

研究開発戦略センター報告書

CRDS-FY2003-WR-02

科学技術未来戦略ワークショップ
(電子情報通信系)
報告書

平成16年1月29日(木)～31日(土)

於：ラフォーレ南紀白浜

平成16年5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



Japan Science and Technology Agency

Executive Summary

1. 本ワークショップの背景と概要

独立行政法人科学技術振興機構（JST）において研究開発戦略の立案機能を抜本的に強化するため、平成15年7月に研究開発戦略センターが新設され、以下のミッションのもとに活動を開始した。

- ・ ファンディング機関と研究者集団をつなぎ
- ・ 国全体の科学技術予算を分析し
- ・ 世界各国の科学技術政策と比較し
- ・ 国の研究開発戦略を構想・立案する

そのなかで生駒グループは主として電子情報通信系を担当しており、この分野の研究開発ファンディング戦略を明確にするため、専門家によるワークショップを開催した。具体的に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つに分け、それぞれに分科会を設けて今後重要なとなる技術分野・研究開発テーマを洗い出し、その重要性に時間軸を加えて策定することを目的とした。今回は最初のワークショップであるため、まず各分野の全体を俯瞰的に眺め、その中から重要テーマを抽出することに重点を置いた。

ワークショップの開催場所はラフォーレ南紀白浜（和歌山県）、開催日は平成16年1月29日（木）～31日（土）の2泊3日でおこなった。分科会毎にコーディネータとコーディネータ補佐をお願いし、メンバーの人選、テーマの選定、当日の司会進行、議論のまとめなどをしていただいた。個別分科会の他にいくつかの合同分科会を設けて、横断的テーマを議論した。またプレナリーセッションでは基調講演（生駒俊明 上席フェロー「研究開発戦略について」）・特別講演（坂村健 東大教授「科学技術未来戦略」）が行われた。参加者は総勢82人（うち、研究者52人）であった。

本ワークショップの成果の活用は、長期的には第三次科学技術基本計画への反映（～平成16年末）、中期的には文部科学省予算配分への反映（～平成16年央）、直近ではJSTの基礎研究の領域策定への反映（～平成16年3月）に役立てていくことを考えている。

2. 議論の概要

各分科会（コーディネータも記す）で議論された内容を要約して以下に記す。

（2. 1）エレクトロニクス分科会

谷口研二（阪大）

電子デバイスはIT社会の屋台骨であり、SiとくにCMOSが今後のトレンドのリーダーシップを取ることは疑いない。CMOSの将来技術を中心に据えて以下のテーマを議論

した。

- ・ 極低消費電力集積回路：微細化に伴うリーク電流の抑止等目前に迫った大問題
- ・ 動的再構成デバイス：米国に押さえられている FPGA の間隙を突く日本の戦略
- ・ 極限構造デバイス： $<10\text{nm}$ 世代を目指した革新技術の種と研究推進の仕組み
- ・ 柔らかいディスプレイ技術：有機 LED など有機半導体の台頭と今後の課題
- ・ 分子エレクトロニクス：Si 的トップダウンから自己組織的ボトムアップへ

CMOS テクノロジーの膨大な資産は MEMS を含むその他のデバイス開発にも活用されるべきであり、大学関係者にとっては分野を超えた総合デバイス研究所の設置が強く望まれる。また、材料・デバイス・回路・設計・システムにわたる統合的研究リーダーの育成が急務である。

(2. 2) フォトニクス分科会

中野義昭（東大）

光情報記録と光情報通信を我が国が強みを有する二大産業分野として位置づけ、それらに關係する要素技術と今後の展開について掘り下げた議論を行った。主なテーマは合同分科会を含めて以下のとおりである。

- ・ 光情報記録・ナノフォトニクス：Tbit/in² 級記録密度に向けた課題と探索
- ・ 超高速光エレクトロニクス：フェムト秒技術の未解決課題および応用探索
- ・ フォトニックネットワーク：上位レイヤから見た光技術の進展と導入シナリオ
- ・ 光インタコネクト：電気配線の高速限界打破と標準化対策における施策の必要
- ・ 光集積技術：応用の如何を問わず光集積化は必要だが Si(CMOS) と競合避けたい
- ・ 光通信の将来技術：光パケット交換と量子（暗号）通信が究極の光通信か

なお、参加者からは異口同音に米国 D A R P A のフォトニクス関連プロジェクトをマークすべきとのコメントがあった。また、光 I T バブル崩壊による市場構造変化などにより、産業応用としては幅広い展開をすべき時期であることが認識された。元来、光技術は産業分野に特化しているものではなく、電子情報通信系で育まれてきたがより広範に適用されるべきものであろう。そうした視点からすると極めて限定されたテーマを掘り下げて議論したことになる。

(2. 3) コンピューティング分科会

松山隆司（京大）

コーディネータから、コンピュータがここまで普遍的存在になった現在どこに研究の焦点を絞るか、コンピューティング分野の研究は非常に難しい段階に来ており危機感を持っている、そのなかで基本は今後の社会構造をベースになにが必要かを考えるべきである、との指摘がなされ、その問題意識を基調に議論が進められた。

このような観点から、数理社会情報、新計算モデルに基づくソフトウェア、コンピューティングシステム、実世界インターフェース（ロボティクス分科会と合同）、情報セキュリティ（ネットワーク分科会と合同）、センサフュージョン（全分科会合同）、の各テー

マについて議論が行われた。時間の制約上、ソフトウェア基盤技術、コンピューターアーキテクチャなどについては、重要な領域ではあるが今回は議論できなかった。

また情報関連科学技術のロードマップを描く興味深い試みが示され、これからは実世界を取り入れた、たとえば「情報学」とでも表現される学問体系を考えるべきではないか、との提案がなされた。

今後の課題としては、今回議論された分野をさらに掘り下げて具体的な研究テーマまで煮詰めるとともに、議論できなかつた分野に対しても同様の議論を行うことが必要である。その一つの場として、情報処理学会と電子情報通信学会 情報・システムソサイエティおよびヒューマンコミュニケーショングループ共催のF I T (情報科学技術フォーラム：平成16年9月)を利用して戦略セッションを開催することも予定している。

(2. 4) ネットワーク分科会

三木哲也 (電通大)

ネットワーク分科会では、ユビキタスネットワーク、ヘテロジニアスネットワーク、情報通信セキュリティ (コンピューティング分科会と合同)、センサフュージョン (全分科会合同)、フォトニックネットワーク (フォトニクス分科会と合同)、ITS(Intelligent Transport Systems)、知的メディア処理、の7テーマを取り上げて議論を行った。またこれらの研究テーマとその相互関係を俯瞰するマップを作成した。この際、システム技術、サブシステム技術、要素技術の分類を意識して整理した。今回議論したテーマは、時期的には短期 (5年以内) または中期 (5~10年) のテーマがほとんどであるが、超低エネルギーネットワーク・端末、量子情報通信など長期的 (10~30年) なテーマもリストアップされた。

今後10年程度を考えたときの大きなシステム的研究テーマは、ユビキタスネットワークと情報通信セキュリティに集約される、というのがメンバーのコンセンサスであり、これを念頭に置いて議論が行われた。またネットワーク分野の特徴として、政策的・社会的課題が研究開発戦略に大きく影響を与えるので、これに関する議論も行われた。

(2. 5) ロボティクス・計測分科会

橋本周司 (早大)

ロボティクスは総合科学技術であり、機械技術 (材料技術、機構設計、制御技術等)、情報処理技術 (環境認識、対話生成、ハプティクス等)、計算機技術 (並列処理系、ネットワーク等)、センサ技術 (感覚系、リアルワールド等)、エネルギー技術 (自立系、リサイクル等) をその構成要素として含み、より広義には上述のロボット工学領域に加え、ロボットに関する心理学、社会学、哲学をも含むものである。

今回はこのうち特にロボット工学領域に重点を置き、工学的観点からの5テーマ (スマートアクチュエータ、環境認識、非線形多自由度制御系、モジュール化、やわらかいロボット) と、社会ニーズ的観点からの2テーマ (ソーシャルアクセシビリティ、アプリケーション) について議論した。

ワークショップの議論全体を通して、日本における現状では研究成果が積み上がらず、開発されたロボットもメンテナンスされず中途半端な研究に終わっている場合が目だつており、実際に使える、使いたいと思えるロボットを、はつきりとした目的をもって統合的に開発し、その成果が水平的に波及していくような利用本位の研究の進め方が望まれる、との強い指摘がなされた。

(2. 6) センサフュージョン合同分科会 久間和生（三菱電機）

センサフュージョンは、デバイス技術、情報処理技術、ネットワーク技術、システム構築技術などを組み合わせた総合技術であるため、全分科会の合同で行った。

社会ニーズ面からの必要性について見ると、コンピューティングの進歩にともない地震、台風などのシミュレーションは非常に正確になったが、センシングとコンピューティングが組み合わさるとさらに強力となる。ビル、病院、鉄道、橋、道路などの社会インフラは決して安全とはいえず、また経年劣化が避けられない。センシング、コンピューティング、制御系を組み合わせて、安全安心社会の実現、都市再生、都市間の国際競争に勝つことを目指すべきである、との指摘がなされた。

センサネットワークは、リアルなものを扱う「実世界」ネットワークであり、ネットワーキングの形態は固定網、移動網、アドホック網など多様性があるが、形態の変化にともなう拡張性が重要な要素である、との議論がなされた。

またセンサデバイスは、視覚センサ、聴覚センサ、振動センサ、臭いセンサなど多岐にわたり、共通技術課題としては、超小型化、低コスト化、ワイヤレス化など多くのものがある。

以上のように本テーマは要素技術からシステム技術に至る広範かつ多くの分野の研究をインテグレートしながら推進することが必要であり、中長期にわたって調和を保った研究の継続が肝要であると思われる。

3. 今後の課題

今回のワークショップは第1回目ということで、まず各分野の全体を俯瞰的に眺めた上で議論することに重点を置いた。各分科会で多少の差はあるものの、この点はかなりの程度達成できた。今後は各分野をさらに詳細に見て重要研究テーマを深耕し、個別のワークショップ等を開催して当初の目的である重要研究テーマの絞り込みと戦略策定につなげていきたい。

以上

目 次

Executive Summary	i
序	1
§ 1. 概 要	3
§ 2. プレナリー・セッション	9
(2. 1) 基調講演「研究開発戦略について」	生駒俊明 上席フェロー
(2. 2) 特別講演「科学技術未来戦略」	坂村 健 教授（東京大学）
§ 3. 分科会	13
(3. 1) エレクトロニクス分科会	
(3. 2) フオトニクス分科会	
(3. 3) コンピューティング分科会	
(3. 4) ネットワーク分科会	
(3. 5) ロボティクス・計測分科会	
§ 4. 合同分科会（センサフュージョン技術）	39
§ 5. ランプセッション	42
あとがき	43

序

電子情報通信系の第一回戦略ワークショップを平成 16 年 1 月 29 日（木）から 31 日（土）までの 2 泊 3 日で開催した。ワークショップの目的は今後重要なであろう研究分野・領域・テーマを系統的に抽出し、研究・開発・実用化の時間軸を考慮して議論し、将来にわたる研究開発の戦略を立案する為の基礎的な資料を作成することにある。今回は最初であるので出来る限り俯瞰的に研究領域のマッピングを行い、個々の研究テーマが電子・情報・通信系の広い研究開発分野全体の中でどのように位置づけられるかが明らかになるように努めた。

本系をエレクトロニクス、フォトニクス、ネットワーク、コンピューティング、ロボティクス・計測の 5 分野に区分し、それぞれの分野の代表的な研究者にコーディネータをお願いし、そのコーディネータに分野ごとに 8～10 名程度の参加者を決めて頂き、それぞれの参加者が各セッションにおいて、各自の得意分野における研究の現状と将来展望をプレゼンテーションしてもらい、その話題を中心として各参加者が積極的に意見を述べ、議論を戦わせることによって、将来重要な研究テーマや研究の進め方を海外との比較などを行なながら策定する方法をとった。参加者は現役の研究者であり、産官学にまたがるように配慮した。ワークショップ開催の前に 2 回、コーディネータ会合を開き、我々の意図する主旨に沿って会が有意義に進行するよう準備した。コーディネータ会合においてあらかじめ重要な研究テーマを複数抽出する作業を行い、分野間でも十分議論が尽くせるようにした。その過程で分野をまたがる重要な課題が有ることが分かり、そのようなテーマについては合同セッションを開催することにした。さらにすべての分野にまたがるテーマとして「センサフュージョン」が重要であることが判明したため、特にこのテーマはすべてのセッションを融合して行った。

ワークショップは通常のそれとは違い最初からはっきりした目的、すなわち「将来重要な研究領域（中綱目）とテーマ（小綱目）の抽出」を掲げて行い、コーディネータにはそのようにまとめて頂くようにあらかじめお願いしておいた。そのため議論はきわめて有機的、有効に行われたと思われる。コーディネータとその補佐の方には大変な労力を掛けましたが、そのおかげをもって出来上がった成果物は今後の戦略策定に重要な資料を提供してくれるものと思われる。

ワークショップの成果物は「研究領域の俯瞰的マッピング」、「各マップ内の研究テーマ」、「時間軸を考慮したロードマップ」から構成されるように努めた

が、この三部作を作ることはかなり困難な作業である。そのため多くの分野で必ずしもこのような三部作が完成したとは思われない。今後さらに検討を重ねる必要がある。また本ワークショップで得られた研究領域マッピングは参加した研究者の意見を反映しているが、さらに多くの研究者の意見を取り入れて精度を高めていく必要があると考えている。今後はここで得られた結果をさらに多くの専門家に検討して頂く予定である。またこのような研究領域マップは常に更新する必要がある。またこの中でさらに深耕させるべき研究テーマや技術については今後個別のワークショップを開催していく所存である。

(上席フェロー 生駒俊明)

§ 1. 概 要

平成 15 年 7 月科学技術振興事業団（旧 JST）に研究開発戦略センター（以下センターと省略）が発足すると電子情報通信系を担当するグループが設置され、生駒俊明上席フェロー以下 7 名のスタッフが順次着任し、関連する研究分野を俯瞰すべく活動を開始した。JST が独立行政法人化した 10 月から本格的な活動に入り、この系の今後 10 年間の進展を見通すべきワークショップ（科学技術未来戦略ワークショップ：電子情報通信系、以下 WS と省略）をいかに準備・実行するかについて入念な検討を行った。まず、分科会を構成する分野として以下を設定しコーディネータに下記の方々の就任を依頼した：

