

# アメリカ合衆国における ICT 研究開発動向等 に関する調査

調査報告書

NICT ワシントン事務所

委託先 Washington | CORE

2008 年 3 月

---

# アメリカ合衆国における ICT 研究開発動向等に関する調査

---

## 目次

<b>1</b>	<b>米国の情報通信技術に関する予算と政策</b> .....	<b>1</b>
1.1	2008年度連邦 IT R&D 予算概要.....	5
1.2	2009年度 IT R&D 予算の動向.....	17
1.3	第 110 議会の IT R&D への影響.....	21
<b>2</b>	<b>連邦政府によるこれまでの取り組み</b> .....	<b>27</b>
<b>3</b>	<b>連邦政府通信 R&amp;D 計画と優先分野</b> .....	<b>30</b>
3.1	通信 R&D コーディネーションと計画 (Communications R&D Coordination and Planning).....	30
3.2	2007 年高度ネットワーキング R&D 連邦計画.....	31
3.3	2001 年 LSN ワークショップ (LSN Workshop, 2001).....	32
3.4	その他計画文書.....	34
<b>4</b>	<b>米国政府の通信 R&amp;D 活動</b> .....	<b>35</b>
4.1	主な注力分野.....	35
4.2	全米科学財団 (NSF) の研究活動.....	40
4.3	エネルギー省 (DOE) の研究活動.....	49
4.4	国防高等研究事業局 (DAPPA) の研究活動.....	51
4.5	その他の DoD 研究活動.....	55
4.6	米国標準技術院 (NIST: National Institute of Standards and Technology) の研究活動.....	60
4.7	その他機関の研究活動.....	62
<b>5</b>	<b>結論</b> .....	<b>63</b>

## 1 米国における IT R&D に関する予算と政策

「ネットワーキング及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。省庁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、約 6 億ドルの予算が割り当てられた。同プログラムに対する 2008 年度の大統領予算要求額は、参加 13 機関に対し 30 億ドルとなっている。

ICT R&D は引き続き現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受けている<sup>1,2</sup>。正式プログラムの年間予算は 30 億ドルとなっている<sup>3</sup>。その他に関連国防活動 (embedded defense activities) 予算として多額の資金が拠出されているが、そうした支援が、必ずしも予算増額につながるわけではない。

2008 年度の予算折衝に入るまで、ICT R&D 予算の見通しは非常に明るかった。ブッシュ大統領の「米国競争力イニシアチブ (American Competitiveness Initiative)<sup>4</sup>」と連邦議会の「アメリカ COMPETES 法 (America COMPETES Act)<sup>5</sup>」の双方が、ICT R&D 分野において突出した機関の R&D 予算の大幅増額を提案していたからである。しかし、予定からほぼ 3 ヶ月遅れの 12 月 26 日に終了した実際の予算配分作業は、ブッシュ政権と連邦議会間の優先課題争いに翻弄され、さらに国内向け裁量支出に関し、強固な立場を崩さない大統領の要求に足を引きずられる格好となった。最終予算額はまだ発表されていないが、ICT R&D 予算額は 2007 年度予算の微増にとどまるものと見られる。

---

<sup>1</sup> [Analytical Perspectives, Budget of the United States Government, Fiscal Year 2008](#), Office of Management and Budget, February 2007

<sup>2</sup> [FY 2009 Administration Research and Development Budget Priorities](#), Office of Science and Technology Policy, August 2007

<sup>3</sup> [Networking and Information Technology Research and Development: Supplement to the President's FY 2008 Budget](#), National Coordination Office for Networking and Information Technology Research and Development, August 2007

<sup>4</sup> [American Competitiveness Initiative](#), The White House, February 2006

<sup>5</sup> [America COMPETES Act, P.L 110-69](#), August 2007

このプログラムを理解するには、以下に示すいくつかの政策・計画文書が鍵となる：

1. *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)*<sup>6</sup>：省庁横断型タスクフォースが作成し 2004 年に発表されたこの計画は、現在も多額の連邦資金とプログラムの機動力となっている。特に国家安全保障庁(NSA: National Security Agency)と国防総省(DoD: Department of Defense)国防高等研究事業局(DARPA: Defense Advanced Research Projects Agency)は、ペタフロップス(petaFLOPS、1ペタフロップスは1秒あたり $10^{15}$ 回の浮動小数点演算が可能であることを示す)レベルに迫るコンピュータ・システムの業界における開発を支援しており、エネルギー省(DOE: Department of Energy)の国家核安全保障局(NNSA: National Nuclear Security Administration)と同省科学局(Office of Science)、全米科学財団(NSF: National Science Foundation)、そして米航空宇宙局(NASA: National Aeronautics and Space Administration)も、システムの調達を通じてそれを支援している。「リーダーシップ・システム(Leadership system)」と呼ばれるこれらシステムの民間研究への広範な供給は、DOE/SCとNSF、NASAによって実施されている。一部政府機関はハイエンド・コンピューティング技術分野の学術研究に資金を提供しており、恒常化しつつあるR&D予算の下落傾向に歯止めをかけている。最後に、これらシステムの性能を評価するための省庁間の協力はDARPAの「高生産性コンピューティング・システム(HPCS: High Productivity Computing Systems)プログラム」が仲立ちとなって実施されており、その評価は安易なベンチマークに対するものではなく、現実世界の計算実行能力を重視して行われている。
2. *連邦政府サイバー・セキュリティ・情報保証R&D計画(Federal Plan for Cyber Security and Information Assurance Research and Development)*<sup>7</sup>：省庁横断型グループが作成し2006年に発表されたこの計画は、同分野の研究をICT R&Dポートフォリオに組み込ませるとともに、全体的な調整プロセスに複数の機関や局を追加参加させることに貢献した。サイバー・セキュリティと情報保証は現在、同プログラムの中で拠出額が5番目に大きいカテゴリーとなっている。

---

<sup>6</sup> [Federal Plan for High-End Computing](#), National Science and Technology Council, May 2004

<sup>7</sup> [Federal Plan for Cyber Security and Information Assurance Research and Development](#), National Science and Technology Council, April 2006

3. 「挑戦を受けるリーダーシップ」 - 競争社会における情報技術 R&D 開発 (*Leadership Under Challenge: Information Technology R&D in a Competitive World*)<sup>8</sup> : 大統領科学技術諮問委員会 (PCAST: President's Council of Advisors on Science and Technology) が作成し 2007 年に発表されたこの文書は、NITRD プログラムを評価したものである。現在の連邦 ICT R&D を概ね支持する一方で、小規模で短期的、かつ調整力に乏しいプログラムが多すぎる点を批判し、長期的で大規模、かつ分野横断的で先見性のある R&D を推進している。また、そのためには計画と調整フレームワークの見直しが必要であると指摘し、IT 分野の優秀な学生の獲得と訓練を強化する必要性を訴えた。各省庁は現在、PCAST の提言に応える計画を作成中である。
4. 連邦政府高度ネットワーキング R&D 計画: 中間報告案 (*Federal Plan for Advanced Networking Research and Development: DRAFT Interim Report*)<sup>9</sup> : 省庁横断型グループが作成し、2007 年 5 月に意見を求める草案が発表されたこの計画は、向こう 10 年間の連邦政府のネットワーキング必要条件達成のために必要な包括的研究戦略を示したものである。米国がブロードバンド・ネットワーク展開において他国に遅れたことを問題視し、科学技術政策局 (OSTP: Office of Science and Technology Policy) の指示により作成された<sup>10</sup>。
5. 2009 年度政権 R&D 予算優先事項 (*FY 2009 Administration Research and Development Budget Priorities*)<sup>11</sup> : 行政予算管理局 (OMB: Office of Management and Budget) と OSTP の局長によって作成され 2007 年 8 月に発表されたもので、政権の優先事項として IT R&D の重要性を強調している。参加機関に対し、IT R&D 投資の優先順位決定に際し、PCAST による提言 (前掲) を考慮するよう求めている。また、連邦政府の高度ネットワーキング R&D 計画 (前掲) を達成するとともに、ネットワーク研究投資の優先順位決定に際し本計画を利用するよう求めている

---

<sup>8</sup> [Leadership Under Challenge: Information Technology R&D in a Competitive World](#), President's Council of Advisors on Science and Technology, August 2007

<sup>9</sup> [Federal Plan for Advanced Networking Research and Development: DRAFT Interim Report](#), National Science and Technology Council, May 2007

<sup>10</sup> [OECD Broadband Statistics to December 2006](#), Organization for Economic Cooperation and Development, December 2006

<sup>11</sup> FY 2009 Administration Research and Development Budget Priorities, op. cit.

総合政策に関しては、ブッシュ政権は最近数年間の傾向を踏襲し、IT R&D 分野の中でも技術領域を重視する方向に傾いているようである。

- ハイエンド・コンピューティング・システム開発と初期導入を含むサイバーインフラ (Cyberinfrastructure)
- 全光ネットワークとグリッド・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・セキュリティとテロ対策アプリケーション

ブッシュ政権と連邦議会はサイバー侵入とデータ盗難に遭ったことで各方面から非難され、政府のコンピュータ・システム向けセキュリティ・ポリシーの強化を強いられた。しかしそれにも関わらず、政府の全体的な IT 政策にも大幅な変化の兆候はあまり見られない。OMB は省庁機関に対し、大統領マネジメント・イニシアチブ (President's Management Initiative) をてこに、サイバー・セキュリティ改善、IPv6 採用、そしてウェブ・サービスとエンタープライズ・アーキテクチャによる相互運用性の向上を引き続き求めている。また、各省庁から OMB に提出される年次報告「Exhibit 300-B」の中に、各省庁のプロジェクト・レベルでの取り組みを盛り込むよう義務付けることにより、IT 投資の賢明な管理の重要性を再確認している。

## 1.1 2008 年度連邦 IT R&D 予算概要

ブッシュ大統領は 12 月 26 日、「2008 年統合歳出予算法 (Consolidated Appropriations Act of 200812)」に署名し、これを受けて 2008 年度予算手続きは、新会計年度開始からほぼ 3 ヶ月を経て終了した。大統領と議会の膠着状態は、大統領の強硬な国内向け裁量支出要求に対し、議会が 220 億ドルの増額要求を取り下げたことをきっかけに解消された。最終法案には、議会の要求でバイオメディカル研究、環境研究(特に気候変動)、そしてエネルギー技術プログラム向け予算が追加され、追加分を捻出するため、大統領要求の中から物理科学と工学向け予算が減額された。

物理科学と工学分野への投資は、アメリカ COMPETES 法によって定められている。しかし、それにも関わらず議会は予算確保に失敗し、さらに自ら要求して作成され、法律成立にも寄与した報告「強まる嵐を超えて (Rising Above the Gathering Storm)<sup>13</sup>」に沿った対応もとらなかったことに対し、学界および産業界は議会に猛烈な批判を浴びせた。批判のほとんどは、競争が激化する世界経済において、米国は知的資源によってのみ繁栄が可能であり、また連邦助成 R&D に対する支援の欠如は、経済成長を刺激するイノベーションの開発を制約するという事実に集中している。

---

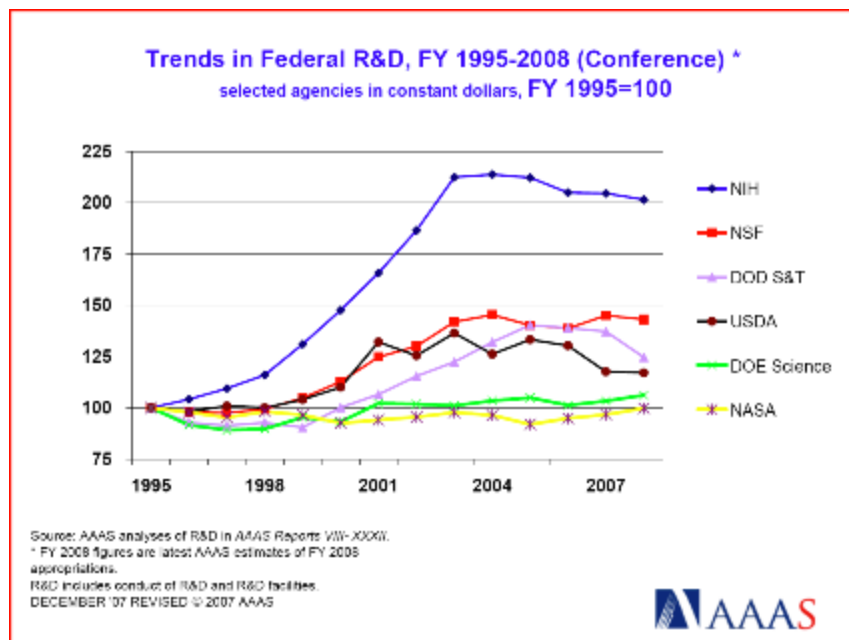
<sup>12</sup> [Consolidated Appropriations Act, 2008](#) (P.L. 110-161)

<sup>13</sup> [Rising Above the Gathering Storm: Energizing and Employing America for a Brighter Economic Future](#), National Academies, 2007.

### 予算の歴史的解析と2008年度歳出予算

最大手研究機関の連邦 R&D 予算の推移を図 1 に示す。金額はいずれもインフレ調整済みである。2008 年はほとんどの省庁機関で予算が減額され、一部機関では大幅減額となっている。

図 1: 1976 ~ 2008 年度 省庁機関別連邦 R&D 予算推移<sup>14</sup>



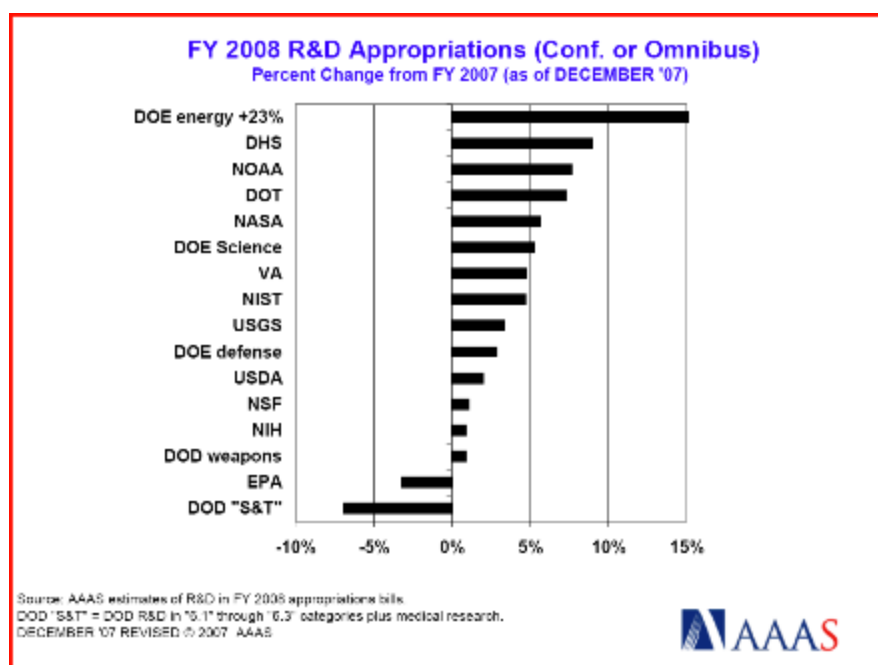
出典：AAAS, January 8, 2008

<sup>14</sup> [Trends in Federal R&D, FY 1976-2008](#), AAAS, December 2007



しかし、比較の対象を R&D 実施機関に広げると、勝者と敗者が明確に浮かび上がってくる。図 2 は、機関別に R&D 予算配分額の伸長率 (%) を示したものである。それによると、DOE のエネルギー技術プログラムの伸び率が最も大きく、DoD の”S&T”は下げ幅が最も大きかった。国土安全保障省(DHS: Department of Homeland Security)は堅調な伸びを示した(2007 年の減額後)。

図 2: 2008 年度 機関別連邦 R&D 歳出予算対前年度伸長率<sup>15</sup>



出典: AAAS, January 8, 2008

<sup>15</sup> [Trends in Federal R&D, FY 1976-2008](#), op. cit.

