

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 6 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24240033

研究課題名(和文) 全臨場撮影提示型フィールドスタディ方法論に基づく作業移動ロボット構成論の再体系化

研究課題名(英文) Re-organization of mobile robotics research based on field study approach with entire information recorder

研究代表者

岡田 慧 (Okada, Kei)

東京大学・情報理工学(系)研究科・准教授

研究者番号：70359652

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 35,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、実証実験から基礎理論を導出するフィールドスタディ型方法論による、ロボティクスの革新を目指した。研究期間を通じて工場用物品把持収納双腕ロボット、オフィス用デリバリー作業移動ロボット、災害対応人型ロボットにおける実証実験を実現し、そこから共通する全情報を記録できるシステム基盤、テレモニタリング・マニピュレーション技術、自己診断型知能ソフト基盤の3つの基盤環境を抽出しこれを基盤ソフトウェア環境として3種類の異なるタスクを実施する異なるロボットで運用する体制を実現した。

研究成果の概要(英文)：This research aim to extend robotics research based on field study approach which extract experiment to fundamental theory. Throughout the research period, we have archived experimental research using dual manipulation robot for factory bin picking tasks, mobile manipulation robot for office delivery tasks and humanoid robot for disaster response tasks, and extract fundamental and common subsystems includes system foundation for memorizing all sensor/motor information, telemonitoring and telemanipulation technology, self diagnostic intelligent software basis and these three different robot performing three robot can share these sub systems as common set of robotics software foundation.

研究分野：知能ロボティクス

キーワード：知能ロボティクス 作業移動ロボット フィールド・スタディ 自己診断修復型身体構成法 テレモニタリング・テレマニピュレーション技術

## 1. 研究開始当初の背景

家事支援等の高度な認識操作を特徴とする  
知能ロボット研究は申請者を含めた早稲田、  
東大、産総研等での脚型プラットフォームによる  
先駆的研究に加え、近年は米国のパークレ  
イ、スタンフォード、CMU、MIT、欧州ではフラン  
スの LAAS、ドイツの TUM 等海外を中心に  
オープンソース型のロボット研究アプロ  
ーチにより、従来のロボティクスのみならずコ  
ンピュータ  
科学分野の研究者を巻き込みますます研究  
が活性化してきている。

申請者もまた認識操作システム構成法、視覚  
注意生成法を提案し、下図に示すような等身  
大ヒューマノイドプラットフォームを用いた  
様々な家事支援行動の実証実験を通じて、  
ロボ  
ティクス分野を代表する国際会議で受賞す  
る等、世界的に高い評価を受けるレベルま  
で研究を進めてきた。

しかしながら、申請者を含め従来の知能ロボ  
ット研究における実証実験は研究室での  
統  
制された環境に留まり、実際のフィールドで  
人の思い通りのタスクを遂行する、あるいは  
現  
場で求められる活躍をするには程遠いのが  
現実である。この状況を打破するには、基礎理  
論  
を提案し実証実験で検証するという従来型  
のアプローチではなく、フィールドでの実証  
実験  
から基礎理論を体系づける新しい方法論を  
確立し実践型の知能ロボティクスの体系化  
を図  
る必要があると思うに至った。

## 2. 研究の目的

本研究は、基礎理論から実証実験への展開  
という従来のロボティクスの方法論ではな  
く、実証実験から基礎理論を導出するフィ  
ールドスタディ型方法論による、ロボティク  
スの革新  
を目指す。そのためには人が現場の臨場感  
を把握しロボットへ思い通りの意図を伝達  
できる高いレベルのユーザインタフェースを  
実現し、その運用から基盤となる学術基礎  
理論を確立検証する手法が必要になる。本  
研究では、作業移動ロボットと任意視点か  
ら撮影可能な飛行ロボットのペアを組織し  
、状況の撮影とそこで生じる全情報を記録  
できるシステム基盤を用いて、オフィス、工  
場、危険地域のフィールドでの実践的タス  
クによる実証実験から、テレモニタリング  
・マニピュレーション

