

芝 浦 工 業 大 学

博 士 学 位 論 文

4W1Hに着目し抽象化した  
ロボットサービス開発方式の研究

平成26年9月

中 村 幸 博

---

---

## 目次

第1章	序論.....	1
1.1.	研究背景.....	1
1.2.	研究動向.....	3
1.3.	本研究の目的と課題.....	7
1.4.	サービス対象.....	10
1.5.	本研究のアプローチ.....	12
1.6.	本論文の構成.....	13
第2章	ロボットサービス開発のためのプラットフォーム.....	15
2.1.	はじめに.....	15
2.2.	4W1Hに基づくデータの抽象化.....	15
2.3.	プラットフォームの基本構造.....	16
2.3.1.	接続ユニット.....	17
2.3.1.1.	機能.....	17
2.3.1.2.	FDMLを用いた4W情報記述.....	17
2.3.1.3.	拡張したCroSSMLを用いた共通ロボットコマンド記述.....	18
2.3.2.	エリア管理ゲートウェイ.....	20
2.3.3.	認証データベース.....	21
2.4.	サービス記述とサービスアプリケーション開発の枠組み.....	22
2.5.	まとめ.....	23
第3章	ロボットサービスに必要な情報獲得と統合.....	24
3.1.	はじめに.....	24
3.2.	センサクラスと情報補完.....	24
3.2.1.	4Wに着目したセンサクラス.....	24
3.2.2.	センサの相互補完によるユーザ情報獲得.....	25
3.3.	サービス実現のためのセンサ要件.....	26
3.4.	4W情報統合.....	27
3.5.	考察.....	29
3.6.	まとめ.....	29
第4章	サービス/ロボットの選択とサービス実行.....	30
4.1.	はじめに.....	30
4.2.	サービスとロボットの選択.....	30
4.2.1.	シナリオに着目したロボット選択.....	30
4.2.2.	4W1Hマッチング.....	31
4.2.3.	考察.....	33
4.3.	サービス実行.....	34
4.3.1.	外部センサとの連携によるサービス実行.....	34

4.3.2.	サービス実行管理.....	34
4.3.3.	考察.....	35
4.4.	まとめ.....	35
第5章	プラットフォームを用いたサービスの実現.....	36
5.1.	はじめに.....	36
5.2.	Who 情報を活用したロボットサービス.....	36
5.2.1.	写真配布サービスの概要.....	36
5.2.2.	センサクラス.....	38
5.2.3.	プラットフォームのカスタマイズ.....	38
5.2.4.	プラットフォームのパラメータ設計.....	38
5.2.5.	実験結果.....	40
5.2.6.	考察.....	41
5.3.	Where 情報を活用したロボットサービス.....	42
5.3.1.	展示案内サービスの概要.....	42
5.3.2.	センサクラス.....	44
5.3.3.	プラットフォームのカスタマイズ.....	44
5.3.4.	プラットフォームのパラメータ設計.....	45
5.3.5.	実験結果.....	46
5.3.6.	考察.....	47
5.4.	What 情報を活用したロボットサービス.....	49
5.4.1.	体操補助サービスの概要.....	49
5.4.2.	センサクラス.....	50
5.4.3.	プラットフォームのカスタマイズ.....	51
5.4.4.	プラットフォームのパラメータ設計.....	52
5.4.4.1.	ユーザに関する What 情報記述.....	52
5.4.4.2.	サービスフローの記述.....	54
5.4.5.	サービスのコンテンツ.....	55
5.4.6.	実験結果.....	57
5.4.6.1.	環境内のセンサとの連携によるサービス実行管理.....	57
5.4.6.2.	Pull 型インタフェースによるロボット連携.....	58
5.4.6.3.	体操体験に関するアンケート結果.....	58
5.4.7.	考察.....	59
5.5.	異種センサを活用した複数地点を跨ったロボットサービス.....	61
5.5.1.	店舗紹介／クーポン配布サービスの概要.....	61
5.5.2.	センサ要件に基づいたセンサ配置.....	63
5.5.3.	実験結果.....	64
5.5.4.	考察.....	66
5.6.	物理サービスへの拡張.....	67
5.6.1.	物品運搬サービスにおける基本要件.....	67
5.6.2.	物品運搬サービスアプリケーションの枠組み.....	69

---

5.6.2.1.	センサとロボットの抽象化とサービス記述.....	69
5.6.2.2.	4W1H と属性に基づいたサービスアプリケーション開発の枠組み.....	71
5.6.3.	サービスアプリケーション開発プラットフォーム.....	73
5.6.4.	検証.....	79
5.6.4.1.	忘れ物防止サービス.....	79
5.6.4.1.1.	ロボット／センサとカスタマイズ.....	79
5.6.4.1.2.	検証結果.....	83
5.6.4.2.	音声指示サービス.....	85
5.6.4.2.1.	ロボット／センサとカスタマイズ.....	85
5.6.4.2.2.	検証結果.....	87
5.6.5.	考察.....	88
5.7.	まとめ.....	89
第 6 章	考察.....	90
6.1.	はじめに.....	90
6.2.	4W1H に基づくアプリケーションとハードウェアの階層化のシステム開発への効果.....	91
6.3.	4W1H に基づく枠組みのアプリケーション開発への効果.....	92
6.4.	4W1H に基づく共通機能のシステム開発への効果.....	94
6.4.1.	情報獲得機能のセンサ導入検討への効果.....	94
6.4.2.	サービスとロボットの選択機能のロボット拡張への効果.....	96
6.4.3.	サービス実行機能のロボット機能拡張への効果.....	98
6.5.	まとめ.....	99
第 7 章	結論.....	100
研究業績	.....	103
参考文献	.....	106
謝辞	.....	110

---

---

## 目次

Figure 1-1 Image of network robot service .....	2
Figure 1-2 Image of Kukanchi environment .....	2
Figure 1-3 Technical map of relation between scope and system structure .....	8
Figure 1-4 Technical map of relation between message exchange and data structure .....	9
Figure 1-5 Technical map of relation between framework and data structure .....	9
Figure 1-6 Informative service by collaboration of heterogenous robots, appliances, and sensors .....	11
Figure 1-7 Composition of chapters .....	14
Figure 2-1 Basic structure of network robot platform .....	16
Figure 2-2 Block diagram of connection unit .....	17
Figure 2-3 Example of FDML description .....	18
Figure 2-4 Example of CroSSML description .....	19
Figure 2-5 Block diagram of area management gateway .....	20
Figure 2-6 Basic structure of database .....	21
Figure 2-7 Service structure of network robot platform .....	22
Figure 3-1 Procedure to integrate user's 4W information .....	28
Figure 4-1 Difference in the scenario by robotic functions .....	31
Figure 4-2 Block diagram of scenario determination procedure (4W1H matching) .....	33
Figure 4-3 procedure for service scenario execution utilizing sensors' and robots' abstracted data .....	35
Figure 5-1 Overview of experimental setup for photograph delivery service at Osaka Science Museum .....	37
Figure 5-2 Experimental setup at photograph delivery area .....	37
Figure 5-3 Histogram of execution number of four types of service flow .....	40
Figure 5-4 Overview of experimental setup for exhibition-guide service at CEATEC2006 .....	42
Figure 5-5 System configuration for exhibition-guide service .....	43
Figure 5-6 Scene of capturing the robot ID tag by u-Photo .....	43
Figure 5-7 Example of robotic command for exhibition-guide service at CEATEC2006 .....	46
Figure 5-8 Dependencies of robotic services .....	47
Figure 5-9 Example of fully-dependent service .....	48
Figure 5-10 Example of quasi-independent service .....	48
Figure 5-11 Schematic of simple checkup services .....	49
Figure 5-12 Experimental setup of gymnastics experience area .....	50
Figure 5-13 Pull-type interface to access database .....	51
Figure 5-14 Sequence of shake-arm exercises .....	51
Figure 5-15 System log of gymnastics-support system .....	58
Figure 5-16 System structure of shop-guide and couponing service at UCW .....	62
Figure 5-17 Robots and sensors layout of shop-guide and couponing service .....	62
Figure 5-18 Common robotic command from NR-PF to communication robot (wakamaru) .....	65
Figure 5-19 Example of object delivery service .....	68
Figure 5-20 Robots, users and objects data based on 4W1H and properties .....	70

---

Figure 5-21 Service data description .....	70
Figure 5-22 Service development framework based on 4W1H and properties.....	72
Figure 5-23 Service development framework based on 4W1H and properties.....	75
Figure 5-24 Example of 4W data .....	76
Figure 5-25 Entity-relationship diagram of database of kukanchi component .....	76
Figure 5-26 Class diagram of object properties .....	77
Figure 5-27 Class diagram of robots' how data .....	77
Figure 5-28 Example of results of generated service data .....	78
Figure 5-29 Experimental setup.....	79
Figure 5-30 Sequence diagram of prevention service to leave a thing behind.....	81
Figure 5-31 Snapshots of implemented prevention service to leave a thing behind .....	84
Figure 5-32 Generated command list.....	84
Figure 5-33 Sequence diagram of voice-request service .....	86
Figure 5-34 Snapshots of implemented voice-request service.....	87
Figure 6-1 Relations among user's 4W information, robot's 4W1H information and service information .....	93

---

## 表目次

Table 3-1 Sensor classes based on 4W information.....	25
Table 3-2 Rule for each element of 4W information.....	28
Table 5-1 Sensor classes for photograph delivery service .....	38
Table 5-2 Outline of registration of users for photograph delivery service .....	39
Table 5-3 Outline of registration of services for photograph delivery service .....	39
Table 5-4 Outline of registration of robots for photograph delivery service.....	39
Table 5-5 Sensor classes for exhibition-guide service .....	44
Table 5-6 Outline of registration of services for exhibition-guide service.....	45
Table 5-7 Outline of registration of robots for exhibition-guide service.....	45
Table 5-8 Sensor classes for simple checkup services and gymnastics-support service .....	50
Table 5-9 Pattern of description of what info.....	52
Table 5-10 Description of hand motions .....	53
Table 5-11 Description of other motions.....	53
Table 5-12 Outline of state transit table of service flow for male .....	54
Table 5-13 Service sequence log of gymnastics-support system .....	57
Table 5-14 List of sensors and sensor classes at experimental setup .....	63
Table 5-15 System log at shop-guide and couponing service .....	64
Table 5-16 Activate condition of service of service selector component .....	82
Table 5-17 Registered service elements written on XML file of service selector component .....	82
Table 5-18 Object properties registered on GOODS_INFO table of Kukanchi component .....	82
Table 5-19 Robot properties registered on CLASS_ROBOT_INFO table of kukanchi component.....	82
Table 6-1 Implemented services and robots and sensors .....	91
Table 6-2 Implemented services and sensor classes.....	95
Table 6-3 Implemented services and robots .....	97

---

# 第1章 序論

## 1.1. 研究背景

少子高齢化，労働力人口の減少，安全・安心な社会の確保や，便利でゆとりのある豊かな生活の実現に向けて，ロボットに対する期待が高まっている．従来の産業用ロボット市場とは別に，非産業用の分野で今後活躍するロボットの市場規模は，飛躍的に成長すると予想されている[1]．この新しい応用分野は，家庭での生活支援，健康管理，交通・輸送，教育など多岐に亘る．既に，エンターテインメント・監視・清掃等の分野でそのような範疇に入るロボットは実用化されている．しかしながら，ユーザからのサービス要件と技術レベル間の解離はまだ大きく，このギャップをどのように埋めるかがロボット開発の大きな課題になっている．

このギャップを埋める解決策として，人が携帯する情報端末や環境に埋め込まれたセンサやデバイスなどとユビキタスネットワークを介してロボットが情報を相互に共有することで，ユーザからのサービス要件を満たすアプローチが有効と考える．このアプローチでは，連携・協調することで各種センサやデバイス，情報端末，ロボットが個々に持つ特徴を活かすことができるため，ロボット単体では実現が困難であった知能をより合理的に実現できると期待される．このようなアプローチを実現すべく，ネットワークロボットや空間知などの研究開発が進められている．

ネットワークロボットのイメージ図を Figure 1-1 に示す．ネットワークロボットは，ユビキタスネットワーク技術とロボット技術を融合させた革新的なシステムである[2]．即ち，コミュニケーションロボットなどの身体性のあるビジブル型ロボット，環境に埋め込まれたセンサやウェアラブルセンサなどのアンコンシャス型ロボット，PC 上のエージェントなどのバーチャル型ロボットと呼ばれる3種類のロボットが生活環境に遍在し，ネットワークを介して連携／協調し，単独のロボットでは成しえない高度なサービスを提供可能にしようとするものである．ネットワークを介してこれら3種類のロボットが連携することで，サービスの提供範囲が広域・多地点に拡張されるとともに，ロボット相互の機能や能力補完が可能となる．また，物理距離を超えた情報伝達や情報共有が可能となり，人とロボット，ロボット間の遠隔コミュニケーション，遠隔制御が可能となる．さらに，従来，限定的な用途で用いられていたロボットが分散システムの構成要素として組み込まれることで，汎用的な用途への展開が期待される．

空間知システムのイメージ図を Figure 1-2 に示す．空間知とは，環境に情報を埋め込むことで構造化し，環境内に分散する各種センサやデバイス，ロボットが連携する知能化空間を実現することで，その空間内の人やロボットの認知機能，環境や他者へ作用する身体的行為機能，情報処理機能などの機能的自己の拡張である[3]．この空間知により，たとえば，環境に埋め込まれたセンサとの連携による単機能なロボットの認識機能の拡張や把持能力を持つロボットとの連携による移動ロボットの機能拡張など，単体のロボットでの実現が困難なアプリケーションが容易に実現可能となる．

本研究はこのネットワークロボットおよび空間知の概念に端を発し，センサ，ロボット，情報端末が連携するアプローチでシステムを開発することで，非産業分野での新たなロボットサービスの創出を加速することに資すると考えたことが動機である．



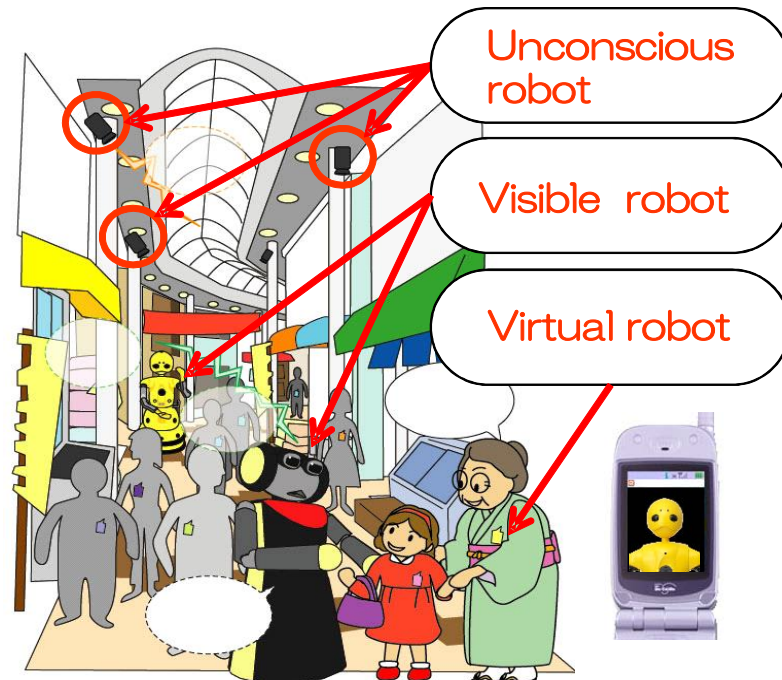


Figure 1-1 Image of network robot service

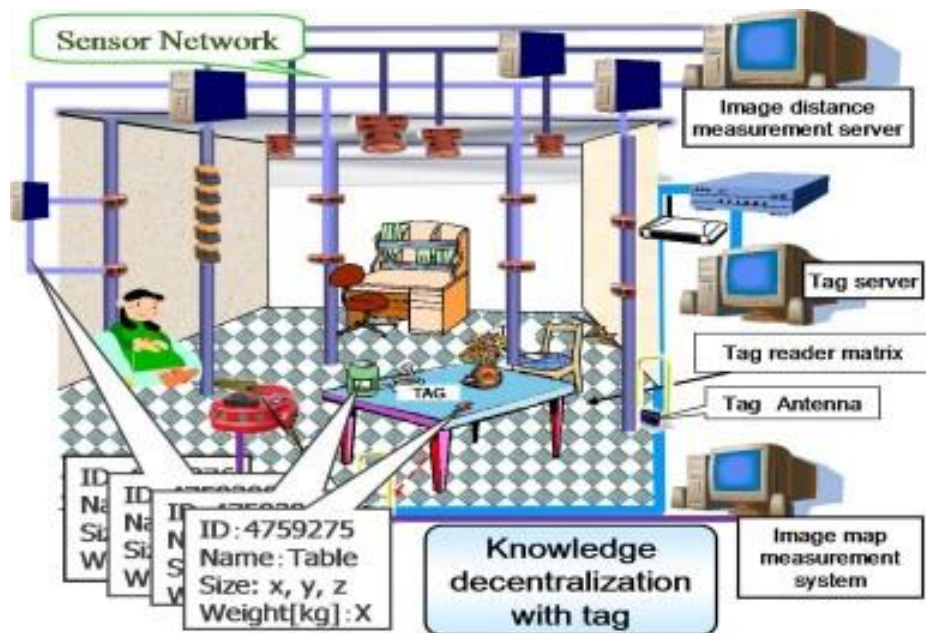


Figure 1-2 Image of Kukanchi environment

---

## 1.2. 研究動向

ネットワークロボットや空間知の概念で実現されたシステムを構成するセンサやロボットなどはそれぞれが様々な認識能力や外界との相互作用能力を持つ。それゆえ、システム開発者はこれらを踏まえながらシステム化することが必要となり多大な開発コストや期間を要する。また、ロボット自体も様々なセンサやアクチュエータ、それらを制御する各種処理プログラムなどの要素技術の集合体であり、ロボット単体の開発にかかる手間やコストも多大である。それゆえ、このような分散システムやロボットを効率的に開発するためのプラットフォームやミドルウェアが重要となる。以降では、これまでに研究開発されているプラットフォームやミドルウェアの動向を述べる。

ORiN[4]は主に生産・製造現場における工作機械などを対象に、メーカーや機種の違いを意識しないインタフェースをサービス開発者に提供するプラットフォームである。このアーキテクチャは CAO (Controller Access Object) Provider, CAO Engine から構成され、CAO Provider では各機器をコンポーネント化して通信手段やデータ構造の違いを吸収し、CAO Engine が提供する統一的な機器インタフェースを介してシステムを開発することを特徴とする。

RT-Middleware[6, 7]はネットワーク分散コンポーネント化技術を用いた共通プラットフォームである。RT-Middleware では、サーボモータやセンサ、カメラなどのデバイスや各種処理プログラムなどのロボット機能要素を RT コンポーネント化し、CORBA ベースの peer-to-peer 通信でそれらコンポーネントを連携させてシステムを開発する。様々なリソースをソフトウェア・コンポーネント化することでリソースの再利用性が高まり、効率的なシステム開発が可能となる。ORCA[5], ROS (Robot Operating System) [8-10], MARIE[11]でも同様に、アクチュエータやセンサなどのデバイスや各種処理プログラムをモジュール化／コンポーネント化しシステムを開発する環境を提供している。

Miro[12, 13]はデバイス層、サービス層、クラスフレームワークの3階層からなるオブジェクト指向ミドルウェアである。CORBA を用いて移動ロボットやセンサを分散コンポーネントとして扱い、分散環境でのロボットやセンサを用いたサービス開発を効率的に行う環境を提供している。

Player プロジェクトで開発されている Player, Stage, Gazebo[14, 15]はロボット、センサ、アクチュエータ、各種ライブラリ等を管理する Player, 2次元シミュレータの Stage, 3次元シミュレータの Gazebo から構成されるオープンソースのロボットシステム開発環境である。Player で開発されたロボット制御プログラムは修正することなく Stage や Gazebo と接続可能であり、シミュレータを活用した効率的なシステム開発を実現している。

Robot Studio[16]は NEC が開発した人とコミュニケーションを行うロボットのソフトウェア開発環境である。実環境で使える音声・顔画像認識機能などを機能モジュールとして用意し、シナリオやロボットのモーションを開発可能なツールが提供されている。また、RT-Middleware との連携も進められており、外部の RT コンポーネントとの相互アクセスを実現している[17]。

Microsoft 社が開発した Robotics studio[18]は CCR と呼ばれるモジュールの協調並列処理のランタイムと peer-to-peer での通信を特徴としたロボットシステム開発環境である。カメラや GUI などのロボットを構成する要素をオブジェクト指向のサービスとして開発し、それらサービスが相互にメッセージ交換することでロボットシステムを制御する。また、C#や Visual Basic などの.NET のプログラミング言語に加えて、プログラミングの経験の浅いユーザやプロトタイプ開発向けの Visual programming language での開発を可能としている。

NASREM (NASA/NBS Standard Reference Model) [19, 20]は、宇宙ステーションでの遠隔ロボット制御

---

---

システムのためのシステムアーキテクチャである。このアーキテクチャでは、タスク、ワールドモデリング、センサ処理からなる各機能をサーボレベルからサービスレベルに渡って階層化し、グローバルメモリを介した機能間や階層間の相互連携によりシステムを制御することが特徴である。また、各階層にオペレータインタフェースを具備し、階層レベルに応じたプログラミングやオペレータの介入などを可能としている。

RSi (Robot Services initiative) [21-24]では、「ネットワークを介してロボットが提供する情報サービス、もしくは物理的サービス」を「ロボットサービス」と定義し、ロボットサービスをインターネット経由で利用・共有するための RSNP (Robot Service Network Protocol) を提案している。RSNP は、疑似 Push などの Web サービス技術を活用した通信機能を提供する共通サービス、ロボットの動作シーケンスや実行条件などを定義するタスクプロファイル、プリミティブなロボットの動作などを定義するコマンドプロファイルなどで構成された基本サービスプロファイル、情報サービスや天気サービスなどの応用プロファイルからなるロボットサービスで構成される。また、マルチメディアプロファイルにより、カメラの画像情報やセンサデータ、音声入出力情報を扱うことも可能としている。Web サービス基盤をベースとしているため、Web サービスとロボットサービスのマッシュアップや Web サービス開発者によるロボットサービス開発など、新たなロボットサービスの創出が期待される。

総合科学技術会議科学技術連携施策群次世代ロボット連携群において、様々なロボットによるサービスを発掘することを目的とした「次世代ロボット共通プラットフォーム技術」の活動が展開されている [25]。その 1 つとして、次世代ロボットが人間と共生して種々の作業を行うことを可能とすべく、環境側にプログラムや情報、知識を埋め込んだ環境情報構造化プラットフォーム (ロボットタウン) が開発されている [26, 27]。ロボットタウンは TMS (Town Management System)、計測エンジン、ロボットから構成され、TMS はロボットおよび計測エンジンとネットワークを介して連携し、情報の収集・管理・提供を行う情報管理機構である。TMS 接続用 API (Application Programming Interface) のライブラリが提供されており、ロボットはこの API を介して位置、環境地図、RFID タグなどの環境情報を取得することができる。このプラットフォームを用いて、一戸建て住宅の実験環境で車椅子型ロボットを用いた荷物搬送や出向えのアプリケーションを実現している。

Middle layer for incorporating Sofbot and Mobot [28]では、PC や PDA などのネットワーク機器を行き来してユーザにサービスをする Sofbot、実環境下でサービスをする Mobot、環境に組み込まれた Embot の 3 タイプのロボットで構成された Ubibot を提案し、Sofbot と Mobot が連携してサービスをするミドルウェアを提案している。このミドルウェアは Sensor Mapper と Behavior Mapper を介して Sofbot と Mobot が連携することに特徴があり、Sofbot による Mobot のセンサデータの利用や Mobot を介した物理的なサービスを実現している。

PEIS-Ecology [29] は環境中に分散配置した移動ロボットやアクチュエータ、センサなどを相互に機能補完させるためのフレームワークを提供する。具体的には各種ハードウェアや処理プログラムを PEIS-component としてコンポーネント化し、独自の通信モデルに基づいた peer-to-peer 通信により自身の機能を補完するコンポーネントを発見し、それらが自律的に連携しながらサービスを実行するフレームワークを提案している。また、UPnP Robot Middleware [30, 31] ではコンポーネントの登録/発見を PC や各種機器で用いられている UPnP (Universal Plug and Play) で実現し、自律的なコンポーネント連携を実現している。

Intelligent Space [32] では、環境を計測するセンサ、プロセッサおよび外部との通信機能からなる DIND (Distributed Intelligent Network Device) を環境中に配置し、それらが peer-to-peer 通信をしながらユーザ

---

---

モニタリングや移動ロボットとマニピュレータとの連携などを実現している。また、RT-Middleware を用いて DIND を実装し、モジュール性の向上をさらに推し進めている[72]。

NOMEA[33] はメタアーキテクチャ、バザール方式の開発モデルのサポート、軽量なミドルウェアを特徴としたロボット開発プラットフォームである。モジュール・フレームワーク・接続層からなる階層型アーキテクチャで構成され、フレームワーク層ではマルチキャストとユニキャスト通信が可能なメッセージ指向フレームワークの提供やロボットの構成要素となるモジュールのグループ化やメッセージを利用したモジュール間連携のための API を提供する。接続層ではフレームワーク層で抽象化された実際のモジュールとの通信を P2P 仮想ネットワークで提供する。開発者はフレームワーク層で提供された API を用いてモジュールと定義ファイルを作成し、モジュール層に配置することで作成したモジュールを動作させる。このような構成でメタアーキテクチャを実現し、メッセージの送受信に基づくアーキテクチャによりバザール方式の開発モデルと軽量なミドルウェアを実現している。

Robotic Room[34]は、複数のロボット機能コンポーネントを部屋の環境に埋め込み、ユーザの状態モニタリングや日常生活支援をする環境型ロボットシステムである。この Robotic Room では、住居内に存在する様々なセンサ情報を包括的に記述することを目的に、センサ自体の特性情報やセンサが付けられている物体に関する知識、人間行動知識や外部知識を RDF (Resource Description Framework) で記述する方式を提案している[35-38]。また、Information Support Manager[39]では、予め記述されたセンサの仕様、経過時間に対する閾値、センサの組合せの関連ロジックなどを用いてセンサデータから居住者や部屋のイベントを判定し、プロジェクトで適切な場所に情報を提示するアプリケーションなどの開発も進められている。

URC (Ubiquitous Robotic Companion) [40-44]では、task manager, context manger, event system, sensor/service framework で構成される CAMUS[44]を開発し、sensor/service framework でセンサやロボットを抽象して扱うことを提案している。また、状態遷移モデルとルールベースモデルをサポートしている PLUE (Programming Language for Ubiquitous Environment) でシステムを開発する環境を実現している。

UNR-PF (Ubiquitous Network Robot Platform) [45, 46]では、エリア毎に配置された Local PF で担当エリア内のロボットやセンサを管理するとともに、Global PF が各 Local PF と連携して広範囲なエリアを管理するアーキテクチャを提案している。Local PF では、様々なセンサやロボットの機能をそのハードウェアや処理プログラムに依存しない機能コンポーネントとして抽象化し、ロボットやユーザに関する情報を Robot Registry, User Registry で管理する。そして、サービス要求に応じて Resource Manager がロボットやオペレータ、ユーザの状態などを参照し、適切なロボット選択とサービス提供を実現している。また、OMG (Object Management Group) で標準化されている RoIS (Robotic Interaction Service) [47]のフレームワークに準拠し、Global PF とアプリケーション間で標準化されたメッセージ交換に基づいてサービス開発を行うことが特徴である。この UNR-PF を用いて情報端末、移動ロボット、オペレータが連携しながら自宅からショッピングモールまでのツーリングサービスなどを実現している。

Spinning Sensors NW ミドルウェア[48]は、ハードウェアを抽象化するセンサ抽象化クラス/アクチュエータ抽象化クラス、それらを協調させるフュージョンクラス、それらを用いてアプリケーションを作成するための API からなるミドルウェアである。SANML (Sensor Actuator Network Markup Language) に記述されたネットワーク上の複数のセンサノードやアクチュエータノードの協調動作設定に基づいてフュージョンクラスがセンサとアクチュエータの協調動作を行う。SANML を用いることで、アプリケーション開発がプログラミング言語での開発に比べて簡便に行えることが特徴である。

uBlocks[49]は Acting Gate, Event Arrival Admission Gate, Event Departure Gate, Event Filtering Engine,

---

---

Sensing Gate, Modeling Gate で構成されたコンポーネントを用いた分散アプリケーション開発用ミドルウェアである。プログラマはコンポーネントで制御するデバイスとの通信処理を Acting Gate に実装するとともに、デバイスから環境情報を取得する方法を Sensing Gate で定義する。そして、予め登録されたコンポーネント間のコンフィグレーションを用いて Event Departure Gate が他のコンポーネントとの連携を行う。また、コンポーネント間の通信を RT/Dragon と呼ぶ通信メカニズムで実現し、柔軟性の高いリアルタイムな通信を実現している点も特徴である。

Gator tech smart house[50]では OSGi フレームワークを用いた Smart Space Middleware を開発している。このミドルウェアはセンサやアクチュエータなどのハードウェアをサービス化する Sensor Platform layer, Sensor Platform Layer のサービスを用いて新たなサービスを合成する Service Layer, サービスの登録や発見を推論エンジンで実現する Knowledge layer, アプリケーション開発者がコンテキストを登録する Context Management Layer, グラフィカルな統合開発環境を提供する Application Layer から構成される。また、RFID タグと組み合わせた Smart Plugs や Smart Floor などを実現し、スマートハウスの開発が進められている。

このように、多種多様なミドルウェアやプラットフォームが提案されている一方で、サービスロボットのための標準化も進められている。たとえば、OMG においては、RT-Middleware のオブジェクトモデル仕様を Robotic Technology Component 仕様[51]として標準化している。これにより、様々なロボット研究者や開発者が相互に協力しながら RT コンポーネント開発が進められるものと期待される。また、UNR-PF で導入している RoIS[47]のフレームワークや様々なサービスで基本となるロボットの位置記述 RLS (Robotic Localization Service) [52]も OMG において標準化されている。

---

### 1.3. 本研究の目的と課題

本節では前節で述べたプラットフォームやミドルウェアの現状を整理し、本研究の目的と課題および従来研究に対する本研究の位置づけを明らかにする。

多様なセンサやロボット、情報端末が連携したシステムを簡便に開発するためには、ロボットやセンサなどのハードウェアとそれらハードウェアを連携させてサービスを実現するサービスアプリケーション（サービス AP）間のインタフェースを定義し、ハードウェアとサービス AP の独立性を向上させることが有効である。ここで、サービス AP とは、「サービスを実現するための処理プログラムであり、ロボットやセンサからの機器やデバイスレベルの情報を、サービスを提供するロボットやサービスを提供されるユーザの観点で抽象化した情報を用いて開発された処理プログラム」と定義する。

このようなハードウェアとサービス AP を独立させた構造にすることでハードウェアの入替や更新などが容易になり、簡易なシステム開発が期待できる。この観点で分類したミドルウェア、プラットフォームのマップを Figure 1-3 に示す。縦軸はハードウェアとサービス AP の分離の有無である。横軸はロボット単体に閉じたシステム開発を指向しているもの、センサとロボットなどが連携したシステム開発を指向しているものとした。

Player や RoboStudio などは単体のロボット開発を目的としたミドルウェアであり、RT-Middleware や ROS などは単体のロボット開発に加えて、ロボットと各種センサなどを連携させた分散システム開発でも活用可能な汎用性の高いミドルウェアである。これらミドルウェアを利用することで、個々のロボットやセンサのソフトウェア開発を簡便に行えるようになる。Robot Town や Intelligent space などのミドルウェアやプラットフォームでは、環境に埋め込まれたセンサとロボットやロボット間の機能補完を実現し、ロボット単体では実現が困難であった知能の実現を可能としている。

一方、ロボットやセンサなどのハードウェアとサービス AP を階層化により分離しシステムを開発する ORiN や RSi, UNR-PF などのプラットフォームやミドルウェアも研究開発されている。これらを詳細に検討すべく、ハードウェアとサービス AP 間のメッセージ交換の定義の有無、そこで流通する情報構造の定義の有無、共通機能やサービス AP 開発の枠組みの提供の有無の観点で分類した結果を Figure 1-4 と Figure 1-5 に示す。URC や Gator tech smart house, Robotic Room ではサービス AP とハードウェアの分離を実現しているが、メッセージ交換の方式や情報構造の定義までには至っていない。RSi では Web サービス基盤をベースとした RSNP でプロトコルを定義し、WSDL (Web Service Description Language) でコミュニケーションロボットのタスクやコマンドの記述構造を定義している。しかしながら、センサなどに対する情報はカメラ画像やマイクで取得した音声データなどに限られており、更なる検討が必要と考える。一方、UNR-PF では OMG で標準化された RoIS のフレームワークに則ったメッセージ交換の仕組みを導入している。しかしながら、ハードウェアとサービス AP 間で流通する情報の構造までは定めていない。また、様々なサービス AP で共通的に用いられるリソース管理などの機能を提供し効率的なシステム開発環境を実現しているが、サービス AP を開発する枠組みまでは実現していない。ORiN では CAO で共通インタフェースを提供しているが、工場や製造現場などでのマニピュレータや PLC (Programmable Logic Controller) などを主に対象としており、サービスロボットへの展開までは十分に行われていない。また、リソース管理などの機能を提供しているものの、サービス AP を開発する枠組みまでは提供していない。

以上をまとめると、ロボット単体を簡便に開発する環境が整ってきていると言える。一方、ロボットやセンサなどが連携したシステム開発を志向したプラットフォームやミドルウェアに関しては、ロボッ

トだけでなくやセンサ，情報端末などを含めたハードウェアとサービス AP を規定された情報構造とメッセージ交換に基づいて分離してシステム開発をするものは実現されていない。また，共通機能の提供が試みられているが，サービス AP 開発の枠組みまでを提供するプラットフォームやミドルウェアは実現されていない。

以上の検討から，本研究では，サービス AP 開発の定型化をねらい，多様なセンサ・ロボット・情報端末などを連携させたサービス AP を簡便に開発可能な枠組みを明らかにすることを目的とする。そして，(1) 各種センサや情報端末，ロボットなどのハードウェアとサービス AP 間の情報構造を規定した階層構造によりそれらを分離し，(2) 様々なサービスで共通的に用いられる機能を提供しながらシステム開発が可能な枠組みを提供するプラットフォームの実現を本研究の課題とする。本研究の従来研究に対する位置付けは，Figure 1-3, Figure 1-4, Figure 1-5 の **MyWork** の箇所であり，規定した情報構造に基づいたサービス AP とハードウェアの階層化による分離，共通機能を活用したサービス AP 開発の枠組みを提供する点に特徴がある。ORiN と RSi とは共通機能を活用したサービス AP 開発の枠組みでシステム開発する点が異なる。また，ORiN とは対象とする機器が各種センサやデバイス，サービスロボットである点も異なり，RSi とはコミュニケーションロボットだけでなく各種センサの情報構造も定義している点が異なる。

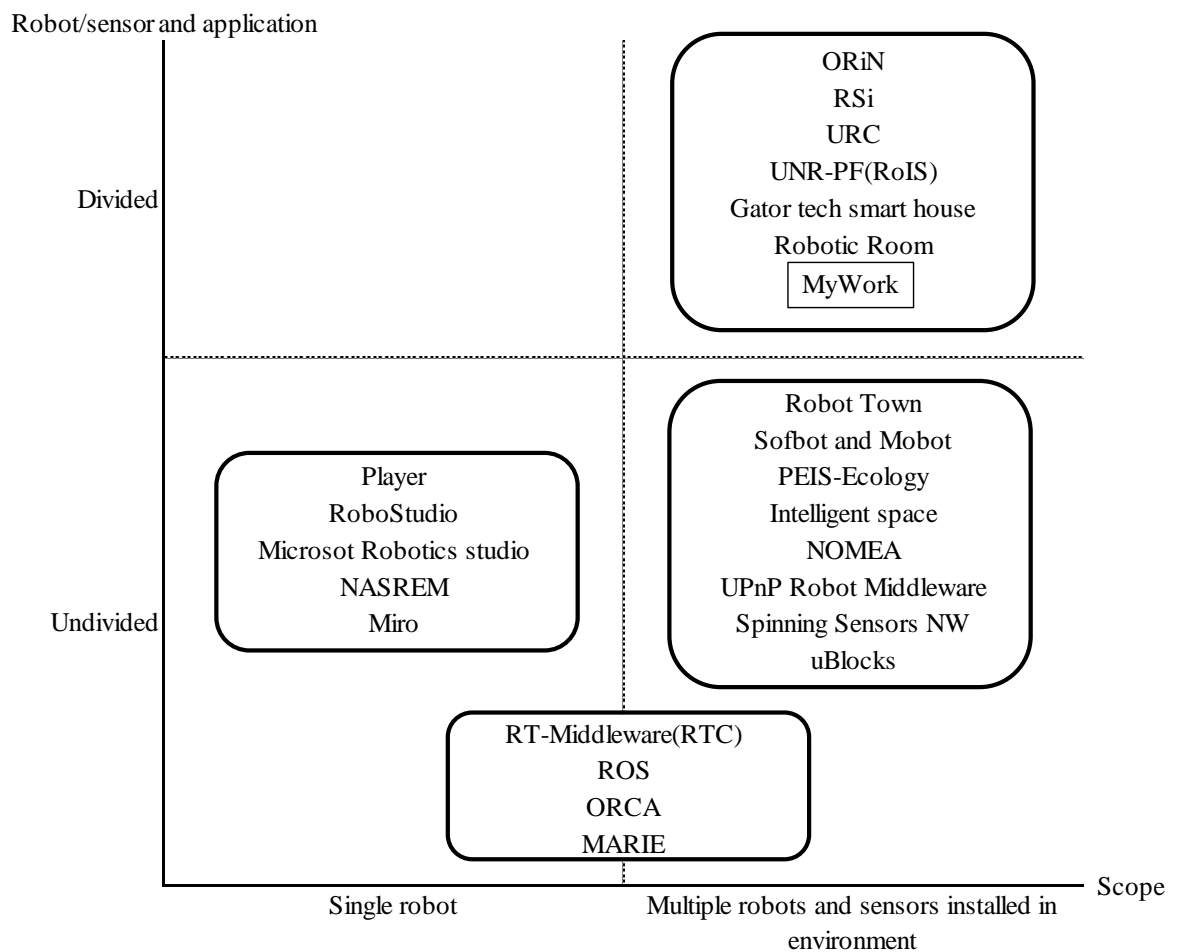


Figure 1-3 Technical map of relation between scope and system structure

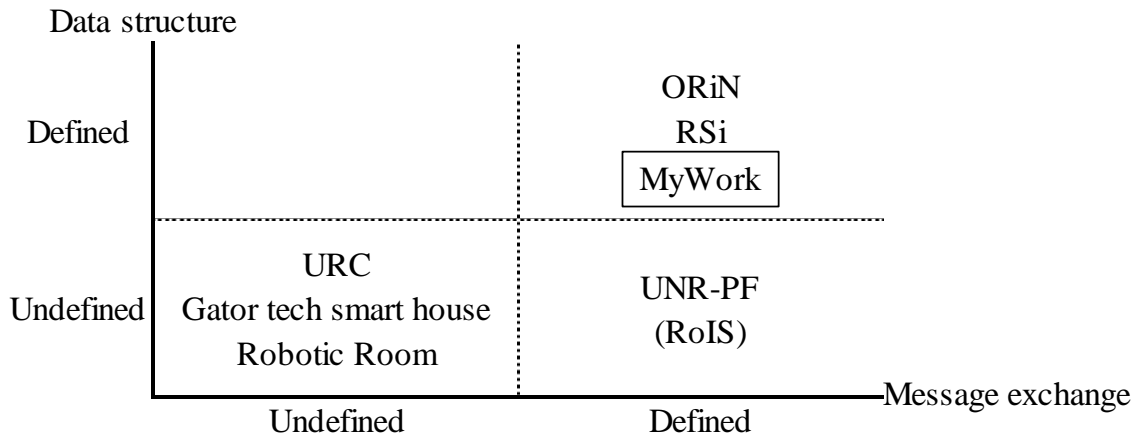


Figure 1-4 Technical map of relation between message exchange and data structure

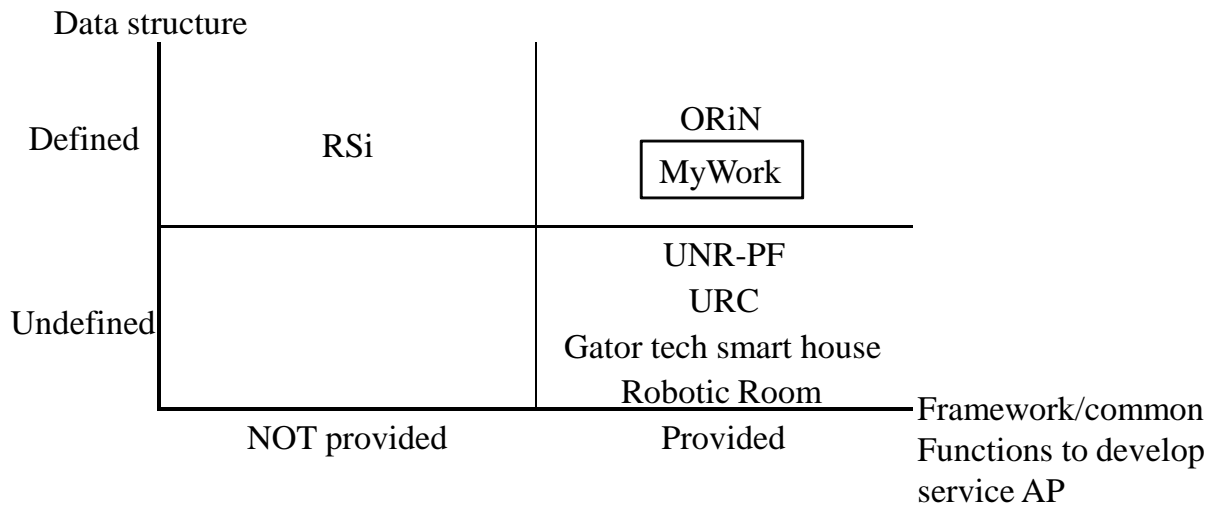


Figure 1-5 Technical map of relation between framework and data structure



---

## 1.4. サービス対象

ハードウェアとサービス AP 間の情報構造は開発するサービスに強く依存する。そこで、本節では本研究で対象とするサービスを論じるとともに、類似サービスを各種センサやロボット、情報端末を用いて開発するときの共通的な機能を整理する。

ロボットサービスをユーザの日常生活を支援することと狭義に定義すると、ロボットサービスは物理サービスと情報サービスに分類できる。物理サービスとは、住居などにおいて居住者からの要求に応じて移動ロボットが物を運搬するなど、ユーザからの要求や状況に応じてロボットが物に物理作用を及ぼすことで実現されるサービスのことである。情報サービスとは、ショッピングモールでの案内や店舗紹介など、ユーザからの要求や状況に応じてロボットが情報を提示することで実現されるサービスのことである。物理サービスと情報サービスを比較すると、ロボットがユーザからの要求や状況に応じて動作することが共通する点であり、物理サービスでは物への物理的作用を及ぼし、情報サービスではユーザと相互作用する点が異なる。情報サービスは幅広い年齢層のユーザを対象としたサービスであり、また、提示するコンテンツもショッピングモールでの店舗案内や商品紹介、屋外での道案内など多岐に渡り、我々の日常生活の中で適用範囲の広い基本的なサービスと考える。そこで、本研究では対象とするアプリケーションの範囲を情報サービスに定めてプラットフォームを実現し、それを発展させて物理サービスへの展開を図る。

