

連載

SMART TAG

佐藤 一郎 (国立情報学研究所)

ichiro@nii.ac.jp

第1回

RFID タグ：技術動向と影響

■ RFID タグブーム

RFID タグがブームになっているらしい。ユビキタスコンピューティングの研究過程でRFID タグを使ったことがあるという理由だけで著者のところまで解説記事の依頼がくるぐらいだから、相当なブームなのであろう。さてRFID タグであるが話題性だけが先行している部分はあるが、確かに強力な技術であり、情報技術だけでなく社会システムにも影響を与える可能性がある。本稿がRFID タグを知る上で一助になれば幸いである。

■ RFID タグとは

RFID タグはRadio Frequency IDentification タグの略称

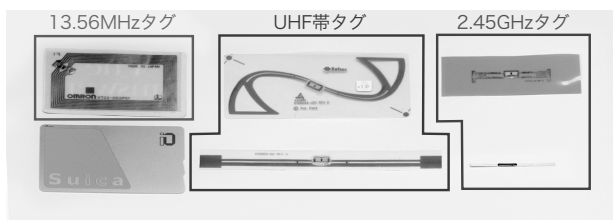


図-1 RFID タグ

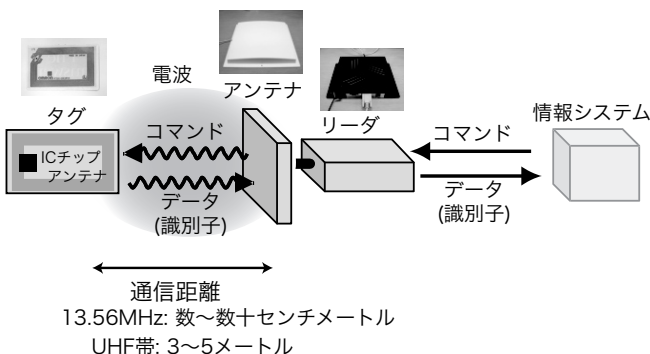


図-2 RFID タグシステム

であり、国内では電子タグ、ICタグ、電波タグ、無線タグ、スマートタグなどと呼ぶこともある。さてRFID タグだが、文字通り電波を利用した荷札(タグ)であり、タグはアンテナに加えてメモリと通信制御回路に相当するICチップが埋め込まれており、その形状は名刺程度のフィルム状のものから、0.4 ミリメートル程度の粒上のもので多種多様である。図-1 にその一例を示す。そして、図-2 のようにリーダと呼ばれる装置を使ってタグ内のメモリに格納されている情報、たとえば識別子を非接触で読み出す^{☆1}。同様の識別技術にバーコードがあるが、RFID タグは情報容量が大きい、読み出し速度が速いなどの特徴を持っている。

■ RFID タグの動作原理

RFID タグの動作原理には2種類ある。1つはアクティブ方式と呼ばれるものである。これはタグ自体にバッテリーを内蔵し、それ自身の識別子を定期的に発信し、リーダで読み取るものである。半径数十メートル範囲内のタグを識別できる製品もある。ただし、バッテリーを搭載するだけ高価であり、また数年に一度はバッテリーを交換する必要がある。もう1つはパッシブ方式と呼ばれ、タグにバッテリーを積まない。その代わりにリーダが発信する電波を受信して、それを電気エネルギーに変えてICチップを動かす。そしてメモリからそれ自身の識別子やデータを読み出し、再び電波によりリーダにデータを返信するというものである。読み出しだけでなく書き込みもできる製品もあり、格納データ量も数十ビットから数キロバイトとさまざまである。

