

# 実世界と仮想世界の架け橋—超小型 IC タグチップ

宇佐美 光雄<sup>†</sup>

超小型 IC タグは信頼性と低コスト化を両立させる IC タグチップ技術であることを見出し検証した。世界最小の IC タグチップは実世界と仮想世界を結び架け橋として重要な役割を担う。ネットワーク技術により、情報の IC タグチップ内分散に比較して、セキュリティと利用性の高い、属性情報の蓄積と管理をネットワークサーバ主体となるように意図した。そのために、IC タグチップ内には、仮想世界とリンクするためのノンメタ情報データである 128 ビットの ROM (Read Only Memory) 情報 ID を所有こととする。この ID のユニーク性を一元情報管理することにより、半導体ウエハ状態で ID を書き込むことにした。このために、超小型サイズの IC タグチップが実現でき、実世界使用環境での機械的強度向上とチップ生産性向上による低コスト化が得られた。また、アンテナ内蔵型の超小型 IC タグチップにより、通信距離 1 mm 内の読み取りによりプライバシー情報保護を配慮したチップも開発した。

## Ultra Small IC Tag Chip: A Bridge Device between Real-world and Virtual-world

MITSUO USAMI<sup>†</sup>

This paper describes that an ultra small IC tag chip enables to realize high reliability and low-cost in this technology area. The world smallest IC tag chip has an important role as an information bridge device between real-world and virtual world. The attribute data are stored and controlled at network server systems in order to have high security and ability to handle information of IC tag data. There is a 128-bit ID data within  $\mu$ -Chip which is realized using read only memory (ROM) technology. This ID is written at semiconductor wafer state to ensure ID unique number. This simple architecture leads the ultra small chip size that provides good mechanical endurance in real-world and low-cost IC tag chip. Moreover, an embedded antenna type  $\mu$ -Chip has been developed to apply to privacy-concern usage by realizing 1-mm maximum communication distance.

### 1. はじめに

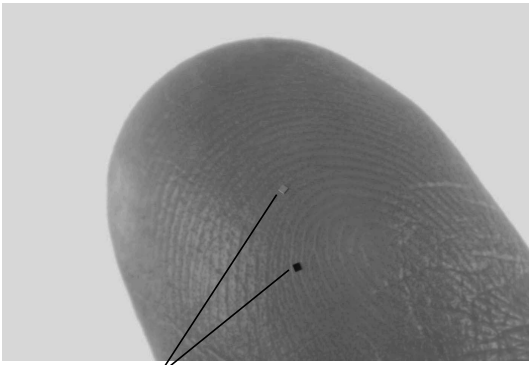
膨大なサーバ群とネットワークから構成されるデータベースとそのアクセスの利便性はいまさら言うまでもない。この巨大な仮想世界は、実世界と有機的にリンクできることにより、さらに有用性を増すことになる。ネットワーク技術の普及により、その末端にあるデバイスの活用に大きな関心が向いてきている。超小型 IC タグチップを一例とする IC タグは今後、実世界と仮想世界の架け橋として重要な役割を果たすことが期待されている<sup>1),2)</sup>。従来の IC タグ技術についてはこの重要な役割を担う IC チップの超小型化という点で抽象化が不十分であった。本論文では 2 章におい

て、IC タグ技術がユビキタス時代において、仮想世界と実世界の間の情報の架け橋として重要な役割を持つことを述べる。3 章ではその実現の 1 つとして超小型 IC タグ技術の位置付けと開発思想について述べる。4 章では実世界の具体的認識法について述べる。なお、本分野のタグは IC タグと称するほかに、RFID タグ、無線タグ、電子タグなどの名称で呼ばれることがある。本論文では IC タグという名称で統一して述べる。

### 2. 仮想世界と実世界をつなぐ IC タグの役割

図 1 に示すような無線で認識するための世界最小超小型 IC タグチップが発表されている<sup>3),4)</sup>。インターネットやそれと接続する端末の急速な普及により、ネットワーク技術がオフィスや日常生活に入り込んでいる。この傾向は今後ますます進展し、多大な恩恵を受けていくことになる。しかし、広く眼を転じると、

<sup>†</sup> 株式会社日立製作所中央研究所  
Central Research Laboratory, Hitachi, Ltd.



