

# CPS SLAMの研究

## - CPS-Vの構築とSLAM実験 -

戸畑 享大 (九州大学) 倉爪 亮 (九州大学) 村上 剛司 (九州大学) 長谷川 勉 (九州大学)

Study on CPS SLAM :SLAM experiments using CPS-V and LRF

\*Yukihiro TOBATA (Kyushu University), Ryo KURAZUME (Kyushu University),  
Kouji MURAKAMI (Kyushu University), Tsutomu HASEGAWA (Kyushu University)

**Abstract**—Accurate positioning of a mobile robot itself and accurate and reliable measurements of the surroundings are indispensable for an automated generation of an environment map using a mobile robot. However, the accuracy of conventional positioning methods such as dead reckoning or the use of several landmarks is not so high in an unknown and rough environment. We have proposed a method named “Cooperative Positioning System (CPS)” for multiple mobile robots to overcome this limitation, which enables to localize the robot with high accuracy even in an unknown and rough environment. This paper proposes the combined system of the CPS and 3D measurement devices such as an on-board laser range finder or a stereo camera to generate highly reliable environment map. The fifth CPS model named CPS-V and experimental results in an unknown indoor environment are presented.

**Key Words:** SLAM, Cooperative Positioning, Multiple Robots, Laser Range Finder

### 1. はじめに

移動ロボットが自律的かつ効率的に作業を行なうためには、移動すべき環境の状態を記述した「地図」情報をその制御システムのなかに保持していることが不可欠である。例えば、駅構内やビル内部の床面清掃作業を効率よく実施するロボットには、柱や壁面など作業空間の実際の状況を計測した地図が必要である。

地図情報を効率よく獲得する典型的な方法は、計測用移動ロボットを環境内に巡回させ、対象とする環境全体を計測しながら、自動的に環境地図を作成するものである。このような自動化された地図生成手法は、主に、

- (1) まず、その移動ロボット自身の位置同定をできる限り正確に行なう。
- (2) 同時に、移動ロボットから壁面や什器その他の相対位置関係を何らかのセンサによって正確に計測する。

そして、最後にそれらの情報を組み合わせ最終地図を作成するという手順を取っている。しかしデッドレコニング法など内界センサを用いた位置同定手法は、誤差の蓄積や凹凸面や高低差のある環境では同定精度が低い。また作成された環境地図を元に位置同定を行う場合でも、安定なランドマークの設定方法や観測装置の誤差が急速に蓄積されるなど問題がある。

これに対し我々はこれまでに、群ロボットによる協調ポジショニングシステム (Cooperative Positioning System, CPS) を提案している [1]。このシステムは、レーザによる相対位置計測システムを搭載した複数の移動ロボットを協調的に動作させ、全くの未知、不整地環境でも従来の内界センサとは比較にならない高精度の位置同定を実現するものである。

本研究は、協調ポジショニングシステム (CPS) の有する高い位置同定精度と、3次元環境地図が作成可

能なレーザレンジファインダやステレオカメラを組み合わせ、従来のSLAMに比較して格段に高精度な未知環境地図の自動作成システムの実現を目的とする。

本報告では、新たに開発した第5次CPS機械モデルCPS-Vを紹介し、これと3次元レーザレンジファインダを組み合わせた、未知環境の3D地図作成実験の様子を示す。

### 2. 協調ポジショニングシステム (CPS)

協調ポジショニングシステムとは、複数の移動ロボットを2つのグループA,Bに分け、グループAのロボットが移動している場合にはグループBは静止し、グループAの移動終了後にグループBからの相対位置をレーザなどで精密に計測する作業をA,Bが繰り返し行うことで、未知不整地環境でも移動ロボット全体として高精度な位置同定を実現するものである。CPSの例をFig.1に示す。この例は、1台の親ロボットと2台の子ロボットからなるシステムにおいて、親ロボットに搭載したレーザ距離測定器により、子ロボットの位置、および親ロボット自身の位置を計測するものである。まずあらかじめ初期位置を計測してある親ロボットを静止させ、

- (1) 子ロボット1,2を矢印のように移動させた後、停止させる。
- (2) 親ロボットに搭載した計測器により、子ロボット1までの相対距離、方位角、仰角を計測し、子ロボット1の位置を同定する。
- (3) 同様に子ロボット2までの相対距離、方位角、仰角を計測し、子ロボット2の位置を同定する。
- (4) 親ロボットを矢印のように移動、停止させ、親ロボットにより子ロボット1,2までの相対距離、方位角、仰角を計測して、親ロボットの位置を三辺測量法により同定する。

