術、第6研究室が試験評価とデバイス関連の基礎技術を担当した。そして各研究室の室長には、第1研究室は日立、第2研究室は富士通、第3研究室は東芝、第5研究室は三菱電機、第6研究室は日本電気の出向者が就き、第4研究室だけは電総研からの出向者になった<sup>(15)</sup>。同じ微細加工技術に3つの研究室が設置されたのは、微細加工技術を垂井が「基礎的・共通的」技術と定義しても、すでに微細加工装置の研究開発に着手していた日立、富士通、東芝の3社が互いに他社の研究者との共同研究を強く拒否したためであるといわれる<sup>(16)</sup>。各研究室への研究者の配置も問題になった。共同研究という趣旨から根橋や垂井はできるだけ各社の研究者を混合した研究室を構想したが、すべての研究室を同じような構成にすることはできなかった。結晶技術を担当した第4研究室の場合は、各社に分散した研究員で構成したが、微細加工技術を担当した三つの研究室の場合は、室長の出身企業の研究者を中心に構成した<sup>(17)</sup>。ここでも企業側の思惑と通産省側の意向が対立し、妥協が図られたのである。

共同研究所では、活動を開始した後も企業研究者間の融合を図るのに大きな努力が払われた。大部屋制の採用や研究の進行に合わせた発表会の開催、クリーンルームの共同利用などによる研究者間の意思疎通が図られたほか、専務理事室を酒場にしたり「根橋式組織運営」に代表されるさまざまな交流の場が設けられた。初年度には難しかった出身企業を異にする研究者間のコミュニケーションも、そうしたマネジメント上の努力によってしだいに円滑になったことは間違いない。しかし各社固有の研究情報の漏洩を恐れていた研究者たちも、半導体分野の急速な技術進歩とともに、過去の情報が陳腐化してきたことによって解放された面も否定できない。研究者を送り出した企業の方では、共同研究所での研究成果を外部に発表することには強い抵抗を示したといわれる<sup>(18)</sup>。

#### 追加開発試作事業



政府の補助金を受けて行われた超LSI技術研究組合の「補助事業」は、予定通り1979年度で終了し、この時点で共同研究所は解散した。しかし組合はその後も存続し、組合員各社が全額資金を負担して、前期3年、後期4年の7年にわたり「追加開発試作事業」を継続した。補助事業で得られた基礎的技術だけでは不十分であり、実用的デバイスの開発試作とその性能向上を図る必要があり、組合員間の重複研究を排除するため、組合事業として研究開発を継続すべきであるというのが、追加事業の理由とされた。

しかし研究開発の主体は組合員各社の研究開発部門に移され、二つのグループ研究所は共通プロセス技術を担当して各社をサポートするという形がとられたことからわかるように、各社はそれぞれ次期コンピュータに搭載する論理用およびメモリー用のデバイスの開発に取り組んだのである。組合の存続を必要とした直接の理由は、組合が所有していた高価な輸入機械を初めとした膨大な試験研究設備の利用であった。各社はそれぞれ希望する機械設備を組合から貸与されて使用した。<sup>(19)</sup>追加事業の総事業費は、前期、後期合わせて604億8400万円、<sup>(20)</sup>従事した研究者は延べ3412人（年平均487人）であった。

## 成果と評価

4年間の補助事業の主な成果として、表－3のようなものがあげられている。このうち電子ビームによるパターン描画関連の5件と結晶育成加工の2件が主として共同研究所の成果であり、その他は2つのグループ研究所が中心となった成果であろう。

表－3 補助事業の主要成果

研究開発分野	主 要 成 果
設計	①コンピュータによる設計結果の検証 ②確率的手法による組み合わせ回路のテストパターンの生成
電子ビームによる パターン描画	③電界放射銃形電子ビーム描画装置 ④可変成形ビーム形電子ビーム描画装置 ⑤電気－機械ハイブリッド形電子ビーム描画装置 ⑥電子ビーム描画ソフトウェアシステム ⑦電子ビームマスク検査装置

結晶育成加工	⑧大口径単結晶育成 ⑨結晶制御技術
パターン転写	⑩光転写装置 ⑪サブミクロン転写装置
ウエーハプロセス	⑫ドライエッチング装置 ⑬ドライエッチング技術 ⑭材料評価技術
試験評価	⑮液晶による絶縁膜の評価 ⑯素子評価測定技術システム
超LSIデバイス	⑰微細MOS素子の特性解析 ⑱新しい超LSIメモリ基本構造 ⑲400psバイポーラ18ビットRALU ⑳高速バイポーラメモリ ㉑256KbRAM ㉒電子ビーム直接描画による512KbROMの試作

出典：『超エル・エス・アイ技術研究組合15年の歩み』p.47

光技術の限界を超えるものとして期待され、超LSI技術研究組合の目玉でもあった電子ビーム露光を使ったパターン描画は、決して新しいものではない。電子ビームの制御技術は電子顕微鏡の技術として長い歴史があったし、1966年から始まった大型プロジェクトの「超高性能電子計算機の開発」では、電総研と電子顕微鏡メーカーの日本電子が協力して半導体の微細パターン描画への応用に取り組み、その可能性を実証していた。超LSI技術研究組合では、この電子ビーム露光のよりいっそうの微細化と量産装置として実用に耐える描画速度の高速化が課題であった。第1研究室が取り組んだ電界放射銃は、微細化技術として優れたものであり、第2研究室の可変成形法は、ウエハー描画のスループット向上技術であった。またウエハーへの直接描画法と並んで、マスクを介して転写する装置も開発された。しかし電子ビーム露光技術の最大の難点は、微細回路情報を一次元に分解して描くため、パターンが微細になるほどスループットを上げることが難しくなる点にあった。逆に光露光技術の方は、より波長の短い紫外線を使用する技術の開発が進み、量産型LSIの露光技術として予想をはるかに超えて延命した。そのため、いまだに電子ビーム露光技術は、研究用

チップやゲートアレイなどのASICの試作評価用サンプルの作成などに実用されているものの、大量生産を必要とするDRAMの生産には使われていない。<sup>(21)</sup>

しかし1980年代を通じた日本の半導体産業の競争力の向上を見れば、超LSI技術研究組合の産業面への貢献が小さかったとは思えない。同組合での研究開発テーマは、電子ビーム露光に限定したもののでも、それを中核に一つのシステムとなるように設定されていたのでもない。特に二つのグループ研究所では、「実用化技術」の開発や「改良開発」に集中していることから分かるように、組合員各社が必要とする当面の技術の開発に重点をおいたのではない。<sup>(22)</sup> 補助事業終了後の追加事業期間になれば、なおさらその傾向が強まったに違いない。そうした活動を通じて生まれたさまざまな要素技術が、その後に各社の半導体開発に生かされたことは十分に想像できる。日本の半導体IC関連の研究開発投資は、1975～77年度に年間200億円だったものが、その後急増を続け、82年度に1300億円、85年度に2300億円を超えた。<sup>(23)</sup> 超LSI技術研究組合への企業の資金拠出も、そうした研究開発投資急増の一環であった。その意味では、前述した電電公社の超LSI開発も、半導体メーカーの研究開発に貢献した。電電公社のプロジェクトは、77年に紫外線露光技術によって64キロビットメモリの開発に成功している。<sup>(24)</sup> 量産技術への貢献という点で通産省のプロジェクトに先駆けただけでなく、所要資金の全額を電電公社が負担したのであるから、企業にとってはより直接的なメリットは大きかった。

