

## UHF 帯 RFID における遅延の影響と対策

虎渡昌史<sup>†</sup> 亀丸敏久<sup>††</sup> 水野忠則<sup>†††</sup> 酒井三四郎<sup>††††</sup>

UHF 帯の RFID システムにおいて、検出にリアルタイム性が必要なゲート装置と、在庫管理などの非リアルタイム処理が共存する場合で、多数のリーダ装置間の電波干渉により遅延が発生するメカニズムの定量化とアクセス手順の分割による解決策を提示する。

### Influence and measures of delay in UHF belt RFID

Masashi Torato<sup>†</sup> Toshihisa Kamemaru<sup>††</sup>  
Tadanori Mizuno<sup>†††</sup> and Sanshirou Sakai<sup>††††</sup>

It is time when it coexists the gating arrangement for which real time is necessary for detection and the non-real-time processing of the inventory etc., and the solution by the quantification of the mechanism and the division of the access procedure where the delay is generated by the electric wave interference between a lot of reader devices is presented in the RFID system of UHF belt.

## 1. はじめに

RFID (Radio Frequency Identification) は、“いつでも、どこでも、何でも、誰でも”ネットワークに簡単につながるユビキタス社会を担う重要なハードウェアである。中でも、860～960MHz のUHF帯 (Ultra High Frequency) を使用するRFID (以下UHF帯RFID) は電池を持たないパッシブ型でありながら、13.56MHz帯などの他の周波数帯に比べて長距離 (~3m) でのアクセスを実現できるため、物流、入退場管理など様々な用途への適用が期待されている。

日本におけるUHF帯RFIDは、2005年4月に高出力型のパッシブ型RFIDが、さらに2006年1月に低出力型のパッシブ型RFIDの使用が認許された。あわせて、リーダ装置間の干渉を回避するため、チャンネルが定義されるとともに、使用するチャンネルに対するアクセス開始前のセンスとその結果によって待つこと (以下LBT: Listen Before Talk) が義務付けられた。

リーダ装置が多数共存すると、LBTにより読み取り時に遅延が発生することは容易に想像できる[1],[2],[3]。本稿では、多数のリーダ装置が存在するモデルとして、検出にリアルタイム性が必要なゲート装置と、在庫管理などの非リアルタイム処理が共存する場合を想定[4],[5][6]し、その課題と解決策を検討するものである。

## 2. UHF帯RFIDにおける干渉

### (1) 干渉の検討

UHF帯RFIDの最大の特長は、タグ側に電池を持たないパッシブ型でありながら、3m程度と通信距離が長いことである。このことは、タグからのレスポンス (反射波) が極めて微弱となることと同値である。リーダ装置を複数設置する必要がある場合や同時に複数のタグを読む場合には、他のリーダ装置などからの送信電波とタグからのレスポンスの干渉が問題となる。この干渉には、リーダ装置間の干渉およびタグとリーダ装置間の干渉のそれぞれにアンチコリジョンの技術[7],[8],[9],[10]が必須である。

<sup>†</sup> 三菱電機インフォメーションシステムズ株式会社  
Mitsubishi Electric Information Systems Corporation

<sup>††</sup> 三菱電機株式会社  
Mitsubishi Electric Corporation

<sup>†††</sup> 静岡大学創造科学技術大学院  
Sizuoka University

<sup>††††</sup> 静岡大学情報学部  
Sizuoka University

(2) LBTによる課題解決

2004年度から総務省において950～956MHz帯でのRFID使用が検討され、前述したように2005年4月、2006年1月に電波法が改正された(表1)。その中ではLBTが導入され、リーダ間の干渉については直接的な干渉は回避された。

表1. 950～956MHz帯パッシブ型RFIDの規格

	高出力型	低出力型
出力	空中線電力：1W以下 空中線利得：6dBi以下	空中線電力：10mW以下 空中線利得：3dBi以下
周波数	952～954MHz	952～955MHz
免許	構内無線局	特定小電力無線局(免許不要)
チャンネル	9チャンネル(200KHz)	14チャンネル(200KHz)
キャリアセンス	5～10m秒, -74dBm	10～15m秒, -76dBm
送信時間	連続4秒, 50m秒休止	連続1秒, 100m秒休止
アクセス距離	3m程度	50cm程度

