



パッシブ型RFIDの飛躍的な通信距離向上技術 確立等による適用範囲拡大化実現

Expanding Applications Through Revolutionary Communication Distance Improvement in Passive RFID Technology

RFID業界に於いては、従来HF帯（周波数13.56MHz、磁界結合方式）にて、JR改札認証や図書館の本貸出し管理など近距離通信主体で業界基盤を築いた。しかしながら、近距離通信（10cm未満）という制約が故に用途拡大は困難であった。しかし2005年の電波法改正にてUHF帯（現在の周波数は920MHz、電界結合方式）制定により通信距離も最大約8mとなり、以降約10年の間で、企業・工場などの入退門管理システム（車両・ドライバー・搭乗者認証）や物流倉庫製品入出荷管理、更に製造ラインでのコンベアトラッキングシステム等の用途拡大へ繋がった。近年、各分野のエンドユーザーからは「指向性を有すると共に通信距離を伸ばせないか？」とか、「現状の平面アンテナの制約を越える、アンテナの自在性・柔軟性もほしい」等の要望が多くなってきた。その期待を、当社が考案・開発した製品にて実現したが、現在もそれ以上の性能向上を目指し適用範囲拡大に向け邁進中である。本稿ではその取り組みについて報告する。（RFID：無線通信を用いた自動認識技術）

The RFID industry initially established its foundation primarily in short-range communication using the HF band (13.56 MHz, magnetic coupling) for applications such as JR railway gate authentication and library book management. However, the limitation of short-range communication (under 10 cm) restricted its wider application. Following the 2005 Radio Law amendment establishing the UHF band (currently 920 MHz, electric field coupling), communication distances increased to approximately 8 meters maximum. Over the subsequent decade, this led to expanded applications, including corporate/factory access control systems (vehicle, driver, and passenger authentication), logistics warehouse product receiving and shipping management, manufacturing line conveyor tracking systems, and more. Recently, end-users across various sectors have increasingly requested enhanced directionality with extended communication range, as well as greater antenna flexibility beyond current planar antenna constraints. Our company has devised and developed products that meet these expectations, and we continue to pursue further performance improvements for expanded applications. This paper reports on these developments. (RFID: Radio Frequency Identification Technology)



土田 秀明
TSUCHIDA Hideaki
電計事業本部
開発企画部



山田 満
YAMADA Mitsuru
電計事業本部
複合ソリューション推進部



竹田 宏孝
TAKEDA Hirotaka
電計事業本部
システムソリューション事業部
システム2部
北九州システムグループ



山本 信行
YAMAMOTO Nobuyuki
電計事業本部
システムソリューション事業部
システム2部
北九州システムグループ



菖蒲谷 匡
SHOBUDANI Tadashi
電計事業本部
システムソリューション事業部
ソリューション技術グループ

1 はじめに

パッシブ型（リーダーの電波でタグが起動・応答する電池レス方式）RFIDに於いては、2005年の電波法改正（UHF帯920MHz制定）以降、従来のHF帯（13.56MHz）では実現出来なかった企業・工場などの入退門管理システム（車両・ドライバー・搭乗者認証）や物流倉庫製品入出荷管理の他製造ラインでのコンベアトラッキングシステム等の用途拡大へ繋がった。

しかしながら、近年は各分野のエンドユーザーからは「指向性を有すると共に通信距離を伸ばせないか?」とか、「現状の平面アンテナを越えるアンテナの自在性・柔軟性もほしい」等の要望が多くなってきた。その期待に応えるべく

(1) パッシブ型RFIDの通信距離向上技術確立

(2) 自在性・柔軟性のあるアンテナ技術確立

を目標に開発を行い実用化に繋がった。そこで本稿では、これまでの開発経緯とその成果、および今後の展開について紹介する。

2 客先ニーズとパッシブ型RFIDの技術課題

2.1 具体的客先ニーズと課題

(1) 課題1:アンテナの指向性

例えば、並列に配置される車両置場に汎用品平面アンテナを用いた場合、図1に示すように指向性が広過ぎて隣接する車両まで読取ってしまうため、個別車両置場単位の在車認証が出来ない。

