

# 電興技報

2022

No.54



## 企業にとっての“研究開発”とは

取締役執行役員 R&D 統括センター長 河原 敏朗



電気興業の5Gへの取り組みを加速すべくワイヤレス研究所が2019年に設立されて2年、2021年には新たに未来研究所が設立され新規事業創出に向けて活動を開始しました。会社としては70周年の節目を越え、さらなる発展に向け“研究開発”の重要性が増してきていると感じています。そこで、改めて企業にとっての“研究開発”について考えてみたいと思います。

まず、“研究”と“開発”を分けるのではなく、“研究開発”という言葉在意図的に使っていると思っています。企業の研究開発活動はこの両者の側面を一定割合で持っていて、開発の割合が高いテーマについても、優位性を求める解決すべき課題（Research Problem）の設定が必要だと考えます。

研究開発の課題設定においては、3つの要素を意識することが重要です。解決すべき課題（Must）、今の自分たちで解決できる課題（Can）、探求心からくる解決したい課題（Want）、この3要素が課題設定において意識されなければ、結果としてCanとWantに引きずられた課題設定となることもあります。Mustがまずあり、Canができなければそれをどう補いつつ、Wantと折り合いをつけるかということを考える行動が、企業の研究開発では重要です。

解決すべき課題（Must）の設定について、企業の研究開発で意識すべきことは何でしょう。企業にとっての研究開発の目的は、新たなValueを創造することにあります。Valueに関するビジネスモデルとしては、“Create”、“Deliver”、“Capture”の3要素が重要です。価値を創造（Create）し、それを顧客に届け（Deliver）、それによって企業としての利益を得る（Capture）までが成り立ってこそ、企業にとっての“研究開発”です。

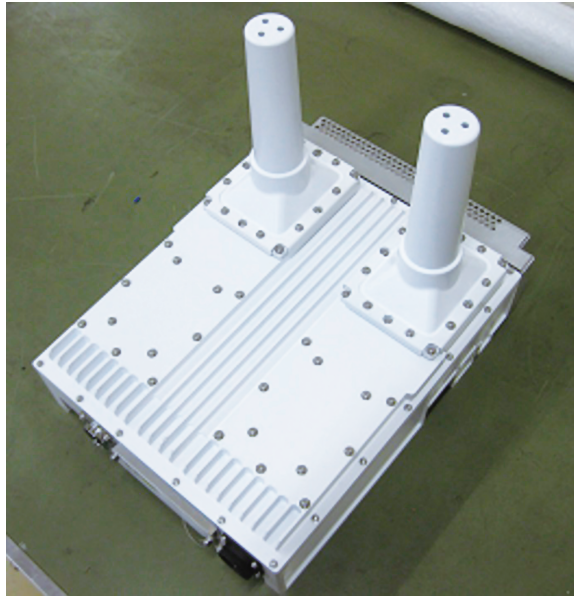
電気興業の70周年を越えての新たな発展に向けて、Deliver Value, Capture Valueまで意識したMust Problem設定による研究開発を進めて参りたいと思います。



---

## mmWave帯向けオムニアンテナ

---



28GHz 帯垂直偏波オムニアンテナ  
ローカル 5G 向け 28GHz 帯無線機に取付可能。

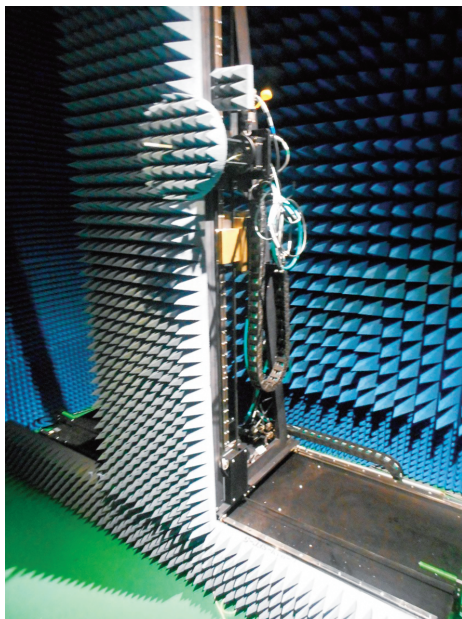
(本文 1 ページ)

---

## ミリ波近傍界測定システム

---

近傍界測定装置



測定用電波暗室



ミリ波近傍界測定装置, 測定用電波暗室  
ミリ波近傍界測定は開口1.2m<sup>2</sup>程度までのミリ波帯アンテナの測定が可能。  
電波暗室はミリ波平面波近傍界測定および OTA (Over The Air) 測定に対応。

(本文 17 ページ)

# DENKO-CUBO

DENKO-CUBO



焼入機内(加熱コイル周辺)

ダルマコイルを用いた自動段替え機能を有する DENKO-CUBO  
作業者による部品交換や調整作業を全て無くし、段替えプログラムによるワンタッチ段替えを実現。(本文 29 ページ)

## 過熱水蒸気

サイクロン式自動機



設備全体

粉末処理用の自動過熱水蒸気装置

粉末の投入装置・処理装置・排出装置を連動させ、最大処理量 50kg/h を実現。

(本文 33 ページ)



# Beyond5G/6G を見据えた テラヘルツ波帯アンテナの検討

佐藤 啓介\*      宍戸 洸太\*\*      佐々木隆吉\*\*  
市川 舜太\*\*      大島 一郎\*

## Study of Terahertz Band Antennas for Beyond 5G/6G

*Keisuke Sato, Kota Shishido, Takayoshi Sasaki,  
Shunta Ichikawa and Ichiro Oshima*

Beyond5G/6G に向けて、テラヘルツ波帯とよばれる 100GHz ~ 300GHz の超高周波の利用が検討されている。300GHz 帯での伝搬実験用オムニアンテナが求められているが、導波管インタフェースへの対応・微細構造などの理由により、実現されていなかった。

本稿では、当社で開発してきたオムニアンテナを題材に、5G 以前のオムニアンテナと、Beyond5G/6G で割当てられる 300GHz 帯アンテナの構成・特徴・検討課題の違いについて述べる。また、300GHz 帯オムニアンテナについては、電磁界解析・試作による実測を行い、良く一致する結果が得られた。

For Beyond 5G/6G, the use of ultrahigh frequencies between 100 GHz and 300 GHz, known as the terahertz band, is studied. Though omni-antennas for propagation experiments in the 300 GHz band have been demanded, they are not realized due to the lack of support for waveguide interfaces and microstructures.

This paper describes the differences in configuration, features, and issues to be considered between the omni-antennas developed before 5G and the 300 GHz antennas to be allocated for Beyond 5G/6G, subject to our omni-antennas. The 300 GHz omni-antenna was evaluated by electromagnetic field analysis and prototyping. The result has a good agreement between the analysis and the measurement.

### 1. はじめに

現在の 5G から、移動通信における mmWave 帯 (28GHz 帯) の利用が開始された。その中で、企業・自治体が広く免許取得できるローカル 5G への割り当ても実施された<sup>(1)</sup>。さらに、次世代移動通信の Beyond5G/6G では、無線通信の更なる高速化を目指し、100GHz ~ 300GHz までの超高周波の利用が検討されている<sup>(2)</sup>。

一般的に、5G での mmWave 帯のエリア形成は、伝搬損失の補償のためビームフォーミング可能な高利得平面アレーアンテナを用いる<sup>(3)</sup>。しかし、ローカル 5G でのエリア形成を考慮したときにビーム

フォーミングの機能は、コスト面・性能面・制御面でオーバスペックになるケースがある。

一方、テラヘルツ波帯では、本稿執筆時点において、移動通信上の振る舞いが十分明らかになっていないという課題がある。その課題の一つとしてチャネルモデルの構築があるが、そのためにオムニアンテナを利用した伝搬実験が望まれる。しかし、テラヘルツ波帯では、微細構造および導波管インタフェースへの対応から、従来の移動通信用アンテナでの設計方法ではオムニアンテナの実現が困難である。これらの問題を鑑みて、当社では開口面アンテナ技術を用いた 300GHz 帯オムニアンテナを開発した<sup>(4)</sup>。

本稿では、当社で開発してきたオムニアンテナを題材に、5G 以前の Sub6 帯以下向け / mmWave 帯用アンテナと Beyond5G/6G で割当てられる

\* R&D 統括センター ワイヤレス研究所  
\*\* 機器統括部 移動通信技術開発部

300GHz 帯アンテナを比較し、構成・特徴・検討課題の違いについて述べる。さらに、300GHz 帯オムニアンテナでは、電磁界解析ならびに試作による実測結果を示す。

## 2. 各周波数帯におけるオムニアンテナ

### 2.1 Sub6 帯以下のオムニアンテナ

図1に、Sub6 帯以下の例として、当社で開発した、800MHz/2GHz 帯デュアルバンドオムニアンテナの内部構造を図1に示す<sup>(5)</sup>。本アンテナは、デュアルバンドの共用に加えて、垂直・水平偏波共用構成による偏波 MIMO / ダイバーシティへの対応も可能な構成となっている。各アンテナ素子やアレーアンテナを構成するための給電回路などは、誘電体基板を用いて設計されており、立体的に組み上げることで内部構造を実現する。また各構造の外形寸法は cm オーダであり、手作業での組立が可能な程度のサイズである。このように Sub6 帯以下のアンテナは、複雑な構成を用いた高機能化が比較的簡易に

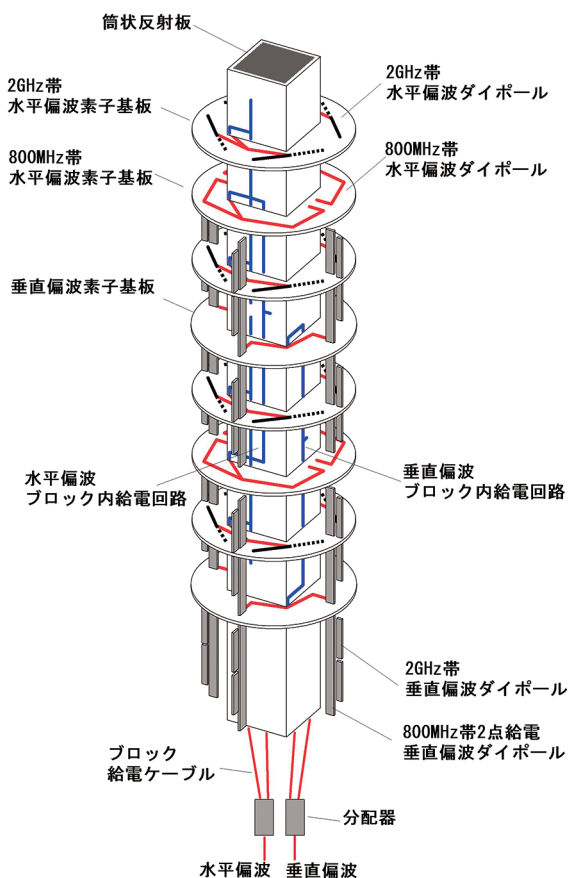


図1 800MHz/2GHz 帯デュアルバンド偏波共用オムニアンテナの内部構造<sup>(5)</sup>

できる特徴をもつ。

### 2.2 mmWave 帯オムニアンテナ(ローカル 5G 向け 28GHz 帯無線機)

写真1に、当社で開発したローカル 5G 向け 28GHz 帯無線機の構造を示す。本図の装置は、オムニアンテナを実装した形状である。無線装置は 2 系統で構成され、それぞれ垂直/水平偏波で 9dBi 以上の高利得なオムニアンテナを実装する。

図2に、一例として、28GHz 帯垂直偏波オムニアンテナの内部構造を示す。本アンテナは、低損失な高周波数用基板を用いた多層構成により、アンテナ

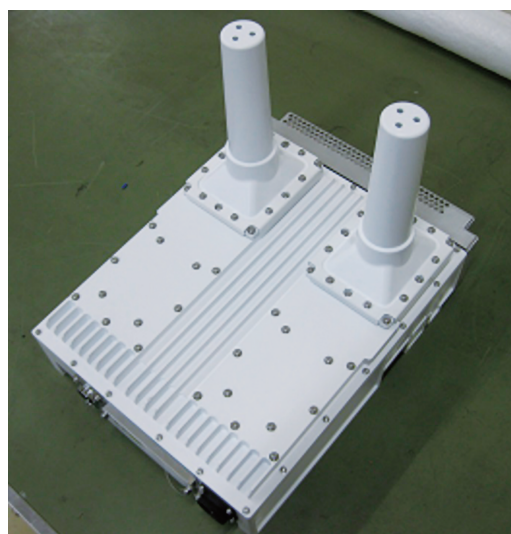


写真1 ローカル 5G 向け 28GHz 帯無線装置

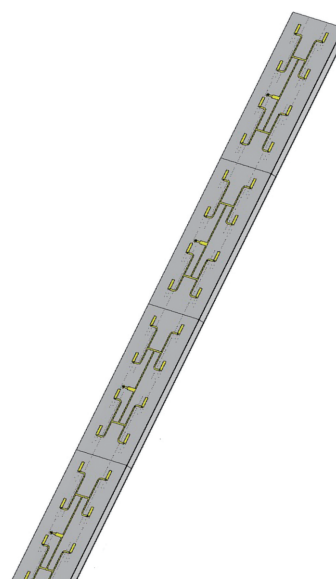


図2 28GHz 帯垂直偏波オムニアンテナの内部構造



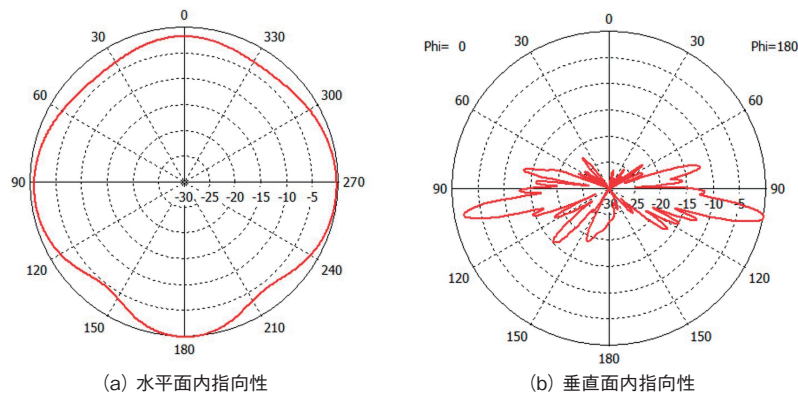


図3 28GHz 帯オムニアンテナの指向性

素子・給電回路をパターン化したリニアアレーアンテナにより構成している。なお、本稿では示していないが、水平偏波についても同様の構成である。

mmWave 帯においても、アレーによるオムニアンテナの実現という点では、Sub6 帯以下のものと同じ設計思想となる。しかし、Sub6 帯以下と比較して構造が小さく、手作業での組立・調整が難しいため、多層基板を用いた構成とした。すなわち、mmWave 帯アンテナは、Sub6 帯以下と比較して多層基板での実現が可能な程度にシンプルな構成で機能を絞った設計とする必要がある。

図3に28GHz帯垂直偏波オムニアンテナの指向性を示す。水平面内でほぼ無指向性となる指向性が得られている。また、垂直面内は $10^\circ$ チルトビームが得られるように設計している。

### 2.3 300GHz 帯オムニアンテナ

本稿執筆時点において、300GHz帯アンテナは導波管インタフェースが主流であり、オムニアンテナでもその対応が求められる。さらに、Sub6帯やmmWave帯と比較して、あらゆる損失が大きいことが分かっているため、給電回路なども可能な限りの低損失化が望まれる。以上の観点から、当社は、開口面アンテナおよび導波管の技術<sup>(6)</sup>に着目し、300GHz帯での実現を試みた。

表1に、300GHz帯オムニアンテナの目標諸元を示す。使用周波数帯にて、VSWR2以下、3dB以内の無指向性を得る垂直偏波アンテナとする。図4に、当社で開発した300GHz帯アンテナの解析構造を示す。アンテナは、給電部、1次放射器、反射鏡、レドームから構成される。給電部は、矩形導波管、モード変換器、円形導波管から構成される。WR-3の矩形導波管により、 $TE_{10}$ モード励振する。モード変換器

表1 300GHz 帯オムニアンテナの設計諸元

使用周波数	300GHz $\pm$ 2.5GHz
偏波	垂直偏波
垂直面内指向性	半値幅 $20^\circ$ /サイドローブレベル-15dB以下
水平面内指向性	無指向性(偏差 3dB以内)
VSWR	使用周波数帯にて2以下
指向性利得	6dBi以上

