修士論文 2012年度(平成24年度)

RFID タグからの実空間情報の高速取得を 実現するネットワークアーキテクチャ

慶應義塾大学大学院 政策・メディア研究科 宮崎 圭太

修士論文 2012年度(平成24年度)

RFID タグからの実空間情報の高速取得を 実現するネットワークアーキテクチャ

論文要旨

物流行程や多点観測のようなシステムにユーザメモリを有する RFID タグが使われるようになっている.そのため,多様なデータ構造を持つ RFID タグからのデータの高速取得が必要とされてきている.本論文では,ユーザメモリからのデータの高速取得を実現するネットワークアーキテクチャを提案する.このアーキテクチャは RFID タグ内のデータ構造を解決する仕組み,ユーザの欲しい情報を集約する仕組み,読み取り領域を整理する仕組みを有する.提案したネットワークアーキテクチャを ISO/IEC 18000-6 Type C の仕様に基づいた商用の RFID タグおよびリーダライタを用いて実装・評価した.実験により,データが構造化された RFID タグに適用したときにはネットワークアーキテクチャ上のデータ構造の解決の仕組みにより 3.3 倍の高速取得を実現した.また,データが分散した RFID タグに適用したときに読み取る領域の集約の機能により 2.5 倍の高速取得を実現した.

キーワード

1. RFID, 2. センサ, 3. Publish Subscribe パターン, 4. データ構造, 5. ネットワークアーキテクチャ

慶應義塾大学大学院 政策・メディア研究科

宮崎 圭太

Master's Thesis Academic Year 2012

A network architecture for fast retrieval of physical space information from RFID tags

Summary

The use of user memory data together with the unique ID of RFID tag has been expanding in various industrial applications, particularly in logistics and multi-point monitoring. Therefore, the fast reading of user memory data from RFID tags which have different data structure is required. In this thesis, a network architecture for fast retrieval of user memory data is proposed. The architecture features the network based data structure resolving and the optimization of read command according to the characteristics of interrogator and the subscription requests from applications. I implemented the proposed network architecture and evaluated the performance with commercial interrogators and commercial RFID tags both of which are conforming to the fundamental specification of ISO/IEC 18000-6 Type C. In the experiment, 3.3 times read speed up compared with an existing standard is achieved with the network based resolving. The optimization of read command is effective regardless of the protocol implementation of interrogator. Furthermore, 2.5 times speed up is achieved for distributed data structure on RFID tags with the aggregation of read commands.

Keywords

1. RFID, 2. Sensor, 3. Publish Subscribe Pattern, 4. Data Structure, 5. Network Architecture

Graduate School of Media and Governance Keio University

Keita Miyazaki

目 次

第1章	序論	1
1.1	本研究の概要	1
1.2	用語・略称の定義・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	2
1.3	本論文の構成	3
第2章	背景	4
2.1	多点観測	4
	2.1.1 構造物のヘルスモニタリング	4
	2.1.2 放射線量測定	4
2.2	物流 (物的流通)	4
	2.2.1 ベルトコンベア	5
	2.2.2 家電業界における電子タグ運用標準化ガイドライン	5
2.3	情報収集システム	5
	2.3.1 情報収集のためのセンサネットワーク	5
	2.3.2 センサ RFID	5
2.4	まとめ	6
第3章	研究の目的	7
第4章	関連研究	8
第 4 章 4.1	関連研究 EPCglobal Standards	
		8
	EPCglobal Standards	8
	EPCglobal Standards	8
4.1	EPCglobal Standards	8 8 9
4.1	EPCglobal Standards	8 8 8 9 10
4.1	EPCglobal Standards 4.1.1 TDS(Tag Data Standard) 4.1.2 ONS(Object Name Service) ISO/IEC 18000-6C Simple Sensor	8 8 8 9 10
4.1	EPCglobal Standards 4.1.1 TDS(Tag Data Standard) 4.1.2 ONS(Object Name Service) ISO/IEC 18000-6C Simple Sensor 4.3.1 Memory Mapped	88 88 99 100 111
4.2 4.3	EPCglobal Standards 4.1.1 TDS(Tag Data Standard) 4.1.2 ONS(Object Name Service) 5.1.2 Simple Sensor 4.3.1 Memory Mapped 4.3.2 Ported	88 88 99 100 110 111
4.1 4.2 4.3	EPCglobal Standards 4.1.1 TDS(Tag Data Standard) 4.1.2 ONS(Object Name Service) ISO/IEC 18000-6C Simple Sensor 4.3.1 Memory Mapped 4.3.2 Ported Full Function Sensor	88 88 99 100 111 111 122
4.1 4.2 4.3	EPCglobal Standards 4.1.1 TDS(Tag Data Standard) 4.1.2 ONS(Object Name Service) ISO/IEC 18000-6C Simple Sensor 4.3.1 Memory Mapped 4.3.2 Ported Full Function Sensor BRIDGE WP01	88 88 99 100 111 111 121 133
4.1 4.2 4.3	EPCglobal Standards 4.1.1 TDS(Tag Data Standard) 4.1.2 ONS(Object Name Service) ISO/IEC 18000-6C Simple Sensor 4.3.1 Memory Mapped 4.3.2 Ported Full Function Sensor BRIDGE WP01 4.5.1 メモリアクセスコマンドを用いた方式	88 88 99 100 111 111 122 133 144
4.1 4.2 4.3 4.4 4.5	EPCglobal Standards 4.1.1 TDS(Tag Data Standard) 4.1.2 ONS(Object Name Service) ISO/IEC 18000-6C Simple Sensor 4.3.1 Memory Mapped 4.3.2 Ported Full Function Sensor BRIDGE WP01 4.5.1 メモリアクセスコマンドを用いた方式 4.5.2 エアインターフェイスのコマンドを拡張する方式	88 88 99 100 111 111 122 133 144 155
4.1 4.2 4.3 4.4 4.5	EPCglobal Standards 4.1.1 TDS(Tag Data Standard) 4.1.2 ONS(Object Name Service) ISO/IEC 18000-6C Simple Sensor 4.3.1 Memory Mapped 4.3.2 Ported Full Function Sensor BRIDGE WP01 4.5.1 メモリアクセスコマンドを用いた方式 4.5.2 エアインターフェイスのコマンドを拡張する方式 家電業界における電子タグ運用標準化ガイドライン	88 88 910 100 111 112 133 144 155
4.1 4.2 4.3 4.4 4.5 4.6 4.7	EPCglobal Standards 4.1.1 TDS(Tag Data Standard) 4.1.2 ONS(Object Name Service) ISO/IEC 18000-6C Simple Sensor 4.3.1 Memory Mapped 4.3.2 Ported Full Function Sensor BRIDGE WP01 4.5.1 メモリアクセスコマンドを用いた方式 4.5.2 エアインターフェイスのコマンドを拡張する方式 家電業界における電子タグ運用標準化ガイドライン RFID モデルに基づく実空間情報の統合に関する研究	88 88 910 101 111 112 133 144 155 166 177
4.2 4.3 4.4 4.5 4.6 4.7 4.8 4.9	EPCglobal Standards 4.1.1 TDS(Tag Data Standard) 4.1.2 ONS(Object Name Service) ISO/IEC 18000-6C Simple Sensor 4.3.1 Memory Mapped 4.3.2 Ported Full Function Sensor BRIDGE WP01 4.5.1 メモリアクセスコマンドを用いた方式 4.5.2 エアインターフェイスのコマンドを拡張する方式 家電業界における電子タグ運用標準化ガイドライン RFID モデルに基づく実空間情報の統合に関する研究 Generalized Handling of User-Specific Data in Networked RFID	88 88 99 100 111 111 122 133 144 155 166 177

第5章	アプローチ	21
5.1	個別機能の分離,再利用を可能にするネットワークアーキテクチャ	21
5.2	${ m Resolver:} \ { m RFID} \ { m {\it P}}$ のメモリのデータ構造を扱うリゾルバとその分散配置 .	21
5.3	Subscriber: ユーザのリクエストに基づく読み取り領域の指定	22
5.4	Manager: メモリ上に分散したデータフィールドのまとめ読み	23
第6章	设計	24
6.1	Architecture	24
6.2	R/W+Middleware	25
6.3	Resolver	26
6.4	Subscriber	26
6.5	Manager	26
		
第7章	実装	28
7.1	ハードウェア	
7.2	コンポーネント	
	7.2.1 運用環境	
	7.2.2 ONS	
	7.2.3 Manager	
	7.2.4 Subscriber	
	7.2.5 Resolver	32
第8章	評価	36
8.1	······ 評価環境	
	8.1.1 ネットワークトポロジ	
	8.1.2 リーダライタの読み取り速度の性能	
	8.1.3 クラウド上の処理性能	40
8.2	データが構造化されたタグへの応用	42
8.3	データが分散しているタグへの応用	44
	8.3.1 実験ケース 1	44
	8.3.2 実験ケース 2	46
8.4	本手法を他タグに適用する際の取得時間の検討・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	48
8.5	まとめ	50
第9章	結論	51
謝辞		52
	-h	.
参考文献	双	53

付	録 A	RFID タグの表記について	58
付	録₿	EPC / UII	59
付	録C	国際規格	63
	C.1	国際規格の制定過程	63
	C.2	関連する引用規格・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	64
	C.3	ステータス	64
		C.3.1 ISO/IEC 15961	66
		C.3.2 ISO/IEC 15962	68
		C.3.3 ISO/PDTR 29162.2	68
付	録 D	ISO/IEC 18000-6:2010 のセンサ仕様	72
	D.1	$SSD(Simple\ Sensor\ Data) $	72
	D.2	SDS(Sensor Directory System)	74

図目次

4.1	EPCglobal Standards を構成する 14 の標準	9
4.2	ONS を用いる構成図	9
4.3	32bit の SSD Block の構造 (例: Temperature Span 14 C)	11
4.4	ISO/IEC18000-6:2010 で定義している SDS の構造	12
4.5	BRIDGE WP01 で規定する SAM が示すアドレス関係	14
4.6	「RFID モデルに基づく実空間情報の統合に関する研究」のシステム構成	17
4.7	「RFID モデルに基づく実空間情報の統合に関する研究」のミドルウェアの	
	情報入出力	18
4.8	Generalized Handling of User-Specific Data in Networked RFID のシステム	
	構成	19
4.9	An Architecture for Multiple, Large User-specific Data in a Networked	
	RFID のシステム構成	20
5.1	ネットワークアーキテクチャの全体図	22
6.1	ネットワークアーキテクチャを用いる時のシーケンス図	24
6.2	R/W+Middleware と Manager 間のプロトコル	26
7.1	リーダライタ	28
7.2	アンテナ	28
7.3	凸版印刷株式会社製の RFID タグ	28
7.4	RF インターフェイスを有するボード	28
7.5	実験環境....................................	29
8.1	評価環境のネットワークトポロジとホスト間の RTT	36
8.2	各拠点間の RTT	37
8.3	$1\mathrm{word}$ を読み込む所要時間 \dots	38
8.4	$1 { m word}$ を読み込む所要時間のヒストグラム \dots	39
8.5	BAP(Battery assisted passive tag)	40
8.6	クラウド上の各通信処理の所要時間	41
8.7	クラウド上の処理のシーケンス図と各通信処理の所要時間	42
8.8	BRIDGE Resolver を用いた読み取りの所要時間の比較	43
8.9	CEIAG Resolver の試験データのユーザメモリの内容	44
8.10	${ m CEIAG\ Resolver}$ を用いた読み取りの所要時間の比較 $(実験ケース\ 1)$	45
8.11	${ m CEIAG\ Resolver}$ を用いた読み取りの所要時間の比較 (実験ケース $2)$	47
8.12	読み取り回数と読み取りの所要時間を可変にした際の提案手法と従来手法の	
	処理時間の差	50

B.1	GS1 EPC Tag Data Standard 1.6: Gen2 Tag Memory Map 59	
B.2	ISO/IEC18000-6:2010: Logical Memory Map	
В.3	Memory Type A, B, C における ID の保存されるメモリエリア 61	
B.4	ISO/PDTR 29162.2 で定義しているメモリの構造 62	
B.5	ISO/PDTR 29162.2 で定義している MB01 ₂ の構造 62	
C.1	ISO/IEC 18000-6 (Third Edition) の開発段階	
C.2	DSFID の定義	
C.3	ISO/IEC 15961:2004: Figure 1 Schematic of Protocol Layers for an Im-	
	plementation of RFID for Item Management	
C.4	ISO/IEC 15961:2004: Figure 2 Logical Functions and Interfaces 69	
C.5	$ISO/PDTR\ 29162.2:\ Code\ 128\ encoding\ "25SUN043325711MH8031200000000001"$	71
C.6	ISO/PDTR 29162.2: Data Matrix encoding the contents of $\mathrm{MB01}_2$ and	
	$MB11_2 \dots \dots$	
C.7	ISO/PDTR 29162.2: QR code encoding the contents of MB01 $_2$ and MB11 $_2$ 71	
D.1	ISO/IEC 18000-6:2010: Figure 82 Extended Protocol Control bit defini-	
	tions	

表目次

4.1	RFID タグの ID のフォーマット例	8
4.2	ネームサーバ上に記録される NAPTR Record	10
4.3	SDS Address のデータ構造	12
4.4	BRIDGE WP01 が規定している ReadSensorValue コマンド	14
4.5	BRIDGE WP01 が規定している ReadSensorValue コマンドの応答	14
4.6	タグデータ項目 (現在検討中)	15
6.1	sequence の解釈例	25
6.2	Manager による sequence の変換例	27
7.1	各ホストのスペック	29
7.2	tag data のデータフォーマット	31
7.3	電子タグ運用標準化ガイドラインを参考にしたタグデータ仕様	35
8.1	各拠点間の RTT	37
8.2	BAP を用いた各コマンドの所要時間の結果	40
8.3	各拠点間の RTT	41
8.4	BRIDGE Resolver を用いた読み取りの所要時間の比較	43
8.5	${ m CEIAG\ Resolver}$ を用いた読み取りの所要時間の比較 $(実験ケース\ 1)$	45
8.6	各レコードから算出される必要な読み取り回数	46
8.7	CEIAG Resolver を用いた読み取りの所要時間の比較 (実験ケース 2)	47
B.1	ISO 1736x Application Family Identifiers(AFIs)	60
B.2	ISO18000-6:2010 が定義する Tag ID のフォーマット	61
C.1	ISO/IEC 規格作成までの文書名称の歩み	63
C.2	ISO/IEC JTC 1 規格作成までの文書名称の歩み	64
C.3	$MB01_2$ structure of AFI and UII (DUNS) using six-bit encoding	70
D.1	ISO/IEC 18000-6:2010: Table 295 Structure of SSD Address for Memory	
	Mapped Simple Sensor	73
D.2	ISO/IEC 18000-6:2010: Table 296 Structure of SSD Address for Ported	
	Simple Sensor	73
D.3	ISO/IEC 18000-6:2010: Table 297 Tag reply to a successful ACK com-	
	mand if SSD is requested	73
D.4	ISO/IEC 18000-6:2010: Table 293 Structure of HandleSensor command .	73
D.5	ISO/IEC 18000-6:2010: Table 294 Tag reply to successful HandleSensor	
	command	73

D.6	ISO/IEC 18000-6:2010: Table R.1	Read-Simple-Sensor-Data-Block Com-	
	$\qquad \qquad \mathrm{mand} \dots \dots \dots \dots \dots \dots$		74
D.7	ISO/IEC 18000-6:2010: Table R.2	Read-Simple-Sensor-Data-Block Re-	
	sponse		75
D.8	${\rm ISO/IEC}$ 18000-6:2010: Table R.15	Read-Event-Record Command	75
D.9	${\rm ISO/IEC}$ 18000-6:2010: Table R.16	Read-Event-Record Response	75
D.10	ISO/IEC 18000-6:2010: Table 305	Sensor Access Method Interpretation .	75
D.11	ISO/IEC 18000-6:2010: Table 306	Standard Identifier Interpretation n	76
D.12	ISO/IEC 18000-6:2010: Table 304 $$	SDS Entry for Memory Mapped Sim-	
	ple Sensors (3 words always)		76
D.13	ISO/IEC 18000-6:2010: Table 307	SDS Entry for Ported Simple Sensors	
	$(2 \text{ words always}) \dots \dots \dots$		76
D.14	ISO/IEC 18000-6:2010: Table 308	SDS Entry for Full Function Sensors	
	(3 or 7 words)		77

第1章 序論

1.1 本研究の概要

近年,RFID 技術が注目・普及されつつある.RFID 技術には個品単位での ID の割り振りが可能であること,RFID タグ内に書き換え可能なメモリ空間を持つこと,パッシブ RFID 技術を用いる場合,通信電力を要さずに情報をやりとりできる利点が上げられる.このような利点から,実空間情報を情報空間上に集める仕組みを構築するために RFID 技術を利用する取り組みが盛んである.実空間上のモノにそれぞれ固有の ID を割り振ることが可能で,実空間情報を一時的に RFID タグ上のメモリに保存でき,それらを読み取るための電力が不要なため,従来のセンサネットワークに比べ優位な点が存在する.

RFID 技術を用いた実空間情報の取得を適用できる領域は主に物流行程や多点観測にあると考えている.なぜなら,モノ・地点単位のIDの割り振りや,モノ・地点の情報を保持が可能だからである.また,運用において,利用電力の最小化が達成できることも適している.

一方,上記のような優位性を持つRFID 技術が現在広く運用するまでに至っていないのは,RFID 技術における標準・仕様が多く,また開発進行中のものも含まれているため,標準・仕様の整理が煩雑な事態になってしまっているためである.現在の標準・仕様ではRFID タグとリーダライタ間で特別なエアインターフェイスコマンドの実装を要する部分や,RFID タグのメモリのデータ構造を複雑に構造化・分散させる部分が存在する.

ここで多様な標準・仕様に基づいた RFID タグから情報の取得を行う必要がある場合,特定の標準・仕様・要件・RFID タグとリーダライタの組み合わせに特化したシステムの開発は困難である.特別なエアインターフェイスコマンドを利用する標準・仕様は機器の仕様上の制約から不可能になることが多く,また,RFID タグのメモリのデータ構造を複雑に構造化・分散させる標準・仕様において,システムの構築を特定の要件に最適化させずに標準・仕様に基づいて読み取りを行う場合,各データフィールドのアドレス,データ長,データ解釈の定義表や計算指標の取得を RFID タグとリーダライタ間の通信のみによって完結させる必要があるため,それに伴い読み取り回数が増加し読み取り時間が肥大化し,業務要件に支障を来しうる.