技術、自己診断修復型身体構成法、共自  
律性知能ロボット要素の 3 つの基礎理論を  
確立し、これらを核に知能ロボット学術分  
野の再体系化を行うことを目的とする。

## 3. 研究の方法

本研究では作業移動ロボットと臨場撮影  
ロボットのチームを編成しオフィスビル環  
境、部  
品組み立て工場環境、プラント危険環境  
の各フィールドで実証実験を行いながら、1)  
ロボ  
ット状態を把握し状況に応じて思い通り  
の意図をロボットに伝達するテレモニタ  
リング技術  
とテレマニピュレーション技術、2)使え  
ば使うほど人のロボットの関係がなじんで  
いく共

自律型の認識行動計画学習技術、3)ロボ  
ットが現場で常時活躍できるための身体  
構成法と  
自己診断修復システムの 3 つの基礎理論  
の研究を実施し、知能ロボット構成論を  
フィールド  
対応型の体系として再構築する。

平成 23 年度年度は実証実験フィールド  
としてオフィスビル環境での書類や物品  
の配達や受け取りを対象とする。既に平  
成 23 年度に先行的に 12 階建てのオフィ  
スビル(東大工学部 2 号館)に

においてフロア間移動可能なナビゲ  
ーション機能の研究を行い、書類配達タ  
スクやサンドイッチ買出しタスクの実証  
実験に行っており、これを基盤に全臨場  
送出記録のための非同期分散プロセス、  
臨場撮影ロボット、全臨場撮影提示テ  
レモニタリング、共自律性に基づく協  
調実行テレナビゲーション、ユーザ  
インタフェースと認識行動計画学習知  
能のコデザイン方法論の研究を実施す  
る。

実証実験フィールドとして 2 年度は工  
場における部品組み立て等や袋詰め等  
のマニピュレーション、3 年度は危険  
環境での瓦礫や破片の撤去、扉の開閉  
等のモバイルマニピュレーションを計  
画する。工場フィールドに関しては、研  
究協力者であるデアンコウ博士が、工  
場での自律操作をテーマに研究を進め  
てきており、既にいくつかの企業や工  
場と連携し必要とされる機能について  
相談を開始しているところであり、彼  
の協力を仰いでフィールドを提供して  
もらう予定になっている。またプラ  
ントについても福島原発事故対策統  
合連絡本部のメンバに非公式に協力  
を打診し都内の試験プラントでの実  
証実験を検討している段階である。4  
年度は取りこぼした実証実験を行い  
ながら得られた知見の体系化に注力す  
る。

#### 4. 研究成果

研究成果の概要を年度毎にまとめて記す。

平成24年度

・全臨場送出記録のための非同期分散プロセスを用いた知能ロボットシステムカーネルの構成法:軽量設計を特徴とする非同期分散プロセス機構により、ロボットの全情報をネットワークを介して送受信する機構と、研究室で従来から構築してきた知能ロボットシステムカーネルを統合し、テレ操作・作業時のユーザ提示情報、フィールド検証評価への活用可能な基盤システムの構成法を明らかにした。

・臨場撮影ロボット:ヘリコプタ型の空中移動ロボットに三次元視覚距離センサを搭載し全臨場送出記録機構を介してロボットからの三次元環境情報を送出し、作業ロボットのタスクとの連動が可能になった。

・全臨場撮影提示テレモニタリング:空間知覚再構成を時系列統合し生成した周辺三次元認知マップ、高速・広空間探索技術を用いた操作動作計画経路情報、認知マップ状態の非同期観察機構により物体・動作のシンボル情報変化による事象や失敗検知・推論結果の可視化システムを構築した

・認識行動計画学習知能を活用するユーザインタフェース設計論:求められるタスクレベル、インタフェース、自律機能の関係の体系化と、ユーザ操作効用について、体験評価を踏まえたユーザインタフェースを情報端末タブレット上に構築した。開発したUIは一般公開し広くフィードバックを得られるようにした。