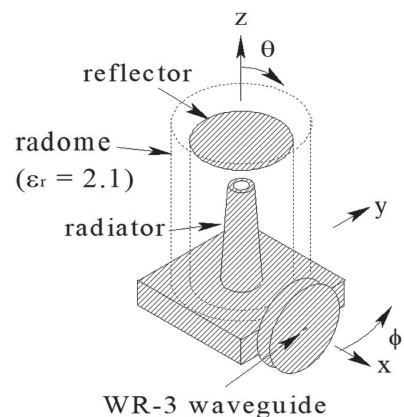


図4 300GHz 帯オムニアンテナの解析構造

により、矩形導波管内で支配的な $TE_{10}$ モードを打ち消し、円形導波管内は $TM_{01}$ モードが伝搬する。1次放射器は、 $TM_{01}$ モード励振により、軸方向がヌルとなるコニカル指向性を得る。1次放射器から放射された電波は、反射鏡により水平方向に反射され、無指向性を得る。レドームはテフロン材( $\epsilon_r = 2.1$ )とし、その厚みは300GHzで反射を抑制できる寸法に調整する。本アンテナの全体的なサイズは、 $\phi 27\text{mm} \times 40\text{mm}$ 程度であり、非常に小形である。

5G以前の周波数と比較し、波長の観点から、微細構造を高い精度で製作する必要があり、手作業での調整などはもはや不可能である。したがって、テラ

表2 各周波数帯のアンテナの構成・特徴

	SUB6 帯以下	mmWAVE 帯	テラヘルツ波帯
周波数	700MHz 帯～4.5GHz 帯	28GHz 帯	100GHz 帯～300GHz 帯
寸法・製作精度	cm オーダ	mm オーダ	mm～ $\mu$ m オーダ
アンテナ構成	周波数・偏波共用適用可	限定的(単周波数)	限定的(導波管必須)
設計法	マニュアル調整も可能	高いシミュレーション精度が必要	より高いシミュレーション精度が必要

ヘルツ波帯などの超高周波のアンテナ設計において、シミュレーション精度の重要性が増す。

表2に、ここまで論じた各周波数帯のアンテナの構成・特徴をまとめておく。

### 3. 300GHz 帯オムニアンテナの解析結果と実測結果

写真2に、解析モデルをもとにした試作機の構造を示す。給電構造含めて解析モデルとほぼ誤差のない構造を目標に製作している。図5にVSWRの周波数特性を示す。使用周波数帯において、VSWR2以下の良好な性能が得られている。また、解析値と実測値で非常によく一致した特性となる。図6に、300GHzにおける指向性を示す。水平面内指向性において、偏差2dB以下の無指向性パターンが得られている。さらに、VSWRと同様に、解析と実測値において非常に良く一致した特性が得られており、十分なシミュレーション精度を確保できていることがわかる。

図7に、300GHz帯での電界分布を示す。一次放射器からの電波が反射鏡に当たり、最終的に水平方向に放射する様子が確認できる。

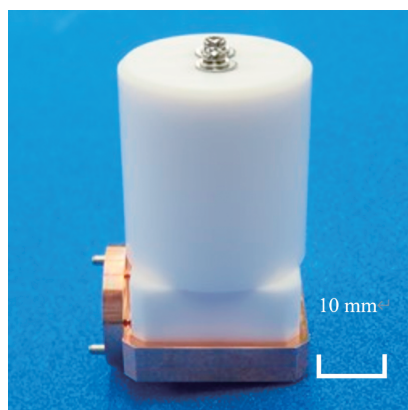


写真2 300GHz 帯オムニアンテナの試作機構造

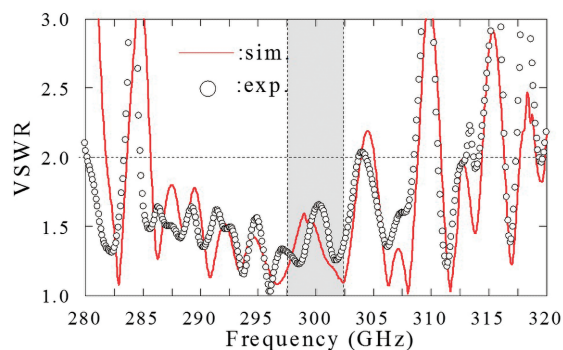


図5 VSWRの周波数特性

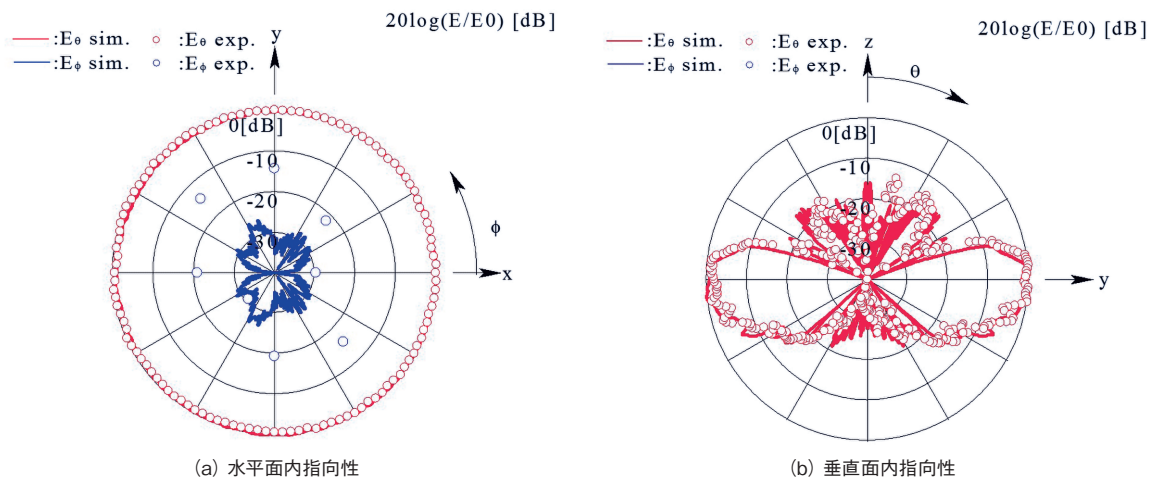


図6 300GHz 帯オムニアンテナの指向性 (@300GHz)





論文

# マルチシート構成による ローカル5Gシステム向け 偏波共用広角反射メタサーフェス反射板の開発

Tanan Hongnara\*    白澤 嘉樹\*    佐々木隆吉\*  
佐々木克守\*    佐藤 啓介\*\*    大島 一郎\*\*  
道下 尚文\*\*\*    中林 寛暁\*\*\*\*    長 敬三\*\*\*\*

## Development of Dual-Polarized Broad-Beam Reflective Metasurface based on Multi-Sheet Configuration for Local 5G Systems

*Tanan Hongnara, Yoshiki Shirasawa, Takayoshi Sasaki,  
Katsumori Sasaki, Keisuke Sato, Ichiro Oshima,  
Naobumi Michishita, Hiroaki Nakabayashi and Keizo Cho*

メタサーフェス (MTS) 反射板は反射波の方向やビーム幅を自由に設計可能であるが、設置環境に合わせた設計が都度必要になる。そのため、当社では設計の簡易化を目的として、異なる反射角を持つ MTS 反射板を複数配列したマルチシート構成の MTS 反射板を提案している。

今回は水平面内 30° 方向からの入射波を、54° ~ 66° の角度へ反射するよう 4 枚の異なる反射角を持つ反射板を組み合わせる反射板を開発した。また、開発した反射板について、鹿沼工場内のローカル 5G 実験局にて測定を行い、実環境において広角な反射を実現できることを確認した。

本論文は、2021 年 4 月に開催された EuCAP (15th European Conference on Antennas and Propagation) にて報告した "Dual-Polarized Broad-Beam Reflective Metasurface based on Multi-Sheet Configuration for Local 5G Application at 28.25 GHz" を改編したものである。

Though reflective metasurface (MTS) can be designed freely in terms of the direction of reflected waves and beam width, they must be designed to meet the installation condition on a case-by-case basis. To simplify the design, we have proposed a multi-sheet reflective MTS that consists of several reflective MTS with different reflection angles.

This time, we have developed a reflector that combines four reflectors with different reflection angles to reflect an incident wave from the direction of 30° in the horizontal plane to the angle of 54° to 66°. The developed reflectors were measured at a local 5G experimental station in the Kanuma Plant, and it was confirmed that wide-angle reflection was realized in the real environment.

This paper is based on "Dual-Polarized Broad-Beam Reflective Metasurface based on Multi-Sheet Configuration for Local 5G Application at 28.25 GHz" (copyright©2021 EurAAP) presented at EuCAP (15th European Conference on Antennas and Propagation) in April 2021.

\* 移動通信技術開発部 移動通信開発課

\*\* R&D 統括センター ワイヤレス研究所

\*\*\* 防衛大学校

\*\*\*\* 千葉工業大学

## 1. はじめに

第5世代移動通信システム(5G)において、ミリ波(mmWave)帯域の使用は、高速大容量かつ低遅延通信など、通信品質を高度に向上させるために有用とされている。一方で、5Gのもう一つの重要な課題は、カバーエリアの広さであり、多くのスモールセルエリアを構築する必要がある。

日本国内では、スマートファクトリーなどのアプリケーションをサービス化することを目的に、総務省がプライベートネットワークをローカル5Gシステムとして利用する構想を発表し推進している。ローカル5Gに用いられる周波数帯には、無線通信で大容量かつ高速、低遅延通信を実現するために、28.2~29.1GHzの準ミリ波帯も含まれている<sup>(1)</sup>。

しかしながら、ミリ波は伝搬損失がSub-6帯などと比較して大きい為、長距離伝搬においてはアンテナ利得を高くすること、またその高利得な指向性を走査するビームフォーミングを用いるアンテナ等を用いる必要がある。このような場合、電磁(EM)波の伝搬においては非常に直進性が高く、指向性が鋭くなるという課題がある。そのため、6GHz以下の周波数帯と比較して、電磁波が障害物によって回折しにくいという欠点を持つ<sup>(2)</sup>。これは、カバレッジエリアが狭くなることや、多くの不感地帯の発生といったエリア設計上の課題を生じる。

この問題を解決するために、無給電で動作する反射板を使用して、電磁波を不感地帯方向に反射させるコンセプトが提案され、実験されている<sup>(3)</sup>。さらに、より高度な方法として薄い構造のMTS反射板設計が報告され、鏡面反射角度以外のNLOS(見通し外)方向に電磁波を反射させるために使用されている<sup>(4)</sup>。設計において重要となる点として、単一方向への高効率な反射を達成するために、MTS反射板の表面インピーダンスと反射位相を1次回折周期で制御することである<sup>(5)</sup>。通常、金属製反射板と比較して、MTS反射板は入射角と反射角を変化させることができるため、より柔軟でコンパクトな反射板の設置を実現可能である。

さらに、より多くのユーザー端末にサービスを提供するためには、カバレッジエリアを広くすることが求められており、反射板は、広角の反射指向性が望ましい。従来、金属反射板の反射ビーム幅は、反射板の開口面積に依存する。反射板開口面積が大きくなるにつれ、反射波の利得は高くなり、ビーム幅

も狭くなる。また、従来設計していたMTS反射板においても同じであり、開口面積が大きくなることにより反射ビーム幅は狭くなる。このような設計では、不感地帯改善の効果は限定的であると考えられる。

そこで、設計のしやすさ、エリア設計の柔軟性を考慮して、複数のMTS反射板の反射指向性を合成して広角反射指向性を実現する、マルチシートMTS反射板構成を提案した。本提案構造では、すべてのMTS反射板の入射角は等しいが、反射角は反射波の半値角に合わせて適度に重なるように設計されている。本検討では、入射角( $\theta_i$ )が $30^\circ$ の垂直・水平偏波共用のメタサーフェス反射板を4枚設計し(以下サブMTS)、それらの反射角( $\theta_r$ )を $54^\circ$ 、 $58^\circ$ 、 $62^\circ$ 、 $66^\circ$ と設定した。単一のメタサーフェス反射板の反射指向性とマルチシート構成の反射指向性を電磁界シミュレーションおよび実測により検証した。設計周波数は28.25GHzとしている。

## 2. マルチシート MTS 反射板の構成

### 2.1 マルチシート MTS 反射板の概要

図1に、本実験で使用するマルチシートMTS反射板の全体構造を示す。マルチシートMTS反射板は4つのサブMTS(MTS-A, MTS-B, MTS-C, MTS-Dとする)を組み合わせて構成される。

すべてのサブMTSは、xz平面(アジマス平面)で入射波を反射するように設計される。これらのMTS反射板は、すべて等しい入射角 $\theta_i = 30^\circ$ となる。そして、MTS-A, MTS-B, MTS-C, MTS-Dでは、 $\theta_r$ をそれぞれ $54^\circ$ 、 $58^\circ$ 、 $62^\circ$ 、 $66^\circ$ に設定する。図1に見られるように、すべてのサブMTSは、反射指向

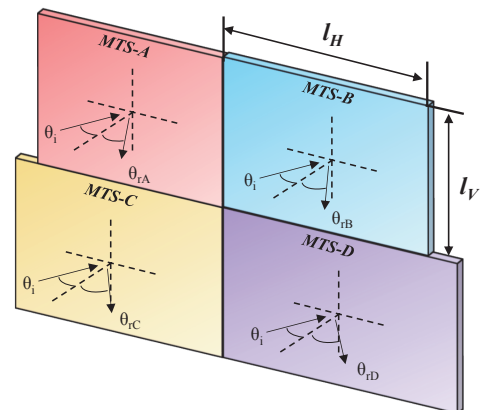


図1 広角反射MTS反射板におけるマルチシート構成のコンセプト



表1 サブMTS構成の設計諸元

Parameter	MTS-A	MTS-B	MTS-C	MTS-D
Incident Angle $\theta_i$	30°			
Reflection Angle $\theta_r$	54°	58°	62°	66°
Vertical Length $l_v$	180 mm			
Horizontal Length $l_H$	285 mm	300 mm	314 mm	335 mm

性の垂直方向の半値幅が等しくなるように、垂直方向の長さ ( $l_v$ ) を 180mm とした。これは、長方形の開口面積からの放射指向性および利得の推定に基づいて設計している<sup>(6)</sup>。一方、反射角  $\theta_r$  が各サブ MTS によって異なることにより、反射開口面積も異なる。反射電力を等しくするために、サブ MTS 反射板の水平方向の長さ ( $l_H$ ) を適切に変更し、反射電力が一定となるよう補正をしている。したがって、この構成では、 $\theta_r$  が最も大きい MTS-D が最も長い  $l_H$  を持つことがわかる。各サブ MTS の詳細を表 1 に示す。

## 2.2 サブ MTS の角度設計

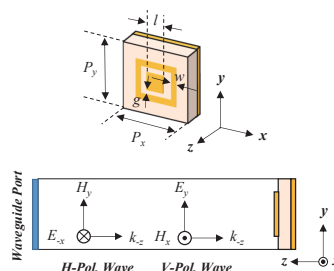
入射と反射の方向を自由に定義するために勾配位相 MTS 反射板の技術を用いている。この設計は一般化されたスネルの法則の方程式に基づいて行っており、次式のように表される。

$$\sin \theta_r - \sin \theta_i = \left( \frac{\lambda_0}{360^\circ \times n_i} \right) \cdot \left( \frac{d\phi}{dx} \right) \quad (1)$$

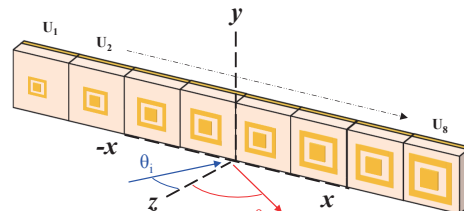
$\theta_i$ ,  $\theta_r$ ,  $\lambda_0$  はそれぞれ、入射角、反射角、MTS 反射板の動作周波数における波長である。

また、反射面の空気媒体の屈折率  $n_i$  は 1 とした。 $d_\phi/dx$  の項は、 $d_x$  の距離による反射位相の差である<sup>(7)</sup>。そのため、通常、 $d_x$  は MTS のユニットセルの反射位相が 360° 回転する周期として設定される。

