

**アメリカ合衆国における新世代ネットワークに
関する研究開発動向および連邦政府における
ICT 研究開発動向に関する調査**

2010 年 3 月

NICT ワシントン事務所

委託先

WASHINGTON | CORE

目次

1	アメリカ合衆国における ICT R&D に関する予算および政策	1
1.1	序論.....	1
1.2	NITRD プログラム管理.....	7
1.3	2011 年度までの連邦 R&D 予算概要.....	10
1.3.1	連邦 R&D 予算の歴史的解析と 2010 年度歳出予算.....	10
1.3.2	新政権の影響.....	13
1.3.3	2011 年度 R&D 予算要求.....	14
1.4	2010～2011 年度の連邦 ICT R&D 予算の分析.....	17
1.4.1	2010～2011 年度の機関別 NITRD 予算.....	17
1.4.2	ARRA による ICT R&D への投資に関する議論.....	20
1.4.3	2010～2011 年度の機能分野別 NITRD 予算.....	22
1.4.4	NITRD2010・2011 年度予算における機関別優先事項.....	25
1.5	ICT R&D に対する連邦議会の影響.....	29
1.5.1	ICT R&D に関する連邦議会の姿勢.....	29
1.5.2	連邦議会における主要 IT R&D 関連プレイヤー概要.....	30
1.6	結論.....	35
2	新世代ネットワークに関する R&D 動向	39
2.1	序論.....	39
2.1.1	次世代ネットワークはなぜ必要か.....	39
2.1.2	本稿第二章の構成.....	41
2.2	新世代ネットワーク R&D の計画と戦略.....	43
2.2.1	新世代ネットワーク R&D の傾向.....	43
2.2.2	計画文書.....	43

2.3	全米科学財団(NSF)の新世代ネットワーク R&D 活動	46
2.3.1	FIND プログラム	47
2.3.2	GENI プロジェクト	50
2.3.3	第 6 回 GENI エンジニアリング会議(GENI Engineering Conference)	56
2.3.4	FIND と GENI の再評価	57
2.3.5	FIND から NetSE へ	58
2.3.6	コンピューティング研究協会とコンピューティング・コミュニティ・コンソーシアムの役割	64
2.3.7	FIND オブザーバー・パネル(FIND Observer Panel)	66
2.3.8	将来のインターネット・アーキテクチャ(FIA: Future Internet Architectures)	67
2.3.9	FIND/GENI/NetSE/FIA に関するコメント	68
2.4	その他の新世代ネットワーク R&D 関連活動	70
2.4.1	DARPA: CORONET プログラム	70
2.4.2	エネルギー省: ESnet OSCARS	73
2.4.3	スタンフォード大学クリーンスレート・インターネット設計プログラム(Stanford University Clean Slate Internet Design Program)	76
2.4.4	DARPA の国家仮想領域(National Cyber Range)	77
2.4.5	ホスト識別プロトコル(HIP: Host Identity Protocol)	78
2.4.6	レジリネット(ResiliNets): 弾力的・存続可能ネットワーク(Resilient and Survivable Networks)	79
2.5	結論	81

1 アメリカ合衆国における ICT R&D に関する予算および政策

1.1 序論

ネットワーキングおよび情報技術研究開発計画 (NITRD: Networking and Information Technology Research and Development) として知られる米国の情報通信技術研究開発 (ICT R&D) プログラムは、米国連邦政府における大規模かつ生産的な省庁横断型研究調整 (リサーチ・コーディネーション) 例の中でも、最も歴史が古いプログラムのひとつである。4 機関間の非公式な調整プログラムとして 1980 年代末に開始され、1991 年に正式に設置された。当時は 8 つの機関が参加し、予算は約 6 億ドルだった。2010 会計年度の正式プログラムには参加 13 機関に対して約 43 億ドルの総予算が割り当てられ、さらに関連国防活動 (embedded defense activities) に対して多額の資金が拠出されている。2011 会計年度の大統領予算要求額も、およそ 43 億ドルとなっている¹。

ICT R&D は引き続き政権における優先事項であり、連邦議会においても幅広い支持を得ている^{2,3,4}。そうした支持は、米国再生・再投資法 (ARRA: American Recovery and Reinvestment Act) による 2009 年のみ 8 億 6,100 万ドルの追加拠出とともに、同プログラムに対する実際の資金拠出を、2008 年度から 2010 年度でほぼ 29% 増加させる一助となった^{1,5,6}。

¹ [FY 2011 Networking and Information Technology Research and Development: Supplement to the President's Budget](#), National Coordination Office for Networking and Information Technology Research and Development, February 2010

² [Analytical Perspectives, Budget of the United States Government, Fiscal Year 2011](#), Office of Management and Budget, February 2011

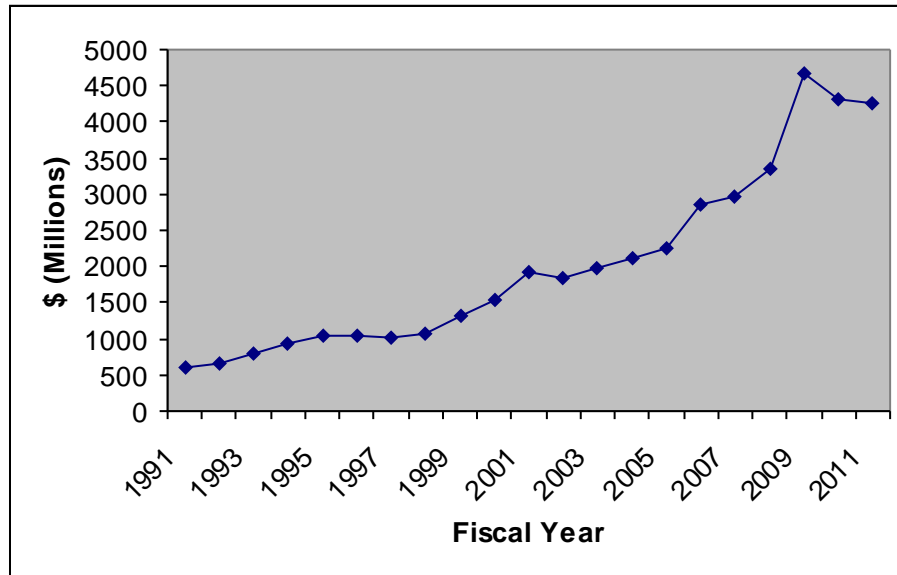
³ [Science and Technology Priorities for the FY 2011 Budget](#), Executive Office of the President, August 2009

⁴ [Statement of Dr. John P. Holdren, Director, Office of Science and Technology Policy to the Committee on Science and Technology, United States House of Representatives, on Research and Development in the President's Fiscal Year 2011 Budget](#), February 24, 2010

⁵ [FY 2010 Networking and Information Technology Research and Development: Supplement to the President's Budget](#), National Coordination Office for Networking and Information Technology Research and Development, May 2009

図 1 は、NITRD とその先行プログラムの年間予算額の推移を示したものである。

図 1-1: 1991 ~ 2011 年度 NITRD およびその先行プログラムの年間予算額推移



出典: National Coordination Office for Networking and Information Technology. 金額は、大統領予算要求額である 2011 年度を除き、現在ドルによる政府歳出予算推定値。2009 年度は、米国再生・再投資法 (American Recovery and Reinvestment Act) による拠出 8 億 6,100 万ドルを含む。

ここ 20 年間で年間予算は 10 倍近くに増えている。これは基礎研究プログラムに対する予算としては異例の軌跡であり、プログラムの強みとそれに対するサポートの証と言える。

最近のいくつかの政策・計画文書には、NITRD プログラムに関する指針が盛り込まれている：

⁶ [FY 2009 Networking and Information Technology Research and Development: Supplement to the President's Budget](#), National Coordination Office for Networking and Information Technology Research and Development, February 2008

1. 当時ブッシュ大統領率いるホワイトハウスによって招集された省庁横断型タスクフォースによって 2008 年に準備された機密計画「包括的国家サイバーセキュリティ・イニシアチブ(Comprehensive National Cybersecurity Initiative)」⁷は、その概要が最近になって機密解除された。それに示された 3 つの主要目標のうち、1 件が以下の通り NITRD プログラムに直接関連する。

「サイバー教育の拡大、連邦政府内における研究および開発努力の調整と方向転換、そしてサイバースペースにおける敵対的あるいは悪意のある活動を阻止するための戦略の明確化と開発により、将来のサイバーセキュリティ環境を強化する」

また、12 の規定イニシアチブのうち、1 件は具体的に R&D に言及している：

イニシアチブ #4: 研究開発(R&D)努力の調整と方向転換。政府が助成するサイバー関連の R&D 活動すべてを把握する個人あるいは団体は一切存在しない。本イニシアチブは、米国政府によって出資された、あるいは実施された機密および非機密両方のサイバー関連 R&D の全てを調整し、そういった R&D を必要とされる場所に移行させるための戦略および構造を策定する。連邦資金助成によるサイバーセキュリティ研究における余剰をなくし、研究のギャップを特定し、R&D 努力に優先順位を付けるとともに、戦略的投資を具現化することにより、納税者がその支払いの完全な対価を得られるようにするために、本イニシアチブは不可欠である。

さらに、イニシアチブ#8 はサイバー教育の拡大を要求している。サイバー教育は米国において、大学ベースの研究に密接に関係している。

⁷ [Comprehensive National Cybersecurity Initiative \(Summary\)](#), Executive Office of the President, February 2010

2. 「サイバースペース政策レビュー(Cyberspace Policy Review)」⁸は、米国政府および民間コンピュータを狙った熾烈で執拗なサイバー攻撃に対する根本的打開策を模索することを目的として、2009 年 2 月にオバマ大統領によって編纂された。サイバーセキュリティ・イニシアチブのために作成されたマテリアルに基づく一方で、本レビューは政府システムのセキュリティ確保を超え、国家のコンピュータとネットワークを全体として見なしている。この点に関する推奨事項の一つとして、公共セクターと民間セクター間の必要な情報共有を促進するための新たな構造の開発の必要性が挙げられている。本レビューではホワイトハウスに以下を要求している：

「デジタル・インフラのセキュリティ、信頼性、弾力性、そして信用性を向上させる可能性のある、既存システムを抜本的に変える技術に注力した研究開発戦略のためのフレームワークを開発する。ツールの開発、理論のテスト、そして実行可能なソリューションの同定を促進するため、研究コミュニティにイベント・データへのアクセスを供給する。」

3. 「米国サイバー・リープ・イヤー・サミット 2009 (National Cyber Leap Year Summit 2009)」⁹は、2009 年の米国サイバー・リープ・イヤー (National Cyber Leap Year) 期間中のサイバーセキュリティに関する研究の必要性を示している。リープ・イヤー (Leap Year) は、例えばアーキテクチャやシステムの再設計などを通じて解決困難なセキュリティ問題を回避する方法を探索することにより、そういった問題を解決しなくてはならない状況に陥ることを回避する方法を探索するために招集された。

⁸ [Cyberspace Policy Review: Assuring a Trusted and Resilient Information and Communications Infrastructure](#), White House, May 2009

⁹ [National Cyber Leap Year Summit 2009: Co-Chairs' Report](#), September 2009

4. 「ネットワーキングおよび情報技術の労働力に関する研究 (Networking and Information Technology Workforce Study)」¹⁰ は、大統領科学技術諮問委員会 (PCAST: President's Council of Advisors on Science and Technology) の要請によって、2009 年に NITRD プログラムのために作成された¹¹。本研究には、米国、EU、日本、韓国、シンガポール、台湾、中国、インドを含む複数の国におけるネットワークと情報技術 (NIT: Network and Information Technology) 教育と労働力の比較評価が含まれた。また、本研究は研究結果の概略をまとめていないが、多くの統計的情報が盛り込まれている。研究は、米国が NIT 労働力不足に直面していることを示唆する説得力のある証拠はないと結論している。

5. 厳密には R&D 計画ではないが、「科学と社会のためのデジタル・データ・パワーの抑制 (Harnessing the Power of Digital Data for Science and Society)」¹² は、NITRD プログラムに関連して作成された。作成グループには複数の NITRD 関連メンバーも名を連ねている。レポートは、「公衆 (パブリック) が直ちに見出し使用できる形式で、情報を迅速に開示する」必要性を是認している。レポートは、以下を求めている：

「データの生成、収集、文書化、解析、保存、および流布が適切、かつ確実に直ちに管理され、ゆえにグローバル情報社会における進歩の触媒として、デジタルデータがその可能性を完全に具現化できるようにすることにより、国家の研究開発投資に対するリターンを増強させるデジタル科学的データのユニバース (digital scientific data universe)」。

総合政策に関しては、プログラムは近年の傾向を踏襲し、ICT R&D 分野の中でも技術領域を継続して重視する内容となっている。

¹⁰ [Networking and Information Technology Workforce Study: Final Report](#), SRI International, May 2009

¹¹ [Leadership Under Challenge: Information Technology R&D in a Competitive World](#), President's Council of Advisors on Science and Technology, August 2007

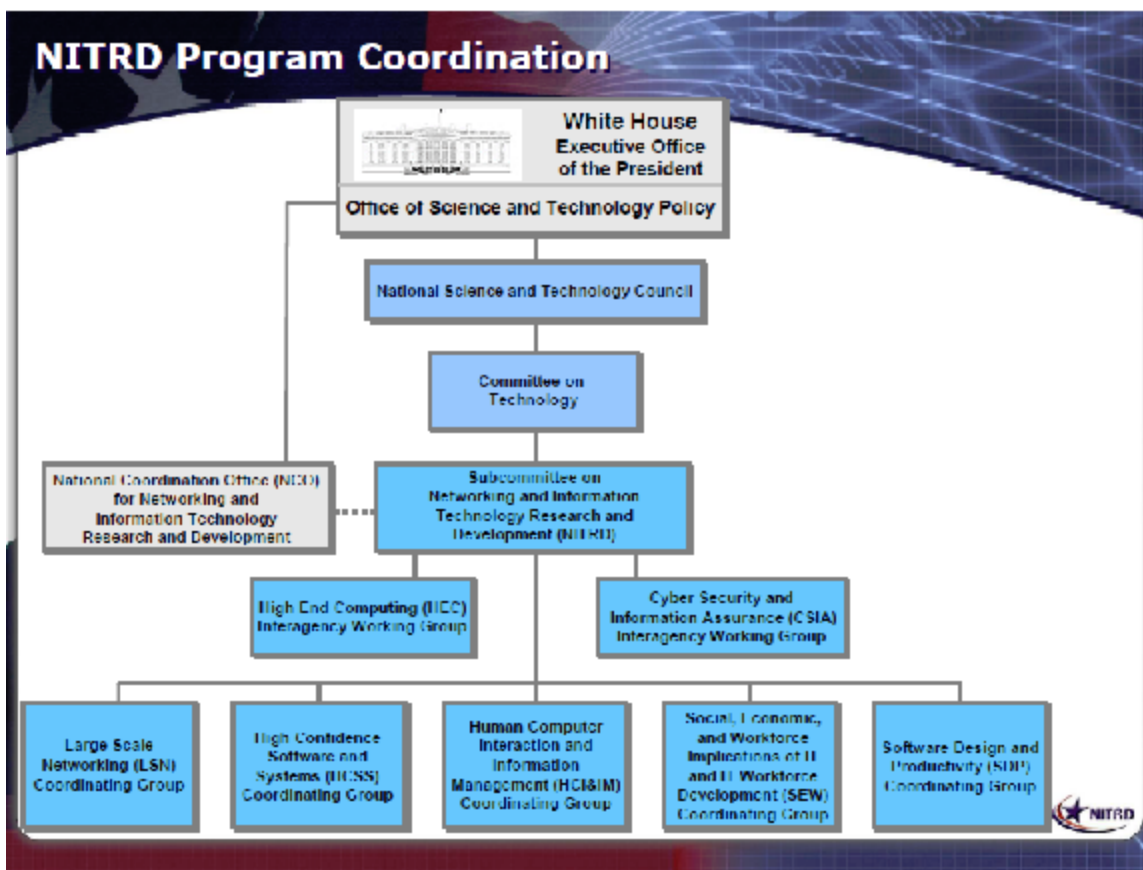
¹² [Harnessing the Power of Digital Data for Science and Society: January 2009 report of the Interagency Working Group on Digital Data to the National Science and Technology Council](#), National Science and Technology Council, January 2009

- ハイエンド・コンピューティング・システムの開発と早期整備を含むサイバー・インフラ
- 大容量の全光ネットワーク、将来のインターネット・アーキテクチャに代わるもの、そしてグリッド・コンピューティングを含む高度ネットワーク技術とアプリケーション
- サイバーセキュリティおよびテロ対策アプリケーション
- ソフトウェア・エンジニアリング規律の創設を含むソフトウェア設計および生産性

1.2 NITRD プログラム管理

NITRD プログラム(およびその前身)は、ICT R&D に従事する連邦政府機関間のプランニングと協力を奨励し、不必要な重複を最小限にする目的で設立された。

図 1-2: NITRD プログラム組織図



出典: National Coordination Office for NITRD

NITRD プログラムは、図 2 に示されるように、全米科学技術評議会 (National Science and Technology Council) の管理下に組織されている。評議会は、研究開発に資金拠出および / または研究開発を行う様々な機関の代表によって構成されており、科学技術政策室 (Office of Science and Technology Policy) によって運営されている。評議会内では、技術委員会が技術的進歩をサポートする研究プログラムに関する省庁間の調整を行う。小委員会は、国家調整事務局 (National Coordination Office) 付きの常勤職員によってサポートされている。同事務局長 (Director) と、全米科学財団 (National Science Foundation) のコンピュータ・情報科学・エンジニアリング局 (Computer and Information Science and Engineering) の副局長 (Assistant Director) が、小委員会の議長を共同で務める。NITRD の小委員会には 7 つの省庁横断型作業部会と調整グループ (Interagency Working Groups and Coordinating groups) が参加しており、プログラムの日常業務のほとんどを手掛けている。

小委員会が予算に直接的権限を持たないことは特筆に価する。直接的予算権限を与えられていない小委員会は、プログラムの調整こそ行うが、研究の優先順位付けを行ったり、個々の機関のプログラムに変更を加えたりといった権限は限定されている。予算権限は、ほとんどの連邦プログラムの場合と同様に、連邦議会から関連機関に直接譲渡される。ここ数年は、予算権限を小委員会、あるいは国家調整事務局経由で譲渡することを含め、NITRD プログラムのより厳格な管理を求める複数の提言が行われたが、これまで受理されたことはない。これはすなわち、不必要な重複の回避、あるいは必要でありながら十分に資金が拠出されていない研究領域に資源を充当するための、正式な手段がないことを意味する。

しかしながら、NITRD プログラムに関与する機関は、プログラムの寿命や図 1 に示される予算増加に見られるように、協調関係を成功させてきた歴史を持つ。こういった連携は、様々な委員会会合やワークショップにおける各機関のプログラムに関する討議や、現行プログラムに照らし合わせた研究ニーズの検討を含む、複数機関によって頻繁に実施・作成される計画立案研究や文書、そして共通のプロジェクト提案要請と提案レビューアー共有を伴う複数機関によるプロジェクト開発などにより推進される。多くの場合、参加機関のプログラム管理者は、数十年来とは言わないまでも互いに数年来知る仲であり、緊密に協力し合うことに慣れている。

計画書類、ワークショップ概要、年次 NITRD 予算追補、連邦議会公聴会、および大統領科学技術諮問委員会(PCAST: President's Council of Advisers on Science and Technology)による定期的レビューにより NITRD プログラムは常に精査されており、プログラムの成功はハイライトされ、計画が悪いか不十分であった研究は明らかにされる傾向にある。特にプログラムは、技術に関係のある著名な科学者やエンジニア、ビジネス・リーダー、および学界関係者によって構成される PCAST による定期的レビューを受けている。PCAST によるレビューは、NITRD プログラム全体の方向性、および ICT R&D のための連邦戦略に関する独立した評価を提供する。次回の NITRD プログラムに関する PCAST レビューは、2010 年の実施が予定されている。

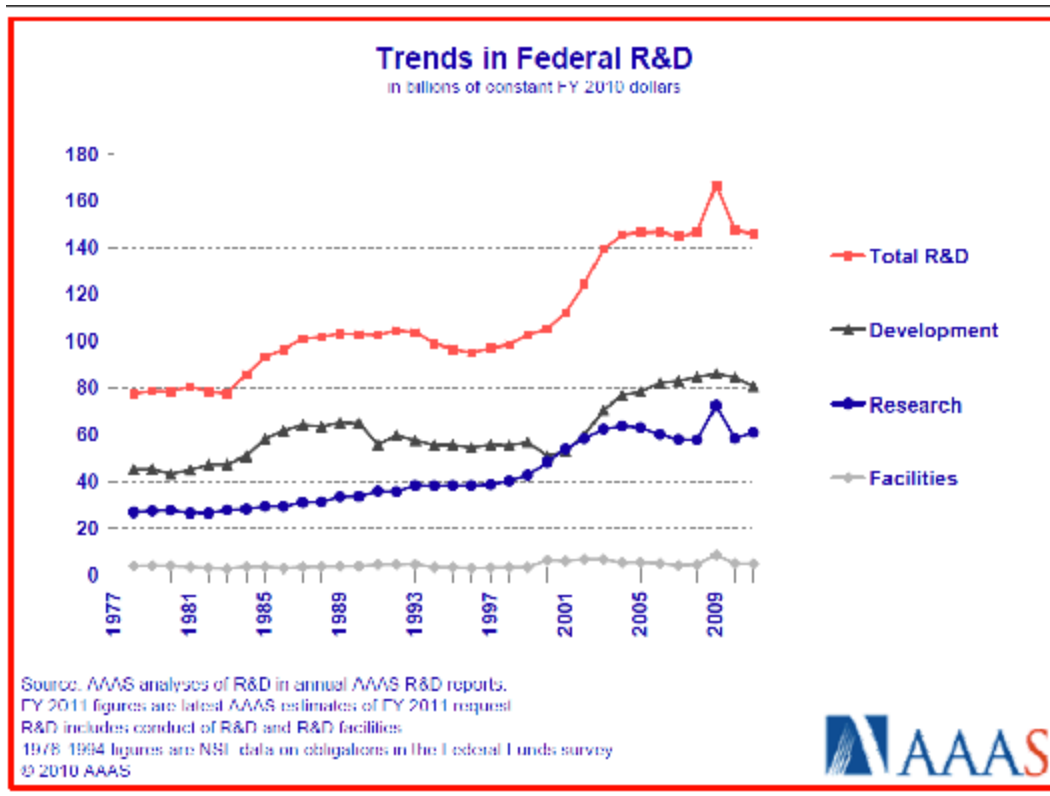
1.3 2011 年度までの連邦 R&D 予算概要

2009 年度の予算審議は非常に難航したが、2010 年度と 2011 年度の予算審議は再び整然としたプロセスで実施された。その中で、政権と議会の優先項目に基づく決議を反映し、政府歳出予算はタイムリーに成立されている。

