

電興技報

創立70周年記念号

2020

No.52



電 気 興 業 株 式 会 社

ワイヤレス研究所

Denki Kogyo Co., Ltd.

Wireless R&D Center

巻 頭 言

70周年記念号に寄せて

『ノウハウ』

執行役員 浅井 貴史



『2020年』当社が創立70周年を迎える記念の年に、第52号電興技報の巻頭言を担当することとなり、身の引き締まる思いです。創業以来、当社は諸先輩方の功績により、長きに亘り日本又は海外の通信インフラ構築に貢献してきました。当社がこの先100年を超え永続していくためには、現在の開発力や技術力を如何に詳細に効率良く、次世代に引き継ぐかが重要な要素であります。そのための一助となるのが、この電興技報ですが、読んで伝えられないモノもあります。それは、私をもっとも重要と捉えている『ノウハウ』です。

『ノウハウ』[know-how]とは？

物事のやり方についての蓄積された実際的知識、技術情報（広辞苑より）

広辞苑の説明内容でとらえると、文書でも伝えられそうなイメージを持ちますが、国際商業会議（ICC）の定義によると「暗黙知であり、話を聞いたり書物を読んだりしただけでは伝承することができないもの」が『ノウハウ』と表されており、この暗黙知を如何に上手く伝えるかが重要となります。例えば自転車に乗る方法を文書化して、人に教えることが出来るでしょうか？いくつかのヒントは教えられるかもしれませんが、こうすると必ず乗れると表すことは難しいと考えます。このような自転車に乗るコツであったり、長年の経験による直感や勘といったような暗黙知を継承できないと、企業が持っている『ノウハウ』がいつしか喪失してしまいます。

よって『ノウハウ』を継承するためには、この暗黙知を形式知化（文章や図表、数式などによって説明・表現できる知識のこと）することが1つの手段となります。出来る限り細かな点についても文書化し、また文書化だけで伝わり辛いのであれば、音声や動画などを活用することも有効と考えます。しかしながら先程述べた直感や勘、コツといった内容は形式知化することが困難です。人から人へ「コツ」などを伝えるには、やはり一緒に仕事を進めながら、共感やコミュニケーションで伝えていくことも大事と考えます。

『ノウハウ』の継承はとても難しいテーマですが、企業がやらなければならない最重要課題です。先ず我々にできることは、この『電興技報』のように開発内容を文書化するに留まらず、その開発成功に至った経緯や要因、また失敗事例などを解り易く記録として残していくことです。

諸先輩方から私達へ、私達から次世代へ、会社で培ってきた『ノウハウ』を繋いでいき、開発力・技術力の更なる向上に努め、会社永続を目指していきましょう。

MIMO 伝送を用いた 基地局アンテナ構成法に関する研究

宍戸 洸太*

Research on Base Station Antenna Configuration Method Using MIMO Transmission

Kota Shishido

筆者は、2016年10月に新潟大学大学院 自然科学研究科 博士後期課程 電気情報工学専攻に入学し、西森健太郎研究教授のご指導のもと、2019年9月に博士(工学)の学位を授与された。博士論文のテーマは、「MIMO 伝送を用いた基地局アンテナ構成法に関する研究」である。その論文の概要について紹介する。

The author entered the Graduate School of Science and Technology, Niigata University in October 2016, and majored in Electrical and Information Engineering under the supervision of Professor Kentaro Nishimori. In September 2019, he was awarded a doctorate degree. The theme of the doctoral dissertation is “Research on base station antenna configuration method using MIMO transmission”. The outline of the paper is introduced.

1. はじめに

近年、移動通信における技術変革のスピードはめざましく、携帯電話やスマートフォンだけでなく、ゲーム端末、ノート PC 等様々な小型端末内に移動通信用アンテナが実装されている。当初無線通信のアプリケーションは電話のみであったが、メールに始まり様々なアプリケーションが開発され、年々求められる通信速度・容量は急速に増加している。これに伴い、移動通信の世代交代も行われ、2020年には第5世代移動通信(5G)が実現されようとしている。5Gは高速大容量化(eMBB^{*1})・低遅延(URLLC^{*2})・多数同時接続化(mMTC^{*3})が定義され、様々な技術検討が行われている。

* 機器統括部 移動通信技術開発部

2. 近年の移動通信技術の動向と基地局アンテナの課題

近年、特に注目されている技術として、第3.9世代移動通信にあたるLTE^{*4}からMIMO^{*5}技術が導入されている⁽¹⁾。MIMO技術は送受信に複数のアンテナを用い、直接波・反射波・回折波が混在するマルチパス環境を利用することができる。これにより、同時・同一周波数にて複数の情報を送受信することが可能となり、通信容量を劇的に向上させた。

通信容量を簡単に増加させる方法として、利用周

*1 eMBB: Enhanced Mobile Broadband

*2 URLLC: Ultra Reliable Low Latency Communications

*3 mMTC: Massive Machine Type Communication

*4 LTE: Long Term Evolution

*5 MIMO: Multi Input Multi Output

波数帯域を広げる方法がある。移動通信システムにおいてはスモールセル基地局が導入され、現行利用されている UHF 帯・ミリ波帯の中で、様々な周波数帯域を用い、ユーザごとへ振り分ける HetNET^{*6} や複数の帯域を1つの端末相手に集約させることで、通信容量・速度を飛躍的に向上させる CA^{*7} などの技術を効果的に利用できる⁽²⁾⁽³⁾。スモールセル基地局はマクロセルの人口密集地に重なるようにアンテナを配置し、通信可能な周波数の増加、不感地帯のカバー、リピータのように周波数変換を行うなどの利用コンセプトが考えられ、必要なトラフィック量をエリアごとに最適化させることができる。

移動体通信の利用周波数は様々な周波数にわたって用いられており、エリア内では複数の周波数帯域が利用されている。また、sub6 や 28GHz 帯のような高い周波数が追加されるようになったが、それらの周波数はこれまで利用されてきた周波数に比べ、伝搬損失が距離に対して大きく、スモールセルとしての利用が考えられる。マクロセルのエリアはエリア内の建物、地形、周波数、利得などの様々な要因を受けて形状が変わる。スモールセルはそのエリア内をオーバーレイ、カバーするように配置され、伝送容量を向上させる。このスモールセル基地局用のアンテナに求められる機械・電気的性能として、

- ・ 景観等に配慮・調和した形状。
- ・ 高周波数の伝搬損失の増加に配慮した、アンテナの高利得化。
- ・ 垂直面指向性を高チルト化することで、隣接基地局への干渉抑制。

などの条件が挙げられる。これらを解決する手段として、アンテナ・反射板等にメタマテリアル技術を用いて、アンテナの構造を環境に最適化させながら、電気的特性に自由度を与えることが可能となる⁽⁴⁾⁽⁵⁾。メタマテリアル技術を用いたアンテナとしては右手左手系複合線路を用いた細径オムニアンテナが報告されている⁽⁶⁾。この細径オムニアンテナは2つの給電ポート間で偏波が直交するため、アイソレーションを確保しつつ、水平方向の角度によって偏波方向が変わる構造となる偏波合成方式となっている。しかし、偏波合成方式の実伝搬特性は測定されておらず、従来の偏波共用方式などと比較はされていない。

5G においては、MIMO 技術で用いられる送受信のアンテナ数を劇的に増やすことで大容量化を図る Massive MIMO が期待されている。非常に多くの素子が実装されたアダプティブアレーのように鋭く、高利得、多くのヌルをもつ指向性を形成し、通信を所望しているユーザには高利得のビームを向け、その他のユーザにヌルを向けることで、簡単な信号処理によって、所望ユーザのみとの通信を行うことができる。また、高利得化により、今後増加してくる sub6, 28GHz 帯などのこれまで移動通信に用いられてきた周波数よりも高い周波数の伝搬距離、基地局通信可能なセルサイズなどを大きくすることができる。

Massive MIMO はユーザの移動や人数などの変動によってビーム追従・選択をする必要があるため、構造は複雑化し様々な課題がある。Massive MIMO の課題は大きく4つに分けられ、

- ・ 課題 A：効果的なアンテナ配置(アンテナ素子の観点)
- ・ 課題 B：伝搬環境の特性評価(伝搬損・構造物による特性・セル設計など)
- ・ 課題 C：信号処理による指向性制御法(RF回路・信号処理)
- ・ 課題 D：CSI^{*8}取得方法と制御信号量の削減(通信効率への影響)

がある。課題 B~D に関しては(7)、(8)のように実験の積み重ねによる考察や様々な技術検討が行われているものの、課題 A のアンテナ配列では、ほとんどの検討が正分配列のアレーアンテナでの検討であり、特殊な素子構成での Massive MIMO の検討はほとんどない。

3. メタマテリアル細径オムニアンテナの伝搬特性評価⁽⁹⁾

3.1 アンテナ概要

メタマテリアル細径オムニアンテナ(メタロッドアンテナ)の構造に関しては、文献(6)で報告されている。本検討では、アンテナの構造を 5GHz 帯で動作させるようにユニットセルのパラメータを設計した。アンテナのユニットセル外観を図1に示す。アンテナはユニットセルを周期的に接続し、これに電流が通過することで漏れ波が発生する。本アンテナ

*6 HetNET : Heterogeneous Network

*7 CA : Carrier Aggregation

*8 CSI : Channel State Information

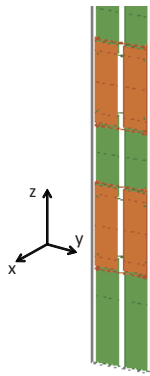


図1 ユニットセル構成

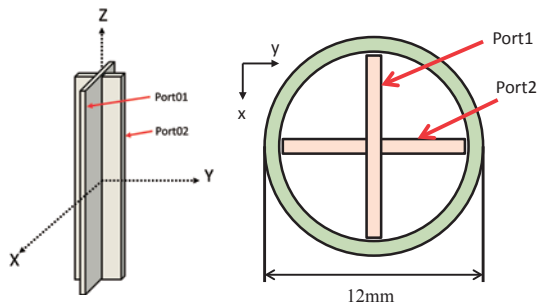


図2 メタロッドアンテナ構成

表1 アンテナ諸元

	細径オムニアンテナ	従来アンテナ
アンテナ形式	漏れ波アンテナ	ダイポールアレー
偏波	偏波合成	垂直・水平偏波
アンテナ径	12mm	50mm
ブランチ数	2	
中心周波数	5.12GHz	
周波数帯域	40MHz	
利得	約 5dBi	
V.S.W.R.	2.0 以下	
ポート間結合	約 -20dB	
水平面内指向性	無指向性(偏差 6dB 以内)	
垂直面主ビーム方向	下向き約 40度	

は 10 個のユニットセルを連続的に接続し、アンテナ先端に到達するまでにエネルギーを電波として放射し、反射を抑える構造となっている。図 2 にアンテナの上面図を示す。アンテナを十字に交差させることで 2 ブランチ化するとともに、細径化を実現した。結果、アンテナの内径は 10mm となり、外形 12mm のカバーに収まる構造となった。

3.2 伝搬試験諸元

表 1 に伝搬試験に用いたアンテナの電気特性の諸

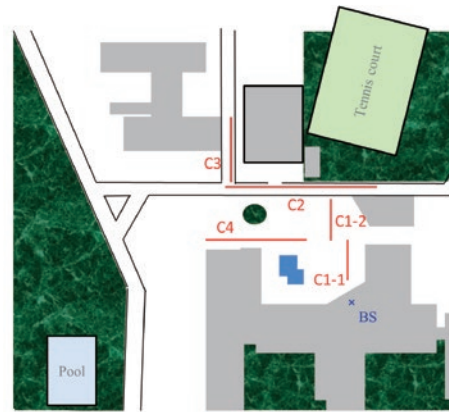


図3 測定環境

表2 測定諸元

基地局(受信)アンテナ	メタロッドアンテナ(偏波合成アンテナ) 従来アンテナ(垂直水平偏波共用アンテナ)
端末(送信)アンテナ	垂直偏波スリーブアンテナ 4 本
中心周波数	5.12GHz
信号帯域	20MHz
送信電力	0.5 W / 1Port
平均 SNR (全受信電力の平均値)	20dB
信号変調方式	QPSK-OFDM 信号
サブキャリア数	56
基地局アンテナ高さ	6m
端末アンテナ高さ	1m

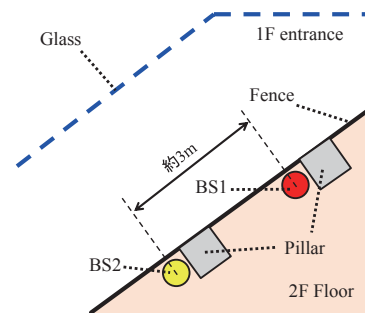


図4 基地局周辺環境

元を示す。比較として従来の垂直・水平偏波共用のオムニアンテナ(従来アンテナ)の仕様についても示す。アンテナ径の差は顕著に出ており、メタロッドアンテナの径は従来アンテナの径と比較して約 1/4 と非常に細くなっている。

図 3 に測定環境を示す。測定は C1-1~C4 の各コースで行われ、基地局側 (BS^{*9}) に近い端点を 0m とし、1m 間隔で測定を行った。表 2 に実験諸元を示

*9 BS : Base Station

す。信号は各コース上の端末(UT^{*10})側から送信されて、BSで受信する上り回線での測定を行った。UTには4本の垂直偏波のスリーブアンテナを設置し、BSはメタロッドアンテナおよび従来アンテナを図4に示すBS1およびBS2に設置する。設置するアンテナはBS1に1種、BS2に残りの1種をそれぞれ2波長離れた状態で2本設置する。一度全コースで測定した後、BS1、BS2のアンテナを入れ替え再度測定する。これによりデータ量を増やし平均化することでフェージングの影響を少なくし、かつ2アンテナの測定箇所によるデータ数は同一となるため、公平に評価することができる。

3.3 伝搬特性の解析

前節で述べたように、BS側は2ブランチのアンテナ2本、UT側はスリーブアンテナ4本となるため、測定にて取得した伝搬行列は 4×4 の行列となる。本

検討では固有モード伝送での評価を行うため、取得したチャンネル行列に対して固有値分解を施す。得られた固有値を用いてSNR^{*11}およびチャンネル容量を

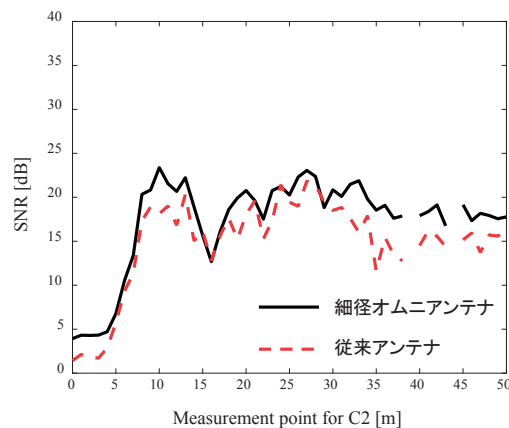


図7 C2におけるSNRの変化

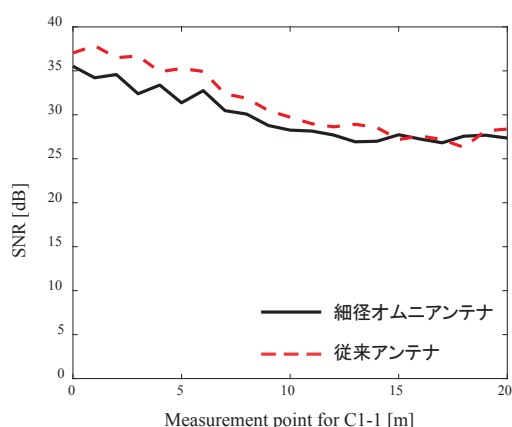


図5 C1-1におけるSNRの変化

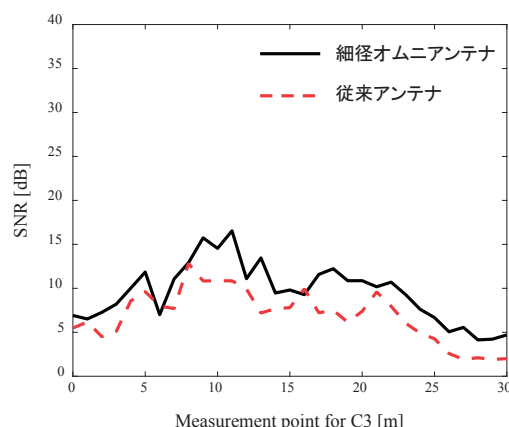


図8 C3におけるSNRの変化

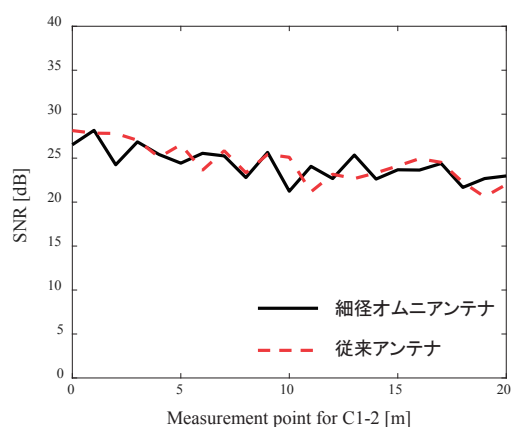


図6 C1-2におけるSNRの変化

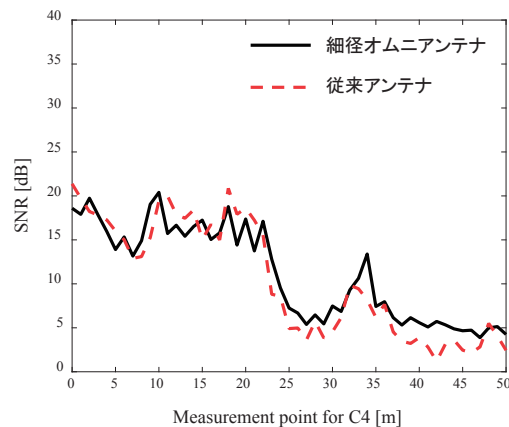


図9 C4におけるSNRの変化

*10 UT : User Terminal

*11 SNR : Signal to Noise Ratio

導出し、従来アンテナとの比較評価を行った。

図5～9に図3に示した各コースにおける信号対雑音比(SNR)を示す。結果は測定回数とサブキャリアで平均をとった。図7において、39mおよび43mの位置は駐車場の出入り口になっており、歩道の傾斜が大きく測定を行わなかった。図5, 6より、コースC1-1およびC1-2は基地局から離れていく方向へ動いており、基地局からの距離が長くなるほどSNRが下がっていくことがわかる。フェージングの影響はわずかにあるが、SNRの値は2種の基地局アンテナでほぼ同じになっている。図7に示すように、C2ではNLoS(Non Line of Sight)である建物の影からLoS(Line of Sight)環境となり、5m付近からSNRが上昇することがわかる。また、C2においてもSNRの変化は2つの基地局アンテナでほぼない。図8のC3のコースと基地局の間には、0m付近に樹木があり、0～3mにおいてSNRが低い。3m付近から距離が長くなるとSNRは上昇するが、基地局からの距離が長く建物の影に入るため、SNRは低くなる。C4はLoS環境からNLoS環境になるコースであり、図9に示すように、22m付近まではSNRが高い。その

後、建物の影になりSNRが下がる。コース全てにおいて、細径オムニアンテナと従来アンテナのSNRの大きさとコース位置変動による傾向はほぼ同じであることがわかる。図10～14に各コースにおけるチャネル容量を示す。これらの結果も測定回数とサブキャリアで平均をとった。チャネル容量は2種の基地局の間でほぼ同じとなり、各コースでのチャネル容量の変動はSNRの変動とほぼ同じとなることがわかる。チャネル容量はSNRに大きく依存している

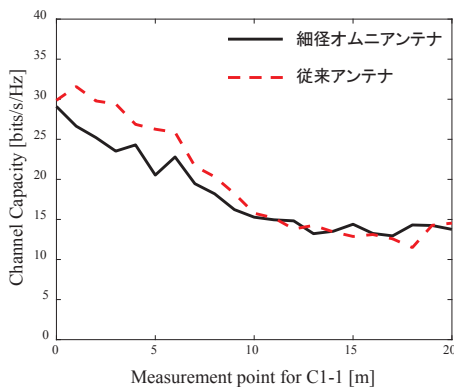


図10 C1-1におけるチャネル容量の変化

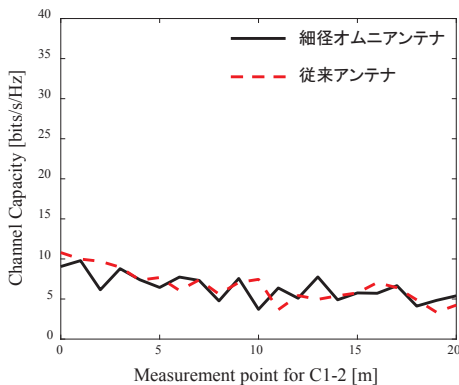


図11 C1-2におけるチャネル容量の変化

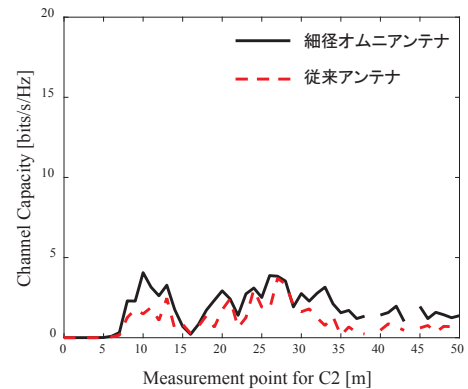


図12 C2におけるチャネル容量の変化

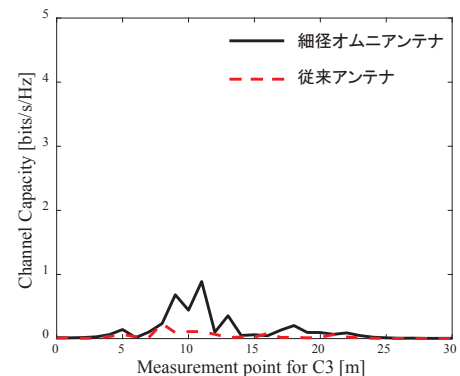


図13 C3におけるチャネル容量の変化

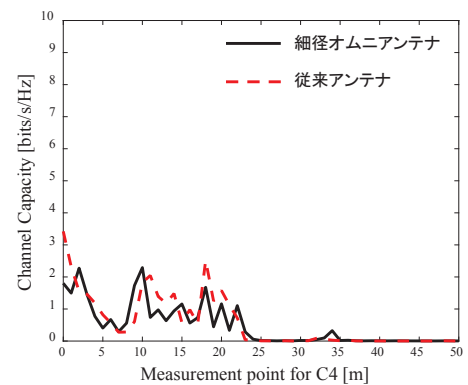


図14 C4におけるチャネル容量の変化

ことがわかる。

メタロッドアンテナは従来アンテナよりも細径であり、スモールセル基地局が設置される低高度の場所では目立ちにくい構造になっているが、伝搬特性を比較しても、従来アンテナとほぼ同等の特性を有していることがわかった。

4. Massive MIMO 基地局におけるアンテナ素子配置の検討⁽¹⁰⁾

4.1 Massive MIMO コンセプト

2章で述べたように、Massive MIMO は MIMO 伝送をさらに拡張し、非常に多くの素子を基地局に搭載することで通信容量を大きく向上させることができる。また、アンテナ素子をアレー化することで利得を増加させ、基地局側もしくは端末側の電力を低減することができる。さらには、指向性の狭ビーム化およびヌル形成が容易になり、所望ユーザ以外への干渉抑圧効果が大きく、膨大な素子による指向性を複数ユーザに割り当てることによって、同時送受信を可能にする。Massive MIMO は非常に多くの素子を搭載するため高い周波数での利用が検討されている。図 15 に Massive MIMO の利用シーンについて示す。スモールセルのような人の密集する地域において Massive MIMO を活用することで、高い周波数による大きな伝搬損失、人口密集による干渉と逼迫するトラフィックを解消することができる。

4.2 ブロック対角化法による通信容量評価

複数ユーザと現実的な演算量で MU-MIMO^{*12} の指向性制御を実現する技術として BD^{*13} 法が知られている。本検討においては、下り回線における実現可能なビットレートを評価するために BD 法を用いた。BD 法はユーザごとに所望の信号を送るため

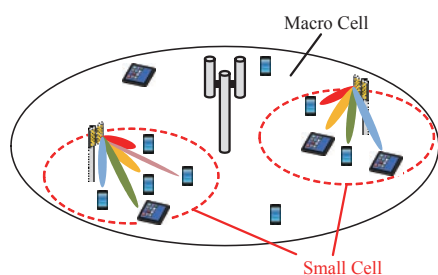


図 15 Massive MIMO 利用シーン

*12 MU-MIMO : Multi User MIMO

*13 BD : Block Diagonalization

に、所望ユーザ以外へは信号を送らないようウェイトを与える。MU-MIMO のみならず通信システムを評価するためには、誤り訂正まで含めた BER^{*14}、もしくは PER^{*15} で評価する必要がある。しかし、本検討はアンテナ配列の違いによって発生する特性の優劣を比較するため、SNR と空間相関のみで Massive MIMO の性能を評価し、通信方式によらない特性評価を行う。また、ここで達成可能な伝送レート (Achievable bit rate) と記載している理由として、BD 法ではシャノン限界は達成できないため、シャノン限界であるチャンネル容量という表現と区別するためにこのような表現をしている。以下、簡単化のため、達成可能な伝送レートのことを伝送レートと呼ぶこととする。

4.3 測定諸元

図 16 に屋外における伝搬チャネル測定実験の環境を示す。新潟大学五十嵐キャンパスの工学部近辺にて測定を行った。ユーザ装置 (UT) を図 16 の UT1 ~12 の場所に設置した。スモールセル環境を想定し、全ての UT は基地局 (BS) から直線距離で 150m 以内の場所に設置した。本検討では UT 側から BS への上り回線で評価を行った。図 17 に測定に使用した UT を示す。(a) には外観を、(b) に送信装置のブロック図を示す。図に示すように、IEEE802.11ac 標準規格の 20MHz の OFDM 信号を 4 系統生成している。本測定ではこのデータの中でロングプリアンプルを使用して CSI を推定している。ベースバンド信号は周波数変換器で 5.12GHz に変換される。図 18 に測定に使用した受信装置を示す。(a) には外観を、(b)

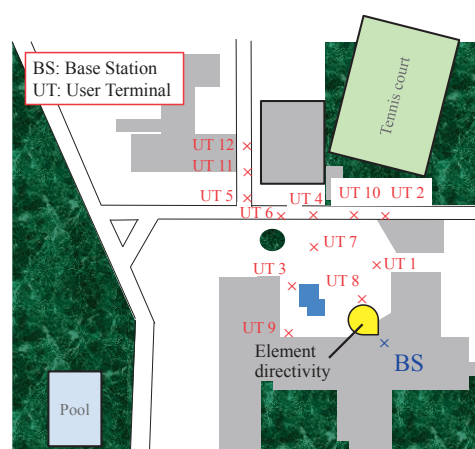


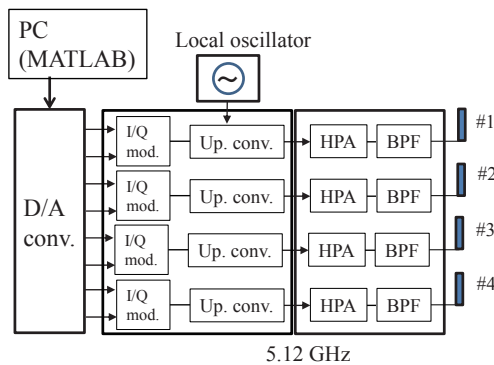
図 16 測定環境

*14 BER : Bit Error Rate

*15 PER : Packet Error Rate



(a) 外観

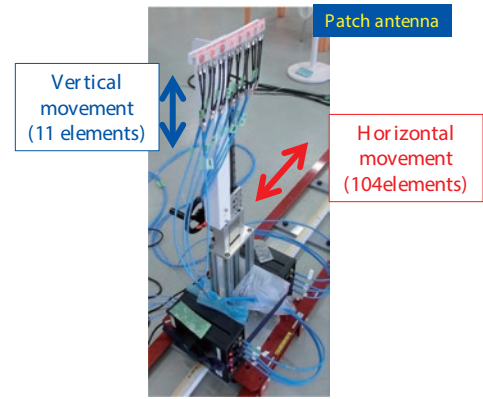


HPA: High power amplifier, BPF: Bandpass filter

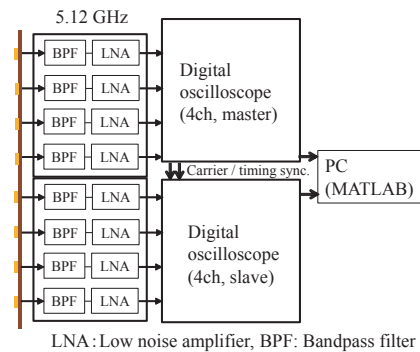
(b) ブロック図

図 17 送信装置

に受信装置のブロック図を示す。BS 側では水平方向に 8 素子の垂直偏波パッチアンテナを 0.5 波長間隔で並べ、地上高 6m の高さに設置し、ポジションで測定間隔が 0.5 波長間隔となるよう水平方向へ動かす。また、アンテナを取り付ける治具により上下方向へも動かす構造とした。こちらもパッチアンテナ 1 素子のサイズは 1 辺が 0.5 波長となっており、上下左右それぞれ 0.5 波長間隔で移動させながら測定することで、水平方向 104 素子、垂直方向 11 素子の最大 1144 素子の平面擬似アレーを構成することができる。測定は人通りのない静的な環境で行われているため、測定のチャンネル行列は変動しないことを確認している。受信側では、8 素子のパッチアンテナで受信された信号に対し、低雑音電力増幅器を介して 2 台のデジタルオシロスコープで受信する。2 台のデジタルオシロスコープは 1 台をマスターとし、1 台をスレーブとして、ローカルとデータの受信タイミングが完全に同期している。UT 側はスレーブアンテナを垂直偏波の状態を設置し、アンテナ



(a) 外観



LNA: Low noise amplifier, BPF: Bandpass filter

(b) ブロック図

図 18 受信装置

表 3 測定諸元

中心周波数	5.12GHz
帯域幅	20MHz
送信電力	0.5 W / 1Port
変調方式	QPSK-OFDM 変調
サブキャリア数	56
基地局アンテナ素子数	最大: 1144 最大垂直素子数: 11 最大水平素子数: 104
端末アンテナ数	4 / 1 User
基地局アンテナ高さ	6m
端末アンテナ高さ	1m

素子間隔を 0.5 波長とし、水平方向に 4 本並べて配置した。表 3 に測定諸元を示す。解析は平均受信 SNR を 20dB となるように熱雑音を付加した後に、サブキャリアごとに BD 法を用いてビットレートを評価した。

4.4 アレー構成による Massive MIMO 特性の解析

解析では BS の測定データから疑似的にアレーを作成する。測定した伝搬チャンネルのうち、BS 側のア

ンテナを長方形ないし正方形の形状で抽出する。垂直・水平共に素子間隔は 0.5 波長となっているため、同じ素子数であれば、全てのアレー構成例における開口面積は等しくなる。抽出する素子は測定した平面擬似アレーの素子から、隣り合った素子で配列可能な例を全て用いた。UT 側は最大 12 ユーザとし、1 ユーザあたり 4 アンテナを使用した MU-MIMO として評価する。図 19 に、BS アンテナとして 64 素子を抽出した場合における素子配列例を示す。配列は正方配列 (8×8: Square Array) から水平方向の直線配列 (1×64: Linear Array) に近づくよう水平方向の素子を增加させていく。表 4 に 64 素子構成の場合における、各 UT の SNR を示す。表より、BS から

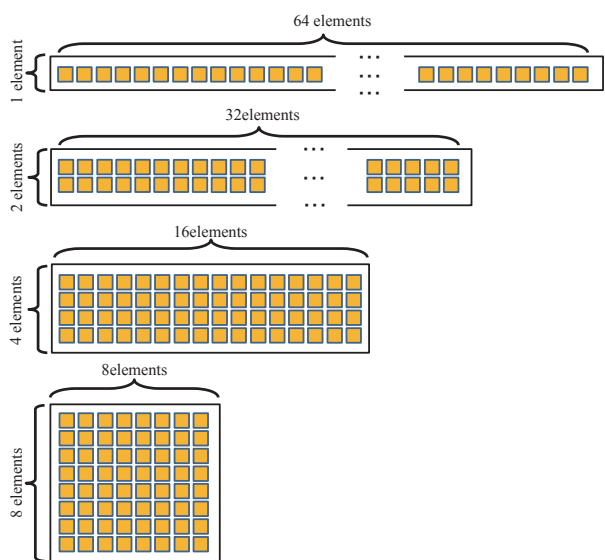


図 19 64 素子における基地局アンテナ素子配列例

表 4 64 素子 BS での各素子配列における受信 SNR

UT No.	垂直×水平素子数			
	8x8	4x12	2x32	1x64
UT1	19.30	19.42	19.33	19.22
UT2	0.76	0.74	0.80	0.83
UT3	16.80	16.48	15.96	15.76
UT4	17.23	17.29	17.47	17.52
UT5	2.82	2.85	2.97	3.05
UT6	11.70	11.47	11.24	11.24
UT7	20.80	20.97	21.02	21.08
UT8	22.42	22.60	12.35	23.62
UT9	1.67	1.67	1.57	1.51
UT10	19.48	19.75	19.84	19.72
UT11	7.25	7.22	7.46	7.69
UT12	1.95	1.91	1.81	1.75

単位: dB

の距離が短く見通し内環境であれば SNR は高く、見通し外環境や BS からの距離が遠くなれば SNR は低くなるのがわかる。また、素子数が同じであれば、素子配列によらず各 UT での値はほぼ同じとなるのがわかる。

図 20 に UT7 における 64 素子における正方配列と水平方向の直線配列における固有値の累積確率分布 (CDF *¹⁶) を示す。CDF が低いところでは、水平方向に直線配列の BS における固有値が正方配列のそれより大きくなるのがわかる。また、この傾向は特に低ランクの固有値においてよくあらわれる。図 16 の環境を模擬し、レイトレーシングにて各 UT から到来するパスを確認した。反射回数を 6、回折回数を 2 とした。表 5 に BS ポアサイトから UT の

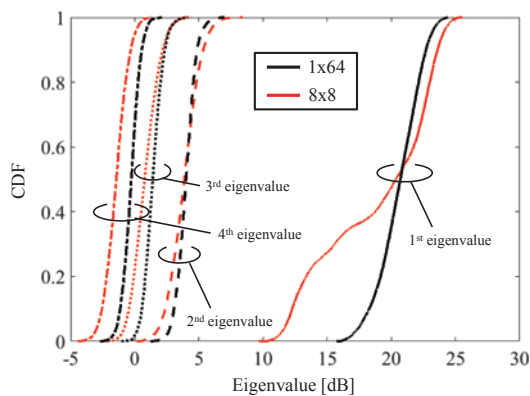


図 20 UT7 における固有値の CDF

表 5 各 UT における BS ポアサイトからの角度と角度広がり

UT No.	BS ポアサイトからの角度		垂直方向 角度広がり	水平方向 角度広がり
	垂直面	水平面		
UT1	7.90	-31.65	2.08	15.51
UT2	4.19	-35.20	1.44	29.69
UT3	4.93	26.26	1.84	19.94
UT4	3.76	-3.39	2.14	7.58
UT5	3.02	9.47	4.23	17.83
UT6	3.33	7.82	3.63	39.61
UT7	5.50	7.27	2.54	63.37
UT8	12.19	-15.31	6.07	12.86
UT9	5.86	53.04	1.57	6.64
UT10	4.13	-19.13	2.14	13.78
UT11	2.65	6.36	2.28	11.64
UT12	2.34	1.73	3.34	23.31

単位: dB

*¹⁶ CDF: Cumulative Density Function

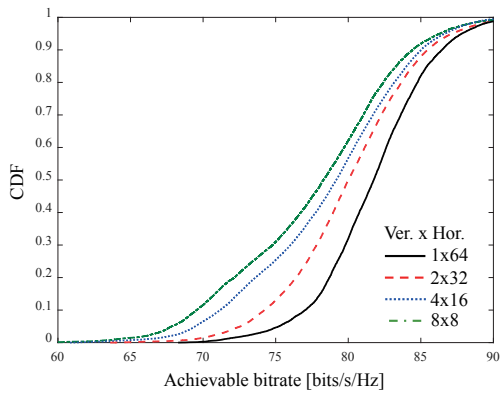


図 21 各素子配列におけるビットレート

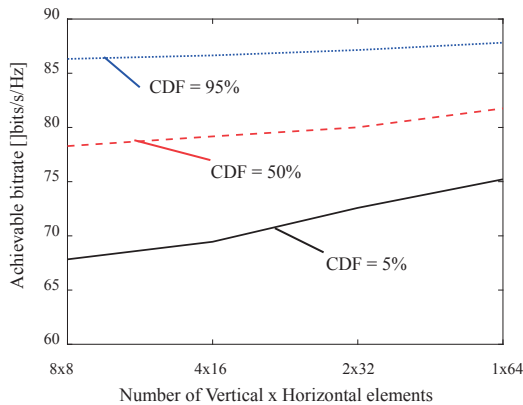


図 22 各 CDF における素子配列によるビットレート特性

方向を示す角度と各 UT における垂直・水平角度広がりを示す。全ての UT において垂直角度広がりよりも水平角度広がりの方が広いことがわかる。

図 21 に各素子構成におけるビットレート値の CDF を示す。素子構成によるビットレートは CDF が低いほど差が大きくなり、直線的に素子を配置する構成が有利になることがわかる。また、図 22 に素子構成による、各 CDF におけるビットレートを示す。CDF が低くなるほど素子構成によるビットレートが大きく変化する。正方配列の素子構成と比較すると水平方向に直線的に伸ばした素子構成の方がビットレートで優位な値となっていることがわかる。

