RFIDを活用した自車位置検出に関する考察と応用事例の検討

Study on Detection of Car' s Location using RFIDs and Examination of its Applications

富樫 宏謙[1)]　山田 茂樹[2)]
Hiroaki Togashi[1)]　Shigeki Yamada[2)]
1) 総合研究大学院大学 複合科学研究科　2) 国立情報学研究所
1) The Graduate University for Advanced Studies (SOKENDAI)　2) National Institute of Informatics

キーワード:ITS、RFID、路車間通信、自車位置検出、渋滞情報配信、路肩衝突防止
Keywords: ITS, RFID, Road-to-Vehicle communication, detection of car' s location, broadcasting system of Traffic congestion, Avoidance of Clash to the shoulder

ITSにおいて、現状での自車位置検出方式はGPSの利用が主流である。しかし、GPSのみが位置検出できるツールではなく、また GPS 自体も認識精度、マルチパスに代表される電波の特性による問題を内包するなど万全なものであるとは断定できない。本稿では、自車位置の検出目的でRFIDを活用する際の「どのような配置方式が考えられるか」「各方式のメリット・デメリットはどういう点が挙げられるか」「応用事例としてどのようなものが挙げられるか」の各視点において比較・考察を行っている。結果、従来研究されているように車上に RFID を設置する方式のみではなく、地上に RFID を設置する方式も選択肢の一つであり可能な解であることが判明した。また、設置の形態を比較、分類することで目的に応じた最適配置がどのようなものであるかを示している。あわせて、RFIDシステムの特性を生かした応用事例についても検討を行っている。

In the field of ITS, GPS is mainly considered as a popular solution to detect car' s location. However, GPS is neither a single solution for detecting car' s location, nor a completely perfect solution for detecting car' s location (e.g. inaccuracies within the 10 meter range and problem caused by features of radio waves like "Multi-Path Problem"). This paper compares about several RFID-based schemes for detecting car' s location in terms of: Where RFID should be placed; What are the advantages and disadvantages of each method; What applications suitable for these RFID-based systems. This research shows that the scheme to place RFIDs-on-the-roadside is also similarly feasible usual scheme to place RFIDs-on-the-cars. Furthermore, the classification and comparison of various RFID placement schemes shows optimal one of those fits the purpose. Additionally, this paper also shows some of the application examples what make the best use of RFID' s features.

1. はじめに

ITS における車両位置の把握において研究段階では様々な手法が提案[1,2]されているが、一般ユーザの利用という視点ではGPSの利用が主流である。しかし、GPSによる検出では「分解能が不十分である[3]」、「(衛星からの)電波の届かない場所では利用できない」などの問題がある。これを解消し、さらにドライバーの運転を支援するための付加情報の提供を可能とする方法として、RFIDによる位置の検出が有望視され、また研究報告としても発表[4-8]されるようになっている。

2. 「位置情報」の定義

考察・検討を進めるにあたり読者と筆者の間で認識を統一するため、ここでは「位置情報」について定義を行う。本稿では「位置情報」を以下の通り定義する。

図をもとに概念を表現したものが図1である。各矢印に ID を対応させることで位置情報として活用するものである。本稿での「位置情報」は以下の要素から成立する。

・車両の進行方向に対して…「区間の情報」

ルートマップに投影することを想定し、自車の位置

を区間(例:図1のA-B間)として捉えるものである。相対的な値を用いているため、GPS(絶対的な値)のように投影による誤差がほとんど発生しない、というのがメリットである。

・車両の幅方向に対して…「レーン情報」

自車両の位置するレーンの情報(例:図1、A-B間の右行き第1レーン、第2レーン…、左行き第1レーン、第2レーン…)である。この情報を収集するためには3m程度の解像度が必要となるため、GPSよりRFIDの方が解像度の点で実用上優れている。