上記電波法では、干渉の解決法として、使用可能なチャンネルがないときには、チャンネルが空くまで待つことによって干渉の回避を行う。その結果、遅延が発生し、リアルタイムでの読み取りができなくなる可能性が出てくる。リアルタイム性が必要な処理では、この影響を評価し、回避することが重要になる。

3. シミュレーションのモデル化

3.1 Gen2の動作概要

UHF帯RFIDには様々な種類があるが、現在EPCglobalによって策定されたClass-1 Generation-2(通称Gen2)[11]と呼ばれるシステムが主流となっている。そのプロトコルと前述の電波法をあわせた動作概要を図1に示す。通常、タグの読み出しは複数回実施されることが多い。ここではそれをサイクルと呼んでいる。サイクル間には50ミリ秒のLBTが必要となる。次に、各サイクルでは、初期化に続きラウンドと呼ばれる処理を繰り返す。初期化はリーダの処理系に依存する初期化とタグの初期化(セッション初期化)に大別できる。またラウンド内はラウンド初期化とスロットから構成される。さらにスロットはタグへの問い合わせとその読み出しに分けることができる。対応するタグが存在しない場合は、読み出し時間は不要となる。

ラウンド内のスロット数はラウンド初期化時に決定される。タグはスロット数に対応する乱数を生成し、応答するスロット番号を決定する。複数のタグが存在した場合は、この乱数が一致するため読み出しを実行できない。その場合は次のラウンドに読み出しをまわすことになる。

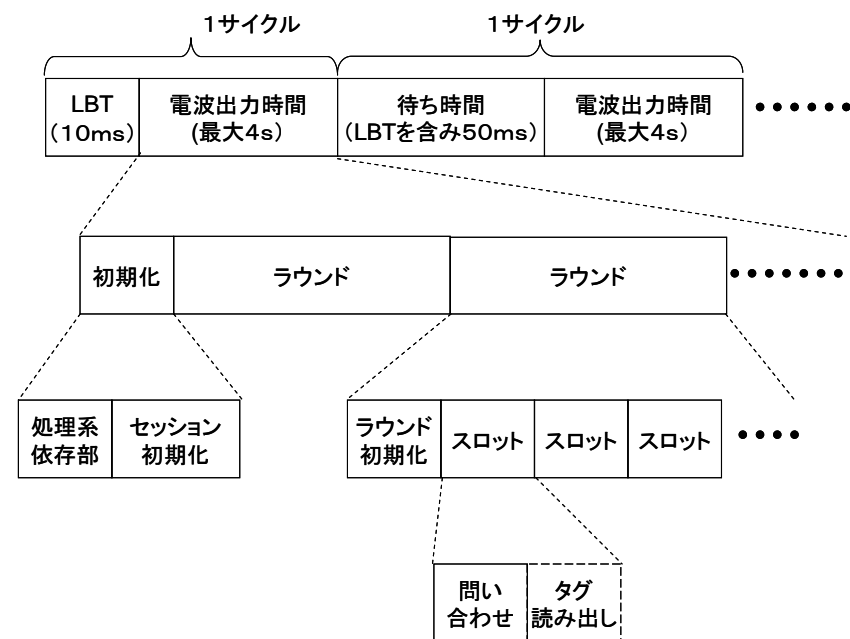


図1 Gen2動作概要

リーダが電波を出す時間の計算式は、次式で表される。

$$T = T_{\text{処理系依存部}} + T_{\text{セッション初期化}} + \text{ラウンド数} \times (T_{\text{ラウンド初期化}} + T_{\text{問い合わせ}} \times \text{スロット数} + T_{\text{タグ読み出し}} \times \text{読み出しタグ数}) \quad \dots \text{式(1)}$$