ミューチップ: 0.4mm x 0.4mm

図 1 世界最小の IC タグチップ  
Fig. 1 The world smallest IC tag chips.

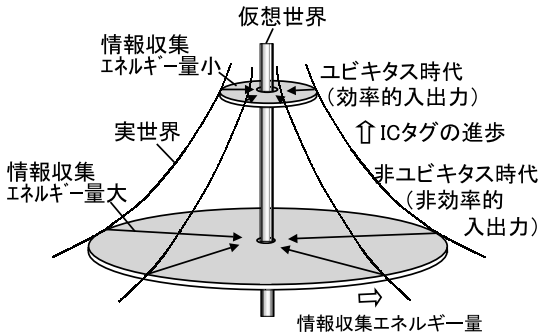


図 2 IC タグは実世界と仮想世界を結ぶ架け橋  
Fig. 2 IC tag: The bridge device between real-world and virtual-world.

流通現場, 医療現場をはじめとする現場作業では, まだ IT 化の恩恵を十分受けていないところが多い。

図 2 は, ユビキタス時代に期待される IC タグの役割を抽象的に示したものである。実世界と仮想世界の距離は情報収集エネルギー量によるものとする。すなわち, 実世界の情報が簡便に得られるほど, 仮想世界と実世界の距離は短いととらえる。この距離が近くなればなるほど, ユビキタス時代にふさわしい実世界と仮想世界の間に効率的入出力できる。そのための手段の 1 つとして IC タグ技術がある。IC タグ技術が進展すればするほど, 実世界の情報と仮想世界の情報が簡便に橋渡しできる。一例として, 将来ますます科学技術の進展がすすんでいくが, 快適な利便性を得るためには引きかえにある率では障害が起き, 受難をこうむることもやむをえないとすべきなのだろうか。ユビキタス時代では, 技術をより人間に近づかせる考え方がますます重要となってくる。そのためには, 技術は真に人間にとって優しい技術であるべきで, 希少な率の障害もその当事者には希少ではないという観点から

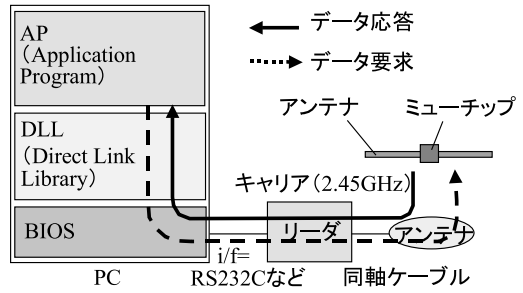


図 3 ミューチップを認識するシステム構成  
Fig. 3 System structure to identify  $\mu$ -chip.

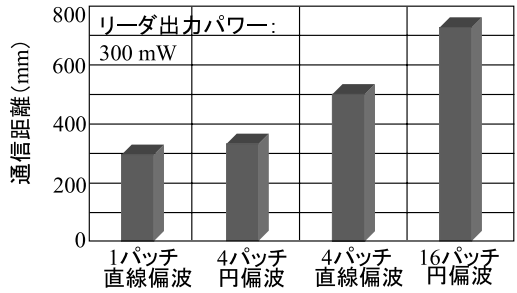


図 4 リーダアンテナの種類と通信距離  
Fig. 4 Type of reader antenna vs. communication distance.

必要である。IC タグは実世界と仮想世界を結ぶ架け橋であり, それを利用する人間にはものにかかわるわずかな障害も回避できるようにするために活用されるべきである。

IC タグを活用するためには, IC タグのみではなく, 図 3 に示すような, リーダやそのアンテナ, また, 無線で制御するための PC やソフトが必要となる。これらは, 全体の大きなネットワークの要素として見る必要がある。また, インターネットのインフラを活用するためには, ネットワークの応答時間を配慮した全体設計が重要となってくる。

