## 学術・技術論文

# 汎用三次元環境地図を用いた 移動ロボットナビゲーションのための地図生成

外\*1 憲太郎\*1 <u>\*</u>2 木 天 竹 村 怡土 荒 順 訂\*1 松 吉 央\*2 高 松 淳\*1 小笠原 本

# Generating Individual Maps for Mobile Robots from Universal 3D Environment Map

Ato Araki<sup>\*1</sup>, Kentaro Takemura<sup>\*1</sup>, Junichi Ido<sup>\*2</sup>, Yoshio Matsumoto<sup>\*2</sup>, Jun Takamatsu<sup>\*1</sup> and Tsukasa Ogasawara<sup>\*1</sup>

In this research, a Universal map, which can be converted to individual maps for heterogeneous mobile robots, is proposed. A Universal map can be generated using our developed measurement robot, and it is composed of a textured 3D environment model. Therefore, every robot can use a Universal map as a common map, and it is utilized for various localization technologies such as view-based and LRF-based methods. In LRF-based localization, accurate localization is achieved using a specific map, which is generated from a Universal map. In a view-based approach, localization and navigation are achieved using rendered images. The use of a Universal map enables generation of these maps automatically. The effectiveness of this approach is confirmed through experiments.

Key Words: Mobile Robots, LRF, 3D Map, SLAM, Ceiling Image, View Sequence, Universal Map

#### 1. はじめに

地図情報は移動ロボットの自己位置推定およびナビゲーション に必要不可欠な要素である.近年,環境地図の自動生成に向けて Simultaneous Localization And Mapping(以下, SLAM)が 盛んに取り組まれており[1],三次元の環境地図の生成も Laser Range Finder(以下,LRF)を用いて,生成することが可能 になった。例えば、Thrun らは鉱山のトンネル内において,ロ ボットの移動と LRF のチルトによる三次元計測を繰り返し、三 次元のスキャンマッチングによる重ね合わせによって坑道内の 三次元環境地図の構築を実現した[2].また、単眼カメラの画像 から特徴点の三次元情報を取得するもの[3] や複数の LRF とカ メラを合わせて利用することでテクスチャ付きの三次元モデル 生成を行うものもある[4][5].また、複数台のロボットが連携す ることで高精度な三次元計測も実現されている[6].

しかしながら,移動ロボットは測域センサに限らず超音波セ ンサやカメラなど各ロボットで搭載されているセンサの種類や 搭載位置が異なるため,地図情報を共有することは困難であっ た. 今後, 家庭やオフィスなどの環境で活躍するロボットが増 えることが予想されるが, 同じ環境を走行するにもかかわらず, 各ロボットが個別に地図情報を生成することは非効率であり, 大 きな問題である.

そこで本研究では、三次元情報および色情報を含む汎用三次 元環境地図(ユニバーサルマップ)から、それぞれの仕様に適 した個別の地図情報へと変換および利用を行うことで、地図情 報の共有を目指す.本稿では、LRFおよびカメラ画像を用いた 3種類のナビゲーション手法への適用について述べ、地図情報 共有の実現可能性を示す.以下、構成は次のようになっている. 2章でユニバーサルマップの詳細について述べる.次に3章で はユニバーサルマップを利用し、個別の地図情報への変換方法 および実用性を示す.最後に4章で、まとめと今後の課題につ いて述べる.

#### 2. 汎用三次元環境地図 (ユニバーサルマップ)

**Fig.1**にユニバーサルマップを利用した地図共有の概要を示 す.まず,測量専用のロボットで三次元環境地図を生成する.そ こから各ロボットのセンサの種類,搭載位置に合わせて必要な 情報を抽出し,地図情報を変換する.

2.1 測量ロボット

ユニバーサルマップの生成に必要な情報を計測するために測 量ロボット(**Fig.2**)をフィグラ株式会社のフィグラ・アイを基

原稿受付 2009 年 5 月 19 日

<sup>\*1</sup>奈良先端科学技術大学院大学

<sup>\*2</sup>產業技術総合研究所

<sup>&</sup>lt;sup>\*1</sup>Nara Institute of Science and Technology

 $<sup>^{\</sup>ast\,2}\mathrm{Advanced}$  Industrial Science and Technology

<sup>■</sup> 本論文は提案性で評価されました.



