

戦略的創造研究推進事業 CREST
研究領域「先進的統合センシング技術」
研究課題「パラサイトヒューマンネットによる五感情
報通信と環境センシング・行動誘導」

研究終了報告書

研究期間 平成19年10月～平成25年3月

研究代表者：前田 太郎
(大阪大学大学院情報科学研究科，教授)

§ 1 研究実施の概要

(1) 実施概要

本研究はパラサイトヒューマンによる五感伝送技術という既存の技術とは全く異なるシーズ技術をベースとして人から人への遠隔スキル伝送や行動支援を介して、ICT 社会がもたらす通信・先進センシングによる情報によってエンドユーザーの行動を直観的・非言語的に直接的な支援サービスをもたらす手段を工学的に研究・開発することを目指したものである。研究の主軸となるパラサイトヒューマンによる五感伝送・環境計測・行動誘導の研究および次世代パラサイトヒューマンの装置開発および行動伝達応用への具現化については研究代表者らの阪大グループが担当した。五感伝送技術の効率化・高度化を実現するために、装着者への感覚刺激と行動応答の心理物理計測を中心に、定量的な数理モデルによる仮説と検証によって工学的な設計論化していくという基礎的研究方針を軸に、各種要素技術の開発・検証と、全体システムの評価・改善を進めた。各感覚要素の伝送技術については特に前庭感覚と触覚・力覚の再現精度と視覚による身体誘導技術において特筆すべき改善が得られた他、時分割視覚重畳による融合感現象など、工学的応用だけでなく心理物理学的知見においても多くの成果が得られた。

また全体システムとしてはパラサイトヒューマン技術を社会実装向けに整理した View Sharing System を中心とした熟練者の行動スキルの抽出と記録・伝達によって、即時的な遠隔行動支援となるスキル伝達効果、また体験の記録と再生による追体験学習がもたらすスキル獲得効果について、心理物理的な解析と人間工学的な実証を進めた。この結果、基礎研究的な検証においては中国ゴマやテルミン演奏の操作スキルの伝送、社会実装を睨んでは心肺蘇生法(CPR)の遠隔スキル伝達および同技能の獲得実習の e-learning 化の検証について同講習会を専門とする企業である MFA と協力して進め、その効果を実際の実技実習と同等のレベルまで高めることに成功した。この利用法については東工大グループによって動力学モデルに基づいて体格別の疑似目標値軌道による最適姿勢誘導手法の設計と公益財団法人東京防災救急協会救急事業本部の協力の元で講習効果の検証も進めた。さらには NTT グループによる携帯電話アプリによる誘導教示手法とその Android アプリを Web 公開するなど多角的な側面からの社会実装を図った。特に成功した社会実装としては、視覚の重畳提示による効果的なスキル獲得技術について京都大学附属病院消化管外科との協力による「腹腔鏡下術技スキルトレーサー“追いトレ”」を開発し、その学習効果については同病院において実際のインターン実習に利用され、従来手法の 1/7 程度の所要時間で同程度の手早さと、それ以上の正確性を学習獲得することが可能であることが検証された。また、これらの成果は関西医療機器開発・製造展において展示発表され、関連業界から多くの反響を得た。

さらに遠隔スキル伝達システムの応用として、産総研グループによって過酷環境作業のためのウェアラブル行動誘導システムの試作も行われ、配管バルブ操作などの検証実験が行われた。この成果は国際的な評価を受け、Netexplo 2012 Award を受賞している。また、基礎研究の側面からは、ウェアラブルな PH 技術を活用した運動誘導実験を通して得られた被験者の感覚運動応答データを元に、行動意図の時間分節性を仮定した定量的な数理モデルを構築することで、行動意図の予測モデルと、それを活用した行動誘導の最適設計手法を提案することが出来た。阪大グループでは、この分節性に基づく意識下運動応答の高い再現性を利用した「つもり制御」を提案し、多自由度ヒト型ロボット操縦において分節群からの 70%の推定率、脳波を用いた分節構造の推定などの成果を上げており、これらの応用として頭部運動の分節化による追従マーカ提示法の最適設計などの要素技術に還元されている。また玉川大グループからは歩行すれ違い時の誘導応答の分析から歩行の分節性と歩行位相中の誘導最適タイミングについて再現性の高いデータが得られており、この分節性の知見は、産総研グループにおいて PH 技術を利用したデレイグジスタンスロボットの操縦方法への応用において、従来手法の課題であった操縦者の歩行動作入力へのロボット側の実時間応答不能問題を分節化対応によって、つもり制御手法を用いた分節化追従制御によって実現する手法へと応用展開されている。歩行誘導については個人だけでなく集団に対する誘導支援が社会的な安心安全には必要であり、社会心理学の観点からモデル化を行うことで群体の歩行誘導という形で研究を進めた。産総研グループのエージェントシミュレータに端を発し、現在は東工大グループの流体モデル型の歩行群誘導モデルの形で、計算機シミュレーションと実歩行者

群の挙動観察実験による比較と検証を進めた。

(2) 顕著な成果

1. 五感伝送技術の高度化によるスキルの抽出・記録・伝達とスキル獲得支援の実現

概要: 装着者の感覚・運動情報を計測・記録し他者に遠隔伝送する五感伝送技術を用いて、従来の言語化情報では伝えきれなかった熟練者の行動スキルを伝達して行動を直接的に支援し、その行動を追体験することでスキルを学習・獲得することを可能にする技術の実現。腹腔鏡下術技のトレーニングでは従来訓練の 1/7 の学習時間で同程度の手早さと、数倍の正確さでの習得が可能になった。

2. ヒトの知覚特性や行動意図の分節性を活用した行動支援応用

概要: ヒトの知覚特性や行動意図の時間分節化モデルを用いることで五感伝送において装着者の行動をより直観的に誘導することを可能とした。視覚の時分割重畳条件を整えることによって、他者と自己の上肢運動を「融合し拡張された一体の自己運動」と認識した状態で複雑な対応関係の追従運動を行うことが可能であることを発見しこれをスキル伝達に活用した。

3. 意識下活動を活用した歩行誘導の実現

概要: ヒトの歩行は随意動作でありながら、連続な周期動作としてその実行は意識下で行われている。五感伝送技術による行動誘導の応答から周期の切れ目となる位相を捉え、効果的な誘導手法を確立した。また群体としての挙動についてもその流体的な挙動特性を活用した誘導手法によって、意識上の明示的な指示を必要としない誘導手法を設計した。

§ 2. 研究構想

(1) 当初の研究構想

本研究では、ITC 社会がもたらす高度に情報化された通信ネットワーク環境を介した環境センシング情報を個々人の安心安全に活用するために、パラサイトヒューマンによる五感伝送技術という既存の技術とは全く異なるシーズ技術をベースとして人から人への遠隔通信によるスキル伝送や行動支援を実現することで、エンドユーザー自身を環境センサノードとして利用すると共に、その行動に対して直観的・非言語的に直接的な支援サービスをもたらす手段を工学的に研究・開発することを目指したものである。研究の主軸となるパラサイトヒューマンによる五感伝送・環境計測・行動誘導の研究および次世代パラサイトヒューマンの装置開発および行動伝達応用への具現化については研究代表者らの阪大グループが担当した。五感伝送技術の効率化・高度化を実現するために、装着者への感覚刺激と行動応答の心理物理計測を中心に、定量的な数値モデルによる仮説と検証によって工学的な設計論化していくという基礎的研究方針を軸に、各種要素技術の開発・検証と、全体システムの評価・改善を進めた。

また全体システムとしてはパラサイトヒューマン技術を社会実装向けに整理した View Sharing System を中心とした熟練者の行動スキルの抽出と記録・伝達によって、即時的な遠隔行動支援となるスキル伝達効果、また体験の記録と再生による追体験学習がもたらすスキル獲得効果について、心理物理的な解析と人間工学的な実証を進めた。この結果、基礎研究的な検証においては中国ゴマやテルミン演奏の操作スキルの伝送を、また、社会実装を睨み心肺蘇生法 (CPR) の遠隔スキル伝達および同技能の獲得実習の e-learning 化の検証について同講習会を専門とする企業である MFA と協力して進め、その効果を実際の実技実習と同等のレベルまで高めることに成功した。この利用法については東工大グループによって動力学的モデルに基づいて体格別の疑似目標値軌道による最適姿勢誘導手法の設計と公益財団法人東京防災救急協会救急事業本部の協力の元で講習効果の検証も進めた。さらには NTT グループによる携帯電話アプリによる誘導指示手法とその Android アプリを Web 公開するなど多角的な側面からの社会実装を図った。さらに遠隔スキル伝達システムの応用として、産総研グループによって過酷環境作業のためのウェアラブル行動誘導システムの試作も行われ、配管バルブ操作などの検証実験が行われた。この成果は国

際的な評価を受け、Netexplo 2012 Award を受賞している。

また、基礎研究の側面からは、ウェアラブルな PH 技術を活用した運動誘導実験を通して得られた被験者の感覚運動応答データを元に、行動意図の時間分節性を仮定した定量的な数理モデルを構築することで、行動意図の予測モデルと、それを活用した行動誘導の最適設計手法を提案することが出来た。阪大グループでは、この分節性に基づく意識下運動応答の高い再現性を利用した「つもり制御」を提案し、多自由度ヒト型ロボット操縦において分節群からの 70% の推定率、脳波を用いた分節構造の推定などの成果を上げており、これらの応用として頭部運動の分節化による追従マーカ提示法の最適設計などの要素技術に還元されている。また玉川大グループからは歩行すれ違い時の誘導応答の分析から歩行の分節性と歩行位相中の誘導最適タイミングについて再現性の高いデータが得られており、こうした歩行誘導技術については、個人の誘導支援だけではなく、群レベルでの安心安全の供給のために社会心理学の観点からモデル化を行うことで個体に対して群体の歩行誘導という形で研究を進めており、産総研グループのエージェントシミュレータに端を発し、現在は東工大グループの流体モデル型の歩行群誘導モデルの形で、計算機シミュレーションと実歩行者群の挙動観察実験による比較と検証を進めている。

(2) 新たに追加・修正など変更した研究構想

本研究では日々変遷し続けるネットワーク環境そのものを研究対象とはせず、現行のネットワーク環境を介したスキル伝送実験等は最小限の検証実験に留めた(同実験は産総研グループが担当)。ネットワーク化の際に生じる伝送遅れや同時性の喪失をどの程度まで許容可能であるかを時間的・空間的に定量的に測定すると共に、各感覚要素の伝送技術については特に前庭感覚刺激の多自由度化と、触覚・力覚の再現精度、視覚による身体誘導技術において特筆すべき改善が得られた。また、臨場感(reality)や一体感(ownership)、自在性(agency)に関する検証を精査していく過程において、時分割視覚重畳において「自己身体について自在性が一部破壊されているにもかかわらず一体感が維持されている状態」が成立する融合感現象を発見するなど、工学的応用だけでなく学術的な心理物理学的知見においても多くの成果が得られた。また、行動意図推定の時間分節化モデルは各種ロボット制御や歩行制御・誘導との相性が良く、計測された多くのヒトの行動意図の解析・同定に役立つだけでなく、脳波解析との対応関係によって脳機能の解明にも一役を担う成果が上がりつつある。また、歩行誘導・群誘導への制御アプローチも現在の自走ロボット制御との相性が良く、東工大グループによる牧羊犬ロボットによる流体モデル化された歩行者群制御の他、いくつかの付随的な成果が生じており、この牧羊犬ロボットの走行系の改良用要素技術として考案された阪大グループによるトロコイド曲線軌道走行機構の特許が国内外併せて 5 件出願されているのは当初の想定外の成果であった。

中間評価時に受けた指摘と助言の最たるものは「技術の独創性を活かしたシーズ的研究と、現実性の高い出口を目指した研究のバランス」であり、出口戦略に関しては「社会的ニーズを分析する人材の確保」と「出口戦略の選択と集中」が課題として指摘された。しかし、本技術の独創性が高すぎるために従来型の社会ニーズ分析と働きかけでは、事業者側・現場側の応用イメージが能動的な形で喚起出来ない事態である問題は容易に解決できなかった。幸いなことに同年度中にテレビ報道されたスキル伝送技術を見た京都大学医学部付属病院消化器外科から、同技術を腹腔鏡下術技トレーニングに応用したいというオファーを受けることになった。これはシーズ研究の社会実装において現場側のニーズと技術の利用イメージが能動的な形で明確である理想的な流れであり、スピード感をもった連携を実現することが出来た。これに対応して社会実装の出口対象を絞るべしという指摘についてもリソース活用の問題から必然的に選択と集中を進めることになった。

この視覚の重畳提示による効果的なスキル獲得技術については京都大学付属病院消化器外科との協力による「腹腔鏡下術技スキルトレーサ“追いトレ”」という形で結実し、その学習効果については同病院において実際のインターン実習に利用され、従来手法の 1/7 程度の所要時間で同程度の手早さと、それ以上の正確性を学習・獲得することが可能であることが検証された。また、これらの成果については 2012 年 10 月 3～5 日にインデックス大阪において行われた関西医療機器開発・製造展においてデモ展示を行った。3 日間の期間中に 600 名を超えるブース来場者があり、約 100 件の企業からコンタクトを求めるオファーがあった。最終的に具体的な製品化の打診が 9

件と関連業界から多くの反響を得た。このうち複数の企業と実用化への共同開発の助成応募を検討する段階まで話を進めている。

また研究全体の総括として、2013年2月28日にお台場の青海フロンティアビルにおいて本研究の最終成果報告会として、シンポジウム「パラサイトヒューマンネット テレイグジスタンスを超えて～身体的行動意図の抽出と伝達」を開催した。関係者および招待講演者による講演の後、パネルディスカッションではPH研究の成果を踏まえ、下記3軸に沿ってバーチャルリアリティ、発達、身体性、脳機能、バイオメカニクス、スキル獲得などの観点から議論した。

1) PHの主張

「五感伝送＋一人称没入」を使って「知覚－運動系の追従制御」をさせると「スキルの伝達と学習」を実現できる」

2) 「自律的に得るスキル」vs「模倣から得るスキル」

- ・「つもり」はヒトの随意行動にあるのか？
- ・ヒトは情報として「何を」「どんな精度で」「どんな単位で」捉えるのか？
- ・ヒトは何に「臨場感(リアリティ)」と「随意性」を感じるのか？

3) テレイグジスタンスを超えるために

- ・臨場感の高度化＝視覚／触覚＋力覚その他の精緻化によるのか？
- ・臨場感の拡張＝自己同一観や随意性の境界の拡大によるのか？
- ・ありうる応用とは？：医療(手術・教育…その他は？)

1) PHの主張の妥当性について議論が行われたところ、まずその完成度の観点からは「作業の手順に関しては間違いなく五感伝送＋一人称没入で十分な作業の学習ができる」といいよい、「ただし、五感と言いつつその他の感覚の効果については確認できていない」という問題点が提言され、運動と触力覚の伝達への検討として議論が展開した。これは「ダイナミックな動作のように、自分で動いてみないとわからない部分は、小脳の逆モデルなどの議論を深める必要がある」、「ダイナミックな動作の伝達を単なる力覚だけで完全に伝えるのは難しいが、加速度や力の入れ方(筋肉の使い方)という力覚まで伝われば伝達が可能になる可能性がある」、「触力覚テレイグの分野では、ナビゲーションしてあげるべきか、完全に他人としてやるべきか、完全に自分として動くべきなのかという点を明確にすることが重要である」、「学習の本質とはマスターとスレーブの融合感であったという気づきは、力触覚系にも応用すべき」、という議論から力触覚と相互補完可能な感覚によってそれらに等価的な情報の伝達という観点が論じられた。すなわち、「一人称での手本提示技術をもっと洗練させるべき」、「触覚は安心感を与えるためにも必要」、「触覚を眼である程度補うことはできるが、手術の時のような“このくらいなら大丈夫”という指標・危険信号が得られるという安心感にとっては、触覚が必要だと思う」、「ダビンチだとその場にいるような感覚になれる」、「五感の相互補完の機能に着目すべき」、「全ての感覚情報を全部コピーしてしまうと、不気味の谷のように体の違和感が沸き起こってくる可能性がある」、「今のテレイグが上手くいっているのはモダリティが限られているためだと思う」、「たくさんものをできるだけ多く伝達しようとするのではなく、何をどう提示したら学習にとって効率的かを考えるべき」、「何のため使うのか、何を残して何を崩せばよいのか、感覚の設計を行うためにも“臨場感”を還元して再定義すべき」、「クオリティが高ければ良い臨場感であるとは言えない。増やすより“上手く削る”方向へ進むべきだと思う。そもそもVRはエッセンスを探すという目的がある」、「目指しているタスクに応じて、冗長に提示したり、少なく提示したりすることで、受ける側の想像力を補足するという考え方もある」、「意図的に没入できる状況を作るなど、学習に対するスタンスの作り方を考える必要があるのかもしれない」、「単眼視覚＋聴覚情報のみで動かす産総研グループの簡易PHでは、触った感覚の必要性を感じたので、感覚を増やす方向も考える意義はある」など、マルチモーダルなモダリティを目的に合わせて再整理する必要性についての意見が多く得られた。

2)の「何を、どんな精度で、どんな単位で捉えるのか」についての議論が行われたところ、「触覚＝安心感という観点がある」、「タスクに関わる“必要な精度”に落ち込んでいく」、「見えないところ

で得られる手触りは視覚の代わりをしており、欠けた情報を代用する触覚は重要だと考える」、「作業において触覚が大事という話と、臨場感において触覚が大事という話とは目指すものが違うかもしれない」、「スキルを持っていない新人ほど触覚を使いたがり、エキスパートは視覚のみでもタスクを達成させる事実がある」、「触覚は差分情報として取出しやすく、学習というエラーフィードバックという面で有効であることも説明できるかもしれない」という『随意作業上の必要性和高臨場感生成の違い』に関してそれぞれの立場からの意見が得られた。これに関連して「臨場感(リアリティ)」と「随意性」の関係についての議論が展開し「行動計画の精度を上げるために、リアリティを使って精度の高い世界像を頭の中に作ると考えている」、「触覚があると見えないものに対するリアリティが増すことは、行動に確信が持てるという世界像の構築に関わる」、「思ったように動かさたり、運動計画が立つという“随意性”は、従来言われてきたリアリティとは少し異なるが、“動作ができる”ことがリアリティに直結する」という「随意性と臨場感の相似性と相違点」に関する各分野からの見識が示された。

3)PHを応用したトレイグジスタンスの今後の展開について議論を深めところ、「PHが提供できる感覚情報とは、プランして行動するという“タスク”のために得ると考えられるが、トレイグに必要な臨場感は何のために得られるべきかを考えるべき」、「作業のために注意を向ける先だけが臨場感を満たしている場合も、“臨場感”が成立していると考えてもよいのではないか」、「臨場感の成立を実現するためには、作業者が何にアテンションを向けているのか／向けたいか／(操作されて)向けるように仕向けられているかを検出できれば実現の可能性がある」、「手術などでは、～したい、～を切り取りたいという明確な目的が達成されれば、リアリティは十分であるということでしょうから、トレイグに求められるのはオペレータの意思を推定することかもしれない」、「臨場感・リアリティとは、“ユーザの確信を高める”ことによって“確信を持って行動させる”ことだと言えそう」、「感覚の特徴だけを残すことでも、確信持って作業するために一番必要な情報は手に入ると考えられる」、「トレイグという装置の話ではなく、むしろ人間の側の問題に向かっていくべき」、「トレイグを超えるために足りないものは、各要素を上手く組み合わせる方法かもしれない」、「PHや現行要素技術は、まだトレイグに至っていないということかもしれない」、「今現在に視・聴・触覚の最適な組み合わせがあるか疑問である」、「情報を“究極まで削る”ことでトレイグを超えられるかもしれない」という意見が得られた。最後にPHの応用について、「本研究を推進する上で、現存技術の方法は、目の前にニーズが来たときは大きく進展することを強く感じた」、「リアリティの議論も“応用”を設定し、“～なタスクがあるから～なリアリティを作るべき、そのために～が必要だ」という展開に持ち込む必要がある」といった多面的な観点からの多くの提言がなされ、本研究の今後の方向を占う上で価値ある見識を得ることの出来たシンポジウムとなった。

§ 3 研究実施体制

(1)「阪大」グループ

① 研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
前田 太郎	大阪大学	教授	H19.10～H25.3
安藤 英由樹	同上	准教授	H20.4～H25.3
飯塚 博幸	同上	助教	H20.10～H25.3
小濱 和貴	京都大学	講師	H23.10～H25.3
野々木 宏	国立循環器病研究センター(現 静岡県立総合病院 循環器内科)	内科心臓血管部門部長(現 静岡県立総合病院 院長代理)	H22.9～H25.3
田中 雄	同上	副臨床検査技師長	H22.9～H25.3
住田 善之	同上	心臓超音波主任	H22.9～H25.3
久保田 義則	同上	血管超音波主任	H22.9～H25.3
国見 保夫	玉川大学	准教授	H22.9～H25.3
近藤 大祐	大阪大学	博士研究員	H22.6～H25.3

米村 朋子	同上	同上	H20.4～H25.3
谷口 千秋	同上	技術補佐員	H23.5～H25.3
福田 千鶴	同上	同上	H20.3～H25.3
常 明	同上	博士課程学生	H23.10～H25.3
濱口 英典	同上	同上	H20.4～H25.3
青山 一真	同上	修士課程学生	H24.4～H25.3
熊倉 祥人	同上	同上	H23.4～H25.3
杉崎 有	同上	同上	H23.4～H25.3
砂川 未佳	同上	同上	H23.4～H25.3
服部 響	同上	同上	H23.4～H25.3
横坂 拓巳	同上	同上	H23.4～H25.3
北尾 太嗣	同上	学部生	H24.9～H25.3
橋本 悠希	同上	博士研究員	H22.4～H24.3
丹羽 真隆	同上	同上	H22.6～H24.3
黒崎 敬太郎	同上	修士課程学生	H22.4～H24.3
宮田 祐樹	同上	同上	H20.4～H24.3
奥野 伸吾	同上	学部生	H23.4～H24.3
橋口 怜花	同上	同上	H23.4～H24.3
寺屋 秀紀	同上	修士課程学生	H22.4～H23.9
江見 理絵	同上	技術補佐員	H19.10～H23.4
江見 麻記	同上	同上	H22.4～H23.3
東 健太郎	同上	学部生	H22.4～H23.3
岡田 慎矢	同上	修士課程学生	H20.4～H23.3
岡本 信	同上	同上	H20.4～H23.3
川崎 宏記	同上	同上	H20.4～H23.3
湯村 武士	同上	同上	H20.4～H23.3
坂口 翔太	同上	学部生	H22.4～H22.4
中村 和志	同上	博士研究員	H20.4～H22.3
津田 明憲	同上	修士課程学生	H19.10～H22.3
長江 依奈	同上	同上	H19.10～H22.3
野崎 智子	同上	同上	H19.10～H22.3
濱田 和孝	同上	同上	H21.4～H22.3
廣瀬 光彦	同上	同上	H19.10～H22.3
澤村 雄介	同上	同上	H21.5～H21.9
麻生 紘己	同上	同上	H19.10～H21.3
大野 哲史	同上	同上	H19.10～H21.3
加藤 翼	同上	同上	H19.10～H21.3

② 研究項目

- ・全体総括
- ・PHによる感覚伝送のための心理物理的要素実験
- ・社会システムへの適用のための研究調査

(2)「玉川大」グループ

① 研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
大森 隆司	玉川大学	教授	H19.10～H25.3

岡田 浩之	同上	同上	H19.10～H25.3
渡邊 紀文	同上	嘱託研究員	H20.4～H24.6
渡邊 紀文	東京工科大学	助教	H24.7～H25.3
森 文彦	玉川大学	嘱託研究員	H24.5～H25.3
高橋 英之	同上	同上	H20.4～H24.3
三門 裕明	同上	修士課程学生	H22.4～H24.3
荒岡 皓	同上	同上	H21.4～H23.3
内田 淳	同上	博士課程学生	H21.4～H23.3
大部 恵子	同上	修士課程学生	H21.4～H23.3
幸田 一隆	同上	同上	H21.4～H23.3
長田 悠吾	東京大学	博士課程学生	H19.10～H22.3
横山 絢美	玉川大学	同上	H19.10～H23.3
渡邊 創	電気通信大学	同上	H19.10～H21.3
戸田 航平	玉川大学	修士課程学生	H20.4～H21.3

② 研究項目

- ・スキル伝送技術・評価法確立のための行動分節化によるスキル伝達の効率化
- ・PH 装着者による複数人協調のための相互作用場面での行動決定モデル

(3)「東工大」グループ

① 研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
岡田 昌史	東京工業大学	准教授	H19.10～H25.3
山本 江	同上	産学官連携研究員	H21.7～H24.4
山本 江	名古屋大学	助教	H24.5～H25.3
小沢 淳	科学技術振興機構 日本科学未来館	科学コミュニケーター	H22.10～H25.3
宮寄 哲郎	東京工業大学	博士課程学生	H23.4～H25.3
シュミット・ニコラ	同上	同上	H23.4～H25.3
渡辺 将旭	同上	同上	H19.10～H24.3
大神 康寛	同上	修士課程学生	H24.4～H25.3
中上 英臣	同上	同上	H24.4～H25.3
萱島 駿	同上	同上	H24.4～H25.3
竹田 裕史	同上	同上	H24.4～H25.3
茂木 祐一	同上	同上	H23.9～H25.3
藤山 智史	同上	同上	H23.4～H24.3
安藤 輝尚	同上	同上	H22.4～H24.3
本間 良幸	同上	同上	H20.4～H22.3
池田 大輔	同上	同上	H19.10～H21.3

② 研究項目

- ・行動の分節化にもとづく意図推定・行動誘導のモデル構築
- ・個体行動の要素化モデル構築と群のマクロ動的挙動および制御

(4)「産総研」グループ

① 研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
----	----	----	------

大山 英明	産業技術総合研究所	主任研究員	H19.10～H25.3
野田 五十樹	同上	同上	H19.10～H25.3
城間 直司	茨城大学	准教授	H20.4～H25.3
篠田 孝祐	産業技術総合研究所	特別研究員	H20.1～H23.3
丹羽 真隆	同上	特別研究員	H24.4～H24.6
能條 由香	同上	テクニカルスタッフ	H24.6～H24.10

② 研究項目

- ・パラサイトヒューマン装着者の行動モデル獲得ならびにパラサイトヒューマン装着者による人の誘導に関する研究

(5)「NTT」グループ

① 研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
雨宮 智浩	日本電信電話株式会社 コミュニケーション科学基礎研究所	研究主任	H19.10～H25.3
戸嶋 巖樹	同上	研究員	H19.10～H21.9
安藤 英由樹	同上	RS	H19.10～H20.3

② 研究項目

- ・CPR 教育コースのための PH デバイス、伝送技術開発および評価
- ・CPR 教育コースカリキュラムの開発

§ 4 研究実施内容及び成果

4. 1 パラサイトヒューマンによる五感伝送・環境計測・行動誘導の研究および次世代パラサイトヒューマンの装置開発および行動伝達応用への具現化(阪大グループ)

(1)研究実施内容及び成果

- ・PH個体間における五感伝送協調動作による体験共有の確立(線表2-1)および、パラサイトヒューマン対応型ハードウェアの開発(線表2-3).