☆1 なお、通信範囲内にある存在するタグの識別子やデータにアクセス技術であり、物理空間上のタグの存在位置までは分からない。

■技術動向

パッシブ方式は大きな技術変革期にある。現在、広く使われているパッシブRFIDタグは電磁誘導型と呼ばれる通信方式であり、135KHz以下または13.56MHz周波数などの比較的低い周波数の電波を使うことで、タグとリーダ間の誘起電圧を起こして通信およびエネルギーを供給する。ただし、その電波特性は交流磁界に近く、通信距離による減衰が大きい。簡単にいうと、タグとリーダ間の通信距離は数センチ程度であり、リーダ側の電波出力を上げることや、タグサイズを大きくするなどの工夫をしても、数十センチとなるということである。一方、ここ1～2年で注目を集めているのが、パッシブRFID技術なかでもマイクロ波帯電波を利用した方式である。これは2.45GHz周波数やUHF帯域（北米では915MHz、欧州は868MHzを利用）を使い、その通信距離は2.45GHzタグでは1メートル程度、UHF帯タグは3～5メートルまで伸ばすことができる。

表-1のようにRFIDタグ技術に使われている主な周波数は4つある。周波数により通信方式だけでなくタグの特性も異なる。たとえば135KHz以下の周波数を使うタグは水や金属の影響が比較的小さく、動物への埋め込みや、回転寿司や社員食堂の自動勘定システムにも使われている。ただし、アンテナに多巻コイルを使うためにタグが厚くなってしまう。13.56MHzタグは薄くしやすいが、通信距離が短い。このためタグを認証に使う場合には有用であり、たとえば非接触ICカードの多くは13.56MHzのRFID技術を利用している。2.45GHzタグはタグの小型化が容易だが、他の同一周波数帯を利用する機器、たとえば無線LANや電子レンジと干渉してしまう。UHF帯タグはタグサイズが名刺大程度の大きさになってしまうが、通信距離が長く、在庫・物流管理の主力となると予測されているが、国内では電波法の規制により現

周波数	135KHz以下	13.56MHz	UHF帯	2.45GHz
通信方式	電磁誘導	電磁誘導	マイクロ波	マイクロ波
通信距離	数～数十cm	数～数十cm	3～5m	1cm
通信速度	非常に遅い	遅い	速い	速い
タグ	厚い(1ミリ)	薄い・名刺大以下	薄い・名刺大	薄い・小型化可能
規格	ISO/IEC18000-2	ISO/IEC18000-3	ISO/IEC18000-6	ISO/IEC18000-4
利点	金属、水分に強い	ICカードと共用	通信距離が非常に長い	通信距離が長い
欠点	外来電磁ノイズの影響	通信距離が短い	電波法による規制(国内)	水分に弱い 回り込みが弱い

備考：上記の数値は製品によって相違する。参考値と考えること。

表-1 RFIDタグの利用周波数と特性の比較

在使うことができない^{☆2}。これらの周波数は利用目的や利用環境に応じて選ぶべきであり、特定の周波数だけが優れているということはない。ただし、通信距離が短い用途は13.56MHzタグ、長い用途はUHF帯タグに集約されつつある。

また、これまでのRFIDタグ製品の多くは一度に高々1個のタグしか識別しかできなかった。しかし、近年はアンチコリジョンと呼ばれる同時複数認識の進歩により、1秒間に100個以上のタグを識別できる製品も登場している。

こうした技術進歩はRFIDタグの応用範囲や利用方法も変える(図-3)。たとえば在庫管理において13.56MHzなどの旧世代RFIDタグを商品に貼った場合、その通信距離が短いため、手作業でタグが貼られた商品1つ1つにリーダを近づける作業、またはその逆の作業が必要である。一方、上述のUHF帯タグとアンチコリジョン機能を使うことにより、倉庫の搬入出口などにリーダを設置するだけで出入りする商品を自動識別することができ、このほか店内や倉庫の天井にリーダを設置するだけで、半径数メートルの範囲内にある複数商品を瞬時に識別できることになり在庫状況をリアルタイムに監視できるようになる。

RFID標準化であるが、電波に関する標準化と、タグに格納する識別子の形式に関する標準化がある。前者はISOとIECによって利用周波数ごとに標準化が進められている。ただし既存のIC制御チップ製品を念頭に標準化が進められることが多い。後者はUPCやJANコードと同様な論理的識別子の形式に関する標準化であり、業界団体が中心に標準化作業を行っており、その代表としてWal-MartやCoca-Colaなどの大手小売業や食品メーカが賛同しているEPC Global (Auto-ID Centerの発展組織)がある。ただし、コード化はあくまでも識別子の格納形式であり、RFIDタグの周波数を含む電波特性とは独立であることに注意されたい。なお、国内独自コード体系を目指す団体ユビキタスIDセンターもある。

