

解説

ロボット分野アカデミック・ロードマップの統括

Overview of Academic Roadmap on Robotics

佐藤 知正^{*1} 溝口 理一郎^{*2} 富田 豊^{*3} 内山 隆^{*4}

^{*1}東京大学 ^{*2}大阪大学 ^{*3}慶應義塾大学 ^{*4}富士通研究所
Tomomasa Sato^{*1}, Riichiro Mizoguchi^{*2}, Yutaka Tomita^{*3} and Takashi Uchiyama^{*4}
^{*1}Tokyo University ^{*2}Osaka University ^{*3}Keio University ^{*4}Fujitsu Research

1. はじめに

経済産業省の委託に応じて、ロボットに関する長期の学術的な研究領域・方向性を示す「アカデミック・ロードマップ」が策定された。まず、2006年度の5月に日本ロボット学会内に検討準備会が、そして7月にその受け皿となる「RT 学術技術融合戦略調査研究委員会」が設定され検討が始まった。次に、ロボット研究に関して、3学会が協調して次の3分野を担当する委員会を設置し、アカデミックな視点で研究領域の鳥瞰をするとともに、併せて研究を進めるうえで重要なマイルストーンを時間軸とともに示すことで、その方向性を探索し、報告書をまとめた[1]。

- ・人間系融合領域 ARM (Academic RoadMap) 委員会：
日本ロボット学会・人工知能学会・日本人間工学会
- ・情報系複合領域 ARM 委員会：
日本ロボット学会・人工知能学会
- ・工学系先端領域 ARM 委員会：日本ロボット学会

2年目である2007年度においては、初年度策定したロードマップをリバイスしたが、そのとりまとめにあたっては、以下の基本方針をたてた。①ロボットの将来イメージや未来の到達点を示すこと（ロボットの将来イメージとしてとりまとめる）、②ロボットのこれまでの研究開発の約50年の歴史と、将来的に解決が求められる課題や社会のあるべき姿をみすえたこれからの約50年、つまりロボットの100年を、構造的に示すこと（ロボットの進化系統図としてとりまとめること）、③若い研究者に取り組んでもらいたいテーマやロボット研究開発の難しさを、具体的なロボット研究テーマとして示すこと（ロボットチャレンジ30として

まとめること）。

この基本方針のもと、2007年度は上記3委員会の検討内容を深化させるとともに、合宿の機会をもつことで、それらを融合する議論をすすめた。2度にわたる一泊二日の合宿には、全国から延べ60名以上の研究者が参加し、議論が夜遅くまで続いた。学会や専門分野の垣根を越えて意見を交換するという、研究者として至福の時間をもてたことは、アカデミックロードマップ最終報告書に結実したと自負している。さらに報告書では、これら委員会委員のみでなく、各分野の優れた専門家（国宝的研究者と呼んだ）約100名の方々に、それぞれの専門分野におけるロボティクスの過去の歴史と現在の状況、課題、将来像を執筆してもらい、それらを総合するかたちで、報告書を取りまとめた。本稿は、その報告書の概要を紹介するものである。

2. 将来に向けたロボット活用社会のイメージ

50年後の未来におけるロボット分野の技術と、それが実現する世界（ユビキタスロボット社会）のイメージを描いたのが図1である。中央に人間が位置し、生理、感情、心理を含むロボティクスにおけるミクロコスモスの世界が描かれている。サイボーグは、将来のロボティクスの重要な分野となろう。全体の円は地球を、つまり人間の社会環境を表している。ロボット技術（RT）は、人間のために人社会とかかわり、かつ環境と調和すべきものである。人間を取りまく円環の下部には様々な先端要素技術とそれらの応用分野（使役、融合、治療、絆、共棲）が記されている。人と人を結ぶロボット、コミュニティの絆としてのロボットは、RTを世界に遍在させ、社会の定量的に把握する技術を基礎とする、まだ手つかずの重要な将来分野であると考えている。円環の上部には、未来技術が達成するロボット知能の三つの方向性（自律システム知、社会システム知、人間知の拡大）が表現されている。