Fig. 1 Concept of the Universal map



Fig. 2 Measurement robot equipped with two LRFs and an omnidirectional camera

に構築した.ロボットは自己位置推定用として計測範囲が広範 囲である測域センサ Top-URG を水平前向き(以下,H-LRF) に取り付け,前方のスキャンを行う.また,三次元情報の取得用 に測域センサ Classic-URG を垂直上向き(以下,V-LRF)に, また色情報の取得のため双曲面ミラーを利用した全方位カメラ (HyperOmni Vision,以下,HOV)を横向きに設置した.ま た,センサ群の取り付け位置はノンプリズム・トータルステー ション (SOKKIA:SET630RS)を用いることで測定した.な お,姿勢については、ロボット座標系から水平・垂直に取り付 けられているものとする.

#### 2.2 ユニバーサルマップの生成

ユニバーサルマップ生成の概要を**Fig.3**に示す.はじめに、 フィグラ・アイをマニュアル操作で移動させ、建物内の情報を スキャンする.その際、H-LRFから得たスキャンデータおよび オドメトリの情報を基に FastSLAM [7]を用いて移動ロボット の自己位置推定を行う.ロボットの移動は、マニュアル操作で 行うため、フロア全体の地図情報を取得するための経路計画等 は必要ない.**Fig.4**は FastSLAM により生成された地図であ り、一回のスキャンで得られる観測点数を *m* とすると、時刻 *t* における観測点列は  $z_t = \{z_t^1, \dots, z_t^m\}$ となる.LRF から得 られた *k* 番目の観測点  $z_t^k = [u_t^k, v_t^k, 0]^\top$ とユニバーサルマッ プ上の三次元点  $M_t^k = [X_t^k, Y_t^k, Z_t^k]^\top$ の関係はロボット座標 系とLRF の座標系の対応関係から、式(1)となる.



Fig. 3 Overview of the method to build Universal map



Fig. 4 Result of map building by FastSLAM

$$\begin{bmatrix} \boldsymbol{M}_{t}^{k} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{R}_{x_{t}} & \boldsymbol{T}_{x_{t}} \\ \boldsymbol{0}^{\top} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \boldsymbol{R}_{\mathrm{rt}} & \boldsymbol{T}_{\mathrm{rt}} \\ \boldsymbol{0}^{\top} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \boldsymbol{z}_{t}^{k} \\ 1 \end{bmatrix}$$
(1)

ここで、 $\mathbf{R}_{rt}$ ,  $\mathbf{T}_{rt}$  は LRF 座標系へ変換するための回転行列,並 進行列であり,また  $\mathbf{R}_{xt}$ ,  $\mathbf{T}_{xt}$  は自己位置の推定結果の位置,姿 勢をワールド座標系に合わせるための回転行列,並進行列である. この変換から三次元空間の点列  $\mathbf{M} = \{\mathbf{M}_1, \cdots, \mathbf{M}_t, \cdots, \mathbf{M}_n\}$ が獲得できる.

得られた三次元点の色情報は HOV を用いて取得するが, Fig.5 に示すように V-LRF から得たスキャンデータに対応する全方 位画像上のピクセルを取得することが可能である. 観測点  $z_t^k$ に対応する三次元点を  $P_t^k = [X, Y, Z]^{\top}$ とし, LRF 座標系で 三次元点を表すとその関係は式(2) となる.

$$\begin{bmatrix} \boldsymbol{P}_t^k \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{R}_{\text{hov}} & \boldsymbol{T}_{\text{hov}} \\ \boldsymbol{0}^\top & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \boldsymbol{z}_t^k \\ 1 \end{bmatrix}$$
(2)

ここで、 $R_{hov}$ 、 $T_{hov}$ は HOV の座標系を LRF 座標系へ変換す るための回転行列,並進行列となっている. HOV は三次元座標 に対応する画像上のピクセルを容易に求めることができる [8]. **Fig.5**の全方位画像上の線(点群)が三次元点を画像上に投影 した結果となっている.本システムでは LRF に、Classic-URG を用いているため、ロボットの下方向 120°の範囲は観測できな いが、この死角は通常の場合、床平面となることから平面を仮定 し、死角部分の三次元点を補間する. 観測点  $z_t^1$ ,  $z_t^m$ の x 座標 (高さ方向)の平均値から床平面の高さを決定し、Classic-URG と同じ角度分解能で下方向 120°の三次元点の補間を行う.補間 した三次元点の位置も同様に、全方位画像上に投影することが 可能であり、色情報を取得できる.これによって、**Fig.6**(左)

