

前田 太郎

大阪大学大学院情報科学研究科・教授

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

## §1. 研究実施体制

### (1)「阪大」グループ

① 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)

#### 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 主たる共同研究者:大森 隆司(玉川大学脳科学研究所, 教授)

#### 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 主たる共同研究者:岡田 昌史(東京工業大学大学院理工学研究科, 准教授)

#### ② 研究項目

- ・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
- ・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
- ・メカニカルパラサイトヒューマンのための非線形剛性の設計

### (4)「NTT」グループ

① 主たる共同研究者: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, 研究員)

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

(5)「産総研」グループ

①主たる共同研究者: 大山 英明 (独立行政法人産業技術総合研究所

知能システム研究部門, 主任研究員)

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

## § 2. 研究実施内容

(文中に番号がある場合は(3-1)に対応する)

### 「阪大」グループ

#### ①研究のねらい

「CPR 救命講習への PH による学習支援応用」: パラサイトヒューマンを用いた遠隔 MFA 講習での CPR 技能の修了認定者を輩出することを社会実装の目的として新設した特別連携グループを先導する. 特別連携グループにおいては, MFA の協力を得て, CPR 講習の遠隔教育プランとコースカリキュラムの開発を行う. また, CPR 技能に特化したパラサイトヒューマンの要素技術開発及び実装に向けたシステムの改良に取り組む. また, 阪大グループとしては, PH システムの一つの特徴である五感伝送技術を核とした, CPR の教育コースカリキュラムの実現に向けた要素研究及び開発を行う.

#### ②研究実施項目・概要

##### 1. CPR 救命講習への応用実現

以下, 平成 23 年度の計画書に対応した番号とともに実施項目を述べる.

###### 1-1 教育コース開発

救急救命学習の学習者に対して従来の講習修了者と同等のライセンスを付与できるレベルに進めることを視野に入れ, MFA 本社である米 MFA との間で仕様の検討を進める. また, 同社が基準とする米国心臓協会の CPR と緊急心臓血管手当てのガイドラインと背景的な社会的ニーズに照らし合わせた新たな教育コースとして, 本プロジェクトの技術を用いた CPR 技術習得のための遠隔教育プランに求められる仕様と要求項目を定める.

###### 1-2 遠隔教育プラン

策定された仕様・要求項目を整理し、本プロジェクトにおける技術的なアドバンテージを生かせるよう遠隔教育プランを策定する。特に本プロジェクトでの遠隔教育プランの特徴である「学習時の完全独習化」に主眼をおいて策定を進める。また、策定された学習プランを元に、実際の講習計画を具体化する。講習の全ての段階を計測・定量化可能な要素にまで細分化し、本プロジェクトの技術を適用すべき部分、従来手法を活かすべき部分、両者の摺り合わせを必要とする部分に分類し、講習計画の各項目の内容を手続きレベルで具体化する。同時に、同教育プランにおいて行わせる学習方法の実施手段をどの様に実装するかについて策定を行う。また、これまでに得られた要素技術・知見をもとに、全グループにおいて実施手段の実装を行う。

### 1-5 PH デバイス改良

現在の PH システムを元に、CPR 教育に特化したデバイスの開発とその実装を行う。具体的には以下の項目について実施する。

- CPR 教育コースカリキュラムで設定された仕様・要求項目に準拠された PH システムを新たに調整する。同時に新たに開発すべき要素技術を PH デバイスの改良として上記計画に並行して実施する。
- 評価実験におけるフィードバックによって新たにもたらされるハードウェア上の要求とそれに伴うデバイスの改良が必要である。この改良作業では今回の出口ターゲットへの最適化と同時に、これのみへの応用に留まらず、その先の社会実装への発展を見据えた技術開発を行う。
- PH システムの遠隔教育プログラム教材化に伴い、装置の軽量化と装着方法の簡便化は、ナイーブな学習者の独習を前提とするシステム全体の成否に関わる大きな開発ポイントである。計画の進行に伴い、システム評価のフィードバックを受けて継続的に改善を続ける。
- これまでの基礎研究的知見をもとに、今回の実装と運用環境下において、定量的検証とそのフィードバックによる改良を重ねる。
- PH システムの実装において通信で生じる時間遅れの問題は、学習効果の遅延に大きな影響を与える。本年度はシステムハードウェアへの要求仕様が固まった時点でこの評価のためのテスト環境を構築し、その効果についての定量化を開始する。

### 1-6 スキル伝送技術・評価法の確立

#### • 行動分節化によるスキル伝送の効率化

PH の感覚伝送技術においてスキルの伝送効果の改良は、そのまま教育効果の達成度に直結する。本年度はこれまでの基礎研究の成果として得られた行動分節化の知見を基に、インストラクターの動作を感覚情報から分節化し、スキル伝送の効率的な実装の設計を行う。CPR 救命措置におけるインストラクターの視線と身体動作を計測し、その特徴量を分析したのち、CPR 作業としてフォーカスすべき感覚情報を明らかにし、それに基づいた行動分節化を試みる。

#### • 遠隔資格認定のための学習効果評価法の確立

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この再現行動データを PH システムによって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する。本年度はデータが蓄積される第 4 四半期よりこの取り組みを始める。

#### 1-7 MFA によるシステム評価実験

進行状況の報告と評価、技術的問題点の洗い出しとフィードバックを目的として MFA によるシステム評価実験を毎四半期に実施し、システム性能を評価する。このデータはシステム開発の全行程に対してフィードバックする。

### 2. 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

1.の実現において必要な 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を目的とした要素研究を行う。本年度は PH のネット対応化を考慮して時間遅れの問題に着目し、実時間協調動作支援を遅れゼロ、五感体験記録への追体験を遅れ無限大として、実時間遅れ状況をその中間状態と位置づけることで、前年度の空間的な遅れ補正に続いて時間的な遅れ補正技術とその効果を体系的に開発・検証することを目指す。技術的には動作追従を行う際の行動のずれを 2 者間の空間的な非対応を補正する空間スタビライズと時間的な非対応を補正する時間スタビライズによって軽減することで、実時間でのスキル伝達だけでなく、記録・再生型のスキル伝達においてどの程度改善が期待できるかについて研究を進める。前年度までの成果において、空間的なスタビライズの効果による空間見当識の伝達と保持を中心にその効果を検討してきたが、本年度はネット通信への対応をにらみ、時間遅れへの対応を軸とした時間スタビライズ技術の広汎な適用の一環として、一人称視覚情報の共有用重畳変調の手段を輝度重畳だけでなく時間分割にまで広げることを試みる。これは前年度までに得られた「つもり制御」におけるヒトの運動計画における行動文節の時間離散性の応用であり、これによる意図・スキルの伝達改善効果と通信負荷軽減効果について検討する。

また、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本研究では体験共有の効果を用いることを提案している。このための一人称視点での感覚再現という試みは、身体性を活かしたスキル伝達の新手法としての高い有用性を示し、自己の体験のように追体験することができることが前年度までの検証実験において判明した。本研究では、この「感覚伝送によるスキル伝達」にヒトの知覚特性としての錯覚や感覚の重畳を利用することで、従来には無かった「拡張された臨場感」の実現と利用を狙う。

