

無線設計技術と非接触 IC カード

近藤 史郎(こんどう しろう)

四蔵 達之(しくら たつゆき)

1 まえがき

富士電機は以前から、特定小電力無線や高周波利用設備などの適用を受ける比較的小さい電力を扱う近距離無線通信技術に力を入れてきた。これらの無線装置では、無線免許不要などの簡便さがある一方で、回線品質の確保が不十分なためにトラブルとなる場合も多い。この問題に対して、富士電機では無線チャネルの特性と送るべき情報の性質を考慮した無線システムのあり方の研究を通して、無線装置を実用化してきた。特に、近年その用途を大きく拡大しつつある非接触 IC カードにおいては、高速性、高セキュリティ性に優れているソニー(株)の FeliCa カード用各種リーダライタ(RW)を商品化している⁽¹⁾。

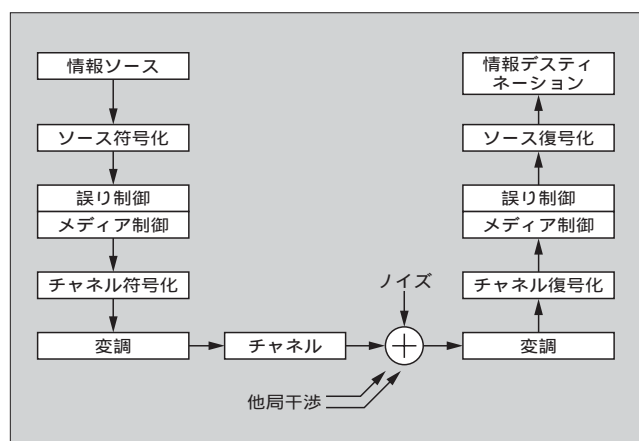
本稿では、非接触 IC カードの無線通信技術にスポットをあて、その技術的ポイントと富士電機の取組みを報告する。

2 無線システムとしての非接触 IC カード

2.1 無線システムモデル

デジタル化された情報を、情報ソースから情報伝達先(情報デスティネーション)に送る部分に着目すると、無

図1 通信システムモデル



線通信システムは、一般に図1のようにモデル化できる。図1における変調方式、符号化方式などにはきわめて多様な方法が提案されているが、これは通信しようとする情報の性質と、通信チャネルの特性の多様性に対応してきた結果である。

非接触 IC カードシステムにおいては、扱う情報は電子マネー情報に代表されるようなデジタルデータであり、完全なエラーフリーが要求される。また、通信距離 d が十数 cm 程度であるのに対して、搬送波波長が約 2.2 m (周波数 13.56 MHz) であり、 $d < \lambda / 2\pi$ が成り立つ。これは、電磁結合領域を使った通信を意味し、さまざまな要因により、片方の特性(例えば、インピーダンスなど)の変動が通信に影響を与えるという問題も同時に持つものとなっている。

図2 動作原理

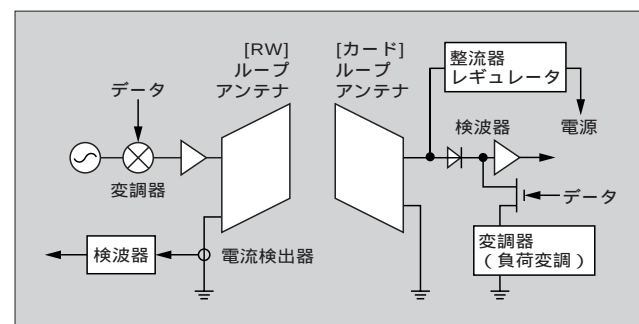


表1 物理層・データリンク層の仕様

項目		仕様
搬送波周波数		13.56 MHz
変調方式	RW → カード	ASK (変調度: 約10%)
	カード → RW	LM (負荷変調)
通信レート		211.875 kビット/秒
ビットコーディング		マンチェスタ
誤り制御		FCSによる誤り検出 + 再送制御



