

卒業制作 2005 年度 (平成 17 年度)

# ネットワーク型 RFID 技術に関する 実装・運用面からの考察

指導教員

徳田 英幸

村井 純

楠本 博之

中村 修

高汐 一紀

湧川 隆次

慶應義塾大学 環境情報学部

苧阪 浩輔

t02193ko@sfc.keio.ac.jp

平成 18 年 1 月 31 日

## 概要

RFID(Radio Frequency IDentification) デバイスおよび RFID 関連技術は、接触することなく個体識別を実現する特性から、実空間のモノに関する情報管理やイベント支援など、様々なアプリケーションを実現するためのデータプラットフォームとして現在注目を集めている。例えば大規模なイベント会場でどのように来場者や出展者が動くかを自動的に記録できると、様々なデータマイニングが可能となり、イベント主催者側は言うまでもなく、来場者側にもメリットのあるサービスが実現される可能性がある。出展者側は、自分のブースに興味を持った来場者の職種や年齢層、あるいは人の集まりやすい時間帯などを知ることができたり、出展者どうしの相互のつながりを、客観的に知ることができる。また来場者側にしても自分の行動履歴に関する蓄積情報に基づき、自分の興味分野のブース情報を紹介するサービスなどを実現できる可能性がある。

このような理由から、近年 RFID 技術がにわかに注目を集めるようになるが、そもそも RFID 自身が新しくかつ革新的な技術というわけではない。実際に電波伝搬によって微細なチップにデータを蓄えるだけで、上記のサービスを実現することはできない。インターネットをはじめとした情報インフラと協調することではじめてひとつの RFID タグに関連するデータを蓄積し、有効な情報を簡単に生成できるデータプラットフォームが実現できる。

RFID タグにユニークな ID を割り振り、その ID と関連する実情報をネットワーク上に蓄積したり検索できる仕組みとして、EPC network がある。現在 EPC network は有効なデータマイニングを実現する上で必要な、コンポーネントやプロトコルの標準化を進めている。しかし標準化の検討対象は実に多岐に渡る。電波特性を効率的に利用した RFID タグ可読率向上に関する Air プロトコルの規定、ネットワーク上のデータフォーマット、そのデータへのインターフェースの統一など、概観してもその範囲は幅広い。

現状では EPC network の仕様に沿って、サービスを実現するには、まだまだ難しい問題が山積している。筆者はそうした環境のなかで、数多くの実装や運用を経験してきた。この経験は非常に価値がある。したがって本論文では、今までに筆者が蓄積してきた RFID デバイスに関連したソフトウェア、あるいは大規模なイベント会場におけるインフラ設計・実装・運用に関するノウハウ、考察をまとめることとした。

## キーワード

1, ネットワーク利用型 RFID システム 3, EPC network

慶應義塾大学 環境情報学部  
芋阪 浩輔

## **abstract**

Recently, RFID device and related technology have attracted attention in various industry segments. RFID technology enables computers to identify each object in real-world even when the objects are non-computers, such as books and clothes without touching themselves. Within an RFID system, RFID tags and readers communicate using radio wave and there are so many components, not only software but also hardware. It is necessary to combine these many components to build one RFID system.

Today, the standardization of such components which is needed for RFID system is advanced by EPC network. It will be necessary to go in a variety of proof experiments repeatedly in the future, and then it is necessary to accumulate knowledge and the experience for every RFID system operator. In this graduate thesis, I will show you my knowledge and experience of RFID systems in certain aspects of software implementation and system operation. And then, I will discuss the issues of RFID systems.

## **Keywords**

1, Networking RFID System 2, EPC network

Faculty of Environmental Information, Keio University  
Kosuke OSAKA

# 目次

第1章	序論	1
1.1	RFIDの例	1
1.2	本研究の目的	2
1.3	本論文の構成	3
第2章	EPC network	4
2.1	EPC networkと標準化	4
2.2	EPC networkを構成するコンポーネント	5
2.2.1	EPC タグ	5
2.2.2	EPC リーダ	5
2.2.3	フィルタ&コレクション	5
2.2.4	EPCIS(EPC Information Service)	6
2.2.5	ONS(Object Name Service)	6
2.3	EPC networkとアプリケーション	6
2.4	EPC networkで利用されるプロトコル	7
2.4.1	EPC タグとリーダ間プロトコル	7
2.4.2	EPC リーダと上位コンポーネント間プロトコル	7
2.4.3	フィルタ&コレクションと上位コンポーネント間プロトコル	7
2.4.4	アプリケーションと外部システム間通信プロトコル	8
2.4.5	アプリケーションと名前解決サービス間通信プロトコル	8
第3章	ALIEN社製リーダ制御ソフトウェアの開発	9
3.1	概要	9
3.2	ALIEN社製リーダコンポーネント	10
3.2.1	リーダとの通信方式	10
3.2.2	RFIDパッシブ型タグ	12
3.2.3	Nanoscanner Reader	12
3.3	リーダとホスト間通信プロトコル	14
3.4	設計	16
3.4.1	設計要件	16
3.4.2	設計	17
3.5	実装	17
3.5.1	実装環境	17

3.5.2	実装したコマンド例	18
3.6	考察	18
3.6.1	本研究で実現できたこと	18
3.6.2	今後の課題と問題点	18
<b>第4章</b>	<b>RFID リーダと上位モジュール間の Reader Adapter の実装</b>	<b>20</b>
4.1	概要	20
4.2	Wire Line Protocol	21
4.2.1	Reader Adapter の必要性	22
4.3	Reader Adapter の設計	23
4.3.1	機能要件	23
4.3.2	設計	24
4.4	実装	24
4.4.1	実装環境	24
4.4.2	実装	25
4.5	考察	25
4.5.1	実現した機能	25
4.5.2	RA に関する考察	26
<b>第5章</b>	<b>ORF2004 における RFID 基盤の設計と実装</b>	<b>27</b>
5.1	概要	27
5.2	設計	28
5.2.1	ORF2004 会場について	28
5.2.2	目的	28
5.2.3	装置の選定について	29
5.2.4	システムの機能要件	31
5.3	実装	34
5.3.1	HF 花子リーダ	34
5.3.2	HF PDA リーダ	35
5.3.3	リーダとミドルウェア間インターフェース	35
5.3.4	ミドルウェアと SQL 間インターフェース	36
5.3.5	ミドルウェア性能評価	36
5.3.6	ミドルウェアとデータベース間インターフェース	37
5.3.7	データベース構成	37
5.3.8	データベーススキーマ	37
5.4	考察	38
<b>第6章</b>	<b>UHF 帯電子タグを用いた来場者動線記録システムに関する考察</b>	<b>40</b>
6.1	概要	40
6.2	UHF 帯の特徴と課題	40
6.2.1	UHF 帯 RFID 技術の特徴	41

6.2.2	UHF 帯 RFID 技術の課題	41
6.3	システム設計	43
6.3.1	システムの機能要件	43
6.3.2	装置の基本性能	44
6.4	リーダアンテナ位置の設計	47
6.4.1	電波防護指針	47
6.4.2	ペースメーカー等医療機器への影響	47
6.4.3	電波保護指針に関するアンテナ出力の検討	48
6.4.4	リーダアンテナ取り付け位置に関する検討	48
6.5	結論	51
<b>第 7 章</b>	<b>実装・運用面から見た RFID システムの考察</b>	<b>52</b>
7.1	デバイスの抽象化に関する考察	52
7.2	運用上の問題	53
7.3	UHF 帯電波伝搬における課題	54
7.3.1	読み取り率向上への課題	54
7.3.2	電波法を考慮した運用への課題	54
<b>第 8 章</b>	<b>結論</b>	<b>56</b>
8.1	本研究の成果	56
8.2	今後の課題	58

# 目 次

1.1	電子 IC カードの例 . . . . .	1
1.2	EPC network の概要図 . . . . .	2
2.1	EPC network のコンポーネント . . . . .	4
2.2	RFID タグの微細な IC チップ . . . . .	5
2.3	コンポーネント間のプロトコル . . . . .	7
3.1	リーダと上位モジュール間の通信方式 . . . . .	10
3.2	ALIEN 社製 UHF タグ群 . . . . .	12
3.3	リーダのタグリスト管理のコンセプト . . . . .	13
3.4	ALIEN 社製 UHF リーダ本体とアンテナ . . . . .	13
3.5	コマンド群一覧 . . . . .	15
3.6	リーダ制御モデル . . . . .	16
4.1	タグからアプリケーションまでのコンポーネントとインターフェース . . . . .	21
4.2	ReadPoint 指定コマンドラインフォーマット . . . . .	22
4.3	ベンダ独自通信プロトコルの状態 . . . . .	22
4.4	Reader Adapter イメージ . . . . .	23
4.5	Reader Adapter イメージ . . . . .	25
5.1	ORF 会場図 . . . . .	28
5.2	HF タグ (ISO15693) サンプル . . . . .	29
5.3	来場者のタグホルダー . . . . .	30
5.4	花子リーダ . . . . .	30
5.5	LOOX + OMRON R/W . . . . .	31
5.6	Reader Control Module . . . . .	33
5.7	基盤構成概要図 . . . . .	34
5.8	HTTP/GET Query Format . . . . .	35
5.9	"ナマ" データベーススキーマ . . . . .	38
6.1	要素ごとの通信距離ガイドライン . . . . .	42
6.2	測定環境イメージ . . . . .	45
6.3	伝搬強度測定値 . . . . .	45
6.4	PET タグ (UHF タグ) と HF タグの貼り付け図 . . . . .	46

6.5	UHF タグへの HF タグ貼り付け位置 . . . . .	46
6.6	電波防護指針による計算値 . . . . .	47
6.7	アンテナから人体頭部 (180cm) までの最短距離 . . . . .	48
6.8	人体頭部 (180cm) での電界強度 . . . . .	49
6.9	アンテナゲート . . . . .	49
6.10	ゲート写真図 . . . . .	50
6.11	110cm 高での電界強度 . . . . .	50

# 表 目 次

3.1 シリアル通信における各パラメータ . . . . .	11
3.2 Get Taglist の引数、返り値 . . . . .	17
6.1 HF tag interaction . . . . .	46

# 第1章 序論

本章では、本研究の背景および目的について述べる。また、本論文の構成について述べる。

## 1.1 RFID の例

### ネットワーク型 RFID 技術

近年 RFID(Radio Frequency IDentification) をはじめとした、無線通信を利用した非接触型の自動認識技術が注目を集めている。身近な例としては回転寿司のお皿の中に RFID タグを埋め込み、携帯型のリーダライタを用いて精算を行うシステムがあげられる。このシステムでは、従来お皿の色や模様で店員が判断していたそれぞれの寿司の価格を自動認識することにより、清算時の間違いを減らしたり、清算にかかる時間を向上させることが出来る。また、JR 東日本の非接触 IC カードを用いた自動改札システム Suica(Super Urban Intelligent CArd)[1] や、電子マネーの Edy カード [2] やお財布携帯 [3] など現在広く社会に浸透している RFID 技術の一部である。。下の図 1.1 は現在身の回りで実際に使われている RFID の例である。



図 1.1: 電子 IC カードの例

RFID とは、微小な IC チップを使った無線通信による識別技術であり、数 cm 程度の大きさのタグ (RFID タグ) の微細な IC チップにデータを記憶し、電波や電磁波で読み取り器 (RFID リーダ) と交信する。RFID の特徴として、非接触でのデータ読み込みや書き換えが可能、汚れやほこり等の影響を受けない、複数のタグへの同時読み書きが可能などが挙げられる。

RFIDを利用してシステムを構築する場合には、大きく2つの方向性が考えられている。ひとつはRFIDタグのチップ内メモリに着目し、RFID内部のメモリにさまざまな付加データを保持する方法で、こちらはデータキャリア型RFIDシステムと呼ばれる。他方、RFIDの遠隔かつ高速に大量のIDが読み取れる能力に着目して、RFID内部のメモリではなく、外部のシステムに付加データを保持する方法があり、こちらはネットワーク型RFIDシステムと呼ばれる。

ネットワーク型RFIDの例として、現在バーコードに替わり、製品の製造・流通・在庫管理・販売・決済に至るまでを一貫管理することを目的としたEPC networkが注目を集めている。このEPC networkのアーキテクチャの研究開発を行っている団体をITF(Implementation Task Force)という。

また慶應義塾大学を含めた世界の7大学に、Auto-ID Labs.[4]といわれる研究機関も存在する。EPC Global[5]のアーキテクチャは、Auto-IDシステムとも呼ばれているが、Auto-ID Lab.の研究アクティビティは製造や流通、小売に至るまでだけでなく、より幅広い利用モデルの考案を進めている。下図1.2はEPC networkの概略図を示している。

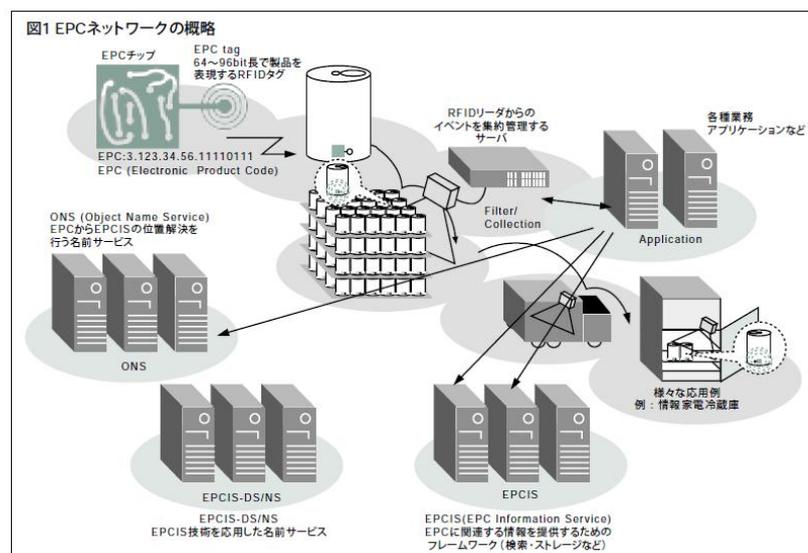


図 1.2: EPC network の概要図

## 1.2 本研究の目的

近年RFIDシステムに関する様々な実証実験、あるいは試験運用が多種多様な分野で行われるようになってきた。しかし実運用段階になかなか進めず、期待されている割に普及が遅れている。その主な原因として、様々なRFIDを利用したアプリケーションを始めるに当たっての技術的な課題が、数多く残っているためだと考えた。本研究

では、主に RFID 基盤技術を実装、運用する中で、特に重要と考えられる 3 つの課題に取り組んだ。

具体的には、RFID リーダとリーダの上位に位置する機器あるいはソフトウェアモジュール間の通信プロトコルの設計と実装、中～大規模なイベント会場における RFID 基盤の設計と実装、UHF 帯パッシブタグを利用したイベント会場での来場者動線管理システムの実現性に関する検討などを行い、それぞれに関しての知見を得た。

これらの知見により、今後様々な RFID アプリケーションを運用するのに有効なデータマイニングを行える基盤設計を行うことが可能となる。

### 1.3 本論文の構成

第 2 章では、本研究に関係する EPC network の概要を述べる。ネットワーク型 RFID 技術の例として、どのようなコンポーネントから構成されているのか、どういったプロトコルが準備されるべきなのかを理解することができる。第 3 章では、RFID デバイスの主要部品であるリーダ制御ソフトウェアの実装と設計について述べる。第 4 では、Reader Adapter の設計、実装について述べる。第 5 章では、ORF2004 という比較的大規模なイベント会場で行った RFID インフラの設計・実装に関して述べる。第 6 章では、ORF2005 において行った UHF 帯 RFID タグを用いた動線記録システムの実現性に関する考察について述べる。第 7 章では、各章から導かれた問題点や考察をまとめて整理する。第 8 章では、本研究のまとめと今後の課題について述べる。

## 第2章 EPC network

本章では、ネットワーク型 RFID システムの標準規格の一つである EPC network について概観し、現行モデルを実運用するにあたり、問題となる点の整理を行う。

### 2.1 EPC network と標準化

EPC network は EPC を利用するための技術的な基盤である。標準化が進められている EPC network の関連技術としては、EPC タグと EPC リーダ間の無線プロトコル (Air Protocol) などのハードウェア技術と、EPC リーダの制御方法や EPC に関連する情報を扱う情報サービス、名前解決サービス、EPC network を構成する各コンポーネント間の通信プロトコルなどのソフトウェア技術が含まれる。

それぞれの技術は、EPCglobal の前身である Auto-ID Center 時代から研究が勧められてきた成果も含まれ、また今後 RFID 技術全般の技術開発、研究活動が Auto-ID Labs では進められていく。また EPCglobal に特化した RFID 技術の推進は、EPCglobal の標準化組織である ITF が中心となって検討され、EPCglobal から標準として勧告される。図 2.1 は、EPC network におけるコンポーネント群を網羅したものである。各コンポーネントについては次節で述べる。

