

電興技報

2023

No.55



空 飛 ぶ ク ル マ

取締役執行役員 高周波統括部長 富居 博治



未来の生活を予想する時、何を思い描くでしょうか？鉄腕アトムやドラえもん？ちょっと例えが古いですか？映画ならブレードランナー、フィフスエレメント、バック・トゥ・ザ・フューチャー、最近はトム・クルーズのオブリビオンもありますね。それらの未来にはいずれも空飛ぶクルマが出てきます。自動車業界では「100年に一度の大改革」としてCASEやMaaSが話題です。そのような中でEV自動車がようやく巷で見られるようになって久しいですが、世界の最先端ではすでに空飛ぶクルマが実用化の目前まで来ています。空飛ぶクルマも100年に一度の自動車の大改革です。

空飛ぶクルマに期待されるものは多くあります。移動時間の短縮、渋滞の回避、交通事故の防止など、これらは環境や社会への貢献が主眼となっているとも言えます。この空飛ぶクルマを実現させるにはいろいろな技術が必要です。姿勢制御、バッテリー制御、モーター駆動制御、環境センシング、画像解析技術、GPS制御、通信など考え得る多くの技術が詰め込まれています。これらの多くはスマートフォンやドローンなどにも使われている技術ですが、「人間を運ぶ」「人間の頭上を飛ぶ」などの大きな問題があるために通常では考えられないほどの信頼性が必要となっています。望まれるのは利便性や環境対策なのかもしれませんが、それを実現するには改革と呼べる多くの技術の下に生み出されるのです。

2025年、大阪で万博が開催されます。この万博では会場と大阪市中心部、湾岸エリアを結ぶルートが検討されているそうです。あと2年もすれば実際に人の頭上を飛んでいく空飛ぶクルマが日常的に見られることとなります。現在は4つの団体のクルマが採用されることが発表されています。日本の企業が1社、アメリカ・ドイツ・イギリスから日本の航空会社・商社が提携した企業が参加し、開催日までに型式認証を取って試験飛行を今後も続ける予定です。

2025年は電気興業においてもDKK-Plan2025の最終年となります。現在、電気興業は多くの改革を実施中です。サステナビリティ、コーポレートガバナンスの強化など働き方に対して大きな変化が求められています。電気興業は通信事業で培った知識や技術・経験が豊富ですが、このままでは事業として成長は困難な時期にきています。新規事業に打ち出す意欲や創造力が求められています。苦難に挑戦する勇気が求められています。空飛ぶクルマの開発も2025年には実用化です。用意されている時間は同じです。同じ技術者として実現したい夢があれば挑戦してみたいと思いませんか？変えて見たいと思いませんか？

多くの人が手を上げて自分の夢を語って新しい事業を生み出し、参画してくれることを期待します。

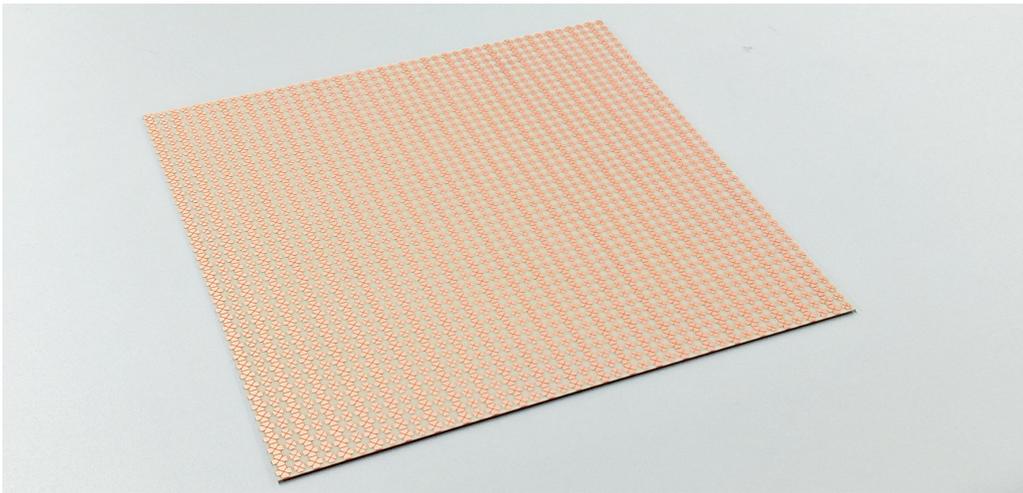
誘電体ロッドアンテナ



28GHz 帯階段形誘電体ロッドアンテナ(試作機)
矩形-円形導波変換器、励振ホーン、階段形誘電体ロッドで構成。
従来のテーパ形アンテナの簡易形でありながら高利得性能を実現。

(本文1ページ)

偏波共用ホイヘンスメタサーフェス反射板



28GHz 帯偏波共用ホイヘンスメタサーフェス反射板
電波不感地帯の天井等に設置可能。
28GHz 帯垂直偏波および水平偏波の反射波方向やビーム幅を自由に設計可能。

(本文4ページ)

