

### 金属板上電界通信における干渉波計測に関する研究

河本, 大地 / Kawamoto, Daichi

---

(出版者 / Publisher)

法政大学大学院理工学研究科

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学大学院紀要. 理工学研究科編

(巻 / Volume)

64

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

5

(発行年 / Year)

2023-03-24

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00026393>

# 金属板上電界通信における干渉波計測に関する研究

## MEASUREMENT OF INTERFERENCE WAVE IN ELECTRIC FIELD COMMUNICATION ON LARGE METAL PLATE

河本 大地

Daichi Kawamoto

指導教員 品川満

法政大学大学院理工学研究科応用情報工学専攻修士課程

We study electric field communication on a large metal plate. Since electric field communication can use metal as a transmission line, it is expected to be applied to things made of metal such as cars and robots..

Interference noises from environmental electronic equipment propagate along the large metal plate and disturb the communication. Therefore, the influence of the interference noise on communication performance should be examined. This paper reports on the interference measurement in electric field communication on a large metal metal plate with an electrically isolated measuring instrument.

**Keywords** : Electric field communication, Laser diode, Photo diode, Electro-magnetic field simulation, Car area network

### 1. 序論

今日まで自動車は国内外を問わず人の移動手段として使用されている。様々な交通手段が存在する近年においても乗用車の普及は続いている。国内に存在する乗用車の台数は増加傾向にあるため、今後も増加していくことが考えられるが、環境への影響の配慮、特に温室効果ガスとなる二酸化炭素の排出量の削減という大きな課題が存在する[1]。しかし一方で、近年の安全性の追求と自動運転技術搭載によって車載機器、部品は増加し、燃費の悪化が想定される。現在の自動車にはヘッドライト、テールライト、事故防止や安全対策のアンチロックブレーキシステム(ABS)、ドライブレコーダーとしての車載カメラ、自動運転技術や追突防止のためのミリ波レーダーなどの機器が搭載されている。そしてこれらの機器をつなぐのがワイヤーハーネスと呼ばれる電線の束であり、制御するのが制御ユニットである。今後、自動運転技術や安全機能の向上、さらには新たな機能の追加をする場合、それに伴って部品とそれらをつなぐワイヤーハーネスの増加させる必要がある。これによって自動車の重量が増加し、燃費が悪化することで二酸化炭素の排出量が増加することが考えられる。これらの問題を解決するために、先行研究では電界通信技術[2]を自動車に適用したカーエリアネットワークの実現可能性が議論されている[3]。電界通信は環境からの干渉波の影響を受けやすい特徴があるため、実際に電界通信を車に適用するにあたって送信機と受信機の通信評価方法が問題となる。

本研究の目的は金属板上電界通信における、送信機と受信機の通信評価方法の提案である。電界通信は周囲からの干渉波による影響を受けるため、評価時にいつ干渉波が存在したのかを知るためにスペクトルを観測できる測定方法にする必要があると考えた。その際に通信に擾乱を与えないようにするために光電気変換ツールを使用し、その有用性と低擾乱かどうかについて調査を行い、提案する測定方法の妥当性について論じていく。

### 2. 干渉波計測について

電界通信は容量結合によって成り立つ通信な為、通信の信号と干渉を起こす干渉波の影響を受けやすい特徴がある。干渉波が混入するモデルを図1に示す。

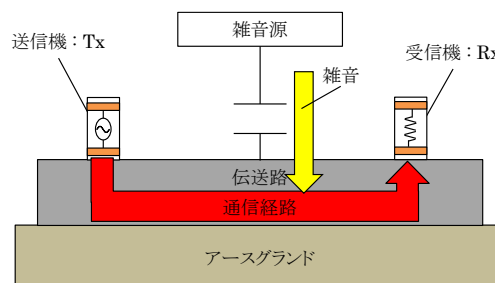


図1 干渉波混入モデル

周囲の干渉波源と伝送路が容量結合したり、干渉波が空間を通じて伝播したりするため干渉波の影響を受けやすい。これによって通信性能が劣化するため差動検出や

フィルタなど、雑音対策は多く議論されてきた。スマートフォンや部屋の入室管理システムのリーダー、IoT 対応製品など、身の回りの物の多くのが電波を発生しており [4]、それらが干渉波となりうることから、それらが存在しない場所で通信実験を行うことは困難だと考えられる。そのため通信評価実験の際、干渉波の有無を確認し、信号が正常か確認するためにスペクトルを観測する必要があると考えられる。またその際、通信を正しく評価するために、スペクトルの測定は低擾乱である必要があると考えられる。そのため解決策として、新しい測定方法を提案する。提案する測定系を図 2 に示す。

