

# 2009 年度

東京大学 人工物工学研究センター

## 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

TEL: 04-7136-4240 / 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
特任研究員	杉 正夫, Lounell Bahoy Gueta
博士課程学生	藤井 紀輔, Yewguan Soo, 深澤 佑介, 劉 兆甲
修士課程学生	橋本 素直, 日野 寿人, 李 天, 西野 正孝, 水野 達也, 程 家, 大山 直樹, 武部 芳弘, 中西 悠斗, 溝垣 忠信
学部 4 年生	小川 広晃, 張 澍
研究生	龔 奕衡 (キョウエキコウ), 黄沿江, Theeraphol Wattanavekin
秘書	平田 真理

## 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、「知的エージェントとしての**ロボット**」, 「ロボットとインタラクションする**人間**」, 「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、最適化工学, 制御工学等を理論的基盤として、群知能ロボット、搬送システム、環境整備, ヒューマンアナリシスに関する研究プロジェクトを遂行しています。最終的にはそれらのエージェントの知能並びに運動・移動機能を解明し、相互作用するマルチエージェントシステムの設計論の構築を目指します。現在は「マルチエージェントシステムと移動知」, 「大規模生産／搬送システムの設計」 「ヒューマンアナリシス」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。

- 複数ロボットを用いた可動物体搬送作業 ..... 3
- 筋電情報を用いた作業者の疲労計測 ..... 4
- Attentive Workbench: 手を差し伸べる組立システム ..... 5
- カイコガの神経回路ネットワークの解析 ..... 6
- コオロギ集団における多様の振るまいのモデル化 ..... 7
- ロボットアームと回転テーブルによる多数ゴール点到達作業の実現 ..... 8
- E-ナイチンゲールプロジェクト（病院での看護業務手順生成の解析） ..... 9

## 複数ロボットを用いた可動物体搬送作業

群ロボットにより可動物体を初期位置から目標位置まで運ぶ再配置作業は生産現場における資材搬送などのアプリケーションに含まれる基本的な作業である (Fig. 1). 物体の搬送順序から, 具体的な搬送経路の構築までを計画対象とするため, ガイドラインを必要とする従来型の AGV システムよりもより柔軟な生産システムの構築に寄与することが出来る. 複数のロボット・可動物体が関わる非常に複雑な作業であるために, 従来法を用いてロボットの行動計画を立案することが計算時間の観点から難しい. また, ロボットが構築した環境モデルと実際の環境の間には動的な差異があり, 立案した計画を実機で実現するためにはこの差異に対応する必要がある.

計画立案の段階においては, ”Territorial Approach” と呼ぶ手法によって「群ロボットによる再配置問題」を「Project Scheduling Problem (以下 PSP)」というある種のスケジューリング問題と, 「単体ロボットの経路計画問題」の組み合わせで表現できるようなモデル化を行う<sup>1)</sup>. PSP と単体ロボット経路計画問題は長年研究が成されている, 比較的小規模な問題である. そのような問題へと帰結させることによってはじめに, 現実的な時間で再配置計画を立案することが可能になる. また, 実機による実現の段階においては, 立案された計画をいくつかの“行動要素”に分割し, 行動ごとに誤差への対応を行う (Fig. 2)<sup>2)</sup>. 例えば, 「ロボットが自分の位置を知る」という行動に対しては, 壁のおおまかなレイアウトと, 設置したランドマーク (目印) の配置を与えておく. ロボットの周辺で観測されたランドマーク配置と, 与えられていたランドマーク配置が重なるように自己位置を同定する. ランドマークを用いることで, 壁の全点を計測する必要がなくなり, 高速にセンサ情報処理を行うことが可能になる.