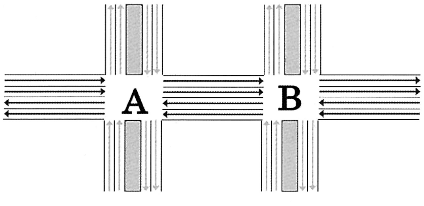

図1. 本稿での「位置情報」の概念図

各矢印にIDを対応させることで、位置情報として活用する。

3. RFIDの設置方法と分類

比較を進めていくにあたり、本稿で用いる分類に関して概説する。RFIDによる自車位置の認識は以下の3視点により分類することができる。

「車上・路側への配置機器による分類」:RFIDを車上に設置するか、道路側に設置するかによる分類

「平面上での配置による分類」:道路側においてRFID、またはリーダをレーン中央に設置するか、レーン境界に設置するかによる分類

「鉛直方向における配置による分類」:道路側においてRFID、またはリーダを路面に設置するか、空中に設置するかによる分類

3.1 車上・路側への配置機器による分類

車上・路側への機器配置形態により、RFIDをベースとする位置検出方式は以下の2方式に大分することができる。

車上式(図2):車載されたRFIDを路上のリーダが読み取り、位置情報をIDと一致する車両に送信することで車両が自車の位置を認識する方式

地上式(図3):車載されたリーダが路面のRFIDを読み取ることで自車の位置を認識する方式

スマートプレート[9]に代表されるように従来は車上式の研究がほとんどで、地上式に関しては検討事例が非常に少ないというのが実情である。本稿では後述の分類において(地上式、車上式の比較を除き)地上式をもとに概説する。車上式においてはRFIDとリーダの位置関係を逆転して読み進められたい。

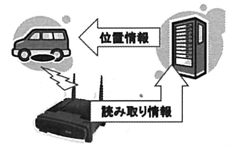

図2. 車上式の概念図

図3. 地上式の概念図

3.2 平面上での配置による分類

路側へのRFIDの配置は、平面上での配置による分類により以下の2方式に大分することができる。

中央式(図4):RFIDを各レーンの中央に配置する方式

境界式(図5):RFIDを各レーンの境界に配置する方式

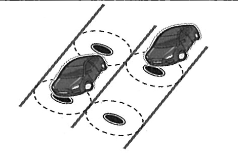

図4. 中央式の概念図

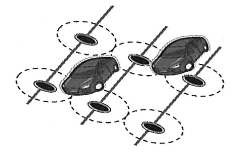

図5. 境界式の概念図

3.3 鉛直方向における配置による分類

3.2項と同様に、鉛直方向における配置によっても分類することができる。

路面式(図6):RFIDを路面(車両の足元)に配置する方式

空中式(図7):RFIDを空中(車両の上空)に配置する方式

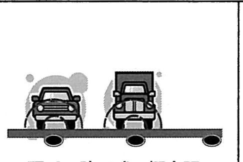

図6. 路面式の概念図

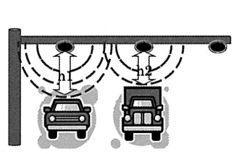

図7. 空中式の概念図

4. 各分類上での位置検出に関する比較

4.1 車上・路側への配置機器による分類上での比較

車上式の場合、図2のように車上に「RFID」「ドライバーに提供する位置情報の受信装置」が、路側に「リーダ」「各車の位置を把握するサーバ」、さらに「位置情報を車両に送信するための装置」が必要となる。こ

こで得られた位置情報を車載の機器に記憶することでカーナビゲーションシステムとの連携などに活用することができる。車上に特別な受信装置を設けずにRFID・リーダ間の通信のみで実装する方法もあるが、アクセス制御が複雑となる[10]ため、実現は困難である。

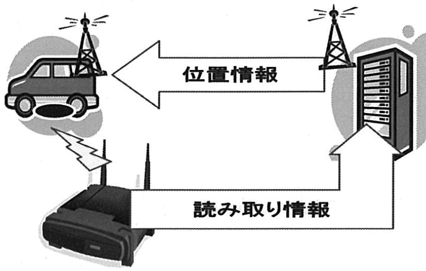

図8. 車上式システム 構成概要

これに対し、地上式の場合は図3のように車上に「リーダ」が、路側に「RFID」が必要となる。路側のRFIDに記憶された位置情報を読み込むことで自車の位置を把握し、車上で記憶することでカーナビとの連携などに活用する。受信したIDをカーナビで位置情報に変換する方法も考えられるが、ID情報と位置情報の変換機能を持つソフトウェアの導入と、RFIDの交換に対応するためのデータ更新機能の提供が必要となる。