2008 年度の ICT R&D 予算はまだ最終化されていないが、ICT に関与する大手連邦政府機関のほとんどは 2007 年度予算から 1~2%の増額となっている。これはインフレ率をわずかに下回るが、図 1 に示された一般的傾向とは極めて整合性がある。伸び率が大きいのは、DoD における基礎研究、あるいは「6.1」とも呼ばれる研究予算の 2007 年度比約 3%成長と、DOE 科学局の高度科学的コンピューティング研究(ASCR: Advanced Scientific Computing Research)の同 24%増の 2 分野である。DoD の IT R&D 予算の伸長率は、おそらく前掲の 3%に達しないと思われるが、それはひとつに、DoD の中では IT R&D 予算最大の受領者のひとつである DARPA の予算が、ほぼ前年並みになると予想されるからである。DOE・ASCR 予算の 24%増加分のほとんどは、IT R&D に対してであるが、それには議会によって条件が設けられている。その条件とは、ORNL のリーダシップ・クラス・コンピュータ・システムに資金を拠出すること、DARPA の HPCS プログラムに引き続き参加すること、サンディアおよびオークリッジ国立研究所のアルゴリズム開発研究所に対し、国家核安全保障局(NNSA: National Nuclear Security Agency)と共同出資することである。

2008 年度歳出予算の機関別分析はもちろんだが、それを機能的観点から考察するのも有益である。次のセクションでは、予算配分を精査するとともに、2008 年度歳出予算において重視されると思われる具体的な研究トピックスを取り上げる。

### **2008 年度歳出予算に関する機能的分析**

2008 年度歳出予算は、その作成に当たり生じた混乱を反映する内容となっている。そこには明確な傾向がなく、ほとんどのカテゴリーは程度の差こそあれ 2007 年度並みに維持されている。2008 年度歳出予算はかなりのハイレベルで省庁機関のプログラムをコントロールするが、ブッシュ政権は R&D プログラムにおいて何らかの選択をすることで、その優先事項を反映させることができる。政権の覚書「R&D 予算優先事項(Administration's Research and Development Budget Priorities)」は、歳出予算に対する大統領の優先事項を示す内容となっている<sup>16</sup>。大統領は、予算の範囲内において米国競争力イニシアチブの実施を目指すものと思われる。それ以外では、いくつかの省庁横断型プログラムが引き続き優先される。優先される分野の例を以下に示す：

---

<sup>16</sup> FY 2009 Administration Research and Development Budget Priorities, op.cit.

- 高度ネットワーク情報技術 (NITRD: Advanced Networking and Information Technology)
- 国土防衛と国家防衛 (Homeland Security and National Defense)
- エネルギーと気候変動技術 (Energy and Climate Change Technology)
- 気候変動科学 (Climate Change Science)
- 国家ナノテクノロジー・イニシアチブ (NNI: National Nanotechnology Initiative)

以下のセクションでは、ICT R&D を含む政府優先分野に対する予算総額と、特に NITRD プログラムの予算、および歳出予算の現状に焦点を当てる。

### 連邦 ICT R&D 予算の分析

大統領の 2009 年度予算要求には、NITRD プログラムに関する最新の 2007 年度予算実績と 2008 年度推定額が、省庁機関レベルで示されている。表 1 は、それをまとめたものである。

表 1: 2007-2008 年度機関別 NITRD 予算<sup>17</sup>

NITRD 参加機関	2007 年度 実績 (百万ドル)	2008 年度 推定 (百万ドル)	伸長率 (%)
国防総省 (Defense)	1,194	1,267	6
全米科学財団 (National Science Foundation)	909	931	2
保健社会福祉省 (Health and Human Services)	566	556	-10
エネルギー省 (Energy)	349	436	25
商務省 (Commerce)	76	85	12
航空宇宙局 (National Aeronautics and Space Administration)	91	86	-9
環境保護庁 (Environmental Protection Agency)	6	6	0
国立公文書館 (National Archives and Records Administration)	4	5	25
<b>合計</b>	<b>3,195</b>	<b>3,372</b>	<b>6</b>

出典 : President's FY 2009 Budget Request, February 2008

2007 年度実績は、2008 年度大統領予算要求で示された同年度推定額を、ほぼ 8% 上回っている。これは、予算決定が年内に実施されるようになって以来、ほぼ全ての会計年度で起きている。驚くべきことは、2008 年度の連邦 R&D 予算総額の 2007 年度比伸び率が 3% 未満であるのに対し、NITRD 予算総額は、ほぼ 6% の成長が見込まれていることである。それは、大統領の初期予算要求に盛り込まれた伸び率をも超えており、政権が歳出予算内でその決定権を行使し、NITRD プログラムを優先したことを示している。

<sup>17</sup> [President's FY 2009 Budget Request, Analytical Perspectives](#), February 2008

省庁機関の中では、前述の通り、DOE 予算の伸び率が 25%と最も大きかった。国立公文書館 (NARA: National Archives and Records Administration) の伸び率も大きい、それはもとの数値が小さかったためである。保健社会福祉省 (HHS: Health and Human Services) は 10% 減と下げ幅が最も大きかったが、それには国立衛生研究所 (NIH: National Institute of Health) 予算の縮小が関係している。NIH は、歴史的に、臨床研究を全ての優先事項に優先させる傾向がある。NASA も 9%と減額幅が大きく、有人宇宙飛行プログラムに対する需要の影響を受けたものと思われる。NASA は、これらプログラムのために、全ての科学関連プログラムの合理化を余儀なくされている。

### **NITRD2008 年度予算要求と 2007 年度推定比較(機能分野別)**

NITRD プログラムでは、各機能分野はプログラム・コンポーネント・エリア (PCA: Program Component Areas ) と呼ばれる。PCA レベルの 2008 年度予算配分額に関するデータはまだ公開されていない。しかし、NITRD が優先されていることを考慮すると、NITRD の国家調整事務局 (National Coordination Office) が報告した 2008 年度大統領予算要求に記載された PCA 内訳は、その信頼性がかなり高いと思われる。表 2 は、2008 年度大統領予算請求に盛り込まれた 2007 年度、および 2008 年度の PCA 別予算を伸長率とともに示したものである。

表 2: 2007-2008 年度 PCA 別 NITRD 予算(要求額)<sup>18</sup>

PCA	2007 年度 推定 (百万ドル)	2008 年度 要求 (百万ドル)	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)	971.2	1022.8	5.3
ハイエンド・コンピューティング R&D (HEC R&D: High End Computing Research & Development)	279.7	288.6	3.2
サイバー・セキュリティと情報保証 (CSIA: Cyber Security & Information Assurance)	212.6	217.7	2.4
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)	784.0	767.3	-2.2
大規模ネットワークング(LSN: Large Scale Networking)	384.6	416.5	8.3
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)	149.4	145.6	-2.5
IT に関する社会・経済・労働力問題 (SEW: Social, Economic, & Workforce Implications of IT)	113.6	131.0	15.3
ソフトウェア設計と生産性 (SDP: Software Design & Productivity)	71.9	71.3	-1
合計	2967.0	3060.8	3.2

出典: President's FY 2008 Budget Request, February 2007

表 2 によると、SEW PCA 予算は、分母は小さいながら伸び率では最大だった。それは、NSF がコンピューティング関連研究への参加、および国際労働力調査を増やしたことに、ほぼ全面的に依存している。

LSN は、金額と伸長率の双方で大きな伸びを示した。増額分のほとんどは、GENI プログラムを含む NSF と DARPA プロジェクトによるものである。

<sup>18</sup> Networking and Information Technology Research and Development: FY 2008 Supplement to the President's FY 2008 Budget, op. cit.

HEC I&A の大幅増額も、主に NSF で発生している。NSF は、グリッド・コンピューティングを含む科学と工学コンピューティングのためのハードウェア、ソフトウェア、およびサービスを支援しており、DOE/SE は、SciDAC と高度コンピュータ・プロトタイプに関する研究を支援している。

表 2 にみられる比較的小さな変化は、大統領の予算要求において説明されている。

## ICT R&D2008 年度予算配分と 2007 年度推定比較(機関別)

### ➤ 国防総省(DoD: Department of Defense)

DoD は、陸軍未来戦闘システム (Army's Future Combat Systems) や、汎 DoD ネット中心型機能ポートフォリオ (DoD-wide Net-Centric Capability Portfolio) といったプログラムを通じ、「戦力多重増強要員」として ICT を牽引している。グローバル情報グリッド (Global Information Grid) におけるサイバー・セキュリティを改善するため、DoD は、DHS が主導する全米サイバー・セキュリティ・イニシアチブ (National Cybersecurity Initiative) を支持するとともに、独自のサイバー・セキュリティ関連活動を強化している。また、DoD の高性能コンピュータ近代化局 (High Performance Computer Modernization Office) は、科学工学研究に従事する有力コンピュータ関連施設を支援している。DARPA と NSA は、ハイエンド・コンピュータ開発とその他 ICT の有力な支持組織である。DARPA は、革新的ネットワーク技術に関する研究に長年投資しており、その技術は現在、戦場で展開されている。DARPA の高生産性コンピューティング・システム (HPCS: High Productivity Computing Systems) プログラムは、ハードウェアとソフトウェア・プラットフォーム開発の初年度を迎え、現実社会のコンピューティング負荷にも上手く対応できる技術の開発に取り組んでいる。DOE と NSA を含む複数の省庁機関は、HPCS のパートナーである。HPCS はこれまで IBM とクレイ社に膨大な開発資金を提供しており、サンと SGI 社にも、金額的には劣るが資金を拠出している。NSA は研究契約と大規模調達を通じ、ハイエンド・コンピュータ開発に長年資金援助を行っている。最近では、クレイ社の次世代共有メモリ・ベクター・スーパーコンピュータ開発を支援している。現在のクラスター基盤のアーキテクチャでは、NSA の特殊なコンピューティング・ニーズに十分対応できないからである。DoD の基礎研究(6.1 プログラムと呼ばれる)予算は全体で 3.2%の増額が期待されるが、一方、応用研究(6.2 プログラム)は 6.3%削減の見通しである。DARPA の主力 ICT プログラムのうち、情報通信技術 (Information & Communications Technology) の予算はほぼ前年度並みの 2億 3,000 万ドルに落ち着き、認知コンピューティング・システム (Cognitive Computing Systems) 予算は 6%増の 1億 7,500 万ドルが想定されている。

➤ **エネルギー省(Department of Energy)**

エネルギー省科学局(SC: Office of Science)は、主に高度科学的コンピューティング研究(ASCR: Advanced Scientific Computing Research)局を通じ、ICT R&D 分野で重要な役割を果たしている。科学担当次官(Undersecretary for Science)の Ray Orbach 博士は、ハイエンド・コンピューティングを支持し、それにより科学工学の推進に貢献したことで知られる。SC の SciDAC プログラムは、ASCR とその他研究局の連携を図り、科学的シミュレーションの推進を図っている。INCITE プログラムは、コンピュータ使用時間の大半を超大型モデリング開発に当てており、受益者には民間企業が含まれる。SC は複数の科学コンピューティング・センターと ES ネット(ESnet) データ・ネットワークを管理しており、オークリッジ国立研究所では、クレイ基盤のリーダーシップ・システム(Leadership system)について、ペタフロップ水準への機能更新を進めている。その一環として、SC は DARPA の HPCS プログラムと連携体制を築いている。ASCR は、重要な応用数学と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データ集約的アプリケーションを支持し、ネットワーク研究を行っている。SC 予算は 2008 年度に 5.3%増額されたが、議会の用途指定がなければ 1.3%に縮小される。SC 内組織では、ASCR 局が 24%増となっている。



DOE の国家核安全保障局 (NNSA: National Nuclear Security Administration) は、その活動のほとんどが機密扱いであるにもかかわらず、ICT R&D 分野における重要なプレイヤーである。NNSA の ICT への関与は、初期のマンハッタン・プロジェクト (Manhattan Project) に由来する。マンハッタン・プロジェクトでは、原子爆弾の爆縮ダイナミクスを計算するために、初めてコンピュータが使われた。1960 年代と 1970 年代には、より強力な兵器の設計を目指し、IBM、CDC、クレイによる一連のスーパーコンピュータ開発に拍車がかかった。NNSA の前身組織は、核実験全面禁止条約 (Comprehensive Test Ban Treaty) の締結を受け、加速戦略的コンピューティング・イニシアチブ (ASCI: Accelerated Strategic Computing Initiative) を提案している。それは、核実験を、膨大な計算で置き換えてしまおうというものである。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、事前調達を通じ、IBM、SGI、HP 社、その他企業の世界最強コンピュータ開発を助成している。ハードウェア調達は、“完全物理学”シミュレーションに必要な 3D コードを開発するための、複数年のソフトウェア・プロジェクトに支えられている。残念なことに、クラスター・ベース・アーキテクチャの非効率性と一部の物理学的過程が高度に困難であることが判明するにつれ、100 テラフロップ・コンピュータは兵器設計と保証に十分であるという当初の予想は、あまりに楽観的すぎたことが証明された。今日、NNSA は独自の ASC プログラムを通じ、完全物理学という目標に取り組んでいるが、難しい現実には直面している。ASC の 2008 年度予算は、2007 年度から 6.1% 減の 5 億 7,400 万ドルである。NNSA の NITRD 予算は 4,580 万ドルだったが、2008 年度は減額が予想されている。

➤ **全米科学財団(NSF: National Science Foundation)**

NSF は、政府の最大かつ最も多角的な ICT プログラムのひとつを支援している。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・センター管理や、中核コンピュータ科学とコンピュータ工学研究、ICT の科学工学分野での利用に関する広範な研究にいたる。2008年、NSF は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(CDI: Cyber-enabled Discovery and Innovation Initiative)を開始した。これは、NSF 全体の取り組みで、初年度予算は 4,790 万ドル、向こう 4 年間に毎年同程度の増額が見込まれている。CDI は、非常に広範、かつ野心的な目標を掲げており<sup>19</sup>、その成功は、仮に部分的であっても R&D に多大な影響を及ぼす可能性がある。(最近の例では、NSF はスタンフォード大学における検索技術開発への支援、後にグーグル社のコア技術につながった事例がある。)2008年、イリノイ大学(University of Illinois)で実施される、予算 2 億ドルのペタフロップ・コンピュータ開発(IBM 社も参画)に助成する計画である<sup>20</sup>。NSF の 2008 年度 R&D 予算は 1.1%の微増にとどまり、NITRD 予算は 2%増となった。

➤ **米国標準技術院(NIST: National Institute of Standards and Technology)**

NIST では、主に 2 つの研究所が ICT R&D に関与している。具体的には、情報技術ラボラトリー(ITL: Information Technology Laboratory)が、数学 / 計算科学、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、情報アクセス、そして統計工学分野のプログラムを、電気電子工学ラボラトリー(EEEL: Electronics and Electrical Engineering Laboratory)が、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 デバイス開発に貢献する技術に焦点を当てている。NIST の R&D 予算総額は、大統領の要求額通り 4.7%増額された。しかし、議会が中核研究プログラムの予算を削減したことを受け、NIST の実際の研究予算は 0.8%減となっている。減額分は、施設予算と、新設された技術イノベーション・プログラム(TIP: Technology Innovation Program)に配分された。TIP は、政権によって廃止された高度技術プログラム(Advanced Technology Program)の後継プログラムである。

---

<sup>19</sup> [Fact Sheet: Cyber-enabled Discovery and Innovation](#), NSF, February 2007

