

# 2011 年度

東京大学 人工物工学研究センター  
サービス工学研究部門

## 移動ロボティクス研究室 (太田研究室) 研究紹介

〒277-8568 千葉県柏市柏の葉 5-1-5  
東京大学柏キャンパス総合研究棟 5F

### TEL

教授室 509 : 04-7136-4252

研究室 559, 561 : 04-7136-4260

研究室 534A : 04-7136-4276

### FAX

: 04-7136-4242

URL: <http://www.race.u-tokyo.ac.jp/otalab/index-j.htm>

### メンバー

教授	太田 順
博士課程学生	深澤 佑介, 劉 兆甲, 黄 沿江, 黄 之峰
修士課程学生	中西 悠斗, 小川 広晃, 狩谷 有亮, 龔 奕衡 (キョウ エキ コウ), Theeraphol WATTANAVEKIN, 作山 拓也, 四維 栄広, Karapetsas Eleftherios
学部 4 年生	永田 英憲, 矢作 裕之
研究生	Baron Yong Yoon Seong
秘書	平田 真理, 田村 美香

## 研究の概要

我々は 1989 年から群知能ロボットの研究を行ってきました。我々は、「ある空間に滞在し、動作している人間」、「人間を支援する知的エージェントとしてのロボット」、「ロボットと人間が相互作用する環境」の三者から構成される系を考えてきました。我々は、動作計画手法、進化的計算、最適化学、制御工学等を理論的基盤として、ロボット工学、サービス工学、生産システム工学に関する研究プロジェクトを遂行しています。最終的には人間と相互作用し人間を支援するエージェントの知能並びに運動・移動機能を解明し、人を含むマルチエージェントシステム設計論の構築を目指します。現在は「マルチエージェントロボット」、「大規模生産／搬送システム設計と支援」「移動知、人の解析と人へのサービス」という 3 つの分野において研究を行っています。

具体的には以下のテーマについて研究を進めています。

- スキャナ式距離センサを用いた局所的な情報獲得に基づく  
移動ロボットの未知物体把持 ..... 3
- 複数台の移動ロボットによる大型物体の協調ハンドリング ..... 4
- 複数移動ロボットによる多数物体再配置作業における作業分担法 ..... 5
- 作業時間とコストを考慮したロボットシステム選定法 ..... 6
- 大規模自動倉庫における 2 台のスタックークレーンの効率的な動作の高速生成法 ..... 7
- 大規模空港において地上走行する航空機の渋滞緩和 ..... 8
- 人間の姿勢制御モデル構築に関する基礎研究 ..... 9
- 車椅子移乗動作の自習支援システム ..... 10
- Web からの実世界行動モデルの構築とその応用 ..... 11

# スキャナ式距離センサを用いた局所的な情報獲得に基づく 移動ロボットの未知物体把持

移動ロボットによる未知物体の認識と高速把持は、たとえば工場における搬送作業等様々な応用対象を有しており非常に重要である。ここでは、2台のスキャナ式距離センサを搭載した移動ロボットが、形状モデルを持たない未知物体の局所的な形状情報を獲得して把持位置を認識することで物体把持を行う方法論を提案する。計測システムの概要を Fig.1 に示す。

ここでは、移動ロボットが前進しながら距離情報を蓄積することで物体の把持位置を抽出するアルゴリズムを提案する。すなわち、物体に関する距離センサ情報が以下の3つの条件を満たすときにグリッパによる把持位置が存在するとみなす。(a)物体に平行な表面または平面が存在すること。(b)当該平行表面/平面の間の距離がグリッパの最大間隔よりも短いこと。(c)当該平行表面/平面の外側にグリッパを差し込める空間が存在すること。もしある一連の計測により、そのような把持位置を抽出した場合には、その位置よりある一定距離後方にロボットを位置決めし、再度物体を計測して上記3条件の充足を再確認した後で把持位置に到達し把持する。もし把持位置が存在しない場合には、物体周縁を一定量周回した地点で同様な計測を行い、把持位置が計測されるまで周回を続ける。詳しいアルゴリズムを Fig.2 に示す。

この方法の有効性を実験により検証した。並行グリッパ付きの移動ロボットが90%の確率で様々な未知形状物体（フライパンや椅子等）を把持することが確認できた。また提案手法は、3Dモデル構築による方法、すなわちロボットが物体の周縁を一周して形状情報を取得する方法と比較して49%作業時間が減らせることが確認できた。Fig.3 に作業時間の比較の図を示す。

**Keywords:** Feature extraction, partial shape information, fast grasping of unknown objects

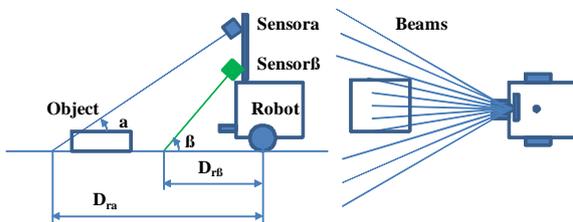


Fig. 1 A mobile robot with two 2D range sensors.