1チャンネル(200kHz)での通信速度は40kbp/sとなる。その際の上記値は以下の値となる。

T <sub>処理系依存部</sub>	概ね10ミリ秒程度
T <sub>セッション初期化</sub>	概ね2ミリ秒程度
T <sub>ラウンド初期化</sub>	概ね1.5ミリ秒程度
T <sub>問い合わせ</sub>	概ね0.8ミリ秒程度
T <sub>タグ読み出し</sub>	概ね6ミリ秒程度

1ラウンド16スロットであれば：

$$T = 12 \text{ ミリ秒} + (1.5 \text{ ミリ秒} + 0.8 \text{ ミリ秒} \times 16) + \text{タグ数} \times 6 \text{ ミリ秒} \\ = 26.3 \text{ ミリ秒} + \text{タグ数} \times 6 \text{ ミリ秒} \quad (1 \text{ ラウンド時}) \quad \dots \text{式 (2)}$$

通常は複数回の読み出しで実用上必要な精度を確保する。その場合、読み取り可能回数は、以下の式で与えられる。

$$\text{読み取り可能回数 } N = T_{\text{読み取り可能時間}} / (T_{\text{一回あたりの読み取り時間}} + T_{\text{LBT}}) \quad \dots \text{式 (3)}$$

$T_{\text{LBT}}$ ：初回は10ミリ秒、次の読み出し時は50ミリ秒

### 3.2 ゲート装置のモデル (リアルタイム処理)

UHF帯RFIDでは、通常2~3mの幅で読み取りが可能である。ゲート装置は、人や物がこのような距離を移動する間に読み取りを完了する必要がある。例えば、人の移動速度は時速5km程度であり、ベルトコンベアでは時速10km程度と想定される。それぞれ、秒速に直すと1.4m、2.8mとなる。従って、T<sub>読み取り可能時間</sub>は1秒程度となる。この制限時間内で確実にタグを読み出す必要があり、LBTによる遅延の影響を排除することが必須となる。

一方、その際に存在するタグは数枚 (人+若干の物) を仮定する。この前提で、T<sub>一回あたりの読み取り時間</sub>として、50ミリ秒程度を想定 (タグ4枚程度以下)。

### 3.3 在庫管理のモデル (非リアルタイム処理)

在庫管理のように、物のたな卸しを一括して実行する場合において、たな卸しの効率性から帳票のような薄いものであれば、複数を束ねて読み取る処理を考える。

20~50枚のタグを読む時間として、16スロットで、各ラウンド10枚程度のタグを読み出す時間は以下の値となる。

$$T = 161 \text{ ミリ秒} \quad (2 \text{ ラウンド}, 20 \text{ 枚})$$

$$T = 235 \text{ ミリ秒} \quad (3 \text{ ラウンド}, 30 \text{ 枚})$$

## 4. シミュレーション結果と課題

### 4.1 ゲート装置のみでのシミュレーション結果

これらのパラメータを使用して、ゲートを通るトラフィックをモンテカルロ法により与え、ゲート数とトラフィック量の関係をシミュレーションした。トラフィックについては、読み取り終了後、一定時間内に均等に次のイベントが発生するものとした。例えば、1時間当たり900イベントが発生するということは、T<sub>平均時間</sub>は4秒であり、T<sub>読み取り可能時間</sub>を1秒とすると、読み取り完了後、T<sub>平均時間</sub>×2 - T<sub>読み取り可能時間</sub> = 7秒以内に次のイベントが発生することとなる。今回は、この時間内に均等にイベントが発生することとしてシミュレーションした。