本研究では,RFID タグのメモリのデータ構造を複雑に構造化・分散させるような標準・ 仕様を用いる時のような多様なデータ構造を持つ RFID タグからデータを高速に読み取る ことを研究の問題領域として取り上げることする.

本研究では,多様なデータ構造を持つ RFID タグからのデータの高速取得を実現するためのネットワークアーキテクチャを提案する.このネットワークアーキテクチャは以下の3つ

- の役割を持つコンポーネントを含む.
- Resolver ある RFID タグにおける各データフィールドのアドレス,データ長,データ解釈 の定義表や計算指標を扱うコンポーネント
- Subscriber RFID タグごとに持つデータフィールドの中でユーザが必要するデータフィールドを読み取り前に登録させるコンポーネント
- Manager RFID タグから読み取る領域をリーダライタの仕様・特性にあわせて,分割・結合し読み取り領域を整理するコンポーネント

リーダライタミドルウェアはこのネットワークアーキテクチャと通信することで読み取り領域や読み取り回数を最適化させるため,多様なデータ構造を持つ RFID タグからの高速取得が可能になる.また,これらのコンポーネントは役割ごとにアーキテクチャ上で分離されており,再利用が可能である.そのため,従来のようにリーダライタミドルウェアを特定の要件ごとにシステムを構築する必要がなくなる.

本研究では上記の設計・実装と、提案手法を用いた場合と用いない場合の読み取り時間の比較評価を行い、提案手法の核であるネットワークアーキテクチャの有用性を示す、本研究の手法を用いることで、リーダライタミドルウェアの構築を最小限にしながら、多様なデータ構造を持つRFID タグからのデータの高速取得の実現を達成する。

1.2 用語・略称の定義

RFID タグ 無線通信によって個体識別できるタグのこと .本研究中では特に周波数が $900 \mathrm{MHz}$ の UHF 帯で通信できる RFID タグについて言及する . RF タグ , 電子タグ等と同義 .

実空間情報 モノや拠点に関する情報.

- シーケンス RFID タグからのデータを読み取るためのアドレスとデータ長の組を一つ以上 含む情報.
- センサ **RFID** タグ RFID タグにセンサが取り付けられたもので,特にセンサの設定や記録のための情報をセンサ MCU(Microcontroller) のメモリではなく RFID タグのメモリを利用するものを指す.
- 多点観測 複数の地点にセンサ等を設置し観測すること.またそれらの情報を統合し,何らかの知見を得ること.多点計測と同義.
- リーダライタ RFID タグからデータの読み出しおよび書き出しを行う装置のこと.リーダライタ, インテロゲータ (Interrogator) と同義.
- リーダライタミドルウェア リーダライタに読み出しおよび書き出しを指示する装置やソフトウェア類のこと.

AFI アプリケーションファミリ識別子 Application Family IDentifier

DSFID データ記憶様式識別子 Data Storage Format IDentifier

EPC Electronic Product Code

OID Object ID

ONS Object Name Service

SAM Sensor Address Map

SSD Simple Sensor Data

SDS Sensor Directory System

TDS Tag Data Standard

UII Unique Item Identifier

1.3 本論文の構成

本論文は全9章から構成される.第1章では本論文の全体の概要及び構成を述べる.第2章では背景を述べる.第3章では研究の目的を述べる.第4章では関連研究を述べる.第5章ではアプローチを述べる.第6章では設計を述べる.第7章では実装を述べる.第8章では評価を述べる.第9章では本研究の結論を述べる.

第2章 背景

2.1 多点観測

多点観測とは複数箇所に同様の測定器を設置し計測を行うことで,ある事象の影響範囲を 把握できる手法である.

2.1.1 構造物のヘルスモニタリング

ヘルスモニタリング¹は社会資本の老朽化に伴い,土木や建築の分野で重要になっている.これには精度が高く,かつ,安定なシステムが望ましい.また,多くの土木構造物において,変形のモニタリングが最も重要である.被測定領域により,分散型(単点計測)と広域型(多点計測)に大別されている.ひずみゲージは局所的なひずみを捉えるだけである.一方,構造物全体の変形を捉えるためにはゲージ長の長いセンサが必要で,こういったセンサの用途には光ファイバセンサが用いられる[1].

2.1.2 放射線量測定

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震の影響による福島第一原子力発電所の事故により,放射性物質が大気及び海洋へ放出された [2] . その後,文科省は都道府県別環境放射能水準調査を公開したが,これは観測点が周辺建物等の影響を受けないよう,また継続的に飛来物質の時間変動のデータを広域で取るために観測点が地表から高く設定されている.こういった調査結果を受けて,有志によって生活圏 (地表から高さ 1m 程度) の放射線量を測定しなおすという活動が行われている [3] . また,このような測定活動は有識者だけでなく,一般市民も線量計を購入すれば可能で,個々人が放射線量を測定し,それらの情報を集約する WEB サービス「みんなでつくる放射線量マップ」[4] が公開されている.

2.2 物流 (物的流通)

物流とは原材料や生産物,商品といったモノが生産者から流通業者,消費者へ引き渡される一連の流れで,物的流通の略語として広く知られている.近い意味の単語としてロジスティクス (Logistics),サプライチェーン (Supply chain) が存在する 2 .

¹長期健全性モニタリングのこと

²ロジスティクスは適時到着が,サプライチェーンは在庫適性化のニュアンスが強調された単語である [5.6]

2.2.1 ベルトコンベア

物流において,拠点を通過するモノの処理を補助する装置としてベルトコンベアが用いられる.ベルトコンベアの速度によって,単位時間に回転できる回数が決まるため,行程を処理できるモノの数が向上させるためには速いほうが望ましいとされている.

日本ヒューレット・パッカード株式会社における RFID の研究施設では,ベルトコンベア上を高速で移動する RFID を正確に読み取れるが可能かどうかを検証する施設が存在し,この施設でのベルトコンベアの最高速度は分速 150 メートルまで設定できる.また米国ウォルマートでは分速 180 メートルのものが用いられている [7].

2.2.2 家電業界における電子タグ運用標準化ガイドライン

家電業界における電子タグ運用標準化ガイドライン [8, p.66] は家電業界のメーカ・物流事業者・販売店などすべての事業者にメリットをもたらす「製品ライフサイクル管理モデル」という新たな電子タグの活用モデルの国際提案のため,また国際標準仕様の策定への資料として作成された.特に国際標準化提案を行う場が必要になったため,日本の家電メーカが主体となり,EPCglobal における業界毎の電子タグに対する要求仕様をとりまとめる Industry Action Groupの一つとして Consumer Electronics Industry Action Group(略称:CEIAG,以下「家電部会」と呼ぶ)が 2007 年 7月に設立されており,資料中で提案されている仕様もEPCglobal [9] の規格に沿ったものになっている.このガイドラインでは,情報システムの構築だけでなく,RFID タグのメモリの使い方も言及している.

2.3 情報収集システム

2.3.1 情報収集のためのセンサネットワーク

多点観測を行う場合,センサデバイスを観測拠点に複数配置した後,それらから効率良く情報を集めるための仕組みが必要となる.こういった場合において,センサネットワークを扱う手法が一般的であり,センサネットワークを運用するためにネットワークトポロジの設計手法やバッテリーの長寿命化などの検討要件が存在する[10].

2.3.2 センサ RFID

近年,温度情報を扱うセンサ RFID として, PowerID 社が扱う PowerTMP [11] や RFID Sensor Systems 社の Sensor Tags の商品のラインナップと扱っている ST050-1, ST050-2, ST070-1, ST070-2 [12] といった製品が商品化されており,これらは EPCglobal Class 1, Gen2 / ISO18000-6C に対応している.また EM MICROELECTRONIC 社が出している IC である EM4325 は ISO/IEC 18000-6:2010 [13] で定義されている Simple Sensor の温度情報を扱うセンサに対応した IC である [14].

2.4 まとめ

本研究の利用用途として関連する多点観測と物流行程について,またそれらに関連する情報システムの構築について述べた.

多点観測はセンサを利用し,観測拠点の情報を集めることを目的としている.多点観測では建物の歪みや地域の放射能の観測等の幅広い利用用途が存在する.

センサを拠点中に複数かつ広域に設置する必要があるとき,効率的な情報収集の仕組みと 運用方法を検討しなければならない.このとき,有用になるのがセンサ RFID である.パッ シブ RFID 技術を用いるセンサ RFID を用いると,既存のセンサネットワークのようにネッ トワークトポロジの構成を考慮せずに済むことや,センサ情報を取得するための通信電力が 不要になることが優れている.

物流において,高速な物品処理のためベルトコンベアと RFID 技術が用いられる.各個品に RFID タグが貼付される場合,従来のバーコード等と比べ見通し外通信ができるといった利点だけではなくその個品各々が持つ情報を記録・管理できることが優れている.個品各々が持つ情報として,家電に関する情報やセンサ RFID を活用した温度情報等を記録することができる.

多点観測や物流行程を例にした活用事例の情報とはモノや拠点に関する情報であり,これらを実空間情報と呼ぶことができる.多点観測や物流行程において RFID 技術を用いた実空間情報を集約するシステムを構築することは従来のセンサネットワークやバーコード等を用いた技術を利用することに比べて優位な点があることがわかった.

第3章 研究の目的

RFID 技術を用いて実空間情報を集約するシステムを構築することの優位性を述べたが、一方、このシステムを構築する際に以下の2つが検討すべき事項になると考えられる.

- 多様なデータ構造 RFID タグのメモリは保存される実空間情報に応じてデータ構造が異なると考えられる. RFID タグの種類毎にシステムを設計すると,システムの汎用性が失われてしまう. 実空間情報を集約するシステムは,利用される RFID タグの種類に応じ柔軟に対応できる仕組みが望ましい.
- 多量のデータの高速取得 RFID タグには実空間情報が多量に保存される場合があり,これらを多点観測や物流の現場で利用する場合,現場業務を妨げないように情報取得は高速に行われることが望ましい.

以上から,本研究の目的は多様なデータ構造を持つ $ext{RFID}$ タグからのデータの高速取得とする.

第4章 関連研究

4.1 EPCglobal Standards

EPCglobal Standards は RFID を中心にモノのやりとりを規定するアーキテクチャである. EPCglobal Standards は 14 の標準から構成されている (図 4.1) [15]. ここでは,本論文中に関連する TDS(Tag Data Standard), ONS(Object Name Service) について述べる.

4.1.1 TDS(Tag Data Standard)

TDS は EPCglobal Standards 中で ID として用いられる EPC(Electronic Product Code) のフォーマット (表 4.1) ,変換規則等を規定している [16] . 商品の識別に用いられる GTIN(Global Trade Item Number) は , Company Prefix, Item Reference, Check Digit から構成されるが EPCglobal Standards では個品の識別のための Serial Number と物の運搬用途等を示す Filter Value が加えられた SGTIN(Serialized Global Trade Item Number) について規定されている . EPC Binary , EPC Tag URI に用いられる SGTIN には EPC Binary が 96bit である SGTIN-96 と EPC Binary が 198bit である SGTIN-198 が規定されているが , 一般的に用いられるのは SGTIN-96 である .

表 4.1: RFID タグの ID のフォーマット例

4.1.2 ONS(Object Name Service)

ONS は EPCglobal Standards において, EPC に紐付くサービスを検索する技術について 規定している [17]. ONS は DNS 技術を元に構成されている.

ONS を用いて EPC に紐付くサービスを検索するとき, EPC Pure Identity URI の値を用い, Item Reference.Company Prefix.sgtin.id.onsepc.com という URL を用いてクエリをかけることで, 表に表されるような, Service(サービスのキーに相当する) と Regexp(サービ

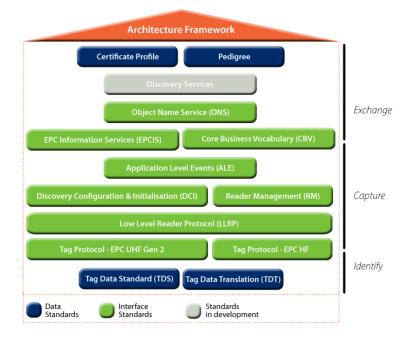


図 4.1: EPCglobal Standards を構成する 14 の標準

スの URL に相当する) の集合が NAPTR(Naming Authority PoinTeR) Record という DNS のレコード型で得られる (図 4.2).

4.2 ISO/IEC 18000-6C

ISO/IEC 18000-6:2010 は ISO/IEC が定める $860 \mathrm{MHz} \sim 960 \mathrm{MHz}$ 帯の RFID タグに関する標準規格である [13] . 規格には Type A \sim D までの 4 つが存在し,タイプごとに変調やメモリに関する仕様 [13, p.12] が異なる.Type C は GS1(Global Standard One) 傘下の EPCglobal

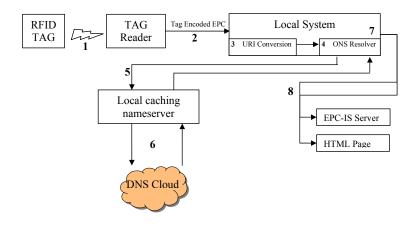


図 4.2: ONS を用いる構成図

表 4.2: ネームサーバ上に記録される NAPTR Record

Order	Pref	Flags	Service	Regexp	Replacement
0	0	u	EPC+ws	!^.*\$!http://example.com/autoid/widget100.wsdl!	
0	0	u	EPC+epcis	!^.*\$!http://example.com/autoid/cgi-bin/epcis.php!	
0	0	u	EPC+html	!^.*\$!http://www.example.com/products/thingies.asp!	
0	0	u	EPC+xmlrpc	!^.*\$!http://gateway1.xmlrpc.com/servlet/example.com!	
0	1	u	EPC+xmlrpc	!^.*\$!http://gateway2.xmlrpc.com/servlet/example.com!	

が独自に企画開発した標準タグ C1G2(Class-1 Generation-2 UHF RFID) 仕様を 2005 年 1月に SC31/WG4/SG3 に提案したもので, 2006 年の 6 月に ISO/IEC 18000-6 Type C として IS(International Standard) 規格が発行されたものである [18].

4.3 Simple Sensor

Simple Sensor は fail/pass のような状態値や特定のセンサの観測値を単一に出力するようなセンサである [13, p.5]. ISO/IEC 18000-6:2010 によって初めて RFID とセンサの連携が標準化されており, UII バンクの XPC-W1 215_h のフィールドによって対象の RFID タグが SimpleSensor であるかないかの区別が定義された [13, Table 195]. センサの仕様や状態については SSD(Simple Sensor Data) というデータブロックが示す (図 4.3). SSD の Sensor Type フィールドがセンサの種類を定義するが,ISO/IEC 18000-6:2010 において定義できるセンサの種類は以下の 5 種類のみである [13, Annex Q].

- Temperature Span 14 C
- Temperature Span 28 C
- Relative Humidity
- Impact
- Tilt

Simple Sensor は Memory Mapped 方式 , もしくは Ported 方式でのアクセス方式を規定している [13, p.308] . RFID タグごとのアクセス方式を判別するために , アクセス方法に関するフィールドが記録される SSD Address が TID バンクの 260_h のフィールドから記録されている [13, Figure 85] . SSD Address の先頭 bit が SSD Address の Access Method フィールドを指しており , 1 なら Ported 方式 , 0 なら Memory Mapped 方式である (表 D.1, D.2) .

4.3.1 Memory Mapped

Memory Mapped 方式では, Simple Sensor を Read, Write コマンドによってアクセスすることができる.

Simple	MSB																													L	SB
Sensor Type	31 30	29	28	3 27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	1:	2 11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
	Sens	or t	ype	Me	ası	ire	A	CC	S	am	plin	ig	ŀ	High	1		Lov	V	١	Moni	tor	Hiç	gh c	out-	Lov	N O	ut-	-	4ar	ms	
Temperature	0	000		S	pai	า				regi	ime	•	in-	ran	jе	in-	ran	ge		dela	ay	of-	ran	ge	of-ı	ran	ge				
Span 14 C													- 1	imi		I	imi	t				a	lam	n	al	arn	n				
																						d	ela	y	d	ela	y				

図 4.3: 32bit の SSD Block の構造 (例: Temperature Span 14 C)

SSD Address 中の Word Address フィールドに SSD の開始アドレスが記録されている (表D.1).

 $\mathrm{SSD}(oxtimes 4.3)$ では,リミット,アラームなどの機能は実装されているが,センサ値の逐次記録の方法,メモリ領域について $\mathrm{ISO}/\mathrm{IEC}$ 18000-6:2010 の中では言及されていない.

4.3.2 Ported

Ported 方式では , SimpleSensor は ISO/IEC 18000-6:2010 で定義された HandleSensor コマンドによってカプセル化されるセンサコマンドによってアクセスすることができる (表 D.4, D.5) .

SSD Address 中の PortNr フィールド (表 D.2) にポート番号が記録されており,この番号を HandleSensor のコマンド内にある PortNr フィールドに代入してセンサへのアクセスを行う. Flex_Query コマンドもしくは Query_BAT コマンド中にある SS Resp(Simple Sensor Response) フィールドに 1:Yes を入力することで, ACK コマンドの応答に SSD のデータを含ませることができる (表 D.3).

特に Ported 方式ではセンサが観測できる値を超過したときのデータとそのカウント値を記録するため Event record block , また Read-Event-Record コマンド (表 D.8, D.9) が定義されている [13, Annex. R] .

4.4 Full Function Sensor

IEEE1451.7 [19] で定義されているセンサ標準はISO/IEC 18000-6:2010 ではFull Function Sensor と呼ばれており, Full Function Sensor との通信はISO/IEC 18000-6:2010 中で定義されている HandleSensor コマンド中のペイロードに IEEE1451.7 で定義されているコマンドをカプセル化することで通信される [13, p.310]. 現在,研究領域の中で実装された例では, Read-Single-Memory-Record や Read-Record-Segments コマンドによって,センサのデータの読み取りが実現されている [20,21].

