

ソフトウェア開発事業の重点分野に関する調査

調査報告書

平成 14 年 3 月

本報告書は、情報処理振興事業協会 (IPA) からの調査委託により、
(財) 日本情報処理開発協会 先端情報技術研究所が実施したものです。

All Rights Reserved, Copyright CIPA 2002

調査実施機関 (財) 日本情報処理開発協会 先端情報技術研究所

目次

1 . 概要	1
2 . 調査方針	4
3 . 米国の IT 研究開発と産業強化政策に見る戦略と重点分野	7
3 . 1 IT 産業の競争力強化戦略	7
3 . 2 プロパテント政策とその実施の仕組み	8
3 . 3 研究開発投資における国の役割と重点分野	13
3 . 4 米国の重点分野の選択戦略とその特徴	20
4 . NITRD 計画に見る米国の IT 技術開発戦略	32
4 . 1 IT 技術の新しい分類	32
4 . 2 NITRD 計画とその主要プロジェクト	33
4 . 3 主要プロジェクトの分類から見る重点分野とその狙い	50
5 . IT 分野と他分野の融合領域で生まれる技術を核とする重点分野	55
5 . 1 総合科学技術会議の選択した重点分野と重点領域	55
5 . 2 主要重点分野における共通的重要 IT 技術	58
5 . 3 融合領域で生まれる新 IT 技術と重点分野	68
6 . 重点分野の選択方針についての提言	70
6 . 1 IT 中核技術分野	70
6 . 2 融合領域における重点分野	73
6 . 3 重点分野における効率的なソフトウェア開発環境	74

1. 概要

米国に始まった IT 革命は、単に情報技術の普及・拡大に留まらず、産業構造から行政サービスなど我々の日常生活に至る領域まで、多方面に渡る変革を巻き起こしている。そして、IT 革命による変革は、今後ますます、その範囲や深度を拡大すると予測されている。

我が国においては、IT 革命の基盤であるインターネットの普及が遅れ、それに伴って、IT 関連産業発展や既存産業の IT 化などが、米欧やアジアの情報先進国に比べ遅れをとっている。このような遅れの原因として、我が国の研究開発支援の技術分野や仕組みが適切でなかったこと、インフラ投資などが不十分であったことなどが指摘されている。その一方で、IT 革命は、さらに広範な分野へと拡大を続けており、今後、この遅れを取り戻すためにも、国の機関による IT 技術開発、特に、その中心となるソフトウェア開発の支援において、重点分野を絞り込んで、投資効率を向上させることが要望されている。

本調査は、このような要望に資することを目的とし、我が国が、今後重点的に資金や人材を投入すべき分野、すなわち、ソフトウェア開発支援における重点分野の候補を選択し、その絞込みの戦略を提言することを目指した。

本調査では、先ず、IT 革命の先頭を行く米国の IT 分野やその応用分野への研究開発投資と、それと併行して実施されてきた産業の競争力強化戦略や政策を調査した。その結果、米国が 1970 年代後半から採ったプロパテント政策と長期的・基礎的研究開発投資が、IT 中核技術分野の技術シーズ開発とその実用化に貢献し、その特許化などの知的財産権 (IPR) 確保とともに、IT 産業の育成に大きな効果があったことが分かった。その効果は、1990 年代に目に見える形で世に現われ、米国 IT 産業を世界一に押し上げることとなった。

その後も、米国は、国の役割としての長期的・基礎的な研究開発投資を継続し、IT の中核分野に対して万遍なく投資を行っている。その中心的な研究開発計画は、NITRD (元の HPCC) 計画である。本調査では、プラットフォーム分野、コンテンツ分野、インタフェース分野、ソフトウェア製造分野について、その開発技術を詳細に調査した。

米国は、現在の IT 市場で優位を保っているマイクロプロセッサ分野や、その延長上において数年先には本格的実用化がなされると予想される超分散システム (例: グリッドコンピューティング、ユビキタスコンピューティング) 超並列システム (例: PC クラスタシステム、ACSI 計画) などのコンピュータ本体分野でのハードウェア/ソフトウェア全般に巨額の投資を行っており、将来においても競争優位の確保を意図している。同様に、ネットワークの高速化や高信頼化にも力を入れている。

また、コンテンツ分野では電子図書館計画や電子政府計画に力を入れており、これらの計画の中で、コンテンツ記述言語やそれを蓄積するデータベースや知識ベースの管理技術、ネットワーク中に分散しているデータベースの情報管理技術、マルチメディアデータの提示技術などについて、重点分野として研究投資を行っている。インタフェース分野では、対話型インタフェースのほか、アジア圏重視の現われか、多国語間の翻訳が取り上げられている。

その他、注目すべき分野としては、昨年度より、PITAC（ITに関する大統領諮問委員会）の勧告に従い、複雑なソフトウェアの生産性・信頼性向上を目指すSDP（Software Design and Development）という分野が加えられ、初年度に400億円が投じられた。米国は、超分散や超並列システムなどのための基本ソフトウェアや自律型ソフトウェアなど並列や分散ソフトウェアの開発や、そのための新しいソフトウェア工学の確立、ソフトウェア開発ツールや開発環境に力を入れている。このような基盤的技術は将来のソフトウェア産業全般に影響を及ぼすほか、人材育成を促進させると思われ、我が国がとかく見過ごしがちな面である。

以上、ITの中核的技術分野については、上記のような分野を候補として、我が国が選択すべき重点分野の候補とした。このようなITの中核的技術分野は、中長期レンジでは、SI事業など我が国企業が中心としている事業へも影響を与えることから重要である。

近年、ITは、IT以外の分野へ急速に浸透し、他分野との融合領域を形成している。このような融合領域に形成される新分野は、これから技術や市場が開拓される分野であり、IT革命で遅れをとった我が国としても、その分野のリーダーとなり得る可能性があり、重点分野の候補として重要な分野である。

どのような分野とIT分野との融合を考えるかに関しては、我が国の内閣府に設置された総合科学技術会議の選択した重点8分野があり、この中から、新しいソフトウェア技術と関連の深い、次の4分野を選び、そこで求められるITの技術分野は何かを分析した。

- (1) ライフサイエンス（ゲノム情報やその産業的応用に注目）
- (2) 環境（社会基盤の一部を含む）
- (3) ナノテクノロジー・材料（マイクロマシン、微細加工技術を含む）
- (4) 製造（将来に向けた高度なものから、現在の現場の抱える問題までを含む）

これらの分野におけるIT利用目的は、大括りに見るとその基本部分には共通性がある。利用目的の基本部分に必要なIT関連の技術は、以下の4つと考えられる。

融合領域におけるITとして必要な技術の代表例：

- (1) 高速のシミュレーション技術（モデリング、数値計算、論理計算（推論））
- (2) データベース、知識ベースの構築、管理（コンテンツ記述、学習、知的検索）
- (3) シミュレーション結果の表示のための可視化、仮想現実
- (4) ブロードバンドネットワークと共同作業支援

利用目的の典型例は、現実世界（物理世界）でのシステム構築・実験などに代わり、仮想空間におけるシステム構築・実験を行い、それにより、システムの設計の正当性検証、動作や現象の予測・評価など行うというものがある。複雑なシステムの製造においては、製造コストの80%が設計の手直しということであるから、仮想空間上でこの手直しを行え

れば、実際の製造コストは大幅に低減でき、競争力が増すということになる。

上記の4つの技術は、応用分野ごとに、その詳細部分は異なるであろうが、ITとしての基本部分、すなわち、並列化による高速処理の実現や、そのアルゴリズムなどは、共通性が多く、汎用性の高いパッケージソフトウェアなどができる可能性が高い。

以上のような融合領域におけるIT関連の重要分野と、上に述べたNITRD計画を参考に選択したIT中核技術分野を整理し、絞り込んだものを重点分野の候補とした。とはいえ、これらの個々の分野は多くの技術を含んでおり、実際の開発に際しては、これらは、技術の利用目的、開発の実施体制、すなわち、予算額、研究者の陣容、実用化までの期間、市場動向などの諸条件により、さらに絞り込まれるべきものである。

重点分野：

(1) プラットフォーム

超並列システムや超分散システム（ネットワークシステム）の基本ソフトウェア
およびミドルウェア（PCクラスタ、並列サーバ、グリッドコンピューティング、
ユビキタスコンピューティング）

超並列システムや超分散システム（ネットワークシステム）上の応用ソフトウェアの
開発技術（バイオ、仮想生産、環境など）

システムのセキュリティ、高信頼性、頑健性、耐障害性

(2) コンテンツ

コンテンツ記述、自動収集、知識表現

DB/KB（知識ベース）管理、分散DB、DBの相互運用などの技術
検索、データマイニング

知識処理の適用（知識発見、推論、学習）

(3) インタフェース

マルチメディア、音声認識、自然言語理解などを用いた対話技術

可視化、仮想現実などの情報提示技術

ネットワーク上の仮想会議、共同作業支援など

(4) ソフトウェアの製造

複雑なソフトウェアの生産性向上

ソフトウェアシステムの動作監視、性能測定などの技術

新プログラミング言語や開発環境

並列アルゴリズムやプログラミングパラダイムの開発

新ソフトウェア工学の確立

人材育成のための教育、訓練

2. 調査方針

ソフトウェア開発支援を行う国の機関として、今後どのような分野を重点的に支援すべきかについて、以下のような方針で調査を行う。

2.1 重点分野の満たすべき条件と選択指針

国の機関であることから、その役割は国の掲げる政策の実現に適合したものでなければならない。我が国は、IT 革命において米欧などの先進国に遅れをとっており、その原因の一つは、ソフトウェア技術、およびソフトウェア産業の国際競争力の弱さにある。よって、その強化は、国の目標である「日本の IT 先進国化」の中心的課題である。

IT 先進国化とは、IT 自身の技術レベルを世界の先進国に並ぶレベルとすると共に、IT 以外の分野についても、IT を活用することにより、産業の生産性の向上や、金融・行政などのサービスのレベルアップや効率化を実現し、国内外の市場における競争力を強化することと言えよう。

このような背景を考慮し、重点分野とはどのような条件を満たすべきものを考えると、第一の条件は次のようになる。

IT、特にソフトウェア技術のレベルアップと産業の発展に重要な分野
今後の市場において中核となる技術分野
中長期（3～5年）レンジでの拡大が予測される（現状では）未開拓な分野
（国による支援であるから）リスクが大きく民間のみでは研究開発が難しい分野
民間の技術力の底上げに効果のあるインフラや基本的なツールの開発・整備に関する分野

第二の条件として考慮すべきものは、世界レベルの技術動向や市場動向と方向性の合った分野であることであろう。IT 革命により、インターネットや電子商取引が普及し、世界は一つの市場に統合された。特に、ソフトウェアやコンテンツ市場は、箱物と異なり、製造工程が不要で輸送も電子的に行うことが可能である。

このため、少しでも早く世に出した者が有利となる「先行者一人勝ち」の世界の中での競争であることを認識し、競争相手と想定される国の新技術開発に係わる戦略・開発動向・市場予測などの調査分析を行い、我が国の戦略を定め、重点分野を決めていくことも必要である。この結果、IT 中核分野のように、劣勢であっても、将来の IT 技術の拡大を考えて、重点投資を行わねばならない分野が生じたり、応用分野については、絞込みを行ったりすることが起こることになる。

第三の条件として考慮すべき点は、我が国のソフトウェア産業の事業形態などの特質である。我が国のソフトウェア産業の事業を見ると、システムインテグレーション（SI）事業が、主要企業 1 社当たり 30% で売上げが約 44 億円、受託ソフトウェア開発では 25% で

40 億円である。利益率の高いパッケージソフトウェア事業は6%で約10億円と振るわない。

この傾向は今後も続くと見ると、SI 事業などでは新しい方式のハードウェアやソフトウェア技術の迅速な取り込みが顧客の獲得上重要な要素となり、重点分野として考慮することが重要となる。

第四の条件は、支援（ファンディング）のスキームであろう。支援する金額や期間、成果物に関する条件（新技術開発重点か、商品化重点かなど）などにより、開発できるソフトウェアの規模や性格が限定され、同時に重点分野の選択の条件ともなる。我が国は、米国と比べ、会計制度や開発管理の仕組みにおいて、箱物時代のものから改革されておらず、開発者は米国などと比べ不利な条件に置かれている。単年度会計やプログラムマネージャ制度の無さなどがその代表例であり、今後の課題となっている。

2.2 調査方法

本調査では、既に市場ニーズが顕在化し、商品化が開始されているものは、民間が自主的に開発すべきものとし、新規性やこれから実用化に向かう技術を多く含む分野を中心に考えることとした。また、現在、IT の中核にある技術の数年後を想定し、そこに新たに出現するであろう技術分野を、先ず第一の候補とすることとした。

特に、我が国のソフトウェア産業は、当分の間、SI 事業や受託ソフトウェア事業を事業の中心に据えざるをえないと考え、その上で将来に向けてパッケージソフトウェア事業の強化に有用と思われる新分野を考えることとした。

新分野の形成は、IT の他分野への浸透により、それらの融合領域において、多々行われつつある。ゲノムデータベースの解析や、コンピュータシミュレーションによる仮想空間上での物作り（仮想生産）などは、その例である。このような未開拓分野では、先行投資により、リーダーシップを取れる可能性も有り、注目することとした。

このような前提に立ち、先ず、世界をリードし、最強の競争相手である米国の IT 研究開発戦略、技術開発動向、重点分野について調査を行うこととした。米国は連邦政府の支援する計画（イニシアティブ）が新技術開発に大きな役割を果たしており、これを分析することで、技術の将来動向の予測も可能である。

現在、IT 関連の研究開発計画は、当初 HPCC 計画と呼ばれ、現在は NITRD 計画と呼ばれているものが中心である。本調査では、この計画について技術動向の調査を行うこととし、「IT 中核技術」についての重点分野の候補選択を行うこととした。同時に、プロパテント政策と呼ばれる、研究開発成果の権利化と実用化を促進し産業の競争力強化を目的とする政策や、それに絡む戦略に関しても調査を行った。「IT 中核技術」は、いわばコンピュータ技術そのものとも言え、本調査では、これを、プラットフォーム、コンテンツ、インタフェース、ソフトウェア製造、の4分野に分けて、調査結果をまとめることとした。

IT と他分野の融合領域に形成されつつある新分野のうち、ソフトウェア技術や産業に大

きな影響を与える可能性のある分野も重点分野の候補となる。

この候補選択については、総合科学技術会議の選択した重点 8 分野を取り上げ、その中から 4 分野を選び、それらと IT との融合領域を調査することとした。ライフサイエンス、環境（社会基盤の一部を含む）、ナノテクノロジー・材料、製造技術、の 4 分野である。

これらの 4 分野では、その分野の研究開発目標達成に IT は不可欠のものとなっており、そこから新たな「IT 応用技術」や、さらには「IT 中核技術」も生まれてくる可能性がある。先行投資により、新しいパッケージソフトウェアの開発などが期待されるわけである。

本調査では、これらの分野において多用される IT、特にソフトウェア関連の技術を抽出し、重点分野の候補とした。これらは、「IT 応用技術」と見ることができると同時に、それらをさらに細分化し、「IT 中核技術」までブレイクダウンして見ることも可能である。例えば、仮想生産（バーチャルマニファクチャリング）では、IT 応用技術としての高速シミュレーションが重要な技術である。これは、さらに超並列マシンとその上のモデリング技術や並列ソフトウェア作成技術にブレイクダウンできる。

本調査では、「融合領域、または IT 応用技術」に関しては、上記のようにブレイクダウンし、「IT 中核技術」のレベルで重点分野候補をまとめ、さらにその中での代表的技術を示した。

3. 米国の IT 研究開発と産業強化政策に見る戦略と重点分野

3.1 IT 産業の競争力強化戦略

1970年代と80年代初め、米国は、産業の技術力や生産性の低下をきたし、日本やドイツなどの追い上げを受け、国際競争力が低下し、危機感を持つようになった。このような背景の下で、米国は、1980年代以降に、産業競争力の強化をはかるため、研究開発の支援強化とその成果のプロパテント政策、産業への技術移転推進政策を打ち出してきた。その研究成果としてIT技術の芽が出始めると、1990年代にIT重視の政策を打ち出して、ITの研究開発を推し進めた。その結果、ITによる産業の再構築と創生というIT革命が進行し、米国はIT革命のトップランナーとなり、今日の米国の強い産業競争力と経済的繁栄をもたらしている。

このような米国の政府支援研究開発には、「国家の国際競争力の源泉は、個別企業の市場競争力にある」との考え方が根底にあり、「個別企業の市場競争力の強化に向けては、国家が、主として大学・国研の長期的・基礎的研究開発を支援して将来の産業の技術シーズを創生し、その成果を知的財産権として先行取得し、それを企業に技術移転して商業化をはかり、新たな産業を創出することを支援する」ことを政府支援研究開発の役割としている。

すなわち、知的財産権の先行取得と権利の確保を推進するプロパテント政策によって、産業の生産物を「物から知識へ」と変革させ、知識（知的財産権）が市場競争力の源泉となる構図とし、知的財産権の壁によって、物作りの得意な日本などからの追い上げを許さない戦略である。そして、それが強い新産業を創生し、新規雇用を生み出し、税収という形で研究開発投資が回収されることにより、結果として、国家並びに国民の利益として還元されるとの考え方が根付いている。（図3.1）

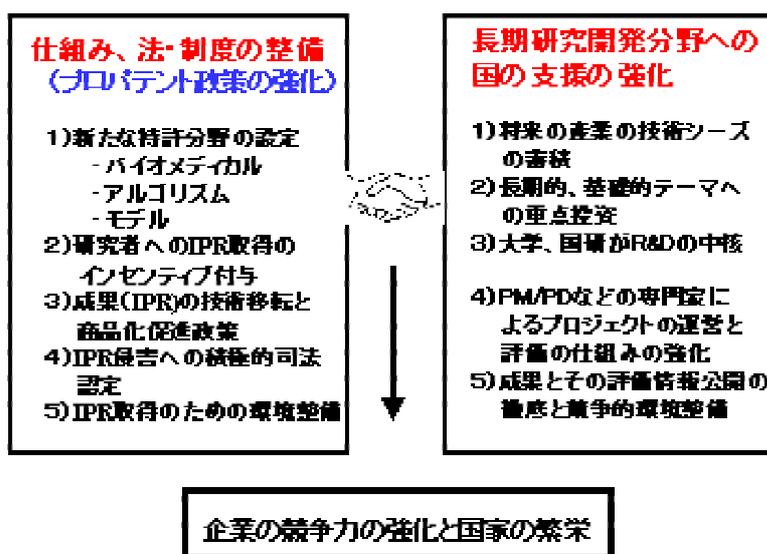


図 3.1 米国の産業競争力強化の基本戦略

3.2 プロパテント政策とその実施の仕組み

1970年代と80年代初め、日本は、製品開発・生産・購買のトータルプロセスの改善に基づく高品質・低コスト、取引先の要請に合わせたきめ細かい納入体制を背景とした「日本的高品質・低価格」で産業競争力をつけ、世界進出を果たした。一方、米国は、大量生産方式による技術力・生産性では、それに太刀打ちできなくなり、国際競争力が低下し、危機感を持つようになった。このような背景の下で、米国は、1980年代に「物から知識へ」の変換をはかる産業競争力の強化策を打ち出していった。

すなわち、産業の生産物を日本が得意とする物の生産から知識の創生へとシフトさせ、特許・著作権・ノウハウといった知的財産権(IPR)で権利化される知識・ライセンスが付加価値の高い商品となる時代へと移行させる方針をとった。この知的財産権の壁により、物作りが得意な日本などがキャッチアップし追隨するのを困難なものにし、先行者利益を享受できる時代、あるいは、知的財産権のライセンス料で利益を上げる技術貿易時代への転換をはかる戦略をとった。この戦略に向けて、知識を生み出す原動力となる長期研究開発への国の支援を強化する政策とともに、研究開発成果を知的財産権として積極的に保護するプロパテント政策と、研究開発成果を産業界に技術移転する政策とを推し進めた。

米国のプロパテント政策は、法インフラの整備、特許保護範囲の拡大、特許侵害賠償責任の強化、の三つを柱とし、技術貿易時代の覇権を取ることを目指している。

3.2.1 法インフラの整備

米国が1980年代以降に次から次へと打ち出してきた、主な技術移転政策やプロパテント政策を、表3.1に示す。

表 3.1 米国の技術移転政策、プロパテント政策

年	法 制	内 容
1980	スチープンソン・ワイドラー法	成果を企業に技術移転するための活動を義務付ける
1980	バイ・ドール法	政府支援研究開発で創出された発明に対する権利を研究開発を行った機関に与える
1985	ヤングレポート	産業競争力を強化するために、研究開発の促進、知的財産権保護の強化などを提言
1986, 89,94	連邦技術移転法	スチープンソン・ワイドラー法を強化、協同研究(CRADA)を承認し、大学、国研、民間企業にIPRを与える
1988, 1991	アメリカ技術傑出法	民間企業のハイリスクな基礎研究開発を助成する
1992	小企業技術移転法	5省庁に対し、小企業、大学、および研究所との協同研究に出資することを求めた。
1996	電子情報公開法	2週間以内にインターネット上で情報を公開することを要請
2000	連邦技術移転商業化法	連邦政府所有のIPRやソフトウェアを民間にライセンスし、商品化を可能とする

1980年のスチープンソン・ワイドラー法では、国研研究員の使命は、単に科学技術的成果を上げることにとどまらず、その成果を産業に技術移転させることとし、成果を企業に技術移転するための活動を義務付けた。

また、同年のバイ・ドール法では、政府が資金援助した研究開発で生み出された特許などの成果に対する権利を、研究開発を行った大学・小企業に与えるようにした。これによって、表 3.2 に示すように、大学での特許取得と産官学の連携が飛躍的に増加する結果をもたらした。

表 3.2 バイ・ドール法による効果

比較項目	バイ・ドール法施行以前	バイ・ドール法施行後
特許件数	2994 件(84 大学、1974 ~ 84) 272 件/年	1557 件 (139 大学、1992) 1557 件/年 (5.7 倍)
ライセンス件数	1058 件 (1974 ~ 1984) 96 件/年	1510 件 (1989 ~ 1990) 755 件/年 (7.9 倍)
大学のロイヤリティ収入	30M ドル (112 大学、1986)	113M ドル(30 大学、1990)
大学における民間企業からの研究委託費に占める割合	4%	7%

出典：<http://www.tmc.tulane.edu/departments/techdev/Bayh.html>

ヤングレポートは、1985年に産業競争力強化に関する大統領諮問委員会が提言したレポートであり、次のような提言を行った。

「技術革新は、新産業を刺激し、成熟産業を復活させる。これらを成功させるためには、是正優遇措置による研究開発の促進、共同研究に係る独占禁止規制の撤廃、生産技術の開発・向上、知的財産権保護の強化、競争力強化のための諸規制の見直しが必要である。」