	<コーディネータ>	<センター担当者>
E 分野：エレクトロニクス	谷口研二教授（阪大）	伊東主任調査員 関根アソシエイトフェロー
P 分野：フォトニクス	中野義昭教授（東大）	中島シニアフェロー
C 分野：コンピューティング	松山隆司教授（京大）	高橋アソシエイトフェロー
N 分野：ネットワーク	三木哲也教授（電通大）	丹羽シニアフェロー
R 分野：ロボティクス・計測	橋本周司教授（早大）	石正フェロー

各コーディネータには事前準備や実作業をシェアしていただく補佐と分科会を構成すべき 8 名程度のメンバーをご推薦いただくようお願いした。日程は大学の卒修論・入試に入る直前の 1 月下旬を充てることとし議論を深めるために 2 泊 3 日の期間を確保することとした。分科会会場で最大 5 セッションが平行して議論されることや全国から約 80 名規模で参加者が集結することなどを考慮したうえで JST 契約施設であるラフォーレ南紀白浜（和歌山県西牟婁郡白浜町）に於いて、平成 16 年 1 月 29 日（木）～31 日（土）に表 1.1 に示されるプログラムで WS を開催した。これに先立ち、生駒上席グループと各コーディネータとの意識あわせを入念に行うために 11 月および 12 月の計 2 回、コーディネータ会合を持った。このほか上記センター側担当者とコーディネータ・補佐の間で綿密な連携を取り、WS 開催にこぎつけることができた。会期中、分科会の中間およびまとめの報告をコーディネータにお願いしたことで集中と集約がはかられた。また、全 27 セッションでプレゼン・討議された内容は膨大であり、本報告書ではその全容を詳細に記述できないことをお許しいただきたい。

いくつかの分科会にまたがるテーマについては合同分科会を設けることとし、その正副の司会を各コーディネータに決めていただいた。すべての分科会が共通して掲げたテーマがセンサ・センシング技術であった。このテーマを全合同セッション（WS 終了後「センサフュージョン」に改称）とするにあたり、セッションオーガナイザーを P 分科会メンバーである久間和生氏（三菱電機）にお

願いし、ゲストに藤野陽三教授（東大）をお招きした。このほか、WS 全体についてのコメンテータに土居範久教授（中央大）、特別講演に坂村健教授（東大）をお願いして快諾をいただいた。なお、メンバーには産学官のバランスも配慮して人選いただくよう、各コーディネータにお願いした結果、表 1.2 に示す 52 名の研究者群が一堂に会すことができた（総参加者は 82 名）。文部科学省からはセンターとのパイプ役である科学技術・学術政策局調査調整課土橋久課長、ト部章男参与に加えて担当部局である研究振興局から星野利彦情報科学技術研究企画官と情報課古賀康之課長補佐にご参加いただいた。また、電子情報通信系の特徴を鑑みて、経済産業省から土井良治産業技術環境局研究開発課企画官にもご参加いただき、ランプセッションの話題提供をいただいた。ランプセッションでは文部科学省科学技術政策研究所動向センターの立野公男情報通信ユニット長にも話題提供いただいた。

この WS における議論を参考としてセンターにおける電子情報通信系の今後 10 年間を見通した科学技術戦略一次案を作成するとともに関係学会における戦略セッションを平成 16 年度に試行し、引き続き研究者コミュニティとの連携の機会を密にしたいと考えている。

表 1.1 科学技術未来戦略ワークショップ（電子情報通信系）プログラム

1日目 1月 29日 (木)

14:00～17:00	プレナリー・セッション 開会挨拶 基調講演「研究開発戦略について」 特別講演「科学技術未来戦略」	司会：中島啓幾(JST) 生駒俊明(JST) 坂村 健(東大)
19:00～22:30	分科会 19:00～ E-0 エレクトロニクス分科会 P-0 フオトニクス分科会 C-0 コンピューティング分科会 N-0 ネットワーク分科会 R-0 ロボティクス・計測分科会 19:30～ E-1 極低消費電力集積回路 P-1 光情報記録・ナノフォトニクス C-1 数理社会情報 N-1 知的メディア処理・H I R-1 スマートアクチュエーター 20:30～ E-2 動的再構成デバイス P-2 超高速光エレクトロニクスの展望 C-2 情報意味論・セマンティックウェブ (都合により中止) N-2 ヘテロジニアス・ネットワーク R-2 環境認識 21:30～ E-3 極限構造デバイス PN-3(合同) フオトニック NW C-3 コンピューティングシステム R-3 非線形多自由度制御系	谷口研二(阪大) 中野義昭(東大) 松山隆司(京大) 三木哲也(電通大) 橋本周司(早大) 黒田忠広(慶應大)・小柳光正(東北大) 横森 清(リコー) 喜多 一(京大) 山本 強(北大) 濱間 一(東大) 樋口哲也(産総研)・黒田忠広(慶應大) 和田 修(神戸大) 橋田浩一(産総研) 浅見 徹(KDDI 研) 平井成興(産総研) 平本俊郎(東大)・水田 博(東工大) 江村克己(NEC)・吉國裕三(NTT) 高田広章(名大) 小菅一弘(東北大)

2日目 1月30日(金)

9:00～10:00	中間報告	各コーディネータ
10:00～12:00	分科会 10:00～ EP・4(合同) 光インタコネクト C・4 新計算モデルに基づくソフトウェア N・4 ITS R・4 モジュール化 11:00～ E・5 柔らかいディスプレイ技術 P・5 光集積回路技術の展望 CR・5(合同) 実世界インターフェース N・5 ユビキタスネットワーク	小柳光正(東北大)・西村信治(日立) 萩谷昌己(東大) 中郷 浩(富士通) 福田敏男(名大) 安達千波矢(千歳科技大) 栖原敏明(阪大) 間瀬健二(名大) 小柳恵一(早大)
13:00～17:00	分科会 13:00～ E・6 分子エレクトロニクス P・6 光通信の将来技術 CN・6(合同) 高度情報セキュリティ 情報セキュリティ R・6 柔らかいロボット 14:00～ A・7(全体) センサ・センシング技術 15:30～ 今後10年で研究開発が必要なテーマとは	鳥光慶一(NTT)・横山直樹(富士通研) 松島裕一(CRL) 市川晴久(NTT) 岡本龍明(NTT) 広瀬茂男(東工大) 久間和生(三菱電機) 藤野陽三(東京大学) 江崎 浩(東大) 杉山 進(立命館大)
19:30～22:00	ランプセッション	司会：丹羽邦彦(JST) 土井良治(経済産業省) 立野公男(科学技術政策研究所)

3日目 1月31日(土)

8:30～11:30	まとめ報告	各コーディネータ
11:30～12:00	総括・閉会	

表 1.2 科学技術未来戦略ワークショップ（電子情報通信系）
参加者リスト（研究者 52 名）

（所属は当時）

特別講演	坂村 健(東大/YRPユビキタス・ネットワーキング研)				
コメンテータ	土居範久(中央大)		特別ゲスト	藤野陽三(東大)	
分科会	E: エレクトロニクス P: フォトニクス	C: コンピューティング	N: ネットワーク R: ロボティクス・計測		
コーディネータ	谷口研二 (阪大)	中野義昭 (東大)	松山隆司 (京大)	三木哲也 (電通大)	橋本周司 (早大)
コーディネータ 補佐	鎌倉良成 (阪大)	植之原裕行 (東工大)	牧 淳人 (京大)	西 一樹 (電通大)	ヒトヨ・ハルトノ (早大)
メンバー	安達千波矢 (千歳科技大)	栖原敏明 (阪大)	萩谷昌己 (東大)	山本 強 (北大)	小菅一弘 (東北大)
	小柳光正 (東北大)	和田 修 (神戸大)	高田広章 (名大)	江崎 浩 (東大)	浅間 一 (東大)
	平本俊郎 (東大)	松島裕一 (CRL)	間瀬健二 (名大)	小柳恵一 (早大)	広瀬茂男 (東工大)
	水田 博 (東工大)	吉國裕三 (NTT)	喜多 一 (京大)	市川晴久 (NTT)	福田敏男 (名大)
	黒田忠広 (慶応大)	久間和生 (三菱電機)	村上和彰 (九大)	浅見 徹 (KDDI研)	平井成興 (産総研)
	杉山 進 (立命館大)	中村一則 (古河電工)	関口智嗣 (産総研)	江村克巳 (NEC)	石田健蔵 (ソニー)
	樋口哲也 (産総研)	西村信治 (日立)	橋田浩一(産総研) 都合により欠席	中郷 浩 (富士通)	松日楽信人 (東芝)
	鳥光慶一 (NTT基礎研)	横森 清 (リコー)	岡本龍明 (NTT)	山口英(奈良先端大) 今回不参加	
	横山直樹 (富士通研)		曽本純一 (ソニー)		
JST担当者	伊東義曜主任調査員 関根基樹アソシエイトフェロー	中島啓幾 シニアフェロー	高橋良明 アソシエイトフェロー	丹羽邦彦 シニアフェロー	石正 茂 フェロー

このほか、文部科学省、経済産業省及びJST関係者ほか30名（次頁参照）

その他の参加者

氏名	所属(当時)
土橋 久	文部科学省 科学技術・学術政策局 調査調整課 課長
ト部 章男	文部科学省 科学技術・学術政策局 調査調整課 技術参与
野口 義博	文部科学省 科学技術・学術政策局 基盤政策課 科学技術・学術政策調査員
星野 利彦	文部科学省 研究振興局 情報科学技術研究企画官
古賀 康之	文部科学省 研究振興局 情報課 課長補佐
立野 公男	文部科学省 科学技術政策研究所・科学技術動向研究センター 情報通信ユニット長
亘理 誠夫	文部科学省 科学技術政策研究所・科学技術動向研究センター 特別研究員
小笠原 敦	文部科学省 科学技術政策研究所・科学技術動向研究センター 客員研究官
土井 良治	経済産業省 産業技術環境局 研究開発課 企画官
山田 純	YRPユビキタス・ネットワーキング研究所社長室長
國谷 実	JST 理事
生駒 俊明	JST/CRDS 上席フェロー
丹羽 邦彦	JST/CRDS シニアフェロー
中島 啓幾	JST/CRDS シニアフェロー
伊東 義曜	JST/CRDS 主任調査員
石正 茂	JST/CRDS フェロー
高橋 良明	JST/CRDS アソシエイトフェロー
関根 基樹	JST/CRDS アソシエイトフェロー
郷間 聰美	JST/CRDS 事務局
保田 友紀	JST/CRDS 事務局
村井 真二	JST/CRDS 上席フェロー
三浦 登	JST/CRDS シニアフェロー
佐々 正	JST/CRDS シニアフェロー
川田 健司	JST/CRDS シニアフェロー
中西 章	JST/CRDS シニアフェロー
田中 秀治	JST/CRDS フェロー
坂内 悟	JST/CRDS アソシエイトフェロー
中山 智弘	JST/CRDS アソシエイトフェロー
石田 秋生	JST研究推進部 部長
浅田 哲史	JST特別プロジェクト推進室 主査

§ 2. プレナリー・セッション

WS冒頭は全参加者の意識あわせとオリエンテーションを兼ねてプレナリーセッションとし、JST を代表して國谷実理事からの挨拶に続いて以下の 2 件の講演を催した。

(2. 1) 基調講演「研究開発戦略について」 生駒俊明 上席フェロー

科学と技術は本来別物であり、これらに対する評価法もファンディングも異なるべきである。ところが 20 世紀になって両者は相互依存するようになり、いわゆるリニアモデルが全盛となる。しかしそのリニアモデルも崩れ中央研究所時代の終焉を迎えた今日、新しい研究開発モデルの模索がされている。国の科学技術政策という視点から見るとアメリカの場合にはコヒーレントな政策・戦略は存在しないが予算決定のメカニズムの中に一種の戦略が埋め込まれている。日本の場合には科学技術基本計画・基本法が制定され一見トップダウンのように見える。しかし、各省庁が省益をもとにバラバラに予算を獲得し、配分している。すなわち、国民の意見が直接反映されない仕組みになっている。日本の問題点を列記すると以下の諸点となる。

- ・国を挙げての大プロジェクトができる仕組みとなっている
- ・すなわち各省庁の戦略はあっても国家全体としての戦略が立てられない
- ・複数の機関がバラバラにファンディングしている
- ・全体のファンディング状況は誰も把握していない
- ・予算獲得の過程で役人と研究者コミュニティの連携がない
- ・審査は比較的厳格であるが評価が甘い（あるいは不在）
- ・評価の方法が確立していない（透明性が不足）
- ・「二番煎じの科学」を用いた「役に立たない技術開発」プログラムが多い

科学技術振興機構 (JST; Japan Science and Technology Agency) は昨年 10 月に独立行政法人化した。ここで扱う範囲は Science-based Technology と Technology-oriented Science である。JST の基礎研究事業は年間約 500 億円で「国の戦略目標」に基づいて「公募型」と「総括実施型」で複数の「研究領域」を展開している。すなわち、研究開発戦略センターに支援されて基礎的研究をトップダウン的・戦略的に実施しようというものである。このセンターのミッションは以下である。

- ・ファンディング機関と研究者集団をつなぎ
- ・国全体の科学技術予算を分析し
- ・世界各国の科学技術政策と比較し
- ・国の研究開発戦略を構想・立案する

ところで「戦略」とは何か。ここでは以下のように定義してみたい。

- ・ビジョンを実現させるための最も有効かつ効率的な方策
- ・資源が無限なら戦略は不要
- ・有限な資源の有効な配分法
- ・「何をし、何をしないか」を決める

そういう観点からセンターでは

- ・研究分野の priority setting
- ・研究の進め方についての戦略
- ・Value Web（研究テーマ関連図）の導入

を標榜している。このワークショップに対する期待と位置づけは以下である。

- ・電子情報通信分野において最優先されるべき研究領域は何か
- ・それに時間軸を入れて策定することが本ワークショップのゴール
- ・今回はキックオフである
- ・今後は学会の場を使って戦略セッションを行い常に改訂していく
- ・また個別重要テーマについては、特定テーマ WS を開催して研究すべき対象・方法を掘り下げる

