

# IoTセンサーを用いた自己位置推定誤り検出

## 実証実験レポート

---

2021.3.19      1版

TIS株式会社  
会津大学



# 目次

---

## 1. 研究内容

- 研究開発の背景
- 研究開発の目的
- 研究計画
- 実装内容

## 2. 実証内容

- 実施概要
- 実施体制と役割
- 使用機器一覧
- 検証内容

## 3. 実証結果

- 検証結果と課題

## 4. まとめ

- まとめ
- 実用化に向けた展望

# 1. 研究内容

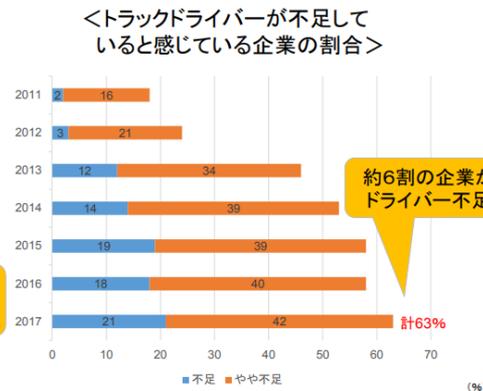
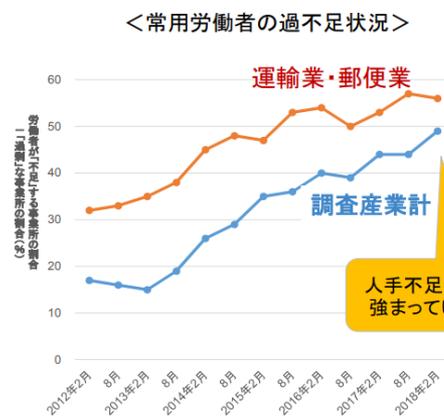
---

# 研究開発の背景

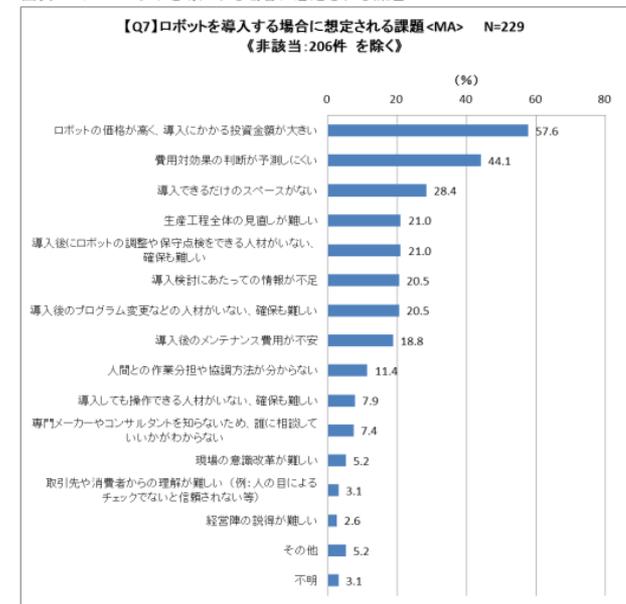
少子超高齢による労働人口の減少により、サービスロボット導入による業務の省人化が期待されているが、以下の問題点からロボットの導入が進まず、社会普及の弊害となっている

## サービスロボット導入の問題点

- 高精度のセンサーおよびセンサー処理に必要な計算性能を持つモジュール等を用いることによる高価格化
- ロボット開発コスト増加によるサービス費用の上昇
- サービス運用時のロボット管理にかかる人件費



図表 1-20 ロボットを導入する場合に想定される課題



## 研究開発の目的

---

### **IoTセンサーを活用した自律移動とロボット監視機能の開発**

- 各ロボットに高精度センサーを使用しないことによる1台当たりのコスト削減
- IoTセンサーと組み合わせることによる、ロボット単体に期待される機能の単純化
- IoTセンサーでロボットを監視することによる、ロボット自身では認識できない問題の検知