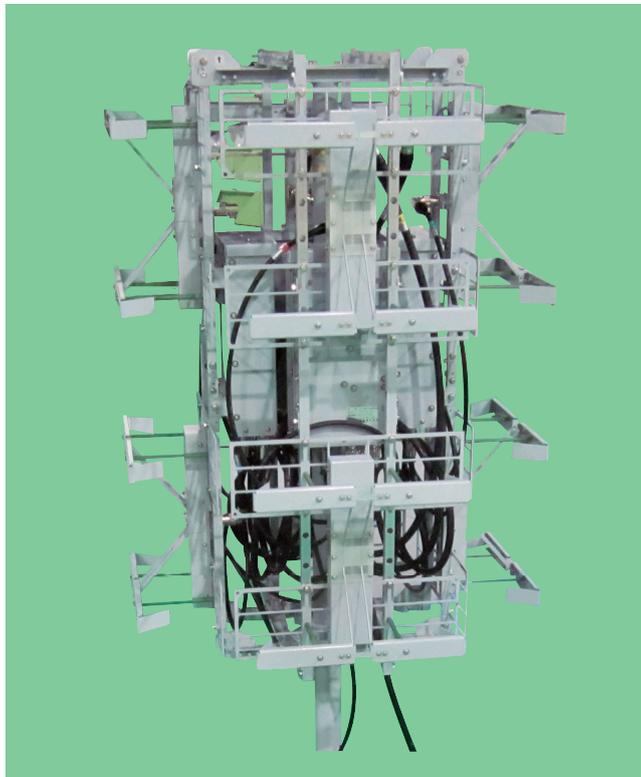
5G NR O-RAN対応無線装置



5G NR O-RAN 対応無線装置

無線装置と制御装置間インターフェースの共通仕様化(O-RAN)に対応した5G NR用無線装置。
マクロセル向け高出力無線装置、スモールセル向け小型低出力無線装置の2機種を開発。(本文20ページ)

テレビ非常用可変指向性アンテナ



UHF帯4Dアンテナ1段4面(水平偏波)

水平偏波もしくは垂直偏波に対応し、ビームチルト可変機構を有している。(本文32ページ)

船舶用ギヤ焼入装置



船舶用ギヤ焼入装置のワーク回転ユニット
(ギヤ焼入用回転機構およびシャフト焼入用回転機構)

ギヤ焼入装置

船舶用ギヤの焼入装置として、外径128mmおよび外径1,690mmのギヤに対応。
シャフト状の加工物の焼入も対応し、最大径175mm、全長710mmまで対応。

(本文40ページ)

28GHz 帯階段形誘電体ロッドアンテナ

佐藤 啓介* 大島 一郎* 中野 久松**

Stair-Shaped Dielectric Rod Antenna for 28 GHz-Band

Keisuke Sato, Ichiro Oshima and Hisamatsu Nakano

本稿では、従来のテーパ形の簡易形として、階段形誘電体ロッドアンテナについて提案する。設計周波数は、5G で用いられる 28GHz とする。アンテナ構造は、矩形-円形導波変換器、励振ホーン、階段形誘電体ロッドより構成した。誘電体ロッドの段数は 3 段とした。電磁界解析により、ロッド径およびロッド長を最適化することで、22dBi 以上の高利得の実現を明らかにした。提案アンテナの 3dB ビーム幅は約 15° となった。26.5GHz~32GHz の帯域にわたって VSWR=2 以下が得られた。本アンテナは、試作機により実測しており、解析値と良く一致する放射特性を得た。

This paper proposes a stair-shaped dielectric rod antenna as a simplified form of the conventional tapered antenna. The design frequency is set to be 28 GHz, which is used for 5G. The antenna structure consists of a transition section from rectangular waveguide to a circular waveguide, horn exciter section, and stair-shaped dielectric rod section. The number of stairs is chosen to be three. It is revealed that a high gain of more than 22 dBi is achieved by optimizing the rod diameter and the rod length. The 3 dB beamwidth of the proposed antenna is 15 degrees. A VSWR of less than 2 is obtained across a frequency range of 26.5 GHz to 32 GHz. The simulation and experimental results are in good agreement.

1. はじめに

国内の第 5 世代移動通信 (5G) において、大容量通信を目的として、28GHz 帯が割り当てられている。次世代移動通信の Beyond5G/6G では、さらに 100GHz を超える、サブテラヘルツ波帯の利用が検討されている⁽¹⁾。周波数の増加にともない、伝搬損失は著しく劣化するため、アンテナには高利得が求められる。

アンテナ利得の増強のため、誘電体ロッドアンテナが検討されている⁽²⁾⁻⁽⁴⁾。文献(2)のアンテナでは、アンテナ長を長くすることにより高い利得を得ている。文献(3)では、誘電体ロッドアンテナをアレー化し、20dBi を超える高い利得が実現されている。

図 1 に、従来のテーパ形誘電体ロッドアンテナの構造を示す⁽⁴⁾。従来アンテナでは、22dBi 以上のアンテナ利得と、-20dB 以下の低サイドローブを実現で



図 1 従来の誘電体ロッドアンテナ(文献(4))