従来のスキル伝承の指導方法においては意識上で言語化しにくい行動上のスキルは漠然とした「見て学べ」という指示しかできず、その伝達の効率は高いものではなかった。この問題を改善するための手法として、阪大では全体の研究のプラットフォームとなる五感伝送型パラサイトヒューマンの設計・試作を進めるとともに、感覚伝送の各要素技術を複合させることによって得られる効果について定量的に評価するための実験環境を構築した。各種感覚提示技術を用いて複数の被験者間の感覚伝送実験、および協調作業実験を行うことで個対個のスキル伝送効果を検証した。特に図阪大-1, 2のような視点共役型ビデオシースルーHMDを介した一人称視野の共有によって自己の身体イメージへのオーナーシップ共有を生じさせることで二者間の動作誘導とスキル伝達を試みた。この視点共有を実現させるためには二者間で頭部運動の協調動作を行う必要が生じる。本研究では図阪大-3のように相手の頭部姿勢を表すマーカを現実世界の映像に重畳させ、マーカの追従によって頭部運動を同期させるように提示系を設計した。この頭部運動の追従過程として、眼球運動が跳躍運動と追従運動があることになって2つの段階、すなわち視点共有前の頭部位置キャッチアップ過程(図阪大-3左)と視点共有後の頭部速度追従による視覚フローの安定化過程(図阪大-3右)を設定してマーカおよび視野提示の切り替えの設計を提案実行した。これに加えて4極GVS(前庭電気刺激)を用い、運動情報を補強することによってより安定した頭部姿勢の追従を可能にした。この視野共有環境をベースに各種感覚伝送要素の組み合わせによる感覚伝送実験環境の構築と、それを用いた協調作業実験による解析・評価を重点的に行った。共有視野内での協調作業支援提示手法の評価法として図阪大-4のような一人称視野を共有・合成した2者間での上肢協調作業実験を行った。追従特性を解析した結果、位置を合わせる協調作業には、自他

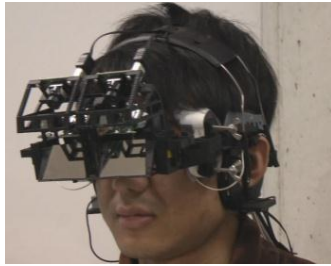


図 阪大-1 プロトタイプ PH(頭部)



装着性改良型 PH システム

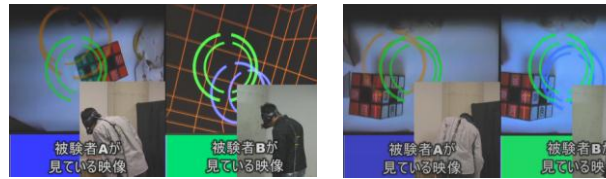


図 阪大-3 視点共有システム:視点共有前の頭部位置キャッチアップ過程(左), 視点共有後の頭部速度追従による視覚フローの安定化過程(右)

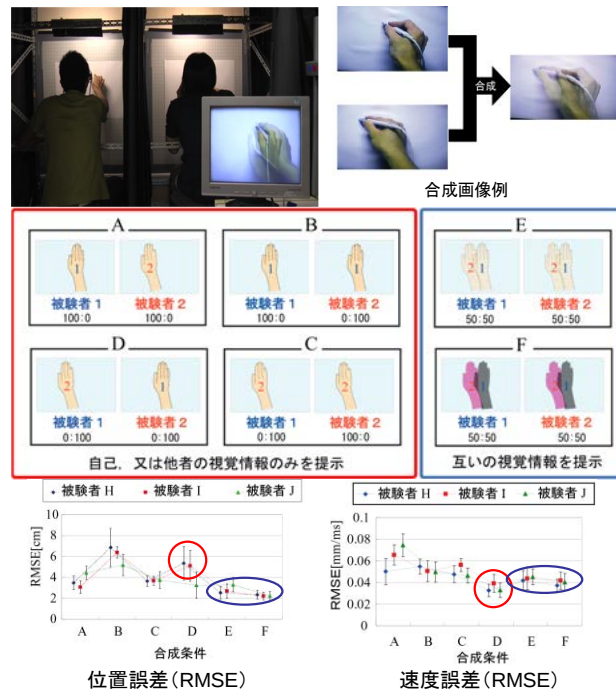


図 阪大-4 一人称視野を共有・合成した2者間での上肢協調作業実験:験風景と画像合成例(上), 合成条件(中), 協調作業実験結果(位置誤差(左下), 速度誤差(右下))

の区別が可能かつ互いの視覚情報を同時に提示する手法が効果的である一方で、速度を合わせる協調作業には、互いに相手のみの運動を提示する手法が効果的であることが判明した。この結果を適用することによって先述の視野共有のための頭部追従系における相互視点切り替えシステムの設計・実現に繋がった[阪-04][阪-17]。

またこれに付随して視野共有における時分割提示手法の提案と評価を行った。視野共有のための提示手法として、自他視野画像を同時に提示する「視野合成法」と、自他視野画像の一方のみを適宜切り替えて提示する「視野交換法」の効果を検討した結果、視野合成法を用いた場合の視野重畳提示において、小さな変位で複雑に重なっている指の追従を行う際の追従特性が悪化するケースが見られた。これは、多数の特徴点間の対応を取ろうとして、自分視野と他者視野への煩雑な注意の切り替えが、追従特性を悪化させていることが考えられる。そこで、自他映像間の注意遷移を抑制しつつ追従を妨げない新しい手法として、自他視野画像を高速に切り替えて提示する「視野時分割法」を提案した[阪-120]。この手法は、自分の手である自己同一感を残しつつ、他者の手との融合感を生起させる新しい錯覚現象を利用したものであり、追従誤差を明確に認識しない(できない)状態で追従が可能になることが期待された。実験では、従来の視野合成法、交換

法と、新提案の時分割法による視覚情報提示下で、指運動の追従課題を行わせた。その結果、時分割法による追従では、従来法に比べて位置追従誤差が小さくなることが分かった。また、この効果が得られる自他画像時分割提示の最適周期・画像比率の範囲で、二つの手の間に運動印象が生起し、一つの手として認識されることも分かった。また、注意の切り替えを要せず、行動の連続性や随意性を保つことができる「時分割法」が二者間の協調動作に効果的であることを確認した(図阪大-5)。

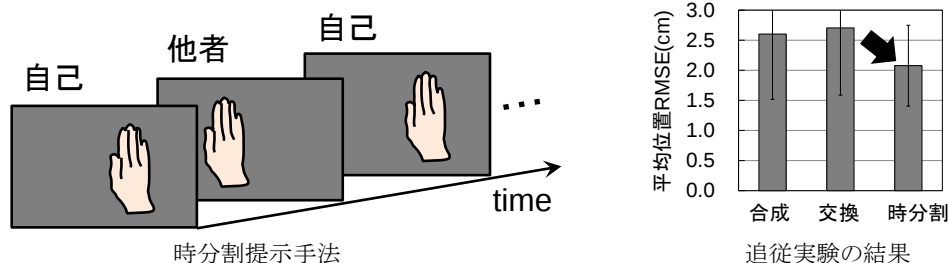


図 阪大-5 PH システムを用いた視野共有における時分割提示手法と実験結果

さらに、記録再生型の実装と実時間伝送型の実装について構成を整理し、感覚要素の複合効果だけでなく実作業対応での評価実験への導入に応じて要求特性に特化した改良を行った。特にHMDの安定的な固定と4極3自由度のGVS電極を備えた頭部装着装置、運動計測データの高速転送と実時間ビデオシースルーを実現するFPGA回路について開発を行った。また、各デバイスの詳細設計を決めるための各種基礎実験により五感伝送による体験共有システムの設計論を確立した。歩行移動の誘導・追従[阪-40]に始まり、協調作業時の頭部の運動追従については、4極3自由度GVSによる起立姿勢誘導や頭部運動追従の特性改善[阪-41]、同様に注視点の追従における眼球運動の特性改善[阪-18]、さらにオプティカルフローとして誘導刺激を提示する手法による頭部運動時の運動錯覚の発生条件と誘導効果を検証し[阪-96]、上肢動作の誘導・追従によるスキル伝達については、位置・速度成分に関する追従特性と視野合成条件の検証[阪-04]と作業種別による学習曲線の検証[阪-09]によって効果的な体験共有のための視野共有デバイスの設計論を確立した。またデバイスの開発に加えて、提示画像の安定化手法について新たな提案と評価を行った。PHにおいて、相手の映像空間内で見回しを行っている感覚を生起させるために、マーカ追従運動を行わせている。しかし、人間が行う追従には、必ず遅れや誤差が含まれる。ヒトは本来、自己運動と視野との厳密な一致によって、空間を認識するため、追従の誤差によってそれらが食い違くと、空間認識に様々な齟齬を引き起こし、没入や作業パフォーマンスを著しく落とす要因と成る。この問題を解決するために、人から人への行動伝達中の画像スタビライズ機能を設計・実装した。機能の構成を図 阪大-6に示す。この手法は、相手の視野移動による視界変化を補正し、かつ自己運動に合わせたフローをリアルタイムに疑似的に生成することによって、見回しの感覚を維持させることを可能とする。また、同時に双方への適用も可能である。

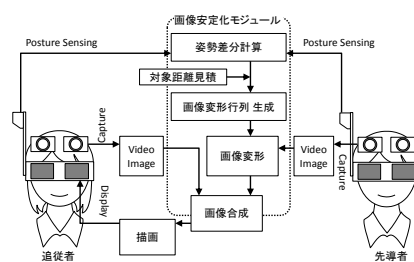


図 阪大-6 画像安定化構成図

空間認識の正確さを指標として画像安定化機能の実験と評価を行った。HMDで仮想空間を表示し、マーカ追従運動をCGでオブジェクトの描かれた仮想空間で再現し、その際の安定化の有無によるオブジェクト位置関係の認識の正確さを評価した。画像安定化機能によって空間認識が改善することが示された[阪-106]。頭部追従マーカの改良として視野共有での体験の伝送に必要な頭部運動伝達は、視野内にマーカを提示し、頭部追従運動を行わせることで実現する。人の有意味な頭部運動が注視対象を切り替えるための頭部回転である「注視点変更」と、対象物を中心とした回転、すなわち「注視点維持」との2種に分けられることに着目し、効率的な追従を可能とするマーカを開発した。頭部運動を以下のようにモデル化した。まず、眉間を通り前額面に垂直な

直線を「視軸」とし、頭部運動時に最も移動の少ない視軸上の点を回転中心とする。回転中心が眉間よりも後方であった場合は「注視点変更」、逆に前方であった場合は「注視点維持」運動が行われたと見なすことができる。実作業中の頭部運動を解析した結果、ほぼこの2種の運動から成っていることが判り、「注視点変更」と「注視点維持」を明確に分離可能なマーカを設計することで、追従到達時間が短縮されるなど効率的追従が実現可能であることを確認した[阪-81]。

また視覚に頼れない作業スキルを伝達するための触覚伝送のデバイスとして新型4自由度爪装着型振動子を用いた触覚伝送のための信号処理技術の開発を行った[阪-13, 14](図阪大-7)。触覚を用い他誘導デバイスとして開発を進めていたなぞり触覚提示と疑似牽引力提示を一つのデバイスで実現するとともに

爪上に装着可能なサイズに小型化することに成功しており、このような振動デバイスを用いた触覚伝送技術において、周波数数解析では明らかにになっていなかった凹凸感に係わる指腹への刺激の要素特定を行い、指腹の変形による移動



図 阪大-7 牽引力／凹凸感を提示する爪装着型触覚提示デバイス

方向の感覚情報が凹凸感を生起する要因となることが明らかとし、指腹からの移動方向の感覚生成が効果的な凹凸感の伝送に寄与することを明らかとするなど、実際の設計応用に繋がるインタフェース評価知見が得られた。さらに、凹凸形状の再現について、高さ方向の情報が必要となる立体形状の提示まで実現する新たな振動波形設計手法を提案した。本手法では、高さ方向の情報提示に振動振幅を用い、人間の知覚特性が非線形的であることを示したウェーバー・フェヒナーの法則を用いて振動振幅を算出(図阪大-8)した。この効果をスケッチによる図示実験を行い確認したこの結果、意図した形状を正確に描く例が多く見られた。そこで、描かれた図形の直線性を爪状振動刺激時(図阪大-9 右から三列目)と実際に図形を目視して描いた場合(図阪大-9 右から一列目)について比較した結果、爪状振動刺激時の方が高い直線性を示す場合もあるなど本手法を用いた提示によって総じて直線を明確に描いていたことが分かった。以上から、本手法は間隔尺度までの水準で形状設計が可能であることを示した。これにより、表面形状だけでなく立体形状も的確に伝送可能となることが期待される[阪-82]。

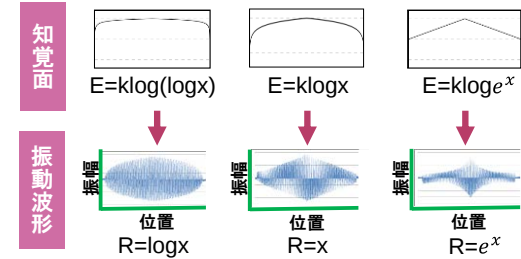


図 阪大-8 知覚の線形補償

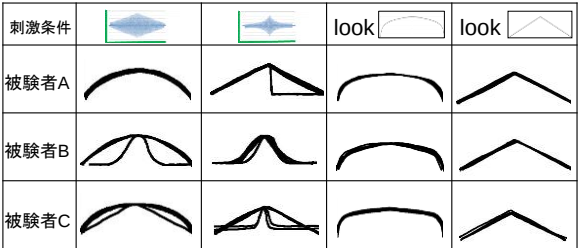


図 阪大-9 実験で描かれた図形の例

また、偏加速度提示による疑似牽引力提示手法について、回転カム式とインパクト式の2つの新方式による小型軽量化への試みを NTT グループと連携して進めた[阪-45,46,77](「NTT」グループ参照)。さらに、触錯覚を用いた感覚伝送デバイスを社会実装する試みとして、超音波プローブの遠隔操作支援に取り組んだ。本課題に対し、これまでの研究成果である回転カム式の偏加速度提示による牽引力提示装置をプローブに取り付け、体表面に対するプローブの位置合わせに必要な「並進」操作の誘導に関する基礎実験を行った(図阪大-10)。この結果、前後左右に対してプローブ操作の誘導が可能であることを確認すると共に、斜め方向への誘導に対して必要な要素を

絞り込んだ。また、プローブの姿勢合わせに必要な「回転」操作の誘導手法に対しても検討を行い、新たに回転方向へ偏加速度提示を行うことでプローブの捻り感覚を提示する試みを行った。この結果、プローブ軸回りの回転に対して方向を判別可能であることを確認し、知覚しやすい加速度提示周期を同定した。以上から、超音波プローブの遠隔操作支援に対して実際の設計応用に繋がるインタフェース評価知見が得られた。

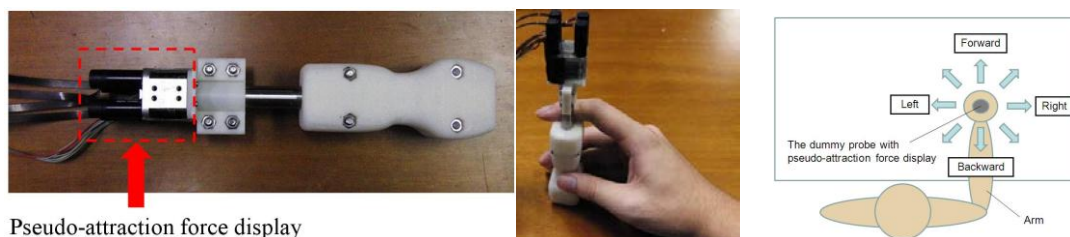


図 阪大-10 疑似牽引力提示装置によるプローブの運動誘導

・PH による群行動の計測と群行動モデルの構築(線表 2-2)

阪大グループでは、研究協力者である釘原先生の社会心理学の知見を元に、PH が有効活用できる場面を想定した実験プランニングと実験装置を準備し、玉川大グループと共同で実験を行い、基礎的知見を得た(玉川大グループ参照)。

・PH 個体の行動学習モデルの構築及び個人情報的一般化(線表2-4)

感覚伝送中の装着者の身体動作から非言語的行動意図の推定・伝達を狙う「つもり制御」の研究に着手した(図阪大-11)。単純なインタフェースに対して直観的に入力された操縦信号をもとに、操縦者の直観入力とロボット動作との対応関係を抽出し、得られた対応関係を利用したロボット操縦実験を行った。その結果、第一次近似段階のデ



図 阪大-11 「つもり」の抽出によるロボット操縦支援実験

ータベース照合においても操縦者の元の動作イメージに対して実際のロボット動作として平均 68% の合致率が得られ、「つもり」に相当する行動意図と行動文節の対応関係について、ある程度の実用性に繋がる再現性が確認された。これによって、従来のテレグジスタンスや人工現実感における感覚-運動情報の再現精度の要求をある程度緩和した随意操縦の実現し、人一人のコミュニケーション実現の基礎研究においても直観性通信の可能性を示した。

さらに高い精度を得るために、動作の前後関係である動作文脈に着目し、動作文脈が直観的入力にどのような影響を与えるのか解析を行った結果、たかだか 1 分節前までの行動履歴のみが動作文脈に影響を与えることを明らかにした。また、連続事象の認識・記憶による離散化仮説を実証するために、文節の半ばから随意操縦を行った場合の行動機序を計測し、文節の離散化クラスターの大きさを規定する方法を提案し、実験からこれを求めた。また、PH システムにおける協調作業により直結する「協調者への没入」効果を説明するための高次機能のモデル化と検証を目的として、身体性の観点から「協調作業時における自己と他者の行動意図推定」のモデル化[阪-10]と「自己運動と他者運動の推定」のモデル化[阪-03]を行った。前者は一次元動作に簡略化された協調作業条件下における他者行動の分節化と解釈について、後者は自発性と他発性の「くすぐり動作」について発汗効果の差によってヒトの高次機能における自己の運動モデルと世界像の構成について

モデル化を行い、協調作業時の「自己解釈と他者解釈」の成立に関して基礎となる知見を得ることができた。

・医療サポートのための応用実現 1 「CPR 救命講習への応用実現」(線表1-1)

救急救命における最初期の対応、すなわちバイスタンダーによる CPR(心肺蘇生法) 作業をターゲットとして想定し、この作業の遠隔支援および技術教育用途での適用性を検討するために救急救命教育を専門とする国際企業である MFA (Medic First Aide) の協力を得てその評価を行った(図阪大-12)。その結果、救急救命インストラクター(講習指導の専門家)から視野角が不十分でありそれが作業支援の妨げになっているのではないかと指摘を受け、このデバイスにおける



図 阪大-12 「119 番的状況における PH の感覚伝送による作業支援」を実現する構成

VST-HMD の広視野角化と画像安定化を実装した[阪-11]。さらにこの指摘の妥当性を実験によって検証した結果、著しく向上する場合と、あまり変化の見られない場合がタスクの種類によって存在することがわかり、用途に応じた設計指針に有力な手がかりを得ることができた。また、別の指摘として自分の環境画像と相手の環境画像との重ね合わせが、視認性を悪くしていることから、輪郭線などの特徴量を強調した合成方法を新たに開発し、これによる作業性向上の確認を行った[阪-69]。さらに、効果的な PR 講習の遠隔教育プランとコースカリキュラムの開発と評価を行った。

教育コース開発のために、MFA 本部(米国)の内部評価基準を入手するとともに、MFA インストラクターとの二度のヒアリングを実施し、昨年度に作成した本プロジェクトの CPR 評価基準の妥当性を確認できた。遠隔教育プランのために、MFA からの助言を受け、「学習時の完全独習化」が可能な CPR 学習項目、講習計画、学習手段を決定し e-Learning の開発を行った。これらを含めて、スキル伝送技術・評価法の確立については、行動分節化によるスキル伝送の効率化と遠隔資格認定のための学習効果評価法の確立を目的とした実験検証を行った。伝送の効率化に関しては、昨年度と本年度に記録した MFA インストラクターの CPR 動作を、各手順別に視野画像および身体運動(頭部・手・間接)データから位置、速度情報を抽出し、数値化して可視化する取り組みを進めた(東工大・産総研グループと共同)。遠隔資格認定のための学習効果評価法の確立に関しては、CPR 教育のための遠隔学習教材としての効果を検証する段階で得られた、学習者の学習成果としての再現行動データを用いて、MFA インストラクターによって PH システムを用いて学習者の学習記録を追体験することで学習の成果を評価し、遠隔で資格認定を行うための必要な条件が伝達されているか、その判断に必要な伝達要素に不足がないかを検証した。具体的には CPR スキルの記録・伝送・再生学習の実現にむけて、学習効果の評価を目的とした PH システムによる CPR 作業の追体験学習実験を、CPR 未経験の一般被験者を対象として実施した(MFA インストラクターと協力)。従来手法の教材と新提案手法(PH)の教材で学習後、単独実践時の CPR スキルの獲得程度を、所要時間・エラー率・身体運動量の観点から比較評価した(図阪大-13)。実験の結果、両視点の併用が効果的であり、三人称情報(ビデオ)で全体イメージを獲得後、一人称情報(PH)で詳細作業スキルを獲得することで、多くの手順において学習効果が向上した。特に 2010 年に改訂された CPR の新ガイドラインで重視されている心臓マッサージ(心マ)のスキル獲得に顕著な効果が

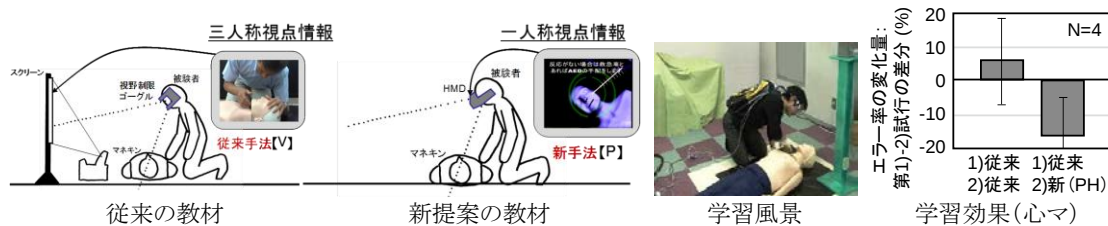


図 阪大-13 PH システムを用いた CPR 作業学習教材と追体験学習の風景・効果

有ることを示した[阪-17].

また, MFA インストラクターの協力を得て, MFA 基準において「PH によるスキルの記録・再生」を用いたスキル獲得の遠隔学習・評価システム」の実現可能性を検討するため, CPR 学習の遠隔評価実験を実施した(図阪大-14). 通信教育型利用法での遠隔教育システムの実現には, PH で記録された学習者の行動を, インストラクターが追体験することで, スキル習得の達成度について正確な評価が可能であることが望ましい. 従来の評価手法は同一時刻・同一場所に臨席しての三人称視点情報による評価のみであるが, 本プロジェクトでは時間的・空間的に遠隔化された三人称+一人称視点情報によるダブルチェックを, 新しい評価手法として提案した. MFA インストラクターの追体験評価実験の結果, 3-4 回程度の評価訓練を経ることで, 追体験評価が可能になることや, 三人称視点情報では見逃されていた学習者の CPR 作業エラーへの気づきがあったことから, 新提案の評価手法に一定の効果があることが示された.



