

IAM Discussion Paper Series #27

## ロボット技術のオープンイノベーション

— Robot-OS(ROS)の戦略と我が国ロボット技術開発の方向性 —

— Robotics Technology and Open Innovation—

# IAM

Intellectual Asset-Based Management

2012年7月

産業技術大学院大学

成田雅彦

加藤由花

中川幸子

東京大学知的資産経営総括寄付講座

小川絃一

東京大学 知的資産経営総括寄付講座

Intellectual Asset-Based Management Endowed Chair  
The University of Tokyo

※ IAMディスカッション・ペーパー・シリーズは、研究者間の議論を目的に、研究過程における未定稿を公開するものです。当講座もしくは執筆者による許可のない引用や転載、複製、頒布を禁止します。

<http://www.iam.dpc.u-tokyo.ac.jp/index.ht>

# ロボット技術のオープンイノベーション

## - Robot-OS(ROS)の戦略と我が国ロボット技術開発の方向性 -

産業技術大学院大学

成田雅彦

加藤由花

中川幸子

東京大学知的資産経営総括寄付講座

小川紘一

### 要約

アメリカ Willow Garage が取り組むパーソナルロボット用のロボット OS (ROS) に焦点を当て、ROS の日本ロボット産業への影響 (デファクト化、特許の問題、ブランド戦略、アメリカのロボット団体の設立、産業用ロボットへの参入、ネットワークサービスとしての展開等) について述べながら、これらに対する対応策を示した。

ROS の登場によって、オープンなインターネットとロボットのサービスビジネスを融合させるイノベーションが次々に起きており、ロボット産業の競争ルールが大きく変わろうとしている。この影響が既に日本のロボット産業へも及んでいるが、ROS が持つ戦略上の意味は、我が国ロボット関係者に必ずしも理解されていない。例え理解されても、フルセット自前主義を当たり前のように推進してきた日本企業には、グローバルな知財戦略と標準化を駆使しながら、ROS の新たな仕掛けに対峙できる人材が決定的に不足している。

日本のロボット開発戦略については、IT 産業を含めてグローバルなソフトウェア戦略や知財マネージメント、そしてオープン標準化の実戦経験を持つ人材のチーム結成が必須であり、その萌芽が Robot Service initiative(RSi)のコミュニティで生まれている。

日本のロボット産業が今後も競争力を維持拡大するには、ROS の戦略を理解し、ここから対抗戦略を立案する軍師型の人材、そしてこれをビジネスへ展開する実践型の人材が必要である。我々は、圧倒的な技術優位を持ちながら結果的に市場撤退を繰り返した携帯電話や DVD、液晶テレビ、リチウムイオン電池や太陽光発電から教訓を学び、これを RSi が進めるソフトウェア関連の仕組み作りをリンクさせ、ロボット産業の新たな勝ちパターンを再構築しなければならない。

### キーワード

オープンソースロボティクス、ROS、RSi、Willow Garage、RTM

## 目次

1	はじめに.....	4
2	Willow Garage.....	5
2.1	Willow Garage 概要.....	5
2.2	ソフトウェア分野.....	6
2.3	ハードウェア分野.....	7
3	ROS.....	10
3.1	ROS 概要.....	10
3.2	ROS 技術支援サイトとコミュニティ.....	10
3.3	ROS の提供コンテンツ.....	12
3.4	ROS のサービスモデル.....	15
3.4.1	ROS のサービスモデル概要.....	15
3.4.2	ROS Graph Concepts.....	15
3.5	ROS を使った開発.....	17
4	ROS のマーケティング戦略.....	20
4.1	PR2 ベータプログラム.....	20
4.2	ROS コンテスト.....	22
5	ROS の展開.....	23
5.1	ROS 産業プロジェクト.....	23
5.2	ロボットの低価格化.....	24
5.3	クラウド／ネットワークサービスとしての展開.....	25
5.4	プラットフォーム間連携.....	26
6	オープンソースロボット財団の設立.....	28
6.1	オープンソースロボティクスに関する議論.....	28
6.2	シリコンバレーのロボット事業への関心の向上.....	29
6.3	オープンソースロボット財団の設立.....	31
7	ROS のリスクと日本のロボット産業への提案.....	33
7.1	ROS のリスク分析.....	33
7.2	提案.....	35
8	おわりに.....	37
9	参考文献.....	38

## 1 はじめに

本報告書は、非軍事用ロボットで最も先鋭的なビジネスモデルを展開中のアメリカ Willow Garage 社に焦点を当て、彼らの戦略を分析しなら日本におけるロボット開発戦略の方向性を示すことを目的とする。構成は以下のとおりである。

まず 2 章で Willow Garage 社の位置づけと、ソフトウェア及びハードウェアへの取り組みを記載する。3 章では Willow Garage のビジネスモデルの中核となる ROS (Robot-Operating System) の概要、技術支援サイトと提供コンテンツ、ROS のサービスモデルと開発について記載する。

4 章で ROS のマーケティング戦略として、PR2 ベータプログラムと、2012 年 5 月開催の ROS コンテストについて記載する。PR2 とは Willow Garage 社が提供する研究開発の為のパーソナルロボットであり、実生活間で人間と同等の作業を行うことを目的に設計されている。

5 章では ROS の展開として、ROS 産業プロジェクト、ロボットの低価格化、ネットワークサービスとしての展開、プラットフォーム間連携として、日本の産業技術総合研究所が中心になって開発した RTM (Robot Technology Middleware) およびアメリカ Willow Garage 社の ROS との連携について記載する。

6 章では、ロボットオープンソース財団の設立の動向について記載する。7 章で、これまでの記載をもとに、ROS の分析と戦略提案を行い、8 章をまとめとする。9 章に主要な参考文献を掲載する。

## 2 Willow Garage

### 2.1 Willow Garage 概要

Willow Garage 社の事業内容は、「非軍事用ロボットのための、ハードウェアとオープンソース・ソフトウェアの研究および開発」である。2006 年後半に、Scott Hassan によって、米国のシリコンバレーに設立された。Willow Garage 社は、ロボットのオープンソースコミュニティである“ROS”の一部と位置づけられ、オープンソースロボティクスの発展を事業目的としてきた。ハードウェアとソフトウェア双方で、研究所や企業とのコラボレーションやアドバイスを積極的に行うと同時に、同社がパーソナルロボット分野で ROS による研究開発とコミュニティの発展を促すと考える地域に投資（支援）を行っている。

Willow Garage は、ロボット技術の専門家集団であり、1/3 のスタッフが各ロボット分野の研究者である。そのため、深い専門性にもとづいた最先端の技術提供ができるとしている。以下の 5 名が、Willow Garage の首脳陣である。(2012 年 3 月末時点)

- Scott Hassan: 創設者 (経歴: Google、Alexa Internet、egroups 創設者、スタンフォード大学デジタル研究所)
- Steve Cousins: 代表取締役 兼 CEO (経歴: IBM アルマデン研究所シニアマネージャー、Xerox パロアルト研究所)
- Brian Gerkey: 取締役, オープンソース開発者 --ROS、PR2、Player<sup>1</sup>の開発者 (経歴: SRI 人工知能センター研究員、スタンフォード大学 AI 研究所、学生のとしかから Player の開発に取り組んできた)
- Gary Bradski: 主任研究員 --OpenCV の開発者 (経歴: スタンフォード大学 AI 研究所、Intel で OpenCV を開発、STAIR プロジェクト<sup>2</sup> 参加)
- Kurt Konolige: 主任研究員 --ロボット知覚のリアルタイムアルゴリズム、SLAM<sup>3</sup>、ロボットの 3 次元視覚の開発者 (経歴: スタンフォード大学コンサルティング教授 SRI 人工知能センター研究員)

---

<sup>1</sup> 2.2 章に後述。

<sup>2</sup> STanford Artificial Intelligence Robot の略。ROS は STAIR プロジェクト内に見出された大規模サービスロボット開発時の課題に由来する。<http://stair.stanford.edu>

<sup>3</sup> Simultaneous Localization and Mapping の略。GPS のような位置情報を得ることのできない未知の環境で、ロボットが自己位置を同定しつつ周囲の環境情報を計測することで、ロボットの移動経路周囲の環境地図を作成する手法。SLAM は自己位置同定情報と計測した環境情報を互いにフィードバックし合うことにより、高精度な自己位置推定と地図構築を行う。

## 2.2 ソフトウェア分野

Willow Garage では、まずロボット技術を大きく発展させることを目指している。そのために、世界の知恵をロボット技術開発に集める手段としてのオープンソースコミュニティを作り、ソフトウェアの共有・連携、及び再利用 (reuse) を促進させる仕組みを用意した。これによって世界のロボット研究者が、Willow Garage が提供する枠組みの中で研究を競い合うことが意図されている。ロボットソフトウェア分野では、以下にあげる研究開発を行っている。

### ▶ ROS

ROSは、Robot Operation Systemの略であると同時にRobot Open Sourceの略である。ROSは、ロボット用のオペレーティング・システム(以下、OS)としてのライブラリやロボットアプリケーション開発のためのツールを、BSDライセンスのオープンソースとして提供する。ここで言うBSDライセンスとは、オープンソースのライセンスの一つの形態であり、第三者が修正/配布等を自由に行え、ソースの供給者に対してライセンス料の支払いが不要を宣言したものである。(注:ソースに第三者特許が含まれているか否かには言及していない。)

ROSはOSに必要とされているハードウェアの抽象化(abstraction)や低レベルデバイスの制御、ロボットが一般的に利用する機能実装、プロセス間のメッセージ通信、パッケージ管理などを行う。また、様々なコンピュータで実行可能なツールとライブラリを提供する。尚、ROSについては、第3章にて詳述する。

### ▶ OpenCV<sup>4</sup>

OpenCVは“the Open Source Computer Vision Library”の略である。ロボットに必要な視覚機能の全般をサポートしている。画像処理、物体認識、顔認識、ジェスチャー認識、モーション解析と物体追跡、パターン認識、構造解析、2D及び3Dのカメラキャリブレーション、機械学習等の機能をもち、2500以上のライブラリを持つ。