次に IC タグとリーダとの通信特性がシステムの要素として重要になる場合がある。ただ, これらは IC タグ単体の特性のみを考えるべきではなく, 目的に応じてリーダを含めた検討を必要とする。たとえば, 通信距離では, 図 4 に示すように, リーダアンテナ種類に対する依存性も強い。リーダアンテナの選択により倍以上も通信距離が異なってくる。

IC タグは実世界が複雑であるように, その応用も複雑であることが特徴の 1 つである。IC カードでは, 人間が所有することが応用展開の発想の出発点となる。一方 IC タグでは, IC タグが人間以外の物品につくことが多い。IC タグとリーダの利用区分について整理

表 1 IC タグとリーダの利用区分

Table 1 Usage combination mode of IC tag and reader.

利用区分	ICタグ	リーダ	応 用 例
A	ほぼ静止	ほぼ静止	在庫管理
B	移 動	ほぼ静止	物流(ベルトコンベア)
C	ほぼ静止	移 動	位置検出
D	移 動	移 動	トレーサビリティ

注) 移動速度は用途により異なる。

してみたものが表 1 である。この表では、IC タグやリーダが静止か、移動かという分類をしている。IC タグではものに貼付するという点と、貼付された IC タグの認識番号の内容がネットワークにより容易にアクセスできるという利便性がある。このことにより、リーダ自体がセンサの役割を持って、人間に必要な情報を集め、伝えるという役割をはたす。たとえば、道路に埋め込まれた IC タグは、精度の良い位置検出手段となるはずで、これは、眼の不自由な方のガイド、車椅子の方の自動走行支援、また災害時の位置連絡手段にも使われることになる。

利用区分の種類が多いことは、応用分野の多様な要求があることを示しており、今後、多くの技術開発が進展していくことになる。IC タグもリーダも基本的には IC チップ技術に依存しているのだから、さらに高性能化、低コスト化（現状の数十円台から数円台に向かって）が進展することは間違いない。

### 3. 仮想世界への架け橋超小型 IC タグチップの開発思想

超小型 IC タグチップの最大の特徴は超小型チップにある。IC タグ技術はヨーロッパを中心に古くから開発されてきた技術であるが、超小型 IC タグチップを開発するにあたって考慮したことは、IC タグの高信頼度化と低コスト化である。その 2 つを両立させる概念として超小型チップ化がぜひとも必要であった。

図 5 は超小型チップによる強度向上を実験により示している。IC カードのような薄い媒体に IC チップを搭載して評価した経験からこの図のような衝撃試験を行って IC チップが破壊するまでの強度のチップサイズ依存性をみた。30 g の重りでも、IC チップについては過酷な衝撃となるが、IC チップが破壊する重りの高さや回数はいずれも IC チップが小さい方が優れていることが分かる。従来の動作しているといわれる超小

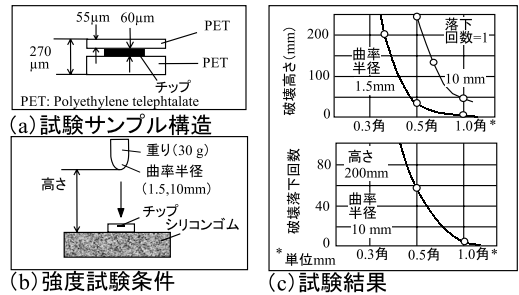


図 5 超小型チップによる強度向上

Fig. 5 Mechanical endurance improvement by using ultra small chip.

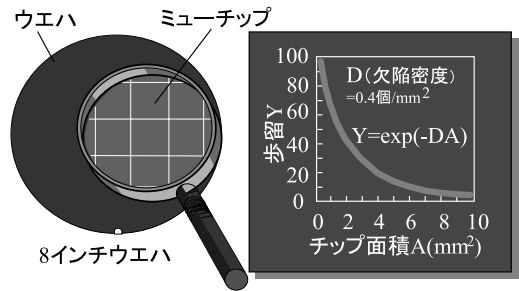


図 6 超小型チップによる歩留まり向上

Fig. 6 Yield improvement by using ultra small chip.

