CRDS-FY2009-WR-04

科学技術未来戦略ワークショップ
（電子情報通信系俯瞰WS Ⅳ）
報告書

平成21年12月

独立行政法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター

Center for Research and Development Strategy Japan Science and Technology Agency

Executive Summary

独立行政法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター（JST/CRDS）電子情報通信ユニットは、電子情報通信分野の研究開発動向を俯瞰的に眺め、今後提案すべき重要研究開発課題を抽出する際の基礎となる情報を得るために、第４回目の俯瞰ワークショップ（俯瞰ワークショップⅣ）を実施した。

有効な研究開発戦略を提言するためには、a)今後重要となる具体的な研究開発課題、b)骨太のシナリオ（それらが社会の中でどのような重要性を持ち、国が投資する意義は何かを説明するための説得力のあるシナリオ)、の両方が重要であるとの考えに立って、今回の俯瞰ワークショップ全体を以下のように設計した。

a)については、この俯瞰ワークショップ本会議に先立ち、６つの技術分野（エレクトロニクス、フォトニクス、コンピューティング、セキュリティ・ディペンダビリティ、ネットワーク、ロボティクス）について分科会を構成し、約６ヶ月をかけて各分野の俯瞰を行った。全体で65名の専門家にご協力いただいた。この結果、各分野の俯瞰図、重要研究開発課題のリスト（６分野から76課題)、およびホットトピックス（注目すべき動向、技術の芽など）をアウトプットとして得た。

b)については、俯瞰ワークショップ本会議を、９月23日、24日に開催した。技術分野別俯瞰結果をベースに３チームに分かれて議論を行い、３つの“骨太のシナリオ”の作成を試行した。本会議は、専門家17名（所属は、大学11名、大学以外の国の機関４名、民間企業２名）およびCRDS電子情報通信ユニットのメンバー８名で２日間にわたって議論した。専門家は分科会メンバーの一部の方（各分科会から１～２名ずつ）にご協力いただいた。また、文部科学省、JST、CRDS他ユニットからオブザーバーの参加も得ることができた。

“骨太のシナリオ”から重要なキーワードを抽出し、What、How、Whyの３つの視点から整理すると次のようになる。

１）What：国として投資すべき重要研究開発課題に関するカテゴリ

グランドチャレンジレベルの大きなくくりでいうと、例えば以下のようなテーマが挙げられた。

- 国家情報基盤の構築
- 超低消費電力化センサネットワークによる情報技術プラットフォーム構築

・サステナビリティ ITの研究開発

2）How：研究開発およびそれに基づくイノベーションを実現するための推進方法に関するカテゴリ

例えば以下のような指摘がなされた。

・研究開発の初期の段階からユーザを巻き込むInclusive Design
・グランドチャレンジ型研究（基盤技術から応用までを対象）
・技術進展のフェーズを考慮した評価
・国内問題を徹底的に解き、そこで培った技術を包括的に海外展開

3）Why：なぜそれを国が行うべきか、言い換えればそれによってどのような社会の期待に応えられるのかという、社会的期待に関するカテゴリ

例えば以下の観点が挙げられた。

・情報安全保障の確立
・「課題先進国」日本で課題を解決する技術を研究開発し、世界に貢献
・省エネ、省資源、省力化など、環境問題への貢献

上記What, How, Whyの整理結果をベースに、社会のトレンドと期待、それに対応する技術的チャレンジ目標、それをブレイクダウンした具体的研究開発課題、を階層的に整理し、以下のような技術的チャレンジ（複数の研究開発課題が含まれる大きな挑戦課題）の候補とそれに取り組むべき社会的な意義をいくつか抽出した。

・サステナビリティ IT：社会の成熟化に伴い、老朽化しつつある既存人工物（社会インフラなど。ソフトウェアを含む）を適切にメンテナンスし、できるだけ長く利用せざるをえなくなっている。また新たに構築する人工物には適応的に進化できる仕組みを実装することが必須であり、そのような技術の研究開発が必要。
・Global Creative Platform：少子高齢化時代に於いて社会の活力を維持するためには、国内にとどまらず世界の知を活用することが必要であり、そのため言語の壁を越えて知の共創を支援する情報技術が必要。
・国家新情報基盤：国や企業の重要な情報が少数の（海外）企業によって管理される事態は情報安全保障の観点から避けるべきであり、そのために国内にセキュアかつディペンダブルな情報基盤の構築が必要。
・統合生活支援システム：高齢化に伴う社会コストの増大が国の財政の大きな負担になっている。このままの状況が続けば、我が国の財政は破綻する危険がある。この課題を緩和するためにITを活用した統合生活支援システムが必要。

研究推進方法については、Howの整理結果を参考に、社会や技術のおかれている状況に応じて今後作り込む必要がある。

今回の試みにより、電子情報通信系の６つの技術分野の重要研究開発課題を幅広く集めることができた。技術的チャレンジ、それに取り組むべき社会的な意義及び研究推進方法のセット（骨太のシナリオ）を検討することで、複数の重要研究開発課題をそのシナリオに沿って組み合わせることが可能となり、研究開発投資の有効な提案ができるようになると考えている。我々は今後これらの結果をベースにさらに検討を深め、今後の戦略プロポーザルに結びつけていく所存である。

目　次

Executive Summary

1．開催経緯 …… 1
　1．1　これまでの俯瞰ワークショップと重要研究開発課題抽出の経緯 …… 2
　1．2　俯瞰ワークショップⅣの全体設計 …… 5

2．技術別専門分科会の検討結果 …… 11
　2．1　エレクトロニクス分科会 …… 12
　2．2　フォトニクス分科会 …… 19
　2．3　コンピューティング分科会 …… 27
　2．4　セキュリティ・ディペンダビリティ分科会 …… 42
　2．5　ネットワーク分科会 …… 55
　2．6　ロボティクス分科会 …… 65

3．「骨太のシナリオ」検討結果 …… 71
　3．1　Aチーム …… 73
　3．2　Bチーム …… 87
　3．3　Cチーム …… 99

4．まとめと今後の検討項目 …… 111

付録１　俯瞰ワークショップとは …… 125
付録２　俯瞰ワークショップⅣの検討プロセス …… 126
付録３　分科会メンバー一覧 …… 128
付録４　ワークショップ(本会議）参加者一覧 …… 130
付録５　ワークショップ(本会議）プログラム …… 131
付録６　ワークショップ(本会議）参加者のポジションペーパー …… 134

1

開催経緯

1.1 これまでの俯瞰ワークショップと重要研究開発課題抽出の経緯

独立行政法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター（JST/CRDS）電子情報通信ユニットでは、これまでにほぼ２年に１回のペースで３回の俯瞰ワークショップを開催し、国として投資すべき電子情報通信系の重要研究開発領域を抽出する作業を行ってきた。その成果は、戦略プロポーザルとしてまとめられ、第３期科学技術基本計画の策定プロセスや、文部科学省等での研究開発プロジェクトの設計に活用されてきた。電子情報通信系の俯瞰ワークショップは今回で通算４回目となる。

これまでの俯瞰ワークショップと重要研究開発課題抽出の経緯を図1.1に示す。

2004年１月に開催された俯瞰ワークショップⅠでは、電子情報通信系をエレクトロニクス、フォトニクス、コンピューティング、ネットワーク、ロボティクス・計測の５つの分科会に分けて検討を行い、分科会ごとに重要研究開発課題を抽出した。分科会ごとの検討により、「IRT」「Power」という大きな研究開発の流れが見いだされ、その後、IRT（Information TechnologyとRobotics Technologyの融合）、統合センシング技術、医工融合、柔らかいエレクトロニクス、超低消費電力技術、希薄分散エネルギー技術といった重要研究開発課題を提案した。

2005年10月に開催された俯瞰ワークショップⅡでは、エレクトロニクス・フォトニクス、コンピューティング、ネットワーク、ロボティクス・制御、の４つの分科会の他に、「ITの社会応用」というニーズ側からの検討を行う分科会も設置して重要研究開発課題を抽出した。俯瞰ワークショップⅠでは、分野ごとに俯瞰図を作成していたが、俯瞰ワークショップⅡでは、これらを統合して統合俯瞰図を作成した（図1.2）。このワークショップでは、何らかの切り口を設定した方が重要研究開発課題の抽出がやりやすいとの考えから、「ディペンダビリティ」と「ペタ・フェムト」というキーワードを設定して議論を進めた。このワークショップでの検討により、「ディペンダビリティ」という大きな研究開発の流れが見いだされ、その後、ディペンダブルOS、ディペンダブルVLSI、ディペンダビリティ評価、ディペンダブルネットワーク、大規模情報からの知識獲得技術、情報セキュリティ、コグニティブ無線、といった重要研究開発課題を提案した。また、「SPIN：SPiral-up model for Innovator Nippon」という新しい研究開発推進方法のモデルを提案した。

2008年１月に開催された俯瞰ワークショップⅢでは、専門分野ごとの分科会ではなく、幅広い分野の専門家の混成チームから成る分科会を３つ設置し、「産業競争力」というキーワードのもとで重要研究開発課題を抽

出した。このワークショップでの検討により、「プロダクト／サービスの融合によるサービスの創造」「ITによる共創化」「地球環境への貢献の要請」という大きな研究開発の流れが見いだされ、その後、サービス・サイエンス・エンジニアリング、知的生産活動支援技術、生物メタインフォマティクス、地球環境情報技術、変化に適応するシステム、といった重要研究開発課題を提案した。また、統合俯瞰図の中に、SEP（Service Enabling Platform）が加わり(図1.3)、個別研究分野を統合して人・地球・社会に適用可能にするための技術の重要性や、電子情報通信分野以外の周辺分野との接合を意識することが重要との見解が得られた点は大きな進展であった。

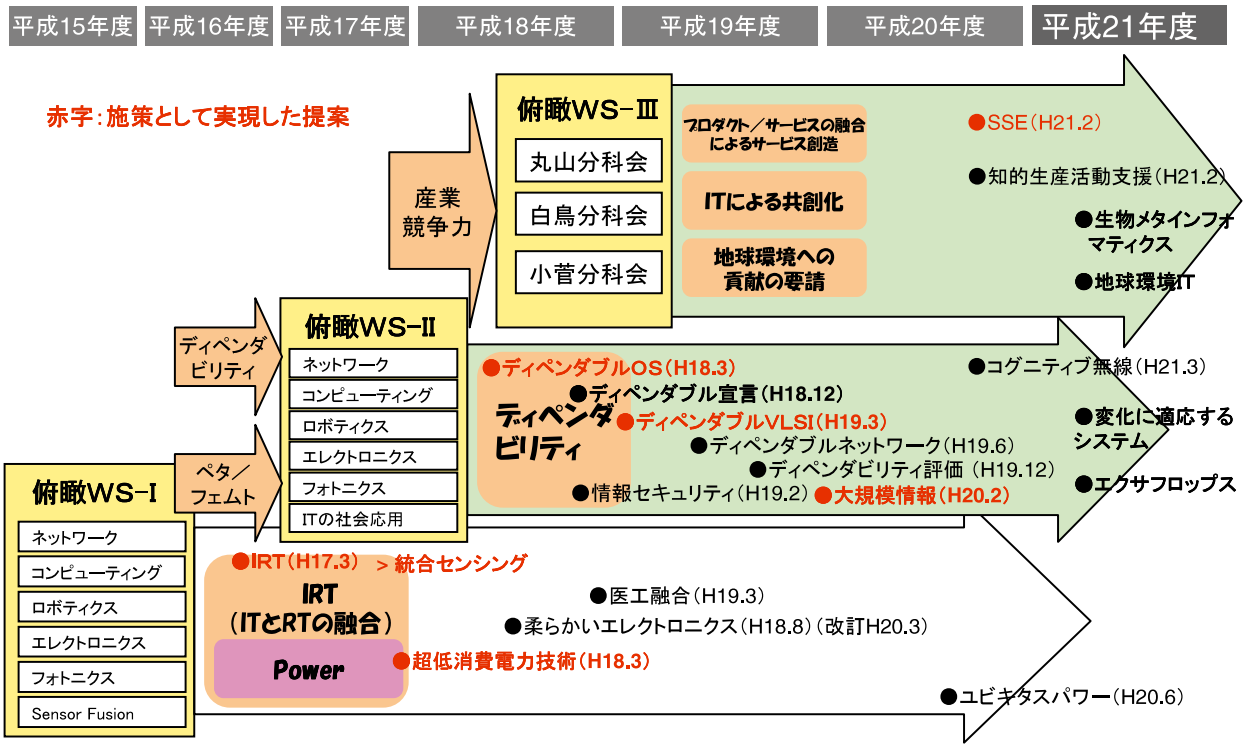


図1.1：CRDS電子情報通信ユニットにおける俯瞰ワークショップと重要研究開発課題抽出の経緯

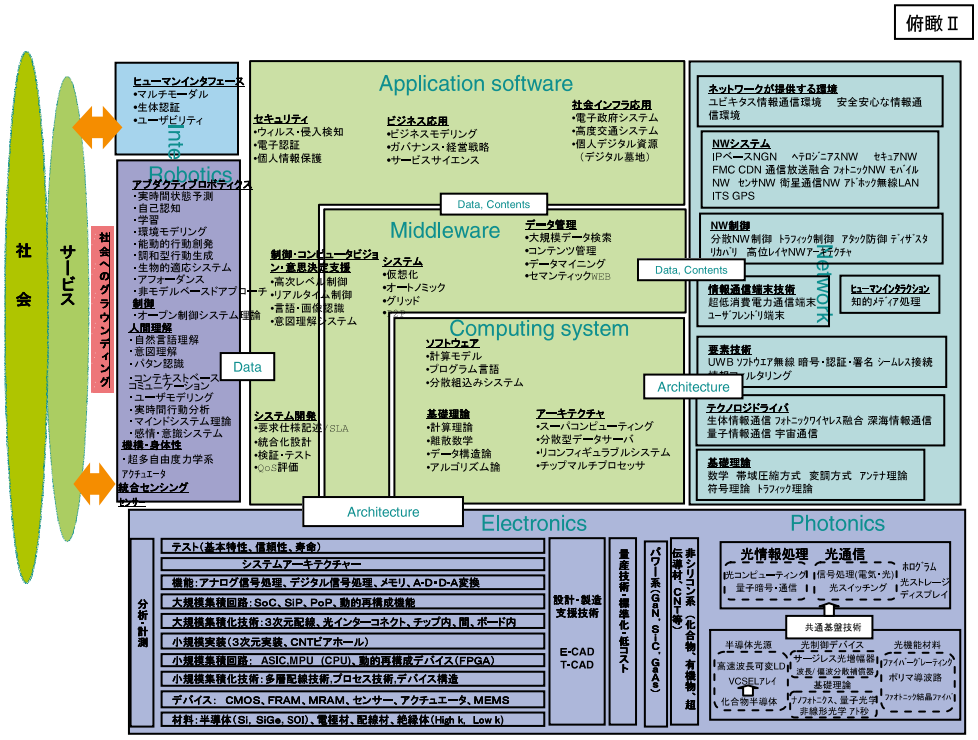


図1.2: 俯瞰ワークショップⅡで作成した統合俯瞰図

CRDS-FY 2005-WR-16　科学技術未来戦略ワークショップ（電子情報通信系俯瞰WSⅡ）報告書、平成18年３月、JST/CRDS（P.97）

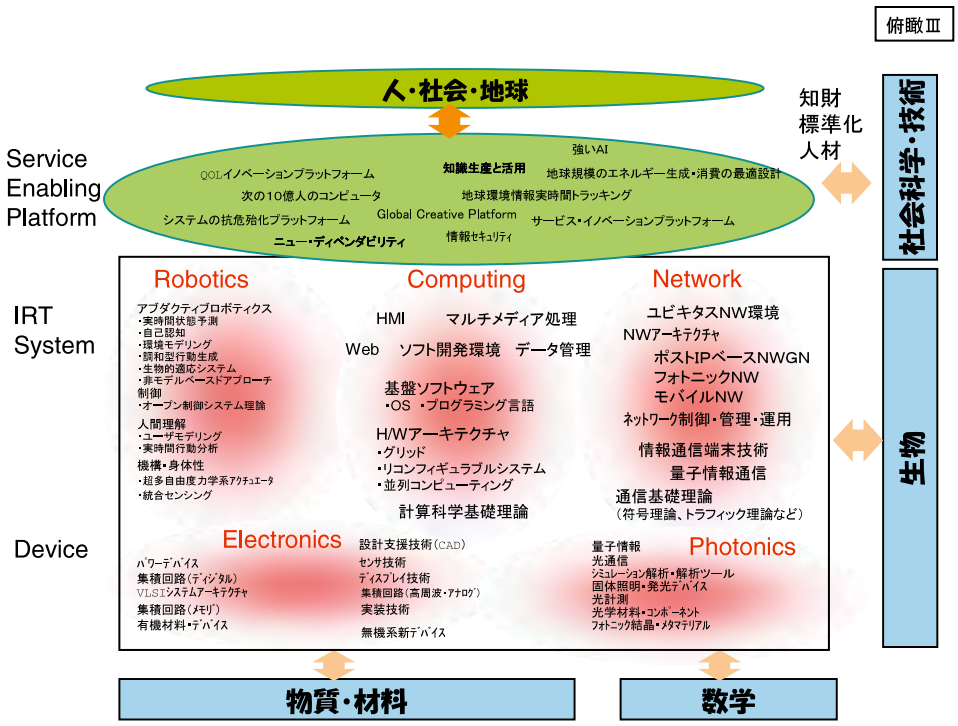


図1.3: 俯瞰ワークショップⅢで作成した統合俯瞰図

CRDS-FY 2007-WR-15　科学技術未来戦略ワークショップ（電子情報通信系俯瞰WSⅢ）報告書、平成20年３月、JST/CRDS（P.30）

1.2. 俯瞰ワークショップⅣの全体設計

a)今後重要となる具体的な研究開発課題の同定、b)それらが社会の中でどのような重要性を持つのか、国が投資する意義は何かを説明するための説得力のあるシナリオ（骨太のシナリオ）作り、の両方が重要であるとの認識に基づき設計した。

まず専門分野に分かれてその技術分野で認識されている最先端の重要研究開発課題の抽出に取り組み、次にこの重要研究開発課題を基礎として、電子情報通信系の研究開発が社会的期待に応えるための骨太のシナリオ作りに取り組んだ。

前回の俯瞰ワークショップⅢでは、専門分野ごとの分科会を作らずに議論をした結果、社会の要請を強く反映した研究開発課題が多く見いだされた。一方で、個別の専門分野で認識されている最先端の研究開発課題の掘り起こしが不十分であったという認識に基づいて全体設計を行った。

(1) 親委員会の設置

俯瞰プロジェクト全体をステアリングするために、親委員会を構成する。親委員会は、CRDS電子情報通信ユニットの特任フェロー、上席フェロー、フェロー及び主任調査員により構成され、俯瞰プロジェクトを総括する。

(2) 技術分野ごとの俯瞰

電子情報通信系をエレクトロニクス、フォトニクス、コンピューティング、セキュリティ・ディペンダビリティ、ネットワーク、ロボティクスの６分野にカテゴライズし、それぞれの技術分野でディシプリンベースの俯瞰に取り組む。ここでいう俯瞰とは、各分野の主要な研究課題の網羅的なリスト（ロングリスト）及びそれらを構造的に表現した図（ミクロ俯瞰図）の作成と、近年の注目すべき動向（ホットトピックス）のリストアップである。分野ごとに分科会を構成し、検討を進めた。各分科会のメンバーは付録3の通りである。

(3) 骨太のシナリオ作り

各分野の俯瞰図および注目すべき動向は、電子情報通信分野の現状をできるだけ正確に認識するために重要だが、それだけでは優先投資分野を導くことはできない。優先投資分野を導くために、これらにもとづいて「骨太のシナリオ」を作成する。

「骨太のシナリオ」とは、研究開発投資により、社会ニーズを充足し社会ビジョンを実現させるとともに、科学技術の有効な発展に資することに

なるというストーリーである。全ての分科会で抽出した重要研究開発課題やホットトピックスを社会の期待と結びつけるための核となるものと位置づけられる。

(4) ワークショップ（本会議）

親委員会メンバーと、一部の分科会メンバーが一堂に会して、ワークショップを開催する。分科会、および親委員会で準備した「統合俯瞰図」「（各分野の）注目すべき動向」「骨太のシナリオ」の原案に基づいて、以下を行う。

① **統合俯瞰図のレビュー**
② **注目すべき動向の補完**
③ **骨太のシナリオ作り（主な目的）**

「骨太のシナリオ」は、下記三つの観点から、分科会を越えた3つのチームによる討議を通じて作成する。

① **今後我が国の電子情報通信分野をどのように発展させていくべきか**
② **そのために国はどのような研究開発投資を行うべきか**
③ **それによって、どのような社会の期待に応えられるか**

各チームのリーダーは、CRDS特任フェローの石塚満教授（東京大学情報理工学研究科）、市川晴久教授（電気通信大学電気通信学部）、小菅一弘教授（東北大学大学院工学研究科）にお願いした。

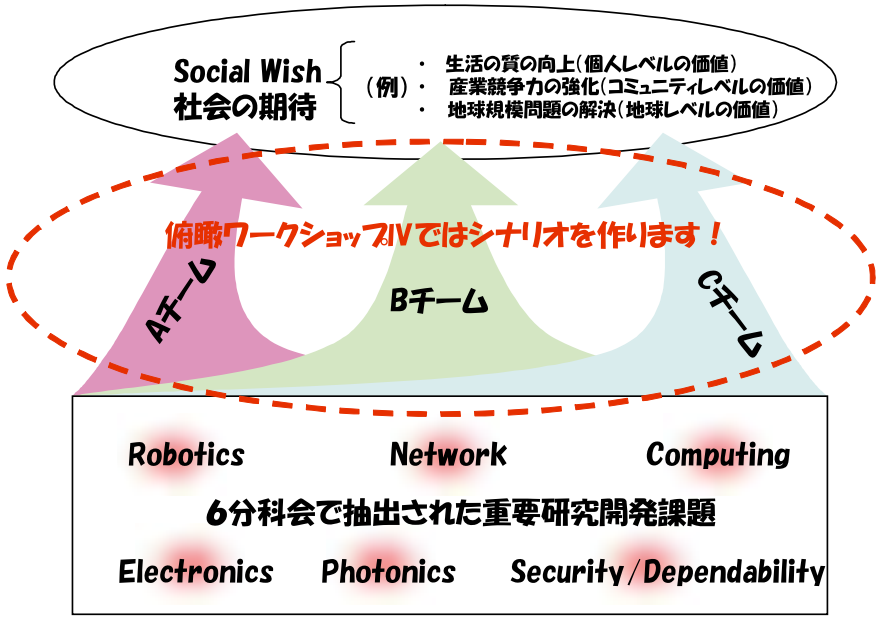


図1.2　ワークショップ（本会議）で作成するシナリオ作りの位置づけ（社会の期待と重要研究開発課題を結びつけるシナリオ作りを行う）

(5) 成果の活用方針

俯瞰ワークショップⅣの成果は、最終的にCRDSでとりまとめる骨太のシナリオと、６分科会で検討された各分野の重要研究開発課題群のセットである。この成果に基づいて、平成22年度以降にCRDSから提案を行う戦略プロポーザルの候補を切り出す予定である。また、検討のタイムスパンについても議論して、中期計画の策定（提案のポートフォリオの作成）を行う予定である。

報告書は、各省庁の科学技術政策立案コミュニティ、産業界及び研究者コミュニティに向けて発信する。

ワークショップ(本会議)　トーンセッティング用スライド

このスライドは、ワークショップ(本会議)の冒頭で、ワークショップの趣旨、目的について参加者と意識合わせを行った際のものである。

セッション1

「トーンセッティング」

1

問題意識（1）

- 日本のIT分野(学術界、産業界ともに)は今厳しい状況。なかなか突破口が見えない。
- IT分野の技術に関わる我々は何をするべきなのか。どんなシナリオを描くべきなのか。先を見てどんな手を打っていけばよいのか。
- ITがこれからの社会のあらゆる局面で重要なことは明らかだが、それを主張するだけでは不十分。
  - 既存技術の適用だけでなく新たな研究開発が必要
  - IT分野専門家の内輪の論理ではなく、分野外の人にも理解してもらえる「骨太のシナリオ」が必要。

2

問題意識（2）

- 「骨太のシナリオ」とは、次の条件を満たすもの(仮説)
  - ① 他の分野の人にも理解でき、説得力がある
  - ② 個別の技術でなく、複数の技術を巻き込む
- 「骨太のシナリオ」は、唯一絶対というものではなく、いくつもあり得る。不完全であってもよいので、まずは議論してみたい。

3

米国OMB, OSTPから来年度の予算要求に当たって各府省へ指示

- Memorandum for the Heads of Executive Departments and Agencies
- OMB Director P. OrszagとOSTP Director J. Holdrenの連名。2009年8月発信。
- FY2011の連邦研究開発予算を策定するにあたり、関連府省に方針を提示し、十分な説明を要求。

http://www.ostp.gov/galleries/press_release_files/Final%20Signed%20OMB-OSTP%20Memo%20-%20ST%20Priorities.pdf

4

ワークショップ(本会議)　トーンセッティング用スライド

Memorandumの内容(1)

- 4つのPractical Challenges
  - 科学技術による経済の再生、雇用の生成、経済発展
  - エネルギー技術の革新によるエネルギー、環境問題への対応、新規ビジネスの立ち上げ
  - 生命科学、ITを適用し国民の健康問題に対応
  - 国防問題への対応
- そのために必要なこと
  - 研究開発の生産性向上
  - 教育の強化
  - 情報通信、交通インフラの維持改善
  - 宇宙に関する能力向上

5

Memorandumの内容（2）

- 予算要求するに当たって、各府省に以下の説明を要求
  - 研究のoutcomeが4つのチャレンジにどう貢献するか、できるだけ定量的に
  - 貢献度の評価能力をどう強化するか
  - オープン・イノベーションをどう取り入れるか
  - High-risk, High-payoff研究をどうサポートするか

6

今回議論したいこと

- 今後我が国の電子情報通信分野をどのように発展させていくべきか
- そのために国はどのような研究開発投資を行うべきか
- それによって、どのような社会の期待に応えられるか

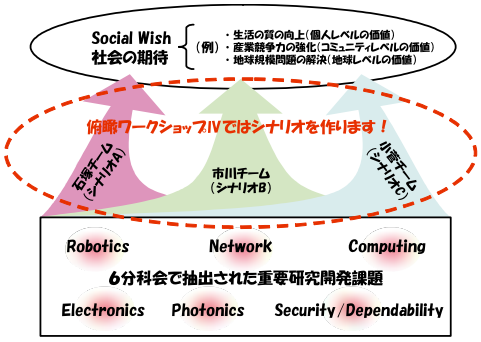
7

俯瞰WSIVの設計（1）

- 有効な研究開発戦略を提案するには、以下の両方が必要
  - ① 専門家が重要と考える具体的な研究開発課題(群)
  - ② 推進するための説得力ある理由付けと推進方法
  - 本来は、あるべき社会のビジョン → その実現に必要な技術 → そのための研究開発 の順序かも知れないが、従来の経験では実際には議論はなかなか難しい
- 今回はすでに6分科会で①は検討済み
- このWSではそれをベースに②にフォーカス。①と②をつなげたい。

8

俯瞰WSIVの設計（2）



9

留意点

- この手の議論は、とかく我田引水的議論にとどまりがちだが、特定の技術だけを研究しても全体が良くなるわけではないだろう。
  - IT分野は「相乗効果」がある
    - ➢ エレクトロニクス、フォトニクス、コンピューティング、セキュリティ／ディペンダビリティ、ネットワーク、ロボティクス、・・・
  - → 多くの分野を巻き込んだ「骨太のシナリオ」
- ここで国家産業政策を論じようとするわけではないが、研究開発のアウトカムとして産業は重要で議論の視野には入れるべき。

10

ワークショップ(本会議)　トーンセッティング用スライド

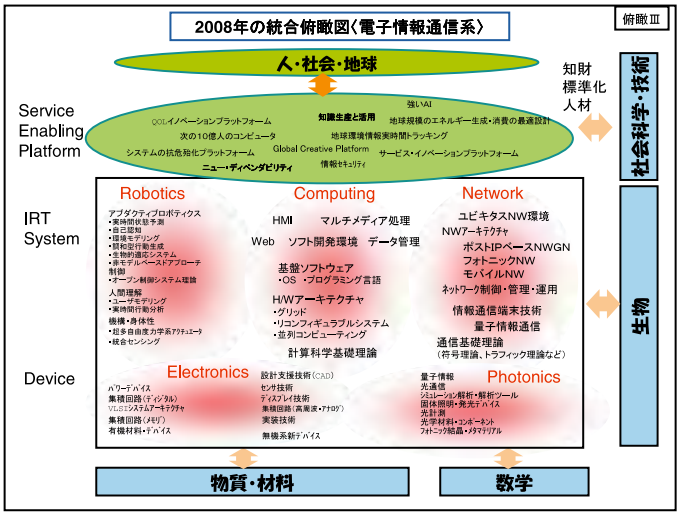
3WTにおける議論の方向性

- 石塚チーム
  - 我が国が全ての分野でトップに立つことはできない。日本が「勝てる」ワーキング仮説として、国家新情報基盤構築のための基幹技術の研究開発を議論
- 市川チーム
  - 社会的ニーズの大きな流れ、我が国における研究開発への期待、危機感、問題意識を共有した上で、我が国の取るべき新たな研究開発戦略試案を議論
- 小菅チーム
  - ITの歴史を見ると実問題への適用が重要である。社会がITに期待していることは何かを考え、「我が国で必要とされているグランドチャレンジは何か」を議論

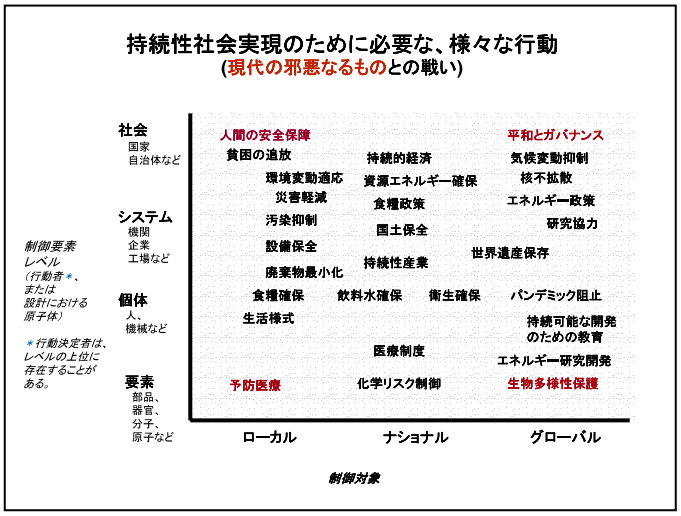
11

付　録

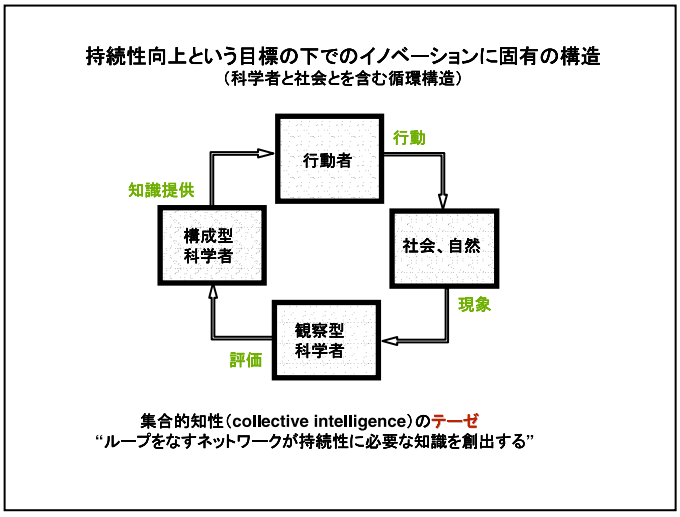
12



13



14



15

2

技術別専門分科会の検討結果

電子情報通信系をエレクトロニクス、フォトニクス、コンピューティング、セキュリティ・ディペンダビリティ、ネットワーク、ロボティクスの６分野にカテゴライズし、それぞれの技術分野で主要な研究課題の網羅的なリスト（ロングリスト）及びそれらを構造的に表現した図（ミクロ俯瞰図）の作成、近年の注目すべき動向（ホットトピックス）のリストアップを行った。技術分野ごとに専門分科会を構成し、検討を進めた。

2.1 エレクトロニクス分科会

リーダー：桜井貴康（東京大学 教授）

エレクトロニクス分野の重要研究領域の俯瞰図を、図2.1に示す。

横軸はシリコン系材料、非シリコン系材料に分け、縦軸は、材料から、プロセス、デバイス、回路、アーキテクチャと上に行くほど複雑さがまし、ソフトウェアなどが組み合わさって最終的にシステムが作られるイメージである。現在から将来にわたって重要な要素技術を広範に抽出し、それぞれの要素技術を、赤紫：将来確立されるであろう技術、青：近い将来に確立される技術と分類した。

今後10年程度で、実現されるべき重要研究開発課題を抽出し、５個のピラミッドの頂点に表示した。個別技術は、それら重要研究開発課題を支える要素技術であり、複数の重要研究開発課題にまたがって用いられる。以下重要性を述べる。

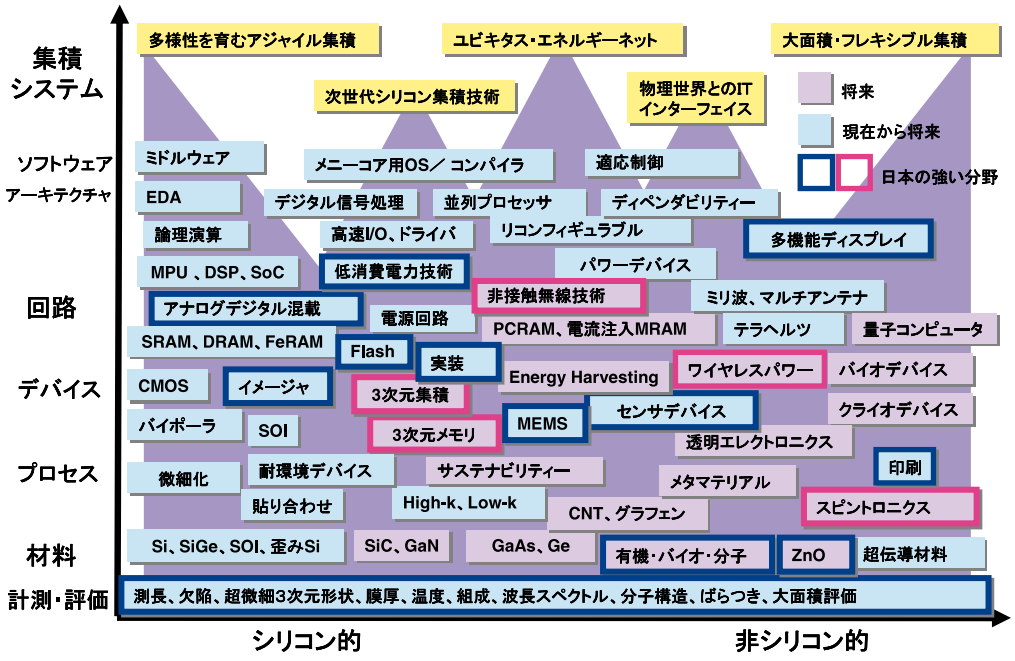


図2.1エレクトロニクス分野俯瞰図

（１）多様性を育むアジャイル集積

アジャイル（Agile）とは「機敏」を意味する。微細化による半導体集積回路の性能向上は今後も更に進むと考えられるが、開発費（マスクコスト、検証コスト、IPコスト、設計コスト等）がますます大きくなってきており、1千万個以上の市場規模がなければ採算がとれない状況にある。このため、以前は年間２万程度あった製品の種類が45nm世代では品種を絞

らざるをえず、数百になると言われている。この様な状況では新しいアプリケーションを育む事が困難である。様々な新しいアプリケーションを数千個レベルから販売可能にするために、以下のような研究開発が望まれる。

・多様なチップを接続して、フィールドで組み立てられる集積技術の研究
・チップレベルでのシステム集積
・1/10の小型化、超軽薄短小の実現技術
・光技術、チップ間ワイヤレス接続、MEMSによる着脱可能なチップ接続
・リコンフィギュラブル・アーキテクチャ

このような新しいチップレベルでのシステム集積技術の確立が急務である。日本が強い集積回路技術、実装技術、材料などを総合することが必須で、早期に着手すれば、十分に競争力のある集積技術を確立できる。

（2）次世代シリコン集積技術

現在のシリコン集積技術は消費電力を抑えなければならないという喫緊の問題に直面しており、ハードウェア・ソフトウェアの両面からの研究が必要となっている。また、この技術はシステムの国際競争力を高める上でも重要である。ハードウェアとしては、以下の研究が重要と考えられる。

・低リーク電流トランジスタの研究開発（例：UCBのグリーントランジスタ）
・極薄埋め込み酸化膜SOIなどのリーク制御のできるデバイス
・微細化可能で、ロジック回路と同じ駆動電圧で書き換え可能な不揮発性素子の研究開発

特に、不揮発性素子は、低電圧動作を阻害しているバラツキの製造後補正などに効果的であり、ノーマリオフ・インスタントオン方式のシステムを作ることでもできるため、低消費電力化に寄与すると考えられている。

システムの構築にはソフトウェア的な研究も必要である。また、ヘテロジーニアス・メニーコア・プロセッサ（プロセッサ・パッケージ内に異種のコア・プロセッサを複数搭載しているもの）のハードウェア・ソフトウェア両面からの研究も消費電力低減の観点から重要である。日本の持つ半導体メモリ技術と省エネルギー技術は、次世代シリコン集積技術にとって重要である。

（3）ユビキタス・エネルギーネット

非常に多数の端末が、ネットワークで接続され、人々の生活の質を高めるために使われようとしている。ネットワークのワイヤレス化が進展し、ユビキタス情報通信ネットワークが構築されつつあるが、この情報通信ネットワークを構成する端末や通信機器への電力の供給は電池や配線に

よって行われている場合がほとんどである。電池や配線に依存しないエネルギーネット（ユビキタス・エネルギーネット）の構築が今後求められるようになる。以下の研究が重要と考えられる。

・小型、高効率、低コストワイヤレスエネルギー伝送方法
・エネルギーハーベスティング（エネルギースカベンジング）技術

これら研究開発は新たな市場形成に繋がり、産業界への寄与も大きくなる事が期待される。また、人々の情報通信機器の活用自由度が格段に向上し、ライフスタイルに大きな影響を及ぼすと考えられる。

（4）物理世界とＩＴのインタフェース

将来、すべての機器、モノや人にセンサやアクチュエータが装着され、人々の生活をより豊かにする日が来ることが期待されている。そのためには、センサを作り、動かし、ネットワーク化し、データを集積するなどの要素技術と全体システムの研究開発が必要である。特に、以下のような、センサデバイス研究、アクチュエータデバイス研究、それらの集積技術などでのイノベーションが望まれている。

・MEMS技術
・複数センサのインテグレーション
・マルチセンシングデバイス
・センサネットワーク用発電、蓄電
・超低消費電力無線通信
・五感（触覚）通信、ボディーエリアネットワークデバイス
・テラヘルツセンシングデバイス
・超高速ミリ波・テラヘルツ波を用いた医療・診断用エレクトロニクス
・ブレイン・マシーンインタフェース
・視覚・聴覚・嗅覚・触覚・味覚・温感以外の物理化学センサおよびその表示器
・ヘルスケア用モニタリングデバイス
・３次元ディスプレイ
・高臨場感インタラクションなどの人間や環境と親和するエレクトロニクス
・フレキシブル、大面積エレクトロニクス
・透明エレクトロニクス

（5）大面積エレクトロニクス

大面積エレクトロニクスは、機械的柔軟性を備え、薄くて軽い大面積の

デバイス／システムを実現するためのエレクトロニクスである。太陽電池やディスプレイなどのわが国の技術蓄積を活用し、アンビエントエレクトロニクスという新分野への展開のキーテクノロジーである。フィルムの上に、回路、バッテリ、ディスプレイ、太陽電池、センサなどを集積化したフレキシブルデバイスは、ロボットや建物などの人工物と人間と環境の調和の実現においても重要なデバイスである。

日本の優位な有機材料や酸化物系新材料などの応用が必須であり、早期に研究に着手すれば、国際的な優位性を確保できる。フレキシブル性、トランスペアレント性、プリンタ型製造可能性、ウェアラブル性など、従来のエレクトロニクスにない特徴や研究分野がある。

Paper memory transisterなど、研究成果も出つつある。ＣＮＴ、グラフェン、グラフェンナノリボンなどのカーボン材料、メモリやセンサ、システムオンフィルムなども含め新たな研究が全世界で進められている。

エレクトロニクス分科会　成果報告スライド

1

エレクトロニクス分科会 まとめ

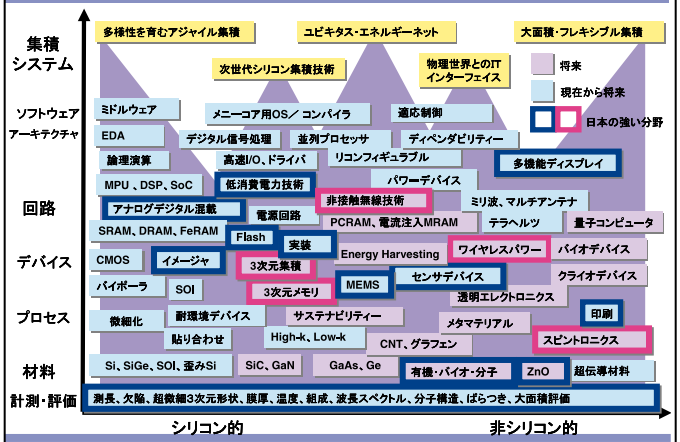
リーダー：桜井貴康教授
（東京大学）

T.Sakurai

1

エレクトロニクス分野俯瞰図（2009年版）

2



T.Sakurai

2

ユビキタス・エネルギーネット

3

	無線給電・エネルギー系	
黒田忠広	無線給電システム	データ通信のみならず給電もワイヤレスにすることで新しい応用を開拓。 磁気共鳴（MIT）、エバネッセント波（東大・篠田）、誘導結合（東大・染谷）等。
篠田裕之	ワイヤレス電力伝送	数十Wの電力を安全にワイヤレス伝送する技術。 シート給電、表面伝送、磁気共鳴型（MIT、Intel）。
年吉洋	燃料電池用の流体制御MEMS	PCや携帯用の小型燃料電池の燃料のナノ～マイクロリットルレベルで流量制御可能なMEMS等。
	磁気系	
黒部篤	スピントロニクス	近場の応用としてはMRAMが有望であり、高集積度が期待できる。 スピン注入型（Spin Torque Transfer MRAM）は、垂直磁化方式を中心に日米欧韓で低電流化の開発競争になっている。レース・トラックメモリ*は、高容量の新型メモリとして期待され実証実験が行われている。磁性半導体分野では低温での動作しか確認されていなかったが、直近のAPL(APL 94, 132505 (2009))に、p-GaMnN においてフェロ磁性の電界制御が室温で報告されている。スピントロニクスの応用としてメモリは直接的である。
年吉洋	MEMS／NEMSによるメタマテリアル（材料の ε 、μ を外界から制御）	高周波特性をMEMS的に制御できるメタマテリアル等。

＊レース・トラックメモリ：IBMが2008年に発表したデジタル・データをナノサイズのワイヤー上の微細な磁気パターンで表現し，このパターンを動かすことでデータの読み書きを行う メモリ。低消費電力、高速動作，可動部品がないため耐衝撃性に優れ，高い安定性／信頼性を持つうえ，低コスト 等を特徴とする

T.Sakurai

3

多様性を育むアジャイル集積

4

	新次元集積	
最上徹	3D積層デバイス技術	国内では、東北大学の小柳研究室が以前から研究開発を進めている。 国内メーカーでも、エルピーダなどが、DRAM積層化技術を開発している。 最近は、特に、IBMがポスト微細化技術として、3D開発を強く打ち出している。
黒田忠広	3次元集積システム	デバイス、回路設計、設計自動化、製造技術が研究対象。
最上徹	低次元デバイス	最近の技術では、Siチップ・ウェハーの薄膜化技術が相当に進んでいる。ポストCMOS微細化を視んで、より制御性の高い微細デバイス構造として、従来の3次元構造デバイスから、より低次元（1D：ナノワイヤ(Si,Ge,III-V,CNTなど; 2D：グラフェン）のデバイスが開発されている。
黒田忠広	多品種少量生産型集積システム（多様性を育むエレクトロニクス）	半導体集積デバイズを社会の隅々にまで応用するために必要。デバイス、回路設計、設計自動化、製造技術、産業構造が研究対象だが、もう少し絞込みが必要。
黒田忠広	超小型・軽量集積システムの探索	LSIの機能や性能が既に十分な場合、新しい技術の発展方向として、超小型・軽量なシステム応用の可能性を追究する。これまではチップサイズがほぼ一定だったが、今後はどんどん小さくする方向を探索する。アプリケーション、システム設計、実装技術、インタフェース技術が研究対象。
年吉洋	集積化MEMS設計・製作プロセスの標準化（More than Moore 手段として）	特にマイクロアクチュエータ系とその駆動回路系集積化の設計・製作プロセスの標準化（国際競争力強化にも繋がる）
年吉洋	生体分子（分子モータ）応用ナノシステム（分子ソーティング、認識）	タンパク質の持つ選択性を生かした分子モーターによる分子ソーティング、例えば有機分子モーターによる微細管中の液体の流れ方向制御等。
篠田裕之	近距離超高速無線	DVDの映像を一瞬で伝送する技術。 近接通信、ビームステアリング、2次元通信 の 延長にある技術。
最上徹	シリコンフォトニクス技術	光技術では、最近は、シリコン技術との融合が進められつつある。 シリコンフォトニクス技術は、シリコンプロセス技術を使って、低コストで光デバイスを作製することをシリコンフォトニクスと定義したり、一方では、シリコンLSIチップと光通信技術を融合させて、情報処理はLSIで行い、通信は光技術で行うという定義もある。USAでも、DARPA主体で、シリコンフォトニクスに関する大型PJが動いている。

T.Sakurai

4

大面積・フレキシブル集積

5

	大面積エレクトロニクス	
年吉洋	大面積MEMS／NEMS	ディスプレイ、異機能集積等。
染谷隆夫	大面積エレクトロニクス	大面積エレクトロニクスは、わが国の基幹産業である太陽電池とディスプレイを包含するのみならず、アンビエントエレクトロニクスという新分野への展開が隆盛し始めるなど、その重要性が急速に増している。人類が直面するエネルギー問題の解決、機械などの人工物と人間と環境の調和の実現に重要な役割を果たすものと期待される。
染谷隆夫	プリンタブルエレクトロニクス	常圧下、非リソグラフィー技術による低コストプロセス。（ますます高額になるシリコン微細化コストの一つの対策）。
	フレキシブルエレクトロニクス	
黒部篤	フレキシブル・エレクトロニクス	大面積の有機エレクトロニクスであるが、Paper memory transister (APL 93,203501 (2008)) の報告もあり、今後の分野の広がりを感じさせる。
染谷隆夫	フレキシブルエレクトロニクス	柔軟（広義には伸縮出来る、曲げられる、巻ける、折りたためる）、軽量、薄型、大面積を特徴とするデバイス。最近ロール状の薄膜硝子も開発された。
染谷隆夫	伸縮性エレクトロニクス	人間と等身大の次世代のヒューマンインタフェースへの応用等。
染谷隆夫	システムオンフィルム	フィルムの上に、回路、バッテリー、ディスプレイ、太陽電池、センサなどを集積化したフレキシブルデバイスのシステム。オランダやベルギーでは、IMECやフィリップスを中心にシステムオンフォイルというコンセプトでコンソーシアムを形成している。
	カーボン・エレクトロニクス	
黒部篤	カーボン・エレクトロニクス	CNT、グラフェン、グラフェンナノリボンなどのカーボン材料で、新たな発見や理解が急速に進んでいる。集積トランジスタに使えるかは位置制御だけでなくカイラリティや端面の制御など、不透明な部分が大きいが、メモリやセンサーなども含め新たなアプリのポテンシャルが全世界で研究されており、一分野として花開く可能性を秘めていると思われる。
染谷隆夫	有機エレクトロニクス	地球環境やそこで暮らす人類との調和を実現するため、エレクトロニクス技術に対しても、より多様な発展が求められている。その中で、従来の無機半導体と相補的な特徴を有する有機半導体への期待が高まっている。

