

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月21日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21500159

研究課題名（和文）RFIDタグ（パッシブ型）を用いた走行車線認識

研究課題名（英文）Lane Recognition Using (Passive Type) RFID Tags

研究代表者

山田 晴利 (YAMADA HARUTOSHI)

東京大学・空間情報科学研究センター・特任教授

研究者番号：10356074

研究成果の概要（和文）：

アスファルト舗装中に設置された RFID タグ (13.56 MHz) の情報を読み取るためには、アンテナの通信範囲に単一のタグのみが存在することを前提とした読取りモードを採用する必要があるが、このモードであれば車両の走行速度が 20～80 km/h の範囲でアスファルトの材質・厚さによらず読取りが可能であることを見出した。さらに、高度交通システム (ITS) で実用化が予定されている各種サービスを対象に必要なとされる位置精度を特定し、位置精度に対するリクワイアメントが厳しい「車線逸脱警告サービス」をとりあげ、サービスを実現するために必要なタグの配置を検討した。

研究成果の概要（英文）：

Passive RFID tags with the frequency band of 13.56 MHz were chosen for a candidate for a precise positioning tool and their communication characteristics were measured experimentally when they were put underground in a road pavement. It was found that the communication is possible if the vehicle speed is in the range of 20 to 80 km/h irrespective of the material of asphalt or the thickness of asphalt. The positioning requirements of various ITS services were established and the configuration of tags for the *lane departure warning service* that demands rigid requirements were investigated.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	600,000	180,000	780,000
2010年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2011年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：交通工学

科研費の分科・細目：情報学，知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：センシング、移動体測位、RFIDタグ、アスファルト舗装

1. 研究開始当初の背景

(1) わが国が精力的に研究開発を推進してきた高度道路交通システム (Intelligent Transport Systems; 以下 ITS と略す) では、交通に関係するさまざまな情報を収集・処理し、その結果を利用者、道路の管理者、公共交通の運営

者などに提供して、ナビゲーション、安全運転の支援、公共交通／歩行者の支援などのユーザーサービスを実現することを目標としている。すでにナビゲーション、自動料金受システム (ETC)、安全運転支援など一部のサービスは実現されつつあるが、さらに高度

なサービスを提供するためには、利用者の位置をより高精度に特定すること及びそれに対応した高精細なデジタル地図が必要である。

(2) ITS で提供が予定されているサービスの中でも、「車線逸脱警告」「車線別の経路案内」などのサービスでは高い位置特定精度が求められ、車両の位置を車線レベルで特定する必要がある。

(3) しかしながら、従来提案されてきた RTK-GPS、狭域専用通信 (DSRC)、赤外線等の手法は精度面、設置及び維持管理に必要なコスト面で課題があり、実用には向かないと判断された。さらに悪天候による影響をできるだけ受けず、電源の不要な位置特定方法が必要とされていた。

2. 研究の目的

(1) 本研究では、設置及び維持管理のためのコストが低廉で、精度の高い測位ができると期待されるパッシブ型 RFID をとりあげて基本的な特性を明らかにし、さまざまな ITS サービスへの適用を探ることを目的としている。

(2) ただし、パッシブ型の RFID タグの通信可能距離はたかだか数十 cm と短く、路側あるいは道路を跨ぐ門型ゲートに設置することは難しいため、路面に設置することになる。しかし、路面に設置するとタイヤとの接触による剥離 (特に大型車の制動時)、雨水等の影響を受けることが予想される。

(3) そこで、アスファルト舗装の中 (表層の下の基層上面) にタグを置くこととし、この位置にタグを置いた場合の通信可能特性を明らかにすることを目的の一つとした。

(4) さらに、ITS の分野で提供が想定されているサービスを対象に、必要な測位精度を明らかにした。測位精度に対する要求仕様の高い車線逸脱警告サービスを取りあげ、サービス提供に必要なタグの配置を検討することとした。

3. 研究の方法

(1) パッシブ型 RFID タグの通信可能領域については、静的な測定と動的な測定の二つを実施した。ただし、舗装中にタグを設置しようとする舗装工が必要になり費用がかかるので、代替手段として舗装のホイールトラッキング試験に使われる舗装版 (縦 30 cm × 横 30 cm × 厚さ 3 cm) を何枚かタグの上において計測を行うこととした。舗装の材質は、密粒舗装と排水性舗装 (空隙率 20%) の二つ

