

無人搬送車等を誘導する 超音波通信式測位システムの開発

岐阜県情報技術研究所メカトロ研究部
田畑 克彦

独立行政法人 産業技術総合研究所
国立大学法人 東京農工大学大学院BASE
株式会社ブイ・アール・テクノセンター

平成27年5月17日

産業技術連携推進会議 製造プロセス部会 メカトロニクス分科会
第11回地域交流ワークショップ in 京都

背景

2015.5.17. 産業技術連携推進会議
第11回地域交流ワークショップ in 京都

- コスト競争の激化
 - 産業のグローバル化、TPP(環太平洋戦略的経済連携協定)
- 少子高齢化による労働人口の減少
 - 2030年には全国労働人口が845万人減(5453万人)
- コスト競争力と労働力の確保が課題
 - 無人搬送車の利用拡大
 - 中小規模工場への普及

blank

blank

部品搬送する無人搬送車

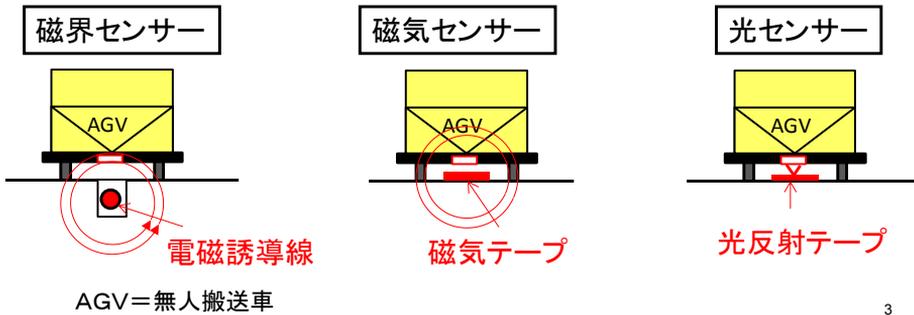
無人搬送車とシステムの生産台数

従来のナビゲーション手法(ガイド式)

2015.5.17. 産業技術連携推進会議
第11回地域交流ワークショップ in 京都

経路上の線状マーカ―を検出しながら移動する方式

- 対費用効果が大きい(安価)
- ×経路変更の自由度が低い
 - ・製造ライン長の頻繁な変更
 - ・多分岐経路への対応
 - ・屋外、半屋外における誘導



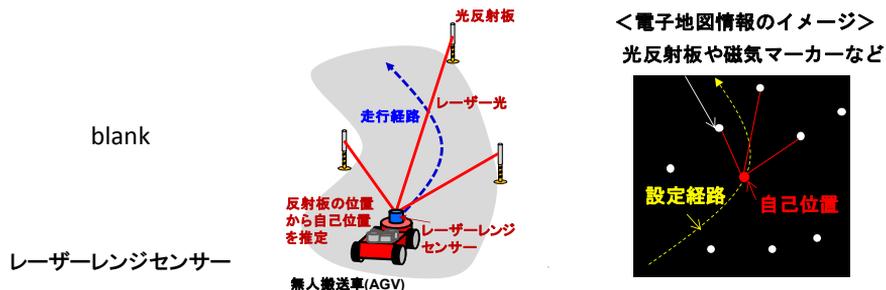
3

従来のナビゲーション手法(自律移動式)

2015.5.17. 産業技術連携推進会議
第11回地域交流ワークショップ in 京都

光反射板などの位置と電子地図情報を照合し、自己位置を推定して経路を走行する方式

- 経路変更の自由度が高い
- ×対費用効果が課題(測位システムが高価)



自由度と対費用効果が高いナビゲーションシステムの開発が必要

4

測位技術

2015.5.17. 産業技術連携推進会議
第11回地域交流ワークショップ in 京都

- 自律移動のナビゲーションシステムでは必要不可欠
- 様々な環境(屋内外)でも使用できることが望ましい

主な測位技術	屋外 利用	屋内 利用	計測 精度	コスト	計測 距離	
超音波	◎	◎	○	◎	△	研究課題
レーザー	△	◎	◎	×	◎	
電波(WiFi)	◎	◎	×	×	◎	要電波調査
電波(GPS)	◎	×	×	○	◎	
デッドレコニング※	○	○	△	○	△	路面による

※エンコーダーやジャイロなどのセンサーを利用し、移動量と移動方向から測位する方式

- 空中超音波センサーの課題
減衰が大きく、計測距離が短い(~2m, 障害物検知に利用)