以降ではロボットをユーザに作用を及ぼすものと広義な意味で使い、いわゆるコミュニケーションロボットだけではなく、合成音声でユーザに情報提示する目的で用いられる環境に埋め込まれたスピーカや音声合成でユーザに話しかけることを目的に用いられる情報端末上のソフトウェア・エージェントなども含めるものとする。また、センサを周囲の情報を獲得するものと広義な意味で使い、環境に埋め込まれた床センサや RFID タグリーダだけでなく、ユーザの情報獲得を目的としたコミュニケーションロボット、加速度センサや GPS でユーザの状況を獲得する目的で用いられる情報端末上のエージェントなどもこれに含めるものとする。以降では、情報サービスに対する共通的な機能を整理する。

ネットワークを介して様々なロボットやセンサが連携して実現される情報サービスの典型例を Figure 1-6 に示す。これはショッピングモールや駅といった公共施設や展示会場などで、不特定多数のユーザを対象に情報提供や案内サービスを行う例である。個々のセンサやロボットがネットワーク化されることで、サービスの提供範囲が拡張され広域・複数地点を跨ってサービスが提供される。それゆえ、ユーザが別の地点へ移動しても、ロボットが同じ説明の繰り返しや的外れな情報提供することなく継続的にサービスを提供することが重要となる。そのためには、各ロボットが提供したサービス内容を他のロボットと情報共有できることが様々なサービスで必要となる。

それぞれの地点で行われるサービスは、情報獲得、サービスとロボットの選択、サービス実行が基本パターンであると考えられる。情報獲得とは、センサによるサービス実行に必要なユーザ情報を獲得することである。サービスとロボットの選択とは、獲得したユーザ情報に応じたサービスとシナリオの決定およびそのサービスを実行するロボット選択のことである。サービス実行とは、選択されたロボットとユーザの相互作用による情報提供を意味する。以降では、これらを多様なロボットや情報端末、各種センサを用いて開発するときの類似サービスに共通的な機能を整理する。

### (a) 情報獲得

情報獲得手段として、RFID タグリーダや IC カードリーダなどのように ID を取得するセンサ、床セ

ンサのように位置を取得するセンサ, 加速度センサや GPS を具備したスマートフォンなどが考えられる。これらはそれぞれの特徴により取得可能な情報が限られており, ユーザの様々な情報を 1 台のセンサで獲得することは期待できない。また, センサには屋外/屋内などの使用する環境に応じて様々なものが開発されており環境に応じたセンサの導入が必要となる。それゆえ, サービス実行に必要な情報を環境に応じたセンサを組み合わせることで獲得しなければならない。これを簡便に実現するためには, センサの組合せを固定化することなく, 組み合わせに応じてユーザの情報を充足し完備する機能が様々なサービスで重要となる。

### (b) サービスとロボットの選択

ユーザに情報提供するロボットはコミュニケーションロボットや移動ロボットなど, 様々なものが想定される。システムを構成するそれらは有限であるため, これらリソースを有効に使うことが重要となる。そのためには, ユーザとロボットの組み合わせを固定化することなく, サービスを提供するロボットとユーザの組合せをサービス実行時の状況に応じて適応的に決定することが必要となる。ここで留意すべき点はそれぞれのロボットが有する機能は多種多様であることである。たとえば, コミュニケーションロボットであれば音声合成やジェスチャ機能を有し, 移動ロボットであれば移動機能を有する。また, 情報端末であれば音声合成機能やアニメーション再生機能を有する。それゆえ, この機能の多様性を考慮しながら状況に応じて適応的にロボットを決定する機能が様々なサービスで必要となる。

### (c) サービス実行

加速度センサを用いて歩行状況を認識するスマートフォン[53]や, カメラを用いてユーザの動きを認識する Microsoft 社の Kinect[54]のように, センサには様々なものが活用可能である。これらセンサからの情報をロボットにフィードバックできれば, ロボット単体では得られない情報に基づいたユーザへのサービス提供が可能となる。そのためには, 外部のセンサとロボットの組み合わせを固定化することなく, サービス実行主体のロボットと環境中の様々なセンサを柔軟に連携させる機能が必要である。サービスの高度化を簡便に実現するためには重要な機能と考える。

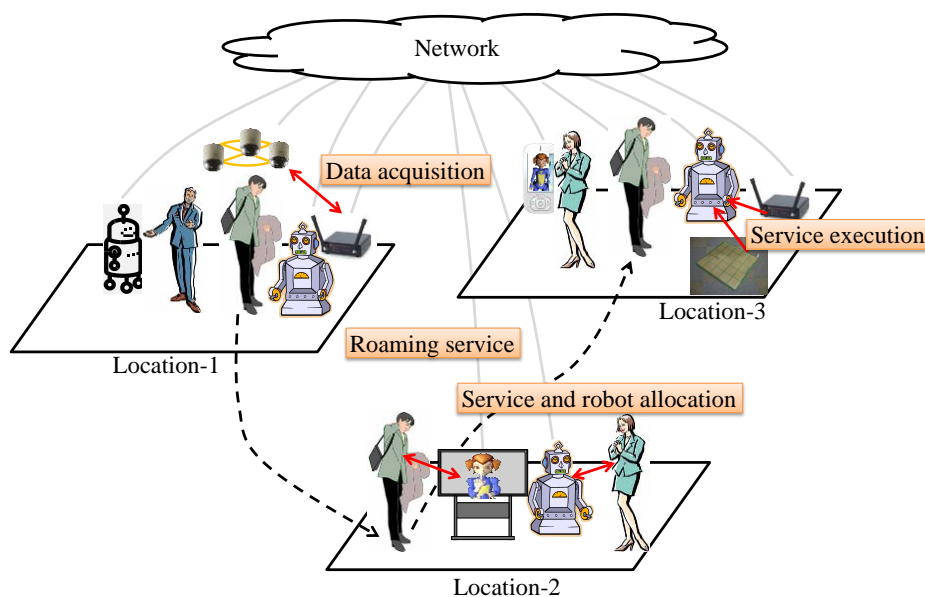


Figure 1-6 Informative service by collaboration of heterogenous robots, appliances, and sensors

---

## 1.5. 本研究のアプローチ

本研究では、アプリケーションレベルで抽象化した情報を介して、各種センサやロボット、情報端末などのハードウェアとサービス AP の階層化により分離するアプローチでプラットフォームを構成する。具体的には、ユーザに関する 4W (Who: 誰が, When: いつ, Where: どこで, What: 行為や振る舞い, 意図や目的) とロボット自身の 4W1H 情報 (Who: 誰が, When: いつ, Where: どこで, What: 状態, How: ロボット自身が具備する機能) に基づいてサービス AP を開発する枠組みをプラットフォームに構成する。すなわち、センサやロボットを直接制御しユーザとロボットに関する 4W 情報を上位層と共通プロトコルで交換する接続ユニット, エリア内のセンサやロボットを管理するとともにサービス AP の実行管理を行うエリア管理ゲートウェイ (エリア管理 GW), 全エリアのユーザとロボットの 4W1H 情報を一元管理する認証データベースからなる NR-PF (ネットワークロボット・プラットフォーム) を実現する。

そして、エリア管理 GW では 4W1H 情報を用いた枠組みでサービス AP 開発を行うとともに、4W1H 情報を用いて 1.4 節で検討した以下の共通機能を実現しその枠組みで活用する。

- ・多地点連携：ロボット間情報共有
- ・情報獲得：センサの組み合わせによるサービス実行に必要なユーザ情報の充足完備
- ・サービスとロボットの選択：ロボットの機能を考慮したサービスとロボットの選択
- ・サービス実行：サービス実行主体のロボットの多様なセンサとの連携

具体的には、『多地点連携：ロボット間情報共有』に対しては、認証データベースからユーザの Who 情報をキーに他のロボットが行ったサービス履歴を取得し、サービスを実行するロボットに履歴情報を共有させる仕組みを実現する。

『情報獲得：センサの組み合わせによるサービス実行に必要なユーザ情報の充足完備』に対しては、同一ユーザに対する異なるセンサの観測結果は ID または時空間が一致することに着目して、4W1H 情報の中の Who/When/Where 情報をキーにユーザ単位で 4W 情報を統合する仕組みを実現する。以降ではこの共通機能を 4W 情報統合と呼ぶ。

『サービスとロボットの選択：ロボットの機能を考慮したサービスとロボットの選択』に対しては、ユーザが所望する情報は個人や場所、ユーザの行為や振る舞いに関連したものが多くことに着目し、ユーザの Who/Where/What 情報に基づいてサービスを選択し、ユーザと時空間 (When/Where 情報) を共有するロボットの中から具備する機能 (How 情報) でプライオリティの最も高いシナリオを実現できるロボットを選択する仕組みを実現する。以降ではこの共通機能を 4W1H マッチングと呼ぶ。

『サービス実行：サービス実行主体のロボットの多様なセンサとの連携』に対しては、ロボットの作動はユーザの行為や振る舞いに応じて決定することが基本であることに着目し、ロボットとユーザの振る舞いや動作 (What 情報) で構成されたシナリオを外部のセンサが獲得した情報 (What 情報) で制御する仕組みを実現する。以降ではこの共通機能をサービス実行管理と呼ぶ。

このように、4W1H に基づいたサービス AP とハードウェアの階層化による分離により、サービス AP 開発者はハードウェアを意識することなくサービス AP を開発可能となる。ハードウェア開発もサービス AP を意識することなく、ロボットや各種センサ、情報端末などの各ハードウェアの特徴を活かした機能開発に専念することができる。また、サービス AP とハードウェアの独立性が向上するため、ロボットやセンサの変更や更新に柔軟に対応でき、開発時間の短縮化などが期待できる。本研究の新規性は、ユーザとロボットに関する 4W1H で構造化/抽象化した情報に基づいてサービス AP とハードウェアを

---

---

階層化して分離している点、ユーザとロボットに関する 4W1H 情報を用いた枠組みでサービス AP 開発を行う点、4W1H に基づいた共通機能（多地点連携・情報獲得・サービスとロボットの選択・サービス実行管理）を用いてサービス AP 開発を行う点にある。

## 1.6. 本論文の構成

本論文の構成を Figure 1-7 に示す。第 2 章では、ユーザとロボットに関する 4W1H 情報を介してハードウェアとサービス AP が階層化したプラットフォームの基本構造を述べるとともに、4W1H 情報に基づいたサービス AP 開発の枠組みを論じる。第 3 章では、『情報獲得：センサの組み合わせによるサービス実行に必要なユーザ情報の充足完備』をユーザの 4W 情報で実現する 4W 情報統合を述べる。具体的には、様々なセンサを体系的に扱うためのセンサクラスを検討し、Who/When/Where に着目したセンサの組合せに応じた情報獲得の方式を述べる。第 4 章では、『サービスとロボットの選択：ロボットの機能を考慮したサービスとロボットの選択』をロボットの 4W1H 情報、ユーザの 4W 情報、サービスに関する情報を組み合わせて実現する 4W1H マッチングを述べる。また、『サービス実行：サービス実行主体のロボットと多様なセンサの連携』をユーザとロボットの What 情報で構成されたシナリオを様々なセンサからの What 情報で制御することで実現するサービス実行管理を述べる。第 5 章では、第 2 章から第 4 章で述べた 4W1H に基づくサービス AP 開発の枠組みを用いて開発したロボットサービスを述べる。具体的には、Who 情報、Where 情報、What 情報に着目したロボットサービス、異種センサを活用した複数地点を跨ったサービスを実証実験で検証し、4W1H に基づく枠組みを用いたサービス開発を検証する。また、4W1H のサービス AP 開発の枠組みを、情報サービスだけでなく物品運搬などの物理サービスにも拡張利用する AP 開発の枠組みを述べ、4W1H の枠組みを用いたサービス AP 開発の有効性を検証する。第 6 章では、第 5 章で述べた実証実験の結果に基づいて、4W1H に基づいた枠組みのアプリケーション開発やシステム開発への効果を考察する。第 7 章でまとめを記す。

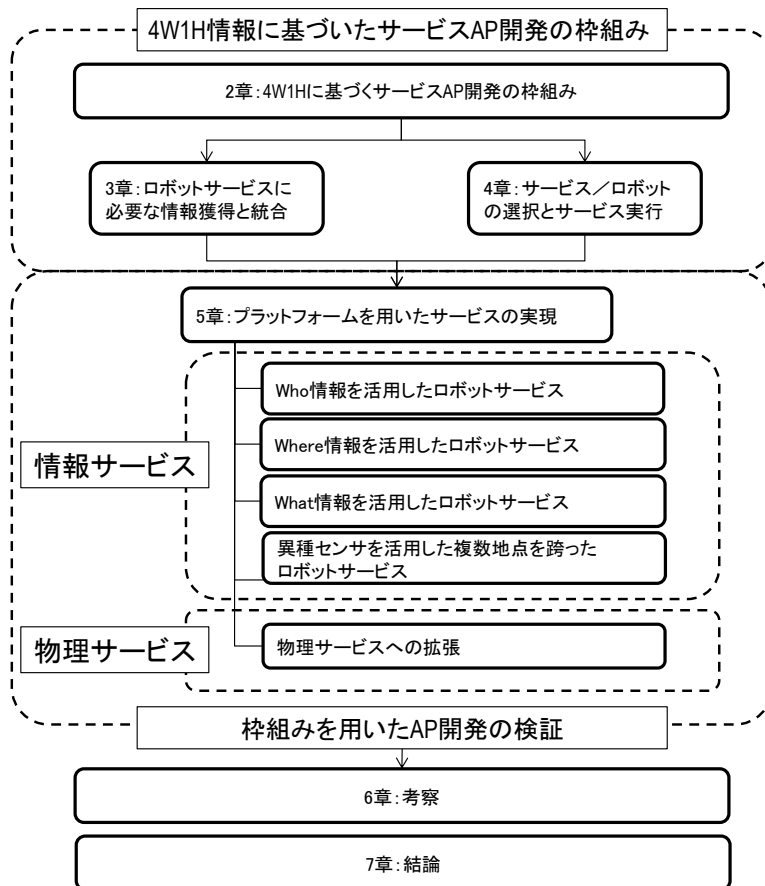


Figure 1-7 Composition of chapters

---

## 第2章 ロボットサービス開発のためのプラットフォーム

### ホーム

#### 2.1. はじめに

本章では、各種センサ、ロボット、情報端末などの情報をユーザとロボットに関する 4W1H 情報で抽象記述することを論じる。ついで、4W1H 情報に基づいた各種センサやロボットなどのハードウェアとサービス AP の階層化および共通機能を用いたサービス AP 開発を特徴とした NR-PF の基本構造を述べる。また、NR-PF を用いたサービス AP 開発の枠組みを論じる。

#### 2.2. 4W1H に基づくデータの抽象化

Figure 1-6 に示すような情報サービスでは、たとえば、ショッピングモールに初めて来たユーザとリピーターの場合では知りたい情報が異なると考えられ、ユーザにカスタマイズすることが重要となる。また、ユーザが案内所にいる場合とある店舗の中にいる場合ではユーザが所望する情報は異なると考えられる。さらに、ウィンドウショッピングに来た／食事に来たなど、ユーザのその時の意図や目的によってもユーザが所望する情報は異なる。加えて、立ち止まった／立ち去ったなど、その時の振る舞いや行為に応じてロボットの振る舞いを制御することも重要となる。そこで、本研究では、センサが獲得した情報を以下のような 4W で抽象化してロボットサービスを開発することを考える。このようにユーザに関する 4W 情報に抽象化することで、例えば Who 情報を活用した個人に応じたサービスの開発や Where 情報を活用した場所に応じたサービスの開発、複数の W を活用したサービス開発など、バリエーションに富んだサービスの開発が簡易に行えるようになる。

##### (a) センサが獲得した 4W 情報

Who 情報：ユーザの固有名称や固有 ID

When 情報：ユーザが観測された時刻

Where 情報：ユーザがいる場所や座標値

What 情報：ユーザの意図や目的、ユーザの振る舞いや行為

ロボットに関しては、たとえば、コミュニケーションロボットであれば音声合成機能やジェスチャ機能を具備し、情報端末上のソフトウェア・エージェントであれば音声合成やアニメーション再生機能などを有しており、ロボット毎に具備する機能が異なる。そこで、ロボットからの様々な情報を 4W で抽象化するとともに、これら機能を How で表記した 4W1H でロボットに関する情報を扱うこととする。この 4W1H の各要素の定義を以下に記す。以降では、これら情報を用いたサービス AP 開発のためのプラットフォームの基本構造を述べる。

##### (b) ロボットの 4W1H 情報

Who 情報：ロボットの固有名称や固有 ID

When 情報：ロボットがデータ出力した時の時刻

Where 情報：ロボットがいる場所や座標値

What 情報：ロボットの状態

How 情報：ロボットが具備する機能

## 2.3. プラットフォームの基本構造

ユーザとロボットに関する4W1H情報に基づいてサービスAPとハードウェアを階層化したNR-PFの基本構造をFigure 2-1に記す。このプラットフォームは、(1) 認証データベース、(2) エリア管理ゲートウェイ (エリア管理GW)、(3) 接続ユニットからなる。接続ユニットはエリア管理GWとハードウェア間の通信プロトコルを共通化し、機器依存の情報を4W1Hに抽象化してハードウェアとエリア管理GWを連携させる。エリア管理GWは自身がカバーする範囲のセンサやロボットをユーザとロボットに関する4W情報で管理するとともに、開発されたサービスAPの実行管理を行う。認証データベースは、各エリア管理GWで管理しているユーザおよびロボットの4W情報をそれぞれユーザデータベースとロボットデータベースで管理し、ロボットがユーザに提供したサービスを蓄積・共有することで、地点を跨ったデータ管理とロボット間の情報共有を可能とする。

このように、サービスAPが実装された上位層 (エリア管理GW・認証データベース) とハードウェアが接続ユニットを介して連携する構造であるため、センサやロボットの変更や更新に対しても柔軟に対応でき、開発期間の短縮などが見込める。また、上位層では4W1H情報を用いたサービスAP開発や情報蓄積が実現され、ハードウェアに依存しない汎用的なサービスAP開発が実現できる。以降では、各階層の概略を述べるとともにサービスAP開発の枠組みについても論じる。

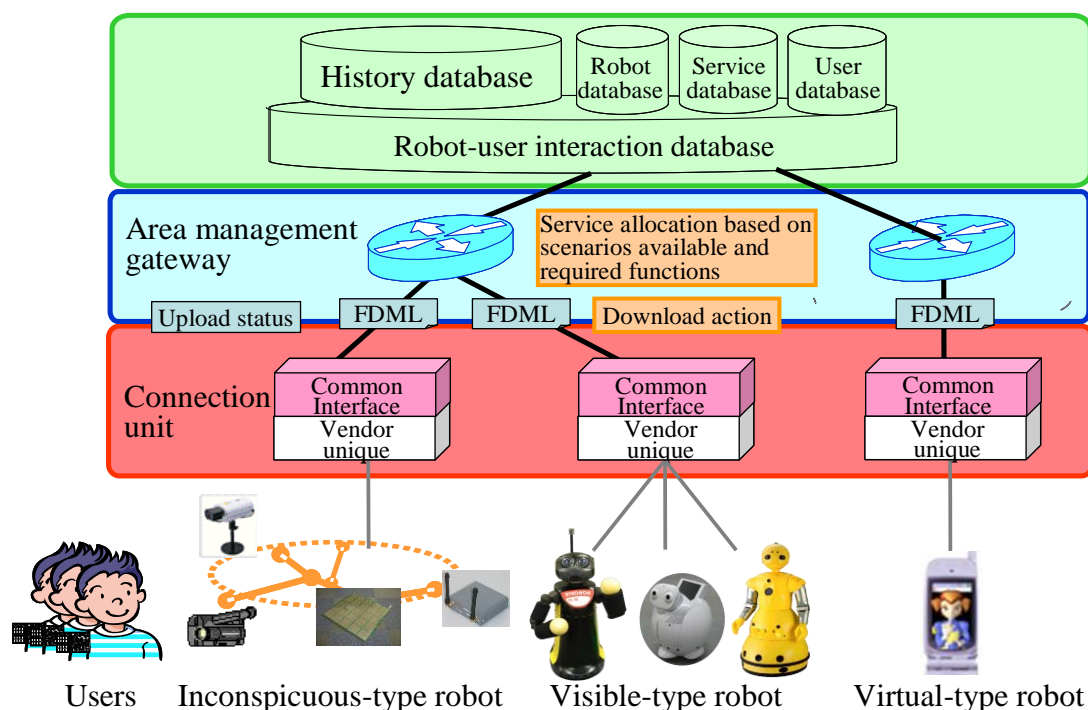


Figure 2-1 Basic structure of network robot platform

## 2.3.1. 接続ユニット

### 2.3.1.1. 機能

接続ユニットの機能ブロック図を Figure 2-2 に示す。接続ユニットは以下の機能によってエリア管理 GW とセンサやロボットなどのハードウェアを連携させる。

- (1) 機器依存のプロトコルでロボットやセンサと直接通信してデータを受信し、それぞれロボットとユーザに関する 4W 情報に変換し、上位のエリア管理 GW にアップロードする機能。ロボットに関しては状態（アイドリング中／サービス実行中／利用不可など）を一定周期でアップロードし、ロボットの状態管理をエリア管理 GW で行う。通信は Web サービスで標準の HTTP の POST メソッドで実現し、通信機能の実装の効率化を図ることとした。
- (2) 上位のエリア管理 GW から送信されたロボット共通コマンドを機器固有のコマンドに変換し、機器依存プロトコルで送信する機能。ロボット共通コマンドはエリア管理 GW から接続ユニットへイベントドリブンで通知される。実現方法として Web サービス技術の疑似 Push などが考えられるが、HTTP コネクションの維持によるリソース負荷が大きい。本研究では多数のロボットの管理を想定するため、処理の軽い Socket 通信で実装することとした。

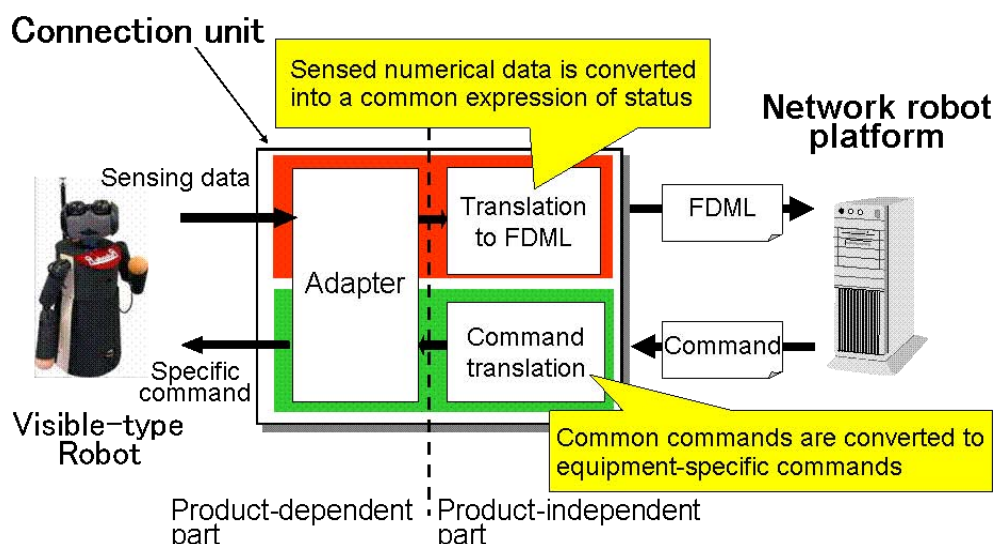


Figure 2-2 Block diagram of connection unit

### 2.3.1.2. FDML を用いた 4W 情報記述

接続ユニットからエリア管理 GW へアップロードされる 4W 情報の記述言語として、FDML (Field Data Markup Language) [55]に着目した。FDML は製造現場や生産現場の工作機械などの状態情報をサーバで効率的に収集することを目的に、NTT が開発した XML (Extensible Markup Language) ベースの機器データ記述言語である。FDML の記述例を Figure 2-3 に示す。この FDML はシステム情報を記述する<Info>タグ、データの定義をする<Definition>タグ、データ値を記述する<Data>タグからなる。<Info>タグでは<System>タグなどに機器のシステム情報などが記述可能である。<Definition>タグでは<Channel>タグを用いてデータを取得した物理的チャンネルやその論理チャンネルが記述可能であり、また、<Name>タグや<Type>タグなどに論理チャンネルに対するプロパティが記述できる。<Data>タグでは<time>タグに時刻を記述し、<value>タグに各論理チャンネルに対応した値を記述することが可能である。<time>タグによって



同時に取得された値に一括で時刻を付与できることが特徴であり、When 情報を含む 4W 情報を記述することに適している。本研究では、Figure 2-3 に示すように<Definition>タグの論理チャンネルに Who, What, Where の各要素を定義し、<time>タグに When 情報を記述し、<value>タグに各 W の値を記述することとした[56]。

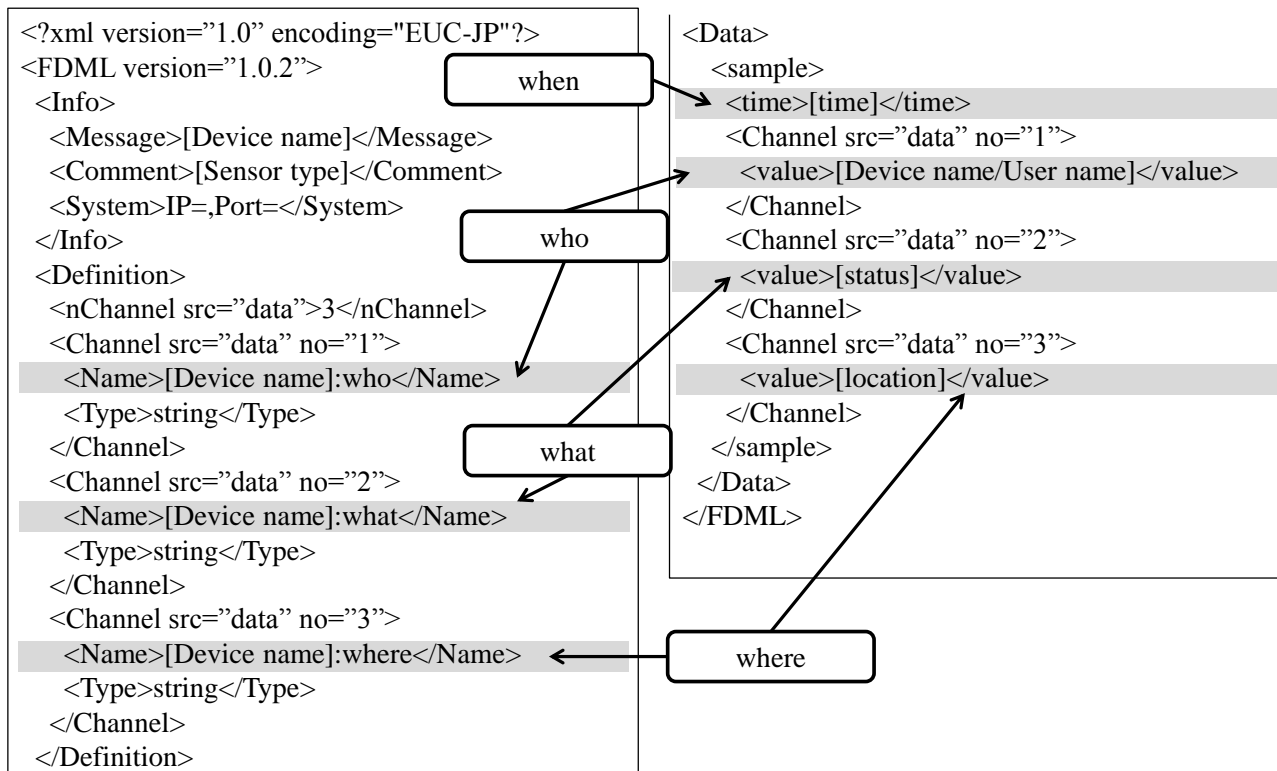


Figure 2-3 Example of FDML description

### 2.3.1.3. 拡張した CroSSML を用いた共通ロボットコマンド記述

ロボットサービス開発においては、単一のシステムに閉じることなく、他の Web サービスと連携することでより高度なサービスが実現できると期待される。そこで、プラットフォームから出力される共通ロボットコマンドとして CroSSML (Domain Cross Over Services Markup Language) [57]に着目した。CroSSML はネットワークロボットやユビキタスサービスなど異なるドメイン間でサービスを連携させることを目的として、ネットワークロボットフォーラムの技術部会において岩井らにより提案されたサービスの登録・利用に関わるフォーマットである。本プラットフォームでは、CroSSML のタグにコマンドとユーザが受けたサービス履歴を記述するタグを拡張して利用することとした[56]。

Figure 2-4 に共通ロボットコマンド用に拡張した CroSSML の記述例を示す。<head>タグ中に起動すべきサービス名、場所、ユーザ名、ユーザの状態を記述し、<jobRequest>タグに実行するコマンドやそのパラメータなどを記述し、<history>タグに過去に受けたサービス履歴を記述することとした。このようにユーザが受けた過去のサービスを共通コマンドに記述し、サービスを実行するロボットと共有することで、他の地点で提供された情報を引き継いで継続的なサービス実行が可能となる。

<service>	
<head>	
<naming>	
<nickname>[Parent service name]</nickname>	Service name
</naming>	
<location>	
<area>[Location name]</area>	Location (User.where)
</location>	
<author>	
<fullname>NTT Cyber Solutions Labs</fullname>	
</author>	
<launcher>	
<fullname>[User's global name]</fullname>	User name (User.who)
<nickname>[User's temporary name]</nickname>	
<depiction>[User status]</depiction>	User state(User.what)
</launcher>	
</head>	
<body>	
...	
<NWR>	
<jobRequest target="all">	
[Task name] command:[Service name] [Parameters]	Command (Robot.how)
</jobRequest>	
<history>	
....	
<requestedJob>	
<time>[time]</time>	Time (User.when)
<area>[Location name]</area>	Location (User.where)
<target>[Device name]</target>	Robot name (Robot.who)
<service>	
<serviceName>[Parent service name]</serviceName>	
<jobName>	Service (Robot.how)
[Task name] command:[Service name] [Parameters]	
</jobName>	
<jobStatus>[Result of command]</jobStatus>	Result of command
</service>	
</requestedJob>	
....	
</history>	
</NWR>	
</body>	
</service>	

Figure 2-4 Example of CroSSML description

## 2.3.2. エリア管理ゲートウェイ

エリア管理 GW の機能ブロック図を Figure 2-5 に示す。エリア管理 GW は 4W 情報統合, 4W1H マッチング, サービス実行管理の共通機能の提供と開発したサービス AP の実行管理を行う。

4W 情報統合は「情報獲得」に関する共通機能を提供する。具体的には、接続ユニットからアップロードされた FDML をパースしてユーザとロボットに関する 4W 情報を取得する。ついで、同一のユーザを異なるセンサが獲得した ID や時空間情報は一致することに着目し、複数のセンサが獲得したユーザの 4W 情報の中で Who 情報と Where-When 情報が一致する 4W 情報をユーザ単位で統合する。これを活用することで、センサの組み合わせによるサービス実行に必要なユーザ情報の充足完備が実現可能となる。

4W1H マッチングは「サービスとロボットの選択」に関する共通機能を提供する。具体的には、ユーザが所望する情報は個人、場所、ユーザの行為や振る舞いに依存したものが多いことに着目し、ユーザの Who 情報, Where 情報および What 情報に基づいて登録されたサービスの中から適切なサービスを選択する。ついで、ユーザと時空間を共有するロボットの中から具備する機能でプライオリティの最も高いシナリオを実現できるロボットを選択する。この機能を用いることで、ユーザ情報に応じたサービスシナリオ選択とその時点で適切なロボット選択が簡便に実現可能となる。

サービス実行管理は「サービス実行」に関する共通機能を提供する。具体的には、ロボットの作動はユーザのその時の行為や振る舞いに応じて決定することが基本であることに着目し、ロボットとユーザの What 情報で構成されたシナリオを環境内のセンサが獲得した What 情報で制御する。そして、CroSSML で記述されたロボット共通コマンドを生成して Socket 通信で接続ユニットにダウンロードする。この共通機能により、サービス実行主体のロボットの多様なセンサとの連携が簡便に実現できる。

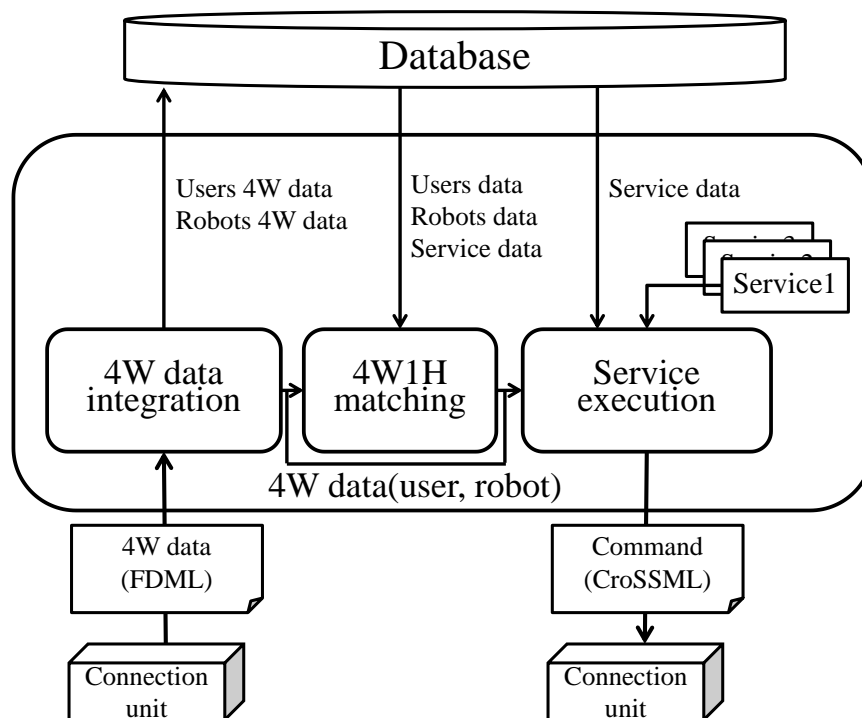


Figure 2-5 Block diagram of area management gateway

### 2.3.3. 認証データベース

認証データベースの基本構造を Figure 2-6 に示す。データベースはユーザデータベース、ロボットデータベース、サービスデータベース、履歴データベースから構成する。ユーザデータベースではエリア管理 GW が生成したユーザに関する 4W 情報を蓄積する。ロボットデータベースはロボットに関する 4W 情報を蓄積するとともに、ロボットが保有する機能を How 情報として管理する。また、サービスは Parent service, Task, Service Flow, Service Transition からなる階層構造で管理することとした。以降では、これらを用いたサービス開発を述べる。

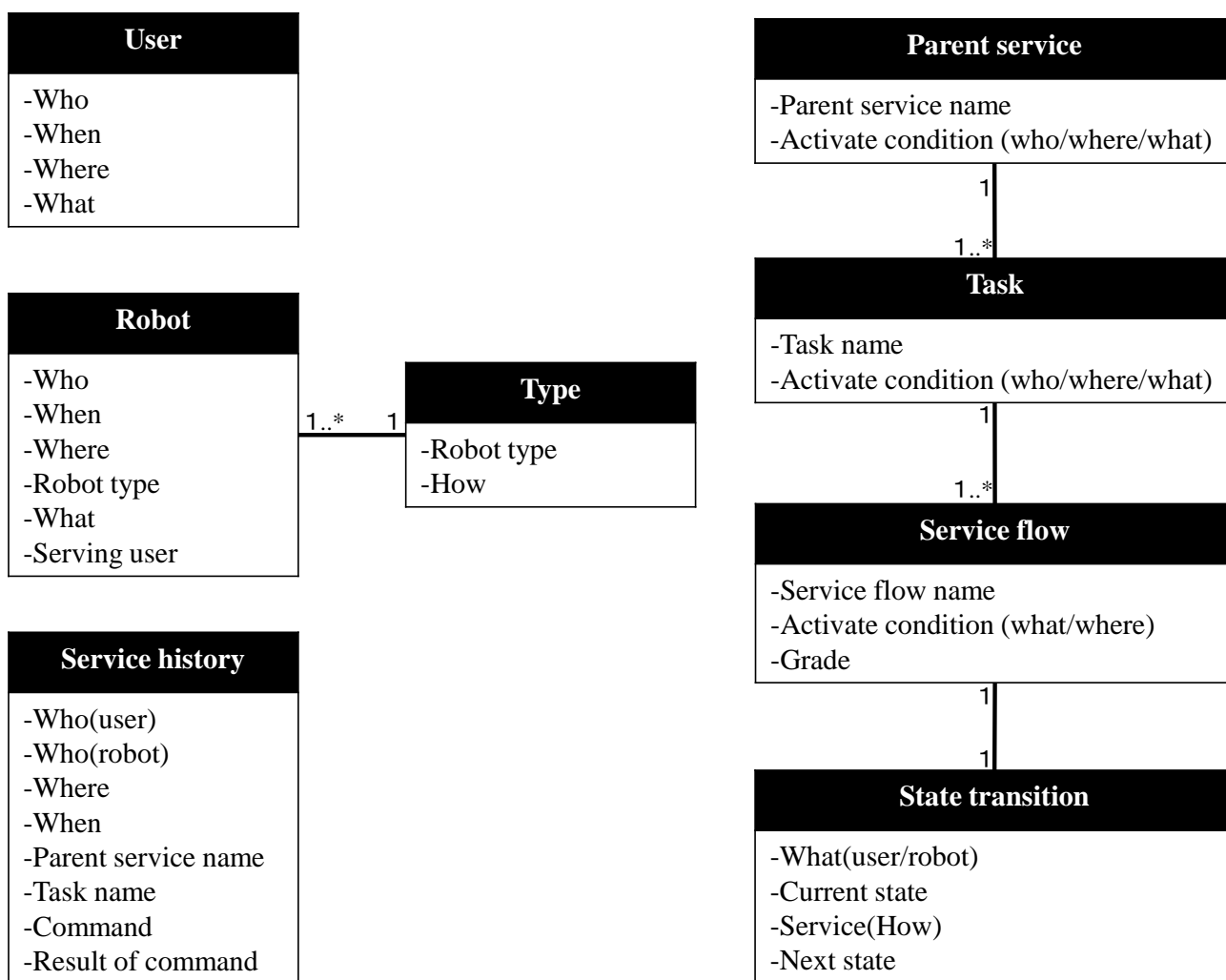


Figure 2-6 Basic structure of database

## 2.4. サービス記述とサービスアプリケーション開発の枠組み

情報サービスには店舗紹介サービスや商品案内サービスなど様々なサービスが考えられる。ショッピングモールでの店舗紹介サービスを例に考えると、エントランスではショッピングモール全体の紹介をし、各店舗ではその店舗の説明をすることが考えられる。このようなサービスを開発可能とするためには、階層構造でのサービス記述が有効と考える。

3階層からなるサービス構造を Figure 2-7 に示す。各階層で記述する項目は Figure 2-6 のデータベースの変数となる。Parent Service 階層は店舗紹介サービスや商品案内サービスなどの大まかなサービスを定義する層である。Task 階層は場所などに応じたサービスを定義する階層である。Service Flow 階層は Task 階層を実現するシナリオをユーザの What 情報とロボットの What・How 情報を用いた状態遷移で記述する階層である。このように、階層構造とすることで複数の地点に跨ったサービス AP 開発が可能になる。

本プラットフォームを用いたシステム開発は、サービス AP 開発者がユーザとロボットに関する 4W1H 情報を用いて Figure 2-7 の各階層の情報をサービスデータベースに登録するとともに、Service Flow の各状態で実行するプラットフォーム内での処理 (Service) をエリア管理 GW に実装することで行う。また、ロボット開発者はコマンドに対応した動作プログラムをロボットに実装するとともに、開発したロボットの初期値をロボットデータベース登録する。そして、センサ開発者はユーザに関する 4W 情報を獲得可能な認識処理プログラムをセンサに実装するとともに、ユーザの初期値をユーザデータベースに登録する。

このようなサービス AP とハードウェアを分離したシステム開発により、ロボットやセンサなどの開発者はサービスを意識することなく、ハードウェアの機能を活かした動作プログラムや認識処理プログラムの高度化に注力できる。そして、サービス AP 開発者はこれら物理的なロボットやセンサなどを対象とした処理プログラムを開発する必要がなくなり、上記のような枠組みに従ったサービス AP 開発に専念できるようになる。

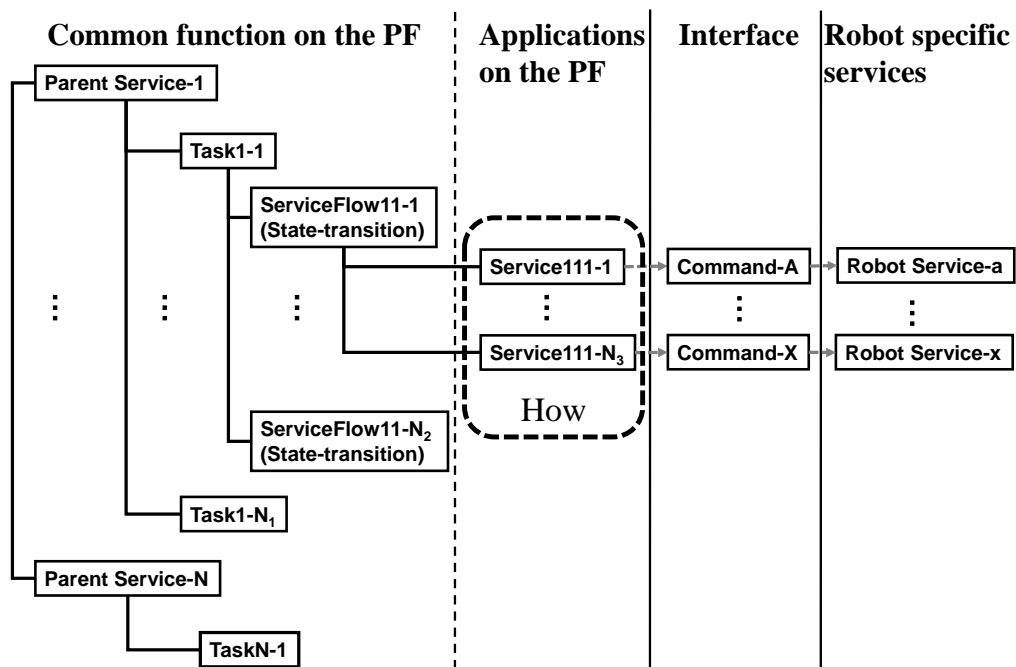


Figure 2-7 Service structure of network robot platform

---

## 2.5. まとめ

本章では様々なセンサやロボット、情報端末の情報をユーザとロボットに関する 4W1H で抽象化することを述べた。そして、接続ユニット、エリア管理 GW、認証データベースから構成された NR-PF の基本構造を述べた。接続ユニットは、機器依存のプロトコルでロボットやセンサと直接通信して取得した情報の 4W 抽象化と FDML によるエリア管理 GW へのアップロード、並びにエリア管理 GW からダウンロードされた CroSSML で記述された共通ロボットコマンドの機器固有コマンドへの変換とロボットの直接制御を行う。これらにより、センサやロボットのプロトコルやデータ構造の違いを吸収する。エリア管理 GW では、情報獲得のための 4W 情報統合、サービスとロボット選択のための 4W1H マッチング、サービス実行主体のロボットとセンサとの連携のためのサービス実行管理の共通機能を提供する。これら共通機能は 4W1H 情報を用いて実現されるため、ハードウェアに依存することなく様々なサービスで共通的に活用可能となる。さらに、認証データベースで各地点の情報を一元管理することで、各地点で提供された情報をロボットが活用したサービス開発が可能である。

