

ロボット連携プラットフォームによる
「人とロボットの共生」実現に向けた実証実験
— 異種複数ロボットとIoT連携による誘導案内 —



2019年1月

一般社団法人オープンガバメント・コンソーシアム
AI・ロボット分科会

背景と目的

IoT、AI、ロボットといった第4次産業革命の新たな技術革新は、**人間の能力を飛躍的に拡張する技術**であり、**豊富なリアルデータを活用することで、様々な社会課題を解決**できる。また、これらは大きな付加価値を生むものであるとして、新たな展開の「Society5.0」の実現が期待されている。

※「未来投資戦略2018－『Society5.0』『データ駆動型社会』への変革－」

背景

■ サービスロボット活用への期待

サービス分野など非製造分野のロボット国内生産市場規模は、2020年では1.2兆円と試算※未来投資戦略2018
しかしながら、
特にサービス分野で、ロボットの社会実装は遅れている

■ サービスロボット活用における課題

- ロボット連携プラットフォームの必要性 -

ロボット単体で機能を充足することに注力されており、
他機種のロボットやシステムとの連携が考慮されていない

多種多様なロボットを利用するには、ロボット毎に
接続方式やデータ形式が異なるため、インテグレーションコストが高額になる

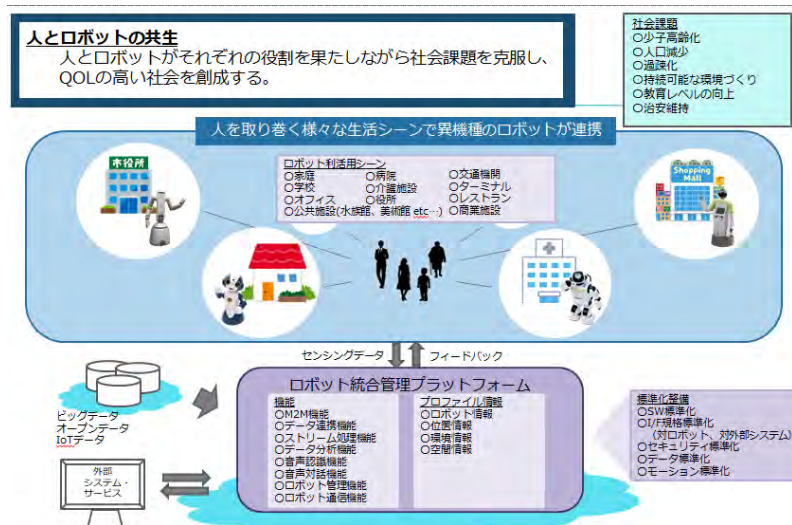
導入を支援するインテグレータが不足している

目的

**ロボット技術、AI、IoTを利活用し
「人とロボットの共生」を目指して、
複数ロボットが協調できるプラットフォームを構築**

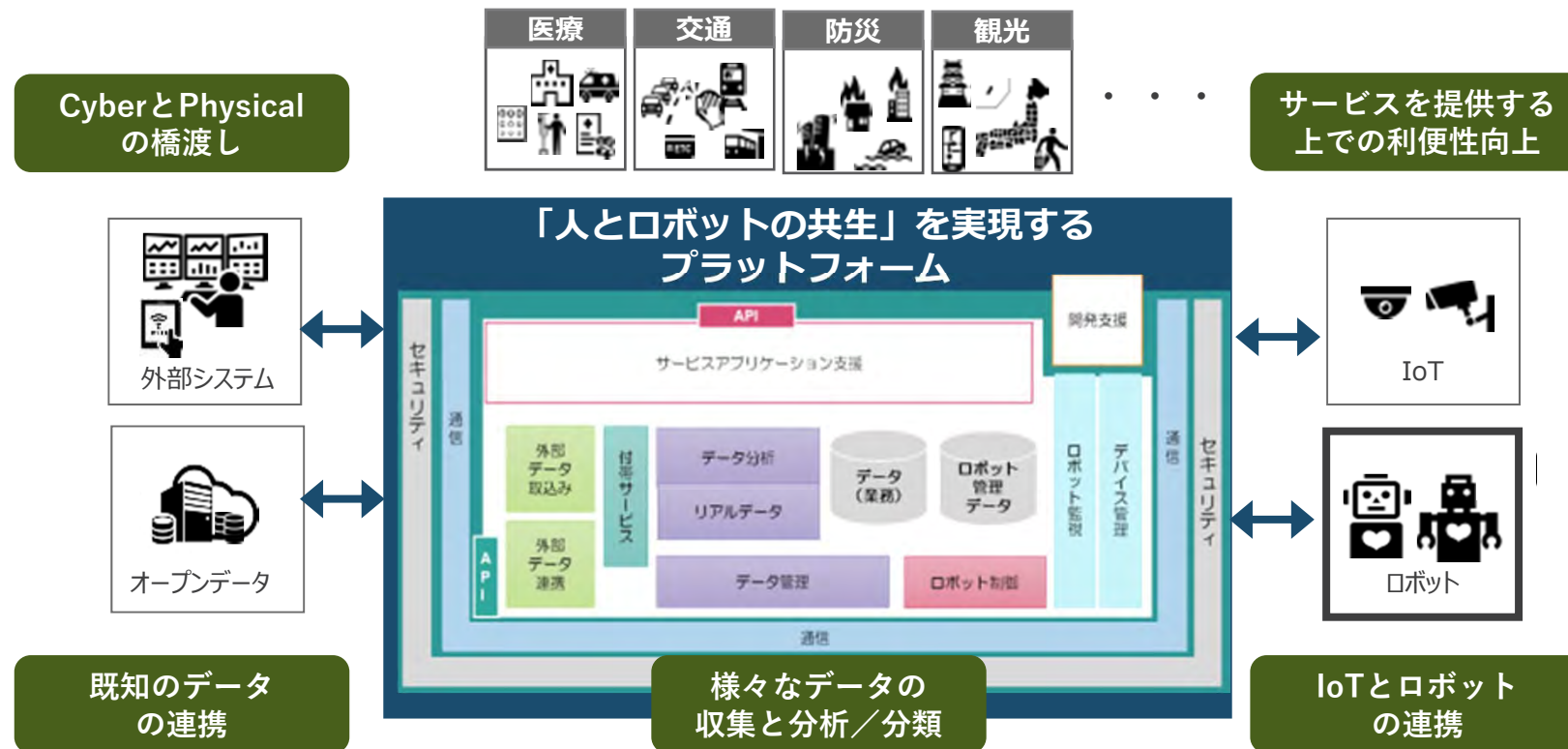
【実証実験目的】

1. 異種複数ロボット、IoT連携プラットフォームの機能および有効性検証
2. ロボットが取得したプライバシー情報（カメラ画像）の取扱い検証



プラットフォームのコンセプト

ロボットの特性を活かし、ロボット×IoT×オープンデータの連携により、あらゆるデータを結合/分析し、新たな価値を創出できるプラットフォームの実現を目指す



ロボットの特性

- 自律的に動くことが可能
- 広範囲に位置情報や画像やセンサー情報等のデータ収集が可能
- 収集したデータを分析して、ロボットにフィードバックすることで新たなサービス提供が可能

我々が定義するプラットフォーム：
IoTやロボットが容易に接続でき、さらにサービスが容易に提供できるためのエコシステム

実証実験概要

- ・期間 : 2018.11. 6 (火)、7 (水)、8 (木)、13 (火)、14 (水) 10:00~16:00
- ・場所 : 会津大学 先端ICTラボ LICTiA 1~3F
- ・対象者 : 会津大学学生および一般参加者 114名 ※延べ人数

■ 検証内容

- 1.「人とロボットの共生」を実現するためのロボット連携プラットフォームの
コンセプトの実現可能性と有効性を検証

【コンセプト】

- | | |
|---------------------|--------------------|