図 阪大-14 PH システムを用いた CPR 学習の評価法と遠隔評価の実施風景

さらに, この目的に特化した PH システムを実現した. CPR の遠隔講習時, 使用者が単独で装着及び操作が可能となる新たな PH デバイスの設計・試作を行った. 主要な改良点は, 視点共役型ビデオシースルーHMD (以下 VST-HMD) の構造変更及び制御ユニットの軽量化・スタンドアロン化である. VST-HMD については, 左右の眼瞼周辺に独立して密着可能なゴーグルタイプに変更した(図阪大-15). これにより, 従来装置において使用者が調節しなかった項目を大幅に削減すると共に, 本体の小型化・軽量化を実現した[阪-15]. また, 本体-制御ユニット間の配線を簡素化し, 頭部運動時の負荷を軽減した. 制御ユニットについては, 要素部品の仕分け・再構築を行い, 従来装置と比較して重量を 1/20 にした. また, ジャケットに制御ユニットとバッテリーを内蔵させ, 使用者が全ての装置を身に着けた状態で作業可能とした(図阪大-16). これにより, 従来装置における外部装置によって生じていた行動範囲制限から解放され, 外部装置と接続するケーブル



図 阪大-15 改良版 VST-HMD



図 阪大-16 改良版制御ユニット

束によって動作が妨げられることが無くなった。試作した PH デバイスを一般の方に体験させた結果、簡単なレクチャーのみで独力による装置の装着が可能であることを確認した。これらの結果より、改良された PH デバイスは、使用者が簡単に装着でき、いつでもどこでも独習することが可能なものとして CPR 遠隔教育教材に利用可能であることを確認した。

・医療サポートのための応用実現 2 「内視鏡手術トレーニングへの応用実現」(線表1-2)

京都大学医学部消化管外科小濱医師から内視鏡手術のトレーニングを目的とした PH システムの要請があり、新たな出口として、視野共有システムを腹腔鏡用鉗子運動学習に適応する試みを進めた(図阪大-17) [阪-122]。腔鏡用鉗子運動学習においては通常のボックストレーナというツールを用いて、モニタを覗きながら鉗子の操作を行うことで、ダミー臓器の切開や結紮を学習する。従来研究において熟練医がより高精度に手術を行うための提案は数多いが、熟練者を養成するという試みは少なく、医師不足の問題を解決する手段として、効率的なトレーニング技術の開発が医学系から求められている。既存技術では、リアルに近いシミュレータを構築しトレーニングを行うという手法を原点としてトレーニングシステムの構築が行われてきており、熟練者からの教示は言語的なものや、矯正的な力触覚に基づいていたため、学習のためには結局、練習者が試行錯誤を行っており、その結果として、癖のある不均一なスキルの習得になることが多い。そこで、「感覚共有(通信)システム」、「錯覚を利用した誘導」を利用することで、矯正的でない自然で効率的なスキル伝達・スキル学習が可能であると考えた。また、カメラ・モニタ 通信を必須とする腹腔鏡手術に我々の視野共有システムは、非常に相性の良い組み合わせである。一般的に用いられているボックストレーニングシステムは腹部に見立てた箱のなかに内視鏡カメラと鉗子を差し込み、カメラ画像をモニタで見ながら結紮作業などのトレーニングを行う。提案システムでは、内視鏡カメラの映像出力とモニタの間に画像処理装置(画像処理機能の高い PC)を経由するように構成した。画像処理装置は任意に動画を記録・再生でき、記録されたものとリアルタイム画像を任意のパラメタで合成・切替などの処理を行った。



図 阪大-17
提案するトレーニングシステム

このシステムを用いた効果について検証実験を行った(図阪大-18)。まず、熟練者の手術を記録し 2 つの学習アプリを作成した。

1 つ目は手順を学習するためのアプリで、一連の動作を手順として分節化し、それぞれの手順について分節化された動画と、その文節点を見ながら実際に作業を行う。ボタン操作(フットスイッチ)によって次の手順、リピートなど選択することで手順を学習する。次に、鉗子運動学習アプリとして、鉗子の動きだけを重ね合わされた映像に追従する形でトレーニングを行うことでスムーズな操りを学習する。このとき、自注意遷移することなく追従させる手法として、画像を高速に切り替えて提示する「時分割法」を適用することで、訓練者は熟練者の動きに

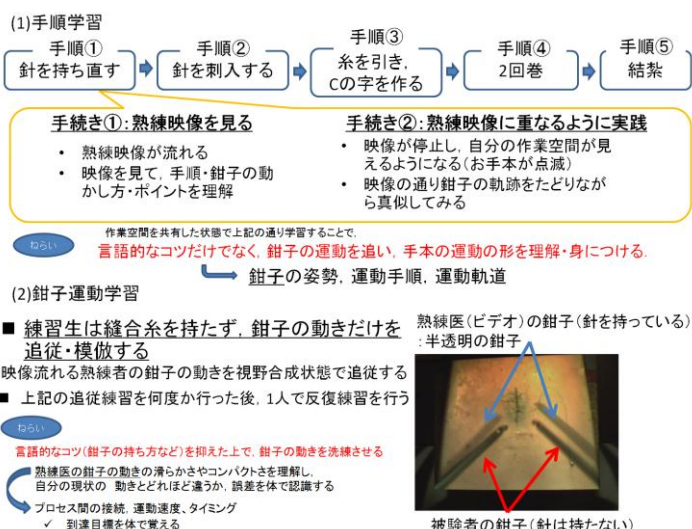


図 阪大-18 手順学習と鉗子運動学習の2つのアプリケーション

同一感を保ちながら、融合感も生起することによる効果も確認した。前述した 2 つのアプリケーションで構成されるシステムを現場の医者を対象にしてその効果を検証した、システムを用いて学習する研修医と、システムを使わずこれまで独学で練習してきた医師を比較した、システムを用いる被験者は、前半 30 分で手順学習、後半 30 分で運動学習をおこない計 1 時間の学習を行った。また、システムを用いない、独学で練習してきた医師らの累積学習時間は 7 時間以上であった。評価は、作業所要時間とチェックリストのエラー数で行った(図阪大-19)。なお、チェックリストは熟練医の指導の下、結紮縫合を行う上で重要なポイントをリスト化したもので、この項目ができていない場合エラーとし、その数をカウントした。その結果、学習時間わずか 1 時間で、ほぼ同等の速度で作業ができるまで学習が進み、さらに独学で学んだものと比べて、熟練者の動きに近い軌道での学習ができていたため、チェック項目の内容に対するエラー数が少ない結果となり、非常に効果的であることが実証された。

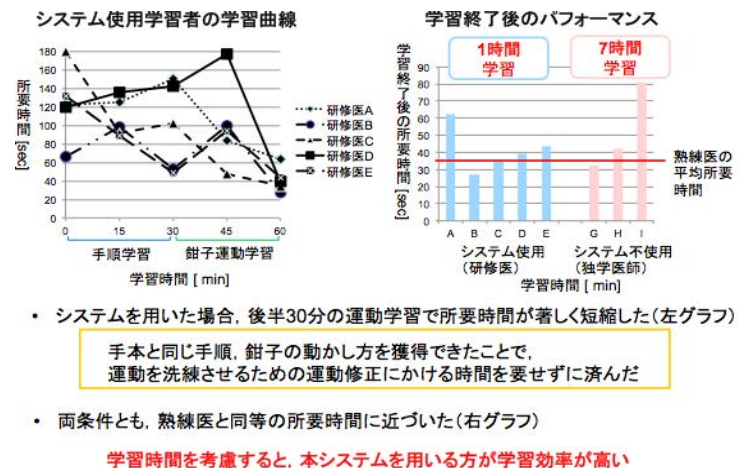


図 阪大-19 システム利用時の学習効果

(2)研究成果の今後期待される展開

本研究における「視野融合システム」は、今後普及が見込まれる HMD の新たな活用方法として非常に有効的な使用方法であると考えられ、これを基礎とした発展が見込まれる。

具体的な社会実装の観点からも、内視鏡手術トレーニング応用として引き続き腹腔鏡手術のトレーニング方法を京大医学部と共同で行い、スタンダードなトレーニング方法として一般化が実現できるように引き続き研究を進めていく予定である。

4. 2 行動の分節化にもとづく意図推定・行動誘導モデルの構築(玉川大グループ)

(1)研究実施内容及び成果

玉川大グループは、人間の行動誘導を目指して、前庭感覚や視覚への刺激による行動誘導が発現する身体運動制御メカニズムを「感覚―運動伝達経路のスイッチング過程」としてモデル化して行動実験により検証することで、人間の行動決定、特に歩行行動の決定過程を理解する研究を行ってきた。具体的に以下の二点についての研究を行った。

1. 本プロジェクトの他グループが行っている研究から誘導効果が大いといわれる視覚及び体性感覚への錯覚を利用した歩行誘導の方式について、刺激提示デバイスを改良して歩行場面で効果をより精密に評価し、その誘導効果を最大化するための歩行者の行動決定メカニズムを解析してモデル化を行った。特に歩行時に必要な感覚情報に動的に注目し、歩行周期の位相に合わせて視覚及び体性感覚に刺激呈示し、誘導効果に影響を与える要因を明らかにした。

従来の視覚刺激による誘導では、立位静止状態において足下への振動刺激による身体動揺発生時に左右方向へのオプティカルフロー提示で身体が左右方向に傾くといった実験が報告されているが、歩行時に誘導効果があることは示されていない。そこで我々は、固定したスクリーンにオプティカルフロー刺激を提示した条件と、新しい視覚刺激呈示デバイスである周辺視ディスプレイを利用して刺激を視野周辺部に直接提示する条件で実験を行った。更に実験では振動デバイスを用いて身体感覚に対する信頼性を低下させ、逆に視覚刺激に対する感受性を増加させることで、その状態での歩行誘導効果を評価した。

実験ではそれぞれの条件において歩行に誘導効果が表れてその方向が変化することが確認されている(図玉川-1)．特に誘導は刺激提示後約1から2歩進んだときに発生し、前庭感覚刺激による歩行誘導と同様に刺激と逆方向に移動することで姿勢を崩し、その後刺激方向に移動することが確認された．この結果及びこれまでの前庭感覚刺激による歩行誘導の結果から、本実験による歩行誘導のメカニズムについて以下のような仮説が得られた．「振動デバイスによる身体動揺により重心方向感覚による体性感覚フィードバックの抑制で平衡感覚が不安定化し、そこにベクション刺激により自己の身体が左右に移動したとの錯覚を与えられることでその補正運動を誘起した結果として、被験者の身体が移動した．」

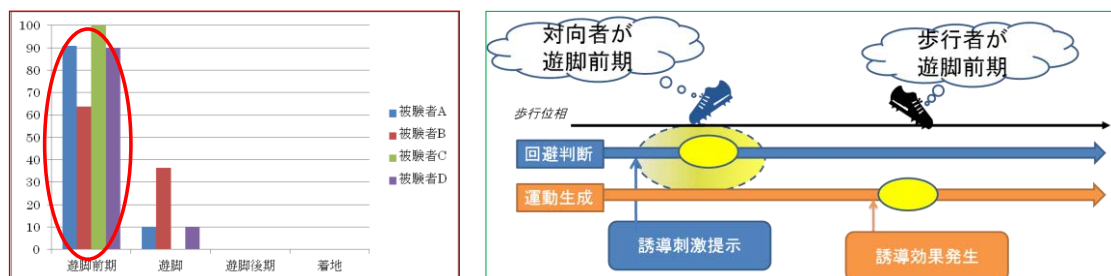


図 玉川-1 回避運動生成の結果とすれ違い行動における効果的な誘導タイミング

2. PH システムで今後の検討対象となると予想される複数人が協調する場面で、人同士が互いに影響を与え合う行動決定の特性について、歩行のすれ違い場面を対象として研究を行った．具体的にはすれ違い行動における歩行者の回避運動生成のタイミングについて、歩行者と対向者との相対距離及び、互いの歩行周期の変化が与える影響について評価し、歩行周期に基づいたすれ違い回避運動の内部処理ダイナミクスを明らかにした．

実験では歩行者間の相対距離を2種類設定し、指定した歩数で回避運動を行った場合、歩幅を調整して同じタイミングで回避運動を行うならば自己の歩行周期に、歩幅を変えず歩行周期を調整して回避をした場合は対向者との距離に依存して自己の回避運動を生成しているという仮説を元にすれ違いを行った．計測結果から、歩行者は2つの条件で共に遊脚前期のタイミングで回避運動を行い、すれ違い時の歩幅は相対距離が4.5mの条件において平均88.2mm狭くなっているという結果が得られた．これらの結果から、すれ違い時の歩行者の回避運動には、対向者との相対距離よりは歩行周期が大きく影響することが明らかになった．これらの結果から、歩行者の回避運動生成は歩行者自身の遊脚前期の歩行位相に強く依存し、更に対向者の回避方向判断タイミングについても対向者の足が遊脚前期であったということから、自己の行動決定過程に基づいて他者の行動意図を推定しているのではないかと仮説が得られた．

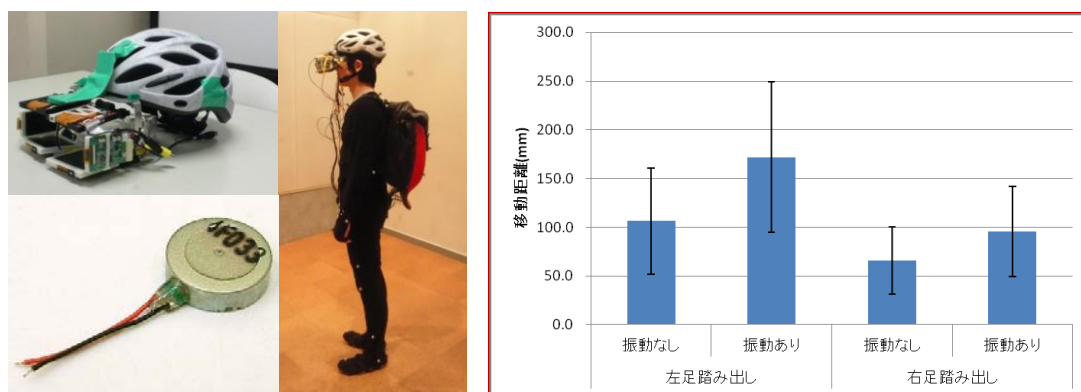


図 玉大-2 身体動揺装置と誘導結果

4.3 個体行動の要素化モデル構築と群のマクロな動的挙動および制御(東工大グループ)

(1)研究実施内容及び成果

東工大グループは、§3 の内容のうち、

3-2 分節化特徴による行動誘導のための働きかけモデルの開発

→ 1-1 CPR 救命講習への応用実現へ移行

4-1 群制御法の開発

4-2 PH 装着による人間の群制御

4-3 個体行動の記号化モデル

4-4 記号に基づく個体制御

4-5 相互作用を伴う群の挙動解析

に取り組んだ。以下にその詳細を示す。

3-2 分節化特徴による行動誘導のための働きかけモデルの開発 → 1-1 CPR 救命講習への応用実現

本研究では、人の運動を場でモデル化し、これに基づいて誘導方法の提案と検証を行った。そのために、まず、場によって自律系を構成する手法を提案し、ロボットを用いて安定な運動が生成されることを確認した。この手法を用いて人間の運動を場でモデル化し、そこから、人間が目指すべき強調姿勢を求め、これを見ながら運動を行うことにより、運動が実現しやすくなることを示した。

(a) 場の重ね合わせによるアトラクタの分離設計

これまでに、ロボットの周期的な運動をその状態空間内での閉軌道で表し、これに引き込まれる場を求め、これを関数近似することでロボットの制御系を設計してきた。これにより、ロボットの運動は状態空間内のアトラクタとなり、運動を連続的に生成させる自律系が設計される。しかし、従来の方法はロボット、および、運動ごとにコントローラを設計する必要がある。そこで、先に設計されたコントローラをロボットの身体/運動の要素に分離し、これらの結合によって新たなコントローラを設計する方法を提案した。この手法をタップダンスロボットに適用し、2 台の大きさの異なるロボットの運動から新たなコントローラが設計可能であることを示した。

(b) アトラクタ設計のための状態空間低次元化と力学系次元拡張

アトラクタを生成するコントローラは場で与えられるため、ロボットの運動が状態空間内で交点、あるいは、近接点を持たないことが仮定される。しかし、実際の運動ではこの仮定は満たされにくく、コントローラが設計しにくい。そこで、状態空間に仮想的な空間を拡張させ、交点/近接点をなくす方法を提案した。これを歩行ロボットへ応用し、本手法が有効であることを確認した。図東工-1 は歩行のシミュレーション結果であり、両足接地状態で静止してしまう様子を表している。これに提案手法を適用することで、実験機(図東工-2)において歩行が継続可能であることを示した。

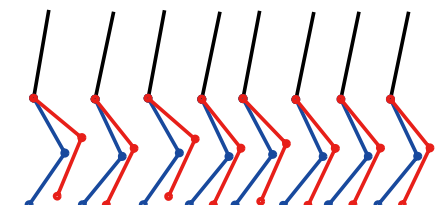


図 東工-1 歩行のシミュレーション



図 東工-2 ロボットの連続的な自律歩行

(c) 行動誘導のための擬似目標値と胸骨圧迫運動への応用

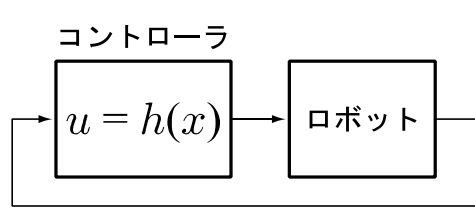


図 東工-3 自律制御系のブロック線図

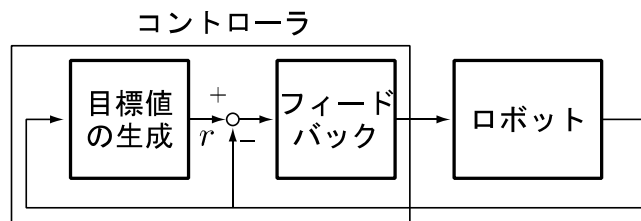
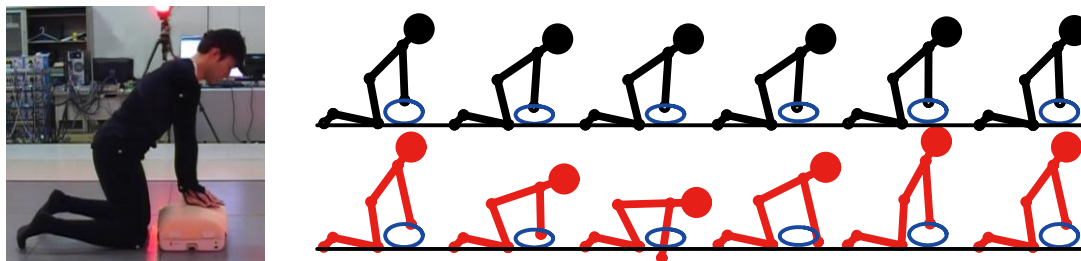


図 東工-4 コントローラの分解

上述の方法では図東工-3 に表される自律系が設計される。ただし、 x はロボットの状態変数を表す。これは自律系であり、外部からの目標値は存在しない。これを、コントローラが内部で目標値 r を生成し、これに収束するようフィードバックを行っているときとみなして、図東工-4 のようにコントローラを分解する。このとき、得られる仮想的な目標値 r は

$$r = -\left(\frac{\partial h(x)}{\partial x}\right)^{\#} h(x) + x$$

で表され、これを擬似目標値と呼ぶ。そこで、これを胸骨圧迫運動に適用した。まず、熟練者の胸骨圧迫運動を図東工-5 のようにモーションキャプチャし、これを自律系でモデル化(アトラクタを生成するコントローラを設計)した後に、人間の目指すべき姿勢として擬似目標値を求めた。ただし、モーションキャプチャでは東京防災救急協会の救命講習会指導員の方にご協力いただいた。この強調姿勢は力学的な考察のもとに得られる目指すべき姿勢であり、圧迫対象の中へと体を移動させるよう強調することで、どの程度の力を出せば良いかが伝わり安い。さらに、この結果を表示した救命講習会を開催し、この擬似目標値を提示することで、訓練者の学習効果が早まり、適切な力を生成できるようになったことを示した。



図東工-5 胸骨圧迫運動のモーションキャプチャデータと擬似目標値

4-1 群制御法の開発

本研究では、混雑が減少した快適な空間(アメニティ空間)を設計することを目的として、以下のように、(1) 場に基づいた個体の行動モデルと群挙動解析、(2) 人の群の連続体モデルに基づいた混雑度評価、(3) これらを応用した (3-1) 牧羊犬モデルに基づいた群誘導のための誘導員配置最適化、(3-2) 展示場での混雑緩和を目指した展示物最適配置、(3-3) 人の交差流における誘導員の行動最適化、(3-4) 人の列の形状最適化に取り組んだ。また、(4) メカニカルパラサイトヒューマンの開発を目指して、受動的な歩行補助装置の開発のための非線形剛性の設計法について検討した。

4-3 個体行動の記号化モデル、および、4-5 相互作用を伴う群の挙動解析

まず、人の群の挙動を解析するために群のモデル化を行った。各個体は (a) 移動の意思を表

す場と, (b) 衝突を避ける効果に従って移動するとし, 個体 i の位置を x_i として

$$x_i[k+1] = x_i[k] + f(x_i[k]) - \sum \frac{c}{1 + \exp(a(\|r_j\| - b))} \frac{r_j}{\|r_j\|}, \quad r_j = x_i[k] - x_j[k]$$

に従って動くものとする. ただし, f は場を表す. さらに, これを連続体で表し, 密度 ρ が連続の式

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \rho \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) + u \frac{\partial \rho}{\partial x} + v \frac{\partial \rho}{\partial y} = 0, \quad u = f_x - \varepsilon \frac{\partial \rho}{\partial x}, \quad v = f_y - \varepsilon \frac{\partial \rho}{\partial y}$$

に従って変化するとする. これにより, 図東工-6 にあるように, 交差流のシミュレーションによって図のような縞が形成されることが確認された. また, 図東工-7 にあるように, 循環する人の流れにおいて混雑度が密度で求められることを確認した. なお, 個体モデル内における各パラメータは科学未来館で人の流れを計測し, その結果に基づいて決定した.

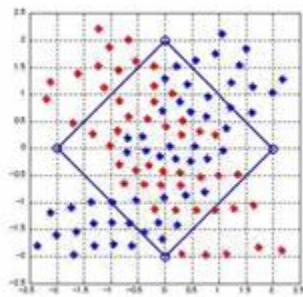
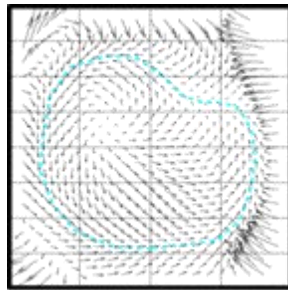
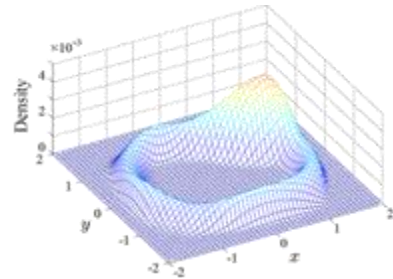


図 東工-6

交差流における縞の形成図



東工-7 循環する流れにおける混雑度(密度)



4-4 記号に基づく個体制御

(a) 群誘導のための誘導員配置最適化

上で得られたモデルに基づいて, 群を誘導するアルゴリズムを開発した. ここでは, 図東工-8 にあるように, 2 つの経路がある場合に, 誘導員を適切に配置することで群全体を 1 つの経路へと誘導するものであり, 誘導員の位置と指し示す方向を場の重ね合わせによって最適化するものである. 得られた結果を, 人間が操作するロボットを含む群ロボットに実装し, 図東工-9 のように, 適切に誘導が可能であることを示した.