OpenCVは、BSDライセンスであり、学術と商用の双方にて利用できる。C++、C、Pythonでの利用が可能であるが、JAVAもリリース予定である。Windows、Linux、Android、Macをサポートする。OpenCVは、ROSに統合されている。

---

<sup>4</sup> <http://opencv.willowgarage.com/wiki/> (Willow Garage内のサイト)

<http://code.opencv.org/projects/OpenCV/wiki/WikiStart> (OpenCVオリジナルサイト)

#### ▶ PCL <sup>5</sup>

PCLは Point Cloud Library の略である。大規模な 3D 点群処理、地理空間情報を取り扱うためのライブラリ群である。PCLには、フィルタリング、特徴推定、サーフェス再構成、レジストレーション(位置合わせ)、モデルフィッティング、セグメンテーションなど、多くの最先端のアルゴリズムが含まれている。

PCLには、Willow Garageをはじめとして、NVidia、Google (GSOC 2011)、TOYOTA、Trimble、Urban Robotics、Honda Research Institute がスポンサーについている。BSD ライセンスであり、学術と商用の双方にて利用できる。C++で利用が可能である。Linux、Mac、Windows、Android をサポートする。PCLは、ROS にサポートされており、最近では Kinect の登場により、とくに注目が集まっている。

#### ▶ Gazebo <sup>6</sup>

3D のロボット・シミュレーションツールである。もともとは、Player/Stage/Gazebo project で使われていたが、現在では、ROS 内に PR2 のシミュレーターも用意されている。また、6.3 章に記載の、米国防高等研究計画局主催の「DARPA Robotics Challenge」で公式シミュレーターとして採択されている。

#### ▶ Player <sup>7</sup>

Player は、ROS 開発の首脳である Brian Gerkey が ROS 以前に手がけたロボット OS であり、ロボットハードウェアの抽象化層である。Player は PR2 への提供 OS の前身に該当する。Player はセンサーが固定された小型の移動ロボットを想定して開発されている。また、“Player は、クライアントサーバー・モデルである。

## 2.3 ハードウェア分野

Willow Garage は、ハードウェアプラットフォームとして、以下の 3 つのロボットを用意している。ただしハードウェアは、ソフトウェアの研究開発のためのツールと位置づけられている。Willow Garage のハードウェアへの取り組み姿勢から、彼らが目指すビジネスモデルが理解されるであろう。

---

<sup>5</sup> <http://www.pointclouds.org/> (PCL オリジナルサイト)

<http://www.ros.org/wiki/pcl> (ROS 内の PCL サイト)

<sup>6</sup> [http://ros.org/wiki/simulator\\_gazebo](http://ros.org/wiki/simulator_gazebo) (ROS 内の Gazebo サイト)

[http://ros.org/wiki/pr2\\_simulator](http://ros.org/wiki/pr2_simulator) (PR2 のシミュレーター)

<sup>7</sup> <http://playerstage.sourceforge.net/> (Player Project)

▶ PR2 <sup>8</sup>

PR2 とは研究開発のためのパーソナルロボットである。人のいる生活空間で人間と同等の作業を行うこと (to do human-scale tasks) を想定して設計されているが、一般市場向けではない。つまり、ある機能を保証することよりも、研究目的としての機能を果たすため、できるだけ多くの機能を搭載するよう設計されている。PR2 の写真を図 1 に示す。

PR2 のソフトウェアの基本的な考えかたは、典型的なモバイル・マニピュレーションの能力を持たせることにあり、ROS により「リアルタイム」「同期」「非同期」への考慮と、常に空中を動くアームのセンサーの取扱い、つまり「座標系」「座標変換」機能を実現しているとされる。

PR2 における ROS の位置づけはモバイル・マニピュレーションのための分散コンピューティング機構 (Distributed Computing for Mobile Manipulation Robots) である。<sup>9</sup>

▶ TuttleBot <sup>10</sup>

お手頃価格のパーソナルロボット・キットとして、他社の製品を組み合わせ販売している。これを図 2 に示す。自分で部品買い揃えて組み立てることも想定されており、パーツ販売も行っている。



図 1 WillowGarage “PR2”

出典 : S. Cousins et. al. “Welcom to ROS Topics: Fig. 4” IEEE Robotics & Automation Magazine; 2010.3



図 2 WillowGarage “TurtleBot”

出典 : B. Garkey et. al. “Robot Developer Kits” IEEE Robotics & Automation Magazine; 2011.9

<sup>8</sup> PR2 のスペック詳細は、以下を参照のこと。

<http://www.willowgarage.com/pages/pr2/specs>

<sup>9</sup> 尚、PR2 のフル装備の本体価格は\$400,000.00 (JPN で 3250 万円程)、片腕のみの場合は\$285,000.00 (JPN で 2300 万円程)。尚、ROS コミュニティへコードを公開することにコミットする場合は 30%割引となる。

<sup>10</sup> TuttleBot の詳細は以下のサイトを参照のこと。

<http://turtlebot.com/>

尚、SDK は ROS コミュニティサイトより、配布されている。

<http://ros.org/wiki/Robots/TurtleBot/SDK%20Setup>

パーツは、iRobot の “Create”（同社ルンバと同形の移動型ロボット）と、Microsoft の “Kinect”、ASUS のラップトップ型パソコン、専用ボードで構成されている。Kinect がロボットとしての視覚・認識機能を担い、Create で可動し、パソコンで制御を行う。<sup>11</sup>

▶ **Texai**<sup>12</sup>

Texai は、WillowGarage のテレプレゼンスのためのプロトタイプロボットである。ディスプレイモニタに移動可能な脚立を装着した形態であり、遠隔者の顔をモニタに表示した状態で、遠隔操作による移動ができる。Texai は、“リモートプレゼンスシステム”と位置づけられている。

Texai の開発についてはすでにスピニアウトしており、「Suitable Technologies, Inc」として別会社を設立。プロトタイプとしてではなく一般消費者向けロボットとしての開発を行っている。リモートプレゼンスシステム市場を新たに切り拓くことを目指し、商品のリリースは 2012 年半ばと予定されている。

---

<sup>11</sup> キット全体の販売価格は\$1,499.00（JPN で 13 万円程）。

<sup>12</sup> Texai のスペック詳細は、以下を参照のこと。

<http://www.willowgarage.com/pages/texai/overviewT>

## 3 ROS

### 3.1 ROS 概要

ROSは、Robot Operation Systemの略であると同時にRobot Open Sourceの略である。ROSは、ロボット用のオペレーティング・システム（以下、ロボットOS）としてのプラットフォーム設計を示す場合と、ロボット研究開発のためのツール、ドキュメントやソース管理、開発モデル、コミュニティの運用を含めた、ロボットのオープンソースコミュニティのためのアーキテクチャを示す場合とがある。

IREX ROBOLINK FORUM 2009で、代表取締役 Steave Cousins が A Platform for Personal Robotics というテーマの講演において、“現在のロボット研究の非効率性を示し、従来の研究開発現場では、ロボットの筐体準備に時間がとられてしまう。科学の飛躍的な進歩につながる本来の研究が十分に行えていない。そこで、研究者がめざましい研究成果をあげられるパーソナルロボットのためのプラットフォームをつくりたい”とROSの取り組みへのモチベーションを語り、PR2におけるROSのプラットフォーム構成を図3のように示した。

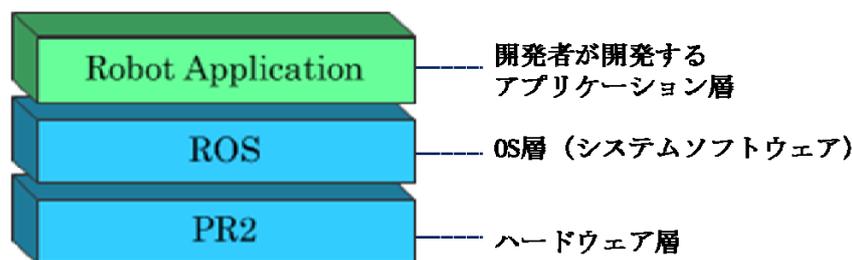


図3 ROSのプラットフォーム構成 (PR2)

ROSの主要な目的は、ロボットの研究開発におけるプログラム部品の「再利用 (reuse)」をサポートし、これらの「共有 (sharing)」と「連携 (collaboration)」を促進することにある。これを実現するため、ROSのWikiサイトでは、以下の3つのレベルでROSの概念を提示している。

- (1) ROS Filesystem Level
- (2) ROS Computation Graph Level
- (3) ROS Community Level

### 3.2 ROS 技術支援サイトとコミュニティ

ROSの最大の強みは、ライブラリ群とシェアリングの仕組み、それを支えるコミュニティの活性である。ここではROS技術支援サイトとコミュニティの概要を記載する。

ROS ではロボット開発のための機能部品を、“パッケージ (Packages) ”、もしくは“スタック (Stacks: パッケージのコレクション) ”として Wiki 形式で配布し、ライブラリ群を容易にシェアできる仕組みづくりを目指してしている。<sup>13</sup>

ROS では、“パッケージ”が最も基本的なソフトウェア配布の単位となる。このようなライブラリ群の扱いのコンセプトを (1) ROS Filesystem Level として定義している。また、コミュニティへの参加機関がオリジナルに開発したロボットシステムのパッケージやコンポーネントを“リポジトリ (Repositories) ”として提供し、コミュニティへの参加機関の貢献と連携を促進している。これは、(3) ROS Community Level に定義している。

つまり、1 ファイルレベルのプログラム部品から共同体レベルのソフトウェアパッケージのシェアまでサポートしているため、開発者は開発したいところから、開発を始めることができる。

図 4 に ROS コミュニティへの参加機関の所在地を示す。ROS のリポジトリ数は、ほぼ研究参加機関の数に対応し、2012 年 3 月現在のリポジトリ数は約 90 (個人を除く) である。また、図 5 に ROS コードパッケージ数の推移を示す。現在のパッケージ数は約 3400 である。