また、Parent Service/Task/Service Flow の 3 階層からなるサービス記述方式を述べた。Task 階層で場所などに応じたサービスを記述し、Service Flow 階層でユーザとロボットの 4W1H 情報で表現した状態遷移でシナリオを記述することが特徴である。サービス AP 開発はこれらサービス情報のサービスデータベースへの登録、Service Flow の状態に応じた処理のエリア管理 GW への実装で実現され、簡便なシステム開発が可能である。

接続ユニットを介したハードウェアとサービス AP の連携、エリア管理 GW が提供する情報獲得、サービスとロボットの選択、サービス実行の共通機能を活用した 4W1H 情報を用いたサービス AP 開発の枠組みにより、センサやロボットなどの変更や更新に対しても柔軟に対応でき、開発期間の短縮化などが期待される。また、サービス AP 開発者はセンサやロボットの処理プログラムなどを開発することなく、4W1H 情報を用いたサービス AP 開発に注力できるようになる。同様に、ハードウェア開発者はサービスを意識することなく、4W 情報を獲得するための認識処理プログラムやロボット共通コマンドに対応した動作プログラムの開発に専念でき、簡便な分散システム開発が実現される。

---

## 第3章 ロボットサービスに必要な情報獲得と統合

### 3.1. はじめに

第2章でサービス AP 開発のためのプラットフォームの基本構造および 4W1H に基づいた共通機能を活用したサービス AP 開発の枠組みについて述べた。本章ではエリア管理 GW で提供される共通機能のうちの 4W 情報統合に関して述べる。

センサには屋外での利用に適したセンサや位置を取得することに特化したセンサなど、利用する場所や用途に応じて様々なものが開発されている。それゆえ、サービス実行に必要な情報獲得を実現するためには、それら特徴に応じて適切なセンサを組み合わせる利用することが必須である。これを簡便に実現するためには、センサの組み合わせを固定化することなく、それら組み合わせに応じて必要な情報を充足し完備させる仕組みが重要となる。また、センサの組み合わせは様々なものが考えられ、試行錯誤にそれを決定することは現実的ではない。それゆえ、センサの構成を決められる方法論の確立が重要となる。

以降では、はじめに、センサと 4W の関係性に着目したセンサクラスを定義し、センサクラスを適切に組み合わせることでユーザの 4W 情報が完備できることを述べる。ついで、多地点を跨った情報サービスを実現するためのセンサの要件をセンサクラスに基づいて明らかにする。最後に、異なったセンサが獲得した情報をユーザ単位で統合する 4W 情報統合の方式を述べ、サービス実行に必要な情報を簡便に充足完備する仕組み明らかにする。

### 3.2. センサクラスと情報補完

#### 3.2.1. 4W に着目したセンサクラス

システムがユーザの状況に応じたサービスを実現するためには、サービスを提供されるユーザの情報をシステムが獲得することが基本である。そこで、本研究では様々なセンサの中でユーザに関する情報を獲得するセンサを対象に検討する。このセンサをユーザの 4W を取得するデバイスと捉えるとセンサをクラスに分類できる。センサクラスを Table 3-1 に示す。

Who 情報を取得可能なセンサは、RFID タグリーダや IC カードリーダのように、あるユーザを観測した時には常に同じ固有 ID を取得するセンサと、移動体検出センサ[63]などのように観測中は常に同じ固有 ID をユーザに付与可能であるものの再観測時には新たな ID を付与するセンサに大別される。前者のセンサを各地点に設置し特定のユーザを計測した場合、全地点で同一の固有 ID となる。一方、後者のセンサの場合には、ある地点で観測中は同一の固有 ID となるものの、他の地点や再観測時には異なる ID となる。以降では、場所や時間に依存せず同一な固有 ID をグローバル ID、局所的な場所や時間に限って同一な固有 ID をローカル ID と呼ぶ。また、本研究ではグローバル ID が取得可能なセンサを Who 情報が取得可能なセンサと定義する。

When 情報を獲得するセンサとはユーザの情報を獲得した時刻が得られるセンサである。また、What 情報が獲得可能なセンサとはユーザの状態や行為、意図や目的などを獲得可能なセンサである。

Where 情報を獲得可能なセンサとしてユーザの位置座標値が取得可能な床センサなどが挙げられる。一方、IC カードリーダやアクティブ型 RFID タグリーダなどもこのセンサの例と考える。たとえば、店

舗の入口などにアクティブ型 RFID タグリーダを埋め込むことで、入口の近く／遠くにいるなど、ランドマークに対する大まかな範囲で位置を特定可能なためである。本研究では、このような大まかな範囲で記述された位置を存在範囲と呼ぶ。また、座標値または存在範囲を取得可能なセンサを Where 情報が獲得可能なセンサとする。

Table 3-1 Sensor classes based on 4W information

No.	Sensor class	Who info.	When info.	Where info.	What info.	Examples
1	Who & When sensor class	○	○	-	-	Fall detection sensor
2	Where & When sensor class	-		○	-	Floor sensor, Tracking vision
3	What & When sensor class	-		-	○	Speaker-independent speech recognition sensor
4	Who & Where & When sensor class	○		○	-	IC card reader, Ultrasonic tag reader, RFID tag reader
5	Who & What & When sensor class	○		-	○	Acceleration sensor equipped with user
6	Where & What & When sensor class	-		○	○	Tracking vision with status detection
7	Who & Where & What & When sensor class	○		○	○	Tracking vision with user and status detection

### 3.2.2. センサの相互補完によるユーザ情報獲得

Table 3-1 より、異なるセンサクラスのセンサを組み合わせることで、単一のセンサでは獲得できない 4W 情報の要素を他のセンサクラスで補完することが可能であることが分かる。そこで、以降ではこの 4W 情報の補完を Who/When/Where/What 情報の観点で検討する。

#### (a) Who 情報に着目した 4W 情報の補完

センサから得られる抽象化した情報のうち、ユーザの ID を表す Who 情報は対象に固有である。それゆえ、NTP サーバなどにより各センサの時刻同期がされていれば、When 情報が近傍で Who 情報が同一の情報を相補的に組み合わせることで、その時点での W が補完されたユーザ情報を獲得することが可能となる。

#### (b) Where 情報に着目した 4W 情報の補完

床センサや超音波タグなどを用いることで複数人を識別可能な分解能で座標値が得られる。このようなセンサを用いることで、同一時刻付近で観測された異なるセンサが獲得した 4W 情報のうち、座標値が近傍の 4W 情報は同一ユーザに関する情報の候補とみなせる。また、存在範囲が同一であれば、それらが一致する 4W 情報も同一ユーザに関する情報の候補とみなせる。このように、時空間情報、すなわち、When 情報と Where 情報に着目して得られた同一ユーザに関する情報を組み合わせることで、その時点での W が補完されたユーザ情報が獲得可能となる。

#### (c) What 情報に着目した 4W 情報の補完

ユーザの状態を表す What 情報は、たとえば複数のユーザが同時刻に歩いている場合、全てのユーザの状態が同じとなり、同一ユーザに関する情報を見出すことは困難と考える。



---

以上の(a)~(c)から、各センサの時刻同期がされていれば、ユーザ情報の一部しか獲得できないセンサクラスでも、Who 情報、Where 情報、When 情報に着目して抽出された 4W 情報を組み合わせることで、センサ単体では得られないユーザ情報が獲得可能である。

### 3.3. サービス実現のためのセンサ要件

本節では Figure 1-6 のような複数地点を跨って提供されるサービスに必要な情報を獲得するためのセンサの要件をセンサクラスに基づいて検討する。

多地点に跨ったサービスでは、各地点でのロボットが同じ説明の繰り返しや的外れな情報提供することなく継続的にサービスが提供されることが必須と考える。そのためには、他の地点で提供されたサービスの履歴をサービス実行時にロボットが活用することが必要となる。これを実現するためには、2.3.3 節で述べたサービス履歴の活用が重要となる。サービス履歴データベースでは、ユーザ ID、サービス提供したロボットの ID、サービス提供した場所と時刻、サービス名、サービス結果などを蓄積する。サービス実行時に当該ユーザの履歴を抽出し、2.3.1.3 で述べたロボット共通コマンドにこの履歴を追記してサービスを実行するロボットと共有することで他のロボットが提供したサービスを引き継いで継続的にサービスを実現できる。サービス実行時に当該ユーザのサービス履歴を参照するためには、履歴を抽出する時のキーとなる Who 情報を取得可能なセンサクラスの導入が要件となる。ここでは、この要件を「単一センサでの Who 取得要件」と呼ぶ。

一方、3.2.2 節で述べたように Who 情報を獲得できないセンサクラスでも、Where-When に着目して他のセンサクラスと組み合わせることで Who を含んだ情報を獲得可能である。具体的には、Who 情報を獲得できないセンサクラス (Table 3-1 の 2, 6) と Who 情報と Where 情報を獲得できるセンサクラス (Table 3-1 の 4, 7) を同一環境で用いることで実現される。この要件を「複数センサでの Who 取得要件」と呼ぶ。

Table 3-1 の 2, 6 のセンサクラスの中には、3.2.1 節で述べたように移動体追跡センサのように比較的広域な範囲でローカル ID を取得可能なセンサがあり、このようなセンサと連携してロボットがサービス提供することが考えられる。このセンサとロボットが連携したサービスは、「複数センサでの Who 取得要件」でユーザの 4W 情報を獲得するタイミングとサービスを実行するタイミングから 2 つのパターンに分けられる。以降では、各パターンおよびロボットが履歴を活用するための 4W 情報統合に対する要件を述べる。

#### (1) Who 情報の事後取得パターン

はじめに、センサとロボットが連携しセンサからのローカル ID を用いてロボットがユーザにサービスを行い、その後、「複数センサでの Who 取得要件」でユーザ情報を獲得するパターン。このパターンではロボットがユーザにサービスをしているときにはユーザ ID がローカル ID であり、サービス完了後にグローバル ID が明らかになる。それゆえ、サービス完了直後に蓄積されている履歴はローカル ID となっている。後続のロボットにこの履歴を提供するためには、履歴のローカル ID をグローバル ID に対応付けることが必要となる。

#### (2) Who 情報の事前取得パターン

はじめに、「複数センサでの Who 取得要件」でユーザ情報を獲得し、ついで、ロボットがセンサと連携してユーザにサービスを行うパターン。このパターンではロボットがユーザにサービスを開始する前にユーザのグローバル ID が明らかになるが、ロボットはローカル ID を用いてサービスすることとなる。当該ロボットが履歴を活用するためにはこのローカル ID をグローバル ID に変換することが必要となる。

---

### 3.4. 4W 情報統合

本節では、3.2.2 節の Who 情報/When 情報/Where 情報に着目した 4W 情報の組み合わせによるユーザ情報獲得と 3.3 節の Who 情報の事前/事後取得パターンでの ID 連携を解決する ID 対応付け/変換を実現する 4W 情報統合を述べる。処理手順を Figure 3-1 に記す。4W 情報統合処理は、4W 情報をユーザ単位で統合するための「タグ付け処理」と「組み合わせ処理」および、ローカル ID をグローバル ID に変換するための「ID 変換処理」と「ID 対応付け/更新処理」からなる。以降では、Figure 3-1 に基づいて詳細を述べる。

ID 変換処理では、接続ユニットがセンサから得た情報を抽象化した 4W 情報  $u_n = \{user_n, who, user_n, when, user_n, where, user_n, what\}^T$  に対し、後述する ID 対応付け/更新処理で生成されたローカル ID とグローバル ID の対応関係を参照し、対応するグローバル ID があれば  $user_n, who$  の ID をグローバル ID に変換する。

タグ付け処理では 4W 情報  $U = \{u_0, \dots, u_{n-1}, u_n\}^T$  を一定時間保持する。ここで、 $u_i = \{user_i, who, user_i, when, user_i, where, user_i, what, user_i, who-ID, user_i, where-ID\}$  ( $0 \leq i \leq n$ ) であり、 $user_i, who-ID$  と  $user_i, where-ID$  はそれぞれ Who 情報と Where 情報に対応したグループ ID である。タグ付け処理ではさらに、蓄積している  $U$  の 4W の各要素を比較してタグ付けを行う。具体的には、 $user_i$  と  $user_j$  ( $0 \leq j \leq n$ ) の Who 情報を比較し、以下のように同一ユーザに関する 4W 情報の候補の  $user, who-ID$  にユニークな ID を追加する。

```
if  $user_i, who == user_j, who$   
then add unique ID to  $user_i, who-ID$  and  $user_j, who-ID$ 
```

次に、 $user_i$  と  $user_j$  の Where 情報を比較し、以下のように同一ユーザに関する 4W 情報の候補の  $user, where-ID$  にユニークな ID を追加する。ここで、 $\delta_{where}$  とは人のサイズ、個々のセンサの計測誤差や分解能などによって定められる閾値である。

```
<Case1:  $user, where$  are coordinate values>  
if  $|user_i, where - user_j, where| \leq \delta_{where}$   
then add unique ID to  $user_i, where-ID$  and  $user_j, where-ID$ 
```

```
<Case2:  $user, where$  are text(location)>  
if  $user_i, where == user_j, where$   
then add unique ID to  $user_i, where-ID$  and  $user_j, where-ID$ 
```

組み合わせ処理では、はじめに  $U$  の  $user, who-ID$  が同一の 4W 情報に対して、Table 3-2 に基づいてルールベースで 1 つの 4W 情報に統合する。ついで、統合された  $U$  に対して  $user, where-ID$  が同一の 4W 情報を同様のルールベースで統合する。このとき、 $user, where-ID$  が同一の 4W 情報に異なるユーザ ID がある場合には、複数のユーザに関する情報を含んでいる可能性があるため、統合処理は行わない。

ID 対応付け/更新処理では、組み合わせ処理によりセンサが付与したローカル ID とグローバル ID の新たな対応が得られたときにそれらを保持するとともに、サービス履歴の Who を検索しローカル ID をグローバル ID に更新する。

このように、4W 情報の組み合わせによるユーザ情報獲得をタグ付け処理と組み合わせ処理で実現し、センサの ID 連携を ID 変換処理と ID 対応付け/更新処理で実現する共通機能を用意することで、センサの組み合わせを固定化することなく、開発するサービス AP に応じた適切なセンサを導入すれば必要なユーザ情報を充足して自動獲得するロボットサービスシステムを簡易に開発可能となる。

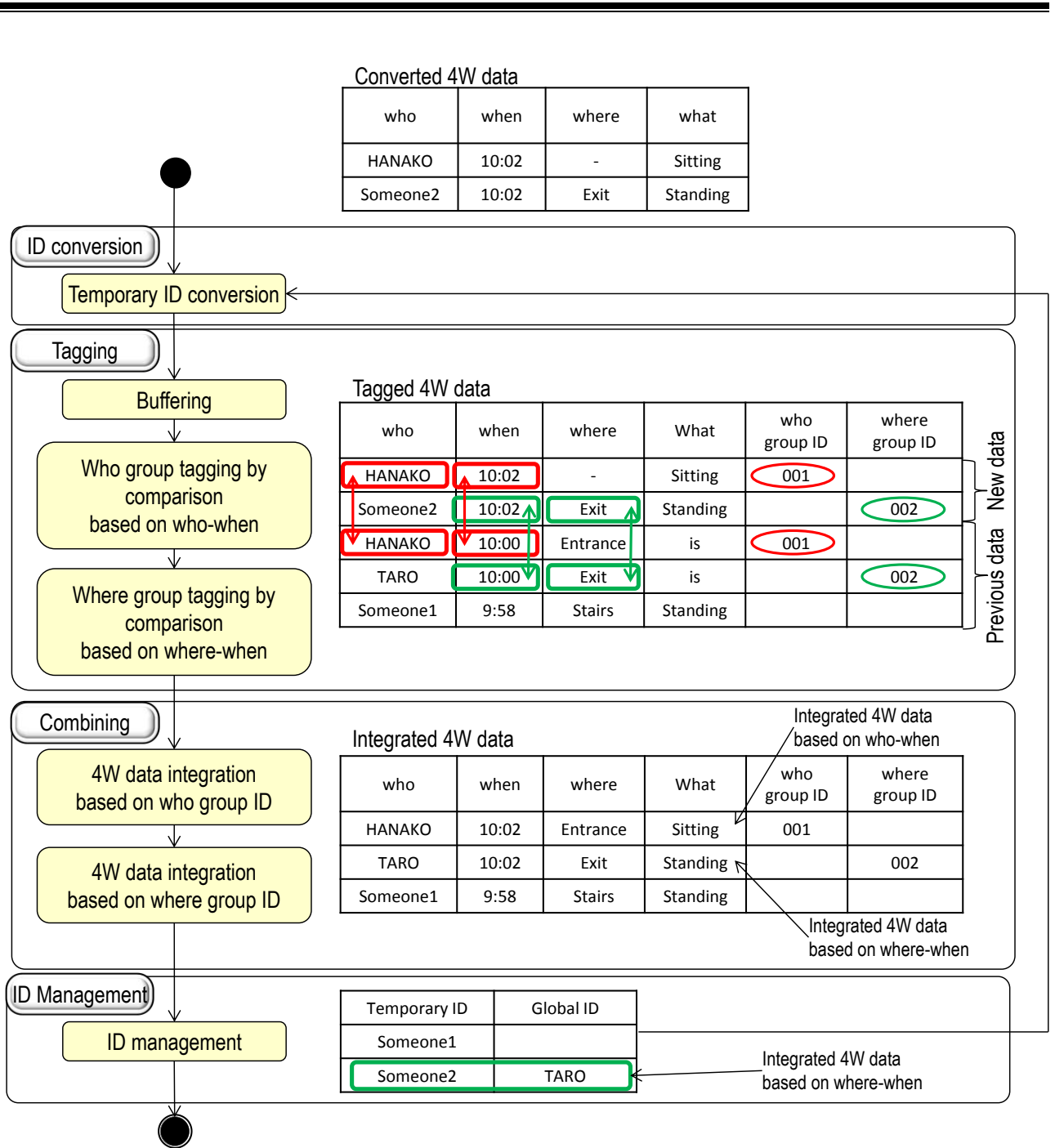


Figure 3-1 Procedure to integrate user's 4W information

Table 3-2 Rule for each element of 4W information

Element of 4W info.	Descriptions
Who info.	High: User name, Low: someone
When info.	Latest value
Where info.	Latest value
What info.	High: status, Low: is

---

## 3.5. 考察

センサクラス概念は、ロボットサービス開発に対して2つのメリット与えると考えられる。第一のメリットは異種センサの組み合わせを合理的に決定可能とした点である。これまでに異種センサの統合は、各センサの機能補完などを目的としてセンサフュージョンの分野において研究開発がされている[64-66]。それらの多くは、例えば、RFID タグと床センサに特化したシステムなど、特定のセンサを組み合わせることによる認識機能の向上を目的としている。複数のセンサやロボットが連携したロボットサービスを開発するためには、このような要素技術の研究開発に加えて、センサの導入などを合理的に検討できることが今後重要になる。3.3 節のセンサ要件の検討は、センサモデルに基づいて機能を補完するセンサの組み合わせを導出している例と言え、このようなモデルがロボットサービス開発に大きく寄与するものと考えられる。

第二のメリットは、4W 情報を取得するデバイスと見なしてセンサをモデリングしている点である。これはアプリケーションの観点からセンサを分類していることに他ならない。これまでに、[67-68]においてもセンサの分類を提案しているが、センサの検知範囲や指向性などの機能の観点からのモデル化である。ロボットサービスを開発するためには、機能に加えてアプリケーションの観点からセンサを決定することでより大きなメリットが得られる。たとえば、ユーザにカスタマイズしたサービスや場所に応じたサービスなどを開発するためには、それぞれ、Who 情報、Where 情報を獲得可能なセンサクラスの導入検討を進めれば良い。このように、センサクラスに基づいてアプリケーションレベルからシステムを検討することで、ロボットサービス開発時のセンサ導入を見通し良く行えるようになる。

4W 情報統合によりセンサの組合せを固定化することなく複数のセンサからの情報をユーザ単位で統合することが可能となった。この4W 情報統合を従来のセンサフュージョン技術で開発されたセンサシステムと組み合わせることで、より高度な状態認識が期待される。すなわち、取得できる W が少ないセンサクラスのセンサをセンサフュージョン技術でより多くの W を獲得可能なセンサクラスにする。このセンサフュージョンで高度化されたセンサシステムと他の単機能なセンサを4W 情報統合で連携させることで、センサフュージョン技術と4W 情報統合の相乗効果により更なる高度な状態認識の実現が期待され、ロボットサービスの高度化に寄与するものと考えられる。

## 3.6. まとめ

本章ではセンサをユーザの4W 情報を収集するデバイスと捉えたセンサクラスを述べた。そして、異なるセンサクラスを Who 情報/When 情報/Where 情報に着目して適切に組み合わせることで、ユーザの4W 情報が充足され補完できることを述べた。また、複数地点を跨ったサービス実行に必要な情報を獲得するための要件を履歴情報の共有の観点から考察し、「単一センサでの Who 取得条件」と「複数センサでの Who 取得要件」を満たすセンサクラスを導入することが必要であることを明らかにした。

さらに、共通機能の4W 情報統合の処理方式を述べた。この4W 情報統合はタグ付け処理と組み合わせ処理で4W 情報を組み合わせるとともに、ID 変換/対応付け/更新処理でセンサ間の ID 連携を行うことで、センサの組み合わせを固定化することなく異なるセンサが取得した4W 情報をユーザ単位で統合する。この機能により、開発するロボットサービスに応じてセンサを導入すれば、必要なユーザ情報を自動的に充足し完備することが可能となる。

---

## 第4章 サービス／ロボットの選択とサービス実行

### 4.1. はじめに

前章までにサービス AP 開発のためのプラットフォームの基本構造および4W1Hに基づいた共通機能を活用したサービス AP 開発の枠組みについて論じた。また、センサの組み合わせに応じたサービス実行に必要な情報の充足による完備を実現する共通機能（4W 情報統合）を述べた。本章では残る共通機能の詳細を述べる。具体的には、ロボットの機能を考慮したサービスとロボットの選択を行う4W1Hマッチングと、サービス実行主体のロボットの多様なセンサとの連携を実現するサービス実行管理について述べる。

### 4.2. サービスとロボットの選択

#### 4.2.1. シナリオに着目したロボット選択

ユーザが所望する情報は、たとえば、ショッピングモールに初めて来たユーザとリピーターの場合では異なると考えられる。また、案内所にいる場合とある店舗の中にいる場合ではユーザが望む情報は異なる。さらに、案内所に立ち止まっているときと案内所を素通りしたときでは、ユーザが望む情報は異なると考えられる。このように、ユーザが望む情報は個人、場所、ユーザの行為や振る舞いに関連したものが多い。すなわち、サービス決定においては、ユーザの4W情報のWho情報、Where情報、What情報に応じて決定することが有効である。

このような情報を用いて決定したサービスを提供するロボットを選択するためには、サービス分配の競合を解決しなければならない。そのためには、サービス要求したユーザと時空間を共有するロボットの中から、状態が作業待ちのロボットにサービスを割り当てることが合理的である。これにより、あるロボットがサービス実行中で、他方のロボットがアイドル中あれば、アイドル中のロボットにサービスを実行させることが可能となる。一方、アイドル中のロボットが複数あった場合には何らかの基準でロボットを決定することが必要となる。たとえば、ユーザに最も近いロボットに優先的にサービスを割り当てることが考えられる。しかしながら、Figure 4-1 に示すように、高度な対話機能を有したコミュニケーションロボットと単純な音声合成のみのスピーカーロボットが候補に挙げた場合には、ユーザに近いスピーカーロボットが選ばれることになる。情報提示の分かり易さなど観点からは、コミュニケーションロボットとの対話によって情報提供されることが望ましい場合もある。そこで、サービスに対して、プラットフォームで管理しているロボットが有する機能（How情報）に応じた複数のシナリオ（2.4節におけるService Flow）を用意し、シナリオ毎にプライオリティを設定しておく。そして、サービス要求時の状況に応じてプライオリティに基づいてシナリオとそのシナリオを実行可能なロボットを決定する。このようにシナリオに着目してサービス実行主体を決定することで、常により質の高いサービスを提供可能となる。以降では、サービスとシナリオおよびサービス実行主体のロボットを決定する4W1Hマッチングの詳細を述べる。

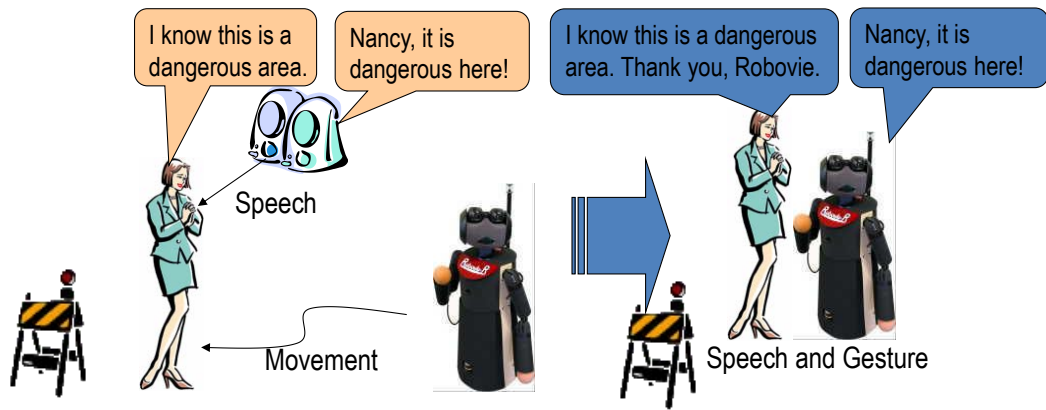


Figure 4-1 Difference in the scenario by robotic functions

#### 4.2.2. 4W1H マatching

プラットフォームで管理している  $i$  台のロボットのうち、 $j$  番目のロボットを  $r_j = \{robot_j.who, robot_j.when, robot_j.where, robot_j.what, robot_j.how\}$  ( $1 \leq j \leq i$ ) と表し、ロボット全体を  $R = \{r_1, r_2, \dots, r_i\}^T$  と表す。ここで、 $robot_j.who$ ,  $robot_j.when$ ,  $robot_j.where$ ,  $robot_j.what$  は  $j$  番目のロボットの 4W 情報を意味し、 $robot_j.how$  は  $j$  番目のロボットが具備している機能を意味する。また、プラットフォームに登録された  $k$  個のサービスを  $S = \{s_1, s_2, \dots, s_k\}^T$  と表し、 $s_l = \{service_l.who, service_l.where, service_l.what, service_l.scenario_m.how, service_l.scenario_m.priority\}$  ( $1 \leq l \leq k, 0 \leq m \leq n_l$ , ただし、 $n_l$  は  $service_l$  を実現するシナリオの数) と表す。ここで、 $service_l.who$  はこのサービスを提供するユーザの Who 情報、 $service_l.where$  は、店舗の入口や案内看板の周辺などのサービスを提供する地点名、 $service_l.what$  はサービス実行のトリガとなるユーザの What 情報、 $service_l.scenario_m.how$  は  $scenario_m$  を実行するために必要なロボットの機能、 $service_l.scenario_m.priority$  はそのシナリオのプライオリティを意味する。

また、 $H = \{h_1, h_2, h_3, \dots, h_o\}^T$  は、 $h_p = \{user_p.who, user_p.when, robot_p.where, service_p.what, robot_p.who\}$  ( $1 \leq p \leq o$ ) で表現されたサービス履歴を表すものとする。ここで、 $user_p.who$  はユーザ名、 $user_p.when$  はサービスが提供された時刻、 $robot_p.where$  はサービスが提供された地点名、 $service_p.what$  は実行されたサービスやコマンド、 $robot_p.who$  はサービスを提供したロボットを意味する。さらに、ユーザ  $q$  の現在の状態を  $u_q = \{user_q.who, user_q.when, user_q.where, user_q.what\}$  で表すものとする。

具体的なサービス分配の処理手順を Figure 4-2 に記す。

##### [Step1] サービス候補の選定

サービス  $S$  の要素  $\{service.who, service.where, service.what\}$  とユーザ  $u_q$  の要素  $\{user_q.who, user_q.where, user_q.what\}$  を比較して、サービス候補  $S_{cand}$  を以下に基づいて選定する。

$$S_{cand} = \text{Select}(S \cap u_q | service.who = user_q.who, service.where = user_q.where, service.what = user_q.what)$$

ここで、 $\text{Select}(A \cap B | X=x, Y=y, Z=z, \dots)$  は、 $X=x, Y=y, Z=z, \dots$  を満たす  $A$  と  $B$  の積集合を算出する関数である。

##### [Step2] ロボット候補の選定

ロボット  $R$  の要素  $\{robot.when, robot.where\}$  とユーザ  $u_q$  の要素  $\{user_q.where, user_q.what\}$  を比較して、ロ

---

ロボットの候補  $R_{cand}$  を以下に基づいて選定する.

$$R_{cand} = \text{Select}(R \cap u_q | \text{robot.when} = \text{user}_q.\text{when}, \text{robot.where} = \text{user}_q.\text{where})$$

[Step3] ロボットとサービスの候補の抽出

ロボット候補  $R_{cand}$  の中から  $\{\text{robot.what}\}$  が *idle* となっているロボットの集合  $R_{cand\_idle}$  を算出し、シナリオ実行に必要な機能  $\{\text{service.scenario.how}\}$  を具備するロボットの集合  $R_{func\_idle}$  を算出する. ついで、これらロボットが実行可能なサービス候補  $S_{func\_cand}$  を算出する.

$$R_{func\_cand} = \text{Select}(R_{cand\_idle} \cap S_{cand} | \text{robot.how} = \text{service.scenario.how})$$
$$S_{func\_cand} = \text{Select}(S_{cand} \cap R_{func\_cand} | \text{service.scenario.how} = \text{robot.how})$$

[Step4] ロボットとサービスシナリオの決定

サービス候補  $S_{func\_cand}$  のうちで、最もプライオリティの高いサービス (シナリオ)  $S_d$  とシナリオ実行に必要な機能を有するロボット  $R_d$  を算出する.

$$S_d = \text{Max}(S_{func\_cand} | \text{service.scenario.priority})$$
$$R_d = \text{Select}(R_{func\_cand} \cap S_d | \text{robot.how} = \text{service.scenario.how}),$$

ここで、 $\text{Max}(A/x)$  は集合 A の中で  $x$  が最も大きい集合を返す関数である.

[Step5] 履歴の抽出

ユーザ  $u_q$  の要素  $\{\text{user}_q.\text{who}\}$  を履歴  $H$  の  $\{\text{user.who}\}$  と比較して、ユーザ  $u_q$  の履歴  $H_u$  を抽出する.

$$H_u = \text{Select}(H \cap u_q | \text{user.who} = \text{user}_q.\text{who}).$$

このように、ユーザ情報とサービス情報の Who/Where/What 情報が一致するサービスのシナリオ候補を抽出し、ユーザとロボットの When/Where 情報を突合して時空間を共有するサービス実行主体の候補を抽出する. そして、それらをロボットが有する機能 (How) をキーに突合しプライオリティが最も高いサービスのシナリオとロボットを決定する. このような 4W1H 情報を組み合わせてサービス実行主体とサービスおよびそのシナリオを決定する仕組みとすることで、ユーザとロボットの組み合わせを固定化することなく、ロボットの増減やサービスの追加に対して柔軟に対応しながら、その時点で最適なシナリオとロボットを決定することが可能となる.

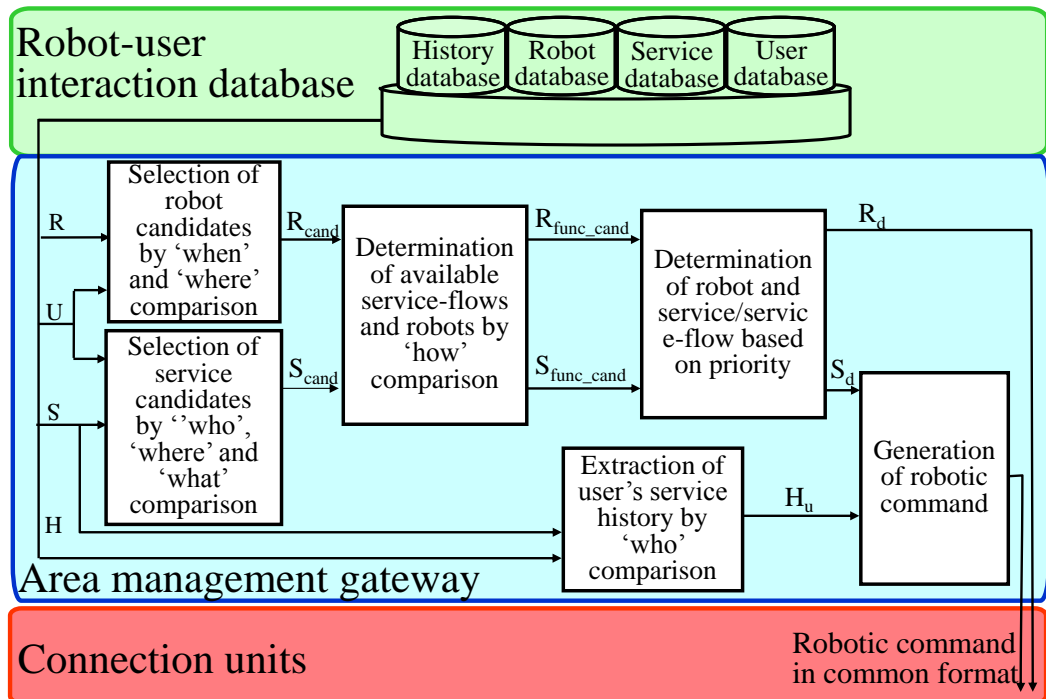


Figure 4-2 Block diagram of scenario determination procedure (4W1H matching)

#### 4.2.3. 考察

4W1H マッチングにおいて、ユーザの when 情報は時空間を共有するロボット選択時に用いられる。センサとロボットなどの時刻ずれが生じている場合には適切なサービス実行主体の候補を抽出することが困難となる。それゆえ、時刻同期がされていることが必須となるが、NTP サーバの導入などで容易に実現可能であり、実用上は問題ないと考える。

ユーザと時空間を共有する候補の選択には 3.2.1 で述べたユーザの座標値を用いることが一手法である。しかしながら、ユーザとロボット間の距離算出を全てのロボットに対して行わなければならない計算コストがかかる。多数のロボットを対象としたシステムでは、実用性を考慮しながら可能な限り簡易な方式とすることが望ましいと考える。ロボットによる情報提示や案内サービスでは、実環境中の案内所や入口などのポイントとなる地点にロボットを配置し、そこで情報提供することが多い。この観点から、4W1H マッチングでは地点の名称の文字列比較で高速に処理することとした。

4W1H マッチングではロボットが具備する機能とサービスのシナリオ実行に必要なロボットの機能を突合することでサービスのシナリオ候補を抽出する。このように、ロボットとサービスを独立に管理することで、ロボットの追加やサービスの修正に対して柔軟に対応可能で、拡張性のある仕組みであると考えられる。



---

## 4.3. サービス実行

### 4.3.1. 外部センサとの連携によるサービス実行

プラットフォームから要求されたサービスのシナリオをロボットが実行しているときに重要な情報は主にユーザの振る舞いや行為を表す **What** 情報である。この **What** 情報は、手足の動作、座っているなどの全身の動作、コップなどを持っている、地図を凝視しているなど、他の **Who** 情報や **Where** 情報に比べてバリエーションが多く、また、単一のセンサで獲得することが非常に困難な情報と言える。それゆえ、様々なセンサの特徴を活かしてロボットがセンサと連携しながらサービス実行できることは、ロボットの高度化に大いに有益である。このようなサービス実行は、外部のセンサが獲得した **What** 情報を適切なロボットにフィードバックさせることで実現される。そのためには、実行中のサービスとロボットおよびユーザを **Who** 情報で関連づけ、ロボットの状態 (**What** 情報) とセンサが獲得したユーザの状態や振る舞い (**What** 情報) でサービスのシナリオを制御することで達成される。以降では、この方式の詳細を述べる。

### 4.3.2. サービス実行管理

センサとサービス実行主体のロボットを連携させる方式を Figure 4-3 に示す。Figure 4-3 では全体の処理の流れの理解を助けるために接続ユニット、4W1H マッチングを含めた図とした。処理は接続ユニットで実現される 4W 抽象化、エリア管理 GW で実現されるシナリオ選択と状態遷移管理からなる。状態遷移はユーザとロボットの **What** 情報とロボットの **How** 情報を用いて予めサービスデータベースに登録しておくとともに、状態に応じた PF 内部処理を **Service** としてエリア管理 GW に実装しておく。

4W 抽象化ではセンサとロボットからの情報をそれぞれユーザとロボットに関する 4W 情報に抽象化する。シナリオ選択では 4W1H マッチングで決定したロボットの **Who** 情報と実行中のシナリオおよびユーザの **Who** 情報の関連を管理する。そして、ロボットとセンサから逐次得られた **Who** 情報をキーに実行中のシナリオ群から当該ユーザのシナリオを抽出する。

状態遷移管理では抽出されたシナリオの状態遷移テーブルを参照し、ユーザまたはロボットの **What** 情報を用いて状態を制御する。同時に、その状態に対応した処理を実行し、ロボットの動作を切り替えるロボットコマンド生成・送信処理や NR-PF のデータベースで蓄積しているユーザやロボットの 4W 情報を参照してロボットのインタラクションのためのパラメータ算出処理等を行う。

このような方式により、センサと実行主体のロボットの組み合わせを固定化することなく、様々なセンサが獲得したユーザの振る舞いや行為の情報を適切なロボットの動作切り替えやコンテンツ生成に活用可能となる。

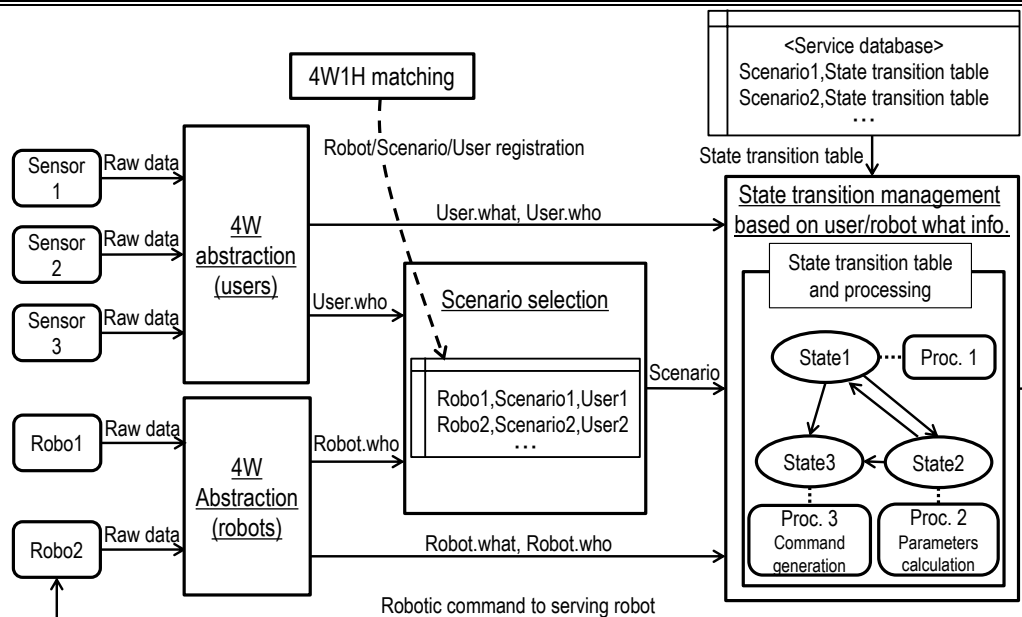


Figure 4-3 procedure for service scenario execution utilizing sensors' and robots' abstracted data

### 4.3.3. 考察

3.2.1 節で述べたように、ユーザの ID はローカル ID とグローバル ID に分けられる。ローカル ID を出力する複数のセンサを用いた場合には対応させるシナリオを決定できないため、サービス実行管理は機能しない。その場合には、4W 情報統合の ID 変換機能によってグローバル ID に変換することが必要となり、グローバル ID を獲得できるセンサとの併用が重要となる。

ロボット自身が具備するセンサでユーザの行為や振る舞いを認識しながら、ロボット単体でジェスチャを交えてユーザにサービスを提供することはクリアすべき課題が多い。このサービス実行管理の導入により認識系が分離され、センシングに適した環境で What 情報を獲得することが可能になったと言える。すなわち、サービス実行管理により解決すべき課題が単純化され、安定した認識に基づいたサービス提供が可能になったと考える。

## 4.4. まとめ

本章では、エリア管理 GW での共通機能の 4W1H マッチングとサービス実行管理の詳細を述べた。4W1H マッチングでは Where 情報と When 情報をキーにユーザとロボットの 4W 情報を突合して得られたロボット候補と、Who 情報、Where 情報および What 情報をキーにユーザとサービスの情報を突合してサービス候補を抽出する。そしてそれらをロボットの機能 (How) をキーに組み合わせてロボットとサービスを決定する。このような方式により、ユーザとロボットの組み合わせを固定化することなく、その時点で実現可能な最も高いプライオリティのサービスをユーザに提供することが可能になった。

また、サービス実行管理では、実行中のサービス/ロボット/ユーザを Who 情報で関連づけ、ロボットの What 情報とセンサが獲得したユーザの What 情報でサービスのシナリオを制御する。これにより、ロボットとセンサの組み合わせを固定化することなく、単一のセンサだけでは獲得することが困難な What 情報を様々なセンサから簡便にフィードバックすることができ、高度な認識に基づくサービスを実現することが可能になったと考える。

---

## 第5章 プラットフォームを用いたサービスの実現

### 5.1. はじめに

第2章でサービス AP 開発のためのプラットフォームの基本構造および 4W1H に基づいた共通機能を活用したサービス AP 開発の枠組みについて論じた。また、第3章と第4章ではサービス AP 開発で共通的に使われる機能を述べた。具体的には、ロボットサービスに必要な情報を充足し完備させるための 4W 情報統合、ユーザ・ロボット・サービスの独立した 4W1H 情報を組み合わせて状況に応じたサービスシナリオとロボットを選択する 4W1H マッチング、環境内の様々なセンサをサービス実行主体のロボットと連携させるためのサービス実行管理を述べた。本章ではこのプラットフォームを用いて開発したロボットサービスを述べる。具体的には、Who 情報、Where 情報、What 情報に着目したロボットサービス、異種センサを活用した複数地点を跨ったロボットサービスを可視化し、プラットフォームを利用したロボットサービス開発の実現性を検証する。また、NR-PF のサービス AP 開発の枠組みと空間知ミドルウェアを組み合わせたプラットフォームを実現し、実験により物理サービス開発の実現性を検証する。

### 5.2. Who 情報を活用したロボットサービス

ユーザの Who 情報を活用することで、個人に応じたロボットサービスが実現可能である。本節では大阪市立科学館で行った写真配布サービスの実証実験を通してプラットフォームを用いた Who 情報を活用したロボットサービス開発の実現性を検証する。

#### 5.2.1. 写真配布サービスの概要

写真配布サービスのシステム構成を Figure 5-1 に示す。このサービスは展示スペースに写真撮影エリアと写真渡しエリアからなる。写真渡しエリアの様子を Figure 5-2 に示す。このエリアには1台のコミュニケーションロボットと2台のスピーカーロボットおよび入館者が付近に来たことを認識するためのアクティブ型 RFID リーダを配置した。

写真撮影エリアではサービスを希望した入館者にスタッフが静体ロボットとのツーショット記念撮影を行い、写真渡しエリアではこの撮影タイミングで写真を予め出力しておく。入館者は引換券の代わりとして RFID タグを受け取り館内の展示を見学する。出口付近に設置された写真エリアでは、RFID タグリーダーで検出したタグの電波強度を用いて入館者が当該エリア近傍に来たことを認識し、コミュニケーションロボットやスピーカーロボットがタグ ID をアナウンスして写真を渡すこととした。

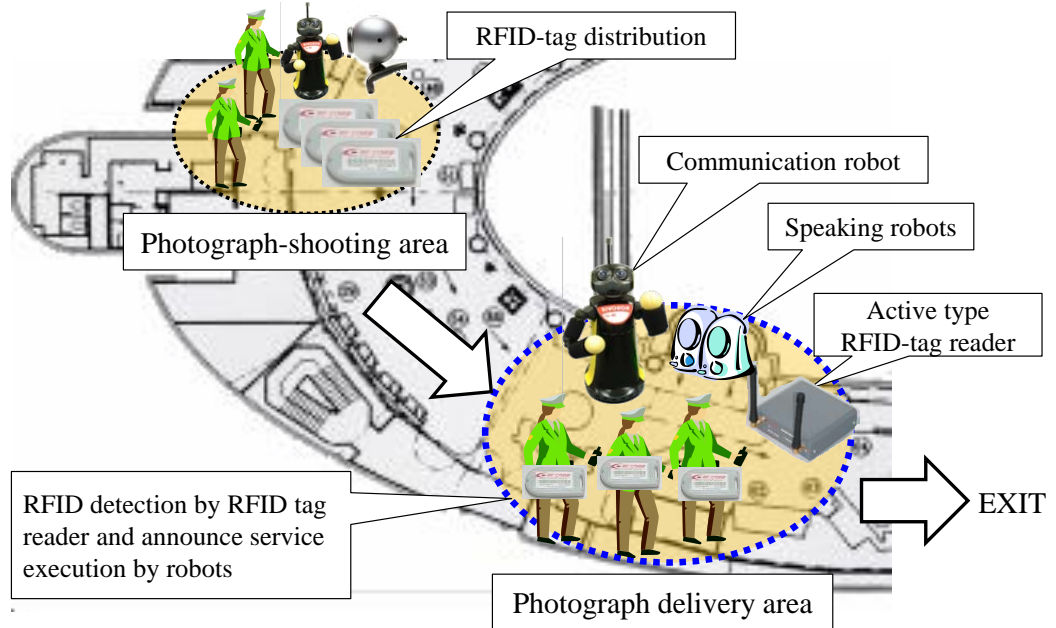


Figure 5-1 Overview of experimental setup for photograph delivery service at Osaka Science Museum

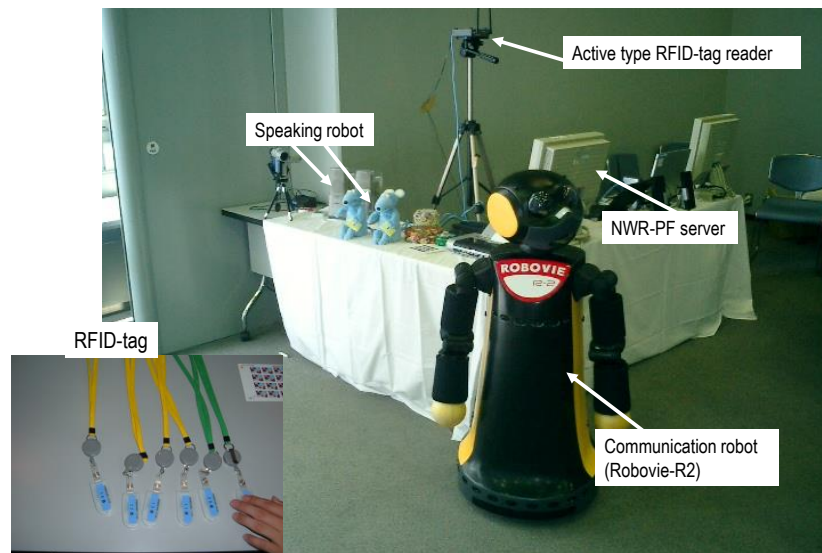


Figure 5-2 Experimental setup at photograph delivery area

## 5.2.2. センサクラス

写真配布サービスで用いたセンサとセンサクラスを Table 5-1 に記す. このサービスではアクティブ型 RFID タグリーダーを Who & Where & When センサクラスのセンサとして用いた.