RFID を読み取ってからドライバーが位置情報を得るまでのレスポンスタイムについて通信ホップ数を基にして比較すると車上式はRFID・リーダ・サーバ・受信装置の3ホップであるに対し、地上式ではRFID・リーダ間の1ホップとなり有利であることは概念図からも推測されるとおりである。

図9. 地上式システムの構成概要

ドライバーの導入意識に関して比較すると、車上式ではドライバーは読み取られる側に位置するため「管理されている」という意識を持ちやすく導入には消極的になりやすい。読み取られたデータがどのようなものであり、どのように利用されるかを明確にすることが普及には必要である。これに対し地上式の場合はドライバーが読み取る側に位置するため「利用するために機器を導入する」という意識が強くなる。ただし、ベンダによらず利用できるためにはRFIDのID附番規則、データフォーマットを開示することが必要である。

地上式		車上式
RFID⇒リーダ⇒サーバ⇒受信装置 ＝3ホップ	ホップ数	RFID⇒リーダ ＝1ホップ
「管理されている」意識を持ちやすい ⇒導入には消極的になりがち	導入意識	「サービス利用するために導入する」という意識づけができる ⇒積極的・ユーザ主導での導入が可能

表1. 車上・路側への配置機器による分類上での比較まとめ

4.2 平面上での配置による分類上での比較

中央式では、図からも想像できるように読み取ったRFIDが車両の位置するレーンと直結している。計算処理により車両の位置するレーンを推定しなくてよいため、それによる誤差を考慮することなく実システムの設計・運用が可能である。ただし、RFIDの読み取りに失敗するとその地点では車両の位置するレーンは把握できないということになるため、読み取り精度がシステムの成否を支配することとなる。

これに対して境界式では読み取った RFID は各レーン境界を示す情報とリンクしている。このため、車両の位置するレーンを推定するために計算処理が必要であり、また推定しやすくなるようなRFIDの配置・通信範囲の設計が必要である。これらを行っても計算による誤差は残ってしまう(誤差を実運用上の許容範囲に収める、ということは可能だと思われる)。通信範囲の設計によっては取得できる RFID の数が変動するのでケース・バイ・ケースでの最適な推定法の検討も必要となる。

中央式		境界式
レーン情報と読み取ったRFID情報は直結する	レーンの情報	レーン情報は読み取ったRFIDの情報より推定
RFID の読み取り精度がシステムの成否を支配	精度の支配要因	推定処理の方法、精度も支配要因となる

表2. 平面上での配置による分類上での比較まとめ

4.3 鉛直方向における配置による分類上での比較

本稿での比較においては読み取るべき RFID に対しリーダを最も近い位置に設置することを条件とする。つまり路面式では車両の床下にリーダを、空中式では車両の屋根にリーダを取り付けるものとして比較する。

路面式では、図6からも推測できる通りリーダ・RFID間の距離が車種による影響を受けにくいこと、また車種による影響がレーン幅に対して小さいこと、この2点が特徴である。つまり、通信範囲の設計において車種の違いがレーン幅という条件により吸収されていると考えることができ、その結果RFIDの読み取り性能は車種によらないと考えることが可能である。

対して、空中式ではリーダ・RFID間の距離が車種により影響を受け、しかもその影響がレーン幅に対して無視できない量となる点が問題である。車高の低い車両では1つのRFIDのみを取得するが、車高の高い車両では隣接するレーンのRFIDも取得するため複数のRFIDを取得する、というケースが考えられる。よってこうした差を通信範囲の設計に組み込むこと、またこの差により読み取り精度にも差が出ることを前提とする必要がある。