近藤 史郎

無線通信方式および非接触 IC カードの研究開発に従事。現在、富士電機アドバンステクノロジー(株)情報通信制御部グループマネージャー。IEEE 会員。



四蔵 達之

電磁界解析技術および非接触 IC カードリーダライタの研究開発に従事。現在、富士電機アドバンステクノロジー(株)情報通信制御部主任。電気学会会員。

2.2 RW 動作原理

RW の動作原理を図 2 に示す。まず IC カードには電源がないため、RW はカードに電源を供給しながら同時に通信を実行する。RW とカードのループアンテナ（カードアンテナ）が電磁的に結合している状態で、RW は 13.56 MHz の搬送波によりカードに電源を送る。同時に、RW からカードにデータを送る場合は RW から変調度約 10 % の ASK（振幅変調）信号を送信、カードはそれを検波してデータに直す。逆にカードから RW にデータを送る場合は、カードが RW からの無変調信号を受信している状態で、カード内の変調器により負荷変動を発生させる。RW はこの負荷変動を自己のループアンテナ（RW アンテナ）の電圧・電流の変化として検出し、データを復調する。

なお、FeliCa の物理層およびデータリンク層の主要仕様は、表 1 のとおりである。

③ 非接触 IC カード通信の課題

3.1 要求回線品質と誤り制御

エラーフリーを実現する回線品質と誤り制御について以下に述べる。近年、エラーフリー化のために強力な誤り訂正が適用される場合も多いが、非接触 IC カードシステムの場合はパケット長が数百ビット程度であるため、誤り訂正の効果はランダム誤りのみにほぼ限定されると考えてよい。

このことから比較的良好なビット誤り率が確保できれば、符号化効率の悪い誤り訂正符号を採用するよりも、冗長度が低くて済む誤り検出符号に再送制御を組み合わせた方式が妥当であると考えられる。FeliCa もこのような考えに沿って、誤りの救済は再送制御によっている。

ただし、この方式では、回線のビット誤り率が悪くなると再送回数ばかりが増え、急速に通信成功率が悪化することが知られている。例えば、パケット長 256、再送を 2 回実行した場合、通信誤り率として 10^{-8} 程度を得るには、回線のビット誤り率は 10^{-5} 程度にする必要がある。一方、ASK の非同期検波で 10^{-5} のビット誤り率を得るために必要な SN 比は 15 dB 程度であり、これが RW として確保すべき目標値と考えることができる。

3.2 課題

以上のようなビット誤り率の目標値実現の鍵が、②章で触れたインピーダンスなどの特性変動への対応であり、具体的には、カード特性変動への対応と RW 設置環境への対応である。近年は非接触 IC カードと呼ばれながら、その形状はカードに限る必要性のない利点を生かして、リストバンドや時計にチップを埋め込んだものが商品化されており、さらには、携帯電話へのチップ内蔵も本格普及期を迎えようとしている。このような多様なメディア特性に対して富士電機の RW は汎用的に使えるものを目指しており、相互接続性の確保が非常に重要である。

また、実際のシステムでは、複数カードが識別できることや複数の RW 間で干渉を受けないように設計することも課題となる。以上から課題をまとめると次のようになる。

- ① 多様なメディアへの対応と周囲環境への対応
- ② 複数カード識別
- ③ 複数 RW の相互干渉抑制

これらの課題について、次章以降で取組みの詳細を述べる。

④ 多様なメディアへの対応と周囲環境への対応技術

メディアの特性が通信に与える影響の一例を図 3 に示す。これは、カード - RW 間距離とカード → RW の信号強度の⁽²⁾関係を、幾つかのカード共振周波数 f_c をパラメータに表したものであり、 f_c が異なれば特性が大きく異なることは明らかである。さらに、 $f_c = 15$ MHz の特性に注目すると、距離 10 mm 程度の所で信号強度がゼロクロスしている。これがデッドポイントであり、カードが RW との通信エリア内にありながら通信不能に陥る点である。

また図 4 は、RW アンテナに金属が近接して設置されることで、RW アンテナのインピーダンスがどのように影響を受けるかについて解析したものである。金属に渦電流が流れることで自己インダクタンス成分が減少し、共振周波数が高い方向へシフトしていることが分かる。

