



早稲田大学

グローバルCOEプログラム

グローバル ロボット アカデミア

[2008年度 彙報]



目次

拠点リーダーの挨拶	1
拠点概要	2
今年度のおもな研究紹介	4
今年度の活動	23
研究拠点の形成と海外連携	32
拠点メンバー名簿	36

早稲田大学グローバルロボットアカデミアについて

今後私達が世界に先駆けてRT (Robot Technology)を「真の知的社会基盤」へ成長させるには、世界中の先進的な研究者を引き付ける教育研究拠点を形成し、国際的な視野を持ってRTに取り組む若手研究者群を育成することが急務となっています。社会の様々な課題にRTを適用するには実践的ノウハウの伝授と共に「学理」の裏付けが不可欠ですが、RTが諸工学の集積であることから、現状では「ロボットの学理」の確立が十分でなく、組織的な教育カリキュラムが提示されていません。これは、情報技術系の標準カリキュラムが半世紀近くも前から検討されてきたことと対照的です。本拠点の事業推進担当者らは、機械系、情報系、材料系を包含する横断的な研究体制の下に、40年近くにわたって幅広く多様な実績を挙げてきました。また、21世紀COE「超高齢社会における人とロボット技術の共生」拠点形成の機会を得て、人材育成と研究において以前に倍する成果を挙げることができました。その過程で、RTの要素が整備され「ロボット学」の成立が期待できる段階になりましたが、今のところは「非明示的」な体系化に留まっています。

本学では、RTを世界に先駆けて「真の知的社会基盤」へ成長させるため、世界最高水準の「人とRTの共生」教育研究拠点「グローバルロボットアカデミア」研究所を設立し、これからの社会を支えるRTの原理と体系を明示的に抽出した『体系的ロボット学：M-Robotics (Methodical Robotics)』の構築と教育を行っています。同時にこれまで交流を続けてきた韓国CIR (Center for Intelligent Robotics) およびイタリアSSSA (聖アンナ大学院大学)と戦略的な連携を行い、国際的な研究環境と教育プログラムを整備しています。「高い学問知の構築力」と「実践的アイデアの創造力」を併せ持った「突破力」のある若手研究者を多数育成することで、世界に貢献していくことを目指しています。

拠点リーダー
藤江 正克
早稲田大学理工学術院 教授




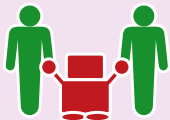

拠点概要

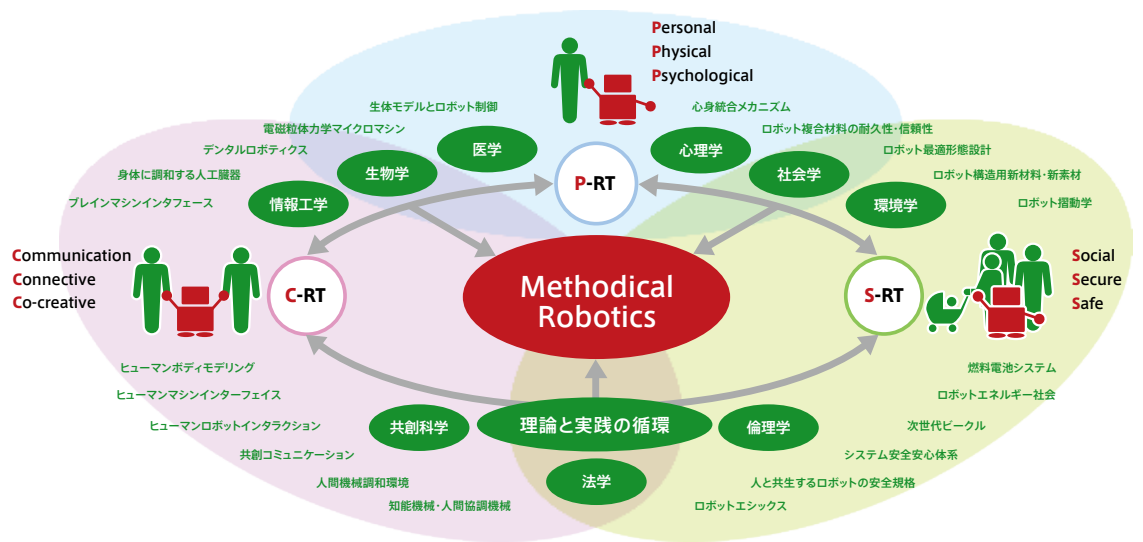
国際的に通用する、若手ロボット技術研究者の育成を目指して

早稲田大学は1970年に学科横断プロジェクトとしてWABOT (Waseda Robotの略称) プログラムを開始して以来、人間形ロボットと医療・福祉・生活支援ロボットの教育研究拠点として、機械、情報、材料、環境の専門家が結集した世界にも類を見ない重層的な研究者集団を形成してきました。2000年にはヒューマノイド研究所を発足させ、2002年には岐阜県に住環境とロボットの融合を図る拠点であるWABOT-HOUSE研究所を設立しました。また2003年から開始した日本とイタリアの政府間協定に基づき、Scuola Superiore Sant'Anna (聖アンナ大学院大学、略称:SSSA)と恒常的な人材交流と共同研究を行っています。さらに2003年度に文部科学省に採択された21世紀COEプログラム「超高齢社会における人とロボット技術の共生」では、手術支援ロボットなど医療・福祉分野ばかりでなく、要素技術と基礎理論でも国際的に評価される教育研究の成果を上げ、韓国最大のロボット研究プロジェクトCenter for Intelligent Robotics (略称: CIR)との定期交流を行う一方、国内でも定期的な学生交流を率先提唱、実現してきました。今日、我が国は超高齢社会の到来を目前にし、医療・福祉や生活支援サービス分野へのロボット技術(以下RT)の導入を試み、新しい産業の誕生が期待されていますが、残念ながら未だにその実現には至っていません。今後我が国が世界に先駆けてRTを「真の社会的基盤」へ成長させるには、世界中の先進的な研究者を引き付ける教育拠点を形成し、国際的な視野を持って技術開発に取り組む若手研究者群を育成することが急務となっています。それと同時に、社会の様々な課題にRTを適用するためには、実践的ノウハウの伝授と共に「学理」の裏付けが不可欠となっています。しかしながら、RTが諸工学の集積であることから、「ロボットの学理」の確立が十分ではなく、組織的な教育カリキュラムが提示されていないという現状があります。この現状を打破するために、本プログラムでは様々な生活シーンでの実問題に取り組む中で、これからの社会を支えるRTの原理と体系を明示的に抽出した『体系的ロボット学: M-Robotics (Methodical Robotics)』の構築を目指します。同時に韓国CIRおよびイタリアSSSAと引き続き強固な連携を行い、国際的な教育環境と教育プログラムを整備し、「高い学問知の構築力」と「実践的アイデアの創造力」を併せ持った「突破力」のある若手研究者を多数育成することを目指します。

取組の目標

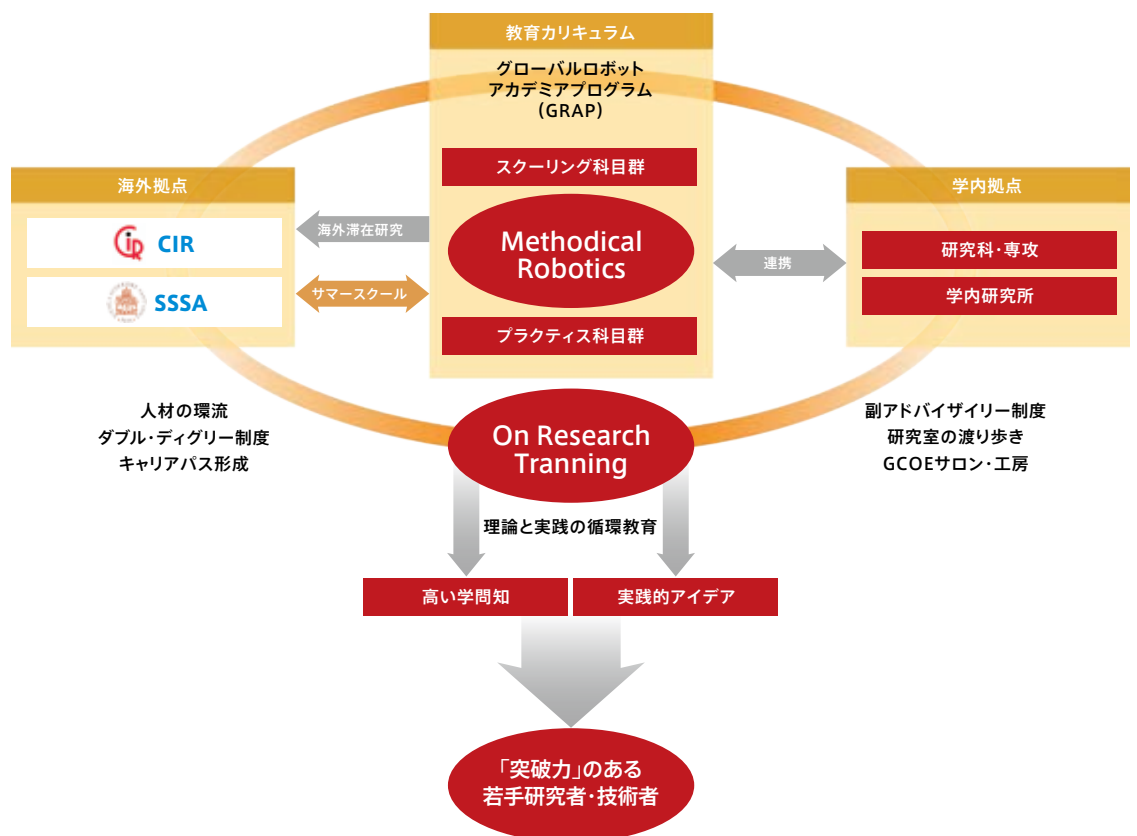
P-RT, C-RT, S-RTの3グループが理論と実践を有機的に循環させ、相乗的効果を図る中で自然科学と融合し、人文・社会科学を包含し得る新しい工学として、体系的ロボット学『M-Robotics』を構築します。

P-RTグループ	C-RTグループ	S-RTグループ
Personal Physical Psychological	Communication Connective Co-creative	Social Secure Safe
対象: ひとりの人間	対象: 複数の人間	対象: 多数の人間
		
医学・生理学・心理学・ 脳神経科学等との融合分野	コミュニケーション・共創・ 人間関係学をベースに 展開する分野	社会・倫理・環境・安全等と RTの関わりに関する分野
基盤とする総合工学: 機械・制御・電気電子・材料・情報		



「突破力」のある若手研究者の育成を行なうために

- (1) 体系的ロボット学の構築を進める中で、DC（博士後期課程）対象の高度専門スクーリング科目群と、国内外の一流研究者が参加する基盤的RT（ロボット技術）および実践的RTの課題に挑戦するプラクティス科目群とからなる特別カリキュラム「グローバルロボットアカデミアプログラム」の実施
- (2) 学生の長期海外派遣により、海外拠点との共同研究プロジェクトと特別カリキュラムの循環を実現し、「高い学問知」と「実践的アイデア」を涵養
- (3) 国際サマースクールの3拠点（早大、韓国CIR、イタリアSSSA）共同開催や海外連携機関とのダブルディグリー制度を構築し、国際的な教育環境を整備
- (4) 個々の能力に応じて客員研究助手・RA（Research Assistant）に採用し、経済支援を含め教育研究に打ち込める環境を整備
- (5) 早大ポスドク（博士）キャリアセンターおよび本学海外拠点、海外機関と連携した国際インターンシッププログラムにより、国内外・産学官への多様なキャリアパスを提示



超高齢社会における医療福祉を支援するロボット技術の研究開発 ～人間とロボットの新しい関係～



藤江 正克

早稲田大学大学院 創造理工学研究科 総合機械工学専攻 教授

藤江研究室は、21世紀の医療・福祉ロボティクスの発展に尽力していきたいと考え、「超高齢社会における人とロボットの共生」をテーマに研究活動を推進している。

医療に関しては、患者への身体的負担を小さくし、手術後の早期回復を見込める低侵襲手術をロボットで支援することを目指し、手術用マニピュレーターの研究を行う。福祉については、加齢に伴う身体機能の低下と行動範囲の縮小という悪循環を断ち切るために、高齢者や支援を必要とする人たちのためのサポートシステムの研究を進めている。

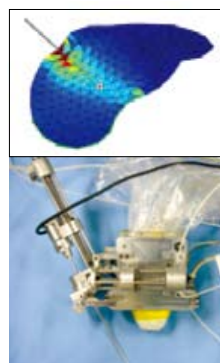
医療工学「Medical Engineering」

脳神経外科領域手術支援

脳の深部にある腫瘍や動脈瘤を治療するときは、視野や術野を確保するための手術作業空間を確保する必要がある。その際に脳を圧迫しすぎると脳梗塞や脳浮腫が起るといふ問題点があり、この課題を解決する多自由度の空間確保マニピュレーターを開発している。



脳神経外科領域手術支援ロボット



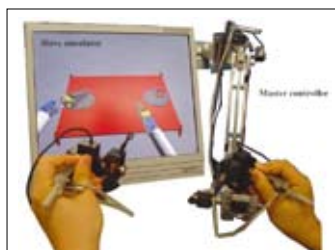
知的な手術支援ロボットシステム

知的な手術支援ロボットシステム

肝臓がん、乳がんなどの悪性腫瘍の外科手術を対象とした研究を行っている。臓器は軟らかく、産業用ロボットなど従来のロボットが対象としてきた硬い物とは性質が大きく異なる。そこで、軟らかい臓器の力学的な性質を解析した後、数値シミュレーションを用いることで動作計画を行う手術支援ロボットシステムの開発を推進している。

遠隔医療支援

遠隔ロボット手術は、手術支援ロボットとネットワーク技術を利用して、離れた場所にいる医師と患者をつなぎ、手術を行うものである。研究室では、遠隔ロボット手術を実現する最適環境を提案していく。そのため、シミュレーション技術を用いた仮想遠隔ロボット手術システムの開発および検証を推進している。



遠隔医療支援ロボット

福祉工学「Assistive Engineering」

新しいパーソナルモビリティ

高齢者が自立生活を持続的に行うためには、健康維持が大きな課題となる。研究室では、高齢者の自発的な歩行運動による健康維持に加え、より広範囲の移動を実現する移動支援機器「Tread-Walk」の開発を行っている。



Tread-Walk



坐骨による体重免荷装置

片麻痺患者の歩行支援

脳卒中などで片麻痺になった患者は、特に患側下肢の筋力が低下するだけでなく、左右のバランスの違いにより、歩行能力が低下してしまう。研究室では、従来手法であるハーネスを用いての腋下架荷（筋力低下を補うために体重の一部を支える）ではなく、より体に負担の少ない坐骨で免荷する手法を開発した。

筋電を利用した日常動作支援

筋肉が動く少し前に発生する筋電位という生体信号を利用し、様々な福祉・健康分野への応用研究を行っている。例えば、骨転移がん患者の寝返り動作を支援すること目的とした「インテリジェントコルセット」の研究が、静岡県立静岡がんセンターと共同で進められている。研究では、筋電位を用いて患者の寝返り動作の意図を検出し、独自に開発したマイクロ・マクロニューラルネットワークという信号処理技術を活用する。寝返り動作を認識すると共に、空気圧ゴム人工筋を用いることで寝返りの支援を行っている。



筋電を利用した日常動作支援装置

全身での情動表出が可能な2足ヒューマノイド・ロボットと 気管挿管訓練用頭部モデルの開発



高西 淳夫

早稲田大学大学院 創造理工学研究科 総合機械工学専攻 教授

高西研究室では、大きく分けて2つの研究を進めている。一つは人間を工学的に解明することを目的として、ヒューマノイド・ロボットに関する研究を行なっている。そして、もう一つは医療支援・医療教育を目的としたロボット技術応用の研究に取り組んでいる。

1. 全身を用いた情動表出が可能な2足歩行ヒューマノイド・ロボットの開発

現在の日本は少子高齢化により、超高齢社会に突入している。将来は人口ピラミッドが逆三角形となり、高齢者の生活を支えるのに十分な就労人口が確保できないおそれがあることが想定される。そこで本研究室では、高齢者の日常生活活動（ADL：Activities of Daily Living）に着目し、これを支援することを目的とする新たなコンセプトの情動表出可能な2足歩行ヒューマノイド・ロボットKOBIANを開発した（写真1）。これはADLを支援する環境やユーザーに適應するためには、ユーザーと同様の形態であり同様の方法で情報を伝えることが望ましいと考えるためである。

KOBIANは、喜びや困惑などの表情表出機能と、柔軟素材「人肌ゲル」を用いた人間的な感触のハンドを搭載している。これらより人間と円滑なインタラクションを行ない、より質の高いADL支援サービスを提供することを目指す。