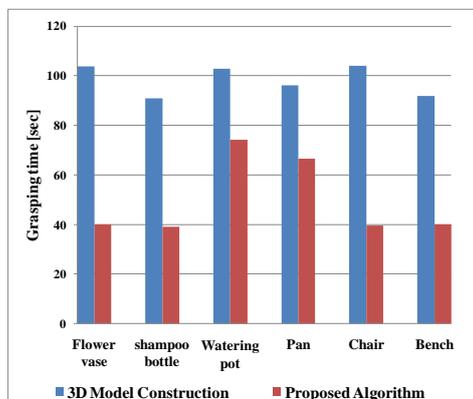


Fig. 3 Comparison of the grasping time of every object by using the proposed method and 3D model construction.

## Reference

1) Z.J. Liu, L. B. Gueta and J. Ota, Robotic Grasping based on Partial Shape Information, Proc. 2010 IEEE/SICE Int. Symp. System Integration, 299-304 (2010).

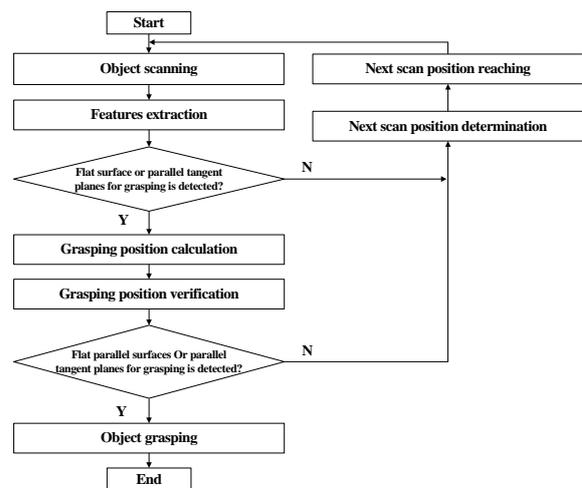


Fig. 2 Proposed approach.

## 複数台の移動ロボットによる大型物体の協調ハンドリング

複数の小型移動ロボットの協調により、床に設置された大型物体を持ち上げ、搬送、位置決めする大型物体ハンドリング作業が非常に重要である。ここではその基本的な問題設定として2台の移動ロボットによる物体持ち上げ動作をできるだけ短い時間かつ確実に遂行することを目指す。ロボットの機構設計ならびに協調動作設計を研究の主眼とする。

まずロボットの機構設計として考慮すべきことは、動作時にロボット間に過大な内力がかからないことと、作業中に対象物が振動しないことである。この目標を実現するために、1台のロボットが物体を把持し持ち上げるグリッパロボット、もう1台のロボットが物体を下から支え持ち上げるリフタロボット、という構成をとる (Fig.1)。この構成により、水平方向の3自由度はグリッパロボットのみが拘束を与え、水平方向の重力補償は2台のロボットで分担するという構造をとることになり、目標を達成できる。

ロボットの協調動作生成規則としては以下の3つの手順をとる (Fig.2)。(a)グリッパロボットがセンサを用いて物体の把持位置を認識、アプローチし、物体を傾けながら持ち上げる。(b)その持ち上げた隙間にリフタロボットがリフトを差し込む。(c)最後にグリッパロボット、リフタロボットそれぞれが同期してある一定角度の円弧運動をすることにより、目標状態(ロボットと物体が一直線上に整列する状態)に達する。ここでは、このうち(c)の円弧運動を、物体ハンドリング時の力学的制約、ロボットと物体の干渉回避、ロボットの動作制約を考慮した制約条件付き最適化問題として定式化し、ペナルティ法とランダム多スタート局所探索法を用いて解くアルゴリズムを提案した。

シミュレーションおよび実機実験により提案手法の有効性を示した。実機実験においては、外界センサを用いて移動ロボットの相互の位置姿勢を計測しつつ、持ち上げ実験を行った (Fig.3)。

**Keywords:** Motion planning, a object handling system, fast stable state transition

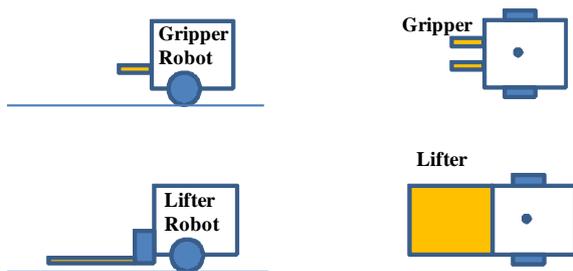


Fig. 1 A object manipulation system

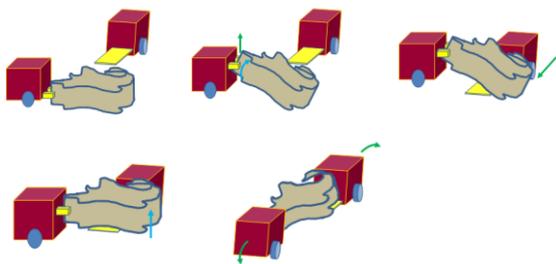


Fig. 2 Fast stable state transition using a object manipulation system

### References

- 1) Z.J. Liu, H. Kamogawa and J. Ota, Manipulation of an Irregularly Shaped Object by Two Mobile Robots, Proc. 2010 IEEE/SICE Int. Symp. System Integration, 228-223 (2010).

