

戦略的国際科学技術協力推進事業
日本－フランス「コンピュータサイエンスを含む
情報通信技術」分野における研究交流
研究課題「実環境のオンライン情報構造化を用いたロボットの
運動計画および実行に関する研究」

研究終了報告書

研究交流期間 平成20年2月～平成23年3月

研究代表者：吉田英一

(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 AIST-CNRS ロボット工学
連携研究体長)

1. 研究・交流の目的

本研究課題では、ロボットに複雑な実環境でダイナミックな動作能力を与えるため、センサ情報処理と環境情報の抽出を実時間でを行い、ロボットの運動を計画し実行する手法を構築することを目的とする。

この目的を達成するため、研究員の相互訪問とワークショップを中心とした研究交流を通じて、双方の得意分野として、産業技術総合研究所（産総研、日本側研究機関）はダイナミックな制御、物体認識、物体操作等を、LAAS-CNRS（フランス側研究機関）は3次元ロボット運動計画、環境認識等の開発を担当し、等身大のヒューマノイドロボットとソフトウェア共通開発環境をプラットフォームとして用い、相互補完的な共同研究を行う。

2. 研究・交流の方法

本課題で目的とする、実環境のオンライン情報構造化を用いたロボットの運動計画および実行は、センサ情報の情報処理と環境情報の抽出を実時間で行うとともに、これに基づき行動と運動を決定するアルゴリズム研究のみならずロボットの制御システムの統合も包含する、野心的な課題である。これを達成するためには、ロボット工学分野における幅広い研究分野の連携が必要となる。

産総研知能システム研究部門と LAAS-CNRS は、この目的に関する問題意識を共有しており、かつこれを達成するために必要な研究の基盤とポテンシャルを備えていると判断し、研究交流を通じた共同研究を行うこととした。研究基盤として、組織面では産総研と CNRS による共同研究ラボ（AIST-CNRS ロボット工学連携研究体、以下 JRL）の設立、また実務面では研究プラットフォームとして等身大の人間型ロボット HRP-2 が日仏両国への設置がすでに完了しており、この基盤のもとに本事業により以下のような研究交流を行う。

研究交流においては、(1) ダイナミクスを含む全身・障害物回避運動計画、(2) 実環境モデル化のためのオンライン情報構造化、(3) 更新される実環境モデルの動作計画への統合のサブテーマを設定する。

まず、共同研究の推進を双方で強化するため、研究テーマと各自の適性を考慮し、各年双方でそれぞれ2～3名の研究員に対して、3～4ヶ月の範囲で相互派遣を行う。訪問研究者は、自らが持つ高い専門性を、相手側研究機関と相互補完しつつ研究を進める。日本から派遣される研究者は主にサブテーマ(1)、(2)を、またフランスから派遣される研究者は(2)、(3)を担当する。研究成果は、基本的に共通プラットフォームである HRP-2 を用いて、シミュレーションと実機実験により検証することとする。派遣される研究者は、自らの知見を高度化するだけでなく、帰国時に所属研究機関の研究活動をさらに活発化させる役割も担う。

次に、提案課題のユニークな特徴として、双方の研究機関による「再利用可能なソフトウェア統合開発環境の整備」を行う。共通の開発基盤を整備してプロジェクト全体で研究成果を共有し、さらに成果を有効に再利用することで、国際共同研究の強力かつ円滑な推進に資する。これを、ハードウェア面のロボットに対し、ソフトウェア面での共通プラットフォームと位置づける。

最後に、研究の進捗状況を共有し、また研究の内容と将来の方向について集中的に議論す

る機会として、各年度にワークショップを企画する。ワークショップは原則公開とし、関連分野の内外の著名な研究者を招き、外部からの意見や助言も取り入れ、議論をより意義のあるものとする。さらに、本事業で得られた成果は積極的に学会誌や国際会議での発表を行い、また学協会の依頼・招待講演、報道機関の取材に積極的に応じ、研究成果の普及にも努力する。

3. 研究・交流実施体制

3. 1 日本側

氏名	所属	役職	学位	役割
(リーダー) 吉田英一	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	連携研究体長	博士 (工学)	統括・ロボット制御・物体操作制御
(研究者) 横井 一仁	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	副研究部門長、研究グループ長	博士 (工学)	実世界モデリング・運動計画
(研究者) 金子 健二	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	博士 (工学)	ロボット実装・制御
(研究者) 原田 研介	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	博士 (工学)	動力学・ヒューマノイド制御
(研究者) 金広 文男	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	博士 (工学)	行動制御・ソフトウェア基盤
(研究者) 喜多 伸之	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	工学修士	視覚による環境・物体モデリング
(研究者) 阪口 健	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	博士 (工学)	環境埋め込み型センサとその利用
(研究者) 有隅 仁	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	博士 (工学)	動力的運動制御
(研究者) Neo Ee Sian	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	研究員	博士 (工学)	行動・運動制御
(研究者) 森澤 光晴	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	研究員	博士 (工学)	即応性の高いロボットの運動制御

