

マイクロ波による鉄道踏切障害物の検知システム

山下栄吉*

最近、鉄道踏切の事故数が増大し事故の規模も大きくなっている。特に、踏切上の故障自動車と電車が衝突するケースは人的、物的損害が大きい。ここで述べるのは、踏切上で動けなくなった自動車を検知し、接近する電車に通報して停止させる安全化システムである。基本原理としてマイクロ波の伝搬が物体により遮断される効果を利用している。ここで提案するマイクロ波システムは、信頼性、安全性、および経済性に、特に留意して構成したものであり、実用上有効なシステムと考えられる。

Microwave Detection System of Obstacles on Railroad Crossings
Eikichi Yamashita*

Recently, there has been found a certain increase in the number of accidents at railway crossings. The scale of accidents have been getting larger. In the case of a disabled car collision with a train in a railway crossing, casualties and physical damages are very serious. I am going to refer in this paper to the safety system of discovering that a car is broken down etc. at a crossing. This system then informs the approaching train to make a stop. As the underlying principles I take advantage of the fact that microwave propagation is shut off by physical solids. I suggest here a microwave system which is engineered with particular consideration given to reliability, safety, and economical efficiency. As I visualize it, there are strong possibilities that this system can become effective in practice.

1. まえがき

近年の自動車台数の急激な増加に伴って、鉄道踏切における電車と自動車の衝突事故も多くなった。この事故のうち、踏切上に何らかの理由で動けなくなった自動車に、電車が知らずに近づき、急停止も不可能となって衝突する場合がかなりある。従って、鉄道踏切を安全化するには、踏切閉鎖時に障害物の有無を調べ、もし障害物があれば、直ちに接近して来る電車に通報する自動システムを作る必要がある。障害物検知後の電車への通報は現存の鉄道信号を利用できるから、検出システムについて合理的なものを考えればよい。

障害物が金属を多く使っているとすれば、障害物が接近したことによる

- (1) インダクタンス変化
- (2) 静電容量変化

をブリッジ回路により検出し、信号を発生することが、まず考えられる。さらに障害物の存在による波動の遮断現象も利用できよう。この波動には

- (1) 音波、超音波
- (2) 可視光、不可視光
- (3) マイクロ波などの電波

がある。

障害物検出システムを多数の踏切に設置し、常時作動させることになれば、さらに

- (1) 動作の信頼性
- (2) システム自体の安全性
- (3) 経済性

が重要な設計条件となる。

波動を使うシステムのうち、光を利用する場合は雨、雪、空気中のチリなどによる散乱に注意を払う必要がある。超音波は大体電波と似た拡がり方をするが、空気の温度変化や風などの影響が強く、大きな踏切には適していない。電波のうちマイクロ波程度の波長のものは、雨、雪、風などの影響が少なく、電波ビームを形成するのにも適している点が注目される。過去において、踏切マイクロ波システムがアメリカにおいて発表されていたが、これは逆に、電車の存在をマイクロ波によって検知し、踏切付近の自動車に通報して、その航路を選択させるシステムであった。

ここで述べるのは、信頼性・安全性・経済性に特

*電気通信大学教授 (マイクロ波工学)
Professor, University of Electro-Communications
原稿受理 昭和55年2月4日

に留意してデザインしたマイクロ波による鉄道踏切障害物検知システムである。

2. 障害物検知原理

鉄道踏切構内にマイクロ波送信機と受信機の幾組かを対向させて設置する。マイクロ波は踏切遮断時に放射し、通常の開放時には放射しないものとする。もし、踏切遮断時に故障自動車が踏切内にあれば、送信されたマイクロ波は受信機に届かないことになる。受信機の受信電力低下は直ちに感知できるから、接近して来る電車に「障害物が存在する」という情報を送り、停止させればよい。このシステム自体が故障しても、マイクロ波が受信機に入らなくなるわけであるから、自動的に電車に停止信号を送ることになる。つまり、このシステムはフェイル・セーフ・システムである。ここまでは波動遮断現象を使った障害物検知システムに共通している基本原理である。

次に、現実の踏切構造についてマイクロ波システムを考える。Fig. 1 は代表的踏切の平面寸法を示している。Fig. 2 は、電車車輛が踏切を通過することによる検知システム装置の寸法限界を示している。