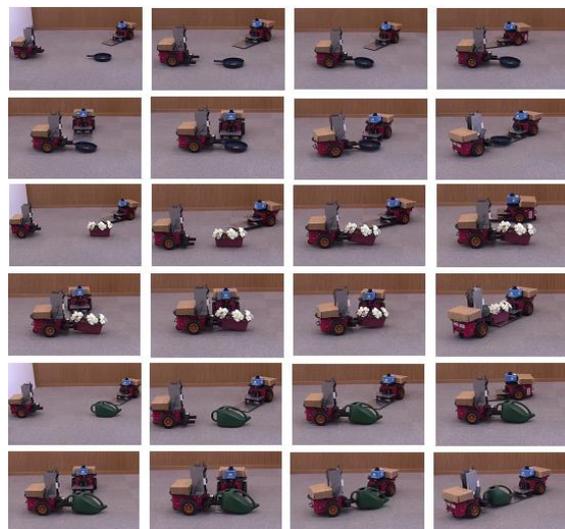


Fig. 3 Experiments of fast stable state transition.

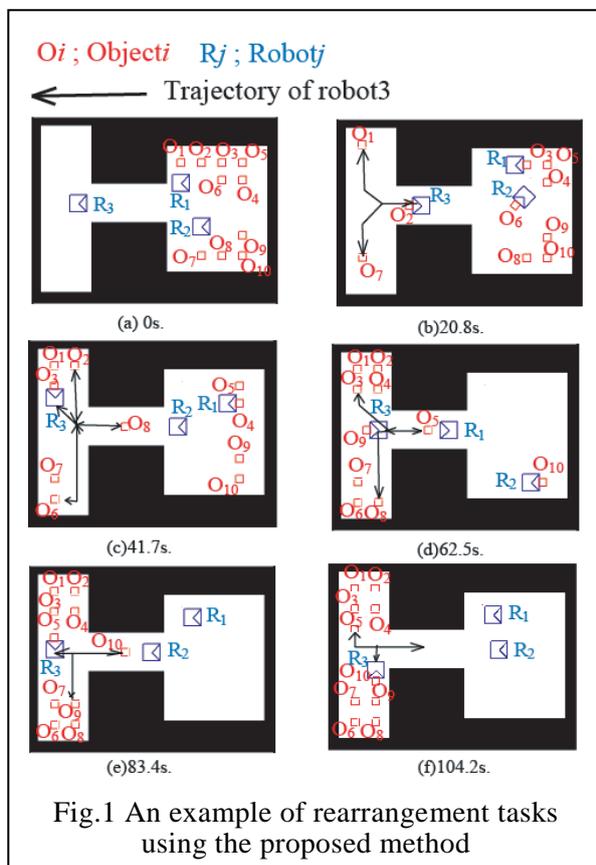
## 複数移動ロボットによる多数物体再配置作業における作業分担法

複数個の物体をある位置から指定された目標位置まで搬送する物体再配置作業 (Fig.1) は、生産システム、機器の搬送、室内の片づけなど実際の色々な場面における基本的なものである。ここでは、物体や壁などの障害物配置に応じた高速な多数物体搬送作業の実現を目指す。

この際、下記の2つの課題の解決が重要である。(a)物体や壁などの障害物配置に応じた物体受け渡し位置の決定法、(b)受け渡し位置を決定した後、つまり作業分割を行った後の作業割り付け・移動経路の決定法。ここでは、(a)に対してはロボットにとって時間コストの高い物体受け渡し回数受け渡しを必要最小限にするために、受け渡し位置を1台しか通れない通路(隘路)でのみ設定する方策をとった。(b)に対してはメタヒューリスティクス法の一つである焼きなまし法を用いて実用的な時間内で準最適な解を求めた。ここで、評価関数としては作業全体の完了時間と設定したが、それは当該作業をk-Stacker Crane Problem(k-SCP)としてモデル化し、近似解法により導解した (Fig.2)。

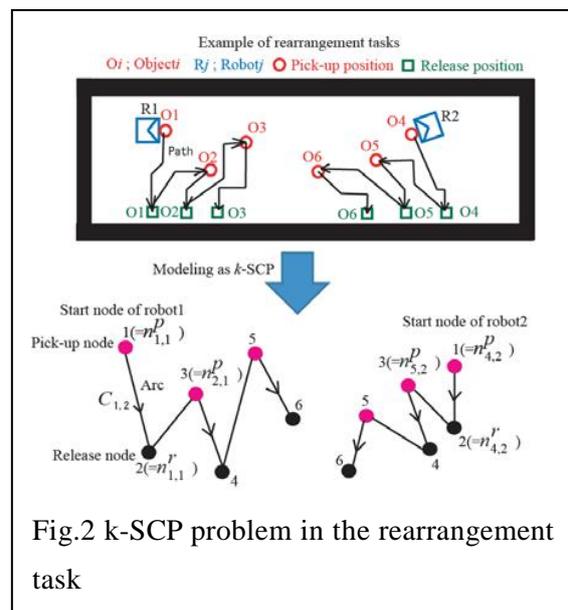
シミュレーションにより、提案手法を、従来法である物体ごとに作業分担する方法と領域ごとに作業を分担する方法と比較、評価した。シミュレーション結果から提案手法を用いることにより、シミュレーションに用いたどの作業環境でも、二つの従来法より短い時間で多数物体再配置作業を達成できることを示した。ロボット3台物体数10の場合のシミュレーション結果をFig.1に示す。更には、実験により、センサ誤差が存在する環境下でもきちんと動作することを示した。これらの結果より提案手法の有効性が明らかになった。