本 WS の成果の使い方としては以下の可能性がある。

- ・長期的には第三次科学技術基本計画への反映（～H16末）
- ・より中期的には文部科学省予算配分への反映（～H16上）
- ・直近では JST の基礎研究の領域策定への反映（～H16.3）

この白浜での議論の先に真の科学技術創造立国が築かれんことを期待する。

（2. 2）特別講演「科学技術未来戦略」

坂村 健 教授（東大）

何のための戦略

科学技術戦略を論じるにあたってまず、念頭に置くべきは日本には軍事研究がない、という事情を無視できない。技術自体は手段であって目的ではない。米国の場合には戦争に勝つための強い力を得ることが国の目的となっており、軍事研究が強い手段を生むもとになっている。米国で DOD の支援を受ける研究は目的指向で戦略的に実行される。軍事目的で開発された技術の民用転換も戦略的に行われる。カーナビも軍事偵察衛星の GPS が起源だし、インターネットも DARPA の ARPANET に端を発している。また、基礎研究といえども目的があるはずだ。限られた資源を配分する以上、客観的な優先順位付けの基準は必要である。

DARPA は 1958 年に作られ、リスクは高くても見返りの大きい計画を追求することにより米軍の技術的優位性を確保しようとする機関である。コンピュータサイエンスとテクノロジーにおける主なイノベーションの 1/3 から 1/2 は DARPA に帰属するといわれている。DARPA の 3 大貢献は以下にある：

① 研究および高等教育インフラの創造：

MIT, Stanford, CMU のトップ研究大学御三家は DARPA のプログラムに多大な貢献をし、数百人の Ph.D を生んだ。また、多くの大学のコンピュータサイエンス学科は DARPA の支援を受けて成長した。

② 産業の創造：

DARPA の研究支援から Sun Microsystems, Silicon Graphics Cisco Systems のような企業が生まれ新産業創出を助けた。

③ オープンアーキテクチャ：

Unix, TCP/IP, CMM(能力成熟度モデル)などのオープンシステムの開発・普及を DARPA はサポートした。

このほかにもコンピュータ関連で DARPA が関与した成功例は数多くある。

さて、翻って日本の戦略目標を考えてみよう。国家安全保障は軍事に限ったことではない。食料の安全保障という考え方があくまで定着した今日、1億以上の国民を食べさせていく術をどこに求めるか。モノ作りを放棄してよいか？一方で日本人は安全よりも安心を求める。価格競争に走るだけのミーツー・プロダクトだけでは将来の安心は得られない。

戦略的標準化論

- 標準化には
- ・公的標準（デジタル）方式
 - ・業界標準（デファクト）方式
 - ・協議会（アソシエーション）方式

の三様があるが日本はいすれにも貢献しているとは言い難い。標準化とは自らの技術をビジネスにしようとしている人々がすばやく動いて作るものである。グローバルスタンダードとは海外で作られた標準を日本に取り入れることではなく、自らの作ったものを世界に広めることである。こうした標準化作業はボランティアの側面が強いがその作業に協力せずに成果だけをビジネスに結びつけようとしても嫌われるのは当然である。標準化戦略が日本には不在だ。

産業構造モデルについて

IT 産業の産業構造モデルは垂直統合と水平分業に二分される。前者→後者に移行した典型例がメインフレーム→パソコンである。しかしモデル論の罠に気をつけないといけない。すべてのケースにあてはまるとはいえないからだ。モデル論は多様化していく現代・将来を表現しつくせない。21世紀になってはつきりしてきたことは「個」を重視した多様化の傾向だ。スケールメリット最優先だった工業社会から IT の登場によって「個」への対応が可能になってきた。そうした状況を固有名詞不在のモデル論では説明できない。

モジュラー化は水平分業の必要条件だが十分条件ではない。技術的に枯れた部分はオープン化されるが、その部分のみで戦うなら最後はミーツー・プロダ

クトの中で叩き合いになる。日本の多くのメーカーには向いていない領域だ。これに対して全く新しい基盤技術を構築する場合には最初は需要まで含めた周辺とともに垂直統合で作るしかない。そうでなければ技術的なチャレンジはできない。確立した後にモジュラー・オープン化して裾野が広げられるかどうかは最初の設計の見通しで決まる。

ハイリスク・ハイリターンを奨励しているくらいが昨今見受けられるがそうした経営を皆が目指すものではなかろう。法、制度、社会構造から文化まですべての側面が抜本的に変わらない限り、企業経営だけを変えろといつても巨大な社会不安を生むだけである。

i モードが世界標準でなく独自規格であることを批判する向きもあるがグローバルスタンダードである GSM 陣営に入っていたらインターネット接続に WAP を使うことを余儀なくされ、i モードの成功はなかつたろう。これにより、最新の情報端末をあつという間に国中の人々が試すユニークな存在に日本がなったといえる。これができたのは全部自前で一から築きあげたからだ。

これからコンピュータシステムとしての組み込み/ユビキタスはトータルシステムなのでその要素すべてを自前で開発しなければダメである。一方の水平分業化したパソコンは要素技術の性能は上がるが全体としての新しい機能・使い道は出てこない。また、インフラを築いたものは圧倒的に有利となる。OS というインフラを取られてしまうとアプリケーションで良いものを作っても実りは少ない。ただし、インフラを次世代ネットワークとか OS とか、ひとくくりにして扱うのは乱暴すぎる。繰り返すが、垂直統合は古くて水平分業にすべて移行、という議論は幼稚だ。また、ハイリスク＆ハイリターン型経営を、と安易に求めることも無謀である。すべては、ディテールに目が届かないから大きな絵で理解して決めようとするために起こる過ちである。これからは個の粒度の視点を持つことが求められ、そのために科学技術への理解が必要となる。

個と多様性と IT

多様性を助けるために何が必要かを考えよう。IT の特殊事情とは

- ・ 論理的自由度と複雑性が大きすぎるので
- ・ ゼロからすべてを作るのは誰にとっても不可能
- ・ 多様性を展開するための共通基盤は必要

といえる。すなわち、共通する部分と競合する部分から成り立っているわけで協力と競争にメリハリをつけて、共通する部分には皆で協力をし、公共性が高い部分では政策的な支援も重要である。

まとめとして、IT は多様化を助ける。だからこそ IT の発展も多様であるべきと言いたい。「個」に対する「理解」をマスコミもエコノミストもきちんとすべきで、協力と競争を正しく切り分ける政策が肝要である。

§ 3. 分科会

(3. 1) エレクトロニクス分科会

1. 概要

エレクトロニクス分科会では表 1.2.E に示す 11 名（大学：8 名、企業：2 名、旧国研：1 名）のメンバーおよび他の参加者によりセッションが進められた。この分科会の大学の先生方は全員が企業研究所の出身で、学と産の視点を中心に議論できたと考える。エレクトロニクス分野の全体は図 3.1.1 の様に俯瞰され、事前開催のコーディネータ会合で 11 の中綱目が抽出され、谷口教授により研究時間軸に沿って、さらに図 3.1.2 のように分類された（超伝導エレクトロニクスは WS 後に追加）。全体の議論を通して、シリコン系デバイスは短期的、非シリコン系デバイスは中長期的なテーマであるとの認識となり、この時間軸は全員の賛同が得られ補強されたと思われる。今回、11 の中綱目の内、7 綱目（極低消費電力集積回路、動的再構成デバイス、極限構造デバイス、光インタコネクト、柔らかいディスプレイ技術、分子エレクトロニクス、スマートセンサ）及び「今後 10 年で研究開発が必要なテーマとは」を取り上げ、現状、課題、時間軸、提案等について各メンバーによる講演と議論が行われた。以下に各セッションの要旨を示す。

表 1.2.E エレクトロニクス分科会メンバー

氏名	所属(当時)
谷口 研二	大阪大学大学院工学研究科電子情報エネルギー工学専攻 教授
鎌倉 良成	大阪大学大学院工学研究科電子情報エネルギー工学専攻 助手
安達 千波矢	千歳科学技術大学光科学部物質光学科 助教授
小柳 光正	東北大学大学院工学研究科バイオロボティクス専攻 教授
平本 俊郎	東京大学生産技術研究所物質・生命部門 教授
水田 博	東京工業大学大学院理工学研究科電子物理工学専攻 助教授
黒田 忠広	慶應義塾大学理工学部電子工学科 教授
杉山 進	立命館大学理工学部ロボティクス学科 教授
樋口 哲也	(独)産業技術総合研究所次世代半導体研究センター回路システム技術グループ グループ長
鳥光 慶一	NTT物性科学基礎研究所機能物質科学研究部分子生体機能研究グループ グループリーダー
横山 直樹	(株)富士通研究所 フェロー(兼)ナノテクノロジー研究センター長

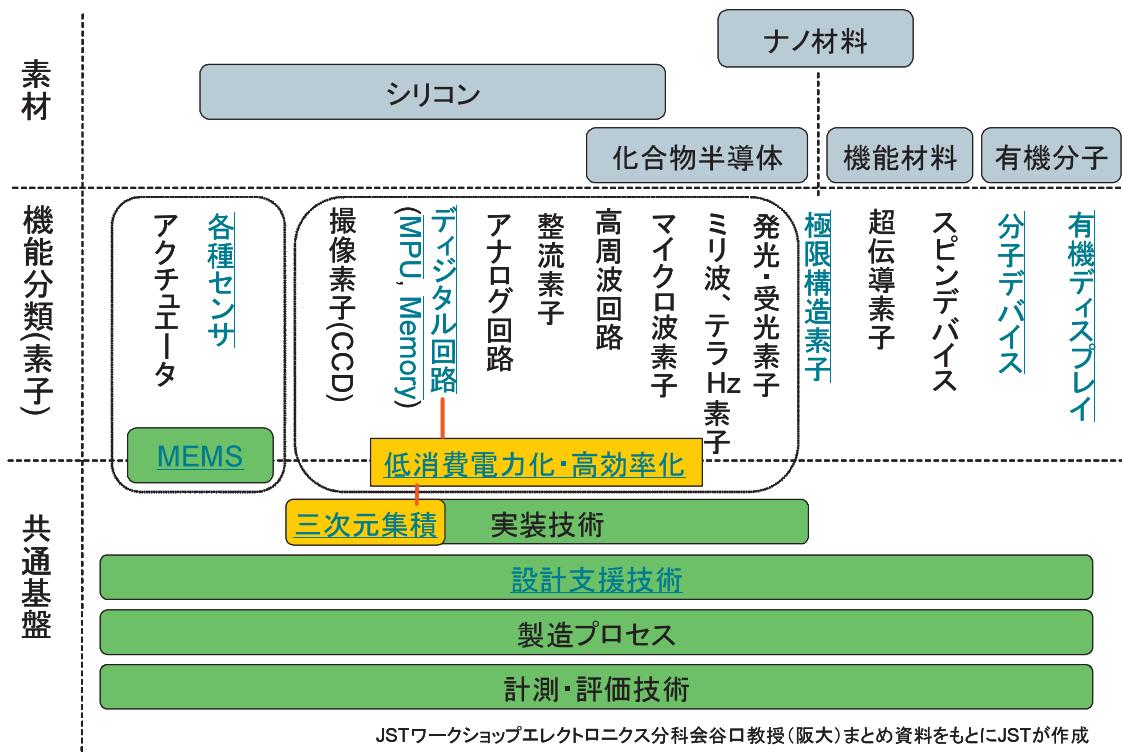


図 3.1.1 エレクトロニクス分野における研究テーマと相互関係



図 3.1.2 エレクトロニクス分野における戦略的研究開発テーマ

2. 各セッションの要点

(a) 極低消費電力集積回路

微細化と同時に、電源電圧(V_{dd})としきい値(V_{th})電圧も下がり、そのためリーク電流の増加による消費電力の増大、しきい値ばらつきの増大、動作速度の低下が問題となる。電源電圧としきい値電圧をデバイスの動作状態で変化させるMTCMOS(Multi-Threshold CMOS), VTCMOS(Variable Threshold CMOS), BG莫斯(Boosted gate MOS) 等や3D配線法による対策法が示された。議論では、これらは目の前の差し迫った課題であり、分野を越えた協力が必要であるとの指摘があった。

(b) 動的再構成デバイス

動的再構成デバイスとは、FPGA(Field Programmable Gate Array)／CPLD(Complex Programmable Logic Device)を意味し、米国がこの分野の特許を押さえているが、高速で低消費電力の粗粒度FPGA やサブミクロンASIC 分野ならまだ日本の参入余地があり、市場性も大きく、デバイス歩留まりにも寄与する重要な課題で、特許戦略の重要性も示された。また議論では

- ・ DRAM リペアへの遺伝的アルゴリズムの適応
- ・ 粗粒度再構成LSI の進展
- ・ ギガビットDRAM のビット救済における再構成技術の重要性

等が指摘された。

(c) 極限構造デバイス

次々世代もシリコンが中核材料であり、微細化競争は熾烈で、2003年12月にNECより5nm ゲート長FETの発表があった。MIRAI、ASPLAなどの国家プロジェクトが走っているが、10年後を考えると不十分であり、分野を越えた連携、融合や分野間連携を支援するEDA(Electric Design Automation)開発の必要性が示された。また、シリコンデバイス分野でのトップダウン型アプローチの限界から、従来技術からの脱却、異分野融合の傾向がでてきた。トップダウンとボトムアップ技術の融合が必要で新たな物理現象、新スイッチング素子原理や3次元素子・回路に可能性があり、ヘテロジニアス・ナノシリコンエレクトロニクスの提唱があった。議論では以下が話題となった。

- ・ CADツールは米国がほとんど握っている
- ・ 国内コンソーシャムがプロセス寄りで、もっと応用寄りがあっても良い
- ・ 分野を越えた協調の重要性
- ・ 微細化以外で本質的に難しいのは、低消費電力化と低コスト化
- ・ デバイスの進歩は上階層(回路、システム)のほぼ全員に恩恵

(d) 光インタコネクト(合同セッション)