円環と中央部の間に数個の矢印があり、そこに、円環部のイメージの実現に向けた重要研究課題が示されている。各イメージイラストにも、必要に応じて関連課題名が付記されている。円環の外側には、宇宙が存在する。ロボット分野の未来技術により、人間社会の存在領域は今日の範囲

原稿受付 2008年8月12日

キーワード：Academic Roadmap, Robotics, Robot Utilization Society, Robotic Perspective, Robot Challenge

^{*1}〒113-8656 文京区本郷 7-3-1

^{*2}〒567-0047 茨木市美穂ヶ丘 8-1

^{*3}〒223-8522 横浜市港北区日吉 3-14-1

^{*4}〒211-8588 川崎市中原区上小田中 4-1-1

^{*1}Bunkyo-ku, Tokyo

^{*2}Ibaraki-shi, Osaka

^{*3}Kita-ku, Yokohama-shi, Kanagawa

^{*4}Nakahara-ku, Kawasaki-shi, Kanagawa

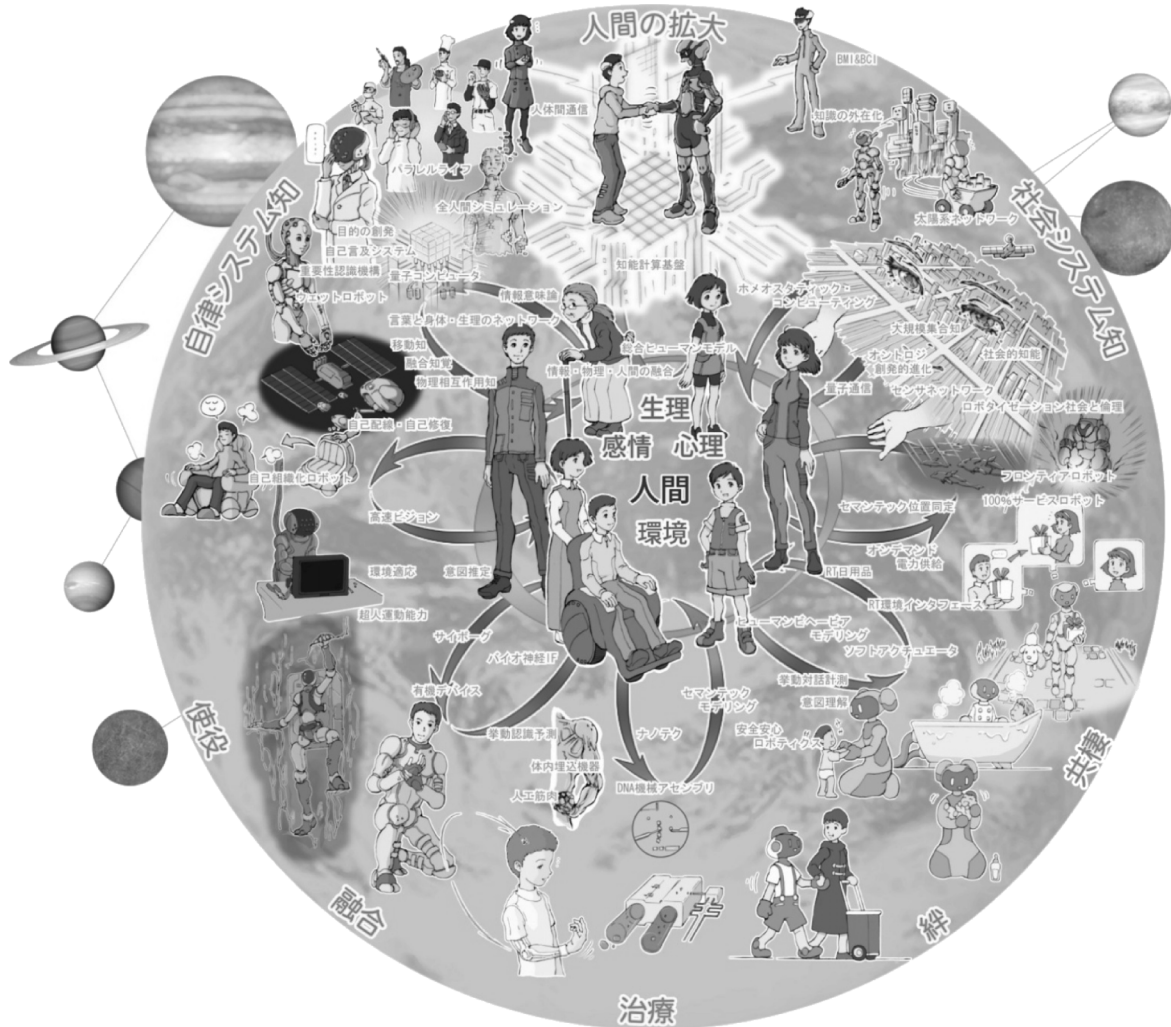


図1 50年後の未来におけるロボット分野の技術とそれが実現する世界のイメージ