型 IC タグチップで小さなものが約 0.8 mm 角であったのに対して、超小型 IC タグチップでは 0.4 mm 角を実現している。低コスト化については、これも図 6 に示すように超小型の方が優れている。すなわち、チップ面積を小さくすることは、たとえ半導体の欠陥密度が高くて、十分良好な歩留まりで IC チップを取得することができることを示している。このことは、将来にわたり、チャレンジングな半導体プロセスを選択しても歩留まりが確保できることを示しており、超小型化路線の妥当性をよく表しているものと考えられる。

超小型 IC タグチップの超小型化を実現するために半導体の微細化のみにたよることは超小型 IC タグチップではしなかった。これは、必要なサイズの超小型 IC タグチップを実現するためには、システムの発想を入れても超小型化を図る必要があったためである。そのために、従来必要とされた書き込み型のメモリ機能をインターネット側に負担させることに徹した。ネットワーク技術により、情報の超小型 IC タグチップ内分散に比較して、セキュリティと利用性の高い、属性情報の蓄積と管理をネットワークサーバ主体となるように意図した。そのために、超小型 IC タグチップ内には、仮想世界とリンクするためのノンメタデータである 128 ビットの ROM (Read Only Memory) 情報

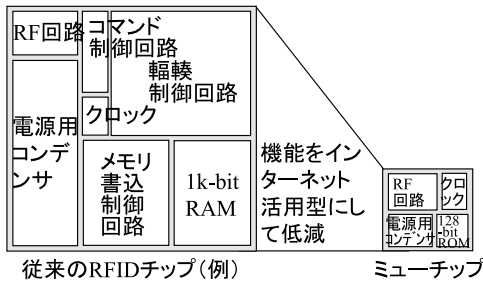


図 7 インターネットを考慮した回路構成  
Fig. 7 Internet oriented circuit structure.

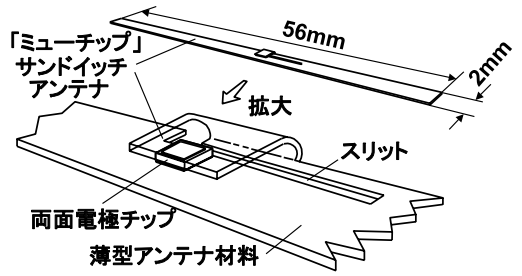


図 9 両面電極チップ用サンドイッチアンテナ  
Fig. 9 Sandwich Antenna for double-surface electrode chip.

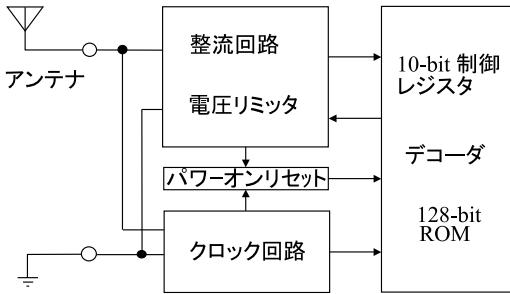


図 8 ミューチップの内部回路構成  
Fig. 8 Internal circuit structure of μ-chip.

ID を所有こととする．この ID のユニーク性を一元管理することにより，半導体ウエハ状態で ID を書き込むことにした．このために，超小型サイズの超小型 IC タグチップが実現でき，実世界使用環境，具体的には財布の中での耐性などの機械的強度向上と，従来に比較して 3 から 4 倍のチップ生産性向上による低コスト化が得られた．また，図 7 に示すように，従来の IC タグが持っていた輻輳制御回路も初期の超小型 IC タグチップでは持たないことにした．すなわち，超小型 IC タグチップは図 8 の内部回路構成にみるように，IC タグが持つべき最小限の機能を持つことに徹したチップであるといえる．そのかわり，ネットワークを活用して，必ずネットワークのデータベースにアクセスすることを前提としている．128 ビットの認識番号管理によりその認識番号が過去，現在，未来にわたり重複しないように配慮している．これにより，超小型 IC タグチップの需要数がいくら増加しても，安心して利用できるようにした．超小型 IC タグチップのシステム展開性が優れている理由の 1 つである．