(3. 2) 2 (d) を参照。

(e) 柔らかいディスプレイ技術

有機 LED は実用化研究が進展しており、産業の種として既に離陸している。今後フレキシブル有機ディスプレイの改良には、クラック、電極剥離、酸素・水分進入の抑制、高品質薄膜作製、ローコスト化等の技術開発が重要であり、有機光・電子固体物理学の確立、次世代有機デバイスの開発や、次々世代のバイオ系への展開には、有機半導体デバイス研究者と有機合成研究者の連携、融合が必要であることが示された。また議論では、有機化合物ライブラリーの必要性や、ケンブリッジ大のベンチャー会社がパイロットラインを作つて動き出している等のコメントが出された。

(f) 分子エレクトロニクス

従来のシリコン半導体技術の方法であるトップダウン方式には限界があり、分子エレクトロニクスの特長である自己組織化を活かした、ボトムアップ方式の開発が重要となる。しかしながら本格的なアクティブデバイスは実現されておらず、集積化手法も未開発である。用途が見つかれば、実用化は加速される可能性がある。また、CNT は多くの可能性があり、バイオセンサ、トランジスタ等への応用がある。高齢化社会が進むにつれて、医療関係のバイオ・遺伝子産業で大変な市場がみこまれる。メリットはスケールメリット、プロセスの容易性、生体適合性、デメリットは扱いにくさ、安定性、寿命、品質、均一性等である。現在、DNA/CN (ニトロセルロース)、DNA 回路、DNA バーコード等が検討されている。時間軸としては 10 年以上先との事であった。また議論では、シリコンの真似ではなく、どんなシステムを作つていくのかが議論されていないとの意見が出された。

(g) スマートセンサ (合同セッション)

§ 4 を参照。

(h) 今後 10 年で研究開発が必要なテーマとは

主な議論は以下の通りであった。

- ・全メンバーから出された、分野を越えた共同研究所の必要性
- ・シリコンと同じアプローチでは、シリコンと同じ壁に突き当たる
- ・シリコンでゲート長 5nm まで報告されるなど、まだまだ重要な材料
- ・微細化一辺倒ではなく、高機能化が必要
- ・ノウハウは製造装置に組み込まれているので、製造技術抱え込みは困難
- ・非シリコン材料によるシリコンの不得意分野の補完
- ・アプリケーションを考えた差別化

3. エレクトロニクス分野のまとめ

- ・電子デバイスは IT 社会の屋台骨であり、あらゆる産業の米であるが、製造装置、材料、デバイスだけでなく、回路、システムにもさらに funding

をする必要がある。

- ・シリコン系デバイスでは個々の技術はトップレベルだが統合化技術で米国に負けている。（人材、組織の問題もあり）この分野における国の援助をどうすべきか、各国比較した上で検討する必要がある。
- ・シリコン系デバイスは短期的課題であり、非シリコン系デバイスは中長期的課題である。

4. エレクトロニクス分野の政策的、社会的課題

全メンバーの思いとして、目の前の差し迫ったシリコンデバイスの危機を救うだけでなく、将来のエレクトロニクスのさらなる発展を図るために、分野を越えて協調できる総合デバイス研究所の提案がなされた。また、若い人達のデバイス分野離れが進んでおり、これを食い止める対策が必要との議論があった。この点は産業界との話し合いが必要である。

5. 今後の検討課題

今回、事前のコーディネータ会合で出された 11 の中綱目のうち、4 綱目はメンバーや時間の関係で取り上げられなかつたが、これらの議論は必要と考える。また、材料面からの視点でエレクトロニクス分野を俯瞰する事も必要と思われる。全メンバーの想いである、分野を越えた総合デバイス研究所およびエレクトロニクス分野の競争的資金の調査の継続が必要と考える。

(3. 2) フォトニクス分科会

1. 概要

フォトニクス分科会では**10**名のメンバーによるプレゼンおよび議論が行われた(表 1.2.P)。この分科会の特徴として合同あるいは全体セッションへの貢献が際だち、自前のセッション 4 件(イントロダクション・まとめを除く)に対して合同・全体が 3 件であった。また、図 3.2.1、図 3.2.2 に示すように我が国が優位に立ってきた二大産業である光情報記録と光基幹通信に応用対象を絞つて議論を深め、関連するナノフォトニクス、量子通信・暗号およびセンサ応用に少しふれる程度にとどめざるを得なかった。このため、光技術がカバーすべき膨大な対象範囲のごく一部のみを掘り下げた結果となった。参考までにセンターで作成したこの分野の俯瞰図を図 3.2.3 に示す。図中の網掛け部分がこの分科会でカバーした領域である。多くの課題を解決するために広範な対象に対して光集積技術を推進すべきであるとの認識で一致を見た。

各テーマの要点は以下の第 2 項に示すが、研究開発の 3 フェーズすなわち、
①個別研究者の着想・ブレークスルーに期待する萌芽黎明期
②目標が明確になりグループ間競争を通して本命技術が明らかとなる選別期
③やるべきことが決まって一丸となって目標達成を急ぐべき集中期
に要素や適用を分類することにより、時系列的進展と研究開発のスタイルを見通すこととした。その結果のフェーズ分類を図 3.2.4~図 3.2.6 に示す。

表 1.2.P フォトニクス分科会メンバー

氏名	所属(当時)
中野 義昭	東京大学先端科学技術研究センター情報システム大部門 教授
植之原 裕行	東京工業大学精密工学研究所／附属マイクロシステム研究センター 助教授
栖原 敏明	大阪大学大学院工学研究科電子工学専攻 教授
和田 修	神戸大学工学部電気電子工学科 教授
松島 裕一	(独)通信総合研究所 情報通信部門 部門長 兼 情報セキュリティセンター センター長
吉國 裕三	NTTフォトニクス研究所フォトニクスデバイス研究部 主幹研究員
久間 和生	三菱電機(株)先端技術総合研究所 所長
中村 一則	古河電気工業(株)研究開発本部 企画部長
西村 信治	(株)日立製作所中央研究所ネットワークシステム研究部 兼 企画室 主任研究員
横森 清	(株)リコー光メモリー研究所 次長研究員

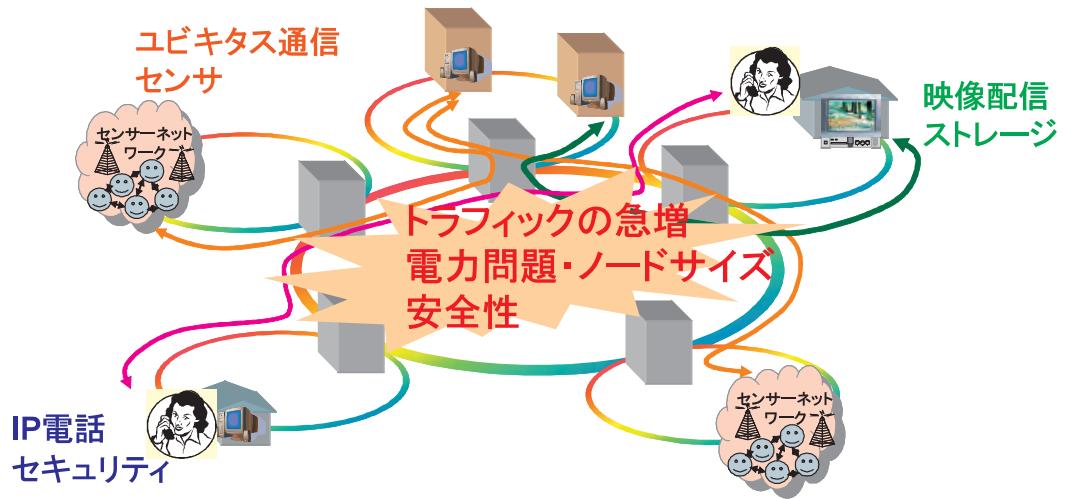
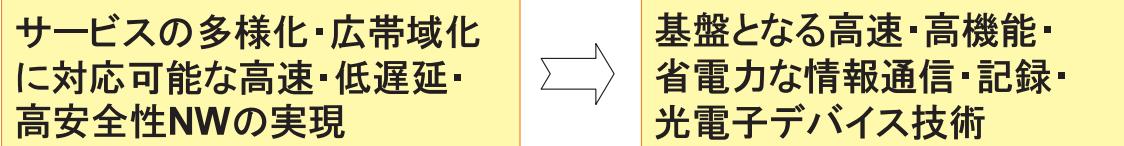


図 3.2.1 フォトニクス分野で要求される技術

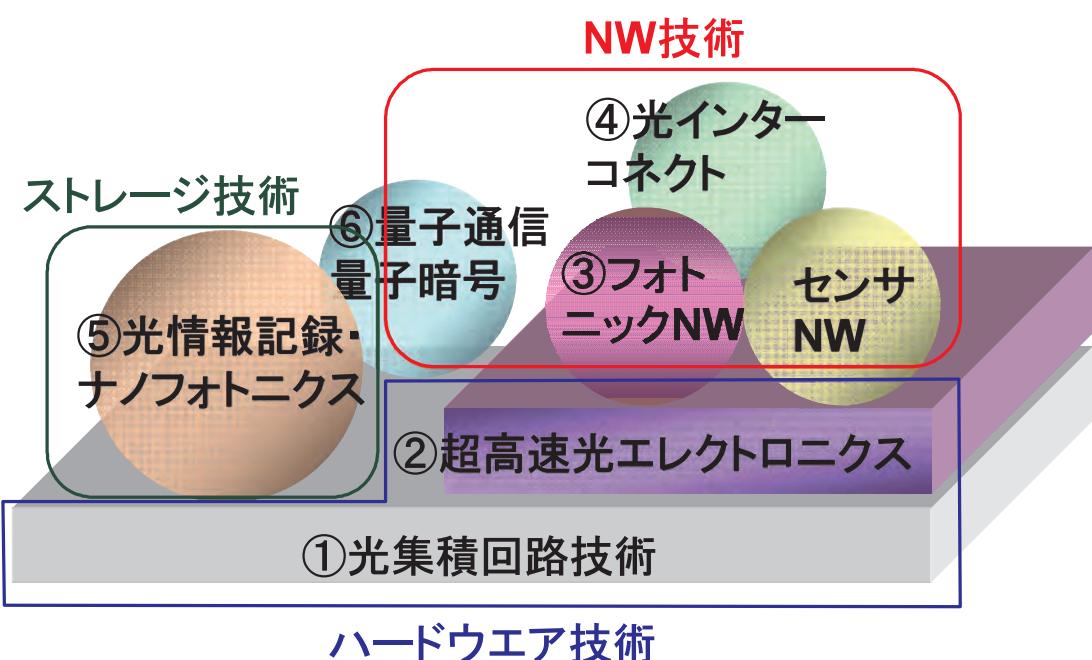


図 3.2.2 フォトニクス分野で今回検討した研究領域

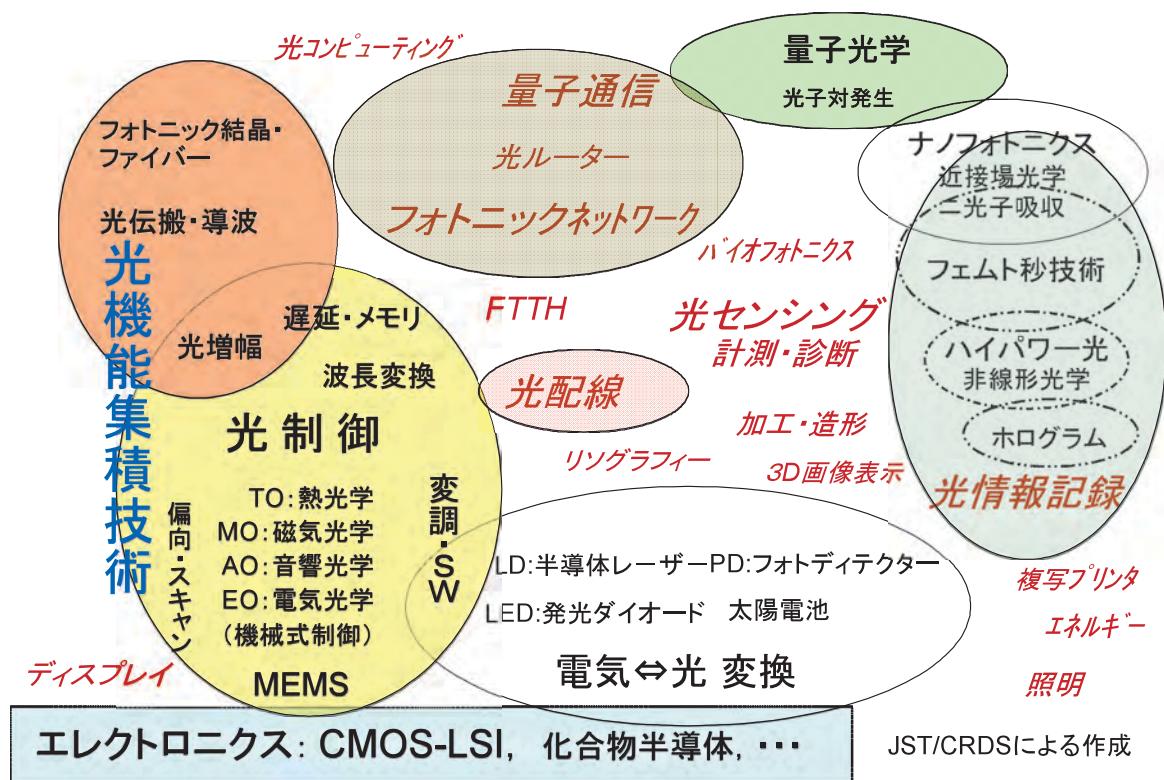


図 3.2.3 フォトニクス分野の俯瞰図：要素と応用

高記録密度化(>1Tbit/in²)のための技術項目

個別	グループ	一丸
近接場・ ナノフォトニクス スタイラス 量子メモリ 2光子吸収		波長多重記録 多値化 多層化 短波長光源

2025年

2010年

2004年

JSTワークショップフォトニクス分科会中野教授(東大)まとめ資料をもとにJSTが作成

図 3.2.4 ストレージ技術研究テーマと進め方、時間軸(フォトニクス分野)