## 研究計画

本研究開発では①を実現し、次年度以降順次②③の研究を実施する

### ① IoTセンサーを用いた自己位置推定誤り検出の研究【本提案で実施】

ロボット自身では認識することが難しい自己位置推定誤り(※)を検出する機能を実装し検証する

※高度なセンサーを用いた自律移動ロボットであっても自己位置を誤って判断する場合がある  
本提案ではこの現象を「自己位置推定誤り」と呼称する

### ② IoTセンサーと安価なセンサーを持つロボットによる自律移動の研究【次年度実施予定】

安価なセンサーを用いたロボットの自律移動を、IoTセンサーを活用してアシストする機能を実装及び検証する

### ③ IoTセンサーによる自律移動の研究【次年度実施予定】

外界を認識するためのセンサーを持たないロボットを、IoTセンサーを用いて自律移動機能を実現し検証する

# 実装内容

本実証実験では、IoTセンサーとして天井に設置したカメラ(※)とロボットに設置したARマーカを使用し、ロボット位置を推定する

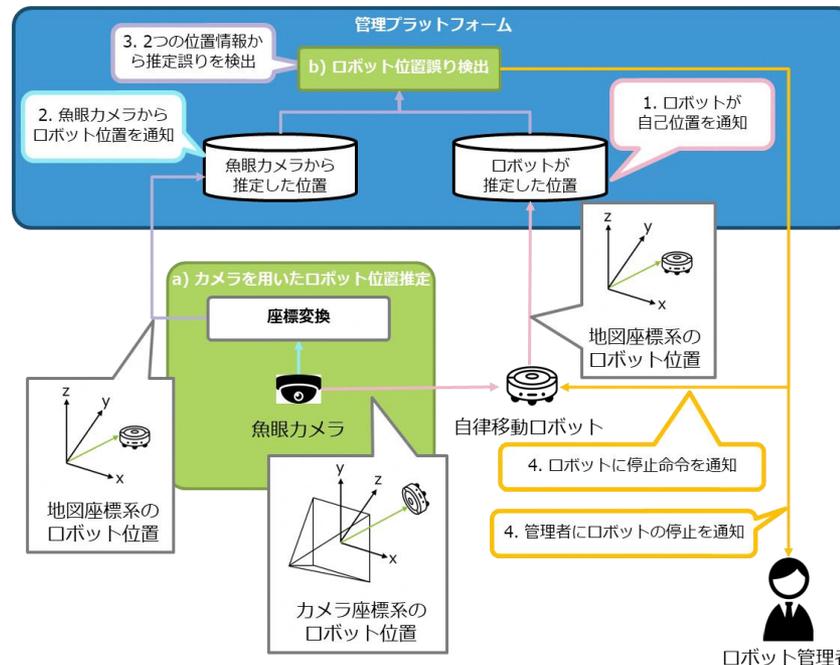
## a) カメラを用いたロボット位置推定

- ロボットにARマーカを搭載、それを天井カメラから認識することで「カメラ座標系におけるロボット座標」を取得
- 「カメラ座標系におけるロボット座標」を「ロボット座標系におけるロボット座標」へ変換

※カメラを用いた理由：監視カメラ等で一般的であり、将来的にはスマートビル内にもインターネットに接続された監視カメラがあると考えられるため

## b) ロボットの位置誤り検出

- 上記機能から得られた座標とロボットが認識する自己位置の座標を比較し、ずれを検出



## 2. 実証内容

---

## 実施概要

### 実証実験場所

- 会津大学LICTiA（1F）

### 実証実験時期

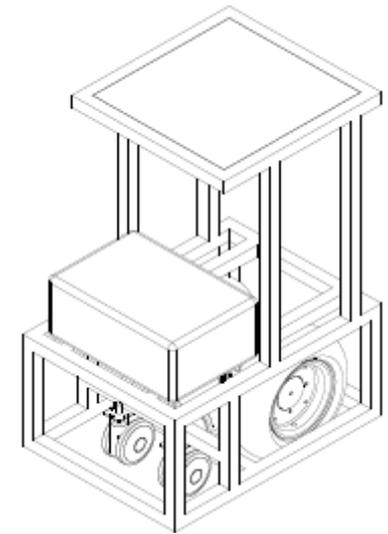
- 実施：2020/12/14（月）-12/15（火）
- 予備：2020/12/18（金）、21（月）

