

生活支援ロボット向け共通プラットフォーム

Common System Platform for Life Assistance Robots

松川 善彦
Yoshihiko Matsukawa

東 條 剛 史
Tsuyoshi Tojo

後 藤 孝 周
Takanori Goto

要 旨

人と共存する安全な生活支援ロボットを効率よく開発するには、多種多様な要求に応えられるよう、機構や入出力デバイスに依存しない共通のプラットフォームを利用できることが望ましい。今回、扱うデータの抽象度合いに応じて制御ソフトの構造を整理するとともに、障害物検出などのアルゴリズムがセンサデバイスの増減に影響を受けないよう工夫し、汎用性および拡張性を有するロボット制御プラットフォームの開発を行った。そして、アプリケーション、機構・デバイスが異なる2種類の移動ロボットに適用したところ、10%～20%のソースプログラムの変更のみで両ロボットに所望の動作をさせることができ、開発した制御プラットフォームが汎用性・拡張性を有することを示した。

Abstract

To efficiently develop the life assistance robots, a common system platform that is adaptive to changes in requirements and expansion for the future would be desired. Therefore, we have developed a common system platform that does not depend on the individual mechanisms and devices by structuring control software according to an abstract level of data handling and designing algorithms to be independent of sensor devices. We applied it to two types of mobile robots. Consequently, although they have different sensor devices and mechanisms respectively, we could control them correctly with only 10% - 20% change of their source code and demonstrated the effectiveness of the developed robot platform.

1. はじめに

人と共存し生活支援を目的とするロボットは、ユーザーだけでなく、開発過程では開発者に対しても安全で、さらに多種多様なユーザーの要件にも柔軟に対応できる必要がある。このような背景から、近年ではコンピュータシミュレーションを用いた仮想空間内のロボットの開発およびテストが注目を浴びている。コンピュータシミュレーションを用いた開発は、実機を製作せず繰り返し改良・テストが可能となるため、開発コストを抑えつつ、仕様変更にも柔軟に対応することが可能となる。また、機構と制御ソフト・ハードをコンカレントに開発でき、開発期間も短縮できる。

このような開発プロセスを短いサイクルで回すには、ロボットの制御ソフトもそれに対応できるよう汎用的に設計することが求められ、これまでさまざまな観点からロボットシステムの共通プラットフォームが開発されてきた¹⁾。

たとえば、さまざまな仕様のロボットを容易に開発するために、各デバイスや処理のコンポーネント化および分散処理環境を実現する枠組みが開発されている²⁾。しかし、ロボットの制御アルゴリズムを考えた場合、コンポーネント内の処理やコンポーネント間の情報についてもさらに規定する必要がある。

そのためには、ロボット内部だけではなく環境情報の

表現方法も定める必要がある。その一例として、空間に配置されたセンサ群を用いて人の位置を計測・管理し、ロボットが人にその空間情報に関連したサービスを提供する枠組みが提案されている³⁾。このようなサービスを目的とし、ロボットが動作をするためには、さらにロボット内部の制御ソフトと環境情報との関係も決めてゆく必要がある。