平成25年度

・工場マニピュレーション:産業用双腕ロボットを用いた実践タスクを開発し、その中で昨年度開発した認識行動計画学習ユーザインタフェースの評価を行った。特にユーザの気がつきにくい診断検証システム、安全確保システムについてその仕様を抽出した。

・協調実行テレナビゲーション:手順が複雑な高次タスクを遂行するロボットにユーザがその場で新しいタスクを教示する、あるいはその場で別のタスクを指示する、という場面において、状況に応じて適切に人とロボットの操作を融合・調停する共自律性(SharedAutonomy)理論に基づいた協調機能の解明に取り組んだ。前者では状況の文脈からタスクの認識行動構造の記述を再利用可能な形で獲得す

るアルゴリズムを提案し、後者ではタスク解析とその実行状況に応じて動作の節分点を

適切に判断する機構を提案した。それぞれのサービスロボットの家事支援タスクに適用し実証実験を行い有効性を確認した。

・安全身体構成法:人や環境からの接触に対して人とロボットを守るために、ロボットの内界センサ、ならびに体内計算機ログ情報と合わせてモータの予想故障時期を推論する自己身体診断システムを構築し、異常の予知検知システムを構築した。これを危険地域用等身大ロボットに適用しその有効性を実証した。

・知能カーネル・テレモニタリング・認識行動計画UIの実証実験:昨年度開発したこれらの基盤システムを用いて災害救助ロボットコンテスト用シミュレーションにおいて実証実験を行った。短期間の開発と練習での確かなタスク遂行が可能なることを実証したが、一方で実フィールドで問題になる信頼性の低い通信環境への対応が重要なことになった。

平成26年度

平成26年度は主に災害模擬フィールド環境での実証実験を通じて検証を進めた。

・並列検証モニタリング:モニタリング技術では共自律性において人とロボットの役割の変化を喚起する機構として、テレモニタリング情報から動作毎に必要な注意認識対象をベリフィケーション(検証)ルールとして設定し、これらを並列プロセスとして処理しながら注意の優先順位の重みが高めた注意知能モニタリング機構を構築し、遠隔操作中に必要な情報が引き出されるような機構を構築した。また、認識知能を活用することでより抽象化された注意提示が可能なることを示した。

・自律通信機構構築飛行ロボットシステム:飛行ロボットによる任意視点の確保と全臨場撮影提示を可能にする環境地図作成システムを、自ら通信環境は構築しながら飛行していくフィールド対応型のシステムとして提案・構築した。

操作スキル実時間調停制御:動作、行動、目的の各レベルの自律システムに対して人からの注意のレベルに応じて自律システム構造の変化や拡張を引き出す仕組みを、変化に応じて新たな状態記述や認識記述の獲得が必要になりシンボルモニタリングと生成技術に加えて、自律システムの停止と継続技術、並びにタスク依存関係の解析から人からの注意指示に応じた動作行動目的の挿入法を提案した。

平成27年度はこれまでの工場用物品把持収納双腕ロボット、オフィス用デリバリ作業移動ロボット、災害対応人型ロボットにおける実証実験の実現から共通する全情報を記録できるシステム基盤、テレモニタリン

グ・マニピュレーション技術, , 自己診断型知能ソフト基盤の3つの基盤環境を抽出しこれを基盤ソフトウェア環境として3種類の異なるタスクを実施する異なるロボットで運用する体制を実現し, 研究を取りまとめた

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 12 件)

Masaki Murooka, Shunichi Nozawa, Yohei Kakiuchi, Kei Okada, Masayuki

Inaba: Whole-body Pushing Manipulation with Contact Posture Planning of Large and Heavy Object for

Humanoid Robot, Proceedings of The 2015 IEEE International Conference on Robotics and

Automation, 2015, 5682-5689

Ryohei Ueda, Masaki Murooka, Yu Ohara, Iori Kumagai, Ryo Terasawa,

Yuki Furuta, Kunio Kojima, Tatsuhi Karasawa, Fumihito Sugai, Satoshi

Iwaishi, Shunichi Nozawa, Yohei Kakiuchi, Kei Okada, Masayuki Inaba: Humanoid Integrated UI System for Supervised Autonomy with Massive Data Visualization over