| ①CyberとPhysicalの橋渡し | ④サービスを提供する上での利便性向上 |
| ②IoTとロボットの連携 | ⑤既知のデータとの連携 |
| ③様々なデータの収集と分析／分類 | |



会津大学 先端ICTラボ LICTiA

- 2.ロボットが取得したプライバシー情報（カメラ画像）の取扱い検証（社会環境整備）

【検証するプラットフォーム】

- ①FIWAREベース : IoT・スマートシティ向け基盤ソフトウェア「FIWARE」をベースに、ロボット開発のデファクトスタンダードの一つである「ROS」を連携させたプラットフォーム
- ②ROSベース : 「ROS」をベースに、独自のコンポーネントを追加することによって構築したプラットフォーム

■ 検証シナリオ

異種複数ロボット間とIoT連携による来訪者の誘導案内

■ 体制と役割

<p>会津大学</p> <ul style="list-style-type: none"> ・実証実験企画 ・ロボットの移動および人ロボット位置情報取得に関する開発 ・実証実験評価 	<p>OGC</p> <ul style="list-style-type: none"> ・実証実験企画 ・プラットフォームおよびIoTに関する開発 ・実証実験評価
---	---

ロボット連携プラットフォームについて

「ロボット間連携」、「ロボットとIoT連携」、「クラウド」、「他システムとのデータ連携」という観点から、2つのプラットフォームを構築して、検証を行った。

①FIWAREベース

IoT・スマートシティ向け基盤ソフトウェア「FIWARE」をベースに、本実証実験では、ロボット開発のデファクトスタンダードの一つである「ROS」を連携させ、適切に役割分担して構築

使用している主なミドルウェア

- ・FIWARE
- ・ROS

プラットフォームの特長

- ・FIWAREのエコシステムを活用でき、IoT・スマートシティにおけるデータ活用が容易である
- ・クラウドサービスを活用することで、クラウド上のリソースを利用可能である
- ・ROS以外のロボットミドルウェアの制御も対応可能である

FIWAREについて



- ・EUの官民連携プログラム(FI-PPP)によって開発/実証されたIoTサービスプラットフォーム
- ・オープンソース
- ・国際標準OMA/NGSI-9,10(Context Management)ベースのオープンAPIを採用
- ・異業種間でのデータ一括管理・運営が可能
- ・国内においても複数の自治体においてデータ利活用型スマートシティで採用されている

②ROSベース

「ROS」をベースに、独自のコンポーネントを追加することによって構築

使用している主なミドルウェア

- ・ROS

プラットフォームの特長

- ・ROSの利点である標準的なデータ型や通信の基盤、サードパーティのパッケージといったエコシステムを活用することで、素早く効率的にロボットシステムのプロトタイピングを実現可能である
- ・多種多様なロボット・環境センサー・IoT・Webシステムなどを繋げることで、ロボット導入の効果を最大化する