図 23 に基地局素子数におけるビットレート特性を示す。素子配列は正方配列の場合と直線配列の 2 種のビットレートを示す。BS の素子数によらず、図 22 と同様に CDF が低いほど直線配列のビットレートが正方配列のビットレートと比較して常に高くなることがわかる。この結果は表 5 の角度広がりが、垂直面のそれよりも水平面のそれが広いことに

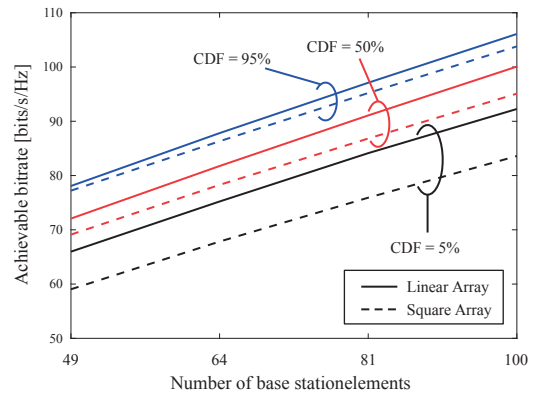


図 23 基地局素子数によるビットレート特性

起因していると考えられる。水平面の指向性自由度を高めることで各 UT の分離や固有値の偏差を少なくし、ビットレートに影響していると考えられる。以上により、アンテナ配列以外のハードウェアの変更なしでビットレートが改善可能なことがわかる。

5. む す び

本検討では以下の 2 つを課題として挙げた。

- ・ 偏波合成型スモールセル用メタマテリアルアンテナの実伝搬特性が不明
- ・ Massive MIMO において、素子配列が検討されていない

まず 5GHz 帯の偏波合成型左手系漏れ波オムニアンテナを設計し、屋外実環境における伝搬測定を行うことで、得られたチャネル行列から偏波合成型左手系漏れ波オムニアンテナと従来アンテナである偏波共用型のオムニアンテナとの特性比較を行った。取得したチャネル行列より、2 種のアンテナを 4×4 MIMO で評価し、2 つのアンテナの SNR およびビットレートを計算した。各コースにおける 2 種のアンテナにおける SNR の値から、細径オムニアンテナが従来アンテナとほぼ同等の特性が得られることがわかった。また、チャネル容量においてもほぼ同等の特性が得られており、MIMO としての効果もほぼ同等に得られていることがわかった。以上により、アンテナ径が従来アンテナよりも $1/4$ 以下であるメタロッドアンテナのチャネル容量が従来アンテナとほぼ同等であることがわかった。

次に、スモールセル環境を想定し、5GHz 帯の Massive MIMO 伝搬試験を行い、取得したチャネル行列から、素子数・素子配列を複数考慮しチャネル

行列を抽出した。抽出したチャンネル行列に BD 法を用いることでビットレートを評価した。まず、基本的な検討として、基地局アンテナの素子数を 64 素子とし、素子配列によるビットレートを評価した。その結果、12 ユーザの MU-MIMO において、BS の配列は同素子数において水平方向の素子を増加させるほど CDF の傾きが急峻で、特に CDF の値が低いときに基地局アンテナの水平方向の素子数が多いほどビットレートが高いことがわかった。次に、BS 素子数を 49~100 に変化させたときのビットレートの変化を各 CDF で評価した。素子数を変化させたときにおいても、水平方向の直線アレーの優位性が確認できた。本検討は孤立セルでの検討であり、複数セルにおける素子配列の性能評価や隣接セルからの干渉は評価していない。水平方向の直線配列でのアレー指向性は、垂直面内において広いビーム幅となるため、隣接セルの干渉を受けやすいと考えられる。よって、今回の特性はセルエッジが干渉しないような場合での特性となる。複数セルでの特性評価については今後の課題である。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、指導教官として丁寧かつ熱心なご指導を賜りました新潟大学大学院自然科学研究科電気情報工学専攻 西森健太郎研究教授に謹んで感謝いたします。また、多くのご助力、助言をいただきました、弊社社員の皆様に心より感謝いたします。

◆ 参 考 文 献 ◆

- (1) 3GPP Release 8, <https://www.3gpp.org/specifications/releases/72-release-8/>
- (2) 丹野元博, 森本彰人, 阿部哲士, 岸山祥久, 中村武宏, “LTE-Advanced におけるヘテロジニアスネットワーク,” 信学技報, RCS2009-317, Mar. 2010.
- (3) 西森健太郎, 小松原祥, 北尾光司郎, 今井哲朗, “ヘテロジニアスネットワークにおける干渉量評価のための屋外, 屋内および屋外-屋内伝搬特性測定,” 信学論 B, Vol. J95-B, No. 09, pp. 1159-1170, Sep. 2012.
- (4) F. Yang, and Y. Rahmat-Samii, “Microstrip Antenna Integrated with Electromagnetic Band-Gap (EBG) Structures: A Low Mutual Coupling Design for Array Applications,” IEEE Transactions, Antenna and Propagation, vol. 51, no. 10, pp. 2936-2946, Oct. 2003.
- (5) A. Lai, T. Itoh, and C. Caloz, “Composite Right/Left-Handed Transmission Line Metamaterials”, IEEE Microwave Magazine, pp.34-50. Sept. 2004.
- (6) 関卓也, 大島一郎, 道下尚文, 長敬三, “コプレーナストリップ線路で構成した偏波合成型左手系漏れ波オムニアンテナの 2 ブランチ化,” 信学技報, AP2015-184, Jan. 2016.
- (7) E. G. Larsson, O. Edfors, F. Tufvesson, and T. L. Marzetta, “Massive MIMO for Next Generation Wireless Systems,” IEEE Communications Magazine, Vol. 52, No. 2, pp. 186-195, Feb. 2014.
- (8) X. Wang, et al., “Large Scale Experimental Trial of 5G Mobile Communication Systems – TDD Massive MIMO with Linear and Non-Linear Precoding Schemes,” PIMRC2016 Workshop (IRACON2016), pp. 123-127, Sept. 2016.
- (9) 宍戸洸太, 大島一郎, 佐々木隆吉, 佐藤啓介, 西森健太郎, “5GHz 帯屋外実環境における偏波合成型左手系漏れ波オムニアンテナの性能評価,” 信学技報, AP-2017-176, pp. 1-5, Feb. 2018.
- (10) 宍戸洸太, 西森健太郎, 佐々木克守, 大島一郎, 谷口諒太郎, “5GHz 帯屋外実環境における Massive MIMO 基地局素子配列の検討,” 信学論 B, Vol. J102-B No. 2, pp. 62-71, Feb. 2019.



宍戸 洸太

平成 25 年入社

機器統括部 移動通信技術開発部

移動通信用アンテナおよび電波伝播の研究・開発に従事

電子情報通信学会会員

博士(工学)

論文

5G に向けた無線機一体型基地局アンテナ
に関する取り組み

佐藤 啓介* 高橋 行隆* 三浦 進**
 佐々木 希*** 高橋 久枝*** 宍戸 洸太**
 大島 一郎*

Work on Radio Integrated Base Station Antennas for 5G

Keisuke Sato, Yukitaka Takahashi, Susumu Miura, Nozomu Sasaki,
 Hisae Takahashi, Kota Shishido and Ichiro Oshima

本稿では、5Gに向けて当社が取り組んできた無線機一体型基地局アンテナについて述べる。28GHz帯ビームフォーミングアンテナの開発を行い、実機にて $\pm 30^\circ$ の範囲でのビームステアリングを実現した。無線機一体型アンテナを用いた、OTA^{*1}測定に関する検討を行った。EIRP^{*2}・受信電力パターンとアンテナ指向性はほぼ一致しており、無線機一体型でのアンテナ指向性の推定が可能であることを示した。

This paper describes a radio integrated base station antenna that we have been working on for 5G. We have developed a 28 GHz band beamforming antenna and realized beam steering in the range of $\pm 30^\circ$ on an actual machine. A study on OTA measurement using a radio integrated antenna was conducted. EIRP, the receiver gain and the antenna directivity are almost the same and it shows that the antenna directivity of the radio integrated antennas can be estimated.

1. はじめに

5G(第5世代移動通信システム)に向けて、Sub-6帯とよばれる3.7GHz帯/4.5GHz帯と、準ミリ波帯である28GHz帯が新たに割り当てられた。高速大容量通信の実現、周波数利用効率の向上、高周波数帯の減衰補償、干渉除去等の実現のためには、アンテナを含む無線基地局の高度化が避けられない⁽¹⁾。その高度化を実現する方法として、無線機一体型基地局アンテナがある⁽²⁾⁽³⁾。

図1に、無線機一体型基地局アンテナの構成例を示す。図1(a)のアナログ方式では、単一の無線機と基地局アンテナを内部で接続している。アンテナ直下に配置されたフロントエンドによって、各素子の振幅・位相をアナログ領域でコントロールし、自由なビームフォーミングを実現する。アナログ方式は、RF^{*3}領域でのビームフォーミングを実現しており、

消費電力が少ないというメリットがある。一方、図1(b)で示すデジタル方式では、複数無線機を内蔵し、多値MIMO^{*4}に対応した構成となっている。アナログ方式と比較して、消費電力が大きいものの、周波数利用効率向上による、通信容量の増大化が望める。

図1で示すいずれの構成においても、アンテナと無線機の接点は内包されており、従来の基地局アンテナのインタフェースである同軸コネクタは、外部に存在しない。そのため、一般的なアンテナ指向性測定システムによる指向性・利得特性などの評価や、直接的に無線装置性能の測定を適用することができない。この問題について、3GPPにおけるシナリオでは、少なくとも28GHz帯については、携帯電話端末の性能評価で用いられてきたOTA測定での無線装置性能評価のみを想定している⁽⁴⁾。

* ワイヤレス研究所
 ** 機器統括部 移動通信技術開発部
 *** 機器統括部 固定通信技術開発部

*1 OTA : Over The Air
 *2 EIRP : Equivalent Isotropic Radiation Power
 *3 RF : Radio Frequency
 *4 MIMO : Multi Input Multi Output

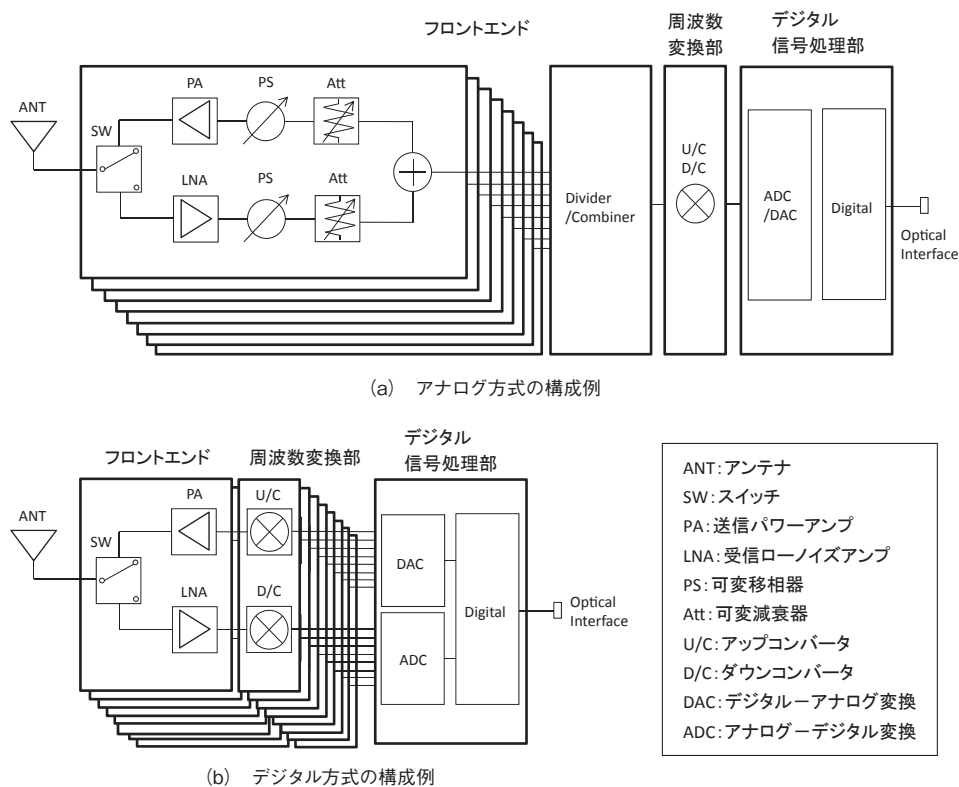


図1 無線機一体型基地局アンテナの構成

2. 28GHz 帯ビームフォーミングアンテナ

5G用として割り当てられた28GHz帯は、従来の移動通信の周波数帯と比較して、減衰が大きい。その減衰を補償するために、アンテナ利得を増強する方法がある。しかしながら、アンテナ利得の増加は、同時に指向性も強めるため、携帯電話のような移動端末との通信には、常に端末を狙うためのビームフォーミング機能を持つ必要がある。また、28GHz帯では、従来の周波数帯と比較して直進性が増すため、ビル影等の不感地が増加する懸念がある。その

対策として、当社では、ドナーアンテナを主となる基地局と接続し、サービスアンテナにより、ビル影などの不感地をエリア化するレピータシステムについて検討している。

図2に、検討中の28GHz帯レピータシステムの概要を示す。主基地局・移動端末との接続を容易にするため、ドナー／サービスアンテナともに、ビームフォーミングアンテナの利用を想定している。ドナーアンテナ - サービスアンテナ間は、同軸ケーブルで接続し、IF^{*5}帯での通信を行う。

*5 IF : Intermediate Frequency

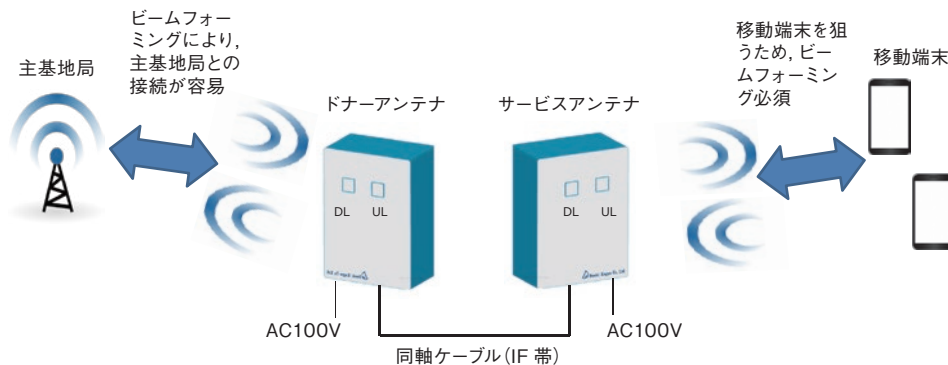


図2 28GHz 帯レピータシステムの概要

写真1に28GHz帯ビームフォーミングアンテナの外観を示す。本アンテナのコンセプトは、図1(a)のアナログ方式を採用しており、省電力・ビームフォーミングの機能を両立できる。但し、本論文では、図1(a)の構成の内、アンテナとフロントエンド部のみとして検討している。また、外観中央部に、8×8の正方配列による64素子アレーアンテナを配置している。

表1に、28GHz帯ビームフォーミングアンテナの諸元を示す。使用周波数範囲は27.5GHz～29.5GHzとし、送受信スキームはTDD^{*6}とする。ビームフォーミングはアナログ方式を採用している。ブランチ数は1で、垂直または水平偏波での利用が可能である。水平面・垂直面内指向性ともに、ビーム幅は10°～80°、ステアリング範囲は±30°の範囲で実現可能である。最大アンテナ利得は23dBi、EIRPは送信アンプのP1dBで、+49dBmに設計している。消費電力は25Wとなる。本アンテナは、W×D×H=180mm×120mm×60mmと、小形の構造で実現できる。

図3にアンテナ部の構造を示す。素子にはパッチ



写真1 28GHz帯ビームフォーミングアンテナの外観

表1 28GHz帯ビームフォーミングアンテナの諸元

項目	仕様値
周波数範囲	27.5GHz～29.5GHz
アンテナ素子数	64素子
送受信スキーム	TDD
ビームフォーミングの方法	アナログ方式
ブランチ数	1
3dBビーム幅	10°～80°可変
ステアリング範囲	±30°
アンテナ利得	23dBi
EIRP (P1dBにて)	+49dBm

*6 TDD : Time Division Duplex

アンテナを用いており、素子間隔は5.3mm≒0.5λ@28.5GHzで設計している。また、図1(a)で示す構成のとおり、各素子の直下に、アンプ・可変移相器・可変減衰器を含むフロントエンドを配置しており、素子ごとに振幅・位相の調整が可能である。

図4に、28GHz帯ビームフォーミングアンテナの機能により実現可能な指向性の解析値を示す。素子振幅・位相を調整することにより、ペンシルビームやビームステアリングの他に、2ビーム、セクタビームなど、自由なビームフォーミングを実現できる。

図5に、実測によるフロントエンド部の振幅・位相の周波数特性を示す。振幅は1dB、位相は11.25°ごとに設定できるため、その範囲内で自由なビームフォーミングを実現できる。

図6に、各面で正規化した場合の、28GHzにおける受信パターンの実測値を示す。ここで、受信パターンには、フロントエンド含んだ性能となっている。全素子等振幅とし、位相のみを変化させたビームス

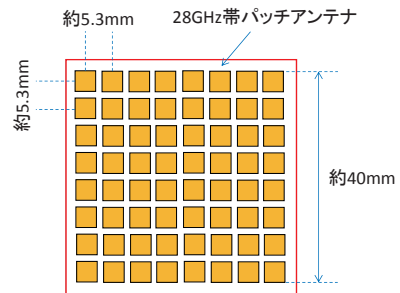


図3 アンテナ部の構造

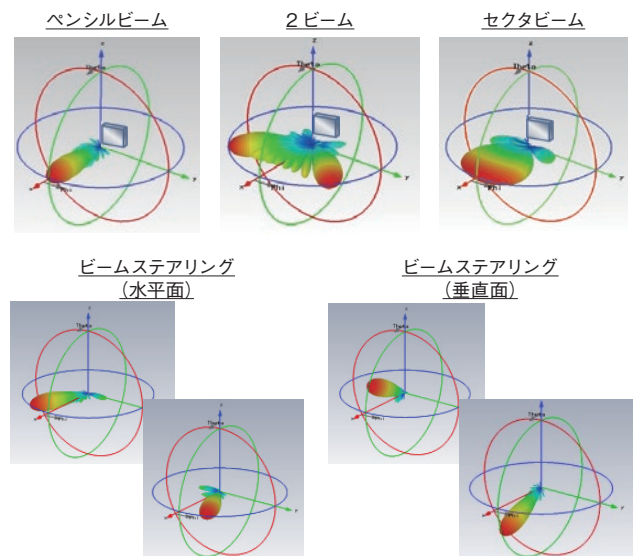


図4 28GHzにおける指向性の解析値

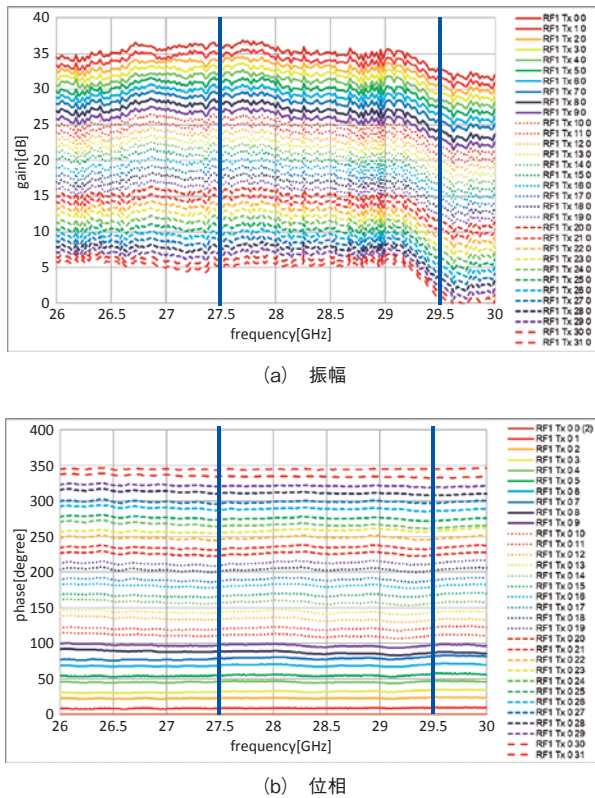


図5 フロントエンド部の振幅・位相の周波数特性

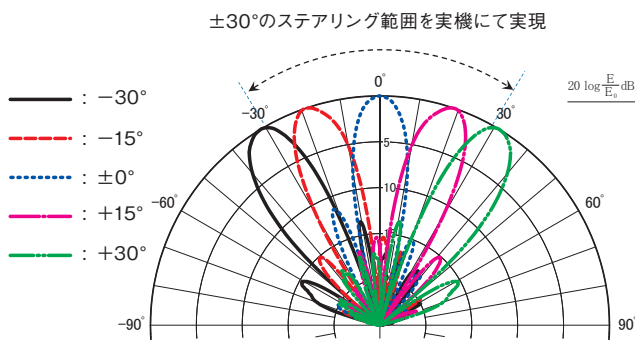


図6 28GHzにおける受信パターンの実測値

テアリングを検討した。図5より、本アンテナのフロントエンドの機能を用いることで、 $\pm 30^\circ$ のビームステアリングパターンを実現できる。また、28GHzにおいて、受信アンプのゲイン分等を差し引くことによって得られるアンテナ利得の推定値は、いずれのビームステアリングパターンにおいても23dBi以上となる。

本論文ではアンテナとフロントエンドのRF部のみの構成で検討したが、今後、周波数変換部およびデジタル信号処理部を含めた検討を行う予定である。

3. 無線機一体型アンテナのOTA測定に関する検討

無線機一体型アンテナでは、外部インタフェースとして光インタフェースが考えられている。その場合、従来の同軸コネクタによる指向性・利得測定ができないため、携帯電話端末と同様に、OTA測定による評価が必要となる。当社においても、OTA測定に関する検討を3.5GHz帯アクティブアンテナシステムを用いて行っており、その結果を本章にて述べる。

図7に、測定した3.5GHz帯アクティブアンテナシステムの構造を示す。本アンテナは、図1(b)の構成を適用しており、CPRI^{*7}、デジタル信号処理部、周波数変換部、フロントエンドおよびアンテナを内包する。

表2に、3.5GHz帯アクティブアンテナシステムの諸元を示す。本アンテナは、偏波共用素子を用いた8ブランチ構成としている。アンテナ利得は11dBi以上、最大EIRPは+41dBm以上に設計している。本アンテナのサイズは $W \times D \times H = 420\text{mm} \times 350\text{mm} \times 120\text{mm}$ である。

図8にパターン測定システムを示す。図8(a)より、送

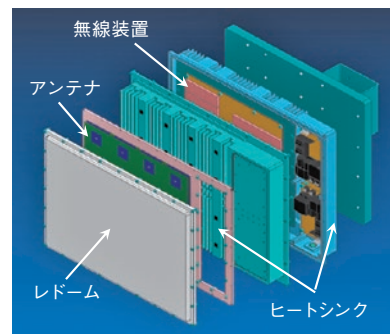


図7 3.5GHz帯アクティブアンテナシステムの構造

表2 3.5GHz帯アクティブアンテナシステムの諸元

項目	仕様値
周波数範囲	3.5GHz帯
アンテナ素子数×ブランチ数	4素子×8ブランチ(偏波共用)
送受信スキーム	TDD
ビームフォーミングの方法	デジタル方式(水平方向)
出力電力	+30dBm/ブランチ
アンテナ利得	11dBi/ブランチ以上
EIRP	+41dBm/ブランチ以上

*7 CPRI: Common Public Radio Interface

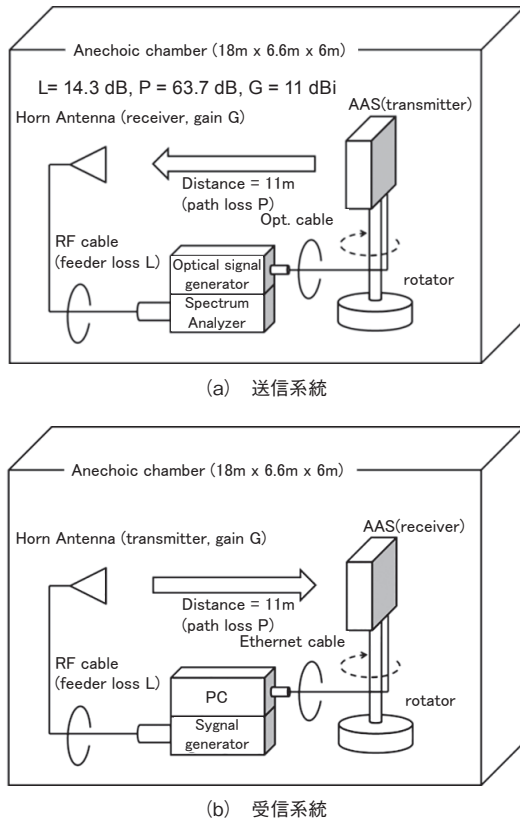


図8 測定系統

信測定系は、光信号発生器により発生させた信号をアンテナに入力し、出力される送信波を受信ホーンアンテナで受け、その受信電力をスペクトラムアナライザで測定し、プロットしていく。また、図8(b)より、受信測定系では、信号発生器にて発生させたCW^{*8}波を、送信ホーンアンテナに入力し、出力波を本アンテナにて受信する。受信アンプ後の、受信電力値をプロットする。図9にEIRP・受信電力およびアンテナ指向性パターンを示す。図において、実線は、無線装置を外しアンテナ単体とした場合の測定値を示す。また、各面内・条件で正規化を行っている。EIRP・受信電力およびアンテナ指向性パターンは良く一致している。したがって、無線装置を分離せず、EIRP・受信電力パターンでのアンテナ指向性の推定は可能である。

3GPPのシナリオにより、28GHz帯はOTA測定が必須であるため、本章での知見をもとに、今後、28GHz帯無線機一体型アンテナを用いた場合の測定についても検討していく。

*8 CW : Continuous Wave

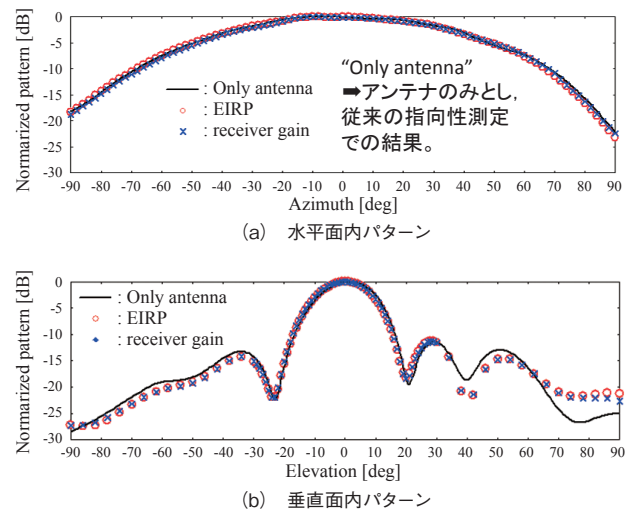


図9 EIRP・受信電力およびアンテナ指向性パターン

4. む す び

5Gに向けた無線機一体型基地局アンテナについて、当社での取り組みについて述べた。28GHz帯でのビームフォーミング実現を目的とした、無線機一体化のビームフォーミングアンテナを実現した。実機により、 $\pm 30^\circ$ の範囲でのビームステアリングを実現した。また、28GHzにおいて、23dBi以上のアンテナ利得を得た。無線機一体型基地局アンテナのOTA測定に関する検討を行った。3.5GHz帯アクティブアンテナシステムを用いた検討では、EIRP・受信電力およびアンテナ指向性パターンは良く一致しており、アンテナ指向性の推定が可能であることを示した。今後28GHz帯無線機一体型アンテナを用いたOTA測定についても検討していく。

参考文献

- (1) T. Nakamura, A. Benjebbour, Y. Kishiyama, S. Suyama, T. Imai, "5G Radio Access: Requirements, Concept and Experimental Trial," IEICE Trans. Commun., vol. E98-B, no. 8, pp. 1397-1406, Aug. 2015.
- (2) K.Sato, Y.Takahashi, I.Oshima, "9 GHz Band Active Antenna System for Cellular Base Station," 2016 ISAP, pp. 152-153, Oct. 2016.
- (3) K.Sato, N.Sasaki, S.Morinaga, S. Miura, K.Shishido, Y.Takahashi, K.Sasaki, I.Oshima, "Study of Radiation Characteristic Measurement System of 3.5 GHz Active Antenna System," 2017 IEEE

マイクロ波電力伝送の標準化に関する 取り組み

関野 昇*

Standardization of Radio Frequency Beam Wireless Power Transmission

Noboru Sekino

本稿では、マイクロ波を使用したワイヤレス電力伝送の国内法制化及び国際標準化の動向と取り組みについて報告する。また、当社が参画している戦略的イノベーション創造プログラムの取り組みについても併せて報告する。

In this paper, the trends and activities on domestic legislation and international standardization of wireless power transmission using microwaves is reported. In addition, a report on activities of participating “Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program” is provided.

1. はじめに

マイクロ波電力伝送とは、電氣的接触なしに他の場所に電力を伝送するワイヤレス電力伝送（以下、WPT^{*1}）のうち、Beam-WPTとして分類される、マイクロ波などの電波を輻射し、空間を伝送する長距離伝送に有利な電力伝送方式である。一方、NON-Beam WPTとして、車へ充電するEV^{*2}やQi^{*3}（チー）などの置くだけ充電に用いられる磁界結合又は電界結合方式の電力伝送方式があり、高周波利用設備として制度化されている。

マイクロ波帯を使用したWPT（以下、マイクロ波WPT）では、電波を利用することで伝送距離が長くなる反面、空間損失により受電可能な電力は低くなる。しかし、近年のIoT^{*4}社会を支えるセンサ機器への給電として、配線の問題解決や電池が不要となるなど、各種センサの利用増加が想定されるIoT社会の発展にとっては非常に有効であり、実用化が望まれている給電方式となっている。

しかし、マイクロ波WPTとしては、無線通信に関する国際的規則である無線通信規則（RR^{*5}）及び国内の電波法の区分は明確ではない状況があった。

本稿では、マイクロ波WPTの国内法制化へ向けた取り組みとして、総務省 情報通信審議会 情報通信技術分科会 陸上無線通信委員会「空間伝送型ワイ

ヤレス電力伝送システムの技術的条件」のうち「構内における空間伝送型ワイヤレス電力伝送システムの技術的条件」の報告書⁽¹⁾に関する標準化動向と次世代技術としての国家プロジェクトである戦略的イノベーション創造プログラム（以下、SIP^{*6}）の取り組みについて紹介する。

2. 国内制度化について

マイクロ波WPTは、電波法上の区分が規定されておらず、実験局による試験などは行われてきたが、無線設備としては規律されてこなかった。しかし、IoT技術の進展によりセンサによるデータ取得・蓄積が増加し、それらのデータを利用するセンサネットワークを活用したシステムの普及・拡大が進んでいるなか、これらセンサへ給電し、利用することで配線レスによる設置自由度の向上、電池交換不要となることで24時間稼働と省力化が可能となる利点から、導入を希望する声が高まっていった。

これらを踏まえ、2018年8月に取りまとめられた

*1 WPT：Wireless Power Transmission

*2 EV：Electric Vehicle

*3 Qi：「電磁誘導方式」と「磁界共鳴方式」を組み合わせたワイヤレス給電技術の標準規格

*4 IoT：Internet of Things

*5 RR：Radio Regulation

*6 SIP：Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program

* ワイヤレス研究所

「電波有効利用成長戦略懇談会」の報告書⁽²⁾において、2030年代に実現すべき7つの次世代ワイヤレスシステムの1つとしてマイクロ波 WPT の実用化が挙げられた。また、報告書の提言では、周波数の割当て、無線従事者の配置、受信設備への規律等が必要との考えから、無線設備として規律していくことが適当との考え方が示された。

この提言を受け、2018年12月12日に総務省情報通信審議会情報技術分科会に諮問2043号「空間伝送型ワイヤレス電力伝送システムの技術的条件」の諮問がなされ、2019年1月16日の情報通信技術分科会陸上無線通信委員会にて、空間伝送型ワイヤレス電力伝送システム作業班(以下、作業班)の開始が承認され、作業班での調査検討が開始された。

作業班での検討に当たり、導入を希望するシステムの条件(送受信距離、利用周波数、空中線電力等)について募集が行われ、この提案を更に具体的に検

討した結果、低コストでの無線設備の実現、国際標準化の観点も踏まえ、マイクロ波 WPT へ活用可能な3つの周波数について、特徴と用途を表1として整理した。また、図1の様なアプリケーションを対象としたマイクロ波 WPT システムの制度化について、既存無線設備との共用可能な技術的条件、人体の安全性等の検討を実施した。

(1) 920MHz 帯

920MHz 帯の電波は伝搬損失が小さく、構造物の影等へも比較的回り込んで伝搬することから、低電力ながら広範囲に設置されたセンサへの電力伝送が期待でき、図2に示す工場や介護現場のセンサネットワークへの電源として1対Nの同時給電に適しているとされた。

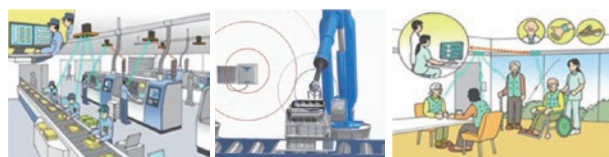
なお、システムパラメータとしては、表2に示す特性とし、RFID システムと同等な特性規定であることから、RFID システムへの応用が期待され、装着者の移動により遮蔽されやすいバイタルセンサ、位置センサ及びセンサのアンテナを一定方向に向けることが難しいロボット可動アーム等の装置への弱い電力での「ながら充電」用途も想定され、検討を実施した。

(2) 2.4GHz 帯

2.4GHz 帯では、無線 LAN、構内無線局、特定小電力無線及び ISM 機器等と同じ周波数帯であり、これ

表1 利用周波数における特徴と利用方法

周波数	特徴(同一条件時)				利用方法
	送信距離	送受回路	空中線大きさ	伝搬特性	
920MHz帯	↑ 長距離化	↑ 低コスト化	↑ 大型化		無指向性空中線又はワイドビームにより物陰等の見通し外を含めた広範囲、複数同時に送信を行う 無線LAN機器を利用したビーコン信号等により既存システムと連携し、廉価な受電装置により電力の1対1送信を行う 専用受電装置により細かい制御による装置連携制御を行い、等価的に長時間の送信と高電力の1対1送信を行う
2.4GHz帯					
5.7GHz帯		↓ 高コスト化	↓ 小型化	↓ 直進性	



(a) 製品や動線管理 (b) ロボットの可動部センサ (c) 健康管理・見守り

図2 920MHz 帯での利用シーン

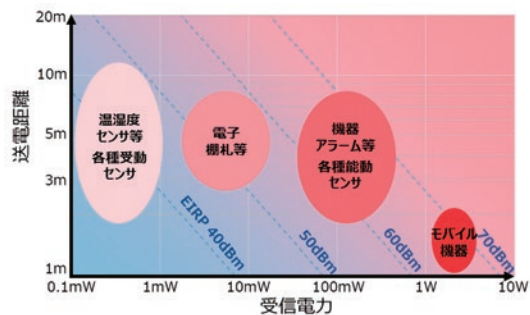


図1 アプリケーション電力と送信距離の例

表2 920MHz 帯での主なシステムパラメータ

項目	パラメータ
空中線電力	1W (30dBm)
周波数	918.0MHz/919.2MHz
占有周波数帯幅	200kHz
壁損失	10.0dB
利用場所	屋内 (WPT 管理環境又は WPT 一般環境)
変調方式	NON, G1D 等

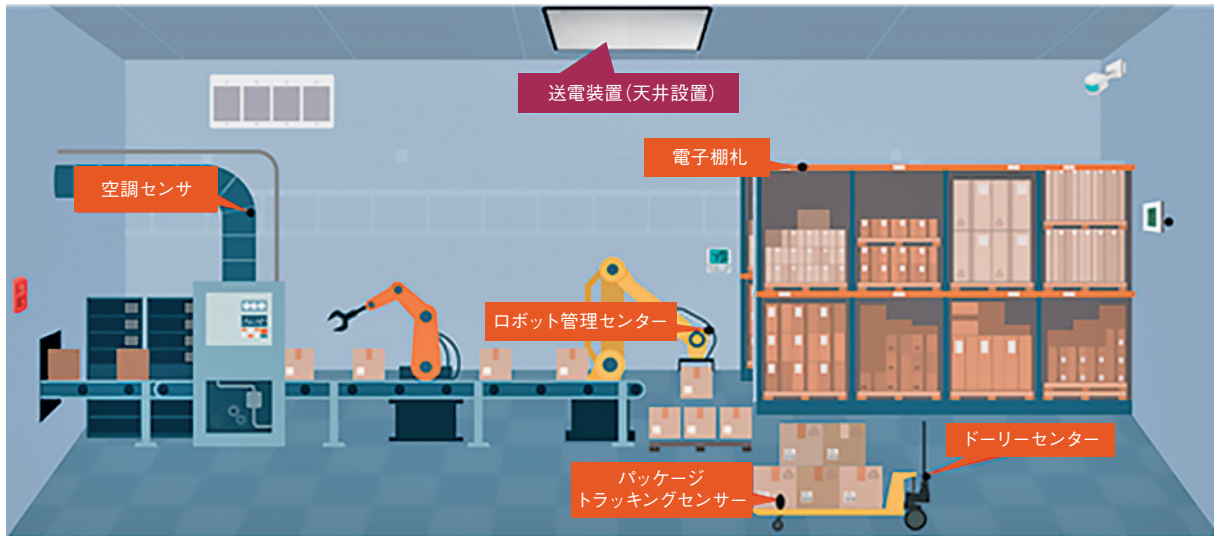


図3 2.4GHz 帯での利用シーン

らの無線システムを利用した位置推定や制御通信が可能であることから、これらの機器に組み込み、連携した利用が想定され、広範囲な市場形成と世界市場への展開が見込まれる。