のような色つき三次元環境地図の生成が可能であるが、得られ た色情報付き三次元レンジデータは、計測が離散的であるため 隙間のある三次元地図となってしまう. そこで, この隙間を埋 めるため三角メッシュを適用し、ポリゴン化を行う. 三次元点列  $M_t^k$ ,  $M_{t+1}^k$ ,  $M_t^{k+1}$  は, それぞれ近傍に存在する可能性が高 く、これら点の距離が閾値以下のときにはポリゴンを構成する. この処理を順番に繰り返すため、次は $M_t^{k+1}$ ,  $M_{t+1}^k$ ,  $M_{t+1}^{k+1}$ ,  $M_{t+1}^{k+1}$ で同様の処理を行う. そして、メッシュ内部をグロー・シェー ディングにより頂点の色から補間することでレンダリングを行 う. これによって得られた三次元地図 Fig.6(右) がユニバー サルマップとなる.ポリゴンを生成する際に向きは考慮してい ないため、表裏の両方にテクスチャが表示される. また、地図 生成処理は自動化されており、人による補正等は行っていない. ユニバーサルマップには情報として計測された点群の三次元位 置および色情報、ロボットの経路情報が含まれる、ロボットの 経路情報は 3.1 節で述べる占有格子地図の生成時に利用する.

ユニバーサルマップの生成は本学情報科学研究科 A 棟 5 階の 廊下およびエレベーターホールにて行った.環境中の廊下は約 25 [m], エレベーターホールは約 10 [m] 程度である.また,点 群に対して三角メッシュを適用する閾値は 0.04 [m] と設定した. **Fig.7** に実際の環境の写真(左),色情報付き三次元環境地図 (中央),ユニバーサルマップ(右)の比較を示す.



Fig. 5 Relationship between 3D point measured by LRF and its projection onto the omnidirectional image



Fig. 6 Point-cloud (left) and polygon rendering (right). The color of each point is estimated by projecting its 3D position onto the omnidirectional image



Fig. 7 Actual view of the environment (left), Colord 3D Environment Map (center) and Universal Map (right)

#### 3. 個別の地図情報への変換

本章では生成したユニバーサルマップを用いた各ロボットの 自己位置推定,ナビゲーションについて述べる.本稿では,ユ ニバーサルマップ利用の有効性を示すため,以下に示すの3種 類の地図情報へと変換し,自己位置推定またはナビゲーション を行った.

高さの異なる LRF 用地図情報(3.1節)

- 天井地図情報(3.2節)
- ビューシーケンスナビゲーション(3.3節)

LRF および天井地図情報の場合は,自己位置推定で有効性を評価するが,ビューシーケンスナビゲーションに関しては,トポロジカルなマップであるから他の手法のように自己位置推定を的確な表現で表すことができないため,ナビゲーション性能を確認し,評価する.

#### 3.1 高さの異なる LRF 用地図情報

LRF は多くの移動ロボットに搭載されており、ロバストな自 己位置推定が可能である.しかし、センサの設置高と地図の設 計高が異なる場合、自己位置推定を高精度に行うことができな い.そのため各ロボットで必要とする地図情報が異なり、地図 情報の共有が困難である.そこでユニバーサルマップから各ロ ボットのセンサ位置に合わせた地図を生成することでこの問題 を解決する.異なる高さにセンサが搭載された2種類のロボッ トを想定して評価を行うため、Fig.8に示す富士通サービスロ ボット enon に高さ  $h_1 = 0.381$  [m] および  $h_2 = 0.794$  [m] に Top-URG を設置し、評価を行った.ユニバーサルマップより  $h_1$  および  $h_2$  の高さに合わせた占有格子地図を生成し、パー ティクルフィルタを用いるモンテカルロ位置推定(Monte Carlo Localization、MCL)を利用し自己位置推定を行った、評価は 以下のように2種類の実験で行った。

(1) 不適切な高さの地図を利用

(2) 適切な高さの地図を利用

まず,(1)では,各センサがそれぞれ異なる高さの地図を利 用して自己位置推定を行った.実際に異なるロボット間で地図 共有を行う場合は,このように異なる高さの地図に対して,自 己位置推定を行う場面が想定される.その場合,自己位置推定 の結果は Fig.9のようになる.Fig.9(A)に示す箇所では壁に 囲まれた環境であったため,高さが異なる地図を利用しても観 測情報はあまり変わらず,自己位置推定結果に違いが見られな かった.しかし,Fig.9(B)に示す環境では,椅子等が設置さ れており,高さによって地図形状が異なるためミスマッチが生