ROS

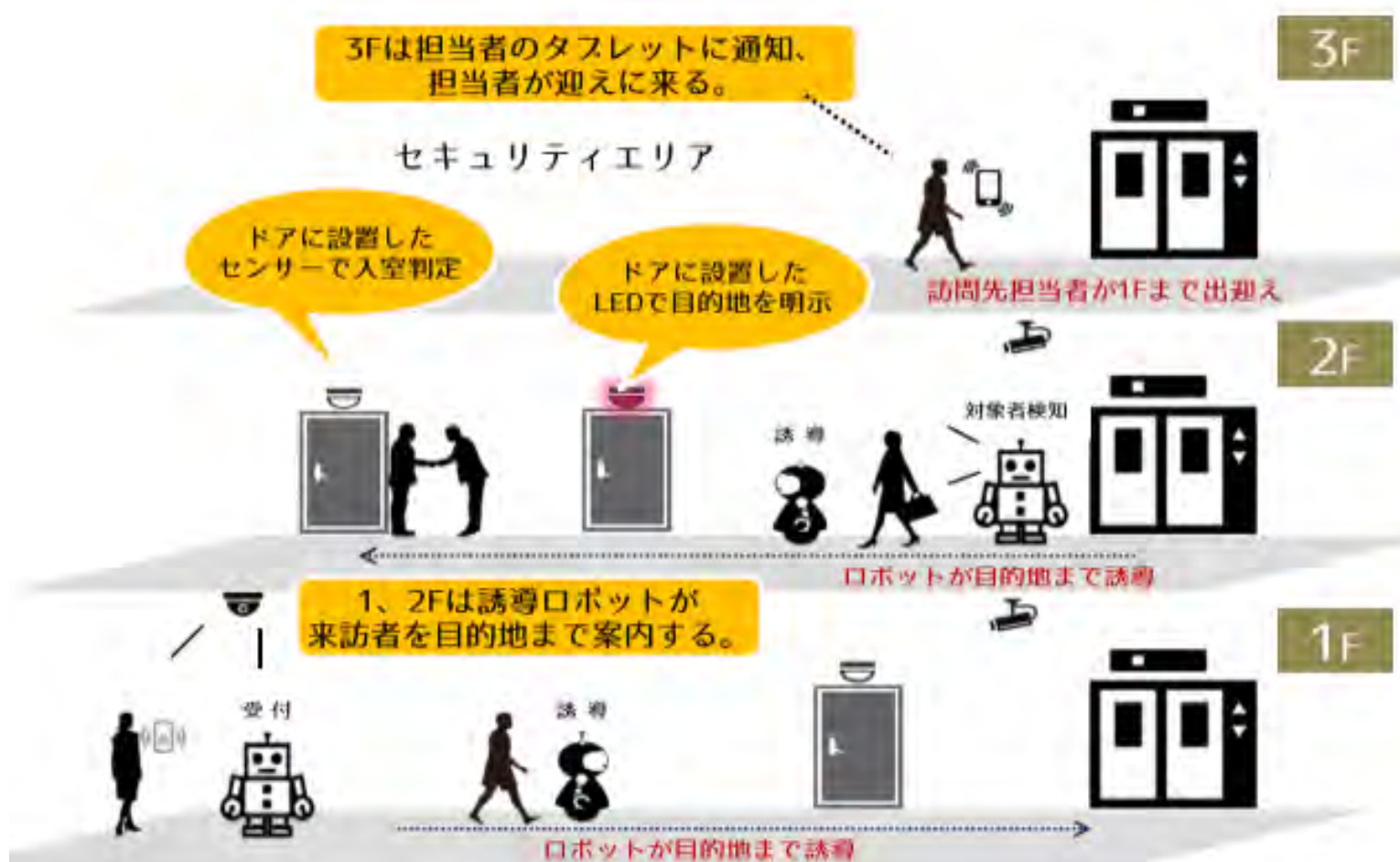
ROSについて

- ・ロボット開発に必要な通信ミドルウェア・ライブラリ・開発ツールを含むフレームワーク
- ・オープンソース
- ・標準的な通信用データ型をサポート
- ・ロボットの研究や製品開発のために広く使われている

検証シナリオ

受付ロボットが来訪者の受付を行い、各フロアにいる誘導ロボットがセンサーやカメラなどのIoTと連携して、安全に来訪者を目的地に誘導する。

異種複数ロボット間やロボットとIoT連携を実現するプラットフォームの機能や有効性を評価した。



プライバシー情報（カメラ画像）の取扱いに関する 検証結果と考察（社会環境整備）



本実証実験では、カメラ画像を利用して、受付ロボットと誘導ロボットのロボット間連携のシステム検証を行った。カメラ画像のプライバシーに関する大きな課題は「一般への受け入れ」であるため、アンケートにて取扱いに関する評価検証を実施した。

画像の取扱いと検証方法

画像の取扱い

以下のいずれの画像も、利用した後は速やかに破棄し、個人を特定できる形での保存はしない。

- ①受付ロボット付属のカメラが撮影する顔画像
- ②天井に設置したカメラが撮影する画像
- ③誘導ロボット付属のカメラによる撮影

検証方法

■ 告知内容

- ・利用目的
- ・画像の取得方法
- ・取得画像の利用方法

■ 告知方法

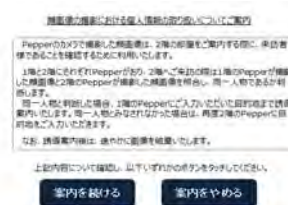
- ・玄関、受付に張り紙を掲示
- ・受付ロボットによる告知

■ アンケートの内容

- 1.告知方法に関する評価
- 2.カメラ画像利用に関する受入評価

- 自身の顔画像を利用すること
- 周囲の状況撮影時に自身の顔画像が写る場合があること

【受付ロボットによる告知】



【張り紙掲示による告知】

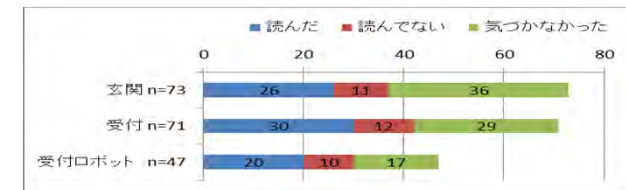


結果と考察

結果

1.告知方法に関する評価

張り紙による掲示、ロボットによる告知ともにいずれも**半数以上が「読んでいない」、「気付かなかった」という回答**であった。



2.カメラ画像利用に関する受入評価

自身の顔画像の撮影と周囲の状況撮影時に、自身の顔画像が写る可能性があることについては、「**気にならない**」、「**目的がわかっているため気にならない**」という回答が**いずれも約80%**となった。しかしながら、今回の被験者は、**実証実験に興味があり、好意的な参加者が多かった**と考えられる。