鹿沼工場において取得した実験用免許の周波数に合わせ、動作周波数は 28.25GHz を中心として設計した。MTS 反射板を構成するセル間の位相差  $d_\phi$  は 45° に固定されている。したがって、各サブ MTS で異なる反射角  $\theta_r$  値を実現するために、単位セルの  $d_x$  またはスーパーセル周期を変化させる。図 2(a) に示すように、MTS 反射板のユニットセル素子として、正方形の金属パッチとリングを用いて設計している。ユニットセルの裏側には金属板を設定している。試作コストを削減するために、これらの素子は実験的に設計し、基板厚さ 0.8mm の安価な FR-4 基板 ( $\epsilon_r = 4.3$ , 誘電正接 = 0.018) を使用した。すべてのサブ MTS は、リング素子の Y 方向のセルの周期 ( $p_y$ ),



(a) ユニットセル



(b) スーパーセル

図2 MTSの構成図

表2 スーパーセル構成の設計諸元

Parameter	MTS-A	MTS-B	MTS-C	MTS-D
$p_x$ (mm)	4.12	3.74	3.45	3.23
$l$ of $U_1$ (mm)	0.53	0.52	0.53	0.53
$l$ of $U_2$ (mm)	0.67	0.66	0.65	0.65
$l$ of $U_3$ (mm)	0.75	0.74	0.73	0.73
$l$ of $U_4$ (mm)	0.81	0.80	0.80	0.80
$l$ of $U_5$ (mm)	0.89	0.88	0.90	0.90
$l$ of $U_6$ (mm)	1.00	1.05	1.05	1.11
$l$ of $U_7$ (mm)	1.38	1.48	1.54	1.57
$l$ of $U_8$ (mm)	1.73	1.74	1.75	1.76

ギャップ ( $g$ ), 幅 ( $w$ ) をそれぞれ 3.23, 0.2, 0.25mm に固定している。一方、パッチ長 ( $l$ ) と  $x$  方向の周期 ( $p_x$ ) は、式 (1) に従って、各サブ MTS の所望の  $\theta_r$  に対してセル間で適切な位相差が得られるように調整する。また、シンプルな設計で反射角調整を実現すべく、図 2(b) に示すように、1 サイクルの位相変動のための単位セル (スーパーセル) の数を 8 セル ( $U_1 \sim U_8$ ) とした。これにより、素子の大きさを変えることで、容易に 360° の反射位相変化を発生させることができる。各サブ MTS におけるスーパーセルの構成の詳細を表 2 に示す。

ユニットセル構造とサブ MTS 構造の反射特性は、電磁界解析ソフトウェア「CST Microwave Studio<sup>(8)</sup>」を用いて解析を行った。

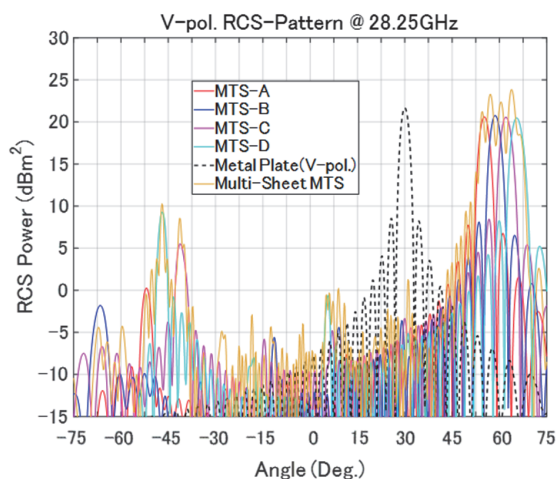
図 2(a) のユニットセル構造は、 $xy$  平面上の周期構造として設定されている。垂直偏波の平面波と水

平偏波の平面波の両方を用いて、yz平面に対して30°の入射角で反射素子へ入射する。その後、適切な大きさの1パラメータ(表2に示す)を選択し、位相勾配を生成することによってサブMTS構成を構成する。

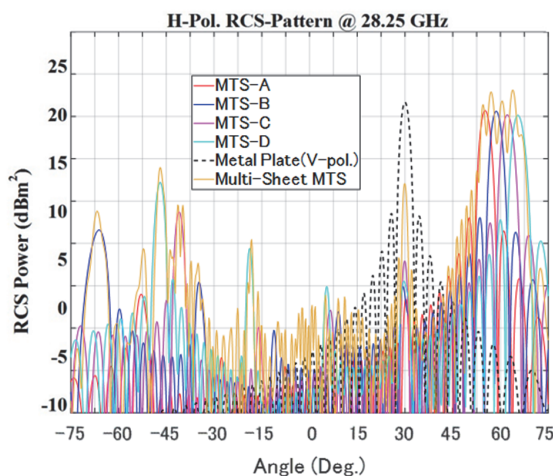
反射特性を明らかにするため、MTS-A, MTS-B, MTS-C, MTS-D, マルチシート構成の試験では、バイスタティックレーダー断面積(RCS)を設定した。同様に、MTS反射板の構造体には、入射角30°の垂直偏波および水平偏波の平面波が照射される。

図3は、28.25GHzにおける垂直偏波および水平偏波を用いたすべてのMTS反射板構成のRCSパターンの電磁界解析結果を示す。次に、金属板(230mm×180mm)の垂直偏波RCSパターンも電磁界解析を行い、開口面積からの利得算出の基準とする。

図3(a)と(b)の結果から、垂直偏波と水平偏波の



(a) 垂直偏波入射時



(b) 水平偏波入射時

図3 RCSパターン(電磁界解析値)

反射特性は、すべてのケースのMTS反射板構成でほぼ同じであることが確認できる。しかし、MTS-B, MTS-C, MTS-Dの水平偏波におけるRCSパワーは、垂直偏波の場合よりも約1dB低い。各サブMTSの反射角は、MTS-A, MTS-B, MTS-C, MTS-Dでそれぞれ54.5°, 58.6°, 62°, 65.4°と異なる反射角を示した。マルチシートMTS反射板の場合、垂直偏波と水平偏波の両方のケースで広いビームの反射指向性が得られていることが確認できる。この広いビームは、すべてのサブMTSの単一ビームを合成した結果から生成される。

4種類のサブMTSを製作し実測を行った。図4に、電波暗室内におけるRCSパターン測定の様子を示す。2つのKa-bandホーンアンテナを使用し、一つはMTS反射板へ入射する平面波を発生させる。もう一方は、MTS反射板からの反射電力を受信するために反射板を中心として2mの一定距離にて180°回転する。図5は、MTS反射板および金属板のRCSパターンの測定結果である。これらの結果は、金属板の測定のピーク値で正規化を行っている。この結果から、すべてのサブMTSの反射ビームの方向が電磁界解析の結果と同じ傾向にあることが確認できる。垂直・水平両偏波の反射角のピークは、MTS-A, MTS-B, MTS-C, MTS-Dでそれぞれ55.4°, 58.2°, 62.2°, 66.0°であった。金属板とMTSの受信電力について、各サブMTSの受信電力は金属板比-0.5~-1.8dBと変化している。しかし、水平面30°方向におけるMTSの鏡面反射について、シミュレーションと比較して大きくなっていることを確認した。これらの差異は、電磁界解析においてFR4基板の高周波数での特性設定が実用的でないためである。

次に、マルチシートMTSの広帯域動作を実用的に検証するため、図6(a)に示すように、鹿沼工場内

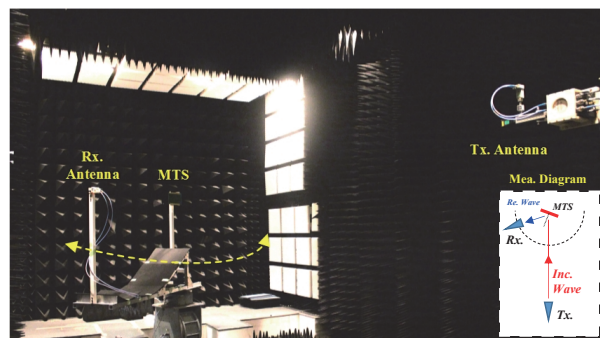


図4 RCSパターンの測定系

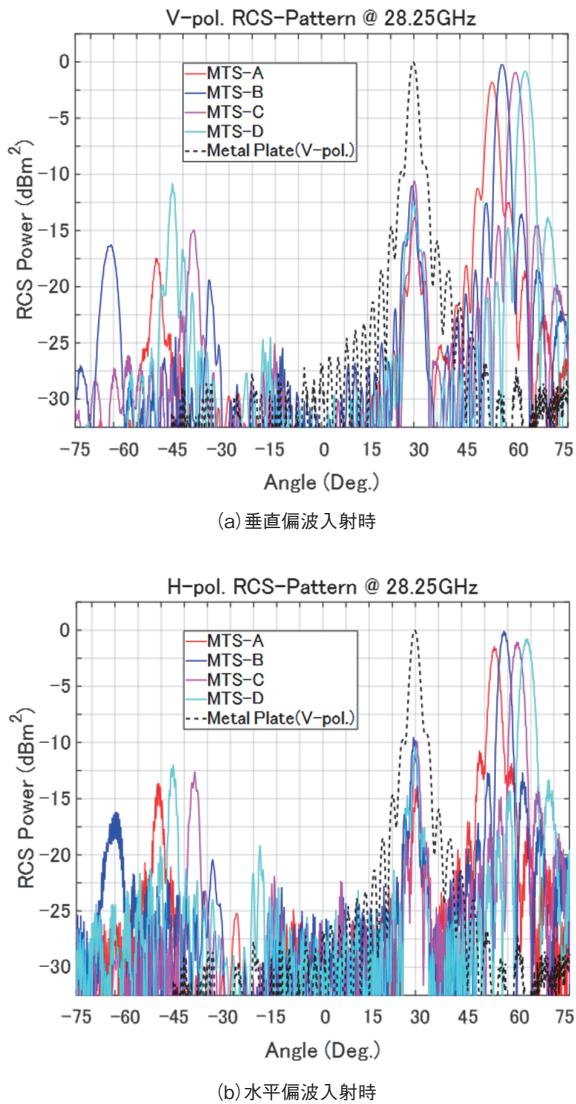


図5 RCS パターン(実測値)

に設置されたローカル 5G 実験局において、屋外の反射波測定を行った。基地局からの電波を直交する方向に反射させるために、金属板およびマルチシート MTS 反射板を、送信アンテナと受信エリア中心のラインが直交する位置に配置する。ホーンアンテナを使って基地局から帯域 100MHz の変調信号を放射する。その後、無指向性アンテナと 5G スペクトラムアナライザを用いて RSRP (Reference Signal Received Power: 基準信号受信電力) 値の測定を、垂直偏波の伝搬を用いて実施した。マルチシート MTS 反射板による効果を確認するために、図 6 (b-d) に反射板を設置しない状態、金属反射板およびマルチシート MTS 反射板を設置した際の 3 通りの測定結果を示す。反射板を設置しない場合、測定された RSRP は図 6 (b) の右から左に向かって徐々に減衰している。これは、基地局と受信アンテナが NLOS (見通し外) 環境となる場合の RSRP である。一方、金属反射板 ( $\theta_i = 45^\circ$ ) を適用した場合には、RSRP の値が大きくなっていることが確認できる。そして、最も強い RSRP となる位置は、反射板の位置と同じラインである中央の走査ラインにある。本稿で提案するマルチシート MTS ( $\theta_i = 30^\circ$ ) では、金属反射板と比較して広範囲で RSRP が向上していることがわかる。また、反射板を設置しない場合と比較して、マルチシート MTS 反射板は、走査した面積 ( $6 \times 35\text{m}^2$ ) の半分以上の面積の RSRP を向上できていることを確認した。

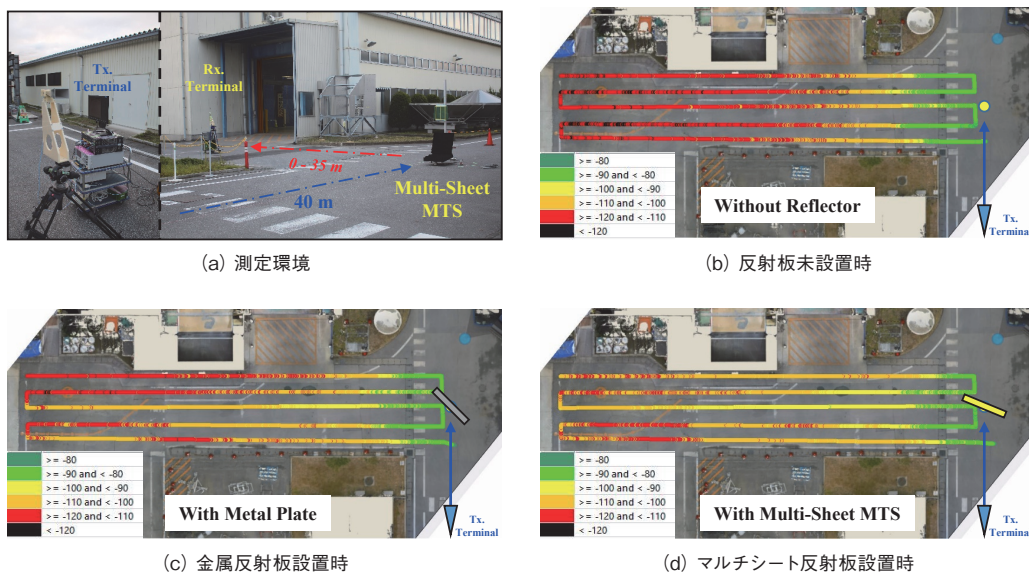


図6 反射板屋外実験の測定結果







**道下 尚文**  
防衛大学校  
電子情報通信学会・IEEE・日本シミュレーション学会会員  
教授・博士(工学)



**中林 寛暁**  
千葉工業大学  
電子情報通信学会・IEEE 会員  
准教授・博士(工学)



**長 敬三**  
千葉工業大学  
電子情報通信学会・IEEE 会員  
教授・博士(工学)



## 技術紹介

5G および Beyond 5G に向けた  
通信エリア拡張技術

藪 和哉\*                      高橋 行隆\*\*                      三浦 進\*  
 佐藤 啓介\*\*\*                大島 一郎\*\*\*                高橋 久枝\*  
 佐々木 希\*

## Communication Area Expansion Technology for 5G and Beyond 5G

*Kazuya Yabu, Yukitaka Takahashi, Susumu Miura,  
 Keisuke Sato, Ichiro Oshima,  
 Hisae Takahashi and Nozomu Sasaki*

第5世代移動通信システム(5G)およびBeyond 5Gの通信エリア拡張技術として、無線中継技術が注目されている。無線中継技術は以前から導入されているが、5G以降でも重要な通信エリア拡張技術になると考え、当社でも開発を進めている。本稿では、通信エリア拡張技術としてDAS<sup>\*1</sup>、無線中継装置、反射板の概要について触れる。また、当社の無線中継装置の取り組みにフォーカスを当て紹介する。さらに、国内外の標準化、制度化状況について述べる。

Wireless relay technology is attracting attention as a communication area expansion technology for the 5th generation mobile communication system (5G) and Beyond 5G. Although the wireless relay technology has been introduced for a long time, we are developing it as an important communication area expansion technology even after 5G. In this paper, distributed antenna system, wireless relay devices, and reflectors as communication area extension technologies are overviewed. In addition, our efforts for wireless repeaters are introduced. Furthermore, the status of domestic and international standardization and regulation is described.