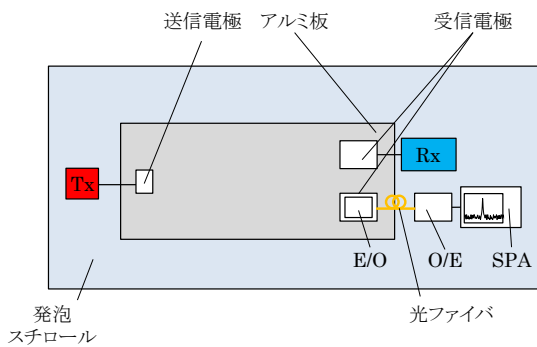


図 2 提案する測定系

図 2 に示した測定方法の特徴は、送信機と受信機の通信の傍らでスペクトルを測定する点である。これによって通信時のスペクトルを測定することができるため、通信時に干渉波が混入しているかが分かるようになり、正しい通信性能評価が可能となる。この測定系では送信機と受信機の通信に対して擾乱を与えないようにするために E/O-O/E プローブ [5] を使用している。E/O-O/E プローブについて図 3 に示す。

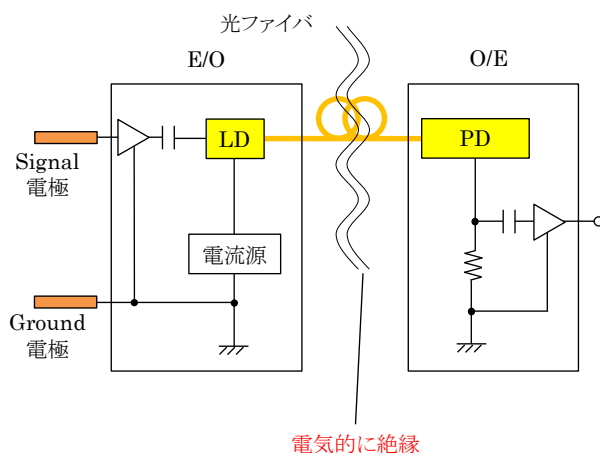


図 3 E/O-O/E プローブ

E/O-O/E プローブは電気信号を光信号に変換する E/O 部と、光信号を電気信号に変換する O/E 部、それら二つをつなぐ光ファイバの三つのパーツによって構成されて

いる。E/O 部にはレーザーダイオード(LD)、O/E 部にはフォトダイオード(PD)が使用されている。それぞれアンプが含まれている理由としては、電気信号を光信号に変換する際に信号が減衰してしまうことと、微弱な信号を増幅することによって測定器で計測できるようにするためである。E/O-O/E プローブを使用した場合の効果について図 4 に示す。

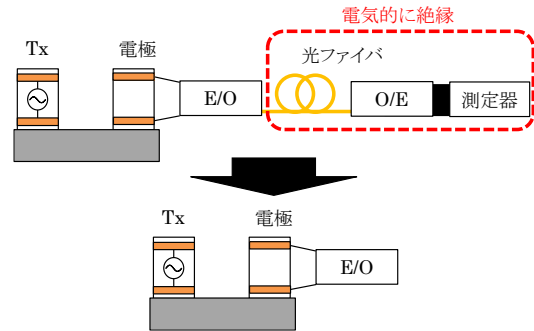


図 4 E/O-O/E プローブ使用による効果

E/O-O/E プローブの最大の特徴は E/O 部と O/E 部が電氣的に絶縁されていることである。E/O 部によって受信電極に入力された電気信号が光信号に変換され、光ファイバを通して O/E 部に入力される。その光信号は O/E 部によって光信号から電気信号に変換され、測定器に入力される。そのため E/O 部と O/E 部は電氣的に絶縁されていることから、図 4 のように測定系としては O/E 部と測定器が無いものとして考えることができる。ゆえに E/O-O/E を使用することによって測定器による擾乱は無いものと考えられる。測定時には図 4 に示したように電極と E/O を接続して一体化する。そのため、実質的に伝送路に電極と E/O が置かれている状態とみなせる。よって通信評価と、通信に低擾乱なスペクトルの測定を同時に行えると考えられる。

### 3. 金属板上の実測

本研究で使用した受信機は受信したパケット数をカウントする機能があるため、受信したパケット数からパケットエラーレートを計算し、通信性能の指標とした。パケットエラーレートの計算式を(1)に示す。

$$PER[\%] = \left( \frac{P_T - P_R}{P_T} \right) \quad (1)$$

$P_T$ は送信機から送信されたパケット数、 $P_R$ は受信機で受信されたパケット数である。本研究では一分間で一回の測定とした。一分間に送信機から受信機に届くパケット数は 46 個である。