【要望1:】個別幅約4mの並列エリアに停車し、その隣り合う車両毎の個別認証が出来ること

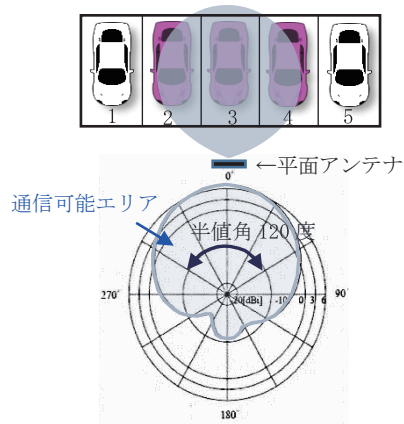


図1:汎用品平面アンテナの指向性

(2) 課題2:通信距離不足

表1に示したパッシブ型RFIDの電波法（高出力型）は、

1) リーダー出力：最大1W（30dB）

2) アンテナ利得：最大6dB

であり、空中線放射電力はその合計最大36dBである。

また、図2に示すように高出力型汎用品ハードウェア標準構成の最大出力を放射してもなお最大通信距離は約8m程度であり、図3で示すように天井から打ち下ろして待機ゾーン内在車管理（入側/出側の車両通過認証）の場合、通信距離15mを要する認証は不可能である。

表1:パッシブ型RFID電波法

分類	免許申請要否	リーダー出力	アンテナ利得
高出力型	要	1W (30dB) 以下	6dB 以下
		(空中線に放射できる電力は 36dB 以下)	
中出力型	不要	250mW (24dB) 以下	3dB 以下
		(空中線に放射できる電力は 27dB 以下)	

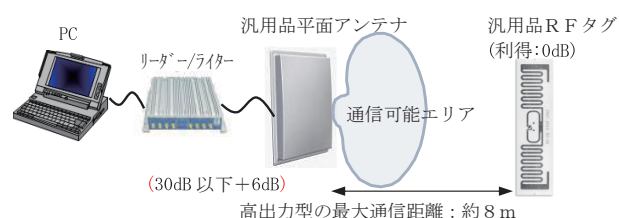


図2:パッシブ型RFID(UHF帯)汎用品ハードウェア標準構成

【要望2:】幅広い（長さ：約50m 幅：約7m）待機エリアの在車管理は、ゾーン管理（ゾーン入側/出側を通過時に認証）をしたい

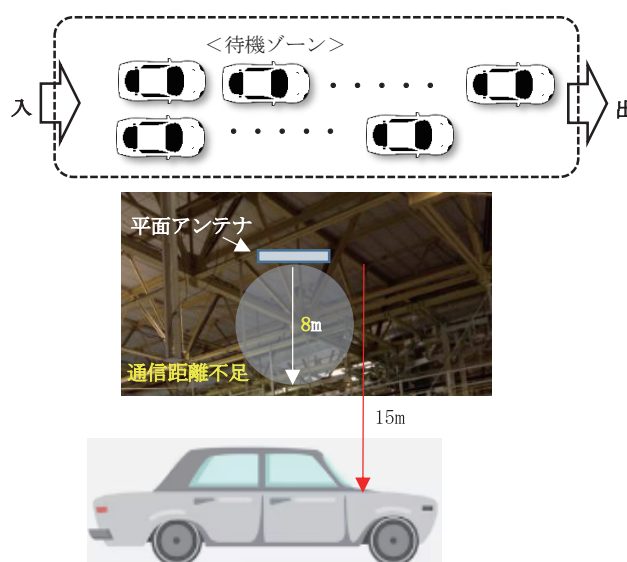


図3:平面アンテナ（標準品）の通信距離

3 課題解決へ向けて

3.1 ビームアンテナ化

リーダー側の出力とアンテナ利得に制限がある中で、通信

距離を延ばす方法として、図4で示すように標準品平面アンテナをビームアンテナ化（指向性を鋭く）することで、送受信双方の感度を上げ通信距離を伸ばすことへトライした。

（代表的ビームアンテナは、八木アンテナ）

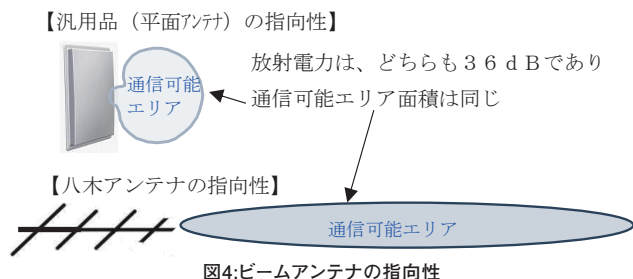
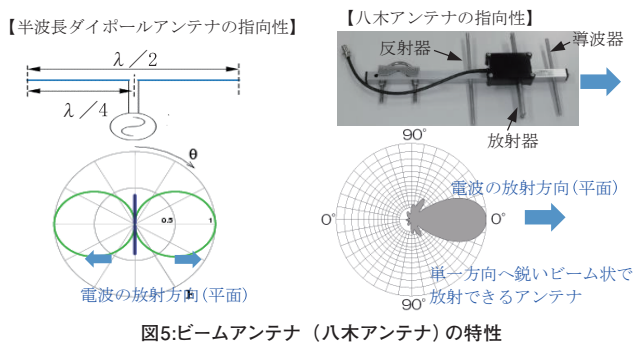