利用シーンとしては、図3に示す無人倉庫、無人の工場及び人がいる工場等での休止中や夜間の無人時に使用することを想定している。また、ビームフォーミングアンテナによる制御にて高い電力の供給が可能であり、装置設計では汎用部品が安価かつ容易に調達可能であることから、新規メーカの参入が可能な環境が整っており、低コスト化と早い展開による市場規模の拡大が見込まれる。

しかし、高い等価等方輻射電力となることから、電波防護指針による管理環境による使用を前提とし、電波防護指針値を超える範囲に人が立ち入った場合及びキャリアセンスにより無線LANシステム等の他無線設備への干渉が想定される場合は、送信を行わないシステムとし、表3に示すパラメータにて検討を実施した。

表3 2.4GHz 帯での主なシステムパラメータ

項目	パラメータ
空中線電力	15W (41.8dBm)
周波数	2,410MHz~2,486MHz (4ch)
等価等方輻射電力	65.8dBm
占有周波数帯幅	規定しない
空中線利得(送信)	24.0dBi
壁損失	14.0dB
利用場所	屋内(WPT管理環境)
変調方式	NON

(3) 5.7GHz 帯

5.7GHz帯は、周波数が高く、波長が短いため、2.4GHz帯より空中線の小型化が容易であり、センサなどに組み込まれた小型・軽量の専用受電装置の開発が見込まれる。

受電装置からは専用ビーコンを使用するので、高精度な位置推定とビームフォーミングアンテナによる鋭いビームにより、ビームを切り替えながらの高い電力給電が可能となる。そのため、利用シーンとしては、図4に示す工場ラインに使用するロボットの組み込みセンサ、物流倉庫等で進む自動化設備における大規模なセンサ群等へ利用されることが想定される。

また、世界的にも広く使用されている周波数帯であることから、汎用部品を調達でき、海外地域での製品化も容易であり、本技術の展開により世界市場への発展が見込まれる。

しかし、高い等価等方輻射電力であることから電波防護指針による管理環境による使用を前提として、電波防護指針値を超える範囲に人が立ち入った場合

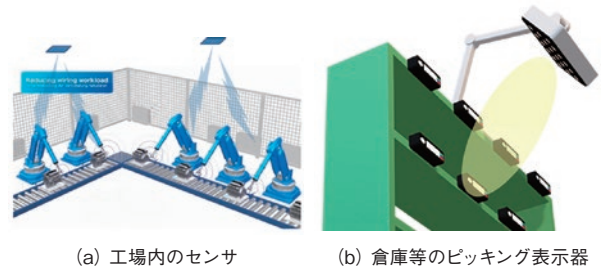


図4 5.7GHz 帯での利用シーン

表4 5.7GHz 帯での主なシステムパラメータ

項目	パラメータ
空中線電力	32W (45.0dBm)
周波数	5738MHz~5766MHz (9ch)
等価等方輻射電力	70.0dBm
占有周波数帯幅	規定しない
空中線利得(送信)	25.0dBi
壁損失	16.0dB
利用場所	屋内(WPT管理環境)
変調方式	NON

及びキャリアセンスにより無線LANシステム等の他無線システムへの干渉が想定される場合は送信を行わないシステムとし、表4に示すシステムパラメータとして検討を実施した。

(4) 国内での検討経緯等

マイクロ波 WPT の技術的条件の取りまとめでは、作業班の開始から報告書の取りまとめまで、約1年にわたる調査検討が行われ、主に既存の無線設備との共用を可能とするための条件検討に多くを費やした。

そのため、当初の提案に対して

- ・屋内での限定利用
- ・920MHz帯ではパッシブRFIDと同じ送信電力
- ・使用環境は「WPT管理環境」(920MHzでは一部「WPT一般環境」が可能)
- ・2.4GHz帯は地上階又は地下階のみでの使用
- ・2.4GHz/5.7GHzの送信装置は、原則として天井設置としてビーム指向方向を制限
- ・設置や周波数の有効利用を図るために運用調整の仕組みの構築

などの見直しが行われたことにより、当初2025年に5,520億円の市場規模を予想していたが、第一ステップと位置づけた報告書では、2025年で700億円の市場規模へと修正された。

また、無線通信で用いられる回線品質を算出する回線設計では、受電するセンサ等が必要とする電力量からの設計となるため、「送信DUT損失」「アプリDUT利得」といった概念を用いる事で、従来と同等な回線設計を可能としている。

3. 設置環境等の留意事項

報告書では、設置環境、運用等のいくつかの事項について配慮が求められている。

(1) 設置環境

マイクロ波 WPT を使用する屋内環境を「WPT 屋内設置環境」として、管理を要する「WPT 管理環境」とそれ以外の「WPT 一般環境」との使用区分が規定された。「WPT 管理環境」とは、

- ・屋内、閉空間であること。
- ・電波防護指針における指針値を超える範囲が上記、屋内、閉空間に含まれる。
- ・屋内の管理環境に設置される空間伝送型ワイヤレス電力伝送システムの運用が、他の無線システム等に与える影響を回避・軽減するため、本システムの設置者、運用者、免許人等が、一元的に他の無線システムの利用、端末設置状況を管理できること。
- ・屋内の管理環境に隣接する空間(隣接室内、上下階等)においても他の無線システムとの共用条件を満たすか、屋内の管理環境と同一の管理者により一元的に管理できること。【2.4GHz帯、5.7GHz帯のみ】
- ・2.4GHz帯においては、屋内の1階(地上階)又は地下階とし、周囲への他の無線局等への与える影響を回避・軽減するものとする。

とされ、この定義に基づく管理を必要としない使用環境を「WPT 一般環境」と区分された。

(2) 運用調整

設置環境に配慮した設置や周波数の有効利用を図るために、既存の無線システムやマイクロ波 WPT 相互の運用調整を行うための機構を設け、使用周波数、使用場所等の情報を一元的に管理・公開し、使用チャンネルの調整等、共用可能とする環境を図るものを整備する必要があるとされた。また、この仕組みによりマイクロ波 WPT が他の無線局に干渉を与える様な場合には、対策の指示や協議等ができるものとされている。

(3) 無線局の移設

マイクロ波 WPT では、工場、倉庫及び介護現場での利用を想定し、利便性から移設の際に変更申請等が必要のない構内無線局とすることが適当とされている。しかし、構内無線局は設置構内での移設を自由に可能としているが、マイクロ波 WPT では「WPT 屋内設置環境」外への漏洩電力が著しく変わる環境への移設には検討が必要とされている。

(4) 920MHz 帯の負担軽減策

920MHz 帯については、空中線電力 1W 以下での利用では、他の無線システムへの影響は RFID と同等以下であり、機器操作に関しても簡易であることから、早い普及と利用者負担の軽減に向け、無線設備の電気通信機器基準認定制度による「特定無線設備」への対応、無線従事者の配置を不要とすることが記載された。

(5) 壁損失

屋内閉空間であることを明確にするため、屋内から屋外への壁損失について干渉に使用する損失値として表 5 に示す壁損失値が示されている。これは ITU-R *7 RR P.2109-0 のモデル値を基準とした損失値であり、これを満たしている事をメーカーによる評価データ又は実際の測定結果にて示した上で、他の無線設備との干渉検討に使用するとされている。また、窓ガラスには、Low-E ガラスの使用又はシールドフィルム等の壁損失と同等又はそれ以上の損失を確保できるような対策も求められている。

表 5 干渉検討に使用する壁損失

	920MHz 帯	2.4GHz 帯	5.7GHz 帯
干渉検討に使用する損失値	10.0dB	14.0dB	16.0dB

4. 国際制度化について

表 6 に ITU-R におけるマイクロ波 WPT に関する国際制度化・標準化動向を示す。国際議論は、1978 年の CCIR *8 (国際無線通信諮問委員会) 総会における課題提示とレポート策定が発端になっている。また、2013 年の ITU-R SG1 会合において、WPT を NON-BEAM WPT (磁界結合型、電界結合型等近傍界領域における WPT) と BEAM WPT (電磁波放射による電波を意図的に放射させるマイクロ波による WPT) に分けて議論を行うことになった。

BEAM WPT に関しては、2016 年 6 月にアプリケーションに特化させた Report ITU-R SM.2392⁽³⁾ として発行された。2020 年 2 月時点では、センサやモバイル機器への応用に特化した共用化検討を新レポート ITU-R SM.[WPT.BEAM.IMPACT] として策定中であり、日本が主導するセンサネットワーク (工場でのセンサへの給電、車両内センサへの給電、介護ホーム内等での管理用センサへの給電等)、モバイルデバイス及びウェアラブルデバイスへの給電をユースケースとして検討が行われている。

*7 ITU-R: International Telecommunication Union Radio-communication Sector

*8 CCIR:Comite Consultatif Internationale des Radiocommunications

表 6 国際的なマイクロ波 WPT に関する動向

1978 年第 14 回 CCIR 総会	<ul style="list-style-type: none"> BEAM.WPT の研究の元になった Question 20/2 が承認 Report 679 "Characteristics and effects of radio techniques for the transmission of energy from space" が承認され、発行(1982 年と 1986 年に改訂版を発行)
1997 年 ITU-R 会合	<ul style="list-style-type: none"> 現在の WPT 研究の元になっている Question 210-3/1 の元になった Question 210/1 が承認
2013 年 6 月 ITU-R SG1 会合 (WP1A/WP1B 会合含む)	<ul style="list-style-type: none"> Working Document を NON-BEAM 方式と BEAM 方式に分割し、NON-BEAM の議論開始
2015 年 6 月 ITU-R SG1 会合 (WP1A/WP1B 会合含む)	<ul style="list-style-type: none"> BEAM.WPT 方式の新レポートの WD レベルの改訂
2016 年 6 月 ITU-R SG1 会合 (WP1A/WP1B 会合含む)	<ul style="list-style-type: none"> BEAM.WPT のアプリケーションに特化した新 Report が承認⇒ Report ITU-R SM.2392 の発行 他システムとの共用検討に着目した新 Report ITU-R SM.[WPT.BEAM.IMPACT] の作業開始
2016 年 11 月 ITU-R WP1A/WP1B 会合	<ul style="list-style-type: none"> 共用検討を含めた BEAM.WPT 方式のレポート作成のためのワークプラン改訂
2017 年 6 月 ITU-R SG1 会合 (WP1A/WP1B 会合含む)	<ul style="list-style-type: none"> WIDE-BEAM 方式 (広角ビーム、マルチビームによるセンサーネットワーク、モバイル機器応用) に関する共用検討結果を含めた新 Report ITU-R SM.[WPT.WIDE-BEAM.IMPACT] の作業開始
2017 年 11 月 ITU-R WP1A/WP1B 会合	<ul style="list-style-type: none"> WIDE-BEAM 方式に関する新 Report ITU-R SM.[WPT.WIDE-BEAM.IMPACT] の作成作業継続
2018 年 6 月 ITU-R WP1A/WP1B 会合	<ul style="list-style-type: none"> WIDE-BEAM 方式に関する新 Report ITU-R SM.[WPT.WIDE-BEAM.IMPACT] の作業文書を更新。
2019 年 5 月～6 月 ITU-R WP1A/WP1B 会合	<ul style="list-style-type: none"> 新 Report ITU-R SM.[WPT.WIDE-BEAM.IMPACT] が新 Report ITU-R SM.[WPT.BEAM.IMPACT] に変更され、作業文書を更新 Report ITU-R SM.2392-0 の改訂について議論 BEAM WPT の利用周波数に関する新勧告 ITU-R SM.[WPT.BEAM.FRQ] の作業開始
今後の目標	<ul style="list-style-type: none"> 新 Report ITU-R SM.[WPT.BEAM.IMPACT] は 2021 年完成が目標 Report ITU-R SM.2392-1 の改訂は 2021 年完成が目標 新勧告 ITU-R SM.[WPT.BEAM.FRQ] は 2021 年成立が目標

また、並行して、レポート ITU-R SM.2392 の改訂作業及び米国提案の新勧告 ITU-R SM.[WPT.BEAM.FRQ] による利用周波数の ITU-R 勧告化に向けた議論も開始されており、ITU-R SM.[WPT.BEAM.IMPACT] の完成、レポート ITU-R SM.2392 の改訂完了、新勧告 ITU-R SM.[WPT.BEAM.FRQ] の成立はすべて 2021 年が目標となっている。

無線通信に関する国際的規則である無線通信規則に WPT システムを新たなカテゴリに盛り込むべきという議論については、今後の ITU-R での検討推移を見て、WRC での RR 改訂の議題提案を行うかの議論が行われると予想され、WRC-23 又は WRC-27 で議題提案される可能性がある。

5. SIP での取り組み

マイクロ波 WPT での次ステップとして、屋外の利用や大電力化を提言されている。この実現にあたっては、技術的条件では今後の状況等を踏まえた検討とされ、人体への曝露に対する安全性の確保、他の無線システムとの共用等が必須とされている。

これらの技術課題へ向けた開発として、科学技術イノベーションを実現・創設する SIP 第 2 期の課題「IoE^{*9} 社会のエネルギーシステム」の研究開発テーマである「センサネットワークおよびモバイル機器への WPT システム」にて、図 5 に示される時間・空間・周波数を統合的に制御することで、最大効率で

の電力伝送、電源変換効率の向上、人体への安全性を確保及び他の無線システムとの共用を実現するために iTAF-WPT 技術^{*10} を利用したマイクロ波 WPT の研究開発が進められている⁽⁴⁾。

本項では、SIP にて研究されている 2 つの給電方式と当社が取組んでいる「OTA 測定評価およびシステム評価方式の開発」の概要について紹介する。

(1) 分散アンテナによる協調ビーム制御方式

本方式では、図 6 に示す様に屋内に配置されたセンサへ給電するために、送信機を多数配置し、協調連携させることで、多くの電力が給電できる制御を行い、 $\mu\text{W} \sim \text{mW}$ の広域な給電を目指したものである。

(2) 高度ビームフォーミング方式

本方式は、モバイル機器、IoT センサ、情報端末及び工場内など移動するセンサへの給電を行うために、マイクロ波ビームを絞り、給電対象へ高密度な送電を行うとともに、人体や他の無線システムへは、送信ビームを抑制した図 7 に示すビームフォーミングアンテナによる給電により、数 mW ~ 数 W の給電を目指すものである。

*9 IoE : Internet of Energy

*10 iTAF-WPT : intelligent Time-Area-Frequency Control WPT

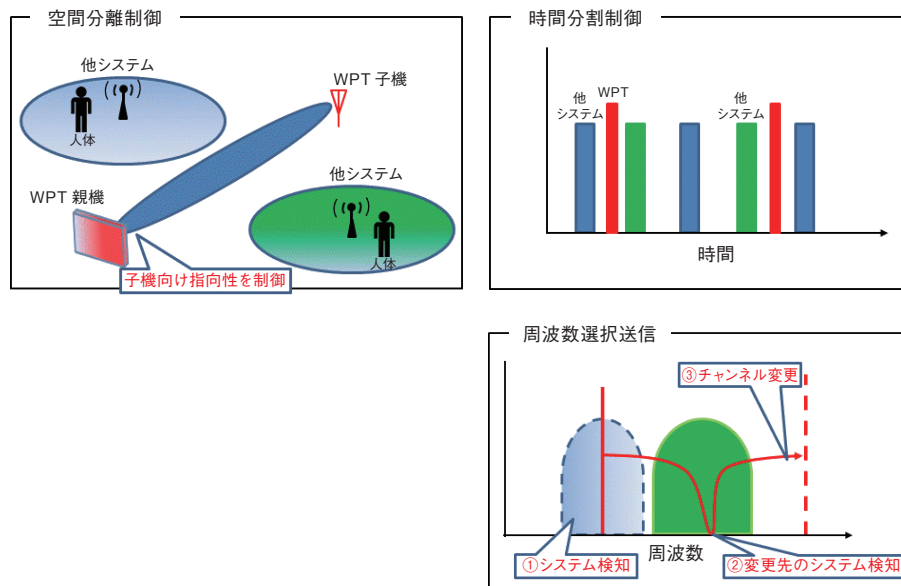


図 5 iTAF-WPT 技術の概要

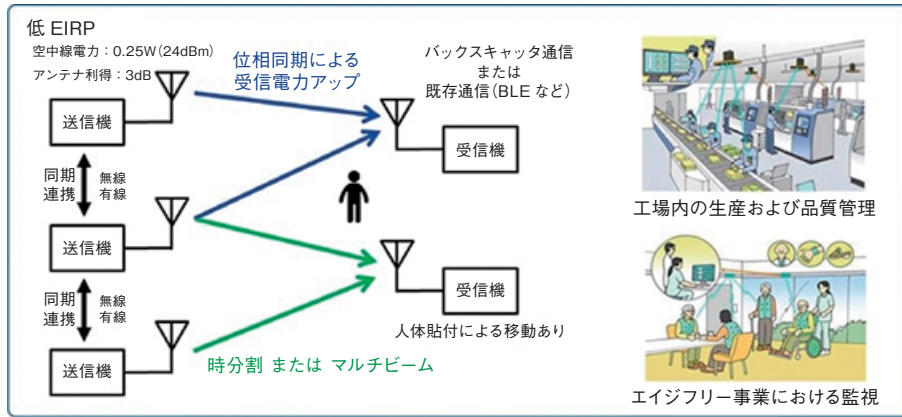


図6 分散アンテナによる協調ビーム制御方式

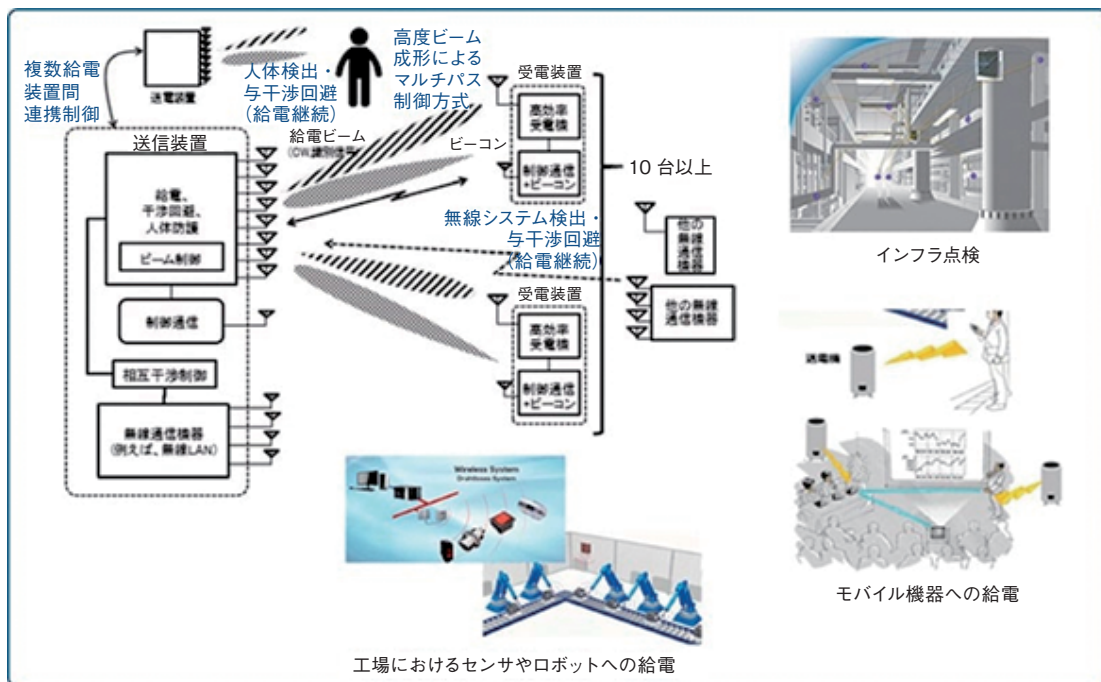


図7 高度ビームフォーミング方式

(3) OTA 測定評価およびシステム評価方式の開発

分散アンテナによる協調ビーム制御方式と高度ビームフォーミング方式の両方式にわたる評価方法の研究として、OTAによる測定評価法の開発と実空間にて構築した際の定量的なシステム評価方法の確立を目指して研究を行っているものである。

6. む す び

マイクロ波 WPT に関して国内での法制化、国際的な標準化について進められている。また、次世代のマイクロ波 WPT 技術として SIP における要素技

術の研究開発を実施し、社会実装を目指している。

これらの取り組みを日本発の技術として世界をリードした標準化、実用化を進め、電源を気にすることなく繋がる事が可能な IoE 社会への実現のためには、関係各機関との協力体制や産官学による研究努力が必要であり、当社としてもこれらに貢献した開発・実用化を進めていきたいと考えている。

参考文献

- (1) 総務省 情報通信審議会 情報通信技術分科会 陸上無線通信委員会「空間伝送型ワイヤレス電力伝送シ

システムの技術的条件」のうち「構内における空間伝送型ワイヤレス電力伝送システムの技術的条件」
2020年2月22日

- (2) 総務省電波有効利用成長戦略懇談会 報告書 平成30年8月31日

https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban09_02000273.html

- (3) ITU-R : Report ITU-R SM.2392-0, “Applications of wireless power transmission via radio frequency beam”, 2016

- (4) 総合科学技術・イノベーション会議, SIP (戦略的イノベーション創造プログラム)「IoE 社会のエネルギーシステム」, 2019. <https://www.jst.go.jp/sip/p08/team-c.html>

- (5) 篠原真毅, 庄木裕樹「ワイヤレス電力伝送の技術, 制度化, 標準化最新動向」電子情報通信学会誌 Vol.101 No.1 pp.79-84 Jan. 2018

- (6) 藤本卓也「空間伝送型 WPT (屋内, IoT センサ向け)」ITU ジャーナル vol.50 No.2 Feb 2020

☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆



関野 昇
昭和62年入社
ワイヤレス研究所
マイクロ波帯アンテナおよび周辺装置の研究・開発に従事
電子情報通信学会会員

論文

移動通信基地局用メタマテリアルアンテナ に関する取組み

佐々木隆吉* 佐藤 啓介** 大島 一郎**
道下 尚文*** 長 敬三****

Studies on Metamaterial Antennas for Mobile Communication Base Stations

*Takayoshi Sasaki, Keisuke Sato, Ichiro Oshima,
Naobumi Michishita and Keizo Cho*

当社では、従来にない新発想のアンテナ開発、および製品付加価値の向上を目的として、「メタマテリアル技術」を用いた製品開発に取り組んできた。その成果として、スモールセル向け「メタロッドアンテナ」の製品化、および「メタセクタアンテナ」の開発に成功した。しかしながら、これら「メタマテリアル技術」を用いたアンテナにおいては、動作帯域幅が狭いなど需要拡大に向けた課題が残されている。現在、課題解決に向けて「広帯域化」および「周波数共用化」に向けた取り組みを進めているので報告する。

Product development using "metamaterial technology" for the purpose of developing new concept antennas and improving the added value of products has been conducted. As a result, a "metarod antenna" for small cells was commercialized and a "meta sector antenna" was developed. However, the antennas using these "metamaterial technologies" have issues for increasing demands such as a narrow operating bandwidth. Current studies on "bandwidth widening" and "frequency sharing" to solve the issues are reported.

1. はじめに

第4世代移動通信(4G)として普及しているLTE-Advanced以降の基地局においては、高速・大容量通信に対応すべくヘテロジニアスネットワーク(HetNet)⁽¹⁾やキャリアアグリゲーション(CA)などの技術が用いられている。ヘテロジニアスネットワークは、マクロセル内に送信電力の小さいスモールセルを階層的に配置する手法であり、この方法によって、ユーザーが集中する都市エリアを中心に、トラヒック分散、および通信容量を増大させることが可能となる。また、マクロセルとスモールセルで異なる複数の周波数を使用する場合、キャリアアグリゲーションによるスループットの向上が期待で

きる。

スモールセルの配置にあっては、従来のマクロセル基地局と比較して低高度の位置に配置することが想定されるため、目立たないよう小型化などの景観配慮型アンテナが求められる。また、スモールセルを高密度で置局する場合においては、不要放射抑制など隣接スモールセル間での干渉抑圧が必要である。干渉を抑圧する方法としては、これまでにスモールセルアンテナの垂直面チルトを45°程の高チルトとする方法がある。これにより、スループットが向上するという報告がなされている⁽²⁾。しかしながら、従来の設計による高チルトアンテナでは、天空側サイドローブが発生するため設計が非常に難しく干渉抑圧が課題となっていた。

筆者らはこれまでに、「高チルト低サイドローブ」および「小型化」を実現すべく、スモールセル向けの基地局アンテナへ「電磁メタマテリアル」の技術を取り入れた設計を行ってきた。「メタマテリアル」とは、

* 機器統括部 移動通信技術開発部

** ワイヤレス研究所

*** 防衛大学校

**** 千葉工業大学

自然界に存在しない人工的なふるまいをする材質を示す。筆者らは右手/左手系複合伝送線路(CRLH*1-TL)⁽³⁾⁻⁽⁵⁾に着目し、これを用いたコプレーナストリップ線路によるCRLH-TLを用いた、偏波合成法による偏波共用オムニアンテナ「メタロッドアンテナ」⁽⁶⁾および、グラウンド付きコプレーナ線路によるCRLH-TLを用いた偏波共用セクタアンテナ「メタセクタアンテナ」を提案している⁽⁷⁾。

本報告において、2章ではこれまでに開発したメタロッドアンテナおよびメタセクタアンテナの特徴について述べる。

3章では、2章で述べた「メタロッドアンテナ」および「メタセクタアンテナ」に関して、現状の課題および解決に向けた検討について述べる。

4章ではまとめとして、これまでの検討成果と今後の展望について述べる。本稿においてはメタマテリアル技術を用いたアンテナに関する内容について述べることにし、メタロッドアンテナを用いたMIMO特性の評価については別稿にて論述する。

2. メタマテリアルアンテナの特徴

2.1 メタマテリアル技術の利点

メタマテリアル技術を用いた左手系漏れ波アンテナは、従来のアンテナとは異なり、ユニットセルと呼ばれる構造を複数接続することにより構成される。グラウンド付きコプレーナ線路によるユニットセルを図1に示す。従来の伝送線路に対して、直列にキャパシタンス(C_L)を構成するインターデジタル構造、並列にインダクタンス(L_L)を構成するスタブ構造を組み込んだ構成である。これをCRLH-TLと呼び、これらが周期的に配列されることによって漏れ波アンテナを構成している。波の見かけ上の速度となる位相速度が電力の進む速度である群速度を

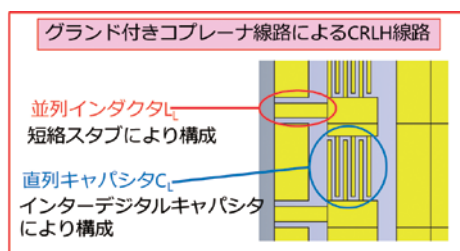


図1 CRLH-TLの構成例

*1 CRLH(Composite Right / Left Hand)伝送線路:右手/左手系複合伝送線路

上回った際に、漏れ波アンテナの入力端から徐々に漏洩波が発生する。CRLH-TLによる漏れ波アンテナでは、従来の伝送線路で用いる右手系の周波数帯においては、位相速度と群速度が同一の符号、すなわち同じ方向となる。しかし、CRLH-TLにおける左手系の周波数帯においては、群速度と位相速度の符号が逆となる。このとき、左手系漏れ波アンテナでは電力の進行方向に対して位相が進むため、位相差線路を用いた状態と同様の状態をつくり出し、下向きチルトを実現することができる。CRLH-TL自身がアンテナ放射素子となるほか、隣接ユニットセル間で位相差を作りだすことが可能なため、チルトをかける場合において給電回路が不要である。

左手系漏れ波アンテナの利点としては、ユニットセルが波長に対して十分に小さいため、高チルト時におけるサイドローブを抑制できること、また直列給電アレー構成を用いることで、給電回路の簡略化による部品点数の削減、伝送損失の低減ができることが挙げられる。

以下2.2節に、図2へ示す「メタロッドアンテナ」、2.3節に図3へ示す「メタセクタアンテナ」について解説する。



図2 メタロッドアンテナ

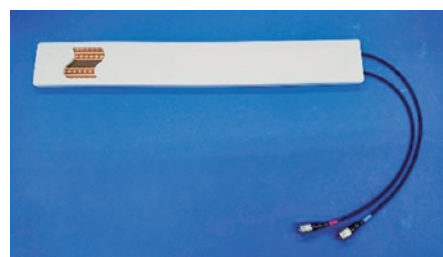


図3 メタセクタアンテナ

2.2 メタロッドアンテナ

メタロッドアンテナは文献(6)に示すように、コプレーナストリップ線路の構造を基本として、伝送線路に左手系素子を組み込んだメタマテリアル漏れ波アンテナである。図4に、アンテナ1ブランチの外観を示す。本アンテナは誘電体基板の両面を使って、コプレーナストリップ線路による平行二線型のCRLH-TLで構成されている。線路の特性インピーダンスは約145Ωであり、差動モードで給電を行っている。ユニットセル幅は9mm(約0.11波長)であり、波長に対して非常に狭い幅で構成されている。アンテナは、ユニットセルが表裏を反転しながら周期的に接続されており、ユニットセルの構造は、平行二線に直列のキャパシタンスとして平行平板キャパシタを一对、並列のインダクタンスとして水平方向の細線を二本追加したπ型の構成となっている。

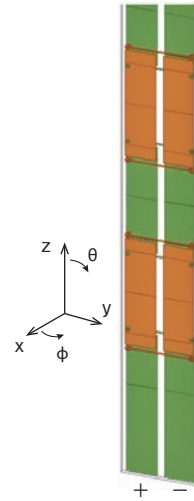


図4 メタロッドアンテナユニットセル構造例

本アンテナは差動モードでの給電であるため、平行二線および平行平板キャパシタからは垂直偏波成分が±y方向に放射され、水平方向の細線からは水平偏波成分が±x方向に放射される。ここで、図5に示す垂直面内最大方向において、水平方向に放射される垂直偏波成分と水平偏波成分は、図6へ示すようにそれぞれ8の字状の双指向性を示す。放射指向性ユニットセルの構造パラメータを適切に調整し、それぞれの偏波成分の合成電界が水平面内のすべての角度で等しい場合、無指向性のエリアを形成することができる。これを偏波合成⁽⁸⁾という。

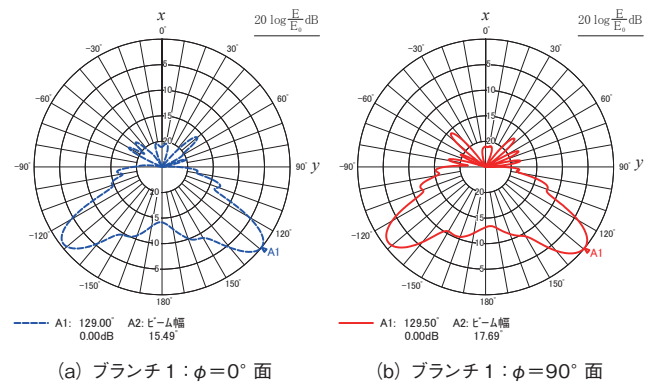


図5 メタロッドアンテナ垂直面内指向性

図4のCRLH-TLユニットセルを縦続接続した基板を十字にクロスした2ブランチ構成にて配置した場合、各ブランチ間で図6に示す双指向性が水平面内で90度ずれた状態となる。このとき、ブランチ間の相関が十分に小さいため、細径を保ちつつMIMOアンテナとして動作することができる。

2.3 メタセクタアンテナ

メタセクタアンテナは、文献(7)(9)に示すように、壁掛け等によるエリア化を目的として開発したスモールセル向けセクタアンテナである。無指向性を実現したメタロッドアンテナとは異なり、本アンテナはセクタ指向性を実現する。図7に提案アンテナの試作品を示す。提案アンテナはグランド付きコプレーナ線路による構造を基本として、左手系素子を組み込んだCRLH-TLによるメタマテリアルアンテナである。伝送線路面およびグランド面を銅箔により誘電体基板上へ印刷した構造としており、イン

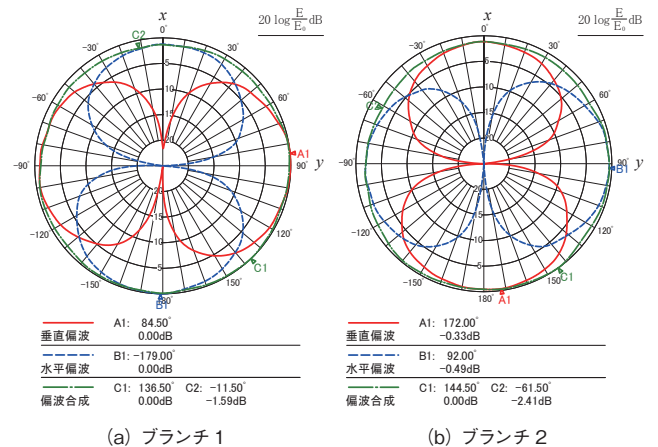


図6 メタロッドアンテナ水平面内指向性

ターデジタル構造で左手系キャパシタンスを、短絡スタブで左手系インダクタンスを実現している。

提案アンテナは、図1で示したユニットセルを60セル縦続接続した、周期的な構造となっている。こ

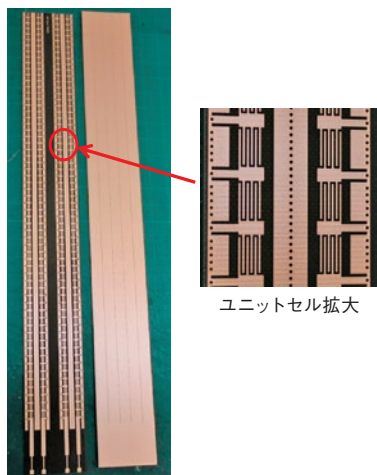


図7 アンテナ全体図

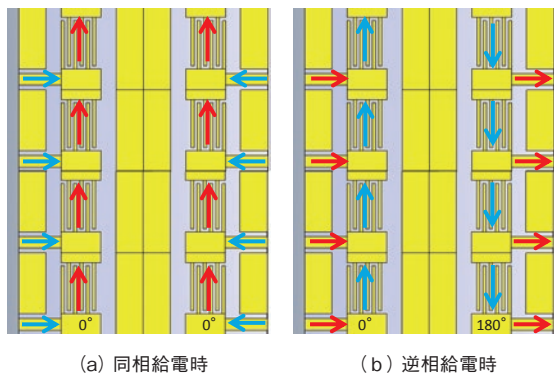


図8 メタセクタアンテナの給電位相と偏波

のアンテナ部が水平方向へ4列配置されている。本アンテナの動作は図8に示すように、1組の線路に給電する位相を同相および逆相とすることにより垂直偏波、水平偏波の励振を可能とした。動作自体は1組のCRLH線路で可能であるが、1組での動作の場合においては交差偏波が増大すること、および水平面内指向性において垂直偏波および水平偏波の半値角幅が大きい事が確認された。そのため、指向性成形を容易にするために2組のCRLH線路を配置する構造とし、図9に示す高チルト低サイドローブの実現、および図10に示す水平面内指向性におけるビーム幅調整およびXPDの改善を図った。

ユニットセルの設計手法については、メタロッドアンテナにおける方法と同様であり、ユニットセルのインターディジタル構造およびスタブ構造のパラメータを調整することにより、所望のチルト角に調整することが出来る。

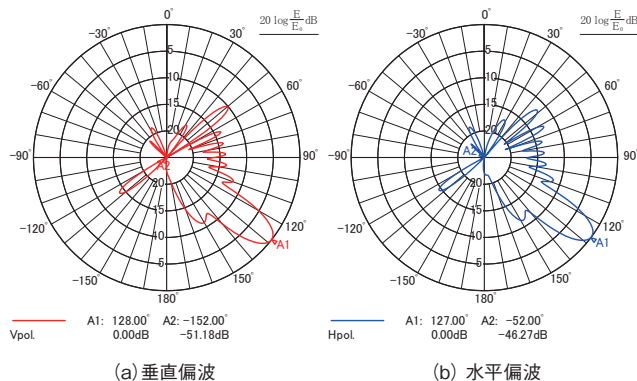


図9 メタセクタアンテナ垂直面内指向性

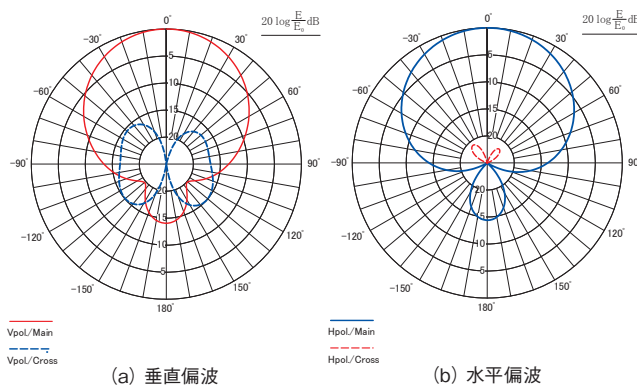


図10 メタセクタアンテナ水平面内指向性

3. メタマテリアルアンテナにおける課題

3.1 周波数分散性によるビームスクイント

これまで当社において取り組んできたメタロッドアンテナおよびメタセクタアンテナにおいては、先に述べた通り、高チルト低サイドローブを実現しているため、スモールセル向けに適したアンテナである。しかしながら、CRLH構造が持つ「周波数分散性」により、周波数によってビーム方向が変化してしまうという問題がある。これをビームスクイントという。