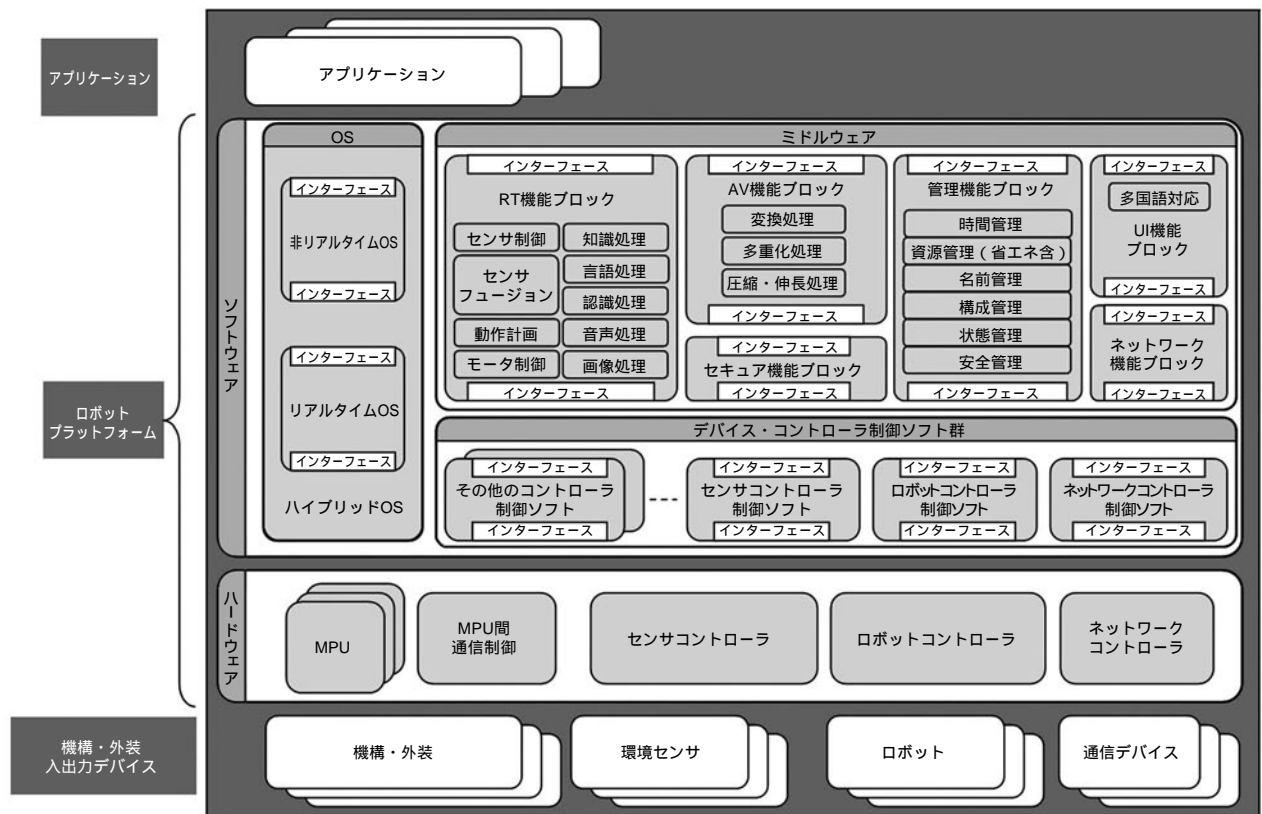
本稿では、以上の課題に対応するため、汎用性・拡張性を有するロボットの制御プラットフォームを開発したので報告する。今回開発した制御プラットフォームは、アプリケーションごとに機構・外装やセンサなどの入出力デバイスが異なっても対応できるように、環境情報の抽象化とそれに関連するロボットの制御アルゴリズムに工夫を行っている。また、再利用性および開発効率向上のため、モデル駆動開発手法を用いて開発を行っている。

2. ロボットシステム

まず、ロボットシステムの全体像を概観し、ロボットプラットフォーム、そして制御プラットフォームの位置づけを明確にしておく。

2.1 ロボットシステムの全体像

第1図は、ロボットシステムの全体像を示している。ロボットシステムは、アプリケーション、ロボットプラッ



第1図 ロボットシステムの全体像

Fig. 1 Overview of robot system

トフォーム、機構・外装・入出力デバイスからなる。アプリケーションはユーザーの要求仕様を満たすように設計され、それを実現できるよう必要な機構・外装・入出力デバイスが適切に構成される。一方、プラットフォームはアプリケーションや機構・外装・入出力デバイスには依存しない部分となる。

2.2 ロボットプラットフォームの構成要素

プラットフォームに汎用性・拡張性をもたせるため、筆者らが過去に開発したロボットを元に、将来必要になると予想した機能を加えてプラットフォームの構成要素を整理した。考慮したロボットは、ロボティックベッド⁴⁾、HOSPI⁵⁾、ポーターロボット、搬送ロボット⁶⁾、キッチンアシストロボット⁷⁾、注射薬払出口ロボット⁸⁾などである。

- RT (Robot Technology) 機能ブロック：センサ情報（外部情報）、ロボット内部状態、ユーザーからの指示からロボットの動作を計画/実行するブロックであり、本ロボットプラットフォームの中心的役割を有する
- AV (Audio & Visual) 機能ブロック：音声や画像などのストリーミング処理や圧縮・伸張などの信号情報処理を行う機能ブロック
- UI (User Interface) 機能ブロック：ユーザーからの指