### ③研究進捗状況と得られた成果

#### 1. CPR 救命講習への応用実現

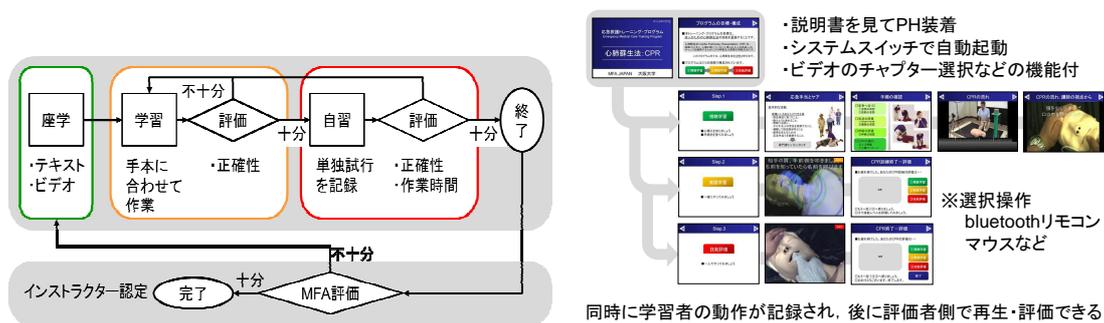
PH の五感伝送技術が「救急の安心安全」で目指す展開の一つとして、本年度も引き続き CPR

救命講習への応用実現に向けた検討を進めてきた。具体的には PH を用いた遠隔講習における CPR 技能の修了認定者を輩出することを社会実装の目的として、Medic First Aid (MFA) のインストラクターの協力を得て、CPR 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進めるとともに、CPR 技能に特化した PH の要素技術開発及び実装に向けたシステム改良を行った。

#### ・CPR 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

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。CPR 学習者に対して、従来の講習修了者と同等のライセンス付与が可能なレベルへの昇格を視野に入れ、従来の CPR ガイドラインに則った PH を用いる e-Learning の開発を進めた。通信教育形式によるスキル学習には時間、場所に縛られないことによる学習機会の拡大や、電子的記録・再生による実演コストの大幅な低減が見込めるためであった。

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、学習手段を決定した。学習項目については、従来の CPR 講習と同様の内容を網羅し、かつ PH による追体験学習の項目を付加した。講習計画については図 阪大-1 の示す通り、①学習者による自宅での自主学习、②学習結果の記録(所要時間、心臓マッサージテンポ・押込量、動画、視野映像、身体運動など)、③記録を用いた MFA での達成度評価という 3 つのフェーズによる構成を提案した。学習手段については PH を装着した状態での e-Learning を採用した。学習過程は次の 3 段階であった:①従来の CPR 講習テキスト内容とインストラクターの CPR 動画の観察からなる座学、②PH の体験記録・再生技術でインストラクターの行動を一人称視点で追体験する学習と評価フィードバック、③単独試行による自習(記録)と評価フィードバック。提案する追体験型学習支援は、従来の三人称視点情報(実演・外部ビデオ)のみによる学習に加えて、PH による一人称視点情報の提示とスキル獲得状態のフィードバックを実施することによって、学習が効率的に進むことや、遠隔地において実地講習以上の指導・評価が受けられることが特徴である。学習効果と評価法の検証詳細は後に述べる。



遠隔教育プラン

e-Learning 教材

図 阪大-1 本年度開発した遠隔教育プランと e-Learning 教材

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現在進めている(東工大・産総研グループと共同)。特にニーズの多い心臓マッサージにおけるマッサージテンポ・押込量の表示・支援を重点化する方向である。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。詳細は評価実験結果として記述する。

MFA によるシステム評価実験においては、昨年度に引き続き本年度も 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-2)。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有ることを示した<sup>[阪-05]</sup>。



図 阪大-2 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

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-3)。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。

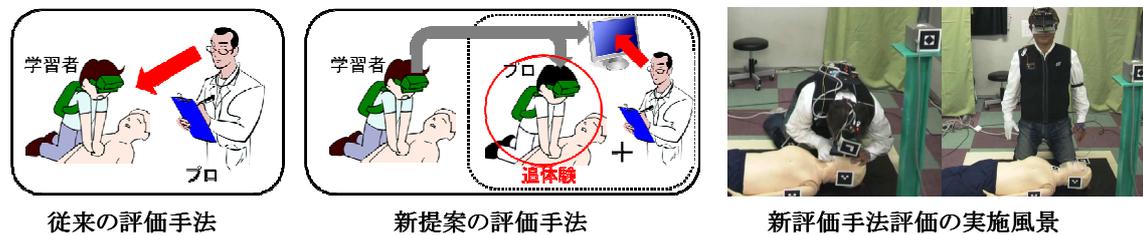


図 阪大-3 PH システムを用いた CPR 学習の評価法と遠隔評価の実施風景

・CPR 技能に特化した PH の要素技術開発及び実装に向けたシステム改良

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-4)。これにより、従来装置において使用者が調節しなければなら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<sup>[阪-03]</sup>。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-5)。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。

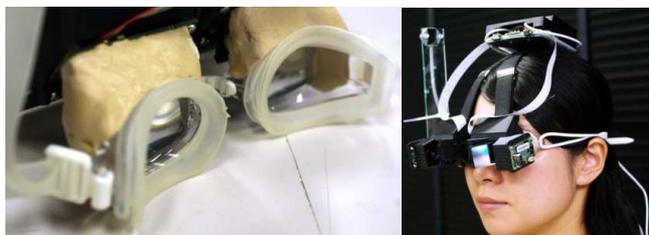


図 阪大-4 改良版 VST-HMD



図 阪大-5 改良版制御ユニット

## 2. 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

1.の実現において必要な 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を目的とした要素研究を行った。

### ・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

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、本プロジェクトでは体験共有の効果を用いることを提案してきた。PH による体験共有を確立するために、本年度も PH 間通信の構築と、体験共有のための評価実験に取り組んだ。PH 間通信の構築については、先述の CPR 技能に特化した PH の要素技術開発及び実装に向けたシステム改良の範囲で実施した体験共有のための評価実験については、主に次について検討を進めた。

#### 1) 視野共有情報提示改善のための新手法の検討

スキル伝送効率を向上させるためには、体験共有のリアリティを高め、より没入感の高い体験共有を実現させることが求められる。本プロジェクトでは、PH を用いた二者間の遠隔協調動作に必要となる「相互追従動作」の精度を高めることを目的とした視覚情報提示技術を開発してきた。人間は感覚に基づいて運動を生成しているが、多くの既存技術で用いられている強制力による誘導では情報が外乱として認識されてしまい、追従運動のプロセスを阻害することが問題となっていた。本研究では、錯覚を利用して感覚を刺激することで感覚－運動ループを阻害せずに運動を誘導することを可能にしてきた。しかし、完全な没入を妨げる要因として、頻繁な注意の移動に伴う行動生成の不連続や、感覚－運動間の不整合がもたらす感覚統合の破綻という問題が残されたままであった。そこで本年度は、これらの対策手法について新技術を開発し、検証した。

