

米国におけるITR&D 概況

調査報告書

NICT ワシントン事務所

委託先 Washington | CORE

2006 年 3 月 31 日

- 目次 -

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | 米国における ITR&D 予算と関連政策 | 1 |
| 1.1 | 連邦政府の IT・ネットワーキング R&D 予算と管理の主要トレンド概要..... | 3 |
| 1.2 | 連邦政府の IPv6 政策と導入状況..... | 10 |
| 1.3 | ITR&D 政策とプログラムの傾向と今後の方向性..... | 11 |
| 2 | ネットワーク領域における R&D: 主要機関の概略 | 13 |
| 2.1 | 全米科学財団(NSF)のネットワーク領域における R&D..... | 13 |
| 2.2 | 国防高等研究事業局(DARPA)のネットワーク領域における R&D..... | 16 |
| 2.3 | 米航空宇宙局(NASA)のネットワーク領域における R&D..... | 19 |
| 3 | アプリケーション領域における R&D: 主要機関の概略 | 21 |
| 3.1 | 全米科学財団(NSF)のアプリケーション領域における R&D..... | 21 |
| 3.2 | エネルギー省(DOE)のアプリケーション領域における R&D..... | 24 |
| 3.3 | 国立衛生研究所(NIH)のアプリケーション領域における R&D..... | 28 |
| 4 | インフラ領域における R&D: 主要機関の概略 | 30 |
| 4.1 | DARPA のインフラ領域における R&D..... | 30 |
| 4.2 | NIST のインフラ領域における R&D..... | 31 |
| 4.3 | NASA のインフラ領域における R&D..... | 34 |

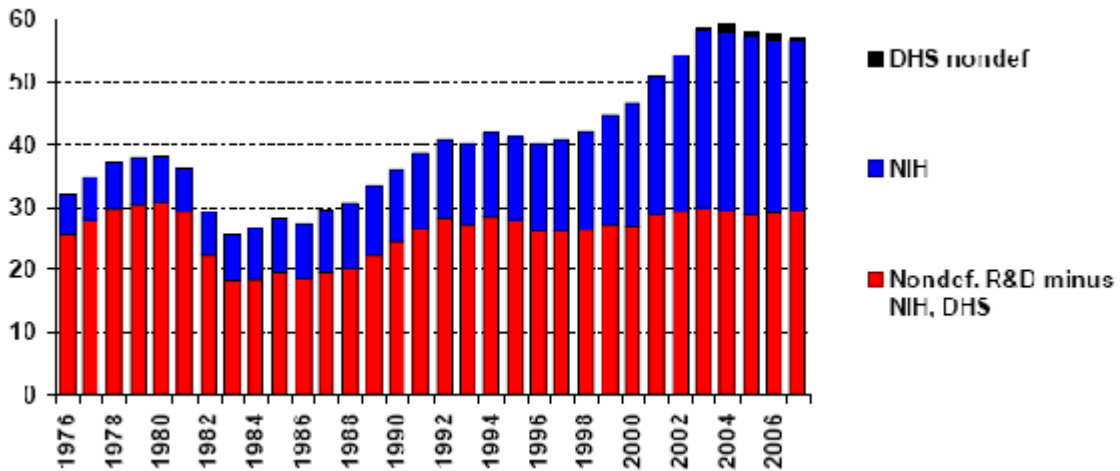
1 米国における ITR&D 予算と関連政策

ジョージ・W・ブッシュ大統領は2006年1月31日、年頭教書演説を行い、連邦政府による研究開発(R&D)投資に力を入れる意向を表明した。なかでも「米国競争力イニシアチブ(ACI: American Competitiveness Initiative)」と題した総合政策を発表し、以下を言明した:

- 1: 物理科学分野で最も重要な基礎研究プログラムに対する連邦政府予算を、向こう10年間で倍増することを提案する。こうした予算は、ナノテクノロジー、スーパー・コンピューティング、代替エネルギー源といった前途有望な領域の研究を進める過程で、米国の優れた創造力による産物をサポートする。
- 2: R&D 税額控除を恒久化し、技術分野における民間セクターのより大胆な投資を奨励することを提案する。公民両セクターにおける研究の活性化は生活の質を向上し、ひいては米国が向こう数十年にわたり、機会とイノベーションにおいて世界をリードすることにもつながる。
- 3: 子供に数学・科学コースに参加するよう奨励し、さらにこれらコースの内容を厳しくすることにより、国際的競争力を身に付けさせる。低学年児童の教育は、教育改革法「No Child Left Behind Act」により児童の基礎学力と試験スコアが全米を通じて向上し、幸先のよいスタートを切った。数学と科学のアドバンスド・プレースメント(advanced-placement)コースを教えられるような7万人の高等学校教師を訓練することと、3万人の数学と科学の専門家に学校で講義してもらうこと、数学が苦手な学生も高賃金の仕事に就けるよう、早い段階から手を差しのべることを提案する。もし米国の子供たちに人生の成功を約束することができれば、今度は子供たちが世界における米国の成功を実現できる。

ACIは情報技術だけに焦点を当てているわけではないが、IT R&DはACIに盛り込まれたR&D予算増額案の主要要素に挙げられている。「物理科学分野で最も重要な基礎研究プログラムに対する連邦政府予算の倍増」へのコミットメントは、連邦議会に2003年度までに米国立衛生研究所(NIH: National Institute of Health)のR&D予算の倍増を求めた、1998年度決定をめぐる議論を直接引用したものである。当時、NIH予算の倍増は、連邦政府のR&D「ポートフォリオ」の均衡を崩すと考えられた。次ページ図1に示すように、連邦政府は近年、非防衛関係R&D予算のほぼ半分をNIHに分配している。他機関も生命科学研究をサポートしていることから、生命科学以外の領域に分配された連邦政府R&D予算のシェアは、全て合わせても50%をはるかに下回る。

図 1: 米国連邦政府の非防衛関連 R&D 投資の傾向



注: DHS=米国土安全保障省 (Department of Homeland Security)

出典: American Association for the Advancement of Science

大統領が提唱した ACI は、連邦議会が承認すれば、IT R&D に携わる主要機関に多大なインパクトを与えることになる。ACI には向こう 10 年間に、全米科学財団 (NSF: National Science Foundation)、エネルギー省 (DOE: Department of Energy) 科学局 (Office of Science)、米国標準技術院 (NIST: National Institute of Standards and Technology) 内ラボのそれぞれの R&D 予算を倍増することが盛り込まれている:

表 1: ACI の R&D 予算に与えるインパクト予想

| | 2006 年度予算 | | 2007 年度予算案 | | 2016 年度予算案 | |
|--------------------|-----------|--------|------------|--------|-----------------|--|
| | 10 億ドル | 10 億ドル | 伸長率 (%) | 10 億ドル | 2007 年度比伸長率 (%) | |
| NSF | 5.58 | 6.02 | 7.8 | 11.16 | 100 | |
| DOE Science Office | 3.60 | 4.10 | 14.0 | 7.19 | 100 | |
| NIST Labs | 0.57 | 0.54 | -5.8* | 1.14 | 100 | |
| 合計 | 9.75 | 10.66 | 9.3 | 19.49 | 100 | |

* 2006年度のNIST ラボ予算は、連邦議会の「予算に計上された」プロジェクト1億3,700万ドルを含む。計上予算を通常予算に置き換えたNISTの2007年度中核ラボ予算は前年比24%増となる。

出典：President's American Competitiveness Initiative

連邦議会が提案された内容通りにACI R&D 予算を可決する保証はない。事実、財政赤字が膨らむなか、連邦議会が大型増額を承認する見通しは低い。しかし、ブッシュ大統領がこの総合政策を発表したという事実そのものが、米国政府によるR&D投資強化の姿勢を非常に明確に表している。

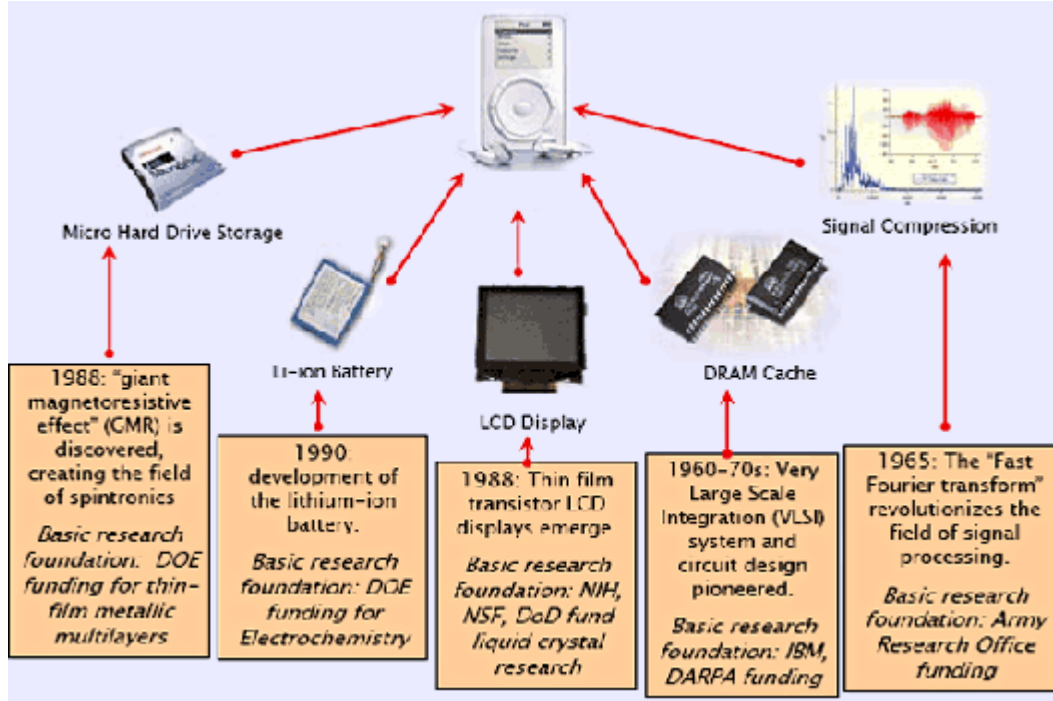
1.1 連邦政府のIT・ネットワーキングR&D予算と管理の主要トレンド概要

ACIの影響を受け、大統領の2007年度予算案には、IT R&Dについて2つの重複する省庁間イニシアチブが盛り込まれた。長年活動を続けているネットワーキング・IT R&D (NITRD: Networking & Information Technology R&D) プログラムは、連邦政府のIT R&D投資に関する情報集約メカニズムとして今後も機能を続けると思われる。しかし、ACIの影響は、NITRDプログラムで主要な役割を果たしてきた特定機関にも、予算増額という形で及ぶことになりそうである。

