

RFID技術動向・運用環境調査 報告書

平成20年3月

財団法人 流通システム開発センター

目 次

第1章 本事業の概要	1
1-1 本事業の背景と目的	1
1-2 事業の内容及び実施方法	1
第2章 RFID技術動向の調査	2
2-1 国内外のUHF帯RFIDシステムの利用動向	2
2-1-1 世界のUHF帯の利用周波数	2
2-1-2 UHF帯RFIDの国内での使用の検討	4
2-1-3 UHF帯RFIDの国内使用開始	4
2-1-4 UHF帯RFID干渉防止対策の追加	5
2-1-5 UHF帯RFIDの高度利活用に向けて	6
2-2 RFIDの使用周波数の特徴比較	10
2-2-1 周波数の概要	10
2-2-2 各国周波数の特徴比較	11
2-3 北海道大学との共同研究	13
2-3-1 植込み型医療機器電磁干渉試験	13
2-3-2 アンテナ放射特性詳細測定	15
2-3-3 数値解析法に向けた検討	16
2-3-4 今後の検討事項	17
第3章 運用環境の調査	18
3-1 段ボールリサイクル工程への影響について	18
3-1-1 環境への貢献と問題の未然防止	18
3-1-2 RFタグ廃棄の課題と検討結果	18
3-1-3 海外での状況	19
3-1-4 段ボールリサイクル実験	20
3-2 医用機器へのRFID機器の影響	24
3-2-1 医用機器に関するRFID機器の分類	24
3-2-2 評価方法	24
3-2-3 調査研究結果の概要	24
3-2-4 医用機器装着者への対応	25
3-2-5 機器設計基礎研究	25
3-2-6 今後の課題	25
3-3 RFIDの使用環境について	26
3-3-1 135KHz未満のRFID	28
3-3-2 13.56MHzのRFID	29
3-3-3 433MHzのRFID	34
3-3-4 860MHzから960MHzのRFID	35
3-3-5 2.45GHzのRFID	44

第1章 本事業の概要

1-1 本事業の背景と目的

この3年間、総務省、経済産業省などでRFIDを用いて各業界での実証実験が続けられていて、その利活用が産業界で検討されている状況である。

そのため本事業では、UHF帯RFIDを含めた技術動向、運用環境調査を行うと共にベンダー機器の開発動向についてとりまとめ、各業界が導入ロードマップを検討する上で参考となる基礎資料を作成することを目的とする。

1-2 事業の内容及び実施方法

RFID技術動向や国内の環境整備動向およびUHF帯におけるベンダー機器の開発動向についてとりまとめるため、以下の事業を実施した。

① RFID技術動向調査

国内のRFID（特にUHF帯）の共用化技術、利活用状況について、調査を行い、とりまとめた。

② UHF帯におけるベンダー機器の開発動向

有力ベンダーにおけるUHF帯のリーダライタおよびタグ開発動向について、各社にアンケートを行い、とりまとめた。

第2章 RFID 技術動向の調査

RFID の大量使用に向けて、取り巻く技術的な環境の整備が整ってきた。RFID が使用される周波数としては LF(135kHz 未満)、HF(13.56MHz)、UHF(433MHz、860-960MHz)、マイクロ波 (2.45GHz) が使用され、周波数ごとの特徴を生かした活用が進んでいる。技術上の動向をとらえる一つの方法としては、国際標準の規格化の検討状況を見ることあげられる。最近の傾向としては、通信のための電波上の審議の山場は終わり、今はミドルウェアなどのソフトウェアやアプリケーションを中心とした使い方、安全性などを意識した検討ステージに入っている。

本章では、RFID システムで最も期待している国内外の UHF 帯 RFID システムの技術動向と各周波数の特徴比較調査を報告する。

2-1 国内外の UHF 帯 RFID システムの利用動向

数年前までは UHF 帯は ITU-R での帯域割り当てが米国とそれ以外の欧州、アジアが異なっていたため、米国を除いては RFID システムには使えなかった。ところが米国からの要求を受け各国での UHF 帯使用のための法整備の努力が払われた。その結果数年間で日本を含めた各国で UHF 帯の電波法の改正が進み、今では全世界で RFID システム用に使用できるようになって来ている。この点、昨年までは欧州特に南欧での使用に制限があるとの心配が出ていたが、その後の検討が進んで徐々に対応が取られつつあるようだ。

UHF 帯は携帯電話に幅広く採用しされているように通信特性に優れており、長距離での RF タグ使用に大きな期待を持てる帯域である。

ただし、UHF 帯の帯域はもともと RFID システム以外の用途で使用していたため、既存の用途との調整が生じた結果、各国によって使用できる帯域が微妙に違ってきている。

2-1-1 世界の UHF 帯の利用周波数

世界の UHF 帯の利用周波数状況について説明する。2007 年には、わが国の隣国である中国が韓国に続き米国にあわせた電波法の改正をおこなった。日本では、情報通信審議会下部組織である UHF 帯電子タグシステム作業班の審議が終了し、2008 年 5 月に、UHF 帯 RFID システムの通信方式の拡大が認められる見込みである。

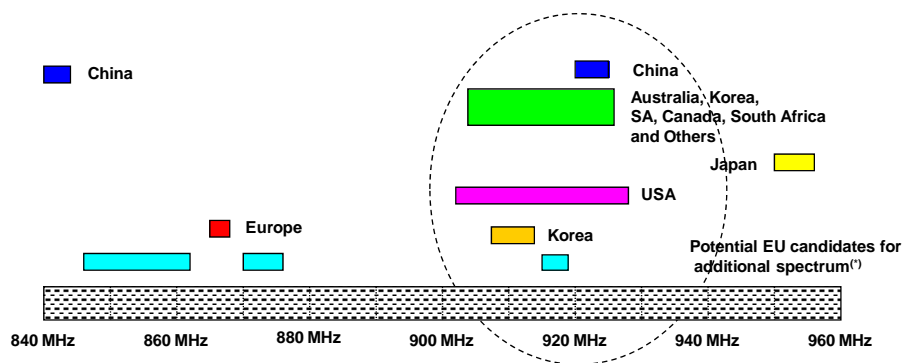
さて、現在の UHF 帯 RFID システムに使用できる各国の UHF 帯 RFID 周波数帯域は、世界中で米国に合わせている一方で、日本は高周波側 (952~955MHz) に、欧州は低周波側 (860MHz) に離れている。この点に関しては低周波数側に離れていた欧州でも修正の動きが出ており 915MHz 帯での使用に向けて ETSI での審議が今年度より開始された。このほかにも帯域幅で見ても、米国での使用できる帯域は日本の 13 倍くらいの開きがあるが、韓国、南ア、オーストラリアなどでは広い帯域で使用を認めたことにより、米国並みの運用が可能となっている。

図表 2-1 は ISO/IEC の審議の中で示された規格類の 2008 年の情報であるが、各国が米

国に合わせた形で電波法改正を行っていることがよく理解できる。また、欧州での開放の動きを見ると日本での更なる審議も今後必要となることも考えられる。

世界のUHF帯RFタグの使用帯域の比較

(欧州での新しい提案を含む)



(*) = Preliminary identification and requires further studies!

© CISC Semiconductor Design+Consulting GmbH | www.cisc.at

図表 2-1 世界の UHF 帯 R F タグ の 使用 帯 域 の 比 較

2-1-2 UHF 帯 RFID の国内での使用の検討

平成 17 年以前、国内では UHF 帯のパッシブタイプ RFID の使用が認められていなかった。しかし、比較的長距離の交信が可能な UHF 帯のパッシブタイプ RFID への、実用化への期待が国内外から大きくなり、総務省、情報通信審議会情報通信技術分科会小電力無線システム委員会（以下、情報通信審議会という）において、実用化に向けての検討が開始された。情報通信審議会は、UHF 帯電子タグシステム作業班（以下、作業班という）を立ち上げ、近い周波数をすでに使用している携帯電話への干渉など、さまざまな観点から検討を行った結果、平成 16 年 12 月、UHF 帯 950MHz パッシブタイプ RFID（以下、UHF 帯 RFID という）の開放に向けての答申を行った。

2-1-3 UHF 帯 RFID の国内使用開始

情報通信審議会の答申を受けて、関連する電波法、省令、政令等（以下、電波法令等という）の改正が実施され、平成 17 年 4 月、UHF 帯 RFID の国内使用が暫定的に認可された。暫定制度化された内容と、継続審議となった内容を以下に示す。

(1) 暫定制度

このとき制度化された UHF 帯 RFID は、リーダー／ライター本体から出力できる電力が 1W 以下であり、使用する送信空中線（アンテナ）の絶対利得が 6dBi（4 倍）の機器であった。アンテナから送信できる空中線電力は 4W 以下であり、運用者は構内無線局の免許を取得することが条件であった。このとき割当てられた UHF 帯 RFID の周波数帯幅は、950MHz～956MHz であったが、近くの周波数を使用している携帯電話等の既存局への影響を考慮して、前後に 2MHz のガードバンド（空白地帯）を設け、952MHz～954MHz の 2MHz 幅の範囲で出力可能となった。

(2) 継続審議

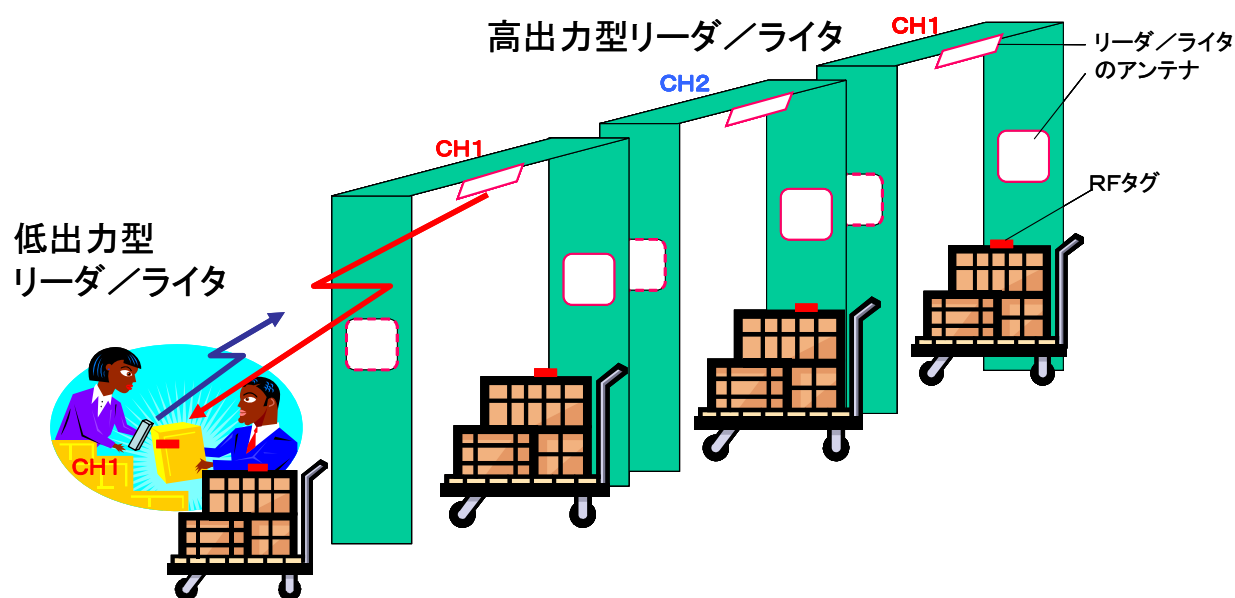
空中線電力 4W 以下の高出力型構内無線局は、新設され使用することが可能になったが、以下に示す項目に関しては引続き作業班にて継続審議とし、結論が出次第電波法令の改善を実施することとなった。

・運用免許不要タイプの低出力型の導入

暫定制度では、空中線電力で最大 4W 以下の機器に関する規定のみ制定されたが、小電力の機器に関する規定は制定されなかった。このため、数 mW 程度の出力の機器であって、近距離の RF タグとの交信にしか使用しないハンディタイプの UHF 帯 RFID も構内無線局の運用免許を得る必要があった。周囲の他の機器に影響を与える可能性の少ない小電力タイプの UHF 帯 RFID に関しても、運用免許不要で使用が可能になる方向での継続審議となった。

・高出力型と低出力型の共用化技術

UHF 帯 RFID を運用するシステムでは、高出力型と低出力型の機器が近くで同時に使用される可能性が高い。例えば、図表 2-2 に示す配送センターでの入出荷検品作業などでは、トラックから下ろされた段ボール箱に貼付された RF タグを高出力型のゲート型 RFID リーダ/ライターで入荷検品作業を行い、その傍で低出力型のリーダ/ライターを持った作業員が、出荷検品作業を行っている場合などである。このような UHF 帯 RFID のシステムを、効率よくシステム運用するためには、双方がお互いの干渉を受けない形でなければならない。UHF 帯 RFID の普及促進のためには、このような干渉防止技術の検討が必須であり、高出力型と低出力型の共用化技術は継続審議の対象となった。



図表 2-2 低出力型／高出力型混在での影響

・相互干渉防止対策

高出力型と低出力型の干渉防止技術だけでなく、導入が認可された高出力型機器同士の近接設置に於ける相互干渉防止対策に関しても重要課題であり、本件も作業班での継続審議となった。特に高密度配置が可能であるミラーサブキャリア方式（以下、MS 方式という）リーダ/ライターの有効活用に関して重点的に審議が行われることとなった。

2-1-4 UHF 帯 RFID 干渉防止対策の追加

平成 17 年度（社）日本自動認識システム協会（以下、JAISA という）は、経済産業省からの委託を受け、「UHF 帯電子タグシステムの高度利活用・普及促進に関する調査研究」を実施した。調査研究では、キャリアセンス方式の干渉防止対策を実施した場合と、実

施しなかった場合の比較検証を行い、干渉防止効果の基礎的な比較データを収集し、作業班へ報告を行った。平成18年1月、作業班での継続審議結果を受けた情報通信審議会は答申を行い、それを受けて電波法令の改正が実施された。以下に、主な改正点を説明する。

- ・特定小電力無線局の制定

リーダライタの送信電力が10mWまでのUHF帯RFID機器に関しては、特定小電力無線局扱いとなった。その結果、運用者は特定小電力無線局の認定を受けた機器を使用することで、運用の免許、届出を行う必要がなくなった。送信電力が10mWという小電力であり、近隣の周波数を使用する既存局への影響が少ないとの事から、使用可能な周波数は、高出力型より1MHz広い952MHz～955MHzまでの3MHz帯幅となった。

