

RFIDシステムにおける高速処理技術

High-Performance Techniques for RFID Systems

あらまし

近年、RFIDは、ユビキタス社会を実現するキーテクノロジーとして、様々な分野に活用され始めた。とくに、食品の安全性確保や、医療過誤の防止などを目的とするトレーサビリティの分野や、サプライチェーンなど物流管理にRFIDの活用が期待されている。富士通では、RFIDタグLSIからリーダ・ライタ、ソリューションに至るまで、システム全体を手掛けており、お客様のニーズに基づいた最先端のRFIDの技術開発を行っている。トレーサビリティといったRFIDシステムの主要適用分野では、処理が行われた履歴を随時追記できるタグが必要であり、また、同時に多くのタグの履歴情報を処理するために高速処理技術が重要となる。

本稿では、富士通におけるRFIDの技術開発の取り組み、情報の高速追記が可能なFRAM搭載RFIDタグLSI、およびRFIDシステムにおける高速処理技術について述べる。

Abstract

Radio Frequency Identification (RFID) systems are now recognized as key elements for realizing the ubiquitous network society, and various field tests have been initiated. The main expected applications of RFID systems are traceability and logistics. Traceability is required for assuring food safety and preventing medical mistakes, and logistics is required for supply chain management. Fujitsu has been developing total RFID system components, including tag LSIs, tags, reader/writers, middleware, and application software, to satisfy various user needs. To realize superior traceability systems in distribution and manufacturing processes, tags with rewritable user memory for storing historical data are indispensable, and high-speed data processing techniques are needed to manage numerous tags and their historical data. This paper outlines Fujitsu's RFID technology development and describes a tag LSI with an embedded ferroelectric memory (FRAM) that features high-speed data writing. It also describes high-performance techniques and anti-collision algorithms that enhance the system-level communication speed.



榊井昇一（ますい しょういち）
システムLSI開発研究所 所属
現在、強誘電体メモリ応用製品の研
究開発に従事。



田中良紀（たなか よしのり）
ワイヤレスシステム研究所モバイル
アクセス研究部 所属
現在、RFIDシステムの研究開発に
従事。

まえがき

来るべきユビキタス社会では、携帯端末を持った人が、無線LANなどを利用してインターネットにアクセスし、いつ、どのような場所においても、自宅やオフィスに存在する情報を得たり、これらの情報に基づいて自宅やオフィスにいる場合と同じことをできたりすることが目標となっている。自宅から得る情報は、商品の存在やその製造履歴のほか、温度などの環境に関するもので、これらの情報を自動的にネットワーク経由で情報端末に取り込むことができれば、例えば、不足した備品を注文したり、自宅に戻る前に部屋の温度を調整したりすることができる。

このような生活場面で情報を取り込む技術としてRFID (Radio Frequency Identification) が使用できる。RFIDとは、商品にはり付けられたタグから、無線技術を使用して、離れた場所から情報を取り込む技術であり、ネットワーク技術、センシング技術とともに、ユビキタス社会を実現するためのキーテクノロジーとして大きな注目を浴びている^{(1),(2)}

RFIDの用途については、様々な分野で検討がなされているが、食品の安全性確保や、医療過誤の防止を目的としたトレーサビリティへの用途は、単なる物流の効率化にとどまらず、新たなサービスや多様性への対応を可能にするため、重要な分野となっている。トレーサビリティを実現するためには、処理が行われた履歴を随時追記できるタグが必要であり、また、トレーサビリティの能力を高めるために、多くのタグの履歴を処理するRFIDシステムの高速処理技術が重要となる。

本稿では、富士通のRFID技術開発への取組み、履歴情報の高速追記が可能なFRAM搭載RFIDタグLSI、およびRFIDシステムにおける高速化処理技術について紹介する。