なお、高出力型の36dBmの出力に対し、センスレベルの-74dBmは約7kmの距離に相当するため、すべてのゲート装置で9chを共有するものとする。

図2は、遅延時間と確率分布の関係を示している。

99.999%の確率となるのは、20ゲートで50ms、25ゲートで170msとなり、25ゲート程度で読み取り可能時間に影響を与えている。

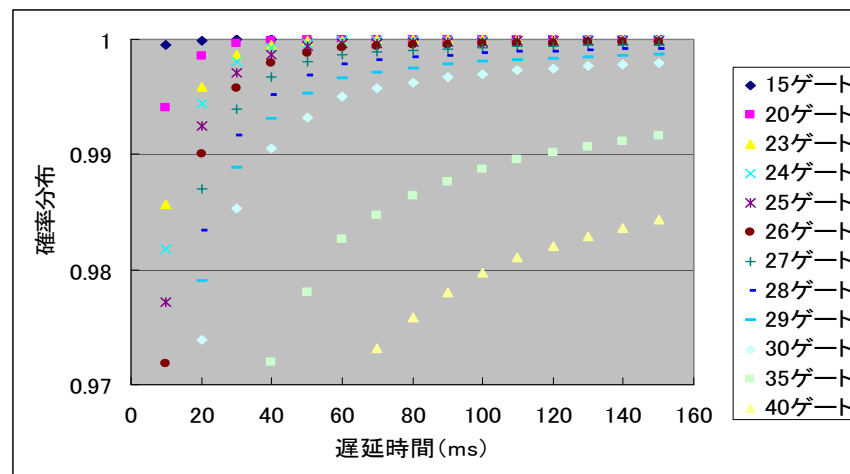


図2 遅延時間と確率分布の関係

遅延時間とゲート数の関係を99.999%、99.999%の確率であらわすと図3となる。25ゲートまでは、良好な確率で遅延の影響を抑えることが可能であることを示している。

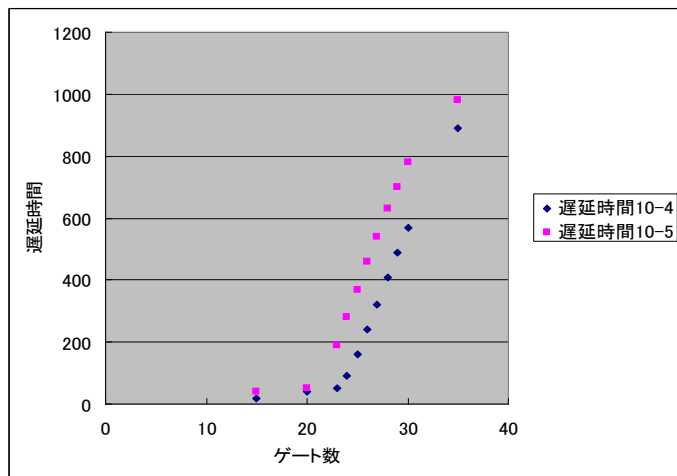


図 3 ゲート数と遅延時間の関係

ゲート数と読み出し可能回数の関係を表すと図 4 となる。  
この図においても 25 ゲート程度が境界であることが言える。

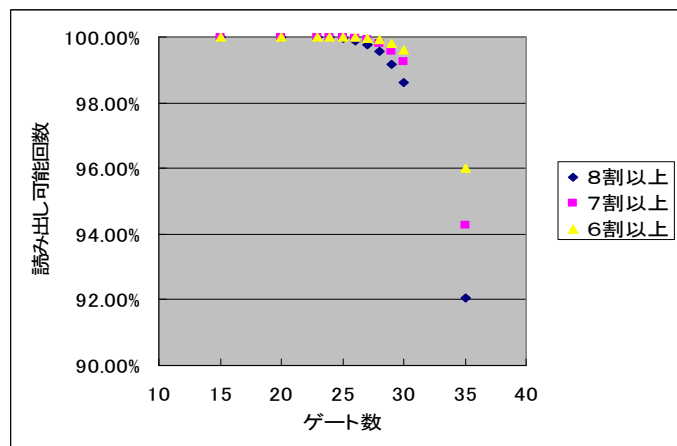


図 4 ゲート数と読み出し可能回数の関係

#### 4. 2 在庫管理モデル混在時のシミュレーション

同じビルや工場などで近所に在庫管理システムのように一括してタグを読み出すシステムがあった場合のリアルタイムと一括してタグを読み出す影響をシミュレーションする。この場合一括してタグを読み出す電波出力時間は数百ミリ秒である。