### 実証実験対象者

なし ※サービスレベルの検証は行わないため

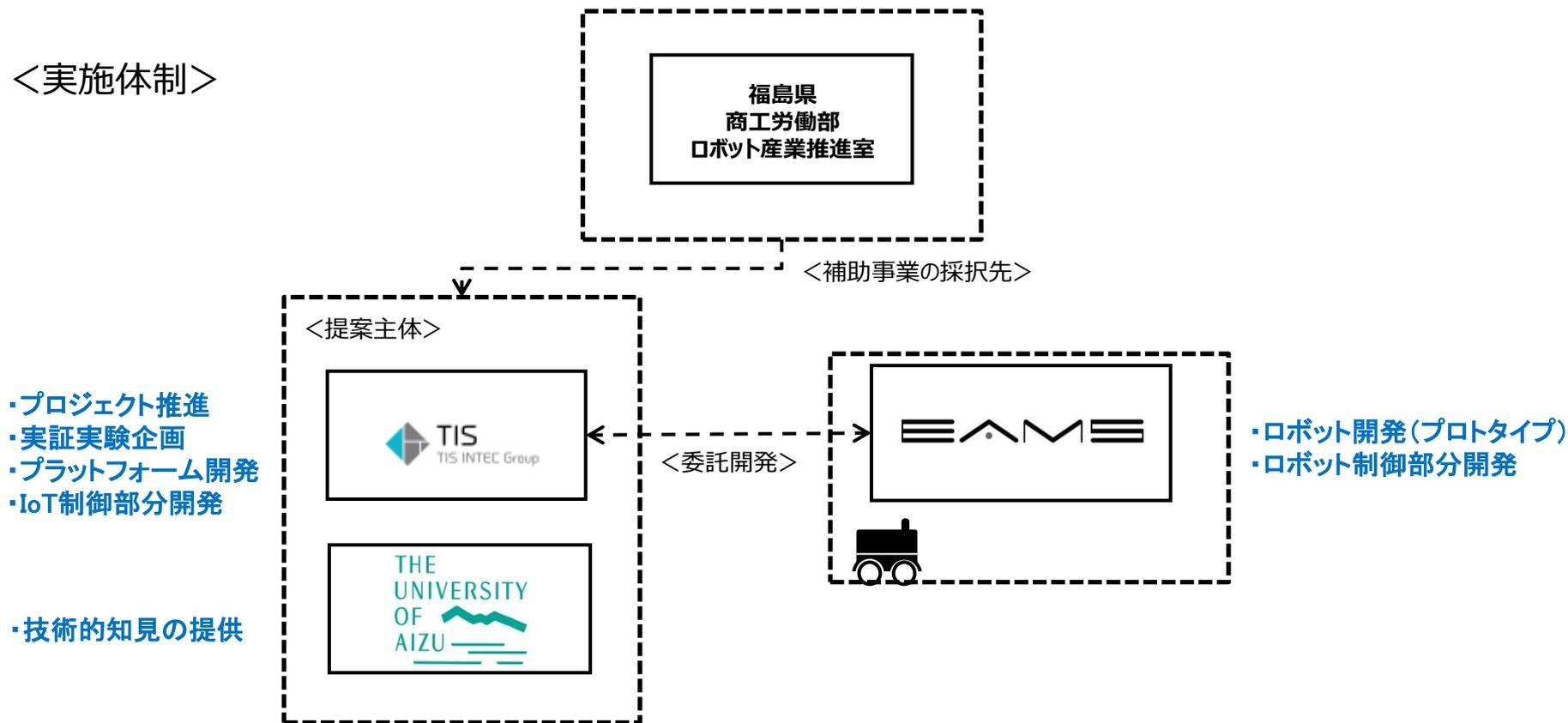
### 実証実験概要

- 屋内走行する自律移動ロボットの自己位置推定誤り検出



# 実施体制と役割

## <実施体制>



## <実施フィールド>

会津大学 先端ICTラボ(LICTiA)

## 使用機器一覧



機器カテゴリ	機器名称
カメラ	コダック PIXPRO SP360 4K
カメラ制御用PC	Jumper EZbox i3 ミニPC
OS	OS: Ubuntu 18.04
ミドルウェア	ROS melodic
画像処理ライブラリ	OpenCV 3.3.1



機器カテゴリ	機器名称
フライトコントローラ	CubeBlack
送信機	FMR-02
ROS用コンピュータ	Intel NUC NUC7i7DNBE
Wi-Fi 無線LAN 子機	
LiDAR	OUSTER OS116 LIDAR

本実証実験では、IoTセンサーとして天井に設置したカメラとロボットに設置したARマーカ―を使用し、ロボット位置を推定する。