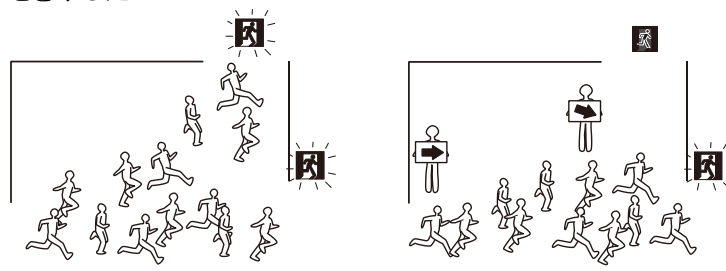


図 東工-8 群誘導のための誘導員配置最適化

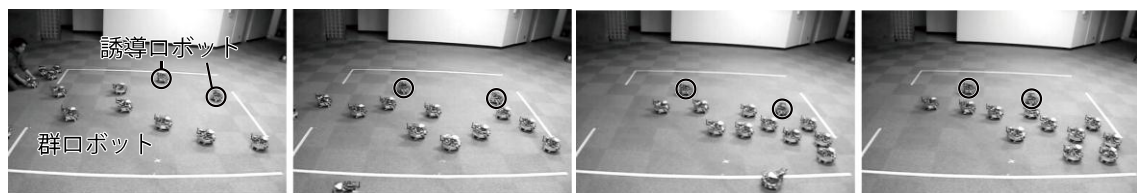


図 東工-9 誘導員の配置最適化と群ロボットによる検証

(b) 展示場における混雑緩和のための展示物配置最適化

展示場における混雑は展示物の配置に問題がある場合がある。そこで、提案した群の挙動モデルに基づいて、混雑緩和のための展示物の配置最適化を行った。ただし、上記のモデルでは展示物を閲覧する(展示物の前で立ち止まる)動作を含ませにくい。そこで、モデルの次元を拡張し、展示物閲覧の満足度を導入する。具体的には、図東工-10 にあるように、順路に従って移動し、展示物に近づいた個体は z 軸(満足度)方向へと移動する。満足度がある値に達すると、再び順路に沿って動き出す。ここで、順路は場で表される。個体の動きの xy 平面への射影が実際の動きになり、これにより展示物を閲覧する動作がモデル化できる。このモデルに基づいて、配置最適化を行った。図東工-11 は最適化前と最適化後の結果であり、展示物は移動し、展示物の周りの混雑が緩和している様子を表している。また、図東工-12 に表されるように最適化によって展示物閲覧の満足度が大きくなっただけでなく、閲覧のトータル時間が短くなることを示した。さらに、図東工-13 のように人間によって操作される移動ロボットを含めた展示場の模擬的な環境を設定し、シミュレーション同様、短い時間で展示物をじっくり閲覧可能な環境が設計されたことを確認した。

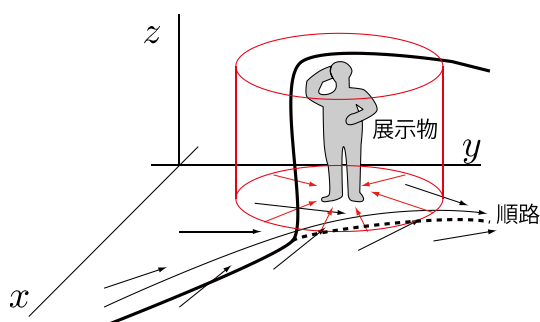


図 東工-10 展示物閲覧のモデル化

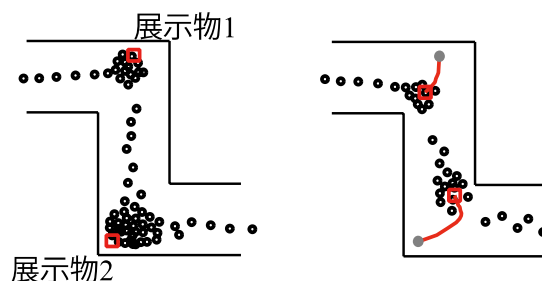


図 東工-11 展示物配置最適化

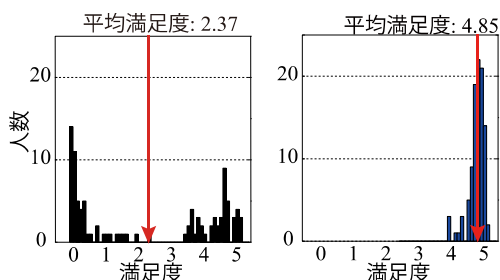


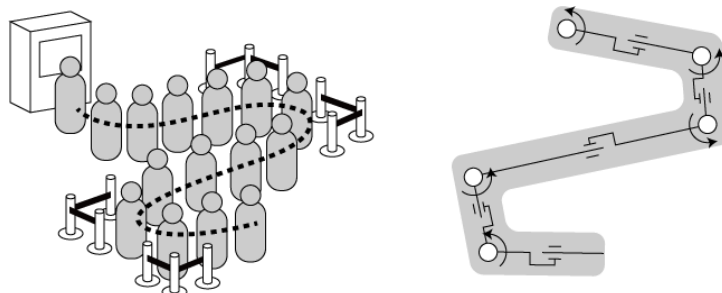
図 東工-12 展示物への満足度の変化



図 東工-13 群ロボットを用いた実験検証

(c) 人の列の形状最適化

商業施設では、複数の人の流れが存在し、かつ券売機などの前に人の列が形成される。列が長くなると他の人の流れを妨げることや施設外へと列が出ることがあり、混雑や不快感を助長する。一般的にはパーティションの静的配置による人の整列が行われているが、本研究では、動的に変化する人の流れに対応するため、1) 人の列の最適形状を計算し、その結果に基づいて 2) 移動可能なパーティションにより列を動的に制御する方法を提案した。列の形状は、図東工-14 のように、使用するパーティションの個数分の自由度を持ったリンク系で表し、その関節角度を求める逆運動学計算により列の最適形状を求める。



図東工-14 人の列の形状のリンクモデル

図東工-15 は複数の券売機に順に並ぶ状況において列の形状を最適化したシミュレーションの様子であり、設定した領域内に収まりつつ列同士が干渉しないように形状が最適化されることを示した。

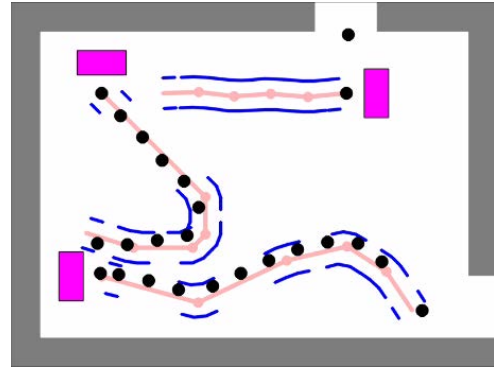


図 東工-15 列の最適化シミュレーション

4-2 PH 装着による人間の群制御

本研究では、メカニカルパラサイトヒューマンによって人の行動を制御することを目指し、非線形剛性のプロファイルを任意に設計する方法を提案した。障がい者を補助するために、パッシブな運動補助機構を設計することは有用なことである。しかし、そのためには所望の非線形剛性を任意に実現する必要がある。そこで、任意の所望の剛性を実現するケーブル・非円形スプールの設計手法を提案した。これは、与えられた回転量－発生トルクの関係から、スプール形状の厳密解を与えるものである。図東工-16に、得られた結果を示す。(a)のような特性(復元トルクが途中で減少する)を与えることで(b)にあるスプール形状が得られた。また、実験装置を試作し、所望の特性が得られることを確認した。

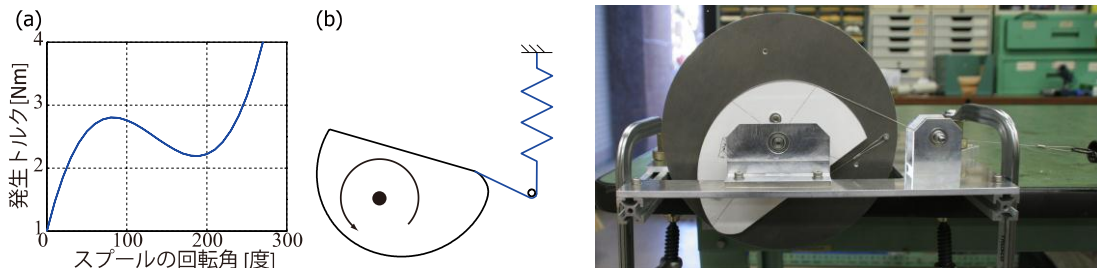


図 東工-16 任意の非線形剛性プロファイルを実現するケーブル・非円形スプール機構

(2)研究成果の今後期待される展開

運動の目指すべき姿勢を強調して提示する手法は運動のこつを抽出することに適している。特に、擬似目標値は力を入れるタイミングを示し、さらに、その量を視覚的に表している。ここで得られた成果をもとにして、スポーツ工学、人間工学への応用が期待される。

群を適切に誘導する方法は、同様の研究が社会工学の分野において進められているが、一般に、その成果は挙動の解析が多く、現実世界の現象の説明に留まる。これに対し、本研究の成果は設計論に焦点を当てており、人口の過密する都市の設計論への展開が期待される。

4. 4 パラサイトヒューマン装着者の行動モデル獲得ならびにパラサイトヒューマン装着者による人の誘導に関する研究(産総研グループ)

(1)研究実施内容及び成果

研究実施計画は以下の通りであった。

(a) パラサイトヒューマン装着者の行動モデル獲得に関する研究(線表 5-1, 5-2, 5-3, 5-4, 5-6)

研究期間の前期(H19～H22)に、PH 装着者の運動学的なパラメータの推定に基づく正規化手法を開発する。また、行動予測モデル検証のために、パラサイトヒューマンからスレーブロボットを操縦するロボットシステムを構築する。研究期間の中期(H21～H23)には、行動予測モデルを構築し、後期(H23～H24)にその検証を行う。

(b) パラサイトヒューマン装着者による人の誘導に関する研究(線表 5-5)

センサネットの情報とPH装着者の運動・行動情報とを集積し、集団を安全に誘導するためのPH装着者への行動指令計算手法を開発するために、研究期間の前期(H19～H21)で、災害時の人

の避難を想定したシミュレータを開発し、研究期間の中期(H21～H22)で、シミュレータを用いて PH 装着者による人の誘導手法を開発する。

研究実施計画にそって、以下の内容を実施した。

(a) パラサイトヒューマン装着者の行動モデル獲得に関する研究

(a-1)ウェアラブル行動誘導システムの開発(線表 5-6, 5-1, 5-2, 5-3, 5-4)

図産総研-1 に示すように、専門家にとって未知の現場環境において、多様な作業の指示、誘導を可能とするために、拡張現実感(AR: Augmented Reality)技術によって、現場協力者のカメラ画像に、専門家の手のCG画像を重ね合わせて表示する行動誘導システムを提案した。本システムは、現場の環境の画像情報と専門家の手のCG画像とを合成することで、現場協力者にとって分かりやすい、手本画像を生成する。

拡張現実感アプリケーション開発に広く用いられている ARToolKit を用いて、PH 装着者の運動学的なパラメータの推定し、行動・運動推定のための正規化処理を行い、また、専門家(操縦者)と PH 装着者(被操縦者)の間で情報提示系を調整するキャリブレーション・ソフトウェアを開発した。これを専門家からスレーブロボットを(擬似的)テレグジスタンス/テレプレゼンス方式で操縦するロボットシステムに実装した。これらのソフトウェアを組み込み、色々な場所で作業実験を行うことが可能なポータブルな簡易型 PH システム(ウェアラブル行動誘導システム)を開発した。

図産総研-2 に示すように、ウェアラブル行動誘導システムの評価を行うために、玉川大学グループと協力して、三角巾を用いて右腕を吊る応急処置を行う作業実験を行い、PH システムによる応急処置の有効性を示した。

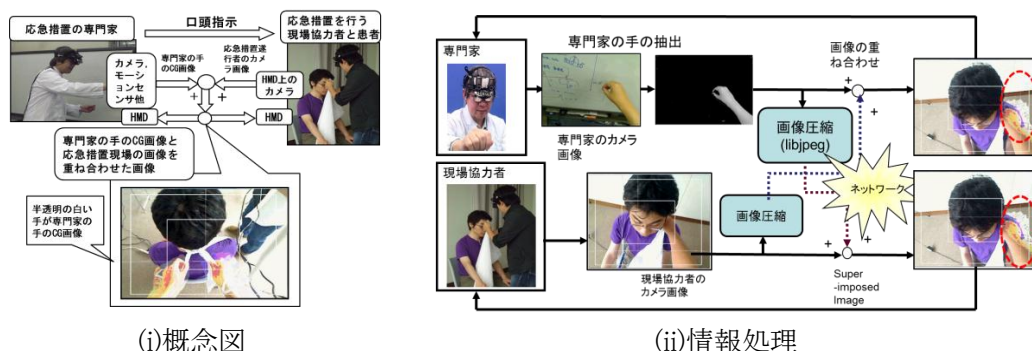


図 産総研-1 ウェアラブル行動誘導システム(簡易型パラサイトヒューマンシステム)

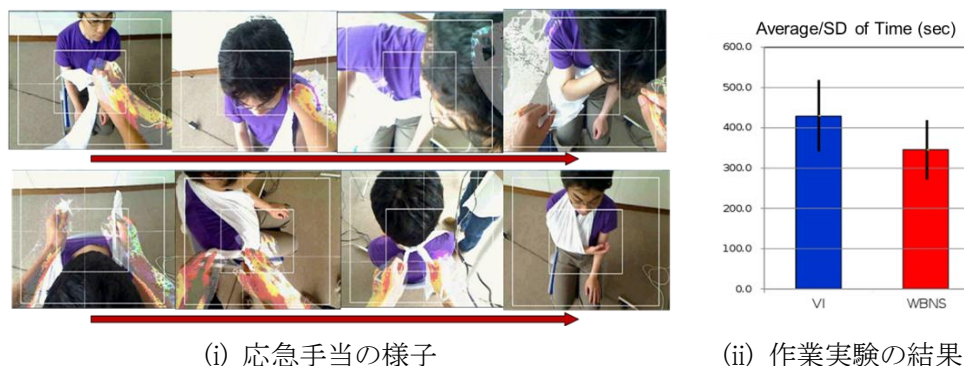


図 産総研-2 ウェアラブル行動誘導システムによる応急手当

(a-2)過酷環境作業のためのウェアラブル行動誘導システムの開発(線表 5-2, 5-3, 5-4, 5-6)

福島原発事故対応作業の長期化に伴い、多くの原発作業の専門家の被曝線量は、法定許容線量の上限に近づき、未熟練作業員の参加が増えて行く可能性がある。ウェアラブル行動誘導システムを利用して、熟練作業員が安全な場所から、未熟練作業員の作業を支援することにより、その作業能力を向上させることが期待される。このような喫緊の課題に対応するため、急遽、防水・防塵のカメラやヘッドマウントディスプレイ(HMD)等の機器を用いて、防水・防塵型のウェアラブル行動誘導システムの試作機を構築した。無線 LAN 環境下で、画像並びに音声の通信を行い、様々な作業支援が可能である。

図産総研-3(i)にシステムの概念図を示す。図産総研-3(ii)に作業支援の一例として、配管にレバー取り付け作業の支援の様子を示す。このシステムは、インターネット TV の取材を受け、海外にも配信された。さらに、そのビデオが、UNESCO とフランス政府が後援する民間団体主催の ICT 技術に関する会議 Netexplo(<http://en.www.netexplo.org/>)に注目され、その年を代表する 10 の ICT 技術プロジェクトの 1 つとして、「遠隔行動誘導システム」が Netexplo 2012 Award (<http://en.www.netexplo.org/palmares/2012> 並びに <http://imag-netexplo.org/en> 参照)という賞を受賞した。同時受賞したプロジェクトには、Word Lens や Zeebox 等の著名なソフトウェアやサービス等が有り、フランスを中心に国外への広報効果については大きなものがあつたと思われる。さらに、ドラえもん“生誕 100 年前”記念 Google「みらいサーチ」(<http://www.miraisearch.jp/>)では、「マリオネット」という「人形を操るように、人を自在に操ることができる機械、操作が下手だと、思いどおりに動いてくれない。」に対応する現代の技術として「ウェアラブル行動誘導システム」が紹介された。

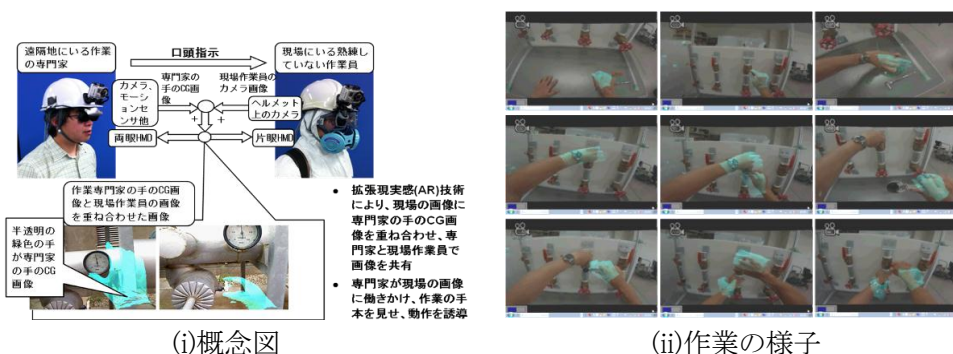


図 産総研-3 過酷環境作業のための行動誘導システム

現時点で、製品化するためには様々な作業が必要であるが、海外企業との共同研究に向けての交渉を含め、企業との共同研究・開発を目指して、活動しているところである。現在、協力企業と共同で、企業のプラントにおいてデモンストレーションを行うために、総重量を約 4Kg から約 2.5Kg に軽量化し、WAN(Wide Area Network)に対応する評価機を、産総研の予算により開発中であり、平成 24 年度末に完成予定である。また、図産総研-4 に示すように、遠隔行動誘導システムの有用性を、多くの人々に体験いただくために、限定的な行動誘導機能を持つ Android 端末用のアプリケーションを開発中であり、来年度中に公開予定である。

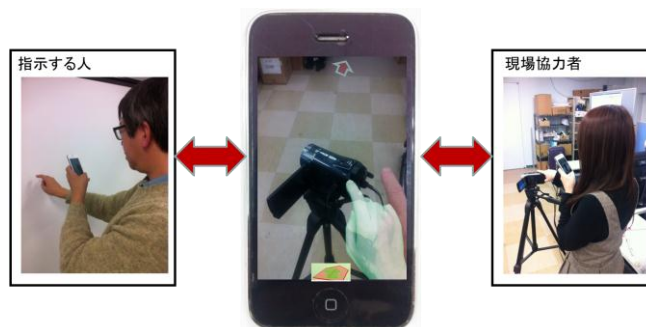


図 産総研-4 Android 端末用行動誘導システムアプリケーションの開発

(a-3) コモディティ機器による応急処置のための遠隔行動誘導(線表 5-6, 5-1, 5-2, 5-3, 5-4)

PH システムの第 1 のアプリケーションは、遠隔地の専門家による応急手当の支援であり、PH システムは、一般的な応急処置の大部分を行うことが可能なレベルに到達することを目指している。しかしながら、作業を応急処置に限定すると、訓練用人形を利用するか、患者の真似をするスタッフの協力により、大部分の応急処置の手本を実演でき、その映像を現場協力者に送ることにより、行動誘導が可能である。図産総研-5(i)にその概念図を示す。図産総研-5(ii)に応急手当の際に現場協力者が見ている画像と専門家が见ている画像を示す。このシステムでは、現場協力者が装着しているヘッドマウントドカメラの揺れによる画像の揺れのため、専門家の见ている画像は、快適な画像とはいいがたく、AR 技術を用いたウェアラブル行動誘導システムよりも作業に時間がかかるが、コモディティな機器を用いて、簡単にシステムを構築・利用可能である。

さらに、特に、緊急性が要求される救命救急処置、すなわち、気道確保や人工呼吸、CPR(心臓マッサージ)等の処置については、図産総研-6 に示すように、既に普及している TV 電話システムを用いても、作業指示の精度に問題はあが、応急処置訓練の未経験者に一通りの処置を行わせることが可能であることが、実験により明らかになった。従来型の TV 会議システムによる遠隔行動誘導システムには、PH システムと異なり、十分な精度で、作業を指示できない作業も多いが、緊急性が要求される、極めて重要な一連の救命救急処置を遂行することは十分可能であることは将来の救急サービスにつながる重要な知見である。



図 産総研-5 コモディティ機器を用いた遠隔行動誘導システム

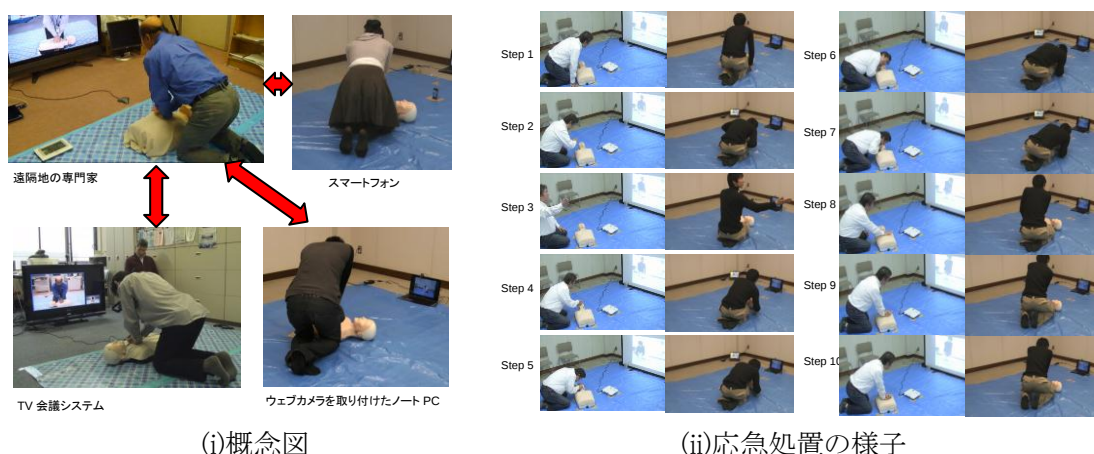
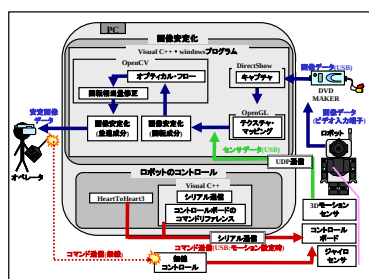


図 産総研-6 TV 電話機能を持つ IT デバイスを用いた遠隔 CPR 支援

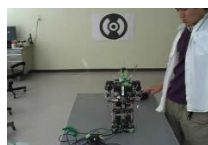
(a-4)画像安定化システムと非同期視覚情報共有方式の開発(線表 5-1, 5-2, 5-3, 5-4)

専門家によるPH装着者の行動誘導は, PHシステムのHMDに取り付けたカメラからの画像に専門家の身体の画像をスーパーインポーズし, その画像をPH装着者と専門家に提示し, PH装着者が, 出来る限り専門家の動作に追従することによって行われる. しかしながら, PH装着者の不意の動作や頭部の不意の動きによって, 専門家の見ている画像が揺れ, 不快感をもたらす可能性がある. それを防ぐために, 広角レンズにより広角画像を取得し, それを球面に写像し, カメラの姿勢を計測する 3D モーションセンサの出力で, 球面を適切に回転して, カメラの回転を補償し, さらに, 画像のオプティカルフロー情報を利用してカメラの並進を補償する, 画像安定化システムを開発し, 小型人型ロボットに搭載した. 図産総研-7 に, その情報処理と安定化の実験結果を示す. 安定化手法により, ロボット頭部の運動による画像の揺れの振幅が小さく抑えられている.

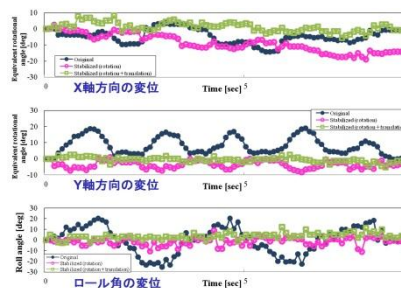
PHシステムにおける, 専門家と現場協力者の関係は, テレイグジスタンス型ロボット操縦方式の操縦者とロボットの関係に類似しており, 原則として現場協力者は専門家の動作指示に追従しなければならない. しかしながら, 常時, 長時間, 動作指示に追従することで, 現場協力者はストレスや疲労を感じることになる. また, 動作指示に対する現場協力者の追従動作には, 誤差や遅れが存在し, 専門家もストレスを感じる. この問題を部分的に解決するために, 画像安定化技術を進展させ, 現場協力者と専門家が独立して動作することが可能な非同期情報共有方式を提案し, PHシステムに実装した. 図産総研-8 にその概念と実験の結果を示す. 専門家と現場協力者は, 必要な時のみテレイグジスタンス的に動作を同期すれば良く, それ以外は自由に頭部を動かすことが可能となった.