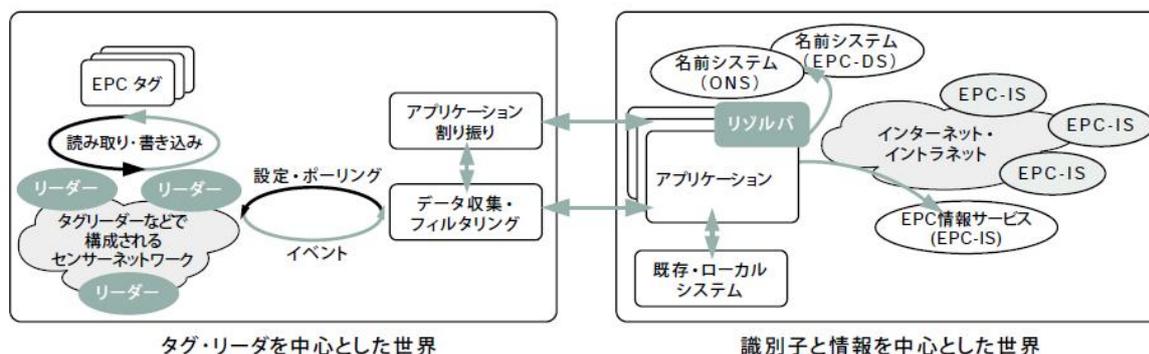


図 2.1: EPC network のコンポーネント

## 2.2 EPC networkを構成するコンポーネント

図 2.1 にもあるように、EPC network は複数のコンポーネント要素の上に成り立つ仕組みである。本節では、EPC network の主要なコンポーネントについて、その役割を説明する。

### 2.2.1 EPC タグ

EPC[6] という電子商品番号が格納された RFID タグ。現在 EPCglobal で標準化が勧められているのはパッシブ型の RFID タグで、EPC リーダからの電波を利用して動作する。

RFID タグは、微細なチップ部分 (下図 2.2) とアンテナ部から構成され、インレットの形となっている。

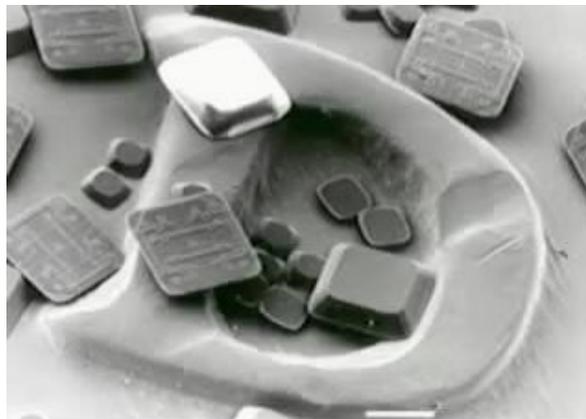


図 2.2: RFID タグの微細な IC チップ

### 2.2.2 EPC リーダ

EPC タグに格納されているデータの読み取り、書き込みを行うためのデバイス。現在の EPC タグはパッシブ型の RFID タグなので、それに対応した電波送信機および受信器となっている。

### 2.2.3 フィルタ&コレクション

EPC リーダからのデータを集約し、ミドルウェアやアプリケーションなど、上位コンポーネントに渡すためのコンポーネント。EPC リーダからのイベントに対して、不要な情報が含まれていることが多いため、必要に応じてフィルタする機能が含まれる。

## 2.2.4 EPCIS(EPC Information Service)

EPCに関連する情報を扱うコンポーネント [7]。EPCに関連する情報の参照、検索、記録を行う。EPC networkにおけるコアコンポーネントの1つであり、ひとつのEPCに関連する情報でも分散した状態で情報を扱うことができる。また既存のデータベースシステムと協調していくことも、今後の要求条件となることが予想される。既存のデータベースシステムがEPC networkに参加できるようEPCISがそのためのインターフェースとして働くことが期待される。

## 2.2.5 ONS(Object Name Service)

ネットワーク上に分散配置されているEPCISの場所を特定するための手段の一つとして考えられているサービスを指す [8]。EPCに関連する情報は、ネットワーク中の複数の場所に遍在しているだけでなく、動的に変更されることもあり、ONSのようなサービスを必要とする。現行ONS ver.1.0では、既存のインターネット上のサービスであるDNSを用いて名前解決する方法が規定されている。

EPCglobalではDNS以外の方法を用いる名前解決サービスも議論されており、EPCDS(EPC発見サービス)や、EPCNS(EPC名前サービス)といった提案がなされている。

## 2.3 EPC networkとアプリケーション

この章で論じているEPC networkだけでは、実際にユーザが必要とする "情報" を得るための処理が行われるわけではない。必ず読み取られたEPCに関連した "データ" を処理するための「アプリケーションソフトウェア」と組み合わせる必要がある。

例えば、イベント会場などにおいてどのように来場者や従業員が動くのかを、EPCを用いて自動的に記録することができれば、様々なデータマイニングが可能となり、主催者側のみならず、イベント出展者や来場者にも有益な情報を提供できる。しかしEPC networkではあくまでEPCのデータを収集管理することしかできない。例えば、EPCと来場者の個人情報をマッチングし、当日来場者自身が見て回った出展ブースの情報をメールで送信してもらうといったサービスは、アプリケーションが存在して初めて成立する。

## 2.4 EPC network で利用されるプロトコル

EPC network では、情報基盤としてのコンポーネントが規定されていることは、第1節で述べた。また EPC network では、図 2.3 に示しているような、各コンポーネント間の通信プロトコルの標準も行われている [9]。

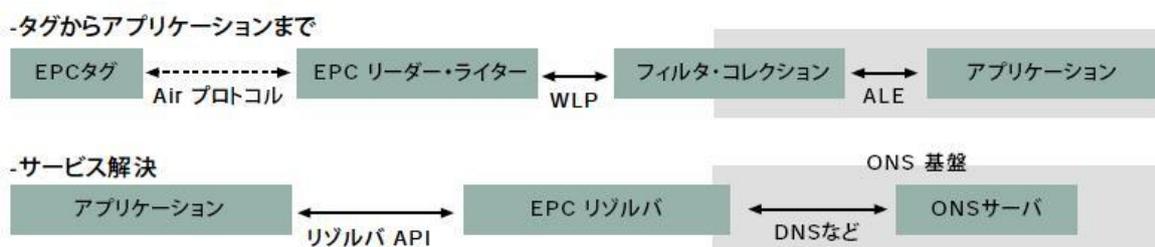


図 2.3: コンポーネント間のプロトコル

### 2.4.1 EPC タグとリーダー間プロトコル

Air プロトコルと呼ばれる無線プロトコルが規定されている。特に 2004 年前半から検討が始まった UHF 帯の標準プロトコルとして、GEN2(第 2 世代 UHF タグ)[10] の検討が進められている。Gen2 では、各ベンダーのタグが同一のプロトコルを利用することで、相互接続性を提供することを目的としている。

### 2.4.2 EPC リーダと上位コンポーネント間プロトコル

リーダーへのコマンドラインも、各ベンダーのリーダー間で統一される必要がある。この際の通信プロトコルを WLP(Wire Line Protocol) あるいは、Reader Protocol[11]、Reader Management Interface といったプロトコルとして規定されている。WLP 採用のリーダーを用いることでベンダー間の相互運用性が保証されることになる。

### 2.4.3 フィルタ&コレクションと上位コンポーネント間プロトコル

フィルタ&コレクションコンポーネントで処理されたデータを、アプリケーションに通知するためのプロトコルも標準化が進められている。ALE(Application Level Event) と呼ばれるプロトコル [12] で、アプリケーションが必要とするデータを扱えるようにしている。

#### 2.4.4 アプリケーションと外部システム間通信プロトコル

外部システムである EPCIS を扱うためのフレームワークやプロトコルも標準化が進められている。EPCIS 自体がまだ検討途中であり、プロトコル自体も規格が詰められていないが、既存の企業システムなどの古いシステムなどとの連携も考慮した形になると考えられている。

#### 2.4.5 アプリケーションと名前解決サービス間通信プロトコル

アプリケーションから ONS などの名前解決サービスを利用するために、リゾルバコンポーネントとその API の議論がなされている。

# 第3章 ALIEN社製リーダ制御ソフトウェアの開発

本章では、ALIEN社 [13] 製の RFID Reader/Writer(以下リーダ) を PC UNIX マシンから制御するソフトウェアの設計・実装に関して概説する。このソフトウェアは、ネットワーク型 RFID システム全体を構成するソフトウェアを眺めた場合、全体を構成するひとつの重要な構成パーツとなる。RFID 技術は、このようなソフトウェア・ハードウェア両方のパーツの組み合わせで構成される。

本論文における本章の役割は、開発したソフトウェアの概要を述べるに留まらない。すなわち、ネットワーク型 RFID 技術という巨大な仕組みがどういった基本コンポーネントから成立するのか、という理解を助ける。

## 3.1 概要

Auto-ID システムを始めとしたネットワーク型 RFID 技術は、様々なハードウェアやソフトウェアをその構成コンポーネントとして組み合わせることで実現する。例として、RFID タグ、リーダ、データベースサーバなどのコンピュータなどのハードウェアが挙げられ、そのタグとリーダ間、リーダと上位サーバ間などのインターフェースとしてのソフトウェアなどが挙げられる。近年 RFID 技術は大きなビジネスチャンスと考えられ、様々なベンダーが RFID のタグやリーダ、ソフトウェアを提供するようになった。しかし、我々ユーザサイドがそれらを購入し、実験やシステムの一部として導入しようと考えた場合、それらのコンポーネントだけでは RFID システムは実現できず、ユーザサイドでプログラムをカスタマイズする必要のある場合が多い。またベンダー毎にハード的な仕様も異なることから、プログラムの実装のコストを上げる原因となっている。

本章は、そのようなユーザサイドの視点から、実際に R/W 制御を行うプログラムを実装した。まず、実装にユーザサイドが利用するに先立ち、どのベンダーのリーダを使うのか、どういった機能が必要があるかを検討する必要がある。しかしこのソフトウェアの設計・実装を行った 2003 年当時、まだ RFID リーダの市場に出回っていた数も少なく、手元にあるリーダ機種も限られていた。

結果として、米 ALIEN 社製のパッシブ型 UHF 帯リーダと、その UHF タグをハードウェアのサンプルとして採用した。採用理由は、本研究を行った 2003 年上半期当時、利用できる長距離通信可能な RFID リーダとして、ALIEN 社のものがあったというこ

とや、ALIEN 社製リーダが EPC network(当時 Auto-ID Center) の標準仕様に近かったという理由がある。ALIEN 製リーダを Free BSD 上で R/W を制御するソフトウェアを実装した。本プログラムを利用することで、上位モジュールはリーダの詳細なシリアルデバイスの設定モジュールや、リーダのネットワークインターフェースモジュールを意識することなく、コマンドでの設定一つで制御することができるようになった。また CUI のみのインタフェースで、GUI などは今回用意しなかった。しかし本研究はリーダ制御部分の設計実装が目的であり、システムとして成立させることが目的ではないので GUI ではなく CUI での操作となった。

## 3.2 ALIEN 社製リーダコンポーネント

本節では、実際に制御対象として利用した ALIEN TECHNOLOGY 社製 RFID リーダ (製品名:Nanoscanner Reader) に関するコンポーネント毎の概説を行う。また同時に、本コンポーネントを利用する際の大まかなオペレーションについても、流れを整理する。

まず始めに、リーダと上位モジュール (ここではホストとなる PC) 間の、物理的なネットワークインターフェースに関する説明を行う。具体的には、以下の3つの方式がベンダー側から準備されている。

### 3.2.1 リーダとの通信方式

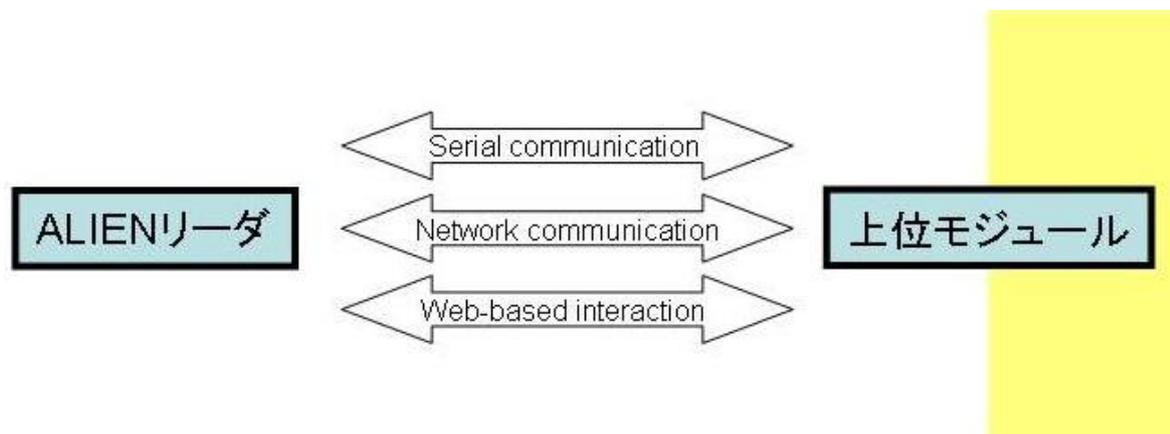


図 3.1: リーダと上位モジュール間の通信方式

- シリアル通信
- ネットワーク通信
- web ベースでの通信

## シリアル通信

上位モジュールとしてのホスト PC が、直接シリアルラインでの通信でのコマンドラインのやりとりを行う形式である。その際、ホスト PC 上でターミナルなどから、直接リーダへコマンドを TEXT フォーマットか XML フォーマット [14] で送信するかを選択することが可能となる。また、RS232-C ケーブルでの接続を前提とされる。シリアル通信における各設定パラメータは以下の通りである。

表 3.1: シリアル通信における各パラメータ

Baud Rate	: 115200
Data Bits	: 8
Parity	: None
Stop Bits	: 1
Flow Control	: None

## ネットワーク通信

上位モジュールとリーダ間が物理的に離れた距離にある場合、インターネットあるいは、イントラネットを通じてコマンドを発行することも可能である。リーダには、Ethernet ポート (10 Base T) が標準で付いており、リーダをネットワークにつなぐことが可能である。また DHCP を用いることでネットワークに参加させることができる。もし DHCP の取れないネットワークに関しても、上述のシリアル接続から、telnet によってネットワークに関するコンフィグを設定することが可能である。

## web ベースでの通信

ALIEN リーダ内は、Web サーバを立ち上げることも可能になっている。これによりネットワークに参加させることに成功したリーダに関しては、web ブラウザを通してリーダを制御したり、コンフィグの設定を行ったりすることができる。

### 3.2.2 RFID パッシブ型タグ

本製品のコンポーネントとして用意されている UHF 帯パッシブ型 RFID タグ [?] に関する概要を述べる。実際の製品コンポーネントとしては、電源を持たないパッシブ型タグのみ同梱されていたが、User Guide によると、同社で製品化されているバッテリー型のロングレンジタグなども仕様として準備されている。

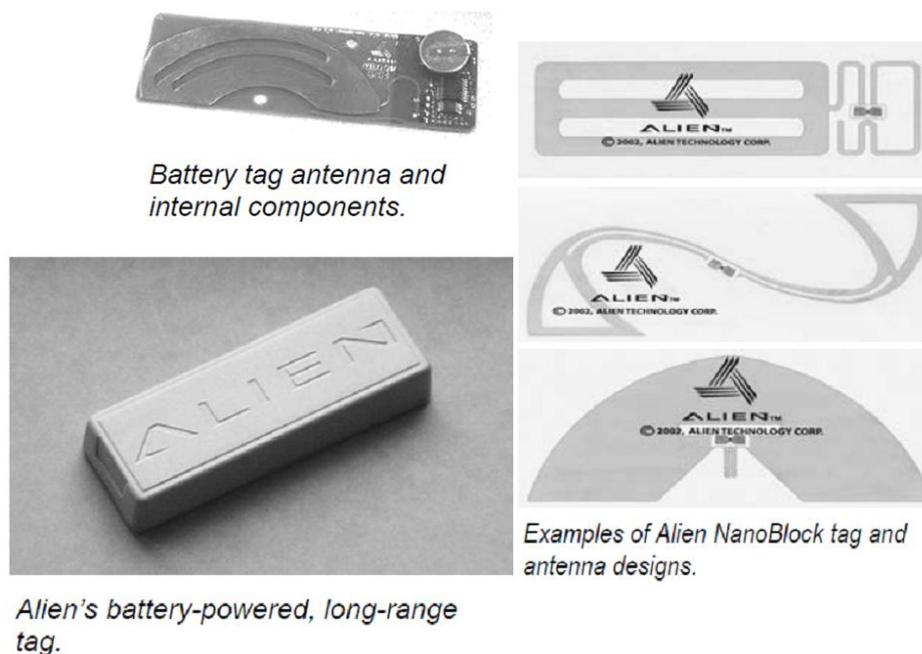


図 3.2: ALIEN 社製 UHF タグ群

### 3.2.3 Nanoscanner Reader

リーダの基本的な役割は、RFID タグを読み込み、タグのリストを保持し、そのリストをユーザあるいは上位アプリケーションに照会させることである。リーダの保持するタグ ID リストのコンセプトは、以下の図 3.3 に示すように、新しく検出されたタグ ID をリストに追加していき、検出されなくなったタグ ID をリストから外していくというものである。

