

まえがき

近年のRFID (radio frequency identification) の急速な普及には目覚ましいものがある。日本国内の状況を見てみれば、鉄道の乗車券、自動車運転免許証、パスポート、住宅の鍵など13.56 MHz帯を用いた複数のシステムが、電子マネーや認証の分野で着実に普及してきている。また、NFC (near field communication) というRFIDの規格を統合して世界中で使えるシステムも登場している。RFIDシステムは、巨大なデータベースと細密に張り巡らされたネットワークがバックボーンにあるが、ユーザの目にはタグ (tag) しか見えていない。ユーザがすでに何枚も持っているタグは、いかに安価に大量に生産できるかが勝負となっており、その通信特性はタグのアンテナに依存する。タグ用アンテナの設計は、システム全体の中で最も難しいといっても過言ではない。これはアンテナの設計パラメータが、形状、材質、ICとのインピーダンス整合、通信エリアや各種規制の遵守等々と非常に多岐にわたるためである。普段持ち歩いている一見普通のカードのように見えるRFIDタグには、さまざまな課題を克服した技術が詰め込まれているのである。

本書は、このRFIDシステムに欠かせないRFIDタグ用アンテナの設計について基本的な知識の習得を目的としている。1章では、RFIDシステムおよびRFIDタグについて説明する。2章では、RFID用アンテナを理解するうえで必要な基礎知識について記す。3章では13.56 MHz帯を中心とした電磁誘導方式RFIDタグの設計について、4章では、900 MHz、2.45 GHzのUHF帯RFIDタグの設計について説明する。5章では、RFIDタグの特性評価に必要な測定について述べる。

タグ用アンテナの設計の基本概念は、通信用の小形アンテナの開発と大きく異なっている。しかしながら、本書で示しているいくつかのポイントさえ理解

できれば、設計も見通しよくできるであろう。

なお、無線を使用した個体認証の呼び名として、RFID、ワイヤレスカード、コンタクトレス IC カード、非接触 IC カード、RFID タグ、無線タグ、などさまざまに使われている。本書では、これらの RFID タグを活用したデータベース、ネットワークなどシステム全体を『RFID システム』とし、個体に付与されるものを『RFID タグ』と表記している。

最後に、本書は、電子情報通信学会アンテナ伝播研究専門委員会が主催する“アンテナ・伝搬における設計・解析手法ワークショップ（第 36 回）”「無線 IC タグ用アンテナの基礎」を基としており、貴重なご意見をいただいた本ワークショップ実行委員会の関係各位に謝意を表す。本書が、読者諸氏による RFID タグへの理解、研究開発の一助となれば幸いである。

2012 年 9 月

高橋 応明

目 次

1. RFIDシステム

1.1 RFID の 特 徴	1
1.2 RFID システムの歴史	7
1.3 RFID タグの規格	10
1.4 RFID タグの形状	12
1.5 RFID タグ用アンテナ設計のポイント	15

2. RFID のための基礎

2.1 電 波 と は	18
2.1.1 電波の周波数	18
2.1.2 電波の基本式	22
2.1.3 平 面 波	26
2.1.4 偏 波	30
2.2 電波の放射特性	31
2.2.1 波源からの放射	31
2.2.2 微小電流素子からの放射	33
2.2.3 指 向 性	35
2.2.4 放射抵抗と入力インピーダンス	39
2.2.5 利 得	42
2.3 基本的なアンテナ	45
2.3.1 線状アンテナ	45
2.3.2 板状アンテナ	50
2.3.3 RFID タグ用アンテナ	52

2.4 通信方式	53
2.5 NFC	59
2.6 RFIDシステムの法規	60

3. 電磁誘導方式アンテナの設計

3.1 アンテナの基本設計	63
3.2 等価回路モデル	68
3.2.1 等価回路	68
3.2.2 抵抗・インダクタンス	70
3.2.3 相互インダクタンス	73
3.3 応用事例	76

4. UHF 帯アンテナの設計

4.1 アンテナの基本設計	78
4.2 RFID タグでの受信電力	80
4.2.1 IC とのインピーダンス整合	80
4.2.2 静電気対策	84
4.2.3 通信距離	86
4.3 応用設計例	87
4.3.1 誘電体対応例 (ダイポールアンテナ)	88
4.3.2 誘電体・金属対応例 (パッチアンテナ)	89
4.3.3 金属対応例 (折返しダイポールアンテナ)	90
4.3.4 広帯域化例 (無給電素子付きダイポールアンテナ)	92
4.4 RFID タグ用アンテナの数値解析例	97
4.4.1 アンテナの構造	97
4.4.2 解析領域	98
4.4.3 シミュレーション結果	99