T.Sakurai

5

次世代シリコン集積技術

6

	省エネ系	
内山邦男	ノーマリオフ・インスタントオン型LSI／コンピュータシステム	（1）現状のLSI、コンピュータシステムは、ノーマリオン型の制御が基本であり、このために不要なスタンバイ電流が流れ、無駄なエネルギーを消費している。この体系を、不揮発論理、不揮発メモリ技術をベースにしたノーマリオフ・インスタントオン方式に変えることにより、コンピュータシステム、デジタル機器の圧倒的な省電力化を図り、新応用が開けるかもしれない。 （2）開発技術：不揮発論理、不揮発メモリ、ノーマリオフ・アーキテクチャ、ノーマリオフ電源方式、ノーマリオフ型ソフト（OS、ミドル、コンパイラ、応用）等。 （3）技術動向：スピントロニクスの進展。
内山邦男	省エネ・メニーコア技術	（1）LSIの消費電力限界から、サーバから組み込み機器にいたる幅広い分野で単一プロセッサ方式からマルチコア方式に移行しつつある。今後、さらに省電力のプロセッサコアをベースにしたメニーコアに進むと考えられ、これに向けたデバイス、実装、アーキテクチャ、ソフトウェアの幅広い統合的な研究が必要。 （2）開発技術：低電圧トランジスタ、3次元実装、超低電力プロセッサコア、メニーコア向けメモリ方式／コア接続方式（NoC）、メニーコア電源方式、並列化コンパイラ、メニーコア向けOS等。 （3）技術動向：インテルx86アーキテクチャに基づく汎用プロセッサ（Larrabee）。
篠田裕之	超低消費電力チップによる無線計測	人体内テレメトリーのコンセプトは古いが、本格的な応用に向けたプロジェクトを開始するのによいタイミングと思われる。
年吉洋	パワーゲーティングMEMS	動く時以外は電力消費を下げられるような超低消費電力MEMS。

T.Sakurai

6

エレクトロニクス分科会　成果報告スライド

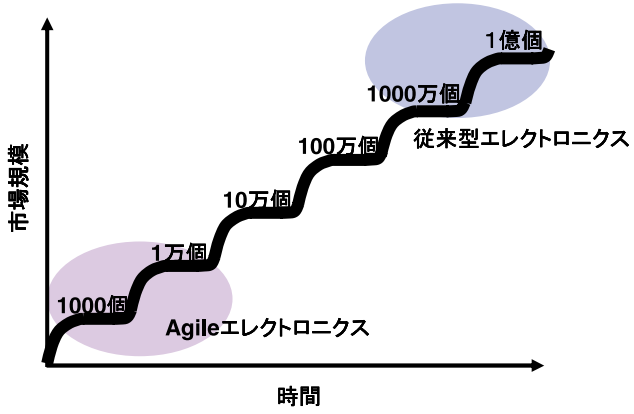
物理世界とのITインターフェイス 7

氏名	タイトル	内容
	センサネット系	
伊東義曜	次世代ホームネットワーク公開サービス実験	センサネットワークの実験を実験室からフィールドへ展開する。
伊東義曜	複数センサのインテグレーション、マルチセンシング（例：ガスセンサ）	センサネットワークの普及のキー技術一つ。 小型・軽量・超低消費電力化が求められる。
伊東義曜	センサとその信号処理用回路（含む無線送受信回路、独立電源等）の一体化	同上
黒田忠広	センサネットワークを創るエレクトロニクス	発電、蓄電、極低電力低デューティ無線通信、センシングデバイス・回路・アンテナ・システムの研究。
	テラヘルツ系	
伊東義曜	テラヘルツセンシング（テラヘルツイメージング）の動き活発化	セキュリティ分野で期待される。小型光源ができてきた。（量子カスケードレーザ）
篠田裕之	テラヘルツ波イメージング	小型、高分解能のイメージングシステム。
黒田忠広	超高速ミリ波・テラヘルツ波を用いた医療・診断用エレクトロニクス	医工連携。
	マン・マシーンインタフェース	
黒田忠広	マン・マシーンインタフェース	頭の中で考えただけで電子機器を制御できることを目指す。
年吉洋	脳–マシンインタフェース用プローブ	低侵襲プロービング（近赤外光計測＋分子プローブ等）
年吉洋	視覚・聴覚・嗅覚・触覚・味覚・温感以外の物理化学センサ、および、その表示器	バイオセンサ
年吉洋	ヘルスケア・モニタリング	感度、モニター項目、プライバシーの両立可能モニター
篠田裕之	3次元ディスプレイ、五感（触覚）通信	高臨場感インタラクション。欧州：ImmerSence プロジェクト
染谷隆夫	アンビエント（環境）エレクトロニクス	環境に溶け込み、人が不自然さを感じないエレクトロニクス。例：壁型ディスプレイ
黒田忠広	人間や環境と親和するエレクトロニクス	同上

T.Sakurai

7

多様性を育むエレクトロニクス 8



T.Sakurai

8

エレクトロニクス分科会　重要研究開発課題ロングリスト

ID	重要研究開発課題	背景（歴史的経緯）と今後の展望
E-1	多様性を育むアジャイル集積	平面的な集積度は、数十nmが限度と考えられ、ポスト微細化技術として、３次元多層化技術が検討されている。一方従来のエレクトロニクスは、0.1～1億個レベルが、市場としての最低であったが、個別の製品に最適な他品種、少量生産で、製品動向にすばやく（アジャイル）対応できる事が、今後重要視される。本課題では、多品種少量生産に向く、３次元集積技術の構築により、将来のエレクトロニクスの新たな流れを作るとともに、光技術との融合も合わせて実現し、その最適設計手法とプロセス技術を開発する。
E-2	次世代シリコン集積技術	現状のLSI、コンピュータシステムは、ノーマリオン型の制御が基本であり、このために不要なスタンバイ電流が流れ、無駄なエネルギーを消費している。この体系を、不揮発論理、不揮発メモリ技術をベースにしたノーマリオフ・インスタントオン方式に変えることにより、コンピュータシステム、デジタル機器の圧倒的な 省電力化を図り、新応用を探る。不揮発論理演算素子、不揮発メモリ、ノーマリオフ・アーキテクチャ、ノーマリオフ電源方式、ノーマリオフ型ソフト（OS、ミドル、コンパイラ、応用）、低電圧トランジスタ、３次元実装、超低電力プロセッサコア、メニーコア向けメモリ方式／コア接続方式（NoC）、メニーコア電源方式、並列化コンパイラ、メニーコア向けOS、無線計測などの要素技術必要である。
E-3	ユビキタス・エネルギーネット	ネットワークのワイヤレス化が進展し、ユビキタス情報通信ネットワークが構築されつつあるが、この情報通信ネットワークを構成する端末や通信機器への電力の供給は電池や配線によって行われている場合がほとんどである。電池や配線に依存しないエネルギーネット（ユビキタス・エネルギーネット）の構築が今後求められるようになる。 磁気共鳴、エバネッセント波、誘導結合などの無線給電システムが研究段階にある。応用分野としては、野生動物の追跡調査や、人間のペースメーカー、電気自動車などが考えられる。新たな用途の開拓も期待される。
E-4	物理世界とのITインタフェース	次世代ホームネットワーク公開サービス実験の開催などで、ワイヤレスセンサネットワークが現実味を帯びてきた。ワイヤレスセンサネットワークの実現を加速する技術として、複数センサのインテグレーション、マルチセンシング（例:ガスセンサ）、無線送受信回路、独立電源等を含む信号処理用回路の一体化、センサネットワークを創る発電、蓄電、極低消費電力低デューティ無線通信、センシングデバイス・回路・アンテナ・システムなどが重要である。また、人間や環境と親和性の良い次世代技術として、超高速ミリ波・テラヘルツ波を用いた医療・診断用エレクトロニクス、ブレイン・マシーンインタフェース、視覚・聴覚・嗅覚・触覚・味覚・温感以外の物理化学センサおよびその表示器、３次元ディスプレイ、五感（触覚）通信、高臨場感インタラクションなどの技術開発が重要である。
E-5	大面積エレクトロニクス	大面積エレクトロニクスは、機械的柔軟性を備え、薄くて軽い大面積のデバイス／システムを実現するためのエレクトロニクスである。太陽電池やディスプレイなどのわが国の技術蓄積を活用し、アンビエントエレクトロニクスという新分野への展開のキーテクノロジーである。 Paper memory transisterなど、研究成果も出つつある。CNT、グラフェン、グラフェンナノリボンなどのカーボン材料、メモリやセンサー、システムオンフィルムなども含め新たな研究が全世界で進められている。

2.2 フォトニクス分科会

リーダー：黒田和男（東京大学 教授）

フォトニクス分野の重要研究領域の俯瞰図を図2.2に示す。

横軸は応用分野として、通信、情報・映像、センサ、エネルギー、加工、材料、化学を選び、縦軸には基礎からシステム／製品まで記載し、上に行くほど、システム的に複雑になっている。

成熟した分野は黄緑で、将来花開く分野は青、近年、学会などで話題になっているホットな分野は赤で示し、赤枠は、日本産業の強い分野となる。重点研究開発課題は、青点線で示してある。

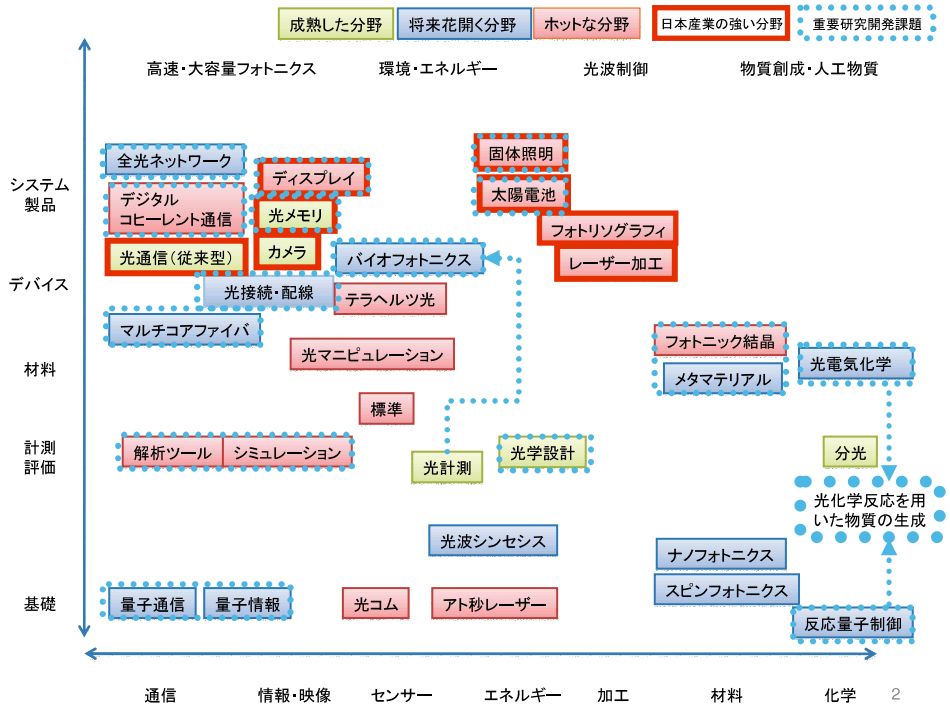


図2.2フォトニクス分野俯瞰図

次頁に抽出した重要研究開発課題を示す。なお、研究領域は「電子情報通信分野 科学技術・研究開発の国際比較 2009年版」[1] のフォトニクス分野の中綱目に準じて分類した。

[1] CRDS-FY2009-IC-02 電子情報通信分野　科学技術・研究開発の国際比較　2009年版、平成21年5月、JST/CRDS

研究領域（国際比較の中綱目）	重要研究開発課題
光通信	(1) 次世代デジタルコヒーレント光通信
	(2) 全光ネットワークの構築
	(3) マルチコアファイバ技術
	(4) コンピュータの高速化を支える光配線
光メモリ	(5) 次世代光ストレージ
ディスプレイ技術	(6) 印刷方式による低環境負荷LCDパネル製造技術
固体照明／光源	(7) 固体照明の高効率化
光学材料・コンポーネント・光学設計	(8) コンピュテーショナル・フォトグラフィ
光計測	(9) バイオフォトニクス
量子情報	(10) 量子情報フォトニクス
フォトニック結晶・メタマテリアル	(11) 先進フォトニック材料
シミュレーション解析・解析ツール	(12) フォトニクス統合解析ソフトウェア
その他	(13) 環境・エネルギー問題のためのフォトニクス（太陽電池）
	(14) 光化学反応を用いた物質の生成

（1）次世代デジタルコヒーレント光通信技術

将来のトラフィック需要の急増にそなえ、1ファイバあたり総伝送容量100 Tb/s、1波長あたり1Tb/sの高速大容量通信の実現には、SN比と周波数利用効率の向上をもたらす技術がこれまで以上に必要となる。このため既存技術の延長ではない新たな技術の開発が急がれる。キーとなるのは、伝送時の波形の乱れを補償し、雑音に埋もれた強度、位相、偏波などの多値情報を復元するため、デジタル電子回路と光回路を小型一体化した超高速データ処理デバイスの実現である。そのためには一度基礎に立ち返り、電子と光の研究者の共同研究が重要である。

（2）全光ネットワークの構築

今後の通信量の爆発により、交換機（ルータ）における光−電気−光変換の消費電力量が急増し、エネルギーの観点から危機的状況に陥る危険性が指摘されている。光を一度電気に変換するプロセスを省略できれば、省エネルギー化に大きく貢献できる。このためには、高速光演算素子、高速波長可変レーザ、光スイッチ、小型高性能の光遅延・光メモリなどが必要になり、応用を見据えた基礎研究が必要である。

（3）マルチコアファイバ技術

通信量の増大に応える最も安易な方法は通信線の数を増やすことである。しかし単純に増やすのではコストが増大する。これに対処するため、現行のシングルコアファイバから、１本のファイバの中に複数のコアを埋め込むマルチコアファイバへの移行が有効である。このための技術、特にコア間のクロストークを低減する技術の開発が課題である。

（4）コンピュータの高速化を支える光配線

コンピュータの高速化に伴いチップ間、ボード間の配線が性能向上のボトルネックとなっている。光配線は、スーパーコンピュータの配線問題や、マルチコアCPUの通信の問題を解決する必須技術と目されて久しい。光技術とシリコンベースの電子技術の融合など実用化に向けて、科学的なブレークスルーが求められる。

（5）次世代光ストレージ

光ストレージは、低速であるが大容量で安価であることから、主にアーカイブ用途やデータ配布媒体として普及している。しかし、現行方式は限界に到達しており、次世代方式の探索が行われている。ホログラフィーや多層化など３次元化による記録密度の向上、近接場光学や２光子光学など周辺技術の成熟により新たな展開が急務である。

（6）印刷方式による低環境負荷LCDパネル製造技術

液晶ディスプレイ(LCD)は広く普及している。製造技術に光リソグラフィーに置き換えて印刷技術が適用できれば、高真空設備や高純度ガスが不要で、低環境負荷化に貢献できる。ナノプリントでは位置あわせの精度が問題で、光学的にナノオーダーでの位置あわせ技術が開発できるかがキーポイントになる。

ディスプレイ関係では、3Dディスプレイ、有機EL、レーザディスプレイなど、新技術の開発も重要である。

（7）固体照明の高効率化

固体照明は、省エネルギー化に貢献する大変重要な技術である。LEDの発光効率の更なる向上、演色性の向上などに向け、基礎と応用の共同研究が必要である。

（8）コンピュテーショナル・フォトグラフィ

デジタル収差補正、画像復元、超解像など、画像処理技術の駆使を前提

とした光学系設計は、光学系と電子系の融合領域で、今後の著しい発展が期待される。特に最先端の光リソグラフィー技術では、所望のパターンを得るためのマスクの最適化が重要技術となっている。我が国は、ハードウェア技術は世界をリードしているが、ソフトウェアの開発において欧米に後れを取っているので強化を図る必要がある。

（9）バイオフォトニクス

プラズモンセンサや光コヒーレンストモグラフィ（OCT）など、光技術が生体医用計測に応用されつつある。今後、マイクロ流体デバイスとの融合が図られ、超小型バイオセンサなど著しい発展が期待される。我が国は光エレクトロニクス用微細デバイスの製造技術に長けているが、バイオ分野への応用の点で遅れている。この分野への参入を大いに奨励すべきである。

（10）量子情報

量子計算では、コヒーレンスや量子もつれ状態を壊すことなく再生中継する量子中継器の開発や、それに向けての量子情報転送の解明が重要課題である。また、光量子情報の分野では、単一光子光源や量子もつれ光源の開発が緊急の課題である。

（11）先進フォトニック材料

微小光学素子で量子的な光と熱との相互作用を実現し、発熱のないアンテナや、無損失の光−機械エネルギー変換など、様々な現象を実現しており、こうした基礎的知見を、センサや光波成形に応用する事で、新たな研究領域を形成しつつある。この分野で国際的な優位性を維持し、イノベーションを起こす事が期待される。

（12）フォトニクス統合解析ソフトウェア

光通信インフラの限界に挑戦するため、デバイスからシステムにいたる一連のシミュレーション解析を支援するツールの研究開発が重要である。既存インフラの高度利用は、新たなインフラ建設に比べ環境負荷が小さく、省エネルギーにも貢献する。

（13）環境・エネルギー問題のためのフォトニクス（太陽電池）

情報通信分野だけでなく、エネルギーや化学、さらには医療などの分野でも、フォトニクスの応用が進められており、光科学的な視点で、それら、

異分野研究者と共同研究を行うことで、既存技術の改良に留まらないイノベーションが期待される。その代表として、太陽電池がある。

（14）光化学反応を用いた物質の生成

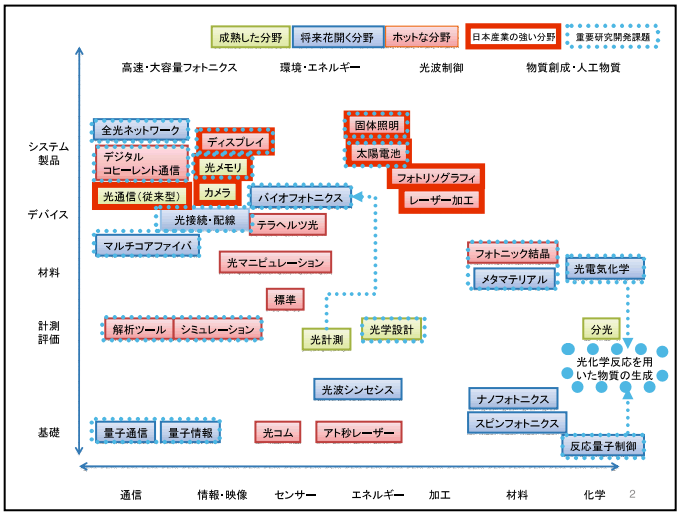
化学とフォトニクスの融合により、酸化チタンをしのぐ光触媒材料や、人工光合成などの光化学反応制御技術を利用した、新たな石油代替物質の生成などが期待される。

フォトニクス分科会　成果報告スライド

フォトニクス分科会 まとめ

リーダー：黒田和男教授（東京大学）

1



2

重点研究開発課題

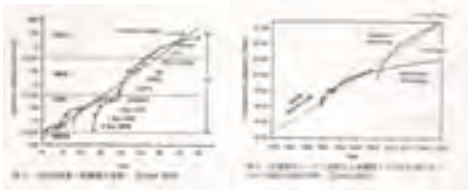
1. 次世代デジタルコヒーレント光通信
2. 全光ネットワークの構築
3. マルチコアファイバ技術
4. コンピュータの高速化を支える光配線
5. 次世代光ストレージ
6. 印刷方式による低環境負荷ディスプレイ
7. 固体照明の高効率化
8. コンピュテーショナル・フォトグラフィ
9. バイオフォトニクス
10. 量子情報フォトニクス
11. 先進フォトニック材料
12. フォトニクス統合解析ソフトウェア
13. 環境・エネルギー問題のためのフォトニクス
14. 光化学反応を用いた物質の生成

3

次世代光ネットワーク

- 次世代デジタルコヒーレント光通信
- 全光ネットワークの構築
- マルチコアファイバ技術

1本のファイバで送れる伝送容量×距離



4

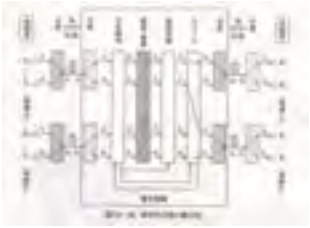
次世代デジタルコヒーレント光通信

- 長距離・超高速・大容量
  - 実用レベル 1波長 40 Gb/s, 周波数利用効率 0.4 bits/s/Hz 1ファイバ総伝送容量 1 Tb/s
  - 現状目標 1波長 100 Gb/s, 周波数利用効率 2 bits/s/Hz 1ファイバ総伝送容量 10 Tb/s
  - 将来目標 1波長 1 Tb/s, 周波数利用効率 10 bits/s/Hz 1ファイバ総伝送容量 100 Tb/s
- コヒーレント通信+デジタル技術
  - 振幅＋位相（複素振幅）の伝送
- 多値変調
  - 位相変調(PSK), 偏波多重(PDM), 位相振幅多重(QAM)
  - ベクトル変調器
  - コヒーレント光受信器
    - ホモダイン検波
      - ショット雑音限界
    - キャリア位相推定
- デジタル分散補償技術
- 開発課題
  - DSPの高速化 (40 GHz → 100 GHz)
  - 光回路の小型・高集積化

5

全光ネットワークの構築

- ハイブリッド型光ネットワーク　→　全光ネットワーク
  - 現行の光ネットワークでは，ノードごとに，一度電気に変換し，再び光に戻して信号を送っている。信号が目的地に到達するまで何度も光一電気変換を行う。
  - 光のまま伝送できれば，消費エネルギーは低減するし，高速になる。
- 光ルータ
  - 光スイッチ
  - 光信号処理
  - 高速波長可変レーザー
  - 波長変換器
- 現行：ROADM・・・低速動作
  - 高速化
  - colorless
  - multi degree
- 最終目標：パケットルータの光化



re-configurable optical add-drop modulator

6

フォトニクス分科会　成果報告スライド

コンピュータの高速化を支える光配線

- 計算機（電子機器）間接続
- ボード間接続
  - ここまでは光化が進んでいる。
- チップ間接続
- チップ内配線

配線による遅延

- 開発目標
  - スーパーコンピュータ
  - マルチコアCPU間の通信
- デバイス開発
  - 光電気ハイブリッド集積回路
  - 小型光回路
  - シリコンフォトニクス

いろいろな高性能の光集積回路が考えられているが，電気回路との相性の悪さの克服が課題

7

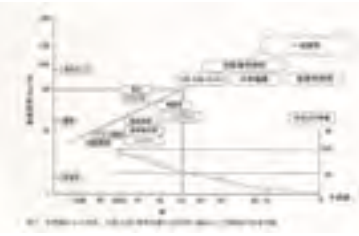
固体照明の高効率化

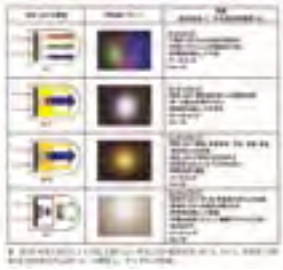
省エネルギー化：電球 → 蛍光灯 → 固体照明

高効率
長寿命
小型
制御性（環境に応じた照明）

光束（ルーメン）
発光効率
演色性

白色LED



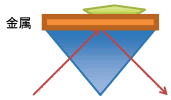


8

バイオフォトニクス

フォクニック技術とバイオ技術の融合領域
フォトニクスデバイス技術をバイオセンシング等へ積極的に展開する

プラズモンセンサ



金属膜の上に乗る物体の屈折率により，プラズモン共鳴周波数が変化

非線形光学効果との融合

医用生体計測
非侵襲・3次元計測
Optical coherent tomography

9

量子情報フォトニクス

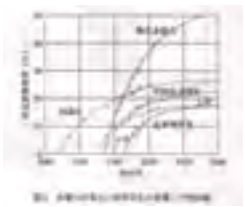
量子力学の法則に従う世界での情報理論

- 基本構成要素
  - 量子ビット
  - 量子もつれ状態
- 量子暗号通信
  - 量子ビットの通信・暗号キーの分配
- 量子テレポーテーション
  - 量子もつれ状態の通信・量子状態の転送（破壊転写）
- 量子計算機
  - 量子論理ゲート
  - クラスター状態
- 単一光子源

10

環境・エネルギー問題のためのフォトニクス

- 太陽光発電
  - 太陽電池のエネルギー変換効率の向上
    - 入射した光を効率良く捕らえ，損失なく電気に変換する
      - 現行技術では，光を効率的に捕らえることができていない
      - 今後の技術開発により改善される余地が大きい
    - 電子と光の閉じ込め
    - 多接合
      - 太陽光の持つスペクトルを最大限活用する
      - ナノテクノロジーの応用
  - 低コスト化
    - 他のエネルギー源との競争



11

光化学反応を用いた物質の生成

化学とフォトニクスの融合分野

- 光化学反応を用い，石油代替物質を生成する
  - そもそも化石燃料は，古代に太陽光照射による光合成過程を経て成長した樹木が，地中で化学的に変化して出来上がったものである
  - 光合成過程を人工的に加速できれば，あるいは，効率を上げられれば，石油代替燃料を生成することができる
  - そのための基礎技術を開発する
- 光触媒
  - 環境問題への貢献が大きい
  - 現行では酸化チタンが用いられている
  - 酸化チタンをしのぐ材料はないか？
- 反応量子制御
  - 光電場を，シュレーディンガー方程式の摂動項とみなし，化学反応を制御する。

12

フォトニクス分科会　重要研究開発課題ロングリスト

ID	重要研究開発課題	背景（歴史的経緯）と今後の展望
P-1	次世代デジタル コヒーレント光通信	電子回路による補償で、究極の伝送効率を実現（周波数利用効率10bit/s/Hz、1波長1Tb/s　総伝送容量1ファイバあたり約100Tb/sを目指す。(現在～0.4bit/s/Hz)）、多値変調、コヒーレント光受信機、ホモダイン検波、キャリア位相推定、デジタル分散補償技術、DSPの小型化、光回路の小型・高集積化など要素技術が重要。
P-2	全光ネットワークの 構築	現行の光ネットワークでは、ノードごとに、一度電気に変換し、再び光に戻して信号を送っている。信号が目的地に到達するまで何度も光ー電気変換を行う。 光のまま伝送できれば、消費エネルギーは低減するし、高速になる。光スイッチ、光信号処理、高速波長可変レーザー、波長変換器などの要素技術が重要で、最終目標は、パケットルータの光化。
P-3	マルチコアファイバ技術	光ファイバコアの多芯化による高容量通信技術が重要。
P-4	コンピュータの 高速化を支える 光配線	計算機（電子機器）間接続、ボード間接続までは光化が進んでいる。 今後は、チップ間接続、チップ内配線が必要となる（スーパーコンピュータ、マルチコアCPU間の通信など）。 光電気ハイブリッド集積回路、小型光回路が要素技術として必要。
P-5	次世代光ストレージ	ホログラフィ、超解像、近接場、２光子吸収など、波長多重、３次元超高密度記録のために、複数技術の融合が必要となる。
P-6	印刷方式による 低環境負荷の ディスプレイ	プラスチック基板上に印刷方式でTFTを形成する技術と 高分子材料を用いた有機ELなどの技術を融合させた、薄型・軽量・安価なシート状ディスプレイを製造する技術。半導体技術を用いないので環境負荷を低減できるメリットがある。 複数のパターンを重ねて転写するときの位置合わせなど、光学的に解決すべき課題は多い。
P-7	固体照明の高効率化	省エネルギー化では、電球 → 蛍光灯 → 固体照明は時代の流れ、高効率、長寿命、小型、制御性（環境に応じた照明）が求められ、光束（ルーメン）、発光効率、演色性を競っている。 最新の光制御技術を導入する事で、光取りだしの高効率化を図る。
P-8	コンピュテーショナル・フォトグラフィ	デジタル収差補正、画像復元、超解像など、画像処理技術の駆使を前提とした光学系設計が重要。
P-9	バイオフォトニクス	フォトニック技術とバイオ技術の融合領域、フォトニクスデバイス技術をバイオセンシング等へ積極的に展開する。 光コヒーレント断層医用生体計測により、非侵襲・３次元計測が実現される。 また、金属膜上の物体の屈折率により、プラズモン共鳴周波数が変化することを利用した微量生体物質の検出などが重要。
P-10	量子情報 フォトニクス	(1)量子中継器（量子情報をコヒーレンスやもつれを壊すことなく再生中継すること）およびその要素技術である光ー物質間量子情報転送が重要。 (2)光子光源の開発（疑似単一光子光源、量子もつれ光源）特に疑似単一光子光源については ・ハード：ダイヤモンドNVセンター光源（単色性は悪い）、エキシトン発光光源などが重要。 ・理　論：やみくもに単一光子光源に近づけようというのでなく、光源の特性をどの方向に持って行くべきか、理論的進展が見られる。
P-11	先進 フォトニック材料	シリコンフォトニクスによるファンドリーサービス、スローライトやストップライトを利用した光バッファ・メモリや波長変換、共振効果やプラズモニクスによる発光増強、キャビティ QED＋光機械工学、スロット構造光デバイス、環境・バイオセンシングデバイス、ナノコンポジット、SWSが重要。 ナノコンポジット：ナノ粒子をプラスチック材料中に分散させることにより、分散などの光学特性や熱膨張率などの機械特性等を改善した新規光学材料 SWS：波長以下の微細構造を利用した反射防止膜、波長板やバイナリレンズなどの光学素子、構造色を発現するコンポーネント
P-12	フォトニクス統合 解析ソフトウェア	光通信インフラの限界に挑戦するため、デバイスからシステムにいたる一連のシミュレーション解析を支援する。
P-13	環境・エネルギー 問題のための フォトニクス	太陽電池のエネルギー変換効率の向上のためには、入射した光を効率良く捕らえ、損失なく電気に変換する技術が重要となる。 現行技術では、光を効率的に捕らえることができていないため、今後の技術開発により改善される余地が大きい。 電子と光の閉じ込め、多接合などにより、太陽光の持つスペクトルを最大限活用する。 ナノテクノロジーの応用が重要で、他のエネルギー源との競争のため、低コスト化が必要。
P-14	光化学反応を 用いた物質の生成	そもそも化石燃料は、古代に太陽光照射による光合成過程を経て成長した樹木が、地中で化学的に変化して出来上がったものである。光合成過程を人工的に加速できれば、あるいは、効率を上げられれば、石油代替燃料を生成することができる。そのための基礎技術を開発し、光化学反応を用い、石油代替物質を生成する。 要素技術として、酸化チタンをしのぐ光触媒、光電場制御による化学反応制御などが重要。

2.3 コンピューティング分科会

リーダー：石塚満（東京大学 教授）

(1) 日本のコンピューティング分野の現状認識

情報は今後とも社会や個人活動の様式を左右する重要な要素であり、それらを変革していく原動力である。インターネット、Webにより情報及び知識の流通、グローバルな共有、更には集合知のような共創の形態は大きく変化した。流通、蓄積される情報量は今後とも増大することは確実であり、その利活用法が個人、社会、そして国の活力、創造力、競争力に反映することになる。電子情報関連産業は現状では日本の基幹産業となっているが、グローバル化する経済、社会の中でこの競争力をいかにして保持、発展させていくかは、日本の将来にとって重要な課題である。

その情報産業だが、国内に大きなマーケットが存在することから規模は大きいものの、1990年代以降、グローバルレベルでのイノベーション・新技術創出力が低下してきている。ハードウェアが関係する機器や部品レベルでは、依然として健闘していると言えるが、ITサービスの共通的、基盤的プラットフォームやグローバルに支配的なソフトウェア等の点で、見るべきものを生み出せない状況といえる。

政府系の研究開発投資も行われてきているが、グローバルレベルでインパクトのある新技術創出の点で成功していない。大きな流れを俯瞰した上での研究開発のシナリオ構想力が不足している。

社会において必要度が高いシステム目標を設定し、その開発を通して新規情報技術を開発し、日本のITの国際競争力を高めるという方策は決して悪くはない。何故なら、強いITは実社会における実用と、それを改良、向上させる開発とのスパイラル展開によって育つことになるからである。一方で、必要度が高いシステムを目標にして技術開発を行っても、グローバルに通用する競争力のあるITが育つとは限らないことも事実である。

本年６月にIT戦略本部から出された『i-Japan計画』を見ると、各省庁から関係するITニーズを収集し、整理したといった感が強く、目先のことに囚われすぎており、内向きであり、グローバル性を持ち骨太の日本としての新技術開発の目標、戦略が欠如している。「この取り組みを通じて「国」としての競争力を高める」、「世界的な共通課題を克服することを通じて世界的なリーダーシップを取っていくことが可能になる」、「新興国も含めて幅広く受け入れられるようにする努力が必要」といった文面が見られ、意識としては良いと思うが、それを可能にする具体性のある戦略が示されていない。最後に「デジタルグローバルビジョン（仮称）の策定」は今後の

課題とされ、日本が採るべき技術戦略についてまだ何も言及されていない。

IT分野で何もかも日本がトップに立つことはできないので、グローバルな動向を把握した上で、日本が先導すべきであり、かつ勝算のある技術領域を定め、骨太の目標を立て、グローバルスタンダードになる技術を育成する必要がある。グローバル化しているIT分野では、グローバルスタンダードにならなければ決して強くはならない。またミッションクリティカルで、かつ発展していく研究開発目標である必要がある。そこでグローバルな流れを俯瞰した上で、では何を日本のIT開発の骨太の技術戦略にすべきかが課題になる。

(2) 関係する動き

まず我が国についての最近の概観を記すと、IT戦略本部は2001年に「e-Japan戦略」を策定した。これは情報通信基盤（ブロードバンド・インターネット）の整備を主眼とした。次に、その利活用方向への進化を目処に「e-Japan戦略Ⅱ」が策定され、次いで2006年１月に「IT新改革戦略」が策定された。これは構造改革による飛躍、利用者・生活者重視、国際貢献・国際競争力強化などを主眼とした。そして2009年７月に『i-Japan戦略2015』がまとめられた。なお、2004年７月に総務省が発表した「u-Japan」もあるが、これはIT戦略でなくICT戦略としてまとめられた政策である（‘u’はubiquitous、universal、user-oriented、uniqueを意味するとされている）。

『i-Japan戦略2015』の概要を記すと以下のようになる。まずITニーズ領域の観点から、三大重点分野を以下のように設定している。

①電子政府・電子自治体分野：行政窓口改革、行政オフィス改革、行政見える化改革、国民電子私書箱、ワンストップ行政サービス、政府CIO、法制度整備

②医療・健康分野：遠隔医療、日本版EHR（Electronic Health Record）、医療機関SaaS、電子カルテシステム、医療情報システム標準化、オンラインレセプト、救急医療連絡支援システム

③教育・人財分野：教員のデジタル活用指導力向上、教育用コンピュータ•デジタル機器、教育コンテンツ、情報教育、校務情報化、高度デジタル人材育成、大学の情報教育•デジタル基盤•遠隔教育

産業・地域の活性化及び新産業の育成の観点では、次の項目が重要としている。

中小企業の事業基盤整備、産業の競争力強化、情報システム産業の改革促進、テレワーク就労人口の拡大、グリーンIT・ITSの推進、クリエイティブ新市場創出、地域の活性化、デジタルグローバルビジョンの策定

デジタル基盤の整備に関しては、次の項目が重要としている。

ブロードバンド基盤整備、使いやすい機器の普及、情報セキュリティ対策の確立、デジタル情報流通・活用基盤整備、デジタル基盤技術開発促進

このように、「i-Japan戦略2015」はITニーズや産業政策を中心に考慮したものになっており、グローバルな観点を考慮した技術面での戦略が欠けていることは(1)で指摘したところである。

コンピューティング分野あるいはIT分野の現状に注目すると、ネットワークインフラの普及があり、その上でWebのような情報流通、共有の第一期ともいうべき枠組みが定着し、次期情報インフラへ向けての動きが国際的に模索され始めた段階と言えよう。コンピューティング分野は、超高速・並列コンピューティングや分散コンピューティングといった性能・信頼性向上を目指すいわゆるFigure of Meritを追求する課題と、そういった性能向上あるいは信頼性向上したインフラを利用し、新しい生活や社会の機能を実現する課題とに大きく分けることができる。コンピューティングの性能向上や信頼性向上、ユーザビリティ向上を目指す取り組みについては、ハードウェアやシステム構成上の観点から集中と分散を繰り返してきている。現在はクラウドコンピューティングという、ある意味で巨大データセンターへの集中、他面では分散コンピューティングという新パラダイムとなり、大きな潮流になりつつある。利用面では、ネットワークを介して利用可能になりつつある大規模データや情報知識の利活用による、新しい生活、社会機能が今後の重要な方向と考えられる。グローバルな視点でこの方向性を捉え、日本の情報技術開発戦略を定めていく必要がある。

関係する米国の学術領域のプロジェクトとしては、NSFが2006年からかなり広範囲に実施している『Cyber-Physical Systems (CPS)』がある。これはサイバー空間と実空間の融合を狙いとし、実世界のデータを大規模に得るセンサシステムに結び付いた自律的な社会システムの幾つかの研究開発を推進している。具体例としては、多数のノードセンサによる環境計測と中央ノードによる環境制御システム、自律的交通システム、自動航法システム、医療監視システム、分散ロボティックスなどが含まれている。米国におけるより大きな動きとしては、オバマ政権が推進している「グリーン・ニューディール」政策があり、その下での「スマートグリッド」がある。これは次世代電力配電網に関するものであり、不安定で分散的なグリーンエネルギー（太陽光発電）の電力網への取り込み、今後急伸が期待される電気自動車のバッテリを電力網中の蓄電要素とすることなどを含み、センサデータに基づく大規模社会システムを目指している。ここから新しいネットワーク技術、大規模実時間データ処理技術、予測・制御技術などが生まれることが予見されるようになってきている。

米国政府とは別にIBMは、今後の情報技術のビジョンを『Smarter Planet』

として2009年2月に発表している。これは‘e-business’以来のビジョン設定であり、地球をより賢く、よりスマートにをキャッチフレーズに、デジタル・インフラと物理的インフラが一体化した世界を目指す。即ち、サイバー空間と実空間の融合によるスマートな社会、地球を目指すとしている。基本コンセプトは３つの‘ｉ’であり、Instrumented（機能化)、Interconnected（相互接続)、Intelligent（インテリジェント化）の‘ｉ’としている。このビジョンが目指すスマートな具体的なソリューションとして、以下が挙げられている。

・持続可能な社会の実現：エネルギー効率化テクノロジー、サステイナブルなビジネス、先進的な社会基盤
・スマートなビルディング
・グローバル基準で考えるスマートなモノ作り
・スマートな金融サービス
・スマートな都市：行政サービス、教育、医療、公共安全、交通、エネルギーという６つの都市機能のスマート化
・スマートなITインフラ：Managed Cloud Computing Service
・スマートな水資源管理
・スマートな意思決定：New Intelligence
・スマートな医療：スマートな医療システムと世界中の善意をスマートに集める仕組み
・スマートな交通と物流：特に、スマートな食品流通システム
・スマートな電力網

これらはビジョンであり、具体的な形としてまだ現れている訳ではないが、今後の情報技術の重要で戦略的な方向性を示していると考えられる。

日本の経済産業省による2007年開始の『情報大航海』プロジェクトは次世代情報検索・解析技術を中心目標にしているが、この中で広範囲からのデータ収集に基づく新情報サービス実現に関係する研究開発項目としては、以下のシステムが具体的に取り挙げられている。

・携帯電話､ICカード等からのパーソナル情報収集に基づく情報サービス
・個人の健康管理情報（血圧、心拍数等）収集に基づくパーソナルな健康サービス

(3)重要な視点・切り口

(3.1) 戦略的目標

コンピューティング分野は広く、また日本がすべての領域でトップに立つことは困難なので、グローバルな動向を的確に把握した上でストーリー性をもった骨太の方針、戦略を持って、グローバルスタンダードになり得

る核になる基盤技術を育てる視点が重要になる。学術界だけでなく産業界も共に取り組み、先進基盤技術と共に新しい実サービスが連携してスパイラル的進展を見せるような戦略的領域を見出す必要がある。日本の強みを生かしてグローバルに通用する強い情報技術を生み出す視点も重要である。

基本的には、日本の（あるいは世界の）情報環境を知的にし、ユビキタスにし、安心安全で信頼できるものにしていくことが目標になる。ユビキタスに関しては中核部分は産業界が主導する形で進むことになろう。安心安全に関しては、これまでディペンダブルコンピュータというテーマ設定で取り組みが行われてきた。従って､ここでは今後取り組むべき課題を｢知的」の面を強くして捉えているが、知的、ユビキタス、安心・安全は、すべてがこれから繰り返しながら末永く取り組むべきテーマである。

⑵に記したような情報技術の重要な動向を俯瞰した上で、本分科会では今後の情報技術開発戦略の背景となる新しい社会構造として『エビデンスベース・ソサエティ（EBS)』を重要な視点と捉えた。実社会から大規模に得るデータを処理し、意味を抽出し、確かなエビデンスに基づいて個人生活を支える新情報機能、社会活動を変革する新情報機能を志向する。膨大な生データによるエビデンスだけでなく、現在主にWebで流通、共有されており今後も増大する知レベルの膨大な情報・知識もエビデンスとして重要と考え、それをコンピュータによって意味レベルで処理する新しい計算基盤も、先を予見した戦略的技術目標と捉えた。この視点は、物理世界とサイバー世界の融合に深く関係していることになる。すなわち、ここでのエビデンスとは、個人、組織、社会の新時代の活動を効果的、知的に実現する基になる大規模で信頼に足るデータ、及び知レベルの情報/知識ということになる。

分科会ではこのような考えを背景とし、我が国の今後の情報技術開発の戦略的目標として、以下のコンピューティング・パラダイムを挙げた。

1)超分散・超集中コンピューティング

エビデンスベース・ソサエティを支えるコンピューティング基盤

2)コンテキスト＆インテンション・コンピューティング

大規模生データの収集と分析/意味付けタグ・アノテーション付加

3)セマンティック・コンピューティング

意味・知レベルのコンピュータも含めた情報の理解・共有と活用の基盤

4)フェデレーションコンピューティング

オープンに作成されるサイバー資源の連携

5)エコシステム

生態系を模し、共存・共生しながら全体の益を向上させるシステム

1) 超分散、超集中コンピューティングは、超大規模データ処理の新基盤であり、ネットワーク化された大規模クラウドコンピューティングへの潮流にも現れてきているコンピューティング・パラダイムに関係が深い。世界で注目されている項目であり、日本の特色、独自性をどのような技術領域で発揮するのかが大きな課題となる。

まだどのような技術領域でグローバルに競争力をもつ特色を出せるかは明確ではないが、大きなコンピューティング・パラダイムの潮流、かつエビデンスベース・ソサエティに必要となる基盤技術に挑戦する中で、特色ある独自性のある技術を生み出す必要がある。

2) コンテキスト＆インテンション・コンピューティングは、エビデンスの基になるセンサネットワーク等も含む大規模データ収集と、その実時間処理・解析のスタンダードになり得るコンピューティング機構、更にコンテキスト等も考慮して大量データから意味や意図を抽出し利用するコンピューティング機構を含む。データは単に計測値だけでなく、マルチメディア、マルチモーダル・データのようなコンテンツも対象になる。コンテキストから意味を抽出し、意味的アノテーションが付された次世代コンテンツ（テキスト、映像）技術面で世界をリードすることが期待されよう。意図の利用はデータベース分野でもDatabase of Intensionということが言われるようになってきている。センシングデータは広く人、社会、環境が対象になり、企業だけではデータ収集、利用が困難なことが多いので、国のプロジェクトなどにより情報を共有出来るようにし、挑戦しながら大規模に出来るような仕組みが必要になる。

3) 知のレベルの情報や知識を流通/共有/利用可能にする情報基盤であり、これをセマンティック・コンピューティング（意味計算）基盤と名付けている。大量情報の意味計算はコンピュータの力を動員しなければ不可能であり、それには情報が表す意味をコンピュータも把握できるような共通性のある形式で記述する標準となる基盤が重要となる。知的創造性の高い社会を実現するため、今後半世紀を費やして大規模知識情報基盤の構築・整備に取り組むことが重要と思われる。

共通性のある意味記述の面で我が国は国際的に一歩リードしている位置にいる。これは個々の言語の壁を越えての意味情報の流通にも繋がる。英語を中心とする国では言語障壁の克服には関心が薄いので、非英語国の代表として我が国の世界への貢献が期待される領域でもある。

4) ネットワークやWebを通じて世界中の地域で多様なデータ、情報、サービスの資源化が進んでおり、これらはサイバー資源と呼ぶことができる。フェデレーションコンピューティングは、オープンなサイバー資源の連携法を共通化することにより、サイバー空間での多彩な機能の実現を容易化する。サイバー資源は、①種類や形式を予め特定の範囲に限定することができない、②利用者を予め特定の範囲に限定することができない、③相互の関連付けや連携を予め特定の範囲に限定できない、といった性質があり、このようなサイバー資源のオープン性に対応した高度利用（探索と連携）技術が重要になってくる。連携(federation)は融合（integration)とは異なり、個々のサイバー資源が自立性を保ちながら、必要に応じて結合して連携する枠組みである。

我が国にシーズとなる背景技術があることから、グローバルに影響力をもち世界に貢献する技術に出来る可能性がある。

5) 今後社会において自律性、知的能力を有する多くの情報システムが出現することになるが、それらが競合して不都合や問題を生じるのでなく、共存・共生して全体としての調和を保ち益を増すような情報システム構成法のメタな設計原理が必要とされる。まだそれ程具体的な検討はある訳ではないが、先導性をもつ技術課題として、「エコシステム」をここに挙げる。

『エビデンスベース・ソサエティ（EBS)』を今後の情報技術の戦略目標にして上記の検討を行ったのであるが、もう少し目標を分かりやすく整理して表すと以下のようになる。エビデンスベース・ソサエティを支える戦略的情報技術目標として『エビデンスベース・コンピューティング』を位置づける。これには、大規模エビデンス情報の獲得・収集、エビデンスの計算・推論、エビデンスベースの更新・管理、エビデンスの適用、これら一連のサイクルを実現するプラットフォームの研究開発が含まれる。このエビデンスベース・コンピューティングの技術要素として、コンテキスト＆インテンション計算、セマンティック計算、フェデレーション機構等が位置づけられる。

従って、コンピューティング分科会で行った課題設定全体を簡潔にまとめると、将来を目指す広い課題としての『エコシステム・コンピューティング』、本格的に取り組むべきソフトサイドの『エビデンスベース・コンピューティング』、ハードサイドの『超分散・超集中コンピューティング』になる。

以下に補足として、上記1) ～5)の検討に際し関連して日本として重要な

切り口として挙がった項目を書き留めておく。

2)に関係する「大規模センサデータ共有プラットフォーム」

2)、3)に関係する「次世代コンピュテーショナル・コンテンツ」、「セマンティック・コンテンツ」

3)に関係する「グローバルクリエーティブ・プラットフォーム(言語の壁を越える情報流通・共有・共創の基盤)」

その他、以下も注目するに値する項目とされ検討に挙がったので、書き留めておく。

- IT for QoL（福祉IT）：ライフスタイル自体を変えるIT、福祉ロボットや記憶補助。アジアでも高齢化は課題になってきている。高齢者向きだけにするのではなく、Dual Use技術にすべき。
- 地球環境とIT：世界的にグリーンITが提唱されているので、独自の切り口を設定する必要がある。
- 速読支援のIT技術：図的表示、本でないメディアとしてセマンティック・コンテンツとも関係
- 強いAI：カーツワイルが予測する強いAIは実現できるか否かは不確実だが、追求することにより、創造機能など何かが生まれる可能性あり。米国では取り組みがある。
- マルチコアプロセッサ用のコンパイラ等のソフトウェアツール：必要性が高いがまだ良いものがない。ハードウェアも関係する領域であり、日本の強みが活かせる可能性あり。（エレクトロニクス分科会から提案を受けた。）

(3.2) グローバル化へのアプローチ

先にも述べたように、情報技術はグローバルスタンダードになるようにならないと本当に強く競争力のある技術にならないが、そのような技術を育てるアプローチについて検討した。大別して以下の二つのアプローチがある。

ⅰ)最初から世界を目指し、世界的な課題に目を向け、先見性をもって世界に貢献する技術を生む。世界的な厳しい競争の中で、日本のオリジナリティ、強みを発揮する必要がある。今後は50億人のコンピュータの言葉にも見られるように、先進国以外の国の状況にも目を向ける必要がある。