よりはるかに多様なフロンティアに進出し、広大な活動範囲を有すること、ロボティクスのマクロコスモスを象徴している。環境・安心安全快適との関連を含めた先端要素技術については工学系先端領域の、人間の内界および技術や社会との界面については人間系融合領域の、そして未来の三つの知の方向性に向けた技術進化とシステム論については情報系複合領域の報告書に、その詳細がある。

3. ロボット技術の展開を示した進化系統図

図2は、ロボット分野の大局的統合進化系統図である。情報系、工学系、人間系の各領域と、それぞれにおける研究の大きな分類と流れ、そして未来における大きな方向性、の相互関係を表している。未来の方向性のうち、Green, Safety, Comfortは工学が将来的に実現すべき価値であり、社会システム知、自律システム知、人間の拡大、は情報学が追求する価値である。

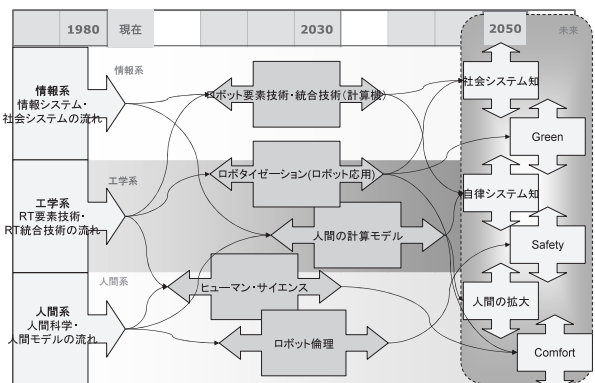


図2 ロボット分野の対極的統合進化系統樹

図3は、ロボット分野のやや詳細な統合進化系統図である。人間系、工学系、情報系の三分野にまたがって、項目間の関連、依存関係を抽出し、この趣旨で結ぶことができる主要な項目のみを抜粋したもので、3委員会で検討した