Table 5-1 Sensor classes for photograph delivery service

No.	Sensor class	Who info.	When info.	Where info.	What info.	Location name	Sensor name
1	Who & When sensor class	○	○	-	-		
2	Where & When sensor class	-		○	-		
3	What & When sensor class	-		-	○		
4	Who & Where & When sensor class	○		○	-	Photograph delivery area	Active type RFID-tag reader
5	Who & What & When sensor class	○		-	○		
6	Where & What & When sensor class	-		○	○		
7	Who & Where & What & When sensor class	○		○	○		

## 5.2.3. プラットフォームのカスタマイズ

写真配布サービスではそれぞれの入館者に各ロボットが個別にタグ ID を呼びかけることを基本とした. しかしながら, ロボットの数を上回る入館者に同時にサービスを提供しなければならない状況が容易に予想され, そのような状況においてもサービスを維持することが重要である. そこで, 同時にサービスを提供する対象者数がロボットの台数を下回る場合は個人毎にサービスを提供し, ロボットの台数を上回る場合には複数の対象となる入館者を 1 つのグループとみなしてサービスを提供することとした. 具体的には, RFID タグリーダーの接続ユニットでユーザ数をカウントし, 同時検出したユーザ数がロボット台数未満の場合には Who 情報をタグ ID とした 4W 情報をエリア管理 GW に送信し, ロボット台数以上の場合には Who 情報を many\_user とした 4W 情報を送信することとした. そして, エリア管理 GW では個人用とグループ用のサービスシナリオを用意し, 4W1H マッチングを用いて状況に応じたシナリオとロボットの選択を行うこととした.

## 5.2.4. プラットフォームのパラメータ設計

ユーザとサービスの関連付けの概要を Table 5-2 に示す. User1 はタグの ID に対応したユーザ ID であり, many\_user はロボットの台数よりサービス対象の入館者が多く来た場合にグループとして対応するために設けたユーザである.

サービスの設定概要を Table 5-3 に記す. サービスには ParentService 階層に個人用のサービスの Announcement for individual とグループ用のサービスの Announcement for group サービスを設定することとした. そして, それぞれに対してジェスチャや音声再生が可能な mplayable 機能を用いたサービスシナリオ (Announce\_Visible/ Announce\_Visible\_Many) と, 音声再生が可能な speech 機能を用いたサービ

スシナリオ(Announce\_Unconscious/Announce\_Unconscious\_Many)を設定することとした。また, mplayable 機能で実現するシナリオのプライオリティを speech 機能で実現されるシナリオのそれに対して相対的に高く設定することとした。各ロボットの設定を Table 5-4 に記す。スピーカロボット (Speaker A, B) には speech 機能を設定し, コミュニケーションロボット (Robovie A) には mplayable 機能を設定することとした。以上のような設定をデータベースに登録することで, ユーザの RFID タグが検出された時点で個人やグループに応じた適切なサービスシナリオとロボット選択を 4W1H マッチングで実現可能となる。

Table 5-2 Outline of registration of users for photograph delivery service

User name	Service name
User1	Announcement for individual
many_user	Announcement for group

Table 5-3 Outline of registration of services for photograph delivery service

Service name	Element name	Value
Announcement for individual	service.what	Enter
	service.scenario.name	Announce Visible
	service.where	
	service.scenario.how	mplayable
	service.scenario.priority	8
	service.what	Enter
	service.scenario.name	Announce Unconscious
	service.where	
	service.scenario.how	speech
	service.scenario.priority	5
Announcement for group	service.what	Enter
	service.scenario.name	Announce Visible_Many
	service.where	
	service.scenario.how	mplayable
	service.scenario.priority	8
	service.what	Enter
	service.scenario.name	Announce Unconscious_Many
	service.where	
	service.scenario.how	speech
	service.scenario.priority	5

Table 5-4 Outline of registration of robots for photograph delivery service

Element name	Value
robot.who	Speaker A
robot.where	
robot.how	Speech
robot.who	Speaker B
robot.where	
robot.how	Speech
robot.who	Robovie A
robot.where	
robot.how	mplayable

### 5.2.5. 実験結果

構築したシステムを用いて、2005年5月27日～5月29日（11:00～16:00）に一般の来館者を対象とした実証実験を大阪市立科学館で行った。1時間毎に実行されたシナリオのヒストグラムを Figure 5-3 に示す。コミュニケーションロボットによるサービス提供に比べて、スピーカロボットによるサービス提供回数が多い。これは、コミュニケーションロボットによるサービスが、タグ ID のアナウンスに加えて写真の手渡し動作も含んだ実行時間の長いものである一方で、スピーカロボットによるサービスはタグ ID のアナウンスのみの短時間で終了するシナリオであることに起因する。

実際にサービスが提供された対象者数は3日間で300人程度であったが、サービス実行回数が対象者数より多いことが Figure 5-3 から読み取れる。これは、同一入館者を繰り返して検出しサービスを実行したためであり、サービス起動処理の改善などで対応可能な範囲と考える。

実証実験では音声での入館者の呼び出しを行ったが、周囲の音にまぎれてしまい入館者への通知が困難であることがあった。このような環境では音声だけでなくディスプレイでの表示などの視覚を用いた情報提示や各個人が有する情報端末上のソフトウェア・エージェントを用いた通知などが有効と考えられ、今後の検討課題と考える。

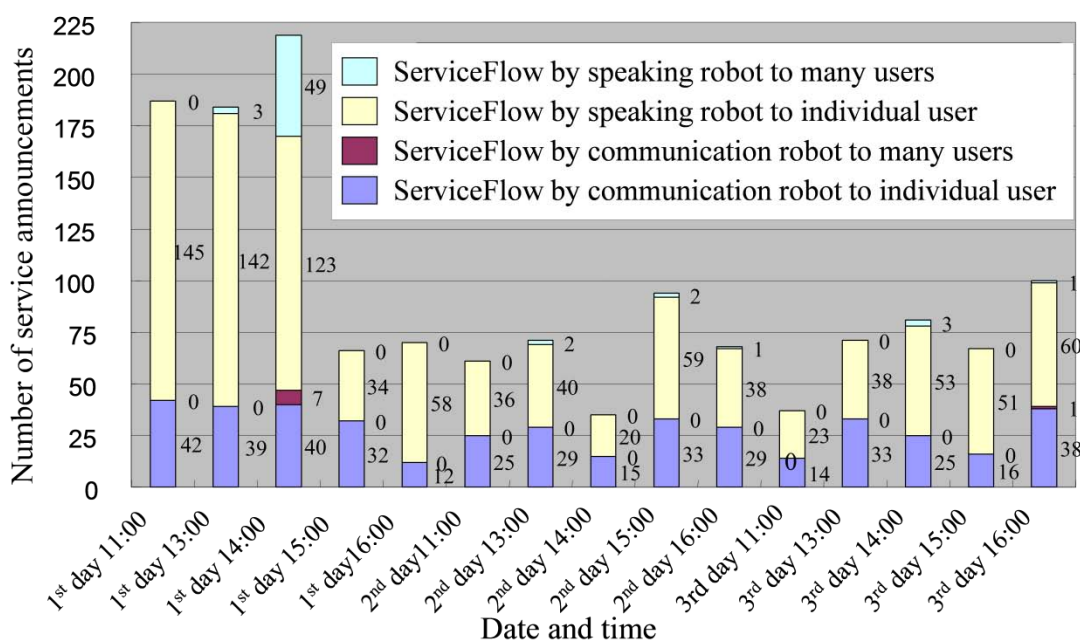


Figure 5-3 Histogram of execution number of four types of service flow

---

## 5.2.6. 考察

科学館のような公共施設でのユーザの年齢層は子供からお年寄りまで幅広い。そのようなユーザを対象とした場合には、高齢者であればロボットが聞き取りやすい発話をするなど、サービスを受けるユーザの個人特性を考慮することが重要となる。本プラットフォームではユーザに関する情報は4Wのみであり、ユーザの年齢や性別などの個人属性までは管理しておらず、このようなサービスを実現することは出来ない。しかしながら、NR-PFではユーザのグローバルIDをWho情報として管理しており、このWho情報を介してユーザ属性を管理する外部システムと連携することで、このような個人特性に応じたサービスを実現することが可能と考える。

様々なユーザ属性に関する情報を一つのプラットフォームで管理したアプローチも考えられるが、サービスで用いるユーザ属性は様々なものが考えられ、また、サービス毎に異なるため現実的ではない。そのようなアプローチではなく、プラットフォームで管理する情報は外部システムと連携するためのキーとなる基本的な情報に留め、開発するサービスに応じて外部システムと連携してサービスの高度化を図るアプローチが合理的で現実的なロボットサービス開発と考える。

本実証実験では共通機能の4W1Hマッチングを用いてユーザに対するロボットとサービスシナリオを決定した。4W1Hマッチングでは独立に管理したユーザ情報、ロボット情報、サービス情報をサービス要求時に組み合わせることでサービスアロケーションを実現している。それゆえ、ユーザの追加やサービス提供するロボットの追加は、Table 5-2でのユーザ追加、Table 5-4でのロボット追加で容易に実現可能であった。このようなユーザとロボットを簡易に増やせる枠組みはロボットサービス開発に大きなメリットになると考える。

また、4W1Hマッチングでは各シナリオにプライオリティを設定してその時点で適切なサービスシナリオとロボットを選択する仕組みとした。ジェスチャを交えてユーザと対話する高度なコミュニケーションロボットを優先的にサービス実行主体のロボットとして決定することが考えられる。しかしながら、情報提示の観点からは、一概にそのようなアプローチが有効とは言い難い。たとえば、ショッピングモールにおいて店舗の場所を案内するサービスでは音声やジェスチャのみでの案内だけでは不十分であり、地図をディスプレイに表示するロボットを用いた情報提示が有効である。このように、情報サービスでは提示するコンテンツに応じて提示手段を選択することが重要と考えられ、4W1Hマッチングのようにロボットの機能に着目したアプローチは合理的な方式であると考えられる。



## 5.3. Where 情報を活用したロボットサービス

ユーザの Where 情報を活用することで、場所に応じたロボットサービスが実現可能である。本節では CEATEC2006 で行った展示案内サービスの実証実験を通してプラットフォームを用いた Where 情報を活用したロボットサービス開発の実現性を検証する。

### 5.3.1. 展示案内サービスの概要

展示説明サービスの実験の様子とシステム構成図を Figure 5-4 と Figure 5-5 に示す。Robot-2 (wakamaru) は三菱重工が開発し、Robot-3 (Robovie) と Robot-4 (ApriAlpha) はそれぞれ ATR と東芝が開発した。また、u-Photo[58]は総務省・ユビキタスネットワーク制御・管理技術 (Ubila) プロジェクトにおいて慶応大学によって開発されたユビキタスデバイスである。u-Photo は写真撮影によってホームネットワーク環境におけるアプリケーションの情報を取得し、撮影したデジタル写真を通じて直感的に情報閲覧やアプリケーション起動を行う。実証実験ではこれらロボットとセンサを用いて、それぞれのブースに Robot-1, Robot-2, Robot-3, Robot-4 を配置し、Figure 5-6 に示すようにロボットの ID が埋め込まれた 2 次元バーコードを各ロボットに添付した。

展示案内サービスでは u-Photo でロボットに添付した 2 次元バーコードを撮影したことをトリガに、そのブースに設置されたロボットが展示説明をすることとした。具体的には、Robot-1 はアイドル中の時は各ロボットが配置されているエリア全体の説明を行う。そして、ロボット共通コマンドを受信したときに、空いているブース (現時点でロボットがサービスを行っていないブース) をユーザにアニメーションで提示する。Robot-2, Robot-3, Robot-4 は、ロボット共通コマンドを受信したときに、音声合成とジェスチャを使って自身の展示ブースを説明するとともに、他のブースの紹介も行う。

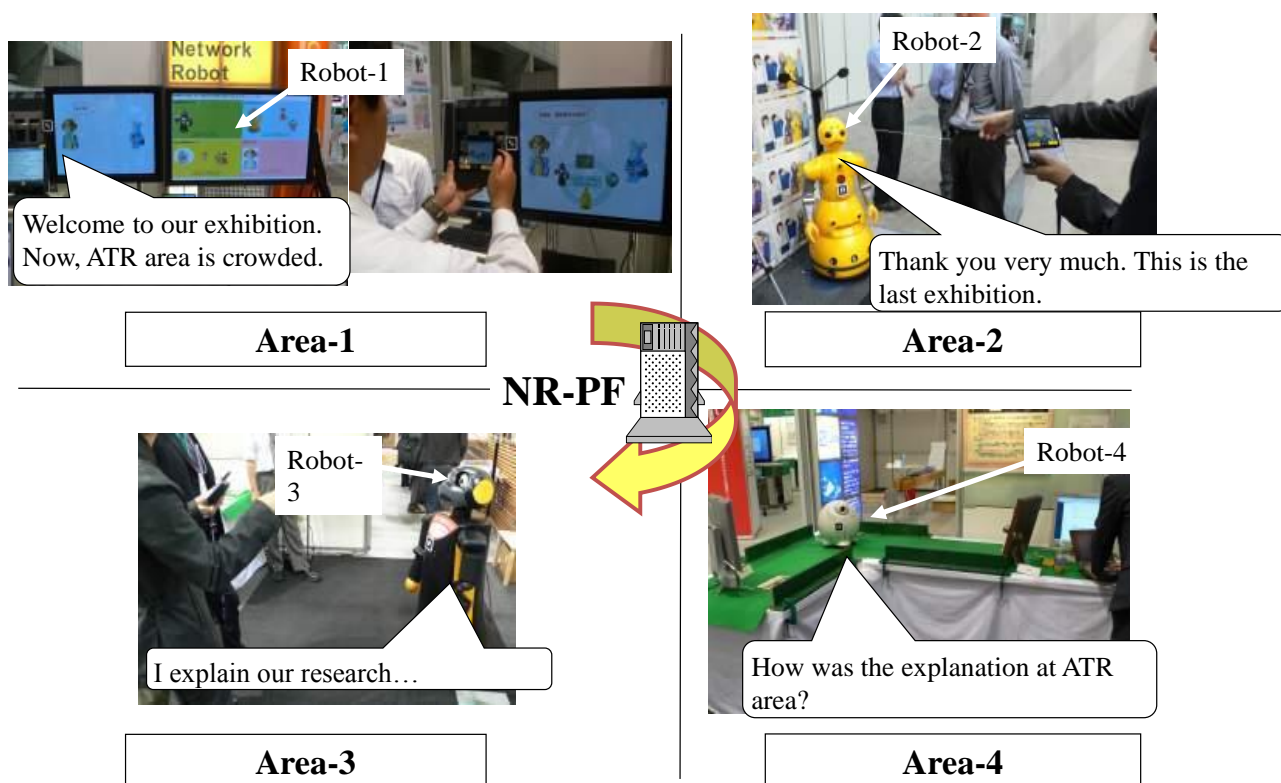


Figure 5-4 Overview of experimental setup for exhibition-guide service at CEATEC2006

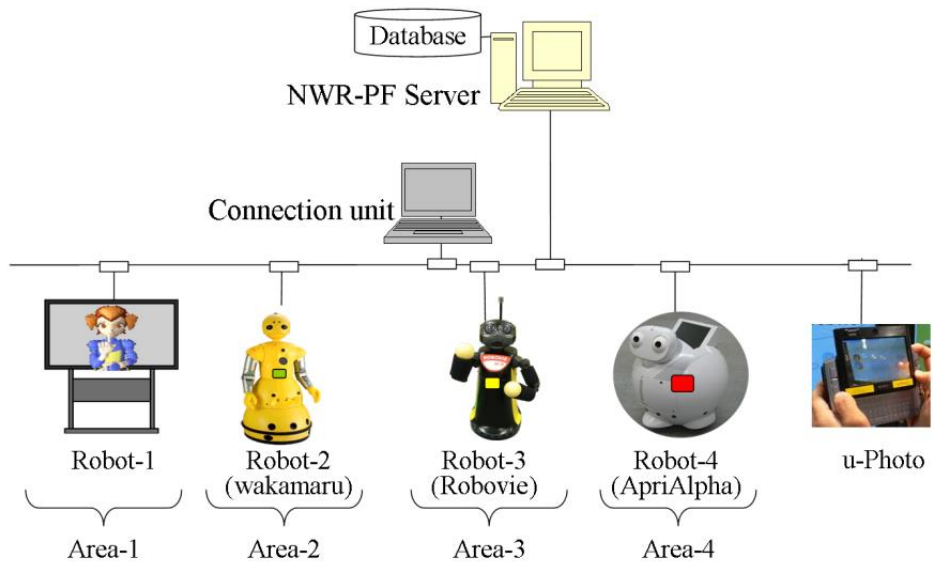


Figure 5-5 System configuration for exhibition-guide service

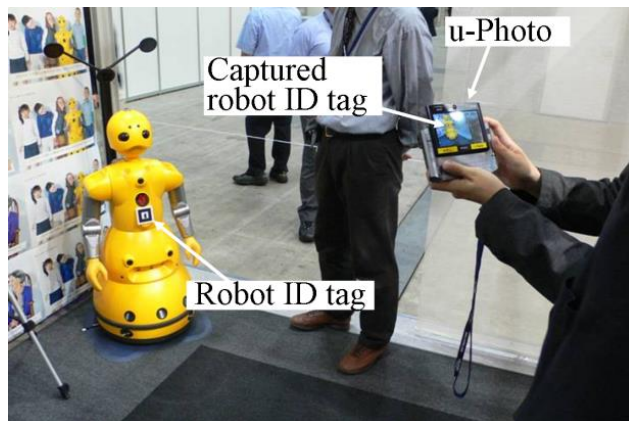


Figure 5-6 Scene of capturing the robot ID tag by u-Photo

### 5.3.2. センサクラス

展示案内サービスで用いたセンサとセンサクラスを Table 5-5 に記す. このサービスでは u-Photo を Who & What & When センサクラスのセンサとして用いた.

Table 5-5 Sensor classes for exhibition-guide service

No.	Sensor class	Who info.	When info.	Where info.	What info.	Location name	Sensor name
1	Who & When sensor class	○	○	-	-		
2	Where & When sensor class	-		○	-		
3	What & When sensor class	-		-	○		
4	Who & Where & When sensor class	○		○	-		
5	Who & What & When sensor class	○		-	○	Area-1	u-Photo
						Area-2	
						Area-3	
			Area-4				
6	Where & What & When sensor class	-	○	○			
7	Who & Where & What & When sensor class	○	○	○			

### 5.3.3. プラットフォームのカスタマイズ

u-Photo から撮影した機器の ID, 撮影した時刻, 写っているロボットの ID, ロボットの位置を取り出して以下のような 4W 情報を得ることができる. そこで, Where 情報を得るべく NR-PF で What 情報を Where 情報に変換し, 4W1H マッチングによるサービスシナリオとロボット選択を可能とした.

Who 情報 : u-Photo の ID (持ち主と対応付け)  
 When 情報 : 撮影時間  
 What 情報 : [ロボット ID] (どのエリアのロボットであるか対応付け) を写した  
 Where 情報 : -

展示案内サービスでは見学者に展示の説明をするとともに, 見学者がまだ行っていない展示を案内する. これを実現するためには, サービスシナリオの状態遷移の中で, ユーザが過去に説明を受けたかどうかによって状態を遷移させる方法が考えられるが, 状態遷移が煩雑になることは避けられない. そこで, ロボット共通コマンドに含まれる履歴情報で既に説明を受けたロボット名などを参照して, 各ロボット自身が履歴情報に応じてユーザとのコンテンツを決定することとした.

### 5.3.4. プラットフォームのパラメータ設計

サービスの設定概要を Table 5-6 に記す. 各タスクに同じシナリオを登録し, 各シナリオ実行に必要な機能として **Guide Function** を設定することとした. さらに, 場所に応じたサービスを実現すべく, それぞれのタスクを実行する場所にそれぞれのブース名を設定することとした. ロボットの設定概要を Table 5-7 に記す. 各ロボットに対してそれぞれ **Guide Function** の機能を設定するとともに, ロボットの場所にブース名を設定することとした.

以上のような設定をデータベースに登録することで, **u-Photo** でのロボット撮影に応じて **u-Photo** の場所に適したサービスシナリオとロボットが 4W1H マッチングで決定され, ロボットは自身の展示案内をするとともに, ロボット共通コマンドに記述された履歴を参照して他の展示案内が可能となる.

Table 5-6 Outline of registration of services for exhibition-guide service

Task name	Element name	Value
Guide-1 task	service.what	Taking a picture of robot
	service.scenario.name	Scenario-1
	service.where	Area-1
	service.scenario.how	Guide function
	service.scenario.priority	High
Guide-2 task	service.what	Taking a picture of robot
	service.scenario.name	Scenario-1
	service.where	Area-2
	service.scenario.how	Guide function
	service.scenario.priority	High
Guide-3 task	service.what	Taking a picture of robot
	service.scenario.name	Scenario-1
	service.where	Area-3
	service.scenario.how	Guide function
	service.scenario.priority	High
Guide-4 task	service.what	Taking a picture of robot
	service.scenario.name	Scenario-1
	service.where	Area-4
	service.scenario.how	Guide function
	service.scenario.priority	High

Table 5-7 Outline of registration of robots for exhibition-guide service

Element name	Value
robot.who	Robot-1(Virtual Robot)
robot.where	Area-1
robot.how	Guide function
robot.who	Robot-2(wakamaru)
robot.where	Area-2
robot.how	Guide function
robot.who	Robot-3(Robovie)
robot.where	Area-3
robot.how	Guide function
robot.who	Robot-4 (ApriAlpha)
robot.where	Area-4
robot.how	Guide function

### 5.3.5. 実験結果

構築したシステムを用いて 2006 年 10 月 3 日～7 日に東京ビックサイトで開催された CEATEC2006 で実証実験を行った。Robovie (Robot-3) に送信された共通ロボットコマンドの例を Figure 5-7 に示す。この履歴情報では, Floor-NTT (Area-1) の VirtualRobot (Robot-1) が notify Service を中断(abort)し, Floor-MHI (Area-2) の wakamaru (Robot-2) が notify Service を完了(success)していることが分かる。他のロボットも履歴を参照し, ユーザにまだタスクを実行していないロボットを把握し, ユーザにそのエリアの紹介を行えることを確認できた。

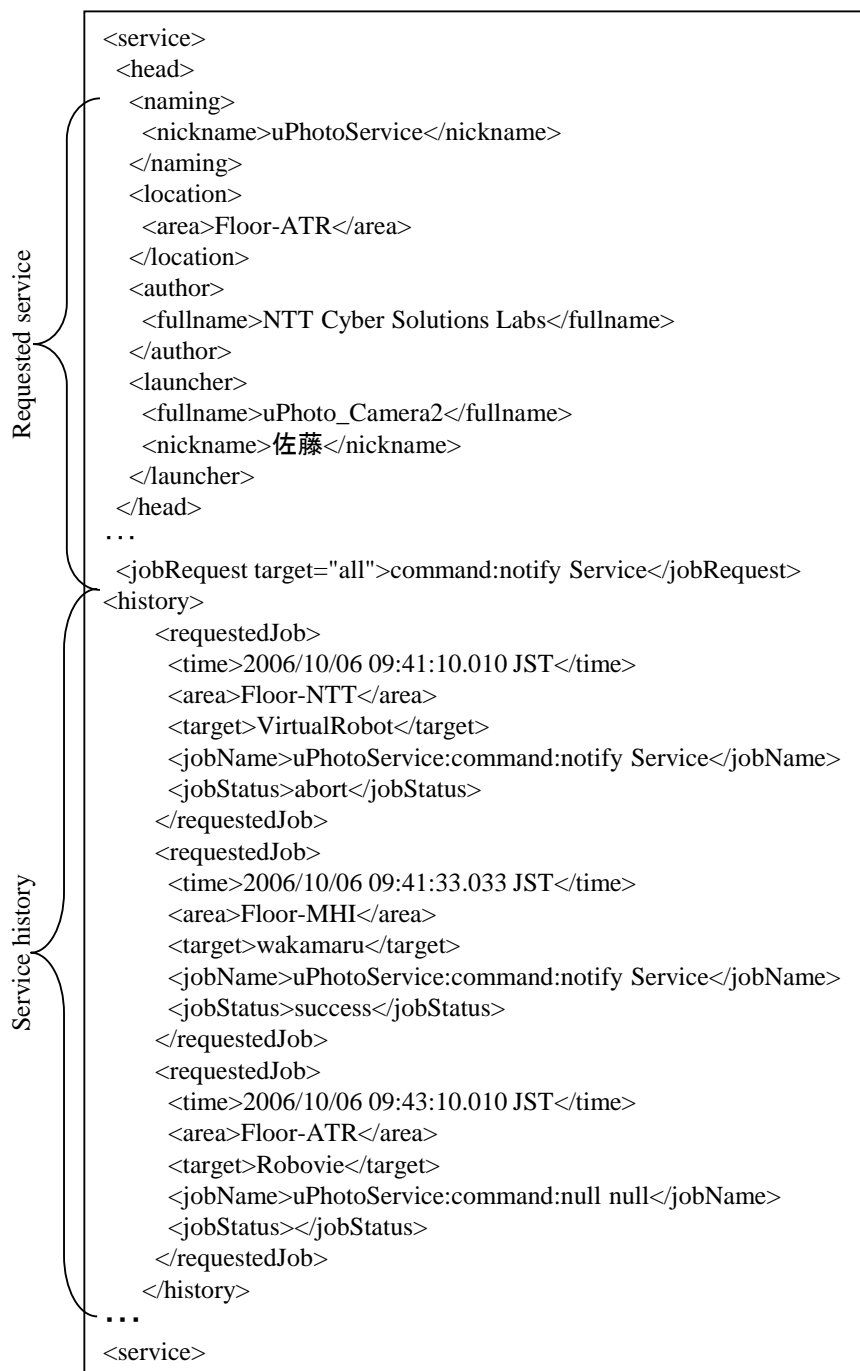


Figure 5-7 Example of robotic command for exhibition-guide service at CEATEC2006

### 5.3.6. 考察

複数の地点を跨ったサービスにおいてはユーザが別の地点へ移動しても、ロボットが同じ説明の繰り返しや的外れな情報提供することなく継続的にサービスを提供することが必要となる。このようなサービスにおいては機能の多様性が重要な要素となると考える。機能の多様性を考慮した3つのサービスモデルを Figure 5-8 に記す。

非依存型サービスとは、たとえば、各地点の危険な個所にユーザが近づいたときに警告する警告通知サービスなど、サービスを構成するタスク間で依存性がないサービスである。

依存型サービスとはサービスを構成するタスク間で実行順序などの強い依存性のあるサービスである。依存型サービスの例の写真プリントサービスを Figure 5-9 に示す。このサービスは写真を撮影して、その後プリントするという2つのタスクから構成されるサービスであり、シンプルな機能依存性のある例である。Robot-A は写真撮影機能を具しており、Robot-B は写真プリント機能を有している。このサービスを実現するためには、写真プリントタスクは写真撮影タスクの後に実行されなければならない。

準依存型サービスの例として美術館や展示会場などでの説明サービスを Figure 5-10 に示す。このタスクは各展示の説明をするとともに、ユーザがまだ見ていない次の展示を案内することである。このサービスを実現するためには、それぞれのロボットはユーザにまだ実行していないタスクを考慮して案内する必要がある。実証実験で検証した展示案内サービスはこのサービスの範疇である。

これら依存型サービスや準依存型サービスを実現するためには当該ユーザの履歴が重要な働きをする。実証実験では、各ロボットがロボット共通コマンドに記述された履歴情報を活用することで簡便にサービスが実現できた。履歴情報にはサービス実行したロボットや実行コマンドとその結果が記述されている。それゆえ、依存型サービスでも各ロボットがこの履歴を参照することで前提となるタスクが完了しているかどうかを判断可能なため、準依存型サービスと同様の構造で簡便にサービスが実現可能と考える。

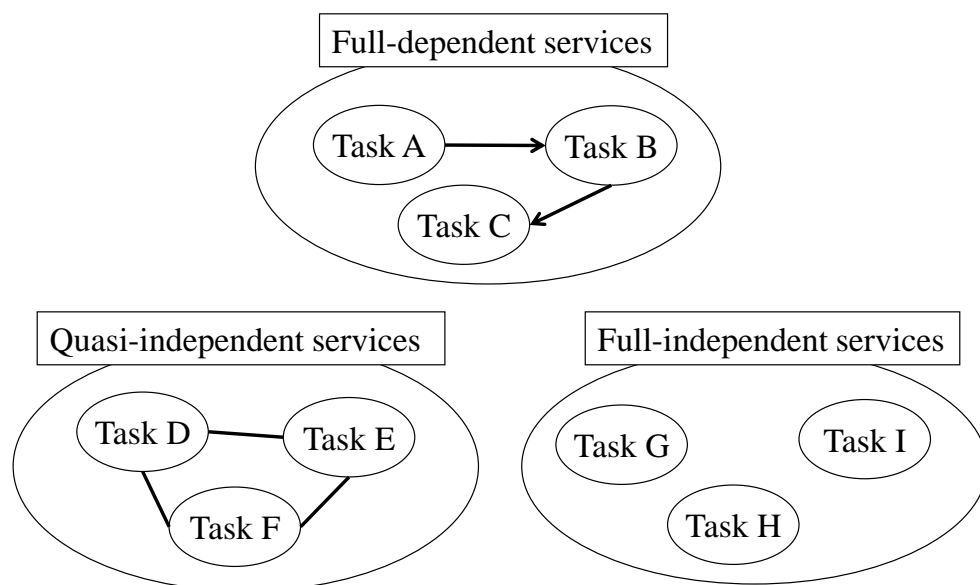


Figure 5-8 Dependencies of robotic services

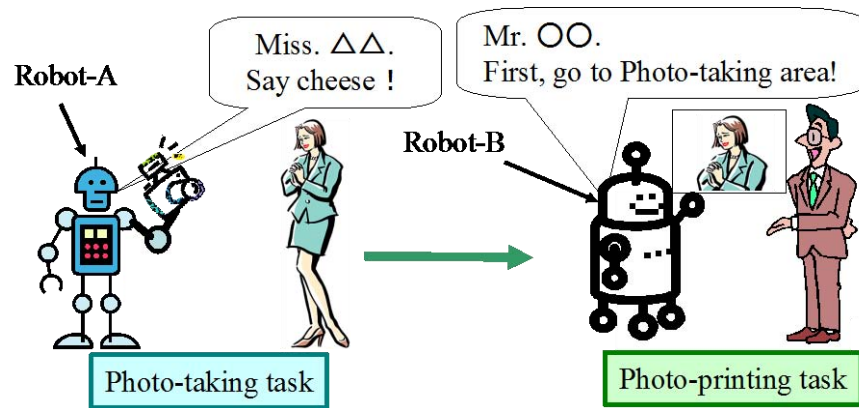


Figure 5-9 Example of fully-dependent service

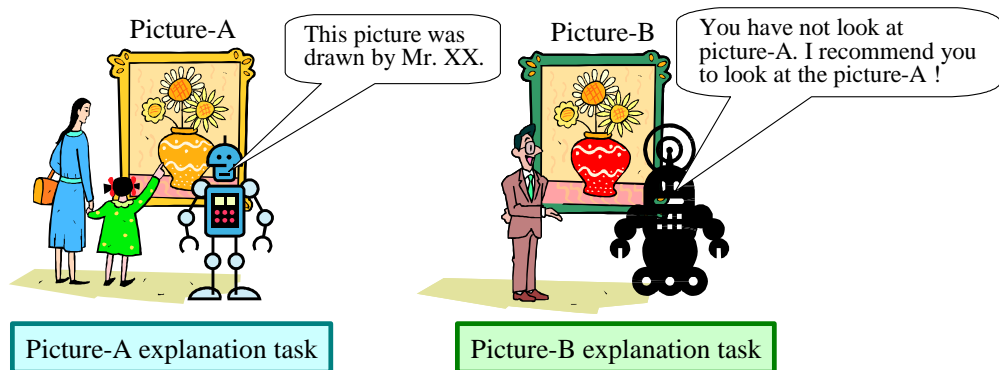


Figure 5-10 Example of quasi-independent service

## 5.4. What 情報を活用したロボットサービス

ユーザの What 情報を活用することで、ユーザの行為や振る舞いに応じたロボットサービスが実現可能である。本節では Ubiquitous Network Symposium (UNS) 成果展示会で行った体操補助サービスの実証実験を通して、プラットフォームを用いた What 情報を活用したロボットサービス開発の実現性を検証する。

### 5.4.1. 体操補助サービスの概要

構築した体操補助サービスは簡易健康診断サービスの一部として行った。簡易健康診断サービスの全体構成を Figure 5-11 に示す。体操補助サービスは体操体験エリアで実現した。体操体験エリアの様子を Figure 5-12 に示す。行動認識システム[59]は三菱重工が開発し、これと加速度センサを組み合わせることで体操行動認識システムとして用いた。また、電子タグプラットフォーム[60]は NTT コミュニケーションズが開発し、先生ロボット (wakamaru) と助手ロボットはそれぞれ三菱重工と ATR が開発した。

体操補助サービスでは、電子タグ PF が参加者の性別などの開示情報を管理し、体操行動認識システムが参加者の振る舞いを認識する。先生ロボットはそれらから取得した What 情報に応じて体操の手本提示とアドバイスを参加者に提示する。また、助手ロボットは先生ロボットと参加者の What 情報に応じた声掛けをすることとした。

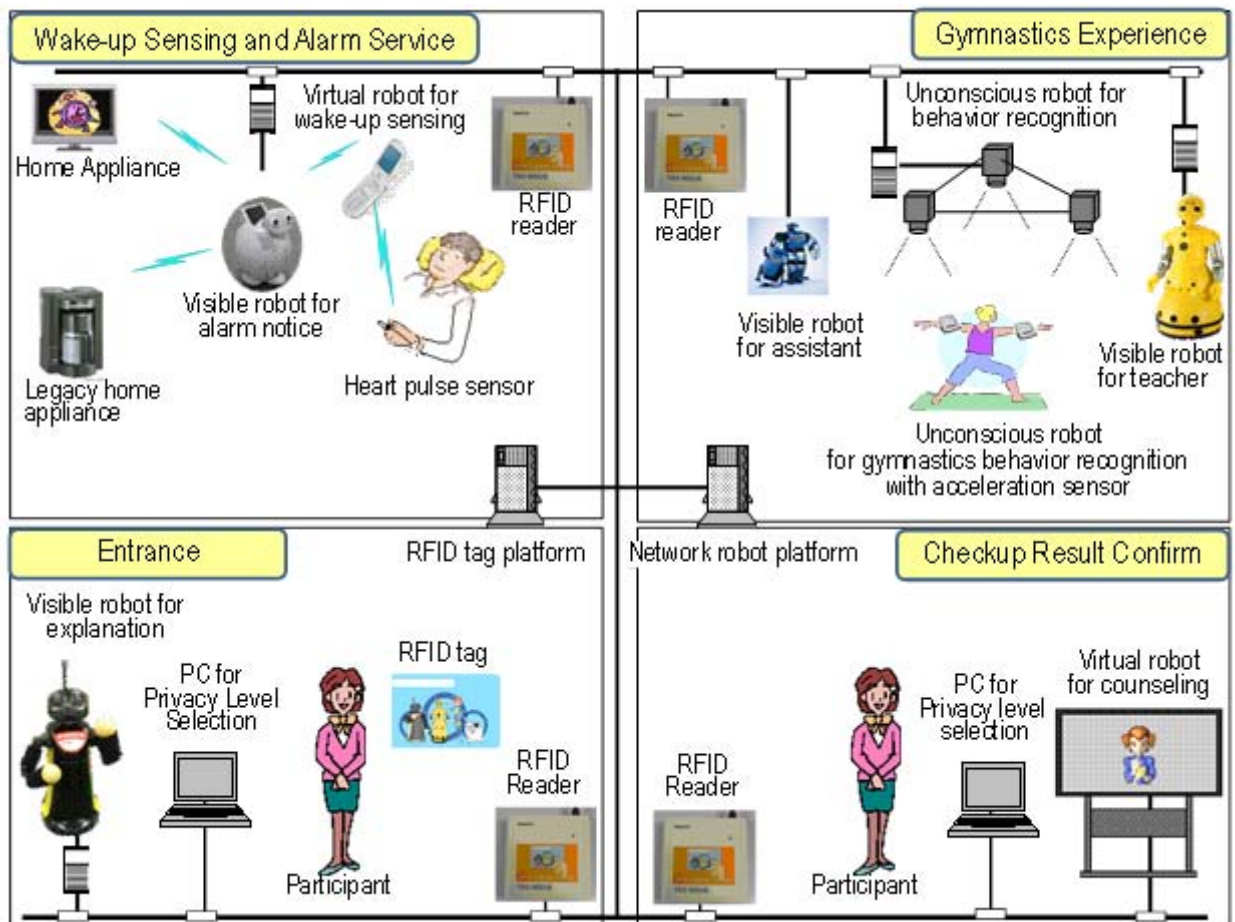


Figure 5-11 Schematic of simple checkup services



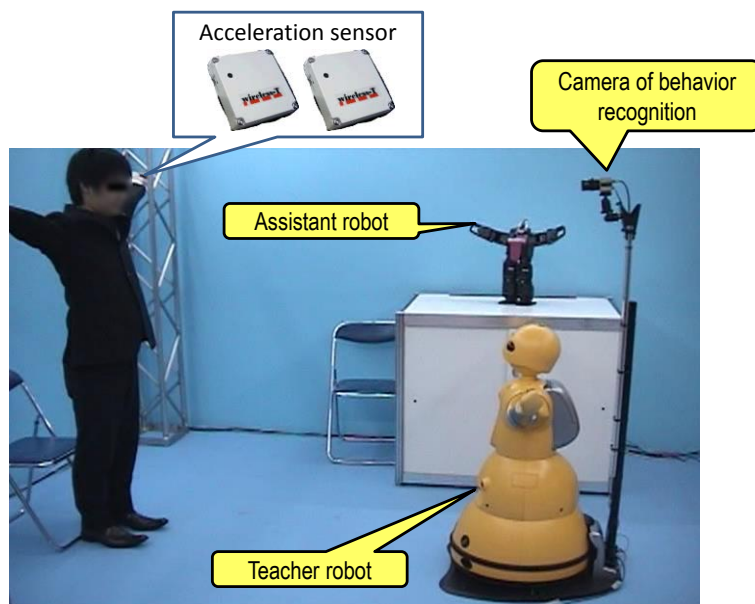


Figure 5-12 Experimental setup of gymnastics experience area

#### 5.4.2. センサクラス

簡易健康診断サービスで用いたセンサとセンサクラスを Table 5-8 に記す。このサービスでは電子タグ PF を Where & What & When センサクラスのセンサとして用い、体操補助サービスでは体操行動認識システムも Where & What & When センサクラスとして用いた。

Table 5-8 Sensor classes for simple checkup services and gymnastics-support service

No.	Sensor class	Who info.	When info.	Where info.	What info.	Location name	Sensor name	
1	Who & When sensor class	○	○	-	-			
2	Where & When sensor class	-		○	-			
3	What & When sensor class	-		-	○			
4	Who & Where & When sensor class	○		○	-			
5	Who & What & When sensor class	○		-	○			
6	Where & What & When sensor class	-		○	○	○	Entrance	RFID reader (RFID tag platform)
							Wake-up sensing and alarm service	
			Gymnastics experience					
			Checkup result confirm				Gymnastics behavior recognition system	
Gymnastics experience								
7	Who & Where & What & When sensor class	○	○	○				

### 5.4.3. プラットフォームのカスタマイズ

プラットフォームでは1人のユーザに対して1台のロボットを割り当ててサービスを提供することを基本としている。それゆえ、助手ロボットによる先生ロボットと参加者の What 情報に応じたアドバイス提示は実現できない。そこで、プラットフォームを拡張し、外部から特定の AP が HTTP の GET メソッドでプラットフォームのデータベースを参照可能なインタフェースを新たに実装した。このインタフェースによって、エリアで実行されているサービスの情報、そのエリアのロボットとユーザの 4W 情報、Service Flow を実行しているときに先生ロボットが逐次送信するその時のポーズ (userDesiredWhat), ユーザが過去に提供されたサービスの履歴などを参照可能とした。外部 AP が能動的にアクセスして情報を取得するインタフェースであることから、このインタフェースを Pull 型インタフェースと呼ぶ。

Pull 型インタフェースの取得例を Figure 5-13 に示す。助手ロボットはこのインタフェースで先生ロボットのポーズと参加者のポーズをポーリングで逐次取得し、これらの差を評価し逐次音声でその違いに応じた声かけをする。このインタフェースを介してやり取りされる情報フローを Figure 5-14 に示す。ここでは先生ロボットのポーズを RobotTeachesWhat, 体操中の参加者のポーズを userWhat と記載している。このように Pull 型インタフェースを介することで、容易に複数ロボットによる連携サービスが実現可能となる。

where:ExerciseArea serviceframework:NRService task:ExerciseTask serviceflow:ExerciseServiceFlow service:Exercise0	} Information about area where robot are employed
robotWho:wakamaru robotWhen:2007/07/11 10:11:13.111 JST robotWhat:serving,Exercise0	
userWho:Person2 userWhen:2007/07/11 10:11:13.111 JST userWhat:r=us_l=us	} Status of user
userDesiredWhat:r=uf_l=uf	
	} Action which robot presents

Figure 5-13 Pull-type interface to access database

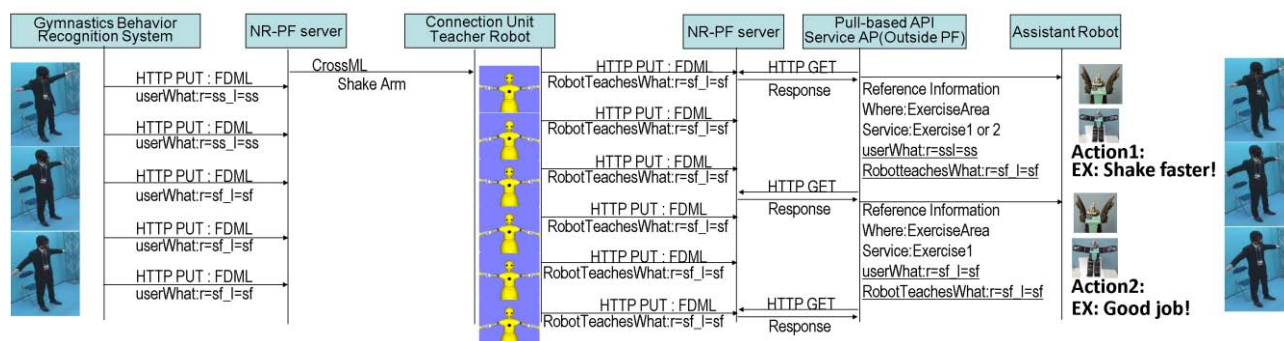


Figure 5-14 Sequence of shake-arm exercises

## 5.4.4. プラットフォームのパラメータ設計

本節では What 情報を活用した体操補助サービスにおける電子タグ PF と体操行動認識システムの What 情報のパターンおよび What 情報を用いた Service Flow を述べる。

### 5.4.4.1. ユーザに関する What 情報記述

#### (1) 電子タグ PF

電子タグ PF は総務省・電子タグの高度利活用技術に関する研究開発において開発されたプラットフォームである。この PF は、ユーザ ID、性別、出身地、身長、体重などのユーザのプライバシーに関するユーザ情報の管理機能、認証機能、開示制御機能からなる。認証機能はユーザが所持する電子タグの ID によってユーザを認証する機能である。開示制御機能は認証された電子タグ ID をトリガに、ユーザが事前に開示を許可した項目からサービスに必要な開示情報を生成し、サービスプロバイダに提供する機能である。電子タグ PF ではユーザ情報をそのまま提供するのではなく、サービスプロバイダで利用する情報をユーザ情報から生成して提供することに特徴がある。これにより、ユーザのプライバシーを保護しながらサービス提供が可能となる。体操補助システムにおいては、開示情報を性別のみ（男性/女性/不明）に限定し、接続ユニットで Who 情報は固定 ID とし、What 情報にこの情報を記述することとした。What 情報の記述パターンを Table 5-9 に示す。

Table 5-9 Pattern of description of what info.