考察

- ・告知方法の再検討が必要である。
- ・カメラ画像利用に関する受入評価に関しては、**実環境でのユース検証に向けて、引き続き調査および啓発が必要だ**と考える。

検証結果まとめ（できたこと）

【確認できたこと】

CyberとPhysical の橋渡し

異機種のロボットや人（Physical）と役割を決めたシナリオをロボットプラットフォーム（Cyber）上で実現しロボットや人にフィードバックできた

サービスを提供する上 での利便性向上

受付・誘導というサービスシナリオをプラットフォーム上で容易に構築することができた

IoTとロボットの連携

プラットフォームをハブとして、センサー情報をトリガーにロボットへの制御指示を出したり、ロボットやシステムの状況をもとにLEDを点灯すること等が容易にできた

様々なデータの 収集と分析／分類

天井カメラ（IoT）から送られてくる人やロボットの情報（空間情報）をプラットフォーム上に蓄積し、見える化したり、ロボットに搭載されたセンサーからの情報をもとにマップ上に位置を可視化し役立てることが容易にできた

既知のデータの 連携

プラットフォームからAzureのコグニティブサービスやGoogleのBigQueryの利用や、Slackという外部サービスへの連携が容易にできた

「人とロボットの共生」に向けたロボットプラットフォームで掲げていたコンセプトは、
ほぼ今回の実証実験で確認できた。
プラットフォームを構築する要素として、FIWAREおよびROSの有用性と課題について確認できた。

まとめ（今後の取り組み）

今回の実証実験でロボットプラットフォームの実現性と有用性を確認できた。ロボットプラットフォームを構成する要素としてFIWAREやROSの機能でエコシステムが実現できることを確認できた。今後さらに、インテグレーションを容易にするために本実証実験の課題解決として機能強化や標準化に取り組むことで、「人とロボットの共生」を実現するためのロボットサービス実現に不可欠な基盤となると考える。

【課題・今後の取り組み】

今回の実証実験の課題解決に対する取り組み

◆ソフトウェア整備（プラットフォームの機能充実）

- ・ロボットを利活用する上での、補助機能、運用管理機能などを充実する必要がある
- ・ロボットサービスを提供するうえで、APIを整備する必要がある

◆ロボットサービス設計手法の確立（標準化活動）

- ・多種多様なロボットとの接続に関する標準化（接続方式やデータ形式）する必要がある
- ・多様なロボットサービス実現に向けたデータモデル（ロボットの状態管理など）を整備する必要がある

「人とロボットの共生」のための更なる取り組み

◆ロボットサービス実現に向けた研究

- ・外部情報（空間情報、環境情報）をロボットへフィードバックする仕組み
- ・ロボットの制御情報などをプラットフォームから動的に入れ替える仕組み

◆ロボット普及に関する取り組み

- ・社会空間での実装を見据えたユースケース検証のための実証実験企画
- ・安心・安全なロボットサービス導入に向けての課題整理
- ・プラットフォームとロボットを通信環境で接続するための高品質な通信方式を選定／整備

まとめ（総括）

今回のOGCの取り組みである「人とロボットの共生する社会の実現」にむけて、人のためのロボットサービスが普及活性化するためには、官民一体となって以下を推進していくことが重要と考える。

ロボットサービス普及に向けての再認識

ロボットを使ったサービスをインテグレーションする人の役割が重要

ロボットを使ったサービスを実現するうえで、ロボットの特徴を理解し、ロボットプラットフォームを整備理解したうえで様々なロボットサービスをインテグレーションする役割が重要である。

エコシステムを核としたロボットサービス（RaaS）の創生と活性化が必要

様々なロボットと様々なサービスを組み合わせたロボットサービスの創生とサービス活性化のためのキラーシステムとしてのエコシステムであるロボットプラットフォームの整備が必要である。

官民一体となったロボットサービスの普及活動

- ・ロボットとIoTを連携したサービスの社会実装に向けた実証の推進
- ・**ロボットを利用する人や企業に向けた、ロボットサービスの価値感向上のための活動**
- ・**様々なプラットフォームの整備と定義づけ**、エコシステムであるロボットプラットフォームの構築推進
- ・多種多様なロボットを接続するための標準化（接続方式、データ形式など）策定
- ・インテグレーション可能なサービスロボットラインナップの整備（機能、接続方式、安全基準…等）
- ・ロボットを安心して導入できる環境づくり
（ロボット導入のための法整備、安全規格整備、通信環境の整備…）
- ・ロボットやプラットフォームを理解したロボットインテグレータの育成

Appendix

ー 構築したプラットフォーム毎の評価結果 ー

①FIWAREベースプラットフォーム

IoT・スマートシティ向け基盤ソフトウェア「FIWARE」をベースに、構築したプラットフォーム

※本実証実験では、「ROS」を連携させて構築

②ROSベースプラットフォーム

ロボット開発のデファクトスタンダードの一つである「ROS」をベースに、独自のコンポーネントを追加することによって構築したプラットフォーム

①FIWAREベースプラットフォーム 検証シナリオ

- 受付ロボットと自律移動ロボットの連携による誘導案内 -



【前提条件】

- ・来訪者は個別に来訪する。複数の来訪者を同時に受付して個々に案内する状況は想定しない。
- ・人の往来は少なく、自律移動ロボットの移動ルートに障害物があることは想定しない。