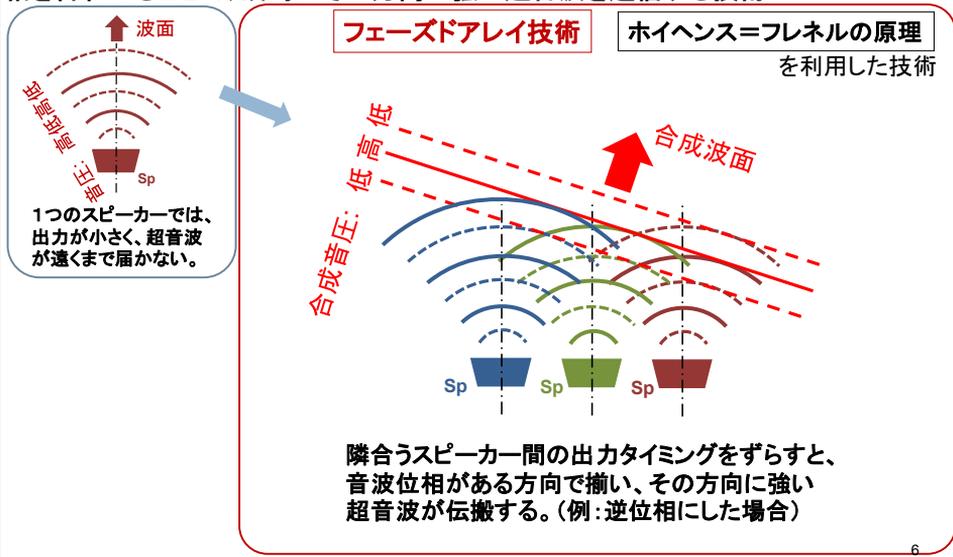


5

超音波フェーズドアレイ技術

2015.5.17. 産業技術連携推進会議
第11回地域交流ワークショップ in 京都

超音波センサー素子間の送信タイミングを制御して、特定の方向への超音波の位相を合わせることで、瞬時にその方向へ強い超音波を送信する技術



6

超音波フェーズドアレイ測位システムの提案

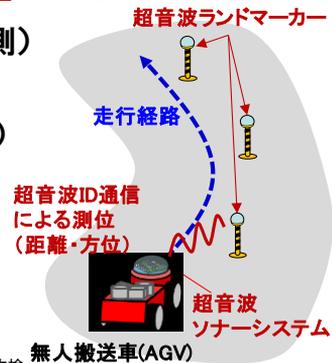
2015.5.17. 産業技術連携推進会議
第11回地域交流ワークショップ in 京都

技術的対策

- フェーズドアレイ合成ビームによるSN比の向上[3]
- 超音波信号の相互通信による誤検知回避[4]

空中超音波の分野では初の試み

1. 目標とするランドマーカの探索(移動側)
 - ・探索マーカへIDを送信
2. 該当するランドマーカが応答(環境側)
 - ・探索マーカからIDを受信
 - ・雑音・混信対策
3. 該当ランドマーカの測位
 - ・自己(相対)位置を計測



[3] 高橋亮介, 鄭聖熹, 高橋隆行, “超音波アレイセンサによる視覚障がい者のための障害物検知手法”, 計測自動制御学会東北支部 第226回研究集会, 資料版番号226/1, 2005.

[4] Akihisa Ohya, Yousuke Nagumo et al., “Intelligent Escort Robot Moving together with Human – Human Following Behavior-”, 12th International Symposium on Measurement and Control in Robotics, 2002.

7

超音波通信式(フェーズドアレイ)測位システム

2015.5.17. 産業技術連携推進会議
第11回地域交流ワークショップ in 京都

(論文)

- ・超音波センサアレイを用いた新しいナビゲーションシステム, 田畑克彦, 西田佳史, 飯田佳弘, 岩井俊昭, 計測自動制御学会論文集, Vol.48, pp.11-19, 2012年1月.