IC タグでは，無線により認識番号の送信を行うために，超小型 IC タグチップにアンテナを接続することは必須である．しかし，せっかく超小型 IC タグチップが小さく製造できても，アンテナとの接続に困難性が増してしまえばはその低コスト化効果も発揮できな

くなってしまう．超小型 IC タグチップのもう 1 つの課題はアンテナ接続技術にあったともいえる．将来，超小型 IC タグチップをさらに小型化するために解決すべき課題である．超小型 IC タグチップに電流を流すためには，最低 2 個のアンテナ接続端子が超小型 IC タグチップ上に必要である．小さなチップ表面に 2 端子といえども隣り合わせて搭載すれば，(1) アンテナとの位置合わせ精度，(2) 電極面積が小，(3) そのチップ自体のハンドリング性などの課題が続出する．従来の方式であれば，IC タグのチップサイズを小さくすればするほど，アンテナとの接続は困難となる．

超小型 IC タグチップではこれらの課題を克服するために，図 9 に示すような両面電極チップを提案している．実際に試作して安定な動作を確認済みである．この両面電極チップのユニークな点は，チップ表面に 1 つ，裏面に 1 つの電極を持たせた点にある．さらに量産性向上を図るため，この両面電極チップを挟み込む形態のアンテナを発案した．サンドイッチアンテナと称しているが，まさに両面電極チップを挟むだけの簡単な構造である．

両面電極チップにすると，チップを上下反転させてアンテナと接続しても何ら特性に影響しない．電磁波が交流であることを考えれば自明のことであるが，これだけでも大きなインパクトを持つ．すなわち，従来の片面に電極が 2 個ある構造では，どうしてもチップの表裏を考慮したアンテナ接続技術が必要であった．それに対して，両面電極チップでは，もはやチップに表，裏がないために，精度の荒い位置合わせ法でかつチップ自体を砂粒状に扱ってハンドリングすることが可能となる<sup>5)</sup>．したがって，一気に数千個から 1 万個程度の超小型 IC タグチップを同時に配列することが可能となり，またアンテナとの接続も一括してできる．

一方，超小型 IC タグチップの重要な応用として，有価証券の偽造防止がある．このために，世界最小サイズのチップにさらにアンテナを内蔵してしまうこと

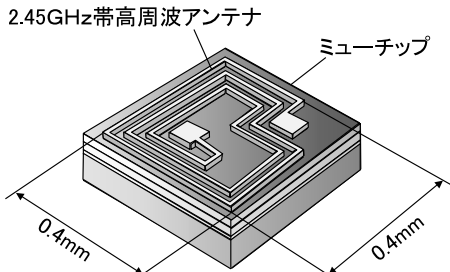


図 10 アンテナ内蔵型ムーチップ  
Fig. 10 Antenna embedded  $\mu$ -chip.

を考え、技術開発に成功した。そもそも、超小型 IC タグチップがマイクロ波帯を採用した大きな理由の 1 つはアンテナを内蔵したかったためである。マイクロ波帯であれば、周波数が高いため、必要なアンテナ共振の LC 時定数も小さく抑えられ、アンテナを小さく形成できる見通しのもとであった。図 10 に示すような形態のアンテナとなっているが、外付けアンテナのチップと同じ半導体製造工程でアンテナが搭載できるようにしている。偽造防止応用では、プライバシー問題も考慮しておく必要があり、通信距離 1mm のアンテナ内蔵超小型 IC タグチップのよい応用分野の 1 つと考えられる。

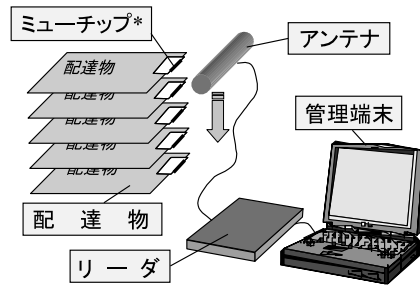
4. 実世界の具体的認識法

図 11 では、超小型 IC タグチップを配達物に貼付して、10-20mm 分離した状態におき、連続して個別認識する手法を示している。個別仕分けしたい応用では、輻輳制御は必要ではない場合がよくあり、IC タグを並べた状態で個別に認識できることは有用である。この場合、隣りの超小型 IC タグチップとの同時読み取りを避けるためには、超小型 IC タグチップとリーダーアンテナとの距離低減や、アンテナ性能の低減など複数の手法がある。

