

路車間通信用車載装置

On-board Communication System between Road and Vehicle

福田 晋児⁽¹⁾ 松本 清⁽²⁾
Shinji Fukuda Kiyoshi Matsumoto

要 旨

自動車の普及は、その便利さとともに交通災害など様々なインパクトを社会に与えている。各種の交通問題を解決するためシステムチックな研究が各国で行われている。わが国では、1970年代、通産省の自動車総合管制技術研究プロジェクトで、路・車間通信による交通管制システムの研究が始まり、現在、財団法人自動車走行電子技術協会に引継がれている。

本稿は、協会の仕様に基づいた路・車間通信用車載機の実現の可能性調査のため、1) 誘導無線帯 (LF 帯) モデム、2) 3 種類の路上アンテナ (オーバヘッド、サイドファイヤ、路面埋設ループ) と交信できる車載アンテナとその装着位置、3) 通信制御、の 3 項目についての試作、実験結果の概要である。今後、協会では、通信制御レベルの検討が進められ、Expo'85 でシステム評価が計画されている。

The automobile has largely prevailed in our daily life.

Contrary to its convenience, however, it gives us many impacts such as the gradual increase of traffic accidents.

For solution of the impacts, systematic reserches are being made in many countries. In Japan, Ministry of International Trade and Industry (MITI) started a research on traffic control system consisting of communication between road and vehicles called "The Comprehensive Automobile Traffic Control System" 1970's. Association of Electronic Technology for Automobile Traffic and Driving (J.S.K.) has taken it over.

In oder to realize an on-board communication system between road and vehicles, we researched the following three points: 1) MODEM on LF band. 2) Optimum on-board antenna for communication with road antennas (over head, sidefire, road surface loop) and its location. 3) Control of communication.

This report is a result of the research. Now J.S.K. goes on with the research of communication control and is going to exhibit and to evaluate the system.

1. ま え が き

様々な交通問題を解消するため、運転者、交通管理者を含めた交通情報システムの必要性が説かれて久しい。具体的なシステムの構築と実施は、社会システムとの絡みが強い、その実用化には、なお時間を要す。

わが国では、1970年代すでに通商産業省大型プロジェクトで、自動車総合管制技術の研究が進められており、今日、財)自動車走行電子技術協会に引継がれている。

この基礎研究として、協会の路・車間通信仕様に基づき、以下の3項に着目し、車載機の試作、実験を行った。

- 1) 誘導無線帯 (L F 帯) モデムの検討
- 2) 3種類の路上アンテナ (オーバーヘッド、サイドファイヤ、路面埋設ループ) と交信できる車載アンテナとその装着位置の検討
- 3) 通信制御の検討

その結果、モデムおよび車載アンテナは仕様を満足し、実現性の高いものを開発することができた。通信制御の検討は、市販LSI流用の確認実験にとどめ、実車検討およびデータ誤り率の定量的な検討は、次回のテーマとした。以下その内容について述べる。

2. モ デ ム

2.1 概 要

誘導無線帯 (L F 帯) の通信では、都市雑音、大気雑音などの妨害が多く、充分な C/N を得ることが困難である。したがって、変調方式は、雑音耐性の強いデジタル方式の周波数偏移変調、または、位相偏移変調を導入する必要がある。位相偏移変調では、変調波の位相の不連続性による位相歪みや振幅変動を生じることがある。周波数偏移変調では、復調回路の構成が簡単になるが、

周波数変動による影響を考えると、周波数偏移幅を大きくする必要がある。

上記の欠点を補う変調方式にMSK (Minimum Shift Keying)¹⁾変調方式がある。この方式は、変調波の位相が連続であり、帯域制限を受けることによる振幅変動を生じない。以下MSK変調方式のモデムについて述べる。

2.2 MSK方式

2.2.1 原 理

MSKの検波方式には、同期検波方式、および遅延検波方式がある。今回の試作では、搬送波の同期性を必要とせず、回路構成の簡単な、遅延検波方式を採用した。

遅延素子としてシフトレジスタを用い、位相比較器として、EX-OR (Exclusive-OR) 回路を使用した。

変調波形を図-1に示す。波形①は送信データで、例として、1ビット毎に、*0*、*1*を繰返すものとする。波形②は変調波形であり、IF周波数を12 kHzとすると、周波数偏移は、 $\pm R_B/4$

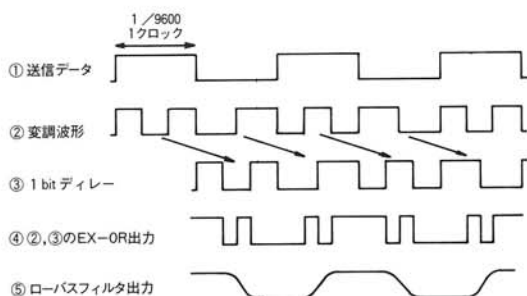


図-1 MSK変復調原理 (遅延検波方式)

Fig. 1 MSK modulation/demodulation principle.

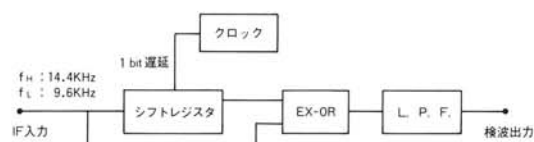


図-2 MSK検波回路

Fig. 2 MSK detector circuit.

