

# 特集 RFIDを用いたリサイクルシステム\*

## RFID Application for Recycling System

寺浦 信之 齋藤 隆 澤田 喜久三 平野 忠彦  
Nobuyuki TERAURA Takashi SAITO Kikuzou SAWADA Tadahiko HIRANO

To realize sustainable society, we have to promote resource conservation and environmental protection. Recycling of products is key to these two issues. To achieve recycling, the product information, such as material, is required. Based on this requirement, RFID application for recycling system has been developed. In this system, RFID tag is attached to the product during manufacturing process and the information required for recycling, such as product type data, is stored in the tag. When the product enters the dismantling process, the stored data is read out to quickly discriminate recycling capability of the product/part. This quick separation can make recycling process more efficient. If the auto part industry employed this concept and established RFID-based recycling system, they could enjoy dramatic improvement.

**Key words** : RFID, RF Tags, Reuse, Recycle, Quick separation

### 1. まえがき

(株デンソーウェーブでは、RFID (Radio frequency identification) に関する種々の製品を販売してきているが、2000年より経済産業省のミレニアムプロジェクトである『電子電機機器の再利用に関するプロジェクト』に参画し、RFIDをリサイクルまたはリユースに活用する検討を進めている。

2001年4月から特定家庭用機器再商品化法(家電リサイクル法)が施行され、テレビ、エアコン、冷蔵庫、洗濯機の4品目について、新たなリサイクルの仕組みが施行されることになった。これは循環型社会を実現するために必要とされる「3R」すなわち、廃棄物の減量化(リデュース)・再利用(リユース)・再資源化(リサイクル)の取り組みの一環として整備されたものである。家電リサイクル法が施行されることで、家電製品の設計から製造、保守、回収、再利用までのライフサイクル全体で環境負荷を最小とする循環型の生産システム、すなわちインパース・マニファクチャリングシステムの実現が一段と要求されることとなり、その一環として製品、部品のリユース・リサイクルの可能性を高速判別し、分別する技術の開発が求められることとなった。

そこで、製品の製造工程で、製品にRFIDを貼付し、RFID内部に製品の型式データや個々の製品の個体データなどのリサイクル情報を記憶させる。そして、これらの製品の廃棄処理工程において、RFIDに記憶させたリサイクル情報を自動的に読み出し、製品・部品のリユース・リサイクルの可能性を高速に判別することによって、リユース・リサイクル率の向上に寄与で

きると考えられる。

一方、これらの家電製品には、表面及び内部に金属が使用されている。ところが、RFIDは電磁波を用いてデータを送受信するため、金属の影響を受けやすく、データを送受信に影響があると想定される。しかし、現状では金属の影響について充分明らかにされているとはいえない。そこで、上記ミレニアムプロジェクトとして、金属の影響を低減するためのRFIDの構造、組み込むコア材料等を開発することにより、耐環境性を有し金属に貼付可能なRFID及びその読み書き機を開発した。

この同じ考え方を、家電品以外の金属を表面またはその構造体を含む製品のリユース・リサイクルに適用できると考えられる。特に自動車の部品等の再利用にRFIDを用いたリユース・リサイクルシステムを構築できれば、効果が大きいと考えられるので、基本的な考え方を紹介するとともに、検討内容を報告する。

### 2. RFID

まず始めに、RFIDについて、その動作原理や特徴などについて簡単な説明を行う。

#### 2.1 RFIDシステムの構成

RFIDを用いるシステムは、情報媒体であるRFIDとその読取り書き込み装置から構成される。

RFIDは、主に半導体からなる記憶部と通信部及びアンテナから構成される。記憶部はリードオンリー型とリードライト型があるが、最近ではリードライト型が主流となってきている。