**Keywords:** 群移動ロボット, 再配置作業, 環境の動的変動

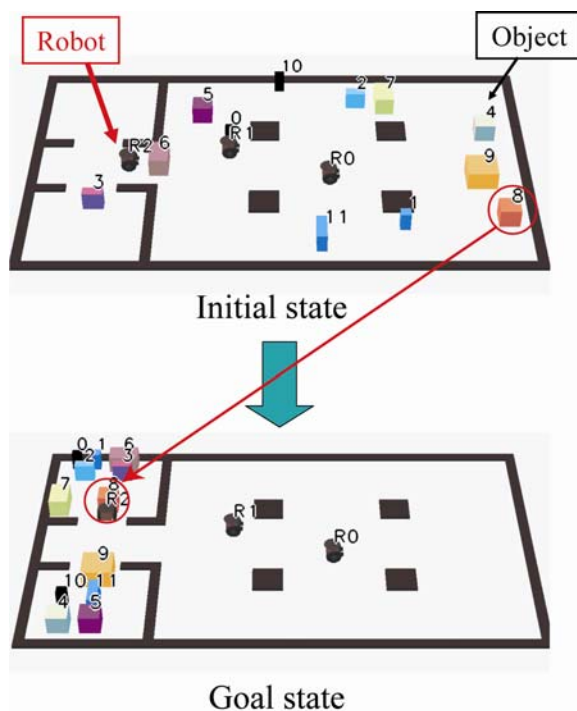


Fig.1 An example of Rearrangement Task.

### References

- 1) Norisuke Fujii, Reiko Inoue, and Jun Ota, Multiple Robot Rearrangement Problem Using an Extended Project-Scheduling Problem Solver, Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, pp. 2007-2012, (2008).
- 2) Yoshihiro Takebe, Norisuke Fujii, Reiko Inoue, and Jun Ota, Realization of rearrangement task by multiple robots, Proc. of the Society of Instrument and Control Engineers Annual Conference, (2009), (To appear.)

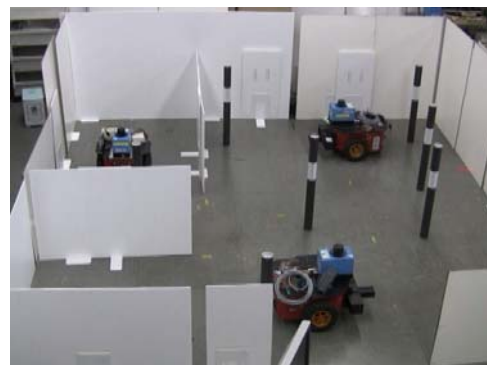


Fig.2 An experience in real environment.

## 筋電情報を用いた作業者の疲労計測

単調な繰返し作業を長時間続けることは腰痛や肩こりの原因となり、製造業における作業者にとっては深刻な問題となっている。作業者の筋疲労の度合をリアルタイムで推定し、疲労が蓄積されている場合には休憩を取らせるなどの対策をすることで、腰痛や肩こりの症状を予防・緩和することが可能になると考えられる。ただし筋疲労は直接測定できる値ではないため、他の物理量からこれを推定する必要がある。本研究では実用面を考慮し、侵襲性の低い表面筋電位（Surface Electromyography, SEMG）の測定により筋疲労を推定することを目指している。

これまでに本研究では、筋肉が発生する力と筋疲労とを分別して同時測定するための手法として、筋電位をウェーブレット変換によって2つの周波数帯に分けて解析する手法を提案している[1]。Fig.1 および Fig.2 にハンドグリッパーを用いて2種類の被験者実験（静的筋収縮と動的筋収縮）を行った時の橈側手根屈筋（Flexor Carpi Radialis, FCR）の表面筋電位の平均振幅値（Root Mean Square, RMS）を示す。65-350Hz の高周波数帯の RMS は発生する力にほぼ比例していることがわかる。一方、5-45Hz の低周波数帯の RMS は静的収縮であっても時間とともに増加しており、こちらは疲労と相関があると考えられる。

**Keywords:** 表面筋電位（SEMG）、筋疲労

### References

- 1) Y. Soo, M. Sugi, H. Yokoi, T. Arai, T. Nakamura, R. Du and J. Ota, "The relationship between changes in amplitude and instantaneous frequency at low and high frequency bands during dynamic contraction," *Proc. the 2nd Int'l Conf. on Bioinformatics and Biomedical Engineering (iCBBE 2008)*, 02-06-04, 2008.