(R_B はビットレート)となり、ビットレート9600ビット/秒では $12\text{ kHz} \pm 2.4\text{ kHz}$ の周波数変調となる。

受信側では、I F変換された変調波形②をシフトレジスタで送信クロック1ビット相当時間の遅延を行い波形③を得る。これをローパスフィルタに通し、波形⑤を得る。遅延検波回路のブロック図を図-2に示す。

図-1の波形③を得るのに、シフトレジスタの動作クロックと、受信 I F 信号とが非同期であるため、遅延誤差を生じる。これをEX-OR回路に通すことによりデータが再生されるが遅延検波での誤差が残る。EX-OR 出力をローパスフィルタに通し、位相誤差を平均化させ、受信機内のビットレートクロックに同期させる。

2. 2. 2 回路構成

今回の試作モデムの回路ブロックを図-3に示す。送信部では、まず、入力データにより、位相の連続した変調周波数 $12\text{ kHz} \pm 2.4\text{ kHz}$ を作る。例として、入力データが 0° 、 1° の繰返しの際のアイパターンを図-4に示す。これを周波数変

換することにより、RF周波数、 $304.8\text{ kHz} \pm 2.4\text{ kHz}$ を得る。

受信部では、路上機より送られたRF周波数、 $223.2\text{ kHz} \pm 2.4\text{ kHz}$ を周波数変換する。動作クロック576 kHz、レジスタ長60のシフトレジスタを用いることにより、ビットレート分の遅延を行い、ローパスフィルタを通過しデータを得る。ローパスフィルタ出力時点での遅延検波による位相誤差は、計算上

$$\Delta\varphi = 8.3 \times 10^{-3} \pi \sim 1.3 \times 10^{-2} \pi \text{ rad}$$

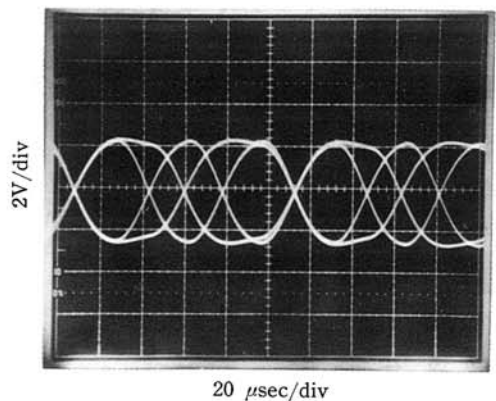


図-4 MSK 変調波

Fig. 4 MSK modulation wave.

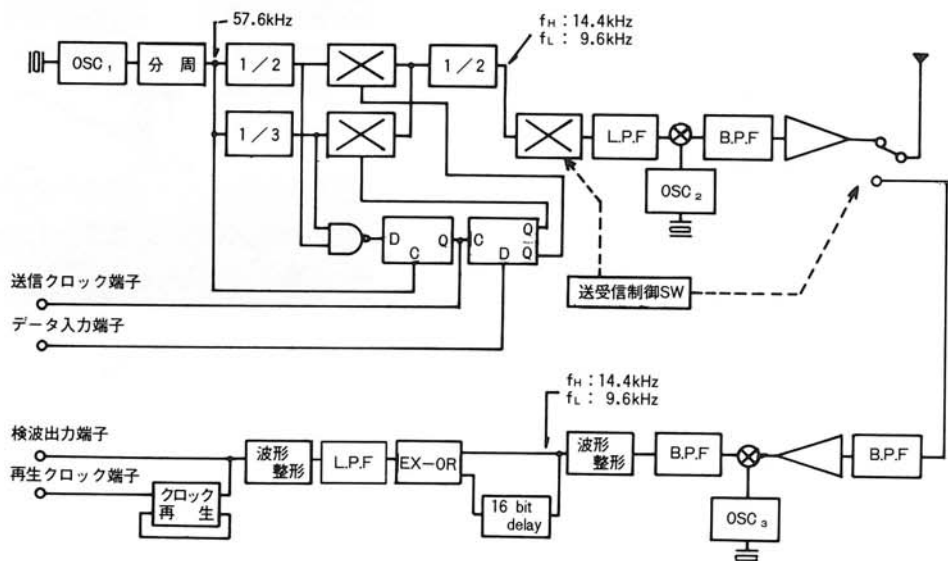


図-3 試作モデムブロック図

Fig. 3 Block diagram of test MODEM.

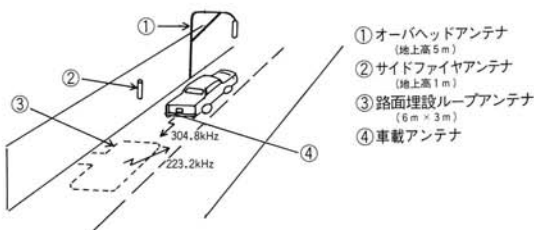


図-5 路上アンテナの種類

Fig. 5 Classification of road antenna.