読取り書き込み装置には、定置式装置と手持ち式装置

\* (社)自動車技術会の了解を得て、2001年春季大会学術講演会前刷集No.42-01、195より加筆転載。






がある。

2.2 RFIDの伝送原理

現在採用されているRFIDの使用周波数での分類を

Table 1に示す。

Table 1 Classification by RFID frequency

Frequency band	LF (MF)		HF	Microwave
Frequency	Up to 135 kHz		13.56 MHz	2.45 GHz
Typical shape	Coin 	Cylinder 	Card Label 	Card  Label 
Characteristics	Radio Law permits high power output Metal compatibility		Label application Simultaneous use with Contactless IC card is possible	Long range communication (with battery) Downsizing is possible.
Transmission principle	Electrostatic coupling	Electromagnetic induction	Electromagnetic induction	Microwave
Communication range	A few mm	Up to 1 m	Up to 1 m	Up to 10 m
Standard (ISO/IEC)	18000-2		18000-3	18000-4

RFID内蔵の半導体メモリーに記憶されるデータにアクセスするために、電磁波を用いるが、その伝送原理は大別して、次の二つに分類することができる。

(1) 電磁界結合方式

(2) 電波利用方式

この中で、電磁界結合方式は、読取り装置のアンテナに流れる電流等により発生する磁界や電界と直接RFタグのアンテナとが密に結合される方式であり、その手段として

(1) 電磁誘導方式

(2) 静電結合方式

の二つの方式がある。

電磁誘導方式は、読取り装置のアンテナ側にコイルを巻き、そこに電流を流して磁場を発生させ、RFID側にもアンテナとしてのコイルを巻いて、そのコイルに差交する磁場による起電圧により信号や電力を伝達するものである。

これに対して、静電結合方式は、アンテナとして平板を用い、そこに帯電する電荷量を変化させることにより、RFタグのアンテナの平板に静電誘導で誘起される電荷の変化により電力や信号を伝達する。


また、電波利用方式は読取り装置のアンテナとRF

タグのアンテナとの間で電波の送受信を行う方式であり、読取り機とRFタグの距離が最大10m程度にもなる。この方式は準マイクロ波帯の周波数が用いられることから慣用的にマイクロ波方式とも呼ばれている。

2.3 用途による分類

RFIDは、その使われ方から大きく二つのカテゴリーに分類されている(Table 2)。一つは人が持つ『非

Table 2 Classification by RFID application

	RF Tag	Contactless IC card
How to use	Attached to items	Kept by human beings
Shape	Coin Cylinder Label Card	Card 
Standardization	SC31/WG4	SC17/WG8
Basic technology	RFID	

接触ICカード』であり、もう一つは物に貼付し物と情報の一体化をはかる『RFタグ』である。非接触ICカードについては、当社も納入をしているNTTのテレフォンカードや最近実用化されたJR東日本のIC定期券『スイカ』があり、一般市民にも身近なものとなっている。また、電子マネーや運転免許証等のいろいろな用途が検討されている。本稿では、物に貼付するRFタグの利用について述べる。

2.4 RFタグの特徴

RFタグの用途として、さまざまな提案がされているが、その中でRFタグがその真価を発揮し、期待されている役割を果たすことができるのは、その固有の機能が活かされる用途である。現在、バーコードなどの自動認識媒体が用いられている用途において、それが単にその機能の拡大であるだけならば、導入は限定的にならざるを得ない。それは、RFタグがバーコードなどの光学的情報媒体に対して、余分なコストが必要となるからである。

RFタグがバーコードなどの光学的情報媒体に対して明らかにメリットを有する機能としては、

- (1) 書き込み機能
- (2) 同時読取り機能
- (3) 透過機能

である(Table 3)。

この中で、透過機能とは、情報伝達の手段として電波を用いているため、金属などを除いて、封止材や容器などを透過して伝播する機能である。これによって、さまざまな封止が可能となり、必要な耐環境性を実現できる。例えば、ダンボール箱や通い箱の内部のRFタグを読取ることなどが可能となる。また、封止の自由性からタグ形状への制約が少ない。

従って、前述の(1)(2)(3)の機能が少なくとも、一つが当該用途に必要とされているか否かが採用のポイントになると考えられる。

2.5 金属対応タグ

従来、RFタグは電磁界や電波を用いて通信や電力伝送を行わせており、金属の影響を受けるので、RFタグを金属に貼付することがなされなかった。しかし、最近になって、金属の影響を定量的に評価し、通信性能の劣化はあるものの、使用の仕方に制限をすれば、十分に金属にRFタグを貼付して、読書きすることができることが明らかになってきている。