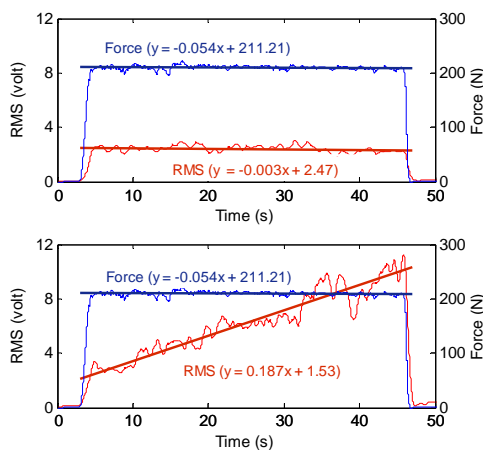


Fig. 1 The RMS (red color) and force level (blue color) of HF (top) and LF (bottom) of FCR muscle. The data is captured during static contraction experiment and is fitted with a linear regression line.

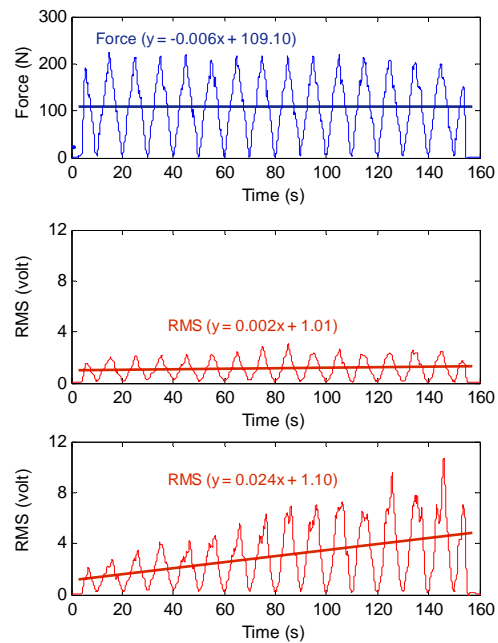


Fig. 2 The results of cyclic dynamic contraction and the changes of force level (top) from FCR muscle of one subject. The RMS of HF (middle) and LF (bottom) calculated and fitted with a linear regression line.

## Attentive Workbench: 手を差し伸べる組立システム

今日の生産形態は大量生産から多品種少量生産へと変わりつつあり，特定製品の大量生産に特化した自動化生産ラインに代わり，人間作業者が製品を最初から最後まで生産する“セル生産方式”が用いられるようになってきている。

セル生産方式では個々の作業者の差異が製品の品質のばらつきに直結するため，均質な熟練作業者が多数必要となる。しかし近年，少子化や製造業離れが顕著であり，均質な熟練作業者を確保することは困難になると予想される。

上述の現状に対する一つの解決案として，本研究室では，精密機械工学専攻・高増教授，新領域創成科学研究科・小谷講師らと共同で，Attentive Workbench（気の利く作業台，以下AWB）の開発を行っている（Fig.1）。

AWBでは，システムは作業者の意図をジェスチャや生体データ（脈拍や呼吸など）から認識する。システムはプロジェクタやディスプレイを用いて作業者に情報（製品の組立方法など）を提示し，自走式トレイ群を用いて組立に必要な部品の手渡しや完成品の片付けなどを行う。これら情報面・物理面両面の作業者支援により，組立作業の効率向上，作業者にとってより使いやすい生産環境の実現などが期待できる。

これまでに実機システムを実装し（Fig.2），組立作業支援のデモンストレーションを行った（Fig.3）。また被験者実験により提案システムの有効性を確認した。

**Keywords:** Cell Production System, Attentive Workbench (AWB)

### References

- 1) 杉 正夫, 二階堂 諒, 田村 雄介, 太田 順, 新井 民夫: “作業者支援型セル生産システム ‘Attentive Workbench’ のための自走式部品トレイの動作および配置の計画,” 精密工学会誌, Vol. 72, No. 11, pp. 1380-1385, 2006.
- 2) Masao Sugi, Ippei Matsumura, Yusuke Tamura, Makoto Nikaido, Jun Ota, Tamio Arai, Kiyoshi Kotani, Kiyoshi Takamasu, Hiromasa Suzuki, Akio Yamamoto, Yoichi Sato, Seiichi Shin, Fumihiko Kimura: “Quantitative Evaluation of Automatic Parts Delivery in ‘Attentive Workbench’ Supporting Workers in Cell Production,” *Journal of Robotics and Mechatronics*, Vol. 21, No. 1, pp. 135-145, 2009.