き、解析値、実測値は良く一致する結果を得ている。しかし、5G や 6G での非常に高い周波数において、滑らかなテーパ形状の実現は製作精度の観点から難しい。

本稿では、高い周波数での製作性を鑑み、誘電体を階段形とした高利得ロッドアンテナについて述べる⁽⁵⁾。アンテナの基本性能は、CST-STUDIO-SUITE を用いた電磁界解析により検討する⁽⁶⁾。また、試作機での実測により、設計の妥当性についても明らかにする。設計周波数は 28GHz とする。

2. 誘電体ロッドアンテナの構造

図 2 に、本アンテナの構造を示す。同時に写真 1

* R&D 統括センター ワイヤレス研究所

** 法政大学

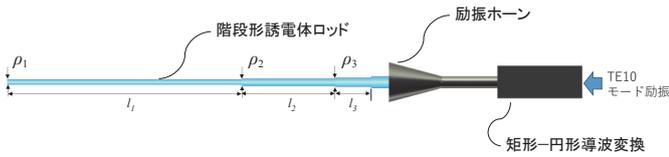


図2 提案アンテナ(階段形誘電体ロッド:文献(5))



写真1 試作機の構造

表1 最終パラメータ

ρ_1	$0.15 \lambda_{28\text{GHz}}$	l_1	$12.9 \lambda_{28\text{GHz}}$
ρ_2	$0.21 \lambda_{28\text{GHz}}$	l_2	$5.13 \lambda_{28\text{GHz}}$
ρ_3	$0.26 \lambda_{28\text{GHz}}$	l_3	$1.96 \lambda_{28\text{GHz}}$

に、試作機の構造も示す。本アンテナは、矩形-円形導波変換器、励振ホーン、階段形誘電体ロッドから構成される。アンテナは、WR-28 (7.112mm×3.556mm) の矩形導波管により、TE₁₀ モードにて励振する。誘電体ロッドは、文献(4)と同じく PTFE ($\epsilon_r=2.0$) とする。誘電体ロッドの段数が増加するにつれて、その性能は、文献(4)のテーパ形の値に収束する。しかし、本稿においては、製作の簡易性を重視し、階段の段数 $N_{step}=3$ とする。22dBi 以上の高利得アンテナの実現を目標とし、ロッド径 ρ_1 、 ρ_2 、 ρ_3 およびロッド長 l_1 、 l_2 、 l_3 を最適化する。表1に、最適化後の最終的なパラメータを示す。

3. 解析ならびに実測結果

図3に、VSWRの周波数特性を示す。26.5GHz～32GHzにおいて、VSWR=2以下の良好な性能を得ている。図4に、28GHzにおける磁界面放射パターンを示す。解析において、3dBビーム幅は約15°と算出される。また、-20dB以下の良好なサイドローブレベル特性が得られる。アンテナ利得は最大で約22dBiとなり、従来のテーパ形と同等の性能となる。VSWR、指向性ともに、解析値と実測値が良く一致

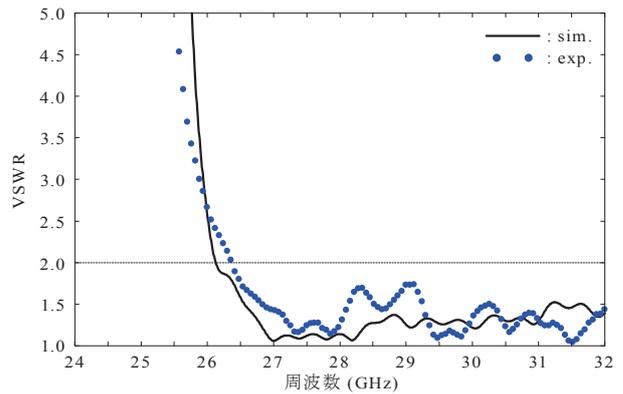


図3 VSWRの周波数特性

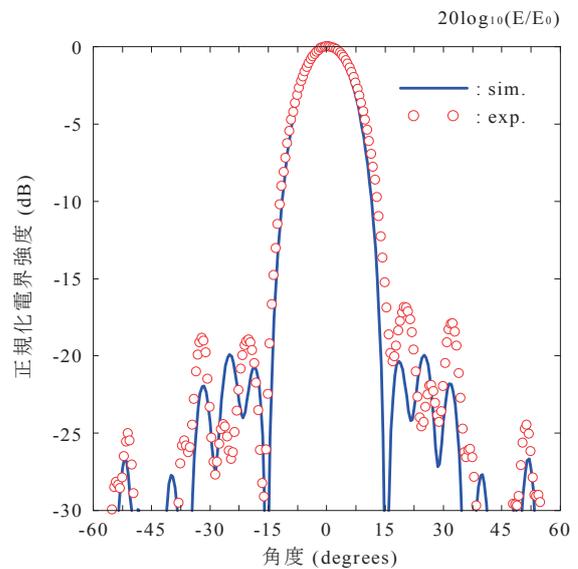
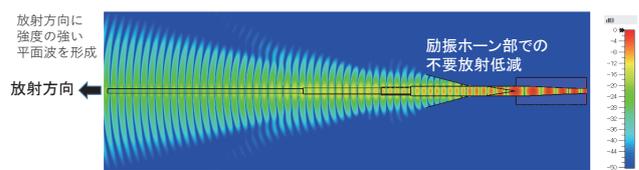
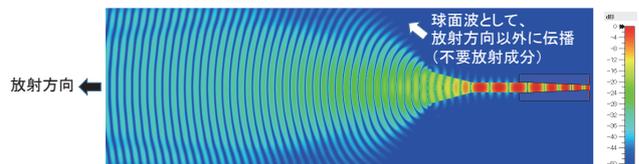