これは、最適な磁性体の開発やリーダライタ側の対応(リーダライタのコイルも金属の近傍では影響を大きく受ける)によって、可能になってきたものである。

金属に貼付することが可能となることにより、RFタグを貼付できる対象は一機に拡大する。このような金属対応タグの用途の一例が、リサイクルシステムである。

3. 金属の影響評価

RFタグの近傍に存在する金属の影響を定量的に評価するために行った実験結果について述べる。この実験は、RFタグのアンテナとリーダライタのアンテナを同心円状に位置関係を固定して設置し、これらと金属板との距離を変えて、RFタグに誘起される起電圧を測定した。金属としては、鉄、アルミニウムについて行った。また、周波数については、中波帯(125kHz)と短波帯(13.56MHz)について行った。この実験結果をFig.1に示す。

Table 3 Characteristics of RF tag

Characteristics		RF tag	Optical data media (barcode, 2D code)
1. Rewritability		(1) EEPROM: 100,000 times (2) FRAM: 1 billion times	1 time only at printing
2. Transparency	1) Environmental durability	Various sealing methods are available.	When light is blocked, reading becomes impossible
	2) Backside reading	Tags in the box or on the off side of the wall can be read	
3. Simultaneous reading		Up to several hundred	Only one

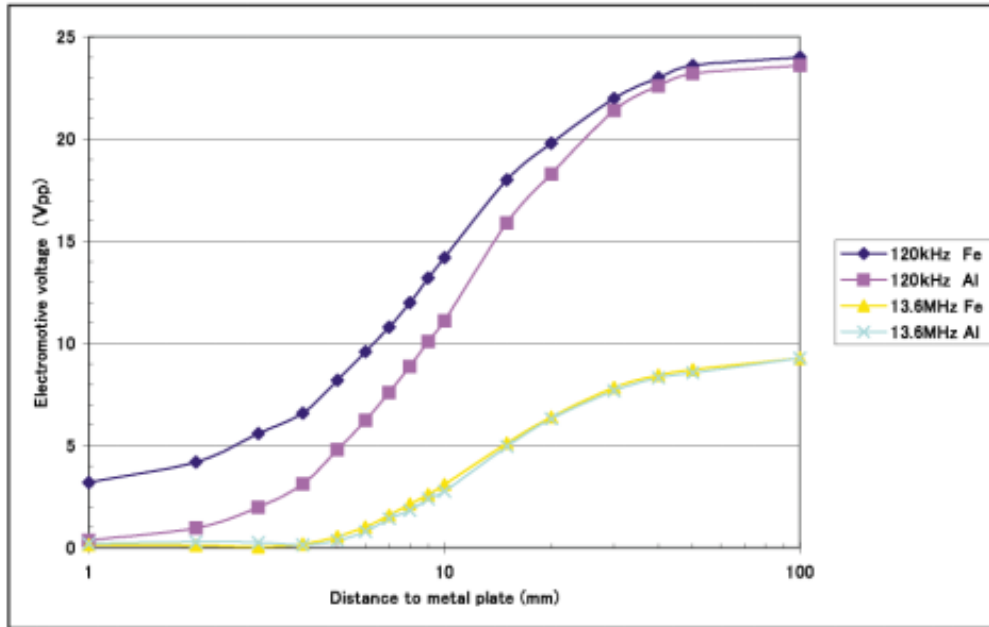


Fig.1 Result of metal interference

3.1 125kHzの場合

鉄の場合は，RFタグのコイルと金属が近づいても起電圧が残り，RFIDとして動作が可能な特性を示している．一方アルミニウムでは，RFタグのコイルと金属が近づき数mm以下になると，起電圧が下がりRFタグにとして動作できない特性となった．

金属が近づくとどう電流が流れ磁界が弱まるが，鉄の場合は鉄の磁性のため，みなしコア材の効果もあるため起電圧が残ったと考えられる．

3.2 13.56MHzの場合

もともと金属から離れている状態での起電圧が低い上に，金属に近づいたときの起電圧の小さくなり方がさらに急である．金属の影響を低減させるためには，金属板からRFタグのコイルを約30mm以上離す必要があることが分かる．また，鉄とアルミニウムで13.56MHz帯での金属の影響の差はほとんど無いと言える．