Fig. 1 Overview of Attentive Workbench



Fig. 2 Prototype System

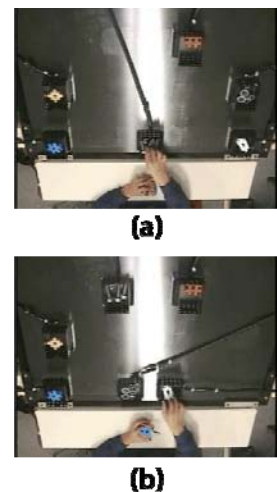


Fig. 3 Demonstration of Physical Assembly Support

## カイコガの神経回路の推定

雄カイコガの成虫は、雌カイコガの性フェロモンを触覚で感知すると、ある一連の決まった行動パターン(定位行動)を繰り返しながら雌にたどり着くことが知られている(Fig. 1) . この行動は、運動制御をつかさどる前大脳 LAL 領域で生成されると考えられている. LAL 領域は、400 個前後のニューロンからなり、これらが互いに結合しネットワーク(神経回路)を形成することで情報の伝達を行っている. 本研究では、この LAL 領域のニューロン間の結合を推定することにより、定位行動生成の仕組みを解明することを目的とする.

ここで、1 個 1 個のニューロンの結合の強弱(結合係数)全てを網羅的に推定すると非常に大規模・複雑な問題となるため、i)いくつかのニューロンを 1 個のニューロンで代表させるモデルを構築し、ii)代表ニューロン間の結合の強度を探索する、という手法を用いる. 具体的に、i)では LAL 領域を 10 個の小領域に分け(Fig. 2), ii)では GA を用いて小領域の代表ニューロン間の結合係数(45 個)を推定するという規模の大きい問題を解決する. 評価関数には、カイコガジグザグ行動のパターンを基にした関数を用いる. Fig. 3 は、推定した結果の一例である . 矢印は小領域代表ニューロンの結合の強いものを示しており、青が興奮性の結合、白が抑制性の結合を示している. 以上より、この手法を用いることによる、ジグザグ行動を生成する神経回路推定の可能性が示された.

**Keywords:** Mobiligence, neural network

### References

1) 橋本 素直, 千葉 龍介, 加沢 知毅, 神崎 亮平, 太田順, “進化的計算を用いたカイコガ LAL 神経回路ネットワークの推定”, 第 20 回自律分散システム・シンポジウム講演論文集, p349-p352, 2008.

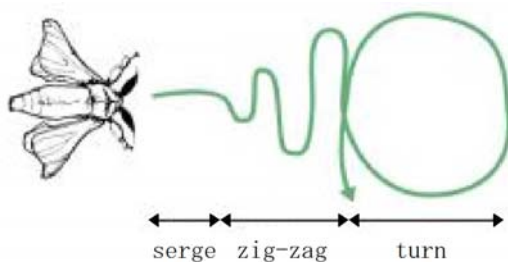


Fig. 1 Walking pattern of silk moth  
(Provided by Prof. Kanzaki)

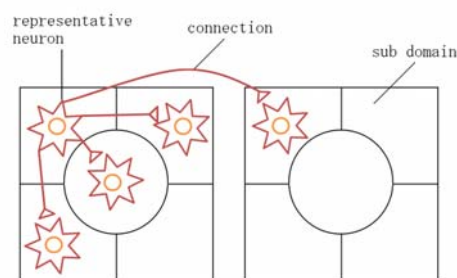


Fig. 2 Model of LAL domain

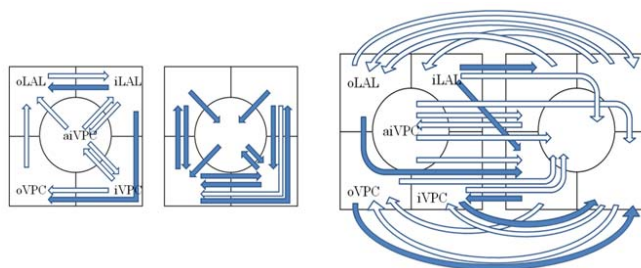


Fig. 3 Estimation result of neural network

## コオロギ集団における多様の振るまいのモデル化

自然界における生物は、程度の差こそあれ他個体との相互作用により社会を形成し、協調・競合しながら生存している。このような社会性や適応性を生み出しているメカニズムを解明する為、個体自身の構造ならびに振るまいができるだけ単純である昆虫に注目し、それらにおける社会性の構築メカニズムのシステム工学的解明を試みる。

