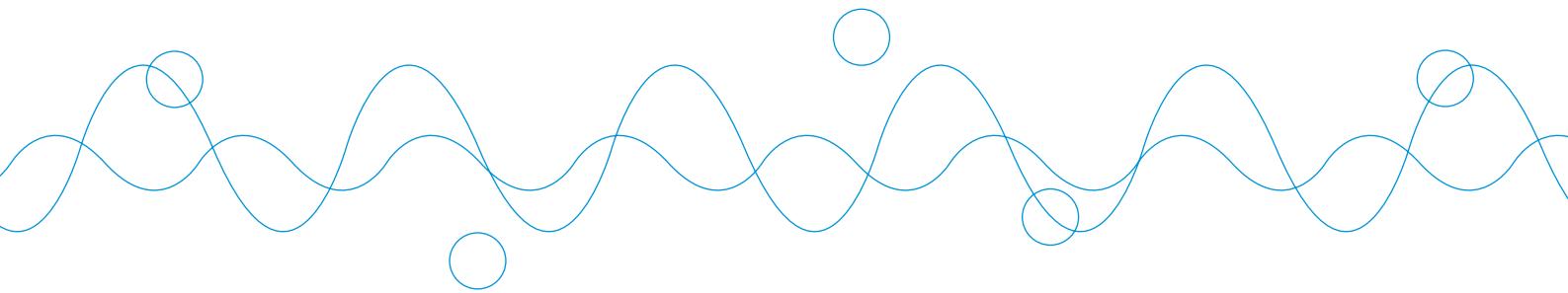


ATTAATC A AAGA CCTAACT CTCAGACC
CT CTCGCC AATTAAATA
TAA TAATC
TTGCAATTGGA CCC
AATTCC AAAA GGCTTAA CCTAC
ATAAGA CTCTAACT CTCGCC
AA TAATC
AAT A TCTATAAGA CTCTAACT CTAAT A TCTAT
CTCGCC AATTAAATA
ATTAATC A AAGA CCTAACT CTCAGACC
AAT A TCTATAAGA CTCTAACT
CTCGCC AATTAAATA
TTAATC A AAGA CCTAACT CTCAGACC
AAT A TCTATAAGA CTCTAACT

戦略イニシアティブ IRT — IT と RT の融合 —

0100 11100 11100 101010000111
001100 110010
0001 0011 11110 000101
0011 0001111100 0



00 11 001010 1



Center for Research and Development Strategy

独立行政法人 科学技術振興機構 研究開発戦略センター

001101 0001 0000110

0101 11

00110 11111100 00010101 011

Executive Summary

この20年間に大きな進歩を遂げた IT（情報通信技術）はサイバーワールドとよばれる情報世界を創造してきた。この情報世界と実世界を結合させようとする研究も活発に行われているが、両世界間の相互作用は情報を主たる手段としているため、実世界を意識した IT の発展には、このままではその限界があると思われる。一方、進歩の著しいロボット技術（RT*）は人間の思考・運動・行動を支援・強化・代替することが可能な段階に到達してきている。IT の限界を破り大きな波及効果をもつ実世界と情報世界を融合する技術を、新たに開発することが今後の重要な研究投資の方向である。特に、日本の科学技術の蓄積を生かし、また、IT と RT の強みを合わせ融合できる技術分野を IRT（Information and Robotics Technology）と呼び、この分野に研究投資を行うことの意義は大きい。

実世界とサイバーワールドの融合により得られる成果を人間・社会を軸として利用することにより、「健康で快適な生活」「安全で安心な社会」「持続可能な経済発展」などの社会ビジョンを実現することができる。本戦略イニシアティブでは、これら「社会ビジョンを実現する技術システム」を「IRT プラットフォーム」と呼称し、これらを実現させる研究開発が科学技術政策の高いレベルにおいて重要であることを提案する。

IRT の研究は高度に融合的であるため、国レベルで複数の省庁が協調的にファンディングする仕組みや、産官学で構成されるチームによる研究推進態勢をとることが必要である。

国際的に見ても、IT と RT は日本が強い領域であり、その強みを結集する IRT を実現する研究プログラムを、以上に述べたような意義と研究体制を考慮しながら国家レベルで実行することが今最も必要である。

* ここでは RT に、「実世界に働きかける機能を実現する技術」という、従来のロボット技術より広義の意味をもたせている。

■ IRT 戦略イニシアティブ



Contents

IRT 戦略イニシアチティブ
at a glance

プラットフォーム
in detail

IRT とは	7
IT と IRT の融合、分析から統合への転換が創出する高次技術体系	
IRT に研究投資する意義	8
社会ビジョンの実現と基盤研究の飛躍・展開	
IRT で実現できる社会ビジョン	10
IRT は社会の要請にどう応えていけるか？	
IRT 研究でドライブされる要素技術	12
IRT 研究は、要素技術の高度化もたらす	
IRT の波及効果	16
研究の推進方法	17
IRT プラットフォームの概要	18
まとめ	30
付録 IRT プラットフォーム	33

IRT とは

IRT に
研究投資する
意義

IRT で
実現できる
社会ビジョン

IRT 研究で
ドライブされる
要素技術

IRT の
波及効果

研究の
推進方法

IRT プラット
フォームの
概要

まとめ

IRT プラット
フォーム

IRT 戦略イニシアティブ
at a glance

IRTとは

ITとRTの融合、分析から統合への転換が創出する高次技術体系

IRTは、実世界の人間に関する情報、環境情報、物・事象のもつ情報を確に収集し、サイバーワールド内での情報処理を実行し、さらに実世界に対して適切な物理化学的効果及ぼすことで、人間の感覚運動機能を支援・強化・代替することを可能にする技術体系である。

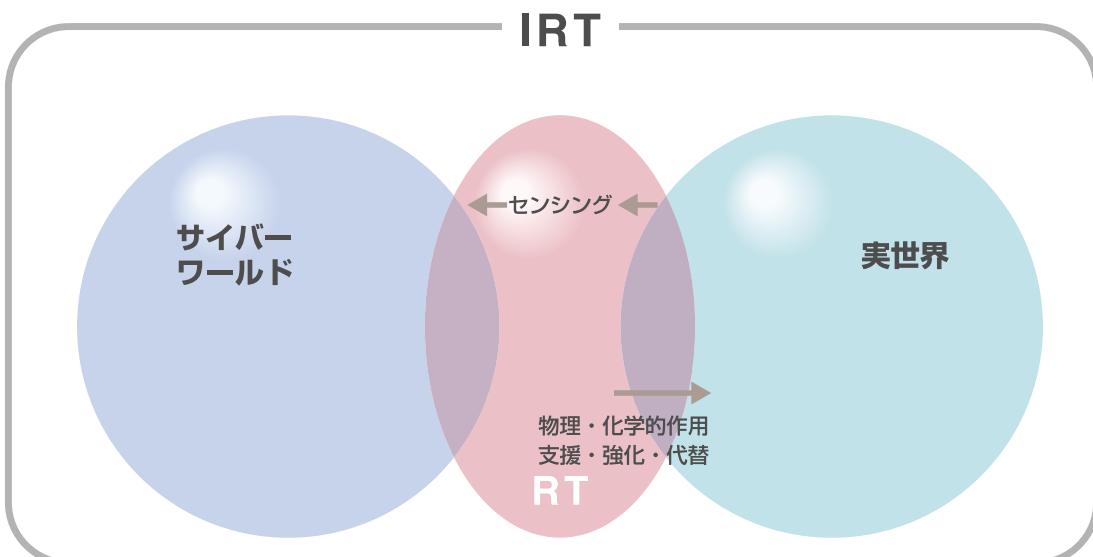
IRTは、デジタル技術が支える情報通信技術(IT)とアナログ技術とデジタル技術を駆使するロボティクス技術(RT*)との融合により実現する科学技術体系である。

IRTの推進により、技術的には「ハードとソフトの融合」、「デジタルとアナログの融合」が進み、「分析の科学技術」から「統合の科学技術」への進化が促される。また、IRT自身が高度に融合的な研究領域を含むため、幅広い基礎的科学技術領域の振興に貢献する。

さらに、IRTの研究開発は、「健康・快適な生活の提供」「安全・安心な社会の構築」「持続可能な経済発展」などの社会ビジョンに貢献することを目標とするIRTプラットフォーム群の枠組みで進められるので、社会ビジョンの実現への具体的な貢献が進む。

図1 IRTの概念

IRT (Information and Robotics Technology)



IRTとは

IRTに
意義
研究投資する
IRTで
実現できる
社会ビジョン

IRT研究で
ドライブされる
要素技術

IRTの
波及効果

研究の
推進方法

IRT
の概要
プラットフォーム

まとめ

IRT
プラットフォーム

IRTに 研究投資する意義

社会ビジョンの実現と基盤研究の飛躍・展開

IT（情報通信技術）はこの 20 年間大いに進歩し、国民の生活、社会の構造、産業の競争力などあらゆる分野に大きな影響を与えてきた。そのため、わが国をはじめとする経済先進国は IT の推進に国家を挙げて取り組んできた。IT はいわゆるサイバーワールドと呼ばれる情報世界を形成し、人が生活する実世界（リアルワールド）との間に相互作用をもたらすに到った。

現在、情報技術関係の研究者は、この二つのワールドの相互作用をさらに強め、その融合を目指す研究を活発化させている。しかし、現時点では二つの世界の相互作用は主として情報のやり取りで行われているため、IT の利用は限定されると考えられる。

一方、ロボット技術は、製造現場の自動化をはじめ最近の目覚しいヒューマノイド型ロボットの開発に見られるように、人間の思考・行動や物理的な力を強化・支援することが可能となり、リアルワールドに対して IT 以上のインパクトを与える技術に育っている。

わが国はこの両方の技術で世界をリードしているが、その優位性をさらに強化発展させるためには、

この二つを融合させて研究開発を進めていくことが賢明である。すなわち IT とロボティクス技術を融合させた IRT (Information and Robotics Technology、情報通信ロボット融合技術) の推進こそがわが国の競争優位性をさらに強化するものである。

ここでいうロボティクス技術は現在のロボット技術をさらに拡張させ、人間の行動を支援し、強化し、あるいは代替する技術に限定することなく、人間の五感や感性をもふくむサイバーワールドとの相互作用まで発展させるものである。

IRT は、今後 10 年から 15 年後の社会を見たときに想定される様々な要求や欲求を満たすための技術プラットフォームを提供するものであり、また起こりうる様々な問題を解決する技術プラットフォームを提供する。また同時にこの IRT 戦略イニシアティブを遂行する事により、情報、通信、電子、材料、ソフトウェア、機械工学、ヒューマンサイエンス（認知科学、老齢科学などを含めて人間にかかわるすべての研究分野）などの基盤的な学問・技術の発展を牽引する原動力ともなる。

図2 IRT 戰略イニシアティブ



IRTで実現できる社会ビジョン

IRTは社会の要請にどう応えていけるか?

21世紀の社会のビジョンには、

- 「健康で快適な生活」
- 「安全で安心な社会」
- 「学習する社会」
- 「活力と競争力のある国」
- 「持続可能な経済発展」

などが考えられる（15頁コラム参照）。

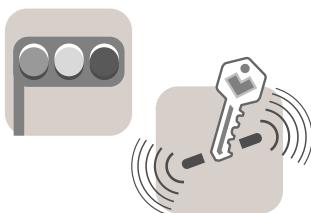
IRTは、技術プラットフォーム（「プラットフォームの概要」（18～29頁）および付録（33頁以下）を参照）を立ち上げ、社会ビジョンの実現に寄与する。



(2) 安全で安心な社会

- 災害・事故・犯罪などから守られた社会
- 各種構造物、地形などの状態を検知し、自然災害、経年変化による状態変動や異常情報を提供すると共に、総合的に判断して危機回避シナリオを提示
- ライフライン（道路、電気、水道など）や公共空間（学校、病院、公園、駅など）での人・物・施設の状態を継続的にモニターし、異常や犯罪などの判断と人の誘導などによるコミュニケーションの危機管理能力の向上
- 広域的な環境変動や災害を自動検知し、必要な対策を実行
- 車両の走行を監視・誘導・制御することによる危険事象の予防

防犯・交通事故対策



防災・救助

地震・津波
その他の自然災害



(3) 学習する社会

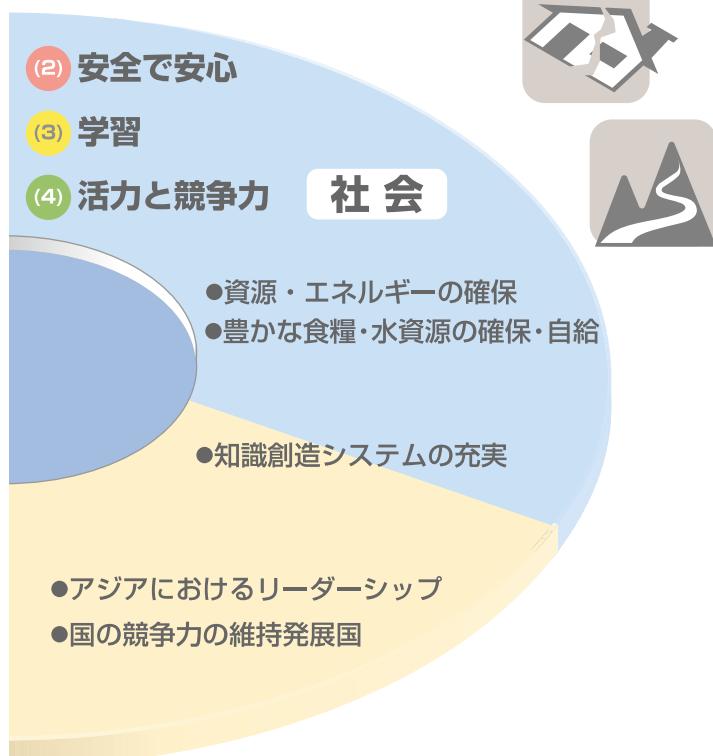
- 生涯にわたり学び続けることができる社会
- 「場の共有」もしくは一体感が可能な学習・教育環境

(4) 活力と競争力のある国

- 身体的機能が一部低下しても、健常者とともに自立して活力を持って活躍できる社会
- 高齢者・身障者の自由な移動、作業能力の獲得、および視覚・聴覚・触覚機能の強化
- ロボットのセンサーから得られるセンサー情報を統合して人の状況をも認識することにより、人がシステムを意識せずに自由に行動できる環境
- 遠隔ロボットによる在宅治療・介護
- 産業競争力のある社会
- ロボットを活用したセル方式の「変種変量生産システム」

(5) 持続可能な経済発展

- 代替エネルギー、省エネルギー、物質の循環、生態系の保全や利用などを考慮した社会
- 環境を考慮した経済発展
- 製造立国として、多様化が進むユーザーのニーズに柔軟に応えられる、ロボットを活用したセル方式の「変種変量生産システム」
- 森林・都市火災、廃棄物不法投棄など、都市・農林地レベルから地域レベルまで広域的な環境変動や災害を検知し、必要な対策を実行



コミュニケーション

携帯電話
コンピューター



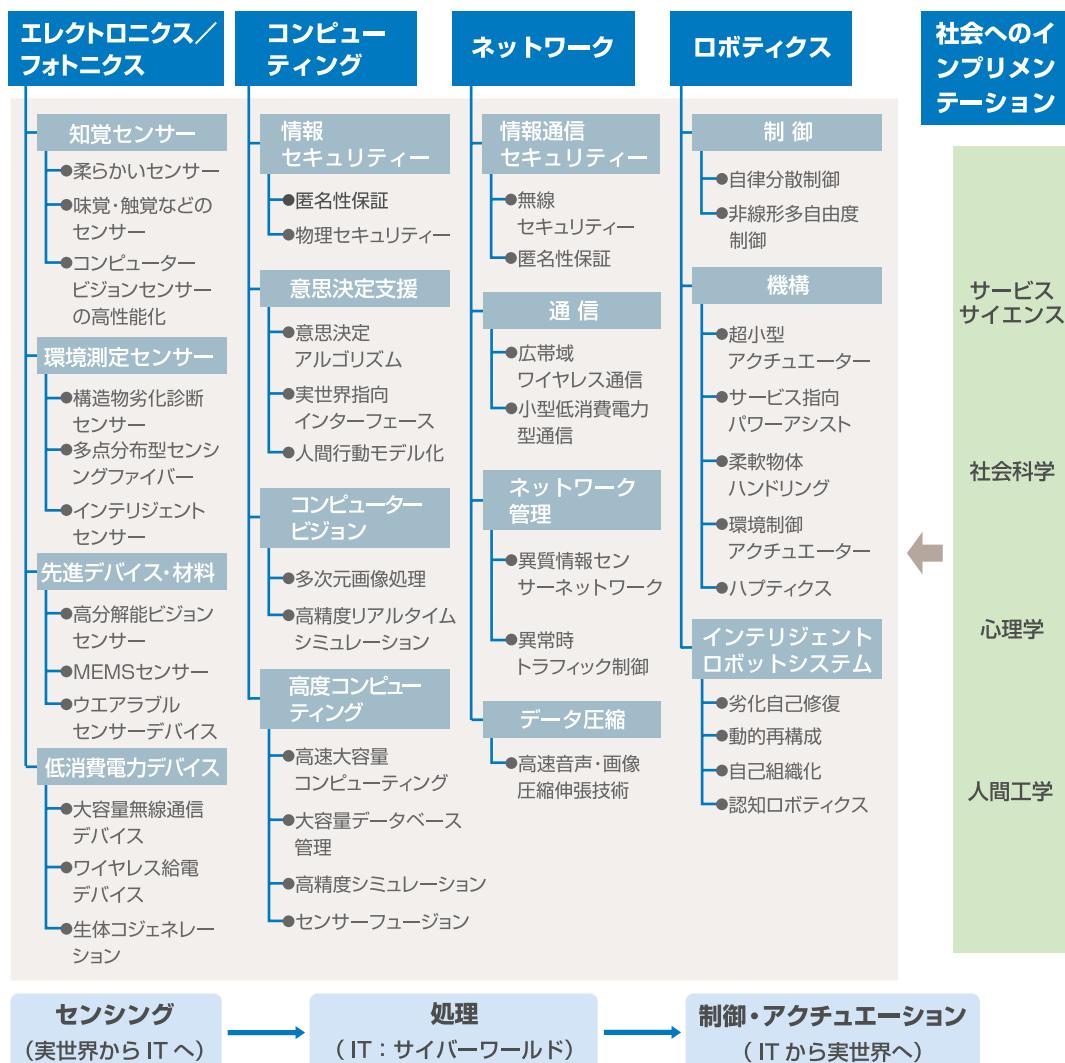
IRT研究でドライブされる要素技術

高度化ももたらす
IRT研究は、要素技術の

IRT研究を推進することによりIRTプラットフォームの実現に必要な要素技術研究が急速に進展し、それらの技術を軸にした幅広い技術の進歩も期待される。要素技術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、ロボティクスに分類、さらに技術の社会へのインプリメンテーションに関する研究領域を加えると図3のように整理できる。

図3 IRTの実現のために必要な要素技術



■エレクトロニクス／フォトニクス技術

■知覚センサー技術

- 人の五感を精確に検出するセンサー
- 体内情報取得用の体内埋め込みセンサー
- 臓器の力学的特性（反力、硬さなど）を高周波数で計測する安定した小型センサーならびにその信号処理デバイス
- 力学情報のほか化学情報、光学情報などを用いた、病变部位や健常部位の診断などができる、ロボット搭載可能なセンサー

- 皮膚類似の機能をもつために、圧力、温度、湿度などを広範囲（3 m²以上）で12万点以上、サンプリング周波数1 kHz以上で運動にフィードバックできる広帯域センサー
- 介護・リハビリを支援するシステムのセンサーとして、サンプリング周波数10～20 kHzで動作する周波数帯域1 kHz以上の力覚センサー
- 可視領域で分解能3 μm、サンプリング周波数10 kHzの高分解能対応型高速画像センサー

- 可視領域を超えた高精細度センサーとその3D可視化の技術、可聴領域を超えた高感度センシングと可聴化の技術、6軸/点より自由度が高い力センサー、および皮膚感覚に匹敵する触覚センサーなどの開発