このように、上り線と下り線の間の狭い空間にアンテナを設置することになるから、マイクロ波の使用波長にも適切な値が決められることになる。パラボラ・アンテナを使用する場合、アンテナ直径Dと使用波長 λ_0 により決まる放射ビーム角度は、大体

$$\theta \cong 140^\circ \left(\frac{\lambda_0}{D} \right) \dots\dots\dots(1)$$

で与えられる。踏切の電車線路際に設置すると、Dは30cm程度であろう。マイクロ波放射ビーム角度を $4^\circ \sim 14^\circ$ とすると、 λ_0 は3cm~8mmである。つま

り、センチメートル波からミリメートル波の範囲が適している。

電波の使用に当っては、郵政省電波監理局の許可が必要であり、使用周波数は自由には決められないことに注意を要する。また、センチ波よりもミリ波の方が一般に高価な装置となるが、通信用ではないから、製作上の寸法精度はそれ程厳しくしなくてよい。

空気中の分子により、幾つかの周波数でマイクロ波吸収現象があり、減衰が大きくなるため、通信の目的にはこの周波数を避けねばならないが、踏切構内のような短距離では多少の減衰は問題にならないから、この周波数を障害物検知の用途に積極的に利用すべきであろう。

さて、Fig. 1 のような踏切の構内全体を隙間なくマイクロ波放射でカバーするには、マイクロ波送信機を何台も用意せねばならない。反射板によりマイクロ波を反射させて往復させれば、送信機の節約になるのではないかと思われるが、もしマイクロ波が洩れて、障害物があるのに受信機に入ったなら誤動作するわけであるから、安全の為に洩れ電波を防ぐ必要が生ずる。Fig. 3 に示すように、マイクロ波の洩れは生じ易い。洩れを防ぐアンテナ系を個々の踏切について考えることは、送信機台数を増すより経済性が低いであろう。送信機といってもミリ・ワット程度の出力があればよいから、現在市販されているガン・ダイオード、またはインパット・ダイオードを使えばよい。ガン・ダイオードは、クライストロンのような電子管に比べて安価に入手できるメリットがある。

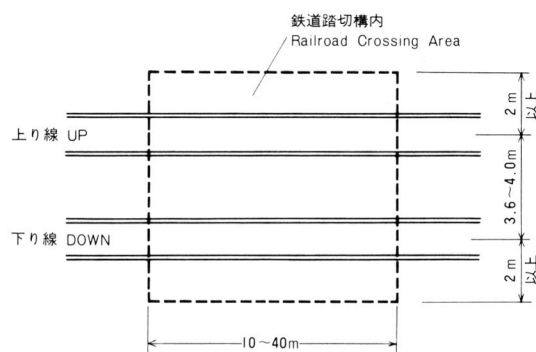


Fig. 1 鉄道踏切の大きさ
The dimensions of railroad crossings

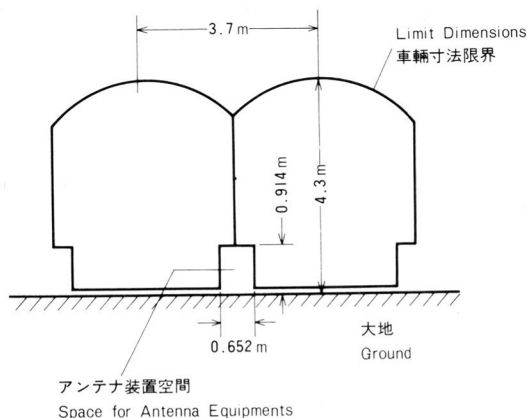


Fig. 2 電車車輛限界寸法と装置空間
Limit dimensions of electric car bodies and space for antenna equipments

3. 送信機数の縮減と放射相互干渉の除去

反射板を使って送信機数を減らすことは困難であるが、Fig. 4 のように、送信機 1 台に受信機を何台か組合せることによって、送信機総数を減らすことができる。後で述べるように、送信アンテナを特別に設計して、この目的を果たすことが可能である。

踏切全面をカバーするように放射パターンを設計すると、どうしても重なり合う部分ができる。この場合、マイクロ波が洩れて対向していない受信機に入ることが心配となる。これは、次の手段によって防ぐことができる。

まず、隣り合うマイクロ波放射ビームは時間的にずらして発射する。つまり時分割パルスを利用すれば相互干渉が少なくなる。さらに、空間におけるマイクロ波伝搬の仕方には二つの偏波面があり、これら二種類の波の干渉は少ないことを利用する。このような時分割と偏波面分離を同時に採用すれば、相互干渉は極めて少なくなる。