- ・チャンネルの設定

平成18年1月の電波法令改正では、チャンネルの考え方が導入された。200kHz幅で決められたチャンネルの周波数で、リーダライタはRFタグとの交信を行うことになった。高出力型は、中心周波数952.2MHz(ch7)から953.8MHz(ch15)までの9チャンネル、低出力は952.2MHz(ch7)から954.8MHz(ch20)までの14チャンネルとなった。UHF帯RFIDの特定小電力無線局が、高出力型のUHF帯RFID構内無線局より広い周波数帯を与えられた理由は、近隣の既存局へ与える影響が少ないこと以外に、構内無線局が使用しない周波数を与え、優先的にそちらの周波数を使用することで、高出力型との相互干渉を避けるためである。

- ・干渉防止対策の導入キャリアセンス方式の導入

UHF帯RFID同士の干渉を避けるために、キャリアセンス方式が導入された。キャリアセンス方式は、自分が使用したいチャンネルの電力を、自分が送信する前に他のリーダ／ライタが使用していないことを確認（測定）する方式である。確認した電力が、ある一定以下であれば、そのチャンネルを使用する（電波を出す）ことが出来るが、電力が一定以上の場合にはすでに使用している他のリーダ／ライタがいるということなので、自分は電波を出すことが出来ない。一定以上の電力を確認したリーダ／ライタは、そのチャンネルが一定以下の電力になるまで待機するか、他のチャンネルをキャリアセンスする必要がある。この方式により、他のリーダ／ライタに対する干渉（妨害）を避けることが出来る。キャリアセンス方式を、自分が送信（話す）する前に確認（聞く）するということから、LBT（Listen Before Talk）と呼ぶことがある。

2-1-5 UHF帯RFIDの高度利活用に向けて

平成18年度、JAISAでは経済産業省からの委託を受け、「UHF帯電子タグシステムの相

互干渉特性把握および運用方法の検討」を実施した。検討では、MS方式とベースバンド方式（以下、FM0方式という）の特性把握を実施し、MS方式の有効性の確認を行い、その結果を作業班へ報告を行った。作業班では、パッシブタグシステムにてMS方式のリーダー/ライタを有効に活用する方法と、UHF帯アクティブ系RFタグを同周波数帯に共用化させることを検討し、情報通信審議会へ答申を行った。現在、平成20年5月頃の改定を予定して、電波法令の改正が検討されている。以下に、UHF帯アクティブ系RFタグの特徴と、現在検討されている電波法令改正の検討内容を記述する。

(1) UHF帯アクティブ系RFタグの特徴

UHF帯アクティブ系RFタグには、大きく分類して以下の2つがある。

・アクティブタグシステムの特徴

アクティブタグシステムでは、リーダー/ライタとアクティブタイプRFタグ間で通信を行う。アクティブタイプRFタグは、自らの送信用に使用する電池を内蔵している部分がパッシブタイプのRFタグと異なっている。恒常的に使用されるニーズに対応するため、可能な限りの省電力化を行い、電池の交換頻度を少なくすることが求められる。

・短距離無線通信システムの特徴

短距離無線通信システム（SRD：Short Range Device）は、欧州及び米国において800/900MHz帯の短距離無線通信システムが既に規格化されており、我が国においても同周波数帯を使用した低レートの短距離無線通信システムの実用化が期待されていた。短距離無線通信システムは、例えばマルチホップで通信を行い、面的に広がりをもったネットワークも構築することが可能な機器である。

(2) UHF帯アクティブ系RFタグの共用化

平成20年5月頃の電波法令改正を目指して、現在検討が行われているUHF帯アクティブ系RFタグの共用化の内容を示す。

・特定小電力無線局（1mW）の新設

UHF帯アクティブ系RFタグ用に、中心周波数951.0MHz(ch1)～955.6MHz(ch24)の24チャンネルを新設する。アクティブ系RFタグからの送信出力は1mW、送信空中線の絶対利得が3dBiである。キャリアセンスレベルは、IEEE802.15.4の規格に倣って-75dBm、キャリアセンス時間は、10mS、128μS、及びなしの3種類とした。短いキャリアセンス時間を認めたのは、受信に使用する電力を少なくすることで、電池の消耗を少なくするためである。但し、その場合には短時間の送信及びデューティサイクルを短くすることで、干渉防止対策とした。詳細は図表2-3に示す。

	アクティブ系システム		パッシブタグシステム	
	n:1~3		(高出力型) n:1~9	(低出力型) n:1~3
周波数帯	954~955MHz	950.8~955.8MHz	952~954MHz	952~955MHz
占有周波数帯幅	(200×n) kHz		(200×n) kHz	(200×n) kHz
空中線電力	10mW以下 (特定小電力無線局)	1mW以下 (特定小電力無線局)	1W以下 (構内無線局)	10mW以下 (特定小電力無線局)
空中線電力の許容偏差	上限20%、下限80%		上限20%、下限80%	
空中線利得	3dBi以下		6dBi以下	3dBi以下
キャリアセンス帯域	(200×n) kHz		(200×n) kHz ただし、ch8、ch14についてはキャリア センスを要しない。	(200×n) kHz
キャリアセンスレベル	-75dBm	-75dBm	-74dBm	-64dBm
キャリアセンス時間	10ms	①10ms ②128μs ③キャリアセンスなし	5ms	10ms
送信時間	1秒以内	①1秒以内 ②100ms以内 (Duty10%) ③100ms以内 (Duty0.1%)	4秒以内 ただし、ch8及びch14のみを使用し、 キャリアセンスを行わずに送信する 場合は、送信時間の規定を設けない。	1秒以内
停止時間	100ms以上		50ms以上 ただし、ch8及びch14のみを使用し、 キャリアセンスを行わずに送信する 場合は、停止時間の規定を設けない。	100ms以上

図表 2-3 950MHz 帯アクティブ系小電力無線システム

- ・ 特定小電力無線局 (10mW) の新設

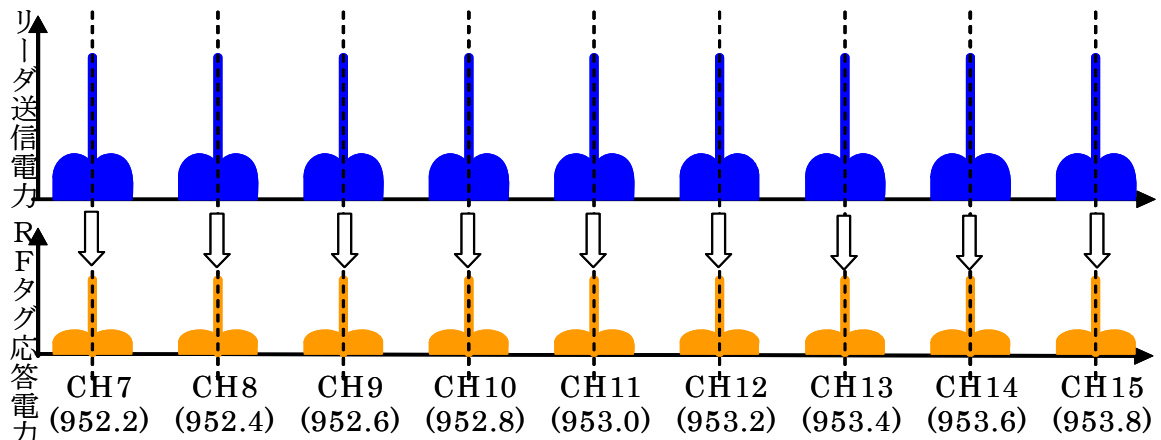
上記 24 チャンネルのうち、中心周波数 954.2MHz(ch17)~954.8MHz(ch20)の 4 チャンネルでは、送信出力 10mW、送信空中線の絶対利得が 3dBi の機器も使用可能とする。キャリアセンスレベルは、IEEE802.15.4 の規格に倣って-75dBm、キャリアセンス時間は、低出力型パッシブタイプに倣って 10ms とした。詳細は図 2.による。

(3) パッシブタグの高度利用化

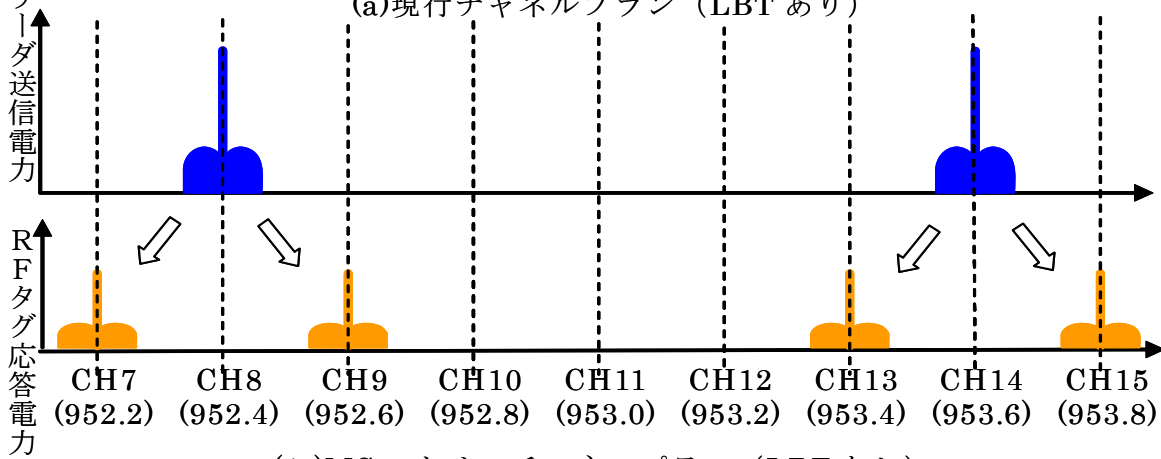
現在検討が行われているパッシブタグの高度利用化の内容を図表 2-4 に示す。

- ・ 特定チャンネルを有する構内無線局 (許可局) の新設

新設される高出力型 UHF 帯 RFID 構内無線局 (許可局) は、現状どおりキャリアセンスを行う 9ch と、9ch のうち 952.4MHz と 953.6MHz のキャリアセンスを行わない二つの特定チャンネルの構成になっている。特定チャンネルに関しては、キャリアセンス不要で何時でも送信することが可能であり、また、現状の電波法令では最大 4 秒の送信後、必ず 50ms 以上の停止時間を設ける規定になっているが、特定チャンネルは限ってその停止も不要になり、連続送信することも可能になった。



(a) 現行チャンネルプラン (LBTあり)



(b) MSのためのチャンネルプラン (LBTなし)

注) 上記、CHの表記は、新電波法令 (予定) に従っている

図表 2-4 改正予定のチャンネルプラン

・低出力型のチャンネル束ね

特定小電力無線局に関しては、現電波法令では単位チャンネル (200kHz 幅) で使用することのみ認められていたが、最大 3 チャンネル (200kHz 又は 400kHz、最大 600kHz 幅) まで束ねて使用することが可能になった。チャンネルを束ねて使用することで、高速なデータ通信が可能になった。

2-2 RFID の使用周波数の特徴比較

現在、RFID システムでは、LF（長波帯）、HF（短波帯）、UHF（極短波帯）、マイクロ波（極短波帯）の周波数が使用されている。本章では、交信距離、水の影響、金属の影響、耐ノイズ、交信速度、タグの価格、タグのサイズの 7 つの項目で、それぞれの周波数の特徴を比較する。

2-2-1 周波数の概要

(1) LF（135kHz 未満）

この周波数の交信は電磁誘導方式である。タグのアンテナは周波数が低いため大きなインダクタが必要となりアンテナコイルの巻き数も多くなる。このためタグのコストは高くなる。タグの形状はコイン型に樹脂モールドされたタイプや細いガラス管に封じたシリンダタイプなどがあり耐環境性を強化したものも多い。交信距離はタグの大きさに比較して長距離だといえる。ノイズの影響に関しては周波数の近い蛍光灯やインバータからのノイズを受け易い。長所としては他の周波数に比べ金属の影響が小さいことが挙げられる。一部のタグでは金属に埋め込んだ状態でも交信可能なものも実用化されている。

(2) HF（13.56MHz）

日本国内ではこの周波数が一番普及しており、タグとしての利用のほか非接触式 IC カードとしても交通カードや電子マネーとして普及している。タグとの交信は長波帯と同じく電磁誘導方式であるが周波数が高い分アンテナコイルの巻き数が減りタグのコストを削減できる。金属の影響については受け易いといえるが、タグと金属間に磁性シートを挟み込むことで影響を緩和し金属面に直接貼付可能なタグも実用化されている。交信速度は一部の非接触式 IC カードでは 200kbps を超える高速なものもある。電波環境としてはこの周波数のノイズ源となる機器が少ないためノイズの影響も少ないといえる。

(3) UHF（952～955MHz）

この周波数は電波を使った交信方式であり、特徴としては長距離の交信が可能、交信速度が速いことが挙げられる。RFID システムでは近年最も注目されている周波数であり各種業界団体の実証実験が繰り返し行われている。電波を利用しているため送信電波が非常に遠くまで届くことの反面、広範囲に妨害を与える可能性もありリーダーライタには混信防止機能と送信時間の制限が電波法で義務付けられている。タグの価格に関してはアンテナが単純な形状になるためコストは下げ易いといえる。超短波帯電波の特性として床や天井、壁で反射しやすい、直進性が強くリーダータグ間に障害物があると読取れない、水分が多いと電波が吸収され減衰するといった性質があり、実運用に際しては事前に十分な試験をしておくことが望ましい。その他、他の周波数に比べ送信電波が高出力なため医療機器や人体に対する影響にも配慮が必要である。

(4) マイクロ波 (2.45GHz)

この周波数も UHF 帯 (952~955MHz) と同様に電波を使った方式であり、特徴も似ている。比較的長距離の交信が可能であるが、リーダライタのアンテナが高利得のものを使用しなければならないため指向性が単一方向となり広範囲の読取りには適さない。タグの大きさは波長が短い分アンテナが小型となり価格も安価にできる。電波環境は同じ周波数に無線 LAN や Bluetooth も割り当てられており、使用環境によっては大きな影響が予想されるので注意が必要である。またノイズの影響については周波数が非常に高いためノイズ源となる機器がほとんど無く良好である。