125kHz帯より周波数が高いために，みなしコア材でのロスが増えて，鉄の磁性による効果は無くなっている．

なお，横軸は金属とRFIDのコイルの距離が近い領域の特性を見やすいように対数表示としてあるので起電圧は徐々に下がるように見えるが，実際は急激に下がる特性である．

3.3 予備実験

上記の結果から，RFタグの動作周波数として

125kHzを選定し，コア材として三菱マテリアル株式会社が開発を担当したフェライト複合材と軟磁性金属複合材を用いて金属の影響を低減させる予備実験を行った．その結果，鉄に密着時，フェライト複合材では68%，軟磁性金属複合材では56%の起電圧を得ることができ，金属の影響を低減することができた．この起電圧レベルでRFタグは動作可能であり，通信距離は低減するが充分実用可能である．

4 .RFIDを用いたリサイクルシステム

4.1 リサイクルへの応用の基本的考え方

資源の保護及び環境の保護の観点から，製部品のリサイクルの重要性が高まってきており，2001年4月家電4品について，いわゆる家電リサイクル法が施行され，リサイクルシステムの運用が開始された(Fig.2)．

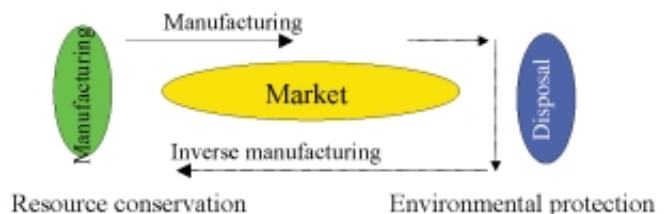


Fig.2 Resource recycling

RFタグをそのリサイクルシステムに用いることの検討を進めている。これは製品の製造段階で製品にRFタグを貼付し、その中にリサイクルに必要なデータ（製品型式、製造日時、環境負荷物質など）を書込んでおき、市場での使用が終わった後、リサイクル工場でそのデータを読み出し、リサイクルやリユースに用いるというものである。

4.2 リユース・リサイクルの情報システムの検討

リユース・リサイクルの可能性を高速判別するためのデータとしては、Table 4に示すように、

(1) 製品型式に関するデータ

(2) 製品個体に関するデータ

がある。これらのデータは、さらに、

(1) 分別するためのデータ

(2) 分別するためのデータのインデックスデータ

に分類することができる。

Table 4 Reuse/recycling data

	Data indicator	Data required for separation
Product type data	<ul style="list-style-type: none"> <li>Product type data</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Manufacturer</li> <li>Designed lifecycle</li> <li>Subassembly</li> </ul>
Individual product data	<ul style="list-style-type: none"> <li>Product ID</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reuse frequency</li> <li>Manufacturing date</li> <li>Operating time</li> <li>Travel distance</li> </ul>

リサイクル情報システムを構築するには、判別するためのデータそのものを情報媒体に記憶する場合（データ分散型システム）と判別するためのデータのインデックスを情報媒体に記憶し、インデックスデータからネットワークを介してデータベースを検索し、判別に必要なデータを入手する場合（データ集中型システム）がある。

情報媒体にインデックスデータのみを記憶させるデータ集中型システム、及び判別するためのデータそのものを情報媒体に記憶させるデータ分散型システムのいずれのシステムも有効に機能するシステムとなる。これらは使用する情報媒体の特性に規定されることになる。これらのデータを記憶する情報媒体としては、現在でも広く利用されているバーコードや二次元コード、そしてRFIDがある。バーコードを用いる場合に

は、そのデータ長の短さ及び書き換えられないという特性から、バーコードにインデックスデータを持たせるデータ集中型システムとなる。

電子電機製品や自動車ではその使用期間が5～15年と言われており、その使用期間中に、修理で部品交換がなされる場合など、データの更新が必要とされる場合があり、またその間にデータを保持できる耐環境性が必要である。そこで、これらの自動認識技術の中で、特に高い耐環境性を持ったRFタグを用いてリユース・リサイクルシステムを構築するのが適当と考えられる。