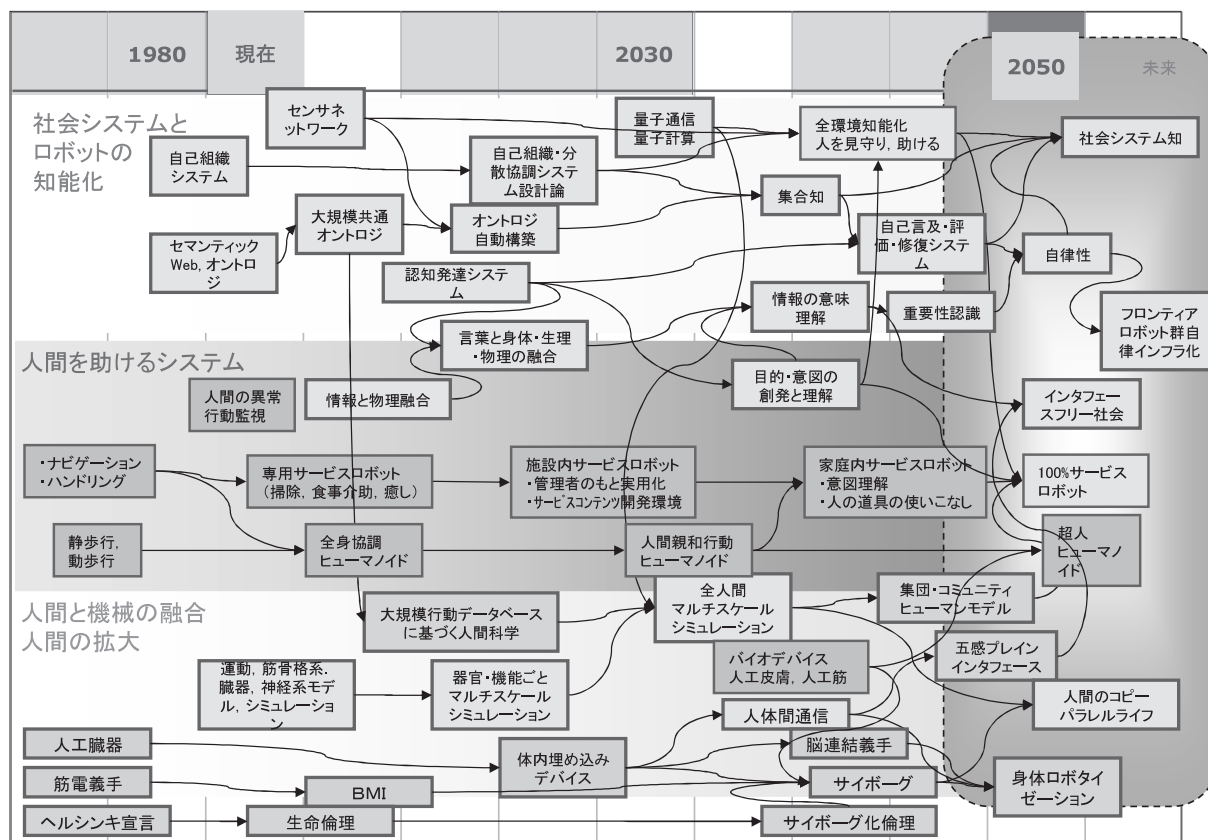


図3 ロボット分野統合進化系統樹

多くの項目を省略している。また、おもに機能に着目した項目を選択しており、要素技術項目はかなり省略されている。項目の属する分野を箱の色（赤：人間系，青：工学系，緑：情報系）で表している。ただし、複数分野に出現する箱も複数あるが、一色しか塗っていない。白黒印刷では色の差異が分かりにくい，本図の趣旨は三分野の統合にあるので，大きな問題ではない。

この図3では，ロボティクスの100年を，大まかに次の三つの流れで整理している：(1) 社会システムとロボットの知能化，(2) 人間を助けるシステム，(3) 人間と機械の融合（人間の拡大）。このなかで，特に（3）人間と機械の融合，の流れは，三分野間で非常に共通性・関連性が高く，興味深い。また，本図から読み取る限り，「目的・意図の創発と理解」「認知発達システム」「体内埋め込みデバイス」が出口側の分岐数の多い重要項目となっている。ただし，分岐数は項目の選択や関連付けに左右されるため，わずかな差には大きな意味はない可能性がある。したがって，分岐数が2であるような項目も重要項目候補といえる。図中のロボット倫理は，社会にロボットやRTが入るとき，常に意識し，考慮しなければならない事項である。