5. RFID タグ用アンテナの測定

5.1 インピーダンス測定	105
5.1.1 ICのインピーダンス	106
5.1.2 鏡 像 法	108
5.1.3 バランを用いた方法	110
5.2 放 射 特 性	112
5.3 磁界分布の測定	115
5.4 人体を考慮した測定	120
5.4.1 人体等価ファントム	120
5.4.2 数値解析モデル	122
5.4.3 リストバンド型 RFID タグの測定	123
お わ り に	128
引用・参考文献	130
用 語 集	136
索 引	144

1.

RFID システム

RFIDは個体認証として用いられ、さまざまな用途で利用され普及し始めている。従来から利用されている個体認証と比較して優れた点が数々ある。本章では、RFIDとは何かということを理解してもらうために、個体認証としてのRFIDの特徴やシステム、その歴史について解説する。また、通信用のアンテナと比較して、RFIDタグ用のアンテナ設計が難しい点、設計のポイントについて述べる。

1.1 RFID の特徴

個人を特定するためには、住所や電話番号、生年月日などさまざまな情報が必要である。例えば、これまでは電話番号は“家単位”であった。しかし、携帯電話の普及によって、電話番号が“個人単位”に割り振られた結果、その電話番号で個人が特定できるようになった。これまで、個体の管理というと、工業製品に付与されている製造番号くらいであったが、現在では、食の安全などの観点から農畜産物に至るまで広がってきている。このほか、物流における機械の効率化、株券の電子化・情報化などにより、今後、あらゆる個体に番号が振られ、個体認識が必要な社会になっていくことが考えられる。このため、個人を区別するユニークな番号（ID）を管理していくシステムが重要となる。

これまで個体を認証する方法としては、物流ではおもにバーコード^{1)†}が使

† 肩付き数字は、巻末の引用・参考文献の番号を表す。

2 1. RFID システム

用されてきた。クレジットでは、エンボスカード（突起文字付カード）から始まり、つぎに、磁気テープを張り付けた磁気カードが使用されてきた。その後、それぞれ情報量の増加やセキュリティへの対応のため、二次元バーコードやICカードへと展開され、指紋、網膜や静脈、さらには声や顔を使った認証を行うバイオメトリクス（生体認証）へと発展した（図 1.1）。表 1.1 にそれぞれの個体認証の種類と特徴をまとめて示す。RFID 以外は、光学的または電



図 1.1 個体認証の例

表 1.1 個体認証の種類と特徴

種 類	経済性	読取り 距離	書換え	汚れ	遮 蔽	複数枚 読取り	情報量
バーコード	印刷なので安価	極近	×	×	×	×	数十 Byte
二次元 バーコード	印刷なので安価	極近	×	×	×	×	数 k Byte
磁気カード	比較的安価	接触	○	×	×	×	数十 Byte
IC カード	高価	接触	○	×	×	×	数十 k Byte
RFID	高価	近～遠	○	◎	○ (金属×)	○	数十 k Byte
バイオ メトリクス	個人に帰するの で無料	接触～近	×	—	×	×	—

気的な接触によって読取りを行っているため、個体の極近傍でしか読み取ることができず、汚れや遮蔽に対しても弱いものとなっている。図 1.2 に RFID の特徴をまとめて示す。タグが直接確認できなくても読込みが可能であり、汚れ