シナリオ

受付シナリオ

- 1 来訪者がボタンを押すと、Pepperが挨拶しながらタブレットに行先一覧を表示
- 2 来訪者がタブレット上で行先を選択
- 3 行先が2Fの場合、Pepperが来訪者の顔を撮影 ※2Fで来訪者を判断するために利用
- 4 行先の担当者へ受付通知

誘導案内シナリオ

■行先が1Fの場合

- 1 自律移動ロボット（TurtleBot2/1F）が目的地へ誘導 ※誘導後、起点へ帰還

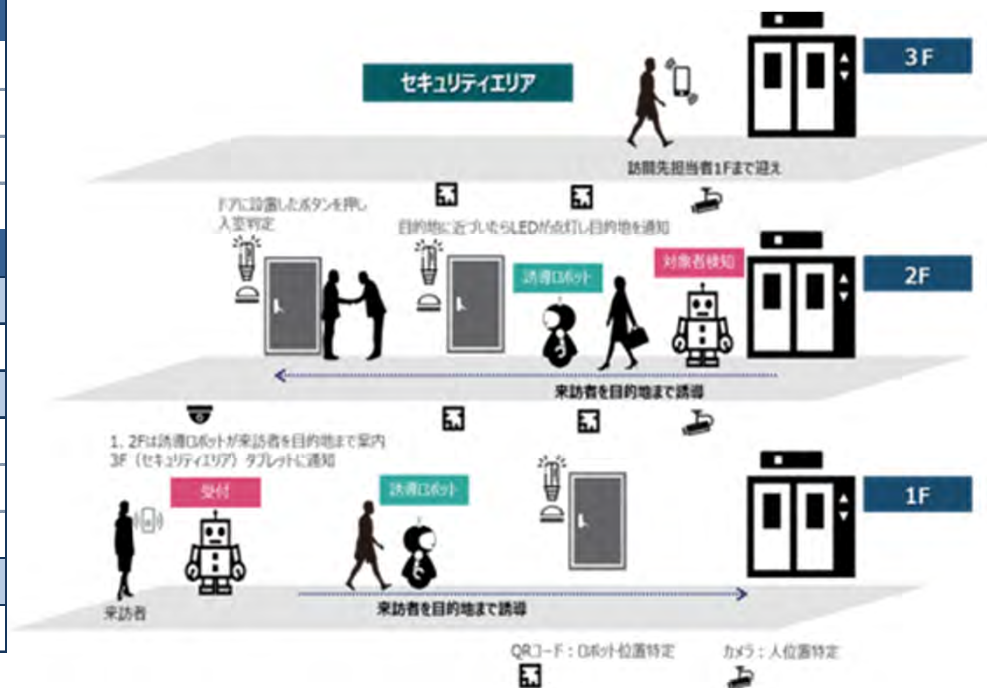
■行先が2Fの場合

- 1 来訪者がエレベーターに乗り2Fで降りる
- 2 2FのPepperが顔写真を元に来訪者を同定し、誘導ロボットへ目的地を指示
- 3 自律移動ロボット（TurtleBot2/2F）が目的地へ誘導 ※誘導後、起点へ帰還

■行先が3Fの場合

- 1 3F担当者が1Fに迎えに行く ※受付4により来訪通知済

シナリオイメージ



【特記事項】

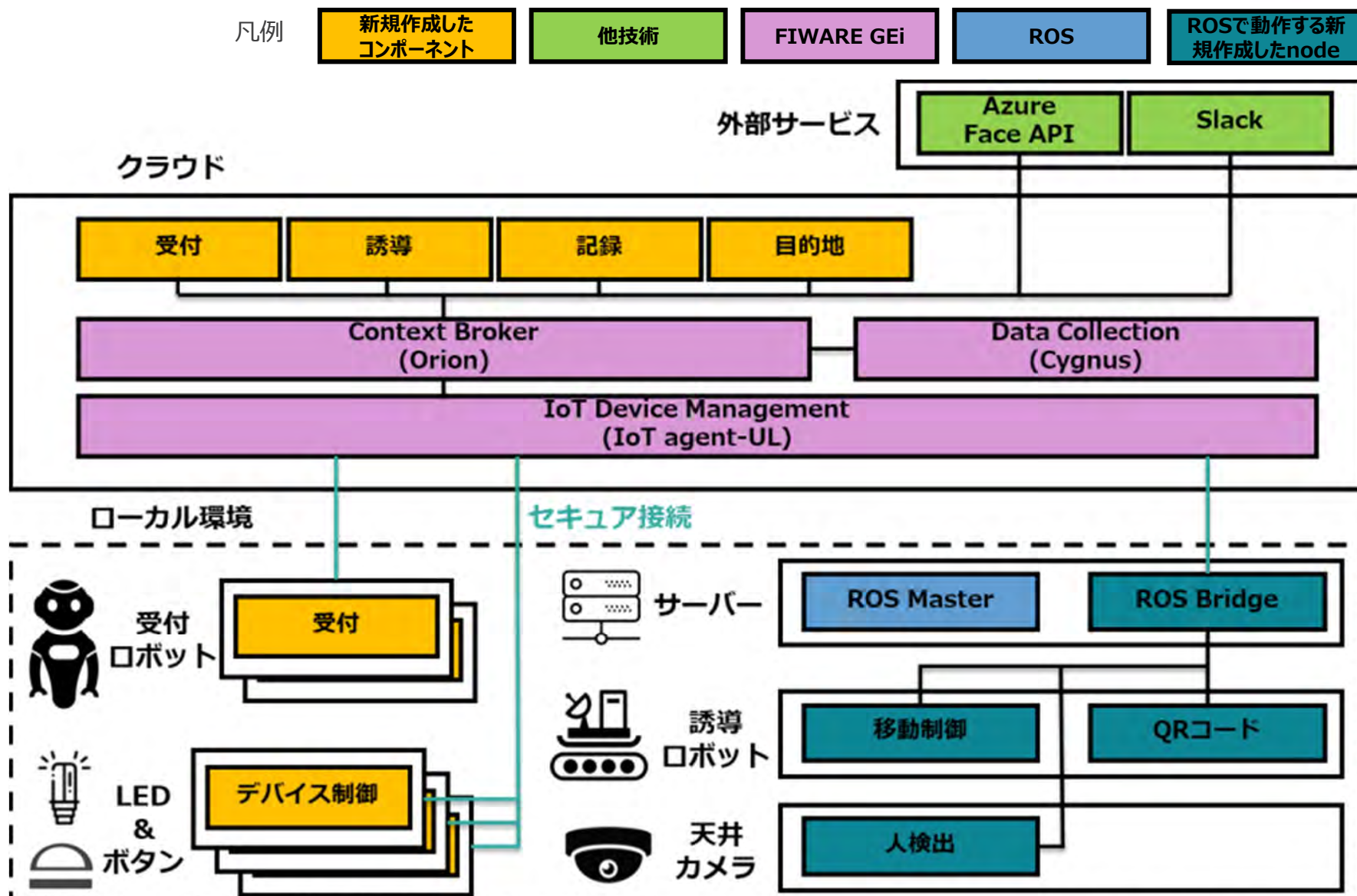
- ・目的地ドアのLEDランプを点灯させることで来訪者に目的地を明示
- ・対象者がドアに設置したボタンを押すことで案内完了を判断
- ・天井に設置したカメラ(1秒単位で確認)で人の位置を取得
- ・天井に設置したQRコードをTurtleBot2が認識することでロボット位置情報を取得