4.3 RFタグを活用したリユース・リサイクルシステム

前記の二つのシステムを比較すると、ネットワーク負荷がかからない、導入しやすいという理由から、データ分散型が優位であると考えられる。しかし、現状では、十分な記憶容量を有しないことから、データ分散型のシステムによる処理は不十分なものとなる。

そこで、データ集中型とデータ分散型の中間型システムを提案する。中間型とは、『判別に必要なデータ』を『主要なデータ』と『詳細データ』に分類し、『主要なデータ』をRFタグに記憶し、『詳細データ』はデータベースに記憶する方式である。そして、解体現場では『主要なデータ』によって、リサイクルの可能性を判別し、『詳細データ』が必要な際には、ネットワーク経由でデータを得る。この中間型システムの構成をFig.3に示す。

しかし実際には、判別に必要なデータの「主要データ」があれば、リユース・リサイクルの可能性は判断可能であり、「主要データ」ならば現在のRFタグの記憶容量でも記憶可能である。

そこで、本プロジェクトはRFタグを活用したリユース・リサイクルシステムとして、データ分散型を基本としつつ、より詳細なデータが必要であれば、必要に応じてデータベースにアクセスするというシステムを提案する。

このようなシステムは大規模なシステムになると思えるが、インターネットを始めとする通信技術の発展と記憶装置の容量拡大によって、比較的安価、小規模なハードウェア構成で実現可能である。