個別	グループ	一丸
光バッファ 光信号処理	フォトニック NW	GMPLS
光パケットスイッチ	光バーストスイッチ	光インターネット
新技術 量子通信 量子暗号	チップ間/内用 光源・PD	次世代Ethernet Ethernet-Blade

2025年 2010年 2004年

その他、光ルータ用プロトコル・光多値伝送など

JSTワークショップフォトニクス分科会中野教授(東大)まとめ資料をもとにJSTが作成

図 3.2.5 NW研究テーマと進め方、時間軸(フォトニクス分野)

個別	グループ	一丸
光RAM 光論理素子 量子通信・暗号用 光集積デバイス	超高速 O3R 波長変換 OTDM-MUX/DEMUX 時空間変換 フォトニック 結晶	集積化 光デバイス (通信・記録) 短パルス光源 光ゲート

2025年 2010年 2004年

JSTワークショップフォトニクス分科会中野教授(東大)まとめ資料をもとにJSTが作成

図 3.2.6 ハードウェア研究テーマと進め方、時間軸(フォトニクス分野)

2. 各セッションの要点

(a) 光情報記録・ナノフォトニクス (P-1 セッション)

光記録については 2003 年に 100Gbit/in^2 に達して飽和傾向にある記録密度をいかに Tbit/in^2 クラスに導くかが最大の研究課題で以下の方向性と要素がある：

- ・ 波長多重化・・・・多波長 LD と記録媒体（色素材料）による WDM 化
- ・ 多層化（体積記録）・・・光子吸収による 3 次元記録、ホログラム記録
- ・ 多値化・多重記録化・・・PSHB, ETOM, 量子メモリなど

現状改良は小規模組み合わせで進むだろう。ポイントは既存の ROM (CD/DVD) との互換性と転送レートの高速化だが、一方で大量データの一括処理が強く求められておりホログラム技術がその解となるかが注目される。HDD (ハードディスク) も同様のトレンドにあり、光アシストなど光記録技術との融合もある。ただし、IBM の Probe Memory や量子メモリなど評価が確定していないアイデアも無視できない。関連するナノフォトニクスは日本の強いところなので何とかイノベーションに繋げたい。

(b) 超高速光エレクトロニクス (P-2 セッション)

フェムト秒技術のメリットである高ピークパワーによる非線形現象の活用や多波長光源（スーパー・コンティニュアム）さらに光時分割多重（OTDM）を構成する要素技術（超短パルス光源、光 3R など）などが日本の主導のもとにここ 10 年で出現した。応用面では当初予想していた 100Gbps を超える超高速光通信は高密度波長分割多重（DWDM）の台頭とバブル崩壊で市場は見えない。将来を見越すと全光機能デバイスとして光スイッチング、波形再生、波長変換、遅延とメモリなどが必要となるが実用にはまだまだである。

全光スイッチの必要性は電子回路速度を凌駕、電子回路をなくすことによる小型化・低消費電力化などでいくつかの報告例があるが材料面からの見直しも必要である。量子ドット、有機材料、フォトニック結晶（PhC）などの導入が期待される。PhC には遅延制御などの新機能も期待できる。このほかの重点テーマは波形制御、メモリ、RAM、時間・空間・波長変換技術などがあげられる。通信以外での新応用や計測、加工用途への展開も視野に入るべきであろう。

(c) フォトニックネットワーク（合同セッション PN-3）

【システム的見地から】コアの光通信は単なる線（DWDM）からリング・メッシュやがては光パケットに発展しつつあるといわれているがそのシナリオは光屋の独りよがりになっていないか。上位レイヤから見てネットワークを構成すべきどの部分が光化されていることが望ましいかを総合的に位置づけるべきである。一方でトラフィックの伸びやイーサネットの進展はすさまじいものがあり、 Gbps や 10Gbps が当たり前の時代になってきた。インタコネクトやルータに光を使うメリットも必須となるはずで小型化、低消費電力化などの使い易さ

が大容量化よりも優先されるかもしれない。DARPA では小型・使いやすさを主眼としたプロジェクトも数ある光関連ファンディングの中で展開させている。

【デバイス的見地から】トラフィックの伸びは 2 年で 10 倍の傾向が続く。やがて必須となる超大容量 WDM 伝送で Tbps 以上を経済的に実現するためには部品点数の大幅な削減とデバイスの抜本的なコストダウンが課題となる。このためには波長可変や集積化を進めることが急務。一方で Si にできるところは任せて光は競合しないところを伸ばさないと負ける。WDM を用いたノード処理、バス切り替えも狙い目。光スイッチや波長変換を含めた大規模集積化をめざす。世界中のキャリアが研究開発を放棄した中、唯一 NTT のみが研究所を維持しているが、日本版 DARPA でしっかりファンディングしないと優位は崩れる。

(d) 光インタコネクト（合同セッション EP-4）

【電子回路の立場から】システムはすべて結線から成り立っている。高速化が進み、電気配線の限界に到達するのは時間の問題。すなわち、バスの限界、とくに入出力 I/O、競合、反射、スキュー、ストリーミングへの適合性が課題となっている。また、誘電損は周波数に比例して増大する。これに対して光配線のメリットは高速、高密度、低電力、マルチファンアウト、電磁輻射などにある。本質的に優位な光配線もいよいよ 10Gbps 時代には不可欠。またチップ内の配線総延長が 10km に達する今日、コスト面が解決されればチップ内配線にも部分的に光を導入したい。VCSEL・面型 PD をフリップチップボンディングするなどが提案。共有メモリ（スーパーチャネルメモリ）への適用などが検討。

課題は発光素子の低電力化と高効率化、高速低電力アンプ、受光素子の入力容量低減、低損失光導波路、高精度アライメントおよび IO、コスト低減、信頼性などだが光屋と電気屋のインタコネクションすなわち相互理解が不可欠。

【サブシステム・応用の立場から】LAN のトレンドはすぐに 100G、1T の容量を必要とする。その標準化は米国主導で進んできた。データ・音声・映像の Triple Play は統合されよう。具体例として 10GBase-T は室内配線、局舎内スイッチ／ルータ間接続に。また局舎間には光需要が促進されよう。次世代 Ether は 40G か 100G か？ 標準化ターゲットは 2006～2007 年あたり。100GbE アーキテクチャは CWDM あるいはリボンファイバ低遅延の実現のため、ネットワークプロセッサも高性能が必要で 10GbE に対し 3 倍の価格で 10 倍の性能が求められる。

光インタコネクションモジュールの物理的な構造としては標準化された XFP（小型、低消費電力化の方向）やパラレル光モジュール（Blaze : 4 波 WDM, PicoLight 社@1300nm）がある。アプリケーションは計算機間インタコネクション、GRID コンピューティング、RHNET（10G, 100m にて全ノード接続）、ルータ間光インタコネクションなどがあげられる。米ベンチャー Chiaro 社は光バックプレーンルータとして $315 \times 10G$ (6.3Tbps) 30 筐体をすでに作っている。

(e) 光集積技術（セッション P-5）

光集積回路の基本原理・構造には導波路、周期構造（含む PhC）、LD, EO/MO, AO, TO、MEMS、ナノ構造、非線形光学などがある。科研費特定領域（波長制御）では多波長発光・增幅、波長変換・スイッチング、波長識別・波長ルーティングなどを研究中。一方、PhC どうやって実用化に結び付けるかが最大の課題。光情報記録応用としては集積導波路ホログラムメモリ、NEDO プログラムにおける光導波路多層化、近接場光ディスク用ヘッドなどがある。光集積センサはモノリシック光集積型干渉計型変位計、光集積バイオ・化学センサ、グレーティング結合によるセンシング、ヘテロ DBR レーザモノリシック化学センサ、AWG の液体分光センサ応用、蛍光分析用 BIO 光 MEMS などが提案されている。

日本の得意とする領域は光ピックアップ（用 LD）、光通信用 DFB・FBG・AWG・QPM・PhC などで情報記録分野の光集積回路技術は未開拓といえる。QPM-LN (PPLN) は分極反転構造形成技術で波長変換の効率を上げ、テラヘルツ波発生や集積量子フォトニックデバイスとして量子暗号、量子コンピューティングのキーとなる量子光学機能、フォトン操作に期待される。集積量子フォトニックデバイスができればアトムチップ（原子光学系の集積化）も実現する。光集積の悩みは Si（電子集積）に勝てるかという永遠のテーマにある。

(f) 光通信の将来技術（セッション P-6）

ブロードバンドインフラは高速化、広帯域化、アクセス高速化、NW 制御の高度化、広ダイナミックレンジ化をめざして進む。光ファイバの能力は 10 年で 1000 倍となった。光リンク技術の進展はギルダーの法則（半年で 2 倍）を一時期上回る勢いで容量は増えたが、どのように使っていくのかが課題。粒度の細かい制御ができるパケット交換に光を使うことも実験しているがまだ先の技術。現状の実証実験はメッシュ状 NW に GMPLS 技術を入れるレベルで MEMS 光 SW をクロスコネクトとして使う。キラーコンテンツの一例として VLB (Very Long Baseline Interferometry) があり、地峡規模のスペースサイエンスには広帯域が必要とされる。

光パケットスイッチは電気処理できないあるいはしたくないところに導入するべきである。次世代スイッチでラベル処理は OCDM でバッファは現在、光遅延線を使っている。多段にした時に光遅延線は使えないでのブレークスルーが必要。量子通信は究極の光通信かもしれない。総務省のロードマップ（～2030 年）は絶対安全性・大容量通信性を狙った基礎研究になっている。

(g) センサフュージョン（合同セッション A-7）

§ 4 を参照。

(h) 今後 10 年で研究開発が必要なテーマとは（セッション P-8：討論）

【遅延・バッファメモリ】【量子暗号・通信】【フォトニック結晶】

【日本の光は勝ちつづけられるか？】【戦略的な取り組み】等について議論。

3. 特記事項

光情報記録と光末端通信においてはアジアの台頭を、光基幹通信においてはバブル崩壊後のビジネスモデル模索が続く中でこの2大テーマだけでは今後の日本の光（エレクトロニクス）技術者・研究者を食わせていいけないか、という懸念がクローズアップされている。センサ合同セッションに光技術が埋没したこともあり、そうした点には残念ながら触れられなかつた。また、メンバーが異口同音に発していたのはDARPAの各プロジェクトおよびその成果であった。

4. 今後の検討事項

海外、とくにDARPAのフォトニクス関連プロジェクトとその設定プロセスについてきちんとした調査と評価をすべきである。また、脱情報通信志向の研究開発にいかに研究者を誘導させるか、といったファンディングの舵取りも国家レベルで戦略的に取る時期であろう。他の分科会にも共通していえることだが、電子情報通信系として行ったWSゆえに材料・構造面からのアプローチが貧困であったことは否めない。国の重点分野でもあるナノテクノロジーに関わるテーマは本分科会の議論の中にも頻繁に出てきたが、その育成については別の切り口から早期に取り上げて見通す必要があろう。

(3. 3) コンピューティング分科会

1. 概要

コンピューティング分科会では 10 名のメンバー（表 1.2.C）により議論を行った。開始に先立ち、コーディネータからコンピューティング研究の意義について、

- ①従来の延長線上で外挿しているのでは展望は開けない
- ②21世紀の社会というのは、情報世界と実世界が密接に関係してくる
- ③技術論、るべき論ではなく、市民感覚で議論する必要がある

などの説明があった。また、最終日の報告の中で「現在までの情報関連科学技術の発展の歴史を振り返り、今コンピュータ・サイエンスの分野で起きていることに実世界というものを含めていくような学問体系を【情報学の萌芽】というような形で位置づけるのがいいのではないか」という提案があった。

表 1.2.C コンピューティング分科会メンバー

氏名	所属(当時)
松山 隆司	京都大学大学院情報学研究科知能情報学専攻 教授 京都大学学術情報メディアセンター センター長
牧 淳人	京都大学学術情報メディアセンターコンピュータビジョン研究分野 助教授
萩谷 昌己	東京大学大学院情報理工学系研究科コンピュータ科学専攻 教授
高田 広章	名古屋大学大学院情報科学研究科情報システム学専攻 教授
間瀬 健二	名古屋大学情報連携基盤センター 教授
喜多 一	京都大学学術情報メディアセンター 研究開発部教育支援システム研究部門情報教育システム研究分野 教授
村上 和彰	九州大学大学院システム情報科学研究院情報理学部門 教授
関口 智嗣	(独)産業技術総合研究所グリッド研究センター センター長
橋田 浩一 (都合により欠席)	(独)産業技術総合研究所サイバーアシスト研究センター 副研究センター長
岡本 龍明	NTT情報流通プラットフォーム研究所情報セキュリティプロジェクト主席研究員
曽本 純一	(株)ソニーコンピュータサイエンス研究所インタラクションラボラトリー 室長

今回は第一回目ということもあり、コンピューティング分野の俯瞰図を作成し各技術の相互関連を明らかにすることを優先した。そのために4つのセッション（「情報社会と実世界」、「数理社会情報」、「コンピューティングシステム」、「新計算モデルに基づくソフトウェア」）を行い、加えて、コンピューティング分野は他分科会との係りが深いため合同セッションを2つ設けた。

ネットワーク分科会との合同・・・・「情報セキュリティ」
ロボティクス・計測分科会との合同・「実世界指向インターフェース」
以上のセッションにおける議論を踏まえ研究領域を俯瞰するマップ(図3.3.1)を作成した。