- 示入力、ユーザーへの情報提示を担当する機能ブロック
 - ネットワーク機能ブロック：外部システムとの通信を行う機能ブロック
 - 管理機能ブロック：プラットフォームを構成するプロセス群はネットワーク上に分散する可能性もあるため、これらのプロセスが破綻（はたん）なく動作するためのリソース管理（バージョン構成、名前・アドレス、時間の管理など）や安全のための自己診断などを行う
 - セキュア機能ブロック：ロボットが得た情報を必要に応じて暗号化し、許可されない者が情報を得られないようにする機能ブロック
 - デバイス・コントローラ制御ソフト群：センサ、ロボットの機構およびアクチュエータ、ネットワークデバイスを制御するソフトであり、デバイスごとの差異を吸収するソフト群である
 - OS (Operating System)：リアルタイムOS、非リアルタイムOS、あるいはこれらの混在が可能なハイブリッドOSを選択
- ここで、OSおよびデバイス・コントローラ制御ソフト群以外をミドルウェアと呼ぶ。
- 以上は、ソフトウェアに関する構成要素であり、ハー

ドウェアの構成要素としては、MPU (Micro Processing Unit), MPU間通信制御, センサコントローラ, ロボットコントローラ, ネットワークコントローラなどが挙げられる。

ロボットコントローラは、ロボットの制御や状態情報の取得など、物理的な動作にかかわる制御を行う。ここで、ロボット制御プラットフォームは、RT機能ブロックおよびデバイス・コントローラ制御ソフト群のI/F部分からなり、次章で詳細に述べる。

3. ロボット制御プラットフォーム

ロボット制御プラットフォームは、ユーザーからの指示やセンサ情報に基づきロボットの動作を生成しロボットコントローラに指令する。ここで、ロボット制御プラットフォームは機能要素群、各機能要素間の関係およびその関係において伝達される情報クラスによって規定される。この規定をここではロボットアーキテクチャと定義し、第2図に今回開発したロボット制御プラットフォームの階層アーキテクチャを示した。

この階層アーキテクチャは、センサデバイスの種類・個数・配置や機構に依存しない抽象的な情報クラスに基づき動作することとしている。

以降、それぞれの階層における処理と階層間でやり取り

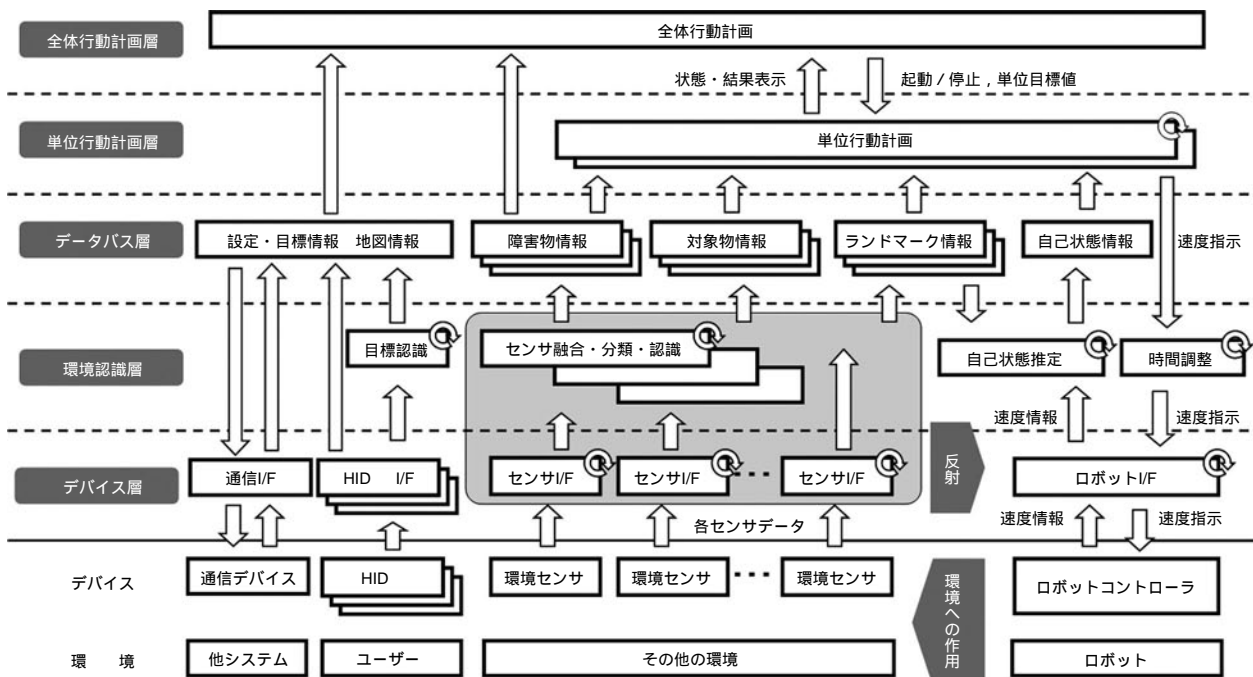
される情報クラスについて説明し、制御プラットフォームがセンサデバイスに依存しない仕組みについて述べる。