設置について考慮すると、路面式では地中に埋め込むことになるため、舗装工事の手順においてRFIDを復旧するという手順の追加が必要になる。同様に考えると配線を埋め込むことは困難であり、路面式においてはアクティブ型のRFID、RFIDリーダの設置は難しいといえる。マンホールのように路面にスペースを確保して設置することも考えられるが、いずれにしても道路工事、舗装工事との兼ね合いを考慮することが必要である。

対して、空中式ではRFIDを空中に吊るためのポールなどの設備が必要となるが、それを設置してしまえば路面の状況に影響されずに運用することが可能である。また、アクティブ型のRFIDの設置、RFIDリーダの設置についてもポールに配線を収容することが可能なので実現が容易である。空中式の方が設置できる機器の自由度は高いといえる。

路面式		空中式
車高の差による読み取り精度・同時取得数に差は発生しにくい	車種の影響	車高の差によりRFIDの読み取り精度と同時取得数に差が発生する
パッシブ型RFIDの場合路面に埋め込むだけで良い	設置に必要な設備	RFIDを設置するためにポールなどの設備が必要
舗装工事により設置されているRFIDに影響が発生する	道路改修の影響	舗装工事の影響はほとんど受けない
配線の必要なアクティブ型RFIDや、リーダの設置は困難	設置可能機器	配線の必要なアクティブ型RFIDや、リーダの設置も容易

表3. 鉛直方向における配置による分類上での比較まとめ

5. ネットワークの形態による比較

ここでは、構築すべきネットワークの形態について比較を行う。

車上式ではサーバへ集中する方式となるため、サーバとサーバへアクセスするためのネットワークの構築、管理が重要となる。サーバにおいては負荷分散の考慮と障害対策も重要である。コストに関しては携帯電話のネットワーク管理・保守のものから論ずることが可能である。

地上式ではRFID・車載のリーダのみで位置情報を認識する方式であるため、各RFIDの動作と各車のリーダの動作が重要である。つまり、システムの動作を保証するにあたって、各機器の動作について正常であることの保証が必要となる。ただし、個々のRFID、リーダの異常は他のRFID、リーダに影響することはないため単体の保証の、単純な集積によりシステムの保証が成立する。

境界式と中央式、路面式と空中式についてであるが、必要な機器数、物理的配置こそ異なるもののネットワークの基本的な構造は各方式間では同一であるため、詳細な考察については省略する。

6. 各種サービスにおける比較

6.1 車上・路側への配置機器による分類上での比較

ここでは以下のサービスを想定した比較の概要を示す。

- 交通信号情報の配信
- 速度規制情報の配信
- 渋滞情報の配信
- 歩行者情報の配信

車上式においてこれらのサービスを行う場合、路側(具体的にはサーバである)へ各種情報の配信システムの導入が必要となる。一方、車上には既にサーバからの情報を受信する装置が設置されているため、機器の追加は不要である。特に、渋滞情報の配信においてはサーバ内の車両位置情報群より推定できるため、実現が容易である。実利用時のユーザへの販売パッケージとしては、受信装置とカーナビゲーションシステムをセット化したものである。

地上式においてこれらのサービスを行う場合、路側には各種情報を配信するための設備が、車上には各種情報を受信するための設備が新たに必要となる。車載する受信設備数については送受信の設備、通信方式を共通化することによる一本化も可能である。実利用時のユーザへの販売パッケージとしてはリーダ、受信機器とカーナビゲーションシステムをセット化したものである。また、速度規制情報や広告の配信など静的情報に関してはリーダ・RFID間で直接通信することも可

能であるが、動的に変化する情報の配信においてはやはり情報を送受信するための設備が必要である。

このように考察することで、車上式はサーバの管理情報をもとにしたサービスの提供に有利であり、地上式では RFID に保存しておける静的な情報をもとにしたサービスの提供に有利であるということがいえる。