Narrow and Unreliable Network Communication for DRC Competition, Proceedings of the 2015 IEEE-RAS International Conference on Humanoid

Robots (Humanoids 2015), 2015, 797-804

Yohei Kakiuchi, Kunio Kojima, Eisoku Kuroiwa, Masaki Murooka, Shintaro

Noda, Iori Kumagai, Ryohei Ueda, Fumihito Sugai, Shunichi Nozawa, Kei

Okada, Masayuki Inaba: Development of Humanoid Robot System for Disaster Response Through Team NEDO-JSK's

Approach to DARPA Robotics Challenge Finals, Proceedings of the 2015 IEEE-RAS International Conference on Humanoid

Robots (Humanoids 2015), 2015, 806-810

趙 漢居, 川崎 宏治, 垣内 洋平, 岡田 慧, 稲葉 雅幸: 電波強弱監視に基づく複数無線モジュールの順次投下と環境地図作成を行う小型飛行ロボットの実現, 日本ロボット学会誌, Vol 32, No 7, 2014, 643-650.

Ryohei Ueda, Shunichi Nozawa, Kei Okada, Masayuki Inaba: Biped Humanoid Navigation System Supervised through Interruptible

User-Interface with Asynchronous Vision and Foot Sensor Monitoring, Proceedings of the 2014 IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots

(Humanoids 2014), 2014, 22-26

熊谷伊織, 小林一也, 野沢峻一, 垣内洋平, 吉海智晃, 岡田 慧, 稲葉雅幸: 柔軟変形多軸触覚を分散配置した等身大ヒューマノイド用外装による物体受渡作用の検知反応行動の

実現, Vol 31, No 10, 2013, 985-991

東 馳, 垣内 洋平, 岡田 慧, 稲葉 雅幸: 対話画面インタフェースでのマルチタッチジェスチャ指示と操作候補提示に基づくロボット遠隔操作シス

テム, 日本ロボット学会誌, Vol 31, No 4, 2013, 409-415

Wesley P. Chan, Iori Kumagai, Shunichi Nozawa, Yohei Kakiuchi, Kei Okada,

Masayuki Inaba: Creating Socially Acceptable Robots: Learning Grasp Configurations for Object Handovers from Demonstrations, 2013, 94-100

Hiroyuki Mikita, Haseru Azuma, Yohei Kakiuchi, Kei Okada, Masayuki

Inaba: Interactive Symbol Generation of Task Planning for Daily Assistive Robot, Proceedings of the 2012 IEEE-RAS International Conference on

Humanoid Robot, Vol 1, 2012, 698-702, 岡田 慧, ROS(ロボット・オペレーティング・システム), 日本ロボット学会誌, Vol. 30, No 9, 2012, 830-835.

Wilma A. Bainbridge, Shunichi Nozawa, Ryohei Ueda, Kei Okada, Masayuki Inaba: Methodological Outline and Utility Assessment of Sensor-based Biosignal Measurement in Human-

Robot Interaction, International Journal for Social Robotics, Vol 4, No 3. 2012, 303-306.

東 馳, 齊藤 学, 伊藤 司, 岡田 慧, 稲葉 雅幸: マニピュレーションロボットによる可変構造環境操作のための指示・認識システム, 計測自動制御学会論文集, No 48, Vol 2, 2012, 86-92.