3.1 デバイス層

デバイス層は環境（人も含む）と直接的に相互作用を行う階層であり、第1図におけるデバイス・コントローラ制御ソフト群に対応する。デバイス層は、通信I/F (Interface), HID (Human Interface Device) I/F, センサI/F (環境からの入力) およびロボットI/F (環境への作用) からなる。

センサI/Fの役割は、センサによる測定値をセンサ座標系からロボットに固定された原点をもつローカル座標系（ロボット座標系）へ変換し、あらかじめ測定値の性質ごとに分類したデータフォーマット（クラス）にそって上位層に提供することである。たとえば、障害物までの距離を計測するステレオカメラと超音波距離センサとでは、ハードウェアレベル、あるいは信号レベルでI/Fは異なるが、この階層を通過することで同じ距離情報のクラスのデータとなる。具体的な処理は、以下の流れとなる。

センサデバイスのI/F（シリアル通信，Digital I/O，アナログ入力など）に合わせデジタル値として取得取得情報および取り付け位置・姿勢の情報を用いてセンサ座標系からロボット座標系へ変換



第2図 ロボットアーキテクチャ

Fig. 2 Robot architecture

検出時刻およびその時刻でのロボットの位置姿勢（世界座標系）を付与
デバイス層で得られるセンサデータクラスを以下に示す。

- 障害物情報クラス
（障害物までの距離，検出時刻，ロボットの位置姿勢）
- 対象物情報クラス
（対象の種類，対象物の位置姿勢，検出時刻，ロボットの位置姿勢）
- 目標情報クラス
（目標位置姿勢，検出時刻，ロボットの位置姿勢）

検出時刻およびロボットの位置姿勢を付与するのは，各センサなどの処理を非同期に動作させるためであるが，非同期とする理由は主に2つ挙げられる。

1つ目は，機構や入出力デバイスなどに依存しないプラットフォームとするためである。たとえば，センサの故障や仕様変更によるセンサの追加・変更・削除が発生した場合や，異なる機構・制御系であっても設定の変更のみで対応可能とするためである。

2つ目は，第1表に挙げたようにセンサデバイスによってデータ取得レートが異なり，同期処理を行おうとすると制御周期が遅いセンサに処理が拘束されるためである。

第1表 距離センサの例とデータ取得レート

Table 1 Examples of range sensor and sampling rate

センサ	データ取得レート [ms]	デバイス例(メーカー)
赤外線距離センサ(アナログ)	<1	GP2Y0A21YK(シャープ(株))
超音波距離センサ	<10	C4016A1(日本セラミックス(株)) +自社試作回路
3D距離画像センサ	18	D-IMager(パナソニック電工(株))
LRS(Laser Range Scanner)	100	URG-04LN(北陽電機(株))
ステレオカメラ	400	Bumblebee 2((株)ビュープラス)

通信時間，A/D変換性能，測距範囲，回路構成などに依存

ロボットI/Fは，上位層で行った行動計画の結果に基づき，各アクチュエータなどの制御指令をロボットコントローラへ渡したり，各アクチュエータやロボットの状態情報を上位層へ提供する役割を担う。