4. 送信アンテナ

Fig. 5 には、自動車がマイクロ波放射ビームを遮断している状況を概念的に示している。自動車の上方または車体の下から、マイクロ波が洩れないようにしなければならない。車体の高さは 1.5 m 程度であるから、踏切の大きさによって放射ビームの垂直方向の放射ビーム角度が定まる。大地からの反射波も受信アンテナに入ってはいけなから、放射特性のサイド・ローブ・レベルも低くする必要がある。

前節で述べたように、複数の受信アンテナに対向する送信アンテナを用い、自動車の上下から洩れない放射パターンを作らねばならない。これは上下方向に薄い扇形放射パターンである。このパターンはパラボラ・アンテナの縦横方向の寸法を変えることにより、容易に作る事ができる。また、このようにして作られた縦長のアンテナは電車線路の間に設置するのに好都合である。

Fig. 6 は扇形放射パターンを持つ送信アンテナ系と、偏波面・時間差による分離方法を用いた障害物検知システムの一例を示している。この例では、上り線と下り線の事故を識別することも可能である。これよりも線路数が多い大規模踏切の場合も同じ考え方によって送受信系を追加して行けばよい。

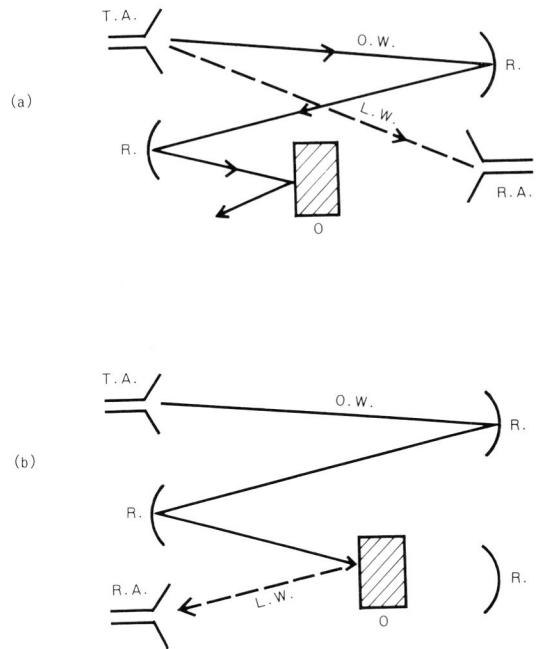


Fig. 3 反射鏡システムにおける洩れ電波

Leak waves in reflector systems

- T.A. 送信アンテナ Transmitter Antenna
- R.A. 受信アンテナ Receiver Antenna
- R. 反射鏡 Reflector
- O.W. 正常電波 Ordinary Waves
- L.W. 洩れ電波 Leak Waves
- O. 障害物 Obstacles

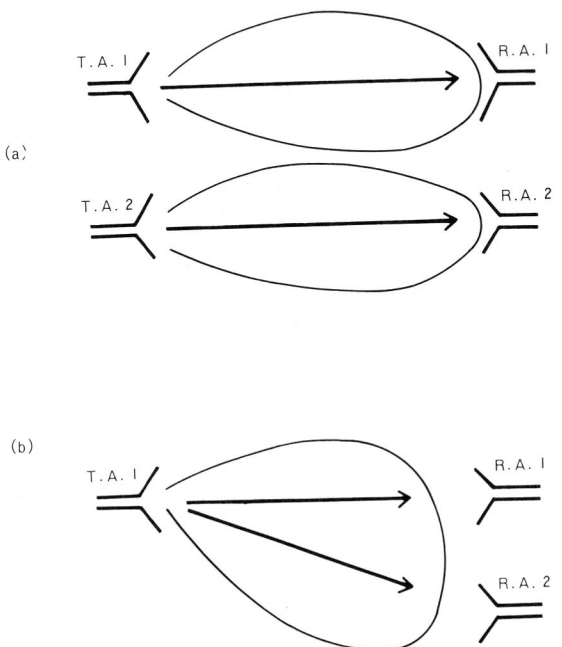


Fig. 4 扇形放射パターンによる送信機数縮減

Transmitter Number reduction by fan-shape radiation pattern



Fig. 5 垂直放射パターン
Design of vertical radiation pattern

5. 送信電力

マイクロ波を踏切において放射するのであるから、マイクロ波電力の人体に対する安全性を検討する必要がある。マイクロ波放射の人体表面における電力密度安全基準については、アメリカとソビエト連邦において定められているが、後者の方が厳しい³⁾。例えば、放射時間が15分以下の場合、アメリカでは10 mW/cm²以下、ソビエト連邦では1 mW/cm²以下でなければならない。放射時間が2時間以下の場合には、アメリカでは10mW/cm²以下、ソビエト連邦では0.1 mW/cm²以下となっている。