<sup>20</sup> [I.B.M. Near Supercomputer Contract](#), The New York Times, August 6, 2007

## 1.2 2009年度IT R&D予算の動向

2009年度のR&D重点分野は、ブッシュ政権R&D予算優先事項(Administration Research and Development Budget Priorities)覚書と、大統領2009年度予算要求において特定されている。本セクションでは、これら優先事項がICT R&Dに与えると思われるインパクトについて論じる。

2009年度は、新しい大統領就任の年である。歴史的に、民主党大統領と民主党支配議会は応用研究と技術開発を好む傾向があり、一方の共和党大統領と共和党支配議会は、より基礎的、かつ前競争的研究を優先してきた経緯がある。(両党の違いは、高度技術プログラムを巡る攻防によく現れている。)ICT R&Dは、両要素を持つと考えられており、具体的中身にある程度の違いはあるものの、両党の支持を獲得しやすい。これを前提とすれば、2009年度予算要求を将来の方向性を示すものとして精査することは、理に叶っている。

### **政権優先事項に関するR&D予算予測**

**米国競争力イニシアチブ(American Competitiveness Initiative)**: ブッシュ政権は、バイオ医療研究予算を年間7%ずつ増額して最終的に倍増したのにならぬ、2016年までに物理科学分野への国家投資を倍増する考えを表明している。省庁機関レベルに置き換えると、NSF、DOE/SC、そしてNISTの中核研究予算が倍増される。大統領は、2009年度予算要求で、2008年度に実現しなかった増額分を補うことを提案している。その結果、2009年度は、NSF13.6%、DOE/SC18.8%、NISTの中核的内部研究に21.5%の増額をそれぞれ要求している。また、予算要求の中で大統領は、議会の用途指定予算の再浮上に懸念を表明している。2008年度は、議会の用途指定予算により、R&D予算増額分4億8,000万ドルの半分が消えた。大統領は議会に自制を求めているが、選挙年にそれは難しいと思われる。

**高度ネットワークとハイエンド・コンピューティング(Advanced Networking and High-End Computing)**: 大統領は、NITRD予算として、2008年度要求額の14%増に相当する35億ドルを要求している。高度ネットワーク、サイバー・セキュリティ、そしてハイエンド・コンピューティングが注目されている。

**ナノテクノロジー (Nanotechnology) :** 国家ナノテクノロジー・イニシアチブ (NNI: National Nanotechnology Initiative) も、引き続き政権優先事項に指定された。IT R&D とは直接関係はないが、NNI は、ナノ材料とプロセス用シミュレーション・ツール開発において NITRD と提携している。また、ナノ製作 (nano-fabrication) とナノ製造 (nano-manufacturing) の進歩は、言うまでもなく情報技術への応用が期待される。

**国土防衛 (Homeland Security) :** ICT R&D の観点から、国土防衛は、情報分析、情報共有、脅威検出などの分野を網羅する。

**気候変動科学 (Climate Change Science) :** 本プログラムの予算は、12%増の 20 億ドルが見込まれている。気候モデリングは、膨大なコンピュータ計算時間を必要とするが、その短縮・改善を目指す取り組みは、大規模マルチスケール・モデルに関する科学を牽引している。

**防衛 R&D (Defense R&D) :** DAPRA 予算は、基礎研究予算を含め 11%増となっている。

### **機関別 R&D 予算予測**

NSF: NSF の予算要求総額は、2008 年度歳出予算を 13.6% 上回る総額 68 億 5,000 万ドルである。この予算内で ICT R&D に最も関係する組織は、サイバーインフラ局 (Office of Cyberinfrastructure)、コンピュータと情報科学工学 (Computer and Information Science and Engineering)、工学 (Engineering)、そして数学と物理科学 (Mathematical and Physical Sciences) である。ICT R&D と関連の深い汎 NSF イニシアチブには、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 (CDI: Cyber-enabled Discovery and Innovation) (1 億ドル)、ムーアの法則を超える科学工学 (SEBML: Science and Engineering Beyond Moore's Law) (2,000 万ドル)、適応システム技術 (AST: Adaptive Systems Technology) (1,500 万ドル)、そしてサイバー・セキュリティ (1 億 1,700 万ドル) がある。NSF の予算増額分は、物理学、化学、数学、コンピュータ科学、電子工学、および ICT の科学研究応用といった各分野の基礎研究の補強に充てられる。応用サイドでは、ナノテクノロジー、コンピュータ・アーキテクチャとソフトウェア、ネットワーキング、そしてサイバー・セキュリティ分野のイノベーションの促進が対象になると思われる。表 3 は、関連 NSF 組織の予算を抜粋したものである。

表 3: 2008-2009 年度 NSF 予算(抜粋)

NSF 組織	2008 年度推定 (百万ドル)	2009 年度要求 (百万ドル)	伸長率(%)
サイバーインフラ局 (Office of Cyberinfrastructure)	185	220	18.8
コンピュータと情報科学工学 (Computer and Information Science and Engineering)	535	639	19.5
数学・物理科学 (Mathematical and Physical Sciences)	1,167	1,403	20.2
社会・行動・経済科学 (Social, Behavioral and Economic Sciences)	215	233	8.5

**DOE 科学局:** DOE 科学局は、エネルギーに関連する広範な物理科学研究に投資している。具体的には、物理学、化学、生物学、数学、コンピュータ科学、材料科学、地質科学(ジオ科学)、環境科学、そして工学である。科学局は、数千人の米国人および外国人科学者によって利用される複数の大規模科学研究施設も管理しており、それにはスーパーコンピュータ・センターや ES ネット(ESnet) データ・ネットワークが含まれる。ICT R&D 関連活動では、NITRD、ナノテクノロジー・イニシアチブ、および気候変動科学に参加している。科学局は、2009 年度予算として 2008 年度比 18.8% 増の 47 億 2,000 万ドルを要求している。

**NIST(中核):** NIST の中核研究活動は、標準規格の開発と維持、テストベッド運用、そして民間企業との共同作業など、応用研究になる傾向がある。IT 関連イニシアチブは、サイバー・セキュリティ、バイオメトリクス、IPv6、ソフトウェア信頼性と保証、電気工学、ナノテクノロジー、材料科学、そして製造プロセスなどである。NIST 中核研究と施設に関する予算要求額は、2008 年度歳出予算を 21.5% 上回る 6 億 3,400 万ドルである。

**防衛(Defense):** DoD は、高度ネットワーキング、サイバー・セキュリティ、コンピュータ科学、そして科学コンピューティングなどの分野で ICT R&D を手がけている。DoD の基礎研究予算は、15.8%増の 17 億ドルである。このうち、DARPA の基礎研究予算は 12%増の 1 億 9,600 万ドルである。DARPA の主な ICT R&D 関連基礎研究プログラムとその予算は、情報通信技術 (Information & Communications Technology) 2 億 5,400 万ドル、認知コンピューティング・システム (Cognitive Computing Systems) 1 億 4,500 万ドル、電子技術 (Electronics Technology) 2 億 1,100 万ドルなどである。DARPA の関連応用研究プログラムには、ネットワーク中心戦争技術 (Network-Centric Warfare Technology) 1 億 5,600 万ドル、センサー技術 (Sensor Technology) 2 億 2,600 万ドル、サイバー・セキュリティ・イニシアチブ (Cyber Security Initiative) 5,000 万ドルなどがある。

#### **その他機関:**

上記の他にも、米国海洋大気局 (NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration) や NASA が ICT R&D に携わっている。NOAA の研究は、ハイエンド・コンピュータや大規模データ記憶装置、そして周辺ソフトウェアを必要とする、天気と気候に関するミッションに関連して実施されている。NOAA は、運用・研究・施設予算としてほぼ前年度比横ばいの 29 億ドルを要求していることから、NOAA の ICT R&D 予算も、前年度 2,330 万ドルから変わらないと思われる。NASA の ICT R&D における役割は、主に計算科学と高度ネットワーキングに関係している。NASA は 2008 年度比 2.9%増の予算を要求しているが、2008 年度 NITRD 予算が前年度から 9%減額されたことを考えると、2009 年度もプログラム拡張は見込めない。NASA は独自のハイエンド・コンピュータ・システム「コロンビア (Columbia)」のアップグレードを模索している。コロンビアは、短期間ながら、かつては世界最大システムのひとつだった。

### 1.3 第 110 議会の IT R&D への影響

#### IT R&D に対する議会の姿勢

第 110 議会はその会期も終了に近づき、これから重要な法案が可決される可能性は低く、2009 年度歳出予算法でさえもその成立は危うい。第 110 議会の会期中、新たに支配勢力となった民主党は、その種類に関わらずほとんど法案を可決していない。民主党は議席獲得数で共和党を上回ったといえ、下院、特に上院における議席数の差はごく僅かである。上院では、賛否両論を呼んだ法案の採決に際し、共和党の議事妨害を阻止するため 60 票が必要になったほどである。それが十分ではないとでもいうように、大統領が拒否権発動をちらつかせ、政治的アジェンダを追求する意欲が削がれてしまった。事実、大統領は最初の歳出予算法に関し拒否権を発動している。しかし、これら失敗にもかかわらず、一部の議会の活動、あるいは無活動には、議論に値するものがある。

**P.L 110-69: 2007 年アメリカ競争法 (America COMPETES Act of 2007):** 議会は同法を超党派精神によって可決し、大統領が 8 月 9 日に署名した。同法は、大統領の米国競争力イニシアチブのポイント、例えば物理科学研究予算の倍増などを認可した点において、影響力が大きかった。また、数学と科学教育改善措置も認可している。しかし同時に、E-ARPA と呼ばれる後期段階にあるエネルギー技術プログラムなど、政権にとって好ましくないプログラムも承認された。アメリカ COMPETES 法の影響は、まだ明らかでない。前述の通り、2008 年度歳出予算は同法を無視している。

同法は、2005 年 5 月に委託された全米科学アカデミーによる調査の結果を受けて、先に提出された複数の法案を統合して作成された。科学アカデミーへの本調査の依頼は、ほとんど前例のないことだが、上院エネルギー・天然資源委員会のエネルギー小委員長 (Alexander) と幹部メンバー (Bingham) 、および下院科学委員長 (Boehlert) と有力メンバー (Gordon) による書簡の形で行われた。等しく異例だったのは、科学アカデミーが自らの予算で調査を実施することに合意したことである。調査は著名なパネルを召集した上で夏に準備され、2005 年 10 月に最終報告が議会に提出された。慎重なことで知られる科学アカデミーにとって、それは異例の早さだった。

**R&D 税還付 (R&D Tax Credi):** 再承認を求める業界からの圧力にもかかわらず、R&D 税還付は、減税条項に関する民主党の“pay-go”公約に巻き込まれる形で、2007 年末に期限切れした。代替ミニマム税 (Alternate Minimum Income Tax) による減税を延長する必要があったことも、その廃止を急がせる原因になった。代替ミニマム税は、議会が相殺増税の排除に最終的に応じたことを受けて、その年の終わりに可決された。

**歳出予算 (Appropriations):** 2008 年度歳出予算の結果は、先のセクションで触れた。議会の政策という観点からみれば、ICT R&D に十分な予算を配分しなかったことは熟慮の末の行動とは言いがたく、ひとえに議会と政権間の危機に反応した結果といえる。これは、夏に作成された下院と上院の両歳出予算案において、ICT R&D に気前よく予算が配分されていたことから明らかである。残念なことに、最終的な国内向け自由裁量予算口座 (Domestic Discretionary accounts) の 220 億ドルの増額は、大統領にとって容認しがたいものであり、大統領は土壇場で遡及見直しを要求した。2009 年度歳出予算は、選挙が終わるまで決定されない公算が高く、おそらく来年 1 月に大統領と新下院メンバーが就任した後になると思われる。2008 年度は 4,000 億ドルを超える巨額の財政赤字が見込まれており、予算増額は非常に厳しい状況である。大統領の 2009 年度要求は、国内自由裁量予算に関し、インフレ率を遥かに下回る僅か 1% 増を求めているに過ぎない。一方、科学分野には、惜しみない予算が配分されている。民主党支配の議会が社会プログラムの削減を簡単に容認するとは考えられず、現時点で 2009 年度歳出予算結果を予想するのは非常に困難である。

### **連邦議会における主要 ICT R&D 関連プレイヤー概要**

2006 年の選挙後、民主党は下院・上院両議会で過半数を獲得した。民主党議員が全委員会のリーダーシップを自動的に獲得するに伴い、多くの委員会で任務の見直しが行われた。下院科学委員会の委員長を務めた Boehlert 議員の引退に伴い、科学に関する強いが穏健な意見が排除された。各種議会組織のメンバーが連邦政府の R&D 活動を監視するが、それら全てが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真のリーダーシップを発揮しているわけではない。次の表は、現在の IT R&D 関連リーダーと、その所属委員会または小委員会、監督分野、および 2008 年の (再選) 選挙出馬の有無についてまとめたものである。

現時点では、2008 年の選挙でも民主党が下院・上院両院における支配力を維持、あるいは拡大すると予想されている。従って、リーダーシップは、第 110 議会から第 111 議会にかけて極めて安定した状態で移行すると思われる。



ICT R&D にとって最大の政治的懸案は、誰が大統領に選ばれるかである。共和党候補者は、アリゾナ州選出のマケイン上院議員であるが、ICT R&D に特別な関心を示していない。実際、同議員は、国内政策に対する関心の無さを批判される傾向がある。同議員は地球温暖化対策の熱心な支持者であり、これが R&D 活動支援につながる可能性がある。民主党サイドでは、クリントン氏とオバマ氏の接戦がまだ続いている。いずれの候補者も R&D について確固とした考えを表明しておらず、それぞれの考えを見極めるのは困難である。

	<b>連邦議会議員</b>	<b>委員会</b>	<b>2008年11月任期 満了のともなう改選 有無<sup>21</sup></b>
<b>上院</b>	Robert Byrd (民 - ウェストバージニア州) <b>委員長 (Chairman)</b>	予算 (Appropriations)	無
	Thad Cochran (共 - ミシシッピ州) <b>幹部メンバー (Ranking Member)</b>	予算 (Appropriations)	有
	Barbara Mikulski (民 - メリーランド州) <b>委員長 (Chairman)</b>	予算 (Appropriations) - 商業・ 司法・科学・および関連機関 (Commerce, Justice, Science, and Related Agencies)	無
	Richard Shelby (共 - アラバマ州) <b>幹部メンバー (Ranking Member)</b>	予算 (Appropriations) - 商業・ 司法・科学・および関連機関 (Commerce, Justice, Science, and Related Agencies)	無
	Daniel Inouye (民 - ハワイ州) <b>委員長 (Chairman)</b>	商業科学・運輸 (Commerce Science, and Transportation)	無
	Ted Stevens (共 - アラスカ州) <b>幹部メンバー (Ranking Member)</b>	商業科学・運輸 (Commerce Science, and Transportation)	有
	Bill Nelson (民 - フロリダ州) <b>委員長 (Chairman)</b>	商業科学・運輸 (Commerce Science, and Transportation ) - 科学・宇宙 (Science and Space)	無