金属板上の実測系を図 5、ブロック図を図 6 に示す。

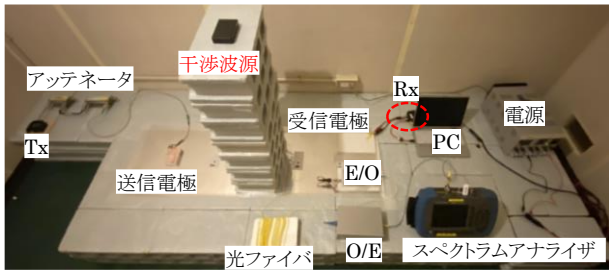


図5 金属板上電界通信の実験系

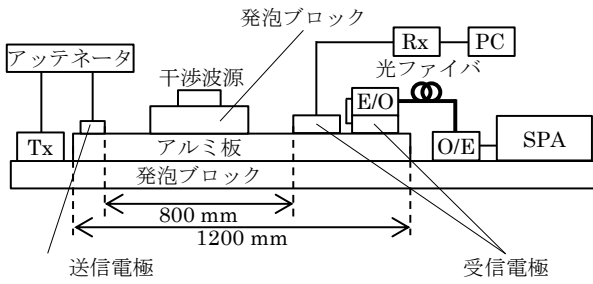


図6 金属板上電界通信のブロック図

図5、図6に示したように、大型金属板としてアルミ板を用いた。またその寸法は、1200 mm × 400 mm × 0.2 mmである。この実験系は発泡ブロックによって床から絶縁されている。送信機(Tx)と送信電極の間には可変アッテネータがつながれており、これによって送信出力を1 dB刻みで変更することができる。送信機の出力信号は、キャリア周波数が 13.56 MHz の BPSK であり、干渉波は 13.56 MHz の正弦波信号である。Tx からの BPSK 信号は、受信電極を通じて受信機(Rx)によって受信された。そして PC 上のソフトで、受信したパケット数とロスしたパケット数を測定することができる。スペクトラムアナライザ(SPA)は E/O-O/E につながれており、信号と干渉波のスペクトルを表示する。

まず図5、図6から干渉波源が無い系において、E/O-O/E 使用による通信への擾乱について測定を行った。図7に結果を示す。

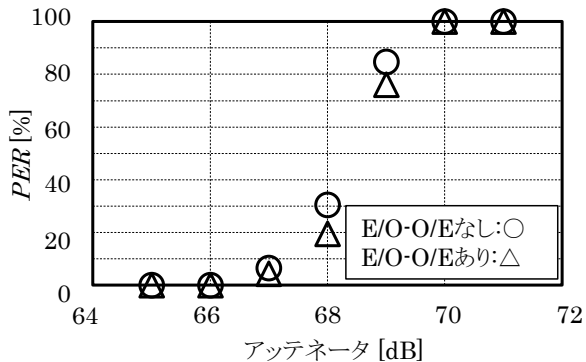


図7 E/O-O/E 有無による PER 特性比較

図7から、E/O-O/E ありとなしでは PER にほぼ影響がないことがわかる。よって E/O-O/E を使用することに

よって SPA が測定系から電氣的に絶縁されたため、通信への擾乱がなくなったと考えられる。また、伝送路に置かれている電極一体型 E/O の電極による容量と E/O の入力インピーダンスの抵抗は通信に対して与える影響は、無視できるほど小さいか無いものだと考えられる。

次に図5、図6の系において干渉波の有無で PER 特性とパワースペクトルを測定した。PER 特性を図8に示す。

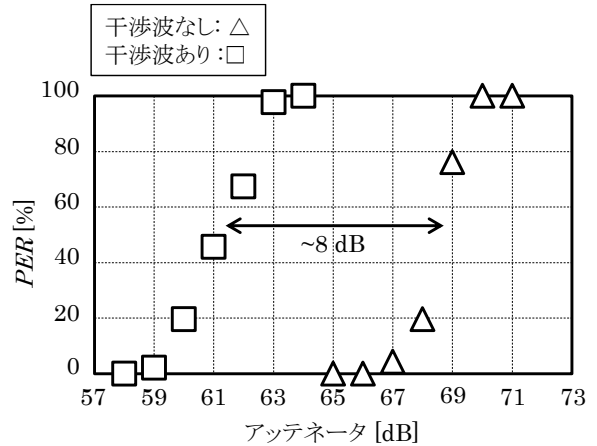


図8 干渉波有無による PER 特性比較

図8より、干渉波ありのほうが低いアッテネータの値で PER が 100 % に達している。最もアッテネータの値の差が大きい場合だと 8 dB 差が存在した。そのためこの通信では干渉波によって通信可能な信号の強さが変化していることが分かる。干渉波ありの場合の PER が 0 % のスペクトルを図9、PER が 100 % のスペクトルを図10に示す。

