

マルチフィールドIDシステム WAM300シリーズにおける非接触交信 技術

制御機器事業部

坂本 孝宏
Takahiro Sakamoto

制御機器事業部

清岡 直巳
Naomi Kiyooka

制御機器事業部

越 俊樹
Toshiki Koshi

研究開発本部

加納 史朗
Shiro Kano

キーワード

RFID, 非接触交信, FSK, 変復調技術, 交信速度, 交信品質

一般にRFIDシステムの変復調方式としては不適とされるFSKの技術課題を克服し、電磁誘導方式のRFIDシステムに適したFSK変復調技術を開発することで、従来製品に比べ、1) 交信速度や交信品質の向上、2) IDタグのローコスト化、3) セキュリティの向上、4) 複数IDタグとの識別交信機能、など大幅に性能、機能を向上したWAM300シリーズを製品化した。そのコア技術となる非接触交信技術について報告する。

Non-contact Transmission Technique in WAM 300 Series Multi-field ID System

The authors developed an FSK modulation/demodulation technique for application in electromagnetic induction RFID systems by overcoming the technical difficulties associated with FSK, which has usually been considered inappropriate as a modulation/demodulation method for RFID systems. This was developed into the WAM 300 Series of products, which have drastically improved performance and functions in comparison to conventional products, including 1) improved transmission speed and transmission quality, 2) lower cost ID tags, 3) improved security, and 4) an identification traffic function for multiple ID tags. This paper reports the non-contact transmission technique that is the core technology for the system.

1. はじめに

RFIDシステム(Radio frequency Identification System)は電磁誘導、電波などを利用した非接触交信手段によって、リーダライタと呼ばれる質問器からIDタグと呼ばれる応答器に各種コマンドを発行し、IDタグが保有する情報を取り出す、またIDタグが保有する情報を変更する機能を実現した自動認識機器である。最近では、公共交通機関の自動改札システムにRFID技術を利用した新システムが実用化されるなど、RFID技術は社会の高度情報化を推進するキーテクノロジーとしていまや技術トレンドになっている。当社ではすでに、1988年から工場内物流管理を主なターゲットとしたRFIDシステムを、1992年にはスキー場の自動改札システム向けの製品を開発し市場展開している。

電磁誘導を利用したRFIDシステムは、リーダライタが発生させた交流磁界を変調、復調してIDタグと交信する。バッテリーレスのIDタグは交流磁界から電源を生成する機

能、交流磁界を復調、変調しリーダライタと交信する機能、不揮発性メモリの情報を制御する機能などで構成される。図.1にRFIDシステムの機能ブロック図を示す。

RFIDシステムの応用範囲が広がる中で、交信速度や交信品質の向上、IDタグのローコスト化、セキュリティの向上、複数IDタグとの識別交信機能など、従来技術を大幅に改善した電磁誘導方式RFIDシステムが強く望まれている。これらの要求を実現するために、RFIDシステムのコア技術であるリーダライタとIDタグ間の非接触交信技術として、FSK(Frequency Shift Keying)を使った新しい変復調技術を開発した。

