

**アメリカ合衆国の情報通信分野における研究開発動向  
およびポスト NGN アーキテクチャに関する実態調査**

調査報告書

NICT ワシントン事務所

委託先 Washington | CORE

2007年 1月

---

**アメリカ合衆国の情報通信分野における研究開発動向  
およびポスト NGN アーキテクチャに関する実態調査**

---

**目次**

<b>1</b>	<b>連邦政府の IT R&amp;D 政策・予算動向</b> .....	<b>1</b>
1.1	2007 年度連邦 IT R&D 予算の概要.....	2
1.2	2008 年度に向けた IT R&D 予算動向.....	7
1.3	第 110 期議会の発足と IT R&D 活動に与える影響 .....	9
<b>2</b>	<b>ポスト NGN アーキテクチャに関する実態調査</b> .....	<b>14</b>
2.1	GENI プロジェクト.....	14
2.2	NeTS プログラム.....	29
2.3	プラネタリ・コンピューティング .....	33
2.4	大量データ解析型研究のための超大型情報システム (UltraLight) .....	35
2.5	X-Bone .....	38
2.6	耐破壊ネットワークング.....	39
2.7	耐遅延ネットワークング研究グループ (DTNRG) .....	42

## 1 連邦政府の IT R&D 政策・予算動向

連邦政府の予算には、依然としてイラク戦争やテロとの戦いによる財政負担がのしかかっているものの、IT 分野の研究開発(以下「IT R&D」)に関わる予算配分は安定的な支持を受けており、各種の研究開発プログラムも継続して進められている。ただし、2006 年 12 月までに、連邦政府予算の中の IT R&D 関連項目は大方において予算額が未確定であった。連邦議会は、IT R&D に関連した活動を行っている複数の主要省庁について、予算法案を可決させないまま休会した。これまでに 2007 年度予算が可決成立しているのは、国防総省と国土安全保障省の 2 省のみで、国立科学財団(NSF)、商務省の国立標準技術院(NIST)、保健福祉省の国立衛生研究所(NIH)、航空宇宙局(NASA)など、多くの機関については、上院と下院における議決内容の差異を調整する両院協議会の手続すら始まっていない状況である。

国防総省と国土安全保障省の予算配分を見る限り、IT R&D 関連予算は増額されることになっている。しかし、この結果だけで、他の省庁における IT R&D 関連予算の増額が見込まれるかどうかを判断することは難しい。安全保障と国内治安の問題は、政府内での重要性が高いことから、予算の増額を要求しても他省庁に比べて承認が得やすいためである。

ブッシュ政権の全体的な政策からは、IT R&D 分野の中でも次のようなテーマ領域を重点的に強化するという近年の傾向が窺える。

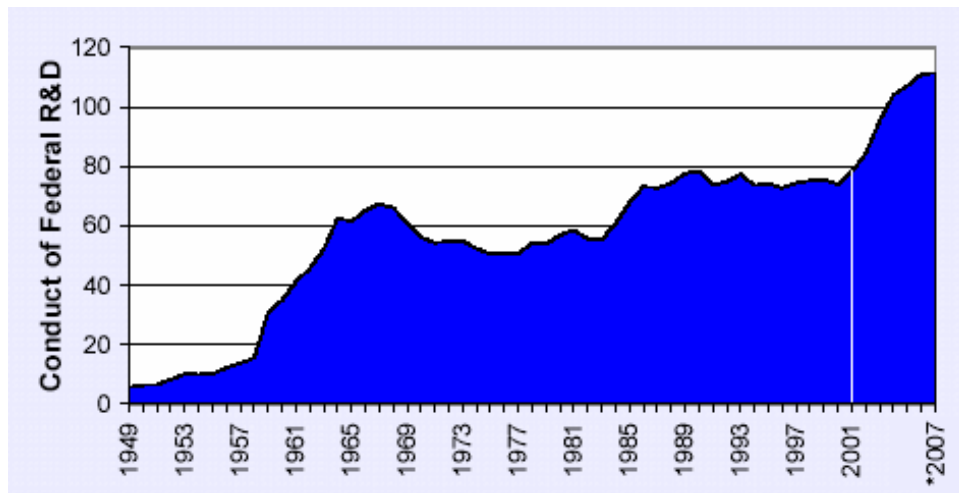
- グリッドコンピューティング、情報インフラストラクチャ
- 情報セキュリティ、テロ対策アプリケーション
- ハイエンド・コンピューティングシステム開発

政府全体の包括的な IT 政策にも、大幅な変化の兆しは見られない。行政管理予算局(OMB)では、従来から進めていた連邦省庁への IPv6 導入促進策が継続されており、さまざまなウェブサービスとエンタープライズ・アーキテクチャの相互運用性が高まっている。このように、2006 年下期を通じ、連邦政府の IT R&D 関連政策に目新しい動きはあまり見られなかった。

## 1.1 2007 年度連邦 IT R&D 予算の概要

米国を拠点とする研究開発活動に対する予算配分では、ここ数年の上昇傾向が続く見通しである。次図に示すように、連邦政府の研究開発投資は 2001 年の水準から 50% 以上も増えている<sup>1</sup>。

図 1: 米連邦政府の研究開発投資の推移 (単位 10 億ドル)



注: 金額は設備・機器投資を除外して 2000 年の物価水準に換算。2007 年のみ予算要求額。

出所: ホワイトハウス

個別省庁ごとの予算推移で見ると、一部省庁(エネルギー省など)では急激な増加が見られるものの、その他の省庁(国土安全保障省など)には減額しているところもある(まだ予算法案が可決成立していないところがほとんどであるため、数字は未確定)<sup>2</sup>。

連邦政府の予算動向については、省庁ごとの 2007 年度予算要求額の状況に加えて、応用分野別の傾向を分析することができる。次項では、予算の構成を大まかに分析するとともに、2007 年度予算で注目を集めた具体的トピックを振り返る。

### ブッシュ政権による予算要求の内容

ブッシュ政権による 2007 年度の予算要求からは、連邦 R&D 投資の使途や、政府の助成が重点的に投入されている研究分野についての明確な傾向を見て取ることができる。

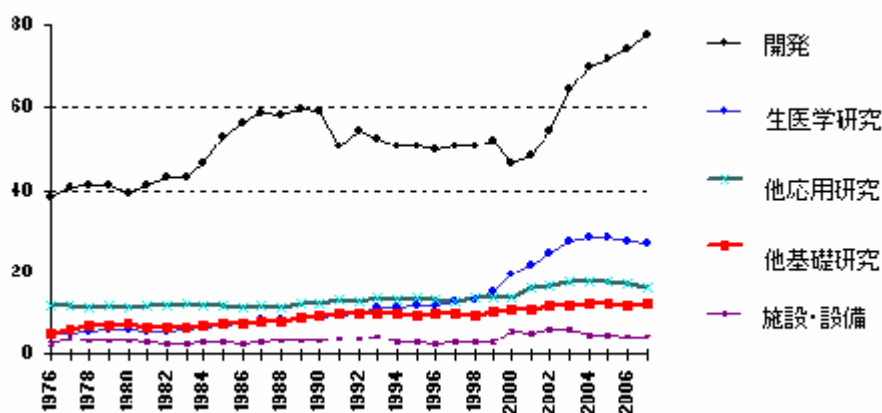
<sup>1</sup>[American Competitiveness Initiative, February 2, 2006.](#)

<sup>2</sup>["Federal R&D Funding Stuck On Hold as FY 2007 Starts," AAAS, October 4, 2006.](#)

### 開発型プロジェクト重視の傾向

2007 年度予算で目を引く一つの特徴は、開発型プロジェクトへの予算が優先されている反面、基本的な研究への予算が減額されていることである。これは、2001 年の同時多発テロ事件以降特に目立ってきた傾向である。これまでの連邦議会の動きから、ブッシュ政権が提案している予算カットが一部で緩和される傾向は見取れる。しかし、全米科学振興協会 (AAAS) が予算要求額と法案の最新動向を基に分析したところ、基礎研究・応用研究を合わせた 2007 年度予算はさらに 0.9% 減額され、総額 562 億ドルとなることが予想されている。これに対し、開発型プロジェクトのための予算は、7% 増額して 794 億ドルとすることが検討されている<sup>3</sup>。

図 2: 連邦研究開発予算の推移 (単位 10 億ドル)



注: 金額は 2006 年度の物価水準に換算。2007 年度のみ下院歳出法案に基づく推定。

出所: 全米科学振興協会 (AAAS)

このような開発型プロジェクト重視の傾向が強まった背景には、同時多発テロ以後、米国政府が R&D 政策を大幅に転換させてテロとの戦争を意識した戦力強化と将来のテロ攻撃に備えた国内体制の強化に力を入れるようになったことが指摘される。

### 応用分野別の傾向

ブッシュ政権の 2007 年度予算要求に関するこれまでの動きを見ると、2006 年 2 月に大統領が打ち出した「米国競争力計画 (ACI)」の内容に沿う方向で調整が進んでいるようである。大統領の予算要求では、次のような分野が重点項目となっている<sup>4</sup>。

- ネットワーキング及び情報技術研究開発 (NITRD) 計画

<sup>3</sup>同上

<sup>4</sup>["Analytical Perspectives: Budget of the United States Government \(Fiscal Year 2007\)." Office of Management and Budget, February 2006.](#)

- ナノテクノロジー(全米ナノテクノロジー計画)
- 気象変化 R&D(気象変化科学計画)
- 水素 R&D(水素 R&D 省庁間合同タスクフォース)

政府の全般的な IT R&D 投資と NITRD 計画への予算配分の動向について、次項でさらに詳しく検証する。

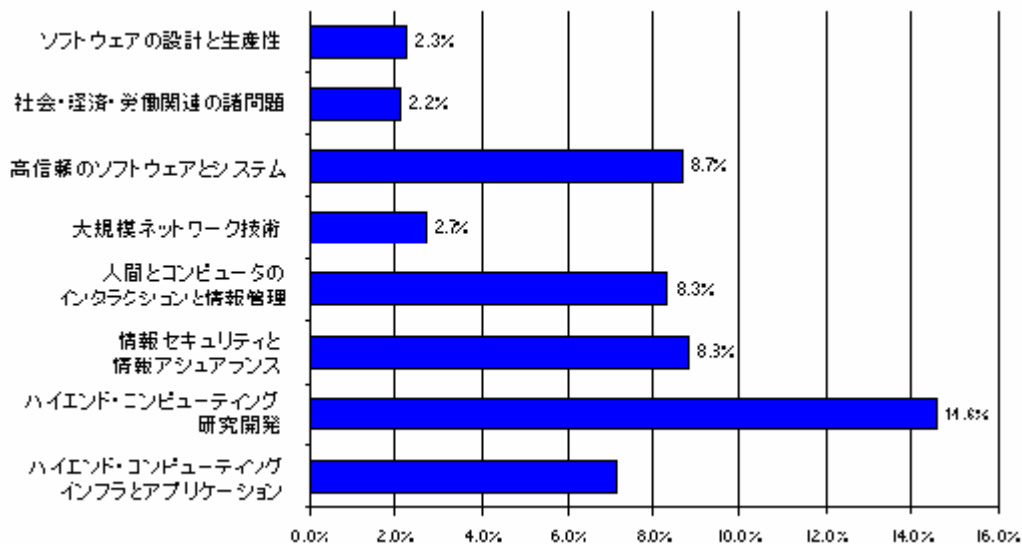
### 連邦政府の IT R&D 予算分析

前述のように、議会において予算法案が可決成立した連邦政府機関がまだ 2 省にとどまっていることから、IT R&D の全体的な予算動向を占うのはやや時期尚早といえる。ただこれまでの状況を見る限り、情報通信分野の研究開発プログラムは、ブッシュ政権の ACI 構想に沿って予算が増額される可能性がある。IT という大きな領域の中の個別分野(ACI では、Program Component Area の頭文字を取って「PCA」と呼ばれる)ごとに検討されている予算案と、IT R&D の中核を担ういくつかの省庁の予算動向について、以下に分析する(ここでは省庁全体の予算について述べ、各省庁内の個別プログラムについては後述する)。

#### 研究分野別の増減見通し

既報のように、大統領の予算要求ではすべての PCA における予算の増額が盛り込まれている。次図は、PCA 別の予算増額見通しである。

図 3: PCA 別予算増額見通し



出所: NITRD 全米コーディネーション局

すでに承認済みの国土安全保障省予算を見ても、情報セキュリティに 330 万ドル多い 2,000 万ドルが割り当てられており(16.5%増)、全体的な増額傾向が裏付けられている。