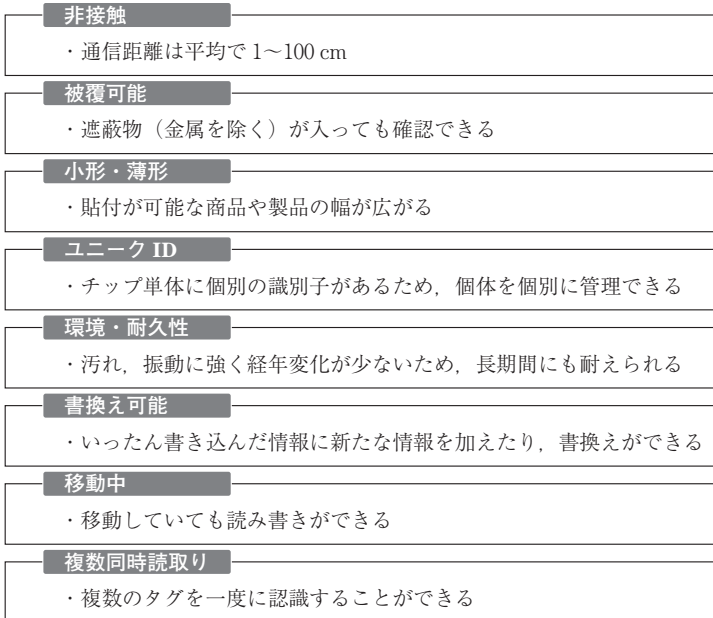


図 1.2 RFID の特徴

4 1. RFID システム

や遮蔽に強い点、同時に複数のタグを読み取り可能な点、情報の書換えが可能な点が、他の個体認証より優れている点といえる。

この個体認証の発展の一つに **RFID** (radio frequency identification) システムがある^{2), 3)}。図 1.3 に示すように、RFID システムは、その用途、周波数、駆動方式、形状で分類される。

用途	・セキュリティ・物流…
周波数	・13.56 MHz, 920 MHz, 2.45 GHz…
駆動方式	・パッシブ, アクティブ…
形状	・カード, コイン

図 1.3 RFID システム
の分類

RFID システムの用途としては、図 1.4 に示すように、例えば電子マネー (Suica[®] や Edy[®])、物流管理システムのほか、社員証や学生証などの身分証明などと複合されて、部屋の入退室管理システムなどさまざまな用途に使用されるようになってきている^{1), 2), 4)}。

図 1.4 に示すように、RFID システムはユーザが持つ **RFID タグ**と、その情報を読み書きする **リーダ/ライタ** (Reader/Writer, 以下、**R/W**という) から構成されている^{5), 6)}。RFID タグは、認証を行う個体に貼付して利用するという点ではバーコードと同様である。

バーコードは印刷のみで利用可能なため、コストが安価であることから、物品・物流管理などの分野で広く利用されている。

これに対し、RFID システムは、① 課金、プリペイド、② セキュリティ管理、③ 物品・物流管理、トレーサビリティなどの分野で利用されているが⁷⁾、RFID タグには、アンテナと IC が必要であるためコストが比較的高くなるとい

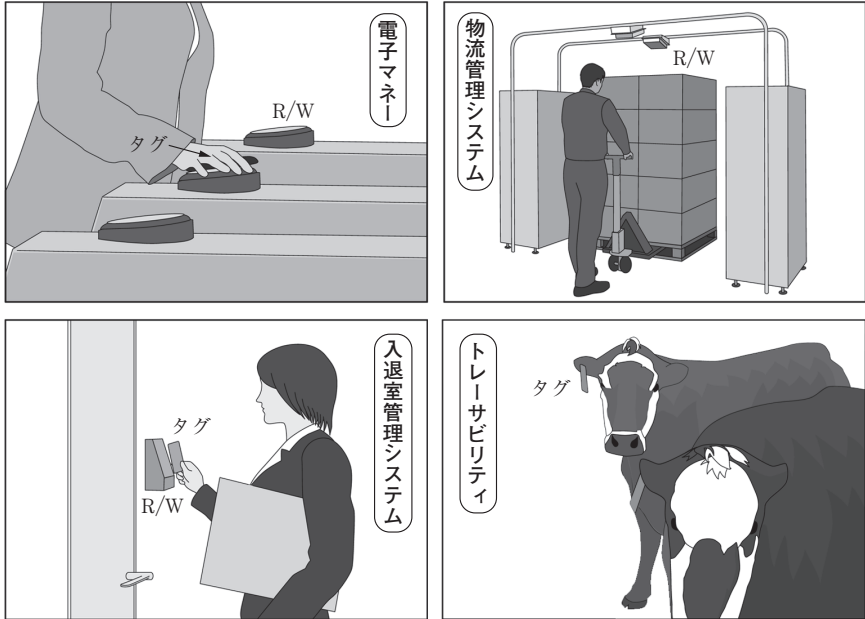


図 1.4 RFID システムの用途

う問題がある。磁気カード、IC カードもほぼ同様である。バイオメトリクスは、高い認識精度が要求されるため、さらに高価になる。

通信距離に関していえば、RFID システム以外を用いた場合は、読取り距離が最大でも数十 cm 程度しか読み取ることができない。これに対して、RFID システムは、出力電力やアンテナの特性を変えることにより読取り可能な範囲を自由に調整できる。また、RFID システムでは IC とアンテナが動作していれば汚れていても読取りが可能であるのに対し、それ以外では汚れがついた場合には読取りが困難になる。RFID システムは IC を用いるため、保存できるデータの量も多く、暗号化技術によりセキュリティも期待できる。さらに、バーコードと異なり、アンチコリジョン (anti-collision) 技術によって複数のタグを瞬時に読み取ることが可能であるため、物流管理や図書館での蔵書管理では、パレットごと、書棚ごとに一度で在庫をチェックすることができる。このように、RFID システムは、他の個体認証より有利な点が数多くあり、これか