以上のような政策により、米国は、図 3.2 に示すように、1980年代以降、着々と特許取得数を延ばしてきている。

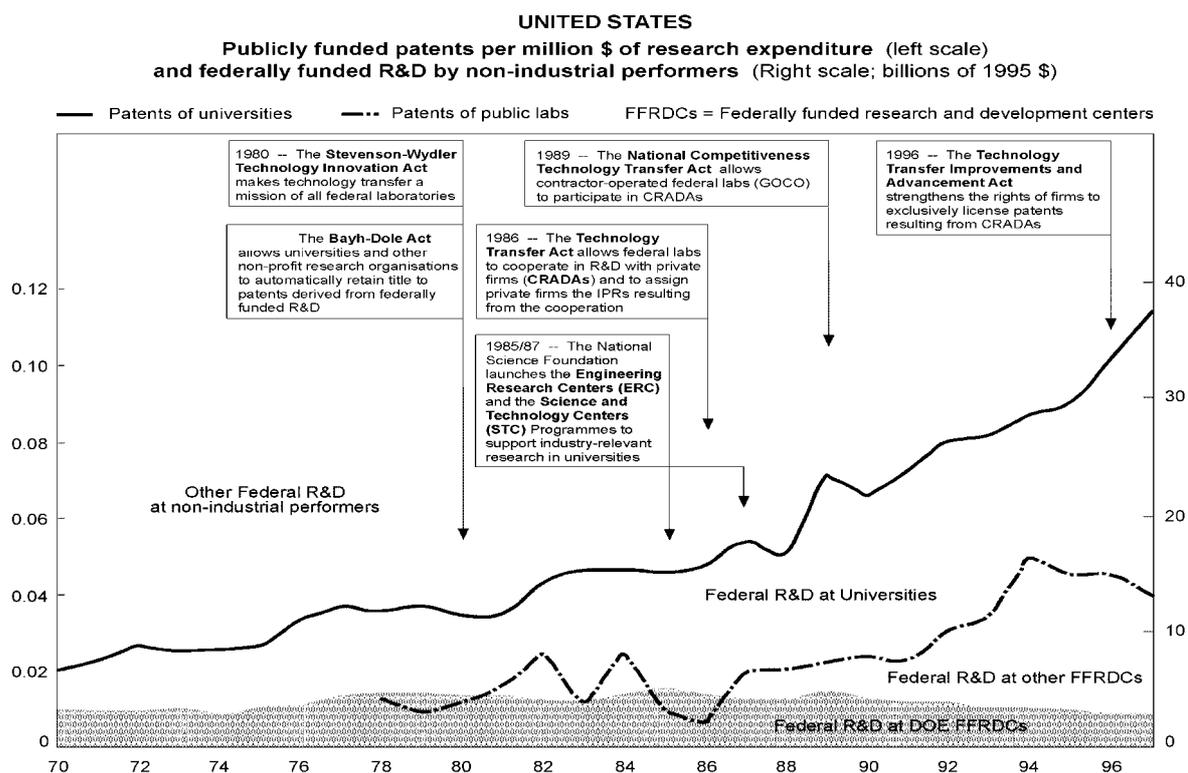


図 3.2 米国プロパテント政策の効果

出典：OECD ニューエコノミー：日本は如何にして出遅れたか 根津利三郎

日本においては、米国から遅れること 19 年、1999 年に、日本版バイ・ドール法と言われる産業活力再生特別措置法が成立した。これで、日本でも政府支援の研究開発で得られた知的財産権を、受託研究機関に帰属させることが認められるようになった。しかし、米国は、商業化を促進することを目的として、軍事的な機密といった特別の事情がない限り、知的財産権は受託研究機関に帰属するのに対し、日本は、すべてではなく、一部の支援プログラムのみが、受託研究機関への帰属を認めるようになったのに過ぎない。

3.2.2 特許保護範囲の拡大

米国特許庁は、ソフトウェア、ビジネスメソッド、バイオテクノロジーといった新規分野において積極的に特許を認定し、特許権保護範囲の拡大を図っている。製品の生産技術で日本に追撃を許してしまったことを反省し、新規分野では、追撃を許さないように新しい技術を先行取得し、知的財産権で保護する戦略に出たのである。

ソフトウェア特許については、1970 年代は、ソフトウェアは数学的アルゴリズムと判断され、特許として認められなかったが、1980 年に連邦裁判所がアルゴリズムを含む発明に特許を認めるべきとの判断を下した。その後、判断基準に関し混乱が続いたが、1996 年に、特定のコード群やルーチンがコンピュータ上で走ることによる機能をプロセスと明示した

り、そのソフトウェアを特定のコンピュータやメモリ構造に関連させて申請した場合には、特許化が可能である、とのソフトウェア特許の審査基準を示した。

ビジネスメソッド特許については、1998年、一つのポートフォリオ（ハブ）を中心に複数の投資信託（スポーク）を有機的に結びつける情報処理システムが、ビジネスメソッドとしての特許性を改めて確認する State Street Bank 判決が出され、ビジネスメソッド特許急増の端緒となり、有名なアマゾン・ドットコムがワンクリック特許が出てきた。

バイオテクノロジー特許については、1980年代、広い特許保護でバイオ研究を奨励し、1996年には、ヒトゲノムの塩基配列のみ（因果関係未解明）の特許を認可した。しかし、下流の研究開発が停滞するとの批判にこたえて、2001年、塩基配列の機能と有用性の明示を特許化の要件とした、遺伝子機能と有用性審査のガイドラインを発表した。

これらの特許保護範囲の拡大政策によって、図3.3、図3.4に示すように、最近、これらのカテゴリーの特許が急増している。この結果、特許の先行取得によって、新分野における独占体制、もしくはライセンスによる利益確保する体制を整え、他国からの追随を許さない体制を着々と築いている。

日本の特許戦略は、米国の特許戦略を追従する形で、後手に回っている。日本の産業競争力強化の視点に立ち、日本独自の特許戦略を打ち立てていくべきであろう。

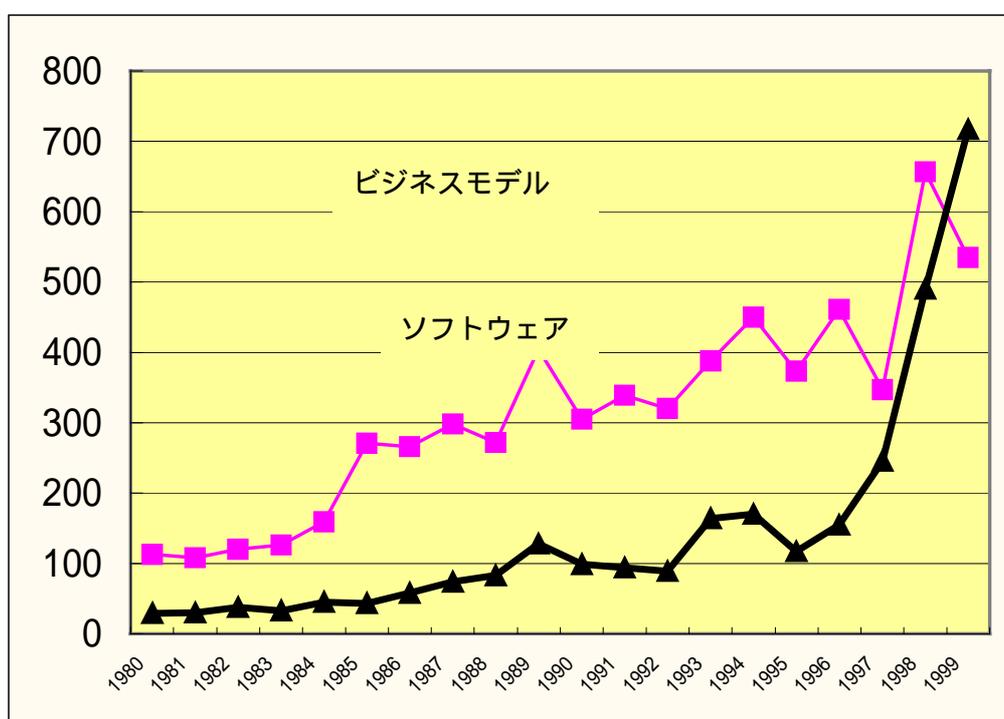


図 3.3 米国のビジネスモデル、ソフトウェア特許取得数の伸び 出典:USPTO

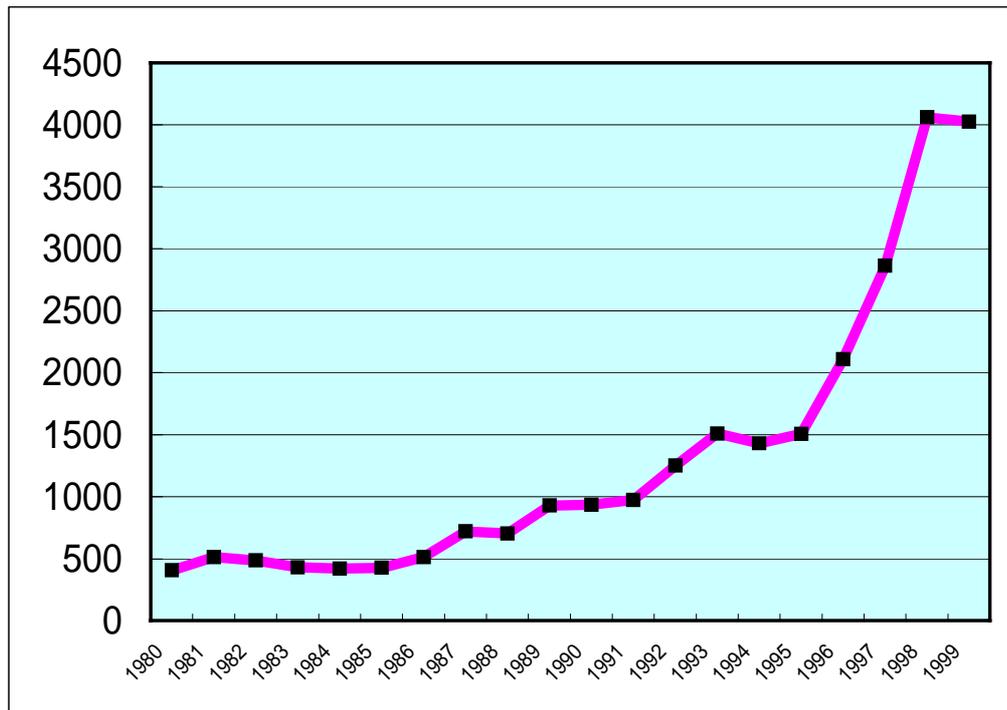


図 3.4 米国のバイオテクノロジー特許取得数の伸び 出典：USPTO

3.2.3 特許侵害賠償責任の強化

特許保護範囲の拡大と共に、特許侵害に対する賠償責任を強化する政策に出ている。特許侵害の審理を専門に行う連邦巡回控訴裁判所（CAFC）を創設し、特許侵害成立に対して司法が積極的に認定を行い、その損害賠償額を増大させている。主な特許権侵害訴訟の例を示すと、

- 1992年 ミノルタ が ハネウェルの自動焦点カメラに関する特許侵害で敗訴
127.5M ドルを支払う。キャノン、ニコン、コダックなど 7 社も計 124.1M ドルを支払う。
- 1992年 セガ・エンタープライズが個人発明家のコイル氏の特許侵害で敗訴
約 44M ドルを支払う。
- 1991年 コダック社がインスタントカメラ特許に関しパラロイド社に敗訴
史上最高の 925M ドルを支払う。
- 1994年 マイクロソフトがスタックエレクトロニクスのデータ圧縮ソフトの特許侵害
120M ドルを支払う。

であり、特許侵害賠償額が高騰しているのが窺われる。

これにより、特許侵害が割に合わないことを知らしめて特許の価値を高め、技術貿易時代への流れを促進している。

3.3 研究開発投資における国の役割と重点分野

米国は、1990年代にIT重視の政策(表3.3)を打ち出して、ITの研究開発を推し進めた。

表3.3 米国のIT強化政策

年	法、計画	内容
1991	HPC法	ハイパフォーマンスコンピュータコミュニケーション5年計画を開始
1993 1994	NII、GII	インターネットによるスーパーハイウェイ構想である全米情報基盤を発表。翌年、世界情報基盤を発表
1966	CIC計画	HPC法の後継として、コンピューティング・情報通信計画を開始
1996	NGI計画	次世代インターネット計画
1998	HPCC計画	CIC計画にNGI計画が加わる
1999	PITAC勧告	政府のITR&D投資は不十分、短期的な課題に偏っていると指摘し、IT ² -21世紀に向けた情報技術を提言
1999	IT ²	PITACの勧告に沿った21世紀に向けた情報技術計画
2000 2001	ITR&D、NITRD法	HPCC(CIC)計画とIT ² とを統合しITR&D計画に改称、翌年、ITR&Dを強化し、NITRD計画に改称

3.3.1 ITR&Dの基本方針を決定するPITAC

現在もITは11の重点分野の一つに指定されている。ITの研究開発においては、クリントン時代に組織されたPITAC(ITに関する大統領諮問委員会)が、政府支援の研究開発の方向付けを決定している。1999年2月にPITACがまとめた勧告は、次のような提言を行っている。

「1992年以来、IT関連の生産高はGDPの1/3を占め、数百万ドルの雇用機会を提供してきた。しかし、現状の政府の投資は、長期的なハイリスクな研究開発よりも、各省庁のミッションを追求する短期的な課題に偏りすぎている。このままであると、過去20~30年に渡って続いてきたIT革命へのアイデア供給の流れは途切れてしまう。従って、2000~2004年の5年間に下記の研究開発テーマに4,743Mドルを長期的基礎研究開発に追加投資すべきである。」

ソフトウェア

大規模な情報化のためのインフラストラクチャ

最高レベルのコンピューティング

社会経済的影響

連邦政府の情報技術研究の管理と実現

そして、このような長期的基礎研究開発を、企業ではなく政府が行うべき理由として以下の点を挙げ、IT 研究開発における政府の役割を明確化している。

<PITAC が勧告する IT 研究開発における政府の役割>

ITR&D は、今後の経済成長を支えると同時に、今、国家が直面している最も重要な問題に対応する解決策を見出すために、不可欠である。

第二次大戦以来、連邦政府は国防・気象予報・医療といった高度な応用分野における ITR&D を支援してきた。その結果、ハイリスクの研究が支えられ、今ではインターネット、ハイパフォーマンスコンピュータ、RAID ディスクといった数十億ドル規模の産業が誕生し、大学での研究活動により今日の IT 関連の優秀な人材が育成され、数多くの雇用機会を創出し、最近の経済成長を支え、今日まで、連邦政府は行政、国家、そして米国民にとって多大な利益をもたらした。

IT 産業界も研究開発に向けた多大な投資を続け、様々な製品を市場に投入し、驚異的で継続的な成長を果たしてきた。

しかし、1990 年代の 10 年間は、利幅の大きい複雑な製品から PC など薄利型の消費材への移行、人材集約的なサービス部門の大きな成長といった変革が起こり、価格、利益率、経費といった面に大きな重圧が加わるようになってきた。また、地球規模の厳しい市場競争が加わり、今、製品のサイクルは 3 ないし 6 か月と言われるまで短くなっている。このサイクルに乗り遅れる企業は、競争から脱落していく。

このような状況から、IT 関連企業の研究開発向けの投資は増加しつづけているが、その 90%以上が製品開発に充てられ、残りの大部分が短期的な応用研究に向けられ、研究開発関連の支出の比率は減少している。

大学の研究機関における基礎研究への投資は、IT の専門家を育成する上で、大きく貢献してきた。しかしこれも最近では、適切な能力を備えた人材が不足しているため、長期・短期を問わず、研究を続行することが難しい状況になりつつある。

かつて政府によるハイリスクの研究開発に向けられた投資は、現在の IT 市場における激しい競争を促進する原動力となっている。大学や国営の研究機関から生まれる自由な発想が、既存の企業や新たに登場する会社にも流れていく。こうした投資は基本的に、IT 関連の基礎研究を中心とした政府予算を財源としている。しかし財源が枯渇してくると、経済成長を支える原動力が弱体化し、やがては消失する結果になる。

米国は今、IT に関連する基礎研究プログラムに向けた財政支援を続けるだけでなく、さらに強化しなければならない。いったん斬新なアイデアが発見されれば、各企業がその有望視される発想をもとに、商品化と普及の役割を担うようになる。政府は今、こうした優れたアイデアを生み出し、研究者が本来の業務に専念できるように、現在進行中の研究業務への支援を拡大しなければならない。こうした対策の成果として、私たちの社会と国家にとって大きな利益がもたらされることになる。

3.3.2 IT 研究開発の予算

この PITAC の勧告を受け、政府は、2000 年には「21 世紀に向けての情報技術」IT² 計画として 366M ドルの研究開発投資を追加し、2001 年にはこれまでの CIC 計画（2000 年の予算は 1,089M ドル）と統合して、ITR&D 計画として、1,928M ドルと大幅に増額している。そして、現在は、ITR&D 計画は NITR&D 計画と名前を変更し、予算規模は 1,969M ドルとなっている（図 3.5、図 3.6）。

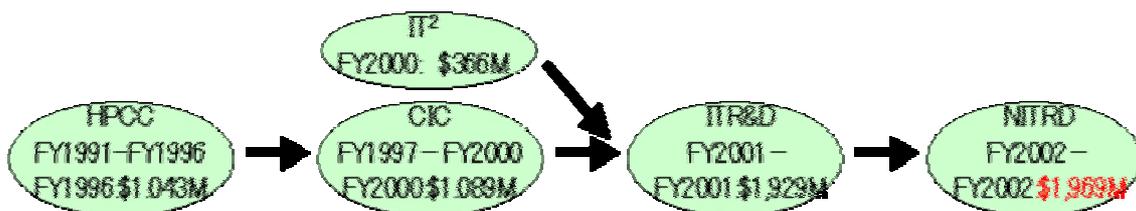


図 3.5 米国 ITR&D のプロジェクト計画の推移

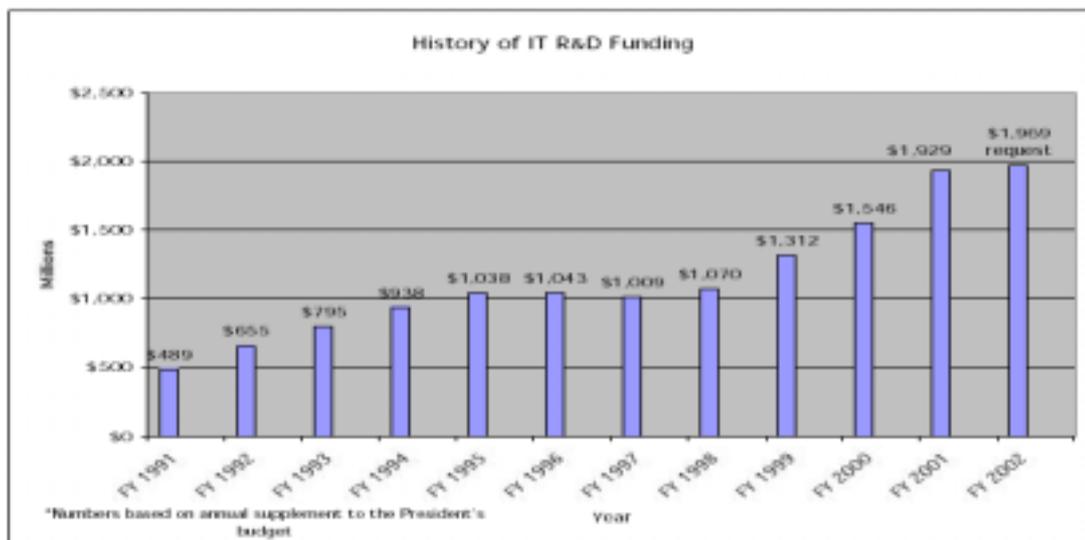


図 3.6 米国 ITR&D 予算の推移

このように、米国は、PITAC が IT の研究開発の方針を示し、それを迅速に実施していく体制が整えられている背景には、PITAC は、共同委員長として、ビル・ジョイ、ケン・ケネディが参加するなど、現役の IT 研究者がメンバとして参加し、また、十数名（内、半数以上が Ph.D 取得者）の IT 専門スタッフから成る NCO/ITR&D という組織が PITAC を支えていることがある。日本には、残念ながら、PITAC や NCO/ITR&D に相当する組織はなく、我が国の ITR&D の方針が示されていない状況にある。

3.3.3 研究成果を商業化につなげるために省庁間をファンディングリレー

この ITR&D 計画には、NSF、DOE、NIST、DARPA など主要な省庁が参加し、各省庁のミッションに応じた研究開発を担当している。各省庁の担当分野は、他省庁の分野と重複することもありうるが、その場合には、一つのプロジェクトを複数の省庁が共同で支援を行い、日本で見られる省庁間の縦割りによる弊害を除去している。また、この仕組みは、研究開発プロジェクトが発展していったとき、主担当省庁を交代することによって、担当省庁間のリレーを可能とし、実用化を目指した大規模な研究開発プロジェクトへ成長していくことを可能とし、研究成果の商業化に繋がる可能性を大きくしている（図 3.7）。

インターネットは、省庁間リレーによって生まれた代表例であり、DARPA(当時は ARPA) が軍事目的に研究開発した ARPA-NET に始まり、それが NSF に引き継がれて、研究者向けのネットワークへと発展し、それが商業化へと繋がっていった（図 3.8）。