図4 放射パターン(28GHz)



(a) 提案アンテナ(階段形誘電体ロッド)



(b) 励振ホーンのみ

図5 電界分布(28GHz)

する結果を得ている。

図5に28GHzにおける電界分布を示す。比較のため、励振ホーンの場合も同時に示す。電界分布

論文

28GHz 帯ローカル 5G 向け偏波共用
ホイヘンスメタサーフェス反射板の開発Tanan Hongnara*
佐々木克守**
道下 尚文****佐々木隆吉**
佐藤 啓介***
中林 寛暁*****白澤 嘉樹**
大島 一郎***
長 敬三*****Development of Dual-Polarized Huygens' Metasurface Reflector
for 28 GHz Band Local 5G*Tanan Hongnara, Takayoshi Sasaki, Yoshiki Shirasawa,
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。当社ではローカル 5G のエリア改善を目的として、回折格子周期を利用したホイヘンスメタサーフェス (HMTS) 反射板を開発した。

本論文では、28GHz 帯の偏波共用 HMTS の設計手法とローカル 5G における応用例を紹介する。開発した HMTS は、回折格子周期となるスーパーセル 1 周期あたり 2 つのユニットセルのみでシンプルに形成されている。誘電体基板を用いた反射板であり、垂直偏波と水平偏波の共用を実現するため、反射素子には十字型分割共振器を使用した。ユニットセルが 2 種類のみであり、配列時は左右対称構造となる事から、一つの反射板で 2 種類の入射角を実現している。入射角 $\theta_i = \mp 10^\circ$ から $\theta_m = \pm 70^\circ$ の 2 種類の入射特性を有しており、容易な設置とコストの削減も期待できる。本 HMTS を不感地帯の天井等に設置することでローカル 5G のカバレッジエリアを拡大することが期待できる。

本論文は、2022 年 8 月に開催されたアンテナ・伝播研究専門委員会にて報告した "Dual-Polarized Bipartite Huygens' Metasurface with Anomalous Wave Reflection for Local 5G Application at 28.25 GHz" を加筆・転載したものである (copyright© 2022 by IEICE)。

Metasurface (MTS) reflector can freely design the direction and beam width of the reflected wave. We have developed a Huygens' metasurface (HMTS) reflector using a diffraction grating period for a local 5G area improvement.

In this paper, we introduce the design method of dual-polarized HMTS in the 28 GHz band and its application in local 5G. The developed HMTS is simply formed with two unit cells per supercell period, which is the period of the diffraction grating. It is a reflector using a dielectric substrate, and a cross-shaped split resonator is used for the reflecting element to achieve common use of vertical polarization and horizontal polarization. There are only two types of unit cells which have a symmetrical structure when arranged. And two types of incident/reflection angles are realized with one reflector. Two types of incident/reflection characteristics from incident/reflection angle $\theta_i = \mp 10^\circ$ to $\theta_m = \pm 70^\circ$, are expected to facilitate installation and reduce costs. By installing this HMTS on the ceiling of the dead

* 元電気興業

** 機器統括部 移動通信技術開発部

*** 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

zone, it is expected to expand the local 5G coverage area.

This paper is a revised version of “Dual-Polarized Bipartite Huygens’ Metasurface with Anomalous Wave Reflection for Local 5G Application at 28.25 GHz” reported at the Antenna and Propagation Research Committee held in August 2022. Yes (copyright © 2022 by IEICE).

1. はじめに

第5世代移動通信システム(5G)では、無線システムのスループットを大幅に向上させるために、ミリ波帯が割り当てられ、使用されている。ミリ波帯では電波の直進性が高く、障害物を容易に通過しないことから、不感地帯が発生しやすいため携帯電話ネットワークにおけるカバレッジホールの発生などといった課題がある⁽¹⁾。そのため、金属製の機器やパーティションなどによる電磁波の遮断が発生し、狭いサービスエリアであっても不感知帯が存在している⁽²⁾。

このような問題を解決するために、入射角と反射角が異なる異常反射を実現するパッシブ型のHMTSを用いて、送信端末(Tx)と受信端末(Rx)間のVLOS(Visual Line of Sight)を実現した。本HMTSは、消費電力が無く、導入・運用コストに優れている。さらに、MTSは平面構造でありながら任意の入射角度を実現できるため、壁への貼付けなどといった薄型での実装が可能となる。