<sup>21</sup> [United States Senate Elections, 2008](#), Wikipedia, 2007

	<b>連邦議会議員</b>	<b>委員会</b>	<b>2008年11月任期 満了のともなう改選 有無<sup>2)</sup></b>
	Kay Bailey Hutchinson (共-テキサス州) <b>幹部メンバー</b> (Ranking Member)	商業科学・運輸 (Commerce Science, and Transportation ) - 科学・宇宙 (Science and Space)	無
	John Kerry (民-マサチューセッツ州) <b>委員長 (Chairman)</b>	商業科学・運輸 (Commerce Science, and Transportation) - 科学技術・イノベーション (Science, Technology, and Innovation)	有
	John Ensign (共-ネバダ州) <b>幹部メンバー</b> (Ranking Member)	商業科学・運輸 (Commerce Science, and Transportation) - 科学技術・イノベーション (Science, Technology, and Innovation)	無
<b>下院</b>	David Obey (民-ウィスコンシン州) <b>委員長 (Chairman)</b>	予算 (Appropriations)	有
	Jerry Lewis (共-カリフォルニア州) <b>幹部メンバー</b> (Ranking Member)	予算 (Appropriations)	有
	Alan Mollohan (民-ウェストバージニア州) <b>委員長 (Chairman)</b>	予算 (Appropriations) - 商業・司法・科学・および関連機関 (Commerce, Justice, Science, and Related Agencies)	有
	Rodney Frelinghuysen (共-ニュージャージー州) <b>幹部メンバー</b> (Ranking Member)	予算 (Appropriations) - 商業・司法・科学・および関連機関 (Commerce, Justice, Science, and Related Agencies)	有
	John Dingell (民-ミシガン州) <b>委員長 (Chairman)</b>	エネルギー・商業 (Energy and Commerce)	有

	<b>連邦議会議員</b>	<b>委員会</b>	<b>2008年11月任期 満了のともなう改選 有無<sup>2)</sup></b>
	Joe Barton (共-テキサス州) <b>幹部メンバー</b> (Ranking Member)	エネルギー・商業 (Energy and Commerce)	有
	Edward Markey (民-マサチューセッツ州) <b>委員長 (Chairman)</b>	エネルギー・商業 (Energy and Commerce) - 通信・インターネット (Telecommunications and the Internet)	有
	Fred Upton (共-ミシガン州) <b>幹部メンバー</b> (Ranking Member)	エネルギー・商業 (Energy and Commerce) - 通信・インターネット (Telecommunications and the Internet)	有
	Bart Gordon (民-テネシー州) <b>委員長 (Chairman)</b>	科学・技術 (Science and Technology)	有
	Ralph Hall (共-テキサス州) <b>幹部メンバー</b> (Ranking Member)	科学・技術 (Science and Technology)	有
	Brian Baird (民-ワシントン州) <b>委員長 (Chairman)</b>	科学・技術 (Science and Technology) - 研究科学教育 (Research and Science Education)	有
	Vernon Ehlers (共-ミシガン州) <b>幹部メンバー</b> (Ranking Member)	科学・技術 (Science and Technology) - 研究科学教育 (Research and Science Education)	有

新大統領と議会の双方にとって、R&D 予算は、税務政策や財政赤字、ヘルスケア、および無償給付を巡るより大きな論争の「尾ひれ」にしかならない可能性が高い。イラク戦争の緊張は緩和が予想されるが、“平和の配当”が R&D 強化に充てられるかは疑わしい。ICT R&D 予算が実際に縮小されるわけではないが、向こう数年の成長幅を予想するのは難しい。グローバル化に伴う厳しい経済の現実、政府の関心を研究に向かわせるが、それでも他分野に、より多くの関心が向かう可能性がある。

これらの不確定要素にもかかわらず、とりわけ高度ネットワーキングを含む、2、3件の ICT R&D に関する課題が注目されている。国家経済に対するネットワークの重要度が拡大していること、ネットワーク中心型戦争の勃興、ブロードバンド導入における米国のつまづき、そして現行ネットワークのセキュリティ脆弱性は、ネットワーク関連 R&D 予算を増大させるだけの十分な説得力がある。次の第 2 章では、高度ネットワーキング分野における研究計画と主要研究プロジェクトに焦点を当てるとともに、その目的と、連邦政府アジェンダにおける位置付けを詳述する。

## 2 連邦政府による通信ネットワーク分野における取り組み

米連邦政府は、電報が使われていた時代からこれまで、有線ネットワーキング分野の R&D を支援してきた。高度有線ネットワーキングに対する支援は、特に 1980 年代と 1990 年代に増加した。折しも、全米科学財団(National Science Foundation)が NSFNET の基幹ネットワーク容量の拡大を模索していた時である。NSFNET の前身は、1960 年代に ARPANET としてスタートしたネットワークであり、1990 年代半ばには商業インターネットの基盤となった。NSF と時を同じくし、他の省庁機関も高速ネットワークの開発に取り組んでいた。例えば、DOE のエネルギー科学ネットワーク(ESNET: Energy Sciences Network)、NASA の研究と教育ネットワーク(NREN: NASA Research & Education Network)、そして国防総省防衛教育ネットワーク(DREN: Defense Research & Education Network)などがそれに該当する。これら省庁機関は、全米の大学や研究所に所属するコンピュータ研究者によるコンピュータ資源共有ニーズの拡大を受け、ネットワーク容量の拡大を迫られていた<sup>22</sup>。

---

<sup>22</sup> 以下のサイトに、NSFNET の背景と、当時の省庁機関ネットワークが説明されている。  
<http://www.nsfnet-legacy.org/archive.php>, the event commemorating the 20<sup>th</sup> anniversary of the NSFNET backbone.

2000年になるまでの期間、ネットワーキング研究に関する連邦予算は、パケットベース・ネットワークの開発に集中していた。ネットワーキング研究とアプリケーションの歴史は、ネットワーク・インテリジェンスは中央プロバイダーによって制御されるべき(インテリジェンスの中央集中)と考えるグループと、ユーザーによって制御されるべき(インテリジェンスのエッジ分散)と考えるグループの間の、緊張の連続である。1950 - 60年代のAT&Tのネットワークは、ほぼすべてのインテリジェンスを中央に集中し、厳密に管理されたデバイスによる接続だけを認めていた。しかしこれは、1968年のカーターフォン判決(Carterfone Decision)をきっかけに変わり始める。カーターフォン判決によって、AT&Tは他のデバイスにネットワークを開放せざるをえなくなったのである。インテリジェンスの中央集中とエッジ分散に関する議論は、今日、サイバー・セキュリティ、ネットワーク監視、そしてネットワーク管理といった多くの研究トピックスの中にみられる。現在のネットワークは、両原則が混在する中で、機能面に不安を抱えている。

1990年代末、1996年通信改革法(Telecommunications Act of 1996)による市場規制緩和を発端に商業通信分野へ膨大な資金が流れ込み、大手および新興ネットワーキング・ベンダーは高速ネットワーキング、特に光技術への膨大な投資を開始した。シエナ・システムズ(Ciena Systems)やユリー・システムズ(Yurie Systems)などの光ネットワーク・スイッチング・ベンダは、この時期に設立された。ジュニパー・ネットワークス(Juniper Networks)に代表される新興企業は、高速パケット・スイッチを開発し販売した。ルーセント・ベル研究所(AT&Tから分離独立、設立された機器ベンダーのR&D部門)、ノーテル・ネットワークス(Nortel Networks)、そしてシスコ・システムズ(Cisco Systems)など有力ベンダーも、方向性を明確に定めた基礎研究と技術開発に多大な投資を行い、基幹ネットワークの容量拡大を目指した。

連邦政府には従来、公共セクターの研究投資は民間セクターの研究を補完するものであり、それを再現するものではないという、一般的な考え方がある。それに沿う形で連邦政府機関は1990年代末、高速ネットワーキングに対する投資から手を引いた。省庁機関は、DARPAのテラビット・ルーター(Terabit Router)プログラムなど一部の著名なプロジェクトを除き、高速ネットワーキング研究の展望拡大をネットワーキング・ベンダーに先導させることを好んだ。通信分野の連邦投資は、ワイヤレス分野により集中して実施された。同分野の最先端技術は、有線ネットワーキング分野に比べ成熟度が低く、基礎研究の影響がより大きかったからである<sup>23</sup>。

---

<sup>23</sup> 大統領行政府であるNITRD 国家調整事務局(National Coordination Office)の元局長、David Nelson 博士との議論。

2000年の通信業界崩壊は、ネットワーキング研究予算に深刻なギャップをもたらした。民間セクターは、1996年以降に設立された新参キャリア(competitive carriers)の多くが破産したことを受け、電気通信研究予算を大幅に削減した。市場にはネットワーク容量の過剰供給が発生し、ワールドコム社(WorldCom)といった企業が自社ネットワークへの投資を誘引するため、基幹IPトラフィックの増加を意図的に誇張していたのではないかという非難も聞かれた。いくつかの有望な光ネットワーキング関連の研究型新興企業は破産した。生き残った企業はルーセントのような大手ベンダーに買収されたが、それら企業の製品は、市場の縮小とともに買収企業によって開発が中止された。

この状況での問題は、連邦政府機関が高速ネットワーキング研究への投資拡大を怠り、民間セクターによるR&D縮小を補完しなかったことである。この分野の主な投資は、ミッション達成に高ビットレート・ネットワークを必要とする機関に集中して行われている。典型的な例は、エネルギー省科学局と国防総省である。科学局は、高度分散型グリッド・コンピューティングを利用し、高エネルギー物理学研究を支援している。また、国防総省は、米軍の新しい戦略的原則である「ネットワーク中心型戦争」を支援するため、グローバル情報グリッド(GIG: Global Information Grid)を開発中である。

本稿では、高速ネットワーキングと関連技術に関する基礎研究と初期段階の開発に注力する省庁機関のプログラムを詳述する。

### 3 連邦政府によるネットワーク・通信 R&D 計画と優先分野

#### 3.1 ネットワーク・通信 R&D コーディネーションと計画 (Communications R&D Coordination and Planning)

ネットワーキングの基礎研究と応用研究のほとんどは、連邦政府のネットワーキング IT R&D (NITRD: Networking and Information Technology Research and Development) 小委員会によって調整されている。NITRD は、米国政府の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)事例の中でも最も歴史が古いプログラムのひとつである。省庁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、約 6 億ドルの予算が割り当てられている。同プログラムの 2009 年度大統領予算要求は、参加 13 機関に対し 35 億ドルとなっている<sup>24</sup>。

NITRD 小委員会とその作業部会の会員資格は、政府職員に限定される。連邦法は、非政府組織による不適切な影響を懸念し、連邦プログラムの計画または実行において、それら組織を定期的に関与させることを妨げている。NITRD は、ワークショップや特別会合を開催し、民間セクターの見解の把握に努めている。民間セクターの組織は、政府の助成金と契約によって実施されるプロジェクトにおいて、重要な役割を果たしている。

NITRD では、大規模ネットワーキング (LSN: Large Scale Networking) 調整グループ (Coordinating Group) が、連邦政府が助成する通信関連基礎研究を調整する役割を担っている。LSN の 2009 年度予算要求額は、4 億 8,300 万ドルである。LSN の会員機関には、NSF、DARPA、OSD、DoD サービス研究組織、NIH、DOE/SC、NSA、NASA、NIST、AHRQ、DOE/NNSA、NOAA、および USGS が含まれる。

過去数年内に、通信 R&D に関する 2 件の省庁横断型計画が発表された。これら計画からは、現在の研究優先分野に対する米国政府の洞察が得られるとともに、将来の投資分野を予想することができる。以下のセクションでは、これら計画を説明する。

---

<sup>24</sup> [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, Executive Office of the President, February 2008.



### 3.2 2007年高度ネットワーキング R&D 連邦計画

2007年1月、科学技術政策局(OSTP: Office of Science and Technology Policy)局長の John Marburger 博士は、「高度ネットワーキング R&D 連邦計画(Federal Plan for Advanced Networking Research and Development)」作成に取り組む NITRD の小委員会の下、高度ネットワーキングのための省庁横断型タスクフォース(ITFAN: Interagency Task Force for Advanced Networking)を設置した。タスクフォースの会員は、DoD (OSD とサービス)、DOE/SC、NARA、NASA、NIH/NLM、NIST、NSA、NSF、OSTP、そして USDOJ などであり、NCO がこれをサポートしている。会員は LSN 会員とほぼ同じだが、DoD 傘下の軍組織が新たに参加している。計画作成プロセスには、これら機関から複数の代表者が参加し、向こう 10 年のそれぞれのミッション達成に必要とされる最も重要なネットワーキング・ニーズについての見解を詳細に説明した。その後、既存のネットワーキング R&D プログラム・ポートフォリオが対応していないニーズが判断され、「ギャップ分析」が実施された。

2007年5月、タスクフォースは本計画の暫定素案を公開し、第3者の意見を求めた<sup>25</sup>。素案は、連邦通信研究の総合的目的として以下4点を設定している。

- 第1の目的は、**ネットワーク・サービスをいつでもどこでも提供することである**。既存のインターネットを、より多くの異種デバイスやサービス、そして基盤ネットワークに拡張する。ユーザーは、使用する技術の詳細について心配することなく、シームレスなネットワークを享受できる。
- 第2の目的は、**セキュアでグローバルな連合ネットワークを可能にすることである**。この目標のキーワードは連合(federated)であり、異なる管理体制や技術を持つネットワークの連合を目指している。効率的かつセキュアな広帯域送信を可能にし、さらに効率性と透明性の妥協を最小限に抑えたネットワーク・プロバイダー間の推移を実現する。
- 第3の目的は、**ネットワークの複雑性および不均一性管理を向上することである**。それには、複雑なネットワークの特性に対する理解を深めるための研究と、その知識を基としたネットワーク監視と管理を向上するツール開発が必要である。

---

<sup>25</sup> [Federal Plan for Advanced Networking Research and Development: DRAFT Interim Report](#), Interagency Task Force for Advanced Networking, May 2007.

- 第4の目的は、**新世代の高度ネットワーク・システムと技術開発におけるイノベーションを促進することである**。新しいニーズや機会の発生に応じたネットワークの進化を可能にする。

暫定計画案は、これら目的達成に向けた連邦政府による基礎研究への助成と、研究成果を実際に展開するために研究者、企業、および政府機関による連携を提唱している。また、連邦政府による特定のネットワーキング要件は、ネットワーク研究への助成を正当化するものであると認められる一方、本計画の下で開発された技術は、民間セクターでも幅広い応用の可能性があるとして指摘している。

計画案はまた、本計画に関連した既存のネットワーク R&D を一覧表示している。それによると、大統領の 2007 年度予算要求 4 億 1,900 万ドルのうち、約 2 億 4,300 万ドルがネットワーキング R&D に投資されている。本計画の対象範囲を外れる R&D には、セキュリティ管理問題、アプリケーション特定ソフトウェア、現在の連邦政府による研究工学活動を支援する高度ネットワークの展開、および新機能の商業開発と展開がある。以下に続く分析では、広範な LSN 対象範囲に含まれる助成プロジェクトを取り上げる。

### 3.3 2001 年 LSN ワークショップ(LSN Workshop, 2001)

2007 年の草案報告に盛り込まれた目的と初期の計画文書を比較すると、興味深いことがわかってくる。2001 年、LSN は意義のある企画立案ワークショップを開催し、結果を報告書として発表した<sup>26</sup>。ワークショップの目的は、参加機関の研究課題を設定することだった。そのため、各機関に共通する最も重要なネットワーキング研究ニーズの把握に、多大な労力を割いている。ワークショップの結果は、LSN 機関の研究課題に多大な影響を与えている。

表 4 は、2001 年報告書に盛り込まれた優先分野と、2007 年版に記載された優先分野を比較したものである。

---

<sup>26</sup> [Workshop on New Visions for Large-Scale Networks: Research and Applications](#), Large Scale Networking (LSN) Coordinating Group of the Interagency Working Group (IWG) for Information Technology Research and Development (IT R&D), March 2001