## 1. はじめに

5G向けに新たに割り当てられた周波数(3.7GHz帯、4.5GHz帯、4.7GHz帯、28GHz帯)は、従来よりも高い周波数帯であり、これまでの周波数帯に比べて電波が届きにくい性質がある。そのため、当社では通信エリア拡張技術を検討している。通信エリア拡張を目的とした無線中継装置は以前から導入されているが、無線特性として5Gでは4Gよりも広い帯域幅(4Gでは最大20MHzに対して、5GではSub6帯で最大100MHz、28GHz帯で最大400MHz)、低遅延特性が求められている。また、今まで以上に設置の容易性や小型化なども求められている。2章以降では当社での取り組みについて紹介する。

## 2. 通信エリア拡張技術

通信エリア拡張技術としては、以前からDASや無線中継装置などが用いられている<sup>(1)(2)</sup>。どちらの技術も電波を中継し、電波が届き難いエリアを補完する目的で使用される。基地局が増えるわけではないのでシステム全体の通信容量に変更はないが、無線リソースの効率的な使用が期待できる。

DASは、ダウンリンク(基地局装置が送信して端末が受信)は、基地局装置と、親機となる装置とを接続(一般的には同軸ケーブル)し、親機の配下に接続された子機から電波を発射する。また、アップリンク(端末が送信して基地局装置が受信)は、端末からの電波を子機で受信し、親機を介して基地局装置に

\* 機器統括部 移動通信技術開発部

\*\* 元電気興業株式会社

\*\*\* R&D 統括センター ワイヤレス研究所

\*1 DAS: 分散アンテナシステム(Distributed Antenna System)

送信する。親機と子機間の伝送に光ファイバケーブルを用いたデジタル信号伝送方式を使用することで、長距離伝送が可能になるため、主にビル内や地下街、商業施設など、比較的規模が大きい場所に設置される。

一方、無線中継装置の場合、ダウンリンクは基地局からの電波を基地局に対向するアンテナ(以下、ドナーアンテナ)で受信し、端末に対向するアンテナ(以下、サービスアンテナ)から電波を発射する。また、アップリンクは端末からの電波をサービスアンテナで受信し、ドナーアンテナから基地局装置に電波を発射する。無線中継装置は必ず、ドナーアンテナを基地局装置からの電波が届いている場所に設置する必要があるが、DASと比べて設置が容易である。そのため、主に宅内などの小規模な屋内やルーラルエリアに設置される。

その他の通信エリア拡張技術として、今後周波数割り当てが期待されている準ミリ波以上の周波数に対して、メタマテリアル技術を使用した反射板の検

討が進んでいる<sup>(3)(4)</sup>。

表1にDAS、無線中継装置、反射板の比較表を示す。それぞれの技術において一長一短あり、用途に応じて使い分けられていくと考えられる。

### 3. DKKの無線中継装置への取り組み

当社では4G以降、DASや無線中継装置、反射板の開発に取り組んでいる。ここでは5Gのエリア拡張のために欠かせない技術である無線中継装置について述べる。

図1に無線中継装置のユースケースを示す。屋外でのユースケースとしてはビル影に対して、また、屋内(工場など)でのユースケースとしてはメイン通路から枝分かれする通路に対して無線中継器を設置することでエリア拡張が可能になる。特にFR1(Sub6帯)よりもFR2(準ミリ波以上)帯域に於いて効果が大きい。

表2に当社が開発している無線中継装置の主な諸




表1 エリア拡張技術

	DAS	無線中継装置	反射板
主な適用場所	ビル、地下街、商業施設などの大型施設	宅内などの小規模な屋内、ルーラル	今後使用が期待されている
拡張エリア	数10m～数100m	屋外：～数100m 屋内：～数10m	～数10m
電源	必要	必要	不要
導入コスト(装置+設置)	△	○	◎
拡張性	◎	○	△



図1 無線中継装置のユースケース (左：屋外、右：屋内)

表2 無線中継装置の主な諸元

	28GHz帯	3.7GHz帯	4.5GHz帯/4.7GHz帯
帯域幅	400MHz	100MHz	100MHz
1送信当たりのダウンリンク送信電力	+34dBm(EIRP)	+30dBm	+10dBm
送受信回路数	1T1R	2T2R	2T2R
アンテナ構成	内蔵	分離	分離
装置構成	2筐体 (ドナーユニット、サービスユニット)	1筐体	1筐体
装置外観			
特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ビームステアリング</li> <li>・基地局に自動同期</li> <li>・低遅延</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・基地局に自動同期</li> <li>・低遅延</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・基地局に自動同期</li> <li>・低遅延</li> <li>・準同期対応</li> </ul>

元を示す。主に実証実験を目的としたパラメータになっているが、今後、実証実験結果をもとにさらなる最適化を進めていく予定である。

図2に28GHz帯無線中継装置の3D指向性を示す。28GHz帯無線中継装置はビームステアリング機能を有し、水平面 $\pm 30^\circ$ 、垂直面 $\pm 15^\circ$ に指向性をステアリングすることが可能である。無線中継装置はドナーアンテナのビームを基地局側に向ける必要があるが、本機能があることで、装置筐体を基地局側に向けることなく、対向する基地局に最適なビームを設定できるので、設置性が向上する。当社の28GHz帯無線装置を使用した、屋内でのエリア改善効果についても報告されている<sup>(5)(6)</sup>。

図3に4.5GHz帯無線中継装置の有無によるダウンリンクにおけるRSRPのシミュレーション結果を示す。最適な場所に無線中継装置を設置することでRSRPが約20dB改善していることがわかる。当社ではこのように、エリアシミュレーション技術と組み合わせ最適装置の開発を進めている。

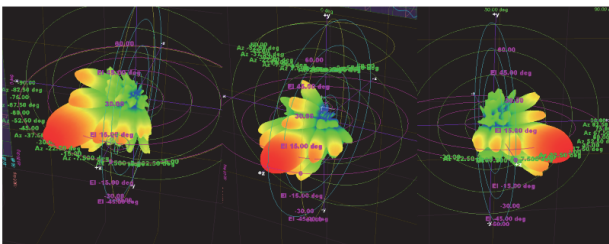


図2 28GHz帯無線中継装置の指向性  
(左： $-30^\circ$ ，中： $0^\circ$ ，右： $+30^\circ$ )

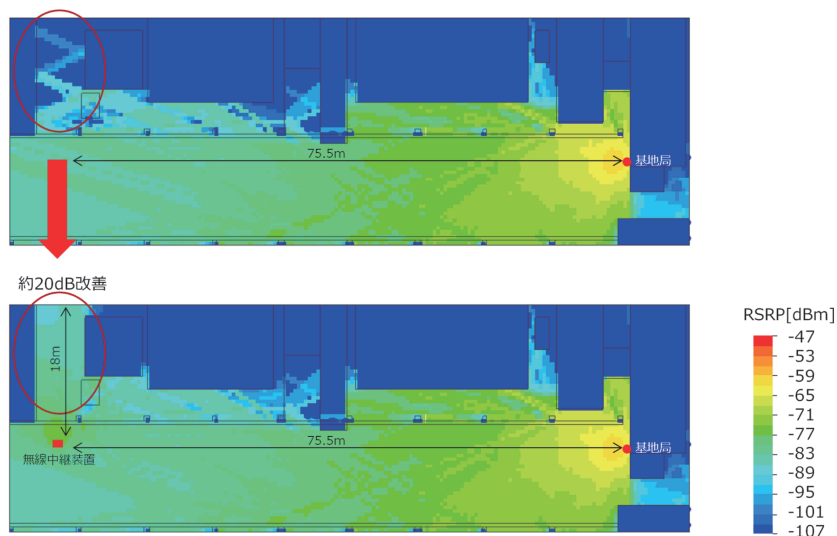


図3 エリアシミュレーション  
(4.5GHz帯無線中継装置)

#### 4. 標準化、制度化状況

国際標準化団体である3GPPでは、Release17として2022年中の完成を目指して5G NRに対応した無線中継装置の仕様検討が進められている。表3に策定中の技術仕様書を示す。TS 38.106に無線特性などの仕様が、TS38.115に適合性試験が、TS38.114にEMC関連の仕様が規定される予定である。これを受けて、国内においても総務省の新一代モバイル通信システム委員会で5Gに対応した無線中継装置の制度化に向けた検討が進んでいる<sup>(7)</sup>。

また、3GPPではRelease18に向けてエリア拡張技術の高度化として、NR Network-controlled Repeater (Smart repeater) や RIS (Reconfigurable Intelligent Surfaces) などの議論も開始されており<sup>(8)</sup>、引き続き、標準化動向を調査しつつ、当社でも技術開発を検討していく予定である。さらに、中継装置はBeyond 5G以降でも適用が検討されている。

表3 策定中の技術仕様書

TS number	Title
TS 38.106	NR repeater radio transmission and reception
TS 38.114	NR; Repeaters ElectroMagnetic Compatibility (EMC)
TS 38.115-1	NR; Repeater conformance testing – Part 1: Conducted conformance testing
TS 38.115-2	NR; Repeater conformance testing – Part 2: Radiated conformance testing





## 技術紹介

ミリ波平面近傍界 / OTA  
共用評価装置について

関野 昇\* 佐藤 啓介\* 佐々木克守\*\*

Millimeter-Wave Planar Near-Field/OTA Shared-Use  
Evaluation System

Noboru Sekino, Keisuke Sato and Katsumori Sasaki

当社では、測定距離 12m と 7m の遠方界での指向性測定システム、6GHz まで測定可能な大型近傍界測定システムが導入済みである。これに続き 2021 年度にミリ波平面近傍界測定装置と無線装置の OTA \*<sup>1</sup> 評価装置を導入した。本稿では、その概要、仕様等について紹介する。

We have already introduced a directional measurement system with a measurement distance of 12 m and 7 m in the far field, and a large near-field measurement system for up to 6 GHz. Following this, a millimeter-wave planar near-field measurement system and an OTA evaluation system for wireless devices were introduced in FY2021. This paper introduces the outline and specifications of these systems.

## 1. はじめに

5G 以降では、準ミリ波帯以上の周波数を使用したビームフォーミング機能を有するアンテナ一体型無線装置の利用が進みつつある。当社としてはこの利用ニーズに素早く対応するため、3次元指向性をリアルタイムで測定、評価できるアンテナ開発環境と、その成果により、開発されるアンテナ一体型無線装置の性能評価を可能とする環境を必要としていた。この開発環境を構築するため、ミリ波帯に対応した平面近傍界測定装置と、アンテナ一体型の無線装置の性能測定を可能とする OTA 評価装置について、1つの大型電波暗室に両方の測定装置を設置するハイブリット電波暗室として導入した。本稿では、当社にて導入したミリ波近傍界測定装置と OTA 評価装置の性能などについて紹介する。

## 2. 近傍界測定

近傍界測定は、アンテナ近傍の電界を測定し、電磁界理論による計算にて遠方界指向性を求める測定

法である。この測定法の利点は、通常の指向性測定（遠方界測定）と比較し、伝搬距離が短く済むため、比較的小規模な電波暗室で測定できることや、屋外測定のように周囲の影響を受けることなく、安定した精度の高い測定が行える。一方、計算にて遠方界指向性を求めることから、データ取得時の位置精度が測定精度となるため、高い位置精度が必要となる。

近傍界の測定方法としては、プローブ走査の方法により図 1 に示す 3 種類の方法があり、平面走査（プレーナー型）、円筒面走査（シリンドリカル型）、球面走査（アーチ型）などがある。これらの走査方法は、表 1 に示す様に、測定するアンテナの種類や大きさ、評価を必要とする指向性角度範囲等により選択される。また、どの走査方法においても、振幅と位相のデータを適正な間隔（一般に  $\lambda/2$  以下の測定間隔）での測定精度と、走査面のアライメント誤差を抑える事が、測定（変換）誤差を抑えるために、考慮する必要がある。また、これらの精度により発生する誤差は、周波数が高くなるほど大きく影響するため、ミリ波帯以上の測定ではより高い精度が必要とされる。

\* R&amp;D 統括センター ワイヤレス研究所

\*\* 機器統括部 移動通信技術開発部

\*<sup>1</sup> OTA : Over The Air



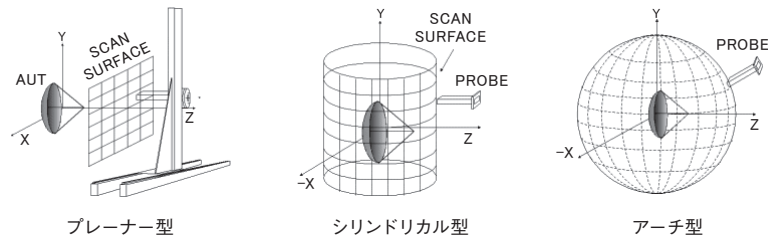


図1 近傍界測定方法

表1 近傍界走査方法の比較

	平面走査	円筒面走査	球面走査	
プローブ走査	X-Yの2次元	1次元(Az軸との平行面)	球面座標	なし
アンテナ回転	なし	Az軸回転	Az軸回転	2軸回転
要求機械的精度	スキャナーの平面度	Az回転軸と走査軸との平行度	Az軸に対する球面度	回転軸の直交度
特徴	側後方の指向性取得不可 アンテナ設置が容易 小型、省スペース	後方指向性の取得が可能 平面走査からの拡張可能	回転台方向の指向性の取得不可 電波暗室が大型化 複数プローブによる高速化が可能	回転台方向の指向性の取得不可 大型アンテナには不向き

### 3. OTA 測定

OTAとは、「無線で」といった意味であり、無線による測定として、アンテナと無線装置をコネクタ接続せず、直接接続する一体型無線装置を評価するための測定法である。従来の無線装置の評価としては、ケーブルを介して測定器に接続していたが、準ミリ波帯を使用する携帯基地局無線装置では、ビームフォーミングアンテナを使用しており、小型化と給電損失の低減のため、コネクタ無しでのアンテナ接続が多く用いられ、OTA測定による評価が必要とされた。

携帯基地局装置のOTA測定では、標準機関である3GPP<sup>\*2</sup>により、遠方界領域で測定することが、

定められている。遠方界となる測定法を図2に示す。遠方界測定法は、DUT<sup>\*3</sup>から放射された電磁波を受信するアンテナでの開口面位相が、平面波として見なせる距離以上に離して設置する測定法であり、一般的に受信用アンテナとの距離は、 $2D^2/\lambda$  (D:アンテナ有効開口径)以上となる。また、DUTとの測定距離、受信アンテナ開口径から上記式を逆算することで、平面波と見なせるDUTに内蔵されたアンテナの大きさは制限され、この大きさがQZ<sup>\*4</sup>とされる。

遠方界測定法では、送受信間距離を離す事で、大きいQZとなるが、距離が離れると伝搬損失により、受信電力低下が発生し、測定のダイナミックレンジが狭くなるといった影響が懸念される。一方、コン

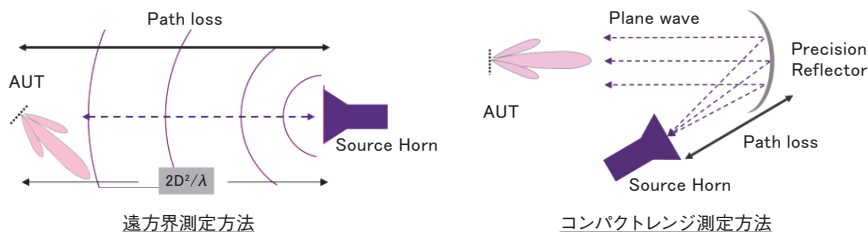


図2 遠方界でのOTA測定法

\*2 3GPP: Third Generation Partnership Project  
 \*3 DUT: device under test 被測定物, 測定対象  
 \*4 QZ: Quiet Zone 測定可能領域

パクトレンジ測定法は、輻射された電波をリフレクタと呼ばれる反射鏡で作り出した平面波により、短い距離でも遠方界領域での測定と同等となる測定法であり、リフレクタの大きさにより、任意のQZとすることが可能となる。

#### 4. ミリ波平面近傍界測定装置の概要

表2に導入したミリ波平面近傍界測定装置仕様を、写真1に装置外観を示す。ミリ波平面近傍界測定装置は、幅1.5m×高さ1.5mの範囲での平面走査が可能であり、開口1.2m□程度までのミリ波帯アンテナの測定が可能である。また、平面走査から円筒走査への拡張にも対応できるようにAzターンテーブルの設置を考慮した配置としており、拡張すればパラボラアンテナなどの測定も可能となる。

図3にミリ波近傍界測定結果例を示す。ミリ波近傍界測定装置は、測定周波数帯と送受信の測定条件によって、構成変更を必要とするが、90GHzまでのミリ波帯アンテナの3D指向性の測定が可能である。また、測定時間としては、準ミリ波帯64素子

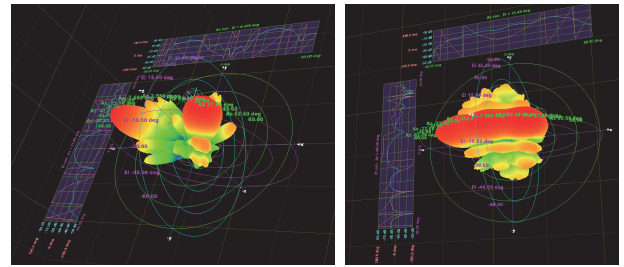


図3 ミリ波近傍界測定例

ビームフォーミングアンテナにおける複数周波数の同時測定において、10分程度で完了する。

測定誤差を少なくする仕組みとして、走査動作を行うスキャナーに取り付け可能なレーザー測量器を用いて、被測定アンテナの平面度と走査軸との平行度の測定を可能としている。また、測定補正として、Z軸(被測定アンテナとの距離)の距離を測定周波数ごとに、 $\lambda/4$ 間隔で移動し、反射波を計測することで、被測定アンテナとプローブ間で発生する多重反射波を除去するモードなども有している。