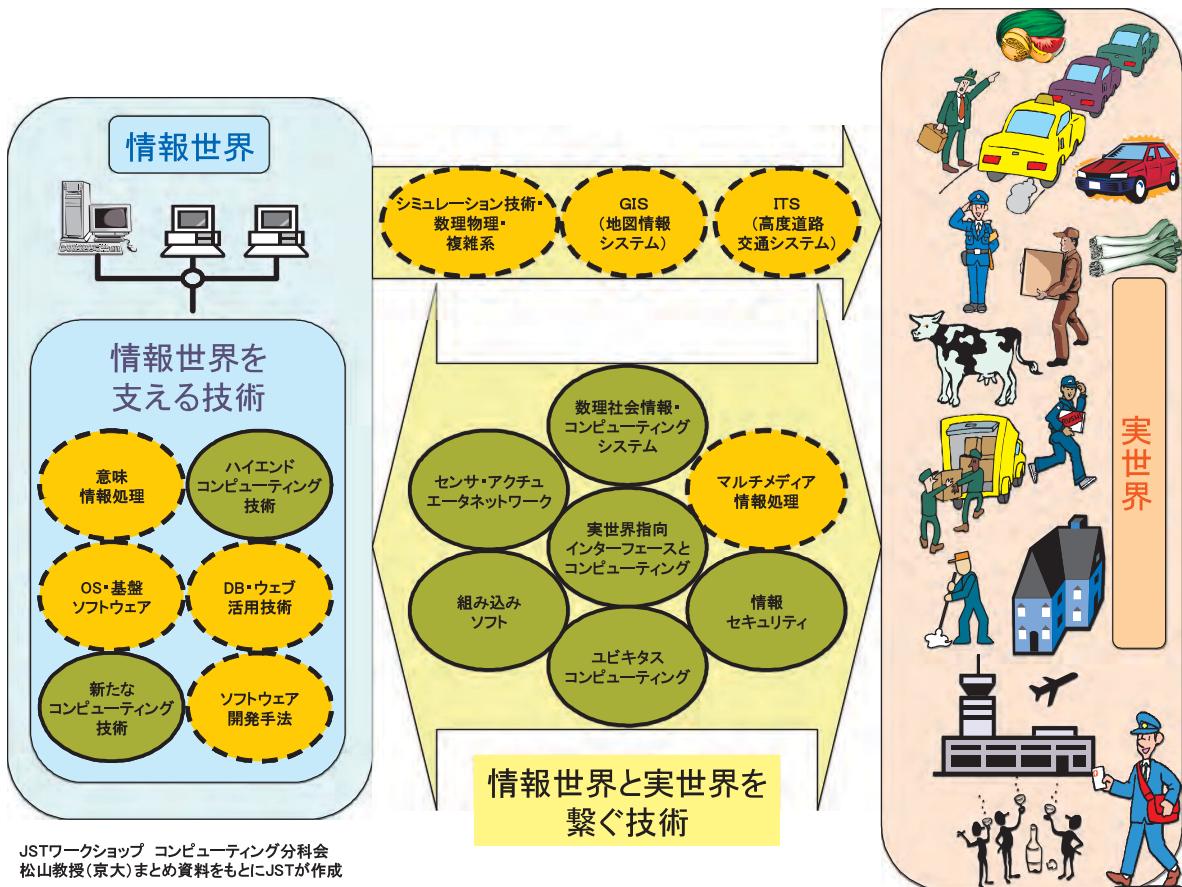


図3.3.1 コンピューティング分野の相關的俯瞰図

本図は「情報世界」と「実世界」の関係において、コンピューティング技術がどのように関わっているかという視点で各テーマを位置付けたもので、「情報世界を支える技術」「情報世界と実世界を繋ぐ技術（双方向と一方向）」に分けて示した。

コーディネータから重要なテーマとして挙げられた研究領域を楕円で囲って示す。このうち実線で囲ったテーマについては議論できたが、点線で囲ったテ

ーマについては重要ではあるが今回は議論できなかったものを示している。

議論を行った各テーマの要点については以下の第2項に示す。

2. 各テーマの要点

(a) 数理社会情報・コンピューティングシステム

本領域の主体は経済学、経営学、社会学などでこの領域におけるコンピュータ・サイエンスの役割はシミュレーション技術の開発である。この分野においてわが国が有利な点は、

- ・先行している
- ・関連領域（マルチエージェントの研究、ソフトコンピューティングの研究など）の工学系、理学系が強い

不利な点は、

- ・文理融合の研究開発拠点、教育研究体制が貧弱である
- ・大学でソフトウェアを開発する体制と人材が貧弱である

という指摘がなされた。

(b) ユビキタスコンピューティング／組み込みソフト

ユビキタスコンピューティングを担う組込みシステムに焦点をあててプレゼンテーションとディスカッションが行われ、

- 「デディケイテッド（専用）」
- 「コンフィギュラビリティー（構成可能性）」
- 「ローパワー（低消費電力）」

というキーワードが示された。この中で「ローパワー」について今までとは異なる考え方、アーキテクチャが必要になるのではないかという説明があった。また、組込みシステムは大学等では研究しづらい（企業等がハード、ソフトを公開しないため）という指摘がなされた。

(c) 新たなコンピューティング技術

現在は色々な計算モデルが提唱されていて、ここから新しい物が出てくるのではないかとの説明があった。「量子コンピューティング」などもその中の一つである。他にキーワードとして

- 「ナチュラル・コンピューティング」
- 「マルチセット」
- 「ハイブリッド・システム」
- 「ナノロボティクス」

などが示された。

(d) 実世界指向インターフェースとコンピューティング

今まででは人間とコンピューター間のインターフェースを議論してきているが、

これからは人と人、人と物、物と物の相互のコミュニケーションをコンピューターがどう支援するかという視点でインターフェースを考える必要がある。また、人の支援を考えた場合、人間のインタラクションを理解するプローブとしてロボットが究極のインターフェースではないかとの指摘があった。実世界インターフェースで重要なのは

「視聴覚」

「触覚」

であり、現在の PDA（パーソナル・デジタル・アシスタント）を更に発展させた形として

「PDP（パーソナル・デジタル・パートナー）」

などが示された。

(e) 情報セキュリティ

情報セキュリティというのはネットワーク社会の一つの大きなインフラであると捉えるべきである。また、情報セキュリティというと守る技術をイメージしがちだが、守る技術にとどまらず

「電子署名」

「電子マネー」等、

現在の紙と印鑑のような普遍的な文化、制度になっていくようなものではという指摘もなされた。このほか、キーワードとして、

「不正利用の防止技術」

「暗号技術」

「認証技術」

などが示された。(3. 4). 2(b)も参照のこと。

(f) センサー・アクチュエータネットワーク

§4を参照。

(g) ハイエンドコンピューティング技術

上記の「数理社会情報」「実世界指向インターフェース」などを考えると、今以上の処理速度の向上が必要だとの指摘があった。また、以下に例示する日本が強い分野をさらに伸ばすというのが一つの方向である。

- ・次世代のクラスター技術
- ・グリッドコンピューティング
- ・大容量データ・サービス、データに関する技術
- ・ディペンダブルシステム

その一方で必ずしも技術的に強いわけでは無いが社会的ニーズがあるものを強化する、という方向もあるという指摘がなされた。

3. 今後の課題

今回議論されたテーマはコンピューティング分野の一部であり、未議論の

- ・OS、基盤ソフトウェア
- ・DB、WEB 活用技術
- ・ソフトウェア開発手法
- ・マルチメディア情報処理
- ・意味情報処理
- ・シミュレーション技術、数理、物理、複雑系

については今後重要研究テーマの抽出を予定している。

また、情報処理学会と電子情報通信学会 情報・システムソサイエティ及びヒューマンコミュニケーショングループ共同主催の FIT（情報科学技術フォーラム：平成 16 年 9 月）の場を利用して学会戦略セッションを開催し、今回の議論をさらに発展させて研究テーマや研究の進め方について多方面からの意見を取り入れる予定である。

(3. 4) ネットワーク分科会

1. 概要

ネットワーク分科会では表 1.2.N に記す 9 名のメンバー（1 名不参加）および他の参加者による議論が行われた。まず研究テーマとその相互関係を俯瞰するマップを図 3.4.1 に示す。上方から、大きなシステム技術、サブシステム技術、要素技術の順に配置されている。時期的には短期（5 年以内）または中期（5～10 年）のテーマがほとんどであると考えられるが、長期的（10～30 年）なテーマは一番下に点線で囲って示されている。

今回のワークショップでは、このうちユビキタスネットワーク、ヘテロジニアスネットワーク、情報通信セキュリティ、センサネットワーク（全合同セッション）、フォトニックネットワーク（合同セッション）、ITS(Intelligent Transport Systems)、知的メディア処理、の 7 テーマを取り上げて議論を行った。

各テーマについての要点は以下の第 2 項に示すが、図 3.4.1 からわかるように今後 10 年程度を考えたときの大きなシステム的研究テーマは、ユビキタスネットワークと情報通信セキュリティに集約される、というのがメンバーのコンセンサスであり、これを念頭に置いて議論が行われた。またネットワーク分野の特徴として、政策的・社会的課題が研究開発戦略に大きく影響を与えるので、これに関する議論も行われた。これについては第 3 項に記す。

表 1.2.N ネットワーク分科会メンバー

氏名	所属（当時）
三木 哲也	電気通信大学電気通信学部情報通信工学科 教授
西 一樹	電気通信大学電気通信学部情報通信工学科 助教授
山本 強	北海道大学大学院工学研究科電子情報工学専攻 教授
江崎 浩	東京大学大学院情報理工学系研究科 助教授
小柳 恵一	早稲田大学大学院情報生産システム研究科 教授
市川 晴久	NTT未来ねっと研究所 所長
浅見 徹	（株）KDDI研究所 代表取締役所長
江村 克己	NECシステムプラットフォーム研究所 研究統括マネージャー
中村 浩	富士通（株）ITS事業推進本部 本部長代理
山口 英 (今回は不参加)	奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科 教授

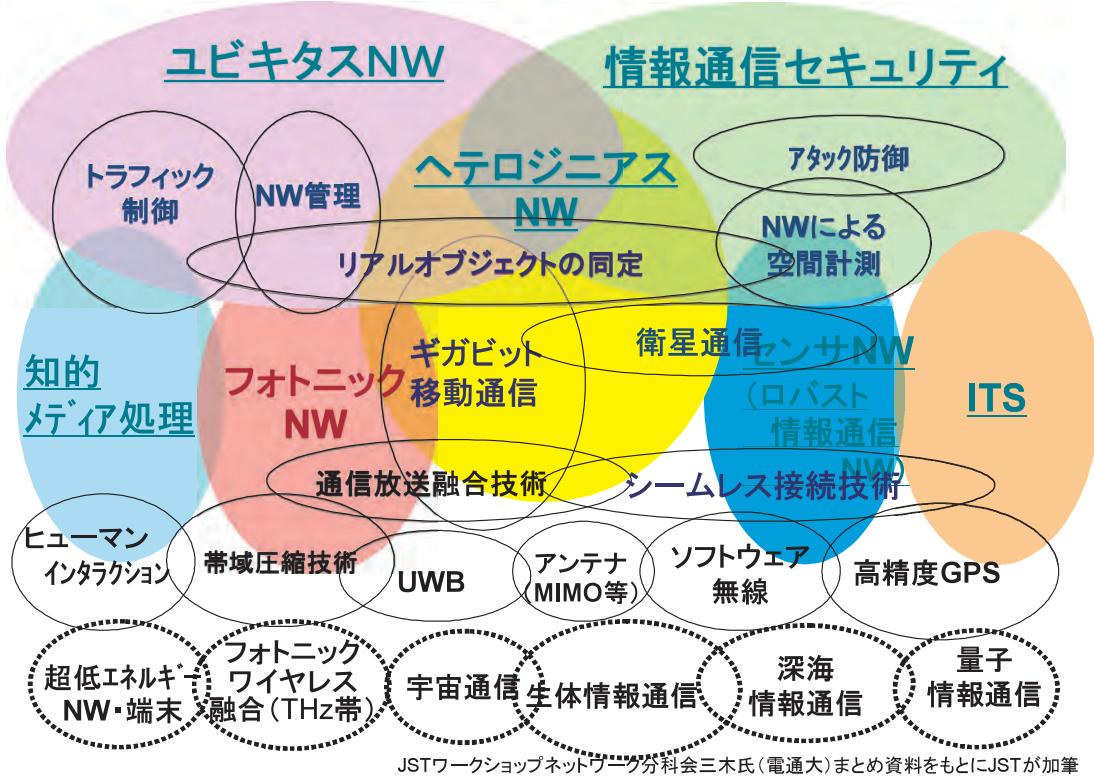


図 3.4.1 ネットワーク分野における研究テーマと相互関係

2. 各セッションの要点

(a) ユビキタス/ヘテロジニアスネットワーク

混在する各種ネットワークを相互接続するヘテロジニアスネットワーク環境の課題を解決していく中で、ユビキタスネットワークへの方向性も見えてくると考えられる。ユビキタスネットワークを既存ネットワークの改革で実現するのか、オーバーレイ型の新ネットワーク構築で実現するのか、またその際のスケーラビリティをどう確保するのか、などの技術課題があることが示された。

(b) 情報通信セキュリティ

セキュリティはネットワークにとって永遠の課題といえる重要テーマである。とくに今後ブロードバンド、ユビキタス環境が進展すると、セキュリティ確保の対象が単なる伝送情報からホスト保有情報、リアルオブジェクト情報などに拡大していき、その重要性がさらに高まるものと予想される。この際、利便性とのバランスが重要で、いかにユーザーの信頼感を醸成するかがポイントとの指摘がなされた。

(c) センサネットワーク (全合同セッション)

§ 4 を参照。

(d) フォトニックネットワーク（合同セッション）

(3. 2) 2 (c) を参照。

(e) ITS(Intelligent Transport Systems)

ITS の最終目標は車の自動運転であるが、まずは運転の支援のための情報提供、制御から進展させるべきである。ITS はセンサネットワークの一つの具体例とも考えられる。重要技術としては、GPS の高精度化、ヒューマンインターフェクションの高度化などがあげられた。また ITS 特区を設けて技術の検証を行うべきとの提案や、日本は省庁縦割りの弊害が見られるとの指摘もなされた。

(f) 知的メディア処理

「知的」メディア処理は、数値計算的メディア処理と記号計算的メディア処理とを組み合わせたものとの定義のもとに、各種要素技術について議論された。今後期待できる知的メディア処理の例として、マルチメディアセマンティックウェブ、アノテーションなどが挙げられた。一方すでに実用化されてはいるが、TV 会議システムにおける音声品質の向上なども実用上は重要であるとの指摘もなされた。