表 4: 2007 年報告書に記載された目標と 2001 年報告書に記載された研究ニーズの比較

2001 年 LSN ワークショップ: 研究ニーズ	2007 年計画案: 目標
(1) 適応・動的・スマート・ネットワーキング (Adaptive, Dynamic, and Smart Networking)	(1) ネットワーク・サービスをいつでもどこでも提供する (Provide network services any time, any where)
(3) 信用: セキュリティ、プライバシー、信頼性 (Trust: Security, Privacy, and Reliability)	(2) セキュアでグローバルな連合ネットワークを実現する (Make secure, global, federated networks possible)
(2) 測定、モデリング、シミュレーション、拡張性 (Measurement, Modeling, Simulation, and Scalability)	(3) ネットワークの複雑性と不均一性を管理する (Manage network complexity and heterogeneity)
(4) ネットワーキング・アプリケーション (Networking Applications)	対象外
(5) ネットワーキング・ミドルウェア (Networking Middleware)	対象外
(6) テストベッド (Testbeds)	対象外
(7) 協調環境 (Collaboration Environments)	対象外
(8) 画期的研究 (Revolutionary Research)	(4) 新世代高度ネットワーク・システムと技術の開発においてイノベーションを促進する (Foster innovation in development of new generations of advanced network systems and technologies)
(9) ネットワーキング原理の再訪 (Revisit Networking Fundamentals)	(4) に関連

表 4 で各年の内容を比較すると、2007 年の計画では、対象範囲が明らかに限定されている。少々不可解なのは、連合ネットワークの特徴から、セキュリティが排除されたことである。最終報告では、現在の意見受付期間中に寄せられたコメントを基に、内容に調整が加えられると思われる。

### 3.4 その他計画文書

NSF は 2005 年、「将来のインターネットのための新アーキテクチャとディスラプティブ(破壊性)技術:ワイヤレス・モバイル・センサー・ネットワーク展望(New Architectures and Disruptive Technologies for the Future Internet: The Wireless, Mobile, and Sensor Network Perspective)<sup>27</sup>」に関するワークショップを企画した。ワークショップは、ワイヤレス技術がデータ・ネットワークに与える影響に焦点を置いて実施され、結果、この種のネットワークに関係するアーキテクチャ上の課題に関する研究強化を提唱するとともに、研究上のイノベーションをある程度の規模で調べるために、大規模な試験用テストベッドの構築を提案した。

NSF は 2007 年、OECD と共同で「将来のインターネットを形作る社会的・経済的要因(Social and Economic Factors Shaping the Future of the Internet)<sup>28</sup>」に関するワークショップを開催した。ワークショップでは、プライバシーと説明責任を含む、セキュリティ、可用性、および回復力の向上ニーズが議論された。

NSF と NITRD LSN グループは 2008 年 4 月、「光ネットワークにおけるクリティカルな課題(Critical Challenges in Optical Networking)」に関するワークショップを開催する計画である。詳細はまだ公開されていないが、ワークショップは多くの組織の研究者に公開され、その内容は ITFAN の最終報告書作成に活用される予定である。

---

<sup>27</sup> [New Architectures and Disruptive Technologies for the Future Internet: The Wireless, Mobile, and Sensor Network Perspective](#), National Science Foundation, August 2005.

<sup>28</sup> [Social and Economic Factors Shaping the Future of the Internet](#), National Science Foundation and Organization for Economic Cooperation and Development, January 2007

## 4 米国政府のネットワーク・通信 R&D 活動

### 4.1 主な注力分野

連邦政府が助成して進行中のネットワーキング研究プロジェクトをみると、以下に挙げる 3 つの主要注力分野が浮かび上がってくる:

#### **注力分野 1: 光ファイバー・ベース高度ネットワーキング技術(Advanced optical-fiber based networking technology)**

1970 年代にコーニング・グラス・ワークス(Corning Glass Works)で最初の低損失ファイバーが発明されて以降、広域ネットワーク向け光ファイバーの利用は膨大な進化を遂げている。今日は、減衰が非常に低くなったため、リピーター間の距離は 500~800 キロメートルがあたり前となっている。同分野の研究は、以下に示す光ネットワークの主要機能に焦点を当てている。

1. **チャンネルあたりのデータ帯域(Data band-width per channel)**: 当初の帯域幅は 45Mbps だったが、ファイバー、レーザー、変調器、および検波器の改良により、現在、商業用シングル・チャンネルの帯域幅は 40Gbps に向上されており、今後も一層の広帯域化が期待されている。
2. **減衰率と光増幅(Attenuation rate and optical amplification)**: 光ファイバーは本来、完全に受動的であり、実用的な距離は短かった。数キロメートル程度で光が弱くなるため、光を電子データに変換し、電気信号を増幅、さらに別の光ファイバーに信号を送るため別のレーザーを変調する必要がある、リピーターを追加する必要があった。しかし今日は、全面的な光対応が実現され、光ビームを直接増幅することで、ファイバーを使った長距離通信が可能になった。さらに、改良ファイバーのおかげで減衰なく光をさらに遠くに送ることが可能になり、光リピーターは、数 100 キロメートルごとに設置するだけでよい。
3. **ファイバーあたりのチャンネル(Channels per fiber)**: 本来、ファイバーでは光の“一色”しか光らなかったため、伝送されるチャンネルはひとつに限られていた。しかし、異なる周波数に同調された複数のレーザーを使い、ファイバー内で同時に複数の色を、干渉の心配なく光らせることが可能になった。受信側で、フィルターが色を分離し、オリジナルのデータ・ストリームを回復させる。複数の異なる色を使い複数のチャンネルを作る方法を、波長分割多重方式(WDM: Wave Division Multiplexing)と呼ぶ。今日は WDM を利用して最大 8 チャンネルが伝送されており、毎秒テラビット単位の広帯域通信を可能にしている。

4. **光チャンネル・スイッチング(Optical channel switching:  $\lambda$ -switching)**: 光ファイバー通信は本来、厳密にいうとポイント・ツー・ポイント型である。信号が、ファイバーの受信側で電気に戻される。スイッチングは電氣的に行われ、光に再変換されたデータが別のファイバー経路を伝って送信される。ファイバー交換による経路の再設定は手作業であり、数分から数時間がかかっていた。今日は、個々のチャンネル( $\lambda$ -switching)を、ファイバーからファイバーへと完全に光学的に切り換えることが可能になった。経路設定に要する時間は、ソフトウェア利用によって一秒未満に短縮されている。その結果、「動的プロビジョニング(dynamic provisioning)」が可能になり、エンド・ツー・エンド回路が迅速に設定され、途中で電氣的な変換作業をすることなく、一色以上の光を利用してデータを送ることができる。これを実現するには、標準ソフトウェアとハードウェアの開発が必要であり、しかもそれらは、管理、設定、解体、および、複数のネットワークとサービス・プロバイダーを経由するデータ経路の管理の各制御が、容易に行えるようであればならない。

これら進歩の結果、政府系ユーザーは、超大型データセットの迅速かつ長距離送信の可能性に、非常に高い関心を示している。例えば米国は、大型ハドロンコライダー(LHC: Large Hadron Collider)について、欧州と協調関係にある。LHCは、高エネルギー物理学的加速装置であり、近くスイスで完成が予定されている。LHC実験で収集されるデータは、年間ペタバイト・レベルに達すると推定され、データセット1つがテラバイト規模になるとみられている。10Gbpsのエンド・ツー・エンドのネットワークでさえ、ひとつのテラバイト大ファイル転送に約1,000秒かかることから、送信速度を上げる手段として、チャンネル幅の拡大、WDM、および $\lambda$ -switchingが多大な関心を集めている。

インターネット2(Internet2)は毎年、「インターネット2ランド・スピード・レコード(Internet2 Land Speed Record)」と呼ばれるコンテストを後援している。2007年大会終了時点の最速記録は、経路3万キロメートルに対し9.08Gbpsである<sup>29</sup>。この記録は、既存ネットワークの理論上可能な速度とされる10Gbpsに極めて近い。この事実は、データ転送プロトコルがいかに効率化されたかを改めて認識させるとともに、研究者が広帯域通信の利点を享受できる環境にあることを示している。

---

<sup>29</sup> [Internet2 Land Speed Record](#), Internet2, 2007

現在は、前掲の進歩を広帯域システムに統合することを目指し、そのために必要なハードウェアとソフトウェアを開発するための重要な研究が進められている。研究領域は、基本的ハードウェアから、グリッド・コンピューティングの概念、および分散処理理論に及ぶ。幸いなことに、政府の資金援助を受ける研究者は大規模光ファイバー・ネットワークへのアクセスがあり、それを利用して新ネットワーク・アーキテクチャを構築したり、新アイデアを試したりすることができる。国際協調により、これら試験ネットワークは世界的に広がっている。同分野の研究には、NSF、DOE、NASA、DoD、および NIST などが出資している。

この注力分野に密接に関係しているのが、グリッド・コンピューティングと、それを可能にするミドルウェアに関する一般的トピックスである。これらトピックスも非常に重要ではあるが、現在の分析の対象範囲を外れる。

### **注力分野 2: ハイブリッド・ネットワーキング(Hybrid Networking)**

同分野には、有線とワイヤレスのハイブリッド・コンビネーションと、様々な目的と機能レベルを備えた関連デバイス研究が含まれる。この種のネットワークは、災害復旧、公共サービス通信、軍事通信、環境監視、国境監視と警備、および宇宙通信といった多数の目的を政府が遂行するにあたり、重要な役割を果たしている。

同注力分野の研究トピックスには、低消費電力通信システム・コンポーネント、帯域効率利用、干渉管理、スケーリング問題、ネットワークとノード復旧、自己設定ネットワーク・メッシュ、センサー・ネットワーク(センサーネット)、ネットワーク頑強性、自己修復ネットワーク、そしてネットワーク・セキュリティなどがある。同分野の研究には、DoD や NSF が注目している。

### **注力分野 3: アーキテクチャ、管理、セキュリティ、プライバシー(Architecture, Management, Security and Privacy):**

同分野は、前述の 2 分野に比べて不定形性が強く、一般的に現在のネットワーク(注力分野 1 と 2 で触れたものを含む)は、現状よりも、もっと色々なことが上手くできるはずだという認識から生まれている。多くの場合、既存ネットワークのアーキテクチャは、それがインターネットかワイヤレスであるかに関係なく、その性能を予測できるだけの経験や適当な理論がまだ存在しない時代に開発された。現在、理論の発展とともに経験も格段に増えたことを受け、ネットワークの基本が再検討されている。

この研究にとって重要な分野のひとつが、新興行動(emergent behavior)である。複雑なシステムは、様々な構成要素を組み立てて作られる。新興行動とは、その個々の構成要素の行動からは簡単に予測できないような新種の行動が、複雑性によってもたらされるという概念である。ほとんどの場合、複雑性はシステムの規模によって特定される。ネットワークの場合、各ノードの行動を完全に知ることができる。また、研究所で小規模ネットワークのノードの行動を試験し理解することも可能である。しかし、こうした経験は、同じノードで構成される大型ネットワークには該当しない。ネットワークの規模と複雑性が増すに従い、新しい行動パターンが現れるからである。ネットワークの新興行動を理解するためには、大規模な試験用ネットワークを構築するか、あるいは、大規模ネットワークの行動形態を説明する優れた理論を確立する必要がある。

新興行動の典型的な例は、1988-1989年にインターネットで起きている。当時、トラフィックの増加が、渋滞とスローダウンを引き起こすことが予想された。しかし実際は、説明のつかない方法で、スルーブットが急激に落ちたのである。ローレンス・バークレイ国立研究所(Lawrence Berkeley National Laboratory)に勤めていた Van Jacobson 氏は、問題の原因が何であるかを突き止めた。TCP プロトコルからルーターに対し、パケットをタイムリーに遅れなくなると、パケットをドロップするよう指示が出されていたのである。パケットがドロップされると、次に TCP プロトコルは、それを再送する指示を送っていた。1988～1989年に実際に起きていたのは、パケットがドロップされる度に再送されることによる、渋滞の悪化だった。渋滞が悪化しているため、パケットは再びドロップされる。その様子は、パーティー会場に人が多く集まれば集まるほど騒々しくなり、叫ばなければ話が出来なくなる様子に似ている。全ての人が叫んでいるので、話が聞こえない。そこで、繰り返し叫んでしまう。その結果、全員が叫んでいるにもかかわらず、誰一人コミュニケーションが取れていない状態になる。Jacobson 氏のソリューションは、TCP プロトコルに強制的な「上品さ」を持たせるように変えるというもので、この場合は「スロー・スタート(Slow start)」と呼ばれる。TCP メッセージが始まると、最初のパケットが少しずつ送信される。そして、パケットのほとんどが送信された時点で、はじめて転送レートを上げる。パケットがドロップされ始めると、直ちに転送レートは下げられる。平衡状態のパケットレートは、大半のメッセージの大半のパケットが転送される程度のレート付近に落ち着く。



ネットワーク・セキュリティとプライバシーも、難しい研究分野である。セキュリティとプライバシーは、ある程度対立する目標とみなされている。プライバシーは、匿名性によって強化されるかもしれないが、匿名が隠れ蓑になり、悪行が推進される可能性がある。また、セキュリティは各メッセージの発信元を知ることによって強化されるが、プライバシーは妥協される。セキュリティとプライバシーは必ずしも相反する目標ではないが、両方を達成するためにはネットワーク・アーキテクチャに注意を払う必要がある。不運にも、インターネットは人々の信頼関係の厚い学術環境において設計された。そのため、セキュリティとプライバシーは、重要な目標とは考えられていなかった。インターネット・アーキテクチャは、これらにほとんどツールを提供していない。興味深いのは、ネットワークの信頼性はこれまでも重視されてきたことで、アーキテクチャ上の洗練された機能により、インターネットの信頼性は強化されている。

インターネットの展開規模が巨大なことも、セキュリティとプライバシー研究の負担となっている。根本的なアーキテクチャを変えるのは不可能かもしれないが、それを変えずにセキュリティを強化することは、大変困難であることがすでにわかっている。既存のアーキテクチャにセキュリティ、あるいはプライバシー保護機能を追加するのさえ、多くのパーティーによる合意が必要であり、多大なコストが発生する。

幸いなことに、連邦政府機関はこの注力分野の難しさと重要性を認識しており、個々の研究プロジェクトと、現実的なセッティングで新アイデアを試すための大型テストベッドの両方に資金を拠出している。GENI テストベッドは、研究グループが根本的に新しいアーキテクチャを、他の研究者やインターネットとの干渉を心配することなく、現実的なネットワークの中で試せるようにすることを目指している。

次のセクションでは、連邦政府の有力参加機関による通信 R&D プログラムについて論じる。プログラムは機関ごとに整理されている。

## 4.2 全米科学財団(NSF)の研究活動

2009年度予算要求によると、NSFの通信関連R&D活動予算は、LSNプログラムの名の下、総額9,580万ドルと報告されている。通信R&Dには、特に2つの局が関連している。そのうち、コンピューティング・情報科学工学局(CISE: Computing and Information Science and Engineering Directorate)のコンピュータ・ネットワーク・システム部(CNS: Computer and Network Systems Division)は、「ネットワーキング技術・システム(NeTS: Networking Technology and Systems)<sup>30</sup>」と呼ばれるプログラムを実施し、ネットワーク・システム・クラスター(Network Systems Cluster)の下で、概念論、ソフトウェア、およびシステム・ネットワーキング研究を行っている。CISE/CNSは、「ネットワーキング・イノベーションのためのグローバル環境(GENI: Global Environment for Networking Innovations)<sup>31</sup>」にも出資している。

工学局(ENG: Engineering Directorate)の電気・通信とサイバー・システム(ECCS: Division of Electrical, Communications and Cyber Systems)部は、ネットワーク・コンポーネントと工学システムに関する研究を行っている。この研究のほとんどは、「電子・フォトンクス・デバイス技術(EPDT: Electronics, Photonics and Device Technologies)<sup>32</sup>」と「統合ハイブリッド複合システム(IHCS: Integrative, Hybrid and Complex Systems)<sup>33</sup>」と呼ばれるENG/CSSの2つのプログラムによって実施されている。

これらネットワーク中心型研究プログラムに加え、CISEは「サイバー・トラスト(Cyber Trust)プログラム」を支援している。このプログラムは、ネットワーク中心型研究を含む、一般的なセキュリティ指向研究に資金を提供している。

---

<sup>30</sup> [Networking Technology and Systems \(NeTS\) Program](#), National Science Foundation, Computing and Information Science and Engineering, 2008.