■環境測定センサー技術

- 小型、低消費電力型で、インテリジェントセンシング機能やキロメートル・オーダーの通信機能、データ処理機能を備えたセンサーチップ
- 人に代わり部品の取り出し（ビンピッキング）や組み立て作業を可能にするための小型・軽量・低価格な3Dセンサー
- ビルや堤防などの構造物の劣化・異常を検知するため、光ファイバー技術による多点型・分布型センシングやワイヤレス小型センサー網による多点型センシング技術
- MEMSセンサー、電歪・磁歪センサー、AE技術、3次元形状測定技術などの各種センサーハードウエアの研究と機能向上による、構造・材料診断のためのセンサーネットワークを構築する技術

■先進デバイス・材料技術

- 実時間処理速度が現状の100倍以上のCPU、およびスキャン角度180度以上、サンプリング周波数1kHz以上で、計測距離20m以上、分解能1mm以内の高分解能ビジョンセンサー
- MEMS光学素子と複数光学素子とのハイブリッド化、および短波長半導体レーザーによる狭幅スリット光の採用で、大きさ5cm角、重さ100g、精度50μm（現状：大きさ10cm角、精度200μm）のスペックを達成するセンサー
- 映像と、映像がもたらす空虚の変化とが再現される、可動面（アクチュエーター）を組み込んだデバイス
- 衣服や帽子などに埋め込む（織り込

む）ことが可能な人間の生体信号（筋電位や脳波など）を測定するセンサーチップ

- 材料の質感や堅さを再現するディスプレーを開発するために、表面の微細な質感や触感を再現するマイクロ・ナノマシン技術

■低消費電力デバイス技術

- 知覚センサー、環境測定センサーなどにおいて低消費電力を実現するデバイス
- 480Mbps以上の伝送速度を持つ通信デバイス
- キロメートル・オーダーの通信距離をもつ通信デバイス
- ワイヤレス給電デバイス
- 生体コジョネレーションを実現するデバイス

■コンピューティング技術

■情報セキュリティー技術

- 現状の暗号化ビット数16～48ビットを128ビット以上にするための技術および匿名性保証技術などの情報セキュリティー技術
- 不審者の検知、個人認証などのセキュリティー技術

■意思決定支援技術

- 人間にとて自然で誤操作を防止するインターフェース、および的確な判断を支援するインターフェース
- 人の意図やエラーを考慮・推論し、学習・適応・進化できる機能をもつ適応インターフェース
- 人に快適環境を提供するための、人間行動のモデル化技術

■コンピュータービジョン技術

- 3次元空間軸に時間軸を含めた4次元医用画像処理技術、および治療機器の位置決め制御、エネルギー制御への応用研究
- 悪環境下でも認識率95%以上を実現する、小型で高ダイナミックレンジや

耐環境性をもち、認識対象の拡大を図れるセンサーフュージョン技術

■高度コンピューティング技術

- 高次元データの可視化・可聴化・可感化の技術
- センサー・アクチュエーター系としての人間のモデル化技術
- 軟性組織の非線形有限要素モデル化の手法およびモデルベースの治療機器制御を含む治療シミュレーション技術
- ビジョンセンサー、力覚センサーなどの各種センサーを用いた、高速・低コスト・高品質な組み立て作業の最適制御技術やセルフリカバリー機能
- レイアウト最適化、立ち上げ時間 1/10 を実現するための 3D モデルを用いた高精度生産シミュレーション技術
- 地上観測と衛星観測の統合を目指す、衛星上（オンボード）でのデータ処理機能高度化技術
- 損傷・劣化状態の分布情報を得ることのできるセンサー情報処理技術
- 構造・材料の力学的特性から構造物の安全性・危険性を判断する診断処理アルゴリズムやセンサーフュージョン技術
- 広域エリア交通流制御のための車位置検出に関して、現状精度 2～10 m、可用性 80% 以下を、精度 10 cm～1 m、可用性 95% 以上に高め、車速 120 km/h までの通信を保証するセンサー情報処理技術
- 総データ容量が数ペタバイト、ノード数が数百万の大容量・分散情報の処理・管理技術
- 集中処理と分散処理のバランスを含めたデータベース管理技術
- 大量のデータを選別して統合・融合する高効率システムのためのデータ管理技術

■ネットワーク技術

■情報通信セキュリティー技術

- 現状の暗号化ビット数 16～48 ビットを 128 ビット以上にするための技術および匿名性保証技術などの情報セキュリティー技術

■無線通信時の情報通信セキュリティー技術

■通信技術

- 遠隔システムで、音と映像などの再生の時間的遅れを限りなく小さくし、違和感を感じさせないための超高速通信技術（1 Gbps）
- 小型、低消費電力型でキロメートル・オーダーの距離まで電波を飛ばせる通信技術
- DSRC（専用狭域通信）、無線 LAN に関して、現状の伝送速度 4～54 Mbps を 480 Mbps 以上に高めるための技術

■ネットワーク管理技術

- 社会インフラシステムにおける膨大な異種ネットワークの管理および異常時トラフィック管理、広帯域ワイヤレス通信技術
- 遠隔システムで、音と映像などの再生の時間的遅れを限りなく小さくし、違和感を感じさせないためのリアルタイムネットワーク管理技術

■データ圧縮技術

- 狭帯域でも確実に音声、画像などが送受信できる帯域圧縮技術

■ロボティクス技術

■制御技術

- 制御周波数 10 kHz 以上で動作する運動制御システムのために、エンコーダーの分解能、サーボアンプの周波数帯域、組み込み制御用プロセッサの性能をそれぞれ 10 倍にする技術
- ロボットセルでの高生産性を実現するために、現行ロボットシステムとの比較で速度 2 倍、重量 1/2 を目指す、高速・小型・軽量の次世代アクチュエーター
- 軟質物体を安全に把持する、長時間駆

動可能な制御技術と機構

- 5 kHz 程度のクロック周波数で処理可能な超高速位置制御
- アクチュエーターのエネルギー制御技術
- 機構技術**
- 小型で多自由度をもつ、柔軟物体をハンドリングできる機構
- 現状と同等の制御特性をもち、体積出力比が 1 枝以上改善され、体内挿入型デバイスに集積化できるアクチュエーター技術
- 1 cm の範囲の動きに 2 kHz 以上で応答可能な超高速アクチュエーター
- 人間の五感に違和感なく働きかけるハapticアクチュエーター
- サブミリメートル・スケールもしくはマイクロメートル・スケールの物体ハンドリング技術

●介護・リハビリをサポートする機構技術

- 活力ある生活を支援する運動サポート機器、および感覚支援技術
- 高密度な環境センサー情報をベースに、音・振動・空気などの制御を行う高性能アクチュエーター
- 特殊環境下で動作するアクチュエーター
- 高速応答・高信頼性の高分子系アクチュエーター

■インテリジェントロボットシステム技術

- 構造・材料に組み込んだ損傷・劣化自己修復機能を駆動させる総合システム技術
- 動的再構成技術、自己組織化技術
- 人に快適環境を提供するための、人間行動のモデル化技術

社会ビジョン

回健康で快適な生活

急速に進む高齢化・長寿社会を活力に満ちたものに保つには、これまでにも増して、人々の健康を守り、維持し、増進することが重要となる。さらには、人々の健康を積極的に支える快適で豊かな環境を創造し、また健康と快適を阻む要因を除去することのできる社会を構築することが必要である。

回安全で安心な社会

災害、事故の発生、感染症の世界的流行、国内の治安の悪化など社会の安全・安心を脅かす自然および人為的な要因・リスクを予知・予防し、最小限にとどめ、仮にその危険・脅威が顕在化したとしても被害を最小限にくい止められる仕組みと技術をもつ社会を構築することが求められる。

回学習する社会

多くの困難を乗り越えて自立して生きる力を、生涯にわたり維持・発展させるためには、学ぼうとする能力と意欲を育て、支援できる社会の仕組みが必要となる。特に、長寿命化により多様な社会的・経済的変動を乗り越えて生き抜くことが以前にも増して必要になっており、人々が知的・身体的に生涯にわたっていきいきと個性を生かし、能力を伸ばしていくける生涯学習を実現する社会が求められている。

回活力と競争力のある国

人々が急速に変動する社会と世界に関わり、意欲的に生き抜いていく活力が必要とされている。この活力を育て支援できる仕組みと環境を整え、健全な競争力を維持できるいきいきした国。また、国際基準で生き抜ける力をつけ、前向きな力に溢れ、競争力を維持増進できる国。

回持続可能な経済発展

地球規模で環境との調和をはかりながら、資源を安定的に確保し、将来の世代にわたって経済的な発展を維持すること。

回国際社会から尊敬される国

国際社会での課題解決への貢献、世界の文化、科学技術、平和への貢献を通じて国際社会から尊敬される国。

回アジアにおけるリーダーシップをもつ国

多様性を受け入れる受容力をもち、アジアの他の諸国とのパートナーシップを構築しつつ、力強い科学技術力、豊かな産業力に基づいた、アジア域内での特色を生かした平和的で生産的なリーダーシップをもてる国。

回国の競争力の維持発展

国としての豊かさを維持し、人々の生活基盤を維持するために、科学技術力に基づく産業競争力を維持発展させること。

IRTの波及効果

IRTが実現すると、生活面、娯楽面、IT分野、などに大きな波及効果が期待できる。

■生活：衣食住

衣や住の環境に IRT 技術が応用されるようになると、環境をセンシングして快適性を保つアクチュエーションが織り込まれた軽くて快適な衣服や・住環境を環境変化に対応して積極的に快適化する技術が住宅に応用されるようになり、健康で快適な生活の実現に寄与する。

IRT 技術を構成する高度な人間の感覚に近いセンシング技術を応用することにより味覚や食にかかわる生活が豊かになると共に、食の安全の確保にも貢献することになる。また農業生産の IRT 化などにより、環境の変化に応じた適切な作物の栽培が可能となり、高齢化の進む農業経営を効率的に行うことも可能になる。

■娯楽・芸術・スポーツ

IRT 技術のセンサー・アクチュエータ一系を応用すると今のところは、サイバーワールドと実世界に閉じがちなエンターテインメントの世界が非常に拡がり、重要な第3次産業への寄与が期待される。メディアに IRT 技術が入ることにより、より豊かで能動的な音楽・芸術体験が五感を通じて身近に実現する。自ら演奏や芸術作品の制作を手軽に楽しめるような楽器演奏のアシスト機能などが IRT 化されれば、だれでもが豊かな芸術体験が得られるようになる。

また、スポーツ技能の習熟や運動不足の解消などのための運動を、IRT 機能を組み込んだトレーニングマシンなどを活用することにより、指導者がいなくても正しく効果的な動作により人々の健康増進が推進できるようになる。

■IT、その他

IRT 技術の発展により、五感の伝達技術が普及すると、画像・音声だけにとどまらない、より実世界に近い豊かなコミュニケーションが可能になる。これらは、電話が音声の通信による新たな世界を生み出したのと同じく、人間の創造性の新たな地平を開くことにつながる可能性を秘めている。

IRT によってドライブされる超低消費電力デバイスの開発は、IT が空間のあらゆるところに埋め込まれ、IT によるサービスをどこにでも実現することを可能とすると同時に、IRT による能動的な省電力アクチュエーションにより地球規模の環境負荷低減が期待される。

■未知の領域へ

センサーの中でも応用範囲の広いコンピュータービジョンの研究が進めば、深海探査、宇宙など未知の領域を探るためにカメラ・画像処理技術が高度化して、人類のフロンティアに関する研究が進む。

■「サービス」についての研究

サービスサイエンスの研究が進むと、今まで組織的に取り組まれてこなかつた「サービス」業の本質についての理解が進み、日本経済の中で非常に重要な地位を占めるサービス産業の、科学技術力を基盤にした発展が期待される。

IRTの研究は高度に融合的であるため、研究の推進には、これまでになく多くのプレーヤーが一つの目的に向かって効率よく研究を進行させるよう設計しておく必要がある。そのため、以下のような点に特に注意を払って研究を推進することが重要である。

■複数の省庁を包含する国レベルのプログラムとする

IRTに関わる研究は広い分野を包括して進める必要があるので、国レベルのプログラムとして、関連する省庁（総務省、文部科学省、厚生労働省、農林水産省、経済産業省、国土交通省、環境省）が協調して財政支援し、IRTの研究推進を行うようにする。

■研究が行われる場所は、大学、独立行政法人研究所、企業

関連省庁が協調して供給する研究資金は、大学、独立行政法人研究所、企業に供給され、実際の研究がこれらの組織に所属する研究者により協調的に推進されるようにする。

■DARPA方式をトライする

研究の進め方として、大きくチャレンジングな研究目標を掲げ、それに向かって様々なアイデアを出し合い、競い合うことによりIRT研究全体が進歩するような研究の仕組み（米国国防総省国防高等研究計画局（DARPA）による研究の方式）を整えることにより、新しく融合的で新規な領域を開拓する研究を推進する。

■プラットフォームにおける研究の進め方

プラットフォーム毎にプログラムオフィサー（研究全体を総括する者）を決め、プログラムオフィサーの強い指導力により、高い研究目標を設定・公募し、研究者がチームを組んで応募することを求め、次のような事項に留意する。

- 研究チームには独立行政法人、大学、企業が連合して応募することを義務づける。
- チームは研究目標に対して工程表をプログラムオフィサーに提出し、研究の進行を管理する。

■プラットフォームのほかに次の二つの研究チームを設ける

- 「要素技術基盤研究チーム」：複数のプラットフォームに共通的に必要となる重要要素技術基盤について研究するチーム
- 「社会インプリメンテーション研究チーム」：IRT技術が実際に社会に受け入れられるために必要な課題について研究するチーム

IRT プラットフォームの概要

低侵襲精密診断治療

病気に罹患した時に、その症状の重さの進行や合併症の発生を防ぎ、かつ病気の結果として生じる生体の機能低下を低減する技術

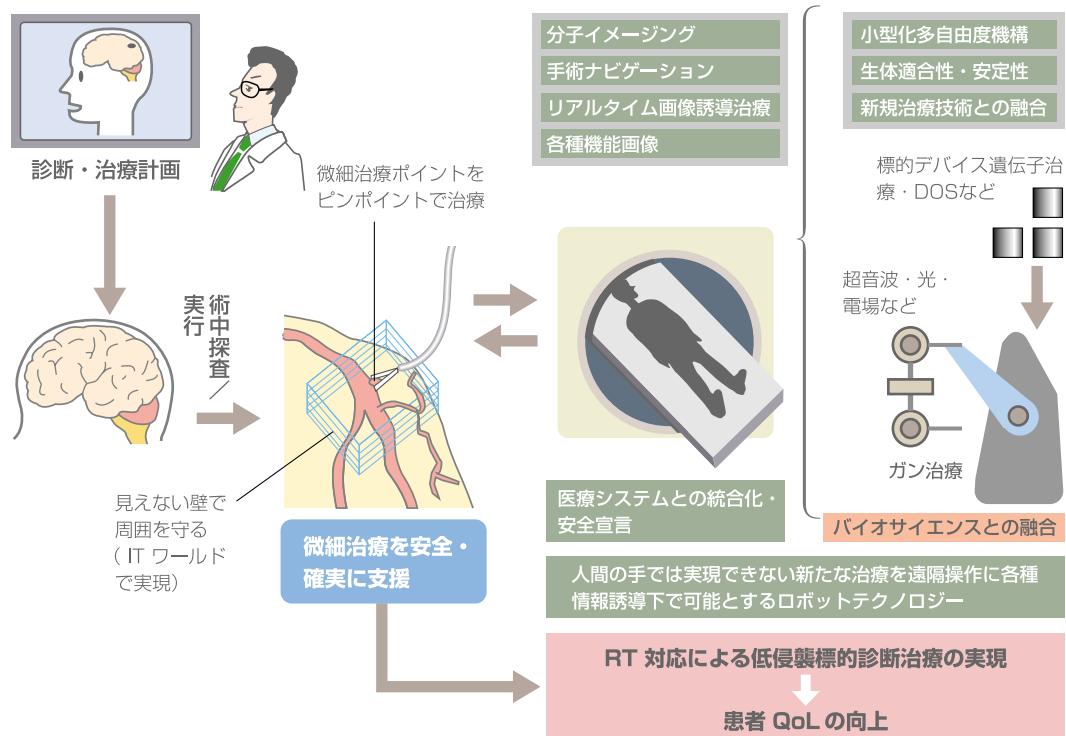
■ 機能

- 最小限の侵襲で診断し、かつ健康な組織には最小限の侵襲（危害）を加えるだけで正確に病的部位のみを治療する。
- 多次元医用情報計測技術（3次元的な解剖構造に関連付けられた時間変化をも含む、各種生体機能情報の計測・可視化技術）を駆使し正確な診断を行い、治療標的部位を正確に把握し、最適な治療計画を策定する。
- 立案された計画をもとに、ロボット化された、病变部位への様々なアクセスデバイス（内視鏡、カテーテル、微細手術マニピュレーター）を駆使し、検査・外科治療、薬物治療、遺伝子導入・再生された組織の移植などの診断治療を行う。
- 時々刻々変化する患者の状態、患部の状態変化を示す各種情報を実時間で計測処理することで、治療計画を適応的に変更し、最適な治療成績を達成する。
- 実現のために必要な要素技術
- 小型アクチュエーター：現状と同等の制御特性をもち、体積出力比が現状から1桁以上改善されたアクチュエーター
- 小型、多自由度、可変剛性、生体適合性、

柔軟物体を安全にハンドリングする機能などを実現する機構

- 特殊環境下でも使用可能な制御性のよいアクチュエーター：MRI（核磁気共鳴吸収画像診断装置）内の強磁場、X線撮影装置など高い放射線強度下などの特殊環境で使用できる高機能アクチュエーター
- 生体情報を計測する生体埋め込み可能な小型センサー：患者・患部の情報を低侵襲で精度良く計測できる各種センサー
- 多次元機能画像の高速処理技術：3次元位置（解剖情報）に対応付けられた多次元機能情報の高速処理技術
- 生体機能のモデリング技術：生体の物理的・化学的特性、生理学的特性の計算機モデル構築技術
- ヒューマンエラーに対してロバストなインターフェース技術：医療従事者の意図を理解し、適切な応答をし、かつ高度な安全管理機能を有するインターフェース
- 環境・情況によって構造・仕様が変化するシステムを安全に運用する情報システム統合
- 各種診断機器・治療機器・医療情報システムを統合し、安定して安全に運用する技術

佐久間一郎（東京大学）



動的医療診断

生体組織にダイナミックな外力を印加し、そのときの組織の応答を高速センサー（例：超高速ビジョン）で計測することによって病巣を診断する手法

■機能

- 内視鏡先端から空気や水などの流体噴流力を臓器（胃、膀胱など）に与え、そのときの臓器の応答を高速ビジョンで計測することによって、ダイナミックパラメータ（硬さ、粘性、慣性）を推定、患部診断に応用する。
- 眼に空気噴流を吹き付け、そのときの眼の変形（眼の応答時間 10 ms、眼の変位 150 μm ）を高速ビジョンで計測することによって眼のダイナミックパラメータを推定し、眼圧補正へ応用する。