リーダライタが RFID タグを Full Function Sensor と識別し,センサ値を読み取るためには下記の読み取り処理が必要であるため,センサ値の取得には複数回通信する処理時間が必要となる.

USER TID 230_h SDS Address SDS Entry n (2, 3, or 7 words) 220_h 00_h SDS SDS Entry 2 (2, 3, or 7 words) SDS Entry 1 (2, 3, or 7 words) SDS Active SSD Selector (SDS SDS Lock Status BlockPermalock Status [1:0] Status Entry number) [6:0] [3:0] Word

図 4.4: ISO/IEC18000-6:2010 で定義している SDS の構造

- 1. UII バンク中の XPC_W1 216_h の FS(Full Function Sensor) bit が 1 であることで, Full Function Sensor であることを認識する.
- 2. TID バンク中の $220_h \sim 23F_h$ が , SDS(Sensor Directory System) Address を示す (表 4.3) .
- 3. SDS の構造の中から, SDS Entry x を読み出す(図 4.4).
- 4. SDS Entry 中の Port Number や Sensor ID を読み出す (表 D.14).
- 5. Port Number や Sesnor ID を用いて, IEEE1451.7 で定義されたコマンドを作成し, それを HandleSensor コマンド内にカプセル化させて通信を行う.

表 4.3: SDS Address のデータ構造

	RFU	MB	Word Address
# of bits	6	2	24
description	Reserved for future use	Memory bank selector	SDS starting word address

4.5 BRIDGE WP01

BRIDGE(Building Radio frequency Identification for the Global Environment) は 2006年7月から 2009年8月の3年間を通じて続けられたプロジェクトで, RFIDとEPCglobal

network のアプリケーションを展開するための研究,開発を目的としている.このプロジェクトは 15 のワークパッケージ (WP: Work Package) から成り立つ技術開発,事業開発,普及教育活動の 3 つの枠組みで成り立っている [22].

この中で特にセンサ RFID タグのソフトウェア実装について言及しているのが "BRIDGE WP01 Specification of a common platform for sensor-enabled RFID tags" [23] である . ISO/IEC をはじめとしたセンサ RFID タグの標準が開発中であったことを受け,このワークパッケージはバッテリサポート・他標準とのコンパチビリティ・限定されたユースケースを考慮しない内容に限定して,センサ RFID タグを扱う標準を提案している .

BRIDGE WP01 の仕様において,センサ RFID タグのメモリ上に格納されるセンサ情報にアクセスするためには以下の 2 つの方法を規定している.

- 1. 標準で規定されているメモリアクセスコマンドの Read, Write, (可能であれば)Block-Write コマンドと SAM(Sensor Address Map) を用いたメモリーマップを辿るアクセス方式
- 2. RFID タグとリーダライタに別途エアインターフェイスコマンドを実装して,それら を用いるアクセス方式

4.5.1 メモリアクセスコマンドを用いた方式

BRIDGE WP01 で規定している SAM の構造を図 4.5 に示す . SAM(Sensor Address Map) を用いてリーダライタが RFID タグからセンサ情報が格納されているメモリ領域のアドレスを取得する場合 , 以下の手順を踏む必要がある .

- 1. SAM Pointer として記録されている TID バンクの 20_h から 2word のデータを読み込む . SAM Pointer は SAM が記録されているバンク (通常 USER バンク) とアドレスを示す .
- 2. SAM Pointer によって指定されたバンクとアドレスを 1word 読み込む.このデータは NoS(The number of available sensors) といい, RFID タグに接続されているセンサ数を示す.
- 3. 読み込みたいセンサ番号に対応した SAM-EntryX が NoS のアドレスの後に記録されているので,そのアドレスから 3word 読み込む.SAM-EntryX はセンサデータが記録されてるメモリ領域のバンク(通常 USER バンク),アドレス,大きさを示す.
- 4. SAM-EntryX の情報に基づいて, Memory area of sensorX の領域を読み込む.

SAM の構造を用いた読み込みの場合,標準で規定されているメモリアクセスコマンドのみで利用できるため,多くの RFID タグ,リーダライタでのアクセスが可能である.しかし,センサのメモリ領域を把握するために,上記のような手順を踏む必要があり,例えばあ

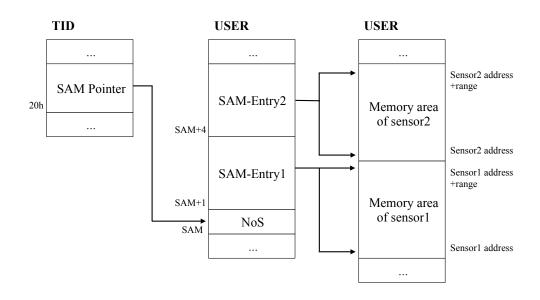


図 4.5: BRIDGE WP01 で規定する SAM が示すアドレス関係

る RFID タグに接続された単一のセンサに関するデータを取得するためには最低でも 4 回の Read コマンドが必要になる .

4.5.2 エアインターフェイスのコマンドを拡張する方式

BRIDGE WP01 ではエアインターフェイス上でのコマンドを独自に RFID タグ , リーダライタ上に実装する方法でセンサにアクセスする仕組みを規定している . センサにアクセスし観測値を取得する ReadSensorValue command を表 4.4 に , また RFID タグからのコマンドの応答を表 4.5 に示す .

表 4.4: BRIDGE WP01 が規定している ReadSensorValue コマンド

	Command	PortNr	DRType	RN	CRC16
# of bits	16	8	8	16	16
# Description	$E0D2_h$	Logical Sensor ID	Data Record's Type	handle	

表 4.5: BRIDGE WP01 が規定している ReadSensorValue コマンドの応答

	Header	Data	RN	CRC16
# of bits	1	Variable	16	16
# Description	0_{2}	Data Record	handle	

4.6 家電業界における電子タグ運用標準化ガイドライン

家電業界で使用する各電子タグの論理的な要件として,家電業界における電子タグ運用標準化ガイドラインは家電業界に特有な仕様としてのタグデータ項目 (表4.6) を挙げている.ただし,これらの項目のどれをタグ内に置くかあるいはネットワーク上の何らかのデータベース上に置くかは第2.0 版では検討中である [8, p.66].

表 4.6: タグデータ項目 (現在検討中)

データ項目	長さ	単位	備考
発番機関コード	50	バイト	漢字含む
製造者コード			
製品型名			
シリアル番号(製造番号)			
製造者使用エリア (任意)	30	バイト	漢字含む
量販店使用エリア (任意)	30	バイト	漢字含む
有害物質含有有無フラッグ	1	バイト	バイナリ
製品バージョン	5	桁	数字のみ
保証者発行年月日	6	桁	数字のみ
要管理消耗品有無フラッグ	1	バイト	バイナリ
要管理消耗品交換日付	6	桁	数字のみ
要管理消耗品交換機関	4	桁	数字のみ
修理日付(最新)	8	桁	数字のみ
修理回数	2	桁	数字のみ
リサイクル申付日付	6	桁	数字のみ
リサイクル ID 番号	12	バイト	バイナリ
製品種別	2(x 8bit)	バイト	バイナリ
製造日	8	桁	数字のみ
保証期限 (失効期限)	6	桁	数字のみ
中古品販売日	6	桁	数字のみ
中古販売事業者	12	バイト	漢字含む
形状(重さ)	6	桁	数字のみ
形状(長さ)	6	桁	数字のみ
形状 (幅)	6	桁	数字のみ
形状 (奥行き)	6	桁	数字のみ
タグの認証,偽造防止(鍵情報)	2 以上	バイト	バイナリ
返品受領日付	6	桁	数字のみ

4.7 RFID モデルに基づく実空間情報の統合に関する研究

成瀬は個体識別のための ID と,実空間情報を扱うためのセンサ・アクチュエータを統合的に扱うため,センサ・アクチュエータノードを RFID タグとして抽象化し,RFID タグのユーザデータ領域への読み書きによりセンサからの情報取得やアクチュエータの操作を実現できる ISARI(Integration of Sensor and Actuator into RFID Infrastructure) モデルを提案した.ISARI モデル上で配備されるスキーマファイルではタグノードに接続されたセンサ・アクチュエータの個数やメモリ領域との対応関係を示し,スペックシートではセンサ・アクチュエータの仕様情報を示す.これにより,ISARI モデルでは新しい形式のタグ・ノードに柔軟に対応できる.また,このスキーマファイルやスペックシートの取得時間は約 12msecで,通常の RFID タグの読み取り時間に支障を与えない範囲での処理が可能である [24].

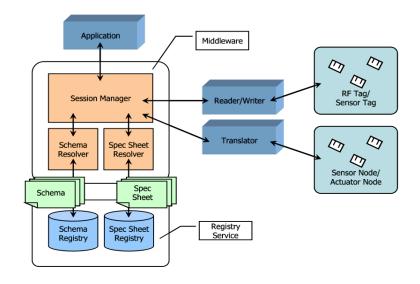


図 4.6: 「RFID モデルに基づく実空間情報の統合に関する研究」のシステム構成

4.8 Generalized Handling of User-Specific Data in Networked RFID

苧阪は RFID タグのメモリに蓄積されるデータ種別やデータ長の多様化に対応するための仕組みとして,各 RFID タグのアドレスマッピング (スキーマ情報) の解決手法を提案した [25]. この手法はミドルウェア中にある Session Manager,Schema Resolver とミドルウェアに接続される Schema Registry を配備したアーキテクチャにより達成される (図 4.8).

4.9 An Architecture for Multiple, Large User-specific Data in a Networked RFID

苧阪はデータ長の多様化において ,特に長いデータ長の読み取り領域の要求に対応するため ,タグデータの効率的な分割読み取り手法を用いた RFID タグの大量データ読み取りの効率化を提案した . この論文では Generalized Handling of User-Specific Data in Networked RFID [25] を発展させたもので , 図 4.8 に新たに分割読み取り手法を実現する Reader Controller をアーキテクチャを提案している (図 4.9) .

4.10 EPC アーキテクチャを用いた農産物の流通システム

著者が所属する Auto-ID ラボは 2012 年 3 月,11 月に EPCglobal Standards が提案する アーキテクチャを用いた農産物の流通システムの構築を農家,標準化団体,民間企業と共同で行った [26] . このシステムでは,農産物の梱包箱に温度情報を蓄積するセンサ RFID タグ

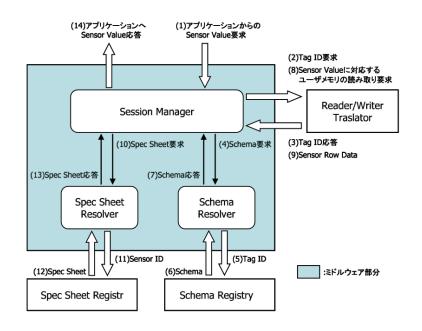


図 4.7: 「RFID モデルに基づく実空間情報の統合に関する研究」のミドルウェアの情報入 出力

の同梱や,農場にガイガーカウンタを設置・放射能情報の取得を行うことで,消費者に農産物の安全性を可視化させる仕組みを実現した.

このシステムの構築において,リーダライタを扱うアプリケーションは二重登録の防止と梱包箱に対する個品情報の補完を行う必要があった.しかし,これらの機能をリーダライタを扱うアプリケーションに直接実装すると各アプリケーションにその機能を実装する必要があるだけでなく,EPCIS(EPC Information Services) との通信回数を追加させなければならない.実際の実験環境において接続環境は3Gのネットワーク網のみに限定され,通信回数の増加は処理時間の増加につながり人的作業の余分な手間を発生させることがわかった.そのため,サービス適応層と呼ぶ機構をEPCISのフロントエンドとしてサーバサイドに組み込み,その機能をクラウド上で運用することで,これらの問題を解決した[27].

4.11 関連研究のまとめ

RFID タグに関する標準は EPCglobal(4.1 節) と ISO/IEC(4.2 節) が定義している.

センサ RFID タグのアクセス方式については Simple Sensor(4.3 節), Full Function Sensor(4.4 節), BRIDGE WP01(4.5 節)が提案されている。これらの方式に基づいてセンサ情報にアクセスするとき,アクセス方式として従来のメモリアクセスコマンドに基づく方式とセンサアクセス用に拡張されたエアインターフェイスコマンドを用いる方式の2種類がある。メモリアクセスコマンド方式に基づく場合,扱うことのできるセンサ種類が少ないことやアクセス回数が肥大化し通信に時間がかかるといった欠点が存在する。センサアクセス用に拡張されたエアインターフェイスコマンド方式に基づく場合,現状ではこれらの標準の発

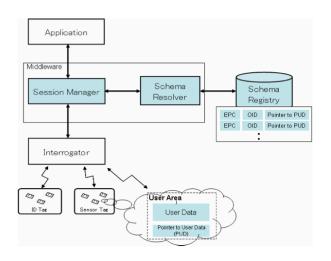


図 4.8: Generalized Handling of User-Specific Data in Networked RFID のシステム構成

行から時間が経っていないことや,現在も標準化が進行しているため,これらのコマンド方式の普及が充分に進んでおらず,RFID タグ・リーダライタが共にこのエアインターフェイスコマンドを実装しているケースが少なく実用的ではない.

他に RFID タグの応用のケースについて,家電製品のライフサイクルを実現するために RFID タグのメモリ領域を活用する例が存在する (4.6 節).この標準は EPCglobal の標準に基づいてはいるが,家電製品に特化した情報を扱う部分が充分に標準化が進んでいない.

上記のセンサ RFID タグや家電製品に RFID タグを用いるケースにおいて,扱う標準の開発が充分に進んでおり,かつその標準が規定している仕組みを RFID タグとリーダライタの両方が実装していなければ RFID タグからの情報取得が実現できないという問題に帰結する.

このような問題を解決するための先行研究として,RFID タグのメモリのデータ構造を扱う仕組みを RFID タグとリーダライタの外部に設置する方法があげられる $(4.7, 4.8, 4.9\, \hat{\mathrm{m}})$. 従来研究は,必要なデータが RFID タグのどのアドレスからどの長さで記録されているかを保持するコンポーネントをアーキテクチャ中に配備することで実現する仕組みに基づいている.

各リーダライタミドルウェアに目的にそった機能を個別に実装するとき,機能の処理をクラウド上で運用することにより,開発した機能を汎用的に利用することができる(4.10 節).

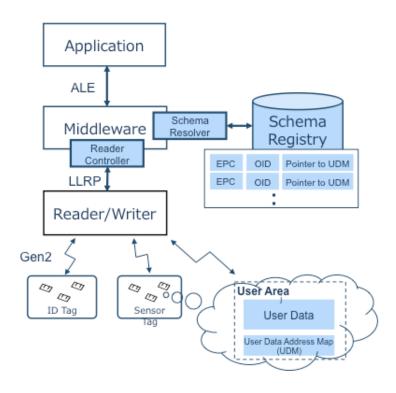


図 4.9: An Architecture for Multiple, Large User-specific Data in a Networked RFID のシステム構成

第5章 アプローチ

研究の目的の章 (3章) の関連研究の章 (4章) を踏まえ,本研究の目的である多様なデータ構造を持つ RFID タグからのデータを高速に読み取ることを達成するためのアプローチと新規性を以下にまとめる.

5.1 個別機能の分離,再利用を可能にするネットワークアーキテク チャ

背景の章 (2章) では様々なユースケースをまとめた.RFID タグの利用において,ユースケースにより必要なデータの種類やデータ量は異なってくる.従来の標準 (4.3, 4.4, 4.5, 4.6節) において特定のユースケースに特化したデータフィールドの取得までを規定しているが,これらの標準を運用する場合,扱うユースケースに基づき,RFID タグ・リーダライタ等に機能を個別開発しなければいけないのが RFID タグ利用の現在の障害となっている.これらは RFID タグとリーダライタミドルウェア間でデータの処理を完結させるという前提に基づき,標準の開発が進行しているという理由に基づいていると考えられる.

ここで,本研究では個別機能の分離,再利用を可能にするネットワークアーキテクチャを提案する(図 5.1). このネットワークアーキテクチャの中では下記に述べる $Resolver(5.2\, \hat{\mathbf{m}})$, $Subscriber(5.3\, \hat{\mathbf{m}})$, $Manager(5.4\, \hat{\mathbf{m}})$ の 3 つのコンポーネントにより,ユースケースごとに個別開発されていた仕組みがコンポーネントの単位に分離され,再利用が可能である.そして,このネットワークアーキテクチャはリーダライタに標準的に実装されている Read コマンドに基づくため,従来の標準 $(4.3,\,4.4,\,4.5\, \hat{\mathbf{m}})$ で定義されている特別なコマンドセットがRFID タグとリーダライタ間で実装される必要がない.

また,このネットワークアーキテクチャはネットワーク上でのデータフローのみを定義しており,直接エアインターフェイスコマンドやRFID タグ上のメモリのデータ構造に干渉しない.そのため,本研究のネットワークアーキテクチャの導入は既存の設計と干渉せず,併用が可能である.

5.2 Resolver: RFID タグのメモリのデータ構造を扱うリゾルバと その分散配置

従来の研究 $(4.7, 4.8, 4.9 \ \mathbb{B})$ では,RFID タグのメモリのデータ構造を扱う仕組み (従来研究の中では Schema Resolver と呼ばれている) が提案されてきた.しかし,従来の研究で

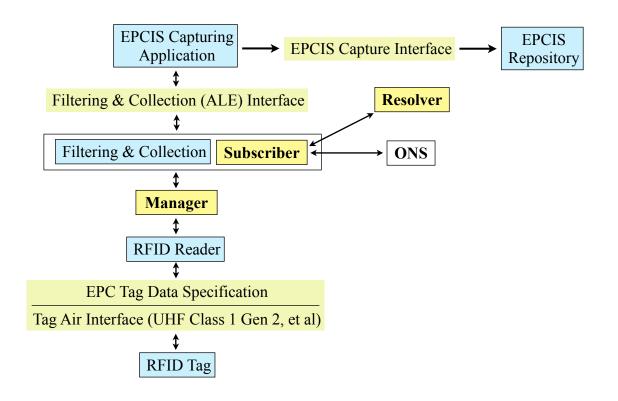


図 5.1: ネットワークアーキテクチャの全体図

は,リーダライタのミドルウェアとデータ構造を扱うコンポーネントが直接接続されたアーキテクチャであったため,リーダライタミドルウェア側で保持していないデータ構造を持つRFID タグの処理が困難であった.