車上式		地上式
位置情報を受信するための機器で受信可能 ⇒機器追加不要	動的に変化する情報の配信	リーダ・RFID 間通信のみでは実現困難 ⇒機器追加が必要
位置情報を受信するための機器で受信可能 ⇒機器追加不要	静的な情報の配信	RFID に記録することでリーダ・RFID 間通信のみで取得可能 ⇒機器追加不要

表 4. 各種情報配信システムにおける比較

6.2 平面上での配置による分類上での比較

平面上での位置を利用したサービスとしては路肩・分離帯への衝突防止システムが考えられる。中央式でこうしたサービスを実現する場合、「レーン中央からの距離」を活用することとなる(RFID・リーダ間の距離はリーダにて受信した電波強度を測定することで計測可能である)。レーン中央からの距離のみで衝突を検出するとレーン方向に対して前方、後方の場合でも検出が発生することになる。「レーン中央からの距離」に加えて「車両の方向」を活用することとしてもやはり同様のことが発生するため、実現は難しいといえる。

境界式の場合、活用する情報は「レーン境界からの距離」である。この情報のみの活用でも路側、分離帯への接近を検出することができるが、さらに「車両の方向」を加えることで「境界からどの程度の距離に位置し」、「境界に近づいているか境界から遠ざかっているか」を検出することができる。これにより、サービスの精度を向上させることができる。

以上のように、路肩・分離帯への衝突防止システムを例とすると中央式では実現が困難であるが、境界式では精度のよいものが実現できる、ということになる。

中央式		境界式
レーン中央からの距離	RFID・リーダ間の距離(平面上)	レーン境界からの距離
レーン中央に対する方向	取得する方向の情報	レーン境界に対する方向
上記の2情報では検出困難	レーン境界への接近検出	上記の2情報により検出可能

表 5. レーン境界への接近検出システム実現における比較

6.3 鉛直方向における配置による分類上での比較

鉛直方向の情報をもとにしたサービスとして、高さ制限に適応するか否かを検出するシステムが考えられる。

空中式において、リーダにて受信した電波強度により RFID・リーダ間の距離を測定することで車両天井から RFID までの距離を得ることができる。路面から RFID までの鉛直方向の高さは設置時に分かる情報であるから、RFID からの距離を得ることで路面から車両天井までの距離を得ることができる。この値と比較すべき高さ制限の値により、高さ制限に適応するか否かを検出することが可能である。

ところが路面式においては RFID からリーダ間の距離は路面から車両床下までの距離である。よって、路面式において路面から車両天井までの距離を得ることができず、高さ制限に適応するか否かを検出するシステムを実現することは困難である。

路面式		空中式
路面・車両底面の距離	RFID・リーダ間の距離(鉛直方向)	基準線(ポールの高さ)・車両上面の距離
上記情報では実現困難	車高の検出	上記情報により容易に実現が可能

表 6. 車高検出システム実現における比較

7. 応用事例の実現に関する検討

ここでは、地上式システムにおける各種アプリケーションの実現に関して検討を行う。

7.1. 渋滞情報システムの実現に関する検討

地上式では路上に設置されているのは RFID である。そのため、RFID 側は自分が読まれたことを知る手段、読まれたことを通知する手段を持たないのが通常である。こうした環境で渋滞情報を収集する方法として RFID を利用しないシステムを構築、利用することも可能な解であるが、以下では RFID システムの一部分を活用したシステムの実現について述べる。

実現方法として、渋滞情報管理サーバを別に設置し、各車両から読み取った RFID 情報を受信することが考えられる。つまり、プローブカーシステム[11]の導入である。送信設備の設置について問題はあるが、地上式では動的な情報を車上で受信するための設備が必要となる(設置される)のは前述のとおりであるので、それを送受信可能なデバイスに変更することで対応が可能である。

この方式の特徴として送信主体が車両側である、ということがあげられる。このため、情報を提供したくないのであれば提供しない、という選択も可能である。車両のID(つまり、車載されているリーダの情報)を提供したくないのであれば車両側で制御するが可能である(具体的な方法として、カーナビ等ソフトウェアにおける設定が考えられる)。