## 1. カメラとARマーカ―を用いた位置推定精度の検証

カメラ映像から対象物の位置を推定する精度を検証するために、床の各ポイントにマーカ―を設置し、カメラでの位置推定結果と実測値を比較・検証する

## 2. ロボットによる自己位置推定との比較

ロボットとカメラでの位置推定結果を比較・検証する

## 3. 自己位置推定誤り検出に要する時間の検証

推定誤りを故意に発生させ、ローカル上またはクラウド上にて自己位置推定誤りを検出するまでの時間を測定する



床のポイント上のマーカ―をカメラで認識する様子



実験で使った自律移動ロボット

### 3. 実証結果

---

## 1. カメラとARマーカを用いた位置推定精度の検証

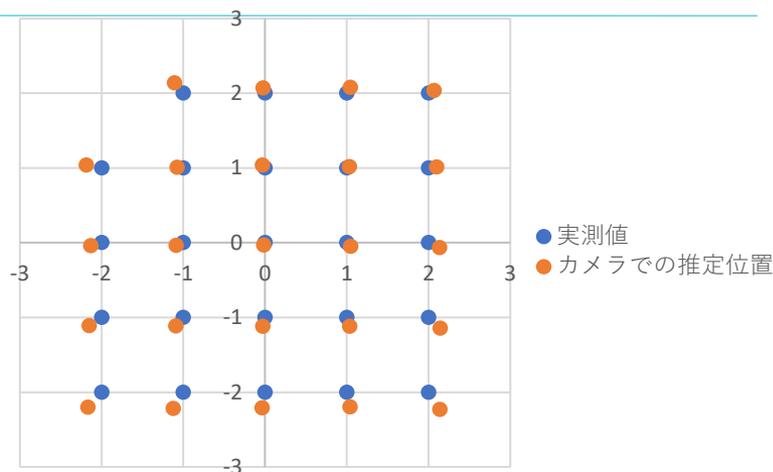
- 2m四方ではおよそ5cm程度の誤差
  - 4m四方では誤差が増えおよそ10cmの誤差
- ⇒ カメラから離れるにつれ推定誤差と信頼区間が増加  
⇒ 以降の検証では1m以内を使用