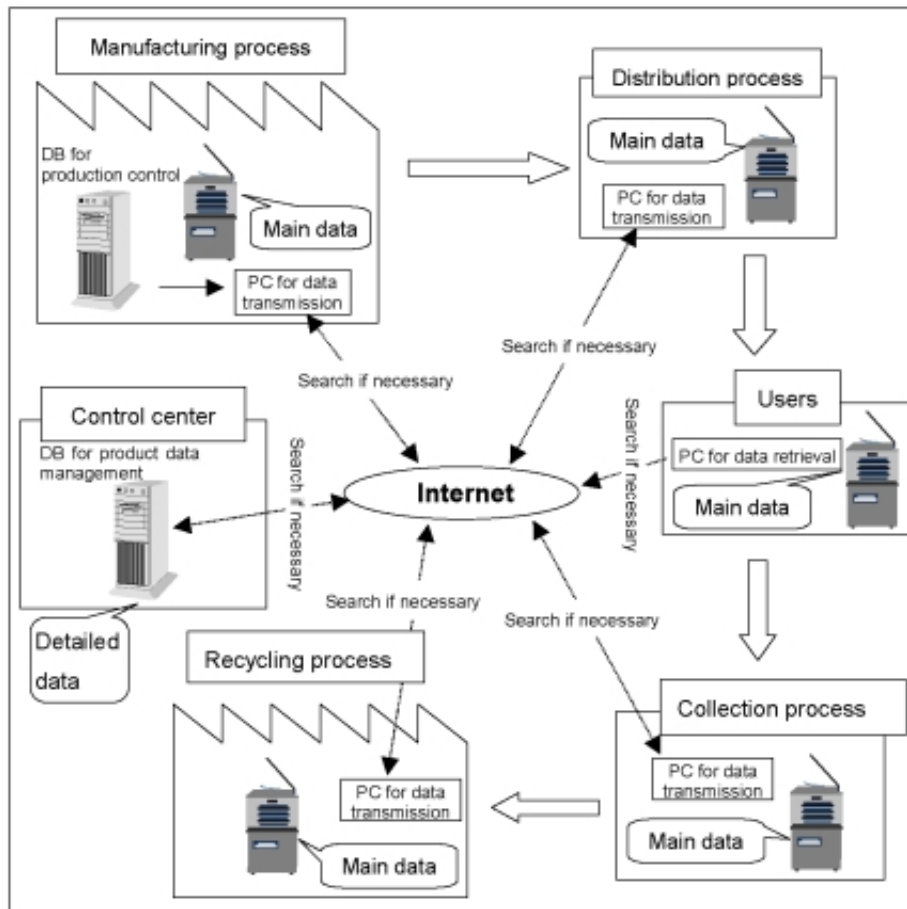


Fig.3 Practical recycling information system structure

4.4 製品のライフサイクル管理

ここで、注目を集めているのは、一旦リサイクル用途に貼付されたRFタグを貼付された製品のライフサイクル管理に使うという考え方である。すなわち、ライフサイクル管理の起点である製造段階で貼付され、ライフサイクルの終点であるリサイクル段階でそのデータを利用するのであるが、その間での活用を図ろうとするものである。既に、貼付されているのでコストは不要であり、それを市場に提供するまでの動脈物流、市場でのサービスメンテナンス、リユース・リサイクルなどの静脈物流で活用するのである。

金属を含む電子機器（家電製品）について上記の金属タグをリサイクルに適用する実証試験が、経済産業省のミレニアムプロジェクトとして、本年実施される予定である。

RFタグのコストは、同じでも、いろいろ

んな場面でそのデータを活用するなどして、付加価値を高めればコスト低減と同じことになる。物品のライフサイクルのいろいろな場面で使用するとすると、製造段階から使用することで使用頻度を高めることができる。物の製造工程で用い、物の流通段階で用い、市場での物のサービスに用い、廃棄後の静脈物流で用い、廃棄の段階でリサイクルに用いる、等である(Fig.4)。

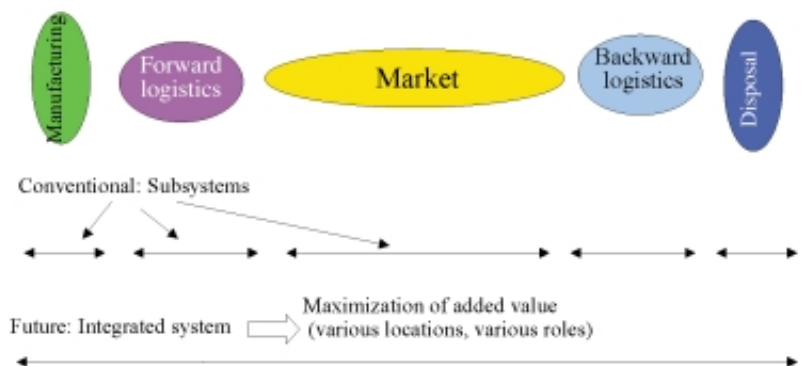


Fig.4 Life cycle control for product

## 5. RFタグの応用検討

### 5.1 リサイクル施設の調査

家電品のリサイクル施設及び事務機器のリサイクル施設について、千葉県東浜リサイクルセンターの調査を行った。その結果、基本的な解体・リサイクル工程は、

- (1) 手作業による有価物、環境負荷物質の取り外し
- (2) 破砕機による破砕
- (3) 分別工程による材料の分別

から構成されていることが明らかになった。

RFIDの活用の観点からは、(1) 手作業工程での作業指示での応用である。特に、樹脂製品では破砕されると後工程での分別は不可能であり、現状では破砕後のリサイクルは行われていない。

### 5.2 自動車解体工程の調査

自動車のリサイクル施設について、福岡県の西日本オートリサイクルの調査を行った。

基本的な解体・リサイクル工程は、

- (1) 手作業による有価物（再利用部品）の取り外し
- (2) 手作業による非金属物の取り外し
- (3) 圧縮機による金属物のインゴット化

から構成されている。

自動車の解体及び部品の取り外しにおいても、手作業が中心であり、作業者に部品取り外し指示や解体作業内容の指示ができれば、リユース・リサイクルに大いに貢献できる可能性がある。

具体的には、解体作業者にRFタグの手持ち式リーダーを持たせ、解体作業の開始時に、RFタグに記憶されたリサイクル情報を読み取る。そのリサイクル情報に基づき、作業場に設置された大画面に、型式データに基づく構造図などが表示され、さらに再利用部品の位置と内容を表示して、作業指示を行わせる等である。

## 6. 自動車部品への応用

### 6.1 部品の再利用

ここでは、自動車部品を有効に再利用するためのモデルを紹介する。

部品を再利用するために必要とされる情報の中で、重要となるのは個々の部品についての個体データである。これには、当該部品の製造年月日、再利用回数、走行キロ数、電源印加時間などがある。これらを部品ごとに貼付されたRFIDに製造時及び再利用時に書きこんでおき、自動車組み立て時にマスターのRFタグ