上記のようにメディア特性、周囲環境が通信に与える影響は大きい。このため現状では、例えば自動販売機の正面に取り付けられる RW は、その設置条件でパラメータの最適化が必要である。富士電機ではこの開発設計作業の合理化のために、図 5 に示すような電磁界解析と回路解析の⁽³⁾⁽⁴⁾連成解析手法を開発してきた。具体的には、線状アンテナおよび面状アンテナの解析が可能な高周波電磁界解析プログラムによって、金属の影響などを考慮した RW およびカードアンテナの自己・相互インダクタンスや抵抗などの定数を解析する。一方、回路解析では上記定数を取り込んで、通信距離や整合インピーダンスなどの RW 特性を解析する。これにより、試作する前から、特性の予測や RW アンテナ形状などの最適化が可能となっている。

図 3 通信距離と信号強度の関係

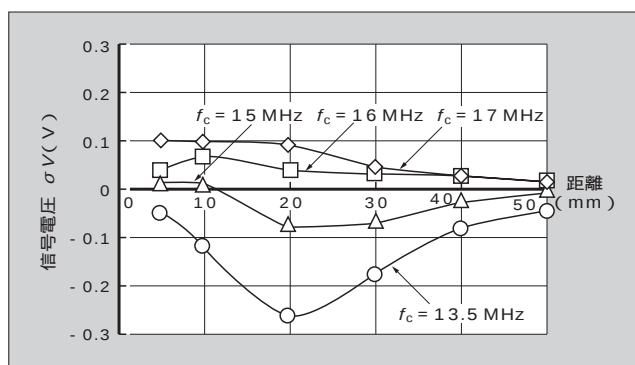


図4 金属の影響

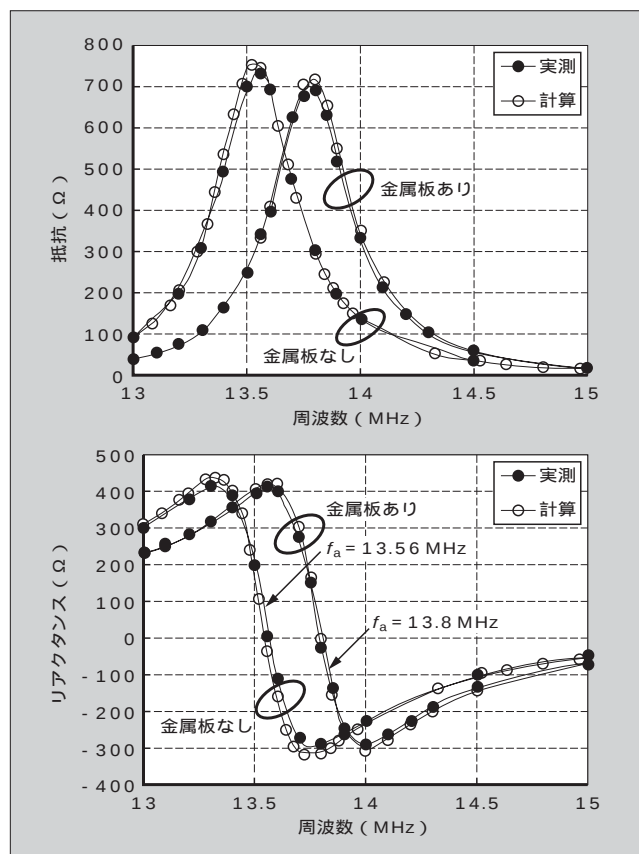
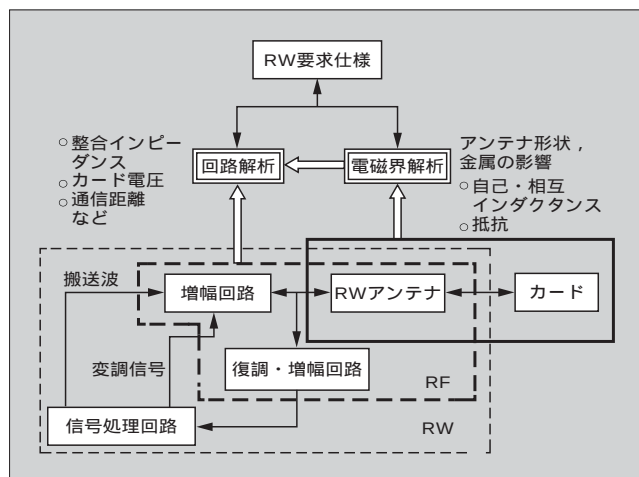