本研究ではデータ構造を扱う仕組みである Resolver の検索を $ONS(4.1.2\ \mbox{\^m})$ を用いて行うことにより,一度開発された Resolver を複数のミドルウェアが利活用できるようなアーキテクチャを提案する.

また,BRIDGE WP01($4.5\,$ 節) により RFID タグのメモリ上にデータが構造化して記録する仕組みが提案されている.Resolver の仕組みによって,センサデータが記録されているアドレスとデータ長を直接指定できることによってデータの取得の高速化が実現できる.

5.3 Subscriber: ユーザのリクエストに基づく読み取り領域の指定

従来の標準 (4.3, 4.4, 4.5, 4.6 節) では, RFID タグのメモリのデータ構造や RFID タグからデータを取得するプロトコルまでを定義しているが, ユースケースにより必要なデータの種類・アドレス・データ量は異なってくるため, それらの値の指定はリーダライタミドルウェアに直接実装されてきた.

本研究では Subscriber というコンポーネントを提案する.このコンポーネントはユーザからの必要なデータのリクエストを記録・管理する.リーダライタが RFID タグからデータを取得する時,アドレス,データ長をリクエストの情報と Resolver を組み合わせて指定す

ることで,ユーザが必要な領域のみを取得できるため,不要なデータ領域を読み取る必要がなくなる.これにより読み取り回数が削減され,読み取りの高速化が実現できる.

5.4 Manager: メモリ上に分散したデータフィールドのまとめ読み

家電業界における電子タグ運用標準化ガイドライン (4.6 節) のタグデータ項目 (表 4.6) では, RFID タグのメモリ上にデータが分散し記録されている例が上げられている. このようなデータ構造からデータを読み込む場合, 各データフィールドに対して逐一 Read コマンドを発生させると読み取り時間が長くなる.

本研究では Manager というコンポーネントを提案する.このコンポーネントは入力された読み取り領域に対して,リーダライタの最大読み取り長に基づいて読み取り領域を整理しリーダライタに伝送するミドルウェアである.これにより,RFID タグのメモリ上で各データフィールドのアドレスが分散していても,それらがリーダライタの読み取りの最大データ長の範囲内であれば,一度の読み取りのコマンドで複数のデータフィールドをまとめて読み取ることが可能になる.これにより読み取り回数が削減され,読み取りの高速化が実現できる.

従来研究では読み取り領域を分割することまでは実現できている $(4.9\ \mathbbm{m})$ が,RFID タグのメモリ上のデータフィールドをまとめて読み取ることについては実践されていない.

第6章 設計

6.1 Architecture

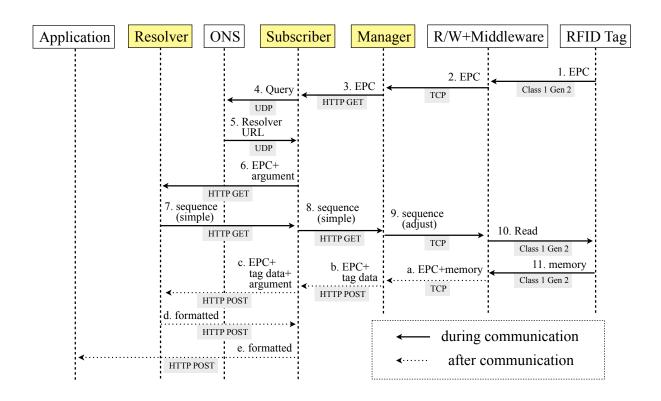


図 6.1: ネットワークアーキテクチャを用いる時のシーケンス図

本研究で提案するネットワークアーキテクチャ (図 5.1) に基づいた RFID タグからのデータ読み取りを実現するシーケンス図を図 6.1 に示す.ここで,Manager には Subscriber の URL が,R/W+Middleware には Manager の IP アドレスが既知の情報であるとする.図 6.1 において矢印実線での情報のフローを示す矢印が,RFID タグからの読み取り中に発生する処理・通信であり,本研究ではこの通信処理の最適化に着目している.

図中にある sequence(simple/adjust), memory, tag data, argument, formatted について以下に役割とデータ形式の詳細を述べる.

sequence(simple/adjust) sequence は R/W+Middleware が RFID タグを読み取るため に用いる情報で読むべきアドレスと,そのアドレスから読むデータ量の組の情報から

構成される配列である. sequence を解釈する例を表 6.1 に示す 1 . sequence(simple) はユーザがリクエストした情報が記録されている箇所を示す sequence で Resolver から出力される. sequence(adjust) は入力された sequence(simple) を Manager の機能にもとづいて,読み取るべき領域が整理された sequence を示す.

memory RFID タグから読み込んだデータである.

tag data RFID タグから読み込んだデータと対応するアドレス・データ長の組の情報である. Resolver は tag data を用いて, データを解釈する.

argument sequence を求めるための引数 (図 6.1 中の矢印 6.7) や , タグから読み取ったユーザデータが何の情報として解決されるかを示す引数 (図 6.1 の矢印 c) の役割を果たす .

formatted Resolver が argument と tag data を用いて出力するデータであり, タグから読み込んだ実空間情報を示す.また,このデータは特にアプリケーション等が活用するためのシンタックス (JSON, XML 等) に基づいて記述される.

sequence	解釈結果	
0.8	0word 目から 8word 分読み込む	
0 3 4 3	0word 目から 3word 分と , 4word 目から 3word 分の	
	合計 6word 分読み込む	
0 8 12 8 24 8	0 word 目から 8word 分と, 12word 目から 8word 分と,	
	24word 目から 8word 分の合計 24word 分読み込む.	

表 6.1: sequence の解釈例

6.2 R/W+Middleware

R/W+Middleware は RFID タグの EPC を取得し, EPC から読むデータ領域を Manager に問い合わせ, 受信した sequence(adjust) に基づいてデータ領域を読みこみ, 読み込んだ データ領域を Manager に送信するコンポーネントである.

リーダライタミドルウェアは多点観測や物流行程での利用を考えると,WiMAX/3G のネットワークのような広域無線のネットワーク網が想定されるため,WiFi や有線での接続に比べて RTT(Round Trip Time) が低速である場合が有り得る.そのため,R/W+Middleware と Manager 間の通信では,RFID タグとの通信の前に TCP セッションを確立しておくことで,RFID タグとの通信中に発生するパケットのやり取りの回数を最小化させる.

このプロトコルを図 6.2 に示す.

¹今回の実装では数値の単位を 1word(=16bit) としている

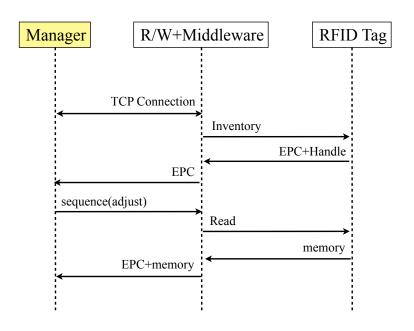


図 6.2: R/W+Middleware と Manager 間のプロトコル

6.3 Resolver

Resolver は RFID タグ内のユーザメモリの各データフィールドのアドレス・データ長を記録し、それらを解釈する仕組みを有する.

Resolver は EPC と argument が入力されたとき, argument で指定された情報に基づいて 読むべきデータフィールドのアドレスとデータ長をまとめ, sequence(simple) 形式で出力する.また, EPC と argument と tag data が入力されたとき, argument で指定された情報に基づいて tag data を解釈し, Resolver の実装によって定めたシンタックス (JSON, XML等)で formatted を出力する.

6.4 Subscriber

Subscriber はユーザの欲しい情報を集約管理する仕組みを有する.

Subscriber は本システムアーキテクチャがデプロイされる前に利用ユーザによって RFID タグの読み取りたい実空間情報を示す argument と読み取った結果を通知する URL を事前に入力する.

6.5 Manager

Manager は RFID タグのユーザメモリから読むべき領域を集約・調整する仕組みを有する. Manager は図 6.1 の sequence(simple) の入力から指定した単位にもとづいて読み取り領域を整理し, sequence(adjust) を出力する. sequence(simple) から sequence(adjust) に変換さ

れる例を表6.2に示す 2 .

表 6.2: Manager による sequence の変換例

sequence(simple)	sequence(adjust)	備考
0.8	0.8	特に変換はされない
0 33	0 32 32 1	33word は 32word を超過しているので 32word 目で区切る
0 65	0 32 32 32 64 1	65word は 32word 目と 64word 目で区切る
		最初の読み出しの開始位置 0word 目と ,
0 5 10 6	0 16	2 つ目の読み出しの終了位置 $16\mathrm{word}$ 目が,
		32word 以内なので一つにまとめる.

²今回の実装では単位を 32word としている

第7章 実装

7.1 ハードウェア

本研究の実装・評価にあたって,リーダライタには Impinj 社が扱っている SPEEDWAY REVOLUTION IPJ-REV-R420-JP2 を用いた (図 7.1, 図 7.2) [28] . また,RFID タグには,センサ RFID タグの代わりに凸版印刷株式会社製の 512bit のメモリを持つ RFID タグ(図 7.3) と弊研究室で開発した 2048bit のメモリを持つ RF インターフェイスを有するボード (図 7.4) [29] を用いた.RFID タグに書き込む ID の方式は EPC を用いている (B 節) .

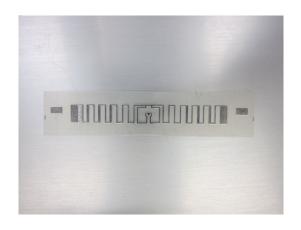
これらの装置をまとめた実験環境の様子を図7.5に示す.



LIDER

図 7.1: リーダライタ

図 7.2: アンテナ



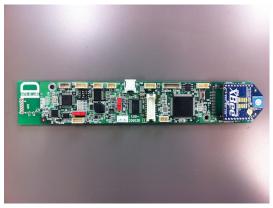


図 7.3: 凸版印刷株式会社製の RFID タグ 図 7.4: RF インターフェイスを有するボード

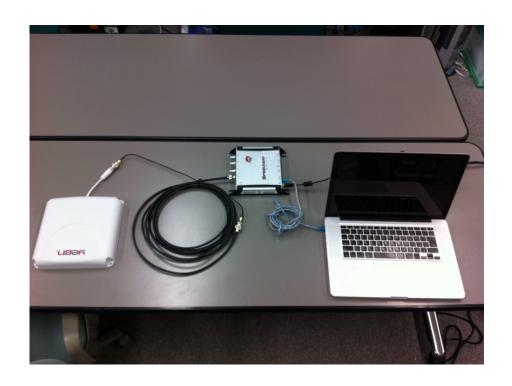


図 7.5: 実験環境

7.2 コンポーネント

7.2.1 運用環境

Manager, Subscriber, Resolver を表 7.1 の仕様のサーバ上で運用した.

表 7.1: 各ホストのスペック

	Manager, Subscriber が稼働するホスト	Resolver が稼働するホスト
OS	Debian 6.0.3	CentOS release 6.3
java version	1.6.0_26	1.7.0_09
MongoDB version	1.6.5	2.2.2

7.2.2 ONS

Company Prefix が457122707である EPC のサービス情報を扱うネームサーバ racowkvm.auto-id.wide.ad.jp に Resolver の URL を記録した.このネームサーバは Root ONS に登録済みである.扱う NAPTR Record を記載している zone ファイル¹の内容をソースコード 7.1 に示す.

¹本環境では/var/named/457122707.sgtin.id.onsepc.com.zone

ソースコード 7.1: zone ファイルの内容

7.2.3 Manager

Manager は java で実装した.読み取る領域を整理するアルゴリズムをソースコード 7.2 に示す.今回の実装では,最大のデータ長を 32word として入力している.これは用いたリーダライタミドルウェアに用いたライブラリ LLRP Toolkit [30] の仕様により,33word 以上のデータ長を指定し読み取りを行うと,エラーが発生するためである². Manager が 32word 刻みで読み取り領域を整理するため,33word 以上のデータフィールドの読み取りの要求にもエラーなく処理することが可能である.

ソースコード 7.2: Manager の読み取り領域を整理するメソッド

 $^{^2}$ 具体的には読み取り処理後に得られるステータスコードが , 通常は M_Success を得るが , 33 word 以上を指定する場合には M_FieldError を得る .

また, Manager から出力される sequence(adjust) の要素数を n とし, tag data のデータフォーマットを表 7.2 とした.

表 7.2: tag data のデータフォーマット

7.2.4 Subscriber

Subscriber は java で実装した.データベースには MongoDB を用いた.ソースコード 7.3 は Subscriber が利用するデータベース中に登録したレコードである.なお, "_id"は MongoDB のレコード単位の ID, "ID" は本研究での RFID タグ単位の ID である EPC に相当する.

- HTTP GET でのアクセス Subscriber に URL 部に引数として ID={EPC} を加えることで,入力された EPC に紐付く Resolver を ONS を用いて検索する. その後,検索して得られた Resolver の URL に対して,レコード中の引数 "ARG"を URL 部に入力することで,読み取り領域を取得し,Manager に結果を送信する.
- HTTP POST でのアクセス Subscriber に URL 部に引数として ID={EPC} を加え body 部に tag data を入力すると,入力された EPC に紐付く Resolver を ONS を用いて 検索する. その後,検索して得られた Resolver の URL に対して,レコード中の引数

"ARG"を URL 部に, また body 部に入力された tag data を送信することで, Resolver から formatted を取得できる. その後, 取得した formatted をレコード中の"POST"が示す URL に送信する.

ソースコード 7.3: Subscriber に登録するレコード

```
"_id" : ObjectId("50b5fa926bd87d0e0de8a93b"),
   "ID" : "urn:epc:id:sgtin:457122707.0301.*",
    "app1" : {
       "POST" : "http://hatenate.auto-id.wide.ad.jp/repository/",
       "ARG" : "&SAM-Entry1-ALLDATA=true"
   }
}
{
   "_id" : ObjectId("50d2a827a9945ec533fca174"),
   "ID": "urn:epc:id:sgtin:457122707.0303.*",
       "ARG": "&SeihinVersion=true&Hosyousyohakkounenngeppi=true",
       "POST": "http://hatenate.auto-id.wide.ad.jp/jsonidrepo/"
   },
   "app2": {
       "ARG": "&Youkanrisyoumouhinkoukanhiduke=true",
       "POST": "http://hatenate.auto-id.wide.ad.jp/"
   },
    "app3": {
       "ARG": "&Syuurihiduke=true&Syuurikaisuu=true",
       "POST": "http://hatenate.auto-id.wide.ad.jp/"
   }
}
```

7.2.5 Resolver

Resolver は java で実装した.データベースには MongoDB を用いた.ソースコード 7.4 は Resolver が利用するデータベース中に登録したレコードである.なお, "_id"は MongoDB のレコード単位の ID, "ID"は本研究では RFID タグ単位の ID である EPC に相当する.

- HTTP GET でのアクセス Resolver にURL部で引数を加えることで、その引数に基づいた 読み取り領域を示す sequence(simple) を Unsigned Short の配列型で出力し、Subscriber に送信する.引数と読み取り領域の関係は Resolver の実装に依存するものとした.
- HTTP POST でのアクセス Resolver に URL 部で引数を加え body 部に tag data 表 7.2 を入力すると,その引数に基づいて tag data を解釈し, formatted を出力し, Subscriber に送信する. formatted のシンタックスは Resolver の実装に依存するものとした.

(1) BRIDGE Resolver

登録するレコードの例をソースコード 7.4 に , また , formatted の例をソースコード 7.5 に示す .

ソースコード 7.4: BRIDGE Resolver に登録するレコード

```
{
    "_id" : ObjectId("50bda79dec039dc25e81fa5b"),
    "ID": "urn:epc:id:sgtin:457122707.0301.*",
    "SAM-Entry1": {
        "Address": 8,
        "Range": 16
    }
}
```

ソースコード 7.5: BRIDGE Resolver が出力する formatted

```
"ID": "urn:epc:id:sgtin:457122707.0301.1",
"SAM-Entry1": {
 "ALLDATA": [
     "Time": 1197363726000,
     "Value": 0
   },
     "Time": 1197363747600,
     "Value": 1
   },
     "Time": 1197363769200,
     "Value": 4
   },
     "Time": 1197363790800,
     "Value": 9
   },
     "Time": 1197363812400,
     "Value": 16
   },
     "Time": 1197363834000,
     "Value": 25
   },
     "Time": 1197363855600,
     "Value": 36
   },
```

```
{
    "Time": 1197363877200,
    "Value": 49
    }
],
"LOGSTAT": {
    "Limit-High-Violation-Flag": false,
    "Limit-Low-Violation-Flag": false,
    "Memory-Full-Flag": true
    }
},
"Time": 1355997254054
}
```

(2) CEIAG Resolver

電子タグ運用標準化ガイドライン中のタグデータ仕様を扱う Resolver は Consumer Electronics Industrial Action Group の略称から CEIAG Resolver という名前で実装した.

電子タグ運用標準化ガイドライン中に規定されているタグデータ仕様 [8, p.66] は,4.6 節で述べた通りどのデータがタグ内に保存されるべきか確定しておらず,また保存される場合の型やデータ量までは確定されていない項目が多い.今回の実験では,列挙された項目が仮に全てタグ内に保存されると仮定し,利用される値に基づき独自に型と word 量を表 7.3 に定義した.

登録するレコードの例をソースコード 7.6 に , また , formatted の例をソースコード 7.7 に示す .