測定結果の解析では、3次元指向性の測定結果解析の他に、バックプロジェクション解析と呼ばれるアンテナ素子近傍の電界分布を推定する解析機能も有し、この解析結果からアンテナ設計にフィードバックする事や素子診断が可能である。

表2 ミリ波近傍界測定装置仕様概要

項目	仕様性能
測定周波数範囲	2.6GHz～90GHz
X-Y スキャン範囲	1.5m×1.5m 【4軸駆動：X/Y/Z/POL】
走査精度	0.075mm RMS
走査分解能	0.06mm RMS
走査スピード	X：0.38m/sec Y：0.76m/sec
ダイナミックレンジ	101dB (IFバンド幅10kHz)

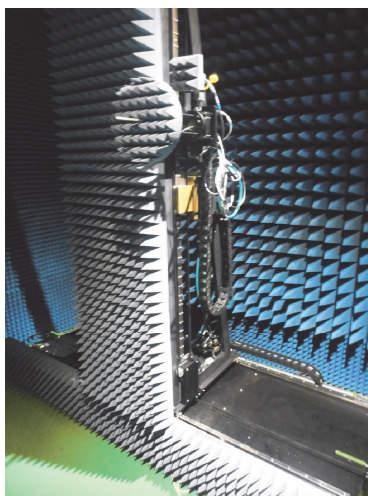


写真1 ミリ波近傍界測定装置

#### 5. OTA 測定装置の概要

表3に導入したOTA測定装置概要を、写真2に装置外観を示す。OTA測定装置は、30MHz～60GHzまでの周波数を遠方界測定法により測定可能である。また、装置仕様として、500mmのQZサイズを

表3 OTA測定装置 仕様概要

項目	仕様性能
測定周波数範囲	30MHz～60GHz
QZ寸法	28GHz：Φ100mm 37GHz：Φ90mm
スキャン角度範囲	AZ/EL ±200度
最小ステップ角度	0.001度
走査スピード	7rpm (Manual時)
対応測定法	EIRP/TRP
測定モード	<ul style="list-style-type: none"> <li>□ 周波数の許容偏差</li> <li>□ スプリアス領域における不要発射の強度</li> <li>□ 隣接チャネル漏えい電力</li> <li>□ スペクトラムマスク</li> <li>□ 占有周波数帯域幅</li> <li>□ 最大空中線電力及び空中線電力の偏差</li> <li>□ 送信相互変調特性</li> </ul>

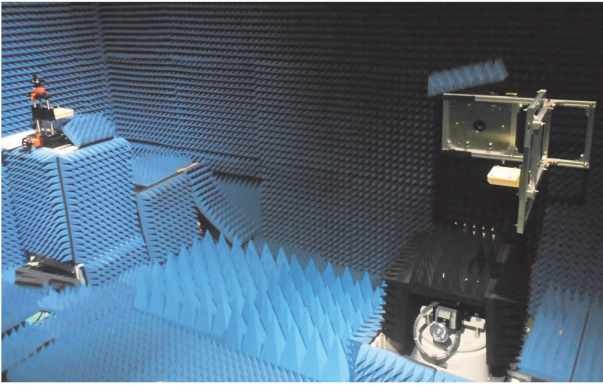


写真2 OTA 測定装置

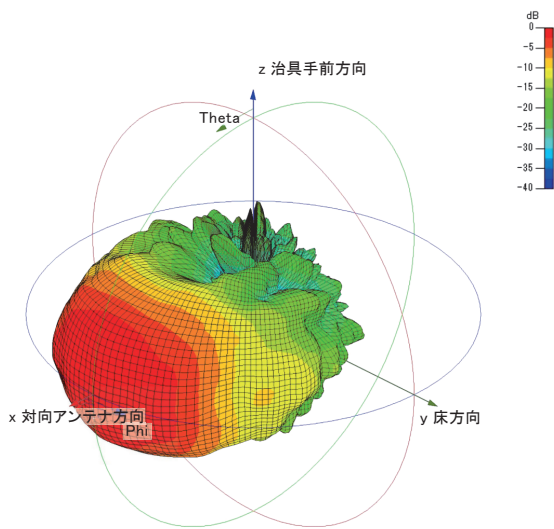


図4 OTA 測定による3次元指向性結果例

有するリフレクタの設置が可能な構成としている。  
DUTは、回転台に取付治具を介して取付け、光学レーザーと輻射電力の最大値測定により、最大輻射方向となる測定軸を正対させ、全方向のTRP<sup>\*5</sup>測定を可能としている。

測定は、EIRP<sup>\*6</sup>とTRPのいずれについても可能であり、使用する機器は、較正された測定器を使用し、校正データ(DUT輻射位置からの空間損失、ケーブル損失等の補正値をまとめて、取得する測定データ)を測定することにより、トレーサビリティを確保したDUTからの輻射特性を得る事が可能である。また、測定モードには携帯基地局装置で求められる評価項目の他に、図4に示すアンテナの3次元指向性の取得も可能としている。

\*5 TRP: Total Radiated Power 総合放射電力

\*6 EIRP: Equivalent Isotropic Radiated Power 実行放射電力

## 6. ハイブリット電波暗室の概要

設置スペースの有効活用と導入期間の短縮を目的として、1つの電波暗室内にミリ波平面近傍界測定装置とOTA装置を図5に示す配置として設置した。電波暗室は、幅約5m×奥行約3.5m×高さ約4mとなる5面電波暗室であり、電波暗室のみで耐震性を有するものである。電波暗室の外観を写真3に示す。

電波暗室内の測定機器配置と電波吸収体構成は、ミリ波平面近傍界測定装置とOTA測定装置の互いへの影響を抑える構成として設計されている。また、床面の吸収体は、測定時の作業スペースや被測定機器の設置位置や取付治具を考慮して、測定時のみ床面に吸収体を配置して測定する仕様とし、リフレクタやAzターンテーブルの追加設備に考慮したものである。

電波暗室内の環境は、無線装置からの放熱や外気

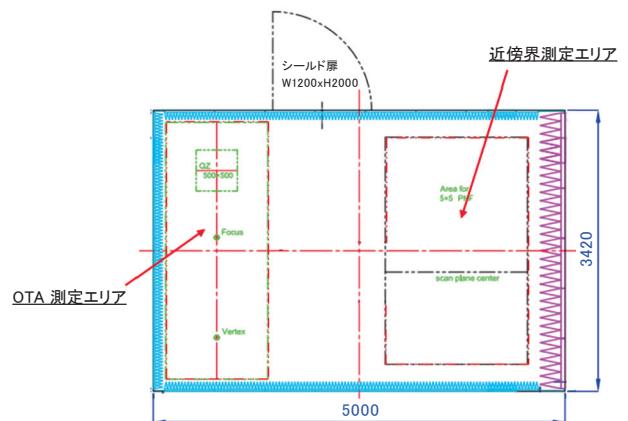


図5 ハイブリット電波暗室内配置図



写真3 ハイブリット電波暗室外観



☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆

温からの測定影響を抑えるために、電波暗室内全体を一定の温度とする大型空調設備を有している。また、設置機器は、すべてネットワーク経由で接続され、測定室から制御できるとともに、180度カメラにてリアルタイム監視を可能としている。

## 7. む す び

新たに導入したミリ波平面近傍界測定装置と無線装置のOTA測定装置について紹介した。本測定システムを導入したことにより、これまでよりもビームフォーミングアンテナなど、3次元指向性での評価を必要とするアンテナ開発スピードは向上し、アンテナ一体型の無線装置の総合評価も可能となった。当社では、今後増加するビームフォーミングなどの3次元指向性の評価を必要とするアンテナおよび、アンテナ一体型無線装置の開発を通じて、IoT社会で期待されている社会インフラの実現に向け、これまで以上に高性能化と開発速度を向上することで、より多くの社会貢献に繋げていきたい。



**関野 昇**  
昭和62年入社  
R&D 統括センター 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



**佐藤 啓介**  
平成18年入社  
R&D 統括センター ワイヤレス研究所  
移動通信用アンテナ及び電波伝搬の研究・開発に従事  
電子情報通信学会・IEEE 会員



**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及び電波伝搬の研究・開発に従事  
電子情報通信学会会員



## 技術紹介

DENKO-CUBO における  
自動段替え機構の実現

岡田 邦裕\* 畠山 一夫\*\*

Realization of Automatic Displacement Mechanism  
in DENKO-CUBO

Kunihiro Okada and Kazuo Hatakeyama

DENKO-CUBO (以下、本設備)はコンパクトで汎用性も高く、低価格であるため受注の多い設備である。しかし、汎用性が高い一方、多品種生産においては、品種に対応した機械調整やコイルの交換を行う段替え作業が必要である。

従来の段替え作業は、設備を停止させ、手作業で行うため、設備停止時間は作業者の力量や段替え回数に左右されていた。今回、本設備において、2種類のコイル内径を有するダルマコイルを採用し、任意の位置に自動で移動可能なコイル前後ユニット及びセンタリングユニットを開発した。これにより、操作盤の操作のみで安全な自動段替えを実現し、段替え時間の短縮が可能となった。

本稿では、本設備に新たに追加した自動段替え機構を紹介する。

DENKO-CUBO (hereinafter "this facility") is compact, versatile, and inexpensive, making it a popular choice in many orders. However, while this facility is highly versatile, in multi-product production, it is necessary to perform displacement work such as adjusting machines and changing coils to accommodate different types of products.

In the past, the displacement work was performed manually by stopping the facility, and the facility downtime depended on the operator's ability and the number of times the work was required. This time, we have adopted Dharma coils with two different coil inner diameters in this facility and developed a coil front-back unit and a centering unit that can be automatically moved to any position. This made it possible to perform the displacement work safely and automatically through the operation panel, thereby shorten the displacement time.

This paper introduces the newly added automatic displacement mechanism to this facility.

## 1. DENKO-CUBO とは

本設備は、焼入機、発振機、制御盤、焼入水水槽を1つのベースに一体化させた設備で、様々な品種に対応し、汎用性・操作性・保守性にも優れている(図1)。

また、設備一体構造のメリットを活かし、下記2点も本設備の大きな特長である。

- ①設置スペースは、従来設備と比較して約1/3と省スペースを実現

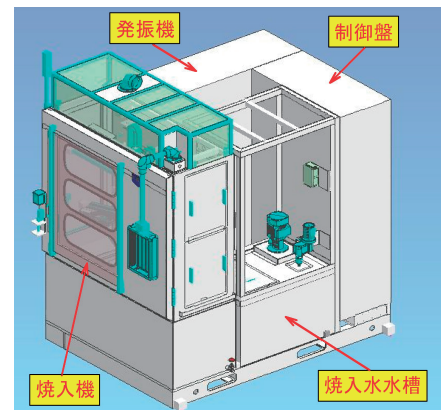


図1 DENKO-CUBO 外観

\* 高周波統括部 設計部 機械設計課  
\*\* 高周波統括部 設計部 熱処理設計課

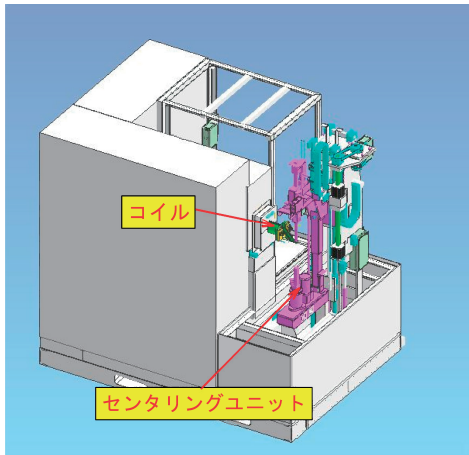


図2 各部名称

②設備納入時の配管、配線の再現作業が不要なため、客先納入時に短時間での立上げが可能

本設備は、段替え作業による高い汎用性を持っているが、同時に段替え作業が必要なことが課題の1つである。段替え時間の短縮や段替え自体の削減は、設備としての性能向上にも繋がる。

そこで、上記の利点は維持しつつ、本設備に新たに自動段替え機能を開発することとした。

自動段替えの実現には、コイルの共用化、センタリングユニットの位置調整自動化、熱処理プログラム自動切り換えが挙げられる(図2)。

## 2. コイル共用化

本設備の焼入機内は、高周波誘導加熱に用いられる加熱コイル(写真1①)、コイルホルダー(同②)、冷却ジャケット(同③)、センター(同④)及び回転昇

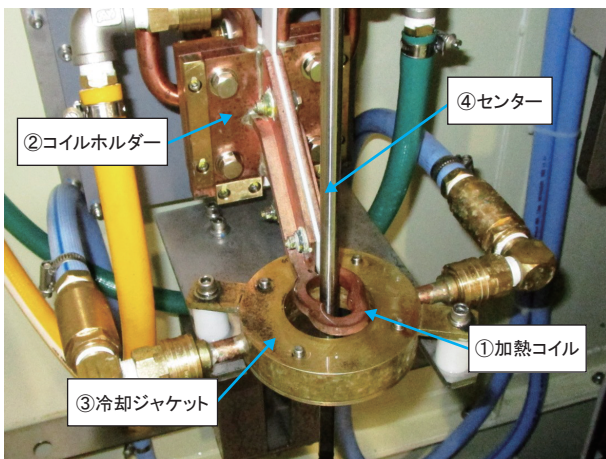


写真1 焼入機内(加熱コイル周辺)

降ユニットで構成されている。

(図2)一般的に、加熱コイルは対象ワークの形状及び軸径に合わせてそれぞれ準備され、段替えの際にコイル交換作業を実施している。このコイル交換作業は時間がかかる上、場合によってはコイル取り付けミスによる熱処理品質不具合やコイル破損が発生する可能性がある。

今回、新しい試みとして、熱処理品質確保と段替え時間短縮を両立するために、大小2つのコイル内径を有する焼入コイル(呼称：ダルマコイル)を採用し、共用化を実現させた。

また、本焼入コイルは3Dプリンタを採用した。3Dプリンタコイルは、コイル頭部にロウ付け部位がないため、水漏れによる破損リスク低減のメリットがある。

## 3. コイル前後ユニットの自動化

従来のDENKO-CUBOは、コイルの前後動作ができず、コイル交換による段替えを行っていた。

今回、開発した本設備は、コイルが接続される整合盤をボールねじとサーボモーターを使用して移動させることによりコイル前後動を可能にした(図3)。サーボモーターは、サーボ機構において位置、速度を制御する用途に使用するモーターであり、モーター軸が回転することによりタイミングベルトを介してボールねじが回転する。ボールねじを回転させるとボールねじナットを介して整合盤に接続されたコイルが、前後直線動作する仕組みである。

また、コイル前後量については、タッチパネルに

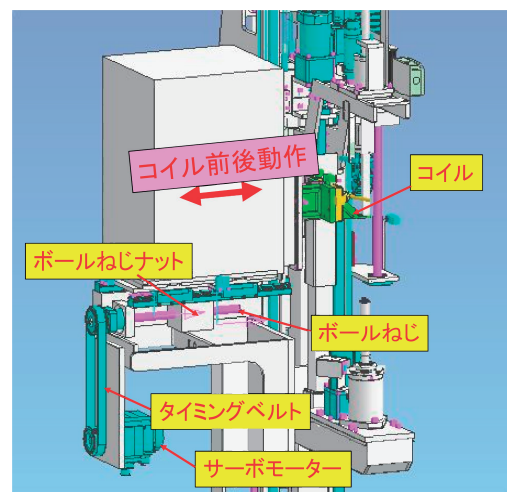


図3 開発 DENKO-CUBO コイル前後機構

設定値を入力することにより、任意に位置決めすることができる。本機構の開発により、前述したダルマコイルの小径用と大径用の切替えを 0.01mm 単位で行うことができた。

#### 4. センタリングユニットの自動化

上センターの位置調整(センタリングユニットの位置調整)は、加工する品種ごとにスケールを目安に手動で行っていた。今回開発した本設備では、電動モーターとアブソコーダー(位置を検出できるセンサー)を上センターに追加することで正確な位置決めが可能となった(図4)。