表-1 試作アンテナ諸元

項目 アンテナ 種類	形 状 [mm]	巻 数 [回]	送信電流 [mA _{p-p}]	インダク タンス [mH]
フェライトバ ーアンテナ①	15φ×200	100	150	1.3
フェライトバ ーアンテナ②	30φ×70	100	300	1.3
平 板 空 芯 ア ン テ ナ	70×80 [平板]	28	1,300	0.12

程度となる。

2. 2. 3 仕 様

試作モデムの仕様は次の通りである。

送信周波数………304.8 kHz±2.4 kHz (周波数
精度: ±100 ppm以内)

送信レベル………微弱電波の範囲内 (アンテナ
中心より100m離れて23.5 dB
μV/m以内)

変調方式………MSK

変調速度………9600 ボー

伝送速度………9600 ビット/秒

受信周波数………223.2 kHz±2.4 kHz

交信領域………走行方向5 m、車幅方向3 m

最小受信レベル…93 dBμV/m

3. 車載アンテナの検討

3. 1 概 要

車載アンテナは、同一のものであっても、車種
および設定位置の違いにより、性能が異なる。基



図-6 フェライトバーアンテナ①

Fig. 6 Ferrite-bar antenna ①.



図-7 フェライトバーアンテナ②

Fig. 7 Ferrite-bar antenna ②.

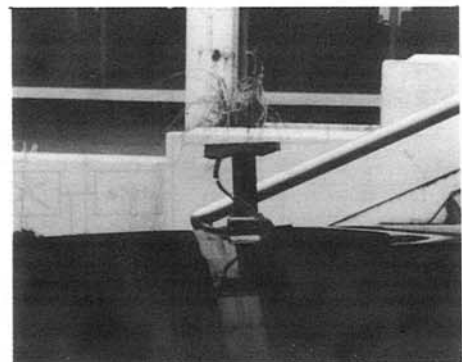


図-8 平板空芯アンテナ

Fig. 8 Plane coreless antenna.

本的な考え方は、サイドファイヤ、オーバヘッド、
路面埋設ループの各路上アンテナ (図-5参照) に
対し、最小送信電流にて、交信に十分な電界強度
を与えることである。

検討用アンテナとして形状の異なったフェライ

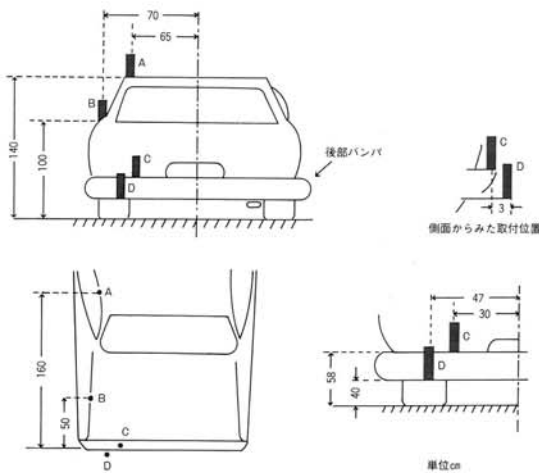


図-9 フェライトバーアンテナ①、②の取付け位置
Fig. 9 Fitting location of ferrite-bar antenna ①, ②.



図-10 ルーフサイド
Fig. 10 On roof side.



図-11 トランクリッド
Fig. 11 On trunk lid.



図-12 バンパ上部
Fig. 12 On the top of bumper.



図-13 バンパ側面
Fig. 13 On the side of bumper.

トバーアンテナを2本、平板空芯アンテナを1本試作した。その外観を図6～8に示す。実験車は乗用車（セダン）を使用し、交信領域周辺の放射フィールドを測定した。車載アンテナの取付け位置は、実現性の高い位置を考慮し、後部バンパの周辺を2カ所、トランクリッド上、ルーフサイド上の計4カ所を選定した。その取付け位置を図9～13に示す。

今回の実験で、最小の送信電流で交信に十分な電界強度の得られる取付け位置はバンパの周辺であった。この位置は、3種の路上アンテナから車載アンテナが見通せる位置、かつ、車載アンテナ地面間に車両の金属体が存在しない位置である。また、送信電流を小さくした小型アンテナを考慮すると、平板空芯アンテナよりもフェライトバーアンテナの方が実現性の高いことも確認した。

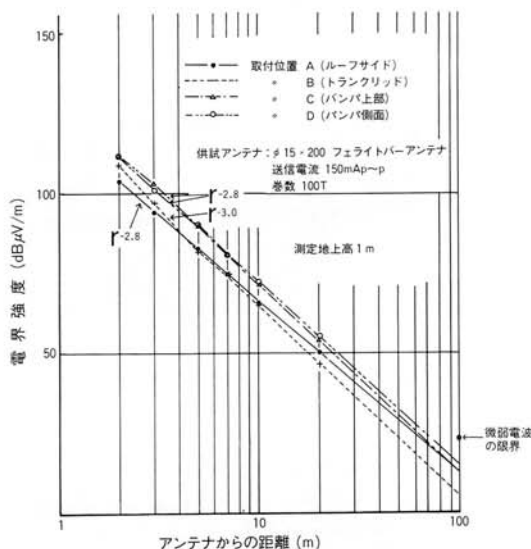


図-14 フェライトバーアンテナ①の放射特性

Fig. 14 Radiation characteristic of ferrite-bar antenna ①.