2. RFIDシステムにおける非接触交信技術の課題

RFIDシステムの交信技術は基本的には一般の無線通信技術を応用することができる。すなわち送信側は送信データを符号化し、搬送波に変調をかけ送信する。受信側は受

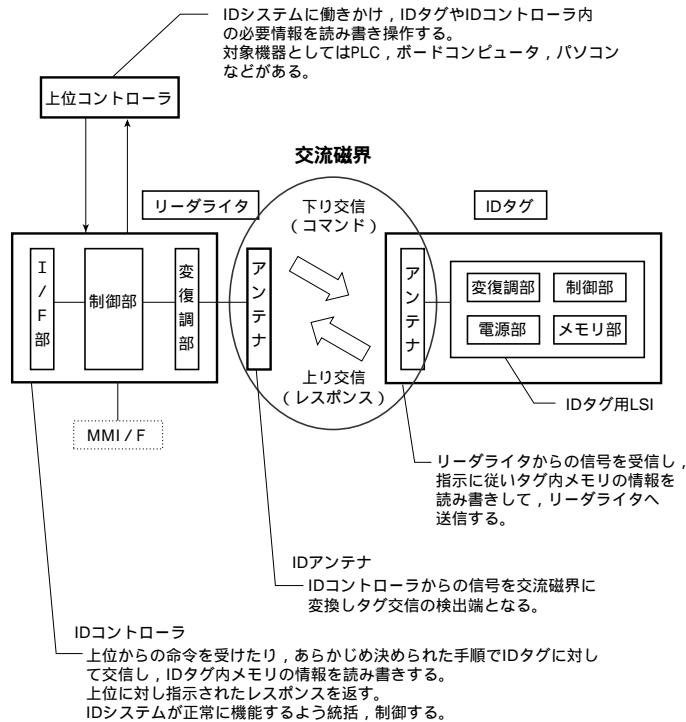


図.1 RFIDシステムの機能ブロック図

信波を復調，復号化し，データを得る。

RFIDシステムの通信技術が一般の無線通信技術と大きく異なることは、IDタグは電源を持たず、受信波から生成するわずかな電力でIDタグの回路を動作させる必要がある。RFIDシステムの通信距離はリーダライタの出力電力、電力伝送効率とIDタグの消費電力によって決定する。通信距離を伸ばすためには、IDタグは回路の低消費電力化が必須であり、回路を構成するうえで様々な技術的課題を克服することが求められる。とくに下り交信(リーダライタからIDタグへの交信)をいかにIDタグで復調するかが最大の技術課題で、下り交信方式はそのRFIDシステムの性能を決定する。

RFIDシステムの場合、下り交信の変調方式には復調原理が単純なASK(Amplitude Shift Keying)を用いる方式が一般的であるが、電力伝送効率の限界、アンテナに生ずる残響のため交信速度、交信品質の制約などを受け、必ずしも十分なパフォーマンスを引き出すことはできなかった。一方、変調波の包絡線が一定となるFSK方式は電力伝送の観点からは下り交信の変調方式として最適だが、IDタグの回路構成、復調方式としてはFSKが適さないとされる。その理由はIDタグの復調回路に消費電力や回路規模が大きなPLLと、精度のよい発振器を持たせなければならないことによる。またPSK(Phase Shift Keying)もFSKと同様の理由のほか、電力伝送効率を重視した場合、アンテナに生じる残響によって交信品質に制約を受けることから下り交信には適さないとされる。

3. 考案した変復調方式の概要

前述の通り、RFIDシステムの下り交信の変調方式には、一般の無線通信の変調方式とは異なった性能が求められ、FSK方式は適さないとされていた。しかしRFIDシステムの場合、下り交信にFSKを使用することによりASKでは限界となっている電力伝送効率の改善、交信速度や交信品質の向上が可能となることから、前述の技術課題を克服するFSKを使った新しい変復調方式の実現をめざした。とくに復調方式についてはIDタグのローコスト化を考慮し、IDタグ回路のLSI化に最適な小規模なデジタル回路で実現することを最大の目標とした。

3.1 変調方式

FSKを復調するためには受信波とは別系統のクロックが必ず必要になる。一般のFSKは、送信符号マークとスペースに期間一定で周波数が異なる2つの変調状態(シンボル)を対応させており、復調回路に精度の高い基準クロックを用いることにより周波数の変化を知ることができる。しかし、一般にIDタグに搭載可能な低消費電流の発振回路は、周波数ばらつきが最大数十%にもなるため、正確な周波数を得ることはできず、この発振回路から得られるクロックを用いた復調回路は動作が極めて不安定なものになる。

そこで、ばらつきの大きい内部発振クロックを用いても、安定し、かつ単純な回路で復調を実現する変調方式と

して図.2に示すFSK変調方式を考案した。

この方式は、各送信符号に周波数を割り当て、シンボルの期間を各々に割り当てられた周波数の周期の整数倍とすることを特徴とする。

この変調方式では復調回路を受信波基準で動作させることにより、復調回路の動作速度の個体ばらつきをなくすことができ、受信波を分周することによりシンボルの周期と一致したデータ判定タイミングが簡単に生成できる。このとき、変調をかけることにより復調回路の動作速度を変化させることになり、実際には一定の周波数で動作している内部発振クロックが復調回路から見ると通常のFSK変調波のように観測されるため、図.3に示す回路構成により、復調が可能となる。つまり、受信波は復調回路の動作速度を制御し、周波数を高くして復調回路の動作を速くすることにより、IDタグ内部発振器の周波数が低く見え、逆に変調波の周波数を低くし動作を遅くすることにより、内部発振器の周波数が高く見えるようになり、しかもシンボルごとの期間も一定に見える。これにより、パルスをカウントするなどの簡易な方法によりデータを再生することが可能となる。