超LSI技術研究組合のもう一つの貢献は、よく指摘されているように、半導体製造装置産業と半導体材料産業の育成であろう。超LSI技術研究組合の共同研究所では、当初から新しい製造装置の開発に重点をおいた開発方針をとったことは、前にふれた開発費の使途にも現れた。電電公社の超LSI開発を含む共同開発プロジェクトが半導体製造装置メーカーの技術力形成に果たした役割として、装置開発の目標水準を引上げ開発を加速したこと、試作装置を購入することで膨大な装置開発費の回収を保証したこと、装置メーカーが半導体メーカーと密接な関係を持つことができたことなどが指摘されている。<sup>(25)</sup> 縮小投影装置（ステッ

パー)の世界的メーカーに成長したニコンでも、自分たちだけで開発を始めていたら、もっと低い要求水準でスタートしていたはずだとしており、キヤノンによるプロジェクション(投影)露光装置の国産化も、共同研究所の委託を受けて行われた。結晶メーカー5社から購入した結晶について共同研究所が作成した比較表も、結晶メーカーを刺激し結晶技術の向上を促したし、クリーンルームで使われる0.1ミクロンを測定できるカウンターが作られるようになったのも、共同研究所の要求が契機になったという。<sup>(26)</sup>

同時に、超LSI技術研究組合に参加した日本の半導体メーカーの技術に、平準化と同質化の傾向が生まれたことも指摘しておくべきだろう。共同研究所における日常的な研究者の接触は、各社が考えていることを互いに知る機会を提供し、技術の平準化に作用したことは、参加研究者の証言するところである。<sup>(27)</sup>しかしより重要なことは、この頃から1980年代を通じて、日本の半導体メーカーがそろってDRAM開発に集中し、研究開発と設備投資をそこに向けて急増させていったことである。日本の半導体産業が1980年代後半に、世界最大のシェアを占めるようになったことは周知のことであるが、これは、日本の半導体メーカーも半導体製造装置メーカーも、メモリーを中心とした半導体ICの高集積化技術に集中して技術を集積した結果である。そうした技術優位の確立に、超LSI技術研究組合の貢献は小さくなかった。しかしまた、過剰なかついっせいのメモリーへの傾斜が、1990年代以降の半導体市場における競争環境の変化に対処する上で重い体質を準備することになったのである。

### 3. 第五世代コンピュータの開発

#### 背景

1970年代後半に入ると、コンピュータ産業に関する政策環境は大きく変化し始めた。まず日本の汎用コンピュータの競争力が大幅に向上した。「電子計算機新機種開発」と「超LSIの開発」の二つの技術政策のもとで、国産メーカーは

素子技術を中核としたハードウェア技術に開発努力を集中した結果、富士通、日立、日本電気の3社は70年代後半に、IBM機を先行する性能を持った新機種を発表し、80年頃にはその優位を決定的にした。<sup>(28)</sup> 国産メーカーは自信を深め、ハードウェアについては政府の補助を必要としなくなった。

第2に、国内市場の保護政策は1975年に放棄されたが、海外からの批判は技術政策にも向けられるようになった。77年にアメリカ半導体業界は超LSI技術研究組合の活動をカルテル行為と批判し、IBMも組合加盟各社に対して同組合の特許をクロスライセンスの対象とするよう求めたため、通産省は80年1月、その全面公開に応じた。<sup>(29)</sup> さらに欧米技術へのキャッチアップを目指し製品化に密着して進めてきた日本の技術開発は、「ものまね主義」という非難を受けるようになっていた。<sup>(30)</sup> 国産コンピュータの技術競争力を直接強化することを目的とした技術政策は、きわめて難しくなったのである。

第3に、アメリカに生産性で5～10年の遅れがあるとされたソフトウェア技術の強化が政策課題として重要視されるようになったのも、1970年代後半であった。<sup>(31)</sup> しかも日本のユーザがパッケージ・ソフトより自社用に開発された個別ソフトに依存する傾向が強いことも一因になって、ソフトウェアの開発・保守需要の増大が著しく、ソフトウェア要員の供給が常に不足し、近い将来の「ソフトウェア危機」が危惧されていた。<sup>(32)</sup>

## 発端

第五世代コンピュータの開発が通産省の政策となった発端は、超LSIの場合と違い、通産省側の発案にあった。超LSIプロジェクトの終了を2年先に控えた1978年5月頃から、電子政策課ではその後に続く大規模な技術開発プロジェクトの検討を始めた。議論をリードした課長補佐中野正孝は、ハードウェアにおけるキャッチアップ完了という歴史的な条件と、ソフトウェアだけで超LSIに匹敵する予算獲得は困難であるという政策的配慮から、より画期的なコンピュータ技術の開発を主張し、「ソフトウェアの危機」を解決するものとしてコンピュータ専門家の間で話題になっていた「非ノイマン型」コンピュータの開発を構想

した。そこには、IBMアーキテクチャという長い間の足かせから日本のコンピュータメーカを開放する期待もこめられていた。<sup>(33)</sup> 目指すべきコンピュータは、80年代に登場するとされていた第四世代の次のコンピュータとして「第五世代コンピュータ」と呼ぶこととし、実現を1990年代としたのである。

中野たちは、アメリカの調査機関ADLに非ノイマン型の可能性を含めた将来のコンピュータ技術に関する調査を依頼するとともに、コンピュータメーカや大学、研究機関の専門家を訪ね意見を求めたが、メーカの反応は冷たかった。電子政策課の担当者が最も頼りにして相談を持ちかけたのは、電総研で音声認識室長と推論機構研究室長を兼ねていた淵一博であった。淵を中心とした電総研の研究者グループもかねてから、数値データの逐次処理を前提にしたノイマン型のコンピュータでは、並列処理や推論機能等の複雑なハードウェア設計が難しいことから、ノイマン型コンピュータの限界を議論していた。<sup>(34)</sup> ADLからは、アメリカでも非ノイマン型の必要性は論じられているが、開発にはまだ手がつけられていないと報告してきていた。電子政策課と電総研の間で勉強会を持った後、第五世代コンピュータ・プロジェクト（以下第五世代プロジェクト）の準備のため、より広く研究者、技術者を集めて研究会を開くことになった。