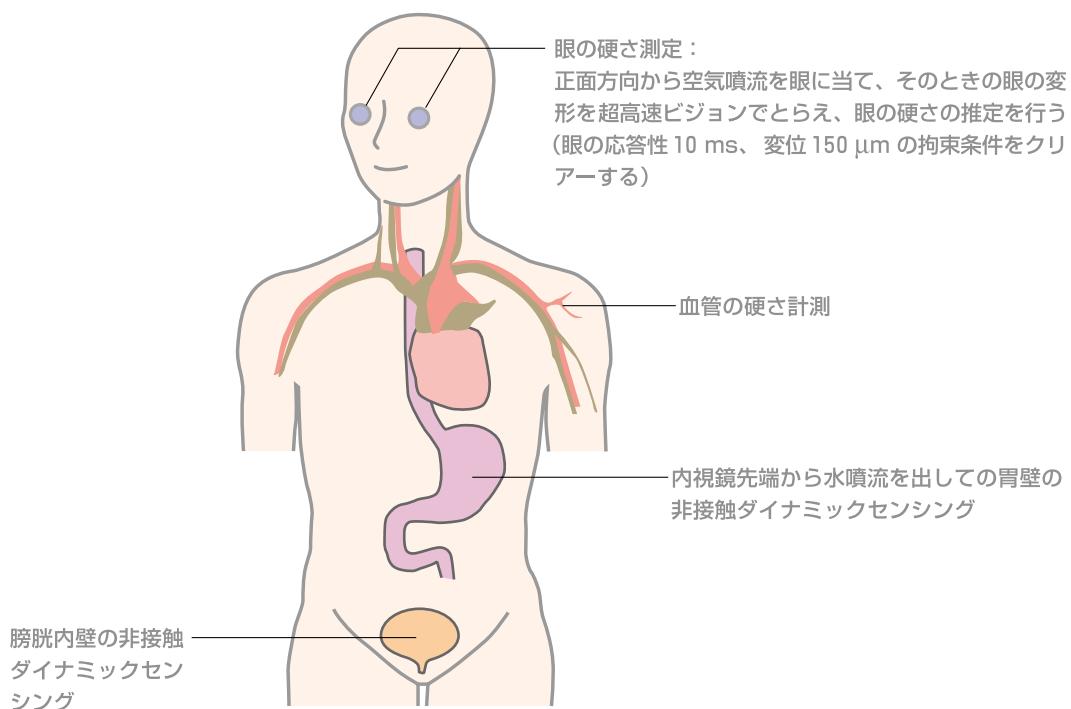
- 血管に動的外力を印加して血管の変位を高速ビジョンで計測することによって血管系のダイナミックパラメータを推定し、動脈硬化診断に応用する。

■実現のために必要な要素技術

- 超高速ビジョン：分解能 3 μm 、超高速性 10 kHz（現状の 10 倍）
- 高再現性超高速空圧アクチュエーター：時間再現性 200 μs 以下、応答性 10 kHz（現状の 10 倍向上）

金子 真（広島大学）

動的医療診断の例



五感センセーション

ネットワーク、データベース、コンピュータークラスターおよびスーパーコンピューターなどのIT技術とロボット技術を統合した五感センセーション

■ 機能

- 人間のあらゆる情報入出力機能を効果的に利用する。
- 状況情報を同時収集する（スーパーセンシングコンプレックス）。
- 巧みな技巧の記録、再現、継承訓練。
- 情動と発想の表現を支援し活性化する。
- 大量情報を直感的に把握（人体へのデータ流し込み）する。
- ポスト GUI 研究のプラットフォームを提供する。
- 健常者・障害者も区別しない状況適応型作業支援を行う。
- 手に入る道具で問題を解決する現実的知恵を提供する。
- あらゆる事象を人体スケールで直感的にハンドリングする。

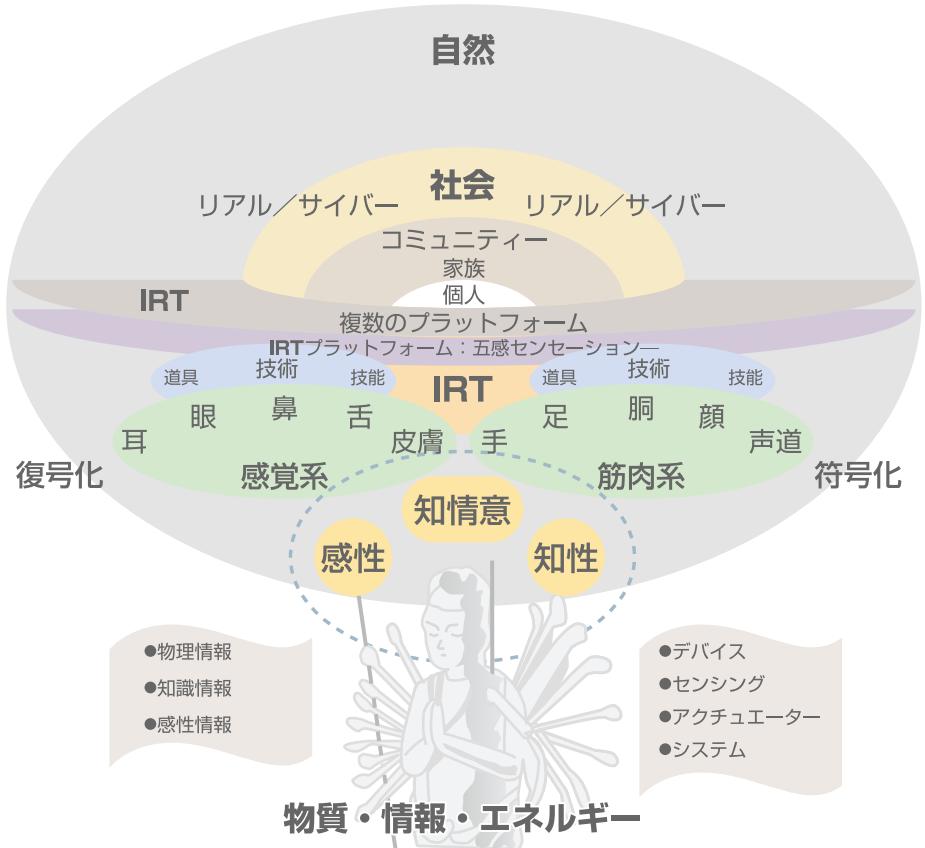
■ 実現のために必要な要素技術

- 可視領域を超えた高精細度センシングとその3D可視化技術（分析機器並み性能のインターフェースデバイス開発）
- 可聴領域を超えた高感度センシングと可聴化の技術：音響分析機器などの技術を基礎に

人間の聴覚系の能力を拡張するリアルタイム音響機器の開発

- 力、触覚のセンシングとディスプレーの技術
 - 6軸/点より自由度が高く、力センサーとディスプレーが一体となった面型デバイスの開発
 - 皮膚感覚に匹敵する触覚センサーとディスプレーの開発
- 体内情報取得、神経系直接結合の技術
- 化学感覚（嗅覚、味覚）のセンシング、データ化、提示の技術：ケミカルインフォマティクス、ケミカルロボティクスの確立
- 高次元データの可視化・可聴化・可感化の技術
- サブミリメートル・スケール、マイクロメートル・スケールの物体ハンドリング技術
- アドホックインターフェース技術：使用可能なセンサー、ディスプレー、アクチュエーターを目的に合わせて組織するための知識データベースと問題解決手順の推論技術
- センサー・アクチュエーター系としての人間のモデル化技術

橋本周司（早稲田大学）



活力生活支援

ロボティクスと情報化技術を融合し、確実なサービスを保障するサービス指向のシステムインテグレーションにより、必要とされるサービスをシステムとして提供し、高齢などにより身体機能が衰えるなどしても、活力ある自立生活を続けることが可能な社会を実現する

■ 機能

- 知覚・認知機能支援：高齢者の知覚・認知機能の支援
- 感覚支援・強化機能：高齢期まで、視覚・聴覚・触覚の支援・強化
- 移動能力支援・強化機能：高齢期まで、自立移動能力の確保・強化
- 作業能力支援・強化機能：上肢を利用した作業能力の確保・強化
- 心の支援機能：活力ある生活が可能なシステム

■ 実現のために必要な要素技術

- 運動支援デバイス用広帯域運動再生技術：制御周波数 10 kHz 以上で動作する運動制御システム、エンコーダの分解能 10 倍、サーボアンプの周波数帯域 10 倍、組み込み制御用プロセッサも 10 倍の能力。
- 運動支援デバイス・感覚支援デバイス用広帯域センシング技術：サンプリング周波数 10 ~ 20 kHz で動作する周波数帯域 1 kHz 以上の力覚センサー。暗視可能な広帯域ビジョンシステム。100 万画素以上の解像度でカラー画像対応広帯域ビジョンシステム。圧力、温度、湿度などを広範囲（3 m² 以上）で、12 万点以上測定し、サンプリング周波数 1 kHz 以上でプラットフォームの運動にフィードバックできるセンシングシステム。

■ 分散統合センシング技術：従来の 10 倍の容量を有する 1 Gbps 低消費電力無線 LAN システム。空間に任意にセンサーが配置できるための自己組織型ネットワークシステム。

■ 統合認識技術：視覚と音を有機的に組み合わせた新たな認識技術。

■ 生体工学に基づく運動・感覚支援・強化のためのデバイス技術：生活支援システム構築に必要な、

● 運動機能支援・強化技術：生体工学的観点からの、運動支援・能力強化技術

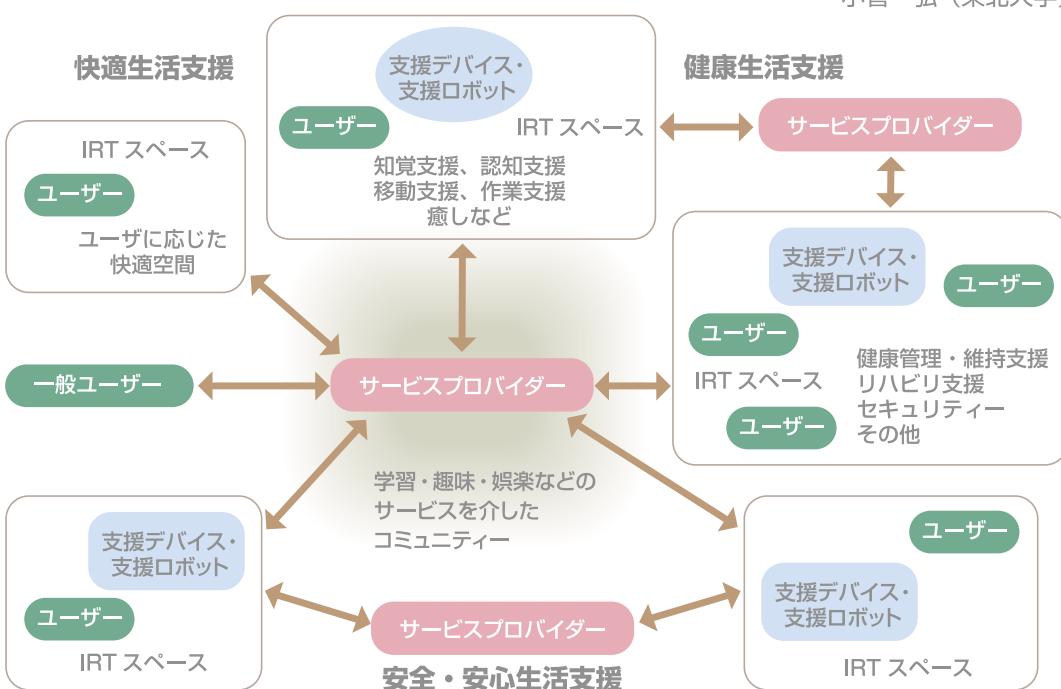
● 運動予測技術：生体工学的観点からの、センシングデータに基づく人の運動予測システム

● 感覚機能支援・強化技術：広帯域センシングデバイスを用いて計測した情報をユーザーにフィードバック

などの各種支援強化技術

■ サービス志向システムインテグレーション技術：生活支援プラットフォームは、それが提供するサービスを、革新的ハードウェアとサービス志向システムインテグレーション技術によって実現する。生活支援サービスは、プラットフォームそのものによるだけでなく、プラットフォームを道具あるいはメディアとして利用し提供されるもので、サービスプロバイダーの存在が前提となる。

小菅一弘（東北大学）



快適生活空間

オフィスやホーム、教室、施設周辺などの空間において、ITとRTを用いて空間を知能化し、安全・安心で快適な空間を生成する

■機能

- 対象の空間に多数の各種センサーとアクチュエーターを配置することにより、ロボット化し、またロボットを用いて死角のない情報空間を作成して、その空間内の人の意図と行動を陽に陰にサポートし快適感を提供することによって生活の質（QoL）を向上させる。
- プランニング：対象空間での人の行動をモニターする多次元情報計測技術（時間経過・変化をも含む）を駆使し、センサー情報を融合することにより人の意思を推論し、行動を推定して、人との相互作用を支援する行動計画を策定する。
- RTを用いたユーザーサポート：立案された計画をもとに、ロボット化された空間と空間内ロボットを駆使して、人の作業・行為をサポートする。
- 人体観測と評価フィードバック：時々刻々変化する人の行動・状態変化を示す各種情報を実時間で処理することで、行動計画を適応的に変更し、人との最適な相互作用を達成する。さらに、自己システム評価を行い、機能・経営・運営へフィードバックする。
- 知的双方向インターフェース：人の行動・作業レベル（睡眠・安静状態も含む）の認識と、意図推論に基づく、人・環境との適応を考えた学習・進化型知的インターフェースの機能。

■実現のために必要な要素技術

- リアルタイム小型視覚システム：効率のよいアルゴリズムと専用のワンチップにより実時間処理速度を現在の2桁以上改善した小型のビジョンシステム
- 小型生態行動情報収集センサー：従来のセンサーの作動範囲と、精度の1桁以上の拡大と生態情報の高感度センサー特性、物性を用

いたマイクロ・ナノベースのセンサー

- 大量データのセンサー融合システム、人間行動のモデル化と処理 CPU：大量のデータを選別し、統合・融合する高効率システムのためのアルゴリズム、人間行動のモデリングの能力とそのための処理チップ（現在のプロセッサーの2桁以上の処理速度）
- 小型マイクロアクチュエーター：埋め込み型マイクロアクチュエーターの性能向上が必要であり、マイクロアクチュエーターにより構成された人間の筋肉のように柔らかく、安全かつ自己修復可能なアクチュエーターが必要となる。マイクロアクチュエーターの発生力/重量比は1桁以上改善する必要がある
- 安全で効率のよい機構：小型多自由度で、柔軟物体を安全にハンドリングするコンピュアントな機能・機構など
- 適応インターフェース：空間内において、人が使いやすいインターフェースと、人の意図やエラー（マイクロスリップなど）を考慮・推論した、学習・適応・進化できる機能をもつ快適なシステム
- 長時間駆動可能な電源と制御技術、自動充電、ワイヤレス給電デバイス、生体コジェネレーション
- データベースと大容量高速情報ストレージデバイス
- 各デバイス、機器の統合ネットワークとプロトコルの整備、およびその標準化
- 環境・個人の情動によって時間変化するシステムを安全に運用する情報融合システムと行動計画制御システム、人間行動モデリングシステム、全体のシステムを統合する技術と、経営、運営へフィードバックのための評価システム

福田敏男（名古屋大学）



遠隔サービス

遠隔地で IT と RT を用い、遠隔技術により安全・安心で快適なサービスシステム（診断・施療、介護、メンテナンス、ショッピング、物流、会議、教育、娯楽、防犯など）を創成する

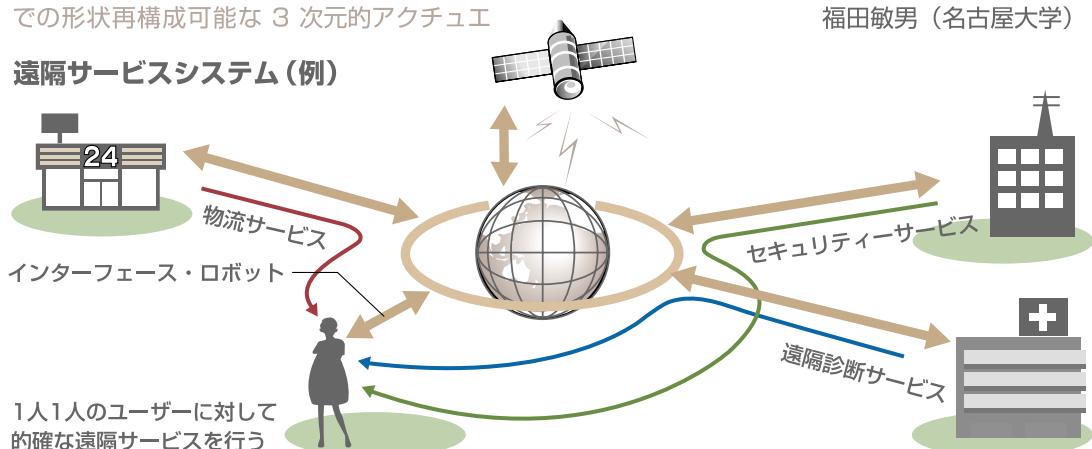
■ 機能

- 遠隔に多数の各種センサーとアクチュエーターを配置し、ロボットを用いて、人の要求に応じたサービスの計画と実行をサポートし、遠隔地における臨場感・五感の共有を実現することにより、快適な生活と、リソース・エネルギーの削減を可能とする。
- 遠隔診断・施療、在宅医療、予防治療、在宅福祉介護、テレメンテナンス、テレショッピング、遠隔授業、移動中の作業などのサービスに対し遠隔メディアと知能ロボット技術を用いて安全で安心できる高信頼性、高操作性を実現する。
- 遠隔者（患者など）と遠隔操作者（医者など）との相互作用（遠隔診断・手術など）支援の計画を策定する。
- 計画に基づき、遠隔ロボット技術を用いて人の作業・行為をサポートする。
- 五感の双方向共有と知的適応型インターフェースを実現する。
- 遠隔空間における多次元センサー情報を収集する技術を用い、センサー情報を融合して、人の行動の発現を認識し、理解し、心理・感情を理解する。
- 人の情動・行動をモデリングし、人間の情動、表情を表出する。

■ 実現のために必要な要素技術

- 人間の五感を精確に検知するセンサー：力覚、触覚、嗅覚、味覚、体動を遠隔で精確に計測するセンサー
- 人間の五感に違和感なく働きかけるハブティクスデバイス：触覚の実現などユーザーに違和感なく与えるアクチュエーターデバイス。RT 技術により 1 つのデバイスでさまざまな触覚を表出するには、マイクロ/ナノレベルでの形状再構成可能な 3 次元的アクチュエ

遠隔サービスシステム（例）



— ターデバイスが必要となる

- リアルタイム小型視覚システム：効率のよいアルゴリズムと専用のワンチップにより実時間処理速度を現在の 2 枠以上改善した小型ビジョンシステム
- 小型生態行動情報収集センサー：従来センサーの作動範囲と精度との 1 枠超の拡大と高感度センサー特性、物性を用いたマイクロ／ナノベースセンサー
- 大量データのセンサー融合システム／人間行動のモデル化と処理 CPU：大量のデータを選別し統合・融合する高効率システムのためのアルゴリズム／人間行動のモデリングの能力とそのための処理チップ（現在のプロセッサーの 2 枠以上の処理速度）
- 小型マイクロアクチュエーター：埋め込み型マイクロアクチュエーターの性能向上が必要であり、マイクロアクチュエーターにより構成された人間の筋肉のように柔らかく、安全かつ自己修復可能なアクチュエーターが必要となる。マイクロアクチュエーターの発生力/重量比が 1 枠以上改善する必要がある。
- 安全で効率のよい機構：作動範囲の広い、小型で多自由度の、安全にハンドリングするコンプライアントな機能・機構など
- 適応インターフェース：ユーザー認識とヒューマンエラーを考慮した使い易いインターフェースと学習・適応・進化の機能をもつ快適システム
- ブロードバンド通信インフラストラクチャー（1 Gbps 以上）、ワイヤレス化技術、チップ化技術
- 人の情動と行動を表現するためのデバイス：人肌に近い物性をもつ素材と表情筋デバイスの実現技術、高度な感情モデル

福田敏男（名古屋大学）

学習支援環境

遠隔地にいても場を共有し、情報の伝達だけでもない物理的・化学的な効果も活用して、学習を支援する環境を構築する

■ 機能

■ テレイグジステンス機能：

教師の動作、発声を完全にコピーして再現する機能。教師が遠隔操縦するロボット機能である。ロボットとの間に双方向の信号を授受し、教師のテレイグジステンスを可能とする。内部には高性能の自動翻訳装置などが組み込まれている。操縦のため教師が着用する操縦スーツが必要となる。

■ ハプティック・インターラクション機能：

遠隔地にある各種のオブジェクト（彫刻、小動物、実験装置など）を実際に触ることができる機能。生徒が手を入れると、遠隔地の友人と握手をしたりできるハプティック・インターラクション・ボックスのような機能。力覚ディスプレー、触覚ディスプレー、温度ディスプレー、湿度ディスプレーにより構成される。