(発表)

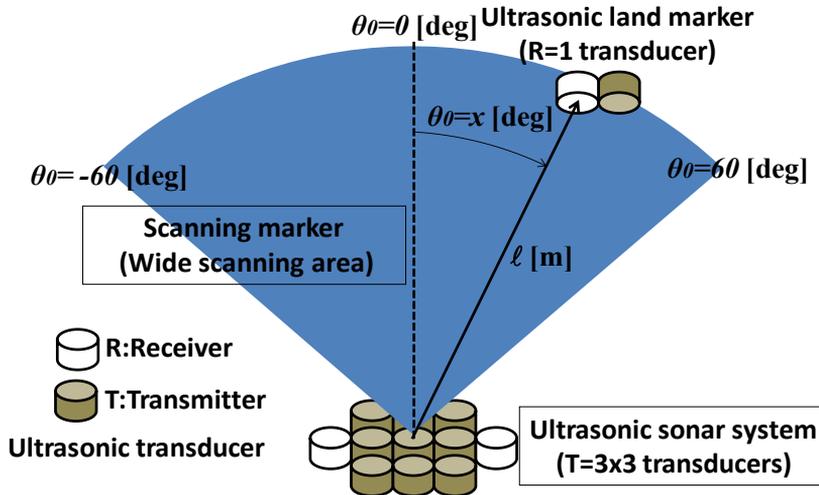
- ・超音波センサアレイを用いたナビゲーションシステム –超音波センサアレイの試作と通信速度の把握–, 田畑克彦, 西田佳史, 岩井俊昭, 第29回日本ロボット学会学術講演会講演論文集, RSJ2011AC2N1-2, 2011.9.8
- ・超音波センサアレイを用いたナビゲーションシステム –基本システムの開発とランドマーカの位置推定実験–, 田畑克彦, 岩井俊昭, 西田佳史, 久富茂樹, 遠藤善道, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2012(ROBOMEC2012) 講演論文集, 1P1-A10, 2012.5.28

8

測位シーケンス(Phase I)

2015.5.17. 産業技術連携推進会議
第11回地域交流ワークショップ in 京都

- 測位対象のランドマーカを探査
 - フェーズドアレイによるID情報(7bit)と共にビーム走査
 - 未知の位置にあるランドマーカを確実に応答させる

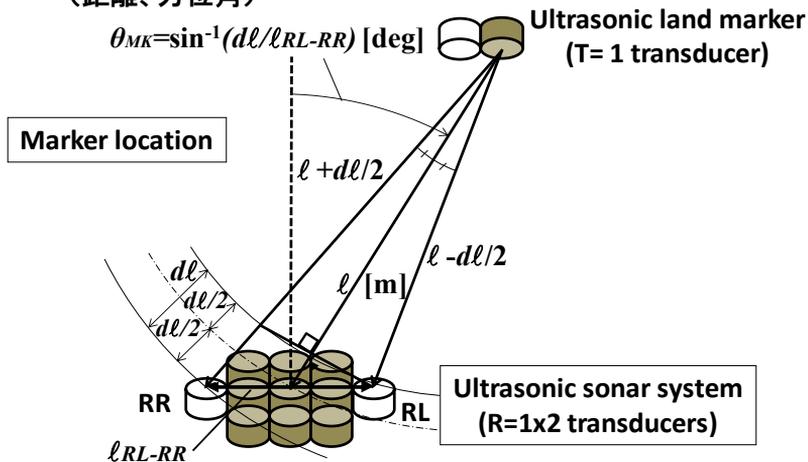


9

測位シーケンス(Phase II)

2015.5.17. 産業技術連携推進会議
第11回地域交流ワークショップ in 京都

- 対象ランドマーカの測位
 - ランドマーカは、自身のIDであった場合に特定のID信号で応答
 - ソナーシステムは、レーザバーへの到来時間差と伝搬時間から測位(距離、方位角)

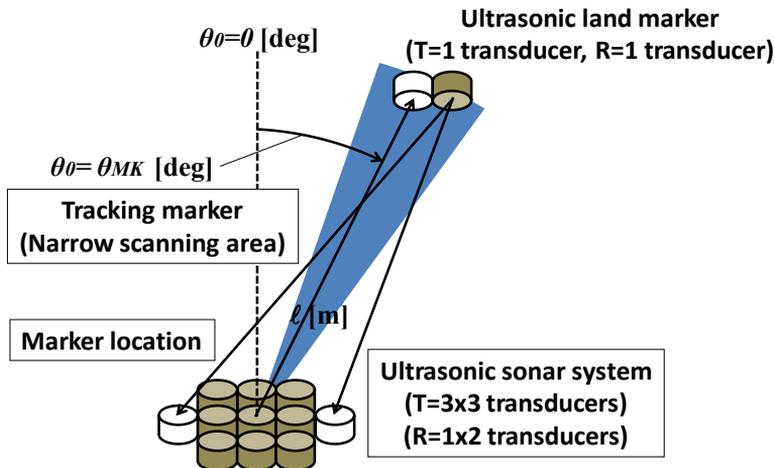


10

測位シーケンス(Phase III)