#### 調査研究委員会

1979年4月、日本情報処理開発協会（JIPDEC）において、日本自転車振興協会から機械工業振興資金の交付を受けて第五世代コンピュータ調査研究委員会（委員長：東京大学工学部教授元岡達）が発足した。委員会には、大学、公的研究機関、コンピュータメーカのほかユーザ企業からも参加し、目指すべき第五世代コンピュータの性格、技術開発の目標などについて検討を進めた。委員会の下に社会環境（80年度はシステム化技術）・アーキテクチャ・基礎理論の三つの研究分科会と、研究テーマごとのワーキンググループが設けられ、全体で100数十名にのぼる関係者が参加した。

社会環境・システム化技術研究分科会（主査：松下通信工業常務唐津一）には、ユーザ企業からも参加し、主にユーザ・ニーズの面から1990年代に求めら

れるコンピュータ像を中心に意見を交換したが、第五世代コンピュータのアーキテクチャを議論したアーキテクチャ研究分科会（主査：慶応大学工学部教授相磯秀夫）と、利用技術を中心に理論面からアプローチした基礎理論研究分科会（主査：淵）の間に、当初から意見が分かれた。

10名の委員のうちメーカ委員が半数を占めたアーキテクチャ分科会では、「現在の技術の延長上で考える技術と根本的革新が必要な技術の調査」<sup>(35)</sup>から始め、応用分野の多様性から将来のコンピュータが1種類に集約されるとは考えられないとし、1990年代に実現すべき第五世代コンピュータとして、小型・高性能のパソコン、多数のユーザが共用するデータベースや人工知能（AI）を含む専用マシン、および両者をつなぐサービスマシンの3層構造を提示した。<sup>(36)</sup>これに対して、AI分野の委員が多く電総研の若手研究者がワーキンググループを構成していた基礎理論研究分科会は、ソフトに負担がかかるノイマン型ではなく、人間のように蓄積した知識をベースに推論したり会話に使う自然言語を処理できるコンピュータを指向し、知識情報処理システムの実現を目指し、高度な記号処理つまり「推論」機構と知識ベース・マシンおよび知的インターフェイス・マシンの開発を提案した。基礎理論グループのアプローチは、AIの手法をハードとソフトの双方に適用することによって、ノイマン型コンピュータの限界を打破しようとしたものといえる。

当時アメリカで急成長を始めていたパソコンに対する評価でも、両分科会の予測は大きく分かれた。マイクロプロセッサベースのパソコンの急速な進歩を前提にした、高性能ワークステーションと大型・専用コンピュータをネットワーク接続した機能分散システムは、当時のコンピュータメーカの技術者が予測した将来像であったが、こうしたパソコンに対する評価は、基礎理論分科会には受け入れられなかった。<sup>(37)</sup>

両分科会の意見の違いは解消されず、1981年3月に作成された「調査研究報告書」でも両分科会の結論は別々のままであった。しかし同時に作成された「研究開発提案書」では、目標とする第五世代コンピュータは「問題解決等の

高度な機能に対応し得る革新的な理論と技術に基づく知識情報処理指向のコンピュータ<sup>(38)</sup>」と明示され、淵が早くから評価していた論理型言語「PROLOG（プロログ）」と逐次処理に代わる並列処理方式の採用や、推論性能100M～1 GLIPS程度という最終目標が示された<sup>(39)</sup>。当初アーキテクチャ分科会寄りであった元岡委員長が、淵の働きかけと通産省の積極さに応え基礎理論分科会の意見を入れたといわれる<sup>(40)</sup>。メーカグループの抵抗を電総研グループが押し切ったのである。

さらに通産省は、長期にわたる予算を獲得するためのアピールとより客観的な評価を受けるため、1981年10月に「第五世代コンピュータ国際会議」を開催した<sup>(41)</sup>。会議にはファイゲンバウムらAI分野の研究者を中心に、世界14カ国から約300名が参加した。ここで初めて発表された第五世代コンピュータ計画の内容は大きな反響を呼んだが、反応はさまざまで、あまりに野心的で達成が困難であるという批判や、AI分野で経験の浅い日本にこの計画を遂行するだけの人材がいるのかという疑問も提起された。しかし第五世代コンピュータ計画の海外への影響は大きく、イギリス、EC、アメリカで類似のプロジェクトが準備され、世界的なAIブームの契機にもなった。こうした雰囲気の中で、第五世代コンピュータ計画は正式のプロジェクトとして予算を獲得したのである。

### ICOTの設立

調査研究委員会が提案した計画では、研究開発目標は知識情報処理指向のコンピュータのハードとソフトの基礎技術の開発と、1000台規模の要素プロセッサ（PE）を接続した並列推論マシンおよび基礎ソフトウェアの試作・評価とされ、研究開発期間は1982年度から10年間とし、「要素技術開発」の前期（1982年度～84年度）、「サブシステム開発」の中期（85年度～88年度）、「トータルシステム開発」の後期（89年度～91年度）に分けられた。基礎研究の性格が濃いプロジェクトであるため、各期の研究開発の進捗と成果を確認しながら次の期の詳細計画を立てるという「目標探索型」の運営を目指し、十分な進捗がなければ途中で打ち切ることもあり得るプロジェクトであったと説明されている<sup>(42)</sup>。

研究開発資金について通産省は、当初、従来のように補助金方式を考えてい



たが、企業側が消極的であったため全額政府負担の委託費方式で行うことにした。<sup>(43)</sup> 調査研究段階における企業側意見の排除と不確実性の高い方針の採択が企業に資金負担を渋らせたのであるが、この企業の資金負担回避は、プロジェクトの規模を制約するとともに、研究開発過程で企業側の意見が入れられる余地をさらに小さくしたといえよう。

1982年4月、(財)新世代コンピュータ技術開発機構 (ICOT: Institute for New Computer Technology) が設立された。ICOTの会員は、一口45万円の年会費を納めICOTの研究発表会へ出席し、情報提供を受けることができる一般賛助会員と、一定数以上の会費を納め、ICOTへ研究員を出向させるとともに理事として運営にも参加する特別賛助会員の2種類とされ、特別賛助会員となったのは、ICOTの設立準備段階から参加した富士通、日立、三菱電機、日本電気、<sup>(44)</sup> 沖電気、東芝、松下電器、シャープの8社であった。このICOTが通産省から委託を受けて研究開発を実施するという体制がスタートしたのである。

実際の研究開発を行うICOT研究所が同年6月に開設された。淵は、研究所スタッフは原則35歳以下に限ることなどを条件に所長を引き受けた。発足時の研究員36名は、原則3年間の約束でメーカ各社から数名ずつが出向してきたが、ハードウェア、基礎ソフトウェア、知的インターフェイスを担当した三つの研究室の室長を初めとした研究所のリーダーは、電総研や電電公社などからの出向者で固められた。<sup>(45)</sup> 超LSIの共同研究所と違って、電総研が実際の研究開発も推進したのである。研究員のうちAI関連のプログラム作成経験者は10名に満たず、企業から来た若い研究者の中にはPROLOGを知らない者もいて、PROLOGの勉強から始めなければならなかった。<sup>(46)</sup> まさに基礎的研究からのスタートであった。