である。密粒舗装は水を通さないが、排水性舗装は空隙が存在するため水を通す、という違いがある。

(2) 静的な測定では、タグの上に置く舗装版の枚数とアンテナの高さを変えて測定を行った。舗装版の枚数は 1 枚、2 枚及び 3 枚とした。また、アンテナの高さは 10 cm、20 cm 及び 30 cm とした。カード型のタグをアンテナにゆっくりと近づけていった時に、読取りが可能となる位置を計測した。なお、アンテナの出力は 1W と 4W の二種類である。

(3) 静的な測定では、読取り可能エリア内に複数のタグが存在していても読取りが可能な「アンチコリジョン」(複数同時読取り) モードでリーダーライターを動作させた。これは、高精度な測位を実現するためにはタグを密に配置する必要があり、読取り可能範囲に複数のタグが存在することもありうると予想されたからである。

(4) 動的な測定では、タグの上に置く舗装版の枚数、車の走行速度を変えて測定を行った。試験走路の上にタグを 30 m 間隔で 10 枚置き、その上に舗装版を何枚か載せ、その上を車両を走行させた。車両の走行速度は 20、40、60 及び 80 km/h で、アンテナは車両後部の 14 cm の高さに固定されている。タグに記録されている 128 ビットの U コードを読取れるかどうかを計測した。舗装版の枚数は 0 枚 (舗装版なし)、1 枚及び 2 枚である。

(5) ただし動的な測定では、通信可能範囲内に単一のタグのみが存在することを前提とした「コリジョン」(単一タグ読取り) モードでリーダーライターを動作させた。これは、「アンチコリジョン」モードでは読取りと処理に要する時間が長くなり、アンテナがタグの上を通過する時間内に処理が終わらないことが判明したためである。

(6) ITS で提供が予定されているサービスで必要となる測位精度については、ISO の場で行われている標準化や学会等で発表された論文をもとにして検討を行った。

(7) 車線逸脱警告サービスのためのタグ配置を求めるにあたっては、車線変更時の車両の挙動 (進行方向加速度、横方向加速度等) を計測したデータをもとにして、走行軌跡を求め、逸脱を検知するために必要なタグ配置を決定した。

4. 研究成果

(1) 最初に、ITS サービスを提供する際に位置特定に利用するタグに求められる特性を整

理した。求められる特性は次の通りである。

- ① タグ本体の価格、車に搭載するアンテナ・リーダーライターの価格が低廉であること
- ② 天候（降雨、降雪等）の影響を受けずに通信ができること
- ③ 通信可能範囲が狭すぎず、また広過ぎないこと（数十 cm の範囲に収まること、逆に 1 m を超えないこと）
- ④ 高速で走行する車両に搭載したアンテナによってタグ内の情報を読み取ることができること

こうした条件を満たすタグとして短波（13.56 MHz）を利用するパッシブ型のタグを選択した。

(2) 次に、タグの通信可能範囲を実験的に把握した。図 1 と図 2 に計測結果の一部をグラフで示した。これらの図の左列はアンテナ高さが 10 cm、右列は高さ 20 cm の場合で、上段は排水性舗装版を 1 枚、中段は 2 枚、下段は 3 枚載せたときの通信可能範囲を示している（アンテナの出力は図 1 が 1W、図 2 が 4W）。