3.2 試作車載アンテナの仕様

試作した3種のアンテナの諸元を表-1に示す。

フェライトバーアンテナ①は、初透磁率 $700 \pm 25\%$ 、 $\phi 15\text{mm} \times 200\text{mm}$ のフェライト棒に、 $\phi 1.0\text{mm}$ のポリウレタン線を巻いたもの。

フェライトバーアンテナ②は、上記フェライト棒と同材質で、 $\phi 30\text{mm} \times 70\text{mm}$ のフェライト棒に、 $\phi 0.5\text{mm}$ のポリウレタン線を巻いたもの。

平板空芯アンテナは、板厚 8mm のABS樹脂に、 $\phi 0.5\text{mm}$ のポリウレタン線を巻いたもの。

3.3 アンテナ取付け位置の検討

3.3.1 フェライトバーアンテナ

ここでは、前述のフェライトバーアンテナ①、および、②を乗用車に取付け、車体の影響による放射特性の劣化を調査した。取付け位置は、3種の路上アンテナとの交信が可能であると想定される位置、かつ、実現性の高い位置を選定した。

(図-9～13参照)

1) 距離と電界強度との関係

フェライトバーアンテナ①の、距離 (r) と電界

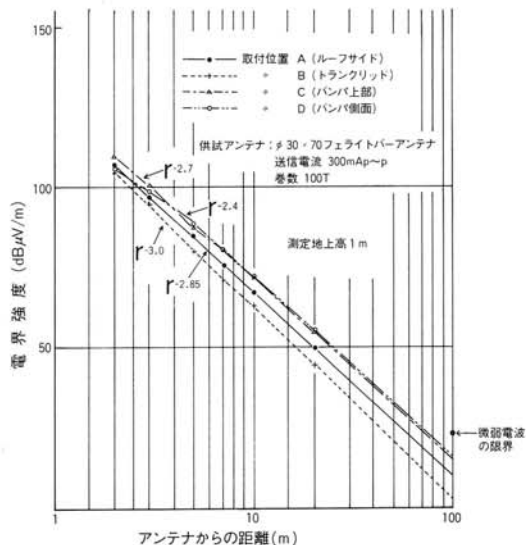


図-15 フェライトバーアンテナ②の放射特性

Fig. 15 Radiation characteristic of ferrite-bar antenna ②.

強度 (E) との関係を図-14に示す。測定地上高は 1m とする。

電界の放射方向に妨げのないバンパ上(C)、および、バンパ側面(D)に取付けたときの放射レベルが最大となる。レベルが最小となるトランクリッド上(B)とを比較すると、アンテナより 10m 離れた地点で約 8dB のレベル差がある。これは図-17から解るように、トランクリッド上(B)では、車載アンテナと地面との間に、車両金属が存在する。これが減衰の原因になると考えられる。距離による減衰率は、バンパの周辺(C)、(D)で $E \propto r^{-2.8}$ 、トランクリッド上(B)で $E \propto r^{-3.0}$ 、ルーフサイド(A)で $E \propto r^{-2.8}$ となり、トランクリッド上での減衰率が最大となる。微弱電波との差は、ルーフサイド(A)で -13.5dB 、トランクリッド上(B)で -17.5dB 、バンパ上(C)で -10.5dB 、バンパ側面(D)で -9.5dB 、となり充分の余裕がある。

確認のためフェライトバーアンテナ②について同一測定を行った結果を図-15に示す。この場合

もフェライトバーアンテナ①とはほぼ同一の特性が得られバンパ周辺 (C)、(D) で最大の放射レベルが得られ、減衰率が最大となるのは、トランクリッド上 (B) で $E \propto \gamma^{-2.0}$ となる。この減衰率は、アンテナを車体から取外した場合でも取付け位置と同じ地上高では、ほぼ同様の傾向が得られる。したがって、アンテナ取付け位置による放射レベルの差は、車体の影響によるものであり、減衰率の差は、アンテナ地上高によるものと考えることができる²⁾。

この実験で、最大の放射レベルが得られる取付け位置はバンパの周辺であったが、この位置でオーバヘッドに対する交信領域が心配となる。次に車載アンテナ周囲の放射特性について述べる。

2) 車載アンテナ周囲の放射特性

前述のフェライトバーアンテナ①で、図-9の取付け位置で、3種の路上アンテナに対する交信領域の測定を行った。実験は、車載アンテナより放射し、車または路上アンテナを移動させ、路上アンテナ設置位置の電界強度を測定した。

路上機の最小受信レベルは、

オーバヘッド……………90 dB μ V/m

サイドファイヤ……………93 //

路面埋設ループ……………105 //

である。路上アンテナを中心に進行方向 ± 2.5 m を交信領域とし、この範囲内で路上機の最小受信レベル以上の電界強度が得られているかを測定した。

i) オーバヘッドアンテナに対する交信領域

図-16に地上高5 m地点の放射フィールドを示す。

車載アンテナ取付け位置を路上アンテナから最も遠いバンパ周辺 (C)、(D) としたとき、進行方向に対し6~7 mの交信領域が得られている。ルーフサイド (A)、トランクリッド (B) では、アンテナ間距離が小さくなるにもかかわらず、5