1.3.1 連邦 R&D 予算の歴史的解析と 2010 年度歳出予算

1978～2011年度の連邦R&D予算(IT R&Dを含めあらゆるR&D向け予算)における全体的傾向を図3に示す。数字は実質金額、つまりインフレ調整後のものである。2009年度の急増は、2009年はじめに可決した景気刺激策である米国再生・再投資法(ARRA: American Recovery and Reinvestment Act)に盛り込まれた追加予算を反映しているためである。この刺激策による影響を別にすれば、米国R&D予算総額は2004年以降ほとんど変化していない。しかし、その中身を見れば、研究のためのいくらかの予算増加と、主に国防総省(DoD: Department of Defense)における開発の減少がお互い相殺し合っている。

図 1-3: 連邦 R&D 予算総額の推移¹³

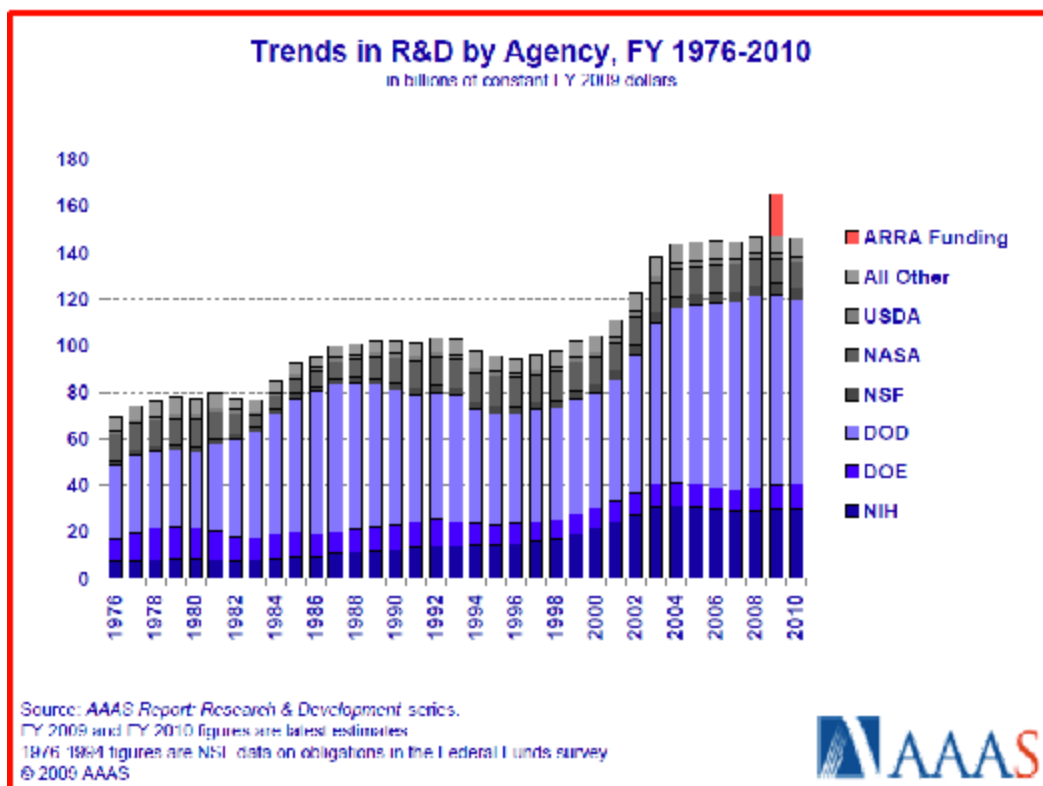


出典: AAAS, March 2010

最大手研究機関に対する連邦 R&D 予算の歴史的変遷を図 4 に示す。数字は実質金額、つまりインフレ調整後のものである。これを詳細に検討すると、非軍事機関における R&D、特に国立衛生研究所 (NIH: National Institute of Health)、エネルギー省 (DOE: Department of Energy)、全米科学財団 (NSF)、そして米航空宇宙局 (NASA: National Aeronautics and Space Administration) における R&D 予算増額傾向が、軍事関連 R&D 予算削減と対照的に見て取れる。

¹³ [Trends in Federal R&D](#), AAAS, March 2010

図 1- 4: 1976 ~ 2010 年度 省庁機関別連邦政府 R&D 予算推移¹⁴



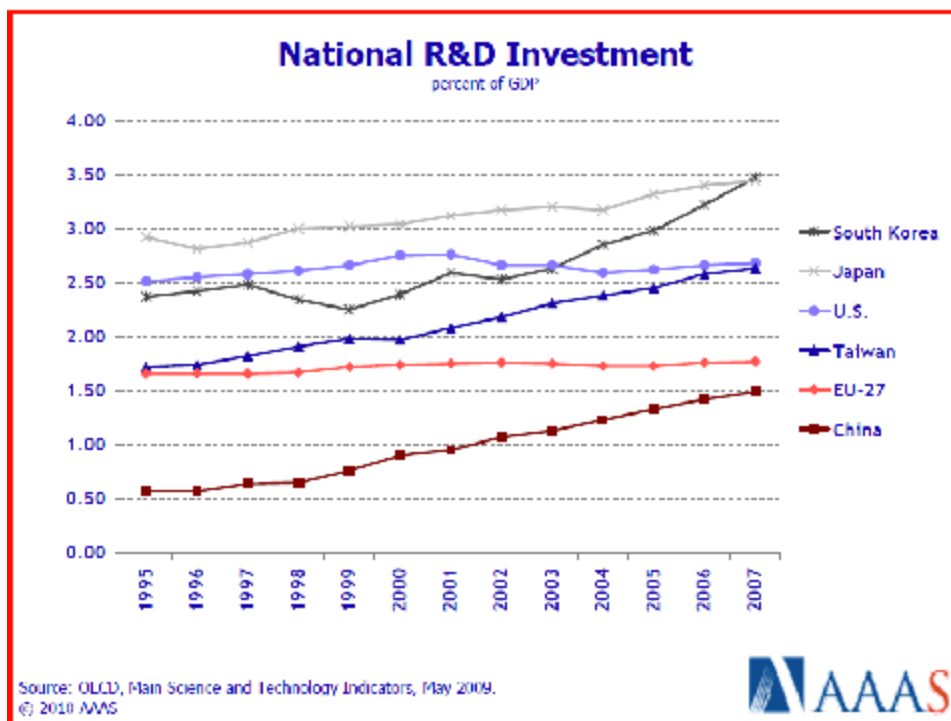
出典: AAAS, December 2009

¹⁴ [Trends in Federal R&D by Agency, FY 1976-2010](#), AAAS, December 2009

1.3.2 新政権の影響

オバマ大統領は選挙期間中、連邦 R&D 予算の増額を公約した。オバマ大統領は 2008 年 11 月の当選以来、2009 年 4 月 29 日には全米科学アカデミー (National Academy of Sciences) で講演を行い、その中で科学について「我々の繁栄、安全、健康、そして環境にとってこれまで以上に重要にあった」と述べ、国家全体の研究とイノベーション予算の総額を GDP (国内総生産) の 3% に引き上げることがを誓約した¹⁵。予算増額を GDP 比 3% まで増加するという目標は、特に景気後退や、景気刺激および金融セクター救済に対する支出、そして現在進行中のイラクとアフガニスタン戦争に起因する政府予算の膨大な赤字を考えると、野心的であると言わざるを得ない。図 5 は、米国、日本、EU、その他数カ国における R&D 予算の GDP 比を示したものである：

図 1-5: 国家別 R&D 予算の GDP 比



出典: American Association for the Advancement of Science, March 2010

¹⁵ [Remarks by the President at the National Academy of Sciences Annual Meeting](#), White House, April 2009

前掲の講演の中でオバマ大統領は、NSF、DOE科学局(Office of Science)、そして国立標準規格技術院(NIST: National Institute of Standards and Technology)という、いずれもICT R&Dの非常に重要な参加機関の予算を、向こう7~10年かけて倍増するというブッシュ政権から引き継いだ公約を果たすことも確約した。著名な科学者を政権のシニアポジションに任命したことは、経済の将来にとって研究が重要であることを、大統領が理解していることを強く印象づけている。

2007年の米国GDPは約14兆ドルであり、R&D出資比率は約2.6%相当の3,640億ドルだった。そのうち約3分の1は政府予算であり、残りは民間からの資金である。つまり、R&D総額をGDP比3%に引き上げるには2007年時点で560億ドル(先の1:3の比率に従うと、政府187億ドル、民間373億ドル)の増加が必要であり、その額は現在さらに大きくなっている。

政治を取り巻く環境は、政府助成R&Dの大幅な増加にとって逆風であると言える。オバマ大統領は一般教書演説の中で、予算全体を安定させ赤字を抑えるために、裁量支出を今後3年間は増やさないと公約している。ホワイトハウス当局は、R&D予算増額を引き続きサポートするという政権の姿勢を強調している。しかしながら、この公約によってオバマ大統領は、民間R&Dにおけるいかなる増額も、他の国内事業の予算を削減することでしかなし得ないという状況を作り出し、研究支持者を、研究以外の分野の支持者と敵対させる結果となった。

1.3.3 2011年度R&D予算要求

2009年8月、行政予算管理局(Office of Management and Budget)と大統領科学技術政策室(OSTP: Office of Science and Technology Policy)のトップは、R&D優先事項に関する年次覚書の最新版を発表した¹⁶。各機関のリーダーは、次年度の予算要求を具体化するためにこの覚書を利用する。2011年度の覚書では、以下に示す4項目の現実的挑戦に焦点を置く研究を求めている。

- 景気回復、雇用創出、そして経済成長をけん引するために、科学のおよび技術的戦略を応用する
- エコ関連(グリーン)雇用と新規事業の創出を進めると同時に、エネルギー輸入に対する依存を減らし、気候変動の影響を軽減するために、画期的エネルギー技術を推進する

¹⁶ [Science and Technology Priorities for the FY 2011 Budget](#), op. cit

- ヘルスケアコストを削減すると同時に、米国人の平均寿命を延ばし、健康的な暮らしを支えるために、バイオ医療科学と情報技術を応用する
- 自国軍隊、市民、そして国家利益を保護するために必要とされる技術を確認する。これには自国のセキュリティに必要不可欠な、軍縮と核非拡散協定準拠を検証するための技術も含まれる。

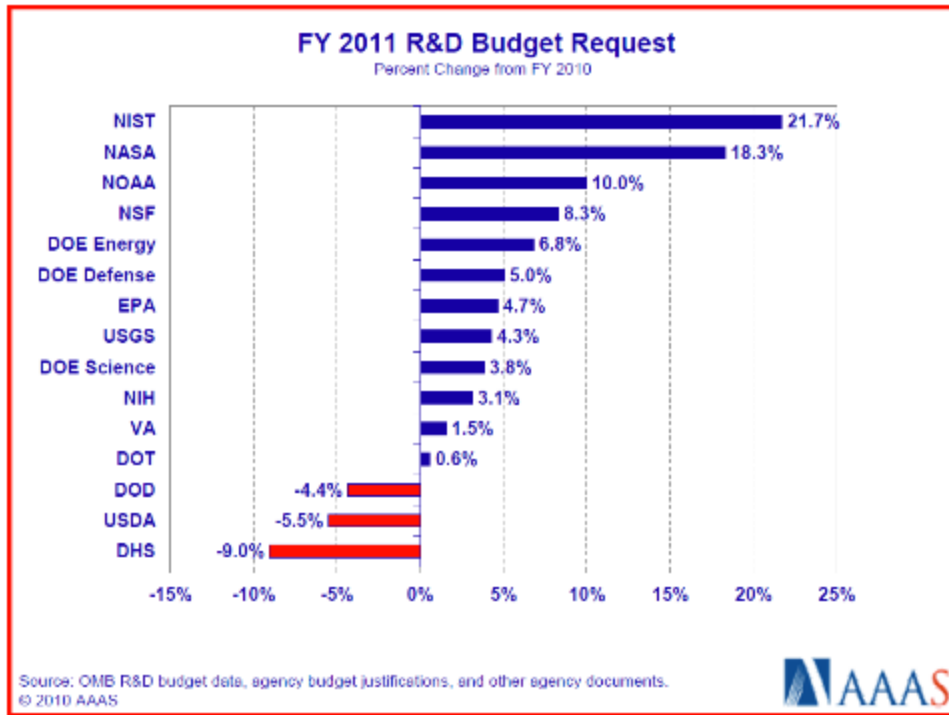
ICT は優先順位こそ 3 位と明記されているものの、これら 4 項目全てに寄与するカギである。このような事情により、ICT R&D 予算は当初、2011 年度大統領予算要求において増額が予想されていた。

しかし実際の 2011 年度大統領予算要求では、R&D 予算は 2010 年度比 0.3%減の 1,481 億ドルに留まった。R&D 優先事項を見ると、基礎研究と非軍事研究への傾注が伺える。こうした中、基礎研究予算総額は 4.4%、応用研究予算は 3.9%の増加が見込まれる。一方、開発予算は 3.5%、機器および施設予算は 1.1%の減額となっている。また、防衛 R&D 予算は 4.8%減、それに対して非防衛 R&D 予算は 5.8%増となっている。DoD 予算は投資対象が最先端分野へとシフトされ、国防高等研究事業局 (DARPA) は 3.7%増、基礎防衛研究は 6.7%増となっている¹⁷。

図 6 は最大手研究機関別に 2010～2011 年度の R&D 予算伸長率を示したものであり、前掲の傾向が具体的に伺える。特に、NIST、NASA、そして NSF で伸長率が高く、米国土安全保障省 (DHS: Department of Homeland Security)、農務省 (DOA: Department of Agriculture)、そして DoD でマイナス成長になったことが見て取れる。これは、DoD、DHS、そして退役軍人局 (VA: Department of Veterans Affairs) で予算が増額され、その他機関の予算は軒並み横ばいに据え置かれたブッシュ政権時代の 2009 年度予算と対照的である。

¹⁷ [Obama 2011 Budget Proposal Details Range of New R&D Priorities, AAAS Analyst Says](#), AAAS, March 2010

図 1- 6: 2011 年度 省庁機関別連邦 R&D 予算の対前年度伸長率¹⁸



出典: AAAS, March 2010

¹⁸ [U.S. Federal Spending by Agency, FY2010](#), AAAS, March 2010.

1.4 2010～2011 年度の連邦 ICT R&D 予算の分析

1.4.1 2010～2011 年度の機関別 NITRD 予算

表 1 は、2010 年度の NITRD 予算推定額と 2011 年度の大統領予算要求額を機関別に示したものである。軍事関連以上に民間研究を優先する政権の R&D 優先項目を反映し、2010 年度から 2011 年度の伸長率からは軍事研究費を削減し、代わりに民間指向 ICT 研究予算を増額するという偏向が明らかに伺える。また、NSF、DOE 科学局、そして NIST の研究予算倍増を掲げた公約に対する大統領のコミットメントも見て取れる。

表 1-1: 2010 ~ 2011 年度機関別 NITRD 予算¹⁹

NITRD 参加機関	2010 年度 推定 (100 万ドル)	2011 年度 要求額 (100 万ドル)	伸長率 (%)
国立衛生研究所 (National Institutes of Health)	1200.9	1234.8	3
全米科学財団 (National Science Foundation)	1090.5	1170.1	7
国防長官官房 (Office of Secretary of Defense) および空軍、海軍、陸軍	583.2	516.0	-11
エネルギー省 (Department of Energy) (科学と核エネルギー)	482.4	510.1	6
国防高等研究事業局 (Defense Advanced Research Project Agency)	554.7	500.8	-10
国立標準規格技術院 (National Institute for Standards and Technology)	77.4	92.4	19
米航空宇宙局 (National Aeronautics and Space Administration)	82.0	81.7	0
国家安全保障局 (National Security Agency)	155.8	72.2	-54
医療研究・クオリティ局 (Agency for Health Research and Quality)	27.6	31.5	14
米海洋大気庁 (National Oceanic and Atmospheric Administration)	26.3	26.3	0
DOE 国家核安全保障局 (National Nuclear Security Administration)	13.0	14.0	8
環境保護庁 (Environmental Protection Agency)	6.3	6.3	0
国立公文書図書館 (National Archives and Records Administration)	4.5	4.5	0
合計	4304.6	4260.7	-1

出典: President's FY 2011 Budget Request, February 2010

¹⁹ FY 2011 Networking and Information Technology Research and Development: Supplement to the President's Budget, op.cit.

また、2009 年米国再生・再投資法 (ARRA: American Recovery and Reinvestment Act) には、約 215 億ドルの R&D 追加予算が盛り込まれた。追加予算から NITRD プログラムには、8 億 6,130 万ドルが分配された(表 2 参照)。これら資金は以下の目的で使用される：

- ネットワーキングとハイエンド・コンピューティング・インフラと、高度科学研究施設の近代化、拡張、およびアップグレード
- サイバーセキュリティ、ヒューマン コンピュータ・インタラクションと情報管理、ハイコンフィデンス(高信頼性)ソフトウェアとシステム、およびソフトウェア設計分野の R&D 拡張
- 多様かつ高度に熟練した IT ワークフォースのための教育と訓練に対する投資の増加

20

表 1- 2: 2009 年米国再生・再投資法 (ARRA: American Recovery and Reinvestment Act) 割当予算の NITRD 分配額

機関	100 万ドル
国立衛生研究所 (National Institutes of Health)	167.8
全米科学財団 (National Science Foundation)	347.2
エネルギー省 (Department of Energy)	161.8
国立標準規格技術院 (National Institute for Standards and Technology)	1.5
米航空宇宙局 (National Aeronautics and Space Administration)	18.0
米海洋大気庁 (National Oceanic and Atmospheric Administration)	165.0
合計	861.3

出典: American Recovery & Reinvestment Act of 2009

²⁰ FY 2011 Networking and Information Technology Research and Development: Supplement to the President's report, op. cit.