超小型 IC タグチップは小さくまた薄いので、紙媒体との親和性がよい<sup>6)</sup>。図 12 は超小型 IC タグチップによる紙媒体認識の方式を示している。紙表面の印字情報は超小型 IC タグチップ内の識別番号とリンクしてデータファイルに蓄積される。このデータファイルはネットワークに接続されて、その後の関連情報の蓄積や参照に繰り返し使用される。

5. おわりに

本論文では、従来の IC タグチップでは不徹底であった IC タグチップサイズに焦点をすえて、超小型 IC タグチップの位置付けを明確にした。超小型 IC タグ



\*両面電極構造「ムーチップ」とサンドイッチアンテナによるICタグ

図 11 ムーチップによる個別認識  
Fig. 11 Individual identification by using  $\mu$ -chip.

紙媒体とのデータリンク法

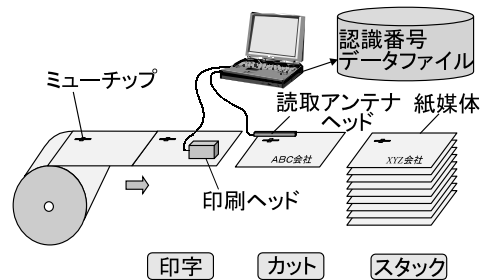


図 12 ムーチップによる紙媒体認識  
Fig. 12 Paper media identification by using  $\mu$ -chip.

チップはインターネットの進展とともに IC タグを普及させるために必要な信頼性と低コスト化をあわせ実現するための鍵である。

すべてのものには知りたい情報、制御したい情報、蓄えたい情報などがあるはずで、人間がかかわるもので重要なものには IC タグが情報の架け橋のような役割を持ち、効率的にネットワークに接続される時代がくると考えられる。IC タグおよびそのシステムの適切な運用により、IC タグは今後人間社会に計り知れない恩恵をもたらすものと期待できる。

参考文献

- 1) Kaiser, U. and Steinhagen, W.: A Low-Power Transponder IC for High-Performance Identification Systems, *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, Vol.30, No.3, pp.306-310 (1995).
- 2) Friedman, D., Heinrich, H. and Duan, D.W.: A Low-Power CMOS Integrated Circuit for Field-Powered Radio Frequency Identification Tags, *ISSCC Digest of Technical Papers*, pp.294-295 (1997).
- 3) Takaragi, K., Usami, M., Imura, R., Itsuki, R. and Satoh, T.: An Ultra Small Individ-

- ual Recognition Security Chip, *IEEE micro*, Vol.21, No.6, pp.43–49 (2001).
- 4) Usami, M., Sato, A., Sameshima, K., Watanabe, K., Yoshigi, H. and Imura, R.: Powder LSI: An Ultra Small RF Identification Chip for Individual Recognition Application, *ISSCC Digest of Technical Papers*, pp.398–399 (2003).
- 5) Briole, S., Pacha, C., Goser, K., Kaiser, A., Thewes, R., Weber, W. and Brederlow, R.: AC-Only RF ID Tags for Barcode Replacement, *ISSCC Digest of Technical Papers*, pp.438–439 (2004).
- 6) 宇佐美, 井村: ミューチップーユビキタスネットワークの世界を広げる砂粒チップ, 電子情報通信学会誌, pp.4–9 (Jan. 2004).

(平成 17 年 11 月 30 日受付)

(平成 18 年 3 月 2 日採録)



宇佐美光雄

昭和 46 年東京工業大学工学部電子物理工学科卒業。同年(株)日立製作所入社。以来, 超大型計算機用超高速論理 LSI, 非閾値論理 LSI, インタフェース LSI, 薄型チップ応用薄型 IC カード, 超小型無線 IC タグチップ(「ミューチップ」)の開発に従事。現在, 同社中央研究所主管研究長。工学博士。