

第8回会津大学 ロボットシンポジウム

シミュレーションを活用した
サイバーフィジカルシステムの研究・開発

株式会社FSK

1. 走行ロボットに関する研究・実証

- ロボットソフトウェアを仮想空間で検証するために、
実空間特有の動作ノイズと計測ノイズを仮想空間で再現

- ① Choreonoid^{※1}のセンサデータに人工的なノイズを加える
- ② ロボット情報をリアルタイムでRDR^{※2}に登録

※1 本研究で使用するシミュレータの名称

※2 ROBOT DATA REPOSITORY の略。ロボットが取得したデータを登録するクラウドデータベース

2. 環境情報(外部カメラ・ドローンによる環境計測など)との連携の研究・実証

- 実空間で実装に時間がかかる**複数サブシステムの連携を、
仮想空間で先行して開発**

- ① シミュレーションと実機での動作比較
- ② 環境情報とロボットの情報共有の仕組みをシミュレータ上で検討

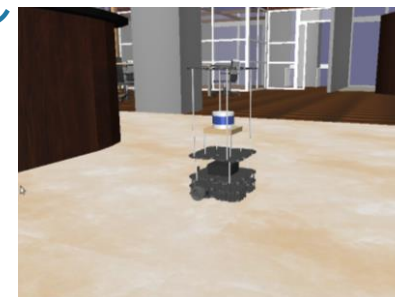
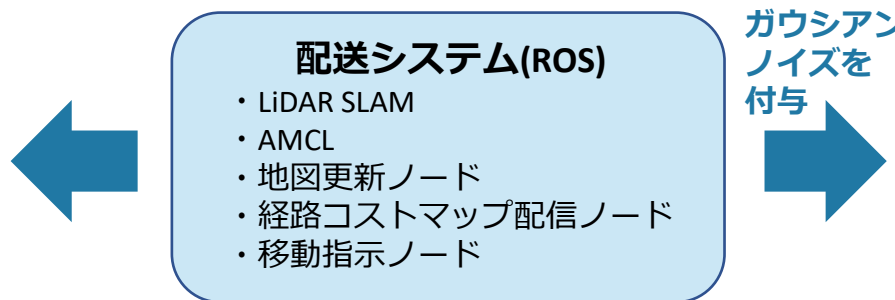
1. 走行ロボットに関する研究・実証

～ 走行ロボットのサイバーフィジカルシステム化 ～

1. Choreonoidのセンサデータに人工的なノイズを加える
 - シミュレーションで人工的なノイズの付与を行ったナビゲーションの結果と実機のナビゲーション結果を比較する。実機の結果に近くなるノイズはあるか、ノイズを付与することでソフトウェアのロバスト性の検証が可能かを実証する。
 - ① **センサデータ (LiDAR)** に人工的なノイズを付与
 - ② **車輪の回転** に人工的なノイズを付与
2. 他ユーザによるRDR登録データの活用
 - シミュレーションで取得したロボット情報を、リアルタイムでロボットデータリポジトリ (RDR) に登録