に主要なデータを集約して書きこむ。そして、自動車の解体時に、マスター及び部品ごとのリサイクル情報を読み出し、再利用の可能性を判別させるものである。

このモデルによれば、製造年月日等の部品の個体データを自動車本体とは別のデータ媒体に、別の物として管理を行うので、再利用される部品ごとの履歴データを管理することが可能になり、再利用に関する情報システムのインフラを形成することが可能になると考えられる。

ここで、重要であるのは部品に貼付したRFタグにはデータを書き込み可能であるという点である。何らかの手段で、部品に稼動記録を書き込めば、部品の再利用の可能性の主要な判断材料となしえる。

### 6.2 再利用システムの構築

自動車部品に上記のようにRFタグを貼付し、また組み立て工場にマスターRFタグを構成しても、再利用自体が行われないと意味がない。そこで、再利用を行う仕組み自体が必要となるが、その際には、RFタグは、再利用の可能性を判別する手段だけでなく、再利用情報システムの構築上大きな役割を果たし得るものと期待できる。

### 6.3 自動車部品のライフサイクル管理

自動車についてのRFタグの利用もサブシステムとして分断されて利用されてきた。自動車部品についても家電品と同様にライフサイクル管理にRFタグを活用できると考えられる。そのサブシステムとしては、以下が考えられる。

- (1) 部品の調達物流等の製造支援
- (2) 完成した自動車の動脈物流
- (3) 市場での使用情報収集
- (4) 使用済み自動車の静脈物流
- (5) リサイクル時の解体、部品取得支援

この利用は、Fig.4に示したライフサイクル管理の各局面、すなわち、製造、動脈物流、市場、静脈物流、リサイクルでの応用について、自動車への適用を例示したものである。上記で、(1)の利用は、例えばかんばんの代替としての利用である。部品そのものにタグが貼付されているので、通い箱にかんばんを貼り付けるように、部品そのものにかんばん情報を書き込むことにより、紙のかんばんと同じ働きをさせることが可能である。

また、(5)の利用では、自動車部品個々のデータベースを構築して管理したり、また、部品の再利用市場を効率的に運用するために再利用部品の市場の要求に

よって、解体工場で当該部品を取り外すという再利用部品の後補充方式を実現することも容易となる。

## 7. おわりに

本研究では、リユース・リサイクルの可能性を高速に判断するために必要とされる情報システムを検討し、そこで用いられるデータの内容及びシステム構成を分析した。それに基づいて、RFIDを利用したリサイクル情報システムを提案した。

自動車部品の再利用のシステムについては、重要なテーマであり、今後の課題として検討を進めていく所存である。

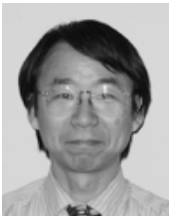
本研究の一部は、経済産業省のミレニアムプロジェクト『電子・電機製品の部品等の再利用技術開発』として、財団法人製造科学技術センターからの委託事業によって行われたものである。

## <参考文献>

- 1) 財団法人製造科学技術センター：インバースマニユファクチャリングシステムの開発成果報告書（2000，3）
- 2) 財団法人製造科学技術センター：電子・電機製品の部品等の再利用技術開発成果報告書（2001，3）
- 3) 寺浦 他：自動車技術会2001年春季大会学術講演会前刷集（20015279）

---

## <著 者>



寺浦 信之  
(てらうら のぶゆき)  
株式会社デンソーウェーブ IDソリューション事業部  
RFタグ関連の機器開発に従事



齋藤 隆  
(さいとう たかし)  
三菱マテリアル株式会社 RFID事業センター  
RFタグ関連の磁性体開発に従事



澤田 喜久三  
(さわだ きくぞう)  
吉川アールエフシステム株式会社技術部  
RFタグ関連の半導体チップ開発に従事



平野 忠彦  
(ひらの ただひこ)  
株式会社ウェルキャット 無線研究部  
RFタグ関連の機器開発に従事