従来CRLH構造は、ビーム走査を必要とするミリ波レーダーなどへの応用が中心であり、一定方向に指向性を必要とする基地局アンテナ等への応用例はない。これは、周波数の変化とともにビームチルト角が変化してしまうためであり、すなわち周波数によってエリアが変化してしまうことによる。よって、これまで開発を行ってきたメタマテリアルアンテナは、ビームスクイント量に合わせて、帯域幅を約2%ほどの80MHzに限定した仕様で製品化を行っている。

しかしながら、5G 向け周波数帯の新規割り当て等が 2018 年度以降順次行われてきており、3.4~3.6GHz の帯域および 4.5GHz 帯に対応した広帯域化の要求は非常に高まっている。よって、ビームスキントの抑制は左手系漏れ波アンテナの製品応用に向けて、広帯域特性の実現に必須であるといえる。

3.2 右手系を用いた 2 周波対応化の検討

これまでに開発を行ってきたメタロッドアンテナおよびメタセクタアンテナにおいては、周波数分散性によるビームスキントの問題により、広帯域での使用が難しい製品である。そこで、「右手系」の周波数帯を応用した 2 周波共用化に関する検討を行った⁽¹¹⁾。

従来検討を行ってきた「左手系」は、電力を入力した方向にチルトがかかる「後進波」を用いたアンテナが実現できるが、「右手系」の領域においては、電力が進む方向にチルトがかかる「前進波」を用いたアンテナを実現可能である。左手系周波数帯の電力をアンテナ下側から、右手系周波数帯の電力を上側から入力した場合、どちらの周波数帯においても下向きチルトを得ることが出来る。図 11 に示した分散特性を見ると、4.5GHz 付近において左手系と同じ分散特性が得られていることがわかる。

これまでメタロッドアンテナにおいて、右手系周波数帯を用いた上向きチルトアンテナの検討を実施したが、ユニットセルにおける通過損失が小さく、放射しにくいという結果が出ている。そこで、新たに開発したメタセクタアンテナにおける右手系周波数帯の特性について、電磁界解析における検討および考察を行った。

メタセクタアンテナにおいては、右手系においても漏れ波アンテナとして動作していることが確認できたが、垂直偏波励振時および水平偏波励振時を比較すると、水平偏波励振時の利得が低下しているこ

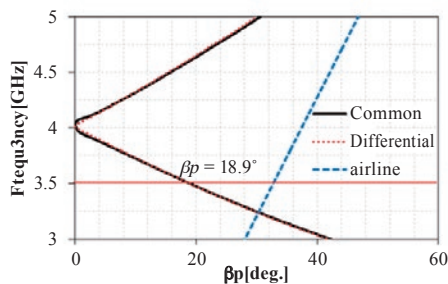


図 11 CRLH 伝送線路分散特性例

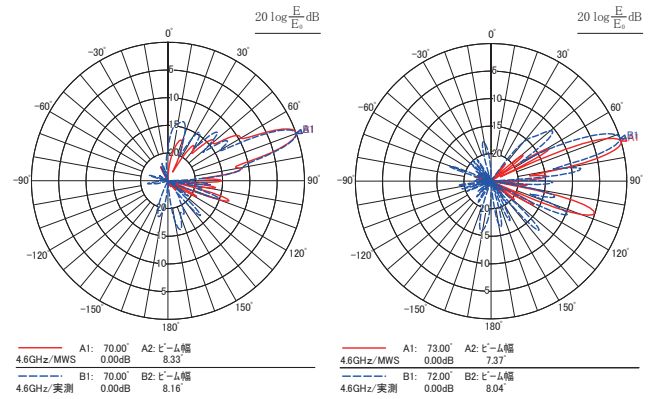


図 12 右手系周波数帯における垂直面内指向性

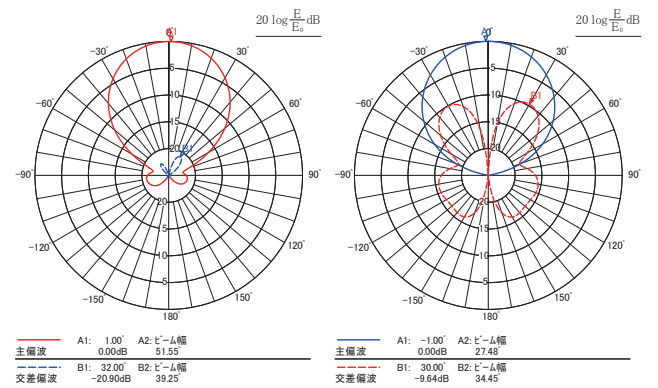


図 13 右手系周波数帯における水平面内指向性

とが確認された。図 12 に右手系周波数帯における垂直面内指向性、図 13 に垂直面最大方向における水平面内指向性を示す。ユニットセルの固有値解析による右手系周波数帯における Q 値解析、また MW-Studio での電磁界解析によるアンテナ放射指向性によると、右手系となる周波数帯においては、メタロッドアンテナと同様に漏洩量が小さくなる傾向がみられる。

4. む す び

移動通信基地局におけるスモールセル向けアンテナへの適用を目的として、これまでに細径無指向性アンテナ「メタロッドアンテナ」、および薄型平面アンテナ「メタセクタアンテナ」を提案した。給電回路と放射素子を一体とできることで、部品点数の削減を図るとともに、細径・薄型構造による景観配慮型のアンテナが実現できた。

メタロッドアンテナに関してはすでに製品化され、実用に供されている。しかしながら放射指向性のビームスキントに関しては、需要拡大の障壁と

なっている。今後需要が想定される 5G の Sub6 帯をカバーするにあたり、周波数によりエリアが変化してしまうことから、ビームスクイント抑制による指向性の広帯域化⁽¹²⁾⁻⁽¹⁵⁾、また右手系周波数帯を活用した周波数共用化に向けた技術検討を進めている。

文 献

(1) 丹野元博, 森本彰人, 阿部哲士, 岸山祥久, 中村武宏. “LTE-Advanced におけるヘテロジニアスネットワーク”, 信学技報, RCS2009-317, Mar. 2010.

(2) 吉田翔, 吉原龍彦, 川合裕之, 井原泰介, 瀧口貴啓, 柳生健吾. “スモールセルにおけるアンテナビームチルトの容量増加効果”, 信学技報, A・P2014-47, Jun. 2014.

(3) L. Liu, C. Caloz, and T. Itoh. “Dominant mode leaky -wave antenna with backfire-to-endfire scanning capability” Electron. Lett., vo.38, no.23, pp.1414-1416, Nov. 2002.

(4) M. A. Antoniadis, and G. V. Eleftheriades, “A CPS leaky-wave antenna with reduced beam squinting using NRI-TL metamaterials,” IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 56, no.3, pp.708-721, Mar. 2008.

(5) M.R.M. Hashemi and T. Itoh, “Coupled composite right/left-handed leaky-wave transmission lines based on common/differential-mode analysis”, IEEE Trans. Microw. Theory Techn., vol.58, no.12, pp.3645-3656, Dec. 2010.

(6) 関卓也, 大島一郎, 道下尚文, 長敬三. “コプレーナストリップ線路で構成した偏波合成型左手系漏れ波オムニアテナの 2 ブランチ化”, 信学技報, A・P2015-184, Jan. 2016.

(7) 佐々木隆吉, 佐藤啓介, 大島一郎, 道下尚文, 長敬三. “Grounded Coplanar 線路を用いた偏波共用左手系漏れ波アンテナ”, 信学技報, A・P2017-117, pp.93-98. Aug. 2017.

(8) 大島一郎, 岡崎彰, 唐沢好男. “MIMO 用偏波合成型オムニアテナ”, 電子情報通信学会論文誌 B, Vol. J96-B, No.9, pp.1028-1036, Sep. 2013.

(9) 関卓也, 大島一郎, 道下尚文, 長敬三. “CRLH 線路を用いた偏波切替可能な薄型平面アンテナ”, 信学ソ大, B-1-75, Oct. 2014.

(10) 坂本 旭, 長 敬三, 道下尚文, 大島一郎. “左手系漏れ波オムニアテナの等価回路解析,” 信学総大, B-1-101, Mar. 2015.

(11) 佐々木隆吉, 佐藤啓介, 大島一郎, 道下尚文, 長敬三. “グラウンド付きコプレーナ線路による CRLH 偏波共用・2 周波漏れ波セクタアンテナ”, 信学技報, A・P2018-183, pp.77-82, Feb. 2019.

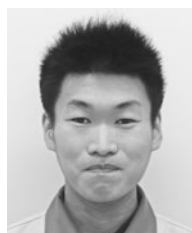
(12) 寺田一貴, 長敬三, 佐々木隆吉, 佐藤啓介, 大島一郎, 道下尚文, “CRLH 伝送線路漏れ波アンテナの位相変動の等価回路解析”, 信学総大, B-1-89, Mar. 2019.

(13) K. Terada, K. Cho, H. Nakabayashi, N. Michishita, T. Sasaki, K. Sato and I. Oshima, “Phase Variation Analysis of Leaky Wave Antenna Composed of CRLH Transmission Line Using Equivalent Circuit”, THE 2019 Malaysia-Japan WORKSHOP ON RADIO TECHNOLOGY (MJWRT2019)

(14) K. Terada, K. Cho, H. Nakabayashi, N. Michishita, T. Sasaki, K. Sato and I. Oshima, “Random Search Approach to Finding Equivalent Circuit Parameters Stabilizing Phase Variation of Leaky Wave Antenna Composed of CRLH Transmission Line”, The 2nd Indonesia-Japan Workshop on Antennas and Wireless Technology 2019 (IJAWT2019)

(15) 寺田一貴, 長敬三, 中林寛暁, 道下尚文, 大島一郎, “左手系漏れ波アンテナのビームスクイントを低減する等価回路パラメータの検討”, 信学技報, vol. 119, no. 295, AP2019-122, pp. 91-94, Nov. 2019

☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆



佐々木隆吉
平成 28 年入社
機器統括部 移動通信技術開発部
移動通信用アンテナおよび電波伝播の研究・開発に従事
電子情報通信学会会員



佐藤 啓介
平成 18 年入社
ワイヤレス研究所
移動通信用アンテナおよび電波伝播の研究・開発に従事
電子情報通信学会・IEEE 会員



大島 一郎
平成 7 年入社
ワイヤレス研究所
移動通信用アンテナおよび電波伝播の研究・開発に従事
電子情報通信学会・IEEE 会員
博士(工学)



道下 尚文
防衛大学校准教授
電磁メタマテリアルのアンテナ応用の研究に従事
電子情報通信学会・IEEE・日本シミュレーション学会会員
博士(工学)



長 敬三
千葉工業大学教授
移動通信用アンテナの研究に従事
電子情報通信学会・IEEE 会員
博士(工学)

技術紹介

ローカル 5G 事業に向けた 28GHz 帯伝搬実験の取組み

大島 一郎* 関野 昇* 佐々木克守**
小野田 仁** 吉田 翔** 白澤 嘉樹**

28 GHz Band Propagation Experiment for Local 5G Business

*Ichiro Oshima, Noboru Sekino, Katsumori Sasaki,
Hitoshi Onoda, Sho Yoshida and Yoshiki Shirasawa*

当社は、ローカル 5G の事業化の検討の一環として、28GHz 帯の実験試験局の免許を取得し、伝搬試験を開始している。本稿では、その実験試験局の概要について紹介する。

As a part of studying the commercialization of local 5G, 28 GHz band experimental test station license was granted for us and propagation tests were started. This paper introduces an overview of an experimental test station.

1. はじめに

ローカル 5G は、第 5 世代移動通信システム (5G) を利用した地域におけるローカルニーズに基づいた比較的小規模な通信環境を構築するものであり、工場、建設現場、病院や農地など多岐にわたる用途での利用が想定されている。ローカル 5G の周波数としては、4.5GHz 帯 (4.6-4.8GHz) と 28GHz 帯 (28.2-29.1GHz) が割り当てられている。このうち共用検討が済んでいる 28.2-28.3GHz の 100MHz については制度化が完了しており、2019 年 12 月 24 日からローカル 5G 無線局免許の申請受付が開始されている。

当社は、2019 年半ばからローカル 5G の事業化に向けた検討を本格的に開始し、その一環として 28GHz 帯の実験試験局の開設の準備を進めてきた。2019 年 12 月に実験試験局免許を取得し、実験を開始している。本稿では、その実験試験局の概要について紹介する。

2. 実験試験局の概要

今回免許を取得した実験試験局は、当社の鹿沼工

場(栃木県鹿沼市)が無線設備の設置場所となっており、工場敷地の内外の屋外環境、および工場内やオフィスなどの屋内環境で試験を行うことが可能となっている。

実験の期間は 2021 年 3 月末日までを予定しており、第 1 フェーズの電波伝搬試験フェーズでは、屋内外の基本的な電波伝搬測定を行い、第 2 フェーズの実証試験フェーズでは、当社で開発中のビームフォーミングアンテナなど(論文「5G に向けた無線機一体型基地局アンテナに関する取り組み」(11 ページ参照))を用いた各種の検証実験を行う予定である。

当社での実験の特徴は、当社がアンテナメーカーであるという強みを活かし、表 1 に示すように 11 種類の送信アンテナを用意しているという点である。例として、写真 1 および写真 2 に、高利得オムニアンテナ (9° チルト) と、送信地点でのホーンアンテナ (11dBi) の設置状態の写真を示す。豊富なアンテナの種類により、アンテナの指向性、偏波、および利得の違いによるエリアの違い等が確認できるなど、きめの細かいエリア構築のための重要なデータが得られることが期待できる。

* ワイヤレス研究所

** 機器統括部 移動通信技術開発部



佐々木克守
平成 10 年入社
機器統括部 移動通信技術開発部
移動通信用アンテナおよび電波伝播の研究・開発に従事
電子情報通信学会会員



吉田 翔
平成 30 年入社
機器統括部 移動通信技術開発部
移動通信用アンテナおよび電波伝播の研究・開発に従事
電子情報通信学会会員



小野田 仁
平成 20 年入社
機器統括部 移動通信技術開発部
移動通信用アンテナおよび電波伝播の研究・開発に従事
電子情報通信学会会員



白澤 嘉樹
平成 31 年入社
機器統括部 移動通信技術開発部
移動通信用アンテナおよび電波伝播の研究・開発に従事

技術紹介

3D プリンタ製の誘導加熱コイル

今増 寿尚* 大沼 悠人** 水野谷敦司***

Induction Heating Coil Made by 3D Printer

Hisanao Imamasu, Yuto Onuma and Atsushi Mizunoya

誘導加熱用コイルの製作で、金属 3D プリンタを使用したコイル製作の開発を進め、純銅粉末での造形が難しいレーザー式金属 3D プリンタを使用して、銅合金粉末での造形評価を繰り返し行った。その結果、現在製作している誘導加熱用コイルと同等の性能・耐久性を持つコイル造形に成功し、現状のコイル製作時間を大幅に短縮することが可能で、複雑形状のコイルでも一定時間内での製作ができるようになった。

In the production of induction heating coils, the coil production using a metal 3D printer was developed. And the molding evaluation with copper alloy powder was repeatedly conducted by using a laser-type metal 3D printer, which is difficult to mold with pure copper powder. As a result, we succeeded in forming a coil with the same performance and durability as the induction heating coil which is currently manufactured and drastically reducing the coil manufacturing time. And even coils with complex shapes can be manufactured within a fixed time.

1. はじめに

今までの誘導加熱用コイルは、銅材の加工、ロウ付け作業により製作されている。特に、ロウ付け作業は、作業者の技量が必要で、製作にかなりの時間を要していた。その解決策として、3D プリンタ造形に着目し、研究開発を進めた。

一般に、金属 3D プリンタは、レーザー式と電子線式があり、レーザー式は、造形面の粗さが小さいものの、純銅粉末造形では密度が低くなり、コイル造形には適さない。一方、電子線式は、純銅粉末造形が可能であるが、造形面の粗さが大きく、造形後に追加工が必要であった。そこで、レーザー式 3D プリンタ(写真 1)を使用し、材料を銅合金粉末として、誘導加熱用コイルの製作評価を行った。



写真 1 レーザー式 3D プリンタ

2. 銅合金粉末による造形評価

2.1 レーザー式 3D プリンタ造形での課題

3D プリンタ導入当初の課題は、以下の 2 点である(表 1)。

- ①純銅粉末造形では、造形後の密度が低く、パイプ形状などの水路としては使用できない(水漏れする)。

表 1 造形直後の密度・導電率

	目標	純銅粉末	銅合金粉末 A	銅合金粉末 B
密度	97% 以上	93.60%	99.90%	98.60%
導電率	80% 以上	66.48 %IACS	17.41 %IACS	26.16 %IACS

* 高周波統括部 開発部

** 高周波工業(株)出向中

*** 高周波工業株式会社

②銅合金粉末造形では、高密度造形は可能であるが、導電率(電気伝導度)が低い。

2.2 導電率向上のための熱処理

2.1 項の課題に対して、①については、照射するレーザー光の改良が必要であるため、装置自体の改造になることから断念した。②については、造形後の後処理で導電率の向上を図ることとした。その際、目標とした導電率は誘導加熱用コイルにも使用されているリン脱酸銅(82~86%IACS)程度とし、80%IACS以上とした。そこで、銅合金粉末A・Bで造形した試験片に熱処理を施すと、表2のように目標の80%IACS以上の導電率が得られた。

2.3 誘導加熱コイル造形と高周波焼入評価

2.2 項で使用した銅合金粉末A・Bでコイル頭部を

表2 熱処理前後の導電率

	目標	銅合金粉末 A	銅合金粉末 B
導電率(熱処理前)	80% 以上	17.41 %IACS	26.16 %IACS
導電率(熱処理後)		81.21 %IACS	85.50 %IACS

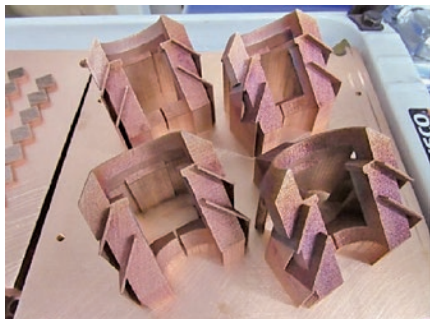


写真2 コイル頭部造形

造形し、熱処理(写真2)を施して誘導加熱用コイル(写真3)を製作した。

高周波焼入評価は、通常製作の誘導加熱コイルと同一設定値のもとで測定される電流・電力などのパラメータ値と焼入品質を比較した。表3のように、銅合金粉末Aは通常製作コイルと比べパラメータ値が若干高くなり、完全再現しているとは言い難い。しかし、銅合金粉末Bは、ほぼ同一のパラメータ値となり、完全再現している。表4は、焼入品質結果

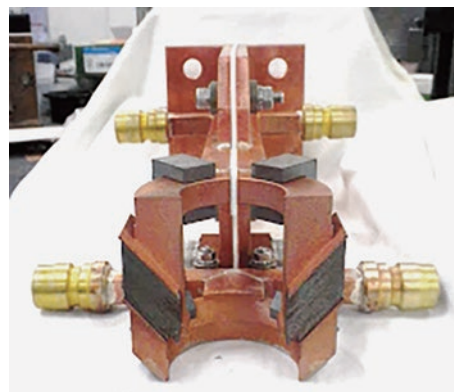


写真3 誘導加熱コイル

表3 焼入設定条件と測定値

焼入設定条件	通常製作コイル	銅合金粉末 A	銅合金粉末 B
周波数(kHz)	8.0	8.0(7.1~7.8)	8.0(7.1~7.8)
設定電圧(V)	210	210	210
実測電圧(V)		205(202~207)	206(204~207)
実測電流(A)		455(453~517)	450(450~512)
実測電力(kW)		83(83~95)	84(84~95)
加熱時間(sec)	5.0		
空冷時間(sec)	1.0		
冷却時間(sec)	10.0		
焼入水流量(l/min)	100		

表4 焼入品質結果

焼入品質結果	通常製作コイル	銅合金粉末 A	銅合金粉末 B
測定位置 マクロ深さ計測			
	① 4.4mm	① 4.5mm	① 4.4mm
	② 4.3mm	② 4.5mm	② 4.4mm
	③ 5.0mm	③ 4.9mm	③ 4.9mm
	④ 2.2mm	④ 2.2mm	④ 2.2mm

で銅合金粉末 A・B とともに完全再現している。このことから、銅合金粉末 B での 3D 造形は誘導加熱用コイル製作に適していると判断した。

3. 製品化に向けた性能評価

3.1 各周波数帯での高周波焼入評価

2.3 項では 8kHz (7.1~7.8kHz) での評価であったが、更に 30kHz・50kHz・200kHz での高周波焼入評価を行った。写真 4 のように丸棒ワークを 1 ターンコイルで高周波焼入して、通常製作コイルとの品質結果を比較した。表 5 は各周波数帯での焼入結果で、差がないことが確認された。

3.2 耐久性評価

丸棒ワークに通常の高周波焼入時の 1.5 倍の高負



写真 4 1 ターンコイル

荷(コイル電流値)をかけ、耐久性評価を行った。表 6 のようにコイルの劣化状況・品質結果ともに問題ないことが確認された。

3.3 造形精度(繰り返し精度)の確認

3D プリント造形では、図 1 のように造形したいもの(コイル)以外に、それを支えるサポートを含めた専用設計が必要になる。サポートの配置や造形角度など材料の膨張収縮を考慮した設計により、設計寸法通りの造形を可能にしている。また、繰り返しの造形精度は、4 個平均での差が 0.05mm 以内であり、造形精度差の少ないコイル造形が可能である。

4. む す び

レーザー式 3D プリントによる誘導加熱用コイルの造形は、銅合金粉末 B と熱処理を施すことにより可能になった。コイルの大きさにもよるが、造形に 2 日、熱処理やその他後処理で 3 日としても、1 週間でコイル頭部が完成する。また、性能は、先に述べたように、通常製作コイルと同等であり、問題がないことが確認された。

最後に、今回の開発結果より、コイル製作リード

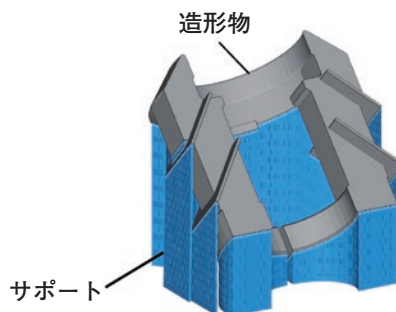


図 1 3D 造形モデル

表 5 各周波数帯での焼入結果

		30KHz	50KHz	200KHz
TP: S53C(丸棒・中実) 【測定項目】測定荷重: 0.5Kgf ①部 表面硬度 Hv(0.2mm点) 有効深さ mm(Hv0.13地点) A部 焼入範囲(全マクロにて)	通常製作コイル	220A 設定 (53 ~ 60KW) ①表面硬度: Hv818 ①有効深さ: 2.84mm A部: 11.0mm	270A 設定 (53 ~ 60KW) ①表面硬度: Hv814 ①有効深さ: 2.40mm A部: 9.5mm	320A 設定 (53 ~ 60KW) ①表面硬度: Hv820 ①有効深さ: 1.93mm A部: 12.0mm
	銅合金粉末 B	220A 設定 (53 ~ 60KW) ①表面硬度: Hv816 ①有効深さ: 2.86mm A部: 11.0mm	270A 設定 (54 ~ 60KW) ①表面硬度: Hv811 ①有効深さ: 2.41mm A部: 9.4mm	320A 設定 (53 ~ 61KW) ①表面硬度: Hv818 ①有効深さ: 1.94mm A部: 11.9mm

表6 耐久性評価結果

耐久試験開始時	10,000 ショット時	20,000 ショット時	30,000 ショット時

焼入パターン 焼幅：19.8~20.0mm 深さ：2.5~2.6mm

タイムの短縮や機械加工形状に縛られないコイルデザインなどが期待され、引き続きニーズに合わせた研究を進めていく。

☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆



今増 寿尚
 平成 17 年入社
 高周波統括部 開発部
 高周波熱処理技術の開発に従事



大沼 悠人
 平成 27 年入社
 高周波工業(株) 出向



水野谷 敦司
 高周波工業株式会社

製品紹介

北米向けストリートセル用 Bi-Sector/Tri-Sector アンテナ

小倉 大岳* 久保 優樹*
三ツ木真一** 高橋 成佳*

Bi-Sector / Tri-Sector Antenna for Street Cells for North American Market

Hiroataka Ogura, Yuki Kubo, Shinichi Mitsugi and Higeyoshi Takahashi

北米の移動通信市場では、通信速度を高速化するために、LAA^{*1} 技術を使用するサービスが、スモールセル局を中心に始まっている。これまで、当社では、北米向けとして、LAA 対応のストリートセル用 Cardioid/Omni アンテナ 2 機種の商品化を行ったが、さらなる市場拡大を目的として、新たに、セクタごとに独立チルト角設定が可能なアンテナの開発を行った。本稿では、開発したストリートセル用 Bi-Sector/Tri-Sector アンテナ 2 機種について紹介する。

In the mobile communication market in North America, services using LAA (License-Assisted Access using) technology have been started mainly in small cell stations in order to increase the communication speed. Until now, we have commercialized two types of LAA-compatible street cell Cardioid / Omni antennas for the North American market. In addition, for the purpose of further market expansion, we newly developed an antenna which can set an independent tilt angle for each sector. This paper introduces newly developed two types of Bi-Sector / Tri-Sector antennas for street cells.

1. はじめに

移動通信市場では、通信速度を重視したサービス競争が激化している。北米市場では、新たな周波数帯域の開放だけでなく、従来移動通信では使用していなかった周波数帯域と既存の周波数帯域を融合した LAA を使用するサービスが、スモールセル局を中心に始まっている。

2. 基本性能

表 1 に、開発したアンテナの基本性能を示す。水平面内指向性が異なる Bi-Sector と Tri-Sector の 2 機種を開発した。2 機種ともに、2GHz 帯 4 ポート、3.5GHz 帯 4 ポート、5GHz 帯 2 ポートの合計 10 ポートで構成され、ライセンス周波数帯である 2GHz 帯

と Wi-Fi のアンライセンス周波数帯である 5GHz 帯をカバーしている。さらに、2GHz 帯と 3.5GHz 帯は、

表 1 ストリートセル用アンテナ 基本性能

アンテナ型名	Bi-Sector Antenna [DK18WDKDP-10R76FIT]	Tri-Sector Antenna [DK0WDKDP-8R65FIT]
使用周波数	1.7-2.4GHz 帯 / 3.5GHz 帯 (3.4-3.8GHz) / 5GHz 帯 (5.15-5.925GHz)	
ポート数	4port / 4port / 2port, (Total 10 port)	
偏波面	±45°×2 / ±45°×2 / ±45°	
利得	9.5dBi / 8dBi / 6dBi	8.5dBi / 6dBi / 5dBi
水平面内ビーム幅	約 180°	約 360°
垂直面内ビーム幅	19° / 35° / 25°	
垂直面内チルト角	0-20° / 0° (Fixed) / 0° (Fixed)	
V.S.W.R.	≤1.5	
偏波間結合量	≥20dB	
3 次 IM, (20W 2 波)	≤-150dBc (1.7-2.4GHz 帯)	
最大入力電力	100W / 30W / 10W	
アンテナ寸法	Φ305×600mm	Φ355×600mm

* 機器統括部 移動通信技術開発部
** 機器統括部 固定通信技術開発部

*1 License-Assisted Access using : 従来の移動通信バンドと Wi-Fi のアンライセンスバンドをキャリアアグリゲーションし、高速通信を行う技術

2 系統の偏波共用アンテナ (計 4 ブランチ) を内蔵しており、4×4MIMO 通信と LAA を組み合わせた高速通信に対応することが可能である。また、2GHz 帯は、セクタごとに独立チルト角設定が可能な構成とした。

3. アンテナ外観

写真 1 に、開発したアンテナの外観を示す。チルト角設定は、従来の遠隔チルト制御 (RET) 機構に加え、手でチルト角の設定が可能な機構を設けた。

写真 2 に、アンテナ設置例を示す。2 機種ともに街灯などに設置される Small Cell 局での使用を想定している。

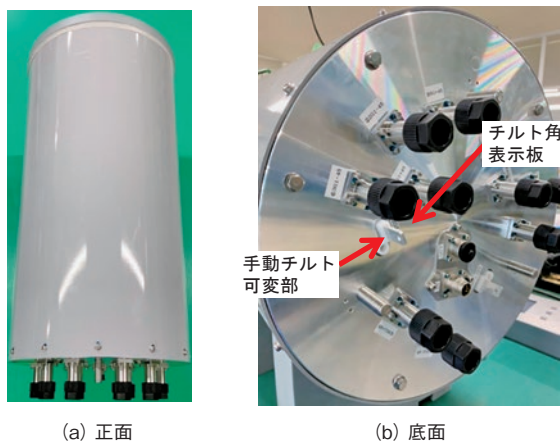


写真 1 アンテナ外観



写真 2 アンテナ設置例

4. 独立チルト角設定

図 1 (a) に、Tri-Sector アンテナの水平面内指向性を示す。水平面内指向性は従来品の omni-type と同様に、セクタ 1 からセクタ 3 を内部で合成したオムニ指向性となる。

従来製品の垂直面内指向性を図 1 (b) に示す。従来製品は、セクタごとにチルト角を設定することができないため、全方向同一のチルト角となる。これに対して、開発した Tri-Sector アンテナは、セクタごとに独立チルト角設定が可能であり、ある特定方向

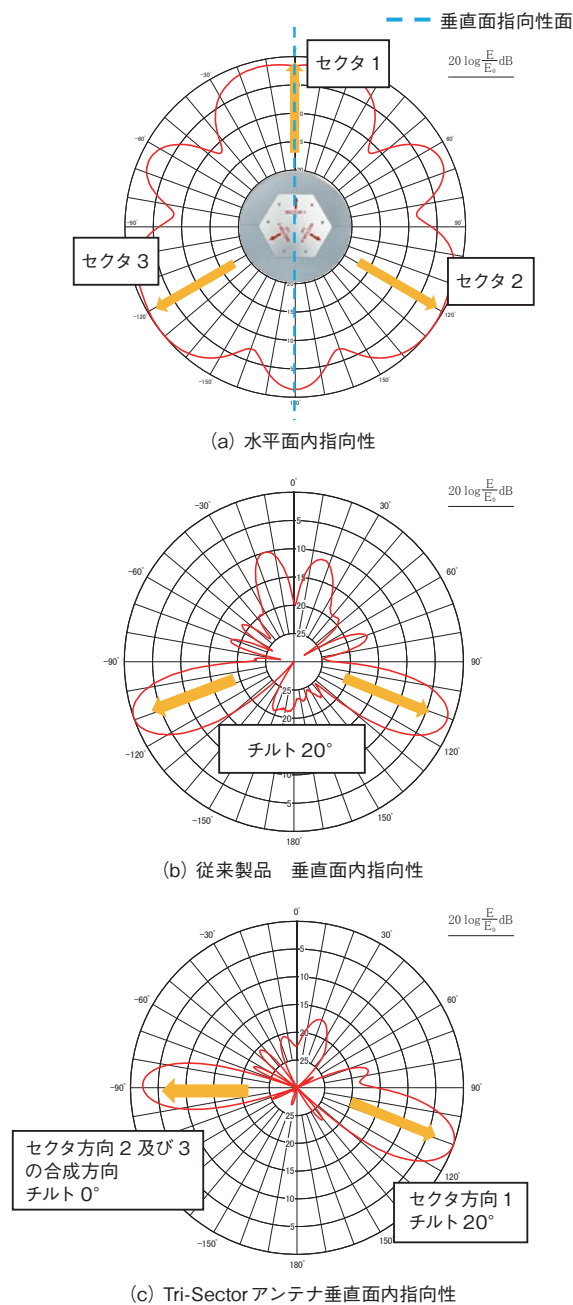


図 1 独立チルト角設定

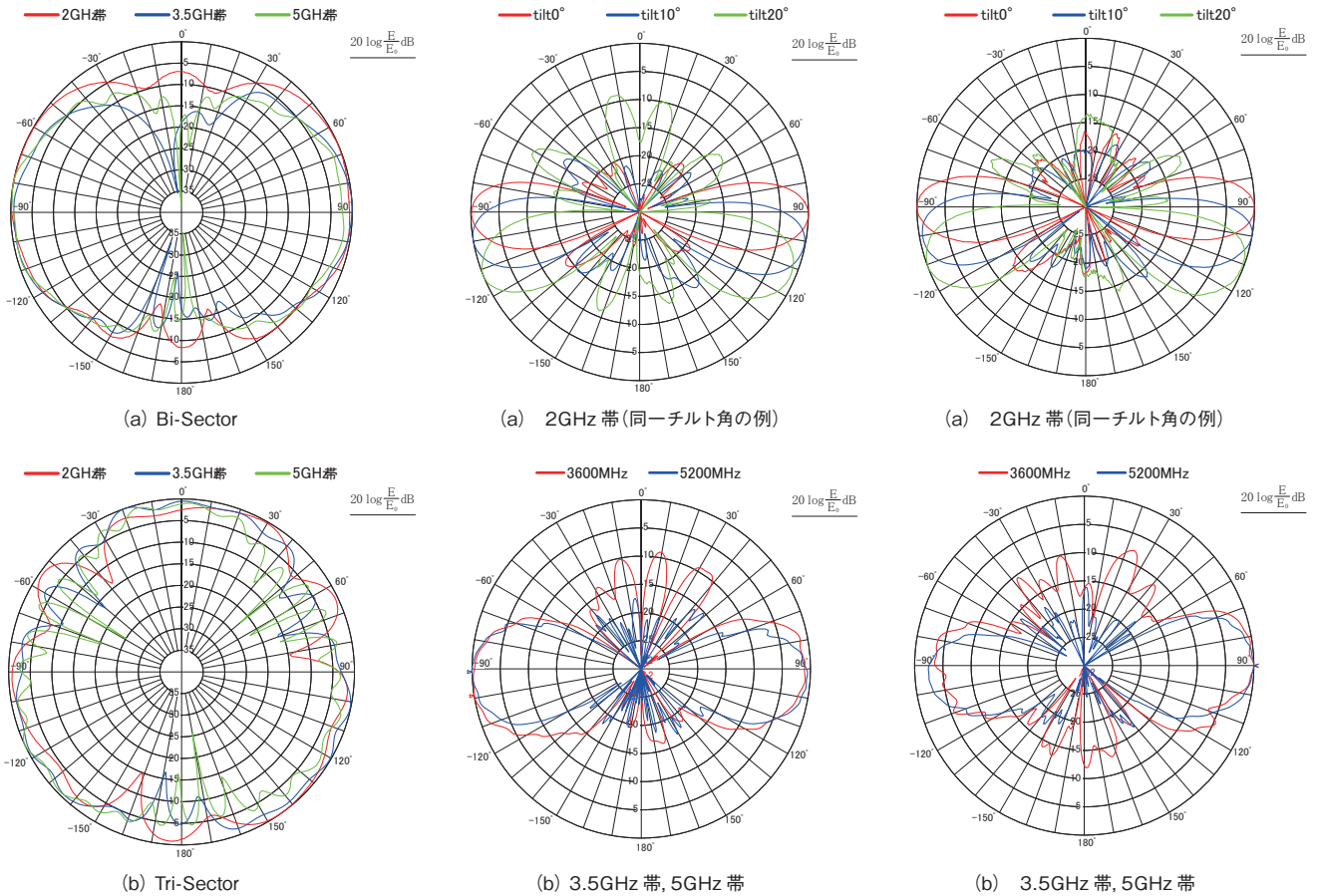


図2 水平面内指向性

図3 Bi-Sector 垂直面内指向性

図4 Tri-Sector 垂直面内指向性

のみチルト角を変更することができる。図1(c)はセクタ1をチルト20°、セクタ2および3をチルト0°に設定した時の例である。これにより、傾斜地など特殊多様な地形条件に合わせて柔軟に指向性を調整することが可能となる。

5. 指向性

図2に水平面内指向性、図3、図4に垂直面内指向性を示す。水平面内指向性はBi-Sectorアンテナが2方向合成(@180°)の双方向性、Tri-Sectorアンテナが3方向合成(@120°)の無指向性となる。なお、それぞれ2GHz帯の垂直面内指向性は独立チルト角設定が可能である。

6. むすび

北米市場向けに開発を行った独立チルト角設定が可能なストリートセル用アンテナを紹介した。本アンテナは、4×4MIMO通信とLAAを組み合わせた

高速通信に対応可能であることに加え、セクタごとに独立チルト角設定が可能な特徴を持つ。これにより、地形条件などに応じて柔軟に最適なエリア設計が実現できる製品である。

本アンテナに関するお問合せは、下記にて承ります。

〒100-0005

東京都千代田区丸の内三丁目3番1号 新東京ビル
電気興業株式会社 海外事業部 北米事業課

TEL：03-6269-9098 FAX：03-3216-1669

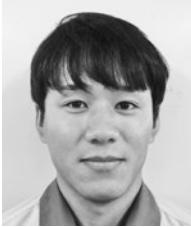
☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆



小倉 大岳
平成 13 年入社
機器統括部 移動通信技術開発部
移動通信基地局アンテナの開発に従事



三ツ木真一
平成 15 年入社
機器統括部 固定通信技術開発部
移動通信基地局アンテナの開発に従事



久保 優樹
平成 30 年入社
機器統括部 移動通信技術開発部
移動通信基地局アンテナの開発に従事



高橋 成佳
平成 5 年入社
機器統括部 移動通信技術開発部
移動通信基地局アンテナの設計に従事

製品紹介

高度 MCA 用アンテナの製品化

江守 浩太* 牧山 真之**

Advanced MCA Antenna

Kota Emori and Sadayuki Makiyama

2021年4月から運用開始される高度MCAは、国際的に標準化されたLTE技術を適用した共同利用型の自営無線システムであり、高い耐災害性、信頼性を持ち、低コスト・高セキュリティで利便性に優れた業務用無線である。

現在、高度MCAの運用に向けた中継局整備が進められているが、当社は携帯電話基地局用アンテナの開発技術を生かして高度MCA用セクタアンテナの開発に取り組み、2019年度までに4機種のアンテナの製品化を行った。

本稿では、新たに製品化した2機種のアンテナを紹介する。

Advanced MCA, which will be operational from April 2021, is a shared-use, private wireless system that applies internationally standardized LTE technology, and has high disaster resistance, reliability, low cost and high security. It is a business radio with excellent convenience.