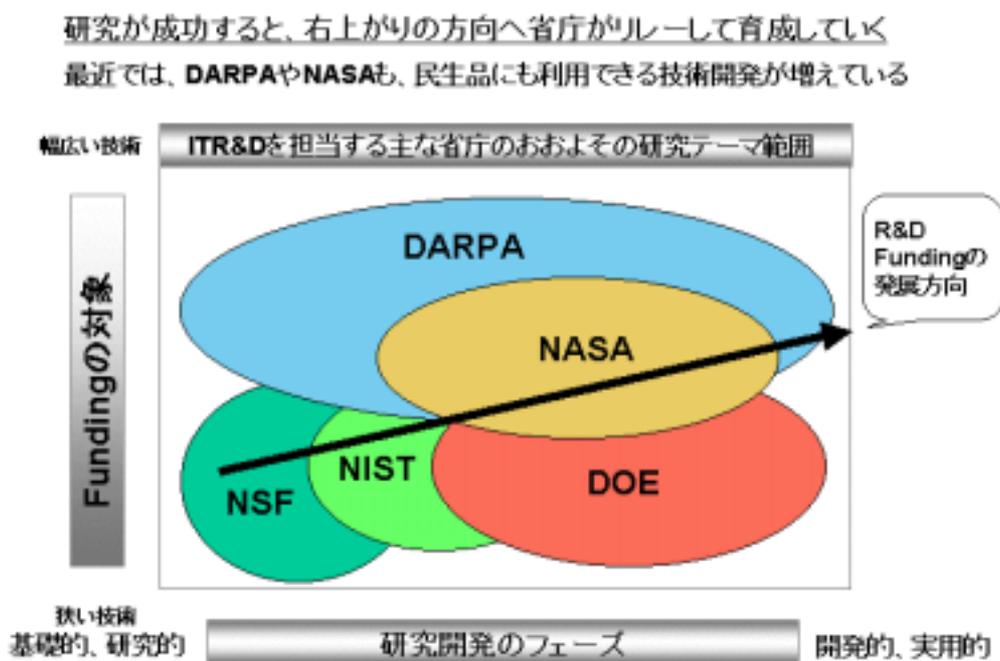


図 3.7 米国の省庁間ファンディングリレー

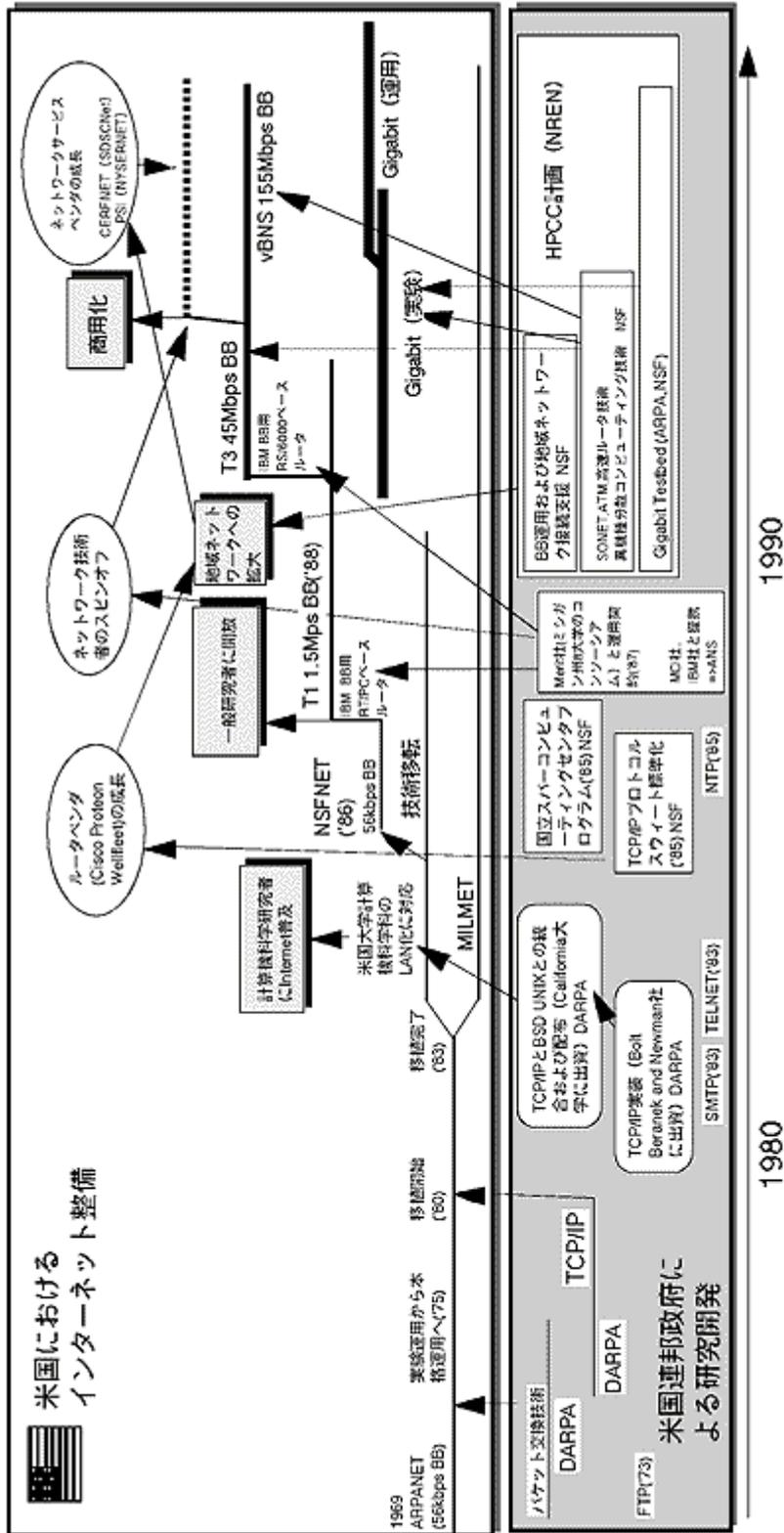


図3.8 インターネットの研究開発の発展過程

3.3.4 研究開発資金の流れ

次に、米国の研究開発費の規模、その研究開発費をどこが負担しているのかについて、日本と比較してみたのが表 3.4 である。

表 3.4 日米の研究開発資金の流れ

				資金使用者			
				企業	政府	大学	合計
資金 負担 者	企業	米国	金額(M\$) 使用%	165,955 88.2%		3,357 8.1%	168,312
		日本 (*1)	金額(億円) 使用%	108,973 96.3%	269 1.8%	761 2.4%	110,002
	政府	米国	金額(M\$) 使用% 負担%	22,103 11.8% 33.6%	17,362 100.0% 26.4%	26,388 63.5% 40.1%	65,853 26.7%
		日本	金額(億円) 使用% 負担%	4,218 3.7% 19.6%	14,545(*3) 98.2% 67.5%	2,773 8.6% 12.9%	21,538 13.5%
	大学	米国 (*2)	金額(M\$) 使用%			11,835 28.5%	11,835
		日本	金額(億円) 使用%	7 0.0%	4 0.0%	28,557(*4) 89.0%	28,567
	合計	米国	金額(M\$)	188,058	17,362	41,580	247,000
		日本	金額(億円)	113,198	14,817	32,091	160,106

米国出典： AAAS Report XXV: Research and Development FY 2001
(<http://www.aaas.org/spp/dspp/rd/contents.htm>)

日本出典： 平成12年科学技術研究調査
(<http://www.stat.go.jp/data/kagaku/>)

- (*1) 外国からの資金を含む
- (*2) 非営利研究機関を含む
- (*3) 特殊法人分 6,738 億円を含む
- (*4) 人件費を含む

この比較表から、概ね、以下のようなことが分かる。

米国政府は、研究開発に対して、日本の3倍以上も投資している。日米の国の規模は、GDP比、あるいは人口比から、米国は日本の約2倍であることを考慮したとしても、米国の研究投資は、日本の2倍近い。また、このような国の規模の相違を排除するた

めに、国全体の研究開発費における政府の資金負担割合で見ると、米国 26.7%に対し、日本は 13.5%と、米国は日本の 2 倍も負担している。

米国政府は、大学（40%）、企業（34%）に重点投資しているのに対し、日本政府は各省庁に付属する国研（68%）に重点投資している。

米国政府の企業への研究開発資金提供は、金額ベースでは 22,103M ドルで日本の 5 倍以上、割合ベースでは日本の 3 倍である。

米国政府の大学への競争的研究開発費提供は、金額ベースでは 26,388M ドルで日本の 10 倍以上、割合ベースでは 7 倍以上である。

企業の研究開発費における政府資金の占める割合は、米国企業が 11.8%も占めるのに対して、日本企業は 3.7%に過ぎない。日本企業は、米国企業に比べて、研究開発競争における資金面で不利な条件に置かれている。

米国の大学の自己研究開発費の割合は 28.5%しかなく、米国の大学は、競争的資金（政府、および企業からの研究開発費）を確保しないと研究開発を進められない状況にあるのに対し、日本の大学は、自己研究開発費の割合は 89.0%もあり、必ずしも競争的資金を確保しなくても、研究開発を継続できる状況にある。

産学連携のバロメータとなる企業から大学への研究委託費は、米国は金額ベースで日本の 5 倍、割合ベースで日本の 3.4 倍もある。

研究開発費の基礎研究、応用研究、開発研究の支出割合の日米比較を図 3.9 に示す。これを見ると、日本は、大学・企業・政府研究機関すべてにおいて、米国と比べると基礎研究の割合が少なく、開発研究の割合が多い。

これらの事実は、日本政府は、企業自身に研究開発を押し付け、大学・企業への研究開発投資を怠ってきたこと、および、日本は、目先の研究に走り、将来を見据えた基礎研究を怠ってきたことを物語っており、その結果が、日本の大学の弱体化を招き、日本企業の産業競争力を衰えさせてしまった大きな原因である。

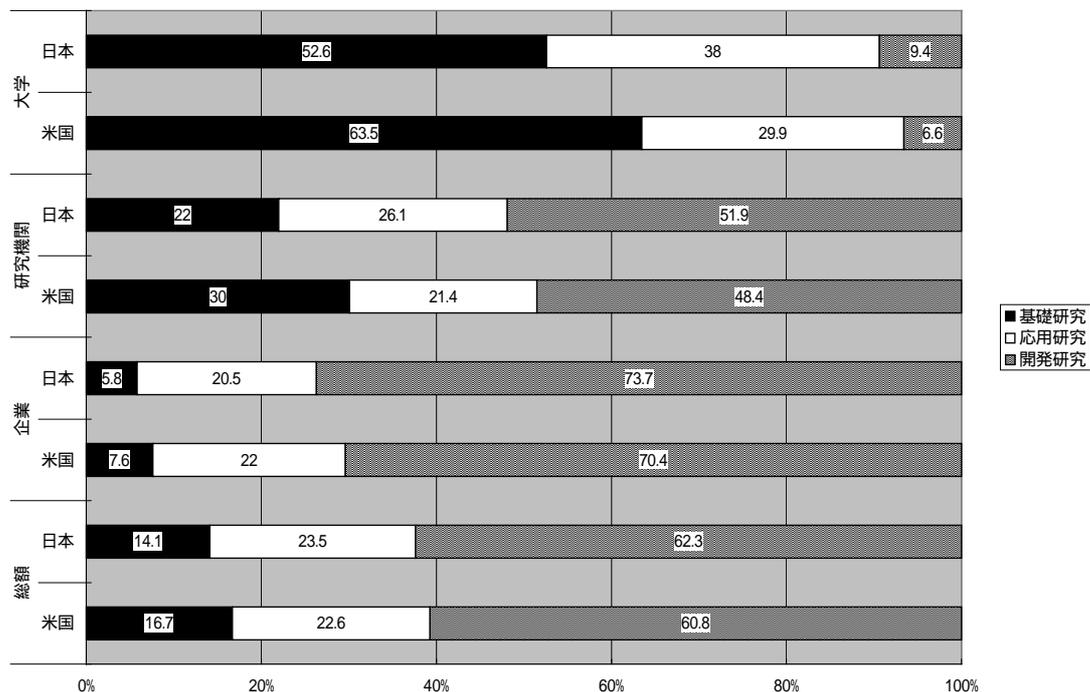


図 3.9 日米の基礎、応用、開発研究の割合

3.4 国の重点分野の選択戦略とその特徴

3.4.1 米国の重点分野の決め方

米国の ITR&D の重点分野の決定は、前節で述べたように、PITAC によって ITR&D の基本方針が勧告され、その方針に沿って、各省庁が具体的な重点分野、テーマをボトムアップに提案し、関連省庁間の ITR&D に関するワーキンググループで調整し、研究活動の計画、予算策定、実施、レビューが行われる。

(1) ITR&D プログラムの調整

米国政府の科学技術分野での政策の明確化と予算の策定などを行う科学技術政策局 (Office of Science and Technology Policy) の下に、関連省庁の長官から成る ITR&D シニアプリンシパルグループがあり、ここが、ITR&D の政策、予算の指導、監督を行う。実質的な審議は、関連省庁間の ITR&D に関するワーキンググループ (Interagency Working Group on ITR&D : IWG/ITR&D) で行われる。この IWG/ITR&D の下に、後述する 6 つの重点分野に対応したコーディネートグループがあり、その重点分野に関連する複数省庁のプロジェクトの目的と活動を調整する。

(2) ボトムアップに決まる優先プロジェクトの選定

どの分野の研究開発を重点に行うかを定める優先プロジェクト選定のプロセスは、先ず、各省庁のプログラムマネージャからの提案として、ボトムアップの形で始まることが多い。以下、NSF のグラント制度の場合を例に挙げて、優先プロジェクト選定プロセスを説明する。NSF のプログラムマネージャは、その分野の専門家であり、常にワークショップ、現地調査、ミーティングなどを通じて、研究コミュニティとコミュニケーションをはかって科学工学の動向を把握し、優先プロジェクトを認識する。NSF のプログラムマネージャによって認識された優先プロジェクトは、その後、全米科学委員会、NSF 諮問委員会、NSF ワークショップなどによって議論されることになる。NSF においては、フォーマルな優先プロジェクト選定システムがあるわけではなく、継続した分散的な開かれた場での話し合いによって優先プロジェクトが決定される。そして、PITAC の勧告に沿った重点分野の優先プロジェクトが IWG/ITR&D に提案されて、省庁間で調整が図られる。

(3) 外部ピアレビューによる応募審査を経て決まる研究テーマ

研究開発プロジェクトが決まると、その具体的研究テーマは、外部ピアレビューによる応募審査を経て、プログラムマネージャが、以下のように決定していく。

NSF のグラントは「ティピカルグラント」と「主要プロジェクトイニシアティブ」の2種類に分類される。「ティピカルグラント」は、個人や少人数のプロジェクトが対象で、グラントの規模は、平均年間 75,000 ドルで、期間は最高 3 年間である。「主要プロジェクトイニシアティブ」は、多くの研究員で構成されるチームが対象で、グラントの規模は通常年間 100M ドル以上で、期間は最高 5 年間である。このグラントの受給者の選択は、「ティピカルグラント」よりも厳しいものとなっている。

「ティピカルグラント」では、受給の半年前に応募が行われ、外部ピアレビューによる審査で選択されてプロジェクトがスタートする。「主要プロジェクトイニシアティブ」では、プレ応募が必須で、受給の 1 年半前に簡単な応募書類を提出する。外部ピアレビューによる審査で選択された者が応募に参加し、外部ピアレビュー、および現地調査で審査が行われる。応募を募集する際、NSF では、「領域指定・公募型」と「特定テーマ設定・公募型」の 2 方式で行う。「領域指定・公募型」では、広範囲の研究活動をカバーしており、コンピュータシステムアーキテクチャ、次世代ソフトウェア、インターネット技術プログラムといった領域指定で公募が行われる。「特定テーマ指定・公募型」は、相対的に大規模なもので、特定のエリアを指定して科学者コミュニティに参加を募る。応募書類に対して、外部ピアレビューが行われ、特定分野の NSF 外部専門家である審査員 3~10 人が、二つの評価基準（応募プロジェクトの知的メリットとインパクト）によって、5 段階の評価を行う。この評価を行う審査員は、応募者が審査員を提案したり、逆に審査してほ

しくない審査員を挙げることもできるが、この提案を参考にして、プログラマネージャが審査員の選択を行う。ピアレビューの結果には拘束力はなく、プログラマネージャが、審査員のコメントを元に、他研究トピックスとのバランス、利用可能な資金状況などを考慮して、どの応募プロジェクトに資金支援を行うべきか、そして、どのくらいの期間・金額かをまとめる。プログラマネージャからの提案を受けて、各研究局長がさらに審査を行い、グラント承認を行う。大規模プロジェクトについては、理事長レベルで審査され、全米科学委員会で承認が行われる。応募者には、グラントの可否、審査員の名前や、審査サマリーが通知される。

3.4.2 米国の重点分野、研究テーマとその特徴

米国の NITRD 計画における重点分野・研究テーマは 4 章で詳しく述べるが、これらの重点分野・研究テーマの特徴は、次の通りである。

(1) すべての分野に満遍なく投資、ソフトウェア指向

NITRD 計画は、次の 6 分野を研究分野として挙げている。

ハイエンドコンピューティング

人間とコンピュータの相互作用と情報管理

大規模ネットワーク技術

ソフトウェアの設計と生産性

高信頼のソフトウェアとシステム

社会・経済・労働に関連する情報技術、および情報技術要員育成

これらの分野を IT 革命以降の情報技術分野のカテゴリーにマップしてみると、表 3.5 のようになり、米国は、IT 中核技術分野に継続的に投資し、各カテゴリーの中核技術を押さえてしまおうとする姿勢がうかがわれる。また、ハードウェア関連の研究開発プロジェクト(表中、斜字で示す)はほとんどなく、ソフトウェアの研究開発プロジェクトばかりで、IT 革命以降のソフトウェアサービス化とそのインフラを押さえようとしている。

表 3.5 IT 革命以降の情報技術分野と米国 IT 研究開発分野のマッピング

IT 革命以降の情報技術分野	米国の IT 研究開発分野	研究開発プロジェクト
アプリケーション	ハイエンドコンピューティング基盤	生物医学、コンピュータ航空科学、地球宇宙科学、気象などのアプリケーションとインフラ
インタフェース	人間とコンピュータの相互作用	遠隔/自律エージェント、コラボレーション、ビジュアルライゼーション、バーチャルリアリティ、対話処理、多言語翻訳
コンテンツ	情報管理	Web 知識データベースと情報収集/分析エージェント
プラットフォーム	高信頼のソフトウェアとシステム	ネットワークおよびデータセキュリティ、暗号化、情報の生存可能性、システムの耐ストレス性、高信頼ソフトウェア開発
	ハイエンドコンピューティング研究開発	ハイブリッド並列処理、Beowulf 型クラスタ、大容量ストレージ技術、コンピュータグリッド、 <i>分子コンピュータ、ナノテクノロジー、光コンピュータ、量子コンピュータ、超伝導テクノロジー</i>
	大規模ネットワーク技術	政府のネットワーク研究の調整と高度ネットワーク技術、高性能研究ネットワークのアーキテクチャ、セキュリティ、接続性、交換ポイント、連携、アプリ <i>次世代インターネット(NGI) : 1Gbps、100Mbps の研究者用の NGI テストベッド、スケーラブル情報基盤</i>
開発・サポート技術	ソフトウェアの設計と生産性	ソフトウェアエンジニアリング、アクティブソフトウェア、自律システム、エンベデッドシステム センサーの大規模ネットワーク、コンポーネントベース、エンドユーザプログラミング
	社会、経済、労働に関連する情報技術、および情報技術要員育成	IT の変化による技術、社会、経済、教育への影響の評価、デジタルデバイド、IT 労働力開発

注) 斜字は、ハードウェア関連の研究開発プロジェクトで、他はソフトウェア関連

(2) 現実問題の根本解決をはかる、ニーズ指向、ブレークスルー探求、長期的基礎研究

NITRD 計画では、6 分野において、現在抱えている大きな課題として、以下の 10 の研究チャレンジを挙げている（詳細は 4.2.3 項の<研究チャレンジ>に示す）。

次世代コンピューティングとデータ記憶技術

シリコン CMOS における障壁の克服

21 世紀のための多目的・安全・拡張可能なネットワーク

科学と工学における米国の強みを維持するための先進的 IT

重要なシステムにおける信頼性と安全な運用の確保

現実世界のためのソフトウェア作成
知識世界の管理と実現
人間の能力と万人の進歩に対する支援
世界レベルの IT 要員の教育と育成の支援
利益を最大化するための IT の効果についての理解

ニーズが非常に強いが、簡単にはそのニーズを解決できない課題に対して、根本解決をはかるようなブレークスルーを求めて、長期的に取り組もうとしている。

(3) 国益のために、将来ニーズの創生、実践システム指向、学際的研究

米国は、IT 研究開発の投資は、IT 産業の産業競争力の強化のみならず、国益につながると考えており、4.2.3 項の<国家的グランドチャレンジアプリケーション>に示すように、国防、健康管理、人体モデル、環境モデリング、生涯学習、危機管理、航空管制の 7 つの国家的グランドチャレンジアプリケーションに取り組んでいる。このようなアプリケーションでは、試作や実証システムの開発を行い、将来のニーズを生み出す実験、実際に役に立つ実践システムを目指し、学際的な研究を行おうとしている。

3.4.3 IT 産業の特徴と IT 研究開発との関係

では、なぜ米国は、すべての分野に満遍なく投資し、ソフトウェア指向、ニーズ指向、ブレークスルー探求、長期的基礎的、将来ニーズの創生、実践システム指向、学際的、といった研究を選択しているのか。これは、米国がこれまで行ってきた IT 研究開発の成功(失敗)体験を踏まえて、IT 産業の特徴に適合した戦略をとっているからである。以下に、IT 産業の特徴と IT 研究開発との関係を示す。

(1) ネットワーク外部性 => 先手必勝・一人勝ち => 長期テーマへの先行投資

ネットワーク外部性とは、ある製品を持つ使用者の価値が、その製品と補完的に使い得る製品の範囲、あるいはその製品を使っている人々とのネットワークの拡がりが大きくなるほど大きくなる現象をいう。

コンピュータの規格が同じであれば、コンピュータ同士の互換性が維持され、そのソフトウェアも共通に使うことができる。コンピュータの規格に合ったソフトウェアが出回れば出回る程、そのソフトウェアと互換性のあるコンピュータは売れ、売れば売れる程、その規格に合ったソフトウェアが作られることになる。また、他のコンピュータやソフトウェアに乗り換えるスイッチングコストが大きいいため、互換性のあるコンピュータやソフトウェアを使い続けることになる。

このような好循環から、デファクトスタンダードが形成され、デファクトスタンダードを先にとった企業が市場を独占する「先手必勝・一人勝ち」の産業構造となる。他の産業

では、市場のシェアを大きくしようとすればする程大きな投資が必要になり、投資に対する利益が減る「収穫逓減の法則」が成り立つ結果、セカンドランナー、サードランナーの企業が食い込む余地があり、キャッチアップ型ビジネスが成功し易い。しかし、ネットワーク外部性が大きいIT産業では、先にデファクトスタンダードをとった企業は、大きな投資をしなくても売上げは自己増殖する「収穫逓増の法則」が成り立つ。従って、IT産業では、セカンドランナー、サードランナーの企業が食い込む余地は少なく、キャッチアップ型ビジネスは成功しにくく、フロントランナーの企業だけが市場シェアを独占することとなる。この先手必勝・一人勝ちが故に、長期的テーマへ先行投資した方が有利となる。

(2) 水平展開型のネットワーク産業クラスター => 万遍なく投資、産学連携

コンピュータ業界は、メインフレームの時代は、一企業が部品から最終製品までを手がけ、垂直統合型の産業構造であった。しかし、競争の激化と技術革新の速さは、一企業が部品から最終製品まですべてを手がけることを不可能にした。企業は、その企業独自の強さ、すなわち、コアコンピタンスに集中し、それ以外に必要な資源は、それが強い他企業と協調・連携し、全体としてより強化しようとする方向に転換した。その結果、水平展開型のネットワーク産業構造を形成した。マイクロプロセッサ、コンピュータハードウェア、周辺機器、OS、ミドルウェア、アプリケーションなど、システムを構成するサブシステムごとに違う企業が登場し、標準インタフェースを介してシステムを構成する形態である。インターネットの普及・高速化につれて、アウトソーシングが進む状況においては、さらに水平展開が進む傾向にある。「自分でやれば、それだけ儲かる」という常識は、「アウトソースすれば、みんなが儲かる」(サン理念)に変わってきているのである。