ⅱ)まずは身近である日本の課題に目を向けて真剣に取り組み、優れた新しい情報技術を生み出す。日本の環境で生まれた独自性がユニバーサルな価値を持つものなら、世界にも認められ、（勿論努力は必要だが）独自の特徴を有して世界に展開できる。

必要性もあり一部にはⅰ)のアプローチを採る企業も現れてはきているが、欧米企業に比べて日本企業はこのアプローチが必ずしも得意でなく、また旨く機能しないことが多かった。一方、ⅱ）のアプローチの例としては、（情報分野ではないが）トヨタはガソリンが高価で道路状況も欧米とは異なる日本に於いて必要とされるハイブリッドカー技術を開発し、それが世界にも価値を認められることになった。情報技術でもまず身近な日本で真に必要とされる革新技術を開発することが、世界へと繋がる道になる可能性がある。情報サービスについては、精緻で細かい気配りやおもてなしの心といった日本的な価値は、日本型ITとして世界に評価され得る可能性は高い。

エビデンスベース・コンピューティングに取り組むとしたら、幾つかの具体的な分野設定が必要になる。医療分野や教育分野等が候補になるが、これらの分野は当然ながら日本における現状分析を対象にすることになる訳であり、世界の医療や教育を対象にする訳にはいかない。社会制度の改革も含め日本の医療や教育に対して効果的なシステムを実現出来たならば、システムとして、あるいはシステム技術として世界に売り出せるようになる可能性が出る。新幹線システムやデジタル放送システム、そして回転寿司システムに至るまで、日本が世界に売り出したシステムは数多くある。これらのシステムを実現する際に、一品料理的なアプリケーションとしてではなく、共通基盤技術を育て、組み上げるような開発を行えば、優れた共通基盤技術はおのずとグローバルな広がりを持つことになる。この意味で、グローバル化をふまえたⅱ）のアプローチは効果的と考えられる。

(3.3) 研究開発体制

研究開発プロジェクトは従来、特定の研究者/グループに資金を提供し委託して進める形が大部分であった。これとは異なる以下の観点も考慮することが今後は必要になる。

研究者、技術者の立場からの研究開発では、たとえ技術的には優れたものがあったとしても、ユーザに喜んで受け入れられる真に有用な情報システムにならないことが多い。インクルーシブデザインが唱えられてきているように、設計、開発段階からユーザを巻き込んで進めることが重要になってきている。

WebにおけるWikipedia に見られるような集合知の枠組みは、オープンに広くアイデアや知を構築、共有、利用するのに有効になってきている。研究開発においてもこのような枠組みは、広い才能を巻き込んだ共創を実現する上で考慮に値する。

(4) 俯瞰図構成

コンピューティング分野の俯瞰図を描く場合、底部の基盤技術としてコンピューティング・マシン（超高速コンピュータなど）や計算原理（ソフトウェア基盤）を置くことが多かった。技術階層を考慮するとそのようになるのだが、それでは今日、コンピューティング分野の戦略的基盤として何に注目すべきなのかが明確にならない。

そこでコンピューティング分野の俯瞰図を描くに際し、ここでは戦略的コンピューティング・パラダイムとして(3.1)に挙げた1）～5)をNextコンピューティング基盤原理として底部に据えて、構成することにした。

俯瞰図の最上部にはコンピューティング技術の目的として『人・社会・地球（Quality of Life、産業、環境)』を置き、今後考慮すべき12項目をNext-ITの目標/課題として配置した。注目すべきコンピューティング関連技術は多数ある。これらを大きく２分し、Next-IT新機能/新ツール/新プラットフォームとして21項目、Next-ITコンピュータ（情報処理機械）として14項目挙げた。そして、これらをNext-ITイネイブラとして中央部に配した。研究開発は大きな戦略的目標の下で、この階層の項目がブレイクダウンした具体的技術開発対象になる。

以上のようにして構成したのが図2.3のコンピューティング分野俯瞰図である。

繰り返しになるが、当コンピューティング分科会で、今後の我が国の技術戦略視点として重要と考えたコンピューティング・パラダイムの切り口を基盤に据えた構成図としている。

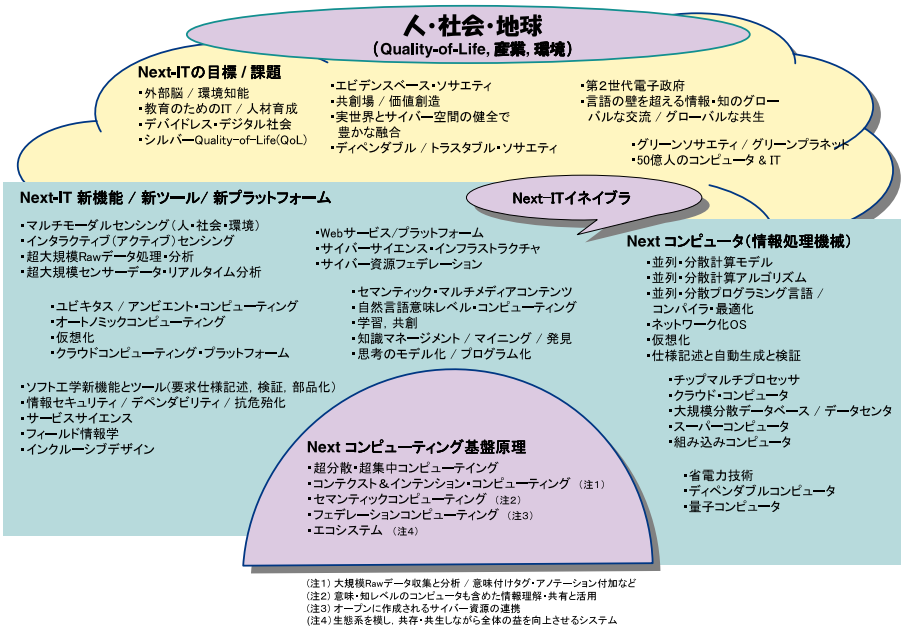


図2.3コンピューティング分野俯瞰図

コンピューティング分科会　成果報告スライド

コンピューティング分科会 まとめ

リーダー：石塚満教授
（東京大学）

1

2009年コンピューティング分科会報告

メンバー：石塚　満（東大），横井俊夫（Japio特許情報研究所），
田中　譲（北大），竹林洋一（静大），石田　亨（京大），橋田浩一（産総研），
浅川和雄（富士通研），楠　正憲（マイクロソフト）

CRDSからの参加者：　勝山，服部，南谷，丹羽

2

日本のコンピューティング分野（IT分野）の現状認識

- 日本のこの分野は産業として大変規模が大きく，また重要であるが，産業界では1990年代以降，グローバルレベルでのイノベーション・新技術創出能力が弱体化している．以前は企業が研究開発を主導していたが，現在のコンピュータ産業はグローバルに通用する新技術，新分野開拓面で問題がある．R&Dの下流トレンドに振り回され過ぎている．
- 政府系の研究開発投資も行われてきているが，グローバルレベルでインパクトのある新技術創出の点で成功してきていない．大きな流れを俯瞰した上での研究開発のシナリオ力が不足している．散発的な研究プロジェクトが多い．
- ミッションクリティカルで，かつ発展していく研究開発テーマである必要がある．日本の研究開発は持続性がなくなってきている．
- 何もかも日本がトップに立つことはできないので，グローバルな動向を把握した上で日本が先導すべき領域を定め，グローバルスタンダードになる技術を目指すことが必要．学だけでなく産も共に取り組む領域でないと，本当に強くならない．

3

今後の情報環境の基本的な目標

- 基本的な目標は，日本の（あるいは世界の）情報環境を**知的**にし，**ユビキタス**にし，**安心安全**で信頼できるものにしていくこと．
- 「**ユビキタス化**」に関しては，中核になる部分は産業界が主導する形で進むことになると思われる．
- 「**安心安全**」に関してはこれまで「ディペンダブルコンピュータ」というテーマ設定で取り組みが行われてきた．
- 故に，ここでは今後取り組むべき課題は「**知的**」にというテーマ設定が中心になると考えた．
- 但し，知的，ユビキタス化，安心・安全は，全てがこれから繰り返しながら末永く取り組まれるテーマである．

4

関係する動き

- **i-Japan戦略2015**（IT戦略本部，2009年7月公表）
  - 三重点分野：　電子政府，　医療・健康分野，　教育・人材分野
  - 産業・地域活性化および新産業育成の観点
  - デジタル基盤整理
  - [ITニーズや産業政策を中心に考慮しているが，グローバルな観点を考慮した技術面での戦略が欠けている．]
- **Cyber-Physical System (CPS)**（米国NSFで2006年より）
  - サイバー空間と実空間の融合
  - 実世界データの大規模センシングシステムに結びついた自律的社会システムなど．
- **グリーン・ニューディール政策とその下でのスマート・グリッド**（米国政府，2009年より）
  - 分散的なグリーンエネルギの取り込みも含む次世代電力網
- **Smarter Planet**（IBM，2009年2月発表のビジョン）
  - 地球をより賢く，よりスマートにをキャッチフレーズ
  - デジタル・インフラと物理世界インフラの一体化
  - サイバー空間と実空間の融合によるスマートな社会，地球

5

エビデンスベース・ソサエティ(EBS)

今後の情報技術研究開発戦略の背景となる重要な新しい社会構造として考えた．

- **「エビデンス」とは：**
  - 個人，組織，社会の新時代の活動を的確，効果的，スマートに実現する基になる大規模で信頼に足るデータ，及び知レベルの情報/知識
- **「エビデンスベース・コンピューティング」**
  - **EBSを支える戦略的技術目標**
  - 大規模エビデンス情報の獲得・収集，エビデンスの計算・推論，エビデンスの更新・管理，これら一連のサイクルを実現するプラットフォーム
  - 要素技術として：　次のコンテキスト＆インテンション計算，セマンティック計算などを含む．
- **「超分散・超集中コンピューティング」**
  - ハードサイドのインフラとして

6

コンピューティング分科会　成果報告スライド

NEXTコンピューティング基盤原理(1)

■ 超分散・超集中コンピューティング

エビデンスベース・ソサエティを支える基盤技術であり，センシング（人・社会・環境），超大規模Rawデータ処理・リアルタイム分析，クラウドコンピューティング，グリーンIT等と密接に関係する．企業だけではデータ収集，利用が困難なことが多いので，国のプロジェクトなどにより情報を共有できるようにし，挑戦しながら大規模にできるような仕組みが必要．国際的に今後のITの重要な方向として目されており，米国のCyber Physical Systemsの研究，IBMのSmarter Planet，EUのプロジェクトなども同様な方向性を示している．従って，我が国の具体的な課題に関して如何に特色を出し，如何にして特出した技術を産み出すかの戦略が必要になる．

■ コンテクスト＆インテンション・コンピューティング

大量データから人の意図を獲得して利活用する．（Database of Intensionという言葉は現れている．）コンテンツの次段階技術として，コンテクストから意味を抽出し，意味的アノテーションが付された次世代コンテンツ（テキスト，映像など）の作成とその利用技術．アクティブに働きかけて意味的情報を得るなども含むオーサリングツール等の技術も含む．以上のような次世代コンテンツの基盤技術．

7

NEXTコンピューティング基盤原理(2)

■ セマンティックコンピューティング

テキストやその他情報の表す意味を人間だけでなくコンピュータにも把握できるようにし，コンピュータも共働して意味レベルで情報の編成，検索，価値創造ができるようにする意味計算基盤．知的創造性の高い社会を実現するために，今後半世紀程を費やして大規模知識情報基盤の構築・整備に取り組むことが重要と思われる．Web領域でのSemantic Webも同様な方向性を有しているが，これは記述する対象がメタデータに限られている．ここではメタデータに限定せず，テキストやその他メディアコンテンツが持つ意味概念を記述する共通的言語を核にした知識情報基盤を整備する．

テキストの表す意味概念の共通的記述に関しては，言語の壁を越えて情報交流，共有を可能にする機能も持つことになる．故に，この領域での日本の貢献は国際社会での共感も得られ，グローバル技術に育つ可能性が高い．

8

NEXTコンピューティング基盤原理(3)

■ フェデレーションコンピューティング

ネットワークやWebを通じて世界中の地域で生み出される多様なデータ，情報，知識，サービスの資源化が促進されており，これらはサイバー資源と呼ぶことができる．このサイバー資源は，1)種類や形式を予め特定の範囲に限定することができない，2)利用者を予め特定の範囲に限定することができない，3)相互の関連付けや連携を予め特定に範囲に限定できない，4)利用形態や相互運用形態に関しては一度決めると定型化して繰り返されるものもあるが，状況や目的に応じてその場限りに一度だけ用いられる場合もある，といった性質がある．このようなオープン性に対応したサイバー資源の高度利用（探索と連携）技術が重要になってくる．今後はWebだけでなく，センサネット，モバイルネットワークが関与するようになると，オープン・サイバー資源の高度利用はますます重要になってくる．

■ エコシステム

生態系を模し，共存・共生しながら全体の益を向上させるシステム．オートノミックコンピューティングとも関係．今後の社会において自律性，知的能力を有する多くの情報システムが出現することになるが，それらが競合して不都合や問題を生じるのでなく，共存・共生して全体として調和を達成するような情報システム構成法のメタな設計原理．

9

コンピューティング分野俯瞰図作成の方針

- 大きく「人・社会・地球（QoL，産業，環境）」に集約される社会の課題とITの課題が結びついて把握できるようにする．
- これまでの階層の基底にはハードウェアに近い技術を置くことが多かったが，今後日本が力を入れるべき新しいコンピューティング基盤を置くことにし，政府の研究開発投資立案のための俯瞰図として重要な視点を分かるようにする．

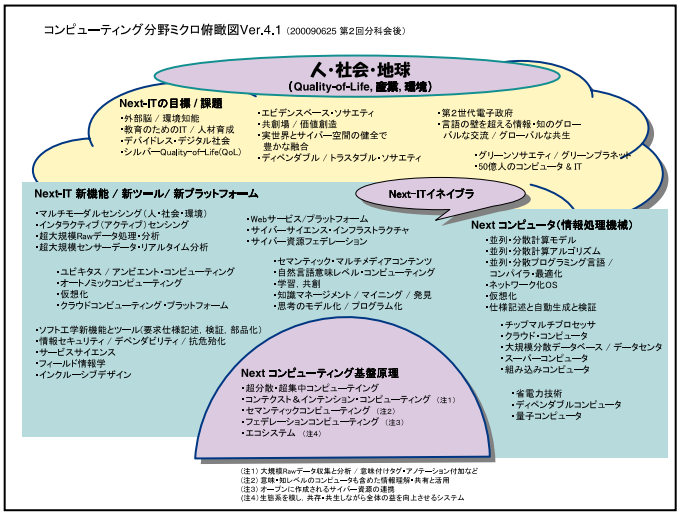
  今後重要な新技術は幾つもあるが，日本はコンピューティング分野全般でトップに立つことは困難である．従って，日本の特徴を活かしてグローバルレベルで勝算のある戦略的基盤技術を基底に置くことにする．国際的な共感を得ることによってグローバルスタンダードになる基盤技術を産むという視点も大切．
- 情報技術と社会の目標の両方に響くテーマであり，情報技術をスパイラル的に回し，拡大していけるテーマであることが大切．
- 社会の目標というと「教育，医療，福祉」といったことになるが，それではIT研究開発の目標としてギャップがある．IT技術開発として見える工学的な目標（技術の言葉で社会的にも意味のあるもの）を設定する必要がある．社会制度の改革も伴わないと解決しない問題も多いが，社会制度改革は分けて考えることが必要である．技術が受け持つ部分と社会制度が受け持つ部分を分ける（例えば，医療ITは制度や政治的問題も絡んでいる）．
- 大規模，大量データの利活用が今度のIT技術の中心課題となり，社会は「エビデンスベース・ソサエティ（EBS）」へと向かうというのは重要な視点とした．この場合，大量データを操作しないと本当に有効な技術は生まれず，運用を通しての研究開発のスパイラル的成長が重要である．
- 話題になった「サービスサイエンス」のコアはビジネスモデルであり，社会的なインタラクション設計の方法が中心であると考えた．

10

俯瞰図の構成と見方

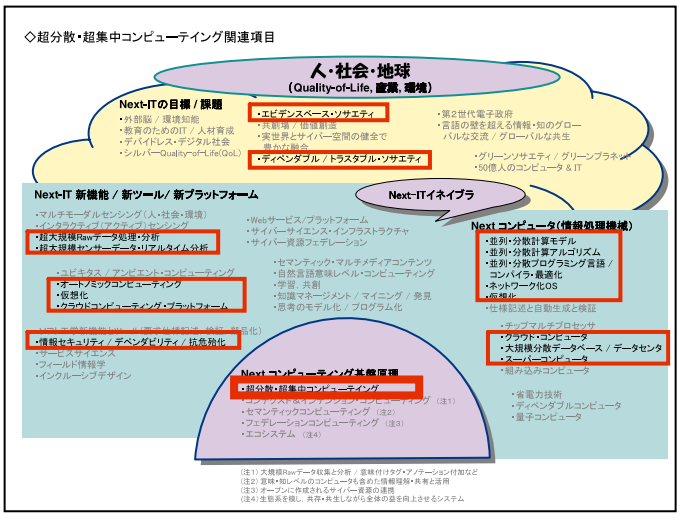
- 最上部には儀中の目標として「人・社会・地球（Quality of Life,産業，環境）」．
  それをブレイクダウンした13項目をNext-ITの目標/課題
- 今後の戦略的基盤として注目すべき視点を明らかにするため，5つの
  Nextコンピューティング原理 を底部に据えた．
- 注目すべきコンピューティング分野の技術を大きく2分し，
  Next-IT新機能/新ツール/新プラットフォーム：21項目
  Next-ITコンピュータ(情報処理機構)：13項目
  これらをNext-ITイネイブラとし，中央部に配置
- 大きな戦略目標の下で，この階層の項目がブレイクダウンした具体的技術開発目標となる．

11

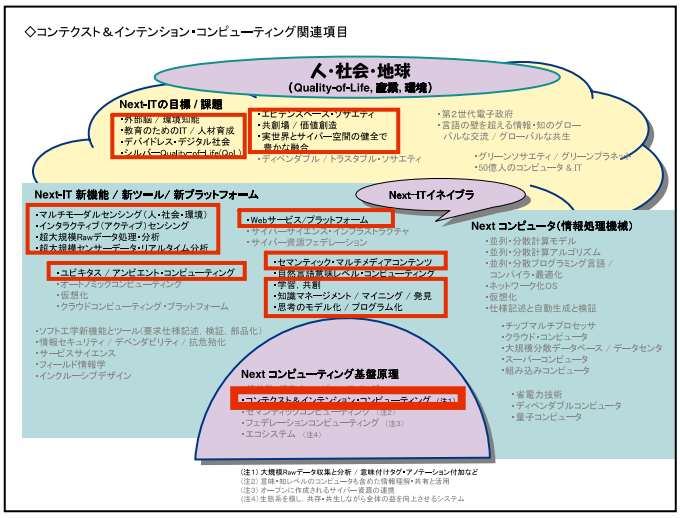


12

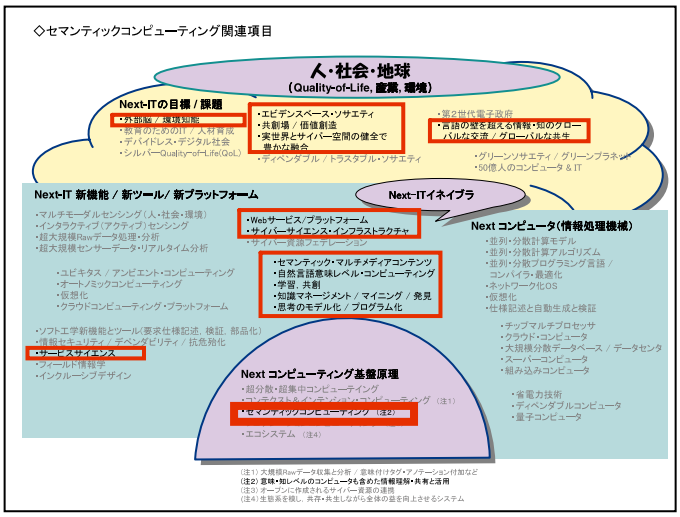
コンピューティング分科会　成果報告スライド



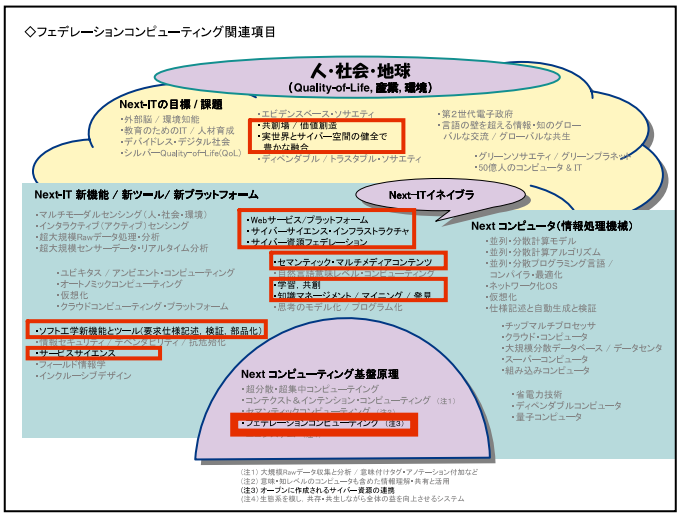
13



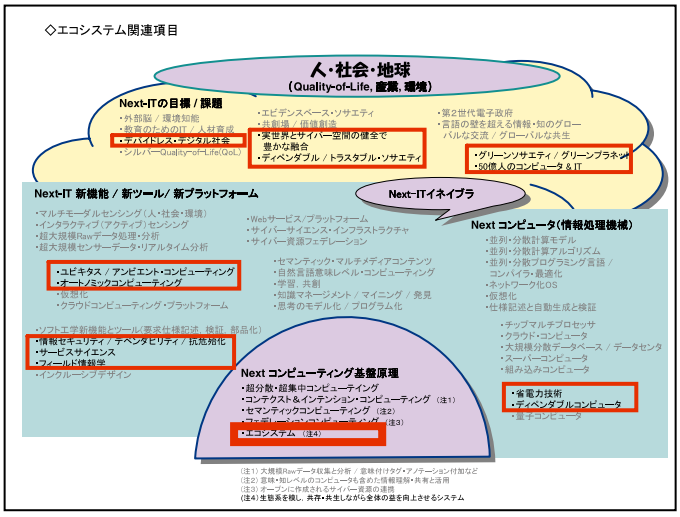
14



15



16



17

重要コンピューティング基盤原理の候補に挙がったが，含まれなかった項目

- **グローバル・クリエイティブ・プラットフォーム**
  - 言語の壁を越える情報流通・共有・共創基盤．（セマンティックコンピューティングの中に含む課題とした．）
- **IT for QoL（福祉IT）**
  - ライフスタイル自体を変えるIT，福祉ロボットや記憶補助，アジアでも高齢化は課題になってきている．高齢者向きだけにするのではなく，Dual Use技術にすべき．
- **地球環境とIT**
  - 世界的にグリーンITが提唱されているので，独自の切り口を設定する必要がある．
- **遠隔支援のIT技術**
  - 図的表示，本でないメディアとしてセマンティック・コンテンツとも関係（コンテキスト＆インテンション・コンピューティングに含める．）
- **強いAI**
  - カーツワイルが予測する強いAIは実現できるか否かは不確実だが，追求することにより何かが生まれる可能性有り．米国では取り組みがある．
- **マルチコアプロセッサ用のコンパイラ等のソフトウェアツール**
  - 必要性が高いがまだ良いものがない．ハードウェアも関係する領域であり，日本の強みが活かせる可能性有り．

18

コンピューティング分科会　成果報告スライド

その他の議論に挙がった項目

ホットトピックス

- ・マルチモーダルセンシング（人・社会・環境）
- ・アクティブセンシング
- ・タグ・アノテーション付きデータ / セマンティックコンテンツ
- ・Database of Intentions
- ・エビデンスベース・ソサエティ
- ・記憶補助
- ・共創
- ・セマンティックコンピューティング
- ・サイバー資源フェデレーション
- ・インビジブルコンピュータ（ユビキタス / アンビエントコンピューティングを含む）
- ・クラウドコンピューティング・プラットフォーム / 大規模データセンタ
- ・グリーンIT / グリーンプラネット
- ・スマートグリッド（主に米国）
- ・フィールド情報学
- ・50億人のコンピュータ
- ・チップマルチプロセッサ用コンパイラ / 最適化

日本としての重要な切り口

- ・大規模センサデータ利活用共通プラットフォーム
- ・セマンティックコンテンツ（意味的タグ・アノテーション付加と利用）
- ・セマンティックコンピューティング
- ・フェデレーションコンピューティング
- ・グローバルクリエーティブ・プラットフォーム（言語の壁を超える知の交流基盤，人工減少社会へ対処するIT，世界に貢献するIT）
- ・次世代コンピュテーショナル・コンテンツ（ゲーム情報学等を含み，日本の若者の意欲を高めるIT分野）

19

グローバル化へのアプローチ

情報技術はグローバルスタンダードになるようにならないと本当に強く競争力のある技術にならないが，そのような技術を育てる二つのアプローチ．

i) 最初から世界を目指し，世界的な課題に目を向け，先見性をもって世界に貢献する技術を生む．　世界的な厳しい競争の中で，日本のオリジナリティ，強みを発揮する必要がある．今後は50億人のコンピュータの言葉にも見られるように，先進国以外の国の状況にも目を向ける必要がある．

- 必要性もあり一部にはこのアプローチを採る企業も現れてはきているが，欧米企業に比べて日本企業はこのアプローチは必ずしも得意でなく，また旨く機能しないことが多かった．

ii) まずは身近である日本の課題に目を向けて真剣に取り組み，優れた新しい情報技術を生み出す．　日本の環境で生まれた独自性がユニバーサルな価値を持つものなら，世界へも認められ，独自の特徴を有して世界にも展開できる．

- 例としては，（情報分野ではないが）トヨタはガソリンが高価で道路状況も欧米とは異なる日本に於いて必要とされるハイブリッドカー技術を開発し，それが世界にも価値を認められることになった．
- 情報技術でもまず身近な日本で真に必要とされる革新技術を開発することが，世界へと繋がる道になる可能性がある．情報サービスについては，精緻で細かい気配りやおもてなしといった日本的なる価値は，日本型ITとして世界に評価され得る可能性は高い．

20

研究開発体制について

研究開発プロジェクトは従来，特定の研究者/グループに資金を提供し委託して進める形が大部分であった．これとは異なる以下の観点も考慮することが今後は必要．

- 研究者，技術者の立場からの研究開発では，たとえ技術的には優れたものがあったとしても，ユーザに喜んで受け入れられる真に有用な情報システムにならないことが多い．
  インクルーシブデザインが唱えられてきているように，設計，開発段階からユーザを巻き込んで進めることが重要になってきている．
- WebにおけるWikipedia に見られるような集合知の枠組みは，オープンに広くアイデアや知を構築，共有，利用するのに有効になってきている．
  研究開発においてもこのような枠組みは，広い才能を巻き込んだ共創を実現する上で考慮に値する．

21

コンピューティング分科会　重要研究開発課題ロングリスト

ID	重要研究開発課題	背景（歴史的経緯）と今後の展望
C-1	超分散・超集中コンピューテイング	エビデンスベース・ソサエティ（EBS）を支える基盤技術であり、センシング（人・社会・環境）、超大規模Rawデータ処理・リアルタイム分析、クラウドコンピューティング、グリーンIT等と密接に関係する。企業だけではデータ収集、利用が困難なことが多いので、国のプロジェクトなどにより情報を共有できるようにし、挑戦しながら大規模にできるような仕組みが必要。国際的に今後のITの重要な方向として目されており、米国のCyber Physical Systemsの研究、IBMのSmarter Planet、EUのプロジェクトなども同様な方向性を示している。従って、我が国の具体的な課題に関して如何に特色を出し、如何にして特出した技術を産み出すかの戦略が必要になる。セキュア＆プライバシー面などが日本で特色を出せる可能性である。今後の社会に不可欠な大量情報が国外で集積、管理されることになり、日本の円滑な発展が阻害されるといったことを回避する情報安全保障の観点からも、取り組みが必要。
C-2	コンテキスト＆インテンション・コンピューティング（注１）	大量データからコンテキスト等も考慮して、意味や人の意図を抽出して利活用する情報技術。（データベース分野ではDatabase of Intensionという言葉は現れている。） アクティブに働きかけて意味的情報を得ることも含む。コンテンツの次段階技術として、コンテクストから意味を抽出し、意味的アノテーションが付された次世代コンテンツ（テキスト、映像など）の作成とその利活用技術であり、オーサリングツール技術も含む。以上のような意味や意図情報も包含する次世代コンテンツの基盤技術。 （注１）大規模Rawデータ収集と分析 / 意味付けタグ・アノテーション付加など
C-3	セマンティックコンピューティング（注2）	テキストやその他情報の表す意味を人間だけでなくコンピュータにも把握できるようにし、コンピュータも共働して意味レベルで情報の編成、検索、価値創造ができるようにする意味計算基盤。知的創造性の高い社会を実現するために、今後半世紀程を費やして大規模知識情報基盤の構築・整備に取り組むことが重要と思われる。Web領域でのSemantic Webも同様な方向性を有しているが、これは記述する対象がメタデータに限られている。ここではメタデータに限定せず、テキストやその他メディアコンテンツが持つ意味概念を記述する共通的言語を核にした知識情報基盤を整備する。 テキストの意味概念記述に関しては、言語の壁を越えて情報交流、共有を可能にする機能も持つことになる。故に、この領域での日本の貢献は国際社会での共感も得られ、グローバル技術に育つ可能性がある。 （注２）意味・知レベルのコンピュータも含めた情報理解・共有と活用
C-4	フェデレーションコンピューティング（注3）	ネットワークやWebを通じて世界中の地域で生み出される多様なデータ、情報、知識、サービスの資源化が促進されており、これらはサイバー資源と呼ぶことができる。このサイバー資源は、1)種類や形式を予め特定の範囲に限定することができない、2)利用者を予め特定の範囲に限定することができない、3)相互の関連付けや連携を予め特定に範囲に限定できない、4)利用形態や相互運用形態に関しては一度決めると定型化して繰り返されるものもあるが、状況や目的に応じてその場限りに一度だけ用いられる場合もある、といった性質がある。このようなオープン性に対応したサイバー資源の高度利用（探索と連携）技術が重要になってくる。今後はWebだけでなく、センサネット、モバイルネットワークが関与するようになると、オープン・サイバー資源の高度利用はますます重要になってくる。 （注３）オープンに作成されるサイバー資源の連携
C-5	エコシステム	生態系を模し、共存・共生しながら全体の益を向上させるシステム。オートノミックコンピューティングとも関係。今後の社会において自律性、知的能力を有す多様な多くの情報システムが出現することになるが、それらが競合して不都合や問題を生じるのでなく、共存・共生して全体としての調和を保ち益を増すような情報システム構成法のメタな設計原理が必要とされる。まだそれ程具体的技術が明らかになっている訳ではないが、先導性をもつ技術課題として、ここに挙げる。

2.4 セキュリティ・ディペンダビリティ分科会

リーダー：今井秀樹（中央大学 教授）

セキュリティ・ディペンダビリティ分野の特徴は、ハードウェアやソフトウェアのみの研究と異なり、人間や社会そのものを研究対象として扱う点である。その研究対象は、LSIのチップ、コンピュータネットワーク、ソフトウェア等のハードウェアやソフトウェア、暗号理論のような数学的な理論、そして社会システムのような人文社会科学的な研究まで及び、電子情報通信分野の縮図のような様相を呈している。

この分野特有の問題としては、技術や理論の進歩によって、これまでは安全と考えられてきたものが安全でなくなってしまう（危殆化してしまう）ことである。また、インターネットを介して次々に接続され、巨大化・複雑化した情報システムは、その境界条件を明確に定義することが困難になっており、システムのセキュリティ・ディペンダビリティを担保する方法論自体に限界がある。このような、熾烈な技術革新の競争の中で常にダイナミックなリバイスが必要になる系を安全に稼働させるための理論や制度設計・運用技術を確立することこそ、セキュリティ・ディペンダビリティ分野の大目標と言えよう。

セキュリティ・ディペンダビリティ分科会は、研究開発される技術の出口・応用先を意識しつつ、そこで求められる重要研究開発課題をリストアップすることとした。リストアップした重要研究開発課題を、国際比較調査[2]で設定されている５つの中綱目「社会」「基盤技術」「ソフトウェア・システム」「ネットワーク」「デバイス・物理特性」に対応させてカテゴライズし、粒度を調整した。

社会分野の研究では、リスクの認知・評価・管理、リテラシ（情報倫理）、コミュニケーション・広報・教育、制度設計、デジタルフォレンジクスが重要研究開発課題としてあげられた。主に社会制度の設計から人間社会の合理的な運用を目指す技術である。

基盤技術分野では、仕様定義・設計技術、暗号理論、プライバシ保護、量子暗号、高性能認証（生体認証等）があげられた。情報システムの設計に関わる技術と、暗号や認証操作の設計技術である。

ソフトウェア・システム分野では、組み込みセキュリティ、理論的なソフトウェア安全性保証・検証手法、クラウドコンピューティング、トラス

[2] CRDS-FY2009-IC-02 電子情報通信分野　科学技術・研究開発の国際比較　2009年版、平成21年5月、JST/CRDS

テッドコンピューティング、仮想化技術があげられた。現在のコンピュータシステムの注目動向に対応した課題である。

ネットワーク分野では、ネットワーク観測・分析、マルウェア対策、Webセキュリティ、インフラセキュリティ、エマージングネットワークセキュリティがあげられた。これは、近年インターネットを介して発生している様々な事故の原因を追求し、解決・排除するための様々な技術である。

デバイス・物理特性分野では、動的再構成ハードウェア、非侵襲攻撃、侵襲攻撃、物理的耐クローン機能（PUF）／人工物メトリクスがあげられた。これは、情報システムのハードウェアとしての機能を高度化することで、情報システムのセキュリティ・ディペンダビリティを高度化することを目指すものであり、近年のセンシング技術や半導体集積回路技術の発展と密接な関係を持つ。

セキュリティ・ディペンダビリティの分野は、実際のシステムの運用を通じてのみ得られる現実的な課題の解決を通じて技術が鍛えられるということからもわかるように、大規模で複雑なシステムの運用に立ち向かうことが必要とされる、大変労力のかかる研究分野である。研究開発投資のインセンティブを付与し、研究成果を普及させていくためには、セキュリティ・ディペンダビリティの定量的な評価方法の開発およびそれを担うためのコミュニティの形成も重要になるだろう。

また、通常の科学分野のように、研究成果を発表することが適切でない場合がある点もこの分野の特徴である。セキュリティ・ディペンダビリティの評価技術が逆に攻撃技術に悪用されたりする可能性があるからである。従って、こういった分野で高い能力や技術を有する人材の発掘・確保とその育成方法は、通常のアカデミアと比べて困難である。

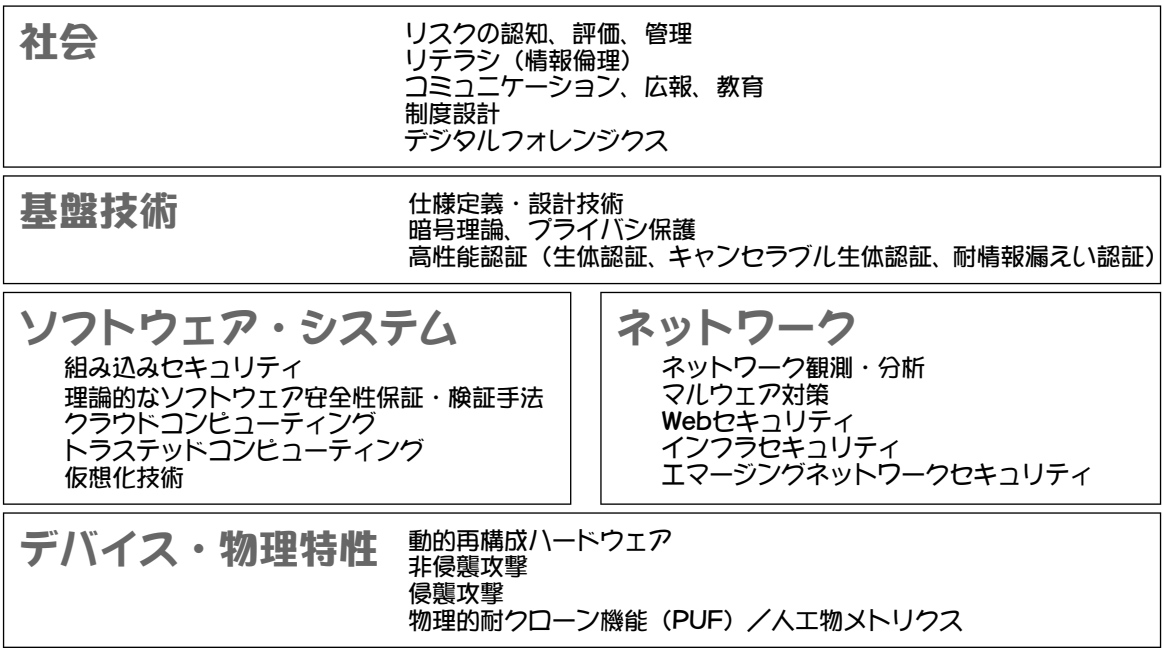


図2.4セキュリティ・ディペンダビリティ分野俯瞰図

セキュリティ・ディペンダビリティ分科会　成果報告スライド

セキュリティ・ディペンダビリティ分科会 まとめ

リーダー：今井秀樹教授
（産総研・中央大）

1

メンバー

- 委員長：
  - 今井　秀樹　　産業技術総合研究所 情報セキュリティ研究センター
- 委員：
  - 井上　大介　　情報通信研究機構 情報通信セキュリティ研究センター
  - 今福　健太郎　　産業技術総合研究所 情報セキュリティ研究センター
  - 宇根 正志　　日本銀行金融研究所
  - 大岩　寛　　産業技術総合研究所 情報セキュリティ研究センター
  - 大塚　玲　　産業技術総合研究所 情報セキュリティ研究センター
  - 古原　和邦　　産業技術総合研究所 情報セキュリティ研究センター
  - 佐藤　証　　産業技術総合研究所 情報セキュリティ研究センター
  - 須崎　有康　　産業技術総合研究所 情報セキュリティ研究センター
  - 田沼　均　　産業技術総合研究所 情報セキュリティ研究センター
  - 渡辺　創　　産業技術総合研究所 情報セキュリティ研究センター
- 事務局：
  - 嶋田　一義　　科学技術振興機構 研究開発戦略センター
  - 伊藤　由季子　　産業技術総合研究所 情報キュリティ研究センター

2

セキュリティ・ディペンダビリティ分野のまとめと特徴

- 危殆化
  - 安全と思われていたものが突然そうでなくなる
  - 愉快犯から金銭目的などより深刻な方向へ
    - 安全性評価およびそれを行うためのコミュニティ形成の重要性
- 一番弱い個所が全体の弱さになる
  - 技術から人間・社会までの広い範囲をカバーする必要がある
    - 社会、基盤技術、ネットワーク、ソフトウェア・システム、デバイス・物理特性に分類

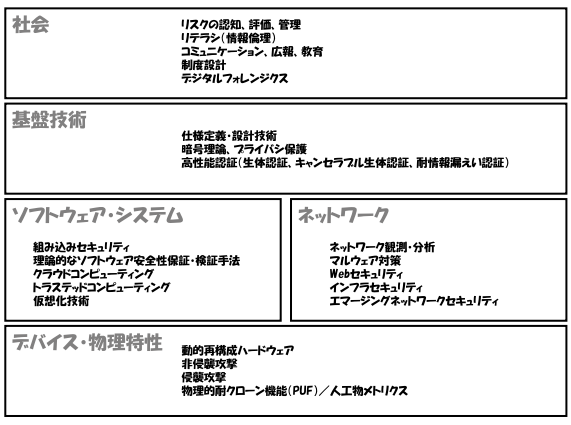
3

ミクロ俯瞰図

情報セキュリティ・ディペンダビリティ分科会

4

セキュリティ・ディペンダビリティ分野　重要研究開発課題の階層構造 ～デバイスから社会まで～



5

近年の注目すべき動向（ホットトピックス）

情報セキュリティ・ディペンダビリティ分科会

6

セキュリティ・ディペンダビリティ分科会　成果報告スライド

下記項目ごとにリストアップ

- デバイス・物理特性
- ネットワーク
- ソフトウェア・システム
- 基盤技術
- 社会

7

デバイス・物理特性(1/4)

- 米国のNISTがFIPS 140-3を今年中に承認か
  - スケジュールはやや不透明だが、予定通りであれば今年中に承認の予定。非破壊攻撃の評価指針策定に関しては産総研が主体的に参画し，2007年度に公開されたドラフトから大幅に変更される。具体的な整理は試験要件DTR（Derived Test Requirement）の中で行われるが、日本からの貢献が極めて大きい。（JCMVPにも反映される見込み）
  - ICシステムセキュリティ協会が3月に発足。ICカードを利用したシステムに関連するユーザ、ベンダ、評価機関、認証機関、研究機関の各層からプレーヤーが参加。欧州におけるJHAS（JIL Hardware-related Attacks Subgroup）に相当しており、協会からのJHASへの参加も見込まれている。
- ネットワーク化に伴う情報セキュリティリスクを低減する目的で、耐タンパー技術を情報家電や自動車等のシステムLSIへ導入する動きが見られ、同領域での体系的な研究の必要性が認識されつつある。

8

デバイス・物理特性(2/4)

- 各ハードウエアに固有な物理的特徴を認証に利用するPUF（physical unclonable function）と呼ばれる技術の研究が活発化しているほか、PUF搭載のICの市場投入も開始している。
- 人工物認証のカード応用として、VISAが、クレジットカードの磁気ストライプ部分の磁性体の分布パターンを利用したカード認証方式の検討を開始している（実験中）。

9

デバイス・物理特性(3/4)

- ホログラム技術に関して、「リップマン・ホログラム」や「計算機ホログラム」といったより高度な（偽造がより困難とみられている）新しいホログラムが提案されているほか、機械による効率的な真偽判定手法も提案されている。
- ホログラムの標準化に関しては、わが国において産総研を中心に、世界に先駆けて光学的特性測定方法の国内標準化の検討が進展している。

10

デバイス・物理特性(4/4)

- 量子鍵配送技術に関してヨーロッパ電気通信標準化協会（European Telecommunications Standards Institute, ETSI）による工業仕様策定グループ（Industry Specification Group, ISG)の設立。インターオペラビリティの確保に向けた通信仕様の策定を目指す。
- 日米においても、「標準化」に関連した動きが見られる。ETSIの動きも含めて、通信仕様、暗号強度、実装技術など、さまざまな標準化の対象について、未整理だった議論が徐々に整理されてきた段階。今後、それぞれについて、具体化が進む見込み。

11

ネットワーク(1/2)

- 2008年10月に公表されたWindowsの脆弱性（MS08-067）を悪用したマルウェアDownadup（別名Conficker）が、Blaster以来の大規模感染※を引き起こしている。
  ※2009年1月時点で推定感染台数約900万台という報告もある。
  - Downadupは、脆弱性を悪用したリモート感染の他、USBメモリ経由での感染など複数の感染経路を持ち、さらにDownadupの亜種は、P2Pネットワーク経由でのアップデート（ディジタル署名付き）や、擬似乱数による指令サーバのURL動的生成など、高度な機能を備えている。
- マルウェアの大規模感染を迅速に把握し、原因究明を行うためには、ダークネット観測・分析技術およびマルウェア解析技術が重要な要素技術である。
  - 最新技術の蓄積や研究コミュニティの形成を、技術の悪用を防止しつつ、如何に行うかが課題

12

セキュリティ・ディペンダビリティ分科会　成果報告スライド

ネットワーク(2/2)

- ネットワーク観測結果やマルウェア検体など、セキュリティ関連情報の共有がトレンドになりつつある。
- EUはセキュリティ関連情報の共有・分析・原因追及を目的とした、大規模研究プロジェクトWOMBAT（Worldwide Observatory of Malicious Behaviors and Attack Threats）を、2008年から開始している。
- ISO/IEC JTC 1 SC 27/WG 4 の Cybersecurity プロジェクトでは、ガイドラインドキュメントの中に、セキュリティ関連情報共有のフレームワークを盛り込もうとしている。
- ITU-U SG17 Q.4 X.sisfreq (requirements for security information sharing)においても、セキュリティ関連情報共有の勧告を策定中。

13

ソフトウェア・システム(1/3)

- インターネットにおける脆弱性の脅威が減らない
  - 広く利用されるソフトウェアに脆弱性
    - Adobe Reader, Flash, Office, Quicktime, Firefox等
  - 複数の暗号・プロトコル実装の脆弱性の報告
    - RSA弱鍵生成, SNMPv3, DNS キャッシュ汚染等
  - ゼロデイ攻撃 (問題発見直後の攻撃) が頻繁に起こる
- ソフトウェアの安全性を高める根本的研究が重要

14

ソフトウェア・システム(2/3)

- 研究動向は引き続き堅調
  - 元来中長期的な課題が多い状況
- 既存の実用プログラミング言語をそのまま安全に動かす試み
  - C 言語 on Flash [Adobe]
    - Flash VM 上に構築した隔離環境で C言語を実行する模様
  - Fail-Safe C [産総研]
    - Java等の安全な言語実装の技術を C言語に拡張して実用レベルの処理系を構築

15

ソフトウェア・システム(3/3)

- 仮想化技術の開発が増える。既存のOS(カーネル)自体を変えずにセキュリティを確保
  - サーバ内でのOS隔離技術が開発・運用
    - MS Hyper-V, Citrix Xen(Amazon EC2), RedHat KVM
  - 仮想マシンモニタを使ったハードウェアの動作を内省(Introspection)する技術開発が増える
    - VmwareのVMSafe, Virtual Introspection for Xen (VIX)

16

基盤技術(1/3)

- 米国のNISTがハッシュ関数アルゴリズムを公募
  - 64件応募、事前書類審査などで51件に
  - 2012年までの間に学会等を利用して安全性や処理速度などに関する評価とアルゴリズムの選定が行われる予定。
  - 衝突困難な関数の構成・評価手法に関する研究開発が盛んになることが見込まれる。
    - 70段に縮退されたSHA1の衝突発見[RCM07]
- 内閣官房情報セキュリティセンター(NISC)情報セキュリティ政策会議が「政府機関の情報システムにおいて使用されている暗号アルゴリズムSHA-1及びRSA1024に係る移行指針」を決定

17

基盤技術(2/3)

- CRYPTREC、電子政府推奨暗号リスト改訂を準備
- KeeLoq(自動車の電子鍵などに採用されている暗号方式)，CRYPTO1 (非接触式ICカードMiFareに採用されている暗号方式)など、アルゴリズムを秘匿することで安全性を保っていた方式のアルゴリズムが暴かれ、解読方法が見つかり大きな問題に。
- 産業界においてID連携（サービス提供者が独自に管理していた顧客アカウント情報の共有・流用）とその標準化が加速しつつある
- Pairing技術に関する関心の増大
- 無線センサーネットワークなど小型端末向け暗号・認証、鍵共有技術の研究が盛んになりつつある

18

セキュリティ・ディペンダビリティ分科会　成果報告スライド

基盤技術(3/3)

- 韓国(KISA)による生体認証システムの精度評価の枠組み構築に向けた取組みを発展させて、アジアとしての精度評価基盤の確立に向けた検討もAsia Biometrics Consortiumにおいて開始された。
- 米国ではテロ対策としての生体認証（遠隔からの虹彩認証等）が盛んであり、民生用技術への研究投資は相対的に少ない。
- 生体認証システムに登録・格納された生体情報の漏洩対策技術に関する検討が進展しており、ゼロ知識証明等の技術を活用した新しい認証方式の提案も活発になっている。
  - こうした漏洩対策技術に関しては、国際標準の場（ITU-T SG17）において、日本からの寄書をベースに、ネットワークで生体認証を実施する際の同技術の評価に関するガイドライン策定も検討されている。
- 法執行機関が犯罪捜査証拠資料(フォレンジクス)としての生体認証技術の活用に興味を示しており、学会等において法執行機関の技術開発要求を積極的に表明している。

19

社会

- 情報セキュリティ関連の犯罪の傾向として、以前はマス・ウィルスなどの顕在化する事案からボットネットや標的型攻撃、フィッシングなどの詐欺など見えにくい事案が増加している。
- また犯罪の目的も金銭や情報の取得（詐取）など明確な利益を求める傾向にある。例としてWebを利用した攻撃ツール「MPACK」の取引や脆弱性をオークションで取引するサイト「WabiSabiLabi」などがある。
- それにともない、管理技術や法律、教育等に関心が向きつつある。
- SOX法や日本版SOX法の施行や、情報漏えい事故といったセキュリティ管理が問題となる情報セキュリティ事故の多発により、内部統制に対する関心が高まる。