・視野共有における画像安定化手法の改良と評価

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、マーカー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なる。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。動作結果の例を図 阪大-7 に示す。

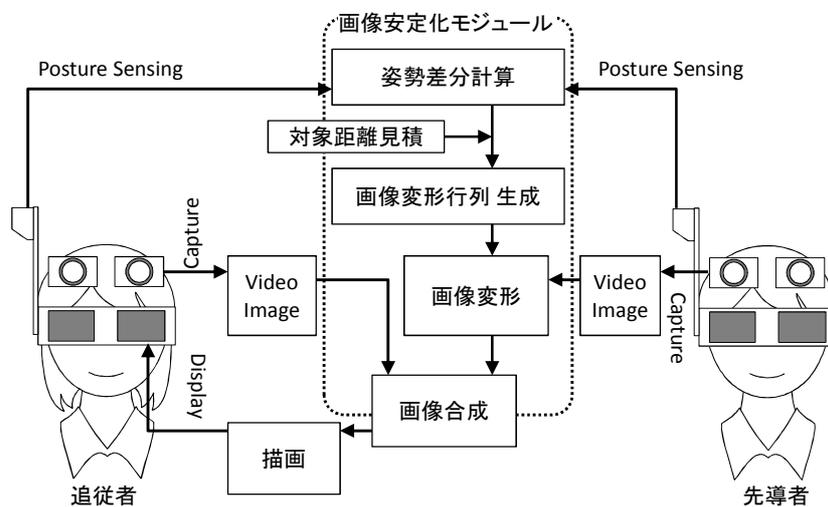


図 阪大-6 画像安定化構成図



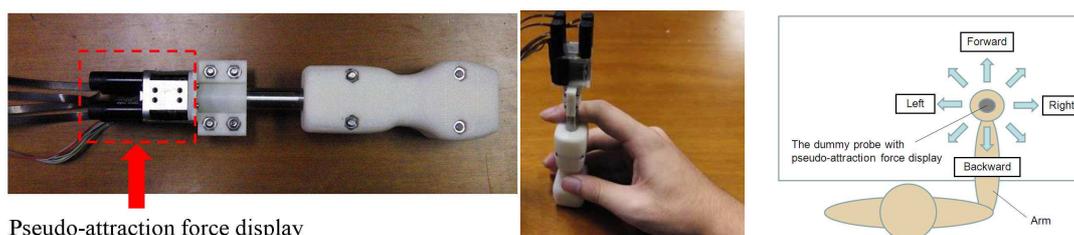
図 阪大-7 画像安定化結果のイメージ

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、マーカー追従運動を 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<sup>[阪-19]</sup>。一方で、画像変形のみによる補償であることの限界により、頭部並進時に空間の歪みが残留することが判っているため、補正処理の改良などが今後の課題である。

## 2) 触錯覚を用いた超音波プローブの遠隔操作支援

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-8)。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。



Pseudo-attraction force display

図 阪大-8 疑似牽引力提示装置によるプローブの運動誘導

## ④初計画では想定されていなかった新たな展開と得られた成果

### ・PH システムを用いた内視鏡トレーニング支援

PH における追従支援と画像合成技術を応用することで、スキルの学習支援が行えることを生かし、医学生向けの腹腔鏡下手術のトレーニング装置開発を新たに行う。腹腔鏡をはじめとする内視鏡の下での外科手術は低侵襲性から重要性を増しているが、モニタ越しの映像や長い鉗子などの器具の取り扱いなどの特殊なスキルを必要とし、医学生は腹腔鏡手術の基本的動作ができるまでに訓練を必要とする。従来はテレビモニタと腹腔を模した箱を利用した訓練が一般的に行われており、この手法を踏襲したうえでさらに PH を応用して学習効率を高める装置を提案する。提案装置を図 阪大-10 に示す。医師にとって、モニタ越しに見る体内の映像こそが実際に手術を遂行する対象にほかならない。そこで、視野共有システムと同様の合成、交換、手本の重量をこのモニタの映像に対して適用する。ここでの目的は、鉗子での結紮・縫を正確かつ高速に行えるスキルの習得であ



図 阪大-10 提案装置外観

る。一般に知られている学習モデルをもとに、位置合わせスキルを高める段階、運動の連続性を高める段階に分け、それぞれに適した合成手法を用意した。今後は本手法での実地試験をすすめる、学習の高速化、指導の省力化や理解の促進に効果があることを確認する。

## 「玉川大」グループ

### ①研究のねらい

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といった感覚側からの拘束による分節化と、円描画課題や歩行といった運動周期に基づいた分節化を「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、行動実験による検証を行うことで人間の行動決定過程を理解する基礎研究を行ってきた。本年度はこれらの研究成果を基に、CPR 救命講習の遠隔学習で必要な行動を感覚情報から分節化し、効率的なスキル伝達をするために必要な情報を明らかにする。更に PH 装着時にマスター側の視線に対応した情報を提示し、その視線方向にスレーブ側の身体を反射的に誘導する行動誘導を実現するための行動実験及び、感覚—運動モデルの構築を行う。

### ②研究実施項目・概要

#### 1. 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

我々がこれまで、人は円描画や歩行等の周期運動では行動計画に外界からの五感情報すべてを統合・利用する訳ではなく、必要な感覚情報に動的に注目し、注目の対象感覚はまた必要に応じて切り替えられるという結果を得てきた。例えば歩行時には、自身および他者の歩行位相により回避判断や運動生成のタイミングが異なるという結果を得た。

そこで我々は、CPR 救命講習の遠隔学習でインストラクターの情報を学習者に呈示する際にも、すべての感覚情報を伝達するのではなく、行為の内容によって伝達する情報のフォーカシングをする必要があると考える。具体的には、局所的な作業の場合には主にマスター側の視覚情報にフォーカシングして情報を伝達し、それにスレーブ側が反射的に従う、すなわち行動が誘導されるように、スレーブ側の他の感覚情報を抑えることを考える。また空間情報を伝達する際には聴覚情報にフォーカシングして、身体感覚を抑えるというものである。

このように感覚情報を制限した行動誘導によってスキル伝達を効率化するため、本年度は MFA インストラクターの視線及び運動を計測し、その行動の分節化と各分節での感覚—運動伝達経路のスイッチ特性を明らかにする。更にこの感覚—運動伝達経路スイッチを明らかにすることで、PH システムでの感覚情報を利用したスキル伝達のモジュール化に必要な制御方法及び、技術開発へつなげる。

#### 2. 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

人は協調作業を行う際に、他者の行動を観察して無意識のうちに自己の行動を調整する。そこで我々は、他者との相互作用における視線移動の特徴から、行動がどのように変化するかを明

らかにするため、最も単純な系として歩行者のすれ違い行動決定過程について行動実験を行ってきた。実験から、すれ違い行動では歩行者は主に対向者の足の位相に影響をうけて回避判断及び運動生成のタイミングを決めていることが明らかとなった。