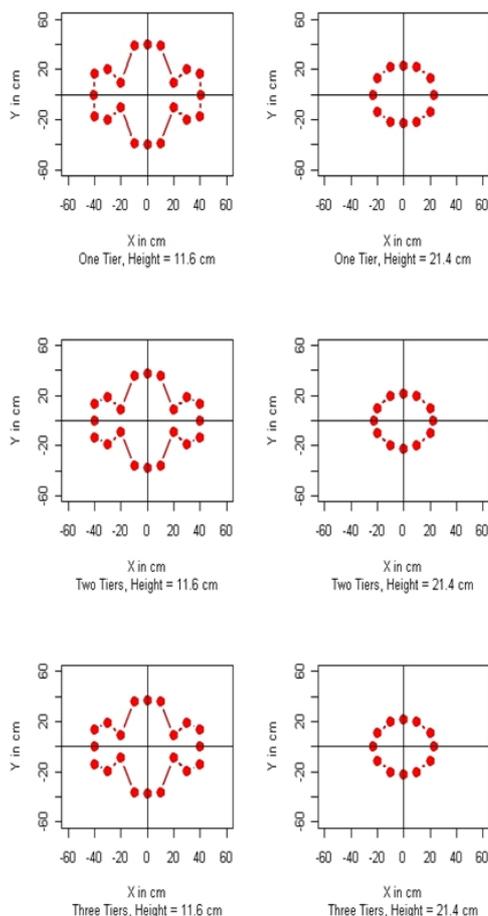


図 1 排水性舗装版を上載した場合の通信可能範囲（出力 1W）

静的な通信可能範囲の計測結果から、以下の結論が導かれた。

- ① 舗装版の材質・枚数の影響：タグに載せる版の材質が密粒舗装、排水性舗装のどちらであっても通信可能範囲は舗装版がない場合より縮小する。密粒舗装の場合の方が縮小の割合は大きく、排水性舗装では縮小の程度は軽微である。一方、枚数を 1 枚から 2 枚、3 枚と増やしても、通信可能範囲に対する影響はあまりない。このことは、舗装中でのタグの設置深さが通信可能範囲に与える影響は小さいことを意味する。
- ② アンテナ高さの影響：アンテナの高さが高くなると、通信可能範囲は縮小する。高さが 30 cm の場合の通信可能範囲は 10 cm の場合の 1/4 程度である（面積比）。
- ③ アンテナ出力の影響：アンテナ出力を 1W から 4W へと増加させると、通信可能範囲は増加するが、増加の程度は小さい。したがって、アンテナ出力を上げて通信可能範囲を広くしようと

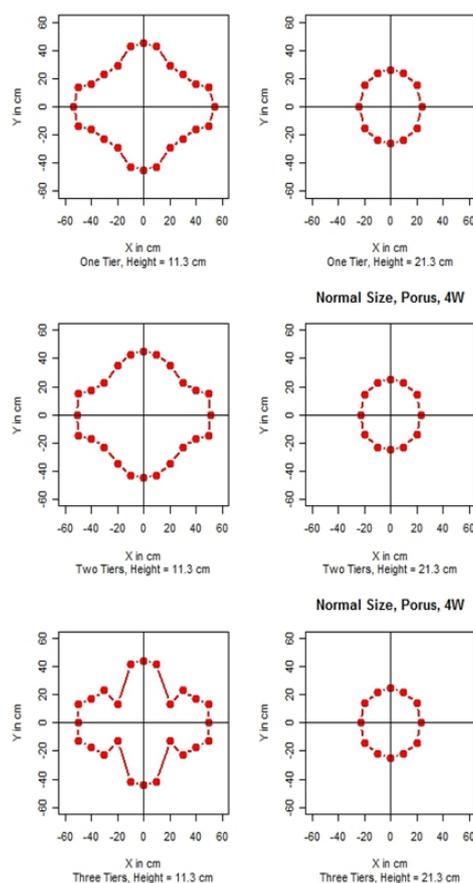


図 2 排水性舗装版を上載した場合の通信可能範囲（出力 4W）

しても効果は限定的である。逆に、アンテナ出力が4Wの場合には、リーダーライターからタグへのデータ転送速度は出力が1Wの場合の1/16となってしまう(26.48 kbpsが1.65 kbpsに低下)。

(3) 上述したように、タグの静的な通信可能範囲を計測する場合には、通信可能範囲に複数のタグが存在しても読取りが可能な「アンチコリジョン」モードで行った。アンテナの磁界内に複数のタグが存在する場合に、それぞれのタグが勝手に通信を開始すると混信が生じる。また、すでにアンテナがあるタグと通信中ならば、通信エラーが発生する。こうした事態を防ぐためには、特別な設定が必要となり、タグの読取りに時間がかかるようになる。

アンチコリジョン・モードでは処理時間は数百ミリ秒であるが、アンチコリジョンを設定しない場合の処理時間は20ミリ秒台であり、高速で走行する自動車からタグを読取ろうとすると処理時間の影響は大きい。たとえば、自動車が80 km/hで走行している場合に、アンテナの通信可能範囲を50 cmと想定すると、この長さを通過するのに要する時間は22.5ミリ秒となり、アンチコリジョン・モードでは処理が終わらない。

したがって、高速走行時にもタグを読取れるようにするためには、アンチコリジョンを設定しないようにする必要がある。すなわち、通信可能範囲内に複数のタグが存在しないようにタグを配置しなくてはならない。