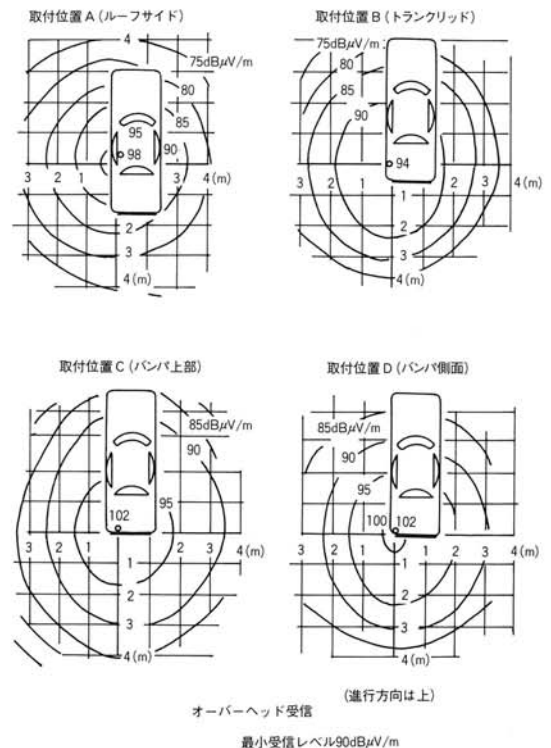


図-16 オーバヘッドアンテナ周囲の電界強度

Fig. 16 Electric field strength around the over head antenna.

mの交信領域は得られていない。

確認のため前述のフェライトバーアンテナ②について、車載アンテナ直上、地上高5 mの電界強度を測定した。結果は次のようになる。

ルーフサイド (A)……………96 dB μ V/m

トランクリッド (B)……………92 //

後部バンパ上 (C)……………97 //

後部バンパ側面 (D)……………99 //

フェライトバーアンテナ②の場合も、バンパ周辺で強い放射レベルが得られている。

オーバヘッドに対しては、どの取付け位置でも路上アンテナを見通せる位置にあるという条件は同じである。異なる点は、車載アンテナと路面との間に車体が存在するかどうかである。

フェライトバーアンテナの場合、車載、路上両アンテナ間、および、車載アンテナ、路面間に車

両金属が存在しない位置が目安となる。

ii) サイドファイヤアンテナに対する交信領域

図-17に、サイドファイヤを勘案した地上高1mの放射フィールドを示す。

サイドファイヤに対しては、ルーフサイド(A)、トランクリッド(B)、バンパ上(C)、バンパ側面(D)のすべてについて、進行方向5m以上の交信領域が得られている。ルーフサイド(A)、トランクリッド(B)で6m程度、バンパの周辺(C)、(D)で10m程度となる。この場合も、車載アンテナをバンパ周辺に取付けたとき、最大の放射レベルが得られている。

iii) 路面埋設ループアンテナに対する交信領域

図-18に、車が路面埋設ループ周辺を移動したときのループ中央点の電界強度を示す。路面埋設ループアンテナ周辺より車から放射し、同一受信

レベルの得られる車載アンテナの位置を結んだ図である。

ループアンテナの最小受信レベル105 dB μ V/m以上得られる車載アンテナの位置より交信領域を求める。バンパ周辺(C)、(D)に取付けたとき、進行方向に対して6m程度、その他の位置では、車をループ中央に移動しても、105 dB μ V/m以上のレベルは得られなかった。

次に、進行方向の路面埋設ループアンテナ中心軸上に、車載アンテナを移動させたときの、結合レベルの変化を図-19に示す。結合パターンは、ループアンテナ送信、車載アンテナ受信の場合も同様であると考えられる。