ACIのIT R&D

大統領のACI提案は、米国のイノベーションにおける連邦政府IT R&Dの重要性にいたるところで言及している。例えば、ホワイトハウスは連邦政府の物理科学研究が技術開発分野で果たす役割を、連邦政府研究プログラムとアップル・コンピュータ (Apple Computer Corporation) 社の「iポッド(iPod)」との関係を引き合いに出し説明している(図2参照)。

図 2: MP3 プレイヤー開発における連邦政府 R&D の貢献



出典: American Competitiveness Initiative, White House

ACI はさらに、予算の重点投資分野として、R&D 投資 12 領域を挙げている。これら 12 領域のうち、IT 開発に直接関係する 6 領域を以下に示す:

- ・ 現在の研究室内の科学を、通信、コンピューティング、エレクトロニクス、ヘルスケア、国家安全といった実質的に全商業セクターを対象とした幅広い新しい産業用アプリケーションへ変換させる、ナノファブ리케이션 (nanofabrication) とナノマニュファクチャリング (nanomanufacturing) 分野における世界的クラスの機能と能力 (NSF、DOE、NIST)
- ・ インテリジェント製造、高精度天気・気候予報、安全かつ有効な薬剤設計などの領域に重要、かつ幅広い科学的教義にわたり前例のない規模と複雑さでのモデリングとシミュレーションを通じた科学的進歩を可能にする、先端ネットワークと一体化した世界をリードするペタ (1,000 兆) スケールのハイエンド・コンピューティング機能と能力 (NSF、DOE)

- ・ セキュアな通信と、物理学、化学、生物学、そして材料科学で利用される量子力学シミュレーションの各分野に革命を起こす量子情報処理の実用化に向けた技術的障害の克服 (DOE、NIST、NSF)
- ・ IT 依存型経済を意図的、あるいは意図的でない混乱から保護し、知的財産権保護と管理において世界を主導するために必要なサイバー・セキュリティと情報保証におけるギャップとニーズへの対応 (NSF、NIST)
- ・ 国家安全、ヘルスケア、エネルギー、製造といった領域に重要な幅広いアプリケーションに応用可能な、世界をリードする自動化と制御技術を実現するセンサーと検出機能の改善 (NSF)
- ・ 効率性の高い生産慣行の開発と統合を前進、加速するための、サプライチェーンを対象とした製造標準規格の策定 (NIST)

これら R&D 分野には、ペタスケール・コンピューティングやサイバーセキュリティなど、NITRD イニシアチブの下で実施されるプロジェクトが含まれている。それにもかかわらず、ACI は米国経済の将来に対する IT 研究の重要性を際立たせ、さらに IT 研究に最も深く関係したこれら機関へ新たな公共資金をもたらしたという点で、連邦政府の IT R&D 投資に重要な影響を与えたと言っていえる。

NITRD プログラム予算と現状

ACI の影響で、NITRD プログラム予算はプログラムの歴史上昇幅をはるかに超える増額が予想されている。この事実は、NITRD イニシアチブに関する 2007 年度追加予算でも言及されており、NITRD 予算の分析でもこれを考慮する必要がある：

ブッシュ政権が最近発表した ACI は、物理化学とエンジニアリング分野の基礎研究を支援する一部連邦政府機関への投資額を向こう 10 年間で倍増することを提案しているが、これは NITRD プログラムの 2007 年度予算へも影響を与えるものである。NITRD 参加機関の NSF、DOE/SC、そして NIST の予算は、総体的なプログラム予算の基本上昇率を上回り伸びている¹。

¹ NITRD Budget Supplement for FY2007, at page 1.

次ページの表に示すように、IT R&D 予算の最大の増額幅が期待されるのは以下の機関である：

- ・ エネルギー省科学局：科学局は同省スーパー・コンピューティング R&D プログラムを担当
- ・ 国防高等研究事業局(DARPA: Defense Advanced Research Projects Agency)：情報処理技術局(Information Processing Technology Office)と情報技術局(Information Technology Office)が広域 R&D を実施
- ・ エネルギー省全米核安全保障局(National Nuclear Security Agency)：核爆発と弾頭の放射性崩壊のモデル化を実施。スーパー・コンピューティング分野の投資にも力を入れる
- ・ 国家安全保障局(NSA: National Security Agency)：サイバーセキュリティ関連 R&D を実施
- ・ 全米科学財団(NSF: National Science Foundation)：グリッド・コンピューティングと新ネットワーク研究に関する主要プログラムを実施

予算の減額幅が最も大きいのは、国防総省ラボラトリーズ(Department of Defense Laboratories)と医療研究品質局(AHRQ: Agency for Healthcare Research & Quality)の基礎研究予算が削減された国防省長官室(Office of Secretary of Defense)である。AHRQの予算は、ヘルスケアIT の新規開発を目指した2005年の大統領によるコミットメントに矛盾する形で削減された。

表 2: NITRD の予算請求額：機関別 2006 年度・2007 年度比較

(単位: 百万ドル)

| 機関 | 2006 年度請求額 | 2007 年度請求額 | 増減額 | 増減率 (%) |
|---------|------------|------------|-------|---------|
| 全米科学財団 | \$803 | \$904 | \$101 | +12.6% |
| 保健社会福祉省 | 501 | 491 | -10 | -2.0 |

| | | | | |
|-------------------|---------------|---------------|------------|--------------|
| エネルギー省(科学局) | 227 | 345 | 118 | +52.0 |
| 航空宇宙局 | 74 | 82 | 8 | +10.8 |
| 国防高等研究事業局* | 368 | 466 | 98 | +26.6 |
| 国家安全保障局 | 101 | 118 | 19 | +18.8 |
| 商務省(NIST, NOAA) | 62 | 66 | 4 | +6.5 |
| 医療研究品質局 | 68 | 57 | -11 | -16.2 |
| 国防省長官府* | 544 | 498 | -46 | -8.5 |
| 環境保護庁 | 6 | 6 | 0 | 0 |
| エネルギー省(全米核安全保障局)* | 35 | 42 | 7 | +20.0 |
| 合計 | \$2789 | \$3075 | 286 | +10.3 |

* NITRD プログラムが再構築された影響で、これら機関の 2006 年度の数字は、請求額でなく議会が承認した金額を記載した。

出典： NITRD National Coordinating Office

この表に記載されていない有力省庁に国土安全保障庁(DHS: Department of Homeland Security)がある。NITRD イニシアチブの国家調整局(National Coordinating Office)ディレクターである Simon Szykman 博士によると、DHS は 2008 年度から NITRD プログラムに参加する。2003 年に設置されて以降、DHS の R&D ポートフォリオとその管理方法は多くの混乱を招いてきた。しかし、これら問題の多くがここにきてついに解決されたことから、DHS は NITRD 参加後、他機関にとってより安定した R&D パートナーになると期待されている。

技術分野については、NITRD は昨年、R&D 領域を示す「プログラム・コンポーネント・エリア (PCA: Program Component Areas)」を 7 つ設定し、これらの中で運営してきた。2007 年度は、サイバーセキュリティ・情報保証(CSIA: Cyber Security and Information Assurance)と呼ばれる PCA を新設した。CSIA 予算案を見る限り、特に「ハイ・コンフィデンス・ソフトウェア&システムズ(High Confidence Software & Systems)」など、CSIA にはこれまで別の PCA の下で予算が分配されていたプロジェクトが一部移行されている。しかし、CSIA 予算の大部分は、米国の情報インフラ保護に関する別の省庁間イニシアチブで実行されていたプロジェクト

に当てられている。それらの予算は現在、NITRD 予算に合併・吸収されているところであり、これまでは、これら吸収分がDARPAやNSAといった機関の予算増額分の一部として分配されていた。

現存するNITRD イニチアチブの8つのPCAを以下に示す：

- ・ ハイエンド・コンピューティング・インフラストラクチャとアプリケーション (HEC I&A: High-End Computing Infrastructure and Applications)
- ・ ハイエンド・コンピューティング研究開発 (HEC R&D: High-End Computing Research and Development)
- ・ サイバーセキュリティと情報保証 (CSIA: Cyber Security and Information Assurance)
- ・ 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 and Information Management)
- ・ 大規模ネットワーキング (LSN: Large Scale Networking)
- ・ ハイコンフィデンス・ソフトウェアとシステム (HCSS: High Confidence Software and Systems)
- ・ ソフトウェア・デザインと生産性 (SDP: Software Design and Productivity)
- ・ IT に関する社会・経済・労働力問題 (SEW: Social, Economic and Workforce Issues related to IT)

次ページの表では、NITRD プログラムの2007年度請求額と2006年度実績の違いをPCA別に示した。CSIA PCA 設置を受け予算の再分配が行われたことから、2006年度請求額と2007年度請求額を比べることはできない。そのため、表では実際の分配額を比べた。

これを前提に、大統領は連邦議会が2006年度承認予算をはるかに上回るNITRD 予算を請求している。IT R&D は連邦議会で強い超党派支持を得られる傾向があるが、イラク戦争やテロ対策といった国家の優先項目への投資額を考慮すると、一部議員がNITRD プログラム予算請求額の縮小を求めてくる可能性がある。

表 3: NITRD 予算請求額: PCA 別 2006 年度承認額と 2007 年度請求額比較
(単位: 100 万ドル)

| PCA | 2006 年度予算 | 2007 年度 請求額 | 増減額 | 増減率 (%) |
|------------|------------------|------------------|------------|--------------|
| HEC I&A | \$825 | \$884 | \$59 | +7.2% |
| HEC R&D | 384 | 440 | 56 | +14.6 |
| CSIA | 161 | 176 | 15 | +9.3 |
| HCI & IM | 762 | 825 | 63 | +8.3 |
| LSN | 394 | 405 | 11 | +2.8 |
| HCSS | 134 | 145 | 11 | +8.2 |
| SDP | 84 | 86 | 2 | +2.4 |
| SEW | 112 | 114 | 2 | +1.8 |
| 合計* | \$2856.00 | \$3075.00 | 489 | +17.1 |