## ICOT前期

手探りの状態から始まった前期では、並列推論マシンを実現する基本方式の研究と、論理型言語を使って知識処理ソフトを研究するための専用ワークステーションの開発が最大の課題であった。アメリカで商用化されていたLISPマシ

ンの調査にサン・マイクロシステムズ社を訪問したワークステーション開発担当者は、まだその後のUNIXの隆盛は予測できなかったという。<sup>(47)</sup> ICOTでは、新しい論理型言語としてPROLOGベースの機械語KL0（核言語第0版）の仕様を固め、開発用ワークステーションとしてKL0を直接実行するノイマン型の逐次推論マシンPSIを設計した。PSIの製作は三菱電機と沖電気が請け負ったが、特に三菱電機は意欲的で、優秀なスタッフを揃えて開発に当たり、1983年12月に完成した。<sup>(48)</sup> 同社では、PSI開発に積極的になったのはICOTでPSI上でのアプリケーション開発が活発になったことから、PSI自体が戦略的に重要になると予測したためであるとしているが、ちょうど同じ年にアメリカで摘発されたIBM産業スパイ事件を機に、IBM互換機戦略の見直しが迫られていたことも一因であったと伝えられた。<sup>(49)</sup> またPSI用のOSの開発については、KL0をベースにソフトウェアの生産性向上に適したオブジェクト指向の論理型言語ESPを開発し、ESPで記述してSIMPOSを開発した。SIMPOSの開発には、ICOT、三菱電機、沖電気、日本電気および各社の外注先が参加した。その後、三菱電機ではPSIとSIMPOSを製品化し、86年に「MELCOMPSSI」として発売したが、販売先はほとんど第五世代プロジェクト関連であった。<sup>(50)</sup>

前期の並列推論マシンの研究は、その「手がかりをつかむことすら容易ではない」状況であった。<sup>(51)</sup> 基本的な問題は、ノイマン型の限界を突破する並列推論マシンの具体的な方式を見つけることであった。当時、一般にメモリとCPUの間を命令とデータが往き来することによるコンピュータ性能向上の隘路をノイマン型の主要な欠陥と見なし、それを解消する「非ノイマン型」として、データフローモデルとリダクションモデルが提唱されていた。ICOTでは3種類の異なる方式を試作することとし、沖電気がデータフローモデル、日立がリダクションモデルを担当したのに対して、富士通は、PROLOGの並列処理におけるプロセッサ間の負荷分散方式として独自の「株分け」方式の研究に取り組んだ。すでにLISPマシンの開発に着手していた富士通では、これにPROLOG用プロセッサを追加することを目指していたのである。<sup>(52)</sup> このほか前期には、知識ベース・

マシン研究の一環として、関係データベース・マシンDeltaや関係データベース管理ソフトKaiserのほか、証明支援システムや自然言語処理のための電子化辞書の実験版、談話理解実験システム、論理回路設計支援と配線支援のCAD実験システムなどの応用システム等も試作している。

しかしこうしたなかで、早くもICOTとメーカ各社の間にプロジェクトの進め方をめぐって不協和音が生じていた。1983年7月、第五世代コンピュータの開発について日英協力が決まったことにコンピュータ業界から不満の声が高まった。<sup>(53)</sup> 業界側は、プロジェクトの開始当初からICOTの「理論重視」の開発姿勢に批判的であったが、基礎研究段階から開発目標を絞り、外部の意見に耳を貸さないICOTのやり方に不満を強めた。そして業界は、最も期待したアメリカの参加が得られないのもICOTの「偏狭な理論重視」に起因していると指摘するなど、ICOTとメーカ各社の溝は広がっていた。

#### ICOT中期

中期に入ると、いよいよ並列処理システムの開発に着手した。ICOTでは、基礎ソフトウェアを2研究室に分け推論サブシステムの研究室を新設して5研究室とし、前期末で49名だった研究員も年々増やして中期末の91名にまで増強した。中期の目標は、並列論理型のKL1（核言語第1版）、KL1仕様による並列推論マシン、それを動かす並列型OSのPIMOSの開発であったが、当初はハードもソフトも研究が進まず、それが相互に前進の障害になるという状況に苦しんだ。<sup>(54)</sup> そこでまずKL1やPIMOSなどソフトの研究を進めるために、本格的な並列推論マシンとは別に逐次型のPSIを複数台接続して並列環境を実現することにした。マルチPSIの開発がそれで、まず前期に開発したPSIを16台結合したマルチPSI-Iを開発し、KL1の初期開発に使用した。ついでPSIをLSI化して小型・高速化したPSI-IIを作り、これをPEとして64台結合したマルチPSI-IIを開発、量産して研究員全員が専用開発マシンとして使用できる環境を実現した。マルチPSI-IIの開発、製造に際しても、三菱電機が積極的に協力し、<sup>(55)</sup> 沖電気とともに約300台を製造した。

ソフトウェアの基礎でありマシン・アーキテクチャの出発点にもなるKL1の仕様決定に際しては、論理型言語に並列制御機能をいかに組み込むかが問題であった。PROLOGをそのまま並列処理用言語とするには無理があったため、前期に海外の研究者からの提案も含めて検討を重ね、GHCと呼ぶ新しい言語仕様を採用することとし、このGHCを基本仕様としてKL1を開発した。そしてSIMPOSの経験等を生かしながら中期の4年間をかけてようやく、マルチPSI-II上で動く世界初の並列OSであるPOMOS第1版を開発した。

中期最大の難問は、最終的に1000PE規模を目指した並列推論マシンPIMを設計し、メーカからその試作協力を取りつけることであった。中期スタート時に、中期末までに100PE規模の中期PIMを開発し、後期PIM向けに1000PE規模のマシンモデルとアーキテクチャを提案するという方針が立てられたが、実現の技術的見通しが明確でなかったため、メーカの協力を取りつけることに難渋した。<sup>(56)</sup>1988年にマルチPSI-IIが、単体PEの性能で130KLIPS、最大構成64PEを実現したため、中期PIMの計画は放棄され、同時に後期PIMの開発を富士通、日立、沖に三菱、東芝を加えた5社が担当する方針が固まった。なお中期には、知識ベース管理ソフトKappa、自然言語研究のための談話理解システムDUALS、汎用日本語処理ツールLTBを開発したほか、論理設計CAD、故障診断、囲碁対局システム等、各種の応用システムも多数試作した。