このように他者との相互作用においては、特に運動のスイッチングが起きるタイミングで他者の身体についての情報の重要度が増し、それに基づいて自己行動を決めると考えられる。すなわち、PHが対象とする即時的な行動の伝達では、運動の切り替え時のマスター側の行動を視覚情報でより明示的に示すなら、スレーブ側はより容易にその行動意図に追従した行動決定ができると考える。我々は、マスター側の視線に基づく刺激をPHシステムでスレーブ側にリアルタイムで強調・呈示することで、運動のスイッチングが起きるタイミングでマスターが視線を向けている場所にスレーブの視線を誘導し、結果としてその方向に身体が反射的に誘導されるシステムの実現を目指す。

この目的のため、本年度はまず視線制御により歩行者の視線及び身体が誘導される現象のメカニズムを明らかにし、その効果的な誘導提示方法を検討する。このような即時的な視線の制御による人の行動決定及び、誘導される運動の過程が明らかにすることで、PHシステムによるリアルタイムでの作業支援を実現するための基礎モデルの構築を行う。

### ③研究進捗状況と得られた成果

#### 1. 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システムで実現を目指している人間の五感情報を利用した行動誘導では、常に外界から得られる感覚情報の全てを利用するわけではない。人間は必要な感覚情報に対して動的に注目し、各瞬間の運動に応じて利用する感覚と処理過程を切り替えていると考えるのが自然である。しかし、感覚情報処理の切り替え過程は行動誘導のための行動分節化には必須であるにも関わらず、いまだ明らかになっていない。このメカニズムを理解するため、我々は人が歩行時に注目する感覚情報及びその切り替えタイミングを分析し、更に自己運動感覚に錯覚を生じさせて歩行者を誘導するのに必要な刺激提示の制御パラメータを検討した<sup>[E-01,02,03]</sup>。

実験では歩行中の自己運動感覚に特に大きな役割を果たしている視覚及び体性感覚に注目し、視覚誘導自己運動感覚(ベクション)と呼ばれる、運動をしていない自己にオプティカルフローにより自己運動をしているような錯覚を与える視覚刺激を呈示した。更に振動デバイスを前脛骨筋に装着し、身体動揺を起こすことで歩行者のバランスを崩し、重力方向感覚に対する体性感覚フィードバックを抑制した。これらのデバイスを装着した被験者の歩行誘導効果をモーションキャプチャシステムで計測した結果、ベクション刺激呈示から最も早くその誘導効果が現れた踵に誘導効果が出る潜時は平均 1.35sec(図 玉-1)であり、約 1 歩進んだ後に誘導が起きた。更に、誘導効果の継続時間は平均 0.38sec(図 玉-2)であり、約半歩進んでいる間の誘導運動であった。これらの誘導効果が現れるタイミングを歩行周期と比較したところ、歩行誘導のメカニズムについて以下の仮説がえられた。「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。今

後は頭部装着可能なヘッドマウント型周辺視ディスプレイを利用して視覚誘導自己運動感覚を引きおこし、その誘導効果について検証を行う(図 玉-3)。

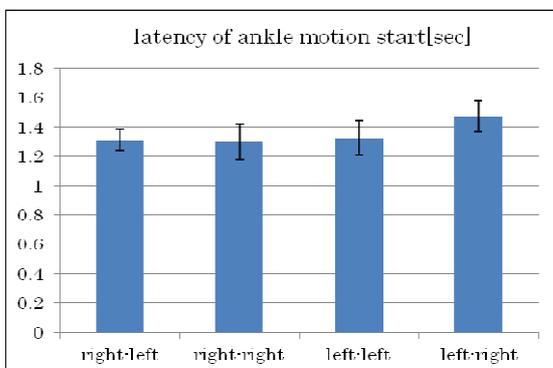


図 玉-1 刺激呈示から誘導が起こるまでの潜時

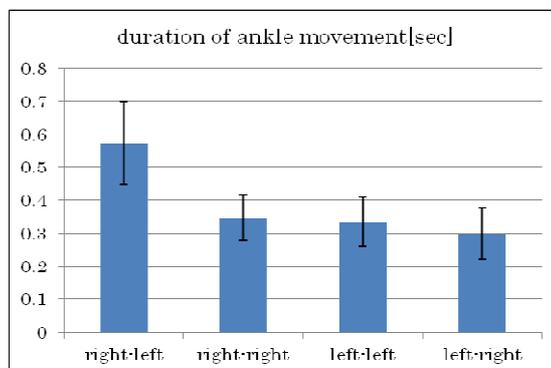


図 玉-2 刺激呈示から誘導効果が現れている時間



図 玉-3 頭部装着型周辺視ディスプレイ

## 2. 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

人は協調作業を行う際に、無意識のうちに他者の行動を観察して自己の行動を調整する。そこで我々は、他者との相互作用場面において他者を観測することが、行動にどのように影響するかを明らかにするため、最も単純な系として歩行者のすれ違い行動の決定過程について行動実験を行ってきた<sup>[玉-4]</sup>。本年度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。

実験では被験者と対向者の相対距離を 5.2m と 4.5m (歩幅として半歩分の差) の 2 条件を設定し、被験者と対向者は同時に歩行を開始し、被験者は 4 歩目で指定された回避方向に移動し、対向者は直進をしてすれ違い行動をおこなった。ここで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考えられる。すれ違い行動をモーションキャプ

チャシステムで計測した結果、被験者は 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(図 玉-3,4)。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。更に対向者の歩行周期を 1.2Hz, 1.67Hz, 2.2Hz とメトロノーム音を用いて制御し、被験者とのすれ違いタイミングでの対向者の歩行周期を変えた所、どの周期においても遊脚前期において回避運動が行われていることが確認された。

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の仮説が得られた。これは今後、検証していく予定である。

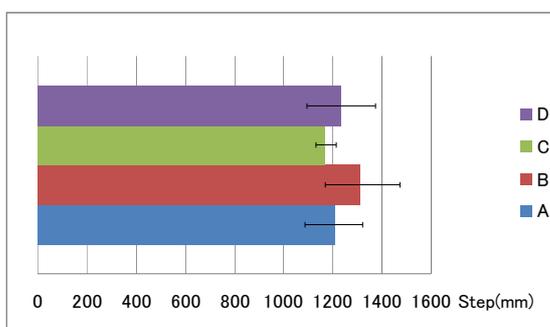


図 玉-3 相対距離 5.2m でのすれ違い時の歩幅

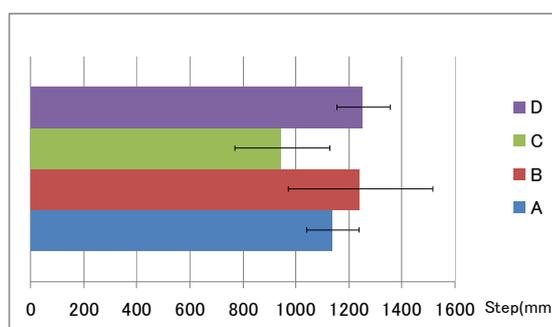


図 玉-4 相対距離 4.5m でのすれ違い時の歩幅

## 「東工大」グループ

### ①研究のねらい

本研究は、人を暗示的に制御するために、人のマイクロな行動モデルとマクロな挙動モデルを提案し、さらに、これに基づいた最適制御法を提案することを目的とする。平成 23 年度は、これを(a)これまでに提案してきた擬似目標値を用いて、胸骨圧迫運動を教示するための目標姿勢へ適用した。また、(b)人の流れを制御するために、個人の行動に基づいた、場を利用した群のマクロモデルを用いて、人の交差流において流量を増加させるための、誘導員の行動決定法、および、展示場での混雑緩和を目的とした展示物の配置最適化手法を提案し、群ロボットを用いた実験検証を行った。また、(c)障がい者の歩行を支援するためのパッシブ機構を設計することを目的として、非線形剛性を任意に設計するケーブル・非円形スプール機構の設計法の提案を行った。