Currently, Relay Service Station are being prepared for advanced MCA operation. And, we developed and commercialized sector antennas for advanced MCA by using our development technology for mobile phone base station antennas.

This paper introduces two types of newly commercialized antennas.

1. はじめに

業務用無線として800MHz帯デジタルMCAサービスを提供している一般財団法人移動無線センターでは、次世代の自営無線システムとして、2021年からPS-LTE技術を適用した「高度MCA」の運用をスタートさせる計画を立てている。

当社は、この高度MCA用として大ゾーン方式の中継局向けのセクタアンテナを新たに2機種製品化した。

2. 目標性能

高度MCAは、中継局ごとに必要とされるアンテナ性能が異なり、また、アンテナの設置スペースの制限でサイズを変更する必要がある。当社では2016年に3セクタアンテナハーフサイズ、2018年に6セ

クタアンテナフルサイズを製品化しており、今回は3セクタアンテナフルサイズ(以下3セクタアンテナ)、6セクタアンテナハーフサイズ(以下6セクタアンテナ)の2機種を表1の目標性能にて提案し、採用された。

表1 アンテナ性能

項目	3セクタ	6セクタ
周波数範囲	895-900MHz, 940-945MHz	
偏波面	±45°	
利得	15.5dBi以上	
水平面半値角	約85°	約45°
F/B比	≥20dB	
垂直面半値角	約7°	約15°
ビームチルト	0°~10°(可変※)	4°(固定)
VSWR	≤1.5	
偏波間結合量	≥20dB	
耐風速	60m/sec	
外形寸法	長さ2.8m以下	長さ1.5m以下

※外部チルトコントローラからリモートでチルトを可変できる(RET)構造

* 機器統括部 固定通信技術開発部

** 機器統括部 移動通信技術開発部

3. アンテナの概要

表 1 に示す目標性能を得るためアンテナ素子は、 $\pm 45^\circ$ に傾けたクロスダイポール素子を用いた。



写真 1 3 セクタアンテナ
外観

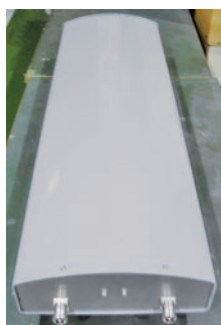


写真 2 6 セクタアンテナ
外観

3 セクタアンテナは、反射板の上にダイポール素子を水平 1 素子×垂直 10 素子の配列構造とし、円筒形の FRP レドームに収納した形状である(写真 1)。

また、内部に所望の垂直チルト角での放射を制御する位相回路を内蔵し、チルト $0^\circ \sim 10^\circ$ まで可変する構造とした。

6 セクタアンテナは、反射板の上にダイポール素子を水平 2 素子×垂直 5 素子の配列構造とし、蒲鉾形の FRP レドームに収納した形状である(写真 2)。

製品化にあたっては、これまでの製品化実績を基に基本素子形状を検討し、電気的なシミュレーションや、試作機による電氣的評価により、最適な素子間隔や反射板の大きさを決定し、製品へ反映させた。

4. 製品の電氣的特性

3 セクタアンテナの指向特性は、図 1 および図 2 に示すように良好な指向性が得られ、概ね設計通り

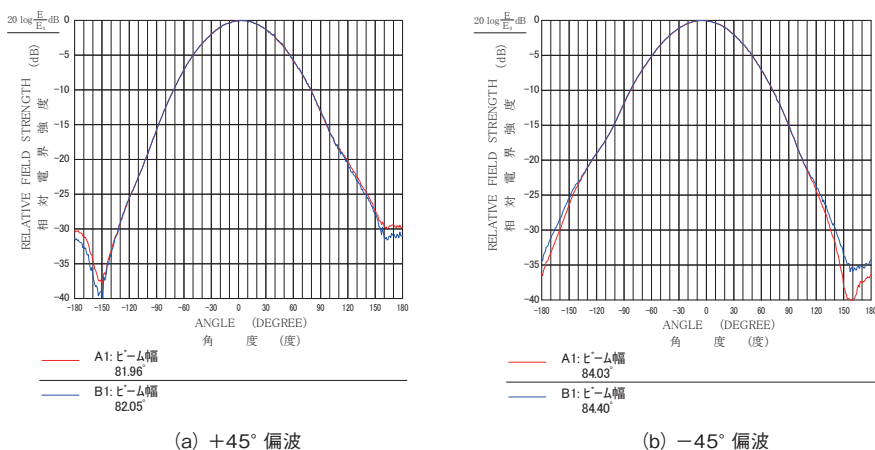


図 1 3 セクタアンテナ水平面内指向特性(基準チルト 5°)

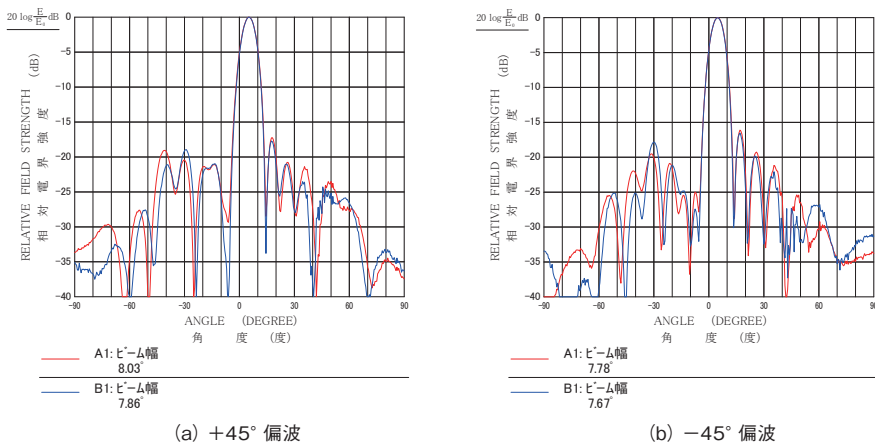


図 2 3 セクタアンテナ垂直面内指向特性(基準チルト 5°)

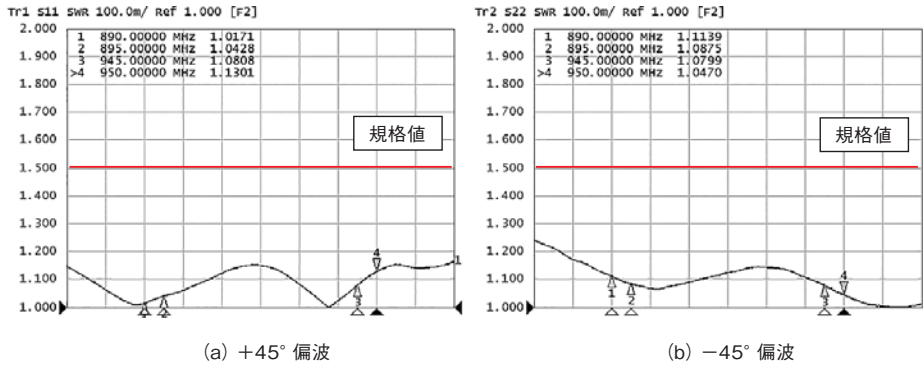


図3 3セクタアンテナ VSWR 特性(基準チルト 5°)

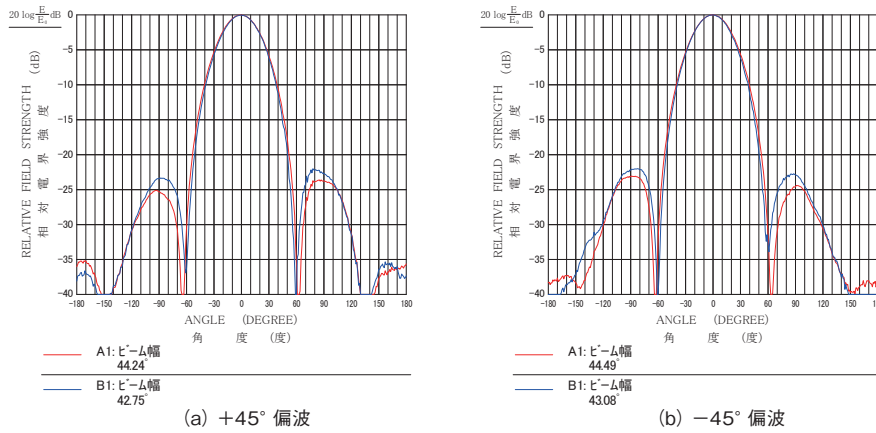


図4 6セクタアンテナ水平面内指向特性(ビームチルト 4°)

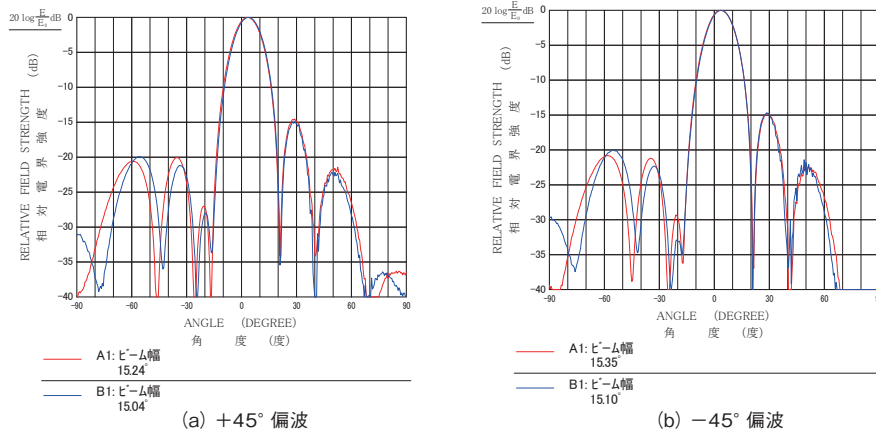


図5 6セクタアンテナ垂直面内指向特性(ビームチルト 4°)

の特性を得ている。また、図3に示す VSWR 特性についても目標性能を十分満足する特性であり、広帯域な VSWR 特性が得られている。

6セクタアンテナの指向特性を図4および図5、VSWR 特性を図6に示す。同様に、6セクタアンテナも良好な特性が得られ、設計通りの電気的特性が得られた。

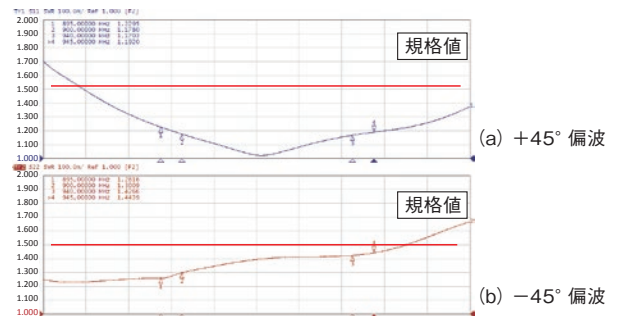


図6 6セクタアンテナ VSWR 特性

☆☆

5. む す び

今回、高度 MCA 用のセクタアンテナ 2 機種の製品化を行った。今後も、携帯電話の基地局アンテナを数多く開発し、納品している実績を生かし、多様化するお客様のニーズを満足するような製品化に取り組んでいく。

本アンテナに関するお問い合わせは、下記にて承ります。

〒100-0005
東京都千代田区丸の内三丁目3番1号 新東京ビル
電気興業株式会社 支店統括部 中央営業部
営業三課
TEL : 03-6269-9058 FAX : 03-3216-1669



江守 浩太
平成 12 年入社
機器統括部 固定通信技術開発部
通信用アンテナの開発・設計に従事



牧山 真之
平成 14 年入社
機器統括部 移動通信技術開発部
移動通信用アンテナ開発・設計に従事

製品紹介

400MHz 帯高利得 7 素子八木アンテナ
の製品化

白石 将太* 小島 大樹**
原 大貴*** 上野 衆太****

400 MHz Band High Gain 7-Element Yagi Antenna

Shota Shiraiishi, Hiroki Kojima, Hiroki Hara and Shuta Ueno

400MHz 帯災害対策用加入者系無線システムは、災害発生時に NTT ビルに設置される基地局から避難所等に設置される端末局間を無線接続することで通信インフラを確保するためのものである。このシステムに使用されるアンテナは、使用目的から可搬性や設営性が重要となり、現行品の 8 素子八木アンテナより軽量かつ小型化が求められていた。

そのため、400MHz 帯高利得 7 素子八木アンテナを開発、製品化した。本稿では、製品化したアンテナを紹介する。

The 400 MHz band disaster-prevention subscriber wireless system secures communication infrastructure in the event of a disaster, by wirelessly connecting terminal stations installed in evacuation centers and other base stations installed in NTT buildings. For the antennas used in this system, portability and ease of installation were important for the purpose of use, and it was required to be lighter and smaller than the current 8-element Yagi antenna.

For this reason, we have developed and commercialized a 400 MHz band high gain 7-element Yagi antenna. This paper introduces this antenna product.

1. はじめに

NTT で使用されている 400MHz 帯災害対策用加入者系無線システムは、災害時など有線回線が使用できない環境において、基地局と端末局を無線で接続し、特設公衆電話や特設インターネット接続サービスを可能とさせるものである。

この無線回線は、通信距離が約数 km から数 10km にわたる山岳や海上、平野、都市部など見通し外の伝搬環境で使用されており、現行品は 8 素子八木アンテナが使用されている。

一方で、災害時に迅速かつ容易に通信設備を設置することが重要となり、アンテナの小型軽量化が求められた。現行品(長さ 1.4m)の約半分の長さとしながら現行品と同等の利得を有する八木アンテナの実

現を目標として、位相差給電を利用した小型化に取り組んだ。

2. アンテナの概要

製品化したアンテナの目標性能を表 1 に、外観を図 1 及び写真 1 に示す。アンテナの形状は、位相差

表 1 目標性能

項目	諸元
使用周波数帯	417.5MHz~420.0MHz 454.9MHz~457.4MHz
利得	11dBi 以上
半値幅	H 面 80 度以下, E 面 60 度以下
VSWR	2.0 以下
偏波面	垂直, 水平偏波
インピーダンス	50Ω, NJ コネクタ
許容電力	100W 以上
アンテナ長	800mm 以下
重量	6kg 以下(固定金具含む)

* 電気通信営業統括部 営業部

** 機器統括部 固定通信技術開発部

*** 株式会社ドコモ CS 出向

**** NTT アクセスサービスシステム研究所

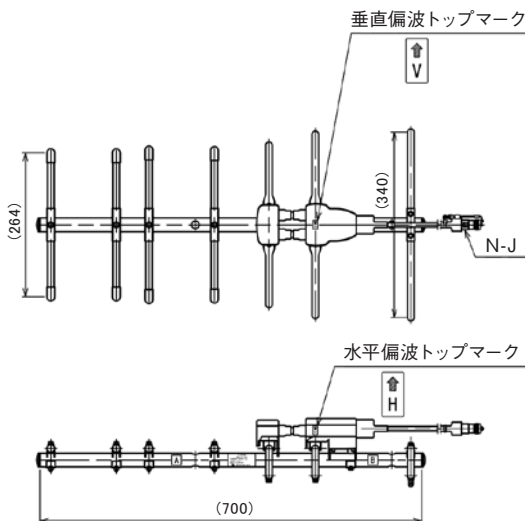


図1 アンテナ外観図

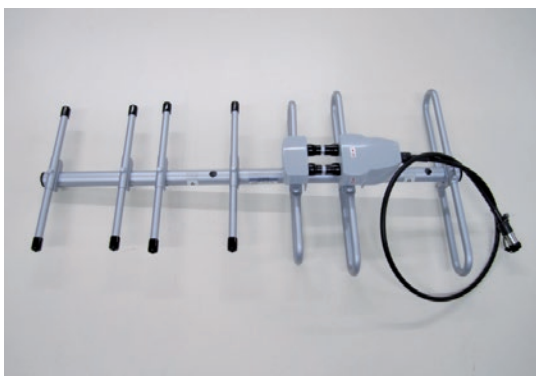


写真1 アンテナ外観

を付けて給電する2素子の放射素子と反射素子, 4つの導波素子で構成された7素子八木アンテナである。

通常の八木アンテナは、半波長の長さをもつ放射素子と放射素子より少し長い反射素子、放射素子より短い導波素子で構成され、各素子は約 $0.2 \sim 0.25\lambda$ の間隔で配列される。そのため、現行品は8素子で約1.4mの長さを有し、可搬性や設営性に課題があった。

小型化目標の全長が0.8m、利得11dBi以上を実現するためには、素子間の間隔を狭くする ($0.1\lambda \sim 0.2\lambda$) 必要があったが、VSWRの帯域が狭くなり整合とのバランスに苦労した。そこで、2つの放射素子に約 45° の位相差を付けて給電し、放射素子と反射素子をフォールデット形状とすることでVSWR帯域を広げることが可能となった。アンテナ構成は、目標とする指向性、利得を得るため7素子の八木アンテナ構成とした。

放射素子の給電部は広帯域性をもつUバルンを採用し、平衡 - 不平衡変換も兼ねている。

3. アンテナの構造と操作性

アンテナ素子間隔を短くすることで、アンテナ(boom)長は0.7mまで小型化を実現した。

更に、アンテナの材質は、可搬性を重視してエレメントはアルミ材、boomとアンテナ取付金具はステンレス材を使用し、軽量化を図った。そのため、従来の8素子八木アンテナの重量7.8kgに対して、重量4.2kgへの軽量化を実現した。

アンテナ取付け金具はU字形構造とし、同一金具を使用して取付向きを変えることで水平偏波、垂直偏波に対応できるように設計した。また、取付金具の脱着時にボルト等の部品落下防止対策として、着脱部品にはステンレスワイヤーロープを取付け、ボルトには抜け止めワッシャーを取付けた。それらに加え、着脱するボルトは全てM12六角穴付きボルトとし、製品に付属した六角棒レンチのみで組立を可能とした。アンテナ取付金具を写真2に、取付金具を装着したアンテナを写真3に示す。

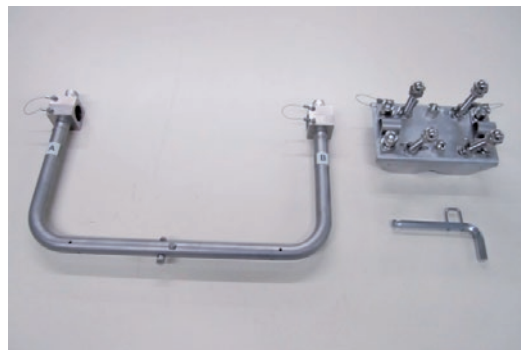


写真2 取付金具(単体部品)

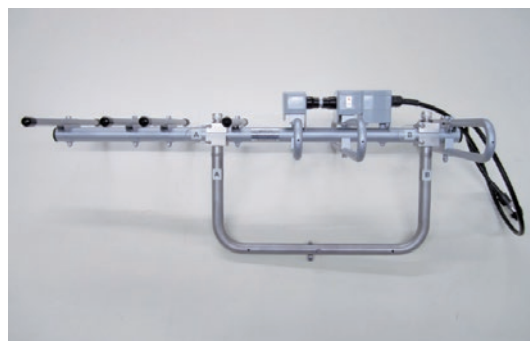


写真3 アンテナ取付金具(装着時)

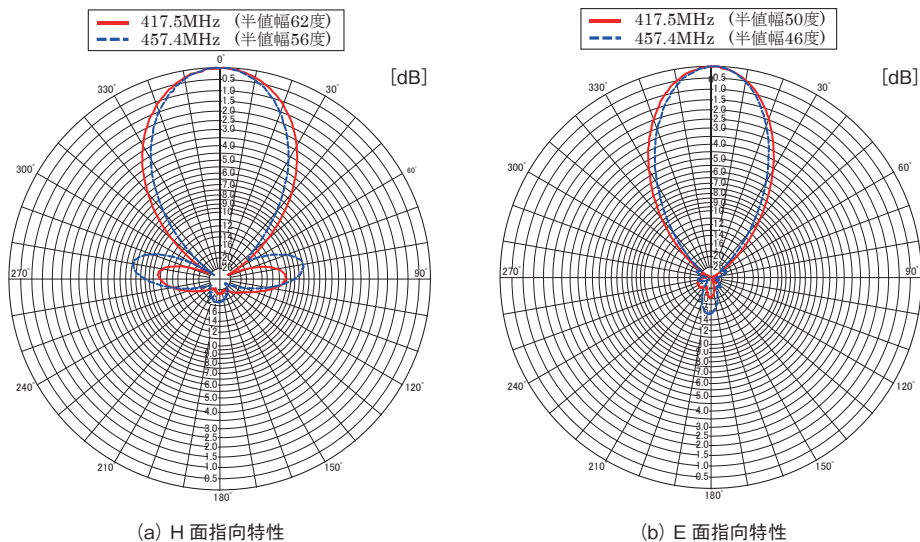


図2 指向特性

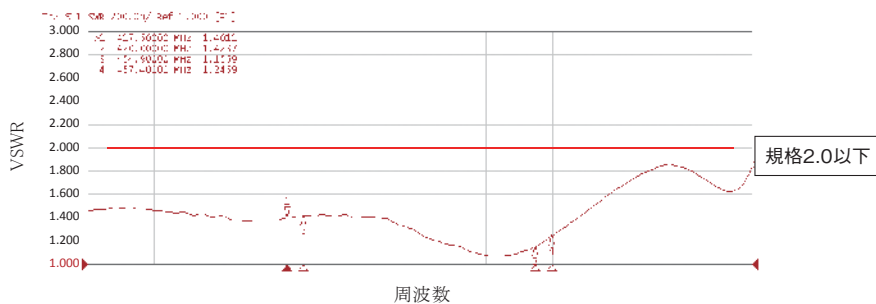


図3 VSWR 特性図



写真4 収納ケース

アンテナおよび取付金具、同軸ケーブルは持ち運びが容易なようにアルミ製収納ケースを製作し、アンテナ本体と付属品をケースに収納した。収納ケースは軽自動車に収納できる大きさ制限の要望があり、900mm以下に小型化を図った。収納ケースへの収納状態を写真4に示す。

4. 特 性

製品化した7素子八木アンテナの指向性図を図2に、VSWR特性を図3に示す。指向性及び利得、VSWRともに目標性能を満たす特性が得られた。

また、製品化にあたり、お客様の品質機能試験に対する衝撃試験、振動試験、耐電力試験、防水試験(保護等級4)を実施し、問題ないことを確認した。

5. む す び

今回は400MHz帯高利得7素子八木アンテナを製品化し、従来製品よりも約半分の長さでかつ約46%の軽量化を実現した。本製品に用いた技術は可搬性・設置性に対して優位なものであることから、今後は他の周波数帯のアンテナにも応用していく予定である。

本製品に関するお問い合わせ先は、下記にて承ります。

〒100-0005

東京都千代田区丸の内三丁目3番1号 新東京ビル
電気興業株式会社 電気通信営業統括部 営業部
営業一課

TEL : 03-3216-9475 FAX : 03-3216-1669

☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆



白石 将太
平成28年入社
電気通信営業統括部 営業部
移动通信用アンテナ等の営業に従事



小島 大樹
平成19年入社
機器統括部 固定通信技術開発部
中短波、一般通信アンテナの開発、設計
に従事



原 大貴
平成26年入社
株式会社ドコモ CS 出向



上野 衆太
NTT アクセスサービスシステム研究所
電子情報通信学会
博士(工学)

製品紹介

SHV FPU 用 42GHz 帯パラボラアンテナ

鈴木 彰* 森本 晋也*

42 GHz Band Parabolic Antenna for SHV FPU

Akira Suzuki and Shinya Morimoto

放送事業者において 4K・8K^{*1} 番組素材伝送にも対応できる次世代 FPU^{*2} の開発・実運用化が進められている。番組素材伝送用に割り当てられている周波数帯の 1 つにミリ波帯の 42GHz 帯があり、2018 年に 4K・8K 伝送用の 42GHz 帯アンテナ設備の引き合いが得られた。

今回、アンテナ開口能率の向上を図る為、副反射鏡は鏡面修正カーブを採用し、副反射鏡を 4 本のステーで支持する構造に改良することで、客先要求を満足させることができた。本報告ではアンテナの仕様、構造などについて報告する。

Broadcasters are developing and commercializing next-generation FPU's that can also support 4 K / 8 K program material transmission. One of the frequency bands allocated for program material transmission is the millimeter-wave band 42 GHz, and in 2018, inquiries for 42 GHz band antenna equipment for 4 K / 8 K transmission were obtained.

This time, in order to improve the antenna aperture efficiency, the sub-reflector adopted a mirror surface correction curve and a structure was improved to support the sub-reflector with four stays. These improvements met customer requirements. This reports on the specifications and structure of the antenna.

1. はじめに

衛星放送による 4K・8K 放送が開始されており、一層普及していくには中継番組の充実が必須である。従来から放送局外で制作するニュース・スポーツ中継などの映像・音声素材を放送局まで伝送する可搬局の無線伝送においても 4K・8K 化する必要がある、これらを伝送する送受信アンテナ設備として 42GHz 帯 0.3mφ パラボラアンテナを受注した。マイクロ波帯に比べて伝搬路の降雨の影響を受けやすい周波数帯であることから、可能な限り開口能率の高いアンテナの開発・製品化が望まれた。

2. 要求性能

要求性能を表 1 に示す。

3. 42GHz 帯 0.3mφ パラボラアンテナの構造

従来製品及び今回開発したパラボラアンテナ各部の構造を図 1 に示す。

表 1 要求性能

機械的仕様	開口径	0.3m
	焦点距離	0.075m
	固定方法	ワンタッチで組立可能な構造
	防滴・防塵	雨滴・塵等が導波管内に侵入し、性能劣化しないこと
	耐風速	30m/s
電氣的仕様	周波数帯域	41.0~42.0GHz
	偏波	水平・垂直の偏波共用
	V.S.W.R.	1.50 以下
	交差偏波識別度	主ビーム方向において 20dB 以上
	利得	37.0dBi 以上(目標 40.0dBi)

*1 4K・8K：次世代の映像規格で、4K は現行ハイビジョンの 4 倍、8K は 16 倍の画素数

*2 FPU：Field Pickup Unit 放送局外から映像・音声素材を放送スタジオへ伝送する無線中継伝送装置

* 機器統括部 固定通信技術開発部

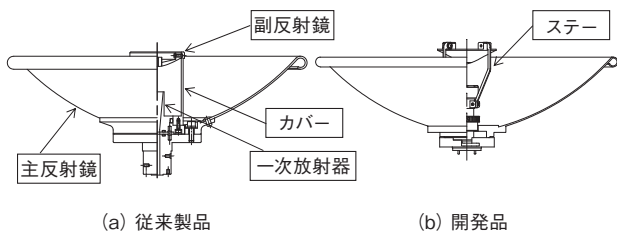


図1 42GHz帯0.3mφパラボラアンテナ

開発したアンテナの形式は、従来製品同様カセグレンアンテナを採用しており、主反射鏡、副反射鏡、一次放射器により構成されている。

従来製品ではポリカーボネート製のカバーで副反射鏡を支持しているが、42GHz帯アンテナにおいては、カバーの通過損失やカバーの加工精度、材料調達ロットの差による電気特性への影響を無視できない。また、主反射鏡は無修正の放物線カーブ、副反射鏡は無修正の双曲面カーブを採用していた為、実現可能なアンテナ開口能率には限界があり、アンテナ構造の見直しが必須であった。

今回、アンテナの開口能率の向上を図る為、主反射鏡は汎用性のある90度開口の放物線カーブ、副反射鏡は鏡面修正カーブを採用した。また、電気特性への影響低減のため、副反射鏡を4本のステーで支持する構造に改良し最適化を図った。

3.1 反射鏡部

カセグレンアンテナを設計する上で開口能率・サイドロブレベル等を決める要素として次のものが挙げられ、それぞれの最適化が必要である。

- ①主反射鏡からの漏洩電力
- ②副反射鏡からの漏洩電力
- ③副反射鏡によるブロッキング
- ④副反射鏡支持材によるブロッキング
- ⑤鏡面の凸凹による電力散乱
- ⑥開口面分布

反射鏡が無修正曲線の場合、①～③を考慮すると主反射鏡サイズにより副反射鏡、一次放射器開口寸法は自ずと決定され、アンテナ開口能率は50～60%程度となる。反射鏡を修正曲線とすることでアンテナ開口能率を上げることができるが、主反射鏡・副反射鏡共に修正することは他用途のアンテナに流用できない可能性があり、都度反射鏡を製作するための設備投資も必要である。

本アンテナを設計するにあたり、自社設計ソフト(SSCAMAEDP, BEDCCDA1)を用い、主反射鏡は

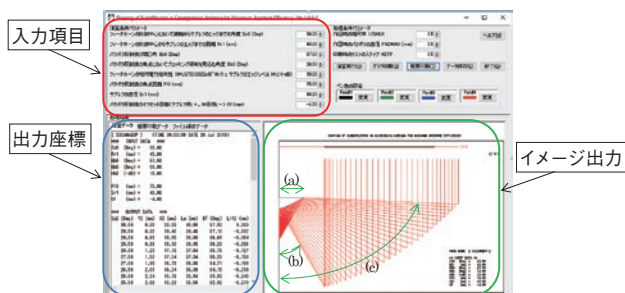


図2 鏡面設計プログラム

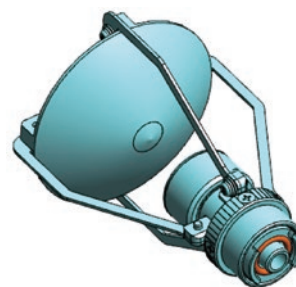


図3 一次放射部 構造

90度開口鏡面とし、副反射鏡のみ鏡面修正する方法で開口能率向上を図った。

プログラム出力結果の一例を図2に示す。従来の修正鏡面設計方法からの変更点として、副反射鏡径(a)を大きくするため、反射鏡焦点と副反射鏡部ブロッキング領域がなす角度(b)を大きく設定したほか、主反射鏡設計開口角(c)を大きく設定し、副反射鏡のエッジレベルを高く設定することで開口能率を最優先として最適化した。

3.2 一次放射部

開発品の一次放射部を図3に示す。本アンテナは可搬用として使用されるアンテナであることから、運用時の組立性を考慮し、副反射鏡、ステー、一次放射器は一体構造とした。

一般的にカセグレンアンテナの一次放射器としては、コルゲートホーン、フレアチェンジホーン、コンカルホーンなどが採用される。コルゲートホーンやフレアチェンジホーンは、広帯域でE面、H面の指向性が揃っており、パラボラアンテナの高効率化には有利であるが、構造も複雑になり、質量が増えることに加えてコスト高となる。本件では、要求仕様の被帯域周波数が2.5%以下であったことから、一次放射器はコンカルホーンを採用した。

副反射鏡を支持するステーは、運用時の組立・分解時に手でつかんで使用されることも想定し、耐風

速仕様以上の機械的強度が必要となる。一方で、電気的にはステーによるブロッキング面積を極力小さくし、遮蔽損や散乱波を小さくすることが好ましい。以上より、ステンレス製のステーを採用し、ステーの厚み方向を薄く、幅方向で機械的強度を持たせる設計とした。ステーの取り付け位置、角度については、ステーによる散乱波が小さくなるように電磁界解析ソフトウェア(WIPL-D)で最適化した(図4)。

3.3 組立方法

本アンテナは反射鏡部、一次放射部、アンテナマウント部の3種類で構成されており、図5の通り2工程で組立でき、組立工具等を必要としない構造となっている。

反射鏡とアンテナマウントの接続は、カメラのレンズ接続機構として使われているベローズマウント機構を採用しており、反射鏡をレールに合わせてはめ込み、反射鏡を回転させてロックできるワンタッチ機構となっている。

一次放射部とアンテナマウントの接続は、キー溝付きインロー構造を採用している。一般的にミリ波帯導波管接続においては位置決めピン付きの規格フランジが使用されるが、ピンの強度が弱く、繰り返し組立・分割するような可搬局の運用には適していない。本構造としたことで繰り返し使用による接続精度の劣化を抑制し、長期にわたってアンテナ性能の再現性が期待できる。

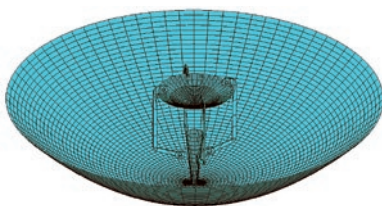


図4 解析モデル

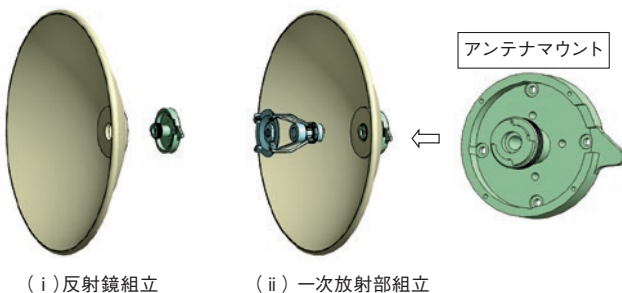


図5 アンテナ組立方法

3.4 収納方法

屋外での使用、繰り返し運搬を想定して、収納袋の材質は耐久性の高いビニロン帆布を採用している。アンテナ収納袋には反射鏡及び一次放射部が収納され、アンテナマウントは高周波部に取り付けた状態で保管される。

収納袋内の緩衝材としては、耐候性、耐薬品性、断熱性、加工性に優れたポリエチレンフォームを採用し、アクリルケースに収納された一次放射部と反射鏡を保護した構造としている(図6)。

4. アンテナ外観・特性

開発したアンテナの水平面内指向性を図7に、絶対利得を表2に、アンテナ及び収納袋の完成写真を写真1に示す。

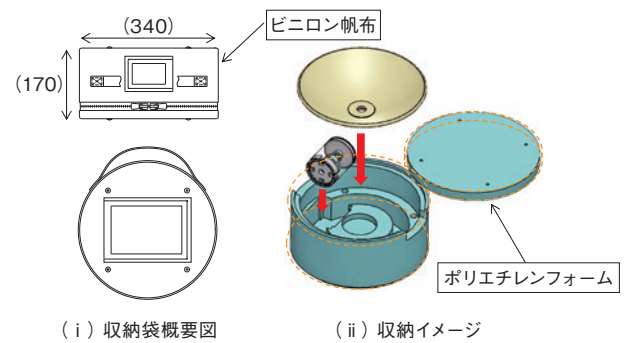


図6 アンテナ収納方法

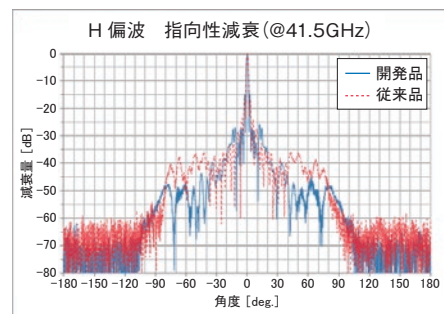
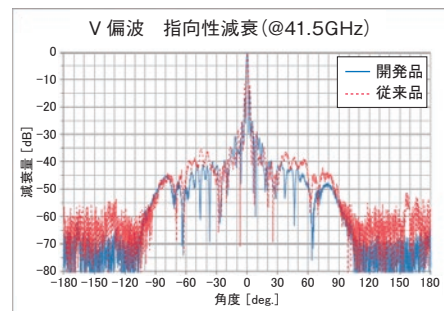


図7 水平面内指向性(従来製品比較)

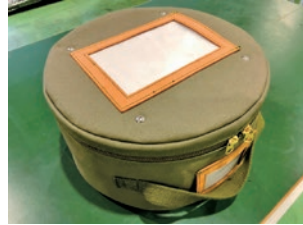
表2 アンテナ絶対利得(従来製品比較)

	41.0GHz	41.5 GHz	42.0 GHz
従来品 [dBi]	39.3 (51%)	39.1 (48%)	38.8 (44%)
開発品 [dBi]	39.9 (59%)	40.5 (66%)	41.0 (72%)

※表中()内数値はアンテナ開口能率を示す



(i) 0.3mφパラボラアンテナ



(ii) 収納袋

写真1 42GHz帯0.3mφパラボラアンテナ

従来品の水平面内指向性に比べて、V偏波、H偏波共に正面方向からの離隔が30°以上の角度でサイドローブ特性が改善できた。絶対利得についても大幅に高効率化(表2参照)することができており、客先目標性能の値を得ることができた。

また、VSWRは1.2程度、交差偏波識別度は40dB程度となり、客先仕様を満足することができた。

5. むすび

今回、副反射鏡曲線及び副反射鏡支持構造の見直しを実施し、従来品の電気特性(利得・指向性)から改善することができた。本アンテナの設計方法は、副反射鏡のみの修正でアンテナ特性改善が期待でき、主反射鏡は既存品を流用できることから、大幅な設備投資することなく現行品のアンテナ性能向上が可能となる。

本アンテナは2019年に納品を行ったが、ミリ波帯アンテナ特有の製作ロットによる電気特性のバラツキや組立前後での特性変動もなく、今回の設計・製造・組立方法の有効性を確認することができた。

6. 営業窓口

本アンテナに対するお問合せは、下記にて承ります。

〒100-0005

東京都千代田区丸の内三丁目3番1号 新東京ビル
電気興業株式会社 中央営業部 営業一課

TEL : 03-6269-9057 FAX : 03-3216-1669

謝 辞

執筆にあたり、ご協力いただいた関係各位に謹んで感謝申し上げます。

☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆



鈴木 彰

平成12年入社
機器統括部 固定通信技術開発部
機構設計に従事



森本 晋也

平成16年入社
機器統括部 固定通信技術開発部
マイクロ波アンテナの開発・製造に従事

製品紹介

鍛造ラック調質実験装置の開発

坪川 武史*

Development of Forged Rack Refining Test Equipment

Takeshi Tsubokawa

鍛造ラックは、鍛造前の軟化焼鈍と鍛造処理のため、金属組織が不均一となる。しかし、鍛造後工程で高周波焼入れを行うためには、金属組織の均一化を図る必要がある。金属組織均一化処理のことを調質といい、従来は電気炉で行っていた。今回、鍛造ラックの調質を、電気炉から高周波誘導加熱への切替えを検討していた顧客への実験装置の受注・納入を実現したため、報告する。

Metal structure of a forged rack is not uniform due to softening annealing and forging process before forging. However, in order to perform induction hardening in the post-forging process, it is necessary to make the metal structure uniform. Metal structure homogenization treatment is called refining and was conventionally performed in an electric furnace. This time, an experimental equipment using high-frequency induction heating for a forged rack was ordered and delivered for a customer who plans to switch from the electric furnace to the high-frequency induction heating. The forged rack refining test equipment is reported.