3. ネットワークにおける政策的・社会的課題

ネットワーク分野はその性質上、国の規制が必要であったり、サービスプロバイダによる大規模な設備投資が必要であったりする面があり、他の分野以上に政策的・社会的側面からの影響が大きい。そのため研究開発戦略においては、国民が理解・納得できる目標設定が重要である。国家の大目標をたとえば「安全・安心な国」「ハイクオリティな国」の実現に置き、社会的目標を「国土の保全」「社会生活の安全・安心」としたとして、ネットワークは何ができるかという観点から考えることが重要であるとの議論がなされた。テーマ設定はこれらの目標に照らして真剣に考える必要があり、特区を定めて実社会におけるテストベッドで技術の実証・検証が必要であるとの指摘があった。また研究テーマの評価においてはテーマの重要性の意味づけが重要で、国がファンディングするプロジェクトにおいてはとくに重要であるとの指摘もなされた。さらに産学官連携の重要性も指摘されたが、時間の関係で十分な議論はできなかった。

4. 今後の検討事項

今回は全体を俯瞰するマップを作成できたことが大きな成果であった。このうちおもに大きなシステムレベル、サブシステムレベルの研究テーマについて議論したが、さらに要素技術へ分解し、具体的な研究テーマを明らかにする必要がある。また他省や諸外国のファンディング状況を調査し、JST としてのファンディング戦略を明確化することが必要である。

(3. 5) ロボティクス・計測分科会

1. 概要

ロボティクスは総合科学技術であり、機械技術（材料技術、機構設計、制御技術等）、情報処理技術（環境認識、対話生成、ハプティクス等）、計算機技術（並列処理系、ネットワーク等）、センサ技術（感覚系、リアルワールド等）、エネルギー技術（自立系、リサイクル等）をその構成要素として含み、より広義には、上述のロボット工学領域に加え、ロボットに関する心理学、社会学、哲学をも含むものである（図 3.5.1）。

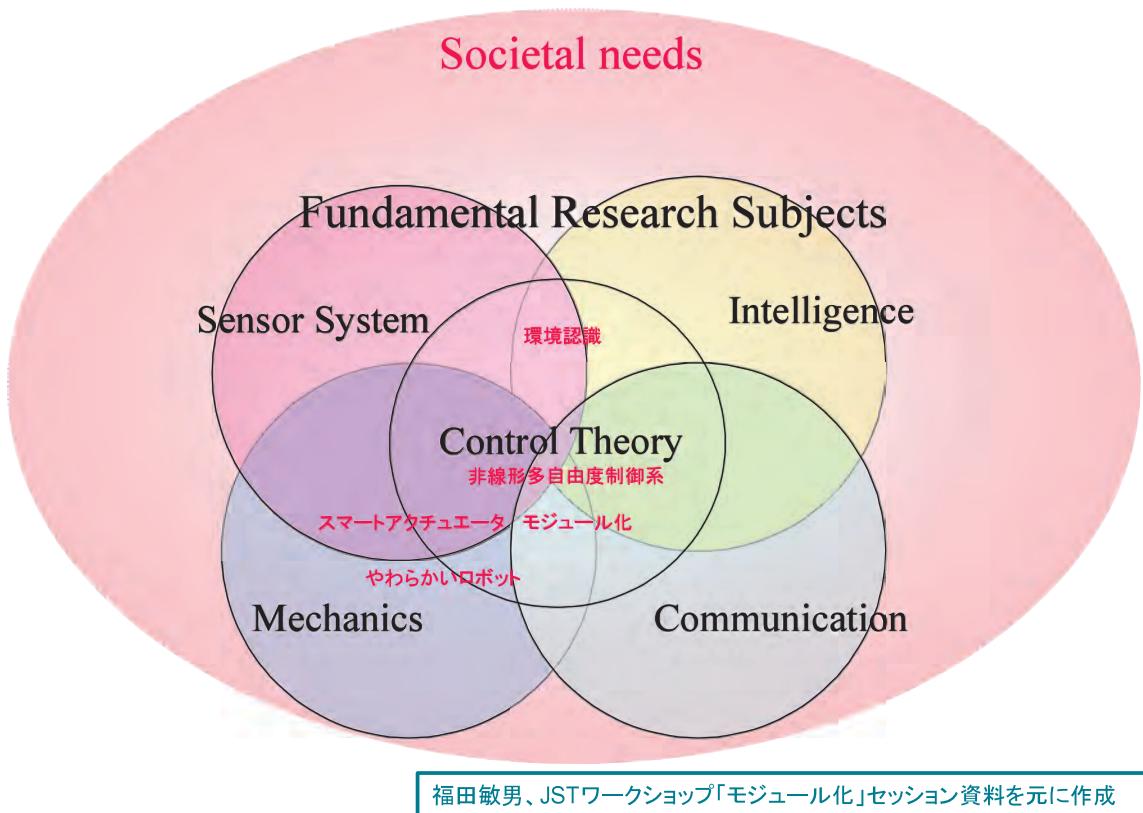


図 3.5.1 ロボティクス分野における研究テーマ

今回のワークショップではロボティクスの中で特にロボット工学領域に重点を置き、ワークショップのコーディネータ会合の議論において、橋本コーディネータを中心に次のようなテーマが特にホットなトピックとして選択・提案され、これらについて担当の専門家を選定し、それぞれにセッションを設けて議論した（括弧内は主たる話題提供者として参加したメンバー名である：表 1.2.R 参照）。トピックには、工学的観点からの 5 テーマと社会ニーズ的観点からの 2 テーマが含まれる。

①工学的観点からのテーマ

スマートアクチュエータ	(浅間 一：東大)
環境認識	(平井成興：産総研)
非線形多自由度制御系	(小菅一弘：東北大)
モジュール化	(福田敏男：名大)
やわらかいロボット	(広瀬茂男：東工大)

②社会ニーズからのテーマ

ソーシャルアクセプタビリティ	(石田健蔵：ソニー)
アプリケーション	(松日楽信人：東芝)

表 1.2.R ロボティクス・計測分科会メンバー

氏名	所属(当時)
橋本 周司	早稲田大学理工学部応用物理学学科 教授
ピトヨ ハルトノ	早稲田大学WABOT-HOUSE研究所 客員講師
小菅 一弘	東北大学大学院工学研究科バイオロボティクス専攻 教授
浅間 一	東京大学人工物工学研究センター 教授
広瀬 茂男	東京工業大学大学院理工学研究科機械宇宙システム専攻 教授
福田 敏男	名古屋大学大学院工学研究科マイクロシステム工学専攻 教授
平井 成興	(独)産業技術総合研究所知能システム研究部門 副部門長
石田 健蔵	ソニー(株)エンタテイメントロボットカンパニー開発設計部 統括部長
松日 楽 信人	(株)東芝研究開発センターヒューマンセントリックラボラトリー 研究主幹

2. 各セッションの要点

(a) スマートアクチュエータ

アクチュエータのスマート化は、すでに実用的なものについては機能と制御の一体化の方向が期待されるとともに、形状記憶合金や圧電素子等の新しい原理のアクチュエータについてはロボットへの実用化への研究開発が重要であることが指摘された。さらに長期的にはバイオアクチュエータ、光アクチュエータ、化学（分子）アクチュエータなどの研究が注目すべきものとして指摘された。さらに、アクチュエータを駆動するエネルギー源の問題が極めて重要な研究テーマであり、機能制御が一体化した場合の熱問題の処理のための冷却機の

問題、ロボットに特有な動作を実現するための変速機や減速機が古典的ではあるが意外にボトルネックとなっていること、ロボットの故障を防ぐ保護回路、トルクリミッターなどの重要性が指摘された。

(b) 環境認識

ロボットにおける環境認識の特徴は、まず目的（作業）に強く依存し、それによって、どんな感覚を取り扱うか、局所的か大域的か、定量的なのか定性的なのかなど観点が工学的に重要になる。注目される研究課題としてはデバイスレベルのものから、人間をも含めたメタ環境レベルまで広い範囲の指摘がなされた。最も重要な視覚センサとしてのカメラにさえ高速な3次元情報の取得というロボット開発の観点からまだまだ求めるべき要求があること、デバイス開発によって処理が速くなることがセンサ開発に決定的意味を持つが、ロボット研究において「デバイス開発」が研究としての主流になりづらいこと、単体のセンサだけでなくセンサフュージョンが重要で、ロボットの場合、故障認識、自己診断の観点が重要であることが指摘された。また、センサの小型化、人間の感覚器がとらえきれない範囲のセンサの開発、認識のための行動を含んだアクティブセンシング、計測機器のロボット化、環境の身体化、環境装置処理系などの重要性も指摘された。また、SLAM (Simultaneous Localization And Map building) のような数学や統計学を基礎に行われている研究が日本には少なく、米国のような軍事研究を基盤に進められていることが指摘された。

(c) 非線形多自由度制御系

この分野には、運動制御に一定の成果が得られつつあるが、さらに進んで、ロボット工学的な機能を実現する制御系についての研究が新しい領域として重要なとの認識が示された。特にユビキタスな系において大量の情報を処理することを前提にしたディペンダブルな非線形多自由度制御系の研究、また知識系ネットや分散センサを入れた制御について未来の展望がなされた。また、人間にとてあたりまえの動作の物理（デイリーフィジックス）を制御するための非線形制御系の研究が広大な未知の領域として拡がっており、ロボティクス研究のためこの領域が今後重要なことが指摘された。

(d) モジュール化

この切り口からは、ロボティクス研究の方向性が多面的に議論され、自律分散制御と通信、動的再構成、分散知能、自己進化、自己組織化が重要であり、バイオモジュール・ウェットードライインターフェース（ドライードライ、ウェットーウエットインターフェースも含む）、さらにはハイブリッド型知能の発現、ナノレベルでのバイオナノテクノロジーとの関連、人間とロボットとの協調関係の重要性にまで話題が拡がった。特に自律分散制御については日本が極めて強い分野であるが米国の軍事技術開発に伴う追い上げが激しく、研究分野

として重要領域であるとの議論があった。またモジュール化と表裏一体のロボットのオープン化が、技術の蓄積と技術革新にとって重要であるとの指摘がなされた。

(e) やわらかいロボット

やわらかいロボットの実現には、アクチュエータ、センサ、構造材の要素開発が重要であり、真に重要な工学的課題の抽出が重要である。やわらかいロボットを開発するのは、介護やレスキューナどの具体的目的を達成するために行っているが、工学的にはソフトでやることをメカに組み込み、知能をメカに置き換えること、さらには電気系でできないものをメカで実現することを追求して行われている。そういう各論を積み上げて手法論として学術的にまとまつくることがある。今後、新しい素材、センサ、制御方式の開発が重要であり、非剛体ロボットでは集中制御系から分布制御系への移行があるであろう。

(f) アプリケーション・ソシアルアクセプタビリティ

今後、生活分野ではホームロボット、サービスロボット、各種エンタテイメントロボット、医療福祉分野では手術支援ロボット、自立支援ロボット、パートナーロボット、コミュニケーション支援ロボット、公共分野では特殊環境ロボット、人命救助ロボット、産業分野ではF A ロボット、建設ロボットなどの応用の可能性が議論された。確かに、エンタテイメントロボットは注目を集めているが果たしてどの程度日本の産業に貢献するのか、日本の産業の未来を真に支えるロボットの方向性はなにかが議論の話題となった。産業ロボット以外のロボットについてはまだ具体的な要求仕様が読めない段階にあること、人間社会にとって価値のあるコンテンツをロボットが運べることが重要で、そのコンテンツを誰がどのように供給するのかが重要であるとの指摘があった。

(g) センシング技術

§ 4 参照。

(h) その他

「ロボティクス」のブレークスルーもたらす研究の方向性として次のようなテーマが指摘された。

- ① 情報処理と実世界現象がカップリングしたものとして切れ目なく取り扱える「RT」の構築、また、RT の基盤となる Universal architecture の構築（RT には計算機の OS に相当するものがない）。
- ② モジュール化、オープン化。
- ③ 人間とロボットの協調、ロボット間の協調。

3. ロボティクス分野における政策的・社会的課題

ワークショップの議論全体を通して、日本における現状では研究成果が積み上がりず、開発されたロボットもメンテナンスされず中途半端な研究に終わっている場合が目だっており、実際に使える、使いたいと思えるロボットを、はつきりとした目的をもって統合的に開発し（しかも、利用投資型で、省庁縦割りでなく、特区などの利用環境整備と結びついた形で）、その成果が水平的に波及していくような利用本位の研究の進め方が望まれる、との強い指摘がなされた。

特に日本の現状と対比的に紹介されたのは、米国における、軍事および安全保障の観点から新しく開発されたロボットの実利用がなされている現状であり、研究成果の積み上げが行われ、基礎的な成果に実用的な広がりがつながる技術開発システムの存在である。

4. 今後の検討事項

本ワークショップの対象研究領域を示す名称が「電子情報通信系」となったため、各セッションでの議論および今後注目すべき研究テーマの選択においてロボティクスとしての広がりよりも、むしろ「電子情報通信系」の広がりに対する意識が強くなってしまった面がある。

また、ロボット工学において重要な領域である、情報処理、計算機技術、エネルギー技術、材料技術について本分科会の議論では十分にカバーできなかつた。また、ロボティクス工学領域の背後には、機械工学、制御工学などの広大な工学領域のほか、隣接領域として心理学、社会学、認知科学、脳科学、生物学などが拡がっており、そうした広がりまで視野に入れることができなかつた。

§ 4. 合同分科会（センサフェュージョン技術）

1. センサフェュージョン技術合同分科会の構成

センサフェュージョン技術はすべての分科会に関係するテーマであるとして、コンピューティング分科会コーディネータの松山先生（京大）から合同分科会のご提案があり、各分科会の賛同を得て全分科会の合同セッションとして実施した。全体コーディネータは久間氏（三菱電機）にお願いした。まず藤野先生（東大）から社会ニーズ面、ついで江崎先生（東大）からセンサネットワーク、杉山先生（立命館大）からセンサデバイスについて、それぞれプレゼンテーションがあり、その後ディスカッションを行った。

2. センサフェュージョン技術の意義

センサフェュージョン技術は安全・安心・快適な社会のインフラを実現するために重要なものであり、NSF のファンディング件数を見ても近年急速に増加している（JST 調査）。センサデバイス技術、センサ情報処理技術、ネットワーク技術、システム構築技術などの要素技術を組み合わせた総合システムである。センサネットワーク社会のイメージを図 4.1 に示す。