ARRA は 2009 年 2 月に可決されたが、同法に盛り込まれた予算の大方は 2010 年初頭まで分配されず、今も大部分が手付かずで残されていることに留意しなければならない。各機関は ARRA 助成金を授与したり、契約を発注したりする前に、昔の提案書を再レビューしたり、新規に提案を募ったりしなければならなかったため、これは特に R&D 予算について顕著に見られる傾向である。

一方、NITRD 機関は ARRA ICT 予算を分配するにあたり、他機関とは異なる戦略を採用している。NIH と NSF は主に、レビューの結果は良好だったが、通常予算の分配対象になるほどではなかった案件を助成するためにこの予算を使用した。NIST はその僅かな増額分を、自前の研究を增強し、更に国内の電力供給システムを管理する“スマート・グリッド(smart grid)”に関する標準技術策定をサポートするために充てている。また、DOE、NASA、そして米海洋大気庁 (NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration) は、ARRA 予算を主に実質的なコンピューティングとネットワーキング・インフラ・プロジェクトのために使用した。

1.4.2 ARRA による ICT R&D への投資に関する議論

ところで、ARRA の可決に関する議論において、批判家の中には R&D プログラムへの同法の資金はかなり減らす、または無くすべきと推奨するものもいた。ARRA は米国経済における雇用および消費への迅速な刺激を提供することが目的であり、この理論上、政府資金の投入は、経済不況を遅らせるための短期間で十分な需要を創出し、民間セクタが不況から回復するまで雇用を保持することになる。批判家は、R&D プロジェクトは本来かなり長期に渡るものであり、それらのプロジェクトで創出されるかもしれない技術は不況後、新しい製品の開発や新しい企業の設立を促さないと論じた。

一方、ARRA における R&D 投資の擁護者は、財政刺激は短期の経済目標だけに焦点を当てるのではなく、米国経済全体の再構築への投資を行う機会として利用されるべきであると主張した。この再構築は将来において経済全体をより効率的、より競争力のあるものにするようになる。例えば、ARRA は、代替エネルギーやスマートグリッドインフラへの大規模投資を含んでいる。これらの投資は成熟するまでに何年もかかるだろうが、国家のエネルギーセキュリティの改善とエネルギーを生成し産業に届けるコストの低減を約束し、他の非効率な諸国に対し、長期における強い競争力を米国に提供することになる。法案そのものが、資金提供は、「雇用維持・雇用、インフラ改善、エネルギー効率化と科学、失業者の支援、州・地方の財政安定化のため」と明示したことからも、資金提供は雇用創出と長期経済競争力強化の両方を支援するという理由をもとに R&D 擁護者の勝利となった。

ただし、ARRA による R&D 資金提供の実際の雇用への影響は、現時点では不確かである。R&D 政府機関との議論によると、多くの機関は、資金を R&D 施設の補修や建設に利用することを選択しており、建設関連の雇用を短期間創出したことになる。研究員の雇用への影響はおそらくあまりたいしたことはないと思われる。多くの大学ではより多くの研究員を雇用するために ARRA 資金を利用しないと決めている。というのも、それらの大学では、より多くの科学者を ARRA 投資対象プロジェクトのために雇用した場合、その資金が尽きたとき研究員を解雇することになり、雇用市場を歪ませることを懸念したためである。しかし、ARRA 資金によって研究プログラムを立ち上げ、研究者の雇用を拡大した大学のケースもある。OSTP は、STAR (Science and Technology in the American Recovery) と呼ばれるデータ収集システムを構築している。これは ARRA の R&D 投資から直接または間接的な雇用成長をトラックするよう設計されているシステムであるが、現在まだ運用段階に至っていない。

コンピュータ科学分野における ARRA と雇用の関係の例のひとつは、Computing Community Consortium (CCC に関しては、本稿 2 章で解説) は NSF を説得し、「Computing Innovation Fellows (CIFellows)」と呼ばれる新しいポストドク・フェローシッププログラムに 1800 万ドル投資させた。CCC は経済不況が、次の 3 点において、コンピュータ科学分野における新しい博士号保持者の雇用機会を劇的に減少させたことに気付いた。

- 資金源である州政府が不況のため財政難に直面したことから、公立大学は新しい職員の雇用を凍結した。
- 私立大学もまた、不況による寄付金激減のため、雇用を縮小した。
- 企業研究所は不況への対処としてのコスト削減の一環として、雇用を停止、または、コンピュータ科学者を解雇した。

CCC はこのような環境において、新しく博士号を取得した卒業生が研究職市場からはじき出され、他のキャリアを探索せねばならなくなることを懸念した。過去の調査から研究分野から離れた科学者は、その分野から離れていた時間が将来の雇用に対する彼らの期待を損ねるため、再び研究分野に戻ることはほとんどないことが明らかとなっている。CIFellows プログラムは、60 人の最近博士号を取得した卒業生を学術機関またはホスト機関で 2 年間のフェローシップに配置した。プログラムはこれらの研究者の雇用を維持し、彼らをシニアコンピュータ科学者のメンターシップにつかせ、コンピュータ研究職市場が回復したとき価値ある被雇用者としてみなされるように設計されている。

1.4.3 2010～2011 年度の機能分野別 NITRD 予算

NITRD プログラムにおいては、予算はプログラム・コンポーネント・エリア (PCA: Program Component Areas) と呼ばれる機能分野別に分配される。表 3 は、2010 年度の予算推定額と 2011 年度の大統領予算要求額を伸長率と共に示したものである。

HEC I&A PCA 予算は主に、NSF、DoD、DOE、NASA を含む省庁機関による、ペタスケール、およびその他大型コンピュータ調達のためである。他にも、システムの管理および測定のためのソフトウェア開発、および大型コンピュータにおけるアプリケーション開発環境のために予算は分配される。ただし、この PCA における僅かな増額(2%)には、オークリッジ国立研究所 (Oak Ridge National Laboratory) のジャーガー (Jaguar) (2.3 ペタフロップス)をはじめ、テネシー大学 (University of Tennessee) のクラケン (Kraken) (1.1 ペタフロップス)、NASA エイムズ研究所 (NASA Ames Research Center) のプレアデス (Pleiades) (0.67 ペタフロップス) などのスパコンを対象にした、ARRA 予算の多大な影響は反映されていない。これらの調達は、HEC R&D コンポーネント予算を使って実施された DARPA の高生産性コンピューティング・システム (HPCS: High Productivity Computing Systems) 下の R&D の成果から恩恵を受けている。

表 1-3: 2010 ~ 2011 年度 PCA 別 NITRD 予算²¹

PCA	2010 年度 推定 (100 万ドル)	2011 年度 要求 (100 万ドル)	伸長率 (%)
ハイエンド・コンピューティング・インフラとアプリケーション(HEC I&A: High End Computing Infrastructure & Applications)	1469.4	1502.3	2
ハイエンド・コンピューティング R&D (HEC R&D: High End Computing Research & Development)	480.6	401.2	-17
サイバーセキュリティと情報保証 (CSIA: Cyber Security & Information Assurance)	371.5	349.0	-6
ヒューマン コンピュータ・インタラクションと情報管理 (HCI & IM: Human-Computer Interaction & Information Management)	1149.3	1156.2	1
大規模ネットワークング(LSN: Large Scale Networking)	385.6	368.7	-4
ソフトウェア設計と生産性(SDP: Software Design & Productivity)	168.4	190.7	13
ハイコンフィデンス・ソフトウェアとシステム(HCSS: High Confidence Software & Systems)	137.6	147.4	7
IT に関する社会・経済・労働力問題(SEW: Social, Economic, & Workforce Implications of IT)	142.2	145.2	2
合計	4304.6	4260.7	-1

出典: President's FY 2008 and FY 2009 Budget Requests

²¹ FY 2011 Networking and Information Technology Research and Development: Supplement to the President's FY 2011 Budget, op. cit.

HEC R&D は、ハイエンド・コンピューティング・アーキテクチャ、ハードウェア、およびソフトウェア開発研究を目的としている。本領域の 2011 年度予算は前年比 17%減となったが、減額分の大半は国家安全保障局(National Security Agency)で実施される研究予算の削減を反映したものである。民間研究機関と DARPA は、連邦政府ハイエンド・コンピューティング計画 (Federal Plan for High-End Computing)²²による要求を受ける形で、本領域における研究の建て直しに取り組んでいる。同 PCA の優先項目には、コンピュータ・システム・プロトタイプ、アーキテクチャ、プログラミング、ペタスケール・コンピューティングに関する課題、およびムーアの法則を打破するコンピューティングが含まれる。

CISA には、コンピュータ・システムとネットワークにおけるセキュリティ、保証、および信頼性改善のために必要とされる技術の研究が含まれる。本領域の予算は、防衛関連機関の予算削減が影響し、全体で 6%減となった。優先項目は、サイバーセキュリティ基盤、情報インフラをセキュアにするための応用研究、ミッション保証(mission assurance)、そしてサイバーセキュリティ・テストベッドなどである。

SDP では、ソフトウェア集約的システムを設計、構築、および維持するための方法の改善を模索する。13%の予算増額分は、主に NSF の研究予算増額を反映したものである。NSF では、コンピュータとネットワークのソフトウェアによる省エネ化、ソフトウェア信頼性を証明するための正式な手法、オープン・ソース・ソフトウェア・コミュニティ、そしてソフトウェア設計基盤に焦点を置く研究を実施している。

²² [Federal Plan for High-End Computing: Report of the High-End Computing Revitalization Task Force](#), May 2004

1.4.4 NITRD2010・2011 年度予算における機関別優先事項

国防総省 (Department of Defense)

DoD は、コミュニケーションと知的ネットワークのサポート、軍事システムにおけるソフトウェアの改良、サイバーセキュリティと情報保証の改善、エンジニアリング・シミュレーションのサポート、そして軍需に資するための新規コンピュータの開発を目的に、ICT R&D 投資を行なっている。その特徴的プログラムとしては、防衛を目的にハイエンド・コンピューティング・ファシリティを提供する高性能コンピューティング近代化 (High Performance Computing Modernization) プログラム、大学やコンピュータ・メーカーと協力し、ハイエンド・コンピュータのユーザビリティ向上を目指す DARPA の高生産性コンピューティング・システム (High Productivity Computing Systems) プログラム、光ネットワークとモバイル・ネットワーク研究プロジェクトの国家サイバーセキュリティ・イニシアチブ (National Cyber Security Initiative) に対する DAPRA の貢献である国家仮想領域 (National Cyber Range)、そして高度コンピュータ・アーキテクチャとサイバーセキュリティに関する NSA の研究などが挙げられる。DARPA 新局長の Regina Dugan 氏は、前 DAPRA 局長の Anthony Tether 氏指揮下でもつれた研究大学との関係修復に取り組んでいる²³。というのも、DARPA を機密性の高い短期研究の強化へと向かわせた Tether 氏の方針は、大学のオープンかつ基本的アプローチとは相容れないものだった。一方、Dugan 氏は基礎研究寄りのアプローチをとっており、大学ベース ICT R&D において DARPA が歴史的に果たしてきた主導的役割を復活できる可能性がある。

DoD の ICT R&D 予算総額は、2010 年度に推定 12 億 9,370 万ドル、2011 年度請求額は 16% 減の 10 億 8,900 万ドルとなっている。

²³ [Pentagon Research Director Visits Universities in Bid to Re-energize Partnerships](#), New York Times, October 2009

エネルギー省 (Department of Energy)

エネルギー省科学局 (SC: Office of Science) は、主に高度科学コンピューティング研究 (ASCR: Advanced Scientific Computing Research) を通じ、ICT R&D の主要な役割を担っている。当局はコンピュータ・モデリングとシミュレーション推進派の主要メンバーであり、独自の SciDAC と INCITE プログラムによって、研究におけるシミュレーションの利用拡大を目的に DOE 内部の局や産業界と提携関係にある。SC は複数の科学的コンピューティング・センターと ESnet データネットワークの管理に携わっており、ARRA 資金も一部使って開発が進められる ESnet は、今や世界最大容量のネットワークの一つとなっている(本稿の第 2 章参照)。

オークリッジ国立研究所に設置されたクレイ (Cray) ベースのリーダーシップ (Leadership) システムであるジャガー (Jagura) は、ARRA 資金を使ってアップグレードが実施されており、トップ 500 リスト (TOP 500 list)²⁴によると、世界最高能力を備えたコンピュータである。ジャガー関連では SC は、DARPA の HPCS プログラムと協力関係にある。ASCR は、顕著な応用数学およびコンピュータ科学プログラムを支援しており、グリッド・コンピューティングとその他のデータ集約的アプリケーションの開発を促すため、ネットワーキング研究にも従事する。

DOE の国家核安全保障局 (National Nuclear Security Administration) は、その活動のほとんどが機密扱いであるが、ICT R&D 分野における重要なプレイヤーである。というのも、核実験全面禁止条約 (Comprehensive Test Ban Treat) の結果、今やシミュレーションは、核保有量を維持するための主要ツールだからである。戦略コンピューティング促進イニシアチブ (ASCI: Accelerated Strategic Computing Initiative) は、核実験を膨大な計算で置き換えるという目標を掲げている。ASCI とその後継プログラムである、高度シミュレーションとコンピューティング (Advanced Simulation and Computing) は、IBM 社をはじめ、SGI 社、HP 社といった企業に資金を提供し、世界最強コンピュータの開発を支援する。これらの活動は、物理的シミュレーションに必要とされる 3D コードの開発を目指す、複数年のソフトウェア・プロジェクトに支えられている。

DOE の ICT R&D 予算総額は、2010 年度に推定 4 億 9,540 万ドル、2011 年度要求額は 6% 増の 5 億 2,410 万ドルである。

²⁴ [Top 500 Supercomputer Sites](#)

全米科学財団 (National Science Foundation)

NSF は、連邦政府内で最大かつ最も多角的な IT プログラムの一つを支援している。その投資対象は、ハイエンド・コンピューティング・ハードウェアとソフトウェア研究にはじまり、複数のハイエンド・コンピューティング・センターの管理や、中核的コンピュータ科学とコンピュータ・エンジニアリング研究、科学エンジニアリング分野での ICT 利用に関する広範な研究に至る。2011 年度の ICT R&D 予算要求は、従来の中核的研究領域へのサポート継続に加え、省庁横断型包括的国家サイバーセキュリティ・イニシアチブ (Comprehensive National Cybersecurity Initiative)、サイバー・フィジカル・システム (Cyber-Physical Systems)、ムーアの法則を打破するサイバーラーニング・トランスフォーミング教育・科学・エンジニアリング (Cyberlearning Transforming Education, Science and Engineering)、そしてサイバー対応ディスカバリーとイノベーション (Cyber-enabled Discovery and Innovation) などの高優先度領域に焦点を置いている。

NSF のハイエンド・コンピューティング分野の新たな主力プロジェクトは「ブルー・ウォーター・システム (Blue Water System)」であり、IBM 社によって構築され、2011 年中にイリノイ大学に設置されることになっている。同システムは、ペタフロップ級の性能を恒常的に提供することが期待されている。NSF のサイバーセキュリティ・イニシアチブへの貢献は、セキュリティとプライバシーのための新コンピューティングとネットワークング・アーキテクチャに注力する、信頼のおけるコンピューティング (Trustworthy Computing) プログラムである。また、サイバー対応ディスカバリーとイノベーション・イニシアチブ (Cyber-enabled Discovery and Innovation initiative) は、NSF 全体で取り組む期間 5 年のプロジェクトであり、2008 年に開始された。コンピューテーショナル思考におけるイノベーションを通じ、画期的科学とエンジニアリング研究成果を生むことを目指している。さらに、サイバー・フィジカル・システムでは、医療用、運送用、製造用などの物理的システムにコンピューティングを組み込むことを検討する。ムーアの法則を打破する科学とエンジニアリングでは、ナノテク、コンピュータ科学、材料科学、そして物理学の進歩を推進することにより、ムーアの法則の究極の限界を打ち破るコンピューティング能力を実現する方法を模索する。NSF のコンピュータ・情報科学・エンジニアリング局 (Computer and Information Sciences and Engineering Directorate) トップの Jeanette Wing 博士は、「コンピューテーショナル思考」の積極的支持者でもある。コンピューテーショナル思考とは、コンピュータ科学は全ての科学とエンジニアリングに共通する現象の分析手法を包含する、と主張する考えである。この見解は、IT 訓練と技術の科学教育への統合拡大を支持するものである。

NSF の ICT R&D 予算は、2010 年度に推定 12 億 90 万ドル、2011 年度要求額は 3% 増の 12 億 3,480 万ドルである。

国立標準規格技術院(National Institute of Standards & Technology)

NIST では、主に 2 つの研究所が IT R&D に関与している。そのうちのひとつ、IT 研究所(ITL: Information Technology Laboratory)は、数学/コンピューショナル科学をはじめ、コンピュータ・セキュリティ、ソフトウェア診断と適合試験、高度ネットワークング、情報アクセス、そして統計エンジニアリングの各分野においてプログラムを展開する。NIST はこの ITL の活動を通じ、サイバーセキュリティに関する汎連邦政府標準規格の開発、発布、維持において、重要な役割を担っている。もう一方の電気電子工学研究所(EEEL: Electronics and Electrical Engineering Laboratory)では、マイクロエレクトロニクス、オプトエレクトロニクス、半導体、そして電磁気学を含む、高度 IT 機器開発に寄与する技術の研究が行われている。

NIST の ICT R&D 予算は、2010 年度に推定 7,740 万ドル、2011 年度要求額は 19%増の 9,240 万ドルである。

1.5 ICT R&D に対する連邦議会の影響

1.5.1 ICT R&D に関する連邦議会の姿勢

大統領選挙の結果が出るまで 2009 年度予算決議を延期した議会は、予算継続決議を可決し、大方のプログラムに 2008 年度レベルの予算を承認した。それ以来、議会は景気回復、ヘルスケア、気候変動、そして防衛といった緊急度の高い問題に焦点を置いている。そのため、2009 年米国再生・再投資法 (ARRA: American Recovery and Reinvestment Act of 2009)²⁵ や 2010 年度予算を除いて、議会在 ICT R&D に関する見解を示す機会は皆無に近い。

議会で可決され、2009 年 2 月 12 日にオバマ大統領が署名して成立した ARRA の総予算は 7 億 8,900 万ドルであり、その大半は 2 年以内に投資される。オバマ大統領は超党派的支持の獲得を目指したが、上下両院で賛成票を投じた共和党議員は、上院でわずか 3 名に留まった。従って、“議会の見解”は、厳密には民主党の見解である。共和党員は、政府による追加支出を最低限、またはゼロに抑え、減税によって約 5,000 億ドルの経済効果を生む方法を提案していた。

ARRA は R&D 予算として 215 億ドルを盛り込んでおり²⁶、これには研究施設と機器関連として 35 億ドルが含まれる。そのうち ICT R&D には、4%相当の 8 億 6,100 万ドルが分配された。この比率は、連邦 R&D 予算総額に占める ICT R&D の割合とほぼ同じである。

2010 年度歳出予算では、ICT R&D 予算は 2009 年度比 11%増だった。これは同分野に対する議会のサポートを示す、好ましい兆候である。仮に ARRA 予算を 2010 年度歳出予算に盛り込んで試算すると、2009 年度比増加率は 33%となる。

²⁵ [American Recovery and Reinvestment Act of 2009](#), Wikipedia, 2009

²⁶ [AAAS Analysis of R&D in FY 2009 Stimulus Appropriations](#), American Association of Arts and Sciences, February 12, 2009

医療保険改革

議会で長らく審議が続いてきた医療保険改革法案(Health Care Reform Act)は当初、民主党がスーパーマジョリティ(super-majority)を失った上院で通過を阻止された後、民主党指導部は妥協案を提出し、単純多数決による法案通過を目指した。その結果、2010 年 3 月、オバマ大統領が、下院が可決した医療保険制度改革法案に署名し、同法が成立した。以前から、立法化されれば、米国 ICT R&D にも影響が及ぶと想定されてきた。というのは、法案には、患者の治療や医療従事者のパフォーマンスを追跡する電子医療記録要件が盛り込まれているからである。ICT R&D コミュニティは、ヘルスケア・プロバイダーと協力し、これら記録の要件の最終化に努めている。また政権は、NITRD プログラムに対し、電子医療記録導入に必要な R&D に対する支援を約束している。

1.5.2 連邦議会における主要 IT R&D 関連プレイヤー概要

民主党は 2008 年選挙において、上下両院における支配力増強に成功した。現在、下院では共和党 178 議席に対し、民主党は 253 議席を獲得し、過半数議席を大きく上回る(空席 4 議席)。一方、上院は民主党 57 議席、共和党 41 議席、無所属 2 議席(民主党寄り)となっている。

議会委員会指導部

第 110 期議会から第 111 期議会にかけて、委員会メンバーにはわずかな入れ替わりがあった。下院では、重要な委員会の一つであるエネルギー・商業委員会(House Energy and Commerce Committee)の Henry Waxman 議員(民主党、カリフォルニア州選出)がヘルスケアとエネルギー法案を自らの優先事項としている。これまでのところ、同議員は ICT R&D に特別な関心を示してはいない。下院科学・技術委員会では、2008 年に引退した Sherman Boehlert 議員(共和党、ニューヨーク州選出)の後を引き継ぎ Bart Gordon 議員(共和党、テネシー州選出)が委員長に就任した。Gordon 議員は今のところ、連邦 R&D の各種領域について優先項目を示していない。

一方、議会メンバーは連邦政府 R&D 活動を監視してはいるものの、米国の競争力とイノベーションのためのビジョン設定と実行においては、全員が真の指導力を発揮しているわけではない。次ページ以降の表は、ICT R&D 分野において主導的立場にある議員と、その所属委員会・小委員会、監視領域、そして 2012 年選挙への出馬の有無をまとめたものである：

	連邦議会議員	委員会	2012 年 11 月任期満了にともなう改選有無²⁷
上院	Daniel K. Inouye (民主党 ハワイ州) 委員長 (Chairman)	歳出委員会 (Appropriations)	無
	Thad Cochran (共和党 ミシシッピ州) ランキング・メンバー (Ranking Member)	歳出委員会 (Appropriations)	無
	Barbara Mikulski (民主党 メリーランド州) 委員長 (Chairman)	歳出委員会 (Appropriations) - 商業・司法・科学および関連機 関小委員会 (Commerce, Justice, Science, and Related Agencies)	無
	Richard Shelby (共和党 アラバマ州) ランキング・メンバー (Ranking Member)	歳出委員会 (Appropriations) - 商業・司法・科学および関連機 関小委員会 (Commerce, Justice, Science, and Related Agencies)	無
	John D. (Jay) Rockefeller, IV (共和党 ウェストバージニ ア州) 委員長 (Chairman)	産業科学・運輸委員会 (Commerce Science, and Transportation)	無

²⁷ [United States Senate Elections, 2012](#), Wikipedia, 2009

	連邦議会議員	委員会	2012年11月任期満了にともなう改選有無²⁷
	Kay Bailey Hutchison (共和党 テキサス州) ランキング・メンバー (Ranking Member)	産業科学・運輸委員会 (Commerce Science, and Transportation)	引退
	Bill Nelson (民主党 フロリダ州) 委員長 (Chairman)	商業科学・運輸委員会 (Commerce Science, and Transportation) - 科学・宇宙小委員会 (Science and Space)	有
	David Vitter (共和党 ルイジアナ州) ランキング・メンバー (Ranking Member)	商業科学・運輸委員会 (Commerce Science, and Transportation) - 科学・宇宙小委員会 (Science and Space)	無
	John Kerry (民主党 マサチューセッツ州) 委員長 (Chairman)	商業科学・運輸委員会 (Commerce Science, and Transportation) - コミュニケーション・技術・インターネット小委員会 (Communications, Technology, and the Internet)	無
	John Ensign (共和党 ネバダ州) ランキング・メンバー (Ranking Member)	商業科学・運輸委員会 (Commerce Science, and Transportation) - コミュニケーション・技術・インターネット小委員会 (Communications, Technology, and the Internet)	無

	連邦議会議員	委員会	2012 年 11 月任期満了にともなう改選有無 27
下院	David Obey (民主党 ウィスコンシン州) 委員長 (Chairman)	歳出委員会 (Appropriations)	有
	Jerry Lewis (共和党 カリフォルニア州) ランキング・メンバー (Ranking Member)	歳出委員会 (Appropriations)	有
	Alan Mollohan (民主党 ウェストバージニア州) 委員長 (Chairman)	歳出委員会 (Appropriations) - 商業・司法・科学および関連機関 小委員会 (Commerce, Justice, Science, and Related Agencies)	有
	Frank R. Wolf (共和党 バージニア州) ランキング・メンバー (Ranking Member)	歳出委員会 (Appropriations) - 商業・司法・科学および関連機関 小委員会 (Commerce, Justice, Science, and Related Agencies)	有
	Henry A. Waxman (民主党 カリフォルニア州) 委員長 (Chairman)	エネルギー・商業委員会 (Energy and Commerce)	有
	Joe Barton (共和党 テキサス州) ランキング・メンバー (Ranking Member)	エネルギー・商業委員会 (Energy and Commerce)	有
	Rick Boucher (共和党 バージニア州) 委員長 (Chairman)	エネルギー・商業委員会 (Energy and Commerce) - コミュニケーション・技術・インターネット小委員会 (Communications, Technology, and the Internet)	有