<sup>31</sup> [Global Environment for Networking Innovations](#), National Science Foundation, 2008.

<sup>32</sup> [Electrical, Photonics and Device Technologies \(EPDT\) Program Description](#), National Science Foundation, 2008

<sup>33</sup> [Integrative, Hybrid and Complex Systems \(IHCS\) Program Description](#), National Science Foundation, 2008

NSF は、ネットワーク科学・工学(Network Science and Engineering)に関する作業部会を内部に設置している。これは、大型ネットワークのダイナミクスとオペレーションを理解するため、理論的基礎と将来の重要な研究ニーズを広範に検討するものである。「ネットワーク科学」という研究分野は、ネットワークを非常に広義に定義しており、その対象には、ソーシャル・ネットワーク、組織的ネットワーク、コンピューティング・ネットワーク、そして通信ネットワークが含まれる。このグループは、NSF の工学局や他局の関心を集めている。Jeannette Wing 博士率いるこのグループは、NeTS とその類似プログラムの将来的な戦略計画に対し、助言を提供することが期待されている。

以下のセクションでは、各研究プログラムについて詳細に論じる。

## **ネットワークキング技術・システム(NeTS: Networking Technology and Systems)プログラム**

CISE/CNS が手がける NeTS プログラムの目的は、最新の要請書の中で以下のように説明されている<sup>34</sup>。

NeTS プログラムは設置以来、そのミッションとスコープをつねに最先端研究においてきた。これまでの活動で、プログラムは将来的に研究の価値があると思われる中核ネットワーク技術を特定するとともに、将来のインターネット設計の重要性を強調し、広義のネットワークキング分野における画期的研究を推進してきた。2008 年度、NeTS プログラムは、従来のような中核技術ではなく研究課題によって編成され、総合・全体的(ホリスティック)アプローチを重視している。そのアプローチは、頑強な大規模異種ネットワークの設計と展開に関する我々の知識を補強するものである。

この要請書では、以下 5 分野における革新的かつ先進的研究プロジェクトを求めている。

- ・ 辺境部ネットワーク(NEDG: Networking at the Edges): ネットワーク・アクセスに関する難問に取り組むための全体的アプローチの研究。
- ・ ネットワーク・エコシステム(NECO: Network Ecosystems): 大規模、かつ複雑なネットワークとシステムに関係した理論的およびシステム・レベルの研究。

---

<sup>34</sup> [Networking Technology and Systems \(NeTS\) Solicitation](#), National Science Foundation, 2008

- ・ 認識ネットワーキング (ANET: Aware Networking): 人とネットワークの相互関係に関連するネットワーク課題に取り組む研究。例えば、アプリケーション認識 (application awareness) や環境認識 (environment awareness) をサポートするサービスや、ネットワークの末端ユーザーにシームレスな体験を提供するサービスに関する研究が含まれる。ANET は理想的に、現在のシステムにおいて、不確か、リスクがある、洗練されていない、拡張性がない、あるいは、存在しないものに取り組むネットワーク・イノベーションに焦点を当てる。
- ・ 探索的ネットワーキング (XPLR: Exploratory Networking): 新しい概念の創造、および新しい問題空間の開発を通じ、他の NeTS プログラムが対象としていないネットワーキング分野における、新研究分野の創造、深い理解、あるいは革新的ソリューションを導く。
- ・ 将来のインターネット設計 (FIND: Future Internet Design): ネットワーキングにおける変換的、あるいは急進的イノベーションを支援し、「将来のインターネット (Future Internet)」と称される今後の新しい世代のインターネットのアーキテクチャを開発する。

以上の注力分野のうち、FIND を除く全ては NeTS プログラムに新しく追加された。プログラムは前年まで、ワイヤレス・ネットワーキングやセンサー・システム・ネットワーク (NOSS: networks of sensor systems) といった領域に資金を拠出していた。CISE の上級科学アドバイザーである Suzi Iacono 博士によると、NeTS プログラムは 2008 年度に再編成が行われ、従来のように特定の技術に注目するのではなく、現在はネットワーキング機能と概念に焦点を置いている。この再編成は、CISE 新局長の Jeannette Wing 博士の関心を反映したものである。Wing 博士は、カーネギーメロン大学 (Carnegie-Mellon University) から最近 NSF に参加した。

新 NeTS プログラムはまだ助成金授与を発表していないため、この分野の活動は、現時点で資金が提供されている FIND プロジェクトの概要を精査することによってのみ理解が可能である。以下は、これら概要の抜粋である<sup>35</sup>：

---

<sup>35</sup> [NSF NeTS FIND Initiative Funded Projects](#), National Science Foundation, 2008

表 5: NeTS-FIND 助成プロジェクト

プロジェクト	研究者	説明
将来の大規模動的ネットワーク環境のための動的光回路交換ネットワーク (Dynamic Optical Circuit Switched Networks for Future Large Scale Dynamic Networking Environments)	Mukherjee, Biswanath, University of California-Davis  McKeown, Nick Stanford University  Blumenthal, Daniel University of California-Santa Barbara	本プロジェクトの目的は、フォトニック集積回路(PIC)を活用する動的光ネットワーク技術を利用する、新しい動的交換光ネットワーク・アーキテクチャを研究することである。これら技術は、今日のインターネット・ネットワーク技術に欠如した、動的で再設定可能、かつ広帯域なネットワーク手段を提供することにより、試験的ネットワーク施設に影響を与える可能性がある。
交換インターネット・アーキテクチャ (Switched Internet Architecture)	Shenoy, Nirmala Rochester Institute of Technology	本研究プロジェクトは、すでに十分に実証された交換アーキテクチャを基に、将来のインターネット・ソリューションを調査する。交換アーキテクチャは、何十年にわたり電話用ネットワークに使われ、その信頼性の高さは実証済みだが、グローバルなインターネット・インフラとしての実力はまだ試されていない。ソリューションには、適合アドレッシング・スキーム (suitable addressing scheme) やプロトコル・スタックなどがある。
将来の光ネットワーク・アーキテクチャ (Future Optical Network Architectures)	Chan, Vincent Massachusetts Institute of Technology	最適光ネットワーク・アーキテクチャを開発するには、次の2点を実践することにより、既存ネットワーク層構造の再構築と最適化を図る必要がある：(i) アーキテクチャ、プロトコル、そして物理層を、強力な相互関係はあるが、それぞれ独特のサブ・システムを持つ独立体 (single entity) として扱う、(ii) 予測可能な技術を導入するとともに革新的なハードウェア技術を提案し、あらゆる側面における光の利点を開拓する。その成果物としてのインテリジェント光ネットワークは、動的に再設定が可能であり、さらにネットワーク性能を全ての種類のデータ・トラフィック用にシームレスに最適化することにより、様々な新アプリケーションを可能にする。

プロジェクト	研究者	説明
ユーザー制御型ルーターのためのインターネット・アーキテクチャ (An Internet Architecture for User-Controlled Routes)	Yang, Xiaowei University of California-Irvine	本プロジェクトは、ユーザー、またはそのエンド・システムによる、パケット経路の選択を可能にするインターネット・アーキテクチャの開発を目的としている。そのためには、以下のコンポーネントを開発する必要がある：(1) 拡張性のあるインタードメイン(inter-domain)ルーティング・プロトコル。ポリシーに準じたネットワークのドメインレベルのマップをユーザーに配布し、ドメインレベル・ルーターの明確な考案を可能にする、(2) エンド・システム・プロトコル・スタック。様々なアプリケーションが、経路の多様化による利益を享受できるようにする、(3) アルゴリズムとプロトコル。全体的なルーティングの安定性を脅かすような、ユーザーによる急な経路変換を妨げる、(4) ユーザー制御ルーターに関連したセキュリティ脅威(ソース・アドレス・スプーフィング、マルチ経路サービス拒絶攻撃など)を軽減するテクニック。

### ネットワーキング・イノベーションのためのグローバル環境(GENI: Global Environment for Networking Innovations)<sup>36</sup>

NSF/CISE の新プロジェクトである GENI は、ネットワーク研究者が持つ、実際の物理的ネットワーク・テストベッドへのアクセス・ニーズに対応するものである。研究者は、生産ネットワーク (production network) の利用者に影響を与えることなく、テストベッドに「押し入り (break)」、独自の研究アイデアを試すことができる。NSF は 2007 年、そのようなテストベッドに対する厳格な管理の重要性を認識し、GENI プロジェクト・オフィス (GENI Project Office) として BBN テクノロジーズ (BBN Technologies) を選択した。プロジェクト・オフィスには、最大 4 年にわたり年間 250 万ドルの資金が提供される。

<sup>36</sup> [GENI Home Page](#), 2008

GENI は、動的に制御可能な光軸面、ルーターとスイッチ、プロセッシング・ノード、そしてワイヤレス・サブネットといった、物理的ネットワーク・コンポーネントの集合体として想定されている。それらは、一括して GENI 基板と呼ばれる。基板上のソフトウェア制御管理層が、基板上で稼動する試験ネットワークの動的設定と監視を可能にする。GENI の概念は、プロセッサ仮想化に幾分似ている。プロセッサ仮想化とは、抽象層を介すことにより、複数の仮想コンピュータが互いに干渉することなく、その根底にあるハードウェアを共有できるようにする概念である。GENI の完成は、試験的ネットワーク研究を、現在は実現不可能な方法で可能にすると期待されている。例えば、GENI を使えば、斬新なプロトコル、セキュリティ機能、承認 / 認証技術、ユーザー制御経路設定、およびデータ収集監視といった根本的に新しいネットワーク・アーキテクチャを、大規模な設定で試験することが可能になる。

GENI 科学評議会 (GENI Science Council) は、GENI の最初のプロビジョニング、および技術進歩に伴うその展開について、研究計画を立案し、さらにユーザー・コミュニティから意見を汲み上げて反映することが、NSF から課題として与えられている。2007 年 4 月に発表された GENI 研究計画 (GENI Research Plan) 最新版<sup>37</sup>は、以下 4 点の見解に基づき GENI を正当化している：(1) インターネットは深刻な問題に直面している、(2) これら問題には潜在的ソリューションがある、(3) 深刻な試験上の障害がある、(4) GENI はこの状況を変えられる可能性がある。計画は、試験的ユーザー施設としての GENI と前述の FIND プログラムについて、FIND が GENI 施設で試験される研究アイデアの開発に貢献すると指摘し、両者を関連付けている。GENI 研究計画は、前述 4 点について、大変読み応えのある議論を展開している。インターネットのアーキテクチャ、欠点、そして潜在的改善措置に関する有益な入門書といえる。

---

<sup>37</sup> [GENI Research Plan](#), GENI Research Coordination Working Group and GENI Planning Group, April 2007

### **サイバー・トラスト(CT: Cyber Trust)**

NSF のサイバー・トラスト・プログラムは、全体的なセキュリティ、プライバシー、そして信頼性に焦点を定めている。しかし、このプログラム下でサポートされる研究プロジェクトの一部はネットワークのトラスト(信頼・信用)問題を扱っており、本分析で取り上げることとする。以下に、CT プログラム要請書の中で触れられた、同プログラムが支援する研究の目的と種類を引用する<sup>38</sup>：NSF の CT プログラムは、トラストを前提とし、信頼を侵害したり公共のリスクを悪化させたりすることなく、技術が個人、および社会的ニーズを支援するような社会のビジョンを推進する。それは、公平と安全な情報アクセスという我々の基本原則を支えるサイバー空間のビジョンである。NSF CT プログラムの目的は、新しい洞察力を養うと共に基本的科学原理を開発し、人々の正当な信頼に値するソフトウェアとハードウェア技術につなげることである。

CT のビジョン達成と同時に国家のサイバー・セキュリティを改善するため、CT は以下に示すプロジェクト・ポートフォリオを支援している：

- サイバー・セキュリティに関する知識ベースに貢献するとともに、サイバー・トラスト基盤を強化し、サイバー・セキュリティ技術を進歩させる
- サイバー・トラストを広義に解釈し、セキュリティ、プライバシー、ディペンダビリティ(信頼性)、リライアビリティ(信頼性)、そしてユーザビリティ(有用性)もそれに含める
- システム設計、実現、および利用の全レベルで信用性に取り組む
- 画期的なセキュリティ・アーキテクチャなどを介し、研究コミュニティが開発した技術の統合を開始する
- サイバー・セキュリティに影響を与える社会的、経済的、組織的、および法的要因を検討する
- 分析、形式的検証、試験、および厳密な測定を通じ、理論を正当化する
- 技術と社会における進歩を期待させるような、画期的な新概念を研究する
- 国際協調を推進する
- サイバー・セキュリティとソフトウェア技術における多様な労働力を教育、訓練する

---

<sup>38</sup> [Cyber Trust \(CT\) Program Solicitation](#), National Science Foundation, 2008



## 電子・フォトニクス・デバイス技術 (EPDT: Electronics, Photonics and Device Technologies)

本プログラムは、電子工学、フォトニクス、磁気学、有機物、電気光学、電気機械技術、および関連物理現象の各原則を基に、デバイスとコンポーネントに関する工学研究を支援する。以下は、通信アプリケーションを想定して現在実施されている助成プロジェクトの一部である<sup>39</sup>：

プロジェクト	研究者	説明
画期的 RF とマイクロ波デバイスのための低温スピン・スプレイ合成磁電気ナノコンポジット膜  (Low-temperature Spin Spray Synthesized Magnetolectric Nanocomposite Films for Novel RF and Microwave Devices)	Sun, Nian Northeastern University	この研究の目的は、画期的磁電気コンポジット膜を研究し、統合 RF およびマイクロ波磁電気デバイスにおけるアプリケーションを探ることである。そのためのアプローチとして、スピン・スプレイ・プレーティング (spin spray plating) を使う。スピン・スプレイ・プレーティングは、高品質マイクロ波フェライト膜を、低温・低コストで生産することが実演されている。
モノリシック・アクティブ・シリコン・ナノフォトニクス  (Monolithic Active Silicon Nano-Photonics)	Choquette, Kent University of Illinois-Champaign-Urbana	AlGaInSb エピ層とシリコン基板とのモノリシックな統合と、フォトニック・クリスタル発光ダイオードの製造を目指す。本研究のアプローチは、インターフェース・ミスフィット・アレー (interface misfit arrays) とナノメートル基準パターニングの空間ゲイン工学を利用することであり、シリコン基板と互換性を持ち電氣的に挿入される赤外線放射体を実演する。

<sup>39</sup> [Abstracts of Projects Funded under EPDT Program](#), National Science Foundation, 2008

プロジェクト	研究者	説明
超広帯域量子ドット/ ダッシュ・レーザー: 新 クラスの半導体レーザー - (Ultra-broadband quantum-dot/dash laser: A new class of semiconductor laser)	Ooi, Boon Lehigh University	本研究の目的は、新クラスのダイオード・レーザーを開発することである。近赤外線領域での量子閉じ込めヘテロ構造のバンド間遷移オペレーションから引き継がれる壁コンセントの効率と高量子効率で、超広帯域誘導放出を実現する。