このとき、FSK変調波に見立てている内部発振クロックは実際に空間を伝搬するものではないので、周波数を高く設定することができる。これにより変調波の搬送周波数も高くできるため高速な通信が可能となる。また、各シンボル間の周波数の差も大きくなるため、周波数の弁別が簡単になり、復調回路を簡易な構成にすることができる。

3.2 復調方式

RFIDシステムの下り通信の復調方式には、安定して復

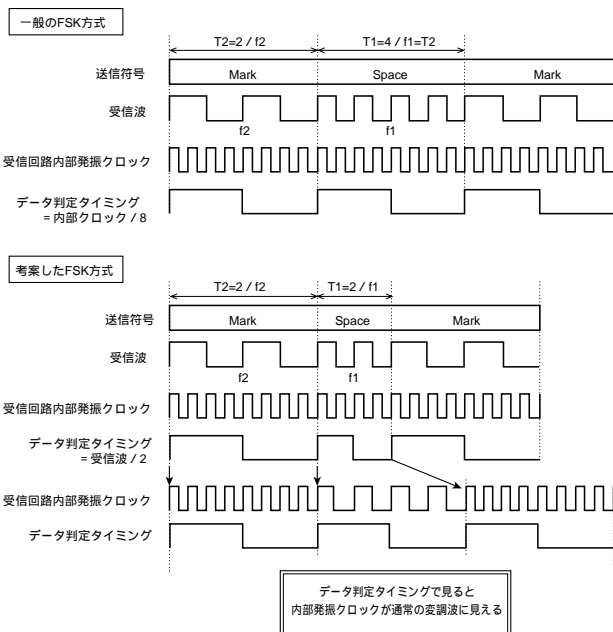


図.2 FSK変調方式

調できることはもとより、低消費電力で小型の復調回路、たとえばデジタル回路のみにより実現できる方式が求められる。さらに、前節の変調方式を用いた場合には、変調波は個体ばらつきの大きい内部発振クロックであるので、周波数・変調指数が不定であり、通常用いられている復調方式よりも復調可能周波数範囲、変調指数範囲が広い方式でなくてはならない。

このような要求を満足する復調方式として、周波数弁別検波の簡易なデジタル回路にて構成可能という利点と、遅延検波の周波数許容範囲が広いという利点を組み合わせた図.4に示す方法を考案した。

以下が復調アルゴリズムである。

シンボル長の1/2を測定区間とする周波数測定を行う。

と測定区間を1/4シンボル長ずらした、シンボル長の1/2を測定区間とする周波数測定を行う。

との測定結果を比較し、一致したときに受信信号の周波数を確定する。

確定したときの周波数と前回確定したときの周波数を比較し、データの判定を行う。

周波数の測定区間をシンボル長の1/2の長さにする事により、受信信号と周波数測定区間が非同期であっても周波数測定結果が受信周波数と一致する時点が必ず現れる。

また、測定区間をシンボル長の1/4時間ずらした2系統で周波数の測定を行い、両方の測定周波数が一致した時点で周波数を確定することにより、シンボルを3/4以上受信した後に受信周波数を確定することになり、データ判定タイミングの許容範囲が広がるため、安定した復調が可能となる。