	連邦議会議員	委員会	2012 年 11 月任期満了にともなう改選有無 27
	Cliff Stearns (共和党 フロリダ州) ランキング・メンバー (Ranking Member)	エネルギー・商業委員会 (Energy and Commerce) - コミュニケーション・技術・インターネット小委員会 (Communications, Technology, and the Internet)	有
	Bart Gordon (共和党 テキサス州) 委員長 (Chairman)	科学・技術委員会 (Science and Technology)	有
	Ralph Hall (共和党 テキサス州) ランキング・メンバー (Ranking Member)	科学・技術委員会 (Science and Technology)	有
	Dan Lipinski (民主党 イリノイ州) 委員長 (Chairman)	科学・技術委員会 (Science and Technology) - 研究科学教育小委員会 (Research and Science Education)	有
	Vernon Ehlers (共和党 ミシガン州) ランキング・メンバー (Ranking Member)	科学・技術委員会 (Science and Technology) - 研究科学教育小委員会 (Research and Science Education)	有

1.6 結論

連邦政府の ICT R&D 投資に関する継続的な懸念のひとつは、同分野における研究のためのファンディングソースやプログラムが多様化していることである。連邦政府では、この多様化を、不利ではなく、強味として見なしている。この体制において、連邦政府の多くの政府機関は(NSF を除き) 各自の特定の密書に関連した研究に資金を投じている。そのため、ICT 分野の研究者で機転が効く者は、予算制限のためある政府機関でファンディングを断られても、研究目標を若干変えることで、他の政府機関からのファンディングを得ることができる場合もある。また、研究者は、異なる政府機関のプログラムを活用して、特定の研究の流れを、ひとつの大きな予算ではなく、複数の省庁からの小規模予算の組み合わせによって支援してもらうこともありえる。

しかし、この体制には 2 つの既知の欠点がある。まず一点は、複数省庁が同じ種類の研究に資金を投じるというように、投資が重複する可能性があることである。しかし、ICT R&D において、そのような重複は、R&D 関連政府機関同士のコミュニケーションを潤滑にすることで、各政府からの研究への投資活動を上手く調整・連携する、NITRD 国家調整事務局による取り組みのおかげで低減されてきた。また、科学政策アナリストはこのような重複が実際には科学にとって有益であるとも述べている。というのも、科学的研究の本質は、アイデア同士の競争を経て発展するものであるからである。つまり、2 つの政府機関が同じオブジェクトをもつ 2 つの異なる研究チームに資金提供した場合、これらチーム間における競争を通じて各チームが最高の可能な結果を創出するよう促させる状況が作り出されることになる。

もうひとつの欠点は、個々の研究者が、資金を獲得するためには、最低 2~3 の異なる政府機関からの資金を申請しなければならない可能性があることである。そうすると、研究者は多くの時間を提案の執筆、提出に費やさねばならず、本分である研究の時間が削られることになる。連邦政府では、この問題を認知しており、管理手順(例: www.research.gov における、研究ファンディング機会やプロジェクトに関する情報のためのシングルオンラインポータルの開発)を通じて問題解決を試みている。

NITRD プログラムは、おそらく特定分野の研究における省庁間の調整・連携の最古かつ最も成功した例といえる。実際、NITRD はその他のイニシアチブにとってのモデルとしての役割を果たしている。国家ナノテクノロジーイニシアチブ(NNI: National Nanotechnology Initiative)は、ナノ・スケールでの研究支援の管理構造を提供するために 2000 年に立ち上げられた。NITRD 同様、NNI では、政府機関間での取組みの重複を許容しており、資金割当を制御するのではなく、研究活動の調整や情報共有に主に取り組んでいる。NNI には現在 25 のメンバー機関が参加しており、そのうち 13 機関は、ナノテクノロジー研究プログラムに専念している。また、NNI は 60 以上のナノテクノロジー研究センタの設立も先導し、同分野における発展を加速する、研究チームや施設の強靱なインフラを共に提供している²⁸。同様な省庁間連携イニシアチブは、バイオマス・バイオエネルギー、水素燃料、バイオエンジニアリングに関する研究を支援するために実行されている。

オバマ政権は、ICT は経済社会における多くの業界を益する普及力であると見なしていることから、R&D プログラムの中でも優先事項として ICT R&D の支援を継続すると見込まれている。現在 OSTP のシニアオフィサーを務める Tom Kalil 博士は、オバマ政権への移行期間において、オバマ大統領のイノベーション分野のアドバイザーの一人として、ICT R&D のどの分野が 21 世紀における進歩のための最も重要な機会を提供するかに関して、コンピューティング分野におけるトップ科学者のインプットを求めた。CCC (Computing Community Consortium) との提携により、研究者グループは、スマートグリッドから、ロボティクスやネットワークまで、様々な ICT 研究トピックの重要性に関する 19 本のホワイトペーパーを執筆した。Kalil 博士は、2011 年会計年度の ICT R&D 予算をより多く獲得するためにこれらのホワイトペーパーを利用しており、結果的に成功したと見られる。また、同博士は、2011 年で採用されなかったホワイトペーパーからのアイデアのいくつかに関して、2012 年以降においてより多くのサポートを得るよう試みることにも見られる。²⁹

²⁸ See W. Patrick McCray, “Unintended consequences: What ten years of the National Nanotechnology Initiative can tell us about federal R&D,” at <http://www.scienceprogress.org/2010/03/unintended-consequences/>.

²⁹ The white papers are available at <http://www.cra.org/ccc/initiatives.php>.

2009 2010 年度は予算面で恵まれ、2011 年度も見通しは明るい ICT R&D だが、いくつかの困難な問題に立ち向かっている。第 1 の問題は、ハイエンド・コンピューティングの進化(現在は最大ペタフロップ級を達成)にもかかわらず、エンジニアリングと経済面に波及する実際の利益は、限られているということである³⁰。実際ここ何年もの間、大部分のコマーシャル・エンジニアリング・コードは、数十個程度のプロセッサを利用することができたに過ぎない。さらに、最近の比較研究では、拡張性のあるエンジニアリング・コード開発における進歩は、米国においてよりも、日本や欧州において進んでいることが示された³¹。

第 2 の問題は、セキュアなネットワークとコンピュータ・システムを開発できないでいることに起因する、サイバー空間における窃盗、強奪、強迫、そして破壊行為の蔓延である。本稿、および過去のレビューにおいて言及した多くの研究は、この問題が認識されていることを示しているが、今日にいたるまで、R&D は抜本的ソリューションを何ら提示できていない。1.1 章において触れた“60 日間レビュー(60-Day Review)”(<http://www.whitehouse.gov/cyberreview/>)は、この問題に対する包括的アプローチ開発のための研究を、再活性化することを意図していた。同領域の難しさの指標として、レビュー自体は 2009 年 5 月に完成されたが、その成果物である戦略を管理するコーディネーターは、6 ヶ月以上も後の 2009 年 12 月まで任命されなかったことが挙げられる。コーディネーターには、結局マイクロソフト(Microsoft)社の Howard Schmidt 氏が就任した。今のところ、連邦政府によるサイバーセキュリティ研究は、まとまりもなくバラバラに実施されており、議会は、同分野において大統領の決然とした行動を求める法案提出を検討中である。

第 3 の問題は、サイバーセキュリティにも関連するが、インターネットをいかに近代化するかについてである。多くの人が時代遅れであると考えるアーキテクチャに基づくインターネットには、適切なセキュリティ対策を講じ難いという最も明白な欠点がある。更に、インターネットは今や、商取引、教育、コミュニケーション、そして娯楽のためのユビキタスな手段だが、その環境にふさわしい多くの機能を欠いている。続く第 2 章では、新世代ネットワーク R&D に関する研究計画と主要研究プロジェクトにハイライトを当て、連邦アジェンダにおけるそれらの目標とポジションを詳述する。

³⁰ [High Performance Computing and U.S. Manufacturing Roundtable White Paper](#), Council on Competitiveness, February 2010

³¹ [International Assessment of Research and Development in Simulation-Based Engineering and Science](#), World Technology Evaluation Center, 2009

第 4 の問題は、信頼性が高く、かつ効率的なソフトウェアを設計、開発、維持するためのソフトウェア・エンジニアリングに関する規律が存在しないということである。これは汎用コンピュータに搭載されるソフトウェアに影響を与えるだけでなく、おそらく更に重要なことだが、医療機器、ユーティリティ制御、車両などの組み込み型システムのソフトウェアに作用する。特に NSF と DoD において実施される意欲的な研究が将来、この問題の是正に貢献する可能性はあるが、その歩みは非常に遅い。

2 新世代ネットワークに関する R&D 動向

2.1 序論

2.1.1 次世代ネットワークはなぜ必要か

アルパネット (Arpanet) が導入されてから 30 年以上の間、インターネット・プロトコルベースの packet 交換ネットワークは拡張を続け、今では事実上世界全ての国で何十億台というコンピュータを接続するまでになった。1960 年、packet 交換ネットワークというアイデアはほとんど受け入れられておらず、電話システムに統合された回線ベースのネットワークが一般的だった。しかし今日は、ほぼ全てのネットワークが packet 交換技術に基づいており、回線ベースと思われがちな電話接続でさえも packet ベースである。

現在のインターネット・アーキテクチャは、多くの点で傑出した成功であると言える。1960 年代当初は小規模な研究ネットワーク用に導入されたが、現在のアーキテクチャは主に 1970 年代 (TCP/IP プロトコル) と 1980 年代 (DNS) の重要な機能拡張に基づく。IP マルチキャスト (IP Multicast)、DNSSEC、IPSEC、BGP、IPv6、そして HTTP などの追加の機能拡張は、インターネットの一部側面の向上に貢献したが、その基本的アーキテクチャには変化を与えていない。その他の改良は、本来は想定外のタスク (動画ストリーミングや音声など) を扱う能力や、超大容量 (毎秒数百ギガビット) への発展、そして極めて高いエンド・ツー・エンドの信頼性などを実現した。おそらくインターネットに関する最も顕著な成功は、妥当な信頼性を維持した上で、数十億という接続を可能とする能力である。

インターネット・アーキテクチャのオープン性と相対的シンプルさ インターネット・プロトコル (IP) ベースの packet 交換、自己回復ルーティング、およびトランスミッション・レイヤからのアプリケーション・レイヤの分離がこの成功の背景にあったことに疑問の余地は無い。このシンプルさは後に続く何世代もの機器への対応を簡便化し、過負荷や混乱に極めて耐性が高いことも証明された。インターネット・プロトコルは信頼される (trusted) 固定エンド・ポイント間同士で packet を “最善の努力を払って (ベストエフォート)” 届けるだけだが、このシンプルなアーキテクチャは、ソーシャル・インタラクションや商取引、教育、娯楽、研究、そして国家安全のための非常に優れたインフラを提供するため、基本的 IP レイヤの上下に機能を加えることで拡張されてきた。長年の急成長を考慮しインターネットはやがて崩壊するという予想は、完全に見当はずれだったことが立証された。設計者でさえ、自らの創造がここまで成功することは予期できなかったに違いない。

今日、インターネット・アーキテクチャは発明者にとって夢物語に過ぎなかった遍在性を実現した。インターネット・アーキテクチャは、我々がインターネットと呼ぶサービス(ワールド・ワイド・ウェブを含むが、それをはるかに超える)の基盤として使われるだけでなく、内線電話ネットワーク、ケーブル・サービス、そして宇宙コミュニケーションの基盤としてもますます利用されるようになってきた。SONET や ATM など、かねて IP レイヤのトランスミッションをサポートしていたプロトコルは姿を消しつつある。ネットワーク技術はいまや、“IP・オーバー・ガラス(IP over glass)(光ファイバーの物理的インフラの上の IP が直接走るという意味)”のシンプルさを実現した。イーサネット(Ethernet)アーキテクチャは、他に大きな成長を遂げたおそらく唯一のネットワーク・アーキテクチャである。IP はイーサネットと非常に相性が良い。

インターネット技術採用の著しい増加とともに、その根本的原因がインターネットのアーキテクチャにある重大な問題の発生も増えている。これらの問題には以下が含まれる：

- **情報セキュリティとプライバシー：** 基本的インターネット・アーキテクチャには、転送されたパケットのソースやコンテンツを検証する、あるいはそのコントロール・メッセージが正確であることをチェックするための制御機能がほとんど組み込まれていない。実際、インターネット・アーキテクチャは、全てのノードとパケットは信用できるという仮定に基づく。基本的エラーのチェックとコントロール機能はあるが、ユーザーやデータ、そしてインターネット・インフラそのものを狙った悪意ある攻撃の巧妙さは増す一方で、インターネットが現在のような環境で機能することを念頭に設計されたものでないことを示している。適切なセキュリティ対策がない状態では、プライベート・データの保護は保障されない。
- **多様性と複雑性：** インターネットの利用範囲拡大に起因する問題は他にも多くある。あるワイヤレス“ホットスポット”から別の“ホットスポット”へと移動するモバイル機器では、新しいネットワーク・アドレスを取得しない限りアプリケーションの継続性が失われる。動画ストリーミングなどのリアルタイム・アプリケーションのデータは、電子メールのように時間的制約があまりないデータといっしょになった場合も、それだけが特定され優先処理されるわけではない。新しいアプリケーションが開発され、新しい機器がインターネット対応になるにともない、インターネット・アーキテクチャは本来のデザイン・パラメータを更に超え、それら機能をサポートすることが求められる。
- **データ量：** インターネットのバックボーンを形成する光ファイバー・ネットワークは、ますます高速化する転送速度に対応し、それらネットワークで送信されるパケット数の増加に対処することができる。しかし、データ転送量の増加と速度向上にともない、パケット交換が難所になる。というのも、交換機は、そのように膨大な量のパケットを毎秒処理できるほ

ど早くないからである。潜在的解決案の一つは、パケット交換アーキテクチャを部分的に放棄することである。代わりに高速ネットワークでは、旧回線交換コミュニケーション・アーキテクチャに一部変更を加えたトランスミッション・アーキテクチャを使用する。その変更とは、非常に短時間に限り回線が確立され、そして、終了すると、データ・トラフィックの変化に応じて再設定されるというものである。

現在のインターネットに対する需要により適した次世代ネットワーク (New Generation Networks) の設計と導入努力の背景には、これらの問題や他の多くの事情がある。しかし、仮にそのようなネットワークを設計する方法があったとしても、既存の機器の置き換えに掛かる資本コストと、単一アーキテクチャに対する合意を多数のネットワーク機器メーカーとサービス・プロバイダー間で得る難しさを考えれば、それらを広く導入するのは不可能かもしれない。TCP/IP などのインターネットの基本技術が最初に発明され紹介された当時、それらの利点は、ネットワーク・オペレータに既存プロトコルを置き換えさせるだけの意欲を与えた。IP の代わりとして提案される全ての新アーキテクチャは、オペレータに対し、既存のネットワーク投資を放棄し、完全に新しい形のインフラに移行させるだけの説得力のある性能と機能の向上を示す必要がある。

2.1.2 本稿第二章の構成

本章では、次世代ネットワーク (New Generation Network) に照準を定めた米国の研究開発を検討する。まだ存在しないものを説明するのは難しいが、以下に示す最近の計画文書は、新世代ネットワークに期待される特性について有益な解説を行っている。

第1の文書である「新世代ネットワーク・アーキテクチャ: AKARI 概念設計 (1.1 版) (New Generation Network Architecture: AKARI Conceptual Design (ver1.1)³²)」は、日本の情報通信研究機構の AKARI プロジェクトから発行された。それに示された設計要件は、超広帯域 (大容量)、非常に多くの機器を接続できる、ユーザー指向、高信頼性、セキュアでプライベート、社会ニーズへの貢献、センサー・ネットワークのサポート、コミュニケーションと放送の融合、経済的インセンティブの提供、持続可能社会のニーズへの貢献、そして人間の可能性の推進として要約される。

³² *New Generation Network Architecture: AKARI Conceptual Design (ver1.1)*, National Institute of Information and Communications Technology, Japan, October 2008, http://nag.nict.go.jp/topics/AKARI_fulltext_e_translated_version_1_1.pdf

第 2 の文書は「連邦政府の高度ネットワーキング R&D 計画(Federal Plan for Advanced Networking Research and Development)」³³で、高度ネットワーキング R&D に関する省庁横断型タスクフォース(Interagency Task Force on Advanced Networking)によって作成された。一貫性はあるが同じではない高度ネットワークについて、前段で引用した報告で示された要件に加え、以下とおり説明している：

本稿で触れた高度ネットワークには、ドメイン横断型かつ技術的に大きく異なるネットワーク連合などの異種エニタイムエニウェア(いつでもどこでも)型ネットワーキングと機能、自律管理機能を持つ動的モバイル・ネットワーキング、サービスの質(QoS)、センサーネット・サポート、リソースの準リアルタイム自律発見・設定・管理、そしてアプリケーションとユーザーに合わせてカスタム化されたエンド・ツー・エンドのセキュリティが含まれる。

本章は、これら 2 つの文書における説明を基に執筆されたものである。次のセクション 2 では、米国の新世代ネットワーキング研究の傾向を分析し、この研究の指針となる計画文書に言及し 3 章では、本研究の最大のスポンサーである NSF のネットワーキング研究活動を検討する。そして、第 4 章では、ネットワーキング関連研究活動、特に DARPA と DOE の活動を紹介し、最後に第 5 章では、本稿の要旨と結論をまとめた。

³³ *Federal Plan for Advanced Networking Research and Development*, Interagency Task Force on Advanced Networking Research and Development, National Science and Technology Council, USA, September 2008, <http://www.nitrd.gov/pubs/ITFAN-FINAL.pdf>

2.2 新世代ネットワーク R&D の計画と戦略

2.2.1 新世代ネットワーク R&D の傾向

次世代ネットワークに関する米国政府の基礎研究は、NITRD プログラムの一部として実施されている。NITRD はホワイトハウスによって直接管理される複数機関による活動であり、1990 年から継続して実施されている(当初は高性能コンピューティングとコミュニケーション・イニチアチブ (High Performance Computing and Communications Initiative) と呼ばれた)。

次世代ネットワークのための R&D は、3 つの一般的領域に分類される。第 1 の領域は、「ネットワーク・バックボーンとエンドユーザー向けの双方において容量を増やす方法」と具体的に定義される。第 2 の領域は、はるかに広範であり、「明日のユーザーや機器、およびアプリケーションに、より適したネットワークの構築方法」とされている。そして、第 3 の領域は、ここでは深く取り上げないが、主に DoD が研究を手掛けるモバイルとアドホック・ネットワーク(MANETS) に関係する。

米国では、第 1 の領域を対象とした連邦助成研究は、NSF から一部支援を得て主に DARPA によってサポートされる。第 1 の領域の R&D 活動は、DARPA、DOE、そして NSF によって実施され、これら機関による成果は、その他機関や民間セクターによって利用される。主な研究対象技術は、大容量を効率的に管理するための波分割多重送信システムや光スイッチなどの技術で補完される、(単一ファイバーで) 毎秒 1 テラビットまたはそれ以上の転送速度を達成する光ファイバーの開発である。この研究については第 4 章で詳しく紹介する。

第 2 の領域の連邦助成研究は主に NSF によってサポートされており、DOE と NIST でも一部取り組むが、DoD 機関によって積極的に実施されている。この領域の研究は、多くの実用的アプリケーションに生かすには広範かつ難しすぎることから、今日までまだ展開されていない。本研究に関しては、本稿第 3 章と第 4 章で詳細を論じることとする。

2.2.2 計画文書

次世代ネットワークに関する米国の R&D は、政府の計画立案グループと擁護委員会 (advocacy committee) が作成した 2 件の重要な報告の影響を受けてきた。これらの報告は、リファレンス共通フレームの確立をはじめ、優先事項の設定、機関間における R&D の分配に利用されている。

2 件のうちの最初の 1 件、「連邦政府の高度ネットワーキング R&D 計画 (Federal Plan for Advanced Networking Research and Development)」³⁴は、全米科学技術会議 (National Science and Technology Council) NITRD 小委員会傘下の高度ネットワーキングに関する省庁横断型タスクフォース (Interagency Task Force on Advanced Networking) が作成した。小委員会は、DoD、DOE、NASA、NIST、そして NSF を含む連邦 10 機関の代表によって構成された。この計画は、“異種エニタイムエニウェア・ネットワーキングに求められるセキュリティと信頼性のための設計とアーキテクチャに基づく高度ネットワーキングのためのビジョン”を策定した。この計画は、このビジョンを実現するために必要な 4 つのゴールを以下のように示している：

1. セキュリティなネットワークをいつでもどこでも提供する
2. セキュアなグローバル連合ネットワークを可能にする
3. ネットワークの複雑性と異種環境を管理する
4. 高度ネットワーク・システムと技術の開発を通じ、連邦政府、研究機関、そしてその他セクターにおけるイノベーションを助長する。

各ゴール達成のために対象となる研究課題は、基盤、設計、セキュリティ、管理、ユーザビリティの、5 つの分野横断的カテゴリに分類された。これら目標の「基盤 (foundations)」に焦点を置く研究は、以下のように定義される：

複雑性、異種環境、マルチドメイン連合・管理・透明性、エンド・ツー・エンドの性能、および差別化されたサービスに対応するアーキテクチャ理念とフレームワーク、およびネットワーク・モデルの開発

同報告によると、新ネットワーク・アーキテクチャに関する研究は、以下に示すような技術的課題に言及しなければならない：

- 多様なアプリケーションを可能にするネットワーク・プロトコル、サービス、管理概念
- 複数制御プレーン・アーキテクチャ調整能力の向上

³⁴ op.cit, <http://www.nitrd.gov/pubs/ITFAN-FINAL.pdf>

- 異なる技術(QoS, MPLS, GMPLS など)を統合するセキュアな制御プレーン・アーキテクチャとプロトコル
- “静的”インターネットが、より動的かつ異種ストラクチャに進化するにともない増加するクロスレイヤ・インタラクションに対応するアーキテクチャとプロトコル
- セキュリティ、管理可能性、拡張性、および弾力性を実装したネットワーク・アーキテクチャ
- スループットを最適化するため、レイヤに適応し、レイヤ間調整にも対応するトランスポート・プロトコル

第 2 の計画である「ネットワーク科学とエンジニアリング (NetSE: Network Science and Engineering) 研究アジェンダ (NetSE Research Agenda)」³⁵は、コンピューティング・コミュニティ・コンソーシアム (Computing Community Consortium) によって組織され、全米科学財団 (National Science Foundation) が助成する NetSE 評議会 (NetSE Council) によって作成された。同計画は、将来のネットワークのためのアーキテクチャを特定、試験するために、3 つのフェーズで構成される研究を提唱した：

1. 提示された目標を満たすアーキテクチャ候補の設計
2. 分析ツール、シミュレーション、および現実的試験を利用した候補の評価
3. 現行インターネットの修正版として、または新規専用ネットワークとしての優れた候補の導入

報告は特に、ネットワーク科学の研究により、より頑強なネットワーク・アーキテクチャのための基盤を提供する原理が明らかになると提唱する、“理論的に導出されたアーキテクチャ”開発に関する最近の研究にハイライトを当てている。NetSE 研究アジェンダ (NetSE Research Agenda) は米国政府に対し、この科学の新分野の継続的調査と、それらアーキテクチャを経験的実験によってテストするためのシステムと能力の開発に投資することを提言した。

³⁵ [Network Science and Engineering \(NetSE\) Research Agenda](#), Network Science and Engineering Council, Computing Research Association, September 2009.