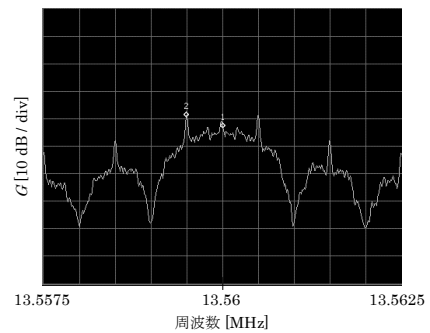


図9 干渉波あり、PER = 0 % のスペクトル

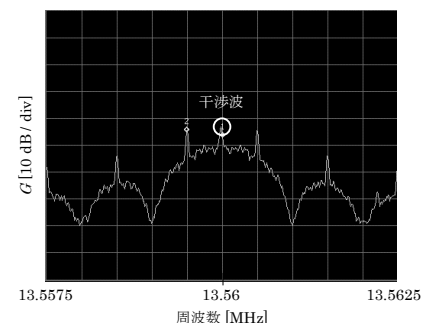


図10 干渉波あり、PER = 100 % のスペクトル

図 9 には 13.56 MHz に干渉波源の正弦波のスペクトルが見られないが、図 10 では信号強度がアッテネータによって減衰したことで、13.56 MHz に正弦波のスペクトルが確認された。そのため、提案した測定方法によって通信性能の指標となる PER と干渉波の存在の確認のためのスペクトルの両方を同時に測定することができた。よって提案した測定方法を使用することによって通信性能と干渉波の有無を同時に測定できると考えられる。

#### 4. 電磁界シミュレーション

実測結果の妥当性確認と、提案した測定方法が電界通信で使用されることが想定される他の周波数においても使用可能かどうか確認するために、ゲインの周波数特性の E/O-O/E プローブ有無依存をシミュレーションで調査した。シミュレーションモデルを図 11 に示す。

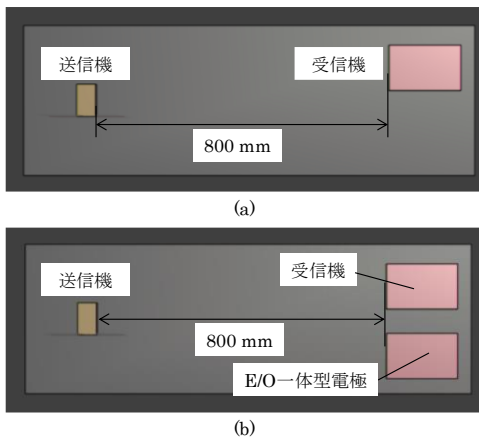


図 11 シミュレーションモデル  
(a)E/O 一体型電極なし (b)E/O 一体型電極あり

E/O-O/E プローブの有無による伝送特性の周波数特性の比較を行うために、受信電極 1 つの図 11(a)と受信電極と E/O 一体型電極の図 11(b)についてシミュレーションを実施した。O/E と SPA は先に述べた通り、電気的に絶縁されており測定系に存在しないものと考えられるため、E/O 一体型電極のみモデルに反映させた。伝送路モデルは実測で使用したアルミ板と同サイズである。そのため寸法は 1200 mm × 400 mm × 2 mm である。

シミュレーション結果はそれぞれ、送信電圧と受信電圧の周波数軸で与えられる。これらの結果から、電圧利得  $G$  を算出した。電圧利得  $G$  は式(2)で与えられる。

$$G = 20 \log_{10} \left( \frac{V_R}{V_T} \right) \quad (2)$$

ここで  $V_T$  は送信電圧、 $V_R$  は受信電圧である。E/O 一体型電極有無の結果比較について図 12 に示す。

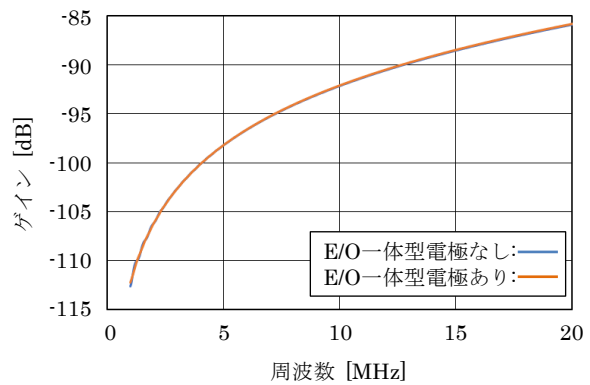


図 12 E/O 一体型電極有無の周波数特性比較

図 12 より、E/O 一体型電極有無で周波数特性がおおむね一致した。さらに E/O 一体型電極無しの電界分布を図 13、E/O 一体型電極ありの電界分布を図 14 に示す。