Fig. 8 Overview of the service robot "enon" equipped with two LRFs  $% \mathcal{A}$ 

#### じ,自己位置推定に大きな誤差が生じている.

一方,(2)では、それぞれのセンサが適切な高さ情報の地図 を利用することで、**Fig.10**のような自己位置推定結果が得ら れる.二つの推定パスが一致しており、自己位置推定が適切に 行われていることが確認できた.これより、LRFの高さごとに 地図情報を個別に生成することで良好な自己位置推定を実現で きること、およびユニバーサルマップから生成した各高さの地 図情報の利用が有効であることを確認した.

#### 3.2 天井光源地図情報への変換

次に、天井地図への変換について述べる。天井は模様替えな どの環境変化が少なく、また障害物に隠蔽されることも少ない ため、ロバストな自己位置推定を実現するのに有効な情報であ る[9]. 従来研究として紙ら[10]は天井画像列を用いたナビゲー ションを提案している。Fig. 11 (a) に示す天井地図は手作業や 画像のモザイキング技術等を用いて作成しているが、ユニバー サルマップを用いると天井地図は天井高を閾値として抽出し、



Fig. 9 Results of Monte Carlo Localization using map of wrong height



Fig. 10 Results of Monte Carlo Localization using map of correct height

Fig. 11 (b) のように容易に抽出可能である.紙らの手法では天 井地図の解像度は約 16 [pixel/m] となっているが,ユニバーサ ルマップを用いて生成した地図も約 25 [pixel/m] であり,ナビ ゲーションに十分な解像度が得られていることが分かる.

生成された天井地図を利用し、電動車いすを改造した移動ロ ボットを用いて自己位置推定を行った.まず、天井地図を2値 化することで天井光源情報のみを残し、光源環境による見えの 変化の影響を抑えた.ロボットには広角レンズ(TV1634M)を 装着したカメラを鉛直上向きに設置する(Fig.12).カメラは あらかじめ Zhang の手法[11]を用いて歪み補正を行う.自己 位置推定は、入力画像と天井地図のテンプレートマッチングを 行うことで実現した.また、初期位置は手動で与えており、大 域的な推定は行っていない.実験時の走行の様子は Fig.13 に 示すとおりであり、左上の写真が入力画像で左下が自己位置推 定結果となっている.図より、蛇行や回転を行っても自己位置 の推定が実現されていることが分かる.この実験により、ユニ バーサルマップから生成した天井地図を用いて自己位置推定が 可能であることを確認し、有効性を示した.

#### 3.3 ビューシーケンスへの変換

さらにユニバーサルマップのテクスチャ情報を利用したナビ ゲーション手法として,松本らが提案したビューシーケンスナビ ゲーション [12] への応用を行った.ビューシーケンスナビゲー ションとは,ロボットが経路に沿って進むときの見え(ビュー)



**Fig. 11** Ceiling map created by image mosaicing technique (a) and by thresholding operation to Universal map (b)



Fig. 12 Configuration of mobile robot utilized for localization using Ceiling map



Fig. 13 Snapshots of robot localization using Ceiling map

を、ある間隔で連続的に記憶し、画像列(ビューシーケンス)を 生成する. このビューシーケンス中の画像と走行時に得られる 画像間においてテンプレートマッチングを行うことで記憶した 経路に沿って走行することができる手法である.この方法では、 走行したい経路を実環境で教示走行する必要があるため、新た に経路を与えるには再び教示走行する必要があるが、ユニバー サルマップを利用しカメラの見え方を再現(ビューシミュレー ション)することで、実際の経路教示走行を行うことなく、容 易ににビューシーケンスの取得が可能となる。まず、ユニバー サルマップ上で実際に使用するカメラのビューシミュレーショ ンを行う. ビューシミュレーションを行うには、カメラパラメー タが必要となるが、Zhang の手法を用いて内部パラメータおよ び Fig. 14 に示すように、位置が既知のキャリブレーションパ ターンを見せることでカメラの外部パラメータを推定する.こ のパラメータを用いてビューシミュレーションを行った結果が Fig. 15 である. Fig. 15 (a) は実際の環境のカメラ画像で (b) がビューシミュレーションの結果となっている.