4. 2050年に向けたチャレンジ課題（チャレンジ30項目）

2007年現在で，我々が思い描く2050年の技術が実現するまでの道程には，多種多様な技術課題が存在し，人々の夢や社会情勢に後押しされ，研究者達の手によって一つ一つ克服されて行くはずである。特徴的かつ興味深いものに関し若手または未来の研究者に向けチャレンジ課題としてまとめたのが，下記に示すロボットチャレンジである。これらの課題の実現時期については，短期的な課題，中期的な課題，そして長期的な課題があるが，誌面の関係で，以下ではその区別は記載していない。しかしながら，超長期的視点にたって挑戦すべき課題が含まれている。ロボットという，応用イメージが強いので，短時間で成果を求めるのが最近の潮流であるが，このようなご時勢であるがゆえに，ロボティクスとして超長期的に取り組むべき課題が存在することを正しく理解し，主張することが，そしてこれらの挑戦しがいのある領域に若い人がチャレンジすることが，この分野のより大きな発展，展開のために，重要であると考えている。説明を省略した項目も多いが，詳細は，各領域の報告に記載してあるので参照されたい。

ロボットチャレンジ 30

<要素技術>

- (1) ピコオーダ微小駆動システム：サブナノメートル（pm オーダ）の計測精度と閉ループ位置決め精度を有する超精密駆動制御技術
- (2) 高効率・大出力アクチュエータ
- (3) RT 用エネルギー
- (4) 次世代 CPU
- (5) 環境適応 RT：地球上、宇宙と様々な活動環境に対して適応するソフトウェア機能およびハードウェア技術
- (6) 高速・高解像度ビジョン
- (7) 運動および制御系創発システム設計論
- (8) 自己組織・分散協調システム設計論：自己組織システム、分散協調システムを、所与の目的に従って構成するための体系的な方法論の確立
- (9) 自己言及・評価・修復システム：自らの振る舞いや状態や認知内容等について認識・解釈し、評価する「メタ認知」能力と、それに基づいて自らを修正あるいは修復することで、一貫性や正当性や恒常性を維持する能力

<機械知能>

- (10) 言葉と身体・生理のネットワーク：現状の情報処理の限界は、「記述に対する操作」に留まっている。人の場合は、言葉と身体・生理が常に密接に相互作用しており、それによって、「ふと思い当たる」ように適切な記述が創発し（記述からの演繹でなく）、あるいは「体を動かしてコツの意味が分かる」ように記述の意味が創発する。このような原理を解明し情報システムの構成原理とする
- (11) 認知発達システム：システム自らが外界や他者と相互作用しつつ、認知能力を向上させていくシステムの解明と実現
- (12) 情報の意味理解：情報の字面ではなく、その自分や他者の目的や利害との関係、具体的な物理事象や自他の行動や生理状態との対応、など関連性、全体を理解する機能
- (13) 他者の目的・意図の創発と理解：他者の目的や意図を理解する能力は、人間へのサービス行動の自律判断や、他者の振る舞いの意味を理解するために必須である。また、自己の目的や意図を、自ら生成し設定する能力は、自律性の必須要件の一つ
- (14) 重要性認識：極めて膨大な選択肢やデータの中から、重要なものを一瞬にして選択・発見する能力
- (15) 自律性：外的に規定・司令されずに自ら行動する能力。「情報の意味理解」、「重要性認識」、「目的・意図の創発・理解」、「自己言及・評価・修復」などをすべて併せもち、自らすべきことを決め、自らを律しながら

ら行動する能力

- (16) セマンテック RT：不完全で部分的な誤りを含む指示に対しても、抽象化、一般化と具象化、文脈に基づく推論により合目的行動を自動計画し、事前知識を持たない人間の場合と同等の精度、確度で、要求された目標を実現できる RT システム