上センターの上下動作は電動モーターで行い、アブソコーダーで目標位置を制御、監視しながら、操作盤で設定した任意の位置に自動で動作させることができる。

電動モーター、アブソコーダーの組み合わせをサーボモーター、ボールねじに置き換えた場合のバリエーション追加も今後は行っていく予定である。

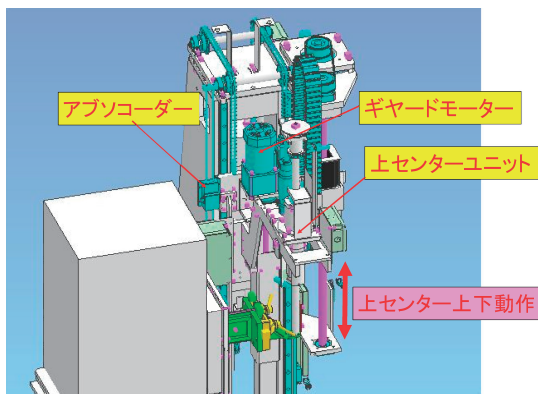


図4 上センター上下機構-2

#### 5. 段替えプログラムによるワンタッチ段替え

タッチパネル上の「段替え」を実行することにより、切り替えた加工品種の焼入プログラムの位置に自動的に動作する制御回路を開発した。これにより、ダルマコイルを使用して、コイル前後ユニットとセンタリングユニットを全自動で動作させて段替えを行うことができる(図5)。

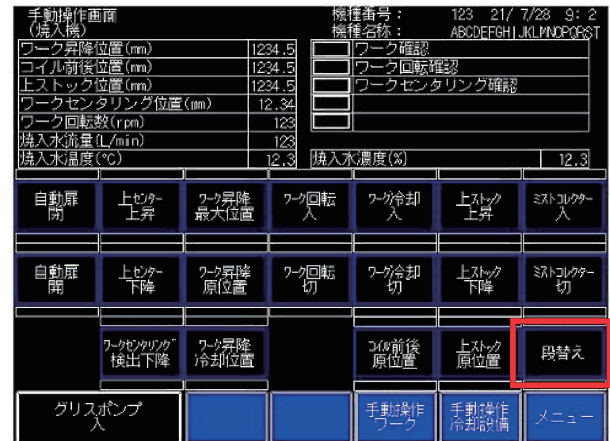


図5 タッチパネル自動段替え選択画面

#### 6. 段替え時間評価

従来はコイル脱着、上下センター位置変更、M/C芯調整、確認、プログラム変更で約10分の時間が掛かっていたのに対し、今回開発した自動段替えでは、約2分と80%の段替え時間の短縮が可能となった(図6)。

また、段替え作業の全自動化により、コイル交換時のボルト脱着、上センターユニットの手動上下動作など機械に直接触る項目を最大限減らせた点についても、安全性において大きな進化と言える。

従来	時間(min)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
コイル取外し	2.5分	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
コイル取付け	2.5分			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
プログラム変更	0.5分						■							
上下センター位置変更	1.5分							■	■	■	■	■	■	■
M/C芯調整、確認	3.0分								■	■	■	■	■	■
10分														
今回	時間(min)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
コイル取外し	-分													
コイル取付け	-分													
プログラム変更	0.5分	■												
上下センター位置変更	0.5分		■											
M/C芯確認	1.0分			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
2分 ▲8分、80%減														

■: 機内作業含む

図6 従来機と開発機の段替え時間比較





## 技術紹介

## 過熱水蒸気の用途開発

今増 寿尚\*

## Development of Superheated Steam Applications

Hisanao Imamasu

高周波誘導加熱を用いた過熱水蒸気での食品加工について、当社は玄米などの粒体を加工する装置で特許を取得している。今回は米ぬか(粉末)での加工方法の開発を行い、発生させた過熱水蒸気と米ぬかの分離に成功して加工装置を納入した。その加工装置で生産された米ぬかは「米ぬかパウダー」という商品名で市場投入され、健康食品として通信販売などで販売されている。

We have obtained a patent for a device that processes brown rice and other grains using superheated steam generated by high-frequency induction heating. This time, we developed a processing method for rice bran (powder), realized the separation of the generated superheated steam and rice bran, and delivered the processing equipment. The rice bran produced by the processing equipment is marketed under the trade name "rice bran powder," and is sold as a health food through mail order and other channels.

## 1. はじめに

過熱水蒸気とは、図1のように水蒸気(100℃)を更に加熱して温度を上げた水蒸気のことである。その発生方法は、ガスなどを使用した加熱によるものと、高周波誘導加熱によるものとに大別される。ガスを利用した装置は、昇温時間が長く最高温度が約500℃であるが、大量生産に有効である。一方、高周波誘導加熱を利用した装置は、昇温時間が短く最高

温度が約700℃まで可能で、多品種少量生産に有効である。また、温室効果ガスの排出という面からも、高周波誘導加熱を利用した装置は効果が大きい。

一般に、過熱水蒸気を使用する目的は、食品などの殺菌・滅菌処理をはじめ、強い乾燥作用を利用した乾燥処理、過熱水蒸気照射物への抗酸化(酸化防止)処理がある。このような処理目的から今回は米ぬか(粉末)での処理装置開発と装置納入を達成して、客先より商品化され販売されているので報告する。

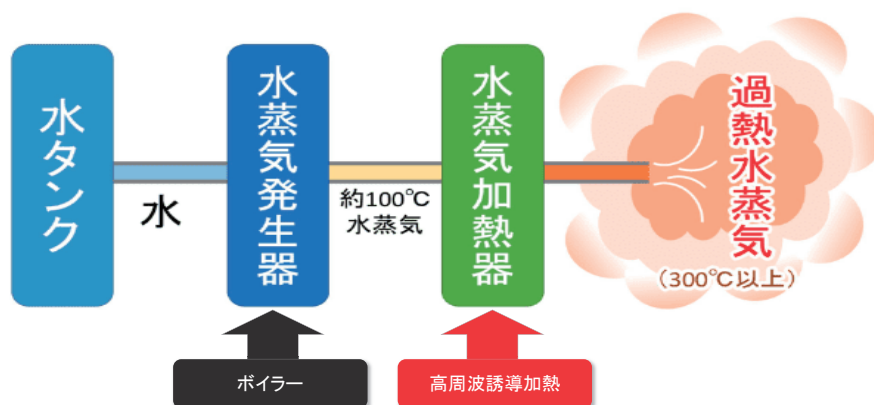


図1 過熱水蒸気の発生方法

\* 高周波統括部 開発部

## 2. 過熱水蒸気による粉末処理装置の開発

### 2.1 粉末処理装置の課題

当社では、粒体(玄米など)の処理装置として図2のような落下分離方式による装置で特許\*1を取得している。この方式では粒体を落下させているところに過熱水蒸気を投入して処理を行い、処理後は金網などの仕切りにより粒体と過熱水蒸気を分離・回収する。しかし、この方式で粉末処理を行うと、金網に粉末が詰まり分離回収ができない。また、過熱水蒸気の投入方法によっては粉末が飛散して、回収率が著しく低下する。

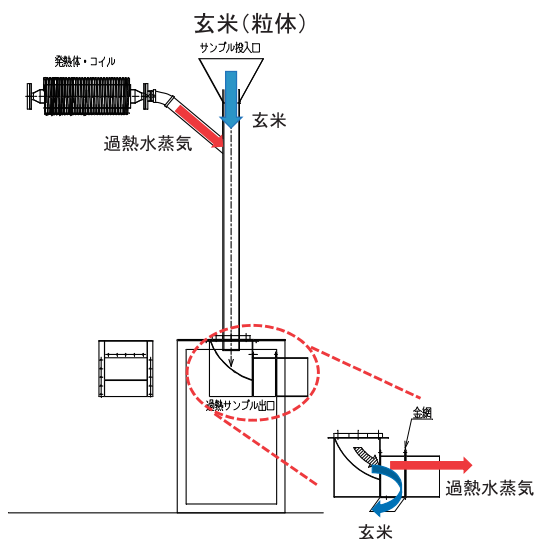


図2 落下分離方式

### 2.2 粉末と過熱水蒸気の分離方法

粉末の搬送で一般的に使用されているのがエア搬送であり、食品加工機械でも使用されている。搬送エアと粉末の分離はサイクロンを使用している例が多いが、過熱水蒸気のように高温での使用実績はほとんどなかった。そこで、サイクロンを使用して米ぬかと過熱水蒸気の分離が可能か検証を行った。ある程度の分離・回収はできたが、図3のようにサイクロン部分では過熱水蒸気の温度が下がり水滴化することで米ぬかがサイクロン内に付着して、回収率の低下や焦げた米ぬかが発生した。その対策として図4のようにサイクロンに断熱対策を施し、サイクロン内部の温度低下を和らげることで、米ぬかの付着を防ぎ高い回収率を実現した。

### 2.3 過熱水蒸気の投入方法(図5)

落下分離方式では加工物を上から下へ垂直投入するため、過熱水蒸気の投入は図5(a)のように傾斜を



図4 断熱対策

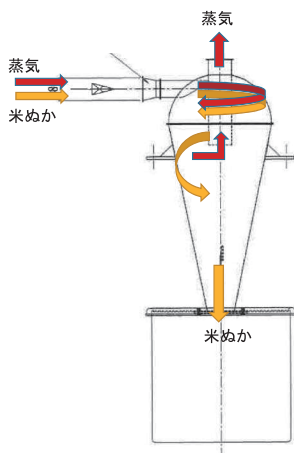


図3 米ぬかの付着



\*1 特許：特許番号 5771443 号

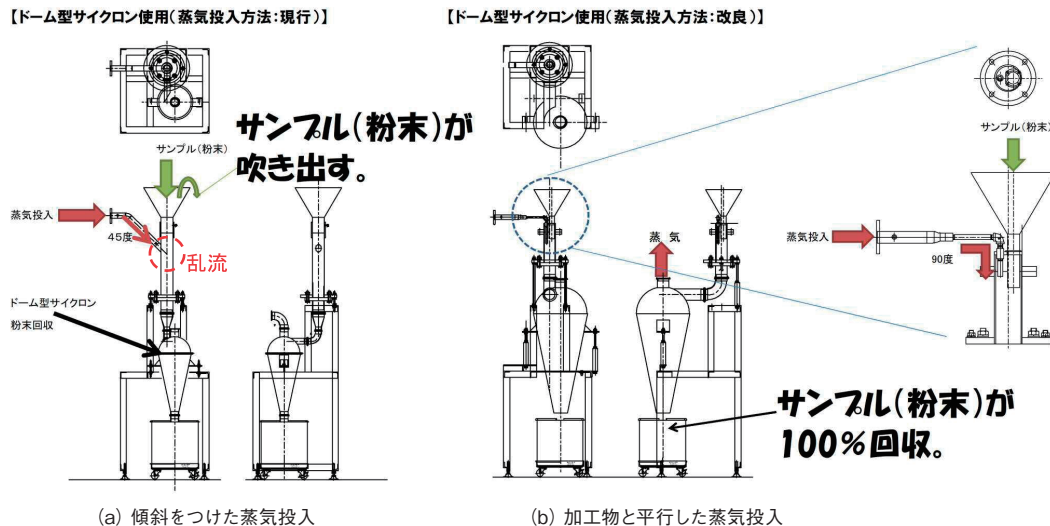


図5 蒸気投入方法

表1 品質確認項目と加工条件結果

品質確認項目	規格	400℃-120kg/h(蒸気量)		420℃-120kg/h(蒸気量)		440℃-120kg/h(蒸気量)	
		計測値	判定	計測値	判定	計測値	判定
焦げ	無き事	無	○	無	○	無	○
大腸菌数	0	1	×	0	○	0	○
一般生菌数	1.0 × 10 <sup>3</sup> 以下	5.1 × 10 <sup>3</sup>	×	8.1 × 10 <sup>2</sup>	○	4.2 × 10 <sup>2</sup>	○
水分活性	0.7 以下	0.41	○	0.16	○	0.15	○

つけていた。この方式を粉末で行うと、過熱水蒸気の乱流の影響を受け粉末の逆流や吹上げが発生した。過熱水蒸気の乱流を防ぐために様々な投入方法を実証した結果、図5(b)のように加工物と平行に(過熱水蒸気も垂直に)投入する\*2と乱流が解消された。粒体処理の場合、投入体積が大きいため過熱水蒸気の投入口を垂直に仕込められなかったが、粉末処理の場合は投入体積が小さいため可能であった。

### 3. 製品化に向けた性能評価

#### 3.1 最適加工条件の検証

2項での課題解決により加工品の品質評価を行った。米ぬかの品質規格は焦げがないことをはじめ、表1のような菌数の確認である。その結果、430℃-120kg/h 蒸気量の設定で最適加工条件の確定に至った。

#### 3.2 手動機の製作

客先納入仕様としては、後工程への加工品の搬送はペール缶を使用するため、加工した米ぬかの一定量(約5kg)をペール缶に貯めて回収し、空のペール缶をセットして加工を再開する方式とした。このペール缶交換は人の作業となるため、写真1のようにリフター台車を改造して2つのペール缶が置ける



写真1 リフター台車

\*2 特許：特許番号 7063948 号





## 製品紹介

北米市場向けストリートセル用  
18 ポートオムニアンテナ

牧山 真之\* 北角 真太郎\* 山木 勝人\*\*

18-Port Omni-Antenna for Street Cells  
for the North American Market

Sadayuki Makiyama, Shintaro Kitakado and Masato Yamaki

北米移動通信市場では、市街地における通信速度向上要求に対応するためストリートセル用アンテナによる LAA\*1 技術を用いたエリア構築を進めている。当社では北米市場向けに 1.7-2.4GHz 帯 /3.5GHz 帯 /5GHz 帯共用アンテナを 2 機種製品化している。

更なる通信速度向上を図るために新たな周波数帯の追加、および MIMO ブランチ数追加が求められている。本稿ではこれに対応するアンテナとして開発した 700-900MHz 帯, 1.7-2.6GHz 帯, 3.5GHz 帯, 5GHz 帯のストリートセル用 18 ポートオムニアンテナについて紹介する。

In the North American mobile communications market, LAA\*1 technology using street cell antennas is being used to build up areas to meet the requirement of higher communication speeds in urban areas. We have already commercialized two models of 1.7-2.4 GHz, 3.5 GHz, and 5 GHz band shared antennas for the North American market.

For further improvement of the communication speed, the addition of new frequency bands and the number of MIMO branches are requested. This paper introduces 18-port omni-antennas for street cells in the 700-900 MHz, 1.7-2.6 GHz, 3.5 GHz, and 5 GHz bands that have been developed as antennas for these demands.