Disclosed info.	Descriptions of what info.
male	Open_g=m_a=r
female	Open_g=f_a=r
unknown	Open_a=r

#### (2) 体操行動認識システム

体操行動認識システムは行動認識システムに加速度センサを組み合わせ構成した。行動認識システムは3台の天井カメラと人を正面から見る前方カメラを用いた画像認識システムである。Figure 5-12 にカメラのレイアウトを記す。このシステムと加速度センサを組み合わせた認識パターンを

Table 5-10 および Table 5-11 に示す。手の位置に関しては、

- ・手が頭より上にある = UP
- ・手が肩の高さにある = SIDE
- ・手が肩よりも低い位置にある = DOWN

を行動認識システムの画像処理結果に基づいて推定する。手の動きに関しては、

- ・早く動かしている = FAST
- ・ゆっくり動かしている = SLOW

を加速度センサの値を用いて左右独立に推定する。これらを組み合わせることにより、人の手の位置と動きに関する行動情報は36種類となる。加えて、人の姿勢に関する行動情報としては5種類を用意し、合計41種類の行動情報が識別可能である。NR-PF に送信される What 情報は

Table 5-10 に示したように、例えば右手：UP ∧ FAST, 左手：SIDE ∧ SLOW の場合には r=uf\_l=ss のように表記することとした。

Table 5-10 Description of hand motions

			Left hand					
			Move quickly			Move Slowly		
			Up	Side	Down	Up	Side	Down
Right hand	Move quickly	Up	r=uf_l=uf	r=uf_l=sf	r=uf_l=df	r=uf_l=us	r=uf_l=ss	r=uf_l=ds
		Side	r=sf_l=uf	r=sf_l=sf	r=sf_l=df	r=sf_l=us	r=sf_l=ss	r=sf_l=ds
		Down	r=df_l=df	r=df_l=sf	r=df_l=df	r=df_l=us	r=df_l=ss	r=df_l=ds
	Move slowly	Up	r=us_l=uf	r=us_l=sf	r=us_l=df	r=us_l=us	r=us_l=ss	r=us_l=ds
		Side	r=ss_l=uf	r=ss_l=sf	r=ss_l=df	r=ss_l=us	r=ss_l=ss	r=ss_l=ds
		Down	r=ds_l=df	r=ds_l=sf	r=ds_l=df	r=ds_l=us	r=ds_l=ss	r=ds_l=ds

Table 5-11 Description of other motions

User Status	Descriptions of what info.
Sitting	sitting
Standing	standing
Both hands are raised	uphand
Enter area	inarea
Exit area	outarea

#### 5.4.4.2. サービスフローの記述

先生ロボットによる手本の提示とアドバイス提示は Service Flow を用いて実現した。実証実験では電子タグ PF にて開示された情報（男性/女性/性別不明）に応じて3種類の Service Flow を予め登録することとした。男性用 Service Flow の状態遷移テーブルを Table 5-12 に示す。縦方向に状態を横方向にトリガとなるユーザとロボットの What 情報を記した。また、各セルは当該状態中にトリガが発生した場合の遷移先の状態を意味する。このように、電子タグ PF と体操行動認識システムおよび先生ロボットの What 情報を利用して状態遷移を制御することとした。

evaluateExercise\*(\*は1または2)の処理 (Service) では、データベースに蓄積しているユーザとロボットの 4W 情報を参照してロボットによる発話のためのパラメータ算出を行うこととした。具体的には Exercise\*中に先生ロボットが逐次送信したポーズ (RobotTeachesWhat) とユーザのポーズ (userWhat) をデータベースから取得する。ついで、Exercise\*の実行時間に対する RobotTeachesWhat = userWhat となっている時間の割合を算出し、結果をサービス履歴に追記する。Evaluation\*\_g=m\_a=r の Service 処理ではサービス実行要求コマンドにこの履歴情報を追記してロボットに送信する。先生ロボットはロボット共通コマンドからのこの値を取り出し、それに基づいて参加者にアドバイスを伝える。

Table 5-12 Outline of state transit table of service flow for male

			Trigger					
			What info. of user		What info. of teacher robot	Internal info.		
			RFID tag PF	Gymnastics behavior recognition system				
			Open_g=m_a=r	r=us_l=us	sitting	Finishing service	Finishing service	
States		(Start)	Greeting_g=m_a=r					
	Greeting	Greeting_g=m_a=r				AfterGreeting		
		AfterGreeting			Exercise0			
	Stretch and body twist	Exercise0				Exercise1		
	Shake-Arm No.1	Exercise1				evaluateExercise1		
		evaluateExercise1						Evaluation1_g=m_a=r
		Evaluation1_g=m_a=r					Exercise2	
	Shake-Arm No.2	Exercise2				evaluateExercise2		
		evaluateExercise2						Evaluation2_g=m_a=r
		Evaluation2_g=m_a=r					Byebye	
	Bye-Bye	Byebye						(End)
		(End)						

---

## 5.4.5. サービスのコンテンツ

プラットフォームの設定および拡張によって実現されるサービスのコンテンツの概要を Table 5-12 の Service Flow に基づいて述べる。

### (1)Greeting: Greeting

先生ロボットは参加者に実施する体操の概要を伝え、体操をする準備が整ったら両手を挙げるように指示する。

助手ロボットは先生ロボットの状態が **Greeting** になったら、立ち上がる。

### (2)AfterGreeting

先生ロボットは参加者が両手を上げるまで待機する。

### (3) Stretch and body twist: Exercise 0

先生ロボットは腕を上げたり横に広げたりを中心としたストレッチ運動の見本を動作で提示しつつ、参加者に真似てもらおうよう音声で案内をする。

助手ロボットは先生ロボットの状態と同じ動作をトレースする。同時に、**RobotTeachesWhat** と **userWhat** を逐次比較し、**RobotTeachesWhat=userWhat** の場合に参加者が先生ロボットの指導に正しく従っていると判断し、以下の声かけを行う。

- **RobotTeachesWhat =userWhat** : 「その調子!」「ナイス!」「やるね!」「いいぞ!」等の声かけを行う。
- **RobotTeachesWhat ≠ userWhat** : 「疲れちゃった?」「ファイト!」「もうちょっとがんばろう」等の励ます声かけを行う。

なお、参加者のポーズと先生ロボットのポーズが左右逆になる場合を考慮して、**RobotTeachesWhat** と **userWhat** が左右対称の場合も正しく従っているとみなすようにした。

### (4) Shake-arm No.1: Excercise1

先生ロボットは参加者に真似てもらおうよう音声で案内をし、両腕を横に広げた状態で早いテンポで上下に振る運動を手本として提示する。

助手ロボットは **RobotTeachesWhat** に基づいて先生ロボットと同じ腕振り動作を行う。同時に、**userWhat** の手の動きが **FAST** となっている場合に、参加者が先生ロボットの指導に正しく従っていると判断し、以下の声かけを行う。

- **userWhat** の両手が **FAST** の場合 : 「その調子!」「ナイス!」「やるね!」「いいぞ!」等の声かけを行う。
- 上記以外の場合 : 「疲れちゃった?」「ファイト!」「もうちょっとがんばろう」等の励ます声かけを行う。

### (5) Shake-arm No.1: evaluateExercise1

**Excercise1** 中の **RobotTeachesWhat=userWhat** となった時間の割合を評価値として **NR-PF** 内部で算出する。

### (6) Shake-arm No.1:Evaluation1

先生ロボットは **evaluateExercise1** で得られた評価値が予め定めた閾値以上であれば褒める言葉をかけ、閾値未満であればさらに頑張るように声をかける。

### (7) Shake-arm No.2:Excercise2, evaluateExercise2

---

Excercise2, evaluateExercise2 は, それぞれ Excercise1, evaluateExercise1 と同様.

(8) Shake-arm No.2:Evaluation2

先生ロボットは Evaluation1 と同様に Excercise2 の体操の評価を音声で提示する. ついで, 椅子に座って休むことを参加者に指示する.

(9) Bye-bye: Byebye

先生ロボットは体操終了を音声で案内する.

助手ロボットは手を振る動作をした後に座る.

## 5.4.6. 実験結果

構築した簡易健康診断サービスを用いて 2007 年 11 月 29 日, 30 日に秋葉原において開催された UNS 成果展示会で実証実験を行い, 来場者 74 名 (男性:38 名, 女性 36 名) に 4 エリアでの実験に参加して頂いた。以降では, 体操体験エリアでの実証の結果を述べる。


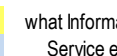
### 5.4.6.1. 環境内のセンサとの連携によるサービス実行管理

プラットフォームが提供するサービス実行管理を活用した電子タグ PF および体操行動認識システムと先生ロボットの連携を検証すべく, 体操サービス中のシステムログを検証した。体操補助サービス中の状態名, 開始と終了に関連して NR-PF とロボット間でやりとりされた情報(CroSSML/FDML)の一覧を Table 5-13 に示す。また, Table 5-13 には体操を行った参加者 14 名の状態毎のトリガからサービス実行要求までの時間の平均値と標準偏差を記した。

Table 5-13 から, 電子タグ PF と体操行動認識システムおよび先生ロボットから逐次得られた What 情報を用いて 1.0~1.8 秒程度のレスポンスでシナリオの状態遷移を切り替え, 先生ロボットが電子タグ PF と体操行動認識システムと連携しながら, 安定してサービス提供が行われていることを検証できた。

Table 5-13 Service sequence log of gymnastics-support system

No.	Service flow	From	To	Context	Example	Average time(sec)	SD(sec)
1	Greeting	Tag-PF	NR-PF	FDML: Open_g=*a=r	12:09:54.093	0.000	0.000
2		NR-PF	wakamaru	CroSSML: Start Greeting			
3		wakamaru	NR-PF	FDML: on execution	12:09:54.611	1.095	0.567
4		wakamaru	NR-PF	FDML: Finish greeting	12:10:18.972		
5	Exercise0 (Stretch and Body twist)	Gymnastics behavior recognition sysytem	NR-PF	FDML: r=us_l=us	12:10:21.391	0.000	0.000
6		NR-PF	wakamaru	CroSSML: Start Exercise0			
7		wakamaru	NR-PF	FDML: on execution	12:10:22.441	1.465	0.994
8		wakamaru	NR-PF	FDML: finish Exercise0	12:12:14.618	0.000	0.000
9	Exercise1 (Shake-arm)	NR-PF	wakamaru	CroSSML: Start Exercise1			
10		wakamaru	NR-PF	FDML: on execution	12:12:15.635	1.285	0.493
11		wakamaru	NR-PF	FDML: finish Exercise1	12:12:38.262	0.000	0.000
12	Evaluation1	NR-PF	wakamaru	CroSSML: Start Evaluation1			
13		wakamaru	NR-PF	FDML: on execution	12:12:39.061	1.273	0.422
14		wakamaru	NR-PF	FDML: finish Evaluation1	12:12:42.722	0.000	0.000
15	Exercise2 (Shake-arm)	NR-PF	wakamaru	CroSSML: Start Exercise2			
16		wakamaru	NR-PF	FDML: on execution	12:12:44.121	1.832	1.083
17		wakamaru	NR-PF	FDML: finish Exercise2	12:13:01.970	0.000	0.000
18	Evaluation2	NR-PF	wakamaru	CroSSML: Start Evaluation2			
19		wakamaru	NR-PF	FDML: on execution	12:13:03.051	1.720	0.992
20		wakamaru	NR-PF	FDML: finish Evaluation2	12:13:16.581		
21	Bye-bye	Gymnastics behavior recognition sysytem	NR-PF	FDML: sitting	12:13:22.604	0.000	0.000
22		NR-PF	wakamaru	CroSSML: Start Bye-bye			
23		wakamaru	NR-PF	FDML: on execution	12:13:22.961	1.250	0.977
24		wakamaru	NR-PF	FDML: finish Bye-bye	12:13:46.661		

 what Information which act as trigger  
 Service executed by the trigger



#### 5.4.6.2. Pull 型インタフェースによるロボット連携

Pull 型インタフェースを用いた先生ロボットと助手ロボットおよびセンサとの連携を確認した。具体的には、参加者中の 1 名に対する声かけの様子をビデオとシステムログで検証した。体操開始から終了までを時系列でプロットした結果を Figure 5-15 に示す。体操中に先生ロボットが提示したポーズと、その時に先生ロボットが NR-PF に送信した RobotTeachesWhat をグラフ上方に示した。また、体操行動認識システムから NR-PF が受信した参加者の状態(userWhat) については、userWhat= RobotTeachesWhat は正、userWhat≠RobotTeachesWhat は負として棒グラフで示した。

userWhat≠RobotTeachesWhat のタイミングで励ます声かけ、userWhat=RobotTeachesWhat のタイミングで褒める声かけを実行していることが確認できる。動作が切り替わった時点で userWhat≠RobotTeachesWhat が集中するのは、先生ロボットにあわせて参加者がポーズを取り始めている段階で、手本となるポーズとに差が生じたためと考えられる。

以上から、Pull 型インタフェースを活用することで、助手ロボットが先生ロボットと体操行動認識システムから得た What 情報をリアルタイムに取得し、先生ロボットと連携した情報提示が可能であることを確認した。

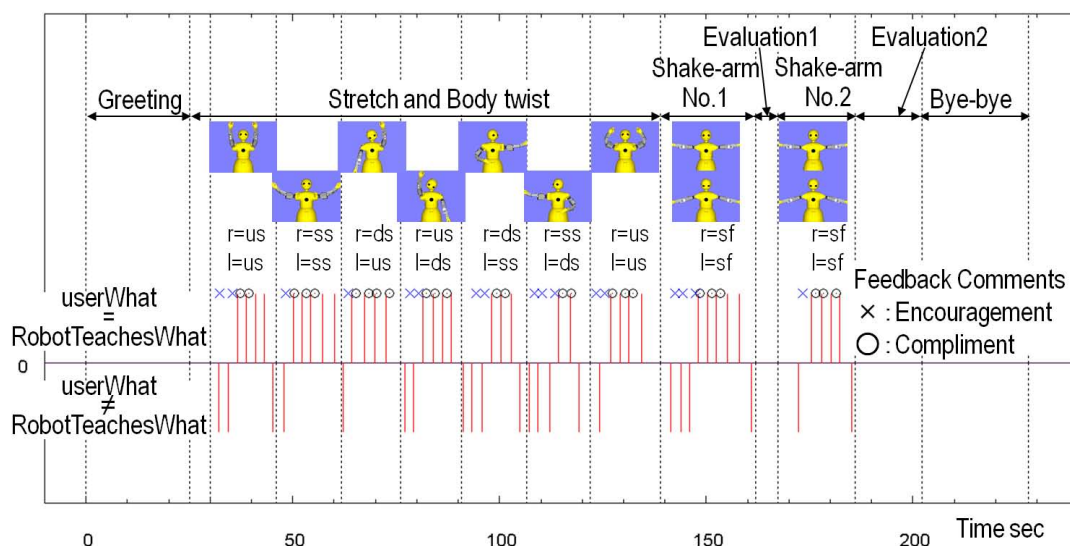


Figure 5-15 System log of gymnastics-support system

#### 5.4.6.3. 体操体験に関するアンケート結果

What 情報を活用したサービスを定性的側面から評価すべく、参加者に対して体操終了後にアンケートを行った。参加者に対して行ったアンケートの自由記述から、システムに対する意見を整理する。まず、先生ロボットに関しては以下のような意見が寄せられた。

- 立体的な指導なのでわかりやすい。
- 見本のロボットの動きがぎこちない。それに合わせると NG になる。
- ロボットの動きが遅いので合わせにくかった。
- インストラクター役のロボットの動きが少し分かりにくかった。腕だけでいいのか、頭、首も動かすのか。
- 上半身だけでなく下半身も可能になればと思います。

すなわち、手本として伝えるべき情報については、動きのポイントに関して伝えきれておらず、工夫

---

する余地があることを示唆している。次にアドバイスや声掛けに関しては、

- ・ 良い悪いの判断や声をかけてくれるのは良いと思う。
- ・ 小さいロボットの IF はうるさく感じてしまいましたが、こちらの状況をフィードバックしてくれるのは良いと思いました。

という肯定的な意見に加えて、

- ・ 「頑張っ」と言われるが、具体的な指示がないのでどう頑張ればいいのか分からない。
- ・ 良い時と悪い時の区別がつかない。(同じように真似しているつもりでも OK の時と NG の時がある)
- ・ ロボットだとどれくらい体を伸ばしたら良いか、力はどれくらい入れたらよいかよくわからない。ロボットの動きも分からないのもっと大きな声でロボットのアドバイスが欲しい。
- ・ 左右、上下などの運動がわかりづらいかも。二つのロボットの声が重なると聞き取りづらい。

というように、アドバイスの内容や発話のタイミングについての具体的な意見が寄せられた。

以上のアンケート結果より、手本の見せ方や提示情報の粒度に関して課題があることが明らかになった。すなわち、より効果的な手本の提示とアドバイスや声掛けの提示を行うためには、手本として提示する情報の質を向上させつつ、運動中に簡潔かつ正確に改善ポイントを伝えられるように **What** 情報を活用することが重要であることが示唆された。

#### 5.4.7. 考察

実証実験の結果より、プラットフォームで提供されるサービス実行管理を活用することで、2 台のセンサで得られた **What** 情報をサービス実行中の先生ロボットにフィードバックできることを検証できた。センサには用途に応じて様々なものが研究開発されている。このサービス実行管理により、様々なセンサをロボットの動作制御に容易に組み込むことが可能となり、ロボットサービスの高度化に寄与できると考える。一方で、ユーザの両腕の位置や動作のセンシングとジェスチャでの見本の提示を同時に行うロボットを開発すれば等価なサービスを実現可能である。しかしながら、手本動作をしながら精度良くユーザの行動認識をすることがロボットに求められクリアすべき課題が多い。体操補助システムではセンサとロボットを分離してサービスを構成している。これにより、カメラの環境への固定やユーザに加速度センサを持たせるなど、センシングし易い環境の実現や簡易な方式で行動認識が実現されたと考える。すなわち、4W 状態遷移を用いたサービス実行管理により解決すべき課題が簡略化され、効率的にロボットサービスの高度化が図れるようになったと考える。

プラットフォームを活用したサービス開発は、複数のロボットやセンサを連携させてサービス AP を開発する場合には有効であるが、ロボットの接続、サービスの開発・実装をしなければならない。Pull 型インタフェースの実装により、現在のロボット・ユーザ・サービスの情報、ユーザが過去に受けたサービスの履歴を取得可能としたことで、同等の情報を使ってシステムを開発可能となったと考える。これにより、たとえば、ショッピングモールで実行主体のロボットが対話で説明をしながら別のロボットが地図をディスプレイに提示するなど、サービスを補助するシステムを簡易に実現可能となり、ロボットサービス開発の効率化にメリットになると考える。

体操体験に関するアンケートについてプラットフォームの観点から考察する。手本として提示する情報の質の向上に関しては、より自由度の高いロボットの導入などが考えられる。プラットフォームでは 4W1H 情報に基づいてハードウェアとサービス AP を階層化して分離し、接続ユニットを介してそれらを連携する構成である。それゆえ、ロボットの変更に伴う主な影響範囲はロボットと直接通信する接続ユニットに限定され、システムの高度化を効率的に進めることが可能と考える。

---

---

ロボットによるアドバイスの提示は、Service Flow 中の Service と Pull 型インタフェースによる先生ロボットとユーザの What 情報の参照で実現している。アドバイスの内容の向上を Service の改良で行うためには先生ロボットに違いの評価値を通知するだけでなく、違いのポイントも通知することが重要となる。実装したサービスでは両手の位置だけでなく早さの程度も含めた What 情報を取得しているため、違いのポイントも通知するように Service の処理を修正することで実現可能である。プラットフォームでは Service の処理を個々に実装しているため、該当する Service のみの改良で対応可能であり、提示情報の高度化を簡易に実現できると考える。また、Pull 型インタフェースを利用した助手ロボットによる声掛けに対しては先生ロボットと参加者の What 情報を逐次参照しているため、提示情報の高度化は簡易に実現できると考える。一方、助手ロボットによる発話のタイミングの改善は困難である。これは Pull 型インタフェースで得られた先生ロボットの What 情報には先生ロボットの発話状態に関する情報がなく、それらを考慮したタイミングでの発話が困難なためである。これを実現するためにはロボット間の直接通信などが考えられるが、今後の検討課題としたい。

---

## 5.5. 異種センサを活用した複数地点を跨ったロボットサービス

3.3 節で述べたセンサ要件を満たすセンサの導入により多地点を跨ったサービス実行に必要な情報を完備することが可能である。本節では、大阪・ユニバーサルシティウオーク（UCW）の店舗および店舗前通路を利用した店舗紹介／クーポン配布サービスの実証実験を通して、異種センサを活用した多地点ロボットサービス開発のプラットフォームによる実現性を検証する。

### 5.5.1. 店舗紹介／クーポン配布サービスの概要

店舗紹介／クーポン配布サービスのシステム構成を Figure 5-16 に示す。コミュニケーションロボットやマニピュレータなど 5 台（5 種類）のロボットの開発を ATR, 三菱重工業, 東芝, イーガーがそれぞれ担当し, 6 台（3 種類）のセンサを ATR, 三菱重工が開発した。ロボットとセンサの配置図を Figure 5-17 に示す。実証実験でのサービスの概略を Figure 5-17 に基づいて述べる。

**Corridor : Robovie** がユーザに声をかけ, ユーザの興味に応じてお勧めの店舗の情報を提供する (Figure 5-17 ①)。

**MHI Area** : ユーザが MHI Area に入ってきたことをトリガに, wakamaru がユーザに興味のある店舗のパネルの前に立つように促す (Figure 5-17 ③)。ついで, ユーザがパネルを閲覧していることをトリガに, そのパネルで紹介されている店舗の説明を wakamaru が行う。その際, Robovie が推薦した店舗の情報を交えながら説明をする (Figure 5-17 ④)。

**Toshiba Area** : ユーザの ID タグを RFID タグリーダーで検知したことをトリガに, ApriPoco が店舗の紹介を行う (Figure 5-17 ⑤)。その際, wakamaru や Robovie が説明した店舗の情報を使って, ユーザに応じた店の紹介を行う。

**Eager Area** : ユーザの ID タグを RFID タグリーダーで検知したことをトリガに, ユーザがそれまでに説明された店舗をタッチパネルに表示し, ユーザに表示された店舗をタッチするように Display Robot が促す (Figure 5-17 ⑥)。ついで, ユーザが選択ボタンを押したことをトリガに, その店舗のクーポンを ARC (マニピュレータ) がユーザに手渡す (Figure 5-17 ⑦)。

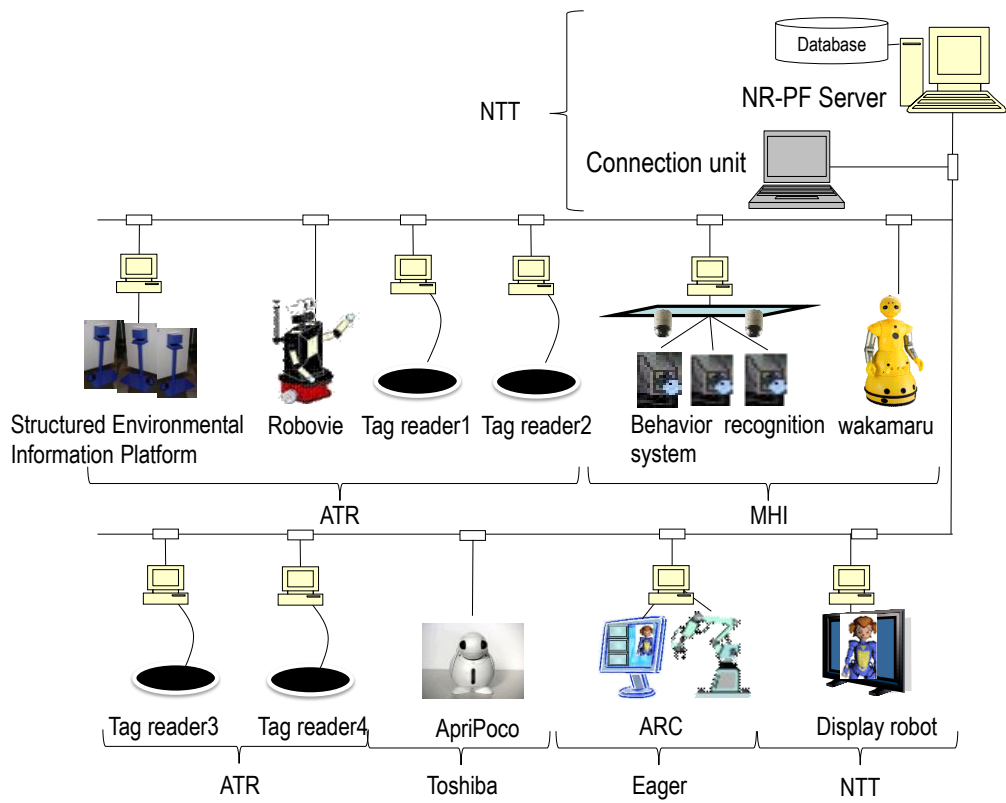


Figure 5-16 System structure of shop-guide and couponing service at UCW

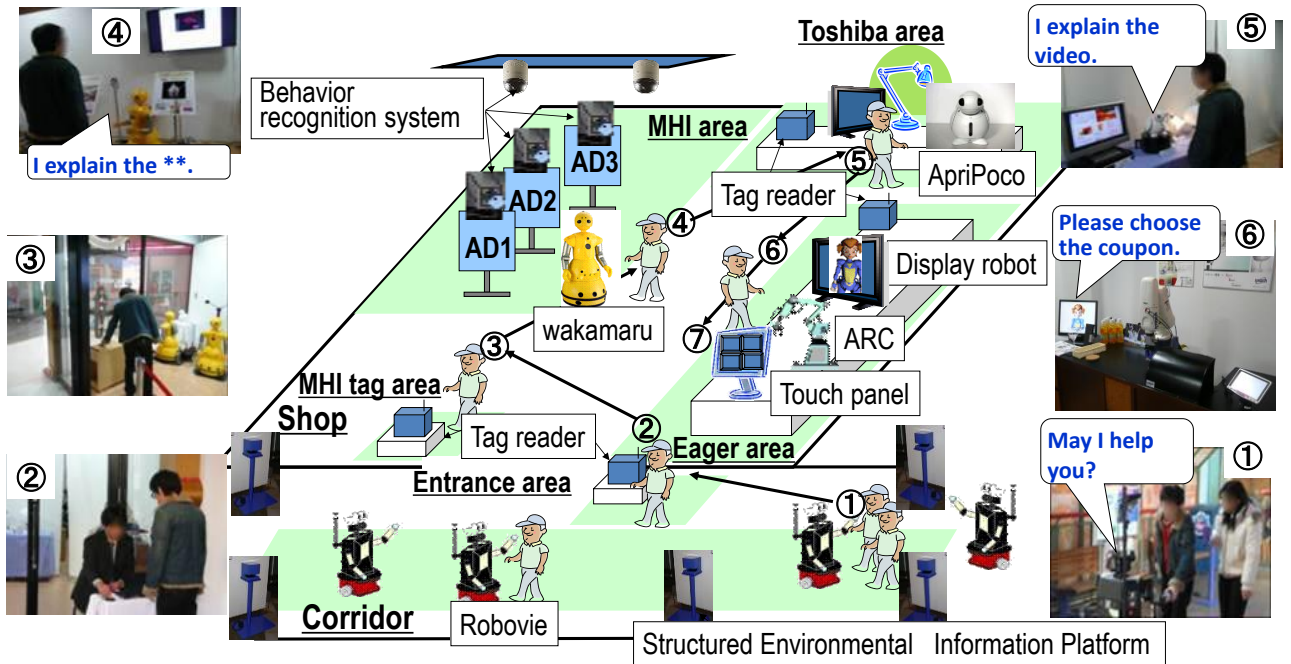


Figure 5-17 Robots and sensors layout of shop-guide and couponing service

### 5.5.2. センサ要件に基づいたセンサ配置

各地点に配置したセンサのクラスを Table 5-14 に示す。Toshiba area と Eager area には、「3.3 節 単一センサクラス要件」を満たす who&where&when クラスの RFID タグリーダを配置した。RFID タグリーダ用の接続ユニットでは、Who に検出したタグ ID を記述し、事前に定義した存在範囲を Where とした 4W 情報を生成する。

MHI area と Corridor には、行動認識システム[59]と既設の環境情報構造化プラットフォーム（環境情報構造化 PF） [61]を用いた。実験では、これらを where&what&when クラスのセンサとして用いた。また、「3.3 節の複数センサでの who 取得要件」を実現すべく、これらセンサの計測範囲内にそれぞれ Entrance area と MHI tag area を設け、who&where&when クラスの RFID タグリーダを配置した。

Corridor と Entrance area では「3.3 節の who 情報の事後取得パターン」を実現した。Corridor では、環境情報構造化 PF と連携する Robovie がローカル ID や座標値、状態情報を取得してユーザへの声かけや情報提供する。そして、その履歴を NR-PF に送信し、NR-PF ではそれらを逐次蓄積する。ついで、Entrance area で環境情報構造化 PF と RFID タグリーダのそれぞれが取得した 4W 情報が統合されたタイミングで、ID 対応付け/更新処理により当該ユーザのサービス履歴の ID をタグ ID に更新する。

MHI area と MHI tag area では「3.3 節の who 情報の事前取得パターン」を実現した。MHI tag area にて、RFID タグリーダと行動認識システムが獲得した 4W 情報が統合され ID の対応付けがされた以降、MHI area では行動認識システムからの 4W 情報の who を ID 変換処理でタグ ID に変換してサービスを行う。

Table 5-14 List of sensors and sensor classes at experimental setup

No.	Sensor class	Who info.	When info.	Where info.	What info.	Location name	Sensor name
1	Who & When sensor class	○	○	-	-		
2	Where & When sensor class	-		○	-		
3	What & When sensor class	-		-	○		
4	Who & Where & When sensor class	○		○	-	entrance2	RFID-tag reader1
						MHI TagArea	RFID-tag reader2
						ToshibaArea	RFID-tag reader3
						EagerArea	RFID-tag reader4
5	Who & What & When sensor class	○	-	○			
6	Where & What & When sensor class	-	○	○	entrance2	Structured Environmental Information Platform	
					corridor		
					MHI TagArea	Behavior recognition system	
					MHI Area		
7	Who & Where & What & When sensor class	○	○	○			

### 5.5.3. 実験結果

構築したシステムを用いて店舗紹介／クーポン配布サービスを行い、この時のシステムログを解析した。サービス中に接続ユニットからアップロードされた 4W 情報および 4W 情報統合された結果を示した。また、各ステップにおける ID 変換の状況および情報統合の状況を記した。Multile は接続ユニットからアップロードされた 4W 情報を他の情報と統合したことを表し、Single は統合する他の情報がなかったことを意味する。また、統合した 4W 情報をトリガに要求されたサービスを右の欄に記した。

No.3, No.6, No.7 では 4W 情報統合によって他のセンサデータと統合され、ユーザの状態が request, gaze1 に置き換わった 4W 情報が獲得できていることが分かる。また、No.5 で RFID タグの ID (グローバル ID) と行動認識システムが付与した ID (ローカル ID) の対応が取得され、以降の No.6, No.7 では ID 変換により 4W 情報内のローカル ID (Person13263) がグローバル ID (User188) に変換されていることも確認できる。

4W 情報統合処理により、上記のようにサービス実行に必要な情報がセンサデータの組み合わせに応じて獲得され、No.6, 7, 8, 9, 10 において、各地点のロボットにサービス要求が NR-PF から送信されていることも確認できた。

No.7 において、MHIArea の wakamaru に送信された共通ロボットコマンドの結果を Figure 5-18 に示す。ローカル ID (Person15334601, Person13263) が、グローバル ID (User188) に対応付けられていることが分かる。また、corridor において、Robovie5 が ID=2 の店舗を recommend した履歴が付与されていることも確認できる。これは ID 対応付け/更新処理により、Figure 5-18 の No.2 において ID 対応が得られたタイミングでローカル ID がグローバル ID に更新された履歴である。

以上の結果から、「3.3 サービス実現のためのセンサ要件」を満たす異種センサが取得した情報を用いて、地点を跨ったサービスに必要な情報を自動的に充足して完備することで、各ロボットが情報を引き継いでサービスを提供可能であることを確認した。

Table 5-15 System log at shop-guide and couponing service

No.	Area	Device name	Received 4W information				ID conversion	Integrated data	Integrated 4W information				Service request
			who	when	where	what			who	when	where	what	
1	Entrance	SEI-PF	Person15334601	15:36:14.042	near.frontentrance2 in.entrance2	is MemberOf group15334601		Single	Person15334601	15:36:14.042	near.frontentrance2 in.entrance2	is MemberOf group15334601	
2		RFID-tag reader1	User188	15:36:17.205	near.frontentrance2	request	register: Person15334601=User118	Multiple	User188	15:36:17.205	near.frontentrance2	request	
3		SEI-PF	Person15334601	15:36:18.245	near.frontentrance2 in.entrance2	is MemberOf group15334601	convert: Person15334601->User188	Multiple	<b>User188</b>	15:36:18.245	near.frontentrance2 in.entrance2	<b>request</b>	
4	MHI tag Area	ARS	Person13263	15:42:59.695	near.frontMHI tagArea in,MHIArea	is		Single	Person13263	15:42:59.695	near.frontMHI tagArea in,MHIArea	is	
5	MHI Area	RFID-tag reader2	User188	15:43:00.616	near.frontMHI tagArea	request	register: Person13263=User188	Multiple	User188	15:43:00.616	near.frontMHI tagArea	request	
6		ARS	Person13263	15:43:00.762	near.frontMHI tagArea in,MHIArea	is	convert: Person13263->User188	Multiple	<b>User188</b>	15:43:00.762	near.frontMHI tagArea in,MHIArea	<b>request</b>	command:notify greeting robot:wakamaru user=User188
7		ARS	Person13263	15:43:20.434	in,MHIArea	is	convert: Person13263->User188	Multiple	<b>User188</b>	15:43:20.434	in,MHIArea	<b>gaze1</b>	command:explain 1 robot:wakamaru user=User188
8	Toshiba Area	RFID-tag reader3	User188	15:46:08.089	near.front:ToshibaArea in,ToshibaArea	request		Single	User188	15:46:08.089	near.front:ToshibaArea in,ToshibaArea	request	command:recommend 1 2 3 robot:AprPoco user=User188
9	Eager Area	RFID-tag reader4	User188	15:50:02.807	near.front:EagerTagArea in,EagerArea	request		Single	User188	15:50:02.807	near.front:EagerTagArea in,EagerArea	request	command:notify select robot:ARC user=User188
10	Eager Area	ARC	User188	16:04:08.938	in,EagerArea	requestCoupon 1		Single	User188	16:04:08.938	in,EagerArea	requestCoupon 1	command:notify delivery 1 robot:ARC user=User188

SEI-PF:Structured Environmental Information Platform  
ARS>Action recognition system

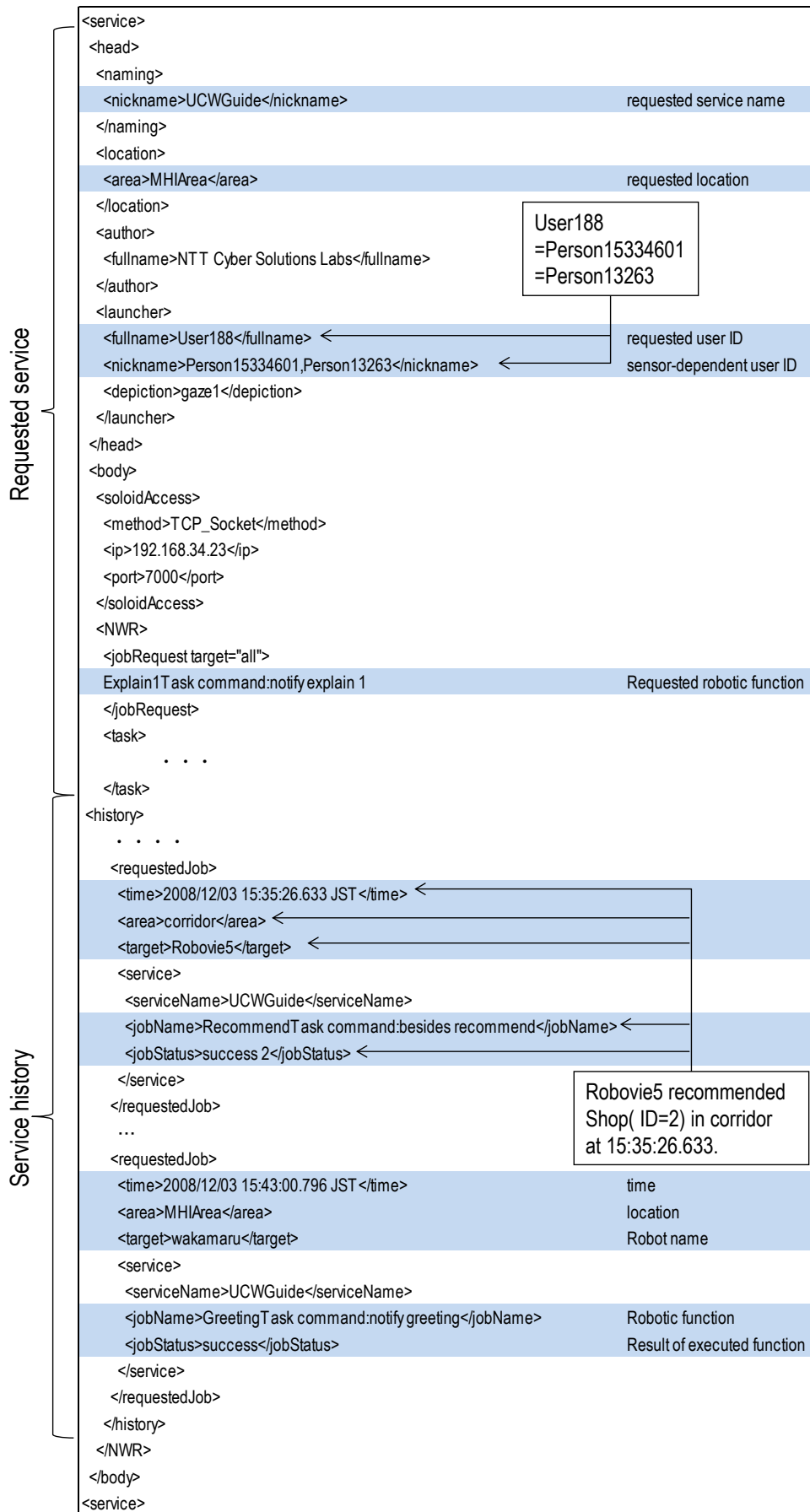


Figure 5-18 Common robotic command from NR-PF to communication robot (wakamaru)