[学会発表](計 13 件)

區 梓垣, 垣内 洋平, 岡田 慧, 稲葉 雅幸, 低インピーダンスマニピュレータを有する移動台車型ロボットによる可変構造を持つ家具の操作法, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2015年05月17日~2015年05月19日, 京都府京都市京都市産業会館

鎌田 一史, 古田悠貴, 垣内 洋平, 岡田 慧, 稲葉 雅幸: 日常生活支援ロボットにおける認識信頼度に応じた動作の遷移による動作

並列化システムの研究, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2015年05月17日~2015年05月19日, 京都府京都市京都市産業会館

大坪 諭史, 古田 悠貴, 稲垣 祐人, 笹淵一宏, 室岡 雅樹, 垣内 洋平, 岡田 慧, 稲葉 雅幸: 動力学シミュレータを用いたホームアシスタントロボットによる家事支援タスク遂行システム, 第33回日本ロボット学会学術講演会講演論文集, 2015年09月03日~2015年09月05日, 東京都足立区, 東京電機大学

鎌田一史, 古田悠貴, 植田 亮平, 垣内 洋平, 岡田 慧, 稲葉 雅幸: 日常生活支援ロボットにおける認識信頼度を利用した動作遷移による動作並列化システムに関する研究, 第16回SICEシステムインテグレーション部門講演会講演概要集, 2015年12月14日~2015年12月16日. 愛知県名古屋市長古屋国際会議場

古田 悠貴, 垣内 洋平, 三喜田浩行, 植田亮平, 岡田 慧, 稲葉 雅幸: 日常生活支援ロボットによるオンサイト教示可能なロボットシステム, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'14 講演論文集, 1P2-Q06, 2014, 2014年05月25日~2014年05月29日 富山県富山市富山国際会議場

古田 裕介, 植田 亮平, 垣内 洋平, 岡田 慧, 稲葉 雅幸: 通信帯域制限の変化に応じた環境情報取得とロボット操作レベルの動的変更を行う遠隔操縦ロボットシステム, 第15回SICEシステムインテグレーション部門講演会講演概要集, 2014年12月15日~2014年12月17日 東京都江東区東京ビッグサイト

岩石 智志, 室岡 雅樹, 植田 亮平, 佐藤 顕治, 岡田 慧, 稲葉 雅幸: 物体認識に基づく操縦補助ソフトウェアとヒューマノイド型入力デバイスを統合したタスク実現システム, 第15回SICEシステムインテグレーション部門講演会講演概要集, 2014年12月15日~2014年12月17日 東京都江東区東京ビッグサイト

野田 晋太郎, 野沢 峻一, 室岡 雅樹, 岡田 慧, 稲葉 雅幸: 身体環境保持負荷指標に基づく脚腕協調段差昇降行動の実現, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'13 講演論文集, 2P1-

B03, 2013年05月22日~2013年05月24日 茨城県つくば市・つくば国際会議場

古田 裕介, 垣内 洋平, 岡田 慧, 稲葉 雅幸: 操作目標力の指示機能を拡張したインタラクティブマーカによる物体操作モデル獲得可能な遠隔操縦ロボットシステム, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'13 講演論文集, 2A2-

Q12, 2013年05月22日~2013年05月24日 茨城県つくば市・つくば国際会議場

熊谷伊織, 野沢峻一, 垣内洋平, 岡田慧, 稲葉雅幸, ヒューマノイドロボットの多点環境接触行動時における関節温度に基づく環境適応動作の実現, 第31回日本ロボット学会学術講演会講演論文集, 1C2-07, 2013年09月04日~2013年09月06日 東京都八王子市・首都大学東京南大沢キャンパス

村瀬和都, 三喜田浩行, 垣内洋平, 岡田慧, 稲葉雅幸: 環境データを自動獲得するロボットを用いた携帯情報端末による物品操作・運搬行動タスクの実現, 第31回日本ロボット学会学術講演会講演論文集, 1I3-05, 2013年09月04日~2013年09月06日 東京都八王子市・首都大学東京南大沢キャンパス

古田悠貴, 稲垣祐人, 垣内洋平, 岡田慧, 稲葉雅幸: IRT ホームアシスタントロボットによる掃除片付け作業シーケンスのPR2による実現, 第31回日本ロボット学会学術講演会講演論文集, 1I2-02, 2013年09月04日~2013年09月06日 東京都八王子市・首都大学東京南大沢キャンパス

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕  
出願状況(計 0 件)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

岡田 慧 (OKADA Kei )  
東京大学・大学院情報理工学系研究科・准教授  
研究者番号: 70359652