富士通のRFID技術開発への取組み

本章では、まずRFIDシステムの構成を紹介し、続いて、RFIDシステムで利用される技術動向と、富士通のRFIDタグLSI開発への取組みを紹介する。

RFIDシステムの概要

RFIDシステムは、図-1に示したようにRFIDタグ、リーダー・ライタ、バックエンドシステムで構成

される。RFIDタグは、はり付けられた商品に関する固有のID番号や、製品・製造・流通過程などに関する情報を蓄積する。このRFIDタグには、電池を搭載したアクティブタグと、リーダー・ライタから送信されるRFパワーをDC電圧に変換し、電池なしで動作するパッシブタグが存在するが、アンテナとRFIDタグLSIのみで構成されるパッシブタグの方が、低コストで、市場も大きい。本稿では、このパッシブタグ関連技術を解説する。

リーダー・ライタは、RFIDタグに蓄積された情報を読み書きするためのコマンドを送信し、RFIDタグの処理結果を受信する。リーダー・ライタは、PC、または、サーバによって管理され、容量の制限からRFIDタグに蓄積できない情報は、ネットワーク上のデータベースに保管される。ID番号のみを蓄積したRFIDタグを使用し、商品に関連した情報はすべてデータベースに蓄積する方式も考えられているが⁽³⁾ ネットワークがダウンした場合の対応や、ネットワークの負荷軽減を行うためには、RFIDタグ自身の持つ情報により処理を行う必要があり、RFIDタグがID番号以外の情報も蓄積する拡張メモリを持つことの意義は大きい。

図-1に示したように、一般的に、リーダー・ライタの通信可能範囲には複数のRFIDタグが存在するため、リーダー・ライタのアンテナに、複数のRFIDタグからの応答が同時に入ることがないように、RFIDタグの動作をリーダー・ライタが調停するための技術(アンチコリジョン)が必須となる。アンチコリジョンについては、後述する。

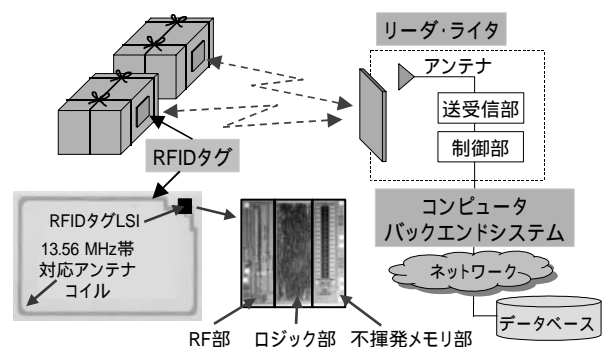
RFIDの技術動向と富士通のRFIDタグLSI開発
RFIDの技術動向と、富士通におけるRFIDタグ

図-1 RFIDシステムの構成例
Fig.1-Example of RFID system organization.

LSI開発の歴史を図-2に示す。RFIDタグLSIは、RFIDタグ価格や、通信距離など、RFIDシステムへの影響が極めて大きい重要なデバイスである。1998年以前のRFIDシステムでは、リーダ・ライタからのRFパワーと情報の伝達を、135 kHz以下の周波数を利用した電磁誘導方式と、2.45 GHzの電波方式のいずれかを利用していった。電磁誘導方式では、リーダ・ライタとRFIDタグが磁氣的に結合されるため、ループアンテナが使用される。電波方式では、リーダ・ライタとRFIDタグ間は、携帯電話のように電磁波で結合され、用途に応じて、ダイポールアンテナやパッチアンテナなどが採用される。

当初の135 kHz帯RFIDタグでは、アンチコリジョン機能は搭載されない場合が多く、自動車のイモビライザやスキー場リフトのアクセス制御など、非接触ICカードのプロトタイプというべき認証用途に利用された。しかし、周波数が低いために必要なループアンテナの巻き数が50ターン以上と大きく、安価なタグの実現が困難で、実用化は小規模な市場にとどまった。2.45 GHz帯RFIDタグは、135 kHz帯RFIDタグでは実現不可能な1.5 m以上の通信距離を実現できるものの、水分、人体や金属の影響を受けやすく、国内ではあまり使用されていない。