1. はじめに

ラックバーは、自動車のステアリングユニット部品の一つであり、鍛造ラックとは、歯面を鍛造加工しているラックバーのことを言う。鍛造品は金属組織が均一ではなく、高周波焼入れを行うためには調質の必要がある。

調質とは、JISにおいて「焼入硬化後、比較的高い温度(約400℃以上)に焼戻して、トルースタイト又はソルバイト組織にする熱処理のこと」と定義されている。金属組織の均一化や硬度の調整を行うことで機械加工を容易にさせ、歪の少ない製品を作ることが目的としており、高周波焼入れの前処理としても必要な処理の一つとなっている。

一般的に、この作業は電気炉を使用しているが、バッチ処理であるため下記のような問題がある。

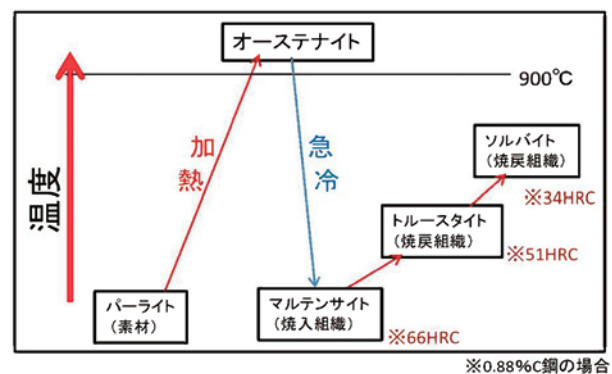
- ・インライン化が出来ない
- ・小ロット多品種に対応できない
- ・環境負荷が大きい

上記課題を解決しつつ調質の品質確保を図るため、高周波加熱による試作を行った。

2. 調 質

調質は、焼入焼戻のひとつであるが、焼入れの工程では、芯部まで加熱するズブ焼入れを必要とする。焼戻しでは、要求される熱処理仕様を満たせるよう、ワーク材質にあった加熱温度を選定する。

加熱温度による金属組織と0.88% C鋼の場合における硬さの移り変わりの略図を図1に示す。図1の焼入後(マルテンサイト)は0.88% C鋼の場合、66HRC程度となる。焼戻硬度はトルースタイトが51HRC、ソルバイトが34HRC程度と大きく異なる



※0.88% C鋼の場合

図 1

* 高周波統括部 設計部

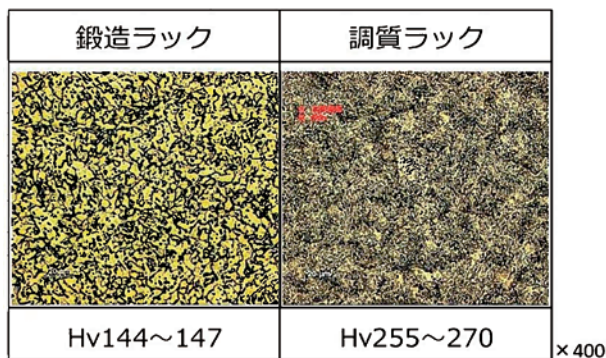


写真 1

ため、硬度の確認でも金属組織の推定が可能である。

また、調質の有無による金属組織写真を写真 1 に示す。この写真から分かるように、鍛造ラックは調質後のラックに比べて金属組織が偏っている。この状態では焼入れした際に品質にばらつきがでるため、高周波焼入れに適さない。

3. φ 24mm 鍛造ラックでの評価

S48C 鍛造ラックを用いて調質の評価を行い、周波数、送り速度等を調整することで内部まで十分に加熱しつつ、表面の過加熱抑制を可能にする条件を見つけた。その時の加熱条件を表 1 に示す。

調質の確認のため、焼入れおよび焼入焼戻それぞれについて、鍛造ラックの断面硬さと腐食によるマクロパターンを確認した(図 2・3)。

図 3 の X・Y・Z・R の硬度比較から、表面だけでなく、内部まで調質されていることが確認できる。

表 1

		焼入れ	焼戻し
焼入れのみ	送り速度	9.5mm/sec	/
	電力	64kW	
	周波数	1.8kHz	
焼入焼戻	送り速度	9.5mm/sec	7.0mm/sec
	電力	64kW	14kW
	周波数	1.8kHz	1.7kHz

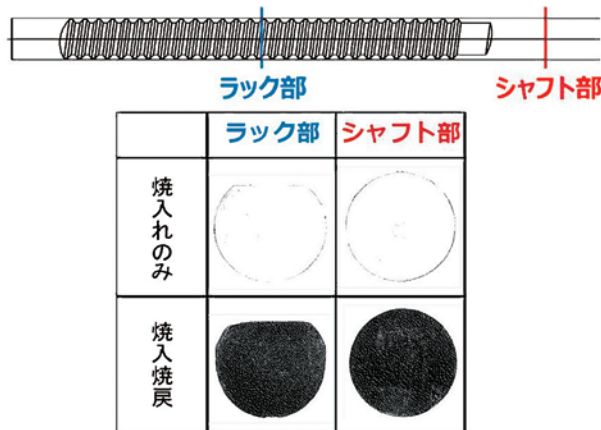


図 2

(単位:HRG)

		X	Y	Z	R
焼入れのみ	ラック部	58.8	58.7	59.9	59.2
	シャフト部	59.2	58.8	58.7	59.0
焼入焼戻	ラック部	29.4	29.2	29.6	29.2
	シャフト部	29.5	30.5	31.7	29.8

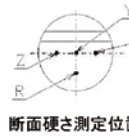


図 3

4. む す び

φ 24mm シャフトの高周波誘導加熱による調質を可能にした。今後は、より大きな部品についてもテストを進めていくことで、高周波誘導加熱による調質設備のインライン化として展開していく。

本製品に関するお問い合わせは、下記にて承ります。

〒 100-0005

東京都千代田区丸の内三丁目 3 番 1 号 新東京ビル

電気興業株式会社 高周波統括部 営業部

TEL : 03-3216-9433 FAX : 03-3216-1669

☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆



坪川 武史

平成 20 年入社

高周波統括部 設計部

高周波熱処理技術の設計・試作に従事

製品紹介

TRB 焼入設備

齊脇桂一郎*

TRB Quenching Equipment

Keiichiro Saiwaki

TRB^{*1}の内周・外周・ヌスミの3か所を、発振機3台で、同一周波数によって、同時加熱するテスト装置の設備を納品した。発振機3台を用い、同一ワークに近接した状態のコイル3台を同時発振する設備は他にない。そこで、干渉シミュレーション・予備試験を行った後、設備を製作・納品した。

A test equipment which heats three places of TRB, inner circumference, outer circumference, and reliefs at the same frequency with three oscillators was delivered. There is no other equipment that uses three oscillators and simultaneously oscillates three coils close to the same work. After performing an interference simulation and preliminary test, the equipment was manufactured and delivered.

1. はじめに

TRBとは、円錐ころ軸受ともいわれ(図1)、重荷重や衝撃荷重がかかる用途に適したベアリングである。自動車の前輪や後輪部、工作機械の主軸などに利用されており、サイズも大小様々である。

このベアリングは、内輪用と外輪用の2種類から構成されており、内輪用は、内周・外周・ヌスミ部の3か所を、回転させながら、同時加熱・同時冷却を行うことにより、ワークの内周・外周・上下端面の全周焼入を行う(図2、図3)。内周用発振機は、周波数100/200kHz、出力300kW、外周用発振機は、周

波数100/200kHz、出力100kW、ヌスミ用発振機は、周波数50/100kHz、出力100kWの性能が要求されており、発振機間の相互干渉が懸念される。

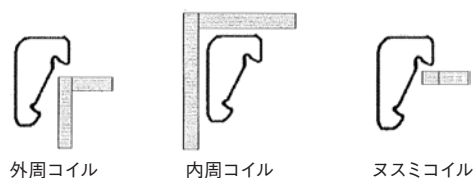


図2 TRB内輪(断面図)と各コイル

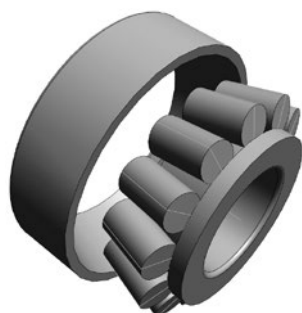


図1 TRB

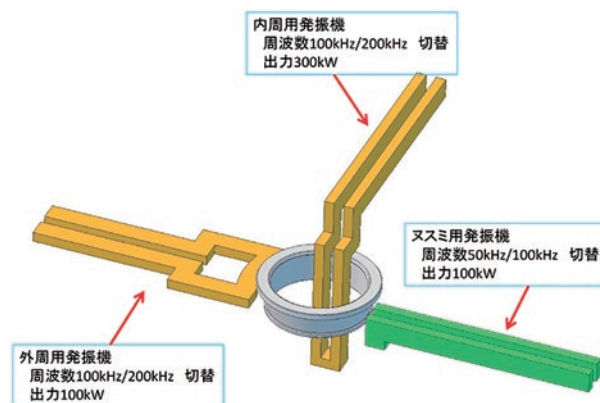


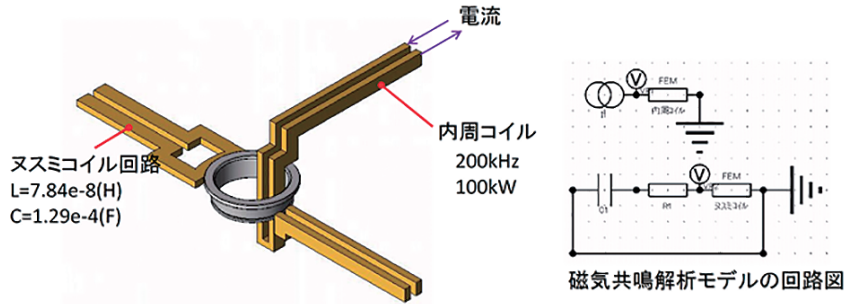
図3 3台同時加熱図

* 高周波統括部 生産技術部

*1 TRB: テーパーローラーベアリング

内周コイルのみ使用時の磁気共鳴モデル解析

内周コイル使用時に、磁気共鳴により、ヌスミコイル回路に電流・電圧が生じると仮定する。
ヌスミコイルの回路を $L=7.84e-8(H)$ 、 $C=1.29e-4(F)$ の直列共振回路とする。

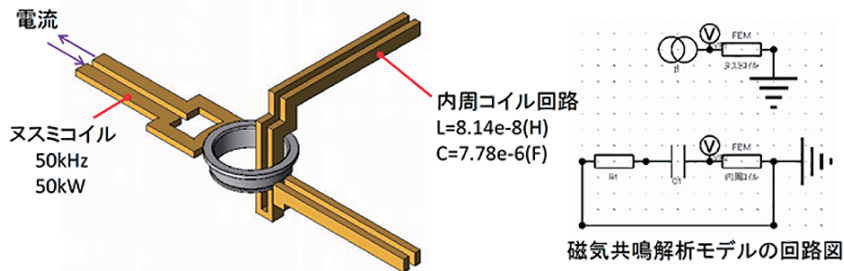


結果テーブルおよび回路図より、
ヌスミコイル端子間に生じる電圧:実部1.32V 虚部0.04
電流:実部0.16A 虚部0.08

図4 シミュレーション 1

ヌスミコイルのみ使用時の磁気共鳴モデル解析

ヌスミコイル使用時に、磁気共鳴により、内周コイル回路に電流・電圧が生じると仮定する。
内周コイルの回路を $L=8.14e-8(H)$ 、 $C=7.78e-6(F)$ の直列共振回路とする。



結果テーブルおよび回路図より、
内周コイル端子間に生じる電圧:実部0.51V 虚部-0.053
電流:実部0.10A 虚部0.026

図5 シミュレーション 2

2. シミュレーション

相互干渉が懸念されるため、まず、シミュレータで影響を確認した。内周コイルに200kHz,100kW,ヌスミコイルに50kHz,50kWを投入したときのシミュレーション結果は、内周コイルに電流を流したときに相互干渉によりヌスミコイルに生じる電流が0.16A,電圧が1.32Vとなった(図4)。逆に、ヌスミコイルに電流を流したときの内周コイルに生じる電流は0.10A,電圧は0.51V,それぞれのコイル電流入力値は6,700~9,000A(図5)なので、相互干渉により生じる電流は非常に小さいという計算結果となった。

3. 予備試験

発振機2台で動作検証を行った(写真1)。まず、内周コイルに244kHz,4kW,ヌスミコイルに100kHz,0.3kWを投入したときの発振波形は安定しており、相互干渉していなかった(写真2)。次に、2台の発振機が近い周波数で発振させることを考慮し、内周コイルに207kHz,2.3kW,ヌスミコイルに193kHz,2.5kWを投入したときの波形を観測したが、安定した出力をしており、相互干渉は見られなかった。

内周コイルと内周・ヌスミコイルが近接状態のため、相互干渉を懸念していたが、シミュレーション・予備実験で相互干渉がないことが証明された。

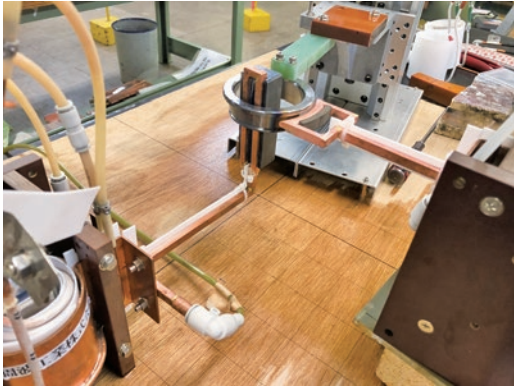


写真1 予備実験

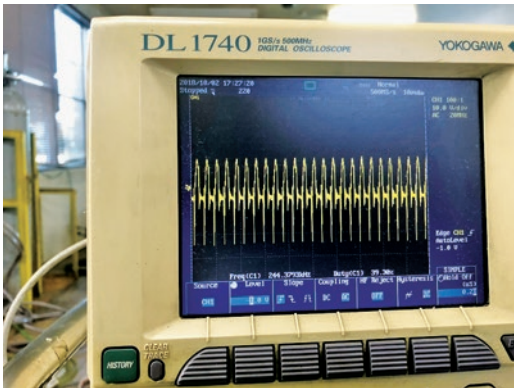


写真2 発振波形



写真3 設備画像

4. 設 備

実際の設備を写真3に示す。実機による社内試験において 30kW の出力で3波同時加熱を行い、問題なく加熱することができた。ワーク押さえ治具やコイル位置の問題により、社内では、これ以上出力をあげられなかったが、治具の改修後、客先において出力を上げていく予定である。

5. む す び

TRB 焼入設備において、発振機 3 台でワークの内周・外周・ヌスミの 3 か所を同時加熱する方式を適用した。シミュレーションと予備実験により問題ないことを確認し、3台同時加熱の知見を得ることができた。

本製品に関するお問い合わせは、下記にて承ります。

〒 100-0005
 東京都千代田区丸の内三丁目3番1号 新東京ビル
 電気興業株式会社 高周波統括部 営業部
 TEL：03-3216-9433 FAX：03-3216-1669

☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆



斉脇 桂一郎
 平成 11 年入社
 高周波統括部 生産技術部
 高周波熱処理技術の開発に従事

製品紹介

電源部一体型高光度航空障害灯

加藤 慎一* 穂坂 嘉久*
 高橋 亮* 庄子 朋彦**

High Luminosity Aviation Obstacle Light Integrated with Power Supply

Shinichi Kato, Yoshihisa Hosaka, Ryo Takahashi and Tomohiko Shouji

当社は、海外市場で航空障害灯の設計・製造を手がけるメーカーと共同で、日本国内向け LED 航空障害灯の開発・販売に取り組んでいる。LED 航空障害灯の販売には、それぞれの灯器について、国土交通省の承認を取得する必要がある。

当社は、これまで多様な顧客のニーズに応えるため、高光度（電源部分離型）、中光度白色／赤色（電源部分離型および電源部一体型）、中光度赤色（電源部一体型）、低光度（電源部一体型）と航空障害灯のラインナップを取り揃えてきた。本稿では、2019 年度に新たに国土交通省の承認を取得した、高光度航空障害灯（電源部一体型）の概要について紹介する。

We are developing and selling LED aviation obstacle lights for Japanese market in collaboration with manufacturers designing and manufacturing aviation obstacle lights for overseas markets. The sale of LED aviation obstruction lights requires approval for each light by the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism.

Until now, to meet the needs of various customers, we have high luminosity (separated power supply type), medium luminosity white / red (separated and integrated power supply type), and medium luminosity red (integrated power supply type), low luminosity (power supply integrated type) and aviation obstruction light in our lineup. This paper introduces an overview of the high-luminosity aviation obstruction light (with integrated power supply), which was newly approved by the Ministry in fiscal 2019.

1. はじめに

航空機の航行の安全を確保するため、地表または水面から 60m 以上の高さがある物件の設置者には、航空法⁽¹⁾により、航空障害灯／昼間障害標識の設置が義務付けられている。航空障害灯の設置基準例を図 1 に示す。

航空障害灯の種類は、高光度航空障害灯・中光度白色航空障害灯・中光度赤色航空障害灯・低光度航空障害灯に大別され、今回紹介する製品は、高光度航空障害灯（電源部一体型）FX-7C-200K である。

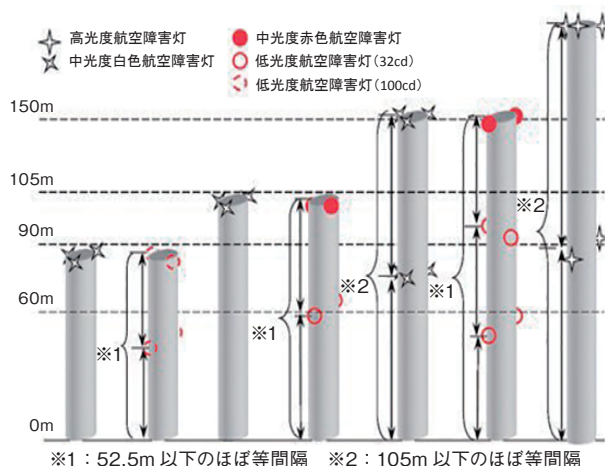


図 1 航空障害灯設置基準例（煙突、鉄塔、柱その他）

* 機器統括部 固定通信技術開発部
 ** 支店統括部 西日本エリア本部 九州支店

表 1 高光度白色航空障害灯 光学性能

モード	ビーム角			実効光度 (cd)			
	ビーム角 光度 (cd)	鉛直	水平	ピーク値	鉛直角度		
					-10°	-1°	0°
昼間 (H)	75,000	3° 以上 7° 以下	120° 以上	200,000 ± 25%	7,500 以下	75,000 以上 112,500 以下	200,000 ± 25%
薄明 (M)	7,500	3° 以上 7° 以下	120° 以上	20,000 ± 25%	750 以下	7,500 以上 11,250 以下	20,000 ± 25%
夜間 (N)	750	3° 以上 7° 以下	120° 以上	2,000 ± 25%	75 以下	750 以上 1,125 以下	2,000 ± 25%

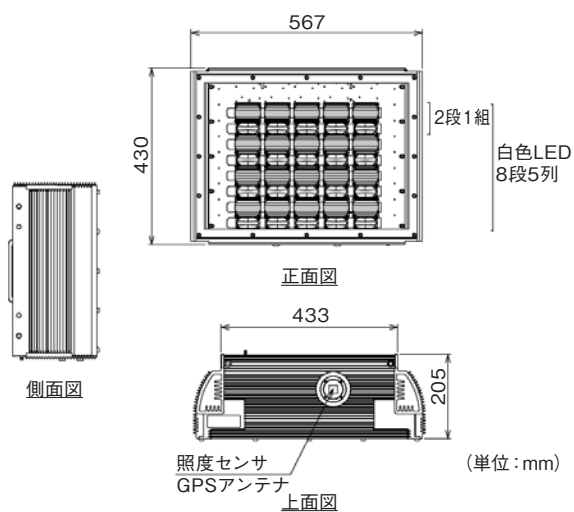


図 2 高光度航空障害灯(電源部一体型)の概略

2. 概要

本装置の光学特性の詳細を表 1 に、概略寸法を図 2 に、製品を写真 1 に示す。昼間に実効光度 150,000cd*1~250,000cd、薄明に実効光度 15,000cd~25,000cd、夜間に実効光度 1,500cd~2,500cd で白色閃光する航空障害灯である。発光部と電源部を同一の筐体に収めているため、電源部分離型航空障害灯と比較し、構成部品点数とイニシャルコストの低減を図ることができる。

3. 製品特徴

本装置は、発光ダイオードを光源とした電源部一体型の高光度航空障害灯であり、国内初の取組みである。国土交通省の航空障害灯に関する仕様書(灯仕第 261 号)には、従来、高光度航空障害灯(電源部一

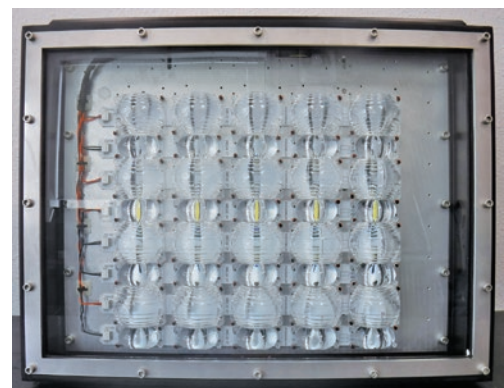


写真 1 高光度航空障害灯(電源部一体型)

体)は記載がなかったが、今回、当社で本装置を開発したことにより、仕様書に追加となった。[国空管技第 318 号]

本製品は、高信頼性・高輝度 LED を光源に採用していることに加え、排熱効率に優れた筐体設計の実現により、他社従来機と比較して、大幅な光源寿命の改善を図っている。白色高輝度 LED の光源寿命は約 50,000 時間という高信頼性を有する(他社従来機のキセノンランプ寿命は約 10,000 時間)。

筐体上部には、GPS アンテナを搭載しており、GPS の時刻信号により、複数の航空障害灯の閃光を同期させることができる。この機能は、複数の航空障害灯が地理的に離れた物件に搭載される状況において非常に有効であり、航空障害灯を一律に制御する管制器を用いることなく、動作させることができる。

また、本装置は、発光部分を追加設置することが可能な設計となっており、将来、赤色を発光する航空障害灯が必要になっても、写真 2 の部分に赤色発光部を追加設置することで対応が可能となっている。

*1 cd：カンデラ。光度の単位

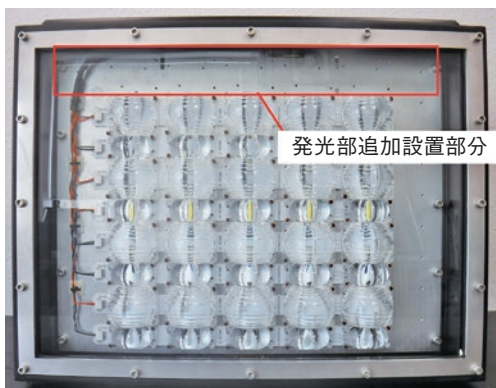


写真2 発光部追加設置

4. む す び

当社が扱う航空障害灯は、海外メーカの優れた技術を日本の品質要求に適合させた製品である。今後は、高機能、小型・軽量、低消費電力のさらなる向上を追求し、改良を重ねていきたい。また、航空障害灯以外にも、長寿命な高輝度照明が求められる領域にターゲットを広げ、新たな市場を開拓したい。

本製品に関するお問い合わせは、下記にて承ります。

〒100-0005

東京都千代田区丸の内三丁目3番1号 新東京ビル
電気興業株式会社 支店統括部 中央営業部
営業四課

TEL : 03-6269-9058 FAX : 03-3216-1669

参 考 文 献

- (1) 航空法 第五十一条
- (2) 航空障害灯に関する仕様書

☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆



加藤 慎一
平成2年入社
機器統括部 固定通信技術開発部
航空障害灯システムの開発・設計に従事



穂坂 嘉久
平成5年入社
機器統括部 固定通信技術開発部
航空障害灯システムの開発・設計に従事



高橋 亮
平成29年入社
機器統括部 固定通信技術開発部
航空障害灯システムの開発・設計に従事



庄子 朋彦
平成13年入社
支店統括部 西日本エリア本部 九州支店

創立70周年記念特集

- 特集1 移動通信の取り組み
- 特集2 固定通信の取り組み
- 特集3 放送の取り組み
- 特集4 マイクロ波通信の取り組み
- 特集5 鉄塔事業への取り組み
- 特集6 高周波事業への取り組み

移動通信の取り組み

ワイヤレス研究所 西澤 俊一

日本における移動通信システムの契約数は1.7億契約となっており、携帯電話の屋外基地局数も86万局にのぼっている。(2018年8月現在)さらに、2019年には5Gの周波数が配分されたことから基地局数はさらに増加すると考えられる。本稿では携帯電話の現状とその変遷について述べるとともに、電気興業の主領域である携帯電話基地局アンテナの変遷について述べる。基地局アンテナは、携帯電話システムの中で処理され有線が確実に伝達された信号を空中に解き放つ入り口になる部分であり、携帯電話の使用できるエリアを決定づけるキーパーツといえる。

1. 携帯電話の現状と変遷

1.1 携帯電話の契約数

日本における移動通信システム(携帯電話+無線アクセスBWA)の契約数は図1.1に示すように2018年3月末時点で1億7千万人に達している(2019年12月では1億8千万人)。

また、月間トラフィックは1年で1.4倍に増加しており、5Gが始まることで更にトラフィックが大きく伸びると考えられる。この背景にはスマートフォンの普及があり、動画配信等の利用拡大がトラフィックを増加させていると考えられる。

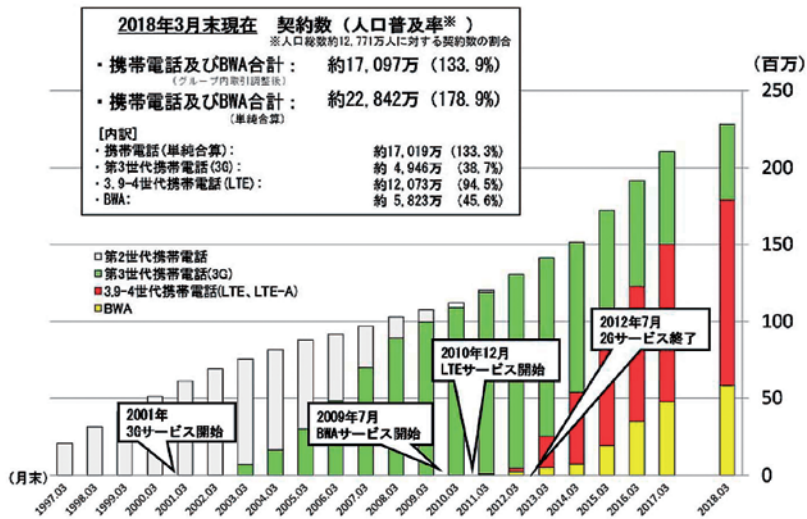


図 1.1 携帯電話契約数
(2018年8月 携帯電話・全国BWAに係る電波の利用実態調査の評価結果 総務省)

1.2 世代と通信速度

図1.2に各世代における通信速度を示す。10年毎に世代交代し第1世代の10kbpsから第5世代では10Gbpsに6桁(10万倍)の高速化が実現された。

1.3 各社への周波数の割り当て

携帯電話事業者ならびに全国BWA事業者(UQ)の割り当てられた周波数は図1.3.1の通りである。平成30年には、LTE用として1.7GHz帯がKDDI及び楽天に、3.4GHz帯がドコモ及びソフトバンクに割り当てられた。

2019年には図1.3.2に示すように5G用周波数として3.7GHz帯を4社に(KDDIは2枠)、4.5GHz帯をドコモに、28GHz帯を4社に割り当てられた。



図 1.2 世代毎の通信速度
(2019年6月 第5世代移動通信システム(5G)の今と将来展望 総務省)

	700MHz帯	800MHz帯	900MHz帯	1.5GHz帯	1.7GHz帯	2GHz帯 ^{※1}	2.5GHz帯 ^{※1}	3.4GHz帯	3.5GHz帯	合計
	FDD	FDD	FDD	FDD	FDD	FDD	TDD	TDD	TDD	
docomo	20MHz	30MHz	—	30MHz	40MHz 東名路のみ	40MHz	—	40MHz	40MHz	240MHz
au	20MHz	30MHz	—	20MHz	40MHz	40MHz	—	—	40MHz	190MHz
UQ Communications	—	—	—	—	—	—	50MHz 全国BWA	—	—	50MHz
SoftBank	20MHz	—	30MHz	20MHz	30MHz	40MHz	—	40MHz	40MHz	220MHz
Wireless City Planning	—	—	—	—	—	—	30MHz 全国BWA	—	—	30MHz
Rakuten	—	—	—	—	40MHz	—	—	—	—	40MHz
合計	60MHz	60MHz	30MHz	70MHz	150MHz	120MHz	80MHz	80MHz	120MHz	770MHz

図 1.3.1 各社への周波数割り当て(LTEまで)
(2018年8月 携帯電話・全国BWAに係る電波の利用実態調査の評価結果 総務省)

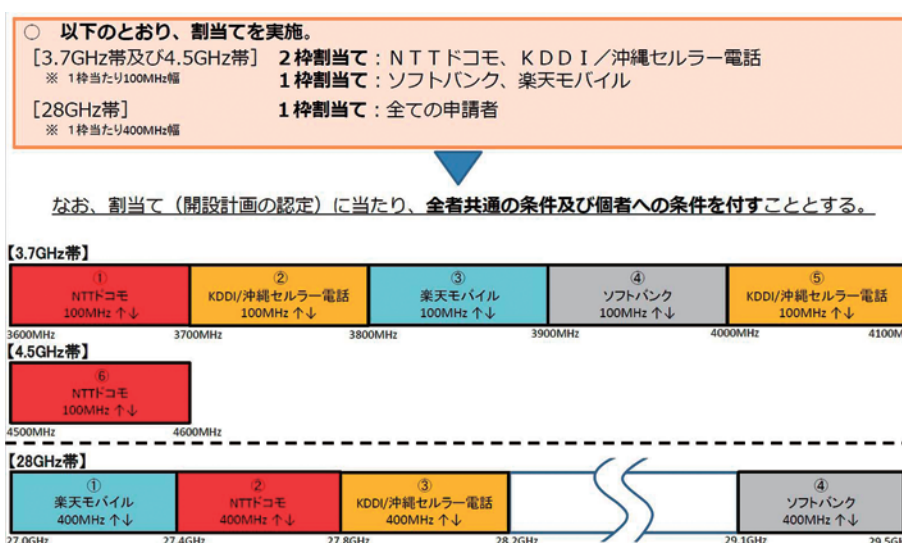


図 1.3.2 5G用周波数の割り当て
(2019年4月 第5世代移動通信システム(5G)の導入のための特定基地局の開設計画の認定 総務省)

1.4 世代毎の周波数の割り当て

周波数毎の移動体通信システムの変遷を図 1.4 に示す。800MHz 帯が第 1 世代の自動車電話として割り当てられてから、多くの周波数が移動通信に割り当てられ、引き続き各世代において使用されてきた。

周波数帯	700MHz	800MHz	900MHz	1.5GHz	1.7GHz	2GHz	2.5GHz	3.4GHz 3.5GHz	3.7GHz 4.5GHz 28 GHz
割当方針		H17.02.08				H12.03.27			
開設計画 認定日 (割当日)	H24.06.28		H24.03.01	H21.06.10	H17.11.10 H18.04.03 H21.06.10 H30.04.09		H19.12.21 H25.07.29	H26.12.22 H30.04.09	
世代		第2世代 移行 第3世代 第3.5世代 第3.9世代 第4世代		第2世代 移行 第3.5世代 第3.9世代 第4世代		第3世代 第3.5世代 第3.9世代 第4世代		BWA 高度BWA 第4世代 (4GPP-LTE-A)	第5世代 (5GPP-5G-A)
	高速・大容量通信に適した高い周波数帯が利用される傾向								

図 1.4 各世代との周波数割り当て
(2018年8月 携帯電話・全国 BWA に係る電波の利用実態調査の評価結果 総務省)

1.5 基地局数

図 1.5 に事業者毎に基地局数を示す。ただし、世代と周波数は単純な足し算のため合計は実際の基地局数とは異なる。

	700MHz帯	800MHz帯	900MHz帯	1.5GHz帯	1.7GHz帯	2GHz帯	2.5GHz帯	3.5GHz帯	合計
	FDD	FDD	FDD	FDD	FDD	FDD	TDD	TDD	
docomo	LTE/4G 6,700	LTE/4G 68,000 3G 68,300	—	LTE/4G 26,200	LTE/4G 17,400 基地局のみ	LTE/4G 70,000 3G 71,200	—	LTE/4G 14,100	LTE/4G 202,400 3G 139,500
au	LTE/4G 6,800	LTE/4G 56,500 3G 36,100	—	LTE/4G 10,500	—	LTE/4G 39,800	—	LTE/4G 5,500	LTE/4G 119,100 3G 36,100
UQ Communications	—	—	—	—	—	—	BWA 63,500	—	BWA 63,500
SoftBank	LTE/4G 4,800	—	LTE/4G 48,400 3G 37,000	LTE/4G 5,800	LTE/4G 14,500	LTE/4G 39,300 3G 78,900	—	LTE/4G 13,700	LTE/4G 126,500 3G 115,900
WIRELESS CITY PLANNING	—	—	—	—	—	—	BWA 63,000	—	BWA 63,000
合計	LTE/4G 18,300	LTE/4G 124,500 3G 104,400	LTE/4G 48,400 3G 37,000	LTE/4G 42,500	LTE/4G 31,900	LTE/4G 149,100 3G 150,100	BWA 126,500	LTE/4G 33,300	LTE/4G, BWA 674,600 3G 291,500

図 1.5 各世代との周波数割り当て
(2018年8月 携帯電話・全国 BWA に係る電波の利用実態調査の評価結果 総務省)

2. 基地局アンテナ

携帯電話の各世代での要求と周波数の追加に合わせて、基地局アンテナも大きく進化している。本稿ではアンテナの世代毎にその機能の変遷と進化を記述する。

2-1 第 1 世代

1979年に商用化された自動車電話システムでは、非常に広いサービスエリアの単一セル方式がとられた。23区内は11局、13セルで構成されていた。アンテナは都市部を除き山頂などに取り付けられサービスエリア半径は10kmにおよび、アンテナは金属素子を使用したオムニアンテナ(無指向性アンテナ)が使用された。

周波数	800MHz
エリア構成	超大ゾーン(大都市/中小都市方式)
水平面	オムニが多数
偏波	垂直偏波
ダイバーシチ	スペース
チルト+制御	固定
アンテナ構成	単周波
外観形状	オープン
アンテナ素子	金属ダイポール

2.2 第1世代その2

周波数	800MHz
エリア構成	大ゾーン
水平面	オムニ, 120°
偏波	垂直偏波
ダイバーシチ	スペース
チルト+制御	固定
アンテナ構成	単周波
外観形状	オープン
アンテナ素子	金属ダイポール

1988年に携帯電話の導入などによる加入者の急激な伸びに対応するためにサービスエリアは半径5kmとなったが当初はオムニアンテナが使用されていた。1990年になると更なる加入者の増加に対応するため大都市ではサービスエリアは半径1.5kmとなり3セクタが導入された。セクタ化にあわせアンテナも120°ビームアンテナが導入された。

2.3 第2世代

周波数	800MHz, 1.5GHz
エリア構成	3セクタ, 2セクタ, オムニ
水平面	120°, 180°, オムニ
偏波	垂直偏波, 垂直水平偏波共用
ダイバーシチ	スペース
チルト+制御	可変チルト, 各社独自制御
アンテナ構成	単周波, 2周波数共用, 1面, 2面収容
外観形状	FRP レドーム, チルト給電部別置き
アンテナ素子	プリント基板ダイポール

1993年よりデジタル方式(PDC)のサービスが開始され、1994年より1.5GHz帯の使用が日本国内において開始された。二つの周波数を使用することからアンテナ設置場所の確保のため2周波数共用アンテナも導入された。また、エリア構成も都市部ではセクタ構成が主流となった。