シミュレーション条件は以下である。

- ゲート数 : 25
- 在庫管理 : 5
- ゲートでの読み出し時間 : 50ms
- 在庫管理での読み出し時間 : 100~500ms
- ゲートでの活動時間 : 1000ms (この間読み出しを繰り返す)
- ゲートの頻度 : 2000ms (平均2秒に一回イベント発生)
- 在庫管理の頻度 : 500ms (平均0.5秒に一回読み出し)

ゲートでの遅延時間と在庫管理での読み出し時間を 100ms から 500ms までの確率分布は図 5 となる。

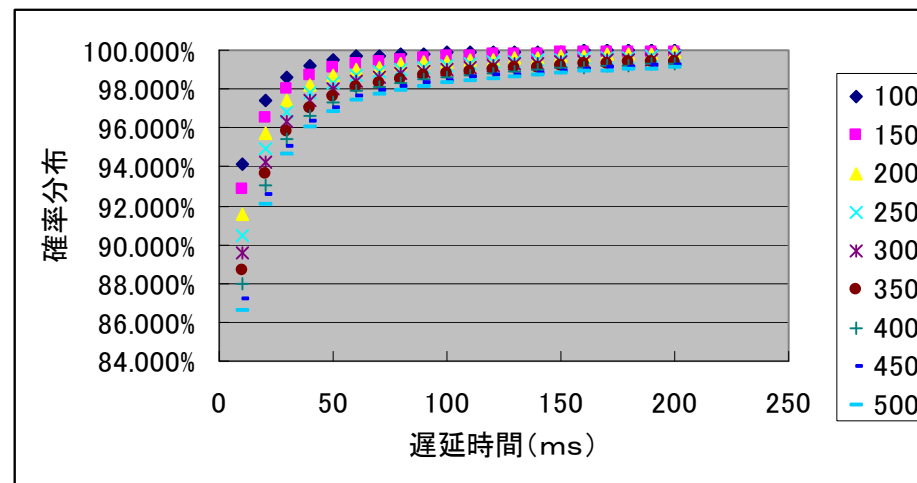


図 5 遅延時間と確率分布

有り高読み出し時間とゲートでの遅延時間（99.99%，および99.999%）の関係は，図6であらわされる。

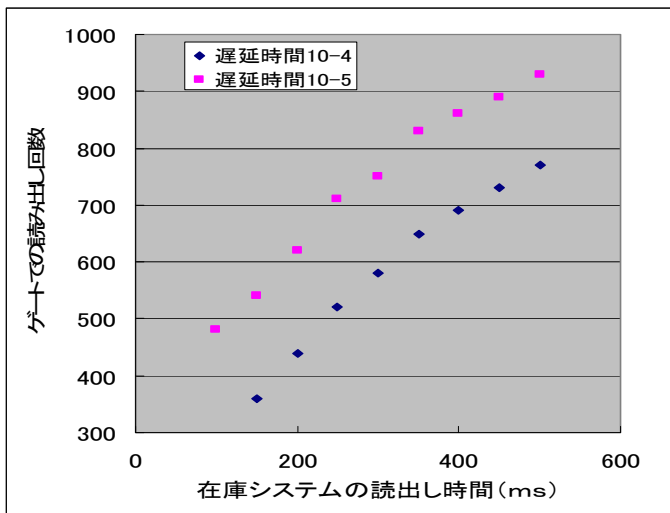


図6 ゲート遅延時間と在庫管理の読出し時間

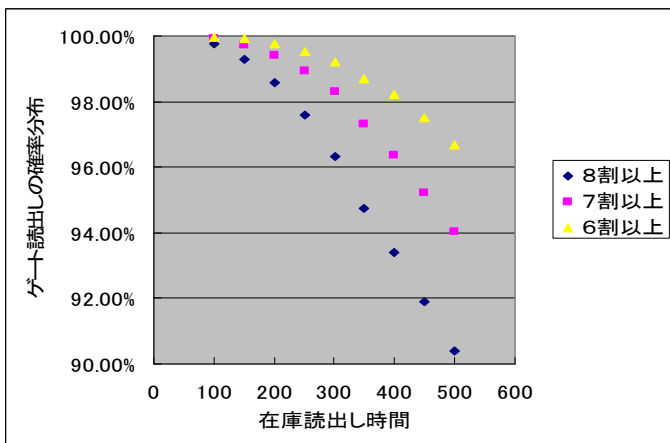


図7 有り高読み出し時間とゲートでの読み出し可能回数との関係