らの社会に有用なシステムであることがわかる。

RFIDシステムは、ユーザ側で使用するタグと読取り装置（R/W）と、そのバックグラウンドにあるネットワークとデータベースから構成されている（図 1.5）。身近なところでは、JR 東日本の「Suica[®]」などに採用されている乗車券もタグの一種である。例えば JR の駅で Suica[®] を使うと、このタグにはどのような情報が紐付けされているかを、ネットワークを介してサーバが全部監視している。ただし、実際にはいちいち全部を監視するのはたいへんなので、JR の例では中継のポイントがいくつかあって、そこで処理する場合もある。しかし基本的には、巨大なネットワークとそれを統括するサーバとによるユーザの目には見えないシステムができています。また、RFID では読み取ったら即座に応答を返さなければならないため、高速で強固なネットワークが必要になる。このようなシステムなので、バーコードなどとは異なり、バックグラウンドのインフラにコストがかかることになる。

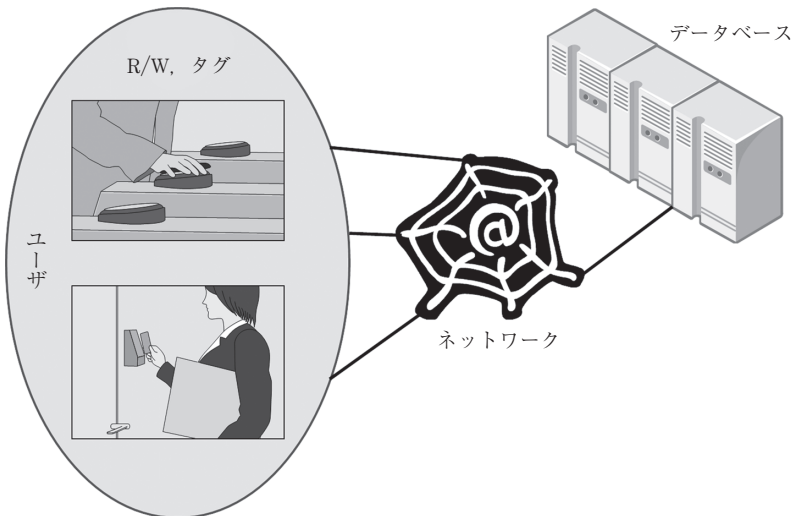


図 1.5 RFID システムの構成

図 1.6 に RFID タグおよび R/W の構成を示す。タグはアンテナと送受信部および情報が記録されているメモリで構成され、送受信部とメモリは IC チップ

索 引

	【あ】		【か】		【こ】
アクティブ型	10	回線設計	86	減衰定数	28
アンチコリジョン	5, 138	外導体	138	光 波	18
アンチコリジョン方式	76	ガウシアンパルス	138, 139	後方散乱変調	54, 136
アンテナ共振容量	138	ガウスの法則	23	後方散乱変調方式	86
アンペアの周回路の積分	23	可逆性	44	国際電気通信連合	60
アンペアの法則	22	可逆定理	44	個体認証	2
		角周波数	138	固体ファントム	139
		拡張ミラー符号化	138	固有インピーダンス	28
		カード型 RFID タグ	12, 72		
		ガラスエポキシ	138	【さ】	
		完全電気導体	138	サイドファイアヘリカル	
				アンテナ	49
【い】		【き】		左旋円偏波	30
位相定数	28	逆 L アンテナ	45	産業科学医療用バンド	
位相偏移変調	58	キャパシタンス	138		19, 137
イモビライザ	7	キャリブレーション		【し】	
インダクタンス	71, 138		108, 138	シュル	139
インダクティブリー		キャリヤ	141	磁 界	22
カップルドループ	83	吸収境界	97, 138	磁界分布	118
インピーダンス整合	82	吸収境界条件	97	時間領域差分法	136
インレット	90, 138	給 電	138	軸モード	49
		共振周波数	139	指向性	35
		鏡像法	46, 108, 139	指向性係数	35
		共役整合	138	指向性利得	43
		近距離無線通信	59	磁性体	139
【う】		【く】		磁性体シート	139
右旋円偏波	30	空間インピーダンス	139	実効放射電力	86
				集積回路	136
		【け】		周波数偏移変調	57
【え】		結合係数	139	受信電力	65
液体ファントム	138	決済システム	139	出力インピーダンス	139
エレクトロカルディレー					
	106, 138				
円偏波	30				
円偏波マイクロストリップ					
アンテナ	51				
エンボスカード	2				
【お】					
折返しダイポールアンテナ					
	90				