図5を用いてビームアンテナ（八木アンテナ）について補足すると、当初半波長ダイポールアンテナが普及したが、その水平面の指向性は「8の字」であるため、単一方向へ鋭いビーム状で放射できるアンテナを目的に開発されたのが八木アンテナである。その構造は、ダイポールアンテナを放射器（給電部）とし、その後方へ反射器（後方への電力伝搬を抑える）を据え、放射器より前に導波器（素子数を増やす程利得が増し指向性が狭まる）を据えた構造である。その結果、ダイポールアンテナに比べ（1）大幅に利得が向上、（2）放射電力の増強、（3）受信感度向上（微弱な電波もキャッチできる）

（4）{(1)、(2)、(3)}の結果、通信距離を向上することが出来た。



3.1.1 ビームアンテナ試作結果

基本、八木アンテナの設計指針をベースに設計・試作・検証を行った。まず、図6に示す試作品1（素子：銅線2mmφ、フレーム：木材での簡易八木アンテナ）から、試作品2（素子：アルミ5mmφ、フレーム：ステンレスでの標準八木アンテナ）と評価し、完成品アンテナ（素子アルミ7mmφ、フレーム：ステンレス、放射器：フォールデッドダイポール搭載）に繋げた。

その結果、表2に完成品A（製品化版）の性能を示した通り、各要素の目標値は達成できた。特に、通信距離は大幅に目標値を上回り汎用品の通信距離8mに対し、2倍以上の20mを実現できた。これらの成果として図6で示す2

種類（A、B）の製品を完成した。

Aは、高出力型用として5素子エレメンテナ^{*1}とした。

選定の理由は、表2で示す利得11dBが関係している。先に述べた電波法（表1）から、空中線放射電力はリーダー出力とアンテナ利得の合計36dB以下であり、本開発品のアンテナ利得11dBから、リーダー出力は25dB以下となる。その兼ね合いから、今回7素子までの試作・評価結果も含め検討した結果、リーダー出力との最適なバランスから高出力型用アンテナには5素子を採用した。

Bの3素子エレメンテナも同様に、本開発品の利得6dBからリーダー出力21dB以下として中出力型用アンテナに採用した。また、本開発の中出力型構成での通信距離は12mであり、図2で示す高出力型汎用品構成の8mをも大きく上回った。

表2:完成品アンテナAの性能

	通信距離	半値角	検知幅	利得
開発目標	10m以上	25°以下	4m以下	10dB以上
実績値	最大20m	18°	4m	11dB
評価	◎	○	○	◎



【試作品アンテナ1】 【試作品アンテナ2】 【完成品アンテナ（A及びB）】

図6:試作品～完成品アンテナ

以上の結果から、エレメンテナ（ビームアンテナ化）開発による通信距離向上の成果を、以下の図7に整理した。

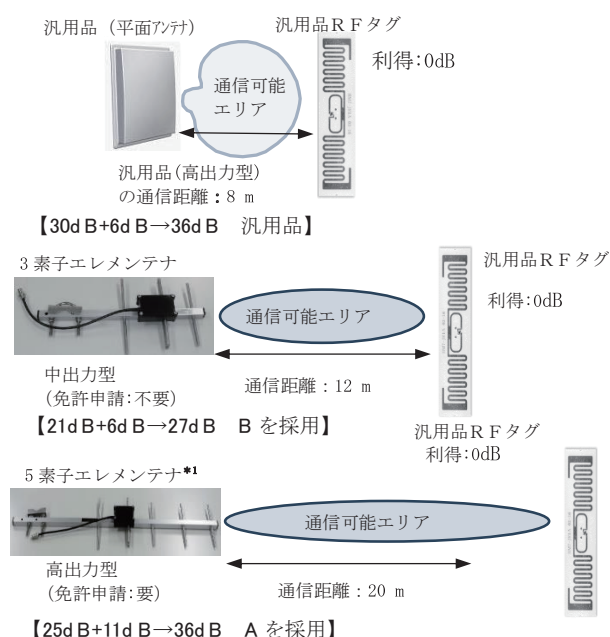


図7:エレメンテナ（ビームアンテナ化）の通信距離比較

4 更に飛躍的な通信距離向上へ

4.1 RFタグ側のビームアンテナ化

更に、ビームアンテナ化の効果をRFタグ側へ応用できないかと検討した。RFタグは、リーダーからの応答要求電波にて起動～応答する仕組み（パッシブ型）であり、表1の電波法にRFタグ自体の電力規制はない（汎用品RFタグの利得はゼロ）そこに着目して、上記エレメンタ同様にRFタグ側アンテナのビームアンテナ化を図り、送受信感度増強と利得向上を狙って考案したのがエレメンタ^{※2}である。