---

#### 5.5.4. 考察

本実証実験では、センサ要件を満たすセンサ配置でサービスを実現した。ユーザの状況に応じたサービス AP 開発においては様々なセンサの導入が不可欠である。その際、このようなセンサクラスとサービス実行に必要な情報に着目したアプローチにより、センサ導入検討が見通し良く行えると考えられる。

実証実験では **where** の存在範囲を用いて 4W 情報統合を行った。これを適切に機能させるためには範囲内に複数のユーザが存在しないことが前提となる。実証実験では範囲をユーザ一人分の大きさに調整して実現した。IC タグリーダやパッシブ型 RFID タグリーダなどを用いたサービス AP ではこのような方式が有効と考える。一方で、領域内に複数のユーザが存在する場合も想定され、誤統合となるケースへの対応が重要と考える。これを解決する方法としてコミュニケーションロボットを情報提示手段だけでなく、不足する情報を能動的に収集するセンサとして活用することが考えられる。ロボットを情報獲得支援として活用することで、例えば、ロボットがユーザとの対話を通して確認し、確認が得られた時点で統合する等が考えられる。このような誤統合を防ぐ仕組みを導入することで、サービスの信頼性の向上が見込めるため今後の検討課題としたい。また、提案した 4W 情報統合ではセンサの計測精度や分解能までの検討には至っていない。これらを考慮することでより信頼性の高い情報統合の実現が期待されるため、この点も今後の検討課題としたい。

---

## 5.6. 物理サービスへの拡張

日常生活でのロボットによるユーザ支援で最も期待されるサービスとして物理サービスが挙げられる。このサービスは、情報サービスのようにユーザとの対話だけでなく、マニピュレータによる物品操作やハンドによる物品の把持、移動機構を用いた物品の運搬、ロボット間の物品の受け渡し等、ロボットによる外界との物理的な作業が伴う。それゆえ、力制御やインピーダンス制御、移動ロボットのナビゲーション等の要素技術が重要となり、力学系や制御系などの側面から様々な要素技術の研究がされている。しかしながら、本論文で扱う上位のサービス AP 開発の側面からは十分に研究されていない。

物理サービスには、単体のロボットでは扱うことが困難な物品を、複数のロボットが協調して運搬する高度なサービスや、複数のロボットがシーケンシャルに連携して作業を実行し、物品を運搬するサービスなど様々なものが考えられる。本研究では、日常生活でのユーザ支援において、複数のロボットが適切な機能を順次活用しながら物品を運搬するサービスを対象とする。

以降では、NR-PF の 4W1H のサービス AP 開発の枠組みを、情報サービスだけでなく物品運搬などの物理サービスにも拡張利用する AP 開発の枠組みの提案、および、その枠組みを用いたサービス AP 開発の有効性を述べる。具体的には、多種多様なセンサとロボットの様々な情報を、ユーザ・物品・ロボットに関する 4W、ロボットの機能 (How) とその属性および物品の属性で抽象化し、これら情報とサービス情報を組み合わせてサービス AP を開発する枠組みを述べる。また、サービス AP の開発結果から、提案した枠組みをシステム開発者がカスタマイズすることで、複数のロボットが適切な機能を順次活用しながら物品を運搬するサービス AP を開発可能であることを示す。

### 5.6.1. 物品運搬サービスにおける基本要件

複数のロボットが順次作業を実行して完結する物品運搬サービスの例を Figure 5-19 に示す。このサービスは、ユーザからの新聞を取ってくる要求に対して、Robot-2 がハンドで新聞を取得し、Robot-3 が Robot-2 から新聞を受け取り、Robot-3 が障害物回避をしながらサービスを要求したユーザに新聞を運ぶことで実現される。この例は日常生活でのユーザ支援で期待される物理サービスの一つと考える。

この一連の作動は、ハンドで新聞を取得するなどのロボットによる対象物品の物理的操作と、他のロボットやユーザとの物品の受け渡しなどの物理的な連携に大別される。以降ではこの観点でサービスを考察する。

#### 1) ロボットによる物理的操作

サービスで対象となる物品の重さやサイズ、素材、表面のテクスチャ、固さなどの仕様は物品ごとに異なる。一方で、各ロボットは、可搬重量や操作可能なサイズなど物品に対する機能の仕様が異なる。それゆえ、サービスを完遂させるためには、対象物品の仕様とロボットの機能の仕様の整合を取る必要がある。以降ではこの要件を『物理的操作のための仕様整合』と呼ぶ。

#### 2) ユーザや他のロボットとの物理的連携

サービスを実行するロボットや対象となる物品は生活空間内の様々な位置に配置される。また、ユーザが滞在している場所もソファやテレビの前など常に同じではない。このような環境でサービスを完遂するためには、サービス実行時にユーザ・物品・ロボットによる空間の共有が重要となる。すなわち、ロボットがハンドで新聞を取得するためには、物品の位置がサービス実行主体のロボットの作業範囲内にあることが必須である。また、ロボット間での物品の受け渡しのためには、受け渡す位置がそれぞれ

のロボットの作業範囲内であることが必須である。同様に、ロボットがユーザに物品を運搬するためには、ユーザの位置がロボットの作業範囲内にあることが必須である。以降では、この要件を『物理的連携のための位置共有』と呼ぶ。

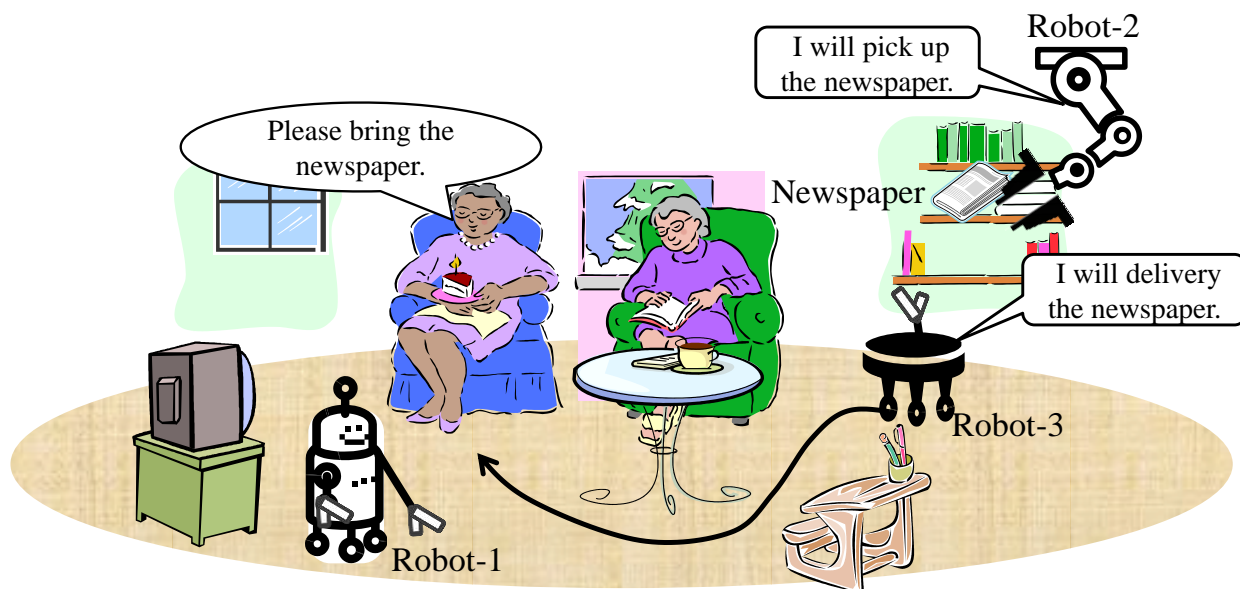


Figure 5-19 Example of object delivery service

---

## 5.6.2. 物品運搬サービスアプリケーションの枠組み

### 5.6.2.1. センサとロボットの抽象化とサービス記述

本節では、第2章で述べた4W1Hに基づくロボットとセンサの抽象化とサービス記述を拡張し、物理的操作や物理的連携を伴うサービス AP 開発のためのセンサとロボットの情報構造およびサービスの記述構造を述べる。

ユーザ、物品、ロボットの情報構造を Figure 5-20 に示す。従来の NR-PF と同様に、センサやロボットからの情報をユーザ・物品・ロボットに関する ID (Who)、位置 (Where)、状態 (What) およびそれらが得られた時刻 (When) で抽象化する。これらに加えて、ロボット情報と物品情報を拡張する。

物理的な作業に必要なロボットの機能は、物品の操作のための把持機能、操作や連携のための操作機能および運搬機能に大別されると考える。そこで、ロボットが具備する機能 (How) を、把持機能 (hand)、操作機能 (manipulator)、運搬機能 (mobileRobot) で抽象化する。加えて、可搬重量やハンドリング可能なサイズなどのロボットの仕様 (以降、機能的仕様と呼ぶ) およびロボットが持つ機能を提供可能な範囲 (以降、作業範囲と呼ぶ) を How の属性として管理する。物品に関する情報は、4W 情報に加えて、ロボットの機能的仕様に対応した大きさやサイズなどの仕様を物品の属性として管理する。

このように、4W 抽象化の対象をユーザとロボットに加えて対象物品にも拡張する。さらに、ロボットと物品の情報構造を拡張し、機能的仕様と作業範囲を管理する属性と物品の仕様を管理する属性をロボットと物品の情報として扱う。これらにより、多種多様なロボットを統一的に扱いながら 5.6.1 節で述べた『物理的操作のための仕様整合』と『物理的連携のための位置共有』を実現した AP 開発が可能となる。

これらユーザ、物品、ロボットの4W1Hとロボットおよび物品の属性を前提に、ロボットが作業を順次実行するサービスの内容を階層的に記述する方式を Figure 5-21 に示す。サービス情報は Task, Candidates, Subtask, How からなる。Task とは、たとえば、Figure 5-19 に示したユーザからの新聞を取ってきてほしいという要求に対して、新聞が置いてある場所への移動、新聞の取得、ユーザへの新聞の運搬など、その要求をロボットが実現するための大まかな実行手順を記述する階層である。ここで、たとえば、Figure 5-19 に示した Robot-1 のような把持・操作・運搬機能を持つ高機能なロボットで新聞を取得する Task を行う場合と、把持・操作機能のみのロボット (Robot-2) と運搬機能のみのロボット (Robot-3) を連携させて行う場合では実現方法は異なる。そこで、Task 配下に Candidates を設け、ロボットが持つ機能に応じた実行手順を個々に記述することとした。そして、Subtask にはロボットが持つ機能に応じた Candidates の実行手順を記述し、Subtask 配下の Required robotic function (How) には、その Subtask 実行に必要なロボットの機能を記述することとした。このような階層記述により、拡張性の良いサービス記述とした。

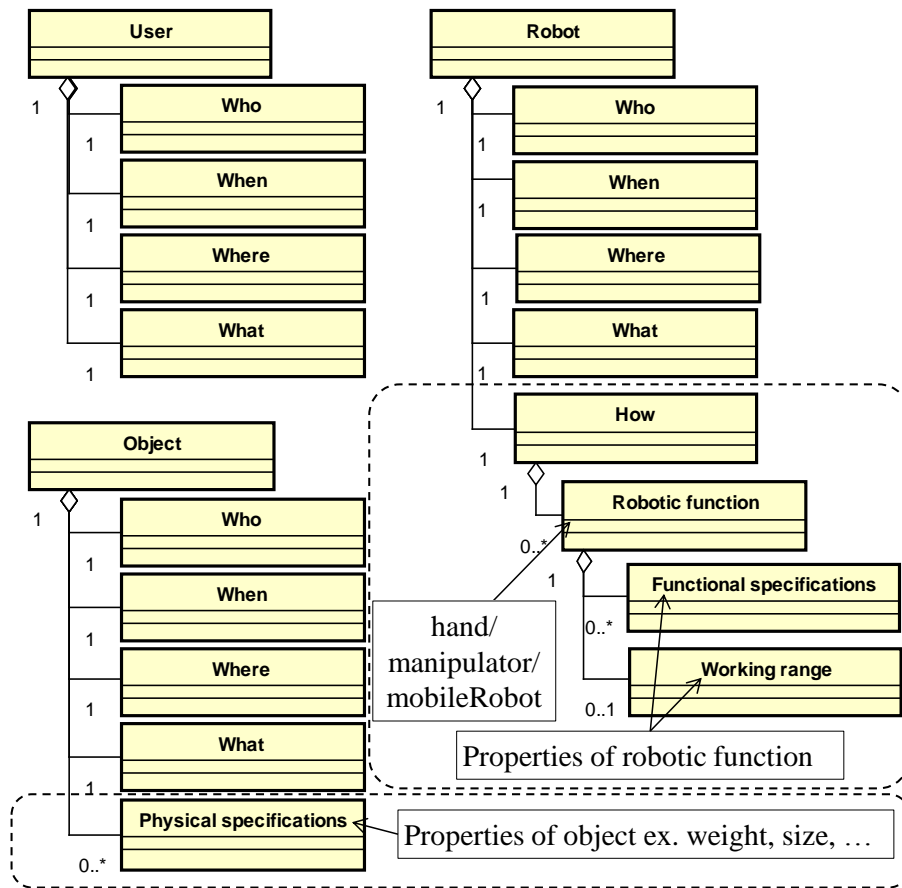


Figure 5-20 Robots, users and objects data based on 4W1H and properties

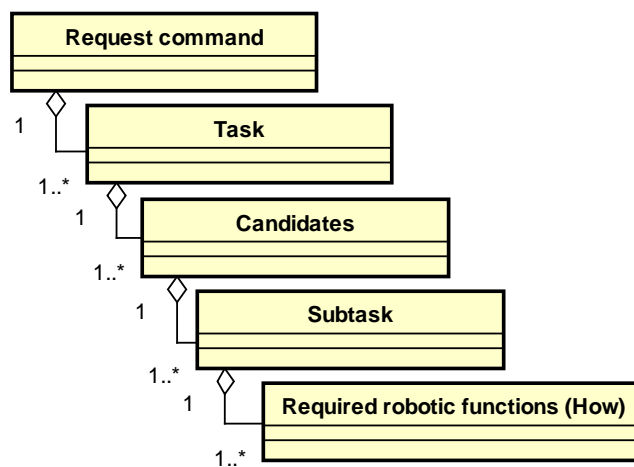


Figure 5-21 Service data description

---

### 5.6.2.2. 4W1H と属性に基づいたサービスアプリケーション開発の枠組み

ユーザ・物品・ロボットに関する 4W, ロボットの機能と属性, 物品の属性, サービス情報を組み合わせて物品運搬サービス AP を開発する枠組みを Figure 5-22 に示す. この枠組みは, センサやロボットのハードウェアを抽象化してユーザ・物品・ロボットに関する 4W 情報を生成するセンサ/ロボット階層と, 下位階層から得られた 4W 情報と物品とロボットの属性を用いて, サービス AP の基本的な枠組みを提供するアプリケーション階層からなる.

この枠組みにおいて, システム開発者は, アプリケーション層と相互通信するセンサやロボットの開発, およびアプリケーション層における各種情報の登録を基本的な開発として行う. 情報登録では, 1) ユーザと物品の 4W の値で定義されたサービス起動条件, 2) サービス要求コマンドと Task, Task と Candidates, Candidates と Subtask, Subtask とロボットに要求される機能に関するサービスの構成要素, 3) 重さやサイズなどの物品属性, 4) ロボットが具備する機能, 可搬重量などの機能的仕様とロボットの作業範囲からなるロボット機能属性を設計し, それら情報を登録する. システムでは, これら登録された情報とセンサとロボットから逐次取得された情報をユーザ・物品・ロボットに関する 4W 情報を用いて, サービスの選択, コマンド分解, How の比較, Where の比較とコマンドリストの生成の基本的な処理を提供する. 以降では, アプリケーション階層のシステムが提供する基本的な枠組みを述べる.

A) サービス要求の選択: サービスの起動条件と現在のユーザの 4W 情報および物品の 4W 情報を比較して, サービス要求コマンドを生成する.

B) コマンド分解: 予め定義されたサービスの構成要素を用いてサービス要求コマンドを分解し, Figure 5-21 の構造のサービス情報を生成する.

C) How の比較: Figure 5-20 のロボットの機能と Subtask を実行するために必要な Figure 5-21 のロボットの機能をキーに突合し, Subtask を実行可能なロボット候補を抽出する. ついで, 当該ロボットがその物品を扱うことが可能かどうかを確認する. 具体的には, ロボットの機能的仕様と物品の仕様から, 当該ロボットで対象物品を扱うことが可能かどうかを確認し, 『物理的操作のための仕様整合』を満たすロボット候補を選択する.

D) Where の比較とコマンドリストの生成: Figure 5-20 のユーザ・対象物品・ロボットの現在位置およびロボットの作業範囲を用いて, ロボットの候補で一連の Task を順次実行したときのロボットと物品間, ロボット間, ロボットとユーザ間で共有可能な位置を算出する. そして, 『物理的連携のための位置共有』の可否を検証し, サービス実行主体のロボットの組み合わせを決定する. ついで, 決定した Task の実行順序に従ってサービス実行主体のロボット ID, ロボットコマンドからなるコマンドリストを生成する.

このように, この枠組みでは, サービスに適したセンサやロボットの開発と, ユーザ・物品・ロボットの 4W1H と属性およびサービス情報の登録・参照によりサービス AP を開発することを基本とする. また, テクスチャなどの物品属性の拡張や新たなロボットの導入などに伴って『物理作業操作のための仕様整合』や『物理的連携のための位置共有』の拡張が必要な場合には, 関連する属性の拡張や How や Where の比較処理の一部修正など, 枠組みをシステム開発者が拡張することで所望するサービス AP を開発する. このような AP 開発により, 効率的なサービス AP 開発の実現が期待できる.

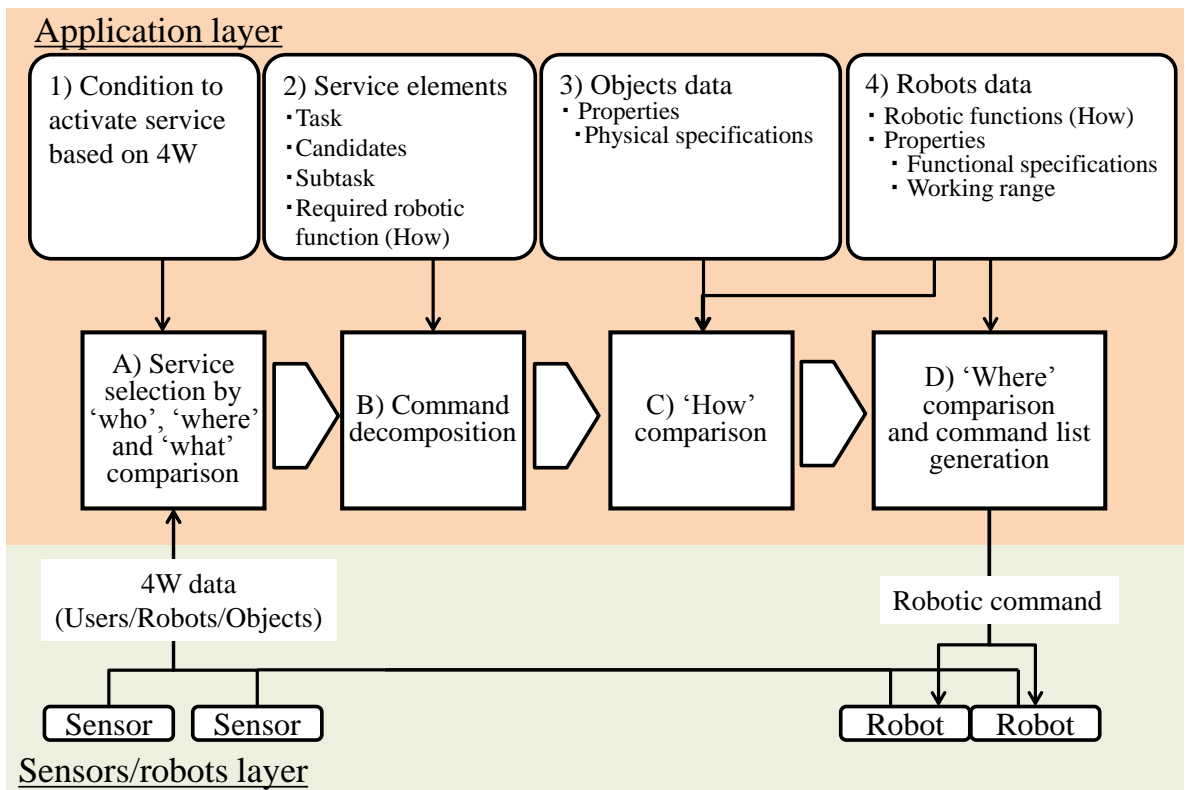


Figure 5-22 Service development framework based on 4W1H and properties

---

### 5.6.3. サービスアプリケーション開発プラットフォーム

従来の空間知ミドルウェア[69,70]を活用し、4W1H と属性に基づいたサービス AP 開発プラットフォームを OpenRTM.NET[71]を用いて具現化した。実装したプラットフォームの構成図を Figure 5-23 に示す。

#### (1) Service selector コンポーネント

Service Selector コンポーネントは、Figure 5-22 の枠組みのサービス要求の選択を実装し、ユーザと物品の 4W 情報で定義した起動条件でサービス要求コマンドを生成し、後述する Kukanchi コンポーネントに登録する。本実装では、既存の空間知ミドルウェアで実装されている BRING コマンド[69]を起動条件に応じて発行可能とした。BRING コマンドは運搬対象の物品の ID、サービス要求したユーザ ID などを引数としたコマンドである。

#### (2) 4W Integrator コンポーネント

4W Integrator コンポーネントは、3.4 節の 4W 情報統合と同等の機能を実装した。具体的には、Connection unit コンポーネントから取得した 4W 情報に対し、同一ユーザに関する異なるセンサの観測結果は ID または時空間が一致することに着目して、4W 情報の中の Who/When/Where をキーにユーザ単位でそれらを統合し、Figure 5-24 に示す 4W 情報を生成/出力する。

#### (3) Connection unit コンポーネント

Connection unit コンポーネントは Kukanchi コンポーネントから取得したユーザ、物品、ロボットの ID、位置情報などから 4W 情報を生成し、Figure 5-24 と同一のフォーマットで 4W Integrator コンポーネントへ出力する。また、外部センサシステムと直接通信して取得した情報を 4W 情報に変換し、4W Integrator コンポーネントへ出力する。

#### (4) Kukanchi コンポーネント

Kukanchi コンポーネントは、配下のセンサとロボットの情報および Service selector コンポーネントで生成したサービス要求コマンドをデータベースで管理する。Kukanchi コンポーネントは従来の空間知ミドルウェア[69]のコンポーネントを活用した。データベースの構造を Figure 5-25 に示す。このデータベースはセンサやロボットの情報をユーザ、物品、ロボットの情報に抽象化し、それらの ID や位置などに加えて、ロボットと物品の属性、ロボットが有する機能などを一元管理する。

物品に関する属性は、CLASS\_GOODS\_INFO テーブルと GOODS\_INFO テーブルで管理する。各テーブルの GOODS\_INFO と CLASS\_GOODS\_INFO の例を Figure 5-26 に示す。CLASS\_GOODS\_INFO では、物品の名称や提供者、材質などの同一物品で共通の仕様を管理する。また、ペットボトルや容器などの物品も管理可能とするために、液体などを入れられる最大容量や最大重量を記述する。GOODS\_INFO では、現在のサイズや重量、容量等の物品固有の情報を管理する。このように、物品に共通な情報と物品固有の情報を分離して管理することで、物品の追加や管理情報の拡張などが簡便に行える。

ロボットの機能と属性は、Figure 5-25 の ROBOT\_INFO テーブルと CLASS\_ROBOT\_INFO テーブルで管理する。CLASS\_ROBOT\_INFO テーブルの CLASS\_ROBOT\_INFO の例を Figure 5-27 に示す。CLASS\_ROBOT\_INFO では同一機種 of ロボットが有する機能、その機能の可搬重量や可搬サイズなどの機能的仕様や作業範囲を属性情報として管理する。Figure 5-25 の ROBOT\_INFO テーブルでは、固有名称等の個々のロボット固有な情報を管理する。このようなロボット情報管理により、同一機種の追加などの拡張が簡便に行える。



---

#### (5) Task scheduler コンポーネント

Task Scheduler コンポーネントは空間知ミドルウェア[69]で既開発されている Task Scheduler コンポーネントを改良した。Task Scheduler コンポーネントはコマンドリスト生成部とコマンド実行管理部からなる。コマンドリスト生成部には従来の Task Scheduler コンポーネントに対して、Figure 5-22 のコマンド分解と How の比較の処理を新たに実装した。このコンポーネントは、Kukanchi コンポーネントを定期的に参照し、新たなサービス要求コマンドを取得する。そして、XML ファイルで記述されたサービス要素を用いてそのサービス要求コマンドを分解する。ついで、ロボットと物品の属性とロボットの機能を Kukanchi コンポーネントから取得して、サービス実行主体のロボットの候補を決定する。生成されたサービス情報の例を Figure 5-28 に記す。この例では、サービス要求の BRING コマンド (3 行目) が GET Task (8 行目) に分解され、それが PASS\_CATCH Candidates (10 行目) に分解されている。そして、PASS\_CATCH Candidates (10 行目) が Manipulator と Hand の機能 (14 行目) が必要な PASS Subtask (12 行目) と、MobileRobot の機能 (35 行目) が必要な CATCH Subtask (33 行目) に分解されている。PASS Subtask に対しては、実行に必要な機能 (14 行目) を有し、財布の重さとサイズ (28-29 行目) に対応可能な RT-Box1 (17 行目) が候補として挙げられている。

Figure 5-22 の Where の比較とコマンドリスト生成は、既存の Task Scheduler コンポーネントの処理を活用した[69]。この処理では、Kukanchi コンポーネントの POSITION\_VOLUME テーブル (Figure 5-25) から物品、ロボット、ユーザの位置情報を取得する。また、Put in, Part of, Next to, On で表現されたユーザやロボット、物品の間の相対的な位置関係を POSITION\_RELATION テーブルから取得する。そして、この位置関係とロボットの作業範囲から受け渡し位置を算出する。ついで、サービス実行主体となるロボットの組み合わせを決定し、コマンドリストを生成する。

コマンド実行管理部では、既開発されている Task Scheduler コンポーネントの機能を用いて、配下のロボットとコマンドリストを共有する。各ロボットはこのコマンドリストを定期的に参照し、自身の ID の状態が“READY”時に当該コマンドを実行し、終了後に“DONE”に書き換える。コマンド実行管理部はこの状態を参照し、“DONE”に書き換えられたタイミングで次のコマンドの状態を“READY”に書き換える。このような仕組みで機能の異なったロボットが作業を順次実行し、物理サービスを実行する。

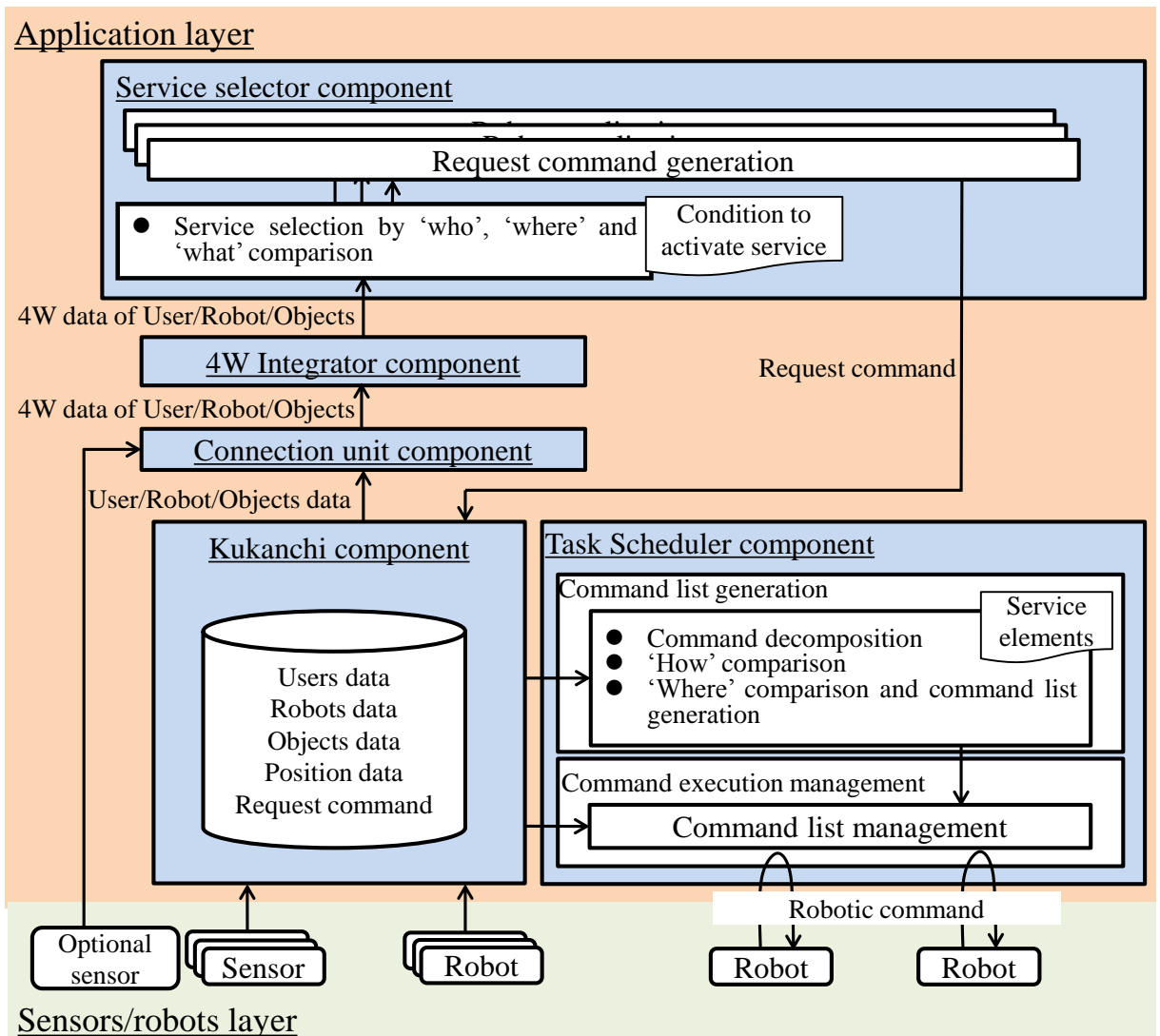


Figure 5-23 Service development framework based on 4W1H and properties

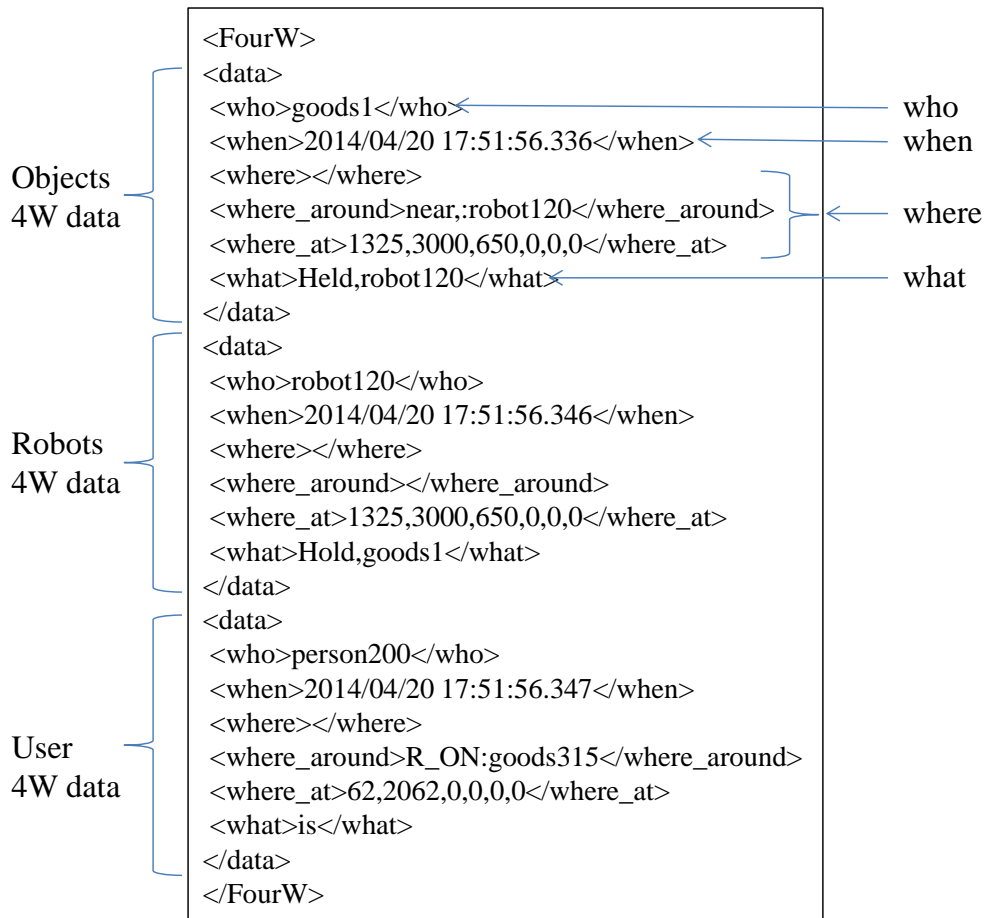


Figure 5-24 Example of 4W data

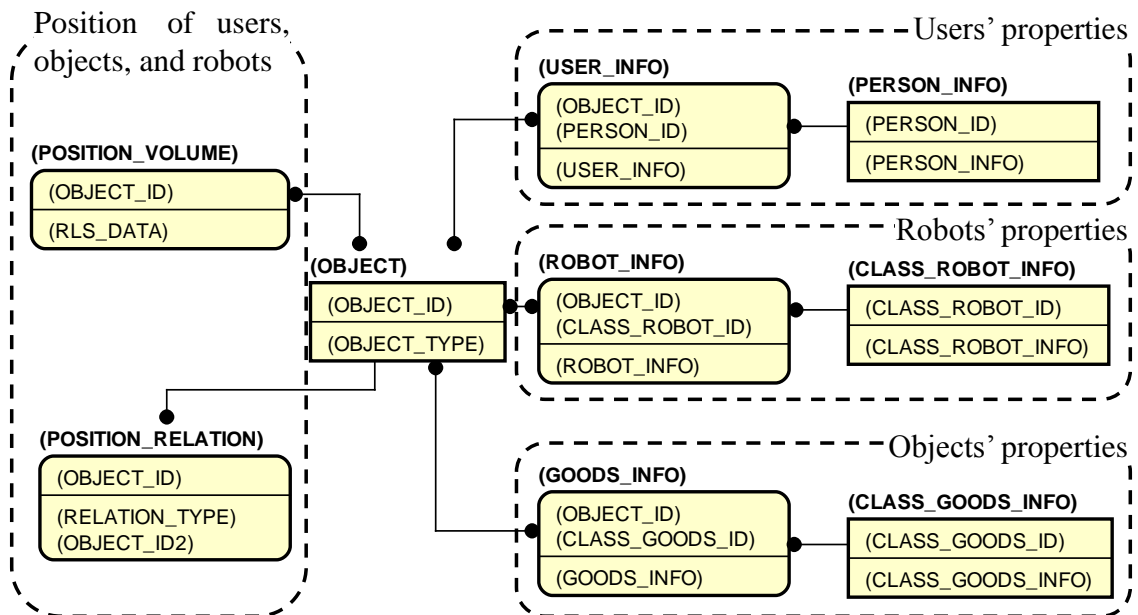


Figure 5-25 Entity-relationship diagram of database of kukanchi component

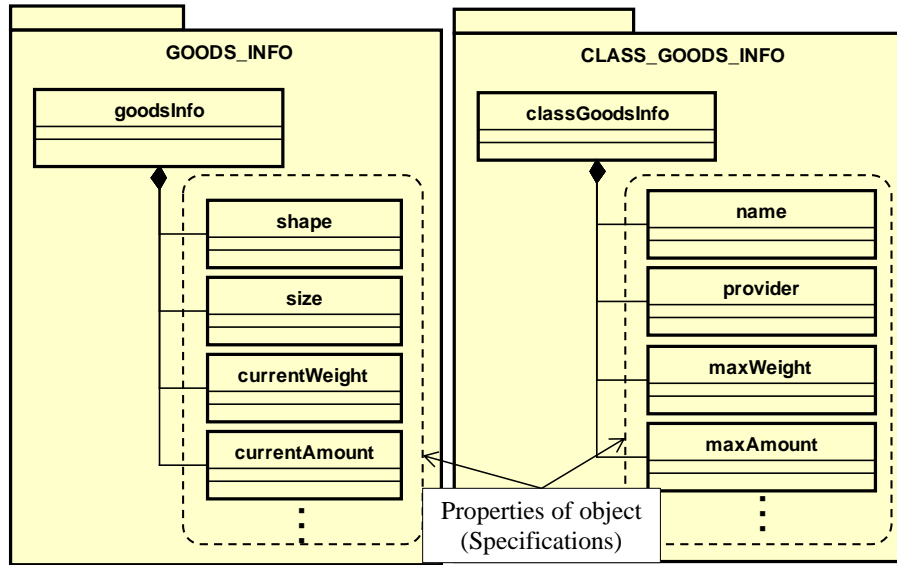


Figure 5-26 Class diagram of object properties

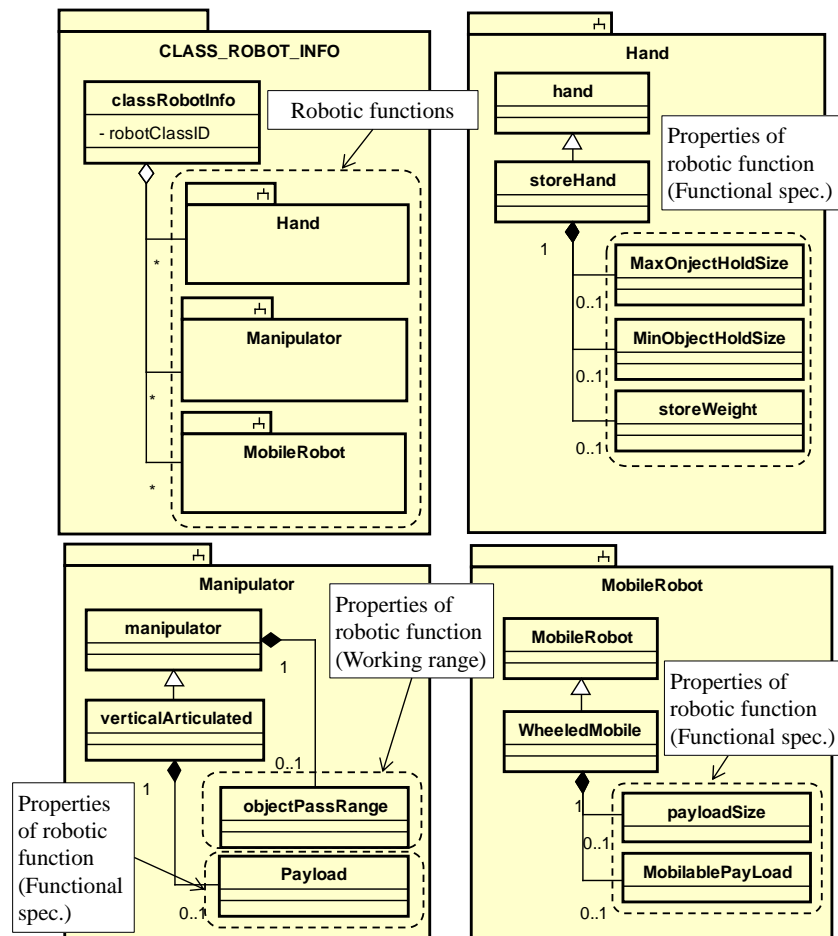


Figure 5-27 Class diagram of robots' how data

```

1: <services>
2: <userCommnad>
3: <name>BRING</name> Requested command
4: <task id="1">
5: ...
6: </task>
7: <task id="2">
8: <name>GET</name> Task
9: <serviceflow>
10: <name>PASS_CATCH</name> Candidates
11: <subserviceflow id="1">
12: <name>PASS</name> Subtask
13: <how>
14: <name>Manipulator,Hand</name> How
15: <robot>
16: <id>110</id>
17: <name>RT-Box1</name>
18: <payload>5</payload>
19: <maxObjectSize>H500,W350,L350</maxObjectSize>
20: </robot> Robot data
21: <robot>
22: ...
23: </robot>
24: </how>
25: <item>
26: <id>1</id>
27: <name>wallet</name> Object data
28: <weight>0.2</weight>
29: <size>H65,W90,L160</size>
30: </item>
31: </subserviceflow>
32: <subserviceflow id="2">
33: <name>CATCH</name> Subtask
34: <how>
35: <name>MobileRobot</name> How
36: <robot>
37: ... Robot data
38: </robot>
39: </how>
40: <item>
41: ... Object data
42: </item>
43: </subserviceflow>
44: </serviceflow>
45: </task>
46: ...
47: </userCommnad>
48: </services>

```

Figure 5-28 Example of results of generated service data

## 5.6.4. 検証

提案した物理サービス AP 開発の枠組みの有効性を検証することを目的に、Figure 5-29 に示す検証実験環境を用いて、忘れ物防止サービスと音声指示サービスを可視化した。