写真1 KOBIAN

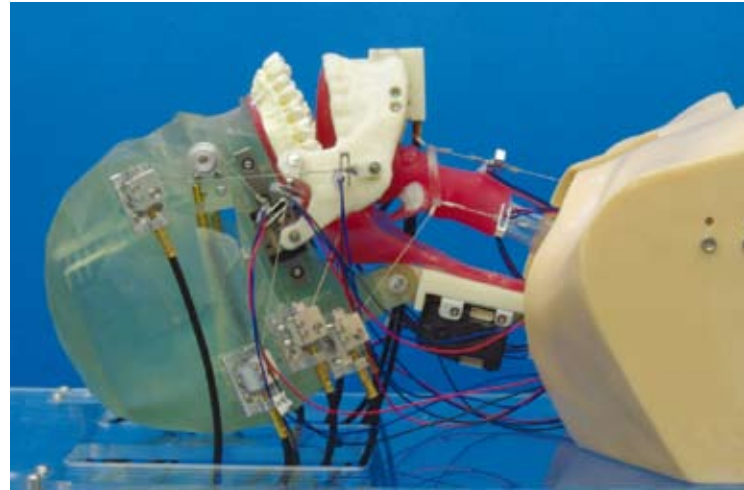


写真2 WKA-2

2. 気管挿管訓練用頭部モデルの開発

近年、救急救命士が気管挿管を行う資格を得たことにより、救急現場での患者の生存率の上昇が期待されている。一方、手技の失敗による事故が多発しており、死者も出ている。気管挿管手技の訓練を行う際には気管挿管訓練用マネキンを用いるが、既存の訓練用マネキンは単一の状態しか再現できず、訓練者に対して手技の良否をフィードバックする機能が少ない。

そこで本研究では、気管挿管の実施を困難にする患者の身体的特徴や疾患などを再現可能な気管挿管訓練用頭部モデルWKA-2（Waseda Kyoto-kagaku Airway No. 2）を開発した（写真2）。WKA-2はヒトの咀嚼筋の配置にもとづいて顎顔面および口腔の周辺に16本のワイヤが配置されており、それによって、下顎、舌、声帯の位置を変化させることが可能となっている。これによりWKA-2は、舌根沈下や開口障害、下顎突出等の気管挿管困難症を再現することが可能となっている。



山川 宏

早稲田大学大学院 創造理工学研究科
総合機械工学専攻 教授



宮下 朋之

早稲田大学大学院 創造理工学研究科
総合機械工学専攻 准教授

1. 超軽量大型宇宙構造物に関する研究

昨今のエネルギー問題に対し宇宙空間で太陽光から発電するシステム (SSPS) や、太陽などの恒星から発せられる光やイオンなどを反射することで宇宙船の推力に変える太陽帆 (ソーラーセイル) などの実現が望まれている。それらの構造形態を実現するためには、宇宙空間における微小重力や軽量で可搬性を考慮して、膜材によって数十メートルから数キロメートル単位の超大型構造物を構成することが有用と考えられる。

本年度はこのような超大型宇宙構造物を実現するための基礎的な研究として、膜面構造についていくつかの視点から研究を実施した。展開動作や収納動作を考慮した折り目の特性や、それが膜面構造物の伸展動作に与える影響を実験的及び解析的に調査し、膜面構造物の核となる人工衛星などの剛構造物への力学的な挙動を調べ、膜面構造物の複合化を提案し、実験的に、その有用性について確認した。なお、この研究は客員教授である名取通弘先生にご指導いただいている。

1.1 複合膜面構造の概念

複合膜面構造を構成する要素は、(a) 膜面 (b) インフレータブル構造 (c) ケーブルネットであり、以下に説明を加える。

(a) 膜面

複合膜面構造の基本要素であり、太陽電池パネルの貼り付けや光・イオンを受け止めるために用いられる。さまざまなミッションに対応するためには比較的厚い膜を用いることが想定され、その場合の収納法に関しては厚みを考慮したらせん折りが適していると考えている。複数の膜面を階層的に結合して大型化することを想定しているため、膜面形状は階層化に適すると思われる正六角形としている。

(b) インフレータブル構造

近年盛んに研究がなされている軽量宇宙構造物であり、高効率で規則的に収納された袋状膜面にガス等を注入することで、膨張・展開させて必要な形状を得る構造である。例えるならば風船のような構造物である。この展開力を用いて収納状態の膜面を展開し、展開後は膜面の形状維持部材として機能するのに加え、圧縮や曲げに対する支持部材として機能する。

(c) ケーブルネット

膜面とインフレータブル構造を結合し、インフレータブル構造の展開力を効率よく膜面に伝える機能を有するとともに、複数の複合膜面構造モジュールを結合する場合の接合部分としても機能する。また、ケーブルネットによりインフレータブル構造の形状を変形させることができるため、例えば直線形状のインフレータブル構造でもケーブルネットにより六角形状に変形できる。よってインフレー

タブル構造の立体形状を高精度で作成する必要がなくなり、大型化や量産に適している。

1.2 概念モデルおよびその展開実験

実験室規模で作成した概念モデルの展開状態を図1に示す。モデルは複合膜面構造の概念を基に作成している。また、図1に示した単体モデル (第一世代) を階層モジュラー化することで大型化したモデル (第二世代) の展開状態を図2に示す。両モデルともスムーズに展開し、複合膜面構造の概念が実際のモデルに適用可能であることが確認できた。



図1 単体モデル



図2 階層モジュラーモデル

なおこれらのモデルを用いて実際に数キロメートル単位の構造物を構築することを考慮すると、まず収納状態にある第一世代や第二世代のモデルを展開させる。次にそれらのケーブルネット部分をロボットで自動的に結合させることでさらに大きな第三世代や第四世代へと成長させる。その過程を繰り返すことで数キロメートル単位の超大型宇宙構造物が実現できると考えられる。

また、展開後の膜面やインフレータブル構造部分を硬化することによって、地上での大型展開構造物や宇宙用大型展開ロボットへの発展性も期待できると考えられる。

2. 有限要素法による臓器の力学挙動の解明

外科手術においては、対象となる病患部に対して力学的な作用による物理的な組織破壊や加熱などの操作を伴うことがあり、近年では、内視鏡などにより、低侵襲性を考慮して、狭い空間における施術が注目されている。一般に、重要な人体に対する操作であるため、多くの有用な情報を活用しながら確実な操作を実現することが望ましいと考えられる。そのため、本研究では、過去より脳構造や肝臓及び肺を対象とし、治療ロボットなどによる力学的な作用を有限要素法により解析するとともに、それより得られる変形挙動や応力情報などを活用し、また、実時間動作を目的としたシミュレータの開発を行ってきた。本年度は、肝臓を対象にした有限要素解析における要素粒度の検討やシミュレータの性能向上を実現した。

2.1 有限要素法による突刺動作による患部周辺の変形挙動の解明

CTやMRI画像より得られる3次元表面形状より、ボリューム形状を生成し、境界条件や荷重条件及び材料の非線形性を定義し、さらに、有限要素で分割することにより、有限要素法による解析が可能となる力学モデルが生成できる。ここでは、実際に臓器が置かれる各種の条件と等しくすることにより、突刺操作によるがん部位の移動量の推定精度の向上が見込まれる一方で、ボリューム形状を分割する要素数に関する検討が重要である。そのため、数千から数万にわたり粒度の異なる有限要素モデルを作成し、その影響を明らかにした。また、人体内の臓器は体液などの潤滑環境にあり、また、周辺臓器との接触や血管やリンパ管及び背骨などの骨格との接触し、肝臓の周辺環境との境界条件は明確にすることが困難である。そのため、針に加え、肝臓を保持する機構を想定し、剛な境界条件を設定し、突刺目標に対する影響を調べ、有効な保持範囲を検討した、図1は、そのモデルのいくつかと計算結果を示したものである。

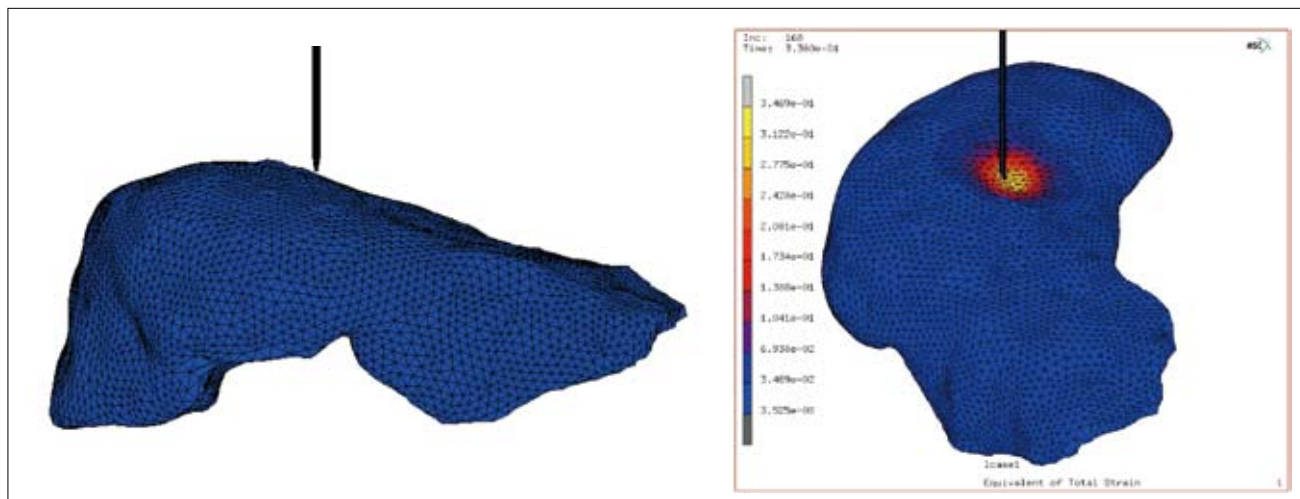


図1 有限要素モデルと解析結果

2.2 シミュレータの開発

1.で示した計算方法は、多くの有限要素により多くの時間を要して計算が実施される。一方で、実際の実験により取得可能な力学情報によるの補間により計算時間を短縮することが可能であると思われる。そのため、本シミュレータは、突刺操作時の針に作用する突刺力を計測し、それと密接に関連する位置情報との相関情報を取り込むことにより、高速に動作する。対象とするモデルは、1.と同様に有限要素モデルであり、要素数は約3000である。Wilson- θ 法や差分法などのいくつかの計算法や、Howel-Boeingフォーマットによるデータ構造の採用により、3000要素程度の計算モデルに対して、実時間での応答性を確保している。突刺進展プロセスにおいて、針の進展速度や進展深さを測定し、針と肝臓とに生じる内力について有意となる物理量を明確化し、シミュレータに実装することにより高速化に寄与している。図2は、力覚入出力装置を使用した動作の様子を示したものである。

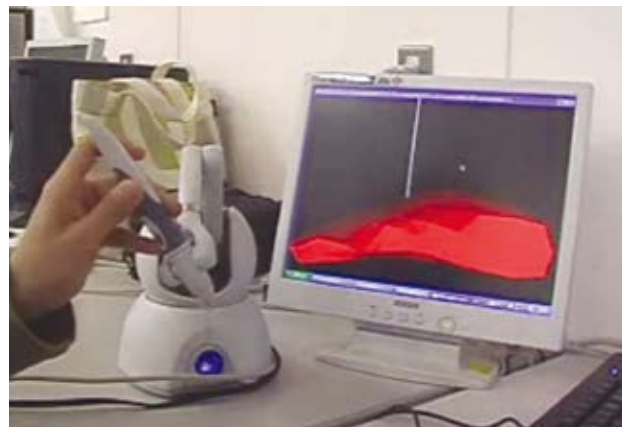


図2 力覚入出力装置による肝臓モデルの突刺シミュレーション



梅津 光生

早稲田大学大学院 先進理工学研究科 生命理工学専攻 教授

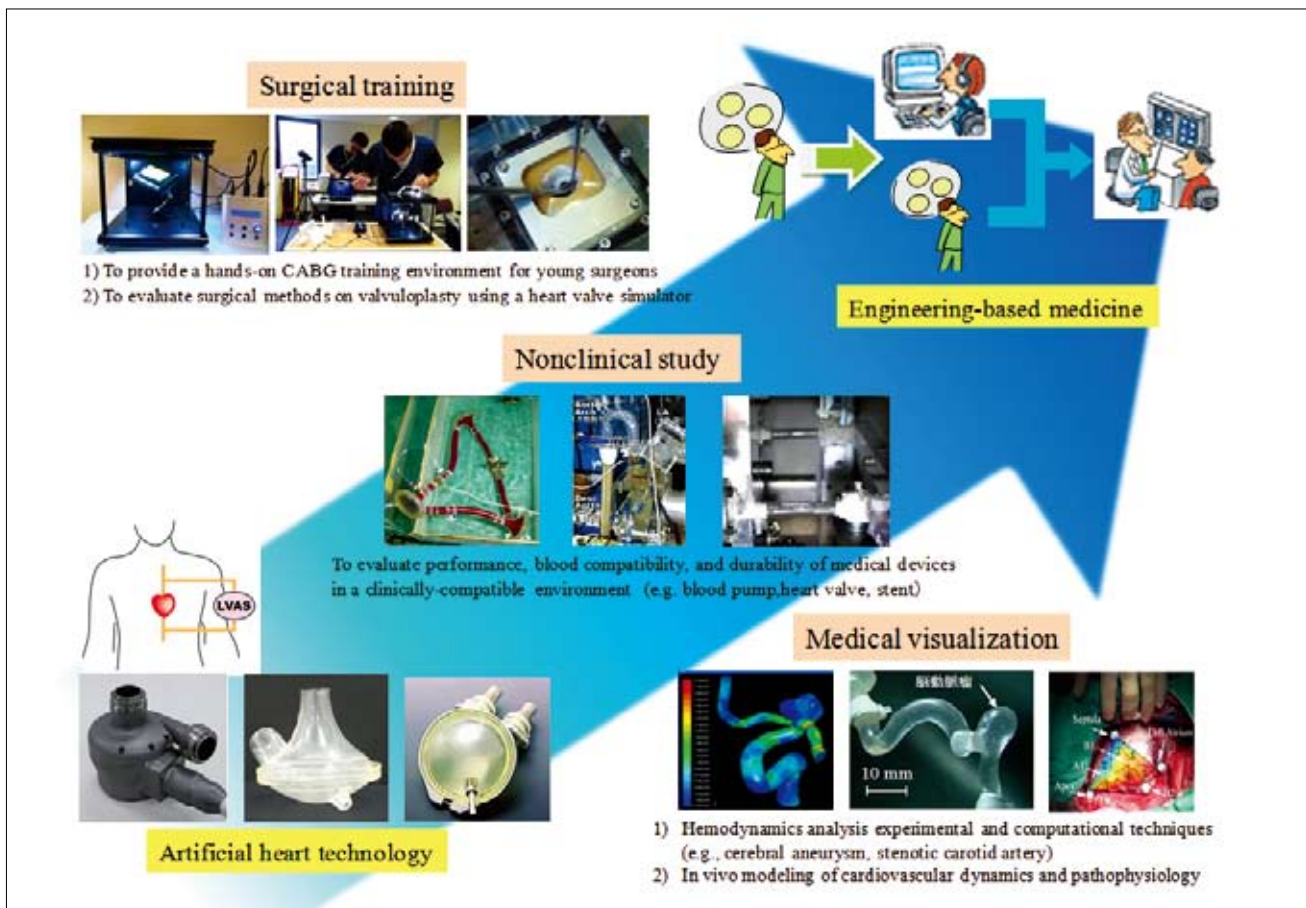
1. 本研究の概要

本プロジェクトチームでは、ロボットテクノロジーを個人を対象とした高度な医療機器開発で応用する研究を推進している。一般的に欧米においては、大動物や死体を用いたシステム化された外科訓練センター、すなわちWETラボが存在するが、動物実験や臓器の使用がだんだん難しくなる中で我国においては、現在のWETラボ機能は十分とはいえない。そこに参加する以前に十分に訓練をして手技を磨き、その後全国のWETラボを有効に利用するという位置づけが現実的かつ有効であると考え、ここではWETに対してDRYラボを提案する。本研究の特色は、2008年開設の早大・女子医大連携施設(TWIns: ツインズ)を駆使して、「非臨床・動物実験代替システム」をコンセプトに血行力学・生体適合性、耐久性シミュレーション装置とその解析機器が並ぶ体験型実験環境を整備したDRYラボ創設を提案する。そこではバイオ・メディカルロボティクス/エンジニアリングの教育・研究を通して、臨床医の技能研修のみならず、企業人のリカレント教育、医療機器審査官にふさわしい人材育成を行う。そして、全国のWETラボと連携をとることで、生体・機器への総合