まず試したのは、汎用品RFタグ単体をそのまま八木アンテナの放射器に搭載する構造。感度の良い汎用品RFタグ（シールタグ等）を選定し、それを放射器として据え八木アンテナ設計指針に準じて反射器の長さ・放射器間距離を調整し合せ込みから実施した。その例を図8および図9に示す。



図8:RFタグ単体通信距離およびRFタグ+反射器通信距離測定

図8のような同一条件にて、RFタグ単体の通信距離と、それに反射器を加えた場合の通信距離を測定した。

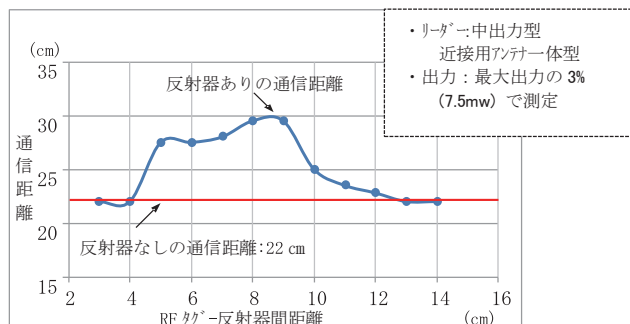


図9:RFタグ-反射器間距離と通信距離

その結果、図9のように反射器ありの場合、RFタグ単体より通信距離が伸び、かつピークがRFタグ間距離 $\lambda/4$ （約8cm）にあることが確認できた。つまり八木アンテナの特性どおり反射器は電波放射方向とは逆方向への電力抑制（逆相打ち消し）の動作であり、RFタグを放射器に据えたパッシブ型RFタグのビームアンテナ化可能と判断し試作・評価を実施した。その結果を図10に示す。

最終試作品が4素子エレメンタの構造である。汎用品RFタグ利得0dB に対し、利得8dB（4素子）狙いで試作した結果6dB ではあったが、5素子エレメンタと4素子エレメンタを組合せた通信距離は、汎用品RFタグとの

通信距離20m（図7）に対し、飛躍的に2.5倍の50mに伸ばすことができた。

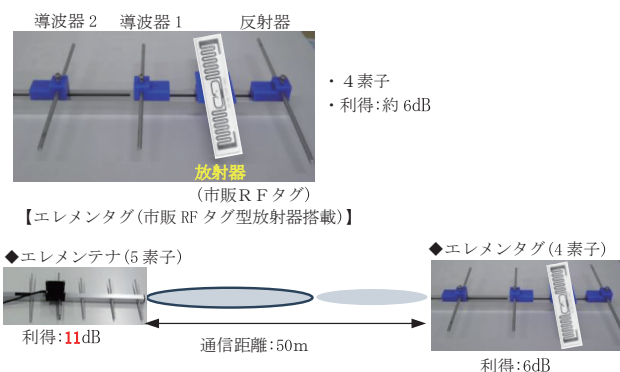


図10:エレメンタとエレメンタを組合せた通信距離

早速その結果を踏まえ、客先要望「混鉄車連結自動認証」の実機試験を行ったが、図11-1、11-2で示すように通信距離は到達したが、RFタグ側（エレメンタ）は距離が遠い程混鉄車ボディから横に離れた位置でないと通信出来なかった。

