

# 鉄道踏切の安全を高めるITSセンサ

## ITS Sensor for Railroad Crossing Safety

### あらまし

「安心・安全」を目的としたITS (Intelligent Transport Systems) 開発が国を挙げて進められており、あらゆる交通環境を情報通信技術 (IT) によって新たな社会システムに変えようとしている。富士通グループでも、1996年に政府IT戦略本部が発した施策に沿って各種IT適用のもと、長年の技術・ノウハウの蓄積による強みを発揮して車の走行支援分野などで実用化を始めた。さらに、今までの富士通グループでの取組みに加えて、鉄道踏切事故を大幅に削減することを目指してパルス方式のミリ波センサを新規に開発している。従来のセンサは踏切内滞留の大きな車両だけを線状に検知するのに対して、新たなセンサは、これに加えて歩行者、車いす、自転車などをも、面状で検知する。この実現のため、著者らはミリ波の周波数帯において例のないレーダ方式を採用した。

本稿では、踏切の安全の概要とミリ波センサの実用化、新規センサの開発状況を述べて、最後にこの新規センサのシステムへの適用と展開について述べる。

### Abstract

Japan's Intelligent Transport Systems (ITS) project for safe and comfortable transportation is steadily progressing. To improve safety, the Information Technology (IT) should be applied to most of Japan's traffic environments. In response, the Fujitsu Group has installed IT equipment into motor vehicles in line with a government policy of using IT to bring transportation systems fully in to the 21<sup>st</sup> century. The Group has also developed a millimeter-wave radio ITS sensor that can drastically reduce accidents on railroad crossings. The sensor detects objects such as a people, cars, bicycles, and wheelchairs over a wide area of a crossing. This paper outlines the features of the new sensor and the associated IT system, the development of the sensor, and some applications of this technology.



堀松哲夫 (ほりまつ てつお)  
次世代IT・ITSプロジェクト室 所属  
現在、ITSセンサ、通信の開発に  
従事。

## まえがき

安心・安全な交通システム実現のためには従来にない情報通信技術（IT）の適用が必須であり、国を挙げてITS（Intelligent Transport Systems：高度道路交通システム）開発が進んでいる<sup>(1)</sup>。ここでは、道路交通事故の削減だけではなく、ITによるあらゆる交通環境の新たな構築を目指しており、1996年に政府IT戦略本部が発した施策に沿って各種ITの適用が始まっている。富士通グループではミリ波の電波を用いたレーダを車間距離センサとして開発し、前後車両間のスムーズな走行に役立てている<sup>(2),(3)</sup>。また、このセンサを寒冷地の道路監視用に役立てるべく、吹雪発生地域に設置して多重衝突事象発生を未然に防止する試みも始めた<sup>(4)</sup>。

富士通は既に実用化しているセンサを、さらに鉄道運行の安全に適用すべく新たなシステム開発を進めており、2006年末から実働現場へ導入する計画となっている。従来のセンサは踏切内滞留の大きな車両だけを線状に検知して警報をあげるのに対して、新たなセンサは、これに加えて歩行者、車いす、自転車をも面で検知する、よりきめ細かいシステムを目指した。このため、従来にはないレーダ方式を採用することとし、この実用化につなげた。

本稿では、鉄道事故、とくに、踏切事故の削減を目指して開発中のミリ波センサを述べ、その適用・将来展開について述べる。

## 踏切の安全とミリ波センサの実用化

### 鉄道踏切の安全

鉄道の踏切は主要なもので全国に3万箇所あり、踏切を渡る四輪車をはじめ、二輪車、人、車いす、などと列車との衝突事故を防止するため各種のセンサや警報装置が設置されている。それでも、昨今、踏切で大きな事故が頻繁に発生しており、国土交通省は、より一層の事故防止策を取るために鉄道信号機メーカーを核とした技術研究組合を設置して新たなセンサシステムの実用化を目指している。富士通はこのプロジェクトを側面から支援しており、車載用ミリ波レーダの実用化において蓄積した技術・ノウハウを生かして、従来にない、より安全の確保が可能なミリ波センサの開発に取り組んでいる。