ALIEN 社製 RFID リーダは、図 [?] のように、リーダ本体部とアンテナ部が別個の筐体となっている。またリーダ本体にはアンテナ同軸ケーブルをつなぐポートが 2 つ用意されている。これは、1 つのリーダ本体に対して 2 つのアンテナを同時につなぐことが可能なためである。

UHF 帯の RFID リーダとタグ間の通信は、数メートル距離が離れていても可能である。そのため複数の RFID タグを複数個同時にリーダが読み取ることも可能である。し

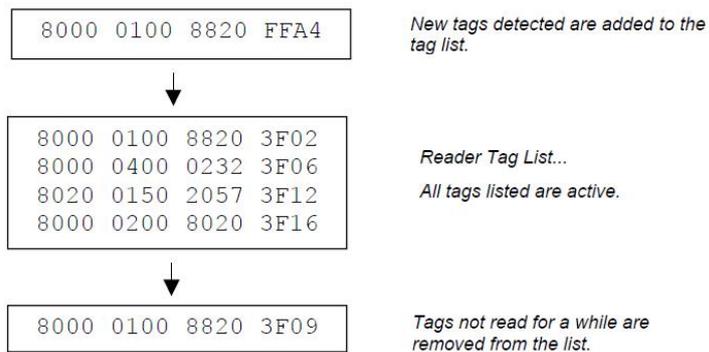


図 3.3: リーダのタグリスト管理のコンセプト

かし、電波伝搬の特性上、あるいは運用環境などの外的要因により、タグの受信電波が距離ときれいな比例関係を取らず、したがって安定した利得を得ることができないことが問題となると考えられている。そのための解決策として、一つのリーダーに複数のアンテナを取り付け、タグの受信利得を安定させることが現在考えられている。

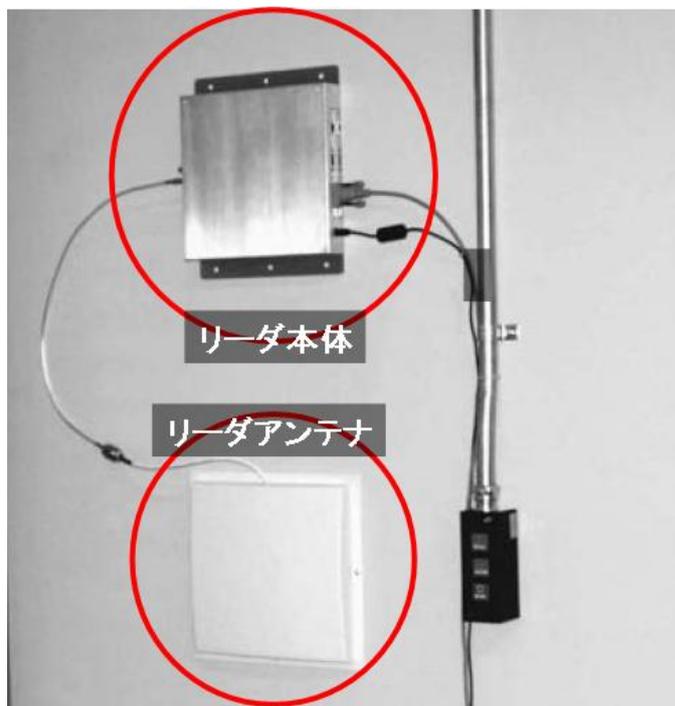


図 3.4: ALIEN 社製 UHF リーダ本体とアンテナ

### 3.3 リーダとホスト間通信プロトコル

本節では、ALIEN Technology 社製 UHF nanoscanner と上位モジュール間で規定されている通信プロトコルについて概観していく。

リーダーと上位モジュール間の物理的なネットワークインターフェースについてはすでに述べたように3通りの手段が用意されている。各物理インターフェースのいずれかを利用することで、上位モジュールは plane text によるフォーマットか、XML フォーマットによるコマンドラインの送受信を行う。

用意されているコマンドラインは以下のような機能群に分けられる。

- General Commands
- Network Configuration Commands
- Time Commands
- External I/O Commands
- Tag List Commands
- Autonomous Mode Commands
- Notify Mode Commands

用意されているコマンドラインの概要は以下の図 3.5 のようになっている。

## Command List

### General Commands

- Help
- Info
- ! *(repeat last command)*
- Q (Quit) *Telnet Only*
- Get/Set ReaderName
- Get ReaderType
- Get ReaderVersion
- Get/Set Username
- Get/Set Password
- Get/Set AntennaSequence
- Reboot
- FactorySettings

### Network Configuration Commands

- Get/Set DHCP
- Get/Set IPAddress
- Get/Set Gateway
- Get/Set Netmask
- Get/Set DNS
- Get/Set HeartbeatPort
- Get/Set HeartbeatTime
- Get/Set CommandPort

### Time Commands

- Get/Set Time
- Get/Set TimeZone
- Get/Set TimeServer

### External I/O Commands

- Get/Set ExternalOutput
- Get ExternalInput

### Tag List Commands

- Get/Set AcquireMode
- Get/Set PersistTime
- Get TagList (n)
- Get/Set TagListFormat
- Clear TagList

### Autonomous Mode Commands

- Get/Set AutoMode
- Get/Set AutoWaitOutput
- Get/Set AutoStartTrigger
- Get/Set AutoWorkOutput
- Get/Set AutoAction
- Get/Set AutoStopTrigger
- Get/Set AutoStopTimer
- Get/Set AutoTrueOutput
- Get/Set AutoTruePause
- Get/Set AutoFalseOutput
- Get/Set AutoFalsePause
- AutoModeReset

### Notify Mode Commands

- Get/Set NotifyMode
- Get/Set NotifyAddress
- Get/Set NotifyFormat
- Get/Set NotifyTime
- Get/Set NotifyTrigger
- Get/Set MailServer
- NotifyNow

図 3.5: コマンド群一覧

## 3.4 設計

本研究におけるリーダ制御プログラムで実現すべき機能は以下の2点である。

- ホスト PC 上のターミナルから、リーダ制御コマンドラインの送受信が可能
- リーダの物理的ネットワークインターフェースの設定を上位モジュールに意識させない

本節では上位モジュールからリーダに対して、リーダの保持するタグリストを要求する、あるいはリーダ自体の物理的ネットワークインターフェースなどを設定を自動化するためのリーダ制御プログラムの設計を行う。以上2点の要件を満たすことで、今後 ALIEN 社製 RFID リーダを制御する様々な UNIX マシン上でこのプログラムを流用することができ、生産コストを抑えることが可能となる。

設計要件のもと、前節の表のコマンドラインを送信できるプログラムを設計した。以下はハードウェア的な全体像と、操作の流れのイメージである。

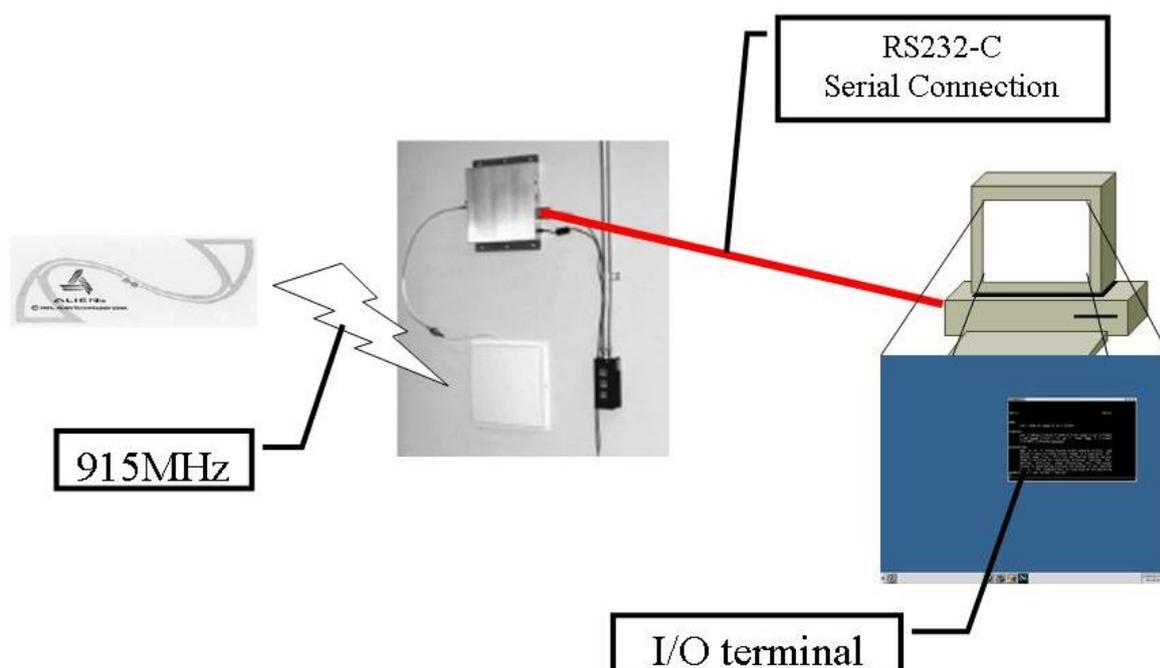


図 3.6: リーダ制御モデル

### 3.4.1 設計要件

上位モジュールが動作するホスト PC から、リーダへの物理的ネットワークインターフェースとして、本研究では RS232-C を採用し、シリアル通信で行うモデルを考えていく。

また、リーダへのコマンドラインの記述方式として Plain TEXT を送受信する方式と、XML フォーマットで送受信する方式の2通りが用意されている。本研究では、ホスト PC とリーダを RS232-C により物理的に接続し、ホスト PC のターミナルを通じ、直接命令コマンドのやりとりを行うプロトタイプを考える。したがって今回実装において、Plain TEXT のやりとりを前提とする。

### 3.4.2 設計

ALIEN 社製リーダで実装されている各コマンドに対して、上位モジュールからリーダへ送信すべきコマンドラインの引数や戻り値が規定されている。今回の実装では、ALIEN 社の規定する仕様の通りに設計し、リーダと通信することを目標とした。

以下の表は、Tag List Commands 中の Get Tag List コマンドについての引数と戻り値を表している。

表 3.2: Get Taglist の引数、戻り値

Get Taglist	
引数	Get Taglist
戻り値の例	Tag:0002 0030 A233 0400, CRC:B340, Disc:2002/03/23 15:36:33, Count:4

## 3.5 実装

上述の設計を基に実装を行った。本節では、実装した環境、実現したコマンド群に関して述べていく。以下の図は、実装モジュール図である。

### 3.5.1 実装環境

実装環境は以下の通りになっている。

- Host PC
  - ThinPad X22 512M
  - FreeBSD 4.9-R
  - C 言語
- RFID デバイス
  - ALIEN Technology Nanoscanner (RFID Reader/Writer)
  - AIDC Class1 Tag

### 3.5.2 実装したコマンド例

以下、実装したコマンド群である。

- GetTaglist
- ClearTaglist
- killID

## 3.6 考察

本節では今回実装したリーダ制御プログラムに関する考察を行う。

### 3.6.1 本研究で実現できたこと

本研究で実装したプログラムで実現できた項目の整理を行っていく。本研究では、大きく分けて以下の2つの項目を達成することができた。

#### リーダイベントの抽象化

本研究の実装により、ユーザ側がリーダに対しての細かい設定を意識せず制御することができるようになった。

これまでは、リーダを制御する際シリアルポートのビットレートやパリティチェックの有無などの物理的なネットワークインターフェースに関する本来のリーダ制御とは関係のない部分の実装を必要とした。しかし今回の制御プログラムを上位モジュールが利用することで、上位プログラムは、各コマンドラインに対しての引数と返り値だけを意識するだけでよい。

#### 汎用的なリーダ制御プログラムモジュールの実現

今後様々な場面で、この ALIEN 社製 RFID リーダを利用する場面が出てくる。その時、リーダ制御のためのホストとなるコンピュータは、その場面場面で異なる。今回のリーダ制御プログラムでは、ホストのマシン OS が BSD 系である場合、参照すべきシリアルデバイスファイル名を指定しなおすだけで同じプログラムを流用することが可能となるようコンポーネント化することができた。すなわち、プログラムの流用性を高めることを実現できた。

### 3.6.2 今後の課題と問題点

次に今後の課題について述べる。

## 複数ベンダー製リーダの抽象化

本研究では、ALIEN Technology 社の UHF 帯リーダをサンプルに実装した。しかし近年より多様なベンダー、メーカーから RFID リーダが開発され始めている。

背景でも述べた通り、ネットワーク型 RFID システムは大規模な運用が期待されている。そのため一つのシステム内に、多種多様なリーダが存在することが実際に想定される。上位モジュールは多種多様なリーダの細かい仕様の違いを隠蔽、あるいは抽象化された形でリーダイベントを必要とする。しかし本研究は ALIEN 社製のリーダのみのイベントの抽象化しか実現されていない。今後の課題として、複数のリーダを同時に制御することが実運用上求められる。そのための解決手段として、以下の 2 通りが考えられる。

- リーダと上位ホスト間の通信プロトコルの統一化
- 複数ベンダー仕様の通信プロトコルの違いを吸収するミドルウェアの開発

現状の RFID リーダと上位モジュール間通信の問題点として、現在のリーダと上位ホスト間の通信プロトコルは、ALIEN 社製 RFID リーダがそうであるように、リーダベンダ独自の通信プロトコルフォーマットとなっていることが挙げられる。例えば ALIEN Technology 社のリーダと、OMRON 社製のリーダでは、リーダと上位モジュール間の通信プロトコルはまったく異なる。

現在ネットワーク型 RFID 技術の標準化活動を行っている団体として、EPC network[5] が先に挙げられたが、2003 年後期に、リーダと上位モジュール間の通信プロトコルに関する標準化活動が開始された。

1 つめの提案はこの標準プロトコルの実現を指す。仮に EPC global 仕様が固まり、グローバルスタンダードとなり、各ベンダーが採用することで通信プロトコルに関する問題は解決することができる。ただし、今後開発されるリーダに関しての指針はできたが、すでに開発され市場に出回っているリーダは今後この仕様を追従することはできない。このようなリーダ資源を有効活用する手段を今後考えていく必要がある。

そして 2 つめの提案では、こういった市場に出回っているリーダも有効活用することのできる可能性を示している。すなわち、現在のベンダー仕様プロトコルと、標準化プロトコルの変換をしてくれるミドルウェアを、RFID リーダと上位モジュール間に準備する。このミドルウェアによって、上位モジュールは、あたかも標準プロトコルで RFID リーダと通信しているようになる。しかしこのようなミドルウェアを開発し、ひとつひとつの RFID リーダに対応させていくことは、コストのかかる問題と考えられる。

# 第4章 RFIDリーダと上位モジュール間のReader Adapterの実装

2003年時、ALIENのRFIDリーダを用いて、リーダと上位モジュール間の通信プロトコルを、上位モジュールに対してEPC networkの策定した標準プロトコルで通信できるようなプロトコル変換モジュールの設計・実装を行った。本章では、Reader Adapterと名付けたこのプロトコル変換モジュールをReader Adapterに関する設計や実装、その考察を行う。

## 4.1 概要

現在Auto-IDシステムを始めとしたネットワーク型RFID技術の適応が考えられているサービス分野は、SCM(Supply Chain Management)やFA(Factory Automation)の分野など、大規模な利用モデルが想定されている。したがってそういった環境では様々な種類のリーダや、その上位モジュールが多種多様に遍在する環境になる。そのような環境下では、リーダと上位のモジュール間通信プロトコルは統一されていることが望ましいと考えられる。

2003年、EPC globalがリーダと上位モジュール間の通信プロトコルの標準化を始めた。WLPと呼ばれるもので、それまでベンダー依存だった通信方式が、統一されたフォーマットで今後実現することが期待される。しかし、WLP以前に登場したリーダはWLPフォーマットに準拠していない。WLP以前のリーダを利用するには、リーダと上位モジュールの間に、ベンダーフォーマットのプロトコルと、WLPを変換するReader Adapterなどの機能が必要となる。本研究はALIEN社のRFIDリーダをサンプルに、実際にWLPに変換するReader Adapter(以下RA)を設計、実装した。RAでは、ベンダー独自の通信プロトコル、まだ各リーダの物理的なネットワークインターフェースをモジュールとして組み込んでいる。