#### 4.3 課題のまとめ

在庫管理システムとゲートシステムが共存する場合は，ゲートのみで動作する場合，十分な読み出し回数を保持できる25ゲートであっても在庫管理の読み出し時間が長くなるとゲートでの読み出し回数が減って，リアルタイム性が必要なゲートでの読み出し精度が悪くなるのがわかる。

#### 5. 対策と検証

3章で述べたように，ラウンドを開始する前にタグを初期化（セッション初期化）する。Gen2規格では，セッションは4つ存在し，リーダ装置からのアクセスが停止しても一定時間状態を保持できる仕様となっている。この仕様を活用することで，ゲートでの読み出し精度の向上を図る。規格では，セッションS2、S3は2秒以上状態を保持できることとなっている。在庫管理側ではS2、S3いずれかのセッションを使用し，ゲート側ではそれ以外のセッションを使用する。さらに，在庫管理側では，ラウンド間で電波を一旦停止し，LBT後再開する方式を考える（図8）。

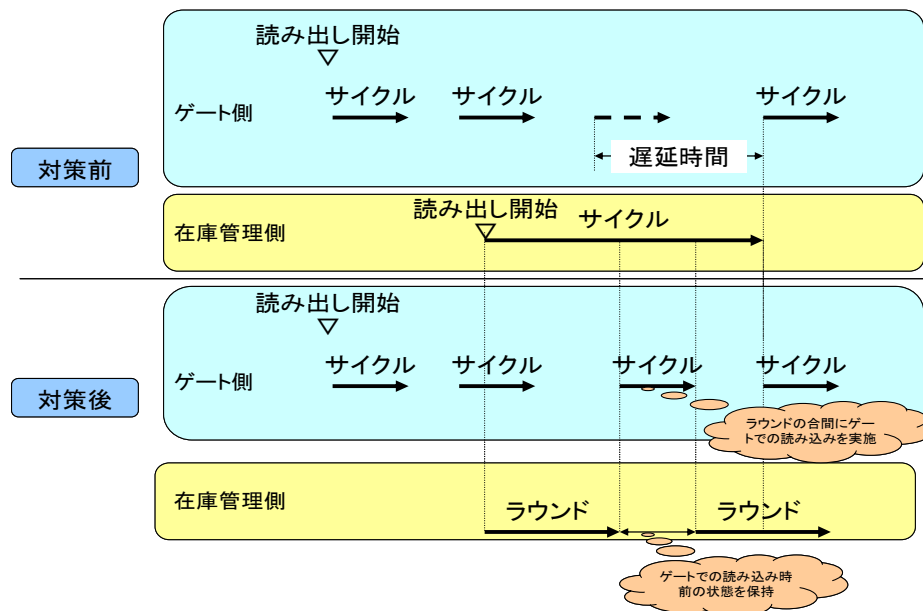


図8 対策対策のシーケンス

ラウンドあたり 8 枚を読むとすれば、1 ラウンドあたり 75 ミリ秒程度で、在庫システムの休止時間を LBT の休止時間 50 ms として再度シミュレーションを実施すると図 9 となる。