2015.5.17. 産業技術連携推進会議
第11回地域交流ワークショップ in 京都

- 対象ランドマーカの追尾
 - ソナーシステムは、ランドマーカから応答があった方向へフェーズドアレイにより方向制御し、高い測位頻度を維持



11

超音波通信式測位システムの目標値

2015.5.17. 産業技術連携推進会議
第11回地域交流ワークショップ in 京都

従来方式と同程度の性能・コストで構築できることを想定して設定。

- 計測可能距離5m以上
 - 磁気テープとのコスト比較による
(超音波ランドマーカを3,000円と想定)
- 測位精度(σ) $\pm 50\text{mm}$
 - 工場床テープ幅を基準
 - 既存の自律移動式(レーザーレンジセンサー)と同等
- 測位頻度 8Hz
 - 既存の自律移動式と同等

12

測位システムの試作と改良

(論文)

・長遅延応答型超音波トランスポンダー, 田畑克彦, 岩井俊昭, 久富茂樹, 遠藤善道, 西田佳史, 計測自動制御学会論文集, Vol.49, No.12, pp.1086 -1091, 2013

(口頭発表)

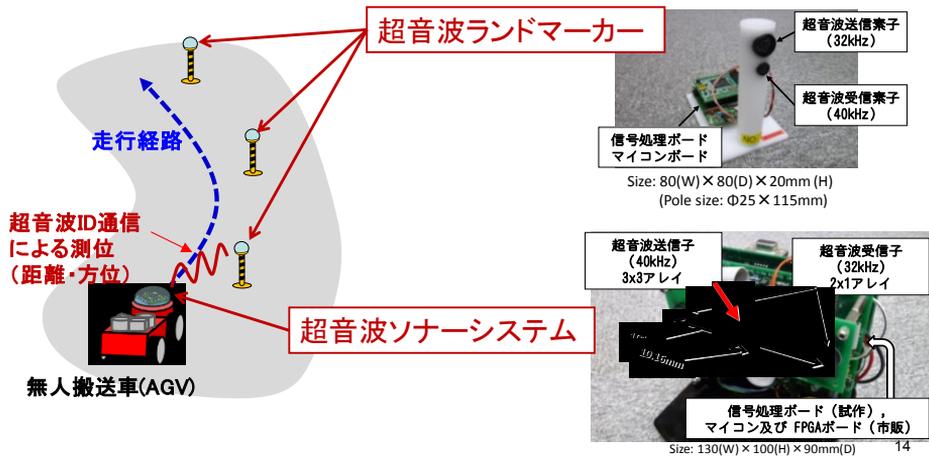
・メカトロ技術およびセンサー技術「無人搬送車ナビゲーション用超音波位置計測システムの研究開発」, 田畑克彦, 生産情報見える化講演会&情報技術研究所 研究成果発表会, 2013.7.8
・超音波フェーズドアレイとID通信を用いた位置計測システム—多重反射信号抑制による精度向上—, 田畑克彦, 久富茂樹, 岩井俊昭, 遠藤善道, 西田佳史, 第14回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 2E3-4, 2013. 12.19

13

原理モデルの開発(第3次)

ソナーシステムとランドマーカの改良開発を継続(現在、第5次)

- リジッド基板による動作の安定化
- 異なる搬送周波数による混信防止(32kHz, 40kHz)



14

使用する超音波センサー素子

2015.5.17. 産業技術連携推進会議
第11回地域交流ワークショップ in 京都

- 混信対策としてセンサー素子の追加
 - ソナーシステムからの送信信号の搬送周波数(40kHz)
 - ランドマーカからの送信信号の搬送周波数(32kHz)

＜使用する超音波送受信センサー素子の仕様＞

	Sonar system transmitter Land marker receiver	Land marker transmitter	Sonar system receiver
Manufacturer	NIPPON CERAMIC CO.,LCD		
Type	AT40-10PB3	T3216A1	R3216A1
Center frequency	40kHz ± 1.0kHz	32.7kHz ± 1.0kHz	
Sound pressure level	116 dB* Min. at 40.0kHz**	113 dB* Min. at 32.7kHz**	—
Sensitivity	-66.5 dB**,*** Min.	—	-69 dB** Min.
Directivity (-6dB full angle)	±50°	±35°	