## 1. はじめに

北米の移動通信市場では、通信速度向上を図るため 700-900MHz, 1.7-2.6GHz 帯の既存周波数帯に加えて LAA 技術を用いたエリア構築が進められてきた。更に 2020 年には CBRS\*<sup>2</sup>, 2021 年には C-Band\*<sup>3</sup> が周波数オークションにより新たに事業者割り当てられている。特に C-Band は 5G 通信用の周波数帯域幅が十分とは言えなかった北米の各通信事業者にとっては大規模な活用及び置局展開が期待されている。また、既存周波数においては、MIMO のブランチ数の追加による更なる通信速度向上が求められる。そこで、ストリートセル用アンテナに C-band を

追加すると共に、既存周波数の 700-900MHz 帯は 4 ブランチ, 1.7-2.6GHz 帯は 8 ブランチを用いた MIMO 通信に対応した 18 ポートオムニアンテナの開発・製品化を行った。

## 2. 基本性能

表 1 に開発したアンテナの基本性能、図 1 に内部配置概要、系統図を示す。700-900MHz 帯 4 ポート, 1.7-2.6GHz 帯 8 ポート, C-band を含む 3.5GHz 帯 4

\*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 Citizens Broadband Radio Service: 3.55-3.7 GHz

\*3 北米で従来 CATV や地上波放送の番組伝送などに使用されていた 3.7-4.2GHz

\* 機器統括部 移動通信技術開発部 移動通信技術課  
\*\* 機器統括部 移動通信技術開発部 設計技術課

表 1 18 ポートオムニアンテナ 基本性能

型 名	DKORDWQKDP-3785F										
使用周波数	700-900MHz 帯 (698-960MHz)			1.7-2.6GHz 帯 (1695-2690MHz)				3.5GHz 帯 (3300-4200MHz)		5GHz 帯 (5150-5925MHz)	
ポ ー ト 数	4port			8port				4port		2port	
偏 波 面	± 45° × 2			± 45° × 4				± 45° × 2		± 45°	
利 得	2.7dBi	2.7dBi	3dBi	7.5dBi	7.5dBi	7.5dBi	8dBi	7.5dBi	8dBi	5dBi	
水平面内ビーム幅	約 360°										
垂直面内ビーム幅	80°	80°	85°	22°	21°	18°	16°	22°	19°	22°	
チルト角	0°										
V.S.W.R.	1.5 以下										
Isolation	20dB 以上										
IM	- 153dBc 以下			- 153dBc 以下				N/A		N/A	
アンテナ寸法	φ 400 × 660mm										
質 量	19kg 以下										

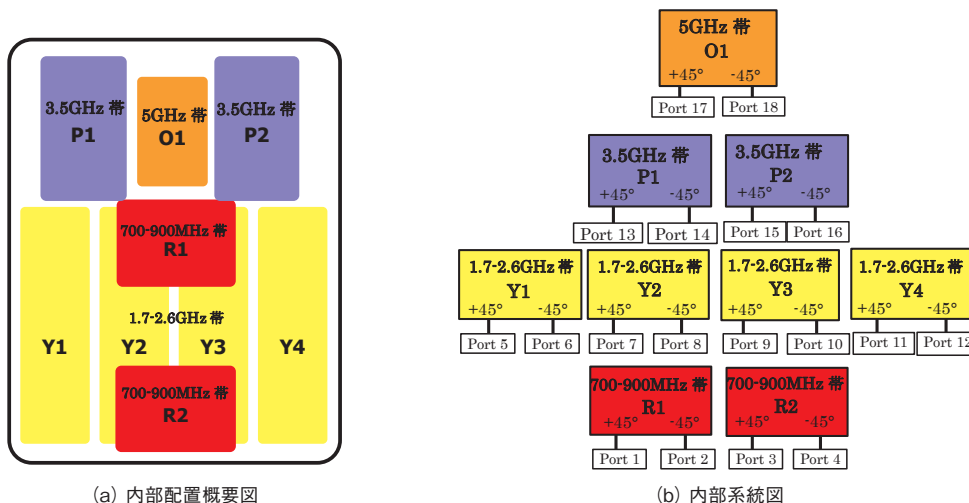


図 1 内部配置概要, 系統図

ポート, 5GHz 帯 2 ポートの合計 18 ポートで構成されている。700-900MHz 帯と 3.5GHz 帯は, 2 系統の偏波共用アンテナを内蔵した 4 ブランチの MIMO 通信が可能である。1.7-2.6GHz 帯は 4 系統の偏波共用アンテナを内蔵していることから, PCS<sup>\*4</sup> と AWS<sup>\*5</sup> でそれぞれの系統を分けた 4 ブランチの MIMO 通信に対応しており, 最大 8 ブランチの MIMO 通信にも対応可能である。

外観は写真 1 のとおり北米のストリートセル用アンテナで最も一般的なキャニスタータイプを採用している。アンテナ底面のポート表示は表 2 に示す周波数帯の上限周波数で識別する AISG スタンドのカラーコーディングに準じた表示を採用している。主にポールに取り付けることを想定し, 図 2 のようにマウントアダプタを用いてポール側面や街灯

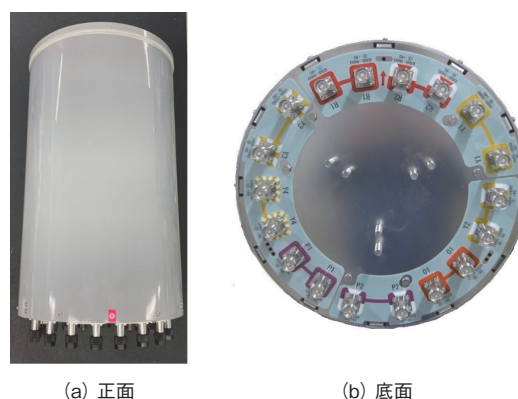


写真 1 アンテナ外観

\* 4 Personal Communications Service: 1850-1910 MHz, 1930-1990 MHz  
 \* 5 Advanced Wireless Services: 1710-1755 MHz, 2110-2155 MHz

表2 AISG スタンダード カラーコーディング

Upper Band Edge Range	RAL Code of the Colour	Band Colour	Band Character
380 MHz - 1000 MHz	RAL 3020	Red	R
1001 MHz - 1700MHz	RAL 6029	Green	G
1701 MHz - 2300MHz	RAL 5015	Blue	B
2301 MHz - 3000MHz	RAL 1023	Yellow	Y
3001 MHz - 5000MHz	RAL 4006	Purple	P
5001 MHz - 6000MHz	RAL 2009	Orange	O

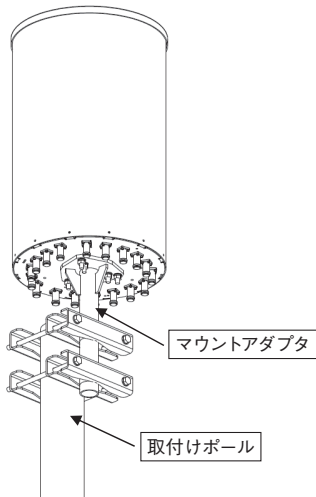


図2 設置イメージ

などの塔頂部へ設置することが可能である。

### 3. 指向性

図3に水平面内指向性を、図4に垂直面内指向性を示す。オムニアンテナは水平面において無指向性であるため全方向をエリア化するのに適しており、ヌルが発生している角度は同一周波数帯の他のポートで補完することから、不感地帯を生じない特性となる。

### 4. むすび

北米市場向けに開発を行ったストリートセル用 18 ポートオムニアンテナを紹介した。本アンテナは、700-900MHz 帯と C-band を追加した 3.5GHz 帯では 4 ブランチ、1.7-2.6GHz 帯では 8 ブランチの MIMO 通信が可能であり、Wi-Fi のアンライセンズバンドを用いた LAA にも対応している。今後、C-Band は 5G 通信用としての置局展開が期待されて

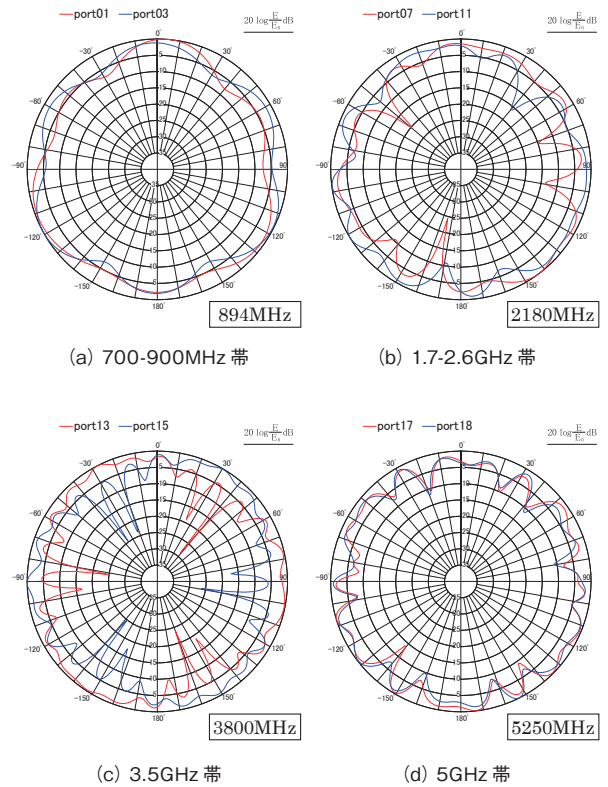


図3 水平面内指向性

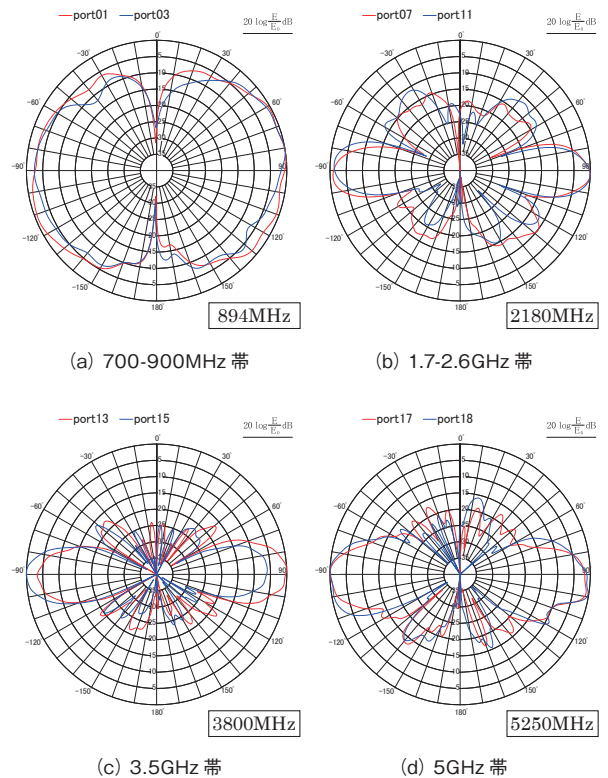


図4 垂直面内指向性





## 製品紹介

## 福岡タワー向け航空障害灯複合システム

加藤 慎一\* 穂坂 嘉久\*\* 斎藤 矯\*\*\*  
高橋 亮\*\* 北條 義勝\*\*\*\* 庄子 朋彦\*\*\*\*\*

## Composite Obstacle Light System for Fukuoka Tower

*Shinichi Kato, Yoshihisa Hosaka, Isamu Saito  
Ryo Takahashi, Yoshikatsu Hojo and Tomohiko Shoji*

当社の航空障害灯事業では、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（電源部分離および電源部一体型）、中光度白色／赤色（電源部分離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、2021 年に福岡タワーに納入した、高光度、中光度白色／赤色、中光度赤色、低光度の各航空障害灯を同時に制御可能とするシステムについて紹介する。

In our obstacle light business, LED obstacle lights for the Japanese market have been developed and marketed in collaboration with manufacturers in overseas markets. To sell LED obstacle lights in Japanese market, it is necessary to obtain the approval of the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism for each light.

To meet the diverse customer needs, a lineup of obstacle lights was developed, which includes high intensity (with a separate power supply unit and an integrated power supply unit), medium intensity white/red (with a separate power supply unit and an integrated power supply unit), medium intensity red (with an integrated power supply unit), and low intensity (with an integrated power supply unit).

This paper introduces a composite obstacle light system delivered to Fukuoka Tower in 2021. The system can control multiple obstacle lights of high intensity, medium intensity white/red, medium intensity red, and low intensity at the same time.

## 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。

当社は 2015 年より航空障害灯の販売を開始しており、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、低光度航空障害灯の全てのラインナップを取り揃えている。航空障害灯を発光させるための通信方式として、当社では主に RS-485 通信を採用している。これに対して、他社製の航空障害灯では、通信を行わない方式、或いは独自の通信方式を採用している。各システム系統図例を図 1 に示す。

通信方式の違いにより、当社の従来のシステム構成では、他社製航空障害灯を当社製に更新する際に RS-485 通信に適した制御ケーブルの増設が必須となり、施工費が増えるといった課題があった。そこで、制御ケーブルを使用せずに、電源ケーブルのみで赤色航空障害灯を制御可能な電源制御型管制器を

\* 機器統括部 生産管理部  
\*\* 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  
\*\*\*\* 営業統括部 ソリューション営業部  
\*\*\*\*\* 営業統括部 通信事業営業部

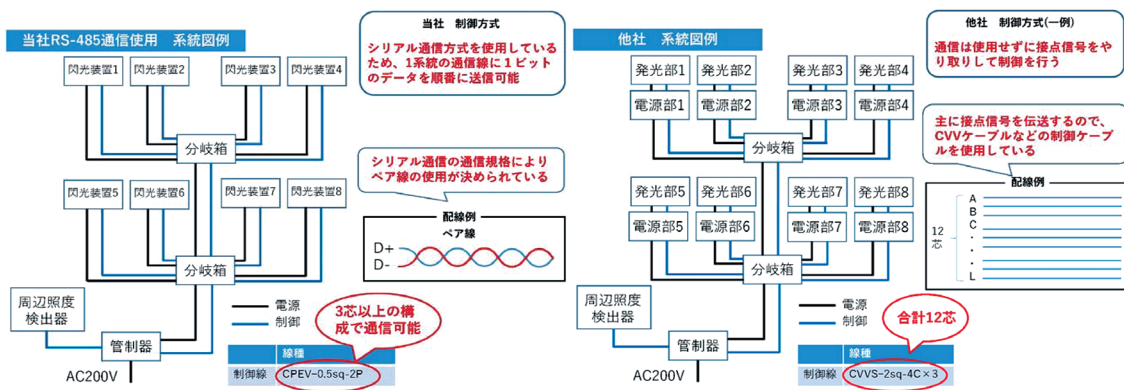


図1 従来システム系統図例(当社 RS-485 通信システム及び他社システム)

2018年に開発した。また、既設制御ケーブルをそのまま流用することを可能にするため、独自のシリアル通信方式によって灯器との通信を行う入出力型管制器を2020年に開発した。

白色閃光航空障害灯を設置する際には、夜間時における白色閃光が近隣に影響を及ぼさないよう対策を行う必要がある。その方法としては、遮光板を設置して遮断するか、白色閃光から赤色発光に切り替える方法があるが、市街地においては後者の方法が採用されるケースが多い。今回、当社では、福岡タワー向けとして、白色高光度、白色/赤色中光度、赤色中光度、及び低光度の各航空障害灯で構成するシステムの更新を受注した。福岡タワーは市街地に建設されていることから、昼間時は白色閃光でありながら夜間時は赤色発光となる航空障害灯システムが必要であったため、電源制御型管制器と入出力型管制器を組合せた複合システムを開発した。

## 2. 概要

本システムの主な構成を表1、系統図を図2に示す。航空障害灯は低光度航空障害灯、中光度赤色航空障害灯、中光度白色/赤色航空障害灯、高光度航空障害灯の4種類で構成される。赤色と白色では周囲の明るさで発光の強さを切り替えるモード(昼間・薄明・夜間)の制御方法が異なる。赤色灯は昼間・夜間の2モードのみで、昼間は消灯、夜間は点灯となる制御を行う。白色灯は昼間・薄明・夜間の光度が異なる3モードであり、全てのモードで閃光し、消灯しない制御となる。したがって、複合システムにおいては、赤色用と白色用で別々の管制器が必要となる。

電源制御型管制器は各灯器に管制器から直接電源

表1 複合システム 主な構成

構成品	数量	備考
中光度白色/赤色航空障害灯	1	上段設置
高光度航空障害灯	3	中段設置
中光度赤色航空障害灯	4	下段設置
低光度航空障害灯	3	下段設置
電源制御型管制器	1	管制室
入出力型管制器	1	管制室
屋外用照度センサー	1	下段設置
分岐箱	1	中段設置

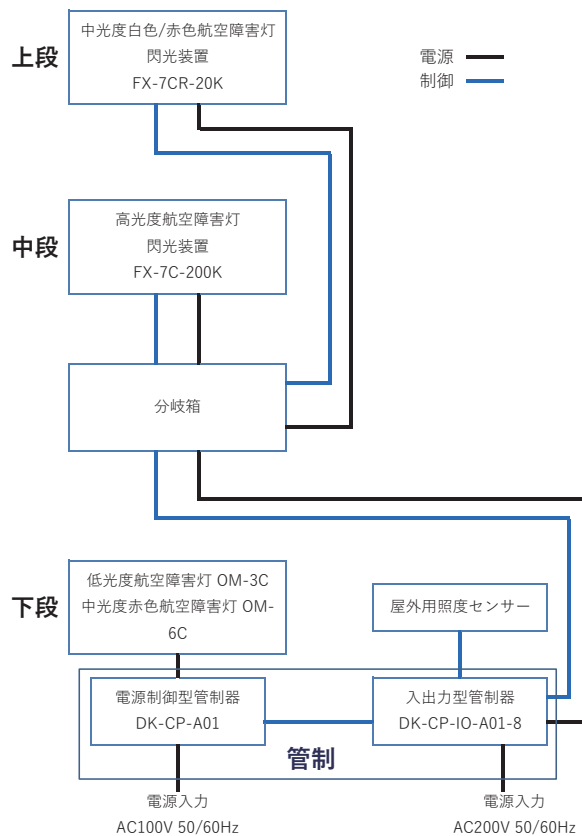


図2 システム系統図

ケーブルを接続し、切替え照度値に達した状態でリレーにより灯器の電源を制御し、点灯消灯の切替えを行う。入出力型管制器では、各灯器共通にリレー接点からモード信号を送ることでモード切替えを行う。各モードの切替えに必要な照度値の計測は屋外用照度センサーを使用する。

管制器を2台使用するため、本来であれば2台の屋外用照度センサーを管制器に接続する必要があるが、本システムでは入出力型管制器に屋外用照度センサーを1台のみ接続し、入出力型管制器から電源制御型管制器に各モード情報を送ることを可能にした。本構成により、構成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