1998年には、電波法の改正により13.56 MHz帯でデータ通信が可能となった。キャリア周波数の増加によって、アンテナに必要な巻き数は5～8ターンとなり、図-1に示したRFIDタグのように、一層の金属層でアンテナを構成できるため、RFIDタグの低価格化が推進された。さらに、ISO/IECによる

通信インターフェースやプロトコルに関する標準化の活動が開始され、リーダ・ライタとRFIDタグの動作が標準化された結果、多くのサービスプロバイダがRFIDシステムや、これと共通の技術を使用する非接触スマートカードの採用に興味を持つようになった。

従来から物流管理に使用されてきたバーコードと、RFIDタグ、非接触ICカードの特徴を図-3に示す。RFIDタグは、バーコードと比較してコスト高になる半面、RFIDタグに内蔵される拡張メモリや、アンチコリジョン機能を活用することにより、高度なトレーサビリティシステムなどを構築できる。非接触ICカードは、商品への用途ではなく、カードを保持する人の認証や電子マネーを主用途とする、高いセキュリティ機能を持ったデバイスである。

富士通では、13.56 MHz帯を利用したFRAM搭載非接触ICカードLSI MB89R076を市民カードなどへの応用でいち早く実用化し、開発した技術をベースに、RFIDタグLSI MB89R11xシリーズへの展開を図った(図-2)のMB89R11xシリーズによって、アンチコリジョン機能を実装した、13.56 MHz帯RFIDシステムへの対応が可能になったが、この周波数帯域では、通信距離が50 cm程度に制限されるという問題があった。

通信距離を改善するため、電波方式の採用が検討された。この契機となったのが、Auto-ID Center(現EPC global)の設立であり、図-2に示したUHF帯の860~960 MHzの帯域を使用して、2.45 GHz帯RFIDタグで問題となった水分や金属の影響を抑え、

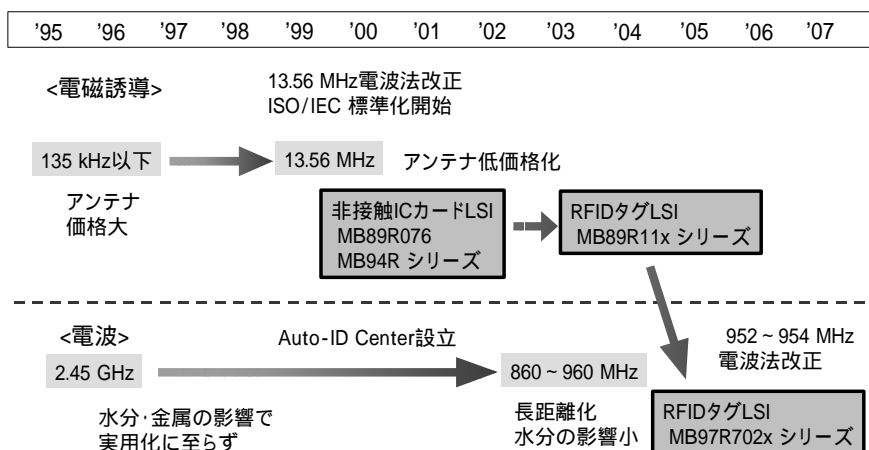


図-2 RFID技術開発の歴史
Fig.2-History of RFID technology developments.