<自己（人間）の探究>

- (17) ヒューマン・ビヘービア・マイニング：人間行動の大規模データを用いたデータマイニングによる新しい人間の科学技術
- (18) 統合的ヒューマンモデル
- (19) 全人間マルチスケールシミュレーション：分子動力学、生化学、臓器・生理現象、身体運動、神経活動、認知活動、個性・個人史、文化・社会的活動といった、人間全体のミクロからマクロまでのあらゆるレベルを包含した精密なシミュレーションの実現。個人をそっくり情報的に再現する

<人間機械融合>

- (20) エンパワメント・ロボット
- (21) BCI/BMI/サイボーグ：人間とロボットのインターフェースとして、人間の脳と計算機や機械を直接的に結合し、より自在なやりとりを可能にする。また、人と機械とが直接的に結合することで、人間の能力を補うのみでなく、拡大する
- (22) ヒューマン・ディペンダブル・ロボット：常に人の近くにいて、記憶を補助してくれたり、実施すべきことをリマインドしてくれたり、ちょっとした手助けをしてくれるロボット
- (23) コミュニティ作り支援ロボット：何らかの共通性をもつ人と人を結びつけることでコミュニティの形成を支援し、コミュニティの維持や活性化を支援するロボット
- (24) バイオサイエンス RT およびインプラント治療
- (25) 人間の能力拡張
- (26) 情報・物理・人間の融合：有望システムパラダイムの確立、人間がシステムと密結合して情報の評価を行うか、またはシステムに自律性を与える場合は、人間的な情報評価系を埋め込む

<応用システム>

- (27) RT 日用品
- (28) 人の要求構造モデルに基づく個人適合サービス統合
- (29) ロボット・ヒューマン・コンテンツ：個人にとっての価値に適合したコンテンツ作成にとどまらず、個人にとっての価値を計算できるモデルの構築技術や利用技術を含む
- (30) 空間知能化：生活空間内で利用されるすべての日用品のふるまいから人の行動意図を理解し、社会の動

きを把握し、人や社会を支援する技術

5. お わ り に

ロボットの役割として、①人の役に立つ役割（少子高齢化社会、環境資源問題などへの解を得る）、②人を知る役割（社会、人、生物などを構成論的に知る）、③人を元気づける（若者の理科離れを防止する）役割、の三つがあると考えている。

ロボットの人の役に立つ役割についていえば、人とロボット（RT）とが協働することにより、現在我が国がかかえている少子高齢化や環境資源などの様々な問題が解決できると期待される。このような課題解決をめざしたこれからのロボットを、使役、人間との融合、治療、絆、共棲の軸でくくりだし、これらのロボットの将来の50年を、これまでのロボットの研究開発の約50年をもとに構造的に把握する今回の試みは、ロボットを100年という長期スパンで構造的に眺め、展望するという意味で、画期的なものであるといえよう。ロボットは、自動車と比べても歴史が浅く、産業用ロボットを除けば、まだ大きな産業とはなっていない。しかしながら、上記の長期的スパンにたったこのアカデミックロードマップが、ロボット研究の方向付けや新たな産業領域の創出につながることを期待するものである。

ロボットの人を知る役割についていえば、ロボットは情報駆動型機械であり、その情報学の方向性を、本アカデミック・ロードマップでは、自律システム知、人間の拡大知、社会システム知としてくくりだした。また、本年度のアカデミックロードマップでは、人間の生理、感情、心理、環境をふまえてロボットをつくることによって、社会、人、生物を知るというロボティクスの世界を明示した。これらの記述が、これまでにない構成論的学術領域の体系的確立の重要な道しるべとなることを期待している。

ロボットの動きを見るとき、人は感動する。その意味で、ロボットは理科離れがいわれている今日において、若い人を魅了し、理科回帰をはかる効果的な教材であり、特効薬ともなろう。また、ロボットプロジェクトは、多くの人の熱い期待と夢をかなえる試みとして、人々を元気づけるものとなろう。その意味でロボットチャレンジ30は、重要なドライビングフォースになると考えている。一方で、プライバシーなどの倫理面や軍事応用などの面への配慮も忘れて