この時期メーカがPIMの開発に逡巡した背景には、実現の技術的難しさとともに、コンピュータ市場で進行していた新しい変化があった。ダウンサイジングの基調の中で、RISCプロセッサによる高い価格性能比とUNIXベースのオープン性を武器にしたワークステーションが登場し、汎用コンピュータを追いつめていた。AIの分野でも、そうしたワークステーション上でエキスパートシステムが実現するなど、ノイマン型技術にも将来の改良の余地が広がっていた。こうした状況は、第五世代プロジェクトのスタート時の予測に、現実の進行が修正を迫る兆候に見えたのである。

ICOT後期

後期の大きな課題は二つあった。プロジェクトの最終目標とされてきた1000 PE規模の並列推論マシンPIMを完成することと、各種の応用プログラムを開発して第五世代コンピュータの有効性を立証することであり、それに必要なPIMOSの改良とKL1の利用者拡大も必要であった。ICOTでは研究室をさらに増設し、ハードウェアに1研究室、基本ソフトに2研究室をあて、制約論理プログラミング、定理証明、自然言語処理、並列応用システムと知識利用ソフトに4研究室をあてた。しかし研究員数は、当初予定の3年間は中期末とほぼ同じ90名前後にとどまった。PIMの開発、試作ではメーカーが中心的な役割を果たし、ICOTの主力は、PIM用KL1と応用ソフトの開発に集中したのである。

PIMの最大モデルのPIM/p (512PE) は富士通、PIM/c (256PE) は日立、PIM/m (256PE) は三菱電機、PIM/i (16PE) は沖電気、PIM/k (16PE) は東芝が担当した。このうちPIM/mを除く4つのモデルには、ICOTで設計、製作したPIM用KL1をそれぞれ修正して移植したが、PIM/mだけはマルチPSI-IIを継承し互換性を保った。五つのモデルは、PEの数が違っていただけでなく、PEを結合するネットワークアーキテクチャも異なっており、「どのアーキテクチャがどんなアプリケーションに向くかを調べる」という、実験的レベルの段階にあったのである<sup>(57)</sup>。しかもPIMの製作は、さまざまな理由で遅れた。メーカーの説得に手間取り、設計に着手したのが後期に入ってからであったし、使用するPE用のチップの開発も難航した<sup>(58)</sup>。さらにメーカー各社も、「本業の忙しさのため」PIMの早期完成に熱心にならなかったともいわれる<sup>(59)</sup>。しかし1980年代半ばに燃え上がったAIブームが急速に下火になったこともメーカーの熱意を冷ました。ブームの中で発売されたAI専用機は、RISC型の汎用ワークステーションとの価格性能比競争に敗退し、またAIに対する期待と現実の技術のギャップも大きく、AI市場の伸びがそれほど見込めなくなったため、80年代末になるとAIブームが急速に鎮静した<sup>(60)</sup>。結局、後期の研究開発期間は1年延長され、512PEのPIM/pが完成したのは、92年6月の第4回第五世代コンピュータ国際会議でICOTの最終成果を発表した後であった<sup>(61)</sup>。

ソフトウェアの分野ではさまざまな成果が生まれた。知識ベース管理ソフトの並列版Kappa-Pや知識表現言語Quixoteが開発され、AI応用分野では、事例ベース推論とルールベース推論による法的推論システム、タンパク質やDNAの配列解析を並列化した遺伝子情報処理システム、淵所長自らコーディングに参加した高速定理証明システム、知識処理と並列処理で多くの教訓を得た囲碁対局システム等、広い分野で並列推論の実用性を立証した<sup>(62)</sup>。しかしICOTが開発したソフトはPIMかPSIの上でしか動かず、急速に性能を高めて使用者を増やしていたUNIXマシンで使用してみることができなかった。しかもプロジェクト終了時になっても、PIMの製品化を予定するメーカーが出なかった<sup>(63)</sup>。成果普及のための努力も、ICOTの肩にかかっていたのである。

通産省は、1994年度から2年間ICOTを存続させ、「第五世代コンピュータ研究基盤化プロジェクト」として第五世代プロジェクトの成果普及の努力を続けた。ICOTでは、研究組織を縮小しながら、KL1とPIMOS環境をUNIXマシン上に作り、知識処理ツールや応用システムを改良してUNIXマシン上に移植する一方、PIMを大学、研究機関に移転して研究、教育に供した<sup>(64)</sup>。その間ICOTは、KL1で書かれたプログラムをUNIXで普及しているC言語に変換するKLICを開発し、無料ソフトとしてインターネット上に公開した。論理型言語を使った並列推論という非ノイマン型のコンピュータを現実の世界に広げるために、汎用ワークステーションというノイマン型世界に戻らなければならなかったのである。

こうして、10年間の予定でスタートしたICOTは、3年間で延長してその幕を閉じた<sup>(65)</sup>。この間の予算と研究員の推移は、表-4の通りであった。3期11年間に投ぜられた資金541億円は、超LSIの4年間の736億円と比較すると、1年平均で1/4強にすぎず、研究者数延べ767人も、年平均70人であるから、超LSIの3研究所合計の2791名年平均698人の1/10、共同研究所だけの362人年平均90人をも下回った。

表－４ 第五世代プロジェクトの予算と  
ICOT研究員の推移（百万円，人）

	予算	ICOT 研究員		予算	ICOT 研究員
1982	426	41	1989	6,483	96
1983	2,723	41	1990	6,943	92
1984	5,124	49	1991	7,164	86
前期計	8,272		1992	3,592	48
1985	4,779	64	後期計	24,182	
1986	5,491	76	3 期計	54,085	
1987	5,631	83	1993	1,388	41
1988	5,729	91	1994	1,408	40
中期計	21,631		後継計	2,796	
			合 計	56,881	

出典：中村，渋谷『日本の技術政策』p.18，ICOT『第五  
世代コンピュータ研究開発の終わりにあたって』付表

## 成果と評価

第五世代プロジェクトの成果に対して，早い時期から批判的な評価が現れた。コンピュータ業界では，1991年時点で，中核であった推論マシンが近い将来に製品化の見込みがほとんどないことなどを理由に，期待外れであったという評価が広がった。<sup>(66)</sup> 第４回第五世代コンピュータ国際会議が開かれた92年6月には，海外のマスコミも商業的に価値のある成果が極めて少ないことを理由にプロジェクトは失敗であったと決めつけた。<sup>(67)</sup>

業界と学界を中心に組織された通産省の電子計算機基礎技術開発推進委員会は，「社会的・政策的」および「学術的・技術的」の二つの面から評価を進め，92年6月に「中間報告」，93年3月に「最終報告」をまとめた。「最終報告」は，PIM/p（512PE）は最大性能156MLIPSという，汎用大型機の約100倍に相当する世界最高速の推論速度を達成し，PIMOSの並列処理向きの開発ツールを利用した応用システムの開発は，従来技術による並列ソフトの開発の10分の1以下