* 合計額が前掲の表と違うのは四捨五入のため。

出典: NITRD National Coordinating Office

ブッシュ政権のハイエンド・コンピューティング R&D 戦略に応じる形で、HEC R&D PCA の大統領予算請求額は、2006 年度比でほぼ 15% 増と、最大の伸び率となった。予算は新コンピューティング・アーキテクチャと高性能コンピューティング・ソフトウェアの両方に分配されると見られている。CSIA の予算も顕著に増えており、これはブッシュ政権のサイバーテロ対策の強化と整合性を持たせ、さらに情報技術に関する大統領諮問委員会 (President's Information Technology Advisory Council) が 2005 年 2 月に発表したサイバーセキュリティ R&D に関する報告に反応したためとも考えられる。ここで注意が必要なのは、HCSS と HCI&IM はいずれも国土安全保障に密接に関連した PCA だということである。HCSS は基本的にセキュアで堅牢なソフトウェアをいかに開発するかに焦点を置いており、一方の HCI&IM の情報管理コンポーネントはテロリストの活動のプロファイリングや特定に利用されるデータマイニングなどのトピックスを扱っている。

対照的に、SDP PCA と SEW PCA はこれまでもそうであったが、伸び幅が最も小さい。SDP は商業化が近いソフトウェア・エンジニアリング技術に重点的に取り組んでおり、最優先領域とは見なされていない。SEW は、物理的科学研究というよりはむしろ社会科学研究に力を入れており、保守派がこれを政府の支援価値は小さいと捉える傾向がある。

1.2 連邦政府の IPv6 政策と導入状況

ここ 6 ヶ月間に、IPv6 導入に関する連邦政府の政策にいくつかの重要な展開が見られた。

国防省は基幹回線「グローバル・インフォメーション・グリッド (Global Information Grid)」を、2008 年を期限に IPv6 に移行する目標を自主設定していたが、2005 年 12 月、これには間に合わないと発表した。同省は 2003 年 10 月以降に購入するネットワーク機器は全て「IPv6 対応」でなければならないとする方針を掲げていた。ところが、何をもって機器を「IPv6 対応」とするかについて、明確な標準的定義がないことが問題となった。同省は移行について、新たな期限を設定していない。これは、移行を画策する非軍事政府機関にとって良い兆候とはいえない。というのは、それらの多くは最近、新ネットワーク機器は IPv6 対応でなければならないという、新しい IT 調達方針を採用したばかりだからである。

国家安全保障省 (DHS) のシニア IT エグゼクティブは、IPv6 移行タスクは当初の想像をはるかに超えて複雑であると話している。例えば、ある機関がネットワークを IPv6 対応にしたとしても、ほとんどのアプリケーションは、クライアント機器が IPv4 アドレスで特定されるという前提に基づき書かれているからである。DHS では、アプリケーションを IPv6 ネットワークで動作させるには、900 強のアプリケーションを書き直す必要があるという。

米国政府が直面するもう 1 つの重要な問題は、ほとんどの機関が基幹回線の広域ネットワークを AT&T などの通信事業者にアウトソースしていることである。これら通信事業者は IPv6 移行スケジュールを明らかにしていない。このため、通信事業者に主要ネットワーク接続を依存する機関では、IPv6 環境で通信ができたり、できなかつたりといった状況になる。行政予算管理局 (OMB: Office of Management and Budget) の Karen Evans 氏による非軍事政府機関を 2008 年までに IPv6 に移行させるとの発表は、実際に期限内の移行を義務付けることを目的とはしていなかった。その代わりに、移行計画を政府に迅速に知らせる必要があるということを、通信事業者へ知らしめることが狙いだったと言われている。

2006 年 1 月、NIST と電気通信情報局 (NTIA: National Telecommunications and Information Administration) は、2002 年に着手した IPv6 移行に関する共同調査の結果をいいに発表した。報告は IPv6 推進における連邦政府の役割について、重要な疑問に答えるた

めに設計された。予想された通り、報告はそうした移行を助成する、または強制するにあたり、政府が非常に強い役割を果たすことに賛成していない。代わりに、現在の政策に反映されているように、政府機関に対し、民間セクターの IPv6 移行を奨励し、自らも移行を率先することで「模範を示す」ことを期待した。しかし、非軍事政府機関が独自の移行を少なくとも 2009 年まで終えないことは明らかであり、IPv6 採用について民間セクターの組織にかかる圧力は最小限であると思われる。

1.3 IT R&D 政策とプログラムの傾向と今後の方向性

現時点では、IT R&D 政策またはプログラムに対するブッシュ政権の計画に、変化を見出せるような明確な兆候は伺えない。ACI は量子コンピューティングなどの特定の注力分野について、幾分の情報を提供しているが、実際にはそれは完全に新しい研究領域を提案するというよりは、むしろ既存のプログラムを強化しているに過ぎない。連邦政府の IT R&D の方向性について、最近の動きから読み取れる 2、3 の兆候を以下にまとめた：

NSF はペタスケール・コンピューティング・システムの購入計画に着手した。これは、高性能コンピューティングが今後も NSF やその他機関の重点領域であり続けることを示している。この傾向は、NITRD 予算数値にも反映されている。

国土安全アプリケーションには、今後もこれまでと同様に投資が続く。DHS はインテリジェンスをより効率的に組織、処理、分析するために、情報管理技術とデータマイニングを利用する複数のシステムの開発を行っている。前述のごとく、ACI と新しい国土安全活動の結果として、サイバーセキュリティ研究予算は増額される見通しである。

IT 研究コミュニティは、大統領の 2007 年度予算を概ね歓迎している。こうした好意的な意見は、大統領科学技術諮問委員会 (Council of Advisers on Science and Technology) に新たに数名を任命した最近の発表によってさらに深まった。新メンバーは全て IT 分野の出身であり、旧 PITAC に代わり、今年末には連邦政府の IT R&D に関する幅広い研究に着手する見通しである。学究的 IT 研究者を代表するコンピューティング・リサーチ協会 (Computing Research Association) 会長の Daniel Reed 博士もメンバーに任命されており、大学コミュニティにとって朗報となっている。

IT R&D 分野の焦点は今、連邦議会へと移行している。一部オブザーバーは、連邦議会の共和党員が競争力とイノベーションのための独自のイニシアチブを発表した事実と、そのイニシアチブが連邦政府の IT R&D 予算の増額に言及していないことを懸念している。こうした動きは、大統領と比べ、連邦議会が IT R&D 投資の拡大にあまり寛大でないことを示す初期兆候

であるとも言える。

2 ネットワーク領域における R&D: 主要機関の概略

国家のネットワークインフラが分散型コンピューティングなどのアプリケーションの土台として使われ始める中、米国連邦政府による「ネットワーク領域(Network-centric、ネットワーク中心型)」の研究は引き続き強い関心を集めている。研究者たちの間では、今日のインターネット・アーキテクチャは、企業や一般家庭のブロードバンド・ユーザが将来必要とするであろう超広帯域アプリケーションをサポートするような能力に基本的に欠けるとの懸念が高まっている。そうした事情を背景に、従来の IP はもとより、IPv6 も将来のネットワーク技術としては適当でないとの仮定に基づき、新たなネットワーク・アーキテクチャに着目した多くのプロジェクトが実施されている。本項では、以下の機関を取り上げる：

- ・ 全米科学財団(NSF: National Science Foundation)
- ・ 国防高等研究事業局(DARPA: Defense Advanced Research Projects Agency)
- ・ 航空宇宙局(NASA: National Aeronautics and Space Administration)

2.1 全米科学財団(NSF)のネットワーク領域における R&D

NSF は大学ベースのネットワーク関連研究に資金を提供している。研究の具体的なトピックスは「ネットワーク基本理論」「アーキテクチャ、アルゴリズム、プロトコル、センサ・ネットワーク、ネットワーク・ハードウェア/ソフトウェア、プライバシー/セキュリティにおける革新的研究」「ネットワーク測定」「ミドルウェア開発」「大学における次世代ネットワーク導入」などである²。これらネットワーク関連トピックスの中でも、プログラム可能な無線ネットワークとセンサ・ネットワークが現在の重点分野となっている³。

NSF のネットワーク・システムに関する研究

組織

NSF のネットワーク関連研究は、コンピュータ情報科学工学部門(CISE: Computer and Information Science and Engineering Directorate)のコンピュータ・ネットワーク・システム課(CNS: Computer and Network Systems Division)ネットワーク・システム・クラスター(Network Systems Cluster)の主導で実施されている。Darlene Fisher 博士、David

² “2007 NITRD Program, Large Scale Networking Group,” NITRD, February 2006.:
http://www.nitrd.gov/pubs/2007supplement/07%20Supp%20Sections/07Supp_FINAL-LSN.pdf

³ NSF CISE Network Systems Cluster:
http://www.nsf.gov/funding/pgm_summ.jsp?pims_id=13397&org=CNS&from=home

Goodman 氏、そして Guru Parulkar 博士の 3 人のプログラム・ディレクターが、NSF が出資する大学の研究プロジェクトと、ネットワーク・システムズ・クラスターがスポンサーになっているネットワークング関連研究プログラムを共同で監督している⁴。

ネットワーク・システムズ・クラスターは、ネットワークング技術システムズ (NeTS: Networking Technology and Systems) プログラムなどのネットワークだけに焦点を当てたプログラムと、サイバー・トラスト (Cyber Trust) のように分野横断的プログラムの両方を通じ、ネットワークング関連研究に資金を提供している。

研究プログラム NeTS

NeTS プログラムは、ネットワークング関連研究に幅広く資金を提供している。プログラムの予算は 4,000 万ドルで、プロポーザルの内容に応じ、約 60~80 件のプロジェクトに資金提供が行われる予定である。NeTS プログラムは現在、以下に示すような 4 つの研究領域でプロポーザルを受け付けている⁵：