■RFIDタグ技術の意義

RFIDタグというと上述したような電波的な特性に関心が集まりやすいが、むしろRFIDタグ技術の可能性や影響の方が重要であり、次の3つにまとめられる。

- (1) モノの自動識別
- (2) モノの個別識別
- (3) モノの位置・経路の特定

☆2 2003年末から950MHzを使って実証実験が始まる予定。

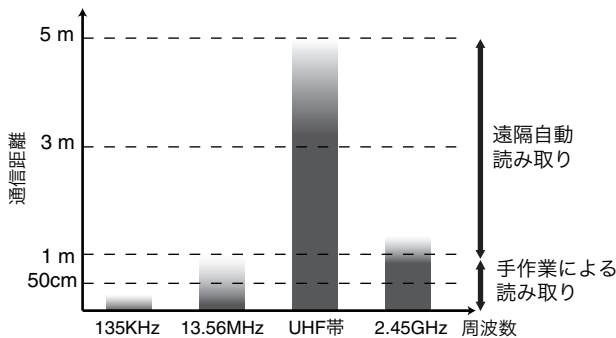


図-3 RFIDタグ周波数と通信距離

ここでは在庫管理を例にとって説明していこう。(1) UHF帯RFIDタグなどの通信距離の長いタグをモノに貼ることで、特別な読み取り作業をしなくても自動かつ遠隔にモノを識別できることになる。(2) これまでの在庫管理ではモノの属性(製造メーカーや型番)とその在庫個数の組合せが管理単位であったが、RFIDタグは格納データ量が多いため、ユニークな識別子を埋め込んだタグをモノ1個1個に貼ることができる。この結果、同じメーカーかつ同じ型番のモノが複数あっても、その1個1個を区別できることになり、モノの管理単位そのものを変えてしまう。(3) リーダでモノに貼られたタグを識別した際に、そのリーダの名前とともに記録しておくことにより、そのタグを識別したリーダを調べることでモノの存在場所が特定できる。また、これまでにそのタグを識別したすべてのリーダ名を順に並べることにより、モノが通ってきた経路(トレース)も調べられるようになる。上記の3項目は既存の技術でもできるかもしれない。しかし、RFIDタグ技術はこれらを容易かつ一般化することに本質がある。

■ 情報システムへの要求

RFIDタグはモノと情報をつなげる技術であり、RFIDタグをモノに貼るということは情報をモノに貼ることと等しい。

このとき問題になるのが情報をどこに格納するかである。RFIDタグには後からデータを書き込めるものと、あらかじめ与えられたデータ(たとえば識別子)を読み出すだけのものがある。前者は情報をタグに書き込み、それをリーダで読み出せばよく、情報システムへの負担は小さい。ただし、書き込み可能タグは単価が高くなることから、商品管理などタグ枚数が多いときはコスト的に不利になる。