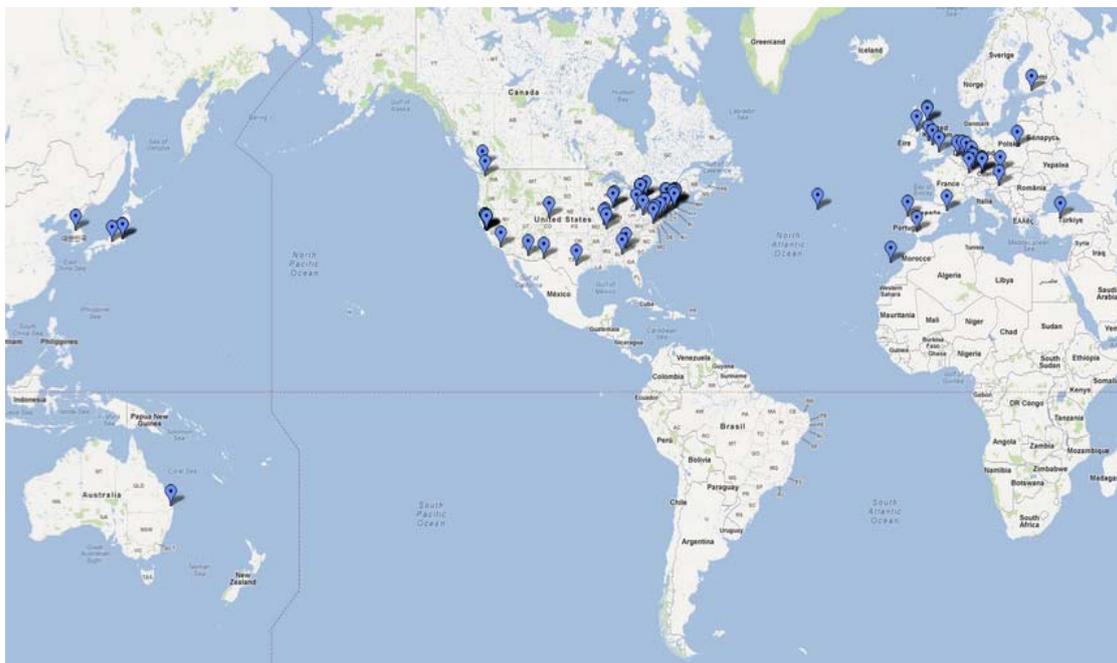


図 4 ROS コミュニティへ参加している機関の所在地

出典 : ROS-wiki サイト (<http://www.ros.org/wiki/>) よりリンクにて公開の Google マップ

<http://www.ros.org/wiki/Repositories> 参照

<sup>13</sup> ROS の技術支援サイトは “<http://www.ros.org/wiki/>” に公開されている。

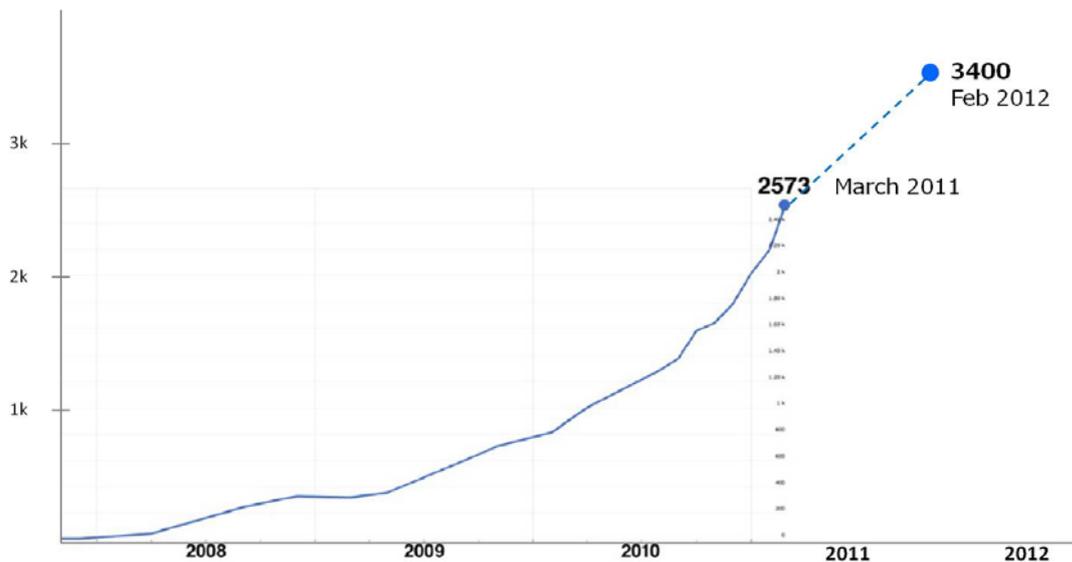


図 5 ROS コードパッケージ数の推移 (2007 年 11 月～2012 年 2 月)

出典 : Ryan Hickman, Damon Kohler, Ken Conley, Brian Gerkey “Cloud Robotics”の Google/IO のセッション発表資料 p.13 (2011.5.13) より加工, <http://www.ros.org/browse/list.php> 参照

### 3.3 ROS の提供コンテンツ

ここでは、ROS の技術支援サイト “<http://www.ros.org/wiki>” に公開されている代表的なコンテンツを取り上げる。ROS サイトでは、様々な角度からアクセスされるライブラリ群に対応するよう、ドキュメントが整備され、見出しガイドが工夫されている。

#### ▶ 提供機能 <sup>14</sup>

ROS がコンプリート版として提供する機能は、以下である。”official ROS package”と位置づけられ、ROS コミュニティが重点的にサポートしているパッケージである。

- (1) 1D range finders
- (2) 2D range finders
- (3) 3D Sensors (range finders & RGB-D cameras)
- (4) Audio / Speech Recognition
- (5) Cameras
- (6) Enviromental

<sup>14</sup> 出典 : <http://www.ros.org/wiki/Sensors>

- (7) Force/Torque/Touch Sensors
- (8) Motion Capture
- (9) Pose Estimation (GPS/IMU)
- (10) Power Supply
- (11) RFID
- (12) Sensor Interfaces

▶ ROS で実装可能なロボット <sup>15</sup>

ROS で実装, もしくは ROS と共存可能なロボット (ハードウェア・プラットフォーム) として、以下がリストアップされている。パッケージは、ROS.org 内で公開されている。

- Fraunhofer IPA Care-O-bot
- Videre Erratic
- TurtleBot
- Aldebaran Nao
- Lego NXT
- Shadow Robot
- Willow Garage PR2
- iRobot Roomba
- Robotnik Guardian
- Merlin miabotPro
- AscTec Quadrotor
- CoroWare Corobot
- Clearpath Robotics Husky
- Clearpath Robotics Kingfisher
- Festo Didactic Robotino
- Gostai Jazz
- Neobotix mp-500
- Neobotix mpo-500
- Neobotix mpo-700
- ROS-Industrial
- Robotnik Modular Arm
- Robotnik Summit

---

<sup>15</sup> 出典 : <http://www.ros.org/wiki/Robots>

▶ ROS ディストリビューション <sup>16</sup>

バージョン管理されたスタックのセットを、ディストリビューションとして配布している。これは、Linux のディストリビューションと同じ概念である。不具合があれば、修正パッチを配布する。今までに、以下のディストリビューションをリリースしている。

- 2010年3月2日 ROS Box Turtle, released (ROS1.0版に該当)
- 2010年8月2日 ROS C Turtle, released
- 2011年3月2日 ROS Diamondback, released March 2, 2011
- 2011年8月30日 ROS Electric Emys, released

また、以下のスタックは、実質のディストリビューションである。

- the ROS core stack, version 1.0
- common\_msgs, version 1.0
- visualization\_msgs, version 1.0

▶ ディストリビューションのサポート OS <sup>17</sup>

ディストリビューションのメインサポート OS は Ubuntu である。OS X、Fedora、Gentoo、OpenSUSE、Debian、ArchLinux、Windows での、利用も可能としている。

その他、以下も利用可能になっている：

- ▶ ROS のコアライブラリ <sup>18</sup>
- ▶ ROS の提供する開発ツール <sup>19</sup>
- ▶ チュートリアル <sup>20</sup>

---

<sup>16</sup> 出典：<http://ros.org/wiki/Distributions>

<sup>17</sup> 出典：<http://www.ros.org/wiki/ROS/Installation>

<sup>18</sup> 出典：<http://www.ros.org/wiki/APIs>

<sup>19</sup> 出典：<http://www.ros.org/wiki/Tools><http://www.ros.org/wiki/APIs>

<sup>20</sup> 出典：<http://ros.org/wiki/ROS/Tutorials>

## 3.4 ROS のサービスモデル

### 3.4.1 ROS のサービスモデル概要

ロボット OS としての ROS は、デバイスや要素機能を部品として設計し、疎結合な処理を実現する分散システムのフレームワークである。OS に必要とされているハードウェアの抽象化 (abstraction) や低レベルデバイスの制御、ロボットが一般的に利用する機能実装、プロセス間のメッセージ通信などを行うことができる。

ROS フレームワークのコンセプトを (2) ROS Computation Graph Level として定義している。ROS 通信は、Peer-to-Peer ネットワークで構成されており、publish/subscribe モデルを採用して処理を疎結合に行っている。ノードの探索機能を受け持つノードがマスター (Master) としてネームサーバの役割を果たし、他のノードは名前解決後に直接通信する。

このように疎結合な処理を可能としているため、大規模なロボットサービスへの適用が可能である。ROS の典型的なネットワーク構成概要を図 6 に示す。尚、通信形態は、トピックス (Topics) と呼ばれる非同期通信と、サービス (Services) と呼ばれる同期通信がある。

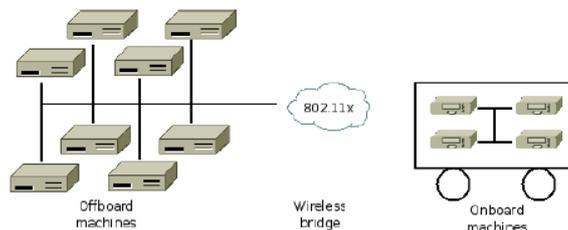


図 6 ROS サービス構成例の概要

出典 : M. Quigley et. al. "ROS: an open-source Robot Operating System:"