クロコオロギのオスはメスを獲得するためにフェロモンを用いて、オス同士、喧嘩行動と特徴ある社会を構成する(Fig. 1)。自然界におけるクロコオロギは $1\text{m}^2$ あたり数匹程度の低密度な環境で生きているが、人工的にコオロギを高密度環境で生活させると、コオロギの振るまいは一変しほとんどのコオロギがまるで共同生活によって協調性を身につけたかのように回避行動を主として行い、喧嘩を行わなくなる。低密度と高密度の中間の密度(中密度)の環境においては、高密度と同様に主に回避行動を行う個体が群の大多数を占めるが、その中に1匹あるいはごく少数の個体だけが闘争行動を示すようになり個体間の優劣を生じる。これらのクロコオロギのオスの喧嘩行動や、環境適応に関する知見をふまえ、生理学的な知見を基に脳、神経構造などの内部(Fig. 2)から行動選択に至るまでのモデル化を行った(Fig. 3)。そしてそのモデルを基に行ったシミュレーション(Fig. 4)から、実際のクロコオロギの喧嘩行動やそれに伴い生まれる社会性に対応する結果が得られた。また、それらの行動の工学的応用も試みた。

**Keywords:** Artificial Cricket, Sociality, Social Behavior

### References

- 1) M. Ashikaga, M. Kikuchi, T. Hiraguchi, M. Sakura, H. Aonuma, and J. Ota: Modeling of socially adaptive behavior in crickets, The 2nd International Symposium on Mobiligence, pp191-194, 2007.
- 2) M. Ashikaga, M. Kikuchi, T. Hiraguchi, M. Sakura, H. Aonuma, and J. Ota: Foraging task of multiple mobile robots in a dynamic environment using adaptive behaviors in crickets, Journal of Robotics and Mechatronics, 19, 4, pp446-473, 2007.



Fig. 1 Fighting behavior of male crickets

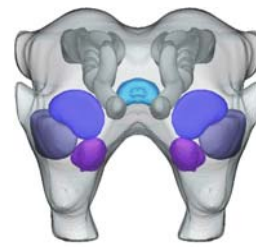


Fig. 2 Image of Cricket Brain

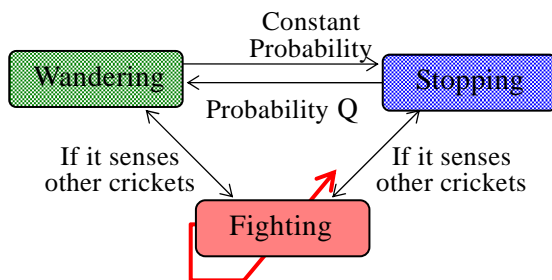


Fig. 3 Finite automaton model of cricket's behavior

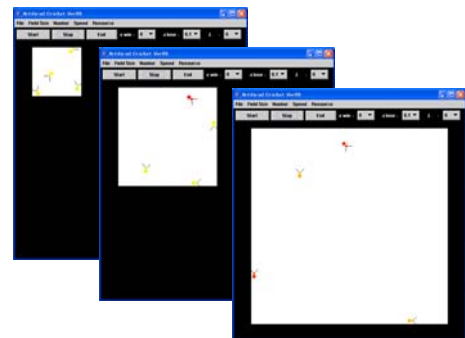


Fig. 4 Simulate of Artificial Crickets

## ロボットアームと回転テーブルによる多数ゴール点到達作業の実現

点検や点溶接などの多数ゴール点到達作業は製造業における基本的な作業の一つである。従来研究の多くはロボットの動作計画すなわち障害物回避の方法に焦点を当てているが、ある特定の作業を行うためのロボットの機構設計に関する研究もいくつか報告されている。これらの方法を適切に統合することで作業完了時間の短縮につながると考えられる。