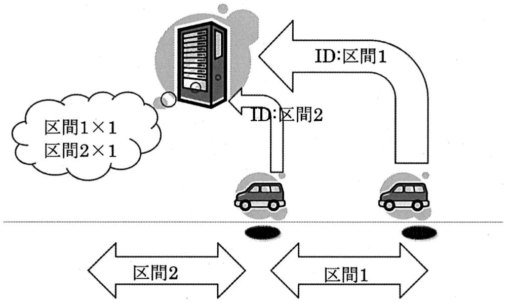

図 10. 渋滞情報生成のための位置情報集積 概念図

このシステムを導入する利点として、位置情報(の集合)以外の情報からも渋滞の推定が可能となる、という点が挙げられる。例えば、以下のように車両の速度情報も渋滞を推定する手段として活用することができる。渋滞の定義として「巡航速度が 10 キロ以下の状態が続いていること」が挙げられる[12]ので、この状態を渋滞情報管理サーバにおいて区間ごとの台数情報とともに把握することで渋滞情報を生成することも可能である。

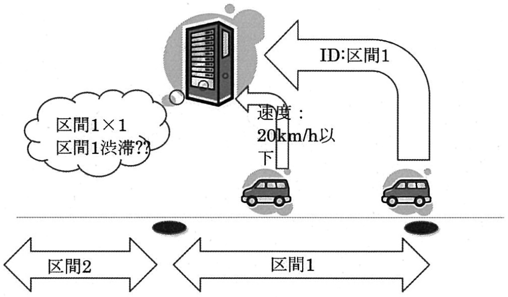

図 11. 速度情報も含めた渋滞情報の集積 概念図

7.2. 路肩衝突事故防止システムの実現に関する検討

視界不良時、積雪時において路肩への衝突・道路外への不用意な進出に起因する事故が発生しやすく、特に冬季の北日本においては例年のように注意喚起が行われている。自動車運転支援システムにおいて、こうした問題への対策も忘れてはならない点である。RFID システムの活用により、こうした事故を抑制することを目的としたシステムが本項にて述べる路肩衝突事故防止システムである。

車載されているリーダにおいて、以下の 2 項目を測定することで本システムを実現する。

・読み取った RFID の ID
・RFID・リーダ間の距離

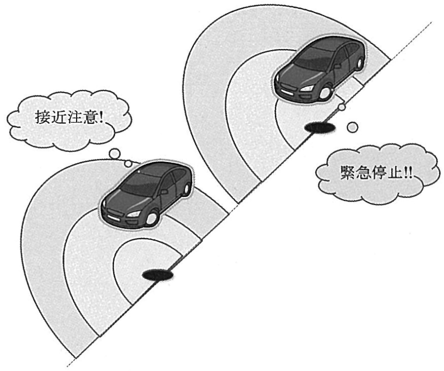

図 12. RFID による衝突防止システム 概念図

RFID・リーダ間の距離を測定することにより、境界までの距離を把握する。最も障害物(路肩、中央分離帯等)寄りの RFID を検出し、かつ路肩に対して接近していることが判明した場合、カーナビゲーション画面への表示、ブザー音送出などにより障害物へ接近していることを通知する。通知を行った後も接近が続き、障害物への衝突が予想される場合、自動的にブレーキをかけることで衝突を回避する。

フローとしては図 18 のようになる。開始状態は障害物への接近を検出していない状態である。この状態から障害物へ接近した場合、最終的には緊急停止が必要となるが、その前の段階として警告を発する段階を設定している。緊急停止はまさに緊急の場合にのみ発動すべきものであり、ユーザ操作により回避できるのであればユーザに操作させることで安全に、余裕を持って回避することができるからである。