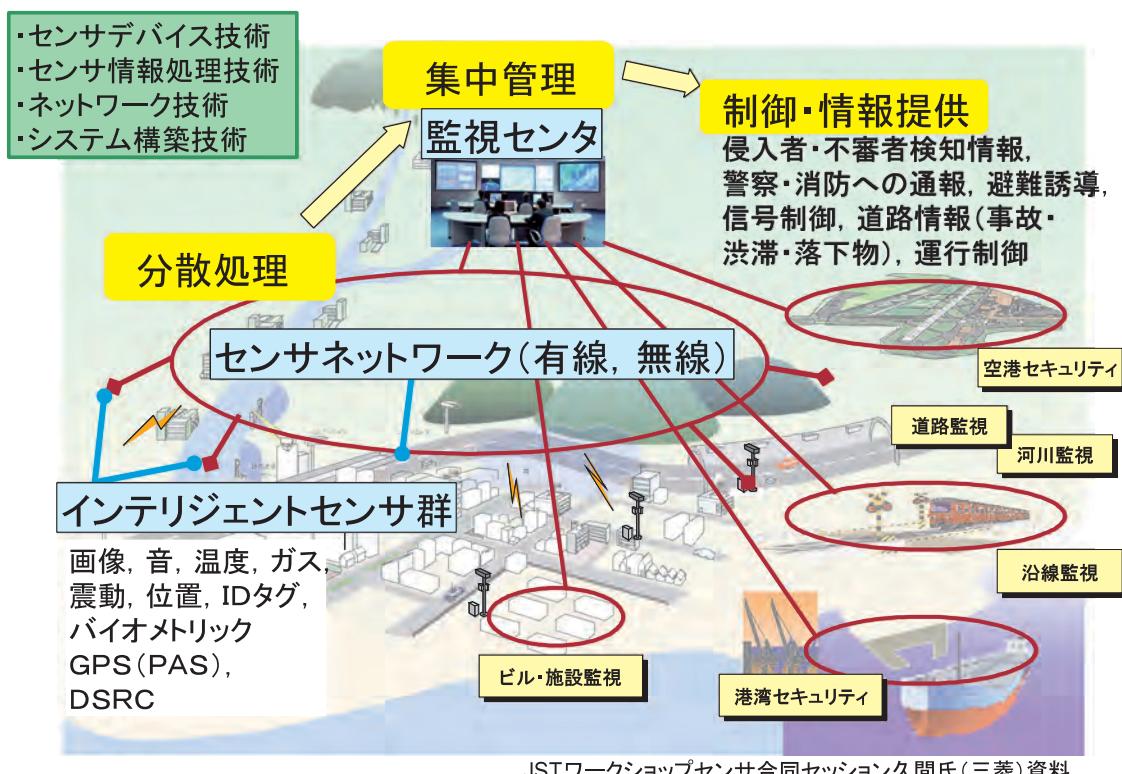


図 4.1 センサネットワーク社会のイメージ

3. 社会ニーズ面からの必要性

コンピューティングの進歩にともない地震、台風などのシミュレーションは非常に正確になったが、センシングとコンピューティングが組み合わさるとさらに強力となる。ビル、病院、鉄道、橋、道路などの社会インフラは決して安全とはいはず、また経年劣化が避けられない。センシング、コンピューティング、制御系を組み合わせて、安全安心社会の実現、都市再生、都市間の国際競争に勝つことを目指すべきである。

4. センサネットワーキング

センサネットワークにおいては、すべてのものにデジタル情報が付随し、それをリンクする。単に情報を扱うだけでなく、リアルなものを扱う「実世界」ネットワークである。そこでは人、物、状況の把握が必要である。ネットワーキングの形態は固定網、移動網、アドホック網など多様性があるが、形態の変化にともなう拡張性が重要な要素である。またセンサネットワークはインフラのメンテナンス等の運用コストダウンを可能にし、収入増よりも費用削減に貢献する。この点を正しく評価する必要がある。

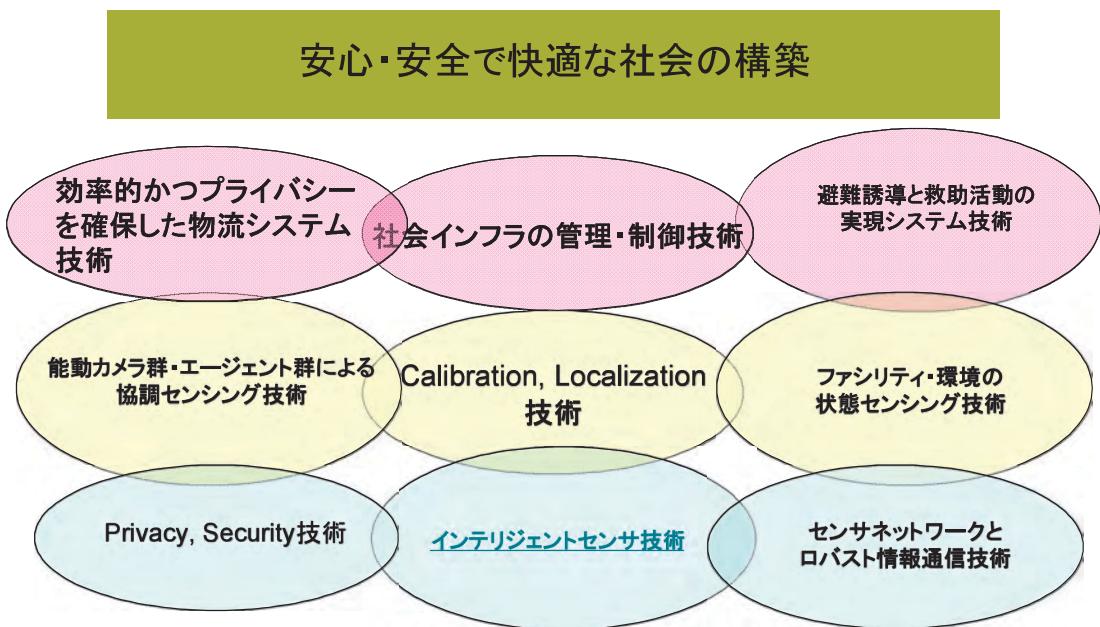
5. センサデバイス

センサデバイスの機能は、視覚センサ、聴覚センサ、振動センサ、臭いセンサなど多岐にわたり、共通技術課題としては、超小型化、低コスト化、ワイヤレス化など多くのものがある。今後 10 年程度の研究テーマとしては、ナノセンサ、スマート MEMS、アレイセンサ、ポリマーMEMS、バイオ・化学センサなどが挙げられる。このうちスマート MEMS は、ナノセンサ・RFID タグ・メモリ・ネットワークインターフェースなどを 1 チップ上に形成するもので、きわめて低価格・高機能なセンサデバイスの実現が期待できる。

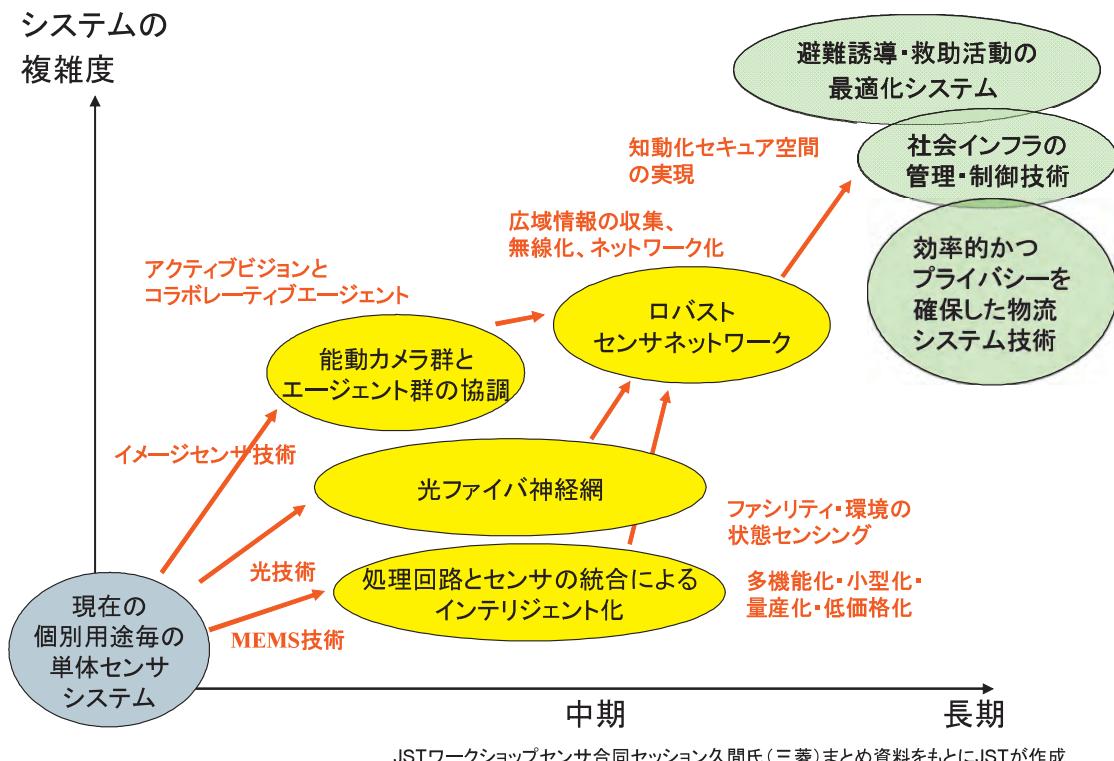
6. ディスカッションのまとめと今後の課題

研究テーマについてのディスカッションのまとめを図 4.2 に示す。この図では最上段に全体としての目的（安全・安心で快適な社会の構築）を示し、上段にアプリケーション、システム技術、次にサブシステム技術、下段に要素技術を配置して描いてある。研究の時間軸を図 4.3 に示す。多くの分野の研究をインテグレートすることが必要であり、中長期にわたる研究の継続が必要であると思われる。

今回はセンサフュージョンという広いテーマを対象にしてまず全体の俯瞰図を描くことを目的としたが、次のステップとしてはヒアリング、ワークショップなどによってさらに具体的な研究テーマを絞り込むことが必要である。



JSTワークショップセンサ合同セッション久間氏(三菱)まとめ資料をもとにJSTが作成
図 4.2 センサフュージョンにおける研究テーママップ



JSTワークショップセンサ合同セッション久間氏(三菱)まとめ資料をもとにJSTが作成
図 4.3 センサフュージョンにおける研究テーマの時間軸

§ 5. ランプセッション

ランプセッションはワークショップ2日目の夕食（懇親会）後に、インフォーマルな雰囲気の中で技術とは多少違った角度からざくばらんな議論をするために設けた。テーマは「電子情報通信産業の将来と研究開発戦略」とした。今回は極力多方面からの意見を聞くため、プレゼンデータとして経済産業省産業技術環境局研究開発課企画官の土井良治氏、文部科学省科学技術政策研究所情報通信ユニット長の立野公男氏の2名の方にお願いした。

土井良治氏は「研究開発の戦略・進め方～産業技術政策における取り組み状況～」と題して経済産業省における研究開発戦略をプレゼンテーションされた。内容は、我が国の研究開発投資効率は諸外国に比べ低いとの指摘がありその改善を目指して現在進めている研究開発のプログラム化の状況、経済産業省の研究開発マネジメント、技術評価や予測手法、産業技術総合研究所の研究マネジメントの改革、特許庁における特許動向分析アクティビティなどについてであった。

立野公男氏は「日本のIT産業をとりまく状勢～半導体、BB、光ディスクの場合～」と題してプレゼンテーションされた。半導体については日本の世界シェアは低下しているが技術の牽引役であることは変わらず、技術開発のチャレンジは続ける必要があること、ブロードバンド(BB)についてはインフラ整備はかなり進んだので新サービス創造が重要になっていること、光ディスクについては中国から新しい規格が提案されている現状をふまえ特許・標準化戦略を強化する必要があること、などを指摘された。

国家戦略、各省の産業・科学技術戦略、产学研官連携、人材育成、IT産業の3次産業化、日本のものづくりなど、広範囲の議論が展開された。参加者は約80名で、一つのテーマについて議論するにはいささか多すぎたきらいはあるが、非常に活発な議論が交わされ2時間半の予定時間をはるかにオーバーするほどであった。もとよりコンセンサスが得られるようなテーマではなかったが、電子情報通信分野の研究者がこのような話題について率直な議論を行ったことは意義あることであったと考えている。

あとがき

今回のワークショップは電子情報通信系としての第1回目であり、今後の活動の方向性を定める重要なワークショップであった。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分野の技術を俯瞰的に眺めた上で議論することに重点を置き、成果物として①研究領域の俯瞰的マッピング、②各マップ内の研究テーマ、③時間軸を考慮したロードマップの三部作を目標にした。各分野で多少の差はあるものの、①についてはかなりの程度達成できた。②③については必ずしも十分深掘りできたとは言えない分野もあるが、第1回目のワークショップとしての所期の目的は十分達成できたと考えている。今後は各分野をさらに詳細に見て重要研究テーマを深耕し、テーマ別ワークショップや専門家との個別討議などを通じて当初の目的である戦略策定につなげていきたい。

末筆ながら、今回のワークショップにあたり各分野をとりまとめいただいたコーディネータ・補佐の先生方をはじめ、プレゼンテーションおよび熱心なご議論をいただいたメンバー、ゲストほか参加者の皆様に厚く感謝の意を表する。

独立行政法人科学技術振興機構
研究開発戦略センター
生駒上席フェロー・グループ

上席フェロー	生駒俊明
シニアフェロー	丹羽邦彦
	中島啓幾
主任調査員	伊東義曜
フェロー	石正 茂
アソシエイトフェロー	高橋良明
	関根基樹

科学技術未来戦略ワークショップ（電子情報通信系）報告書
CRDS-FY2003-WR-02
平成 16 年 1 月 29 日（木）～31 日（土）
於： ラフォーレ南紀白浜

平成 16 年 5 月

発行者 独立行政法人科学技術振興機構
研究開発戦略センター
生駒上席フェロー・グループ

©独立行政法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター 2004
無断での転載・複写を禁じます。