#### 省庁別の増減見通し

- **国防総省:**連邦議会で可決成立した予算法案では、国防総省の基礎研究プログラム(通称「6.1」)の予算に 4.8%の増額が認められて 15 億ドルとなった一方、応用研究プログラム(同「6.2」)の予算は 0.8%少ない 52 億ドルにとどまった。6.2 に含まれる研究プログラムの中では、情報通信技術関連予算が 15%増えて 2 億 2,600 万ドル、認知コンピューティングシステム関連予算が 6.6%増えて 1 億 7,400 万ドルとなっている。
- **国土安全保障省:**国土安全保障省の予算は、両院協議会における審議の結果、さらに増額されることになった。同省の科学技術プログラムでは、2 種類の分野が 2007 年度予算要求をわずかに下回る予算配分となったが(「相互運用通信」と「情報セキュリティ」がそれぞれ 300 万ドル減の 2,700 万ドル、2,000 万ドルで確定)、「重要インフラ」プログラム予算は、要求額よりも 2,000 万ドル多い 3,500 万ドルに増額された。
- **その他省庁:**その他省庁の予算は、NIST、エネルギー省、NSF のような NITRD 計画の推進機関を含め、連邦議会の承認待ちの段階にある。予算要求の段階では、NIST、エネルギー省、NSF のいずれにおいても、前年度よりも多くの予算が見込まれている。これまでの議会審議過程においてもこうした傾向に変化はなく、3 機関が揃って 2006 年度を上回るまとまった予算の割り当てを受ける見通し<sup>5</sup>。
  - **エネルギー省科学局:**2007 年度の研究開発予算が 17.8%増額される見込み。上院の最新審議動向を見る限り、省内全体の研究開発予算(エネルギー供給/節減、化石エネルギー、原子力などすべての分野を含む)も、10%の増額で決定される見通しである<sup>6</sup>。
  - **NSF:**研究開発予算は総額 7.9%増額の見通し。中でも情報インフラ局の研究開発予算は 42.9%拡大されて 1 億 8,200 万ドルとなっている。電算情報科学工学部門の予算は 5.7%増の 5 億 2,400 万ドル<sup>7</sup>。
  - **NIST:**NIST 全体の研究開発予算は現段階で 6.4%増となっている。議会において、先端技術プログラム(ATP)予算が全面的にカットされて同プログラムの廃止が確実と見られている中、科学技術研究プログラム予算には 21%の増額(総額 3 億 8,200 万ドル)が見込まれている<sup>8</sup>。

とりわけ注目されるのは、NITRD 計画の中心的機関である NSF と NIST の予算動向である。NSF において最も重要な変化は、NSF における次世代ネットワーク(NGN)研究の多くを集約

<sup>5</sup>["R&D Funding Update." AAAS, August 9, 2006.](#)

<sup>6</sup>["Office of Science Climbs 18 Percent in Senate Plan." AAAS.](#)

<sup>7</sup>["Senate Endorses 8 Percent Boost for NSF R&D." AAAS.](#)

<sup>8</sup>["Big Boosts for NOAA R&D, NIST Labs in Senate Plan." AAAS.](#)

的に扱う部署として 2005 年 6 月に新設された情報インフラ局(OCI)の存在である。OCI の予算は今後数年間に拡大され、高性能コンピューティングや次世代ネットワークといった従来の主要研究テーマだけでなく、インフラの高度化と社会・行動・教育との関連のようなこれまであまり主流ではなかった分野も含め幅広い領域で、研究プロジェクトが増強される見通しである。10 月に作業部会の体制を固めた OCI は、下表の通り、2007 年度予算案で 43.5%の増額が見込まれている。

**表 1: NSF と NIST の IT R&D 関連部局予算動向比較 (単位:百万ドル)**

	2006 年度	2007 年度	増分	増加率 (%)
<b>NSF<sup>9</sup></b>				
情報インフラ局(OCI)	126	182	55	43.5
電算情報科学工学部門(CISE)	497	527	30	6.1
社会科学・行動科学・経済学部門(SBE)	200	214	14	6.9
<b>NIST</b>				
情報技術研究所(ITL)	66.6	78.7	12.1	18.1
電気工学研究所(EEEL)	49.5	50.8	1.3	2.6

同様に NIST においても、IT R&D に関連する部門の予算は増額される見込みである。NIST は多くの研究所で構成されているが、このうち情報通信分野の研究開発に最も関連が深いのは 2 つの研究所である。その 1 つ、情報技術研究所(ITL)は IT 研究の主軸として、数理学、コンピュータサイエンス、コンピュータセキュリティ、ソフトウェア診断・準拠性試験、高度通信網、情報アクセス、統計エンジニアリングといった分野の研究を手がけている。2 つ目の電気工学研究所(EEEL)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、電磁気など、高度な IT 機器の開発に寄与するさまざまな技術を研究している。ITL には、上表からもわかるように、ブッシュ政権の ACI 構想に基づいてまとまった予算の増額が提案されている。

<sup>9</sup>“Capital Hill Hearing Testimony: Statement of Alan I. Leshner, Ph.D. Chief Executive Officer American Association for the Advancement of Science,” CQ Congressional Testimony, May 2, 2006.



## 1.2 2008 年度に向けた IT R&D 予算動向

ブッシュ政権は先ごろ、科学技術政策局 (OSTP) を通じて来るべき 2008 年度に向けた研究開発の優先項目を発表した。「重点的研究の支援を通じた技術革新を促進」、「学術横断的な研究活動の推奨」といった抽象的な目標に加え、OSTP は次のような具体的重点分野を挙げている。

- **国土安全保障:** 情報通信分野の研究開発は、国土安全保障の中でも、情報分析、情報共有化、隠された脅威の発見などに関連している。
- **高度ネットワークング、ハイエンド・コンピューティング:** NITRD の対象分野であるこれらの研究は、今回 OSTP の発表した重点項目の中でも名前が挙げられている。
- **ナノテクノロジー:** ナノテクノロジー研究は、それ自体が IT R&D に属しているわけではないものの、ナノ構造物やナノ製造技術の研究は、IT と深い関連を持つ。

### これまでの傾向に基づく予算動向予測

ブッシュ政権が打ち出した ACI 計画には、研究予算を 2016 年までに現行水準から倍増させるという目標の下、連邦政府の R&D 予算総額を単年度あたり約 7% 引き上げると記されている。この計画に沿った増額予算は、ACI の中核的な推進機関である 3 つの省庁に振り分けられる。

- **NSF:** ACI の計画目標に合わせた予算の増額を受けることになっている。大学を対象とする研究助成の中心的機関である NSF への予算が増額されることで、物理・化学・数学・工学などの基礎分野への研究助成にも拡大が見込まれる。応用研究の分野では、ナノテクノロジー、ネットワークング/IT 分野の技術革新支援が強化されるものと見られる。
- **エネルギー省科学局:** エネルギーソース、バイオ技術、材料科学といった分野に加え、ハイエンド・コンピューティング、ネットワークング、ナノテクノロジー等の研究も助成している。2007 年度の科学局予算は、現行案が承認されれば前年比 14% 増となる。
- **NIST (中核):** NIST の研究所で手がける活動は「中核 (Core)」に分類されており、応用研究の比重がやや高い。電子/情報技術を含む多数の IT 関連プロジェクトを始め、ナノテクノロジー、先端材料科学および製造プロセス、水素などのエネルギー源に関する研究が重点となっている。
- **その他省庁:** 国防総省の科学技術プログラム予算は総額で 10.1% 減額の 124 億ドルとされているが、上院に提出された歳出法案では、大統領の予算要求よりも 10.5% 多い金額が盛り込まれている。同省の高等研究計画庁 (DARPA) 予算は、1.4% 増の 30 億ドルとなる。DARPA の中では、情報通信技術分野の応用的研究プログラム予算が前述のように 15% 増の 2 億 2,600 万ドル、認知コンピューティングシステム関連予算が 6.6% 増の 1 億 7,400 万ドルとなっている。その他、主な予算増としては、商務省の海洋大気庁 (NOAA) が大統領の要求額より 34.8% 多い 7

億 7,900 万ドル、NASA が大統領要求より 0.3%とわずかに低いものの 2006 年度歳出概算より 4%増の 121 億ドルなどとなっている。

2006 年度から 2007 年度への増額状況や、議会審議の過程でさまざまな R&D 予算にさらなる増額が付加された経緯などを考え合わせると、2008 年度予算においても IT R&D 関連予算が拡大される傾向は続くものと思われる。具体的な増額規模については、前述の通り米国の競争力強化を目的とした研究開発予算の総額が、2016 年まで毎年約 7% ずつ拡大されることになっている。2006 年度から 2007 年度にかけての動向から、こうした予算が ACI の中核的な推進機関である各省庁にどのように配分されるかを試算してみると、次のような仮説が考えられる。

- **NSF:** NSF の R&D 予算は今後も拡大を続け、特に、情報インフラ諮問委員会 (ACCI) の設置を通じて情報通信分野の研究開発が強化されるものと思われる。官民両セクターの代表を集めた ACCI は、NSF に協力しながら、スーパーコンピューティング、教育/労働問題などさまざまな分野の研究活動を一層推進するという目標を設定した。これらの活動に充てられる予算は、ACI の基準値である 7% を上回る 9~10% もしくはそれ以上の幅で増額されると考えられる。
- **エネルギー省科学局:** エネルギー省も R&D 予算拡大の恩恵を受ける見込みである。11 月の選挙で議会多数派となった民主党の首脳陣が基礎研究を重視する方針を掲げていることから、基礎研究分野で幅広く活動している同省の 2008 年度予算は、2007 年度予算で提案されている 12~13% と同水準の増額を受けることが期待される。
- **NIST:** NIST の中核事業予算についても、現在の拡大基調が続くと予想される。ただし、2007 年度予算要求は、ATP 廃止の影響もあって、ACI の平均水準である 7% の増加率をわずかに下回った。2008 年度には、(とりわけ、基礎研究と応用研究の間で等分に予算が配分されることになっていることを考え合わせると) 最低でも 7% の予算増が見込まれると思われる。

### 1.3 第 110 期議会の発足と IT R&D 活動に与える影響

#### IT R&D に対する議会の見方

ブッシュ大統領が ACI 計画を発表すると、議会はただちにこれらの政策構想を実現するための法案作りに取りかかった。2006 年 5 月、2 種類の大型法案が上下両院に提出され、米国の競争力強化をめざす大統領の構想に超党派の支持が集まった。

- **上院法案 S. 2802(2006 年米国技術革新・競争力法)**:技術革新に関する既存法案(「2005 年国家技術革新法」と「2006 年米国競争力保護法」)の内容をドッキングさせたもので、今後数年間で NSF と NIST の研究予算増大や製造技術普及パートナーシップ(MEP)の強化を図ることなどが盛り込まれている。また、全米科学アカデミーに委嘱して技術革新を阻害するリスクに関する調査を行うこと、ホワイトハウスに技術革新・競争力評議会(OMB と政策協議を行う組織)を設置すること、各連邦政府機関に R&D 予算の 8%以上を「ハイリスク研究」に充てるよう定めること、などの施策も含まれている<sup>10</sup>。休会前は、上院商業科学運輸委員会において、マークアップ(逐条審議)と本会議上程準備の段階にあった<sup>11</sup>。
- **下院法案 H.R. 4845「2006 年技術革新と競争力法 事業税簡素化法」**:上院法案よりも IT R&D の経営面に焦点を当てており、R&D 税額控除の恒久化、各種控除を申請・受給するために必要な届出手続の簡素化などが盛り込まれているほか、医療用 IT や医療に関係した通信網など、具体的な応用分野における研究の促進も目指している<sup>12</sup>。下院の複数の委員会(司法、歳入、科学、教育労働、エネルギー商業)に付託が行われた<sup>13</sup>。

技術革新は、ホワイトハウスと議会共和党首脳陣が共通に掲げるテーマであるが、中間選挙後の短い会期中には、多くの歳出法案審議やイラク戦争・テロ対策に関する重要法案の審議が優先されたため、上記 2 法案は成立に至らないまま休会となった。法案は、2007 年 1 月に民主党主導で発足した新議会において、改めて提出される必要がある。

議会は総じて、研究開発、とりわけ IT 分野の研究開発の重要性を前向きに捉えているようである。このことは、8 月に上院歳出委員会の公聴会が開かれた時点で、NITRD の主要省庁に対して大統領要求額とほぼ同水準かそれを上回る水準の予算が割り当てられていたことから窺える。

#### IT R&D に関連する主要議員の動向

2006 年 11 月の中間選挙で、連邦政府の IT R&D 事業に関連する議員勢力にはどのような動きがあったのであろうか。政府の R&D 事業とそれらを担当する各省庁に関する法案は、多くの委員会で審議されているが、米国の競争力と技術革新の将来構想を描き、それらに基づ

<sup>10</sup>“U.S. Competitiveness Bills Close To Reaching Congress,” Telecom Policy Report, May 22, 2006.