図5 連成解析技術



これらの技術を適用して開発したRWの外観を図6に示す。図7は、このRWの通信距離とカード周波数との関係を示したものであり、図中の「試作カード」とは、カード周波数を可変にしたカードアンテナとICチップで構成された評価用カードである。幅広いカード周波数に対して、90 mm以上の通信距離を実現した。また、定数の最適化によりデッドポイントのない通信を実現し、機器への組込み時には、その設置環境の応じて容易に調整できるように、調整箇所を最少とした設計としている。

図6 RWの外観

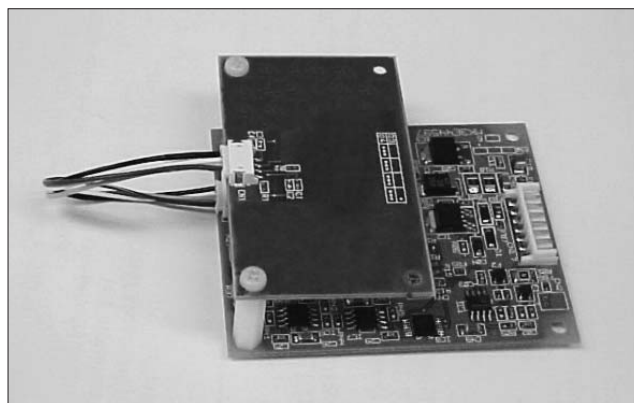
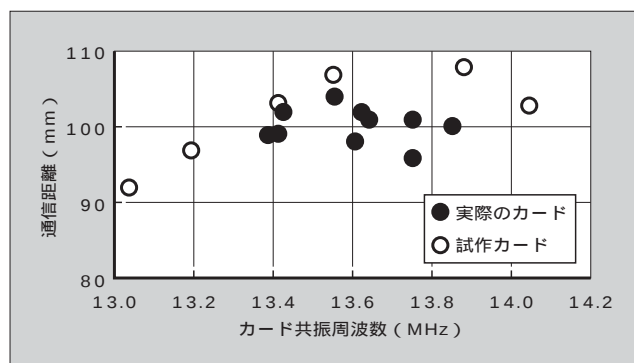


図7 RW 通信距離



⑤ 複数カード識別

非接触 IC カード通信では複数のカードを同時に識別する技術が必須である。これを可能とする技術は大きく二つである。

一つは、衝突防止（アンチコリジョン）技術であり、カード ID をスロット ALOHA 手順⁽⁶⁾で取得することで解決している。

もう一つは複数のカードが重なることにより電磁的なカップリングが生じて、カード特性が大きく変動する問題の解決である。これについては、アンチコリジョンカードというアンテナおよび f_c の工夫が提案されており⁽⁷⁾、④章で述べた解析技術を適用することによって、これらの特性に対応した RW の最適設計を可能としている。

⑥ RW 間干渉

図8はロッカーの鍵開閉を非接触のリストバンドで行う実用化例であるが、多数のRWが近接して配置されるため、一つのRWが生成する電磁界が他のRWに影響する可能性がある。

RW 間干渉モデルを図9に示す。ここで、RW 間干渉が最も大きな影響を及ぼすのは、当該RWがカードからの信号を受信しているときに、隣接のRWがダウンリンク信号を発生している場合である。RW からのダウンリンク