Fig.1. A typical ROS network configuration" IROS 2009,2009

### 3.4.2 ROS Graph Concepts

ROS では、「ROS Graph Concepts」として、各ノードの機能を定義している。各機能について簡単に記載する。

#### ▶ Master

マスターは、HTTP ベースのプロトコルで、ステートレスの XML-RPC を介して実装されている。roscore プロセスで実行される Master と、ノードである Slave の通信から始まる。マスター側もスレーブ側にも XML-RPC のサーバープロセスが動作している。

デフォルトでは、Port 番号 11311 にバインドされている。

▶ **Parameter Server**

パラメータサーバはネーミングのためのリストサーバである。Lookup 情報を提供する。パラメータサーバも、XML-PRC を介して実装される。現在は Master の一部として実装されているが、将来的に分離した API とする予定である。値の関連づけはユーザが定義できる。

▶ **Nodes**

- **SlaveAPI** : XML-PRC の API。マスターからコールバックを受信し、他のノードとの接続をネゴシエートする
- **Command-line API**

▶ **Topics Transports**

トランスポート層のプロトコルを提供するノードである。ノードがお互いに合意したプロトコルを使用して、トピック接続を確立する。最も一般的なプロトコルは、ステータフルな TCP/IP socket 通信である。TCPROS と UDPROS がある。

TCPROS サーバースocket への着信接続は、ヘッダフィールド内に含まれる情報によってルーティングされる。ヘッダーに”Topics”フィールドが含まれている場合は、非同期通信としての **Publisher** としてルーティングされる。”Service”フィールドが含まれている場合は、同期通信として **Service** への接続としてルーティングされる。

▶ **Messages**

ROS のメッセージタイプは、MD5 チェックサムを使用して生成される。

▶ **Services**

Master による通信確立後、Services によるノード間の直接通信が開始し、Service が開始する。

### 3.5 ROS を使った開発

“Sharing and Collaboration (共有と連携)” の ROS アーキテクチャ思想をサポートするため、開発については以下のような特徴を持つ。

#### ▶ Thin

薄い設計 : ROS は他のロボットフレームワークと共に利用できるよう、できるだけ薄く設計開発されている。ROS は、他のロボットフレームワークのメイン関数をなるべくラッピングしない設計である。また、ROS では、機能単位で細かくプロセスを分割し、それらの間のメッセージを定義することで構成されている。

モジュールのビルドはコードツリーの中で行われる。これは CMake により達成している。これにより、OpenRAVE、Orocos、および Player について統合している。

#### ▶ ROS-agnostic libraries

ROS コミュニティへ参加する開発者への開発モデルを提示している。ここでは、“Get Involved (仲間になろう)” サイトや、開発者ガイドやチュートリアルなどから ROS の開発モデルが記述された箇所を記載する。

- [Get Involved](#) <sup>21</sup>
- [Developers Guide](#) <sup>22</sup>  
開発者のためのガイドラインである。ソース管理、バグ追跡、コードレイアウト、パッケージ、GUI ツールキット、ビルドの方法、ライセンス、著作権、デバッグ、テスト、デキュメント化、リリースの方法の記述がある
- [ROS Best Practices](#) <sup>23</sup>  
(実質の ROS/Standard)
- [ライセンスについて](#) <sup>24</sup>  
ROS のパッケージと通信システムは、複数ノードをリンクしないため、細やかなライセンス境界の提供を可能にしているが、ライセンス形態として BSD ライセンスを強く推奨。とくに ROS .msg ファイル と .srv files では、ソースやデータの自動生成を阻害しないために、とくに BSD ライセンスの使用を強調する

---

<sup>21</sup> 出典 : <http://ros.org/wiki/Get%20Involved>

<sup>22</sup> 出典 : <http://www.ros.org/wiki/DevelopersGuide>

<sup>23</sup> 出典 : <http://ros.org/wiki/BestPractices> <http://ros.org/repos/rep-0000.html>

<sup>24</sup> 出典 : <http://www.ros.org/wiki/DevelopersGuide>

ただし、GPL、及び LGPL ライセンスの利用についても許容する。尚、ライセンスについては、前出 “Developers Guide” 内に記載がある

- **QAProcess** <sup>25</sup>  
ソフトウェアの品質確保のためのプロセス全体の記述がある。とくに、パッケージやスタックのレビュープロセスとドキュメント化についての記述がある
- **C++コーディングスタイルガイド** <sup>26</sup>  
“Google C++ style guide” に準じて記載されており、美しく一貫性のあるコーディングを行うよう示唆している
- **Python コーディングスタイルガイド** <sup>27</sup>

▶ **Language independence** <sup>28</sup>

言語の中立性: ROS は、現代のプログラム言語で実装しやすい。“Python” “C++” “Lisp” についてはすでに実装済でライブラリが用意されている。“Java” と “Lua” については実験ライブラリを用意している。クロスランゲージをサポートするため、モジュール間のメッセージの記述には、独自の IDL (interface definition language) を使用する。

```
Header header
Point32[] pts
ChannelFloat32[] chan
```

▶ **Easy testing** <sup>29</sup>

テストの容易さ: 単体テスト、結合テストをサポートするためのテスト用フレームワークを用意している。“rostest” と呼ばれている。

▶ **Scaling**

ROS は、Peer-to-Peer による機能部品間の疎結合を実現することにより、大規模なアプリケーション構築に対応している。また、大規模開発については、東京大学 JSK の PR2 実装例の論文にも詳述されているため、以下に引用する。<sup>30</sup>

---

<sup>25</sup> 出典: <http://www.ros.org/wiki/QAProcess>

<sup>26</sup> 出典: <http://www.ros.org/wiki/CppStyleGuide>

<sup>27</sup> 出典: <http://www.ros.org/wiki/PyStyleGuide>

<sup>28</sup> 出典: M. Quigley et. al. “ROS: an open-source Robot Operating System” ICRA2009

<sup>29</sup> 出典: <http://ros.org/wiki/rostest>

<sup>30</sup> 出典: (出典: 花井 亮, 山崎 公俊, 矢口 裕明, 稲葉 雅幸, “PR2 による物品片づけ機能実現のための開発事例 -ROS のシステムとライブラリスタックに着目して-”

PR2 のシステムは ROS 設計に基づき、機能単位で細かくプロセスを分割し、それらの間のメッセージを定義することで構成されている。そうすることで、**launch** ファイルという起動用の **xml** ファイルを編集するだけで再コンパイルなしで、要素機能を組み合わせて別の機能やアプリケーションを構築することができる。これは大規模なアプリケーションの構築時には欠かせない。通信相手はシステム全体で共有される名前空間における名前指定する。これは、ソース中に記述されるが、ノード起動時にポート名を別の名前に置き換える **remapping** 機能により、接続先を変更できる。これにより、プログラム部品の柔軟な再利用が可能となる。

## 4 ROS のマーケティング戦略

### 4.1 PR2 ベータプログラム

PR2 ベータプログラムとは、Willow Garage が約 2 年間にかけて手がけたコンテスト型のチャレンジプログラムである。同社は 2010 年 1 月に PR2 (2.3 章 ハードウェア分野に既出) を利用したロボットアプリケーション開発に興味のある研究機関の募集を行い、2010 年 5 月に、とくに優れた提案のあった 11 の研究機関へ無償でロボットを提供した。

PR2 とは Willow Garage が提供する研究開発のためのパーソナルロボットである。人のいる生活空間で人間と同等の作業を行うこと (to do human-scale tasks) を想定し、研究用のプラットフォームとして設計されている。PR2 ベータプログラムの目的は以下の 4 つである。

- パーソナルロボット分野で科学的な大躍進 (breakthroughs) を実現する。
- ロボットのオープンソースコミュニティを拡大する。
- 再利用可能なコンポーネントとツールを開発する。
- パーソナルロボットの新しい用途 (applications) をさぐる。

提供を受けた機関は、PR2 上で ROS を利用した研究を行い、ROS コミュニティに研究成果をフィードバックするなど、ROS に対する貢献のコミットを求められる。また、無償貸与期間は 2 年間である。PR2 ベータプログラムに参加した 11 の研究機関と提案サービス、及び 2010 年 12 月と 2012 年 4 月に購入が発表された 8 つの研究機関、Willow Garage を合わせ計 20 の PR2 コミュニティへの参加機関、およびベータプログラム始動時の提案サービスを、表 1 にまとめる。

表 1 PR2 コミュニティ

地域	参加機関名	提案	備考
米国	ボッシュ研究所	新しいセンサシステムの開発と参加機関への提供	(PR2 ベータプログラム唯一の民間企業、独ボッシュの子会社)
	ジョージア工科大学	高齢者支援ロボットの研究	
	マサチューセッツ工科大学	人と共存環境での安全な移動や自然言語による対話など	
	スタンフォード大学	物体の認識やテーブルの片づけなど	(PR1 はここで開発された)
	カリフォルニア大学バークレー校	衣服の洗濯からたたむ作業まで一貫作業へのトライ	
	ペンシルベニア大学	動的障害物があるなかでの行動計画など	
	南カリフォルニア大学	模倣によるスキルの習得から各種ライブラリの構築など	
	ワシントン大学	(購入)	
	ジョージ・ワシントン大学	(購入)	

	カーネギーメロン大学	(購入)	
	コーネル大学	(購入)	
	<b>Willow Garage</b>	(主催者)	
欧州	フライブルク大学 (ドイツ)	片づけロボットの開発	
	ミュンヘン工科大学 (ドイツ)	複雑なキッチン作業を行うための認識したデータの抽象化・意味づけ	
	ルーヴェン・カトリック大学 (ベルギー)	各種ツールやライブラリの開発、人と PR2 との協働作業など	(Orocos プロジェクトを創立した研究所の一つ)
	仏国立科学研究中心 LAAS 研究所 (LAAS-CNRS)	(購入)	
	ハンブルグ大学 TAMS 研究所 (ドイツ)	(購入)	
アジア	東京大学情報システム工学研究室	日常生活を支援するロボットの開発、複数ロボットによる協調作業	
	サムスン電子	(購入)	
	シドニー工科大学	(購入)	

尚、各機関の研究成果は、2011年9月にサンフランシスコ開催された IROS2011 ワークショップで発表された。募集と応募における各機関のプレゼンと、研究成果については、脚注のリンクを参照のこと。<sup>31</sup>