RAを拡張することで、今後WLP未対応の他のリーダにも適応できることが期待される。

また、2004年にはWLPの機能は、Reader Protocol(以下RP)として継承されている。

## 4.2 Wire Line Protocol

本節では、リーダと上位モジュール間の標準通信プロトコルである RP を概説する。図 [?] は、EPC network 内の主に基盤部分の各コンポーネントとそのインターフェースの主だったものを抽出している。

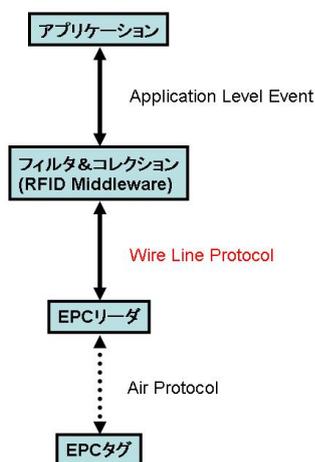


図 4.1: タグからアプリケーションまでのコンポーネントとインターフェース

本研究を行った 2003 年当時は RP のことを WLP と呼び、現在の仕様と若干異なる。また、通信プロトコルの議論が始まったばかりで具体的な実装レベルの仕様の策定まで至っていなかった。当時 White Paper 上で規定されていた内容としては、EPC network システムで用意されるべきコマンド郡の一覧があった。それ以外の内容に関しては実装レベルでの規定ではなく、あくまで指針にとどめられていた。したがって細かな設計部分に関しては自身の裁量で補う必要があった。

具体的に RP で想定される上位モジュールとリーダ間でやりとりされる情報は、大きく以下の内容である。

- リーダデバイスの設定情報
- リーダデバイスとの物理的なネットワークインターフェース設定情報
- タグの種別情報や、読み取るメモリ番地情報
- 読み取った情報を上位モジュールに渡す際のフォーマット情報

リーダ名やシリアル番号、所属名などを記述し上位モジュールに、その情報を渡せるようにしなければならない。また物理的な通信手段が複数ある場合を想定し、そのインターフェース設定情報に関して上位モジュールに分かるように整理しなければならない。3 つ目の項目としては、リーダの読み取るタグの種類を、上位モジュールに対

してリーダは通知できるようにしなければならない。実際に EPC network 内でも、タグのクラス分けは整理されている。それらのクラスに沿った通信を、上位モジュール以降でも可能なように、これらの情報を上位モジュールへ知る必要がある。最後に4つ目としては、RP から上位のモジュール、あるいは機器にデータを送信する際のフォーマットに関して規定している。例えば、用意されているパラメータとしてはタイムスタンプなどが挙げられる。図 [?] は、RP 内で規定されている情報通信の、主にタグの読み取るメモリ領域の指定フォーマットを示している。

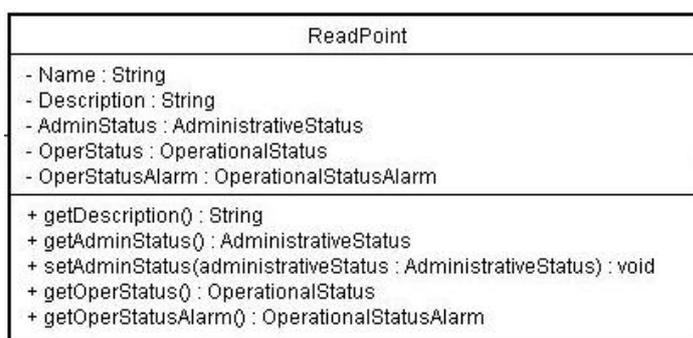


図 4.2: ReadPoint 指定コマンドラインフォーマット

#### 4.2.1 Reader Adapter の必要性

2003 年当時、現在の RP を EPCglobal が発表した段階で、すでに複数のベンダーが RFID リーダを製品として発売していた。したがってそれらリーダは、RP の仕様に沿った通信を行うことができない。それぞれ各ベンダー独自の通信仕様で、上位モジュールと通信するよう設計されているからである [?]。

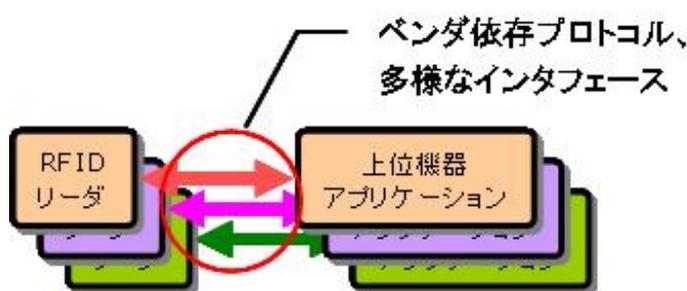


図 4.3: ベンダ独自通信プロトコルの状態

今後これらの RP 未対応のリーダを利用するには、上位モジュールがリーダベンダー独自の通信プロトコルを理解するか、あるいは上位モジュールとの間に、ベンダー独自プロトコルと RP のプロトコル間翻訳を行う中間モジュールを挟むという2種類の解

決手段が考えられる。この2通りの手段のうち、前者は、上位モジュールが理解すべき通信プロトコルが無数に存在した場合、非常にコストがかかることが容易に予想される。本研究では、上位モジュールとRFIDリーダの間にReader Adapterというプロトコル翻訳モジュールを準備する手法[?]を用いて、本研究における問題点の解決を目指した。

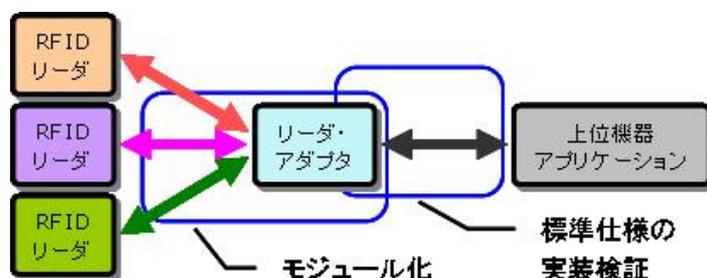


図 4.4: Reader Adapter イメージ

### 4.3 Reader Adapter の設計

本節では、RA の設計に関する項目を述べていく。まず本研究で実装するプロトタイプの機能要件の整理を行う。それからプロトタイプ実装の対象となるリーダの選定に関して述べ、Reader Protocol の提供戻り値、引数を述べる。

#### 4.3.1 機能要件

RA の機能要件として以下の3つが挙げられる。

1. リーダのベンダに依存しない上位モジュールとの通信プロトコルスタックの実装が可能
2. 各リーダに用意されている複数のネットワークインターフェースに依存しない上位機器との接続性の確保できる
3. 新たなリーダのプロトコル、またそのリーダのネットワークインターフェースに対応可能

各機能要件について述べる。まず1つ目だが、上位機器との間の通信プロトコルを標準化されたプロトコルであるRPに変換するために、RA内に各ベンダの通信プロトコルをモジュール化しておく。そして、上位機器との通信はRPで行い、リーダとの通信はベンダ依存プロトコルで行う。次に2つ目の要件に関してだが、今回実装で利用した Alien Technology 社製リーダがそうであるように、ひとつのリーダに複数の物理

的なトランスポートを持つものがある。Alien Technology 社製の Nanoscanner リーダの場合、RS232c シリアルデバイスと、Ethernet ケーブルの 2 種類のポートを持つ。当然どちらのポートを利用するかは、運用に際して便利な方を利用できなければならない。RA はこのネットワークインターフェースの選択ができるように、各リーダデバイスのトランスポートの設定モジュールを準備する必要がある。3 つ目の要件として、今後 RA で対応できるリーダデバイスの種類を増やしていく必要に迫られる場合が考えられる。そのとき、新たなリーダデバイスに対応できるよう、拡張性を持たせる必要がある。

### 4.3.2 設計

RA で選択可能なリーダとして Alien Technology 社製の RFID リーダ Nanoscanner をサンプルとして取り上げた。このリーダデバイスに関しては、第 3 章で詳細に説明を行っているので本章では割愛する。今回 RA の持つべき機能は、

- Alien Technology 社独自の通信プロトコルスタックの受け手側を RA 内で持つ
- Nanoscanner のネットワークインターフェースに依存しないよう、トランスポートモジュールを RA 内で持つ
- RP のコマンドラインモジュールを RA 内で持つ

に集約される。今回の実装では厳密に RP の仕様に沿ったものでなく、且つ機能的にも不足している。しかしリーダデバイスからタグの読み取りイベントを上位モジュールに渡したり、タグデータを書き込むといった、基本的なコマンドラインの実現を目指した。

以下図 [?] に示すように、RA 内には大きく分けて 3 つのコンポーネントから成り立つ。まず上位機器との通信を可能にするための WLP(現在の RP) モジュール部、WLP モジュールとベンダ依存プロトコルモジュールとのモジュール変換を行うプロトコル変換モジュール部、そして実際にリーダと物理的につながっているトランスポートモジュールを経由し、リーダと上位機器間の通信を成立させる。

## 4.4 実装

本節では、RA の実装に関して述べていく。

### 4.4.1 実装環境

RA の実装に際しての実装環境からまず説明していく。まず上位機器としての PC には、IBM 製 ThinkPad X22 の、CPU Pen3 の 766MHz でメモリ 512MB のラップトップパソコンを用いた。また RFID 機器としては、Alien Technology 社製 Nanoscanner

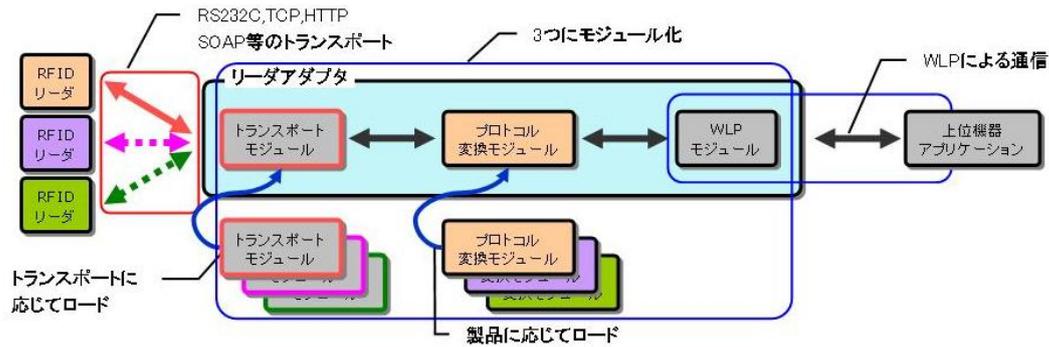


図 4.5: Reader Adapter イメージ

Reader(2.45GHz) のものを採用し、それに付随していた Class 1 Passive Tag を用いた。RA の実装で用いたプログラム言語は C 言語である。

#### 4.4.2 実装

実装では、リーダと上位機器としての ThinkPad 間の物理的な通信トランスポートとしては、RS232c によるシリアル通信、Ethernet による TCP 通信の 2 つのトランスポートモジュールを実現した。また実際に実装できたコマンドラインは、必要最低限のコマンドを用意した。具体的には、リーダ内のメモリに蓄積しているリーダの読み取りデータを上位機器の渡すための GetTaglist、リーダのメモリに保持している読み取りイベントを消去させる ClearTaglist、リーダを一旦再起動させるための Reboot、タグにデータを書き込むための ProgramID を実装した。

### 4.5 考察

本節では、まず今回の RA の実装の成果について整理し、RA に関する考察を行う。

#### 4.5.1 実現した機能

RA 内にリーダベンダ依存のプロトコル部分をモジュール化しておくことで、上位モジュール側からリーダ制御を考える際、ベンダに依存しない且つ各リーダのネットワークインターフェースに依存しない環境を提供することができるようになった。また RA の保持するリーダベンダのプロトコル、トランスポートに関するモジュールを追加していくことで、今後新しいリーダベンダのリーダを追加することができるようになった。また、今回の成果としては、実装を行った 2003 年当時、EPCglobal で議論の開始されはじめたばかりの WLP の仕様を実装してみて、その有用性を検証することができた。

#### 4.5.2 RA に関する考察

今回 RA を実装し、複数のリーダベンダのリーダを統一されたフォーマットで制御することが RA を実装することにより可能であることが分かった。RA を拡張することで、今後新たなリーダも扱えるようにできる。しかし、RA の保持するリーダの種類が膨大になると、それぞれのリーダのオブジェクトモデルなどの RA 内での状態保持が難しくなるという問題が出てくると考えられる。今後は WLP や RP などの仕様を議論を重ねる中で固めていき、リーダのハードウェアレベルで標準化された通信プロトコルに準拠されることが望ましいと考えられる。

# 第5章 ORF2004におけるRFID基盤の設計と実装

現在ネットワーク型RFID技術は、様々な利用用途を前提とした業界毎の評価実験・実証実験が行われている。ORF2004[15]においても、イベント運営支援システム [16] を目的とした情報基盤の設計、実装、運用を行った。本番では、RFID基盤の上に、複数のアプリケーションを用意し、来場者・出展者双方に対して、有益な情報提供が行える環境を構築することができた。また、プライバシー保護の観点から、公開情報を来場者側が設定選択できるようにした。本章では、その基盤部分で行った設計と実装について詳解していく。

## 5.1 概要

大規模なイベント会場において、ネットワーク型RFID技術を用いて来場者の動線記録を蓄え、そのデータを有効活用しようとする動きが活発である。これは、来場者の動線記録がイベントの主催者、出展者側にも、また来場者側にとってみても有益な情報に成りうると考えられるからである。主催者や出展者側から見た場合、自分たちのブースに来た来場者に関する個人情報などを自動で情報処理することができれば、どういった職種の人が興味を持ってくれたのか、あるいはどの時間帯に来場者が多かったかといった有益な情報と成りうる。一方来場者側からみても、自分の興味を持ったブースに関する情報を、イベント終了後に確認することができるような新たな情報の開示方法をいくらかでも考えることができる。

本研究は2004年のOpen Research Forumにおいて、RFIDシステムを用いてイベント運営を支援することを目的としたアプリケーションサービスのための、基盤部分を設計実装した。具体的には、会場内の各研究室やセッション会場およそ100ブースにRFIDリーダを設置し、来場者や出展者に対してRFIDタグを配布した。来場者は、自分の気に入ったブースのRFIDリーダにタグをかざし、自分の動線記録を残す。その情報を元に、各アプリは来場者に新たな情報を提供できたり、出展者側に各ブースへの来場者数を提供できたりした。我々の実装した基盤はそうした来場者の動線データを、データベースに蓄えたり各アプリケーションに提供したりした。また来場者のプライバシーを守ることを重視した、来訪記録を削除するプライバシー端末を用意した。

## 5.2 設計

本節では、ORF2004 で構築した基盤のモジュール毎の機能要件、設計と実装に関してまとめていく。またそれに先立ち、基盤を提供したイベント会場、使用した機材に関して簡単にまとめる。

### 5.2.1 ORF2004 会場について

まず ORF2004 で RFID システムの動作する会場、基盤の数などについて簡単に述べる。まず会場であるが、東京六本木ヒルズのアカデミーヒルズ 40 階場 (図 5.1)[17] で行われた。ワンフロアを使用するので 70m 四方の広さがあり、図のように研究室ブースやセッション会場が設けられる。それぞれの会場に RFID リーダを設置すると約 100 個のリーダが必要となる。来場者数は 5000 人規模を想定しており、イベントとしては中～大規模な部類に含まれる。

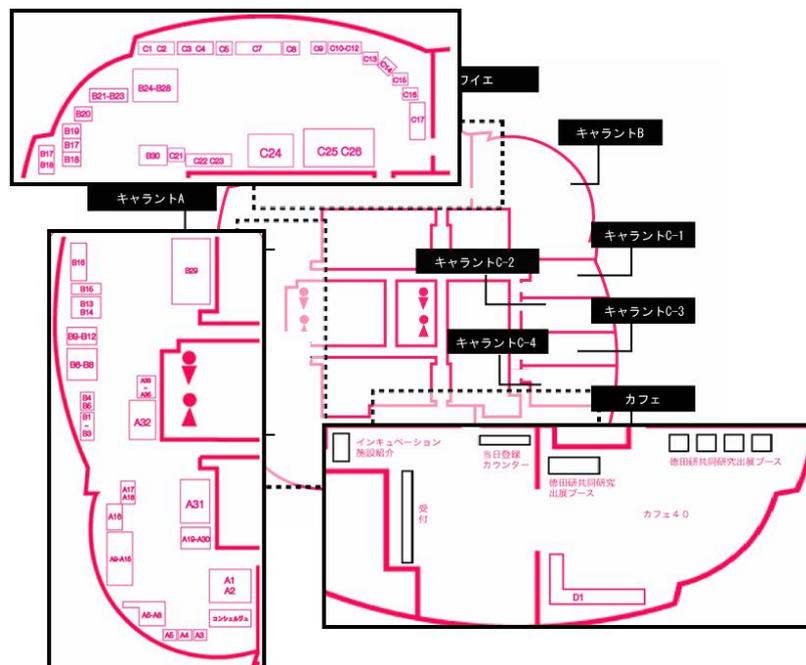


図 5.1: ORF 会場図

### 5.2.2 目的

ORF2004 への来場者に RFID タグを配布し、来場者のブース毎の動線記録を取る。その動線記録と、事前登録で予め入力しておいた個人情報などを組み合わせて、出展者、来場者双方に向けたサービスアプリケーションを展開できる RFID 基盤を構築す