厳しい方の安全基準に注目し、踏切遮断時間だけマイクロ波放射があるとして放射電力を考えてみる。踏切遮断時間は2時間以内であろうから、電力密度は0.1mW/cm²以下とすればよい。

送信パラボラ・アンテナの直径を20cmとし、人体が接近していると考え、アンテナ面積に許容電力密度をかけて平均30mWの送信電力となる。時分割

のための対称方形パルス変調を用いれば、ピーク値60mWの送信電力である。

一方、波長2cmの音波ビームの遮断実験資料によると、普通自動車の波動遮断の場合に約20dBの受信レベル低下が観察されている。マイクロ波の場合も同程度の効果があるものと推定される。接近電車に信号を送るには、このうち6dB程度を利用すれば充分である。

電波暗室内の近距離実験から推定すると、周波数10GHz、送信電力60mW、送受信アンテナ間距離40mの場合に、受信端の信号対雑音比が35dB程度となる。

結局、大きな踏切(40m幅)の場合でも、安全基準内の電力で雑音に対し、十分に余裕を持ったマイクロ波障害物検知システムを構成できると考えられる。実際には、放射電力が数mW程度でも動作することも推定され、安全基準よりもかなり低いレベルで良いであろう。

数mWから数10mWのマイクロ波電力を発生するには、ガン・ダイオードが簡単で安価であり、寿命も長い。ミリメートル波に対しては、インパット・ダイオードが有力な発振素子である。

6. あとがき

マイクロ波を用いた踏切障害物検知システムのデザインについて述べたが、ここで提案したシステム

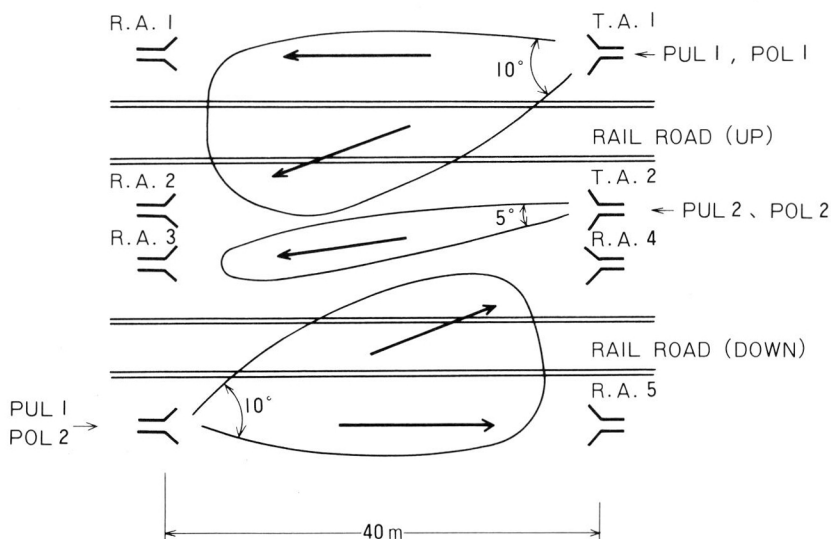


Fig. 6 マイクロ波扇形放射パターンによる障害物検知システムの1例
An example of obstacle detection systems by fan-shape microwave radiation pattern

PUL 1…パルス 1 PULSE 1
POL 1…偏波 1 POLARIZATION 1

の特長を次にまとめておく。

(1) 信頼性向上のために用いた方法

フェイル・セーフ・システム

雨、雪、チリの影響の少ないマイクロ波

偏波面分離・時分割による干渉除去

扇形放射パターンによる洩れ電波防止

ガン・ダイオードによる長寿命システム

(2) 安全性向上のために用いた方法

低電力レベルのマイクロ波放射

踏切遮断時間のみマイクロ波放射

(3) 経済性向上のために用いた方法

扇形放射パターンによる送信機数の縮減

簡単で安価なガン・ダイオード

最後に、このシステムについて議論して頂いた八幡電気産業(株)の青木茂氏に感謝します。

参考文献

- 1) Roberts, L. W.: Microwave applications to transportations, 1971 IEEE GMTT, International. Microwave Symposium held in Washington, D. C., U. S. A., May 1971
- 2) Yamashita, E.: Application of microwaves to the safety system of railroad crossings, 5th European Microwave Conference, Session C5 (Navigation/Traffic Aids), held in Hamburg, Germany, September 1975
- 3) 山浦逸雄, 松本伍良, : マイクロ波電力の生体への影響, エレクトロニクス, 1973年1月