最近では、MTSを実現する手法の一つとして、スーパーセル1周期あたりの2つのユニットセルを持つHMTSが提案されている⁽³⁾⁽⁴⁾。この設計手法は、スーパーセル1周期あたりのユニットセル数を少なくしつつ、異常反射を実現することができる。そのため、従来のMTSと比較して、MTSの設計や最適化プロセスの複雑さを軽減することができる⁽⁵⁾⁽⁶⁾。さらに、MTSの設計角度と回折格子周期の長さの関係を適切に選択することで不要伝搬モードを制限し、所望方向への高い反射性能を簡単に実現することができる⁽³⁾。

本論文では、28.25GHzにおいて2種類の入射角を持つ偏波共用HMTSの設計手法を提案し、ローカル5G向けの応用例を紹介する。開発したHMTSは、異なる反射位相を持つ2つのユニットセルでスーパーセルが構成され、シンプルな設計および最適化プロセスを実現する。さらに、スーパーセルは対称構造であるため、2種類の入射特性を有し、MTSの設置や応用の柔軟性が期待される。

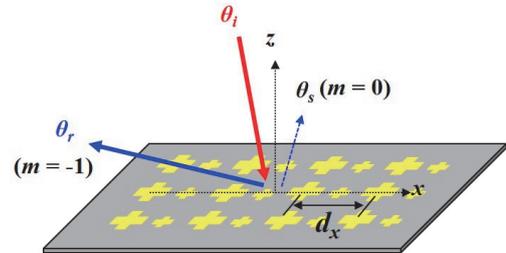


図1 HMTSの設計角度の考え方

2. MTSの設計と構成

図1は、xz面内で異常反射を実現するための設計角度の概念を示している。回折格子の周期(d_x)をx軸に並べて、入射角(θ_i)はMTS面の+z軸方向に近い角度とし、反射角(θ_r)は+z軸を対称に入射波と同じ面側に深い角度となるように設計する。このとき、適切なパラメータ選定により、ほとんどの反射電力が θ_r 方向に作用し、他の散乱モードが抑制される。

2.1 設計角度の決定

回折格子周期と散乱モード方向の関係から、開発したHMTSの入射角 θ_i とモード m の反射角 θ_{rm} は、 d_x を以下のように定義することで与えることができる。

$$d_x = \frac{m\lambda_0}{(\sin\theta_{rm} - \sin\theta_i)} \quad (1)$$

λ_0 は動作周波数における自由空間波長、 m は回折モード次数の整数値である⁽³⁾。今回のHMTSの設計では、入射角 θ_i を 10° 、反射角 θ_{rm} は -70° とし、 $m = -1$ で設計した。 θ_{rm} の負符号は、図1のように入射波と同じ面側(-xz面)に反射角が存在することを意味する。設計周波数は、日本のローカル5G周波数帯に割り当てられている28.25GHzとし、式(1)の計算から前述の入射角 θ_i と反射角 θ_{rm} から d_x は約9.54mmとなる。

2.2 セルの離散化と共振器設計

所望の反射角へ効率的に電力を伝達するためには、回折格子周期における MTS のユニットセルの反射位相と表面インピーダンスを適切に実装し、最適化する必要がある。従来は、表面特性の滑らかな変化を模倣するために、ユニットセルの反射位相を細かく離散化した設計が好まれていた。しかし、(7)で述べているように離散化 HMTS の設計は、スーパーセル 1 周期あたり少ないユニットセル数で高い電力効率を示している。この利点を活かして、スーパーセル 1 周期あたり 2 つのユニットセル (反射位相が 0° と 180° のように位相差が 180° となるユニットセルの組み合わせ) を十字型分割共振器で設計している。

文献(3)(4)で解析したように、スーパーセル 1 周期あたりの最小セル数 (N) は、HMTS の入射角 θ_i とモード m の反射角 θ_{rm} の関数であり、次式で与えられる。

$$N = 1 + \left\lfloor \frac{(1 - \sin \theta_i)}{|\sin \theta_{rm} - \sin \theta_i|} \right\rfloor + \left\lfloor \frac{(1 + \sin \theta_i)}{|\sin \theta_{rm} - \sin \theta_i|} \right\rfloor \quad (2)$$

式(2)によって HMTS は、スーパーセル 1 周期あたり 2 つのユニットセルを使用するだけで実現することができる。図 2(a)は、開発した HMTS のユニットセル構造である。安価な FR-4 基板を用いており、誘電率は 4.3、誘電正接は 0.02 で、基板厚は 0.6mm である。そして、HMTS を通過する漏れ電力を避けるために、基板の裏面に銅製のグラウンド (GND) を取り付けている。

図 2(a)に見られるように、ユニットセルは垂直偏波と水平偏波の共用を実現するために十字型共振器を採用している。本設計では、スーパーセル 1 周期あたり 2 つのユニットセルのため、 d_x の半分の長さ