### ②研究実施項目・概要

#### 1. 軌道アトラクタに基づいた自律力学系の設計と擬似目標値

これまでに、 $\dot{x} = f(x) + g(x,u)$ で表される力学系に対して、 $x$ が状態空間内のある軌道 $\Xi$ に引

引き込まれるような制御器  $u = h(x)$  を設計する手法を提案してきた。これらは自律系を構成する。そこで、これを人間の運動のモデル化手法に応用、すなわち、人のモーションキャプチャデータから制御器を設計し、制御器を分解することで制御器の内部に存在する仮想的な目標値を擬似目標値  $x^{ref} = -(\partial h / \partial x)^\# h(x) + x$  を求めることを提案し、これを人の歩行運動へ応用した<sup>[E-03, E-13]</sup>。平成 23 年度はこれを胸骨圧迫運動へ適用し、運動教示のための目指すべき姿勢を求めた。

## 2. 避難誘導のための誘導員最適配置

人の群を誘導する手法として牧羊犬的な考え方にに基づき、避難誘導における誘導員の位置と場所を最適化する方法を提案してきた<sup>[E-2]</sup>。この結果は定常状態において静的な解を導く。本年度は、(b-1)これを動的に変化する交差流へ応用し、誘導員の行動を最適化する手法の提案を行った<sup>[E-01, 07]</sup>。また、(b-2)展示場における混雑を緩和するために、展示物の配置を最適化する方法の提案を行い、ラジコン操作された群ロボットを用いて提案手法の有効性を検証した<sup>[E-04, 11]</sup>。

## 3. 閉リンク系を利用した非線形剛性のための機構総合

これまでに、閉リンク系の非線形性と線形ばねを利用した所望の非線形剛性を設計する手法を提案した。これにより、所望の非線形剛性を実現可能であることは示せたが、機構の制約からその任意性に関する問題点が挙げられた。特に、これを人の歩行を補助する装置であるメカニカルパラサイトヒューマンに応用するためには、任意性が極めて重要となる。そこで、平成 23 年度は、(c) 非円形スプールとケーブルを用いて任意の非線形剛性を実現する方法と、非円形スプールを総合する手法の提案を行った<sup>[E-06, 08, 14]</sup>。

## ③研究進捗状況と得られた成果

### (a) 胸骨圧迫運動の強調教示のための擬似目標値

CPR は、主に人工呼吸と胸骨圧迫運動に分けられるが、特に後者は心臓に刺激を与える必要があり、適切な力で胸部を強く押す必要がある。しかし、これは内力を伴う運動であるため、デモンストレーションからだけでは、どのくらいの力で胸部を圧迫すれば良いのかが伝わりにくい。そこで本研究では、これまでに提案してきた擬似目標値を用いて、目指すべき姿勢を提示することで、適切な内力を発生すべく運動の姿勢を教示する。人間を図 東工-1 に表されるリンク系でモデル化し、東京防災救急協会の協力のもと、熟練者(元救急隊員)の胸骨圧迫運動をモーションキャプチャし、これを自律力学系でモデル化することで胸骨圧迫運動の擬似目標値を求めた。得られた結果を図 東工-2 に示す。これは胸部を押しているとき(左)と身体を起こしたとき(右)であり、赤が熟練者の動き(モーションキャプチャデータ)、黒が擬似目標値を表している。このように、擬似目標値は左図では手を激しく下まで下げ、胸部を強く押す姿勢、右図では身体を激しく起こして勢いをつける姿勢として、強調した姿勢を示している。

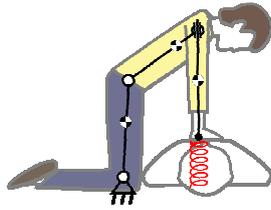


図 東工-1 リンクモデル

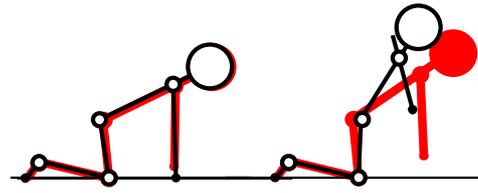


図 東工-2 胸骨圧迫運動の擬似目標値

(b-1) 人の交差流における流量増加のための誘導員行動決定

図 東工-3 のような、交差する人の流れは交差流と呼ばれ、人の流量を妨げるボトルネックとなる。また、交差領域ではある角度の縞が見られ、これが効率よく人の流れを生むことが知られている。これは、ミクロな人間の行動から発生する、マクロな力学現象である。そこで、本研究では、これに図 東工-4 で表されるように周期的に移動する、位相の異なる誘導員を入れ、縞を形成させるための誘導員の動きの周波数、振幅の最適化を行った<sup>[E-01, E-07, E-12]</sup>。まず、誘導員の移動の振幅、周波数と交差流の流量の関係をシミュレーションによって求め、これより、交差領域内のある点における密度変化と流量、振幅・周波数に大きな相関があることを定性的に求めた。次に、これに基づいた振幅・周波数の決定アルゴリズムを求め、これを用いたシミュレーションを行った。この結果、図 東工-5 のような結果が得られた。これは交差流の平均流速を表している。時間 250 秒から誘導員を混ぜたところ(赤線で表示)、混ぜない場合(鎖線で表示)に比べて平均流速が増加している。これは提案手法の有効性を示している。