3. 2 相手国側

氏名	所属	役職	学位	役割
(リーダー) Jean-Paul Laumond	LAAS-CNRS, Gepetto Group	Senior Researcher	Ph. D	統括・動作の計画とモデリング

(研究者) Florent Lamiroux	LAAS-CNRS, Gepetto Group	Researcher	Ph. D	ロボット運動計画
(研究者) Anthony Mallet	LAAS-CNRS, Gepetto Group	Research Engineer	Ph. D	視覚処理, ソフトウェア開発基盤
(研究者) Philippe Souères	LAAS-CNRS, Gepetto Group	Researcher	Ph. D.	センサーモータ系制御
(研究者) Rachid Alami	LAAS-CNRS, Robotics Interactions Group	Senior Researcher	Ph. D	人間・ロボット協調
(研究者) Nicolas Mansard	LAAS-CNRS, Gepetto Group	Researcher	Ph. D	複数タスクを含む全身運動制御
(研究者) Mathieu Poirier	LAAS-CNRS, University of Toulouse	Ph. D candidate	Ph. D	物体操作計画
(研究者) Oussama Kanoun	LAAS-CNRS, University of Toulouse	Ph. D candidate	Ph. D	ロボット全身運動制御
(研究者) Alireza Nakhaei	LAAS-CNRS, University of Toulouse	Ph. D candidate	Ph. D	視覚処理とナビゲーション
(研究者) Minh Tran	LAAS-CNRS, University of Toulouse	Ph. D candidate	Ph. D	センサーモータ系制御
(研究者) Sebastien Dalibard	LAAS-CNRS, University of Toulouse	Ph. D candidate	Master	複雑な機構の運動計画
(研究者) Manish Sreenivasa	LAAS-CNRS, University of Toulouse	Ph. D candidate	Master	視覚ベースの行動生成
(研究者) Nicolas Perrin	LAAS-CNRS, University of Toulouse	Ph. D candidate	Master	高速歩容運動生成
(研究者) Sovanara Hak	LAAS-CNRS, University of Toulouse	Ph. D candidate	Master	人間・ロボット動作解析
(研究者) Layale Saab	LAAS-CNRS, University of Toulouse	Ph. D candidate	Master	人間・ロボット動作解析
(研究者) David Flavigne	LAAS-CNRS, University of Toulouse	Ph. D candidate	Master	触覚を含むロボット運動計画

4. 研究成果

4. 1 研究成果の自己評価

- 計画以上の成果がでた 計画通りの成果がでた
 計画とは異なるが有益な成果がでた 計画ほどの成果はでなかった
 いずれでもない

4. 2 研究成果の自己評価の根拠

・研究成果

本研究課題では、実環境のオンライン情報構造化を用いたロボットの運動計画および実行手法を構築するため、先に示した3つのサブテーマを中心に共同研究を展開した。その結

果、次のような**新しい知見**を得るに至り、実験的検証により**基盤技術の進展**に貢献した。これらの成果は学会等で表彰されるなど、学術的にも評価を受けている。

(1) ダイナミクスを含む全身・障害物回避運動計画

【日本側成果】①正確な形状に基づき、全身を用いて干渉を回避する動作経路の計算、②算出された経路の動力学的に安定な軌道への変換、という新たな手法を導出した。

【フランス側成果】人間型ロボットなど、歩行ロボットの足の着地位置列の計画を、足に接続された仮想的なリンクで結ばれた冗長マニピュレータの計画とみなし、一般化逆運動学を適用して全身運動を導出する独創的な方法を構築した (Humanoids2009 表彰)。

(2) 実環境モデル化のためのオンライン情報構造化

以下のように、視覚、力覚という複数の異なる感覚情報を用いた情報構造化を行った。

【日本側成果】加速度センサから検出された運動力から、足に搭載した力センサにより計測される床からの力を差し引くことで、ロボットにかかる予期しない外力を推定する外力検出オブザーバを新たに構成した。

【フランス側成果】実世界において、ロボットが移動しながら、各地点で複数の視点でステレオ画像を取得し、これを合成して3次元環境情報を構築する手法を開発した。

(3) 更新される実環境モデルの動作計画への統合

日本側は局所的なロボット制御、フランスは大域的な計画を主に担当して(1)と(2)の成果を統合し、共通ソフトウェア開発環境・ロボットにより実験的に有効性を確認した。