知識を体得した人材のWETラボ参加への橋渡し機能をこのDRYラボが果たすことを最終目標とする。

2. 本年度の研究成果

具体的には、技能研修室、GLP対応実験室、医療情報解析室の設置を計画し、そこに実践教育プログラムを用意する。2007年度には、血液循環シミュレータの技術を発展させると同時にDRYラボで行う教育プログラムに向けた①手技の技能研修システム、②治療デバイスの非臨床評価、③医療情報解析システムの洗練化を図った。そこで2008年度にはこれらシミュレータ技術を体験型実験施設として機能させ、そこに教育プログラムを策定することでDRYラボで行う人材育成の基盤を構築する。これにより、最先端医療機器の性能評価や操作法の体得を含めて教育プログラムを恒常化し、医理工業の総合的知識に基づく大規模な人材育成の場を整備し、ENGINEERING BASED MEDICINE (EBM) の推進へ向けた基盤を構築できると信じている。もちろん倫理面への配慮を十分に行って研究を推進する。





川田 宏之

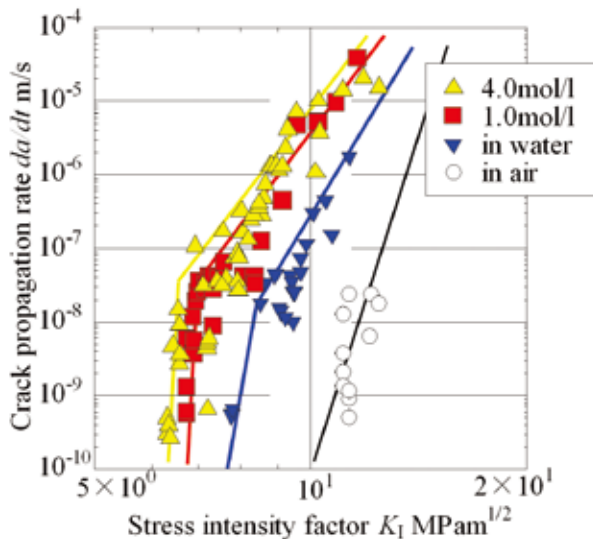
早稲田大学大学院 基幹理工学研究科 機械科学専攻 教授

近年、複合材料の利用技術が拡大し、複合材料を大型構造物へ適用する事例が急増する中で、繊維強化プラスチック (FRP) を一次構造部材として利用する傾向にある。FRPの利用範囲は民間旅客機、人工衛星などの航空宇宙分野をはじめとして、風車ブレード、スポーツ用品、日用品など幅広い分野にて拡大の一途を辿っている。さて、スポーツの祭典である北京パラリンピックにてカーボン繊維強化プラスチック (CFRP) 製義足を装着した選手が短距離・中距離走にて世界を驚愕させる活躍をした。このことは、健常者とはほぼ同タイムの新記録を叩き出し優勝したことで、CFRP製義足の性能の高さを世に知らしめた。今後、CFRPはその優れた軽量性・高機能性を存分に発揮し、金属材料に代わりロボット技術を支えるパートナーとして発展していくであろう。

本研究室は、実験研究に基づいた高分子基複合材料 (PMC) の長期信頼性の確立を目指している。主な研究内容はPMCの極限環境下における長期耐久性評価、高サイクル疲労特性の調査、衝撃特性の調査、環境変化に対する高精度な寸法制御およびそれに基づいた最適設計手法の確立などがある。

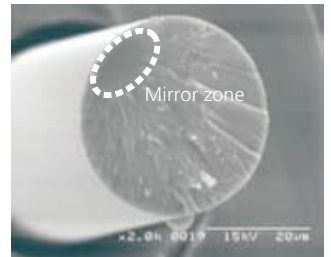
(1) 極限環境下における長期耐久性評価

ロボットは人間による作業が困難とされる極限環境においてもオペレーションが可能であり、今後のロボット技術は極限環境下における用途の拡大が望まれる。しかしながら、PMCは優れた材料特性を有する一方で、金属材料と同様に使用環境によりその材料特性が劣化してしまうことが明らかである。本研究室では、極限環境下におけるPMCの長期信頼性を確保することを目的とし、高温水および酸環境下におけるPMCの環境劣化機構に対してマイクロおよびマクロの両面からアプローチしている。



GFRPのき裂進展速度の環境依存性 (50℃塩酸中, 純水中, 空气中)

劣化したガラス繊維の破断面



(2) 高サイクル域疲労特性の調査

構造材料の破壊の主な要因のうち約90%以上が疲労破壊である。PMCは優れた疲労特性を有することが知られているが、長期間使用する構造材料においては、高サイクル域における疲労特性の解明が必要不可欠である。本研究室ではPMCの疲労試験を行い、材料内部に発生するPMC特有の損傷 (はく離・内部クラック) を調査し、それら損傷の発生機構を調査している。また、構造材料はほとんどが接合されて使用されるため、接合部まわりの疲労特性を調査することは、PMCの利用範囲拡大に対して非常に有意義であろう。

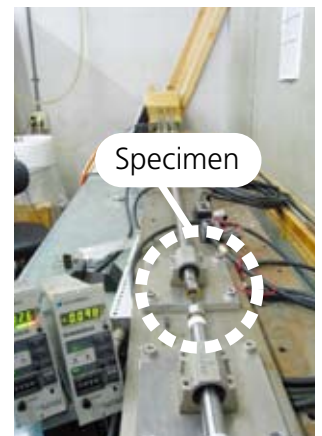


CFRP積層板の円孔まわりのはく離進展

(3) 衝撃特性の調査

ロボットがオペレーションを実行する際には振動、衝突など衝撃負荷を受けることが想定される。それゆえロボット材料には振動吸収性・衝撃負荷に対する強さなど動的特性が要求される。本研究室ではPMCの動的特性を実験・解析に基づいて解明することを目的とし、高ひずみ速度域における実験に基づきPMCの衝撃特性を調査し、有限要素解析を用いて衝撃負荷シミュレーションを行っている。

本研究室はPMCの高度利用技術を開拓し、それを用いた新設計手法の提案を研究の最終目標としている。今後は引き続き、ロボット技術の可能性を支える高機能性材料として、PMCの可能性を追求していく。



ホプキンソン棒法試験機

磁性ナノ粒子を封入したゲルビーズのパターン形成とマニピュレーション —再生医療への応用をめざして—



川本 広行

早稲田大学大学院 基幹理工学研究科 機械科学専攻 教授

近年、バイオテクノロジーの分野において、微細加工技術を生かした生体組織の3次元微細形状創成が注目されています。実際にこれまで医学分野において、生細胞から生体組織や臓器を作る研究(再生医療:ティッシュエンジニアリング)が行われており、これらの研究では細胞を培養して皮膚や角膜などの単純な組織を創製することが実現しています。しかし、臓器や血管などを含む非均質で多種類の細胞からなる複雑な3次元組織の作成に至っていません。

そこで当研究室では、複雑な人工生細胞組織の3次元生成を目指し、その第一歩として模擬細胞である磁性ナノ粒子をドーピングしたゲルビーズ(図1参照)のパターン形成と個別操作に関する研究を行いました。まずパターン形成においては、磁界中でゲルビーズをチェーン状に堆積させ、その特性を把握しました。さらに、形成されたチェーンで血管のような3次元形状を構築するために、あらかじめ埋め込まれた磁性粒子の2次元パターン上にゲルビーズのチェーンを形成する実験を行いました。その結果、図2に示すような、血管を模擬した細長いチューブ状のパターンを形成することができました。パターン形成に必要な磁性ナノ粒子の量や磁束密度、さらにはパターン形成後に異なる組織を注入するための遠心力の影響などについても、実験と計算の両面から明らかにしました。なおこの研究は、神奈川科学技術アカデミーとの共同研究により行いました。

上記の方法は、ゲルビーズの集合体を対象にしたものですが、個別のゲルビーズを操作する技術と組み合わせることによってより適用範囲が広がると考えられます。そこで、ゲルビーズの個別操作を

目的として、磁性マニピュレータを作成しました。このマニピュレータは、サポートを介してメカニカルステージに固定されており、平板上においてx, y, z方向に移動可能です。電磁石のコイルに直流電流を流すことで、電磁石コアの先端部に集中した磁場を発生させ、磁気力によって粒子を捕捉・移動することができます。

以上のような研究はまだ緒についたばかりであり、実際の医療の現場で利用できるようにするには、解決しなければならないたくさん問題があります。今後も異分野の研究者と協力して、一日も早く実用化できるよう研究を進めてゆきたいと思います。

H. Kawamoto, H. Inoue and M. Nakamura, Three-Dimensional Formation of Magnetic Micro Gel-Beads for Tissue Engineering, J. Appl. Phys. 105 (2009).

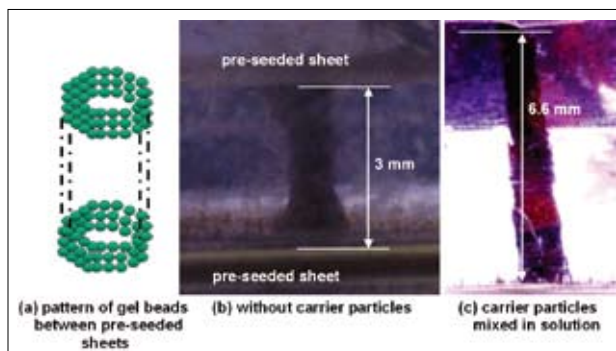


図2 血管を模擬したゲルビーズのチューブ状のパターン

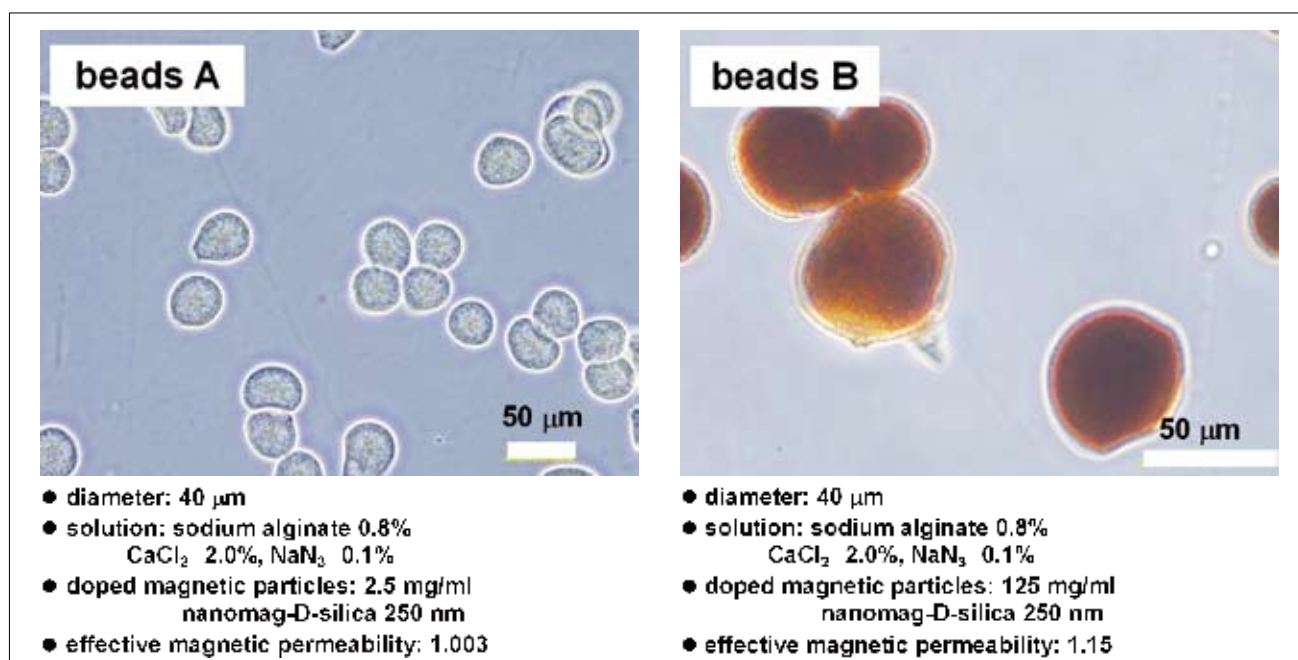


図1 磁性ナノ粒子をドーピングしたゲルビーズ

- diameter: 40 μm
- solution: sodium alginate 0.8%
CaCl₂ 2.0%, NaN₃ 0.1%
- doped magnetic particles: 2.5 mg/ml
nanomag-D-silica 250 nm
- effective magnetic permeability: 1.003

- diameter: 40 μm
- solution: sodium alginate 0.8%
CaCl₂ 2.0%, NaN₃ 0.1%
- doped magnetic particles: 125 mg/ml
nanomag-D-silica 250 nm
- effective magnetic permeability: 1.15



高信 英明

早稲田大学 理工学術院総合研究所 客員准教授 (工学院大学大学院 機械工学専攻 准教授)

本研究室では、生物の知的行動を規範とした機械システムを研究しています。

・歯科患者ロボット

歯学部 of 学生や研修医の技術実習支援を目的とした歯科患者ロボットです。実際の患者と同じ動きを細かく再現させることがポイントになります。

昭和大学歯学部歯科矯正学教室・早稲田大学高西研究室との共同研究です。



患者ロボット



・群知能システム

1台では単純な動作しかしなかったロボットが、複数台集まることで複雑な動きを可能とします。群知能の研究では、単純なロボットを集めることで、ロボットに新しい動作を行わせます。

独立行政法人宇宙航空研究開発機構 (JAXA) との共同研究です。

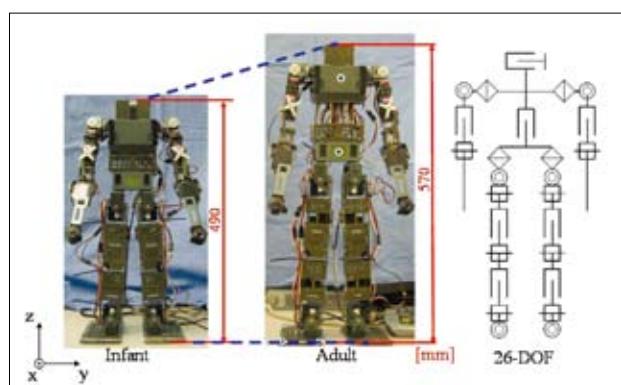


群知能システム

・成長するヒューマノイドロボット

ヒューマノイドロボットを用いてハードウェアで擬似的に成長を行う研究です。生物は内面だけでなく、外見も成長していきます。いかにして成長を表現するかが重要です。

設定年齢に従い、身長や体重・歩行方法等が変化します。



成長するロボット

・脳外科用マスタ・マニピュレータ

脳外科手術での低侵襲手術を可能とする、マスタ・スレーブ方式を用いた手術支援ロボットの研究開発を行っています。

東京女子医科大学・早稲田大学藤江研究室との共同研究です。

・DNA型多自由度ロボット

ロボットには様々な分野や環境での行動が求められるようになってきています。そのような行動を行うことができれば、応用範囲の拡大につながり、ロボットの活躍の場が増えます。生物の基本情報をもつDNAをモデルとした多自由度な機構を持つロボットの研究を行っています。



DNA型多自由度ロボット

その他に、下記の研究も行っています。

- ・病院内ナビゲーションシステム
- ・歯科用自動ライト



橋本 周司

早稲田大学大学院 先進理工学研究科 物理学及応用物理学専攻 教授

本研究室では、ロボティクスにおける情報処理を核とした新たな基盤技術を研究している。主な研究内容は、ロボティクス、ケミカルロボティクス、画像情報処理、音響メディア処理、メタ・アルゴリズム研究である。以下に最近の研究課題を紹介する。

ロボティクス

人間共存型ロボットの実現に必要な基盤技術の研究と種々の実用ロボットの製作を行っています。

- ・ロボットに対する地形評価基準「不整地度」の検討
- ・IRT環境構築のための意味センサネットワークの開発
- ・太陽エネルギーを活用するサバイバルロボットの開発
- ・無線センサネットワークを用いた人間認識案内ロボット
- ・RFIDを用いた自律移動ロボットのナビゲーション
- ・GPSによるロボットの自律移動制御
- ・未来画像予測による屋外ロボットの遠隔制御
- ・ロボットのための触覚デバイスの開発及びその応用
- ・積荷をインタフェースとした階段昇降可能な移動ロボット
- ・回転加速度によるロボットのバランス制御
- ・Passive Walkerのための膝の機構の改良と歩行安定化
- ・口腔内の動作を用いたロボットアーム制御用インタフェースの開発
- ・いなし行動を有する経路移動ロボットの開発
- ・人間-ロボットインタラクションのための発光視覚センサ

ケミカルロボティクス

金属の身体とシリコンの脳を持つロボットとはまったく異なる化学反応によるロボットを実現する研究を行っています。

- ・化学反応によるロボット製作の基礎研究
- ・自律駆動型ゲルアクチュエータに関する研究
- ・ゲル中のBZ反応の高速化に関する研究
- ・自己組み立てのためのゲルの接着制御
- ・ゴムアクチュエータの電場応答特性に関する研究
- ・機能性印刷によるロボットの製作