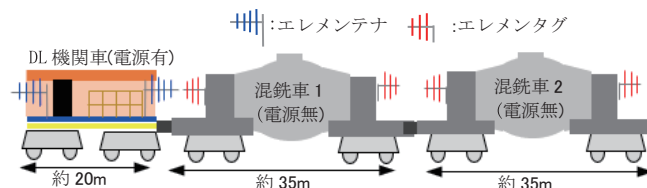


図11-1:DL機関車と混鉄車の長さで連結の様子

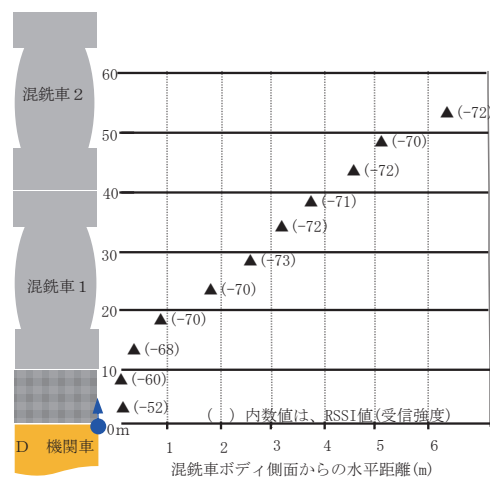
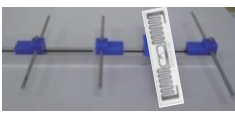
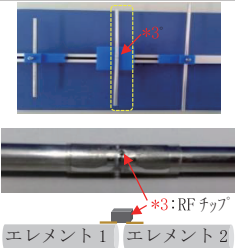
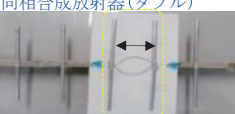


図11-2:混鉄車から離れた位置での検知位置

以上のように、DL機関車端部のエレメンタから混鉄車2端部のエレメンタまで距離だけなら約50mの通信はできているが、距離が遠い程混鉄車ボディから横に離れた位置でないと通信出来ないため実用できない。原因としては、エレメンタ側の応答電力不足の可能性が高いと考えた。更に

掘り下げて考察すると、八木アンテナ化構造の場合、放射器（給電部）がその性能を左右する最重要部であり、その放射器に汎用品RFタグ（利得ゼロ）を用いたため、その性能がエレメンタグ性能に依存する状況であったと思われる。従って、更にエレメンタグ性能向上（送受信感度増強）を図るならば、放射器自体に利得を持たせる構造が必須であり、表3で示す以下の計画を立案し、段階的に性能検証しながら増強する開発を現在進めている。（2024.11月現在、STEP2実施中）

表3:超長距離型エレメンタグ開発内容と状況

【開発順】	放射器構造	エレメンタグの利得	組み合わせ通信距離
放射器区分			
【STEP1(済)】 汎用品RFタグ型		(4素子エレメンタグ) 狙い:8dB 実績:7dB	狙い:40m 実績:50m
【STEP2】 エレメンタグ型 ●特許登録番号 第7470853号	 *3:RFチップ エレメント1 エレメント2	(4素子エレメンタグ) 狙い:8dB 実績:11dB	狙い:60~70m 実績:-m
【STEP3】 同相合成型 ●特許登録番号 第7470854号	同相合成放射器(ダブル)  同相合成放射器(トリプル) 	(5又は6素子エレメンタグ) 狙い:12dB 実績:-dB (6又は7素子エレメンタグ) 狙い:12~14dB 実績:-dB	狙い:70~85m 実績:-m 狙い:100m以上 実績:-m

開発最終STEP3の目標通信距離は100m以上としている理由は、客先からの

【要望3:】として、「目的は、自動車生産台数増強であり特に組立てラインへの部品供給の効率化を図りたい」である。具体的な作業としては、部品供給自体は運転マンによる部品搬送台車を用いた部品積込/搬送であるが、その判断と経路による変動要素がある。対策としては、まず現状の部品搬送台車経路実績を把握し、最適な条件に繋げ効率化を行う。

また、工場内の部品置場はラック単位に広大な広さ（幅約50×長さ約200m内に区画分けして配置されており、かつ、半年に一度程度、置場レイアウトの変更もある。その環境条件に適しているのはパッシブ型RFIDと判断し、本開発にて100m以上の通信距離が確立できれば、当社担保の最適化アプリケーションとの組合せで効率化を含めた提案も可能となる。

5 パッシブ型RFIDの柔軟性・自在性向上

5.1 具体的客先ニーズと課題

冒頭述べたように、近年増加したエンドユーザーからのもう一つの要望として、「現状の平面アンテナの制約を越える、アンテナの自在性・柔軟性もほしい」がある。活用対象として、クレーンでのコイル搬送時のコイルNo自動認証、道具収納キャビネット（引出しの中含む）内や、製品置場ラック（棚段単位）、鍵管理（鍵収納BOX内）の在荷リアルタイム監視等が挙げられる。