ミリ波センサを適用する踏切システムの概念を

図-1に示す。現状は、一つの踏切に赤外線ビームを10本近く、幅広の踏切では10本以上のビームを線状に張り巡らせて、これを一定時間遮断し続けるものがあれば障害物が踏切内に滞留していると判断し警報をあげる仕組みである。しかし、線状のセンシングであるため、線と線との間に滞留したものは見落とすことになり、また、光ビームを用いているため、雨・霧・雪などの天候や、車のヘッドライトによる誤検知、未検知が発生している。技術研究組合ではこれらの欠点を補うセンサとして実用化が始まったミリ波センサを採用することにし、2006年までの稼働を目指した。

### ミリ波センサの実用化

60～61 GHz、および、76～77 GHzの電波を用いたミリ波センサは1970年代から開発が始まり1990年代後半から本格的な実用期に入った。現在最も多くのセンサが導入されているのはACC（Adaptive Cruise Control）システムと呼ばれ<sup>(2),(3)</sup> 道路交通の安全・快適に役立つ車載機として確実に出荷数が増えている。

ミリ波センサの概要を図-2に示す<sup>(5)</sup>。基本構成は、アンテナ、ミリ波送受信器、アナログ回路部、デジタル信号処理部、通信インタフェース部、電源から成る。レーダ方式により具体的な回路構成は異なるが、世の中で多く使われているFM-CW（Frequency Modulated-Continuous Wave）方式の場合、ミリ波帯の発信周波数をFM変調してアンテナから発射し、ターゲットから反射された信号ともとの信号を掛け合わせてアナログ処理し、信号処理によって相対速度とターゲットまでの距離を演算する。

このセンサの実用化においては、ハードウェアの

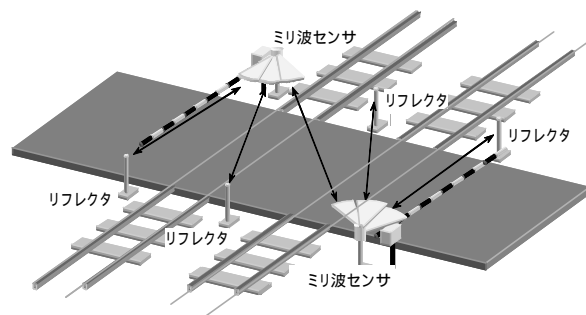


図-1 ミリ波センサを用いた踏切システム（概念図）  
Fig.1-Railroad crossing system using millimeter-wave sensor (Outline).

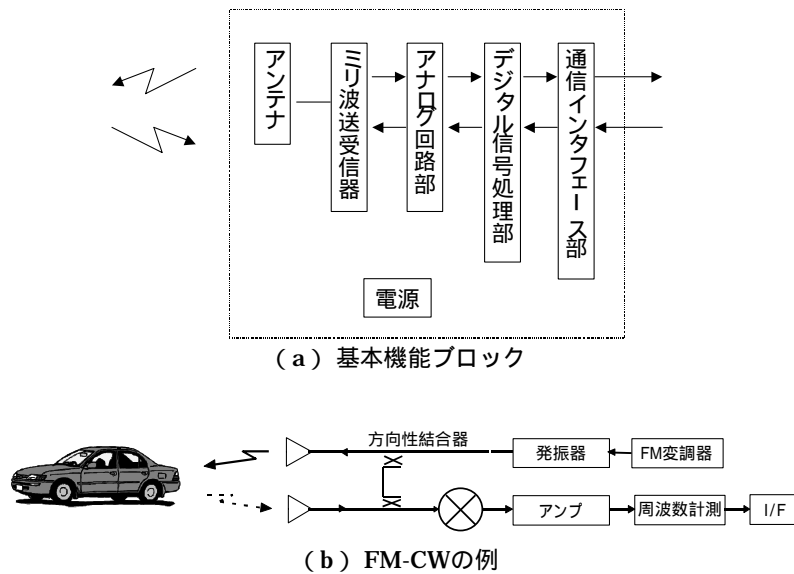


図-2 ミリ波センサの概要（構成例）  
Fig.2-Block diagram of millimeter-wave sensor (Example).