- ・ **プログラム可能な無線ネットワーク (Programmable Wireless Networks)** - ネットワークの復元力、接続性 (コネクティビティ) と周波数帯利用効率を高めるための、多モードおよび、または周波数帯可変 (multimodal and/or frequency-agile) データ・コミュニケーション機能に関する研究を行う。プロジェクトでは、プログラム可能な無線ネットワークのためのアルゴリズム、プロトコル、テストベッドを開発する。
- ・ **センサ・システム・ネットワークング (Networking of Sensor Systems)** - センサ・ネットワークの構築と設定のためのアーキテクチャ、ツール、アルゴリズム、システム、テストベッド、およびアプリケーションの開発に関する研究を行う。
- ・ **広義ネットワークング (Networking Broadly Defined)** - 他の重点分野では明確に網羅されないようなトピックスに関する研究を行う。具体的には、「ブロードバンド・アクセス・ネットワーク」「無線ネットワークング」「光ネットワークング」「ネットワーク測定、モデリング、理解」「インターネットとその進化に関する戦略的研究」などがその研究内容となる。

研究プログラム サイバー・トラスト (Cyber Trust)

サイバー・トラストは、CNS や CNS のネットワーク・システムズ・クラスターといった CISE 内の

⁴ Network Systems Cluster Staff: http://www.nsf.gov/staff/sub_div.jsp?org=CNS&orgId=207

⁵ NeTS: http://www.nsf.gov/funding/pgm_summ.jsp?pims_id=12765&org=CNS&from=fund

複数部門が資金を出し合って運営される分野横断的研究プログラムである。予算は3,000万ドルで、40～55件のプロジェクトに出資する。サイバー・トラストの研究内容は「アプリケーション・セキュリティ (Security for Applications)」、「コンピュータ・システム・セキュリティ (Security for Computer Systems)」、「ネットワーク・セキュリティ (Security for Networks)」、「セキュリティのための科学と技術的新基盤 (New Scientific and Technological Foundations for Security)」の4領域に分類され、このうちネットワーク・セキュリティは、以下に挙げるトピックスを扱っている⁶：

- ・ インセキュアな(安全でない)コンポーネントによるセキュアなネットワークの構築
- ・ エンド・ノード・セキュリティのためのネットワーク・サポート
- ・ セキュリティ・メカニズムの開発
- ・ ネットワーク機能に対するセキュアなアプローチの新たな開発
- ・ セキュリティ評価をサポートするメカニズムの開発
- ・ ネットワーク・セキュリティの実際的かつ経験的評価へのアプローチ
- ・ セキュリティとプライバシーにおける社会的に認識されたトレードオフ(取り引き)を実現するメカニズムの設計
- ・ セキュアなネットワーク・サービスとプロトコルのための原則設定
- ・ 有線・無線両システムに対応したネットワーク・セキュリティ・アーキテクチャ
- ・ 協業環境とグリッド・コンピューティングのためのセキュリティ
- ・ セキュリティ・ソリューション機能を査定するための分析的または経験的手法
- ・ ネットワークの匿名性と説明責任
- ・ ネットワーク犯罪科学捜査
- ・ 計画的攻撃に対するネットワーク露出を軽減するための人工的多様性

研究プログラムと施設 ネットワーク研究の世界的環境 (Global Environment for Network Investigation)

CISE は、「ネットワーク研究の世界的環境 (GENI: Global Environment for Network Investigation)」と称した新しい取り組みを進めている。GENIでは、新ネットワークと分散型システムのためのアーキテクチャ、サービス、そしてアプリケーションの研究、設計、開発に関する研究プログラムを実施する。また、研究プログラムで開発された新アーキテクチャの試験をサポートする、大規模な世界的施設の構築にも資金を拠出する⁷。

NeTS プログラムの研究領域の1つ、将来のインターネット設計 (FIND: Future Internet

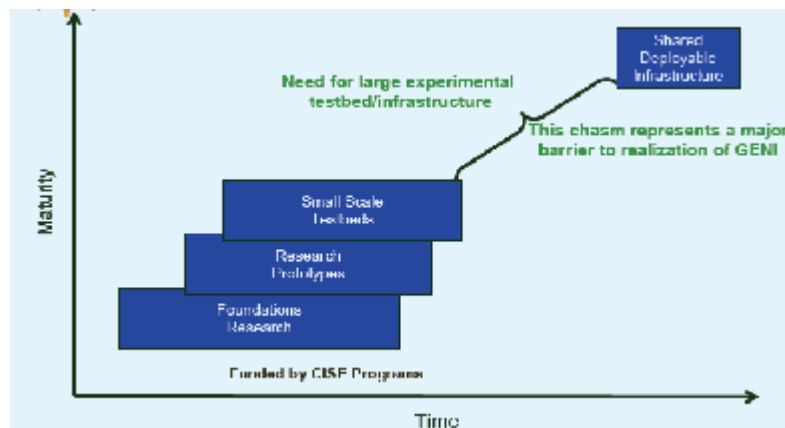
⁶ Cyber Trust: http://www.nsf.gov/funding/pgm_summ.jsp?pims_id=13451&org=CNS&from=fund

⁷ GENI: <http://www.nsf.gov/cise/geni/>

Design)では現在、向こう 10～15 年以内に構築が想定される新インターネットのアーキテクチャに関する先見的研究に出資している。が、FIND の研究プログラムは、今後、GENI のそれと1つに統合される予定である。

一方、GENI プロジェクトでは、新形態の試験的ネットワークのテストベッドを提供する。従来のテストベッドでは、研究者が試験的アプリケーションを導入、あるいは、そのテストベッドに組み込まれている新たなネットワーク技術を実装するために、標準ネットワーク・アーキテクチャが採用されていた。対照的に、GENI では複数の代替アーキテクチャが同時に共存するネットワークを構築する(図3参照)。ネットワーク研究者らは、このテストベッドを使って、独自のネットワーク・アーキテクチャの設計・導入を行うことができる。代替アーキテクチャの並列比較が可能になり、ネットワークの様々な性能ニーズとアプリケーションに応じ、NSF がより堅牢なアーキテクチャを査定できるようになると期待されている。

図 3: ネットワーク研究の世界的環境(GENI)



出典: National Science Foundation

2.2 国防高等研究事業局 (DARPA) のネットワーク領域における R&D

DARPA のネットワーキング関連研究は、国防総省のネットワーク中心型戦闘体制を支援する内容になっている。ネットワークは米軍とその同盟国に情報面での優位性をもたらし、同盟国の協力を促し、敵軍よりも迅速かつ効率的な作戦の実行を可能にする。

DARPAのネットワーキングR&Dは、セキュアで信頼性と可用性があり、かつ存続可能なネットワークを開発することにより、ネットワーク中心型戦闘の実現を模索している⁸。DARPA の

⁸ “DARPA: Bridging the Gap,” DARPA, February 2005.: http://www.darpa.mil/body/pdf/BridgingTheGap_Feb_05.pdf (pp. 14-16)

2006 年のネットワーキング関連研究には、ネットワーク意識制御航空機 (network-aware control plane)、省エネルギーなコネクションレス・センサ・ネットワーク、エッジ・ネットワーク・テクノロジーズ (Edge Network Technologies) におけるシチュエーション・ウェア・プロトコル (Situation-Ware Protocols)、光データ・ルータ、セキュリティ意識システム (security-aware systems) などがある。

モバイル・ネットワーキング研究

組織

モバイルなアドホック型ネットワーク分野の研究は、主に DARPA の先端技術局 (ATO: Advanced Technology Office) と、情報処理技術局 (IPTO: Information Processing Technology Office) の出資で実施されている。ATO と IPTO の責任者は、それぞれ David Honey 博士と Charles Holland 博士である。

研究プログラム モバイル・アドホック・ネットワーク情報理論 (Information Theory for Mobile Ad-Hoc Networks)

モバイル・アドホック・ネットワーク情報理論 (ITMANET: Information Theory for Mobile Ad-Hoc Networks) は、DARPA で進行中のモバイル・アドホック・ネットワーキング (MANET: Mobile Ad-Hoc Networking) 研究で浮上した、機能に関する問題に対処するために設置されたプログラムで、5 年間で 1,350 万ドルの予算が割り当てられている。情報理論を応用し、ネットワーク特性の複数の側面から MANET の機能的限界を解明する。最終的に、将来のネットワーキング・プロトコル開発の指針となるような、技術独立的ネットワーキング定理を導くことを目的としている⁹。

研究プログラム 制御ベース・モバイル・アドホック・ネットワーキング (Control-Based Mobile Ad-Hoc Networking)

制御ベース・モバイル・アドホック・ネットワーキング (CBMANET: Control-Based Mobile Ad-Hoc Networking) は、MANET の画期的改善を目的とした研究開発に取り組むプログラムで、合計 30 ヶ月にわたり 2 段階に分けて実施される¹⁰。第 1 段階でネットワーキング・ソフトウェアを開発し、第 2 段階で統合ハードウェア/ソフトウェア・ソリューションを導入し、実演・評価を実施する。

⁹ ITMANET: <http://www.darpa.mil/ipto/programs/itmanet/index.htm>

¹⁰ CBMANET: <http://www.darpa.mil/ato/programs/CBMANET/index.htm>

CBMANET プログラムでは、軍や企業などの営利目的団体、公安関係機関の間で周波数分配に対する需供関係が緊迫していることに起因する、無線ネットワーキングにおけるリソースの効率的利用を求める声に対処している。CBMANET は、こうしたリソースが限られた環境下で MANET を劇的に改善するための主な機会として、以下 3 点を指摘している¹¹：

- ・ **リソース分配(Resource Allocation)** 制御ベースのネットワークは、ネットワーク可用性あるいはネットワーク妨害電波、遮断、検知条件といった困難な制約がある中で、遅延、ロス、ジッター、接続性といったユーザの目的と要件を満たすため、無線ネットワーク・リソースをより効率的に分配できるようにする。
- ・ **クロス・レイヤー設計(Cross-Layer Design)** 特に分散・適応型ネットワークのリソース制御目的を実現するため、無線ネットワーク・プロトコルのスタックを再設計する。それにより、ネットワーク容量、待ち時間(latency)、エネルギー消費の分野で改善が期待される。
- ・ **新無線プロトコル(Novel Wireless Protocol)** 無線ネットワークと軍の要求に合わせて最適化されたネットワーキング・プロトコルを新たに開発する。プロトコルは、軍のユニキャストイング(unicasting)に対するマルチキャストイング(multicasting)に対する強い依存性、公平さに対する優先度、そしてセキュリティ、生存性、移動性、適応可能な設定、騒々しい環境への許容性といった条件を考慮したものでなければならない。