この水平展開型のネットワーク構造は、他企業との協調・連携が必然的に求められ、産業クラスターを生む。IT産業の代表的産業クラスターはシリコンバレーであり、シリコンバレー型産業クラスターは、アナリー・サクセニアンによれば、以下の特徴をもつ。

地域内で社会的分業が深化、専門企業がネットワークを形成

主要な担い手はベンチャー企業、およびこうした企業から成長した中堅・大企業
起業家活動が活発であり、イノベーションが進展し、その成果が地域内に波及
地域として集団的なアイデンティティが確立。企業間の競争と協力が両立

個人が企業を超えてネットワークを形成し、情報を共有。したがって、人材のモビリティが活発

日本の「系列」も産業クラスター的一种であるが、シリコンバレー型の産業クラスターは、各企業が対等な関係で結ばれているのに対し、系列は、親の大企業と下請けの中小企業との関係である点に大きな相違がある。

また、マイケル・E・ポーターは、「国の競争優位」で、国の競争力強化には産業クラスターの存在の必要性を次のように述べている。

国の競争力は、その国に立地する企業が、インプットから価値ある製品やサービスを生み出す際の生産性によって決定される。そして、その生産性は、企業がその国でどのように競争しているのかによって決定され、要素条件（人材資源、インフラなど）、需要条件（その国の需要構成、規模、成長パターン、特質といった市場特性）、関連産業・支援産業、戦略の状態と競合関係、の4つの競争要件を挙げている。そして、その4つの競争要件を満たし、国の競争力を強化・維持していくには、産業クラスターの存在が必要であるとされている。

前述したように、IT 産業におけるネットワーク外部性の大きさは、製品を出している会社自身での技術蓄積に加えて、自社製品の使い方に関するノウハウ、自社製品を補完する他社製品など、自社以外における技術蓄積が大きくなることを意味する。この外部市場での技術蓄積の大小は、その会社自身の競争力を表すと同時に、産業全体のインフラとして、国の産業競争力を表すことになる。

従って、単に一企業だけを強化するだけでは、産業競争力の強化にはつながらず、関連産業、大学、およびそれらの間の連携なども含めた強化が必要であり、研究分野的には満遍なく投資し、大学の強化、産学間連携の強化、人材育成をはかる必要がある。

(3) 技術革新の速さ、破壊的イノベーション => ブレークスルー、ニーズ創生、ベンチャー育成

IT 技術、特にハードウェアの技術革新のスピードアップは激しく、ドッグイヤーと呼ばれる程である。製品のサイクルは、3ないし6か月と言われるまで短くなっている。このサイクルに乗り遅れる企業は、競争から脱落していく。従って、絶え間ない技術革新を続ける必要がある。

クレイトン・クリステンセンは、「イノベーションのジレンマ」で、技術革新が速いために破壊的イノベーションが起りやすくなり、それが大企業を滅ぼすはめになる興味ある事実を示している。破壊的イノベーションは、現れた当初は、主流市場では、既存製品よりも性能が劣っているが、主流市場から外れたマイナーな市場、あるいは新しい市場では、破壊的イノベーションが適している。この状況が、時間が経つにつれて、破壊的イノベーションの性能が急速に向上し、主流市場の顧客が必要とする性能を満足するようになり、主流市場においても、破壊的イノベーションが、持続的技術よりも適するようになる。

この時点で、既存製品の大企業が参入しても、破壊的イノベーションの企業は、顧客とともに歩むことによって新しい市場のニーズを開拓・学習しているため、手遅れとなる。

現在の米国の IT 企業のほとんどは、創立 25 年にも満たなく、破壊的イノベーションで育ってきたことを見れば、この事実が納得できよう。

従って、ブレークスルーを目指した研究を行い、その成果をベンチャー企業に技術移転し、新しいニーズを創生することによって、破壊的イノベーションを引き起こすことが求められる。

(4) ハイテク製品のマーケティングプロセス => ニーズ指向、実践システム

ジェフリー・ムーアは、その著書「キャズム」で、ITのようなハイテク製品のマーケティングプロセスの進化モデルを、利用者層と関連付けている。ハイテク製品は、初めは、機能の目新しさ、革新性に興味を持つイノベータ、ビジョナリーに受け入れられるが、次の段階のメインストリーム市場で受け入れられるには、利用者層の考え方が異なり、キャズムと呼ぶギャップに落ち込むのが通常である。メインストリーム市場を構成するのは、多数派であり、彼らは実用性を重んじ、他社事例を確認して、抱えている問題がハイテク製品で解決できることを確認するタイプである。多数派に受け入れられるためには、特定のマーケットセグメントに的を絞り、そのセグメントの顧客のニーズを満たすようにホールプロダクト（製品自身と、それを補完・補助する製品・サービス群）をコミットして、マーケットセグメントの覇者になり、セグメントを広げ、メインストリーム市場を制覇することが必要だと述べている。

以上の事柄は、ニーズ指向が大事で、実践システムを目指すことが必要であることを物語っている。

(5) 非線形モデル => 長期的基礎研究、ニーズ創生、実践システム、学際的研究

米国は、これまで、図 3.10 に示すように、政府支援 IT 研究プロジェクトから幾多の成果を上げてきた。これをみると、次のことが理解される。

IT の研究開発プロセスは、基礎研究に始まり、応用研究、製品開発へと時間とともにリニアに流れるとする線形モデルで成功するのではなく、実際は、製品開発が基礎研究を刺激する逆の流れもしばしば起こり、基礎、応用、開発のプロセスを行き来する（従って、研究主体も、政府支援（大学・国研が主）と民間企業との間を行き来する）複雑なプロセスを経て行われる非線形モデルで研究開発が行われている。

アイデアの萌芽から製品出荷までの期間が長い。（レッドワインの調査によれば、ソフトウェアの場合、アイデアの萌芽から製品出荷までの期間の平均は 17 年である。）

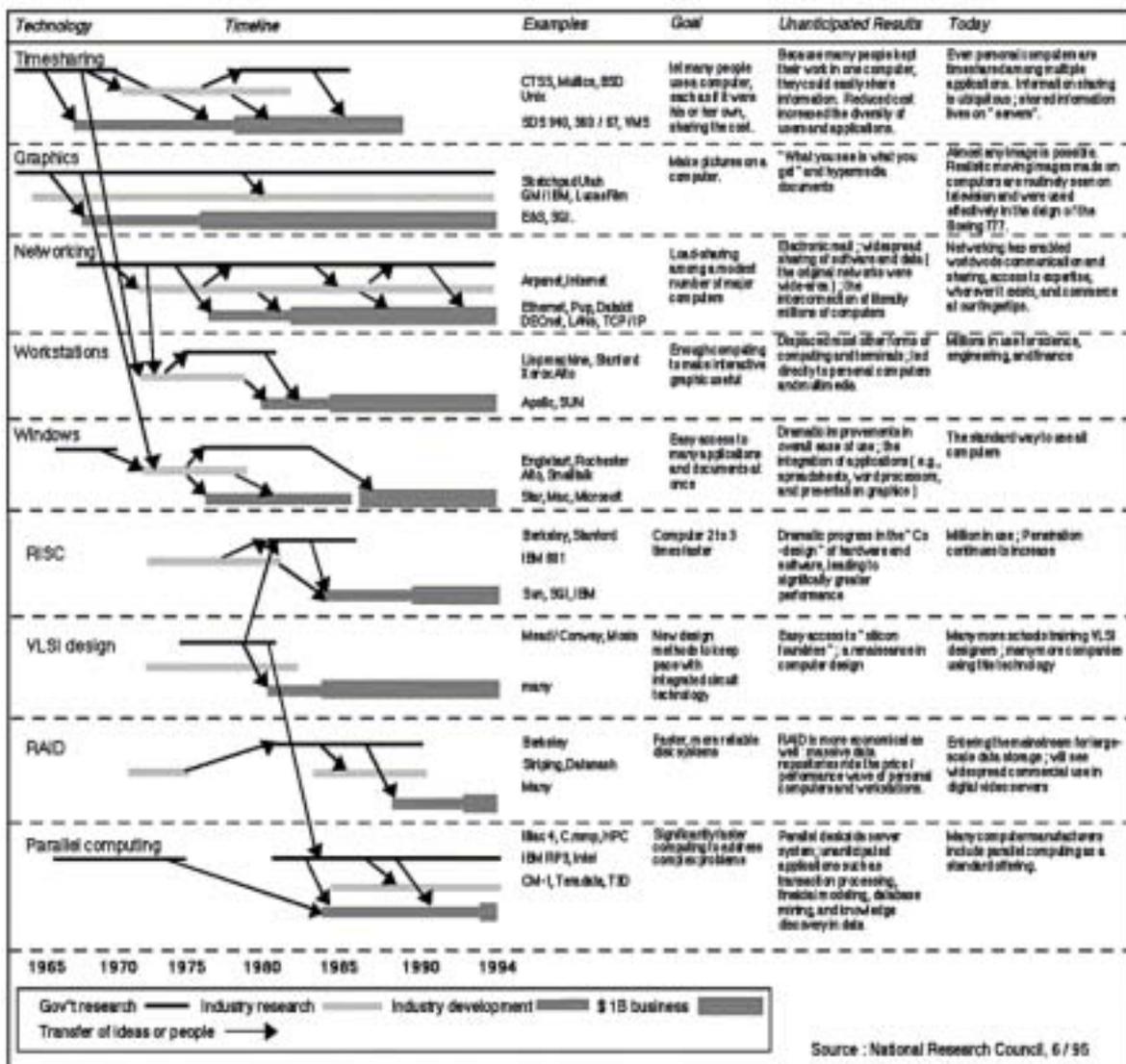


図 3.10 米国政府支援研究開発からの商業化例

このような米国の政府支援研究開発プロジェクトの成功事例の特徴は、前述したクレイトン・クリステンセンが「イノベーションのジレンマ」で、ジェフリー・ムーアが「キヤズム」で述べている IT のようなハイテク製品分野で成功する秘訣、すなわち新しい市場の創生と、顧客の要求を満たす実践システムを実践しているのにほかならない。米国政府は、アイデアを機能として実現し、試作システムを作る - 芽を出させる基礎研究、ユーザの抱える問題の解決をはかる実証評価システムを作る - 芽を育てる応用研究、実際に顧客が使えるようにする実践システムを作る - 実らせる開発研究、を省庁間連携、あるいは産学官連携で、リレーしながら、ときには逆戻りしながら、顧客の要求を満たす実践システムを作り上げるところまで支援している。また、米国政府は、国防・宇宙開発といった国家事業の場で、インターネットの事例で見られるように、芽を出させ、それを育

て、実らせる研究を行って、新しい市場の創生にも力を貸しているのである。そして、この研究開発の成果が、ベンチャー企業の起業につながり、雇用の創生と IT 産業の競争力強化を生み出している。また、新しい市場の創生、顧客の要求に答えるが故に、グランドチャレンジテーマに挑み、将来ニーズの解決、現実問題の根本的解決に対するブレークスルーをはかるテーマに重点投資しているのである。

IT の研究開発が非線形モデルで進められ、長期に渡ることは、IT の研究開発のリスクが極めて高い。これは、技術革新が速く、競争が激化し、目先の製品開発に追われている状況にある企業にとって、長期的基礎研究への投資を敬遠せざるを得なくしている。それに代わって、政府は、大学・国研を主体に、長期的基礎研究に多くの投資を行わねばならないのである。

(6) IT 革命の本質 => 学際的研究、ソフトウェア指向

パソコンとインターネットの普及は、IT 革命をもたらした。扱う対象は、データから情報・知識へとシフトし、扱う人々は、IT 専門家から素人へと大衆化が進み、範囲は、企業内で閉じていたのが、オープン化してグローバルなネットワークに拡大し、いつでも、どこでも、だれでも扱えるようになった。

IT は、省力化・効率化をより一層追求する一方で、より人間的・創造的な活動を支援するようになった。すなわち、電子メールを通じてのコミュニケーション、Web による情報発信・収集に始まり、SCM によるジャストインタイム、CRM によるワンツーワンマーケティング、KM による情報・知識共有といったより高度な知的システムを導入するようになった。このような IT による知の活用が、IT 革命の本質の第 1 である。

第 2 は、オープン化による知の相互作用である。企業は、商品企画、研究開発、生産計画、製造、物流、営業、購買、人事管理など各種の社内業務を抱え、業務間でインタラクションコストが発生している。これらの業務が IT 化され、オープン化されてくると、これらの業務を自社で行うよりも、外部にアウトソーシングした方が、インタラクションコストが安くなって得策になってきた。企業は、製品のみならず、業務についても選択と集中を行う戦略を採用し、コアコンピダンスに集中し、ノンコアコンピダンスは、徹底的にアウトソーシングするようになった。アウトソーシング先は、多くの企業の業務を請け負うことによって効率化し、他社との競合から効果的な業務サービスを行うようになった。この結果、企業間にアウトソーシングによる連携が進んでバーチャルカンパニーが形成され、「アウトソーシングをすれば、みんなが儲かる」ようになった。

米国は、IT 産業のフロントランナーになると同時に、IT 以外の産業においても、この IT 革命をいち早く取り入れた。日本の労働意欲の高い労働者によるトータルプロセスの改善、取引先の要請に合わせたきめ細かい納入体制を、知の活用によってカバーし、日本の「系列」による親企業と高度に専門化された技術をもつ中小企業との連携を、知の相互作用によってカバーして、米国の産業競争力を復活させた大きな要因となった。

IT による知の活用、知の相互作用は、始まったばかりで、人間の持つ知に比べれば、未だ、微々たる知が IT 化された段階であり、さらに、あらゆる分野の知が IT (ソフトウェア) 化していくであろう。これに向けては、学際的、ソフトウェア指向、実践システムの研究で、知の活用、相互作用を実現していかなばならない。

(7) 製造レスなソフトウェア => 製造技術の得意な日本には不利、人材育成

通常、工業製品の生産プロセスは、開発工程を経て製造工程へと流れるが、ソフトウェアの場合、開発工程だけで、製造工程は、出来上がったプログラムのコピーだけでよい。

従って、販売量が増えても製造コストはかからず、開発コストという莫大な固定費がコスト構造という産業である。また、半導体などハードウェアについても、製造コストはそれほどかからず、同じようなコスト構造である。

製造工程のないソフトウェアは、日本の得意とする製造技術が生かせない分野であり、米国は、日本からの追い上げを心配しなくてもよく、ソフトウェアに先行投資すれば、トップランナーを維持し続けることができる。

開発工程における作業は、プログラマがプログラムを設計、コーディング、テストする労働集約的作業であり、実現されるソフトウェアの機能、品質、生産性はプログラマの能力に大きく左右される。従って、多くの能力の高い人材の供給を必要とする産業である。従って、大学に投資し、人材育成を図っておかねばならない。

(8) 知的財産権の壁 => 長期先行、ブレイクスルー型研究

ソフトウェアの権利保護については、1981 年、米国で著作権法の改定があり、ソフトウェアの著作権が法で認められて以来、世界的に著作権で保護されるようになった。著作権法では、複製が禁止される。多少の修正があっても著作物の同一性の範囲内であれば、複製とみなされる、また、著作物の権利は、創作と同時に発生し、公表後 50 年と非常に長い期間有効となる。1982 年の IBM 産業スパイ事件によって、ソフトウェアの複製禁止が広く知れ渡ることとなった。

しかし、独自性が入っていれば、類似製品でも別の製品と認められるため、模倣と独自との隙間をねらう類似戦略をとることは可能である。マイクロソフトの製品には、独創性が見られる製品は少なく、主要製品である MS-DOS、ウィンドウズ、ワード、エクセル、インターネットエクスプローラは、すべて類似製品である。

けれども、類似戦略をとることは、著作権侵害で訴えられる大きなリスクを背負い込むことだけは確かであり、この知的財産権保護は、後発企業のキャッチアップ型ビジネスにとっては、前述のネットワーク外部性と合わせて、大きな障壁となる。

さらに、ソフトウェアのアルゴリズム、あるいはビジネスモデルに対する特許も米国が認めて以来、世界的に認められるようになってきた。ソフトウェアのアルゴリズム特許の場合、模倣しなかったことが証明できても、結果的にアルゴリズムが同一になれば、特許

侵害となるので、類似戦略の壁は高くなる。

このような知的財産権の壁を作ることによって、長期先行、ブレイクスルー型研究開発の成果が保護される。

3.4.4 米国の重点分野の選択戦略のまとめ

以上述べてきたことから、米国の重点分野の選択戦略をまとめると、以下のようになる。

大学・国研を主体に、ユーザの抱えている問題をブレイクスルーするような長期的基礎研究に重点投資し、芽を出させることを他に先行して行う。そして、これを通じて、大学での人材育成を狙う。

萌芽した成果は、知的財産権を取得して、知的財産権の壁によりキャッチアップを困難にしてから、ベンチャーなど民間企業に技術移転する。

技術移転を受けた企業は、ユーザのニーズを満たす、あるいは創生して、市場に受け入れられるよう芽を育て、実らせる研究開発を行い、破壊的イノベーションへと導く。その結果、ネットワーク外部性により、先手必勝・一人勝ちと大きな利益を享受できるようになり、新産業の創出、雇用の創出、産業競争力の強化、税収の増加につながる。

大学・国研においても、国家的グランドチャレンジアプリケーションを通じて、将来のニーズの発掘、実証評価実験、実践システムの構築を行い、芽を育て、実らせる学際的研究を行う。

ITの研究開発は、通常は線形モデルで進まないもので、省庁間のリレー、あるいは、産学間の連携により、上記の～のプロセスを行き来しながら進める。

分野的には、IT革命の知の活用・相互作用を進めるために、および、製造技術の得意な日本などからのキャッチアップを許さないために、ソフトウェア主体に投資し、ユーザのニーズや将来のニーズに応えるため、および、産業クラスターを形成して、国としての競争力強化に向けて、満遍なく中核技術に投資する。

4. NITRD 計画に見る米国の IT 技術開発戦略

4.1 IT 技術の新しい分類

IT 分野内での技術の分類は、その中核となるコンピュータ技術の階層的アーキテクチャ分類を基準として行われてきた。コンピュータ技術は、長く続いたメインフレームの時代から、複数のパソコンやワークステーションを LAN で接続した分散システムの時代を経て、今は、インターネットの時代と言われている。

IT 分野内の重点分野の議論を行う時、インターネットの重要性の高まりを反映した分類を考える必要がある。本調査では、従来のコンピュータシステムに強く依存した分類から、インターネットを 1 枚の基盤として動作するソフトウェアやインターネット上に分布する極めて多様性を増したコンテンツを強く意識した、ユーザの視点から見る、新分類を用いることとした。図 4.1 に関連を示す。

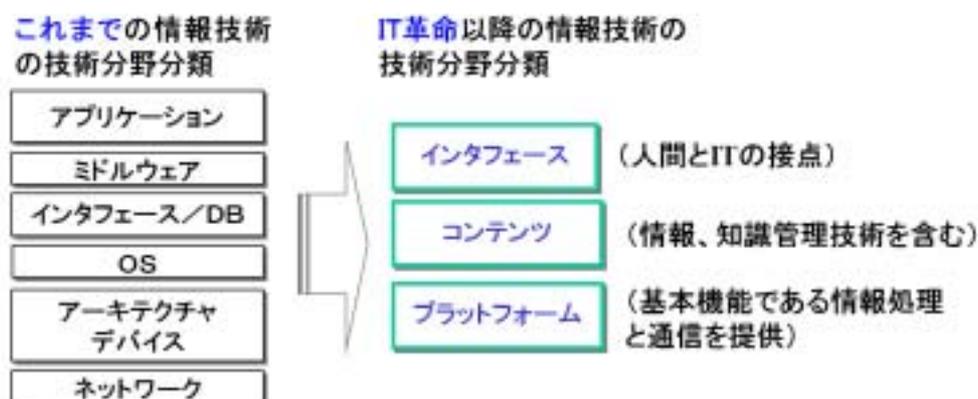


図 4.1 IT 技術の新しい分類

新分類の中では、プラットフォームが、ネットワークで接続された一群のコンピュータを一つの世界とみなす超分散システムと、多数のコンピュータを密結合したシステムを一つの世界とみなす超並列マシンの双方をまとめているのが特徴の一つである。その上の基本ソフトウェアも含めている。場合によっては、分散したコンピュータを一つの世界にみせるミドルウェアも含む。

このようなプラットフォーム上における応用ソフトウェアの開発者は、その中身がどのような構造を持っていても、その構造の細部の違いを意識する必要はなく、一枚岩の世界としてプログラムを書く事ができるものとする。

更に近年はソフトウェアが複雑化の一途をたどり、もはや個人で理解できる範囲を遙かに越えている。ソフトウェアの信頼性・生産性は、非常に重要な課題として取り上げられてきている。この現実をふまえ、ソフトウェア製造技術は別項目として上げた。

コンテンツの分野では、従来のデータベースとその管理システムのような明確な分類は、

見えなくなると考える。例えば、知識ベースやアクティブデータベースと呼ばれる分野では、データベースの内部に、そのデータベースを如何に用いるか、またデータを如何に更新するかといった高度な管理規則も含まれている自律型機能が入っていると考えられる。

現実の IT 技術は、このようなレベルまで発展はしていないが、現在の IT 研究開発は、このような機能を持つモデルを目指しており、ソフトウェアに重点をおいて、研究開発の重点分野の議論や分析を行う場合は、この新分類による方法で分析をする。

4.2 NITRD 計画とその主要プロジェクト

4.2.1 NITRD 計画の従来経緯

米国における IT 研究開発の流れを見るとき重要な起点は、当時の上院議員ゴア氏が提出した HPC 法案にさかのぼることができる。この HPC 法案にはいくつもの新しい法案が追加され、現在は NITRD 計画となっている。表 4.1 に重要なイベントを示す。