後者は情報をデータベースにあらかじめ格納し、リーダで読み出した識別子をキーにしてそのデータベースか

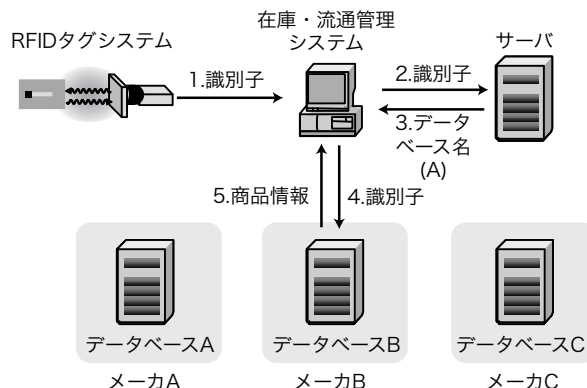


図-4 RFIDタグ情報システム構成図

ら情報を得る方法である。タグ単価は抑えることができ、またタグのデータ容量に情報量が制限されることはない。しかし、データベースを含む情報システム側への負荷が大きい。たとえば大手小売チェーンが商品単位にタグを貼った場合は億単位のタグを管理する必要があり、特にアンチコリジョン技術により一度に複数のモノを識別でき、その識別間隔も短い。このため情報システムが扱わなければならない処理量がバーコードを主体としていた商品管理と比べて桁違いに多い。つまり、RFIDタグを扱う情報システムは高いスケラビリティが要求される。このため、既存のシステムでは、図-4のようにリーダからタグの識別子を取得すると、まずある種の名前解決サーバからその識別子に対応した情報を格納しているデータベース名を調べ、次にそのデータベースから情報を検索するという2段階処理を念頭おくことが多い。また、物流に利用する場合、ベルトコンベアなどに流れる商品の情報を取得するにはベルトコンベアの移動速度に対応可能な時間内に、タグ認識からデータベースアクセスまでの一連の処理を行う必要があり、情報システムは高いレスポンス性能が要求される。また、データベースから取得する情報もメーカー、小売店、消費者に応じて制限する必要があり、高度なアクセス制御技術が求められる。このほか、情報の更新も多発する。たとえば物流管理ではモノの現在位置を調べるために移動することに位置情報を更新する必要がある。さらに食品トレースでは経路に加えて食品の保存温度などの情報も同時に記録するかもしれない。このため書き込み処理性能への要求も高い。

■ コスト

バーコードと比べてRFIDタグは高いという人が多い。RFIDタグの単価は急速に下落しており、たとえば1年

前に単価が100円といわれていた製品も現在では1/2や1/3以下となっているケースもある。しかし、RFIDタグはICチップやアンテナを含むことから、印刷で作れるバーコードと同水準にまで下がることは考えにくい。一方でバーコードは手作業でスキャナに読み取らせる作業が必要であり、人件費がかかる。このためトータルコストではバーコードに比べて安くなる可能性も高い。

しかし、現状のタグ単価(数十円)では低価格商品比率が高いスーパーやコンビニが取り扱う個々の商品にタグを貼った場合、コストに見合うかは疑問である^{☆3}。このため、当面は複数個の商品を詰めた段ボールやパレットにRFIDタグを貼り、個々の商品に貼ることはないであろう。このためRFIDタグ技術は企業内または企業間の物流管理や在庫管理に利用されることになり、一般消費者向けの低価格商品にRFIDタグを貼るのは相当先になるであろう。なお、個々の商品にタグを貼ることを計画している企業がいくつかあるが、それらの多くは盗難対策や真贋判定などのコスト削減以外の目的を持っており、こうした用途が先行する可能性が高い。

また、根本的な問題としてRFIDタグはそのビジネスモデルが成立していないことがあげられる。たとえば誰がRFIDタグの費用を負担し、誰が貼り、誰が使うのかという基本的な問題ですら解決されていない。

■プライバシー問題

RFIDタグ技術はいい面だけでない。前述の(1)により自分の持っているモノに貼られたタグを知らないうちに誰かに読まれるかもしれない。(2)により大量に出まわっているモノでも個別識別できるためタグを通じて個人を識別できる。そして、(3)によりタグの移動履歴からユーザの行動が捕捉されるかもしれない。つまり、RFIDタグ技術の有用性は同時にプライバシー上の脅威となる。

このため、RFIDタグのセキュリティやプライバシー問題が熱心に議論されているが、その多くは個々危険事例を列挙するだけにとどまっており、体系的な議論は少ない。この背景にはRFIDタグは運用事例がまだまだ少ないために、経験やデータが蓄積されていないことがあげられる。この結果、理論的に考えられる危険と実際に起こり得る危険が整理できていない。特にRFIDタグは微弱電波を使うため、経験やノウハウが要求され、RFID技術開発やRFIDタグの運用に直接かかわる者でないとなかなか問題が多く、その整理・体系化は急務である。