### 統合ハイブリッド複合システム (IHCS: Integrative, Hybrid and Complex Systems)

IHCS プログラムは、前述の EPDT プログラムに比べ、よりシステムに注目している。本プログラムは、物理的デバイスとコンポーネントを、計算インテリジェンス、およびネットワークと統合するような、ナノ/マイクロシステム、通信システム、およびサイバー・システム分野の画期的研究を支援する。本プログラムの目的は、ヘルスケア、本土防衛、災害軽減、エネルギー、電気通信、環境、運輸、製造、およびその他システム関連領域における様々なドメイン特定アプリケーションのための工学ソリューションを利用し、ナノ/マイクロ/マクロな複雑、かつハイブリッドな新システムを設計し、開発、導入することである。通信システムに直接関係のある研究分野には、テラヘルツ・センシングとイメージング (Terahertz Sensing and Imaging)、送信機、受信機、アンテナ、およびセンサーを内蔵したハンドヘルドまたは装着可能なコンピューティング・デバイスのワイヤレス・ネットワーク (Wireless Networks of Handheld or Wearable Computing Devices Incorporating Transmitters, Receivers, Antennas and Sensors)、帯域の動的配分と効率的かつシームレスなデータ移動を実現する分散型ネットワーク (Distributed Network with Dynamic Allocation of Bandwidth and Efficient Seamless Data Transference)、およびイントラ/インターチップ・ネットワーキングと通信 (Intra- and inter-chip Networking and Communications) などがある<sup>40</sup>。

<sup>40</sup> [Abstracts of Selected Projects Funded under IHCS Program](#), National Science Foundation, 2008

### 4.3 エネルギー省(DOE)の研究活動

DOE の通信関連研究のほとんどは、DOE 科学局(Office of Science)内の高度科学的コンピューティング研究室(Office of Advanced Scientific Computing Research)によって実施されている。同室は、通信関連研究を支援するプログラムとして、科学のための次世代ネットワーキング(Next Generation Networking for Science)と、高性能ネットワーク施設とテストベッド(High Performance Network Facilities and Testbeds)の2つを有しており、2009年度予算要求額はそれぞれ1,720万ドルと2,500万ドルである。

#### **科学のための次世代ネットワーキング(Next Generation Networking for Science)**

このプログラムは、統合ソフトウェア・ツールと高度ネットワーク・サービスを開発することにより、大規模な科学的協調(コラボレーション)の実現、および分散型コンピューティングとサービス施設の効率的利用を図り、最終的にDOEの科学的ミッションを前進させることを目的としている。そのミッションのひとつに、国際的研究コミュニティによる科学的施設への遠隔アクセスがある。これら施設を効率的に利用するには、超広帯域ネットワークと、非常に大型のデータセット(今日はテラバイト規模だが、近くペタバイトに達すると予想される)の送信能力が必要である。また、これら施設は世界の科学者によって共同利用されるため、大規模な科学的協調への支援も欠かすことができない。

本プログラムは、主に以下に示す3分野のR&Dを支援している:

- 分散型システム・ソフトウェア、ツール、およびサービス。シミュレーション、または科学実験によって生成される超大型データセットの発見、管理、そしてデリバリーを実現する
- 高度ネットワーク・プロトコル、光ネットワーク・サービス、ツール、およびプロトコル。コンピュータ・センターと科学施設への相互接続とアクセスを実現する
- 高性能ミドルウェア。セキュアな国家的および国際的な科学分野の協調を実現する。

本プログラムは2009年度、オープン科学ネットワークとコンピューティング施設に独特のニーズに焦点を当て、サイバー・セキュリティ分野の研究活動を開始する予定である。

### **高性能ネットワーク施設とテストベッド (High Performance Network Facilities and Testbeds)**

本プログラムに与えられた最大の責務は、ESnet への資金提供と管理である。ESnet は安定した広帯域生産ネットワークであり、DOE/SC の一般的ニーズに資することを目的としている。しかし、ネットワーク容量を毎年ほぼ倍増するというプログラムのニーズに応えるため、短期的な通信研究も行っている。2006年、ESnet は大学ネットワークの主要プロバイダーであるインターネット2 (Internet2) と提携し、最先端技術の推進、および、中核科学インターネット・プロトコル (IP) ネットワークの容量を大幅に拡大する次世代光ネットワーク技術の実現に向けた取り組みを開始した<sup>41</sup>。2007年、ESnet とインターネット2 は5つの相互接続リングを完成した。それらはひとつ、あるいはそれ以上の10Gbps 経路 (パス) で構成され、ESnet4 と呼ばれる大陸横断ネットワークを構築する。ESnet4 には、レベル3 コミュニケーションズ (Level 3 Communications) が提供する光回路と、インフィネラ (Infinera) の高度光機器が採用された。同じく2007年、ESnet は試験的40Gbps ネットワークを配備した。それには、レベル3 の光回路と、インフィネラおよびジュニパー・ネットワークス (Juniper Networks) の機器が採用されている。2009年度も、ESnet はインターネット2 と協力し、米国における科学の進歩を推進するため、次世代光ネットワーク・インフラの展開を継続する計画である。ESnet は同年度、科学局研究施設に対し40-60Gbps のコネクションを提供し、2010-2011年度に160-400Gbps へ機能更新する予定である。2010-2011年度には、研究成果である新技術の中核ネットワークへの展開が期待されている。

ESnet はこれまで研究課題の一環として、超大型データセットを転送するために使われる仮想回路「オンデマンド・セキュア・サーキット (On-Demand Secure Circuits)」の予約を可能にするプロトコルとソフトウェアを開発している。「高度予約システム (OSCARS: Advance Reservation System)」と呼ばれる本システムは、すでに安定生産されている。科学者は OSCARS を利用して帯域を予約することにより、その帯域を、最大テラバイト規模の大型データを複数のドメインに一括移動するためだけに活用できる。ESnet は他の省庁機関やベンダーと協力し、一般的なネットワークのデータ転送速度改善にも取り組んでいる<sup>42</sup>。

---

<sup>41</sup> [ESnet and Internet2 Partner to Deploy Next Generation Network for Scientific Research and Discovery](#), Lawrence Berkeley National Laboratory, August 2006

<sup>42</sup> [Guide to Bulk Data Transfer over a WAN](#), ESnet, Lawrence Berkeley National Laboratory, 2008

本プログラム領域のその他研究プロジェクトとしては、ミドルウェアとグリッド・コンピューティング関連研究であるオープン科学グリッド(Open Science Grid)<sup>43</sup>への部分的助成が挙げられる。

高性能ネットワークの絶え間ない進化は、前述の科学のための次世代ネットワーキング研究活動において開発されたツールと知識によっても支えられている。

#### 4.4 国防高等研究事業局(DARPA)の研究活動

1960-1980年代のDARPAの研究は、ARPANETを通じてインターネットを創造した。その創造は、1983年のTCP/IPプロトコル導入によって最高潮に達する。1980年代から1990年代にかけて、DARPAは光回路を利用する超広帯域ネットワークを構築した。最近では、インターネットの基本を開発したという、その歴史的役割から距離を置き、ワイヤレス・ネットワーク、アドホック・ネットワーク、およびセンサー・ネットワークにその焦点を置いている。それらは、戦場や災害地域での迅速な展開を狙った機能混在ネットワークであり、多様な種類のノードや送信パスが組み込まれている。最終的には、ネットワーク経路やネットワークに接続されたデバイスを検知して帯域を調整するような、インテリジェンスの搭載が想定されている。新しく追加されたネットワーク・セグメントを検知し、ルーティング・テーブルとアドレス・ルックアップも適宜調整できるようにする。DARPAの通信関連研究は、2つのプログラムを介して実施されている。情報処理技術局(IPTO: Information Processing Technology Office)がモバイル・アドホック・ネットワークのための情報理論(TMANET: Information Theory for mobile Ad-Hoc Networks)プログラムを、戦略技術局(STO: Strategic Technology Office)が戦略・戦術ネットワーク(Strategic and Tactical Networks)プログラムを手がけている。DARPAは、これら2プログラムの正確な予算を公表していない。しかし、大統領の2009年度予算要求では、NITRD下の大規模ネットワーキング(Large Scale Networking)向け予算として、1億3,590万ドルが計上されている。これは、基礎研究だけをカバーするものと思われる。

---

<sup>43</sup> [Open Science Grid](#), 2008.

### **戦略・戦術ネットワーク(Strategic and Tactical Networks)**

本プログラムの下で実施される研究トピックスには、頑強(ロバスト)かつ自己組織するモバイル・アドホック・ネットワークと通信、帯域管理、高データ転送率ポイント・ツー・ポイント・ワイヤレス通信、エンド・ツー・エンド・ネットワーク性能の改善、そして、再設定可能、かつミッションの優先順位に応じ資源配分を最適化するネットワークが含まれる。研究ポートフォリオには他にも、高信頼性ネットワーク・プロトコルとインターフェース、および、軍隊による利用を想定した、厳しい環境下でロバストなコネクティビティを実現するワイヤレス・ネットワーキング技術がある。

本プログラムは、いくつかのトピックに分割されている。以下は、各トピックの説明を引用したものである<sup>44</sup>：

**アナログ・ロジック(Analog Logic)：**アナログ・ロジック・プログラムは、デジタル設計に特有な性能の限界を克服することを目的に、アナログ回路の計算機能を実現するためのアーキテクチャ、設計、および開発ツールを開発、実証する。本プログラムで開発された技術は、一般的にデジタル形式で実施されることの多い信号処理機能に応用される。信号処理機能には、複雑な設計、高消費電力、熱付加、計算速度の限界、ダイナミック・レンジのロス、および製造上の違いに影響を受け易いなどの問題がある。アナログ・ロジック・プログラムは、局部発振器、下方変換、あるいはアナログ-デジタル変換を必要としない、アナログ・オンリーの信号処理機能の構築と実演を目指している。

**制御プレーン(Control Plane)：**制御プレーン・プログラムは、米本土(CONUS: Continental United States)の作戦基地と、前方に展開された戦術部隊間のエンド・ツー・エンドのネットワーク性能の改善を目指す。具体的には、各ホスト(エンド・ポイント)が、自身と他のホスト間のネットワーク・パスの本質的特徴を理解できるようにする。それにより、ネットワークの負荷を最小限に抑えた通信を実現する。また、複数のネットワーク・パスがある場合、ホストはその条件に最も敵したパスを選ぶか、あるいは複数のパスに同時に送信することができる。この技術は、国防総省のオペレーションに関するグローバル情報グリッド(Global Information Grid)概念を支えることが期待されている。

---

<sup>44</sup> [DARPA Strategic and Tactical Networks Program](#), Defense Advanced Research Projects Agency, 2008

**ディーブ・スピーク(Deep Speak):** 信頼性の高い通信は、兵士による密接かつ協調的な戦いを可能にし、攻撃力を高めることに貢献する。クリティカルな通信リンクは、周辺インフラによって無線信号の減衰が激しい都市部の戦闘では、破壊される可能性がある。ディーブ・スピーク・プログラムは、新ネットワークング、コーディング、および波形技術を開発することにより、通信信号による周辺建造物や地下施設の貫通を可能にし、兵士間のリンク、およびグローバル・ネットワークへのリンクの維持に貢献する。

**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: Architectures, Protocols, Control and Management):** CORONET プログラムの目的は、米国のグローバルなインター・ネットワークング・インフラの運用、性能、生存性、そしてセキュリティを根本的に変えることである。中でも、高度に動的なマルチ・テラビット中核光ネットワークのネットワーク・アーキテクチャ、プロトコル、および制御・管理の向上に焦点を置いている。本プログラムは、グローバル・ネットワークに照準を合わせており、そのネットワークは、ネットワーク需要総計が今日の最先端ネットワークの最大 10 倍に拡大されるとともに、ビット当たりコスト、サイズ、および消費電力は大幅に削減され、運用が劇的に簡便化されることが想定されている。また、超高速サービス・セットアップ/解体を実現することにより、低遅延かつ協調的なグリッド・コンピューティング・アプリケーションの利用を世界的に可能にする。さらに、同時多発的ネットワーク障害からの超高速かつ効率的な回復を実現する。ネットワーク需要の桁違いな増加、および、高度なネットワーク敏捷性と弾力性に対応するための、コスト効率と能力効率に優れたソリューションの実用化には、クロスレイヤー・トラフィック処理や能力管理などの領域における新パラダイムと、ネットワーク運用における大幅な向上が必要である。

**拡張可能なネットワーク監視(SNM: Scalable Network Monitoring):** 本プログラムの目的は、ネットワーク・ベースの監視に新しいアプローチを提供することである。ネットワークを最大限にカバーし(例えば、ゲートウェイからなど)、ネットワーク規模と計算コストに左右されない監視性能を実現する。計算コストは、従来と同様に監視対象である全ネットワークの計算能力のほんの一部に抑えるか、あるいは削減される。この技術によって、ネットワークの規模に関係なく、ゲートウェイとその川下(gateway-and-below)(例えば 100%カバレッジを提供する)のネットワーク・トラフィック監視アプローチが実現する。最終的に、従来のアプローチに比べて桁違いに優れた性能を備えたネットワーク防衛技術の提供を目指す。

**超高感度 RF 受信機のための半導体同調高温超電導フィルター (SURF: Semiconductor-Tuned High-Temperature Superconducting Filters for Ultra-Sensitive RF Receivers):** 本プログラムの目的は、次世代高温超電導(HTS)フィルターに必要な技術を開発し、HTS フィルターをマイクロ秒速で同調させるとともに、部隊の利用に適したパラメータ(高品質因子“Q”、低挿入損失、高帯域外拒絶、など)を設けることである。同調可能な HTS フィルターは超高感度 RF 受信機に欠かせないコンポーネントであり、高密度 RF 干渉が生じた矛盾した環境において、弱信号を検出するために使われる。それには複数のモダリティがあり、例えば同調可能な“ノッチ(notch)”フィルターは、特定の干渉物が原因の干渉、あるいは、同じ周波数帯を利用する味方の通信システム(中心周波数は変わる可能性がある)が原因の自己干渉を抑圧する。これらのたくいまれな新フィルターは、大規模ミッションに適合性があり、共同設置された送信機による自己干渉を排除し、様々な脅威に特徴的な、意図されず放出された超微弱信号を検出する。

**超低周波(ULF: Ultra-Low Frequency)ウェイブ調査(ULF Wave Study):** ULF ウェイブ調査プログラムの目標は、超低周波ウェイブの信号発生を制御・最適化するとともに、通信手段としての潜在的利用を開発するため、伝播を制御する手法を開発・実演することである。研究から実地展開への移行に相応しいグローバル伝播と ULF 発生に関する顕著な問題の、量的理解につながる可能性がある。

ULF プログラムは、軍事作戦に重要なアプリケーションのための ULF 開発を導くような、HAARP 発生 ULF 波に関する必要な理解に貢献すると思われる。具体的な成果としては、地下通信、地下イメージングと探査、電磁流体力学的(MHD: Magnetohydrodynamic)電磁パルス(EMP)伝播、および、放射体内の粒子降下による衛星保護を含む超長距離通信が挙げられる。



#### 4.5 その他の DoD 研究活動

DoD の基礎通信研究の大部分は、DAPRA によって実施されている。軍部は、より専門的な R&D、あるいは応用 R&D を手がけている。DoD 通信研究予算総額は明らかにされていないが、2つの重要テーマからその重要性をうかがい知ることができる。

第1のテーマは、**ネットワーク科学(Network Science)**である。この研究分野は、「ネットワーク中心型戦争(NCW)」原理を支持するものである。その原理とは、強力かつユビキタスなネットワークによって仲介される情報の効率的アプリケーションを最も上手く応用した国家は、戦闘において優位に立てるというものである。NCW を成功に導くための鍵は、情報の獲得と共有、兵士がどこにしようとも情報を提供すること、そして、アクションを知らせるための情報の分析、あるいは合成である。「ネットワーク科学」は、複数のプログラムにおいて、ネットワークの形成、運用、管理、および展開を理解するための研究という意味で参照されている。ネットワーク科学において「ネットワーク」という用語は、社会、および組織的ネットワークの両方を示すとともに、技術的ネットワークという意味を持つ。DoD は、ネットワーク科学センター・オブ・エクセレンス(Network Science Center of Excellence)の設置を計画しており、同センターは、同分野における将来の研究を調整する役割を担う予定である。