はならない。本年度のアカデミックロードマップでは、これらについても議論を深め、その章を設けて記述した。

ロボットやロボットテクノロジーが、(1)メカトロニクスの高度化を支え、日本の産業を支えていくこと、そして将来的にロボットのサービスコンテンツが充実し、ロボットによるサービス産業として大きく育つこと、(2)ロボティクスが、従来の学問領域を深化させ、また、新たな地平を切り開くこと、そして、(3)ロボットが多くの人を動機付け、元気づけること、つまり、本年度のアカデミックロードマップが、「21世紀はロボットの世紀」となることの一助になることを願い、また、本アカデミックロードマップがこのように利用されることを祈念しつつ、下記の参画者に感謝をしつつ、筆をおきたい。

なお、本アカデミックロードマップの検討体制（上位委員会と三つの分野別委員会）の参加者概略は以下のようであった。

統括委員会：日本ロボット学会／人工知能学会／日本人間工学会

委員長：07年度 佐藤知正、06年度 内山 隆

幹事：07年度 小林政巳、06年度 12名

委員：07年度 10名

人間系融合領域 ARM 委員会：日本ロボット学会／人工知能学会／日本人間工学会

主査：07、06年度 富田 豊

副主査：07年度 堀 浩一、西田佳史、06年度 和田充雄、堀 浩一

委員：07年度 10名、06年度 15名

情報系複合領域 ARM 委員会：日本ロボット学会／人工知能学会

主査：07年度 沼尾雅之、06年度 浅川和雄

副主査：07年度 國吉康夫 06年度 佐藤知正

委員：07年度 11名、06年度 15名

工学系先端領域 ARM 委員会：日本ロボット学会

主査：07年度 内山 隆、06年度 金子 真

副主査：07年度 金子 真 06年度 國井康晴

委員：07年度 10名、06年度 11名

参 考 文 献

- [1] <http://www.ai-gakkai.or.jp/jsai/whatsai/PDF/rloadmap1.pdf>



佐藤知正 (Tomomasa Sato)

1971 年東京大学産業機械工学科卒業。1976 年同博士課程修了後、電子技術総合研究所入所。1991 年東京大学先端科学技術研究センターに移籍。1998 年東京大学工学系研究科機械情報工学専攻に移籍。人間共棲ロボットの研究に従事。日本機械学会、IEEE などの会員。
(日本ロボット学会正会員)



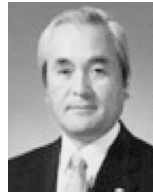
富田 豊 (Yutaka Tomita)

1975 年慶應義塾大学計測工学専攻修士課程修了。同年 (株) 東芝入社。1977~1981 年慶応大学医学部、1981 年~同大学理工学部。工学博士。現在、慶應義塾大学理工学部生命情報学科教授、医学博士。医用工学、リハビリテーション工学に従事。日本リハビリテーション医学会、計測自動制御学会、日本生体医工学会、日本電気学会、IEEE、バイオメカニズム学会等に所属。



溝口理一郎 (Riichiro Mizoguchi)

1977 年大阪大学大学院基礎工学研究科博士課程修了。同年大阪電気通信大学工学部講師、1990 年大阪大学産業科学研究所教授、現在に至る。工学博士。パターン認識関数の学習、クラスタ解析、音声の認識・理解、エキスパートシステム、知的学習支援システム、オントロジー工学の研究に従事。現在、Vice-President of Semantic Web Science Assoc..



内山 隆 (Takashi Uchiyama)

1973 年東京工業大学大学院理工学研究科修士課程修了。工学博士。現在 (株) 富士通研究所取締役 (兼) ビジネスインキュベーション研究所長・ストレージ研究所長。極限作業ロボット・宇宙ロボット・介護ロボット等の開発プロジェクトに参加。ロボット・コンピュータ周辺機器・情報記憶装置の研究開発に従事。2005~2006 年度日本ロボット学会会長。
(日本ロボット学会正会員)