信頼度向上をはじめ、その性能、さらに、使用環境のいかなる電波状態においても安定してターゲットを捕捉する信号処理技術の完成が大きな役割を演じた。また、ユーザに適切なコストで製品が提供できる技術進展も不可欠であった。これらの課題を解決した結果、安定した動作が実現され、現在は数万台の規模で乗用車に搭載されている。しかし、現状の車載用センサは、センサからの距離が4～120 mのターゲットを検出するが、前方車両を検出する目的で設計しているため距離検出精度は数m以下にはならず、踏切センサ要件である横断中の人や車いす、二輪車などを踏切内外にある地物から分離検出することは困難である。そこで、踏切の安全向上のために次章に述べるパルス方式のセンサを開発した。

### パルス方式の新規センサ

#### センサの原理

パルス方式センサの構成<sup>(6),(7)</sup>を図-3 (a) に示す。オシレータよりデューティ比50%のく形波信号を発生させ、パルス生成部に入力する。ここでは、所望のデューティ比、例えば4%のパルス列を生成しこれを制御信号として76～77 GHz帯のミリ波搬送波をASK変調する。変調された搬送波は所望の電波ビーム形状をつくるアンテナに入力され空中に発射される。送信波はターゲットで反射されて受信アンテナに戻る。アンテナで集められたミリ波搬送波

はアンプを通った後にもとの搬送波とミキシングしてホモダイン検波される。図-3 (a) にあるように、例えば、センサの前に複数の対象物（この場合は、異なった距離にある、異なった形の2台の車両）があると、それぞれからの反射波が時間差を持って受信アンテナに届き、検波された信号はパルス送信周期と同期した時間間隔で複数の包絡線状の信号となる。この包絡線はもとのパルス幅、例えば数nsの幅を持っており、従来方法では数100 MHz以上のサンプリングレートを持つA/D変換器を用いて信号処理が必要であった。著者らの開発したセンサでは、この高価な高速回路を用いずに信号処理する手法を適用した。信号処理の原理を図-3 (b) に示す。前述のパルス状の検波信号をゲーティング回路に入力する。ゲーティングとは信号をON/OFFすることである（ON時には信号を通過させ、OFF時には遮断する）。このゲーティングを制御する信号もパルス信号であり、また、マイクロコンピュータによってプログラブルにゲーティング遅延量を制御しゲーティングタイミングを変化できる。これらの機能を用いるとゲーティングタイミングが複数対象物から反射されて受信されるまでの遅れ時間と一致する時刻にのみ信号が現れ、この遅れ時間を測定することによって複数対象物のそれぞれの距離を検出できる。本構成によって低速なA/D変換器が適用でき、回路の簡略化はもとより装置コストの低減が可能である。

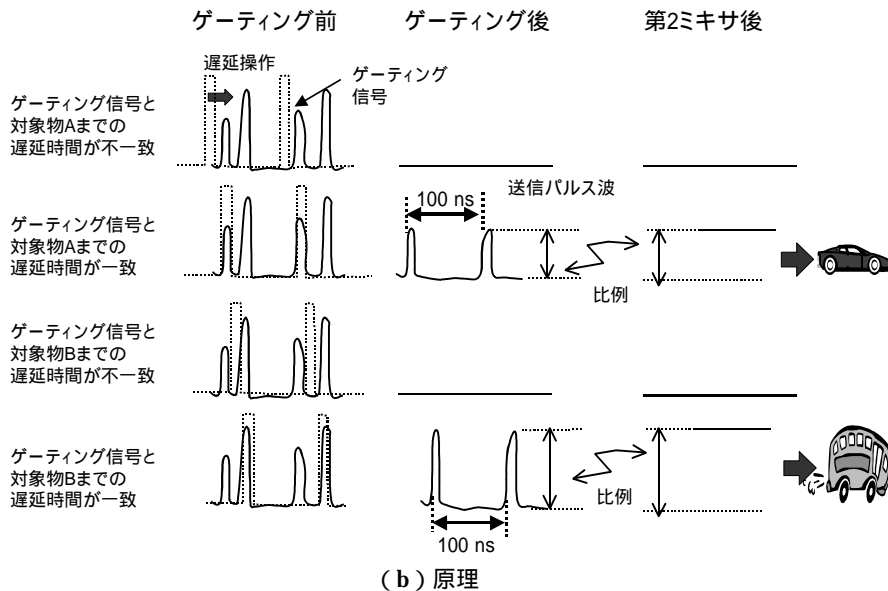
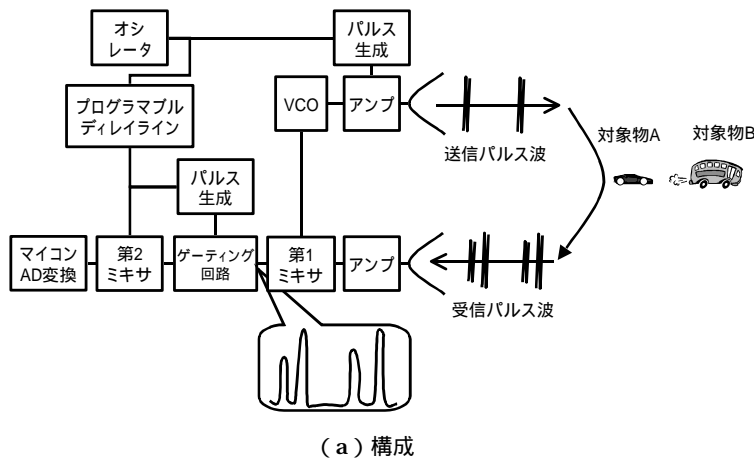