ネットワーキング・ハードウェアに関する研究

組織

ネットワーキング・ハードウェアに関する研究は、ATO とマイクロシステムズ技術局(MTO: Microsystems Technology Office)が資金を出して実施されている。MTO の責任者は、John Zopler 博士である。

研究プログラム アジル・コヘレント光アーキテクチャ技術(Technology for Agile Coherent Optical Architecture)

¹¹ CBMANET Solicitation: <http://www.darpa.mil/ato/solicit/CBMANET/BAA05-42PIP08.30.05.doc>

ネットワーク中心型戦闘は、軍の通信ネットワークの負担を増やす。光の潜在的帯域を最大限に利用するためには、光位相と周波数を無線通信と同様の方法で維持、制御しなければならない。アジル・コヘレント光アーキテクチャ技術 (TACOTA: Technology for Agile Coherent Optical Architecture) プログラムでは、高速電気信号とデジタル信号処理 (DSP) と、光トランスミッタとレシーバとの統合を模索している。

光周波数トランスレーションは、情報を非干渉性オプティクスへ符号化するための優れた方法である。DARPA は干渉性光通信概念を進化させることにより、無線通信で一般的に採用されたデジタル周波数を利用し、可視から中間赤外線周波数帯域の全てを利用する高容量情報転送の実現を目指している¹²。TACOTA プログラムでは、以下に挙げる 4 領域が重点領域に指定されている¹³：

- ・ 1550nm 干渉性光トランスミッタ技術 (1550nm Coherent Optical Transmitter Technology)
- ・ 1550nm 干渉性光レシーバ技術 (1550nm Coherent Optical Receiver Technology)
- ・ 位相敏感波長トランスレーション技術 (Phase-Sensitive Wavelength Translation Technology)
- ・ アプリケーション・ベース・リンク実演 (Application-Based Link Demonstration)

2.3 米航空宇宙局 (NASA) のネットワーク領域における R&D

NASA のネットワーキング R&D は、大気中および宇宙に散在する NASA の機器・施設との通信、および機器・施設間通信を支援するものである。NASA は地球に近い宇宙空間にある機器・施設との通信や、火星への通信、または火星からの通信時のデータ率の大幅な改善に取り組んでいる。連邦航空局 (FAA: Federal Aviation Administration) と提携し、航空交通管理をサポートするための航空通信に関する研究も行っている。

¹² TACOTA: <http://www.darpa.mil/mto/tacota/index.html>

¹³ TACOTA Solicitation: <http://www.darpa.mil/mto/solicitations/baa05-36/s/Section1.html>

宇宙・航空通信

組織

宇宙・航空通信に関する研究は、グレン研究センター(Glenn Research Center)が主導して実施されている。同センター通信部門(Communications Division)のディレクターは Felix Miranda 氏である。通信部門は「アンテナ、マイクロ波、光システムズ科(Antenna, Microwave, and Optical Systems Branch)」「デジタル通信科(Digital Communications)」「エレクトロンと光デバイス科(Electron and Optical Device Branch)」「通信システム統合科(Communications System Integration Branch)」「衛星ネットワークとアーキテクチャ科(Satellite Networks and Architecture Branch)」に分割されている¹⁴。

研究プロジェクト 航空・衛星通信プロジェクト(Aeronautical and Satellite Communications Project)

グレン研究センターの衛星ネットワークとアーキテクチャ科は、気象情報コミュニケーション(WINCOMM: Weather Information Communication)と呼ばれる航空機への気象データ流通を改善するための研究プログラムを支援している¹⁵。航空・衛星通信プロジェクトは、衛星通信を進歩させることで、プログラム支援を目指している¹⁶。研究の目的は、衛星通信を導入し、大洋横断中の航空機への気象と乱気流データの伝達能力を高めることである。大洋横断中の航空機には、適当な通信手段がないのが現状である。

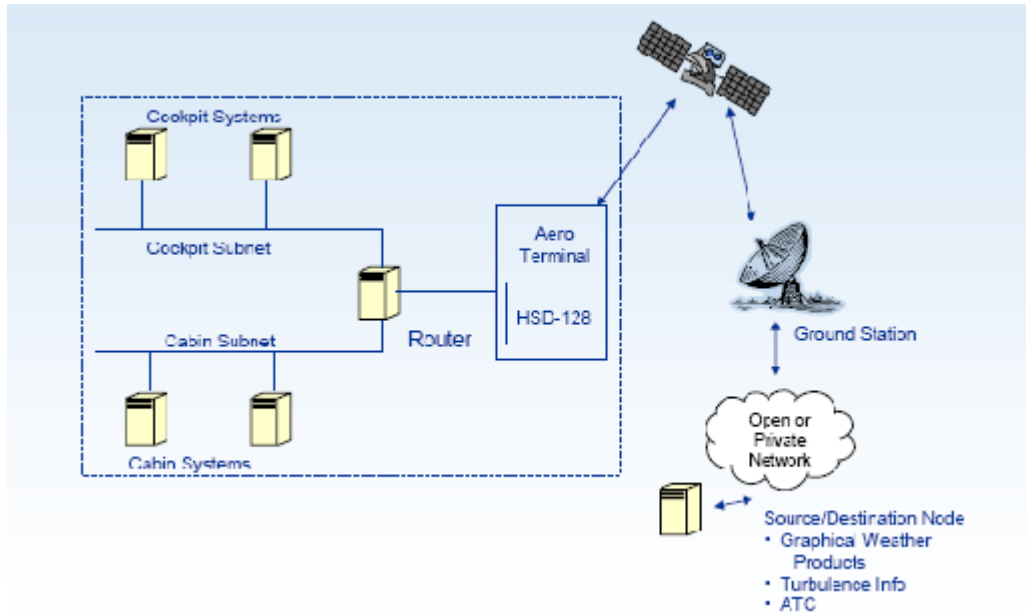
航空・衛星通信プロジェクトは、インターネット・プロトコル(IP)やリナックス・ベースのルータといった地上の技術を利用する、航空テストベッドの開発に取り組んでいる。遅延やパケットのロスを軽減する一方、クリティカルなコックピット・データを優先するためのアルゴリズムやサービスの質(QoS)スキームも開発する。機内向けには、衛星と地上の通信ネットワークとのインターフェースを確立する航空機ベースのネットワーク・テストベッドを構築中であり、機内システムとデータ・センター間のシームレスなデータ伝送の実演を目指している(図4参照)。

¹⁴ Glenn Organizational Listing: <http://www.grc.nasa.gov/WWW/OHR/Orglist/index.html>

¹⁵ WINCOMM, See: <http://wxap.grc.nasa.gov/wincomm/>

¹⁶ Aeronautical and Satellite Communications Presentation: http://spacecom.grc.nasa.gov/icnsconf/docs/2005/12-C1-Wx_Products/C1-03-Slywczak.pdf

図 4: WINCOMM テストベッドの概要



出典: NASA

3 アプリケーション領域における R&D: 主要機関の概略

アプリケーション・レイヤの研究は、ここにきて連邦政府の IT R&D ポートフォリオに占める重要度が高まっている。1990 年代は、ほとんどの研究が基幹ネットワークの性能向上に力点を置いていた。しかし、今やアビレイン・ネットワーク(Abilene Network、Internet2 対応)などの高速インフラの利用が可能になったことなどを受け、より高性能なソフトウェアに対するそのネットワーク機能の利用法に、研究の焦点が移ってきている。本項では、以下の機関を取り上げた:

- ・ 全米科学財団(NSF: National Science Foundation)
- ・ エネルギー省(DOE: Department of Energy)
- ・ 国立衛生研究所(NIH: National Institute of Health)

3.1 全米科学財団 (NSF) のアプリケーション領域における R&D

NSF は、コンピュータ・アプリケーションに関する幅広いトピックスの R&D を支援している。こ

この数年間に NSF が出資した研究プログラムのテーマの中で、最も突出していたのがソフトウェアの複雑性 (software complexity) における問題である。米国の重要なインフラは、複雑なソフトウェアに依存しており、このソフトウェアの信頼性を高めていくことで、重要なインフラを、障害から守ることができる。また、ソフトウェア工学研究においても、このソフトウェアの複雑性における問題を取り上げていくことで、コスト効率が高く、生産性の高いソフトウェア開発をおこなっていくことができる。

ソフトウェア・エンジニアリング研究

組織

NSF の CISE 部門では、コンピューティング・通信基盤部 (Computing and Communications Foundations Division)、コンピュータとネットワーク・システムズ部 (Computer and Network Systems Division)、情報インテリジェント・システムズ部 (Information and Intelligent Systems Division) がソフトウェア・エンジニアリング研究に携わっており、ソフトウェア・エンジニアリング問題を扱う研究プログラムに共同で出資している。

研究プログラム ダイナミック・データ駆動アプリケーションズ・システムズ (Dynamic Data Driven Applications Systems)

・ダイナミック・データ駆動アプリケーションズ・システムズ (DDDAS: Dynamic Data Driven Applications Systems) は、複雑なシステムの動作を、正確にシミュレートし予測するためのアプリケーションを導入する際に生じる問題に対処するためのプログラムである。DDDAS は、シミュレーションを操作するアプリケーションと、シミュレーションのために行われた測定との間の共生フィードバックを想定している。NSF は DDDAS について「実行アプリケーションに追加データを動的に組み入れる能力と、逆に、測定プロセスを動性に導くアプリケーションの機能の両方を有す」と説明している¹⁷。

アプリケーションは、シミュレーションの結果を基に、より効率的な測定技術を設計するために、測定プロセスを制御できるようにする。反対に、現状をより正確に反映するために、測定システムで集められたデータ入力によって、アプリケーションのシステム・モデルが変更されることもある。DDDAS は研究課題として以下を挙げている¹⁸：

・ **アプリケーション (Applications)** アプリケーションはモデルを様々な様式で詳細に記

¹⁷ DDDAS: <http://www.nsf.gov/pubs/2005/nsf05570/nsf05570.pdf>

¹⁸ Ibid. I

述し、必要に応じて最適なモデルを実行し、また測定システムやその他システムと相互作用ができなければならない。

- ・ **測定システムとその他の手法(Measurement Systems and Other Methods)** 器具、センサ、そしてデータ収集技術の向上が条件となっており、測定システムは、シミュレーションを実行中のアプリケーションに測定データを動的に挿入し、またアプリケーションによる制御に反応できなければならない。
- ・ **数学的・統計学的アルゴリズム(Mathematical and Statistical Algorithms)** ダイナミック・データ・インプットによって引き起こされる作動中も安定かつ堅牢な新数学的アルゴリズムと、数学的、統計学的、そしてアプリケーション的アルゴリズムを改善する。
- ・ **システム・ソフトウェア・インフラ(Systems Software Infrastructure)** システム・ソフトウェアは、システム条件がダイナミック・データ・インプットに依存するようなアプリケーションの実行をサポートしなければならない。