(i)システムの構成

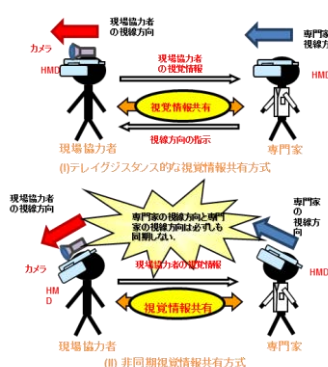


(ii)実験の様子

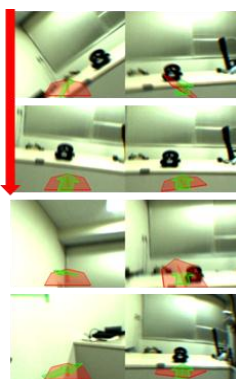


(ii) 安定化の効果

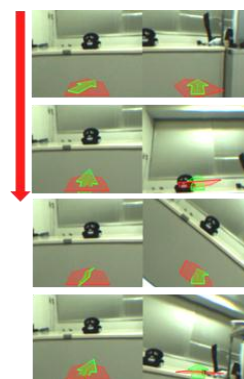
図 産総研-7 画像安定化システム



(i)非同期方式の概念



(ii)現場協力者が頭を自由に動かしている状況(左:現場協力者画像, 右:専門家画像)



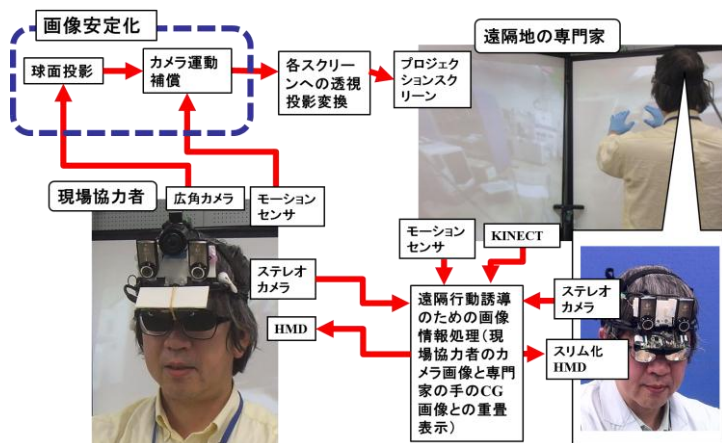
(iii)専門家が頭を自由に動かしている状況 (左:現場協力者画像, 右:専門家画像)

図 産総研-8 非同期視覚情報共有方式

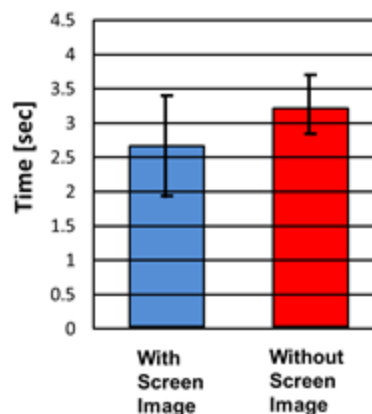
(a-5)行動誘導のためのコクピット(線表 5-1, 5-2, 5-3, 5-4)

専門家が、専門家にとって未知の環境にいる現場協力者をサポートするためのコクピットを構成した。その主要技術であるヘッドマウンテッドディスプレイ(HMD)/プロジェクタ複合ディスプレイシステムと移動指示インタフェースについて述べる。どのような物がどこにあるということが分かっている実験室環境と異なり、未知の環境では、広い視野を確保することが、極めて重要である。我々は視野角が狭いというHMDの弱点を回避するために、ヘッドマウンテッドディスプレイと、広視野画像を没入型スクリーンへ投影するプロジェクタを組み合わせ、HMD/プロジェクタ複合ディスプレイシステムを提案している。複合ディスプレイシステムのHMDでは、ディスプレイ以外の部分を可能な限り縮小し、外界を直接目視できる領域を拡大する。前述の画像安定化技術を利用して、安定化した広視野画像を、プロジェクタにより大型スクリーンに提示する。スクリーンに投影された広視野画像は、HMDによって隠されるが、スリム化処理のため、隠される部分は狭くなっている。ただし、HMD表示とスクリーン表示の境界では、画像が不自然に変化する。HMD表示とスクリーン表示とを同時に一体感を持って見ることは困難であるが、広視野でかつ作業性を確保可能であるという点は、テレグジスタンス型ロボット操縦や行動誘導では有益である。図産総研-9(i)に行動誘導のための複合ディスプレイシステムの概念図を示す。

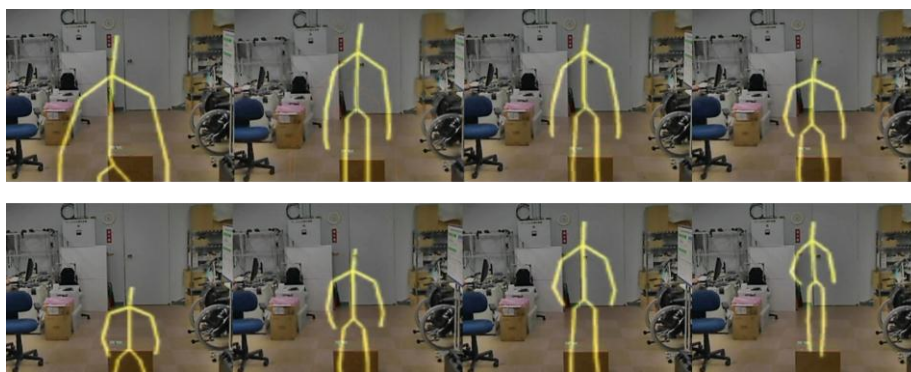
複合ディスプレイシステムが通常のHMDよりも広い視野を持つことは明らかであるが、行動誘導中の専門家がそれを有効に用いることが可能かどうかを検証する実験を行った。図産総研-9(ii)に、行動誘導中の専門家が、現場協力者に接近する人に気付くまでの時間(被験者6名、各3回の試行の平均値と標準偏差)を示す。遠隔行動誘導の最中でも、スクリーン表示により、専門家は人の接近に早く気づき、専門家がスクリーン画像を有効に活用できることが確認された。



(i)HMD/プロジェクタ複合ディスプレイシステム



(ii) 行動誘導中の専門家が、現場協力者に接近する人に気付くまでの時間(平均値と標準偏差。青棒は、スクリーン画像の提示有、赤棒は無し。)



(iii) モーションキャプチャによる全身運動並びに移動の指示の例

図 産総研-9 行動誘導のためのコクピット

行動誘導システムのためのコクピットでは、直観的に全身運動の指示や移動指示を行うために、(1)足踏みによる歩行指示機能と(2)体重移動による歩行指示機能を持っている。図産総研-9(iii)に「ダンボール箱を持ち上げ、机の前に移動し、指定された道具を入れて、指定場所に置く。」という一連の作業指示を行った場合の画像の一例を示す。マウス、ジョイスティック等の操縦インタフェースへの切り替えを行うことなく、画像により直接的に指示可能であることを確認した。

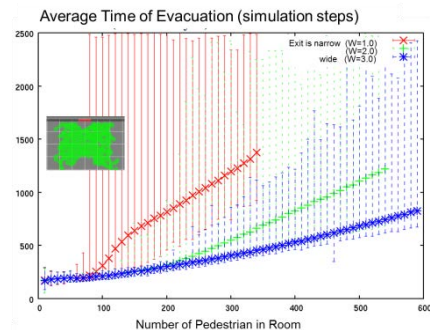
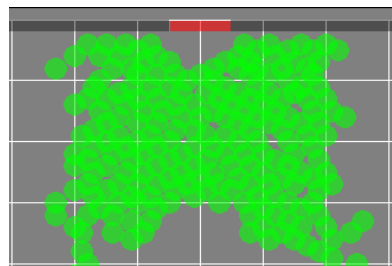
(b) パラサイトヒューマン装着者による人の誘導に関する研究(線表 5-5)

(b-1) エージェントベースの災害時の避難シミュレータの開発

本研究では災害時の人の避難を想定したエージェントベースのシミュレータを開発した。ウェアラブル行動誘導システムを含む、一人一人に移動方向を指示することが可能なナビゲーションシステムが利用可能という将来の状況を前提として、様々な条件下で避難の状況の評価を行った。シミュレータでは、各エージェントの行動を、群行動のモデルとして広く利用されている Boids モデルと与えられた避難経路への追従行動とでモデル化している。図産総研-10 に示すように、群衆の密度が一定以上で、出口が狭い時、ブリッジ現象と呼ばれる、群衆が狭い出口に殺到して、身動きが取れなくなっている状態等が再現可能であり、ブリッジが形成されると避難時間が増大することを確認した。



(i) 避難にかかる時間



(ii) 避難の成功率

図 産総研-10 避難誘導ナビゲーション利用者の割合と避難状況

ナビゲーションシステムが有効な典型的な例と考えられる、狭いが分かりやすい場所にある出口と広いが分かり難い場所にある出口が存在する図産総研-11 のような環境において、ナビゲーションシステムが利用者に適切な出口を指示する場合の避難誘導シミュレーションを行った。図産総研-11 にその避難誘導試行の一例を示す。図産総研-12 にシミュレーション結果の一例を示す。ナビゲーションシステムを利用する人間が増えるにつれ、避難時間が短縮されることを確認した。およそ3割以上の人間がナビゲーションシステムを利用する場合、ナビゲーションシステムを持たない人間もナビゲーションシステムを持つ人間に誘引されて逃げるため、多くの人間が適切な出口に向かい、避難時間が短縮されることが判明した。行動誘導システムによる人の誘導の有効性を示すことができた。さらに、シミュレータを発展させ、簡略化された環境を現実の環境に近づけ、様々な環境下でPHシステムによる避難誘導の効果の評価を行った結果、避難誘導経路のナビゲーションは、避難時間短縮に有効で有り、安心・安全に貢献できることが確認された。

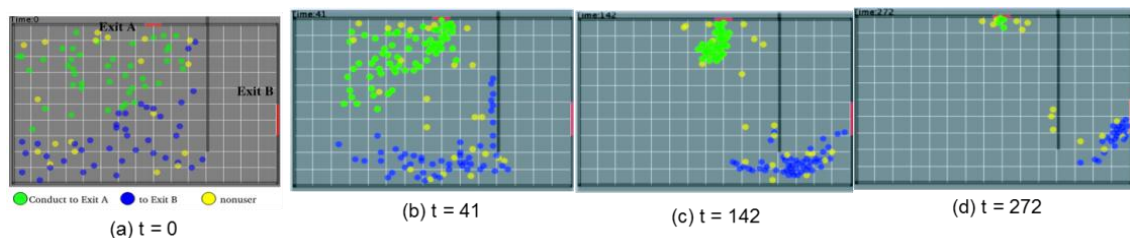
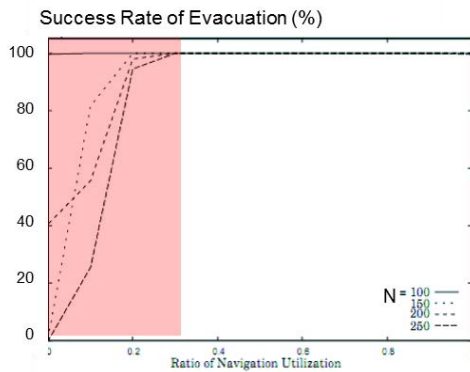
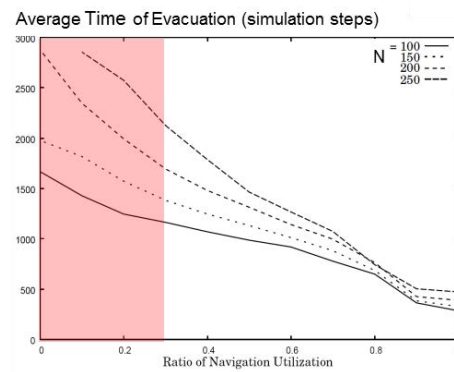


図 産総研-11 避難誘導シミュレーションの様子

(緑の円は Exit A に誘導されるエージェント、青の円は Exit B に誘導されるエージェント、黄色はナビゲーションシステムを利用しないエージェント)



(i) 避難にかかる時間



(ii) 避難の成功率

図 産総研-12 避難ナビゲーション利用者の割合と避難状況

(PH 装着者の割合と一定時刻内で脱出に成功する人の割合. およそ 3 割以上の PH 装着者が存在すれば, 全員が一定時刻内で脱出可能.)

(2)研究成果の今後期待される展開

産総研グループの成果の内, 現時点において, 実用化・製品化に最も近い成果が, 「過酷環境作業のためのウェアラブル行動誘導システム」である. 当該システムは, 東日本大震災の復旧や福島原発事故の終息に役に立てるよう, 急遽開発したものであり, 5 年以内の製品化を目指している. 福島原発事故で活躍しているロボットの大部分が, 製品化され, 様々な現場で実際に使用されている商品であることからとも言えることであるが, 製品レベルに達している技術でなければ, 過酷な現場での使用は困難である. 軽量化・信頼性・頑健性・ユーザビリティを製品レベルに高めるためには, 企業による製品開発が不可欠である. 積極的にデモを行い, 企業との共同開発を申し出て来た. 来年度より, 海外企業 1 社を含む, 2 社との共同研究・開発が開始される予定である.

視野の狭さや装着にかかる時間の長さ等, ヘッドマウントディスプレイ(HMD)の持つ種々の問題から, HMDを利用するPHシステムの実用化には10年以上の研究開発が必要と予想される. しかしながら作業を限定すれば, 現在普及している TV 会議システムの技術を用いて, 遠隔地からの行動誘導は可能である. 特に, 人工呼吸や CPR 等の救急救命措置は重要であり, TV 会議システムを用いて遂行することが可能であり, これを社会に普及させて行くことは, 安心・安全を提供する重要な社会貢献と確信している. 必ずしも社会のインフラとして整備されるかどうかは現時点では不明であるが, 今後, 社会, 企業, ネットワークコミュニティ等に積極的にアピールし, 普及を目指す予定である.

4. 5 錯覚利用の感覚伝送デバイスの開発とこれを用いた行動支援インタフェースの評価, および CPR 教育コースのための PH デバイス, 伝送技術開発と評価(NTT グループ)

(1)研究実施内容及び成果

(a) 錯覚利用の感覚伝送デバイスの開発とこれを用いた行動支援インタフェースの評価

PH デバイスで実現可能な感覚提示モダリティの選択肢を増加させるため, 錯覚利用の感覚伝送デバイスの開発を中心としたハードウェアの開発を行った. 力感覚や運動によって CPR における手先の誘導支援を実現することは, 情報提示の直観的側面や学習における長期定着化において有効であると期待される. 一方, 偏加速度周期振動を用いた 2 自由度の「疑似牽引力デバイス」の機構は大型かつ複雑となっていた. また, 呈示可能な牽引感覚の質的観点から刺激の構成方法や機構について検証した.

偏加速度型疑似牽引力提示手法について加速度波形に応じた牽引力錯覚の知覚特性の解析を進めた. 具体的には, 効果的な力感覚の生起を実現する加速度波形についての知見として, 図 NTT-1 に示す加速度波形の急峻な変化を小さく設計した刺激であっても, 同等の牽引力感覚を生成できることが明らかになった. また, 加速度波形の急峻な変化を大きく設計できる打撃型の装置を設計開発し, 被験者実験を行ったところ, 図 NTT-2 に示すように従来の知見とは異なり, 急峻な加速度が生成される方向と逆の方向に牽引力が感じられる結果となった.

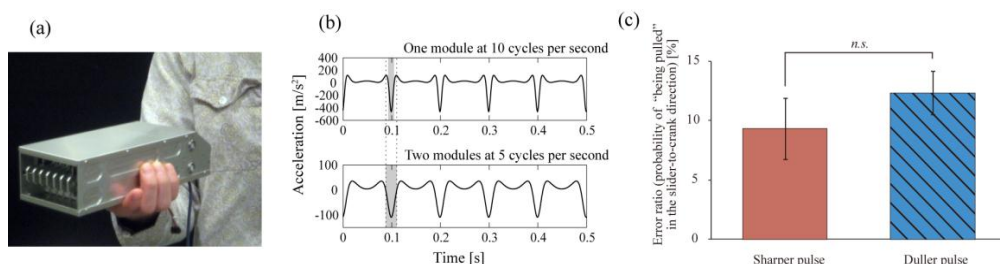


図 NTT-1 牽引力錯覚を効果的に生成する波形を検討した装置(a) および出力波形(b) と実験結果(c). 偏加速度の急峻なパルスがある程度、緩和しても牽引力感覚には影響がないことが明らかになった. これは牽引力感覚のバリエーションについても可能性を示唆するものである.

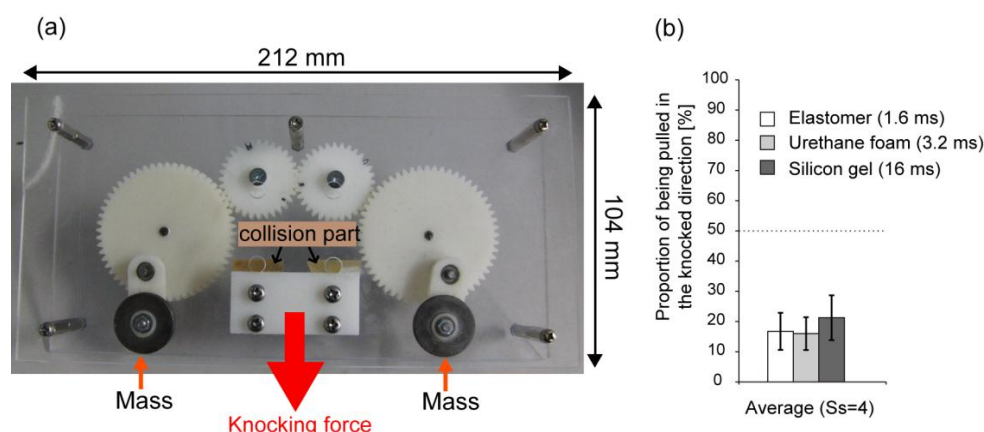


図 NTT-2 非常に急峻なパルスをもつ偏加速度周期振動を発生させる打撃式の試作機(a) および牽引力の方向に関する実験結果(b).

また、こうした新しい技術やデバイスを一般ユーザに提供するための取り組みとして、既存のインフラデバイスを活用した触覚体験の機会の提供を計画し、取り組んだ。触覚提示専用の新たなハードウェアを普及させるのは困難で、さらに触覚をターゲットとしたコンテンツ自体が開発者の制作した少種少量のコンテンツを体験することに留まるという問題に対して「既に普及しているハードウェア、サービスを用いて」「触覚コンテンツをユーザ同士が自由に制作、共有する」ことでユーザの負担を大幅に低減しつつ触覚コンテンツの効率的な普及に繋がる環境を構築することを提案した。具体的には、図 NTT-3 に示すような構成で近年急速に普及してきたスマートフォンと、同プラットフォーム上で進められている動画共有など様々な user generated content(UGC) の基盤技術を利用して触覚コンテンツの共有を計るものである。スマートフォンの振動機能を利用して、SmartFinger と呼ばれる爪上からの振動によって凹凸感生成する手法を応用し、比較的空間周波数の大きな凹凸に対して再生可能であること、一方でアクチュエータの制約や提供される API の機能制限から、触覚コンテンツとして提供可能な種類が大幅に限られてしまうことを確認した。

システム構成

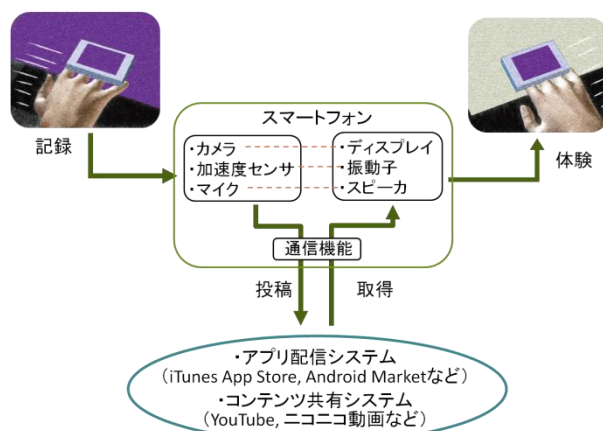


図 NTT-3 触覚コンテンツの共有のシステム構成.

(b) CPR 教育コースのための PH デバイス, 伝送技術開発と評価

CPR 教育コースカリキュラムでは遠隔で教育を受けることが特徴であり, ハードウェアの一般性を担保するため, 広く普及したハードウェアをプラットフォームとしたソフトウェアの開発を実施した. 具体的には CPR 救急救命法の独習および学習促進のための Android スマートフォン用のソフトウェアの実装を行った. スマートフォン内の加速度センサなどの限られた情報から CPR 運動の動作推定を行い, その推定精度を運動計測システムによって評価した(図 NTT-4).



図 NTT-4 スマートフォンを用いた CPR 学習支援システム

(2)研究成果の今後期待される展開

錯覚利用の感覚伝送デバイスを完成させることは, CPR 行動支援インタフェースにおける直感的な方向理解を促進だけでなく, パラサイトヒューマンの感覚伝送における基盤技術の拡張化をすすめることが期待される. 牽引力感覚を提示できる機構の小型・簡素化はまだ普及に足りる状態ではないため, 現状ではこれらの効果を CPR 教育コースのための伝送技術として直接組み込むことはできていないが, 引き続き機構や方式の改良などを進めることで, 提供できると期待される.

また, CPR 教育コースカリキュラムの開発において, 研究成果の社会還元として, 完成したソフトウェアは無償でウェブサイト上にて公開した(<http://goo.gl/Q20AM>). また, ソフトウェアのバージョンアップ機能と Android スマートフォンのハードウェア拡張性を活用し, スマートフォンを介してパラサイトヒューマン技術を統合して動作させるような基礎ソフトウェアとなることが期待される.

§ 5 成果発表等

(1)原著論文発表 (国内(和文)誌 23 件、国際(欧文)誌 48 件)

【阪大】国内(和文)誌 5 件、国際(欧文)誌 14 件)

[阪-01]Junji Watanabe, Masashi Nakatani, Hideyuki Ando, Susumu Tachi: Haptic localization for vibro-tactile onset and offset are dissociated, *Experimental Brain Research*, Vol. 193, No. 3, pp. 483-489, 2009.

[阪-02]Masataka Niwa, Tomoko Nozaki, Taro Maeda, Hideyuki Ando: Nail-mounted display of attraction force and texture, *EuroHaptics 2010*, The Netherlands, Jul. 2010.

[阪-03]Hiroyuki Iizuka, Shin Okamoto, Hiroki Kawasaki, Hideyuki Ando, Taro Maeda: Experimental study of distinction between self- and other-produced behavior in tickle sensation, *Proc. of the 12th International Conference on Artificial Life*, Denmark, Aug. 2010.

[阪-04]Hiroki Kawasaki, Hiroyuki Iizuka, Shin Okamoto, Hideyuki Ando, Taro Maeda: Collaboration and skill transmission by First-person perspective view sharing system, *Proc. of the 19th IEEE International Symposium in Robot and Human Interactive Communication (IEEE RO-MAN 2010)*, Viareggio, Italy, Sep. 2010.

[阪-05]Hidenori Hamaguchi, Tomohiro Amemiya, Taro Maeda, Hideyuki Ando:

- Design of repetitive knocking force display for being pulled illusion, Proc. of the 19th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN), Italy, Sep. 2010.
- [阪-06]Junji Watanabe, Hideyuki Ando: Pace-Sync Shoes: Intuitive walking-pace guidance based on cyclic vibro-tactile stimulation for the foot, Virtual Reality, Vol. 14, No. 3, pp. 213-219, Sep. 2010.
- [阪-07]Daisuke Kondo, Kyo Hattori, Keitaro Kurosaki, Hiroki Kawasaki, Yuki Hashimoto, Tomoko Yonemura, Hiroyuki Iizuka, Hideyuki Ando, Taro Maeda: Effect of wide FOV and image stabilization on spatial perception for view sharing system, Proc. of the 20th International Conference on Artificial Reality and Telexistence, Australia, Dec 2010.
- [阪-08]Taro Maeda, Yuki Miyata, Hiroyuki Iizuka, Hideyuki Ando: Multi-dimensional effects in galvanic vestibular stimulations through multiple current pathways, Proc. of the 20th International Conference on Artificial Reality and Telexistence, Adelaide, Australia, Dec. 2010.
- [阪-09]Keitaro Kurosaki, Hiroki Kawasaki, Daisuke Kondo, Hiroyuki Iizuka, Hideyuki Ando, Taro Maeda: Skill Transmission for Hand Positioning Task through View-sharing System, Augmented Human Conference, AIST, Tokyo, Japan, Mar. 2011.
- [阪-10]Hiroyuki Iizuka, Daisuke Kondo, Hiroki Kawasaki, Hideyuki Ando, Taro Maeda: Coordinated behavior between visually coupled dyads, AIST, Tokyo, Japan, Mar. 2011.
- [阪-11]Daisuke Kondo, Keitaro Kurosaki, Hiroyuki Iizuka, Hideyuki Ando, Taro Maeda: View sharing system for motion transmission, Augmented Human Conference, AIST, Tokyo, Japan, Mar. 2011.
- [阪-12]Taro Maeda, Hideyuki Ando, Hiroyuki Iizuka, Tomoko Yonemura, Daisuke Kondo, Masataka Niwa: Parasitic Humanoid: The wearable robotics as a behavioral assist interface like oneness between horse and rider, Augmented Human Conference, AIST, Tokyo, Japan, Mar. 2011.
- [阪-13]橋本悠希, 湯村武士, 米村朋子, 飯塚博幸, 前田太郎, 安藤英由樹: 爪上振動を利用したなぞり動作における触覚伝送手法, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 16, No. 3, pp. 399-408, 2011.
- [阪-14]丹羽真隆, 濱口英典, 飯塚博幸, 前田太郎, 安藤英由樹: 爪装着型疑似牽引力/凸凹覚提示装置, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 16, No. 3, pp. 409-414, 2011.
- [阪-15]Yuki Hashimoto, Daisuke Kondo, Tomoko Yonemura, Hiroyuki Iizuka, Hideyuki Ando, Taro Maeda: Improvement of wearable view sharing system for skill training, Proc. of the 21th International Conference on Artificial Reality and Telexistence (ICAT 2011), pp. 104-109, Nov. 2011.
- [阪-16]橋本悠希, 熊倉祥人, 米村朋子, 飯塚博幸, 安藤英由樹, 前田太郎: 投球動作における”しっくり感”生起要因の検証, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 16, No. 4, pp. 633-641, 2011.
- [阪-17]米村朋子, 橋本悠希, 近藤大祐, 丹羽真隆, 飯塚博幸, 安藤英由樹, 前田太郎: 視野共有システムを用いた心肺蘇生法の訓練効果, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 16, No. 4, pp. 623-632, 2011.
- [阪-18]橋本悠希, 杉崎有, 米村朋子, 飯塚博幸, 安藤英由樹, 前田太郎: 前庭電気刺激を用いた眼球運動誘導手法の基礎的検討, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.17, No.1, p.23-32, 2012.
- [阪-19]Junji Watanabe, Taro Maeda, Hideyuki Ando: Gaze-contingent Visual Presentation Technique with Electro-ocular-graph-based Saccade Detection, ACM Transaction on Applied Perception, Vol. 9, pp. 1-12, Oct. 2012.

【玉川大】(国内(和文)誌 4 件、国際(欧文)誌 3 件)

- [玉-01]高橋英之, 大森隆司:円滑な対人インタラクションを実現する対象認識に応じた認知的構え調整機構のモデル化, 認知科学, Vol. 15, No. 1, pp. 202-215, 2008.
- [玉-02]横山絢美, 大森隆司:協調課題における意図推定に基づく行動決定過程のモデル的解析, 電子情報通信学会論文誌 A, Vol. J92-A, No. 11, pp. 734-742, 2009.
- [玉-03]渡邊紀文, 戸嶋巖樹, 大森隆司, 前田太郎:前庭感覚刺激を用いた動作誘導のモデル化, 日本知能情報ファジィ学会ファジィシステムシンポジウム講演論文集, Vol. 25, pp. 26-29, 茨城, 2009 年 7 月 14 日.
- [玉-04]Norifumi Watanabe, Takadhi Omori: Trigger model for guiding arm movement in circle Drawing, Proc. of IEEE & INNS/FUZZ'10 (WCCI'10), pp. 18-23, July 2010.
- [玉-05]Norifumi Watanabe, Hiroaki Mikado, Takashi Omori: Construction of collision avoidance behavior model induced by visual motion: 2011 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE2011), pp. 2732-2736, 2011.
- [玉-06]Norifumi Watanabe, Hiroaki Mikado, Takashi Omori: Modeling of pedestrian's unintentional guide usingvection and body sway, Proc. of the 21th International Conference on Artificial Reality and Telexistence (ICAT 2011), pp. 94-97, Nov. 2011.
- [玉-07]渡邊紀文, 大森隆司:前庭感覚刺激を用いた歩行誘導効果とそれに影響を及ぼす行動決定過程のモデル化, 日本知能情報ファジィ学会誌, Vol. 24, No. 1, pp. 501-512, 2012.