*0dB = 10V/Pa, **Input Voltage = 10Vrms, ***experimental value

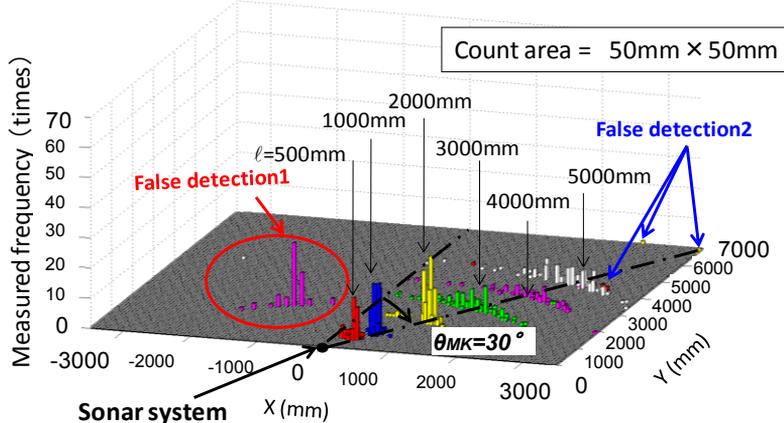
15

単一ランドマーカ測位結果の一例

2015.5.17. 産業技術連携推進会議
第11回地域交流ワークショップ in 京都

- 2種類の特徴を持つ、誤検知が確認された
 - 誤検知1(赤) 距離・方位角ともに異なる
 - 誤検知2(青) 方位は同じだが、距離が異なる

$\theta_{MK}=30^\circ$ の測位頻度分布

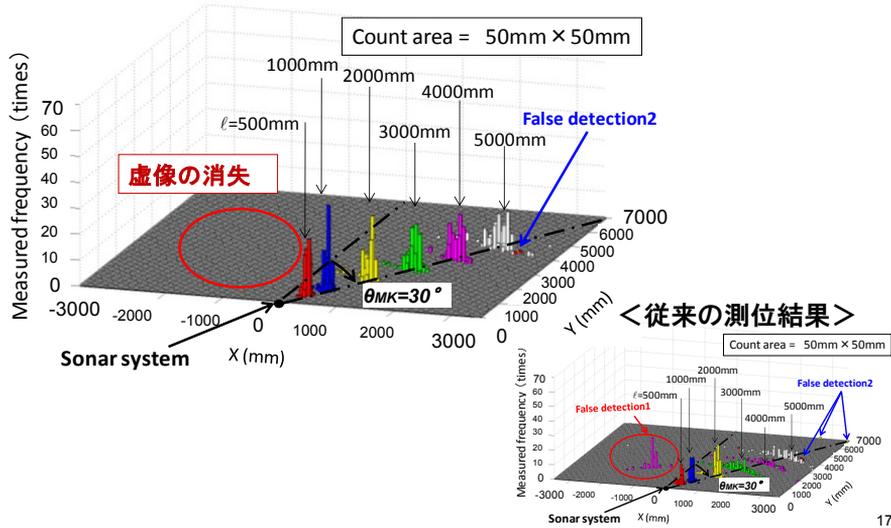


16

長遅延応答による測位結果

2015.5.17. 産業技術連携推進会議
第11回地域交流ワークショップ in 京都

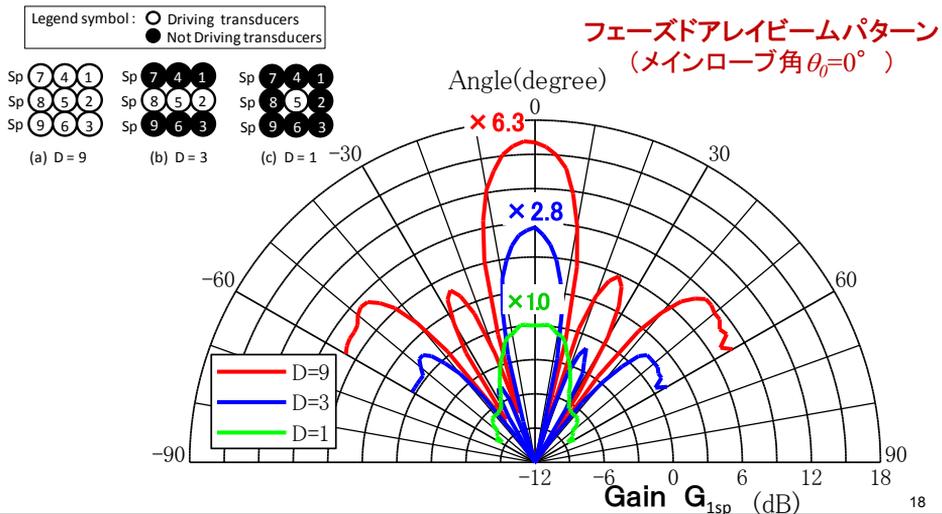
- マーカーに応答遅延を付加し、左壁からの反射による虚像を消去
- 距離3000mm以上でも方位角の計測値が安定