という動作を繰り返すものである．これまでに屋外長距離の移動でも，移動距離の0.3%という高い同定精度を確認している [2] ．

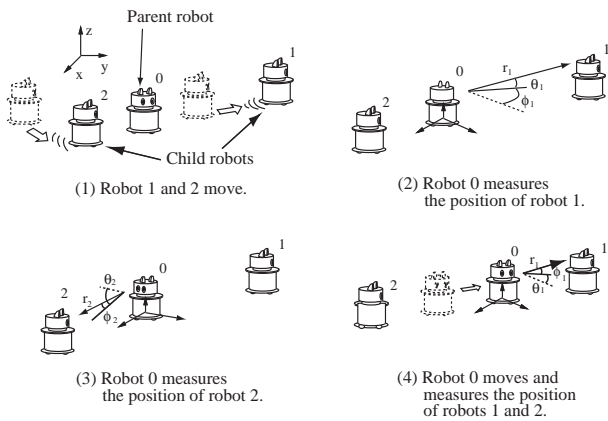


Fig.1 協調ポジショニングシステム (CPS)

提案した CPS は未知の 3 次元環境でも非常に高精度な位置同定が実現できることから，ロボットに周囲環境測定用センサを搭載することで，未知環境における位置同定および環境地図の作成を同時に行う，いわゆる SLAM が実現できる．我々は，これまでに CPS とアクティブタッチ型移動ロボットを組み合わせた SLAM システムを提案した [3] ( Fig.2) ．このシステムは，壁に接触しながらセンサレスで移動するアクティブタッチロボットを，CPS ロボットに搭載したレーザ距離計測装置により測定することで，アクティブタッチロボットの軌跡，すなわち未知環境での壁や柱の 2 次元配置を自動獲得するものである．しかし，このシステムでは，アクティブタッチロボットが接触したある一定の高さの壁や柱の地図が正確に得られるものの，壁の高さなど，その他の 3 次元情報は得られなかった．

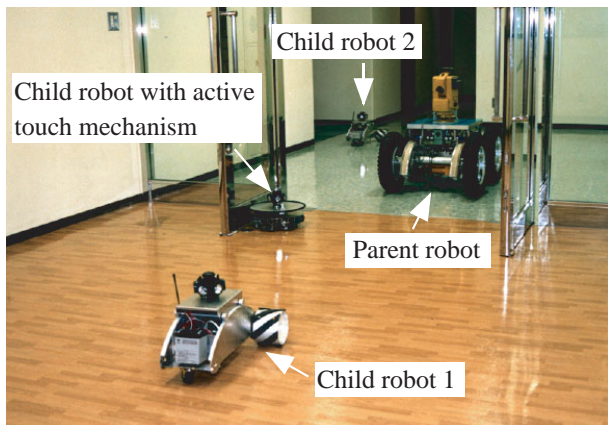


Fig.2 アクティブタッチ型 CPS SLAM [3]

### 3. 第 5 次 CPS 機械モデル CPS-V

今回，我々はより詳細な 3 次元環境地図の自動獲得システムの実現を目指し，3 次元レーザレンジファインダを搭載した新たな第 5 次 CPS 機械モデル CPS-V を構築した (Fig.3) ．このシステムは，1 台の親ロボット

(Nomad 200, Nomadic technology) と 2 台の子ロボット (HPI Japan 製) からなる (Fig.4) ．親ロボットは 2 次元レーザレンジファインダ (LMS 200, Sick) を搭載している．このレーザレンジファインダは 2 次元スリット状の距離データを，最大 80m，角度 180 °の範囲で得ることができる．また，親ロボットは，本体上部のみ垂直軸周りに回転でき，回転を行いながら 2 次元レーザレンジファインダからスライス状の距離データを連続して計測することで，ロボット全周囲の 3 次元距離データを得ることができる (Fig.5) ．この 3 次元距離データの取得作業を CPS 動作による移動，位置同定と組み合わせ，未知環境においても高精度な 3 次元環境地図を作成する．