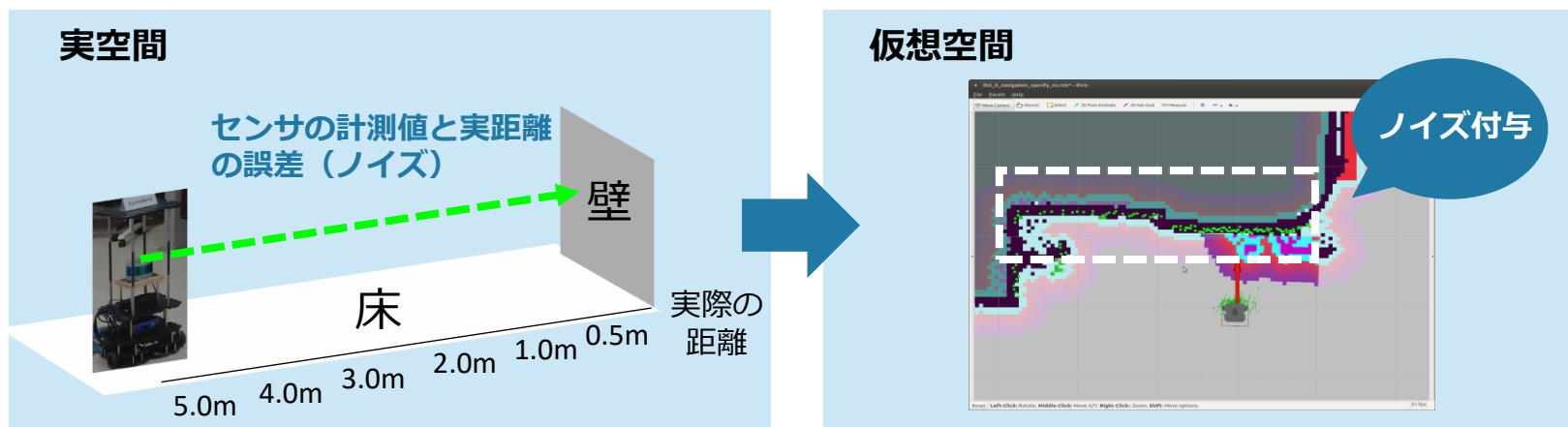
実機



シミュレーション

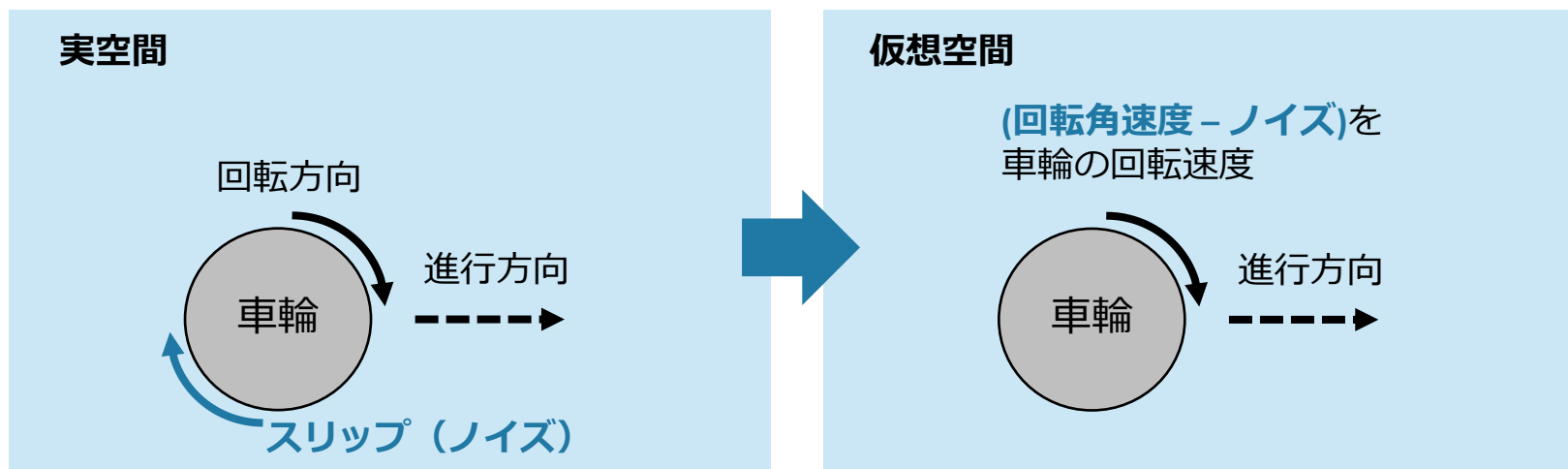
センサデータ（LiDAR）に人工的なノイズを付与

1. Choreonoid本体に実装済みの**ノイズ生成機能**を活用
2. 実機によるVLP-16の計測誤差の検証
 - 計測した値をノイズ生成時の標準偏差として活用
3. ノイズ付与した状態のシミュレーションと実機のデータを取得し、ナビゲーション結果を比較。
比較結果を基にノイズとの対応関係をまとめる