**Keywords:** Rearrangement problem, Multiple mobile robots, Multiple objects



## Reference

- 1) Naoki Oyama, Zhaojia Liu, Lounell B. Gueta and Jun Ota, Rearrangement Task of Multiple Robots Using Task Assignment Applicable to Different Environments, Proc. IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, pp. 300-305 (2010).



## 作業時間とコストを考慮したロボットシステム選定法

ロボットシステムを選定する上で作業時間とコストは二つの主要な評価関数である。与えられた作業内容に対して、それら二つの評価関数に関するパレート最適解を導出することが望ましい。しかしながら、総当りによる解算出では、設計解を導出するために多大な時間がかかってしまう。

本研究では、作業時間とコストの両方を考慮したマニピュレータシステム選定におけるパレート最適解を短時間で導出する方法を提案する(Fig.1)。ロボットシステムを選定では、作業時間とコストに大きな影響を与えるマニピュレータ選定も考慮した。ここでは6自由度多関節型マニピュレータと1自由度の位置決めテーブルから構成されるロボットシステムを対象とする(Fig.2)。提案手法では、候補となるロボットシステム群の中から適切なロボットシステムを選定する方法として multiple objective particle swarm optimization (MOPSO) 法を採用した。作業時間を導出する上で、ロボットシステムの構成要素の配置設計や要素同士の協調動作生成を組み入れた。配置設計のために particle swarm optimization(PSO)を採用し、協調動作生成には nearest-neighborhood algorithm (NNA)を用いた。三種類の問題設定において提案手法と従来手法(すべてのロボットシステム群の組み合わせを評価する方法)を比較することで提案手法の有効性が示された。Fig.3に2つの方法の計算時間の比較を、Fig.4に提案手法により得られたパレート最適解を示す。

**Key words:** Manipulator system selection, MOPSO, task completion time, location optimization

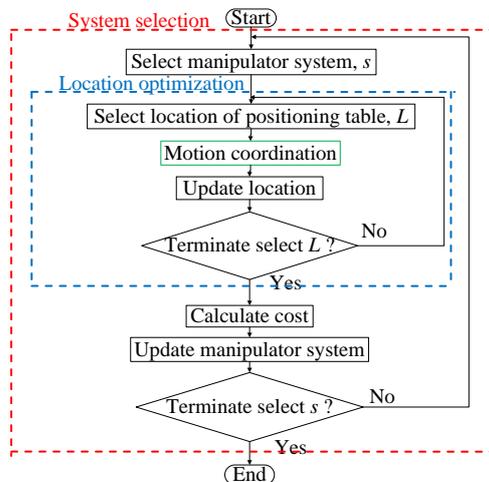


Fig. 1 Proposed method

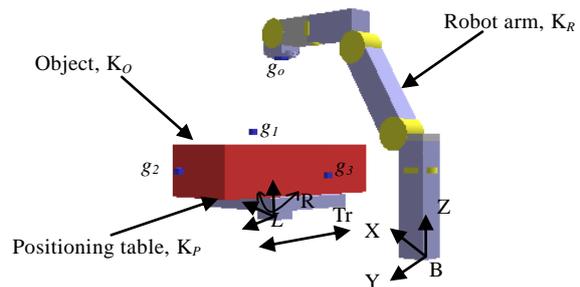


Fig. 2 A system with a robot arm and a positioning

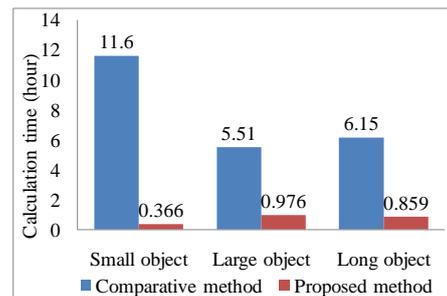
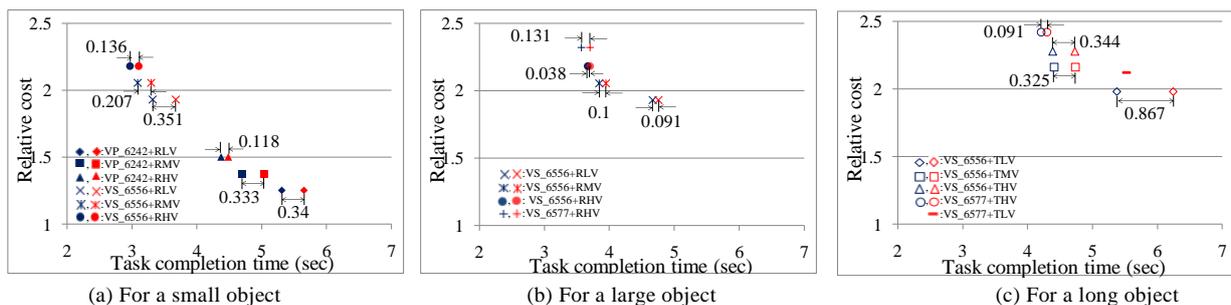