		バーコード 	RFIDタグ 	非接触ICカード 
認識機能	認識対象	物品	物品	人
	ID個別認識	×		
形状・構成	ID容量	3~20ビット	64ビット	64ビット
	構成 形状	印刷 包装に印刷	LSI+アンテナ ラベルなど各種	LSI+アンテナ 銀行カードと同一
セキュリティ		なし	簡易	暗号回路・PKI
LSI構成	CPU搭載	×	なし	あり
	拡張メモリ	なし	なし/あり(小容量)	大容量
主要性能	通信速度	1 kbps以下	4~160 kbps	100 kbps以上
	通信距離	数十cm	10 cm以上~3 m	数mm~20 cm
	複数個認識	×	100個以上	10枚以下
価格		1円以下	数十~300円	200~1,000円

図-3 バーコード，RFIDタグ，非接触ICカードの特徴
Fig.3-Characteristics of barcode, RFID tag, and contactless smart card.

表-1 各種RFIDシステムの通信特性

	135 kHz以下	13.56 MHz	UHF	2.45 GHz
RF伝播	電磁誘導	電磁誘導	電波	電波
ISO/IEC 18000	part2	part3	part6	part4
通信速度(下り)	5.2 kbps	24.68 kbps	10/40 kbps	30~40 kbps
通信速度(上り)	3.9 kbps	24.68 kbps	40/160 kbps	30~40 kbps
アンテナ	ループ (>50ターン)	ループ (5~8ターン)	ダイポール (17 cm)	ダイポール (5.5 cm)
通信距離	70 cm	50 cm	3 m	1.5 m

3 m以上の通信距離を実現するための技術開発が継続されている。このような状況に呼応して、富士通では、UHF帯RFIDタグLSI MB97R702xシリーズの開発を進めている。

13.56 MHz帯とUHF帯の製品を持つことで、システム要求に応じて最適なRFIDタグを用意することができる。RFIDの国際標準であるISO/IEC 18000をベースに、各種周波数帯域における通信特性を、表-1にまとめた。UHF帯製品では通信距離が増加するため、リーダー・ライタ1台で処理しなければならないRFIDタグの数が増える。この結果として、RFIDタグに蓄積される情報の処理時間を短縮化するため、RFIDタグLSIの読み出し・書き込み時間の短縮や、アンチコリジョン処理の効率化が重要な技術となる。図-2に示した歴史的経緯にもよるが、最新のテクノロジーが反映されたUHF帯RFIDシステムでは、従来の135 kHz帯、13.56 MHz帯、2.45 GHz帯と比較して最高の通信速度を持ち、洗練されたアンチコリジョンアルゴリズムが採用されている。

表-2 μ -chip，MB89R116，MB97R7020の主要特性

製品	μ -chip	MB89R116	MB97R7020
動作周波数	2.45 GHz	13.56 MHz	860~960 MHz
通信速度(上り)	非公開	26.48 kbps	10/40 kbps
通信速度(下り)	非公開	26.48 kbps	40/160 kbps
メモリ容量	16バイト	2 Kバイト	256バイト
アンチコリジョン速度	機能なし	毎秒30タグ	毎秒100タグ

高速書き込みFRAM搭載RFIDタグLSI

本章では履歴情報を蓄積するRFIDタグLSIについて、FRAM搭載により情報の高速書き込み・読み出しを可能にするMB89R11xシリーズ、MB97R702xシリーズを紹介する。図-1に示したように、RFIDタグLSIは、RF部、ロジック部、不揮発メモリ部で構成される。不揮発メモリとして、RFIDタグLSIで使用されているのはEEPROMとFRAMである。富士通はFRAMの製品化で他社よりも先行しており、MB89R11xシリーズ、MB97R702xシリーズとも、高速書き込みが可能であるFRAMを採用して、EEPROMとの差別化を図っている。表-2では、MB89R116、MB97R7020と、極小チップサイズの実現で大きな注目を浴びた、 μ -chip⁽⁴⁾の主要特性を比較した。 μ -chipはチップサイズの縮小を目的とし、アンチコリジョン機能や拡張メモリを持たない構成となっている。MB89R116⁽⁵⁾は、2 KバイトのFRAMを持ち、盗難防止機能など、物品管理用途を考慮した仕様になっており、2004年2月にユビキタスIDセンターの認定を取得した。MB97R7020は、