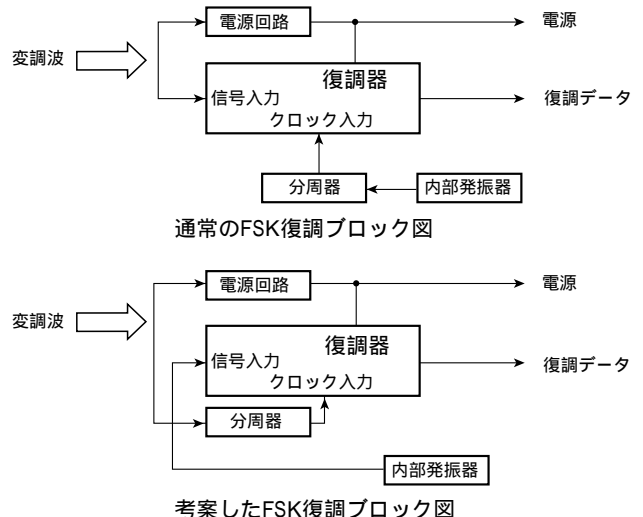


図.3 FSK変調回路ブロック図

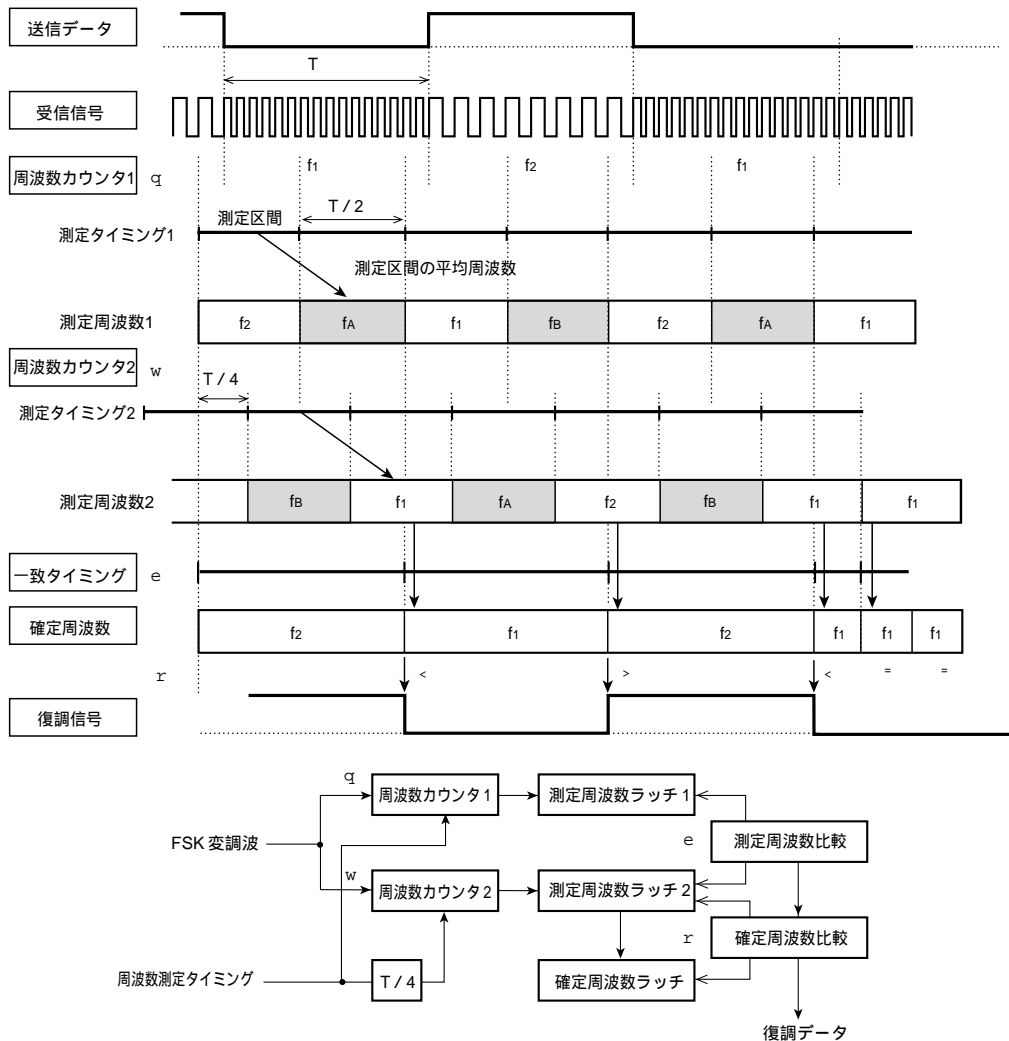


図 .4 考案した FSK 変調方式

さらに、シンボルの判定を前回の確定した周波数と今回確定した周波数との比較により行うため、変調波の周波数・変調指数の許容範囲が広がる。

この方式により、周波数・変調指数が不定の FSK 変調波を小規模のデジタル回路のみで安定して復調することができる。

4 . WAM300 シリーズにおける新変復調方式の実現

前述の変復調技術を実現するポイントは、リーダライタでの変調処理の実現方法、ID タグでの復調処理の実現方法にある。WAM300 シリーズを製品化するにあたり、これら二つの課題は製品開発上の重要なテーマであった。