2.3 全米科学財団(NSF)の新世代ネットワーク R&D 活動

全米科学財団(NSF)は、コンピュータ科学領域の研究、中でもネットワーク関連研究の(国防総省に次ぐ)主要な助成ソースの一つである。コンピュータ・情報科学・エンジニアリング局(CISE: Directorate for Computer and Information Science and Engineering)が同研究の調整を担っている。CISEの現責任者は、カーネギー・メロン大学(Carnegie Mellon University)コンピュータ科学部の元学部長である Jeannette Wing 博士である。

Wing 博士の下、CISE はコンピューティング研究に対し、先のトップの Peter Freeman 博士時代とは異なるアプローチをとっている。Freeman 博士はネットワークング・イノベーションのためのグローバル環境(GENI: Global Environment for Network Innovations)プログラムの主要推進派の一人として知られていた。GENI は、インターネット代替アーキテクチャの比較試験を実施するために特別に設計される、大規模デモンストレーション・ネットワーク構築を目的に開始された。対照的に Wing 博士は、“計算論理的思考(computational thinking)”概念の最大の支持者である。特にほとんどの研究はデータ管理と分析をコンピュータとネットワークに依存することから、計算論理的思考は「コンピュータ科学の隠れたロジックは、科学的研究の全分野に広がる分析に対するアプローチである」という理論に着目する。Freeman 博士がネットワーク研究実験施設に対する予算増額を支持したのに対し、Wing 博士はより控えめなアプローチを採用し、バイオロジーや社会科学など、非コンピューティング分野の画期的コンピューティング・アプリケーションに関する小型プロジェクトを支援するプログラムを策定した。

ネットワーク R&D 分野では、Wing 博士のアプローチを受けて NSF は、ネットワークの基本的科学的理解を深めるための研究予算を増額した。この系統の研究は、大規模ネットワークの構造と進化、そして行動(ビヘイビア)の背後にある理論的構想概念の理解が進まない限り、性能と機能が格段に改善されたネットワーク・アーキテクチャの設計は不可能である、ということを示唆する³⁶。GENI への投資は縮小され、代わりに NSF は、次世代ネットワークの基盤となる可能性を持つ基本概念に着目した、より多くの多様なプログラムとプロジェクトに資金を出している。

³⁶ John Markoff, “Scientists Strive to Map the Shape-Shifting Net,” *The New York Times*, 1 March 2010, at <http://www.nytimes.com/2010/03/02/science/02topo.html>.

2.3.1 FIND プログラム

NSF の将来のインターネット設計(FIND: Future Internet Design) プログラムは 2006 年、予算 4,000 万ドルのネットワーク技術・システム (NeTS: Networking Technology and Systems) プログラム傘下で、1,500 万ドルという大きな予算を分配されたコンポーネントとして開始された³⁷。当時は、“10～15 年以内に欲しいインターネットを開発する”ためのゴール指向型プログラムと言われた。これは NSF の伝統的アプローチではないという点に留意したい。というのも NSF は本来、非常に基礎的な研究、それも関心領域に注力する傾向のある研究に対し、特別なゴールも設定せず助成するからである。研究者たちは、現行インターネットの機能に制約を受けない、白紙の状態からのアプローチを取ることを推奨された。FIND では、アーキテクチャ的コンポーネントと予備包括的アーキテクチャの調査、複数のフルスケール・アーキテクチャへの収束、現実的規模でのアーキテクチャの実験、の 3 つのフェーズが想定された。FIND プログラムは、ネットワーク・アーキテクチャ関連研究の受容性を再確認した点が評価され歓迎された。

また、FIND プログラムは、社会学的実験でもあった。その点においてグラント受賞プロジェクト (当初 26 プロジェクトが選ばれた) は、完全なアーキテクチャ構造の開発に十分なクリティカル・マスを持たせるため、大型グループへの統合が予定された。これは、年 3 回の研究責任者 (Principal Investigators) 会議での実施が見込まれていた。

助成 FIND プロジェクトの大半は、ネットワーク・アーキテクチャに関する極めて狭義のトピックに関係していた。以下にこれらプロジェクトの例を示す³⁸：

プロジェクト例	主導組織・研究者
モバイル・パーソナル・センシング (Mobile Personal Sensing) (情報フロー制御要件とアーキテクチャに関する推測)	カリフォルニア大学ロサンゼルス校 (UCLA)、Deborah Estrin 教授
災害後コミュニケーションの実現 (Enabling Post-disaster Communication)	イリノイ大学 (UIUC)、Robin Kravets 准教授
モバイル・コンテンツ・デリバリーのためのキャッシュ・アンド・フォワ	ラトガース大学 WINLAB、S. Jain 研

³⁷ <http://www.nets-find.net/>

³⁸ [Spring 2009 Find meeting](#), April 6-7, 2009

ード・アーキテクチャ (Cache-and-Forward Architecture for mobile content Delivery)	役員
複雑なネットワークに関する隠されたメトリック・スペースとナビゲーション能力 (Hidden Metric Spaces and Navigability of complex Networks)	カリフォルニア大学サンディエゴ校 CAIDA (Cooperative Association for Internet Data Analysis)、Dmitri Krioukov 博士
ランダム・アクセスの最適化は可能か? (Can random access be optimal?)	プリンストン大学 Mung Chiang 准教授
ユーザー指向ネットワークング (User-Oriented Networking)	カリフォルニア大学バークレー校 ICSI (International Computer Science Institutes)、Mark Allman (シニア研究科学者)
NetServ - 動的イン・ネットワーク・サービスの導入 (NetServ - dynamic in-network service deployment)	コロンビア大学 Henning Schulzrinne 教授
汎ネットワーク・サービスとしての冗長トラフィック排除 (Redundant Traffic Elimination as a Network-Wide Service)	ウィスコンシン大学マディソン校 Aditya Akella 助教授
ネットワーク・コンフィギュレーションの合成とデバッグ: 政府協調インフラの事例研究 (Synthesis and Debugging of network Configurations: Case Study of a Government Collaboration Infrastructure)	Telcordia Technologies 社 Rajesh Talpade (チーフ科学者)
ネットワーク制御努力: 分散・中央制御はどうすれば効率的に協力できるのか? (The Struggle for Network Control: How Can Distributed and Centralized Controls Effectively Collaborate?)	ライス大学 T. S. Eugene Ng 博士
コミュニケーション法規と経済がネットワーク・アーキテクチャに与える影響 (Impact of Communications Law and Economics upon Network Architecture)	カリフォルニア大学アーバイン校 (UCI) Scott Jordan 博士

光ネットワーク・アーキテクチャ(Optical Network Architecture)	マサチューセッツ工科大学 (MIT) Vincent Chan 教授
---	---------------------------------------

2008 年までに、FIND の第 1 フェーズには 3 件の提案が申請された。NSF と FIND 研究コミュニティ双方にとって、プログラムを第 2 フェーズに進めるには何らの後押しが必要であることは明らかになりつつあった。そうでなければ NSF は、より広義な NeTS と NetSE プログラムに FIND を戻すであろうと思われた。NSF とコミュニティ間の話し合いの結果、2008 年 4 月に FIND の PI による会議が開催された。その目的は、研究コミュニティには第 2 フェーズに進む用意があるか、仮にある場合、どのように進めるかを判断することだった。同会議の背景文書³⁹には、「FIND コミュニティには第 2 フェーズである統合ネットワーク・アーキテクチャ・プロジェクトへと進む準備があるか、そして、NSF にはこれらの大規模プロジェクトへの提案を助成する用意があるか」という課題が提示されていた。

また参考までに、FIND プログラムの資金を現時点では受けていないが、FIND に似た研究を行ったり、FIND 関連研究者との協力関係を築いているプログラムの例を以下に挙げる。

- 「アンビエントネットワーク(Ambient Networks)」 - 欧州連合(EU)における科学分野の研究開発への財政的支援制度の第 6 次計画(FP6)のもと、資金を受けたプログラムであり、統一ネットワークアーキテクチャ内での多様な種類の無線技術を管理するためのフレームワーク構築を試みた。同プロジェクトは無線関連の企業や研究機関のコンソーシアムである Wireless World Initiative のもと管理されていたが、現在プロジェクトは終息している。
- 「エクストリーム・ワイヤレス(Extreme Wirellessing)」 - 国防関連コントラクター大手である Raytheon 社の子会社であり、研究を中心とした事業を営む BBN Technologies 社における研究イニシアチブであり、NSF、DARPA、その他スポンサーによって資金援助されている同社の複数の無線関連研究イニシアチブを組み合わせたものである。NDF は BBN 社に対して FIND の会議にそれぞれ研究者を 2 人参加させ、研究の議論や情報交換を行なうことを許可している。
- 「SWITCHNET」 - FIND からの資金を受けたことのあるプロジェクトで、パケット交換環境に適用される回線交換への新しいアプローチを開発することでネットワークの

³⁹ [Background Document](#), Fifth FIND PI meeting, April 2008

QoS(Quality of Service)を改善することを図っている。

- 「ネットワークコンフィグレーションの原理に向けて(Towards Principles of Network Configuration)」 - Telcordia Technologies 社の研究イニシアチブであり、ネットワーク機器のコンフィグレーション方法に関する一般理論を推論し、その理論を利用してセキュリティや信頼性のためのネットワークを自動的にコンフィグレーションするソフトウェアを開発することを試みた。現在、同プロジェクトは活動を停止しているが、同社が空軍や米国家情報局のために現在実施している新しい研究プロジェクトのいくつかに重要な技術を提供している。

2.3.2 GENI プロジェクト

2004 年、NSF ネットワーク研究プログラム・マネージャーの Guru Parulkar 氏は、後にネットワークング・イノベーションのためのグローバル環境(GENI: Global Environment for Networking Innovations)となる、ネットワーク研究のための分散型ネットワーク・テストベッドの提唱を開始した。同氏は Larry Peterson 氏の影響を受けており、プリンストン大学での Peterson 氏のプラネットラボ(PlanetLab)が GENI イニシアチブの初期プロトタイプとなった。FIND プログラムからアーキテクチャ候補が生まれるに伴い、それらの候補は、同じく NSF が助成する GENI 実験ネットワーク施設⁴⁰で実験されることが期待された。CISE の Peter Freeman 博士も GENI の熱心な支持者となり、当初のビジョンを超えるプログラムの拡大を支援した。

GENI が正式に開始された 2007 年、GENI プロジェクト室(GPO: GENI Project Office)は設立された。当初予算 750 万ドルだった GPO の役割は、GENI 総合戦略の策定と、GENI 設計と導入のための受賞プロジェクト選定において NSF を支援することであった。2008 年末までに、46 プロジェクトが助成を受けている。Freeman 博士の支持を得て、GENI 構想を率いる研究者たちは、このプログラムを NSF の主要機器・研究施設建設(NSF Major Equipment and Research Facilities Construction)プロセス下の助成対象と位置づけることで、通常の CISE 予算の他にも、何百万ドルという追加資金を得られる可能性を広げた。

コンピューティングとネットワーク研究に携わる複数の有力科学者によると、GENI の規模を拡大するという Freeman 博士の案は、コンピューティング分野に重大な懸念を生じた。多くのネットワ

⁴⁰ GENI – Exploring Networks of the Future, <http://www.geni.net/>

ーキング関連実験は、シミュレーションを使えば格段に経済的コストで実施できることから、トップ研究者の多くは、GENI はその支持者が主張するほど将来の研究に必要な不可欠なわけではないと感じていた。また一部研究者は GENI について、関心だけでなく資金までも GENI 構築のためのネットワーク技術関連応用研究へと向かわせ、基礎研究から遠ざけていると感じていた。この懸念は、DARPA の見解に一部起因する。戦場のための技術開発を優先する DARPA は、コンピューティング基礎研究に対するサポートを減らしたことから、基礎科学に対する NSF の継続的サポートが、これまで以上に重要になっていた。

GENI の科学的枠組みを構築し、更によりオープンなガバナンス・プロセスを作るため、NSF はコンピューティング・コミュニティ・コンソーシアム (CCC: Computing Community Consortium) と呼ばれる新組織設置を助成した。CCC は、コンピュータ研究者が、各専門分野の将来の研究優先事項に関する議論で協調できるようなメカニズムの提供を目的とした。そのタスクの一つとして、CCC は GENI 科学評議会 (GENI Science Council) の新設を一任された。コンピューティング分野のリーダーとして著名な研究者を指名して構成される評議会は、GENI 科学計画 (Science Plan for GENI) を策定するとともに、実際にネットワーク研究実験をサポートする GENI ストラクチャの開発を保証することを使命とした⁴¹。また、大学や産業界の有力コンピューティング研究ラボを代表するプロフェッショナル・ソサエティであるコンピューティング研究協会 (CRA: Computing Research Association) が、CCC を組織して管理するために選ばれた (CCC と CRA の詳細は本稿 2.3.6 で後述)。

スパイラル 1 (Spiral 1) と命名された GENI プロジェクトの最初のフェーズでは、GENI バーチャル・ラボの初期プロトタイプ開発を目指すプロジェクトを提案した 29 の学究および民間チームに助成金が支給された⁴²。クラスターと呼ばれるこれらプロトタイプのいくつかは、既存の実験ネットワーク・プロジェクトを GENI 傘下にもたらした。その一例がプラネットラボ (PlanetLab) である。プリンストン大学が率いるプラネットラボは、実験目的のための特別なプロビジョンを有する既存のネットワーク連合である。スパイラル 1 では、それぞれ参加者やリソース、制御フレームワークが異なる 5 つのクラスターに対して資金が拠出された。

⁴¹ [GENI Science Council Named](#), Computing Research Policy Blog, March, 2007

⁴² [GENI at a Glance](#), GENI Project Office, April 2009

GENI 第 2 フェーズのスパイラル 2(Spiral 2)は、2008 会計年度に開始された。2008-2009 会計年度に助成対象となったプロジェクトには以下が含まれる^{43,44}：

*** GENI D&P 制御フレームワーク (GENI D&P Control Framework)** - BBN Technologie 社、Brig Elliott(主席エンジニア)、1,150 万ドル:

GENI は、将来のインターネットに関し、現実的規模のネットワーク実験を行うためのユニークなバーチャル・ラボである。動的かつ適応能力を持つ GENI は、ソシオ・エコノミックに重大な影響を与える可能性がある。GENI は、共有、異種、そして高度に装備された一連のインフラでの現実的規模での実験をサポートし、ネットワーク全体のプログラマビリティを進め、ネットワーク科学、セキュリティ、技術、サービス、そしてアプリケーションにおけるイノベーションを促進し、学界、産業界、そして一般に対し、画期的発見とイノベーションを触媒する協調的かつ探求的環境を提供する。

スパイラル開発は、コミュニティ議論と継続的エンゲージメントのために具体的焦点を提供するための中核戦略である。2008 年 10 月に開始された GENI スパイラル 1 は、広範な学術および産業界からの参加と、GENI の制御フレームワーク設計と導入における熾烈な競争に支えられ、2009 年 10 月までに一連のエンド・ツー・エンド GENI プロトタイプを開発するという目標に向け急速に進展を続けている。スパイラル 1 で得た教訓を基に、GPO は提案要請書第 2 弾を発表した。第 2 弾は、GENI のアーキテクチャ、特にセキュリティ要件とアーキテクチャ、実験ワークフロー・ツールとユーザー・インターフェース、そして計測・測定のためのプロトタイプに関するクリティカルなギャップを解消する目的で行われた。その結果、33 の新規プロジェクトに資金が拠出された。それらプロジェクトはスパイラル 1 の成果を踏まえて実施され、スパイラル 2 に移行することになる。スパイラル 2 では、GENI システム設計のガイディング・プロセスにおいてクリティカルであることが証明される、連合および調整試験(shakedown experiments)が実施される。

*** GENI D&P インフラ (GENI D&P Infrastructure)** - BBN Technologies 社、Brig Elliott (主席エンジニア)、1,045 万ドル:

全米に敷設された毎秒 40 ギガビットの 2 つの全米研究バックボーンである、インターネット 2 (Internet2)と全米ラムダレール(National Lambda Rail)を介して互換性のあるビルドアウト

⁴³ [GENI Funded Projects](#), NSF, retrieved February 2010

⁴⁴ [GENI Funded Projects](#), NSF, retrieved February 2010

(build-outs)によってリンクされる、GENI 対応市販ハードウェアから構築され 13 の大学キャンパスにまたがる一連のエンド・ツー・エンドのプロトタイプ GENI インフラに関する実験を統合、運用、およびホストするため、3 つの学究・産業界共同陣営に対し、助成金が給付された。メソスケール(meso-scale)の同インフラのプロトタイプ構築は：

1. 斬新なフォームの研究実験のための競争力あるインフラを、従来よりも格段に大規模で構築する。そのインフラは、GENI のスパイラル開発をけん引するメソスケール実験の初期フォームを提供する。
2. 13 の主力キャンパスにおいて、初期ユーザーによる“オプト・イン”と、広範なコミュニティ参加を促進する。キャンパスの研究者とインフラ・オペレーター間の強力なパートナーシップにより、研究の進捗に伴い、更に 21 キャンパスが追加される可能性もある。
3. アリスタ(Arista)、シスコ(Cisco)、HP、ジュニパー(Juniper)、そして NEC 製の GENI 対応市販機器、および AT&T とナイシラ(Nicira)製ソフトウェアによって、強力な学究・産業界ベースを構築する。

*** 水中アドホック・センサー・ネットワークのためのオープン研究テストベッド(Open Research Testbed for Underwater Ad Hoc and Sensor Networks)** - ノースイースタン大学、Milica Stojanovic 博士：

水中ネットワーキング・コミュニティのための初のオープン・テストベッド・インフラ開発に取り組むこの協調プロジェクトは、遠隔実験機能を備えたオープンアクセスを可能にする。オープン研究プラットフォームをベースにしたインフラは、広範かつ体系的実験評価、および水中音響ネットワーク比較を可能にするテストベッドで構成される。水中ネットワーキング・コミュニティによって共有される迅速導入が可能なテストベッド開発を含むこの研究は、野外実験を促進するために必要なファシリティの機能を示すことを目的とする。

*** クロスレイヤ・ワイヤレス・プロトコル設計とプロトタイプ作成のための IAD 機器 (IAD Equipment for Cross-Layer Wireless Protocols Design and Prototyping)** - ノースイースタン大学、Guevara Noubir 准教授：

“環境知能(ambient intelligence)”につながるネットワーキング技術開発と導入に取り組むこのプロジェクトは、検査・計測機器メーカーに対し、異種ワイヤレス・ネットワークに関する現行プロジェクトの開発を更に進めることを求める。ロケーション、コンテキスト、そしてニーズを認識する、適切に設計された頑強かつセキュアなデジタル環境を介し、人々に力を与える(empower)ことを目指す。ユビキタス・コンピューティングを実用化するためには、幅広い種類のモバイル機器に対応する、頑強かつ拡張性がありセキュアなワイヤレス・ネットワークの構築

が必要不可欠である。プロトタイプ作成と実験により、新開発プロトコルを実証する。

*** オープン・スペクトラム・ワイヤレス・コミュニケーションとネットワークのための計測・検査システムの IAD 計装(IAD Instrumentation of a Measurement and Test System for Open Spectrum Wireless Communication and Networking)** - ライト州立大学、Bin Wang 准教授:

オープンスペクトラム・ワイヤレス・コミュニケーションとネットワーク研究のための計測・検査システムを完備するこのプロジェクトは、新世代ワイヤレスネットワークを利用する品質保証マルチメディアサービスと差動 QoS(サービスの質)を提供するため、インテリジェント(Intelligent)ソフト決定認知検出パラダイム(soft-decision cognitive sensing paradigm)、プロアクティブ・スペクトラム・アクセスによるスペクトラム・モビリティとルーティング・スキーム、そしてクロスレイヤ設計アプローチに言及する。