すべての取付け位置に対し、ループ内では結合レベルが平坦で、車の走行によるパターンの非対称性は見られなかった。ルーフサイド(A)、とト

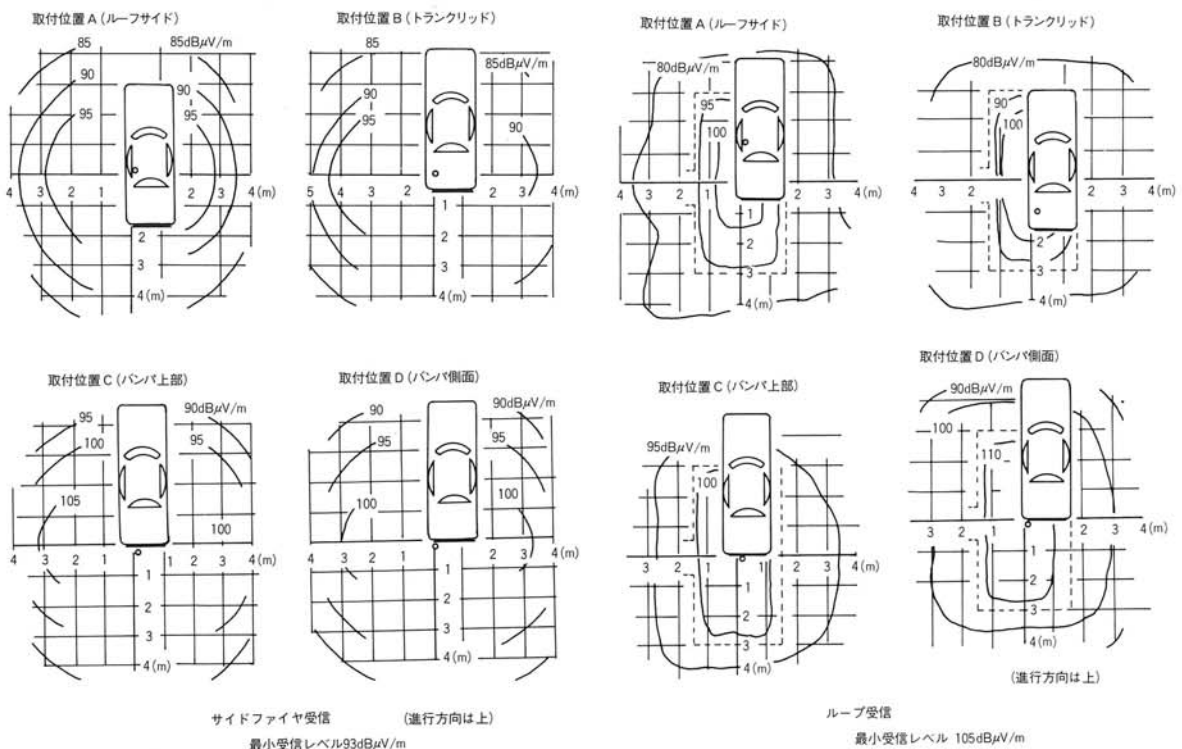


図-17 サイドファイヤアンテナ周辺の電界強度

Fig. 17 Electric field strength around the side-fire antenna.

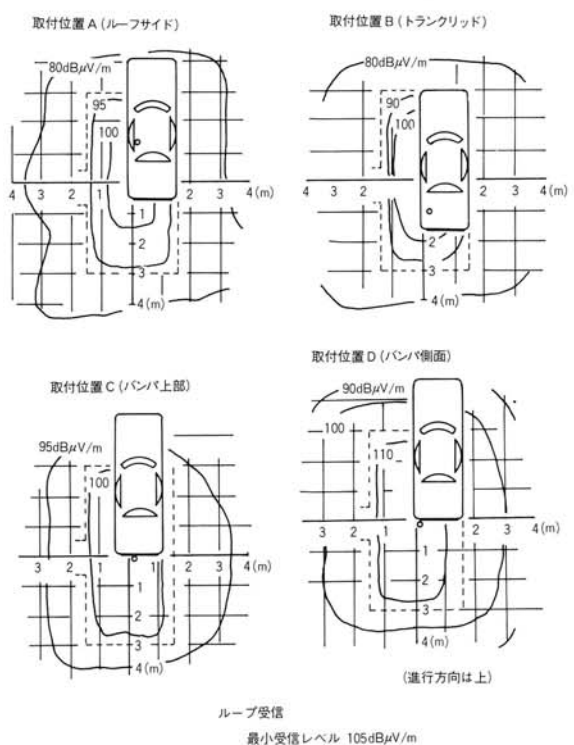


図-18 路面埋設ループアンテナ周辺の電界強度

Fig. 18 Electric field strength around the road surface loop antenna.

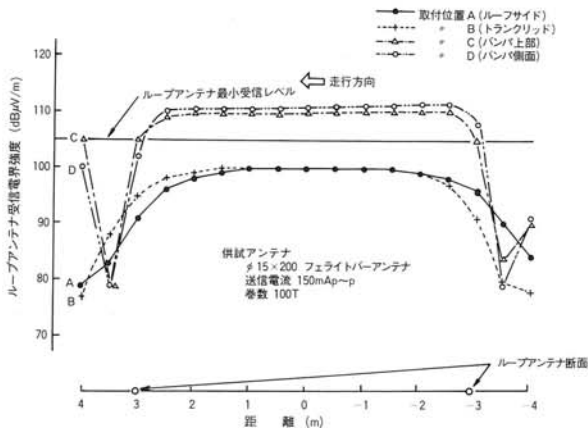


図-19 路面埋設ループアンテナとの結合レベル

Fig. 19 Combination level with road surface loop antenna.

ランクリッド(B)とを比較すると、ループとの距離に差があるにもかかわらずレベル差は現われていない。またループ出入口^{脚注)}では、アンテナ間距離の小さいランクリッド(B)の方がレベルの落ちが大きくなっている。このことは、車載アンテナと路面アンテナとの距離の影響よりも、車両の影響を大きく受けることによるものと考えられる。

交信領域の確保されたバンパ周辺(C)、(D)では、105 dB μ V/m以上のサイドロープが現われる可能性があり、ループ外での交信も考えられる。なお、ルーフサイド(A)、ランクリッド(B)では、レベルが低いためにサイドロープが顕著に現れなかった。