表 4.1 NITRD の従来経緯

1991年12月	HPC法(High Performance Computing Act of 1991)成立。5年間の時限立法 HPCC(High Performance Computer and Communication)計画開始
1992年	情報基盤技術法成立 (Information Infrastructure and Technology ACT of 1992)
1993年2月	国家競争法成立 (National Competitiveness Act of 1993)
1993年3月	ゴア副大統領 NII (National Information Infrastructure) 構想発表
1994年3月	ゴア副大統領 GII (Global Information Infrastructure) 構想発表
1996年10月	電子情報公開法 (Electronic Freedom of Information Act Amendment of 1996)
1996年12月	HPCC 計画終了。後継プロジェクトとして CIC (Computing, Information and Communications) 計画開始
1996年10月	ホワイトハウス NGI (Next Generation Internet) 計画発表
1998年10月	次世代インターネット法が (Next Generation Initiative Research Act of 1998) 成立し、CIC 計画に追加
1999年2月	PITAC 勧告 (Information Technology Research: Investing in Our Future)
1999年6月	PITAC 勧告を受け IT ² 計画による HPCC (CIC) 計画の拡張
2000年2月	HPCC 計画と IT ² 計画を合併し、IT R&D 計画に改称 クリントン大統領 FY2001 予算を発表 IT ² 計画の強化版である NITRD (Network and IT R&D) 法案が下院で認可
2000年9月	FY2001 Bluebook の公開
2001年4月	ブッシュ大統領 FY2002 予算
2001年8月	FY2002 Bluebook の公開。NITRD 計画に改称
2001年9月	同時多発テロ発生
2002年2月	ブッシュ大統領 FY2003 予算発表 (防衛費の重視が行われる)

4.2.2 NITRD 計画の推進体制と各省庁の予算

(1) 推進体制

NITRD 計画の特徴はその予算が省庁間を跨って、柔軟に運用されていることにある。そのために、推進体制は図 4.2 に示すようになっている。

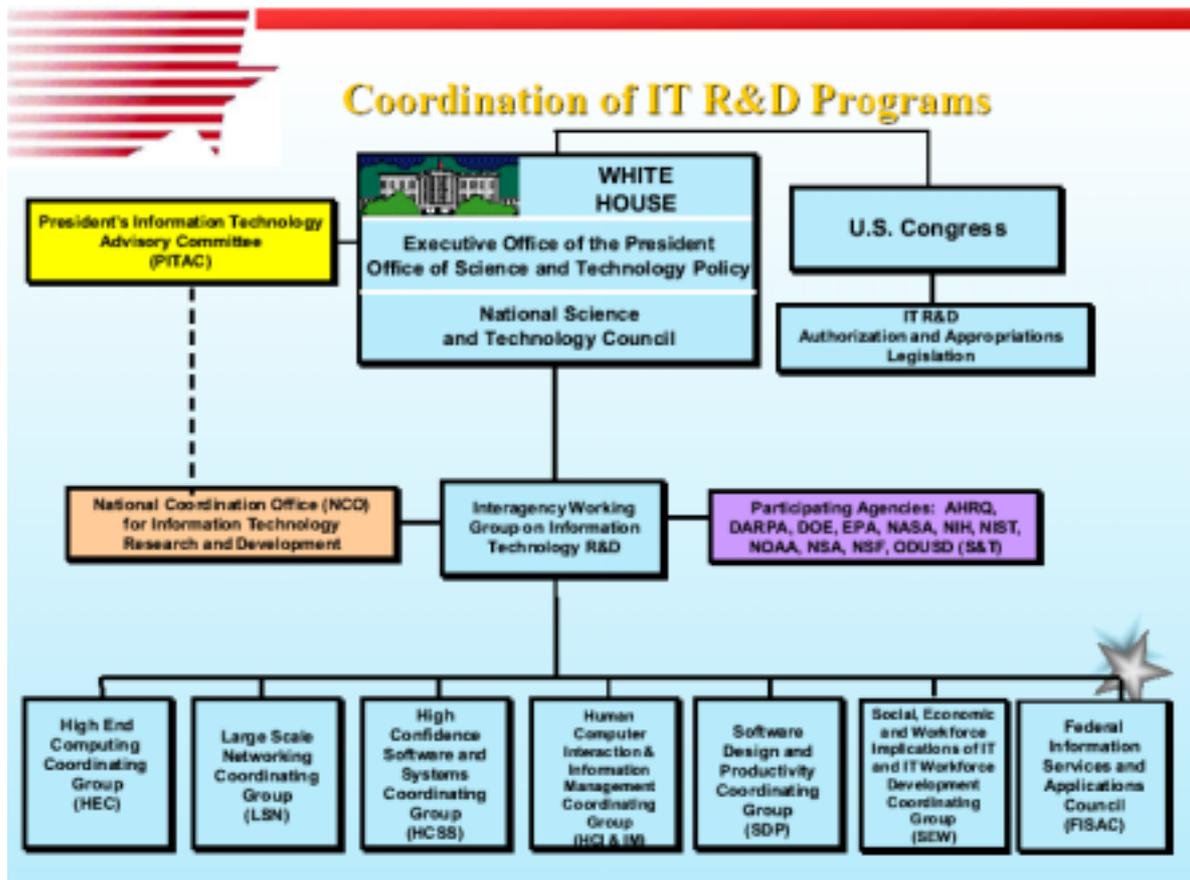


図 4.2 NITRD 推進体制

出展：NCO の “ Federally-Funded Information Technology Research and Development”
Jan 9, 2001

NITRD の研究開発の実体は、6 つの PCA (Program Component Area) のグループ (Coordination Group) で議論される。

- ハイエンドコンピューティング HEC (High End Computing)
- 大規模ネットワーク LSN (Large Scale Network)
- 高信頼性ソフトウェアとシステム HCSS (High Confidence Software and System)
- ヒューマンインタフェースおよび情報管理 (HCI&IM)
- ソフトウェアの設計と生産性 (SDP)
- 社会、経済および労働力の面から見た IT 労働力開発の意味 (SEW)

参加省庁は下記 12 省庁である。

- National Science Foundation (NSF)
- Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA)
- National Institutes of Health (NIH)

National Aeronautics and Space Administration (NASA)
 Department of Energy Office of Science (DOE/OS)
 National Security Agency (NSA)
 National Institute of Standards and Technology (NIST)
 National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)
 Agency for Health Research and Quality (AHRQ)
 Office of the Deputy Under Secretary of Defense for Science and Technology
 (ODUSD (S&T))
 Environmental Protection Agency (EPA)
 Department of Energy National Nuclear Security Administration (DOE/NNSA)

(2) NITRD 予算

既に FY2003 の予算は発表されているが、詳細の IT 研究開発予算の分担はこれからになる。よって、FY2002 Bluebook で纏められている FY2002 の要求予算で、各省庁の予算規模を見てみる。FY2003 も基本的にはこの延長になる。表 4.2 に示す。

表 4.2 NITRD 計画 FY2002 年度 予算要求額

省庁	HECI&A	HECR&D	HCI&IM	LSN	SDP	HCSS	SEW	合計	比率
NSF	249.7	65.1	104.8	98	39.7	46.1	39.1	642.5	32.6%
DARPA	55.5	42.7	38.2	49.2	44.6	32.9		263.1	13.4%
NIH	55.1	13.7	74.6	81.1	6	10.1	11.4	252	12.8%
NASA	36.1	26	27.8	14.4	22.4	47.1	7	180.8	9.2%
DOE/OS	98.3	31.5	16.4	25.9			4	176.1	8.9%
NSA	33.6			1.9		46.6		82.1	4.2%
NIST	3.5	6.2	3.2	2	7.5			22.4	1.1%
NOAA	13.3	1.8	0.5	2.7	1.5			19.8	1.0%
AHRQ	9.2	6.7						15.9	
ODUSD(S&T)		2	2	4.2	1	1		10.2	0.5%
EPA	1.8	1.8							0.0%
小計	513.3	216.4	279.7	287.3	115.7	192.8	61.5	1,666.70	84.6%
DOE/NNSA	133.8	37		35.5	41.1		56.5	303.9	15.4%
合計	647.1	253.4	279.7	322.8	156.8	192.8	118	1,970.60	100.0%
比率	32.8%	12.9%	14.2%	16.4%	8.0%	9.8%	6.0%	100.0%	

NSF が最大の予算を使い、IT 関連の取りまとめ的な役割を果たしている。更に、DOE/NNSA は ASCI 計画に対する予算であり、別枠で管理されている。

4.2.3 NITRD 計画の目指すブレークスルー

2001 年 8 月にブッシュ政権下で初めて発行された FY2002 Bluebook では、NITRD 計画に名称を変更し、研究開発の紹介も FY2001 Bluebook の 1/4 の 50 ページになっており、

編集方針も、研究の詳細内容から、一般国民を意識した記述になっている。

ブレークスルーを、長期的研究開発主体の 10 個の研究チャレンジと、現実的な課題である 7 つの国家的グランドチャレンジアプリケーションに分けて解説している。

<研究チャレンジ>

各チャレンジで、何をブレークスルーしようとするかについて、以下に述べる。

(1) 次世代コンピューティングとデータ記憶技術

先進的なコンピューティングコンセプト（従来存在しなかったアーキテクチャ、コンポーネント、アルゴリズムを含む）

システムソフトウェア技術（オペレーティングシステム、プログラム言語、コンパイラ、記憶階層、インプット/アウトプット、パフォーマンスツールを含む）

部品技術、システムソフトウェア、プログラミング環境を統合するシステムアーキテクチャ（部品技術、ノードの機能性、コンフィギュレーション、高度並列計算管理用ソフトウェア、階層的プログラミングを含む）、ネットワーク接続性

ハイエンドコンピューティングのためのソフトウェアコンポーネント技術

(2) シリコン CMOS における障壁の克服

光バックボーンネットワーク上の超安全な通信

未整理のデータベースの検索、あるいは大きな数字を因数分解するためなどのアルゴリズムの速度の飛躍的増加

分子的プロセス、あるいは物理現象の詳細かつ忠実なシミュレーションを可能にする量子コンピュータ

革新的なコンピュータ構造、3-D アーキテクチャ、ハイブリッド技術

チップ上で再構成可能なシステム、適応性があり、かつ多様性があるコンピューティング

プロセッサの性能に比例する記憶性能を提供するメモリ内プロセッサ（PIM）とその他の活動

新しい計算基盤

a) 量子コンピューティング

b) 生物ベースコンピューティング

c) スマートファブリック

織り合わせ形バッテリー、光ファイバーケーブル、金属コネクタなどの技術を利用して、科学者は、数十 teraops クラスの処理（今日の大型スーパーコンピュータの規模）を行うのに十分なプロセッサを浮き彫り加工し、人が身につけられる織物を作ることが可能である。

d) 分子電子工学

軍用次世代戦略コンピューティングのための、極度に速く、高密度の処理能力を持った分子スケールの計算。

(3) 21世紀のための多目的、安全、拡張可能なネットワーク

基礎的ネットワーク研究は下記を含む。

光ネットワーク(フロー、バーストとパケット交換、アクセス技術、毎秒ギガビットレベルのインタフェース、プロトコルの階層化)

ネットワークのダイナミクスとシミュレーション(自動管理、自動リソース回復、ネットワークモデリング)

耐故障性と自律的管理

リソース管理(発見と仲介、事前予約、共同スケジューリング、ポリシー駆動型の割当メカニズム)

無線技術(発見、共存とコンフィギュレーションのための技術標準)

帯域幅に対する要求を支援する能力の増強

頑強性の改善、数十億のデバイスの一時的相互作用の取扱いとネットワークの遠端からのアクセスを最大化するためのネットワークの増強と拡張。これにはユビキタスブロードバンドアクセス方式、無限光ネットワーク、セキュリティとプライバシー、ネットワーク管理などの研究がある。

地球規模のネットワーク、および情報インフラストラクチャを理解すること(エンドトゥエンドパフォーマンス、バックボーン構造、アプリケーション)

新しい分野の応用を可能にすること(分散型データインテンシブコンピューティング共同研究、コンピュータ操縦による科学的シミュレーション、遠隔ビジュアライゼーション、遠隔機器の操作、大規模分散型システム)

(4) 科学と工学における米国の強みを維持するための先進的 IT

科学者、技術者、社会が関心を持つ現象をより速く、より高解像度、より現実的な立体的シミュレーションで処理可能にするための、より高能力で相互運用性を持ったコンピューティングシステム、記憶システム、ネットワーク、ソフトウェア開発能力(言語とツールを含む)、人・コンピュータ間対話技術

複雑で学際的なモデリングシステムを構築し、理解し、評価するためのアプローチ
科学者や技術者が、分散されたハイエンドのコンピューティングリソースにより良好にアクセスでき、利用することを可能にする言語とツール

分散型の学際的チーム支援のための IT

(5) 重要なシステムにおける信頼性と安全な運用の確保

保証と構成の基盤

- a) 高信頼度特性に関する厳密なモデリングとリーゾニング
- b) 相互運用性を持った方式とツール
- c) システムの構成と分解
- d) 仕様
- e) 安全性とセキュリティの基盤

スケーラブルな故障予防、検知、分析と回復

- a) 頑健なシステムアーキテクチャ
- b) モニタリング、検知、適応応答

構成に応じて是正されるソフトウェア技術

- a) プログラム言語、ツールと環境
- b) 再利用可能なミドルウェアサービスを含む、システムソフトウェア、ミドルウェア、ネットワーク。大規模分散組込み型アプリケーションとドメイン特有サービスのためのタイミング、コンセンサス、同期と反復用の効率的、予見可能、スケーラブルな、かつ信頼できるプロトコルを含む。

検証と妥当性確認のための証明技術

実験法と基準実施

- a) 先進的ネットワーク、物理システムのソフトウェア制御、移動ネットワーク機器のための公開鍵インフラストラクチャ（PKI）などの保証基準実施と事例
- b) ドメイン特有な認証技術、コスト効率の良い検証や妥当性確認と検証済ハードウェア/ソフトウェア共同設計技術など

(6) 現実世界のためのソフトウェア作成

ソフトウェアとシステム設計の科学

- a) 言語とコンパイラ、例えば、エンドユーザのためにソフトウェアの仕様と開発を容易にするドメイン専用言語、ならびに使用は容易だが誤りを生じにくい言語
- b) ソフトウェアとシステムを構成する効果的な方法、すなわち複雑なシステムを構成し、分析し、検証し、広範囲にわたって分散された異種システム上で相互運用可能にするためのより優れた技術
- c) 適応性があり、かつ反射性のコンポーネント、構成のフレームワークとミドルウェア、拡張可能分散型ソフトウェアシステム構築の理論的基礎

工学的プロセスの自動化

- a) 分散、自律、組込み型ソフトウェアの開発のための技術を含み、開発時間を短縮し、信頼性を向上させるソフトウェアコンポーネントを組み合わせる方法。ソフトウェア開発の自動化
- b) ソフトウェアと物理システムを仕様化し、分析し、試験し、検証する、統合ソフト

ウェアとシステム開発プロセス

- c) ネットワークアプリケーションの相互運用性
 - d) 統合されたドメイン専用開発環境の迅速な構成とカスタマイゼーションを可能にする統合された構成可能ツール環境
- パイロットアプリケーションと実験による評価
- a) 組み込み型ソフトウェアアプリケーションと、その他の複雑なアプリケーションのための技術
 - b) ソフトウェアとシステム開発プロジェクトの実証的研究

(7) 人間の能力と万人の進歩に対する支援

先進的機能の開発

- a) 言語間、ならびに話された言葉と書かれた言葉の間の翻訳、音声言語照会システムを含む、言語工学技術。
 - b) 軍事と先進的宇宙用アプリケーションにおける手を使用せず、かつ制約のないコンピューティング、ならびに盲人によるコンピュータへのアクセスのための口頭用、聴覚用およびマルチモーダルインターフェース
 - c) 健康管理、国防、危機管理などの場におけるセンサーの利用技術、ならびに重度の身体障害者のための技術
 - d) 意思決定を迅速化するためのデータベースとのリアルタイム対話
- 先進的機能の統合
- a) 複合対話を備えたユビキタスコンピューティングのための、「スマートスペース」などのインテリジェントシステム。協調モバイルエージェント
 - b) 遠隔共同研究、ビジュアライゼーション、バーチャルリアリティ環境
 - c) 動作、視力、聴力のためのイネーブルウェア。監視システム。高齢者や身体障害者の自立性を増す遠隔相談技術
 - d) 専門知識のモデリングと共有化のための方法と技術。複雑な任務の共同作業による実行のためのモデルと測定基準

(8) 知識世界の管理と実現

データ記憶と管理技術

- a) 収集、索引付け、合成とアーカイビングのためのツール
- b) データの互換性、変換、相互運用性、解釈のためのプロトコル
- c) 遠隔アクセスと分析の能力を備えた、生物学における分子構造や高分子構造あるいは異種のリアルタイム気象観測などのデータベースを融合するための技術とツール
- d) ダイナミックで、拡張可能、かつフレキシブルな情報環境の要素技術と統合
- e) マルチメディアコレクションのデジタル表示、保存、記憶

f) 著作権保護、プライバシーや知的財産権管理などの法的問題に取り組むためのプロトコルとツール

大規模データセットの有用性

a) インテリジェント検索エージェント、改良型の抽出と要約技術、先進的インタフェース

b) デジタル分類フレームワークと相互運用性を持った検索アーキテクチャ

c) 分散型マルチメディアアーカイブのためのメタデータ技術とツール

d) 超大規模データマイニング技術

e) メディア統合、ソフトウェア機能、大規模アプリケーションのプロトタイピングと評価のためのテストベッド

(9) 世界レベルの IT 要員の教育と育成の支援

認知発達や様々な場におけるグループと個人学習に関する新しい知識

教育訓練環境における IT システムの効果に関する、より重要な経験的データ

独習と共同学習のためのソフトウェア

学習環境における情報技術の統合

(10) 利益を最大化するための IT の効果についての理解

距離を越えた、様々な社会的、文化的、法的、経済的、倫理的状況の中での、人々、グループ、コンピューティングアプリケーション、通信ネットワーク、情報インフラストラクチャの間の相互作用に関する新しい知識

デジタル経済、作業のモード、インターネットの管理や市民権、ユニバーサルアクセスと参加に対する障壁、サイバー犯罪や法律の執行のような諸相を含む、デジタル社会への参加に関する新しい知識

デジタル時代における知的財産権とプライバシー問題の基本的な理論的、法的分析と実験による研究

科学、教育、職場における共同作業と学習のための大規模なソーシャルテクノロジーの統合と使用に関する研究

どの技術、ツールやアプリケーションが学習上有効かについての、我々の科学的理解の大幅な改善。

実りある高齢化のための技術の研究

IT の社会的技術の設計に関する倫理原則の研究

< 国家的グランドチャレンジアプリケーション >

米国は、IT 研究開発の投資は、IT 産業の産業競争力の強化のみならず、国益につながると考えており、7つの国家的グランドチャレンジアプリケーションに取り組んでいる。この

ようなアプリケーションでは、試作や実証システムの開発を行い、将来のニーズを生み出す実験、実際に役に立つ実践システムを目指し、学際的な研究を行おうとしている。

(1) 次世代の国防と国家安全保障システム

新しい航空機や情報兵器での大量かつ高精度のシミュレーション
防衛にとって重要な、高度の耐故障性、高水準なセキュリティと耐侵入性を備え堅牢かつ高水準なソフトウェアの効率的な設計と開発
ダイナミックな戦闘、支援活動、諜報作戦のためのマイクロプロセッサと組み込み型自律デバイス

(2) 全国民のための改良された健康管理システム

高信頼度の医療機器
遠隔治療や緊急現場治療のためのマルチモーダルシステム
身体的制約のある個人のための先進的家庭用機器とサービス
医療教育、生物医学研究のための先進的分散型マルチメディアシステム

(3) 科学的に正確な人体の三次元機能モデルの制作

人体の機能の複雑な現象の大規模三次元ビジュアルモデルやシミュレーションの生成

(4) 大規模環境モデリングとモニタリングのための IT ツール

地球温暖化、食料不足、自然災害、人間と環境との相互作用のような複雑な現象を解明するための、
地球規模観測データをリアルタイム処理する高速ネットワーク、高性能コンピュータプラットフォーム
モデル化技術、ビジュアライゼーション
データマイニング、自動パターン認識、メタデータ処理、検索技術などの知的処理技術

(5) 生涯学習のための世界最良のインフラストラクチャの創出

生涯教育。訓練のための先進的学習システム
知識（コース学習、電子図書館）へのユビキタスアクセス
様々な科学現象や文化環境への没入環境の提供

(6) 危機管理のための統合 IT システム

自然災害や人為的災害に対する危機管理

移動無線通信、先進マイクロセンシング、データ分析やシステム管理ソフトウェア
学際的な取り組み（公衆衛生、医療、危機対応、火災、治安維持）

(7) 先進的航空管理のための技術とシステム

航空輸送システムのための、モデリング、シミュレーション、分散システム、高性能
コンピューテーションなど中核要素技術

航空輸送コンポーネントをシミュレートする仮想空域輸送環境

4.2.4 NITRD 計画の研究開発テーマ

前節では、NITRD がどんなブレークスルーを目指しているかについて記述したが、具体的研究テーマには詳しくは触れていない。この詳細研究開発テーマに関しては、2000年9月にクリントン政権下で発行された、大統領予算教書の IT 研究開発に関する補足資料である FY2001 Bluebook に 200 ページ以上に渡り詳細に紹介されているので、こちらの情報を利用する。研究開発のカテゴリーは 6 つの PCA (Program Component Area) に分けられており。これは FY2001 と FY2002 では PCA の変更は無い。下表に全体像を示す。

表 4.3 IT R&D プロジェクト概要

プロジェクト/イニシアチブ		概要
HECC ハイエンドコンピューティング・ エベューション	HEC I&A (ハイエンドコンピューティング基盤 及びアプリケーション)	政府の研究開発用アプリケーション開発、コンピューティング 基盤の研究(生物医学、航空科学、地球・宇宙科学、気象予測 と気候モデル、計算結果の分析・表示ツール研究等)
	HEC R&D (ハイエンドコンピューティング 研究開発)	・ハイブリッド技術並列処理、WSネットワーク、 大容量記憶装置、コンピュータGrid ・量子コンピュータ、超伝導、分子、光、ナノ技術等
LSN 大規模ネットワーク 技術		光、無線、衛星通信によるネットワークについての政府機関の研究開発の支援、調整 ・ジョイント・エンジニアリング・チーム(高性能研究ネットワーク間の接続、連携の調整) ・ネットワーク研究チーム(ネットワーク関連技術プログラムの調整) ・高性能ネットワーク・アプリケーション・チーム ・インターネット・セキュリティ・チーム
	NGI (次世代インターネット)	千カビット級テストベッドを用いた次世代ネットワーク技術(通 信品質、信頼性、安全性向上等)の開発・実証、100Mbps級 テストベッドを用いた革新的アプリケーションの開発
	SII (拡張可能な情報基盤)	利用者が機器の種別や携帯/無線等を意識せずに、機能 拡張等を可能とするツール・技術の開発(テストベッドを含む)
HCI&IM ヒューマンインターフェイス及び 情報管理		戦場用自律型ロボット、宇宙船用遠隔/自律エージェント
		共同研究システム、可視化、仮想現実(バーチャルリアリティ)
		情報エージェント(電子図書館等)
		音声認識、視覚装置、認知科学を用いた人工知能
HCSS 高信頼ソフトウェアシステム		多言語翻訳
		ネットワーク及びデータの安全性、暗号化、情報の生存可能性、システムの高負荷対策等
SDP ソフトウェアの設計及び生産性		複雑系のソフトウェア工学、アクティブソフトウェア、自律システム用ソフトウェア、センサの大規模 ネットワーク、ソフトウェアの構造化設計・開発、プログラミング・ツール等
SEW ITの社会・経済への影響		ITが社会、教育、技術に及ぼす影響、技術者人材育成、デジタルデバイト等