第2のテーマは、**グローバル情報グリッド(GIG: Global Information Grid)**である。GIG は、NCW を支援する主要な技術的フレームワークである。GIG は、情報機能、プロセス、および、兵士や政策決定者、その他の防衛関係者が必要とする情報の収集・管理・流布担当者を一組として、世界的に相互接続することを目指している。その資源には、通信とコンピュータ・システム、ソフトウェア、データ、セキュリティ、そして、そのミッション遂行に必要なその他サービスが含まれる。GIG はまだ開発中だが、すでに部分的に配備されており、多くの通信 R&D がその継続的開発を支援している。

GIG プロジェクトのひとつの例として、国防長官室(Office of Secretary of Defense)が2008年度、分散型ネットワーク・スイッチング(DNS: Distributed Network Switching)合同機能実演(Joint Capability Demonstration)に対し、160万ドルを拠出したことが挙げられる。このプロジェクトは、ネットワーク・メディア・アクセス制御アドレスをマスキングするネットワークング・アプリケーションを、成熟した高速(40+ Gbps)光スイッチング機能に統合することを目的としている。

実演が予定される主な成果と機能は以下の通りである：

- 1) 中核ネットワーク機能と冗長性の改善
- 2) サイバー攻撃に対する免疫力の改善
- 3) ネットワーク・サービスのシームレスな利用実現

NCW と GIG を支援する応用研究の大部分は、軍部によって実施されている。次のセクションでは、これら活動を簡単に紹介する。

## 海軍プログラム

米国海軍 (US Navy) は、通信研究分野の多くの研究プロジェクトを支援している。それらのほとんどは、前述した優先事項とテーマの中の 1 つ、あるいは 2 つ以上に関連している<sup>45</sup>。研究トピックスには、以下が含まれる：

- ・ シームレス、かつロバストなコネクティビティとネットワーク
- ・ ネットワーク設計の理論的基盤、および計算基盤を成す発見的アルゴリズムと、数学的最適化フレームワーク
- ・ 戦術ネットワークにおける情報デリバリーの最大化
- ・ 通信ネットワークにおけるトラフィック・セキュリティ理論
- ・ セキュアでロバスト、かつ自己組織するモバイル通信ネットワーク (FORCEnet) のための技術。FORCEnet は、情報時代における海上戦のためのアーキテクチャのフレームワーク、および実戦配備構図であり、兵士、ネットワーク、指揮統制、および、海底から宇宙、そして海から陸に至る全レベルの戦闘に対して拡張性を持つ、ネットワーク化され分散した戦闘部隊によって利用される兵器を統合する

---

<sup>45</sup> [Department of the Navy FY 2009 Budget Estimates, Research Development, Test & Evaluation](#), U.S. Department of Defense, 2008

- ・ ネットワーク中心型戦争への変換を可能にする概念と技術。ネットワーク中心機能は、資産を接続する情報に依存しており、タイムリーかつ正確な環境理解を可能にする
- ・ 戦術的通信ネットワークにおける、自己組織ネットワークと保証された通信を支援する技術
- ・ 戦場の共同ネットワーク、ネットワーク UAV、およびハイブリッド・モバイル・アドホック・ネットワーク(MANET: Mobile ad hoc Networking) / 衛星オペレーションのためのロバストな空挺部隊ネットワーク・エクステンション(RANGE: Robust Airborne Networking Extensions)。センサーとプラットフォームに対する崩壊(ディスラプション)耐性ネットワークを含む、クロスレイヤー最適化ルーティングのためのMANETプロトコルの実装
- ・ 以下を実現するためのツール、技術、およびメソロジー: サービス拒絶攻撃に対するネットワーク抵抗の改善、疑わしい行動の指摘と警告の改善、トラフィック分析の実施、ネットワークの状況と健康状態の監視と査定、ネットワーク脆弱性と攻撃を分析するための新機能の特定、情報保証(IA: Information Assurance)保護手段の効率性測定、IAソフトウェア認定に関する質とレベルの改善

海軍研究局(Office of Naval Research)の電子工学・センサー・ネットワーク研究(Electronics, Sensors, and Network Research)プログラムは、海軍のニーズに応じた電磁スペクトル利用に関する基礎および応用研究を実施している。研究トピックには、アンテナ(Antennas)、伝播と電磁相互作用(Propagation and Electromagnetic Interactions)、通信とネットワーク(Communications and Networking)、回路とアーキテクチャ(Circuits and Architectures)、およびナノスケール電子工学(Nanoscale Electronics)などがある。

## 空軍プログラム

海軍や陸軍と同様に、空軍(Air Force)は通信を含む近代技術を応用することにより、体質の効率化を図っている。2003年に発表された「米国空軍変換フライト計画(The U.S. Air Force Transformation Flight Plan)<sup>46</sup>」は、少々時間が経ってはいるが、この変換を理解するには非常に有益な文書である。全米学術研究会議(National Research Council)の最近の報告「空軍ニーズのための情報科学と技術の基礎研究(Basic Research in Information Science and Technology for Air Force Needs)<sup>47</sup>」は、この計画について所見を示すとともに、それを達成するために必要なR&Dについて提言を行っている。

空軍研究ラボラトリー(Air Force Research Laboratory)とその空軍科学研究所(Air Force Office of Scientific Research)は、空軍のミッションを支援するための通信関連研究を実施している。トピックスには、空挺部隊ネットワークと地上ベース・ネットワーク間インターフェースがある。空軍は、航空機の設備レベルでデジタル化された相互通信を実現するシステムを模索している。

## 陸軍プログラム

陸軍(Army)は、未来戦闘システム(FCS: Future Combat Systems)開発<sup>48</sup>の一環として、ネットワーク中心型戦争を支持している。FCSは陸軍の近代化プログラムであり、共通ネットワークによって接続されたシステムで構成され、モバイルおよびモジュラー部隊の増強を実現し、進化する脅威に対処する。陸軍は、部隊間の迅速な通信を支援する目的で、モバイル・ネットワークに関する研究を実施している。

---

<sup>46</sup> [The U.S. Air Force Transformation Flight Plan](#), United States Air Force, 2003.

<sup>47</sup> [Basic Research in Information Science and Technology for Air Force Needs](#), National Academies Press, 2006

<sup>48</sup> [Army Future Combat Systems](#), Department of Defense, 2008

超擬似オペレーショナルおよびシミュレーション効果のための通信プランナー (COMPOSER: Communications Planner for Operational and Simulation Effects with Realism) プロジェクトは、本研究の一例である<sup>49</sup>。COMPOSER はオープンなコンピュータ・フレームワークであり、ミッションの成功に必要なネットワーク性能の予測能力を含む、活動的ワイヤレス・ネットワーク・オペレーションを査定し計画するためのツールをプラグ装着できる。

陸軍の RDT&E 予算は、2008 / 2009 年度提案文書に詳述されている<sup>50</sup>。研究分野のひとつに、陸軍研究ラボラトリーが実施する、レーザーと指向性エネルギー技術に関するプログラムがある。この研究は、高データ転送率軍事通信と指向性エネルギーのための適応的かつ活動的なインテリジェント光システム技術の成熟に関するものである。2008 年度の研究では、広帯域光通信と指向性エネルギー・アプリケーションのための小規模機敏性適応可能開口 (small agile adaptive apertures) の潜在的設定に焦点を当て、ギガビット自由空間レーザー通信 (Gigabit free-space laser communications) と指向性エネルギー設定のための共形適応可能光コンポーネント (conformal adaptive optical components) を定義する。2009 年度には、パラメータの研究とともに、陸軍で動作中のイメージングおよび指向性エネルギー・アプリケーションにおける使用を想定した、超短波 (1,000 兆分の 1 秒) レーザー・イルミネーション利用のためのオペレーショナル・エンベロップ (operational envelop) を定義する予定である。

---

<sup>49</sup> [An Open Environment for Rapid Embedded planning of On-The-Move Communications Networks Using Multi-Level Abstraction](#), Lockheed Martin Advanced Technology Labs, 2005.

<sup>50</sup> [Descriptive Summaries of the Army Research, Development, Test and Evaluation Appropriation](#), U.S. Department of Defense, 2007

#### 4.6 米国標準技術院(NIST: National Institute of Standards and Technology)の研究活動

NIST は、基礎および応用通信研究を行っており、特に、その標準、互換性、およびセキュリティ・ミッションに力を入れている。NIST の通信研究プログラム 3 件は、情報技術ラボラトリー (Information Technology Laboratory) の高度ネットワーク技術部 (Advanced Network Technologies Division) と、電気電子工学ラボラトリー (EEEL: Electronics and Electrical Engineering Laboratory) の法執行機関標準局 (Office of Law Enforcement Standards) によって実施されている。

##### **高度ネットワーク技術部(Advanced network Technologies Division)**

##### **複雑な情報システムのための計測学 (Measurement Science for Complex Information Systems)<sup>51</sup>**

本プログラムは、複雑な情報システムにおける巨視的行動を、測定、予測、そして制御する方法の研究を手がけている。複雑な情報システムとは、相互接続された情報技術コンポーネントの大規模集合体である。巨視的行動は、それらコンポーネントの相互作用によって生じる。本分析の 3.1 項で論じた新興行動(emergent behavior)は、例えば個々のノードの行動といった従来の知識からは容易に予見できないような巨視行動の形のひとつである。ネットワーク行動は本研究の主要な注力分野だが、NIST はそれについて、重要だが難しい問題であることを認めている。本研究では、物理科学において知られたモデルを模索し、それを修正して複雑なシステムの調査に活かすというアプローチが採られている。

---

<sup>51</sup> [Measurement Science for Complex Information Systems](#), National Institute of Standards and Technology, 2008

## インターネット・インフラ保護(Internet Infrastructure Protection)<sup>52</sup>

本プログラムの目的は以下の通りである：

- インターネット・セキュリティ・サービスの性能、拡張性、および互換性を改善する
- インターネットのネーミングおよびルーティング・インフラに関する中核サービスの保護機構の開発と採用を促進する
- インターネット・インフラの生存性改善を目指し、プログラム可能な新興データ設計を活用するためのテクニックを研究開発する

これら目的を達成するため、NIST はセキュリティ標準の策定と導入を支援している。その結果、ドメイン名システム・セキュリティの監修(lead editorship of domain name systems security, DNSSEC)仕様や、高度暗号化標準 IP セキュリティ(AES/IPsec: Advanced Encryption Standard IP security)をこれまでに策定した。NIST は、これら仕様の業界採用を推進するためのツールと分析の開発にも取り組んでいる。

## 量子情報ネットワーク(Quantum Information Networks)<sup>53</sup>

本プロジェクトでは、セキュアな通信のためのツールとして、量子鍵ディストリビューション(QKD: Quantum Key Distribution)を研究している。量子ネットワークは、商業ネットワーク・インフラにおいて、複数のユーザー間で量子暗号鍵のセキュアなディストリビューションを可能にする。量子鍵とは、量子力学において発生するもつれた光子(光子)状態を利用し、セキュアな通信を実現するために作られる暗号鍵である。量子鍵は、今日の知識では、解読、あるいは復号は不可能であるとされている。NIST は、光ファイバーによる長距離通信にこれらの鍵を利用する研究を進めている。2004 年、本プロジェクトは、730 メートルにわたり通信速度 1Mbps で自由空間 QKD を実証した。2006 年には、ファイバー・ネットワーク 1 キロメートルにわたり、4Mbps で QKD を正確に実演した。現在は、都市圏ネットワーク(Metropolitan-area-networks)のカバーを目指し、距離の延長に取り組んでいる。

---

<sup>52</sup> [Internet Infrastructure Protection](#), National Institute of Standards and Technology, 2008

<sup>53</sup> [Quantum Networks](#), National Institute of Standards and Technology, 2008

### **法執行標準局(Office of Law Enforcement Standards)**

公安通信システム (Public Safety Communications Systems)<sup>54</sup>

本プロジェクトは、高度ネットワーク技術部と共同で実施されている。EEEL 内部に設置された法執行標準局は、電子デバイス関連分野の研究を支援している。本プロジェクトには、ワイヤレス・システム間の互換性を提供する商業デバイスの評価が含まれる。また、公安通信システム間の互換性を保証するシステムとデバイスのための標準策定にも取り組んでいる。現在の公安通信システムは、それぞれ異なる標準や仕様を採用した複数のベンダーの供給を受けている。

#### **4.7 その他機関の研究活動**

本分析は、連邦政府が助成する通信研究に携わる有力機関と活動を対象に行った。対象から外れた機関も、マイナーではあるが重要な役割を果たしている。国家安全保障庁 (National Security Agency) は、グローバル情報グリッド (Global Information Grid) における情報保証、および一部通信 R&D を含む一般的な情報保証機能に関する具体的な責任を担っている。国土安全保障省 (Department of Homeland Security) は、数件の通信研究プロジェクトに出資している。NASA は、宇宙通信に焦点を当てた通信研究に投資しており、米国海洋大気庁 (National Oceanic and Atmospheric Administration) と国立衛生研究所 (National Institute of Health) は、アプリケーション指向性ネットワーク研究、なかでもミドルウェアとデータ融合技術研究に資金を出している。

---

<sup>54</sup> [Public Safety Communications Systems Project in the Office of Law Enforcement Standards](#), National Institute of Standards and Technology, 2008



## 5 結論

本報告で取り上げたプログラム・プロファイルには、米連邦政府のネットワーキング R&D における 2 つの重要な傾向が反映されている。

まず、「ネットワーク科学と工学(network science and engineering)」という一般的な分野に、高い関心がある。これは、NSF と DoD における具体的なネットワーク科学作業部会や活動、および、その他機関におけるネットワーク科学に焦点を置くプロジェクトに現れている。連邦政府機関の現在の見解は、高度に分散化された自立ネットワークは、中央制御型のスイッチド・ネットワークとは根本的に異なる原理とダイナミクスを使って動作するということである。従って、ネットワークがいかに機能し、またその理由はなぜなのかに関する基本的理論については、今後も一層の研究が必要である。

第 2 に、ICT R&D に限れば、トピックとしてのネットワーキングは、今後さらに注目を集める可能性がある。ITFAN 最終報告の発表が予定されており、また、様々なグループ、中でも大統領科学技術諮問委員会(President's Council of Advisors on Science and Technology)が、ネットワーキング研究を擁護しているためである。ITFAN 報告は、特に重要となる可能性がある。高性能コンピューティングに関する初期の省庁横断型タスクフォースは、本分野における連邦政府の戦略的研究計画を発表した。この計画は、省庁機関による技術への出資に多大な変化をもたらし、新研究イニシアチブに関する重要な省庁横断型協調関係を導いた。連邦政府の高度ネットワーキング R&D 戦略は、これと同様の影響を持つ可能性がある。

第 3 に、ネットワーク・スループットを拡張するための研究は、注目を集める一方で、連邦政府の主要注力分野には入っていない。考えられる理由は、シエナ社(Ciena)をはじめとし、スループット改善に民間セクターの資金をつぎ込む企業が、まだ多く存在することである。ベライゾン社(Verizon)は 2007 年 11 月、既存の 10Gbps 光ネットワークのシングル・ファイバーを利用し、信号を 100Gbps で 312 マイルにわたり送信してみせた。この実演では、アルカテル・ルーセント社(Alcatel-Lucent)の技術が利用された。ビデオ・コンテンツ送信のためにより多くの帯域が必要になるに従い、ベンダーと通信事業者は、ファイバー・ネットワークの容量の限界に挑んでいる。連邦政府は、ネットワーク管理と最適化といった他の領域に注力することにより、民間セクターの投資にみられるギャップを埋める役割を果たしている。