*** 事前設計研究グループ・プロポーザル(Pre-design Study Group Proposal)** - BBN Technologies 社、Brig Elliott(主席エンジニア):

GENI プロジェクト局(GPO)は複数の計画立案活動を実施する計画で、いずれも GENI の光学基板設計プロセスを念頭に、最高の研究(ベストリサーチ)と業界視点を確実に考慮して計画に反映させることを目的とする。これら活動には、ワークショップやフォーカス・スタディ・グループ活動が含まれる。GPO は幅広い光研究および学究コミュニティに対し、GPO の計画立案活動への参加を呼びかける。GPO は GENI ファシリティ基板に対する理解を進め、それに方向性を示すため、5 つの具体的タスクに関する研究とワークショップを計画している。これら活動は光ファイバー・ベースのシステムと技術に主に注力するが、光レイヤとワイヤレス基板間の理解と協調、およびプロセスと GENI ファシリティの高レイヤ機能間の理解と協調を促進することを意図している。

*** 次世代ワイヤレス・ネットワーク研究のための柔軟な大規模コミュニティ・テストベッドとしてのオービット無線グリッド(The Orbit Radio Grid as a Flexible Large-Scale Community Testbed for Next-Generation Wireless Network Research)** - ラトガース大学、Dipankar Raychaudhuri 教授:

ラトガース大学にある 400 ノード ORBIT 無線グリッドファシリティは、現実的かつ再生可能ワイヤレスネットワーク実験を現実的レベルで実現することを目的に、NSF NRT プロジェクト(2003-2007)の下で開発された。ORBIT 無線グリッドは 2005 年にまず、非公式ベースで研究ユーザーに公開された。その後、新興ワイヤレス・ネットワーク・アーキテクチャとプロトコル評価のためのデファクト・コミュニティ・リソースとして急速に成長した。ORBIT は、NSF の将来

のインターネット・アーキテクチャである GENI について、その無線アスペクトを実証するための概念実証プラットフォームとしても利用される。このプロジェクトは、ORBIT 無線グリッド・テストベッドの正式なコミュニティ・リリースをサポートする。それには、新興実験ニーズをサポートするために必要な重要な技術的アップグレードや、27/7 共有テストベッド・ファシリティに必要なサービス・ソフトウェアと運用スタッフの増強が含まれる。

*** 高度分散型テストベッドの進化的開発(Evolutionary Development of an Advanced Distributed Testbed)** - ユタ大学、John Regehr 教授:

高度分散型テストベッドを開発するこのプロジェクトは、複数の既存インフラ・プロジェクトの中から最善のソフトウェア・コンポーネントを見つけ出し、欠けた要素を追加し、コヒーレントな全体像(Whole)にそれらを統合、選択されたハードウェアとネットワーク・コネクショに導入し、初期ではあるが完全に機能する高度実験ファシリティ、ニューラボ(NewLab)の迅速な構築を目指す。研究は 3 フェーズで実施され、初期ではあるが広範かつ強力な機能を提供する。まず、エミュラボ(Emulab)とプラネットラボ(PlanetLab)のベストコンポーネントをコヒーレントな全体像に統合し、次に、インターフェースとソフトウェアのモジュール性に焦点を置き、インターフェースをよりクリーンに、モジュールはより分離可能にする。最後に、選ばれたコンポーネントを改善、改良し、性能を向上させる。

*** エミュラボの調整と稼働(Keeping Emulab Tuned and Humming)** - ユタ大学、John Regehr 准教授:

ユタ大学のエミュラボ(Emulab)ネットワーク・テストベッドは、ネットワークと分散型システムのためのプレミア・ファシリティであり、世界何百機関の何千人という研究者や学生に利用されている。いまやネットワーク研究コミュニティの中央リソースであると言える。ファシリティ自体が提供するサービスの他にも、エミュラボ・チームは、質問への対応や問題への対処の早さが広く評価されている。エミュラボは非常に優れたファシリティであるというだけでなく、それ自体がソフトウェア、具体的には、ネットワークと分散型システム実験を制御する“基本ソフト(operating system)”である。そのソフトウェア自体は当初からあまり変わっておらず、DETER セキュリティ指向テストベッドを含む 20 以上のテストベッド・サイトで利用されている。特殊技能を要する開発およびオペレーション担当要員の時間の大部分は、要件変更への対応や、ファシリティのユーザーとその他エミュラボ・ファシリティのサポートに当てられる。このプロジェクト(資金)は、それら人件費の大部分をサポートする。

スパイラル 1 の下で開始されたクラスター 4 件は、実験プロジェクトによる実験の実施と結果測定を簡便化するため、開発が続けられた。ホームキャンパスでのエンドユーザー・コンネクティビティを

改良するためのプロジェクトには、オープンフロー (OpenFlow) とワイマックス (WiMax) が含まれた。

2009 年 12 月時点で、GPO は NSF から 4,500 万ドルを獲得した⁴⁵。その大部分は、活動をサポートするためクラスターと研究者に分配されている。

2.3.3 第 6 回 GENI エンジニアリング会議 (GENI Engineering Conference)

第 6 回 GENI エンジニアリング会議 (The sixth GENI Engineering Conference) は 2009 年 11 月 16 ~ 17 日まで開催され、GENI のゴールに向けた進捗が発表された⁴⁶。11 月 16 日には現在も継続される 4 クラスターが集合し、その進歩と問題が議論された (クラスターとは、相対的に自己完結型のプロトタイプ GENI テストベッドである)。クラスターとその主導組織を以下に示す。

	クラスター	主導組織	研究者
1	プラネットラボ制御フレームワーク・クラスター (PlanetLab Control Framework Cluster)	プリンストン大学	Larry Peterson
2	プロト GENI 制御フレームワーク・クラスター (ProtoGENI Control Framework Cluster)	ユタ大学	Robert Ricci
3	ORCA 制御フレームワーク・クラスター (ORCA Control Framework Cluster)	ノースカロライナ大学	Ilia Baldine
4	RBIT 制御フレームワーク・クラスター (ORBIT Control Framework Cluster)	ラトガーズ大学	Ivan Seskar

これらクラスターはいずれも GENI ベース実験のための“ベストな”制御フレームワーク構築に取り組んでおり、普通は競合関係にある。

⁴⁵ [2020 Vision: Why you won't recognize the 'Net in 10 years](#), Network World, January 2010

⁴⁶ [Sixth GENI Engineering Conference](#), November 2009

11 月 17 日には GENI の進捗がレビューされ、初期の GENI 実験が発表された。GENI プロジェクトはスパイラル 1 フェーズを終了し、現在はスパイラル 2 フェーズにある。スパイラル 2 では、スタンフォード・クリーンステート・プロジェクト (Stanford Clean Slate Project) で開発された、GENI にキャンパスを接続するためのハードウェア/ソフトウェアフレームワークであるオープンフロー (OpenFlow) と、ワイヤレス・アプリケーションによる GENI 利用を可能にするため、ワイマックスの使用が追加された。会議では、アドホック・コンピューティング・クラウド、ソーシャル・ネットワークワーキング、NASA 宇宙船データ転送、そしてモバイル・ワイヤレス・ネットワークを含む、GENI を使った初期実験 4 件も発表された。

【分析】

この会議では、GENI はエンジニアリング面で大きく進歩したことが示されたが、ユニークなネットワーク・アーキテクチャの実験に GENI が利用されて成功した例は、まだ極めて少ないことも明らかにされた。GENI ストラクチャの成熟にともない、今後は実験の数もおそらく増えてくると思われる。また、シームレスな実験ネットワークを構築するために、GENI はある時点でクラスタの数を絞り込む必要がある。しかし、会議では、そのための具体的な方法は示されなかった。

2.3.4 FIND と GENI の再評価

2008 年末までに、FIND と GENI のアジェンダは野心的すぎることが証明された。FIND は数多くの補助金を出しており、助成プロジェクトはこれまでに 49 件、その額はプロジェクトあたり 3~4 年で 50 万~100 万ドルレベルとなっている。しかし、NSF が期待したプロジェクト間の連携は、事実上実現しなかった。このようにして、様々なコンポーネントが、FIND が開発を目指した包括的ネットワーク・アーキテクチャのプロトタイプを構築できなかった。このことは、GENI ネットワークに想定される機能レベルを活用できる実験プロジェクトが、ほとんどなかったことを意味する。

更に、野心的な GENI インフラの開発は、驚くことではないが想定よりも幾分スローペースで進んだ。というのも、まだ提案もされてもないネットワーク・アーキテクチャに対し、その試験に適した大型実験ネットワークを開発、装備するのは困難だからである。研究コミュニティの一部には、限定的な科学的成果しかもたらしていない GENI に、多額を投資したことを批判する声もあった。GENI 科学評議会は、一部は以上のような理由から、科学計画 (Science Plan) の策定は困難であると感じた。

【分析】

研究戦略の観点から、4 クラスターを GENI スパイラル 2 へ進めたことは、それら 3 件のアプローチとインフラに類似点があったことを考慮すると、誤りだった可能性がある。地理的範囲においてさえ、それらには大きな重複がある。GENI の研究アジェンダを数件の設計オプションに絞りきれなかった原因として、少なくとも 2 点が挙げられる。まず 1 点目は、進捗があまりにも遅く、他に比べた明確な利点や欠点を判断できるほど、いずれのクラスターも研究が進んでいなかった可能性である。そして二点目は、クラスター4 件全てを助成できるだけの資金がある中、そのうち 1 件を中止するのは政治的に得策でないという判断である。プロジェクトが却下された研究者から、反発を受ける恐れがあり、そうなると GENI プロジェクト全体が危うくなりかねない。いずれの原因も GENI の将来を明るくするものではない。

2.3.5 FIND から NetSE へ

前掲の問題を認識した NSF とユーザーコミュニティは、これら活動のペースとスコープの見直しをすでに開始している。2007 年 12 月、CISE トップに就任した Wing 博士は米科学委員会 (National Science Board) に対し、新しいネットワーク科学とエンジニアリング (NetSE: Network Science and Engineering) プログラムを提案した⁴⁷。2008 年 5 月、同博士はスタンフォード大学において、この NetSE 案の拡張版を発表している⁴⁸。その主なポイントは、ネットワーク研究に関する現在の取り組みには科学的要素が十分に盛り込まれておらず、ネットワーク・アーキテクチャの理解と改善の進歩は、物理、社会科学、エンジニアリング、そして数学といった他の分野の洞察から利益を受けるといったものだった。

これと同時期に CISE は、NetSE イニシアチブのコンテンツと重要性に対するサポートを集めるため、研究コミュニティに働きかけている。GENI 科学評議会は NetSE 科学評議会に改称され、そのチャーター (設立趣意書) も拡大された^{49,50}。この変更は、GENI は当初計画されたよりも小

⁴⁷ [Network Science and Engineering](#), Jeannette M. Wing, Presentation Delivered to the National Science Board, December 2007

⁴⁸ [Network Science and Engineering: Call for a Research Agenda](#), Jeannette M. Wing, Presentation Delivered at Stanford University, May 2008

⁴⁹ [Charter of the Network Science and Engineering Council](#), Computing Community Consortium, March 2008

規模かつスローになるであろうという事実と、GENI を利用するために必要とされる科学は、NetSE プログラムにおいて期待される科学に非常に似ているという事実を反映していた。2008 年 9 月、CISE は新プログラムを説明するために NetSE 情報会議 (NetSE Informational Meeting) を開催した。CISE は 2009 会計年度の分野横断的プログラム (Cross-Cutting Programs) のためのプログラム提案要請に NetSE を追加し、以下のように述べている：

NetSE プログラムでは、現在および将来の大規模ネットワークのダイナミクスとビヘイビアをはじめ、それらが具体化する物理的・情報・社会的ネットワーク間の相互依存性、および、コミュニケーション、コンピューテーション、そしてストレージ間のトレードオフを理解し、論証するための新理論的基盤、原則、および方法論策定に照準を置く提案を求める。また、情報システムの開発と、それを支えるネットワーキングとコミュニケーション技術について情報を提供し、将来的にユーザーによる非常に多様化した情報アクセスの方法に、一貫性を与えるような新モデルにも関心がある⁵¹。

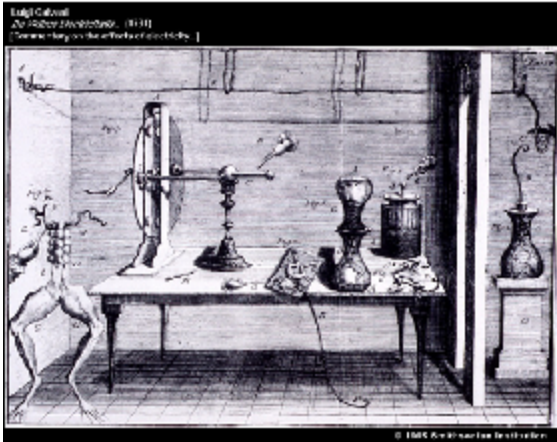
CISE は NetSE を分野横断型プログラムと特徴付けることで、その関心が、学際的、広範、創造的、そして潜在的に大きな影響力を持つ研究の提案にあることを示唆した。また提案要請は、NetSE が FIND プログラムを包含し、FIND プログラムは独立した活動としては存在しないことも示した。NetSE は 2010 会計年度も CISE の分野横断型プログラムとして継続されている。

NetSE プログラムはこれまで、どのような影響を与えてきたのであろうか。それを説明するために、Wing 博士がスタンフォード大学講演で使用したスライドの一部を以下に示す：

⁵⁰ [NetSE Council Update](#), Ellen Zegura, Geni Engineering Conference, March 2008

⁵¹ NSF Program Solicitation: [CISE Cross-Cutting Programs: FY 2009 and FY 2010](#)

Electricity: 1800...



Electricity: Today.

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{q}{\epsilon_0}$$

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$$

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$$

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 i + \frac{1}{c^2} \frac{\partial}{\partial t} \int \vec{E} \cdot d\vec{A}$$

What are the analogies... ... for Network Architecture and Design?

この図の中で Wing 博士は、理論的ベースがなく必然的に純粋な実験に頼ってきた 1800 年の電気に対する理解と、1800 年代末に作られたマクスウェルの方程式に具現化される今日の理解との違いを示している。博士の主張は、電気の場合と同じようにネットワークについても、我々は実際にそれがいかに進化し動作するかを見てきたが、それらの改良は、ネットワーク・アーキテクチャをどう変更すればより良い結果が生まれるか、という点に研究を誘導するような理論もなく実現されている、というものである。ネットワーク科学の理論的基盤を構築すればその影響は大きい、電磁気理論の系統化に比べ、その作業には間違いなく困難が予想される。

NetSE プログラムの下でこれまで助成金対象とされた 48 件のプロジェクトを調べると、ネットワーク科学構築の初期兆候が見えてくる可能性がある⁵²。以下に大規模 NetSE プロジェクト (5 年間 120 万 ~ 300 万ドル) 4 件を示す：

フィールドストリーム：自然環境におけるエクスポージャー・バイオロジー研究のためのネットワーク・データ・サービス (FieldStream: Network Data Services for Exposure Biology Studies in Natural Environments) - マサチューセッツ大学 Deepak Genesan 教授、ジ

⁵² [NSF Award Search for Network Science and Engineering](#), February 2010

ジョージア工科大学 Jun Xu 准教授、カリフォルニア大学ロサンゼルス校 (UCLA) Mani Srivastava 博士、カーネギーメロン大学 Anind Dey 准教授、メンフィス大学 Santosh Kumar 助教授:

自然環境におけるヒトサブジェクトからの生理的 / 行動的データの取得は、生態学的に有効な社会的・行動研究を実施する上で必要不可欠である。今日、生理的データを収集するための身体領域ワイヤレス・センサー・ネットワーク (BAWSN: body area wireless sensor network) は存在するが、それらの使用は制御されたセッティング (ラボ、運転 / 飛行シナリオなど) に限られており、大きな音、モーション・アーチファクト (motion artifacts)、そしてその他の制御不能交絡要因の存在は、自然環境からの生理学的測定値を使わない理由としてしばしば引用される。自然環境から科学的に有効なデータを収集するために、BAWSN システムは次に示すユニークな要件を満たす必要がある。

- (1) 冗長性を感じさせない説得力のあるデータの質
- (2) 生理的測定における大きな個人差を釈明するパーソナル化
- (3) サブジェクト確認とタイムリーな介入を可能にするリアルタイム推論

このプロジェクトでは、様々なコンピューティング領域と行動科学の研究者で構成される学際的チームが、フィールドストリーム (FieldStream) と呼ばれる汎用フレームワークを開発する。フィールドストリームによって BAWSN システムは、主観的で連続的、かつ信頼できる自然環境からの生理的 / 行動に関する、長期的に放置されてきたデータコレクションの提供が可能になる。それらのコレクションは、人口ベースの科学的研究実施のために使われる。

インターネット・インセンティブの改良 (Improving Internet Incentives) - カリフォルニア大学バークレー校 Jean Walrand 教授:

インターネットは、「多くのリアルタイム高ビットレート・アプリケーションを確実にサポートするには、そのサービスの質が低い」という問題を抱えている。この欠点は、ユーザーまたはプロバイダーが、自らの選択が他に及ぼす影響、言い換えれば、結果として生じる外在性を考慮しないことに主な原因がある。状況によって、以下 3 点の組み合わせが問題の原因になることもある。

- i) ネットワーク技術に原因があり、ユーザーまたはプロバイダーはより良い選択ができない。
- ii) ネットワークがユーザーまたはプロバイダーに対し、より良い選択をするための情報を与えない。
- iii) たとえ可能であったとしても、ユーザーまたはプロバイダーには、よい良い選択をするインセンティブがない。

このプロジェクトは、これらの影響がネットワークのサービス品質をいかに左右するかを調査する。この分析をベースとして用いることで、これら効果に対する改善措置を検討する。改善措置には、新プロトコルと技術の組み合わせ、料金メカニズム、そして規制、つまり、情報開示の義務化とメカニズム、または義務化かメカニズムのいずれか、が含まれる。調査員は、同研究が将来のネットワーク設計のパラダイムシフトに貢献することを期待する。同プロジェクトの中核を成す外部性はこれまであまり調査されておらず、予備調査ではその大きな重要性が示された。同プロジェクトの過程で実施される調査は、外部性とネットワーク情報の不完全性を明らかにするため、ネットワーク設計がどのように変更されるべきかを示す。

ネットワーク・アーキテクチャ理論 (A theory of network architecture) - カリフォルニア工科大学 Steven Low 教授:

このプロジェクトでは、ネットワーク・アーキテクチャ設計の理論的基盤を策定する。技術的、生物学的、生態学的、そして社会的ネットワークへのアプリケーションに触発される、またはそのようなアプリケーションを伴い、更に現実世界のデータと強力なコネクションを持つような、高度に進化して組織化され複雑になったネットワークを理解するためには、そのような理論的基盤が必要不可欠である。アーキテクチャには、一般的にプロトコル、すなわち、多様なネットワーク・コンポーネント間のインタラクションを促すルールによって定義される、最もユニバーサルで高レベル、そして永続的な組織要素が含まれる。ネットワーク技術は、ほぼ全ての技術的、自然、そして社会的システムにおいて、前例のないレベルの性能、効率、持続可能性、および頑強性の提供を約束する。複雑なシステムの“頑強だが脆弱でもある (RYF: robust yet fragile)” 特徴はコピキタス性であり、我々の将来のインフラの複雑 / 脆弱スパイラルを管理するためには、理論的フレームワークがクリティカルである。アーキテクチャ理論は将来のネットワーク設計に極めて重要であり、持続可能性の心臓部でもある。生物学、生態学、そして技術面からのアーキテクチャ比較は、様々な共通の特徴を持つ組織的ストラクチャを特定している。これらの所見はアーキテクチャの数学的理論の基礎を形成することになる。

プラティ: 次世代ネットワークにおける位置から場所へ (Platys: From Position to Place in Next Generation Networks) - メリーランド大学 Timothy Finin 教授、デューク大学 Romit Roy Choudhury 助教授:

このプロジェクトでは、より良いユーザー体験を届けるアプリケーションを実現するため、次世代ネットワークの機能を生かすコンテキストの高レベル概念を策定する。特に、コンテキストの主要要素、つまり、ユーザーのロケーション、および、ローカライゼーションを通じたユーザー環境の特徴を理解するため、常時ユーザーと共にあるモバイル機器を活用する。ユーザー体験にとって重要なのは、ユーザーの場所である。この場所とは、“家”“ジョギング”“食料品買い物”

など、概念的な用語でのロケーション、すなわち、位置(position)に、活動、環境特性、そして近くにいる他人の活動を組み合わせて説明されるものである。この場所の概念を理解するためには、機器やインフラからの情報が、現在のネットワーク・アーキテクチャでは予測できない方法で流れる必要がある。これは、日和見的インタラクションを可能とする一方で、ユーザーのプライバシーを保護し、更に利己的利用を一切することなくユーザー間協調を促すインセンティブ・メカニズムを設計することを仮定とする。このようなアーキテクチャ上の懸念は、ルーティングなどの従来のネットワークピックを遥かに超えるものである。

これらプロジェクトはそれぞれ興味深く、ピアレビューでは疑いようもなく高い評価を受けた。マクスウェルの方程式に匹敵するようなネットワークの真の基本的“法則”の種を、それらの中に見出すのは難しい。他の助成金を受けたプロジェクトを大まかに調べたところ、興味深い学際的研究や、ネットワーク実験、ネットワーク・アーキテクチャの漸進的拡張が見られたが、トランスフォーマティブ(変化力のある)研究という明らかな証拠は見つからなかった。それにも関わらず、NetSE プログラムは、ネットワーク科学概念が、ネットワーク研究コミュニティのアイデアやアプローチをいかに変えてきたかを示している。

2009 年 9 月、NetSE 評議会は NetSE 研究アジェンダ (NetSE Research Agenda) を発行した⁵³。同アジェンダでは、ネットワーク実験施設へのサポート、小規模ネットワーク研究へのサポート継続、基礎・学際的ネットワーク・アーキテクチャ研究に対するサポート拡大、そしてこれら活動に対する総合予算の増加といった、従来からの要求を繰り返した。ネットワーク・アーキテクチャ問題に関する議論が追加されたが、根本的に新しい概念は何ら紹介されていない。

2009 年半ばまでには、それぞれで成果はあったものの、FIND プログラムが首尾一貫した統合ネットワーク・アーキテクチャを開発していないことは明らかだった。FIND 計画に関して言えば、プログラムは第 1 フェーズに停滞したままだった。また、主要研究施設レベルで助成されるという GENI の野心的計画は、一つには GENI インフラの開発の遅れから、また一つには GENI 施設の利用要請が期待したよりも少なかったことから、実現されていなかった。

他にも FIND プログラムに対しては、ネットワークを利用するアプリケーションの検討がなされておらず、従って現実世界の重要な側面が無視されているとの批判もあった。2009 年春の FIND 会議での会話の中で David Clark 氏は、ネットワーク研究者に対し、“トップダウンからのアーキ

⁵³ [Network Science and Engineering \(NetSE\) Research Agenda](#), NetSE Council, September 2009.