256バイトのFRAMを持ち、アンチコリジョン処理速度は、通信速度の向上にも支えられて、MB89R116の3倍以上の値を実現している。

RFIDタグLSI用の不揮発メモリとして広く採用されているEEPROMとFRAMの特性比較を図-4に示す。EEPROMは、浮遊ゲートとシリコン基板間のシリコン酸化膜に高電圧を印加してトンネル電子を注入したり、取り去ったりすることによって、メモリ・セル・トランジスタのしきい値を制御するデバイスである。EEPROMの読出し速度はFRAMと同等であるものの、トンネル電子注入のメカニズムから書込み時間は3ms以下にすることが困難である。FRAMの採用により書込み時間を1/100に短縮できる。

MB89R116と同等なメモリ容量を持つEEPROMベースのRFIDタグLSIにおける、2Kバイト読出し時間、2Kバイト書込み時間の比較を図-5に示す。アンチコリジョン実行時間は6msと読出し・書込みと比較して短い。EEPROMとFRAMでは、書込み時間の違いが、全実行時間で2倍もの差を生じている。

このように、FRAM搭載RFIDタグLSIを使用することにより、書込み時間を短縮でき、商品へのデータ書込みを高速化できる。こうした書込み時間の短縮は、実際のフィールドでの使用時だけでなく、タグに初期データを書込む発行作業の短縮化にもつながる。発行作業の短縮化は、発行機の台数削減という形で、システムコストの削減にも寄与できる。

RFIDシステムの高速度処理技術

RFIDタグとリーダ・ライタ間の通信処理時間やデータ処理時間を高速化することにより、RFIDが適用できるアプリケーションの条件や範囲を広げることができる。例えば、ベルトコンベア上を高速に移動する多数の物品に付けられたRFIDタグを読むような場合、一括して読み書き可能なRFIDタグの枚数は、リーダ・ライタの通信可能範囲にRFIDタグが存在する時間内に処理できるRFIDタグの枚数で決まるため、処理時間が遅いと読み落としや書込みエラーが発生する可能性がある。物流分野におけるベルトコンベア速度や、貨物搬送車のゲート通過速度がRFIDタグの移動速度に関する要求条件となり、これらはおおむね150~220m/分の範囲となる。こういったケースでは、読取り地点に複数のアンテナを設置することにより、通信可能範囲を広くする方法も有効であるが、設置スペースやコストが大きくなるという問題がある。読取り速度が高速であれば、少ないアンテナ数でカバーが可能である。

高速化のメリットはほかにもある。同じスループットであれば、高速に読み書きを行って、空いた時間をほかのリーダ・ライタに通信チャンネルを開放して使えるようにすることで、システム全体のスループットを向上することが可能である。

本章では、RFIDシステムの通信・情報処理を高速化する方法として、通信速度の高速化、情報処理時間の短縮、高速なアンチコリジョン方式の適用、読取り環境の改善について述べる。

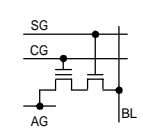
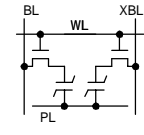
	EEPROM	FRAM
メモリセル構造	 <p><2T></p>	 <p><2T2C></p>
読出し速度	1~25μs	1~25μs
書込み電圧	16V	3.3V
書込み速度	3ms	1~25μs
書込み回数制限	1×10 ⁵ ~1×10 ⁶	1×10 ¹⁰
データ保持期間	10年	10年

図-4 EEPROMとFRAMの特性比較

Fig.4-Comparison of characteristics between EEPROM and FRAM.