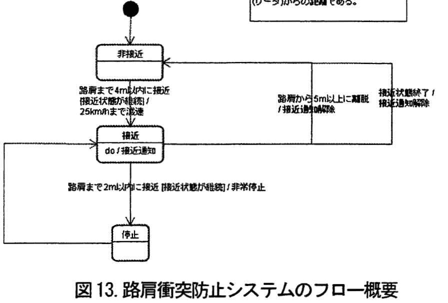

図 13. 路肩衝突防止システムのフロー概要

8. まとめ

本論文では、自車位置検出の方法としてRFIDを活用することを提案し、RFIDの配置による方式の分類を行った。また、分類ごとに方式間の特性に関して比較を行ったことで、一口に「RFIDによる～」といっても様々な派生形が存在し、それぞれ異なった特徴を持っていることが明らかになった。特に、平面上での配置による分類は実運用上に際し、どちらの方式を採用するかにより自車位置認識の方法やアプリケーション面において実運用面での違いが大きいことが示された。

加えて、地上式に関連したアプリケーションについて検討・考察を行い実用性について簡単にではあるが示すことができたと考えている。

9. 今後の課題

今後の課題は以下のとおりである。まず、本稿での考察をもとに中央式・境界式の間で認識精度の実験を行おうと考えている。実スケールでの試験は困難であるため、スケールモデル上での実験をもとに実使用上必要となるであろう精度・性能を満足するかを導き出せればと考えている。また、この評価実験をもとにアプリケーションでの実装例を示し、性能の評価、実装における問題点の抽出を行っていこうと思う。

本論文ではGPSを対立軸として扱っている側面が強かったが、共存関係として捉えると本稿での考察とどのような差異が現れるかについても興味のあるところである。後々の研究内容として考えていこうと思う。

参考文献

[1]ステレオビジョンと動的輪郭モデルを用いた走行レーン検出(菅沼 他,日本機械学会第12回インテリジェント・システム・シンポジウム講演論文集,2002, pp197-200)

[2]距離データ系列の照合による自車位置推定と走行車線認識(渋久 他,情報処理学会研究報告 2007-CVIM-160,2007,pp17-22)

[3]『GPS理論と応用』(B.ホフマン他著、西修二郎訳、シュプリンガー・フェアクラーク東京株式会社、2005)

[4]RFIDタグを用いた位置センシング手法の検討(山田 他,岐阜県生産情報技術研究所研究報告第6号,2004,pp11-14)

[5]RFIDを利用した安全運転支援システムにおける位置・進行方向・速度情報による安全情報伝達方法の検討(小田 他,情報処理学会研究報告, 2006-ITS-26, 2006,pp31-36)

[6]区画線設置アンテナを用いた車載RFIDの識別(野口 他,2005年電子情報通信学会 基礎・境界ソサイエティ大会,2005,pp251)

[7]道路交通管理におけるRFIFの活用可能性の検討(中前 他,2004年電子情報通信学会総合大会 基礎・境界講演論文集,2004,pp377)

[8]RFIDを利用したユーザ位置検出システム(椎尾,情報処理学会研究会報告 2000-HI-88,2000 , pp45-50)

[9]「スマートプレート」(国交省自動車交通局、http://www.mlit.go.jp/jidosha/anzen/01its/resourse/data/smart_plate.pdf

[10] RFIDを利用した自車位置検出に関する考察(富樫 他、2008年電子情報通信学会総合大会 基礎・境界講演論文集,2008,pp328)

[11]Motor Fan illustrated vol.9(三栄書房、2007,pp76-77)

[12] 交通情報の提供に関する指針 (平成14年国家公安委員会告示第12号、http://www.npa.go.jp/koutsuu/jouhou/guideline.pdf)

[13]Design and Optimization of Passive RFID Systems(Jari-Palcal Curty, et al. ,Springer Science+Business Media LLC,2007)

[14]Exam Cram RFID+(Eva Zeisel et al.,Que Publishing,2006)

[15] ワイヤレスブロードバンド技術 IEEE802と4G携帯の展開,OFDMとMIMOの技術(根日屋英之、小川真紀著,東京電機大学出版局,2006,pp55-62)

[16]IT社会のビジネスプラットフォーム ITSの過去・現在・未来を読む(三菱総合研究所ITS事業推進部,電波新聞社,2001)

[17]ITSの国内外の動向(豊田中央研究所R&Dレビュー Vol.33 No.3,1998,pp53-68)