<sup>11</sup>[Library of Congress Thomas Database.](#)

<sup>12</sup>脚注 10 参照

<sup>13</sup>脚注 11 参照

いて具体的な政策を立案しているのは、各委員会の中心メンバーとされる与野党主要議員である。次表に、今会期における IT R&D 主要議員と、それぞれの改選状況を掲げる。

**表 2: 2006 年中間選挙における IT R&D 主要議員の改選状況(所属は改選前)**

	<b>議員</b>	<b>所属</b>	<b>改選状況<sup>14</sup></b>
<b>上院</b>	タッド・コ克蘭 (共和・ミシシッピ)	歳出委員会 (委員長)	(非改選)
	ロバート・バード (民主・ウェストバージニア)	歳出委員会 (野党筆頭委員)	再選
	リチャード・シェルビー (共和・アラバマ)	歳出委員会 / 商務司法科学担当小委員会 (委員長)	(非改選)
	ジャド・グレッグ (民主・ニューハンプシャー)	歳出委員会 / 商務司法科学担当小委員会 (野党筆頭委員)	(非改選)
	テッド・スティーブンス (共和・アラスカ)	商務科学運輸委員会 (委員長)	(非改選)
	ダニエル・イノウエ (民主・ハワイ)	商務科学運輸委員会 (野党筆頭委員)	(非改選)
	ケイ・ベイリー・ハチソン (共和・テキサス)	商務科学運輸委員会 / 科学宇宙担当小委員会 (委員長)	再選
	ビル・ネルソン (民主・フロリダ)	商務科学運輸委員会 / 科学宇宙担当小委員会 (野党筆頭委員)	再選
	ジョン・エンサイン (共和・ネバダ)	商務科学運輸委員会 / 技術革新競争力担当小委員会 (委員長)	再選
	ジョン・ケリー (民主・マサチューセッツ)	商務科学運輸委員会 / 技術革新競争力担当小委員会 (野党筆頭委員)	(非改選)

<sup>14</sup> <http://www.cnn.com/ELECTION/2006/pages/results/senate/full.list/>

	<b>議員</b>	<b>所属</b>	<b>改選状況</b>
下院	ジェリー・ルイス (共和・カリフォルニア)	歳出委員会(委員長)	(非改選)
	デビッド・オベイ (民主・ウィスコンシン)	歳出委員会(野党筆頭委員)	(非改選)
	フランク・ウルフ (共和・バージニア)	歳出委員会/科学国務司法商務担当小委員会 (委員長)	(非改選)
	アラン・モロハン (民主・ウェストバージニア)	歳出委員会/科学国務司法商務担当小委員会 (野党筆頭委員)	(非改選)
	ジョー・バートン (共和・テキサス)	エネルギー商業委員会(委員長)	(非改選)
	ジョン・ディンゲル (民主・ミシガン)	エネルギー商業委員会(野党筆頭委員)	(非改選)
	フレッド・アプトン (共和・ミシガン)	エネルギー商業委員会/通信インターネット担当 小委員会(委員長)	(非改選)
	エドワード・マーキー (民主・マサチューセツ)	エネルギー商業委員会/通信インターネット担当 小委員会(野党筆頭委員)	(非改選)
	シャーウッド・ボーラート (共和・ニューヨーク)	科学委員会(委員長)	引退
	バート・ゴードン (民主・テネシー)	科学委員会(野党筆頭委員)	(非改選)
	ボブ・イングリシ (共和・サウスカロライナ)	科学委員会/研究担当小委員会(委員長)	(非改選)
ダーリーン・フリー (民主・オレゴン)	科学委員会/研究担当小委員会(野党筆頭委員)	(非改選)	

表からもわかるように、IT R&D に関連する主要議員の多くは非改選もしくは再選を果たしているが、今回の選挙でもたらされた最大の変化といえば、与野党の逆転である。民主党が両院で過半数の議席を確保したことで、1 月からは、IT R&D に関連する政策や予算の審議を分け持つ委員会・小委員会が民主党に属する委員長の下で運営されることになった。民主党は伝統的に基礎研究活動を重視していることで知られる。また、新たに下院議長に就任した議員が研究や技術開発の推進に前向きであることから、ブッシュ政権の ACI 計画に沿った法案の可決成立が今後も続くと予想される。

1 月 4 日、下院議長に正式に就任し、IT 全般に関連する政策から R&D に至るまで各種の法案審議を積極的に後押しするとみられているのは、民主党カリフォルニア州選出のナンシー・ペロシ議員である。シリコンバレー出身のペロシ議員は、次のような思い切った技術開発・イノベーション支援構想を打ち出している<sup>15</sup>。

- R&D 税額控除の恒久化による民間投資の促進
- 基礎研究への助成拡大

ペロシ新議長のもと、下院では技術開発や競争力拡大のための政策案の審議を優先させることが可能となる。(同議長は、2006 年 2 月にブッシュ政権とは内容を異にする競争力拡大構想を発表している。)米国エレクトロニクス協会 (AeA)、家電協会 (CEA)、コンピュータ技術産業協会 (CompTIA)、米国電子工業会 (EIA)、情報技術評議会 (ITI)、北バージニア技術評議会 (NVTC)、TechNet といった関連団体も、税控除の恒久化、助成拡大、理数系教育への重点投資といった政策案をこぞって歓迎する姿勢を表明している<sup>16</sup>。

注目されるもう一つの動きは、2006 年を最後に議会から引退した下院科学委員会のポーラト前委員長である。研究開発助成の拡大を強力に推進したポーラト前委員長は、ビジネス・高等教育フォーラムにおいて 2006 年 6 月に行ったスピーチの中でも、「今年は過去に類を見ない厳しい予算状況であったにもかかわらず(中略)、先ごろ下院で可決されたエネルギー省歳出法案では、科学局への予算拡大が原案通り承認された」と述べている<sup>17</sup>。

連邦政府の基礎研究助成強化をめざしたポーラト前委員長の姿勢は、前述の「技術革新・競争力法」審議でも発揮された。同法案には、共和党議員のほとんどが支持を表明したにもかかわらず、ポーラト前委員長は「物理科学分野の研究が全く考慮されていない」と批判した。その上で、夏期休会中に技術革新と競争力の強化を図る別の法案を検討することや、科学委員会で審議する各種の法案の中で R&D 助成の問題も扱うようにすることを考えていると発言した<sup>18</sup>。

コンピューティング研究協会 (CRA) によると、「技術革新・競争力法はハイテク企業の支援を意図して起草されながら、ブッシュ政権の ACI や諮問団体の報告書(全米科学アカデミーの「Rising Above The Gathering Storm」など)に挙げられている目標を反映しておらず、結局八

<sup>15</sup>“Tech Leaders Look to Pelosi's Innovation Agenda,” Technology Daily, November 8, 2006.

<sup>16</sup>“Tech Industry is Anxious for Action on Agenda,” Technology Daily, November 8, 2006.

<sup>17</sup>“Boehler on R&D, Education, and Competitiveness Bills,” American Institute of Physics FYI, June 16, 2006.

<sup>18</sup>“Computing Research Policy Blog,” CRA, March 2, 2006.

イテク企業のメリットにはならないことが懸念されている」という。ポーラート前委員長の発言は、議会の共和党首脳が描いている技術革新支援の構想が偏っているという見方を示したものである。これらの背景から、技術革新・競争力支援のための助成をめぐっては、今後(少なくとも下院において)二つの動きが表面化することが予想される。

一つ目は、ポーラート前委員長の引退に伴い、残る共和党派議員が党首脳部の意向を受けて民間産業界を対象とする税控除などの施策を実現しようとする動きである。

二つ目は、与党の座に返り咲いた民主党が、企業による研究開発よりも基礎研究を重視する方向性を打ち出すことである。CRA によると、ハイテク業界では民主党の技術革新政策構想をはじめ、民主党の取り組みへの支持が強いことから、今後基礎研究への助成が民間支援に大幅に置き換えられるような可能性は低いと考えられる。

議会では、2007 年以後も連邦政府機関による R&D 支援予算の拡大が予想される。全体的な予算規模も拡大しているが、その中で、政府が将来に向けた R&D の基盤として重視する数々のプロジェクト(多くの分野への応用の可能性を秘めた次世代の基礎技術の研究や、より発展的または効率的な研究を可能にするインフラの整備など)については、さらに優先的な予算増が図られるであろう。次章では、こうした R&D 分野の重要プロジェクトについて、概要・目的・連邦政策における位置づけなどを詳細に分析する。

## 2 ポスト NGN アーキテクチャに関する実態調査

### 2.1 GENI プロジェクト

GENI(Global Environment for Network Innovations)は、全米科学財団(NSF)電算情報科学工学部門(CISE)のコンピュータ・ネットワークシステム局で統括されているプロジェクトで、先端的学術研究のための新しい通信網インフラを構築し、将来の経済効果につながる研究と技術革新を支援することを狙いとしている。GENIは、他にない3つの特徴を持っている。

- プロジェクトの基本部分は、NSF が主導する形ではなく、新しいネットワーキング実験のアプローチを探る研究者グループが独立的な取り組みとして始めたものである。
- GENI を通じて作られる新しい試行用ネットワークのベースとなるのは、ネットワークアーキテクチャのあり方を根本から変える全く新しい技術であり、プロジェクト開始後に開発される。
- ネットワーク上で別々に実施される実験を比較したり、同一のネットワークリソースを使用して過去に行われた実験を再現したりすることが可能なネットワークを作り出し、ネットワークアーキテクチャの最適化に役立てることを目標とする。

#### GENI プロジェクトの起こりと基本発想

GENI プロジェクトが誕生したきっかけは、インターネット(具体的には IP プロトコル)が内包する本質的な限界を乗り越える必要性の認識だった。産学協同の世界的分散システムテストベッド構築プロジェクト、PlanetLab のディレクターを務めるプリンストン大学のラリー・ピーターソン教授は、「インターネットに一種の『変曲点』を感じている人は多い。現在のネットワーク機能では(IP の)欠陥がカバーしきれなくなってきたおり、インターネットの使い勝手がどんどん悪くなっている」と説明する<sup>19)</sup>。

GENI の発想は、2002 年から 2003 年にかけてネットワーキング分野の研究者の間で盛んに行われた議論の中から生まれたものである。

- ピーターソン教授らのグループが、インターネットの限界を分析し、従来のネットワーキング研究のアプローチでネットワークアーキテクチャの本質的な問題を解決することが不可能な理由を考察する論文を発表。
- ラトガーズ大学 WINLAB 所長の D・レイチョードリ教授を中心とするモバイル IP 研究ワーキンググループが、「現在の IP では、エンド・ツー・エンドの統合無線 IP ネットワーキングを実現することは構造的に不可能であり、有線・無線それぞれのネットワーク・プロトコルに抜本的な改良が必要」と主張。
- 前述の PlanetLab が、リソース共有とバーチャライゼーションによって効率の高い試行用ネットワークを構築できる可能性を実証(ただし、PlanetLab が設計した実験用ネットワークでは上位レイヤ[1~3]までしか検証していない)。

---

<sup>19)</sup>["The Next Internet," MIT Technology Review, December 22, 2005.](#)



- 100x100 プロジェクトなど、独自に行われたいくつかのプロジェクトが、IP ベースネットワークの限界性(スケーラビリティ、セキュリティ、マネージャビリティ)を指摘。マサチューセッツ工科大学のデビッド・クラーク教授らインターネット技術のパイオニアとされる研究者らも、インターネットを根本から作り変える必要性を示唆。

この問題をさらに検討していくためのリーダーシップが必要と考えた専門家らは、NSF で(CISE)でコンピュータ・ネットワークシステム局長を務めるグル・パルルカー博士に話を持ち込んだ。パルルカー博士は、抜本的な技術刷新というコンセプトに新たな研究テーマとしての価値を見出し、新規に試行用ネットワークを構築すれば、種々の斬新なネットワークデザインを使った実験の場として役立つと考えた。

別々に進められてきた議論をまとめるための場として、Parulkar 博士は計画助成を利用したワークショップの設置を承認、ネットワーク研究の新たなアプローチが話し合われることになった。ワークショップでの意見交換をまとめた報告書は、現在のネットワーク研究のあり方にみられる次のような問題を指摘している<sup>20</sup>。

- 技術開発が後手に回りがち。新たな技術の開発は必要性が認識されてからスタートしている。
- 上のような経緯で開発されるソリューションは、特定のニーズには対応しているものの、必然的に範囲が限定されてしまう。

カリフォルニア大学バークレー校のスコット・シェンカー教授は、ネットワーク研究がもっと根本的な問題を含んでいると指摘する。ネットワーク研究に携わる専門家は、現在のネットワーク技術の欠陥をマイクロソフトなどの IT 企業や機器メーカーに対して訴えているが、反対にこれらの企業から、「よりよいネットワークとはどのようなものか」と聞かれると答えに窮してしまうのが実情である。「ネットワークの構造・機能を本気で改良しようとするなら、ネットワークの設計自体をよりよいものとする具体的な発想を生み出して実証する方法が必要」と同教授は述べている<sup>21</sup>。

PlanetLab のピーターソン教授は、今日の環境で新しいネットワークアーキテクチャを開発しようとしても、「スケーラビリティ」と「反復可能性」が決定的に不足していると指摘する。現在ある試行用ネットワークは、どれも比較的規模が小さく環境条件も規定されたものであるため、新しいコンセプトを実験しても、インターネットに匹敵するような大規模な公共ネットワークでの実用可能性までは検証できない。つまり、焦点を絞った研究を進めるにあたって重要になる運用面でのポイントがわからないことである。また、特定の試行用ネットワーク・機器を使って行われた実験を別の試行用ネットワークで再現しようとしても、結果が大きく異なり、何がこうした相違をもたらしているかがわからないことも問題とされている。

GENI は、高エネルギー物理学分野の粒子加速器や、天文学・宇宙物理学分野の大型望遠鏡に匹敵するスケールと重要性を持った、単一で大規模なバーチャル実験設備を整備することで、

---

<sup>20</sup>["Overcoming Barriers to Disruptive Innovation in Networking." NSF Workshop on Overcoming Barriers to Disruptive Innovation in Network, January 2005.](#)