(4) 動的なタグ読取り実験の結果を表1に示した。この表の数字から次の結論が導かれる。

- ① アンチコリジョン・モードでは読取りの成功率が低く、舗装版を上載せず車の速度が20 km/hと低い場合でも100%に達しない。速度が40 km/hになると成功率は90%にまで低下する。
- ② アンチコリジョンを設定しない場合には、読取りの成功率は100%となっており、走行速度が80 km/hと高速になっても成功率は低下しない。なお、密粒舗装版1枚を上載し、80 km/hで走行した時の成功率が95%になっているが、これは車両がタグから外れた位置を走行したためである。
- ③ アンチコリジョンを設定しない場合には、舗装の材質、舗装版の枚数に関わらず読取りに成功している。

したがって、アンチコリジョンを設定しなければ、舗装の材質によらず、広い範囲の車両速度でタグの読取りが可能となる。

ただし、タグを舗装中に設置するにあたっては、次のような問題を解決する必要がある。

- ① アスファルト舗装の工事では、高温(約150度)のアスファルト材料が用いられる。タグはこの高温に耐える必要がある。
- ② アスファルトの骨材の角がタグにあたっている状態で大型トラックのような重い車両がその上を走行するとタグが破損する虞がある。
- ③ 密粒舗装では水がアスファルトに浸透することはないが、クラックが発生すると水が浸透する可能性がある。一方、排水性舗装では水は舗装中に浸透するが、速やかに排水される。しかし、排水性舗装の空隙が目詰りすると、排水がうまく行われなくなり、水が舗装中に滞留することがある。いずれの舗装材料を用いるにせよ、水の影響を完全になくすことはできない。

これらの問題を解決するには、タグを堅牢で水を通さないケースに入れる等の対策をとる必要がある。

表1 動的なタグ読取り実験の結果

車速 (km/h)		20	30	40	60	80
コ リ ジ ョ ン ・ モ ー ド	NoA	100	100	100	100	100
	1D	100	-	100	100	95
	2D	100	-	100	100	100
	1P	100	-	100	100	100
	2P	100	-	100	100	100
AC	NoA	97	93	90	-	-

(注) ACはアンチコリジョン・モード、NoAは舗装版の上載なし、1Dは密粒舗装版1枚を上載、2Dは密粒舗装版2枚を上載、1Pは排水性舗装版1枚を上載、2Pは排水性舗装版2枚を上載したことをそれぞれ示す。図中の数字は、読取りが成功した率(%)である。-は計測ケースを設定していないことを意味する。

(5) さまざまなITSサービスを実現するために必要となる位置精度については、次のような要求水準が呈示されている。

- 「どの道路」を走行しているかが判別できるレベル
- 「どの車線」を走行しているかが判別できるレベル
- 「車線内のどこ」を走行しているかが判別できるレベル

さらにそれぞれのレベルの位置特定の正確さについては、乗用車を対象に以下の値が提案されている。

- どの道路： 5 m
- どの車線： 1.5 m
- 車線内のどこ： 1 m

どの要求仕様を満たす必要があるのかは、サービスによって異なる。たとえば、「カー

「D-GPS によって計測された座標値もデータとして存在したが、秒の小数点以下第2位までしか記録されておらず、解像度が粗すぎるので、車両進行方向の加速度と横方向の加速度を用いて Euler-Cromer 法で走行軌跡を算出した。算定した車線変更時の走行軌跡の例を図3に掲げた。

「D-GPS によって計測された座標値もデータとして存在したが、秒の小数点以下第2位までしか記録されておらず、解像度が粗すぎるので、車両進行方向の加速度と横方向の加速度を用いて Euler-Cromer 法で走行軌跡を算出した。算定した車線変更時の走行軌跡の例を図3に掲げた。

先に引用した車線逸脱警告サービスに関する ISO 標準では、車道区画線（レーンマーク）の内側 0.75 m から 1.5 m の間に最初の警告線が設けられ、さらに区画線の外側 0.3 m の位置に最終警告線が設けられており、警告を發出する基準となる線がこの二つの警告線に挟まれた領域に設けられることになっている。ここでは、最初の警告線が車道区画線の内側 0.75 m の位置に設けられているものと仮定して、車両が車線変更時に最初の警告線と最終警告線の間を走行する距離（道路進行方向の距離）を走行軌跡から求めた。その結果を右側/左側への車線変更別に図4に示した。