Fig. 3 Calculation time



(a) For a small object

(b) For a large object

(c) For a long object

Fig. 4 Derived Pareto solutions of manipulator systems by using proposed method and comparative method. The red symbols are the systems derived by using proposed method, the blue symbols are the systems derived by comparative method.

# 大規模自動倉庫における2台のスタックークレーンの効率的な動作の高速生成法

2台のスタックークレーンが同時に作業を行う立体自動倉庫環境下における高速な動作生成法を提案した(Fig. 1). 従来提案されてきた2台のクレーンの行動則アルゴリズムでは生成された軌道の作業効率が高かったが, 計算時間の観点から問題があった. すなわち, 自動倉庫作業では現場の作業内容に応じ実時間で荷物の搬送要求が与えられるため, オンラインで使用する必要があるが, このために一層の計算時間の短縮が不可欠である.

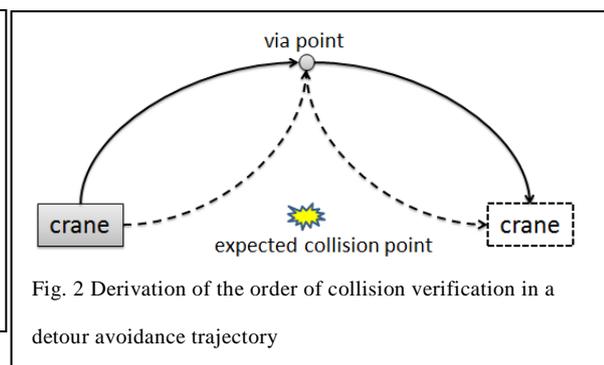
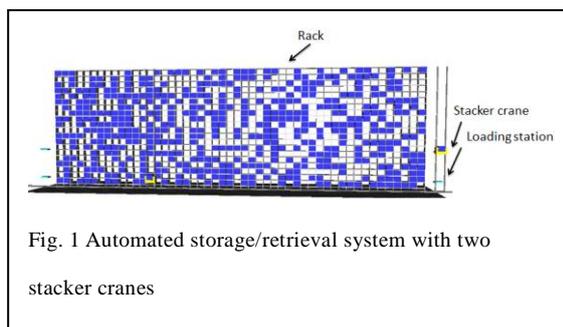
軌道生成時に多大な計算時間を要する二つの要因が存在する. 一つは, 軌道生成時にクレーン間の干渉チェックをする必要があり, 特に大規模の立体自動倉庫が大規模になるにつれてこの干渉チェックに多くの計算時間がかかるということである.

もう一つはクレーンの現在位置から目標位置に至る軌道候補が多く存在し, その中から移動時間の短い軌道を見つけるために多大な計算時間がかかるという意味である.

これらの問題に対し, 本研究では以下のアプローチをとった. まず, **free step** という概念を提案し, 干渉チェックに要する計算時間を減らした. 具体的には, クレーン同士の相対位置と速度の情報を基づき, 干渉チェックしなくても良い時間帯(**free step**)を計算し, 干渉発生の可能性のある時点のみ干渉チェックすることにより, 干渉検証の計算時間を減らした(Fig. 2).

そして, 軌道候補の干渉チェック順序を見直すことにより, たくさんの軌道候補から早めに適切な軌道を見つけ出す方策を提案した. クレーンの現在位置や目標位置や他クレーンの位置や干渉すると予想する位置などの情報で干渉する可能性の低い軌道の軌道検証を先に行う.

当該アルゴリズムの有効性を検証するシミュレーション実験を行い, 提案手法が従来手法と比べ軌道の計算時間を大幅に縮減することを示した. 倉庫規模 256 連 128 段の倉庫で従来研究の最大軌道計算時間が 13.33s であるのに対し, 本研究の場合は 0.03s であった. さらに提案手法の作業効率すなわち全搬送作業を終えるための作業時間は従来手法とほぼ同程度であった. このことより提案法の有効性を示した.