探索信号強度制御(ビームパターン)

2015.5.17. 産業技術連携推進会議
第11回地域交流ワークショップ in 京都

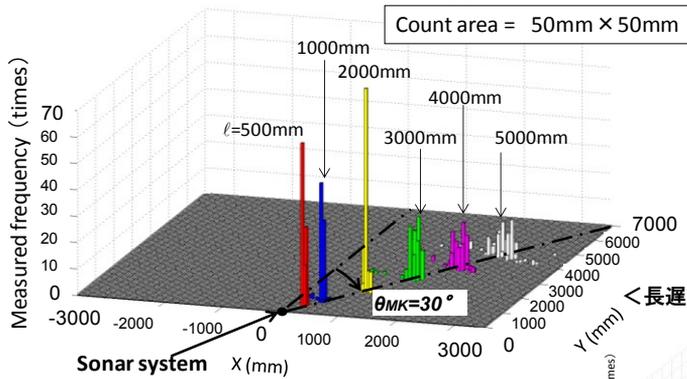
- 送信駆動素子数Dによるフェーズドアレイビームパターン
- 単一素子出力の1.0倍(D=1), 2.8倍(D=3), 6.3倍(D=9)



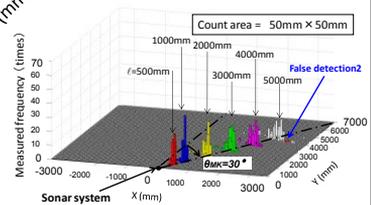
探索信号強度制御による測位結果

2015.5.17. 産業技術連携推進会議
第11回地域交流ワークショップ in 京都

- 近距離測位時の誤検知を抑制
- 測位値の分布が集中し、精度が向上



<長遅延応答手法による測位結果>



- ランドマーカー距離 $500 \leq \ell \leq 5000\text{mm}$, 方位角 $\theta_{MK} \leq 30^\circ$
- 誤差
標準偏差 σ で距離 $\pm 100\text{mm}$ 未満、方位角 $\pm 5^\circ$ 未満
- 最大測位頻度 8Hz以上

開発システムによる実証試験

撮影はご遠慮ください

2015.5.17. 産業技術連携推進会議
第11回地域交流ワークショップ in 京都

巡回ロボットの誘導

2015.5.17. 産業技術連携推進会議
第11回地域交流ワークショップ in 京都

共同研究機関((株)ブイ・アール・テクノセンター)との統合誘導実験

- 老人介護施設内の自動巡回を行う“見守りロボット”に実装
- 3個のランドマーカによる巡回走行を実証

走行実験のようす

走行の軌跡

blank

blank

21

電動ゴルフカートの誘導

2015.5.17. 産業技術連携推進会議
第11回地域交流ワークショップ in 京都

共同研究機関(民間企業)との統合誘導実験

- 改造した電動ゴルフカートに実装

走行実験のようす

blank

22

まとめ

2015.5.17. 産業技術連携推進会議
第11回地域交流ワークショップ in 京都

- 超音波通信式測位システムを開発し、空気中において以下の特徴を持つ測位システムを開発した
 - 超音波フェーズドアレイによるビーム走査
 - 超音波ID双方向通信

- 遠距離測位時の精度劣化の要因である多重反射信号を抑制した
 - ランドマーカの長遅延応答
 - フェーズドアレイの送信信号強度の制御

- 目標値である測位距離5m以上、測位頻度8Hz程度を達成した

- 自律移動装置による経路誘導の可能性を示した

実用化に向け改良中(計測距離10mへの拡張など)

23

ご清聴ありがとうございました