ビューシミュレーションは,ユニバーサルマップ上の経路において 0.1 [m] 間隔で行い,ビューシーケンスの生成を行う.得ら



Fig. 14 Method for calibrating extrinsic camera parameters to Universal map coordinates





れた画像を 80×60 [pixel] のグレースケール画像へと変換し,そ のうちテンプレートに利用する領域は画像中心の 40×30 [pixel] とした.

ナビゲーション時のビューシーケンスと入力画像との正規化 相関値の変化の様子を Fig. 16 に示す. また, ビューシーケン スによる走行の様子は Fig. 17 に示すとおりであり、画像中の 下部の画像は左から n 番目のビュー,カメラからの入力画像, n+1番目のビューとなっている. n および n+1番目の画像 と現在画像の相関値を比較し、 n+1 番目の画像との相関値が n 番目より高くなった際に参照するビューをそれぞれ一つ進め ることでナビゲーションを実現している. Fig. 16 では、フレー ム f が進むにつれ, カメラから得られる画像 If とシーケンス nのテンプレート  $T_n$  との正規化相関の最大値  $NC(I_f, T_n)$  は 減少し,  $NC(I_f, T_{n+1})$  は増加している. この  $NC(I_f, T_n)$  と  $NC(I_f, T_{n+1})$ が交差する箇所で次のシーケンスn+1へと適 切に切り替わっている.通常,ビューシーケンスでは 0.8~1.0 の相関値で推移し、ビューの切り替えを行うが、ユニバーサル マップを用いた場合、平均相関値は 0.7 と低下している、これ は、テクスチャをグローシェーディングで生成していることが 影響していると考えられるが、ユニバーサルマップを用いた教 示データでも走行を実現しており、使用に問題のない程度であ ると言える.

通常,ビューシーケンスの教示作業はロボットを実際に動か して行うため、ロボットを押した時に生じる"ブレ"がナビゲー ション時にも現れるが、本手法を用いると、松本らの視覚移動 ロボットシミュレーション [13] と同様に、ユニバーサルマップ 上で直進走行を容易に指定できるため、安定した走行の実現が 可能である.



Fig. 16 Variation of normalized correlation value during navigation



Fig. 17 Snapshots of navigation based on View-sequence

#### 4.まとめ

本研究では、移動ロボット間での地図共有を目指し、各ロボッ トのナビゲーション手法に対応した固有の地図へ変換可能であ る汎用三次元環境地図(ユニバーサルマップ)を提案した.二 つの LRF および全方位カメラを搭載したロボットでテクスチャ 付きの三次元環境地図を生成し、それを LRF や天井、ビュー シーケンスナビゲーションへと適用し、ユニバーサルマップか らの変換が地図情報の共有に有効であることを示した.今後は、 ユニバーサルマップをさらに他の手法においても利用可能か検 証を行う.エッジや SIFT 等の画像特徴量を使用する手法にも 適用できるようにテクスチャの生成方法等を改善していく予定 である.

**謝**辞 測量ロボット用として移動ロボットを提供いただき ましたフィグラ株式会社に感謝致します.

### 参考文献

- R.C. Smith and P. Cheeseman: "On the Representation and Estimation of Spatial Uncertainty," The Int. J. of Robotics Research, vol.5, no.4, pp.56–68, 1986.
- [2] S. Thrun, S. Thayer, W. Whittaker, C. Baker, W. Burgard, D. Ferguson, D. Hähnel, D. Montemerlo, A. Morris, Z. Omohundro, et al.: "Autonomous Exploration and Mapping of Abandoned Mines," Robotics & Automation Magazine, IEEE, vol.11, no.4, pp.79–91, 2004.
- [3] A. Davison, I. Reid, N. Molton and O. Stasse: "MonoSLAM: Real-Time Single Camera SLAM," IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol.29, no.6, pp.1052–1067, 2007.



#### 荒木天外(Ato Araki)

2007 年佐賀大学理工学部知能情報システム学科卒 業.2009 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学 研究科博士前期課程修了,同年株式会社リコー入社. 在学中は移動ロボットの研究に従事. (日本ロボット学会正会員)

## 怡土順一(Junichi Ido)

2000年九州大学工学部機械エネルギー工学科卒業. 2009年奈良先端科学技術大学院大学より論文博士 (工学)取得.奈良先端科学技術大学院大学研究員 を経て,2009年から産業技術総合研究所特別研究 員.ヒューマンロボットインタラクション,ロボッ トビジョンに関する研究に従事.