【東工大】(国内(和文)誌 10 件、国際(欧文)誌 15 件)

- [工-01]Masafumi Okada, Masaaki Watanabe: Controller decomposition and combination design of body/Motion Elements based on orbit attractor, Proc. of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA'09), pp. 1364-1369, 2009.
- [工-02]Masaaki Watanabe, Masafumi Okada: Similarity Evaluation Of motion based on orbit attractor, Proc. of 13th International Conference on Mechatronics Technology (ICMT 2009), (CD-ROM), Philippines Cebu, Oct. 2009.
- [工-03]Masafumi Okada, Yoshiyuki Honma: Amenity Design For Congestion Reduction Based On Continuous Model Of Swarm, Proc. of the 13th International Conference on Mechatronics Technology (ICMT2009), (CD-ROM), Philippines Cebu, Oct. 2009.
- [工-04]岡田昌史, 渡辺将旭:軌道アトラクタに基づくコントローラの身体・運動要素への分解と結合による運動創発, 日本ロボット学会誌, Vol. 28, No. 6, pp. 715-722, 2010.
- [工-05]Masafumi Okada, Masaaki Watanabe: Pseudo-reference for motion transfer based on Autonomous control system with an orbit attractor, Proc. of the 2010 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2010), pp. 1297-1302, (CD-ROM), 2010.
- [工-06]Masafumi Okada, Jun Takeishi: Kineto-static mechanical synthesis for nonlinear property design of passive stiffness using closed kinematic chain, Proc. of the 2010 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2010), pp. 4213-4218, (CD-ROM), 2010.
- [工-07]山本江, 岡田昌史:流入密度の動的変化を考慮した群の交差流の歩行者制御, 第 16 回ロボティクスシンポジウム, pp. 518-523, 2011.
- [工-08]岡田昌史, 武石純:非線形剛性のための静力学に基づく閉リンク機構総合と衝撃吸収のための着地機構への応用, 日本ロボット学会誌, Vol. 29, No. 3, pp. 291-297, 2011.
- [工-09]岡田昌史, 安藤輝尚:場に基づいた避難誘導のための人員配置最適化, 日本ロボット

- 学会誌, Vol. 29, No. 4, pp. 395-401, 2011.
- [工-10]Ko Yamamoto, Masafumi Okada: Continuum model of crossing pedestrian flows and swarm control based on temporal/spatial frequency, Proc. of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2011), pp. 3352-3357, (CD-ROM), 2011.
 - [工-11]Nicolas Schmit, Masafumi Okada: Synthesis of a non-circular cable spool to realize a nonlinear rotational spring, Proc. of the 2011 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2011), pp. 762-767, (CD-ROM), 2011.
 - [工-12]Masafumi Okada, Teruhisa Ando: Optimization of personal distribution for evacuation guidance based on vector field, Proc. of the 2011 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2011), pp. 3673-3678, (CD-ROM), 2011.
 - [工-13]Masafumi Okada, Yuichi Motegi, Ko Yamamoto: Human swarm modeling in exhibition space and space design, Proc. of the 2011 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2011), pp. 5021-5026, (CD-ROM), 2011.
 - [工-14]山本江, 岡田昌史: 交差流の時間・空間周波数に基づく歩行者群制御, 日本ロボット学会誌, Vol. 29, No. 8, pp. 737-744, 2011.
 - [工-15]Masaaki Watanabe, Masafumi Okada, Dong Dung Ngyuen: Controller reduction for pseudo-reference in high-degree of freedom control system, Proc. of the 21th International Conference on Artificial Reality and Telexistence (ICAT2011), pp. 88-93, (CD-ROM), 2011.
 - [工-16]Nicolas Schmit, Masafumi Okada: Design and realization of a non-Circular cable spool to synthesize a nonlinear rotational spring, Advanced Robotics, Vol. 26, No. 3-4, pp. 235-252, 2012.
 - [工-17]渡辺将旭, 岡田昌史: 軌道アトラクタを用いた自律制御のための力学系次元拡張と平面脚ロボットへの応用, 第17回ロボティクスシンポジウム, pp. 128-133, 2012.
 - [工-18]山本江, 岡田昌史: 商業施設における人の流れのモデル化と快適空間実現のための環境設計, 第17回ロボティクスシンポジウム, pp. 568-573, 2012.
 - [工-19]Masafumi Okada, Yushi Takeda: Optimal design of nonlinear profile of gear ratio using non-circular gear for jumping robot, Proc. of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2012), pp. 1958-1963, (CD-ROM), 2012.
 - [工-20]Nicolas Schmit, Masafumi Okada: Simultaneous optimization of robot trajectory and nonlinear springs to minimize actuator torque, Proc. of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2012), pp. 2806-2811, (CD-ROM), 2012.
 - [工-21]Nicolas Schmit, Masafumi Okada: Optimal design of nonlinear series Elastic actuator for minimization of actuator power, Proc. of the Second IFToMM ASIAN Conference on Mechanism and Machine Science, (CD-ROM), 2012.
 - [工-22]Nicolas Schmit, Masafumi Okada: Optimal design of nonlinear springs in robot mechanism -simultaneous design of trajectory and spring force Profiles-, Advanced Robotics, Vol. 26, No. 3-4, pp. 235-252, 2012.
 - [工-23]岡田昌史, 萱島駿: 擬似目標値を用いた救急救命のための胸骨圧迫運動教示とその評価, 日本機械学会論文集(C1編), 採択決定.
 - [工-24]萱島駿, 岡田昌史: 身体パラメータに合わせた胸骨圧迫の運動最適化, 第18回ロボティクスシンポジウム, pp. 15-20, 2013.
 - [工-25]Nicolas Schmit, 岡田昌史: 非円形スプール機構による可変非線形剛性の実現と剛性プロフィールの切り替え軌道の最適設計, 第18回ロボティクスシンポジウム, pp. 120-125, 2013.

【産総研】(国内(和文)誌 1 件、国際(欧文)誌 8 件)

[産-01]Naoji Shiroma, J. Kobayashi, Eimei Oyama: Compact image stabilization system for small-sized humanoid, Proc. of the 2008 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO 2008), Bangkok, Thailand, Feb. 23, 2009.

[産-02]城間直司, 降旗郁馬, 大山英明: 感覚共有と小型人型ロボット操縦のためのコンパクトな画像安定化システム, 日本機械学会論文誌, Vol. 75, No. 759-C, pp. 3019-3028, 2009.

[産-03]Eimei Oyama, Norifumi Watanabe, Takadhi Omori, Kosuke Shinoda, Itsuki Noda, Naoji Shiroma, A. Agah, Kazutaka Hamada, Tomoko Yonemura, Hideyuki Ando, Taro Maeda: A study on wearable behavior navigation system - Development of simple Parasitic Humanoid System -, Proc. of 2010 IEEE International Conference on Robotics and Automation (IEEE ICRA 2010), May 3-8, 2010.

[産-04]Naoji Shiroma, Eimei Oyama: Development of virtual viewing direction operation system with image stabilization for asynchronous visual information sharing, Proc. of 19th IEEE International Symposium in Robot and Human Interactive Communication (IEEE Ro-Man 2010), Sep. 12-15, 2010.

[産-05]Eimei Oyama, Norifumi Watanabe, Hiroaki Mikado, H. Araoka, J. Uchida, Takashi Omori, Kosuke Shinoda, Itsuki Noda, Naoji Shiroma, A. Agah, Kazutaka Hamada, Tomoko Yonemura, Hideyuki Ando, Dsuke Kondo, Taro Maeda: A study on wearable behavior navigation system (II) - A comparative study on remote behavior navigation system for first aid treatment -, Proc. of 19th IEEE International Symposium in Robot and Human Interactive Communication (IEEE Ro-Man 2010), Sep. 12-15, 2010.

[産-06]Eimei Oyama, Naoji Shiroma: Asynchronous visual information sharing system with image stabilization, Proc. of 2010 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2010), 2010.

[産-07]Eimei Oyama, Naoji Shiroma: Behavior navigation system for Use in harsh environments, Proc. of The 2011 IEEE International Symposium on Safety, Security, and Rescue Robotics (SSRR2011), pp. 272-277, 2011 (DOI: 10.1109/SSRR.2011. 6106799)

[産-08]Kosuke Shinoda, Eimei Oyama, Itsuki Noda: Pedestrian dynamics simulator for wearable navigation, Proc. of The 21th International Conference on Artificial Reality and Telexistence (ICAT 2011), 2011.

[産-09]Eimei Oyama, Norifumi Watanabe, Hiroaki Mikado, Hikaru Araoka, Jun Uchida, Takashi Omori, Yasuo Kunimi, Itsuki Noda, Naoji Shiroma, Arvin Agah: Proc. of 2012 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII), 2012.

【NTT】(国内(和文)誌 3 件、国際(欧文)誌 8 件)

[N-01]Tomohiro Amemiya, Hideyuki Ando, Taro Maeda: Haptic navigation for broad social applications by kinesthetic illusion of pulling sensation, Proc. of 17th International Conference on Artificial Reality and Telexistence (ICAT 2007), pp. 129-134, Esbjerg, Denmark, December 2007.

[N-02]Tomohiro Amemiya, Taro Maeda: NOBUNAGA: Multicylinder-like pulse generator for kinesthetic illusion of being pulled smoothly, Proc. of EuroHaptics 2008, pp. 580-585, Madrid, Spain, June 2008.

[N-03]Tomohiro Amemiya, Hideyuki Ando, Taro Maeda: Lead-me interface for a pulling sensation from hand-held devices, ACM Transactions on Applied Perception, Vol. 5, No. 3, Article 15, August 2008.

- [N-04]雨宮智浩, 前田太郎: 非対称振動を伴う物体の挙錘により生成される重量錯覚, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 13, No. 1, 2008.
- [N-05]Tomohiro Amemiya, Taro Maeda: Asymmetric oscillation distorts the perceived heaviness of handheld objects, IEEE Transactions on Haptics, Vol. 1, No. 1, pp. 9-18, Jan-Jun. 2008.
- [N-06]雨宮智浩, 前田太郎: 非対称振動を伴う物体の挙錘により生成される重量錯覚, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 13, No. 1, pp. 59-68, 2008.
- [N-07]雨宮智浩, 前田太郎: 錯覚を利用した牽引力感覚提示装置の小型軽量化とその効果, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 10, No. 4, pp. 125-134, 2008.
- [N-08]Tomohiro Amemiya, Taro Maeda, Hideyuki Ando: Locaton-free Haptic Interaction for Large-Area Social Applications, Personal and Ubiquitous Computing, Vol. 13, No. 5, pp. 379-386, Springer, June 2009.
- [N-09]Tomohiro Amemiya, Taro Maeda: Impact of pulse width and pulse oscillation interval on perception of pseudo-attraction force, Proc. of IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC 2009), pp. 1724-1729, 2009.
- [N-10]Iwaki Toshima, Norifumi Watanabe, Takashi Omori: Possibility of guidance of arm movement in circle-writing experiment, Proc. of the 2009 IEEE International Conference on System, Man, and Cybernetics, pp. 448-453, 2009
- [N-11]Tomohiro Amemiya, Taro Maeda : Directional force sensation by asymmetric oscillation from a double-layer slider-crank mechanism, Transactions of the ASME Journal of Computing and Information Science in Engineering, Vol. 9, No. 1, 011001, 2009.

(2)その他の著作物(総説、書籍など)

・総説(5件)

【阪大】(3件)

- [阪-20]安藤英由樹, 渡邊淳司, 雨宮智浩, 前田太郎: 力触覚における錯覚とその応用, 計測と制御, Vol. 47, No. 7, pp. 582-586, 2008年6月.
- [阪-21]前田太郎, 安藤英由樹, 飯塚博幸: 超身体感覚, 日本バーチャルリアリティ学会誌, Vol. 14, No. 2, pp. 27-31, 2009年6月.
- [阪-22]飯塚博幸, 丹羽真隆, 近藤大祐, 安藤英由樹, 前田太郎: 身体性に基づく実世界インタフェース, 情報処理, Vol. 15, No. 7, pp. 767-774, 2010年7月.

【玉川大】(1件)

- [玉-08]渡邊紀文, 三門裕明, 大森隆司: 人の行動誘導を目指した歩行運動の解析と行動決定過程のモデル化, 玉川大学脳科学研究所紀要, Vol. 4, pp. 1-9, 2011年3月.

【NTT】(1件)

- [N-12]雨宮智浩: 知覚の非線形性を利用した牽引力感の提示, 日本ロボット学会誌, Vol. 30, No. 5, pp. 483-485, 2012年6月.

・書籍(6件)

【阪大】(4件)

- [阪-23]前田太郎, 究極のサイバーインタフェースのつくり方, サイエンス・イマジネーション, pp. 88-109, 2008.
- [阪-24]相良和彦, 田中靖人, 竹市博臣, 山下宙人, 長谷川良平, 岡部達哉, 前田太郎: ブレインコミュニケーション-脳と社会の通信手段-, 社団法人電子情報通信学会 (ISBN 978-4-88552-253-6), 2011年4月.
- [阪-25]前田太郎, ヒューマンインタラクション, ロボットテクノロジー, 日本ロボット学会編, オーム

- 社 (ISBN 978-4274210723), pp. 10-15, 2011 年 8 月.
- [阪-26]前田太郎,「人間ラジコン」みたいに、人間を好きな方向に歩かせられる？, 藤子プロ日本科学未来館(監修), ドラえもん科学ワールド special-ひみつ道具 Q&A-, pp. 206-209, 2013 年 3 月.
- 【産総研】(1 件)
- [産-10]Eimei Oyama, Norifumi Watanabe, Naoji Shiroma, and Takashi Omori, Wearable Behavior Navigation Systems for First Aid Assistance, in Arvin Agah (ed.), Medical Applications of Artificial Intelligence, CRC, Press/Taylor & Francis Group (will be published in 2013).
- 【NTT】(1 件)
- [N-13]Tomohiro Amemiya, Hideyuki Ando, Taro Maeda: Kinesthetic illusion of being pulled sensation Enables haptic navigation for broad social applications, Advances in Haptics, (Edited by Mehrdad Hosseini Zadeh), In-Tech (ISBN978-953-307-093-3), pp. 403-414, April 2010.
- (3)国際学会発表及び主要な国内学会発表
- ① 招待講演 (国内会議 15 件、国際会議 7 件)
- 【阪大】(国内会議 9 件、国際会議 4 件)
- [阪-27]安藤英由樹, 雨宮智浩, 前田太郎, 渡邊淳司: 錯覚を利用したインタフェース, 日本バーチャルリアリティ学会手ほどき研究会/ロボット学会「手の巧みさ」研究会, pp. 47-48, 東京, 2008 年 1 月 24 日.
- [阪-28]安藤英由樹: 手を動かす錯覚・動く手が生む錯覚: 錯覚を利用したインタフェース, 第 48 回シンポジウム-手を探る, 日本ロボット学会, 東京, 2008 年 7 月 23 日.
- [阪-29]米村朋子: 眼球運動による能動的視覚: パーシュート運動時の速度知覚, 第 36 回 Young Perceptionists' Seminar, 京都, 2008 年 9 月 6 日.
- [阪-30]前田太郎: 感覚情報の計測と通信: QOS に期待すること, 電子情報通信学会通信ソサイエティ「新しいコミュニケーション品質の評価技術」, 神奈川, 2008 年 9 月 17 日.
- [阪-31]安藤英由樹: AR 時代のユーザー・インタフェース—錯覚を利用したヒトの感覚を拡張, センサシンポジウム 2009, 日経エレクトロニクス, 目黒雅叙園, 5 月 28 日.
- [阪-32]前田太郎: ヒトと共生する計測と制御, 国際シンポジウム東京 2009「センシングが切り拓く先端的“知”」豊橋 GCOE, 東京, 2009 年 11 月 5 日.
- [阪-33]Taro Maeda, Hideyuki Ando, Hiroyuki Iizuka: Wearable Robotics as a Behavioral Assist Interface like Oneness between Horse and Rider, IUCS 2009, Tokyo, December 3, 2009.
- [阪-34]Hideyuki Ando, Hiroyuki Iizuka, Tomoko Yonemura, Taro Maeda: Multimodal Communications System based on Parasitic Humanoid Network - Synergistic Work Support System Using Common Viewing Device, ASIAGRAPH 2010, Shanghai, Jun. 2010.
- [阪-35]Hiroyuki Iizuka, Hideyuki Ando, Taro Maeda: Agency Detection in Behavioural Turing Test - Toward a Novel Interface that can Communicate Like Human -, ASIAGRAPH 2010, Jun. 2010.
- [阪-36]米村朋子: Pseudo-Haptic: 上腕運動時の視覚フィードバック操作による疑似力覚, 九州大学視覚認知の展望ワークショップ, 福岡, 2010 年 9 月.
- [阪-37]前田太郎: パラサイトヒューマンによる感覚伝送と行動支援: 前庭電気刺激による平衡感覚刺激インタフェースとその応用, 第 69 回日本めまい平衡医学会総会・学術講演会, 京都, 2010 年 11 月.
- [阪-38]Taro Maeda, Hideyuki Ando, Hiroyuki Iizuka, Tomoko Yonemura, Disuke Kondo, Yuki Hashimoto: Immersive tele-collaboration with Parasitic

Humanoid: how to assist behavior directly in mutual telepresence: The 21th International Conference on Artificial Reality and Telexistence (ICAT 2011), Osaka, Nov. 30, 2011.

[阪-39]米村朋子: 自己運動時における視覚運動協応の制御: 自己運動知覚はどのように維持されるのか?, 第14回「知覚と脳」懇話会, 福岡, 2013年2月22日.

【玉川大】(国内会議 0 件、国際会議 2 件)

[玉-09]Takashi Omori, Yuki Togashi, Koichiro Yamauchi: Model of attention allocation for car driver by driving plan and prediction of environment change, 1st International Conference of Cognitive Neurodynamics (ICCN2007), 105, Shanghai, 20th, November, 2007.

[玉-10]Takashi Omori, Ayako Yokoyama, Y. Nagata, S. Ishikawa: Computational Modeling of Action Decision Process including Other's Mind - A Theory toward Social Ability -, IEEE International Conf. on Intelligent Human Computer Interaction, India, January 16, 2010.

【東工大】(国内会議 4 件、国際会議 0 件)

[工-26]岡田昌史: 制御, 身体 of 非線形性が創発するロボットの運動 - 力学現象の設計からロボットの知能へ -, 計測自動制御学会 ニューラルネットワーク計算知能フォーラム, 福井, 2007年11月8日.

[工-27]岡田昌史: 非線形力学に基づいたロボットの制御と擬似目標値への応用 - 胸骨圧迫を対象として -, 東京防災救急協会, 東京, 2012年7月31日.

[工-28]岡田昌史: 胸骨圧迫運動の強調教示, 電気学会 D 部門 ISAM 研究会, 東京, 2012年8月3日.

[工-29]岡田昌史: 非線形力学に基づいたロボットの制御と擬似目標値への応用 - 人の行動誘導を目指して -, 山形大学次世代ロボットデザインセンター第15回次世代ロボットデザインセンター講演会, 山形, 2012年8月7日.

【産総研】(国内会議 2 件、国際会議 1 件)

[産-11]大山英明: テレビ電話機能を持つ普及した IT デバイスを用いた救命処置の遠隔支援, 第39回日本救急医学会総会, 東京, 2011年10月20日.

[産-12]Eimei Oyama: Wearable Behavior Navigation System, Netexplo Forum 2012, Paris, France, Mar. 16, 2012.

[産-13]大山英明: 遠隔行動誘導システム, 第4回ZMPフォーラム, 東京, 2012年7月26日.

② 口頭発表 (国内会議 87 件、国際会議 5 件)

【阪大】(国内会議 43 件、国際会議 2 件)

[阪-40]濱田和孝, 加藤翼, 宮田祐樹, 北原悠樹, 安藤英由樹, 前田太郎: 前後・左右・回転方向への加速度刺激をもたらす前庭電気刺激手法の提案, 第13回日本バーチャルリアリティ学会大会, pp. 230-233, 奈良, 2008年9月24日.

[阪-41]宮田祐樹, 加藤翼, 濱田和孝, 北原悠樹, 安藤英由樹, 前田太郎: 4 極前庭電気刺激における電流量と頭部姿勢との対応関係の実測, 第13回日本バーチャルリアリティ学会大会, pp. 234-237, 奈良, 2008年9月24日.

[阪-42]加藤翼, 濱田和孝, 宮田祐樹, 北原悠樹, 安藤英由樹, 前田太郎: 視覚刺激と前庭刺激を用いた頭部運動追従の特性評価, 第13回日本バーチャルリアリティ学会大会, pp. 238-241, 奈良, 2008年9月24日.

[阪-43]岡田慎矢, 安藤英由樹, 前田太郎: 流体ジャイロ効果を用いた非接地型力覚提示デバイスの提案, 第13回日本バーチャルリアリティ学会大会, pp. 306-308, 奈良, 2008年9月24日.

[阪-44]濱口英典, 安藤英由樹, 前田太郎: 打撃力を用いた擬似牽引力提示装置の開発, 第13

- 回日本バーチャルリアリティ学会大会, pp. 309-312, 奈良, 2008 年 9 月 24 日.
- [阪-45]長江依奈, 安藤英由樹, 前田太郎:回転式バネカム構造を用いた疑似牽引力提示装置の提案, 第 13 回日本バーチャルリアリティ学会大会, pp. 313-316, 奈良, 2008 年 9 月 24 日.
- [阪-46]野崎智子, 安藤英由樹, 前田太郎:指先に牽引力/凹凸感を提示する爪装着型デバイスの提案, 第 13 回日本バーチャルリアリティ学会大会, pp. 469-470, 奈良, 2008 年 9 月 25 日.
- [阪-47]湯村武士, 安藤英由樹, 前田太郎:爪上装着型触覚提示技術を利用した触覚伝送手法の研究~凹凸感伝送のための加速度計測~, 第 13 回日本バーチャルリアリティ学会大会, pp. 471-474, 奈良, 2008 年 9 月 25 日.
- [阪-48]米村朋子:眼球運動時の速度知覚~自己中心座標における異方性~, 第 4 回関西若手実験心理学会, 京都, 2008 年 11 月 29 日.
- [阪-49]濱口英典, 安藤英由樹, 飯塚博幸, 前田太郎:打撃力を用いた疑似牽引力提示装置の設計, 日本ロボット学会 手の巧みさ研究専門委員会 第6回「手」研究会, 北海道, 2009 年 6 月 16 日.
- [阪-50]Hiroyuki Iizuka, Hideyuki Ando, Taro Maeda: Synthesis and collapse of turn-taking rules on behaviour-based turing test, Logic, Game Theory and Social Choice 6, Japan, Aug. 26, 2009.
- [阪-51]濱口英典, 前田太郎, 安藤英由樹:打撃力を用いた疑似牽引力提示手法における非対称推力の最大値比率及び時間比率が牽引力錯覚に与える影響, 日本バーチャルリアリティ学会第 14 回大会論文集, 東京, 2009 年 9 月 9 日.
- [阪-52]川崎宏記, 岡本信, 中村和志, 米村朋子, 飯塚博幸, 安藤英由樹, 前田太郎:一人称視点映像重ね合わせを用いた視覚・運動共有手法の検討, 日本バーチャルリアリティ学会第 14 回大会論文集, 東京, 2009 年 9 月 9 日. 口頭発表.
- [阪-53]湯村武士, 前田太郎, 安藤英由樹:爪上触覚伝送における振動の周波数帯域と再現可能テクスチャの関係, 日本バーチャルリアリティ学会第 14 回大会論文集, 東京, 2009 年 9 月 9 日.
- [阪-54]前田太郎, 岡田慎矢, 坂口翔太, 丹羽真隆, 飯塚博幸, 安藤英由樹:「つもり」の検出と伝送:遠隔伝送における随意性の拡張可能性の検討, 日本バーチャルリアリティ学会第 14 回大会論文集, 東京, 2009 年 9 月 10 日.
- [阪-55]岡田慎矢, 坂口翔太, 丹羽真隆, 飯塚博幸, 安藤英由樹, 前田太郎:ロボット操縦における「つもり」の伝送と検出の検討, 日本バーチャルリアリティ学会第 14 回大会論文集, 2009 年 9 月 10 日.
- [阪-56]黒崎敬太郎, 濱田和孝, 近藤大祐, 飯塚博幸, 安藤英由樹, 前田太郎:実空間と VR 空間の視点を一致させたビデオシースルーHMD の開発と評価, 日本バーチャルリアリティ学会第 14 回大会論文集, 2009 年 9 月 11 日.
- [阪-57]廣瀬光彦, 近藤大祐, 飯塚博幸, 安藤英由樹, 前田太郎:場所と興味を反映した情報提示のための頭部搭載スクリーンを用いた遭遇型ディスプレイの提案, 日本バーチャルリアリティ学会第 14 回大会論文集, 2009 年 9 月 11 日.
- [阪-58]長江依奈, 安藤英由樹, 米村朋子, 飯塚博幸, 前田太郎:疑似牽引力提示装置の装着方法が牽引力錯覚に及ぼす影響, 日本バーチャルリアリティ学会第 14 回大会論文集, 3A1-5, 東京, 2009 年 9 月 11 日.
- [阪-59]宮田祐樹, 濱田和孝, 飯塚博幸, 安藤英由樹, 前田太郎:前庭電気刺激における頭部電流経路モデルの改善, 日本バーチャルリアリティ学会第 14 回大会論文集, 東京, 2009 年 9 月 11 日.
- [阪-60]湯村武士, 前田太郎, 安藤英由樹:周波数帯域を考慮した爪上振動刺激装置の設計, 日本バーチャルリアリティ学会力触覚の提示と計算研究会第3回研究会, pp. 11-12, 大阪, 2009 年 10 月 28 日.
- [阪-61]濱口英典, 雨宮智浩, 前田太郎, 安藤英由樹:周期的な打撃力による疑似牽引力生成