4.1 リーダライタにおける変調処理

リーダライタにおいて本変調方式を実現する技術上のポイントは次の 2 点である。

- 各シンボルは変調波の整数倍であり、マークとスパー

スで周波数が異なるため、各々の 1 シンボルあたりの時間長が異なる。

- マークとスペースの変化点で、変調波の位相を連続させながら周波数を切り替えなくてはならない。

これらの条件を満足する変調波を生成するには、異なる周波数を生成し、送信データを変調する変調器と、その出力である変調波を分周し、送信クロックを生成して変調器にフィードバックすることで、シンボルごとに時間を制御する仕組みが必要である。また当然ながら、リーダライタに搭載する変調器としても極力安価にかつ簡易に構成できることが求められる。

一般には、FSK 変調器を図 .5 または図 .6 に示すようなハードウェアで構成することが考えられるが、本変調方式を図 .5 の方法で実現するハードロジックには、相当規模の ASIC を必要とする。また図 .6 の方法で実現する場合には、入力電圧と出力周波数の直線性、安定性が重要で、調整が不可欠である。いずれにしる回路規模が大きくなり、RFID システムのリーダライタに搭載するハードウェアとしては

コスト、サイズのメリットが期待できないことから製品化に適さないと判断した。そこでリーダライタ全体を制御するCPUに変調器の機能を持たせ、図.7の構成とし、ソフトウェアで送信フレームの生成、変調までを一括で制御する方法を実現した。

ソフトウェアで行う変調処理は、以下の4つの処理である。

- A) 送信データから送信フレームを生成する。
- B) CPU外部でCPUから送出された変調波をカウントし生成される送信クロックに同期して、送信フレームを送出する。
- C) 送出されている送信フレームのシンボルに対応した変調波を生成する。
- D) 送出された送信フレームのシンボルの切り替わりに同期して、位相連続で、マークとスペースの周波数を切り替える。

WAM300シリーズでは以上の変調処理をソフトウェアで実現しているため、専用通信LSIを持たず、無調整で安定した変調波を生成することを可能とした。

4.2 IDタグでの復調処理

WAM300シリーズの製品化にあたり、IDタグに搭載するLSIも新規開発した。IDタグでの復調処理機能はLSIの

内部で実現している。開発したLSIはアナログ、デジタル、EEPROM混載で、RFインターフェイス機能、電源生成機能、交信およびメモリ制御機能、不揮発性メモリから構成される。LSIのブロック構成を図.8に示す。

IDタグはバッテリーレスであることから受信波よりLSI動作電源を生成する電源生成部を保有する。ここでリーダライタからIDタグへの交信ではFSKを用いているので、ASKのように搬送波が停止することなく常時電源を生成することが可能であり、安定したLSI動作が保証される。またASKの包絡線検波回路のようなコンデンサや抵抗などの受動素子を多用したアナログの復調回路を排除することにより、特性のばらつきから生ずる復調誤りやLSIのチップ面積の増大を回避することができる。

開発したLSIでは、本復調方式を実現するために高精度の発振器やPLLを使わず、2系統のカウントと判定ロジックからなる小規模デジタル回路で構成しており、これによりLSIの小型化を達成し、出荷テストを簡易化することも可能となった。

また本復調方式を実現するためLSI内部に数MHzの発振器を搭載しているが、一般にLSI内部の発振器の周波数精度は個体差や温度、電源電圧などの変動要因により数十%のばらつきをもっている。本LSIも例外ではなく同様の特性が見られるが、前述のように本復調方式においては、