(注) 第 6 回総合科学技術会議 (2001/5/24) 出典：月例科学技術報告 資料 3 より (1 部改変)

以下、各 PCA 毎に代表的で重点分野を示しているものを選んで、簡単に説明をする。

(1) ハイエンドコンピューティング (HEC)

現在 HEC は、投資効果をより明確にするため、HEC I&A と HEC R&D の 2 つの PCA に分割され、各々に独立して予算が当てられている。

(1a) High End Computing Infrastructure and Application (HEC I&A)

HEC I&A では、アプリケーション開発とこの仕事を下で支えるコンピューティングインフラの研究を行っている。特に対象となるのは、生物医学、コンピュータ航空科学、地球宇宙科学、大気・海洋モデリングと気象予測、ハイエンドコンピューティングの促進と大規模な計算結果データを分析・表示するツールなどの研究である。

コンピューティング環境とツールキット

コンピューティングインフラの研究として、現在または将来の並列アーキテクチャに対して、アプリケーションの移植を助けるツールの開発を行っている。主な研究として、

a) アーキテクチャ適応コンピューティング環境

将来の並列アーキテクチャに対し最小限の修正で現在のアプリケーションを実行できるようにすること、また、コンピュータ開発者に対しては簡単に実装できるソフトウェア開発環境とテストアプリケーションのライブラリを提供することを目的とする。

b) Kernel Lattice Parallelism (KeLP)

分散メモリ並列コンピュータ上にポータブルな科学アプリケーションを実装することを目的とする。

などがある。

アプリケーション

高速コンピューティング、あるいは大容量のストレージのプラットフォーム上で実現可能となるようなアプリケーションとして、主なものを次に示す。

a) Mcell

モンテカルロアルゴリズムを用いた神経モデリングのシミュレーションプログラム Mcell を、並列スーパーコンピュータ、NetSolve クラスタへ移植し、大規模化、高機能化を目的とする。

b) タンパク質の折り畳み

タンパク質の塩基と他の分子との相互作用を計算し、たんぱく質の構造をシミュレーションする。

c) 地球および宇宙科学計画(ESS)

地球内部、大気・海洋モデリングなど、地球、宇宙に関するシミュレーション
他のアプリケーションとしては、応用化学の分野で燃焼のシミュレーション、量子物理学の分野で電子の衝突のシミュレーション、気象の分野でハリケーンなどの気

象予測などがある。

(1b) High End Computing Research and Application (HEC R&D)

HEC R&D では、主にテラフロップス規模のコンピューテーションや、そのシステムを対象とする。現在、ハイブリッド技術マルチスレッド(HTMT)などの高度アーキテクチャ、Beowulf 型のネットワーク接続されたワークステーション、大容量ストレージ技術、国家規模のコンピュータグリッド、分子コンピュータ、ナノテクノロジー、光コンピュータ、量子コンピュータ、超伝導テクノロジーなどの研究に力点を置いている。

a) Hybrid Technology Multithreaded (HTMT) アーキテクチャ

従来の CMOS 技術の延長では、ペタフロップスコンピューティングは 2010 年以降も実現しそうにない。ペタフロップスコンピューティングの実現を目指し、超伝導回路、光通信、ホログラフィックメモリなど、高度なデバイステクノロジーの研究を行う。

b) Beowulf : ワークステーションクラスタと Linux による高性能コンピューティング ワークステーションの Beowulf 型クラスタによる高性能コンピューティング環境

c) 分散並列ストレージシステム (DPSS)

スケーラブル、かつ高性能な分散並列アーキテクチャとデータ処理の研究

d) Globus

コンピュータグリッドの基礎技術の開発

e) Legion : ワールドワイドバーチャルコンピュータ

数百万台のホストと数兆のオブジェクトを高速リンクでつないだメタシステム研究

f) バーチャルインタフェースアーキテクチャのための MVICH-MPI

クラスタコンピューティング向けのポータブルな高性能通信を開発

g) 混在する分散共有メモリ環境

次世代型の混在分散共有メモリによるコンピューティングシステムの開発

現行のエレクトロニクス技術の延長では実現不可能な高度ハードウェアコンポーネントの研究として、次のようなものが挙げられる。

a) 大規模集積回路 (VLSI) フォトニクスプログラム

光を用いた通信帯域幅 (Tbps クラス) の実現

b) 量子コンピューティング

量子計算理論および実験に関する基礎研究

その他、量子位相によるデータ保存、NMR 量子コンピュータ、DNA データ保存、3次元モジュールによるキューブコンピュータなどがある。

次に代表的なハイエンドコンピューティングプラットフォームを紹介する。

a) Alliance Grid

Alliance は産官学の共同プロジェクトであり、高速ネットワークで接続した次世代コンピュータ/情報インフラの構築を目指している。

- **Computational Grid**

高性能並列コンピューティングシステムのグループで構成されたグリッド

- **Access Grid**

グループ対グループのグリッド（分散型共同作業、遠隔会議）

b) **ASCI コンピューティングプラットフォーム**

ASCI の 4 台目の高速プラットフォームである **Option White** は、2004 年までに 100teraops のシステムを作り上げるという目標への最終ステップである。現在、10teraops プラットフォームで、IBM の最新の 64 ビットコンピューティングテクノロジーの性能の評価を行っている。

(2) **大規模ネットワーク (LSN)**

LSN では、政府機関の主要な任務を支援し、拡張性、信頼性、安全性を備えた将来の超高速ネットワークを実現するために必要なネットワーキング技術の研究と支援を行っている。また、将来のネットワーク実現の研究開発プログラムとして、NGI および SII がある。

以下は、LSN の主な支援活動である。

- ジョイントエンジニアリングチームでは、政府機関の各高性能研究ネットワークのネットワークアーキテクチャ、接続性、交換ポイント、連携の調整を行う。
- ネットワーキング研究チームは、政府機関によるネットワーキング関連研究プログラムの調整、研究の情報を政府機関の間で共有、NGI の研究開発活動の支援を行う。政府機関のネットワークには、DOE のエネルギー科学ネットワーク (ESnet)、NSF の超高性能バックボーンネットワークサービス (vBNS) などがある。
- 高性能ネットワーキングアプリケーションチームは、気象・環境、生物医学などの科学分野で高性能ネットワーキングアプリケーションの研究開発活動の調整を行う。
- インターネットセキュリティチームは、ネットワークセキュリティの高度技術に関するテストと実験を促進し、セキュリティ技術に関する情報交換を支援する。

次世代インターネット (NGI) 構想

1998 年に議会で承認された次世代インターネット研究法に基づき、NGI 構想では、以下のような研究を行っている。

- a) ネットワークのサービス品質 (QoS) と信頼性、堅牢性、安全性についてのパフォーマンスを向上させる次世代技術を開発する。具体的には、マルチキャストおよびオーディオ/ビデオなどの付加価値サービス、帯域幅の割当てなどのネットワーク管

理技術を対象とする。

- b) コラボレーション技術、電子図書館、分散コンピューティング、プライバシーとセキュリティ、遠隔操作とシミュレーションといった IT の新しい可能性を開く技術分野、さらに基礎科学、危機管理、教育、環境、連邦政府の情報サービス、保健衛生、製造などの基幹分野を対象に革新的アプリケーションの開発と実証を行う。

スケーラブル情報基盤 (SII)

SII の研究目標は、ユーザが異種プラットフォームや、モバイル・ワイヤレス機器の種別を意識せずに機能拡張・増設できるようにするなど、ユーザのニーズに応えながら、インターネットの成長を実現する高度なツールや技術を実現することである。

そこでは、高度にネットワーク接続されたシステム、いつでもどこでも接続できることの実現、ネットワークモデリングおよびシミュレーションに焦点を当てた研究、FY2001 では新たに、機敏なネットワークインフラ、ネットワークを使ったグループコラボレーション、ネットワークセキュリティ、プロトタイプ作成のためのテストベッドなどの研究が行われている。

(3) ヒューマンインタフェースおよび情報管理 (HCI&IM)

HCI&IM では、ヒューマンコンピュータインタフェース技術を発展させ、コンピューティング装置や情報リソースを管理し活用する能力を高める高度なテクノロジーの研究開発を行う。以下に研究開発の分野を示す。

- ・ 戦場用の移動ロボット、宇宙船用の遠隔・自律エージェント
- ・ コラボレーション、ビジュアライゼーション、バーチャルリアリティ
例えば、分散環境下での顕微鏡画像の可視化と共同研究作業、製造現場向けコラボレーション、3次元ビジュアライゼーション、遠距離会議
- ・ Web ベースの知識データベースとデータの収集・分析を行う情報エージェント
例えば、電子図書館、電子政府、数学関数電子図書館、臨床データベース、バイオインフォマティクスデータベースなど
- ・ 人間とコンピュータシステムとの間の多様な対話
例えば、音声認識、触覚インタフェース、認知科学を適用した人工知能
- ・ 多言語翻訳
例えば、多言語の英語翻訳と翻訳情報の発見、抽出、要約

電子図書館

1999 年に開始された電子図書館計画 (DLI) のフェーズ 2 の活動は、3 つの中心的な課題に焦点を当てている。

- ・ 人間中心の研究

電子図書館を改善し、人々が情報を作り出して利用するまったく新しい方法を提供することができるような方法

- ・コンテンツとコレクション

電子図書館が所蔵してユーザに利用可能にすることができる人間の知識の種類

- ・システム中心の研究

インターネットを経由した、大規模で異種の電子的コレクションの作成とリンクにおける工学的、ソフトウェア的、そして分類学的な問題

電子政府

連邦政府の情報とサービスをプライバシー、セキュリティを確保し広く利用可能なものにするための研究。統計グラフィクス、分散型地理情報システムの画像保存、ワールド収集データの再生、公文書、データマイニング、意思決定などの研究が含まれる。

(4) ソフトウェアの設計と生産性 (SDP)

ソフトウェアの設計および生産性が重要な課題であり、PITAC 勧告でその対策の緊急性が指摘されたことから、FY2001 に新設された PCA である。

以下、SDP の主な研究課題を示す。

- a) 複雑なシステムのソフトウェアエンジニアリング

人間の理解を超える大規模ソフトウェアの対策として、ソフトウェア自らがエラーを自動的に検出するようなソフトウェアの研究

- b) アクティブソフトウェア

自分で進捗を監視し、タスクを実行するために必要な追加ソフトウェアを探し出し、安全にダウンロード、アップデートを行うことができるソフトウェアの開発

- c) 自律システム用のソフトウェア

経験と共に改善しながら、変化や予測のできないことを学習し順応できるインテリジェントな自律システムの開発

- d) センサーの大規模ネットワーク

地理的に分散したセンサー情報を統合するマイクロセンサーネットワークの開発

- e) コンポーネントベースのソフトウェア設計

既存ソフトウェアをコンポーネント化し、重複性の整理と拡張性の高い並列計算アーキテクチャへの移行のための再設計を行う。

- f) コンポーネントベースのソフトウェア開発

より高い生産性と最終製品のより高い確実性を達成するため、コンポーネントベースのソフトウェア開発方法の研究

- g) エンドユーザのプログラミング

プログラマ不足の対策として、開発の一部をユーザに委ねるための開発ツール「スマ

「ソフトウェア」の作成

h) 組み込み型システムのソフトウェア

組み込み型システムのソフトウェアのユビキタス化

i) ネットワーク化された組み込み型システム

組み込み型の自律デバイスの大規模なネットワークにおいて、コスト低減、柔軟なシステム、動的な動作保証に重点をおいたシステム開発

(5) 高信頼ソフトウェアおよびシステム (HCSS)

HCSS では、コンピューティングシステムの信頼性、安全性、セキュリティ、存続性を完全なものにすることを旨とした研究を行う。ここでは、ネットワークおよびデータセキュリティ、暗号化、情報の生存可能性、システムの耐ストレス性などの研究がある。

次に HCSS の主な研究課題を示す。

a) 高保証コンピューティングプラットフォーム

一般的なワークステーションやサーバに対して高度な保証を提供するプラットフォーム。様々なレベルでの制御された情報共有の保証、顧客からのセキュリティ方針の施行、その方針に対する違反の検出と対応、および最終的な構成に対する保証を行う。

b) セキュリティ管理基盤

アクセス管理のためのセキュリティツールと、政府および商用の暗号鍵管理インフラストラクチャで構成される認証と、アクセスプロトコルを管理するシステム

c) アクティブなネットワーク防御

攻撃を受けたときも最小限の情報サービスを提供し続けるシステムの研究。DoD の防衛情報操作が対象

d) DARPA の正規方式プログラム

信頼性についてコンピューティングシステムを科学的に評価するフレームワークとシステム設計をテストおよび評価するツールの開発。現在のソフトウェアの脆弱性を指摘した 1999 年 PITAC の勧告に端を発する。

e) 米国情報保証パートナーシップ

IT 製品のセキュリティ要件とその効果を評価するための測定基準を策定、および完全に運用可能な IT セキュリティ評価検証プログラムの開発を目指す。

f) NIST 高保証インターネットセキュリティアーキテクチャ

産業界と協力し、新しい技術を使った製品を効率的に使用し、大規模なネットワークのセキュリティをテストし、ソフトウェア製品とシステムのセキュリティを評価する高保証セキュリティアーキテクチャの新しい手法の作成

g) ソフトウェアの障害、障害データ、および分析のリポジトリ

実際のシステムでの障害のモデルを確立することで、ソフトウェアの品質を向上させ

ることを目的として、ソフトウェアの障害とその原因に関する経験から得られるデータの収集を実施

h) 正式な仕様から生成される自動テスト

NIST はモデルチェッカーと変化の分析を使用して、仕様のみからソフトウェアのテストを自動的に生成する正式な方法を開発

i) フォルトトレラントネットワークプロトコル

大規模コンピュータと通信ネットワークが、障害が発生しても運用を継続し、徐々に運用を劣化させることができるようなプロトコルの開発

(6) 社会、経済、および労働力の面から見た IT 労働力開発の意味 (SEW)

SEW では、IT が我々の文化に与える影響を検証し、IT 環境における革新的な教育やトレーニング方法を追求する研究を行う。

主な活動を以下に示す。

a) 合同教育、福祉、訓練計画

NSF の PACI (Partnership for Advanced Computational Infrastructure) が開発した高性能ハードウェア機能とソフトウェア学習ツールを、あらゆるレベルの教育現場や政府機関に提供。教師などの専門家が新しいテクノロジーを使用できるように訓練を実施

b) 生体臨床医学情報科学の訓練

複雑なコンピューティング、および通信システムを使用および管理できる生体臨床医学専門家の不足が問題になっている。高性能コンピューティングテクノロジーを健康管理環境全体で統合するための支援を実施

c) NASA の学習技術プロジェクト

NASA での約 42 年間の地球と宇宙の探査で得た莫大なりソースのデータベース、学生や教師向けの新しいアプリケーションや教材を開発し、IT リテラシーを促進

d) IT の社会的および経済的な影響

IT の社会的・経済的な影響について広範な学問分野で調査を行う。情報科学、歴史学、哲学、生物学、地質学、社会学などの専門家に依頼

4.3 主要プロジェクトの分類から見る重点分野とその狙い

4.3.1 主要プロジェクトの分析

4.2.4 で述べた NITRD 計画の個々のプロジェクトの要素技術を、4.1 節で述べた、インターネットの時代に即した分類で要素技術を分析するために、プラットフォーム、コンテンツ、インタフェース、ソフトウェアの製造技術の 4 分野を分析する。

(1) プラットフォーム分野

プラットフォームに対応する要素技術の研究開発は、主にハイエンドコンピューティング（HECC）と大規模ネットワーク（LSN）分野で行われており、表 4.4 に重要項目を示す。

表 4.4 プラットフォーム分野の重要要素技術

PCA	要素技術	プロジェクト例
HECC	超並列システム クラスタシステム	ASCI 計画 ベオウルフクラスタ
HECC	超分散システム グローバルコンピューティング	Computational Grid Access DC
LSN	スケーラブルネットワーク 超高速ネットワーク	SII vBNS
LSN	ネットワークセキュリティ QoS（ネットワーク品質保証）	NGI SuperNet
HECC	量子コンピュータ 超伝導テクノロジー	量子コンピュータ HTMT

（注）PCA（Program Component Area）

特徴的なのは、並列版の OS や、ネットワークに接続されているスーパーコンピュータなどを一まとめにして、超高性能のマシンとして利用するソフトウェアが含まれていることである。5～10 年先に到来することが予測される、超並列マシンや超分散マシンの時代の基本ソフトウェアの先行的研究開発が重点分野の中心的な位置付けで取り上げられているといえる。

更に全体の NITRD 予算でも、HECC、LSN を合わせると約 60% に達し、これの大部分を占めるプラットフォームを最重要視している。

(2) コンテンツ分野

コンテンツ分野は情報管理（IM）が中心で、一部大規模ネットワーク（LSN）でも関連する研究が行われている。表 4.5 に示す。

表 4.5 コンテンツ分野重要要素技術

PCA	要素技術	プロジェクト例
IM	グローバル知識データベース 情報エージェント（データ収集/分析）	電子図書館計画（フェーズ2） （ビデオ情報コラージュ）電子政府
IM LSN	コンテンツ記述言語（XML,VRML） マルチメディア	可視化とバーチャルリアリティ ビデオネットワーク
LSN IM	データマイニング Web ベースの情報資源	イリノイ大 CAVERN 計画 バイオインフォマティクスデータ ベース

コンテンツに関しては、電子図書館計画が含まれているほか、情報管理に係わるプロジェクトがあり、コンテンツの記述や知識ベースに係わる研究が行われている。

米国においては、電子政府計画は、これらのコンテンツ関連の分野における応用のプロジェクトの一つの位置付けとなっている。電子図書館や情報管理の他の分野で研究開発された新技術を基盤として、IT を駆使すると、どのような政府が実現できるかが研究され、IT 革命の時代の政府の理想像が議論されている。

(3) インタフェース分野

中心はヒューマンコンピュータインタフェースおよび情報管理（HCI&IM）が対応するが、HECC および LSN も関連する研究がある。表 4.6 に示す。

表 4.6 インタフェース重要要素技術

PCA	要素技術	プロジェクト例
HCI LSN	マルチモーダルインタラクション 遠隔/自律エージェント	スマートスペース NASA 遠隔探査
HECC LSN	遠隔コラボレーション 情報の視覚化 バーチャルリアリティ	Access Grid ImmersaDesk
HCI	音声認識、自然言語 画像認識	電子図書館計画
IM	多言語翻訳 認知科学	TIDES 計画（ARPA） 知識および認識システム（NSF）

インタフェースについては、自然言語対話のほか、多言語翻訳が取り上げられているのが目を引く。インターネットの利用が家庭にまで入り込む時代になり、知的な機能を提供する必要性が増したこともあり、人工知能（AI）の研究プロジェクトも取り上げられている。

(4) ソフトウェアの製造技術分野

主に、ソフトウェアの設計と生産性（SDP）と、高信頼ソフトウェアおよびシステムが対応する研究を実施している。表 4.7 に示す。

表 4.7 ソフトウェアの製造技術分野の重点要素技術

PCA	要素技術	プロジェクト例
SDP	複雑系のソフトウェア工学 組み込み型ソフトウェア	DARPA ソフトウェア開発技術 センサーの大規模ネットワーク
SDP	動的アップデートおよび適合 自律ソフトウェア	アクティブソフトウェア エージェントベースの交渉
SDP	コンポーネントウェア エンドユーザプログラミング	NOAA モデリングシステム ドメイン特有開発ツール
HCSS	高信頼性ソフトウェア 自動テスト	DARPA の正規方式プログラム 仕様から生成されるテストプログラム
HCSS	安全性、暗号化 頑健性	NSA のセキュリティ管理基盤 フォルトトレラントネットワーク プロトコル

FY2001 より追加された「ソフトウェアの設計と製造（SDP）」の分野は、大規模ネットワーク上のソフトウェアや超並列マシンのソフトウェアなど、従来のソフトウェアの理論や工学がカバーできなかった分野の理論や技術の集大成を狙ったものと考えられる。

これは新しいプラットフォーム上での、極めて複雑かつ大規模なソフトウェア開発や保守を行う上で重要な役割を果たすものとなると考えられる。また、人材育成の教科書作りとも考えられる。

現在のソフトウェア開発手法は、逐次型の 1 台のコンピュータの世界を対象としたものであり、多数のコンピュータを一まとめにしたコンピュータを対象としたものではない。しかし、時代は確実にこのようなコンピュータ、すなわち、超並列マシンや超分散マシンが実用化される方向へ進んでいる。

これらのマシンのソフトウェア開発・製造技術の有無は、ソリューションビジネスの分野での米国の優位をさらに確固たるものにすると思われる。

4.3.2 米国 IT 研究開発重点分野戦略のまとめ

NITRD 計画を通して、米国の重点分野の選択の戦略を見ると、米国は、先ず、現在の IT の中心的技術のうち、21 世紀にさらにその重要性を増すと予測される分野を万偏なくカバーしていることが分かる。特に、コンピュータシステムのアーキテクチャと基本ソフトウェア、これにはネットワークコンピューティング（超分散マシン）も含まれるが、これら

について重点投資を行っており、米国が IT の中核技術の新技术開発の競争優位を確保し、研究面、および産業面のリーダーであり続けようという意図を強く感じさせる。

米国の推進する重点分野における主要プロジェクトについては、我が国は常に注目し、可能な限りキャッチアップして行く必要がある。主要プロジェクトの成果は、市場におけるスタンダードとなる可能性が高い。特に IT の中核となるプラットフォーム関連分野は、その上で応用ソフトウェアを開発したり、ソリューションビジネスを展開する場合の標準的技術となるからである。

5. IT分野と他分野の融合領域で生まれる技術を核とする重点分野

ITの他分野への波及が急である。従来から、ITは、様々な分野の研究開発推進のためのツールとして使われてきたが、近年では、単なるツールのレベルを脱して、概念レベルで他分野と融合し、新しい学際的分野を形成するまでになっている。ゲノム情報（Genome Informatics）や仮想生産（Virtual Manufacturing）は、その典型例である。また、ナノテクノロジーのように、原子や分子レベルの極小な世界での加工は、IT無くしてはその対象を認識することさえ困難である。

このような「融合領域」におけるITの研究開発では、多くの研究が未だ端緒にすぎたばかりであり、米国優位と言えども、未だ国家間・企業間での勝敗は決していない。我が国も今後の研究開発投資によって、研究面でも産業面でも、世界のリーダーとなれる可能性がある。また、基本特許などIPRの確保も期待でき、ライセンス貿易が中心になると言われる21世紀IT産業の振興の土台作りとしても重要である。以上のことから、融合領域はIT、とくにソフトウェアの重点分野を検討する上で注目すべき分野である。