<sup>21</sup>スコット・シェンカー教授電話ヒアリング

こうした問題の解決を図ろうという取り組みである。設備が大型化すれば、大規模ネットワークの運用に関わる問題を分析する上で役立つ重要なデータを集めることができる。

## GENI の組織機構

GENI は連邦政府が出資するプロジェクトであるが、実際にプロジェクトの牽引役となっているのは、政府以外の機関に属するネットワーキング研究者グループである。GENI のコンセプト立案とプログラムの組織化は、次の 2 種類のグループが進めている。

- **プランニンググループ**: GENI の設備面に関して NSF に助言を行うグループで、主に大学関連の研究者で構成されている。リーダーは、ラリー・ピーターソン教授(プリンストン大学・PlanetLab)で、他にカリフォルニア大学のサンタバーバラ・ロサンゼルス・バークレー・サンディエゴの各校、スタンフォード大学、ラトガーズ大学、カーネギー・メロン大学などから研究者が集まっている。
- **ワーキンググループ**: 複数のグループが存在し、それぞれがネットワークアーキテクチャの個別要素を担当している。現在は次のようなグループが設置されている。研究コーディネーション(研究の必要条件を割り出し、プロジェクトの理論的裏付けを行う)、設備アーキテクチャ(ネットワーク管理・設備管理)、バックボーンネットワーク(光ケーブル、スイッチその他ネットワークの物理的要素)、分散サービス(バーチャライゼーション、アプリケーション・インターフェースなどの機能的問題を幅広く担当)、無線サブネット(GENIバックボーンに接続する無線ネットワークの統合)

これらのグループは、CISE のコンピュータ・ネットワークシステム局に情報・助言などを提供する。

上記に加え、GENI プロジェクトの全体的な理念・コンセプト作りに協力する外部組織が存在する。

- **GENI プロジェクトオフィス(GPO)**: GENI の全体的なプロジェクト管理を担当し、作業分担、スケジュール管理、予算管理などを行う。昨年末、NSF の助成金によってこの任に当たる組織の公募が行われた(応募期限 2006 年 12 月 15 日)<sup>22</sup>
- **コンピューティング・コミュニティ・コンソーシアム(CCC)**: NSF は、コンピューティング研究に携わる民間業界の意向を広く代弁する業界グループを募集した。GENI の開発・機能に関連する情報・意見の提供にあたるこのグループは、2006 年 3 月から募集と選考が進められ、9 月にコンピューティング研究協会(CRA)が選定されて、同協会を中心とした CCC 設置の準備が開始された。現在までに、CCC のサブグループとして、GENI コミュニティ諮問委員会(現 Google のピントン・サーフ博士ら)、CCC 暫定理事会(カリフォルニア大学バークレー校、マサチューセッツ工科大学、カーネギー・メロン大学、ジョージア工科大学、ノートルダム大学などの代表者で構成)、政府機関(ロスア

---

<sup>22</sup> <http://www.nsf.gov/pubs/2006/nsf06601/nsf06601.htm>

ラモスなど国立研究所が中心)、民間企業(マイクロソフト、アマゾン A9 など)が組織されている。

- **GENI 学術会議:** ネットワーキング及び分散システム分野の主要研究者で組織され、ネットワークの機能や研究分野のニーズが高度化する中で有望と考えられる学術研究テーマを絞り込んだ「GENI 学術計画」の策定にあたる<sup>23</sup>。GENI プロジェクトの設計段階には、同計画が定める条件に沿ってプロジェクトが進行しているかどうかを検証するプロセスも含まれる。

上記の各組織は、GENI プロジェクトで今後進められる計画・承認のプロセスにおいて、主に監督役を果たすことになっているが、これ以外にも、上記各組織の統括の下で、プランニンググループによるコンセプト作り・設計に対するインプット、ネットワーク構築の支援、完成したネットワークを活用した研究活動への参加といった形で、多くの関係者が協力することになっている。ピーターソン教授は、「GENI においては、トップダウン式の研究計画策定を避けようという気風があり、GENI を活用した研究の提案をまとめる際には、CCC や学術会議を通じて研究者のコミュニティが定める優先課題がガイドラインとなる予定」と述べている。

### **GENI プロジェクトの進捗・今後の予定**

GENI が正式な予算承認を受けるためには、いくつかの目標をクリアすることが条件となっている。GENI の研究設備の建設資金は、「大型研究機器設備建造(MREFC)契約」という形で確保されることになっている。CISE のコンピュータ・ネットワークシステム局が計画する MREFC 建設プロジェクトは、これが初めてとなる。

MREFC プロジェクトが実施されるためには、NSF 内部の厳正な承認手続を経てから、NSF の予算要求にプロジェクトの費用を盛り込み、行政管理予算局(OMB)を通じて連邦議会に提出、承認を受けなければならない。

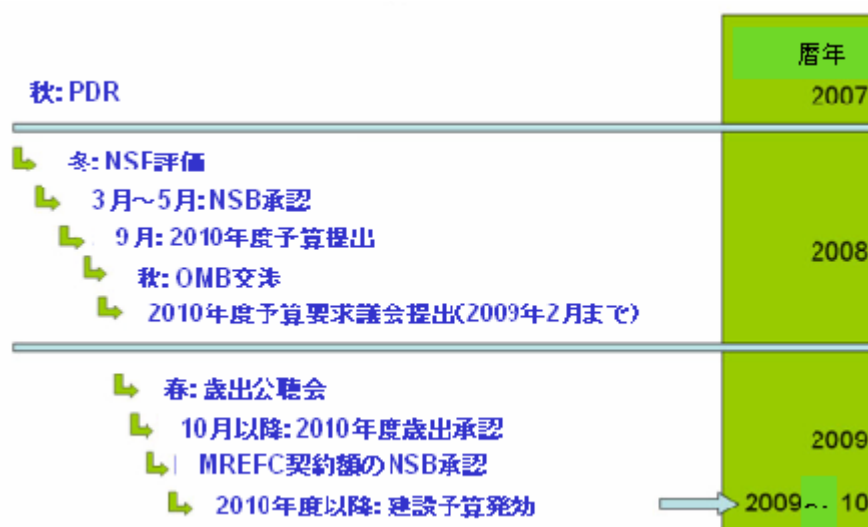
- **2006 年 11 月:** 前述のワークショップの成果に基づき、システムの基本的な目的、設計、要求仕様を記した一連の「GENI 設計書(GDD: GENI Design Documents)」の第 2 次草案をまとめる作業が 2006 年 11 月 21 日まで行われた。
- **2006 年 12 月:** GDD の第 3 次草案発表。
- **2007 年 1 月:** GDD 最終草案のとりまとめ。作業分担方法、予算など運営上の細かい手続について定め、GENI の基本構想で示された目標を具体的な行動計画に落とし込む「プロジェクト実施計画(PEP: Project Execution Plan)」を策定。
- **2007 年 2 月:** GDD と PEP の整合が図られる。GENI プロジェクトオフィス(GPO)が CCC など関連組織の情報を参考に、PEP に定められた具体的活動の作業を開始。
- **2007 年 3 月:** (GDD、PEP、研究計画を含む)すべての文書を最終的にまとめる。

---

<sup>23</sup>[NSF solicits bids to run next-gen Web project office.](http://www.fcw.com) FCW.com, September 5, 2006.

- **2007 年 4 月**: 構想設計評価 (CDR: Conceptual Design Review) を実施。GENI のプロジェクト計画を、学術計画、GPO のプロジェクト管理計画、建設・運営それぞれの進捗状況などに照らし合わせて検討する。評価プロセスは、これ以後も、予備設計評価 (PDR: Preliminary Design Review)、最終設計評価 (FDR: Final Design Review) という形で繰り返し実施される。
- **2007 年 5 月**: CDR が完了すると、次のような予定でプロジェクトが進行することになっている。

図 4: GENI プロジェクトの進行予定



出所: GENI プロジェクトオフィス

## 予算

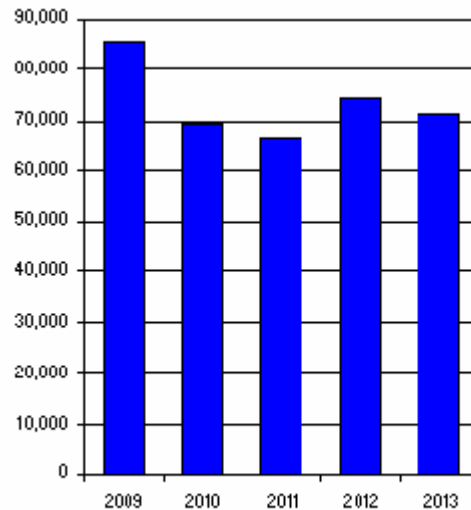
前述のように、GENI の設備は NSF の出資を受けて構築される。このプロセスに関わる意思決定は、GPO (プロジェクト発足にあたっての事務方作業を指揮)、GENI 学術会議および CCC (構築された GENI を実際の研究活動に活用するにあたっての方針作りを担当) の各組織が行う。部門別のプロジェクト予算(2006 年 1 月の概算に基づく)を、表 3 に示す。また、同予算の年度別内訳を図 5 に掲げる。

表 3: GENI プロジェクト部門別予算総額(単位:千ドル)

作業(チーム別)	設備	人員	回線容量	その他	計
<b>ハード構築</b>	<b>29,465</b>	<b>38,225</b>	<b>0</b>	<b>7,357</b>	<b>75,047</b>
エッジデバイス(1)	12,000	8,125	0	460	20,585
カスタマールータ(1)	4,770	8,750	0	2,064	14,584
光スイッチ(3)	13,245	21,850	0	4,833	39,928
<b>無線サブネット構築</b>	<b>12,003</b>	<b>33,715</b>	<b>290</b>	<b>9,508</b>	<b>55,516</b>
市街サブネット(1)	5,642	6,850	0	3,957	16,449
郊外サブネット(1)	1,914	7,270	20	1496	10,700
認知無線(1)	3,401	7,130	0	2665	13,186
センササブネット(1)	446	6,145	20	640	7,251
エミュレーションサブネット(1)	600	6,350	250	750	7,950
<b>管理ソフトウェア</b>	<b>3,230</b>	<b>100,125</b>	<b>0</b>	<b>10,050</b>	<b>113,405</b>
管理コア(1)	325	8,125	0	850	9,300
インフラサービス(5)	710	42,750	0	4,275	47,735
アンダーレイサービス(5)	710	42,750	0	4,275	47,735
計装(1)	1485	6,530	0	650	8,665
<b>ネットワーク構築・管理</b>	<b>1,330</b>	<b>16,920</b>	<b>44,133</b>	<b>5,895</b>	<b>68,278</b>
バックボーン(1)	380	5,635	17,376	5,700	29,121
テールオーキット(共用)	950	3,135	18,317	0	23,052
インターネット交換(共用)	0	3,135	7,340	0	11,005
進行管理(1)	0	4,925	0	195	5,120
<b>プロジェクト管理</b>	<b>229</b>	<b>17,875</b>	<b>0</b>	<b>3,660</b>	<b>21,764</b>
プロジェクト管理オフィス	229	17,875	0	3,660	21,764
小計	46,257	206,850	44,423	36,470	334,010
予備費 (10%)					33,401
<b>総計</b>					<b>367,411</b>
構成比 (%)	14%	62%	13%	11%	100%

出所: GENI プロジェクト実施計画

図 5: GENI プロジェクト年度別予算見通し(単位:千ドル)



出所: GENI プロジェクト実施計画

## 研究領域

### GENI 設備アーキテクチャ

GENI プロジェクトで予定される研究領域を概観するにあたっては、最初に GENI の設備構築で採用されるアーキテクチャのアプローチを理解することが重要である。これには 2 つの理由がある。その第 1 は、ネットワークの基本的コンセプトを考え直すという GENI の狙いから、設備の構築そのものが一つの研究プロジェクトになっているということ。第 2 は、GENI プロジェクトが重視している技術領域が、通信網の構造にも明確に反映されるということである。

GENI のネットワークアーキテクチャは、研究者をはじめとするコンピューティング分野のさまざまな関係者の手でまとめられる一連の GDD に定められた幅広い要求仕様に基づいている。これらの要求仕様も、GENI の応用可能性を知る上で有益である。「GENI 開発原則 GDD」に記された要求仕様は、次の通りである<sup>24</sup>。

- **スライサビリティ:** GENI ネットワークに求められる大きな特色の一つに、多くの実験や通信を同時に行っても相互への影響が及ばないことが挙げられる。このことは、「ネットワーク全体を無数のバーチャルなネットワークに切り分ける(スライスする)ことが可能」とも言い換えられる。

<sup>24</sup>["GENI Design Principles." GENI, August 11, 2006.](#)