- の効果の検討～衝突時間の変化による影響～, 日本バーチャルリアリティ学会力触覚の提示と計算研究会第3回研究会, pp. 47-48, 大阪, 2009年10月28日.
- [阪-62]濱田和孝, 宮田祐樹, 近藤大祐, 米村朋子, 飯塚博幸, 安藤英由樹, 前田太郎:遠隔視点共有における前庭電気刺激を用いた頭部運動支援, 第10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. 407-410, 東京, 2009年12月24日.
- [阪-63]坂口翔太, 岡田慎矢, 丹羽真隆, 飯塚博幸, 安藤英由樹, 前田太郎:「つもり」の抽出によるロボット操縦支援技術の提案と随意性の評価, 第10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論文集, pp. 365-368, 東京, 2009年12月24日.
- [阪-64]野崎智子, 丹羽真隆, 前田太郎, 安藤英由樹:牽引力/凹凸覚を提示する爪装着型触覚提示デバイス, 第10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論文集, pp. 1015-1018, 東京, 2009年12月25日.
- [阪-65]服部響, 黒崎敬太郎, 川崎宏記, 近藤大祐, 橋本悠希, 米村朋子, 飯塚博幸, 安藤英由樹, 前田太郎:視野共有システムにおけるVST-HMDの広視野角化と画像安定化による空間認識への効果, 第15回日本バーチャルリアリティ学会大会, 石川, 2010年9月.
- [阪-66]杉崎有, 橋本悠希, 米村朋子, 飯塚博幸, 安藤英由樹, 前田太郎:眼球運動との同期による前庭感覚電気刺激の最適化, 第15回日本バーチャルリアリティ学会大会, 石川, 2010年9月.
- [阪-67]横坂拓巳, 米村朋子, 岡本信, 川崎宏記, 近藤大祐, 橋本悠希, 飯塚博幸, 安藤英由樹, 前田太郎:空間周波数処理を用いた視点誘導手法, 第15回日本バーチャルリアリティ学会大会, 石川, 2010年9月.
- [阪-68]橋本悠希, 雨宮智浩, 米村朋子, 飯塚博幸, 安藤英由樹, 前田太郎:スマートフォンを用いた触覚情報の共有に関する研究, 第15回日本バーチャルリアリティ学会大会, 石川, 2010年9月.
- [阪-69]黒崎敬太郎, 川崎宏記, 近藤大祐, 米村朋子, 橋本悠希, 飯塚博幸, 安藤英由樹, 前田太郎:一人称視野共有によるスキル伝達・学習の効果, 第15回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, pp. 676-679, 石川, 2010年9月.
- [阪-70]湯村武士, 橋本悠希, 米村朋子, 飯塚博幸, 安藤英由樹, 前田太郎:凹凸感に係わる指腹への刺激の要素特定, 第15回日本バーチャルリアリティ学会大会, 石川, 2010年9月.
- [阪-71]米村朋子:追従運動時の疑似力覚生起における速度変化対象と変化割合の影響, 第38回 Young Perceptionists' Seminar, 福岡, 2010年9月.
- [阪-72]湯村武士, 橋本悠希, 米村朋子, 飯塚博幸, 安藤英由樹, 前田太郎:疑似凹凸知覚に必要な指腹への刺激要素特定, 力触覚の提示と計算研究会第5回研究会, 宮城, 2010年11月.
- [阪-73]橋本悠希, 米村朋子, 飯塚博幸, 前田太郎, 安藤英由樹, 梶本裕之:人から人へのテレイグジスタンスにおける触覚伝送・共有技術, 第13回日本感性工学会大会, 東京, 2011年9月5日.
- [阪-74]濱口英典, 丹羽真隆, 飯塚博幸, 安藤英由樹, 前田太郎:疑似牽引力を提示する非対称振動の設計手法に関する研究, 第16回日本バーチャルリアリティ学会, 北海道, 2011年9月21日.
- [阪-75]橋本悠希, 米村朋子, 近藤大祐, 飯塚博幸, 安藤英由樹, 前田太郎:パラサイトヒューマンシステムによる感覚伝送・共有とその応用, 第4回横幹連合コンファレンス, 石川, 2011年11月28日.
- [阪-76]前田太郎:錯覚を用いて人の行動を支援する:パラサイトヒューマン技術の展開, 第8回エレクトロニクス部門委員会, 東京, 2011年12月2日.
- [阪-77]濱口英典, 丹羽真隆, 橋本悠希, 飯塚博幸, 安藤英由樹, 前田太郎:疑似牽引力によるプローブ操作の運動誘導に関する検討, 第12回公益社団法人計測自動制御学会, 京都, 2011年12月24日.
- [阪-78]杉崎有, 橋本悠希, 米村朋子, 飯塚博幸, 安藤英由樹, 前田太郎:前庭電気刺激を用

- いた頭部と眼球の運動による視野移動の補佐, 第 12 回公益社団法人計測自動制御学会, 京都, 2011 年 12 月 25 日.
- [阪-79]北尾太嗣, 米村朋子, 横坂拓巳, 近藤大祐, 橋本悠希, 飯塚博幸, 安藤英由樹, 前田太郎: スキル伝達における頭部運動の協調を実現する教示動作の分析, 第 17 回日本バーチャルリアリティ学会, 東京, 2012 年 9 月 12 日.
- [阪-80]近藤大祐, 米村朋子, 橋本悠希, 飯塚博幸, 安藤英由樹, 前田太郎: 視野共有システムにおける頭部追従マーカの改良. 第 17 回日本バーチャルリアリティ学会, 東京, 2012 年 9 月 12 日.
- [阪-81]前田太郎: VR 技術が頭わにする世界と自己のリアリティ. 第 17 回日本バーチャルリアリティ学会, 東京, 2012 年 9 月 14 日.
- [阪-82]橋本悠希, 近藤大祐, 米村朋子, 飯塚博幸, 安藤英由樹, 前田太郎: 爪上振動刺激デバイスによる外形提示のための振動波形設計. 第 17 回日本バーチャルリアリティ学会, 東京, 2012 年 9 月 14 日.
- [阪-83]青山一真, 橋本悠希, 近藤大祐, 米村朋子, 飯塚博幸, 安藤英由樹, 前田太郎: 多極前庭電気刺激における動的な電流印加の影響. 第 17 回日本バーチャルリアリティ学会, 東京, 2012 年 9 月 14 日.
- [阪-84]Kyo Hattori, Daisuke Kondo, Yuki Hashimoto, Tomoko Yonemura, Hiroyuki Iizuka, Hideyuki Ando, Taro Maeda: Teleoperation Method to Enable Intuitive Spatial Cognition for Wide-Area. Proc. of International Workshop on Advanced Image Technology 2013 (IWAIT2013, 2A-5), pp. 136-141, Nagoya, Japan, Jan. 2013.
- 【玉川大】(国内会議 12 件、国際会議 1 件)
- [玉-11]Takashi Omori, Ayami Yokoyama, Hiroyuki Okada: Computational modeling of human-robot interaction based on active intention estimation, Proc. of the 14th International Conference on Neural Information Processing (ICONIP2007), 240, Kitakyushu, Nov. 2007.
- [玉-12]横山絢美, 大森隆司, 岡田浩之: 他者理解を計算過程として表現する, 第 5 回生活支援工学系学会連合大会, 1C1-2, 茨城, 2007 年 10 月.
- [玉-13]高橋英之, 大森隆司, 石川 悟, 室橋春光, 神尾陽子: 他者理解を必要とする場面における意思決定の分析, 第 5 回生活支援工学系学会連合大会, 1C1-3, 茨城, 2007 年 10 月.
- [玉-14]佐藤敦史, 石川悟, 大森隆司, 山内康一郎: 動的環境下における人の適応的プランニングの計算モデル化, 電子情報通信学会技術研究報告 NC2007-162, pp. 295-300, 2008.
- [玉-15]戸田航平, 渡邊紀文, 戸嶋巖樹, 大森隆司, 岡田浩之: 前庭感覚刺激を用いた歩行誘導のモデル化, 日本知能情報ファジィ学会第 5 回脳と知覚研究部会, ワークショップ pp. 5-1 - 5-4, 福岡, 2008 年 12 月 7 日.
- [玉-16]渡邊紀文, 三門裕明, 大森隆司: 前庭感覚刺激を利用した安定姿勢における手先誘導の評価, 日本知能情報ファジィ学会第 6 回脳と知覚研究部会ワークショップ, 愛知, 2009 年 12 月 14 日.
- [玉-17]矢作拓也, 渡邊紀文: 人間行動データに基づいたロボカップサッカーシミュレーションにおけるチームワークの形成, 2010 年度人工知能学会全国大会 (第 24 回), 長崎, 2010 年 6 月.
- [玉-18]渡邊紀文, 三門裕明, 大森隆司: 視覚入力に対するすれ違い時の行動決定のモデル化, 日本知能情報ファジィ学会ファジィシステムシンポジウム講演論文集, Vol. 26, pp. 276-279, 広島, 2010 年 9 月.
- [玉-19]三門裕明, 渡邊紀文, 大森隆司: 人の行動誘導を目指した 1 対 1 のすれ違い行動決定過程のモデル化, 人工知能学会 社会における AI 研究会第 11 回研究会, 愛知, 2010

年 12 月.

- [玉-20]渡邊紀文, 西野健太, 大森隆司:混雑時の行動誘導を目指した視線制御による歩行者の誘導, 電子情報通信学会技術研究報告, AI2010-59, pp. 7-11, 長野, 2011 年 3 月.
- [玉-21]渡邊紀文, 三門裕明, 大森隆司:視覚誘導性自己運動知覚と身体動揺を利用した歩行者の誘導モデル, 日本知能情報ファジィ学会ファジィシステムシンポジウム, 福井, 2011 年 9 月 12 日.
- [玉-22]渡邊紀文, 大森隆司:周辺視へのオプティカルフロー刺激呈示による歩行者の誘導, 第 28 回ファジィシステムシンポジウム講演論文集, pp. 512-515, 2012.
- [玉-23]森文彦, 渡邊紀文, 大森隆司:周辺視と振動刺激による歩行誘導と感覚統合, 電子情報通信学会技術研究報, Vol. 112, No. 480, NC2012-138, pp. 25-30, 2013.

【東工大】(国内会議 23 件、国際会議 1 件)

- [工-30]渡辺将旭, 岡田昌史:軌道アトラクタに基づくコントローラの身体・運動要素への分解と組み合わせによる設計, 第 26 回日本ロボット学会学術講演会, 3F1-07(CD-ROM), 2008, 兵庫, 2008 年 9 月.
- [工-31]本間良幸, 岡田昌史:群の連続体モデルに基づく混雑緩和のためのアメニティ設計, 第 26 回日本ロボット学会学術講演会, 3O1-06(CD-ROM), 2008, 兵庫, 2008 年 9 月.
- [工-32]Masafumi Okada, Jun Takeishi: Design of nonlinearity of passive stiffness using closed kinematic chain for impact absorption, Proc. of JSME International Conference on Motion and Power Transmissions (MPT2009), pp. 567-572, Miyagi, Japan, April 2009.
- [工-33]宮寄哲郎, 岡田昌史:運動特性を保存した非線形状態空間写像とアナロジーに基づくコントローラ設計, 日本機械学会 機械力学・計測制御部門 Dynamics and Design Conference 2009, No.624 (CD-ROM), 北海道, 2009 年 5 月.
- [工-34]本間良幸, 岡田昌史:混雑緩和のためのアメニティ設計と移動ロボットへの応用, 第 27 回日本ロボット学会学術講演会, 1F2-02 (CD-ROM), 神奈川, 2009 年 9 月.
- [工-35]安藤輝尚, 岡田昌史:場の最適化による避難誘導のための人員配置, 第 27 回日本ロボット学会学術講演会, 1G2-03 (CD-ROM), 神奈川, 2009 年 9 月.
- [工-36]渡辺将旭, 岡田昌史:軌道アトラクタに基づく運動の分節化のための仮想目標値, 第 27 回日本ロボット学会学術講演会, 1L3-03 (CD-ROM), 神奈川, 2009 年 9 月.
- [工-37]長谷川将臣, 岡田昌史:関節ローカルフィードバックを持つロボットの動的姿勢制御, 第 28 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, RSJ2010AC1P3-6 (CD-ROM), 愛知, 2010 年 9 月.
- [工-38]Nicolas Schmit, Masafumi Okada: Synthesis of nonlinear stiffness profile with a varying radius cable spool, 第 28 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, RSJ2010AC1P3-7 (CD-ROM), 愛知, 2010 年 9 月.
- [工-39]山本江, 岡田昌史:群の交差流の連続体モデルと時間・空間周波数に基づく歩行者制御, 第 28 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, RSJ2010AC3C3-5 (CD-ROM), 愛知, 2010 年 9 月.
- [工-40]茂木祐一, 岡田昌史:イベント空間における閲覧者の閲覧時間と個性のモデル化のための力学系次元拡張, 第 28 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, RSJ2010AC3C3-6 (CD-ROM), 愛知, 2010 年 9 月.
- [工-41]岡田昌史, 竹田裕史:跳躍ロボットのための非円形歯車による非線形減速比の最適設計, 第 29 回日本ロボット学会学術講演会, RSJ2011AC1E3-3 (CD-ROM), 東京, 2011 年 9 月.
- [工-42]シュミットニコラ, 岡田昌史:ロボットの軌道と非線形剛性の同時最適設計, 第 29 回日本ロボット学会学術講演会, RSJ2011AC1E2-3 (CD-ROM), 東京, 2011 年 9 月.
- [工-43]茂木祐一, 山本江, 岡田昌史:人の動線計測による展示品の閲覧者モデル同定と快適空間設計, 第 29 回日本ロボット学会学術講演会, RSJ2011AC1N1-3 (CD-ROM), 東京,

2011 年 9 月.

- [工-44]山本江, 岡田昌史: 人の歩行軌跡データを用いた歩行者群モデルのパラメータ同定と交差流制御への応用, 第 29 回日本ロボット学会学術講演会, RSJ2011AC1N1-2 (CD-ROM), 東京, 2011 年 9 月.
- [工-45]山本江, 岡田昌史: 交差流の時間・空間周波数を利用した歩行者制御, 第 16 回日本 IFToMM 会議シンポジウム前刷集, pp. 45-50, 東京, 2011 年 10 月.
- [工-46]宮寄哲郎, 岡田昌史: ロボットの運動のための力学的アナロジー, 第 16 回日本 IFToMM 会議シンポジウム前刷集, pp. 55-58, 東京, 2011 年 10 月.
- [工-47]萱島駿, 岡田昌史: 強調運動提示による胸骨圧迫の運動教示と評価, 2012 年度日本 IFToMM 会議第 18 回シンポジウム前刷集, pp. 49-54, 東京, 2012 年 5 月.
- [工-48]宮寄哲郎, 岡田昌史: 力学的整合性を満たす運動パターンの獲得, 第 30 回日本ロボット学会学術講演会, RSJ2012AC4N3-8 (CD-ROM), 2012, 北海道, 2012 年 9 月.
- [工-49]山本江, 岡田昌史: 商業空間における複数の人の列の衝突回避を考慮した動的形状制御, 第 30 回日本ロボット学会学術講演会, RSJ2012AC2H1-2 (CD-ROM), 2012, 北海道, 2012 年 9 月.
- [工-50]竹田裕史, 岡田昌史: 跳躍ロボットの速比最適化と非円形歯車による実現, 第 30 回日本ロボット学会学術講演会, RSJ2012AC2O1-3 (CD-ROM), 2012, 北海道, 2012 年 9 月.
- [工-51]シュミットニコラ, 岡田昌史: 非円形スプールと差動機構による可変非線形剛性の実現, 第 30 回日本ロボット学会学術講演会, RSJ2012AC2O1-4 (CD-ROM), 2012, 北海道, 2012 年 9 月.
- [工-52]萱島駿, 岡田昌史: 運動学と動力学に基づいた閉リンク系の運動最適化, 第 30 回日本ロボット学会学術講演会, RSJ2012AC 3L2-5 (CD-ROM), 2012, 北海道 2012 年 9 月.
- [工-53]宮寄哲郎, 岡田昌史: 位置・速度・加速度の微分関係と力学的整合性を満たす運動パターンの生成, 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, 2N3-5, 2012.

【産総研】(国内会議 7 件、国際会議 1 件)

- [産-14]城間直司, 小林淳一, 大山英明: 小型人型ロボットのための画像安定化システム, 第 26 回日本ロボット学会学術講演会, 3I1-02 (CD-ROM), 兵庫, 2008 年 9 月 11 日.
- [産-15]篠田孝祐, 大山英明, 野田五十樹: ウェアラブルデバイスを活用したナビゲーションシステムの構築 のための歩行者ダイナミクスシミュレータの開発, 第 7 回社会における AI 研究会, 2008 年 10 月.
- [産-16]篠田孝祐, 野田五十樹, 大山英明: ウェアラブルナビゲーションの検証を目的とした歩行者ダイナミックシミュレータの開発, 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, 予稿集 pp. 527-528, 岐阜, 2008 年 12 月 6 日.
- [産-17]大山英明, 渡邊紀文, 三門裕明, 大森隆司, 篠田孝祐, 野田五十樹, 城間直司, 米村朋子, 安藤英由樹, 近藤大祐, 前田太郎: ウェアラブル行動誘導システムの研究 - 共通プラットフォーム技術による簡易型パラサイトヒューマンシステムの開発 -, 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, 2009 年 12 月 25 日.
- [産-18]篠田孝祐, 渡邊紀文, 大山英明, 大森隆司: 環境光を利用した群集誘導に関する一考察, 2010 年度人工知能学会全国大会(第 24 回), 長崎, 2010 年 6 月.
- [産-19]篠田孝祐, 渡邊紀文, 大山英明, 大森隆司: ヒトにも走光性があるか: 光や音での行動誘導, MYCOM2010, 2010 年 6 月.
- [産-20]Eimei Oyama: Remote behavior navigation for Emergency situations: 2011 Japan- Korea Workshop, Aichi, Japan, Jul. 15, 2011.
- [産-21]大山英明, 丹羽真隆, 城間直司, 鈴木夏夫: ウェアラブル行動誘導システムのためのコクピットの開発, 第 13 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 (SI2012)予稿集, 2012.

【NTT】(国内会議 2 件、国際会議 0 件)

[N-14]雨宮智浩, 前田太郎:多段式パルス発生装置を用いた牽引力錯覚の円滑化の検討, 第 13 回日本バーチャルリアリティ学会大会, pp. 215-217, 奈良, 2008 年 9 月 24 日.

[N-15]雨宮智浩, 前田太郎:スマートフォンを用いた CPR における胸骨圧迫動作の推定と教示. 電子情報通信学会 技術研究報告, Vol. 112, No. 336, WIT2012-30, pp. 35-39, 東京, 2012 年 12 月.

③ ポスター発表 (国内会議 42 件、国際会議 16 件)

【阪大】(国内会議 18 件、国際会議 13 件)

[阪-85]米村朋子, 大野哲史, 岡本信, 川崎宏記, 安藤英由樹, 前田太郎:Pseudo-Haptics 生起における運動時間と方向の影響, 日本基礎心理学会第 27 回大会, 宮城, 2008 年 12 月 7 日.

[阪-86]飯塚博幸, 安藤英由樹, 前田太郎:人は非言語相互作用において機械と人を区別できるか? ; 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2009, p.92 (1P1-E09), 福岡, 2009 年 5 月 25 日.

[阪-87]Tomoko Yonemura, Hiroki Kawasaki, Shin Okamoto, Hideyuki Ando, Taro Maeda: A relation between Pseudo-Haptic perception and preceding / delayed visual image. Abst. of the 10th International Multisensory Research Forum, p. 144-145, New York City, USA, Jul. 30, 2009.

[阪-88]Tomoko Yonemura, Taro Maeda: Anisotropy of eye movement and Pseudo-Haptic on velocity change of visual target. Abst. of the 15th European Conference on Eye Movements (ECEM), p.118, Southampton, UK. Aug. 24, 2009.

[阪-89]米村朋子, 岡本信, 前田太郎:到達運動時の Pseudo-Haptic 生起における速度変化パターンの影響:手先への疑似力覚と行動変化の関係性; 日本心理学会第 73 回大会, 発表論文集, p. 613 (3PM106), 京都, 2009 年 8 月 28 日.

[阪-90]濱口英典, 雨宮智浩, 前田太郎, 安藤英由樹:周期的な打撃力による擬似牽引力生成の効果の検討 ~衝突時間の変化による影響~, 日本バーチャルリアリティ学会 力触覚の提示と計算研究会 第 3 回研究会, pp. 47-48, 大阪, 2009 年 10 月.

[阪-91]米村朋子, 大野哲史, 岡本信, 川崎宏記, 安藤英由樹, 前田太郎:Pseudo-Haptic 生起における速度変化対象の影響; 日本基礎心理学会第 28 回大会, 東京, 2009 年 12 月 6 日.

[阪-92]湯村武士, 前田太郎, 安藤英由樹:なぞり動作を伴った触覚伝送手法の研究, 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会 2010, 北海道, 2010 年 6 月.

[阪-93]前田太郎, 安藤英由樹:幾何学的完全解としてトロコイド曲線を実現する機械的回転機構の提案, 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会 2010, 北海道, 2010 年 6 月.

[阪-94]近藤大祐, 黒崎敬太郎, 米村朋子, 飯塚博幸, 安藤英由樹, 前田太郎:視点共有による遠隔協調作業のための画像安定化, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2010 講演論文集, DVD-ROM 1A1-G14, 北海道, 2010 年 6 月.

[阪-95]川崎宏記, 岡本信, 飯塚博幸, 安藤英由樹, 前田太郎:一人称視野共有を利用した協調作業支援手法, 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会 2010 (ROBOMECH 2010 in ASAHIKAWA), 北海道, 2010 年 6 月.

[阪-96]Shin Okamoto, Hiroki Kawasaki, Tomoko Yonemura, Daisuke Kondo, Hideyuki Ando, Taro Maeda: Proposing optical flow manipulation method to induce human movement - Toward head movement support in first-person perspective view sharing system, ASIAGRAPH 2010 in Shanghai, China, Jun. 2010.

[阪-97]米村朋子, 前田太郎:前庭電気刺激と物理的加速度刺激による身体傾斜知覚の非等価性, 日本心理学会第 74 回大会, p. 561 (2EV129), 大阪, 2010 年 9 月.

- [阪-98]米村朋子, 横坂拓巳, 近藤大祐, 橋本悠希, 飯塚博幸, 安藤英由樹, 前田太郎: 視野画像の空間周波数の部分的操作が頭部運動による視標追従に与える影響, 日本基礎心理学会第 29 回大会, 2010 年 11 月.
- [阪-99]Aru Sugisaki, Yuki Hashimoto, Tomoko Yonemura, Hiroyuki Iizuka: Effective galvanic vestibular stimulation in synchronizing with ocular movement, Augmented Human Conference, AIST, Tokyo Japan, Mar. 2011.
- [阪-100]Shin Okamoto, Hiroki Kawasaki, Hiroyuki Iizuka, Takumi Yokosaka, Tomoko Yonemura, Yuki Hashimoto, Hideyuki Ando, Taro Maeda: Inducing human motion by visual manipulation, Augmented Human Conference, AIST, Tokyo, Japan, Mar. 2011.
- [阪-101]前田太郎, 安藤英由樹: 幾何学的完全解としてトロコイド曲線を実現する機械的回転機構の改良: 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会, 岡山, 2011 年 5 月 27 日-28 日.
- [阪-102]米村朋子, 横坂拓巳, 前田太郎: 空間周波数処理が頭部運動知覚に与える影響 フロー強度とコントラスト差のトレードオフ: 日本心理学会第 75 回大会, 東京, 2011 年 9 月 16 日.
- [阪-103]米村朋子, 岡本信, 近藤大祐, 橋本悠希, 飯塚博幸, 安藤英由樹, 前田太郎: 頭部到達運動時における自己運動の変化知覚: 視覚手がかりの影響の検討, 日本基礎心理学会第 30 回大会, 神奈川, 2011 年 12 月 4 日.
- [阪-104]横坂拓巳, 米村朋子, 近藤大祐, 橋本悠希, 飯塚博幸, 安藤英由樹, 前田太郎: 上腕運動時における視覚情報中の自他運動の知覚的融合, 日本基礎心理学会第 30 回大会, 神奈川, 2011 年 12 月 4 日.
- [阪-105]Tomoko Yonemura, Taro Maeda: Detection of orientation change during smooth pursuit eye movement, Abst. of ECEM 2011, France, Aug. 22, 2011.
- [阪-106]Kyo Hattori, Disuke Kondo, Yuki Hashimoto, Tomoko Yonemura, Hiroyuki Iizuka, Hideyuki Ando, Taro Maeda: Reconstruction of spatial cognition from other's view and motion information, Abst. of the 12th International Multisensory Research Forum, Fukuoka, Japan. Oct. 18, 2011.
- [阪-107]Tomoko Yonemura, Shin Okamoto, Hiroki Kawasaki, Disuke Kondo, Yuki Hashimoto, Hiroyuki Iizuka, Hideyuki Ando, Taro Maeda, Velocity modulation of optical flow affects self-motion perception during body motion, Abst. of 12th International Multisensory Research Forum, Fukuoka, Japan, Oct. 18, 2011.
- [阪-108]Yuki Hashimoto, Junji Watanabe, Taro Maeda, Hideyuki Ando: Tactile illusion of texture using vibration to a finger for active touch, IEEE World Haptics Conference 2011, Istanbul, Turkey, Jun. 24, 2011.
- [阪-109]Yuki Hashimoto, Disuke Kondo, Tomoko Yonemura, Hiroyuki Iizuka, Hideyuki Ando, Taro Maeda: Skill transmission by using Parasitic Humanoid system, Proc. of ICAT2011, Osaka, Japan, Nov. 30, 2011.
- [阪-110]前田太郎, 安藤英由樹: トロコイド曲線に沿った回転移動機構による段差乗り越え, ロボティクス・メカトロニクス講演会 (Robomec2012), 静岡, 2012 年 5 月 28 日.
- [阪-111]Yuki Hashimoto, Disuke Kondo, Tomoko Yonemura, Hiroyuki Iizuka, Hideaki Ando, Taro Maeda: A video see-through face mounted display for view sharing. Proc. of the 39th International Conference and Exhibition on Computer Graphics and Interactive Techniques (SIGGRAPH2012), ACM SIGGRAPH 2012 Posters Article No.116 (15), Los Angeles, USA. Aug. 7-8, 2012.
- [阪-112]米村朋子, 前田太郎: 頭部到達運動時における自己運動の変化知覚: 注視対象および背景運動の速度変化の影響. 日本心理学会第 76 回大会, 東京, 2012 年 9 月 11 日.
- [阪-113]米村朋子, 横坂拓巳, 近藤大祐, 橋本悠希, 飯塚博幸, 安藤英由樹, 前田太郎: ストロボ照明下における自己上肢運動の随意性の変化. 日本基礎心理学会第 31 回大会,

(1PM20), 福岡, 2012 年 11 月 3 日.