図-3 パルス方式センサの構成と原理  
Fig.3-Block diagram and operation of pulse-sensor.

## センサの性能

センサの装置仕様と概観を図-4に示す。この装置は踏切周辺や道路際に設置することを想定して固定設置型の筐体設計としてある。開発資産の有効利用を図るため、回路要素（例えば心臓部であるミリ波集積回路：MMIC）や実装基板などは数多く出荷している車載用レーダ用と全く同じ部品を適用した。一方、踏切用センサの目標諸元は、車載ACC用レーダとは大きく異なり、検知最大距離は14 m以下と短距離化した一方、前方30度の方位全角を広く検知し、さらに検知面内で距離分解能50 cm以下でターゲットを検知する設計とした。適用周波数は国際標準の76～77 GHz、送信出力は10 mW以下とし、免許不要局とした（技術基準適合証明により国内の

項目	仕様
送信周波数	76～77 GHz
送信出力	10 mW以下
レーダ方式	パルスレーダ
アンテナ	平面アンテナ
検出距離	0.1～14 m

技術基準適合証明取得済



図-4 装置仕様と概観  
Fig.4-Specification and outline of pulse-sensor.

どこでも使用可）。

測定距離誤差を図-5に示す。測定は、コーナリフレクタ（反射断面積：5 dBsm）を14 mまでの位置

に設置して距離を測定し、測量用「トランシット」による測距結果（リファレンス）との誤差を求めた。トランシットの距離精度は数mmオーダである。図-5から明らかなように距離誤差の最大値は24 cmであった。分離分解性能の測定結果を図-6に示す。約40 cm離れた2台のコーナリフレクタに向けてレーダ電波を発射し、これらのコーナリフレクタから反射された電波を検出したものである。図-6 (a)

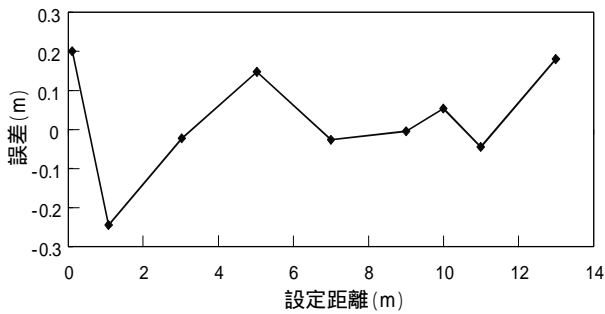
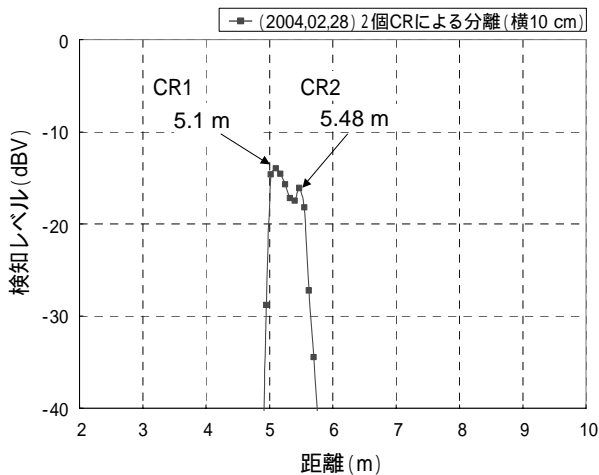
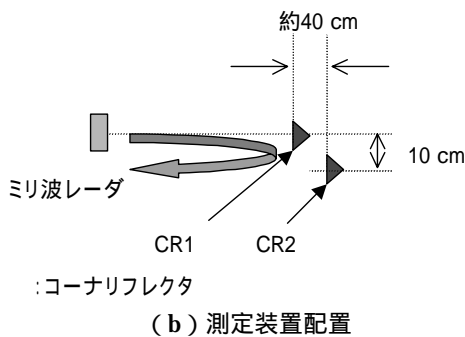


図-5 測定距離誤差  
Fig.5-Measured error of distance.