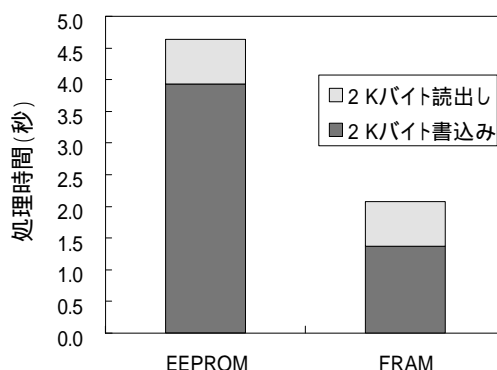


図-5 2Kバイトメモリの書込み・読出し時間の比較

Fig.5-Comparison of 2 Kbytes read/write time between EEPROM and FRAM.

通信速度の高速化

通信速度を高速化するためには一般に広い周波数帯域が必要である。RFIDを含む小電力無線通信システムが使用できる周波数、帯域幅およびスペクトルマスクなどの技術的条件は国・地域ごとに厳密に規定されており、これらはそれぞれ異なっている。1チャンネルあたりの最大帯域幅も国ごとに規定されているため、利用できる最大通信速度は国によって異なる。ただし、現在広く利用されている13.56 MHz帯の周波数は日、米、欧でほぼ共通の規格となっている。

UHF帯については、日本では2005年4月から、952～954 MHzの2 MHzが利用できるようになった⁶⁾。他国の状況を見ると、欧州、韓国、米国でそれぞれ3 MHz、5.5 MHz、26 MHzが利用可能となっており、米国は他国と比べて広い帯域が割り当てられている。利用可能帯域とチャンネル帯域幅は同時利用可能なチャンネル数に関係し、利用可能帯域が広いほど、また、各チャンネルの伝送レートを低くしてチャンネル帯域幅を狭くするほど多くのチャンネルが同時利用可能となる。国内では、同時利用可能なチャンネル数を確保するために広い帯域を用いた通信は困難であるが、富士通では限られた帯域で効率の良い伝送を行う通信技術の開発も行っている。

情報処理時間の短縮

リーダ・ライタとRFIDタグ間の通信処理以外に、リーダ・ライタと上位ネットワークとの通信処理・情報処理に必要な時間も、高速化の重要なファクタになる場合がある。先述したように、ID番号のみ蓄積したRFIDタグでは、はり付けた物に関連した情報はネットワーク上のデータベースに蓄積されており、アプリケーションによっては、このネットワークアクセス速度を含めた処理時間が問題になる。一方、RFIDタグ自身がメモリを持つ場合は、ローカルシステム内で処理を完結することができるため、より高速な処理が可能である。

高速なアンチコリジョン方式の適用

アンチコリジョンは、複数のRFIDタグが同時に応答を繰り返すことでリーダ・ライタが通信不能とならないように、応答手順を制御する機能である。ここでは国際標準規格にも採用されている代表的なアルゴリズムとして、バイナリツリー方式とアロハ方式の二つを紹介する。

バイナリツリー方式では、まずリーダ・ライタは各RFIDタグに対してID番号の先頭ビットの値を応答するように命令する。説明を簡単にするためにIDは3ビットの値とする。リーダ・ライタはここで衝突を検出したら、先頭ビットが0のRFIDタグに限定してIDの2ビット目を問い合わせる。ここでも衝突を検出したら、IDが00で始まるRFIDタグに更に限定してIDの3ビット目を問い合わせる。ここで衝突がなければ000のRFIDタグの存在を認識することができる。衝突があった場合は、000と001の二つのRFIDタグがあることが認識できる。ほかのRFIDタグでも同様の手順を繰り返すことで認識することができる。

アロハ方式は、無線LANなどのパケット通信において広く使われているアクセス制御方式である。RFIDタグは応答する際に乱数を生成し、この値により自分が応答を返すタイムスロットを決定する。同一タイムスロットで複数のRFIDタグが応答した場合は衝突となるため、再度乱数を生成して処理を繰り返す。