- **一般性/使いやすさ:** ネットワークの環境設定をあらゆる種類の研究ニーズに合わせてカスタマイズできることも必要である。GENI プロジェクトでは、研究者が個別のニーズに合わせて簡単かつ迅速に環境設定を変更できるようにするツールも開発されることになっている。
- **忠実性:** バーチャル環境での運用を可能にしながらも、実験やアプリケーションの運用においては、通常のネットワークを使用しているのと変わらない応答ができることも重要である。切り分けられたバーチャルなネットワークのそれぞれについて、通常のネットワークの諸条件をエミュレートできることが必要である。
- **ユーザアクセス:** 幅広い活用を促すため、GENI ネットワークはユーザからの物理的アクセスを簡単にするとともに、ユーザの指定によって他の実験との相互作用を許可するオプトイン機能を備え、既存のインターネットにも接続できるようにすることが必要である。
- **遮断制御:** バーチャルにスライスされたネットワークは、簡単に相互接続できるだけでなく、高度に実験的な用途のためには他のアプリケーションの影響を完全に遮断できるようにしておかなければならない。スライス間の相互作用は、各実験の担当者が前述のオプトイン機能を使って接続を開放した場合を除き、通常は遮断されているものとする。
- **多様性・拡張性:** GENI ネットワークは、幅広いアプリケーションとプロトコルに対応する必要がある。具体的には、既存および将来のあらゆるネットワーク技術に対応できるようにすることが目標である。そのためには、研究者（ひいては商用ユーザ）が特定の技術に依存しない中立的ネットワークに合わせた技術開発ができるようにするインターフェースの開発・サポートが必要である。
- **可観測性:** GENI ネットワークは、きわめて高度な数理的研究に使用されるため、ネットワーク運用状況の監視・管理も数値的に行えるようにしなければならない。すなわち、ネットワークの管理レイヤに計測の機能を組み込み、データの抽出と分析が迅速に行えるようにすることが必要となる。
- **フェデレーション・持続可能性:** GENI 以外の同種のプロジェクトからの参加を促すことも、目標の一つに挙げられている。このため、GENI からリソースへのアクセスを提供するのと引き換えに、別プロジェクトの持っているリソースを GENI に提供してもらうメカニズムが必要である。
- **セキュリティ:** GENI のネットワークを使って、他の参加者や一般のインターネットユーザに攻撃を行うことが不可能な構造とすることが求められる。一つ一つの実験をバーチャルな「箱」の中にとどめ、ネットワーク全体に影響を及ぼすことができないようにするとともに、各実験の利用状況を追跡可能にし、監視・制御が不可能な動作は中断できるようにすることが必要である。

GENI のネットワーク設計のうち、物理的インフラストラクチャを構成する主要要素は次の通り。

- **バックボーン通信網**: GENI のバックボーンとして、学術研究に要求される高速スループットに対応した全米規模の通信網が構築される。
- **プログラマブルスイッチ**: 「多くのバーチャルなネットワークを作り出し、相互接続をユーザの指定に応じて設定・解除できる」という GENI の最大の特徴を実現するため、スイッチの設定が高速で変更できる機能が組み込まれる。
- **エッジクラスタ**: 耐障害性の高い分散型のシステムを構築するという GENI プロジェクトの目標に沿って、アプリケーションやデータはネットワークのエッジ部分に配置したサーバクラスタから供給される。
- **無線サブネット**: 新たに追加されるホストが迅速に GENI ネットワークにアクセスできる機能は、無線サブネットに対応する。また、センサ網などのアプリケーションも無線を利用して試行システムに接続されることになっている。
- **インターネット接続ポイント**: GENI 試行システムは、主に MAE-East と MAE-West の 2 箇所 で公共インターネットに接続する。

GENI が従来の大型研究設備(粒子加速器、望遠鏡など)と異なっているのは、中核となる技術のほとんどが未開発という点である。GENI の開発原則では、特定の機能(タイムシェアリング、プログラマビリティ)を持った構成要素が指定されているが、それらの多くは現存していない。こうした事情から、GENI の全体的な設計も、こうした新技術の開発動向に合わせて徐々に具体化していかざるを得ず、開発途上で問題や遅延などが起こった場合には、設計の根幹部分に変更を余儀なくされることも考えられる。

GENI のこうした側面は、プロジェクトにおける大きな問題となっている。NSF の MREFC 契約では、予算項目に一般的な研究開発活動を含めることが禁じられている。これは、MREFC の制度が実用化済みの既存技術をベースに設計された設備の建設しか想定していないためである。PlanetLab ディレクターのピーターソン教授も、「GENI のコンポーネントには、R&D 契約と似たような形式で構築されるものもあり、必要な資金の一部は、これまでにない手法で確保することが必要かもしれない」と述べている。現在考えられているのは、コンポーネント開発を請け負う委託先から無形の寄付という形で研究部分の提供を受けるという方法や、コンポーネント開発を設備建造契約の枠組みで発注し、契約の中の業務細目の中に研究開発面での到達目標を織り込むという方法、あるいはコンポーネント開発に必要な資金を丸ごと産学コンソーシアムから拠出する(コンソーシアムの中で、大学が基盤技術の研究開発に対する助成を受け、企業が開発された技術を基にして GENI のコンポーネントを整備する契約を受託するという分担)といった方法である。

取り組みを複雑にしているもう一つの問題が、GENI の「運用開始期日」が特定されていないことである。ピーターソン、レイチョドリ両教授は、GENI を「成長していく設備」と形容し、完成時期を特定することは不可能と指摘している。しかし、こうした GENI の特徴は、一定の開始期日と完了期日を定めて行動することに慣れた政府の予算編成関係者にとって扱いにくい。

#### GENI 研究計画

こうした経緯に基づき、「GENI 研究計画」では、GENI を利用した新たな研究と技術開発が有



望視される研究分野が次のように特定されている。

表 4: GENI の活用が期待される主な研究分野

研究分野	プロジェクト案	
アーキテクチャ関連	インターネット・アーキテクチャ (Internet Architecture)	バーチャライゼーション(同一の物理システム内に用途に応じてバーチャルなネットワークやサブネットワークを生成)、レイヤリング(インフラストラクチャ供給とサービス供給の間のダイナミクスを一新)、情報アーキテクチャ(新しいパケット構造ほか)
	情報伝播 (Information Dissemination)	多対多データ交換(ほとんどのインターネットプロトコルの前提である一対一のホスト間関係構造に対し、分散システムやデータキャッシュなどの多対多ホストにもシームレスに対応できる技術)
	グローバルセンサ網 (Global Sensing)	センサ網(長期間にわたって大量のデータを継続収集する小型低出力のプロセッサで構成されるネットワーク)のニーズに対応。研究テーマとしては、個々のデータソースへのクエリ機能、センサからのデータの集積・処理技法、将来のセンサ網用データソースの発掘など
	リレー通信 (Relayed Communication)	上記の「多対多」という性質に関連し、多くのホストを連鎖的に使用してデータを伝送するリレー通信への応用可能性(ネットワーク全体でコンテンツを保存し、必要に応じて最適なソースから呼び出す耐遅延ネットワークなど)
	リアルタイム相互作用 (Realtime Interaction)	各種のメディアと遠隔管理アプリケーションのタイミング要件、スケジューリング及び QoS をめぐる諸問題、これらに関連する信頼性・可用性の問題
構成要素関連	パケット及びマルチプレクシング (Packets and Multiplexing)	パケットルーティング(近似のパケットをバルク処理するパケット集約を基礎としたルーティング機能など)、レイヤ間での障害リカバリの統一、ネットワーク要素の設定を迅速に変更できる機能(プログラマブル光スイッチを利用)など

研究分野		プロジェクト案
	アドレス及び転送 (Addressing and Forwarding)	信頼変調を使った透明性(信頼されたホストだけに自由な相互通信を許可)、間接アドレス(不正にアクセスするユーザのアクセス対象をホストの名称だけに限定し、アドレスを保護する技術)、ダイナミック・アドレス再交付(完全モバイル接続を実現するための必須機能)
	ルーティング (Routing)	エンドノード・ルート選定(マルチホーミングに対応してユーザがパケットの伝送ルートをコントロールできる機能)、トンネリング(ネットワーク自体ではなくアプリケーションレベルで対応)、トラフィック分散(利用できるすべてのリンクにトラフィックを分散することで特定リンクに負荷が集中することを避ける技術)、セキュリティ強化 BGP(不審なルートを適切に分類して伝送量を制限するといった応用が可能)
	モバイル対応 (Support for Mobility)	モバイルデータのための新しいエンドツーエンドのプロトコル(オフライン動作やキャッシュへの非対応など TCP/IP にみられる欠点を改善)、モバイル技術のパフォーマンス(モバイル網の packets 遅延・損失状況を測定する技術など)
	セキュリティ (Security)	迷惑メール対策(メール認証機能、ユーザ間の評価を参照するメカニズムなど)、オンライン投票システム、ワーム対策(新種のワームを早期に発見する仕組み)、エンドポイントの安全性確認(個別エンドポイントのセキュリティレベルを測定、他ホストから確認できるようにする仕組み)、アクセス制限ルーティング(データ伝送に必要な機能を除いてホスト間の相互作用を制限)
	ネットワーク管理 (Network Management)	管理チャンネル(電話網に類似した管理レイヤを追加)、自動設定、管理の集中・分散バランス、抽象化(ネットワークの構成要素と相互作用を少数の直感的インターフェースで管理)
無線・センサ網関連	認知無線 (Cognitive Radios)	無線デバイスの設定を物理レイヤ(無線周波数)、ネットワークレイヤ(受発信を行う無線デバイスのアドホックネットワークを構成)の両方で自動化
	セキュリティ (Security)	無線通信保護のための暗号技術、不正防止ツール(なりすまし、DoS アタックなどへの対策)、不正アクセスの新たなアーキテクチャ(クライアントツーエッジからクライアントツークライアントへの動きなど)

研究分野		プロジェクト案
	間欠・可変接続 (Intermittent and Variable Connectivity)	耐遅延アーキテクチャ、プッシュ・プル・アーキテクチャ(モバイルノードへの情報伝送自動化)
分散アプリケーション アプリケーション	分散データストリーム分析 (Distributed Data Stream Analysis)	分散クエリ最適化(クエリのリクエストをネットワーク全体に分散)、近似化手法(さまざまなクエリを類似度に応じて分類)、セキュア・マルチパーティータ分析(多数のユーザがプライバシーを守りながらインターネット上の広範なデータを収集・分析できるようにする技術)

GENI ユーザのための研究課題は、GENI 学術会議が CCC と連携しながらまとめることになっている。ピーターソン教授は、これが従来型の「研究計画」とは大きく異なるものになると述べている。具体的な研究トピックは挙げず、その代わりに既存の研究の中から GENI に関連するものを一覧化し(インベントリ作成)、それらの中から重要性の高い問題を抽出して示すことで、問題解決のための研究活動の参考に資することが学術会議の狙いである。問題点のとりまとめ作業は、マサチューセッツ工科大学のデビッド・クラーク教授を中心に進められている。また、レイチョードリ教授は、「学術会議の活動によって、たとえば『10 大研究案』のようなものがまとめられる可能性もある」としている。これは、潜在的な研究価値の高い研究分野を特定し、これらの分野のプロジェクトが GENI のリソースを優先的に使用できるようにするというものである。「アイデアという概念は、ユビキタス、テレプレゼンス、セキュリティといった用語と同様、非常に範囲が広く曖昧な概念」と同教授は指摘する。

このように、GENI 学術会議は、研究計画を具体的に指示することはせず、参考となる指針を示すという形でプロジェクトに関わろうとしている。ネットワーキングを専門とする米国の研究者の間では、研究課題を一方向的に縛ることに懐疑的な見方が支配的で、GENI 学術会議が詳細な計画を策定したとしても強い反発があることが予想されるため、こうしたアプローチはきわめて重要とピーターソン教授は述べている。

### 外部コミュニティの参画

GENI プロジェクトは、計画とアーキテクチャ策定(後述)の各段階において、幅広い方面からの参画を想定している。これらは、「国内政府機関」、「外国政府機関」、「民間セクター」、「ネットワーキング関連研究機関」の 4 種類に大別される。

#### 国内政府機関

NSF 以外の連邦政府機関も、国家科学技術委員会(NSTC)の情報技術研究開発小委員会

(各省庁が横断的に参加)に設けられた「大規模ネットワーク技術 (LSN) 作業部会」を通じて、GENI の動向を把握している。GENI の構想は、他省庁の間でも支持されている。これらの省庁が直接プロジェクトに参加する体制にはなっていないものの、「リソースの提供」という形で GENI に間接的に協力する可能性はある。例えば、エネルギー省が保有するネットワークの ESNET を GENI にリンクし、ESNET のコンポーネントを GENI の共有インフラストラクチャの一部とする一方で、NSF の許可を得て ESNET のユーザも GENI にアクセスできるようにするといった案が考えられている。このような協力関係が実現するためには、GENI のリソース配分を外部機関から提供されるリソースの価値に見合ったものとするのが重要である。

#### 外国政府機関

GENI プロジェクトにおける外国機関との連携では、PlanetLab で採用されたアプローチが踏襲される見込みである。外国政府は、PlanetLab の試行ネットワークと同様のインフラストラクチャを独自の予算で構築し (EU の OneLab など)、PlanetLab との協定に調印して完全相互運用とトラフィック交換を実現している。GENI においてもこれと同様に、各国が GENI アーキテクチャの要求仕様に準拠した独自のネットワークを構築し、これらを米国の GENI にリンクするという方法が考えられている (諸外国のネットワーク設備は、それぞれの地元政府の管轄・管理下に置かれる)。ただし、ピーターソン教授によると、諸外国の一部 (特に欧州諸国) には、「ネットワーキング研究を自国の支配下に置こうとする米国の計画」としてこのようなアプローチに反発し、GENI との連携に積極的でないところもあるということである。