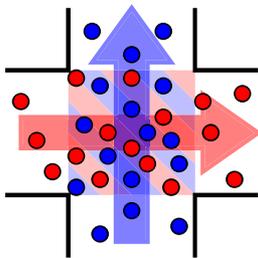


図 東工-3 人の交差流

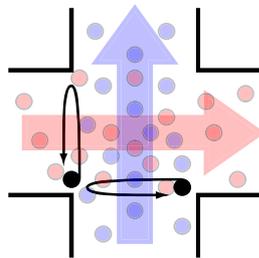


図 東工-4 誘導員の動き

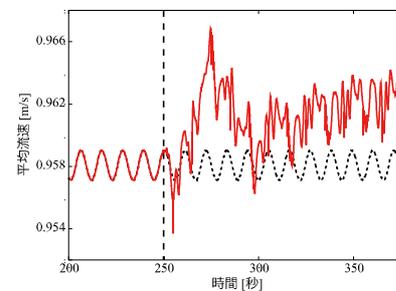


図 東工-5 交差流の平均流速変化

(b-2) 混雑緩和のための展示物の配置最適化

平成 22 年度の成果において、展示物の前での立ち止まり時間を導入した力学系の次元拡張を行うことで、展示場での人のモデル化を行った。このとき、立ち止まり時間は展示物閲覧の満足度を表しており、これを大きくすること、および、展示場に滞在していた時間を短くすることが本研究の目的である。そこで、展示場内の人の数を  $N$  とし、人の移動ベクトルを  $V$ 、混雑がない場合の理想的な移動ベクトルを  $V_r$  として、評価関数  $J$  を

$$J = \sum_{r=1}^N \|V_r - V\|^2$$

として、これを最小化するよう、展示物の位置を最適化した [E-04, 11]. この結果, 図 東工-6 の結果が得られた. 展示物ははじめに(a)の位置に配置されていたが, 最適化によって(b)のように移動した. このとき, 展示場内の人数は減少しており, さらに, 展示物の周りの混雑も少なくなっている. (c), (d)は展示物 2 における人の満足度のヒストグラムであり, (c)では展示物を閲覧しなかった人が多くいたが, (d)ではほとんどの人が満足するまで閲覧している様子を表している. また, (e), (f)は展示物を全て見終わるまでに要した時間であり, この結果から, 配置最適化によって短い時間でじっくり閲覧できる展示場が設計できたことがわかる. さらに, 図 東工-7 にあるように移動ロボットにカメラを搭載し, これを人間が操作する環境で展示物閲覧の模擬実験を行った. その結果, シミュレーションと同様, 短い時間でじっくり閲覧できる環境が設計できたことが確認された.

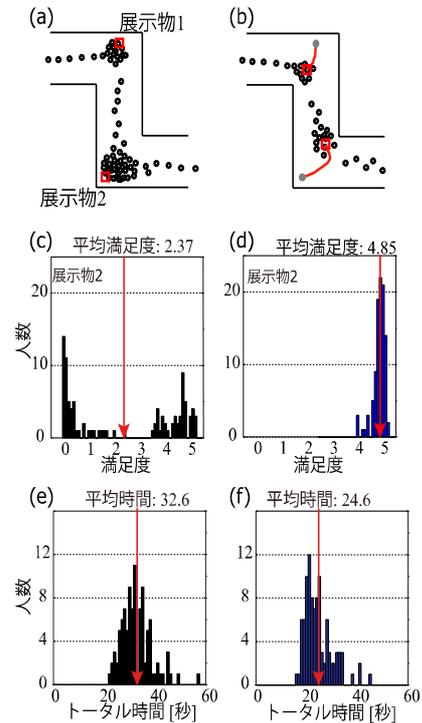


図 東工-6 展示物の配置最適化

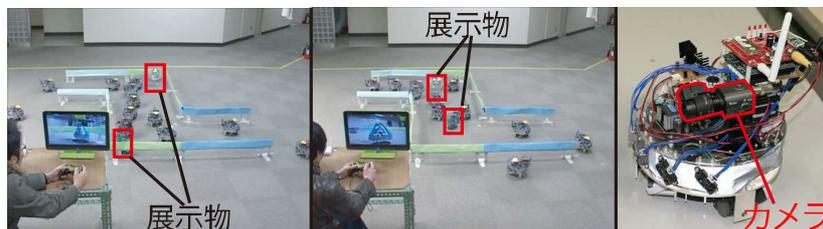


図 東工-7 移動ロボットを用いた検証

(c) 非線形剛性を任意に設計するケーブル・非円形スプール機構

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, 本研究ではばね機構によって人を補助するメカニカルパラサイトヒューマンの設計を目指し, 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する [E-08,10,14]. 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-8 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, 図 東工-9 にある実験装置を試作し, 所望の特性が得られることを確認した.

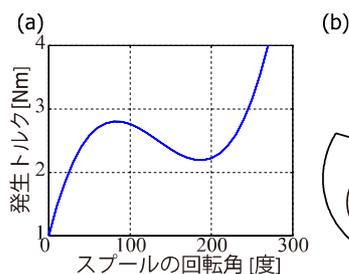


図 東工-8 所望の特性とスプール形状



図 東工-9 非円形スプール

## 【今後の見通し】

### (a) 胸骨圧迫運動の強調教示のための擬似目標値

今年度の成果により、擬似目標値を用いて胸骨圧迫運動を教示するための強調姿勢が得られた。今後は、この手法によって人の習熟が早くなることを、胸部圧迫力、運動の持続性の観点から評価を行う。さらに、熟練者であっても体重の差により運動に大きな差があることがわかっている。そこで、身体の力学的な解析に基づいて、運動を体重・身長などのパラメータで表し、子どもを対象とした講習会での適用が考えられる。さらに、ここで求めた擬似目標値は人のスキルの情報(力の入れ方など)を含んでいると考えられる。これを人のスキル伝達へ応用することも考えられる。

### (b-1) 人の交差流における流量増加のための誘導員行動決定

今年度の結果は、定性的な評価に基づいた誘導員の行動決定であったが、これに、群の力学的特性を含めた定量的な考察を行うことで、より適切な行動の決定につながるものと予想される。

### (b-2) 混雑緩和のための展示物の配置最適化

ここで想定した環境は、先に順路が与えられており、その中での展示物配置に留まった。実際には近年の展示場(博物館等)は、おおまかな経路(動線)のみを与え、閲覧者がその中を自由に見学する形態が多い。そこで、本研究の成果を広い空間での動線設計へと応用することで、閲覧者主体の快適空間の設計へと結びつくものと考えられる。

### (c) 非線形剛性を任意に設計するケーブル・非円形スプール機構

本研究の成果により、任意の剛性を実現する機構の設計法が得られた。そこで、この方法をベースとし、障がい者の歩行補助を行うためのパラサイトヒューマン実現への可能性が示された。

## 「NTT」グループ

### ①研究のねらい

本研究は、「119 番的状況における PH の感覚伝送による作業支援」の可能性を模索するため、感覚伝送の要素技術を具備する共通プラットフォームとしての次世代パラサイトヒューマンの装置開発を行い、それを用いて行動伝達への応用を目指す。また、非研究開発者コミュニティにスマ

ートフォンを用いた CPR の遠隔教育システムを普及させる取り組みを通じて、PH の成果の社会還元に必要な要素を特定することを目指す。

## ②研究実施項目・概要

・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

現在の 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前年度までに進めてきた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う。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。本年度は、MFA によるシステム評価実験を通じて明らかになった仕様を基に、PH デバイスの改良を行い、疑似牽引力デバイスの提示手法に関する新しいデザインを進めることで、当該手法の導入可能性を継続して探る。

## ③研究進捗状況と得られた成果

前年度までの研究成果から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、加速度波形の急峻な変化の割合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<sup>[NTT-01]</sup>。本年度ではこれらの実験結果を基に、考え得る知覚モデルに沿って、錯覚メカニズムの解明のための追加実験を行った。次年度にこの実験結果から知覚モデル化を行い、論文化をすすめる予定である。