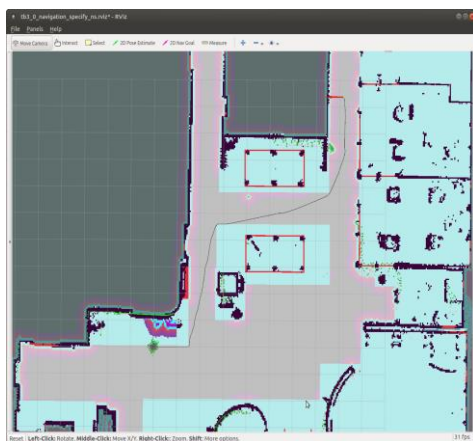
車輪の回転に人工的なノイズを付与

1. ガウシアンノイズ生成プログラム開発
2. 車輪ノイズ付与コントローラ開発
3. 実機による車輪のスリップ誤差の検証
4. ノイズ付与した状態のシミュレーションと
実機のデータを取得し、ナビゲーション結果を比較。
比較結果を基にノイズとの対応関係をまとめる

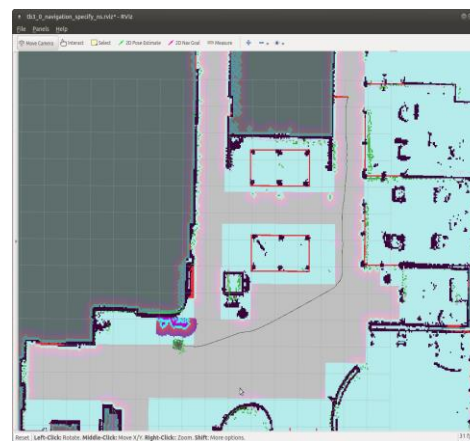


【検証結果】

- ・ センサの精度に近いノイズを与えた場合、座標位置の誤差は0.01m程度に収まる
- ・ ノイズを大きくすることで座標位置の誤差は大きくなる
- ・ 一部のデータを欠落させることで、実機に近い挙動になる



実機



シミュレーション

【成果】

- ・ ノイズを付与することで、実機に近い挙動をさせることが可能
- ・ 様々なテストパターンを事前に検証可能
- ・ 現実より過酷な環境を再現することで、ソフトウェアのロバスト性を検証可能

【検証結果】

経路	センサノイズの有無	標準偏差 [m]	検出率	往路		復路		備考	
				距離の平均誤差[m]	角度の平均誤差[°]	距離の平均誤差[m]	角度の平均誤差[°]		
受付⇄事務室	なし	0.01~0.03	0.7~1.0	0.067	-1.332	0.050	0.360		
	あり			0.067 ± 0.01	-1.332 ± 5.0	0.050 ± 0.01	0.360 ± 2.0		
受付⇄個室	なし			0.061	-1.109	0.045	-0.985		
	あり			0.061 ± 0.02	-1.109 ± 3.0	0.045 ± 0.01	-0.985 ± 2.0		
受付⇄会議室3	なし			0.088	-0.066	0.056	0.023		
	あり			0.088 ± 0.02	-0.066 ± 2.0	0.056 ± 0.01	0.023 ± 3.0		
受付⇄会議室2	なし			-	-	-	-		現実と仮想で移動経路が大きく異なり比較できず 検出率:1.0の場合は70%程度の確率で、 現実と仮想で移動経路が大きく異なる
	あり			0.082 ± 0.015	-0.404 ± 2.0	0.052 ± 0.01	-1.892 ± 2.0		

経路	車輪ノイズの有無	標準偏差 [rad]	検出率	往路		復路		備考	
				距離の平均誤差[m]	角度の平均誤差[°]	距離の平均誤差[m]	角度の平均誤差[°]		
受付⇄事務室	なし	0.000475~1.425	0.001~1.0	0.067	-1.332	0.050	0.360		
	あり			0.067 ± 0.01	-1.332 ± 5.0	0.050 ± 0.01	0.360 ± 4.0		
受付⇄個室	なし			0.061	-1.109	0.045	-0.985		
	あり			0.061 ± 0.02	-1.109 ± 3.0	0.045 ± 0.01	-0.985 ± 2.0		
受付⇄会議室3	なし			0.088	-0.066	0.056	0.023		
	あり			0.088 ± 0.02	-0.066 ± 2.0	0.056 ± 0.01	0.023 ± 3.0		
受付⇄会議室2	なし			-	-	-	-		現実と仮想で移動経路が大きく異なり比較できず 50%程度の確率で、現実と仮想で移動経路が 大きく異なる
	あり			0.075 ± 0.02	-0.856 ± 2.0	0.058 ± 0.01	-1.604 ± 2.0		