の工数で済み、ソフトウェア開発における高い生産性を実証したとしている。<sup>(68)</sup>  
 知識情報処理技術でも、問題を記述するだけでプログラミングを必要としない  
 制約論理型言語、法的推論や遺伝子情報処理で有効性が確認された知識表現言  
 語、未解決であった群論に関する問題の一部の証明に成功した並列自動定理証  
 明システム等を通じて、並列論理型パラダイムに基づく知識情報処理の実用性  
 が実証できたと評価した。このほか、AI分野の研究における国際的交流や研  
 究者育成という社会的な貢献が強調されたのも、第五世代プロジェクトの特徴  
 であった。<sup>(69)</sup>

ICOTが当初の方針に固執しすぎたという批判も聞かれた。<sup>(70)</sup> ICOTでは、機械  
 翻訳やパターン認識、知識ベースマシンなど、計画の進行に伴って研究を縮小  
 したり、外部に移管したりしたものもあったが、並列推論システムのハードと  
 ソフトをセットで開発するという当初の方針は一貫して堅持された。しかし、  
 そうした「原理原則に固執」したからこそ、「並列処理を前提とした並列論理  
 型パラダイムに基づく一貫した技術体系」の下で初めて可能になる成果をもた  
 らしたといえる。<sup>(71)</sup> 一方、第五世代技術が認められて広がるにはもっと時間が必要  
 であるという主張もあった。<sup>(72)</sup> 従来のコンピュータ技術から並列推論というまっ  
 たく新しい技術体系への転換が一気に進むとは、誰にも思えない。しかし第五  
 世代コンピュータが実現を目指した1990年代ももうすぐ終わりを迎えている今  
 日でも、市場にはPIM以外の並列推論コンピュータが現れていない。

第五世代コンピュータにとって最大の不運は、プロジェクトの進行を追い越  
 すようにコンピュータ市場におけるダウンサイジングが急速に進んだことであ  
 る。1980年代後半にアメリカで始まったダウンサイジングは、90年代に入ると  
 日本でも激しい勢いで進んだ。激しい世界的な競争の中で、パソコンの価格  
 が大幅に低下し、性能と使いやすさは飛躍的に向上したが、さらにインターネッ  
 トに代表されるネットワークのエンド・ユーザへの浸透にも加速され、パソコ  
 ンは爆発的に普及し、汎用機の地位は急低下した。<sup>(73)</sup>

コンピュータの用途が一気に多様化し、AI的手法に集約しなかった。懸念



された「ソフトウェア危機」についても、パソコン・ソフトの大量供給という市場的な解決が時間をかせいでいる。全般にユーザの価格指向が強まり、分散処理のクライアントサーバ・システムのサーバをめぐってワークステーションの挑戦を受けている汎用機でも、価格競争力を強化するためCMOSマイクロプロセッサの並列処理を採用している<sup>(74)</sup>。第五世代コンピュータが目指した方向の一つである並列処理が現実の市場でも始まっているが、その場合も、アプリケーションによって並列処理に向き不向きがあり、過去のソフト資産の継承は依然として求められている<sup>(75)</sup>。市場競争の全般的な激化を背景としたコンピュータのダウンサイジングは、過去のソフトウェア資産との継続性とシステムとしての価格性能比に対する市場要求をさらに強め、しかも技術的解決の方向を多様な方向に分散させた。こうしたことが、もともと大きくなかった並列推論型汎用機の市場機会を、決定的に奪うことになったように見える。

#### 4. まとめ

超LSIと第五世代コンピュータの二つの技術政策を再検証してみて、以下の2点を指摘することができる。まず第1は、技術的フロンランナーとしての技術政策における最大の困難は、当然のこととはいえ目標の設定である。既存の技術を目標としたキャッチアップ政策とは違って、ここで取り上げた二つのプロジェクトは、将来の産業技術の状況を予想して目標を設定しなければならなかった。産業技術に限らず、将来への予測がはずれる可能性はどんな場合も排除できない。技術開発の目標が技術体系の基礎的部分にかかわるものであったり、既存の技術体系から飛躍しようとする画期的なものであれば、なおさらそうした不確実性は高くなる。そうした一般的な困難に加えて、産業技術の場合は、技術を利用するメーカやユーザの既存技術への sunk cost と、市場競争の質的变化に伴うユーザニーズの変化が、新技術の登場機会に影響する。限界を予想された既存技術の予測を超えた延命にも、そうした市場条件が関連し

ているように思われる。超LSIの露光技術における光技術やノイマン型コンピュータ技術の延命,あるいは「科学技術用高速計算システム(スーパーコンピュータ)プロジェクト」(1981~89年度)で予想されたシリコン素子の限界の延長も同様な文脈で理解できるのではないか。<sup>(76)</sup>

第2に、産業技術の開発である以上、市場の要求あるいは市場による解決と同じことだが市場の動向一から離れて有効性を保つことは難しい。市場で日々、競争に直面している企業による市場動向のモニタリングは、産業政策としての技術政策には必須の要件であった。超LSIプロジェクトの産業技術の分野への貢献も、共同研究所よりむしろ参加した半導体メーカーと半導体製造装置メーカーによる開発成果の方が大きかったと思われる。第五世代プロジェクトが産業技術の分野に寄与する成果が著しく少なかったのも、既存技術と訣別するため企業によるモニタリングを研究開発の攪乱要因として切り捨てたプロジェクト運営からすればやむを得ない結果であった。企業が市場モニタリングに必死になるのは、企業がプロジェクトにそれだけの資金参加をしている場合であろうし、企業のモニタリングが有効に働くには、研究開発の目標が市場と一定の距離内にある場合であろう。企業と密着し国内産業の競争力強化を目指す技術政策が次第に許されなくなっていた国際的環境も考慮すると、産業政策としての技術政策に、目標の設定やその有効性を担保することがきわめて難しくなっていたといわなければならない。本稿で取り上げた二つの技術政策が進められた1970年代後半から80年代という時期は、そうした歴史的な転換点であった。

## 注

- (1) 超LSIプロジェクトの成功を高く評価しているものとして、大内淳義・堤佳辰・片岡照栄・若曾根和之「世界に競うIC産業」(通産省「通産ジャーナル」1982年2月), 榊原清則「共同研究開発の組織とマネジメント」(今井賢一編著『イノベーションと組織』東洋経済新報社1986年), Martin Fransman, *The Market and Beyond*, 1990, 相田洋『電子立国日本の自叙伝・完結編』日本放送出版協会1992年などがある。