通信I/Fは，外部システムとの情報の送受信を担う。また，HID I/Fは，ユーザーによる操作意図を入力とし，その情報をデータベースあるいは環境認識層に提供する。たとえば，HIDがジョイスティックによる目標値入力の場合，目標情報クラスの形式でデータベース層に提供する。また，音声指示でロボットを操作する場合は，HIDがマイクロフォンとなり，HID I/Fは音声のデジタル化を行う。音声データは後述の環境認識層で音声認識され，目標情報クラスの形式でデータベース層に送られる。

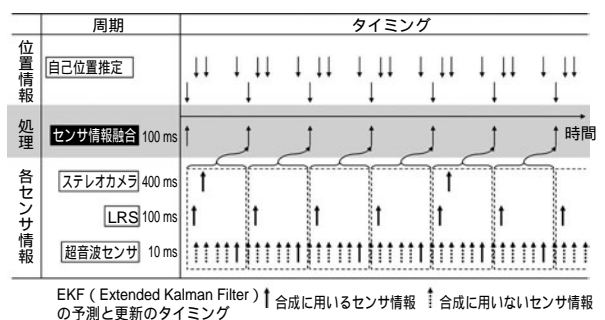
3.2 環境認識層

環境認識層は，デバイス層で得られた情報クラスに加え，制御に必要な情報を識別・認識し，ロボットの行動計画に必要な環境情報に関するクラスのデータを得る。現在実装しているクラスは，障害物情報，ランドマーク情報，対象物情報（人または物品）などである。これらの情報クラスにはおのおの対応した事前知識が存在し，障害物地図，ランドマーク地図，対象の事前情報（人であれば顔画像などの固有情報）となる。以下に，環境認識層で得られる情報をまとめた。

障害物情報クラス

第1表に示したような種々の距離センサから集められたセンサ情報を，ロボット座標系を基準に重ね合わせた情報である。この情報は主に障害物回避に用いるが，世界座標系を基準に重ね合わせると障害物地図が生成できる。

第3図は，距離センサ情報を重ね合わせて障害物情報を融合するタイミングを示している。各センサデータの取得タイミングはそれぞれ異なるが，センサ情報融合処理のタイミング間のセンサ情報（図中点線の囲い内で実線の矢印の時刻に得られた情報）を，ロボット座標系を基準に融合する。前述したように，各センサは非同期に動作しており検出時刻を有するので，一定期間内のセンサ情報を融合できる。また，センサの追加・削除が発生してもセンサ情報融合処理の変更は生じない。