※ 検出率:1.0...1ms、検出率:0.1...10ms、検出率:0.01...100ms、検出率:0.001...1sごとにノイズを発生。

標準偏差は、検出率に合わせて1/10ⁿ倍している。検出率:1.0...標準偏差×1、検出率:0.1...標準偏差×10、検出率:0.01...標準偏差×100。

他ユーザによるRDR登録データの活用

■ 他ユーザによるRDR登録データの活用

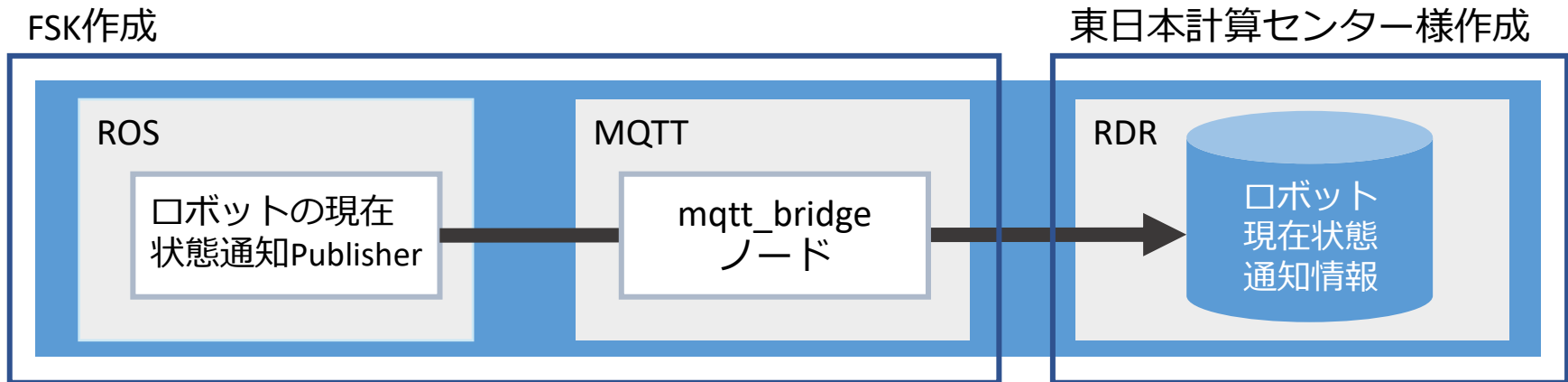
シミュレーションで取得したロボット情報を、他ユーザも使用できるようにRDRへ登録（東日本計算センター様と連携）