画像情報処理

画像処理とCGの基礎及び画像の計測・認識、画像生成の研究を進めています。

- ・直感的な理解のための4次元空間提示システム
- ・コンクリート表面のひび割れ検出の高精細度
- ・撮影条件の異なる複数画像を用いた高階調画像の生成
- ・姿勢推定によるパターンマッチングの高速化
- ・人物検出に基づく能動的な撮像と画像表示
- ・自律移動ロボット搭載用実時間人物追跡システム
- ・ロボット用近接画像センサの開発

音響・マルチメディア

音声・音響信号の処理に加え、音楽生成制御による感性的情報システムの研究をしています。

- ・集中マイクロホンの指向特性を利用したブラインド音源分離
- ・ブラインドデコンポジションによるモノラル混合音の分離システム
- ・類音語と音響を用いた音響データベースの直感的な音検索
- ・インタラクティブ音楽演奏制御システム
- ・身体的音響メディアのための状況分析と音響生成
- ・時間周波数 ϵ -フィルタを用いたモノラル雑音除去
- ・曖昧な発話に対応可能な音声インタフェース

メタ・アルゴリズム

ニューラルネットワーク、強化学習、GAなどアルゴリズムを自動生成する新しい情報処理を研究しています。

- ・リカレント型ニューラルネットワークを用いた複雑システムの故障診断
- ・ニューラルネットワークを用いた非線形主成分分析
- ・実機とシミュレータを併用するハイブリッド型機械学習アルゴリズム
- ・強化学習によるロボットの動作獲得と故障診断
- ・環境制御による生態学的ハードウェア自己増殖
- ・生物の機構にヒントを得たハードウェアの自己複製
- ・複雑系の理解と生成に関する理論的研究



4次元データ
ディスプレイシステム



人間とロボットの
インタラクション



マルチモーダル
ロボット (i-SHA)



階段乗降可能な
移動ロボット



インタラクティブ
音楽演奏制御システム



屋外ロボット



自律移動ロボット
(UBIRO)



ケミカルロボット



三輪 敬之

早稲田大学大学院 創造理工学研究科 総合機械工学専攻 教授

多様な背景や価値観を持つ人たちが現場においてひとつの目標を共有し、互いが補い合いながら生きていくことができる自他非分離の関係性の持続的創出を「共創(Co-creation)」とよぶ。本研究室では、この共創を支援するために身体の働きに着目した創出的インタフェースについて研究している。以下にその一部を紹介する。

1. 影メディアによる身体表現ジェネレータ

共創の特徴として、表現の同時性、相補性、等価性を挙げることができるが、これらを満たすにはイメージの共創出が必要になると考えられる。そこで本研究では、自身と存在的に非分離的な関係である身体の影を変容させて、身体と影に「ズレ」を生じさせることで、自己の内部に気づきや身体感覚を引き起こし、多様な表現の即興的創出を促すイメージ・ジェネレータを開発した。具体的には、多角形状(図1)や線状の影、時間遅れの影、身体の動作方向に影が伸縮する影、さらには身体の境界を不定化する影(残像の処理を施した二重影(図2))である。これらを、科学技術振興機構(CREST;「デジタルメディア作品の制作を支援する基盤技術」研究領域)主催の「予感研究所2」(科学未来館、2008年7月26日～30日)において多数の人が体験したところ、とりわけ二重残像影においては、影と身



図1 多角形状の影



図2 二重残像影



図3 二重粒子影



図4 再現された過去の人影

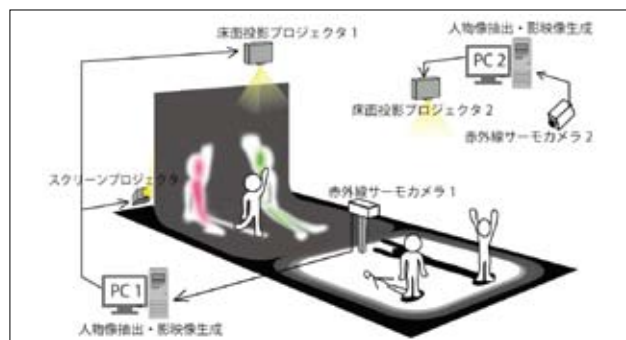


図5 システム構成

体との間で時空間的な一致とズレが循環的に生じることによって、イメージの自己創出が促され、多様で持続的な表現の創出が見出された。このことは影を通じて自他非分離的な共創表現を支援できる可能性があることを示唆するものである。また、この原理に従って開発したのが、粒子の外向きと内向きの運動に着目し、境界を不定化する「二重粒子影」である(図3)。さらに、身体の影(過去の人影)を素材にして現場における表現を保存し、二重に残像が生じる影や粒子状の影を包摂的なインタフェースとして用いることで、時空を超えて同じ場所では会うアーカイブ技術も新たに開発した(図4)。以上の一連の研究について、メディア芸術祭協賛展「先端技術ショーケース'09」(国立新美術館;2009年2月4日～15日)において展示デモ(図5)を行い、その有用性を確認した。

2. 身体形状復元による空中描画軌跡の表現手法

集団で行われる創作ダンスに、手の軌跡を空中に残して表現する空中描画を組み合わせることで、互いの動きの履歴や関係性を表現した新しい身体表現が創出される可能性が指摘されている。このような表現では身体と描画軌跡との関係だけではなく、互いの描画者同士の距離関係や姿勢を表現できることが重要である。

そこで、これまで開発してきた描画者の動作軌跡を3次元的に生成することに加え、そのときの複数の描画者の身体形状を実時間で描線と同じ3次元描画空間上に幾何的に整合させて生成する手法を考案し、新しい空間的な描画システムを開発した。これにより、描画者の身体と描画軌跡との位置関係の表現だけでなく、描画者を含めた描画空間全体を実時間で様々な視点から観察でき(図6)、描画者同士が互いに描画を介して新たな共創的コミュニケーションを即興的に行える空間的な映像生成手法への見通しを得た。

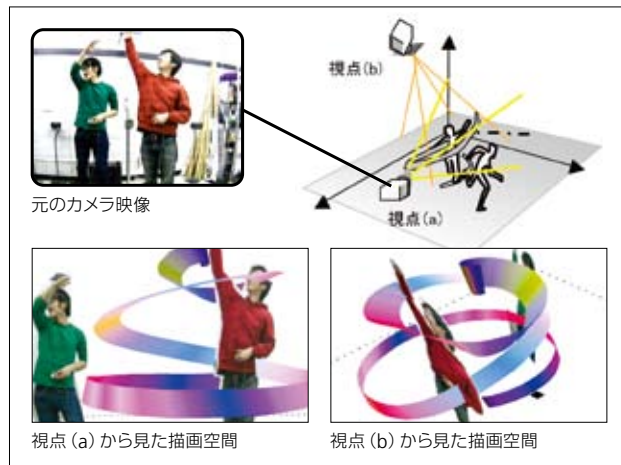


図6 リアルタイム3次元描画空間

ヒトの皮膚感覚特性と歩行運動特性の研究



藤本 浩志

早稲田大学大学院 人間科学研究科 人間科学専攻 教授

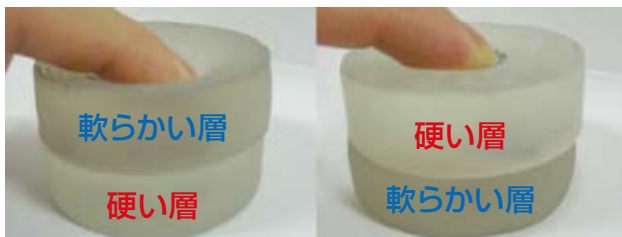
本研究室では、ロボティクスへの応用を目指して、ヒトの諸機能の評価を目指した研究を行っている。感覚機能については主として触覚（皮膚感覚）機能、運動機能については主として下肢の機能を対象としている。

以下に2008年度に関連するテーマとして取り組んできた研究およびその成果についてそれぞれ紹介する。

1. ヒトの皮膚感覚機能

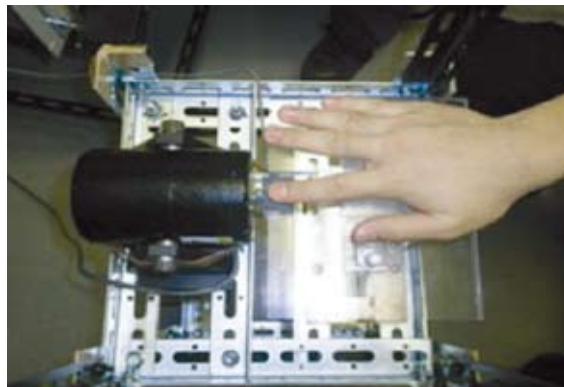
・硬さ知覚特性

本研究室では従来から、熱可塑性エラストマーのセプトンを用いて硬さ特性（ヤング率）が異なる触知サンプルを多数製作し、ヒトの指腹部の硬さ知覚特性に関する実験研究を行ってきた。カテゴリ尺度構成法によって明らかになった成果を踏まえ、本年度は硬さの異なる二つの物質が層構造を形成する場合の硬さ弁別特性を心理物理実験の手法により明らかにした。実験の結果、柔らかい物質から硬い物質まであらゆる範囲において直接指腹部に接触する上層の硬さ特性が支配的であるが、ある硬さ特性の範囲においては下層の硬さ特性が影響を及ぼしやすいことが確認できた。これは表層を覆う皮膚組織を介してその奥に存在する硬さの異なる組織（乳ガンや肝硬変等）を同定する触診ロボットの開発においては、仕様を検討する際の有用な知見として期待できる。



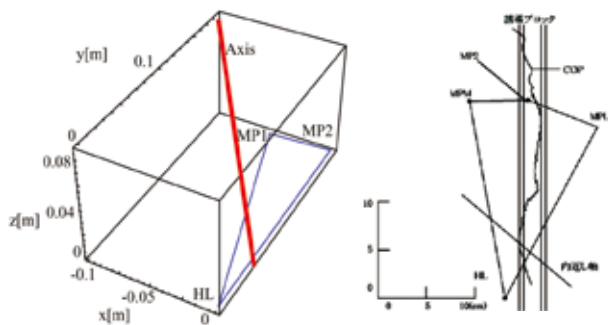
・振動知覚特性

特に高周波の振動刺激に対しては、皮膚の比較的深層に分布するFA IIであるパチニ小体が反応するとされている。そこで予圧をかけて真皮や皮下組織を圧縮した状態で高周波の振動刺激を呈示して閾値を計測したところ、統計的に優位に閾値の減少すなわち振動知覚の感度の向上が認められた。これはパチニ小体を取り巻く組織が圧縮されて高周波の振動刺激の減衰が減少したためとも考えられる。他方、メルケル触盤が支配的な比較的低い周波数の振動を指腹部に局所的に与えた場合、周辺と比較して凸形状を知覚することが確認でき、その凸形状の触錯覚の強度を実験により評価した。これらの知見は、皮膚感覚を介したディスプレイ等のヒューマンインターフェースの設計指針としての活用が期待できる。



2. ヒトの下肢運動機能

本研究室では従来からヒトの下肢関節運動の計測ならびに解析を行ってきた。今年度は特に足関節運動の中でも歩行の不安定さによって起こる捻挫の主たる回転軸である内返し軸に着目して歩行解析を行った。内返し軸とは、矢状面2次元平面内の底背屈運動のみならず、回内外・内外転が組み合わさった複合的な回転軸である。歩行運動中のこの内返し軸の位置を推定する手法を考案し、実際に不整地路面の事例として誘導ブロック（点字ブロック）を用いた歩行実験を行った。歩行中に内返し軸まわりに発生するモーメントを解析した結果、実際に不整地路面に起因して捻挫を引き起こす内返し運動が起こるきっかけを動力学的に評価することができた。本手法により、不整地路面や靴による歩行安定性に着目した環境評価が可能となる。また足底接地面の違いによる歩行の安定性が評価できたため、ヒトの土踏まずアーチ構造の効果やロボットの足底の機構として多点接地型形状の有効性の評価への応用も期待できる。



ヒューマンロボットインタラクション研究室

～ロボットと人間の共存空間・日常生活におけるロボットサービスおよび空間知能化の研究～



水川 真

早稲田大学 理工学術院総合研究所 客員教授 (芝浦工業大学大学院 工学研究科 電気電子工学専攻 教授)

物理エージェントシステム (PAS: Physical Agent System) は遠隔操作ロボットを、情報のみならず、動作を媒介する新しいメディアとして利用する遠隔地間における人間共同作業支援協調システムである。

PASは、これまでの電話やテレビ、インターネットのような情報を中心とした情報メディアに加えて、実世界での動作や作業をもロボットが代理人(エージェント)となつてこなすことができる新しいメディア環境を提供する。PASにおいてエージェントとして機能するロボットを物理エージェントロボット (PAR) と称する。PARには、環境センサ (CCDカメラ、近接センサなど) や効果器 (アーム、レーザーポインタ) を装備することにより、遠隔地から環境映像を監視しつつ、ジェスチャ、動き、空間指示、ものを運ぶ・拾うなどを可能とする。さらに、ロボットが獲得した空間情報を遠隔地へ送信することにより、操作者側に様々な感覚情報としてフィードバックする。

加えて、センサ、効果器姿勢の自律安定制御系を組み込むことにより、遠隔地からの観測、指示を容易にしている。

ロボットと人間の共存空間では、単体のロボットだけではなく、空間に分散したセンサやさまざまなデバイスをネットワークで結び、分散オブジェクトとして、連携してサービスを提供する空間知。このためRT (Robot Technology) ミドルウェアに基づき、アプリケーションに近い上位系をORIN (Open Robot/Resource Interface for the Network)、およびコントローラ内部をRTM (RTモジュール) の考え方に基づき、構成部品やサブシステムを、拡張性を持ったコンポーネントとして実現している。この結果、高性能なヒューマンロボットインタラクション機能と、これを用いた日常生活支援や災害支援などの最適な遠隔協調環境を社会に提供できる。

本年度は、知能化された空間における生活支援ロボットやRT機器を操作するインタフェースとして

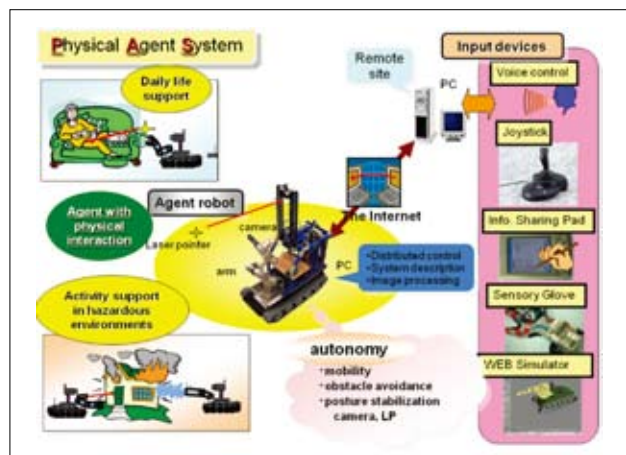


図1 Physical Agent System

- ・空間内の情報や機器との連携
- ・操作対象やサービスの局在性に注目
- ・ユーザとシステムの認識の相違の解消
- ・簡単な使用方法

をコンセプトに基本的なサービス要求を簡単に行うための、操作情報の入出力インタフェースの構築を行った。システム構成図をFig. 2に示す。主な構成要素として、サービスを行うロボット、サービス要求を行うための入力デバイス (姿勢センサを搭載したPDA)、システム側の応答をユーザに示すスポットライト、空間内に配置したセンサ、コンテキスト情報とサービスの関連付け、管理、ロボットへ動作の命令を送るPCからなる。

ユーザは人にもものを頼む時の指差しや家電リモコンと同じ要領でサービス対象または要求場所に向けてサービス要求を開始する。その時のサービス要求が入力された場所を、空間内の超音波センサや無線などを用いて取得し、またPDA搭載された地磁気、加速度センサなどによりの方角、姿勢を取得する。取得したこれらの情報を管理するPCに送り、ユーザが示している対象を推定しスポットライトで示す。

場所の特定が完了したら、PCは場所ユーザや時間、履歴に関連付けられた、サービスや操作対象の候補を検索し、結果をPDAに送る。ユーザは候補の中から選択しサービス要求を完了する。PCは一連のサービス要求情報 (場所、対象、サービス) を、ロボットの実際に動作情報へ落とし込み、ロボットへ動作命令を送信する。ユーザは、場所の指定、サービス・操作対象の選択という一定の操作手順により、サービス要求を行う。