(5) UHF (433MHz)

この周波数は用途が国際物流コンテナ管理用に限定されたアクティブタイプのタグのみとなる。同じ周波数をアマチュア局が使用しており、それらからの電波干渉が懸念される。交信距離は 100m 程度可能である。この周波数も電波を使った方式なので特性的には UHF (952~955MHz) に近い。タグの価格や大きさについては、他のパッシブタグと直接比較することは難しいが電池内蔵の小型無線機であり大きく非常に高価なものとなる。

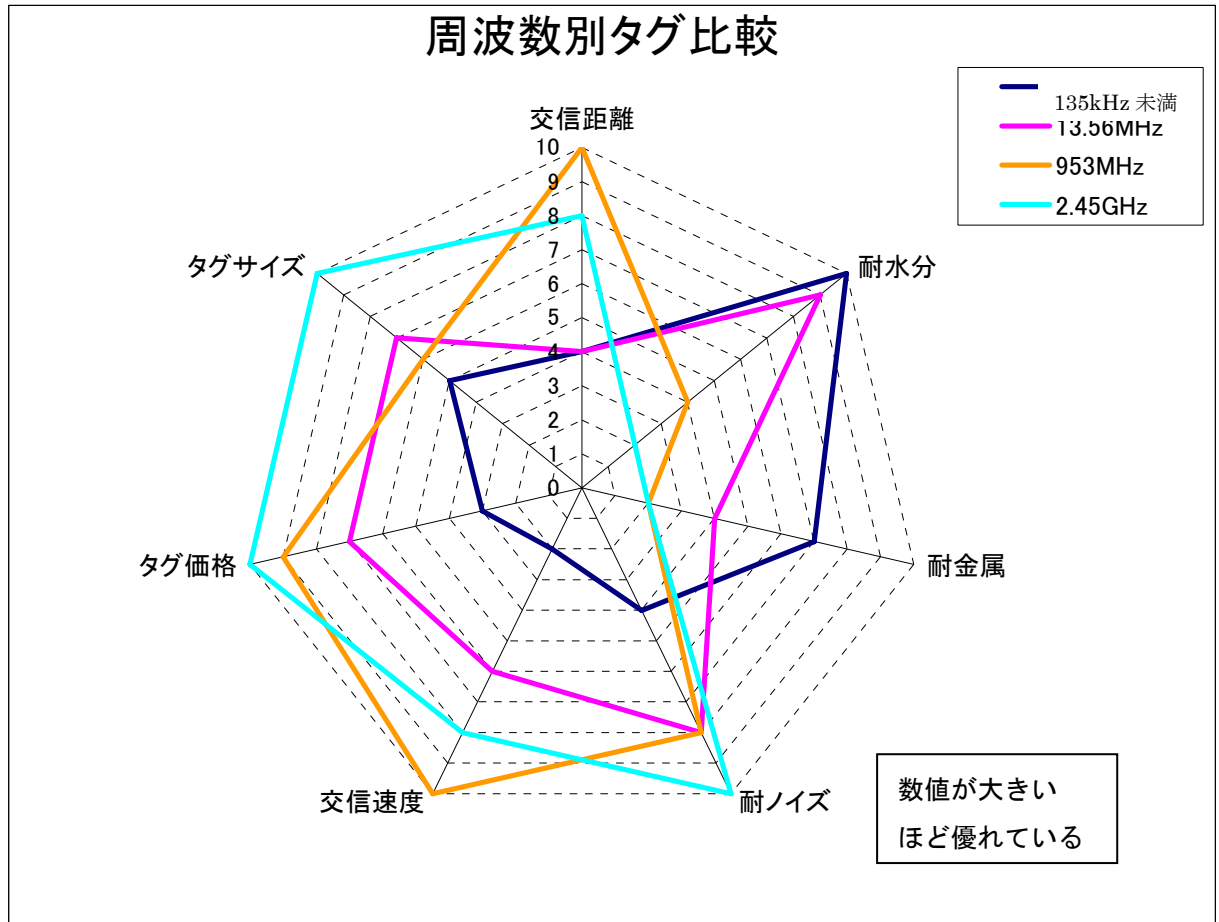
2-2-2 各周波数の特徴比較

R F タグの交信距離、水の影響、金属の影響、耐ノイズ、交信速度、タグの価格、タグのサイズの 7 つの項目で、周波数別の比較した図表 2-5、それをチャート化したのを図表 2-6 に示す。また、タグの周波数ごとの形状サンプルを図表 2-7 に示す。


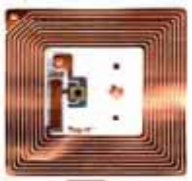


なお、アクティブタグは、パッシブタグとの比較が難しいために比較対象から省く。

周波数	135kHz 未満	13.56MHz	953MHz	2.45GHz
交信距離	~50cm	~70 c m	~5m	~3m
水分の影響	ロスはない	ロスはない	ロスは比較的 大きい	ロスは大きい
金属の影響	中	中	大	大
耐ノイズ	蛍光灯、インバータ等のノイズの影響	少ない	少ない	少ない
交信速度	低速	中~高速	高速	高速
タグの価格	高	中	低	低
タグサイズ	中	中	中	小

図表 2-5 タグの特徴比較表



図表 2-6 周波数別タグ比較(チャート図)

135kHz 未満	13.56MHz	952~955MHz	2.45GHz
			

図表 2-7 タグ形状サンプル

2-3 北海道大学との共同研究

RFID 機器から発せられる電波が植込み型医療機器に与える電磁干渉の影響について、電波産業会に設置された「電波の医療機器等への影響に関する調査研究会」で、電磁干渉の影響を防止するための指針策定等を目的として実験調査が実施され、影響防止に向けた対応が示された[1], [2]。日本自動認識システム協会（以下、JAISA）では、この報告の妥当性を検証するため、平成 17 年度より北海道大学と RF-ID 機器の植込み型医療機器への影響について、共同研究を実施してきた[3]。現在運用されている RFID 機器（リーダ/ライタ：（試作段階の機器も含む））の実機を用い、植込み型医療機器に与える影響を測定・評価することを目的とした。また、この結果から影響のメカニズムを検討し、影響緩和法の技術開発に寄与することを目指した。本項は、RFID 用アンテナの特性を評価し、これら機器が植込み型心臓ペースメーカ（以下、ペースメーカ）及び植込み型除細動器（以下 ICD）の影響に対する基礎データ取得のための電磁干渉試験について報告する。

また、アンテナから発せられる電磁界と電磁干渉特性の関係を定量化するために、詳細な放射特性測定を行うための三次元自動測定装置とその測定例も紹介する。さらに、電磁界数値解析を用いた植込み型医療機器電磁干渉の計算推定法開発に向けた検討について、UHF 帯リーダ/ライタにダイポールアンテナを接続したモデルを用いた解析結果を示す。

2-3-1 植込み型医療機器電磁干渉試験

本章では、既に各メーカーより販売されている RFID リーダ/ライタを用いて、ペースメーカ及び ICD の電磁干渉試験について示す。平成 18 年度の試験では、植込み型医療機器 10 社 27 機種（ペースメーカ 10 機種・ICD 7 機種）図表 2-8 及びリーダ/ライタとアンテナ 10 社 31 機種（125 kHz, HF 帯, 2.45 GHz）図表 2-9 を用いた。なお、植込み型医療機器は、ペースメーカ協議会のご協力で各社の代表的な機種を使用させて頂いた。また、リーダ/ライタは、JAISA 会員企業他から提供されたものを使用した。

機 器	ペースメーカ/ICD 種 別	サンプ ル数
ペースメ ーカ	シングルチャンバ	11
	デュアルチャンバ	9
ICD	シングルチャンバ	3
	デュアルチャンバ	4
合 計		27

図表 2-8 試験対象ペースメーカ/ICD

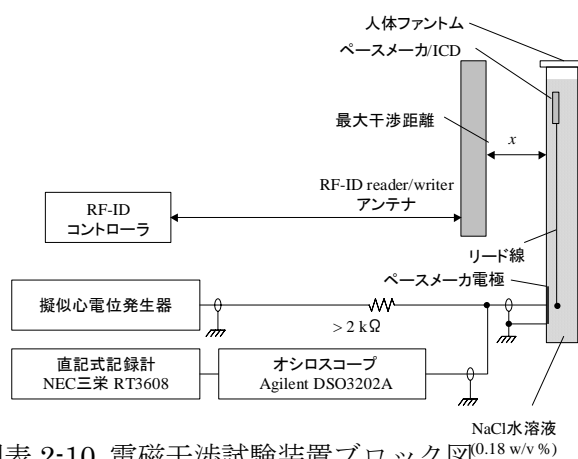
機 器	機 器 種 別	サンプ ル数
125kHz	据置型	4
13.56MHz	据置型	10
	ハンディ型	13
	ゲート型	2
2.45GHz	据置型	2
合 計		31

図表 2-9 被試験用リーダ/ライタとアンテナ

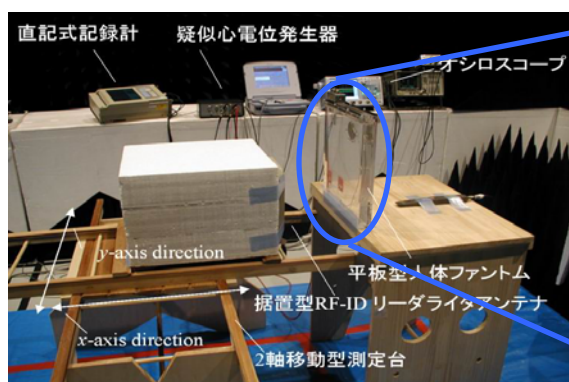
今回の共同研究で使用した電磁干渉試験系機器のブロック図を図表 2-7 に示す。

今回の試験装置は、「電波の医療機器等への影響に関する調査結果」での提案及び AAMI Standard PC69 等で報告されている携帯電話端末の電磁干渉試験装置を用いた。また、ペースメーカー及び ICD の設定も上記で使用した設定と同様とした[1]、[4]。試験装置は、図表 2-10 のように、平板型トルソーファントム (以下、人体ファントム)・擬似心電位発生装置・直記式記録計・オシロスコープ及びリーダライタとアンテナで構成される。

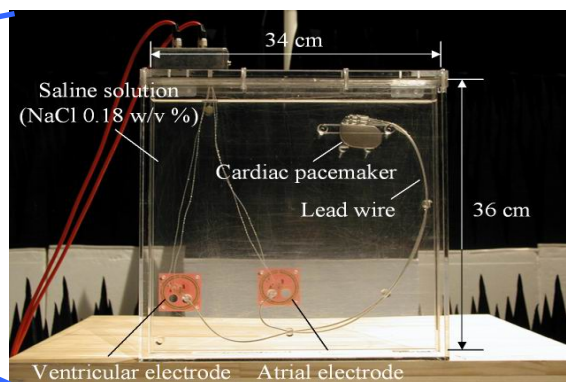
試験状況及び試験に用いた人体ファントムを図表 2-11 及び図表 2-12 に示す。



図表 2-10 電磁干渉試験装置ブロック図



図表 2-11 電磁干渉試験状況



図表 2-12 人体ファントム

今回の実験は、以下の手順に従って実施した。

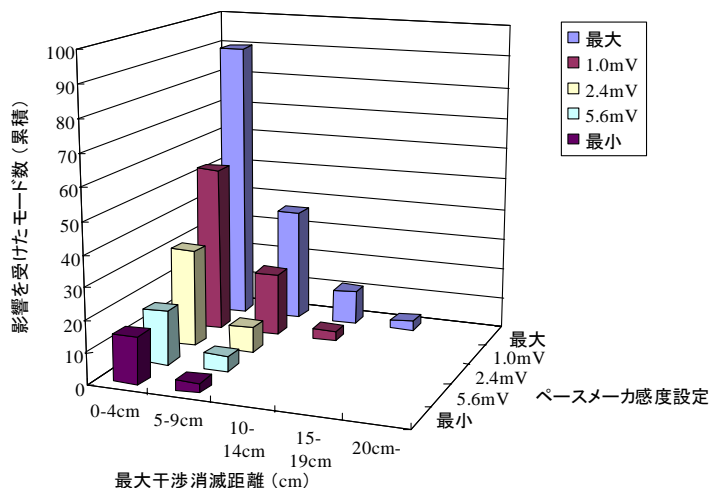
- 1) ペースメーカーおよび ICD の感度を最高感度、不応期を最短に設定した。
- 2) リーダライタを実動作モードに設定した。
- 3) 試験中は直記式記録計を用い、心電位を 100 秒間記録した。

電磁干渉が発生した場合は、アンテナと人体ファントム間の距離 (図表 2-10 では、 x 軸方向の距離) を増加させた。このとき影響が見られなくなった距離を最大干渉消滅距離として記録した。

- 4) 電磁干渉が発生した場合、ペースメーカーおよび ICD の感度を段階的に下げ、この時の機器の設定は、1.0mV, 2.4mV, 5.6mV, 最低感度の順に設定した。

5) 全ての RFID 機器のアンテナとペースメーカーおよび ICD の組み合わせについて試験を行うこととした。ペースメーカーおよび ICD の試験モードには、各機器の単極及び双極のセンシング/ペースングモード、VVI 及び AAI の動作モードが含まれる。

上記手順に従って得られた試験結果（例）として 125kHz 据置型リーダ/ライタの試験結果を図表 2-13 に示す。

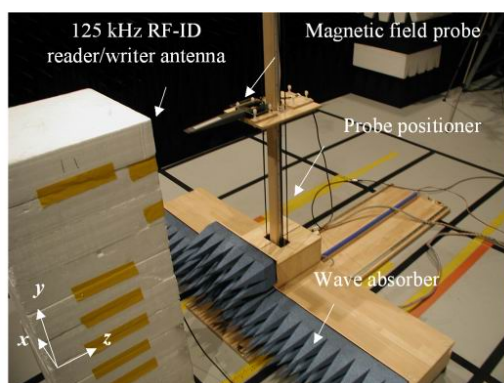


図表 2-13 125 KHz 電磁干渉試験結果 (例)

125KHz では、4 機種 of リーダライタの試験を実施した。試験数は、合計 318 モードの試験を行い、この時の影響モード数は 91 モード、最大影響消滅距離は 17 cm となった。この他 HF 帯 (13.56MHz) ・ UHF (952MHz) 帯 ・ マイクロ波帯 (2.45 GHz) のリーダ/ライタについても、最大影響消滅距離, 影響発生割合, 最大影響レベル等の実験評価を実施した[5]。