る。このRFID インフラは、来場者の来訪記録を収集、記録、提示することを目的とする。

### 5.2.3 装置の選定について

ここでは、ブース毎の動線記録を蓄えるために利用したRFID リーダ [18] やタグ [19] などの装置に関する説明を行う。今回利用した電波帯は、利用する電波周波数帯域としては、13.56MHz(HF 帯) に分類される。また HF 帯とは別に、ORF2004 ではブースでの動線記録以外に、UHF 帯のRFID タグとリーダを用いてゲートでの自動動線記録システムの実証実験を行った。しかしここで述べるべきブース毎の動線記録システムとは、若干利用目的や使用機材が異なるので説明を省く。

#### HF 帯電子タグ

13.56MHz の無線 IC タグで、規格として ISO15693(図 5.2) のものを利用した。HF 帯タグを利用した理由としては、過去同様なイベント実験において実績があったためである。HF 帯のRFID タグは来場者に配られて、首からぶら下げてもらう形(図 5.3) となった。



図 5.2: HF タグ (ISO15693) サンプル

#### HF リーダ-「花子」

HF 帯のRFID リーダは、今回2種類の機材を用意した。その一つがこの「花子」(図 5.4) と呼ばれるリーダで、2004 年に開催された NETWORK+INTERROP2004[20] という大規模イベントの際に作成したリーダである。

図 5.3: 来場者のタグホルダー

ネットワーク接続機能を有し、HTTPGET形式の読み取りイベントを上位モジュールに通知することが可能である。また、毎秒1回読み取りイベントを送信する設定となっていたが、100台近くの「花子」リーダのうち、数台程度毎秒10回の読み取りイベントを送信してしまうリーダがいた。この部分の設定は、ハードウェアレベルの設定であり修正することは難しかったので、上位モジュールレベルでデータの整合性を持たせた。



図 5.4: 花子リーダ

## HF リーダ「PDA + OMRON CF リーダ」

HF 帯リーダのもうひとつのタイプは、富士通 LOOX[21] の PDA と OMRON CF 型の HF 帯 RFID リーダを組み合わせたタイプ(図 5.5)である。PDA の無線 LAN 機能を利用し、CF リーダのリードイベントをネットワーク越しに上位機器へ通知することを可能とした。



図 5.5: LOOX + OMRON R/W

### 5.2.4 システムの機能要件

ORF2004 のためのインフラに関して設計に先立ち、まず以下のような検討課題が挙げられた。

- 複数種類のリーダイベント制御
- 来訪記録データの保管方法 (データベースの構成)
- 来場者の要望があれば、来場者自身の来訪履歴を削除できる機能の追加
- 来訪記録を利用したアプリケーションへのデータの渡し方

- 来場者 5000 人規模のイベントでの運用に耐える規模性の確保

以下、それぞれの項目について述べていく。

## 2 種類のリーダの読み取りイベント制御機構の設計

リーダ装置としては、上述の通り 2 種類の HF リーダを用意した。この 2 種類のリーダ間では、上位機器との通信プロトコルをそろえる必要がある。具体的には HF の「花子」リーダが HTTP/GET 形式の読み取りイベントを送信する様、リーダのファームレベルで決まってしまうので、今回 LOOX PDA リーダの方を HTTP/GET 形式にそろえることとした。

一般的に、2 つの HF 帯 RFID リーダはリードイベントを 1 秒間に 1 回のペースで行うことができる。したがって来場者のタグ ID の読み取りイベントを全てのリーダ端末からほぼ同時に行った際、最大で 130 券の読み取りイベントが上位モジュールへ流れることとなる。

また各 RFID リーダ装置には IP アドレスが割り振られ、ネットワーク越しに、上位モジュールに対して読み取りイベントのデータを送る。その時の手段は、HTTP/GET コマンドを上位モジュールに対して、読み取りイベントの通知を行う。また約 130 個のリーダが読み込みイベントだけを渡すのでは、上位のプロセスは、どのリーダから送られてきたイベント情報かが分からなくなる。したがってリーダが読み取った Tag データを HTTP/GET で送信する際には、ReaderID が示せることが重要であった。実装では、各リーダの設置されたブース番号、あるいはセッション室番号を ID とした。

またリーダ側で読み取りイベントが行われていても、実際に上位のモジュールに対してそのデータが渡らないことが多々ある。その原因は複数考えられるが、ORF のような短期間のイベント会場で運用する際に一番重要なことは、いかに早くリーダイベントの不具合を発見できるかである。したがって今回、各リーダ装置の IP アドレスに対して、ping コマンドを定期的に発行して、IP レイヤレベルでのネットワーク到達性が確保されているかを、イベント運営者が常に把握できるようなリーダ装置疎通監視ツールを準備した。

図 5.6 は HF リーダ回りのリーダ制御に関連するモジュール概要図である。読み取りイベントに関しては、花子リーダでは HTTP/GET コマンドで上位モジュールへ読み取りイベントを送信する様ハードコーディングされているのに対し、PDA リーダのほうは、一旦リーダコントロールに預けて HTTP/GET コマンド形式に変換後、上位モジュールへ送信される。またリーダのネットワーク接続性を常時確認するため、疎通監視ツールとして実績のある ping man を利用して、各 HF リーダに対して常時 Ping コマンドを送信する。

## 読み取りイベントの蓄積方法 (データベース構成)

リーダから上がってくる読み取りイベント情報を収集・記録し、アプリケーションの要求する形でデータを提示することが求められる。また今回来場者の意向に沿って、

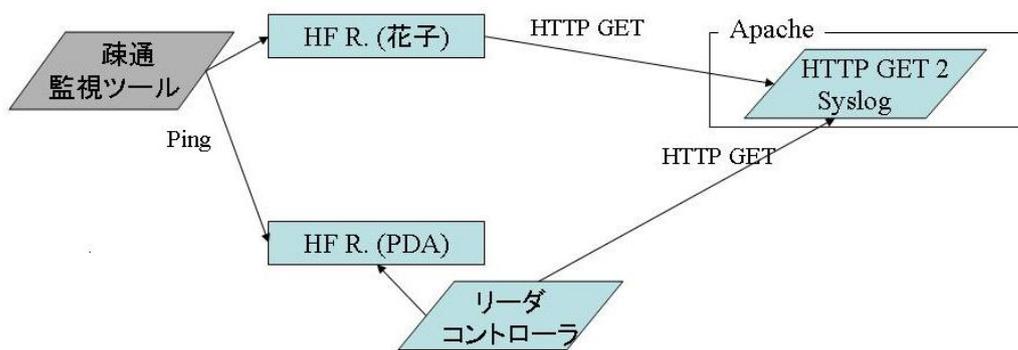


図 5.6: Reader Control Module

予め登録する情報の制限や、あとから自分の動線記録情報を消去することのできる機構を用意する必要があった。そのためデータベースも一つではなく、まず生のリーダイベントを蓄えるデータベース、バックアップ用のデータベース、アプリケーションに提示する用のデータベースなどを用意し、各データベース間のデータを常に整合性を保たせることが求められる。データベース間のインターフェースは、PostgreSQL[22]で用意した。

#### 来場者の要望により、来場者自身の来訪履歴を削除できる機能

来場者の中には、自分の動線記録を回りの人間に知られたくない人もいるかもしれない。そういった観点から、来場者の方々の目の前で、自分の動線記録をデータベースから消去するための、プライバシー端末を用意した。

#### アプリケーションへの来訪記録データの渡し方

主となるデータベースと、アプリケーションの参照するデータベースを別々に用意した。また主のデータベースにはバックアップ用のデータベースを一つ作り、データの保護を図った。各データベース間のインターフェースはSQLとなっている。

#### 規模性に関して

HFリーダが会場内に約130個配置されることから、瞬間的なイベント処理数としては、全てのRFIDリーダ端末が読み取りイベントを上位モジュールに送信しようとする、1秒間に130件の読み取りイベントが発生することとなる。しかし今回の「花子」リーダのうち、複数のリーダで1秒間のうちに、10個の読み取りイベントを連続して送信するバグを持つリーダがあった。したがって、今回シミュレーションでサーバサイ

ドの耐故障性を図ったが、そのときの毎秒あたりのイベント件数を 200 件と想定した。

今回のシミュレーション段階では、まずミドルウェア部分からデータベース部分へ読み取りイベントが送信される部分に、ボトルネックが発生すると予想した。そのためまずミドルウェアから読み取りイベント毎にデータベースにデータ送信を送るプログラムを実装し、最大毎秒 200 件の処理能力をこなせるかを実験した。その結果、データの送信が次の新しいデータがくる前までに処理しきれず、どんどんオーバーフローに陥った。結果としては、追従してデータ更新が行われ、データのロスまでには至らなかったのだが、システムとして高負荷がかかることが判明した。

## 5.3 実装

本節では、RFID インフラの各コンポーネント毎、また各コンポーネント間のインターフェースに関する実装について述べていく。図 5.7 は ORF2004 で実現した RFID インフラの実装概要図である。

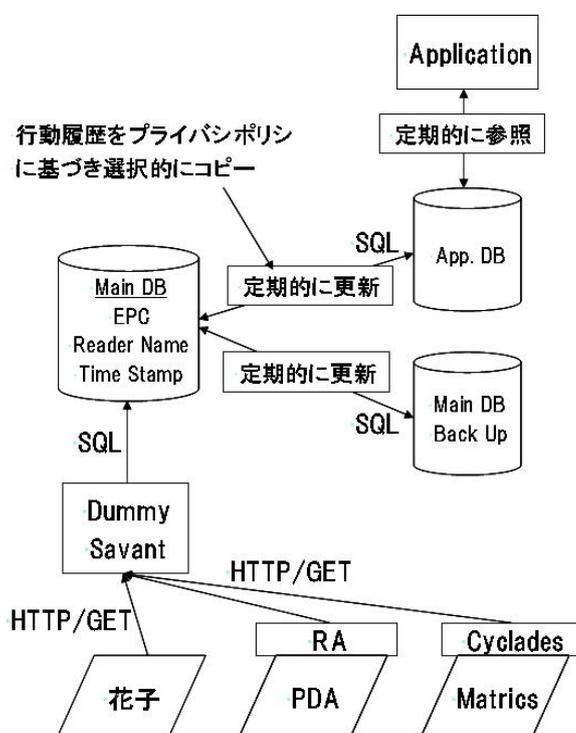


図 5.7: 基盤構成概要図

### 5.3.1 HF 花子リーダ

HF 花子リーダは上位モジュールに対して、読み取りイベントの通知手段として HTTP/GET で行う。図は、HTTP/GET で通知する送信内容の例である。このようにハードコー

ティングすることなく、タグIDのみならず、ReaderIDのような付加情報を簡単に追加することができる。本研究においてもこのような HTTP/GET 方式の手法は扱いやすい。したがって今回の実装では、HF PDA リーダのリーダイベントの通知手段を、この HF 花子リーダの方式に近づけることとする。

### 5.3.2 HF PDA リーダ

今回の実装では、HF PDA リーダに、花子エミュレータを動作させるという形をとる。したがって必須の仕様は以下の3点に集約される。

- タグIDを読み込んだら、得られたEPCコードを埋め込んだURLに対し、HTTP/GETで、上位モジュールにアクセスする。
- タグを読み込んだ時点で、音を鳴らす。
- タグIDを読み込んだ時点で、EPCを画面に表示する。

#### 実装環境

実装環境について簡単に触れておく。CF PDA リーダは、富士通 Pocket LOOX と OMRON CF リーダから構成される。LOOX に搭載されている OS は WindowsCE であり、eMbedded Visual BASIC による実装を想定したライブラリが、予め準備されていた。したがって、本研究でも eVB を利用して実装を行った。

### 5.3.3 リーダとミドルウェア間インターフェース

このモジュールは、HF PDA リーダや HF 花子リーダからの HTTP/REQUEST を受け、メインのデータベースにデータを追加しやすい形で渡すサーバモジュールである。図 5.8 は query のフォーマット例である。リーダから HTTP で受け取る query のパラメータは以下の通りである。

```
http://www.don-kun.net/~don/orf2004/php/savant.php?source-name=hoge&epc=hage
```

図 5.8: HTTP/GET Query Format

#### source name

ソースとなる Reader 名を入れる。今回実装においては各リーダの設置されるブース番号がこのパラメータとなる。

epc

得られたタグ ID コードを挿す。

debug

デバッグフラグを準備した。値は 1 を返す。

以上のリーダから得られた情報を Syslog にはく。ここで正しい(と思われる)クエリは/var/log/savant-accept.log に追加。それ以外のクエリは/var/log/savant-error.log に追加することとする。そして Syslog 形式として、読み取りイベントを出力していく。

### 5.3.4 ミドルウェアと SQL 間インターフェース

今回ミドルウェアのリーダからイベントをリードする側と、データベースにデータ送信をする側を、機能として分離することを実装の念頭に置いた。すなわち読み取りイベントを待ち受けるコンポーネントがデータベースへ送信する部分までを担当すると、データベース側の処理がおくれた場合に全体の処理が滞る事態が想定される。また、今回のリードイベントではタイムスタンプを利用するが、このリード時の時刻を当てするため、この部分の処理が律速になるよう気にする必要があった。したがってデータベースへのアクセス機能は分離する実装となった。

またこのミドルウェアには、常に複数台のリーダが同時に HTTP/GET イベントでアクセスしてくる状況が考えられる。したがってアクセス負荷に関して実績のある Apache[23] + PHP[24] を使用して実装した。

### 5.3.5 ミドルウェア性能評価

今回 HF 帯、UHF 帯のリーダ合わせて 130 台分のリーダの読み取りイベントを、一台のミドルウェアで処理をさせる。それぞれのリーダは、RFID タグを読み取った場合、毎秒 1 回ミドルウェアにその読み取りイベントを送信する設定となっている。つまり、ミドルウェアに 1 秒間に送信される読み取りイベントの最大数は 130 イベントということになる。しかし、今回 HF 帯の「花子」リーダの中には、1 秒間の間に 10 イベント送信してしまう機種が存在した。そのような環境下で、ミドルウェア側の処理能力が負けることのないような性能を持たせた設計にしなければならない。

そのために今回ソフトウェアとして利用したのは、Apache[23] と PHP[24] である。Apache は、世界中広く利用されている WEB サーバであり、安定性も定評がある。常にリーダからの読み取りイベントを、プリフォークした状態で待ち受け、処理能力の点で要求を満足させることができる。

### 5.3.6 ミドルウェアとデータベース間インターフェース

次にミドルウェアとデータベース間のインターフェースの説明を行う。ミドルウェアに収集された読み取りイベントをデータベースへ更新しに行く場合、まず始めに注意したことは、ひとつひとつの読み取りイベントを更新した場合のデータベースにかかる負荷である。一つの読み取りイベント毎にデータベースに通信をかけた場合、一つ一つの更新イベントがSQLにアクセスしてからファイルをロックし、ファイルを更新して、最後にファイルロックを解除するという手順を取ることになる。この一連の作業を読み取りイベント一つ一つ毎に行うと、高負荷になってしまうことが事前に分かっていた。というのも、一度その設計で実装を行い、サーバのメモリが足りず、処理が滞るといった事態を経験した。その結果、一つ一つの読み取りイベントをデータベースに通信しに行くのではなく、一旦ミドルウェアサーバ内のsyslogに全ての読み取りイベントを記録していき、syslogの更新内容を定期的にデータベースへまとめて通信する設計を採用した。その結果、データベース内のデータがリアルタイムで読み取りイベント結果を反映することはできなくなった。しかしリアルタイム性を多少、具体的には平均30秒程度の犠牲を強いるだけで、蓄積するデータに確実性を持たせることが可能となった。

### 5.3.7 データベース構成

次にデータベースの構成に関して述べる。今回のデータベースは大きく3つに分けられた。1つ目はミドルウェアからの通信データを全て記録していく「ナマ」データベース、2つ目は「ナマ」データベースのバックアップ用データベース、3つ目はアプリケーション側に読み取りイベントデータを開示する用の「アプリ」データベースである。この構成の中で、「アプリ」データベースを分けた部分が特徴的であると考えられるので、この章ではこの部分に関して主に述べる。

ORF2004では、来場者の全ての人にRFIDタグを身に付けてもらう形を取った(図5.3)。しかし来場者個人毎に、会場内での個人情報の取り扱いに対する指針は異なる。すなわち、事前に個人レベルで、RFIDを利用したアプリケーションに自分の読み取りイベントを反映させるか否か、というアンケートを取っている。このような背景から、アプリケーションに対する読み取りイベントに提供するデータと、そうでないデータの区別が必要となる。また、アプリケーション側に何らかの問題があった場合、その影響で基盤側にまでアプリケーション側の不具合が影響するような事態を避ける必要があった。こういった要求から、今回アプリケーションに提供するデータベースを「ナマ」データベースと分離する設計を行った。