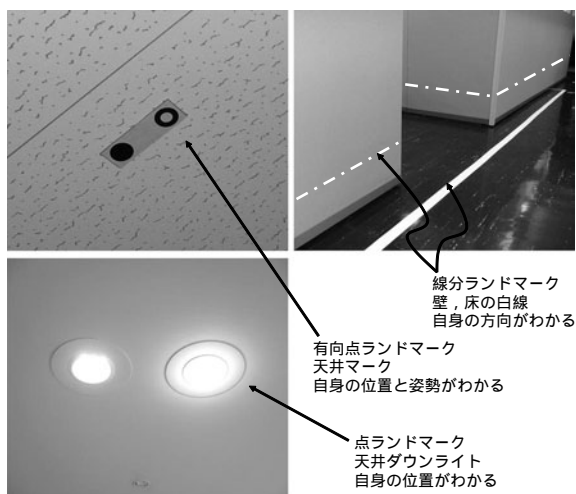


第3図 障害物情報の生成タイミング

Fig. 3 Timing to generate obstacle information

ランドマーク情報クラス

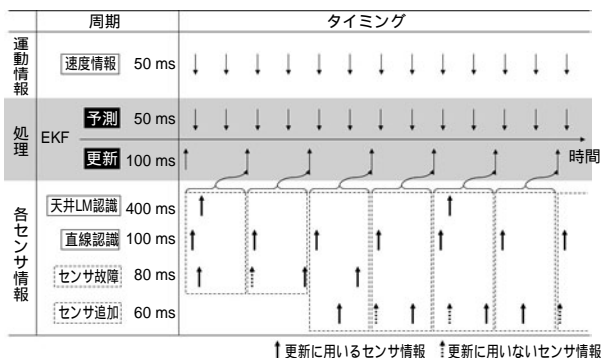
ランドマーク情報は，ロボットが事前に保有するランドマーク地図（ランドマーク情報の集合）と照らし合わせて，自己位置・姿勢を推定するために用いる情報である。たとえば，壁までの距離情報から線ランドマーク，また標識などの対象物情報から点ランドマークなどを求める。また，各ランドマーク情報の認識（ランドマーク地図との照合）も行い，その照合結果（尤度（ゆうど）など）を有する。ただし，第4図に示した床の白線や天井の



第4図 ランドマークの事例
Fig. 4 Example of landmarks

マークを検出する特別なセンサユニットが存在するなど、デバイス層で十分抽象化が行われている場合、環境認識層は利用せず、検出したランドマーク情報は直接後述のデータベース層へ送られる。

第5図は、ランドマーク情報を用いて、EKF (Extended Kalman Filter) ⁹⁾ により自己位置姿勢を推定する際のタイミングを示している。EKFは予測と更新の2つの処理からなり、予測は1つ前の位置姿勢と速度情報から現在の位置姿勢を一定の周期で計算する。そして、更新は予測処理とは別のタイミングでランドマーク情報と地図情報を照合して自己位置・姿勢を補正する。ここで、予測および更新処理、そして各センサはすべて非同期に動作している。それゆえ、センサの追加・削除が発生しても更新処理の変更は必要としない。極端な場合で外界センサが全くない場合は予測処理のみで自己位置・姿勢を求めることも可能である(これをデッドレコニングと呼ぶ)。



第5図 自己位置推定の処理タイミング
Fig. 5 Timing of self localization

対象物情報クラス、目標情報クラス

HIDや環境センサ(デバイス)、およびそれぞれのI/F(デバイス層)が抽象度の低い値を出力する場合、環境認識層で認識処理を行い、3.1節で示した対象物情報クラスや目標情報クラスのデータを得る。たとえば、ユーザーの音声入力による目標指示の場合、マイク(HID)から音声データを得(HID I/F)、この環境認識層の音声認識処理を通じて目標情報クラスのデータを得る。

地図情報クラス

ロボットの目標値や自己位置・姿勢を規定するための地図情報は、今回はあらかじめ決められた書式で与えたため、環境認識層では生成しないが、ロボットが動作しながら得た障害物情報から地図を生成することも可能であり、その場合はこの環境認識層で地図を生成する。

このように、デバイス層に加えて環境認識層を介することで、制御に必要な情報をすべて取得する。また、この2階層が、制御プラットフォームに汎用性・拡張性をもたせる機能を担っている。

3.3 データバス層

データバス層は、デバイス層や環境認識層で得られたデバイスに依存しないデータをクラスとして管理し、センサの変更などの影響が行動計画層へ及ばないようにする。

3.4 単位行動計画層

単位行動計画層では、全体行動計画層で分割された単位行動を実行する。今回対象としている移動ロボットでは、障害物情報に基づき障害物の回避を行う場合と手動のように障害物を回避しない場合を実装した。

3.5 全体行動計画層

全体行動計画層では、人や他のシステムから最終目標を与えると、その目標を達成するような経路を計算し単位行動に分割し、スケジューリングなど単位行動の管理を行う。移動系ロボットの場合、自律移動および追従移動がこれに当てはまる。たとえば、「 \dots まで自律移動せよ」という指示に対して、あらかじめ定めた評価関数(たとえば距離最小)に基づいて最適な経路を計算する。経路探索にはA*アルゴリズム¹⁰⁾を用いている。また、ポーターロボットのような追従移動は、経路地が追従対象の移動によって刻々と与えられる場合と見なせる。

特殊な場合として、ジョイスティックなどによる手動操作の場合は、この全体行動計画層では何も行わず、ジョイスティックから得られた目標情報から直接ロボットI/Fへと指示を送る。