【実証実験で使用したロボット】

- ・受付ロボット：Pepper
- ・誘導ロボット：TurtleBot2



①FIWAREベースプラットフォーム システム構成図



①FIWAREベースプラットフォーム シナリオ検証結果 - アンケート結果まとめ -

参加者82名に実施したアンケートより、シナリオに関する主な意見、要望は以下のとおり。

- **ロボットの速度が人にあわせて変わるよい**
 - ・人の歩くスピードに合わせて、ロボットの速度が変わるといい
 - ・移動スピードを選択できると急いでいる時もストレスを感じない
- **ロボットの受付だと気を遣う必要がなくていい**
- **移動時にも、もう少しコミュニケーションが欲しい**
- **顔撮影、認識の課題**
 - ・撮影のインタラクションの課題（撮影前、撮影後のお知らせと）
 - ・撮影に抵抗を感じる（意外と少なかったが、若干名抵抗あり）
 - ・複数人訪問時の対応ができていない
- **多くの場所にロボットを導入してほしい**
 - ・複合施設
 - ・病院
 - ・オリンピックなど海外の人が大勢集まる場所だと、ロボットのほうがいい
 - ・受付案内（顔を撮影するなら企業の受付の方が向いていると思う）
 - ・荷物運搬（エレベーター連動）



①FIWAREベースプラットフォーム システム評価まとめ



■ FIWAREの優位性

- ◎：標準的なプロトコル（NGSI）を採用しているので、様々言語で開発可能
- ：APIの提供が容易
- ◎：デバイスやロボットの状態をコンテキストで管理しているのでサービス設計・実装が容易
- ×：標準化されたロボット用のデータモデルがまだ無い

■ OSSとしてのFIWAREの評価

- ：IoT・スマートシティにおけるプラットフォームとして豊富な実績がある
- ×：まだ開発中で情報量が少ない
- △：コミュニティも未成熟

■ 設計

役割を機能分割しマイクロサービス化

- ：ビジネスロジックやロボット等が用いるインタフェースが明確な設計にしたため、仕様変更に対応しやすい
- ：開発・試験は独立してでき、影響範囲も限定できる
- △：多種多様なロボットとの接続に関する標準化（接続方式やデータ形式）が重要
- ×：運用性を高めるための補助機能の整備や運用管理機能の充実が必要

■ インフラ

クラウド上の機能やKubernetesを使った構築

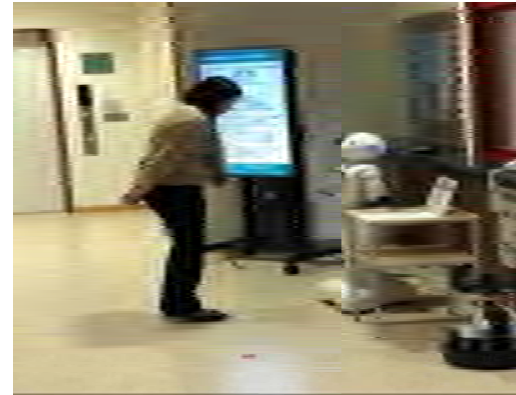
- ◎：様々なクラウドに対応できる、冗長化やスケールが容易
- ：通信の暗号化、データの分離、サーバの多重化などでセキュリティ確保

インターネット越しの通信が発生

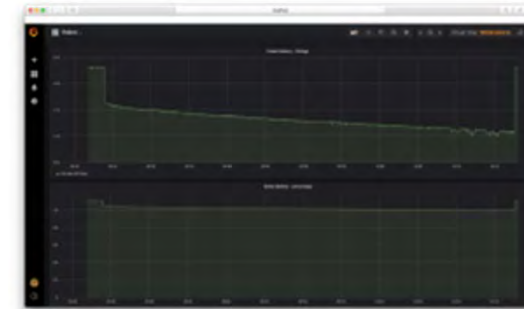
- △：クラウド側とロボットの通信レイテンシが発生することを意識して、適切な役割分担のもとに設計することが重要
- △：通信環境に依存する