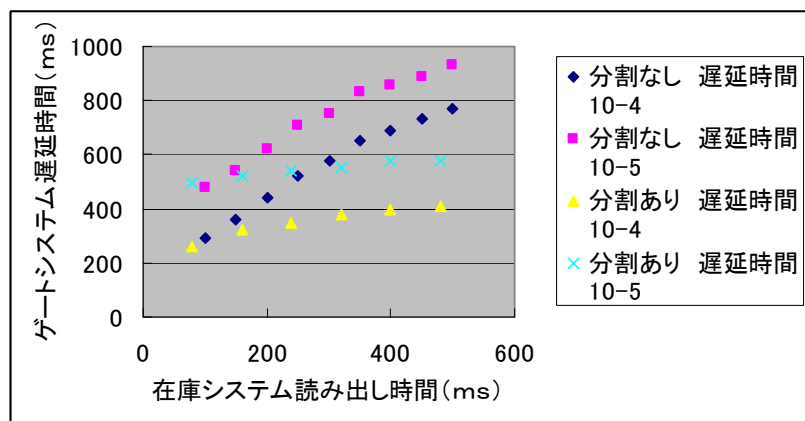


図 9 在庫システム読み出し時間とゲートシステムの遅延関係

分割なしは、従来方式のままのケースであり、99.99%あるいは99.999%での遅延時間の推移は、在庫システムの読み出し時間によって、ほぼ線形に増大するのに対して、ラウンドの合間にゲート装置に割り振ることによって、在庫システムの読み出し時間に対応してゲートシステムの遅延が極端な増加せずには推移することがわかる。

## 6. まとめ

UHF 帯の RFID システムにおいて、検出にリアルタイム性が必要なゲート装置と、たな卸などの非リアルタイム処理が共存する場合で、多数のリーダ装置間の電波干渉により遅延が発生するメカニズムの定量化とセッション管理をたな卸システムにおける一時的な電波の開放により、リアルタイム性を保持することが可能である。

## 参考文献

- 1) 清水 雅史, “ID タグの活用における無線通信の課題”, COMPUTER & NETWORK LAN, pp.16-81, オーム社, July 2004
- 2) 曾我部 靖志, 亀丸 敏久, 平 明德, “UHF 帯電子タグの読み取り装置間の干渉回避技術”, 月刊 EMC, No.202, pp.86-93, ミマツ, 2005
- 3) 曾我部 靖志, 相川 秀斗, 岩橋 勉, 亀丸 敏久 “UHF 帯電子タグシステムにおけるシステム間干渉問題”, 信学誌, Vol.89 No.2 pp156-161, 2006
- 4) 平 明德, 亀丸 敏久, 栗田 明, 曾我部 靖志, 石津 文雄, “UHF 帯 RFID 干渉回避策に関する検討”, 2005 信学総大, B-5-107, March 2005
- 5) 田中 良紀, 二宮 昭尚, 小林 秀幸, “UHF 帯 RFID システムにおけるリーダ干渉制御法”2006 信学総大, B-5-147, March 2006
- 6) 荒川 智史, “UHF 帯 RFID の課題と対策(4) -リーダ/ライタ装置・電子タグ間干渉の回避策検討”2006 信学総大, B-5-16, March 2006
- 7) 三次 仁, “重みつきチャネル選択による RFID 間の分散的干渉回避”, 2006 信学ソ大 (基礎・境界), AS-3-12, Sept 2006
- 8) 伊藤 岳広, 西川浩司, 船倉英俊, 荒川智史, 亀丸敏久, “多段階 LBT による近接システム間干渉回避方式の実証”, 2007 信学総大, B-7-126, March 2007
- 9) 伊藤岳広, 西川浩司, 荒川智史, 亀丸敏久, 高畑泰志, “UHF 帯 RFID の課題と対策 -リアルタイム化への方式検討-”, 2006 信学総大, B-5-15, March 2006
- 10) 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 報告書 (平成 17 年度)
- 11) Specification for RFID Air Interface EPC™ Radio-Frequency Identity Protocols Class-1 Generation-2 UHF RFID Protocol for Communications at 860 MHz - 960 MHz Version 1.0.9 Copyright notice 2004, EPCglobal Inc