本研究では汎用性を重視して6自由度のロボットアームと1自由度の回転テーブルから構成されたシステムを利用することとする(Fig. 1)。回転テーブルの回転により作業位置を決定し、ロボットアームの先端をその地点に到達させる。作業完了時間を短縮するために、ロボットに対する機構設計法と動作計画法を組み合わせたハイブリッド最適化手法を提案する(Fig. 2)。機構設計法においてロボットアームの手先に取り付けられたリンク形状の設計法を提案する(TA)。また、動作計画法においてロボットのベース位置、ゴールの巡回順序および衝突回避に対する最適化手法を提案する(BP)。いくつかの例に対してシミュレーション実験を行い、提案手法の評価を行った。その結果を Fig. 3 と Fig. 4 にそれぞれ示す。提案手法の有効性が示された。

**Keywords:** Multiple-goal task, manipulator, design method.

### Reference

- 1) Lounell B. Gueta, Ryosuke Chiba, Tamio Arai, Tsuyoshi Ueyama and Jun Ota, "Hybrid design for multiple-goal task realization in robot arm with rotating table, IEEE Intl. Conf. on Robotics and Automation(ICRA '09), to appear in May 2009.

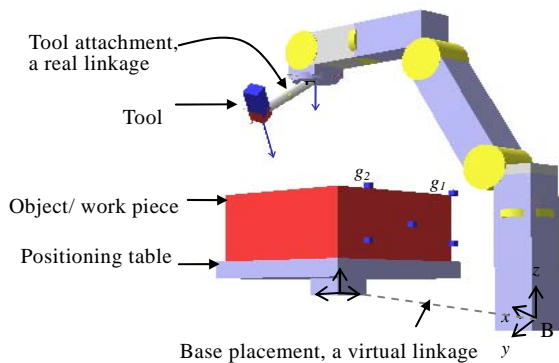


Fig. 1 A system consisting of a robot arm and a positioning table.

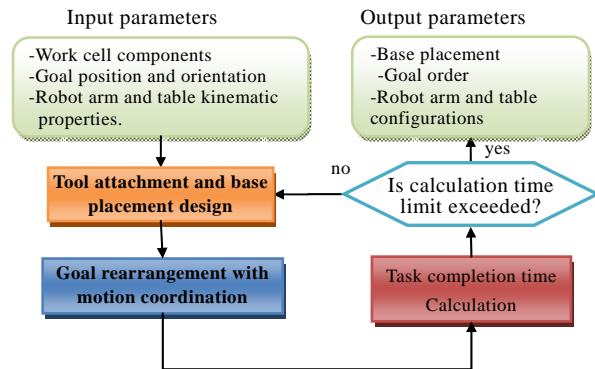


Fig. 2 Proposed method.

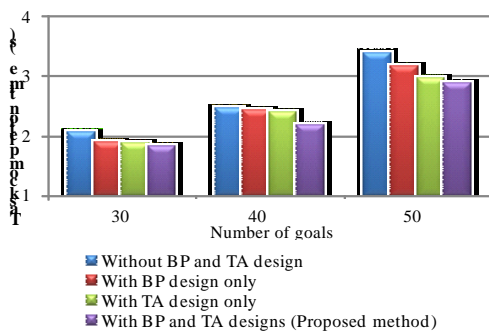


Fig. 3 Performance of compared methods.

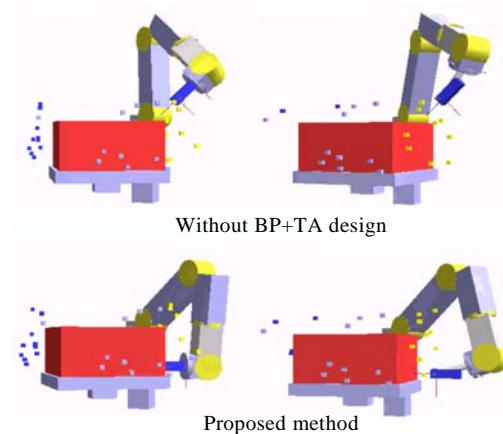


Fig. 4 Derived configurations of robot arm and table with 30 goals.