#### 民間セクター

GENI における民間セクターの参画には、多くの障害がある。民間企業は、GENI の研究成果が商用ネットワークアーキテクチャとハードウェアの改良につながった場合、そのメリットを最大限に実現する上で主役となるべき存在である。しかし、民間セクターでは現在 GENI についてきわめて懐疑的な見方が強い。それは、GENI を通じて提唱される改革によって既存のネットワークアーキテクチャが否定されたり、企業の競争力が損なわれたりする恐れがあるためである。

民間セクターの中でも特に GENI を警戒しているのは、ISP (インターネット接続サービス) と通信の 2 つの業界である。例えば、ベライゾン・コミュニケーションズ社でネットワークアーキテクチャ関連業務を統括するスチュアート・エルビー副社長は、「GENI は面白い取り組みであり、自社の意見なども提供したいと思っているが、資金など直接的な支援を提供することは全く考えていない」、「Verizon として、GENI を通じて生まれる新しいアーキテクチャ原理を導入するかどうかは、費用対効果を明確にしてからでなければ決められない」などと発言している。現行のインターネットインフラを支配する ISP・通信の両業界が GENI の今後にこうした慎重な見方を示していることは、プロジェクトの関係者にとって深刻な問題といえる。レイチョードリ教授は、「GENI を通じて新たな技術が誕生しても、IPv6 と同様に、実用化が進まないうちに技術的価値が風化してしまう結果に終わる恐れがある」と認めた上で、「そうならないためにも、GENI においては段階的な技術改良を目指し、既存のインターネットのセキュリティやスケーラビリティ、柔軟性を少しずつ高めていけるようにすることが望ましい」と指摘する。

GENI にとって一つの可能性は、民間セクターの保有するネットワークに競合者として影響を及ぼすことである。シェンカー、レイチョードリ両教授は、「GENI アーキテクチャの一部が幅広く受け入れられるようになれば、GENI の一部を民間セクターの利用に開放することもあり得る」と

している。現在の商用インターネットも、1980 年代から 1990 年代初期にかけて民間利用向けに開放された NSFNET をバックボーンとして発達したものである。GENI においても、民間ユーザの乗り入れが拡大していけば、他の事業者も対応を促されて業界全体の技術革新につながっていく可能性があるという考え方である。

一方、機器製造業界の GENI に対する姿勢は、「ネットワーク運営関連業界に比べるともう少し積極的」とピーターソン教授は見ている。ただし、各社の足並みにはかなりの開きがある。GENI に最も大きく関わっているのは、充実した研究所設備を持ち長年基礎研究に力を入れてきたインテル社やヒューレット・パッカド社のような大企業である。これらの企業は、GENI に協力することで『ネットワークの未来を見据えた取り組みに参加している』という企業イメージをアピールすることができ、自社にとっても宣伝効果があると考えている。同教授によれば、インテル社では GENI への協力活動にかかる予算をすべてマーケティング事業部の費用に計上していると見られる。

一方、シスコシステムズ社のように、表立った協力をあまり行わない企業もある。同社は、ルータなどの必要機器を GENI に提供することに同意したものの、ルータをプログラマブルにするために必要なソースコードを GENI の設計チームに開示することは「企業秘密」として拒んでいる。シェンカー教授は、シスコ社のような機器メーカーの協力を促す方法として、「自社に代わってライバル企業が GENI に参画した場合、自社技術の競争力が失われる恐れがあることを理解させる」、「GENI を活用してメーカーが試験的に開発した機器のテストができるようにしたり、GENI から生まれた新技術を取り入れて自社機器の改良ができるようにしたりする」という 2 つのアプローチを挙げている。

GENI との関連が強いもうひとつのグループが、IBM 社、ゼネラルアトミクス社、ルーセント・テクノロジー社、テルコーディア社など、長年にわたって研究開発プロジェクトを受託してきた企業である。ピーターソン教授の言葉を借りるなら、これらの企業は GENI の設備建設プロジェクトという「総額 3 億ドルのパイ」に大きな関心を寄せているという。一つの懸念は、これらの企業が新たな技術を生み出しても、特許権を手にするができなかったり、技術的な高度性から容易に商品化できなかったりする恐れもあることである。しかしここでも、GENI への参加自体が企業メリットとして認知されれば、各社の積極的な協力も期待できる。

#### 研究機関

GENI の研究グループは、それぞれが互いに競争と協力をを行いながら活動を進めるという想定になっている。各グループが独自のアーキテクチャを考案し、互いに検証しあうプロセスを繰り返しながらよりよいものを探っていくというアプローチである。シェンカー教授によると、自分たちの考え出したコードや手法をオープンにしたり他との比較にさらしたりするやり方は、一部の研究者から反発を受けることも考えられるという。学術研究の世界では、論文の発表まで自らの研究内容を公にしないことが一般的だからである。

シェンカー、ピーターソン両教授は、このような問題に 2 つの面から対応することが可能であると考えている。第 1 は、研究者間のプレッシャーを利用する方法である。GENI プロジェクトに参加する研究者は、コードを共有化したり他のグループと協力して実験を進めることになっており、こうした連携ができない参加者の研究成果は、GENI コミュニティ内でも取り上げられなくなっていく、重要性を失っていく。反対に、他の研究者やグループとの協力関係を積極的に模索

する研究者とその研究成果には多くの関心が集まり、他者からの協力も得やすくなる。このような空気は、閉鎖的になりがちな研究者のコミュニティを変えていくことに役立つと期待される。

第 2 は、PlanetLab の先例にならって知財権の扱いを法的に明確にする方法である。PlanetLab の設備を利用して作り出されたコードには、オープンソースソフトウェアライセンスが適用されることが、知的財産に関する合意で定められている。GENI においても、ソースコードは外部のユーザも自由に確認・使用することが認められるが、ソースコード自体を無断で変更することは禁止され、GENI がすべてのオープンソースソフトウェアのレポジトリとして機能する見込みである。

その意味で、GENI は、単なるネットワーキングの新技术試行設備でもなければ旧来の研究イニシアティブの一つでもなく、ネットワーキング分野の学術研究や研究者のあり方を根本から変えて行こうとする試みといえる。GENI が成功すれば、ネットワーキング分野における研究者コミュニティの縦割り主義や分断は解消に向かい、これまでよりもはるかに一体性が高く生産的な研究活動が行われるようになると期待される。

## 2.2 NeTS プログラム

### 概要

NeTS (Networking and Technology Systems) プログラムは、NSF が立案から運営までに携わる次世代ネットワーキング技術開発の助成事業で、2003 年 3 月に「ネットワーキング研究特別プロジェクト (SPN)」の名称で開始された。次に、これまでの主な進捗状況を会計年度別にまとめる。

表 5: SPN/NeTS の年度別進捗状況

年度	概要
2003 <sup>25</sup>	NSF は初年度として 8～12 の研究事業に総額 600 万ドルの出資を決定。短期間で実用化が可能なネットワーキングサービス及びインフラストラクチャ、周波数共有無線ネットワーキング、大規模ルーティング・輻輳管理、光ネットワーキング技術を利用した新たなアプリケーション開発、といった分野に重点。
2004 <sup>26</sup>	名称が NeTS プログラムに改められ、助成の規模も 40～50 件、総額 4,000 万ドルに拡大される。主な重点分野に、ネットワークアーキテクチャ、プロトコルアーキテクチャ、大規模ネットワークの基本原理及び設計、ネットワーク制御・管理、革新的ネットワーク技術、ネットワーク拡張性、インターネットの戦略的研究 (次世代インターネットほか) など。NSF は、プログラマブル無線ネットワーキング (周波数共有、トポロジー/ディスカバリーサービスなど) とセンサシステム (ハードウェア/ソフトウェアのプラットフォーム、試行システム/アプリケーションなど) の両分野を特に重視。
2005 <sup>27</sup>	NSF は前年度と同様、40～50 件、総額 4,000 万ドルの助成枠を用意するとともに、募集対象を純粋な研究プロジェクト以外の事業 (ワークショップなど) にも拡大。現在の重点分野に数えられる 3 つの分野、「広義のネットワーキング (NBD)」、「プログラマブル無線ネットワーク (通称 ProWin、現在は後述の WN に移行)」、「センサシステム・ネットワーキング (NOSS)」が登場。
2006	総額 4,000 万ドル、60～80 件の助成が目標。2005 年度から継続の 3 分野 (NBD、WN、NOSS) に「将来のインターネット設計 (FIND)」を加えた合計 4 分野を重点とする。

来る 2007 年度についても、2006 年度と同じ 4 つの重点分野における研究事業が助成対象として募集されている<sup>28</sup>。

<sup>25</sup> <http://www.nsf.gov/pubs/2003/nsf03555/nsf03555.htm>

<sup>26</sup> <http://www.nsf.gov/pubs/2004/nsf04540/nsf04540.htm>

<sup>27</sup> <http://www.nsf.gov/pubs/2005/nsf05505/nsf05505.htm>

「将来のインターネット設計 (FIND)」

NSF は、向こう 3 年間で段階的に FIND の助成研究を発展させていこうとしている。2007 年度には「将来のインターネット」に必要となる要素とそれら相互の関連を探る研究、続く 2008 年度には前年度に確認された必要要素を取り入れた新たなアーキテクチャの構築、最後の 2009 年度には新たなインターネットの機能面(プロトコル、アプリケーションなど)に焦点を合わせた研究を支援する計画である。この分野には、「次世代インターネット向け技術」の研究が含まれ、中核的機能に関するもの(ルーティングやスイッチングの「次」に来る技術、データ制御・管理の各レイヤに関わる技術など)、セキュリティとプライバシー保護、信頼性とオープン性、人間とコンピュータの関わり(経済ユーティリティ、社会的アプリケーションなど)といった研究活動が募集対象となっている<sup>29</sup>。(FIND への助成は、将来 GENI を利用した研究活動への助成として拡大されることになっている。)

「センサシステム・ネットワークING (NOSS)」

センサ網の構築に使われるアーキテクチャ、アルゴリズム、アプリケーションの研究事業が対象で、次のような領域が含まれる。

- アーキテクチャ及び構成要素(ルーティング、ネットワーク内処理、ストレージ、ネットワーク管理など)
- プログラミングシステム(プログラミング言語、センサ網に特化したアプリケーションのためのツールなど)
- 参考事例(技術面だけでなく、投資利益率など事業面での可能性も探るための試行導入)
- ハードウェア/ソフトウェア・プラットフォーム(ターンキー方式のセンサ網ソリューション開発)
- 試行設備/アプリケーション(新たに開発されるセンサ網とアプリケーションを試験運用するための設備構築)<sup>30</sup>

「無線ネットワーク(WN)」

対象には、各種無線ネットワーク技術(セルラーネットワーク、無線 LAN、アドホックネットワーク、メッシュネットワーク、耐遅延ネットワーク、車両用ネットワークなど)、ネットワークアーキテクチャ(特に現在の規格不統一の解消をめざす研究)、関連技術(周波数共有、ルーティング、プロトコル・レイヤなどの基盤技術と、協調的通信、メディアアクセス、位置ベースアプリケーションなどの応用技術)などが含まれる<sup>31</sup>。

<sup>28</sup> [http://www.nsf.gov/funding/pgm\\_summ.jsp?pims\\_id=12765&org=CNS](http://www.nsf.gov/funding/pgm_summ.jsp?pims_id=12765&org=CNS)

<sup>29</sup> <http://www.nsf.gov/pubs/2007/nsf07507/nsf07507.htm>

<sup>30</sup> 同上

<sup>31</sup> 同上



「広義のネットワーキング(NBD)」

この分野では、ネットワークへのアクセス、光技術、新しい無線技術、さらには理論的・実験的な先端技術など、さまざまな研究を幅広く対象とする。NSF では、応募を歓迎するプロジェクト例としてネットワーク制御・管理、ネットワークポロジ、ゲーム理論、分散輻輳管理、P2P ネットワーク、ホームネットワーキング、トラフィック計測・分析といった名前を挙げている<sup>32</sup>。

NSF は、2006 年 10 月 16 日に 2007 年度 NeTS プログラム助成研究募集要項を発表した。2007 年度のプログラム予算は総額 4,000 万ドルで、60～80 件の事業が選定される見込み。1 件当たりの助成額は事業の種類によって異なる<sup>33</sup>。

- **個人・小規模グループによる研究:**年間最高 12 万ドル
- **大規模グループによる研究:**最高 50 万ドル、最長 4 年間にわたる研究活動に充当できる。
- **計画助成:**大がかりな研究・教育活動の助成を行うコミュニティもしくは機関の設置プロジェクトが対象。助成期間・予算・プロジェクト目的などについては、NSF のスタッフとケースバイケースで協議される。
- **ワークショップ:**NeTS プログラムに関連したテーマで、複数の研究分野から幅広く参加者を集めて将来への研究方向性を話し合う会議・ワークショップ企画が対象。年間 5 万ドルを助成(NSF スタッフとの協議により決定)。