#### 3.1 航空障害灯

福岡タワーに設置した中光度白色 / 赤色航空障害灯を写真1、高光度航空障害灯を写真2、中光度赤色航空障害灯を写真3、低光度航空障害灯を写真4に示す。



写真3 中光度赤色航空障害灯



写真4 低光度航空障害灯



写真1 中光度白色 / 赤色航空障害灯



写真2 高光度航空障害灯

※各航空障害灯については、電興技報(第49号<sup>(3)</sup>・第52号<sup>(4)</sup>)、当社ホームページを参照

#### 3.2 電源制御型管制器(DK-CP-A01)

電源制御型管制器の仕様を表2、概略寸法を図3、外観を写真5に示す。電源制御型管制器は電源ケーブルのみを使用して電源供給を行い、電源のON/OFFで赤色航空障害灯の点灯/消灯を制御する。内部にCT電流検知基板を設けており、漏電や灯器が

表2 電源制御型管制器 仕様

対象灯器	低光度航空障害灯, 中光度赤色航空障害灯
灯器台数	最大8台
電源電圧	単相 AC100V ± 10%, 50/60Hz
消費電力	55W(ヒーター動作時)
周囲環境	-30℃~+45℃
防水性能	IPx5
設置場所	屋内・屋外
動作ログ	最大16000件まで記録
寿命警報	光源寿命80%/100%の警報出力
外部接点入力割当機能	外部接点入力を複数項目から設定可能
警報接点出力	固定12系統 無電圧接点により出力



故障した際には赤色航空障害灯への電源供給をストップする機能を備えている。

また、電源ケーブルによる制御方式を採用していることから、外来ノイズや放送波の影響を受けにくい特徴を有している。

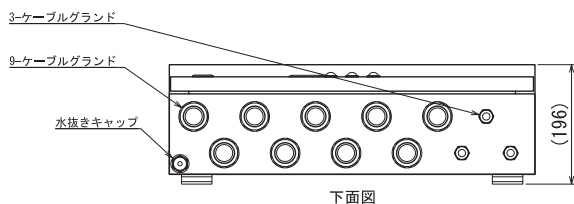
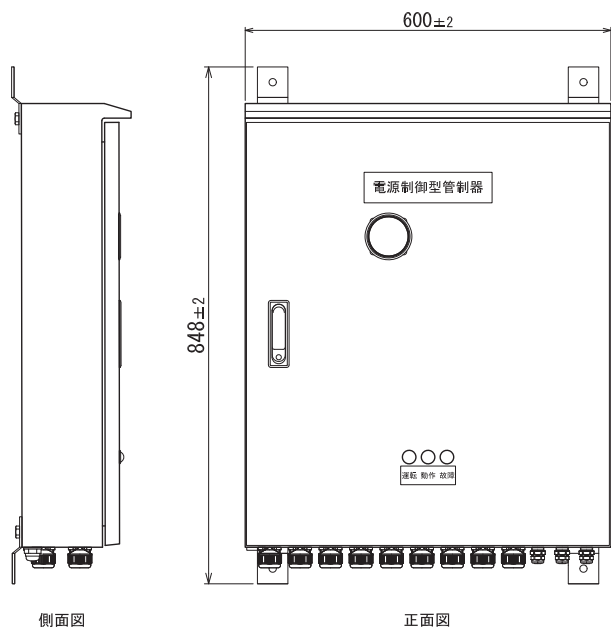


図3 電源制御型管制器 概略寸法



写真5 電源制御型管制器

### 3.3 入出力型管制器 (DK-CP-IO-AO3)

入出力型管制器の仕様を表3、概略寸法を図4、外観を写真6に示す。航空障害灯更新時においては、既設ケーブルを流用する場合があるが、使用可能な制御ケーブルの芯数が限られているケースもある。そのようなケースにも対応可能とするため、シリアル通信で各灯器を選択し、順次データを送り返すシ

表3 入出力型管制器 仕様

対象灯器	高光度、中光度白色 / 赤色航空障害灯
灯器台数	最大 16 台
電源電圧	単相 AC200V ± 10%, 50/60Hz
消費電力	565W (ヒーター動作時)
周囲環境	-30℃ ~ +45℃
防水性能	IPx5
設置場所	屋内・屋外
動作ログ	150 件まで記録
寿命警報	光源寿命 80% / 100% の警報出力
自動再起動	シーケンサ異常 STOP 時に再起動
タイマー制御	タイマーによる制御
自動タイマー制御切替	照度センサ異常時にタイマー制御切替
外部接点入力割当機能	外部接点入力を複数項目から設定可能
警報接点出力	固定 22 系統 無電圧接点により出力

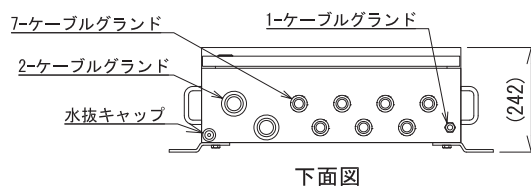
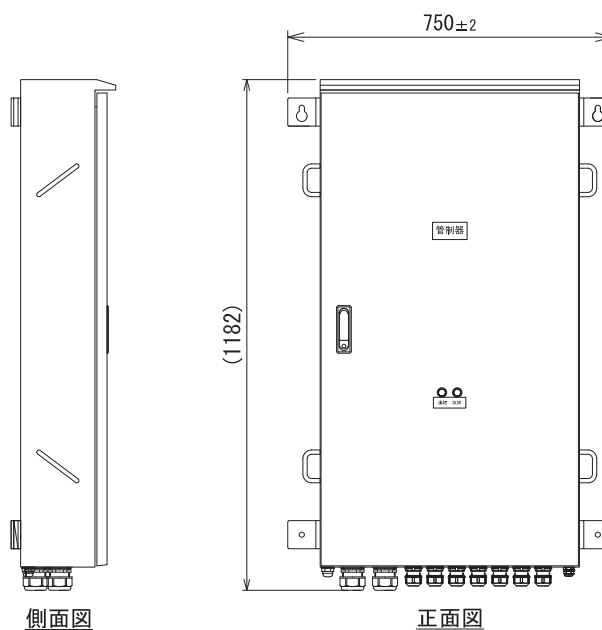


図4 入出力型管制器 (8 灯用) 概略寸法



写真6 入出力型管制器

システムを開発した。さらに、当社が独自開発した超低速シリアル通信方式を採用し、制御信号の電圧・電流を上げて通信速度を下げることで、外来ノイズや放送波の影響に対する耐障害性を高め、高い信頼性を確保している。

制御方法ではシーケンサを使用しており、動作中に本装置が10分以上停止状態となった場合には再起動を行う機能を有している。この機能により、偶発的な障害により通信断となった場合においても、自身での復旧を可能(オートリセット機能)にした。

また、電源と制御の全ての入力出力部にはバリスタ(クラスⅢ)を挿入し、誘導雷対策を実施している。

### 3.4 複合システム

制御方式が異なる航空障害灯の組合せを制御するためのシステムとして、既に製品ラインナップにある電源制御型管制器と入出力型管制器を組み合わせることで、開発に必要な時間とコストを抑えつつ、各種障害灯を運用可能とするシステム構築した。また、各管制器が標準で外部接点入出力端子を備えていることを利用し、マスタースレーブ方式により各管制器を接続することで、屋外用照度センサーからの信号をマスター管制器で接点信号に変換し、スレーブ管制器に各モードの切替情報を送る構成とした。航空障害灯点灯時の福岡タワーを写真7に示す。

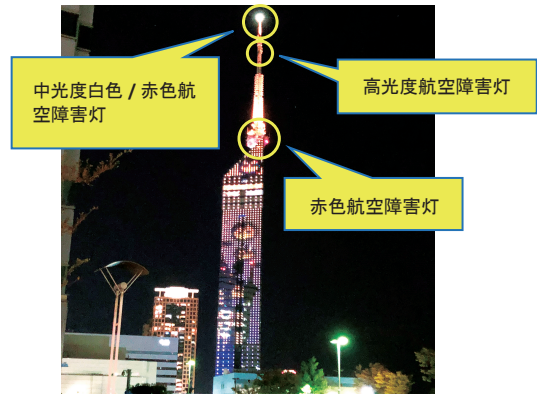


写真7 航空障害灯点灯時の福岡タワー

## 4. む す び

今回、電源制御型管制器と入出力型管制器を組合せた複合システムを製品化したことにより、制御方式が異なる航空障害灯を同時に制御可能とすることが出来た。

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

営業統括部 中央営業部 営業二課

TEL: 03-3216-9478 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
- (3) 穂坂嘉久, 斎藤翔, 佐藤竣, “中光度赤色航空障害灯(OM-6C)・低光度航空障害灯(OM-3C)” 電興技報, No.49 2016
- (4) 加藤慎一, 穂坂嘉久, 高橋亮, 庄子朋彦, “電源部一体型高光度航空障害灯” 電興技報, No.52 2020



## 2021年に取得した産業財産権

## 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 6990269 2021.12.7	特願 2020-081144 2020.5.1	オムニアンテナを用いた通信システム	小倉 大岳 三ツ木真一
3182509 (EPC) 2021.12.29	14899578.0 2017.2.1	移動通信システムの基地局アンテナ装置	高橋 行隆 佐藤 啓介
3528341 (EPC) 2021.11.17	18848217.8 2018.7.17	漏れ波アンテナ及びこれを備えたアンテナシステム	佐々木隆吉 佐藤 啓介 大島 一郎

○ 2021年中に新たに登録となった実用新案権・意匠・商標はありません。



## 社外発表および論文紹介

(2021年の社外発表)

### ●Measurement and Ray Tracing Simulation with Urban Microcell Environments at 28 GHz Band

山倉裕和(構造計画研究所)・チン ギルバート・シー(構造計画研究所)・吉敷由紀子(構造計画研究所)・関野昇・大島一郎・今井哲朗(東京電機大), ISAP2020, 電子情報通信学会, 2021年1月25日

屋外環境での28GHz帯での伝搬実験について検討を行った。伝搬特性については、パスロス特性に関する実験結果について評価を行い、ミリ波における正確性の評価のためにレイトレーシングによる評価も行った。評価結果はエリア設計やチャンネルモデリングに有用であることを示した。

### ●屋内環境下における5G中継装置を用いたカバレッジ改善効果の紹介

後藤健太(株式会社NTTドコモ)・三浦進・高橋行隆・宮地健介(株式会社NTTドコモ), 電子情報通信学会ソサイエティ大会, 電子情報通信学会, 2021年9月14日

NTTドコモと共同で実証実験を行った28GHz帯中継装置の効果について報告した。

### ●周波数分散性移相器における整合回路の等価回路及び構造設計

相馬敏樹(千葉工業大学)・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)・佐々木隆吉・佐藤啓介・大島一郎, 電子情報通信学会ソサイエティ大会, 電子情報通信学会, 2021年9月14日

多周波数帯共用基地局アンテナでは、ビーム方向が全周波数帯で等しくなり低周波数帯での隣接通信エリアへ干渉の増大が問題となる。この問題を解決する方法として、CRLH伝送線路で構成した周波数分散性移相器を提案し、移相器と50Ω伝送線路の整合を実現する整合回路構造について報告した。

### ●キャパシタンス装荷平行2線線路を用いた直列給電アレーアンテナ

仙名瑞樹(千葉工業大学)・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)・佐々木隆吉・佐藤啓介・大島一郎, 電子情報通信学会ソサイエティ大会, 電子情報通信学会, 2021年9月14日

直列給電アレーアンテナの給電位相は素子位置に対応して決定される。従って要求される放射方向によっては素子間隔が広くなりサイドローブが発生する。平行2線で構成した給電線路に容量を装荷することで位相速度を増加させる給電線路構成を検討した結果について述べた。

### ●Experimental Investigation of Planar Frequency Dispersive Phase Shifter for Base Station Antennas

相馬敏樹(千葉工業大学)・長敬三(千葉工業大学)・道下尚文(防衛大)・大島一郎・中林寛暁(千葉工業大学), ISAP2021, 電子情報通信学会, 2021年11月24日

1.5GHz帯および2GHz帯共用の周波数分散性移相器を組み込んだ基地局アンテナについて、低周波数帯のチルト角を増加することで通信容量を改善できることを提案した。試作した移相器のSパラメータ、および通過位相特性について示した。

### ●5Gにおける分散アンテナ技術とソリューション

大島一郎, マルチメディア推進フォーラム PART861 5G/Beyond 5Gの分散アンテナシステム(DAS)とカバレッジ補完, マルチメディア推進フォーラム, 2021年10月13日

5Gにおけるエリア拡張・補完に関するソリューションについて紹介した。

### ●Condition for reducing the beam squint of left-handed leaky wave antennas composed of CRLH transmiss

寺田一貴(千葉工業大学)・長敬三(千葉工業大学)・道下尚文(防衛大学校)・佐々木隆吉・佐藤啓介・大島一郎・中林寛暁(千葉工業大学), IEICE Communications Express (2021), IEICE(電子情報通信学会), 2021年11月5日

漏れ波アンテナのビームスクイント低減について紹介した。

### ●テラヘルツ波帯に向けた移動通信基地局アンテナの取組

佐藤啓介, マイクロウェーブ展 2021, 2021年11月24日

5G用の準ミリ波から6Gに向けたテラヘルツ波帯でのオムニアンテナの実現についてフォーカスを当てて紹介した。

### ●キャビティ付きTM01モード変換部を用いた300GHz帯反射鏡無指向性アンテナ

佐藤啓介, 電子情報通信学会 和文論文誌B, 電子情報通信学会, 2021年12月17日

300GHz帯伝搬試験への利用を目的に開発した、反射鏡オムニアンテナに関する設計法と、試作機による実測結果について述べた。

### ●DKKの取組みの紹介

佐藤啓介, 電子情報通信学会 アンテナ・伝播研究会, 電子情報通信学会 AP研, 2021年10月7日

企業学生交流セッションにて、DKKの会社案内・研究開発に関する取組を紹介した。

●**金属 3D プリンター製の加熱コイル (銅)**

今増寿尚, 第3回次世代3Dプリンタ展  
出展社による製品・技術PRセミナー,  
RX Japan 株式会社, 2021年10月6~  
8日

3Dプリンタで製作したコイルを出展  
し, 製品特性の紹介を行った。

●**DKK の WPT 関連の紹介**

関野昇, CEATEC 2021ONLINE Wiot  
ブース内, 電子情報技術産業協会, 2021  
年10月19日

「SIPのOTA測定」「伝送設計」「BF  
アンテナ」について紹介を行った。

●**5Gにおける移動通信用基地局アンテナ技術とエリア拡張ソリューション**

大島一郎, アンテナ・伝播研究会 信学  
技報, アンテナ・伝播研究会 電子情報  
通信学会, 2021年11月11日

移動通信用基地局アンテナについて,  
主な種類と要求条件を概説し, 5G用基  
地局アンテナとして, セクタアンテナ,  
およびビームフォーミングアンテナを取  
り上げ, それらの技術について示した。  
また, 5Gで注目されているエリア拡張・  
補完のソリューションとして, DAS, レ  
ピータ, メタサーフェス反射板について  
紹介した。

●**2周波共用基地局アンテナ用周波数分散性移相器の試作評価**

相馬敏樹(千葉工業大学)・長敬三(千葉  
工業大学)・道下尚文(防衛大学校)・佐々  
木隆吉・佐藤啓介・大島一郎・中林 寛  
暁(千葉工業大学), 信学技報, アンテ  
ナ・伝播研究会, 電子情報通信学会,  
2021年11月3日

1.5/2.0GHz帯共用アンテナにおける  
基地局間干渉を低減するため, CRLH(メ  
タマテリアル)伝送線路の位相分散特性  
を用いて1.5GHz帯のビーム方向をより  
下向きにできる移相器が提案されてい  
る。位相可変時のインピーダンス変動を  
低減する整合回路を提案し, これを組み  
込んだ提案移相器を試作評価した結果に  
ついて発表した。

●**ローカル 5G 向け電波伝搬シミュレーション**

大島一郎, マスワークス ライブイベン  
ト, マスワークス, 2021年12月7日

当社はローカル5Gの事業化を開始し,  
28GHz帯無線機の自社開発や, 自社工  
場での電波伝搬実験を進めてきた。ま  
た, ローカル5Gを導入しようとする顧  
客に対してエリア設計・免許申請・工  
事・アフターケアまでを包括的にサポ  
ートするコンサルティングサービスを行っ  
ている。そのサービスのうち, エリア設  
計に関わるソリューションについて,  
MATLABの活用を含めて紹介した。