以上の二つの方式による性能（識別速度）には大きな差はないが、アロハ方式は読み取るRFIDタグの数に応じて乱数値の範囲（スロット数）を最適化すれば、若干効率が良くなる。

読取り環境の改善

実際の読取り性能は周囲の環境にも大きく依存する。通信環境が悪くなると通信距離が短くなったり、スループットが低下したりする。この環境要因としては、周囲雑音、近くで同時利用するリーダ・ライタからの干渉、周囲物からの電波反射の影響などがある。周囲雑音は、同じ周波数をほかのシステムと共用している場合や、これらが近隣の周波数を使用している場合に、ほかのシステムからの干渉として観測される。13.56 MHz帯ではあまり問題とならないが、2.45 GHz帯では同じ周波数を使用している無線LAN、Bluetoothや電子レンジなどからの干渉を考慮して設置位置やアンテナの向きなどを調整する必要がある。

パッシブタグ向けのリーダ・ライタは、RFIDタグに電源を供給するために比較的大きなRFパワーを送出しており、これがほかのリーダ・ライタに対する干渉信号となって、その受信性能を劣化させる要因となる。したがって、工場内などで複数のリー

ダ・ライタを密に配置する必要がある場合には、お互いの干渉の影響を低減する工夫が必要である。指向性アンテナの向きを調整して、ほかのリーダ・ライタやこれが読もうとしているRFIDタグの方向に自局の電波が飛ばないようにしたり、お互いに異なる周波数チャンネルを使用したりするなどの方法がある。干渉の影響は通信距離が大きいUHF帯のシステムで特に問題となりやすく、これに対応するために、富士通のUHF帯リーダ・ライタは、空きチャンネルを自動的に探し出す機能や、複数のリーダ・ライタを時分割制御して動作させる機能を有しており、柔軟な干渉制御対策ができるようになっている。

周囲物からの電波反射の影響により、読取り可能距離の範囲内であってもRFIDタグの位置によって読み取れない場所ができる場合がある。アンテナの向きを調整したり、複数のアンテナを用いたりすることにより影響の低減が可能である。

む す び

本稿では、ユビキタス社会において、商品の持つ情報を取り込む技術として、高速な通信・情報処理を可能とするRFIDシステム技術を紹介した。RFIDシステムは、ここ数年の各業界における実証実験の実績を踏まえて、今後本格的普及へ向けて市場が拡大していくことが期待される。国内では13.56 MHz帯のシステムに加えて2005年4月に新たに周波数が割り当てられたUHF帯のシステムが加

わり、RFIDの適用分野が更に広がるとともに、システムに最適なRFIDをお客様が選択できるようになることが期待されている。RFIDの普及に当たっては、ここで述べた高速処理技術以外にも、セキュリティ、運用容易性や低コスト化など、まだ解決すべき課題は多い。これからもお客様が使いやすいシステム、およびより高度なRFIDシステムを実現するための技術開発を推進していきたい。

参 考 文 献

- (1) 植竹光夫ほか：RFIDタグ/スマートカード用LSIチップ．*FUJITSU*，Vol.55，No.4，p.347-352（2004）．
- (2) 榎井昇一：ICタグ（RFID）の技術動向．*計算工学*，Vol.8，No.4，p.26-27（2003）．
- (3) S. Sarma：Toward the 5 cent tag．*Auto-ID Center Technical Report*，MIT-AUTOID-WH-006，2001．
- (4) M. Usami et al.：Powder LSI: An ultra small RF identification chip for individual recognition application．*Digest of ISSCC*，2004，p.162-163．
- (5) S. Masui et al.：A 13.56MHz CMOS RF identification passive tag LSI with ferroelectric random access memory．*IEICE Trans. Electron*，Vol. E88-C，No.4，p.601-607（2005）．
- (6) 三次仁：UHF帯解放に向けた電波法令改正の全容（第1回）．*日経RFIDテクノロジー*，No.1，p.23-27（2005.2）．