### 技術的課題 ① : カメラのロボット制御可能範囲

問題 : カメラから離れるにつれ推定誤差が増加

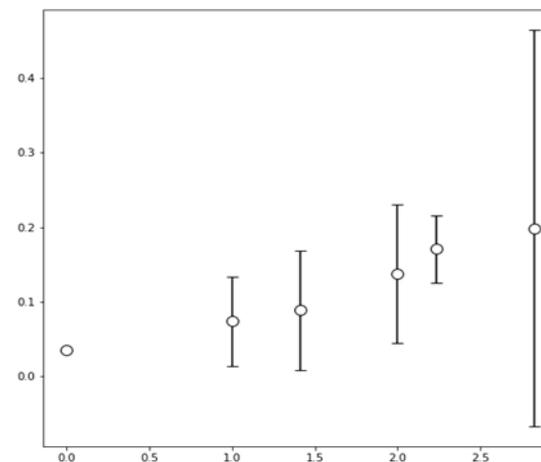
原因 : カメラキャリブレーションと魚眼レンズによる歪み補正が不十分

課題 : カメラキャリブレーション及び魚眼レンズによる歪み補正の検証



カメラでの推定位置と実測値の比較

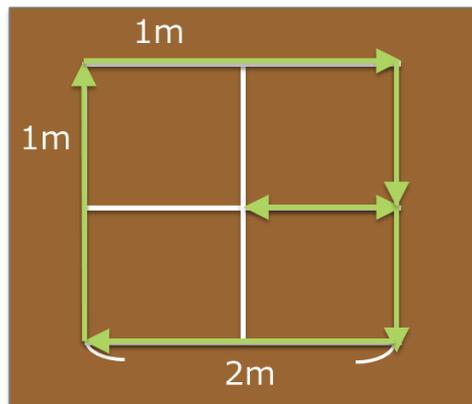
原点からの距離	サンプル数	標本平均	不偏分散	95%信頼区間
0.0	1	0.035		
1.0	4	0.073	0.001	0.014 ~ 0.13309
$\sqrt{2}$	4	0.088	0.002	0.009 ~ 0.16820
2.0	4	0.137	0.003	0.045 ~ 0.23061
$\sqrt{5}$	8	0.170	0.003	0.125 ~ 0.21600
$2\sqrt{2}$	3	0.198	0.011	-0.067 ~ 0.46455



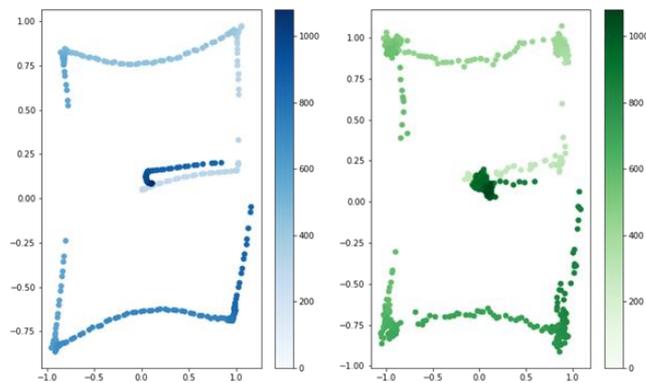
実測値とカメラでの推定位置の誤差平均と信頼区間  
(○ : 平均値、エラーバー : 95%信頼区間)

## 2. ロボットによる自己位置推定との比較

### 1. ロボットに移動指示を出し、ロボットとカメラからの位置推定を5回記録



ロボットの移動経路



カメラとロボットで取得した移動軌跡

2. ロボットとカメラで推定した座標の誤差を導出
- 誤差平均の95%信頼区間は10cm以内の範囲

No.	サンプル数	標本平均	不偏分散	95%信頼区間
1	1080	0.083	0.005	0.07892 ~ 0.08712
2	1059	0.058	0.003	0.05459 ~ 0.06075
3	763	0.077	0.004	0.07284 ~ 0.08136
4	710	0.074	0.004	0.06955 ~ 0.07845
5	801	0.066	0.003	0.06236 ~ 0.07037