図8 ロッカーシステム

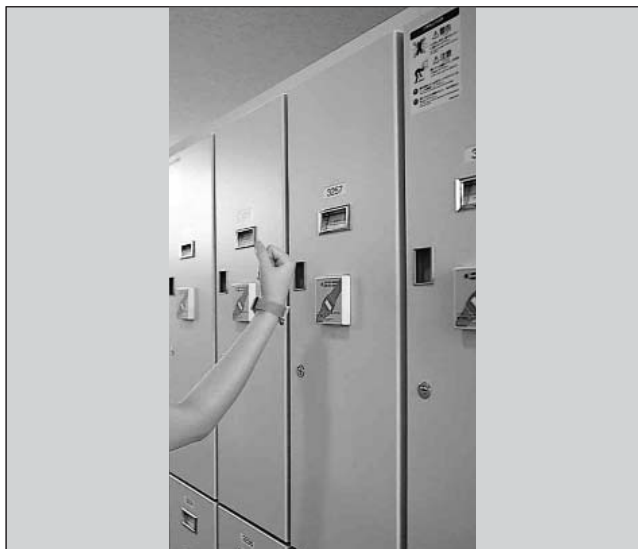
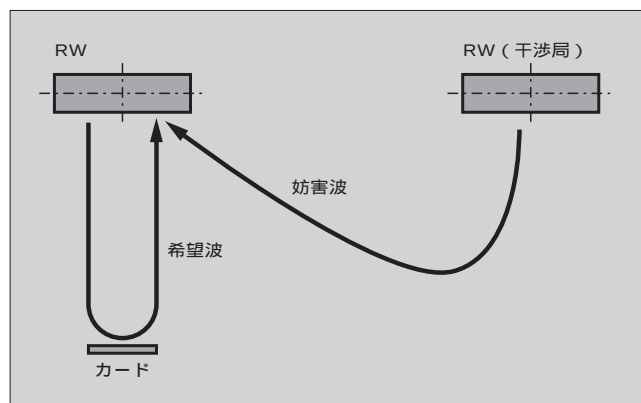


図9 RW 間干渉モデル



信号は無変調の場合と、ASK 変調の場合がある。

まず無変調信号の場合を考えると、希望局と干渉局の搬送波周波数に差がある場合、これらが検波回路で混変調を起こしてビートを打つ現象として現れる。しかし、実際の RW では、搬送波周波数偏差が 50 ppm 程度に抑えられているため、ビートの周波数はたかだか数百 Hz にしかない。また、ビットコーディングにマンチェスタ符号を採

用していることにより、受信機は低周波領域をカットしており、無変調信号は実際には大きな問題とはならない。

一方、ASK 変調信号の場合、干渉する信号の周波数帯域が希望波の周波数帯域に重なるために問題となりうる。この場合、いくら SN 比を改善すべく信号出力を上げて、まったくビット誤り率が改善しないという現象として現れるため、RW の設計などを見直して干渉電力を下げる、隣接する RW が同時に動作しないように制御する、などの対策を施すことが必要となる。ただし、これらの対策は、カードに対する反応を悪化させるという悪影響も同時にもたらすことになるため、先の例では、これらの課題を最適化した設計となっている。

7 あとがき

実用化期を迎えた非接触 IC カードの無線通信に焦点を当て、特にカードと RW の相互接続性やシステムへの適用上、鍵になる技術を紹介した。今後も、これらの RW 技術のさらなるブラッシュアップを通じて、非接触 IC カードの発展に努める所存である。

参考文献

1. 近藤史郎，四蔵達之．非接触 IC カードリーダーライター．富士時報．vol.75, no.7, 2002, p.405-408.
2. 四蔵達之ほか．非接触 IC カードリーダーライターにおける受信電圧とカード距離の関係．平成 16 年電気学会全国大会．vol.3, no.026, 2004, p.29-30.
3. 四蔵達之ほか．非接触 IC カードリーダーライターのシミュレーション技術．富士時報．vol.75, no.9, 2002, p.527-529.
4. 四蔵達之ほか．RW アンテナインピーダンスにおける IC カード共振周波数の影響．平成 14 年電気学会電子・情報・システム部門大会．GS7-3, 2002, p.813-814.
5. 村上益雄ほか．非接触 IC カードリーダーライターの開発．平成 16 年電子情報通信学会総合大会．B-5-144, 2004, p.631.
6. 例えば，Finkenzeller, K. (ソフト工学研究所訳)．RFID ハンドブック．日刊工業新聞社．2001, p.147-150.
7. 例えば，特開 2002-222400.



＊本誌に記載されている会社名および製品名は，それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。