テクチャ”を考える必要がある、と苦言を呈した⁵⁴。Clark 氏にとってそれは、要件からメカニズムへの論理的思考、特にアプリケーションからサポート・メカニズムへの論理的思考を意味した。というのも、結局アプリケーションがドライバーだからである。同氏によると、初期のインターネット・アプリケーション(電子メールを除く)は通常、暗黙の信頼が介在する 2 つのパーティー間のシンプルなインタラクションを含み、DNS に信頼できるバイトストリームがあればそれで十分であると思われた。しかし、今日、大抵のアプリケーションは複雑であり、多くのサーバーやサービス、高・可変帯域でのリアルタイム・インタラクション、様々なポイントでのコンテンツのキャッシュ、ファイアーウォールとネットワーク・トランスレーション、機能が大きく異なるモバイル・マルチホーム機器、そして不正な利用者やマルウェアといった破壊的素性などがかかっている。ネットワーク設計者は、設計開始時点で複数のアプリケーション関連問題を考慮しなくてはならず、その設計の成功は、これら問題へいかに対処するかで左右される。そして当たり前ではあるが、明日のアプリケーションの本質を完全に予測することができなければ、ネットワーク設計者にとっての困難は増すばかりとなる。

2.3.6 コンピューティング研究協会とコンピューティング・コミュニティ・コンソーシアムの役割

コンピューティング研究協会(CRA: Computing Research Association)は専門家組織であり、そのメンバーは NSF 本来の支援対象である大学から主に参加している。理事会(Board of Directors)メンバーのほとんども大学関係者である。理事(Executive Director)の Andrew Bernat 氏は、CRA に加わる以前は NSF のプログラム・マネージャーだった。2006 年 9 月、NSF は 397 万ドル規模の共同契約(cooperative Agreement)を CRA に発注した。その目的は以下の通りである：

コンピューティング研究コミュニティ代理組織のコンピューティング・コミュニティ・コンソーシアム(CCC: Computing Community Consortium)を設立する。CCC は、潜在的に大きな機会の特定、優先事項の設定、そしてコンピューティング分野の大課題の設定を念頭に設計されるビジョニング活動(visioning activities)をサポートする。これらビジョニング活動は、コンピューティング研究コミュニティのメンバーからの提案と、CCC が自ら作成するアイデアに基づき実施される⁵⁵。

⁵⁴ [Architecture from the Top Down](#), David Clark, Spring 2009 FIND Meeting, April 2009

⁵⁵ [The Computing Community Consortium](#), Award Abstract, NSF September 2006

2007 年 5 月、CCC 評議会議長の Ed Lazowska 氏と Andy Bernat 氏は、CCC について説明する論文を発表した⁵⁶。この論文では、CCC が関心を持つ領域として GENI が引用された。

この関心を増進させるため、CRA/CCC は GENI 研究計画に関する外部レビューを収集する目的で GENI コミュニティ諮問委員会(GENI Community Advisory Board)を設立した。その後間もなく NSF は、契約の一環として CCC に対し、GENI 研究計画を策定する GENI 科学評議会(GENI Science Council)の設置を要請した。CCC はジョージア工科大学(Georgia Tech)の Ellen Zegura 教授を評議会会長に指名した。

しかし、GENI 科学計画は FIND の結果に依存していた。2008 年、NSF は新 NetSE イニシアチブの一部として FIND を位置付けた。展望の変化を受けて NSF は CCC に対し、GENI 科学評議会の役割の見直しを要請した。GENI 科学評議会はその後、NetSE 評議会となった。NetSE 評議会は 2009 年 9 月、NetSE 研究アジェンダ(NetSE Research Agenda)を発行した。この文書は、研究計画というよりは既存 NetSE プログラムの価値を再確認し、予算追加を求めるための文書であった。

非公開討議の中で CCC 評議会メンバーは、CRA と CCC チャーター・メンバーは GENI にはほとんど関心がないと述べている。トップレベルのコンピューティング研究者コミュニティ内では、CCC 設立を助成する NSF の決定は、当時 CISE トップであった Peter Freeman 博士が自らの GENI 拡張計画に科学的信頼性を与えるために取った行動に過ぎないと考えられている。そして、Wing 博士の登場とその NetSE に関する提案は、CCC メンバーにとって、NSF の GENI 科学計画策定要請に応えるための格好の機会をもたらすこととなった。NetSE 研究アジェンダは、正式な GENI 科学計画の代わりに NSF へ提出され、また、CCC は、将来のコンピューティング研究の調整と推進に関わる他の活動にすでに取りかかっている。

CCC は、コンピューティングの別の側面に関する新たな研究イニシアチブのための“ビジョン文書(vision documents)”を策定するなど、これまでとは違う方法で NSF や他の研究助成機関に影響を与える計画である。中でも CCC は、サイバー・物理システム(Cyber-physical systems)やネットワーク・ロボティクス(networked robotics)、大型データセット、いわゆるビッグ・データ(Big Data)の管理分析といった領域に関し、新しい研究推進の必要性をまとめるための専門研究者の招集においてその手腕を発揮している。

⁵⁶ [The Computing Community Consortium – The Way Forward](#), Computing Research News, May 2007

今のところ CCC は、NetSE 評議会が GENI に関する研究を更に進めるとは考えていない。それでも CCC と NetSE 評議会は、コンピュータ科学とネットワーク研究コミュニティの声を結集してまとめるという点において、重要な役割を果たしている。両者は NSF から独立していると認識されており、自らの見解のためにロビー活動をすることも可能である。同時に、NSF は CCC に研究コミュニティ各部の統一見解を見極めるための支援を要請し、CCC の作業結果を将来の NSF プログラムのアイデア策定に役立てることができる。

表向きは、CCC には何の権限もない。それでも、世界級の研究者を CCC 評議会に招き入れた CCC は、コンピューティング/ネットワーク研究コミュニティからの尊敬の対象となっており、将来的な研究領域を議論して計画するためのワークショップや定期会議の計画に実績がある。その活動の一つとして CCC は、コンピューティング研究関連のクリティカルなトピックと、それが社会に与える潜在的利益に関する一連の白書作成の準備を支援した。これら白書はオバマ大統領就任に先立ち、オバマ政権移行チームの要請で作成され、後に 2009 年米国再生・再投資法 (American Recovery and Reinvestment Act of 2009) の下で助成を受けた多くの IT R&D プログラムの基盤となった。

2.3.7 FIND オブザーバー・パネル (FIND Observer Panel)

NSF は 2009 年、FIND プログラムの進捗を評価するために FIND オブザーバー・パネル (FIND Observer Panel)⁵⁷ を召集した。パネルには、グーグル (Google) 社の Vint Cerf 氏、シスコ (Cisco) 社および MIT の Bruce Davie 氏、マイクロソフト (Microsoft) 社の Albert Greenberg 氏、サン・マイクロシステムズ (Sun Microsystems) 社の Susan Landau 氏、そしてデラウェア大学 (University of Delaware) の David Sincoskie 氏などが参加した。パネルは 2009 年 4 月 6 ~ 7 日に開催された FIND 会議⁵⁸ の期間中にプレゼンテーションを聞いて議論を行っている。パネルは FIND について、設立以来 3 年間に 49 プロジェクトに対し 3 ~ 4 年で各 50 万 ~ 100 万ドルを助成するまでに成長したと指摘した。また、「(FIND は) ネットワーク・アーキテクチャ研究に、新風と開放感をもたらした」「ネーミング、アドレッシング、ルーティング、モニタリング、モビリティ、ネットワーク管理、アクセスとトランスポート技術、センシング、コンテンツとメディア・デリバリー、そしてネットワーク対応アプリケーションなど、幅広い中核的ネットワーク領域で画期的なこと

⁵⁷ [FIND Observer Panel Report](#), April 2009

⁵⁸ [Spring 2009 Find Meeting](#), April 2009

が起こりつつある」と報告した。しかしパネルは、研究からは多くの興味深い結果が生まれていると前置きした上で、「FIND から生まれたアイデアやプロトタイプは、まだ予備的である」と結んだ。

また、パネルは NSF に対し、FIND プログラムの継続を提言した。そして、セキュリティ、ネットワーク管理、そしてネットワークの有用性を改善するためのインセンティブに、さらに注力する必要があると述べた。最も印象的なのは、FIND プログラム内の個々のプロジェクトは、当初期待された通りに統合プロトタイプ・ネットワーク・アーキテクチャに自律的に組み込まれなかった点をパネルが指摘したことである。今こそコンピューティング研究コミュニティから新しい研究チームが誕生し、FIND の成果を将来のインターネットのコンポーネントに統合する時である。パネルは NSF に対し、一貫性のある代替アーキテクチャの開発と導入を目的に、十分なスコープを持たせたプロジェクトを数件ほど募ることを提案した。それは、4~5 チームを対象に、期間 3~4 年でチームあたり約 1,000~2,000 万ドルレベルで助成するというものである。

この主要な提言に加えてパネルは、統合案(や他の提案)が取り組むべき重要なネットワーク研究領域として 18 分野を挙げた。

2.3.8 将来のインターネット・アーキテクチャ(FIA: Future Internet Architectures)

FIND オブザーバー・パネルの見解を一部反映し、また一般的な批判に応じ、そして第 5 回 PI 会議での好意的な議論を反映する形で、CISE はネットワーク研究分野で数百万ドル規模のグラントを数件募集することにより、新戦略を追求することを決定した。NSF はその発表で以下のように述べている:

2010 会計年度に CISE は、研究コミュニティによって実証済みの有望な研究成果の合体または統合と、今まさに生まれている新しい概念やアイデアの両方に特に注目した上で、包括的な将来のインターネット(Future Internet)アーキテクチャに関する調査に照準を定めた、数百万ドル規模の学際的研究プロジェクトを数件(2 - 4)創設する計画である⁵⁹。

FIA 要請書作成にあたり、研究コミュニティに準備を促し、また CISE を指導するため、NSF は MIT の David Clark 氏に、2009 年 10 月 12~15 日に将来のインターネット・アーキテクチャ・サミット(Future Internet Architecture Summit)を開催するための補助金を授与した⁶⁰。同氏はこ

⁵⁹ [Call for Participants Future Internet Architectures Summit](#), September 2009

⁶⁰ [Workshop: Future Internet Architecture Summit](#), NSF Award 1000965, October 2009

の会議のサマリーにおいて⁶¹、ネットワーク・アーキテクチャの構築と評価のための以下の 5 ステップがあることを聴衆に思い出させた：

1. 将来のインターネットの目的を明確にすること
2. 将来のインターネットの要件を決定し満たすこと
3. 将来のインターネット設計のためのアプローチ候補を提示すること
4. 主要な研究課題を特定し対処すること
5. 設計のアーキテクチャ上のコンポーネントを精巧に作ること

このイベントで NSF は、状況はフェーズ 2 移行に適していると判断し、2010 年 1 月、将来のインターネット・アーキテクチャ(FIA: Future Internet Architecture)⁶²と呼ばれる要請書を発行した。提案期限は 2010 年 4 月 22 日である。特筆すべきは、全ての提案に対する要件として、“提案されるアーキテクチャでは、信頼性(Trustworthines)、すなわち、包括的セキュリティ、プライバシー、信頼性(reliability)、そしてユーザビリティと広義に定義されるものが、基本的設計要件として考慮されなければならない”と明記したことである。

このことは明らかに、すべての将来のネットワークにおいて、セキュリティは改善されるべきであるという要請に応えたものである。信頼性要件を支援するため、CISE は信頼性コンピューティング(Trustworthy Computing)プロジェクトを、FIND や NetSE の一部としてではなく、CISE の独立した分野横断的要素として継続している。

2.3.9 FIND/GENI/NetSE/FIA に関するコメント

過去数年の NSF のネットワーク研究活動における急激な変化は、特に改良ネットワークの発見と導入に関する問題には、解決に十数年を要することもあることを考えると、混乱を呈しているように見えるかもしれない。このオブザーバーには、NSF の新世代ネットワーク研究(New Generation Network Research)内に、内部パラドックスがあるように思われる。一方では、FIND、GENI、そして FIA のパス(道筋)は、中期展開を視野に入れ、プロトタイプ・アーキテクチ

⁶¹ [Meeting Summary](#), NSF Future Internet Summit, Washington, DC, October 12-15, 2009

⁶² [Future Internet Architectures \(FIA\) Program Solicitation](#), NSF, January 2010

の短期的、高価、かつ大規模な試験に向かっている。他方では、NetSE のプログラムが、おそらくは将来のアーキテクチャ設計に役立てるために、ネットワーク・アーキテクチャの科学を模索している。NetSE プログラムには、現行ネットワーク・アーキテクチャ設計は、科学的基礎の欠如が原因で動揺しているという仮説が潜在する。仮にこれが真実であれば、FIND、GENI、FIA のパスは、早計だと言えるかもしれない。もしそれが誤りであれば、NetSE のプログラムが不適切ということになる。

この明らかなパラドックスに対して考えられる解決策は、ネットワーク研究は非常に重要であることから、混合戦略もやむを得ない、つまり短期的には当座のネットワークング問題を解決する経験的戦略を、長期的には究極のネットワーク設計を目指す科学的戦略を追及するというのである。

しかし、混合戦略は理論上意味をなすかもしれないが、大規模ネットワーク導入にかかる資本コストと、ネットワーク・ユーザーが負担する外部コストを考えると、新ネットワーク・アーキテクチャの複数の導入と受容を検討するのは非現実的であると思われる。

2.4 その他の新世代ネットワーク R&D 関連活動

NSF 以外にも、多くの機関が将来のネットワーク・アーキテクチャ関連研究に資金を出している。NSF と違いこれらの機関は“ミッションけん引型”であり、機関ごとに特定の役割(例えば、国防総省の軍事作戦、NIH のバイオ医療研究、エネルギー省内のスパコン・リソースへのアクセスなど)をサポートするために高度ネットワークを必要とする。そのため、これらの機関は基礎科学研究をサポートするプロジェクトを開始しているが、それらはほとんどの場合、特定の実践的ゴールを伴って実施される。

2.4.1 DARPA: CORONET プログラム

国防高等研究計画局(DARPA: Defense Advanced Research Projects Agency)は2006年、動的マルチテラビット中核光ネットワーク:アーキテクチャ、プロトコル、制御、および管理(CORONET: Dynamic Multi-Terabit Core Optical Networks: Architecture, Protocols, Control and Management)⁶³プログラムを開始した。DARPA は、CORONET プログラムの目的を以下のように説明している:

“性能、生存性、セキュリティを大幅に強化した、高度に動的なマルチテラビット・グローバル中核光ネットワークのためのアーキテクチャ、プロトコル、制御、および管理ソフトウェアを開発する。CORONET ビジョンの重点目標は、超高速なサービス設定/解体、および複数のネットワーク障害からの迅速な回復を実現することである。”

CORONET は2フェーズでの実施が計画された。まず第1フェーズでは、IP および光レイヤにおけるネットワークの超高速プロビジョニングと回復のためのアーキテクチャ、プロトコル、アルゴリズムを開発する。次に第2フェーズでは、これら目的を達成するため、ネットワーク制御と管理ソフトウェアを開発、デモンストレーションする。関係筋の話では、CORONET の2010会計年度予算は1,600万ドルと推定される。

⁶³ [Dynamic Multi-Terabit Core Optical Networks: Architecture, Protocols, Control and Management \(CORONET\)](#), DARPA Broad Agency Announcement, August 2006

以下の図は、現行光ネットワークの機能と CORONET の目標を比較したものである⁶⁴：

図 2-1: CORONET プログラムの目標

DARPA High-Level CORONET Program Goals		STO Strategic Technology Office
Network Requirements	Today's State-of-the-Art Networks	High-Level CORONET Program Goals
Maximum Fiber Capacity	Up to 1.6 Tb/s	Up to 16 Tb/s
Bit Rate per Wavelength	10 or 40 Gb/s	40 or 100 Gb/s, or more
Maximum Bit Rate per Stream	40 Gb/s	Up to 1 Tb/s
Aggregate Network Demand	Up to 10 Tb/s	Up to 100 Tb/s
End-to-End Network Services	IP, SONET	IP (75%±) and λ-Services (25%±)
Optical-Layer Multicasting	Typically Not Possible	Basic Requirement
Performance Monitoring	Mostly in Electrical Layer	In Electrical and Optical Layers
Optical-Layer Configurability	Slow, Often Manual	Fast, Fully Automatic
Max Speed of Service Setup	Hours to Weeks	≤ 100 msec (CONUS) ≤ 250 msec (Global)
Speed of Dedicated Protection	≤ 50 msec	≤ 50 msec
Speed of Shared Restoration*	50 to 100's msec (Ring) Sec's to Min's (Mesh)	≤ 100 msec (CONUS) ≤ 250 msec (Global)
* From How Many Failures:	Typically, One Failure	Up to Three Failures
IP Services with Differentiated End-to-End QoS	Very Limited	Basic Requirement

Saleh - DARPA / STO Approved for Public Release, Distribution Unlimited CORONET - 4

出典: DARPA

CORONET は、DARPA やその他機関、および民間企業が過去に開発した、複数の独立通信チャンネルによる単一光ファイバーの同時利用を可能にする技術をベースに構築される。その技術は高密度波長分割多重方式(DWDM: dense wave-division multiplexing)と呼ばれ、問題なく適切に製造された光ファイバーは、多くの“色(colors)”または光波長を、それらが相互干渉する心配なく同時に運搬できるという事実に依存する。

⁶⁴ [Optical Networking in the Network of the Future](#), Joe Berthold, Ciena, 2007

実用的な DWDM ネットワークの実現には、ネットワーク・ノードで光交換機が開発される必要があった。各色を電気信号に変換し、その信号を交換、再び色に戻すには時間がかかりすぎるため、交換機には、個々の色を迅速に、かつ独立して別々のパスに切り替えられる能力が求められる。ここで各色を、エンド・ポイント間の別々のエンド・ツー・エンドのバーチャル回路であると考えてみてほしい。個々のバーチャル回路は長さ 1 分未満であり、その間に数百ギガバイトのデータが転送される。今のところ、個々の光パスは 100 ミリ秒以内に再構成されるが、ネットワーク全体でそのレベルの交換速度を実現するためには、CORONET 下で更なる研究が必要である。

一般的にプロビジョニングに対するソリューションは、データプレーンと管理プレーンを別々に設定することである。データプレーンには、実際のデータを運搬する大容量動的バーチャル回路が含まれる。管理プレーンは(おそらく同じ光インフラ上の)低容量 IP ベース・ネットワークであり、交換機にプロビジョニング・コマンドを与え、ネットワーク性能を監視する。一部の動的 DWDM ネットワークでは、ユーザーがバーチャル回路をリアルタイムに予約するか、あるいは管理プレーン経由でプロビジョニング・コマンドを直接送ることができる。この可能性は、明らかに重大なセキュリティと信頼性懸念を提起する。

CORONET プログラムのフェーズ 1 助成金は 2008 年春、BBN テクノロジーズ(BBN Technologies)社⁶⁵と、テルコーディア(Telcordia)社⁶⁶が主導するチームに授与された。

BBN の発表によると、同社は期間 20 ヶ月の研究に対し 570 万ドルを受領した。同社は研究内容を以下のように説明している：

“BBN テクノロジーズ社は、スロー設定タイム(slow-setup-time)、静的トポロジー、そしてオーバー・プロビジョン(過度供給)な今日の光中核ネットワークを、妥当なコストで大容量に拡張可能な、オンデマンド、適合可能、そして高度利用なネットワークに移行させるため、アーキテクチャ、プロトコル、およびアルゴリズムを開発する。そのため BBN 社は、IP / 光クロスレイヤ・トラフィック処理と容量管理、複数の障害からの急速な復旧を可能にする高速シグナリング、およびネットワーク運用簡便化につながる画期的オープン・ネットワーク・オペレーション・スタックに

⁶⁵ [BBN Technologies Awarded \\$5.7 Million in Defense Funding to Design Faster, More Dynamic, More Secure, More Robust Optical Network](#), BBN Press Release, March 2008.

⁶⁶ [Telcordia Selected By DARPA To Support U.S. Global Networking Infrastructure Initiative](#), Telcordia Press Release, June 2008.