## 大規模空港において地上走行する航空機の渋滞緩和

大規模空港において、多くの航空機が離陸や着陸を行っている。様々な要因(多くの航空機や天候)により航空機が空港内を移動する地上走行において、渋滞が発生している。(Fig. 1) 渋滞の所在の解明ならびに対処法の提案が強く望まれる。

実際の走行データや運航データを用いて、航空機をモデル化し、羽田空港 (Fig. 2) における現状の地上走行のシミュレーションおよび解析を行った。さらに渋滞を緩和する方策を提案する。

航空機の動作モデル化に必要な各種パラメータを取得する。航空機の地上走行にかかる時間や速度を測定した。プッシュバック時間は、航空機のそばでストップウォッチを用い、計測した。プッシュバックとは、トパー車やトバレス車を用いて、航空機を後ろ向きに押す作業のことである。経路を走行する時の速度は、航空機の横を自動車で行き、自動車の速度計情報から計測した。航空機の動きを動画で撮影し、前後の航空機間の相対距離を計測した。経路の走行時や、プッシュバック時など出発機より到着機が優先される。

これらのパラメータより航空機の動作をモデル化し、2010年5月10日の運航ダイヤを用いて、シミュレーションを行った。8時30分ごろのシミュレーションによる羽田空港の状況を Fig. 3 に示す。出発機の集中による滑走路手前で、渋滞が発生している。地上走行時間の長さで渋滞を評価する。

待ち行列理論によると、平均待ち時間が最も短くなるには、滑走路への到着が一定分布のときである。地上走行時間が、スポットにより変わらないと仮定するならば、航空機のスポットからの出発時間間隔を均等にする事で待ち時間を減らすことが期待できる。提案手法1では、出発機の運航ダイヤを変更する。運航ダイヤの出発機の出発時間の間隔が一定になるように変更する。

提案手法2では、出発運航ダイヤを変更せず、スポットにおける出発機の出発のタイミングを調整し、変更する。到着機と他の出発機の状態を見ながら、出発順序(スポットを出発する順序)と離陸順序(離陸する順序)が異ならないように調整する。

方策1では、最大地上走行時間において、43%以上削減し、渋滞を緩和することができた。さらに、地上の平均走行時間も28%と大きく削減することができた。方策2では、地上の最大走行時間を10%以上削減することができた。

**Keywords:** 航空機地上走行, 渋滞緩和



Fig.1 Congestion at around 8:00 a.m. (five aircrafts are queuing up).

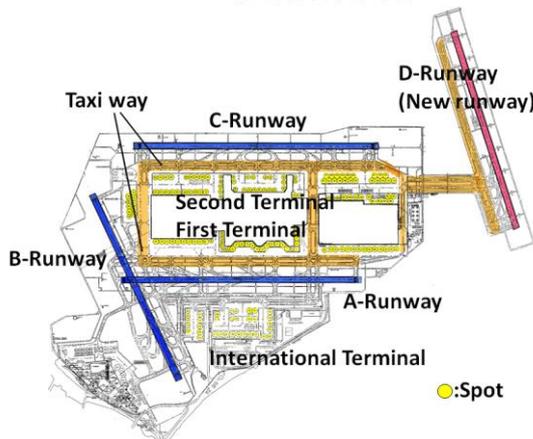


Fig.2 Building layout of Haneda Airport

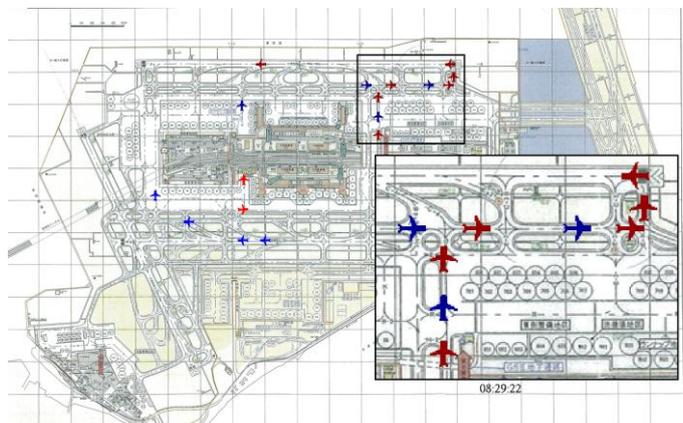


Fig.3 Simulation of aircraft taxiing at approximately 8:30 a.m.

## 人間の姿勢制御モデル構築に関する基礎研究

人は複数の感覚入力から、脳神経系を介して全身の筋活動を制御することで姿勢制御を可能としている。上記の感覚-筋活動のモデルを構築することは脳機能の推測につながり、医学的・生物学的意義は極めて大きい。ここで、モデル構築のためには、その初期段階として感覚と筋活動の関係を調べるのが重要である。よって本研究では、起立姿勢維持を研究対象とし、感覚入力の変化による筋活動の変化を捉えることを目的とする。

上記の目的に対し感覚入力の変化方法という課題が挙げられる。本研究では、姿勢制御に深く関係すると考えられる視覚・平衡感覚・体性感覚に対し阻害・強調する手法によって感覚入力を変化させる。具体的には、被験者に対して、A)視覚：閉眼させることで阻害、B)平衡感覚：耳に冷水を注ぐカロリックテストを行うことで阻害、C)体性感覚：外部からの接触することで強調、を行う。上記の手法を用いて感覚を阻害・強調した際の筋活動を筋電図法