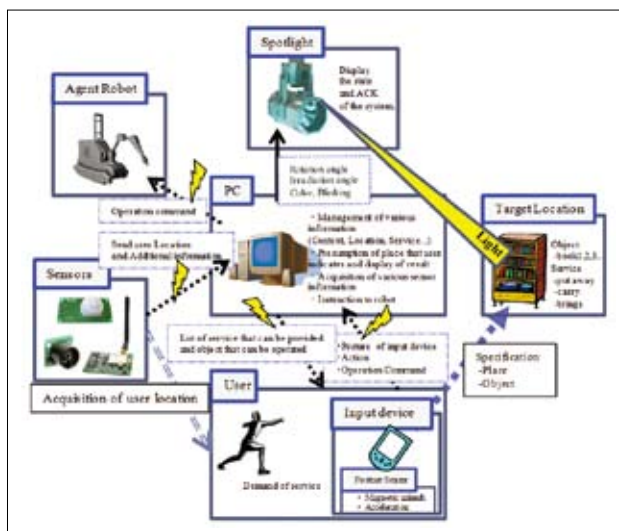


Fig.2 システム構成

人間共存ロボットTWENDY-ONEによる生活作業支援に関する研究



菅野 重樹

早稲田大学大学院 創造理工学研究科 総合機械工学専攻 教授

超高齢社会に入り、生活や就労のいろいろな場面でロボットによる支援が期待されている。しかし、現状のロボット開発研究では、エンタテインメントの用途や2足歩行技術に注目が集まりやすく、人間と共存して人間を支援できる人間共存ロボットの機能や形態に関する研究例は多くはない。この背景には、人間共存に必要な「安全・安心」、「巧みさ」といった基本機能の実現が技術的に難しいことが指摘できる。そこで、人が日常生活を営む環境において、人と円滑にコミュニケーションを図りつつ、人に適切な生活支援を提供するロボットの実現を目指し、我々は人間共存ロボットTWENDY-ONEを開発した。TWENDY-ONEの特徴の1つとして身体各部に搭載した機械的な受動柔軟性が挙げられる。この受動柔軟性による誤差吸収機能、なじみ機能を用いて生活環境に内在する様々な誤差や外乱・複雑さを吸収しつつ作業を遂行すると共に、人間との触れ合い時には高い応答性と適応能力を発揮することが可能となる。また手関節部を中心に搭載された豊富な触知覚センサにより対象物特性を知覚すると共に適応的な動作を生成することができる。これらの技術を活かし、対象物把持・操作等の巧みさが求められる家事支援、高出力性・人間への適応性・操作性が求められる介助支援の実現を目指している。

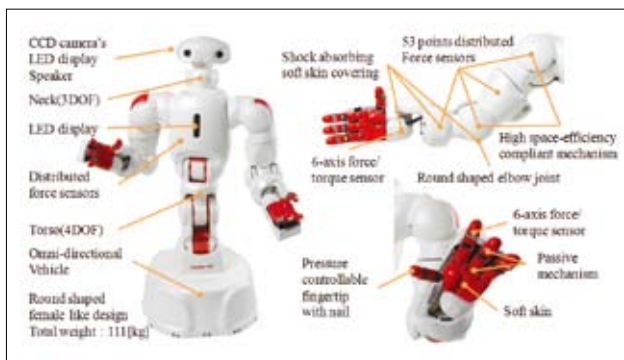


図1 TWENDY-ONEのメカ設計

本年度は特にTWENDY-ONEのメカ設計の特徴を生かした手腕協調戦略の構築を目指した。環境から拘束を受ける対象物を操作するタスクの1例として扉の開閉タスクを取り上げ、研究を進めた。従来研究においては作業中の把持部と対象物の関係は相対的な変位が生じない完全拘束の状態を前提とし、把持部を除く部位で位置・姿勢誤差に伴う外力に対して適応運動を生成する手法が大勢を占める。この方法は把持に伴い生じる内力に対する考慮がされておらず、対象物と把持部双方に過負荷を及ぼす危険性が潜在していた。そこで本研究ではTWENDY-ONEの特徴を生かし、把持部である多指ハンドでは各指独立のアクティブコンプライアンス制御を、腕部では身体の有する受動柔軟性に期待し既定の軌道に追従する軌道制御を

導入することにより、把持内力と位置・姿勢誤差に伴う外力双方に適用可能な運動制御構成(図2)を案出した。実機TWENDY-ONEによる実際に家庭で使用される冷蔵庫の扉を開閉する実験においてその有効性を確認している。

一方で環境に直接接触する作業の1例として、高齢者や家具の清拭作業についても研究を進めた。本タスクにおいては複雑な対象物形状つまり湾曲した対象物面と表面の凹凸に対応し、エンドエフェクタ全体の接触を維持しつつ適切な接触圧力を対象に及ぼす必要がある。従来のロボット-対象間を点接触で考える手法ではこの機能要求を満たすことはできない。そこで本研究では手関節部に搭載された豊富な触知覚センサ情報を統合し利用する手腕協調制御(図3)を案出した。実機TWENDY-ONEによる曲率が異なる複数の面を有する構造物を対象とした実験において機能要求を満たすことができることを確認した。

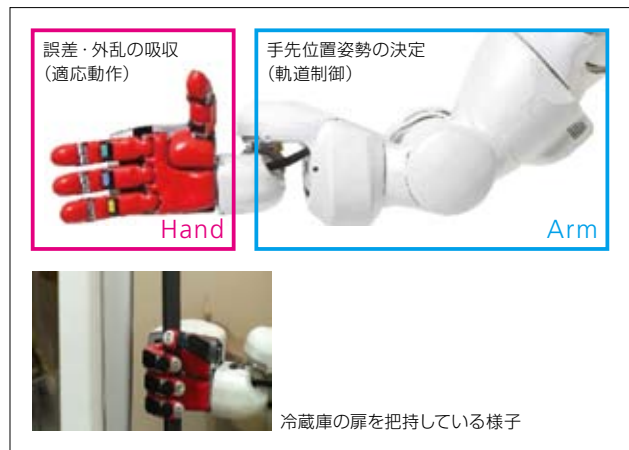


図2 扉開閉における手腕協調戦略

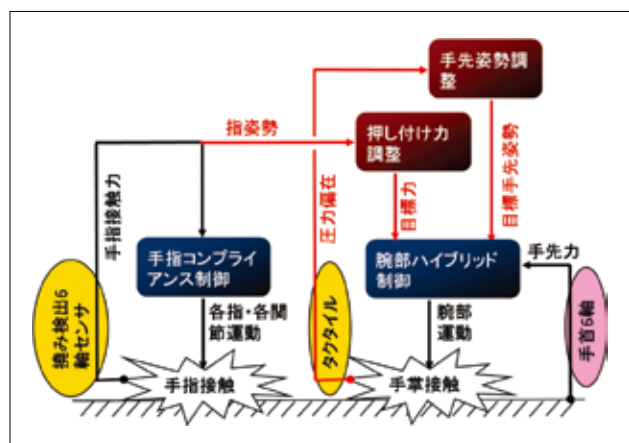


図3 清拭作業における手腕協調制御

近年、人間とロボットとの共存に関する技術のひとつとして、ユーザとロボットとの間の相互作用（インタラクション）に関する技術が注目を浴びている。本研究では、ユーザによるロボットのカスタマイズに着目し、カスタマイズにおけるユーザの価値観とロボット自身の持つ価値観に基づいた「主張」とのインタラクションについて研究を行っている。本研究では作業仮説として、ロボットがユーザからのカスタマイズを受諾するのみでなく、時には拒否することでWEARの価値観をユーザに主張し、インタラクションを活性化しながらユーザとロボットとの間の関係性の調整・改善に繋がるとし、研究用プラットフォームロボットとして、形態のカスタマイズおよび主張が可能なロボットWEAR (Waseda Extendable ARchitecture) の開発を行っている。WEARは底面の一辺が約280[mm]の八角柱型であり、高さ850[mm]、重さはおよそ100[kg]である (Fig. 1)。



図1 WEAR (Waseda Extendable ARchitecture)

このロボットは底部の全方向移動台車により、全方向への並進移動および旋回が可能であり、側面に合計32箇所(4箇所×8列)の「モジュールポート」を装備している (Fig.2)。モジュールポートにはWEARをカスタマイズするためのすべてのモジュールを装着することが出来、内部には本体搭載のメイン・コンピュータとモジュール内の制御用マイコン間の通信、および電源供給のためのコネクタの他、モジュール保持用の電磁ラッチ、サーボモータによるモジュール排出機構、ユーザ側からの排出要求用プッシュ・スイッチ、スイッチ内部のLEDで構成されている。これにより、ユーザによる自由度の高いカスタマイズと、それに対するロボット自身の価値観の主張、具体的にはユーザが装着したモジュールの排出や、ユーザからの排出要求の拒否が可能となった。

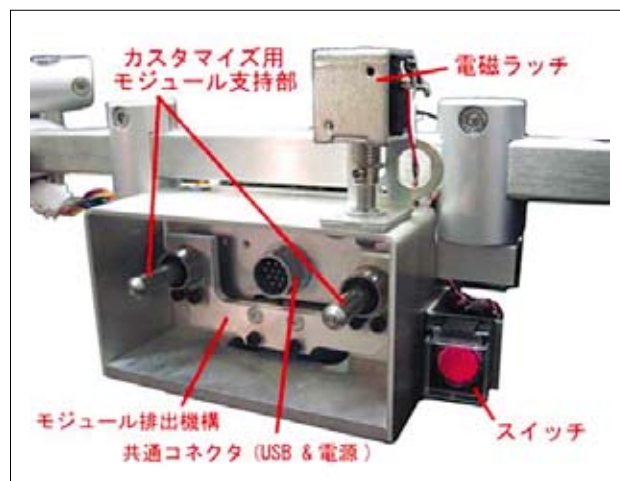


図2 モジュールポート

2008年度までに、このロボットのモジュールの排出およびユーザ側からの排出要求に対する拒否、すなわち「主張行動」がユーザに及ぼす心理的効果を調査した。具体的には、主張行動の頻度(主張頻度)を3つの条件(0[%]、30[%]、60[%])に変えて被験者と、広く障害物のない部屋で、特に目的を設定しない自由なインタラクション実験を行った。ロボットは設定された主張頻度で被験者のカスタマイズに対する主張行動、すなわちカスタマイズ用モジュールの排出および被験者からの排出要求の拒否を行った。実験後のアンケート分析の結果から、主張頻度が高いほどユーザとの友好度を表す親和性が下がったものの、ロボットに対する生物的な印象を高めることに成功した。これにより、インタラクションの最中に主張頻度を変化させることにより、ユーザのロボットへの印象を調整することができるが示唆された。

今後は、何らかの方法でユーザの状態を推定し、上述の主張頻度を調整することで、タスクの効率化やユーザのモチベーションの誘発、およびロボットに対する印象の改善を目指す。WEARを用いた研究によって、自律性の高いロボットと人間との情動的な関係性(すなわち愛着や嫌悪など)の創出や調整が可能になり、自律ロボットに対する新たな価値観の創出が期待できると考えられる。

自律移動ロボットのためのポジショニング技術



菅野 重樹

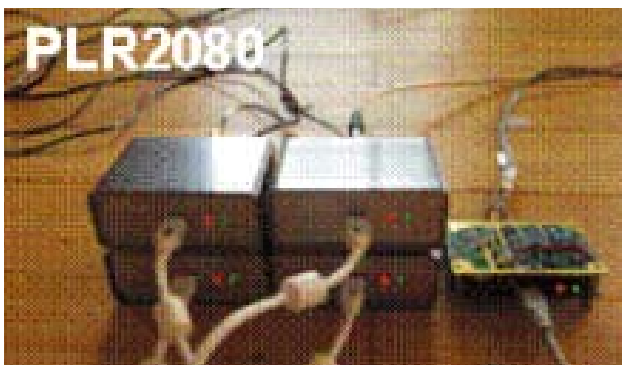
早稲田大学大学院 創造理工学研究科 総合機械工学専攻 教授

●屋内のポジショニング技術について

屋内を中心とした移動ロボットの自律化に最も重要となる課題は測位系の確立と言って差し支えない。この分野で使用されるセンサには、カメラやRFIDタグなどがある。中でもRFIDタグは備付が容易にできることに加え安定した精度を保証するため、実用化が一番近いと言える。タグは局所的な使用において圧倒的なパフォーマンスを示すが、広範囲計測や立体的位置把握に対しては不向きである。これらを補完するものとして、電波航法によって3次元測位が可能な屋内GPSが有用である。我々の研究では、事業化への使用を想定したタグシステムの高精度化と屋内GPSの基礎的開発に取り組んでいる。

①屋内GPS

WABOT-HOUSE研究所では移動ロボットの高精度測位に向けた屋内GPSの実用化を目指し、同棟実験室にスードライトとGPSリピータを設置し、測位系としてのインフラを構築した。独自に開発した受信機と測位演算アルゴリズムを用いて、同実験室でロボットの移動追尾(移動量計算)に成功した。また屋内と屋外の両方の測位を同時に行う受信機を開発し、簡易なシームレス測位を実現した。我々は次なる課題として、実用的なシームレス測位手法と高精度の屋内絶対測位手法の確立に取り組んでいる。



②RFIDによるロボットの姿勢同定

標準化を視野に入れた相互運用性の高い位置同定システムを構築するためには、より汎用性のあるポジショニングインフラをデザインする必要がある。本研究所のモデルルームでは、床下に格子状に配置されたRFIDタグの環境を、将来実現され得る情報インフラの一つのプロトタイプとして整備している。タグを床面に配置し、ロボット底面にリーダを装着する構成をとることで、種々の障害物が間に介在するケースを極力考慮に入れずに済む。また、タグをマットユニットのようなものに付着させて利用することで、持ち運びは容易となり、同じ測位環境を様々な空間でインスタントに実現することが可能となる(インフラの再現性)。このようなRFIDの利点を生かして、我々はタグの並べられた床面上におけるロボットの高精度な姿勢同定(二次元測位)をすすめており、現時点で、パーティクルフィルタを用いた手法により回転動作で約2~3cmの高い予測精度を得ている。

③ホームサーバを中心としたサービスシステム

個々のロボットが信頼できる位置情報を取得できた場合、それらを相互的に参照する情報システムが有用である。このシステムによって、相互の屋内空間における位置情報をgoogle Mapを参照するような形で取得可能となり、目的地までの経路計画や、障害物に対する回避運動などが、必ずしもローカルセンサを用いずとも実行することが可能となる。我々は、簡易的な通信インフラを整備し位置検索システムのうちで、ロボットが目的地までに障害物に衝突することなく移動を行う環境を既に構築している。今後は、より多くの家具(椅子・テレビ等)にロボット技術を搭載し、位置検索システムを活用した、人間にとって有効なアプリケーションの可能性を提示していく。



1. 建設機械への期待

近年、高出力・高作業範囲・高耐久性の特徴をもつ油圧マニピュレータを有する建設機械において、資源再利用のための分別解体作業や災害現場での救助・復旧作業など、より高度で複雑な作業への適用が期待されている。これらの作業実現には、双腕建機などの自由度の増加や目的に応じた油圧システムの開発などのハードウェア改良と同時に、機械側が自律的に作業内容や外界の状況を判断し、操作者の認知や操作の補助を提供する智能化インタフェースの開発が不可欠になると考えられる。そこで、本研究では、現行で最も複雑な機械システムを有する双腕建機を対象とした智能化インタフェースに関する研究を行っている。

2. 基底作業状態を用いた作業状態識別

大重量・大慣性などの建設機械の機械特性や複雑性・多様性を有する作業環境を考慮すると、誤識別の確率および誤識別時の安全に対するリスクが極めて高くなるため、確実性やロバスト性を持つ状態識別手法が要求されることがわかる。これに対し、本研究では、作業機と操作者および環境との相互作用の有無をパラメータとした基底作業状態 (primitive static states: PSS) を定義している[1]。PSSは、操作者の操作入力とマニピュレータ関節負荷の有無を状態量として相互作用の様式を記号化したものであり、環境の多様性や操作者により異なる操作スキルに依存しない特徴量を用いている。PSSを用いた作業状態識別により、作業状態に応じた操作者支援に有用であることが示されている[2]。また、PSSを用いることで、作業機の動作状況や操作者の操作スキルを定量的に把握することが可能で、環境や操作者に非依存な特徴量を用いているため、分析結果の比較や分析が容易にできるようになった。さらに、これらの分析結果を操作者のアドバイス情報として技能訓練時に提供すると、技能の習熟度が大きく向上し、結果として操作者の作業パフォーマンスが向上していることが示された[1]。

3. 双腕建機シミュレータの開発

一方、提案した智能化インタフェースの有用性を検証するため、双腕建機シミュレータを開発した(図)。建設機械特有の特徴(操作ゲイン、油圧遅れ、振動、音など)の再現に加え、環境との相互作用を前提とした建機作業において不可欠となる接触判定機能や慣性力、接着力、摩擦力などの実装を行った。本シミュレータを用いて操作技能訓練を行うことで、操作者のパフォーマンスが向上することも示唆されている[3]。

4. 実システムでの実証実験

上記のシミュレータは、基本的な物理挙動や操作インタフェース

は再現されているが、モデル化が難しい複数制御弁の動特性、スプール弁の内部漏れ、油圧シリンダの振動などに関しては再現しきれていない。今後は、上述の実機特性を含めた智能化インタフェース技術を再検討するための実システムでの実証実験を行う予定である。

[1] Mitsuhiro Kamezaki, Hiroyasu Iwata, Shigeki Sugano, "Design of Primitive Static States for Intelligent Operated-Work Machines", 2009 IEEE International Conference on Robotics and Automation (accepted).