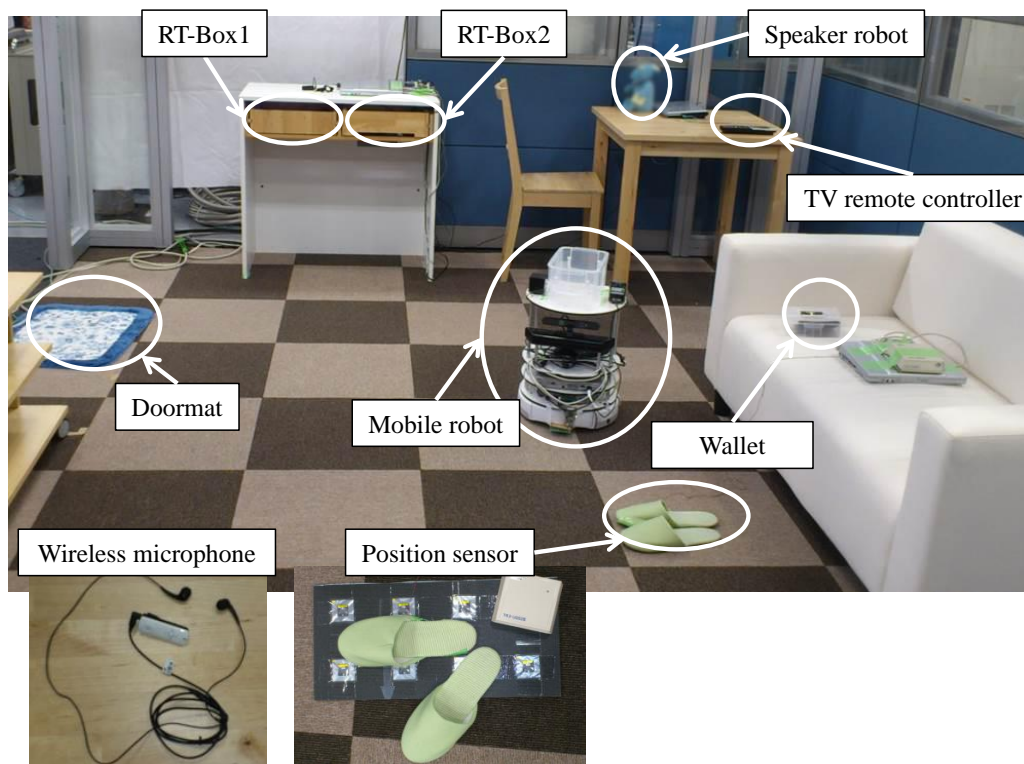


Figure 5-29 Experimental setup

### 5.6.4.1. 忘れ物防止サービス

本サービス AP では、ユーザが外出する際に忘れ物をロボットが持ってくるサービスを可視化した。

#### 5.6.4.1.1. ロボット／センサとカスタマイズ

実装したシステムのシーケンス図を Figure 5-30 に示す。本サービスでは位置センサ、RT-Box および移動ロボットを用いた。位置センサのコンポーネントは、スリッパに取り付けられた RFID タグリーダー (TAKAYA 製 TR3-D002B) でカーペットに取り付けられた RFID タグを読み取り、ID に対応した位置座標テーブルを用いてスリッパの位置を取得し、Kukanchi コンポーネントへ登録する。

ロボットには 2 台の RT-Box、1 台の移動ロボットを用いた。RT-Box のコンポーネントは、位置センサで用いた同一機種のタグリーダーで、RFID タグが付けられた物品の ID を識別し、Kukanchi コンポーネントへ登録する。また、Task Scheduler コンポーネントから得た実行コマンドに応じて RT-Box の底面を開放する。これにより、保持している物品を RT-Box 下部のロボットに渡す。

移動ロボットのコンポーネントは、WillowGarage 社製 TurtleBot を制御する。このコンポーネントは Task Scheduler コンポーネントから得た実行コマンドに応じて、現在位置から目標位置までのノミナル経路を自動生成する。また、位置センサと同様の手法で、タグリーダーで読み取った床に埋め込まれた RFID タグの ID から現在位置を取得／参照し、TurtleBot を制御して目標位置へ移動させる。

忘れ物防止サービスをこれらセンサとロボットで実現すべく、アプリケーション層の登録情報をカス

---

タマイズした。登録したサービスの起動条件を Table 5-16 に示す。このサービスは、ユーザ (person200) が玄関マット (goods315) の上にいた時に、財布 (goods1) が RT-Box2 (robot120) 内にある場合に起動される。XML ファイルに登録したサービスの情報、Kukanchi コンポーネントに登録した物品、ロボットの属性情報を Table 5-17, Table 5-18, Table 5-19 に示す。

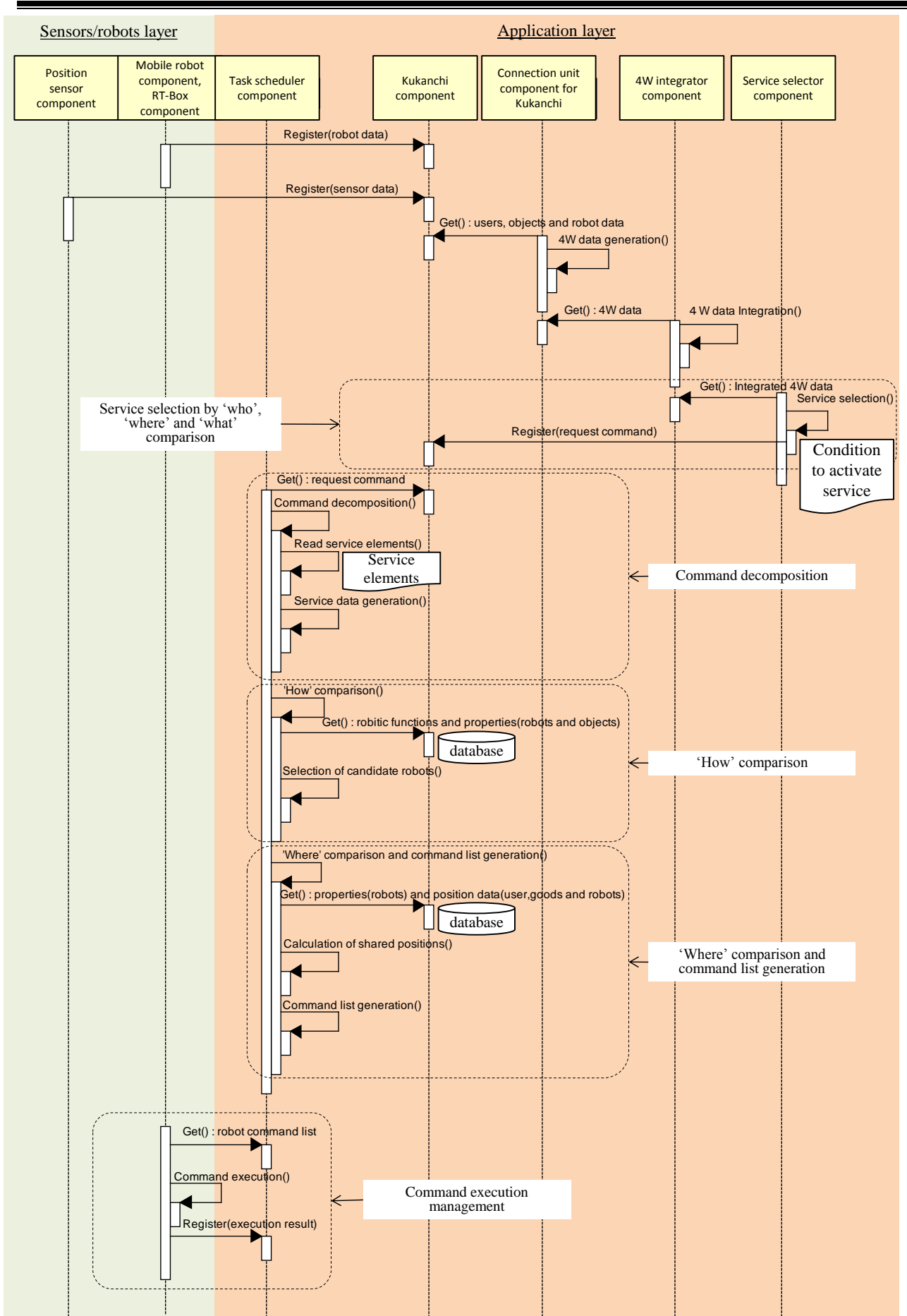


Figure 5-30 Sequence diagram of prevention service to leave a thing behind



Table 5-16 Activate condition of service of service selector component

User	who	person200
	when	*
	where	*
	where_at	*
	where_around	R_ON:goods315
	what	is
Object	who	goods1
	when	*
	where	*
	where_at	*
	where_around	near,:robot120
	what	Held,robot120

Table 5-17 Registered service elements written on XML file of service selector component

Request command	Task	Candidates	Subtask	Robotic Functions Needed (How)
BRING	GO	GO	GO	MobileRobot
	GET	GET	GET	Manipulator,Hand, MobileRobot
		PASS_CATCH	PASS	PASS
	CATCH		CATCH	MobileRobot
	CARRY	CARRY	CARRY	MobileRobot
	PASS	HAND_OVER	HAND_OVER	Manipulator,Hand, MobileRobot
		WAIT	WAIT	MobileRobot
	BACK	GO	GO	MobileRobot
IDLE	IDLE	IDLE	MobileRobot	

Table 5-18 Object properties registered on GOODS\_INFO table of Kukanchi component

ID	Name	Weight	Size(mm)
1	wallet	0.2	H65, W90, L160
4	TV remote control	0.4	H30, W60, L230

Table 5-19 Robot properties registered on CLASS\_ROBOT\_INFO table of kukanchi component

ID	Name	Robotic Functions (how)	Payload(kg)	Maximum size of object(mm)
100	TurtleBot	MobileRobot	3.0	H125, W140, L210
110	RT-Box1	Manipulator,Hand	5.0	H500, W350, L350
120	RT-Box2	Manipulator,Hand	5.0	H500, W350, L350

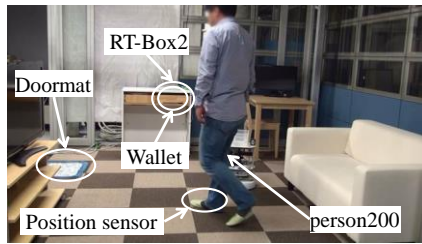
---

#### 5.6.4.1.2. 検証結果

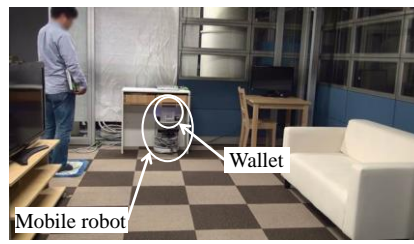
サービスの実行結果を Figure 5-31 に示す。システムはユーザの状態がサービス起動条件に一致しているかどうかを逐次チェックする (Figure 5-31 (1))。ついで、RT-Box2 が財布を保持した状態でユーザが玄関マットの上にいることをトリガに、Task Scheduler コンポーネントで移動ロボットと RT-Box2 が連携するコマンドリストを生成した。作成されたコマンドリストの一部を Figure 5-32 に示す。Candidates が PASS\_CATCH の PASS に対しては、財布を把持している ID が 120 の RT-Box2 に対してコマンドの pass が割り当てられている。また、CATCH に対しては、ID が 100 の移動ロボット (TurtleBot) に対してコマンドの take が割り当てられていることが確認できる。

各ロボットは、このコマンドリストに基づいてタスクを実行した。はじめに、移動ロボットが財布を保持している RT-Box2 へアプローチを開始した (Figure 5-31 (2))。ついで、RT-Box2 が底面を開放し (Fig. 12 (3))、移動ロボットが財布を受け取った (Figure 5-31 (4))。その後、移動ロボットは受け取った財布を保持したままユーザの前へ移動した (Figure 5-31 (5))。ついで、移動ロボットはユーザの前で停止し、ユーザは財布を受け取った (Figure 5-31 (6))。

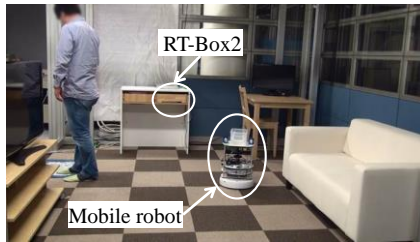
以上から、RT-Box と移動ロボットおよび位置センサのコンポーネントを用い、サービス AP 開発プラットフォームに対して各種情報を設定することで、忘れ物防止サービス AP が開発可能であることを確認した。



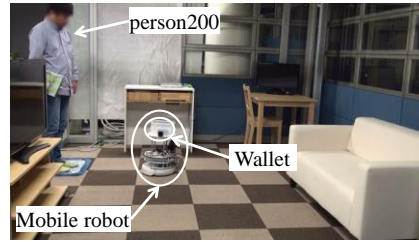
(1) Scene of checking user status



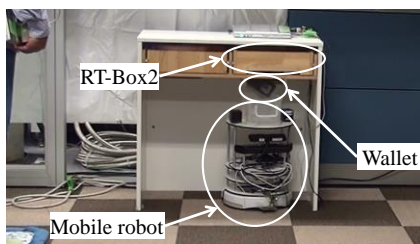
(4) Scene of executing GET task  
Candidates:PASS\_CATCH  
Subtask:CATCH, Command:take  
Robot: Mobile robot (TurtleBot)



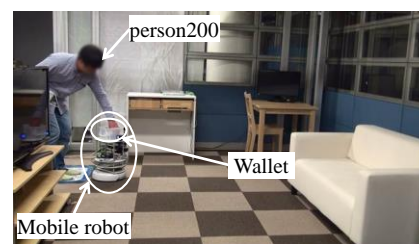
(2) Scene of start of GO task  
Candidates:GO  
Subtask:GO, Command:go  
Robot: Mobile robot (TurtleBot)



(5) Scene of executing CARRY task  
Candidates:CARRY  
Subtask:CARRY, Command:go  
Robot: Mobile robot (TurtleBot)



(3) Scene of executing GET task  
Candidates:PASS\_CATCH  
Subtask:PASS, Command:pass  
Robot: RT-Box2



(6) Scene of executing PASS task  
Candidates:WAIT  
Subtask:WAIT, Command:wait  
Robot: Mobile robot (TurtleBot)

Figure 5-31 Snapshots of implemented prevention service to leave a thing behind

Task	Candidates	Subtask	RobotID	Command list	Command
GO	GO	GO	robotId=100	taskId=1,taskName=go,...,1325,3000,650,status=WAIT	
GET	PASS_CATCH	PASS	robotId=120	taskId=2,taskName=pass,...,1325,3000,650,status=WAIT	
		CATCH	robotId=100	taskId=3,taskName=take,...,1325,3000,650,status=WAIT	
CARRY	CARRY	CARRY	robotId=100	taskId=4,taskName=go,...,750,1930,0,status=WAIT	
PASS	WAIT	WAIT	robotId=100	taskId=5,taskName=wait,...,status=WAIT	
BACK	GO	GO	robotId=100	taskId=6,taskName=go,...,2000,1500,-1.57,status=WAIT	
IDLE	IDLE	IDLE	robotId=100	taskId=7,taskName=idle,...,status=WAIT	

Figure 5-32 Generated command list

---

#### 5.6.4.2. 音声指示サービス

本サービス AP では、ユーザが持ってきてもらいたい物品を音声で指示することで、ロボットが連携してその物品を取ってくるサービスを可視化した。この際、ロボットの空間配置やロボットの機能仕様などにより、ユーザからのサービス要求に対して常にロボットが作業を行えるとは限らない。そこで、このサービス AP では、ロボットだけでは作業を完遂できない場合に、環境内のユーザが作業の一部を代行することとした。具体的には、ユーザが所望した物品の位置がロボットの作業範囲外でサービスを完遂できないとシステムが判断した時に、物品周辺にいる別のユーザに作業の一部を行うようにロボットが合成音で依頼することとした。

##### 5.6.4.2.1. ロボット／センサとカスタマイズ

実装したシステムのシーケンス図を Figure 5-33 に示す。このサービスでは、忘れ物防止サービスで用いた 2 台の RT-Box と 1 台の移動ロボットに加え、音声認識システムとスピーカーロボットを用いた。

音声認識システムのコンポーネントは、Bluetooth アダプタ（ロジテック製 LBT-AR120）で無線化したマイクで取得したユーザの発話内容を、AIST（独立行政法人産業技術総合研究所）が開発した OpenHRI のコンポーネント[62]（portaudioinput, Julius, SEAT）で認識し、認識結果を 4W 情報の形式に変換して 4W Integrator コンポーネントと共有する。スピーカーロボットのコンポーネントは、Task scheduler コンポーネントから得た実行コマンドに応じて、PC での合成音声を再生し、ユーザへ作業を依頼する。

音声指示サービスをこれらセンサとロボットで実現すべく、アプリケーション層の登録情報と一部処理をカスタマイズした。アプリケーション層に登録したサービスの情報と Kukanchi コンポーネントに登録した物品の情報は、忘れ物サービスと同じとした。一方、サービスの起動条件は、who=person200, what=BRING 1 の時にサービスが起動するようにした。

ユーザがロボットの代わりに作業の一部を代行することを実現すべく、各種情報登録と処理の一部を修正した。具体的には、忘れ物防止サービスと同様に 1 台の移動ロボットと 2 台の RT-Box を ROBOT\_INFO テーブルと CLASS\_ROBOT\_INFO テーブルに登録した。これに加えて、ユーザを新たなクラスのロボットとして登録した。具体的には、ユーザの機能を Manipulator および Hand 機能とし、機能属性には、可搬重量：5kg, 最大物品サイズ：H500, W350, L350 とした。これにより、システム内でユーザを新たなロボットオブジェクトとして扱った。

How の比較処理においては、サービス要求をしたユーザ以外のユーザをサービス実行主体の候補とするようにした。また、Where の比較処理においては、ユーザ以外のロボットの候補が得られない場合に、How の比較処理で挙げられたユーザの中から対象とする物品に最も近いユーザをサービス実行主体とした。

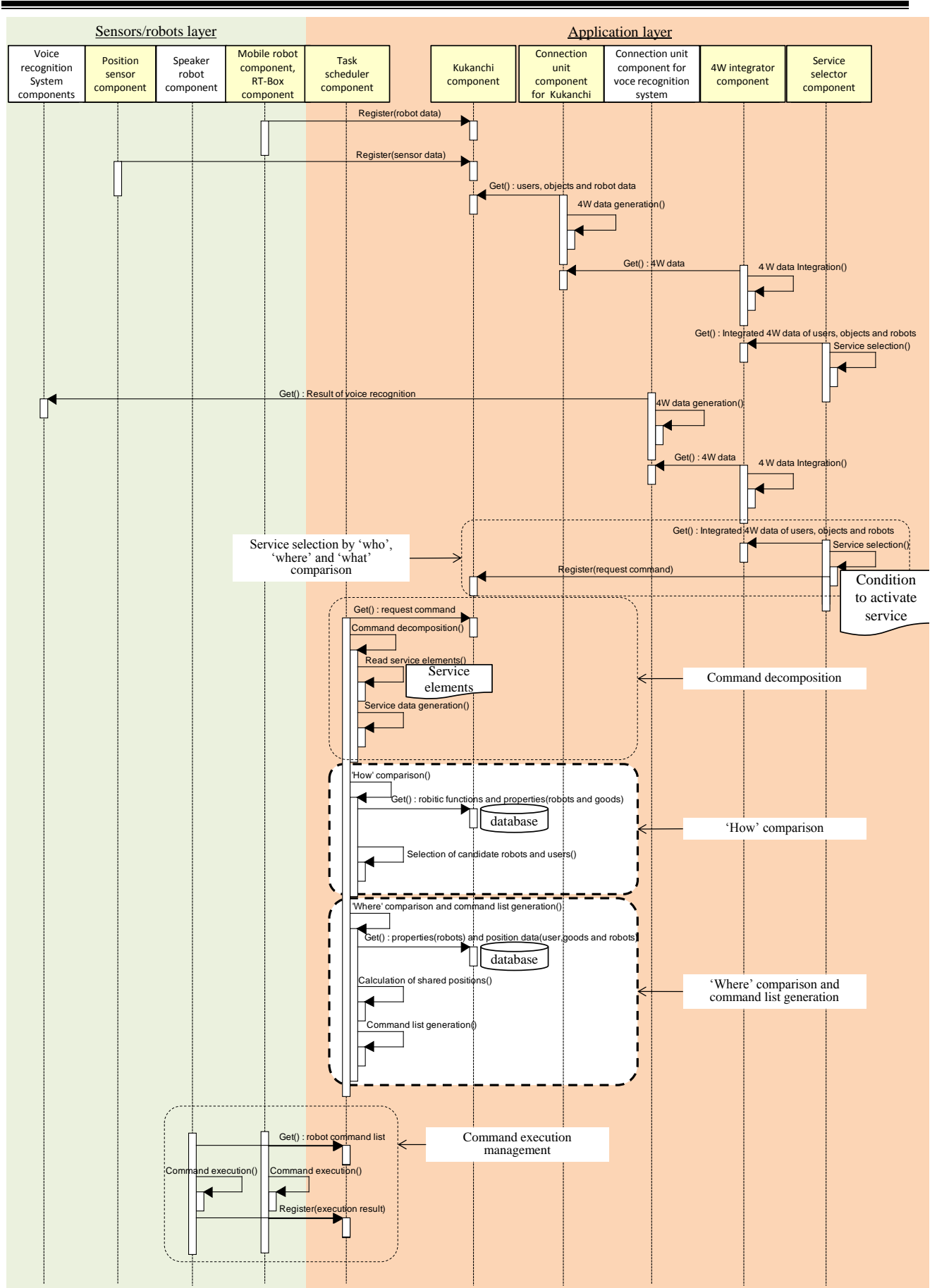
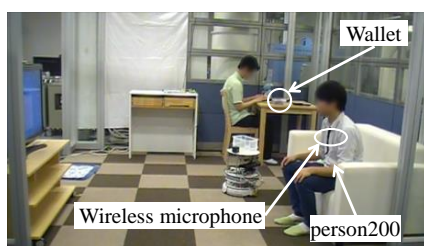


Figure 5-33 Sequence diagram of voice-request service

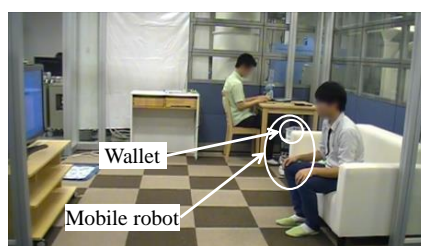
#### 5.6.4.2.2. 検証結果

サービスの実行結果を Figure 5-34 に示す。ユーザ (person200) から財布を持って来る音声指示に基づいて (Figure 5-34 (1)), システムはサービスを開始し、財布が乗っている机に移動ロボットが移動した (Figure 5-34 (2)). ついで、スピーカーロボットが合成音を再生し、ユーザ (person210) に財布を移動ロボットに渡すように依頼し、ユーザが移動ロボットに財布を渡した (Figure 5-34 (3)). 移動ロボットは財布を受け取り (Fig. 14 (4)), ユーザ (person200) のところに移動した (Figure 5-34 (5)). ついで、移動ロボットはユーザ (person200) の前で停止し、ユーザは財布を受け取った (Figure 5-34 (6)).

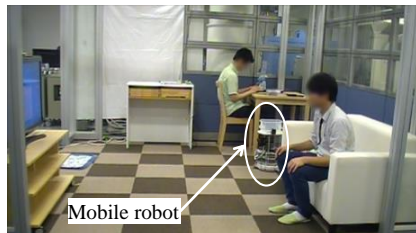
以上から、忘れ物防止サービスで用いたロボットとセンサおよびスピーカーロボットと音声認識システムを用い、サービス AP 開発プラットフォームに対して各種情報の設定と How と Where の比較処理の一部修正により、音声指示サービス AP を開発可能であることを確認した。



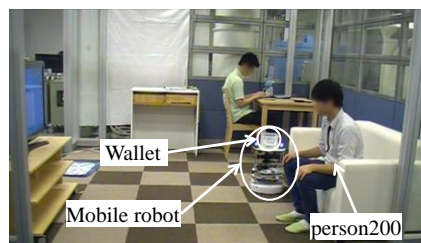
(1) Scene of service request by voice of person200



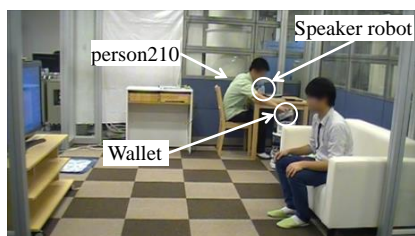
(4) Scene of executing GET task  
Candidates:PASS\_CATCH  
Subtask:CATCH, Command:take  
Robot: Mobile robot (TurtleBot)



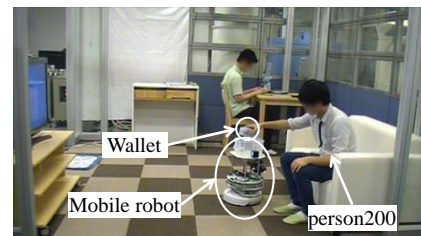
(2) Scene of start of GO task  
Candidates:GO  
Subtask:GO, Command:go  
Robot: Mobile robot (TurtleBot)



(5) Scene of executing CARRY task  
Candidates:CARRY  
Subtask:CARRY, Command:go  
Robot: Mobile robot (TurtleBot)



(3) Scene of executing GET task  
Candidates:PASS\_CATCH  
Subtask:PASS, Command:speak  
Robot: Person210(Speaker robot)



(6) Scene of executing PASS task  
Candidates:WAIT  
Subtask:WAIT, Command:wait  
Robot: Mobile robot (TurtleBot)

Figure 5-34 Snapshots of implemented voice-request service

---

### 5.6.5. 考察

日常生活支援で対象とする物品の属性はサイズや重さだけでなく、形状、硬さ、表面の摩擦特性なども様々である。ロボットによる把持のプランニングや制御系などでは、これらも重要なパラメータとなる。それゆえ、『物理的操作のための仕様整合』の拡張性は重要である。実証実験では、物品とロボットの属性を拡張し、How の比較処理の拡張で対応できることを検証できた。これにより、サービス AP 開発プラットフォームを活用することで効率的なサービス AP 開発が可能である見通しが得られた。

音声指示サービス AP では、ユーザを新たなクラスのロボットとして登録し、How と Where の比較処理を修正してユーザをロボットの代行とした。これは、システムの側面からみると、作業範囲の広い新たなロボットが導入されたことと等価であり、導入されたロボットに応じて『物理的連携のための位置共有』に関連する処理をカスタマイズした例と言える。ロボットの作業範囲は、ロボット自身の自由度構成や移動機構などに依存し、ロボット毎に異なる。それゆえ、ロボット間やロボットと物品間で共有する位置の算出は、導入するロボットに応じてカスタマイズすることが必要となる。実証実験では、各ロボットを RT-Box クラスや TurtleBot クラスなどのようにロボットをクラスとして捉え、クラスに基づいて Where の比較処理の拡張で対応可能であることを検証できた。これにより、利用するロボットの組み合わせに応じてスクラッチでシステムを実装することに比べて、効率的なサービス AP 開発が可能である見通しが得られた。

音声指示サービス AP では、音声認識システムのコンポーネントの追加とサービス起動条件の設定のみで簡易にセンサ系を追加できた。これは、4W に着目したセンサクラスに基づいて音声認識システムを what 情報と who 情報が取得可能なセンサとして扱い、それによって得られた 4W 情報と Kukanchi コンポーネントから得られたユーザに関する 4W 情報を 4W Integrator コンポーネントで統合し、サービス AP 開発で活用した例と言える。これまでに、使用する環境や取得する情報に応じて様々なセンサが研究・開発されている。我々の生活環境で用いるユーザ支援システムを実現するためには、それら特徴を活かして適切なセンサを導入することが不可欠である。その際に、様々なセンサをセンサクラスとして捉え、サービス AP 開発プラットフォームを用いてサービス AP を開発することで、システム開発者はサービスに応じたセンサの選定やシステム設計が見通し良く行え、簡便にセンサの導入や拡張を行えると考えられる。

---

## 5.7. まとめ

本章では、2章から4章で論じた4W1Hに基づく枠組みを用いてWho情報を活用した写真配布サービス、Where情報を活用した展示案内サービス、What情報を活用した体操補助サービスを可視化し、それらを実現するためのプラットフォームの設定を明らかにした。また、プラットフォームでは実現が困難なポイントを明らかにし、拡張したプラットフォームで開発したロボットサービスでユーザにサービス提供可能であることを実証実験で検証した。

また、多地点を跨ったサービスに必要な情報収集するためのセンサ要件を満たすセンサを用いて店舗紹介／クーポン配布サービスを可視化した。そして、実証実験の結果から異なるセンサの情報統合が実現可能であることが確認された。また、センサ要件に基づいたセンサ配置で多地点を跨ったサービスが実現可能であることも確認した。

さらに、4W1HのサービスAP開発の枠組みを、情報サービスだけでなく物品運搬などの物理サービスにも拡張利用すべくAP開発の枠組みを述べた。この枠組みは、様々なセンサとロボットの情報を、ユーザ・物品・ロボットに関する4W、ロボットの機能とその属性および物品の属性で抽象化し、これら情報とサービス情報を組み合わせて、サービスAPを開発することに特徴がある。物忘れ防止サービス、音声指示サービスを具現化し、4W1HのサービスAP開発の枠組みを、情報サービスだけでなく複数のロボットが適切な機能を順次活用しながら実行される物品運搬などの物理サービス提供プラットフォームとして拡張利用が可能である見通しが得られた。



---

## 第6章 考察

### 6.1. はじめに

前章までに4W1Hに基づいたサービスAP開発の枠組みとその枠組みを用いた実証実験の結果を述べた。具体的には、第2章でサービスAP開発のためのプラットフォームの基本構造および4W1Hに基づいた共通機能を活用したサービスAP開発の枠組みについて論じた。第3章と第4章では共通機能、すなわち、情報獲得機能、サービスとロボットの選択機能、サービス実行機能を4W1Hに基づいて構成する方式を論じた。第5章ではサービスAP開発の枠組みを用いて実現したロボットサービスの実証実験の結果を述べた。具体的には、大阪市立科学館で実証した写真配布サービス、CEATEC2006で実証した展示案内サービス、UNS2007で実証した体操補助サービス、UCWで実証した店舗紹介／クーポン配布サービスの実験結果を述べ、これら情報サービスがサービスAP開発の枠組みで実現できることを検証した。また、この枠組みを拡張したプラットフォームを用いて物理サービス（物忘れ防止サービス、音声指示サービス）を具現化し、4W1Hに基づいた枠組みを情報サービスだけでなく物品運搬などの物理サービス提供プラットフォームとして拡張利用が可能であることを論じた。

本章では、これら実証実験の結果に基づいて、4W1Hに基づいた枠組みのアプリケーション開発やシステム開発への効果を考察する。具体的には、(1)4W1Hに基づくアプリケーションとハードウェアの階層化のシステム開発への効果、(2)4W1Hに基づく枠組みのアプリケーション開発への効果、(3)4W1Hに基づく共通機能のシステム開発への効果について論じる。

## 6.2. 4W1Hに基づくアプリケーションとハードウェアの階層化の

### システム開発への効果

第5章で述べた4種類の情報サービス（写真配布サービス，展示案内サービス，簡易健康診断サービスと体操補助サービス，店舗紹介／クーポン配布サービス）と2種類の物理サービス（忘れ物防止サービス，音声指示サービス）を実現した時のロボットとセンサおよび開発担当を Table 6-1 に示す．情報サービスに関しては，総務省受託研究「ネットワーク・ヒューマン・インタフェースの総合的な研究開発（ネットワークロボット技術）」の共同委託会社である3社（ATR，三菱重工，東芝）が主にロボットとセンサの開発を担当した．また，共同委託会社以外の3社（慶応義塾大学，NTT コミュニケーションズ，イーガー）もロボットとセンサの開発を担当した．物理サービスに関しては，芝浦工業大学 電気工学科 ヒューマン・ロボット・インタラクション研究室で開発されたロボットとセンサを用いた．また，音声認識システムは AIST が開発した OpenHRI のコンポーネントを用いた．

これらサービスで用いたセンサやロボットは多種様々であり，それらの API やプロトコル，情報構造等の通信インタフェースはハードウェア毎に異なる．それゆえ，枠組みを利用しないシステム開発では，利用するハードウェアのインタフェースの違いを考慮した開発が必要となる．

4W1H に基づく AP 開発の枠組みの導入によりアプリケーションとハードウェアが階層化され，それぞれの開発を分離して進められる．Table 6-1 で示した情報サービスでは，接続ユニットとハードウェアとの通信仕様を設計段階で合意した後は，各ハードウェア担当は独自に開発を進めた．そして，開発したロボットやセンサをプラットフォームと接続して全体を連携させ，サービスを具現化できた．

ネットワークロボットや空間知のように，様々なロボットやセンサが連携したシステムの開発規模は単体のロボットやセンサ開発に比べて大きくなる．そのようなシステムの開発に対して，4W1H に基づくアプリケーションとハードウェアの階層化により，効率的なシステム開発や工期短縮が期待できる．

Table 6-1 Implemented services and robots and sensors

	Services	Robot: developer	Sensor: developer
Informative service	Photograph delivery service (Osaka Science Museum)	Communication robot(Robovie): NTT Speaking robot : NTT	Active type RFID-tag reader: NTT
	Exhibition-guide service (CEATEC2006)	Robot-1: NTT Robot-2(wakamaru): MHI Robot-3(Robovie): ATR Robot-4(ApriAlpha): Toshiba	u-Photo: Keio Univ.
	Simple checkup service (Gymnastics-support service) (UNS2007)	Visible robot for explanation(Robovie): ATR Visible robot for alarm notice(ApriAlpha): Toshiba Visible robot for teacher(wakamaru): MHI Visible robot for assistant: ATR Virtual robot for counseling: NTT	Unconscious robot for gymnastics behavior recognition system: MHI and NTT RFID tag platform: NTT Communications
	Shop-guide and couponing service (UCW)	Display robot: NTT Robovie: ATR wakamaru: MHI ApriPoco: Toshiba ARC: Eager	Tag reader: ATR Structured Environmental Information Platform: ATR Behavior recognition system: MHI
Physical service	Prevention service to leave a thing behind	Mobile robot: SIT RT-Box: SIT	Position sensor: SIT
	Voice-request service	Mobile robot: SIT RT-Box: SIT Speaker robot: SIT	Position sensor: SIT Voice recognition system: AIST

---

## 6.3. 4W1Hに基づく枠組みのアプリケーション開発への効果

5.2 節で述べた写真配布サービスは、RFID タグリーダでユーザを検出しコミュニケーションロボットやスピーカーロボットがユーザに応じたタグ ID をアナウンスして写真を渡すサービスである。このサービスはユーザに応じて声掛けの内容が変わることに特徴がある。以降では、このサービスのようにユーザに応じてサービスのコンテンツを変えるサービスを『Who に応じたサービス』と呼ぶこととする。

5.3 節で述べた展示案内サービスは、4 つのブースにそれぞれ設置されたロボットをユーザが u-Photo で撮影することで、撮影されたロボットがブースの展示説明をするサービスである。このサービスはユーザがいる場所に応じてロボットと説明する内容が異なることに特徴がある。以降では、このようにユーザがいる場所に応じてサービスのコンテンツを変えるサービスを『Where に応じたサービス』と呼ぶ。

5.4 節で述べた体操補助サービスは、電子タグ PF にて開示された情報に基づいてサービスのコンテンツを決定し、先生ロボットが参加者の動作に応じて体操の手本提示とアドバイスを提示するとともに、助手ロボットが先生ロボットと参加者の動作に応じた声掛けをするサービスである。このサービスは参加者が開示した開示情報やサービス実行中のユーザの動作を What 情報として扱い、この情報に応じてサービスのコンテンツを変えることに特徴がある。以降では、このようにユーザの What 情報に応じてサービスのコンテンツを変えるサービスを『What に応じたサービス』と定義する。

これら写真配布サービス、展示案内サービス、体操補助サービスを実現したときのユーザ、ロボット、サービスの情報の関係を Figure 6-1 に示す。これらサービスでは How を用いてロボット情報とサービス情報を関連付けることを基本とした。Who に応じたサービスの例である写真配布サービスは、Who 情報を用いてユーザ情報をサービス情報の Parent Service 階層下のサービス情報に関連付けて実現した。Where に応じたサービス例の展示案内サービスは、Where 情報を用いてユーザ情報とロボット情報をサービス情報の Task 階層下のサービス情報に関連付けて実現した。What に応じたサービスの例の体操補助サービスは、What 情報を用いてユーザ情報とロボット情報をサービス情報の Service flow (状態遷移) に関連付けるとともに、状態遷移で実行される各サービスの処理を実装して実現した。

ロボットによるサービスには様々なものが考えられる。設計指針がない場合には、システム開発者は試行錯誤にアプリケーションを開発することを余儀なくされ、開発者の経験に負うところが多い。上記のようなアプローチでアプリケーションを開発することで、見通しの良い開発が行える。すなわち、実現したいサービスを Who に応じたサービス、Where に応じたサービス、What に応じたサービスの観点で整理し、その特徴に応じてユーザ、ロボット、サービスに必要な情報とそれら情報間の関連付けを設計／実装することでシステムを開発する。このようなアプローチで開発することで、システム開発者は実現するサービスを構造的に捉えられるようになり、試行錯誤に依らないシステム開発の実現が期待できる。

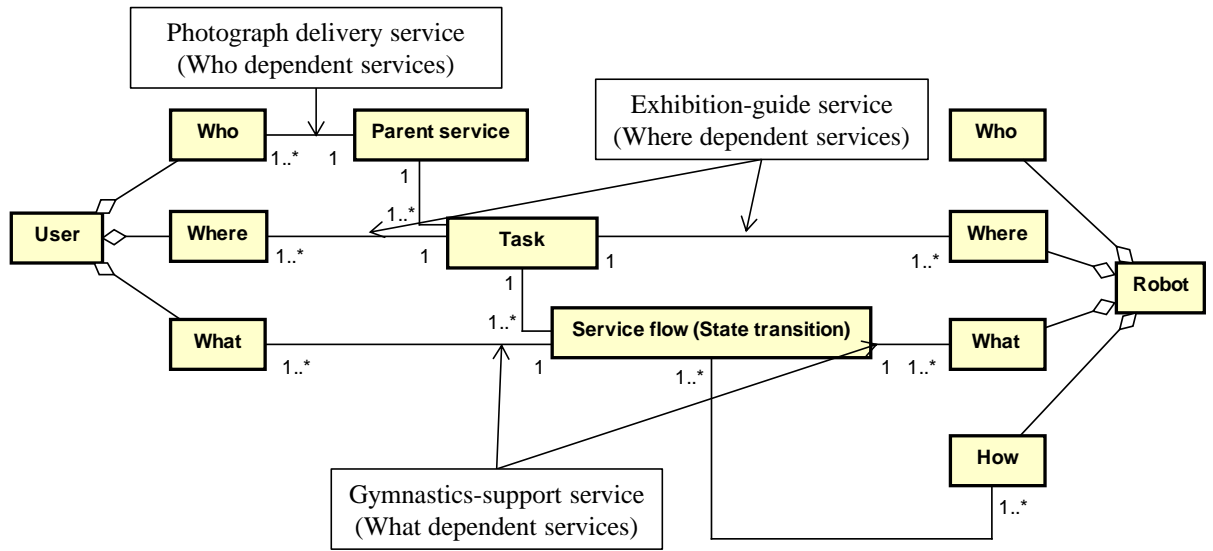


Figure 6-1 Relations among user's 4W information, robot's 4W1H information and service information

---

## 6.4. 4W1Hに基づく共通機能のシステム開発への効果

### 6.4.1. 情報獲得機能のセンサ導入検討への効果

第5章で述べたサービスと各サービスで用いたセンサクラスの一覧を Table 6-2 に示す。Table 6-2 では各サービスを **Who** に応じたサービス、**Where** に応じたサービス、**What** に応じたサービスに分類し、それぞれのサービスで用いたセンサクラスを記した。

たとえば、**Who** と **Where** に応じたサービスの展示案内サービスでは **u-Photo** を用いた。この **u-Photo** 自体は **Who** 情報を獲得できるが、**Where** 情報を獲得できないセンサクラスである。そこで、プラットフォーム側で **What** 情報を **Where** 情報に変換して **Where** 情報も獲得可能なセンサクラスとし、サービス実行に必要な情報を完備させた。また、簡易健康診断サービスはユーザの **Where** と **What** に応じたサービスであり、このサービスの一部の体操補助サービスは体操中のユーザの様々な振る舞い (**What**) に応じたサービスである。そこで、**Where** 情報と **What** 情報を獲得可能なセンサクラスの電子タグ PF を導入してサービス実行に必要な情報を完備させた。これに加えて、操補助サービスでは体操中の振る舞いを獲得可能なセンサクラスの体操行動認識システムを組み合わせることで **4W** 情報統合で補完し、サービス実行に必要な情報を完備させた。このように、サービスの特徴に応じたセンサクラスのセンサを用いることで、サービス実行に必要な情報を完備し、サービスを実現することができた。

これまでに様々なメーカーや研究機関で多種多様なセンサが開発されており、サービスを具現化するために必要なセンサの選定はシステム開発者の経験に負うところが多い。上記で述べたように、実現したいサービスを **Who** に応じたサービス、**Where** に応じたサービス、**What** に応じたサービスの観点で整理し、センサクラスに基づいてそれらサービス実行に必要な情報を完備させるセンサを決定する。また、単体のセンサではサービス実行に必要な情報が得られない場合には、**4W** 情報統合を前提に、必要な情報を完備させるセンサクラスの組み合わせを検討し、導入するセンサやその空間配置を決定する。このようなアプローチにより、システム開発時のセンサの見通しの良い導入検討が期待できる。

Table 6-2 Implemented services and sensor classes

Services	Location	Service type	Sensor classes							
			No.1 Who & When sensor class	No.2 Where & When sensor class	No.3 What & When Sensor class	No.4 Who & Where & When sensor class	No.5 Who & What & When sensor class	No.6 Where & What & When sensor class	No.7 Who & Where & What & When sensor class	
Informative service	Photograph delivery service	Photograph delivery area	Who dependent				Active type RFID- tag reader			
	Exhibition-guide service	Area-1	Who dependent Where dependent					u-Photo		
		Area-2						u-Photo		
		Area-3						u-Photo		
		Area-4						u-Photo		
	Simple checkup service (Gymnastics- support service)	Entrance	Where dependent What dependent						RFID reader (RFID tag platform)	
		Wake-up sensing and alarm service							RFID reader (RFID tag platform)	
		Gymnastics experience							RFID reader (RFID tag platform) Gymnastics behavior recognition system	
		Checkup result confirm							RFID reader (RFID tag platform)	
	Shop-guide and couponing service	MHITagArea	-					RFID-tag reader2		Behavior recognition system
		MHIArea	Who dependent Where dependent What dependent							Behavior recognition system
		ToshibaArea	Who dependent Where dependent					RFID-tag reader3		
		EagerArea	Who dependent Where dependent					RFID-tag reader4		
Physical service	Prevention service to leave a thing behind	-	Who dependent Where dependent				Position sensor			
	Voice-request service	-	Who dependent What dependent				Position sensor	Voice recognition system		

---

## 6.4.2. サービスとロボットの選択機能のロボット拡張への効果

第 5 章で述べたサービスとプラットフォームでサービスの割当て対象としたロボットの一覧を Table 6-3 に示す。写真配布サービスでは、1つのエリアに配置された機能が異なる2台のロボットを対象に、ユーザの状況に応じた個人向けサービスとグループ向けサービスをロボットのサービス実行状況に応じて割り当てられることを検証した。展示案内サービス、簡易健康診断サービス、店舗案内／クーポン配布サービスでは、複数エリアに配置された機能が異なる複数台のロボットを対象に、ユーザの場所に応じてサービスを割当て、サービスを実行できることを検証した。また、展示案内サービスと店舗案内／クーポン配布サービスでは、履歴情報をロボットが活用することで同じ説明の繰り返しや的外れな情報提供をすることなく、エリアを跨って継続的にロボットがサービスを提供できることを検証した。忘れ物防止サービスと音声指示サービスでは、1つのエリアに配置された複数種類のロボットを対象に、具備する機能と物品に対する機能属性に応じてサービスを割当て、物理サービスを完遂できることを検証した。

以上より、サービスとロボットの選択機能を用いることで、ロボットの状態、場所、具備する機能、機能属性が異なるロボットを対象に、ユーザや物品に応じて適切なサービスのシナリオとロボットを選択し、多地点に跨ったサービスをユーザに提供できることを検証できた。また、異なる台数のロボットを用いてサービスを実現できることも検証できた。これらより、4W1Hに基づくサービスとロボットの選択機能を用いることで、ロボットの種類や台数の拡張に柔軟に対応しながらシステムを開発できることを検証できた。

サービスとロボットの選択機能では1人のユーザに対して1台のロボットを割り当てることを基本としている。それゆえ、複数台のロボットが協調して1人のユーザにサービスを提供することはできない。これを解消すべく、5.4節で述べた体操補助サービスでは、プラットフォームを拡張して Pull 型インタフェースを実装した。これにより、実行主体のロボットを他のロボットがサポートしながらユーザにサービスを提供するシステムを簡易に実現した。

実現するサービスの内容や提供範囲などによって、サービスに用いるロボットの種類やロボットの台数は異なる。そのようなシステムの開発に対して、Pull 型インタフェースで補強しながらサービスとロボットの選択機能を活用することで、新たなロボットの追加や個々のロボットが具備する機能の拡張などに柔軟に対応しながら、効率的にシステム開発を進められると期待できる。

Table 6-3 Implemented services and robots

	Services	Robot
Informative Service	Photograph delivery service (Osaka Science Museum)	Communication robot (Robovie) Speaking robot
	Exhibition-guide service (CEATEC2006)	Robot-1 Robot-2(wakamaru) Robot-3(Robovie) Robot-4(ApriAlpha)
	Simple checkup service (UNS2007)	Visible robot for explanation(Robovie) Visible robot for alarm notice(ApriAlpha) Visible robot for teacher(wakamaru) Visible robot for assistant Virtual robot for counseling
	Shop-guide and couponing service (UCW)	Display robot Robovie wakamaru ApriPoco ARC
Physical service	Prevention service to leave a thing behind	Mobile robot(TurtleBot) RT-Box
	Voice-request service	Mobile robot(TurtleBot) RT-Box Speaker robot



---

### 6.4.3. サービス実行機能のロボット機能拡張への効果

ユーザの意図や目的, ユーザの振る舞いや行為を意味する **What** 情報には, 5.4 節で述べた体操補助サービスで検出した腕や手の動きだけでなく, 歩行の状態, ある物品を注視している, ユーザの発話内容など様々なものが考えられる. それらをロボットの動作にフィードバックできればユーザの状況に応じた高度なサービスが実現できる.