### 5.3.8 データベーススキーマ

データベースはミドルウェアからの読み取りイベントをそのまま蓄積していく「ナマ」データベースとアプリケーション用に提示するデータベースなどに分けられてる。

しかし全てのデータベースは一つの PC マシン上で実現している。スキーマの例として図 5.9 を示す。4 つめ privacy 要素は、アプリケーションによって利用される個人情報情報を制限できるようにするためのフラグである。

Column	Type	Modifiers
source_name	character varying(5)	not null
epc	character varying(24)	not null
timestamp	timestamp without time zone	
privacy	boolean	not null default false

図 5.9: "ナマ" データベーススキーマ

## 5.4 考察

本章の最後に考察を述べる。

まず今回のインフラ部分のシステムに関する考察であるが、課題検討や設計の段階からの懸案であった HTTP リクエストがサーバに対して高負荷になる可能性があるという問題があった。これに関して事前のシミュレーション評価結果でも分かるようにサーバのオーバーフローにはつながらなかった。この部分は事前の設計部分の検討が行き届いていたと考えられる。

しかし今回の運用を通して、RFID システム自体の抱える問題が浮き彫りになった。まず各コンポーネント間のインタフェースの実装が、統一されていなかったという問題があった。HF リーダのタグ ID 読み込みの際、HF PDA リーダは、リードサイクルの調整機能がなく、毎秒数回ずつ読み込みイベントを取り込んでしまった。その結果、データベースに格納される読み取りイベントの回数で、花子リーダの設置されたブースと、PDA リーダの設置されたブース間で大きな隔たりができた。この問題は、設計段階では指摘されていた課題であり、実装部分の不手際といえる。この実装段階での不手際が起きたそもそも原因について考察してみる。まず今回 HF 帯の RFID リーダの装置として 2 種類のものを用意した。この 2 つのリーダイベントの処理方法が異なっていたということが一番目に挙げられる。これは本論文の第 4 章で述べたリーダと上位モジュール間のプロトコルの統一がなされていないという問題と一致する。事前に Reader Adapter のようなものを準備しておくか、或いは始めからプロトコルの統一された装置を利用するといった問題解決が考えられる。

2 つ目の問題として、各リーダ装置からのリードイベントが上位モジュールに到達しないという問題があった。これには大きく分けて 2 つの原因に分けられる。一つはリーダ装置自体の不具合によるタグ ID 読み取りができなくなるといった問題。もう一つはリーダと上位モジュール間のネットワークでの障害に起因する問題が考えられた。これらの結果として、それらいずれかの問題が生じている間のリードイベントのデータが破棄されてしまっていた。ORF2004 では、この対策としてネットワーク上からリーダ装置への IP レイヤレベルでの到達性を常時監視するツールを用い、不具合・異常を

早期に発見、解決するオペレーションを行った。具体的にはネットワークを経由して各 HF リーダ装置に対して定常的に ping を送信し、その装置への接続性を確認するものであった。これにより、先に挙げた 2 つの問題をごく早い段階で検知することが可能となった。しかしこのオペレーションは依然として問題の本質的な解決にはつながらず、今後は不都合あるいはネットワークの安定に向けた問題解決が必要である。

また、実際のイベント会場での運用ではないので、本論文巻末の Appendix に回したが、タグの ID の焼き込み作業、バーコードとのマッチング作業など、意外な部分で時間を消費した。詳しくは巻末で述べているが事前の仕込み作業の効率化も、今後の RFID システムの運用上の鍵となると考えられる。

# 第6章 UHF 帯電子タグを用いた来場者 動線記録システムに関する考察

本章では、ORF2005[25]でのUHF帯RFID装置を利用した来場者動線記録システムので行った準備実験や運用の考察を述べ、UHF帯のRFIDシステムを利用する際の問題点の整理、考察を述べる。

## 6.1 概要

ORF2004に引きつづき、ORF2005において、RFIDによるイベント支援システム運用を実施し、その一貫として来場者の動線記録システムの実運用を行った。今回の動線記録システムではUHF帯のRFID技術に着目した。RFID技術に利用できる周波数帯は複数存在するが、本研究において重要な問題は、来場者の動線を自動で取得することである。SUICAやFelicaに代表されるような至近距離型RFIDタグを利用した場合、来場者自身に対して、リーダに自身のタグをかざすという動作を要求することになる。これでは来場者の動線を自動で記録することはできない。そこで本研究は、RFIDリーダとRFIDタグ間の電波伝搬距離を長く取れ、あるエリアを通過した来場者のタグIDを自動で読み込むことが可能なUHF帯RFIDに着目した。

まず実際のシステム運用に先立ち、運用上の様々な課題を解決する必要がある。主にUHF帯のRFID技術全般に関する課題と言える。具体的な検討課題項目としては、タグの読み取り性能を上げる工夫、人体への影響がない工夫、タグデータの読み取り速度が挙げられる。これらの課題を解決するため、リーダの設置位置、電波照射出力に関する検討項目を整理し、実際に様々な実験データを取り検討を加えた。本章はUHF帯の電波をRFIDシステムに応用する上で問題となる課題をはじめに整理する。その課題に対してORF2005に向けての様々な実験検討を行った。そのデータを提示しながら本章の説明を述べていく。

## 6.2 UHF 帯の特徴と課題

本節ではRFID技術の中でも注目の集まるUHF帯RFIDの特徴と課題を整理する。

## 6.2.1 UHF 帯 RFID 技術の特徴

Auto-ID システムをはじめとした RFID システムでは、今後の UHF 帯 (860-960MHz) の有効利用が注目される。その理由は UHF 帯が他の帯域の電波周波数に比べ、アンテナ効率が高くかつ伝搬損が小さいため、タグの受信電力効率を高めることができるという特性に在る。その結果、タグとリーダ間で、透過を含めた長距離 (~10m) 通信が可能となる。SUICA などの至近距離型 RFID タグを利用した場合だと、リーダにタグをかざしリーダが一枚ずつ読み取り処理をこなすモデルとなるが、長距離通信が可能な UHF 帯タグでは、複数タグの同時読み込みなどが可能となる。現在以下のような業界での利活用が期待されている。

- イベント運営業界
  - － イベント来場者の動線記録の効率化
- アパレル業界
  - － 縫製工場における目視検品の効率化
  - － 小売店における二次検品の効率化
- 食品業界
  - － 店舗における検収業務の効率化
  - － 棚卸在庫確認、賞味期限管理
- 出版業界
  - － 出版社における在庫管理、返品業務処理
  - － 取次での納品伝票、出荷伝票との照合
  - － 盗品流通の阻止
- 家電業界
  - － メーカーから出荷時の検品
  - － 物流センターでの納品伝票、出荷伝票との照合

## 6.2.2 UHF 帯 RFID 技術の課題

次に現在 UHF 帯の RFID 技術を利用する上で、課題となる項目を整理する。UHF 帯タグには大きく分けて以下の 3 つの課題が挙げられる。

- タグ可読率の向上
- 人体への影響を考慮した運用

- タグデータの読み取り速度

それぞれについて以下に説明していく。

### タグ可読率の向上

RFID タグの読み取り条件には以下の3つの条件が大きく関わる。

- タグに対して十分な電力が届いているのか?
- タグがリーダーのコマンドを聞き取れるか?(リーダー to タグ間通信の SN 比)
- リーダーがタグのバックスキャッタを聞き取れるのか?(タグ to リーダー間通信の SN 比)

この3点の条件を全て満足しないとタグの読み取りはできない。まず用語の説明であるが、SN 比とは正常なシグナル信号に対してノイズ信号の含まれる割合を、対数化した値である。ここでいう正常な信号とノイズ信号とは、ひずみ率計等を利用することで信号だけ抜き出し、このレベルと残った雑音レベルを比べた値をいう。各要素ごとの通信距離のガイドラインは図 6.1 のようになっている。

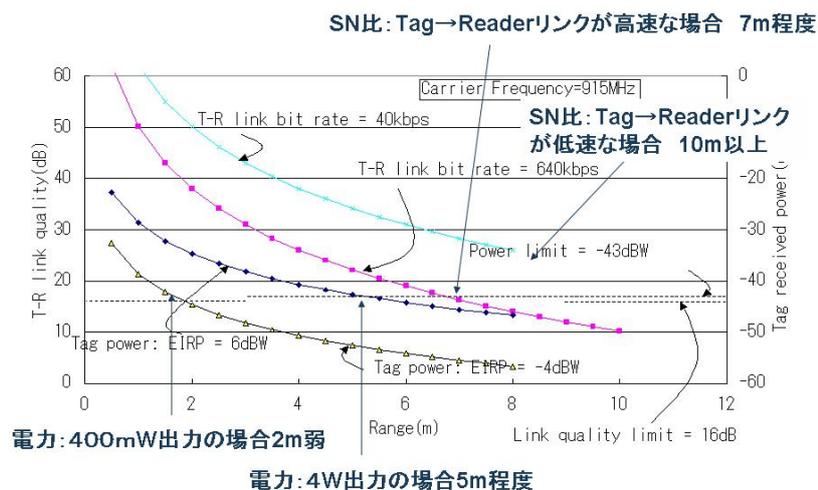


図 6.1: 要素ごとの通信距離ガイドライン

図 6.1 の中で、まず一つめの要素として、タグへの電力量の違いによる比較であるが、アンテナ出力電力 400mW の場合と 4W の場合を例にタグの受信する電力と距離の関係を示している。この図ではタグの受信電力の最低ラインが-43dBW で、したがって、電力 400mW の場合だとタグとリーダーアンテナ間の距離は大体 2m 弱、電力 4W の場合だと 5m 程度となる。次の要素としてタグ to リーダー間通信の SN 比に関してだが、SN 比はその周波数に対する通信速度 (bit rate) に比例する。したがって、タグ to リーダーの bit rate が 40kbps の場合と 640kbps の場合を比較した結果、図 6.1 より、SN 比が

大きい、すなわちノイズが少ない低速通信の場合 10m で、逆に SN 比が小さい、すなわちノイズが多くなる高速通信の場合 7m 程度の通信距離になることが分かる。以上のことから、上述の 3 つの要素がタグの読み取り条件を大きく左右することが分かる。

またこれらの要素は、外的な要因によって大きく左右される。例えばアンテナから送信された電波が伝搬した際、周囲の壁に反射しタグで受信される電波にノイズが入りやすいといった問題や、タグが金属や水分の近くにある場合、電波の伝搬損失が著しいといった問題が発生する。

## 電波法への対応

UHF 帯は現在日本だと携帯電話や心臓ペースメーカーの周波数に割り当てられている帯域である。またアンテナからの電波出力による、人体への影響も危惧されている。そのような事情から現在、UHF 帯の電波を利用するには、電波法に則った免許の申請が必要となる。近年その法律の規制緩和も進んでいるが、現状においても UHF 帯利用に際しては様々な規則があり運用するにあたり、注意すべき項目が多い。今回の利用においても以下の点に注意して運用を行った。

- 人体への受信電力の影響を考慮した運用
- 医療機器への受信電力の影響を考慮した運用

まず一つめの項目は、人体自体への電波受信電力量の規制に対応した運用を指す。36dBm のリーダアンテナを今回利用するが、人体に照射される電力がそれ以下のレベルになるよう、リーダアンテナと人体との距離を保つような運用が必要となる。また二つ目の項目は、直接の人体とは別に、心臓ペースメーカーなどの、医療機器への電波の影響に対する運用を指す。こちらへの対応は、現在のところ携帯電話に対応した具体的な数値があるが、RFID に対する具体的な数値目標は法律にまだない。したがって携帯電話の数値をもとに、今回の利用モデルを検討した。これらを考慮した具体的な UHF 帯 RFID の運用モデルに関する考察は、以下のアンテナ設置に関する設計の項目で述べる。

## 6.3 システム設計

ここでは、ORF2005 で実施された UHF 帯 RFID タグを利用した来場者動線記録システムの昨日要件の整理、仕様する装置に関する検討、タグの来場者への配布方法などシステムの設計に関係する項目について述べる。

### 6.3.1 システムの機能要件

本システムは、以下の機能的要素を備えていることが求められた。

- 来場者の歩行速度でタグ ID を読み込み可能
- HF タグとの干渉を与えないよう UHF タグをホルダに保持することが可能
- アプリケーションに対して、検出時間、検出したリーダ番号、通行者の動線管理システム上の ID(AID(Application ID)) を提供可能
- 人体に対する電界強度が電波法施行則に則った基準値を満たしていること、またペースメーカー位置での影響はガイドライン値以下となる

来場者は RFID タグを首からプラスチックホルダーに吊るした格好で移動する。また今回の RFID の実証実験では、UHF 帯のタグの他に HF 帯のタグも併用して行われる。そういった条件のもと、歩行速度で移動する UHF 帯の RFID タグの ID を読み込まなければならない。また今回の RFID 基盤を利用して複数のアプリケーションが実施された。それらのアプリケーション用にタグ読み込みイベントの発生した時間、検出したリーダの場所、来場者の ID 番号を読み込みと同時に蓄積していき、アプリケーションに提供できる必要がある。また電波帯域的な問題から、総務省に予め UHF 帯の基地局免許が必要となる。これは携帯電話で仕様される周波数帯域が近いといったことや、医療機器への影響を考慮するためである。これらの指針は総務省情報通信審議会の報告書などにまとめられているので、その電波防護指針に則った形にならない。

### 6.3.2 装置の基本性能

会場での実際の利用に先立ち、様々な性能評価実験を行い評価を測った。本節では、実際に利用した RFID 装置の性能に関する考察を述べる。

#### 電波伝搬損失の特性計測

まず富士通フロンティア製リーダに関する電波伝搬損失特性を計測した。計測内容として、屋内環境(慶應義塾大学湘南藤沢キャンパスゼータ館)において、リーダから電波を放射した際の距離と損失の関係を実測した。

以下2つのモデル図 6.2 とデータグラフ 6.3 は、測定環境の概略図と、屋内環境という電波伝搬のマルチパスの多い環境下での実測値を示している。

まず図 6.2 での設定パラメータに関してだが、まずリーダの出力値は 27dBm、それに対するアンテナ利得は 8dBi (メーカーヒアリング値) であるため EIRP=35dBm であり、測定値および解析値はアッテネータ 20dB、4.65dB(水平偏波)、4.76dB(垂直偏波) のケーブル損が発生しているものとする。またアンテナは右旋回の円偏波である。解析値では、H、V 偏波の EIRP を 32dBm に等分して表している。ただし測定に利用したアンテナはカタログ上で円偏波となっているが、実際の照射電力値では水平成分と垂直成分が異なり楕円偏波となっていることが分かった。

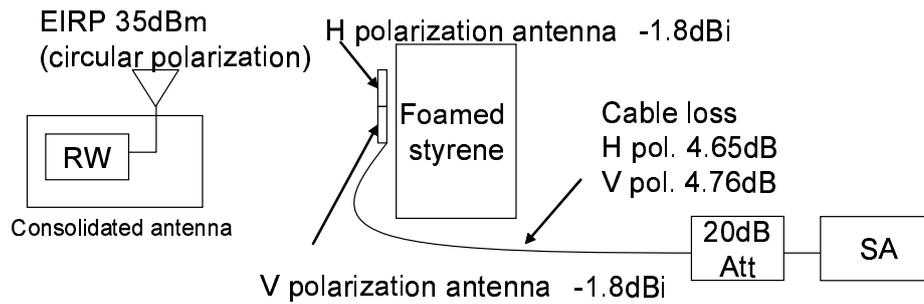


図 6.2: 測定環境イメージ

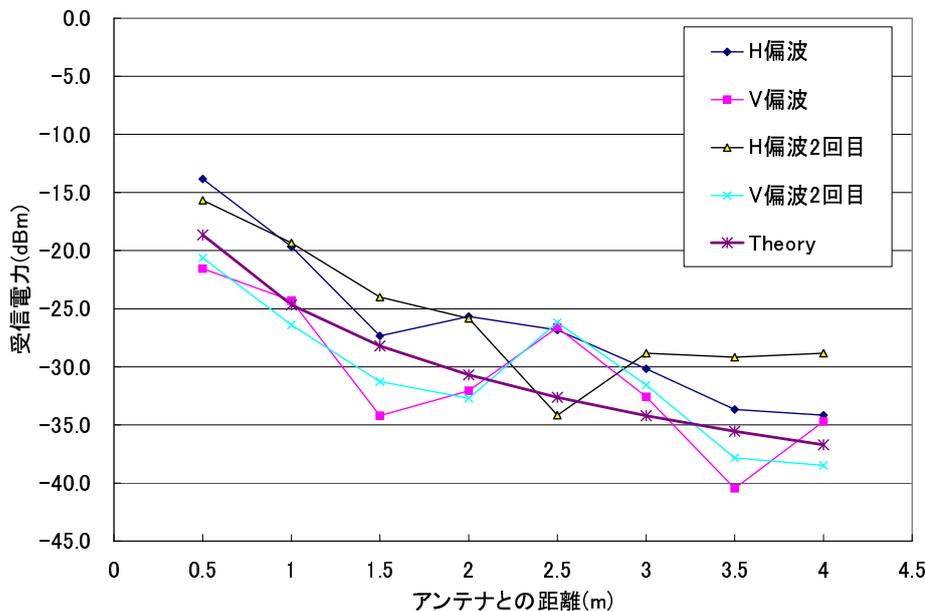


図 6.3: 伝搬強度測定値

### HF タグとの相互干渉について

今回 ORF2005 では RFID インフラを用いた実験がもうひとつ並行して行われ、そちらでは HF タグを利用した。来場者には HF タグも一緒にホルダーに入れてもらう形となった。今回の UHF 帯 RFID タグは、図??に示すように、名詞サイズの PET タグを利用した。そのタグの裏側に HF 帯 RFID タグを張り付ける形となった。