また、課題としては

(1)平面アンテナの形状とサイズ

汎用品平面アンテナのサイズは、

凡そ20cm幅×20cm長さ×50mm厚さであり、キャビネット引出しやラックの棚、BOX内には設置困難

(2)平面アンテナの指向性

上記用途に対しては、図4に示した楕円上の平面アンテナの指向性より、限定された狭いエリア内を確実に読取るなら無指向性アンテナの方が良い。また、通信距離も3~5mを安定して読取れば良いので、免許申請不要な特定小電力型が望ましい。

以上の内容から、柔軟性・自在性もあり、かつ無指向性（水平面）アンテナとして候補に浮かんたのは、スリーブアンテナである。まず、スリーブアンテナについて構造・性能を調査した結果を、図12-1および図12-2に示す。

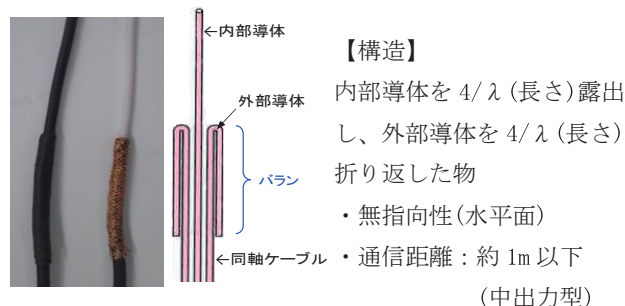


図12-1:従来のスリーブアンテナ

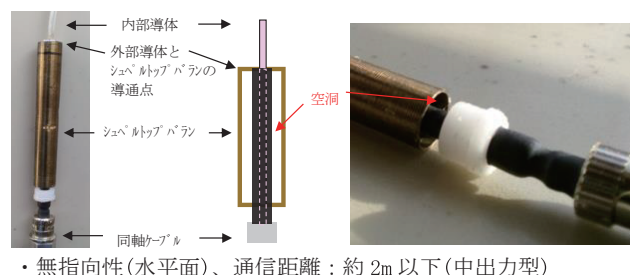


図12-2:現在のスリーブアンテナ

従来・現状のスリーブアンテナについて言えるのは、

- 1) 同軸ケーブルが媒体である。
- 2) 無指向性（水平面）は良い。

3) 通信距離が非常に短い。

通信距離を長く(性能向上)するのが最大の課題であり、アンテナ媒体である同軸ケーブルと現状のスリーブアンテナ(図12-2)について徹底的に調べてみた。その結果は以下の通りである。

① バランの違い

バランとは、一般的なアンテナ設計上の重要項目の一つであり、電氣的に不平衡である給電線(同軸ケーブル)と電氣的に平衡であるアンテナ素子部を直結する場合に必要な不平衡/平衡変換器である。図12-2に示す現状のスリーブアンテナに用いられたシュペルトツプバラン(金属陶管内部)では、同軸ケーブルをそのまま挿入してあり、かつ、その外周から金属陶管内径までの隙間(空気)の影響もあり、バラン内部と同軸ケーブル側とのインピーダンス整合が不十分である。

② 同軸ケーブル接合部(導通部)の違い

現状のスリーブアンテナに用いられたシュペルトツプバランと同軸ケーブル外部導体を接合するのは、露出した内部導体側のバラン端部であるが、当社考案フレキシブルアンテナ^{*4}は、それと真逆の同軸ケーブル側のバラン端部である。この理由は、接合点を変えることでアンテナ機能を素子部だけでなく、同軸ケーブル側にも持たせたい狙いからである。

以上のことから、目標を下記の4点に狙いを定め開発を行った。

- ・水平面無指向性アンテナ
- ・柔軟性のあるケーブル型アンテナ(3D-2V以下)
- ・先端素子部/ケーブル部両方ともアンテナ
- ・素子部性能：中出力型での通信距離は、半径10m