これら **What** 情報を単一のセンサで獲得することは現実的ではなく, カメラや加速度センサなど, 様々な種類のセンサを駆使して獲得しなければならない. このセンサには, 屋外での利用に適したセンサや手の位置を取得することに特化したセンサ, 手の動きを計測することに特化したセンサなど, 利用する場所や用途に応じて様々なものが開発されている. それゆえ, サービスを提供する環境や実現するサービスに応じたセンサの導入が不可欠となる.

単体のロボットに様々なセンサを実装し, ユーザへサービスを提供するアプローチが考えられる. しかしながら, 上記理由から, 環境やサービスに応じてロボットに実装するセンサをカスタマイズすることを余儀なくされ, 非効率な開発となる.

5.4 節で検証した体操補助サービスでは, センサとロボットを分離しサービス実行機能を介してロボットがセンサで取得した **What** 情報を活用して実現した. このようなアプローチでロボットの機能を高度化することで, サービスを提供する環境を変更しても, 環境に適したセンサに入れ替えることで同様のサービスを提供できる. また, 音声認識システムなどの新たなセンサの導入によるサービスの更なる高度化に対しても, 新たな **What** 情報に応じてサービスのシナリオやサービス実行機能をカスタマイズすることで, ロボットはこのセンサが獲得した **What** 情報を活用することができる.

このように, システム開発にサービス実行機能を導入することで, ロボットのセンシング機能の変更や拡張が効率的に行えるようになる. 我々が生活する環境は様々である. そのような環境で高度なロボットサービスを実現するためには, サービス実行機能は不可欠な機能と言える.

---

## 6.5. まとめ

本章では第5章で述べた実証実験の結果に基づいて4W1Hに基づいた枠組みのアプリケーション開発やシステム開発への効果を考察し、以下の結論を得た。

(1) 4W1Hに基づくアプリケーションとハードウェアの階層化のシステム開発への効果

4W1Hに基づくアプリケーションとハードウェアの階層化により、それぞれの開発を分離して進められる。これにより、同時並行にシステム開発が進められるため、効率的なシステム開発や工期短縮が実現できる。

(2) 4W1Hに基づく枠組みのアプリケーション開発への効果

4W1Hに基づく枠組みを導入することで、実現したいサービスを Who, Where, What の観点で整理し、そのサービスの特徴に応じてユーザ、ロボット、サービスに必要な情報とそれら情報間の関連付けを設計／実装することでアプリケーションを開発できる。これにより、システム開発者はサービスを構造的に捉えながら開発を進められ、効率的にシステム開発が行える。

(3) 情報獲得機能のセンサ導入検討への効果

4W に基づく情報獲得機能を活用してシステム開発を行うことで、システム開発者はセンサクラスに基づいてサービス実行に必要な情報を獲得するためのセンサを決定でき、センサの導入検討を見通し良く行えるようになる。

(4) サービスとロボットの選択機能のロボット拡張への効果

Pull 型インタフェースで補強しながらサービスとロボットの選択機能を活用してシステム開発を行うことで、新たなロボットの追加や個々のロボットが具備する機能の拡張などに柔軟に対応しながら、効率的にシステム開発が行える。

(5) サービス実行機能のロボット機能拡張への効果

サービス実行機能を活用してシステム開発を行うことで、ロボットのセンシング機能の変更や拡張が効率的に行えるようになり、様々な環境で高度なサービスを提供するシステムを簡易に実現できる。

---

## 第7章 結論

サービスロボットを環境に埋め込まれた様々なセンサやユーザが携帯する情報端末とネットワークを介して連携させることで、ロボット単体では得られなかった情報を活用することが可能となり高度なサービス実現が期待される。しかしながら、連携する機器のインタフェースや機能が千差万別であるため、それらを連携させたアプリケーション開発は困難を極める。それゆえ、アプリケーションを効率的に開発するためプラットフォームやミドルウェアへの期待が大きい。そこで、本研究では、多様なセンサ・ロボット・情報端末などを連携させたサービス AP を簡便に開発可能な枠組みを明らかにすることを目的とした。

そして、従来のプラットフォームやミドルウェアに対する考察から、(1) 各種センサや情報端末、ロボットなどのハードウェアとサービス AP 間の情報構造を規定した階層構造によりそれらを分離し、(2) 様々なサービスで共通的に用いられる機能を提供しながらシステム開発が可能な枠組みを提供するプラットフォームの実現を本研究の課題に定めた。

この課題を解決すべく、本研究では、センサやロボットの情報をユーザとロボットに関する 4W1H で抽象化し、この情報に基づいてハードウェアとサービス AP を階層化するとともに、適用範囲の広い情報サービスで共通的に用いられる機能を 4W1H で構成し、これら共通機能を用いてサービス AP を開発する枠組みをプラットフォームで実現することとした。

本研究の成果として以下を実現した。

- ・ センサやロボットを抽象化する接続ユニット、ユーザとロボットに関する 4W1H 情報を用いたサービス AP 開発の枠組みを提供するエリア管理ゲートウェイとデータベースの 3 階層からなるプラットフォームの実現
- ・ 4W1H 情報で構造化されたサービス記述と以下の共通機能でロボットサービスを開発する枠組みの実現
  - ロボットサービスに必要な情報を充足し完備させる 4W 情報統合
  - ユーザの 4W 情報、ロボットの 4W1H 情報、4W1H 情報で記述されたサービスとシナリオを組み合わせることで、その時点で適切なサービスとシナリオおよびロボットを決定する 4W1H マッチング
  - 環境内の様々なセンサで獲得した What 情報をサービス実行主体のロボットにフィードバック可能なサービス実行管理

このプラットフォームのサービス AP 開発の枠組みを用いて、Who 情報、Where 情報、What 情報、4W に基づいたセンサクラスを活用して情報サービスを開発し、プラットフォームによるサービス開発の実現性を検証した。さらに、4W1H のサービス AP 開発の枠組みを、情報サービスだけでなく複数のロボットが適切な機能を順次活用しながら実行される物品運搬などの物理サービス提供プラットフォームとして拡張利用が可能である見通しも得られた。

本研究の目的の達成を通じて、以下の研究のねらいを実現した。

- ・ 様々なセンサ、ロボット、情報端末が連携したロボットサービス開発の定型化
- 様々なセンサやロボットの情報を 4W1H で抽象化し共通機能を活用してサービス AP を開発する枠組みにより、多様なセンサ、ロボット、情報端末がネットワークを介して連携しながらユーザを支援するロボットサービス開発の定型化が可能になった。また、4W 抽象化と共通機能の実現により、物理的なセ

---

ンサやロボットの開発とサービス AP 開発を分離することが可能となり、システムの開発期間の短縮、ロボットやセンサの変更・更新への柔軟な対応によるロボットサービスの高度化が簡便に実現可能となった。

以下、本論文の結論・成果の詳細を章毎に総括する。

第2章では、様々なセンサやロボット、情報端末の情報をユーザとロボットに関する 4W1H で抽象化することを述べた。そして、接続ユニット、エリア管理 GW、認証データベースから構成された NR-PF の基本構造を述べた。接続ユニットは、(1) 機器独自のプロトコルでロボットやセンサと直接通信して取得した情報の 4W 抽象化と FDML によるエリア管理 GW へのアップロード、(2) エリア管理 GW からダウンロードされた CroSSML で記述された共通ロボットコマンドの機器固有コマンドへの変換とロボットの直接制御を行う。これらにより、センサやロボットのプロトコルや情報構造の違いを吸収し、上位層での 4W1H に基づいたサービス AP 開発が可能となる。エリア管理 GW は情報獲得のための 4W 情報統合、サービスとロボット選択のための 4W1H マッチング、サービス実行主体のロボットとセンサとの連携のためのサービス実行管理の共通機能を提供する。これら共通機能は 4W1H 情報を用いて実現されるため、ハードウェアに依存することなく様々なサービスで共通的に活用可能である。さらに、認証データベースで各地点の情報を一元管理することで、各地点で提供された情報をロボットが活用したサービス開発が可能である。また、Parent Service/Task/Service Flow からなる 4W1H で構造化したサービス記述方式を述べた。Task 階層で場所などに応じたサービスを記述し、Service Flow 階層でユーザとロボットの What 情報と How 情報で表現した状態遷移でシナリオを記述することが特徴である。サービス AP 開発はこれらサービスに関する情報のデータベースへの登録、Service Flow の状態に応じた処理の実装で実現され、簡便なシステム開発を可能とする。

第3章では、センサをユーザの 4W 情報を収集するデバイスと捉えたセンサクラスを述べた。そして、異なるセンサクラスを Who 情報/When 情報/Where 情報に着目して適切に組み合わせることで、ユーザの 4W 情報を充足し完備できることを述べた。また、複数地点を跨ったサービス実行に必要な情報を獲得するための要件を履歴情報の共有の観点から考察し、「単一センサでの Who 取得条件」と「複数センサでの Who 取得要件」を満たすセンサクラスを導入することが必要であることを明らかにした。さらに、共通機能の 4W 情報統合の処理方式を述べた。この 4W 情報統合はタグ付け処理と組み合わせ処理で 4W 情報をユーザ単位で組み合わせるとともに、ID 変換/対応付け/更新処理でセンサ間の ID 連携を行う。この共通機能により、開発するサービス AP に応じた適切なセンサを導入すれば必要なユーザの 4W 情報が自動的に充足され完備するシステムを簡易に実現できることを述べた。

第4章では、共通機能の 4W1H マッチングとサービス実行管理の詳細を述べた。4W1H マッチングでは Where 情報と When 情報をキーにユーザとロボットの 4W 情報を突合して得られたロボット候補と、Who 情報、Where 情報および What 情報をキーにユーザとサービスの情報を突合してサービス候補を抽出する。そしてそれらをロボットの機能 (How) をキーに組み合わせるとロボットとサービスを決定する。このような方式により、ユーザとロボットの組み合わせを固定化することなく、その時点で実現可能な最も高いプライオリティのサービスをユーザに提供することを可能とする。サービス実行管理では、実行中のサービス/ロボット/ユーザを Who 情報で関連づけ、ロボットの What 情報とセンサが獲得したユーザの What 情報でサービスのシナリオを制御する。これにより、ロボットとセンサの組み合わせを固定化することなく、単一のセンサだけでは獲得することが困難な What 情報を様々なセンサから簡便に

---

---

フィードバックすることができ、高度な認識に基づくサービス実現を可能とする。

第5章では、2章から4章で検討したプラットフォームを用いて **Who** 情報を活用した写真配布サービス、**Where** 情報を活用した展示案内サービス、**What** 情報を活用した体操補助サービスを可視化しプラットフォームによる開発を具体的に述べた。また、プラットフォームでは実現が困難なポイントを明らかにし、拡張したプラットフォームで開発したサービス **AP** でユーザにサービス提供可能であることを実証実験で検証した。さらに、多地点を跨ったサービスに必要な情報収集するためのセンサ要件を満たすセンサを用いた店舗紹介／クーポン配布サービスを述べた。そして、実証実験の結果から異なるセンサの情報統合が実現可能であること、センサ要件に基づいたセンサ配置で多地点を跨ったサービスが実現可能であることを実証した。また、4W1H のサービス **AP** 開発の枠組みを、情報サービスだけでなく物品運搬などの物理サービスにも拡張利用すべく **AP** 開発の枠組みを示した。2種類のサービス **AP** を開発し、情報サービスだけでなく複数のロボットが適切な機能を順次活用しながら実行される物品運搬などの物理サービス **AP** 開発に拡張利用が可能である見通しが得られた。

第6章では、第5章で述べた実証実験の結果に基づいて4W1Hに基づいた枠組みのアプリケーション開発やシステム開発への効果を考察し、以下の結論が得られた。

(1) 4W1Hに基づくアプリケーションとハードウェアの階層化：4W1Hに基づくアプリケーションとハードウェアの階層化により、それぞれの開発を分離して進められる。これにより、同時並行にシステム開発が進められるため、効率的なシステム開発や工期短縮が実現できる。

(2) 4W1Hに基づく枠組み：4W1Hに基づく枠組みを導入することで、実現したいサービスを **Who**, **Where**, **What** の観点で整理し、そのサービスの特徴に応じてユーザ、ロボット、サービスに必要な情報とそれら情報間の関連付けを設計／実装することでアプリケーションを開発できる。これにより、システム開発者はサービスを構造的に捉えながら開発を進められ、効率的にシステム開発が行える。

(3) 共通機能（情報獲得機能）：4Wに基づく情報獲得機能を活用してシステム開発を行うことで、システム開発者はセンサクラスに基づいてサービス実行に必要な情報を獲得するためのセンサを決定でき、センサの導入検討を見通し良く行えるようになる。

(4) 共通機能（サービスとロボットの選択機能）：**Pull** 型インタフェースで補強しながらサービスとロボットの選択機能を活用してシステム開発を行うことで、新たなロボットの追加や個々のロボットが具備する機能の拡張などに柔軟に対応しながら、効率的にシステム開発が行える。

(5) 共通機能（サービス実行機能）：サービス実行機能を活用してシステム開発を行うことで、ロボットのセンシング機能の変更や拡張が効率的に行えるようになり、様々な環境で高度なサービスを提供するシステムを簡易に実現できる。

最後に、今後の方向性について述べる。ネットワークロボットや空間知の概念により、非産業分野での新たなロボットサービスが創出されていくと予想される。そのロボットサービスにおいては、ロボットメーカーに加えて、**Web** サービスなどロボット産業とは異なる分野との連携が重要な要素になると考える。そのような連携を推し進めるためには、**UNR-PF** や **RT-Middleware** で推進しているアプリケーション開発フレームワークなどの標準化が重要な役割を担うと考えられ、本研究成果をそのような形で展開することも視野に入れて研究を進めていく。

## 研究業績

種別	No.	著者	著書・学術論文・研究報告等の名称	発行所・発表雑誌又は発表学会等の名称	発行又は報告の年月	主に関連する章番号								
						2章	3章	4章	5.2節	5.3節	5.4節	5.5節	5.6節	
1. 査読付論文	1-1	Hirohisa Tezuka, Norifumi Katafuchi, ○ Yukihiro Nakamura, Tamotsu Machino, Yoshito Nanjo, Satoshi Iwaki, and Ken-ichiro Shimokura	Robot platform architecture for information sharing and collaboration among multiple networked robots	Journal of Robotics and Mechatronics, vol.18, no.3, pp.325-332	2006・6	○		○	○					
	1-2	○ Yukihiro Nakamura, Tamotsu Machino, Manabu Motegi, Yoshiyuki Iwata, Takanori Miyamoto, Satoshi Iwaki, Shin-yo Muto, and Ken-ichiro Shimokura	Framework and service allocation for network robot platform and execution of interdependent services	Robotics and Autonomous Systems, Volume 56 Issue 10, pp. 831-843	2008・10	○		○		○				
	1-3	武藤 伸洋, 下倉 健一朗, ○中村 幸博, 手塚 博久, 阿部 匡伸	ネットワークロボットプラットフォームの実証実験による評価	電子情報通信学会論文誌 D, 情報・システム, 93-D(10), pp.2240-2256	2010・10	○		○	○	○	○	○		
	1-4	○中村 幸博, 武藤 伸洋, 水川 真, 茂木 学, 小林 透, 高嶋 洋一	ネットワークロボットプラットフォーム -4Wに基づいた異種センサデータ統合-	計測自動制御学会論文集, 第50巻, 第1号, pp.82-92 (2014.1)	2014・1	○	○						○	
	1-5	○Yukihiro Nakamura, Shin-yo Muto, Yoshio Maeda, Makoto Mizukawa, Managu Motegi, and Youichi Takashima	Proposal of Framework Based on 4WIH and Properties of Robots and Objects for Development of Physical Service System	Journal of Robotics and Mechatronics, vol.26, no.6 (accepted)	2014・12									○
2. 査読付国際会議	2-1	○Yukihiro Nakamura, Sin-you. Muto, Manabu Motegi, and Makoto Mizukawa	Proposal of Active Information Supplement Platform Based on 4W Information	2012 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII), pp. 951-956	2012・12	○	○	○						
3. 査読無し論文	なし													
4. 査読無し国際会議	3-1	○ Yukihiro Nakamura, Tamotsu Machino, Yoshiyuki Iwata, Satoshi Iwaki, Yoshito Nanjo, and Ken-ichiro Shimokura	Service Allocation Architecture for Network Robots: Concepts and Evaluations	Proc. of Korea-Japan Joint Symposium on Network Robot Systems, pp.13-18	2006・7	○		○	○					
	3-2	Norifumi Katafuchi, Hirohisa Tezuka, ○ Yukihiro Nakamura, Tamotsu Machino, Satoshi Iwaki, Yoshito Nanjo, and Ken-ichiro Shimokura	Development of a Network Robot Platform and its Application to Informational Services	IEEE International Conference on Robotics and Automation Workshop on Network Robot Systems: Toward Intelligent Robotic Systems Integrated with Environments (ICRA2006 WS)	2006・5	○		○	○					

種別	No.	著者	著書・学術論文・研究報告等の名称	発行所・発表雑誌又は発表学会等の名称	発行又は報告の年月	主に関連する章番号									
						2章	3章	4章	5.2節	5.3節	5.4節	5.5節	5.6節		
4. 査読無し 国際会議	3-3	○ Yukihiro Nakamura, Tamotsu Machino, Manabu Motegi, Yoshiyuki Iwata, Takanori Miyamoto, Satoshi Iwaki, Shin-yo Muto, and Ken-ichiro Shimokura	Network Robot Platform: Service Allocation Architecture Based on 4W Information	Proc. of Workshop on Network Robot Systems at IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp.39-44	2007・4	○		○							
5. 口頭 発表等	5-1	手塚 博久, 南條 義人, 岩城 敏, 片瀨 典史, ○中村 幸博, 町野 保, 中山 丈二, 松村 成, 下倉 健一朗	論理センサネットワークを利用したロボットプラットフォームの開発(第1報)	ロボティクス・メカトロニクス講演会講演論文集, 2A1-S-037	2005・6	○									
	5-2	○中村 幸博, 南條 義人, 岩城 敏, 手塚 博久, 片瀨 典史, 町野 保, 柳原 義正, 下倉 健一朗	ネットワークロボットプラットフォームによる多人数向けサービス設計と実現—ローカルセンサ情報とグローバルセンサ情報の選択利用—	第 23 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 2D17	2005・9	○		○	○						
	5-3	○中村 幸博, 町野 保, 岩田 義行, 岩城 敏, 南條 義人, 下倉 健一朗	ネットワークロボットのためのサービス分配アーキテクチャの提案:コンセプトと評価	2006 年度 第 1 回ネットワークロボット研究会, IEICE Tech Report, NR-TG-2-01, pp.13-18	2006・7	○		○	○						
	5-4	○中村 幸博, 町野 保, 茂木 学, 岩田 義行, 岩城 敏, 宮本 孝典, 武藤 伸洋, 下倉 健一朗	ネットワークロボットプラットフォーム -エリアに着目したサービス分配と履歴サービスの実現-	ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, 1A1-C08	2007・5	○		○							
	5-5	○中村 幸博, 茂木 学, 町野 保, 岩田 義行, 武藤 伸洋, 下倉 健一朗	4W 情報に基づいたセンサ情報統合化方式の提案	2007 年度 第 1 回ネットワークロボット研究会, IEICE Tech Report, NR-TG-3-01~05, pp.1-6	2007・7	○	○	○							
	5-6	○中村 幸博, 茂木 学, 町野 保, 岩田 義行, 武藤 伸洋, 下倉 健一朗	多様なセンサ情報とロボット情報の統合収集のためのネットワークロボットプラットフォームの提案	第 25 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 3G22	2007・9	○	○	○							
	5-7	茂木 学, ○中村 幸博, 町野 保, 岩田 義行, 武藤 伸洋, 下倉 健一朗	ネットワークロボットにおける携帯電話バーチャルロボットの検討	第 25 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 3G23	2007・9	○									
	5-8	古結 義浩, 見持 圭一, 宅原 雅人, ○中村 幸博, 武藤 伸洋, 石原 達也, 下倉 健一朗	ネットワークロボットを利用した体操補助システム	ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, 1A1-F09	2008・6	○						○			
	5-9	○中村 幸博, 武藤 伸洋, 岩田 義行, 永徳 真一郎, 石原 達也, 阿部 匡伸, 加藤 英紀, 西 孝明, 下倉 健一朗	プライバシーを考慮したロボットサービスシステム	ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, 1A1-F08	2008・6	○						○			

種別	No.	著者	著書・学術論文・研究報告等の名称	発行所・発表雑誌又は発表学会等の名称	発行又は報告の年月	主に関連する章番号							
						2章	3章	4章	5.2節	5.3節	5.4節	5.5節	5.6節
5. 口頭発表等	5-10	武藤 伸洋, ○中村 幸博, 手塚 博久, 阿部 匡伸, 下倉 健一朗	ネットワークロボットプラットフォームを利用した多種ロボット連携の実証実験	ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, 2A1-C07	2009・5	○			○	○	○	○	
	5-11	○中村 幸博, 手塚 博久, 武藤 伸洋, 下倉 健一朗, 秋本 高明, 阿部 匡伸	ネットワークロボットプラットフォームを用いた複数環境を跨ったロボット連携サービスの実現	ロボティクス・メカトロニクス講演会講演論文集, 2A1-C06	2009・5		○					○	
	5-12	下倉 健一朗, ○中村 幸博, 武藤 伸洋	ネットワークロボットのプラットフォーム技術	電子情報通信学会誌, Vol.91, No.5, pp.358-365	2008・5	○		○					
	5-13	○中村 幸博, 永徳 真一郎, 岩田 義行, 茂木 学, 武藤 伸洋, 阿部 匡伸	さまざまな種類のロボットを連携可能にするネットワークロボットプラットフォーム技術	NTT 技術ジャーナル, vol.20, no.1, pp.22-27	2008・1	○		○					
	5-14	岩田 義行, 南條 義人, 岩城 敏, 柳原 義正, 片淵 典史, ○中村 幸博, 町野 保, 下倉 健一朗, 手塚 博久	接続装置及びデバイス制御システム	特願 2006-99845 特許第 4181585 号	2006・3	○							
	5-15	片淵 典史, 南條 義人, 手塚 博久, 町野 保, 岩城 敏, ○中村 幸博, 柳原 義正, 岩田 義行	ロボット連携システム	特願 2006-74771	2006・3			○					
	5-16	柳原 義正, 南條 義人, 手塚 博久, ○中村 幸博, 片淵 典史, 町野 保, 岩城 敏, 岩田 義行	ロボット制御装置及びプログラム並びにロボット制御方法	特願 2006-74770	2006・3			○					
	5-17	○中村 幸博, 南條 義人, 柳原 義正, 手塚 博久, 片淵 典史, 町野 保, 岩城 敏, 岩田 義行	センサデータ検知時刻補正装置	特願 2006-84199 特許第 4550758 号	2006・3	○							



---

## 参考文献

- [1] 経済産業省：ロボット政策研究会報告書 ～RT革命が日本を飛躍させる～，  
<http://www.meti.go.jp/press/20060516002/robot-houkokusho-set.pdf>, 2006.
- [2] 総務省：ネットワーク・ロボット技術に関する調査研究会報告書，  
[http://www.soumu.go.jp/s-news/2003/pdf/030724\\_1\\_01.pdf](http://www.soumu.go.jp/s-news/2003/pdf/030724_1_01.pdf), 2006.
- [3] 水川 真 他: 空間知がめざすもの, 計測自動制御学会誌, vol.48, p. 845, 2009.
- [4] ORiN 協議会: <http://www.orin.jp/>
- [5] A. Makarenko, A. Brooks and T. Kaupp: Orca: Components for robotics, Proceedings of International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2006), pp. 163-168, 2006.
- [6] N. Ando, T. Suehiro, K. Kitagaki, T. Kotoku and Y. Woo-Keun: RT-middleware: distributed component middleware for RT (robot technology), Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2005), pp. 3933-3938, 2005.
- [7] OpenRTM-aist: <http://www.openrtm.org>
- [8] ROS: <http://www.ros.org>
- [9] M. Quigley, K. Conley, B. Gerkey, J. Faust, T. Foote, J. Leibs, R. Wheeler and A.Y. Ng: ROS: an open-source Robot Operating System, ICRA workshop on open source software, 2009.
- [10] 岡田: ROS (ロボット・オペレーティング・システム) , 日本ロボット学会会誌, vol.30, pp. 830-835, 2012.
- [11] C. Cote, Y. Brosseau, D. Letourneau, C. Raïevsky and F. Michaud: Robotic software integration using MARIE, International Journal of Advanced Robotic Systems, vol. 3, pp. 55-60, 2006.
- [12] S. Enderle, H. Utz, S. Sablatnög, S. Simon, G. Kraetzschmar and G. Palm: Miro: Middleware for autonomous mobile robots, Telematics Applications in Automation and Robotics, 2001.
- [13] H. Utz, S. Sablatnög, S. Enderle and G. Kraetzschmar: Miro-middleware for mobile robot applications, IEEE Transactions on Robotics and Automation, vol. 18, pp. 493-497, 2002.
- [14] T.H. Collett, B. A. MacDonald and B.P. Gerkey: Player 2.0: Toward a practical robot programming framework, Proceedings of the Australasian Conference on Robotics and Automation (ACRA 2005), 2005.
- [15] M. Kranz, R. B. Rusu, A. Maldonado, M. Beetz and A. Schmidt: A player/stage system for context-aware intelligent environments, Proceedings of UbiSys, vol. 6, pp. 17-21, 2006.
- [16] 藤田: NECにおけるパーソナルロボットの開発, 日本ロボット学会誌, vol. 20, pp. 676-679, 2002.
- [17] 高野, 宇田, 石田, 西沢, 藤田: ロボットプラットフォーム RoboStudio による RT コンポーネントの実現, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, 1P1-C02, 2007.
- [18] J. Jackson: Microsoft robotics studio: A technical introduction, IEEE Robotics & Automation Magazine, vol. 14, pp. 82-87, 2007.
- [19] J.S. Albus, H.G. McCain and R. Lumia: NASA/NBS standard reference model for telerobot control system architecture (NASREM), National Institute of Standards and Technology Gaithersburg, MD, 1989.
- [20] R. Lumia: Integrating sensors into a standard control architecture for robotic applications, 7th IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, pp. 120-125, 1990.
- [21] 成田, 島村, 日浦, 山口: ロボットサービスイニシアチブ(RSi)の活動を通して実現したロボットサービス共通プラットフォーム仕様, 日本ロボット学会誌, vol. 26, pp. 785-793, 2008.

- 
- [22] 成田, 加藤, 村川, 植木, 中本, 亮 日浦, 平野, 蔵田: 普及期のロボットサービス基盤を目指す RSNP(Robot Service Network Protocol)2.0 の開発, 日本ロボット学会誌, vol. 27, pp. 857-867, 2009.
- [23] 成田, 秋口, 加藤, 村川, 植木, 岡林, 日浦, 蔵田: インターネットを活用したロボットサービスの実現と開発を支援する RSi(Robot Service Initiative)の取り組み, 日本ロボット学会誌, vol. 28, pp. 829-840, 2010.
- [24] Y. Kato, T. Izui, Y. Tsuchiya, M. Narita, M. Ueki, Y. Murakawa and K. Okabayashi: RSi-cloud for integrating Robot Services with internet services, Proceedings of 37th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society (IECON 2011), pp. 2158-2163, 2011.
- [25] 谷江, 松日楽: 次世代ロボット共通プラットフォーム技術:—情報構造化環境プラットフォームの構築—, 日本ロボット学会誌, vol. 25, pp. 501-504, 2007.
- [26] T. Hasegawa, K. Murakami, R. Kurazume, Y. Senta, Y. Kimuro and T. Ienaga: Robot Town Project: Sensory Data Management and Interaction with Robot of Intelligent Environment for Daily Life, Proceedings of 4th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI2007), pp. 369-373, 2007.
- [27] 村上, 長谷川, 木室, 千田, 家永, 有田, 倉爪: 情報構造化環境における情報管理の一手法, 日本ロボット学会誌, vol. 26, pp. 192-199, 2008.
- [28] T.-H. Kim, S.-H. Choi and J.-H. Kim: Incorporation of a software robot and a mobile robot using a middle layer, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews, vol. 37, pp. 1342-1348, 2007.
- [29] M. Broxvall, M. Gritti, A. Saffiotti, B.-S. Seo and Y.-J. Cho: PEIS Ecology: integrating robots into smart environments, IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 212-218, 2006.
- [30] S. C. Ahn, J. H. Kim, K. Lim, H. Ko, Y.-M. Kwon and H.-G. Kim: UPnP approach for robot middleware, Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2005), pp. 1959-1963, 2005.
- [31] S. C. Ahn, K.-W. Lim, J.-W. Lee, H. Ko, Y.-M. Kwon and H.-G. Kim: UPnP robot middleware for ubiquitous robot control, Proceedings of 3rd International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI2006), 2006.
- [32] J.-H. Lee and H. Hashimoto: Intelligent space - concept and contents, Advanced Robotics, vol. 16, pp. 265-280, 2002.
- [33] 中野, 藤江, 小林: MONEA :効率的な多機能ロボット開発環境を実現するメッセージ指向ネットワークロボットアーキテクチャ, 日本ロボット学会誌, vol. 24, pp. 543-553, 2006.
- [34] T. Sato, T. Harada and T. Mori: Environment-Type Robot System "Robotic Room" Featured by Behavior Media, Behavior Contents, and Behavior Adaptation, IEEE/ASME Transactions on MECHATRONICS, vol. 9, pp. 529-534, 2004.
- [35] 野口, 森, 佐藤: 住居内異種センサの統一的処理のための RDF センサ記述, 電子情報通信学会 ネットワークロボット研究会, 信学技報 NR-TG-2-02, pp. 7-12, 2006.
- [36] H. Noguchi, T. Mori and T. Sato: Network middleware for flexible integration of sensor processing in home environment, Proceedings of IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, vol.4, pp. 3845-3851, 2004.
- [37] H. Noguchi; T. Mori; and T. Sato: Automatic Generation and Connection of Program Components based on RDF Sensor Description in Network Middleware, Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on
-

---

Intelligent Robots and Systems (IROS2006), pp. 2008-2014, 2006.

[38] H. Noguchi, T. Mori and T. Sato: Automatic Composition of Sensor Data for Behavior-Driven Application in Smart Room, Fourth International Conference on Networked Sensing Systems (INSS '07), pp. 150-153, 2007.

[39] T. Mori, N. Hayama, H. Noguchi and T. Sato: Informational support in distributed sensor environment sensing room, Proceedings of 13th IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication (ROMAN 2004), pp. 353-358, 2004.

[40] M. Jang, J.-C Sohn and Y.-J Cho: Bossam: An Expanded Rule Engine for Ubiquitous Robotic Companion, Proceedings of 2nd Korea-Japan Joint Symposium on Network Robot System, pp. 22-38, 2006.

[41] H. Kim, M. Kim, K.-W. Lee, Y.-H. Suh, J. Cho and Y.-J. Cho: Context-Aware Server Framework for Network-based Service Robots, Proceedings of 2006 International Joint Conference SICE-ICASE, pp.2084-2089, 2006.

[42] H. Kim, K.-W. Lee, Y.-H Suh, J.-M. Cho, and Y.-J. Cho: Client/server framework for providing context-aware services to network based robots, Proceedings of 16th IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication (ROMAN 2007), pp. 475-480, 2007.

[43] H. Kim, Y.-J. Cho and S.-R Oh: Implementation and application of URC server framework, Proceedings of Workshop on Network Robot System at 2007 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA07-WS), No.SF-2-5, pp. 23-27, 2007.

[44] H. Kim, Y.-J. Cho and S.-R. Oh: CAMUS: a middleware supporting context-aware services for network-based robots, IEEE Workshop on Advanced Robotics and its Social Impacts, 2005. pp. 237-242, 2005.

[45] J. Furrer, K. Kamei, C. Sharma, T. Miyashita and N. Hagita: UNR-PF: An open-source platform for cloud networked robotic services, Proceedings of IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII2012), pp. 945-950, 2012.

[46] M. Sato, K. Kamei, S. Nishio and N. Hagita: The Ubiquitous Network Robot Platform: Common platform for continuous daily robotic services, Proceedings of IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII2011), pp. 318-323, 2011.

[47] Object Management Group: Robotic Interaction Service (RoIS) Formal Version(S) Of RoIS, <http://www.omg.org/spec/RoIS/>

[48] 青木, 桐原, 中澤, 高汐, 徳田: 制御ルールを考慮したセンサアクチュエータネットワーク機構の構築, 情報処理学会論文誌: コンピューティングシステム, vol. 2, pp. 178-191, 2009.

[49] M. Iwai, Y. Tobe and H. Tokuda: A flexible modeling engine enabling inter-service management, Information and Media Technologies, vol. 4, pp. 620-638, 2009.

[50] S. Helal, W. Mann, H. El-Zabadani, J. King, Y. Kaddoura and E. Jansen: The gator tech smart house: A programmable pervasive space, Computer, vol. 38, pp. 50-60, 2005.

[51] Object Management Group: Documents Associated With Robotic Technology Component (RTC) Version 1.0, <http://www.omg.org/spec/RTC/1.0/>

[52] Object Management Group: Robotic Localization Service (RLS) Version 1.0, <http://www.omg.org/spec/RLS/1.0/PDF/>

[53] 伊藤, 石原, 中村, 武藤, 阿部: 携帯電話を用いた歩行モニタリング, 電子情報通信学会 ライフインテリジェンスとオフィス情報システム研究会, 信学技報 LOIS2010-30, vol. 110, no.282, pp. 9-14, 2010.

[54] Microsoft: Kinect for Windows, <http://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindows/>

---

- 
- [55] 手塚, 木村, 神田, 下倉, 野口, 柿坂: 製造業向け情報流通フォーマットに関する検討~DFML と RRD の相互運用に関する一検討, 第 4 回システムインテグレーション部門学術講演会 (SI2003), pp. 15-16, 2003.
- [56] Network Robot Forum: プラットフォーム IF 説明書, <http://www.scat.or.jp/nrf/index.html>
- [57] 岩井: CroSSML: Domain Cross Over Services Markup Language, 電子情報通信学会 ネットワークロボット研究会, 信学技報 NR-TG-2-04, pp. 25-30, 2006.
- [58] G. Suzuki, S. Aoki, T. Iwamoto, D. Maruyama, T. Koda, N. Kohtake, K. Takashio and H. Tokuda: u-photo: Interacting with pervasive services using digital still images, *Pervasive Computing*, pp. 190-207, 2005.
- [59] K. Kemmotsu, Y. Koketsu and M. Iehara: Human behavior recognition using unconscious cameras and a visible robot in a network robot system, *Journal of Robotics and Autonomous Systems*, vol. 56, pp. 857-864, 2008.
- [60] 中村, 武藤, 岩田, 永徳, 石原, 阿部, 加藤, 西, 下倉: プライバシーを考慮したロボットサービスシステム, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, 1A1-F08, 2008.
- [61] 宮下, 神田, 西尾, 萩田: 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, vol. 26, pp. 423-426, 2008.
- [62] Opensource software components for Human Robot Interaction (OpenHRI) : <http://openhri.net/>
- [63] 倉爪: 三次元空間での移動物体の追跡, 日本ロボット学会誌, vol.26, No.4, pp. 314-317, 2008.
- [64] T. Mori, Y. Suemasu, H. Noguchi, and T. Sato: Multiple people tracking by integrating distributed floor pressure sensors and RFID system, *Proceedings of IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, vol.6, pp.5271-5278, 2004.
- [65] T. Mori, T. Matsumoto, M. Shimosaka, H. Noguchi and T. Sato: Multiple Persons Tracking with Data Fusion of Multiple Cameras and Floor Sensors Using Particle Filters, *Workshop on Multi-camera and Multi-modal Sensor Fusion Algorithms and Applications - M2SFA2 2008*, 2008.
- [66] 池田, 石黒, 西村: 床センサと加速度センサの統合による複数人間追跡, 電子情報通信学会 パターン認識・メディア理解研究会, 信学技報 PRMU2006-105, vol.106, no.301, pp. 7-12, 2006.
- [67] 青木, 中澤, 徳田: 時空間モデルを考慮したロボティックセンサノード機構の実現, 情報処理学会論文誌, 49 巻, 6 号, pp. 1778-1793, 2008.
- [68] 青木, 桐原, 中澤, 徳田: ロボティックセンサネットワーク用ミドルウェアの開発, 電子情報通信学会 ユビキタス・センサネットワーク研究会, 信学技報 USN2007-19, vol.107, no.53, pp.103-108, 2007.
- [69] Y. Maeda, T. Yoshimi, Y. Ando, and M. Mizukawa: Task management of object delivery service in kukanchi, *Proceedings of IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII2012)*, pp. 283-288, 2012.
- [70] Y. Ishiguro, Y. Maeda, N. L. Trung, T. Sakamoto, M. Mizukawa, T. Yoshimi, and Y. Ando: Architecture of Kukanchi Middleware: The Second Report, *Proceedings of IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII2011)*, pp. 283-287, 2011.
- [71] 株式会社セック: OpenRTM.NET, <http://www.sec.co.jp/robot/openrtmnet/introduction.html>
- [72] T. Sasaki and H. Hashimoto: Design and Implementation of Distributed Sensor Network for Intelligent Space Based on Robot Technology Components, *Proceedings of 2nd Conference on Human System Interactions (HSI 2009)*, pp. 400-405, 2009.
-

---

## 謝辞

本論文をまとめるにあたり、芝浦工業大学大学院理工学研究科 水川眞教授にはご指導とご教示を賜りました。また、論文をまとめるに際し、芝浦工業大学 吉見卓教授、上岡英史教授、長谷川忠大教授、首都大学東京 山口亨教授には、有益なご討論、ご助言を賜りました。ここに深謝の意を表します。

本研究は、著者が NTT サイバーソリューション研究所において行った総務省受託研究「ネットワーク・ヒューマン・インタフェースの総合的な研究開発（ネットワークロボット技術）」での研究および芝浦工業大学ヒューマン・ロボット・インタラクション研究室で行った空間知に関する研究の一部をまとめたものです。本研究をする機会を作っていただいた故 下倉健一朗博士、岡山大学 阿部匡伸先生（元 NTT ヒューマンアプライアンスプロジェクト部長）、NTT 武藤伸洋主幹研究員、エヌ・ティ・ティ・アドバンステクノロジー株式会社 齋藤正明センタ長、宮地寿人担当部長に深く感謝致します。

ネットワークロボットのプロジェクトでは、NTT クオリス 宮本孝典担当課長、NTT 南條義人担当部長、広島市立大学 岩城敏教授、NTT 西日本 岩田義行担当課長、NTT 手塚博久主幹研究員、片渕典史担当課長、茂木学主任研究員、永徳真一郎研究員、石原達也研究員、町野保博士の方々に多大な貢献を頂きました。また、このプロジェクトは国際電気通信基礎技術研究所、株式会社東芝、三菱重工株式会社ならびにエヌ・ティ・ティ・コミュニケーションズ株式会社、慶應義塾大学、株式会社イーガーとの共同研究で進められました。各ご担当様には実証実験に関して熱心なご討論とご指導を賜りました。皆様に深く感謝の意を表します。

空間知の研究は NTT との共同研究で行われました。長崎大学 小林透教授、NTT 高嶋洋一主任研究員には熱心な議論とご指導を賜りました。また、研究を遂行するにあたり、前田佳男氏をはじめとして、芝浦工業大学ヒューマン・ロボット・インタラクション研究室の皆様にご協力を頂きました。ここに深く感謝致します。

最後に、筆者がロボットを志すきっかけを作って頂き、その後もロボット研究に関する多くのことを教えていただいた故 谷江和雄先生ならびに旧機械技術研究所の皆様には深く感謝の意を表します。また、本論文をまとめるにあたり、惜しみなく理解と協力をしてくれた妻 雪子と娘 文音に改めてお礼を申し上げます。