■ シンクロナイズド・ブラックボード機能：

すべてのサイトで白板あるいは大型ディスプレー上に書いたり消したりする行為が同期する機能。大型ディスプレーはおもにコンピュータの出力用である。

■ コネクティング・エンバイロンメント機能：

「映像」と「音の場」・「空気の流れ」が遠隔地と連結しているような状況を再現する機能。「場を共有」するためには、遠隔地の

教室でも隣接合併した教室のように映像が映し出され、音源を特定できるような状況にする必要がある。また、遠隔地の教室で生じる微細な空気の流れも伝搬して伝わるようにする必要がある。例えば、ある教室で突然爆発的な笑いが起こったときは、大きな空圧変化が笑いの中心から周囲に伝搬していく。これの繊細なものが「気配」である。

■ 実現のために必要な要素技術

■ リアルタイムネットワーク（ネットワークにリアルタイム性を取り込んだもので、指定された時刻にクライアントにすべての情報を伝達させ表示する技術）。

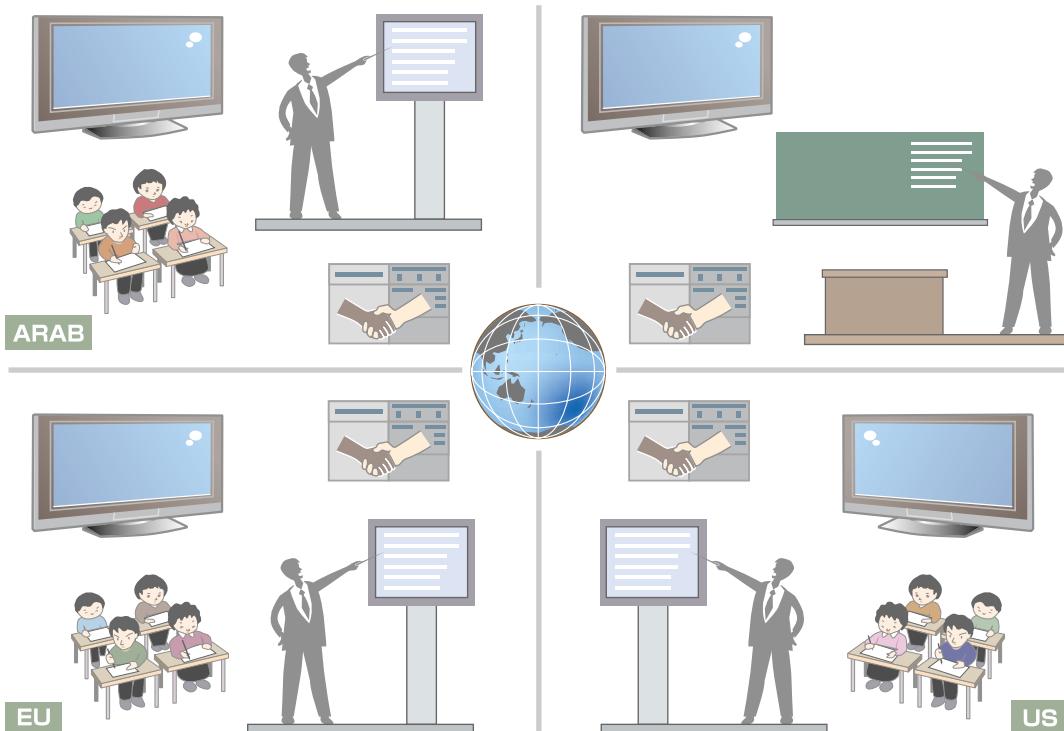
■ EEG、EMG を非接触もしくは微接触で測定できるウェアラブルセンサー。接触状態を自動的に補正する機能も含まれていなくてはならない。

■ 完全なハイビジョン（高細画像）をインターネット経由で遠隔地に電送する技術。

■ 音場（音の伝搬、遮断、反響、空圧変化）を遠隔地で正確に再現する技術。

■ 人間を含むシステム構築の性能・感性評価技術、および人間からの情報収集、人間の五感への情報伝達の標準プロトコル、また実験や安全性確認のための基準。

小林尚登（法政大学）



知動化社会基盤

社会基盤施設・災害・環境、そして人間行動を捉えるセンサーネットワークと、人間行動への誘因を含むアクチュエーターネットワークによって、あらゆる人に豊かで安全なライフスタイルを提供する技術

■ 機能

- 社会基盤施設・災害・環境、そして人間行動を捉えるセンサーネットワークと、人間行動への誘因を含むアクチュエーターネットワークを構築することにより、ITによる仮想空間で実現された利便性・効率性を現実空間に積極的にフィードバックし、豊かで安全なライフスタイルを実現する。
- ハードウェア・ソフトウェア技術の革新のみならず、人間・社会行動へのフィードバック技術を包含した技術体系を構築し、公共財として提供する。
- ITによる高効率化社会でむしろ拡大した面もある身体的・能力的・経済的・地域的な格差と、それらのもたらす社会問題に対しても、有効性の高い解決策を提案する。

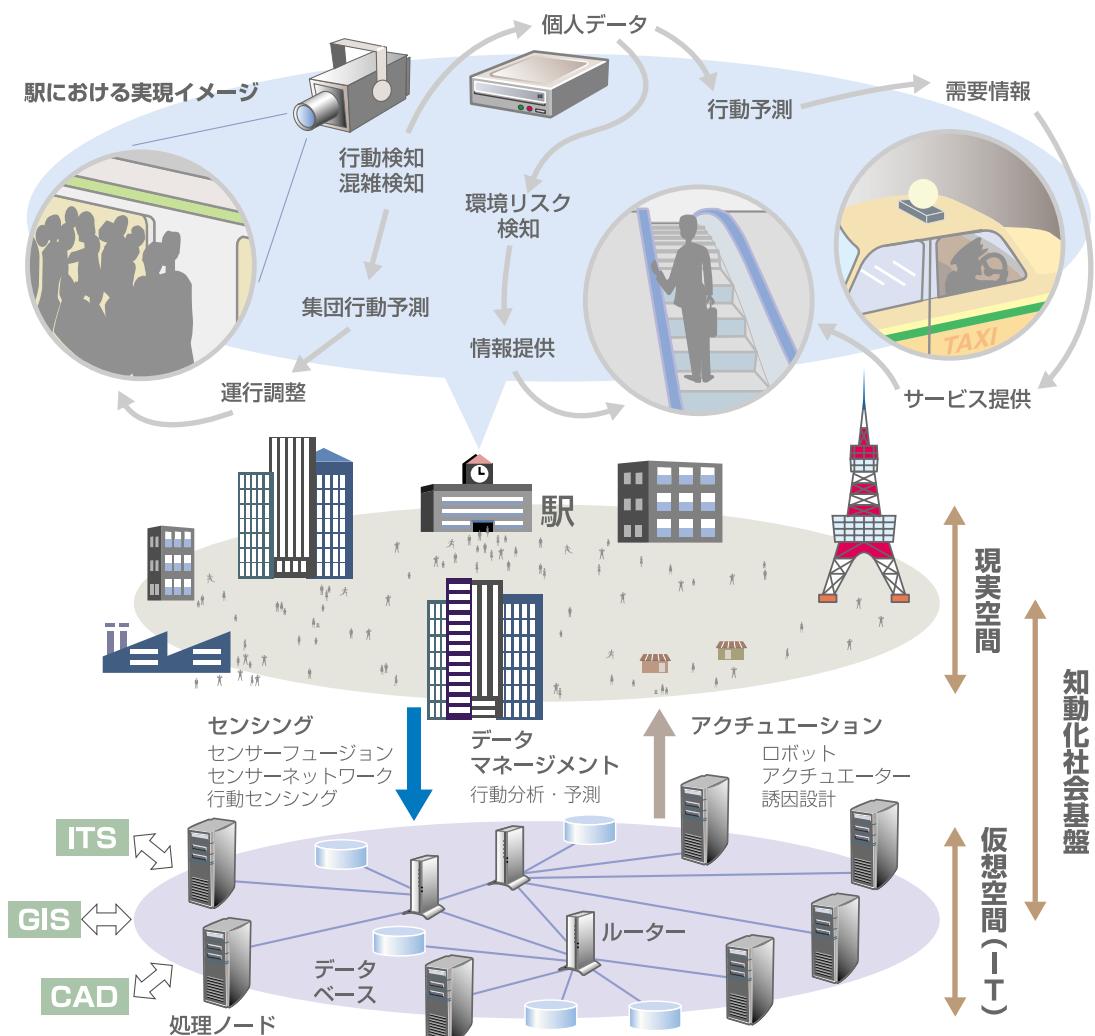
■ 実現のために必要な要素技術

- 人間行動の科学技術（心理学・社会学と工学のフュージョンによる新分野）：個人およ

び集団（社会）の行動とその計測・予測技術、個人・社会における誘因設計、プライバシーおよび公共性とセンシングの相互作用、人間行動に適合したインターフェース設計技術など

- センサーネットワーク技術：人間行動や環境・安全をきめ細かく計測し判断する分散型スマートセンサーシステムの開発、人間との連携を含む各種の異質な計測情報を統合的に処理可能なネットワークの構築技術など
- アクチュエーターネットワーク技術：多様な用途に応じたきめ細かなフィードバックを実現する小型軽量かつ分散的なアクチュエーターシステムの開発、人間や社会とのインターフェースとしてのネットワーク連携技術など
- データマネージメント技術：大容量・大規模分散情報のマネージメント技術、目的に応じた精度と密度の情報をアドホックかつ効率的に提供しテラーメードなサービスを実現する情報処理技術など

藤野陽三（東京大学）



構造物・自然災害の診断システム

ビルや橋梁などの構造物の診断、および地震、津波などの自然災害を検知し、適切に情報を探するシステム

■ 機能

- 構造物や不安定地形、材料に加わる歪み、圧力、変形などを分布的ないし多点で検知して損傷情報を総合的に抽出する。
- 歪み、圧力、変形などのデータから地震や豪雨などによる自然災害や経年劣化の程度を自動診断する。
- 自己診断機能を具備した構造や材料を「痛みの分かる構造・材料」と呼び、神経網のように分布型・多点型でセンシングをする。

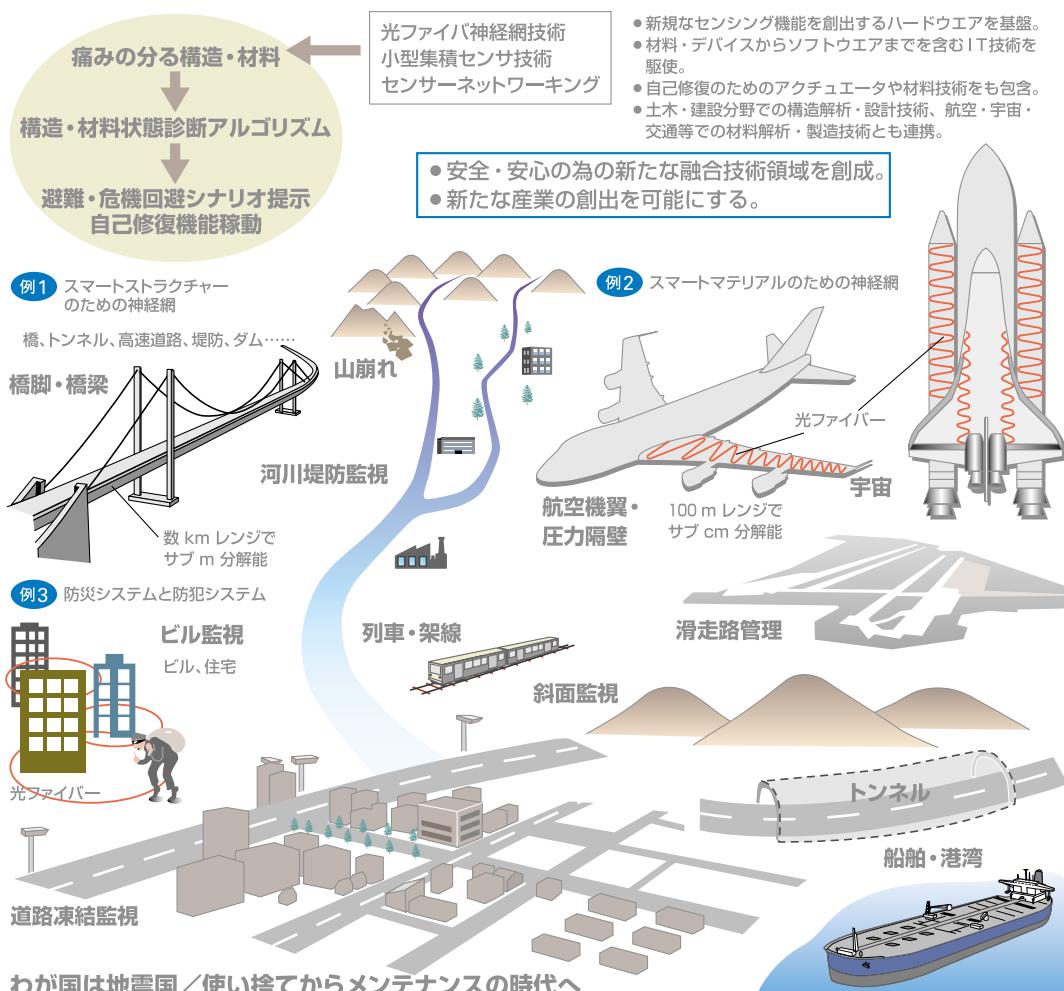
■ 実現のために必要な要素技術

- 光ファイバー中で伝搬する光波の特性が、光ファイバーに加わる歪みや温度によって変化するのを、光ファイバーに沿った位置の閾数として測定し、それらの分布センシングを可能にする「光ファイバー神経網技術」
- 有機半導体集積回路を利用した 2 次元・フレキシブル大面积積集積回路による、面的歪み・温度分布センシングデバイスの開発など、革

新的エレクトロニックセンシングの開発

- 超小型・超省電力ワイヤレス集積センサーでの新センシング機能の実現：MEMS による、歪み・圧力・振動・傾斜・温度のセンサーなどとその集積化や、ワイヤレスネットワークのための送受信エレクトロニクスとの集積化技術など、MEMS や VLSI 技術の開拓
- 超小型・超省電力ワイヤレス集積センサー用高信頼性・冗長系ネットワーク構築技術
- センサー機能に最適化された光コンポーネント、極限環境下でも機能する、耐熱性・超省電力性、耐振動性、耐圧力性などを具備した半導体エレクトロニクス技術
- 分布センシング機能・高速サンプリング機能などの複合センシング機能に適合した、新しい損傷・劣化解析アルゴリズム
- 広域統合センサーネットワーク情報を総合的に判断して、危機回避シナリオを提示するソフトウェア技術

保立和夫（東京大学）



最適広域環境創造

都市、地域規模の環境を計測し、その評価、予測結果によって対策を立て、環境対象に働きかけることにより快適な環境を実現するためのシステム

■機能

森林・都市火災、廃棄物不法投棄など都市・農林地レベルから地域レベルまで広域的な環境変動や災害を自動検知し、必要な対策を講ずるまでの流れをインテリジェント化する目的のために、以下の4つの機能を実現する。広域を対象にすることから、計測ならびにデータの通信・処理に、飛行船・航空機・人工衛星などの移動体を利用することを視野に入れる。

- バイオセンサーなどによる、地域の気温、ガス濃度などの計測機能
- 計測データをセンサー間で共有するためのセンサーネットワーク機能
- データをセンサーレベルで処理し、判断するためのオンボードインテリジェント機能
- 判断に基づいて警報を発したりするなどの対応行動機能

■実現のために必要な要素技術

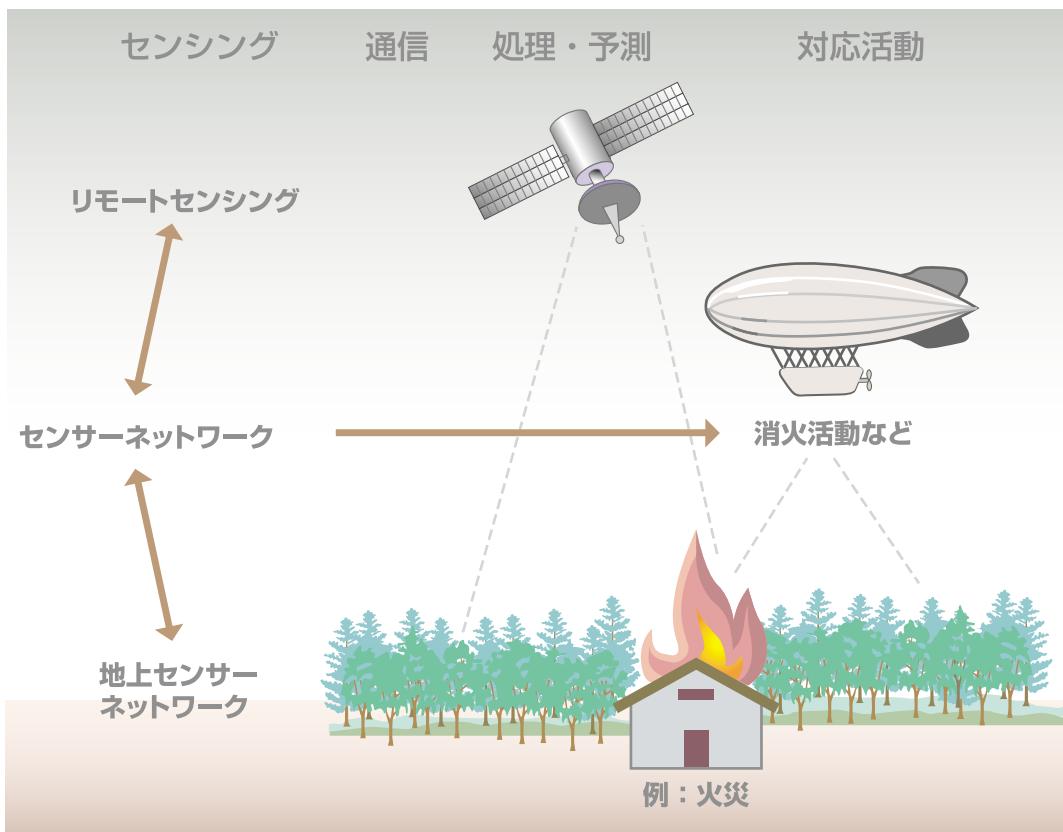
■センサーワープ技術

- インテリジェントセンサー技術：バイオセンサーなどの小型軽量センサー
- ネットワーク技術：小型、低消費電力型で、キロメートル・オーダーの距離まで電波を飛ばすことができる通信機能
- データ処理技術：小型、低消費電力型のコンピューター

■高度衛星観測・データ処理技術

- 地上観測とリモートセンシング観測の統合を目指すためのオンボード（飛行体上）でのデータ処理機能の高度化技術
- 高精度モデル化技術（知識の獲得技術）：計測データから、環境・災害を評価し、予測するためのモデル構築技術
- アクチュエーター技術：環境・災害を検知した際に、警報等を発するための対応技術

安岡善文（東京大学）



活力生産システム

普及が進みつつある人によるセル生産方式における人をロボットで置き換え、変種変量生産に対応可能で、人より生産性が高く、人の場合より安定した品質の製品生産が可能なロボットセル生産技術を開発し、日本の製造立国としての復権と持続的成長を目指す