2-3-2 アンテナ放射特性詳細測定

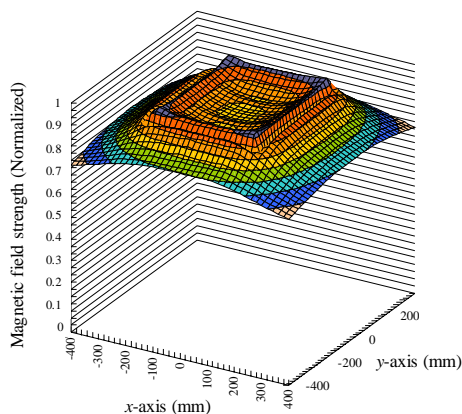
RFID 機器のアンテナから発せられる電磁界と電磁干渉特性の定量化のため、新たに開発した三次元電磁界自動測定装置（以下自動測定装置）を用いて、詳細な電磁界分布を取得した[6]。この自動測定装置を図表 2-14 に示す。



図表 2-14 三次元電磁界自動測定装置を用いた測定

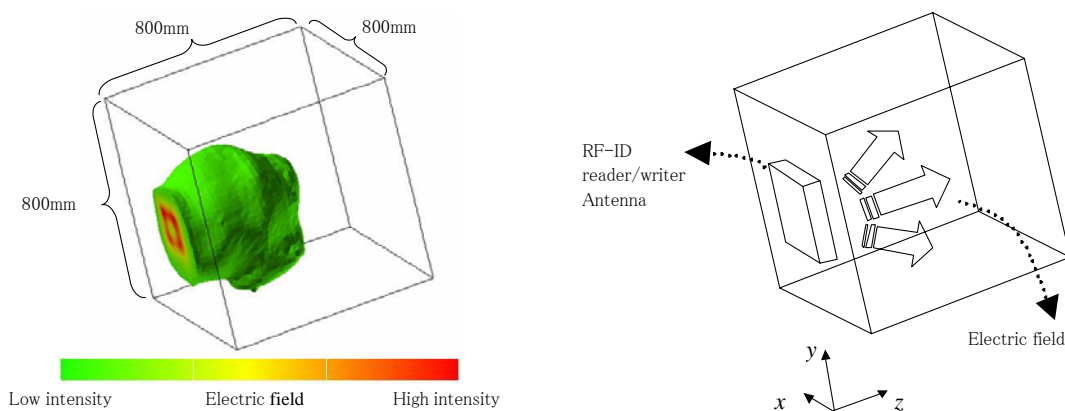
本装置を用いたことで、電磁界プローブ及びスペクトラムアナライザ等測定機器を同時

に制御することで、従来よりも 10 倍以上の高いスループットと測定の完全自動化を達成した。今回は、形状の異なるリーダ/ライタ・アンテナを測定するため、測定有効範囲を 100cm 毎×100cm×100cm に限定し、最小分解能は 2mm に設定した。本測定装置を用いて測定した 125kHz リーダ/ライタ・アンテナからの磁界分布測定結果（例）を図表 2-15 に示す。



図表 2-15 125 KHz リーダライタから発せられた磁界分布測定例

また、UHF 帯のアンテナから発せられたアンテナ近傍の電界三次元可視化結果（例）を図表 2-16 に示す。図中では電界値がある一定値を超える範囲を表示した。

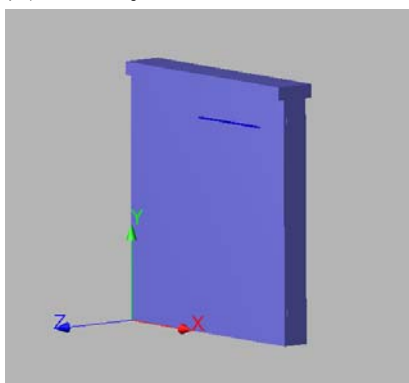


図表 2-16 UHF 帯リーダライタから発せられた電界分布測定例

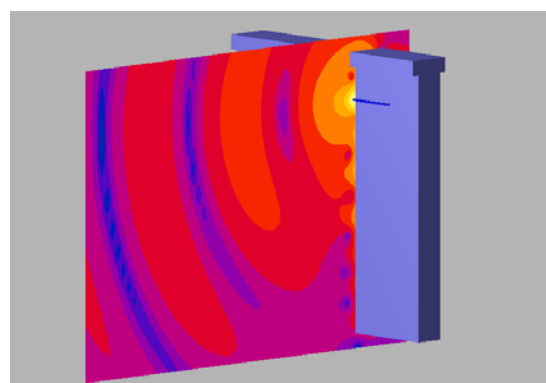
2-3-3 数値解析法に向けた検討

本研究では、電磁界数値解析法を用い、RFID が使用するアンテナの電磁界分布やペースメーカーのリード線コネクタ部での雑音誘起電圧を求め、仮想環境での影響推定の実現を目指している。今回は、時間領域電磁界解析法（FDTD 法）を用いた影響推定法開発に向けた検討の一例を示す。まず、UHF 帯用ダイポールアンテナと試験に用いた人体ファントムを組合せた解析モデルを図表 2-17 に示す。また、この解析にて得られた垂直面における電界強度分布を図表 2-18 に示す。今後は、解析結果をアンテナ放射特性測定結果と比較し、

妥当性を検討するとともに、今回の試験で得られた基礎データを用い、推定法の適用性を検討中である。



図表 2-17 UHF 帯用ダイポールアンテナと試験に用いた人体ファントムを組み合わせた解析モデル



図表 2-18. 垂直面の電界強度解析値

2-3-4 今後の検討事項

本項では、JAISA と北海道大学の共同研究で実施してきた、RFID 機器が植込み型医療機器に対する影響調査に関する共同研究について述べた。はじめに、リーダ/ライタ実機の電磁干渉特性評価と影響に対する基礎データ取得のための電磁干渉試験について示した。さらに、アンテナ放射特性を詳細に評価するための電磁界自動測定装置及び実機アンテナの測定結果について紹介し、電磁界数値解析を用いた干渉推定法実現の見通しを述べた。

今後、今までの共同研究で得られた成果をもとに、RFID 機器による医療機器に対する電磁干渉について、共同研究を通じて更なる要因分析を進めてゆくことにより安全・安心のための方策及び基礎技術の検討を継続する。

参考文献

- [1] 総務省(編), 電波の医療機器等への影響に関する研究調査報告書, 2006.
- [2] 総務省, 各種電波利用機器の電波が植込み型医療機器へ及ぼす影響を防止するための指針, 2007.
- [3] 立石俊三, 日景隆, “RF-ID システムの医療機器への干渉”, 月刊 EMC No.230, pp. 63-71, 2007.
- [4] Active Implantable Medical Device - Electromagnetic Compatibility - EMC Test Protocols for Implantable Cardiac Pacemakers and Implantable Defibrillators, AAMI Standard PC69, 1999.
- [5] S. Futatsumori, T. Hikage, T. Nojima, B. Koike, H. Fujimoto and T. Toyoshima, “In vitro experiments to assess electromagnetic fields exposure effects from RF-ID reader/writer for pacemaker patients,” in Proc. BIOLOGICAL EFFECTS of EMFs 4th International Workshop, pp. 494-500, Oct. 2006.
- [6] S. Taguchi, S. Futatsumori, T. Hikage, T. Nojima, B. Koike, H. Fujimoto, and T. Toyoshima, “Three-Dimensional Automatic Measurement System for the Assessment Methodology of Implantable Medical Devices EMI due to RF-ID reader/writers”, in Proc. 2007 International Symposium on Antennas and Propagation, 3A2-4, pp. 624-627, Aug. 2007.

第3章 運用環境の調査

本章では、2007年以降に急速に普及拡大が見込まれているRFIDシステムの運用環境で、段ボールリサイクル工程への影響、植込み型医療機器への影響の運用に関する調査とRFIDの運用する時の使用環境についての調査の結果を報告する。

3-1 段ボールリサイクル工程への影響について

3-1-1 環境への貢献と問題の未然防止

RFタグはサプライチェーンの上流から下流まで様々な活用され、生産～物流～販売のトータルな効率化を促進して省エネルギーやCO₂排出削減に寄与し、さらに廃棄物分別やリユース、リサイクルをスムーズに進め地球環境問題対応とサステイナブル社会実現に貢献すると期待されている。

一方、現状のRFタグは微量ながらICチップ、アンテナ金属や粘着剤などを含むため、RFタグが貼付された物（段ボールや出版物など）のリサイクルが従来通りできるのか、またRFタグが広く普及した際にタグ一つ一つは微量ながら総量として問題となる可能性がないかを検証せねばならない。

RFタグ供給者の責任として、このようなRFタグの廃棄に係る問題を捉え未然防止策を本格普及前に用意しておくべきと考え、JAISA・RFID専門委員会にRFタグ「エコWG」を2005年4月に設立し活動を行ってきた。

3-1-2 RFタグ廃棄の課題と検討結果

エコWGで提示してきた課題とその検討結果を下記する。

① RFタグ組成材料と化学物質としての問題

一般的なRFタグの組成では、ICチップのシリコンは集積しても問題とならないと考えられるが、アンテナ材の銅、銀、アルミや、ベース素材のPETなどは大量に集積廃棄される場合の検証をしておく必要がある。

② 廃棄状況と経年変化による環境への影響

RFタグの焼却や埋立てを想定した実験および経年変化の検証につき、国の研究機関へ実験委託申請したが、幸いにして当面の緊急度が低いため見送られている。

③ RFタグのLCA（ライフサイクルアセスメント）

現状導入されているRFタグはサプライチェーンを跨らず限定された場所での利用が大半だが、今後RFタグ機能が充分活用されサプライチェーンの多様な事業者を通して利用されると複雑なLCとなり、廃棄に関しても責任や費用分担が難しくなると想定される。

④ 関連法規への対応

RFタグの多くは貼付対象物と一緒に廃棄されるため、現在、容器包装、家電、食品、建設資材、自動車など対象物の業界ごと制定されている各リサイクル法に準じねばな

らない。

EUにて電気電子機器に含まれる特定有害6物質の使用規制RoHS指令が一昨年施行されたが、欧州委員会資料ではRFIDチップはRoHS指令の電気電子機器定義に合致し指令対象となるものの、有害6物質は含まれず問題とならないことが確認されている。

⑤ ユーザー実態調査

RFタグ貼付対象物を廃棄する際、実際にはどう処理しているかを把握するため、RFタグ導入が進みつつある図書館を対象として全国8カ所でヒアリング調査を実施した結果：

- ・全般に蔵書が破損した際は、RFタグを書籍から切り離してリユースしている。
- ・RFタグが不良化した時は、アンテナを断線した上で廃棄する場合もあるが、大半はメーカーに戻すかそのまま保管している。
- ・廃棄する場合、不燃物処理している館がある一方、一般廃棄物処理している館もあり、処理方法が判らないとの声もあって、RFタグ廃棄ルールの早期確定が望まれている。
- ・まだ廃棄される数量と頻度が少ないため問題は発生していないが、新しい媒体であるRFタグの処理に戸惑っている現況といえよう。図表3-1にRFタグが貼付された本を示す。



図表 3-1 図書館の蔵書に取り付けられているRFタグ

3-1-3 海外での状況

海外におけるRFタグ廃棄とリサイクル問題については、ISOレポートにて下記のように報告されている。

① リサイクル工程への影響についての認識

- ・RFタグはパッケージ、輸送容器、パレットなどに取り付けられサプライチェーンを通じて高い識別性能を発揮するため、通常は対象物から簡単に外れないように接着または組み込まれており、大手小売業および政府機関によってRFタグ取り付けが義務付けられると、大量のRFタグが容器や物品のリサイクル工程に流入する。
- ・リサイクル工程への流入は、鉄やアルミの容器の場合より段ボールやプラスチック容器

の場合に顕著で、大量の RF タグ流入の影響を最小にするには廃棄容器のリサイクル工程を規定している業界団体との協力が必要。

・リサイクル工程は主な再生原料となる主要組成物により決められるので、RF タグがリサイクル工程に与える影響は、取り出される再生原料の純度と、一定の純度を達成するためのコストによって判断される。

② RF タグの貼付け位置

・段ボールなどの貼付対象物をリサイクルする際、貼られた RF タグを利用者個人レベルで剥がすのは困難で、業界または関連機関において効率的に除去することが必要だが、そのためには RF タグが特定された位置に貼ってあることが望ましい。

③ RF タグの廃棄

- ・最終的に RF タグを廃棄する際は次のように処分できる。
 1. 焼却して熱再利用し、エネルギーと組成物を回収する（埋め立て灰は残る）
 2. 機械的または化学的に分離し、組成物を再利用する
 3. そのまま埋め立てる
- ・どの方法を採用するかは、各地域の経済状態および法規に従って決まる。

3-1-4 段ボールリサイクル実験

エコWGでは 2006 年度活動として、これから RF タグの導入が進むと考えられるいくつかの業界において、RF タグ廃棄の際に最悪どんなケースが起こりうるかを想定したワーストシナリオを作成した。

様々なシナリオの中から、段ボールリサイクルについてのシナリオ検証のため、WGメンバーであるレンゴー株式会社の中央研究所にて小規模な自主実験を行った。

① 実験の目的

RF タグが付いた段ボール古紙をリサイクル工程に流して段ボール原紙を再生する場合に、次のようなトラブル発生の可能性を調べた。

- 1) 原紙に混入したアンテナの金属箔が原因となり、段ボールユーザーにおける金属探知機チェックのトラブル
- 2) タグ粘着材が原因となり、原紙のピッチ、目玉*が発生するトラブル
(目玉：製紙不良部分の呼称)
- 3) 原紙に混入した RF タグの IC チップによるトラブル

② 実験の流れ

- 1) 試験サンプル（電子タグ付き段ボールシート）を離解機により離解（図表 3-2）
- 2) 離解したサンプルをスクリーンに通して異物を分離（図表 3-3）
- 3) 通過したサンプルをより細かなスクリーンに通し、より細かな異物を再分離