また、今回は実装していないが、垂直多関節アームの

ように姿勢によっては他の機構部分と干渉する可能性がある場合、この全体行動計画層で干渉回避の経路も計算する。

4. ロボット制御プラットフォームの有効性

今回開発したロボットの制御プラットフォームを、自律移動ロボット（搬送ロボット）および人追従型ロボット（ポーターロボット）に適用した。前者は同軸2輪型であり、後者は同軸倒立2輪型で異なった機構となる。また、環境センサとして、搬送ロボットはLRS（Laser Range Scanner）、ステレオカメラ、天井カメラおよび超音波センサを有し、ポーターロボットはLRSのみを有する。結果として、足回りの機構・制御方式およびセンサの種類・配置にかかわらず、両方の移動ロボットに所望の動作をさせることができた。

第2表は、各ロボットの動作プログラムのステップ数の比較である。それぞれ、ロボット制御プラットフォーム、センサ部、そしてアプリケーションのステップ数を示している。機構、センサデバイスに依存しない制御プラットフォーム部分は搬送ロボットで79.3%，ポーターロボットで89%のステップ数を占め、独自に開発する部分はそれぞれ20.7%，11%となり、仕様が異なったロボットの動作プログラムを効率よく開発できたことを示している。

第2表 ロボット制御プラットフォームの利用効率

Table 2 Efficiency of platform

ロボット	搬送ロボット (同軸2輪型)	ポーターロボット (同軸倒立2輪型)
ロボット制御プラットフォーム	72339 (79.3%)	同左 (89.0%)
センサ部	4679 (5.1%)	2242 (2.8%)
アプリケーション	14192 (15.6%)	6724 (8.3%)
実ステップ数	91210 (100%)	81305 (100%)

C++コードステップ数、括弧内はソースコードにおける割合

5. まとめ

生活支援ロボットの多様な要求に対応できるよう、機構や入出力デバイスに依存しないロボットの制御プラットフォームを開発した。そして、機構やセンサ構成が異なる複数の移動系のロボットに対し、最小限の変更のみで動作させることができ、その有効性が確認できた。今後は、3次元的な動作を伴うマネージャを有するなど、ロボットの構成部品同士が干渉し得るロボットや複数のロボットが存在するときのシステム間連携、また環境を学習するといった知能化の仕組みを組み込み、さらに多

くの要求に応えられるようなロボットの共通制御プラットフォームへと発展させてゆく。

参考文献

- 1) 佐藤知正 他：次世代共通プラットフォーム技術 日本ロボット学会誌 26, No.5, pp.394-398 (2008).
- 2) 安藤慶昭 他：分散コンポーネント型ロボットシミュレータ・アーキテクチャ 日本ロボット学会誌 26, No.5, pp.407-410 (2008).
- 3) 宮下敬宏 他：施設内外の人計測と環境情報構造化プラットフォーム 日本ロボット学会誌 26, No.5, pp.423-426 (2008).
- 4) 久米洋平 他：自立した生活を支援するロボティックベッドの制御技術 パナソニック技報 56, No.3, pp.32-34 (2010).
- 5) 村井亮介 他：自律移動ロボット群による搬送システムの実用化 日本ロボット学会誌 28, No.3, pp.311-318 (2010).
- 6) 後藤孝周 他：自律移動ロボットの安全な移動技術の開発 パナソニック技報 56, No.3, pp.21-25 (2010).
- 7) 東條剛史 他：差動シャフト機構を利用した軽量ロボットハンドの検討 第25回日本ロボット学会学術講演会講演論文集 3M26 (2007).
- 8) 西村巧：注射薬払出口ロボットの薄型化および薬剤破損防止機構の開発 パナソニック技報 56, No.3, pp.35-37 (2010).
- 9) Sebastian Thrun, et al. : Probabilistic robotics. The MIT Press (2005).
- 10) Hart P. E., et al. : A formal basis for the heuristic determination of minimum cost paths. IEEE Transactions on SSC, pp.100-107 (1968).

著者紹介



松川善彦 Yoshihiko Matsukawa
生産革新本部 ロボット事業推進センター
Robot Development Center,
Corporate Manufacturing Innovation Div.



東條剛史 Tsuyoshi Tojo
生産革新本部 ロボット事業推進センター
Robot Development Center,
Corporate Manufacturing Innovation Div.



後藤孝周 Takanori Goto
パナソニックヘルスケア(株)
Panasonic Healthcare Co., Ltd.