(Electromyography : EMG) により測定する。測定した筋活動を比較することで感覚入力の変化による筋活動への影響を観察可能であると考えられる。

5名の被験者に対して上記手法による検証実験を行った。感覚の阻害・強調に伴い被験者に下記の姿勢の変化が確認された。A)平衡感覚のみ阻害時の起立姿勢維持(Fig.1 A)。B)平衡感覚ならびに視覚の同時阻害時の注水方向への姿勢傾斜(Fig.1 B)。C)平衡感覚・視覚阻害に加えた体性感覚強調時の姿勢傾斜の矯正および起立姿勢の維持(Fig.1 C)。上記の感覚入力の変化による筋活動の影響を観察するため、感覚の阻害・強調による筋活動変化の確率を求めた 1)。Fig.2 に平常時と比較し 0.5 以上の確率で活動が変化している筋を着色した結果を示す。平衡感覚平常時に視覚の条件差に伴う片側の大殿筋の活動変化が観察されたが、平衡感覚阻害時では筋の活動変化は観察されなかった。また、平衡感覚の条件差に伴う注水側の大殿筋・大腿四頭筋、反対側のハムストリングの筋活動増加が観察された。更に、体性感覚の条件差にて大殿筋、注水側の前脛骨筋の活動変化が観察された。以上から姿勢制御時の各感覚入力の変化による筋活動の変化を観察可能であることが確認された。

**Keywords:** 移動知, 姿勢制御, 感覚阻害, 起立姿勢

### Reference

1)小川 広晃, 千葉 龍介, 高草木 薫, 浅間 一, 太田 順, ヒトの起立姿勢制御に関する多感覚と筋活動との関係の調査, 計測自動制御学会第 11 回システムインテグレーション部門講演会 (SI2010) 講演論文集, 402/405 (2010).

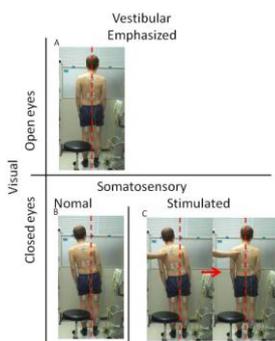


Fig.1 postural changes

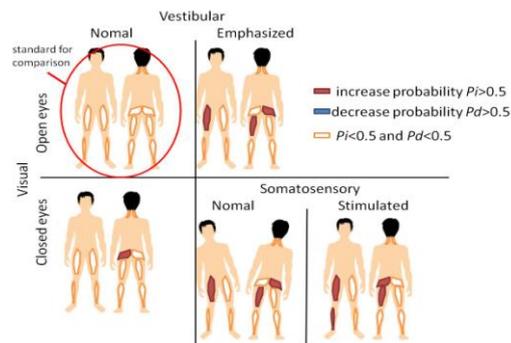


Fig.2 muscle activity compared with normal condition

## 車椅子移乗動作の自習支援システム

患者のベッド・車椅子間の移動を補助する車椅子移乗動作は、看護ケアの中で身体負荷が高い重要なものである。ここでは学生が行った車椅子移乗の動作をどのように直せば良いのか具体的にアドバイスをあたえる自習支援システムの開発を目指している(Fig.1).

動作計測のために、介助者に8ヶ所、患者に2ヶ所、車椅子にも2ヶ所、合計12ヶ所に相互に異なる色のマーカーを貼付した。Web カメラ(logicool C910 500 万画素)をオクルージョンが起こらないように、ベッドの後ろに2台、介助者の後ろの台の下側に3台、上側に3台、天井に1台設置した (Fig.2)。これらのカメラ情報から各マーカーの三次元的な位置を計測し、介助者、患者、車椅子の位置姿勢を実時間で計測することが可能となった。Fig.3に自習システム環境内で介助者が患者に車椅子移乗ケアをしている状況を示す。看護教員1名、学生4名が介助者として車椅子移乗動作を行い、その際の計測データを取得した。患者を座らせる時の介助者の腰の高さを比較した結果をFig. 4に示す。ここで良い動作とは、教員からの指導がなかったもの、悪い動作とは教員からの指導があった学生の動作を、それぞれ示している。一般的に教員の方が患者を座らせる際に腰を低く落としていることがわかる。教員との値の差が大きい学生が、その個所についての指導を実際に教員から受けている事がわかる。このことより、数値化した評価基準の値が実際の学生の動作の良し悪しを反映しており、この結果を応用する事で自習支援システムの構築が可能であると考えられる。

**Keywords:** transferring patient, self training, camera system

### Reference

米辻, 武部, 金井 Pak, 前田, 平田, 北島, 中村, 相田, 高島, 桑原, 太田, 車椅子移乗動作の自己学習支援システム, 2011 年度精密工学会春季大会講演論文集, 575/576 (2011).