原点からの距離をロボットおよびカメラで推定し検定した結果

⇒ カメラでの位置推定はLiDARセンサーの性能と比較して10cm誤差の性能を持つと考えられる

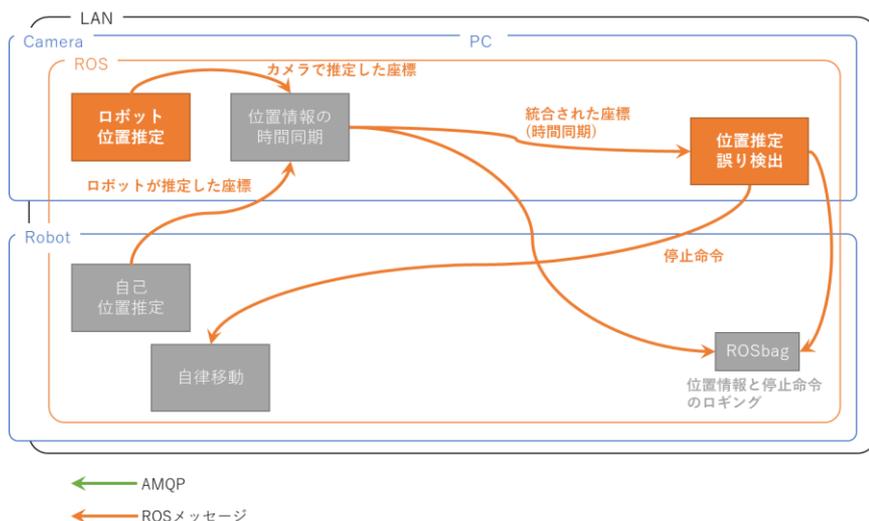
## 3. 自己位置推定誤り検出に要する時間の検証

クラウドまたはローカル上に誤り検出を配置したアーキテクチャを用意

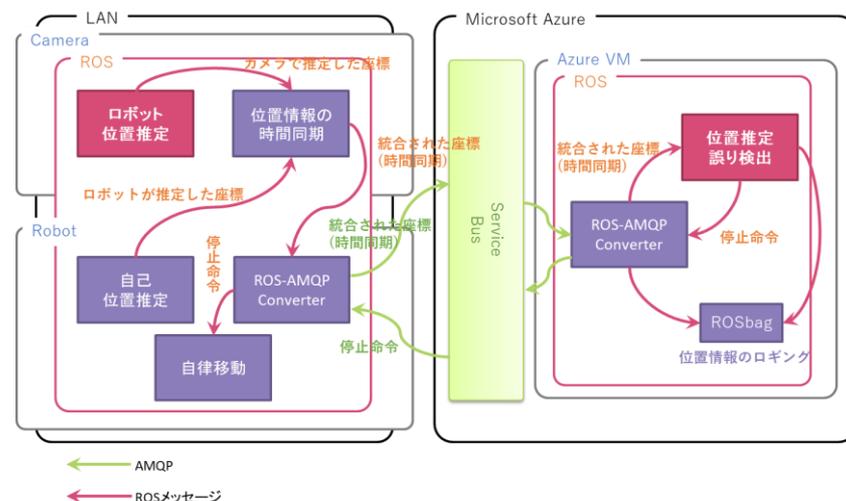
- ローカル：位置推定や誤り検出等の全ノードはROSメッセージを介して連携
- クラウド：ローカルとクラウド上にROS環境を用意、ROSメッセージをAMQTへ変換しローカル・クラウドを連携

ロボットが推定した位置座標に対して毎秒1cmの誤りを故意に発生させ、自己位置推定誤りを再現

実証実験では閾値を2mとし、カメラとロボットでそれぞれ推定した位置を比較、差が閾値を超えていれば停止命令をロボットへ通知



ローカルに誤り検出機能を配置したアーキテクチャ



クラウドに誤り検出機能を配置したアーキテクチャ

## 3. 自己位置推定誤り検出に要する時間の検証

- 誤差が閾値を超えた時間と誤差が検出された時間を比較
  - クラウドの標本平均：4.1秒で検出
  - ローカルの標本平均：0.8秒で検出

実装場所	サンプル数	標本平均	不偏分散	95%信頼区間
ローカル	3	0.842	0.028	0.42354 ~ 1.26151
クラウド	4.0	4.173	1.606	2.59981 ~ 5.74694