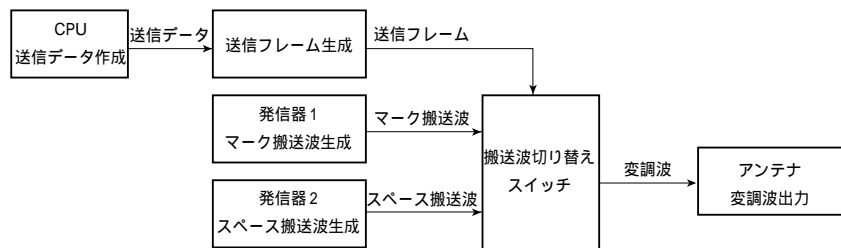


図.5 搬送波に対応した2つの発振器をスイッチで切り替える方式の構成

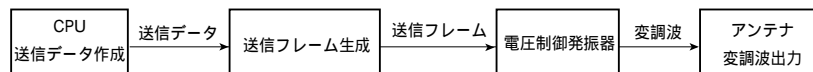


図.6 電圧制御型の発振器で2つの搬送波を生成する方式の構成

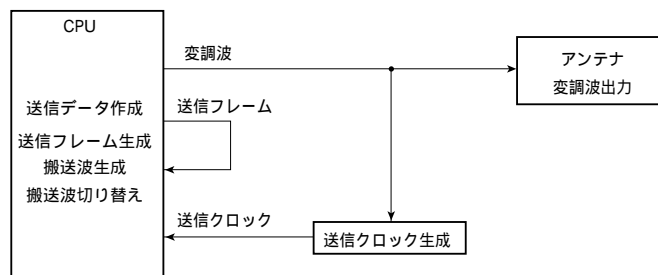


図.7 本変調方式の構成

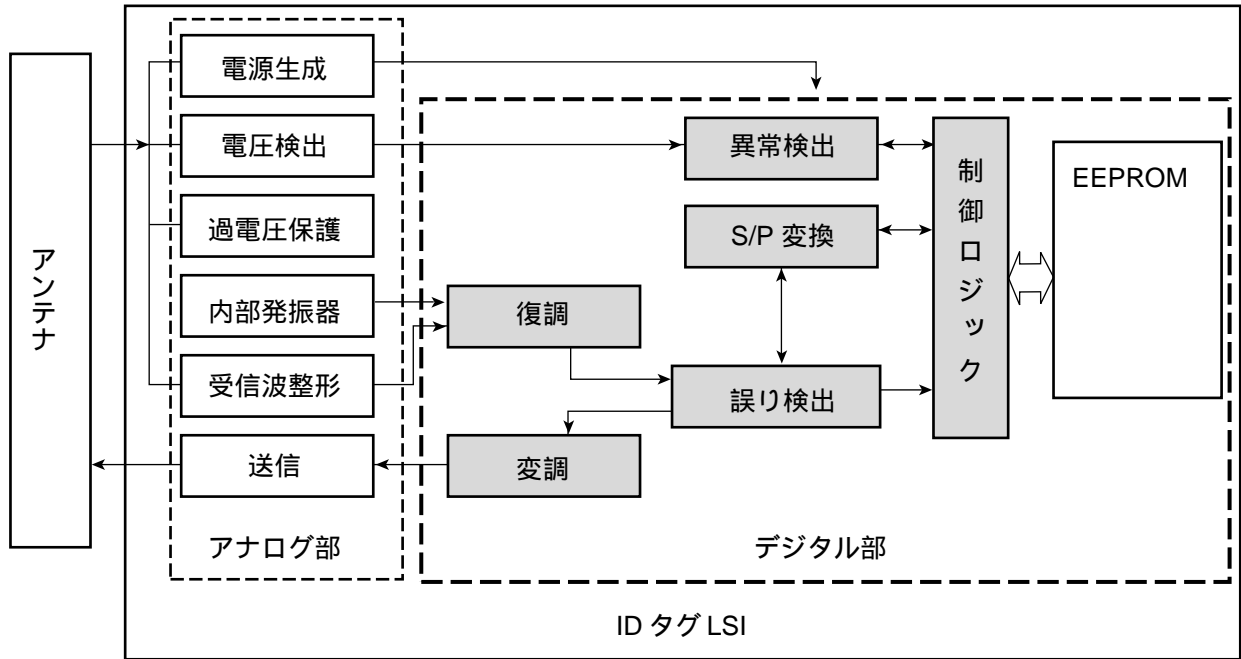


図.8 本LSIの機能ブロック図

このような発振器の周波数精度のばらつきが生じても正常に復調することが可能であり、かつ受信波の周波数は数百kHzから数MHzまで柔軟に対応可能である。

復調されたデータは制御ブロックにて処理され、EEP_ROMからのデータ読み出しやデータの書き込みが実行される。また通信時のノイズによるエラーや不当なアクセスに対するチェックなどは常時行い、メモリへの正常なアクセスを保証している。

4.3 本技術の成果

本変復調技術は非接触通信の高速化と高品質化、加えてIDタグに搭載するLSIのローコスト化も実現可能にした。本技術を製品化したWAM300シリーズの構成を図.9に示す。またスキー場自動改札のパスとして開発したIDタグの構成例を図.10に、IDタグに搭載するため開発したLSIを図.11に示す。

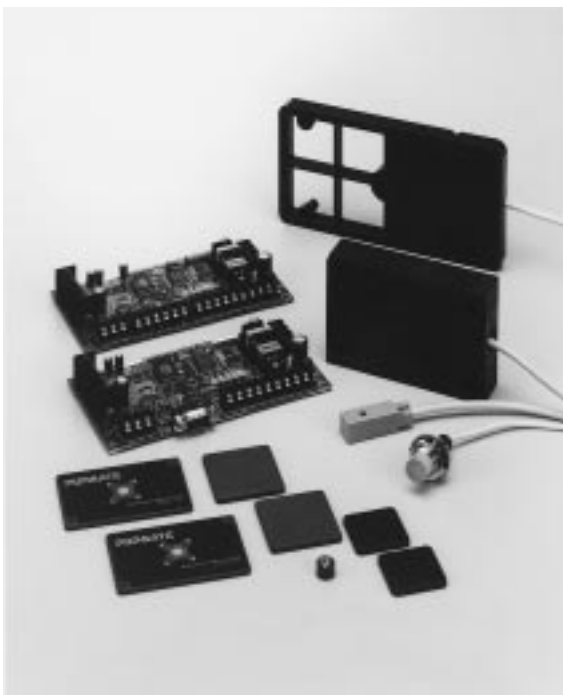