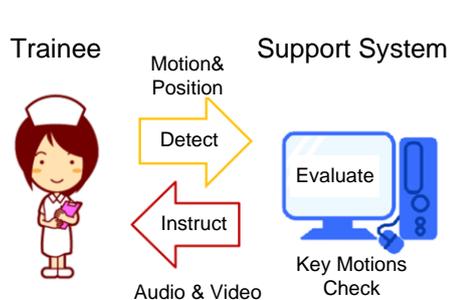


Fig. 1 Support system for self training

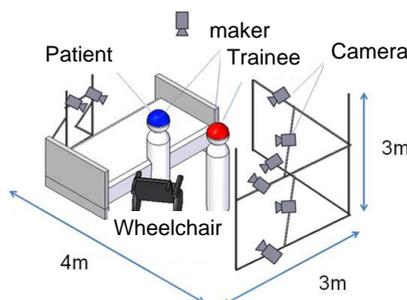


Fig. 2 Multi camera system



Fig. 3 Bed to wheelchair transferring

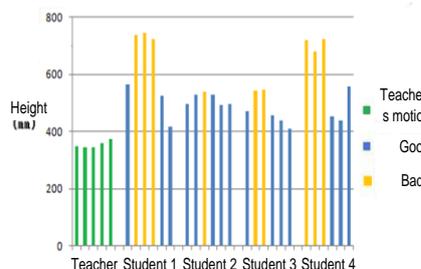


Fig. 4 Experiment result

## Web からの実世界行動モデルの構築とその応用

近年、携帯端末で閲覧可能なコンテンツやメディアは劇的に増加している。乗り換え案内、チケット購入、天気予報、及び災害情報等、実世界でユーザが直面する様々な問題や要望をリアルタイムで解決可能な問題解決型のコンテンツも充実してきている。このようなコンテンツを探しやすくするため、本研究では、Web からユーザの問題解決行動をモデル化したタスクモデルを自動的に獲得する方法を提案する。具体的には、行動モデルの自動構築に向け、行動間の階層関係を自動的に構築する手法を提案した[1][2]。2つの概念間の階層関係を抽出する手法として Turney らは検索 Hit 数を用いた共起度判定手法 (PMI-IR) を提案しており本研究では PMI-IR を拡張し行動間の階層関係に利用している。Fig.1 に Web から抽出した実世界行動モデルを示す。

本研究では、構築した行動モデルをコンテンツの推薦に利用している[3]。内容に基づく推薦方式において、ユーザの実世界行動モデル (タスクモデル) をアイテムおよびユーザのプロファイルとして利用する方法を提案する。既存の単語によるプロファイル表現方法と比較し Precision-recall カーブおよび MAE (Mean Absolute Error) の精度向上を実現することができた。さらに本研究では、Web から抽出した行動を用いて、地図ベースの動画視聴アプリケーション TaskGuideRoid を開発した (Fig.2) [4]。TaskGuideRoid は表示されている地図のエリア内でユーザができること (ユーザ行動) から動画を選択することができる。ユーザの行動は、Blog から取得した観光地名と動詞の組み合わせにより獲得している。被験者評価から、TaskGuideRoid は、比較手法 (GoogleMaps の動画視聴インタフェース) に比べ、40 分間の実験で平均 3 個程度、視聴動画個数が増加したことが確認された。特に、ユーザがあまり訪れたことがない地域では 11.2 個 (比較手法は 6.2 個) と 2 倍程度の視聴個数が増加しており、未知の場所に対する興味を高める効果も確認された。

**Keywords:** Web マイニング, 行動モデル, コンテンツ推薦, セマンティック検索

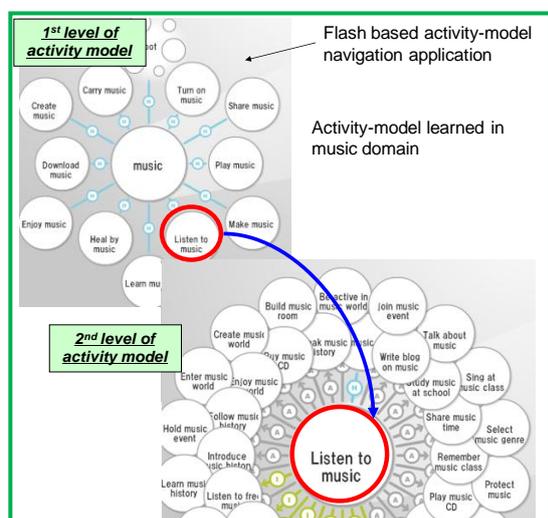


Fig.1 構築した行動モデルを用いた行動ナビ

Fig.2 地図ベースの動画視聴アプリケーション

### References

- 1) Yusuke Fukazawa, Jun Ota: Automatic Modeling of User's Real World Activities from the Web for Semantic IR, 19th Int. World Wide Web Conference WWW2010, Semantic Search Workshop, 2010.
- 2) Yusuke Fukazawa, Jun Ota: Extraction of Hierarchical Relation between User's Activity based on Enhanced PMI-IR, JSAI 2010, 2010.
- 3) Yusuke Fukazawa, Jun Ota: User-centered Profile Representation for Recommendation on Multiple Content Domain, Journal of Knowledge-based and Intelligent Engineering Systems, under review.
- 4) 深澤佑介, 太田順: モバイル動画視聴のためのユーザ行動中心型地図インタフェース, 電子情報通信学会 Web インテリジェンスとインタラクション研究会, pp. 45-49, 2009.