■ 機能

■ 最適エンジニアリング機能：

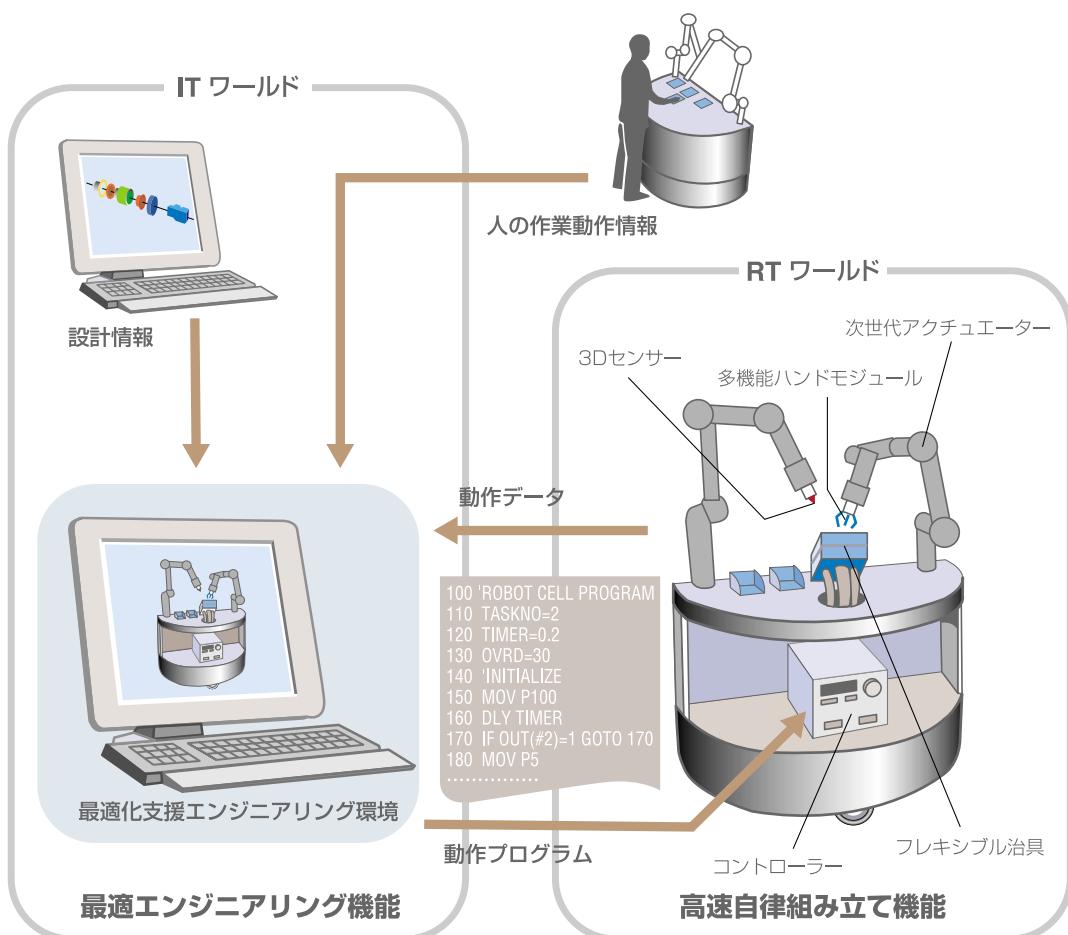
- 設計情報や人の作業動作情報を用いて、ロボットシステムの最適な動作プログラムを自動生成する。
- ロボット及び周辺機器のシステム設計を最適化（レイアウト、組み合わせ）する。
- 高精度シミュレーターを用いた事前検証により、立ち上げ時間を短縮する。

■ 高速自律組立機能：

- センサー情報を用いた組み立て状態の認識および作業動作の学習により高速・高品質な組み付けを行う。
- 作業失敗時のリトライ動作により、長時間連続運転を行う。
- パラ積みなど不確定な形態で供給される部品を高速かつ確実に取り出す

■ 実現のために必要な要素技術

- 自動プログラミング技術：設計情報などから最適なロボット動作プログラムの自動生成
 - シミュレーション技術：弾性・摩擦を考慮した高精度組み立てシミュレーション
 - 学習技術：実作業結果から制御パラメータ、作業動作軌跡・位置の自動学習、人の動作の観察から作業手順およびノウハウの自動学習
 - センシング技術：小型高精度 3D ビジョンセンサー（5 cm 角、精度 50 μm；現状は 10 cm 角、精度 200 μm）、低価格力覚センサー（価格、現状の 1/5）
 - ハンドリング技術：多機能ハンド、フレキシブル治具（多指化、多自由度化）、柔軟物の組み立て
 - アクチュエーター技術：高出力密度の電磁アクチュエーター（出力密度、現状の 2 倍）、高分子系アクチュエーター（高速応答、高信頼）
- 久間和生（三菱電機）



統合交通・輸送システム

移動体通信の発展により、車両と地上側との間、さらには車両と車両の間で相互に情報交換が可能になると予想される。こうした将来の社会を念頭において、各種交通機関が情報を共有して、統合的に運用するトランスポートシステム

■ 機能

以下の3点を通じて安全・快適な社会を実現する。

【安全性の向上】車載センサー単体による安全運転支援に代わり、各種センサーの情報を統合した安全運転支援を実現する。各車両の走行を地上側から監視・誘導・制御することにより、危険事象を予防する。

【定時性の向上】各車両の走行を地上側から監視・誘導・制御することにより、自動車・バスでの移動でも鉄道同様、出発時刻から到着時刻を予測できるようにする。

【相互連携性の向上】交通状況や交通需要を統合することで、交通機関の選択、移動経路、推奨出発時刻、予測到着時刻などの交通情報を利用者が必要とする形態で、いつでも、どこでも、誰でもが同じように利用可能にする。交通状況や交通需要に応じて、各車両の走行を地上側から監視・誘導・制御することにより、異種交通機関の連携を密にして、円滑・快適な移動を実現する。

本システムは以下の4つの機能で構成される

- センサー情報処理機能：収集された各種センサー情報を統合して様々なサービスのために提供する。
- サービス機能：安全性、定時性、相互連携

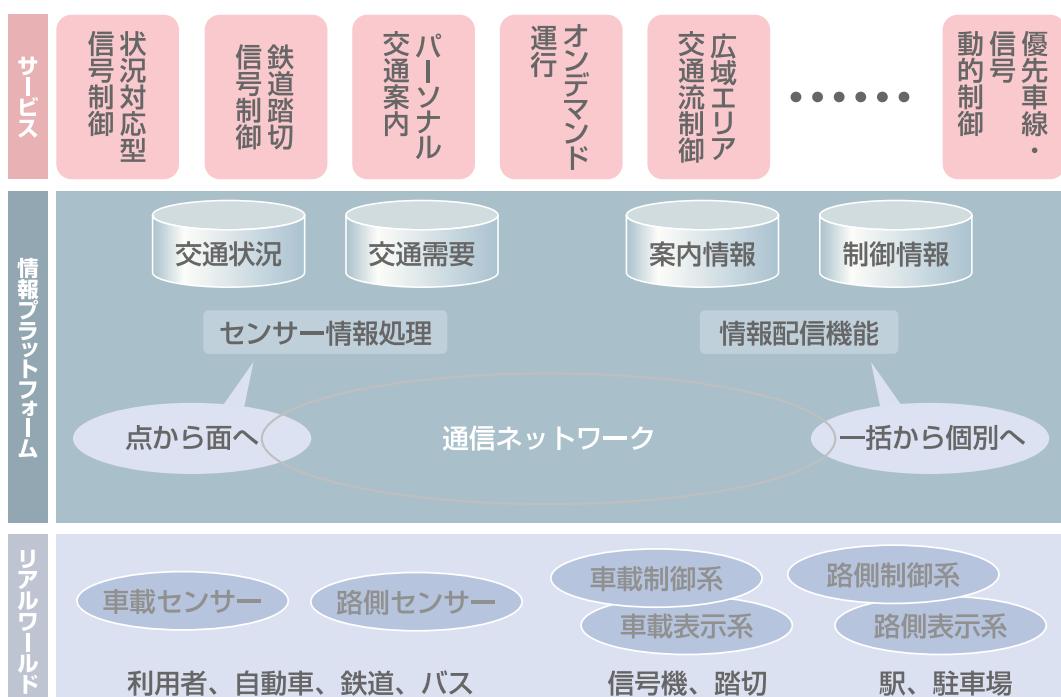
性を向上させる各種のサービスを、段階的、発展的に実現する。

- 情報配信機能：サービス情報を、利用者のニーズや状況に合わせて制御系・表示系に配信する。
- 制御・表示機能：配信されたサービス情報に応じて制御系・表示系が動作する。

■ 実現のために必要な要素技術

- センシング技術：位置検出(10cm~1mの精度、95%以上の可用性、120km/hまで保証)
- センサー情報処理技術：センサーフュージョン(対環境性向上、認識対象の拡大、95%以上の認識率)
- 移動体通信技術：通信品質(個別・優先度制御、匿名性保証)、高速化(広域で100Mbps; 狹域で480Mbps)
- 制御技術：運転制御性(操縦性・安全性向上、高速応答、状態推定精度向上)、車のロボット化
- データマネジメント技術：異種・大量データの流通、管理、検索
- ヒューマンサイエンス：表示インターフェース、知的運転支援、マルチエージェント型意思決定支援

久間和生(三菱電機)



ま と め

いわゆる不毛の十数年を経てわが国の競争力は極めて劣化した。しかしスイス、ローザンヌに本拠を置く IMD 発表の競争力指標においては、わが国の科学技術の水準は未だ余り劣化していない。劣化したのは、「国や企業の経済的な指標」および「公的機関の効率」である。直近において、政府の様々な施策により経済的指標は回復に向かい明るい未来が見えたが、現時点において、わが国の経済の回復を本格的な軌道に乗せる牽引車はイノベーションである。したがって科学技術政策の重要な方向のひとつとして、イノベーションをいかに誘発していくかという問題がある。本冊子で提案した「IRT—ITとRTの融合」は、そのことを念頭において策定されたものである。本冊子に述べられた研究開発のプランは、どれをとっても研究開発の出口として論

文発表のみにとどまらず、それを超えて実世界の技術分野にイノベーションを起こし得るものである

今まで国家レベルで推進されてきた「IT 戦略」はブロードバンド通信やデジタル家電においてわが国の技術水準を世界のトップレベルに押し上げたが、これからは、「IT」のみを推進してもその限界が見え始めた。そこで、近年わが国において極めて急速に進歩した RT（ロボティクス技術）と IT の融合を図り、「IRT」と呼ばれる新たな技術分野の研究開発を推進することが国の競争力強化の方策として極めて重要であることを提案した。国は「IT 戦略」を「IRT 戦略」に拡大し、複数の関連省庁を巻き込み、国家レベルで推進することを提言するものである。

IRT プラットフォーム執筆者

低侵襲精密診断治療	佐久間一郎（東京大学）
動的医療診断	金子真（広島大学）
五感センセーション	橋本周司（早稲田大学）
活力生活支援	小菅一弘（東北大学）
快適生活空間	福田敏男（名古屋大学）
遠隔サービス	福田敏男（名古屋大学）
学習支援環境	小林尚登（法政大学）
知動化社会基盤	藤野陽三（東京大学）
構造物・自然災害の診断システム	保立和夫（東京大学）
最適広域環境創造	安岡善文（東京大学）
活力生産システム	久間和生（三菱電機）
統合交通・輸送システム	久間和生（三菱電機）

付録

IRT プラットフォーム
in detail

低侵襲精密診断治療

病気に罹患した時に、その重篤さや合併症の発生を防ぎ、かつ病気の結果として生じる生体の機能低下を軽く食い止める技術

■ 機能

- 最小限の侵襲で診断を行い、かつ健康な組織には最小限の侵襲（危害）を加えるだけ正確に病的部位のみを治療する。
- 多次元医用情報計測技術（3次元的な解剖構造に関連付けられた時間変化をも含む、各種生体機能情報の計測・可視化技術）を駆使し正確な診断を行い、治療標的部位を正確に把握し、最適な治療計画を策定する。
- 立案された計画をもとに、ロボット化された病变部位へのさまざまなアクセスデバイス（内視鏡、カテーテル、微細手術マニピュレーター）を駆使して、検査・外科治療、薬物治療、遺伝子導入・再生された組織の移植などの診断治療を行う。
- 時々刻々変化する患者の状態、患部の状態変化を示す各種情報を実時間で計測処理することで、治療計画を適応的に変更し、最適な治療成績を達成する。

■ 実現のために必要な要素技術

- 小型アクチュエーター：現状と同等の制御特性をもち、体積出力比が1桁以上改善されたアクチュエーター
- 小型、多自由度、可変剛性、生体適合性、柔軟物体を安全にハンドリングする機能などを実現する機構
- 特殊環境下でも使用可能な制御性のよいアクチュエーター：MRI（核磁気共鳴吸収画像装置）内の高磁場、X線撮影装置などの放射線環境などの特殊環境で使用できる高機能アクチュエーター
- 生体情報を計測する生体埋め込み可能な小型センサー：患者・患部の情報を低侵襲で精度良く計測できる各種センサー
- 多次元機能画像の高速処理技術：3次元位置（解剖情報）に対応付けられた多次元機能情報の高速処理技術
- 可変形の3次元形状モデル（生体組織モデル）と実際に計測される2次元・3次元画像の高速マッチング技術
- 生体機能のモデリング技術：生体の物理的・化学的特性・生理学的特性の計算機モデル
- ヒューマンエラーに対してロバストなインターフェース技術：人間の医療従事者の意図を理解し、適切な応答をし、かつ高度な安全管理機能を備えたインターフェース
- 環境・情況によって構造・仕様が変化する

システムを安全に運用する情報システム統合

- 各種診断機器・治療機器・医療情報システムを統合し、安定して安全に運用する技術

■ システムインテグレーション技術

患者、症例により変化する医用機器システム構成に柔軟に対応できるロボットシステム構築技術、高信頼性システム構築技術

■ 海外との比較

治療への手術ロボットの代表として、米国 Intuitive Surgical 社の da Vinci に代表される低侵襲外科手術を支援するマスタースレーブ型ロボットや、術前計画に従って人工股関節を設置するための孔を骨に正確に形成する Integrated Surgical 社の Robodoc システムなどが実用化されている。

現状では、人間の手技を模倣するロボットが既存の産業用ロボット技術を基礎に実用化されている。

これに対してわが国では、ロボットの小型化、高機能化を目指してメカトロニクス、MEMS などの基盤技術を応用了した独自の手術ロボット開発が行われてきた。例えば、脳外科手術用微細作業ロボットが開発され世界初の臨床応用が行われている。また、当初から治療支援のために術中 MRI、超音波など患部を計測しそれに対して、手術機器、物理エネルギーなどを誘導制御することを想定した研究がなされてきたが、これらの研究の流れは世界的にも今後の主流になっていくものと思われる。

今後、分子イメージング技術の発展などで、より正確に病巣の3次元位置と病理学的性格が把握できるようになってくることから、体内深部の標的をピンポイントで治療することを支援する IRT 技術が必要となってくる。

■ その他

- 大企業は技術力があっても、医療事故による企業イメージの低下を恐れて治療機器への開発投資をあまり行っていない。
- 臨床研究ガイドラインが未整備で、研究開発上の臨床研究を行う環境が未整備。
- 治療機器の認証体制が不十分であり、医療機器認可までに多くの時間と労力が必要。
- 医療機器の治験ガイドラインが未整備であり、何をどのように証明すれば医療機器として認

IRT とは

研究
意義
投資する

社会
実現できる
会員ビジョ
ン

IRT 研究で
要素技術
ドライブされる

IRT の
波及効果

研究の推進方法

IRT の
概要
プラットフォーム

まとめ

IRT
プラットフォーム

可されるかがあいまいなため、企業の新規参入が困難。

■ 現行の社会保険制度では、新たに出現した高度な医療技術を使う治療を行う場合に、新規技術は健康保険によりカバーされないという点がデメリットとなるため、技術が成熟し保険収載されない限り、新たな技術を導入するインセンティブがない。国民の福祉を維持しつつ、高度な医療機器開発ならびにその産業化を促進する社会保険体制の構築が求められる。

佐久間一郎（東京大学）

動的医療診断

生体組織にダイナミックな外力を印加し、そのときの組織の応答を高速センサー（例：超高速ビジョン）で計測することによって病巣を診断する手法

■ 機能

心電図をとる際に運動負荷を与えるという方法はあるものの、従来の医療診断の大半は静的条件下で診断が行われていた。これに対して、ここで提案する動的医療診断は、生体組織に動的外力を印加し、そのときの組織の動的挙動から組織の内部状態を推定する診断法である。例えば、内視鏡先端から空気噴流や水噴流を胃壁に吹き付け、そのときの胃壁の応答から硬さ分布、粘性分布、慣性分布といった機械インピーダンスの分布を推定し、患部の状態推定を行ったり、血管に動的外力を印加して血管の機械インピーダンスを推定することによって、動脈硬化診断に応用する。

特に眼の硬さ推定は眼圧補正を行う上で必要不可欠なもので、本診断方法は医工連携の新しい切り札になるだけでなく、医学分野に大きなインパクトを与える可能性を秘めている。

■ 実現のために必要な要素技術

- 高速アクチュエーター：2 kHz 以上で応答可能な超高速小型アクチュエーター（空気噴流方式、水噴流方式、電磁アクチュエーター方式など）。現状では、公称 1 kHz が限界
- 変位センサー：応答周波数 5 kHz、分解能 1000 × 1000（光センサー、超高速ビジョンなど）。現状では、公称 11 kHz が限界。分解能については同レベル（1000 × 1000）のものがある
- アプリケーションソフト：上記要素技術を組み合わせ、生体組織の機械インピーダンスが計測可能なプラットフォームを使いこなすアプリケーションソフト

■ システムインテグレーション技術

- ビジョンチップの高密度実装技術
- 光ファイバー変位センサーの小型実装技術
- アクチュエーター・変位センサー融合型インテグレーション技術

■ 海外との比較

生体や臓器に外部から強制外力を加えて、そのときの生体のダイナミック挙動から生体のダイナミック運動を支配するパラメータを推定し、そこで得られたパラメータを基に病巣診断を行う動的医療診断自体、これまでにない新しい発想である。海外には類似の研究は見られない。

■ その他

- 医療診断技術に関しては、実用化する上で拘束を受けるような社会制度はない。

金子 真（広島大学）

五感センセーション

ネットワーク、データベース、コンピューター・クラスターおよびスーパーコンピューターなどのIT技術とロボット技術を統合した五感センセーション技術の実現を目指す

■機能

- 人間のあらゆる情報入出力機能の効果的利用
- 状況情報の同時収集（スーパーセンシングコンプレックス）
- 巧みな技巧の記録、再現、継承訓練
- 情動および発想の表現支援と活性化
- 大量情報の直感的把握（人体へのデータの流し込み）
- ポストGUI研究のプラットフォーム
- 健常者も障害者も区別しない状況適応型の作業支援
- 手に入る道具で問題を解決する現実的知恵の提供
- あらゆる事象の人体スケールでの直感的ハンドリング

■実現のために必要な要素技術

- 可視領域を超えた高精細度センシングとの3D可視化の技術：分析機器並みの性能をもつインターフェースデバイスの開発が必要である。現状では、高精細ビデオの開発、赤外暗視カメラの開発などは、すでに行われているが、紫外、X線などの領域、いわゆる電波領域などの可視化については、分析機器としての研究が中心であり、情報機械技術との接点が少ない。
- 可聴領域を超えた高感度センシングと可聴化の技術：音響分析機器、ソナーなどの技術を基礎に、人間の聴覚系の能力を拡張するリアルタイム音響機器の開発が必要である。
- 力のセンシングとディスプレー技術：より自由度が高く、力センサーとディスプレーが一体となった面型のデバイスの開発が必要である。現状では、ロボットを利用するセンサーやバーチャルリアリティー（VR）で利用されている力覚提示装置が、開発されているが、これらは、せいぜい6軸/点である。
- 触覚センシングとディスプレー技術：皮膚感覚に匹敵する触覚センサーとディスプレーの開発が目標となる。現状では、視覚障害者用ディスプレーの長い歴史があるが、皮膚の感覚の分解能に比べればはるかに粗い。
- 体内情報の取得技術：心電計、筋電計、脳波形などに使用されるプローブ（皮膚電極）を常時接続可能にする技術。CT、MRI、脳磁計などを計算機および機械系とのインター

フェースに使用できるように、小型安全化する技術。

■神経系直接結合の技術：生体神経系と人工機器の直接結合に関しては、情報提示技術として、聴覚障害用および網膜への直接描画などが研究されている。これらを一般用途に拡張できるようにするための技術研究が必要である。

■化学感覚（嗅覚、味覚）のセンシング、データ化、提示の技術：ケミカルインフォマティクス、ケミカルロボティクスの確立が必要である。現状では、ガスセンサーあるいは糖度計など日常的に利用されるセンシング技術は存在するが、料理、化粧品設計などを除いて、嗅覚、味覚の情報提示技術の研究は組織的に行われていない。