4) 異物を分離回収したサンプルで手すきシートを調製



図表 3-2 離解前のサンプル例



図表 3-3 離解 30 分経過時

③ 実験の結果

- 1) アンテナ金属は、ほとんどのサンプルにおいて基材フィルムから剥離して微小な薄片となり、スクリーンのスリットを通過した。(図表 3-4)
- 2) IC チップは、大部分が脱落し、向きによってはスクリーンのスリットを通過した。
- 3) 再生した手すきシートには、アンテナのアルミ片、銅片が混入していたが、ハンディの金属探知機には反応しなかった。



図表 3-4 スクリーン上に分離された異物

④ 問題の可能性

- ・問題が有るか無いかの明確な判断は非常に難しかったが、総合的に判断して、RF タグ付き段ボールが将来的に大量に使用された場合、問題が発生する可能性は皆無でないとの判断に到った。
 - ・問題発生可能性の要因は、RF タグを構成する粘着材とアンテナ金属の 2 要素にあった。
- 1) 粘着材
 - ・リサイクル処理工程でタグから分離した粘着材が、スクリーンに付着し絡まることで処理工程にトラブルを発生させる可能性があり、さらに最終的に原紙に混入し「目玉」となってしまうトラブルの可能性もある。

- ・ただし、より正確な判断を行うためには、さらに大規模な実験設備を使い、実際のリサイクル工場に近い量を使っての実験検証が必要であると判断された。2007年度には大規模実験を実施することが決定した。

2) アンテナの金属

- ・実験では、離解～スクリーンの後にもアンテナのアルミ片や銅片が残って原紙に混入したが、ハンディタイプの金属探知機が反応することはなかった。アンテナ金属が極めて薄いためと考えられる。
- ・ただし目視で（キラキラする）混入金属が確認でき、見た目で判ってしまう。
- ・なお一部のRFタグではICチップも残留したが、チップは遠心分離法による比重差で除去出来る可能性は残されており、2007年度の実験で検証することとした。

⑤ 問題解決方法

- ・出された問題点を解決するため方法として次の各項が考えられた。

1) リサイクル前にRFタグを出来るだけ剥離

- ・段ボールをリサイクルに廻す前に、出来るだけRFタグを剥してもらおうことが出来ればリサイクル上の問題は発生しない。
- ・ただし、誰がいつどこで剥がすことが可能かという問題と、剥す側にとってのメリットが不明であるため、実効性に疑問が残る。

2) 剥離しなくても問題が発生しない（しにくい）RFタグの使用を推奨

- ・問題とならないRFタグとしては次のような両極のタイプが望ましいと考えられた。
 - (a) 離解後も分解することなく完全な全形を取り出せるタグ
 - (b) アンテナを含む全体が微細な粒子にまで裁断されてしまうタグ

3) 剥離しなくても問題とならないRFタグ開発の方向性を提示

- ・現存のタグでは「問題とならない」と完全に言い切れるものが無い為、リサイクル面で問題とならないタグの開発方向性をJAISAからタグベンダーに提示する必要がある。
- ・当面、例えば「再生可能粘着材」などの可能性検討からスタートし、方向性を明らかにしていくべきだと考えた。

4) 段ボールリサイクル工程を改変

- ・リサイクルに適応するRFタグをタグベンダーに提示する一方で、現状のタグでも問題とならない段ボールリサイクル方法自体の改変可能性の検討を製紙会社に要請することも選択肢として挙げられた。
- ・2007年度には、コスト面が課題となるものの、通常の段ボールリサイクル工程にはない特殊リサイクルの可能性についても検討を行った。

⑥ 剥離する場合、剥がしたRFタグ自体の廃棄法

- ・タグ自体の廃棄実験が未着手であり確定的指針は明示できないが、現状で用意しておくべきことを確認した。

- 1) 産業廃棄物としての処理法を用意
 - ・現状、段ボール最終ユーザーの多くは卸や量販店などであるが、各店がリサイクル業者に使用済み段ボールを渡す前に可能な範囲で **RF** タグを剥してもらうことを推奨し、剥したタグは産業廃棄物として処理することなどを説明する指針を用意すべきである。
- 2) 家庭ゴミとしては自治体ごと対応
 - ・量は僅かながら、各家庭で使用済み段ボールから **RF** タグラベルを剥した際は、各自治体それぞれで異なるゴミ分別区分に準じた処理に当面委ねることとなる。

3-2 医用機器への RFID 機器の影響

RFID の普及促進に伴い RF タグが大量に消費される時代が近づいている。(社)日本自動認識システム協会(以下 JAISA)は、国内に 30 万人前後いるとされる医用機器(体内埋め込み型ペースメーカーおよび除細動器)装着者に対する、RFID 機器の影響とその対策についてガイドラインを定めた。

平成 16 年度と平成 17 年度の 2 年間にわたって、総務省の委託を受けて電波産業会で調査が行われた。総務省からの調査報告書の中に示された指針をもとに、JAISA では運用ガイドラインの整備と RFID 機器の設計情報を整理するためのモデル実験・シミュレーション実験などの実施し、情報の公開を行い、医用機器への影響を最小限とするための方策を検討している。

JAISA では会員企業と非会員企業に対して機器提供を呼びかけた。最終的に 33 社の企業が参加し、2 年間にわたる試験で幅広い機器類を網羅した信頼性の高い調査結果となった。

3-2-1 医用機器に関する RFID 機器の分類

試験結果を取りまとめる際に、形状、出力、用途、周波数などの区分での集計を検討したが、医用機器使用者の立場に立った分類により試験結果をまとめた。図表 3-5 に示すように RFID 機器の機能上の分類ではなく、医用機器装着者が見て容易に種別できる分類とした。これは、安全性を第一とする本調査研究の目的を最優先した。



図表 3-5 医用機器に関する RFID 機器の分類

3-2-2 評価方法

今回の評価試験では、人体ファントムを使った評価方法を採用した。今回の試験方法は、平成 13 年度以降の一連のデータとの互換性を持てるように配慮されている。医用機器はペースメーカー協議会より提供を受け、RFID 機器は JAISA 会員他の提供を受けた。

3-2-3 調査研究結果の概要

今回の調査結果では、ほとんどの機器が影響を及ぼさないというものであったが、RFID 機器から発信される電波が埋め込み型心臓ペースメーカーおよび埋め込み型除細動器に対して一部の評価では影響を与える場合が発生した。この試験結果を検討した結果、ゲートタ

イプに関しては EAS ゲートと同じく中央を通ることにより影響を回避でき、それ以外の機器類に関しては携帯電話と同じく 22 c m 以上離すことで影響を回避できる。

3-2-4 医用機器装着者への対応

総務省からの指針をもとに試験終了後、下記の対応を行った。

- ① 運用ガイドラインの発行が 2005 年 10 月に行われ、関連部署に配布された。
- ② ステッカーにより、RFID 機器であることの明示がされた。会員に対してはデザインの配布を行っている。デザインは、「ゲート用」のもの、ハンディー機器のような「その他装置用」のほか、管理者によって医用機器装着者が入ることを想定されていない「産業用」の 3 種類を用意した。



図表 3-6 RFID ステッカー

- ③ 警告文についても要件を整理しまとめた。
- ④ 試験終了後も JAISA では医用機器ワーキング活動を行い、運用ガイドライン等の周知徹底を行い、安全性の確保に努めている。
- ⑤ 平成 17 年から平成 18 年度にかけ北海道大学との共同調査研究を実施してきた。

3-2-5 機器設計基礎研究

RFID 機器が医用機器へ与える影響を軽減させる目的で、北海道大学との共同研究を進めてきた。測定環境を電波産業会で行った試験方法に合わせ一連の試験結果との整合性を果たしている。ペースメーカー協議会より医用機器類を借用し研究を進めてきた。

この研究は、RFID 機器からの影響を軽減し安全性を向上させることであり、今後の機器類の新製品を設計するための基礎データを目的とした。研究には、A 研究:会員会社の RFID 機器設計情報の収集し、標準電波発生装置や電界強度測定装置等を用い影響度合いをモデル化して医用機器への影響のより少ない機器の実現を図るものと、B 研究:設計検証の段階での影響調査(シミュレーション、モデル実験)、すなわち参加企業の新規開発機器の評価を行うことで、安全な製品の実現に寄与するものがある。北大情報通信システム学講座野島研究室で評価実験を行い、JAISA の医用機器ワーキングの参加企業が参加した。

3-2-6 今後の課題

(財)電波産業会での 2 年間の調査研究により把握した現状を捉え、試験結果をもとに運用ガイドラインの作成および公表、配布が終了している。さらには北大との共同調査研

究による基礎データの収集と設計情報の整理を行っているが、かなり先進的な安全設計情報が含まれる予定である。この成果を基に図表 3-6 の RFID ステッカーおよび安全設計のガイドラインと合わせて国際標準化活動を推進してゆきたいと考えている。

3-3 RFID の使用環境について

RFID システムは、2-2 項で述べたように各周波数によって特徴がことなる。このことは、アプリケーションの使用環境に影響を受けない RFID システムを選定する重要な要素である。そのために、RFID の一般的な課題を知り、その対応策を調査することが必要である。まず、各周波数に共通な一般的な RFID の課題として、つぎの 5 項目について考察し、各周波数の使用環境に関する課題と対策について概説する。

(1) 金属の影響

電波は、金属に影響をうけやすいことから、RF タグを金属に直接貼付たり、RF タグの近くに金属が存在するとリーダ/ライタと RF タグ間の交信距離が低下する可能性がある。そこで、RF タグと金属、アンテナと金属の離隔距離の確保やアンテナ、RF タグの金属対応処理をすれば使用可能となる。ただ、金属対応処理をした場合、金属処理をしない場合と比べて、RF タグとリーダ/ライタのアンテナ間の交信距離が数 10%低下するので、アプリケーション構築の際は、リーダ/ライタのアンテナと RF タグ間の交信距離には注意を要する。

(2) 複数一括読取率の向上

RF タグが貼付された貼付物や混載状況によっては、複数一括読取で 100%の読取ができないことがある。そこで、つぎの読取率を向上させた事例を紹介する。

① 商品タグと他の光学系や重量系の計測器との組み合わせ

例えば、100g×10 個が搭載したが、9 個しか読取ができなかった。しかし、重量計では 1 kg を表示しているので OK とする。この方式は、出荷サイドと入荷サイドとの意志疎通が必要である。

② パレットタグと商品タグとの組み合わせ

RF タグに書き込んだパレットに搭載された数量情報とパレット上に積載された全ての商品タグの数量情報を比較する。読取率が決められた%以上であれば、OK とみなす。この方式も、出荷サイドと入荷サイドとの意志疎通が必要である。

(3) RF タグが破損した場合を想定

通常の使い方をすれば、RF タグの破損はめったに起こらない。万が一、規定以上の衝撃が加わり RF タグが破損した場合、RF タグのメモリ内のデータを読み出すことができない。よって、目視ができるバーコードと併用すれば、RF タグが破損しても、バーコードのデー

タをトリガーに継続的な運用が可能となる。

(4) RF タグは、アンテナの指向性により読取率が変化

貼付対象物へ RF タグの貼付位置が個々に異なる場合、1 台のリーダー/ライターでは、RF タグとの間で指向性によって読取率を上げるためには限界がある。そこで、つぎの読取方式を採用することで読取率を向上させた事例を紹介する。

- ① 複数のアンテナで、複数の方向から読み取る方式
- ② ターンテーブルに複数の商品を搭載したパレットを置き、ターンテーブルを回転しながら読み取る方式
- ③ パレット上に、アンテナで確実に読み取れる方向に理路整然と RF タグを揃えて搭載する。

(5) パッシブタグの交信距離の影響

RF タグは、書き込み際にリードアフターライト機能により書き込んだデータが正しいか確認していることもあり、RF タグでの処理時間が長くなり、消費電力が読取時よりも多く消費される。このことは、RF タグの書き込みの距離の低下を招き読取距離との差ができる。

書込処理を実行するアプリケーションを構築時、RF タグの選択に際して、つぎの項目に留意する必要がある。

- 1) リーダー/ライターとの交信に必要な電力まで総てを供給するアクティブタグ
- 2) 読み書き両方の交信距離を保証しているパッシブタグ RFID システムを選定

今後、同じ読み書き距離を保証したアクティブタグは、温度、振動、圧力などのセンサと組み合わせた高機能な RF タグとして普及するものと期待されている。

3-3-1 135kHz 未満

この周波数帯は、国内では電磁結合方式の後に、1998年頃から提供されてきた。電磁結合方式より距離が長く、水の影響も受け難く、金属の影響も他の周波数帯より影響を受け難い特性を有する。ISO/IEC18000-2には、タイプA、タイプBの2タイプが存在するが、この2つのタイプは、世界的に使用されている周波数帯域で、周波数、変調方式の違いで互換性がない。

タイプAは、周波数121kHzでASK変調方式なので、回路規模を小さくできることからRFタグを安価に提供できる。タイプBは、周波数134.2kHzでFSK変調方式なので、周囲のノイズ環境に対して、タイプBより影響を受け難い。

この周波数帯のRFタグは、ラベル型のRFタグには向かない。それは、波長が長いからである。通常は、銅線などをコイル状に数100回巻いたコイン型のRFタグが主流である。この周波数帯は、世界標準化が審議される前から、各国で独自に開発されたことから、オリジナル商品が多い。また、RFタグの値段も使い捨てには高く、使い捨てのアプリケーションより、再利用できるアプリケーションに向くRFタグでもある。

オリジナル商品であるが故に、その会社がサポート中止となれば、代替品を宛がうことができないので、採用するときにはリスクのあるRFタグでオープンな環境では使いづらい。その逆で、代替品がないことは、セキュリティ性が高く、セキュリティの確保が必要なアプリケーションに向いている。