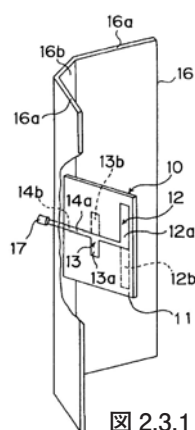


図 2.3.1 2周波数共用アンテナ

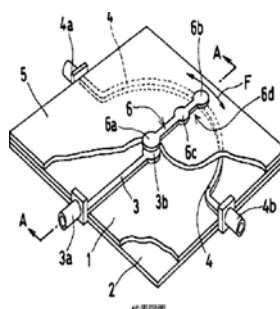


図 2.3.2 位相器



図 2.3.3 基地局

2.4 第3世代

周波数	800MHz, 1.5GHz, 2GHz
エリア構成	6セクタ, 3セクタ, 2セクタ, オムニ
水平面	60°, 120°, オムニ
偏波	垂直偏波, 垂直水平偏波共用
ダイバーシチ	スペース, 偏波
チルト+制御	可変チルト, 各社独自制御
アンテナ構成	周波数共用, 1面, 2面収容
外観形状	FRP レドーム, チルト給電部別置き
アンテナ素子	プリント基板 ダイポール, スロット+無給電

2001年より第3世代であるIMT-2000が開始され、周波数としては2GHz帯が追加された。置き換え需要から、従来の2周波数共用アンテナと同サイズで3周波数共用アンテナが開発され使用され始めた。更に、スペースダイバーシチだけでなく偏波ダイバーシチも導入され、アンテナ設置スペースの削減が図られるようになった。この先は設置スペースの関係で、徐々に偏波ダイバーシチが主流となることになる。

また、セクタ間の干渉低減要求から3セクタの場合は120°ビームから90°ビームに移行して行ったのもこの世代である。

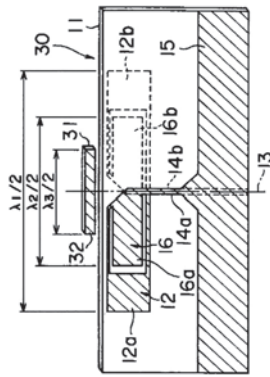


図 2.4.1 3周波共用アンテナその1

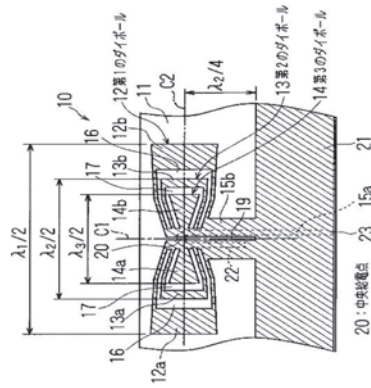


図 2.4.2 3周波共用アンテナその2

2.5 第3.5世代

周波数	800MHz, 1.5GHz, 2GHz, 1.7GHz
エリア構成	6セクタ, 3セクタ, 2セクタ, オムニ
水平面	60°, 120°, オムニ, 90°, 45°
偏波	垂直偏波, 垂直水平偏波共用
ダイバーシチ	スペース, 偏波
チルト+制御	可変チルト, 各社独自制御, AISG
アンテナ構成	周波数偏波共用, 1面収容
外観形状	FRP レドーム, 給電部内蔵
アンテナ素子	プリント基板 ダイポール, スロット+無給電

2.6 第3.9世代

周波数	700MHz, 800MHz, 1.5GHz, 2GHz, 1.7GHz
エリア構成	6セクタ, 3セクタ, 2セクタ, オムニ
水平面	60°, 120°, オムニ, 90°, 45°
偏波	垂直水平偏波共用
ダイバーシチ, MIMO	偏波 ダイバーシチ→MIMO
チルト+制御	可変チルト, 各社独自制御, AISG
アンテナ構成	周波数偏波共用, 1面収容
外観形状	FRP レドーム, 給電部内蔵
アンテナ素子	プリント基板 ダイポール, スロット+無給電

3.5世代, そして3.9世代であるLTEにかけて, 更に周波数(700MHz, 1.7GHz)が追加され, 4周波, 5周波アンテナが開発されることになる。また, 第3世代から導入が始まった偏波共用アンテナが主流となり, 周波数共用と偏波共用の両方の特性を持たせた素子および素子構造が開発された。また, 多数の周波数がアンテナ内に内蔵されることからIM回避も大きな課題となった。

アンテナチルトにおいては給電部(位相器)が駆動モーターと制御部とともにアンテナ内に内蔵され, チルト制御のインターフェイスにもAISGと呼ばれる国際規格が徐々に導入された。



図 2.6.1 偏波共用アンテナ (給電部内蔵)



図 2.6.2 5周波偏波共用アンテナ (給電部内蔵)

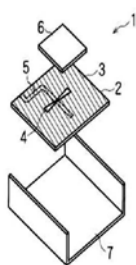


図 2.6.3 偏波共用スロットアンテナ

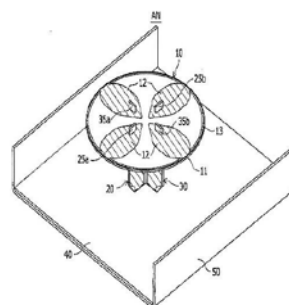


図 2.6.4 偏波共用ダイポールアンテナ

2.7 第4世代

周波数	700MHz, 800MHz, 1.5GHz, 2GHz, 1.7GHz 3.4GHz, 3.5GHz
エリア構成	6セクタ, 3セクタ, 2セクタ, オムニ
水平面	60°, 120°, オムニ, 90°, 45°
偏波	垂直水平偏波共用
MIMO	偏波, MIMO
チルト+制御	可変チルト, 各社独自制御, AISG
アンテナ構成	周波数偏波共用, 1面収容
外観形状	FRP レドーム, 給電部内蔵
アンテナ素子	プリント基板 ダイポール, スロット+無給電

第4世代は2015年からサービスが開始され、より高い周波数(3.4GHz, 3.5GHz)が追加された。MIMO数についても多値化の傾向が強くなり、アンテナの複雑さが増すこととなった。(SBMは2012年の3.9世代についても4Gと表記している。)

また、当社では携帯基地局アンテナで最初となる、メタ材料を使用したアンテナを商品化している。特徴として偏波共用でありながら通常のアンテナと比べて1/4以下の細径化を実現するとともに、水平方向の低サイドローブ化を実現している。

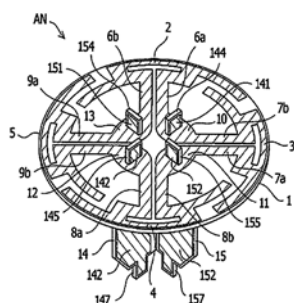


図 2.7.1 広帯域偏波共用ダイポールアンテナ



図 2.7.2 メタロッドアンテナ

2.8 第5世代

周波数	700MHz, 800MHz, 1.5GHz, 2GHz, 1.7GHz 3.4GHz, 3.5GHz, 3.7GHz, 4.5GHz, 28GHz
エリア構成	6セクタ, 3セクタ, 2セクタ, オムニ, ビーム可変
水平面	60°, 120°, オムニ, 90°, 45°
偏波	垂直水平偏波共用
MIMO	偏波, 2~4MIMO, マッシュアップMIMO
チルト+制御	可変チルト, 各社独自制御, AISG, ビームフォーミング
アンテナ構成	周波数偏波共用, 1面収容, ビームフォーミング
外観形状	FRP レドーム, 給電部内蔵, 無線機内蔵
アンテナ素子	プリント基板 ダイポール, スロット+無給電

2020年からサービスが開始される第5世代では、より多くの周波数と広い帯域が、今まで割り当てられた周波数の延長線上にあるSUB6帯(3.6GHz~4.6GHz)と準ミリ波である28GHz帯が追加された。

SUB6帯が追加されたことにより従来型アンテナは更に高度な周波数共用偏波共用アンテナとなるとともに、ビームフォーミングアンテナの採用が開始された。

準ミリ波である 28GHz 帯は、ケーブル損失の問題から無線機内蔵が必須となり、さらに伝搬損失を補うためにビーム幅を狭めているため、エリア構築のためにはビームフォーミングアンテナ機能が必要になる。

今後、更に高い周波数としてミリ波帯 (39GHz, 73GHz) の割り当てが検討されており無線機が内蔵されたアンテナが必須となり、さらに多くの素子が内蔵されたビームフォーミングアンテナになると考える。

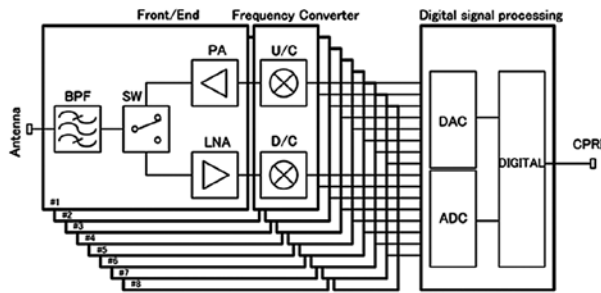


図 2.8.1 ビームフォーミングアンテナ構成

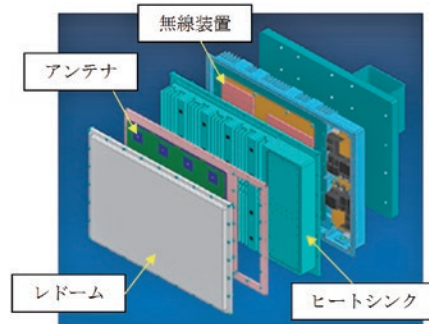


図 2.8.2 ビームフォーミングアンテナ構造

2.9 第6世代

今まで以上に高周波化が進み 300GHz 以上のテラヘルツ波の使用も現実味を帯びてくる。この周波数帯になると一体型というよりも IC と同様に生成される可能性も高く、アンテナの製作方法が一変する可能性もある。

3. む す び

弊社、電気興業は携帯電話の黎明期より、基地局アンテナを事業者の皆様様に供給させて頂きました。今後も最先端の研究開発を進め 5G そして 6G においても、アンテナ分野そして通信分野全般において社会に貢献していきたいと考えます。

創立70周年記念特集記事②

固定通信の取り組み

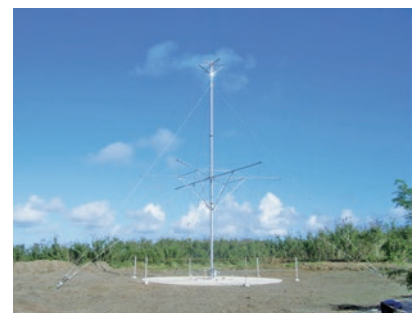
機器統括部 固定通信技術開発部 星野 誠一

当社の固定通信は、主に固定無線局を総称しているが、当社が取り扱う固定無線局は、超長波からミリ波まで幅広い周波数帯域にわたり、様々な用途に対してアンテナや周辺機器を製品化してきた。

大規模アンテナとしては、当社創業の源である依佐美送信所や平成初期に納品した海上自衛隊えびの送信所の VLF アンテナ、1999 年に納品した郵政省 (現総務省) の LF 標準電波アンテナなどが挙げられる。これらは、高さ 200m を超えるアンテナであるが、波長に対しては非常に微小なアンテナである。

短波帯通信分野では、1952 年に清瀬・布佐気象通信所に納入したアンテナが、当社独自開発の第 1 号である。その後、コニカルモノポールやログスパイラルアンテナ、LP アンテナなどの広帯域アンテナの製品化を行い、防衛庁 (現防衛省) や官公庁などへ数多く納品してきた。近年、短波通信は縮小傾向にある一方、国際通信を対象として、短波帯の伝搬特性を生かしたデジタル通信の導入が検討されている。

一般通信分野の主力製品である VHF 帯や UHF 帯のアンテナは、昭和 27 年 6 月に朝日新聞社に納品した VHF 帯高利得無指向性アンテナが、



コニカルモノポールアンテナ

準ミリ波である 28GHz 帯は、ケーブル損失の問題から無線機内蔵が必須となり、さらに伝搬損失を補うためにビーム幅を狭めているため、エリア構築のためにはビームフォーミングアンテナ機能が必要になる。

今後、更に高い周波数としてミリ波帯 (39GHz, 73GHz) の割り当てが検討されており無線機が内蔵されたアンテナが必須となり、さらに多くの素子が内蔵されたビームフォーミングアンテナになると考える。

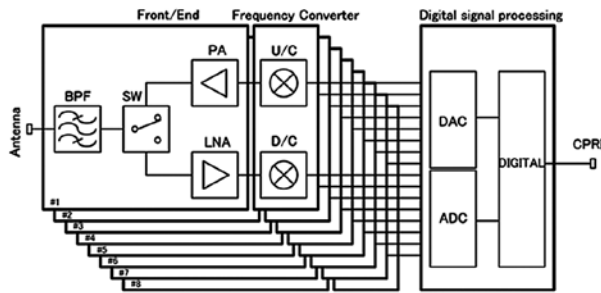


図 2.8.1 ビームフォーミングアンテナ構成

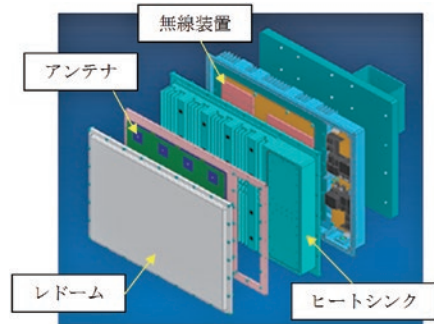


図 2.8.2 ビームフォーミングアンテナ構造

2.9 第6世代

今まで以上に高周波化が進み 300GHz 以上のテラヘルツ波の使用も現実味を帯びてくる。この周波数帯になると一体型というよりも IC と同様に生成される可能性も高く、アンテナの製作方法が一変する可能性もある。

3. む す び

弊社、電気興業は携帯電話の黎明期より、基地局アンテナを事業者の皆様様に供給させて頂きました。今後も最先端の研究開発を進め 5G そして 6G においても、アンテナ分野そして通信分野全般において社会に貢献していきたいと考えます。

創立70周年記念特集記事②

固定通信の取り組み

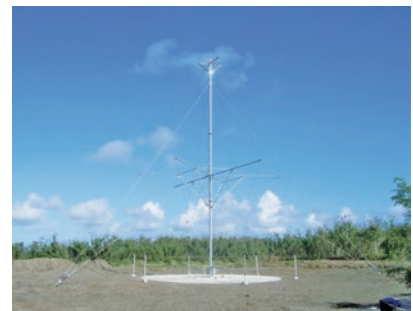
機器統括部 固定通信技術開発部 星野 誠一

当社の固定通信は、主に固定無線局を総称しているが、当社が取り扱う固定無線局は、超長波からミリ波まで幅広い周波数帯域にわたり、様々な用途に対してアンテナや周辺機器を製品化してきた。

大規模アンテナとしては、当社創業の源である依佐美送信所や平成初期に納品した海上自衛隊えびの送信所の VLF アンテナ、1999 年に納品した郵政省 (現総務省) の LF 標準電波アンテナなどが挙げられる。これらは、高さ 200m を超えるアンテナであるが、波長に対しては非常に微小なアンテナである。

短波帯通信分野では、1952 年に清瀬・布佐気象通信所に納入したアンテナが、当社独自開発の第 1 号である。その後、コニカルモノポールやログスパイラルアンテナ、LP アンテナなどの広帯域アンテナの製品化を行い、防衛庁 (現防衛省) や官公庁などへ数多く納品してきた。近年、短波通信は縮小傾向にある一方、国際通信を対象として、短波帯の伝搬特性を生かしたデジタル通信の導入が検討されている。

一般通信分野の主力製品である VHF 帯や UHF 帯のアンテナは、昭和 27 年 6 月に朝日新聞社に納品した VHF 帯高利得無指向性アンテナが、



コニカルモノポールアンテナ

当社の開発1号機となり、当時は羽田工場で製作されていた。その後、官公庁、自治体、鉄道、警察、電力会社、放送事業者などへ60MHz～400MHz帯の通信アンテナを製品化し、数多くの製品を納入してきた。1957年頃から販売された160MHz帯高利得アンテナ(HG-4V-150F)や、1965年頃開発の400MHz帯SVアンテナなどは、現在も製造を行っている。

1987年から製造開始した280MHz帯ポケベル(無線呼び出し)用アンテナは、全国約320局にアンテナや共用器等を納入し、PHSや携帯電話が普及されると共に衰退したが、現在、280MHz帯は防災用の同報無線システムとしてサービスが始まり、当社も新たなコーリニアアンテナを製品化し、サービス提供に寄与している。

また、VHF帯やUHF帯の通信分野は、周波数の有効利用や情報の秘匿などを目的としたデジタル化が進められおり、260MHz帯消防救急無線のデジタル化においては、2008年からアンテナや共用器の販売を開始した。さらに、放送事業者の160MHz帯連絡無線の4値FSK化においては、送受共用器の開発を行い、2013年からアンテナと共に販売を行った。近年では、アンテナの小型化製品にも取り組んでおり、NTTとの共同開発にて製品化を行っている。



280MHz帯コーリニアアンテナ



160MHz帯送受共用装置

260MHz帯送受
共用装置

創立70周年記念特集記事③

放送の取り組み

管理統括部 下田 剛

我が国のラジオ放送は、1925年に現NHKにより開始され、またテレビジョン放送は1953年NHKと日本テレビにより開始され、各々その歴史の幕を開けた。当初これらの放送メディアは東京で始まり、その後大阪、名古屋へ送信所建設を拡大し全国へ普及して行ったが、これらアンテナ設備の建設において、当社は多くの製品を提供してきた。特にテレビジョン放送用アンテナにおいては、2003年より開始された地上波のアナログからデジタルへの移行において、様々なアンテナを製品化してきた。今回は、地上デジタル放送向けアンテナの設計で技術的に最も苦勞した無指向性アンテナにフォーカスし、当時を振り返ってみたい。

1. 無指向性への飽くなき追及

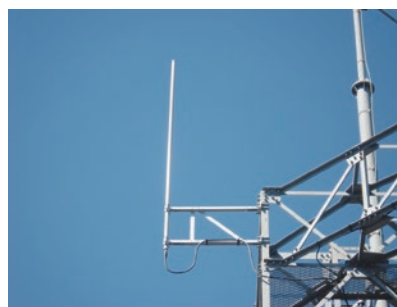
地上テレビジョン放送親局送信所アンテナの水平面指向性は、送信所を中心とした放送エリア全方向に放送を送るため、無指向性が求められる。したがって、アンテナ設置における理想は、無指向性放射素子を垂直方向多段に積んだアンテナを、鉄塔頂部に設置することが望ましい。しかし、新規にデジタル放送用アンテナを設置する場合、実際にこのような理想的な設置場所の確保は困難であり、かつ40年以上運用してきたアナログ放送と同じエリアとしたい事から、既存鉄塔の流用が望まれる。

したがって、アナログ放送送信所の建設と異なり、デジタル化においては既設流用という設置条件の中で無

当社の開発1号機となり、当時は羽田工場で製作されていた。その後、官公庁、自治体、鉄道、警察、電力会社、放送事業者などへ60MHz～400MHz帯の通信アンテナを製品化し、数多くの製品を納入してきた。1957年頃から販売された160MHz帯高利得アンテナ(HG-4V-150F)や、1965年頃開発の400MHz帯SVアンテナなどは、現在も製造を行っている。

1987年から製造開始した280MHz帯ポケベル(無線呼び出し)用アンテナは、全国約320局にアンテナや共用器等を納入し、PHSや携帯電話が普及されると共に衰退したが、現在、280MHz帯は防災用の同報無線システムとしてサービスが始まり、当社も新たなコーリニアアンテナを製品化し、サービス提供に寄与している。

また、VHF帯やUHF帯の通信分野は、周波数の有効利用や情報の秘匿などを目的としたデジタル化が進められおり、260MHz帯消防救急無線のデジタル化においては、2008年からアンテナや共用器の販売を開始した。さらに、放送事業者の160MHz帯連絡無線の4値FSK化においては、送受共用器の開発を行い、2013年からアンテナと共に販売を行った。近年では、アンテナの小型化製品にも取り組んでおり、NTTとの共同開発にて製品化を行っている。



280MHz帯コーリニアアンテナ



160MHz帯送受共用装置

260MHz帯送受
共用装置

創立70周年記念特集記事③

放送の取り組み

管理統括部 下田 剛

我が国のラジオ放送は、1925年に現NHKにより開始され、またテレビジョン放送は1953年NHKと日本テレビにより開始され、各々その歴史の幕を開けた。当初これらの放送メディアは東京で始まり、その後大阪、名古屋へ送信所建設を拡大し全国へ普及して行ったが、これらアンテナ設備の建設において、当社は多くの製品を提供してきた。特にテレビジョン放送用アンテナにおいては、2003年より開始された地上波のアナログからデジタルへの移行において、様々なアンテナを製品化してきた。今回は、地上デジタル放送向けアンテナの設計で技術的に最も苦勞した無指向性アンテナにフォーカスし、当時を振り返ってみたい。

1. 無指向性への飽くなき追及

地上テレビジョン放送親局送信所アンテナの水平面指向性は、送信所を中心とした放送エリア全方向に放送を送るため、無指向性が求められる。したがって、アンテナ設置における理想は、無指向性放射素子を垂直方向多段に積んだアンテナを、鉄塔頂部に設置することが望ましい。しかし、新規にデジタル放送用アンテナを設置する場合、実際にこのような理想的な設置場所の確保は困難であり、かつ40年以上運用してきたアナログ放送と同じエリアとしたい事から、既存鉄塔の流用が望まれる。

したがって、アナログ放送送信所の建設と異なり、デジタル化においては既設流用という設置条件の中で無

指向性送信アンテナを作り上げていくケースが多々あった。このような課題に対し、如何にして放送事業者のニーズに沿ってアンテナを作り出してきたかを紹介する。

1.1 多面配置アンテナ

鉄塔頂部ではなく鉄塔側面に無指向性アンテナを設置する場合、アンテナ設計において鉄塔幅は重要な要素である。鉄塔幅が使用周波数の波長(500MHzで0.6m)以上になると、4面合成では水平面指向性偏差が大きくなるが、これを改善するために用いる手法の一つが多面配置アンテナである。鉄塔本体を円環状に多数のアンテナで取り巻くように設置することで、水平面指向性偏差が少ない良好な無指向性が得られる。

しかし、アンテナ面数が多いため、生産及び建設コストが高く、必要に応じ鉄塔補強が必要である。

当社が担当した多面配置アンテナで代表的なのが、古河C&B社とJVで取り組んだNHK及び関東広域民放放送局向けに東京タワーに設置した多面アンテナである。特別展望台の上部に鉄塔を取り巻くように、横幅1.5m×縦幅1.0mのパネル型アンテナを一段当たり30面、垂直に5段配置している。図1に示すように、上段の赤い部分と白い部分に色分けしているが、それぞれに2式のアンテナ計4式が設置されている。この構成で4式のアンテナとも水平面指向性偏差の少ない良好な性能を実現している。

設計に当たっては、パネル型アンテナの構造やそれぞれの配置、また給電する位相、振幅等の各パラメータをシミュレーションし、試作評価を繰り返しながら完成させた。

我が国の地上デジタル放送は、2003年にこのアンテナの電波発射よりスタートされたが、現在は東京スカイツリーへ本放送が移設したため、その予備アンテナとしての役目を担っている。



図1 東京タワーデジタル送信アンテナ

1.2 スキューアンテナ

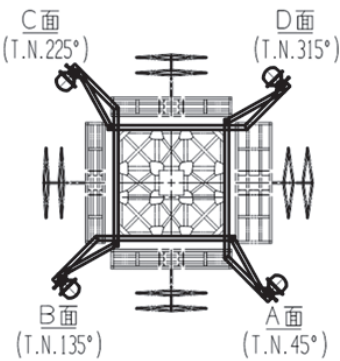


図2 スキューアンテナ断面

鉄塔側面にスペースがあれば1.1項で述べた多面配置アンテナは設置可能であるが、そのスペースすら無い状況で採用されたのがスキューアンテナである。図2にスキューアンテナの断面を示す。これは鉄塔側面にすでにVHF帯地上アナログ放送用アンテナが設置されている事例であるが、鉄塔4角のわずかな隙間から90度ピッチで4本のアームを突き出し、その先端にアームとは垂直にA,B,C,D各アンテナを設置する。アンテナは1段あたり4面で構成されているので、多面に比べ面数が少ない分コストを抑えることができ、また既存のアンテナの隙間に設置できるので、アンテナ設置スペース確保の面で有効である。使用できる周波数帯域が狭く複数のチャンネルを共用することはできないが、単独チャンネル局であれば有効なアンテナシステムである。

スキューアンテナ設計に当たり、最も配慮したのは隣接する既設アンテナへの影響である。シミュレーション結果を元に作成した試作機で事前検証し、指向性の乱れやその他性能において隣接アンテナに影響を与えないことを確認した。

我が国の地上デジタル放送送信アンテナで、スキューアンテナを建設したのは当社が唯一である。



図3 スキューアンテナ全景

1.3 ファンビームアンテナ

多面配置アンテナのコスト高とスキューアンテナの狭帯域という短所を解決する方法として考案したのが、ファンビームアンテナである。図4にファンビームアンテナの水平面指向性を、図5に構造を示す。図4に示す通り、1面当たりの単体指向性がファンビームと称する扇の形をした指向性持つアンテナを用いて、これ

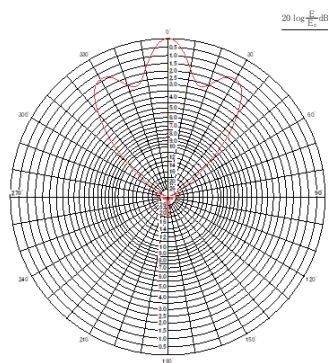


図4 ファンビーム指向性送信アンテナ

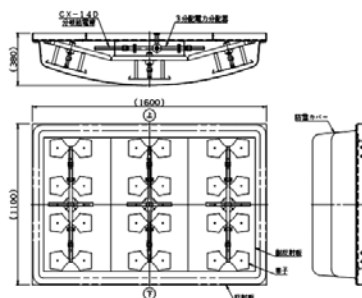


図5 アンテナ構造面



図6 ファンビームアンテナ全景

を4面合成することで無指向性を形成する手法である。3個の反射板付きダイポールアンテナを横に並べ、それぞれの配置距離、角度、給電位相、振幅を適切に与えることでファンビームを作り、これを4面合成することで無指向性を実現している。4面で無指向性が形成できることから、多面配置に対し製造及び建設コストを軽減でき、面数が少ないことから鉄塔に対する負荷を低減できる。また、周波数帯域もスキューアンテナに対して広いので、複数のチャンネルで共用することも可能である。

図6にファンビームアンテナ4面合成時の外観を示す。鉄塔幅が使用周波数の波長に比べて大きいにも関わらず、良好な無指向性を実現している。このアンテナシステムは特許を取得し、国内放送事業者向けに独占的に販売している。

2. む す び

地上デジタル放送のアンテナ設備においては、NHKはじめ全国の放送事業者向けに製造および設置工事を数多く受注し、テレビジョン放送のデジタル化に貢献してきた。この国家プロジェクトは、放送事業者に多大な設備投資を負担することになったため、我々メーカーに対し可能な限りコストを抑えることが求められた。したがって、アンテナ設置において既存鉄塔を流用することは大きな課題であった。その限られた設置条件の中で、如何に偏差の少ない無指向性アンテナを実現するかが我々に求められたが、本稿で紹介したアンテナやその他提案により顧客の期待に応えてきた。

地上テレビジョン放送のデジタル化においては、ここでは語りつくせない当社技術がまだ多数あり、創立以来70年間、当社は様々な分野で独自の技術力をもって社会に貢献してきたが、放送事業においても、地上テレビジョン放送のデジタル化に多大な実績を残せたことは大きな誇りである。

創立70周年記念特集記事④

マイクロ波通信の取り組み

機器統括部 固定通信技術開発部 星野 誠一

固定通信用マイクロ波アンテナは、当社では1955年に旧日本電信電話公社向け製品として開発した2GHz帯パラボラアンテナに始まる。1961年から11GHz帯パラボラアンテナシリーズ(IU-114形パラボラアンテナ)の納入を開始し、1987年に高性能化したカセグレン形(IU-114S形カセグレンアンテナ)を開発、1994年にはシートドーム化により特性改良を行ったタイプ(IU-114E形カセグレンアンテナ)へ進化を遂げており、今日までシリーズ累計として約3千面以上を納入している。IU-114形パラボラアンテナ以外では、1989年より4/5/6GHz帯オフセットグレゴリアン形アンテナを納入している。

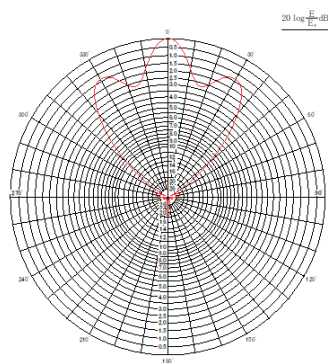


図4 ファンビーム指向性送信アンテナ

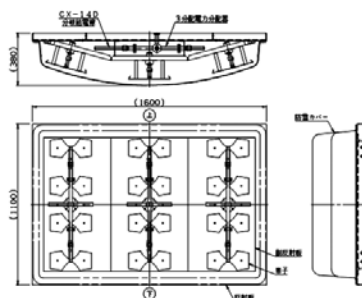


図5 アンテナ構造面



図6 ファンビームアンテナ全景

を4面合成することで無指向性を形成する手法である。3個の反射板付きダイポールアンテナを横に並べ、それぞれの配置距離、角度、給電位相、振幅を適切に与えることでファンビームを作り、これを4面合成することで無指向性を実現している。4面で無指向性が形成できることから、多面配置に対し製造及び建設コストを軽減でき、面数が少ないことから鉄塔に対する負荷を低減できる。また、周波数帯域もスキューアンテナに対して広いので、複数のチャンネルで共用することも可能である。

図6にファンビームアンテナ4面合成時の外観を示す。鉄塔幅が使用周波数の波長に比べて大きいにも関わらず、良好な無指向性を実現している。このアンテナシステムは特許を取得し、国内放送事業者向けに独占的に販売している。

2. む す び

地上デジタル放送のアンテナ設備においては、NHKはじめ全国の放送事業者向けに製造および設置工事を数多く受注し、テレビジョン放送のデジタル化に貢献してきた。この国家プロジェクトは、放送事業者に多大な設備投資を負担することになったため、我々メーカーに対し可能な限りコストを抑えることが求められた。したがって、アンテナ設置において既存鉄塔を流用することは大きな課題であった。その限られた設置条件の中で、如何に偏差の少ない無指向性アンテナを実現するかが我々に求められたが、本稿で紹介したアンテナやその他提案により顧客の期待に応えてきた。

地上テレビジョン放送のデジタル化においては、ここでは語りつくせない当社技術がまだ多数あり、創立以来70年間、当社は様々な分野で独自の技術力をもって社会に貢献してきたが、放送事業においても、地上テレビジョン放送のデジタル化に多大な実績を残せたことは大きな誇りである。

創立70周年記念特集記事④

マイクロ波通信の取り組み

機器統括部 固定通信技術開発部 星野 誠一

固定通信用マイクロ波アンテナは、当社では1955年に旧日本電信電話公社向け製品として開発した2GHz帯パラボラアンテナに始まる。1961年から11GHz帯パラボラアンテナシリーズ(IU-114形パラボラアンテナ)の納入を開始し、1987年に高性能化したカセグレン形(IU-114S形カセグレンアンテナ)を開発、1994年にはシートドーム化により特性改良を行ったタイプ(IU-114E形カセグレンアンテナ)へ進化を遂げており、今日までシリーズ累計として約3千面以上を納入している。IU-114形パラボラアンテナ以外では、1989年より4/5/6GHz帯オフセットグレゴリアン形アンテナを納入している。

また、1970年から可搬型1.2 m φアンテナ(IM-5形パラボラアンテナ)として、ニアフィールドカセグレン形を開発・納入し、アンテナ開口径も0.9 m φ～4.0 m φのタイプを展開しており、要求仕様に応じたパラボラアンテナを提案している。なお、周波数帯域については、使用周波数範囲に応じた一次放射器を選定する事で、反射鏡に依存しない製品設計を可能としており、現在の設計手法の基礎となるものとなった。カセグレンアンテナの設計技術は、その後、放送業務や公共事業用途の各種パラボラアンテナへ展開され、交差偏波識別度・指向特性を高性能化したニアフィールドグレゴリアン形アンテナの開発に繋がっている。

カセグレンアンテナの設計手法を応用し、1994年に大口径衛星通信用地球局アンテナの開発・納品を開始した。当時は30 m φクラスの大型アンテナが実用化されていたが、4 m φクラスの中型アンテナについては、主反射鏡の大きさと比較して副反射鏡の占める割合が多く、副反射鏡の散乱による指向性劣化量が大きくなることから使用されることが少なかった。この課題を解決するため、当社は生産性も考慮した特性改善方法として、副反射鏡に特化した鏡面修正による設計を確立した。この技術により高性能カセグレンアンテナの開発を行い、現在までに衛星通信HUB局として延べ45面を納入している。

現在では、これらの技術を活用して、多周波数共用アンテナ、各種衛星通信用アンテナ、移動局用アンテナ等の固定通信以外においても展開を図り、幅広い製品開発を積極的に行っている。



4.5 m φ衛星通信地球局用アンテナ
(株長野放送 本社)



IU-114E形4.0 m Dカセグレンアンテナ

創立70周年記念特集記事⑤

鉄塔事業への取り組み

施設エンジニアリング統括部 宇崎 卓夫

長・中・短波アンテナ及びアンテナの支持構造物として数多くの鉄塔が設計、製作、建設されてきた。ここでは、創立当時から現在に至るまでの代表的な鉄塔工事を紹介すると共に、その中でも特筆すべき鉄塔工事について解説する。

- 1952年 長・中・短・超短波アンテナ施設の設計、製作、建設業務を開始。
- 1953年 佐久間反射板工事(反射板第1号)
- 1956年 ACLB台湾ロンビクアンテナ・カーテンアンテナ及び鉄塔納入(輸出第1号)
- 1958年 四脚式反射板納入(四脚反射板第1号)
- 1959年 イラン100mトラス柱納入(中波トラス柱輸出第1号)
- 1960年 川越工場竣工。関係会社として電気興業アンテナ製作所を設立(後の株デンコー)自社鉄塔製作開始
- 80m支線式トラス柱納入(自社工場鉄塔製作第1号)
- インド中波放送用支線式トラス柱納入(輸出鉄塔自社工場製作第1号)
- 多度無線中継所10m鉄塔工事(自社工場自立式鉄塔製作第1号)



図1

また、1970年から可搬型1.2 mφアンテナ(IM-5形パラボラアンテナ)として、ニアフィールドカセグレン形を開発・納入し、アンテナ開口径も0.9 mφ～4.0 mφのタイプを展開しており、要求仕様に応じたパラボラアンテナを提案している。なお、周波数帯域については、使用周波数範囲に応じた一次放射器を選定する事で、反射鏡に依存しない製品設計を可能としており、現在の設計手法の基礎となるものとなった。カセグレンアンテナの設計技術は、その後、放送業務や公共事業用途の各種パラボラアンテナへ展開され、交差偏波識別度・指向特性を高性能化したニアフィールドグレゴリアン形アンテナの開発に繋がっている。

カセグレンアンテナの設計手法を応用し、1994年に大口径衛星通信用地球局アンテナの開発・納品を開始した。当時は30 mφクラスの大型アンテナが実用化されていたが、4 mφクラスの中型アンテナについては、主反射鏡の大きさと比較して副反射鏡の占める割合が多く、副反射鏡の散乱による指向性劣化量が大きくなることから使用されることが少なかった。この課題を解決するため、当社は生産性も考慮した特性改善方法として、副反射鏡に特化した鏡面修正による設計を確立した。この技術により高性能カセグレンアンテナの開発を行い、現在までに衛星通信HUB局として延べ45面を納入している。

現在では、これらの技術を活用して、多周波数共用アンテナ、各種衛星通信用アンテナ、移動局用アンテナ等の固定通信以外においても展開を図り、幅広い製品開発を積極的に行っている。



4.5 mφ衛星通信地球局用アンテナ
(株長野放送 本社)



IU-114E形4.0 m Dカセグレンアンテナ

創立70周年記念特集記事⑤

鉄塔事業への取り組み

施設エンジニアリング統括部 宇崎 卓夫

長・中・短波アンテナ及びアンテナの支持構造物として数多くの鉄塔が設計、製作、建設されてきた。ここでは、創立当時から現在に至るまでの代表的な鉄塔工事を紹介すると共に、その中でも特筆すべき鉄塔工事について解説する。

- 1952年 長・中・短・超短波アンテナ施設の設計、製作、建設業務を開始。
- 1953年 佐久間反射板工事(反射板第1号)
- 1956年 ACLB台湾ロンビクアンテナ・カーテンアンテナ及び鉄塔納入(輸出第1号)
- 1958年 四脚式反射板納入(四脚反射板第1号)
- 1959年 イラン100mトラス柱納入(中波トラス柱輸出第1号)
- 1960年 川越工場竣工。関係会社として電気興業アンテナ製作所を設立(後の株デンコー)自社鉄塔製作開始
- 80m支線式トラス柱納入(自社工場鉄塔製作第1号)
- インド中波放送用支線式トラス柱納入(輸出鉄塔自社工場製作第1号)
- 多度無線中継所10m鉄塔工事(自社工場自立式鉄塔製作第1号)



図1

- 1961年 カンボジア 100m 鉄塔納入(自立鉄塔輸出第1号)
台湾 6m × 8m 反射板納入(反射板輸出第1号)
- 1962年 仙台 125 m鉄塔製作・建設工事
千葉 UHF 空中線・160 m自立鉄塔工事及び局舎新築工事
- 1970年 マレーシアサバマイクロ回線用鉄塔・空中線工事(海外建設請負工事第1号)
- 1971年 新川無線中継所 40m パイプ鉄塔工事(パイプ鉄塔第1号)
- 1972年 リビア沿岸マイクロ回線鉄塔工事(大規模海外工事第1号)
- 1973年 関係会社として電気興業工事設立
- 1974年 エジプト 320 mテレビ用支線式丸鋼トラス柱納入
200 m気象観測用支線式鋼管トラス柱製作・建設工事
- 1975年 IP 準ミリ波中継柱納入(第1号)(図1)
リビアオアシス 79 マイクロ鉄塔建設工事(サハラ砂漠内の難工事)(図2)
- 1980年 川越東部工業団地(芳野台)に新川越工場完成
- 1981年 イラクモニタリングアンテナシステム納入工事(過去最大のアンテナシステムプロジェクト)
- 1982年 シリアマルキエ局 300m テレビ用支線式鉄塔(図3)