このとき、UHF のタグアンテナと、13.56MHz のタグアンテナが相互に干渉しあうことがないようにしなければならない。そのため ORF2005 では、事前の検討段階で PET 型の UHF タグ上に HF タグを取り付け、干渉しないようにする工夫を行った。UHF タグの図 6.5 の位置に、HF タグを取り付けて読み取り距離を 3m から 10cm 刻みで測定してみた。



図 6.4: PET タグ (UHF タグ) と HF タグの貼り付け図

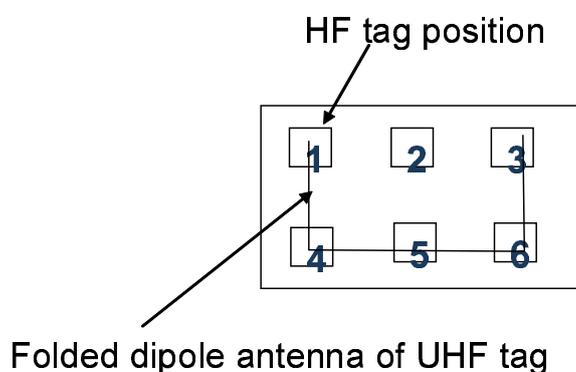


図 6.5: UHF タグへの HF タグ貼り付け位置

読取の測定結果を Table 6.1 に示す。タグ 4 において位置 1、5 で読み取り可能距離が若干短くなったことを除けば、ほとんど影響はないことが分かる。逆に HF タグの読み取りを測定した結果も、単独と差異は認められなかった。

もともと、HF タグのアンテナは 13.56MHz であり、UHF タグと共振点が大幅に異なるうえ、HF 帯タグのアンテナ部が比較的小さく、反射したや受動素子としても影響が現れなかったと考えられる。

表 6.1: HF tag interaction

Tag number	1	2	3	4	5	6	no HF tag
1	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
2	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
3	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
4	3.5	3.1	3.5	3.5	3.1	3.5	3.5

場所による読み取りの差異も認められなかったが、HF が接触方であるためカードの中心にタグが配置してあるほうがユーザにとってわかりやすいと考え、場所としては 2 を選択した (図 6.5)。

## 6.4 リーダアンテナ位置の設計

本節では、具体的なリーダアンテナの取り付け位置に関する考察を行っていく。ここでの解決すべき課題は、リーダアンテナから人体へ到達する電界強度を一定値以下になるよう配置を考慮すべき、あるいは歩行速度で通過する来場者のタグ ID の読み取り性能を高めるといった点である。

### 6.4.1 電波防護指針

総務省情報通信審議会の報告書では 36dBm のリーダについては、反射がない場合には 23cm 以上、強い反射が想定できる場合には、ボアサイト方向に 72cm 以上の隔離距離を設けるよう推奨されている。これは図 6.6 に示す電波法施行規則第 21 条の 3<sup>[26]</sup> の電波保護指針を用いた計算値である。

<電波防護指針の基準値>

表 6. 1 電波防護指針の基準値 (抄)

周波数 f	電界強度	磁界強度	電力束密度	平均時間
300MHz を超え 1.5GHz 以下	$1.585f^{1/2}$ [V/m]	$f^{1/2}/237.8$ [A/m]	$f/1500$ [mW/cm <sup>2</sup> ]	6 分

注 表では、電界強度、磁界強度、電力束密度の数値がそれぞれ規定されているが、真空中 (または空气中) の電波伝搬であれば、電波インピーダンスは  $120\pi$  [ $\Omega$ ] であるので、各数値の意味は同一である。

図 6.6: 電波防護指針による計算値

### 6.4.2 ペースメーカー等医療機器への影響

UHF 帯 RFID によるペースメーカーへの影響は情報通信審議会の報告書でも今後の検討の必要性が述べられているのみで、具体的な指針がない。同様の周波数帯を用いる携帯電話については、電波環境審議会の指針<sup>[27]</sup>によれば、以下のようにになっている。

- 携帯電話端末: 携帯電話端末の使用及び携行にあたっては、携帯電話端末を植え込み型心臓ペースメーカー装着部位から 22cm 程度以上離すこと。また、混雑した場所では付近で携帯電話端末が使用されている可能性があるため、十分に注意を払うこと。

- 自動車電話及びショルダーフォン: 植え込み型心臓ペースメーカを自動車電話及びショルダーフォンのアンテナから 30cm 程度以内に近づけないこと。

一般的な携帯電話の最大出力が 800mW であることを考慮しペースメーカ位置、すなわち成人の胸の高さで、10dB 以下に受信電力を抑圧することを基準とする。ORF2005 では人体頭部への受信電力が 10dB 以下に抑えられるように調整することとした。

### 6.4.3 電波保護指針に関するアンテナ出力の検討

人体の頭部として、180cm 位置におけるアンテナ傾き角度に応じた最短距離を計算し、電波保護指針等と比較した結果が図 6.7 である。電波保護指針の安全側で考えると、傾きは 30 度以上となることとした。

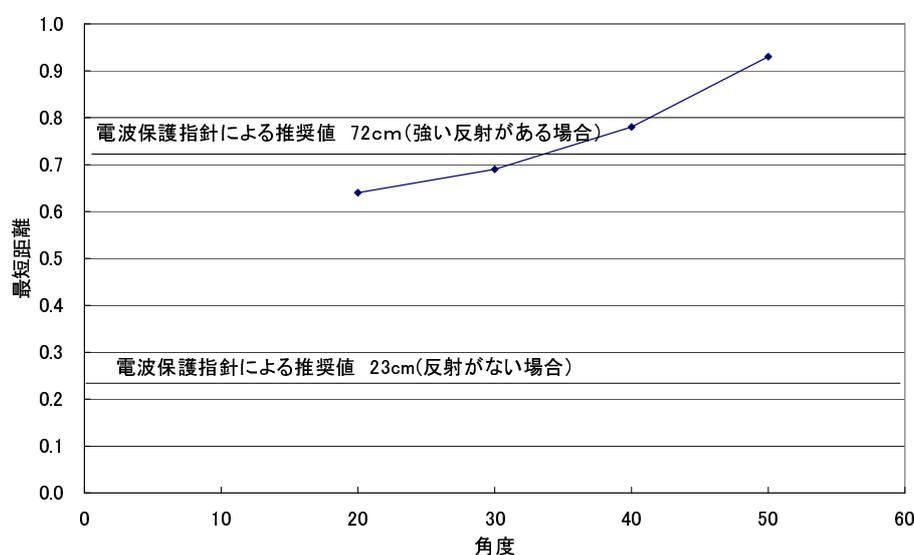


図 6.7: アンテナから人体頭部 (180cm) までの最短距離

ちなみにそれぞれの角度において、電力がいちによってどのように変化するかを計算してみると図 6.8 を得る。30 度の傾きを付けた場合の最大の受信電力は、5mV=7dBm 程度であることが分かる。一般的な携帯電話の最大出力が 800mW=29dBm であることを考えると、人体が受ける電力は大幅に小さい。

### 6.4.4 リーダアンテナ取り付け位置に関する検討

今回 ORF2005 の来場者動線記録システムでは、ORF2004 で利用したゲートと同様のものを使用する。図 6.9 はそのモデルを示している。電波防護指針への対応、医療機器への影響を考慮し、ゲートの縦材にリーダアンテナを設置することは難しいと考

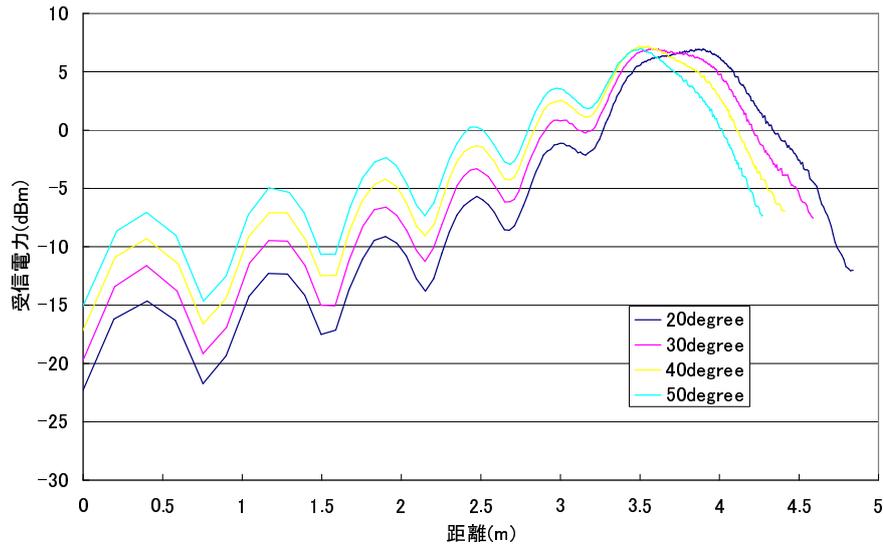


図 6.8: 人体頭部 (180cm) での電界強度

えた。その理由として、柱に設置した場合、人間とリーダアンテナの距離を一定以上距離を空けさせることが物理的に難しいためである。そのため図 6.9 に示す通り、今回ゲート上部の横材にリーダを取り付け、上から電波を照射することとした。そうすることで、人体への影響を考え、リーダアンテナと人体とを一定距離離すことが容易となる。ただし、今回来場者は RFID タグを首からホルダーにぶら下げ、胸の前にリーダがあるモデル (図 reffig:) となる。その場合、リーダの電波は上から照射されるより、横あるいは前から照射されるほうが読み取り率は高いことが分かった。しかし今回は人体への影響、電波防護指針への対応を最優先とし図 6.9 のようなアンテナ取り付けとなった。

以下の図??は、ORF 会場でのゲートの様子である。来場者は入場受け付けを澄ませると、まずこのゲートの下を通り各ブースを見学して回る形となる。

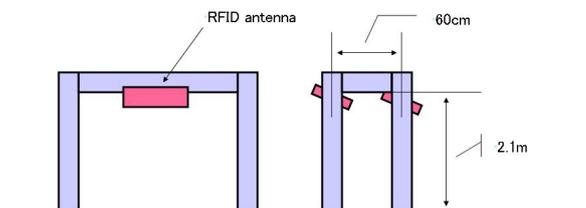


図 6.9: アンテナゲート

以下の図 6.10 は、ORF 会場でのゲートの様子である。来場者は入場受け付けを澄ませると、まずこのゲートの下を通り各ブースを見学して回る形となった。

リーダアンテナのゲート取り付け位置は決まった。では次に、実際にアンテナから



図 6.10: ゲート写真図

送信電力やアンテナの傾き角度の調整を行う必要がある。図??に示したように、来場者はタグを首からぶら下げるので、平均的に 110cm の高さにあることを想定する。タグのアンテナからの受信電力とアンテナの傾き角度の関係を計算した。結果は図 6.11 に示す。計算の際には、リーダアンテナのアンテナパターン、アンテナの傾き、床面などからの反射を考慮している。

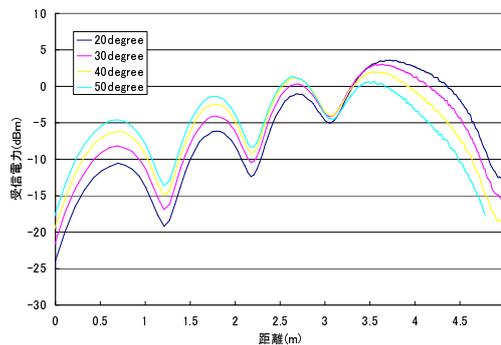


図 6.11: 110cm 高での電界強度

図 6.11 から分かる通り、傾き角度を大きくすると、アンテナから送信される電波のボアサイトがゲート直下から遠ざかり、そのため伝搬が増大するため、電力の照射範囲は遠くまで届くものの、安定的にタグと通信できる目安である  $-5\text{dBm}$  を越える範囲が短くなる。逆にアンテナの傾き角度を小さく設定すると、ボアサイトはゲート直下に近づき、安定して  $-5\text{dBm}$  を越える範囲が広がることが予想できる。最大受信電力は  $4\text{dBm}=3\text{mW}$  程度である。電波防護指針から求めた傾き 30 度の場合では、ゲートから 1m 離れた位置で反射によるヌル点、すなわち電波の不感領域が発生する可能性がある。このとき 2 つのアンテナを利用してこのヌル点を相殺することができる。その場合 2 つのアンテナを設置してヌル点をつぶすには、2 つのアンテナ間の距離を約 60cm

程度にすることが有効であることが図 6.11 から分かる。また、タグの位置と心臓の位置は今回たまたま近いが、受信電力が指針よりも約 6dB 小さい、すなわち 1/4 であることが分かる。

## 6.5 結論

今回 UHF 帯 RFID 技術を用いた、イベント会場での来場者動線記録システムの実現可能性を検討することができた。結論としては、UHF 帯 RFID 技術は十分運用可能であることがわかった。具体的には、以下の 2 点の項目を中心に、その実現性を検討してきた。

- タグの読み取り率を安定させられるか
- 電波法に沿った運用が可能か

UHF 帯 RFID を利用する際一番始めに問題となるのが、このタグの読み取り率の向上・安定である。早くから UHF 帯の利用モデルとして注目され、実証実験が重ねられているのは主に工場などの物流管理段階での利用である。すなわちモノにタグを付けて、モノがベルトコンベアなどを移動する際に、タグ ID でモノ個品レベルの識別が可能になるというモデルである。この利用モデルの場合、モノの流れやタグのリーダアンテナ面への角度が一定であるなど、UHF 帯の泣き所である読み取り率の安定化を図ることが用意であるという特徴がある。今回我々は、UHF 帯パッシブ型の RFID タグを人に持たせた。当然人というのはベルトコンベア上を歩くわけでなく、そのタグ読み取り率をある一定レベル以上で保たせることが難しい。しかも、人体に対する電波法も意識せねばならない。このような背景を元に、今回国内では珍しい UHF 帯を利用した人の動線記録システムの実現を目指す検証実験を行った。今回具体的な数値で、このシステムの有用性を示すことができた。

# 第7章 実装・運用面から見たRFIDシステムの考察

これまでの実装・運用からの考察を元に問題点の切りだしと整理を行い、課題を明確にする。そして今後の研究課題について考察する。

## 7.1 デバイスの抽象化に関する考察

第3章と第4章では、リーダで生成されるリーダイベントを上位モジュールに対して抽象化するためのプログラムを設計、実装した。第3章では、リーダベンダ独自のプロトコルインターフェースに合わせた仕様で、モジュール化した。第4章では、当時のAuto-ID Centerの策定したWLP(Wire Line Protocol)の仕様に合わせたインターフェースを上位モジュールに提供できるようにするReader Adapterを設計、実装した。

これらの章で挙げた問題は、各ベンダ間のデバイスが提供する機能、またその機能を制御するために用意されているインターフェースが統一されていない現状に起因する。今後EPCglobalなどで各モジュール間のインターフェースなどの統一が成されていくことが期待されるが、そのためには以下の2点に注意して設計していくことが重要だと実体験として分かった。

- 上位モジュールに対して下位モジュールの詳細を抽象化することは、インターフェースの統一などには必要なことである。ではどのくらい詳細な情報を抽象化することが理想なのかといった検討を重ね、利用しやすいインターフェースを提供できるようにしなければならない。
- モジュール間のインターフェースは、一度標準化した仕様を決められると変更が難しい。第4章で分かったように、一度規定され公開された仕様(WLP)を後から新たに別物の仕様(RP)へと変更すると、それまでの仕様がまったく意味を果たさず全てに変更を加える必要がでてしまう。逆にインターフェースがしっかりしていれば、各コンポーネントに変更があってもインターフェースはそのまま使うことが可能となる。