20

セキュリティ・ディペンダビリティ分科会　重要研究開発課題ロングリスト

ID	重要研究開発課題	背景（歴史的経緯）と今後の展望
社会		
S-1	リスクの認知、評価、管理	ディペンダビリティ及びセキュリティリスクに対処するためには、まずリスクの存在を認知しリスクの程度を評価することが必要である。しかしリスクによる被害は未来のことであり、顕在化してなく、存在を認知することは困難である。そこで系統的にリスクの存在を整理することが必要となる。さらに実際に個人や組織がリスクの存在を認知できるような仕組みが必要となる。さらにリスクを認知した後にリスクに対処するためには、そのリスクが個人や組織、社会にとってどのような影響があるか、評価する必要がある。あるいは、情報システムのディペンダビリティを評価する必要がある。その評価に基づきリスクを低減し、ディペンダビリティを向上させるためにどのような対処をするかを決めるのがリスクの管理である。リスクの認知については情報処理学会において「情報セキュリティ心理学とトラスト研究グループ（SPT）」ができるなど、従来からの技術中心のアプローチから社会人文系科学を加味したアプローチの必要性が認識され始めた。また　リスクの評価、管理についてはISO27001をはじめとする標準規格や実務が先行しているため、理論研究や実証研究と言った学術的な基礎の構築の必要性が指摘されている。情報社会のリスクやディペンダビリティを定量的に評価し、恒久的な安全信頼保障を科学的方法で確立する情報社会技術・システムの研究開発、政策提言、実装支援と人材育成が必要になる。
S-2	リテラシ（情報倫理）	情報機器が広く一般に利用されるようになると、専門家以外でも情報処理について最低限知っておくべき知識すなわち常識が必要となり、このような知識をリテラシと呼ぶ。特に情報セキュリティに関しては知識の欠如が情報セキュリティ事故に結びつき、多大な被害を被りあるいは意図せず他人に被害を与えたりすることがあり得る。リテラシを考える上では次の二つが重要である。一つはその知識の影響である。つまり、知らないことによりどのような被害をどの程度受ける、もしくは与える可能性があるかについてである。影響の大きい知識は常識として広く一般に知られているべきである。もう一つは一般社会常識との整合性である。もしこれらの知識が現在の一般社会の持つ常識と大きくずれていると一般の人たちには受け入れられない。最近では初等教育より情報処理が教育されている。初等中等教育は小手先の技術を教える場ではなく、広く一般の人が身につけておくべきリテラシを教育する場である。その意味で何を教育すべきか、すなわち情報処理のリテラシとは何か大きな議論となっている。
S-3	コミュニケーション、広報、教育	リスクに対処するには多くの場面でコミュニケーションが重要である。事件が発生した際に関係者間で正確で迅速なコミュニケーションを行うことが事件の早期の解決と被害の減少に資する。また社会的責任の観点からリスクや被害についての社会に対する説明責任を果す広報は重要である。さらにリスクを予防する観点からどのようなリスクが存在するか、リスクに対処するにはどのようにすればよいか等、知識や技能を伝える教育も重要である。最近頻発している情報セキュリティ事故の対応をみてもコミュニケーションや広報がその後の被害に大きな影響を与えている。また組織が情報セキュリティを確保するには、その成員の一人一人が適正な知識と意志を持つ必要があり、そのために適切な教育研修法が各所で望まれている。
S-4	制度設計	情報セキュリティ侵害による被害をより少なくするために、法律、規則、制度、ガイドライン等の社会制度を利用することができる。これら社会制度を分析し、何が必要か、情報セキュリティに対しどの程度の効果があるか、実施した場合にどのような副作用があるかを定量的に導くことが重要である。また実際に起こっている社会現象を分析し、理論を実証することおよび新たな理論の構築を行うことが重要である。日本においては昭和62年度の電子計算機使用詐欺罪の新設をはじめとして法制度として情報セキュリティにどのように取り組むかの議論が盛んに行われてきた。また海外においてもWorkshop on the Economics of Information Security(WEIS)のように経済学等の社会科学を利用して情報セキュリティを分析し情報セキュリティ確保のための社会制度の議論が各所で行われている。
S-5	デジタル フォレンジクス	デジタルフォレンジクスとは、情報セキュリティ事故における証拠、およびその取り扱いのことである。情報セキュリティ事故は多くの場合高度に技術的で複雑に要因が絡み合っているため事故調査は非常に困難である。そこでどのような証拠が収集可能か、十分な証拠を収集するにはどのような準備が必要か、事故発生において十分な証拠を収集するためにどのような保全措置を執るべきか、それぞれの証拠は何が証明できどの程度の信憑性を持つか、証拠をどのように処理して証明を行うか、といったことが問題となる。今までは主に警察や検察と言った刑事事件において必要とされてきたが、情報セキュリティ事故の広がりから今後は広く私人間の民事事件等においても重要となることが予想される。

基盤技術		
S-6	仕様定義・設計技術	近年の情報システムは、ブラックボックス化、システムの複雑化・巨大化、サービス利用の多様化、システム要素の経年劣化、ネットワークにおける責任所在の不明確化など、ディペンダビリティを阻害する原因（フォールト）を生む様々なリスク要因を含んでいる。このリスク要因の存在を前提とし、「情報システム」「重要インフラ」「サービス・情報」「情報社会」の４階層でディペンダビリティの追究が必要である。このためには、上記４つの階層のそれぞれにおいてライフサイクルやリスクを想定し、仕様の定義、システム設計を一貫性を持って行えるようにするための技術が不可欠である。この仕様定義、設計のためには、ディペンダビリティを恒久的に保証するアーキテクチャに関する研究が必要である。また、仕様定義や設計のための技術は、ディペンダビリティを定量的に評価可能にするための研究の発展にも貢献する。
S-7	暗号理論	理論的な研究対象としての暗号は、1949年のシャノンによる暗号の情報理論的安全性に関する論文に始まり、1970年代後半にアルゴリズムを公開しても解読が実用時間内には困難な暗号や、公開鍵暗号の概念とその具体的な構成法が示されたことを契機にして、様々な機能を持つ暗号方式、秘密分散、ゼロ知識証明、マルチパーティプロトコルといった新しい概念、およびそれらの関係が次々と発見･解明され、現在も発展を続けている。 暗号の安全性の概念として、暗号解読に必要な計算量が現実には到達不可能なことにより安全性を保証する「計算量的安全性」と、攻撃者にとって入手可能な情報だけでは解読が原理的にできないことを保障する「情報理論的安全性」がある。情報理論的安全性は、技術の発達とともにその安全性が危殆化することがないという長所があるが、利便性の面で計算量的安全性に劣る。 上記情報理論的安全性を、量子論の性質を使って保証しようとする暗号方式（量子暗号）がある。攻撃者が暗号の解読に必要な情報を取得できないようにするか、あるいは、盗聴行為が、正規の受信者に検知されるような状況を作ることができる。現在のところ、安全性証明がなされているのは鍵配送プロトコルのみであるが、他のプロトコルへの応用を含め、発展が期待されている。 また、近年特筆すべきなのは、証明可能安全性と呼ばれる安全性概念が重要な発展を遂げていることである。一般に、暗号解読の困難さを直接的に示すことは難しいと考えられている。そこで、証明可能安全性では、攻撃者が暗号解読に成功することと、例えば計算量的に困難な問題を解くこととが等価になることを数学的に示すことで、暗号方式の安全性を一般的に知られる問題の困難さとの関係で示そうというものである。これにより暗号の安全性が見通し良く整理されるようになった。同様のアプローチ、すなわちシステムの満たすべき安全性条件、攻撃者のモデル、安全性仮定などを数学的に厳密に定義して、その安全性について論理的に証明するというアプローチ（暗号学的アプローチ）は、暗号以外の様々な分野（バイオメトリクス、プライバシ保護、耐タンパー性、ネットワークセキュリティ、ソフトウェアシステム等）の安全性概念の体系化にも役立つと考えられ、さらなる拡張・発展が期待されている。
S-8	高性能認証 （生体認証、キャンセラブル生体認証、耐情報漏えい認証）	個人の生体情報を利用して個人を認証する「生体認証」が、金融分野をはじめする各分野において広がってきており、社会インフラを構成する技術の1つとして今後一層普及していくとみられている。生体認証の特徴の1つは、何も所持・記憶する必要がないという意味での「利便性」であり、今後高齢化が一層進むとみられるわが国において、高齢者も安心して各種取引を実行する際の手段としても有力視されている。今後、生体認証技術を幅広い分野において適切に活用していくためには、各種方式のセキュリティ特性を評価し明確にする必要がある。生体認証には、生体情報に関するデータが個人情報としての性格を有し、それらが第三者に漏洩した場合、なりすましによる被害や個人情報の漏洩などの問題につながるおそれがある。こうした問題への対応として、生体認証の技術を「当該認証に利用される各種情報が漏洩した場合であっても、引き続き適切な認証の機能を確保しうる」という意味での高性能なものにすることが求められる。そうした目的に資する技術として、「キャンセラブル生体認証」や「耐情報漏えい認証」の技術が提案されるようになってきている。ただし、「キャンセラブル生体認証」については、技術のモデルやセキュリティ特性が明確に定義されていないほか、セキュリティの観点からの評価方法も確立されておらず、今後の重要な検討課題となっている。

ソフトウェア・システム		
S-9	組み込み セキュリティ	家電、ネットワーク機器、カーナビゲーションなどに代表されるいわゆる組み込み機器は近年その普及が著しく、また昔の単機能な機器とは異なり、インターネット経由の情報取得や無線通信など、機能的な複雑さも著しく増大している。それに伴い組み込み機器に搭載されるソフトウェアも年々複雑になっており、最近ではLinuxなど汎用ソフトウェアをベースに構築される機器も増えてきている。しかし同時に、これらのソフトウェアに起因するセキュリティ問題も増大しており、その解決が求められている。通常のPC向けソフトウェアなどと比較して組み込みシステムのソフトウェアの特徴としては、まずメモリや計算リソースなどが限られていること、そしてソフトウェアの更新を配布し導入することが難しいこと、そして用途に応じて高い信頼性が求められることが挙げられる。実際に、ルータやネットワーク家電（TV、デジタルレコーダ）などのソフトウェアに問題が発覚した際の更新頻度はPCと比べて遅く、脆弱なソフトウェアが放置されているという現状がある。そこで、主に組み込みシステムで用いられるソフトウェアに対して、①信頼性を高め欠陥を生まないソフトウェア構築手法、②実装されたソフトウェアを検証あるいは強化し、実装の誤りを検出し被害を防止・軽減する手法、③欠陥が発見された組み込みシステムを適時に、かつ、できるだけ利用に影響を及ぼすことなく更新し被害を防止する運用・実装手法などについて、実用的レベルの知見を深める必要がある。
S-10	理論的な ソフトウェア 安全性保証・ 検証手法	近年、ソフトウェアの複雑さは増大し、またソフトウェアが取り扱う経済的価値も増大している。一方でソフトウェアの安全性は依然としてその多くをプログラム作成者の能力に依存する状態が続いており、多額の経済的損失をもたらすセキュリティ脆弱性がしばしば問題となっている。プログラムのテストなどの現状の信頼性向上技法は依然として重要な技術であり続けるが、同時に、より確実にソフトウェアの欠陥を防ぎ、被害を防止する手法の開発が求められている。また、特に高い信頼性を求められるソフトウェア（車両制御・決済処理）についてプログラムの安全性の検証が行われ、信頼性に関するCC認証なども行われてきているが、現状の検証技術は、いまだ実用ソフトウェアの実装全体の安全性を論理的･100%確実に保証するレベルには至っていない。そこで、これらの問題の解決として、①論理的手法に基づき確実に安全性を保証できるソフトウェアの検査・検証技術の実用性向上のための基礎から応用に渡る研究、②ソフトウェアにつき一定の安全性が確実に保証される言語及び言語処理系の設計実装、特に現状で必ずしも安全といえない言語処理系が用いられている応用分野についてこれらを置換することを念頭に置き実用に耐えるレベルの手法の整備、③プログラムの誤りを解析・検査して修正方法を提示し安全なプログラム実装を支援する手法及び開発環境の整備、などの点について研究を進める必要がある。
S-11	クラウド コンピューティング	クラウドコンピューティングは様々定義がなされているが､その定義の一つは､ユーザ数、データ量、クライアントの場所などの変動を吸収できるディペンダブル技術を使用し、インターネットを通じて世界中のどこからでも膨大なコンピュータパワーとストレージ、およびソフトウェアサービスを提供する技術である。耐障害にすぐれ、データおよびCPUの多重化がサーバ側で自動的に行われ、ユーザが意識する必要がない。現在、Amazon EC2、Google App Engine、MicroSoft Azureなどが数十万台以上のサーバを用いてクラウドコンピューティングを提供している。運用では耐障害の他に、個々の実行隔離、セキュアなID管理など、プライバシーと安全性を両立した管理技術が要求される。今後の開発課題としては、①預かったデータを暗号化したまま設定ファイルの検証を施すといった、機密を保ったまま暗号化データを処理する技術、②データ共有技術とプライバシ・セキュリティを両立する技術、③既存のサービスをクラウドコンピューティングに移行するために使えるSLA(Svervice Level Agreement)とセキュリティガイドライン、などが必要である。

S-12	トラステッド コンピューティング	トラステッドコンピューティングは実行の信頼性を確保する技術であり、業界団体であるTrusted Computing Groupにより仕様策定されている。トラステッドコンピューティングではセキュアチップTPM(Trusted Platform Module)を信頼の基点とし、ファイルが利用される度にそのハッシュ値をTPMに記録する。この記録を外部の第三者認証機関に送り、提供者が想定したファイルが使われているか検証する。検証結果はネットワークへの接続許可を管理する検疫ネットワークなどに利用され、サービス提供の管理が行われる。現在、TPMはほとんどのPCに標準で装備されているが、それを使う一般的なアプリケーションはMicroSoft Vistaのディスク暗号化であるBitLockerの鍵管理ぐらいであり、トラステッドコンピューティング本来の機能はほとんど利用されていない。この原因は検証を行う第三者認証機関の不足に起因するが、最近はクラウドコンピューティングの普及とともにリモートの実行履歴保全やクライアントのプラットフォーム認証に活用する提案が行われている。また、今まで信頼の起点は電源投入時に限定されていたが、Intel の最新CPUに導入されたTXT(Trusted eXecution Technology)により、動的に信頼の起点(DRTM: Dynamic Root of Trust Measurement)を作成できるようになっている。今後の開発課題としては①GUIを含めた検証技術(Trusted GUI)、②クラウドコンピューティングと連携するためのプラットフォーム認証技術、③DRTMを利用したサンドボックス（高信頼なアプリケーション実行環境)、などがが必要である。
S-13	仮想化技術	仮想化技術は、OSと実計算機の間にハイパーバイザー（仮想マシンモニタとも呼ばれる）を挿入して、計算機を仮想化する技術である。2005年以降、Intel VT や AMD SVMなどの仮想化命令がCPUに導入されるようになってから盛んに開発されるようになった。当初は計算機を仮想化することで複数のOSを実行させることに注力されていが、最近は仮想マシンによる実行隔離(isolation)、物理デバイスのアクセス制御（NXビットによる実行抑制など)、ハイパーバイザーによる物理状態を内観(introspection)する技術などが注目を集めている。これらによりOS本体(カーネル)が攻撃されても、ハイパーバイザーの助けを借りて攻撃を検出できる。ハイパーバイザーは各社で開発されており、HyperV(MicroSoft)、VMware(VMware)、Xen(Citrix)、VirtualBox(SUN)、KVM(RedHat)などの製品がある。これらの製品はサーバ、クライアントそれぞれに用途に合わせたセキュリティ強化が行われている。ハイパーバイザーは基本的にデバイスレベルでの制御のみが可能なため、OSレベルのセキュリティを解釈できる既存のセキュリティソフトウェア(Symantec、TrendMicroなど)との連携も行われている。開発課題としては、①内観(introspection)技術と連携したセキュリティ強化、②実行隔離(isolation)とデータ共有技術（同一カーネルなど同一メモリ内容を仮想マシン間で共有し、物理メモリ使用量を削減する、など）を両立する技術、③仮想化技術を対象にした攻撃への対処、などが必要である。
ネットワーク		
S-14	ネットワーク観測・ 分析	ネットワーク観測とその分析は、ネットワーク内外の攻撃から、組織や個人の情報資産を保護するための基本技術であり、観測･分析対象のネットワークの性質によって、ライブネット観測・分析とダークネット観測・分析に大別される。ライブネットとは、ユーザのPCやサーバなどが接続された実使用中のネットワークのことを指す。ライブネット観測・分析は、ネットワークの入り口を通過するトラフィックを観測・分析し、ファイアウォールや侵入検知システム（IDS)、侵入防止システム(IPS)などを用いて境界防御することを主眼に置いている。ここでは研究課題として、10Gbpsを超える大規模トラフィックの観測･分析方法や、増大する攻撃シグネチャの抑制と矛盾回避、さらにはゼロデイ攻撃（OSやアプリケーションの脆弱性を修正するセキュリティパッチが公表される前に、その脆弱性を利用する攻撃）を検出するための、攻撃シグネチャに頼らない脆弱性攻撃コード（Exploit Code）検出などが挙げられる。一方、ダークネットとは未使用のネットワークのことを指し、そこに到来するトラフィック（ダークネットトラフィック）の大部分はウイルスやワームなどのマルウェアに起因している。ダークネット観測・分析では無応答のブラックホールセンサを用いてダークネットトラフィックの観測・分析を行い、マルウェアのネットワーク広域における活動傾向を俯瞰的に把握することを主目的としている。また、ダークネットに低/高対話型センサ（いわゆるハニーポット）を設置することで、マルウェアの攻撃手法の把握やマルウェア検体の取得も可能となる。ここでは研究課題として、ダークネットトラフィックに対するデータマイニング手法や、検出耐性の高いハニーポット技術、さらには、分散協調型ダークネット観測技術などが挙げられる。また、ライブネット観測・分析とダークネット観測・分析の共通の研究課題として、観測・分析結果の効果的な可視化や、観測・分析結果の複数組織間での安全な共有などが挙げられる。

S-15	マルウェア対策	ウイルス、ワーム、トロイの木馬、スパイウェア、ボットなど情報漏えいやデータ破壊、他のコンピュータへの感染など有害な活動を行うソフトウェアを総称してマルウェアと呼ぶ。80年代後半から90年代前半まで、マルウェアは愉快犯もしくは自己顕示を目的として作成・流布されることが多かったが、90年代後半からは金銭搾取を目的とした組織的な犯罪のツールと化している。マルウェア対策技術として数多のセキュリティベンダが、アンチウイルスソフトの研究開発を行っており、一定の効果は上げているが、亜種マルウェアの出現頻度にシグネチャの生成が追いつかず、未検知のマルウェアが増加するなどの問題が表面化しており、マルウェア解析の自動化・高速化は重要な研究課題の一つである。マルウェア解析の手法は大別すると、動的解析と静的解析の二系統に分けられる。動的解析はブラックボックス解析とも呼ばれ、マルウェアの検体を犠牲となるマシンの上で実際に実行し、そのマシンの内部挙動やネットワークアクセスなどを解析するものであり、静的解析はホワイトボックス解析とも呼ばれ、マルウェアの実行コードを逆アセンブルして、アセンブリレベルでマルウェアの持つ機能や処理フローを詳細に解析するものである。近年のマルウェアの多くはこのような解析を検知・困難化する機能を有しており、したがって解析耐性を持つマルウェアの動的/静的解析手法を継続的に研究開発していく必要がある。また、解析の結果得られるマルウェアの挙動や機能に基づく分類手法も研究課題である。さらに、近年のマルウェアは感染経路としてスパムメッセージ（スパムメールやメッセージングサービス上のスパムなど）を利用することも多い。実際、スパムメッセージの多くはマルウェアが送出しており、そのメッセージに添付されたファイルや、メッセージに記載されたリンク先からマルウェアに感染するケースが後を絶たない。そのため、従来のスパムフィルタの研究に加え、スパムの送信者解析やスパムのリンク先解析などが研究課題となっている。
S-16	Webセキュリティ	Webアプリケーションを狙ったSQLインジェクションと呼ばれる攻撃が2005年頃から急増しており、Webサイトの改ざんや顧客情報の漏洩など深刻なセキュリティ・インシデントを引き起こしている。そのため、安全なWebアプリケーションを開発するためのセキュアWebプログラミング手法の啓蒙や、Webサーバへの不正アクセスを監視・検出するためのWebアプリケーションファイアウォールの実運用が進んでいる。最近では、改ざんされたWebサイトがマルウェア配布サイトとして悪用されることも多く、Webサイトにアクセスしたユーザが使用しているWebブラウザの脆弱性を突いてマルウェアが感染を拡大するケースが増加している。このため、能動的にWebサイトをクロールして、マルウェアが埋め込まれたWebサイトを発見し、マルウェアを収集するWeb巡回型ハニーポットの研究開発も進んでいる。また、オンライン銀行やクレジットカード会社、会員制サイトなど、正規のWebサイトを装ってユーザを誘導し、預金口座やクレジットカード番号、会員ID、およびそれらと紐付いたパスワードなどの個人情報を騙し取るフィッシング詐欺が相次いでいる。その対策として、Webブラウザ組み込み型のフィッシングサイト検出手法や、ユーザとWebサイトとの間での相互認証方式の研究開発が進められている。
S-17	インフラ セキュリティ	DNS（ドメイン・ネーム・サーバ）のキャッシュを攻撃者が意図的に操作することでユーザを任意のサイトへと誘導可能なDNSキャッシュ汚染や、BGP（ボーダ・ゲートウェイ・プロトコル）で不正な経路情報を流すことによって大規模な通信障害を発生させるBGP経路ハイジャックなど、インフラとしてのインターネットの機能を悪用または麻痺させる攻撃の存在が、ここ数年で明らかになってきている。そのため、DNSSEC（DNS Security Extension）や、BGP経路情報の観測と整合性検証など、インフラレベルでのセキュリティ対策技術の開発が進んでいるが、インターネット全域に係わる根源的問題であるため、対策技術の普及や浸透に時間を要している。一方、インターネットのインフラ側に追跡機能を追加することで、攻撃者の特定を可能にするトレースバック技術の研究開発も進められている。IP層での追跡技術をIPトレースバック、HTTPなどアプリケーション層での追跡技術をアプリケーショントレースバックと呼ぶ。また、数百から数万台規模のボット感染ホスト群（ボットネット）を遠隔操作する攻撃者の追跡技術（ボットマスタートレースバック）の研究開発も一部始まっている。トレースバック技術では正規ユーザのプライバシー問題や、トレースバック機器の広域展開と異なる組織間での相互運用なども検討課題である。また、次世代のネットワークインフラの土台となるIPv6では、End-to-Endでの暗号通信や、1台のホストが複数のIPv6アドレスを利用できるマルチホーミングなどにより、従来型（IPv4向け）の境界防御の考え方が崩壊する可能性がある。したがってIPv6ネットワークにおけるセキュリティ技術の検討は、重要かつ緊急性を有する研究課題である。
S-18	エマージングネットワークセキュリティ	無線LANやモバイルネットワーク、アドホックネットワーク、センサネットワークなどを含む無線ネットワーク、P2Pネットワークやマルチキャストネットワークなどに代表されるオーバレイネットワーク、さらには一般家庭においてネットワーク機器や家電を収容するホームネットワークなど、新興のネットワーク（ここではエマージングネットワークと呼ぶ）が次々と実現されていっている。このようなエマージングネットワークを対象とした（またはエマージングネットワークを用いた）セキュリティ技術の検討も多岐に渡って進められている。

デバイス・物理特性		
S-19	動的再構成 ハードウェア	回路構成を書き換えることが可能なLSIであるFPGA(Field Programable Gate Array)は、これまで試作品の動作検証や、機能が固定された専用LSIであるASIC(Application Specific Integrated Circuit)の機能を補う回路用途ための補助的な回路実装などの利用が主であった。しかし、LSIの高集積化と複雑化によりASICの開発費は数億円にも上るようになり、対価格性能比が飛躍的に向上しかつバグを修正可能なFPGAをメインに用いるシステムが増えている。さらに、動作中に動的にハードウェアの機能を変更することが可能な、動的再構成技術を実装したFPGAも普及し始めている。このような動的再構成ハードウェアを有する情報機器をネットワーク接続することで、システムを停止することなく必要な回路機能を必要な時にネットワーク経由で実装することが可能となる。ハードウェアの柔軟性と利便性の向上に加え、LSIの部分的な故障時にも正常部分を用いてネットワーク経由で修復可能なことから信頼性も向上する。しかしながら、ネットワーク経由での動的再構成は、悪意のある第三者によるハードウェアシステムの破壊といった大きな危険性もはらんでいる。また、価値のある回路情報は盗用により不正利用される可能性もある。そこで、再構成に用いるハードウェア情報の保護のため、情報セキュリティ技術の応用と、その保護方式の標準化が今後の課題である。
S-20	非侵襲攻撃	ICカード等の暗号モジュールが動作中に発生する電磁波や消費電力波形、そして処理時間などに漏洩している暗号回路の内部動作状態を解析し、内部データを盗み出すサイドチャネル攻撃の脅威が現実的なものとなりつつある。米国標準技術研究所（NIST:National Institute of Standards and Technology)の連邦標準規格FIPS(Federal Information Processing Standard)140-3や、国際標準規格ISO/IEC 19790ではこのサイドチャネル攻撃に対する安全性評価基準を定めるべく改定作業が進められている。サイドチャネル攻撃は、その痕跡を暗号モジュールに残さない非侵襲攻撃の代表である。非侵襲攻撃にはこの他に、電源電圧やシステムクロックに外部からノイズを混入して暗号モジュールに誤動作を誘発させる故障利用解析攻撃が挙げられる。故障利用解析攻撃はサイドチャネル攻撃よりも多くの内部情報が取得できる可能性があり、その場合は極めて強力な攻撃方法である。しかしながら、都合のより誤動作が起こせる保証はなく、また状況に応じて解析手法が大きく異なるため、現在は様々な実験や研究が行われている段階で、その評価手法の標準規格化はまだこれからである。
S-21	侵襲攻撃	サイドチャネル攻撃や故障利用解析攻撃が、暗号モジュールを改造することのない非破壊的な攻撃であったのに対して、侵襲攻撃は暗号モジュールの内部を直接観測するためにLSIのパッケージを開封したり、回路を改造したりする破壊攻撃である。また、レーザーや電子線の照射などにより、誘発する誤動作を高い精度で制御する故障利用解析攻撃も可能となる。侵襲攻撃はLSIの故障や誤動作の解析技術を応用したものが多く、数億円という高価な装置を利用する場合もある。しかしながら、これらの解析技術は日進月歩であり、強力な解析手法が将来は安価に利用できるようになることを考えると、5年以上の利用も考慮する必要のあるICカードにおいては、決して非現実的な攻撃ではない。
S-22	物理的 耐クローン機能 （PUF）／ 人工物メトリクス	社会における人間のさまざまな活動を安全に実行するうえで、そこで用いられる（書類等の）人工物の信頼性が重要な役割を果たしている。個人の身元や資格を第三者に対して証明するための各種証明書（住民票、運転免許証、パスポート等）、金融をはじめとする取引に用いられる各種人工物（有価証券、紙幣、キャッシュカード、預金通帳、クレジットカード、携帯電話等）など、枚挙に暇がない。仮に、こうした人工物が偽造され、その事実を検知困難な場合、安全な取引や手続が実行困難となり、既存の各種社会インフラの機能が損なわれてしまう可能性がある。近年、市販のプリンター、スキャナー、画像処理ソフトの高度化・低価格化、ICチップの解析技術の高度化、インターネット等による各種偽造技術の情報共有のハードル低下等を背景に、人工物の耐偽造性が低下しつつあるとみられている。こうしたなか、物理的に再現困難な機能を有する関数「PUF（physical unclonable function)」と呼ばれるハードウエアの研究や、個々の人工物に固有の特徴を利用して人工物の認証を行う「人工物メトリクス」の研究が進められている。PUFは、ICチップの物理的な特徴を利用して個々のチップ内部で秘密の値を生成し、当該値を用いて各種の処理を実行するという機能に利用されている。PUFを利用すればICチップに乱数生成器あるいはそれに与えるシードを格納する必要がなくなり、仮にチップを解析されたとしても当該秘密を読み取られるおそれがない。ただし、これらの技術のモデルやセキュリティ特性が明確に定義されていないのが実情であり、セキュリティの観点からの評価方法も確立されておらず、今後の重要な検討課題である。

2.5 ネットワーク分科会

リーダー：市川晴久（電気通信大学 教授）

ネットワーク分科会では、ネットワーク分野に関わる世の中の動きとしてのホットトピックス（研究のホットトピックスではない点に注意）をまず議論し、いくつかの代表的ホットトピックスを元に、市川リーダー提案のホットトピックス分析フレームワークにより、重要研究課題は何かを議論する方法をとった。ホットトピックス分析フレームワークでの項目は、注目する10X Power（指数関数的に成長する技術・要素）、ネットワークプラットフォームの機能と構成に関する設計原則、基盤技術、プラットフォームの成長を促すアプリケーションとテストベッド、プラットフォームの研究開発と活用を担う研究者・技術者のコミュニティ、上記を支える産学官連携である。

ホットトピックス列挙の視点としては、現状から考える（技術的課題、社会的課題）、20年後から考える（Driving Forceとしての技術、社会、市場）、日本の産業ポジションの獲得（Small Start、急激な価格低下、ロックイン）、新世代ネットワークなどがある。

列挙されたホットトピックスとしては、インターネットの普及と社会インフラ、インターネットの新たな展開、ユーザのICTスキル向上、まだまだ続く半導体技術の向上、ITと異分野の融合、スマートグリッドなどがある。

ホットトピックスとホットトピックスから導かれた重要技術課題としては、次のようなものがある。

（1）クラウドコンピューティング

・Rapid scale-out technologies

次世代のICTプラットフォームを担うクラウドコンピューティング実現の核となる技術であり、現時点での集中的な国家支援が、日本のICT機器・サービス産業競争力の維持向上にとって重要である

・エンドユーザのためのソフトウェア開発環境

クラウドコンピューティングの成否は、その上にあるサービスの豊富さであり、それを支える開発コミュニティの規模にかかっている。わが国でも、ユーザ視点のサービス創造を促進するエンドユーザのためのソフトウェア環境・ソフトウェア工学が重要である。

（2）GreenX

ICT機器には、その急増している消費電力を削減することと、ICT技術を用いて環境破壊を食い止め改善することの両方が期待されている。こ

の期待に応えるため、以下の項目の研究開発が注目される。

・Photonic Network
・超大容量ルーティングエンジン
・ルーティングセキュリティ
・省エネ目的の仮想化技術
・省エネルーティングプロトコル・アーキテクチャ

（3）米国政府がアナログテレビ帯域に対してコグニティブ無線の適用を認可

ネットワークのワイヤレス化のニーズは根強く、特にラストホップのワイヤレス化への期待が大きい。デジタル無線技術による高速大容量な無線技術の実用化が進展しつつも抜本的な高速大容量化を達成するには周波数の有効活用が重要である。アナログテレビ帯域は周波数が低く無線LANなどに比べて遠くまで電波が届く上に、帯域が広い。このため、テレビのデジタル化に伴うアナログテレビ帯域の利活用に期待が集まっている。用途別に帯域分割して周波数を割り当てる従来方式は電波の利用効率が低いため、アナログテレビ帯域の利活用においてはコグニティブ無線の適用が期待されている。端末が利用されていない帯域をダイナミックに検出して帯域をまとめて利用するコグニティブ無線はこれまで研究段階にとどまっていたが、米国政府がアナログテレビ帯域に対してコグニティブ無線の適用を認可したために脚光を浴びるようになった。コグニティブ無線の発想を上位レイヤにまで拡張し、既設の無線インフラを融合して扱う技術も構想できる（ネットワーク分科会において「周波数仮想化技術」と命名）。周波数仮想化技術により、例えば３GネットワークとWiMaxネットワークその他のネットワーク、コグニティブ無線などを併用して、３G携帯サービスとして実現することができる。そのためには、可変フィルタ、可変レート変調復調、フレームコントロールロジック、周波数変換、ダイバーシティ、水平・垂直的ハンドオーバ、ネットワークモビリティなどの技術とMVNO（Mobile Virtual Network Operator）サービスが動員されるであろう。

（4）携帯端末市場にオープンプラットフォームが登場

Google社の組み込み用OS Androidを搭載する端末やApple社のiPhoneなど、そのソフトウェアのオープンな開発が可能な端末が登場してきた。これらは各企業の大きな事業戦略ツールであり、今後の大きな流れを形成すると予想される。このような端末の性能向上、用途拡大のため、下記技術の研究開発がなされる可能性がある。

・帯域スケーラブル通信プラットフォーム技術

携帯端末ユーザにシームレスな通信環境を提供する技術として重要。

・ユーザアイデンティティ活用技術・セキュリティ技術
　サービスにおけるセキュリティやプライバシ保護、利便性向上の鍵となる技術として重要。
・携帯電話用ＡＲ(Augmented Reality)技術
　携帯電話を進化させる形で我が国が先導できる可能性がある技術として重要。

（５）一次産業におけるＩＴ利用

人類の重要課題の一つに食料問題があり、その解決にITを活用する動きが顕在化している。下記の技術は従来のネットワークを超える新ネットワーク基盤を目指す技術であり、広い適用領域を有するが、一次産業へのIT利用の流れにおいて技術開発が促進される可能性がある。

・Real World Computing（Internet of things）
　さまざまな分野における効率化、産業分野を横断した全体最適化、省エネ化、新産業の創成が実現できる可能性がある技術として重要。上述のオープン端末をこの体系に組み込んで携帯端末の利便性向上を行う可能性もある。
・広域センサネットワーク技術
　さまざまな分野における効率化、産業分野を横断した全体最適化、省エネ化、新産業の創成が実現できる可能性がある技術として重要。

ネットワーク分野は、大きくわけると、OSI 7層モデルのネットワーク層以下とそれより上の層に分けられる。

ネットワーク層以下は、性能向上、信頼性向上、省エネといった課題への取り組みとなる。ネットワーク的に重要な課題としては、そのためのプロトコルや仮想化技術が主となる。ここは、エレクトロニクス分野、フォトニクス分野と大きく関係している。

具体的には、Photonic network、超大容量ルーティング、ルーティングセキュリティ、省エネ目的仮想化技術、コグニティブ無線、周波数仮想化技術などがある。

トランスポート層以上では、コンピューティング分野との境界を議論すること自体はあまり意味がなく、何が重要かはどういうシナリオを語るかに依存することになる。

具体的には、Rapid scale-out Technology、エンドユーザのためのソフトウェア開発環境、帯域スケーラブル通信プラットフォーム、ユーザアイデンティティ活用技術・セキュリティ技術、携帯電話用AR技術、Real World Computing、広域センサネットワーク技術といった技術がある。

ネットワーク分野の特徴としては、多くの人が利用して初めて効果を発揮するいわゆるネットワークの外部性と呼ばれる性質があり、ある程度の主導権をとり標準化（デファクト、デジュール）を進めなければならない。しかもグローバル展開のためには世界標準でなければならない。従って日本発の技術を世界標準とするための戦略的活動が重要となる。短中期的な産業競争のために、既存ネットワークの性能向上型研究開発に取り組みつつも、ネットワーキング対象の変化に伴うプラットフォームシフトを世界に先導して仕掛けるなどの挑戦的長期的な取り組みが求められる。

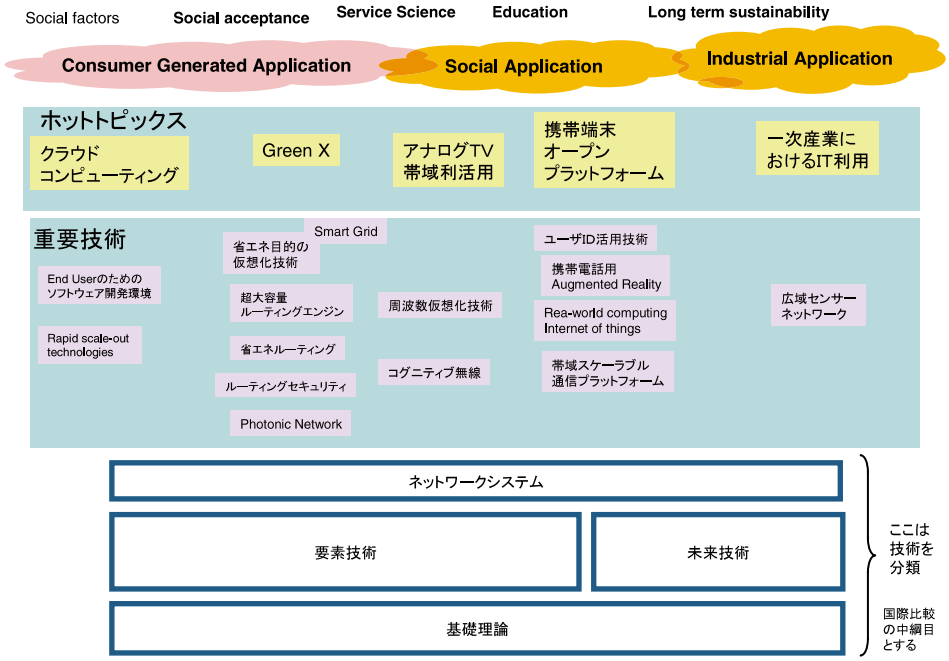


図2.5ネットワーク分野俯瞰図

ネットワーク分科会　成果報告スライド

ネットワーク分科会
まとめ

リーダー：市川晴久教授
（電気通信大学）

1

議論の方法

- ホットトピックを挙げ、それを発展させるために重要な技術を挙げてみる。
- そこであがってきた研究開発課題を「重要な研究開発課題」とする。
- ネットワーク研究は特定サービスへのフォーカスはすべきでない。基盤技術で、さまざまなサービスに使われるべきと考える。
- 以下、青字　は重要技術課題
- 赤字　はホットトピックス

2

ホットトピックス列挙の視点

- 現状から考える
  - 技術的課題
  - 社会的課題
- 20年後から考える
  - Driving Force
    - 技術
    - 社会、市場
- 日本の産業ポジションを獲得する
  - Small Start、急激な価格低下、ロックイン
- 新世代ネットワーク

3

ホットトピックス

- インターネットの普及と社会インフラ化
  - 子供や高齢者、BoP地域などへの普及
  - Delay and Disruption Tolerant Network (DTN)
    - 開発途上国向けのNW構築技術
  - 社会インフラとしての要求（堅牢、安心、安全）
  - ネットワークを用いた政治参加・選挙活動
- インターネットの新たな展開
  - クラウドコンピューティング
  - 新世代ネットワーク研究の立ち上げ
- ユーザのICTスキル向上
  - e-learningの普及
  - User Generated Software / Contents
- まだまだ続く半導体技術の成長
  - ICTハードコストの急激な低下
  - 2025年には8nm技術が実現
- 環境
  - 環境破壊の加速、Green Xへの注目
- ITと異分野の融合
  - 農業のIT化
    - 農水産物の生産を含むSCM（垂直農業）
      - オイシックス、ビル農業
  - ネットワークを用いることによる社会科学の発展
  - 医療健康向けICT技術
- その他
  - Smart Grid計画（米国電力網の更改）
  - Bio-inspired networking

4

ホットトピックスの分析フレームワーク

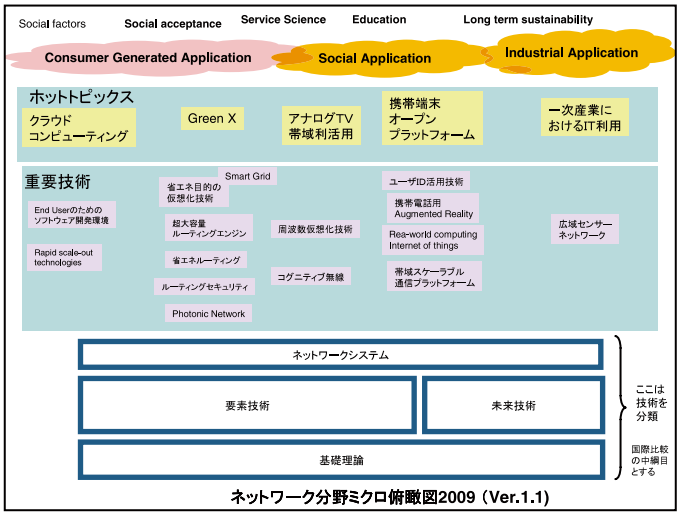
フレームワークに求める機能：　トピック間の関係、新たなトピックの探索、研究課題の抽出

ホットトピックス分析フレームワーク

次世代NWプラットフォームを目指す研究開発に関わる
ホットトッピクス

0. 注目する10x Power
1. NWプラットフォームの機能と構成に関する設計原則
   - ネットワーキングの対象
2. 基盤技術
3. プラットフォームの成長を促すアプリケーションとテストベッド
4. プラットフォームの研究開発と活用を担う研究者・技術者のコミュニティ
5. 上記を支える産学官連携

5



ネットワーク分野ミクロ俯瞰図2009（Ver.1.1）

6

ネットワーク分科会　成果報告スライド

クラウドコンピューティング

- Rapid scale-out technologies（高橋）
  - 超大規模な分散トランザクション
  - ヘテロターゲット仮想化技術
    - 家庭にどんどんデバイスが入ってくる。それらをつなげて別の用途に使いたい
- エンドユーザーのためのソフトウェア開発環境・ソフトウェア工学（高橋）
  - UGC（User Generated Contents）を支える
  - エンドユーザープログラミング
- マスプロされるデバイスに注目
- 加速の重要性
- ストレージ（買い足せる）
- ビルやコンテナくらい大きなコンピュータ

7

Rapid scale-out technologies

- 概要
  - 超分散トランザクション処理技術：重大事件や人気イベント発生時などに特定のサービスへの要求が突発的に増えた場合に、即時に複数の計算機に負荷を分散させることにより、サービスの高信頼化およびコンピュータ・NW資源の利用効率を飛躍的に向上させる
  - ヘテロターゲット仮想化技術：PCに加え、情報家電や携帯デバイスなどの多種多様な機器の持つ計算能力を仮想化し、他のサービスで利用可能にする
- 重要性、国家による支援の意義
  - 次世代のICTプラットフォームを担うクラウドコンピューティング実現の核となる技術であり、現時点での集中的な国家に支援が、日本のICT機器・サービス産業の競争力の維持向上のために重要である
  - 日本の社会インフラとしてのICTプラットフォームを経済的かつ安定的に構築・運営するために、国家保障や国民の福祉の維持向上の観点からも必要である
  - 日本が比較的競争優位にある非PC機器の活用により、クラウドコンピューティング市場での競争力を向上させる。標準化が重要であるために、国家の支援が必要

8

エンドユーザーのためのソフトウェア開発環境・ソフトウェア工学

- 概要
  - エンドユーザ自身が特別な知識やスキルなしで、身近な情報家電や携帯デバイスからの入出力を活用して、自分のニーズにあったサービスやコンテンツを、簡単かつオンデマンドで作成できる環境をクラウド上で実現するための技術
- 重要性、国家に支援の意義
  - Google App EngineやApple app store等のように、米国ではICTプラットフォーム上でベンチャーやエンドユーザ、プロシューマ等からなる大規模でグローバルな開発コミュニティによるサービス開発が活発であり、それがまた、クラウドコンピューティング技術の進化を促進するサイクルが出来上がっている。すなわち、クラウドコンピューティングの成否は、その上にあるサービスの豊富さであり、それを支える開発コミュニティの規模にかかっている。わが国でも、ユーザ視点のサービス創造を促進するエンドユーザのためのソフトウェア環境・ソフトウェア工学が重要である。

9

GreenX (of IT) （市川）

- ATM SVC
- Photonic network
- 超大容量ルーティングエンジン（市川）
- ルーティングセキュリティ（市川）
- 回線交換とパケット交換のつなぎをどうするのか？
- 省エネ目的の仮想化技術
  - 通信をする際だけパワーオン
  - 使っていないサーバーをダウン（仮想的にリソースをマイグレート）
- 省エネルーティングプロトコル・アーキテクチャ
  - 休止するルータ（ノーマリオフ）
  - ワイヤレス技術では進んでいる
- スマートグリッド （by IT）

10

GreenX技術

- 人口爆発、世界経済の発展などの要因により環境破壊が加速しており、ICT機器には、その急増している消費電力を削減することと、ICT技術を用いて環境破壊を食い止め改善することの両方が期待されている。
- インターネットトラフィックの指数関数的増大が続いており、ルータの消費電力が全消費電力に占める割合が社会的に受け入れ不可能なレベルになると予想されている。このため、Green X (of ICT)技術として、ルーティングに必要な消費電力削減技術への期待が高まっている。代表的なのは、フォトニックネットワーク技術である。高速動作する光スイッチ部品を用いて特定ルートに集中するパケット流に光パスをダイナミックに割り当て、パケット単位のルーティングで消費する電力を大幅に削減する方式の研究が進んでいる。この方式をネットワークのエッジまで進めるためには、エッジ近くにも配置可能な光パス設定用超大容量超低消費電力ルーティングエンジン技術やルーティングの安定性・セキュリティを確保する技術も並行して必要となる。
- また、現在のインターネットでは、ネットワークノードのほとんどは、常時、電源オンが前提となっているが、ネットワークノードの待機状態を大幅に許容する技術も重要になると考えられる。ノードやサーバの待機状態を上位レイヤに感じさせない省エネ仮想化技術、省エネルーティングプロトコルやアーキテクチャの研究が求められている。
- Green X (by ICT)技術のひとつに、スマートグリッド技術がある。この技術は、分散発電と電力使用のマッチング最適化や安定的な電力供給を実現する送電網構築・制御技術である。多様な発電技術、蓄電技術の性能向上を背景に期待が高まってきたが、特に、2009年2月にオバマ米国大統領がスマートグリッド分野に1兆円を超える投資を決定したため、期待が高まっている。

11

米国政府がアナログテレビ帯域に対してコグニティブ無線の適用を認可

- ホワイトスペース（50-698 kHz）
  - 周波数帯の開放（米国）
  - キャリアセンスが必要
  - 携帯電話4G用技術開発（？）
- スケーラブルな高速通信
- ソフトウェア無線（三次）
- 周波数仮想化技術（フィルタ・変調復調・フレーム・コントロールロジック・帯域可変）（三次）
  - 沢山端末があったときにどのように割り当てるか
- 半導体

12

ネットワーク分科会　成果報告スライド

コグニティブ無線

- 利用していない無線周波数帯域を検出し、自在に組み合わせて、無線通信に用いる技術の総称。通信用途に向いている周波数帯域(移動通信であれば数GHzまで)を最大活用できる。

13

周波数仮想化技術（造語）

- 場所や時間によって様々である利用可能な無線周波数帯域をまとめて利用するための可変フィルタ、可変レート変調復調、周波数変換、ダイバーシティ、ハンドオーバー、ネットワークモビリティなどに関する技術の総称。その場にある利用可能な無線通信方式をサービスが自由に選択できる（ドコモのFOMAサービスをWiMAXネットワークで提供するなど）

14

携帯端末市場にオープンプラットフォームが登場
（Google Android, iPhoneの登場）

- 帯域スケーラブル通信プラットフォーム（google gear）（市川）
- ユーザーアイデンティティ活用技術・セキュリティ技術（高橋）
  - 携帯電話は、使っている人がわかりやすい。セキュリティの課題がある。
- 携帯電話用AR (Augmented Reality)技術（市川）
  - 今の先進的な携帯ユーザを対象に、携帯電話以外の新しい用途を開発する。
- Real-world computing (Internet of things)（三次）
  - IDを利用した情報サービス（さまざまな機器にIDがふられる世界になる）
  - ID based computing
  - Pattern recognition
  - 今無いプラットフォームを作ってオープンに
  - Networked RF-ID (EPC Global, ISO, Ubiquitous ID)
  - ポータル
  - サービスディスカバリ

- 背景：MVNO, ID技術の普及（SUICA、交通カード、バーコード、RFID）, テストベッドが不在（googleは持っている）, planet lab（新しいインフラの作り方）、スターベッド