■高次元データの可視化、可聴化、可感化の技術：データ集合の多様体の性質に応じた非線形分析（画像、音響の情報圧縮と類似）とモダリティの特徴を活かした提示手法の系統的な検討が必要。現状では、ほとんどが主成分分析による次元圧縮と経験的なモダリティ変換によっている。

■サブミリメートル・スケール、マイクロメートル・スケールの物体ハンドリング技術：サブミリメートル・スケール、マイクロメートル・スケール以下のサイズの場合、原子間力顕微鏡、光ピンセットなどが利用可能であるが、このスケールの物体の把持に関して、効率的手法に乏しい。新しいアクチュエーターが必要である。昆虫の足先などはほとんどの物体を一種の粘着力で把持できる。

■アドホックインターフェース技術：あらゆるものを見、センサー、ディスプレー、アクチュエーターとして使うための知識データベースの構築と問題解決手順の推論技術が必要である。アフォーダンスの実体化とシステム化に関する研究はほとんど行われていない。

■センサー・アクチュエーター系としての人間のモデル化技術：人体モデルについては、デジタルヒューマンなどがあるが、五感センセーションの実現のための、センサーとアクチュエーターのダイナミックスを捉えたモデル化が必要である。

■システムインテグレーション技術

- メディア・モーダリティー変換技術

- 五感センセーションデータリプレゼンテーション
- 個人非依存状況エンコーディング、個人対応データデコーディング
- デバイスインターフェース（標準化）
- マルチセンサー同期データベース（インデックス、検索、類似性評価）
- 状況適応最適化・自己組織化技術
- 感性情報処理技術

■ 海外との比較

- マルチメディア系、映像系、VR 系、遠隔センシングなどのプロジェクトは海外でも多く見られるが、IT 技術の範囲にあるものが多く、RT を含めたセンサー・アクチュエーター・システムの研究開発と人間の五感センセーションを統合するプロジェクトは見られない。
- 機械、情報系と人間および自然環境のインターフェースは新しい横型学問分野として有望と思われる。

■ その他

- 身体から発せられる個人データの取得と利用に関する社会的な合意形成
- 五感に対する情報の入出力による嗜好・思想・行動の制御と自由意志の法的根拠
- 見えなかったことが見えてくることによる人間関係の変容
- 社会的生物としての個人の役割とヒューマニズム（個人はどこまで個人か）
- 社会からの一時的離脱の自由と個人の社会的責任
- 生物学的な人間の能力と人工的に付加された道具・設備による能力の折り合い

橋本周司（早稲田大学）

活力生活支援

ロボティクスと情報化技術を融合し、確実なサービスを保障するサービス指向のシステムインテグレーションにより、必要とされるサービスをシステムとして提供し、高齢などにより身体機能が衰えるなどしても、活力ある自立生活を続けることが可能な社会を実現する。

構成の点から見た場合、本プラットフォームは、IRT スペースと IRT デバイスとからなる。生活支援サービスは、プラットフォームそのものから提供されるほかに、プラットフォームの部分的機能を必要に応じて統合し、プラットフォームを道具あるいはメディアとして利用するサービスプロバイダーによっても提供される

■ 機能

基本的な機能は以下に列挙する通りである。これら機能が個々にも支援を行うが、サービスプロバイダーがサービスを提供する場合には、プロバイダーがこれらの機能をサービスに応じて統合し、必要なサービスを提供する。

- 知覚・認知機能支援：高齢者の知覚・認知機能の支援を目指す
- 感覚支援・強化機能：高齢期まで、視覚・聴覚・触覚の支援・強化を目指す
- 移動能力支援・強化機能：高齢期まで、自立移動能力の確保・強化を目指す
- 作業能力支援・強化機能：上肢を利用した作業能力の確保・強化を目指す
- 心の支援機能：活力ある生活が可能なシステムの実現を目指す

■ 実現のために必要な要素技術

■ 運動支援デバイス用広帯域運動再生技術（現状の 10 倍以上が目標）：高齢期まで活力のある活動を実現するためには、位置だけではなく広帯域の力情報再現も重要であり、制御周波数 10 kHz 以上で動作する、運動制御システムが必要である。このためには、エンコーダーの分解能 10 倍、サーボアンプの周波数帯域 10 倍、組み込み制御用プロセッサーも 10 倍の能力が必要である。

- 現状：現在の運動制御システムは、主に産業用に開発され、位置制御を前提とした、サンプリング周波数 100 ~ 1000 Hz、アクチュエーターの周波数帯域が 100 Hz 程度のものしかない。

■ 運動支援デバイス・感覚支援デバイス用広帯域センシング技術（現状の 10 倍以上が目標）：

【力覚】運動支援・感覚支援のための広帯域運動再生には、サンプリング周波数 10 ~ 20 kHz で動作する周波数帯域 1 kHz 以上の力覚センサーが必要である。また、暗視も可能な広帯域ビジョンシステムの開発を目指す。

- 現状：人の運動機能支援には、力覚が不可

欠であるが、現状の力覚センサーは、サンプリング周波数が最大でも 1000 Hz 程度、周波数帯域が 150 Hz 程度のものしかない。

【視覚】100 万画素以上の解像度で、1 kHz 以上のカラー画像対応広帯域ビジョンシステムが必要。

- 現状：1 ms でサンプリングできるビジョンシステムが提案されているが、解像度が小さい。

【広帯域分散センシング技術】生活支援をサポートするには、人の接触等をリアルタイムできちんと管理できる、皮膚のような機能を有する広帯域分散型センサーとその分散処理システムが必要。そのため、圧力、温度、湿度などを広範囲（3 m² 以上）で 12 万点以上測定し、測定データを分散処理し、結果を統合し、サンプリング周波数 1 kHz 以上でプラットフォームの運動にフィードバックできるセンシングシステムが必要。

- 現状：最大 0.6 m² 程度の範囲に分布した最大 2000 点程度の圧力分布を、2 ~ 100 Hz (点の数に依存) でサンプリングできるシステムが開発されている。

■ IRT スペース用センシング技術：

【分散統合センシング技術】センサーを高速ネットワークで結合し、大量のデータを転送するため、従来の 10 倍の容量を有する 1 Gbps 低消費電力無線 LAN システムと、空間に任意にセンサーが配置できるための自己組織型ネットワークシステム、それらを統合管理する統合センシング技術の開発が必要。

【統合認識技術】ネットワークで結合された分散センサー（視覚、音）から、ユーザー（個人）を認証し、認証したユーザーの行動を認識し、ユーザーの意図や、ユーザーにどのような支援が必要かを確実に読み取れる統合認識技術の開発が必要。高速通信網を利用した遠隔支援システム構築経験者によると、視覚だけでなく音（聴覚）も重要なファクターであることが指摘されており、視覚情報と音（聴覚）を有機的に組み合わせた新たな認識技術

の開発が必要。

- 生体工学に基づく運動・感覚支援・強化デバイス技術：生活支援システム構築に必要な以下の項目
 - 運動機能支援・強化技術：生体工学的観点からの、運動支援・能力強化技術
 - 運動予測技術：生体工学的観点からの、センシングデータに基づく人の運動予測システム
 - 感覚機能支援・強化技術：広帯域センシングデバイスを用いて計測した情報をユーザーにフィードバックする技術

■ システムインテグレーション技術

生活支援プラットフォームは、それが提供するサービスを、革新的ハードウェアとサービス志向システムインテグレーション技術によって実現する。

生活支援サービスは、プラットフォームそのものによるだけではなく、プラットフォームを道具あるいはメディアとして利用し提供されるもので、サービスプロバイダーの存在が前提となる。具体的には、以下のシステムインテグレーション技術が必要となる。

- 快適生活支援サービスインテグレーション技術：知覚支援、認知支援、移動支援、作業支援による自立快適生活支援
- 健康生活支援サービスインテグレーション技術：健康管理・維持サービス、リハビリサービスの提供
- 安全・安心生活支援サービスインテグレーション技術：IRTセキュリティサービスによる安全で安心な生活を支援
- いきいき生活支援サービスインテグレーション技術：学習、趣味、娯楽などの生活に潤いを与えるサービスの提供と、サービスを介したコミュニティーの創出によるいきいき生活の実現

■ 海外との比較

■ ITと生活支援

ITを生活支援に利用する研究には、空間知能化の研究が多数行われている。

- Microsoft の Easy Living (<http://research.microsoft.com/easyliving/>)：知能化環境を構築するためのプロトタイプアーキテクチャの開発を行っている。
- MIT の Project Oxygen (<http://oxygen.ics.mit.edu/>)：計算機と通信技術を生活に自然に導入することによって何ができるか追求している。
- Georgia Institute of Technology の

Aware Home (<http://www.cc.gatech.edu/fce/ahri/>)：ITによるQoLの向上を目指している。

- MIT の House_n (http://architecture.mit.edu/house_n/)：個人のニーズ、価値観、アクティビティにダイレクトに応えられるような生活と仕事の場の設計を目指している。
- Stanford University の Interactive Workspace (<http://iwork.stanford.edu/>)：ITによる会議室の知能化を試みている。
- 産業技術総合研究所の SELF (<http://www.dh.aist.go.jp/~ynishida/research/index-english.htm>)：生活環境のセンサー化による可能性の追求を行っている。
- 東京大学の橋本秀紀らによるインテリジェントスペース (<http://www.ics.t.u-tokyo.ac.jp/home-j.html>)：建築・ロボティクス・ITの融合を目指し、分散知能デバイスを用いた空間の知能化を試みている。
- 東京大学の佐藤知正らによる Robotic Room (<http://www.ics.t.u-tokyo.ac.jp/home-j.html>)：個人適合知能化ロボット環境の構築を目指している。
- EU Project の COGNIRON (<http://www.cogniron.org/>)：人間中心環境下での、身体性を有するロボットの知覚的・具象的な推論・学習能力の研究を行っている。
- 産業技術総合研究所の RTミドルウェアプロジェクト (http://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2004/pr20040408.html)：オーダーメードのRTシステムを意識したミドルウェアの開発を行っている。しかし、行われている研究は、基盤研究が中心で、具体的な生活支援サービスには結びついていない。生活支援を実現するには、必要とされているサービスを実現するための機能に絞って研究開発を推進する必要があると思われる。

■ RTと生活支援

生活支援ロボットには多くのロボットが提案され、一部市販化されている。

- 食事支援ロボット：Handy 1 (<http://ourworld.compuserve.com/homepages/RehabRobotics/Handy1.htm>)、Myspoon (<http://www.secom.co.jp/myspoon/>)、Neater Eater (<http://www.neater.co.uk/main.htm>) などが普及している。
- マニピュレーション支援：The Raptor Wheelchair Robot System (<http://www.appliedresource.com/RTD/Products/Raptor/>)、ARM：Assistive Robotic

Manipulator (<http://www.exactdynamics.nl/>) などが市販されている。

- 移動支援では：歩行支援ロボット『楽歩（らっぽ）』(<http://www.robosquare.org/new/newedit.php?wnid=W0107>) がロボット特区で試験されている。高機能車椅子の Independence iBOT3000 (http://www.independencenow.com/ibot/wm_hi.html) も市販されている。
- 世界でもっとも癒し効果のあるロボットとしてギネスブックで認定された、PARO の市販も開始された(<http://paro.jp/about.html>)。iROBOT が開発した Roomba の販売は 100 万台を超えた (<http://www.irobot.com/home.cfm>)。
- このように、機能を特化したロボットに関しては、開発が進んでいるものもあり、製品化されているものもあるが、一般的な生活支援をすべてカバーできるようなシステムは提案されていないし、実際に開発することも難しい。
- 以上見てきた通り、生活支援を目的とした IT 技術の利用や生活支援ロボットの開発は色々と試みられているが、十分な成果が得られているとは言いたい。

既存のハードウェアを用いてシステムを構成しようとする限り、ハードウェアの限界から、十分な成果は得られず、生活支援を実現するための具体的なサービスを意識しないと成果は得られないと思われる。

生活支援に必要なサービスをベースにして、また必要に応じてサービスプロバイダーの存在を仮定して、それに必要なデバイスの開発、システム統合を通してサービスの実現を行わない限り、生活支援システムの実現は難しいであろう。

■ その他

本プラットフォームの目的は、最終的に生活支援に必要なサービスを提供することにある。開発予定の生活支援サービスを提供し、社会に普及させ、社会の重要なインフラとして定着させるには、介護保険などの諸制度との連携を考えたシステム開発が必要である。

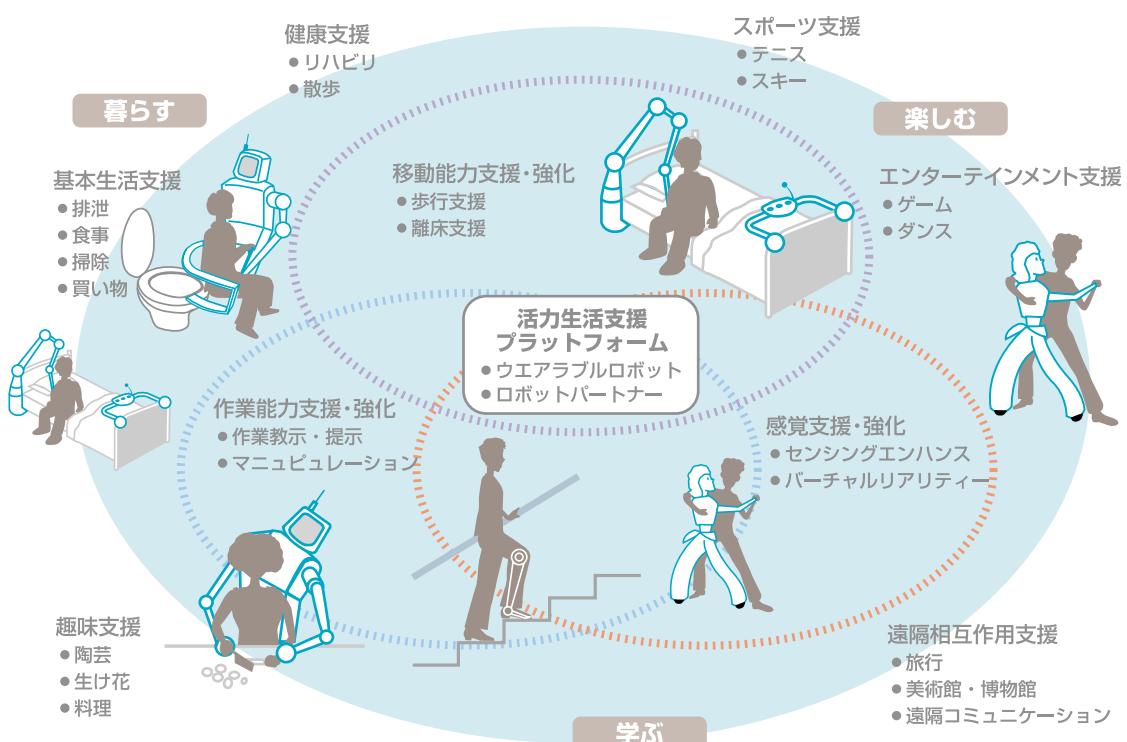
諸制度の利用を前提として、

- 制度整備
- デバイス開発
- システム統合

を同時に実施する必要があると思われる。

小菅一弘（東北大学）

活力生活支援で実現する生活のイメージ



快適生活空間

オフィスやホーム、教室、施設周辺などの空間において IT と RT を用いて空間を知能化し、安全・安心で快適な空間を生成する

■ 機能

- プラットフォーム全体の機能：対象空間に多数の各種センサーとアクチュエーターを配置してロボット化し、またロボットを用いて死角のない情報空間を作成し、その空間内の人々の意図と行動を陽に陰にサポートすることによって快適感を与え、ユーザーの生活の質（QoL）を向上させる。
- プランニング：対象空間内の人々の行動をモニターする多次元情報計測技術（時間経過・変化をも含む）を駆使し、センサー情報を融合することによって人の意思を推論し、行動推定を行い、人との相互作用を支援する行動計画を策定する。
- RT を用いたユーザーサポート：立案された計画をもとに、ロボット化された空間と空間内ロボットのさまざまなアクチュエーターを駆使して、人の作業・行為をサポートする。
- 人体観測と評価フィードバック：時々刻々変化する人の行動・状態変化を示す各種情報を実時間で処理することで、行動計画を適応的に変更し、最適な人との相互作用を達成する。さらに自己システム評価を行い、機能・経営・運営へフィードバックする。
- 知的双方向インターフェース：人の行動・作業レベル（睡眠・安静状態も含む）を認識し、意図推論に基づく人との知的適応・学習・進化型インターフェース機能。

■ 実現のために必要な要素技術

- リアルタイム小型視覚システム：効率のよいアルゴリズムと専用のワンチップにより実時間処理速度を現在の 2 枠以上改善した小型のビジョンシステム。現状では、画像処理速度、暗条件に対するフレームサンプリング数共に不足である。
- 小型生態行動情報収集センサー：従来のセンサーの作動範囲と精度の 1 枠以上の拡大と生態情報の高感度センサー特性、物性を用いたマイクロ・ナノベースのセンサー（例：マイクロオーダーの 2 次元状配列の高密度接触センサー、高密度力センサー）。
- 大量データのセンサー融合システム、人間行動のモデル化と処理 CPU：大量のデータを選別し統合・融合する高効率システムのためのアルゴリズム。人間行動のモデリングの能力とそのための処理チップ（現在のプロセッサーの 2 枠以上の処理速度）。

■ 小型マイクロアクチュエーター、ナノアクチュエーター：埋め込み型マイクロアクチュエーターの性能向上が必要であり、マイクロアクチュエーターにより構成された人間の筋肉のように柔らかく、安全なアクチュエーターが必要となる。マイクロアクチュエーターの発生力/重量比は 1 枠以上改善する必要がある。

■ 安全な効率のよい機構・素材：安全で、効率のよい機構に適した、自己修復材料・自己組織化材料など、メンテナンスフリー性や環境適応型などの特性を併せもつ機構・素材。義足、義手など、人間と統合して機械により人間をサポートする機械（例：サイボーグ*・パワードスーツ）に適したメンテナンスフリーな素材、もしくは有機的物質の供給により機械の再構成・メンテナンスが可能な素材。小型多自由度、柔軟物体を安全にハンドリングするコンプライアントな機能・機械などが必要である。

■ 適応インターフェース：空間内の人の使いやすいインターフェースと意図やエラー（マイクロスリップなど）を考慮・推論した、学習・適応・進化できる機能をもつ快適システム。使いやすいインターフェースとしては対話型相互理解インターフェースが期待される。

● 現状：インターフェースは、辞書型の会話システムの開発というベクトルが大半で、設計者の意図以上の機器進化は望めない。

■ エネルギー源：長時間駆動可能なバッテリーと急速な充電と大容量放電に対応した技術、ワイヤレス電源供給技術、生体コジェネレーション技術（ウエアラブル発電デバイス）。

■ 3 次元機能的ネットワーク構成技術（3 次元電子回路）：現状の電子化回路では、2 次元的な部品の配列や、回路構造が基本。これらを多層構造に構成することは可能であるが、今後、より複雑化するシステムの中核を担う回路の構築などに適した 3 次元構成をもつ回路が必要である。部品の配置など、アクセス性の困難さなどから構築が難しい 3 次元回路は、自己組織化的生成法などの回路基板作成要素技術が望まれる。

* サイボーグ(cyborg)：語源は「cybernetic + organism」で、人間の身体の一部を機械によって補うこと。

■ データベースと大容量高速ストレージデバイス：多様化するセンサーデータと、複数のユーザーデータの管理やテンプレートとの照合など、膨大なデータの高速処理。

■ システムインテグレーション技術

■ 人間行動モーテリング・行動計画制御アルゴリズム：環境・個人の情動によって時間変化するシステムを安全に運用する情報融合システムと行動計画制御システム、人間行動モーテリングシステム、全体のシステムを統合技術、機能、経営、運営フィードバックのための評価システム

■ デバイス間統合 RTOS (Real Time OS)：空間内の各デバイス、ウェアラブル機器、生活環境内 LAN、車内空間での CAN**、LIN***などのインターラクションが必要となるが、それらを統合する、リアルタイム性が保証されたコンパクトな OS (RTOS) と、統合されたプロトコルの標準化。IT と RT との融合を実現し、「快適生活空間」に利用可能なプラットフォームの確立（例：和製 OS として実績の高い TRON 技術の応用として、よりカーネルの小さな μ-iTRON に関する研究開発がなされており、jsp カーネルによる CAN、LIN との接続、基本的な制御の実績もある）