①FIWAREベースプラットフォーム

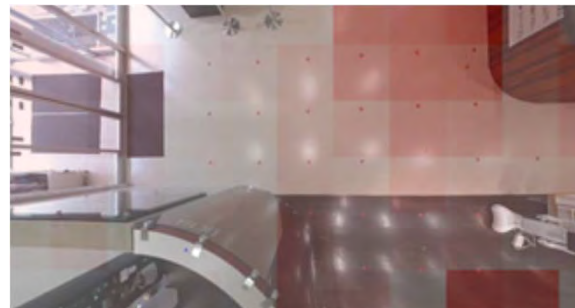
①FIWAREベース プラットフォーム



LEDによる誘導



ロボットから1秒一定間隔で送信される状況を可視化



天井カメラから移動体を検知し可視化



Azureの顔認証

<https://youtu.be/D9NPxxYgPaQ>

②ROSベースプラットフォーム 検証シナリオ - 遠隔操縦ロボットによる誘導案内誘導案内 -

シナリオ

受付シナリオ

- 1 来訪者はホールに設置された受付タブレットで来訪した旨を入力
- 2 受付タブレットから来訪者に対して付近のロボットについていくよう指示

誘導案内シナリオ

- 1 来訪者がロボットの元へ移動し、ロボットタブレット上の開始ボタンを押す
- 2 来訪者の氏名と来訪先をオペレーターに通知
- 3 移動ロボットはオペレーターがマップ上の位置情報、映像、音声を使い遠隔操縦により誘導

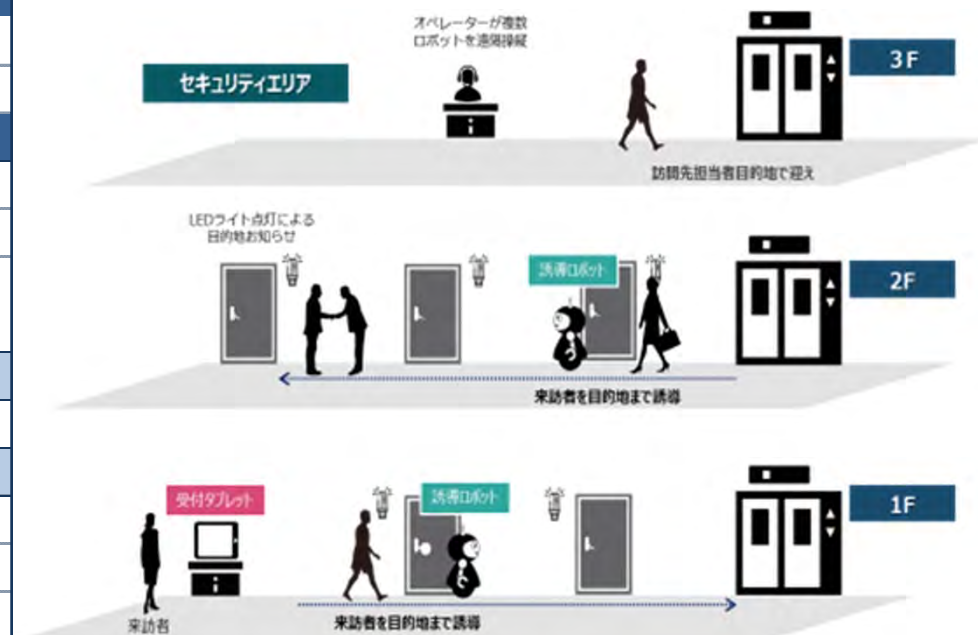
■行先が1Fの場合

- 4 移動ロボットが来訪者を連れて目的地に誘導 ※誘導後、起点へ帰還

■行先が2Fの場合

- 5 エレベーター前まで誘導し、ロボット音声を再生することで2Fに昇るよう指示
- 6 2Fでは移動ロボットが待ち受ける
- 7 ロボットタブレットで到着を検知するとロボットの操作をオペレーターに切り替え、2Fの移動ロボットが来訪者を連れて目的地に誘導 ※誘導後、起点へ帰還

シナリオイメージ



【特記事項】

- ・目的地ドアのLEDランプを点灯させることで対象者に目的地を明示
- ・目的地の付近でロボット案内音声を再生することで対象者に到着を知らせる
- ・オペレーターがロボットのカメラ映像とマップ上のライダーにより案内完了を判断