15

帯域スケーラブル通信プラットフォーム技術

- Google Androidの特徴的な機能Gearsは端末・ネットワーク間帯域の大きな変動をユーザに感じさせないための技術であり、その発展形として、帯域スケーラブル通信プラットフォーム技術の研究開発が注目される。
- 携帯電話は機能的にPCに近付く発展を続けてきたが、PCのオープンプラットフォーム化の進展に比べると携帯電話はクローズドな機能開発が進められてきた。このような状況に対し、Apple社のiPhoneは端末自体はオープンではないものの、アプリケーション開発についてはユーザによる開発を大規模に推進する仕組みを備えている。Google社のAndroidは組み込み用OSは、ユーザのアプリケーション開発のみならず、機器開発も行えるプラットフォームであり、さまざまな機器をネットワーク端末にする可能性を現実に近付けている。Andoroid端末はGoogleクラウドサービスのエッジに位置し、その普及は携帯電話サービスの主導権を携帯電話キャリアからGoogle社へシフトする可能性を秘めている。

16

携帯電話用Augmented Reality技術

- 上述のプラットフォームはPCを携帯電話に近づける動きであり、我が国において先進的に発展してきた高度な携帯電話機能を取り込むまでに至っていない。特にインタフェースは携帯電話に特化して発展したものが多く、ユーザによる開発も巻き込んでインタフェース進化を推進することにより、我が国が先導するオープンプラットフォームを作れる可能性がある。
- 五感駆使を可能にする携帯電話用AR(Augmented Reality)技術などが考えられる。また、新たなインタフェース開発へのユーザ参加をサポートするプラットフォームの技術開発、構築、運用も重要となる。

17

ユーザーアイデンティティ活用技術・セキュリティ技術（高橋）

- 概要
  - 従来クローズドなNWや端末で守られていたユーザアイデンティティ情報を、オープンな環境でセキュリティおよびプライバシーを保護した上で積極的に活用することにより、サービス利用時の認証・認可の強化・簡単化やパーソナライズ化を実現するための方式、アーキテクチャおよび実装技術。具体的なサービスとしては、ECやSNS、行動支援サービス、電子政府、医療健康、各種身分証明書などがある。
- 重要性、国家の支援の意義
  - ユーザアイデンティティ活用技術は、ICTサービスにおけるセキュリティやプライバシー保護、利便性向上の鍵となる技術
  - 電子政府や医療健康や身分証明書などへの応用が期待され、国民の福祉向上や国家安全保障上、重要である
  - モバイルペイメントや携帯SNS・行動支援サービス等の世界的に見ても先進的なサービス実現技術（網、サーバおよび端末）を、オープン化によりグローバルに展開することが期待される。

18

ネットワーク分科会　成果報告スライド

Real World Computing
Internet of things（モノのインターネット）

- モノや場所に関する情報をやりとりし、活用するための固有識別子(ID)を含むネットワークアーキテクチャおよび応用研究の総称。
- さまざま分野における効率化、あるいは産業分野を横断した全体最適化や、省エネルギー化、新産業の創成が実現できる。

19

一次産業におけるIT利用

- 広域センサーネットワーク技術（三次）
- 農業マシーンとしてのビル
  - マーケットの需要にあわせて収率を変更する（SCMとの連携）
  - 自然淘汰が起こらなくなることによる危険性に配慮が必要
  - 長期的な影響を評価しながらしていく必要がある。

20

広域センサーネットワーク

- 独立して動作している多くのセンサーネットワークが、広域ネットワークを通じて必要に応じて協調できるアーキテクチャおよび応用研究の総称。Internet of Thingsを支える重要な技術である。
- さまざま分野における効率化、あるいは産業分野を横断した全体最適化や、省エネルギー化、新産業の創成が実現できる。

21

医療応用

- 応用としては重要。
- 少子高齢化で医療費は上昇していく。これを抑制していくにはどうしたらいいか？
- 遠隔医療は主要な方策としては取り上げられていない。
- 予防医学には？
- でも技術的な発展は今のところ見えない。
- ブレインコンピューティング？

22

ネットワーク分科会　重要研究開発課題ロングリスト

ID	重要研究開発課題	背景（歴史的経緯）と今後の展望
	クラウドコンピューティング	
N-1	Rapid scale-out technologies	超分散トランザクション処理技術：重大事件や人気イベント発生時などに特定のサービスへの要求が突発的に増えた場合に、即時に複数の計算機に負荷を分散させることにより、サービスの高信頼化およびコンピュータ・NW資源の利用効率を飛躍的に向上させる。 ヘテロターゲット仮想化技術：PCに加え、情報家電や携帯デバイスなどの多種多様な機器の持つ計算能力を仮想化し、他のサービスで利用可能にする。 （重要性、国家支援の意義） ・次世代のICTプラットフォームを担うクラウドコンピューティング実現の核となる技術であり、現時点での集中的な国家に支援が、日本のICT機器・サービス産業の競争力の維持向上のために重要である。 ・日本の社会インフラとしてのICTプラットフォームを経済的かつ安定的に構築・運営するために、国家保障や国民の福祉の維持向上の観点からも必要である。 ・日本が比較的競争優位にある非PC機器の活用により、クラウドコンピューティング市場での競争力を向上させる。標準化が重要であるために、国家の支援が必要。
N-2	エンドユーザーのためのソフトウェア開発環境・ソフトウェア工学	エンドユーザ自身が特別な知識やスキルなしで、身近な情報家電や携帯デバイスからの入出力を活用して、自分のニーズにあったサービスやコンテンツを、簡単かつオンデマンドで作成できる環境をクラウド上で実現するための技術。 （重要性、国家支援の意義） ・Google App EngineやApple app store等のように、米国ではICTプラットフォーム上でベンチャーやエンドユーザ、プロシューマ等からなる大規模でグローバルな開発コミュニティによるサービス開発が活発であり、それがまた、クラウドコンピューティング技術の進化を促進するサイクルが出来上がっている。すなわち、クラウドコンピューティングの成否は、その上にあるサービスの豊富さであり、それを支える開発コミュニティの規模にかかっている。わが国でも、ユーザ視点のサービス創造を促進するエンドユーザのためのソフトウェア環境・ソフトウェア工学が重要である。
	GreenX (of IT)	
N-3	GreenX技術	人口爆発、世界経済の発展などの要因により環境破壊が加速しており、ICT機器には、その急増している消費電力を削減することと、ICT技術を用いて環境破壊を食い止め改善することの両方が期待されている。 インターネットトラフィックの指数関数的増大が続いており、ルータの消費電力が全消費電力に占める割合が社会的に受け入れ不可能なレベルになると予想されている。このため、Green X (of ICT)技術として、ルーティングに必要な消費電力削減技術への期待が高まっている。代表的なのは、フォトニックネットワーク技術である。高速動作する光スイッチ部品を用いて特定ルートに集中するパケット流に光パスをダイナミックに割り当て、パケット単位のルーティングで消費する電力を大幅に削減する方式の研究が進んでいる。この方式をネットワークのエッジまで進めるためには、エッジ近くにも配置可能な光パス設定用超大容量超低消費電力ルーティングエンジン技術やルーティングの安定性・セキュリティを確保する技術も並行して必要となる。 また、現在のインターネットでは、ネットワークノードのほとんどは、常時、電源オンが前提となっているが、ネットワークノードの待機状態を大幅に許容する技術も重要になると考えられる。ノードやサーバの待機状態を上位レイヤに感じさせない省エネ仮想化技術、省エネルーティングプロトコルやアーキテクチャの研究が求められている。 Green X (by ICT)技術のひとつに、スマートグリッド技術がある。この技術は、分散発電と電力使用のマッチング最適化や安定的な電力供給を実現する送電網構築・制御技術である。多様な発電技術、蓄電技術の性能向上を背景に期待が高まってきたが、特に、2009年2月にオバマ米国大統領がスマートグリッド分野に１兆円を超える投資を決定したため、期待が高まっている。
	米国政府がアナログテレビ帯域に対してコグニティブ無線の適用を認可	
N-4	コグニティブ無線	利用していない無線周波数帯域を検出し、自在に組み合わせて、無線通信に用いる技術の総称。通信用途に向いている周波数帯域(移動通信であれば数GHzまで)を最大活用できる。
N-5	周波数仮想化技術（造語）	場所や時間によって様々である利用可能な無線周波数帯域をまとめて利用するための可変フィルタ、可変レート変調復調、周波数変換、ダイバーシティ、ハンドオーバー、ネットワークモビリティなどに関する技術の総称。その場にある利用可能な無線通信方式をサービスが自由に選択できる（ドコモのFOMAサービスをWiMAXネットワークで提供するなど）。

携帯端末市場にオープンプラットフォームが登場（Google Android, iPhoneの登場）		
N-6	帯域スケーラブル通信プラットフォーム技術	Google Androidの特徴的な機能Gearsは端末・ネットワーク間帯域の大きな変動をユーザに感じさせないための技術であり、その発展形として、帯域スケーラブル通信プラットフォーム技術の研究開発が注目される。 携帯電話は機能的にPCに近付く発展を続けてきたが、PCのオープンプラットフォーム化の進展に比べると携帯電話はクローズドな機能開発が進められてきた。このような状況に対し、Apple社のiPhoneは端末自体はオープンではないものの、アプリケーション開発についてはユーザによる開発を大規模に推進する仕組みを備えている。Google社の組み込み用OS Androidは、ユーザのアプリケーション開発のみならず、機器開発も行えるプラットフォームであり、さまざまな機器をネットワーク端末にする可能性を現実に近付けている。Andoroid端末はGoogleクラウドサービスのエッジに位置し、その普及は携帯電話サービスの主導権を携帯電話キャリアからGoogle社へシフトする可能性を秘めている。
N-7	ユーザアイデンティティ活用技術・セキュリティ技術	従来クローズドなNWや端末で守られていたユーザアイデンティティ情報を、オープンな環境でセキュリティおよびプライバシーを保護した上で積極的に活用することにより、サービス利用時の認証・認可の強化・簡単化やパーソナライズ化を実現するための方式、アーキテクチャおよび実装技術。具体的なサービスとしては、ECやSNS、行動支援サービス、電子政府、医療健康、各種身分証明書などがある。 （重要性、国家の支援の意義） ・ユーザアイデンティティ活用技術は、ICTサービスにおけるセキュリティやプライバシー保護、利便性向上の鍵となる技術。 ・電子政府や医療健康や身分証明書などへの応用が期待され、国民の福祉向上や国家安全保障上、重要である。 ・モバイルペイメントや携帯SNS・行動支援サービス等の世界的に見ても先進的なサービス実現技術（網、サーバおよび端末）を、オープン化によりグローバルに展開することが期待される。
N-8	携帯電話用Augmented Reality技術	上述のプラットフォームはPCを携帯電話に近づける動きであり、我が国において先進的に発展してきた高度な携帯電話機能を取り込むまでに至っていない。特にインタフェースは携帯電話に特化して発展したものが多く、ユーザによる開発も巻き込んでインタフェース進化を推進することにより、我が国が先導するオープンプラットフォームを作れる可能性がある。 五感駆使を可能にする携帯電話用AR(Augmented Reality)技術などが考えられる。また、新たなインタフェース開発へのユーザ参加をサポートするプラットフォームの技術開発、構築、運用も重要となる。
一次産業におけるIT利用		
N-9	Real World Computing Internet of things （モノのインターネット）	モノや場所に関する情報をやりとりし、活用するための固有識別子(ID)を含むネットワークアーキテクチャおよび応用研究の総称。 さまざま分野における効率化、あるいは産業分野を横断した全体最適化や、省エネルギー化、新産業の創成が実現できる。
N-10	広域センサーネットワーク	独立して動作している多くのセンサーネットワークが、広域ネットワークを通じて必要に応じて協調できるアーキテクチャおよび応用研究の総称。Internet of Thingsを支える重要な技術である。 さまざま分野における効率化、あるいは産業分野を横断した全体最適化や、省エネルギー化、新産業の創成が実現できる。

2.6 ロボティクス分科会

リーダー：小菅一弘（東北大学 教授）

ロボットは人工物である。人工物は、何らかの意味で人類に役立たなければその存在理由を失う。ロボティクスは、本質的には実世界の問題を扱う学問であり、実世界において、物理的サービスを実現するためのロボットの研究開発には、

- 取り扱う対象が多種多様である。
- 適切な粒度で問題を切り出すことが必要であるが、問題を明確に切り出すことが難しく、切り出し方も多様である（フレーム問題）。
- 時間と空間を同時に扱う必要がある。
- 人間が何気なく行っていることの原理がわからないし、人間のような適応性も実現できない。
- アーキテクトがいない。

等の難しさがある。すなわち、現実にサービスが提供される空間は、時間的にも空間的にも境界条件を厳密に定義することができない無限定な環境であり、このような環境で必要とされるサービスを実現できるロボットを設計しようとしても、解が得られないことが多い。このように、ロボティクス分野の中核的な課題は、「実世界における物理的サービスを実現するための不良設定問題（ill-defined problem）への挑戦」である。また、解決できる境界条件・粒度で問題を切り出すことも困難な場合が多く、問題の扱い方も一意に定まらず、分析的視点よりも、アーキテクトとしての視点が重要である。また、ロボティクスの研究は、実世界応用という目標に向かって、要素技術を合理的に集積していくインテグレーション技術であり、応用を意識しない研究はありえない。

このような応用志向の研究の重要性から、ロボティクス分野の重要研究開発課題は、下記２通りの方法により特定した。

①ロボットの貢献が期待される重要な応用分野（application-oriented robotics）

②複数の応用分野に適用可能でかつロボティクス技術の発展に重要な役割を果たすと考えられる基盤技術分野（fundamental robotics）

（１）ロボットの貢献が期待される重要な応用分野

応用分野は、CRDSが掲げる社会ニーズ「地球規模問題の解決」「生活の質の向上」「産業競争力の強化」を出発点とし、それぞれのニーズに応えるサービスに対するロボットの研究開発分野をユーザ視点で議論した。

地球規模問題の解決に関するロボティクスの応用分野としては、下記が抽出された。

- 環境モニタリング
- 資源探査・開発（人がいけないところ）
- 宇宙開発
- 深海・大深度地下
- テロ
- 感染症

生活の質の向上に関する応用分野としては、下記が抽出された。

- 医療
- セラピー
- 福祉
  - 介護
  - 排泄
  - 入浴
  - 食事
  - 意欲を維持させる
- 健康長寿
  - トレーニング
  - 認知障害予防
  - 健康モニタ
- 心身機能補完
  - 補装具（義手・義足）
  - 補聴器
  - 心身障害の緩和
  - 社会復帰支援・リハビリ
- 学習
- 育児
- 家事
  - 片付け
  - 炊事
  - 洗濯
  - 掃除
- 警備
- 移動
- ユニバーサルモビリティ
- ショッピング
- 趣味・娯楽
- スポーツ
  - コーチング
- 快適生活
- 見守り
- コミュニケーション

産業競争力の強化に関する応用分野としては、下記が抽出された。

- 政府サービス
  - 電気ガス水道業
  - サービス業
  - 公務
    - 消防（災害対策）
    - 警察
    - 防衛・レスキュー
- 農林水産業
- 鉱業
- 製造業
  - 化学プラント
- 建設業
  - 建築・土木
  - 解体
- 廃棄物処理
- 電気ガス水道業
  - 電力・水道・ガス
  - 原子力
- 卸売・小売業
- 金融業
- 不動産業

・運輸・通信業
  - 交通・輸送
  - 郵便
  - 通信
  - 航空・宇宙
・サービス業
  - エンターテインメント
  - メンテナンス
  - 警備
・医療福祉
  - 治療
  - 予防（健康・長寿）
・教育
・研究開発
  - ライフサイエンス
  - 医学
  - 原子物理
  - ナノテク
  - 環境
  - ニューロエンジニアリング
  - バイオエンジニアリング

（2）ロボティクス技術の発展に重要な役割を果たすと考えられる基盤技術分野

ロボティクス分野の基盤技術分野については、ロボットが実世界で動くという、時間的・空間的制約を伴う点を特徴とすることを念頭に、まず、今後基盤要素技術として研究を推進すべき以下の分野が抽出された。

・System Integration Science
・Human Robot Interaction
・Real-world Real-time Intelligence
・Sensing and Machine Cognition
・Spatio-temporal System Design
・Manipulation Science
・Mobility Science
・Actuation Science
・Physics-based Control
・Robot Kinematics and Dynamics

さらに、複数の応用分野に適用可能でかつロボティクス技術の発展に重要な役割を果たすと考えられる新興技術分野として以下の分野が抽出された。

・Cyborg (Cybanetic organism)
・Stochasticity in Robotics
・Performance evaluation and Benchmarking
・Mobiligence
・Ambient intelligence

・自律分散ロボット
・テレオペレーション
・Robotic Emotion（Artificial emotion）
・Software framework
・Social Concerns
・機能安全
・ナノマイクロロボティクス
・ヒューマンモデリング
・ウェアラブル技術
・サービスコンテンツデザイン

（3）重要研究開発分野の抽出

抽出した応用分野（application-oriented robotics）の中で、ロボットの研究者の視点から、特に重要と考えられるものを、10分野選定することにした。人間が行うには危険な作業、コストが高くつく作業の代替、人間の肉体的負担の軽減や、サービスを受ける者（被介護者）の精神的負担の軽減、人間の自律的機能の維持、新たな計測手段や操作手段の提供、正確性の担保といったフィールドでの応用が期待されている。

・環境モニタリング
・政府サービス
・農林水産業
・サービス業
・医療
・研究開発
・日常生活支援・介護
・健康長寿
・見守り
・コミュニケーション

さらに、今後要素技術として研究を推進すべき分野（10分野）と、サービス促進技術として注目すべき新興技術分野（15分野）の合計25分野から、10分野を選定した。不良設定問題に対する確率的なアプローチや、環境情報の構造化による環境側の知能化といった新興技術分野と、ロボットのダイナミクスを扱う基盤技術分野、要素を統合しながら時空間を設計していくための基盤技術分野が挙げられた。

・Cyborg（Cybernetic organisms）
・Stochasticity in Robotics

- Ambient Intelligence
- Robotics Systems Integration Science
- Human Robot Interaction
- Real-world Real-time Intelligence
- Spatio-temporal System Design
- Sensing and Machine Cognition
- Manipulation Science
- Mobility Science

このように、ロボティクスの研究開発は、要求されている機能（その多くは人と同等の機能）の実現に向けて、技術を積み上げていくシステムインテグレーションの性質を持つ。基本的には、応用分野ごとに必要な技術が適用・集積され、不足する技術が新たに創出される。それぞれの分野で要求される機能を実現するための方法は一通りではなく、様々なアプローチがありえる。さらに、集積され、創出される技術も、最初はその特定用途に活用できる細い技術のブロックにすぎないので、これを学術的な体系の中に位置づけ、太い技術要素に育てていくような研究開発（基盤技術の開発）も同時に必要である。即ち、応用分野におけるニーズの追求が技術基盤を充実させ、技術基盤が応用分野のニーズに応えることになるのである。

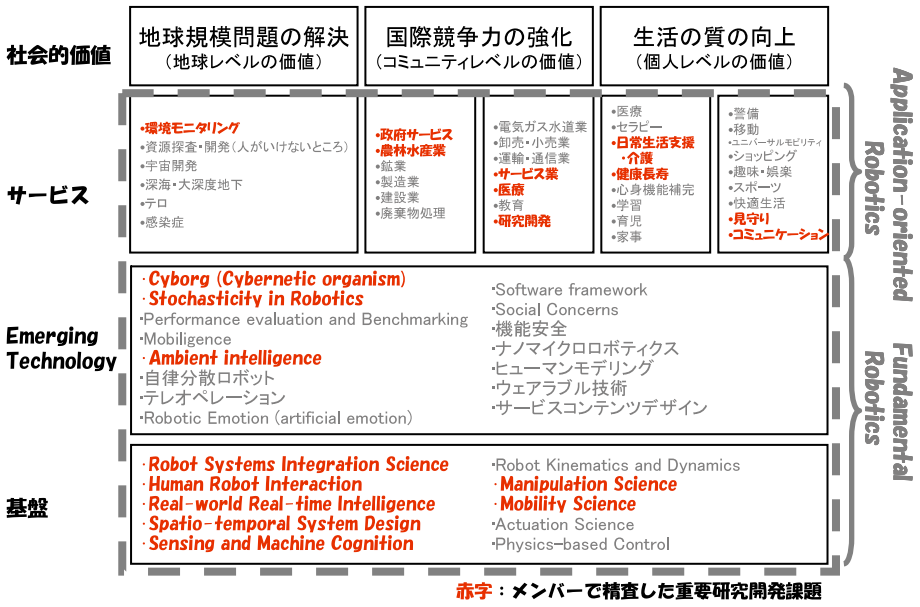


図2.6ロボティクス分科会俯瞰図

ロボティクス分科会　成果報告スライド

ロボティクス分科会
まとめ

リーダー：小菅一弘教授
（東北大学）

1

ロボティクス分科会メンバー
（2009年度　俯瞰プロジェクトⅣ）

- 小菅 一弘　東北大学大学院工学研究科　教授
- 淺間 一　東京大学人工物工学研究センター　教授
- 石黒 浩　大阪大学大学院工学研究科　教授
- 鈴森 康一　岡山大学大学院自然科学研究科　教授
- 中内 靖　筑波大学大学院 システム情報工学研究科　准教授
- 平井 慎一　立命館大学理工学部　教授
- 松日楽 信人　株式会社東芝研究開発センター　技監
- 水川 真　芝浦工業大学工学部電気工学科　教授
- 油田 信一　筑波大学大学院システム情報工学研究科　教授

- 石正 茂　JST研究開発戦略センター　フェロー
- 嶋田 一義　JST研究開発戦略センター　フェロー

2

議論の経緯

- **第1回分科会（5/9 土・13:30-18:00）**
  - 検討方針についての意識合わせと、重要研究開発課題の構成について議論
- **臨時会合（5/25 月・9:00-13:00）**
  - 社会ニーズの構造化（個人レベルの価値、コミュニティレベルの価値、地球レベルの価値）と、それぞれの社会ニーズに対応したサービス※のリストアップ
    - ※ロボットが貢献しうるサービス
    - 産業競争力→浅間先生のGDP一覧を基礎に
    - 生活の質・地球規模問題→フリーディスカッション
  - ホットトピックスのリストアップ（ICRA2009のワークショップタイトルを基礎に）
  - 基盤要素の説明文をメンバーで分担執筆
- **第2回分科会（5/29 金・13:00-18:00）**
  - サービスレイヤ・サービス促進技術についての議論（継続）
- **第3回分科会（6/18 木・18:00-21:00）**
  - 基盤レイヤとサービスレイヤの重要研究開発課題（候補）のリストアップ（投票へ）
  - メンバーは、「**Fundamental roboticsから10課題**」「**Application-oriented roboticsから10課題**」に投票。リーダーがバランスを見て確定させる。
- **最終打合せ（7/7 火・14:00-17:30）**
  - 投票結果のレビューと重要研究開発課題の確定
  - 各重要研究開発課題について、リーダーが指名した分科会メンバーに「**その課題の内容、背景（歴史的経緯）、今後の展望**」を**A4半ページ程度（約600字）**で説明文執筆依頼。

3

結論

- ロボティクス分野の中核的な課題は「**実世界における物理的サービスを実現するための不良設定問題（ill-defined problem）への挑戦**」である。
  - 実世界の問題はなぜ難しいか
    - 問題を明確に切り出せない
    - 切り出し方が多様（適切な粒度で切り出す必要性）
    - 時間と空間を同時に扱わなければならない
    - 取り扱う対象にばらつき、多様性
      - 対象の整理の仕方によっては切り出せる（フレーム問題）
    - アーキテクトがいない
    - 人間がうまくやっていることの原理がわからない
    - 人間のような適応性が実現できない
- 重要研究開発課題は、「Fundamental robotics」から10課題、「Application-oriented robotics」から10課題選定した。
  - **両者の関係性については、今後検討の余地が残されている。**
    →スライド6

4

ロボティクス分野の重要研究開発課題

社会的価値	地球規模問題の解決（地球レベルの価値）	国際競争力の強化（コミュニティレベルの価値）		生活の質の向上（個人レベルの価値）
サービス	・環境モニタリング ・資源探査・開発（人がいけないところ） ・宇宙開発 ・深海・大深度地下 ・テロ ・感染症	・政府サービス ・農林水産業 ・鉱業 ・製造業 ・建設業 ・廃棄物処理	・電気ガス水道業 ・卸売・小売業 ・運輸・通信業 ・サービス業 ・医療 ・教育 ・研究開発	・医療 ・セラピー ・日常生活支援 ・介護 ・健康長寿 ・心身機能補完 ・学習 ・育児 ・家事	・警備 ・移動 ・ユニバーサルモビリティ ・ショッピング ・趣味・娯楽 ・スポーツ ・快適生活 ・見守り ・コミュニケーション
Emerging Technology	・Cyborg (Cybernetic organism) ・Stochasticity in Robotics ・Performance evaluation and Benchmarking ・Mobiligence ・Ambient Intelligence ・自律分散ロボット ・テレオペレーション ・Robotic Emotion (artificial emotion)	・Software framework ・Social Concerns ・機能安全 ・ナノマイクロロボティクス ・ヒューマンモデリング ・ウェアラブル技術 ・サービスコンテンツデザイン			
基盤	・Robot Systems Integration Science ・Human Robot Interaction ・Real-world Real-time Intelligence ・Spatio-temporal System Design ・Sensing and Machine Cognition	・Robot Kinematics and Dynamics ・Manipulation Science ・Mobility Science ・Actuation Science ・Physics-based Control			

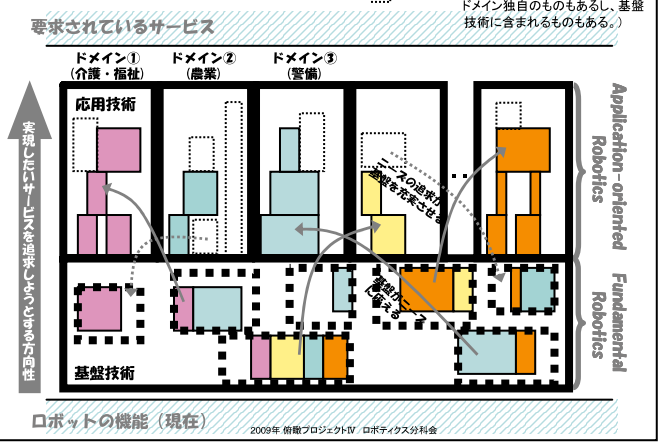
Application-oriented Robotics / Fundamental Robotics

赤字：メンバーで精査した重要研究開発課題

5

ロボティクス研究概観
（サービスを実現するための機能の追及と基盤の充実）

要素技術（太いものも細いものもある。）
技術課題（作りたいもの：ニーズから生まれる。ドメイン独自のものもあるし、基盤技術に含まれるものもある。）



6

3

「骨太のシナリオ」検討結果

各分野の俯瞰図および注目すべき動向は、電子情報通信分野の現状をできるだけ正確に認識するための重要だが、それだけでは優先投資分野を導くことはできない。優先投資分野を導くために、これらにもとづいて「骨太のシナリオ」を作成する。
「骨太のシナリオ」とは、研究開発投資により、社会ニーズを充足し社会ビジョンを実現させるとともに、科学技術の有効な発展に資することになるというストーリーである。全ての分科会で抽出した重要研究開発課題やホットトピックスを社会の期待と結びつけるための核となるものと位置づけられる。

3.1 Aチーム

リーダー：石塚満（東京大学 教授）

(1) 議論の背景と方向

議論の背景として、次のような認識がある。

- 情報産業は国内に大きなマーケットが存在することから規模は大きいものの、1990 年代以降、グローバルレベルでのイノベーション・新技術創出力が大きく低下している。ハードウェアが関係する機器や部品レベルでは依然として健闘していると言えるものの、ITサービスの共通的プラットフォームやグローバルに支配的なソフトウェア等の面で、見るべきものを生み出せない状況と言える。政府系の研究開発投資も行われてきているが、グローバルレベルでインパクトのある新技術創出の点で成功していない。直近のニーズやR&Dの下流のトレンドに振り回され過ぎている面が強く、大きな流れを俯瞰した上で研究開発のシナリオ構想力が不足している。
- IT 分野で何もかも日本がトップに立つことはできないので、グローバルな動向を把握した上で、日本が先導すべきであり、かつ勝算のある技術領域を定め、骨太の目標を立て、グローバルスタンダードになる技術を育成する必要がある。
- そこでグローバルな流れを俯瞰した上で、では何を日本のIT 開発の骨太の技術戦略にすべきかが課題になる。

議論の主テーマとしては「日本がとるべき骨太の情報技術戦略は何か」に設定した。議論の種として各分科会で出された注目すべき視点を参考にし、議論を展開した。

(2) 骨太の目標

社会や個人の新しい活動を可能にする今後の情報技術の要件を広く捉えると、以下のような項目が挙がる。

①Secure、Dependable、Sustainable

②Intelligent、Creative、Productive

③Ubiquitous、Pervasive、Comprehensive

グローバルに競争力ある情報技術を生み出すためには、日本が先導すべき、かつ勝算のある技術領域を定め、骨太の目標を立てて、立ち向かう必要がある。日本の独自性を有し、かつ世界に通用する情報技術を生むためには、世界に目を向け、先見性を持って世界に評価される技術を目指すの

が第一のアプローチであるが、欧米に比べて日本はこのアプローチは得意ではなく、またうまく機能しないことが多かった。第二のアプローチは、まず身近な日本で真に必要とされる情報技術の革新を行うことにより、そのユニバーサルに適用する価値を世界に広めるというものである。情報分野ではないが、トヨタはガソリンが高価で道路事情も欧米とは異なる日本に於いて必要とされるハイブリッドカー技術を開発し、これが世界にも認められるようになったというのが好例である。ここでも、世界に評価される日本の独自性を持つ情報技術を生み出すには、まず日本に注目し課題に真剣に立ち向かうことで革新的技術開発を行う第二のアプローチが有効であろうと考えた。

以上のような考えから、骨太の目標として『国家新情報基盤(JNII)構築のための基幹技術開発』を設定し、議論を進めた。以下に若干説明する。

第３期科学技術基本計画分野別推進戦略において、情報通信分野に求められる役割として４つの貢献軸（社会、産業、科学、安全・安心）が設定されている。(現在総合科学技術会議の情報通信PT において、その中間フォローアップがなされているところである。)「安全・安心」軸は、当初は情報セキュリティ問題を意識して挙げられたものと考えられるが、その後の状況変化により、我が国の基幹となる情報が外国に握られかねない危惧も高まっている。単なるハッキングやボット対策だけでは済まなくなっている。この観点から考えると、国が投資する「骨太のシナリオ」として「日本で管理・発展を計れる安全・安心な国家新情報基盤の構築」を大目標に掲げ、それに向けて必要な研究開発を行うというシナリオを考える必要がある。

国家情報基盤というと、国が整備すべきものや電子政府的なものに限定されがちであるが、ここでは新産業・ビジネスのインキュベータやインフラとなるもの、人々の生活基盤となるもの、グローバルな情報基盤と適切に連携するもの等の視点も大切であるとする。

新情報基盤と"新"を付したのは、情報基盤というと高性能コンピュータ/ネットワーク、データベース、最近ではWeb といったレベルのインフラを普通はイメージするが、今後は知の交流、管理、創造といったレベルを支える情報インフラも含むことになるからである。

この国家新情報基盤の領域別基幹技術を挙げると、以下のようになる。

・生活基盤基幹技術

　生活情報総合サービスロボット

・医療・福祉基盤基幹技術

　遠隔医療、日本版EHR（Electronic Health Record)、医療機関SaaS、電子カルテシステム、オンラインレセプト、救急医療連絡支援シス

テム
・産業基盤基幹技術
　中小企業事業基盤クラウド、知財管理活用クラウド、総合産業技術オントロジー構築
・金融流通基盤基幹技術
・農業基盤基幹技術
・交通運輸基盤基幹技術
　グリーンITS
・環境保護基盤基幹技術
　グリーンIT
・耐災害基盤基幹技術
　頑健なIT
・行政サービス基盤基幹技術
　国民電子私書箱、ワンストップ行政サービスクラウド
・教育基盤基幹技術
　教育（教育コンテンツ・情報教育・校務情報）クラウド
・学術研究基盤基幹技術
　総合学術オントロジー構築
・言語基盤基幹技術
　日本語の情報力強化（Informative Japanese、Smarter Japanese）、翻訳支援環境、自動通訳電話

基盤共通システム技術について、広い眼で見ると以下の技術を挙げることができる。

・ディペンダブル・コンピューティング技術
・ユビキタス・コンピューティング技術
・セマンティック・コンピューティング技術
・リアルワールド・コンピューティング技術
・日本型クラウド・コンピューティング技術

具体的な戦略的研究開発技術については、各分科会で重要として挙げた項目を参考にして、議論を進めた。

(3) 関連が深い動き

関連が深い動きとして、我が国の「i-Japan戦略2015」、米国NSFの「Cyber Physical Systems (CPS)」、IBMの「Smarter Planet」について触れる。（コンピューティング分科会報告にもあり。）

IT戦略本部が2009年7月にまとめた「i-Japan戦略2015」の概要を記すと、以下のようになる。まずITニーズ領域の観点から、三大重点分野を以下の

ように設定している。

①電子政府・電子自治体分野：行政窓口改革、行政オフィス改革、行政見える化改革、国民電子私書箱、ワンストップ行政サービス、政府CIO、法制度整備

②医療・健康分野：遠隔医療、日本版HER（Electronic Health Record）、医療機関SaaS、電子カルテシステム、医療情報システム標準化、オンラインレセプト、救急医療連絡支援システム

③教育・人財分野：教員のデジタル活用指導力向上、教育用コンピュータ•デジタル機器、教育コンテンツ、情報教育、校務情報化、高度デジタル人材育成、大学の情報教育•デジタル基盤•遠隔教育

産業・地域の活性化及び新産業の育成の観点では、次の項目が重要としている。

中小企業の事業基盤整備、産業の競争力強化、情報システム産業の改革促進、テレワーク就労人口の拡大、グリーンIT・ITSの推進、クリエイティブ新市場創出、地域の活性化、デジタルグローバルビジョンの策定

デジタル基盤の整備に関しては、次の項目が重要としている。

ブロードバンド基盤整備、使いやすい機器の普及、情報セキュリティ対策の確立、デジタル情報流通・活用基盤整備、デジタル基盤技術開発促進

このように、「i-Japan戦略2015」はITニーズや産業政策を中心に考慮したものになっている。しかし、グローバルな観点を考慮した技術面での戦略が欠けており、今後の課題としている。

米国の学術領域のプロジェクトとしては、NSFが2006年からかなり広範囲に実施している「Cyber-Physical Systems (CPS)」がある。サイバー空間と実空間の融合を狙いとし、実世界のデータを大規模に得るセンサシステムに結び付いた自律的な社会システムの幾つかの研究開発を推進している。具体例としては、多数のノードセンサによる環境計測と中央ノードによる環境制御システム、自律的交流システム、自動航法システム、医療監視システム、分散ロボティックスなどが含まれている。米国におけるより大きな動きとしては、オバマ政権が推進している「グリーン•ニューディール」政策があり、その下での「スマートグリッド」がある。これは次世代電力配電網に関するものであり、不安定で分散的なグリーンエネルギー（太陽光発電）の電力網への取り込み、今後急伸が期待される電気自動車のバッテリを電力網中の蓄電要素とするなどを含み、センサデータに基づく大規

模社会システムを目指している。ここから新しいネットワーク技術、大規模実時間データ処理技術、予測・制御技術などが生まれることが予見されるようになってきている。

米国政府とは別にIBMは、今後の情報技術のビジョンを「Smarter Planet」として2009年2月に発表している。これは‘e-business’以来のビジョン設定であり、地球をより賢く、よりスマートにをキャッチフレーズに、デジタル・インフラと物理的インフラが一体化した世界を目指す。即ち、サイバー空間と実空間の融合によるスマートな社会、地球を目指すとしている。基本コンセプトは3つの‘i’であり、Instrumented（機能化）、Interconnected（相互接続）、Intelligent（インテリジェント化）の‘i’としている。このビジョンが目指すスマートな具体的ソリューションとして、以下が挙げられている。

・持続可能な社会の実現：エネルギー効率化テクノロジー、サステイナブルなビジネス、先進的な社会基盤
　・スマートなビルディング
　・グローバル基準で考えるスマートなモノ作り
　・スマートな金融サービス
・スマートな都市：行政サービス、教育、医療、公共安全、交通、エネルギーというユーティリティーの6つの都市機能のスマート化
・スマートなITインフラ：Managed Cloud Computing Service
　・スマートな水資源管理
・スマートな意思決定：New Intelligence
・スマートな医療：スマートな医療システムと世界中の善意をスマートに集める仕組み
・スマートな交通と物流：特に、スマートな食品流通システム
　・スマートな電力網

これらはビジョンであり、具体的な形としてまだ現れている訳ではないが、今後の情報技術の重要で戦略的な方向性を示していると考えられる。

日本の経済産業省による2007年開始の「情報大航海」プロジェクトは次世代情報検索・解析技術を中心目標にしているが、この中で広範囲からのデータ収集に基づく新情報サービス実現に関係する研究開発項目としては、以下のシステムが具体的に取り挙げられている。

・携帯電話、ICカード等からのパーソナル情報収集に基づく情報サービス
・個人の健康管理情報（血圧、心拍数等）収集に基づくパーソナルな健康サービス

コンピューティング分野あるいはIT分野を俯瞰すると、ネットワークインフラの普及があり、その上でWebのような情報流通、共有の第一期ともいうべき枠組みが定着し、次期情報インフラに向けての動きが国際的に模索され始めた段階と言える。コンピューティング分野は、超高速・並列コンピューティングや分散コンピューティングといった性能・信頼性向上を目指すいわゆるFigure of Meritを追求する課題と、そういった性能向上あるいは信頼性向上したインフラを利用し、新しい生活や社会の機能を実現する課題とに大きく分けることができる。コンピューティングの性能向上や信頼性向上、ユーザビリティ向上を目指す取り組みについては、ハードウェアやシステム構成上の観点から集中と分散を繰り返してきている。現在はクラウドコンピューティングという、ある意味で巨大データセンターへの集中、他面では分散コンピューティングという新パラダイムとなり、大きな潮流になりつつある。利用面では、ネットワークを介して利用可能になりつつある大規模巨大データや情報知識の利活用による、新しい生活、社会機能が今後の重要な方向になってきている。グローバルな視点でこの方向性を捉え、日本の電子情報通信技術戦略を定めていく必要がある。

(4) 国家新情報基盤の戦略的技術目標

コンピューティング分科会では今後の情報技術開発戦略の背景となる新しい社会構造として「エビデンスベース・ソサエティ（EBS)」と捉え、この社会構造を可能にし支える戦略的情報技術目標として「エビデンスベース・コンピューティング」を位置づけている。ここでのエビデンスとは、個人、組織、社会の新時代の活動を効果的、知的に実現する基になる大規模で信頼に足るデータと知レベルの情報/知識ということになる。エビデンスベース・コンピューティングには、大規模エビデンス情報の獲得・収集、エビデンスの計算・推論、エビデンスベースの更新・管理、エビデンスの適用、これら一連のサイクルを実現するプラットフォームの研究開発が含まれる。このエビデンスベース・コンピューティングの技術要素として、コンテキスト＆インテンション計算、セマンティック計算、フェデレーション機構等を位置づけている。これらをエビデンスベース・コンピューティングで本格的に取り組むべきソフトサイドの技術とし、ハードサイドでは大規模データ/知識を処理・操作する「超分散・超集中コンピューティング」を重要技術に位置づけている。

この議論を基にし、他領域からの意見も入れて、骨太の目標とした「国家新情報基盤」に向けて重要となる戦略的サブ技術目標を以下のように挙げた。

1)エビデンスベース・ソサエティ(EBS)・コンピューティング基盤

今後の社会や個人の活動が、大量で信頼に足るエビデンス（データと知レベルの情報/知識）に支えられたエビデンスベース・ソサエティに向かうという視点から、その情報基盤として以下の技術項目が重要になる。

超分散・超集中コンピューティング（クラウドコンピューティングを含む)、ユビキタスセンサネットワーク（RFIDなども含む)、大規模生データの獲得とリアルタイム処理•分析と管理、リアルとサイバー世界の融合（米国のCyber Physical System(CPS)プロジェクトやIBMのSmarter Planetにも謳われている)、大きな適用領域としてのグリーンIT（ここでは主にITによるグリーン化エコ社会)、信頼できるシステムにするためのセキュリティ / プライバシ技術。

2)セマンティック・コンピューティング

エビデンスとしてはセンシングによって得られるデータと共に、知レベルの情報 / 知識も重要となる。現在のコンピュータは大量の情報を表層的に捉えて高速に扱うことは出来、キーワード照合による検索エンジンによりWebではグローバルな情報の検索・利用が実現されている。しかし、意味レベルの処理は人間が行う段階である。大量の意味レベルの情報処理にはコンピュータの力を動員する必要があるが、それにはコンピュータに情報が表す意味を把握できるようにする必要がある。ここでは知レベルの情報や知識を流通/共有/利用するコンピュータの計算基盤をセマンティック・コンピューティング（意味計算）基盤と呼び、ポテンシャルがある我が国が次世代の情報技術として世界を主導出来る戦略目標であるとした。以下の内容を含む。

データからの意味抽出、意味情報をアノテーションとして持つセマンティック・コンテンツ（マルチメディアデータを含む)、意味表現の共通的記述（特に自然言語テキストに対して）とそれに基づく意味計算、言語の壁を越える知の交流基盤（この言語の壁を越える知の交流に関しては、英語を主とする国では関心が薄いので、非英語国の代表として日本が世界に貢献する意義も大きい)。

3)センシングによる予防医療/オンラインメンテナンス/サステナブルIT

ニーズの観点、及び日本の安全とサステナビリティに関するシステム化技術を一層強いものにするため、新情報技術を活かして取り組む意義が高いとした。新しいセンサ、センサーネット、超分散•超集中コンピューティング、セキュリティ / プライバシ技術などが関係する。医療分野は「i-Japan戦略2015」でも重点三分野に指定されているように、新ITのニーズは高い。

予防医療は国民の健康維持に貢献するだけではなく、増大し続けている医療費の減少にも貢献することが期待できる。メンテナンスの高度システム化は、日本製人工物システムの価値向上、競争力向上に資することになる。食品安全に向けたトレーサビリティも日本が世界を先導できる能力を有する技術領域である。自然災害が多い日本は災害面でも課題先進国とも言え、ニーズの高い防災システム技術は世界をリードできる可能性が高い。

4)プラチナQoL(Quality of Life)、教育システム

少子高齢化に伴う課題先進国としての日本は、課題に取り組むことで新情報技術を生み出す可能性があり、またそうすべきである。高齢を表すシルバーがやや暗いイメージを伴うので、ここではプラチナQoLとした。高齢者にとって望ましい生活環境作りに効果的な新しい情報技術はやさしいインタフェースといったレベルの話しかまだ出されていないが、別の機能面の可能性はあるはずである。また労働人口減少の中、これまでの経験を活かして働くことや社会貢献に意欲がある高齢者も少なくないので、その能力を活かす新しい情報技術も求められる。（なお介護も重要であるが、ロボットに関連して別チームで考慮されるので、ここでは除いた。）

日本の最も重要な資源は高い質の人材であることを考慮すると、教育は最も重視すべき社会機能と言え、少子化時代を迎えて一層重要になる。2009年７月に発表された「i-Japan戦略2015」でも教育は三大重点分野になっているが、新しい情報技術に立脚した教育コンテンツなどの面で、実践的かつ新情報技術育成を視野に入れた取り組みが必要とされる。

小宮山宏氏（前東京大学総長、現三菱総研理事長）は日本を課題先進国として認識し、その課題を克服する技術やシステムを生み出すことが、世界で今後必要とされることになる産業を先んじて生み出すことになるとしている。大きな課題は「有限の地球」、「高齢化する社会」、「爆発する情報」であるとし、これを克服する21世紀の新産業は、エネルギーと環境に関する「グリーン産業」、高齢化社会に関する「プラチナ産業」、爆発する情報に対して必要になる教育支援や知識に関する「ゴールド産業」が重要であるとしている。これは何も電子情報通信分野に限定したものではなく、次世代産業に結びつく我が国の戦略的技術開発目標を示唆したものだが、電子情報通信分野にも関わりがあり参考になる。（小宮山氏は爆発する情報の課題に対して知の構造化を重要な方策としているが、これは我々の考えと異なっている。我々は爆発する情報・知識のコンピュータを介した流通・共有・利活用の共通的コンピューティング基盤を重要と考えており、構造化は情報の意味理解を含む利用の一機能として考える。）

この小宮山氏の観点から上記の戦略的サブ技術目標をみると、1) 2) と4) の教育システムは爆発する情報に関するゴールド産業、1)のグリーンITはグリーン産業、4) と3) の一部はゴールド産業という、今後の新産業に対応することになる。

(5) 日本で優位性がある技術項目と必要技術項目

国際的競争力ある情報技術、産業を育てるために、すべての情報分野で日本がトップに立つことは困難なので、日本の強み、特質を把握した上で、骨太の方針を描き、戦略を立てる必要がある。

まず分析であるが、日本は広くすべての技術領域でかなりの技術水準を保持してきている。これを背景にして、日本はシステム化の点で強みを発揮してきたと言える。一方で電子情報通信分野を見ると、すべての技術領域で世界のトップに立つことは困難であり、グローバルにトップに立たなければ強くならず利益に繋がらないようになってきており、集中と選択が必要になってきている。足らない技術は世界との協業によって対応するのがソリューションとなっていくであろう。

このような状況ではあるものの、やはり現在の日本の情報通信技術の強みは、精度と安定性が高いシステム化技術であると言える。これはレベルの高い要素技術と、それらの摺り合わせ技術が優れていることによっている。摺り合わせ、システム化が得意とは言っても、日本はトータルなシステムアーキテクチャ構築という面は弱い。また、大規模システムになるとモジュール化が必要になり、モジュール化されると技術は容易に海外移転することになり、日本の強みが減退することに繋がってきているという問題が生じている。

また文化的に均質な日本では以心伝心的な密なコミュニケーションが可能であり、これが高度な摺り合わせを可能にしてきた面がある。情報技術の進展によりITで摺り合わせ（文化等の違いを越えた）コミュニケーションがやり易くなり、米国などではこのメリットを活かしているのに対し、日本では活かしきれていないという指摘があった。日本はIT時代の更に高度な摺り合わせコミュニケーション形態が必要とされている。

本ワーキングチームで大きな戦略目標とした国家新情報基盤に向けて、日本が優位性を持つと言える関係する個別技術項目について、ワーキングチームメンバーから挙げられたのは以下の項目である。

・クラウドコンピューティングに関するセキュア＆ディペンダブル性
・セマンティック・コンピューティング
　日本発の共通的意味記述などの基礎

・セキュア＆プライバシ技術
　　高性能認証（生体認証を含む）、軽量暗号
・センサシステム
　　アクティブセンシング、超小型センサーノード
　　超小型アクチュエータ
・システム構築技術
・組み込み技術
・融合技術（メカトロなど）
　　極低電力デバイス技術（基礎）

今後に研究開発が必要とされる技術としては、必ずしも網羅的ではないが、以下の項目が挙げられた。
・超分散・超集中コンピューティング
・ID利用技術
・ロケーション技術（GPS以外も）
・空間と時間を扱う技術

本節最初の分析に戻ると、個々の技術項目で特色、独自性がある強い技術を生み出し、これらを精緻で高度な(日本的)システム化技術によって、グローバルに評価され競争力のあるシステムを実現するという筋書きが描けることになる。

(6) グローバル化への戦略

電子情報通信技術はグローバルスタンダードになるようにならないと本当に強く競争力のある技術にならない。そのような技術を育てるアプローチについては、大別して以下の二つのアプローチがある。

ⅰ)直接的に世界を目指し、世界的な課題に目を向け、先見性をもって世界に貢献する技術を開発する。世界的な厳しい競争の中で、日本のオリジナリティ、強みを発揮する必要がある。今後は50億人のコンピュータの言葉にも見られるように、特に先進国以外の国の状況にも目を向けることが重要になる。

ⅱ)まずは身近である日本の課題に目を向けて真剣に取り組み、優れた新しい情報技術を生み出す。日本の環境で生まれた独自性がユニバーサルな価値を持つものなら、世界にも認められ、（勿論努力は必要だが）独自の特徴を有して世界に展開できる。

必要性もあり一部にはⅰ)のアプローチを採る企業も現れてはきているが、欧米企業に比べて日本企業はこのアプローチが必ずしも得意でなく、

また旨く機能しないことが多かった。一方、ii)のアプローチの例としては、（情報分野ではないが）トヨタはガソリンが高価で道路状況も欧米とは異なる日本に於いて必要とされるハイブリッドカー技術を開発し、それが世界にも価値を認められることになった。情報技術でもまず身近な日本の環境で真に必要とされる革新技術を開発することが、世界へと繋がる道になる可能性が高い。情報サービスについては、精緻で細かい気配りやおもてなしの心といった日本的なる価値は、日本型ITとして世界に評価され得る可能性がある。

医療分野や教育分野等を上記で候補に挙げているが、これらの分野は当然ながら日本における現状分析を対象にすることになる訳であり、世界の医療や教育を対象にする訳にはいかない。社会制度の改革も含め日本の医療や教育に対して効果的なシステムを実現出来たならば、システムとして、あるいはシステム技術として世界に売り出せるようになる可能性が出る。新幹線システムやデジタル放送システム、そして回転寿司システムに至るまで、日本が世界に売り出したシステムは数多くある。これらのシステムを実現する際に、一品料理的なアプリケーションとしてではなく、共通基盤技術を育て、組み上げるような開発を行えば、優れた共通基盤技術はおのずとグローバルな広がりを持つことになると言える。この意味で、グローバル化への戦略としてii）の方法論は効果的と考えられる。大きな戦略目標として「国家新情報基盤」を設定したのも、このようなグルーバル化のアプローチを見据えた目標設定となっている。

(7) 研究開発の方法論・推進体制

研究開発プロジェクトは従来、特定の研究者/グループに資金を提供し委託して進める形が大部分であった。これとは異なる以下の観点も考慮することが今後は必要になる。

研究者、技術者の立場からの研究開発では、たとえ技術的には優れたものがあったとしても、ユーザに喜んで受け入れられる真に有用な情報システムにならないことが多い。インクルーシブデザインが唱えられてきているように、設計、開発段階からユーザを巻き込んで進めることが重要になってきている。

WebにおけるWikipedia に見られるような集合知の枠組みは、オープンに広くアイデアや知を構築、共有、利用するのに有効になってきている。研究開発においてもこのような枠組みは、広い才能を巻き込んだ共創を実現する上で考慮に値する。専門性の高い研究開発においては、完全にオープンというのは難しいが、適切なコミュニティを形成しての研究推進は有効となろう。

Aチーム　成果報告スライド

Aチーム
まとめ

リーダー:石塚満教授
（東京大学）

1

チームメンバー

- 石塚　満　　東京大学情報理工学研究科　教授（CRDS特任フェロー）
- 淺間　一　　東京大学人工物工学研究センター　教授
- 宇根正志　　日本銀行金融研究所　企画役
- 黒部　篤　　株式会社東芝半導体研究開発センター　副センター長
- 三次　仁　　慶應義塾大学環境情報学部　准教授
- 横井俊夫　　日本特許情報機構特許情報研究所　顧問
- 服部正志　　JST研究開発戦略センター　フェロー
- 勝山光太郎　JST研究開発戦略センター　フェロー

2

議論の背景

- 情報技術戦略を考える上で、まず日本の現状を正しく認識する必要がある。情報産業は国内に大きなマーケットが存在することから規模は大きいものの、1990年代以降、グローバルレベルでのイノベーション・新技術創出力が大きく低下している。ハードウェアが関係する機器や部品レベルでは依然として健闘していると言えるものの、ITサービスの共通的、基盤的プラットフォームやグローバルに支配的なソフトウェア等の点で、見るべきものを生み出せない状況といえる。

  政府系の研究開発投資も行われてきているが、グローバルレベルでインパクトのある新技術創出の点で成功していない。直近のニーズやR&D の下流のトレンドに振り回され過ぎている面が強く、大きな流れを俯瞰した上で研究開発のシナリオ力が不足している。
- IT 分野で何もかも日本がトップに立つことはできないので、グローバルな動向を把握した上で、日本が先導すべきかつ勝算のある技術領域を定め、骨太の目標を立て、グローバルスタンダードになる技術を育成する必要がある。
- そこでグローバルな流れを俯瞰した上で、では何を日本のIT 開発の骨太の技術戦略にすべきかが課題になる。

3

議論の方向

- **「日本がとるべき骨太の情報技術戦略は何か」**を考える上でアンブレラとなる目標題目が必要なので，仮に
  「国家新情報基盤（JNII）構築のための基幹技術開発」
  としてみる.