る。

- (2) 第五世代プロジェクトに対する批判的な評価は、日経AI「第五世代コンピュータ計画の総決算」(『日経AI別冊』1991年夏)やScott Callon, *Divided Sun*, 1995などに見られ、肯定的な評価は、電子計算機基礎技術開発推進委員会「第五世代コンピュータ・プロジェクト中間報告」1992年、「同最終報告」1993年、Martin Fransman, *The Market and Beyond*, 中村吉明・渋谷稔「日本の技術政策－第五世代コンピュータの研究開発を通じて」(通商産業研究所「研究シリーズ26」1995年)などに見られる。
- (3) 1973年秋に電電公社の電気通信研究所のスタッフが池田の情報を入手し、同研究所の豊田博夫集積回路研究部長、高原靖データ通信研究部長と池田の3名が、IBMのFS計画と1メガビットLSI開発の情報を記した「怪文書」を関係方面に配布したという(中川靖造『NTT技術人脈』東洋経済新報社1990年, pp.139-140)。
- (4) 中川靖造前掲『NTT技術人脈』p.143
- (5) 田中昭二「『超LSI』前史」(超エル・エス・アイ技術研究組合『超エル・エス・アイ技術研究組合15年の歩み』1990年: 以下『超LSI研究組合15年の歩み』pp.6-9)
- (6) 当時の通産省機械情報産業局電子政策課長佐藤和宏、同電子機器課長鈴木健の証言(『超LSI研究組合15年の歩み』pp.10-12)
- (7) 根橋正人「超LSI研の軌跡」(同上p.81)
- (8) 共同研究所に東芝から出向した武石喜幸の証言(日本半導体製造装置協会編『半導体立国日本』日刊工業新聞社1991年 p.139)および岡部武尚「超エルプロジェクトの回顧」(『超LSI研究組合15年の歩み』p.14)
- (9) 垂井康夫『ICの話』日本放送出版協会1984年 p.144
- (10) 根橋正人によると、3研究所間のテーマの分担とそれに伴う研究費の配分については大変もめ、初年度の研究費配分問題では「お前は口を出すな」とまでいわれたという。(根橋正人前掲「超LSI研の軌跡」p.82)。
- (11) 日本電気の半導体事業を統括していた大内淳義は「もし超LSIが各半導体メーカーがもっている光技術の延長線だけにあったら、進んでいるところは最新鋭の技術を隠そうとしただろうし、まだ遅れているところはとろうとばかりして、疑心暗鬼でうまくいかなかったでしょう」と回顧している(「通産ジャーナル」1982年2月 p.24)。
- (12) 前掲『超LSI研究組合15年の歩み』p.40
- (13) 今井賢一「先端技術分野における産業政策」(宮崎勇・碓井彊編著『先端技術と日本経済』日本評論社1985年 p.130)
- (14) 根橋正人「超LSI開発－競合5社による共同プロジェクトの4年間」(『マネジメント』1980年11月号 p.59)
- (15) 榊原清則前掲「共同研究開発の組織とマネジメント」p.301
- (16) Martin Fransman, *The Market and Beyond*, p.66
- (17) 結晶技術担当の研究室の研究者の出身企業は、A社が2名、B社が4名、C社が2

名、D社が5名、E社が4名であったのに対して、微細加工技術担当のある研究室の場合は、A社が8名、C社が2名、D社が2名という構成であったという。(垂井康夫前掲『ICの話』p.147)。

- (18) 根橋正人前掲「超LSIの軌跡」p.83
- (19) 根橋正人前掲「超LSIの軌跡」pp.86-87
- (20) 前掲『超LSI研究組合15年の歩み』pp.65-66
- (21) 1997年段階で、i線(波長356nm)を使用した紫外線露光技術は、位相シフトと呼ばれる技術を併用することで64メガDRAMの初期量産にまで対応している(日本電子機械工業会『ICガイドブック』1997年 p.38)。
- (22) 前掲『超LSI研究組合15年の歩み』pp.44-45
- (23) 日本電子機械工業会前掲『ICガイドブック』p.136
- (24) 「朝日新聞」1977年4月7日
- (25) 佐久間昭光, 米山茂美「イノベーションと産業形成—日本の半導体製造装置産業の形成と発展」(一橋大学産業経営研究所『ビジネス・レビュー』1991年12月p.10)
- (26) 前掲『半導体立国日本』pp.132, 135
- (27) 相田洋前掲『電子立国日本の自叙伝・完結編』pp.359-360
- (28) 『日経コンピュータ』1990年10月15日 pp.56-57
- (29) 「日本経済新聞」1980年1月1日
- (30) アメリカの「フォーチュン」誌は1978年2月27日号に「シリコンバレーの日本人スパイ」という記事を掲載し、日本企業がアメリカの半導体技術を買いたちっていると非難した。(志村幸雄『IC産業大戦争』ダイヤモンド社1979年 pp.151-152)
- (31) 日本電子計算機株式会社『JECCコンピュータ・ノート』1980年版 p.170
- (32) OECDの1985年の調査によると、ユーザのソフトウェア支出におけるパッケージ・ソフトと個別ソフトの比率は、アメリカの1対0.31に対して、日本では1対9.95であった。(Martin Fransman, *Japan's Computer and Communications Industry*, 1995年 p.185)
- (33) 上前淳一郎『ジャパニーズ・ドリーム—未知の森へ 第五世代コンピュータ』講談社1985年 pp.14-33。後に中野は「それまでの世代はIBMのコンピュータが決めてきた。しかし第五世代は日本が決めるようにしたかった」と証言しているように、通産省側の発想時点では、国内産業の競争力強化という産業政策のスタンスが明確であった(前掲『日経AI別冊』p.36)。
- (34) 上前淳一郎前掲『ジャパニーズ・ドリーム』pp.53-55
- (35) 第五世代コンピュータ調査研究委員会『第5世代コンピュータの調査研究報告書』1981年(以下『第5世代調査研究報告書』) pp.7-8
- (36) 『第5世代調査研究報告書』pp.73-74
- (37) 当時、東京大学理学部情報科学科助手としてアーキテクチャ分科会に参加していた坂村健の証言(Scott Callon, *Divided Sun* p.26)。