【目的】

・登録データの活用とシミュレーションでロボットの挙動の可視化を可能にする

【開発】

- ・ロボットの現在状態通知用Publisher開発
- ・リアルタイム連携するためのMQTT用launchファイルの作成
- ・RDRとの連携を確認



【成果】

- ・登録データの活用が可能になり、ロボットの挙動等の可視化が可能

2. 環境情報との連携の研究・実証

～ 環境情報のサイバーフィジカルシステム化 ～

1. シミュレーションと実機での動作比較

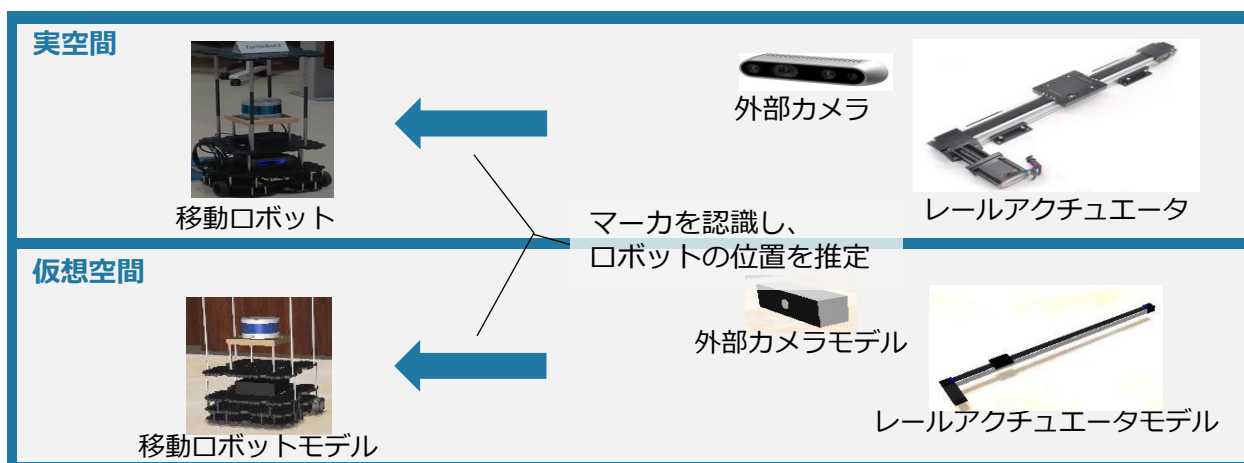
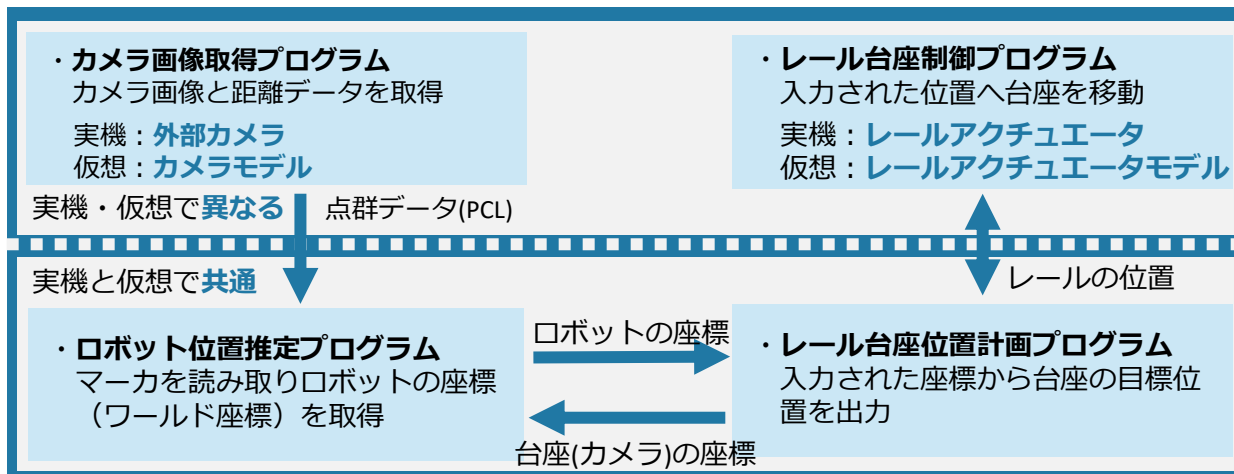
レールで移動する外部カメラシステムをシミュレーションと実機で作成し、**シミュレーションと実機で動作を比較**。シミュレーションで開発したアルゴリズムを実機に反映可能であることを確認する。

2. 環境情報とロボットの情報共有の仕組みをシミュレーション上で検討

走行ロボットの位置情報を外部カメラから共有することで、より正確なナビゲーションを実現する。

・ システム図

実機とシミュレーションで同様のシステムを作成して動作を比較



【動作確認】

- ・実機とシミュレーションで、実際に配置されたロボットの座標 (x,y,z,θ) と外部カメラがマーカを認識して推定したロボットの座標 (x,y,z,θ) を比較する。