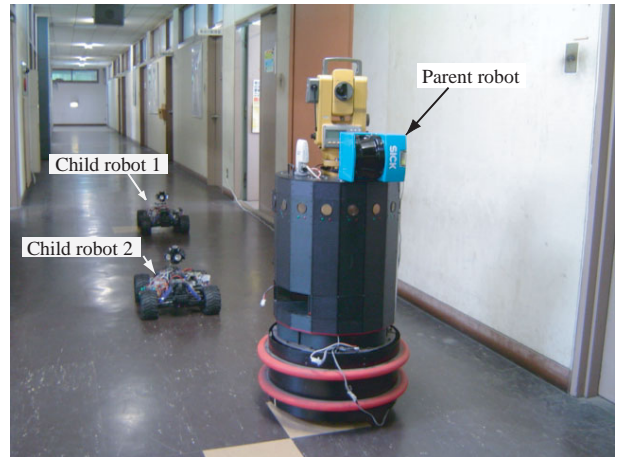


Fig.3 第 5 次 CPS 機械モデル CPS-V

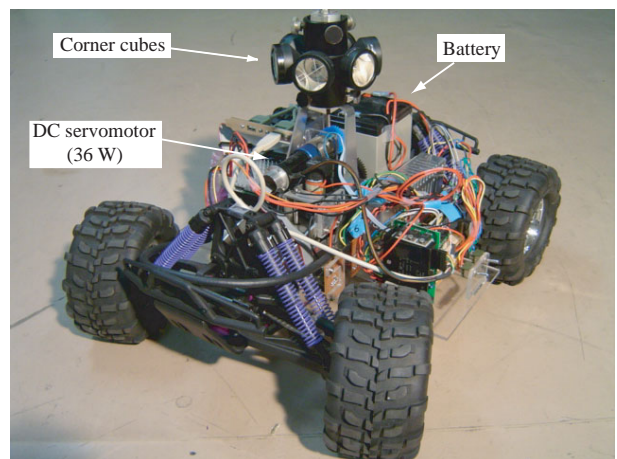


Fig.4 第 5 次 CPS 機械モデル 子ロボット

### 4. 未知環境地図作成実験

構築した第 5 次 CPS 機械モデル CPS-V を用い，未知環境における 3 次元環境地図の作成実験を行った．

実験では各ロボットを 1 回 4 m ずつ移動させ，親ロボットが静止した地点で親ロボットを本体上部のみ垂直軸周りに回転させ，得られた 3 次元距離データから環境構造を測定した．