5.2 ケーブル型無指向性アンテナの開発結果

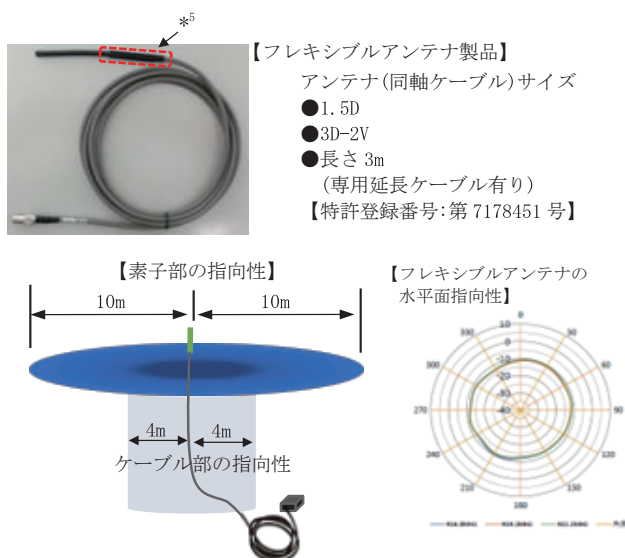


図13:フレキシブルアンテナの性能

図13に開発したフレキシブルアンテナ(製品化)の全景および性能を示す。目標値も達成し、特に通信距離に於いては、前述した高出力型汎用品構成の最大通信距離約8mに対し、中出力型で半径10mを達成し想定以上の性能が得られた。

その性能向上に最も寄与した要素は、図14に示す、スリーブアンテナ用として独自に考案したバラン^{*5}と考えている。その根拠を以下に述べる。

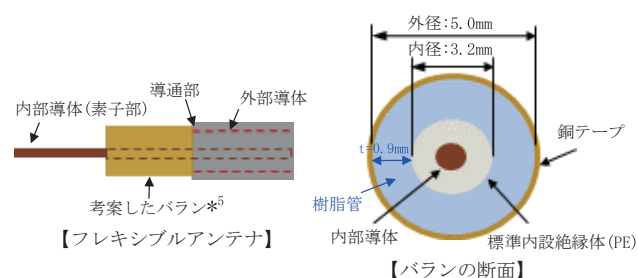


図14: 考案したバランの構造

(1) 同軸ケーブルの特性インピーダンスとの整合

同軸ケーブルの断面を図15に示す。同軸ケーブルのインピーダンスは図15の

- 1) 内部導体の外径(d)
- 2) 外部導体の内径(D)
- 3) 誘電体の比誘電率(ϵ)

で決まる。

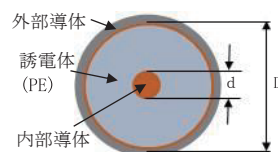


図15:同軸ケーブルの断面

メーカー仕様では、一般的には $50 \pm 2 \Omega$ となっており、本考案バラン部のインピーダンスを可能な限りそこに近づけるよう構造設計を行った。まず、樹脂管の材質は

- | | |
|---------------|----------------------|
| <誘電体> | <比誘電率(ϵ)> |
| ・PS(ポリスチレン) | : 2.4 ~ 2.65 |
| ・PVC(ポリ塩化ビニル) | : 3.0 ~ 3.1 |
| ・MCナイロン | : 3.4 ~ 3.7 |

の中から既存の同軸ケーブルに使用されているPE(ポリエチレン)に最も近い比誘電率である、PS(ポリスチレン)とした。断面サイズは、3D-2Vに合わせ外部導体内側に極力隙間(空気層)をなくすよう、 $t=0.9\text{mm}$ 、内径 $=3.2\text{mm}$ とした。その組合せで考案バランのインピーダンスを試算すると、 51.1Ω と良好な値になった。

(2) 最適なバラン長さ追及(波長短縮率の適用)

次に、考案バランの長さについては一般的なアンテナ設計と同様に、波長短縮率を考慮した。電波が空間を伝わる速度は光の速度(30万Km/s)に等しいが、同軸ケーブル内では絶縁体の影響を受けて遅くなる。この遅くなる比率を波長短縮率(速度係数)という。従って、

$$\bullet \text{波長短縮率} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon}} = \frac{1}{\sqrt{2.65}} = \text{約}61\% \text{となる。}$$

これを基本形スリプアンテナの素子長さ（ $\lambda/4$ ）に当てめると、考案バランの長さは

$$\bullet 920\text{MHzの}\lambda \text{（波長）} = 326.0\text{mm} \Rightarrow \lambda/4 = 81.5\text{mm}$$

$$\text{波長短縮適用長さ} = 81.5\text{mm} \times 0.61 = \text{約}50\text{mm} \text{となる。}$$

この結果を基に考案バランを試作し、素子長さも同様に基準長さ（ $\lambda/4 = 81.5\text{mm}$ ）からカット&トライにて考案バランに対する素子長さの最適値を見出すことに成功した。