実装場所別に検定した結果

- ⇒ クラウドでは検出するまでの時間が増加
  - ⇒ 外部ネットワークの伝送速度とクラウド側のアーキテクチャの問題
- ⇒ ローカルでも検出するまでに約1秒必要とする
  - ⇒ カメラ処理の遅延とローカルネットワークの伝送速度の問題

## 技術的課題②：ネットワークレイテンシーに起因する処理時間の問題

問題：カメラ側の処理と伝達に時間がかかり位置推定精度が悪化

原因：ローカル及びクラウドまでのネットワークレイテンシーが影響

課題：5Gやエッジコンピューティングなどの次世代技術を活用

## 4. まとめ

---

## まとめ

今回実装した機能（a.カメラによる位置推定機能、b.ロボットの自己位置推定誤り検出）を使用して検証1～3を実施した結果、実装した機能については、想定通りの結論を導く手法は確立できたと判断する。

ただし、技術的観点・社会的観点を考えると以下課題があり、これらの課題を解決していく必要があると考える。

### **技術的課題①：カメラのロボット制御可能範囲**

問題：カメラから離れるにつれ推定誤差が増加

原因：カメラキャリブレーションと魚眼レンズによる歪み補正が不十分

課題：カメラキャリブレーション及び魚眼レンズによる歪み補正の検証

### **技術的課題②：ネットワークレイテンシーに起因する処理時間の問題**

問題：カメラ側の処理と伝達に時間がかかり位置推定精度が悪化

原因：ローカル及びクラウドまでのネットワークレイテンシーが影響

課題：5Gやエッジコンピューティングなどの次世代技術を活用

### **社会的課題①：ARマーカによる物理的制約と社会受容性**

問題：ARマーカによるロボットの外観への影響

課題：物理的制約の少ない位置推定方法の検証(赤外線マーカやマーカレスでのロボット位置推定など)

## まとめ

また検証を通して、本研究の意義として以下が考えられる。

### **技術的メリット①：IoTセンサーを用いた位置推定精度**

カメラ及び画像の計算処理が十分であれば、高機能なセンサーでなくとも、監視カメラ等のIoTセンサーで十分な位置推定精度が見込める

高性能なセンサーでも判断できない問題(位置推定誤り)の発見が可能

### **技術的メリット②：位置推定機能の汎用性**

上記社会的課題①でマーカースレスでのロボット位置推定が実現できれば他への応用が期待でき、ロボットと人の共存する環境の一助となると考えられる

- 人流情報を基にしたロボットの地図や経路の生成
- スマートグラス上へロボットが通る経路を投影し、混雑した場所など移動が難しい環境での衝突回避を実現

### **社会的メリット①：安価な自律移動ロボットサービスの導入と需要の拡大**

導入コスト削減によるロボット需要の拡大

自律移動ロボットに期待される機能の簡略化

- IoTセンサーによる完全な自律移動が実現できれば、ロボットは「命令に従って動く」機能があれば十分

### **社会的メリット②：スマートシティとの連携**

インターネットに接続可能なIoT機器は増加傾向にあり、カメラ以外との連携が期待できる

## 本年度の成果を公開

- 実証実験で使用したプログラムをOSSとして公開
- 成果をまとめたレポートをRTC-Fukushimaに公開

## 実用化に向けた取り組み

- 【研究計画】の通りに次年度以降②③を実施し、IoTセンサーによる自律移動の技術を確立
- 本研究で明らかとなった技術的・社会的課題の解決
- 本手法を広く認知させるための講演やデモ展示

# THANK YOU

---