NSF は、米国科学審議会(NSB:National Science Board)が定めた 2 つの条件に基づいて審査を行う。

- **研究価値(Intellectual Merit):**研究テーマの価値、他分野の研究開発への応用価値、当該研究を実施しようとする応募者の適性、具体的な研究計画の質などを検討。
- **広範な影響度(Broad Impact):**当該研究が学術研究全般、または教育・能力開発にどの程度貢献するかを検討。既存インフラの活用予定、学術研究コミュニティに対する研究成果の還元予定、最終的な社会への貢献度などを考慮。

NSF に届いた応募書類は、「アドホックレビュー」または「パネルレビュー」のいずれか一方の方式で審査を受ける。この審査に合格した書類は、NeTS プログラム担当官のところに集められ、助成候補が絞り込まれる。最終的な助成の決定は、NSF の局長が行う。

NSF はすべての応募に対して受理後 6 ヶ月以内に回答することを目標としている。助成対象に選ばれた事業の情報は助成給付局にも送られ、NSF の各種規定に抵触する問題がないかどうかをチェックされた上で、給付の方針が本決定される。

---

<sup>32</sup>同上

<sup>33</sup>同上

## 研究領域

ここでは、NeTS プログラムが 2005 年以降に助成したプロジェクトを分野別に概観する。

### FIND

- 将来のインターネットのための SILO アーキテクチャ (Services Integration, Control, and Optimization: サービス統合、制御、最適化)
- 共同研究: CABO (Concurrent Architectures are Better than One: 単一アーキテクチャと比較した並列アーキテクチャの優位性)
- CogNet: 認知無線ネットワーク及び将来のインターネットにこれを統合するための実験的プロトコルスタック
- 将来の光ネットワークアーキテクチャ

### NOSS

- 計算集約ネットワーク型エンベデッドシステムの迅速な構成・導入のためのミドルウェア・フレームワーク
- 共同研究: センサ網のための軽量モニタリングツール
- 異種混合センサ網の分析・設計
- ストレージセントリック・ネットワーク型エンベデッドシステム

### WN

- NeTS-ProWIN: マルチティア・ハイブリッド無線ネットワーク
- 共同研究: 協調的無線ネットワークのための新しいタクソミ
- イーサー・フィンガープリント: 無線チャンネルを利用した無線セキュリティ強化
- マルチホップ無線ネットワークにおけるチャンネル情報の活用
- 異種混合型認知無線ネットワークのためのリソース管理と分散プロトコル

### NBD

- 高速設定変更が可能な WDM ベースのネットワーク、及びグリッド・光無線ネットワーク (GROW Net) のアーキテクチャ
- 複雑かつ大規模なトラフィックにおけるマルチトラフィック分析・検出 (MADCAT)
- XOR イン・ジ・エア: 実用無線ネットワークコーディング

## 2.3 プラネタリ・コンピューティング

### 概要

プラネタリ・コンピューティングとは、ヒューレット・パッカード社 (HP) の研究所で進められているプロジェクトで、さまざまなデータやリソースを結びオンデマンド方式で利用できる新しいインフラストラクチャの構築をめざしている。このようなユティリティ・コンピューティング的将来像は、同社を含む IT 業界 (ハードウェア製造、プロフェッショナルサービス、システムインテグレータ) の大手各社が 2000 年代に入ってから広く標榜しているものである。

HP は 2002 年 1 月にプラネタリ・コンピューティング計画を発表し、次のような特色を持った次世代インフラストラクチャの構築に向けた研究活動を開始した<sup>34</sup>。

- **スケーラビリティ:** HP の構想によれば、プラネタリ・コンピューティング網は最大 50,000 台のサーバからなり、すべて高速の IP スイッチ網 (ファブリック) で結ばれている。多くの処理能力を必要とするユーザには、システムが追加的にリソースを割り当てて処理が行われる。
- **パーベイスブデータ:** ユーザが保存するデータもネットワーク上に分散されるため、ネットワークやサーバの一部に障害が起こっても必要な時に確実に取り出すことができる。
- **自己管理:** HP がめざしているのは、人の手を借りずに自動的にネットワーク管理が行われるインフラストラクチャの構築である。例えば、データセンターのフレームワーク、SmartFROG では、ネットワークのさまざまなコンポーネントを接続するためのルールを記述した数々のテンプレートを元に自動的に設定が行われ、障害が発生してもシステム自身による接続ルートの変更が行われる。
- **自己組織化:** HP ではさらに、システム全体の能力・機能を把握し、ユーザニーズに応じてネットワークの設定を変更するフレームワークの実現を目指している。プロジェクトの最終段階では、それぞれのタスクに応じて各リソースの役割をシステムが自己決定して必要な設定を行う機能の開発が行われる。

### 研究領域

プラネタリ・コンピューティングは厳密には HP の研究所における正規のプロジェクトではないが (「構想」という位置づけ)、次に掲げるようにこの構想に沿ったプロジェクトはいくつか動き出している。

- **データセンター・アーキテクチャ:** 個別のコンピュータ単位のアーキテクチャ (単一のリソースを複数のバーチャルマシンとして分割利用する方法など)、さらにはデータセンターの全体的運用に関わるアーキテクチャ (電力管理、ソフトウェアアーキテクチャ、等) を研究するプロジェクト。

---

<sup>34</sup>“Heal Thyself -- Software increasingly will be able to adapt without human intervention. Will managers be able to let go?” InformationWeek, April 1, 2002.

- **SmartFROG:** ネットワーク上のコンポーネントやリソースを接続するためのルールを記述し、ユーザ(人または自動サービス)が必要に応じてリソースを探し、設定・利用ができるようにするシステム。
- **ストレージシステム:** プラネタリ・コンピューティングでは、ネットワーク全体に分散保存されたデータをいついかなる場所からも取り出すことができる仕組みの確立を目指している。そのためには、ネットワーク上の多くのコンポーネントを結び付けるメッシュ型のストレージシステム開発をはじめ、ストレージシステムの自己管理、ストレージセキュリティに関わる問題の解決、新たなストレージ関連技術(MRAM と呼ばれる磁気抵抗メモリなど)の開発、分散されたストレージリソースを一括して視覚的に確認できるグローバル・ファイルシステムの開発などが必要となっている。
- **スマートクーリング:** データセンターに関わる物理的な問題の一つに、多数のサーバから発生する熱の処理がある。HP 研究所では、例えば、発生する熱量を最小限にするデバイス設計、消費エネルギーの節減技術(データセンターから発生する熱エネルギーの二次利用、燃料電池などの新技術等)など、データセンターのためのさまざまなクーリング・ソリューションを研究している。
- **インテリジェント・インターネット・アーキテクチャ:** 本報告書で取り上げた他の NGN プロジェクトに最も近いのがこのプロジェクトである。システムのパフォーマンスを最適化する新しい動的ネットワークアーキテクチャの開発に向けて、ワークロード/アプリケーション分析、処理能力管理サービス、バーチャルクラスタ生成、モニタリング・インフラストラクチャなどに焦点を当てた研究が進められている。
- **アダプティブ・エンタープライズのサービスエレメント:** 次世代ネットワーク・プラットフォームの実用化を助けるさまざまな技術に着目した研究。具体的な対象としては、ビジネス・コックピット(ダッシュボードのような形式によってネットワークの運用状況が一目で把握分析できる仕組み)、データマイニング及びマシンラーニング(大量のデータを検索・分析するための技法)、ユーティリティ・データセンター・リソース配分(ユーティリティ・コンピューティングのリソースを個々のビジネスプロセスに合わせて調整するアルゴリズムなど)といった技術がある。

## 2.4 大量データ解析型研究のための超大型情報システム(UltraLight)

### 概要

UltraLight は、NSF の助成を受けて大学・政府系研究機関が共同で進めているプロジェクトで、グリッドコンピューティングをはじめとする分散型アーキテクチャを活用して、高エネルギー物理学分野の実験結果などに代表される膨大な学術データを解析する新たな手法を探るものである。プロジェクトには、次のような多様なグループが参加している。

- **大学:** カリフォルニア工科大学、フロリダ大学、フロリダ国際大学、ミシガン大学、マサチューセッツ工科大学、スタンフォード大学、カリフォルニア大学リバーサイド校、シカゴ大学、ボストン大学
- **政府系研究機関:** フェルミ国立加速器研究所、ブルックヘブン国立研究所
- **その他:** 物理学分野の研究グループ(分子物理学データグリッド、オープンサイエンスグリッド、グリッド 3、GriPhyN、ADRA)、ネットワーク分野の NPO(次世代インターネット開発のための大学コンソーシアム[UCAID]、インターネット 2)、民間企業(シスコシステムズ、HP、マイクロソフトなど)

プロジェクトは、次のような複数の作業部会別に進められている。

- **ネットワーク:** UltraLight のネットワーク設計・構築と保守を担当するグループ。ネットワークカーネルの開発、各種ネットワークサービス(ルーティング、パス、認証)の規定、文書作成(ネットワーク技術文書、ネットワークポリシー、初期設定・設定のベストプラクティスなど)
- **アプリケーション:** カリフォルニア工科大学、フロリダ大学のチームが中心となり、次の 4 分野のアプリケーション開発が進められている。「試験」(Java 及び Python をはじめとする複数のプログラミング言語による試験用クライアントの開発を含む)、「探索」(必要に応じたグリッドリソースを見つけ出す手法)、「協業」(エネルギー省の「バーチャルルーム・ビデオカンファレンシング」設備を利用)
- **ユーザコミュニティ:** 幅広いユーザ層の開拓を目的とした活動を行う。まず内部関係者から出発して、研究者の視点から UltraLight への具体的なニーズを探り、ネットワークの整備が進んだ段階で外部ユーザを積極的に加える取り組みを通じ、これらユーザのリソースもネットワークに加えていく計画。さらに、共同開発環境を実現するためのコミュニティツール開発やソフトウェアのバージョン管理システムの開発にもあたる。
- **教育・普及:** プロジェクトに関する年次ワークショップを実施する。ネットワーク研究、ネットワーク工学、モニタリング、アプリケーションなどのトピックを扱うこのワークショップは、プロジェクト関係者以外(学生など)にも公開され、研究現場のニーズに関する意見を募ったり、参加体験を通じて将来の潜在的プロジェクト参加者層を広げることを目指す。

UltraLight プロジェクトでは、毎年進捗状況を報告書にまとめており、2006 年版は 3 月に発行されている。プロジェクトは 3 つのフェーズに従って行われることになっており、それぞれの主な内容は次の通り。

- **フェーズ 1(ネットワーク及び機器の導入、初期サービスの開始)**: プロジェクト報告書によると、この第 1 段階はプロジェクト 2 年目の期末(助成金給付から約 16 ヶ月後)に終了した。2005 年には、UltraLight カーネルがリリースされ(9 月)、2 つの重要なワークショップ(6 月の「ネットワーキングと高エネルギー物理学に関する夏季ワークショップ」、10 月の「UltraLight コラボレーション会議」)が実施された。UltraLight ネットワークは、現在までにいくつかの 10GB 高速ネットワーク(HOPI、ウルトラサイエンスネット、LHC ネット、TeraGrid)に接続を完了している。
- **フェーズ 2(統合化と範囲拡大)**: 現在進行しているこのフェーズでは、参加グループの拡大を図っている(パキスタン、ルーマニア、日本、韓国、ブラジルといった諸外国の加入も始まっている)。また、トンネリングの技術を利用し、ポイント間伝送のカーネルを最適化して長距離伝送のスループットを強化する研究も進められている。また、マルチドメインのハイブリッドなグリッド網に対応したネットワーク管理レイヤの開発にも焦点が当てられる。
- **フェーズ 3(実用稼働への移行)**: 2007 年前半からスタートし、2008 年 6 月の助成期間終了までに、試験運用開始(3 月頃)、データ伝送開始(6 月頃)、LHC 物理学研究データを皮切りとするネットワークの本格運用開始(2008 年 3 月頃)といった目標を順次達成することになっている。このフェーズでは、UltraLight ネットワークの機能をさらに安定させ、耐障害性を高めることが大きな狙いとなっている。

## 研究領域

UltraLight プロジェクトでは、主に次のような分野での研究開発が行われている。

- **ネットワーク工学**: UltraLight ネットワークの基盤となる次のような研究開発が含まれる。基本ネットワークサービス(インテリジェント光コア、インテリジェント・レイヤ 3 エッジ等)、カーネル/プロトコル開発(TCP の問題点をカバーするための Linux カーネル改良と UltraLight エクステンション)、高速伝送ツール(gridftp、scp、bbcp 等の試験ツール)、ディスク間伝送(1GB を超える伝送レートの実現が目標)、パス管理(ソフトウェア・エージェントを利用してリソースと波長を配分しオンデマンドの光パスを生成)、モニタリング(MonALISA フレームワークによりネットワークのパフォーマンスを総合的に測定)、グローバルサービス(「コンピューティング・インフラストラクチャのためのバーチャル・インテリジェント・ネットワーク」プロジェクトのように、各種のアプリケーションやサービスをグローバル規模の自動設定・リソース配分に対応させる取り組み)
- **高エネルギー物理学アプリケーションサービス**: 物理学分野の研究向けに特化した各種アプリケーションを開発する。具体的には、プログラミングツール(例えば 2005 年には、バーチャルデータツールキットの一環として、グリッド・ミドルウェアの作成・管理を支援するクライアントプログラム「Clarens」をリリース)、データ伝送ツール(地域センター間のデータ伝送を可能にする PhEDEX システム、認証付きの安全なデータ伝送とアクセスを可能にする Web サービスの開発など)、モニタリングツール(ネットワーク全体