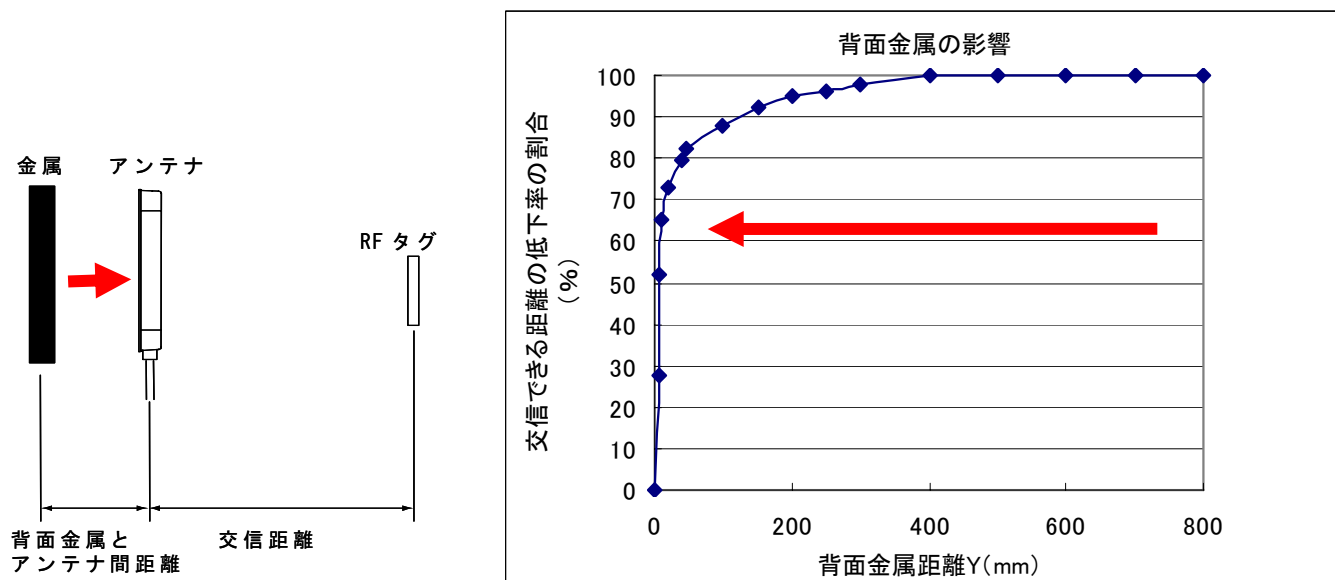
134.2kHz未満の周波数帯は、商用電源の周波数に近いがために、蛍光灯やインバータモータ等の動力源の周辺ノイズの影響を受け易い。このノイズの影響を緩和するには、インバータモータをマグネットモータへ交換、ノイズ発生の動力源を遠ざける、ノイズ発生の動力源を物理的に電磁シールドするなどの方策が考えられる。

3-3-2 13.56MHz

電磁結合方式、マイクロ波方式、125kHz 電磁誘導方式に比べて、RF タグの設計、交信距離、電波の相互干渉、水の影響など最もバランスの良いのが特徴である。2002年9月の省令改正で、4W まで出力が緩和されたことにより、国内で最も普及している RFID システムである。しかしながら、金属の影響や複数一括読み書き等の課題もあり、アプリケーションによっては、つぎの課題への対策を講じることが必要である。

(1) アンテナの背面金属による影響

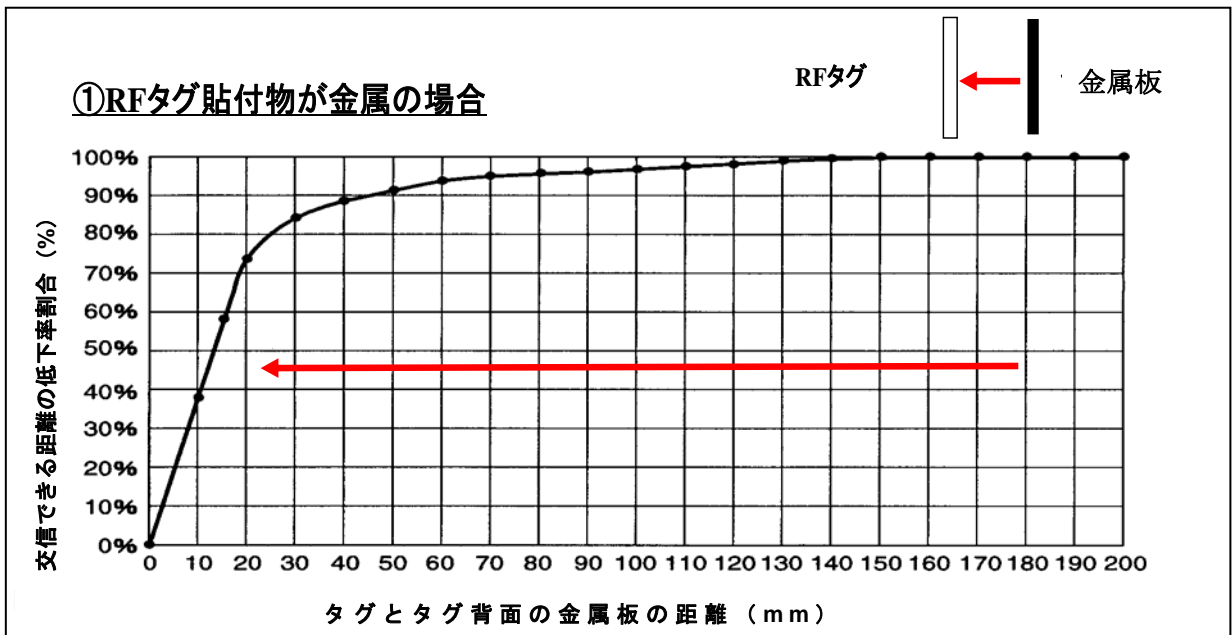
アンテナの背面に金属が近づくと、アンテナと RF タグの交信距離の低下率割合が図表 3-7 の赤印の方向に低下する。これは、金属面に渦電流の発生で、磁束の数が減少することにより、パッシブ RF タグの起電力を十分に供給出来ないためである。その対策の一つであるが、アンテナに金属背面処理を施すことにより、アンテナを直接金属に取り付けても RF タグとの交信が可能となる。



図表 3-7 アンテナの背面金属の影響

(2) RF タグの背面金属による影響

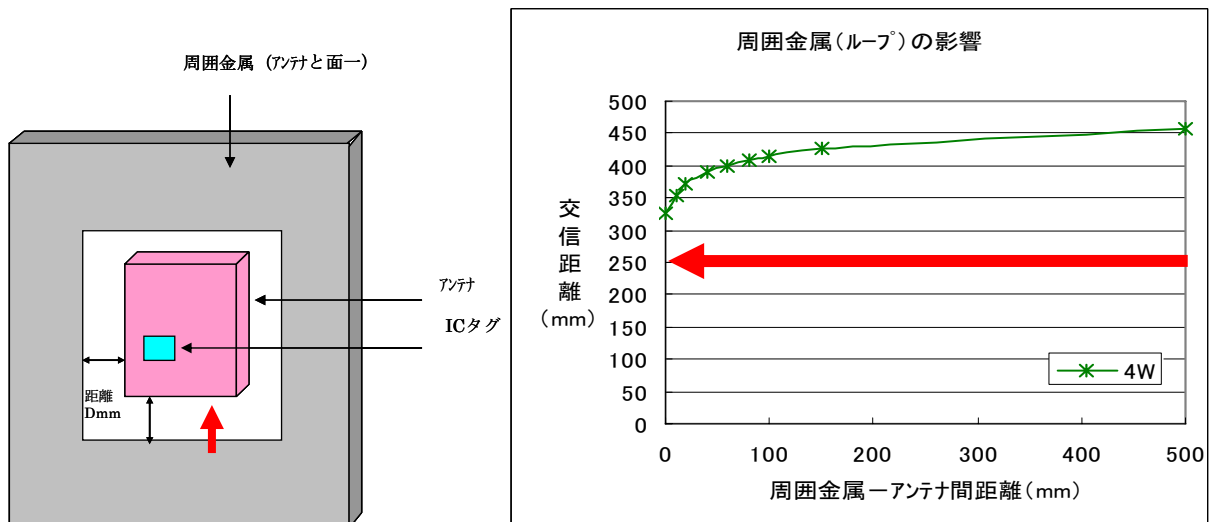
RF タグの背面にも金属が近づくと、アンテナと RF タグの交信距離の低下率の割合が図表 3-8 の赤矢印方向に低下する。その原因は、1)と同様である。その対策の一つであるが、RF タグに背面金属処理を施すことにより、RF タグを金属に貼付してもリーダー/ライタとの交信が可能となる。RF タグに金属処理をすることで、RF タグの価格は高くなり、使い捨て型より再利用型のアプリケーション向きである。



図表 3-8 RF タグの背面金属の影響

(3) アンテナの周囲金属による影響

アンテナを設置する際に、アンテナ周囲に金属が存在すると、アンテナを構成しているループアンテナを通過する磁束の通りが悪くない、アンテナと RF タグ間の通信距離が図表 3-9 の方向に低下する。アンテナと周囲金属との距離を確保することが重要である。また、周辺に金属のループが存在すると、電磁誘導作用で周辺の金属ループはアンテナとなり、アンテナの通信領域外の存在する金属ループに近い RF タグと通信する可能性がある。この対策として、金属ループを切断して、ループを立ち切る対策を講じる必要がある。



測定結果 (平均値をグラフ化)

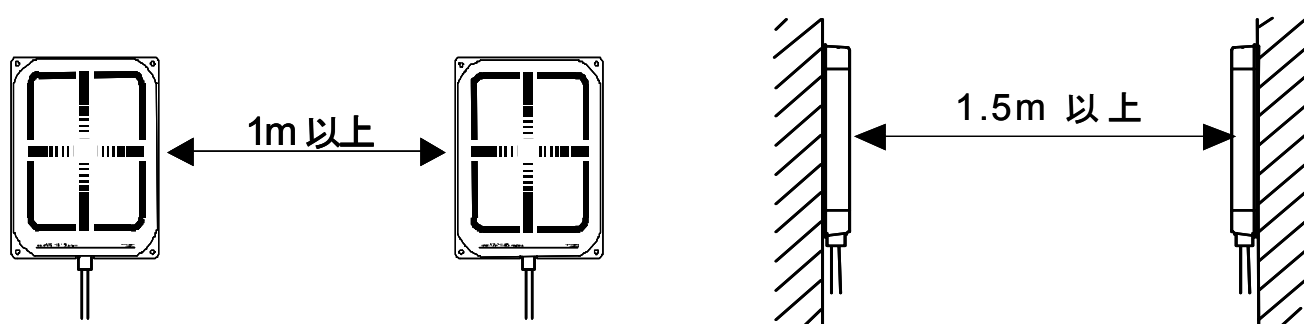
図表 3-9 アンテナの周囲金属の影響

(4) 複数アンテナの設置時の相互干渉

電磁誘導方式の RFID 機器間の相互干渉は、図表 3-10 に示すように電磁界放射面が平行の場合は、1m 以上の離隔距離で干渉を緩和できる。また、電磁界放射面が対向した場合は、1.5m 以上の離隔距離で干渉の緩和ができる。但し、お互いのアンテナ間に金属等が存在しない場合である。現場の環境によっては、さらに離隔距離を要する場合もあるので注意が必要である。

① 平行設置する場合

② 対向設置する場合

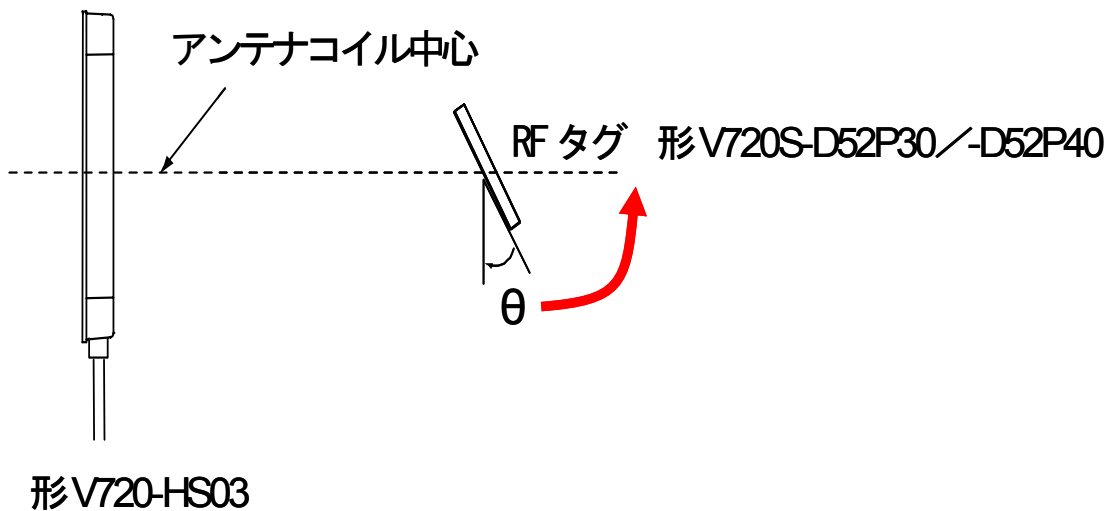
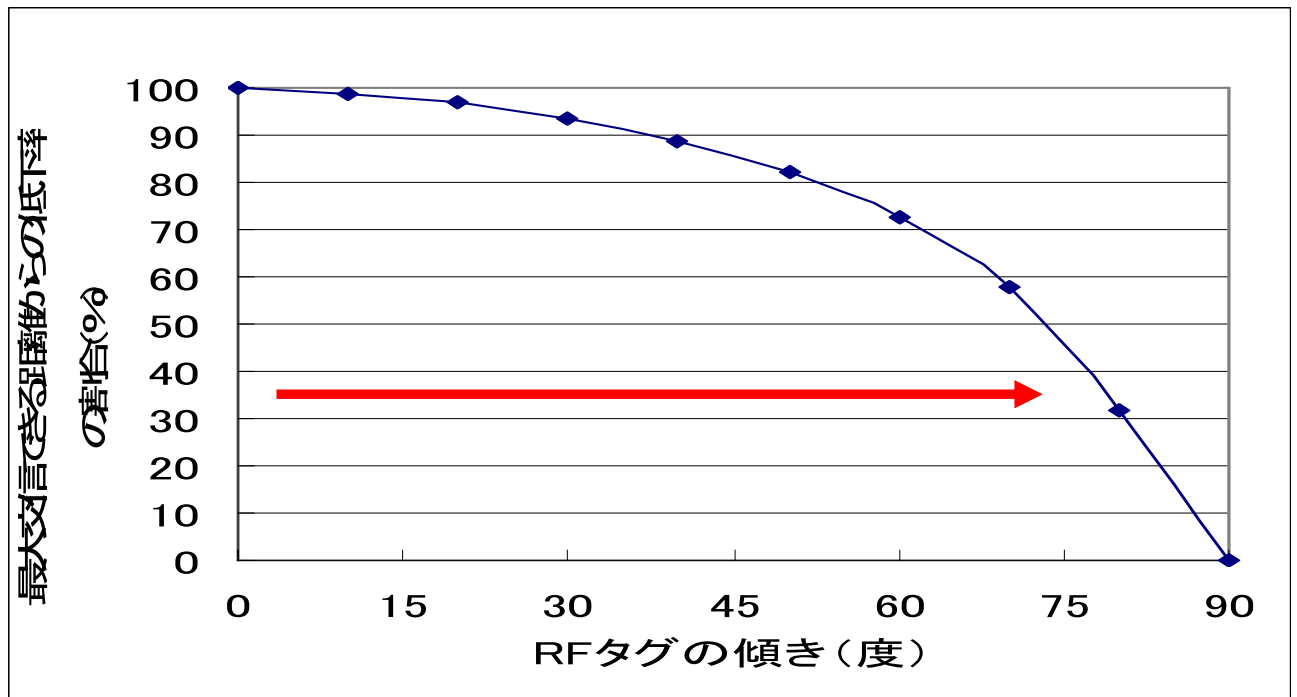