- 各分科会での検討を参考にして，この観点からサブテーマとして重要なものを挙げ，議論を深め，肉付けする.

4

骨太目標としての「国家新情報基盤（JNII）」

- 新しい活動を可能にする今後の情報技術の要件
  ① Secure, Dependable, Sustainable
  ② Intelligent, Creative, Productive
  ③ Ubiquitous, Pervasive, Comprehensive

- 国家情報基盤というと、国が整備すべきものや電子政府的なものに限定されがちであるが、ここでは新産業・ビジネスのインキュベータやインフラとなるもの、人々の生活基盤となるもの、グローバルな情報基盤と適切に連携するもの等の視点も大切であるとする。
（後述するように、まず切り口として日本社会、文化に適合するように緻密な日本人の特質を活かして独自性のある技術開発を進め、その延長上にグローバル展開を図るのが良いと考えるので"国家"としているが、偏狭な国家主義と誤解される可能性があるならJPN 新情報基盤くらいの方が良いかもしれない。）
- 新情報基盤と"新"を付したのは、情報基盤というと高性能コンピュータ/ネットワーク、データベース、最近ではWeb といったレベルのインフラを普通はイメージするが、今後は知の交流、管理、創造といったレベルを支える情報インフラも含むことになるので、新情報基盤とした。

5

国家新情報基盤の領域別基幹技術

- **生活基盤基幹技術**
  - 生活情報総合サービスロボット
- **医療・福祉基盤基幹技術**
  - 遠隔医療、日本版HER（Electronic Health Record）、医療機関SaaS、電子カルテシステム、オンラインレセプト、救急医療連絡支援システム
- **産業基盤基幹技術**
  - 中小企業事業基盤クラウド、知財管理活用クラウド、総合産業技術オントロジー構築
- **金融流通基盤基幹技術**
- **農業基盤基幹技術**
- **交通運輸基盤基幹技術**
  - グリーンITS
- **環境保護基盤基幹技術**
  - グリーンIT
- **耐災害基盤基幹技術**
  - 頑健なIT
- **行政サービス基盤基幹技術**
  - 国民電子私書箱、ワンストップ行政サービスクラウド
- **教育基盤基幹技術**
  - 教育（教育コンテンツ・情報教育・校務情報）クラウド
- **学術研究基盤基幹技術**
  - 総合学術オントロジー構築
- **言語基盤基幹技術**
  - 日本語の情報力強化（Informative Japanese, Smarter Japanese）、翻訳支援環境、自動通訳電話

6

Aチーム　成果報告スライド

検討の観点

- 第3期科学技術基本計画分野別推進戦略において、情報通信分野に求められる役割として4つの貢献軸（社会、産業、科学、安全・安心）が設定されている。（現在総合科学技術会議の情報通信PT において、その中間フォローアップがなされているところである。）「安全・安心」軸は、当初は情報セキュリティ問題を意識して挙げられたものと考えられるが、その後の状況変化により、我が国の基幹となる情報が外国に握られかねない危惧も高まっている。単なるハッキングやボット対策だけでは済まなくなっている。この観点から考えると、国が投資する「骨太のシナリオ」として「日本で管理・発展を計れる安全・安心な国家新情報基盤の構築」は重要。
- 国の大型プロジェクトで効果的な成果を挙げるには、その時期の配慮が大切である。即ち、必要な関連技術が育ってきており、あと一押し二押しすると大きく華咲く技術的変曲点の手前の技術であるかどうか。変曲点を過ぎると産業も合わせて拡大再生産のスパイラルを起こすかどうか。（重要技術でももしその時期でなければ、地道な基盤研究としての支援が適当となる。）
- IT 分野で何もかも日本がトップに立つことはできないので、グローバルな状況を把握した上で、日本が先導すべきでかつ勝算のある技術かどうか。

7

関連が深い動き

- IT戦略本部の「i-Japan戦略2015」（2009年7月公表）
  - 今後のIT開発をニーズに基づき電子政府，医療，教育を三重点領域
  - 具体性のある技術戦略は今後に検討するとなっている．
- 米国NSFの「Cyber Physical System(CPS)」
  - サイバー空間と実空間の融合
  - 実世界データの大規模センシングに結びついた自律的社会システムなど
- 米国政府の「グリーン・ニューディール政策」とその下での「スマート・グリッド」
  - 分散的グリーンエネルギの取り込みも含む次世代電力網
- IBMの「Smarter Planet 」（2009年2月発表のビジョン）
  - 地球をより賢く，スマートにをキャッチフレーズ．
  - サイバー空間と実空間の融合によるスマートな社会，地球
  - （エビデンスベース・ソサエティの方向と近い．）

8

国家新情報基盤の重要サブテーマ（1）

(1) エビデンスベース・ソサエティ（EBS）・コンピューティング基盤　（EBSについてはコンピューティング分科会参照）

- 超分散・超集中コンピューティング（クラウドコンピューティングを含む）
- ユビキタスセンサーネット（RFIDなども含む）
- 大規模生データの獲得とリアルタイム処理・分析と管理
- リアルとサイバー世界の融合
- グリーンIT
- セキュリティ / プライバシ

（今後のITの重要な方向であり世界的な競争の中になるが，その中で日本のグローバルに通用する独自技術を）

(2)セマンティックコンピューティング

- データからの意味抽出，セマンティックコンテンツ
- 意味表現/計算の共通的基盤
- 言語の壁を越える知の交流基盤，グローバルクリエイティブ・プラットフォーム

（日本発のオリジナル技術でグローバルに）

9

国家新情報基盤の重要サブテーマ（2）

(3)センシングによる予防医療　/ オンラインメンテナンス / サステナブルIT

- 新センサーとセンサーネット
- 超分散・超集中コンピューティングシステム
- セキュリティ / プライバシ技術

（特にニーズの観点から）

(4) プラチナQoL(Quality of Life), 教育システム

（少子高齢化に伴う課題先進国としての日本が取り組む新情報技術として）
（ロボットに関係深い介護は別チームの検討に委ねる）

10

日本で何故やるか

- EBSコンピューティング基盤に関しては、情報の安全保障という観点で進め、その延長線上で日本が勝てる技術をみがく．
- 日本を情報技術によって高度化する（よりスマートにする）
  - 健康社会
    - 予防医療、ライフログ、介護予防
  - 人工物安全
    - 事故予防モニタリング、
  - 食品安全
    - トレーサビリティ
- 世界に先駆けた日本の課題を解決し、それが世界に広がる
  - 少子高齢社会（労働力の確保、生活の質の確保）
    - 女性と高齢者の労働を支援するIT
  - 自然災害、環境、
- セマンティックコンピューティングに関しては、日本発の技術があり世界に貢献できる
  - 共通的意味記述
  - 言語の壁の克服は英語中心国では関心が薄いので，非英語国の代表として日本の世界貢献

11

小宮山宏氏の課題先進国日本の観点との関係

大きな課題と21世紀の新産業

- 有限の地球 → グリーン産業
  - (1)のグリーンITが関係
- 高齢化する社会 → プラチナ産業
  - (4)プラチナQoL, (3)の一部が関係する．
- 爆発する情報 → ゴールド産業
  - (1)EBSコンピューティング基盤, (2)セマンティックコンピューティング, (4)の教育システムが関係する．

12

Aチーム　成果報告スライド

日本で優位性がある技術項目

- クラウドコンピューティングのセキュア＆ディペンダブル性
- セマンティックコンピューティング
  - 日本発の共通的意味記述
- セキュリティ＆プライバシー
  - 高機能認証（生体認証）、軽量暗号
- センサーシステム
  - アクティブセンシング、超小型センサーノード
  - 超小型アクチュエータ
- システム構築技術
  - 融合技術（ex.メカトロ）
- 極低電力技術（基礎）

13

戦略目標に向けて必要技術項目 ―― 議論に出たもの

- エネルギーネット
  - 送電、給電、蓄電
- ID利用技術
- ロケーション技術（GPS以外も）
- 空間＋時間技術
- 超分散・集中コンピューティング

14

日本で優位とされるシステム化技術について

- 日本の強みは精度と安定性が高いシステム化技術.
  背景には日本は広くすべての領域でかなりの技術レベルを保持してきたことがある.
- これは摺り合わせ面で優れていることによるが，大規模システムになるとモジュール化が必要になる．モジュール化される技術は容易に海外移転することになる．
- また，グローバルレベルではトップに立たなければ利益に繋がらないので，集中と選択が進んでいるので，上記条件は変わる可能性あり．
- ITで摺り合わせコミュニケーションがやり易くなり，米国などではこのメリットを活かしているのに対し，日本は活かしきっていない．IT時代の更に高度な日本的摺り合わせのシステムが必要とされる．

15

グローバルへの戦略

i) 直接的にグローバルを目指す

v.s.

ii) 日本環境で基礎を作り，それを基にグローバルへ

i) のアプローチを採る企業も現れてはきているが，欧米企業に比べて日本企業はこのアプローチは必ずしも得意でなく，また旨く機能しないことが多かった．

一方，ii) のアプローチの例としては，（情報分野ではないが）トヨタはガソリンが高価で道路状況も欧米とは異なる日本に於いて必要とされるハイブリッドカー技術を開発し，それが世界にも価値を認められることになった．新幹線システムやデジタル放送システムの例もある．

情報技術でもまず身近な日本の環境で真に必要とされる革新技術を開発することが，世界へと繋がる道になる可能性が高い．情報サービスについては，精緻で細かい気配りやおもてなしといった日本的なる価値は，日本型ITとして世界に評価され得る可能性がある．

16

進める上での方法論・推進体制について

- インクルーシブデザイン (ユーザを巻き込んだ開発推進体制)
- 適切なコミュニティの形成による開発，
  集合知の活用
- グランドチャレンジとして応用領域を決め、基盤までを対象にする
- システム技術を育てる
- 技術だけでは解決できない制度的課題もあるので，区別して対応する必要あり．

17

グランドチャレンジ候補

- 医療・健康
- 防災
- GreenIT
- SCM＋トレーサビリティ、品質管理
- 安全モニタリング
- Sustainable　IT
- Global　Creative　Platform（知の流通基盤）

18

3.2 Bチーム

リーダー：市川晴久（電気通信大学 教授）

（1）骨太研究開発の解釈と課題分析

日本のIT分野に対する危機感、研究開発に対する骨太シナリオの必要性の指摘に対応し、Bチームでは、このような危機感の背景分析から議論を開始した。図3.1に示す事例を挙げ、骨太研究開発における日本の課題として下記のような分析を行った。

- Google：Googleを創業したPh.D学生2名は、学位取得を優先せず、ビジネスモデルが見えないまま検索エンジン開発とサービス提供を続けた。スタンフォード大はネットワーク帯域の50％以上を使うことを許した。コンテンツの大規模なダウンロードと実験的なサービス提供が行われたが著作権問題は起きなかった。技術者・研究者の就労機会、大学運営の柔軟さ、商業ルールからすれば許されない実験的な試みに対する社会の寛容さなどにおける日米の違いは、Googleが米国で生まれ、他国では生れなかった大きな要因のひとつと考えられる。
- W3C：MITはCERNのバーナーズ・リーを招聘しW3Cを主催することにより世界のWeb技術をリードしている。日本の教員採用基準および大学における研究活動評価基準からすると、大学においてW3Cを主催することには大きな困難を伴う。
- GNU：GNUプロジェクトを率いるストールマンはMITにおいてポジションがないまま、企業の支援も受けながら、オープンソース概念を実践して世界に大きな影響を与えてきた。ディフィー・ヘルマン暗号を開発したディフィーも特定のポジションを持たないままスタンフォード大にいた研究者である。米国の大学では、大学にも拘束されないフリーな立場の人たちが存在し、通常の研究開発ではなしえない創造的な成果を出している例がある。

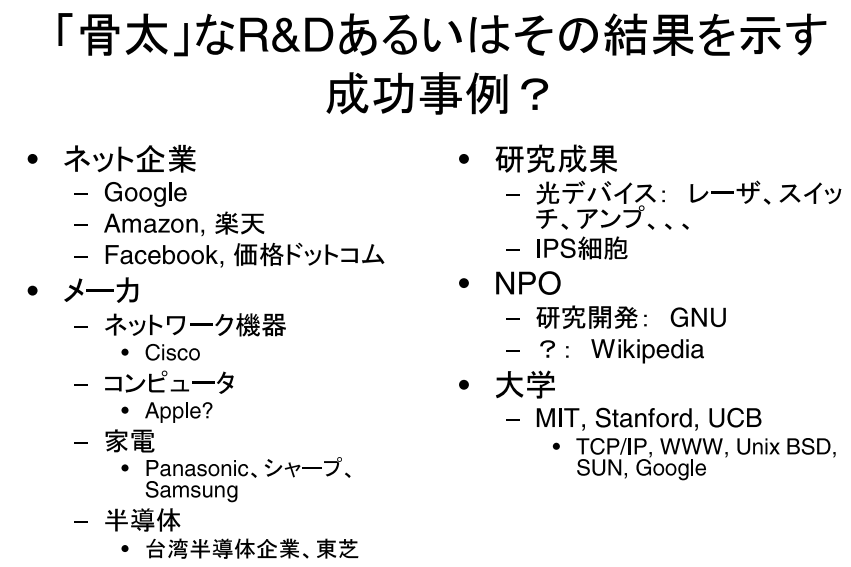


図3.1 骨太な研究開発の成功事例を考える

（2）産業基盤の創造を目指す研究開発戦略の要件

ネットワークは通信機器、アプリケーション、それらを使うビジネスなど幅広い産業の基盤である。電話網に代わる新アーキテクチャ原則に基づくインターネットの創造は、世界経済の発展に大きく貢献している。インターネットの開発を主導した米国が引き続きインターネット産業を主導していることから分かるように、新アーキテクチャのネットワーク研究開発は国の産業競争力強化にとって極めて重要である。

新ネットワーク創造を目指す研究開発には、機器の研究開発とは異なる下記の特徴を有する。

〇10年以上の長期間を要する。

・インターネットの研究開発には20年以上の期間を要した。

〇明確なゴールに向かって技術開発されるとは限らない。

・インターネットでは、技術が開発されてネットワークが普及したというよりもネットワーク普及の結果、技術が確立したとみるのが妥当である。

・技術は進化を続ける。技術の進化をドライブするにはアプリケーションが必要とされ、ネットワーク技術の進化とともにドライビングフォースとなるアプリケーションも変化する。明確なアプリケーションの実現を目指してネットワーク技術が開発されるとは限らない。

〇ネットワーキング対象すなわち端末の成長を支える基礎技術の見通しが研究開発の成否を左右する。

・長期にわたるネットワーク進化に一貫性を持たせ成長を確保するためにはアーキテクチャ設計原則が重要な役割を果たす。アーキテクチャ設計原則は、ネットワーキング対象の性質に大きく依存する。インターネットの場合にはネットワーキング対象をコンピュータと明確に規定したことによりこの原則が打ち立てられた。研究開発の初期段階においてコンピュータの継続的かつ爆発的な成長を見通したことがインターネット研究開発を成功させた。コンピュータの成長を支えたのは半導体技術であり、半導体技術の成長見通しが重要な判断ポイントであった。

○大学を中心とする長期にわたる産学官連携を組織することが重要である。

・インターネットの開発では、産学官の研究者、技術者が狭義の研究開発のみならずユーザともなり、実用化開発、テストベッドネットワーク運用も行った。
・また、技術仕様、ソフトウェアコードはオープンソースとして共有されることにより、多数のボランティアによる開発が行われ、コスト的にも開発速度的にも商業ベースの開発に勝る研究開発が実現された。
・米国政府はテストベッドに大きな研究資金を投入し、利用と技術進化のフィードバックサイクルを世界レベルで実現した。

上記の分析から、骨太な研究開発を目指す戦略を構成する不可欠な要素として下記の5項目を規定した。

1）コミットすべき10X Power
2）Social Wish（分野）
3）ターゲットシステム・サービス
4）基盤技術
5）成長の仕組み

以下に各項目についての議論結果を記す。

（3）コミットすべき10X Power

Intel創業者の一人であるGordon Mooreは指数関数的に成長する技術・要素を10X Powerと呼び、研究開発においてこれに注目する必要を説いている。骨太で長期間を要する研究開発においては上記の分析にもあるように10X Powerを特定することが重要である。Bチームでは下記を戦略立案の前提としてコミットすべき10X Powerと結論した。

1）半導体技術

2）光通信技術
3）オープン開発

半導体技術には今後も長期にわたり指数関数的な成長が期待される。微細加工技術は2025年には8nmに迫ると期待されており、桁違いな小型化が進展する。また3次元集積技術の研究開発も進展著しく、小型化、コストダウンに加えて省電力化にも大きな貢献が期待されている。これらの技術に基づく部品として、ニーズの強いメモリデバイスは、新原理技術も導入され、指数関数的な性能成長が続くであろう。また、超小型・超低消費電力センサの実現も期待される。サーバサイドにおいても安価になったCPUを多用して大規模サーバを構築するスケールアウトとよばれる手法が適用されて、インターネットをコンピューティング基盤に急変させてきている。この方向もますます発展していくと予想される。

光通信技術ではエレクトロニクス技術と融合させたデジタルコヒーレント光通信技術の実用化が進展しており伝送の高速大容量化が続いている。また、オール光の通信ネットワーク実現を目指した研究も粘り強く続いている。これらの技術によってネットワークの桁違いな高速大容量化が今後も期待できる。

10X Powerは技術面にとどまらない。オープンソースやコンシューマによる技術評価、技術習得などは、ブロードバンドインターネット普及によって、ますます顕著な力を持ってきている。ソフトウェア開発、システム開発に携わる人間の数がグローバルなレベルで爆発的に増加している。

（4）Social Wish（分野）

上述のように、新たなICT基盤が実現すべきアプリケーションを開発段階初期において明確にすることは困難であるが、研究開発するICT基盤が目指すべき方向として、満たすべき社会的な期待(Social Wish)を示すことが要素技術の具体化を促す。上述の10X Powerを念頭に環境、食料、健康などの人類的課題を議論し、新ICT基盤が目指すべきSocial Wishとして「サステナビリティ IT」を定義した。サステナビリティ ITとは、既に存在する建造物や製品のメンテナンス、改良を、全体をリプレースせずに必要最小限、最適な更新で対処しようとする技術分野である。このような技術の必要性は日本において顕著であり、新興国においても早晩必須な技術である。サステナビリティ IT分野を開拓することにより、省エネルギー、省資源、省力化の達成を狙う。日本では道路などの公共建造物や個人住宅などの大規模な更改時期が近づいている。また、大量に保有しているICT機器の世代交代も激しい。古くなったものを廃棄し新調するのではエネルギー、資源の無駄が多い。サステナビリティ ITによって部分的更新を継続的に行う

ことは、大きな省エネルギー、省資源、省力化が期待されるのみならず、我々の生活の質向上にも貢献する。適用分野に横断的な技術として、モノをネットワーキングして管理する技術やフィールドにおいてモノをカスタマイズしていく技術がある。

（5）ターゲットシステム・サービス

モノをネットワーキングして管理し、モノをフィールドにおいてカスタマイズする機能を具備し、サステナビリティ ITを具現化するターゲットシステムとサービスは以下となる。

1）ユビキタスネットワーク
2）センサ端末
3）センサデータ管理・処理サービス

ユビキタスネットワークは地球規模で構築される必要がある。センサ端末が持つべきセンサ機能は多様になると想定され、超低電力消費で動作することが求められる。センサデータ管理・処理サービスでは、メンテナンスあるいは更新する対象の過去のログを収集し、現状を正確に把握し、メンテナンス・更新アクションの効果を最適に設計して実行することが期待される。

（6）基盤技術

上記ターゲットシステム・サービスを実現するために取り組まれるべき基盤技術として下記を挙げた。

- アジャイル集積技術
- ユビキタス・エネルギーネット（発電、蓄電、給電）
- 光伝送、無線伝送技術
- 周波数仮想化技術
- ユーザアイデンティティ活用技術・セキュリティ技術
- 超低消費電力センサデバイス技術
- 広域センサネットワーク技術
- Rapid Scale-Out Technologies
- エンドユーザのためのソフトウェア開発環境・ソフトウェア工学
- 「未来」予測技術あるいはエビデンス・ベースド・コンピューティング技術
- 人間理解技術
- 環境認識・状況認識技術
- 遠隔監視・操作・自動化技術

（7）成長の仕組み

インターネットの歴史に見られるように、骨太な研究開発戦略においては、未熟な技術が成熟成長しグローバルな産業基盤を形成するべく、成長する仕組みがデザインされるべきである。成長に一貫性を持たせるためのアーキテクチャ原則などの技術面に加えて、技術開発、利用評価のフィードバックサイクルを実現する研究開発コミュニティの形成、維持、発展が重要である。特に産業基盤として認知される以前の10年超にわたる期間においてコミュニティメンバがコミュニティに参加可能になる条件作りには、日本の社会的条件を考慮した努力が求められる。

インターネットの最初の20年は、メールなどの研究開発者自身がユーザとなるアプリケーションがこの役割を担った。技術改良のフィードバックが同じネットワーク基盤に対してなされ、実験基盤のグローバルな物理的成長とユーザ獲得がインターネット技術を確立させた。しかし、アプリケーション自体の社会的価値が未知なまま、アプリケーション開発やネットワーク運用など、論文執筆からは遠い活動を研究者が行うのには大きな困難を伴う。このような研究者の成果を評価し、妥当なインセンティブを与える規律を生み出す必要がある。

一方、社会的価値に直結する課題は企業などの現場にあることを踏まえ、企業や公共サービス機関との連携によるアプリケーション開発と技術改良、実用化を目指すアプローチもある。日本においてもこのようなアプローチによる研究開発実践例は少なくない。しかし、それぞれに組織ミッションを異にするプレイヤーが集まって、10年以上も継続する連携により、分野横断的かつグローバルに通用する同一基盤システムに対して、基盤システム改良のフィードバックループを実現することは未経験領域である。

（8）まとめ

1）産業基盤創造を目指す研究戦略においては、ターゲットとする技術以外の要件も重要であることを指摘し、その要件を明確化した。

2）Social Wishを実現する研究開発分野を、分野成長の原動力となる10X Powerに着目して抽出し、「サステナビリティ IT」と命名した。サステナビリティ IT技術は、社会に膨大に蓄積された様々なシステムのメンテナンスと機能更新を省エネルギー、省資源、省力化、さらには生活の質を向上させる形で実現する。

3）サステナビリティ IT分野のシステムおよびサービスを実現する技術は、ユビキタスネットワーク技術、センサ端末技術、センサ情報管理・処理技術であるとし、その基盤技術候補を抽出した。

4）産業基盤創造には長期間を要し、その間、要素技術およびそれらによって実現される基盤（ネットワーク、プラットフォーム）の成長が続く仕組みづくりが必須となることを結論した。また、その仕組みにおいて大学が核となる役割を果たす期待が大きいこと、そのためにはインターネット開発で実践された仕組みとは必ずしも一致しない、日本の社会システム、状況に適合する仕組みが求められることを指摘した。

Bチーム　成果報告スライド

Bチーム
まとめ

リーダー：市川晴久教授
（電気通信大学）

1

チームメンバー

- 市川晴久　電気通信大学電気通信学部　教授（CRDS特任フェロー）
- 石黒浩　大阪大学大学院工学研究科　教授
- 今井秀樹　中央大学理工学部教授　産業技術総合研究所情報セキュリティ研究センター　研究センター長（CRDS特任フェロー）
- 黒田和男　東京大学生産技術研究所　教授（CRDS特任フェロー）
- 桜井貴康　東京大学生産技術研究所　教授（CRDS特任フェロー）
- 油田信一　筑波大学大学院システム情報工学研究科　教授
- 伊東義曜　JST研究開発戦略センター　主任調査員
- 嶋田一義　JST研究開発戦略センター　フェロー

2

ネットワーク分科会の活動

3

ネットワーク分科会メンバー
（2009年度　俯瞰プロジェクトⅣ）

- **市川晴久　電気通信大学　人間コミュニケーション学科　教授**
- **大木英司　電気通信大学　情報通信工学科　准教授**
- **高橋健司　NTT情報流通プラットフォーム研究所**
- **楠本博之　慶應義塾大学　環境情報学部　准教授**
- **三次仁　慶應義塾大学　環境情報学部　准教授**
- **藤島実　東京大学　准教授**
- **葉玉寿弥　NTT未来ねっと研究所**
- **武智竜一　富士通研究所**

- **服部隆志　JST研究開発戦略センター　フェロー**
- **勝山光太郎　JST研究開発戦略センター　フェロー**

4

ネットワーク分野の特徴

- ネットワークは、要素技術を価値創造につなぐ基盤を提供する役割を担う
- 時間軸が長い
  - 普及の結果が技術の確立を意味することが多い。見通せる「価値」に合わせた長期戦略の立案が難しい。
  - 技術は進化を続ける。技術の進化をドライブするアプリケーションが必要であるがネットワーク基盤の進化とともにアプリケーションは変化する（新たなアプリケーションが登場する）。ネットワークは明確なアプリケーションを実現するために開発されるとは限らない。
- 一定の方向に長期にわたってネットワーク進化を継続させる力の存在、設計が重要
  - アーキテクチャ・コンセプト、要素技術、狭義の技術開発以外の活動（オープンソース、テストベッド、産学連携など）
  - 長期展望が立ちそうな技術、長期展望を可能ならしめる技術が重要技術

5

ミクロ俯瞰図の作成手順

- ホットトピックおよび重要と考える技術を挙げ、「分析フレームワーク」により分析
- 分析結果として、重要な研究開発課題（重要技術）を抽出
- ホットトピックと重要技術のまとめとしてミクロ俯瞰図を作成

6

Bチーム　成果報告スライド

ホットトピックス列挙の視点

- 現状から考える
  - 技術的課題
  - 社会的課題
- 20年後から考える
  - Driving Force
    - 技術
    - 社会、市場
- 日本の産業ポジションを獲得する
  - Small Start、急激な価格低下、ロックイン
- 新世代ネットワーク

7

ホットトピックス

- インターネットの普及と社会インフラ化
  - 子供や高齢者、BoP地域などへの普及
  - Delay and Disruption Tolerant Network (DTN)
    - 開発途上国向けのNW構築技術
  - 社会インフラとしての要求（堅牢、安心、安全）
  - ネットワークを用いた政治参加・選挙活動
- インターネットの新たな展開
  - クラウドコンピューティング
  - 新世代ネットワーク研究の立ち上げ
- ユーザのICTスキル向上
  - e-learningの普及
  - User Generated Software / Contents
- まだまだ続く半導体技術の成長
  - ICTハードコストの急激な低下
  - 2025年には8nm技術が実現
- 環境
  - 環境破壊の加速、Green Xへの注目
- ITと異分野の融合
  - 農業のIT化
    - 農水産物の生産を含むSCM（垂直農業）
      - オイシックス、ビル農業
  - ネットワークを用いることによる社会科学の発展
  - 医療健康向けICT技術
- その他
  - Smart Grid計画（米国電力網の更改）
  - Bio-inspired networking

8

ホットトピックスの分析フレームワーク

フレームワークに求める機能：トピック間の関係、新たなトピックの探索、研究課題の抽出

ホットトピックス分析フレームワーク

次世代NWプラットフォームを目指す研究開発に関わる
ホットトッピクス

0. 注目する10x Power
1. NWプラットフォームの機能と構成に関する設計原則
   - ネットワーキングの対象
2. 基盤技術
3. プラットフォームの成長を促すアプリケーションとテストベッド
4. プラットフォームの研究開発と活用を担う研究者・技術者のコミュニティ
5. 上記を支える産学官連携

9

ホットトピックス分析フレームワークの適用例

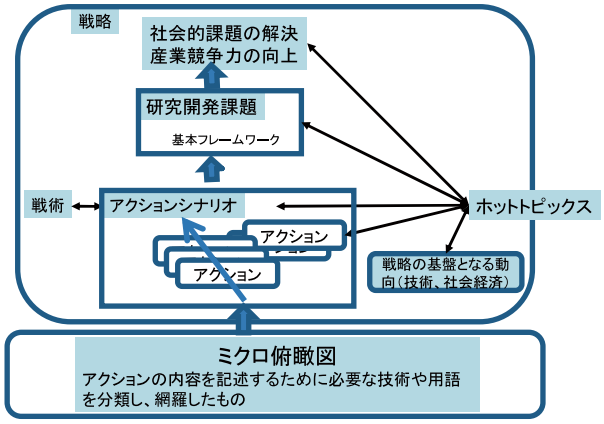
次世代NWプラットフォームを目指す研究開発に関わるホットトピックス

インターネットの子供、高齢者やBoP地域への普及

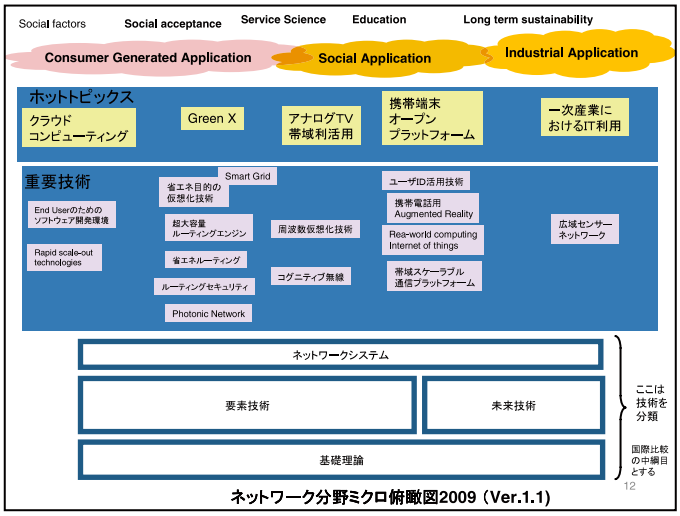
1. 注目する10x Power
   - インターネット
2. NWプラットフォームの機能と構成に関する設計原則
   - ネットワーキングの対象
     - 携帯、PC、センサ（ポット、監視カメラ、、）
3. 基盤技術
   - 新たな課題
     - DTN
     - リテラシー、倫理の教育
     - 障害者のためのインタフェース
     - 高齢者のためのインタフェース
     - CI, らくらくホンの成功
   - セキュリティ
     - トラスト　技術？
     - 地域ネットワーク
     - 匿名性を担保する技術
4. プラットフォームの成長を促すアプリケーションとテストベッド
   - MVNOの登場
5. プラットフォームの研究開発と活用を担う研究者・技術者のコミュニティ
6. 上記を支える産学官連携
   - 新世代ネットワーク、GENI、、

10

ホットトピックスとミクロ俯瞰図のあるべき関係



11



ネットワーク分野ミクロ俯瞰図2009（Ver.1.1）

12

Bチーム　成果報告スライド

ワーキングチームの進め方

13

議論の進め方

- 電子情報通信分野への期待、危機感の共有
- ミクロ俯瞰図のレビュー
- 電子情報通信分野における我が国の研究開発戦略の立案

14

「骨太」とは

- 背景となる危機感は？気になる変化？
  - ICTビジネスの変化
    - オープンソース、グローバリゼーション
    - ネットワークの力を使った高速なビジネス展開
  - 研究開発
    - 企業内研究の衰退
    - 追随すべきは米国型？
      - 大学 ⇒ ベンチャ ⇒ M&A
        - » 人の流れは？日本に適用すべきか？
      - 研究開発リソース：　資本、モノから人にシフト
        - » 強い企業（例えばGoogle）：優秀な人材のみを集める
- 「骨太」を例示できるか？

15

「骨太」なR&Dあるいはその結果を示す成功事例？

- ネット企業
  - Google
  - Amazon, 楽天
  - Facebook, 価格ドットコム
- メーカ
  - ネットワーク機器
    - Cisco
  - コンピュータ
    - Apple?
  - 家電
    - Panasonic、シャープ、Samsung
  - 半導体
    - 台湾半導体企業、東芝
- 研究成果
  - 光デバイス：　レーザ、スイッチ、アンプ、、、
  - IPS細胞
- NPO
  - 研究開発：　GNU
  - ？：　Wikipedia
- 大学
  - MIT, Stanford, UCB
    - TCP/IP, WWW, Unix BSD, SUN, Google

16

研究開発を組織する上で検討すべき事項

- タイムスケール、限界の認識
- ターゲットのタイプと競争における課題、タイプ間の関係
  - 部品、材料
  - 装置
  - ソフトウェア
  - プラットフォーム
- 成果の定義
  - 成長する仕組みを成果目標とすべき
    - 技術成果のレベルに加えて／よりも成長プロセスの獲得に重点
- 方法論レベルでの見直し

17

R&D方法論見直しの方向を示す事例

- 外部リソースを活用するR&D
  - 課題認識
    - 研究開発投資と利益回収の不一致
      - 伝統的なR&Dに対する不満：　“Innovation happens here but revenue happens elsewhere”
      - 素朴なオープンソース：　“Innovation happens elsewhere and revenue happens elsewhere”
    - 事業化スピードが利益の源泉
  - 企業での取り組み例
    - 成果（ベンチャ企業）の買収
      - Cisco
    - オープンソースにより企業外に大規模な開発・評価サイクルを構築
      - Google Android
      - Apple OS X

18

Bチーム　成果報告スライド

進め方（案）

- ミクロ俯瞰図をレビュー（ホットトピック、重要技術など）
- ミクロ俯瞰図から選択したホットトピックを「フレームワーク」に従って分析し、研究開発が大きな流れになるかを検証
- 「骨太」研究開発に結びつく考えられるホットトピックを選択し、研究開発方法論レベルの見直しを含めて研究開発戦略を立案

19

2日目の進め方

20

丹羽さんからの要請

- 「技術を生み出す仕組みをシステムとして持つ」とは具体的には？日本の研究開発システムへの提言を期待
- 「メンテナンス技術」は対象によっていろいろありうる。それぞれに対応するのか、あるいは共通項を探すのか
- 日本の課題を解くことを通じて世界を目指す、、

21

セッション2のアジェンダ案

- 昨日の復習
- ネットワーク分科会検討結果のレビュー
  - ミクロ俯瞰図
- まとめに向けて

22

研究戦略の要素

1. コミットすべき10X Power
2. Social Wish（分野）
3. ターゲットシステム・サービス
   - ロックインターゲットと補完ターゲット
4. 基盤技術
5. 成長の仕組み

23

コミットすべき10X Power

- 半導体技術
  - 微細加工技術
  - 3次元集積技術
  - ULP技術
- 光通信技術
- オープン開発
  - オープンソース
  - コンシューマの参加
- 発電技術・給電技術
  - 磁気共鳴：　MIT、高野（東大）
- 顕著な動向、有力なプロダクト
  - メモリデバイス（フラッシュメモリ、MRAM）：　技術とニーズを反映
  - Ultra Low Power センサ？
  - Rapid Scale-Out Technologies
    - センサとサーバ連携による画像処理など

24

Bチーム　成果報告スライド

Social Wish (分野)

- メンテナンス、環境、QoL ？、(食糧、医療)
- メンテナンスの対象　⇒　新陳代謝、サステナブル‥、メタボリック‥
  - 狙い：　省エネルギー・省資源化・省力化
  - 構造物のメンテナンス
    - 公共基盤：　道路など
    - 個人：　住宅など
  - IT製品
  - 対象とする「メンテナンス」に共通な機能
    - モノ管理、モノのネットワーキング
    - フィールドカスタマイズ
  - 観察ロボット
  - 人間の「健康管理」
    - 日本は許認可に時間がかかる
- 評価：　市場規模など？

25

ターゲットシステム・サービス

- ネットワーク
  - ユビキタスネットワーク
- 端末
  - センサ
- サービス
  - センサデータ管理・処理：　ロックインターゲット？
    - 現状把握
    - 過去の記録
    - メンテナンスアクションに対する結果予測

26

基盤技術

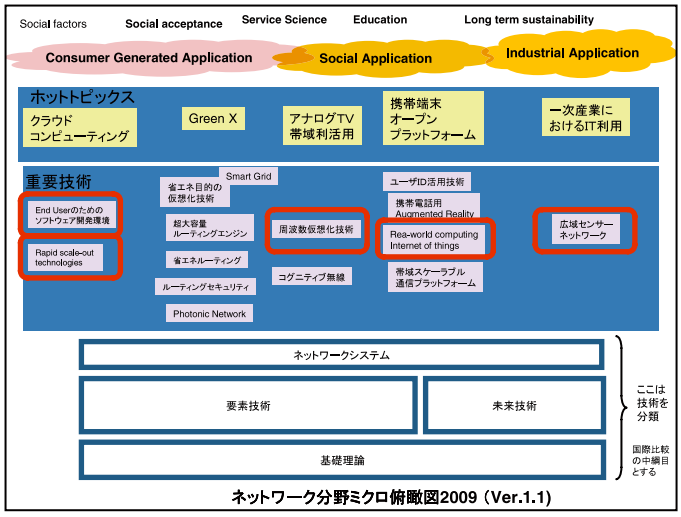
- アジャイル集積技術
- ユビキタスエネルギーネット（発電、給電）
- ディジタル信号処理：　光伝送、無線伝送
- 周波数仮想化技術
- 広域センサ（ULPデバイス）ネットワーク
- Rapid Scale-Out Technologies
- 「未来」予測技術, Evidence based computing?
- 人間理解技術
- 環境認識・状況認識技術
- 遠隔監視・操作・自動化技術

27

成長の仕組み

- 研究開発コミュニティ形成
  - シーズとなるアプリケーション開発
    - ユーザは誰であるべきか？
      - 研究者自身
      - 企業
      - 公的機関
  - 求められる規律
    - 成果 for 研究ファンド
      - 「成長率」：　コミュニティ規模、利用頻度・深度、、
    - 継続性 for 研究開発者
      - 研究ファンドの採択率
- 基盤となるべきシステム・サービス
  - インターネット
  - クラウドコンピューティング

28



ネットワーク分野ミクロ俯瞰図2009（Ver.1.1）

29

3.3 Cチーム

リーダー：小菅一弘（東北大学 教授）

（1）背景と課題分析

ワークショップ冒頭の「トーンセッティング」(p.8) で提起された、

- 日本のIT分野（学術界、産業界ともに）は今厳しい状況にあって、なかなか突破口が見えない。
- IT分野の技術に関わる我々は何をするべきなのか。どんなシナリオを描くべきなのか。先を見てどんな手を打っていけばよいのか。
- ITがこれからの社会のあらゆる局面で重要なことは明らかだが、それを主張するだけでは不十分であり、既存技術の適用だけでなく、それらに対する新たな研究開発が必要であろう。

という日本のITの厳しい現状認識と、

- IT分野専門家の内輪の論理ではなく、分野外の人にも理解してもらえる「骨太のシナリオ」が必要ではないか。
- 「骨太のシナリオ」とは、他の分野の人にも理解でき、説得力があるシナリオであり、個別の技術でなく、複数の技術を巻き込んだシナリオである。「骨太のシナリオ」は、唯一絶対というものではなく、いくつもあり得るので、不完全であってもよいので、まずは議論してみたい。

というリクエストに対し、ITの歴史を振り返り、ITの本質について議論することにした。

ITの歴史を振り返ると、例えば、パケット通信は、ARPANETの開発を通して実用化されているし、近年では、Yahoo、Google、Amazonなどの消費者向けインターネットサービスからクラウドコンピューティングが生まれている。このように、ITの分野では、実問題への適用によって新技術が創出され、イノベーションが行われ、社会や文化を変革してきたことがわかる。また、米国MIT教授のMarvin Minskyは、Computer Scienceは“the Science of Interactions”であると述べている。これはITの本質を表している。ITは先端技術の融合を可能とするシステムインテグレーション技術であるとともに、システムを開発する際には、具体的目標（出口イメージ）を共有し、インクルーシブにデザインすることが必要である。こうすることによって、システムを構成するすべての要素間に様々なインタラクションを実現し、イノベーションを創出することが可能になる。

そこで、我々のチームでは、ITの本質を

- iT(i Technology)
  - information
  - interaction
  - inclusion (Inclusive-design)
  - integration
  - innovation

という、５つのiとしてとらえ、iT に期待されているのは何かを考え、

日本は課題先進国であり、日本の問題を解決することがグローバルな問題解決につながるのではないか。

先端技術分野の研究の方向を揃え、有機的に統合し、課題を解決し、Social Wishに応えるのがiTの研究開発ではないか。

との認識の下、「日本で必要とされているグランドチャレンジ」の方法論について議論することにした。

（２）解決すべき課題

日本は課題大国であり、多くの問題を抱えている。小宮山宏前東京大学総長は、有限の地球、高齢化する社会、爆発する知識を21世紀の３つのパラダイムとして挙げておられるが(課題先進国日本、學士會会報No. 879)、本チームでは、特に以下の３つの問題について議論することにした。

【少子高齢化】

日本では急速な少子高齢化が進んでおり、

- 人口減少が加速（2060年頃までは急激に高齢化が進む）
- 縮小経済への転換
- 優秀な人材の不足
- 社会保障
- 税収の減少
- 公的年金制度の維持
- 介護保険、老人医療費の増大

等、様々な問題が指摘されている（ひょうご経済第90号より)。実際、例えば介護等の費用を見ても、2009年4月には6052億円、2009年5月には6243憶円の支出がなされたと報告され（表3.1)、昨年度と比較しても必要な経費が大きく増加していることが分かる。単純に計算しても、通年で7.2兆円を超えることが予想され、今後、益々大きな問題となることが予想される。

サービス種類			件数（千件）		日数（千日）		介護費（億円）		保険給付額（億円）	
				対前年同月比		対前年同月比		対前年同月比		対前年同月比
合　計			9,095	4.6%	99,582	4.8%	6,243	6.0%	5,570	6.0%
居宅サービス計			8,008	4.8%	68,600	5.6%	2,943	6.6%	2,670	6.7%
	訪問通所サービス小計		4,545	4.7%	60,785	5.3%	2,075	4.2%	1,868	4.2%
		訪問介護	1,248	1.0%	12,698	−1.4%	582	2.9%	523	2.9%
		訪問入浴介護	80	0.1%	356	−1.4%	46	−0.5%	41	−0.5%
		訪問看護	265	2.6%	1,311	−2.6%	106	−0.5%	96	−0.5%
		訪問ﾘﾊﾋﾞﾘﾃｰｼｮﾝ	58	12.8%	291	18.3%	16	23.4%	15	23.4%
		通所介護	1,298	6.3%	10,064	4.7%	839	5.8%	755	5.8%
		通所ﾘﾊﾋﾞﾘﾃｰｼｮﾝ	488	1.2%	3,598	−1.1%	332	2.3%	299	2.3%
		福祉用具貸与	1,108	9.6%	32,467	9.5%	154	8.3%	139	8.2%
	短期入所サービス小計		341	5.4%	3,233	5.2%	323	8.9%	284	8.7%
		短期入所生活介護	283	7.1%	2,775	6.6%	271	9.9%	238	9.7%
		短期入所療養介護（老健）	53	−1.5%	420	−1.9%	48	5.2%	42	5.3%
		短期入所療養介護（病院等）	4	−11.3%	38	−7.9%	4	−9.4%	4	−9.3%
	その他	居宅療養管理指導	360	11.9%	726	12.2%	29	11.4%	27	11.4%
		特定施設入居者生活介護	127	11.0%	3,856	10.0%	242	17.4%	218	17.4%
	居宅介護支援		2,635	3.6%			274	14.2%	274	14.2%
地域密着型介護サービス計			242	12.7%	5,788	11.8%	530	13.2%	476	13.1%
	夜間対応型訪問介護		4	53.6%	18	62.4%	1	80.4%	1	80.4%
	認知症対応型通所介護		53	7.8%	510	6.1%	56	6.8%	51	6.8%
	小規模多機能型居宅介護		35	49.2%	719	51.5%	64	58.5%	58	58.5%
	認知症対応型共同生活介護		141	5.2%	4,272	5.4%	381	6.1%	343	6.1%
	地域密着型特定施設入居者生活介護		2	51.4%	64	53.9%	4	59.1%	4	59.1%
	認知症対応型共同生活介護(短期)		0	−3.8%	1	−0.4%	0	−8.1%	0	−8.1%
	地域老人福祉施設		7	74.6%	204	74.5%	23	86.8%	19	86.1%
施設サービス計			845	0.9%	25,194	1.2%	2,769	4.1%	2,425	4.0%
	介護老人福祉施設		429	2.0%	13,049	2.5%	1,367	5.6%	1,185	5.4%
	介護老人保健施設		320	1.9%	9,247	2.3%	1,004	7.1%	885	7.1%
	介護療養型医療施設		96	−6.9%	2,898	−7.4%	399	−7.1%	354	−7.1%
特定入所者介護サービス計(再掲)			678	4.8%	18,354	4.4%	323	6.5%	211	5.8%
	短期入所生活介護		91	15.1%	1,052	15.4%	21	18.5%	13	18.1%
	短期入所療養介護（老健）		15	4.3%	131	3.8%	2	4.5%	1	4.9%
	短期入所療養介護（病院等）		1	−12.8%	9	−11.1%	0	−14.0%	0	−14.3%
	地域老人福祉施設		5	77.6%	148	77.2%	5	91.0%	3	88.2%
	介護老人福祉施設		346	2.4%	10,590	3.0%	194	5.1%	126	4.1%
	介護老人保健施設		169	6.6%	4,938	7.1%	80	7.9%	54	8.0%
	介護療養型医療施設		49	−4.0%	1,486	−4.1%	21	−4.3%	14	−4.1%