また、PH を用いた CPR 遠隔教育の実現方法の 1 つとして、かつ前年度に開始した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の発展として、広く普及しているスマートフォン上で動作する CPR の上肢運動の教育支援ソフトウェアの開発を開始した。また、本ソフトウェアを実装するにあたり、バネマスダンパ系から算出される反力計算結果に過渡振動を付加させる力覚レンダリング手法を用いて手先の侵入量の変化に関する予備実験を行った。

### 【今後の見通し】

今年度の予備実験の成果により、振動触覚刺激を通じて CPR における上肢運動を修正指示するための方法論について一定の見通しが得られた。今後は、ソフトウェアの完成およびリリース、異なるオペレーティングシステムでの実装を進めていく。さらに、双方向伝送を見据え、遠隔地の 2 者間での協調作業の可能性についても検討する。また、前年度に選定と評価を行った運動計測システムを用いて、開発したソフトウェアによる上肢動作に関する体験及びスキルの伝送効果を検証する。

## 「産総研」グループ

### ①研究のねらい

1. 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

パラサイトヒューマン(PH)装着者の行動認識の成功率を向上させるためには、PH装着者の個体差を吸収するための正規化処理が不可欠である。これは、基本的にはPH装着者の運動学的なパラメータの推定処理であるが、逐次的・高精度・ロバストに行う正規化手法を開発する。さらに、他のグループと共に、行動要素とその選択モデルを開発し、PHや環境中のセンサデータから対応する行動要素を決定する行動モデルを構築する。なお、正規化処理や行動モデル獲得においては、PH単体のセンサ情報だけでなく、分散配置されたカメラやセンサネット等により構造化された環境から得られる情報を統合することにより、より高精度でロバストな手法を開発する。

## 2. 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

PHや分散カメラ等から構成されるセンサネットからの情報を統合し、PH装着者に適切な行動指令を与えることによって、災害時に装着者の安全な避難を実現することが期待される。さらに、周囲の他人の行動に誘導されてしまうという人間の特性を考慮すれば、集団内にいるPH装着者を適切に誘導することによって、また、PH装着者が集団に対して適切な情報提示を行うことによって、集団全体を安全に誘導できる可能性がある。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。

## ②研究実施項目・概要

### 1. 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

本年度は、1-a) PHによる遠隔演習の実施、1-b) PHデバイスの改良(提示ソフトの作成)、1-c) 意図推定によるスキル伝達のための提示情報の最適化という3つのテーマを中心に進める。

### 2. 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

本年度は、成果のまとめの年とし、昨年度までに開発を進めたエージェントベースの避難誘導シミュレータの成果をまとめて発表し、PHシステムが、避難誘導時における安心・安全に貢献できることを示す。なお、エージェントのパラメータ設定においては、日本科学未来館での実証実験のデータを利用し、より現実に近い条件でシミュレーションを行う。有効性が確認された誘導手法を群誘導モジュールに統合できる形で提供する。

## ③研究進捗状況と得られた成果

### 1. CPR救命講習への応用実現

年次計画にある、以下3つのテーマを進めるとともに、東日本大震災からの復興に貢献するために、4つ目のテーマを追加した。これは、安心・安全の実現に貢献する本プロジェクトの趣旨に則ったものである。以下、先ず、1-d) について報告し、続いて、1-a～c) について報告する。

1-a) PHによる遠隔演習の実施

1-b) PHデバイスの改良(提示ソフトの作成)

1-c) 意図推定によるスキル伝達のための提示情報の最適化

## 1-d) 過酷環境作業のための遠隔行動誘導システムの開発

### 1-d) 過酷環境作業のための遠隔行動誘導システムの開発

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高い。PH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テッドディスプレイ(HMD)等の機器を用いて、簡易型のPHシステム(遠隔行動誘導システム)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<sup>[産-01]</sup>

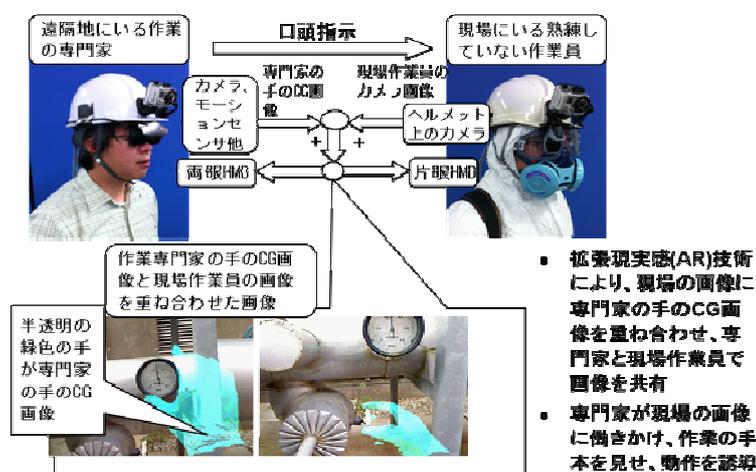


図 産総研-1 過酷環境作業のための遠隔行動誘導システム



図 産総研-2 遠隔行動誘導システムを用いた作業支援の様子

図 産総研-1 にシステムの概念図を示す. 図 産総研-2 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 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大きな広報効果があったと思われる. 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, 協力企業との共同研究を目指して, 活動しているところである.

### 1-a) PH による遠隔演習の実施

本年度は, PHシステムの比較対象として, テレビ電話機能を持つ, テレビ会議システム, ノートPC, スマートフォン等の普及した IT デバイスを利用して, 遠隔行動誘導システムを構築し, 応急措置の専門家(MFA インストラクター)の協力を得て, CPR 支援の評価実験を行った. 固定されたカメラが 1 台しか無いシステムでは, 胸部圧迫時の手の位置が不正確になるため, 患者に対するデバイスの位置の工夫が有効であること等の知見を得た. 図 産総研-3 に普及した IT デバイスを用いた応急処置支援システムの概念図を示す.