(a) 測定結果



(b) 測定装置配置

図-6 分離分解性能測定結果  
Fig.6-Measured distances of two adjacent targets.

のグラフは検出したレベルを縦軸に、検出した距離を横軸に示す。5.10 mと5.48 mに検知レベルの二つのピークが現れ、二つの物体を分離検出することが確認できた。これは、従来のFM-CWレーダの10倍の分離性能向上である。

パルス方式センサの適用と展開

パルス方式センサの適用場面（実験例）を図-7に示す。ここでは、踏切内に滞留した車いすを検出している。踏切周辺には鉄道レールをはじめとしてミリ波を反射する様々な地物が設置されており、時としてこれら反射物の陰に所望のターゲットが隠れてしまうことがある。著者らの開発したセンサは、前述したように、40 cm以下の分離分解性能を持つことから、例えば踏切内に残された車いすや人物を、踏切周辺地物から分離して検出可能となる。

本センサは、ターゲットの分離分解性能が優れている特長を生かして、事故削減ニーズの大きな鉄道踏切に適用すべく開発したが、従来のミリ波センサにはないきめ細かな検知性能を持っていることから様々な展開が考えられる。まえばきの中でも述べたが、例えば、道路交通事故削減に役立てることも想定している。例を挙げると寒冷地での道路監視用にミリ波センサの適用が始まる中、本センサを適用して、道路交差点近傍の除雪の山に隠れた歩行者を検知し、インフラシステムを介してドライバに通知し、未然に歩行者事故を防ぐことが考えられる。また、乗用車などの車両の後部バンパー近傍に本センサを搭載し、車両後方の広い領域をセンシングし、歩行



図-7 システム適用（実験）  
Fig.7-System application (Experiment).

者や自転車の動きを検知することも可能である。さらに、この機能によって、ショッピングセンタ駐車場からの出庫の際、後方の歩行者やショッピングカートの動きを検知し、これらとの衝突を防ぐことが考えられる。

このように、従来にない性能によって本センサの適用アプリケーションは大きく広がることが期待できる。

### む す び

本稿では、車載用ミリ波センサと、その技術を踏切に適用する上での課題を説明するとともに、その技術・ノウハウを基に、鉄道踏切事故を大幅に削減することを目指して開発を進めているパルス方式の新規ミリ波センサ開発の原理とその適用について述べた。従来のセンサは踏切内障害物を線状に検出するのに対して、新たなセンサは、踏切内に滞留する歩行者、自転車、車いすまでも面状に検出する。本センサはミリ波帯の電波を用い、踏切という環境で稼働するのに必要とされる条件を満足させるため、新たなレーダ方式を適用した。これによって、昨今多発している悲惨な踏切事故を大幅に削減できるばかりでなく、鉄道運行全体の安全、道路交通、走行安全にも役立つと期待している。

### 参 考 文 献

- (1) 内閣府 IT戦略本部：IT新改革戦略 いつでも、どこでも、誰でもITの恩恵を実感できる社会の実現 . 平成18年1月19日 .  
<http://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/kettei/060119honbun.pdf>
- (2) 堀松哲夫ほか：実用化を迎えたミリ波レーダシステム . 電子情報通信学会誌 , vol.87 , no.9 , p.756-759 (2004) .
- (3) N. Okubo : Millimeter-Wave Automotive Radar . MWE'96, Microwave Workshop & Exhibition Digest , 1996 , p.370-375 .
- (4) 田村寿仁：寒地道路における走行環境情報の収集・活用に関する一考察 . 寒地ITSワークショップ , 札幌コンベンションセンタ , 第2セッション-2 , 2005 .
- (5) 堀松哲夫ほか：ミリ波技術の基礎と応用 . リアライズ社 , 1998 .
- (6) T. Horimatsu et al. : Millimeter-wave Sensor in Practical Use . MWE'05, Microwave Workshop & Exhibition Digest , WS16-01 , 2005 .
- (7) 石井 聡ほか：ミリ波パルスレーダの検知特性 . 2005年電子情報通信学会基礎・境界ソサイエティ大会 , AS-3-1 , 2005 .