[2] 亀崎允啓, 岩田浩康, 菅野重樹, "操作型作業機械の智能化に関する研究~第4報: 基底作業状態を用いた操作者支援システムの開発~, 第9回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, pp.405-406, Dec. 2008

[3] Mitsuhiro Kamezaki, Hiroyasu Iwata, Shigeki Sugano, "Development of an Operation Skill-Training Simulator for Double-Front Work Machine -Training Effect for House Demolition Work-", Journal of Robotics and Mechatronics, vol.20, no.4, pp.602-609, Sept. 2008

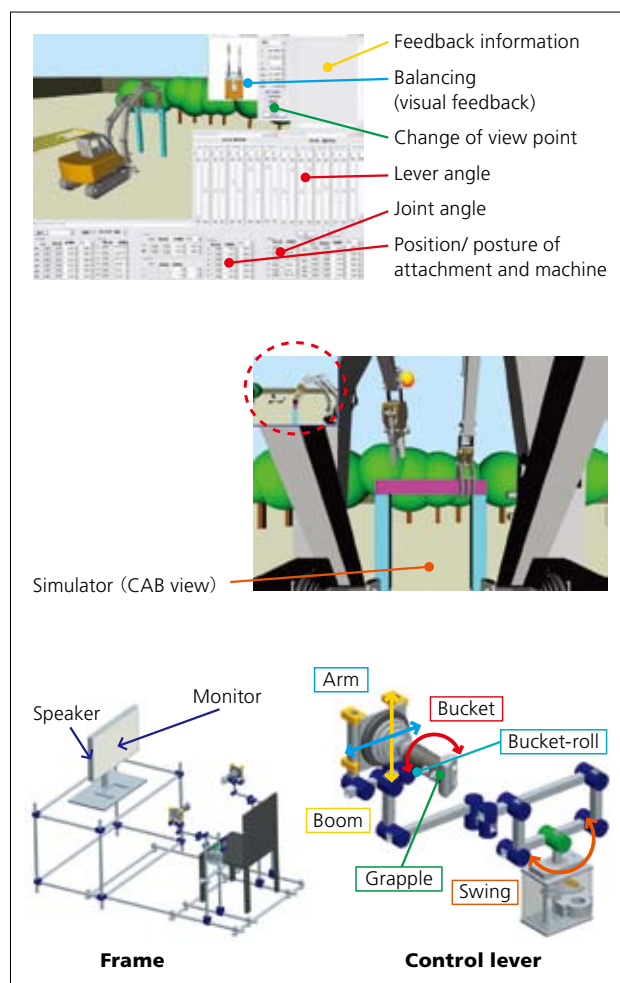


Figure. Graphical display and experimental setup of the developed simulator.

「固体高分子形燃料電池内における熱・物質輸送現象の評価技術開発」および「新エネルギー（省エネルギー）技術開発」



勝田 正文

早稲田大学大学院 環境・エネルギー研究科 環境・エネルギー専攻 教授

環境・エネルギーグループ(大聖、草鹿、中垣、勝田)は、2004年度から2007年3月まで実施した「グリーン水素プロジェクト(略称)」の後継として、「PEFC内部の熱・物質輸送現象(略称)」を本年度スタートさせた。

本プロジェクトの最終目標はFCVの本格普及期における実用化目標である低コスト、小型高密度化を達成するためイノベーション技術を創出することにあるが、その前段において「低湿・高温・高電流密度運転」を実現するための技術シーズの創出を目標にしている。

中でもいわゆる固体高分子膜における熱・物質輸送は複雑で、最新の計測手法(例えばMRIなど)をもってしても、極めて難しく、上記運転実現のための指針が得られているとは、言い難い。そこで本プロジェクトでは、既存の信頼性の高い計測法をできるだけ使用することで、PEFC内の熱・物質輸送とそれに伴う分極現象の評価/解析技術を開発し、「低加湿・高温・高電流密度運転時」における分極増大メカニズムを解明し、同運転(分極低減)を実現するための技術指針を得ることを目的とする。

具体的には、

①発電性能と極間水輸送特性の評価

極間水輸送の評価手法を確立し、同現象が発電性能(分極)に及ぼす影響を明らかにする。

②電解質膜の水輸送特性の評価

- 1) 電解質膜の透湿特性を計測し、内部拡散特性と界面伝達特性との定量解析を行う。
- 2) 電解質膜内水の水拡散特性を、電解質膜内に白金線を挿入したMEAを用いて評価する。
- 3) 電解質膜の電気浸透係数に対して水素ポンプ平衡法を確立、適用して評価する。

③MEA・セパレータの熱輸送特性の評価

定常熱流法によりMEAの熱抵抗(各部材の熱抵抗、隣接部材間の接触抵抗)を評価する。

④MEA内の温度分布の計測

MEA内温度分布(リブ部/流路部の分布を含む)の計測手法を確立し、解析に適用する。

⑤リブ部/流路部の電流密度分布の計測

導電性微細線を用いてリブ部/流路部の電流密度分布計測法を確

立し、解析に適用する。

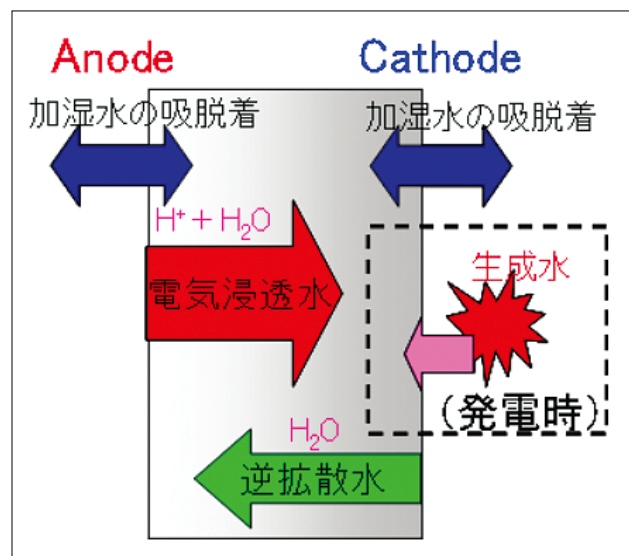
⑥数値モデル計算と実験結果との比較解析

2-1～2-5の実験結果と数値モデル計算との比較検討を行い、低加湿・高温・高電流密度運転時における分極増大のメカニズムとその支配因子を明らかにする。

本研究の波及効果は計り知れないものがあり、ロボットの新しいパワーソースとしてのPEFC早期適用にも資することができると考えている。

他に新エネルギー研究では、

- (1) IT冷却用ループヒートパイプの開発
- (2) マイクロヒートパイプ作動液へのナノ流体の適用
- (3) 熱音響機器の開発・熱駆動型MH利用冷凍機のイチゴ栽培への応用
- (4) 新冷媒(HFO)の冷凍サイクルシミュレーション等を展開している。いずれも、ロボティクスに多用されるITの冷却に貢献できるものとする。



MEAの水輸送特性

超高齢社会のためのユニバーサルモビリティに関する研究



永田 勝也

早稲田大学大学院 環境・エネルギー研究科 環境・エネルギー専攻 教授

“成長コンセプト”を取り入れた車いすシステムの開発

近年、社会的バリア・フリーの視点から、高齢者やハンディキャップを持つ人々の活動範囲を広げることや社会生活面での安全性の向上も早急に対応すべき問題となっている。本研究はこのような問題を受けて、次世代モビリティ機器としての車いすの開発を目指し、車体性能の向上や車体の成長性、安全安心な運用システムの開発をインターマとした研究を行っている。また、使用環境のユニバーサルデザインについても現状の把握を行い、改善案を提案することによりユニバーサルモビリティとしての確立を目指している。

1) 試作機の製作と試験走行結果

ユーザーとの共創のもとで試作機を設計・製作し、次のような結果を得た。

- ①車体の形状・寸法に関するユーザーアンケートを設計に反映させた。
- ②軽量化を図ることにより直進時の転がり抵抗を軽減し、水素消費量の削減・1充填移動距離の向上等によるユーザー利便性を向上させた。
- ③トレッド・ホイールベースを短縮させ、旋回時の省電力化を実現した。

2) デザイン改善とその評価

車いすのデザインの違いによるイメージの評価を、学生22名を対象とし、アンケート調査を実施した。現行の試作機よりまるみと先進性を加えたデザインの評価が高い。

また、ユーザーの要望に応え、“成長コンセプト”を取り入れた設計を実施し、製作に反映させた。

3) 運行管理システムの概要と検証

以下のような性能の運行管理システムを開発し、その性能を検証した。

- ①電源の電圧や水素残量、位置情報などの車両情報を取得するシステムを搭載する。
- ②車いすからはPHS送信機により管理サーバーにデータを送信する。
- ③管理サーバーではデータ解析を行い、ユーザーの状態把握し、これをユーザーならびに家族等へ配信する。

4) ユニバーサルデザインに関する現状の把握と提案

大学構内と通学路のユニバーサルデザインの現状を把握し、モビリティ側と建物・道路側の2方向から改善策の検討を行った。





杉本 旭

早稲田大学 理工学術院総合研究所 客員教授 (長岡技術科学大学大学院 技術経営研究科 システム安全専攻 教授)

1. 安全の設計原則 (ISO12100) による本質安全

人間と共存するロボットに、人間との接触回避を求めても無駄である。設計原則ISO12100は、機械の本質安全の優先性を主張する。本質安全と言える機械的出力は、力150N以下、速度250mm/s以下だとされ、また、ロボット・マニピュレーティング規格ISO10218によると、提案の段階だが、動力80W以下のロボットにはガードが不要だとされる。誤って、人間に出力されるエネルギーを恐れるあまり、玩具のような小型のロボットを作って、危険な仕事は人間にさせ、自分は安全で楽な仕事しかやらないというのでは誰が欲しがるといえるのか。そうではなく、人間に役立つロボットのエネルギーはそれなりに大きく、しかも、そのエネルギーは、人間の安全を積極的に確保しようとする制御のためにむしろ不可欠なのである。

例えば、通常の歩行を人間は危険だとは思わない。習熟した歩行は、躓きに対する対応はすでに反射的であり、たとえ転んで怪我をしても、それを特別な事故とは思わない。このように、人間との共存を許す本質安全の条件とは、人間の通常的能力に委ねる条件であり、ロボットとの通常の関係、そこには、自然で巧みな危険回避、たとえ失敗して受けた傷害も無理なく処理できる限界が管理されている。その条件を制御によって確保しつつサービスを提供するロボットが歓迎されているのであり、上記のISO10218の本質安全設計の最優先性の主張に応えるものである。

2. サービスロボットのユーザーの責任

さて、介助を求めるユーザーの要求に応えうるロボットが、果たして150Nの力や80Wのモータで可能だろうか。例えば、入浴介助のロボットの実現は無理だろう。著者の経験では、人の身体を持ち上げるには350Wのモータでも難しかったからである。入浴の介助は、本質安全の条件を超えており、それを求める患者に、350Wを超えるモータによって生ずるリスクを受け入れるか否かの判断が委ねられる。

ところで、ロボットの仕事に応じて必要なモータの動力だが、大きな動力が危険なのは、故障やミスでこの動力が人間に出力される可能性があるからである。したがって、本質安全条件を超える場合、大きな動力ほど高い信頼性が求められる。しかし、どんなに努力しても故障は防げない。第一、機械は必ずいつかは寿命が来るのである。寿命による最期の故障であっても、これが致命的な被害となれば、それまでの実績も台無しである。そのことが予め知らされていたら始めからその提供を拒否したはずだ。

本質安全の限界を超える入浴介助をロボットに委ねるといえることは、使用者が350Wを超えるモータ (危険源) によるリスクを受け入れることである。リスクとは「被害の大きさ」と「発生確率」の積で表わされるが、故障 (寿命) は必ず経験されると考えると、リスクを

受け入れるということは、事故の被害そのものを受容するということである。制御の失敗による被害が少なくとも受容の限界を超えないと提供者が保証することが、リスク受容の判断の基準となる。このように、本質安全を超える条件で提供されるベネフィットには、使用者の責任で、リスク (被害) の受容を判断する必要がある。リスクの受容が、発生確率に依らず、最悪の事態さえも「受容」の条件を満たすべきとするのが、著者が主張するサービスロボット特有の免責条件である。ロボットのサービスが、大きな被害を出して強制終了させられるようでは、もともと人間との共存の資格はない。最悪でも、少なくとも被害が「受容」の限界を超えてはならない。被害に対する免責を事前に約束するのは、使用者がその保証を信用するからである。このように、使用者の責任の下で、リスクを伴うケアをロボットに委ねるといえる関係は、「信用」に基づいて財産の運用を委託する信託 (trust) の構造に類似する。

3. サービスロボットのユーザーによる保険制度

どんな保険も、偶然の事故accidentが条件である。「安全」の信託Trustに基づくケアロボットの保険は、相互補助の保険が適している。この保険を掛けるのはロボットのユーザーである。すでに述べたように、ユーザーは、本質安全の条件を超えて有効なケアを求めるがゆえに、被害の限界を受け入れてケアロボットに免責を約束する。ユーザーは、自ら受ける被害に対する救済の責任が自らにあるという共通の立場に立つ。保険を用いて相互の救済を図るといえるのは、特に、ロボットに弱者のケアを委ねる福祉社会にとって好ましい解決法ではないだろうか。事故の相互救済なら、自動車の傷害保険の前例があるが、自動車事故の被害はあまりに大きい。サービスロボットの場合は、取り返しがつかない被害の条件で、保険による相互の救済が可能なのであって、事故であっても、その被害が「受容」を逸脱しない保証が、サービスロボットの人間との共存の絶対的条件だと思われる。

Waseda-SSSA-KIST Summer School 2008 (WSK2008) “Fundamental of Biorobotics”

日時： 2008年9月1日～6日

会場： Centro Studi "Santa Maria Maddalena" Volterra, Italy

参加者数： 85名（招待講演者20名・学生65名）（外国籍者54名）

URL： <http://www.robocasa.net/workshop/2008/index.php?lang=en&page=home>

内容： 早稲田大学、イタリアScuola Superiore Sant'Anna、韓国KISTを中心とした合同サマースクール。各国7大学・1企業から計20名の講演者を招聘し、レクチャーを行った。また、参加者らによるポスター発表、ワークグループディスカッションを行った。

報告： 本GCOEにおける欧州・アジアの戦略的協定機関であるイタリアSSSA・韓国CIRと合同でサマースクールを開催した。サマースクールでは“Fundamentals of Biorobotics”をテーマとし、各国7大学・1企業から招聘した計20名による講演を行った。また、参加者らによるポスター発表、ワークグループディスカッションを行った。これらのアクティビティを通じ、参加者らは社会基盤となるべきRT (Robot Technology) について、互いに活発なディスカッションおよび技術交換を行った。本サマースクールは、本GCOEにおいて次のように寄与した：

- (1) 拠点形成： 本GCOEが「世界の研究者・技術者が集う世界的RT研究拠点」となるべく、RT分野における国際的共同研究および人材交流（若手派遣・人材募集・招聘）の連携を、欧州・アジアの有力研究者らとはかった。
- (2) 教育： 欧州・アジアにおける一線の指導的研究者および若手研究者と交流することにより、本GCOEにおける「『突破力』のある若手研究者の育成」に寄与した。また、若手研究者らが将来に海外研究拠点・海外企業に就職することへの波及効果が見込まれる。
- (3) 研究： RTの基盤についてディスカッションおよび技術交換を通じて、RTの明示的体系化を試み、本GCOEが実施する「『M-Robotics』の構築」へ寄与した。



プログラム

August 31, Sunday

- 12:00 - 15:00 The lab is open
- 15:00 - 17:00 Lab Tour@Pontedera
- 17:00 - 17:30 Welcome Cocktail
- 17:30 - 19:00 Transfer to Volterra