現在、RFIDタグ向けのプライバシーやセキュリティ保

護機構が提案されているが、高度な機構はタグの電力消費と単価の上昇を招くことになり、すべてが実現できるわけではない。また、RFIDタグによる物流在庫管理のコスト削減効果により、長期的にはRFIDタグが付いた商品の方が安価になる可能性がある。このためプライバシー上の危険を承知の上でRFIDタグ付きの安価商品を買うユーザとその逆ユーザが出てくると想定されるなど、プライバシー問題とコスト問題は密接な関連を持っており、現実性とコスト的視点を欠いたプライバシー議論はその価値が小さい。

■理想と現実

ブームのためかRFIDタグ技術を過信した議論や解説記事が多いが、現実には数多くの課題が残されており、特にタグからリーダへの通信は微弱電波となることから電波にかかわる制約が多い。たとえば物流や在庫管理などの実務に耐えるにはタグ識別率が99.9～99.99%となることが要求されるが、実運用における識別率は98%程度にとどまっている。通信可能距離内でもリーダから離れるほど識別率が悪化し、また、タグがリーダに対して電波を送受信しやすい方向(角度)を向いていないと認識率が悪くなる。同様にタグのアンテナが小さいと通信距離は短くなり、たとえば0.4ミリメートル程度の集積回路にアンテナと制御ICを組み込んだ2.45GHzタグが開発されているが、その通信距離は1ミリメートル程度になってしまう。また、電波は周波数が高くなるほど直進性が高くなり、水分への吸収も大きい。たとえば2.45GHzタグは電波の回り込みに弱くなり、リーダとタグのあいだに障害物があるとそれを飛び越えて識別するのは難しく、食品のように水分の多いモノに貼る場合は工夫が必要である。このほか、RFIDタグは金属に弱い^{☆4}。たとえばパッシブRFIDタグを金属製品に貼った場合やタグとリーダ間に金属遮蔽物がある場合、その金属に電波が吸収されて機能しないことが多い^{☆5}。

また、UHF帯タグは電波法の規制により現在利用できない。2003年末以降、国内でもUHF帯タグ利用に向けての実証実験などが始まるが、国内で利用が想定されている周波数は現在のところ950MHz付近であり、米国の915MHzや欧州の868MHzとの差が大きい。一方、RFIDタグの電波精度から考えると915MHz用のタグでも

☆3 国内大手コンビニエンススーパーの場合はタグ単価が50銭以下になることを個々の商品添付への判断基準にしているところが多い。
 ☆4 金属添付専用設計されたパッシブRFIDタグもある。
 ☆5 たとえば金属箔や金属繊維が埋め込まれたバックにタグを入れた場合、バックの外からタグを識別するのは困難である。

950MHzでも識別可能と思われるが、どの程度性能が落ちるかは必ずしも明らかになっていない。特にUHF帯タグは物流に広く使われると想定されており、そのタグが規制される、または性能的に使えないということは世界の物流から取り残されることを意味する。

■ユビキタスコンピューティングとRFIDタグ

RFIDタグが情報技術において重要な点は、コンピュータやネットワークによる仮想世界（つまりサイバースペース）と現実世界を結ぶことにある（図-5）。情報技術という閉じた世界の中ではそのアプリケーションにも限界があるが、RFIDタグを利用することにより現実世界の情報を容易に取り込めるようになり、仮想世界と現実世界がシームレスに融合した新しいアプリケーションや便宜性が生まれる可能性がある。この意味ではRFIDタグはユビキタスコンピューティングとの関連も深い。ユビキタスコンピューティングではいつでもどこでも情報サービスを利用可能にするが、その際に身の回りのあらゆるモノにコンピュータを組み込むことはコストや電源の制約から無理がある。コンピュータの代わりにRFIDタグをモノに埋め込み、モノに関する情報サービスをモノの近くにあるコンピュータなどで実行した方が現実的である。