■ 機器間ネットワークの自己組織化的形成：空間内に存在する機器間ネットワークに、接続・切断を繰り返す多数のセンサー、エージェント、通信ノードに対して、各々による分散制御と自律的ネットワーク形成アルゴリズムが必要不可欠となる。

■ 複数のセンサー・アクチュエーター・デバイスの統合を身体とする空間型ロボット：多種多様な身体性をもつデバイス群や、これらが任意に接続されたユーザーを取り巻く環境

** CAN (Controller Area Network) : 独 Robert Bosch GmbH 社により提唱され、ISO で国際的に標準化された車載用シリアル通信プロトコル。

*** LIN (Local Interconnect Network) : スイッチや操作系等向けの車載用低速ネットワークで、最大転送速度は、20 kbps (bit per second)、1 ネットワーク内の接続数は最大 16 で、シングルマスター-マルチスレーブ方式を採用しており、ネットワークを制御する 1 つのマスターと最大 15 のスレーブで構成される。

自体は、独自の身体性を備えたロボットを見なすことができる。この場合、異なる身体性に自己適応可能な汎用ミドル・ソフトウェア及びアルゴリズムに関する研究を進める必要がある。この実現により、汎用ソフトウェアの統合による自己組織的・機能的ネットワークの形成が期待される。

■ 「人間の意識・知能とは何か？」：上記「空間型ロボット」の概念から、空間自体が意思をもち、また限られた身体性の中でユーザーに働きかける、空間型知能の形成に関する研究や、機械知能による人との対話と、正確な意図理解。また、ユーザーに精神的快適性を与える機械知能など、人と感情を共有する機械を設計し、実用化するには、心理学・認知科学・AI・神経生理学の観点からの研究アプローチも必要である。

■ 汎用人工頭脳デバイス：各空間に出入りするセンサーデバイス、また、空間に存在するアクチュエーターデバイスなど、任意のデバイスが接続されれば、これらを統合した、意思をもつロボットとなる、非線形入出力型汎用頭脳の開発と製造・販売。

■ 海外との比較

米国、欧州では以下のプロジェクトが計画・遂行され、現在進行中である。

いずれも、通信を駆使して快適な空間を作ろうとしている。

- Aware House (Georgia Institute of Technology)
- House_n Project (MIT)、Project Oxygen (MIT)
- I-Room Project (Stanford Univ.)
- Easy Living (Microsoft)
- Smart Dust (UC Berkeley)
- Ada: The Intelligent Room (ETH Zurich)

ただ、これらのプロジェクトでは、移動ロボットとの協調などではなく、また人間の挙動そのものを、ウェアラブルセンサーデバイスを用いて計測するなどの研究は少なく、ユーザーとの対話に死角を作りやすい。また、人間の行動・状態のモーテリング、心理のモーテリング、人間の感情・精神面などを扱う研究は極めて少ない。

■ その他

■ 倫理委員会への申請：

ヒューマンインターフェース関連の機器開発の場合、多くは被験者や患者の協力による実験を伴う。その際、被験者意向や実験目的などに関して、大学や、各研究機関所属の倫理委員会の指定する様式に準ずる申請書の届け出が必要な場合がある（例：名古屋大学医学部倫理委員会＝倫理委員会によると、届け出を行わなかった場合、実験結果を成果として利用不可能となる場合も発生する。また、動物実験を伴う場合は、動物実験計画書の提出が必要である）。

■ 薬事法許可・承認申請：

研究開発ターゲットが医療機器の場合に、医薬品や医薬部外品、医療用具（医療機器）、化粧品などの製造や輸入・販売を伴うケースでは、薬事法によって規制される。つまり、これらを製造や輸入・販売する場合には、それぞれ許可や承認申請、及び監督者の配備が必要になる。

福田敏男（名古屋大学）

遠隔サービス

遠隔地で IT と RT を用い、遠隔技術により安全・安心で快適なサービスシステム（診断・施療、介護、メンテナンス、ショッピング、物流、会議、教育、娯楽、防犯など）を創成する

■機能

- 遠隔に多数の各種センサーとアクチュエーターを配置し、ロボットを用いて、人の要求に応じたサービスの計画と実行をサポートし、遠隔地における臨場感・五感の共有を実現する機能
- 遠隔診断・施療、在宅医療、予防治療、在宅福祉介護、テレメンテナンス、テレショッピング、遠隔授業、移動中の作業等サービスに対して遠隔メディアと知能ロボット技術を用いて安全、安心できる高信頼性、高い操作性の機能
- 長期観測による病状診断：「ちょっと調子が悪いが病院に行くほどじゃない」「病院に行くほど悪くないと行かない」ということから人間相手（医者）の診断では気遣い、気兼ねから初期症状による病原の発見が遅れることが多々ある。このことから癌などの早期発見ができないのが現状である。IRT 技術により誰でも気軽に診断を受けることができ、このような状況を改善できる
- テレメンテナンス：コンピューター社会において老人や機械が苦手な人が取り残されている現状がある。未来ではその差が顕著になると予想されるが、万人に受け入れられる情報社会であるためにはこの人たちをサポートする必要がある。そこで遠隔 IRT 技術によるテレメンテナンスの必要性が挙げられ、これにより故障情報の一括管理、メンテナンスの人的コスト削減が期待できる
- 遠隔授業：少子化によって先生を派遣できないような遠隔地の児童にも均等な教育機会を提供する遠隔授業。授業についていけない児童の能力を埋める補講の充実や優秀な児童に対して高度な授業の内容を提供し、科学の分野などで英才教育を受けさせることができる
- 物流の自動化（自動配送）：食品など生活に関わる物品は買いすぎや、供給量と需要量の変動による価格変動が大きい。ユーザーデータの蓄積により価格変動の抑制が期待でき、ごみとして排出される売れ残り商品の量も抑制できる

■実現のために必要な要素技術

- 人間の五感を精確にセンシングするセンサー：力覚、触覚、嗅覚、味覚、体動を遠隔で精確に計測するセンサー

■ 人間の五感に違和感なく働きかけるハイブリッドセンサ：触覚の実現などユーザーに違和感なく与えるアクチュエータデバイス。RT 技術によって 1つのデバイスでさまざまな触覚を表出するための、マイクロメートル・レベル、ナノメートル・レベルでの形状変更可能な 3 次元マルチスケールアクチュエータデバイス

■ リアルタイム小型視覚システム：効率のよいアルゴリズムと専用のワンチップにより実時間処理速度を現在の 2 衍以上改善された小型のビジョンシステム（要求スペック = 40 BIPS [billion Instructions per second] 程度の処理速度）

■ 小型生態行動情報収集センサー：従来のセンサーの作動範囲と精度の 1 衍以上の拡大と、高感度センサー特性、物性を用いたマイクロ・ナノベースのセンサー。センチメートル単位で物体の位置が計測でき数十 m の領域をカバーできるセンサー・アレイシステム

■ 大量データのセンサー融合システム、人間行動のモデル化と処理 CPU：大量のデータを選別し統合・融合する高効率システムのためのアルゴリズム、人間行動のモデリング能力とそのための処理チップ（並列処理により 500 BIPS が目標）

■ 小型マイクロアクチュエーター：埋め込み型マイクロアクチュエーターの性能向上が必要であり、マイクロアクチュエーターにより構成された人間の筋肉のように柔らかく、安全なアクチュエータが必要となる。マイクロアクチュエーターの発生力/重量比は 1 衍以上改善する必要がある (100 W/kg を 1 kW/kg 程度にまで引き上げる)。また、伝達ロスの少ない歯車の構造の研究による、軽量で大きな力を発生できるアクチュエーターシステムの実現

■ 安全で効率のよい機構：作動範囲が広く、小型多自由度で、安全にハンドリングするコンプライアントな機能・機構など

■ 適応インターフェース：相手認識とヒューマンエラーを考慮した使いやすいインターフェースと、学習・適応・進化できる機能を持つ快適なシステム

■ ブロードバンド通信インフラストラクチャー (1 Gbps 以上)、ワイヤレス化、チップ化および省電力化の技術

■ システムインテグレーション技術

- 作業計画に基づき、遠隔ロボット技術を用いて、人の作業・行為をサポートする機能
- 遠隔 RT を用いた五感の双方方向共有と知的適応型インターフェース機能
- 遠隔空間における多次元センサー情報収集技術を用いてセンサー情報を融合することにより、人の行動の発現を認識、理解し、心理・感情理解する機能
- 人の情動・行動のモデリング、人間情動・行動のカテゴリー化による行動予測および行動予測と実際の行動の差異から行動モデルを更新するシステム。IRT による人間の情動、表情の表出機能。
- 送信信号を盗聴されない、リアルタイムに符号化、複号化が可能な暗号化技術

■ 海外との比較

米国では以下のプロジェクトが計画され、遂行されており、現在進行中（いずれも、遠隔操作を駆使してスマートな空間を作ろうとしている）。

- ドイツ航空宇宙研究所 (DLR、ドイツ)
- オークリッジ米国立研究所 (ORNL、米国)
- サンディア米国立研究所 (SNL、米国)
- 米国標準技術局 (NIST、米国)
- Aware House (The Aware Home Research Initiative, Georgia Institute of Technology、米国)
- Project Oxygen (MIT、米国)
- Ada : The Intelligent Room (ETH Zurich、スイス)

ただ、これらのプロジェクトでは移動ロボットとの協調などではなく、死角ができやすい上、人間の挙動そのものを捕らえるウエアラブルなセンサーデバイスの研究も乏しい。また、人間のモデリング、心理のモデリングなど、心理のモデリングなどの研究もプロジェクトには極めてわずかしか取り上げられていない。

■ その他

- 電波法
- 個人情報保護法
- 個人情報とプライバシー

福田敏男（名古屋大学）

学習支援環境

遠隔地にいても場を共有し、情報の伝達だけではない物理的・化学的な効果も活用して、学習を支援する環境を構築する

■機能

- テレイグジステンス機能：教師の動作、発声を完全にコピーして再現する機能。教師が遠隔操縦するロボット機能である。ロボットとの間に双方向の信号を授受し、教師のテレイグジステンスを可能とする。内部には高性能の自動翻訳装置などが組み込まれている。操縦のため教師が着用する操縦スーツが必要となる。
- ハプティック・インターラクション機能：遠隔地にある各種のオブジェクト（彫刻、小動物、実験装置など）を実際に触ることができる機能。生徒が手を入れると、遠隔地の友人と握手をしたりできるハプティック・インターラクション・ボックスのような機能。力覚ディスプレー、触覚ディスプレー、温度ディスプレー、湿度ディスプレーにより構成される。
- シンクロナイズド・ブラックボード機能：すべてのサイトで白板あるいは大型ディスプレー上に書いたり消したりする行為が同期する機能。大型ディスプレーはおもにコンピューターの出力用である。
- コネクティング・エンバイロンメント機能：「映像」と「音の場」・「空気の流れ」が遠隔地と連結しているような状況を再現する機能。「場を共有」するためには、遠隔地の教室でも隣接合併した教室のように映像が映し出され、音源を特定できるような状況にする必要がある。また、遠隔地の教室で生じる微細な空気の流れも伝搬して伝わるようにする必要がある。例えば、ある教室で突然爆発的な笑いが起ったときは、大きな空圧変化が笑いの中心から周囲に伝搬していく。これの繊細なものが「気配」である。

■実現のために必要な要素技術

- センサー & アクチュエーター
- 触覚・力覚ディスプレーのための単自由度・超小型アクチュエーター（ウェアラブルであることを考慮して特に発生力対重量の比を昆虫の1/2程度に引き上げる）。
- 現状：「発生力」／「総重量（エネルギー源+アクチュエーター）」は、最高でも小型昆虫の発生力／重量の比の1/100以下（推定）
- EEGやEMGを非接触もしくは微接触で測定可能なセンサー。接触状態を自動的に補正

する機能を含む。

- 平面上に並べて空気の流れ、音の伝搬、遮断、反響を再現可能にするマイクロ空圧発生アクチュエーター：5mm 平方程度の大きさをもち、0.1 Hz ~ 20 kHz の帯域で空圧（音圧）を発生可能にする。

- 微細空間の温度・湿度をコントロールでき、外部環境とは独立に稼働可能なマイクロ空調機：大きさ 1 cm 立方程度、素子前面の 1 cm 立方の空間の温度を 10 ~ 30 °C、湿度を 20 ~ 90% 程度の範囲で瞬時に制御できる。

■ネットワーク

- 超高速・リアルタイムネットワーク：指定された時刻にクライアントサイドにすべての情報が届く機能をもつ。地球上のどの地点にも 0.3 秒以下のタイムラグ（人間が違和感なくコミュニケーションできる限界値と思われる）での情報伝送を可能にする。

- 大量のセンサーヤーアクチュエーター間のワイヤレス通信技術：大きな空間に多量に存在する素子の物理配線による結合は不可能である。多量に存在する素子をワイヤレス通信技術で結合する。

■システムインテグレーション

- 大量（数万～数百万個）のセンサーヤーアクチュエーターを統合していくインテグレーション技術（ワイヤレスでの通信や給電技術も含む）。

- 人間を含むシステム構築の、性能・感性評価技術。

- 人間からの情報収集、人間の五感への情報伝達の標準プロトコル、また実験や安全性確認のための基準。

- 遠隔地でのセットアップ、インストール、メンテナンス技術。

■統合チップ

- センサー - アクチュエーター・コローケーション・チップ：センサーとアクチュエーターおよびそれらのコントローラーを一体化したチップ。

- 湿度・温度チップ：マイクロ空調機とコントローラーを一体化した MEMS チップ。

- マイクロ空圧発生アクチュエーターと画像素子を一体化した双機能チップ：これを平面上に並べた「コネクティング・エンバイロンメント」の実現。

- EEG / EMG ワイヤレス・ウェアラブル・

チップ：EEG／EMG センサーを微小極薄にして生地に織り込めるようにし、通信機能やエネルギー機能（自己発電や太陽光発電による自己給電機能）をもつ。

■体内マイク：人間の皮膚の中（喉の位置の外皮下）への埋め込みが可能で無害な超小型チップ、マイクロフォン・アンプ・送信機を一体化したもの。

■MEMS による触覚・力覚ディスプレーチップ：触覚・力覚アクチュエーターにコントローラーや通信機能を一体化し、多数利用あるいは服や手袋の中に織り込んで、人間へ触覚や力覚を呈示する装置を作る。

■システムインテグレーション技術

本プラットフォームの機能は既存技術でも一部実現可能である。すべての新技術の開発を待ってシステムを構築するのではなく既存の技術で可能なものから実現していく、将来技術の完成とともにそれを置き換えていく。

インテグレーション技術としては、将来的技術開発成果を予測して、その技術が完成の暁には、簡単に（部分的に）それを置き換えて（組み込んで）いけるようにする。

■海外との比較

- 海外で、IT を用いた遠隔教育システムが開発されている。
- 海外の多くの大学が WEB ベースの遠隔教育により単位を発行している。
- 理系における海外の実験教育でも、web-based Tele-Lab というコンセプトで Webから遠隔地の実験室を操作して実験を行う試みがなされている。

小林尚登（法政大学）

知動化社会基盤

社会基盤施設・災害・環境、そして人間行動を捉えるセンサーネットワークと、人間行動への誘因を含むアクチュエーターネットワークによって、あらゆる人に豊かで安全なライフスタイルを提供する技術

■機能

- 社会基盤施設・災害・環境、そして人間行動を捉えるセンサーネットワークと、人間行動への誘引を含むアクチュエーターネットワークを構築することにより、ITによる仮想空間で実現された利便性・効率性を現実空間に積極的にフィードバックし、豊かで安全なライフスタイルを実現する。
- ハードウェア・ソフトウェア技術の革新のみならず、人間・社会行動へのフィードバック技術を包含した技術体系を構築し、公共財として提供する。
- ITによる高効率化社会でむしろ拡大した面もある身体的・能力的・経済的・地域的な格差と、それらのもたらす社会問題に対しても、有効性の高い解決策を提案する。

■実現のために必要な要素技術

- ビデオ画像やビジョンチップを用いた人間行動トラッキング技術、長距離虹彩認証技術など
- スマートセンサー、センサーフュージョン技術
- 環境センサー：汚染物質センサー、気象センサー、光ファイバーセンサーなど
- 大容量・分散情報のマネージメント・検索技術：総データ容量、数PB；ノード数、数百万かそれ以上
- 既存情報システムとのインターフェース、統合技術
- 高速・大容量化に対応した汎用的な分散処理（並列計算、グリッドコンピューティング）
- ソフトコンピューティング技術（情報処理・解析）
- センサー情報統合による高精度シミュレーション（建物やインフラストラクチャー構造物、空間、人物行動・避難）

■システムインテグレーション技術

- 人間行動の科学技術：心理学・社会学と工学のフュージョンによる新分野であり、個人および集団（社会）の行動とその計測・予測技術、個人・社会における誘因設計、プライバシーとセンシングの相互作用分析、人間行動に適合したインターフェース設計技術などが主な検討課題

■ センサーネットワーク技術：人間行動、空間環境や施設安全性を計測するセンサーシステムの開発や、各種センサーからの多種多様な計測情報を扱う分散型センサーネットワークの構築技術など

■ アクチュエーターネットワーク技術：医療や生活支援・環境制御のための小型軽量かつ分散的なアクチュエーターシステムの開発や、人間とのインターフェースとしてのネットワーク連携技術など

■データマネージメント技術

大容量・分散情報のマネージメント技術や、テーラーメードなサービスを実現するための、目的に応じた精度と密度の情報を、アドホックかつ効率的に提供するための情報処理技術など

■海外との比較

- カリフォルニア大学バークレー校：Center of Information Technology Research in the Interests of Society : Smart dust, wireless sensor network (<http://robotics.eecs.berkeley.edu/~pister/> SmartDust/、<http://www.citris.berkeley.edu/>)
 - MIT Media Lab : Responsible environments (<http://www.media.mit.edu/resenv/>)
 - カネギーメロン大学：Advanced Building Systems Integration Consortium (<http://www.arc.cmu.edu/cbpd/html/absic>)
 - Sandia National Laboratories (<http://www.sandia.gov/ACG/focusareas/sdac/index.html>)
- などが関連するが、インフラストラクチャーにセンサーを埋め込んだという段階に留まっており、センサーネットワークによる生活の質や安全・安心の向上への活用という面では、まだまだ研究途上である。

■その他

- 人間モニタリングデータに対してのプライバシー問題
- 公的機関による情報社会基盤の管理

藤野陽三（東京大学）

構造物・自然災害の診断システム

ビルや橋梁などの構造物の診断、および地震、津波などの自然災害を検知し、適切に情報を提供するシステム

■ 機能

- ビルや堤防などの構造物、傾斜地や河川流域などの不安定地形、さらに航空機翼やパイプラインなどの材料に加わる歪み、圧力、変形などを、分布的ないしは多点においてセンシングして損傷情報を総合的に抽出する技術と、そのデータから地震や豪雨などによる自然災害や経年劣化の程度を自動診断する解析手法とから成るハード・ソフト融合システムを開発する（自己診断機能を具備した構造、材料を「スマートストラクチャー、スマートマテリアル」、あるいは「痛みの分かる構造、材料」と呼ぶ）。
- 光ファイバー技術による多点型・分布型センシングやワイヤレス小型センサー網による多点型センシング、ならびに、MEMS センサー、電歪・磁歪センサー、AE 技術、3 次元形状測定技術などの各種センサーハードウェアの発明と機能向上により、痛みの分かる構造・材料のための「神経網」を構築する。
- 痛みの分かる構造・材料のための「神経網」により得られる損傷・劣化状態の分布情報から、構造・地形・材料の力学的特性の詳細な把握を基盤とし、それらの安全性・危険性を判断する診断アルゴリズムを創造する。
- 安全性の診断結果から、群集の避難などの危機回避シナリオを提示し、また構造・材料に組み込んだ損傷・劣化自己修復機能を駆動させる総合システムへと発展させる。