参考までに同一アンテナをワンボックスカー(バン)に取付けたときのループ中央の電界強度を次に示す。

ルーフサイド(A)……………	102 dB μ V/m
後ドア(B)……………	102 //
後部バンパ上(C)……………	104 //

脚注) ループ出入口

埋設ループアンテナを車載アンテナが横切るときのループアンテナの両端

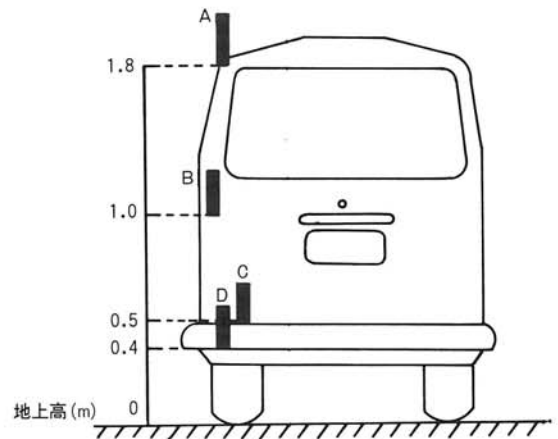


図-20 フェライトバーアンテナの取付け位置

Fig. 20 Fitting location of ferrite-bar antenna.

後部バンパ側面(D)……………104 dB μ V/m

車載アンテナ取付け位置は図20による。

この場合もバンパ周辺で強いレベルが得られる。乗用車と比較すると6 dBのレベル劣化があり、路面埋設ループ最小受信レベルより1 dB低い値となった。

バンパは、乗用車、バンとも金属である。またバンパ、路面間にはどちらも車両金属が存在しない。このことから、取付け車両の大きさにより放射レベルに差が出てくることが考えられる。

以上により、3種の路上アンテナとの交信領域を確保するには、

- ① 車載アンテナが路上アンテナを見通せる位置にあること。
- ② 車載アンテナ、路面間に車両金属が存在しないこと。

の2点が要求される。

車両が大きくなると放射レベルの劣化が今回の実験と異なると考えられるため、バス、トラックなどの大型車種での検討も必要である。大型車両でのレベル劣化を考慮すると、微弱電波の範囲内での送信出力の可変を必要とする場合も起こり得る。

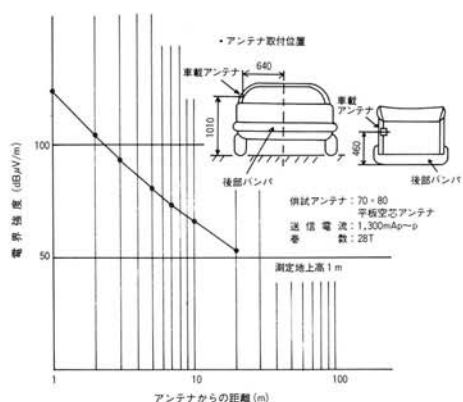


図-21 平板空芯アンテナの放射特性

Fig. 21 Radiation characteristic of plane coreless antenna.

3. 3. 2 平板空芯アンテナ

前述のフェライトバーアンテナとほぼ同等の出力が得られると想定される平板空芯アンテナを乗用車のトランクリッドに取付け、距離と電界強度の関係を測定した。取付け位置と測定結果を図-21に示す。

平板アンテナの形状を70×80(mm)、巻数28tとする。ベンチテストでは、送信電流をフェライトバーアンテナと比較して20 dB程度増加させる必要がある。フェライトバーアンテナに比べ車両の影響を著しく受けるため取付け位置の設定が困難である。試作アンテナでは、車両金属から100mm以上離す必要があった。

取付け位置による放射レベルの劣化、および、送信電流を考慮すると、フェライトバーアンテナの方が実現の可能性が高いと思われる。

4. 通信制御に関する実験

4. 1 概 要

データリンクコントロール用の市販 LSI (MB 8875) を使用し、路上機、車載機の簡単なテスト用のプログラムを作製し、送受信の確認を行っ

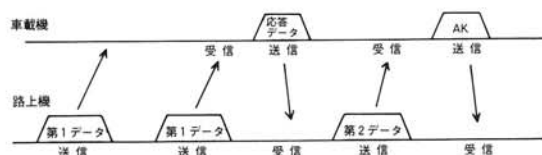


図-22 交信シーケンス

Fig. 22 Communication sequence.

た。シミュレーション実験ではあるが、ソフトウェアによる基本的な送受信の確認ができれば、交信領域内のキャリアレベルを確保することによりハードウェアとして問題はないと考えた。

4. 2 通信制御

4. 2. 1 交信手順

交信シーケンスは、図-22 に示すように、路上から車への第1データ、車から路上への応答データ、路上から車への第2データから成る。

路上機は、交信中でないときは常に第1データを一定周期で発信している。車載機は、この第1データを完全に受信することにより、交信領域に入ったことを認識する。車載機は、第1データ発信間隔より短い時間内に応答データを送信する。路上機は応答データに対する処理後、第2データを送信する。車載機は第2データに対するアクノレッジ (AK) を送信する。これを1交信エリアで2回行う。交信領域は、5mであり、車が100 km/hで通過するものと仮定すると、1回の交信時間は、90 ms以内となる。