ソースコード 7.6: CEIAG Resolver に登録するレコード

```
{
   "_id" : ObjectId("50c5d308d4a5569899b83fdc"),
   "Hosyousyohakkounenngeppi": 2,
   "ID": "urn:epc:id:sgtin:457122707.0303.*",
   "SeihinVersion": 0,
   "Syuurihiduke": 8,
   "Syuurikaisuu": 10,
   "Youkanrisyoumouhinkoukanhiduke": 5
}
```

ソースコード 7.7: CEIAG Resolver が出力する formatted

```
{
    "Hosyousyohakkounenngeppi": 121205,
    "ID": "urn:epc:id:sgtin:457122707.0303.10",
    "SeihinVersion": 1,
    "Time": 1355984956739
}
```

表 7.3: 電子タグ運用標準化ガイドラインを参考にしたタグデータ仕様

データ項目	長さ	単位	備考	型	word 量
発番機関コード					
製造者コード	50	バイト	漢字含む	String	25
製品型名	1 30	/(411	大子 古り	giing	20
シリアル番号 (製造番号)					
製造者使用エリア (任意)	30	バイト	漢字含む	String	15
量販店使用エリア (任意)	30	バイト	漢字含む	String	15
有害物質含有有無フラッグ	1	バイト	バイナリ	boolean	1
製品バージョン	5	桁	数字のみ	unsigned long	2
保証者発行年月日	6	桁	数字のみ	unsigned long	2
要管理消耗品有無フラッグ	1	バイト	バイナリ	boolean	1
要管理消耗品交換日付	6	桁	数字のみ	unsigned long	2
要管理消耗品交換機関	4	桁	数字のみ	unsigned short	1
修理日付(最新)	8	桁	数字のみ	unsigned long	2
修理回数	2	桁	数字のみ	unsigned short	1
リサイクル申付日付	6	桁	数字のみ	unsigned long	2
リサイクル ID 番号	12	バイト	バイナリ	byte	6
製品種別	2(x 8bit)	バイト	バイナリ	byte	1
製造日	8	桁	数字のみ	unsigned long	2
保証期限 (失効期限)	6	桁	数字のみ	unsigned long	2
中古品販売日	6	桁	数字のみ	unsigned long	2
中古販売事業者	12	バイト	漢字含む	String	6
形状(重さ)	6	桁	数字のみ	unsigned long	2
形状(長さ)	6	桁	数字のみ	unsigned long	2
形状(幅)	6	桁	数字のみ	unsigned long	2
形状 (奥行き)	6	桁	数字のみ	unsigned long	2
タグの認証,偽造防止(鍵情報)	2 以上	バイト	バイナリ	byte	1
返品受領日付	6	桁	数字のみ	unsigned long	2

第8章 評価

8.1 評価環境

8.1.1 ネットワークトポロジ

本研究ではネットワークトポロジの構成により,R/W+Middleware が sequence(adjust) を取得するまでの所要時間が変動する.本論文での評価環境として,ネットワークトポロジを図 8.1 に,また,Subscriber と Manager がデプロイされているホストとその他の各ホスト間で ping コマンドによる echo request, echo reply パケットを 60 回通信した際の RTT の詳細を図 8.2 と表 8.1 にまとめた.ここで,Local Area Network,また Local Area Network と 3G/WiMAX のネットワーク網で疎通性を保っている区域は主に物流行程や多点観測が行われる拠点を想定している.External Cloud には,RFID タグの構造を規定したメーカのクラウド環境を想定している.

今回の評価試験では,ネットワーク網にWiFiを用いた評価環境を利用する.

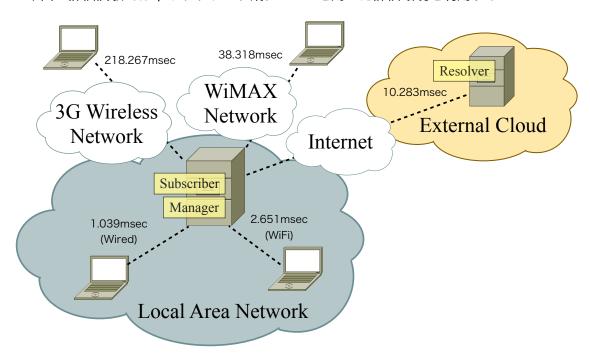


図 8.1: 評価環境のネットワークトポロジとホスト間の RTT

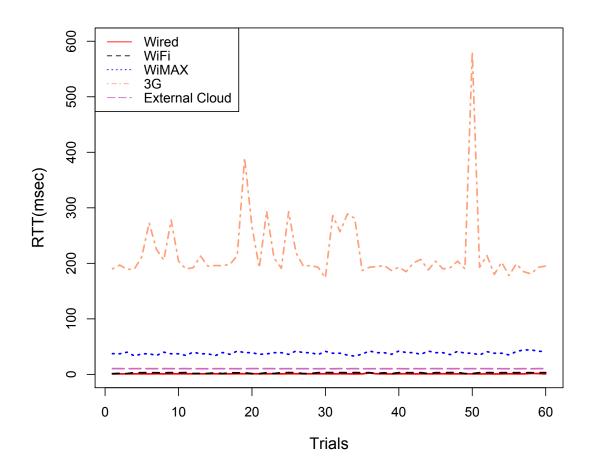


図 8.2: 各拠点間の RTT

表 8.1: 各拠点間の RTT

RTT(msec)	Wired	WiFi	WiMAX	3G	External Cloud
Average	1.039	2.651	38.318	218.267	10.283
Min	0.764	1.279	32.9	174	10.1
Max	2.472	3.49	44.1	581	10.4

8.1.2 リーダライタの読み取り速度の性能

リーダライタの読み取り速度の性能に基づいて,本研究の妥当性を示す必要がある.そこで,RFID タグのメモリを読む際の所要時間について IMPINJ SPEEDWAY REVOLUTION IPJ-REV-R420-JP2 と Panasonic KU-U1601 を用いて,図 7.3 の RFID タグから 1word を 300 回読み取る処理を行い計測した.所要時間の結果を図 8.3 と表 8.3 に,またそのヒストグラムを図 8.4 に示す.

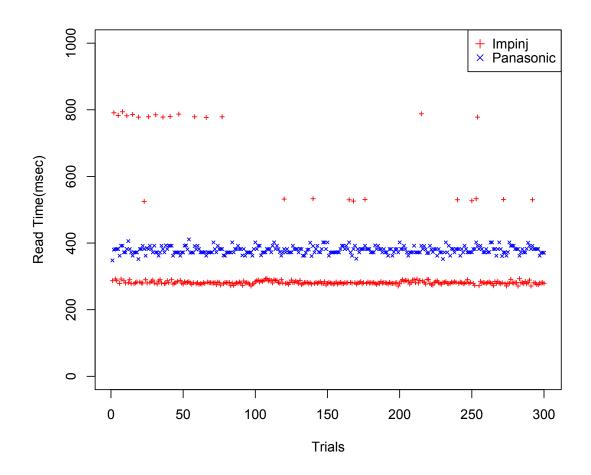


図 8.3: 1word を読み込む所要時間

一度の読み取り試行の時間の内訳について,著者が所属する Auto-ID ラボで開発した BAP(Battery assisted passive tag)(図 8.5)を改良し,エアインターフェイス上の各コマンドの所要時間の監視を行った [31].その結果を表 8.2 に示す.表より,所要時間の 98% 以上は RFID タグへの Inventory のためのコマンドの通信処理が占めている.Inventory のためのコマンドのアルゴリズムの最適化により高速化は可能だと考えられるが,エアインターフェイスレベルでの改良を行うためにはリーダライタのファームウェアの改良を要するため,

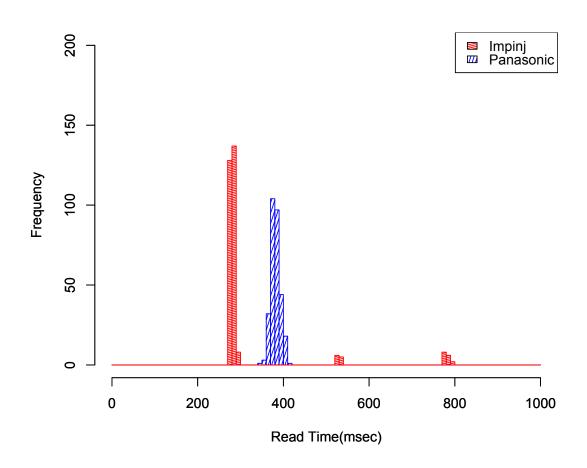


図 8.4: 1word を読み込む所要時間のヒストグラム

商用のリーダライタを用いる多くのユーザにこのような高速化手法の実現は難しい.

また, Impinj のリーダライタは読み取りの所要時間に大きな偏りがある.これはエアインターフェイス中で再送などの仕組みが働いているなどの可能性が考えられる.

以上を踏まえて,本研究において,リーダライタの読み取り試行の所要時間をおおよそ 300 msec として扱うこととする.



図 8.5: BAP(Battery assisted passive tag)

Command Number Total(msec) Category Average(msec) Total(msec) Query 37.0 1.8 65.6Ack 1.0 0.90.9 372.1 Inventory QueryAdjust 43.1 1.8 79.3 QueryRep 154.0 1.5 226.4 ReqRN 2.3 1.0 2.3 Read 6.2 Read 1.0 3.9 3.9

表 8.2: BAP を用いた各コマンドの所要時間の結果

8.1.3 クラウド上の処理性能

クラウド上の処理性能に基づいて,本研究の妥当性を示す必要がある.R/W+Middleware が読み取った EPC から sequence(adjust) を得るまでの所要時間を得る試行を 100 回繰り返した.図 8.6 がその所要時間の分布であり,図 8.7 が各所要時間の平均を記載したシーケンス図である.なお,このときの各ホスト間の RTT は図 8.2 の値を利用している.

Subscriber が Resolver から sequence(simple) を取得する時間は 26.523msec であるが,これは HTTP の通信処理のため,3 ウェイ・ハンドシェイクによる接続確立と sequence(simple) が含まれるパケット取得により RTT の 2 倍以上の時間がかかっている.また,26.523(msec) —

表 8.3: 各拠点間の RTT

Read Time(msec)	Impinj	Panasonic
Average	317.167	378.887
Min	271	348
Max	794	411



図 8.6: クラウド上の各通信処理の所要時間

External Cloud

Local Area Network

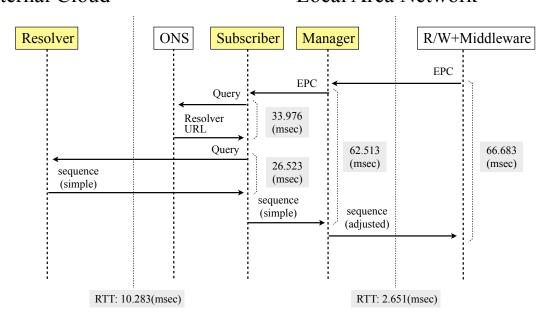


図 8.7: クラウド上の処理のシーケンス図と各通信処理の所要時間

 $2\cdot 10.283 (msec)=5.957 (msec)$ の余剰時間分は Resolver 側のサーバ処理や sequence (simple) の生成処理時間等に相当すると考えられる.これは今回の実装において Java と Mongo DB の組み合わせで発生した処理時間であり,実装によりこの余剰時間は充分に最小化できる.同様の理由で R/W+Middleware と Manager の通信にも 66.683 (msec)-62.513 (msec)-2.651 (msec)=1.519 (msec) の余剰時間は Manager 側のサーバ処理であり実装により最小化できる処理時間である.

また,今回の測定環境の Local Area Network において,R/W+Middleware と Manager 間は WiFi を経由した接続であったが,これが WiMAX や 3G の接続環境であった場合,通信時間が各環境の RTT の分だけ変動が起きるとかんがえられる.例えば,R/W+Middleware と Manager 間が WiMAX を経由する接続である場合,取得までの総時間は 66.683(msec)-2.651(msec)+38.318(msec)=102.350(msec) 相当になると考えられる.

8.2 データが構造化されたタグへの応用

本研究で提案するネットワークアーキテクチャを RFID タグのメモリにデータが構造化されて保存されているケースに適用し , 高速取得の評価を行う . 構造化される例として , 関連研究 (4章) で述べた BRIDGE WP01 $(4.5\,\$)$ のメモリアクセスコマンドを用いた方式 $(4.5.1\,\$)$ を用いる .

BRIDGE WP01 では図 4.5 の通りにデータが保存されているが,この内,センサデータを表すデータ領域は Memory area of sensorX に相当し,この領域のメモリアドレスとデー

夕長を示すのは SAM-EntryX に相当する.そこで,BRIDGE Resolver に SAM-Entry の内容と同等の情報を記録し (ソースコード 7.4),図 7.3 の RFID タグから 300 回の読み取りを行い評価試験を行った.このときの読み取りの所要時間の平均値を図 8.8 と表 8.4 に示す.

Resolver の仕組みによって必要なデータ領域が直接指定されることで, RFID タグのデータフィールドのアドレス・データ長などを読み取る3回の読み取り試行が省略され,今回の評価試験の結果においては3.3倍の高速取得を実現した.

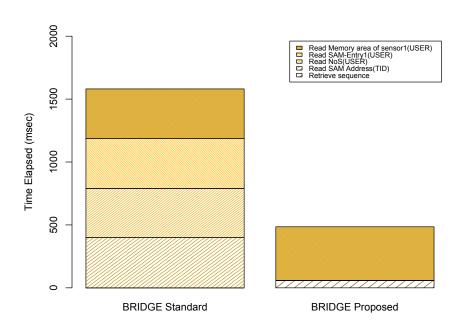


図 8.8: BRIDGE Resolver を用いた読み取りの所要時間の比較

表 8.4: BRIDGE Resolver を用いた読み取りの所要時間の比較

Time Elapsed(msec)	BRIDGE Standard	BRIDGE Proposed
Retrieve Sequence	0	59.210
Read SAM Address(TID)	398.843	0
Read NoS(USER)	391.007	0
Read SAM-Entry1(USER)	395.643	0
Read Memory area of sensor1(USER)	395.397	426.017
Total	1580.890	485.227

8.3 データが分散しているタグへの応用

本研究で提案するネットワークアーキテクチャを RFID タグ上のメモリにデータが分散して保存されているケースに適用し、高速取得の評価を行う、構造化される例として、関連研究 $(4\,\hat{\Phi})$ で述べた家電業界における電子タグ運用標準化ガイドライン $(4.6\,\hat{\Phi})$ で現在検討されているタグデータ項目の仕様を用いる、現在このタグデータ項目の仕様は検討中であるため、 $7.2.5\,\hat{\Phi}$ (2) で示した表 $7.3\,\Phi$ のタグデータ項目の仕様を実験に用いた、

8.3.1 実験ケース1

実験ケース 1 において試験データとして 3 人のユーザが 5 つのタグデータ項目を登録しているケースを仮定し,Subscriber にはソースコード 7.3 を,CEIAG Resolver にはソースコード 7.6 を登録した.このときの RFID タグのユーザメモリは図 8.9 の通りである.以上の条件のもと,図 7.3 の 512bit のメモリを持つ RFID タグから 300 回の読み取りを行い評価試験を行った.

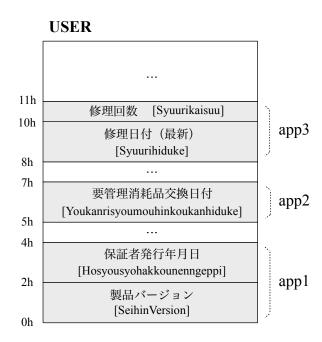


図 8.9: CEIAG Resolver の試験データのユーザメモリの内容

読み取りの所要時間の平均値を図 8.10 と表 8.5 に示す.分散した 3 つのメモリ領域が Manger によって読み取りが集約されるため,余分な読み取り試行が省略される.今回の評価試験の結果においては 2.5 倍の高速取得を実現した.

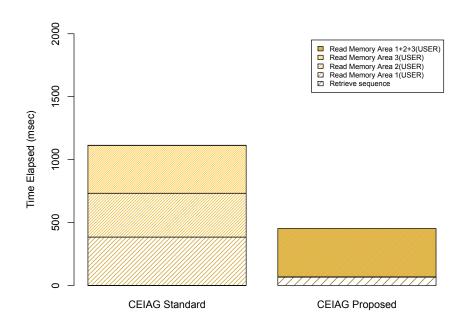


図 8.10: CEIAG Resolver を用いた読み取りの所要時間の比較 (実験ケース 1)

表 8.5: CEIAG Resolver を用いた読み取りの所要時間の比較 (実験ケース 1)

Time Elapsed(msec)	CEIAG Standard	CEIAG Proposed
Retrieve Sequence	0	65.203
Read Memory Area 1(USER)	383.247	0
Read Memory Area 2(USER)	348.847	0
Read Memory Area 3(USER)	381.313	0
Read Memory Area 1+2+3(USER)	0	386.9667
Total	1113.407	452.170

8.3.2 実験ケース2

実験ケース 2 では,2048bit のメモリを持つ RF インタフェースを有するボード(図 7.4)に3 つのタグデータ項目を設定し,それぞれのアドレスを無作為に変更する条件の下で読み取りの所要時間を計測した.Subscriber にはソースコード 8.1 を登録した.また,CEIAG Resolver にはソースコード 8.2 に示すようなレコードを EPC のシリアル値を $1\sim 1000$ に変え,各アドレス値を $0\sim 127$ に無作為に変更し登録した.なお,各データフィールドのデータ長は 1 word である.

ソースコード 8.1: 実験ケース 2 で Subscriber に登録するレコード

ソースコード 8.2: 実験ケース 2 で CEIAG Resolver に登録するレコード例

```
{
    "ID": "urn:epc:id:sgtin:457122707.0303.1",
    "YuugaibussituganyuuFlag": 97,
    "YoukanrisyoumonhinumuFlag": 119,
    "Youkanrisyoumouhinkoukankikan": 17
}
```

登録したレコードに対して Manager の集約によって,R/W+Middleware で各レコードに対して必要になった読み取り回数の結果を表 8.6 に示す.また,読み取り回数の期待値は下記式より約 2 回である.

$$\frac{1 \cdot 145 + 2 \cdot 716 + 3 \cdot 139}{1000} = 1.994$$

表 8.6: 各レコードから算出される必要な読み取り回数

The number of read command		2	3	Total
The number of sample		716	139	1000

図 7.4 のボードに対して,従来手法で想定されるように 3 つのデータフィールドをそれぞれ読み取る場合と,提案手法を用いて読み取る場合で読み取りを 300 回繰り返した.読み取りの所要時間の平均値を図 8.11 と表 8.7 に示す.