■ 実現のために必要な要素技術

- 神経網としては「光ファイバー神経網技術」が有望である。光ファイバー中を伝搬する光波の特性（散乱や偏波など）が光ファイバーに加わる歪みや温度で変化するのを、光ファイバーの長手方向の位置の関数として測定することで、それらの分布センシングを可能にする高性能技術：最近わが国で、従来法を 100 倍しのぐ空間分解能数 cm、4 枝のぐ測定速度数 10 ミリ秒が実現され、分解能でミリメートル・オーダー、測定速度でサブミリ秒の達成が期待できる。
- 光ファイバーグレーティング (FBG) 歪センサーを波長多重化した技術も有望であり、高速サンプリング、多点同時測定、温度と歪みの同時・分離測定、同一反射波長 FBG の多重化技術などが今後必要となる。
- 革新的エレクトロニックセンシングの開発

も重要。有機半導体集積回路による 2 次元・フレキシブル大面积積集積回路による、面的歪み・温度分布センシングデバイスの開発など、わが国発の萌芽的技術がある。信号処理機能を内蔵した画像センサーでの新機能開拓も重要。

- 超小型・超省電力ワイヤレス集積センサーでの新センシング機能の実現：MEMS 技術による歪み、圧力、振動、傾斜、温度などのセンサーとその集積化、ワイヤレスネットワークのための送受信エレクトロニクスとの集積化技術など、本プラットフォームに特化した MEMS や VLSI 技術の開拓が必要。
- 超小型・超省電力ワイヤレス集積センサー間のコミュニケーションに適合した高信頼性・冗長系ネットワーク構築技術。
- センサー機能に最適化された光ファイバー や光源などのコンポーネント技術も重要。極限環境下でも機能する、耐熱性、超省電力性、耐振動性、耐圧力性などを具備した半導体エレクトロニクス技術の開拓も必要。
- 光ファイバー通信で培った世界有数のわが国の光デバイス技術ならびに、蓄積のあるわが国のシリコン VLSI 技術の活用は期待できる。
- コンクリート、金属、複合材料などにセンサー光ファイバーや小型ワイヤレスセンサーなどを埋め込み、貼り付ける技術。

- 分布センシング機能・高速サンプリング機能・ランダムアクセス機能・多点センシング機能などの複合センシング機能に適合した、新しい損傷・劣化解析アルゴリズム。従来検出が不可能だった損傷・劣化の抽出技術。
- 広域統合センサーネットワークからの出力を総合的に判断して危機回避シナリオを提示するソフトウェア技術の開発も、ハードウェアの機能拡充に歩調をあわせて進展させる必要がある。

■ システムインテグレーション技術

- フォトニクスならびにエレクトロニクス分野の材料・デバイス・センサーシステム技術に基盤をおき、構造・材料の力学的解析技術を融合させて、多量データ解析による構造・材料の劣化・損傷診断用アルゴリズムの開拓を可能にし、さらに、これらによる危機回避シナリオ（避難誘導司令、アクチュエーター駆動）提供用のソフトウェア開発にまで及ぶ、技術領域横断型のシステムインテグレーション

ン技術。

■ すなわち、新規なセンシング機能を創造するハードウエア技術を基盤として、材料・デバイス技術から状況判断アルゴリズムなどのソフトウエア技術にまで及ぶ IT 技術を駆使した新たな技術領域であり、自己修復のためのアクチュエーターや材料技術をも包含する。土木・建設分野での構造解析・設計技術、航空・宇宙・自動車・鉄道・船舶などでの材料解析・製造技術とも連携する融合領域であって、安全・安心を実現するための新たな社会技術領域の創成である。新たな産業の創出も期待できる。

■ 海外との比較

■ 光ファイバー神経網技術の提案・開発では、欧州、米国、わが国とともに 10 年来のアクティビティーがあり、いずれもフィールドテストを蓄積している。

- 多点型神経網：欧米が先行してきたが現在ではわが国の活動も活発
- 連続分布量センシング技術：わが国で発明された技術が複数ある
- 半導体光源や光ファイバーなどのデバイス技術：わが国は世界をリードしている
- 革新的エレクトロニックセンシング：わが国にユニークな技術がある。
- 痛みの分かる材料・構造の構築技術やフィールドテスト：わが国で盛んで、革新的エレクトロニックセンシング技術と融合させて、世界的にも優位な地位を築けるものと期待できる。
- わが国は地震国であり、その他の自然災害も多い。他国に先んじて、生活の安全・安心を確保するためのプラットフォーム技術を確立する意味は大きい。使い捨てからメンテナンスへと舵を切った時代の流れとも整合する。

■ その他

■ 土木構造や建築物などには、法律で定められた強度や安全上の基準がある。現状では、「痛みの分かる材料・構造」に対する基準や、そのための「神経網」に対する法律的な基準はない。

■ 「痛みの分かる材料・構造のための神経網」技術の発展の中で、これらに対する標準化が進んで、その利用に関する法律の整備が進めば、本技術の利用がより加速されることになる。

保立和夫（東京大学）

最適広域環境創造

都市、地域規模の環境を計測し、その評価、予測結果によって対策を立て、環境対象に働きかけることにより快適な環境を実現するためのシステムを構築する

■ 機能

本プラットフォームでは、都市、地域規模の環境を計測し、その評価、予測結果によって、環境対象に働きかける（対策をたてる）ことにより快適な環境を実現するためのシステムを構築する。特に、森林・都市火災、廃棄物不法投棄など、都市・農林地レベルから地域レベルまで広域的な環境変動や災害を対象として、これを自動検知し、必要な対策を講ずるまでの流れをインテリジェント化することを目的とする。このために、以下の機能を実現する。

本プラットフォームは、広域を対象とすることから、計測ならびにデータの通信・処理に飛行船、航空機、人工衛星などの移動体を利用することを視野に入れる。

- バイオセンサーなどの超小型センサーにより地域の気温、ガス濃度などを計測する（環境：人間圏、生態圏、水圏、大気圏）
- 計測データをセンサー間で共有するためのセンサーネットワーク機能
- データをセンサーレベルで処理し、判断するためのオンボードインテリジェント機能
- 判断に基づいて警報を発したりするなど環境へのアクティブな対応行動機能

■ 実現のために必要な要素技術

- センサーネット技術：
 - インテリジェントセンサー技術：バイオセンサーなどの小型軽量センサー
 - ネットワーク技術：小型、低消費電力型で、キロメートル・オーダーまで電波を飛ばせる通信機能
 - データ処理技術：小型、低消費電力型の可能なコンピューター
- 高度衛星観測・データ処理技術：
 - 地上観測とリモートセンシング観測の統合を目指すためのオンボード（飛行体上）でのデータ処理機能の高度化技術
 - 高性能オンボードコンピューター技術
- 高精度モデル化技術（知識の獲得技術）：
 - 計測データから、環境・災害を評価し、予測するためのモデル構築技術
- アクティブ制御技術：環境・災害を検知した際に、警報を発したり、対策を講じたりする対応技術
 - 無人消火飛行船など

■ システムインテグレーション技術

- センサー、データ処理、ネットワーク、アクチュエーターをできるだけ小型化し、これを統合システム化する技術が不可欠。特に、センサーとネットワークをつなげるインテグレーションが重要
- 上記技術を実現するためのオペレーティングシステム（OS）
- 目的の異なるセンサーやデータ処理機能を同一プラットフォームで扱えるようにするためのシステム標準化

■ 海外との比較

センサーネットについて、NASA の JPL（ジェット推進研究所）などで実験が始まつばかり。日本では、まだ例が少ない。

一部、農場レベルで精密農業を目的とした実験が開始されただけのセンサーネットは、計測から、処理、制御までをネットワーク環境で実現する有効な方法で、将来は、環境制御のみならず、災害管理、農林漁業の管理など幅広い応用が期待される。日本として、是非進めなければならない分野と考えられる。特に、広域環境の監視、評価、管理への適用はこれまで例がない。

■ その他

センサーネットの機能を広域に拡大するためには、通信機能の性能向上が必要であるが、このためには通信に必要となる電磁波周波数の確保などが欠かせない。

安岡善文（東京大学）

活力生産システム

普及が進みつつある、人によるセル生産における人をロボットに置き換えることにより、変種変量生産に対応可能で、人の場合より高い生産性と安定した品質をもつロボットセル生産システムを開発し、日本の製造立国としての復権・持続的成長を目指す

■機能

■最適エンジニアリング機能：

- 設計情報や人の作業動作情報を用いて、ロボットシステムの最適な動作プログラムを自動生成
- ロボットおよび周辺機器のシステム設計を最適化（レイアウト、組み合わせ）
- 高精度シミュレータを用いた事前検証による立上げ時間短縮

■高速自律組み立て機能：

- センサー情報を用いた組み立て状態の認識や学習による高速高品質な組み付け
- 作業失敗時のリトライ動作による長時間連続運転
- バラ積みなど不確定な形態で供給される部品の高速確実な取り出し

■実現のために必要な要素技術

■自動プログラミング技術：設計情報などから最適なロボット動作プログラムの自動生成

■シミュレーション技術：高精度組み立てシミュレーション（弾性・摩擦考慮型シミュレーション）

■学習技術：実作業結果から制御パラメータ、作業動作軌跡・位置の自動学習、人の動作の観察から作業手順およびノウハウの自動学習

■センシング技術：小型高精度 3D ビジョンセンサー（5 cm 角、精度 50 μm；現状は 10 cm 角、精度 200 μm）、低価格力覚センサー（価格、現状の 1 / 5）

■ハンドリング技術：多機能ハンド、フレキシブル治具（多指化、多自由度化）、柔軟物組み立て

■アクチュエーター技術：高出力密度電磁アクチュエーター（出力密度 2 倍）、高分子系アクチュエーター（高速応答、高信頼）

■システムインテグレーション技術

■設計情報と人による作業動作情報および実作業結果から、より高速かつ安定なロボット動作を生成する融合最適化技術

■ビジョンセンサーや力覚センサーなど複数のセンサー情報を用いて、ロボットの作業対象物や作業状態を認識するセンサーフュージョン技術

■複数のロボット、多機能ハンドおよびフレキシブル治具を協調させ、多品種製品を効率よく生産する協調制御技術

■海外との比較

再構成を容易にすることにより変種変量生産に対応する代表例として、

- 北米：CMU による、Agile Assembly Architecture (AAA) の研究
- 欧州：IPA などが参画しているプロジェクト MORPHA における、人とロボットの協調による生産システムの研究などがある。いずれも研究レベルで、システム最適化が未検討、作業速度が遅く生産性が低いなど、現時点では実用化には課題が多い。また、3D ビジョンセンサーは、カナダ Braintech など複数メーカーが実用化しているが、精度が不十分、高価格などの理由で導入事例は一部に留まっている

活力生産システムは、再構成が容易な生産システムのプラットフォームを提供するに留まらず、低成本でありながら、高生産性、高フレキシビリティを有した生産システムを提供することを目指している。

■その他

コスト低減のため、ハンド、治具、センサーなどセル構成要素の標準化を推進することも重要な課題である。

久間和生（三菱電機）

統合交通・輸送システム

移動体通信の発展により、車両と地上側との間、さらには車両と車両の間で相互に情報交換が可能になると予想される。こうした将来の社会を念頭において、各種交通機関が情報を共有して、統合的に運用するトランスポートシステム

■ 機能

以下の3点を通じて安全・快適な社会を実現する。

【安全性の向上】車載センサー単体による安全運転支援に代わり、各種センサーの情報を統合した安全運転支援を実現する。各車両の走行を地上側から監視・誘導・制御することにより、危険事象を予防する。

【定時性の向上】各車両の走行を地上側から監視・誘導・制御することにより、自動車・バスでの移動でも鉄道同様、出発時刻から到着時刻を予測できるようにする。

【相互連携性の向上】交通状況や交通需要を統合することで、交通機関の選択、移動経路、推奨出発時刻、予測到着時刻などの交通情報を利用者が必要とする形態で、いつでも、どこでも、誰でもが同じように利用可能にする。交通状況や交通需要に応じて、各車両の走行を地上側から監視・誘導・制御することにより、異種交通機関の連携を密にして、円滑・快適な移動を実現する。

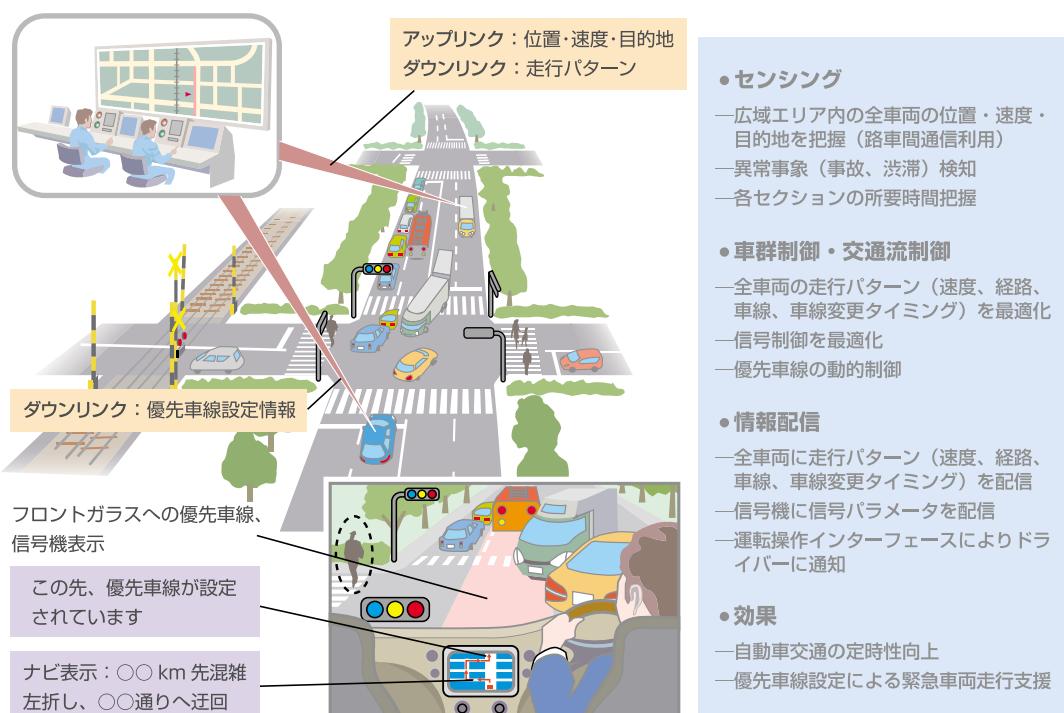
本システムは以下の4つの機能で構成される

- センサー情報処理機能：収集された各種センサー情報を統合して様々なサービスのために提供する。
- サービス機能：安全性、定時性、相互連携性向上させる各種のサービスを、段階的、発展的に実現する。
- 情報配信機能：サービス情報を、利用者のニーズや状況に合わせて制御系・表示系に配信する。
- 制御・表示機能：配信されたサービス情報を応じて制御系・表示系が動作する。

■ 実現のために必要な要素技術

- センシング技術：位置検出(10cm~1mの精度、95%以上の可用性、120km/hまで保証)
- センサー情報処理技術：センサーフュージョン(対環境性向上、認識対象の拡大、95%以上の認識率)
- 移動体通信技術：通信品質(個別・優先度制御、匿名性保証)、高速化(広域で100Mbps; 狹域で480Mbps)

広域エリア交通流制御／優先車線・信号動的制御



- 制御技術：運転制御性（操縦性・安全性向上、高速応答、状態推定精度向上）、車のロボット化
- データマネージメント技術：異種・大量データの流通、管理、検索
- ヒューマンサイエンス：表示インターフェース、知的運転支援、マルチエージェント型意思決定支援

■ システムインテグレーション技術

- 情報プラットフォームの構築：各種センサー情報を統合して様々なサービスのために提供するとともに、サービス情報を利用者のニーズ・状況に合わせて個別に配信する情報プラットフォームを構築する。このためには、データ構造、機能構成、通信方式などを決めるシステム設計と高信頼化可能なシステム構成の決定が重要である。また、これにより、移動体通信技術やデータマネージメント技術の研究が促進される。
- サービス提供システムの構築：例えば、状況対応型信号制御のような局所的なサービスから、広域エリア交通流制御や優先車線・信号動的制御などのより複雑なサービスを段階的、発展的に実現する。このためには、交通需要平滑化のための情報提供、車群・交通流の最適制御などシステムレベルでの最適化が必要である。さらに、運転時の情報提供方式や車両の誘導・制御方式における安全性の検証が重要である。また、これにより、センシング技術、センサー情報処理技術、制御技術、ヒューマンサイエンスの研究が促進される。

■ 海外との比較

北米は ITS-America、欧州は ERTICO (European Road Transport Telematics Implementation Coordination Organization) が主体となり、産学官による ITS (Intelligent Transport Systems) の研究開発を実施（特に、交通事故対策について、EC は 2010 年までに交通事故死者数の半減を目指し e-Safety を推進し、米国は 2011 年までに交通事故死者数を 15% 減少させる計画で、DSRC (Dedicated Short Range Communication) を利用した路車協調の事故防止システムである VII (Vehicle Infrastructure Integration) プロジェクトを提案している。また、米国では 511 (電話、メール、Internet による交通情報提供)、欧州では ISA (Intelligent Speed Adaptation = 車両走行速度の上限値を抑制) などのプロジェクトが進展中）。

■ その他

プラットフォーム上に実現される各種サービスが社会に受け入れられるためには、社会への適合あるいは社会的合意形成が重要である。具体的には、

- 自律性（プライバシー）と公共性の両立
- 費用対効果の分析

が重要な検討課題である。

久間和生（三菱電機）

戦略イニシアティブ

IRT — IT と RT の融合 —

独立行政法人 科学技術振興機構 研究開発戦略センター

制作担当 生駒グループ

〒102-0084 東京都千代田区二番町3番地

電話 03-5214-7481

ファクス 03-5214-7385

<http://crds.jst.go.jp/>

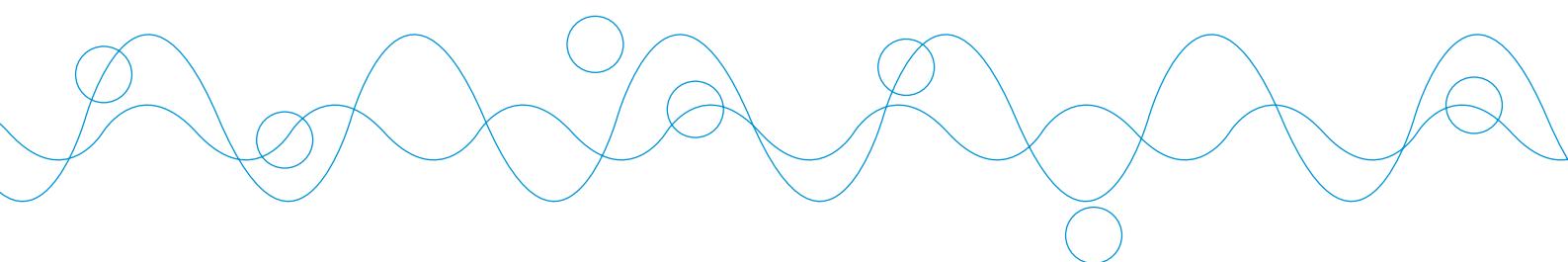
平成17年3月

© 2005 CRDS/JST

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。

ATTAATC A AAGA CCTAACT CTCAGACC
CT CTCGCC AATTAATA
TAA TAATC
TTGCAATTGGA CCCC
AATTCC AAAA GGCGTTAA CCTAC
ATAAGA CTCTAACT CTCGCC
AA TAATC
AAT A TCTATAAGA CTCTAACT CTAAT A TCTAT
CTCGCC AATTAATA
ATTAATC A AAGA CCTAACT CTCAGACC
AAT A TCTATAAGA CTCTAACT
CTCGCC AATTAATA
TTAATC A AAGA CCTAACT CTCAGACC
AAT A TCTATAAGA CTCTAACT
ATTAATC A AAGA CCT
GA CCTAACT CTCAGACC
0011 1110 000
00 11 001010 1
0011 1110 000
0100 11100 11100 101010000111
001100 110010
0001 0011 11110 000101



00 11 001010 1
0011 1110 000001 001 00001 0111101
0101 000111 0101 00001
001101 0001 0000110
0101 11
00110 11111100 00010101 011