- [阪-114]Aru Sugisaki, Yuki Hashimoto, Tomoko Yonemura, Hiroyuki Iizuka, Hideyuki Ando, Taro Maeda: Reducing Workload Caused by Narrowed Field of View by Exploiting Galvanic Vestibular Stimulation to Guide Head Movement. Proc. of International Workshop on Advanced Image Technology 2013 (IWAIT2013, P3-33), pp. 967-971, Nagoya, Japan. Jan. 2013.
- [阪-115]Hiroyuki Iizuka, Mika Sunagawa, Masataka Niwa, Hideyuki Ando and Taro Maeda: Detecting CNV-like variation when remembering and generating continuous motion. The 2nd International Workshop on Ambient Information Technologies (AMBIT 2013), Florida, USA, Mar. 2013.

【玉川大】(国内会議 5 件、国際会議 2 件)

- [玉-24]Hideyuki Takahashi, Kazuyuki Samejima, Takashi Omori, Harumitsu Murohashi, Yoko Kamio: Can individuals with autism pre-modulate their decision making process depending on social context? 304.20, Neuroscience2007, San Diego, Nov. 2007.
- [玉-25]横山絢美, 大森隆司: 認知的コミュニケーションにおけるインタラクションパターンのモデル的解析, 脳と心のメカニズム冬のシンポジウム, B-3, 北海道, 2008 年 1 月.
- [玉-26]高橋英之, 石川悟, 大森隆司, 室橋春光, 神尾陽子: 対人ゲームにおける自閉症スペクトラム被験者の意思決定の解析とシミュレーション, 脳と心のメカニズム冬のシンポジウム, B-20, 北海道, 2008 年 1 月.
- [玉-27]渡邊紀文, 戸嶋巖樹, 大森隆司, 前田太郎: 前庭感覚刺激を用いた動作誘導のモデル化, 日本知能情報ファジィ学会ファジィシステムシンポジウム講演論文集, Vol. 25, pp. 26-29, 2009.
- [玉-28]渡邊紀文, 三門裕明, 大森隆司: 前庭感覚のズレを利用した歩行者の誘導, 脳と心のメカニズム第 11 回冬のワークショップ, 北海道, 2011 年 1 月.
- [玉-29]Hiroaki Mikado, Norifumi Watanabe, Takashi Omori: Uncovering walking action decision process based on walking phase, The 21st Annual Conference of the Japanese Neural Network Society (JNNS2011), pp. 80-81, Dec. 16, 2011.
- [玉-30]渡邊紀文, 三門裕明, 大森隆司: 視覚誘導性自己運動知覚と身体動揺を利用した歩行誘導における刺激提示方法の検討, 脳と心のメカニズム第 12 回冬のワークショップ, 北海道, 2012 年 1 月 16-18 日.

【東工大】(国内会議 18 件、国際会議 0 件)

- [工-54]渡辺将旭, 岡田昌史: 軌道アトラクタに基づく身体・運動記号の設計とその物理的意味表現, 第 25 回 日本ロボット学会学術講演会, 1D14 (CD-ROM), 秋田, 2007 年 5 月.
- [工-55]渡辺将旭, 岡田昌史: 場の重ね合わせと状態空間写像に基づくロボットの運動創発, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会(Robomec2008), 2P2-I21 (CD-ROM), 長野, 2008 年 5 月.
- [工-56]本間良幸, 岡田昌史: 自律移動型群ロボットの開発と場に基づく制御, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2009, 2A2-F13 (CD-ROM), 福岡, 2009 年 5 月.
- [工-57]渡辺将旭, 岡田昌史: 運動の力学的意味を考慮したコントローラの身体・運動要素への分解と運動の類似性評価, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2009, 2A1-B11 (CD-ROM), 福岡, 2009 年 5 月.
- [工-58]武石純, 岡田昌史: 閉リンク系を用いた非線形剛性のための機構総合と衝撃吸収への応用, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2009, 1P1-D15 (CD-ROM), 福岡, 2009 年 5 月.
- [工-59]山本江, 本間良幸, 岡田昌史: 人の交差流の連続体モデルとその制御, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2010, 2A1-G11 (CD-ROM), 北海道, 2010 年 5 月.
- [工-60]安藤輝尚, 岡田昌史: 避難誘導のための人員配置最適化と群ロボットへの応用, 日本機

- 械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2010, 2A1-G07 (CD-ROM), 北海道, 2010 年 5 月.
- [工-61]渡辺将旭, 岡田昌史:軌道アトラクタを用いた自律制御系に基づく運動伝達のための疑似目標値, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2010, 1A2-G24 (CD-ROM), 北海道, 2010 年 5 月.
- [工-62]茂木祐一, 岡田昌史:イベント空間における人の群のモデル化と空間設計, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会(Robomec2011), 1A1-K06 (CD-ROM), 岡山, 2011 年 5 月.
- [工-63]山本江, 岡田昌史:交差流の粒子モデル化と時間・空間周波数に基づく歩行者群制御, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会(Robomec2011), 1A1-K07 (CD-ROM), 岡山, 2011 年 5 月.
- [工-64]宮寄哲郎, 岡田昌史:非線形状態空間写像による力学構造の一致を利用したロボットの運動生成, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会(Robomec2011), 1P1-Q01 (CD-ROM), 岡山, 2011 年 5 月.
- [工-65]シュミットニコラ, 岡田昌史:非円形のケーブル・スプールを用いた非線形な回転ばねの設計, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会(Robomec2011), 2A1-I04 (CD-ROM), 岡山, 2011 年 5 月.
- [工-66]渡辺将旭, ゲエンズーンドン, 岡田昌史:多自由度系の低次数化アトラクタ設計と疑似目標値, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会(Robomec2011), 2P2-Q14 (CD-ROM), 岡山, 2011 年 5 月.
- [工-67]山本江, 大神康寛, 岡田昌史:商業空間における人の列の動的制御, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会(Robomec2012), 1A2-T08 (CD-ROM), 静岡, 2012 年 5 月.
- [工-68]茂木祐一, 岡田昌史:仮想空間場の写像を利用したイベント空間における動線のモデル化と混雑評価, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会(Robomec2012), 1A2-T09 (CD-ROM), 静岡, 2012 年 5 月.
- [工-69]宮寄哲郎, 岡田昌史:非線形状態空間写像を用いた運動の変換とロボットの運動生成, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会(Robomec2012), 2A1-Q01 (CD-ROM), 静岡, 2012 年 5 月.
- [工-70]萱島駿, 岡田昌史:疑似目標値による胸骨圧迫運動の運動教示, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会(Robomec2012), 2A2-C04 (CD-ROM), 静岡, 2012 年 5 月.
- [工-71]竹田裕史, 岡田昌史:非円形歯車を用いた跳躍ロボットの開発, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会(Robomec2012), 2A2-V04 (CD-ROM), 静岡, 2012 年 5 月.

【NTT】(国内会議 1 件、国際会議 1 件)

- [N-16]橋本悠希, 雨宮智浩, 米村朋子, 飯塚博幸, 安藤英由樹, 前田太郎:スマートフォンを用いた触覚情報 UGC に関する研究, 第 18 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ(WISS 2010), pp. 147-148, 福島, 2010 年 12 月.
- [N-17]Tomohiro Amemiya, Taro Maeda: Depth and Rate Estimation for Chest Compression CPR with Smartphone. In Proc. of IEEE 8th Symposium on 3D User Interfaces (3DUI 2013), pp. 125-126, Florida, USA, Mar. 2013.

(4)知財出願

①国内出願(7 件)

【阪大】(7 件)

- [阪-115]トロコイド駆動機構, 前田太郎, 国立大学法人大阪大学, 2010 年 6 月 11 日, 特願 2010-134580.
- [阪-117]トロコイド駆動機構及び移動体, 前田太郎, 国立大学法人大阪大学, 2011 年 5 月 25 日, 特願 2011-117496.

- [阪-118]動作指令装置, 動作指令方法及び動作パターン作成装置, 前田太郎, 安藤英由樹, 飯塚博幸, 丹羽真隆, 砂川未佳, 国立大学法人大阪大学, 2011 年 12 月 22 日, 特願 2011-281357.
- [阪-119]ディスプレイ装置, 前田太郎, 安藤英由樹, 飯塚博幸, 橋本悠希, 近藤大祐, 国立大学法人大阪大学, 2012 年 3 月 29 日, 特願 2012-77218.
- [阪-120]動きガイド提示方法、そのシステム及び動きガイド提示装置, 前田太郎, 安藤英由樹, 飯塚博幸, 米村朋子, 近藤大祐, 横坂拓巳, JST, 2012 年 4 月 23 日, 特願 2012-97328.
- [阪-121]トロコイド駆動機構, 前田太郎, 国立大学法人大阪大学, 2012 年 5 月 25 日, 特願 2012-120065.
- [阪-122]腹腔鏡手術のトレーニング装置, 安藤英由樹, 前田太郎, 飯塚博幸, 近藤大祐, 小濱和貴, JST, 2012 年 10 月 2 日, 特願 2012-220235.

②海外出願 (2 件)

【阪大】(2 件)

- [阪-123]トロコイド駆動機構, 前田太郎, JST, 2011 年 7 月 1 日, PCT/JP2011/063036.
- [阪-124]トロコイド駆動機構及び移動体, 前田太郎, 国立大学法人大阪大学, 2012 年 5 月 11 日, PCT/JP2012/062100.

③その他の知的財産権

該当事項無し

(5)受賞・報道等

①受賞(11 件)

【玉川大】(4 件)

- [玉-31]坂本寛之, 石川悟, 大森隆司, 2007, 電子情報通信学会ヒューマンコミュニケーション賞, 幼児の注意配分のモデルベース推定の試み ～鬼ごっこゲームを題材として～, 電子情報通信学会技術研究報告, PRMU2006-219, 2007.
- [玉-32]佐藤敦史, 石川悟, 大森隆司, 山内康一郎, 2008 年 IEEE Computational Intelligent Society Young Research Award, 動的環境下における人の適応的プランニングの計算モデル化, 電子情報通信学会技術研究報告 NC2007-162, pp. 295-300, 2008.
- [玉-33]高橋英之, 大森隆司, 2009 年度日本認知科学会論文賞, 円滑な対人インタラクションを実現する対象認識に応じた認知的構え調整機構のモデル化, 認知科学, Vol. 15, No. 1, pp. 202-215, 2008.
- [玉-34]大森隆司, 佐藤正義, 山内康一郎, 石川悟, 脇田敏裕, 2009 年自動車技術会 2009 年春季大会学術講演会優秀講演発表賞, 危険予測に基づくドライバーの視線移動モデル, 4-20095057, 2009.

【東工大】(6 件)

- [工-72]岡田昌史, 2008 年度 文部科学大臣表彰 若手科学者賞
- [工-73]武石純, 日本 IFToMM 会議 2009 年度第 15 回シンポジウム, Young Investigator Fund Best Paper Award, finalist
- [工-74]山本江, 日本 IFToMM 会議 2010 年度第 16 回シンポジウム, Young Investigator Fund Best Paper Award, Best paper Award
- [工-75]萱島駿, 日本 IFToMM 会議 2012 年度第 18 回シンポジウム, Young Investigator Fund Best Paper Award, finalist
- [工-76]山本江, 平成 24 年度 日本ロボット学会研究奨励賞
- [工-77]岡田昌史, 手島精一記念研究賞 藤野志郎賞(財団法人手島工業教育資金団)「人と環境の力学的調和に基づくアメニティ空間のデザイン」

【産総研】(1 件)

[産-22]Netexplo Award, Eimei Oyama, 2012 年 3 月 15 日

<http://en.www.netexplo.org/palmares/2012>

<http://imag-netexplo.org/en>

②マスコミ(新聞・TV等)報道(23 件)

【阪大】(18 件)

[阪-125]フジテレビ「世界一受けたい授業」, 2008 年 3 月 2 日放送.

[阪-126]朝日放送「ジキル&ハイド」, 2008 年 6 月 15 日放送.

[阪-127]人間の分身をつくるパラサイトヒューマン, 茂木健一郎と愉しむ科学のクオリア, 日経サイエンス, Vol. 39, No. 1, pp. 102-107, 2009 年 1 月.

[阪-128]歩いている人を右や左に傾けてしまう研究, テレビブロス掲載, 2009 年 5 月 2 日号.

[阪-129] TBS「クメピポ」, 2009 年 7 月 22 日放送.

[阪-130]日本テレビ「所さんの目がテン! 1000 回スペシャル」, 2009 年 9 月 5 日放送.

[阪-131] NTT 西日本 MIXTALK, 2009 年 10 月 2 日.

[阪-132]日本経済新聞, 2009 年 11 月 1 日.

[阪-133]テレビ朝日「未来ファクトリー」, 2009 年 3 月 19 日放送.

[阪-134]「飛び出せ! 科学くん」TBS テレビ, <科学くん万博 第弾!!>人間をコントロールひとつで動かしてしまう「人間誘導マシーン」, 2010 年 6 月 12 日放送.

[阪-135]読売テレビ「ニュース ten!」, 高齢者交通事故, 2010 年 7 月 13 日放送.

[阪-136]読売テレビ「ニュース ten!」, 救急患者の遠隔治療, 2010 年 7 月 22 日放送.

[阪-137]日本テレビ「人類遺産」, 他人の目に忍び込む男, 自分の視界を他人と共有するってなんだ? 現役SFオタクの最先端技術の研究とは!, 2010 年 7 月 24 日放送.

[阪-138]NHK 関西「ニューステラス関西」, 2010 年 12 月 24 日放送.

[阪-139]NHK「おはよう日本」, 2011 年 1 月 5 日放送.

[阪-140]TBS「驚愕番長」, 2012 年 10 月 3 日.

[阪-141]日本消費新聞:週刊:手術を追体験“追いトレ”, 2012 年 10 月 15 日.

[阪-142]日経産業新聞:日刊:名医の動きなぞって習熟, 2012 年 10 月 30 日.

【産総研】(5 件)

[産-23]Diginfo, AR Guidance System, Nov. 15, 2011.

<http://www.diginfo.tv/2011/11/15/11-0228-r-en.php> (英語版)

<http://www.youtube.com/watch?v=qwSDKD2mT3A> (英語版)

[産-24]Diginfo, ウェアラブル行動誘導システム, 2011 年 11 月 16 日

<http://jp.diginfo.tv/2011/11/16/11-0228-r-jp.php> (日本語版)

<http://www.youtube.com/watch?v=ldEyGeSw4M8> (日本語版)

[産-25]メディカル・トリビューン, 最新テクノロジーで救急医学を支援, 2012 年 1 月 5 日.

[産-26]Le Figaro economie, Les dix lauréats du forum Netexplo 2012, Mar. 14, 2012.

<http://www.lefigaro.fr/hightech/2012/03/14/01007-20120314ARTFIG00768-les-dix-laureats-du-forum-netexplo-2012.php>

[産-27]Le Figaro economie, Les start-up qui vont revolutionner le Web, Mar. 15, 2012.

③その他(2 件)

【阪大】(1 件)

[阪-143]ドラえもん生誕 100 年前記念 Google「みらいサーチ」, 道具番号 35, 現代の「サイコントローラー」 つもり制御システム, <http://www.miraisearch.jp/>, 2012 年 9 月.

【産総研】(1 件)

[産-28]ドラえもん生誕 100 年前記念 Google「みらいサーチ」, 道具番号 21, 現代の「マリオネッ

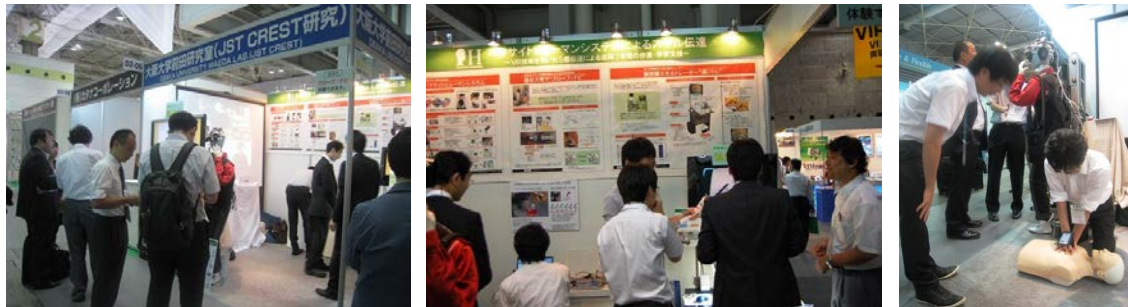
ター」ウェアラブル行動誘導システム, <http://www.miraisearch.jp/>, 2012 年 9 月.

(6)成果展開事例

①実用化に向けての展開

【阪大】(1 件)

・本研究で開発された視覚の重畳提示による効果的なスキル獲得技術については京都大学付属病院消化管外科との協力による「腹腔鏡下術技スキルトレーサー“追いつレ”」という形で試作機を開発し, その学習効果については同病院において実際のインターン実習において利用・検証された. 同装置を用いることで, 従来手法の 1/7 程度の所要時間で同程度の手早さと, それ以上の正確性を学習・獲得することが可能であることが確認された. 該当装置に関する特許は現在 2 件出願中である. また, この成果は関西医療機器開発・製造展において展示発表し, 製品化についても広くパートナー候補を募り, 3 日間の期間中, ブース来場者は 600 名以上, 内約 100 社からコンタクトを求めるオファーがあったなど, 関連業界から多くの反響を得た. 展示会后, 現在 5 社から具体的な問い合わせおよび取材依頼を受けている.



研究成果の報告および実用化に向けた取り組みのひとつとして
出展参加した医療機器展の様子

②社会還元的な展開活動

【阪大】(1 件)

・得られた成果「PH 要素技術」および「PH を用いた作業支援技術」について, インターネット (<http://www-hiel.ist.osaka-u.ac.jp/ph/>) で公開し, Youtube 動画 4 件へのリンクおよび, 引用文献 11 件を表示するなど, 一般に情報提供している. 引用文献については学会リポジトリ基準における成果公開規則に則ったリンク設定を行っており, 随時更新中である. また, 研究室ホームページ(<http://www-hiel.ist.osaka-u.ac.jp/>)では関連研究の全ての論文・学会発表情報を掲載している.

【玉川大】(1 件)

・玉川大学における展示イベント「触れてみよう! 脳とロボット」において, 「いろいろな計測器を使ったゲームを! (2009 年 8 月 2 日)」, 「迷路だけどまよわない(2010 年 8 月 1 日)」を実施し, 一般の方を対象にデモンストレーションを行った.

【産総研】(1 件)

・得られた成果「ウェアラブル行動誘システム」について, インターネットで公開し, 一般に情報提供している(5(5)項を参照).
・産総研におけるオープンラボで, 一般の方を対象とした「ウェアラブル行動誘システム」のデモンストレーションを行った(6.2 項を参照).

【NTT】(1 件)

・得られた成果「牽引力錯覚提示装置」について, 2007 年 12 月から 2008 年 1 月までの期間,

シンガポールサイエンスセンターで iDAT (interactive Digital Art & Technology) という展示会に出展し、シンガポールサイエンスセンターの来場者が体験した。

§ 6 研究期間中の活動

年月日	名称	場所	参加人数	概要
H20 年 3 月 19 日	第 1 回シンポジウム 「119 番的状況における危機対応の現状と問題点 ―高度情報伝達デバイスの応用の可能性―」	玉川大学	約 40 人	(全グループ)今の最新技術が人をどこまで救えるのか、さらにどんな技術があれば助かるのかについて活発に議論し、新しい危機対応の未来像を創り上げることを目的として開催された。
H20 年 11 月 27 日, 12 月 1-2, 4 日	JST サイエンス・パートナーシップ・プロジェクト(SPP)事業	所沢市立荒幡小学校, 吹上中学校, 熊谷高等学校, 浦和北高等学校	約 120 人	(産総研)最新技術を使ったロボットの実演を含む小中高生向けの講座
H22 年 2 月 22 日	第 2 回シンポジウム	大阪大学	74 人	(全グループ)研究報告
H22 年 10 月 14-15 日	産総研オープンラボ	産総研・つくばセンター	不明	(産総研)企業の経営層, 研究者・技術者, 大学, 公的機関などの方々のための産総研の成果・施設の公開
H23 年 6 月 22 日	埼玉県立浦和北高校 SPP 事業「ロボットの現在&レイグジスタンスロボット操縦システム」	埼玉県立浦和北高校	約 20 人	(産総研)埼玉県立浦和北高等学校情報科のロボットに関するSPP事業において, ロボットの最新技術に関する講義
H23 年 10 月 13-14 日	産総研オープンラボ	産総研・つくばセンター	不明	(産総研)企業の経営層, 研究者・技術者, 大学, 公的機関などの方々のための産総研の成果・施設の公開
H23 年 11 月 30 日	ICAT(International Conference on Artificial Reality and Telexistence)2011, Organized Session “Parasitic Humanoid”	大阪大学 (Σホール)	約 100 人	(全グループ)国際会議における PH のオーガナイズドセッション
H24 年 10 月 3-5 日	第 3 回関西医療機器開発・製造展	インテックス大阪	約 600 人 ※展示会としては約 30000 人	(全グループ)民間企業, 研究者, 技術者からのフィードバックを得るための開発システム出展
H24 年 10 月 25-26 日	産総研オープンラボ	産総研・つくばセンター	約 70 人(遠隔行動誘導システムの見学者数)	(産総研)企業の経営層, 研究者・技術者, 大学, 公的機関などの方々のための産総研の成果・施設の公開

H25 年 2 月 28 日	最終成果報告シンポ ジウム	青海フロンティ アビル	56 名	(全グループ)研究成果の最 終報告
-------------------	------------------	----------------	------	----------------------



最終成果報告シンポジウムの様子

§ 7 結び

本研究では、当初の狙いとした五感伝送技術によるヒトからヒトへの非言語的感覚・運動情報の伝送と共有、それによる協調作業の実現という課題に関しては確実に一定の成功を見たと考えている。特に熟練者スキルの伝達と獲得支援について、学術的な水準での解析と検証に成功しただけではなく、心肺蘇生作業 CPR と腹腔鏡下術技のスキル伝達とスキル獲得支援に関して、現場事業者による実効性の評価確認の段階までの社会実装が出来たことで、高いレベルでの今後の社会貢献に繋げる段階の新しい実用性を持った科学技術研究開発を達成できたと考えている。

また、基礎的な人間の機能的な科学研究の側面からも、行動意図の時間的分節性とヒトの追従制御戦略について、また従来のトレイグジスタンスやバーチャルリアリティにおける臨場感について自己同一性や自在性の観点からその枠組みを拡張するなどの側面から、新しい知覚応答現象の予測と発見、さらにそれらを有効に利用した行動支援手法の設計に成功しており、科学・工学の両側面において新しい成果をもたらすことができたと自己評価している。これらの成果は今後のブレインサイエンスおよび脳機能計測応用のインタフェース技術などにも活かせるものと考えられる。特にトレイグジスタンス及びバーチャルリアリティ技術における自己投影関係の観点からのリアリティの電子的拡張技術については今後効果的な研究を進められるものと期待している。

今回、これだけの期間と研究メンバーに恵まれて CREST 研究を成功裏に終わらせることは望外の喜びであり、多方面からの研究協力者のみならず研究の推進を支援してくださった関係各位には感謝の念に堪えず、ここに深く御礼を申し上げるものであります。



集合写真(左:定例会議, 右:展示会)