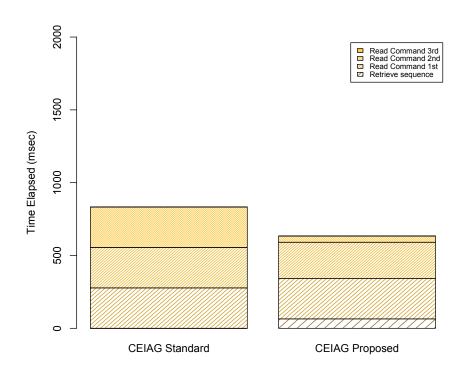


図 8.11: CEIAG Resolver を用いた読み取りの所要時間の比較 (実験ケース 2)

表 8.7: CEIAG Resolver を用いた読み取りの所要時間の比較 (実験ケース 2)

Time Elapsed(msec)	CEIAG Standard	CEIAG Proposed
Retrieve Sequence	0	64.653
Read Command 1st	277.437	278.400
Read Command 2nd	277.847	247.717
Read Command 3rd	277.900	43.453
Total	833.183	634.223

提案手法において読み取りのみ所要時間の合計は $569.570 \mathrm{msec}$ であり,従来手法と比較すると 0.684 倍である.これは従来手法で必要な読み取り回数 3 回と,提案手法での読み取り回数の期待値 2 回との比にほぼ一致する.また,シーケンス取得までの所要時間の合計を比較すると,1.3 倍の高速取得を実現した.

8.4 本手法を他タグに適用する際の取得時間の検討

上記の2つの評価実験における条件は性能評価のために一意に設定したものである。ここで,今回の提案手法をその他の RFID タグに利用する場合の性能を検討する。

リーダライタミドルウェアがシーケンスを取得するまでの時間は $T_{Sequence}$ で表すことができる.

 $T_{Sequence} = RTT_{Cloud} + T_{Cloud}$ $RTT_{Cloud} = RTT_{RWM2M} + RTT_{M2S} + 2RTT_{S2R}$ $T_{Cloud} = T_{ONS} + T_{Resolver} + T_{Subscriber} + T_{Manager}$

 $T_{Sequence}$ リーダライタ・ミドルウェアのシーケンス取得までの時間の総和

RTT_{Cloud} クラウド上での処理で発生する RTT の総和

 T_{Cloud} クラウド上のプロセス処理の時間の総和

 RTT_{RWM2M} リーダライタ・ミドルウェアと Manager 間の RTT

 RTT_{M2S} Manager と Subscriber 間の RTT

 RTT_{S2R} Subscriber と Resolver 間の RTT

 T_{ONS} Subscriber が ONS に Query $oldsymbol{\mathsf{U}}$, Resolver の URL を取得するまでの時間

 $T_{Resolver}$ Resolver 上のシーケンス生成処理やサーバ処理等の時間

 $T_{Subscriber}$ Subscriber 上のサーバ処理等の時間

 $T_{Manager}$ Manager 上のシーケンス生成処理やサーバ処理等の時間

さらにリーダライタミドルウェアが EPC を読み取った後 , sequence(adjust) を取得し , その sequence(adjust) に基づいて RFID タグのメモリからデータを読み取る時間の総和 T_{Total} は下記で表すことができる .

 $T_{Proposed} = T_{Inventory} + T_{Sequence} + T_{ReadTime} x_{Proposed}$

 $T_{Proposed}$ 提案手法を用いた RFID タグのメモリからデータを読み取るまでの時間の総和

 $T_{Inventory}$ Inventory の所要時間

 $T_{ReadTime}$ 一度の Read コマンドにおける所要時間

 $x_{Proposed}$ 提案手法を用いた場合の読み取りの回数

また,今回の提案手法を用いず,従来の実装手順で RFID タグのメモリからデータを読み取る時間の総和 $T_{Conventional}$ は下記で表すことができる.

$$T_{Conventional} = T_{Inventory} + T_{ReadTime} x_{Conventional}$$

 $T_{Conventional}$ 従来の実装手順での $ext{RFID}$ タグのメモリからデータを読み取るまでの時間の 総和

xConventional 従来の実装手順での読み取りの回数

実験環境の通信環境に WiMAX のネットワーク網を用いること, また Resolver に外部の クラウドを利用すること等を踏まえた上でパラメータを以下のように定める.

$$T_{Inventory} = 300$$

 $RTT_{Cloud} = 60$
 $T_{Cloud} = 40$
 $T_{Sequence} = RTT_{Cloud} + T_{Cloud}$
 $= 100$

このパラメータのとき,提案手法と従来手法の処理時間とその差 $T_{Difference}$ は以下のように表すことができる.

$$T_{Proposed} = T_{Inventory} + T_{Sequence} + T_{ReadTime}x_{Proposed}$$

$$= 400 + T_{ReadTime}x_{Proposed}$$

$$T_{Conventional} = T_{Inventory} + T_{ReadTime}x_{Conventional}$$

$$= 300 + T_{ReadTime}x_{Conventional}$$

$$T_{Difference} = T_{Conventional} - T_{Proposed}$$

$$= T_{ReadTime}(x_{Conventional} - x_{Proposed}) - 100$$

提案手法と従来手法の読み取り回数の差 $x_{Conventional}-x_{Proposed}$ を 0,1,2,3,4 とし,リーダライタの一度の Read コマンドにかかる読み取りの所要時間 $T_{ReadTime}$ を説明変数とすると,図 8.12 のように示すことができる.

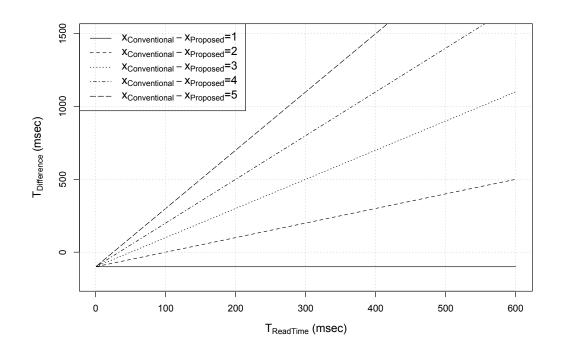


図 8.12: 読み取り回数と読み取りの所要時間を可変にした際の提案手法と従来手法の処理時間の差

提案手法と従来手法によって読み取り回数の差が発生しない場合,ネットワークアーキテクチャで通信を行う処理がオーバーヘッドとなり,読み取りの所要時間に依らず提案手法は不利な結果が出る.一方,提案手法と従来手法の読み取り回数が1以上であれば,読み取りの所要時間が100msec以上である時,提案手法が優位な結果が得られる.

8.5 まとめ

本論文では、提案手法についてクラウドやリーダライタの通信処理の性能を測定した上で、検証を行った。本研究で想定した実験ケースにおいて、このネットワークアーキテクチャをデータが構造化された RFID タグに適用したときには 3.3 倍、データが分散した RFID タグに適用したときには最大 2.5 倍の高速取得を実現した。

また,本アーキテクチャをその他のケースで用いる場合,提案手法と従来手法における読み取り回数の差が 1 以上かつリーダライタの一度の読み取りの所要時間が $100 \mathrm{msec}$ 以上であるとき,優位な結果が得られることを示した.

第9章 結論

本論文では RFID タグのユーザメモリからのデータの高速取得を実現するネットワーク アーキテクチャを提案した.

従来,ユーザメモリが高速に読み取れなかった理由は,ユーザメモリのデータ構造を特定するためのプロトコルがリーダライタと RFID タグ間の通信のみで解決しようとしていたこと,アプリケーションからの要求やリーダライタの特性を考慮せずデータ読み取りを行っていたことにある.

この問題を解決するためには,ONSと連携してRFIDタグのメモリのデータ構造をインターネット上のResolverで解決することが有効である.また,Subscriber機能によりユーザ・アプリケーションからの要求を整理するとともに,Manager機能によってリーダライタの特性に合わせて読み取り領域を再構築することも有効である.

提案したネットワークアーキテクチャの有効性を示すために読み取りの所要時間については、RFID タグのメモリにデータが構造化して保存されている例としてBRIDGE WP01を、分散して保存されている例として家電業界における電子タグ運用標準化ガイドラインの仕様を利用して評価実験を行った.従来の状況を想定して実装されるケースと比較して本提案手法を用いた場合、データが構造化して保存されている例では3.3倍、データが分散して保存されている例では2.5倍の高速取得が実現できることを示した.

謝辞

本研究を進めるにあたり,主査である慶應義塾大学環境情報学部教授村井純博士に感謝致します.また,副査である慶應義塾大学環境情報学部教授中村修博士,同学部准教授三次仁博士に感謝致します.特に三次仁博士は非常に多忙の中,多くの時間を割いていただきました.三次仁博士に重ねて感謝致します.

モービル広域ネットワークプロジェクトにおいて、ご指導とご助言を頂きました慶應義塾大学環境情報学部准教授植原啓介博士、同学部准教授楠本博之博士、同学部教授武田圭史博士、同学部准教授 Rodney D.Van Meter III 博士、同大学政策・メディア研究科特任講師斉藤賢爾博士、同研究科特任講師吉藤英明博士、同研究科特任講師 Achmad Husni Thamrin博士、同研究科特任助教中根雅文博士、同大学 SFC 研究所上席所員佐藤雅明博士、同大学 Information Technology Center 本部助教鈴木茂哉博士に感謝致します。

研究室生活において常に苦楽を共にしてきた,Auto-ID ラボの仲間である慶應義塾大学政策・メディア研究科博士課程鈴木詩織女氏,同研究科修士課程米村茂氏,佐藤友紀氏,横石雄大氏,小澤みゆき女氏,同大学環境情報学部吉田守氏,五十嵐祐貴氏,小薗宏樹氏,清水真有女氏,城風智氏,鈴木駿氏,三樹良亮氏,百石順一朗氏,小畠大平氏,渡辺至都女氏に感謝致します.特に,実験に協力してもらった佐藤友紀氏,五十嵐祐貴氏,校正に協力してもらった小薗宏樹氏,清水真有女氏に重ねて感謝致します.

論文の追い込み時期を共にした村井研究室同期である慶應義塾大学政策・メディア研究科修士課程佐藤弘崇氏,三部剛義氏に感謝致します.

本研究の先行研究を進めた Auto-ID ラボの OB である成瀬大亮氏, 苧阪浩輔氏に感謝致します。

慶應義塾大学政策・メディア研究科の研究基盤である ERNS(Evolving Research Network System) の運用に参加させていただき , サーバ・ネットワークオペレーションを学ばせていただきました . ERNS アドバイザと ITC スタッフの皆様に感謝致します .

学業一辺倒の院生生活において,合奏練習で生活のメリハリをつけてくださった Ganymede Jazz Orchestra の皆様に感謝致します.

最後に,これまで生活面において常に支えてくれた家族に深く感謝し,本論文の謝辞とさせていただきます.

参考文献

- [1] 三上 隆男. 光ファイバセンサによる高層ビルのヘルスモニタリング. http://www.iic-hq.co.jp/library/pdf/036_02.pdf. 2012 年 12 月 28 日アクセス.
- [2] 東京電力株式会社. 平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震の影響による福島第一原子力発電所の事故により. http://www.tepco.co.jp/cc/press/2012/1204619_1834.html. 2012 年 12 月 28 日アクセス.
- [3] 飯本武志, 出光一哉, 杉浦紳之, 中村尚司, 納冨昭弘, 前畑京介, 森崎利恵子, 吉田茂生, 若林源一郎, 渡辺幸信. 放射線・原子力教育関係者有志による全国環境放射線モニタリング. http://www.geocities.jp/environmental_radiation/. 2012 年 12 月 28 日アクセス.
- [4] 粟野貴博. みんなでつくる放射線量マップ. http://minnade-map.net/. 2012 年 12 月 28 日アクセス.
- [5] アイティメディア株式会社. サプライチェーン @ IT 情報マネジメント用語事典. http://www.atmarkit.co.jp/aig/04biz/supplychain.html. 2012 年 12 月 27 日アクセス.
- [6] アイティメディア株式会社. ロジスティクス @ IT 情報マネジメント用語事典. http://www.atmarkit.co.jp/aig/04biz/logistics.html. 2012 年 12 月 27 日アクセス.
- [7] 日本ヒューレット・パッカード株式会社. 日本 HP カバーストーリー HP RFID Noisy ラボ・ジャパンバーチャル・ラボツアー. http://h50146.www5.hp.com/info/feature/coverstory/05apj_noisylab-tour.html#quicklink1. 2012 年 12 月 28 日アクセス.
- [8] 家電電子タグコンソーシアム. 家電業界における電子タグ運用標準化ガイドライン~電子タグを活用した製品ライフサイクル管理の実現に向けて~2.0版, October 2008.
- [9] EPCglobal. EPCglobal Products Solutions GS1 The global language of business. http://www.gs1.org/epcglobal. 2012年12月28日アクセス.
- [10] 小泉 圭吾, 藤田 行茂, 平田 研二, 小田 和広. 無線センサネットワークによる多点型土砂 災害予測システムの開発. http://www.mlit.go.jp/chosahokoku/giken/program/kadai/pdf/innovation/inno1-03.pdf. 2012 年 12 月 28 日アクセス.

- [11] PowerID Ltd. PowerTMP: EPCglobal Class 1, Generation 2 Temperature Sensor RFID Tag. http://www.power-id.com/Products/Sensors.aspx. 2012 年 12 月 28 日アクセス.
- [12] RFID Sensor Systems. RFID Sensor Systems Products Sensor Tags. http://www.rfidsensorsystems.com/products/SensorTags.htm. 2012年12月28日アクセス.
- [13] ISO/IEC. ISO/IEC 18000-6:2010(E) Information technology Radio frequency identification for item management Part 6: Parameters for air interface communications at 860 MHz to 960 MHz. ISO/IEC, December 2010.
- [14] EM Microelectronic. EM Microelectronic, low power ICs, RFID, microcontroller, ultra low voltage supervisor IC EM4325 18000-6 Type C (Gen2) and Type C/D (Gen2/TOTAL) RFID IC. http://www.emmicroelectronic.com/Products.asp? IdProduct=295. 2012 年 12 月 28 日アクセス.
- [15] EPCglobal. The EPCglobal Architecture Framework Final Version 1.4. http://www.gs1.org/gsmp/kc/epcglobal/architecture, December 2010.
- [16] EPCglobal. GS1 EPC Tag Data Standard 1.6. http://www.gs1.org/gsmp/kc/epcglobal/tds/, September 2011.
- [17] EPCglobal. EPCglobal Object Name Service (ONS) 1.0.1. http://www.gs1.org/gsmp/kc/epcglobal/ons, May 2008.
- [18] 財団法人 流通システム開発センター. 電子タグ利用による情報ネットワークの適用範囲の拡大調査研究報告書, March 2012.
- [19] IEEE. IEEE Std 1451.7TM-2010: IEEE Standard for A Smart Transducer Interface for Sensors and Actuators Transducers to Radio Frequency Identification(RFID) Systems Communication Protocols and Transducer Electronic Data Sheet Formats. IEEE, June 2010.
- [20] Haichao Han, Lingzhi Fu, Min Li, and Junyu Wang. Rfidsense: A reconfigurable rfid sensor tag platform conforming to ieee 1451.7 standard. In *Internet of Things (IOT)*, 2012, oct 2012.
- [21] Feibai Zhu, Min Li, Haichao Han, and Junyu Wang. Rfidsense: A reconfigurable rfid sensor tag platform conforming to ieee 1451.7 standard. In ASIC (ASICON), 2011 IEEE 9th International Conference on, pages 1074 –1077, oct. 2011.
- [22] The BRIDGE consortium. BRIDGE Building Radio Frequency Identification solutions for the Global Environment FINAL REPORT 2006-2009. http://www.

- bridge-project.eu/data/File/BRIDGE_Final_report.pdf. 2012 年 12 月 28 日アクセス, October 2009.
- [23] Antti Ruhanen and Fabrizio Bertuccelli. BRIDGE WP01 Specification of a common platform for sensor-enabled RFID tags. http://www.bridge-project.eu/data/File/BRIDGE_WP01_Plateform_specifications.pdf. 2012 年 12 月 28 日アクセス, January 2008.
- [24] 成瀬大亮, 中根雅文, 羽田久一, 中村修, 村井純. RFID モデルに基づく実空間情報の統合に関する研究. 電子情報通信学会通信ソサイエティ大会 *B-7-35*, page 95, 2006.
- [25] Kosuke Osaka, Jin Mitsugi, Osamu Nakamura, and Jun Murai. Generalized handling of user-specific data in networked rfid. In *Proceedings of the 1st international con*ference on The internet of things, IOT'08, pages 173–183, Berlin, Heidelberg, 2008. Springer-Verlag.
- [26] 慶應義塾大学 SFC 研究所. 国際標準の電子タグを活用した共通基盤で生産者を支援 静岡県袋井市産果物のトレーサビリティ共同実証実験を実施 慶應義塾大学 SFC Open Research Forum (ORF) 2012 でセッションを実施. http://www.kri.sfc.keio.ac.jp/ja/press_file/20121122_AutoID.pdf. 2012 年 12 月 20 日アクセス.
- [27] 五十嵐祐貴, 宮崎圭太, 佐藤友紀, 三次仁. サービス適応層を用いた汎用 ID 情報プラットフォーム. 信学技報, vol. 112, no. 31, USN2012-11, pages 73-75, 2012.
- [28] Impinj. SPEEDWAY REVOLUTION (IPJ-REV-R420-JP2). http://www.sbrfid.com/speedway.html. 2012年12月13日アクセス.
- [29] H. Hada and J. Mitsugi. Epc based internet of things architecture. In RFID-Technologies and Applications (RFID-TA), 2011 IEEE International Conference on, pages 527 –532, sept. 2011.
- [30] llrp.org. LLRP Toolkit. http://www.llrp.org. 2012年12月28日アクセス.
- [31] J. Mitsugi and O. Tokumasu. A Practical Method for UHF RFID Interrogation Area Measurement Using Battery Assisted Passive Tag. IEICE Transactions on Communications, 91(4):1047–1054, 2008.
- [32] JISC 日本工業標準調査会. http://www.jisc.go.jp/index.html. 2012 年 12 月 22 日 アクセス.
- [33] ISO/IEC. ISO/IEC 15961:2004(E) Information technology Radio frequency identification (RFID) for item management Data protocol: application interface. ISO/IEC, October 2004.