準静電界 34, 139
 シールドループアンテナ
 116, 139
 人体等価ファントム
 121, 139
 人体の電気特性 139
 振幅偏移変調 136

【す】

垂直偏波 30
 垂直モード 49
 水平偏波 30
 スパイラルアンテナ
 45, 63, 139
 スプリアス 60, 139
 スペクトラムアナライザ 139

【せ】

正弦波 139
 整合 140
 製造ロット 140
 生体認証 2, 141
 静電容量 138
 絶対利得 42
 セミパッシブ型 11
 セルサイズ 140
 線間の結合容量 140
 線状アンテナ 45
 全方向性 35

【そ】

装荷ループアンテナ 48
 相互インダクタンス 73, 140
 相対利得 43
 相反性 44
 相反定理 44
 疎結合 140
 阻止套管 110, 140

【た】

帯域幅 140

体内埋込み型 RFID タグ 14
 ダイポールアンテナ
 45, 88, 140
 タイムゲート機能 140
 タイムステップ 140
 楕円偏波 30
 脱イオン水 140
 単純 RZ 符号化 140

【ち】

直線偏波 30

【つ】

通信距離 5, 65, 86

【て】

抵抗 70
 抵抗率 140
 ティーマッチフィード 83
 デヒドロ酢酸ナトリウム 140
 電界 22
 電界パターン 38
 電界分布 99
 電気-光変換 136
 電磁環境両立性 136
 電子マネー 4, 9
 電磁誘導方式 20
 電磁誘導方式アンテナ 65
 電磁誘導方式パッシブ型
 RFID 120
 電波 18
 電波法 60
 電波防護指針 60
 電波方式 20
 伝搬定数 26
 電流分布 99, 140
 電力伝送効率 140
 電力パターン 38

【と】

等価等方放射電力 136

動作周波数 65
 動作利得 44
 同軸ケーブル 141
 透磁率 22, 141
 導電率 22, 141
 等方性 35
 トランス回路 141

【な】

ナル 38

【に】

入力インピーダンス
 40, 101, 141
 入力抵抗 41
 入力容量 141
 入力リアクタンス 41

【ぬ】

ヌル 38

【ね】

ネットワークアナライザ 141

【の】

ノイマンの公式 73, 141
 ノーマルモード 49

【は】

バイオメトリクス 2, 141
 配線抵抗 141
 バーコード 1, 141
 波数 26
 歯装着型 RFID タグ 14
 パッシブ型 10, 52
 パッチアンテナ 50, 89, 141
 波動インピーダンス 28
 バラン 110, 141
 パルス位置符号化 55
 パルス間隔符号化 55
 反射係数 44

反射減衰量	143
反射損	44
板状アンテナ	50
搬送波	53, 141
半値角	38
半波長ダイポールアンテナ	37, 141

【ひ】

光 - 電気変換	137
光ファイバ	141
引出し配線付きグラウンドレス パッチアンテナ	85
微弱無線局	142
微小電流素子	33
非斉次 (非同次) ベクトル ヘルムホルツ方程式	26
非接触 IC カード	142
比透磁率	142
“響” プロジェクト	142
表皮厚	29, 70, 137
表皮効果	70, 142

【ふ】

ファラデーの法則	22
不整合損	44
不等間隔セル	142
浮遊容量	142
不要波	139
フリスの伝達公式	86, 142
プローブ	142

【へ】

平衡 - 不平衡バラン (同軸型)	140
平衡 - 不平衡変換回路	141
平面波	26

ヘリカルアンテナ	49
変位電流	23
変形ミラー符号化	54
変調	53
変調波	53
偏波	30

【ほ】

ポインティング電力	29
ポインティングベクトル	29
放射界	34
放射効率	42
放射指向性	112, 142
放射抵抗	40
放射電磁界	142
放射電力	20
放射特性	102, 142
放射パターン	35
ボクセル	142
ボックス型 RFID タグ	13