図2

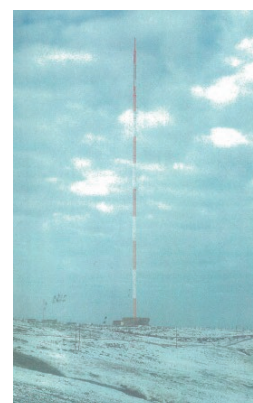


図3

- 1982年 タイ TOT 向けマイクロ鉄塔の製作・建設工事
～ 1982年頃よりタイ TOT プロジェクトを受注開始した。LD1/I, W-6, W-8, 5P- I, 5P- II 他プロジェクト納入総鉄塔数700基以上、特にW-6プロジェクトは、過去最大のマイクロ鉄塔プロジェクトとなり519基納入した。その後、ルーラルプロジェクト、5P- IIIプロジェクトと続き、国内製作からタイ現地(現DSE)製作へと移行した。鉄塔は、自立式四角断面山形鋼鉄塔、支線式山形鋼トラス形式を採用した。パラボラアンテナ搭載数による鉄塔タイプ分け、地盤耐力による基礎のタイプ分けによる標準化を進めたことで、プロジェクト管理の確実化と工場生産性の向上、現場工事の省力化に貢献した。
- 1985年 イラク UHF-VHF, FM 放送アンテナ及び350 m支線式トラス柱製作、建設工事(当社最大高さの鉄塔)
- 1986年 川越工場に溶融亜鉛めっき工場完成
- 1987年 タイ PRDch-11 空中線鉄塔その他工事 180 m TV 送信鉄塔(海外工事自立鉄塔最大高さ)(図4)



図4

1988年 えびの送信所第1次～第3次建設工事

えびの送信所建設工事は、昭和63年～平成3年まで実施され、南北2500m、東西1000m、約250ヘクタールにまたがる広大な敷地に、最高高さ272m、最大支線径 $\Phi 84$ さス柱を550m間隔で、片側4本ずつ、2列合計8本建設するものであった。1鉄塔の中における支線アンカーの最大高低差65mにも及ぶ激しい起伏、中間碍子による分割の多さ、鉄塔としては、強力かつ、重量ワイヤーロープの使用、という条件の中で、鉄塔の設計剛性を満たし、基部調整機構のおさまりが揃うように算定、製作を試みながら進めなければならなかった。本施設は構造評定を取得している。建設工事、その施工範囲は、幅550m、長さ1650mの長方形の広範囲にわたった。碍子を伴った支線の展張範囲は、さらに広範囲となり、これらの建設場所は、山林の中で山越え、谷越え、沢越え等の起伏が大きく地形的条件も悪かった。アンテナは、250m上空に展張しなければならず、展張区域全長に亘って起伏に富む山間部であり、かつ樹林に覆われており、環境保全のため伐採面積も制限される、という環境条件下での長大逆L形アンテナ工事であった。工事は困難を極めたが、無事故無災害で建設を完了した。



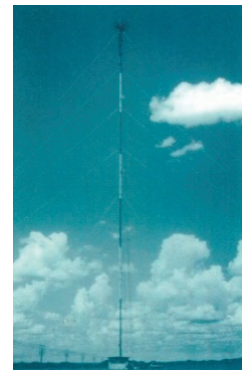
1989年 スカイトワー西東京(田無タワー)製作、建設

スカイトワー西東京は、東京周辺の電波利用の需要増大に対応し、かつ、都心部における建築物の高層化に伴い、深刻化する電波障害への対応のためマルチメディアタワーとして建設された。タワーの概要は、長方形を重ねたような平面の立方体であり、主材12本からなる八角形の鉄塔である。塔高195m、重量2040tonと、建設当時では、東京タワー、福岡タワーに次ぐ日本第3位の高さを誇った。本鉄塔は $\Phi 914.4$ mm大径の鋼管が主材となる大型構造物のため、製作当初より予見される(1)鋼管の化学成分及び精度(2)主柱材の製作精度(3)突合せ溶接部の端部処理(4)溶融亜鉛めっきによるヤケ、ハクリ等の課題検討を十分に行い、製作が行われた。建設工事は、現場作業スペースが非常に狭く、建方順序に合わせ1日の建方工程に必要な材のみを随時搬入することとした。建方は、20mまでの低層部をトラッククレーン、それより上部は、タワークレーンをリフトアップしながら行った。本工事では、水平落下養生を兼ねた作業床と外部垂直養生を一体化した「L型ユニットステージ」を使用し、1フロアを8ユニットで被い、建方中は完全に養生された鳥かごの中作業する万全の対策をとった。施工条件を考慮し、建方計画を先行して行い、それに基づいて、製作計画を行うなど、製作・施工一体となった取り組みで無事工事を完了させた。



1990年 ケニア KBC 中波・FMプロジェクト空中線納品及び現地工事

中波ラジオ放送網拡大を目的としたODA案件で、新設5局、リハビリ局5局の計10局の工事で、鉄塔は、150m～80m、送信出力100kW－9基、50kW－6基計15基の支線式鋼管柱からなる。本プロジェクトは、当社最大規模のODA受注案件であった。



1994年 新佐原 TV局 217m 鉄塔製作, 建設工事

UHF テレビ放送用として建設された新佐原 TV局鉄塔は、塔高 217 m、根開き 40m、鉄塔重量約 1000ton と当社設計、製作、建設の自立式鉄塔最大である。鉄塔部材構成は、等辺山形鋼を採用(最下節は、4本の L250 x 35 からなる組立構造)し、単材の軽量化で重量低減が図られ、施工性にも配慮したものであった。施工は、低層部は「クローラクレーン工法」高層部は「エレクター工法」を採用した。クレーン設置地盤や鉄塔本体・部材の強度検討を実施し施工を行った結果、仕様を大きく上回る高い精度での建方を実現した。



1994年 NTTドコモ 各地基地局鉄塔納入(多数)

1994年からのNTTドコモ向け標準鉄塔は、20年近くにわたり、鉄構部門の主力製品となった。1994年、1996年に三角ラーメン鉄塔とシリンダー鉄塔がリリースされた。NTTドコモ初の標準鉄塔であった。外観・強度に注力した鉄塔で三角ラーメン鉄塔は、梁が扇状形状でNTTドコモの象徴的な鉄塔となった。

その後、高規格の三角ラーメン鉄塔とシリンダー鉄塔がリリースされた。1998年には、当社の設計提案である小型シリンダー鉄塔がリリースされた。長野オリンピック向けへの対応を含めたが、小型基地局用として数多く採用された。



三角ラーメン 小型シリンダー シリンダー アンクル

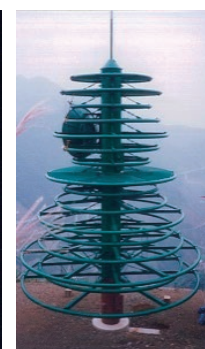
2003年にIMT用シリンダー鉄塔がリリースされた。2005年にアンクル鉄塔がリリースされた。シンプルな形状で製作性、施工性が良く、多数建設された。2008年には、NTTドコモ初の全国標準鉄塔の新タイプアンクル鉄塔とシリンダー鉄塔がリリースされた。

1995年 厚木 50m 無線中継塔・南山 15m 無線中継塔製作, 建設工事

厚木は、高さ 50m、鋼管径 3m、総重量 200ton の展望台付きシリンダー鉄塔であった。鉄塔の規模が大きいうえに、展望台・ステンレスルーバ付き螺旋階段などを付帯した景観重視のものであった。南山は、高さ 15 m、鋼管径 1.2m と小規模ながら、FRP製を含む意匠リング 16 段配し、アンテナの送受信に影響のないように配慮されたものであった。



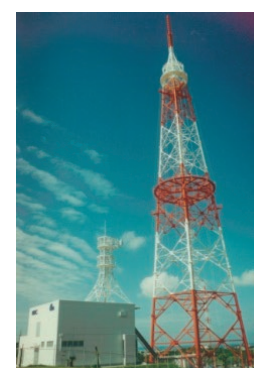
厚木



南山

1995年 嘉数テレビアンテナ共用 10kW 基部接地型中波アンテナ鉄塔製作, 建設工事

塔高 121m 根開き 18m 四角断面鋼管トラス鉄塔 総重量約 900ton。U-10kW×2波 TV 空中線設備及び中波 10kW 基部設置型空中線設備を搭載する特徴を持つ鉄塔である。主材最下節鋼管径Φ 812.8, 塔高 96m 付近より地上に向け、12本の副導線を配し、塔高 96m 付近より上部は、TV 送信アンテナ搭載のために急激に絞り込んだ形状となっている。



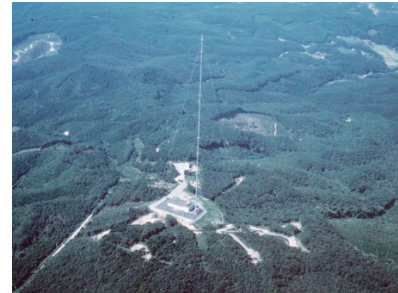
1998年 観音堂送信所 UHF テレビ送信アンテナ鉄塔製作、建設工事

塔高 160m, Φ 3m のシリンダー(内塔)を塔高 70m の八角断面鋼管トラス鉄塔(外塔)で支持する構造で、総重量約 640ton となる。本鉄塔は、デジタル放送用送信鉄塔であり、頂部 20m は、 Φ 2m の FRP レドームに覆われた送信アンテナを配している。鉄塔設計に当っては、風洞実験を実施し、風による振動の測定と、抗力係数の算定を行った。高さ 130 m 位置には、オイルダンパー方式の制振装置を設置し、渦励振によるシリンダー部の揺れを軽減する対策を講じている。本鉄塔建設地は、積雪が多く、着雪による落雪被害の対策も求められた。シリンダー部は構造強度上接合部が現場溶接となるに加え、外塔主材接合部も現場溶接を採用し、着雪防止へ配慮した。建設工事は、外塔部は「クローラクレーン工法」を採用し、シリンダー部は、「プッシュアップ工法」を採用した。「プッシュアップ工法」は、本鉄塔のように、同一径のシリンダー鉄塔を建設するのに有効な工法であり、地上付近で、長さ 6m のシリンダー部の差し込み、現場溶接、ジャッキアップ、を繰り返すことで、安全に構造物を構築することができるものである。



1998年 川内長波標準電波局整備工事(支線式鋼管柱 250m 鉄塔)

高さ 250m, 最大支線径 Φ 62mm, 最大支線アンカー距離 170m の鋼管径 Φ 1500mm の基部絶縁型 4 段支線式単鋼管柱構造。鉄塔頂部にアンテナエレメントを 6 方向に展張した傘型空中線である。支線錨塊は敷地及び地形のデータを基に、構造計算により最適点を求めた。



2000年 九州長波帯標準電波局整備工事(支線式鋼管柱 200m 鉄塔)

川内が標準周波数 40kHz に対し、九州は 60kHz とされたため、高さが 200m となったが、川内、九州共にほぼ同じ構造とした。



2000年 九州熊本ビル新築工事

建物屋上高さ 62 m, 四角断面角型鋼管ラーメン構造鉄塔, 総重量約 600ton

本鉄塔の建設工法は、「BOX 組積上げ工法」を採用した。鉄塔の各節を地上にて BOX 組立し、外装パネルまで取り付けたうえで屋上に荷揚げし、ブロック単位で積上げる工法である。本工法では、各節梁部の溶接・溶射までを地組で完了させるため、建て入れ及びレベルの精度は、地上で全て確認する必要があった。そこで、地組場に油圧ジャッキを配置し、レベルを \pm 200mm の範囲で調整可能な地組構台として対応した。鉄塔を建物屋上で組み上げる従来工法に比べ 1.5 ヶ月の納期短縮を達成した。



2005年 絵下山送信所鉄塔製作工事

塔高122m、根開き15.6mで、92m四角断面鋼管トラス鉄塔の頂部に30m六角断面鋼管ラーメン構造の送信アンテナ柱を有し、デジタル送信多面合成アンテナが配置されている。総重量約410ton。鉄塔の下部主材は、 $\Phi 914.4\text{mm}$ と太く、高さ35m付近までの接合部には、4ツ割の円筒形プレートを主材内外に配したスリーブ接合方式(192本のM24HTB)を採用し、高さ35mより上部は、フランジ接合方式を採用した。建設工事は、「タワークレーン工法」を採用した。鉄塔横には、4階建ての局舎も建設され、現場敷地も狭いため、現場施工に当っては、元請け建設会社との工程調整、鉄塔材の搬入計画など厳しい現場管理が必要であった。



2002年 風力発電用タワー納品

2005年～2010年頃にかけて、鉄塔等塔状鋼構造物の派生として、風力発電用タワーの製作に取り組んだ。高さ10mの小型から高さ80mの大型まで、納入本数は、85本に及んだ。高さ約70m規模の場合、基部直径 $\Phi 4\text{m}$ 、頂部直径 $\Phi 3\text{m}$ のテーパースリランダー柱、ブレード直径 $\Phi 80\text{m}$ のタワー部分の製作納品であった。設計解析に於いては、通信鉄塔には無い、発電時(ブレード回転時)、非発電時の解析が必要となり、頂部にブレード、ハブ、ナセル計約100tonの重量物を搭載することから、暴風時、地震時共に風力発電タワー特有の設計が求められた。テーパースリランダー柱の分割接合部は、柱内部でのボルト接合であった。ボルト径 $\Phi 39\text{mm} \times 136$ 本などの接合であり、接合設計にも配慮が必要であった。



2014年 釧路 ラジオ送信所 移転新設工事

高さ103m、5段支線式鋼管柱 支線基礎根開き50m
2007年建築基準法改正に伴い、60m以上の鉄塔等工作物にも建築物と同様に大臣認定の取得が義務付けられた。超高層建築物等構造評定対象として、時刻歴応答解析により大臣認定を取得する必要性が生じた。支線式鉄塔の応答解析は非常に難易度が高かった。本鉄塔は、法施行後、当社初の支線式鉄塔の大臣認定取得となった。



2016年 阿見 無線中継所建設工事

高さ86m、根開き12m 自立式四角断面鋼管鉄塔 総重量約220ton マイクロアンテナ搭載鉄塔である。本鉄塔は、改正建築基準法施行後、当社初の自立鉄塔の大臣認定取得となった。

2017年以降も、移動通信向け鉄塔、放送事業者の新社屋鉄塔、官公庁向け鉄塔等の受注、また、放送・通信用鉄塔の技術を活かした排気塔支持鉄塔への展開など、様々な鉄塔への対応を進めている。鉄塔は、放送・通信を支える重要なインフラ設備であり、既存鉄塔の設備更新、長寿命化、メンテナンスへの対応の機会も増大している。

最後に、70周年記念企画として、当社の鉄塔記録の掲載、特筆すべき鉄塔の解説を行った。本稿作成に当たっては、過去の電興技報、電気興業40年史などの資料を参考にした。当社の鉄塔の記録を辿るに従い、あらためて、創立当初よりの先輩諸氏の活躍ぶりを伺い知ることが出来た。何より、鉄塔解析ツール、建設機材が乏しい状況の中、今日でも誇れる大規模鉄塔を構築してきたことは、当社の技術力の高さを物語るものであった。

当社の今後の発展のために、当社の鉄塔技術を継承、発展させ、当社の歴史に恥じない事業を展開して行かなければならない。

高周波事業への取り組み

高周波統括部 千葉 正伸

高周波部門では電磁波をエネルギーに変える高周波応用技術を用い、誘導加熱事業を主に行ってきた。その実績は自動車部品の強度や耐摩耗性を高める為の各種誘導加熱装置の電源開発を始めとし、半導体用小型電源、原子力研究所向け臨界プラズマ試験装置「JT-60」用 6MW 高周波電源、医療用重粒子加速器、電子加速照射設備「エレクトロンシャワー」などと幅広い。

近年の高周波誘導加熱技術の成果を、発振機・機械・熱処理の3つのセグメントに分け、以下にまとめた。

1. 発振機

① 誘導加熱用発振機のデジタル制御回路

誘導加熱用電源のデジタル制御回路はこれまで電圧型発振機のみであったが、電流型発振機の制御方法を確立し、電流型デジタル制御回路の周波数 5~50kHz、出力 200kW 発振機を開発した。

② VFG 発振機の開発

従来の PTG 型、TG3 型とは異なる、周波数を変化させて出力制御を行う新タイプの VFG 発振機を開発し製品化した。設置面積 50% 以下、価格 40% 減を実現した。

③ 175kW チョップパ回路発振機

従来出力 100kW までであった降圧型チョップパ回路を再検討し、出力 175kW の大電力チョップパ回路を用いた発振機の製品化を実現した。

④ 発振機の性能向上と実用化

制御回路をデジタル化・ソフトウェア化し、ハードウェアは変更せずに動作を柔軟に変更する事で、発振機ラインナップの集約を可能とした。

⑤ 高周波機器試験用発振機

一般的な誘導加熱用電源装置とは違う、広範囲な負荷での動作と周波数 1~70kHz での動作が可能な高周波機器試験用発振機を開発した。

⑥ タービンブレード用インダクションヒーター

従来ガス炉加熱で全体を加熱していたタービンブレードを、高周波誘導加熱の部分加熱に変更する際、PID 制御と加熱コイル形状の最適化をする事で処理時間を 30 分から 6 分に短縮して高速化、省電力化を可能とした。

⑦ 高周波誘導加熱用小容量電源

SiC-MOSFET 等の新技術を採用した回路を開発し、周波数 100kHz、出力 5kW の空冷発振機の製作を実現した。

⑧ 角パイプ溶接用トランジスタ式高周波電源

従来スパークの発生が前提となる電縫管溶接用電源は真空管式発振機を使用していたが、同調をとる為の共振コンデンサの配置を変える事で MOSFET の破損を回避し、トランジスタ式発振機への代替を可能とした。

⑨ SiC-MOSFET を用いた 400kHz、100kW 誘導加熱用発振機の開発

新しい半導体材料である炭化珪素 (SiC) を主素子に用いた周波数 400kHz、出力 100kW の誘導加熱用発振機を開発し、デンコーテクノヒート株式会社鈴木



(単位: mm)

図 1.1 ②VFG 150kW 発振機外観

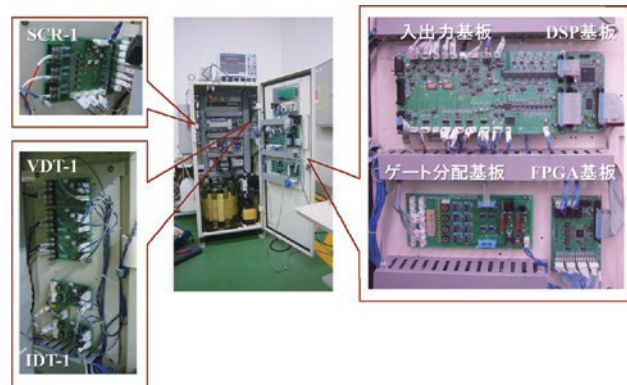


図 1.2 ④デジタル化発振機構成

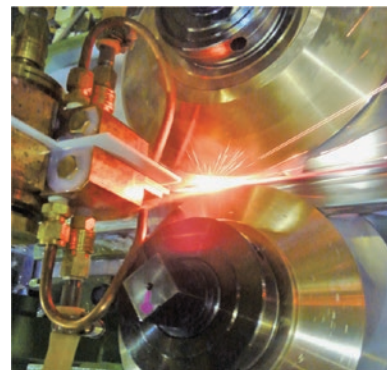


図 1.3 ⑧角パイプ溶接の状態

工場に納入した。

2. 機 械

①インボードジョイント焼入焼戻機に要求される精度と精度出し作業

高周波焼入設備の製造時には精度出しに多大な時間を要していたが、インボードジョイント自動焼入焼戻し設備の製造工程を例に、精度出し作業の簡略化、組立・精度出しの手順を定め、組立治具を考案して作業時間を短縮した。

②高位置精度ツインコイルクランプ機構の開発

ツインコイルクランプ機構を、従来の1支点による円弧動作でクランクシャフトを挟む機構からガイドレールを用いた直線運動で挟む機構に変更する事で、上下左右の振れが小さい高精度の加熱コイル配置を実現した。

③新搬送機構搭載高能率クランクシャフト焼入焼戻機

従来のリフト&キャリー搬送方法の見直しを行い、クランクシャフトの軸方向搬送およびシャトル搬送方式を考案し、2種類のクランクシャフトの無段取り自動機を開発した。

④モーターローターシャフト焼入焼戻し設備の歪抑制リング取り付け機構

EVの駆動モーターに使用する部品の焼入時の変形寸法を調整する為に、内径加熱部の外側に設備とは独立した1つのリングをあらかじめ被せた状態で搬送を行い、加工後に回収して再利用する新機構を開発した。

⑤ターンテーブル方式焼入焼戻し機の開発

ターンテーブル方式の搬送方法を採用し、設置スペースの縮小とサイクルタイム 15 秒以内を実現したハブユニット焼入焼戻し設備を開発した。

⑥ロボットを用いたクランクシャフト焼入機の調整方法

2004年に開発した4軸ロボット2台を使用したクランクシャフト汎用焼入設備は2020年ですでに62台以上販売している。ロボットを含む設備調整は非常に複雑であるが、作業基準の数値化と作業手順を明確にする事で調整完了までの時間を半減させた。

⑦クランクシャフト焼入設備の開発

クランクシャフト焼入設備にもターンテーブル式搬送機構を採用する事で、サイクルタイムの短縮、省スペース化、コストダウン、設備のモジュール化を実現した。

⑧ピニオンギヤマイルド浸炭4軸焼入機

従来のバッチ式浸炭炉処理から1個処理が可能なマイルド浸炭の需要が高まっており、高速で大量かつ高精度に焼入処理が可能な4軸焼入機を開発した。

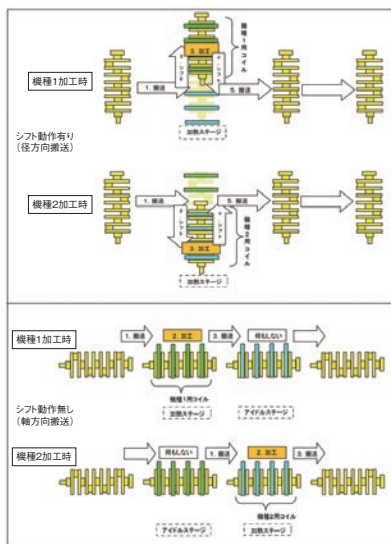


図 2.1 ③クランクシャフト新搬送機構

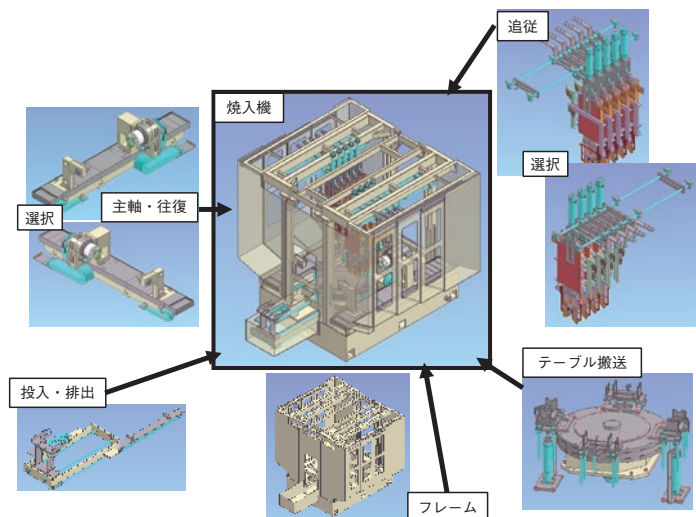


図 2.2 ⑦モジュール化ターンテーブル焼入機

3. 熱処理

① キャリアヒータ

高周波一発焼戻しのサイクルタイムで電気炉による焼戻しと同等の品質が得られる Denko-CARRIER HEATER において、ハブユニットにも利用を拡大した。

② ワーク位相回転機構キャリアヒータ

従来の Denko-CARRIER HEATER では大型ワークに温度差が発生する為に、加熱搬送途中にワーク円周位置の向きを 90 度回転させる機構を設ける事で熱処理品質を向上させた。

③ 磁性材を用いた加熱シミュレーション

磁性材を使用したコイルの電磁界解析を行うには磁性材の物性値が必要だがメーカーが公表している物性値では不十分な為、強い磁界における磁気特性を実験で調べてシミュレーションの精度向上を実現した。

④ 新型クランクシャフト焼入コイル

汎用型クランクシャフト加熱コイルのコイルヘッドを一般工具で着脱できる構造とした。交換修理にろう付け作業を必要としないことから交換修理期間の短縮と海外での交換修理を可能とした。

⑤ 短時間ハブユニット外輪の高周波焼戻し

ハブユニット外輪は、外周に突起があり内面の均熱化が困難であるが、逆巻き 2 ターン焼戻しコイルの採用によりサイクルタイムと熱処理品質の両立に成功した。

⑥ 異形状複数ワークの 2 軸戻し

径寸法が異なる 3 種のワークを 2 軸で加工する際に、ランダムな組み合わせでも品質規格を満足する加熱コイルと条件を選定した。また、その組み合わせを検知して自動的に条件を選定して加工する設備を開発した。

⑦ シミュレーションを利用した誘導加熱コイルの設計

電磁界解析ソフトを使用し、様々な形状のワークに対応した最適な加熱コイル形状の設計に利用して試作や設備の納期を短縮している。主にビレットの加熱や自動車用部品のボールジョイント、ハブユニット、クランクシャフトの加熱等で活用している。

⑧ 高周波焼入焼戻設備における水中焼入焼戻し

大気中焼入に比べて酸化スケールの付着が少ない水中焼入を採用し、部品強度と高い面粗度を両立する設備を納入した。

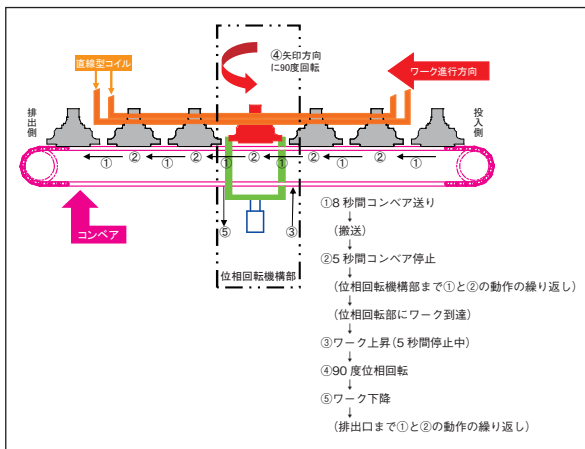


図 3.1 ②ワーク位相回転機構

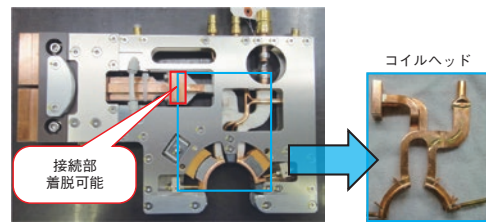


図 3.2 ④新型クランクシャフト加熱コイル

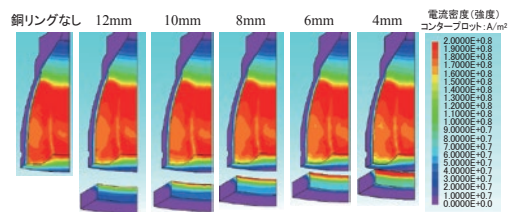


図 3.3 ⑦銅リングの位置による影響

近年の高周波誘導加熱技術のトレンドは、自動車業界の急速な発展に伴い自動車関連設備の技術が多くなっていった。2020 年の自動車業界は 100 年に一度の大変革の時代と言われており、環境問題を背景に内燃機関からモーターへと推移が始まっている。当社販売設備の主要対象品目もエンジン部品から駆動系部品に切り替えていく。また、自動運転や IoT、AI 等の技術も飛躍的に発展しているため、ソフトウェア関連の技術やサービスを強化していく。この 70 年間先輩方が新しい技術開発に挑戦して築き上げた技術を集結し、我々も新分野、新事業に向けて更に技術向上を目指す。

文部科学大臣表彰「科学技術賞」受賞

ワイヤレス研究所の河原敏朗氏は、令和2年度科学技術分野の文部科学大臣表彰において、科学技術賞(開発部門)を受賞致しました。

文部科学省は、日本国内において様々な分野で顕著な活躍或いは成果を挙げた個人又は団体に対し、文部科学大臣の名により授与する文部科学大臣賞のうち、科学技術に関する研究開発、理解増進等において顕著な成果を取めた者を「科学技術分野の文部科学大臣表彰」として顕彰しております。その中でも開発部門は、我が国の社会経済、国民生活の発展向上等に寄与し、実際に利活用されている画期的な研究開発若しくは発明を行った者を対象としております。

河原氏は、前職である株式会社NTTドコモ時代から、国内外における無線通信システムの発展に大きく寄与してきました。今回の受賞は、前職NTTドコモ無線アクセス開発部時代の業績「高度化C-RANとFDD-TDD-CAの開発」が対象となりました。

本開発は、複数周波数同時利用による通信の高速化(CA※1)と、小セル化によるエリア当たりの容量増大が可能なHetNet※2を従来のC-RAN※3に組み合わせ、C-RANの特徴(無線装置の制御部集約による低コスト化とセル間の密な連携)を活かした新たな高度化C-RANアーキテクチャを考案し実現したもので、あわせてFDD※4方式とTDD※5方式のCAの実用化にも成功しました。これにより、容量増大向けのスモールセルとエリアカバレッジ向けのマクロセル間でCAを実現し、高速化に加え、混雑エリアへのスモールセル追加による大容量化とマクロセルによる移動中の安定した通信品質(ハンドオーバー低減)を同時に実現し、リッチコンテンツの促進等、新たな市場拡大に貢献したことが高く評価されました。

- ※1 CA: Carrier Aggregation 複数の周波数帯の電波(キャリア)を束ねてデータ通信をする技術
- ※2 HetNet: Heterogeneous Network 異なる要素からなるネットワーク
- ※3 C-RAN: Centralized-RAN 集中型無線アクセスネットワーク
- ※4 FDD: Frequency Division Duplex 周波数分割複信
- ※5 TDD: Time Division Duplex 時分割複信



2019年に取得した工業所有権

特 許

登録番号 / 登録日	出願番号 / 出願日	発 明 の 名 称	発 明 者
特許 6637645 2019.12.27	特願 2018-199801 2018.10.24	直交変調器	三浦 進
特許 6517960 2019.04.26	特願 2018-017422 2018.02.02	高周波誘導加熱装置	今増 寿尚 甲斐 浩之
特許 6510602 2019.04.12	特願 2017-166974 2017.08.31	昇塔防止装置	芝原 俊久 山下 寛史
特許 6510328 2019.04.12	特願 2015-112525 2015.06.02	非接触電力伝送装置	川村 昂 山根 貴佳 富里 哲夫
特許 6507145 2019.04.05	特願 2016-258026 2016.11.17	基地局ポールおよび基地局ポール用 アンテナ	西澤 俊一 吉田 昌弘 横田真一郎 佐々木克守 高橋 行隆 山根 貴佳
特許 6491289 2019.03.08	特願 2017-171140 2017.09.06	金属作製物の製造方法	今増 寿尚 城所 明
特許 6490752 2019.03.08	特願 2017-130716 2017.07.03	誘導加熱装置、および、該誘導加熱 装置を備えた放射性廃棄物の熔融処 理装置、放射性廃棄物の熔融固化処 理装置	栗田 洋平 久保 啓一 林 光典 富里 哲夫
特許 6479869 2019.02.15	特願 2017-034879 2017.02.27	アンテナ給電装置	上野 敬峰 寺島 由規 高橋 宏爾 荒木 亮 向井 友則 天川 英二
特許 6459133 2019.02.11	特願 2017-093304 2017.05.09	アンテナ装置	天川 英二 牧山 真之 高橋 宏爾 服部 和哉 福田 正義

登録番号 / 登録日	出願番号 / 出願日	発 明 の 名 称	発 明 者
特許 6470388 2019.01.25	特願 2017-229238 2017.11.29	周波数共用アンテナ用カバー	向井 友則 上野 敬峰 服部 和哉 天川 英二
特許 6470382 2019.01.25	特願 2017-216604 2017.11.09	周波数共用アレイアンテナ	上野 敬峰 寺島 由規 服部 和哉 向井 友則 天川 英二 長手 晃 吉田 昌弘
ZL201580009832.2(中国) 2019.12.03	201580009832.2 2016.08.22	熱処理装置および熱処理方法	甲斐 浩之 増渕 秀司 長太 真
1422014(アメリカ) 2019.09.24	15/122,313 2016.08.29	熱処理装置および熱処理方法	甲斐 浩之 増渕 秀司 長太 真
10367268(アメリカ) 2019.07.30	15/551,794 2017.08.17	漏れ波アンテナ	大島 一郎 關 卓也
70514(タイ) 2019.06.27	1401004318 2014.07.25	高周波誘導連続加熱方法及び高周波 誘導連続加熱装置	宮下 光一 佐久間敏之 永末 明
ZL201580076544.9(中国) 2019.06.25	201580076544.9 2017.09.18	漏れ波アンテナ	大島 一郎 關 卓也
10-1989841(韓国) 2019.06.11	10-2017-7026223 2017.08.17	漏れ波アンテナ	大島 一郎 關 卓也

○ 2019年中に新たに登録となった実用新案権・意匠権・商標権はありません。

社外発表および論文紹介

(2019年の社外発表)

●OTA測定による無線電力伝送の与 干渉評価に関する一検討

佐藤啓介・関野昇・木本颯・吉田翔・大島一郎・西森健太郎(新潟大学), 電子情報通信学会, WPT 研, 電子情報通信学会, 2019年3月8日

無線電力伝送(WPT)では, 既存システムへの干渉回避技術が必要であり, その評価のために必要なOTA測定に関する基礎検討をシミュレーションにて行った。

●メアングループ状無給電素子を用いた 偏波共用反射板付きダイポール ルアンテナの広帯域化

山口葵(千葉工業大学)・長敬三(千葉工業大学)・吉原龍彦(NTTドコモ)・井原泰介(NTTドコモ)・佐々木隆吉, 和文論文誌B(豊かな生活を支えるアンテナ伝搬及び関連システムの論文特集), 電子情報通信学会, 2019年11月1日

4G向けに割り当てが行われている800MHz帯に加え, 700MHz帯の共用に向けた技術研究に関する論文。ループ状の無給電素子により広帯域な入力インピーダンス特性が得られるが, メアングループの形状が偏波共用かつ広帯域特性に加え, 無給電素子の小型化に有効であることを示した。

●Extracting equivalent circuit parameters of a CRLH transmission line (伝送線路の等価回路パラメータ抽出)

長敬三(千葉工業大学)・中林寛暁(千葉工業大学)・道下尚文(防衛大学校)・大島一郎, IEICE Communications Express (ComEX), Vol.8, No.7, pp.225-232, 電子情報通信学会, 2019年4月15日

右手/左手系複合(CRLH)伝送線路の等価回路パラメータの決定法について提案している。この方法は実際のCRLH線路をフルウェーブ解析して得られた複数の周波数におけるZマトリクスを使うものであり, CRLHマイクロストリップ線路へ応用した結果について示している。

●平成31年度初級熱処理塾 高周波 焼入れ

甲斐浩之, 平成31年度初級熱処理塾, 東部金属熱処理工業組合, 2019年4月15日

熱処理に従事する初級者を対象とした講習会。高周波熱処理の原理, 特徴, 熱処理方法等, 基本的な事柄を説明。

●A Compact Dual-Band and Multiple-Input Multiple-Output(MIMO) Indoor Base Station Antenna for 2G/3G/LTE Systems (2G/3G/LTEで利用可能な2つの広帯域性をもつ, MIMO対応屋内アンテナ)

Yan Zhao(Chulalongkorn University)・Chawalit Rakluea(King Mongkut's University of Technology North Bangkok)・Tanan Hongnara・Sarawuth Chamool(Khon Kaen University), IEEE Journal, IEEE, 2019年6月20日

2G/3G/LTEで利用可能な2つの広帯域特性をもつMIMO対応屋内アンテナの研究に関する論文。

●アンテナ系の研究開発に取り組む 企業(電気興業株式会社)「移動通 信用基地局アンテナの研究開発例」

大島一郎, 電子情報通信学会誌, Vol.123, No.2, 別冊, 一般社団法人電子情報通信学会, 2020年2月1日

別冊特集「通信の「仕事」」において, 主に学生読者を対象として, 当社におけるアンテナの研究開発の仕事について, 研究開発の流れや移動通信用基地局アンテナの開発例を示して, 仕事のやりがいや今後の展望について述べている。

●Dual-Polarized Reflective Metasurface Based on Cross-Shaped Resonator for 5G Wireless Communication Systems at 28GHz

Tanan Hongnara・佐々木隆吉・佐々木克守・大島一郎・佐藤啓介・道下尚文(防衛大学)・中林寛暁(千葉工大)・長敬三(千葉工大), ISAP2019 西安(中国), 電子情報通信学会・IEEEなど, 2019年10月27日

5G用として開発したメタマテリアル反射板に関する研究発表。28GHz帯は従来と比較して, 不感知帯になりやすく, 本発表のようなコンパクトで簡単にエリア補完できる技術が有用である。