本章では、ソフトウェアの重点分野を検討するにあたって、内閣府の諮問機関である総合科学技術会議が作成した「科学技術基本計画の重点分野における分野別推進戦略」に基づき、各分野とITとの融合領域において重要と考えられるIT技術を抽出する。

5.1 総合科学技術会議の選択した重点分野と重点領域

5.1.1 科学技術基本計画と総合科学技術会議の役割

ここでは先ず、我が国の科学技術政策を実行していく上での基本的な指針となる科学技術基本計画と、その推進のための諮問機関である総合科学技術会議について説明する。

科学技術基本計画は、平成7年11月に施行された科学技術基本法に基づき、「科学技術の振興に関する施策の総合的かつ計画的な推進を図るため」（同法第9条）に、政府により策定された。平成8年に第1期科学技術基本計画が策定され、その後、5年間の実行期間を経て、現在は平成13年に策定された第2期科学技術基本計画の実行過程にある（以後、「科学技術基本計画」とは、特に指定がない場合、第2期科学技術基本計画を指す）。

総合科学技術会議は、内閣総理大臣および内閣を補佐する「知恵の場」として、我が国全体の科学技術を俯瞰し、各省より一段高い立場から、総合的・基本的な科学技術政策の企画立案および総合調整を行うことを目的に内閣府に設置され、具体的には以下の使命を担うとされている。

基本計画に基づいた、各重点分野における基本的事項を定めた推進戦略の作成
次年度の重点推進事項、予算規模、重要施策、資源配分に関する意見の提示と、必要に応じた予算編成過程における財政当局との連携

府省の枠を越えたプロジェクトを効果的・効率的に実施するための意見の提示と、実施段階における必要な評価の実施

研究開発評価、研究者の流動化などの基本的な指針の作成

大規模な研究開発などの評価、および各府省の施策に対する評価と基本的政策への反映

各府省の協力を得た、科学技術基本計画のフォローアップ

5.1.2 8つの重点分野における研究開発の推進

第1期科学技術基本計画では、国として重点的に取り組むべき科学技術の目標が必ずしも明確にされていなかったため、限られた資源（人・物・金）を戦略的に集中投資して重点分野の研究開発を推進することができたとは言い難い。第2期計画では、この反省を踏まえて、国家的・社会的課題に対応する研究開発については、明確な目標を設定し、資源を重点化して取り組むことを明示している。

この考え方に沿って、科学技術基本計画では、我が国が目指すべき国の姿の実現に向けて必要となる科学技術分野の中から、

新たな発展の源泉となる知識の創出（知的資産の増大）

世界市場での持続的成長、産業技術力の向上、新産業・雇用の創出（経済的效果）

国民の健康や生活の質の向上、国の安全保障および災害防止など（社会的効果）

の各項目について寄与の大きい以下の4分野に対して特に重点を置き、優先的に研究開発資源を配分することとしている。

ライフサイエンス

情報通信

環境

ナノテクノロジー・材料

また、上記4分野以外に、エネルギー、製造技術、社会基盤、フロンティア、の4分野は国の存立にとって基盤的であり、国として取り組むことが不可欠な領域であるため、これらの分野についても重点的に研究開発を推進するとしている。

5.1.3 融合領域におけるITの研究開発

科学技術基本計画では、各分野間、特にIT分野と他分野の間の融合領域について重視しており、「新しい科学技術は異なる分野の手法や考え方の間の触発や融合の中から生まれることが多いので、研究開発の推進に当たって、境界領域や異分野の融合領域に特に留意する必要がある」と述べられている。

図5.1に示すように、ITは他のすべての分野と密接に関わり、利用される横断的な技術であり、IT技術の発展によって、ライフサイエンス分野やナノテクノロジー分野との融合

により、バイオインフォマティクス、システム生物学、ナノバイオロジーなどの新領域が誕生してきた。今後も IT 分野と他の分野との結びつきにより、革新的技術が生まれ、それによる新たな市場が創造されていくことが期待できる。

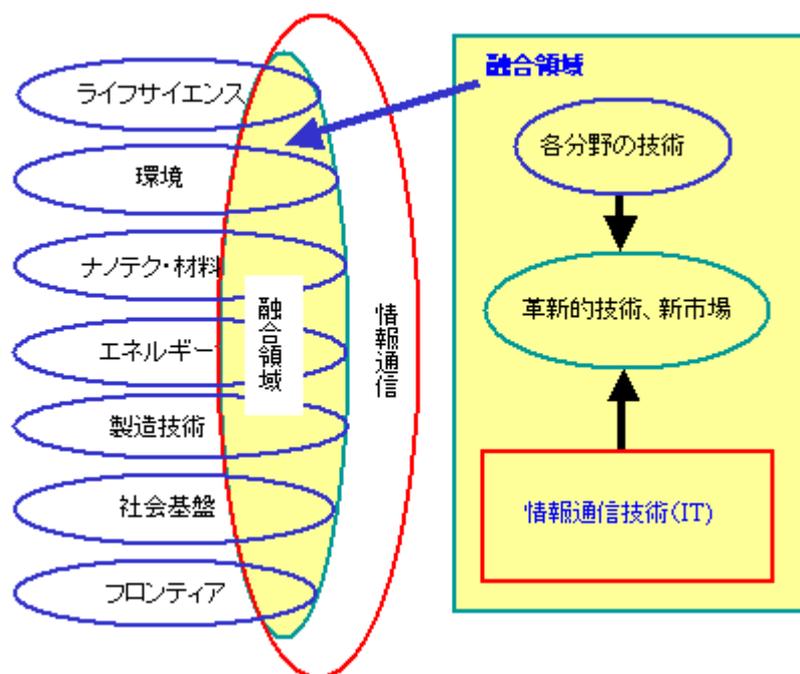


図 5.1 融合領域は革新的技術誕生の領域

このような背景から、本調査では、既に述べたように多くの研究が未だ端緒についたばかりで、未だ国家間・企業間での勝敗が決しておらず、今後の研究開発投資の如何によって我が国も世界のリーダとなれる可能性がある「融合領域における IT の研究開発」について着目する。

本調査では、上記の重点分野の中から、とくにソフトウェア技術との融合が重要な以下の 4 分野を選択する。

- ライフサイエンス
- 環境
- ナノテクノロジー・材料
- 製造技術

さらに、これらの分野の研究開発目標を達成するのに重要と思われる IT 技術を抽出し、その結果から、それらの分野の融合領域において共通的に求められる IT 技術とはどのようなものを分類・整理して報告する。

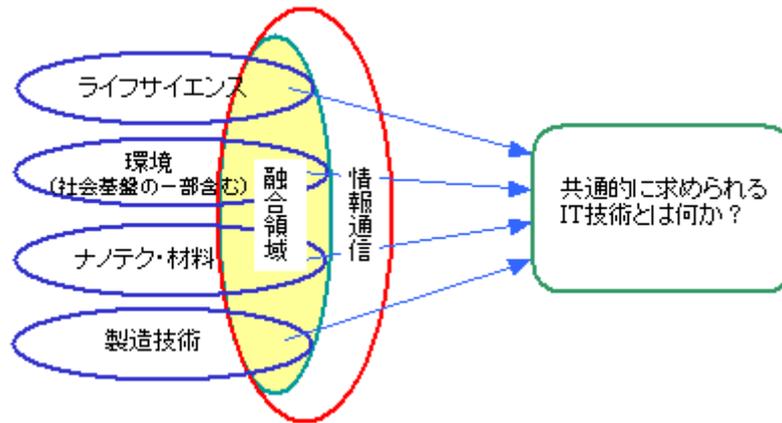


図 5.2 本章における調査の方針

5.2 主要重点分野における共通的重要 IT 技術

5.2.1 ライフサイエンス分野

(1) 背景

ライフサイエンスは、様々な疾患への対策や食料・環境問題の解決など、人々の生活に直結した課題を多く含んだ重要な分野である。本分野では、ヒトゲノム塩基配列の概要がほぼ読み取り完了・公表されたのを機に、ポストゲノム研究やその成果の産業への応用が加速されており、中でも創薬や再生医療などの医療応用分野は、大きな利益を生むものとして研究開発競争が激しくなっている。

図 5.3 に示すように、ライフサイエンス基幹技術に関連する市場規模は最近 5 年間で 2 倍以上の伸びを示しており、2002 年には米国、欧州、日本を合わせた市場規模は、12 兆円を超えると予測されている。

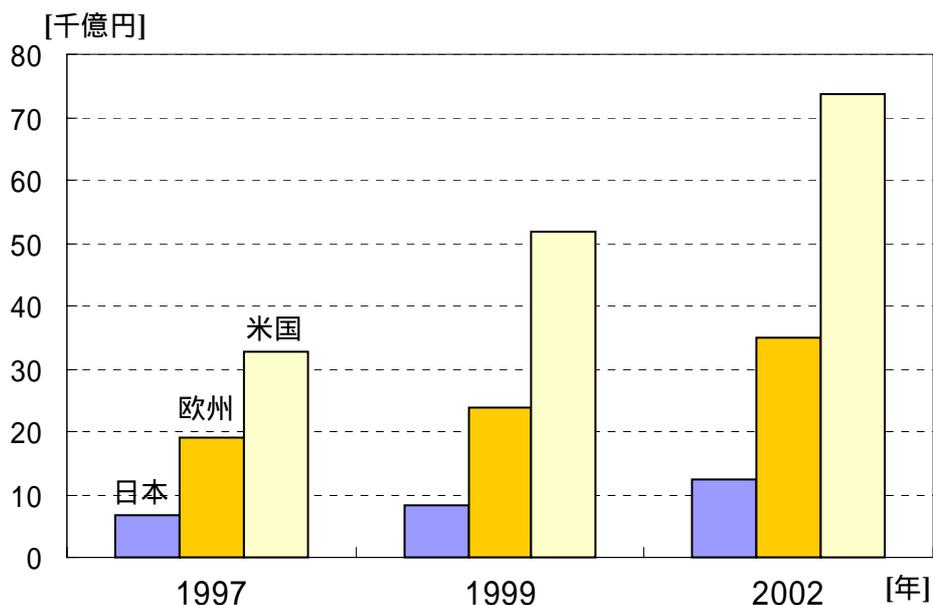


図 5.3 ライフサイエンス（バイオテクノロジー）基幹技術に関連する市場規模（日欧米） 出典：総合科学技術会議資料

この分野では、基礎的研究での画期的な新発見や新技術開発が新しい研究領域の発展や新規ビジネスに直結し、また先進技術ベンチャーによる分野発展への貢献が大きいという特徴がある。

ビジネスとしては、研究の初期投資が大きいハイリスクハイリターン型となるため、特許などによる知的所有権の尊重が重要となるが、一方では、権利の独占が医療費の高騰を招いたり、研究成果がヒトの尊厳や健康に直接かかわることなど、難しい問題もかかえている。

(2) ライフサイエンス分野における IT 技術の活用

ゲノム解析は、従来の生命科学に情報技術が融合した「バイオインフォマティクス」の発達によって驚異的な進展を見せ、2000年6月にはヒトゲノムのかなりの部分（約30億塩基対のうち約97%）のシーケンス解読完了が報告された。「ポストゲノム」では、ゲノム構造解析の結果を受けて、遺伝子の構造・機能解析とその結果に基づいた研究・技術開発を展開し、医療、食糧、環境、エネルギーなどの問題に対する根本的なソリューションの追求・提供が課題となる。ここでは、ますます「バイオインフォマティクス」の役割が増大し、大きな力を発揮することが期待されている。

そこで、まず最初の重点テーマとして「バイオインフォマティクス」について述べ、次に、その具体的適用が期待される、その他重点テーマについて、その関連の概要を述べる。

バイオインフォマティクス

バイオインフォマティクスは、IT を駆使して、膨大かつ多様なデータの統合化・体系化、知識発見、シミュレーションを行うことにより、例えば下記 ~ の解析研究の格段の効率化・省力化を実現する。さらに、生命をシステムとして理解するための理論や方法論を開発することも重要課題として含まれる。

もともとバイオインフォマティクスは、ゲノムやタンパク質の解析から得られる膨大な情報を処理・蓄積し、データベースとして整理するための支援ツールとして出発したが、ゲノムとタンパク質の情報量が爆発的に増えたことで、そのもの自体の有用性が高まり新しい学問分野として独立してきた。

遺伝子に関する情報は、1~2年ごとに倍増しているが、さらに、アミノ酸の配列や構造の解析、タンパク質の構造や機能、相互作用などに関する情報は、すべてデータベース化され、インターネットでつながれるようになる。これらの情報は、すべて有機的に関連した情報なので、統合することにより、バイオインフォマティクスによって構築されたデータベースから研究や治療の指針を導き出すようになっていく。

例えば、画面上の臓器組織イメージの一部をクリックすると、その部位の遺伝子発現パターンから機能、さらに遺伝子が創り出すタンパク質の相互作用がアニメーションで理解できるといった具合に、研究者の研究から医師の診断・治療、学生、一般患者の理解支援まで行えるようになるような発展も期待される。

ゲノム解析

ゲノムの塩基配列のデータが集まっただけでは意味が分からないので、ゲノム情報を活用するためには遺伝子の構造と機能を解明しなければならない。ヒトゲノムでは約30億塩基の中の約5%程度が遺伝子の役割を担っている。ここでは、例えば、以下の方法で情報技術が活用される。

- a) 異なる生物種でも DNA には共通部分が多いため、様々な生物のデータベースから相同性を判定するホモロジー法
- b) データベースから有効な情報を引き出すデータマイニング
- c) 解読された DNA の塩基配列から遺伝子の機能を割り出すシミュレーション

タンパク質の構造・機能解析

遺伝子はタンパク質を作ることによって機能を発現する。タンパク質は、その立体構造の特徴がそのタンパク質の機能を決定しているため、その構造を見極めないことにはタンパク質の機能が分からないことになる。総合科学技術会議の計画では、5年間でタンパク質の全基本構造の3分の1(約3000種)以上の構造・機能の解析を行うための技術開発および体制整備を行うとともに、構造決定困難な膜タンパク質や複合タンパク質などの構造決定を可能にすることにより、有用なタンパク質の構造と機能を多数解明することを目標にしている。

情報技術を用いたタンパク質の立体構造推定には、例えば、運動方程式に基づく分子

シミュレーション法や、既知のタンパク質の立体構造から推定するホモロジー法などがある。DNA 塩基配列情報からタンパク質の構造と機能を予測するために、構造モデリング技術や機能予測技術の高度化が重要である。

細胞・組織・個体レベルの解析

生命反応をシステムとして統合的に理解するための研究・技術開発を進める必要がある。その成果を疾患の病因解明と診断・治療に応用し、薬剤の有効性・副作用の予測、迅速・効率的な医薬品開発手法を確立する。

この分野には、DNA レベルからの細胞シミュレーションなどの例があり、上位のシステムのシミュレーションには、さらに高度の複雑系シミュレーション技術、ハイパフォーマンスコンピュータ、並列処理アルゴリズムなどの情報技術が重要である。

テイラーメイド医療

健康な人と病気の人の膨大なゲノム情報をコンピュータで自動解析し、両者の情報の違いを分析して遺伝子の個人差（遺伝子多型 SNPs）を見つけだすことが可能になってきた。臨床応用可能なレベルで遺伝子多型 SNPs や遺伝子発現を高速・正確・安価で解析できる技術を開発し、個人の体質に合った薬剤の効果的な処方を実現することが目標である。

(3) ライフサイエンス分野における重要な IT 技術

前項では、ライフサイエンス分野での IT 技術の代表的な活用領域をおおまかに説明した。この分野で特に重要な IT 技術は、おおよそ以下の通りである。

データベースの構築、高速検索

分散データベース、並列検索、データマイニング

構造解析、シミュレーションのための高速計算

並列プログラミング

可視化、表示

コンピュータグラフィックス、アニメーション

細胞や組織レベルの解析

知識の記述や知識ベース構築、推論

インターネット上のデータやコンピュータの統合利用環境

ブロードバンド、分散や並列ソフトウェア作成・保守

5.2.2 環境分野（社会基盤の一部を含む）

(1) 背景

人類は科学技術と産業の発達により、物質的な豊かさを享受してきたが、産業革命以来の「大量生産・大量消費・大量廃棄」型文明が、特に 20 世紀以降加速度的に進行し、環境の悪化が大きな問題となっている。この問題の改善のために、総合科学技術会議では、

以下の5つの研究領域を重点課題に取り上げている。

地球温暖化研究
ゴミゼロ型資源循環型技術研究
自然共生型流域圏都市再生技術研究
化学物質リスク総合管理技術研究
地球規模水循環変動研究

地球規模の問題も、各地域の環境問題の集積結果として起こっているため、その解決には、各地域レベルでの環境保全を確実に行うことが重要である。そこで、本節では、都市環境・地域社会における環境保全という観点で、「環境」と「IT技術」の関わりを取り上げることとする。

そういった意味では、「社会基盤」分野の一部もここで扱うのが適切である。都市開発に伴う環境破壊防止、自然災害におけるライフラインの確保や被害の最小化などの事前対策などは、身近な都市環境・地域社会における生産活動、消費活動に関しての、安全・安心・快適な環境実現に直接関連する。

我が国は、明治以来欧米の社会基盤をモデルとして、研究開発と建設に全力を傾注し、近代化を押し進めてきたが、災害や事故による被害は減少するどころか、都市の巨大化・過密化につれて、むしろ深刻化しているとさえ言える。「社会基盤」分野は、安全な社会を構築し、質の高い生活を支える美しい環境を整えるために、体系的かつ総合的な研究開発を重点的に推進するものである。

総合科学技術会議の「社会基盤」分野の重点課題としては、以下のものがあげられている。

<安全の構築>

異常自然現象発生メカニズム
発災時即応システム（防災IT、救急救命システムなど）
過密都市圏での巨大災害被害軽減対策
中枢機能、および文化財などの防護システム
超高度防災支援システム
高度道路交通システム（ITS）
陸上、海上および航空交通安全対策
社会基盤の劣化対策
有害危険物質、犯罪対応など安全対策

<美しい日本の再生と質の高い生活の基盤創生>

自然と共生した美しい生活空間の再構築
広域地域課題

流域水循環系健全化、総合水管理
新しい人と物の流れに対応する交通システム
バリアフリーシステム、ユニバーサルデザイン化
社会情報基盤技術・システム

ここでは、これら社会基盤分野の項目のうち、特に都市・地域の環境や自然災害対策と関連したものが対象となる。

以下、本節では環境分野および社会基盤分野の一部（環境関連のみ）における、IT 活用の有効な領域の例を説明する。

(2) 環境分野における IT 技術の活用

地球環境のレベルにおいても、都市環境・地域社会のレベルにおいても、環境問題の進行度合や対策効果を予測するには、コンピュータによりシミュレーションする以外に方法がない。環境分野にとって、IT 技術は必須の問題解決ツールとなっている。観測データを使って、モデリングとシミュレーションによって予測を行い、再び観測データとの一致を確認することにより検証する。これらに共通して重要なのは、地球科学、物理、環境と IT 技術との融合である。

都市環境・地域社会の環境改善における「IT 技術」活用の第一歩は、観測データの収集である。環境モニタリングにより、基礎データの収集・蓄積を行い、それを分析し適切なモデリングを行い、シミュレーションにより予測と検証を行う。

このような環境データや予測・検証結果は、それを利用して初めて環境改善の効果に結びつく。環境データを有効活用するためには、インターネット上に公開し、誰にでもアクセスを容易にする必要がある。環境データは、地域的広がりがあって初めて有効となる場合も多いので、これは近隣の関連地域との連携・協力のためにも重要である。

最近では、各地の地方自治体でも環境への意識が高まってきており、環境情報データベースとしてデータを公開している例も増えてきている。

以下に、都市環境・地域社会における環境分野と IT 技術の融合領域の代表的な例をいくつか示す。

都市再開発による住環境改善などの基礎データの蓄積、データベース化

都市再開発は、中心市街地の活性化や密集地の整備をはじめ、住環境をとりまく諸問題を解決するために、都市モデル、シミュレーションなどにより、戦略的に安全・安心・快適な都市環境を設計し実現するものである。それを可能にするためには、基礎データの蓄積、データベース化が重要である。

作成した都市情報のデータベースを元に、実世界を忠実にコンピュータの中にデジタルコンテンツとして再現した仮想都市を実現して、都市計画や防災対策に活用する例

もある。(景観・交通流シミュレーション、CAD、コンテンツ記述、マルチメディアデータベース、データベース相互運用、分散データベースの統合)

都市や関連する自然環境の開発などによる変化予測

都市開発に関連した自然環境の破壊や汚染の例としては、市街地内の緑地減少、生活排水による水質汚濁、工場の廃液・熱、排ガス汚染、騒音公害、地球温暖化など、様々なものが存在する。環境データのモニタリングや分析により状況を的確に把握しつつ、モデリングやシミュレーションによる予測技術を活用して、環境破壊を未然に防ぐ手段を講じることが必要である。また、これらの分析や予測を広く一般に公開して、個人個人の環境保全意識を高めることが、極めて重要である。

(モデリングやシミュレーションなど予測技術、モニタリングや分析)

農業などの食糧生産に係わる気候変動・気象変動やその影響の予測など

a) 気候変動

IPCC(気候変動に関する政府間パネル)によれば、このままの割合でCO₂の増加が続けば、地球全体の温度が2100年には1~3.5度も上昇すると予測されている。平均気温2度の上昇は、例えば日本列島が南に300km移動、あるいは高度が約300m低下するのに相当する自然条件の変化であり、農業などの食糧生産への影響は大きいと予想される。基礎データを収集し、シミュレーションによる予測によって、中・長期的な食糧生産・調達計画が必要である。

b) 気象変動

農業生産は気象に左右される度合いが非常に大きいので、気象の変化を的確に把握して農業気象災害の予防・軽減を図るとともに、農作業の効率化、生産性の向上に積極的に気象情報を活用する必要がある。気象変動による農業への影響のモデルの確立と基礎データの収集により、予測シミュレーションを可能にする必要がある。また、農業以外にも流通を初めとして、気象変動の影響を大きく受ける産業は多い。それぞれの目的に沿って、固有の関連データ収集とデータベース構築、シミュレーション、データ分析が重要である。

(関連データの収集とデータベース構築、シミュレーション、データ分析)

災害発生に備えたライフライン確保のための機能検証

災害発生の際、生活・生命を維持するための水道・電気・ガス・通信などのシステム機能が停止すると市民生活に大きな支障が出る。これを防ぐためには、都市計画の段階で災害時のシミュレーションを行い、万全の対策を講じておく必要がある。

(都市の主要機能のデータベース構築、シミュレーション、可視化)