- [34] ISO. ISO/PDTR 29162.2 Information technology Guidelines for using data structures in AIDC media. ISO, July 2010.
- [35] ISO/IEC JTC 1. http://www.iso.org/iso/jtc1_home.html. 2012 年 12 月 18 日ア クセス.
- [36] ISO/IEC. ISO/IEC 18000-6:2004(E) Information technology Radio frequency identification for item management Part 6:Parameters for air interface communications at 860 MHz to 960 MHz. ISO/IEC, August 2004.
- [37] JISC 日本工業標準調査会. 日本工業標準調査会:国際標準化 (ISO/IEC)-ISO/IEC. http://www.jisc.go.jp/international/isoiec.html. 2012 年 12 月 22 日アクセス.
- [38] 岩井 玲子. 標準化教育プログラム [共通知識編] 第 8 章 国際規格の作り方. http://www.jsa.or.jp/stdz/edu/pdf/b1/1_08.pdf. 2012 年 12 月 28 日アクセス.
- [39] ISO/IEC. ISO/IEC 15962:2004(E) Information technology Radio frequency identification (RFID) for item management Data protocol: data encoding rules and logical memory functions. ISO/IEC, October 2004.
- [40] 財団法人 流通システム開発センター. EPC RFID システム導入における検討事項調査報告書 RFID 国際標準の現状と今後の課題 , March 2007.
- [41] 次世代電子商取引推進協議会. AIDC 国際標準化支援 ECOM Journal 2009. http://www.jipdec.or.jp/archives/ecom/journal/2009/ecom_activity_report/electronic/ele3.html. 2012年12月28日アクセス.
- [42] 情報処理学会,情報規格調査会.情報技術国際規格の開発に関する照会.http://lucia.itscj.ipsj.or.jp/standard/servlets/DocumentSearch?ID=102.2012 年 12 月 28 日アクセス.
- [43] ISO/IEC. ISO/IEC FDIS 15962:2012(E) Information technology Radio frequency identification (RFID) for item management Data protocol: data encoding rules and logical memory functions. ISO/IEC, January 2012.
- [44] 情報処理学会,情報規格調査会. ISO/IEC 18000-6 (Third Edition) の開発段階. http://lucia.itscj.ipsj.or.jp/standard/servlets/DocumentSearch?ID= 112&sn=1800000603000000&sg=26&st=1&stp=1&m=1&m2=0. 2012 年 12 月 15 日アクセス.
- [45] ISO/IEC. REGISTER of ISSUING AGENCY CODES for ISO/IEC 15459. ISO/IEC, July 2010.

- [47] 財団法人 日本情報処理開発協会 電子商取引推進センター. 平成 17 年度エネルギー使用合理化電子タグシステム開発調査 (企業間情報共有基盤整備) 企業間情報共有基盤整備報告書, March 2006.

付録A RFIDタグの表記について

JIS(Japanese Industrial Standards:日本工業規格)が定めた「自動認識及びデータ取得技術 - 用語 - 第3部:RFID (JISX0500-3)」ではRFID 技術に関する用語を下記のように定めている[32].

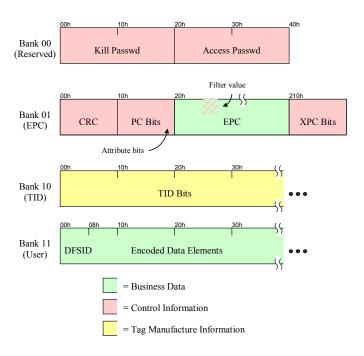
- RF タグ 適切なトリガー信号に対する応答として信号を自動的に送信する無線送信機と無 線受信機との組み合わせ
- リーダライタ (interrogator) 固定式又は可搬式のデータ取得及び識別のための装置であり,無線周波数電磁界を使用して,交信領域内にある一個又はグループの RF タグを励起し, RF タグから変調データをもたらす装置.
- RFID(radio frequency identication) RF タグの固有 ID を読み取るシステム. RFID は,種々の変調方式と符号化方式とを使って,RF タグへ又はRF タグから通信するために,スペクトルの無線周波数部分内における電磁的結合又は静電結合を,具体的に利用している.

しかし, The EPCglobal Architecture Framework [15] やISO/IEC 18000-6:2010 [13] では RF tag という表記はなく, タグに関しては RFID Tag という表記が採用されている.また, リーダライタは文脈に応じ Reader と Interrogator が使い分けられている.一方で, ISO/IEC 15961:2004 では RF tag, RF interrogator と表記している [33].

なお,本論文ではEPCglobal に基づきRFID タグという表記を用いている.

付録B EPC / UII

RFID タグの個別認識を行うとき個々の RFID タグに ID 情報を割り振る. ID を書き込むメモリバンクについて GS1 EPC Tag Data Standard 1.6 では EPC(Electronic Product Code), ISO/IEC 18000-6:2010 では UII(Unique Item Identifier) という名前で規定している (図 B.1, B.2).



☑ B.1: GS1 EPC Tag Data Standard 1.6: Gen2 Tag Memory Map

ISO/PDTR 29162.2 では EPC と ISO Unique ID を記述する方式の例を 3 つあげており (図 B.3) , また , UII バンク中の UII は ISO か EPC でなくてはならないとしている (図 B.4) [34] . UII として ISO Unique ID を用いる場合 , $MB01_2(=UII \, \text{バンク})$ 中の x17 bit =1 にし , $x18\sim x1F$ までの AFI 8bit を適切に割り当てなければならない (図 B.5) . 8bit の AFI の , 特に most significant nibble=A のもの (上位 4bit が 1010 のもの) は , ISO $17363\sim 17367$ で定義されており , JTC $1^1/SC$ 31^2 によって管理されている (表 B.1) . また , 図 B.3 の通り , ISO/PDTR 29162.2 中では User バンクにアプリケーションの観点から用いられる UII が書き込まれる RFID があると述べている 3 [34, pp.8] .

¹JTC1: ISO/IEC Joint Technical Committee for information technology

 $^{^2}$ SC 31(Sub Committee 31) は自動認識及びデータ取得技術について扱う [35] .

 $^{^3}$ ただし,この点に関しては ISO/PDTR 29162.2 としては UII の領域外に書かれた UII データの存在の

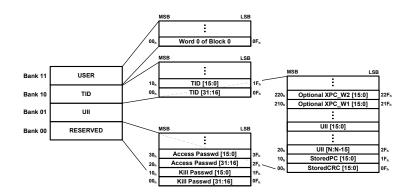


表 B.1: ISO 1736x Application Family Identifiers(AFIs)

AFI	Assigned Organisation or Function
0xA1	ISO 17367 product tagging
0xA2	ISO 17365 transport unit
0xA3	ISO 17364 returnable transport unit
0xA4	ISO 17367 product tagging, but for hazardous materials
0xA5	ISO 17366 product packaging
0xA6	ISO 17366 product packaging, but for hazardous materials
0xA7	ISO 17365 transport unit, but for hazardous materials
0xA8	ISO 17364 returnable trnsport unit, but for hazardous materials
0xA9	ISO 17363 freight containers
0xAA	ISO 17363 freight containers, but for hazardous materials

特に ISO/IEC 18000-6:2010 で定義している ID としては Tag ID(表 B.2) が存在する 4 [13, pp.32]. Tag ID は IC Mfg 5 code と IC manufacturer serial number を有し,これは RFID タグの開発メーカと RFID タグのシリアル番号の役割を持つと考えられる.

現在の Tag ID の仕様では, EPC が定める Item Reference のような商品単位を区別する ID が定義されていないため, ONS が定義したサービスディスカバリの方法を適用するのは 現状では難しい.

表 B.2: ISO18000-6:2010 が定義する Tag ID のフォーマット

MSB			LSB
b64 b57	b56 b49	b48 b33	b32 b1
'E0'	IC Mfg code	RFU set to '0'	IC manufacturer serial number

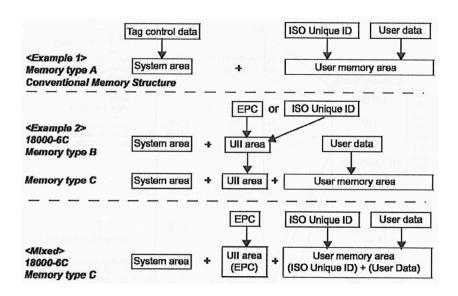


図 B.3: Memory Type A, B, C における ID の保存されるメモリエリア

61

有無や , UII データがある場合にそのデータのアドレスを解決する方法が定義されていないことと , ISO/IEC 18000-6:2010 [13] には記述されていないことに留意されなければならない .

⁴ISO/IEC 18000-6:2004 では Unique identifier(UID) と書かれている [36, pp.21]

⁵mfg: manufacturer もしくは manufacturing

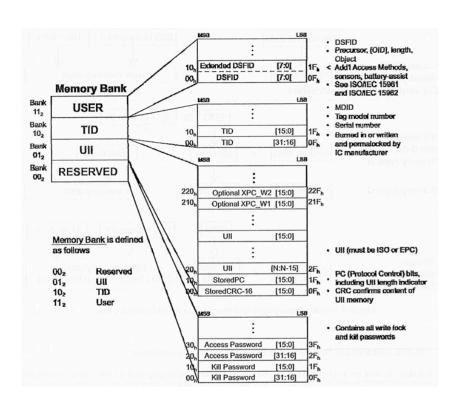


図 B.4: ISO/PDTR 29162.2 で定義しているメモリの構造

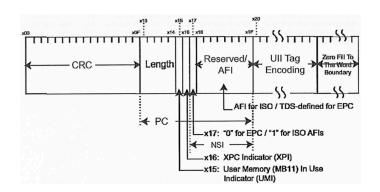


図 B.5: ISO/PDTR 29162.2 で定義している MB012 の構造

付 録 С 国際規格

C.1 国際規格の制定過程

代表的な国際標準化機関として「国際電気標準会議」(IEC: International Electrotechnical Commission) と「国際標準化機構」(ISO: International Organization for Standardization)が存在する.前者は電気及び電子技術分野の国際規格の作成を,後者は電気及び電子技術分野を除く全産業分野(鉱工業,農業,医薬品等)に関する国際規格の作成を行なってる[37].また,ISOとIECが共同で設置された専門委員会「ISO/IEC 合同専門委員会1(情報技術)」は技術進歩が早く,社会のあらゆる面に浸透してきた情報技術分野の標準化を,推進するために両方の国際標準化機関共通の国際規格を制定する[38].

国際規格 (IS: International Standard) は ISO/IEC 共通, ISO 専用, IEC 専用, JTC 1 専用の4種類の作成手順によって制定される [38].

ISO/IEC 規格は予備段階と,通常次の6つの段階を踏んで作成される[38].

表 C.1: ISO/IEC 規格作成までの文書名称の歩み

制定段階 (プロジェクト)	略称	文書名称
0 -(予備段階)	PWI	Preliminary work Item (予備業務項目)
1 -(提案段階)	NP	New work item Proposal (新業務項目提案)
2-(作成段階)	WD	Working Draft (作業原案)
3 -(委員会段階)	CD	Committee Draft (委員会原案)
4-(照会段階)	DIS	Draft International Standard (国際規格案 - ISO)
	CDV	Committee Draft for Vote (投票用委員会原案 - IEC)
5-(承認段階)	FDIS	Final Draft International Standard (最終国際規格案)
	PAS	Publicly Available Specification (公開仕樣書)
 6 -(発行段階)	TS	Technical Specification (技術仕様書)
0 -(1711+xha)	TR	Technical Report (技術報告書)
	IS	International Standard (国際規格)

また, $ISO/IEC\ JTC\ 1$ 規格では提案段階 (NP),作成段階 (WD),委員会段階 (CD),承認段階 (FDIS),発行段階 (IS) の 5 段階の手順となっており照会段階が省略されている [38] .

表 C.2: ISO/IEC JTC 1 規格作成までの文書名称の歩み

Stage	Standard	Amendment	Fast Track	Technical Report	ISP	Technical Corrigendum
Stage0 - Preliminary Stage						
Stage1 - Proposal Stage	NP	NP		NP	NP	
Stage2 - Preparatory Stage	WD	WD		WD	WD	Defect Report
Stage3 - Committee Stage	CD, FCD	PDAM, FPDAM		PDTR	PDISP, FPDISP	DCOR
Stage4 - Approval Stage	FDIS	FDAM	DIS	DTR	FDISP	
Stage5 - Publication Stage	IS	AMD	IS	TR	ISP	COR

C.2 関連する引用規格

関連する引用規格 (Normative reference) を下記にまとめる.

- ISO/IEC 15961 ISO/IEC 15961 は,リーダライタとホストのインターフェース規格で, アプリケーション・インターフェース API のプロトコルを規定する規格 [33].
- ISO/IEC 15962 ISO/IEC15962 は , リーダライタと RFID タグとのインターフェース規格で , データエンコーディングルールと論理メモリーのマッピングルールについて規定する規格 [39] .
- ISO/PDTR 29162.2 従来一次元バーコードや二次元シンボル用に標準化されたデータ構造を RFID にまで拡張する規格 [34].
- ISO/IEC 15434 二次元シンボルに書き込む場合のシンタックス (構文規則) を規定する規格 [40]

C.3 ステータス

上記の国際規格は日々開発と改訂が成されているのが現状であり,そのため,標準規格同士の内容に齟齬や矛盾が発生したり,現状の標準規格で推奨・規定されている事柄を実装するための方法がその標準規格内で充分に説明しきれていないことがある.

2009年次の次世代電子商取引推進協議会の報告では下記のように言及されている [41].

唯一 WG4 関係で難航しているのは,ISO/IEC JTC 1/SC 31/WG 4/SG 1 が担当しているミドルウェア規格 ISO/IEC 24791 の開発である.これと密接に関連する ISO/IEC 15961,ISO/IEC 15962 の改訂作業もプロジェクトが延期されるなど,やや遅れが目立っており,EPCglobal の C1G2 仕様の電子タグに ISO 準拠の方法でデータを書き込む際の具体的な方法がクリアになっていない.この部分は前年度からあまり進捗がないところである.

実際に ISO/IEC 24791-X は ISO/IEC 24791-1(Architecture), 2(Data Management) が発行段階であるが, 3(Device management), 5(Device Interface), 6(Security) はまだ発行段階に至っていない [42].

特定の開発段階の詳細	を表示するには対応する	ボタンをクリックする						
NP	CD	DIS	出版	廃止投票	廃止			
		•						
Standard								
規格番号	ISO/IEC 18000-6	(Third Edition)						
タイトル	Information technology Radio frequency identification for item management Part 6: Parameters for air interface communications at 860 MHz to 960 MHz General							
担当委員会	SC31/WG4							
Memo	/SG3 Five parts(-6	/SG3 Five parts(-6, -61, -62, -63, -64)						
Stage(FDIS投票)								
ステージ	FDIS投票	1次投票	同時投票情報	į.				
投票文書番号		投票期限	2012-	08-20 ページ	9			
投票結果文書番号	ToR							
投票結果	賛成	反対	棄	権	無投票			
以示和不	23	0	1	1	1			
Memo								
技術委員会	·							
審議実施日	2012-07-30	2012-07-30						
審議結果	賛成							

図 C.1: ISO/IEC 18000-6 (Third Edition) の開発段階

ISO/IEC 15961 は 2004 年に発行段階に至ったが,その時点では ISO/IEC 18000-6 Type C の規格が審議状態になっていなかったため,18000-6 Type C への対応が充分に成されていない.そのため,18000-6 Type C で規定されたバンク構成は ISO/IEC 15961 が想定したデータ格納方法の想定の範囲外であり,この矛盾を解決するため,ISO/IEC 15961-1,2,3,4 が登録され,審議状態となっている [42].

ISO/IEC 15962 も同様に 2004 年に発行段階であるが , ISO/IEC 15961 と同様に 18000-6 Type C の規格の対応が成されていない . また , 第 2 版として ISO/IEC DIS 15962 が技術委員会によって 2011 年によって賛成が得られており , ISO/IEC FDIS 15962 が現在 , 審議 状態となっている [42,43] .

ISO/IEC 18000-6 は 2004 年に第 1 版が発行段階に至ったが,その後,廃止となり 2010 年に第 2 版が発行となった.また 2012 年には第 3 版が審議状態である (図 C.1) [44]. Second Edition から Simple Sensor や Full Function Sensor への記述によりセンサ RFID タグへの標準化が加わった.



7/t4ス方式 (2進数)

/ーデルクトリーこの方式は
オブジェクト IDとデータを順番に
並べていく。一般的には、タグ
の中の全てのデータが転送
される必要がある。

デルクトリーこの方式は/ーデルクトリーに同じ構造に加えて、デルクトリ構造をサポートする。

パックドオブジェクト

SC31によってリザーブ

10

11

データ様式 (10進数)	機能
0	エンコードされるデータが15961-1や15962のルールでフォーマットされていないようなクローズドなアプリケーション環境に割付。また、まだフォーマットがされていないタグにも使われる。
1	Full featured - このデータフォーマ外は完全なオプジェクトIDがエンコードされている全てのデータフォーマットをサポートする。この主たる目的は様々なデータを一つのタグにエンコードできるためにある。(つまり異なるデータの辞書から) 例えば、異なるオープシステムスプリケーションのエンコードに使用できるし、各々のアプリケーションの為にISO/IEC9834-1に登録されたODを使えば、クローズドシステムのデータのエンコードにも使用できる。
2	Root-OID encoded - このデータ様式はRFIDタグのデータ全てが共通のルート OIDを使用している場合に使われる。しかし、このルーOIDが登録権限団 体によって割り付けられたデータフォーマットには準拠していない場合に使用す

オープンなアプリケーション環境の為に登録権限団体によって、あるいは ISO/IEC15961:2004で事前登録されたものによって割り付けられる。

63 複数バイトのデータ様式の為の拡張としてリザーブ 注) データフォーマットロはRFIDタグのデータをどのような方法でエンコードしてもよい。 データフォーマット1,2は ISO/IEC15962のルールで自動的にエンコードされる。

図 C.2: DSFID の定義

3 to 62

C.3.1 ISO/IEC 15961

ISO/IEC 15961 はホストアプリケーションの API が定義されている.API はそれぞれ $\{API\ name\}$ Module として存在し,それらは commandModule と responseModule から成る.このコマンドはエアインターフェイスコマンドと構造が異なり,OID とオブジェクトを用いており,エアインターフェイスコマンドではデータの記憶されているアドレス,バンクを用いる.これは,アプリケーションからみて,エアインタフェースや夕グの種類に依存しないコマンド,プロトコルが必要とされたからである.実際にこれらの module は ASN.1 というシンタックスを用いて記述する $\{AddMultipleObjects$ を例にコマンド・レスポンスをソースコード $\{C.1,C.2\}$ に示す. $\{33,Annex\}$ H $\{API\}$.