実機：最大誤差 **0.04 m**程度

シミュレーション：最大誤差 **0.013 m**程度

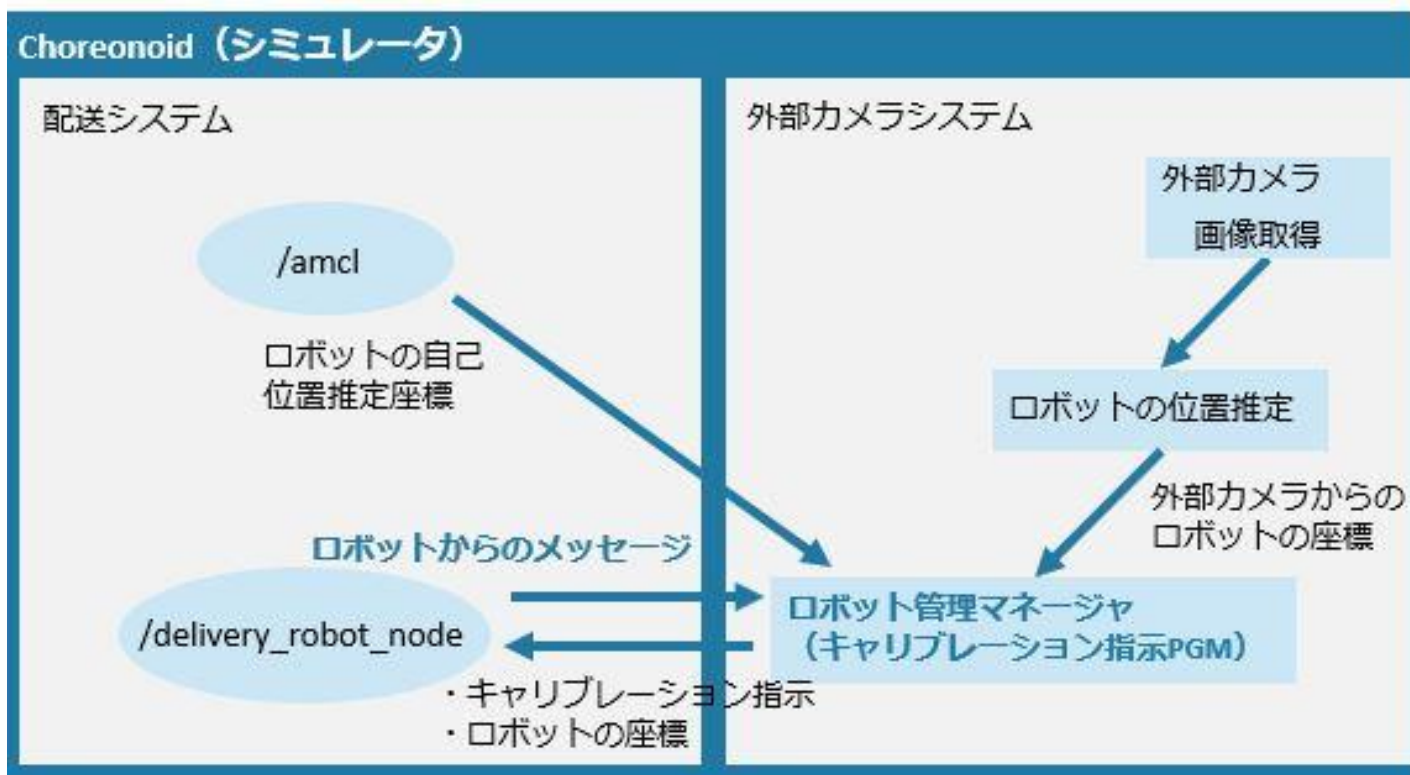
LICTiAなどの建物内のナビゲーションで利用する場合は、十分に値は小さい。

【成果】

- ・実機とシミュレーションで誤差は小さいので、仮想空間で開発したアルゴリズムを実機へ反映することができる。

■ 環境情報とロボットの情報共有のシステム図

ナビゲーション実行時に、外部カメラが取得した環境情報（ロボットの位置）を走行ロボットに共有する。環境情報と走行ロボットの自己位置推定を比較し、差が閾値（パラメータで設定）以上の場合、**キャリブレーションを再実行**する。



【動作確認】

- ・ 環境情報なしのナビゲーションと環境情報ありのナビゲーションの目標地点到着時のロボットの座標の差は**0.03m程度**で差はLICTiAのような建物のナビゲーションで使用するには十分に小さい。
- ・ 外部カメラからのロボット座標と走行ロボットの実際の座標の差が大きい場合（検証のためロボットの向きを90°ずらした場合）、再キャリブレーションに失敗して目標地点に到着しない。外部カメラからの情報の正確性が重要になる。

【今後の目標】

- ・ シミュレーションで作成した環境情報とロボットの情報共有の仕組みを実機システムへの反映して、使用できるか検証する。

ご清聴ありがとうございました

RTC-Library-FUKUSHIMA

<https://rtc-fukushima.jp/>