おけるイノベーションを推進する。また、データおよび管理プレーン双方に関するセキュリティと生存性要件の設計にも着手した。”

テルコディア陣営には、AT&T ラボ・リサーチ(AT&T Labs Research)社、AT&T ガバメント・ソリューションズ(AT&T Government Solutions)社、ノテル(Nortel)社、そして南カリフォルニア大学などが参画した。テルコディア陣営は、研究内容を以下のように発表した：

“CORONET プログラムのフェーズ 1 において、テルコディア陣営は、IP および光レイヤにおける超高速プロビジョニングと復旧のための画期的プロトコルとアルゴリズムを開発し、実演する。研究班では、今日の大型キャリア・ネットワークと一貫性のあるネットワーク・アーキテクチャにこれら成果を応用し、要求の多いアプリケーションに効率的に資する画期的方法を検討する。さらに、エンド・カスタマーのサービス要求への迅速な応答を可能にする、革新的クロスレイヤ容量管理機能を実装したネットワーク管理アーキテクチャを開発する。”

2 件のプロジェクトの競争的特質のため、両者の進捗に関する情報はほとんど公開されていない。しかし、最近の IEEE 会議では、BBN 社とテルコディア社の双方から、CORONET に関する招待論文が発表された⁶⁷。中でも、テルコディア社の論文は、動的サービスのためのプロビジョニング・プロトコル設計に関する進捗を説明した。安全上の理由から、プロトコル案には、公開・秘密鍵のペアを利用する標準技術、3 方向ハンドシェイクが採用された。

2.4.2 エネルギー省: ESnet OSCARS

エネルギー省(DOE)のオンデマンド・セキュア回線と高度予約システム(OSCARS: On-Demand Secure Circuit and Advance Reservation System)は、動的に設定された λ -交換ネットワーク(λ は、光ファイバー・ネットワークにおいてコミュニケーション・チャンネルとして利用される光波長を示す)に対するもう一つのアプローチである。

2004 年に誕生した OSCARS は、インターネット 2(Internet2)との共同プロジェクトである。現在は、科学データ・ネットワーク(SDN: Science Data Network)と称される ESnet4 大容量ネットワークに採用されている⁶⁸。SDN は、特定エンド・ポイント間で超高速データ転送を実現するパッチャル回路を設定するために動的 λ -交換を利用する、回路ベース・ネットワークである。制御ソフト

⁶⁷ [International Conference on Photonics in Switching 2009](#), Pisa, Italy, September 2009

⁶⁸ [ESnet's OSCARS Allows Users to Reserve Bandwidth](#), Lawrence Berkeley National Laboratory, July 2009

ウェアの最初の実装は、インターネット 2 BRUW プロジェクトをベースに実施された⁶⁹。OSCARS と BRUW はその後合体され、現在は共通コード・ベースを共有する。SDN 助成額は約 6,000 万ドルである⁷⁰。

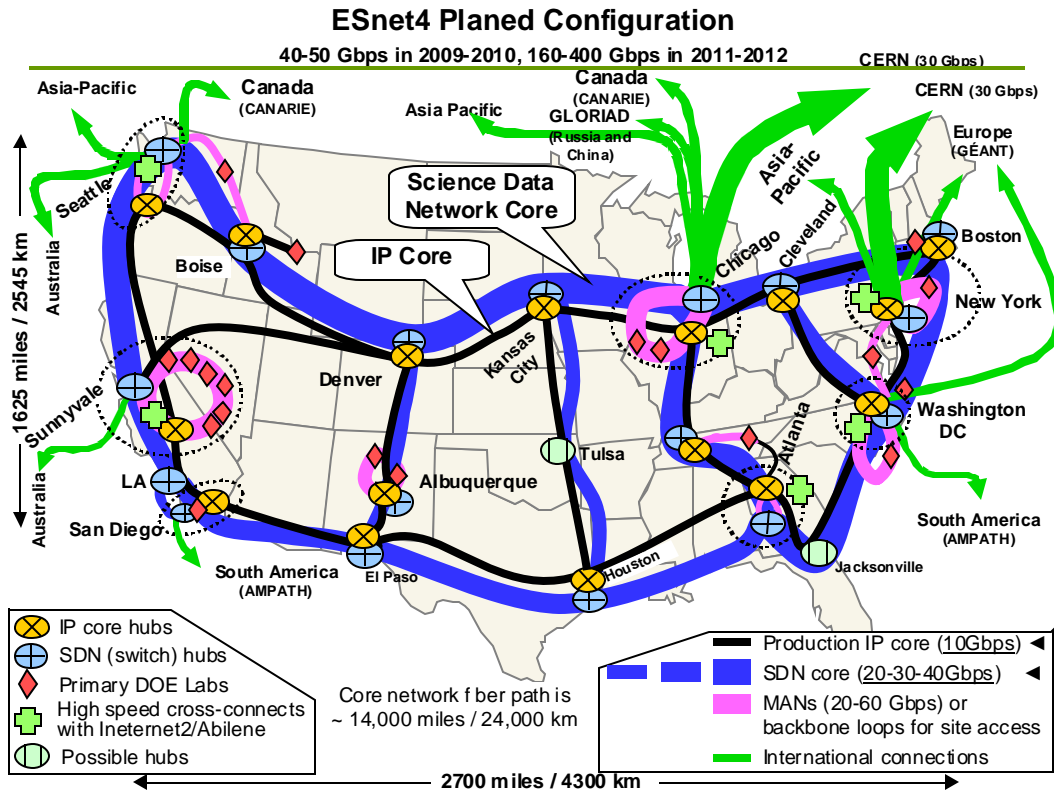
CORONET が 100 ミリ秒での交換を目指しているのに対し、OSCARS は、数分以内でのバーチャル回路の確立を目的とする。現在は、回路設定に約 10 分かかる。ユーザーが HTML リクエスト・フォーム経由でサービスを要求すると、リクエストはネットワーク・トポロジー・データベースへ送られ、リソースがある場合に限り、適切な回路が自動的に設定される。CORONET と同様に、初期設計にはユーザー・インターフェースを含むネットワーク・セキュリティが実装された。OSCARS では、管理プレーンはパケット交換 ESnet の一部であるレイヤ 2 IP ベース上に構築される。データ・プレーンは、レイヤ 1 λ -交換回線ベース・ネットワークである。回路は、パスに応じて毎秒 1~10 ギガバイトの容量に設定される。サービス契約とソフトウェア互換性次第では、回路は ESnet を超えて他のネットワークにも拡張される。以下の図は、ESnet 4 サービス・マップを示している⁷¹：

⁶⁹ [OSCARS and BRUW](#), Internet2, June 2007

⁷⁰ [Berkeley Lab to Develop World's Fastest Computer Network](#), Scientific Computing, Scientific Computing, 2009

⁷¹ [Networking for the Future of DOE Science](#), Lawrence Berkeley National Laboratory, 2008

図 2-2: ESnet4 ネットワーク地図



出典: Department of Energy

OSCARS は、複数ある動的 λ -交換プロジェクトの一つである。CORONET の他にも、NSF が助成する CHEETAH や DRAGON プロジェクト、インターネット 2 の BRUW と HOPI プロジェクト、CANARIE の UCLP プロジェクト、そして GEANT の BoD と AMPS の各種活動が挙げられる。

2.4.3 スタンフォード大学クリーンスレート・インターネット設計プログラム (Stanford University Clean Slate Internet Design Program)

スタンフォード大学のクリーンスレート・プログラムは、世界のコミュニケーション・インフラの再考と改善を目指す大学レベルの活動であり、漸進的なパッチというよりは、むしろ根本的進歩によるインターネットの改革を目指している⁷²。プログラム支援者には、独テレコム (Deutsche Telecom) 社、NEC 社、シスコ社、NTT ドコモ社、ザイリンクス (Xilinx) 社、NSF が含まれる。研究アイデアを試すため、スタンフォード大学は、独テレコムと日本の NEC 社から資金援助を得てクリーンスレート・ラボ (Clean Slate Lab) を設立した⁷³。2 社は現金その他による 450 万ドルのサポートを約束している。

クリーンスレート・プログラム下で実施された最初のプロジェクトの一つであるプログラマブル・オープン・モバイル・インターネット 2020 (POMI: Programmable Open Mobile Internet 2020) は、NSF から助成金 1,000 万ドルを獲得した。POMI 2020 の目的は、高速ワイヤレス・ネットワーク接続を利用するスマート・ハンドヘルド機器に対するネットワーク・サポートを改良することである。プロジェクトでは現在、既存の分離・独自ワイヤレス・ネットワークをオープン・プラットフォームに置き換える実験を行っている。

ある関連プロジェクトでは、オープンフロー (OpenFlow) と呼ばれる技術の開発に焦点を置いている。オープンフローは、クローズドかつ非互換の市販交換機とルーターを、標準インターフェース経由でプログラム可能にする技術である。これにより、研究者とキャンパスのネットワーク・アドミニストレータは、ネットワーク性能を最適化すると共に、市販ルーターには一般的に実装されていないようなネットワーク・サービスを導入することが可能になる。オープンフローは GENI プロジェクトに採用されており、キャンパス・ベース・ネットワークの研究者を GENI テストベッドに結び付ける方法として利用される。また、クリーンスレート・プログラムは、NSF の FIND/NetSE プログラムにも参加している。

⁷² [Clean Slate, an Interdisciplinary Research Program](#), Stanford University

⁷³ [Stanford, Deutsche Telekom, NEC form Clean Slate Lab to prototype 'disruptive' new Internet technologies](#), Stanford University, December 2008.

2.4.4 DARPA の国家仮想領域(National Cyber Range)

DARPA の国家仮想領域(NCR: National Cyber Range)は、GENI に幾分似たプロジェクトである。その目的は、研究者がネットワーク・アーキテクチャ概念を試すことができる、サイバー(仮想)シミュレーション環境を作ることである^{74,75}。同プロジェクトは、一部には国防ネットワークのサイバーセキュリティ改良の必要性によって正当化されており、省庁間包括的全米サイバーセキュリティ・イニシアチブ(Comprehensive National Cybersecurity Initiative)に盛り込まれている⁷⁶。ここで試験される概念の一部は機密扱いになることが予想されるため、NCR は極秘の運用環境を提供しなければならない。GENI と同じように NCR もフェーズ単位で開発が進められる予定であり、フェーズ 1 は設計、フェーズ 2 はプロトタイプ、フェーズ 3 は構築、そしてフェーズ 4 で運用となる⁷⁷。2009 年 1 月、DARPA はフェーズ 1 助成金授与プロジェクトを発表しており、その授与期間は約 8 ヶ月と計画された。各主要コントラクターは、民間企業、大学、そして連邦政府研究機関で構成されるチームを主導する。コントラクターと授与金額を以下に示す：

- BAE Systems 社 Information and Electronic Systems Integration 部門 ニュージャージー州ウェイン(327 万 9,634 ドル)
- General Dynamics Advanced Information Systems 社 - テキサス州サンアントニオ(194 万 4,094 ドル)
- Johns Hopkins 大学応用物理学研究所(Applied Physics Laboratory) メリーランド州ローレル(733 万 6,805 ドル)
- Lockheed Martin 社 Simulation, Training and Support(STS)部門 - フロリダ州オーランド(536 万 9,656 ドル)
- Northrop Grumman 社 Intelligence, Surveillance and Reconnaissance Systems 部門 - メリーランド州コロンビア(34 万 4,097 ドル)

⁷⁴ [National Cyber Range](#), DARPA, 2009

⁷⁵ [Broad Agency Announcement: National Cyber Range](#), DARPA, May 2008

⁷⁶ [Comprehensive National Cybersecurity Initiative: Legal Authorities and Policy Considerations](#), Congressional Research Service, March 2009

⁷⁷ [National Cyber Range Proposers' Day](#), DARPA 2008

- Science Applications International Corp (SAIC) 社 - カリフォルニア州サンディエゴ (282 万 1,725 ドル)
- SPARTA 社 - メリーランド州コロンビア (860 万 3,617 ドル)

DARPA によると、フェーズ 1 に続くフェーズへの申請資格は、フェーズ 1 受賞者に限定される。フェーズ 2～4 に関する予算と実施期間はまだ発表されていない。

NCR のプロトタイプを作成するフェーズ 2 では、1 社(団体)以上のコントラクターが選ばれると見られるが、NCR を構築するフェーズ 3 では、1 社(団体)に絞られる公算が高い。従って、NCR のアーキテクチャも 1 種類になる見通しである。これは GENI とは対照的であり、GENI の現状は、1 種類以上のアーキテクチャが継続されるであることを示唆している。

DARPA は、「政府はコントラクターに対し、関連法と輸出規制によって認められる範囲において、オープンソース・ソフトウェアとしてのソフトウェア開発を奨励する」と述べ、リベラルな知的財産プロビジョンへの期待を示している。

2.4.5 ホスト識別プロトコル(HIP: Host Identity Protocol)

ホスト識別プロトコル(HIP: Host Identity Protocol) は、新世代ネットワークの候補要素の一つであり、エンド・ポイント・コンピュータのアイデンティティを、その IP アドレスから分離するためのものである。これは、エンド・ポイントがモバイル機器であり、インターネット・ホットスポットやモバイル・キャリア間を移動するたびに異なる IP アドレスを受け取るような場合において重視される。HIP は、インターネット・アーキテクチャの根底にある問題、つまり、アーキテクチャは固定 IP アドレス・ベースであり、それ故にエンドポイントのアイデンティティは、ある一つのエンドポイント IP アドレスに拘束されるという問題の解決を目指すものである。(ちなみに、DNS ではこの問題は解決されない。というのは、DNS は名前と IP アドレス間の単なる相関的マッピングに過ぎないからである。)HIP は、インターネット研究タスクフォース(Internet Research Task Force)⁷⁸傘下の HIP 研究部会(HIP Research Group)の協力を得て、インターネット技術タスクフォース(Internet Engineering Task Force)⁷⁹傘下の HIP 作業部会(HIP Working Group)によって開発が進めら

⁷⁸ [Host Identity Protocol \(HIP\) Research Group](#), IRTF

⁷⁹ [Host Identity Protocol \(hip\) Working Group](#), IETF, December 2009

れている。作業グループの当座の目標は、大規模な HIP 試験実施に必要とされる、最小限のインフラ要素を確定することである。

プロトコルでは、新たにホスト識別 (HI) 名前空間が導入された。エンド・ポイントは、身元を保証する手段として公開鍵を交換することにより IP アドレス間を移動する。HI 名前空間の基本原理は、IP アドレス間を移動する間も、エンド・ポイントは HI 名前空間に継続的プレゼンスを確立する、というものである。

HIP は、協調するエンドポイント間に今日にでも導入することは可能であるが、その価値が広く生かされるためには、DNS や、インフラの新要素である HIP ランデブー・サーバー (HIP rendezvous server) を含む既存インフラによるサポートが必要である。他にも未解決の問題として、ネットワーク・アドレス変換 (NAT: network address translation) の処理方法、HIP 非認識 (HIP-unaware) アプリケーションとのインタラクション、そして HIP のためのネイティブ・アプリケーション・プログラム・インターフェース (API) が挙げられる。

HIP アーキテクチャとプロトコルの仕様は、2 件の文書 HIP アーキテクチャ (HIP Architecture, RFC 4423)⁸⁰とホスト認識プロトコル (Host Identity Protocol, RFC 5201)⁸¹ に詳述されている。

作業部会と研究部会は、いずれも国際的組織である。米国リーダーには、ジュニパー・ネットワークス (Juniper Networks) 社の David Ward 氏 (作業部会共同委員長) や、ボーイング・カンパニー (Boeing Company) 社の Tom Henderson 氏 (研究部会共同委員長) などが名を連ねる。

2.4.6 レジリネット (ResiliNets): 弾力的・存続可能ネットワーク (Resilient and Survivable Networks)

レジリネット (Resilinet) は、欧州情報科学数学研究コンソーシアム (ERCIM: European Research Consortium for Informatics and Mathematics)⁸²傘下のプロジェクトである。主要メンバーは、英国ランカスター大学 (Lancaster University) と米国カンザス大学であり、両者は弾

⁸⁰ [RFC 4423: Host Identity Protocol \(HIP\) Architecture](#), IETF, May 2006

⁸¹ [RFC 4423: Host Identity Protocol \(HIP\) Architecture](#), IETF, May 2006

⁸² [ResiliNets: Resilient and Survivable Networks](#), ERCIM, 2010

力性と存続可能性により優れたネットワーク・アーキテクチャ開発を目指して協力関係にある。米国の研究者は現在、ネットワーク・イノベーションのための大平原環境 (GpENI: Great Plains Environment for Network Innovation) の構築に焦点を置いており、将来のインターネット・アーキテクチャ研究をサポートするネットワーク・インフラの開発と展開に取り組んでいる。

GpENI は、プラネットラボ・クラスター、中でも DANTE や NORDUnet といった国際的研究ネットワークと GENI クラスターの提携可能性を模索する支援 (アウトリーチ) コンポーネントとして、GENI プロジェクト局から助成を受けている⁸³。また、GENI ネットワーク制御プロトコルを、国際的ネットワークで利用されるプロトコルと一貫性を持たせる方法についても研究を行うことが予定されている。

⁸³ [Measurement, Monitoring, and Outreach in the Great Plains Environment for Network Innovation](#), GENI Project Office

2.5 結論

本稿で紹介したプログラム・プロフィールを見ると、米国連邦政府がサポートする新世代研究開発について 3 つの重要なポイントが浮かび上がってくる。

まず第 1 点は、この領域の研究投資は過去数年で急速に伸びており、2009 会計年度には 1 億ドルを大幅に超え、おそらく 2 億ドルに迫っていると考えられる（助成の一部は、米国再生・再投資法に基づく特例追加予算として実施された）。この資金のほとんどは NSF と DARPA が受け取ったが、ESnet4 と OSCARS システムに対する DOE の予算割当額は 5,000 万ドルに迫る。

NSF は、それぞれ目的が異なる複数のプログラム傘下の数多くのプロジェクトに対し、この資金を分配している。異なるレベルのリスクとペイオフを備えた優れた研究ポートフォリオ管理と言えるかもしれないが、同時にそれは、個々の課題を持つ確立された大学研究グループに対し屈することであり、それらグループ間での困難な取捨選択を嫌う姿勢の表れである可能性もある。この相違を示す例が、短期的技術系アプローチとしての GENI と FIA と、長期的方向性のないアプローチとしての FIND/SetSE である。GENI 一つに関してさえ、NSF は技術的アプローチが大きく重複する 4~5 件の競合するアーキテクチャを 3 年以上もサポートしており、その分野を絞り込む見通しも何ら発表していない。

内部に明らかな矛盾があるにもかかわらず、NSF のネットワーク研究プログラムは、価値ある多くのアイデアの研究をサポートしてきた。GENI 傘下の水中音響ネットワークや、NetSE の下で開発されている装着可能なワイヤレス・センサー・ネットワークは、本稿で前述した興味深い概念の例である。前者は、イーサネットに対する音響アナログを開発した。電磁波は水中では上手く送信されないが、逆に音波は上手く送信されることから、その開発は必要なものだった。後者は、日常生活を営むボランティアから、社会心理学的データを継続的に収集することを可能にした。

DARPA では、この資金はより集中して分配される。NCR プロジェクトに関しては、DARPA はフェーズ 1 で 7 チームを助成したが、初年度にほとんどのチームを除外する計画だった。そのプレゼン資料には、約 3~4 年以内に、コントラクター 1 社(者)によって運用されるテストベッド試作品を構築することが暗示されている。このスケジュールは、先の研究プロジェクトに見られた DARPA 慣行と非常に一貫性がある。CORONET プログラムに関しては、1 年以内にソリューションを決定し、その後数年以内には 100 ミリ秒、またはそれよりも高速なエンド・ツー・エンドパス交換機能を持つ DWDM ネットワークの構築を見込む。この DARPA のアプローチは、GENI に対する NSF のアプローチとは対極にある。

第 2 のポイントは、インターネットとその関連ネットワーク・アプリケーションには、サイバーセキュリティを筆頭に重大な問題があり、対応が必要であるとの認識が高まっていることである。政府や民間企業による“バンドエイド”的処置(応急的処置)にも関わらず、窃盗、詐欺、恐喝、破壊行為、そしてスパイ行為が原因の経済的損失と国家安全不安は増え続けており、解消される兆候もない。同時に、インターネット・ユーザーに正当なプライバシーを約束する取り組みは、繰り返し起こる機密漏えいによって挫折している。この傾向は、ネットワーク研究予算の増加を強く正当化するものである。しかし、インターネット改善を目指し何年も(約 5~10 年)続けられた多大な努力は、応急的処置のみで実際のところほとんど実を結んでいない。世界で IPv4 アドレス不足が急速に進んでいるために必要とされる IPv6 と、DNS を狙った壊滅的攻撃を避けるための DNSSEC は、応急的処置の中でもおそらく最も成功する可能性がある。これら 2 案は長年に渡り開発されてきたが、その 2 件でさえ成功は決して保証されていない。これら 2 件を除けば、長年の研究強化にもかかわらず、短期的に基本的改良が期待されるものは、例えあったとしてもわずかである。この事実は、ネットワーク・アーキテクチャ研究の価値を無くしはしないが、インターネットに実用的な改良を付加することの難しさを改めて露呈した。

第 3 のポイントは、インターネットの基本的アーキテクチャの大幅変更は、不可能かもしれないという認識が広がっていることである。改良が受け入れられるのが難しいのは歴史的にも明らかであり、この主張は経験的に裏付けられるが、経済の実態が更に確固たる証拠を呈している。インターネット上には数十億というノードが存在し、更にその数は急速に伸びている。インターネット技術を置き換えるためにかかる資本コストは膨大であり、おそらく数兆億ドル規模になる。コスト以外にも、アーキテクチャへの変更を準備するには困難がつきまとう。最後にインターネット・アーキテクチャに重大な変更があったのは、1983 年 1 月である。このとき、ARPA は NCP プロトコルから TCP/IP プロトコルへの変更を義務付けた。APRPA は当時研究資金を管理しており、変更を義務化することも可能であった。今日、インターネットは誰からも所有されておらず、その変更を義務付けるような力は誰にもない。

これらの結果から引き出される、おそらく最も可能性が高い結論は、基本的インターネットは、仮に進化するとしても、緩やかだということである。しかし、防衛、金融、そして電気、水道などのユーティリティ管理といった特別なニーズのあるコミュニティは、現在進行中の研究から導かれる特別なアーキテクチャを利用し、ニーズにより適した並行プライベート・ネットワークの構築が可能になる。実際、研究の一部はこの可能性だけに着目し、これら専用ネットワークがどの程度インターネットに密接に関わるかを探っている。例えば、λ-交換 DWDM ネットワークのような技術は、異なるアーキテクチャ向けの特別な“パイプ”が、一緒に走行しているが、完全に分離した状態で

あることを可能にする。専用ネットワークと標準インターネット間で情報をいかに交換するかという重要な課題は、今も解決されておらず、積極的な研究が続けられている。