図表 3-10 RFID 機器間の相互干渉

(5) タグの傾きによる影響

RF タグは、アンテナを構成しているループコイルを磁束が交差しないと、RF タグの IC チップへ十分な電力を供給することができなくなる。図表 3-11 に示すように、リーダ/ライタのアンテナ面に平行な位置に RF タグのループアンテナ面が存在するときに、同じ位置で最大の電力を供給できることになる。この状態から、RF タグのループアンテナ面をアンテナ面に垂直 ($\theta = 90$ 度) の傾けると、アンテナから放射される磁束が RF タグのループアンテナを通る数が少なくなることで、RF タグの IC チップへ十分な電力が供給されず、通信距離が図中の赤矢印方向に低下することになる。

コンベア上を流れる RF タグを貼付した製品との通信をする際は、RF タグ面とアンテナ面の位置関係には留意が必要である。



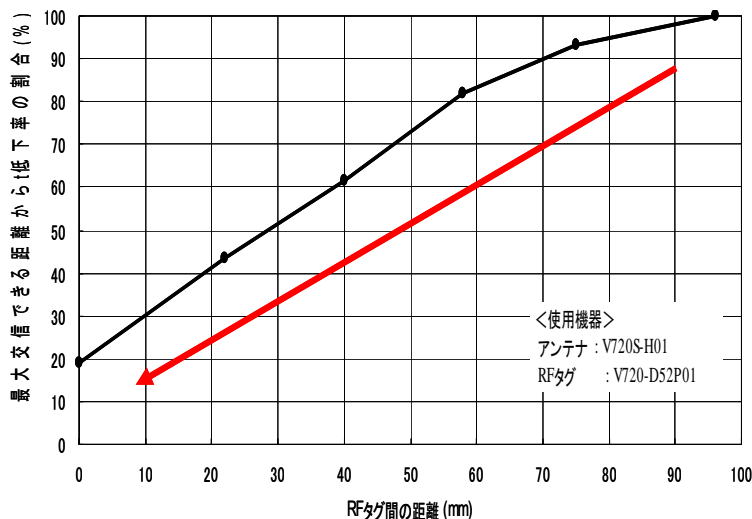
図表 3-11 RF タグの指向性

(6) RF タグの複数枚重なるの影響

RF タグの一括の複数の読み取りは、RFID 方式の優れた点である。しかし、RF タグ対象物の並べ方によって、読み取りが困難な場合がある。図表 3-12 に示すように、アンテナ面に 1 枚単位で複数枚が配置されているときは問題なく読み書きできる。しかし、アンテナ面に垂直方向に複数枚の RF タグが配置されると、アンテナから出る磁束が RF タグを通過

する度に弱くなる。さらに、RF タグのアンテナ間での相互干渉も重なり交信距離の低下を招き、読取り枚数に制限されることがあるので注意が必要である。

①2枚のタグの重なり

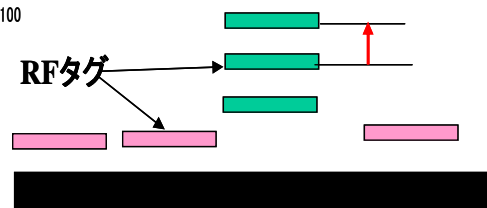


②複数枚のタグの重なり

タグ間隔	通信距離(mm)	読み取り可能枚数
5mm	0mm	3~5枚 *
	10mm	3枚
	90mm	2枚
8mm	0mm	3~4枚 *
	10mm	3枚
	95mm	2枚
10mm	0mm	5枚
	90mm	4枚

2枚のタグ重なりによる交信距離減衰

アンテナ



図表 3-12 複数枚の読取

複数枚の RF タグを垂直方向に読み書きするアプリケーションでは、1枚ごとに RF タグの配置を変えて、複数枚を重ねることをすれば、その影響はかなり緩和される。

3-3-3 433MHz

日本の電波法では、433MHz 周波数帯はアマチュア無線に開放されている。SCM の標準化を審議している ISO TC104/TC122 の ISO17363 で、SCM のコンテナにこの周波数が使用されることが決定された。また、433MHz のエアイン-タフェイスが ISO/IEC18000-7 で国際標準化の規格に制定された。さらに、この周波数帯で市場導入が先行しているアメリカから輸入されたコンテナに付けられることから、2006 年 12 月に 433MHz 帯アクティブタグシステムの省令が改正された。

この 433MHz アクティブ RFID システムは、港湾の貨物埠頭のコンテナ等のロケーションを管理する国際物流のアプリケーションに使用を限定されている。

(1) 優れた項目

- ・周波数が低いので、回り込みが大きいので障害物に強い。
- ・RF タグはトランシーバ方式なので、RF タグの取り付けの制約を受けない。
- ・交信領域が広い。
- ・RF タグは電池入りで、この電源を使用して温度センサ、圧力センサ、振動センサなどと組み合わせた高機能 RF タグも提供可能である。

(2) 使用する際の留意事項

- ・RF タグは電池入りのため、電池寿命管理が必要である。
- ・アマチュア無線の周波数帯域を使用しているためアマチュア無線との相互干渉に留意が必要である。
- ・アクティブタグなので高価である。
- ・用途が港湾地域に限定されている。

3-3-4 860MHz～960MHz

UHF 帯は、他の周波数に比べて、交信距離が長い、周辺ノイズに対して強い、水分や金属の影響を受け易い特徴がある。例えば、野菜、冷凍品、水分を含んだ商品へ RF タグを貼付けた場合やリーダー/ライタと RF タグ間の交信経路上に雨、人体が存在する場合等に RF タグの読取率が低下する。また、アンテナから発射される直接波と壁などの反射された反射波の位相が一致して強め合い交信できる領域ができたり、位相が一致して弱め合い交信できない領域ができたりする現象が存在する。この両領域は、個々の設置環境の障害物の配置は異なるので、設置時の現場の調整には留意が必要である。

UHF 帯の電波方式は、アンテナと RF タグ間の交信距離が長いのを特長の一つとしている。しかし、アンテナから送出される電波は、最大出力のとき実空間で約 1km 先まで放出される。このことが、UHF 帯 RFID システムの導入を難しくしている。UHF 帯の RFID 機器を使用する場合、つぎのような課題が考えられるので、導入・運用に際して、実機による実証実験等により、その影響等を確認して進めることが重要である。

(1) 2001 年 4 月省令改正の高出力型との相互干渉について

2005 年 4 月に省令改正された免許タイプの高出力型は、共用化条件が盛り込まれていない。この機器は、管理主体ならびに設置場所が特定される状態での使用が前提であった。

平成 18 年度の UHF 帯の実証実験で共用化条件の必要性が確認された。2006 年 1 月に省令改正された UHF 機器への影響の可能性があり、国内の周波数帯域の有効利用と言う面から、2006 年 1 月に省令改正された共用化技術を具備する UHF 機器へ置き換えが好ましい。この免許タイプの高出力型は、構内無線局として免許取得はできなく、既に、出荷された大半が実証実験等の用途であることと、5 年間の経過処置でいずれ使えなくなることから影響は小さいと考えられる。

(2) リーダー/ライタが密集した設置場所での相互干渉について

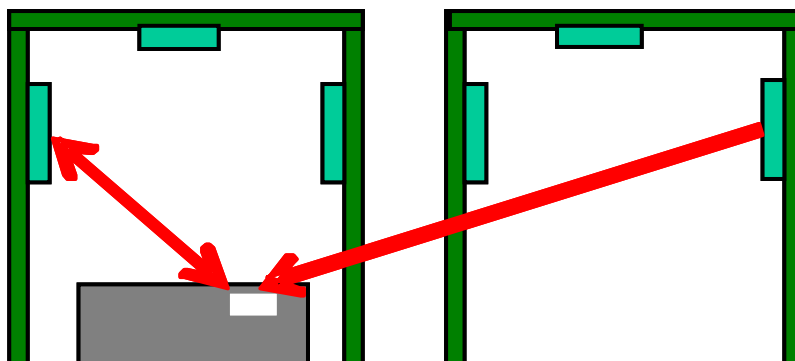
共用化条件が具備されたリーダー/ライタを密集した場所に設置した場合、つぎのような事象の発生が予想されるために送信チャンネルを適切に選択することが必要な場合がある。

1) タグのコンフュージョン

現在、提供されている UHF 帯の IC チップは、860MHz～960MHz の周波数帯で動作するが、各国で使用できる単位チャンネルに限定して、リーダー/ライタとの交信はできない。よって、RF タグには、図表 3-13、図表 3-14 に示すように近接に存在する与干渉リーダー/ライタから発射された隣接チャンネルの電波の影響を排除して、交信ができないので、被干渉リーダー/ライタにおける RF タグの読取率の低下を招く要因となるので注意が必要である。

タグのコンフュージョンには、最も効果のあるミラーサブキャリア方式の採用が 2008

年5月の省令改正に盛り込まれる見込みである。

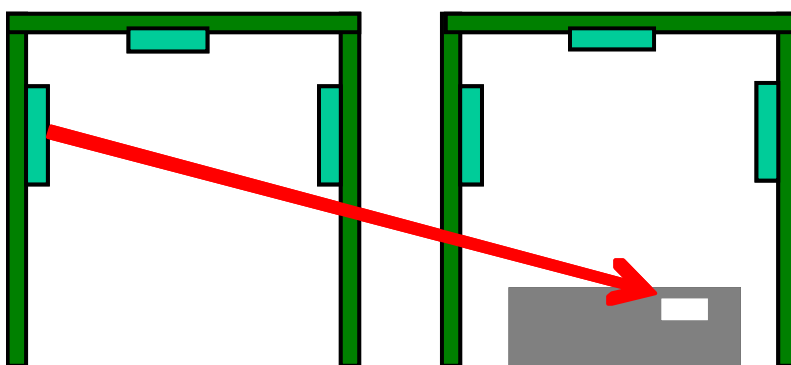


図表 3-13 RF タグコンフュージョン

2) 領域外の物を読み込む

図表 3-14 に示すように、他のリーダ／ライタの通信領域の RF タグも読み込んでしまうので留意が必要である。

アンテナ間の距離を拡大したり、物理的なシールドを施したり、アンテナ出力を低減するような対策が必要である



図表 3-14 領域外の RF タグへアクセス

(3) RF タグの貼付物、内容物の影響について

UHF 帯の RF タグは、図表 3-15 に示すように RF タグを貼付する品物やその内容物が持つ誘電率により、RF タグとリーダ／ライタ間の交信距離へ影響を与える。貼付する品物や内容物の持つ誘電率は、電流を通しにくいガラス、紙などの絶縁体ほど低いので交信距離への影響は小さく、電流を通し易い水、金属などの導体ほど高いので交信距離への影響は大きい。このことは、アプリケーションから要求される RF タグの仕様を決る時、貼付物への影響に加えて RF タグの加工する際に留意が必要である。



図表 3-15 貼付物と誘電率

(4) 反射・吸収による影響について

UHF 帯の電波は、金属などの導体や水分など電流を通し易いものは反射するが、硝子・紙などの絶縁体は透過すると言われている。例えば、アンテナの前を人や物が通過するだけで、電波は色々な方向に反射されると共に吸収される。その度に、交信領域がその影響を受けて歪んで、普段、読まない場所にある RF タグを読んではしまうという厄介さがあると同時に、反射した反対側では、普段読まれていた領域で RF タグを読むことができなくなるという現象になって現れる。この現象の影響を緩和するには、図表 3-16 に示すようなアンテナを複数配置して、RF タグをどの方向からも読み取れるような無指向性のポータルアンテナを構築するのも対策の一つである。



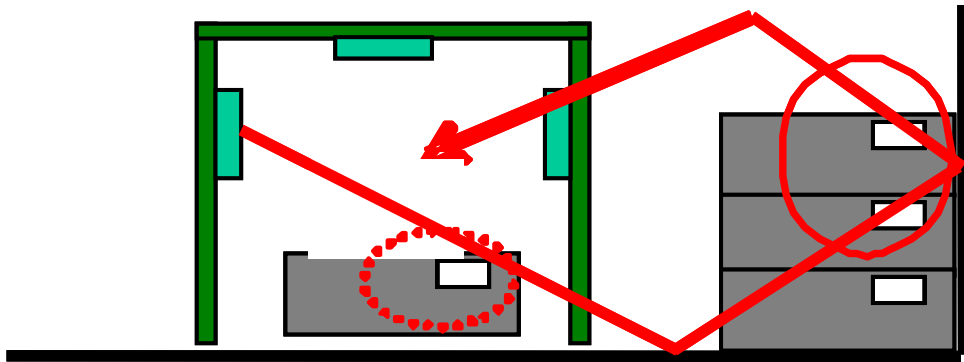
図表 3-16 ポータルアンテナ

(5) マルチパスへの影響について

UHF 帯の電波は図表 3-17 に示すように周囲環境の壁、床、機材などの反射体で反射する。このような環境下でリーダ／ライタから発射された電波は、アンテナから発射された電波を直接波と反射体で反射される電波を反射波となる。この反射波は、つぎの反射体にあたり反射され新たな反射波となる。このように、UHF 帯のアンテナから発射された直接波は、反射体への反射を繰り返しながら減衰していくことになる。また、アンテナからの直接波の強いエリアでは、直接波より反射波の電界強度が小さいために反射の影響を受けにくい。直接波のレベルが弱いエリアでは、交信できない領域と交信できる領域が発生しやすい。