※計数がない項目は「ー」、制度上ありえない項目は「網掛け」、前年度の数値がないために入力できない項目は「斜線」としています。

※介護費とは保険給付額、公費負担額及び利用者負担額を加えた金額です。

※件数、日数、介護費、保険給付額はそれぞれ記載の単位未満で四捨五入しているため、計に一致しない場合があります。

※各サービス種類は、介護予防サービスを含みます。

表3.1　介護給付の状況（国民健康保険中央会 http://www.kokuho.or.jp/）

介護給付金の問題は、少子高齢化の影響の一例であるが、これ以外にも、多くの問題を抱えており、課題をチャンスとしてとらえ、いかにして、生活の質を高めるとともに、社会コストの削減を行うかが重要である。ITは、うまく活用すれば、社会コスト削減に対して大きな貢献が可能であろうし、その解決によって新たなイノベーションが生まれることが期待できるであろう。

【食の安全】

今後予想される労働力の減少や、様々な環境変化の中で、いかにして安全・安心な食を確保するかは大きな問題である。例えば、中国では、日本から輸入された食料は、安全でかつ安心して食べられる食料として高く評価されている。この分野もまた、日本の高度な農業技術と工業技術力とITを駆使することによって、食料の安定供給と安全性の確保を可能にするとともに、新たなイノベーションが期待できる分野である。

【環境破壊の抑止とエネルギー安全保障】

鳩山政権によって、CO_2の25%削減が目標として掲げられた。産業界からは、25%削減を牽制する声も出ているが、環境破壊やエネルギー問題を、産業界だけの問題と考えずに日常のくらしも含めた問題として捉えれば、新たなイノベーションに繋がる挑戦しがいのあるテーマである。

（3）プロジェクトの設計論

本チームで議論する問題は、単なる新技術の開発だけでは達成が難しい、社会も含んだ大きな問題である。そこで、吉川弘之CRDSセンター長が提案されている、“ループをなすネットワークが持続性に必要な知識を創出する”という、集合的知性（collective intelligence）のテーゼを用いて議論することにした。これは、持続性向上という目標の下でのイノベーションに固有の構造であり、科学者と社会とを含む循環構造である。この構造は、社会や自然の現象を観察型科学者がとらえ評価し、その結果に基づき構成型科学者が知識を提供し、それに基づいて行動者が行動し、社会や自然に働きかけるというモデルである。

図3.2は、iTが、この構造の中でどのように貢献できるかを示したものである。観察型科学者は、iTを活用したiT-Enhanced Evidence-based Scienceによって、より精緻に社会や自然の現象を観察し評価することが可能になる。構成型科学者は、その評価に基づき、iT-Enhanced Engineeringによって、行動者に知識（問題解決策）を提供することになる。行動者は、iTによって、より質の高いサービス（iT-Enhanced Service）を社会に提供することができる。これらが循環することによって課題を持続的に解決することが可能

になり、iT-Enhanced Societyが実現する。現代社会では、iTは既に欠かせない存在となっており、ある意味で、iT-Enhanced Society化の流れはすでに始まっている。自然・環境についても、GEOSS (Global Earth Observation System of Systems)[3] を開発しようというプロジェクトが提案され、ある意味でiT化が始まっている。

この循環構造で重要なのは、課題解決には数値目標と、それを強力に進めるプロジェクトディレクタが必要であるということである。数値目標がないと、単なる新技術開発とその結果評価に終わってしまい強い循環が生まれない。持続性を持った循環に必要な知識を創出するには、ループをなすネットワークが必要で、それを維持し加速するには数値目標とプロジェクトディレクタが不可欠である。

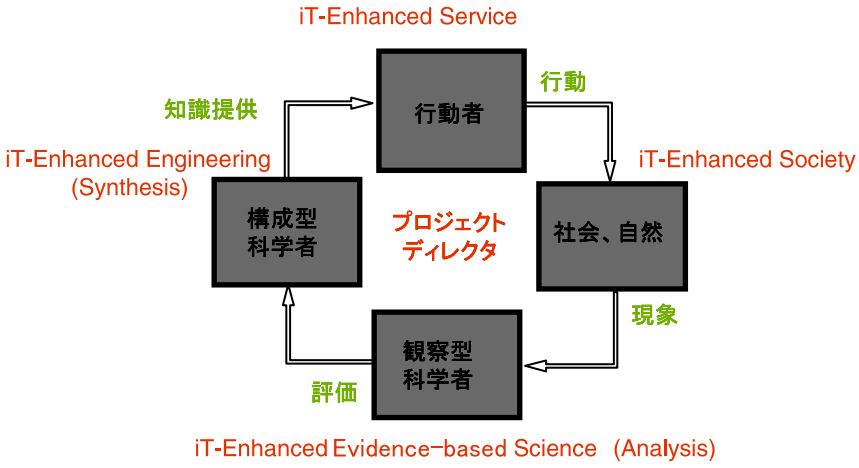


図3.2　集合的知性（collective intelligence）のテーゼに基づく
iTプロジェクトの設計論

（4）iTによるSustainable Societyの実現

本節では、(2)で挙げた問題に、前節の方法を適用し、課題解決に向けて、どのようなプロジェクトが可能かについて議論した。その際、ITのどのような技術が、問題解決に貢献できるかについても議論した。ここで挙げるのはプロジェクトのサンプルであり、ここで用いる考え方は、他の多くの問題にも適用できる。

【高齢化社会を元気にする統合活力生活支援システム（2020年で社会コスト50%削減）】

(2)で述べたように、介護には莫大な費用が必要である。少子高齢化が加速している日本で安心できる社会を構築するには、介護問題は避けて

[3] http://www.earthobservations.org/geoss.shtml

通れない。そこで、介護も含めた高齢者の生活支援を目的とした統合活力生活支援システムについて議論した。数値目標は、2020年に介護等のコスト削減50%である。コストを削減するだけではなく、生活の質を維持・向上し、活力ある社会を実現しようというのが本提案である。

図3.2で説明した集合的知性（collective intelligence）のテーゼに当てはめると、介護現場・社会（施設・家庭）が社会であり、現象を観察し評価する観察型科学者は、医療関係者（臨床医）、認知心理学者、IT研究者、知識を提供する構成型科学者は、医療関係者、IT研究者、認知心理学者、社会学者となる。行動者は、政策担当者、介護サービスプロバイダである。iT-Enhanced Evidence-based Science、iT-Enhanced Engineering、iT-Enhanced Service に関係する技術を技術俯瞰図から抽出すると以下のようになる。

- iT-Enhanced Evidence-based Science
  - Multi-modal Sensing
  - Federation Computing
  - Inclusive Design
  - Security/Privacy
  - Ubiquitous Sensor Network
  - Internet of Things
- iT-Enhanced Engineering
  - Ubiquitous Energy Network
  - Ubiquitous Sensor Network
  - Agile Integration
  - Cyber-Physical Interface
  - Human-robot Interaction
  - Wearable Technology
  - Service Contents Design
  - Haptics
  - Robot Systems Integration Science
- iT-Enhanced Service
  - User-centered Supply Chain Management

【食の安全保障を実現する食サステイナブルサプライチェインシステム（FSSC)】

生活支援問題と同様に、食の安全について議論し、ここでは、食の安全保障を実現する食サステイナブルサプライチェインシステム（FSSC）について考えることにした。図3.2の集合的知性のテーゼに当てはめると、社会に相当するのは消費者であり、その現象を評価する観察型科学者は農

学者、社会医学者、IT研究者、食品科学者、知識を行動者に提供する構成型科学者は、農学者、社会医学者、IT研究者、社会学者、認知心理学者、経済学者、行動者としては、政策担当者、生産供給者、流通関係者らが考えられる。技術俯瞰図から抽出した、iT-Enhanced Evidence-based Science、iT-Enhanced Engineering、iT-Enhanced Service に関係する技術を以下に示す。

- iT-Enhanced Evidence-based Science
  - Internet of Things
  - Multi-modal/ Integrated Sensing
  - Sensor on Chip/Bio Chip
  - Large Area Electronics
  - Bio-Photonics
  - Inclusive Design
  - Security/Privacy
- iT-Enhanced Engineering
  - Ubiquitous Energy Network
  - Ubiquitous Sensor Network
  - Internet of Things
  - Digital Forensics
  - Knowledge Management and Mining
- iT-Enhanced Service
  - Dependable Supply Chain Management

【CO_2削減［見える化］プロジェクト（2020年25％削減）】

最後の例として、CO_2削減について議論した。CO_2削減そのものは、ITだけで解決することは難しい問題であるので、CO_2削減の見える化によって、2020年に25％削減の目標達成を助けようとするものである。この場合、社会に相当するのは、企業や個人であり、現象を観察し評価する観察型科学者は、エネルギー環境学者、環境情報学者である。行動者である行政関係者に知識を提供するのは、経済学者、政治学者、国際関係学者、エネルギー環境デザイン学者、社会工学者、IT研究者となる。iT-Enhanced Evidence-based Science、iT-Enhanced Engineering、iT-Enhanced Service に関係する技術を以下に示す。尚、iT-Enhanced Engineeringはより具体的にはiT-Enhanced Awarenessである。

- iT-Enhanced Evidence-based Science
  - Ubiquitous Energy Network/Energy Scavenging
  - Ubiquitous Sensor Network
  - Multi-modal Sensing

Federation Computing
System of Systems
Internet of Things
Inclusive Design
Security/Privacy
Life Log/Log Mining

・iT-Enhanced Engineering(iT-Enhanced Awareness)
Persuasive Technology/Visualization
Context Awareness
Internet of Things
Knowledge Management and Mining
Presentation Technology
Interaction Design
Augmented Reality

・iT-Enhanced Service
政策立案支援
ECO System
Open System

（5）おわりに

日本は克服しなければならない多くの課題を抱えており、課題解決に向けて、今すぐ活動を開始すべき時期に来ていると思われる。IT（iT）によって先端技術を融合し、数値目標を持った具体的目標（出口イメージ）を共有し、インクルーシブにシステムをデザインすることによって新技術開発が促進され、課題解決が可能になるであろう。歴史を振り返ると、ITの分野では、実問題への適用によって新技術が創出され、イノベーションが行われ、社会や文化を変革してきた。課題先進国日本の持つ課題の解決を通して、IT発の新たなイノベーションが行われることを期待する。

Cチーム　成果報告スライド

Cチーム
まとめ

リーダー：小菅一弘教授
（東北大学）

1

チームメンバー

- 小菅一弘　東北大学大学院工学研究科　教授（CRDS特任フェロー）
- 黒田忠広　慶応大学 理工学部　教授
- 古原和邦　産業技術総合研究所情報セキュリティ研究センター　主幹研究員
- 高橋健司　日本電信電話株式会社NTT情報流通プラットフォーム研究所 プロジェクトマネージャ
- 竹林洋一　静岡大学創造科学技術大学院　教授
- 金子 健司　JST研究開発戦略センター　フェロー
- 石正 茂　JST研究開発戦略センター　戦略推進室長・フェロー

2

iTによるSustainable Society の実現

古原，黒田，高橋，竹林
金子，石正，丹羽，小菅

3

iT

IT の本質は5つの i

iT(i Technology)
- information
- interaction
- inclusion (Inclusive-design)
- integration
- innovation

4

iT

- “Computer Science is the Science of Interactions,”（1×1＞2）by Minsky
- iTは先端技術を融合するシステムインテグレーション技術
- 具体的目標（出口イメージ）を共有し，インクルーシブにデザインすることが必要.
- 過去のIT 関連分野の歴史を考えると、実問題への適用によって新技術が創出され、イノベーションが行われ，社会や文化を変革してきた.

5

iT

- iT に期待されているのは何かを考え、「日本で必要とされているグランドチャレンジ」の方法論について議論
  - 日本は課題先進国であり、日本の問題を解決することがグローバルな問題解決につながる.
  - 先端技術分野の研究の方向を揃え，有機的に統合し，課題を解決し，Social Wishに応えるのがiTの研究開発

6

Cチーム　成果報告スライド

iT

- 現状で何を問題と認識すべきかについて議論し、現状はどうなっていて、5年後、10年後、20年後にはどうあるべきかという方向で議論を行い、現実的な骨太の研究開発シナリオを描いていけないか.

7

解決すべき課題

（1）少子高齢化
- ➢労働力不足，経済活動の低下，税収減少などによる，社会の活力低下.
- ➢生活の質を向上しつつ、いかにして社会コスト（医療、介護等のコスト）の削減を行うか.

8

解決すべき課題

（2）食の安全：
- ➢今後予想される様々な環境変化の中で，いかにして安全・安心な食を確保するかは大きな問題ある.
- ➢IT 技術を駆使することによって、安定供給と安全性の確保ができないか？

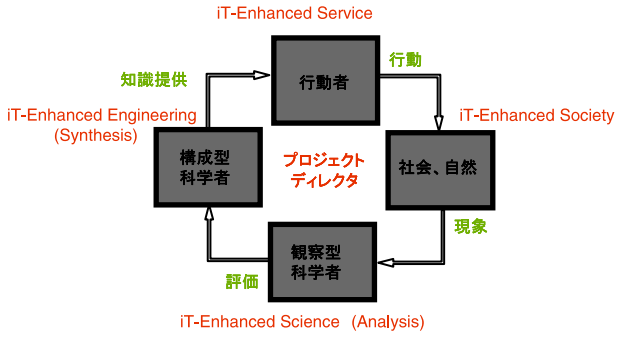
9

解決すべき課題

（3）環境破壊の抑止とエネルギー安全保障：
- ➢CO_2の25%削減が目標として掲げられた.
  CO_2を削減しながらエネルギーをどのように確保するか.
- ➢どのようにすれば環境破壊の抑止とエネルギー問題の解決になりうるか.
- ➢IT の観点から新しい提案ができないか.

10

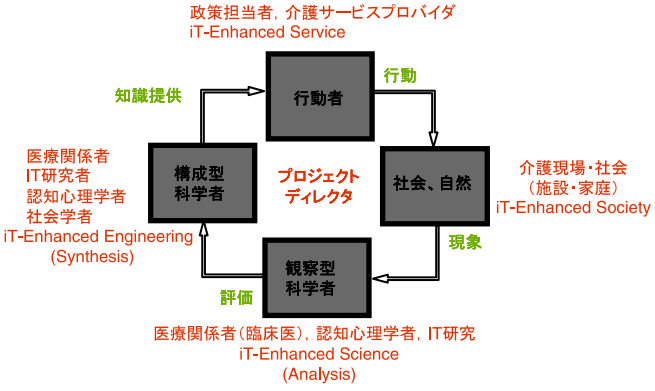
iT プロジェクトの設計論



集合的知性（collective intelligence）のテーゼ
“ループをなすネットワークが持続性に必要な知識を創出する”

11

高齢化社会を元気にする 統合活力生活支援システム （2020年で社会コスト50%削減）



12

Cチーム　成果報告スライド

高齢化社会を元気にする 統合活力生活支援システム （2020年で社会コスト50%削減）

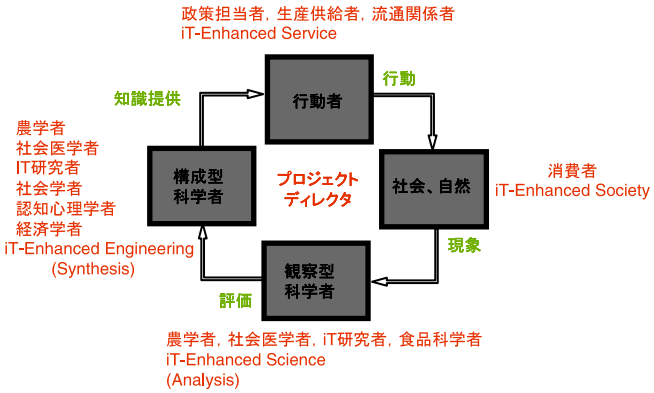
iT-Enhanced Evidence-based Science
- Multi-modal Sensing
- Federation Computing
- Inclusive Design
- Security/Privacy
- Ubiquitous Sensor Network
- Internet of Things

iT-Enhanced Engineering
- Ubiquitous Energy Network
- Ubiquitous Sensor Network
- Agile Integration
- Cyber-Physical Interface
- Human-robot Interaction
- Wearable Technology
- Service Contents Design
- Haptics
- Robot Systems Integration Science

iT-Enhanced Service
- User-centered Supply Chain Management

13

食の安全保障を実現する 食サステイナブルサプライチェインシステム （FSSC）



14

食の安全保障を実現する 食サステイナブルサプライチェインシステム （FSSC）

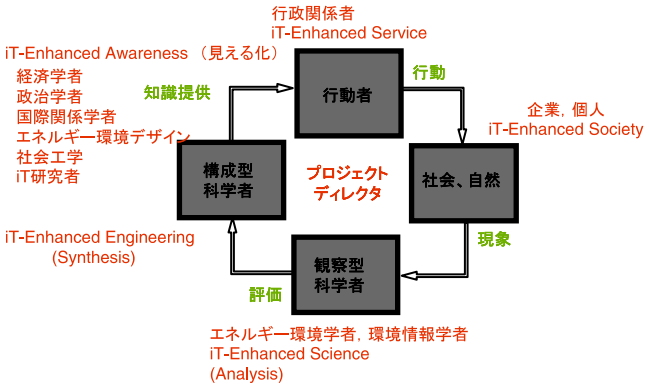
iT-Enhanced Evidence-based Science
- Internet of Things
- Multi-modal/ Integrated Sensing
- Sensor on Chip/Bio Chip
- Large Area Electronics
- Bio-Photonics
- Inclusive Design
- Security/Privacy

iT-Enhanced Engineering
- Ubiquitous Energy Network
- Ubiquitous Sensor Network
- Internet of Things
- Digital Forensics
- Knowledge Management and Mining

iT-Enhanced Service
- Dependable Supply Chain Management

15

CO_2削減[見える化]プロジェクト （2020年25%削減）



16

CO_2削減[見える化]プロジェクト （2020年25%削減）

iT-Enhanced Evidence-based Science
- Ubiquitous Energy Network/Energy Scavenging
- Ubiquitous Sensor Network
- Multi-modal Sensing
- Federation Computing
- System of Systems
- Internet of Things
- Inclusive Design
- Security/Privacy
- Life Log/Log Mining

iT-Enhanced Engineering
- Persuasive Technology/Visualization
- Context Awareness
- Internet of Things
- Knowledge Management and Mining
- Presentation Technology
- Interaction Design
- Augmented Reality

iT-Enhanced Service
- 政策立案支援
- ECO System
- Open System

17

付録

18

Cチーム　成果報告スライド

ITによる生活の質の向上と社会コストの削減

課題：　少子高齢化時代にいかにして生活の質の向上と社会コストの削減を両立するか？

具体的な問題：

- 労働人口の減少と税収の減少
  - 子育て支援による女性労働力の確保
  - 医療、介護における社会コスト削減
  - 治安の維持・確保
  - 高齢者の自立支援
    - 長期にわたる高齢者の自立した生活の維持

19

高齢化社会を元気にする統合介護支援システム技術プロジェクト

現状（介護の場合）：

1か月のコスト　6052億円（2009年4月）

居宅サービス全体で前年同月比7.8%増の2899億円

- 訪問介護が3.2%増の573億円
- 通所介護が8.9%増の835億円
- 通所リハビリテーションが5.7%増の338億円
- 福祉用具貸与が7.3%増の150億円
- 短期入所生活介護が8.3%増の256億円
- 特定施設入居者生活介護は15.5%増の228億円
- 居宅介護支援は13.1%増の269億円

施設サービス全体では、3.2%増の2655億円

- 介護老人福祉施設が5.4%増の1309億円
- 介護老人保健施設が6.5%増の970億円
- 介護療養型医療施設は10.2%減の375億円

地域密着型介護サービス全体では、11.4%増の498億円

- 認知症対応型共同生活介護は4.0%増の358億円

20

高齢化社会を元気にする統合介護支援システム技術プロジェクト

GC：　ITにより先端技術を統合，ビジネスプロセスをスリム化，充実感・満足感を向上させつつコスト削減可能な統合介護支援システム技術を開発する（2020年で50%削減目標）

【内容の例】

介護コストの削減

- 食事・排泄・入浴・リハビリテーションなどのサービス向上と省人化
- メンタルな問題
  - 認知症の介護支援
  - 認知症患者の自立支援
- 加齢による機能低下のサポート
- プライバシーの確保

認知症の予防

- 疫学調査の効率化

寝たきりの予防

21

4

まとめと今後の検討項目

4.1 分科会のまとめ

今後重要となる具体的な研究開発課題は、本会議に先立ち、6つの技術分野（エレクトロニクス、フォトニクス、コンピューティング、セキュリティ・ディペンダビリティ、ネットワーク、ロボティクス）で分科会を構成して俯瞰を行った。この結果、各分野の俯瞰図、重要研究開発課題のリスト（6分野から76課題）、およびホットトピックス（注目すべき動向、技術の芽など）をアウトプットとして得た。

エレクトロニクス分科会では、今後10年程度で実現されるべきコンセプトを5項目抽出し、ピラミッドの頂点として表現するとともに、そのコンセプトを構成する要素技術をシリコン系材料／非シリコン系材料、材料／デバイス／プロセス／デバイス／回路／アーキテクチャといった階層構造となるように表現した俯瞰図を構成し、あわせて実現可能な時期と日本が競争力を有するものを示した。

フォトニクス分科会では、昨年CRDSで作成した「電子情報通信分野 科学技術・研究開発の国際比較 2009年版」の中綱目ごとに研究開発課題を検討し、重要研究開発課題を14項目抽出し、その技術的な成熟度と日本が競争力を有するものを示した。

コンピューティング分科会では、日本の強みを生かしてグローバルに通用する強い情報技術を生み出すことを念頭に、「エビデンスベース・ソサエティ（EBS）」をキーコンセプトと捉え、新しいコンピューティング・パラダイムを5項目示した。これらのコンピューティング・パラダイムの上に、「Next-ITイネイブラ」（技術）、「Next-ITの目標／課題」を配した俯瞰図により、人・地球・社会への技術的な貢献の方向性を示した。

セキュリティ・ディペンダビリティ分科会では、研究開発される技術の出口・応用先を意識しつつ重要研究開発課題をリストアップし、昨年CRDSで作成した「電子情報通信分野 科学技術・研究開発の国際比較 2009年版」の５つの中綱目「社会」「基盤技術」「ソフトウェア・システム」「ネットワーク」「デバイス・物理特性」に対応させて粒度を調節し、22項目の重要研究開発課題を示した。

ネットワーク分科会では、「インターネットの普及と社会インフラ・インターネットの新たな展開」「ユーザのICTスキル向上」「まだまだ続く半導体技術の向上」「ITと異分野の融合」「スマートグリッド」など、ネットワーク分野に関連した社会のホットトピックスについて、指数関数的に成長する技術・要素（10X Powerと呼ぶ）等の観点から分析を行い、10項目の重要研究開発課題を示した。

ロボティクス分科会では、実世界応用を意識しない研究はありえないという観点から、ロボットの貢献が期待される重要な応用分野（application-oriented robotics）と、複数の応用分野に適用可能でかつロボティクス技術の発展に重要な役割を果たすと考えられる基盤技術分野（fundamental robotics）についてそれぞれ10項目、合計20項目の重要研究開発課題を示した。

技術分野を俯瞰するためには、一定の価値観を持ち込む必要がある。この価値観は、お集まりいただいた各技術分野の有識者の議論によって表出化してくるものであり、大変興味深い。ただし、この技術分野に対する価値観が全ての技術分野で共通になることは希であり、それらを統合することの是非については今後も議論していく必要があると考えられる。

いずれにしても、研究開発投資の設計を行うにあたっては、こうした技術分野の重要研究開発課題を偏り無く収集しておくことは極めて重要であり、今回のワークショップの成果は今後の活動の貴重な資源となる。

4.2 本会議のまとめ

技術分野別俯瞰結果をベースとして、俯瞰ワークショップⅣの本会議（9/23-24）では、６つの技術分野の専門家を極力偏りなくミックスしたAチーム、Bチーム、Cチームの３チームに分かれ、主として社会的期待から研究開発課題までをつなぐ「骨太のシナリオ」の作成を試みた。チームリーダーは、CRDS特任フェローの石塚満教授（東京大学情報理工学研究科）、市川晴久教授（電気通信大学電気通信学部）、小菅一弘教授（東北大学大学院工学研究科）にそれぞれお願いした。

当初予定していた、「統合俯瞰図（各分科会で作成された俯瞰図を統合したもの）」の作成は、今回のワークショップ本会議では行わなかった。議論を進めるうちに、分科会ごとに技術のとらえ方がそれぞれ異なることが明らかになり、現時点でそのまま統合するには無理があるとの判断による。各技術分野の大まかに位置づけを表現した統合俯瞰図は俯瞰ワークショップⅢで得られており（図1.3）、電子情報通信分野の全体構造についての議論はこの俯瞰図で足りると考えられる。

なお、技術分野を超えて俯瞰図を統合していく方法論については、今後も検討の余地は残されていると認識している。

Aチームでは、我が国が全ての分野でトップに立つことはできない。日本が「勝てる」ワーキング仮説として、国家新情報基盤構築のための基幹技術の研究開発を議論した。

Bチームでは、社会的ニーズの大きな流れ、我が国における研究開発への期待、危機感、問題意識を共有した上で、我が国の取るべき新たな研究開発戦略試案を議論した。

Cチームでは、ITは実問題への適用が重要であるとの認識から、社会がITに期待していることは何かを考え、「我が国で必要とされているグランドチャレンジは何か」を議論した。

ここでの議論の成果を、What（国として投資すべき重要研究開発課題）、How（研究開発およびそれに基づくイノベーション実現のための研究推進方法）、Why（なぜそれを国が行うべきか、それによってどのような社会の期待に応えられるのか）の3つの視点から整理したものが表4.1である。

表4.1　ワークショップ（本会議）で各チームが作成した骨太のシナリオの主な構成要素

What		
Aチーム	**Bチーム**	**Cチーム**
●国家情報基盤 ➢エビデンスベースソサエティ（EBS）コンピューティング基盤 ➢セマンティック・コンピューティング ➢Sustainable IT グランドチャレンジ候補： ➢医療・健康 ➢防災・安全モニタリング ➢Green IT ➢SCM（Supply Chain Management)+トレーサビリティ、品質管理 ➢Global Creative Platform（知の流通基盤）	●ローパワー化したセンサネットワークを使いこなす新しい情報技術プラットフォームの構築 ●省エネルギー・省資源化・省力化をねらったサステナビリティIT（新陳代謝技術）の開発 ➢ユビキタスネットワーク ➢センサ ➢サービス（センサデータ管理・処理）	●ITによるサステイナブル社会の実現 (例) ➢社会を元気にする［統合活力生活支援システム］(2020年で社会コスト50%削減) ➢食の安全保障を実現する［食サステイナブルサプライチェインシステム（FSSC）］ ➢CO2削減［見える化］プロジェクト（2020年25%削減）
How		
Aチーム	**Bチーム**	**Cチーム**
●インクルーシブデザイン　ユーザをまきこんだ推進体制 ●グランドチャレンジとして応用領域を決め、基盤までを対象にする ●コミュニティ、集合知の利用 ●システム技術を育てる ●大型プロジェクト	●技術進展の評価サイクルを技術のフェーズにあわせて構成する（サステナビリティは超長期)。 ●研究開発コミュニティ形成の核となるアプリケーションを適切な規律の下で開発する。 ●日本国内の問題（海外でも受け入れられるもの）を徹底的に解き、その技術を包括的に輸出する。	●集合的知性（collective intelligence）のテーゼに基づき、下記ループをなすネットワークを形成し、持続性に必要な知識を創出する ➢iT-Enhanced Service ➢iT-Enhanced Society ➢iT-Enhanced Evidence-based Science（Analysis） ➢iT-Enhanced Engineering（Synthesis）
Why		
Aチーム	**Bチーム**	**Cチーム**
●EBSコンピューティング基盤に関しては、情報の安全保障という観点で進め、その延長線上で日本が勝てる技術をみがく ●日本を情報技術によって高度化する（よりスマートにする） ●世界に先駆けた日本の課題を解決し、それが世界に広がる ●セマンティック・コンピューティングに関しては、日本発の技術があり世界に貢献できる	●新しいパラダイムシフトを起こし、世界をリードできる。 ●“もったいない”省エネルギー・省資源化・省力化 パラダイムシフトを起こせる研究戦略の要素： ➢コミットすべき10X Power ➢Social Wish（分野） ➢ターゲットシステム・サービス（ロックインターゲットと補完ターゲット） ➢基盤技術 ➢成長の仕組み	●実問題への適用によって新技術が創出され、イノベーションが行われ、社会や文化に変革が起こされる。 ●課題先進国「日本」が認識すべき問題の例： ➢少子高齢化 ➢食の安全 ➢環境破壊の抑止とエネルギー安全保障

Aチームは、日本で真に必要とされる情報技術の革新を行い、そのユニバーサルな価値を世界に広めるという戦略的なアプローチをとるべきであるとの考えに基づき、「国家新情報基盤（JNII）構築のための基幹技術開発」を目標としたシナリオを描いた。この国家新情報技術基盤は、医療・健康、防災、交通、環境保護、行政サービス、教育、学術研究等の分野で具体的なグランドチャレンジ目標を設定して取り組まれるべきであるとした。

Bチームは、半導体技術（小型化・コストダウン・低消費電力化）、光通信技術（伝送の高速大容量化）、オープン開発（ソフトウェア開発・システム開発に携わる人の爆発的増大）に着目し、既存インフラのメンテナンスについて、全体を置換することなく必要最小限、最適な更新で対処可能とする技術のニーズが高い社会的期待をふまえた「サステナビリティIT」実現を目標としたシナリオを描いた。基盤技術の候補を示すだけでなく、産業基盤創造に長時間を要することを指摘し、大学が核となって仕組み作りを進めていく大きな仕掛け（インセンティブや評価などの設計も含む）が必要であるとした。

Cチームは、「高齢化社会を元気にする統合活力生活支援システム（2020年で社会コスト50%削減）」「食の安全保障を実現する食サステイナブルサプライチェインシステム（FSSC）」「CO_2削減「見える化」プロジェクト（2020年50%削減）」といったグランドチャレンジ型のプロジェクトでITによる持続可能な社会の実現を目指すというシナリオを示した。この中で、ITを５つのi（information, interaction, inclusion, integration, innovation）に関する技術ととらえ、ITは先端技術の融合を可能とするシステムインテグレーション技術であるとともに、システムを構成する全ての要素間に様々なインタラクションを誘発し、イノベーションを生み出すことが可能になる技術であるとした。そして、こうしたITの本質をふまえるならば、研究開発は具体的数値目標が共有されたユーザと開発者によるインクルーシブなデザインによって進められるべきであるとした。

4.3 本会議終了後の検討状況と今後の課題

本会議に先立ち、参加していただいた有識者の方々にアンケートを行い、(1)今後我が国の電子情報通信分野をどのように発展させていくべきか、(2)そのために国はどのような研究開発投資を行うべきか、(3)それによってどのような社会の期待に応えられるか、についてとりまとめた（付録6）。

このアンケート結果と、本会議での各ワーキングチームの作ったシナリオを基礎資料として、そこに含まれるキーワード・コンセプトをカード化

し、階層的に整理した（図4.1）。

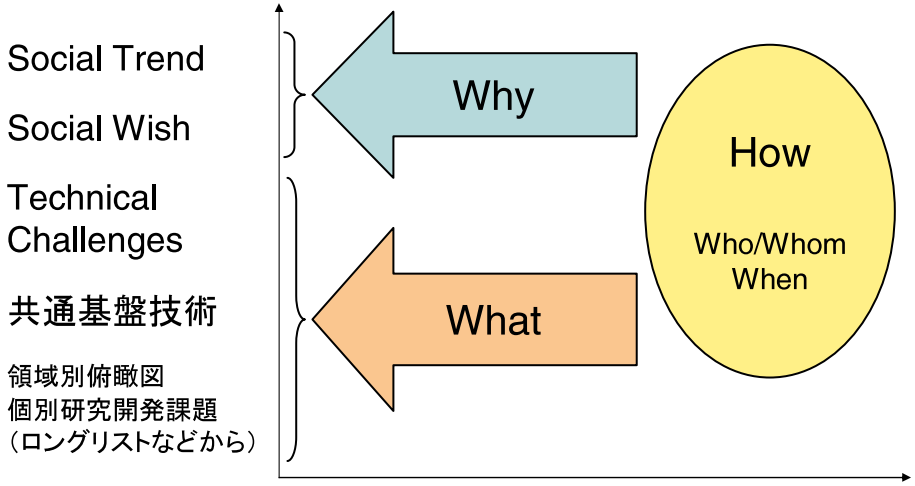


図4.1　俯瞰ワークショップで得られたシナリオに含まれるキーワード・コンセプト群の階層化方法

Whyのところに整理された情報は、Social TrendやSocial Wishの階層、Whatのところに整理された情報は、Technical Challenges、共通基盤技術、個別研究開発課題の階層として整理した。更に、How（Who Whom When）の部分は、イノベーションエコシステムの枠組み[4]で別途整理した。

Social Trend, Social Wish（Why）と技術課題（What）を階層的に整理した結果を図4.2に示す。

[4] CRDS-FY2007-SP-11　戦略提言「地球規模の問題解決に向けたグローバル・イノベーション・エコシステムの構築」(p.5)

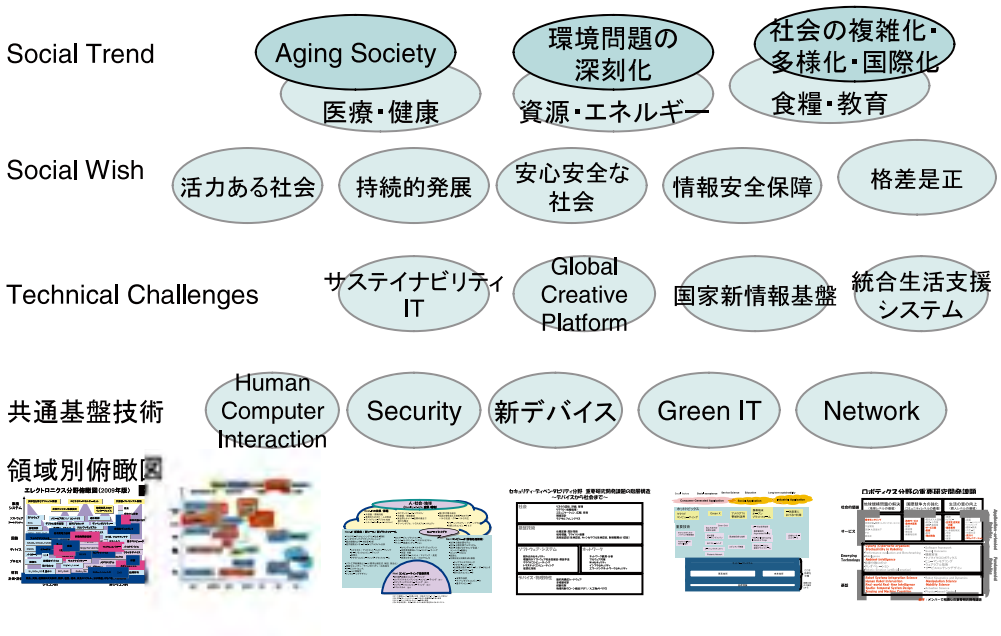


図4.2　階層的に整理されたシナリオ内のキーワード・コンセプト群

特に注目された社会的な方向性（Social Trend）と関連トピックは下記の通りである：

・「高齢化社会（Aging Society）」とそれに伴う医療・健康
・「環境問題の深刻化」とそれに伴う資源・エネルギー
・「社会の複雑化・多様化・国際化」とそれに伴う食料や教育

こうした背景に想定されている社会的な期待（Social Wish）は下記の通りである：

・「活力ある社会」
・「持続的発展」
・「安心安全な社会」
・「情報安全保障」
・「格差是正」

こうした社会的な傾向や期待に応じて挑戦すべき技術課題として、下記が挙げられた：

・サステナビリティ IT（持続可能性を保証する情報技術）
・Global Creative Platform（組織的に知識を生み出すための技術基盤）
・国家新情報基盤
・統合生活支援システム

そして、こうした逃散を支える共通基盤技術として、下記が挙げられた：

- Human Computer Interaction
- Security
- 新デバイス
- Green IT
- Network

こうして階層化することで、図4.3のように、社会の傾向や社会的期待と、それを実現するための大きな技術課題やそれに必要な個別要素技術をうまく接合し、芋づる式に重要研究開発課題群を引き出していくことが可能になる。このように、社会的期待と接合された重要研究開発課題群こそ、骨太のシナリオの骨格となっているものである。

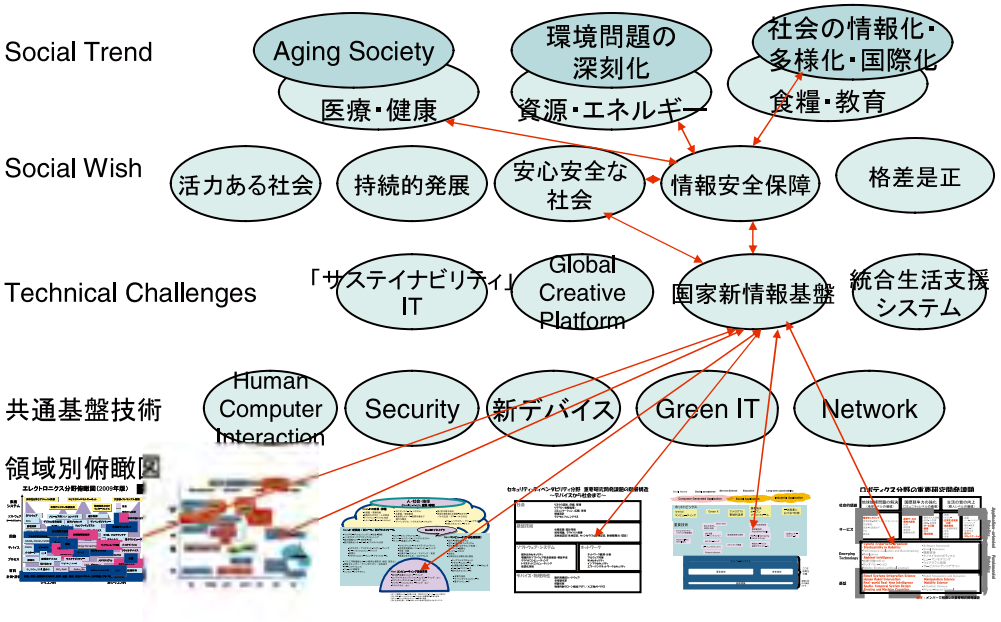


図4.3　階層的に整理されたシナリオ内のキーワード・コンセプト群から作り出す骨太のシナリオの骨格（例）

研究推進方法（How）を整理すると、以下のような留意が必要である：

イノベーションを起こすプロセス全体を視野に入れ、①研究開発の端緒をつかみ、②研究開発の場で鍛え上げ、③さらに社会の中で鍛えていく必要がある。

①研究開発の端緒をつかむにあたって、下記に着目すべきである：

- 今開発の主流となっている技術ではなく、萌芽的な技術にコミットする。
- 10X powerが何かを意識して技術開発課題を設計する。
- 強い技術をさらに強くする意識を持つ。

②研究開発の場で鍛え上げるにあたっては、下記に着目すべきである：
・課題解決型（社会的・技術的）の研究開発を行う。
・数値目標を設定する。
・グランドチャレンジ型で研究者の力を結集する。
・コンペティション形式の研究開発投資とする。
・Inclusive Designとする。
・スモールスタートで少しずつ大きくしていく。
・積み重ね、成果が次の研究開発に引き継がれるように設計する。
・コミュニティ形成と集合知の活用を意識する。
・異業種連携に留意する。
・長期投資を確保する。
③社会の中で鍛えていくにあたって、下記に着目すべきである：
・オープンで拡張可能な実証環境を構築する。
・ネットワーク外部性の利用、システムロックイン（デファクトスタンダード取得）を目指す。
・技術進展の評価サイクルを技術のフェーズにあわせる。
・プロダクト・サービス・メンテナンス技術を一体的輸出する。
・日本独自の技術を日本で徹底的に磨き、競争力をつける。
・共通化（標準化）する分野と競争する分野を明確化する。
・社会技術の研究開発も並行して実施する。

以上の整理結果に基づいて、技術的チャレンジ候補とそれに取り組むべき社会的意義を抽出した。例を以下に示す：
・サステナビリティ IT：社会の成熟化に伴い、老朽化しつつある既存人工物（社会インフラなど。ソフトウェアを含む）を適切にメンテナンスし、できるだけ長く利用せざるをえなくなっている。また新たに構築する人工物には適応的に進化できる仕組みを実装することが必須であり、そのような技術の研究開発が必要。
・Global Creative Platform：少子高齢化時代に於いて社会の活力を維持するためには、国内にとどまらず世界の知を活用することが必要であり、そのため言語の壁を越えて知の共創を支援する情報技術が必要。
・国家新情報基盤：国や企業の重要な情報が少数の（海外）企業によって管理される事態は情報安全保障の観点から避けるべきであり、そのために国内にセキュアかつディペンダブルな情報基盤の構築が必要。
・統合活力生活支援システム：高齢化に伴う社会コストの増大が国の財政の大きな負担になっている。このままの状況が続けば、我が国の財政は破綻する危険がある。この課題を緩和するためにITを活用した統合生活

支援システムが必要。

今回のような骨太のシナリオを作る試みにより、重要研究開発課題をその意義とともに抽出できると考えている。骨太のシナリオの骨格に肉付けをする作業は、今後戦略プロポーザルを具体的に検討する際に個別に行う。

5

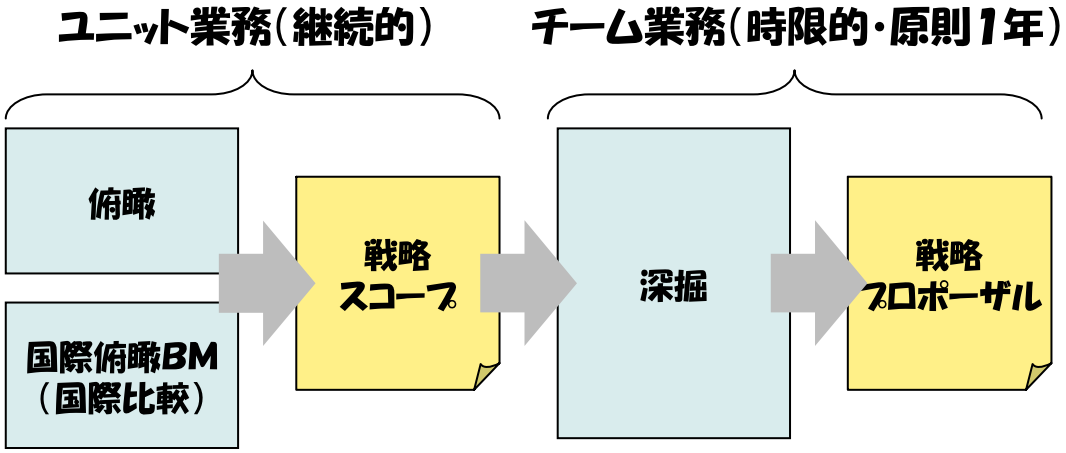
付録

付録１　俯瞰ワークショップとは

独立行政法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター（JST/CRDS）は、JSTの研究開発戦略を立案するとともに我が国の研究開発の推進に資することをミッションとして活動を行っている。CRDSの電子情報通信ユニットでは、電子情報通信系の研究開発動向をもれなく俯瞰し、その流れに即して国の研究開発投資分野を合理的に抽出することを目的に、俯瞰ワークショップを実施している。

CRDSの成果である研究開発投資戦略の提言（戦略プロポーザル）は、ある設定された目標を達成するための方法を提言するものである。この戦略プロポーザルは、設定されるべき目標が含まれそうな分野、領域、課題を含むと想定される土俵（戦略スコープ）を設定し、そこを深掘することでとりまとめられる。戦略プロポーザルは、戦略スコープごとに組織されるチームのアウトプットとなる。

戦略スコープを切り出すに先立って、実施されるのが俯瞰ワークショップである。戦略スコープが広い観点から合理的に抽出されたものでなければ、結果としての戦略プロポーザルも説得力を持たなくなる。従って、俯瞰ワークショップは、「目標設定」すなわち、将来の研究開発投資分野を決定するための極めて重要な活動である。



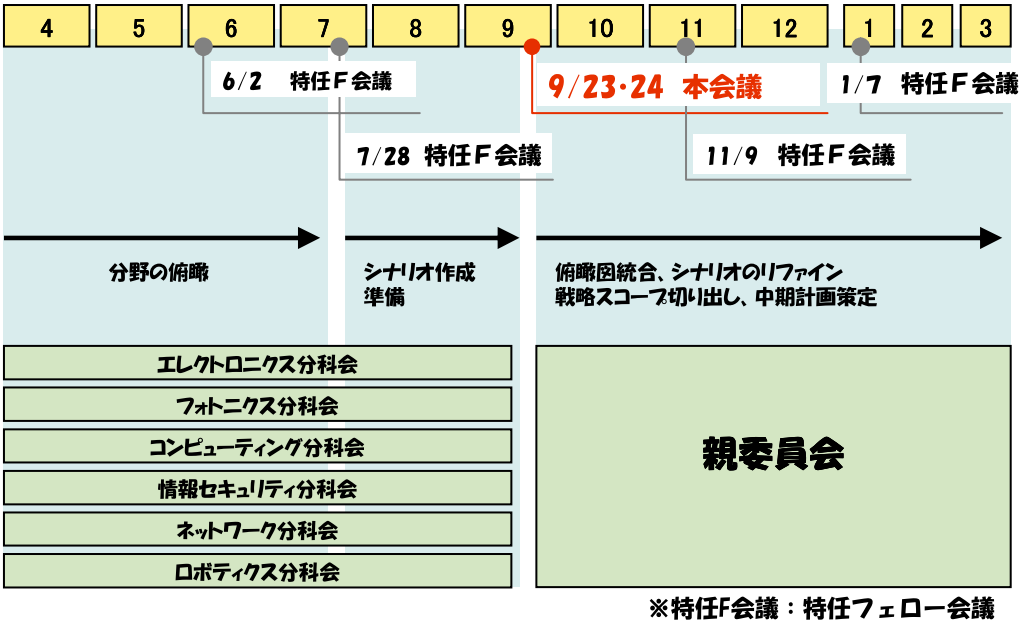
ユニットのミッション：俯瞰を行い、戦略スコープを切り出す
チームのミッション　：切り出された戦略スコープについて深掘りし、戦略プロポーザルを作成する

図A：CRDSの業務フローにおける俯瞰の位置づけ

付録２　俯瞰ワークショップⅣの検討プロセス

（１）スケジュール

2009年3月　検討開始
2009年4月～6月　分科会での議論
2009年6月～9月　分科会成果のとりまとめ・骨太シナリオの議論
2009年9月23、24日　ワークショップ（本会議）



図B　全体スケジュール

（２）分科会の記録

エレクトロニクス分科会
　メールベースディスカッション（９名）　平成21年4月･5月
　第１回分科会（９名）　平成21年5月14日（木）　9:00～14:00
フォトニクス分科会
　第１回分科会（４名）　平成21年5月1日（木）　10:00～12:00
　第２回分科会（５名）　平成21年7月9日（木）　13:00～15:00
コンピューティング分科会
　第１回分科会（12名）　平成21年5月30日（土）　13:30～17:00
　第２回分科会（９名）　平成21年6月25日（木）　13:30～17:00
セキュリティ・ディペンダビリティ分科会
　第１回分科会（11名）　平成21年4月24日（金）12:00～13:00
　第２回分科会（９名）　平成21年5月27日（水）10:00～11:00
　第３回分科会（12名）　平成21年6月26日（金）10:00～11:00

ネットワーク分科会

第１回分科会（9名）	平成21年5月11日（月）	18:00～21:00
第２回分科会（9名）	平成21年5月26日（火）	18:00～21:00
ミニ分科会（6名）	平成21年7月1日（水）	18:00～21:00