RFID タグにアクセスするために,ISO/IEC 15961 では複数のアプリケーションコマンドが定義されているが,RFID タグのメモリ上のオブジェクトを 1 つ読み取る場合でも,ユーザメモリ領域のデータ全部読みだす必要がある [40, p.23].

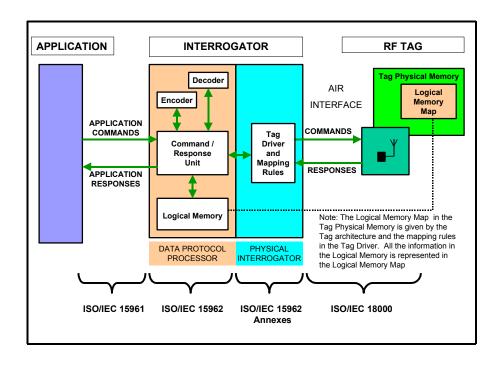
また,15961 はアプリケーションの種類やデータの種類を識別するために, AFI 及び DSFID(図 C.2) を規定している. AFI 及び DSFID はエアーインタフェース規格のいくつか (18000-3 Mode1,180000-2,180000-6 TypeA など) で使用されており,18000-6 Type C においても UII バンクに ISO コードを使う場合は,AFI を識別に用いると記載されている. AFI の識別コードの割付及び登録方法は 15961 によって 規定される. なお,AFI 及び DSFID はバーコードのアプリケーション識別子 (AI),データ識別子(DI)とは,意味が異なる [40].

ソースコード C.1: AddMulitipleObjects command

```
AddMultipleObjectsCommand -- {1 0 15961 126 14}
::={
   tagId C7 37 79 C2 B7 A3 DB EF_HEX
   addObjectList {
       -- 1st object
       {
           objectId {1 0 15961 10 30},
           avoidDuplicate FALSE
           object "ABC123456",
           compactParameter compact(1),
           objectLock TRUE
       },
       -- 2nd object
           objectId {1 0 15961 10 17},
           avoidDuplicate FALSE
           object "50",
           compactParameter compact(1),
           objectLock FALSE
       }
   }
}
```

ソースコード C.2: AddMulitipleObjects response

```
AddMultipleObjectsResponse -- { 1 0 15961 127 14 }
::= {
   tagWriteResponse {
   -- object 1 add response
       objectId { 1 0 15961 10 30 },
       completionCode 11
       -- objectAddedButNotLocked: The data set was added to a RF tag
       -- that did not support a lock feature in the memory.
   },
   -- object 2 add response
   {
       objectId { 1 0 15961 10 17 },
       completionCode 0 -- noError: The command was successfully executed
   }
   executionCode 0 -- noError: The command was executed without error
}
```



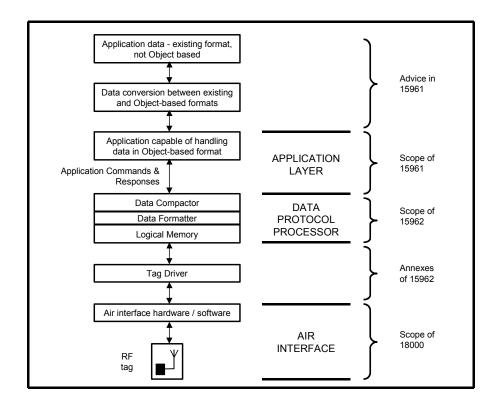
⊠ C.3: ISO/IEC 15961:2004: Figure 1 Schematic of Protocol Layers for an Implementation of RFID for Item Management

C.3.2 ISO/IEC 15962

ISO/IEC 15962 は ISOIEC 15961 の API(OID とオブジェクトで規定) とエアーインタフェースコマンド (アドレスとデータで規定) とを変換させるためのパートである . ISO/IEC 15961 では , RFID タグヘアクセスする際に , 先ずリーダライタのメモリ内に仮想的な論理メモリマップの作成を必要とする , そのため , 論理メモリマップの作成の為の情報 (DSFID やメモリサイズ) を読み出し論理メモリマップの構造を決める . 次に , RFID タグのユーザメモリから格納されているデータを読み出すことを ISO/IEC 15961 と合わせて規定している . ISO/IEC 15962 では特にこのデータ構造およびデータ様式についての規定を述べている [39,40] .

C.3.3 ISO/PDTR 29162.2

ISO/PDTR(Proposed Draft Technical Report) 29162.2 は , サプライチェーンで AIDC (Automatic Identification and Data Capture) メディア , つまり , 一次元バーコード (linear var code) , 二次元シンボル (two-dimensional symbols) , RFID タグを個品の識別に用いるために , 必要なデータをどのように読み書きするかについて標準化したものである [34] . RFID タグ内の UII とバーコードやシンボルに書かれる ID が共通化されることにより , 例えば RFID タグが読み込めない場合 , バーコードやシンボルをバックアップとして利用できる . ISO/IEC 15459 に基づく UII は以下の 4 つから構成される .



☑ C.4: ISO/IEC 15961:2004: Figure 2 Logical Functions and Interfaces

- DI(Data Identifier)
- IAC(Issuing Agency Code) ¹
- CIN(Company Identifying Number)
- SN(Serial Number)

ここで下記の UII "25SUN043325711MH8031200000000001"を Code 128(ISO/IEC 15417) [46] に基づいて表した一次元バーコードを図 C.5 に示す .

- DI = $25S^2$
- IAC = UN (DUNS)
- CIN = 043325711
- SN = MH80312000000000001

この UII を RFID タグに加えるとき, AFI の値を追加する.

• AFI = 0xA1

¹IAC は団体名を示す . 例えば , 0~9 = GS1(European Article Numbering Association), UN = Dun & Bradstreet, VIB = IBM(International Business Machine), VTD = Teikoku Databank Ltd. 等である [45] . ²25S は 18V で定義された取引当事者の識別子の後ろに , 受注者が割り当てたシリアル番号をつけたものを示す . 18V とはデータ・フォーマットが 2 つの連結したセグメントから成る取引当事者の識別で第 1 のセグメントは ISO/IEC 15459 に従ってオランダ規格協会 (NEN : Nederlands Normalisatie-instituut) によって発番機関に割り当てられた一意なコードを示し , 第 2 のセグメントは発番機関によって確立された規則に従って割り当てられた一意なエンティティの識別を示す [47] .

- DI = 25S
- IAC = UN (DUNS)
- CIN = 043325711
- SN = MH8031200000000001

そして, UII 部を six-bit encoding というシンタックスで変換し RFID タグのメモリ中に割り当てると表 C.3 のようになる.

表 C.3: $MB01_2$ structure of AFI and UII (DUNS) using six-bit encoding

1	AFI = 0xA	1	2	5	S	U	N	0	4	3	3	2	5	7	1
	10100001		110010	110101	010011	010101	001110	110000	110100	110011	110011	110010	110101	110111	110001
1	M	Н	8	0	3	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0
110001	001101	001000	111000	110000	110011	110001	110010	110000	110000	110000	110000	110000	110000	110000	110000
0	0	1	<eot></eot>												
110000	110000	110001	100001												

また上記の一次元バーコード,及び RFID タグで表現される UII を二次元シンボルである Data Matrix, QR Code で表すと出力は下記のようになる. それぞれのシンボルを用いる と図 C.6, C.7 のように表される.

- UII を Data Matrix や QR Code で表すときの出力 ―

 $\verb|[)>< RS>06 < GS>25 \\ SUN043325711 \\ MH8031200000000001 < GS>1T110780 < GS>Q21 < GS>4 \\ LUS < RS>< E0T>1 \\ LUS < RS> < E0T>1 \\ LUS < RS> < E0T>2 \\ LUS < RS> < E0T>3 \\ LUS < RS> < E0T>4 \\ LUS < RS < E0T>4 \\ LUS < E0T$





 \boxtimes C.6: ISO/PDTR 29162.2: Data Matrix encoding the contents of MB01 $_2$ and MB11 $_2$



 \boxtimes C.7: ISO/PDTR 29162.2: QR code encoding the contents of MB01 $_2$ and MB11 $_2$

付 録D ISO/IEC 18000-6:2010 のセンサ 仕様

D.1 SSD(Simple Sensor Data)

ISO/IEC 18000-6 では $860\sim960 \mathrm{MHz}$ 帯を用いる RFID タグの仕様を定めている.特に ISO/IEC 18000-6:2010 から,Type C, D の RFID タグへのセンサ仕様を追加するための仕様 "Sensor support" が追加された [13, p.303].

センサのサポートを示すフラグは RFID タグ内のメモリに記述される.PC(Protocol Control) bits 中の XI(Extended Protocol Control Word1 Indicator) bit が XPC_W1(Extended Protocol Control Word1) bits のサポートを示すフラグである.そして,XPC_W1 bits 中の SS(Simple Sensor Functionality) bit が ISO/IEC 18000-6:2010 で定義されている Simple Sensor をサポートするフラグ,また,FS(Full Function Sensor¹ Functionality) bit が IEEE 1451.7 で定義されるセンサ仕様をサポートするフラグである.このフラグの関係を図 D.1 に示す 2 .

RFID タグが Simple Sensor をサポートする時 、その Simple Sensor が Memory Mapped であるか Ported であるかは TID バンクの 26_h に記録されている SSD(Simple Sensor Data) Address 中の MSB³のフラグが示す (表 D.1, D.2) [13, p.308] .

Simple Sensor のセンサ情報は 32 もしくは 48bits の SSD Block(図 4.3) に記述されている. Memory Mapped 方式である Simple Sensor がアクセスするためには SSD Address 中の Word Address が示す SSD Block に記述されている. Ported 方式である Simple Sensor がアクセスするためには SSD Address 中の PortNr を用い, HandleSensor コマンド (表 D.4, D.5) と HandleSensor コマンド中にカプセル化された Read-Simple-Sensor-Data-Block コマンド (表 D.6, D.7) を組み合わせることで取得できる.

SSD を取得するために逐一メモリ構造を辿る過程を省略することができる.ISO/IEC 18000-6:2010 で実装が任意に任されている Query コマンド , Flex_Query [13, p.227] と Query_BAT [13, p.260] には SS Resp flag が存在し , このフラグが'1'であるとき , ACK コマンドのリプライ中に SSD が格納されている (図 D.3) [13, p.371] .

Ported 方式でアクセスされる Simple Sensor のみに定義されたメモリ構造やコマンドが存在する [13, p.415]. 例えば, センサが観測した値を記録する Event record block が定義

¹Full-function Sensor や full sensor 等の細かい表記揺れがある.

 $^{^2}$ なお , XEB(XPC Extension Bit) は XPC_W2 のサポートを示すフラグであるが , XPC_W2 は国際標準としてはサポートされておらず , RFU(reserved for use) である [13, p.160]

³most significant bit , 先頭を意味する .

	Access Method	RFU	SSD Size	MB	Word Address
# of bits	1	3	2	2	24
	' 0 '		00 = 32 bits	Memory	SSD starting
Description	U	DEII	01 = 48 bits	bank	word address
Description	24 24 1	RFU	10 = RFU	selector	(in non
	Memory Mapped		11 = RFU		EBV format)

表 D.2: ISO/IEC 18000-6:2010: Table 296 Structure of SSD Address for Ported Simple Sensor

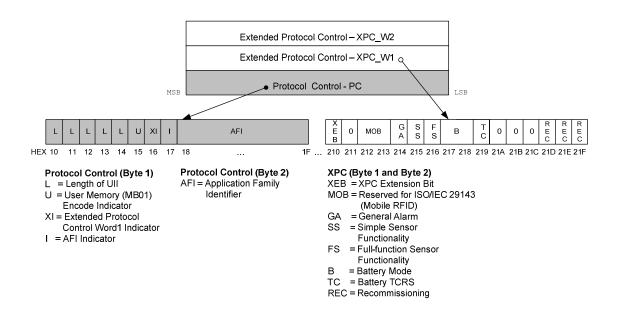
	Access Method	PortNr	RFU
# of bits	1	7	24
Description	' 1 ' Ported	Port Number	RFU

	Response	SSD	PacketCRC	
# of bits	21 to 480 or 464	32 or 48	16	
Description	PC word, XPC words, UII	Simple Sensor Data	CRC-16	

表 D.4: ISO/IEC 18000-6:2010: Table 293 Structure of HandleSensor command

	Command	PortNr	Payload Size	Payload	Response Expected	Response Length	RN	CRC- 16
# of bits	8	7	Variable	Variable	1	Variable	16	16
description	11011001	Logical sensor address	Length of the Payload in bits (EBV-8 [13, Annex D])	Sensor command	$ 1 = true \\ 0 = false $	Expected length of the sensor response in bits (EBV-8 [13, Annex D])	handle	

	Header	Response (optional)	RN	CRC-16
# of bits	1	Variable	16	16
Description	0	Sensor response	handle	



☑ D.1: ISO/IEC 18000-6:2010: Figure 82 Extended Protocol Control bit definitions

表 D.6: ISO/IEC 18000-6:2010: Table R.1 Read-Simple-Sensor-Data-Block Command

	Command
# of bits	5
description	00001

されている [13, p.420] . これは 16bit のカウント値や 8bit の観測値からなり, SSD で定められた limit の値を超過したときを記録するのが主な役割である. Event record block は HandleSensor コマンドによってカプセル化された Read Event Record コマンド (表 D.8, D.9) によって取得が可能である.

D.2 SDS(Sensor Directory System)

SDS(Sensor Directory System) とはセンサやセンサデータに効率的にアクセスするために ISO/IEC 18000-6:2010 で定義されたディレクトリ構造で, Simple Sensor の Memory Mapped 方式と Ported 方式の両方式や Full Function Sensor に利用できる仕様である [13, p.310].

TID バンクの $220_h \sim 23F_h$ の SDS Address(表 4.3) が示すアドレス , バンクに SDS が記録されている (図 4.4) . SDS は SDS Status Word と複数の SDS Entry の組からなっている . 各 SDS Entry の Sensor Access Method や Standard Identifier Interpretation が各 SDS Entry に対するアクセス方式を示す (表 D.10, D.11) . これにより一つの RFID タグに対し複数のアクセス方式 (表 D.12, D.13, D.14) のセンサを結びつけることができる .

⁴もしくは Sensor Access Type . 表記ゆれだと考えられる .

表 D.7: ISO/IEC 18000-6:2010: Table R.2 Read-Simple-Sensor-Data-Block Response

	Response	Error Code	Simple Sensor Data Block
# of bits	5	1	32 or 48
Description	00001	0 = OK / 1 = error	Simple Sensor Data Block

表 D.8: ISO/IEC 18000-6:2010: Table R.15 Read-Event-Record Command

	Command	Parameter	First Packet	No of Packets
# of bits	5	2	8	4
	01000	00 = respond with the first 24 bits		This allows a
		01 = respond with the first 24 bits and a range of packets		maximum of 16
description		as indicated in "First Packet"	Packet number	packets to be
description		and "No. of Packets" fields		transferred in
		10 = respond with the complete block of the first 24 bits		response to the
		and all recorded packets in one transmission		command with
		11 = RFU		Parameter = 01

表 D.9: ISO/IEC 18000-6:2010: Table R.16 Read-Event-Record Response

	Response	Error Code	Data			
# of bits	5	1	Variable as Described Below			
	01000	0=ОК	The length is:			
			Command parameter 00: 24 bits for the fixed structure			
			Command parameter 01: 24 bits + number of packets as determined by the comman			
description			shorter if the highest encoded packet number results in fewer needing to be transferred			
description		1=error	Command parameter 10: an indeterminate size that			
			can only be verified by separate external calculations			
			Command parameter 11: 0 data bits. The Tag shall report error code " 1 "			
			while this parameter code is defined as RFU.			

Code	Meaning				
00	Simple Sensor Memory Mapped				
01	Simple Sensor Ported				
10	RFU				
11	Full Function Sensor Ported				

Code	Meaning
000000	RFU
000001	IEEE 1451.7
000010	ISO/IEC 18000 6 Annex Q
000011	ISO/IEC 18000 6 Annex R
$000100 \sim 1111111$	RFU

Words	Structure							
1	Sensor Access	Standard Sensor Type [3:0] Sensor Alarm [0]		Next Entry				
1	Method [1:0]	Identifier [5:0]	(Annex Q)	Sensor Alarm [0]	Size Words [2:0]			
2	RFU [5:0]	RFU [5:0] MB [1:0] SSD Address [23:16]						
3	SSD Address [15:0]							

表 D.13: ISO/IEC 18000-6:2010: Table 307 SDS Entry for Ported Simple Sensors (2 words always)

Words	Structure								
1	Sensor Access	Standard	Sensor Type [3:0]	Sensor Alarm [0]	Next Entry				
1	Type [1:0]	Identifier [5:0]	ntifier [5:0] (Annex Q) Sensor Alarm [0]						
2	Port Number [6	3:0]	R	FU [8:0]					

Words	Structure							
1	Sensor Access Standard		Sensor Type[3:0]		Sensor Alarm[0]		Next Entry	
	Type [1:0] Identifier [5:0]		(Annex Q)				Size Words [2:0]	
2	Next Entry Size		Port Number [6:0]		TEDS Type[2:0]		AI Secutiry	
2	in Words [2:0]					ype[2:0]	Function Code [2:0]	
	AI Secutiry	Sensor	Sensor	Auther	ntication	5 b	its	
3	AI Security	Security	Security	Encr	yption	Uni	its	DEII [1.0]
3	Indicator [0]	Indicator [1:0]	Function	Function		Extension [4:0]		RFU [1:0]
			Code [2:0]	Cod	e [2:0]			
4(optional)	Sensor ID [63:48]							
5(optional)	Sensor ID [47:32]							
6(optional)	Sensor ID [31:16]							
7(optional)	Sensor ID [15:0]							