からパフォーマンスデータを収集・分析する MonALISA システム)、ポリシー管理システム(ワークフローシステム「Monte Carlo」により、実際のプロセスに応じたデータアクセスを管理・規制)、クライアント(グリッドサービスにアクセスするための Java クライアントと、ネットワークにデータをアップロードするための Web サービスインターフェースなど)、相互接続ツール(UltraLight とオープンサイエンス・ネットワークとの接続など)、その他(自動的に行われる設定をユーザのニーズに応じて手動で変更できるジョブ・ステアリング・ツール、リソース利用状況予測システム、コンテンツ管理やバージョン管理などの協業ツールなど)

UltraLight のプロジェクトコーディネータでフロリダ大学のリチャード・カバナー教授は、「プロジェクトの目標はインターネットアーキテクチャの抜本的更新ではなく、高エネルギー物理学分野の研究に使われる分散コンピューティングにとって有用な次世代ネットワークアーキテクチャを作り出すことにある」と述べているが、こうしたアーキテクチャが、インターネットの部分的なオーバーレイ・アーキテクチャに発展していく可能性はあるという。カバナー教授は GENI プロジェクトの動向にも関心を向けており、両者の間にあまり共通項はないと考えているが、今後 UltraLight で開発された技術の一部は GENI でも生かされることになるだろうと見ている。例えば、UltraLight の研究チームは、最近ストレージシステム間のデータ伝送実験において伝送速度の大幅な向上に成功したが、この実験で使われたプロトコルは将来機器メーカーにも採用されて実用化されるかもしれないと同教授は見ている<sup>35</sup>。

---

<sup>35</sup>Physicists Set New Record for Network Data Transfer  
<http://www.hulic.com/2091/physicists-set-new-record-for-network-data-transfer>

## 2.5 X-Bone

### 概要

X-Bone プロジェクトは、オーバーレイに新たな手法を導入し、インターネットの管理ニーズを低減させるとともにリソースの効率を高めることを狙いとしている。国防総省高等研究計画庁 (DARPA) 及び空軍研究所が予算を配分しているほか、NSF も助成している。

X-Bone は、1997 年 3 月に行われた次世代インターネット (NGI) ワークショップに提出されたホワイトペーパー (NGI の主な機能と課題をまとめたもの) を出発点としている。2005 年 4 月には X-Bone ソフトウェア最新バージョンの v.3.2 がリリースされ、翌 2006 年の 5 月には、「エンベデッドバージョン」(FreeBSD と呼ばれる OS、DNS サーバ、認証サーバ、GUI を含む、X-Bone の最小規模のターンキー・プラットフォーム) も追加された (通常バージョンは既存の BSD と Linux システムを使ったシステム構築に対応)。

### 研究領域

X-Bone のシステムは、次のような要素で構成される。

- **オーバーレイ・マネージャ (OM)**: インターネット上で行われる通信に安全性と耐障害性を確保するオーバーレイを作り出す。Web ベースの GUI など、クライアントからオーバーレイがリクエストされると、OM は、マルチキャスト・リクエストにより利用可能なリソースを探索、TCP/SSL を使って必要なリソースを確保・設定、送信されたリクエストのプロフィールに合致するクライアント向けに招待信号を送信 (UDP パケットを使用)、の順に処理を実行する。この招待信号を一定数のホストが受け入れることで、オーバーレイが完成する。
- **リソース・デーモン (RD)**: ネットワーク上の利用可能なリソースをモニタリングし、必要な設定を行うサーバプロセスで、OM から送信される招待信号を受信して、利用可能なリソースの一覧を返信する。OM がリソースを選択すると、対応する RD が最適な設定を計算してそのリソースに適用する。このプロセスの間、OM と RD は交信を続けるが、OM からの信号がタイムアウトになった場合は RD が該当するリソースの設定を解除する。
- **X-Bone API**: オーバーレイ生成リクエスト (及び応答)、オーバーレイが使用中に送信するモニタリングデータの意味など、アプリケーションやプロセスがオーバーレイを使用するために必要なコードやインターフェースを含む。
- **X-Bone コントロール**: 招待 (OM から送信されて RD が受信)、設定 (OM から RD への設定情報伝送)、モニタリング (OM から RD への管理メッセージ)、アラーム (障害発生時に RD から OM に送られる信号)、検出 (先に存在するオーバーレイやトンネルを検出するためのもの) を含め、オーバーレイのコンポーネント間でやりとりされる信号を記述したプロトコル。



## 2.6 耐破壊ネットワーク

### 概要

耐破壊ネットワークは、DARPA の先端技術局(ATO)が出資するプロジェクトである。DARPA は 2004 年 1 月 21 日、民間セクター関係者を対象とするプレゼンテーションを行い、この中で防衛アプリケーションの運用という視点から見た既存の商用ネットワークの問題点を次のようにまとめて発表した。

- **接続:** 商用ネットワークとは特徴が異なる軍事用ネットワークの場合、地形・気象・妨害工作などによって正常な動作が妨げられる危険性がある。
- **トポロジー:** 軍事用ネットワークは、商用ネットワーク以上に変化が激しく、地理的条件や作戦動向などに応じてホストが絶えず入れ替わる。このため、複数のルーティングパスや通信手段(光、衛星、地上無線など)に対応する高度にダイナミックなネットワークでなければならない。

このように、DARPA では、軍事用として既存のインターネットとは根本から異なる新たなネットワークの必要性があると訴えた。DARPA が挙げた新しいネットワークの特色を、下表に示す<sup>36</sup>。

表 6: 既存のネットワークと耐破壊ネットワークの比較

	インターネット	耐破壊ネットワーク
認識範囲	グローバルにすべてのノード/ルートを認識することが必要	ノードトポロジーをローカルに認識するだけで動作
接続	常にエンドツーエンド	時間欠的
通信網の構造	ごく単純	ざわめて複雑なエレメントも存在
送達責任	なし(上位レイヤが確実な送達を保証)	バンドル仲介者が送達責任を負う
基本伝送単位	データ主体のパケット	情報主体のバンドル
信頼	なし	すべてのバンドルに証明情報が含まれる

出所: DARPA

<sup>36</sup>“Disruption-Tolerant Networking,” DARPA, January 21, 2004.

## 研究領域

DARPA は、民間セクターを対象にした最初の起案書の中で、耐破壊ネットワーキングに要求される基盤技術を次のようにまとめている<sup>37</sup>。

- **バンドル・レイヤ**: 交戦地帯など接続が断続的になりやすい軍事用ネットワークにおいては、失われた接続が回復するまで交信状態を保っておくレイヤが求められる。通常のネットワークでは、障害が発生するとエンド・ツー・エンドの接続が断たれ、受信側が信号が届いたことを確認するまでパケットの再送が繰り返される。新しい耐破壊ネットワークでは、一つ一つのノードが受信したデータの管理役となって到着したデータを保管し、通信が回復したリンク(必ずしも最終目的地までのリンクとは限らない)に転送する。また、十分なセキュリティが保たれ(アクセス権のないユーザが伝送途中で情報を傍受することができない)、マルチキャスト(使用可能なリンクで順次伝送が継続するようにするため)に対応する。
- **ファジー・スケジューリング**: インターネットの伝送スケジューリングには、「最短距離の原則」など、基本的な問題がある。軍事用ネットワークでは、最短のパスが必ずしも最善とは限らない上、動作状態の安定したリンクと不安定なリンクが混在する環境に対応しなければならない。また、セキュリティ、電力ニーズ、消滅性、コストなど、さまざまな相反する条件のバランスを図ることも必要である。
- **ポリシー認知型オペレーション**: 軍事用ネットワークにおいては、下位レベルで運用ポリシーとの照合ができる仕組みも必要である。例えば、前述のようなバンドル処理を行うホストを管理するためのビルトインフレームワーク(DAML/OWL など)や、ネットワーク利用者が新たなポリシーを簡単に取得してアクセス権を得られるようにする仕組みが求められる。
- **遅延階層バインディング**: インターネットの伝送モードでは、伝送が行われる時点で送信側と受信側がいずれも固定的な IP アドレスやドメイン名を持っていることが前提になっている。これに対し、耐破壊ネットワーキングにおいては、伝送時に受信側が存在していない場合もあるため、解決不能なアドレスにもデータを送信できる機能が求められる。具体的には、送信時点でデータに決まったアドレスを割り当てない仕組み、伝送途中でネットワークが変更されても送信用アドレスが柔軟に変えられる仕組みが必要である。

DARPA では、耐遅延ネットワーキングの研究を 3 つのフェーズで段階的に進める計画。

フェーズ 1 の研究は、BBN テクノロジーズ社が DARPA の委託を受けて実施した。2005 年 8 月に締結された 220 万ドルの委託契約により、BBN は DARPA の要求仕様に応え、一定のパフォーマンス基準をクリアするネットワークの設計とシミュレーションを担当した。BBN が開発したソリューションは、シミュレーションの結果、通常の TCP/IP 方式では送信先に全くデータが

<sup>37</sup>同上

到達しなかった環境においても、試験用データが 100% 正常に送受信されることが確認された<sup>38</sup>。

フェーズ 1 の結果を受けて、BBN はフェーズ 2 の委託契約 (870 万ドル) も獲得した。このフェーズでは、BBN の設計に基づいて耐破壊ネットワークの試験的構築が開始され、軍事用のさまざまな実験システムに統合される<sup>39</sup>。

最後の第 3 フェーズは、フェーズ 2 の成果を踏まえた上で実施の有無が検討される予定であるが、現在の計画によれば、試験用ネットワークを使った実験や、他の IP 網との相互接続試験が行われた上で、実際の軍用アプリケーションを使った試験運用に発展することになっている。

---

<sup>38</sup>“BBN Technologies snares DARPA research deal,” Washington Technology, September 27, 2006.

<sup>39</sup>同上

## 2.7 耐遅延ネットワーク研究グループ(DTNRG)

### 概要

耐遅延ネットワーク研究グループ(DTNRG)は、標準化団体インターネットエンジニアリングタスクフォース(IETF)の姉妹組織であるインターネット研究タスクフォース(IRTF)が、委託プロジェクトとして 2002 年に開始した。プロジェクトの一部は、IRTF 内部のインターネット研究グループによって担当された(同グループの担当作業は終了している)。

DTNRG は、DARPA の耐破壊ネットワークプロジェクト(前項参照)とも密接に関わっている。BBN テクノロジーズ社が最初に DARPA から受託した契約には、軍事用ネットワークのニーズに対応するベースとして、それまでに行われた DTNRG の研究成果を活用できることが定められている。(耐破壊ネットワークで採用された「バンドル」の概念は、DTNRG の中から生まれたものである。)また、BBN のシニアサイエンティスト、ラジェシュ・クリシュナン氏のように、両方のプロジェクトに関わっている専門家もいる。同氏は 2006 年に IETF でバンドルプロトコルに関する発表を行い、既存の伝送方式では通信が不可能な環境で 1 時間の制限時間内に 264 のバンドル送信が可能であることを示した<sup>40</sup>。

現在、DTNRG は IETF の月次会合に含める形で隔月の会合を行っている。2006 年 3 月には、「DTN2」と呼ばれる評価用ソフトウェアの最新バージョン(v.2.2.0)をリリースした。この中には、サーバアプリケーション(dtnd)をはじめ、データバンドルの送信用クライアントアプリケーション(dtncv)、受信用クライアントアプリケーション(dtnrcv)、使用するプロトコルに関する情報が含まれている。この評価用ソフトウェアは、ソースコードが公開されており、内容の改訂や他のプロジェクトへの活用などができるようになっている。

### 研究領域

DTNRG プロジェクトの重点的研究領域は、次の 2 つである。

- **バンドルプロトコル**:DTNRG プロジェクトにおける最大の焦点は、バンドルプロトコルの開発である。現在までの研究成果は、評価用ソフトウェアの「DTN2」に織り込まれている。「DTN2」は、Mac OS X、Linux、Windows の各 OS に対応している(UNIX エミュレーションレイヤを使用)。
- **リックライダ-伝送プロトコル(LTP)**:DTN2 ソフトウェアの中核に密接に関わるのが、ポイント間データ送受信をこれまでにない形式で行う LTP(Licklider Transmission Protocol)である。HTTP や FTP といった伝送プロトコルと LTP の大きな違いは、LTP が深宇宙通信のようなきわめて遅延の大きいポイント間伝送に最適化されているため、通信の遅延や途絶などの恐れがある環境でも大量のデータを確実に伝送できることである。これまでに、オハイオ大学で Java 環境の実験が行われたほか、ダブリン(アイルランド)のトリニティ大学で LTP に関連したソフトウェアライブラリが構築されている。

---

<sup>40</sup>["Delay-Tolerant Network Technologies Coming Together," IEEE Distributed Systems Online, August 2006.](#)