【ま】

マイクロストリップアンテナ	50, 141
マイクロチップ	14
マイクロ波発振器	142
マクスウェルの基礎方程式	22
マクスウェルの方程式	142
マンチェスタ符号化	55, 142

【み】

ミューチップ	142
ミラー	55
ミラー符号化	142

【む】

無給電素子装荷アンテナ	143
無給電素子付きダイポール アンテナ	92
無指向性	35
無線電力伝送	18

【め】

メアンダーライン	78
メタマテリアル	143

【も】

モノポールアンテナ	46
モーメント法	143

【ゆ】

有限要素法	143
誘電正接	28, 143
誘電率	22
誘導界	34
誘導起電力	143
誘導電圧	143

【り】

リストバンド	120
リーダ / ライタ	4, 137
リターンロス	44, 143
利得	42, 143

【る】

ループアンテナ	47, 63, 143
ループ巻数	66

【ろ】

ローデッドループアンテナ	48
--------------	----

	【A】	H 面パターン	36		【Q】		
ABS	12				Q 値	137	
ASK	53, 55, 136	【I】					
		IC	136		【R】		
		——のインピーダンス	106		RF	54	
		——の動作電圧	137		RFID	137	
	【B】	ICT	75		——の特徴	3	
back scatter	54, 136	ICT 法	137		RFID システム	4	
back scatter 方式	86	IC カード	136		——の歴史	7	
balun	141	ISM バンド	19, 137		RFID タグ	4, 10, 87, 137	
bi-phase space	55, 136	ITU	60		——の形状	12	
Bryan method	71, 75, 136				RFID タグ用アンテナ	15, 52	
		【L】			R/W	4, 137	
	【D】	LC 共振	137		【S】		
DC	54				SAR	121	
		【M】			SAR 測定	137	
	【E】	Mur の二次吸収境界条件	137		skin depth	137	
Edy	136				【T】		
EIRP	20, 86, 136	【N】			tan δ	28, 143	
EMC	136	NFC	59		TEM 波	28	
EMC 規制	60	NFC フォーラム	59		TX-151	137	
E/O 変換	136	NRZ	54		【V】		
ETC	10	NRZ 符号化	137		VCCI	62	
E 面パターン	36				【数】		
		【O】			2/3 筋肉等価媒質	120, 139	
	【F】	O/E 変換	137		【ギリシャ文字】		
FA	7	OOK	136		$\lambda/4$ 短絡型マイクロ		
FDTD 法	97, 136				ストリップアンテナ	51	
FM 0	55, 136	【P】			μ -chip	142	
FSK	57	PEC	138				
		PET	12				
	【G】	PIE	55				
GPS	51	PML	137				
		PPM	55				
	【H】	PSK	58				
HP 85070E 誘電率プローブ		PVC	12				
キット	136						

— 著者略歴 —

1989年 東北大学工学部電気工学科卒業
1992年 東京工業大学大学院修士課程修了（電気電子工学専攻）
1993年 日本学術振興会特別研究員
1994年 東京工業大学大学院博士課程修了（電気電子工学専攻）
博士（工学）
1994年 武蔵工業大学助手
1996年 武蔵工業大学講師
2000年 東京農工大学助教授
2004年 千葉大学助教授
2007年 千葉大学准教授
現在に至る

RFID タグ用アンテナの設計

Antenna Design for RFID Tags

© Masaharu Takahashi 2012

2012年11月30日 初版第1刷発行



検印省略

著者 ^{たか}高 ^{はし}橋 ^{まさ}心 ^{はる}明
発行者 株式会社 コロナ社
代表者 牛来真也
印刷所 萩原印刷株式会社

112-0011 東京都文京区千石 4-46-10

発行所 株式会社 コロナ社

CORONA PUBLISHING CO., LTD.

Tokyo Japan

振替 00140-8-14844・電話 (03)3941-3131(代)

ホームページ <http://www.coronasha.co.jp>

ISBN 978-4-339-00844-9 (大井) (製本: 愛千製本所)

Printed in Japan



本書のコピー、スキャン、デジタル化等の無断複製・転載は著作権法上での例外を除き禁じられています。購入者以外の第三者による本書の電子データ化及び電子書籍化は、いかなる場合も認めておりません。

落丁・乱丁本はお取替えいたします