ロボティクス分科会

第１回分科会（7名）	平成21年5月9日（土）	13:30～17:00
臨時分科会（10名）	平成21年5月25日（月）	9:00～13:00
第２回分科会（7名）	平成21年5月29日（金）	13:00～16:00
第３回分科会（8名）	平成21年6月18日（木）	18:00～21:00

付録３　分科会メンバー一覧　（☆はリーダー）

エレクトロニクス分科会　（９名）

☆桜井貴康	東京大学　生産技術研究所	教授
内山邦男	株式会社日立製作所 研究開発本部	技師長
黒田忠広	慶応義塾大学　理工学部	教授
黒部　篤	株式会社東芝　半導体研究開発センター	副センター長
篠田裕之	東京大学　生産技術研究所	准教授
染谷隆夫	東京大学　工学系研究科　量子相研究センター	教授
年吉　洋	東京大学　生産技術研究所	准教授
最上　徹	SELETE　第4研究部	部長
伊東義曜	JST-CRDS　電子情報通信ユニット	主任調査員

フォトニクス分科会　（12名）

☆黒田和男	東京大学　生産技術研究所	教授
伊藤雅英	筑波大学　大学院数理物質科学研究科	教授
井元信之	大阪大学　大学院基礎工学研究科	教授
小柴正則	北海道大学　大学院情報科学研究科	研究科長・教授
後藤顕也	東海大学　開発工学部 情報通信工学科	教授
小山　理	キヤノン株式会社　基盤技術開発本部	専任主席
進藤典男	ソニー株式会社　技術戦略部	担当部長
田口常正	山口大学大学院	研究特任教授
馬場俊彦	横浜国立大学大学院工学研究院	教授
宮本　裕	NTT未来ねっと研究所	主幹研究員
中野義昭	東京大学　先端科学技術研究センター	教授
金子健司	JST-CRDS　電子情報通信ユニット	フェロー

コンピューティング分科会　（11名）

☆石塚　満	東京大学　情報理工学研究科	教授
横井俊夫	Japio　特許情報研究所	顧問
田中　譲	北海道大学　大学院情報科学研究科	教授
竹林洋一	静岡大学　創造科学技術大学院	教授
石田　亨	京都大学　大学院情報学研究科	教授
橋田浩一	独立行政法人産業技術総合研究所（産総研）	次長
淺川和雄	株式会社富士通研究所	フェロー
楠正憲	マイクロソフト	部長
勝山光太郎	JST-CRDS　電子情報通信ユニット	フェロー
服部隆志	JST-CRDS　電子情報通信ユニット	フェロー
南谷　崇	JST-CRDS　電子情報通信ユニット	フェロー

セキュリティ・ディペンダビリティ分科会　（12名）

☆今井秀樹	産総研　情報セキュリティ研究センター（RCIS）	研究センター長
井上大介	NICT　情報通信セキュリティ研究センター インシデント対策グループ	主任研究員
今福健太郎	産総研　RCIS　物理解析研究チーム	研究チーム長
宇根正志	日本銀行金融研究所	企画役
大岩　寛	産総研　RCIS　ソフトウェアセキュリティ研究チーム	研究員
大塚　玲	産総研　RCIS　セキュリティ基盤技術研究チーム	研究チーム長
古原和邦	産総研　RCIS	主幹研究員
佐藤　証	産総研　RCIS　ハードウェアセキュリティ研究チーム	研究チーム長
須崎有康	産総研　RCIS　ソフトウェアセキュリティ研究チーム	主任研究員
田沼　均	産総研　RCIS　セキュリティ基盤技術研究チーム	主任研究員
渡辺　創	産総研　RCIS	副研究センター長
嶋田一義	JST-CRDS　電子情報通信ユニット	フェロー

ネットワーク分科会　（10名）

☆市川晴久	電気通信大学　電気通信学部	教授
大木英司	電気通信大学　電気通信学部	准教授
高橋健司	NTT情報流通プラットフォーム研究所	プロジェクトマネージャ
楠本博之	慶應義塾大学　環境情報学部	准教授
三次　仁	慶應義塾大学　環境情報学部	准教授
藤島　実	東京大学　大学院新領域創成科学研究科	准教授
武智竜一	株式会社富士通研究所	主任研究員
葉玉寿弥	NTT未来ねっと研究所	主幹研究員
勝山光太郎	JST-CRDS　電子情報通信ユニット	フェロー
服部隆志	JST-CRDS　電子情報通信ユニット	フェロー

ロボティクス分科会　（11名）

☆小菅一弘	東北大学　大学院工学研究科	教授
淺間　一	東京大学　人工物工学研究センター	教授
石黒　浩	大阪大学　大学院工学研究科	教授
鈴森康一	岡山大学　大学院自然科学研究科	教授
油田信一	筑波大学　大学院システム情報工学研究科	教授
中内　靖	筑波大学　大学院システム情報工学研究科	准教授
平井慎一	立命館大学　理工学部	教授
松日楽信人	株式会社東芝　研究開発センター	技監
水川　真	芝浦工業大学　工学部電気工学科	教授
石正　茂	JST-CRDS　電子情報通信ユニット	フェロー
嶋田一義	JST-CRDS　電子情報通信ユニット	フェロー

付録４　ワークショップ（本会議）参加者一覧

浅間　一　東京大学 人工物工学研究センター　教授
石黒　浩　大阪大学大学院 工学研究科　教授
石塚　満　東京大学 情報理工学研究科　教授（CRDS特任フェロー）
市川晴久　電気通信大学 電気通信学部　教授（CRDS特任フェロー）
今井秀樹　産業技術総合研究所 情報セキュリティ研究センター　研究センター長（CRDS特任フェロー）
宇根正志　日本銀行 金融研究所　企画役
黒田忠広　慶応義塾大学 理工学部　教授
黒田和男　東京大学 生産技術研究所　教授（CRDS特任フェロー）
黒部　篤　株式会社東芝 半導体研究開発センター　副センター長
小菅一弘　東北大学 大学院工学研究科　教授（CRDS特任フェロー）
古原和邦　産業技術総合研究所 情報セキュリティ研究センター　主幹研究員
桜井貴康　東京大学 生産技術研究所　教授（CRDS特任フェロー）
高橋健司　日本電信電話株式会社 NTT情報流通プラットフォーム研究所　プロジェクトマネージャ
竹林洋一　静岡大学 創造科学技術大学院　教授
三次　仁　慶應義塾大学 環境情報学部　准教授
油田信一　筑波大学大学院 システム情報工学研究科　教授
横井俊夫　日本特許情報機構 特許情報研究所　顧問

（以上氏名五十音順）

丹羽 邦彦　JST研究開発戦略センター　上席フェロー
石正 茂　JST研究開発戦略センター　戦略推進室長・フェロー
勝山 光太郎　JST研究開発戦略センター　フェロー
嶋田 一義　JST研究開発戦略センター　フェロー
金子 健司　JST研究開発戦略センター　フェロー
南谷　崇　JST研究開発戦略センター　フェロー
服部 隆志　JST研究開発戦略センター　フェロー
伊東 義曜　JST研究開発戦略センター　主任調査員

付録５　ワークショップ（本会議）プログラム

開 催 日：平成２１年９月２３日（水）13:00-20:00
　　２４日（木）　9:00-15:00
開催場所：JST研究開発戦略センター 2F大会議室
司　　会：丹羽 邦彦（JST研究開発戦略センター 上席フェロー）

23日

◇セッション1：　分科会成果の共有・トーンセッティング　13:00-15:30

① 俯瞰プロジェクトの説明　（13:00-13:10）
　丹羽 邦彦　上席フェロー
② 分科会報告（１０分×６分科会）　（13:10-14:10）
　各分科会リーダー
③ トーンセッティング・意見交換　（14:10-15:10）
　丹羽 邦彦　上席フェロー
④ 自己紹介兼ポジションペーパー紹介（1分×17名）　（15:10-15:30）

休憩（30分）

◇セッション2：　グループ討論　16:00-20:00

フェーズ１　（ワーキングチームに分かれて議論を進めます）　（16:00-18:30）

夕食（30分）　（18:30-19:00）

中間報告（１０分×３チーム＋意見交換）　（19:00-20:00）
　各チームリーダー

24日

◇セッション２：　グループ討論（続き）　9:00-12:00

フェーズ２　（中間報告での議論をふまえてチームの成果をとりまとめ）

昼食（60分）

◇セッション３：　成果発表・まとめ　13:00-15:00

◇特任フェロー会議 **15:30-17:00**

グループ討議のチーム分け（敬称略）

Aチーム
リーダー：石塚
メンバー：淺間、宇根、黒部、三次、横井、服部、勝山

Bチーム
リーダー：市川
メンバー：石黒、今井、黒田（和）、桜井、油田、嶋田

Cチーム
リーダー：小菅
メンバー：黒田（忠）、古原、高橋、竹林、石正、金子

巡回メンバー：　南谷、丹羽

ワークショップ（本会議）の大まかな流れ

事前に、参加者全員に、「今後我が国の電子情報通信分野をどのように発展させていくべきか」「そのために国が行うべき研究開発投資」「それによって、どのような社会の期待に応えられるか」についてのポジションペーパー（A4サイズ1～2ページ）を作成していただき、ワークショップでの議論のウォーミングアップをする。

セッション１では、これまで６分科会（エレクトロニクス、フォトニクス、コンピューティング、セキュリティ・ディペンダビリティ、ネットワーク、ロボティクス）で議論してきた内容を各分科会のリーダーが簡単に発表し、参加者全員で概要を把握する。（10分×6分科会=60分）。セッション最後に各参加者がポジションペーパーの紹介を行う。

セッション２では、参加者全員でグループ討議を行う。参加者を専門分野が偏らないように３つのチームに分け、各チームリーダーの設定した枠組みを基本にして、下記について自由に意見交換を行う。

- **今後我が国の電子情報通信分野をどのように発展させていくべきか**
- **そのために国はどのような研究開発投資を行うべきか**
- **それによって、どのような社会の期待に応えられるか**

意見交換の結果を反映させて、チームリーダーはチームとしての見解をまとめる（150分）。なお、初日の最後に中間報告（10分×3チーム=30分）を行い、全員で意見交換を行う（30分）。翌日、前日の中間報告での意見交換をふまえて、グループ討議を継続し、チームとしての意見をとりまとめる（180分）。なお、後日、分科会の成果と接合することを念頭に、分科会での議論の成果をできるだけ取り込めるようにする。

セッション３では、昼食後、３つのチームのチームリーダーが、グループ討議の成果を発表する（発表15分+質疑5分：３チームで60分）。この発表に対して、参加者全員で意見交換を行う（60分）。

付録６　ワークショップ（本会議）参加者のポジションペーパー

E-1桜井貴康（東京大学生産技術研究所）

１．今後我が国の電子情報通信分野をどのように発展させていくべきか

IRTと物理世界が融合する中で、より人々の生活に浸透し、知らず知らずにサービスを受けつつ、人々がつながり、永続的で快適な暮らしを営む手助けをする。そのためには物理世界がかかわる多様なアプリに対応した「どこでもエレクトロニクス」環境を構築することが望まれる。

一方、エレクトロニクスを支える集積回路の超微細化技術は超量産にしか耐えられない技術になり、新しい多様なアプリを支えるエレクトロニクス技術が必要となっている。

２．そのために国はどのような研究開発投資を行うべきか

物理世界がかかわる多様なアプリに対応した「どこでもエレクトロニクス」環境構築のための新規イノベーション領域

巨大な数

➔極低消費電力
➔極高効率、低コスト化
➔次世代シリコン集積技術
➔超量産を可能にするアジャイル集積

どこでも

➔極近距離ワイヤレスコミュニケーション
➔ユビキタスエネルギーソース
➔ユビキタス・エネルギーネット

インタフェース

➔センサ、アクチュエータ
➔物理世界とＩＴのインタフェース
➔多様性を育むアジャイル集積技術
➔大面積エレクトロニクス

３．それによって、どのような社会の期待に応えられるか

IRT技術が減災、交通、ボディ、タウン、ホーム、ヘルスケア、教育分野などに浸透し、社会、産業、科学、安全・安心を実現。

少子高齢化問題、環境問題、エネルギー問題、食料問題、日本は問題先進国。これをIRT新技術で解くことによってJapan brandを強化、産業的なglobal展開の基礎とする。

E-2黒田忠広（慶應義塾大学）

１．今後我が国の電子情報通信分野をどのように発展させていくべきか

過去30年の電子情報通信分野の産業と技術の発展を支えた原動力の一つに半導体集積回路の産業と技術の著しい進展があった。しかし、技術的にはムーアの法則が減速を始め、産業的には急増する経済的リスクに産業構造が対応できなくなりつつある今日、半導体集積回路の産業と技術の新しい成長戦略と指導原理を見出すことが、即ち我が国の電子情報通信分野の今後の発展に不可欠と考える。

２．そのために国はどのような研究開発投資を行うべきか

半導体集積回路の新たな成長戦略の基盤となる技術体系の研究開発に投資すべきである。例えば、以下のような研究が重要になると考える。

1)「３次元集積システム」：システムインパッケージを実現するデバイス、回路設計、設計自動化、製造技術の追究。

2)「汎用デバイスで多様な専用システムを実現する集積技術」：汎用デバイスと専用デバイスを組み合わせて専用システムを構築する技術。産業のコメから社会のミズへと発展拡大させるための、デバイス、回路設計、設計自動化、製造技術、産業構造の研究。

3)「人間や環境と親和するエレクトロニクス」：エレクトロニクスが我々の日常生活に溶け込みその姿を消すためには何が必要かを追究する。使用モデル（使い捨て？回収？）に合った製造やデバイス（省エネ製造、環境親和デバイス）の研究など。

4)「超小型・軽量集積システム」：1mm以下のチップを用いたアプリケーション、シス

テム設計、実装技術、インタフェース技術の探求。
5)「無線給電システム」：データ通信のみならず給電もワイヤレスにすることで新しい応用を開拓。
6)「人間中心のマン・マシーンインタフェース」:ユビキタス時代の新しいインタフェースの探究。ライフサイエンスとエレクトロニクスの学術融合。
7)「テラヘルツ波を用いた家庭での医療・診断用エレクトロニクス」：医工連携。

3．それによって、どのような社会の期待に応えられるか
個人・社会・環境の安全・安心・品質管理・持続成長に貢献できる。

E-3黒部 篤（東芝　半導体研究開発センター）
1.今後我が国の電子情報通信分野をどのように発展させていくべきか
シリコンの微細化ロードマップは、NAND-FLASHメモリでは未だ顕在であるが、システムLSI用の先端CMOSでは、経済的、技術的にメリットが享受できにくくなり、その限界が見え始めている。LSIの指数関数的な記憶容量と演算速度を牽引してきたのは、PC、携帯電話やDTVなどのデジタルプロダクトであるが、少なくとも先進国には飽和感があり、技術戦略上の大きな変換点にあると思われる。今後の半導体を中心とする電子情報通信市場は、従来の民生機器に加え、環境、エネルギー、ヘルスケア、車載応用、介護（ロボット含む）などの、社会インフラ的な広がりがより大きな比重を占めてくると期待される。
このような新市場には、微細化ロードマップのような、2年で4倍といった明確で指数関数的な技術ロードマップは存在しない。安全・安心、省エネ・省資源、使い易さ、パーソナライズ、といった顧客価値（出口戦略）を念頭においたロードマップの作成と技術開発が必須になるであろう。
2.そのために国はどのような研究開発投資を行うべきか
●半導体分野では、微細化追求（More Moore）から多様化（More Than Moore)へのシフト。
●集積度や速度向上といった量的イノベーションの継続も必要ではあるが、質的に新たな価値を生み出すイノベーションの創出をより強化する必要がある。そのために、異業種連携によるオープン・イノベーションやグローバルな研究開発などを促進すべきであるが、垣根を越えた連携は日本の得意とするところではなく、国レベルの施策が必要と思われる。
●異業種連携では、とくに、システムを意識した、上位レイヤとの連携が重要。たとえば、LSIで言えば、各種のアプリケーションとの連携が、より重要になると思われる。
●新たなシステムの構想、テストベッド、カスタム・デバイス開発、国際標準化の推進。
●設問１で記載した価値を創出するための基盤技術として、情報ネットワークの高度化技術、情報・流通に続くエネルギーのネットワーク技術、あらゆるレベル（システム・機器・素子）での省エネ技術、信頼性・セキュリティ向上技術、インタフェース技術、各種ユビキタス・センサ技術、など多岐に渡る技術革新を推進する必要がある。
●国際競争力を担保する知財獲得や標準化の推進。
3.それによって、どのような社会の期待に応えられるか
●社会インフラ/システムの高信頼性、高効率化、操作し易いインタフェースなどにより、高齢化社会における安心・安全を提供する。
●システム、機器、デバイスの各レベルでの省エネ化により、CO2削減に貢献。
●知財、標準化で猛追するアジア諸国への国際競争力の確保。

P-1黒田和男（東京大学）
１．今後我が国の電子情報通信分野をどのように発展させていくべきか
１）日本はもの作りで発展してきた。今後も得意な分野に力を注ぐべきだと思う。
２）通信技術の進歩は、高速大容量化にある。これからもまだこの方向に進むべきであろう。具体的には、コヒーレント通信、電子デバイスの高速化、多値化、光交換、光ルータなど。さらに先を見越すと、量子通信や量子計算がどうなるか。
3)もう一つの流れは、省エネルギー化。通信分野で消費されるエネルギーの割合は年々増加している。社会の持続可能な発展のためには、省エネルギー技術の進歩は不可欠である。

２．そのために国はどのような研究開発投資を行うべきか

基礎研究に投資する。

３．それによって、どのような社会の期待に応えられるか

１）通信インフラの健全な発展なしに現代社会は成り立たない。

２）日本企業がこの分野のビジネスで発展すること。

C-1石塚　満（東京大学　情報理工学系研究科）

１．今後我が国の電子情報通信分野をどのように発展させていくべきか

情報は今後とも社会や個人活動の様式を左右する重要な要素であり、それらを変革していく原動力である。インターネット、Webにより情報及び知識の流通、グローバルな共有、更には集合知のような共創の形態は大きく変化した。流通、蓄積される情報量は今後とも増大することは確実であり、その利活用法が個人、社会、そして国の活力、創造力、競争力に反映することになる。電子情報関連産業は現状では日本の基幹となっている産業となっているが、グローバル化する経済、社会の中でこの競争力を保持、発展させていくかは、日本の将来にとって重要な課題である。

その情報産業だが、国内に大きなマーケットが存在することから規模は大きいものの、1990年代以降、グローバルレベルでのイノベーション・新技術創出力が低下してきている。ハードウェアが関係する機器や部品レベルでは、依然として健闘していると言えるが、ITサービスの共通的、基盤的プラットフォームやグローバルに支配点なソフトウェア等の点で、見るべきものを生み出せない状況といえる。

政府系の研究開発投資も行われてきているが、グローバルレベルでインパクトのある新技術創出の点で成功していない。大きな流れを俯瞰した上で研究開発のシナリオ力が不足している。

社会において必要度が高いシステム目標を設定し、その開発を通して新規情報技術を開発し、日本のITの国際競争力を高めるという方策は決して悪くはない。何故なら、強いITは実社会における実用と、それを改良、向上させる開発とのスパイラル展開によって育つことになるからである。一方で、必要度が高いシステムを目標にして技術開発を行っても、グローバルに通用する競争力のある情報技術が育つとは限らないことも事実である。

本年６月にIT戦略本部から出された「i-Japan計画」を見ると、各省庁から関係するITニーズを収集し、整理したといった感が強く、目先のことに囚われすぎており、内向きであり、グローバル性を持ち骨太の日本としての新技術開発の目標、戦略が欠如している。「この取り組みを通じて「国」としての競争力を高める」、「世界的な共通課題を克服することは通じて世界的なリーダーシップを取っていくことが可能になる」、「新興国も含めて幅広く受け入れられるようにする努力が必要」といった文面が見られ、意識としては良いと思うが、それを可能にする具体性のある戦略が見られない。最後に「デジタルグローバルビジョン（仮称）の策定」は今後の課題とされ、日本が採るべき技術戦略についてまだ何も言及されていない。この技術戦略なくして単にニーズに基づく研究投資を行っても、グローバルスタンダードになる強いITを生み出すことは期待できない。

IT分野で何もかも日本がトップに立つことはできないので、グローバルな動向を把握した上で、日本が先導すべきかつ勝算のある技術領域を定め、骨太の目標を立て、グローバルスタンダードになる技術を育成する必要がある。グローバル化しているIT分野では、グローバルスタンダードにならなければ決して強くはならない。そこでグローバルな流れを俯瞰した上で、では何を日本のIT開発の骨太の技術戦略にすべきかが課題になる。

２．そのために国はどのような研究開発投資を行うべきか

骨太の戦略テーマ名称として（Aチームの議論課題にも挙げたが）、大きなレベルでは「国家新情報基盤(JNII)構築のための基幹技術開発」を作業仮説として議論してみたい。

そのより具体的戦略サブテーマとして「意味計算(Semantic Computing)基盤」に特に注目したい。以下の理由による。

- ●自然言語テキストで記述された情報はWebに見られるように主要な情報・知識の表現形式であるが、大量・大規模になってくるとコンピュータの力を借りなければ活用できない。今後、意味レベルに立ち入った活用が重要になってくるが、その基盤として自然言語テキストが表す意味概念を共通的に記述する言語が必要になる。
- ●世界的に見て先駆的な日本発の技術がある。これは個別言語に依存しないユニバーサルな記述言語となっている。従って、言語の壁を超える情報・知識の交流を促す

媒体となる（コンピュータ世界のエスペラント語と言える）。英語を中心とする国ではこのような言語障壁克服技術には関心が薄いので、非英語国である日本が世界に貢献することにより、広く世界から評価される。これにより国際技術として広まる可能性が大いにある。

●少子化により人口減少が進む日本で創造力を保つために、安易に移民に頼ることは出来ないと思う。そうであるなら、言語の壁を超えて情報の流通、共有を可能にする情報技術によって世界の智を活用できる環境を整備することは、日本の今後の重要な戦略的方策になる。

3．それによって、どのような社会の期待に応えられるか

余り異論がないと思われる高レイヤの目標としては以下となろう。

人・社会・地球（Quality-of-Life、産業、環境）

もう少し具体化したレイヤのNext-ITの目標として、コンピューティング分科会報告で挙げている項目の中から（個人的に）重要と思うものを抜粋すると以下となる。

- エビデンスベース・ソサエティ
- 外部脳 / 環境知能
- 共創場 / 価値創造
- 言語の壁を超える情報・知のグローバルな交流 / グローバルな共生
- シルバー QoL
- 教育のためのIT/人材育成
- 第２世代電子政府
- 50億人のコンピュータ＆IT

C-2竹林洋一（静岡大学　創造科学技術大学院）

1．今後我が国の電子情報通信分野をどのように発展させていくべきか

1）既存の電子情報通信機器システムの数値性能向上（小型・高速・高精度・大規模・大容量・高信頼性・高性能化）への集中から脱却し、人間・社会、に何が必要かという観点で、「専門の呪縛」にとらわれないバウンダリーレスな価値創造の縦断/横断型の研究を推進すべきある。

2）我が国で進行する少子・高齢化社会における安心で豊かな生活を実現するため、人間の思考・行動・コミュニケーションの仕組み（メカニズム）を解明/モデル化する縦断的基礎研究と、生活者重視の医療・福祉・教育の新しいコンテンツ/サービス開発の研究を発展させるべきである。

3）企画構想力重視のソフト的基盤研究と、新しいコンテンツ/サービス開発を連動させながら、継続性のある研究/技術/産業分野をスパイラル的に深化発展させるべきである。

2．そのために国はどのような研究開発投資を行うべきか

1）リアリティーと継続性のあるソフト的横断型/縦断型研究への投資を拡大し、ソフト研究のリーダーとキーマンを育成すべきであり、設備投資よりも人件費を重視すべきである。

2）数値性能向上は産業界に極力任せ、投資規模が少なくて済む、目的指向・生活者重視のソフト的価値創造とエビデンス重視の思考・コミュニケーションの基礎研究を拡大すべきである。

3)「研究」指向の脳科学の壁を乗り越え、実世界指向で人間の思考･感情･コミュニケーションを包括的に捉え、コモンセンス科学、思考プログラミングの本格基礎研究に投資すべき。

4）国はグローバルかつソフトウェア重視で、ソフト的基礎・基盤研究に投資すべきである。

3．それによって、どのような社会の期待に応えられるか

1）少子・高齢化が進行する中で、福祉・医療・生涯学習などに関するサービス・コンテンツのバウンダリーレスな開発を通じて、安心・安全・活力ある生活の実現に直接寄与できる。

2）目的指向・生活者重視の縦断型/横断型研究で、正直でリアリティーのある成果が継続的に得られ、人間に関わる地道な基礎研究と応用開発の社会的な認知度が高まる。

3）ソフト的研究による価値創造が、大型な設備投資がなくても、比較的少額な投資で可能なことが明らかとなり、若手研究者が人間社会の多様な要求に応える研究にバウンダリーレスに挑戦するという意識が高まり、社会からの期待が高まる。

C-3横井俊夫（Japio特許情報研究所）

情報通信技術の研究開発戦略のための技術シナリオを検討するに際して、参考にすべき２つのシナリオがある。2009年７月にIT戦略本部が発表した「i-Japan戦略2015」と2009年2月にIBMが発表した「Smarter Planet」である。

i-Japan戦略2015

IT戦略本部が2009年７月に発表した日本のICT基盤整備の中長期計画であり、我が国の2015年のデジタル社会の将来ビジョンとその実現のための新たな視点に立ったデジタル戦略をまとめたものである。計画の要点として、①国民（利用者）の視点に立った人間中心のデジタル技術、②国民（利用者）に受け容れられるデジタル社会、③世界共通の利用技術や利用形態となって新興国を含め幅広く受け容れられるデジタル技術、この３つを挙げている。

本戦略計画は、2001年に策定された「e-Japan戦略」に始まる。この戦略は、情報通信基盤の整備を主眼とするものである。次に、その利活用方向への進化を目途に「e-Japan戦略Ⅱ」が策定され、ついで、2006年１月に「IT新改革戦略」が策定された。この戦略は、構造改革による飛躍、利用者・生活者重視、国際貢献･国際競争力強化などを主眼とするものである。そして、本年４月に、世界同時不況に対する緊急対策のひとつとして「三か年緊急プラン」が策定され、７月に「i-Japan戦略2015」がまとめられた。これら2つは、一体をなす。なお、2004年７月に総務省が発表した「u-Japan」がある。IT戦略ではなくICT戦略としてまとめた政策である。‘ｕ’は、「ubiquitous, universal, user-oriented, unique」を意味するとされる。

本戦略計画の基本コンセプトは、２つの‘ｉ’であるとされる。Digital inclusion（デジタル技術が経済社会全体を包摂する存在となる）とDigital innovation（デジタル技術・情報により経済社会全体を改革し、新しい活力を生み出す）の‘ｉ’である。

本戦略計画が施策する要点をまとめると以下となる。

（１）三大重点分野

①電子政府・電子自治体分野：行政窓口改革、行政オフィス改革、行政見える化改革、国民電子私書箱、ワンストップ行政サービス、政府CIO、法制度整備

②医療・健康分野：遠隔医療、日本版HER（Electronic Health Record）、医療機関SaaS、電子カルテシステム、医療情報システム標準化、オンラインレセプト、救急医療連絡支援システム

③教育・人財分野：教員のデジタル活用指導力向上、教育用コンピュータ･デジタル機器、教育コンテンツ、情報教育、校務情報化、高度デジタル人材育成、大学の情報教育･デジタル基盤･遠隔教育

（２）産業・地域の活性化及び新産業の育成

中小企業の事業基盤整備、産業の競争力強化、情報システム産業の改革促進、テレワーク就労人口の拡大、グリーンIT･ITSの推進、クリエイティブ新市場創出、地域の活性化、デジタルグローバルビジョンの策定

（３）デジタル基盤の整備

ブロードバンド基盤整備、使いやすい機器の普及、情報セキュリティ対策の確立、デジタル情報流通・活用基盤整備、デジタル基盤技術開発促進

施策の中でデジタル基盤技術として開発推進すべきものとして、以下のような方向付けがなされている。

三か年緊急プラン：世界最高水準の超高速・高信頼・極小エネルギー消費型の革新ネットワーク技術、次世代デバイス技術、特別の眼鏡の要らない三次元映像技術、言語の壁を乗り越える自動音声翻訳技術、大量情報解析技術等

i-Japan戦略2015：次世代IPネットワークのさらに先を見据えた技術、我が国が強みを持つ技術、誰もが快適、安全･安心･高信頼かつ容易にネットワーク上の情報を活用できるようにするための技術、国際標準となり世界各国で幅広く受け容れられること

Smarter Planet

IBMが2009年２月に発表したCorporate visionであり、‘e-business’以来の大設定である。地球をより賢く、よりスマートにをキャッチフレーズに、デジタル・インフラと、物理的インフラが一体化した世界を目指す。基本コンセプトは３つの‘ｉ’である。

Instrumented（機能化）、Interconnected（相互接続）、Intelligent（インテリジェント化）の‘i’である。本ビジョンが目指すスマートなソリューションとして、以下が挙げられている。

持続可能な社会の実現：エネルギー効率化テクノロジー、サステイナブルなビジネス、先進的な社会基盤

スマートなビルディング
グローバル基準で考えるスマートなモノ作り
スマートな金融サービス
スマートな都市：行政サービス、教育、医療、公共安全、交通、エネルギーというユーティリティーの6つの都市機能のスマート化
スマートなITインフラ：Managed Cloud Computing Service
スマートな水資源管理
スマートな意思決定：New Intelligence
スマートな医療：スマートな医療システムと世界中の善意をスマートに集める仕組み
スマートな交通と物流：特に、スマートな食品流通システム
スマートな電力網

日本基盤（Japan-Base）構築のための基幹技術研究開発

本表題を情報通信技術研究開発の戦略テーマと設定し、そのための技術シナリオをまとめる。

参考資料

[1]IT戦略本部：i-Japan戦略2015－国民主役の「デジタル安心・活力社会」の実現を目指して、IT戦略本部（平成21年７月６日）
[2]IT戦略本部：デジタル新時代に向けた新たな戦略－三か年緊急プラン－、IT戦略本部（平成21年4月9日）
[3]日本IBMホームページ：A SMARTER PLANET、IBM、http://www-06.ibm.com/innovation/jp/smarterplanet/
[4]横井俊夫：セマンティック・コンピューティング－知的システム・知的環境の設計原理、人工知能学会誌、21巻６号、pp.683-690（2006年11月）
[5]横井俊夫：日本語の変遷と産業日本語、Japio YEAR BOOK、pp.100-105（2008年11月）

S-1今井秀樹（中央大学）

１．今後我が国の電子情報通信分野をどのように発展させていくべきか

我が国で開発された電子情報通信システムは、その信頼性で高く評価されてきたという面がある。しかし、この面でも、我が国は追いつかれつつあり、しかも、ますます大規模化・複雑化するシステムにおいて信頼性を確保するのは、極めて困難になってきている。このような状況の中で、セキュリティ・ディペンダビリティ技術を大きく発展させ、それに基づいて我が国で開発される電子情報通信システムが安全・安心できることを示し、信頼感を得ることが重要である。

我が国にとってどうしても必要な技術以外、弱いところを強化することはほとんど意味がない。強い部分をさらに強くするしか生き延びる道はないと思われる。

２．そのために国はどのような研究開発投資を行うべきか

電子情報通信分野をその応用分野も含め再整理し、社会のニーズに適合した新たな分野になると思われる先端領域（例えば、セキュア・グリーン・×××）を洗い出し、集中的に支援するとともに、基礎科学に発展すると期待される領域（例えば、セキュリティ・ディペンダビリティ科学）は、安定的に支援していくことが望まれる。

また、多様なニーズに応え、社会の変化にも対応できる技術分野を重視するとともに、人、社会を研究対象として含む分野（例えば、ヒューマンクリプト）を育成していく必要がある。

さらに、近未来に実用化される可能性は小さくても夢のある研究は支援していくべきと考える（例えば、量子通信・量子情報セキュリティ）。

３．それによって、どのような社会の期待に応えられるか

我が国の産業競争力の維持。

安全・安心な社会基盤の構築。

環境・食料・エネルギー問題解決への貢献。
国力の象徴。

S-2宇根正志（日本銀行金融研究所情報技術研究センター）

１．今後我が国の電子情報通信分野をどのように発展させていくべきか

●「使える技術を開発していく」というスタンスが重要だと思います。
●そのためには、ユーザが「当該技術を利用すれば、●●の効果が期待できる」ことを明確にすることが必要です。
●ただし、費用対効果を評価する手法は、通常、新しい技術提案が行われてからかなり後になって研究が本格化する傾向にあり、評価手法の開発が遅れることが多いとみております。
●そこで、新技術の研究を進める一方で、技術の評価の手法についても同時並行で研究を進めることが重要と考えます。
●また、そうした評価では、「当該技術がいつごろまで使えるのか」も合わせて評価し、「使えなくなった後にどうするのか？」までを展望できれば望ましいと考えます。少なくとも、次の技術への移行を容易にするための仕組みを準備しておくことが望ましいと考えます。

２．そのために国はどのような研究開発投資を行うべきか

●技術の評価手法に関する研究は、当該技術分野の提案者が自主的に検討して開発することが望ましいと思いますが、そうした検討は偏りがちであり、中立的な立場から各種手法の評価方法を検討するプロジェクトを実施する必要があると考えます。
●国が行う研究開発投資の一部は、①こうした技術の効果を評価する手法の研究開発に充当するほか、②技術の移行を容易にするための機構の研究開発に充当することが望ましいと考えます。
●なお、こうした検討を行ううえで、ユーザのニーズを吸い上げるための枠組みを準備し、それを研究開発に反映させるというプロセスを加えることが望ましいと考えます。

３．それによって、どのような社会の期待に応えられるか

●上記の１と重複しますが、上記２の研究開発が進展すれば、ユーザは当該技術を利用するメリット・デメリットを判断できるようになり、ユーザ側の満足度が高まると期待されます。
●また、当該技術の利用促進にもつながると考えます。

S-3古原和邦（産業技術総合研究所）

１．今後我が国の電子情報通信分野をどのように発展させていくべきか

他の分野と同様に技術には応用先があって初めて活きるものではあるが、電子情報通信分野が他の分野と異なる点として、その応用先の広さが挙げられる。また、昔のように電子情報通信技術が成熟していなかった時代とは異なり、現在では既存の技術を使っただけでも欲を言わなければそれなりのサービスを提供できる時代になった。一方、市場のグローバル化と利用者の嗜好の多様化に伴い、利用者の嗜好をよりよく満たすか否かの僅かな差が国際的な競争力に大きな差を生む状況にもなりつつある。

このような状況を考慮すると、各技術を伸ばすことに加えて、各技術をバランスよく組み合わせて全体として最も利用者の嗜好に合致させたり、パフォーマンスを挙げたりする全体的アプローチ（holistic approach）により電子情報通信分野を発展させていくことが重要であると考える。

２．そのために国はどのような研究開発投資を行うべきか

一つの技術を深く掘り下げるタイプの研究開発投資も重要であるが、それに加え、複数の技術を巧みに連携させ多様な嗜好に応えるための研究開発投資も必要と思える。また、以下のような利点

- 国民に対して成果が分かりやすい。
- 技術の優劣を判断しやすい。
- 利用者のフィードバックが得られる。

があるという意味でコンペティションタイプ（一つのテーマに対して、複数のチームを参加させ、技術の優劣を競うと共に、その過程で、技術を実用化したり普及させたりす

る際の問題点の抽出と解決を行うタイプ：グランドチャレンジと呼ばれることもある）の研究開発投資も増やすべきと考える。ただし、ここでいうコンペティションとは上記で述べた通り、１つの評価軸で特定の技術のみを過度に深堀りするというより、幅広い視点でユニークな技術を模索したり育てたり、問題点を多くの関係者で共有することなども含まれる。

３．それによって、どのような社会の期待に応えられるか

前述のようなコンペティションタイプの研究開発投資の場合、研究の進捗状況や問題点を多くの関係者で共有でき、かつ、途中で得られた知見や外部からの意見を研究にフィードバックさせることができ、また、プロジェクト終了後には、容易に社会に還元できる成果が得られることが期待できる。

N-1高橋健司（NTT）

１．今後我が国の電子情報通信分野をどのように発展させていくべきか

我が国の電子情報通信分野を発展させるためには､「より多くの人が（非IT専門家でも）」､「より多くの適用分野（環境、第一次産業など）で」、イノベーションに貢献することができるオープンなプラットフォームの構築が重要である。また、クラウド・SaaSや、SNS、電子行政などの台頭に見られるように、社会経済・生活がNW上で提供されるサービスへますます依存していく中では、プライバシを保護しつつ個人のアイデンティティ（ID）情報を様々なサービスで活用できる枠組みが必要である。

２．そのために国はどのような研究開発投資を行うべきか

スモールスタートで、以下の示す新たな技術の実証が行えるオープンかつ拡張可能な環境作りをグローバススケールの産官学共同で推し進めるべきである（このような環境作りそのものが研究対象になりうる）。

- Rapid scale-out Technology
- エンドユーザのためのソフトウェア開発環境
- 帯域スケーラブル通信プラットフォーム
- ユーザイデンティティ活用技術・セキュリティ技術
- 携帯電話用ＡＲ技術
- Real World Computing
- 広域センサネットワーク技術

３．それによって、どのような社会の期待に応えられるか

これらのICT環境を世界に先駆けて構築し、少子高齢化の進展、環境問題の深刻化や新興国の著しい台頭のなかでも、産業の競争力の強化、持続的な発展、および国民生活の質の向上へ貢献する。また、多種多様な分野で、多様な人材の能力を生かすことにより、新たなサービスが新たなライフスタイルを生み、それが、さらに新たなサービスを生むという、イノベーションの連鎖を生みだす、世界の模範となる豊かな社会の実現に資する。これにより、いわゆる「ソフトパワー」の強化を達成し、日本の国際的な地位向上を図ることができる。

N-2三次　仁（慶應義塾大学）

１．今後我が国の電子情報通信分野をどのように発展させていくべきか

- インフラとしてのユビキタスシステム

２．そのために国はどのような研究開発投資を行うべきか

- ユビキタス技術を用いて自主的に構築されたシステム（あるいはソフトウェア、ハードウェア）が、発展的に連携するためのID技術、サービス発見技術、データ変換技術、リソース制御技術、コンテキスト抽出技術に加え、ボキャブラリやシソーラス、地図などのデータ整備についても研究開発を支える重要な項目として支援すべきである。
- 新しい技術、アプリケーションを社会システムに実際に組み込んで、技術検証や社会検証を行うプラットフォームを整備することが、研究開発に適切なフィードバックを行うために重要である。研究者は新しい技術を試すことができ、ビジネス開発者は最新の技術に触れることができる。民力だけで構築、維持することは制度や、経済的理由で困難と思われるので、国のバックアップが望ましい。
- 競争する分野と、共通化する分野を明確にすること。共通化する分野も、初期段階

では競争でよいと思うが、市場による技術評価や国際標準の動向を踏まえて、長期的には国として方向付けを行う分野が必要である。

３．それによって、どのような社会の期待に応えられるか

・ユビキタス技術によって楽しみながら学びながら家庭内・職場内の情報化・省エネが進む（教育、省エネ）
・それが相互につながるようになると、さらに楽しくなる。工夫が生まれる。（地域の情報流通）
・構築した情報システムが共用、共有される。（コミュニティ）
・全体効率化が実現できる（国際競争力）

R-1淺間　一（東京大学　人工物工学研究センター）

１．今後我が国の電子情報通信分野をどのように発展させていくべきか

シーズ開発のみならず、ニーズに基づく開発が重要となる。特に、わが国のGDPの70%以上を占める第三次産業の生産性向上のための研究開発が重要となるであろう。具体的には、サービス分野における、人のサービス活動支援のための技術開発、サービスの効率的設計・開発、適応的サービスの提供、新たな価値創造、など。

シーズとしては、いわゆる計算機とネットワークなどをベースとする情報世界における情報処理・通信技術のみならず、RT技術センサデバイスやアクチュエータなどのメカトロニクス要素技術、それによる検知・計測・認識・制御技術、それらを統合した移動、搬送、マニピュレーションなどのシステム統合技術など、実世界（物理世界）の電子情報通信技術としてのRT技術が重要となる。実際のニーズに対し、これらの技術を実用化し、それがビジネスとして展開する（事業化する）ための技術開発、ディペンダブルなシステム構築技術などが重要である。

また、複数のディシプリンにまたがるような学際的な研究開発を発展させることも重要である。

２．そのために国はどのような研究開発投資を行うべきか

確実な研究開発のみならず、リスクの大きな先端的な研究開発にも投資を行うべきである。その一方で、RTにおける技術開発などは、積み重ねが重要であり、重要な技術に対する継続的で地道な投資が必要である。前のプロジェクトの成果を利用するプロジェクトを実施するなどの工夫が必要である。

DARPAのGrand Challengeのように、複数のプロジェクトで競争させたり、勝者に賞金として研究費を配布したりすることも有用な投資戦略であろう。重複を排除するような投資戦略は、余計な投資を抑えるという点でよいようにも思えるが、競争力を弱体化するという点で欠点もある。

また、単なる投資だけでなく、研究開発した成果を社会に普及させるためには、規制緩和など、制度設計なども同時に考える必要がある。省庁間連携も重要。

３．それによって、どのような社会の期待に応えられるか

〇安全・安心な社会の構築。
〇少子高齢化社会における労働力不足の解消。
〇新産業創出。
〇環境対策。持続的社会の構築。

R-2石黒浩（大阪大学大学院基礎工学研究科システム創成専攻）

１．今後我が国の電子情報通信分野をどのように発展させていくべきか

〇ユビキタス・コンピューティングやロボット技術を取り入れ、より人間に親和的な情報化社会をつくる。
〇そのためには、システム開発を通した人間理解がより重要になる。システムを開発し、それを実際に人間社会で利用しながら、さらにシステムを改良するという、構成的なアプローチが必要である。
〇また、人間理解をより深めるためには、認知科学や脳科学との融合的な研究がより重要になる。
〇さらに、システム開発においては、そのシステムを発想する能力が必要である。そのためには技術の前に芸術にも取り組む必要がある。
〇まとめると、人間理解の分野と融合しながら、技術をより広くとられられる芸術とい

う範囲で、研究開発に取り組むことが重要となる。

２．そのために国はどのような研究開発投資を行うべきか

〇技術開発だけでなく、芸術的な活動、特に情報分野では、メディアアートの世界に投資を行うべきである。日本国はあまりにも芸術分野が弱い。

〇新しいシステムは、計画の上に生まれるのではなく、多くのチャレンジの結果として生まれる。故に、若手のユニークな発想の育成や、ベンチャー企業の育成に投資をすべきである。

〇一方で、インフラは大企業によって支えられる。そのインフラを多くの研究者や起業家に開放するための施策に投資をすべきである。

３．それによって、どのような社会の期待に応えられるか

〇日本が情報分野で、部品開発だけでなく、製品開発においてもイニシャチブがとれるようになる。

〇特に日本が圧倒的に優位なロボット技術を核にした新しいマーケットを育成することができる。

〇日本の技術料を背景に、世界をリードできる研究者や起業家を育成できる。

R-3油田信一(筑波大学)

１．今後我が国の電子情報通信分野をどのように発展させていくべきか

●20世紀の後半に起こった科学技術の爆発的発展によって、特に現代日本の人々は飢えや凍死の脅威から脱却し、通信・情報処理や豊富な電力供給・冷房・空調技術などによって極めて快適な生活を送っている。また、テレビなどに代表される技術による各種のエンタテイメントまで与えられて、「生きがい」すら近年の技術に直接的に支えられている。

●21世紀の一つの技術的用件は、これらの快適さを提供している技術やシステムの維持の効率化を図り、本当に必要な電力や道路等のインフラストラクチャを中心とした社会的システムを確実に維持することである。

●維持しなければならないインフラが爆発的に増え、かつ人口が減少しつつある現在、これらの維持は単に現在の技術の延長では達成できない。

●社会がこの素晴らしい快適な状況に慣れてしまった現在、20世紀にこの快適さを基礎と実装の双方を提供してきた電子情報通信分野には、それを維持するための手段も提供する義務と責任がある。

●電子情報通信分野としても(特に大学における研究や国の助成による研究開発においては)、(単に目先のマーケットではない)真の社会のニーズを先取りして予測し、それに従って社会にどのように貢献するかのビジョンを持ちつつ技術開発を進めるべきである。

２．そのために国はどのような研究開発投資を行うべきか

●要素技術だけでなく要素を組み合わせて、ニーズに基づいた普通の人に使えるシステムを構築する技術。

●具体的な問題が与えられた時にそれを解決するための技術体系の構築。

●論理的な単純化されたモデルの中だけでなく、人間が住む実世界の中で人間と共存して機械(情報処理機器)が作業を行うための技術。

●現在の社会を支えている電力・通信・道路等のインフラストラクチャを現実的なコストで維持し続けるための(自動化・省力化等の)技術。

●研究開発と並んでそのための人材育成(システムや技術開発側と、それを利用する側＝こちらの方が人数が多い)も不可欠である。

３．それによって、どのような社会の期待に応えられるか

●大きな社会的問題に囲まれ乍ら、益々次の問題を内側から作り出しつつある現代社会において、本質問の背景にある「まず技術があり、それによって社会の期待に応える」という20世紀型構造は、学術研究・基礎研究としても脱却すべきと考えます。

●サイエンティフィックな研究もこれからは南北問題、少子高齢化、格差などの社会の諸問題を見据えて、その解決に必要なことは何か、それに対して科学や技術が何を提供し得るか、の視点で考えるべきです。

●私はその諸問題の一つとしての中で、先進国においては21世紀後半に至っても現在の快適な生活を維持すること、開発途上国においては、先進国並みの生活が出来る

ようになること目指すことが重要と考えています。

●上の1. と2. に記したのは、その中でとくに、フィージブルなマンパワーと努力で社会のインフラ（電力系や道路などの）のメインテナンス(維持)を達成し、(まずは日本において)22世紀に入っても現在の快適で安心な生活が維持できるようにすることを目標とした結果です。

■ワークショップ企画メンバー■

丹羽 邦彦	上席フェロー	（電子情報通信ユニット）
嶋田 一義	フェロー	（電子情報通信ユニット）
金子 健司	フェロー	（電子情報通信ユニット）
伊東 義曜	主任調査員	（電子情報通信ユニット）
勝山 光太郎	フェロー	（電子情報通信ユニット）
服部 隆志	フェロー	（電子情報通信ユニット）
南谷 崇	フェロー	（電子情報通信ユニット）
石正 茂	フェロー	（電子情報通信ユニット・戦略推進室）

※お問い合わせ等は下記ユニットまでお願いします。

科学技術未来戦略ワークショップ報告書

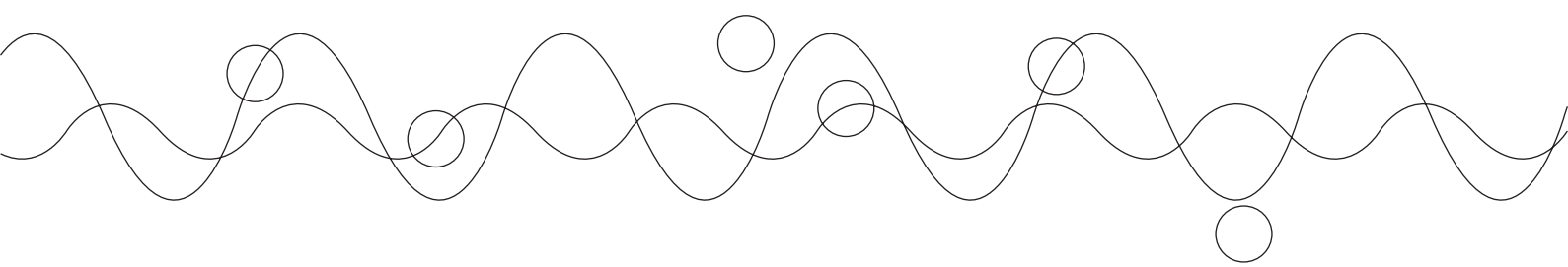
科学技術未来戦略ワークショップ（電子情報通信系俯瞰ＷＳⅣ）報告書

CRDS-FY2009-WR-04

独立行政法人 科学技術振興機構 研究開発戦略センター

平成21年12月

電子情報通信ユニット

〒102-0084 東京都千代田区二番町３番地
電話 03-5214-7484
ファックス 03-5214-7385
http://crds.jst.go.jp
©2009 JST/CRDS

許可なく複写・複製することを禁じます。
引用を行う際は、必ず出典を記述願います。