この図で横軸は車線変更を行っている間の平均走行速度を表しており、色と形が同じマークは同一の運転者であることを意味する。この図から、走行速度が早くなると、最初の警告線と最終の警告線の間を走行する距離は長くなる傾向にあること、運転者の多くについて最初の警告線と最終の警告線の間を走行する距離は 10 m~20 m であるが、中にはこの値が 30 m を超える運転者も存在することがわかる。車線からの逸脱を検出する上では、この距離が短いほど検出は難しくなる。

以上の結果をもとに、車線変更時に車載のアンテナが最低限一つのタグの上を通過する配置を求めた。結果を図5に掲げた（図中のオレンジ色のマークがタグを表す）。図中の斜線は、アンテナの幅を 42 cm と設定して

走行用のコースとしては、茨城県つくば市周辺の公道から所要時間が 30 分程度のルートがいくつか選定されている。これらの走行コースの中から、片側 2 車線以上の道路がある程度長い距離にわたって存在し、車線変更が行われる可能性の高い B コースの運転データを取りあげた。このプロジェクトでは、運転行為（加速、減速、車線変更など）が自動的に判定され、判定結果がエクセル表に記載されているが、車線変更の開始・終了時点については、記録された動画像をもとにして判断し、自動判定された結果をそのまま用いることはしなかった。

- 動画像から車線変更を行っていることが確認できたのは 33 名分の運転データであるが、さらに運転データを精査し、道路の曲線部での車線変更データを除外し、直線区間の車線変更データだけを抽出して車線変更時の走行軌跡を求めた。最終的に収集した車線変更データは、次の通りである。
- 右側車線への車線変更：20 人の運転者の 31 回の車線変更
 - 左側車線への車線変更：7 人の運転者の 10 回の車線変更

左側車線への車線変更数が少ないのは、ここで選択したコース B がたまたま左側車線への車線変更を一度も行わなくとも走行可能であったためである。逆に、右側車線への車線変更は必ず行う必要があった。

先に引用した車線逸脱警告サービスに関する ISO 標準では、車道区画線（レーンマーク）の内側 0.75 m から 1.5 m の間に最初の警告線が設けられ、さらに区画線の外側 0.3 m の位置に最終警告線が設けられており、警告を發出する基準となる線がこの二つの警告線に挟まれた領域に設けられることになっている。ここでは、最初の警告線が車道区画線の内側 0.75 m の位置に設けられているものと仮定して、車両が車線変更時に最初の警告線と最終警告線の間を走行する距離（道路進行方向の距離）を走行軌跡から求めた。その結果を右側/左側への車線変更別に図4に示した。

この図で横軸は車線変更を行っている間の平均走行速度を表しており、色と形が同じマークは同一の運転者であることを意味する。この図から、走行速度が早くなると、最初の警告線と最終の警告線の間を走行する距離は長くなる傾向にあること、運転者の多くについて最初の警告線と最終の警告線の間を走行する距離は 10 m~20 m であるが、中にはこの値が 30 m を超える運転者も存在することがわかる。車線からの逸脱を検出する上では、この距離が短いほど検出は難しくなる。

以上の結果をもとに、車線変更時に車載のアンテナが最低限一つのタグの上を通過する配置を求めた。結果を図5に掲げた（図中のオレンジ色のマークがタグを表す）。図中の斜線は、アンテナの幅を 42 cm と設定して

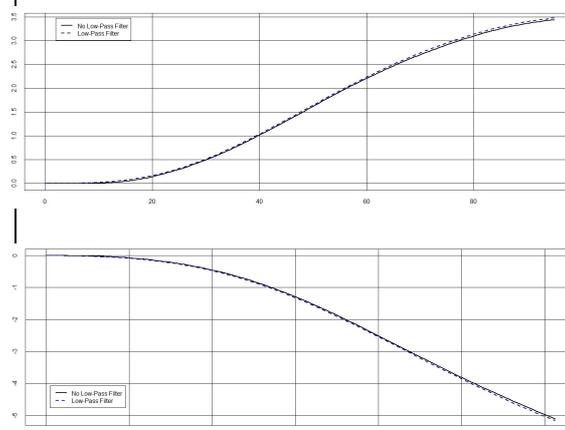


図3 車線変更軌跡

(上段：左側車線へ、下段：右側車線へ)