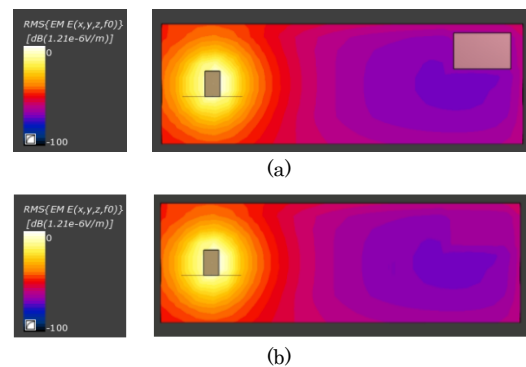


図 13 E/O 一体型電極なし電界分布  
(a)電極表示 (b)電極非表示

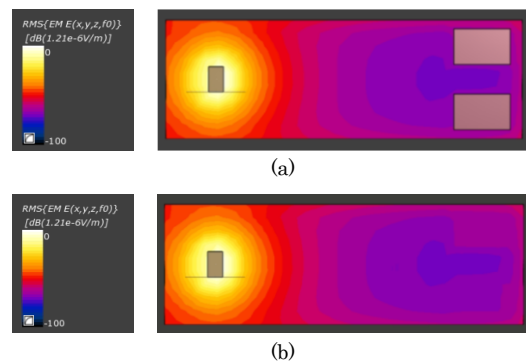


図 14 E/O 一体型電極あり電界分布  
(a)電極表示 (b)電極非表示

図 13 より、E/O 一体型電極が存在する場合、受信機に入る信号があるため、その周辺の電界が強くなっていることが分かる。図 14 では受信機と E/O 一体型電極に入る信号があるため、その周辺の電界が強くなっていることが分かる。図 13 と図 14 を比較すると受信電極周辺の電界に差異はないため、送信機と受信機の通信に E/O 一体型電極による影響は無いと考えられる。

実測の結果では E/O-O/E プローブの有無によって通

信への影響は存在しなかった。また電磁界シミュレーションでは E/O 一体型電極の有無による、受信機のゲインの周波数特性を比較した結果、差異は生じなかった。電界分布による比較でも、E/O 一体型電極の有無は受信機周辺の電界に影響を及ぼさなかった。そのため本研究で提案した、送信機と受信機の通信性能と干渉波の同時測定の正当性は妥当であると考えられる。

## 5. 結論と今後の展望

本研究では、自動車への電界通信適用時に干渉波が問題となることから、干渉波と通信性能の両方を測定する方法について提案し、その妥当性の調査を目的とした。アルミ板上の実測と電磁界シミュレーションにて、通信系とは別に E/O-O/E プローブとつないだ受信電極によるスペクトル、干渉波の測定が通信に影響を与えないことが分かった。そのため提案した測定方法の妥当性を確認することができた。しかし実際にこの測定方法が必要となるのは、実際に電界通信を車やロボットなどに適用する場合の、送信機と受信機の通信実験時である。その際問題となるのは、干渉波測定用の電極を設置する場所である。本研究のアルミ板上では影響は無かったが、車やロボットなどの電界通信の適用が見込まれるものは形状が複雑である。そのため本研究で提案した測定方法をより実用的に近づけるためには、車やロボット上の通信実験にて、電極位置によって通信に影響を与えるか否か検証が必要だと考えられる。

### 参考文献

- 1) 2020 年以降の取り組み：パリ協定 | 外務省
- 2) T. G. Zimmerman, "Personal area networks: Near-field intrabody communication," *IBM Syst. J.*, vol. 35, no. 3-4, pp. 609-617, 1996.
- 3) 高橋直也, "電界通信のカーエリアネットワークへの適用可能性に関する研究" 法政大学大学院 修士論文
- 4) 非接触 IC カード技術 FeliCa - SONY
- 5) K. Matsumoto, J. Katsuyama, R. Sugiyama, Y. Takizawa, S. Ishii, M. Shinagawa, Y. Kado "signal measurement system for intra-body communication using optical isolation method", *International Society Oriental Medicine*, Vol. 21, No. 5, pp. 614-620, 2014.