<sup>31</sup> 各機関の PR2 プログラムへの提案内容

<http://www.willowgarage.com/pages/pr2/pr2-community>

- Call for Paper

<http://www.willowgarage.com/pages/pr2-beta-program/cfp>

- IROS 2011 The PR2 Workshop の研究成果論文と映像

[http://www.willowgarage.com/workshop/2011/iros\\_pr2\\_workshop](http://www.willowgarage.com/workshop/2011/iros_pr2_workshop)

## 4.2 ROS コンテスト

2012年5月19~20日、米国ミネソタ州でROSのコンテスト「ROSCon 2012」が開催される。これは、5月14~18日に同所で開催されるロボットとオートメーションの国際会議である「IEEE ICRA2012」と日程を合わせての開催となる。

尚、ROSCon2012の、応募から開催までの主要日程は以下である。

- Call for proposals open: 31 October 2011
- Proposal submission deadline: 11 December 2011
- Proposal acceptance notification: 6 January 2012
- Early registration deadline: 31 March 2012
- ROSCon: 19-20 May 2012

プラチナスポンサーは、「CLEARPATH (カナダ)」「BOSCH」「HEARTLAND ROBOTICS (米国)」「YASUKAWA (米国法人)」「WillowGarage」、ゴールドスポンサーは、「Coro Ware (米国)」「SCHUNK (ドイツ)」「YUJIN ROBOT (韓国)」となる。

当日のプログラム、及び全体の情報については、脚注を参照のこと。<sup>32</sup>

---

<sup>32</sup> <http://roscon.ros.org/> (ROSCon2012)

[http://roscon.ros.org/?page\\_id=33](http://roscon.ros.org/?page_id=33) (当日プログラム)

## 5 ROSの展開

### 5.1 ROS産業プロジェクト

2012年2月、ROS-Industrialプロジェクトとして、関係各機関からプレスリリースが行われた。ROS-Industrialプロジェクトは、ROSを率いる“Willow Garage”と、米国の産業ロボット企業の“Adept Technology, Inc. (アデプト・テクノロジー)”、及び米国テキサス州の独立非営利研究開発機関である“Southwest Research Institute® (サウスウェスト研究所：以下、SwRI)”の、共同プロジェクトである。

産業ロボットのもつ信頼性とオープンコミュニティの柔軟性を組み合わせたROSによるロボットアプリケーション開発により、産業ロボット開発を容易にし、開発コストを削減することを目指している。SwRIは研究段階から実用段階への手法を提供する。

尚、2月のプレス発表の中心はアデプト・テクノロジーとなっているが、このプロジェクトには先に安川電機の米国法人の“Motoman Robotics 事業部”が参加している。Motoman Roboticsでは、2012年1月にプレス発表を行っている。しかし、1月の段階では、ROSとSwRIは発表を行っていない。また、2月の発表にはYASUKAWAの参加は明記されていない。

ROS-Industrialは、BSDライセンスのROSスタック(ソフトウェア一式)である。ROSスタックには、産業用ハードウェアのためのドライバ、ツール、ライブラリがある。ROSのみならず、OpenCVやPCLで培われた3D/2Dの知覚技術やライブラリも利用している。ROS-Industrialに関してWillow Garageの発表したプロジェクトの目的は以下である。

- 産業用ロボットの研究者や専門家のコミュニティをつくる
- 産業に関連するROSアプリケーションを一箇所にあつめる場(one-stop location)を提供する
- 産業用途のニーズを満たす、堅牢で信頼性の高いソフトウェアを開発する
- ROSの長所と既存の産業技術を組み合わせる。例えば、ROSの上位レベルの機能と産業用コントローラの下位レベルの信頼性や安全性を組み合わせる
- 標準化されたROSメッセージを使用し、ハードウェアにとらわれない(hardware-agnostic)ソフトウェアを開発し、標準インターフェースをつくる
- ROS共通アーキテクチャを利用して、最先端の産業用アプリケーションを簡単に適用する方法(a easy path)を提供する
- シンプル、かつ使いやすく、しっかりとドキュメント化されたAPIを提供する

各機関のプレスリリースは、脚注を参照のこと。<sup>33</sup>

---

<sup>33</sup> Willow Garage: Willow Garage collaborating with Adept Technologies and

## 5.2 ロボットの低価格化

ROS の Morgan Quigley らが、IROS2011 においてロボットの低価格化を目指した 7-DOF マニピュレータについての論文を発表した。図 7 は、論文に掲載のプロトタイプの写真である。

サーボモータとは異なる方式を目指し、以下の要件で開発を行っている。

- Human-scale workspace
- Degrees of freedom (DOF)
- Payload of at least 2 kg (4.4 lb.)
- Human-safe:
  - Compliant or easily backdrivable
  - Flying mass under 4 kg
- Repeatability under 3 mm
- Maximum speed of at least 1.0 m/s
- Zero backlash

本発表は、IEEE Spectrum で 2012 年のトレンドとしても取り上げられている。<sup>34</sup>

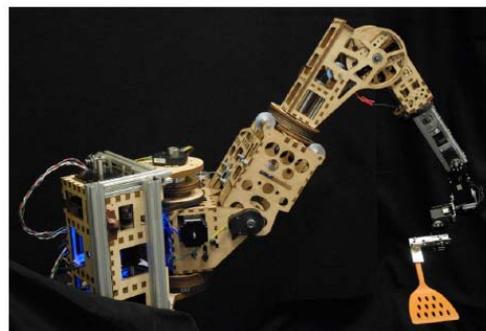


図 7 低価格マニピュレータ

出典: Morgan Quigley, Alan Asbeck, and Andrew Y. Ng, “A Low-cost Compliant 7-DOF Robotic Manipulator (Fig. 1)” IROS 2011, 2011

---

Southwest Research Institute for ROS Industrial (2012.02.16 発表)

<http://www.willowgarage.com/blog/2012/02/16/willow-garage-collaborating-adept-technologies-and-southwest-research-institute-ros>

- Southwest Research Institute (SwRI) : ROS-Industrial ROS for Industrial Applications (2012.2.21 発表) <http://www.rosindustrial.org/swri>

- Adept Technology, Inc.: Silicon Valley Industry Leaders Usher in New Age of Industrial Robots (2012.02.15 発表)

[http://files.shareholder.com/downloads/ADEP/1719322500x0x542747/16114c95-30b4-4db0-a657-14a0e591223e/ADEP\\_News\\_2012\\_2\\_15\\_General.pdf](http://files.shareholder.com/downloads/ADEP/1719322500x0x542747/16114c95-30b4-4db0-a657-14a0e591223e/ADEP_News_2012_2_15_General.pdf)

- YASUKAWA: MOTOMAN ROBOTICS ANNOUNCES PARTICIPATION IN ROS-INDUSTRIAL SOFTWARE REPOSITORY (2012.01.06 発表)

[http://www.motoman.com/motomedia/pr/Motoman\\_ROS.pdf](http://www.motoman.com/motomedia/pr/Motoman_ROS.pdf)

- ROS-Industrial Software Repository:

<http://code.google.com/p/swri-ros-pkg/> (プロジェクトサイト)

<http://www.ros.org/wiki/swri-ros-pkg> (ROS 内のサイト)

<sup>34</sup> Robotics Trends for 2012

<http://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/robotics-hardware/robotics-trends-for-2012>

### 5.3 クラウド/ネットワークサービスとしての展開

#### ▶ ROS on Android

Android で ROS を稼働させることにより、クラウド環境への適用を前提としたネットワークサービスとしてのロボットサービスが、Google と Willow Garage の両研究者の共同開発として提案されている。この Android でのロボットサービスの実装は、ロボットの小型化、低価格化の一実装といえる。

2011 年 5 月の Google I/O にて、「Cloud Robotics, ROS for Java and Android」と題し、クラウド環境を利用したインターネットによるロボットサービス展開の可能性の発表が行われた。同時に、ROS 最初の pure-Java 実装となる `rosjava` による Android との連携デモが行われた。デモについては、ムービー及び `rosjava` が公開されている。<sup>35</sup>

クラウド環境を利用したインターネットによるロボットサービス展開の可能性については、7 章で述べる日本の RSi(ロボットサービスイニシアティブ)の動向は多いに参考になった可能性がある。

#### ▶ クラウドロボティクスのためのフレームワーク : DAvinCi

「DAvinCi」は、ROS をクラウド環境へ適用することで、クラウドロボティクスの実現を目指したフレームワークである。フレームワークを図 8 に示す。

---

<sup>35</sup> WillowGarage "Google I/O 2011- Cloud Robotics, ROS for Java and Android"  
<http://www.willowgarage.com/blog/2011/05/12/google-io-2011-cloud-robotics-ros-java-and-android?page=5>  
- ROS "rosjava" <http://www.ros.org/wiki/rosjava>  
- Google "rosjava" <http://code.google.com/p/rosjava/>

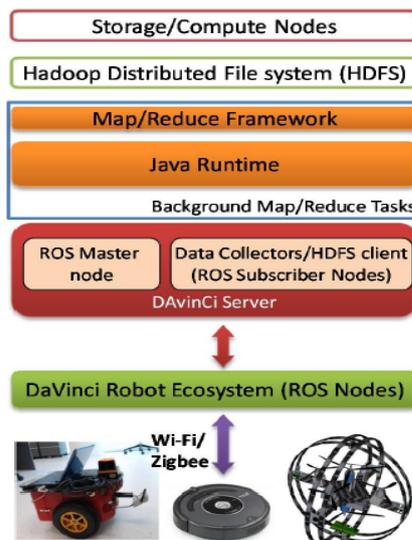


図 8 ROS を利用したクラウドロボティクスのフレームワーク例

出典 : R. Arumugam et. al. "DavinCi:"A Cloud Computing Framework for Service Robots:

Fig.2 Architecture of the DavinCi Cloud computing Platform " IEEE ICRA2010, 2010

このフレームワークは、シンガポールのデータセンターである“A\*STAR”の R. Arumugam らによって発表された。Hadoop 分散ファイルシステムとロボットを、ROS 通信によって HTTP 接続することで、サービスの実現を目指している。

論文の関心の対象は、SLAM (Simultaneous localization and mapping) であり、ロボットから集められたデータのクラウド上での共有利用を目的としている。この論文は、カーネギーメロン大学の准教授であり、Google のエンジニアリング・マネージャーでもある James Kuffner が、IEEE ICRA の発表で毎年引用を行っている。