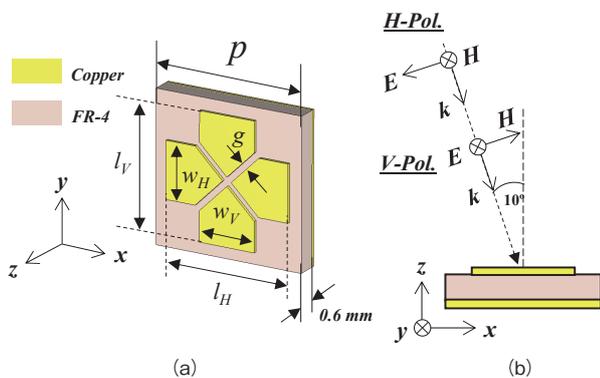


図 2 ユニットセルの構成と入射波励振の設定

とし、表面インピーダンスを制御するために垂直軸と水平軸のストリップの幅と長さを調整し、 l_v , w_v , l_h , w_h でパラメータ化した。

2.3 ユニットセル特性

シミュレーションの結果はすべて、CST studio suite シミュレータプログラム⁽⁸⁾を用いて行われたものである。ユニットセルの特性を解析するために、図 2(b)に示すように、垂直偏波および水平偏波の平面波がユニットセルの表面に対して 10° の角度で斜めに入射している。解析はユニットセル境界条件下の無限周期構造で行われる。図 3 は、設計したユニットセルの垂直偏波における反射振幅と反射位相を解析したものである。水平偏波については、ユニットセル構造の対称性からシミュレーション結果がほぼ同じになるため、示していない。28.25GHz において w_v , w_h , g をそれぞれ 1.8, 1.8, 0.2mm とし、 l_v と l_h を 2.1~4.6mm まで同時に変化させて解析した結果である。赤の一点鎖線で示すように、反射振幅は 0.8 より大きい。次に、青の点線で示した反射位相は 120° から -92° まで変化しており、 212° の位相変化が得られた。HMTS の設計では、2 つのユニットセル間で位相が 180° ずれた特性が要求される⁽⁴⁾。したがって、このユニットセルはすでに回折格子周期に十分な位相変化を満たしていることがわかる。

2.4 MTS の表面構造

図 4 は、バイスタティックなレーダー断面積 (RCS) 解析による散乱放射パターン (RCS パターン) を解析するためのスーパーセルの構成と表面構造を示している。図 4(b)に見られるように、MTS

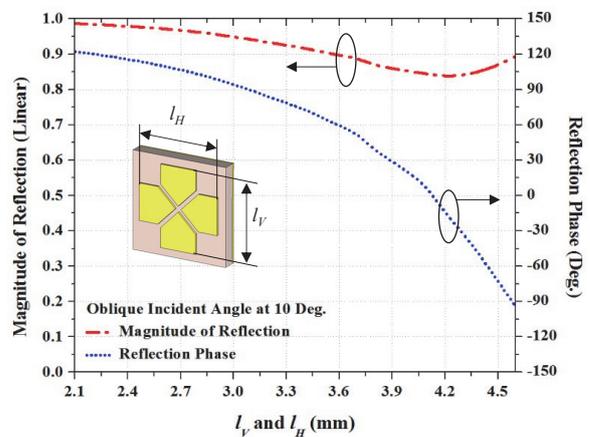


図 3 入射角度 10° の垂直偏波入射下でのユニットセル特性

は $209.88 \times 209.88 \text{mm}^2$ の正方形の面積で構成されている。図4に見られるように、MTSの表面はスーパーセルの配列から生成されており、2つの異なるサイズの共振器のユニットセル (U_1 , U_2) で構成されている。 U_1 と U_2 のサイズが異なることで、位相がずれた状態に対応する。

図4(b)に示すように、RCSパターンは入射角 θ_i の平面波を入射させて共振器を励振させて反射角 θ_{rm} の反射波を生じさせることで得られる。偏波共用設計の検証のため、垂直偏波と水平偏波の両方のRCSパターンを解析する。

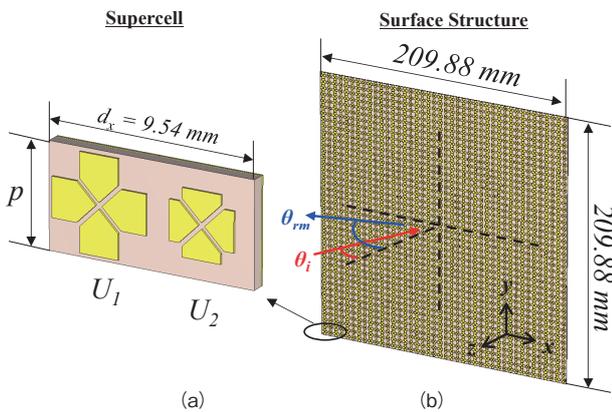


図4 スーパーセル構成とHMTSの表面構造

を選択した。この2列のパラメータは、垂直偏波と水平偏波の動作において互いに 180° の位相変化を与えることができ、各ユニットセルにおいて構造の対称性が保たれるように設計されている。図5は垂直偏波と水平偏波のシミュレーション結果であり、周波数 $28.20 \sim 28.30 \text{GHz}$ における初期設計パラメータの xz 平面内のRCSパターンを示している。このRCSパターンの軸設定は、図4(b)の表面構造で示されるように、角度(横軸)の負符号は $-x$ 軸から $+z$ 軸への角度掃引を意味する。逆に、 $+z$ 軸から $+x$ 軸への角度の変化は正符号で表される。