## 7.2 運用上の問題

第5章では、中～大規模なイベント運営を支援する RFID 基盤の設計と実装を行った。ここでは、約100台のHFリーダのリードイベントをデータベースに蓄積し、複数アプリケーションにそのリードイベントを提供する仕組みを担った。まずシステムの運営段階で、以下で述べるような点が問題として挙げられた。そして、それらの問題に対して考えられる解決手段を述べる。

### 問題点の整理

本節では、ORF2004で行ったイベント運営支援を目的とした RFID 基盤システムを運用した際の問題点を中心に整理していく。ただしここで挙げられる問題は ORF2004 で発生した特定の問題というわけではなく、ネットワーク型 RFID システム全般に当てはまる問題と言える。以下問題点と主な要因を整理する。

- HF リーダからのリードイベントが上位モジュールに上がってこない
  - － リーダの電源が落ち、勝手に再起動をする
  - － NIC から LAN ケーブルが抜ける (抜かれてしまう)
  - － 上位のネットワーク接続性が不安定
- 来場者に対する RFID タグの実証実験に関する説明が不十分だった
  - － 来場者自身リーダにタグをかざすと、どういったことが起こるのかあまり理解しておらず、したがってあまり関心をもっていない人がいた
  - － 自分の個人情報が、このあとどういう風にご利用されるのかを不安に感じる来場者が少なくなかった。

まず、リードイベントが上位に来なくなった問題に対して、3つの直接的な原因があった。まず一つめはハード的な要因であり、直接的な問題解決に乗り出すには至らなかったが、定期的にオペレータが電源スイッチを入れ直し再起動させることで、断続的にはあるが、2日間のイベント中運用することができた。また二つめの原因は、リーダから LAN ケーブルが物理的に抜かれていたことが挙げられる。まずブース出展者が RFID リーダの設置を適当に澄ませていて、必然的にリーダが落ちたりして結果 LAN ケーブルが抜けた、などといった光景が多々見られた。これは運営側への理解の徹底がなされていなかったことに起因する。最後に三つめの原因であるが、上位のネットワークの接続性が不安定だったことに起因する。ネットワーク型 RFID システムの場合、ネットワークの接続性が前提条件として捉えられて設計されることが多い。特にイベント会場でのネットワーク環境などは、イベント本番直前に接続性が確保されてしまい、準備期間にしっかりした RFID システムの準備ができないことがあった。

次に二つ目の問題に関してであるが、来場者全体としてはRFID タグの利用率がそんなに高くなかったように思われる。その原因は来場者のRFID に対する知識不足、特にこのイベントを通して、こういったフィードバックがあるのか、という説明が行き届いていなかったように思われる。ただしRFID の利用モデルを見学にきてくださる来場者もたくさんいた。また各リーダの横に、個人情報保護に関する情報を載せたプラカードを用意していたが、そこにはアプリケーションの説明などがなく、したがってRFID に関する知識のあまりない来場者の関心を引くことができなかった。

## 7.3 UHF 帯電波伝搬における課題

本節では、UHF 帯RFID 技術を人の動線管理システムとして応用するための課題を整理し、その実現性について検証したことについてまとめる。

### 7.3.1 読み取り率向上への課題

今回、室内という電波の反射しやすい環境下で、UHF 帯RFID 技術を利用した。UHF 帯はその電波利得範囲を広く取れる反面、壁や床面からの反射波との干渉によるフェージングの影響による読み取り率低下を考慮する必要がある。今回RFID リーダのアンテナを、ゲートの骨組み上面から下向きにボアサイトの向くよう取り付けした。したがって主なフェージングの影響は、床からの反射波である。

今回このフェージングの影響をなくすための工夫を、運用面から解決することができた。それは1つのリーダに2つのアンテナを取り付け、互いのアンテナから照射される電波によるフェージングのヌル点を相殺させる手段である。図 [?] に示した通り、1つのアンテナを利用した際の電力利得は120cm 間隔でヌル点をはさむ。今回2つのリーダアンテナの60cm にして電波を照射することで、このヌル点に各々の電波利得の高い点を重ねるというアイデアを採用した。これにより、電波利得の範囲内なのに、タグを読み取ることのできない空間エリアをなくすことができた。

### 7.3.2 電波法を考慮した運用への課題

今回UHF 帯パッシブタグを人に持ってもらい、その行動履歴を記録する仕組みの実用可能性を検討した。電波を運用に利用する際、UHF 帯に限らず電波の運転免許を申請する必要がある。特に日本の場合、UHF 帯の運用に関しては、人体への影響、医療機器への影響を考慮し電波出力などに関しての規制が強い。そのため、これまでUHF 帯の利用モデル自体、人にタグを持たせるモデルはあまりなかった。現在UHF 帯の利用として期待されている分野は、モノにタグを張り物流管理をするモデルである。そのため電波法などの観点では電波法などの規制があまり問題にならなかった。今回のような利用モデルでは、特に上述の人体への影響、医療機器への影響を考える必要があり、その実運用の可能性を疑問視する考えが多い。今回の実験は、そういった意味

で新しい利用モデルの実運用可能性を示すことができたと言える。

しかし、今回実運用性を示せた利用モデルは限定的であるとも言える。今後さらに複数の運用面の検証、あるいはより根本的な解決手段の考案が必要になるかもしれない。

## 第8章 結論

本章では、本論文のまとめとして、本研究の成果、及び今後の課題を示す。

### 8.1 本研究の成果

本研究では、現在様々な分野で注目を集めているネットワーク型 RFID 技術に関する考察を、実際の実装・運用面から3つの課題について行った。また今回の対象とした課題は、いずれも RFID 技術の中の基盤部分であると言える。基盤部分に対して、当然上位にアプリケーションやサービスが存在する。今回の活動で RFID 基盤の研究を進めることができ、今後より容易にアプリケーションを構築できる環境へと繋げることができたと考える。RFID 基盤の持つ問題はまだまだたくさんあると考えられるが、今回特に重要だと考え研究を行ったのは以下の3点に集約できる。

- リーダデバイスの上位モジュールとの通信プロトコル、あるいは上位モジュールに対してデバイスのネットワークインターフェースの抽象化を行う Reader Adapter の設計と実装を行った。
- 中～大規模なイベント会場でのネットワーク型 RFID システムの情報基盤部分の設計と実装を行った。
- UHF 帯 RFID の可読率向上や電波法に準拠した利用のための検討実験を繰り返し、考察を行った。

一つ目の項目では、EPCglobal で標準化している EPC network の標準化インターフェースのひとつである WLP(Wire Line Protocol) に準拠したプロトコル変換モジュールを実装することができた。これにより上位モジュールに対しリーダーデバイスとの標準化したプロトコルで通信を可能とし、同時にリーダーデバイスのネットワークインターフェースを意識させない様、モジュール化することができた。ネットワーク型 RFID 技術の利用分野では、様々なリーダーデバイスを活用してひとつのシステムを運用する場面が想定される。したがってこういったデバイス毎の違いを吸収する中間モジュールの実装は意味があることが、特に ORF2004 などの実際の RFID 基盤運用を通して分かった。

二つめの項目では、実際に耐規模性を考慮したデータの蓄積方法、複数種類のリーダーからの読み取りイベントを統一した形でデータベースに渡すためのフィルタリングミドルウェア、また複数アプリケーションに対して、蓄積した読み取りイベントデータ

を渡すためのインターフェースの設計などを行った。この項目での成果は、一つ目の成果である Reader Adapter の経験が役に立っている。また実際に RFID 基盤を運用してみて、様々な運用上の問題を発見し解決方法を検討してきた。そしていくつかの解決手段を提供することができた。具体的には、まず 130 台程のリーダイベントを、正確に収集するためのミドルウェアサーバの設計と実装、また複数種類のリーダをの読み取りイベントを同一フォーマットでミドルウェアに渡すことのできる Reader Adapter の設計と実装、ミドルウェアからの読み取りイベントを収集し、対故障性を考慮したバックアップデータベース、アプリケーション用データベースの運用などを行うことができた。また、各コンポーネント間のインターフェースに関しても考慮した設計を行った。ミドルウェアからデータベースへのデータの更新には、一つずつ読み取りイベントを更新していくのではなく、一旦ミドルウェアサーバ内の syslog ファイルに書き出していき、syslog ファイルの更新内容を定期的にデータベースに更新していくという設計を取った。これによりデータベースへの更新窓口をひとつに統一できデータベースへの負荷を軽減することができた。当然この仕組みではデータベースの持つデータの真の意味でのリアルタイム性は犠牲になった。しかし確実に全ての読み取りイベントを記録できるという要件を満たすことができた。

三つめの項目では、現在様々な分野から注目されているながら、実用化に至っていない UHF 帯 RFID 技術の利用に関して、様々な実験を行いその実現性の検討を重ねることができた。具体的には UHF 帯パッシブタグを利用し、イベント会場内の人の動線記録を自動で取得する仕組みの実現性を検討し、実際に運用した結果、実現可能であるという結論に達した。ORF2005 における UHF 帯パッシブタグシステムでは、その利用モデル自体が新しいものであったといえる。これまで UHF 帯 RFID 技術で想定されていた利用モデルは、工場内などでモノに対しタグを付加し、ベルトコンベア上のモノの流れを管理するといったもので、主に SCM や FA などの分野で注目を集めていた。それに対し、ORF2005 では人がタグを持つというモデルであった。人がタグを持つか、モノがタグを持つかといった違いにより、その運用の難しさは格段に違ってくる。まず人がタグを持つということは、人に対しても電波を照射せざるを得ない。すると電波法による人体電波防護指針を考慮した運用モデルでなければならない。また心臓ペースメーカーなどの医療機器への指針にも対応しなければならない。またモノがベルトコンベア上を流れるというモデルだと、RFID リーダアンテナとタグのアンテナ面の調整が容易である。それに対して人が RFID タグを持つと RFID リーダアンテナとタグアンテナ面を統一させることは不可能となる。そういった環境のもと、安定してタグデータの読み取りができることが求められる。今回これらの問題を解決すべく、人体や医療機器への影響を考慮したリーダアンテナとタグアンテナの位置関係の設計、2つのリーダアンテナを併用し、フェージングの影響による受信電力のヌル点を相殺するための2つのアンテナ位置設計を行った。

## 8.2 今後の課題

今回以上の3つのRFID技術の問題点を取り上げ、解決に向けた研究を行った。これらの問題はそのまま目に見えるサービスにつながる部分の問題でない。サービスとなるアプリケーションの根幹となる基盤部分に関する考察である。この基盤部分、あるいはその先にあるサービスモデル構築の研究はEPC globalや、EPC globalの研究機関であるAuto-ID Labs.などで現在行われている。今後は基盤部分から具体的なアプリケーションやサービスの研究を行っていく必要がある。

今後の具体的な研究課題のひとつについて述べる。現在、あるひとつのRFIDタグに関連づけられた情報を、ネットワーク上のデータベースから取得することは現在の基盤で可能である。しかし、一つのタグデータからそれ以外のRFIDタグに関連づけられた情報を、有機的に関連性を判断しユーザに提供するような仕組みはまだない。例えばAというモノと、BというモノにそれぞれRFIDタグが付与されそれぞれのモノに関する情報がネットワーク上にあるとする。ユーザがモノAのタグ情報を知るには、タグにRFIDリーダをかざせばよい。ここでBというモノの情報を、Aというモノに関連する情報としてユーザに提示することができれば、RFIDの利用モデルはますます広がる。このとき、AとBというモノ同士に何らかの関係があり、その関係をどうやってコンピュータが認識し、ネットワーク上に散在する情報をユーザに提示できるようにするかという部分が研究課題となる。今度はこういったサービスモデルを提案し、研究していく方針である。

# 謝辞

本論文の作成にあたり、御指導いただきました慶應義塾大学環境情報学部教授村井純博士、並びに同学部教授徳田英幸博士、同学部助教授楠本博之博士、同学部助教授中村修博士、同学部助教授高汐一紀博士、同学部専任講師湧川隆次博士に感謝します。

そして、学部在籍中に最も御世話になった慶應義塾大学政策メディア研究科後期博士課程在籍の川喜田佑介氏に深く感謝致します。氏は私が学部2年次に研究室に在籍した直後から、普段の勉強や研究の御指導を頂きました。氏なくしてはこの卒業論文は為し得ませんでした。改めて感謝いたします。次に、慶應義塾大学政策メディア研究科講師の羽田久一博士に感謝いたします。博士には、卒論時期の卒論指導のみならず、研究室所属当初より御指導を頂いて参りました。締め切り直前には深夜遅くまで御指導頂いたり、感謝の念に尽きません。次に、慶應義塾大学政策メディア研究科助教授三次仁博士に感謝致します。博士には本卒業論文のテーマの一部に関しまして多大な御指導、御鞭撻の程を頂きました。博士の熱心な御指導なくとも、本卒業論文は完成しませんでした。改めて感謝致します。

次に慶應義塾大学政策メディア研究科講師宇夫陽次郎博士、同研究科助手稲葉達也博士、同研究科助手中根雅文氏、同研究科研究員鈴木茂哉氏に感謝致します。所属する Auto-ID ラボ内での研究活動を支えていただき、また卒業論文においても多大なお力添えを頂きました。深く感謝致します。

また慶應義塾大学環境情報学部村井研究室のメンバーで、Auto-ID ラボの先輩で慶應義塾大学政策メディア研究科前期博士課程在籍中の廣瀬俊氏、成瀬大亮氏、谷隆三郎氏に感謝致します。先輩方の御指導により、卒論中間発表や、卒論最終発表を乗り越えることができました。最後まで手厚い御指導御鞭撻、スライドを作成していただいたことには深く感謝致しております。また同じく Auto-ID ラボの学部生仲間環境情報学部の佐藤泰介氏、江村佳吾氏、日野克也氏に感謝致します。特に佐藤氏には、論文の手直しや資料集めを手伝っていただきました。改めて感謝致します。

最後に、私のこれまでの23年間の人生を常に支えてくれた父と母、それから姉に深く感謝致します。それから私の人生に関わりをもち、精神的な安らぎをもたらしてくれた多くの猫たちに感謝します。

## 参考文献

- [1] JR 東日本 Suica. <http://www.jreast.co.jp/suica/>.
- [2] 電子マネー Edy. <http://www.edy.jp/>.
- [3] おサイフケータイ ,NTT DoCoMo. <http://www.nttdocomo.co.jp/service/imode/osaifu/>.
- [4] Auto-ID Labs, 2003. <http://www.autoidlabs.org>.
- [5] EPC Global, 2003. <http://www.epcglobalinc.org>.
- [6] EPCGlobal. *EPC Tag Data Standard Version 1.1 rev 1.27*, May 2005.
- [7] EPCGlobal. *EPCglobal Architecture Framework Version 1.0*, July 2005.
- [8] EPCGlobal. *Object Naming Service (ONS) Specification Version 1.0*, October 2005.
- [9] EPCGlobal. *EPCglobal Architecture Framework Version 1.0*, July 2005.
- [10] EPCGlobal. *Class 1 Generation 2 UHF Air Interface Protocol Standard Version 1.0.9*, January 2005.
- [11] EPCGlobal. *Reader Protocol 1.0 Last Call Working Draft*, December 2004.
- [12] EPCGlobal. *Application Level Event (ALE) Specification Version 1.0*, September 2005.
- [13] Alien technology. <http://www.alientechnology.com/>.
- [14] Extensible Markup Language (XML) 1.0 (Third Edition), W3C. <http://www.w3.org/TR/2004/REC-xml-20040204/>.
- [15] SFC Open Research Forum 2004, SFC 研究所. <http://www.kri.sfc.keio.ac.jp/ORF/2004/>.
- [16] Y. Kawakita, Y. Uo, O. Nakamura, J. Murai. Use of RFID at Large-scale Events. *IATSS Research*, 29(1):6–14, May 2005.
- [17] アカデミーヒルズ, 森ビル. <http://www.academyhills.com/>.

- [18] 形 v720s-hmf01, オムロン. <http://www.omronrfid.jp/products/v720/HMF.html>.
- [19] 形 v720s-d13p01, オムロン. <http://www.omronrfid.jp/products/v720/RK.html>.
- [20] Interop Tokyo. <http://www.interop.jp/>.
- [21] 富士通 loox flx3aw ワイヤレスモデル. <http://www.fmworld.net/biz/pda/products/ploox0407/flx3a>
- [22] Postgresql, postgresql global development group. <http://www.postgresql.org/>.
- [23] The apache software foundation. <http://www.apache.org/>.
- [24] PHP: Hypertext Preprocessor, The PHP Group. <http://www.php.net/>.
- [25] SFC Open Research Forum 2005, SFC 研究所.  
<http://www.kri.sfc.keio.ac.jp/ORF/2005/>.
- [26] 電波法施行規則. 昭和 25 年 11 月 30 日電波監理委員会規則第 14 号.
- [27] 各種電波利用機器の電波が植込み型医用機器へ及ぼす影響を防止するための指針,  
総務省. <http://www.soumu.go.jp/s-news/2005/pdf/050811.2.1.pdf>.