## 5.4 プラットフォーム間連携

### ▶ ROS トランスポート (rospport)

2010 年 5 月、Geoffrey Biggs (産総研) が、ROS をシームレスに OpenRTM-aist (以下、RTM) に統合するパッチをリリースした。このパッチにより、RTM のライフサイクル管理と実行管理を維持しながら、ROS の幅広い機能とチャンネル・ベースの永続通信を RTM に加えることができる。

このパッチは、複数の ROS チャンネルにまたがった通信を特定して行うための、トランスポートタイプ RTM に追加する。これにより、RTM のコンポーネントと ROS ノード間の通信が、ほぼシームレスになる。パッチとサンプルのダウンロードが可能であ

る。<sup>36</sup>

▶ RTM と ROS の相互運用プロジェクト

RTM と ROS の相互運用プロジェクトは、JSK : 東京大学大学院情報理工学系研究科情報システム工学研究室によるプロジェクトである。2012 年 2 月 24 日に行われた「NEDO 知能化ロボット技術開発プロジェクト成果報告会」にて、JSK から研究成果の発表が行われた。ここに、RTM-ROS 相互運用による検証の成果がまとめられている。

また、本プロジェクトは、東京大学の公開講義も実施されている。尚、資料全体についてもダウンロード可能である。<sup>37</sup>

---

<sup>36</sup> ROS "rospart" <http://www.ros.org/news/2010/05/ros-and-openrtm-aist.html>

- OpenRTM-asist "rospart" <http://www.openrtm.org/openrtm/ja/node/942>

<sup>37</sup> NEDO 知能化ロボット技術開発プロジェクト成果報告会

<https://sites.google.com/site/nedointelligentprj/home/nedo-zhi-neng-huaprnitsuite/purojekuto-cheng-guo-bao-gao-hui>

- RTM-ROS 相互運用プロジェクト

<http://code.google.com/p/rtm-ros-robotics/>

## 6 オープンソースロボット財団の設立

2012年4月16日に Willow Garage は、オープンソースのロボット財団 “Open Source Robotics Foundation, Inc. (以下、OSRF)” を発表した。これにより、ROS は正式にオープンソースの非営利団体となった。本章では、オープンソースロボット財団 (以下、OSRF) の設立直前の ROS 周辺での議論や動向を記した後、OSRF の設立について記載する。

### 6.1 オープンソースロボティクスに関する議論

#### ▶ Closed vs. Open Source Robotics

フランスで開催された「InnoRobo 2012」において、iRobot の CEO である Colin Angle が、ROS 広報の上席執行役員である Robert Bauer に対して議論をおこし始めたという記事が、2012年3月22日に IEEE Spectrum 等に掲載された。iRobot の C. Angle は、「ROS はロボット産業にとって非常に危険な存在であり、商業的な成功のためには、今すぐに ROS をクローズドにするべきだ」と示唆している。

また、「ロボットにとっての真の収益はアプリケーション部分である」と併せて述べている。これに対し ROS の R. Bauer は、「オープン化はロボット業界の発展を促す」と答えている。この日は、お互いの立場の違いを主張したのみで、R. Bauer は Willow Garage のブログ上などで、引き続き議論を行いたい旨を述べている。詳細は、脚注の資料を参照のこと。<sup>38</sup>

#### ▶ ROS 運営の非営利化を検討

上記の議論に呼応してか、2012年3月29日、Willow Garage の首脳である B. Gerkey は「ROS は、ロボティクスにおける LAMP スタックである。ロボティクスにおいても、Web 開発における LAMP のような基本ツールセットが必要だ」と主張するインタビュー投稿を Xconomy へ行った。

尚、同インタビュー内において、B. Gerkey は「Willow Garage は、ROS を “Apache ソフトウェア財団” のような非営利団体によって運営することを検討している。それは、開発者コミュニティとなり、寄付によって運営され、独立してソフトウェアの管理・維

---

<sup>38</sup> iRobot and Willow Garage Debate Closed vs. Open Source Robotics at Cocktail Party;  
<http://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/robotics-software/irobot-willow-garage-debate> (2012.3.22)  
<http://www.everything-robotic.com/2012/03/irobot-and-willow-garage-debate-closed.html> (2012.3.22)

持を行う (an independent steward and champion for the software) ことになる。」と語った。詳細は脚注資料を参照のこと。<sup>39</sup>

▶ ROS 利用ロボットにおける特許問題の発生

ワシントン大学の研究者グループの発表した外科手術用ロボットである「レイブン II」は、ROS を利用して開発された。素晴らしい成果であるが、競合他社である Intuitive Surgical 社のダ・ビッチ手術システムの特許が含まれており、米国の法律上でも問題があるとされている。詳細は脚注資料を参照のこと。<sup>40</sup>

## 6.2 シリコンバレーのロボット事業への関心の向上

▶ シリコンバレーのロボット事業への関心の向上

2012年5月3日にシリコンバレーにて「The Future of Robotics in Silicon Valley and Beyond」と称する会議の開催が3月に発表された。“ロボットは、シリコンバレーの次世代のビックビジネスになりうるか?”が、ディスカッションのテーマである。このイベントは、“SRI International (以下、SRI)”によって主催される。

SRIは、1946年にスタンフォード大学により設置されたが、後に完全に独立し、独立非営利法人の最先端技術研究所となった。米国国防高等研究計画局の出資による研究も行われており、現在1750名程の研究者が在籍する。スピーカーは、以下のとおりである。

- Helen Greiner : Founder and CEO, CyPhy Works
- Mick Mountz : CEO, Kiva Systems (acquired by Amazon)
- Rich Mahoney : Director of Robotics, SRI International

---

<sup>39</sup> Can Willow Garage’s “Linux for Robots” Spur Internet-Scale Growth? ;  
[http://www.xconomy.com/san-francisco/2012/03/29/can-willow-garages-linux-for-robots-spur-internet-scale-growth/?single\\_page=true](http://www.xconomy.com/san-francisco/2012/03/29/can-willow-garages-linux-for-robots-spur-internet-scale-growth/?single_page=true) (2012.3.29)

<sup>40</sup> How Raven, the Open-Source Surgical Robot, Could Change Medicine;  
<http://www.popularmechanics.com/science/health/med-tech/how-raven-the-smart-robotic-helper-is-changing-surgery> (オープンソースの外科医ロボット"レイブン"は医療をどう変えるのか? 2012.2.28)

- An open-source robo-surgeon;  
<http://www.economist.com/node/21548489> (レイブンの特許問題への言及記事 2012.3.3)

- Intuitive Surgical 社; <http://www.intuitivesurgical.com/>

- Curt Carlson : President and CEO, SRI International
- Steve Cousins : CEO, Willow Garage
- John Dulchinos : President and CEO, Adept Technology
- Charlie Duncheon : Founder and CEO, Grabit
- Aaron Edsinger : Co-founder, Meka Robotics
- Brian Gerkey : Director of Open Source Development, Willow Garage
- James Gosling : Chief Software Architect, Liquid Robotics
- Yoky Matsuoka : Vice President of Technology, Nest; former director, University of Washington Neurorobotics Laboratory
- Tiffany Montague : Manager, Google Space Initiatives

開催の詳細は脚注を参照のこと。<sup>41</sup>

▶ Amazon が Kiva を買収

2012年3月19日、Amazon.com（米アマゾン）は、倉庫や物流センター用のロボットを開発・販売するベンチャー企業の Kiva Systems（キバ・システムズ）を約7億7500万ドルで買収すると発表した。尚、Adept（5.1章既出）は後発で、Kivaと同じ市場を狙う位置にある。Amazon社のプレスリリース、及び詳細は脚注を参照のこと。<sup>42</sup>

---

<sup>41</sup> Xconomy Forum: The Future of Robotics in Silicon Valley and Beyond

<http://xconomyforum50.eventbrite.com/> (2012.3.)

<sup>42</sup> Amazon Press Releases “Amazon.com to Acquire Kiva Systems, Inc.”

<http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=176060&p=irol-newsArticle&ID=1674133&highlight=> (2012.3.19)

- IEEE Spectrum “Why Kiva is Worth \$775 Million to Amazon”

<http://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/industrial-robots/why-kiva-is-worth-775-million-to-amazon> (2012.3.22)

- Kiva のロボット映像 “Robot army helps run warehouses”

[http://money.cnn.com/video/technology/2011/11/08/ts\\_kiva\\_robotics\\_robot.cnnmoney/](http://money.cnn.com/video/technology/2011/11/08/ts_kiva_robotics_robot.cnnmoney/) (2011.11.8)

### 6.3 オープンソースロボット財団の設立

2012年4月16日に Willow Garage は、オープンソースのロボット財団“Open Source Robotics Foundation, Inc. (以下、OSRF)”を発表した。OSRFは米国カリフォルニア州に設立。

OSRFの使命は、「ロボット研究、教育、製品開発で使用するオープンソースのソフトウェア開発、配布、導入をサポートすること」である。メンバーは、グローバルなロボットコミュニティメンバーにて構成され、現在の取締役会は以下にて構成される。

- Brian Gerkey : Willow Garage 社のオープンソースロボティクスの開発責任者、OSRFのCEO
- Wolfram Burgard : ドイツのフライブルグ大学教授。専門は、モバイルロボット、人工知能。the IEEE Robotics and Automation Society 会員、the American Association of Artificial Intelligence (AAAI) 終身会員
- Ryan Garipey : カナダの産業用ロボット Clearpath Robotics 社の共同創設者、兼CTO
- Helen Greiner : iRobot 社の共同創設者、CyPhyWorks のCEO
- Sam Park : 韓国の Yujin Robot 社現副社長。Yujin Robto 入社前は、モトローラの産業用ロボットのエンジニア

尚、OSRFのWebサイトも公開されている。<sup>43</sup>

OSRFの最初の活動は、米国国防高等研究計画局(以下、DARPA)主催の「DARPA Robotics Challenge (以下DRC)」への参加と発表されている。DRCは災害対策用のロボット開発のための、シナリオ型プログラムである。