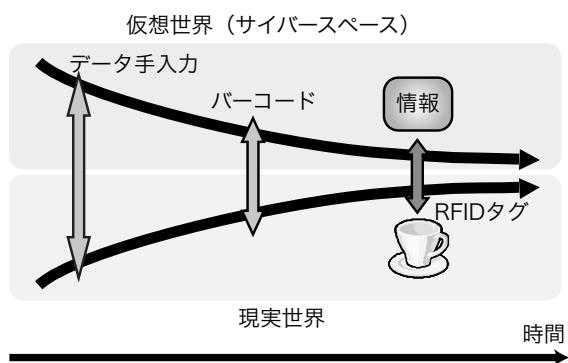


図-5 RFIDタグによる現実世界と仮想世界の融合

実際、著者はRFIDタグを含むセンサを監視・制御するとともに、コンテキスト、たとえばユーザやモノの識別とその存在位置に応じた情報サービスを実現するためのミドルウェアを研究している^{1), 2) ☆6}。このミドルウェアはRFIDタグと情報サービスを空間的にリンクする、つまりRFIDタグの近くにあるコンピュータに情報サービスを実現するソフトウェアを移動・実行させることができる。ユーザが移動してもユーザを追いかけて、常にユーザの近傍のコンピュータに移動するデスクトップアプリケーション（図-6）やユーザ支援エージェントなどが容易に実現でき、さらにモノや場所に付箋を貼るかのように情報サービスを貼り付けることも可能になる。著者はユーザやモノの識別・位置特定のセンシング技術としてRFIDタグだけでなく赤外線タグや画像処理、GPSも利用・統合している。RFIDタグ技術は他のセンシング技術と比べてロバスト性が高く、また今後の低価格化が期待できるなど実用性、将来性ともに高い。

■RFIDタグの利用

RFIDタグ技術は劇薬である。使い方によっては有用な効果をもたらすが、1つ違うとプライバシー問題などの深刻な副作用を引き起こす。もし読者がかかわられている情報システムや既存の情報技術全体にある種の閉塞状態を感じているのであれば、RFIDタグ技術はそれを打開するだけの力を持っているであろう。処方箋を守って副作用が起きないように服用して欲しい。

参考文献

- 1) Ichiro Satoh: Physical Mobility and Logical Mobility in Ubiquitous Computing Environments, Proceedings of 6th International Conference on Mobile Agents (MA'2002), Lecture Notes in Computer Science (LNCS), Vol. 2535, pp.186-202, Springer (Oct. 2002).
- 2) 佐藤一郎: Bridging Physical and Virtual Worlds with Mobile Agents, 情報処理学会論文誌, Vol.44, No.8, pp. 2218-2229 (Aug. 2003).
(平成 15年 11月 6日受付)

☆6 分散システムおよびユビキタスコンピューティング向けのミドルウェアの研究をしており、RFIDタグを専門としているわけではない。

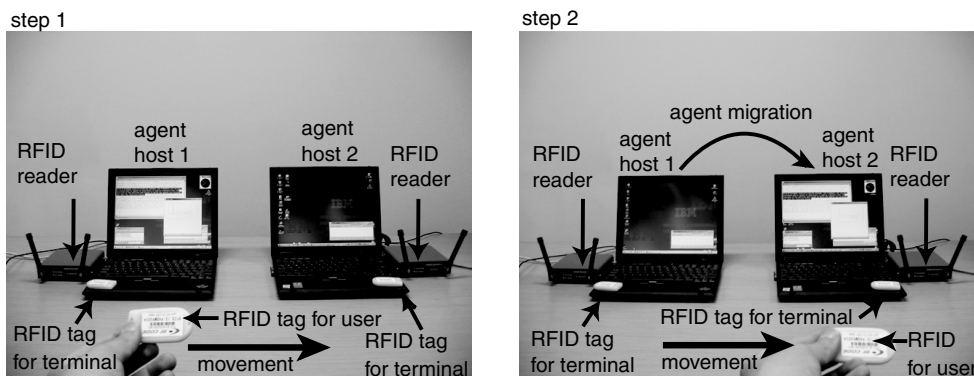


図-6 ユーザの近くに移動するデスクトップアプリケーション