解析の結果、両偏波ともに2本の反射ビームが発生していることが確認された。RCSパターンから、 -10° の波が入射していることがわかる。左から1つ目のビームは、所望方向が -70° で入射波と同じ角度側(負符号の角度領域)にある。これは所望の回折モード次数 $m = -1$ の反射ビームである。一方、左から2つ目のビームは入射角による鏡面反射により生じたビームで、 $+10^\circ$ の角度で発生する。この鏡面反射モード ($m = 0$) は設計における不要反射であり、

表1 スーパーセル構造のパラメータ概要

Parameter	U_1 (mm)		U_2 (mm)	
	Int.	Opt.	Int.	Opt.
d_x	9.54			
p	4.77			
l_v	4.47	4.52	2.78	3.82
w_v	1.8	1.8	1.8	1.7
l_H	4.47	4.53	2.78	3.07
w_H	1.8	1.8	1.8	1.8

3. 結果及び考察

3.1 シミュレーション結果

表1は、スーパーセル構造のパラメータ概要である。まず、 U_1 と U_2 の初期設計パラメータ(Int.の列)

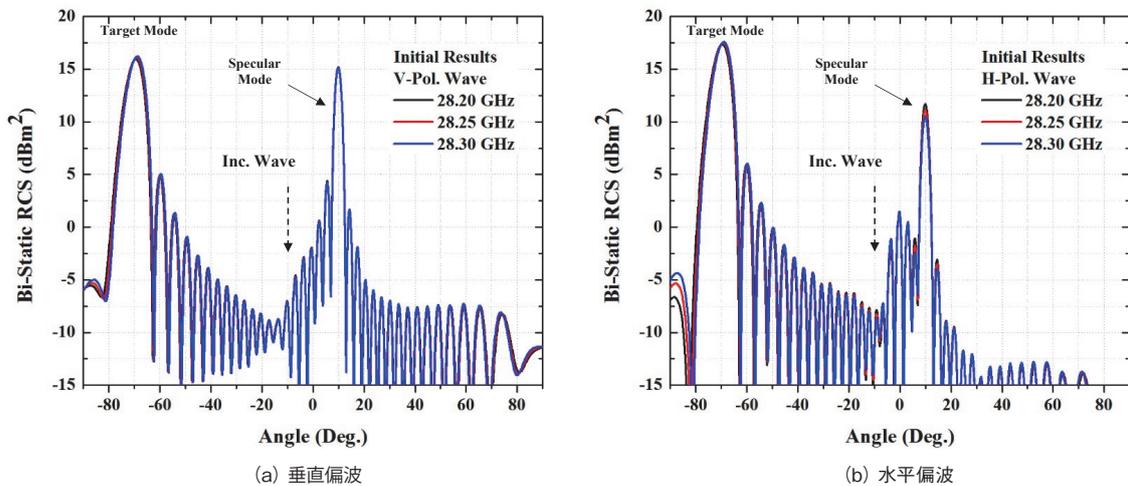


図5 HMTSの初期設計パラメータ(Int.)のRCSパターンのシミュレーション結果

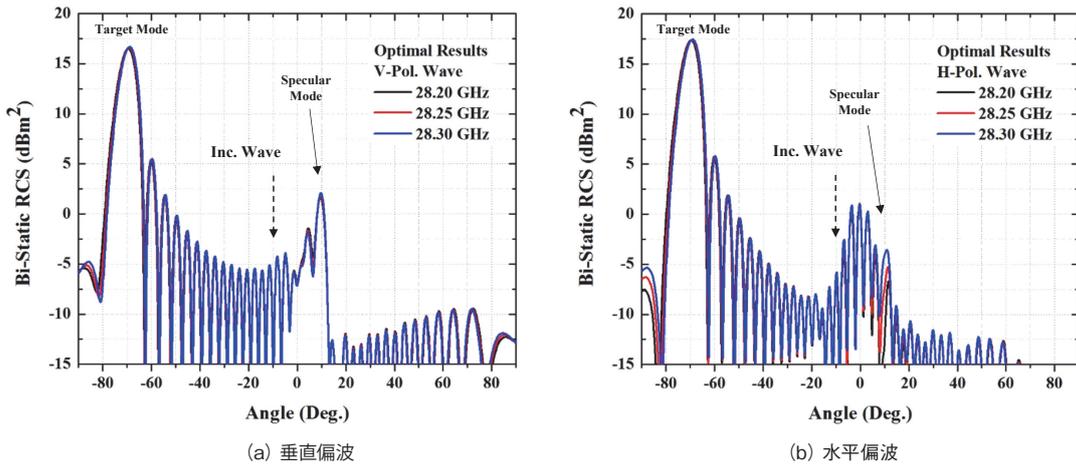


図6 HMTSの初期設計パラメータ(Opt.)のRCSパターンのシミュレーション結果

反射性能を低下させるサイドローブと考えることができる。

この不要反射を抑制するために、スーパーセル構造における U_1 および U_2 の構造パラメータを最適化する。このプロセスは、隣接するユニットセル間の結合によりずれた反射位相を所望の反射位相に修正するために行う。通常、サイズや形状の異なる複数の共振器を組み合わせる位相勾配型 MTS を実現する場合に必要となる⁽³⁾⁻⁽⁸⁾。その理由は、最初のユニットセル解析による反射位相解析では、基本的に周期的な構造配列によって解析されるからである。したがって、異なるサイズの共振器間の結合効果は考慮されない。