2011年東北大震災に伴う福島原発事故への対応が事例として出されている。シナリオも、このような事故・災害へのロボットによる対応が意識されており、軍事技術に隣接した民生ロボット、人間環境での活動を想定したロボット開発プログラムとなる。

プログラムは、2012年10月に開始され、27か月間のスケジュールで、3つのフェーズで構成される。フェーズごとに資金援助制度があるとともに、優勝チームには200万ドルの賞金が用意されている。

DRCには、どのような構成メンバーでも参加可能である。また、DARPAは、DRCの公式シミュレーターとしてROSの一部を構成するロボットシミュレーター“GAZEBO”を採択した。また、ヒューマノイド型ロボットとして、アルファドッグを開発したポストンダイナミクス社の“PETMAN [27]”を採択している。詳細記事を、以下に列挙した。

---

<sup>43</sup> <http://www.osrfoundation.org/>

- DARPA Robotics Challenge program (DRC) の記事
  - DARPA 発表  
<http://www.darpa.mil/NewsEvents/Releases/2012/04/10.aspx>  
[http://www.darpa.mil/Our\\_Work/TTO/Programs/DARPA\\_Robotics\\_Challenge.aspx](http://www.darpa.mil/Our_Work/TTO/Programs/DARPA_Robotics_Challenge.aspx)
  - DARPA 発表の詳細 (PDF ダウンロード)  
[https://www.fbo.gov/index?s=opportunity&mode=form&id=ee8e770bcfe1fe217472342c67d6bd5a&tab=core&\\_cview=0](https://www.fbo.gov/index?s=opportunity&mode=form&id=ee8e770bcfe1fe217472342c67d6bd5a&tab=core&_cview=0)
  - IEEE Spectrum “DARPA Robotics Challenge: Here Are the Official Details”  
<http://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/humanoids/darpa-robotics-challenge-here-are-the-official-details>
  
- GAZEBO 採択の記事
  - IEEE Spectrum “Sole Source Intent Notice - Open-Source Robot Simulation Software for DARPA Robotics Challenge”  
[https://www.fbo.gov/index?s=opportunity&mode=form&id=eb5bcc186959158a14b3b3ea201f671e&tab=core&\\_cview=0](https://www.fbo.gov/index?s=opportunity&mode=form&id=eb5bcc186959158a14b3b3ea201f671e&tab=core&_cview=0)
  
- PETMAN 採択の記事
  - IEEE Spectrum “DARPA Selects Boston Dynamics' Humanoid for Robotics Challenge”  
<http://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/humanoids/darpa-selects-boston-dynamics-humanoid-for-robotics-challenge>
  
- DRC プログラムマネージャー Gill Pratt 氏のインタビュー
  - IEEE Spectrum “DARPA Robotics Challenge: Interview With Gill Pratt”  
<http://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/humanoids/darpa-robotics-challenge-qa-with-gill-pratt>

## 7 ROS のリスクと日本のロボット産業への提案

ROS を率いる Willow Garage については 2 章で、また 3 章では ROS の全体像を記載した。4 章では、ROS のマーケティング戦略を記載し、5 章では ROS の展開として、ROS 産業プロジェクト、ロボットの低価格化、ネットワークサービスの展開について、6 章でオープンソースロボティクス財団の始動について述べた。

これらの動向をもとに、本章の 7.1 章で ROS のリスクを考察し、7.2 章で日本のロボット産業の戦略について議論のたたき台を提案する。

### 7.1 ROS のリスク分析

日本においても、学術機関や企業の ROS 関連プロジェクトへの参加や ROS 利用は行われているが、元来日本はロボット産業の先進国の一つである。米国のロボット産業戦略の延長上に ROS が位置づけられると考えるなら、自前開発が中心であってオープンイノベーションに対する組織能力が養成されていない日本企業にとって、ROS の登場と普及が、日本のロボット開発とロボット産業へ、どのような影響を与えるであろうか。

インターネットやパソコン、携帯電話、そしてスマートフォンに例を見るまでも無く、世界中の知恵を集める自律分散型のオープンイノベーションが、グローバル市場で圧倒的な競争優位を築いてきた。この意味で、日本が持つ優位性を生かしつつ ROS にどう関わっていくべきかが、今後の大きな課題となるのではないか。以下にその留意点を列記する：

#### (1) ROS とデファクト標準化：

ROS は、技術の標準化ではなく、シェア拡大によるデファクト化を目指す戦略である。ROS の産業プロジェクトにおいても”ROS-Standard” という言い回しをしており、オープンな国際標準ではなくデファクト標準を目指す姿勢が見られる。したがって、彼らが繰り出す多様なコンソーシアムやコミュニティについては、まずその背景やその狙いを理解し、その上で対応すべきである。

#### (2) ROS のコミュニティ：

これまでの ROS 組織については、誰がルールを作るのか明記されていなかった。単に ROS コミュニティと明記されているだけであり、オープンコミュニティとしての ROS の運用に不透明な点が非常に多い。また ROS コミュニティの名のもと Willow Garage がコミュニティをリードする姿勢が、Willow Garage の Vision に定義されている。例えば ROS の中に”official ROS packages” 等の表記があるが、これは Willow

Garage 自身がメンテナンスしてきたパッケージである。この意味でも、ROS のデファクト化を目指すクロズド集団としての一面が理解されるであろう。

(3) ブランド戦略 :

Willow Garage の研究スタッフを、“タレント集団” “ROS を率いるカリスマ研究者たち”、として位置づけることで、彼らが実質的な主導権を握ることに成功している。また、企業体である Willow Garage が ROS を率いているとみれば、「ROS」そのものが Willow Garage という企業のブランド戦略といえる。レポジトリを用意して ROS 利用者の成果をもダウンロード可能にし、これを使ってさらに開発を促進し、その成果を全て ROS と言ってしまふ事実が、これを実証しているのではないか。

このようなメカニズムによって、世界中で開発される全ての成果を ROS というブランドで囲い込むことがここから可能になる。しかし、外見ではオープンと加工込の区別が付き難い。例えば、ROS(OS)とは関係ない機能を、このサイトからダウンロードしただけでも ROS を利用したことになるからである。<sup>44</sup>

(4) ライセンス／特許リスク :

ROS では BSD ライセンスでのソース提供が推奨されている。<sup>45</sup> しかし、オープンソースの作者が他社の場合の特許権については、明確な記載が無い。したがって ROS ユーザ側にとって他社から訴訟される危険性が依然として残る。

例えば Open-CV に含まれる顔認識の方式の特許の問題があげられる。BSD ライセンスの一般的な取扱いから考察した場合、ソース提供者の提供ソースは無名もしくはは無償（特許を含む）となるため、この周辺については他社／自社の特許権の侵害を含めてこれを使う側が注意しなければならない。また、今後、特許がオープン性の障害となった場合、（著作権者表示なしかは確認要）ソース内の「コア技術のオープン化」「ライセンス無償化」を ROS 側から要求される可能性も否定できない。

---

<sup>44</sup> この点において、我々は ROS と Willow Garage の関係性と運用に疑問を感じていた。ただし、これらは OSRF の設立により、ROS の位置づけや方向性が変化してくると考えられ、Willow Garage も ROS の自立を歓迎するコメントを発表しているため、今後、ROS と Willow Garage の関わりは変化していくと考えられる。今後の展開に注目したい。

<sup>45</sup> 著作権者表示なしかは認要する必要あり。

(5) クラウドサービスとシステムソフトウェア：

Google と組んでクラウド技術を利用し、ROS とネットワークとを連携したロボットサービスを展開している事実もあり、今後 ROS とネットワークとの連携をテコにネットワークの提供するサービスや OS 層の影響力が強まり、ハードウェア中心のロボット産業を大きく変化させる可能性も否定できない。

古くはパソコン OS である Windows、最近では、Android (Google が提供する OS) がスマートフォンに搭載され、クラウドとの連携が強まるタイミングから携帯電話市場の競争ルールが一変し、国内市場ですら日本企業が劣勢に立った教訓を、日本のロボット産業は学ばなければならない。

## 7.2 提案

7.1 で述べたように、ROS の登場によってロボット産業の競争ルールが大きく変わろうとしている。日本のロボット産業もこの渦中であるという認識を持って、これに対峙しなければならない。

しかしながらフルセット自前主義を当たり前のように推進してきた日本企業には、ROS が仕掛ける、コミュニティ、オープンとクローズを併せ持つ新たな仕掛け作りに、グローバルな知財戦略や標準化を駆使しながら対応できる人材が決定的に不足している。放置すれば、圧倒的な技術優位を持ちながら、結果的に市場撤退を繰り返した携帯電話や DVD、パソコン、スマートフォン、液晶テレビ、リチウムイオン電池や太陽光発電と同じ経営環境に、日本のロボット産業も置かれる可能性が非常に高い。我々は人材の育成を急がなければならない。

ROS のような、オープンソースとデファクトスタンダードを標榜するビジネス戦略に対して、日本はまず先手を打って多極化を推進し、次に複数の実装を許容する仕組みを構築し、これをグローバル市場へ発信する必要がある。

更に ROS のデファクトスタンダード化に対しては、ロボットをシステムとして捉えなおし、インターネットやクラウドから提供するサービスを含めてシステム要素（サービス部品）毎にモジュールとプロトコルインターフェースとの標準化を推進することが非常に有効である。

これについては、すでに RSi（ロボットサービスイニシアティブ）で 2004 年から進められている[28]。更に RSi では、ロボット技術の上位レベル（例えばソフトウェアやネットワークサービスの階層）でのビジネス化を促進しながら一般企業へ展開する仕組みはもとより、広く知恵を集める仕組みも考えられている。

ROS のブランド戦略に対抗するのは、充実したロボット技術支援サイトを構築、大規模なチャレンジコンテストの開催などによって ROS 以外の選択枝の存在をグローバル市場へ発信し、ROS の存在を相対化する仕組み作りが必要であろう。

ロボットのハードウェアについては、モーターの配置、制御技術の高度化、などによる小型化が急速に進む。これは ROS 内の研究者でも提案されているものの、日本が最も得意としている領域でだったはず。産業用ロボットの分野の業界からは抵抗が強いであろうが、ロボットの低コスト化・小型化の流れを、ROS グループに先手を打って、日本は企業連合で取り組まなければならない。