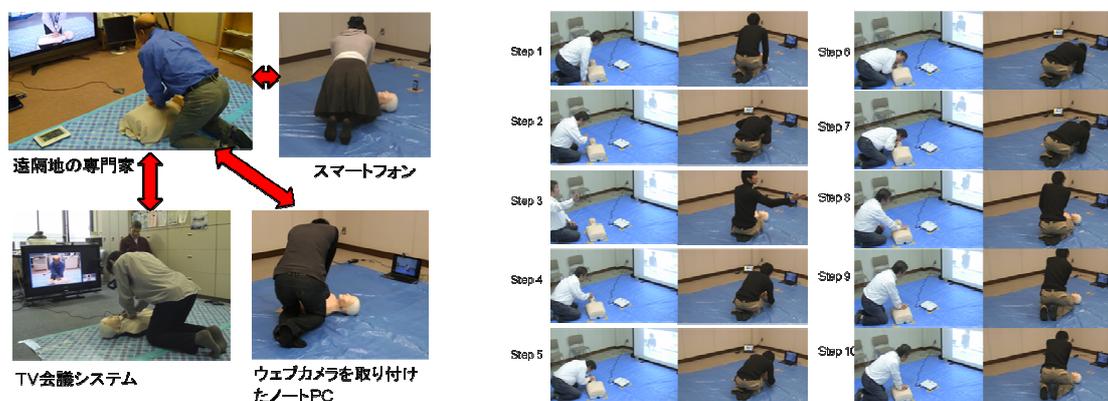


図 産総研-3 TV 電話システムを利用した救命救急支援と支援の様子

### 1-b) PH デバイスの改良 (提示ソフトの作成)

視野角が狭いというヘッドマウンテッドディスプレイ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ーを組み合わせた, HMD/没入型ディスプレイ複合ディスプレイシステムを提案し, 開発を進めている. これまでに開発した画像安定化技術を利用して, 安定した広角画像を提示する画像提示ソフトウェアのプロトタイプを開発した. 図 産総研-4 に概念図を示す. カメラ並びに頭部の位置ずれにより, 安

定化画像の誤差や歪みが生じるため、キャリブレーションシステムを開発中である。

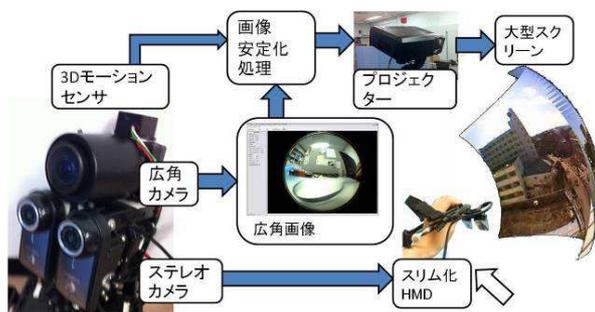


図 産総研-4 ヘッドマウンテッドディスプレイ/没入型ディスプレイ複合ディスプレイシステム

#### 1-c) 意図推定によるスキル伝達のための提示情報の最適化

PH システムの一人称視点によるスキル伝達においては、直観的な動作伝達が可能となる一方で、個人の体格差などによって行動の意図が間違った伝わり方をする場合が生じる可能性があり、意図伝達の検証が重要である。本年度は、トレーニングコースの中心となる CPR の胸骨圧迫動作を取り上げ、検討を進めた。一定時間で、圧迫開始点から始まり、圧迫到達点に到達し、再び圧迫開始点に戻る軌道は無数に存在しているが、意図に則った軌道は、トルクやトルク変化量の重み付き二乗和により構成される評価関数を最小化する軌道であると仮定し、評価関数を行動の意図の力学的表現の第一近似と見なして、実測された軌道の解析を進めた。体格差に応じて、追従させるべき軌道を調整する手法を開発すると共に、実装において対応すべき受講者とインストラクターの体格分類の粒度などの最適化という形でシステム構成に反映させることを目指している。

PH システムは、基本的にはトレイグジスタンス型のロボット操縦方式を利用しており、専門家が現場協力者と同期して運動を行うことになる。しかしながら、下半身の運動指令の生成においては、完全にトレイグジスタンスを実現しようとするれば現実の作業空間と同等の大きな面積を必要とするため、現実的ではない。本研究ではトレイグジスタンス状態から身体性を利用して直観的にモードを移行してロボットの移動制御を行えるような検出技術と制御技術について研究を進めた。本年度は、九州工業大学の尾下真樹准教授の協力により、モーションキャプチャシステムの出力より足踏み歩行等の動作を認識するシステムを構築した。VR 空間のアバターや PH システムでのアバター、ロボット等の移動の操縦性の評価実験の準備を進めている。

#### 2. 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

本年度は、成果のまとめの年とし、昨年度までに開発を進めたエージェントベースの避難誘導シミュレータの成果をまとめて発表した<sup>[産-02]</sup>。有効性が確認された誘導手法を群誘導モジュールに統合できる形で提供するため、ソフトウェア開発を進めている。

### §3. 成果発表等

#### (3-1) 原著論文発表

- 論文詳細情報

##### 【阪大】

[阪-01] 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-02] 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-03] Y. Hashimoto, D. Kondo, T. Yonemura, H. Iizuka, H. Ando and T. Maeda: Improvement of Wearable View Sharing System for Skill Training: The 21th International Conference on Artificial Reality and Telexistence (ICAT 2011): pp.104-109, 2011

[阪-04] 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-05] 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

<アピールポイント>

二者の視野画像を合成して提示する視野共有システムを用いて, 心肺蘇生法(CPR)の訓練における学習効果について検討した実験の報告である. 従来の三人称視点情報に比べて提案システムが CPR 訓練に効果的である結果と, その応用可能性について示している.

##### 【玉川大】

[玉-01] N. Watanabe, H. Mikado, T. 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-02] N. Watanabe, H. Mikado, T. Omori: Modeling of Pedestrian's Unintentional Guide Using Vection and Body Sway: The 21th International Conference on Artificial Reality and Telexistence (ICAT 2011): pp.94-97, 2011

[玉-03] 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】

[工-01] 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-02] 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-03] M. Watanabe, M. Okada and Dong Dung Nguen: Controller Reduction for Pseudo-Reference in High-Degree of Freedom Control System: The 21th International Conference on Artificial Reality and Telexistence (ICAT 2011): pp.88-93, 2011
- [工-04] M. Okada, Y. Motegi and K. Yamamoto: Human Swarm Modeling in Exhibition Space and Space Design: The 2011 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2011): pp.5021-5026, 2011
- [工-05] M. Okada and T. Ando: Optimization of Personal Distribution for Evacuation Guidance Based on Vector Field: The 2011 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2011): pp.3673-3678, 2011
- [工-06] N. Schmit and M. Okada: Synthesis of a Non-Circular Cable Spool to Realize a Nonlinear Rotational Spring: The 2011 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2011): pp.762-767, 2011
- [工-07] K. Yamamoto and M. Okada: Continuum Model of Crossing Pedestrian Flows and Swarm Control Based on Temporal/Spatial Frequency: The IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2011): pp.3352-3357, 2011
- [工-08] N. Schmit and M. Okada: Design and Realization of a Non-Circular Cable Spool to Synthesize a Nonlinear Rotational Spring: Advanced Robotics: Vol. 26, No.3-4, pp.234-251, 2012
- 【産総研】
- [産-01] E. Oyama and N. Shiroma: Behavior Navigation System for Use in Harsh Environments: The 2011 IEEE International Symposium on Safety, Security, and Rescue Robotics (SSRR2011): pp.272-277, 2011 (DOI: 10.1109/SSRR.2011.6106799)
- [産-02] K. Shinoda, E. Oyama and I. Noda: Pedestrian Dynamics Simulator for Wearable Navigation: The 21th International Conference on Artificial Reality and Telexistence (ICAT 2011): 2011

### (3-2) 知財出願

- ① 平成 23 年度特許出願件数(国内 3 件)
- ② CREST 研究期間累積件数(国内 3 件)