【日本側成果】(2)で検出された外乱や障害物により、現在実行中の動作を即応的に変更する新規な手法を導出した。等身大の人間型ロボットをプラットフォームに、外乱の大小に応じて、安定性を保つため、踏ん張りあるいは踏み出し動作を選択し、踏み出す際には、実機の制約を考慮して軌道計画を行う手法を構築した (Humanoids2009 表彰)。

【フランス側成果】得られた環境情報に基づき、大域的な経路計画を行う「サンプリング計画手法」を適用して安全な経路を計画・実行する新手法を開発した。

・相手国との協力による研究への相乗効果

上記では、主担当の研究者により日本側・フランス側成果と区別してあるが、各研究者が派遣先の相手側研究機関の研究者との共同作業あるいはディスカッションにより着想を得たうえで、それを発展させたものが多く、その成果は**相手国との協力による研究への相乗効果**によるものである。さらに、両国が共通のハードウェア・ソフトウェアのプラットフォームを持つことにより、相手国に滞在中に効率的に成果を検証することができたことも、**共通基盤を持つ研究機関による共同研究における相乗効果の一つ**である。

・今後の展開見込みと社会への波及効果

本研究により、視覚や力覚などの感覚情報を構造化し、障害物環境で避ける動的動作を計画し、外乱があっても作業や動作を実行するための基盤技術を構築した。**今後の展開見込み**として、環境適応性をさらに向上させ、器用な作業を可能とすることにより、狭い空間で移動を必要とする組立作業や、福祉機器製品評価のための人間模擬動作など、ロボットが人間を支援・代替する応用分野の拡大、人間による重労働の削減による生産性の向上や事故の防止などの**社会への波及効果**が期待される。

4. 3 研究成果の補足

特になし

5. 交流成果

5. 1 交流成果の自己評価

- 計画以上の交流成果がでた 計画通りの交流成果がでた
 計画ほどの交流が行われなかったが成果はでた
 計画ほど交流成果がでなかった
 いずれでもない

5. 2 交流成果の自己評価の根拠

・相互派遣

当該事業により、日本側からは合計8名、フランス側からは10名が相手国を訪問した。

【日本側】グループ長クラスと、若手研究員クラスがそれぞれ数週間～数ヶ月フランスに滞在した。共通研究テーマについて十分事前打ち合わせをした結果、到着後迅速に実質的な共同研究活動に入ることができ、4. に示す成果を挙げることができた。

【フランス側】フランスの研究所は、常勤研究者のみでなく、博士・修士学生などの若手研究者も積極的に日本へ派遣した。共同研究ラボ JRL には他のフランス人研究者も滞在しており、日仏研究者との密な協力により研究を進展させることができた。

このように、若手は、相手国への滞在による刺激を受けることにより成果を挙げ、グループ長クラスは、相手国での若手の指導にも参画し、それぞれのレベルで**相手国との研究交流につながる人材の育成**に寄与した。このように、**当該事業を端緒として、相手国との研究交流は明らかに増加**しており、共通プラットフォームを用いた成果の共有という当該課題の特徴を活用し、帰国後に共著論文を発表するなど、**その後も研究交流は持続**している。

・ワークショップ

【日本側】2009年に、神戸で開催されたロボット工学関連の最大の国際会議 IEEE ICRA にて公開でワークショップを開催し、2011年にも産総研にてワークショップを開催した。

【フランス側】2008年に LAAS-CNRS にてワークショップを開催した。全世界から先端研究を行っている20以上の研究機関が参加した。

ワークショップでは、参加メンバーによる課題進展の共有だけでなく、公開として招待講演も行い活発な議論を喚起して、**研究交流の一層の活発化に寄与**した。

5. 3 交流成果の補足

特になし

6. 主な論文発表・特許出願

論文 or 特許	・論文の場合：著者名、タイトル、掲載誌名、巻、号、ページ、発行年 ・特許の場合：知的財産権の種類、発明等の名称、出願国、出願日、出願番号、出願人、発明者等	特記事項
論文	Oussama Kanoun, Jean-Paul Laumond, 吉田英一、Planning Foot Placements for a Humanoid Robot: a Problem of Inverse Kinematics、International Journal of Robotics Research, Vol. 30, No.4, 476-485, 2011.	関連学会発表が Humanoids 2009で最優秀論文候補
論文	金広文男, 森澤光晴, Wael Suleiman, 金子健二, 吉田英一、実機の物理的制約を考慮した即応的脚動作生成手法、日本ロボット学会誌、28巻、10号、1251-1261、2010	関連学会発表が Humanoids 2009で最優秀論文候補
論文	吉田 英一、Jean-Paul Laumond、Claudia Esteves、 Oussama Kanoun、Anthony Mallet、阪口 健、横井一仁、Motion Autonomy for Humanoids: Experiments on HRP-2 No. 14、Computer Animation and Virtual Worlds, Vol. 20, No. 5-6, 511-522, 2009.	