また、福島原発事故、トンネル内爆発のような災害対応においては、サービスロボットの機能を持ちつつ軍事技術に隣接した堅牢なロボット活動が必要となる。これらは家電／工作機械と違った分野であるものの、民生ロボットとしての開発推進が必要である。

日本のロボットのソフトウェアについては、従来からのロボット内あるいは建家内のネットワークでの利用を想定したクローズドなフレームワークだけでなく、オープンなインターネットやクラウドを利用したロボットサービスとクローズドな世界を、バランスよく展開しなければならない。

RSi では、モジュール毎に独立性のあるアプリケーション開発を行い、それらが利用するロボット機能（ソフトウェア）のソースを公開せずに、ネットワークサービスとして提供するモデルがすでに検討されている。

## 8 おわりに

本稿は、Willow Garage と ROS について調査を行ない、ROS の日本のロボット産業への影響、例えばデファクト化、ROS 組織、RTM の連携プロジェクト、特許の問題、ブランド戦略、アメリカのロボット団体の設立、産業用ロボットへの参入、ネットワークサービスとしての展開など、について述べ、これらに対する対抗案を示した。

ROS/OSRF は今後の世界のロボット情勢を大きく変える可能性がある。ここで非常に懸念されるのは、ソフトウェアの競争戦略の流れである。したがって日本のロボット開発戦略については、IT 産業を含めてグローバルなソフトウェア戦略や企業活動、標準化の実戦経歴を持つ団体からの構成員から成るチームの結成が必要ではないだろうか。前述の RSi にその萌芽が生まれている。

今回の調査・分析を行ったのは 2012 年 2 月中旬から 5 月末であったが、この僅かな期間でも、ROS のみならず業界全体が活性化しており、ロボット業界及びインターネット業界の双方から新しい発表や議論が次々と起こっていた。インターネット事業者やシリコンバレーからロボット産業への参入も活発化しており、オープンなインターネットとロボットのサービスビジネスを融合させたイノベーションが次々に起きていたのである。

また Willow Garage による ROS 産業プロジェクトの発表以降は、ロボット関連のライセンス戦略とこれを支える知財マネジメントが急速に変わろうとしていた。我々が本稿で指摘した多くの課題も既に ROS の内外で浮彫りになっており、世界のロボット事業を巻き込む議論へと発展している。

技術で優り知財でも優るはずの日本が、グローバル市場の事業でも優るためには、ROS の戦略を理解して対抗戦略を立案する軍師型の人材と、この戦略をビジネスへ展開する実務型の人材、さらには得意分野を持ち寄ってグローバル企業と対等にわたりあうことのできるスタッフ人材、すなわち日本企業という枠を超えて活動できる人材、更にはこれらの人材を連携させるチームワークづくりが必要である。

我々は、圧倒的な技術優位を持ちながら結果的に市場撤退を繰り返した携帯電話や DVD、パソコン、スマートフォン、液晶テレビ、リチウムイオン電池、太陽光発電から教訓を学ばなければならない。そして我々は、この教訓を RSi が進めるソフトウェア関連の仕組み作りへ活かし、ロボット産業の新たな勝ちパターンを再構築しなければならない。

## 9 参考文献

### ■ Willow Garage 全般について

[1] Willow Garage <http://www.willowgarage.com/>

### ■ ROS 全般について

[2] ROS.org <http://www.ros.org/wiki/>

以下に、参照 Web サイトを除く主要な参考文献を列挙する。ROS や Willow Garage、各社のプレスリリースや発表詳細にあたる Web サイトの情報は、本文及び脚注を参照のこと。

### ■ 3 章 : Willow Garage の研究者による ROS 全般に関する論文,資料

[3] Morgan Quigley, Brian Gerkey, Ken Conley, Josh Faust, Tully Foote, Jeremy Leibs, Eric Berger, Rob Wheeler, Andrew Ng, “ROS: an open-source Robot Operating System” Proc.of the IEEE Intl. Conf. on Robotics and Automation (ICRA) Workshop on Open Source Robotics, 2009.

[4] Steave Cousins & Keenan Wyrobek: A Platform for Personal Robotics, IREX ROBOTLINK FORUM 2009 発表資料, 2009

[5] Akihisa OYAMA, Sachin CHITTA, Ken CONLEY, Gary BRADSKI, Kurt KONOLIGE, Steve COUSINS “Come on in, our community is wide open for Robotics research!” RSJ, 2009.9

[6] Brian Gerkey インタビュー

[http://getrobo.typepad.com/getrobo\\_premium/2008/08/willow-garagebr.html](http://getrobo.typepad.com/getrobo_premium/2008/08/willow-garagebr.html)

GetRobo Premium: 取材記者 : 影木准子 (フリージャーナリスト、元日経新聞社シリコンバレー支局記者)

### ■ 2-3 章 : ROS Topics : IEEE 発行 ”Robotics & Automation Magazine” 連載記事

[7] Steave Cousins, “Welcome to ROS Topics” Robotics & Automation Magazine, IEEE, March 2010, pp.13 - 14, 2010

[8] Steve Cousins, Brian Gerkey, Ken Conley, and Willow Garage, “Sharing Software with ROS” Robotics & Automation Magazine, IEEE, June 2010, pp.13 - 14, 2010

[9] Steave Cousins, “ROS on the PR2” Robotics & Automation Magazine, IEEE, September 2010, pp.12 - 14, 2010

[10] Jonathan Boren and Steve Cousins, “The SMACH High-Level Executive” Robotics & Automation Magazine, IEEE, December 2010, pp.18 - 20, 2010

- [11] Steave Cousins, “Exponential Growth of ROS” Robotics & Automation Magazine, IEEE, March 2011, pp.19 – 20, 2011
- [12] Troy Straszheim, Brian Gerkey, and Steve Cousins “The ROS Build System” Robotics & Automation Magazine, IEEE, June 2011, pp.18 – 122, 2011
- [13] Brian Gerkey and Ken Conley “Robot Developer Kits” Robotics & Automation Magazine, IEEE, September 2011, pp.15, 2011
- [14] David Gossow, Adam Leeper, Dave Hershberger, and Matei Ciocarlie, “InteractiveMarkers: 3-D User Interfaces for ROS Applications”, Robotics & Automation Magazine, IEEE, December 2011, pp.14 – 15, 2011
- 4章：PR2 ベータプログラム参加各機関の成果
- [15] [http://www.willowgarage.com/workshop/2011/iros\\_pr2\\_workshop](http://www.willowgarage.com/workshop/2011/iros_pr2_workshop) [Online] , In IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS) 2011, The PR2 Workshop, 2011.09.
- 4章：東京大学 JSK の PR2 の成果と ROS に関連する論文,資料
- [16] Manabu Saito, Haseru Chen, Kei Okada, Masayuki Inaba, Lars Kunze, Michael Beetz, “Semantic Object Search in Large-scale Indoor Environments”, In IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS) 2011, Workshop on Active Semantic Perception and Object Search in the Real World, 2011.09
- [17] Kei Okada, Manabu Saito, Haseru Chen, Masayuki Inaba, “Towards Real Robot Service Application that We Can Use Everyday”, In IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS) 2011, The PR2 Workshop, 2011.09.
- [18] 山崎 公俊, 矢口 裕明, 花井 亮, 稲葉 雅幸, “PR2 の認識・把持・移動機能統合による日用品片付け行動の実現”, 日本機械学会, ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMECH)2010, 2010.06
- [19] 花井 亮, 山崎 公俊, 矢口 裕明, 稲葉 雅幸, “PR2 による物品片付け機能実現のための開発事例 –ROS のシステムとライブラリスタックに着目して–” 日本機械学会, ロボティクス・メカトロニクス講演会(ROBOMECH)2010, 2010.06
- [20] 矢口 裕明, 花井 亮, 山崎 公俊, 稲葉 雅幸, “PR2 による把持動作のための複合視覚を用いた小型物体認識手法” 日本機械学会, ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMECH)2010, 2010.06
- [21] 稲葉 雅幸, 岡田 慧, “RTM と ROS の連携について”, 次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト成果報告会発表資料, 2012.2.24

[22] 吉海智晃, 岡田 慧, “RTM/ROS 相互運用プロジェクト”講義資料, 2011.4.20-2011.7.20 (<http://code.google.com/p/rtm-ros-robotics/>よりダウンロード可能)

■ 5-1 章 : ROS 産業プロジェクトの発表

機関プレスリリースにつき、主要参照先は本文内に記載

■ 5-2 章 : Willow Garage の研究者による低価格ロボットの論文

[23] Morgan Quigley, Alan Asbeck, and Andrew Y. Ng, “A Low-cost Compliant 7-DOF Robotic Manipulator”, Proc.of the IEEE Intl. Conf. on Robotics and Automation (ICRA), pp.6051 – 6058, 2011

■ 5-3 章 : ROS のネットワークサービス展開の関連論文,資料

[24] Rajesh Arumugam, Reddy Enti, Liu Bingbing, Wu Xiaojun, Krishnamoorthy Baskaran, Foong Foo Kong, A.Senthil Kumar, Kang Dee Meng, and Goh Wai KitVikas. “DAvinCi: A Cloud Computing Framework for Service Robots”. IEEE International Conference on Robotics, 2010.

[25] Ryan Hickman, Damon Kohler, Ken Conley, Brian Gerkey. “Cloud Robotics”, Google I/O 2011 Sessions 資料, 2011.5.13

[26] IEEE Spectrum “Cloud Robotics: Connected to the Cloud, Robots Get Smarter” ; <http://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/robotics-software/cloud-robotics> [Online]

■ 6 章 : オープンソースロボット財団の設立

[27] Gabe Nelson et. al. "PETMAN: A Humanoid Robot For Testing Chemical Protective Clothing" 日本ロボット学会誌 Vol.30 No.4, pp.372~377, 2012

■ 7 章 : ROS のリスクと日本のロボット産業への提案

[28] 成田雅彦, 村川賀彦, "ロボット技術の標準化と RSi (Robot Service Initiative)の取り組み," 日本ロボット学会誌 Vol.29 No.4, pp353~356,2011(5)

その他、主要な参照先は本文内脚注に記載した。