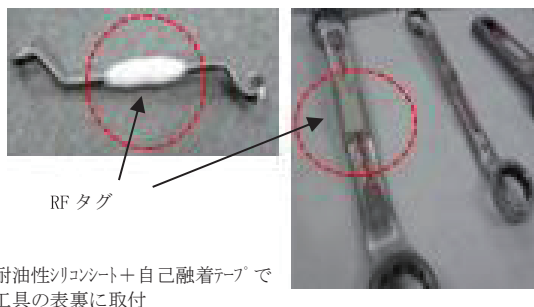
5.3 フレキシブルアンテナの実施と展開状況

フレキシブルアンテナの完成により、さっそくその特性を活かした応用を行った。

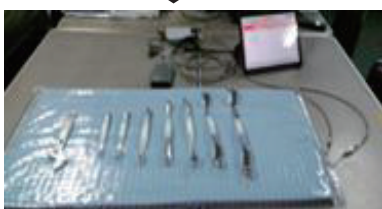
(1) 道工具紛失防止用スマートシート(仮称)開発

当社が請負う製鉄所構内での工事・整備作業では、多種多様の道工具を使用しているが、工場内設備（例えば、減速装置内やボイラ蒸気ドラム内など）にそれを置き忘れば、設備故障や操業休止に至る事態も考えられる。しかし、現状は、作業員や工事責任者の現物確認に委ねられており、道工具の紛失を防止する為に多くの労力を費やしている。

その対策として考案・開発したのが、図16に示す道工具検知スマートシートである。



シート内部にフレキシブルアンテナ2本敷設



【完成品スマートシート(100(長)×50(高)×23(厚)mm)】

図16:道工具検知スマートシート

- 工具の作業前認証/登録
- 現場作業(箇所毎)終了時にチェック
- 最大50個の工具を並べて認証

(2) コイル置場管理システムへ導入

これまでの置場管理では、X・Y（番地）・Z（積段）の自動認証は確立済みである。しかし、管理対象物が“何か”（例えばコイルNo.）の自動認証は出来ていなかった。

図17に示すように、今回開発したフレキシブルアンテナをクレーンCフックに這わせるように敷設可能となったことで、コイル内面に設置したRFタグ（コイルNo.）の自動認証も可能となった。

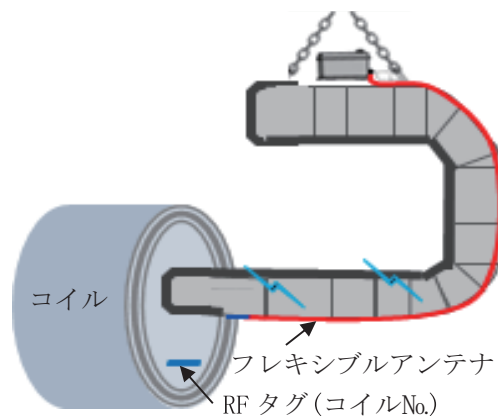


図17:フレキシブルアンテナでコイル認証

(3) 鍵管理システムへの応用

エンドユーザーからは、セキュリティ用途として、鍵収納ボックス内のリアルタイム在荷管理や棚卸に有効な方法を求められていた。解決策として、開発したフレキシブルアンテナを活用した管理の実用化を目指し、具体的提案に繋げるためオフライン検証を進めている（図18）。



図18:鍵収納ボックス内の認証

6 おわりに

本稿では、RFIDの利用に関して生産・物流分野における作業効率化や管理対象物の取り間違い（異材）防止等の対応策を目的とした開発経緯と成果および今後の展開について紹介した。

RFID技術においては、この20年に渡りエンドユーザー／

我々メーカー共に認知され、かつ、固定概念として根付いた通信可能距離約8mの強い思い込みがある。上述した20m～50m通信技術の確立に加え、更に目の前に迫った100m以上の通信技術が確立される時代到来を理解しなくてはならない。また、国内は勿論広大なエリアの諸外国にはまだ我々も気づいてないニーズも埋もれているに違いない。その開拓実現に向け、海外に拠点を有するメーカーとの協業化に積極的アプローチを行う等、世界的な社会の発展に貢献していく所存である。

参考文献

- *1：商標登録「エレメンテナ」、第6190463号
 - ・「指向性アンテナの向き調整方法」特許登録番号：第6712562号
- *2：商標登録「エレメンタグ」、第6190462号
 - ・「無線通信機器」、特許登録番号：第7032065号
 - ・「無線通信機器」、特許登録番号：第7470853号
 - ・「無線通信機器」、特許登録番号：第7470854号
- *4：商標登録「テックスフレキシブルアンテナ」、第6738524号
 - ・「フレキシブルアンテナ」、特許登録番号：第7178451号
 - ・「円筒状物品の認証搬送装置」、特許登録番号：第7523707号

お問い合わせ先 —————

電計事業本部

【メールの場合】:

more_information-denkei@tex.nipponsteel.com