September 1, Monday

- 08:00 - 08:30 Student Poster display (until Friday)
- 08:30 - 09:00 Opening and Work Group assignment M. G. Fujie - Waseda University
M. Kim - KIST P. Dario - Scuola Superiore Sant'Anna
- 09:00 - 10:00 Waseda Global COE 'Global Robot Academia' M. G. Fujie - Waseda University
- 10:00 - 11:00 Biomimetic Robots: the case of the Sant'Anna Robotics Zoo P. Dario - Scuola Superiore Sant'Anna
- 11:00 - 11:30 Break, Q&A, Poster
- 11:30 - 12:30 Intelligence architecture for the kitchen service robot CIROS M. Kim - KIST
- 12:30 - 12:40 Group Photo
- 12:40 - 14:00 Luncheon @ Hotel Nazionale
- 14:00 - 15:00 Frontiers of robotics for reahabilitation and personal assistance M. C. Carrozza - Scuola Superiore Sant'Anna
- 15:00 - 16:00 How to make robot design better and more creative? H. Yamakawa - Waseda University
- 16:00 - 16:30 Break, Q&A, Poster
- 16:30 - 17:30 Challenges in robotics: perspective from an IC company N. Abbate - STMicroelectronics
- 17:30 - 19:30 Working Group: Discussion
- 20:00 - 23:00 Working Group: Discussion@dinner

September 2, Tuesday

- 09:00 - 10:00 Brain mechanisms for locomotion and navigation A. Berthoz - College de France
- 10:00 - 11:00 Robot control by human brain T. Yoshimine - Osaka University
- 11:00 - 11:30 Break, Q&A, Poster
- 11:30 - 12:30 Introduction of Real Integration among Engineering, Science and Medicine: Introduction of New Research Joint Institute--TWIns M. Umezu - Waseda University
- 12:30 - 14:00 Luncheon @ Hotel Nazionale
- 15:00 - 16:30 Tour to Vinci Village
- 16:30 - 19:00 Special guided tour @ Museum (in 2 groups)
- 19:30 - 21:30 Dinner at Vinci
- 22:00 - 23:30 Bus transfer to Volterra

September 3, Wednesday

- 09:00 - 10:00 Humanoid Robotics and Its Applications A. Takanishi - Waseda University
- 10:00 - 11:00 Cybernics: fusion of human, machine and information systems Y. Sankai - University of Tsukuba
- 11:00 - 11:30 Break, Q&A, Poster
- 11:30 - 12:30 Micro and Nano Robotics towards medical applications A. Menciassi - Scuola Superiore Sant'Anna
- 12:30 - 12:40 Group Photo
- 12:40 - 14:00 Luncheon @ Hotel Nazionale
- 11:30 - 12:30 Biorobotics as imitation of Biology: active vision in humans and robots C. Laschi - Scuola Superiore Sant'Anna
- 15:00 - 16:00 Legal issues on robots as artificial intelligences M. Yanaga - University of Tsukuba
- 16:00 - 16:30 Break, Q&A, Poster

16:30 - 17:30 Morpho-functional machine and its applications in robotics Y. Lee - KIST
 17:30 - 19:30 Working Group: Discussion
 20:00 - 23:00 Working Group: Discussion@dinner

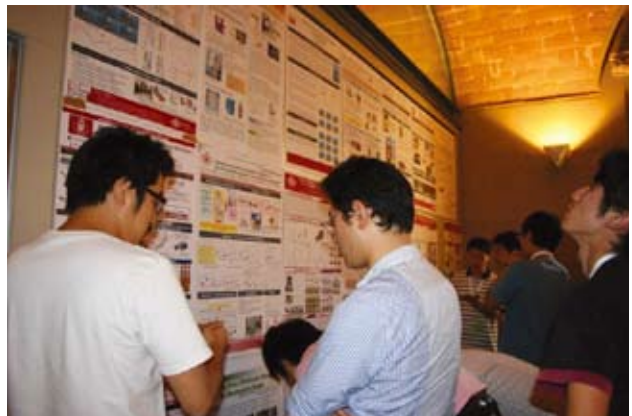
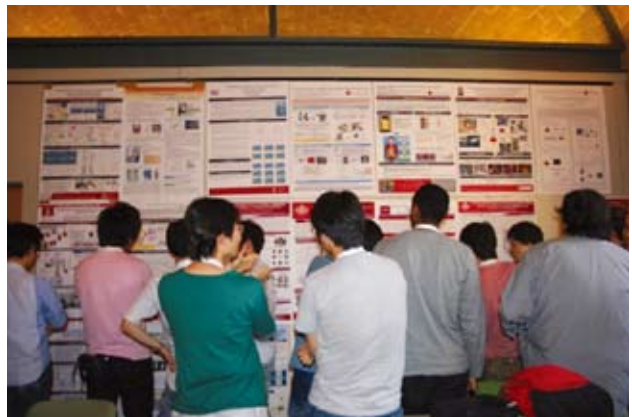
September 4, Thursday

09:00 - 10:00 Olfactory mucosa autografts in human spinal cord injury and rehabilitation
 K. Iwatsuki - Osaka University
 10:00 - 11:00 Intelligence and Mechanical Hardware S. Sugano - Waseda University
 11:00 - 11:30 Break, Q&A, Poster
 14:00 - 15:00 Design Criteria for Rehabilitation Robots E. Guglielmelli - University Campus Biomedico
 12:30 - 14:00 Luncheon @ Hotel Nazionale
 14:00 - 15:00 Lecture S. Hashimoto - Waseda University
 15:00 - 16:00 Standardization for Accessible Society - Study of Human Sensory Characteristics
 H. Fujimoto - Waseda University
 16:00 - 16:30 Break, Q&A, Poster
 16:30 - 17:30 Physical safety of service robot manipulators J. Choi - KIST
 17:30 - 18:30 Working Group: Poster Display
 18:30 - 19:30 Working Group: Discussion
 20:00 - 22:00 Farewell Dinner

September 5, Friday

09:00 - 11:00 Working Group: Students' presentations
 Group #1 - Automatic Driving System for Vehicles Accident Prevention (VAP)
 Group #2 - Development of Future BMI (Brain Machine Interface)
 Group #3 - Future approaches to neuro-rehabilitation
 Group #4 - Street surgeon
 Group #5 - Swallowable microrobot supporting a totally implanted artificial pancreas
 Group #6 - Surgical Robotics 2030: Towards a Better Patient Care
 Group #7 - From Rehabilitation Robotics To Microrobotics
 Group #8 - Service 2030: Our COMMON Future!
 Group #9 - AMICO-Pressure: Assistant medical MICrodevices for Optimizing the Blood Pressure
 Group #10 - Micro-surgery in 2030: Cyber-Bacteria Colony
 11:00 - 11:45 Break (Vote by professors)
 11:45 - 12:30 Award Ceremony
 12:30 - 13:00 Conclusions M. G. Fujie - Waseda University M. Kim - KIST P. Dario - Scuola Superiore Sant'Anna
 13:00 - 14:00 Free Time
 14:00 - 15:30 Bus Transfer to Pontedera (+lunch box)





Discussion



Group1



Group2



Group3



Group4



Group5



Group6



Group7



Group8



Group9



Group10



Winner (Group3)

【協賛】 RoManSy 2008

17th CISM-IFTToMM Symposium on Robot Design, Dynamics, and Control

日時： 2008年7月5日～ 9日
場所： 早稲田大学国際会議場（東京都新宿区）
主催団体： CISM IFTToMM

基調講演1（2008年7月6日）

題目： Toyota Partner Robots: Current Status
& Future Direction
講師： 高木宗谷（トヨタ自動車）



高木宗谷氏

基調講演2（2008年7月8日）

題目： Marc Raibert and the Big Dog Team
講師： Marc Raibert (Boston Dynamics, USA)

基調講演3（2008年7月9日）

題目： Humanoid Robots in Germany: Towards Humanoids
Learning Senso-Motor Skills and Task Knowledge
from Active Observation of Human Demonstration
講師： Rüdiger Dillmann (University of Karlsruhe, Germany)



Prof. Rüdiger Dillmann

「グローバル・ロボット・アカデミア」第1回先進技術セミナー

Rüdiger Dillmann (University of Karlsruhe, Professor) 講演会

日時： 2008年7月9日 13:55 - 14:40
場所： 早稲田大学国際会議場井深大記念ホール
タイトル： Humanoid Robots in Germany: Towards Humanoids Learning Senso-Motor Skills and Task Knowledge from Active Observation of Human Demonstration
講演者： Rüdiger Dillmann (University of Karlsruhe, Professor)
内容： 早稲田大学グローバル・ロボット・アカデミアの海外連携機関の1つであるカールスルーエ大学にて進められている生活支援ヒューマノイドロボットの開発について講演がなされた。



「グローバル・ロボット・アカデミア」第2回先進技術セミナー Paolo Dario氏 (Professor, Scuola Superiore Sant'Anna (SSSA), Italy) 講演会

日時： 2008年12月3日(水) 16:00-17:30
場所： 早稲田大学 55号館S棟2階 第3会議室
タイトル： Lessons learned and research directions on surgical robots
講演者： Paolo Dario氏 (Professor, Scuola Superiore Sant'Anna (SSSA), Italy)
内容： 1980年代から外科手術に導入されてきたロボット技術の歴史とその成果についてご紹介頂き、それらを踏まえた上で、今後の外科手術ロボットに対する新たな提案や展望についてご講演頂いた。



Giuseppe Carbone氏 (イタリア カッシーノ大学准教授) 講演会

日時： 2008年11月19日(水) 13:00 ~ 14:30
場所： 早稲田大学 50号館 (TWIns) 2階共有会議室
タイトル： Design and Operation of Multibody Robotic Systems with Low-cost and Easy-operation Features: Experiences at LARM
講演者： Giuseppe Carbone (University of Cassino, associate professor)
内容： Carbone准教授が所属するLARM (Laboratory of Robotics and Mechatronics) でのロボット研究の取り組みに対しご講演頂いた。
共同実験： Carbone氏には講演会の他、11月16日～21日に渡り本学高西研究室にて共同実験に加わっていただいた。

Carbone博士はこれまでに多関節ロボットの剛性評価装置を開発されている。今回、その装置を用いて、高西研究室で開発した人間搭乗型2足歩行ロボットの脚機構の剛性について共同で評価実験を行った。その結果から今後、歩行中の脚のたわみを補償可能な歩行安定化制御の開発が期待される。



WABOT-HOUSE研究公開・成果報告会

日時： 2008年12月11日 13:00 ~ 16:30
主催： 早稲田大学 WABOT-HOUSE研究所
場所： 岐阜県テクノプラザ4階 プラザホール

成果報告会

13:00 - 13:10 開会式、来賓挨拶

13:10 - 14:10 基調講演：『イノベーション創出』に向けた"人材・組織・プロセス"
次世代ロボットの事業化のために

講演者：橋本安弘様（財団法人 製造科学技術センター<MSTC>ロボット技術推進室 室長）

14:10 - 15:00 早稲田大学WABOT-HOUSE研究所成果発表

WABOT-HOUSE研究所 所長

菅野重樹（総合機械工学科 教授）



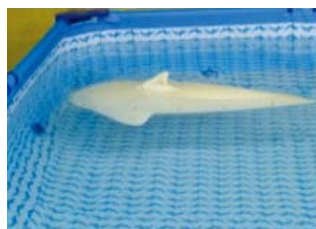
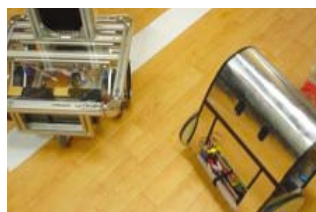
WABOT-HOUSE研究所 副所長
橋本周司（応用物理学科 教授）

15:00 - 15:30 質疑応答、指名討論



研究公開

日時： 2008年12月11日 15:40 - 16:30
会場： 岐阜県ロボットプラザ



第1回スキルアップセミナー

日時： 2008年7月23日 15:00～16:30
場所： 早稲田大学 喜久井町キャンパス 赤レンガ2階 ミーティングルーム
タイトル： 加工現場の生の声
—加工業者（特に切削加工）に発注する際の基本事項、注意点—
講師： 小野 芙未彦（株式会社 小野電機製作所 代表取締役）

講演内容・報告

内容： 実際の加工の現場から、ロボット設計上の基本事項、注意点について講演がなされた。特に、読図しやすい図面の書き方や規格品材料の上手な利用法、表面処理の上手な利用法について解説が行われた。

報告： ものを設計し発注する際、図面を書かなければならないが、図面の書き方一つでコストダウンや納期短縮、品質向上につながる場合がある。今回のセミナーは、実際にものを設計し発注するGCOEに参画している学生にとって、非常に有益なものであった。

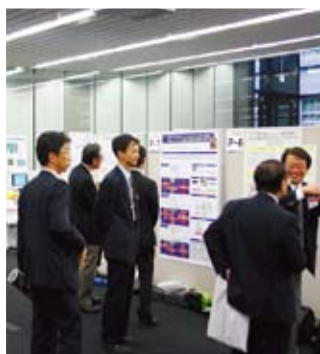


[協賛] 第19回日本咀嚼学会学術大会 ～咀嚼学と先端工学の融合によるイノベーション創出に向けて～

日時：2008年9月26日～28日
主催：日本咀嚼学会
場所：早稲田大学大久保キャンパス63号館201・202室

【概要】

日本咀嚼学会は、歯科から食品工学、ロボティクスまで幅広い領域の研究者が参加する非常にユニークな学会である。拠点サブリーダーである高西淳夫教授が第19回大会大会長を拝命したことに伴い、第19回大会はグローバル・ロボット・アカデミアとの共催のもとで開催する運びとなった。この共催により、第19回大会は「咀嚼学と先端工学の融合によるイノベーション創出に向けて」とタイトルのもと、工学のエッセンスを多分に取り入れて開催することが可能となり、例年にも増して盛況に執り行われた。特に、昭和大学歯科矯正学教室の榎宏太郎教授による特別講演「歯科医学を変革するロボット工学と生体力学」は非常に好評であった。また、学会初の試みとして、ロボットの展示と実演、ロボット工作教室などを実施した。今後、日本咀嚼学会第19回大会をきっかけとして、咀嚼学とロボットの工学の融合が促進され、イノベーションが創出されることを期待している。



研究拠点の形成と海外連携

GCOEグローバルロボットアカデミアでは、新宿ラムダックスビル（東京都新宿区大久保2-4-12）に研究拠点を形成した。そこでは、動作解析室を整えており、人とロボットのコミュニケーションスクエア（COSMAR）などの研究も進めている。以下では、ラムダックスビルで展開されている研究テーマについて紹介する。

1階 人とロボットのコミュニケーションスクエア

COSMAR (Communication Square for Man and Robot) の設立

【現在の自立支援ロボット開発の問題点】

超高齢社会の現在、要介護者の自立を支援することにより要介護者の残存能力を活かしつつ介護者の負担を減らすためのロボットの開発が急務となっており、様々な研究機関が自立支援ロボットの研究開発に尽力している。藤江研究室でも、図1に示すような自立支援装置を開発している。しかしながら、理学療法士等の専門家による勘と経験でノウハウ的に要介護者に適した装置を選定しているのが現状である。要介護者の残存能力を定量化することにより、開発すべき機器の設計手法の確立や開発した機器のパラメータの最適化が実現され、これらは「自立支援ロボット開発における学理の構築」につながると考えられる。要介護者の残存能力の定量化のためには、個々において異なる多くの被験者からのデータを取得することにより、身体的特性やそのばらつきを測定し体系化する必要がある。

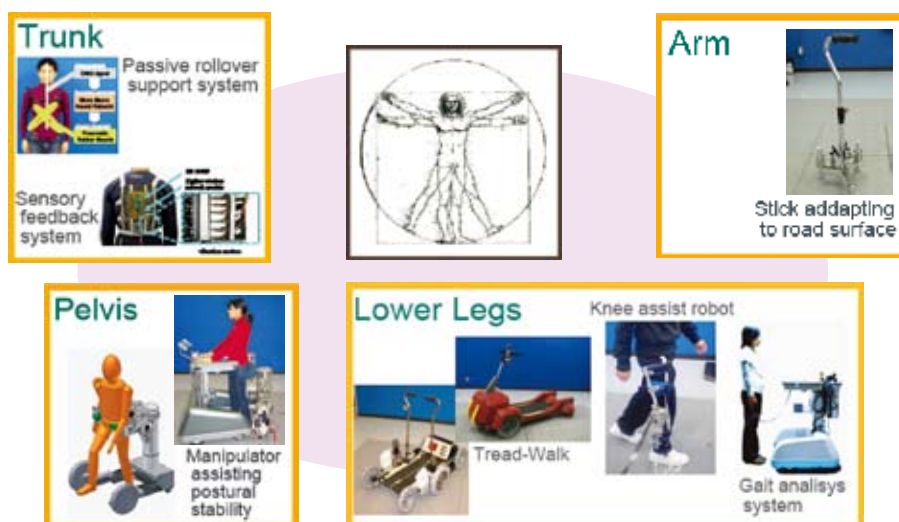


図1 自立支援装置

【「開発手法の体系化」を実現するための拠点設立】

そこで、研究室では『体系的ロボット学：M-Robotics (Methodical Robotics)』の構築を標榜する本GCOE拠点において、「自立支援ロボットの開発」における「開発手法の体系化」を実現するための拠点『人とロボットのコミュニケーションスクエア（COSMAR）』を設立する。本研究拠点では、新宿区にあるラムダックスビル1階のスペースを有効活用し、開発したロボットを多くの高齢者や障害者が実際に使用する場所を構築する。このことで、多くの被験者からのデータを取得することが可能となり、残存能力の定量化が実現される。さらに、多くの被験者が開発した機器を使用することが可能になるため、機器の評価・改良の迅速化や機器のフィッティング手法の確立が期待される（図2）。