## E-ナイチンゲールプロジェクト（病院での看護業務手順生成の解析）

病院における看護師の日常業務では一日 24 時間の間, 高機能のサービスを常に提供し続ける必要がある. その具体的な内容は手術準備, 患者のケア等々多様な種類のものが含まれておりそれぞれが準備, 実行, 後片付けの三つから構成されるものになっている. 一般的には病院における看護師の業務遂行レベルの向上は, そこに居る患者へのケアクオリティを向上させ, 早期治癒, 早期退院へと結びつく. ここでは, そのエンジニアリング的支援を目指して, 看護師の行動をオンラインで計測し, その情報と看護師に与えられている業務内容とを照らし合わせて, 適切な行動手順を看護師にオンラインで教えるシステム構築を最終目標としている. 看護師の業務内容と現在状態から行動手順を生成するという意味で従来多く行われているスケジューリング手法を適用することが可能である.

病院において, 看護師は, 複数個の業務指示 (ワークシート) が与えられた際に, 看護師自身が保持している各業務の詳細な遂行手順に関する看護マニュアル情報と, 自身が有する遂行手順に関する暗黙のルール (スケジューリングアルゴリズム) に基づいて, その実行順序を決定していると考えられる. その概要を Fig.1 に示す. まず, 看護師が遂行している暗黙のスケジューリングアルゴリズムの同定を目指した. 既存のスケジューリングアルゴリズムを六種類抽出・実装し, 実際の看護師の遂行手順と, 実装されたアルゴリズムによって得られた結果とを比較した. 準備タスクについてはタスク時間を重視し, 実行タスクについては, 完了時刻を考慮した EDD ディスパッチングルールが最も看護師の行動手順生成に類似していることを示した(Fig.2)<sup>1)</sup>. その後, 看護師スケジューリング問題に適応した SA(Simulated Annealing)ベースの自動スケジューラの開発を行い, その有効性を示した<sup>2)</sup>. 最後に, そのアルゴリズムを看護業務のモデル作業環境へ適用し, 外部からスケジューリング支援することの有効性を示した.

**Keywords:** 看護業務, 看護行動ルール, ディスパッチングルール, スケジューリング

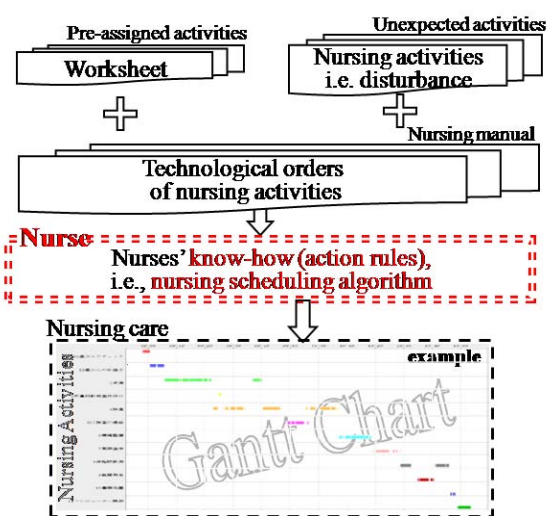


Fig.1 Abstract nursing flow model

## References

- 1) Mingang Cheng, Hiromi Itoh Ozaku, Noriaki Kuwahara, Kiyoshi Kogure and Jun Ota, Analysis of Daily Nursing Care: a Nursing Care Scheduling Algorithm, Proceedings of the 2008 IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN08), 193/200 (2008).
- 2) Mingang Cheng, Hiromi Itoh Ozaku, Noriaki Kuwahara, Kiyoshi Kogure and Jun Ota, Dynamic Scheduling in Inpatient Nursing, Int. J. Automation Technology, 3, 2, 174/184, (2009).

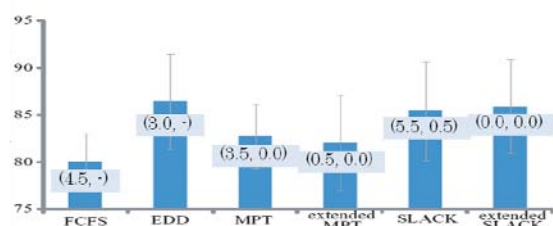


Fig.2 Similarity on time