(日本ロボット学会正会員)



#### 高松 淳(Jun Takamatsu)

2004 年東京大学大学院情報理工学系研究科コンピ ユータ科学専攻博士課程修了.博士(情報理工学). 東京大学生産技術研究所特任助教,同特任講師を経 て,2008 年から奈良先端科学技術大学院大学情報 科学研究科准教授.知能ロボットの動作獲得,三次 元形状モデリング・形状解析に関する研究に従事. 会員. (日本ロボット学会正会員)

電子情報通信学会会員.

- [4] B. Jensen, J. Weingarten, S. Kolski and R. Siegwart: "Laser Range Imaging using Mobile Robots: From Pose Estimation to 3d-Models," Proc. of 1st Range Imaging Research Day, pp.129– 144, 2005.
- [5] D. Hähnel, W. Burgard and S. Thrun: "Learning Compact 3D Models of Indoor and Outdoor Environments with a Mobile Robot," Robotics and Autonomous Systems, vol.44, no.1, pp.15–27, 2003.
- [6] 倉爪, 戸畑, 村上, 長谷川: "CPS SLAM の研究—大規模建造物の 高精度三次元幾何形状レーザ計測システム—", 日本ロボット学会誌, vol.25, no.8, pp.1234–1242, 2007.
- [7] M. Montemerlo, S. Thrun, D. Koller and B. Wegbreit: "Fast-SLAM 2.0: An Improved Particle Filtering Algorithm for Simultaneous Localization and Mapping that Provably Converges," Int. Joint Conf. on Artificial Intelligence, pp.1151– 1156, 2003.
- [8] K. Yamazawa, Y. Yagi and M. Yachida: "Obstacle Detection with Omnidirectional Image Sensor HyperOmni Vision," Proc. of IEEE the Int. Conf. on Robotics and Automation, pp.1062– 1067, 1995.
- [9] F. Dellaert, W. Burgard, D. Fox and S. Thrun: "Using the Condensation Algorithm for Robust, Vision-based Mobile Robot Localization," IEEE Computer Society Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, pp.588–594, 1999.
- [10] 紙,松本,今井,小笠原:"天井画像列を用いた屋内ナビゲーション", 第 18 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp.331-332, 2000.
- [11] Z. Zhang: "A Flexible New Technique for Camera Calibration," IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol.22, no.11, pp. 1330–1334, 2000.
- [12] 松本, 稲葉, 井上: "視野画像列を利用した経路表現に基づくナビゲー ション", 日本ロボット学会誌, vol.15, no.2, pp.236-242, 1997.
- [13] 松本, 宮崎, 稲葉, 井上: "仮想環境を用いた視覚移動ロボットのシ ミュレーションの提案と画像の記憶に基づく走行手法への適用", 日 本ロボット学会誌, vol.20, no.5, pp.497–505, 2002.



#### 竹村憲太郎 (Kentaro Takemura)

2006 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究 科博士課程修了.博士(工学).同年奈良工業高等 専門学校電気工学科助手,2007 年同助教.2008 年 より奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科助 教.移動ロボットおよびヒューマンインターフェー スに関する研究に従事.ACM,IEEE など各会員. (日本ロボット学会正会員)



## 松本吉央(Yoshio Matsumoto)

1998年東京大学大学院工学系研究科博士課程修了. 博士(工学).1999年奈良先端科学技術大学院大 学情報科学研究科助手,2002年同助教授.2007年 大阪大学大学院工学研究科特任教授.2009年より 産業技術総合研究所知能システム研究部門主任研 究員.情報処理学会,電子情報通信学会など各会 (日本ロボット学会正会員)

員.

#### 小笠原司(Tsukasa Ogasawara)

1983年東京大学大学院工学研究科情報工学専門課 程博士課程修了.工学博士.同年通商産業省工業技 術院電子技術総合研究所入所.1993~1994年ドイ ツ,カールスルーエ大学客員研究員.1998年奈良 先端科学技術大学院大学情報科学研究科教授となり 現在に至る.知能ロボットの研究に従事.計測自動

制御学会,情報処理学会などの会員. (日本ロボット学会正会員)