図2 COSMAR

【自立支援ロボットをフィッティングする場へ】

本研究拠点は、「自立支援ロボットの開発」における「開発手法の体系化」に焦点を絞り設立するが、その後の展開として、社会・生活分野のロボット開発に適用されることを目指す。そのため、本GCOE助手会での成果報告を行い、運用方法について提案を募る形式をとる。助手会での提案を本GCOE運営委員会にて承認することで施設を運用する。また、運用メンバーをGCOEグローバルロボットアカデミア内だけではなく、専門家（理学療法士等）や福祉機器メーカーも加えることで、将来的には有料で要介護者が自分の能力に適した自立支援ロボットをフィッティングできる場へと展開させる（図3）。

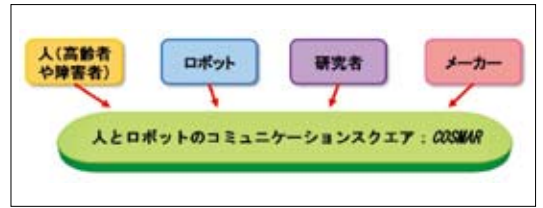


図3 COSMAR展望

- 9階 ①知能ロボティクス・シミュレーションセンター(藤江・山川・宮下)
 CIROS: Center for Intelligent Robotics and Simulation
 ②ソフト・ロボティクス(高西研)
 ③GPS・RFID(菅野研・橋本研)

①CIROSでは、ロボットを用いた研究に応用可能な数値シミュレーションを実現することを目的として、「実践的な物理モデル構築」と「その活用方法に関する研究」を統合的に実施可能な施設を提供する。また、具体的なアプリケーションとして、「患者個人に適合する臓器モデリング手法」および「臓器モデルを規範とした手術支援ロボットの動作決定・最適化手法」の開発を目指す。

これらの目的を達成するためには、(1)対象臓器の物理モデルの構築、(2)正確な動作が可能な手術支援ロボットの開発、(3)臓器の物理モデルを規範とした手術支援ロボットの動作決定手法の開発、の各項目に関するコア技術を確立すると共に、それらの統合的な研究が必要である。本プロジェクトでは、構造解析学(宮下)、医療福祉工学(藤江)、最適設計工学(山川)を専門としている研究室が共同して研究を実施し、アプリケーションの開発を行う。同時に、その方法論をロボット工学の学理としてまとめる。

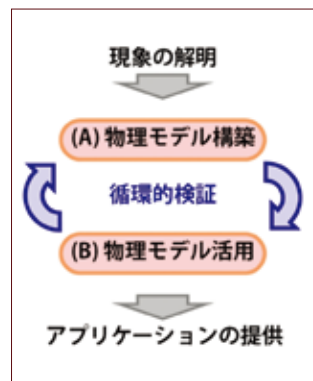


図4 本プロジェクトの枠組み

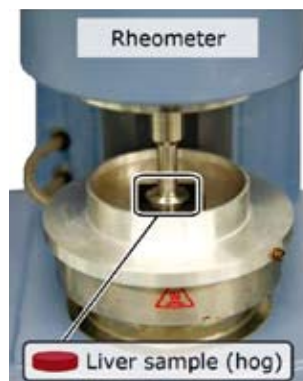


図5 粘弾性試験機による臓器性質の解明

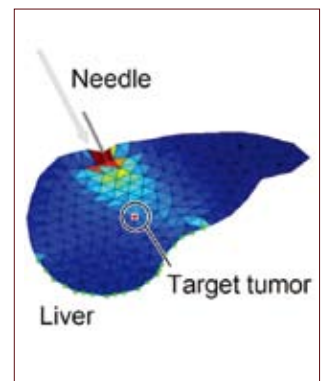


図6 臓器モデルを用いた手術計画



図7 人間形発話ロボット WT-7R



図8 自走式内視鏡ロボット

また、②ソフト・ロボティクス(高西研)では、近年開発された軟素材(セプトン)に関して、その特性を検査するとともに、人間形ロボットや医療ロボットシステムに導入することで、これまで剛体が基本であったロボット開発に新しい手法を提案することを目指す。軟素材のロボットシステムへの導入例として、人間の口腔内機能の動作を再現することができる人間形発話ロボット(図7)と、人間の大腸の形状に沿って走行可能な自走式内視鏡ロボット(図8)の開発を行っている。

研究拠点の形成と海外連携

人間形発話ロボットは、発声器官(声帯・舌・口唇など)のモデルを人間の形状に準じて軟素材で構築し、同様の動作をさせることにより、人間と同様の発声を実現することを目的としており、これまでに、多様な母音や子音の生成を実現した。また、自走式内視鏡ロボットは、軟素材フィンの螺旋形状のねじ方向が逆になっている2つのユニットを前後に結合し、互いに逆方向に回転することで推進する。ブタ大腸を用いて走行実験を行ったところ、直線部での走行に成功した。なお、セプトンの成形は、3次元加工機等を用いて型を作成し、その型に加熱され液体化した樹脂を流し込むことによって行う。

③GPS・RFIDグループ(菅野研・橋本研)では、環境側に測位インフラを整備することで、ロボット側の環境認識を軽減し、よりロバストな測位が可能なシステムの開発を目指している。具体的には、屋外において既にデファクトスタンダードとなっているGPSと等価の電波を発射する屋内GPS、および安価で敷設が容易なRFIDタグを使用し研究を行う。これまで、菅野研、橋本研において、屋内GPSおよびRFIDの研究をそれぞれ実施してきた(図9)。その結果、屋内GPSでは屋内においてcmオーダーのトラッキング(デッドレコニング)を、RFIDでは34cm間隔の格子状のタグ配置で90%以上の確度でのロボットナビゲーションを実現した。

そこで我々は、人材交流・技術交流を通し、お互いのノウハウを交換することで、より実用性の高いシステムの構築を目指すべく、ラムダックスビル9階にGPS・RFID研究拠点を整備した。本拠点で展開する研究としては、(1)RFIDタグによる位置姿勢推定の研究、(2)屋内GPSによる屋内絶対測位の研究、(3)屋内外シームレス測位の研究などが挙げられる。最終的にはこれら技術の統合、およびカメラ等のその他センサを組み合わせることで、よりロバストで実用的なポジショニング手法を確立する計画である。

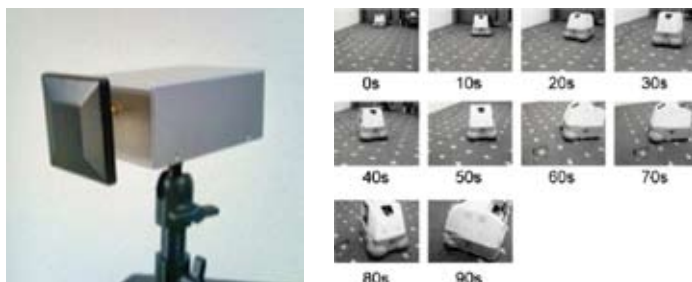


図9 左: 屋内GPS送信機
右: RFIDによるナビゲーション

12階 ①エモーショナル・ヒューマノイド・ロボット(高西研・小林研・SSSA)

②ロボットのための触覚デバイスのその応用に関する研究(橋本研)

①では、エモーショナル・ヒューマノイド・ロボットの開発およびこれを用いた人間とのインタラクション実験を反復的に行なうことによって、人間に適したパーソナル・ロボットに必要な機能要素や制御手法を解明・実現することを目的とする。

そのアプローチとして、2足歩行や情動表出および感覚入力に必要な機構を備えるハードウェア(図10)や、これらを統合的に制御し、人間とのインタラクションを実現するための音声認識や画像認識、処理モジュール間のネットワークングなどのソフトウェア、さらには人間とロボットのインタラクション実験において評価器となる人間の状態を定量的に計測するシステムを開発する。また、2003年度にイタリア聖アンナ大学院大学(SSSA)と共同で設立した国際連携研究所RoboCasaをラムダックスビルにも展開し、そこで本プロジェクトを進めることで海外連携の一層の充実を図る。

また、②ロボットのための触覚デバイスのその応用に関する研究は以下のような研究である。



図10 情動表出可能な2足ヒューマノイド・ロボット

【非言語インタラクションのための応用研究】

触覚はロボットが物体の把持や人間とのインタラクションを行う際、必要不可欠な感覚のひとつである。物体の局所的な形状は本質的に3箇所からの力学的情報によって計測できる。本研究では3つの圧力センサか

らなる簡易な触覚センサを開発し、産業用ロボットを用いて物体表面に対する垂線方向への制御、表面形状の検知、物体の角の検出、物体のエッジの検出などといった物体形状検知や追従制御を行っている。また、現在、溶接機械や人間と機械のインタラクションへの応用研究を行っている。図11、図12にシステム、及び、触覚デバイスの概観を示す。図11に示すようにセンサは産業用ロボット Movemaster(三菱電機)に実装され、6自由度を持つ。ロボット、及び、センサはPCにより制御され、LEDによるユーザへの機能フィードバック機構を持つ。図12に示すように3つの圧力センサはセンサの先に三角形上に配置されており、スポンジによって覆われている。圧力センサにはFlexi Force (ニッタ)を用いた。ロボットの制御はこれら3つの圧力センサの圧力の相対的な関係を見ることで行われている。応用例の一つとして球や直方体、円柱形などのさまざまな形状をした複数の物体を通したインタラクション実験の様子を示す。図13に示すように開発したシステムを利用することで物体を通した人間-機械のインタラクションを実現することができた。



図11 触覚デバイスとロボットの概観

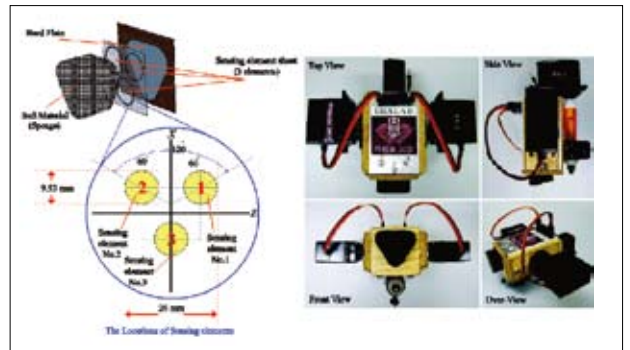


図12 触覚デバイスの構造と概観

【まとめ】

本研究では3つの圧力センサからなる触覚デバイスとその応用研究を行っている。現在、これらの研究を踏まえ、ヒューマノイド・ロボットの脚部に本センサを用いたバランス制御に関する研究を行っており、床の状況に合わせた柔軟な歩行を実現したいと考えている。

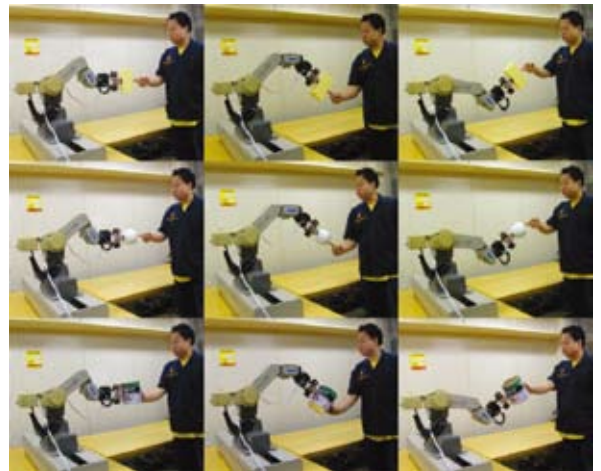


図13 物体を通した人間-機械インタラクション

【海外連携 InterACT】

Inter ACT (International Center for Advanced Communication Technologies)とは、早稲田大学、カールスルーエ大学(ドイツ)、カーネギーメロン大学(アメリカ)、香港科学技術大学の4大学協定であり、ロボット工学およびコンピューターサイエンス分野における研究および学生の国際的交流を目的としている。

グローバルロボットアカデミアは、早稲田大学における本協定の中心拠点として、今後活発な研究および学生の交流を通じ、世界規模の戦略的研究の推進および国際的に活躍できる人材育成に取り組んでいく。

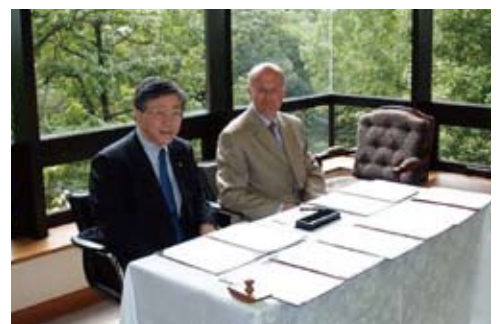


図14 2008年9月16日 早稲田大学は白井総長名にてInterACT協定書に署名した。

拠点メンバー名簿

藤江 正克	創造理工学研究科 総合機械工学専攻 教授 バイオリボティクス 生体モデルベースRT
高西 淳夫	創造理工学研究科 総合機械工学専攻 教授 ロボット工学 心身統合メカニズム
山川 宏	創造理工学研究科 総合機械工学専攻 教授 機械構造力学・設計工学 ロボット最適形態デザイン
梅津 光生	先進理工学研究科 生命理工学専攻 教授 医用機械工学 心身に調和する人工臓器
林 洋次	創造理工学研究科 総合機械工学専攻 教授 極限トライボロジー ロボットメカニズム
石山 敦士	先進理工学研究科 電気・情報生命専攻 教授 超伝熱応用・生体磁気 ブレインマシンインタフェース
川田 宏之	基幹理工学研究科 機械科学専攻 教授 複合材料工学 ロボット用高機能複合材料
川本 広行	基幹理工学研究科 機械科学専攻 教授 精密工学 電磁粒体力学マイクロマシン
吉田 誠	創造理工学研究科 総合機械工学専攻 准教授 エネルギー材料工学 ロボット軽量化・高効率化
高信 英明	理工学術院総合研究所 客員准教授(工学院大学大学院 機械工学専攻 准教授) ロボット工学 バイオミメティックマシン
橋本 周司	先進理工学研究科 物理学及応用物理学専攻 教授 計測情報工学 人間機械調和
三輪 敬之	創造理工学研究科 総合機械工学専攻 教授 生命機械工学 共創コミュニケーション
藤本 浩志	人間科学研究科 人間科学専攻 教授 福祉工学 ヒューマンマシンインターフェース
水川 真	理工学術院総合研究所 客員教授(芝浦工業大学大学院 工学研究科 電気電子工学専攻 教授) ロボット工学 ヒューマンロボットインタラクション
宮下 朋之	創造理工学研究科 総合機械工学専攻 准教授 設計工学 ヒューマンボディモデリング
菅野 重樹	創造理工学研究科 総合機械工学専攻 教授 知能機械学 RTシステムインテグレーション
勝田 正文	環境・エネルギー研究科 環境・エネルギー専攻 教授 伝熱・新エネルギー工学 次世代ロボットエネルギー
永田 勝也	環境・エネルギー研究科 環境・エネルギー専攻 教授 環境システム工学 循環型社会と安全安心体系
大聖 泰弘	創造理工学研究科 総合機械工学専攻 教授 自動車工学 次世代ビークル・ハイブリッドシステム
山内 繁	人間科学研究科 人間科学専攻 特任教授 支援工学 ロボットエシックス・支援機器
草鹿 仁	創造理工学研究科 総合機械工学専攻 教授 熱流体工学 環境問題・燃料電池システム
杉本 旭	理工学術院総合研究所 客員教授(長岡技術科学大学大学院 技術経営研究科 システム安全専攻 教授) 安全工学 人と共生するロボットの安全安心
Paolo Dario	理工学術院総合研究所 客員教授(イタリア 聖アンナ大学院大学「SSSA」教授) ロボット工学 ニューラルロボティクス・MEMS
Munsang Kim	理工学術院総合研究所 客員教授(韓国 科学技術研究院「KIST」教授) ロボット工学 高齢者・障害者支援ロボティクス

文部科学省グローバルCOEプログラム拠点
グローバルロボットアカデミア 事務局

〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1

早稲田大学大久保キャンパス 55号館 S棟 1階 03室

Tel:03-5286-3481 E-Mail : RT-COE-WRI@list.waseda.jp

<http://www.rt-gcoe.waseda.ac.jp/>