そこで、交信できない領域とは、アンテナの直接波の電界強度と反射波の電界強度の差が、RF タグを活性化できないレベルの状態である。つまり、電波の位相が一致するほど弱めあう合成波になった時である。その逆で、通常の交信領域以外のところにアンテナからの直接波と反射波の位相が一致して強め合い新たな交信できる領域ができる。このような反射により交信性能が変化することをマルチパス現象と呼んでいる。この現象は、設置環境によって異なることから、非常に厄介な課題である。

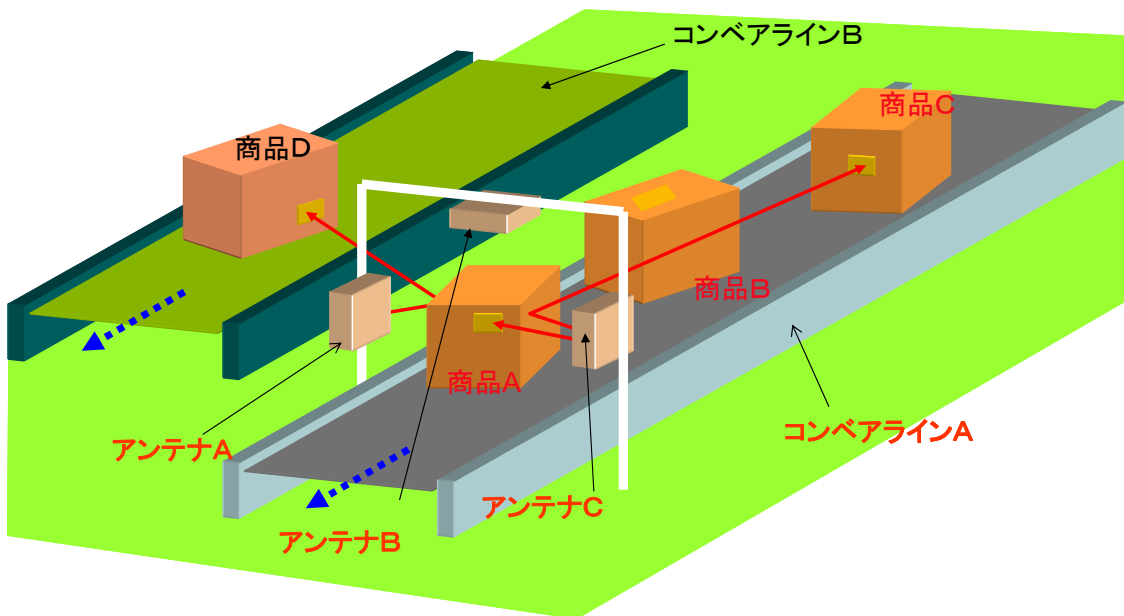
この現象は、一括読取において再読取回数が増加することで、リーダ／ライタの読取性能を低下させることもなる。この影響を緩和するには、複数アンテナ設置や運用で解決するのも一つの方策である。



図表 3-17 アンテナ周辺の RF タグのアクセス

(6) 並列のコンベアなどで貼付物が移動する読取方法について

図表 3-18 の物流センタなどのコンベアラインで、コンベアライン A で読み取りしているときに、隣のコンベアライン B に存在する商品 D の読み取りを行う可能性がある。また、連続的に流れてくる商品を順序正しく読み取れない場合も想定される。この場合、反対のコンベアラインへ向いているアンテナ出力を抑えることで交信領域を押さえるか、上位系アプリケーションで、商品とコンベアラインを結びつけて、誤読みを防止するなどの対策が必要となる。

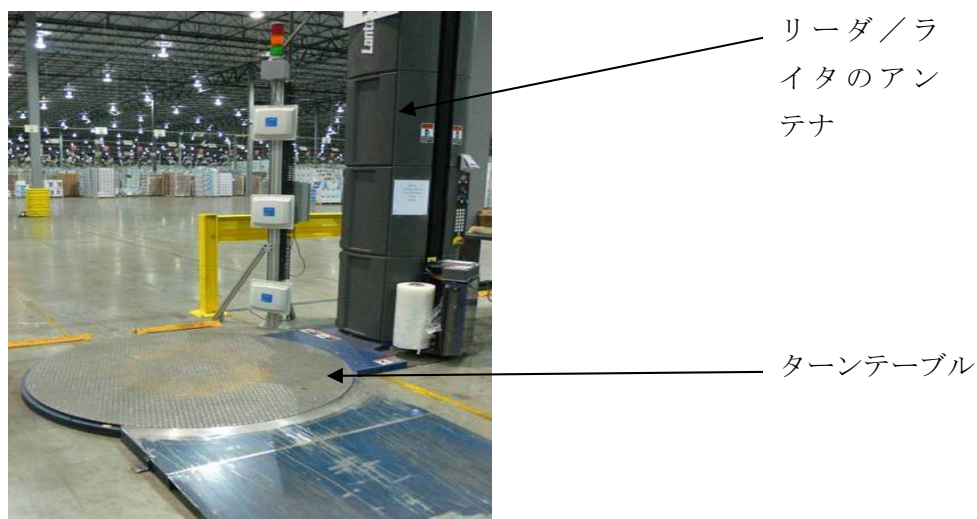


図表 3-18 コンベアライン

(7) 混載された商品の読取方法について

混載された商品に貼付された RF タグを読み取る場合、高い読取率が要求される。パレッ

ト上に無秩序に混載された商品のすべてを読み取るのは容易でない。そこで、図表 3-19 のターンテーブルのパレット上で商品をシュリンクする際に、固定式のアンテナでターンテーブルを回転することで、無秩序に搭載された商品のタグの指向性を変化させて、読取率を向上させるのも施策の一つである。



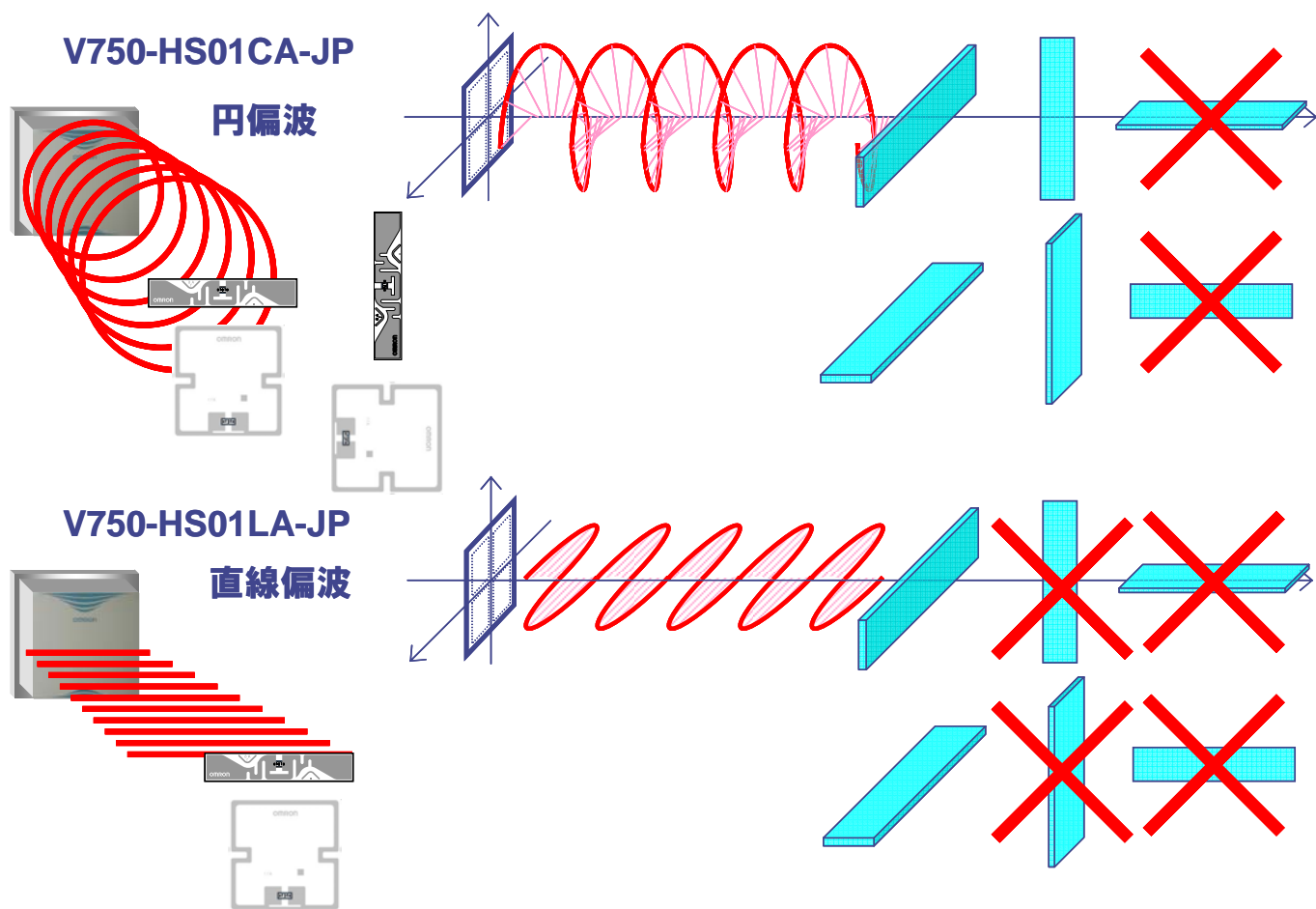
図表 3-19 ターンテーブル

(8) UHF 帯の異なる規格との相互干渉について

ISO/IEC18000-6 の UHF 帯 RFID システムのタイプ A、タイプ B のエアイン-タフェイスは、2004 年 10 月に国際標準化された。その後、EPC グローバル規格である Class1 Generatin2 (C1G2) がタイプ C として 2006 年 6 月に国際標準化された。ISO/IEC18000-6 の 3 つのエアイン-タフェイスは、国内の共用化条件を具備したリーダー/ライタに、一つまたは複数のエアイン-タフェイスを搭載できる。これまで、国内では、UHF 帯 RFID 機器の段階的な規制緩和により、タイプ B とタイプ C の RFID 機器の存在している。これらの RFID 機器間においても、密集した地域での利用の際には、相互干渉に留意が必要である。

(9) アンテナの偏波方式とタグの指向性について

アンテナから発射される電波の方向を偏波といい、直線編波と円偏波に大別できる。直線偏波方式は、円偏波方式に比べて、アンテナと RF タグが正対したときは、交信距離を長く取れるが、アンテナと RF タグが正対しないと交信距離が低下する特徴がある。図表 3-20 に示すアンテナの偏波方式と RF タグの取り付け位置の関係で、交信距離が異なる可能性がある。よって、アプリケーションを構築する際に、最適な製品を選択する一つの要素になるので留意が必要である。



図表 3-20 アンテナの偏波と RF タグの指向性

(10) 複数回連続読取の実施について

反射、ノイズ等の現場環境の影響を緩和するには、UHF 帯の高速読取機能を利用し、連続的に複数回読み取りを実行し、複数回読み取った個々の RF タグの総和を、読取枚数とすることで読取率を上げる方策の一つである。

(11) 電磁吸収体の設置について

リーダ／ライタ間に図表 3-21 に示す電磁波吸収体を配置し物理的にシールド対策することで、隣接する RFID システムへ発射される電波を減衰させることで相互干渉を低減させる。欧州では、 -20dbm の電磁吸収体を利用して、ドックドアのポータルリーダ／ライタ間に配置して、搬送速度 1.5m/秒 のフォークリフに搭載された 52 カートンの C1G2 の RF タグの読取率を向上したことが報告されている。



図表 3-21 ポータルの電磁波吸収体実施例

(12) アンテナの向き調整について

個々の RFID システム間で、アンテナから発射される電波の指向性を調整することで、システム間の相互干渉を低減できる。例えば、隣接するベルトコンベア間で設置するアンテナを正対しないようにするなど影響を緩和する方策の一つである。

(13) RF タグ同士の干渉緩和について

RF タグ同士の干渉については、RF タグ同士が干渉しにくい距離（15～30cm）に配置することや RF タグを直交させて配置することも方策の一つである。

(14) UHF 帯 RFID 機器の使用について

国際規格の ISO/IEC18000-6 では、UHF 帯 RFID システムの周波数帯域は 860MHz～960MHz と決められており、各地域の電波法によって使用できる周波数が規定されている。そこで、グローバルに RFID を使用する際は、リーダー/ライターと RF タグの選定に留意が必要である。

① リーダー/ライター

その地域で使用できる周波数帯域に対応できるリーダー/ライターが必要となる。

② RF タグ

生産国で製品のケースなどに貼り付けられる RF タグは、その製品がグローバル規模で流通すると、使用周波数が異なる国でも同等な性能を発揮することが要求される。

以上のことから、最初から UHF 帯 RFID システムの課題をきっちりと掴んでおけば、後戻りのない RFID システム設計が可能となる。上位システム構築において、これらの課題

の対策の負担を少なくするために、リーダ／ライタの選定時には、リーダ／ライタの機能の中に、その対策機能を盛り込んでいるのといないのでは、開発費用の負担の差ともなり得るので、UHF 機器の機能比較にも留意が必要となる。

3-3-5 2.45GHz

2.45GHz は世界中で使用できる ISM（工業・化学・医療用）バンドである。日本では、RF タグの周波数として、1986 年からマイクロ方式 RFID システムとして実績がある。1986 年当初は、パッシブ型の RF タグが最も小型化で、1m の交信距離が確保でき、高速通信できることから脚光を浴びていた。しかし、相互干渉で無線 LAN との相互干渉、システム相互間の相互干渉、金属の反射、水の影響を受け易いことから FA 分野の一部に限定されたアプリケーションに使用されてきた。

2202～2003 年の電波法改正で、日本でも FFHS（周波数ホッピング）方式の RF タグの使用可能となり、無線 LAN との相互干渉対策が容易である。また、指向性がシャープで交信距離（電池付で 5m）長くとれる商品や、RF タグを最も小さくできる特性を活かしたアプリケーションでの用途拡大が期待されている。

現在、交信距離の確保が容易な構内無線局（RCR STD-1）と特定小電力無線局（RCR STD-29、ARIB STD-T81）が無線局で使用が認められている。