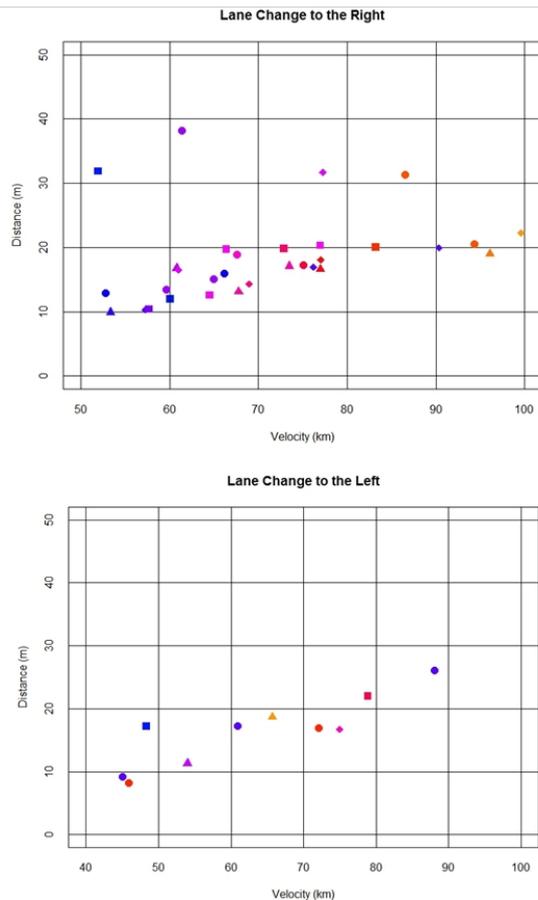


図4 右側／左側車線への車線変更時の道路進行方向走行距離

(上段：右側車線変更、下段：左側車線変更)

求めたアンテナの軌跡であり、アンテナは最低でも1つのタグの上を通過していることがわかる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

- ① Yamada, H, R Shibasaki and Y Sekimoto: Characteristics of passive RFID tags put underground in a road pavement, *Proceedings of the 18th World Congress on ITS*, Orlando, CD-ROM, 7 pages, October, 2011, (概要査読有)。

[学会発表] (計1件)

- ① 山田晴利：舗装中に設置したRFIDタグの検知特性、土木情報利用技術講演集、pp. 1-4、2010。

[図書] (計1件)

- ① 土井美和子、柴崎亮介、西尾修一監修：ユビキタス技術 位置情報の活用と流

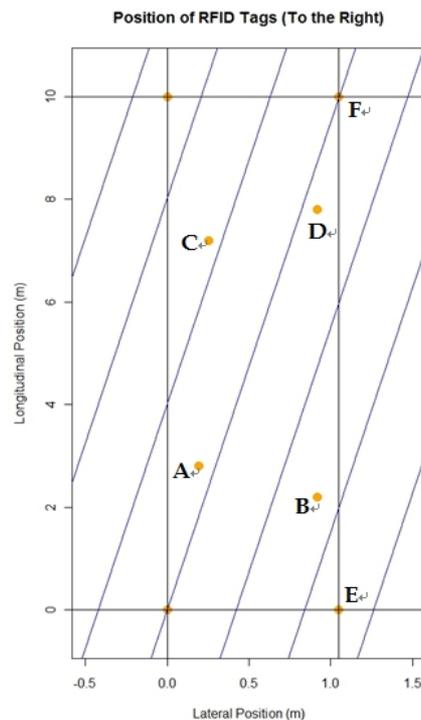


図5 タグ配置案

通一ロボットサービスによる活用の変革一、オーム社、2010年。(4章と7.2節を柴崎が執筆、3.1節～3.3節と5.7節を山田が執筆。)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

該当なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山田 晴利 (YAMADA HARUTOSHI)
 東京大学・空間情報科学研究センター・特任教授
 研究者番号：10356074

(2) 研究分担者

柴崎 亮介 (SHIBASAKI RYOSUKE)
 東京大学・空間情報科学研究センター・教授
 研究者番号：70206126

関本 義秀 (SEKIMOTO YOSHIHIDE)
 東京大学・空間情報科学研究センター・特任准教授
 研究者番号：60356087

(3) 連携研究者

該当なし