自然災害による被害の最小化を意図した都市や周辺環境の整備

都市や周辺の住環境・地理情報のデータベースや知識ベースを整備し、都市計画段階で、自然災害シミュレーションにより、被害を最小化するための対策を講じるべきである。例えば、土砂災害対策としての急傾斜地崩壊防止策、震災対策としての防火地

域指定による不燃化促進や街区公園などの近隣避難場所整備などがある。
(住環境、地理情報などのデータベースや知識ベース構築、シミュレーションなど)

(3) 環境分野における重要な IT 技術

前項では、環境分野での IT 技術の代表的な活用領域をおおまかに説明した。この分野で特に重要な IT 技術は、おおよそ以下の通りである。

コンテンツ記述、知識記述
データベースや知識ベースの構築、分散データベースの統合
モデル作成、高速シミュレーション、可視化、仮想現実
ブロードバンド、ネットワークの耐障害化
ソフトウェアの頑健性、システムの耐障害性
ネットワーク上の仮想会議

5.2.3 ナノテクノロジー・材料分野

(1) 背景

「ナノテクノロジー」が、広範な産業分野に革新を引き起こす技術として大きな注目を集めている。ナノ(10⁻⁹)メートルは、物質を構成する原子や分子の大きさのオーダーに相当する。ナノテクノロジーとは、このように極めて小さな原子や分子を自由に操作・制御し、ナノサイズ特有の物質特性などを利用して新しい機能、優れた特性を引き出す技術の総称である。

現在、研究開発は材料・デバイスの開発が中心であるが、将来はライフサイエンス、環境、IT、エネルギーなど幅広い分野の基幹技術となるものとして期待されている。例えば、米国の国家ナノテクノロジー戦略(NNI: National Nano-technology Initiative)では、「次の最も有望な科学技術はナノテクノロジーである」として、以下のような分かりやすい目標をかかげている。

角砂糖 1 個のサイズに国会図書館の全情報を収容可能なメモリ

(マルチテラビットメモリ)

原子や分子レベルから様々な材料や原料を製造する技術

鉄の 10 倍の強度を持ち、軽量で高エネルギー効率の乗り物

コンピュータの計算速度や効率をこれまでの数百万倍に向上させる極小トランジスタとメモリ

ガン細胞が数個の段階で検出可能とする技術(遺伝子や薬剤の伝達を見る MRI など)

水や空気から環境汚染物質を取り除くような物質やプロセス

これまでの 2 倍のエネルギー変換効率の太陽電池

米国の NNI などの影響を受けながら、各国とも戦略的な取り組みが活発化している。

日本では、総合科学技術会議の策定した「ナノテクノロジー・材料分野推進戦略」において、重点領域として以下の5項目を取り上げている。

次世代情報通信システム用ナノデバイス・材料

環境保全・エネルギー利用高度化材料

医療用極小システム・材料、生物のメカニズムを活用し制御するナノバイオロジー計測・評価、加工、数値解析・シミュレーションなどの基盤技術と波及分野

革新的な物性、機能を付与するための物質・材料技術

(2) ナノテクノロジー・材料分野における IT 技術の活用

ここでは、材料にマイクロマシンなども含めた、極めて微細な加工を行うナノテクノロジー分野における IT 技術の活用領域について見てみる。

仮想空間内の動作検証システム、材料シミュレーション

ナノテクノロジーのような微細な領域を扱う技術では、物を製造した後で修正することは極めて困難である。したがって、実際の物の製造に先立ち、仮想空間内でのシミュレーションによって、設計や製造過程の問題点や不具合を発見し修正することが非常に重要となる。ナノ領域では実験とシミュレーション結果が近くなってくるので、今後、試行錯誤だけでなく、理論計算によって材料設計シミュレーションを行ってから試作する方が、設計期間を短縮できる可能性が大きくなる。(設計、製造データの電子化とデータベース化、CAD、高速シミュレーション、可視化)

原子、分子を扱う量子力学的空間における種々の測定データ処理と可視化

ナノレベルの世界は、原始、分子を扱う量子力学的空間である。この微細な世界を覗くためには、IT 技術がツールとして不可欠である。IT 技術により、各種のセンサーとともに、実験で得られたデータを処理して、計測、評価、加工、数値解析、シミュレーション、可視化などの操作を行う。

(高速数値解析計算、並列プログラミング、可視化)

極小の部品から目的の機能を持つシステムを構築する技術の確立

半導体ナノデバイス、ナノマシン、マイクロマシンなど、ナノテクノロジーを応用したシステムでは、その微細さゆえに機械的現象と電子的現象の相互作用が重要であり、それらを取り扱える CAD システムの開発が必要である。

(多くの部品を組み合わせ、動作を確認できる CAD、およびシミュレーション)

大規模な実験・観測装置を共同利用するための技術

超高压電子顕微鏡や高エネルギー加速器など、ナノテクノロジーの研究開発では大規模な実験・観測装置が必要になり、必然的に設置される場所は限られる。これらの装置を多くの研究者が遠隔利用できる環境と技術を揃えることにより、ナノテクノロジー研究の促進を図ることができる。(ブロードバンドネットワーク)

(3) ナノテクノロジー・材料分野における重要な IT 技術

前項では、ナノテクノロジー・材料分野での IT 技術の代表的な活用領域をおおまかに説明した。この分野で特に重要な IT 技術は、おおよそ以下の通りである。

部品・材料などのデータベース構築、コンテンツ記述言語
CAD、シミュレーション
高速数値解析計算、並列プログラミング
動作確認用測定・評価のためのシミュレーション
可視化、仮想現実

5.2.4 製造技術分野

(1) 背景

製造技術は「研究開発の成果として得られる先端的製品を妥当なコストで実現し、商用化する」ためのものである。技術の進歩による製品の高機能化、複雑化、小型化などともなっており、その実現のために必要な技術は高度化しており、製品を実現する技術としての製造技術の重要性は、ますます高まっていると言える。

製造業は、現在でも我が国の経済力の源泉(名目 GDP の約 25%、全就業人口の約 25%、全輸出入額の 70%)であり、日本の基幹産業である。しかし、経済のグローバル化ともなっており、国内の高コスト環境(土地費高、人件費高、エネルギー費高、運輸費高)では、人件費が約 30 分の 1 の中国を初めとするアジア諸国に製造コストで太刀打ちできず、産業としての存続は容易でなくなっている。この状況下で、国内製造業の開業率においては、圧倒的に廃業率が高くなっており、雇用創出力も弱まっている。

こうした状況において、我が国の製造業は、従来型の大量生産フェーズは海外の低コスト製造環境を利用するとしても、高付加価値の部分については、我が国の優位性を保つために、従来の高品質・低価格を目指した大量生産の技術を、IT を高度利用した革新的製造技術へと転換することが要求されている。

(2) 製造技術分野における IT 技術の活用

革新的な製造技術への転換のために、以下のような領域での IT 活用が重要である。

製造分野における IT 利用

日本の製造業は、とくに中小企業において IT 利用が遅れていると言われている。とりわけ、知識のデータベース化と共有化の遅れは、米国との比較で生産性が低下してきている大きな要因である。従来の紙の上に残されてきたデータを電子化・データベース化し、それらの共同利用を促進させることにより、従来の設計・製造における効率を大幅に向上させることが必要である。

- a) 設計・製造・試験・運用などのデータの電子化とデータベース構築と利用
- b) インターネットを利用したデータや知識の交換・共有と共同作業支援

(ブロードバンド、CAD、CAM、CAE、CSCW、Collaborate-Commerce など)

先進的 IT 技術を導入した革新的製品開発プロセス

多品種・少量生産時代への移行にともなって、製品開発期間の短縮や開発・製造コストの削減はますます重要になってきている。このような背景から、最近、仮想生産(Virtual Manufacturing)と呼ばれる革新的な製品開発プロセスの概念が注目を集めている。

仮想生産は、製品や製造プロセス、生産環境、それらに関わる人間の活動や知識を徹底的にモデル化し、実生産の前に製品機能や生産性、さらには製品のリサイクルや廃棄コストを徹底的にシミュレーションして設計、生産の不具合の発見、機能、性能のチェックを行い、製造コストや開発期間を低減しようとするものである。

a) 設計段階から、運用、廃棄に至る過程のデータベース、および知識ベース化

b) ライフタイムシミュレーションによる不具合の発見

(データベース、知識ベース、高速シミュレーション、可視化技術など)

(3) 製造技術分野における重要な IT 技術

前項では、製造技術分野での IT 技術の代表的な活用領域をおおまかに説明した。この分野で特に重要な IT 技術は、およそ以下の通りである。

コンテンツ記述言語、標準化

マルチメディアデータベース、相互運用性

高速シミュレーション、並列ソフトウェア

可視化技術、仮想現実

アクティブデータベース、知識表現、知識ベース

ネットワーク上の仮想会議、共同作業支援

5.3 融合領域で生まれる新 IT 技術と重点分野

前節において、ライフサイエンス、環境、ナノテクノロジー・材料、製造技術の4分野における IT 分野との融合領域で求められる重点技術を調査した。その結果に基づき、それらの分野の融合領域において共通的に求められる IT 技術をまとめると、以下のようになる。

(1) プラットフォーム関連技術

モデリング、シミュレーション、数値解析、論理計算(推論)

高速化のための(超)並列プログラミング、(超)分散プログラミング、並列・分散ソフトウェアの開発・保守

ネットワークのブロードバンド化(高速化やマルチメディア化)

プラットフォーム(コンピュータやネットワーク)の耐障害性・頑健性強化

(2) コンテンツ関連技術

種々の応用に向けたコンテンツ記述言語、知識記述言語、およびデータベース、知識ベース構築

コンテンツのマルチメディア化

データベースや知識ベースの管理に関しては、分散したシステムの統合管理や相互運用性

データベースや知識ベース、さらにはインターネット上に分散したものの高速検索や意味的検索（知識検索、データマイニング）

(3) マンマシンインタフェース関連技術

シミュレーション結果などの分かりやすい提示のための可視化や仮想現実などの人とマシンのコミュニケーション（高度なコンピュータグラフィクス）

マルチメディアによる対話

ネットワーク上の共同作業支援や仮想会議

6. 重点分野の選択方針についての提言

4章で詳しく述べたように、米国のNITRD計画においては、並列化した(超)高速コンピュータ、大規模ネットワークとそこに分散しているコンピュータの統合(超分散システム)など、「IT中核技術」が幅広く開発されている。

また、5章で述べたように、科学技術総合会議で選択された重点分野では、多くの研究開発目標が設定されており、そのほとんどの目標は、IT無しには達成し得ないものとなっている。この結果、各分野の技術とITとの「融合領域」が形成され、そこでは、ITがその分野の要求に応じて多様化し、重点分野を作り上げていくと予測される。

ここでは、IT中核技術分野と融合領域における重点分野をまとめ、それらからさらに絞り込みを行う場合の選択指針(戦略)について提言する。

6.1 IT中核技術分野

4章で詳述したNITRD計画で開発されている技術分野を大括りにまとめると図6.1のようになる。この図に示すように、米国は、IT革命の覇者となった後も、ITの中核技術に万遍なく研究開発投資を行っており、IT技術の覇者であり続けることを意図しているといえる。

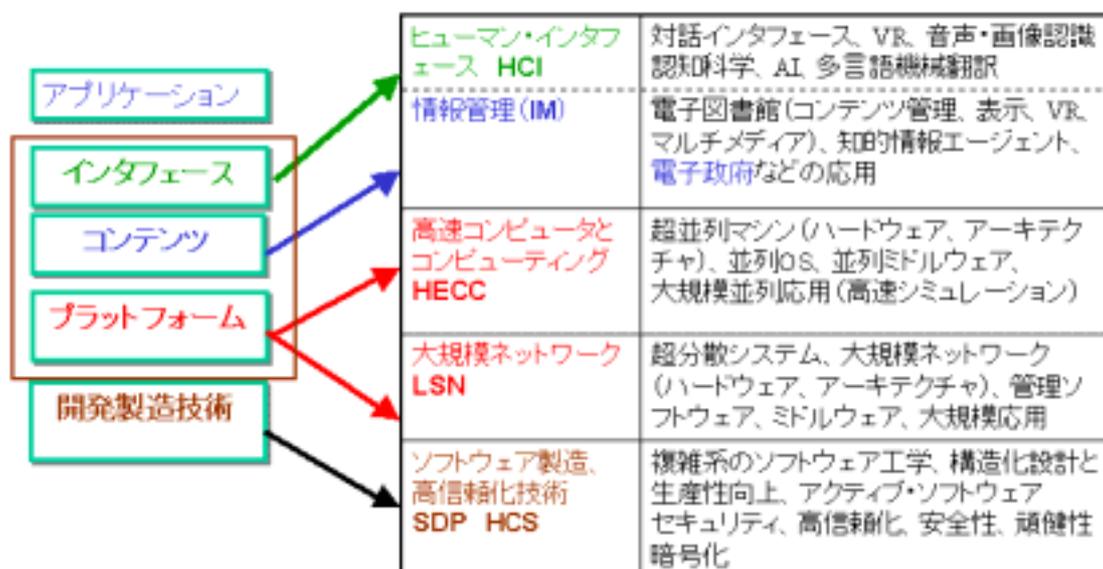


図 6.1 NITRD 計画のプロジェクト分類と研究分野

米国が重点分野としているのは、次のような技術分野である。

6.1.1 プラットフォーム分野

(1) 並列コンピュータ（超並列マシン）技術

チップレベルのマイクロプロセッサの高速化と共に、マイクロプロセッサを数万個以上結合した超並列マシンの開発に重点投資している。並列プログラミング技術や並列基本ソフトウェア技術に関しては、オープンソースシステム（OSS）として開発を公開し、世界の周知を集める戦略をとっている。

現在、数十から数百台規模の並列マシンは、PC クラスタシステムなどの出現で安価に入手可能となっており、さらに並列サーバが普及しつつある。ハードウェアの土台は整ってきており、今後は、並列基本ソフトウェアや、並列マシンの高速性を生かす応用ソフトウェアの開発技術が目標となると考えられる。

ソフトウェア関連技術としては、次のようなものが重要である。ソフトウェアは、並列マシンの規模の大小によらず適応できるスケーラブルなものが求められる。

並列基本ソフトウェア、ミドルウェア

並列ソフトウェア開発技術（並列プログラミング言語、ツールや開発環境）

並列アルゴリズムやプログラミング技法

応用ソフトウェア開発技術（応用ごとのモデリング、アルゴリズム、ライブラリ）

(2) ネットワークコンピューティング（超分散マシン）技術

ネットワーク上に接続された大小のコンピュータを一まとめにして、高速のコンピュータとして用いたり（グリッドコンピューティング）、機能を分散し、役割分担して、高度な機能を実現しようとする（ユビキタスコンピューティング）技術。

実現のための技術としては、次のようなものがある。

ネットワークの高速化技術（ブロードバンド化）

各コンピュータ間の交信を可能とするインタフェースを共通化するミドルウェア

分散したコンピュータを統合制御できるネットワーク基本ソフトウェア

応用ソフトウェア開発技術（超並列マシンの場合と同様のアルゴリズムやプログラミング技法、プログラミング言語、プログラミングツールや開発環境）

上記の2つの技術は、数年後には広範囲に普及することが予測される。並列や分散システムを用いる高速化ではハードウェアコストはあまり問題にならない。しかし、そのソフトウェアは、非フォン・ノイマン型となり、従来の逐次ソフトウェアの技術のみでは限界があり、新しいソフトウェア技術が必要となる。再びパラダイムシフトが起こると考えることもできる。従って、上記のようなソフトウェア研究開発、技術蓄積、人材教育までを含む戦略をたてて対応することが必要である。

プラットフォームに関しては、このほか、セキュリティ、頑健性、耐障害性などがより強く要求され、これらの技術開発も、併せて実施することが重要である。

6.1.2 コンテンツ技術分野

従来のデータベース技術に加えて、次のような、より高度な技術が求められるようになり、これらの研究開発が重点分野に加わることとなった。

- ・インターネットなどの普及により、ネットワーク上に分散して存在するデータや知識のうちから有用なものを探索し、利用する技術が求められるようになった。
- ・ライフサイエンス、環境、製造などの分野においては、紙の上には存在しないデータや専門家の頭の中にある知識の電子化と、そのデータベース（DB）化、知識ベース（KB）化の要求が強まった。高速コンピュータによるシミュレーションによって、仮想世界での実験などを行うためにも、このようなDBやKBは不可欠である。

このような要求を満たすためのソフトウェア技術開発やコンテンツ作成のための技術としては、次のようなものが挙げられる。

- コンテンツ記述言語、知識記述言語など
- 分散情報管理技術、データベースの相互運用
- マルチメディア情報のDB管理
- 分散DBやKBの検索、知的エージェント
- DBやKBの高度な作成、管理、利用技術（知識発見、推論、学習など）

6.1.3 インタフェース技術分野

インターネットを利用した買い物、銀行の利用、行政サービスなど、一般市民の利用が今後ますます増加するため、使い勝手のよい対話インタフェースの需要は際限なく拡大すると予測される。また、仮想空間内での実験結果の提示のための、より高度な表示技術が求められよう。そのほか、インターネット上の仮想会議などもブロードバンド化にともない、実用化が進むことであろう。

このような要求に基づく技術開発は、重点分野に新たに加わることになる。

- 高度な対話技術（マルチメディアの利用、音声や自然言語の認識など）
- 人間に分かりやすい情報提示技術（コンピュータグラフィクス、可視化技術、仮想現実など）
- 仮想会議や共同作業支援など

6.1.4 ソフトウェアの製造技術分野

プラットフォームに超並列や超分散システムが含まれるようになると、その上でのソフトウェア開発の方法論や手法は、大幅に変わることが予想される。このようなソフトウェアの技術革新（パラダイムシフト）に向けての、設計・製造・保守などの手法を開発し、ソフトウェア技術者への教育・訓練を施すことも考慮する必要がある。

米国のNITRD計画では、2001年より、このようなソフトウェアの複雑化に向けて新分

野を設け、研究開発を開始している。

並列、または分散ソフトウェアの設計・製造・検証技術

並列、または分散ソフトウェアの高信頼性・頑健性を確保する技術

広域分散環境や超並列マシン環境におけるデバッグや検証技術

ソフトウェア稼動状態の監視、制御技術

6.2 融合領域における重点分野

融合領域における重点分野は、IT と他分野の技術が融合して形成されるが、その初期段階では、IT が他分野の開発ルールやインフラとして用いられる。それが進行し、IT が他分野の知識記述や概念の実現の中核技術となり、新分野が形成されることとなる。

ゲノム情報分野の場合、当初は、読み取ったゲノムを格納するデータベース技術がツールとして用いられ、次に高速のコンピュータが配列解析などのツールとして用いられた。

さらに発展すると、たんぱく質の新陳代謝のネットワーク解析など、IT のバイオの分野への浸透がより深くなり、もはや 2 つの技術の分離は困難となる。融合が深まるほど、一般的には、新しい知見や知識が得られ、それらの中から、新薬や新治療法の開発につながる。

5 章で述べた IT と各分野の融合領域における重点分野は、IT を開発ルールやインフラとして用いるような、IT の応用ソフトウェアの開発であろう。この分野は未開拓な技術が多くあり、早期に研究開発投資を行うことで先行者利益を期待できる。米国は、将来の産業の技術シーズの開発と蓄積を狙って、これらの技術開発に重点的に投資を行っている。

現在は未だその詳細は見通すことは難しいが、マクロにみて、これらの分野と IT の融合パターンの共通項は、現実世界では、経済的に困難、もしくは不可能な実験や評価をコンピュータ上の仮想世界において行い、結果を得るというものである。具体例としては、5 章に述べた都市再開発による環境変化の予測や、仮想生産などが挙げられる。

このような仮想世界における実験などに必要な IT 技術は、5.3 節でも述べたが、以下のようなものとなる。

高速なスーパーコンピュータを用いたシミュレーション技術

データや知識の記述と、データベース、知識ベース管理技術

高速計算を実現する並列プログラム設計、製造、保守技術

データや知識を入力する文字、図形、音声、自然言語などの認識技術

計算結果を分かりやすく提示するグラフィックス技術や仮想現実技術

多量のデータや知識の中から必要なものを探索する技術

(上記技術を IT 中核技術にブレイクダウンしたものは、5.3 節を参照)

実際には、それぞれの応用分野の要求の差異により、特徴ある技術となって融合してい

くと考えられる。よって、重点分野を考える際は、これらの IT を各分野へツールやインフラとして提供できる環境を早期に開発・整備することが、競争における先行者となる条件と言える。

融合領域における重点分野への投資は、国の役割に沿うものであり、ライセンス時代を迎え、IPR 取得が重要な技術開発目標となる 21 世紀にふさわしいものと考えられる。

6.3 重点分野における効率的なソフトウェア開発環境

以上述べたように、これからの重点分野の研究開発は、ソフトウェアや IPR を成果として行うものが中心となる。米国における研究開発の仕組み・法制度は、このような技術貿易時代、またはライセンス時代と呼ばれる時代に適合したものへと改革されている。

しかしながら、我が国の研究開発を見ると、その仕組み・法制度は、いわゆる箱物作りの時代のままであり、現場の研究者・技術者は、その事務手続きや会計処理のオーバヘッドに多くの労力を費している。

上に述べた重点分野における研究開発は、ソフトウェアや IPR など、まさに新知識の創成を目指すものとなることから、仕組み・法制度の改革は、研究開発を効率的に実施し、競争力の向上を実現する上でも必須の条件である。

以下、我が国の研究開発の改革すべき課題を提言する。

ソフトウェアや IPR の研究開発を効率よく進めるための仕組み・法制度

- (1) 国の R&D 政策を具体化するプロジェクトを、省庁間縦割りの壁を越え一元化して実施する機構の実現（米国の OSTP , NSTP 相当）
- (2) 大学・国研の研究専門職の IT 研究者・技術者のプロジェクト予算による雇用規制の緩和
- (3) プログラムマネージャ制度の導入による、一貫性があり、責任の所在が明確なプロジェクト管理と評価の仕組み、および予算使途や研究領域変更など諸権限の研究現場への移管や情報公開の実施
- (4) 商品化を展望した実証システム試作の奨励と、そのための予算と人材の確保（客観的評価を可能とし、同時に即戦力となる、物作り能力をもつ人材の育成）
- (5) 研究開発に対する複数年度会計、予算の合算使用、企業会計の導入などの実施（米欧並みの会計制度へ）
- (6) 投資による合理的な起業支援、新規参入企業を優遇する調達や市場の仕組みの実現

ソフトウェア開発事業の重点分野に関する調査 調査報告書

平成 14 年 3 月

本報告書は、情報処理振興事業協会(IPA)からの調査委託により、
(財)日本情報処理開発協会 先端情報技術研究所が実施したものです。

All Rights Reserved, Copyright cIPA 2002

調査実施機関: (財)日本情報処理開発協会 先端情報技術研究所