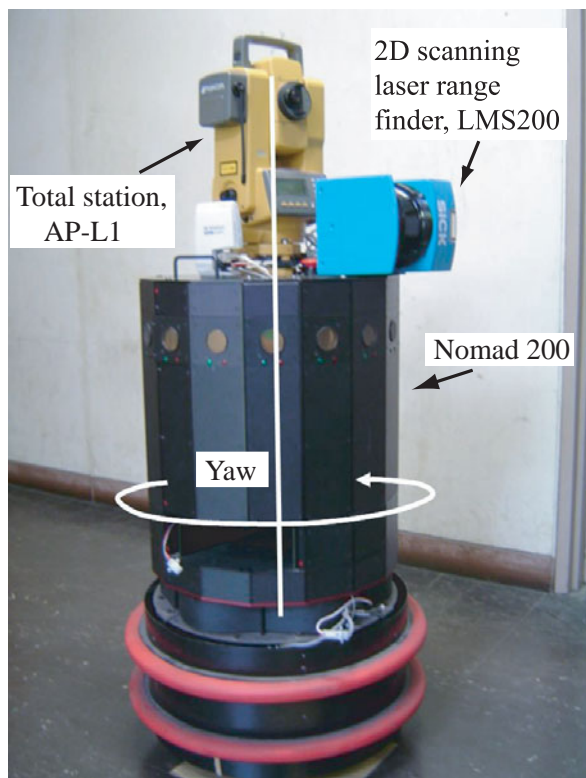


Fig.5 ロボットの Yaw 軸回転を利用した 3 次元計測

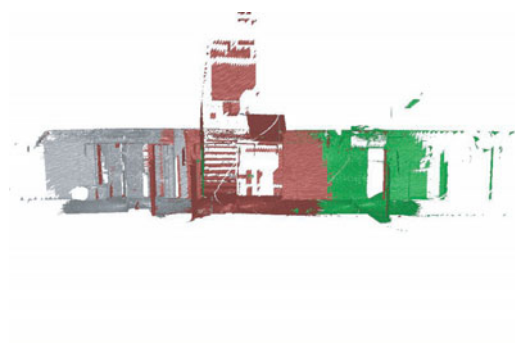
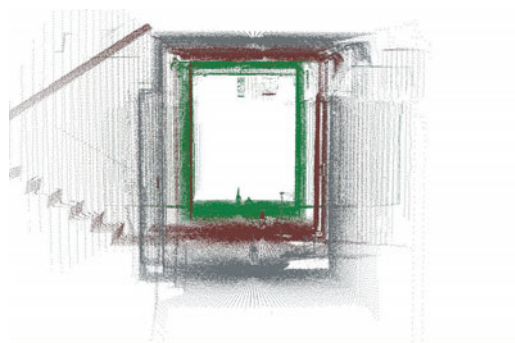
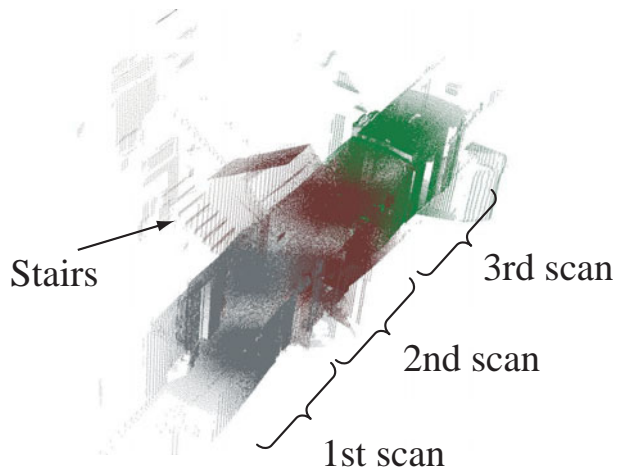


Fig.7 得られた 3 次元地図

各ロボットの移動の様子と実験の結果得られた 3 次元地図を Figs.6,7 に示す .

このように CPS と 3 次元レーザレンジファインダを組み合わせることで、ICP アルゴリズムなどを用いたデータの距離位置合わせ処理を特に行わなくても、高精度の 3 次元環境地図が構築できることがわかる .

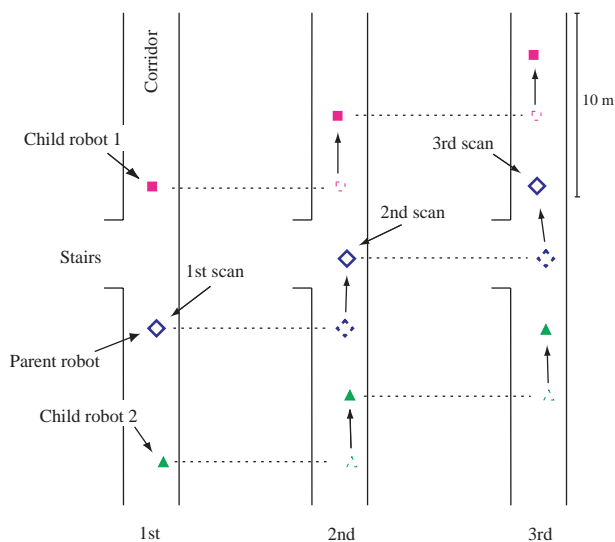


Fig.6 各ロボットの移動軌跡

ニングシステム (CPS) の有する高い位置同定精度と、3 次元環境地図が作成可能なレーザレンジファインダやステレオカメラを組み合わせた、CPS SLAM システムを提案した . また新たに開発した第 5 次 CPS 機械モデル CPS-V を紹介し、これと 3 次元走査型レーザレンジファインダを組み合わせた、未知環境の 3D 地図作成実験の様子を示した .

謝 辞 本研究は、文部科学省の平成 17 年度科学技術振興調整費による「科学技術連携施策群の効果的・効率的な推進」の一環として実施したものです . また本研究の一部は、文部科学省科研費補助金基盤 B 「ロボット群と環境固定センサ群の相互支援による人間・ロボット共生環境の情報構造化 (18360124)」の助成を受けて行われました .

## 5. まとめ

従来の SLAM に比較して格段に高精度な未知環境地図の自動作成システムの実現を目指し、協調ポジショ

## 参考文献

- [1] 広瀬茂男, 倉爪亮, 長田茂美. 群ロボットによる協調ポジショニング法. 日本ロボット学会誌, Vol. 13, No. 6, pp. 838-845, 1995.
- [2] 広瀬茂男, 倉爪亮. 協調ポジショニングシステムの研究-第8報: cps-iii による長距離移動測定実験-. 第16回日本ロボット学会誌学術講演会予稿集, pp. 169-170, 1998.
- [3] 倉爪亮, 広瀬茂男, 岩崎倫三, 長田茂美. 協調ポジショニングシステムの研究-cps アクティブタッチ融合型地図生成法-. 日本ロボット学会誌, Vol. 17, No. 1, pp. 84-90, 1999.