図.9 WAM300シリーズの構成



図.10 IDタグの構成例

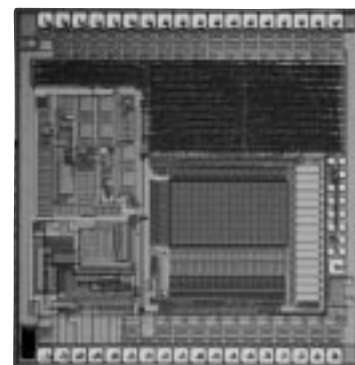


図.11 LSI

WAM300シリーズは当社の従来製品WAM100シリーズに比べ、

高交信速度（20Kbps → 7.2Kbps）

低交信エラーレート（ 10^{-7} 以下 → 10^{-4} 以下）

など格段に交信性能を向上している。交信性能の向上により機能面も強化でき、従来製品では実現できなかった、セキュリティレベルの向上、複数IDタグとの識別交信機能、IDアンテナ間相互干渉防止のための同期運転機能などを実現している。

5. まとめ

一般的にRFIDシステムの変復調方式としては不適とされるFSK方式の技術課題を克服し、小規模のデジタル回路で構成する復調方式を開発した。本技術をWAM300シリーズに適用することで、高速、高信頼の非接触交信を実現すると共にIDタグのローコスト化に大きく貢献することができた。今後WAM300シリーズは生産工程での自動認識用途やスキー場自動改札システム用途のみならず、アミューズメント用途や物流用途をはじめ本技術の特色を生かすあらゆる分野に製品展開する。

参考文献

- 斉藤洋一：「デジタル無線通信の変復調」電子情報通信学会 1996
ワイヤレスカード実用推進協議会：「ワイヤレスカードガイドブック」1997
エアアイエムジャパン編：「データキャリア技術と応用」日刊工業新聞社1990