4. 2. 2 フレーム構成

フレーム構成は、HDL C (ハイレベル・データリンク・コントロール)³⁾ の仕様に基いたもので、市販 L S I を使用できるものである。構成を図-23に示す。

フラグシーケンス……………特定のビットで構成されフレームの最初と最後を示す。

宛先アドレス……………各車載機、路上機には機器の識別番号が与えられ、送信先のアドレスを示す。

発信アドレス……………送信側の識別番号
 フラグ検査シーケンス……誤り訂正、検出符号
 誤り検出には、CRC (Cyclic Redundancy Check Code) 方式が用いられる。

これらはLSIにより構成される。

4.2.3 シミュレーション実験

実験システムでは、ソフトウェアデバッグツールを車載用、路上用各1台用い、受信データ内容はCRTでモニタした。方法は次の通りである。

フラグ シーケ ンス	宛先ア ドレス	発信ア ドレス	情報部	フラグ検 査シーケ ンス	フラグ シーケ ンス
01111110	8ビット	8ビット	8×n ビット	16ビット	01111110

図-23 フレーム構成

Fig. 23 Frame composition.

① 路上機のアドレスを“FF”、車載機のアドレスを“00”とし、路上機より情報データ10バイトを送る。

② 車載機は、これを受信し、路上機のアドレスを書込む。情報データ内容を2回繰返しコピーしバイト20とする。これを応答データとして送信する。

③ 路上機は、20バイトの情報データをコピーし、第2データとして車載機に送る。

この動作フローを図-24、図-25に示す。

実験はベンチテストに留まり、データ誤り率の定量的な測定はできなかったが、市販LSIの流用の可能性が確認できた。今後、実車試験により、交信領域とデータ誤り率との関係を調査したい。

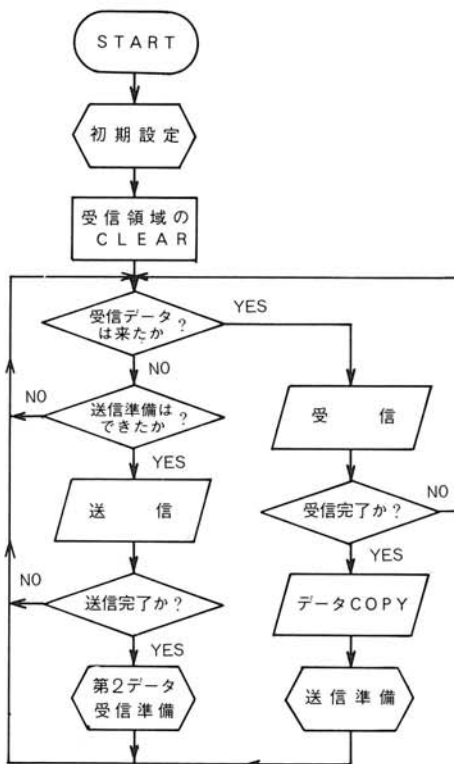


図-24 車載機フローチャート

Fig. 24 Flow chart of on-board system.

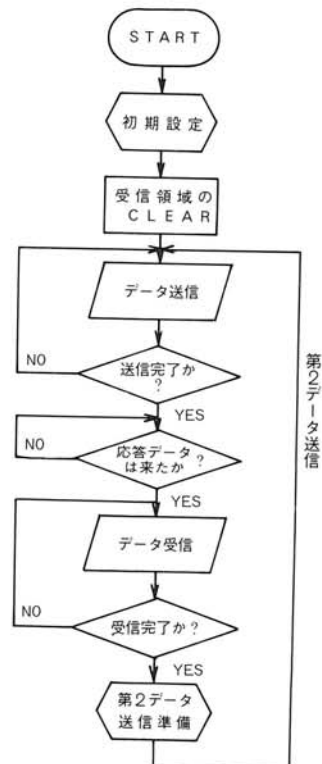


図-25 路上機のフローチャート

Fig. 25 Flow chart of system on road.

5. む す び

今回の実験では、ハードウェアの確認が主で、路・車間通信の実現の可能性を調査するものであった。特にアンテナの特性調査に重点を置いた。

アンテナの放射特性に影響を与える要素は、アンテナ形状、給電方法、車への取付け方法など非常に多い。今回のデータは、当社試作機での一結果にすぎず、現段階では、理論的な裏付けが得られていない。したがって、一般論として論じることとはできない。アンテナ取付け位置、放射フィールドの調査データは、今後の試作において非常に有用なものであると考えられる。

協会では、引続き、通信手順を中心とした、ソフトウェアレベルの仕様検討がなされている。また、量産試作も考えられている。

なお、この研究は、協会に参画する多数のメーカーのもとで進められており、1983年3月に、協会主催による各社共同実験が行われた。

この報告は、協会構成メンバーの一員である富士通（株）の受託内容を当社で実施した試作、研究の成果である。

参 考 文 献

- 1) 川合ほか：「デジタル型MSK遅延検波回路の検討」、電子通信学会通信方式技術研究報告、CS80-55、P-44、45(1980)。
- 2) 自動車総合管制技術の研究開発、日本産業技術振興協会、P-503 (1977)。
- 3) 副島：「新・データ伝達システム」、産業図書、初版、東京、P-218 (1982)。