【実証実験で使用したロボット、機器類】

- ・受付 : タブレット
- ・誘導ロボット : TurtleBot 3



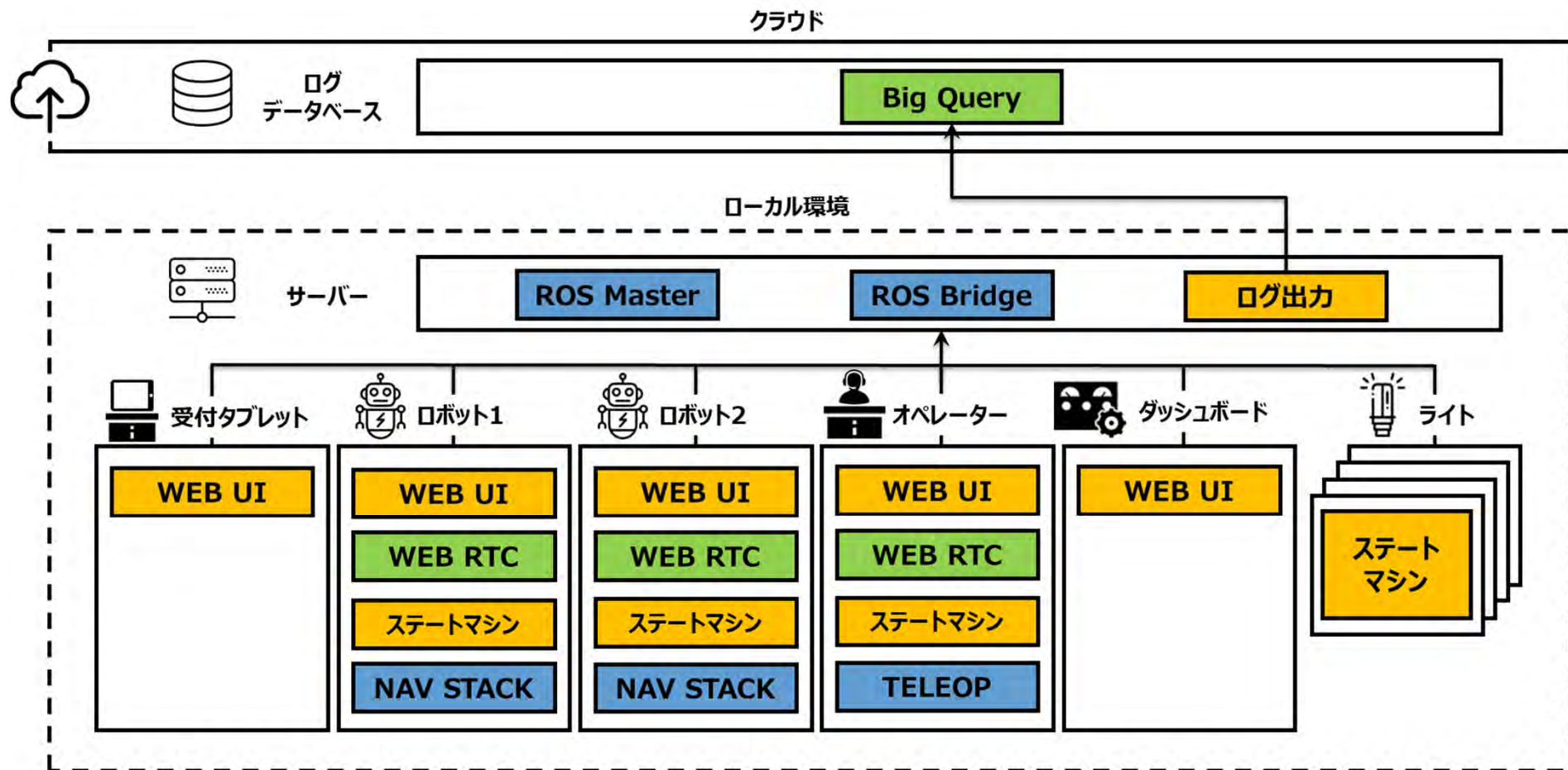
②ROSベースプラットフォーム 構築したシステム環境

凡例

新規作成した
コンポーネント

他技術

ROS



②ROSベースプラットフォーム シナリオ検証結果と考察

参加者35名に実施したアンケートより、シナリオに関する主な意見、要望は以下のとおり。

■ ロボットが誘導時に音声とマップで目的地まで走行をお知らせしたことで ユーザーが戸惑うことが少なく案内できた

- ・音声がオペレーターの遠隔操作であり、ネットワークの遅延によってロボットの動きとタイミングが合わないことがあった（起動・切り替えは課題）
- ・移動に合わせた音声案内の自動化ができると良い

■ オペレーターが遠隔操縦を行い、カメラ・ライダー＋マップを通じて 寄り道や立ち止った際の対応がスムーズにできた

■ UXの検討はさらなる深堀が必要

- ・誘導案内時のロボットのマップ表示に注目しているため、遅さを感じないケースも多くあった
- ・誘導案内（接客）は、人と同じ様なサービスの役割も期待され、誘導だけでは物足りなさを感じるユーザーもいた
- ・ロボットとの対話など、よりインタラクティブな体験を作ることによって改善できると思うが、逆に人との対話がなくなかったと思うユーザーもいた

■ メインの目的（誘導案内）は達成できたが、 実際の負担を減るために効率性の改善が必要

- ・人の案内よりも、情報の読み込み・ロボットの起動などによって、時間がかかってしまい、人間よりも時間がかかってしまう
- ・案内する側の負担は減りそうだが、案内をしてもらう側は、心理的負担（案内開始から実際にロボットが動きを始めるまでの時間が長い、スピードが遅い、など）が上がる可能性がある



②ROSベースプラットフォーム システム評価まとめ

■ ROSの優位性

- ：標準的なデータ型や通信の基盤が整っており、シナリオや難しいアルゴリズムの実装に集中できる
- ：ROSのノードに機能を持たせる形でさまざまな実装を柔軟に組み合わせられる
- ：パッケージやライブラリやツールが豊富
- ：プログラミング言語への依存性が低い

■ OSSとしてのROSの評価

- ：最も広く使用されているOSSのロボットソフトウェアフレームワーク
- △：ドキュメントなどリソースは豊富だが、品質はまちまちであり、ソースコードの確認が必要なシーンが多い

■ 設計

ROSの仕組みを使い倒したPub/Subベースのシンプル構成

- ：ROSをベースに拡張するというシンプルな構成なため、適材適所に様々なIT技術を組み合わせることが可能だった
- ：Pub/Subによるコミュニケーションを徹底することで機能の追加やシナリオの変更時の影響範囲を小さくできた
- ×：ROS masterや重要なデータを持つノードが単一障害になり、システム全体の再起動を要することがあった

■ インフラ

オンプレミスのサーバーとロボットで構成

- ：一度接続が確立すればP2Pで通信がおこなわれるのでネットワーク負荷が比較的低い
- ：ロボット・IoTの登録や削除は容易
- △：通信環境に依存する



【管理ダッシュボード】

②ROSベースプラットフォーム