- (38) 第五世代コンピュータ調査研究委員会『第5世代コンピュータの研究開発提案書』1981年（以下『第5世代研究開発提案書』）p.29
- (39) 『第5世代研究開発提案書』pp.45-46。PROLOG (Programming in Logic) は、1975年にフランスのマルセイユ大学で知識情報処理を目的に開発された述語型論理記述言語であるが、淵は74年にPROLOGの知識を入手しており、しばらく後に電総研内にその研究会を組織した (M. Fransman, *The Market and Beyond* p.198)。なおLIPSは三段論法による推論操作を1秒間に1回実行する性能を示す単位で、ノイマン型のコンピュータでは、1回の推論に100~1000ステップを要する推定して、当時の汎用コンピュータの性能は10K~100KLIPS程度であると説明されていた (『第5世代研究開発提案書』p.43)。
- (40) 元岡の決断を促す最後の引金になったのは、1980年当時の電子政策課長岡松壮三郎の「どっちにしても、賭です」という言葉であったという (上前淳一郎前掲『ジャパニーズ・ドリーム』pp.136-137)。
- (41) 電子政策課長岡松は、内心ではこのプロジェクトに資金を投入する価値があるかどうか不安であったため、プロジェクトを客観的に評価する目的で国際会議を開催したという (中村吉明・渋谷稔前掲「日本の技術政策」p.11)。
- (42) 瀧和男編「第五世代コンピュータの並列処理」(共立出版『bit別冊』1993年7月：以下「第五世代の並列処理」) pp. 6-7
- (43) 中村吉明・渋谷稔前掲「日本の技術政策」p.68。F. ファイゲンバウム・P. マコーダック『第五世代コンピュータ 日本の挑戦』TBSブリタニカ1983年 pp.179, 181
- (44) 特別賛助会員の会費は、1社当たり数千万円程度であったと言われている (中村吉明・渋谷稔前掲「日本の技術政策」p.68-69)。
- (45) 電総研で淵のPROLOG勉強会に傘下していたメンバーがICOT「設立の同志」になった (松田正敏「組織的研究開発のメカニズム—第五世代コンピュータの研究開発をめぐる—」野中郁次郎、永田晃也編著『日本型イノベーション・システム』白桃書房1995年 p.362)。
- (46) 新世代コンピュータ技術開発機構『第五世代コンピュータプロジェクトの概要』1992年（以下『第五世代概要』）p.4, 瀧編前掲「第五世代の並列処理」p.18, 前掲『日経AI別冊』p.38
- (47) 瀧編前掲「第五世代の並列処理」p.18
- (48) PSIの推論性能は30KLIPSであった (新世代コンピュータ技術開発機構『ICOTジャーナル』1987年12月 p.30)。
- (49) 前掲『日経AI別冊』p.38, 瀧編前掲「第五世代の並列処理」p.21
- (50) 前掲『日経AI別冊』p.38
- (51) 瀧編前掲「第五世代の並列処理」p.25
- (52) M. Fansman, *The Market and Beyond* p.220
- (53) 「日経産業新聞」1983年7月28日

- (54) 瀧編前掲「第五世代の並列処理」 p.29
- (55) 瀧編前掲「第五世代の並列処理」 p.31
- (56) 淵を初めとしたICOTの幹部がメーカ首脳陣への説得に努めたが、「富士通が最大構成のPIMの試作を決断するまでにおよそ2年を要した」という。(瀧編前掲「第五世代の並列処理」 p.37)
- (57) 前掲『日経AI別冊』 p.26。PIM/pは、PE8台ごとにクラスタという単位にまとめ、個々のクラスタが並列処理に不可欠な負荷分散を自動的に行う機能を持つ。これに対してPIM/mは、PEを16×16の碁盤の目構造に配置しており、プログラマーが意識して負荷分散しなければならないが、構造が単純なのでソフトを簡単に書いてマシンに乗せて実験することが容易であるという(内田俊一「第五世代コンピュータ11年の成果と今後の課題」(1993年6月) - ICOT『第五世代コンピュータ研究開発の終わりにあたって』1995年 - 以下『第五世代の終わりに』 p.147)。
- (58) 中村吉明・渋谷稔前掲「日本の技術政策」 p.69
- (59) 前掲『日経AI別冊』 p.29
- (60) 前掲『日経AI別冊』 p.27, 『電子工業年鑑』1989年版 p.253
- (61) 瀧編前掲「第五世代の並列処理」 p.50
- (62) 瀧編前掲「第五世代の並列処理」 pp.44-47, 内田俊一「第五世代コンピュータ11年の成果と今後の課題」(『第五世代の終わりに』 pp.150-153)。
- (63) 前掲『日経AI別冊』 p.26
- (64) 内田俊一「総合報告第五世代コンピュータの研究基盤化プロジェクト」(1994年12月)(『第五世代の終わりに』 p.172), 「日経産業新聞」1995年1月5日
- (65) ICOTは1995年6月末をもって解散したが、ICOTで生まれたソフトウェアの育成・普及事業は、同年10月に日本情報処理開発協会に設置された先端情報技術研究所(AITEC)に引き継がれた。そしてAITECも3年半の活動の後、99年3月をもって解散することになった('JIPDEC AITEC News' 1996年4月4日, 99年3月10日)
- (66) 前掲『日経AI別冊』 p.21
- (67) 'Herald Tribune' 1992年6月2日, 'New York Times' 1992年6月5日(中村吉明・渋谷稔前掲「日本の技術政策」 p.8)
- (68) 電子計算機基礎技術開発推進委員会「第五世代コンピュータ・プロジェクト最終報告書」1993年3月(以下「第五世代最終報告」) pp.4, 7
- (69) 中村吉明・渋谷稔前掲「日本の技術政策」は、第五世代コンピュータ・プロジェクトの国際的貢献と人材育成の両面における成果を強調している。
- (70) 「日経産業新聞」1992年6月8日, Scott Callon, *Divided Sun* p.177
- (71) 「第五世代最終報告」 p.6。松田正敏も、ICOTが「知識情報処理と高度並列処理技術を結びつけて、推論を行うコンピュータを開発する」という「明快なビジョン」を掲げたことが、ICOTにおける研究マネジメントにきわめて重要であったと指摘している(前掲「組織的研究開発のメカニズム」 p.359)。

- (72) 前掲『日経AI別冊』p.77の淵の発言など
- (73) 生産額を比較すると、パソコンは1990年の9069億円から96年の2兆876億円の激増したのに対して、汎用コンピュータは91年の1兆4568億円をピークに減少に向い、95年に5145億円と1/3近くまで縮小した（通産省「生産動態統計」）。
- (74) 汎用機市場へのCMOS並列機の導入は、世界的に1995年頃から進んでいるが、従来のバイポーラ機と比較すると価格性能比は3倍に向上したという（『日経コンピュータ』1996年2月19日 p.106）。
- (75) 山崎秀夫「並列メインフレーム 適性と限界を見極める」（『日経コンピュータ』1995年8月21日 pp.140-145）
- (76) 「科学技術用高速計算システムプロジェクト」では、シリコン素子の高速化に限界を予想し、それに代替する新しい素子として、ジョセフソン接合（JJ）素子、ガリウムヒ素（GaAs）素子、高電子移動度トランジスタ（HEMT）素子の開発に取り組んだが、シリコン素子の高速化改良が予想を上回って進むと同時に、スーパーコンピュータでも価格性能比に優れたCMOS型シリコン素子に転換したため、これらの新しい素子は現在でもコンピュータ素子としてシリコンに代替するには至っていない。

#### 付記

本稿の作成に関して、通産省通商産業研究所における「1980年代の情報産業・情報化政策の研究」を通じて、同研究所の広瀬貞夫、須藤圭子の両氏には、資料、文献の提供などたいへんお世話になった。また日本情報処理開発協会・先端情報技術研究所の金田喜代史氏からも、第五世代コンピュータ関連の資料を提供いただいた。改めて厚く御礼を申し上げたい。

（なかむら きよし 本学教授）