DDDAS は、研究班の調査員が1人から最大5人で、かつ期間が3～5年の研究プロジェクトへ資金提供を行っている。NSF は、他機関からの支援金額を含めた、合計 1,500 万ドルを 25～30 件のプロジェクトに分配する計画である。

DDDAS は NSF の CISE が主導し、NSF 数学・物理科学(MPS: Mathematical and Physical Sciences)部門、国立衛生研究所(NIH: National Institutes of Health) 国立医学図書館(NLM: National Library of Medicine)、NIH 附属国立総合医科学研究所(NIGMS: National Institute of General Medical Sciences)、米国海洋大気庁(NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration) から追加支援を受けている。MPS 部門は前述の数学的・統計学的アルゴリズム研究を支援している。また、NIH の 2 機関と NOAA は、DDDAS 対応シミュレーションの応用先として想定される医学と気象コミュニティでの研究支援に関心を示している。

研究プログラム コンピュータ・システムズ・リサーチ(Computer Systems Research)

コンピュータ・システムズ・リサーチ(CSR: Computer Systems Research)プログラムは、大規模かつ複雑なシステムと、システム・ソフトウェアの生産に関する理解の向上を目的とした研究を行っている。研究プログラムでは、複雑かつ動的なシステムと、それらをサポートするシステム・ソフトウェアの劣悪な性能に起因する課題を認識している。また、プログラムの目的

は「信頼性と堅牢性に優れ、バグが少なく、性能をより正確に予測でき、有益なサービスを提供し、新興技術の潜在性を引き出せるようなシステムにつながる可能性を持ったプロジェクトを支援すること」と説明されている¹⁹。

CSR プログラムでは現在、プロジェクト・プロポーザルを求めており、その重点分野は、以下の3つの技術分野と1つの分野横断的研究から成っている²⁰。

- ・ **組み込み型ハイブリッド・システム (Embedded and Hybrid Systems)** リアルタイム性、生存性、信頼性、そしてセキュリティ保障を提供するメカニズムと機能性を統合した、高信頼性組み込み型システム構築に必要な科学的基礎とシステム技術に関する研究を支援する。具体的なトピックスは、組み込み型システム・ソフトウェアとコンポジション技術、分散ソフトウェア制御、意味的な正確さを優先したモデリングと組み込み型ソフトウェアとシステムの設計、リソース管理と最適化など。
- ・ **並列・分散型 OS (Parallel and Distributed Operating Systems)** 並列・分散型システム向けに、より優れた OS を設計・構築する方法と、新タイプのシステムとシステム・サービスを創造する方法についての基本的理解を改善するような研究を支援する。具体的なトピックスは、リソース管理、システム・サービス、システム・アーキテクチャ、システム特性など。
- ・ **先端実行システム (Advanced Execution Systems)** 利用できるシステムリソースの変化に応じて変わってくる、アプリケーション要求の動的マッピングに関する研究を支援する。具体的なトピックスは、ランタイム・コンパイル・システム、アプリケーション・コンポジション・システムなど。
- ・ **システムモデリングと分析 (System Modeling and Analysis)** 複雑なコンピューティングと通信システムの性能と正確性をモデリング、測定、分析、評価、予測するための手法とツールの開発に関する研究を支援する。手法やツールの機能は、システムの全レベルを対象に提供される。

3.2 エネルギー省 (DOE) のアプリケーション領域における R&D

エネルギー省 (DOE: Department of Energy) は、分散型情報システムなどの高性能コンピューティングを利用し、高エネルギー物理学、気候、遺伝学といった分野の複雑な科学的問題

¹⁹ CSR: http://www.nsf.gov/funding/pgm_summ.jsp?pims_id=13385&org=CNS&from=fund

²⁰ Ibid.

を研究している。DOE のアプリケーション領域における R&D は、グリッド・コンピューティング向けミドルウェア・プラットフォームとして高い成功を収めたオープンソース・ソフトウェア「グローバス (Globus)」などの分散型情報システムを実現するソフトウェア開発を目指している。また、DOE の研究をサポートするために開発・運用される高性能コンピューティング・プラットフォームの開発と維持管理の生産性向上も課題となっている。

DOE の分散型情報システム研究

組織

DOE のコンピュータ科学関連の研究は、副ディレクターの Michael Strayer 氏率いる科学局 (Office of Science) 先端科学コンピューティング研究局 (ASCR: Office of Advanced Scientific Computing Research) が主幹として監督している。アルゴンヌ国立研究所 (ANL: Argonne National Laboratory) は、分散型情報システム研究に取り組む DOE の主要施設である。ANL 数学・コンピュータ科学部門 (Mathematics and Computer Sciences Division) の責任者は、ANL での研究活動の一環としてグローバスを共同設立した Ian Foster 博士である。

研究プログラム 性能評価研究センター (Performance Evaluation Research Center)

ベクター・ベースと分散型コンピューティングの双方を含む高性能コンピューティング・プラットフォームの巨大化にともない、アーキテクチャ面の複雑性や障害の発生確率が高まっている。システムのサイズが大きくなりアーキテクチャが複雑になるということは、性能が低いアプリケーション・コードの書き換えといった作業に時間とコストがかかることを意味する。性能モデリング・ツールは、コードがまだ開発段階にあるうちから、アプリケーションの性能を予測できるようにすることにより、高性能コンピューティング向けアプリケーション開発を支援する²¹。

ANL の性能評価研究センター (PERC: Performance Evaluation Research Center) は、高性能コンピューティング・プラットフォーム上で稼動するアプリケーションの性能モデリング、分析、最適化に関する研究を行っている。PERC は科学局での利用を想定して作成されたアプリケーション・コードに応用できる性能モデリング・ツールを開発する計画である。2005 年に、センター初の3年間の期限付きプロジェクトを完了し、現在は研究成果に基づく追加研究を実施している。PERC が現時点で訴求する研究目標は次の通りである²²：

²¹ "Performance Research: Current Status and Future Directions," *PERC Progress Report*, February, 2005.: <http://perc.nersc.gov/docs/PERC-white-aes15.doc>

²² Ibid.

- ・ **分析・最適化ツールの開発(Development of Tools for Analysis and Optimization)**
PERC は現在、高性能コンピューティング・システム上で稼動する科学的研究アプリケーションの性能分析ツールの開発に取り組んでいる。性能改善を目的に、アプリケーション・コードの修正を可能にするツールも開発する。
- ・ **性能モデルの開発(Development of Performance Models)** アプリケーション開発作業と併行し、アプリケーションの性能を予測できる性能モデリング・ツールを開発する。システム設計者は、科学的アプリケーション要求に応じて最適化された高性能コンピューティング・システム的设计が可能になる。
- ・ **DOE 科学局向けに作成されたコードへの手法の応用(Application of Techniques to Codes Written for DOE Office of Science)** PERC は科学局、なかでも先端コンピューティングによる科学的応用 (SciDAC: Scientific Applications through Advanced Computing) プログラムと協力し、科学的アプリケーションの性能最適化に取り組んでいる。

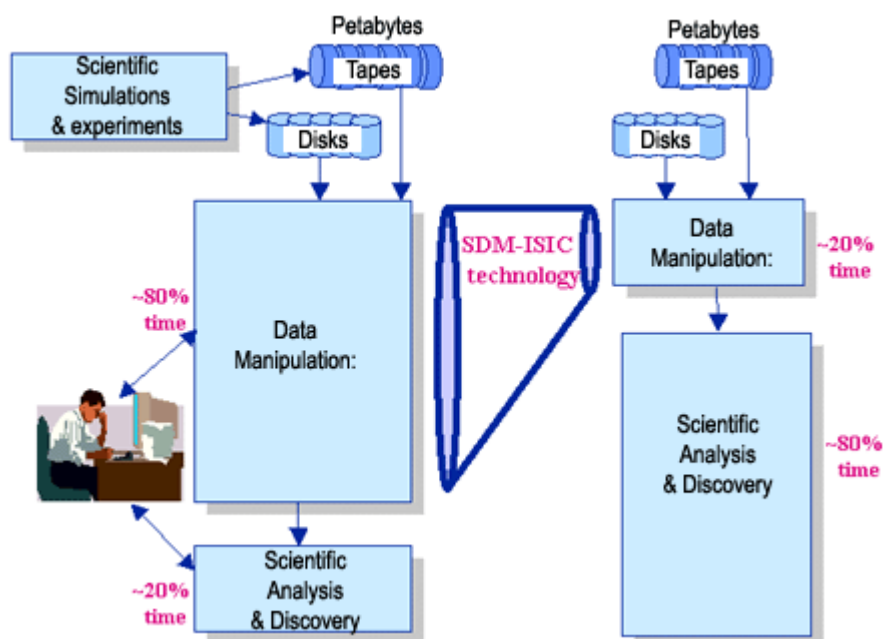
研究プログラム 科学データ管理(Scientific Data Management)

高性能コンピューティングと科学的アプリケーションからは、大量のデータが生成される。こうした大量のデータは、性能上の問題の原因になる。科学部門の研究者らは、本来の科学的研究に集中するよりもむしろ、この問題を是正するための専用データ管理ソリューションの開発に力を入れている。このソリューションでは、複数の科学アプリケーションにデータ管理サービスを提供することができ、再発性の問題に対処し、研究者のデータ管理負担を軽減できると期待されている。

科学データ管理(SDM: Scientific Data Management) センターは DOE の科学的アプリケーション開発者と協力し、科学的データ管理ソフトウェアの学習と開発、応用に取り組んでいる。科学的データの効率的な保存、アクセス、分析を実現し、科学者を支援するのが目的である(図 5 参照)²³。

²³ SDM Center: <http://sdm.lbl.gov/sdmcenter/>

図 5: 科学実験における SDM の役割



出典: Scientific Data Management Center

センターは現在、SDMソフトウェア 3 層に照準を当てたプロジェクトを監督している²⁴:

- ・ **記憶装置への効率的アクセス (Storage Efficient Access)** 高性能コンピューティング・システムのインプット/アウトプット (I/O) を改善する。プロジェクトには、並列ファイル・システム、I/O ツール、そして記憶装置リソース・マネージャへのインターフェースを含む統合ソリューションの開発などが含まれる。
- ・ **データ・マイニングと分析 (Data Mining and Analysis)** 10 ギガバイトを超えるデータセットの分析を支援するテラ規模コンピュータのデータ・マイニングと分析機能を強化する。同研究では、データ整理、機能抽出、データ・マイニング・アルゴリズム、視覚化ツールを取り扱う予定である。
- ・ **科学プロセス自動化 (Scientific Process Automation)** 研究者によるデータ分析と視覚化ツールへのアクセスを可能にするためのグラフィカル・ユーザ・インターフェース

²⁴ SDM Center: SDM Center Quarterly Report, Jul – September, 2005. See: <http://sdmcenter.lbl.gov/quarterlyreports/SDM.quarterly.July-Sept.2005.doc>

(GUI)と科学ワークフロー管理システムを開発する。

研究プログラム 拡張可能なシステム・ソフトウェア(Scalable Systems Software)

分散型コンピューティングでは、無数のコンピュータを接続し、あたかも1台のコンピュータであるかのように動作させることができる。しかし、分散型コンピューティング・プラットフォームの規模に、システム・ソフトウェアが追いついていないというのが現状である。性能的問題は、ノードの数に応じて変わってくる。科学アプリケーションの開発者は、大型のテラスケールコンピュータを活用するために、システム・ソフトウェアを個別に書き換えなければならない。

こうした問題を受け、拡張可能なシステム・ソフトウェア(SSS: Scalable Systems Software)プログラムでは、テラ規模コンピュータに導入可能なシステム・ソフトウェアの包括的統合スイートを開発する²⁵。システム・ソフトウェア・コンポーネントのインターフェース標準化について、DOE、NSF、そして業界の合意を形成することも目標としている。プログラムはまず、インターフェースとコンポーネントの標準化に重点を置く計画である。

3.3 国立衛生研究所(NIH)のアプリケーション領域におけるR&D

国立衛生研究所(NIH: National Institute of Health)附属国立医学図書館(NLM: National Library of Medicine)は医療関連研究のデジタル・アーカイブを収集しており、医療コミュニティはMEDLINEやClinicaltrials.govといったオンライン・サービス経由でこれにアクセスすることができる。医療ジャーナル記事のデジタル・アーカイブであるMEDLINEは、世界最大のオンライン・アーカイブとして知られる。NIHのアプリケーション領域におけるR&Dの目標は、NLMの機能を改善し、NLMが開発した医療オントロジー(存在論)と自動見出し作成(indexing)によって集められた記事や画像のアーカイブを作成することである。また、医療コミュニティや患者がアーカイブの記事や画像にアクセスし、分析できるようにするためのツールも開発し導入する。

情報アクセシビリティ研究(Information Accessibility Research)

組織

NLMによるデジタル・アーカイブ作成と、アーカイブに保存された記事や画像へのアクセス提供を実現するためのR&Dは、NLMの国立リスターヒル・バイオ医療コミュニケーションズ・セ

²⁵ ²⁵ "Scalable Systems Software for Terascale Computer Centers," SSS White Paper:
<http://www.scidac.org/ScalableSystems/Systems-2-pager.pdf>

ンター (NCBC: Lister Hill National Center for Biomedical Communications) の主導で実施されている。George Thoma 博士率いる NCBC のコミュニケーションズ工学科 (CEB: Communications Engineering Branch) が、医療記事と画像のアーカイブ作成とアクセスに関する R&D を監督している。

研究プログラム コンテンツ・ベースの画像検索(Content-Based Image Retrieval)

研究者らは現在、MEDLINE データベースに格納された医療ジャーナル記事と画像から、図書目録データを自動的に生成する手法の開発を行っている。現在、図書目録データはルール・ベースのアルゴリズムを使って作成されている。図書目録データは、医学研究者による記事や画像検索と分析に必要なデータである。

コンテンツ・ベース画像検索(CBIR: Content-Based Image Retrieval) プログラムでは、患者の脊椎の X 線写真といった医療画像の図書目録データを自動生成する手法を開発する。これにより、医療画像を説明するための関連テキストと画像データを分析し、図書目録データを作成できるようにする²⁶。

研究プログラム 医療ジャーナル記事の自動標識付け(Automated Labeling of Medical Journal Articles)

NLM が開発中のウェブベースの医療記事記録システム(WebMARS: Web-based Medical Article Records System) は、医療ジャーナル記事の図書目録データを自動生成する。最終的に手作業によるデータ作成ニーズを排除するのが目標である。自動標識付け(AL) は WebMARS のモジュールの 1 つで、統計学とルール・ベースのアルゴリズムを使い、記事中のセグメント化された領域と、記事タイトル、執筆者名、所属、要約などの図書目録データを特定する。

AL モジュールの精度は 97% である。研究は現在も続けられており、今後はモジュールの自動標識付けの精度と速度を向上させる計画である²⁷。

²⁶ "The Lister Hill NCBC Annual Report, FY 2005.":
<http://lhncbc.nlm.nih.gov/lhc/docs/reports/2005/tr2005006.pdf> (pp. 4-5)

²⁷ "Automated Labeling of Biomedical Online Journal Articles," *National Library of Medicine*, July, 2005.:
<http://lhncbc.nlm.nih.gov/lhc/docs/published/2005/pub2005022.pdf>

4 インフラ領域における R&D: 主要機関の概略

インフラ領域における R&D は、歴史的に連邦政府の IT R&D ポートフォリオの中で最も弱い部分とされてきた。しかし、2007 年度予算ではこの種の研究に最も関連した機関、NIST と DARPA の予算の大幅増額が提案されており、状況は今後、変化するものと期待されている。これを踏まえ、これら機関はインフラ領域における R&D プログラムの見直しに着手している。本項では、下記の機関を取り上げた:

- ・ 国防高等研究事業局(DARPA: Defense Advanced Research Projects Agency)
- ・ 米国標準技術院(NIST: National Institute of Standards and Technology)
- ・ 米航空宇宙局(NASA: National Aeronautics and Space Administration)

4.1 DARPA のインフラ領域における R&D

DARPA は国防総省(DOD: Department of Defense)の兵役サービス部門を代表し、リモート・センサに関する R&D に資金を提供している。DARPA のリモート・センサ研究には、小型飛行船への大型アンテナの搭載、小型無人車両(UAV)の開発といった、新プラットフォームへのセンサ統合が含まれる。また、リモート・センシングは、地下施設の探知や、雑然としている環境や雲の覆いを抜けてのリモート・センシングなど、軍が抱える課題を解決する新しいセンシング機能の開発にも焦点を当てている。

リモート・センシング研究(Remote Sensing Research)

組織

DARPA のリモート・センシング研究への主な出資組織は、Stephen Wax 博士率いる防衛科学局(Defense Science Office)と、Joe Guerci 博士の特別プロジェクト局(SPO: Special Projects Office)である。防衛科学局はリモート・センシングをはじめとする画期的技術の研究開発、SPO は DOD が指定する高優先度課題に対応した R&D と技術実演を統括している。

研究プログラム アクティブ・センシング波形(Waveforms for Active Sensing)

アクティブ・センシング波形(Waveforms for Active Sensing)プログラムは、固定波形に限定された既存のアクティブ・センシング・アルゴリズムを置き換えるものである。プログラムでは、

適応信号処理と最適化スケジューリングにおける数学的進歩を利用し、機動性があり正確に制御された RF と光波形のための新トランスミッタ技術を開発する。

最終的に、騒々しい環境での標的探知と追跡能力を格段に改善するようなアクティブ・センシング・アルゴリズムの開発を目指す。騒々しい環境での小型標的のレーダー追跡と探知、雲や煙の中での光センシングなどへの応用が期待されている²⁸。

研究プログラム 革新宇宙ベース・レーダー・アンテナ (Innovative Space-Based Radar Antenna)

革新宇宙ベース・レーダー・アンテナ (ISAT: Innovative Space-Based Radar Antenna) プログラムでは、複数の移動標的に対し、高解像度の戦術的レベルの探知と追跡機能を提供する超大型宇宙ベースのレーダーアンテナを開発・実演する。超大型アンテナでレーダー波を生成するには、新しい測定と校正技術が必要である。また、リモート・センシングにレーダーを利用することで、夜や曇りの日には使えないといった光センシング問題点の解決を狙っている²⁹。

4.2 NIST のインフラ領域における R&D

NIST は、量子コンピューティングや通信といった、新興技術の標準規格と測定技術の特性化と開発に特化した機関である。量子情報研究では、量子ビット (qubits) の特性をベースにした IT アプリケーションを開発している。また、これら技術をサポートする物理学や情報理論に関する基礎研究も行っている。

量子コンピューティング・通信研究 (Quantum Computing and Communications Research)

組織

Stephen Cundiff 博士率いる NIST の量子物理学部門 (Quantum Physics Division) 物理学ラボ (Physics Laboratory) が量子物理学の基礎研究を監督している。量子情報ネットワーク (Quantum Information Networks) 班は、情報技術ラボ (Information Technology Lab)、電子電気工学ラボ (Electronics and Electrical Engineering Lab)、物理学ラボから関連分野の

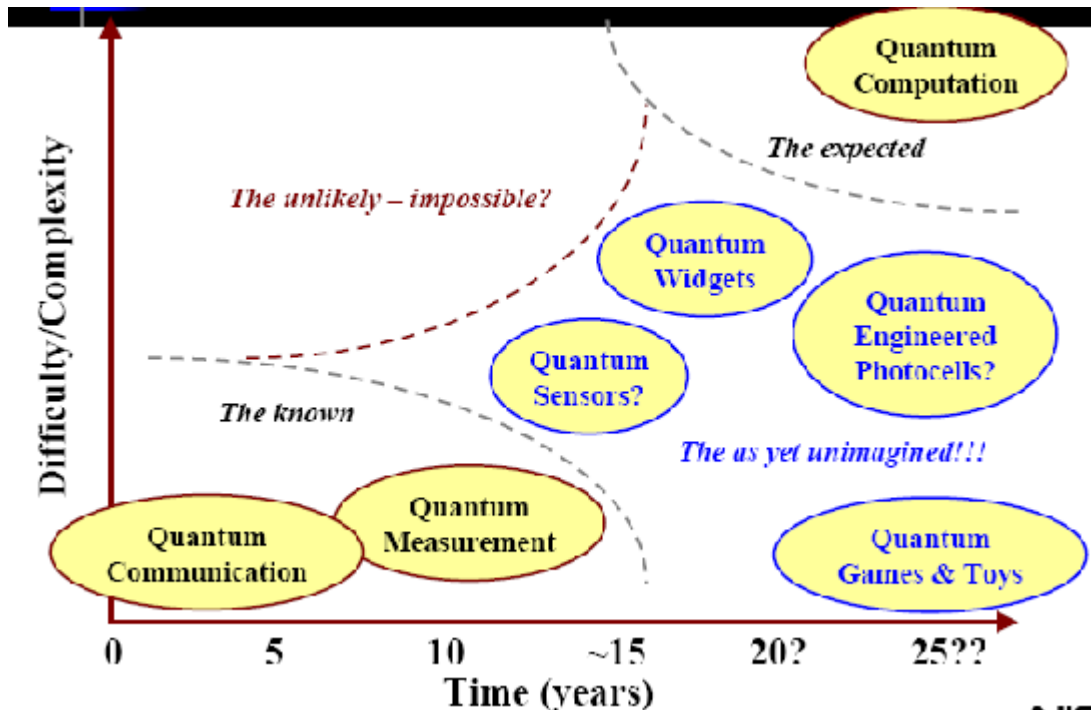
²⁸ Waveforms for Active Sensing: <http://www.darpa.mil/DSO/thrust/math/waveforms.htm>

²⁹ ISAT: <http://www.darpa.mil/spo/programs/isat.htm?area=1>

人材を集めて組織された。この分野横断的研究班は、物理学ラボの研究者、Carl Willimas 氏によってコーディネートされている。

量子情報研究では研究プログラムの長期ロードマップが策定されており、その中で最終目標である電子機器や技術が示されている(図 6 参照)。

図 6: NIST 量子研究プログラムのスケジュール



出典: NIST

研究プログラム 量子情報ネットワーク(Quantum Information Network)

量子情報ネットワーク(Quantum Information Network) プログラムでは、量子暗号化と量子通信のために毎秒 1 ギガビット対応ネットワークを提供する量子ネットワーク・テストベッドを開発している。テストベッドは、高速量子通信ネットワークに関する標準規格と度量衡の開発への貢献が期待されている。NIST の研究者たちは、テストベッドでは単一光子源 (photon source) と検知器のための度量衡と較正技術の開発にも取り組む考えである。NIST は単一光子源と検知器も開発している³⁰。

テストベッドは、高速光無線技術や TCP/IP と IPSEC プロトコルを利用する通信ソフトウェアな

³⁰ Quantum Information Network: <http://math.nist.gov/quantum/overview.html>

ど、既存技術を基に構築する。単一光子源と検知器は、NIST の物理学ラボが実施する別のプロジェクトの量子ドット研究成果も踏まえて開発する。

テストベッドは毎秒 1 メガビットで動作し、単一光子源の開発と試験や、デバイス・ドライバ、調整アルゴリズム (reconciliation algorithms)、プライバシー制御の開発といった、量子情報ネットワーク研究の他の側面もサポートする。また、以下で説明する量子主要ディストリビューションに関する研究でもテストベッドを利用する。

研究プログラム 量子主要ディストリビューション (Quantum Key Distribution)

NIST は、暗号化と認証で使用される秘密鍵の高速ディストリビューションである、量子暗号化をサポートする量子情報ネットワーク機能の研究を行っている。NIST はこれまでに 730 メートルの距離で暗号化鍵を毎秒 1 メガビットの速度で転送させる実演に成功した。光ファイバーを使った実験では、暗号化鍵の 1 キロメートル強の転送も実現した。量子暗号化をさらに進歩させるには、より高速な単一光子源と検知器が必要であり、これらは量子情報ネットワークの研究目的に指定されている³¹。

研究プログラム 量子コンピューティング

量子コンピューティングは、量子ビットの特性を利用し、既存のスーパーコンピュータでは実現不可能な速度で特定の問題を実行する。NIST は、量子コンピューティング研究の目的を以下のように説明している：

- ・ 約 10 量子ビットの単一量子プロセッサを実現する。
- ・ 3 またはそれ以上の量子ビットについて反復的な量子エラー補正を行う。
- ・ 長距離量子通信を実現するための量子中継器 (quantum repeater) を実現する。
- ・ 量子ロジックを応用し、周波数標準の性能を改善する。

量子コンピュータの基本的コンポーネントは、これまで小規模では実演されてきた。NIST の研究者たちは拡張可能な量子コンピュータ研究を続けており、エラーを探知するための新アーキテクチャの実演に成功した。このアーキテクチャを採用すれば、すでに開発されたシステムコンポーネントを利用した量子コンピュータによる、高性能の動作が可能になるという³²。

³¹ “Quantum Information Research at NIST,” See: http://qubit.nist.gov/PDFs/QI_brochure_final.pdf; “High-Speed Fiber-Based Quantum Key Distribution Using Polarization Encoding,” *NIST Technical Paper*: <http://math.nist.gov/quantum/reports/fiberQKD-SPIE2005.pdf>

³² “Quantum Computers May be Easier to Build Than Predicted, NIST Work Suggests,” *NIST Press Release*, March 2, 2005.: http://www.nist.gov/public_affairs/releases/quantum_computers.htm

4.3 NASAのインフラ領域における R&D

NASA は、複数の機器・施設をネットワーク化する、リアルタイムの地球観測センサ・ウェブの開発を目指している。地球の表面、大気中、あるいは宇宙にある複数の機器・施設を利用して地球観測を行うもので、NASA は前述の宇宙と航空通信に関する研究に加え、センサ・ウェブ制御システムの R&D も行っている。

リモート・センシング研究(Remote Sensing Research)

組織

NASA では、ゴダード宇宙飛行センター (Goddard Space Flight Center) が、NASA の機器・施設とそれら機器・施設からのデータ収集に使われるデータ・ネットワーク向け器具類の開発と管理を行っている。ゴダードの先端アーキテクチャと自動化部門 (Advanced Architectures and Automation Branch) が Jacqueline LeMoigne 博士の下、センサ・ウェブの R&D を統括している。

研究プログラム 適応センサ船舶 (Adaptive Sensor Fleet)

NASA は、地球の表面、大気、そして宇宙センサ・プラットフォームを一体化する混成ネットワーク構築に取り組んでいる。混成ネットワークでは様々な測定を行い、急な測定を要するような突発的事象にも対処できるようにする³³。例えば、大洋上に設置されたセンサ・プラットフォームを包括するセンサ・ウェブでは、従来のリモート・センシングでは雲が邪魔になっていた確な測定が難しい藻類の開花の測定も可能にする。

適応センサ船舶 (ASF: Adaptive Sensor Fleet) は、「オアシス (OASIS)」と呼ばれる小型船舶用の低コスト外航口ポット・センサ・プラットフォームの監視システムである。センサ船舶の位置を調整し、研究者が予め決めた科学的目的に応じた最適な測定を実施する。システムでは船舶による測定結果を分析し、科学的目的の確実な達成を支援する (図 7 参照)。測定が不適切だった場合は、必要に応じて船舶の位置を調整することも可能である³⁴。

ASF は今後、システムでサポートするセンサの数の増加、センサ船舶の自発的協調機能の

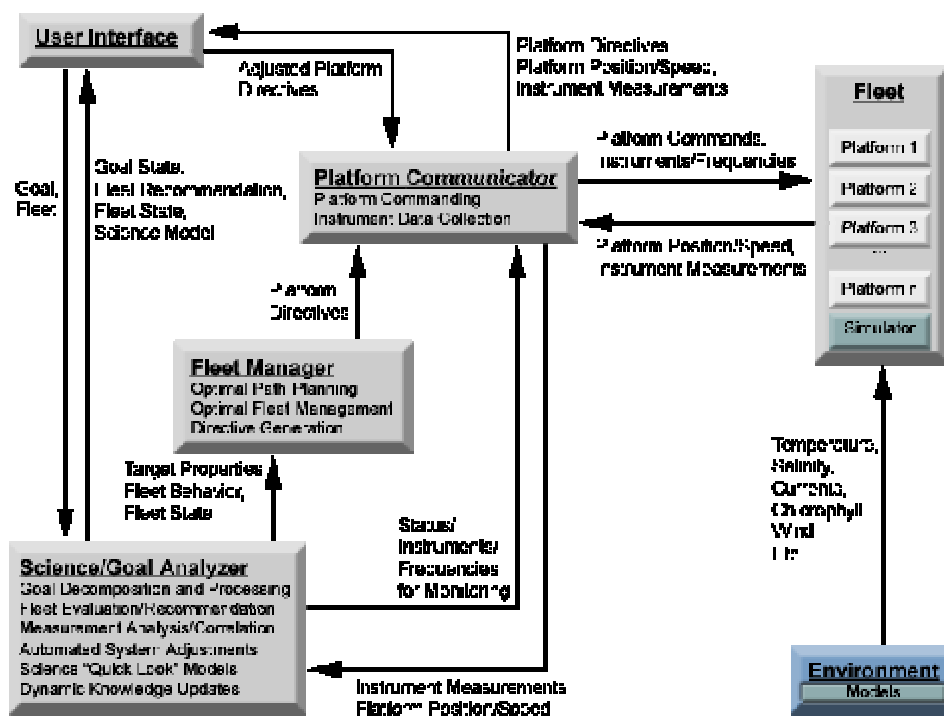
³³ Sensor Web: <http://aaaprod.gsfc.nasa.gov/sensorweb/>

³⁴ Adaptive Sensor Fleet:

<http://aaaprod.gsfc.nasa.gov/Website/ViewPage.cfm?selectedPage=64&selectedType=Project>

強化、システムの宇宙資産への拡張などに取り組む予定である³⁵。

図 7: ASF アーキテクチャ



出典: NASA

³⁵ Future Research: <http://aaaprod.gsfc.nasa.gov/ASF/research-future.htm>