図6は、表1の最適パラメータ(Opt.の列)を用いたMTSのRCSパターンを解析したものである。両偏波ともに鏡面反射モード($m = 0$)の反射強度が大きく減少していることが確認できる。垂直偏波では、所望モード($m = -1$)の反射強度が0.7dB増加する一方で、鏡面反射モード($m = 0$)の反射強度は12.5dB減少している。一方、水平偏波では、鏡面反射モード($m = 0$)の反射強度が15dBと大きく減少しており、所望モード($m = -1$)の反射強度の減少は小さい。

また、HMTSのコンセプトにより2つの共振器間の基準位相は 0° と 180° の2つの反射位相を持つ相対的なものとなっている。これは所望モードの反射がない角度領域(図5の負符号の角度領域に所望波が反射する場合に正符号の角度領域を表す)でも同様の反射位相プロファイルを示すことを意味する。この特性を調べるために、入射波を $+10^\circ$ で入射させて解析した。図7に、28.25GHzにおける2つの入

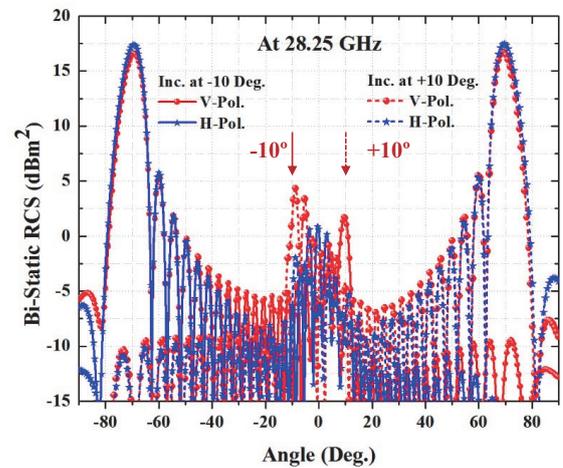


図7 HMTSの2つ入射波($\pm 10^\circ$)におけるRCSパターンのシミュレーション結果

射波($\pm 10^\circ$)における比較結果を示す。図からわかるように、2つの入射波のRCSパターンは正面方向(0°)を対称に同様の反射挙動が得られている。また、 -70° と 70° の所望モード($m = -1$)に対する反射強度は、両偏波で等しくなっている。鏡面反射モード($m = 0$)では異なる特性が見られたが、所望モード($m = -1$)と比較して反射強度が小さいため、この影響は軽微である。

3.2 測定結果と考察

図8は、試作したHMTSのバイスタティックRCSパターン測定の様子である。受信ホーンアンテナはHMTSの周りを円形に回転し、その反射波を受信する。HMTSの実用性を検証するために、反射板への入射角度が $\pm 10^\circ$ の2つで検証した。受信ホーンアンテナは -90° から $+90^\circ$ までの角度範囲で走査した。

図 9 と図 10 は、それぞれ -10° と $+10^\circ$ で入射した場合に測定した HMTS の RCS パターンである。測定結果から、開発した HMTS は、両偏波の -10° 入射(実線)および $+10^\circ$ 入射(破線)の両方で良好に動作することを確認した。さらに、2つの入射波($\pm 10^\circ$)で同様の反射挙動を示している。これらの測定結果は、図 7 のシミュレーション結果とよく一致している。

最後に、図 11 に示すように開発した HMTS をローカル 5G のユースケースに暫定的に適用することを検討した。この HMTS は部屋の天井に設置さ

れ、部屋の壁に設置された送信 (Tx.) 端末からの電波を変則的に不感地帯に反射させる。さらに、入射面の違いによる反射の特徴を利用し、左側送信端末 (Tx_{Left}) と右側送信端末 (Tx_{right}) の両方から反射させることができるため、反射板設置の自由度が高くなる。

4. む す び

本論文では、ミリ波帯で異常反射させる偏波共用の HMTS の設計手法を提案した。設計角度と回折格子の周期を適切に選択することで、不要伝搬モード

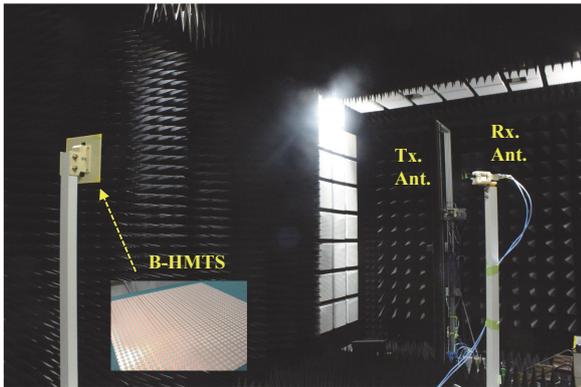


図 8 HMTS とバイスタティック散乱反射パターン測定の様子

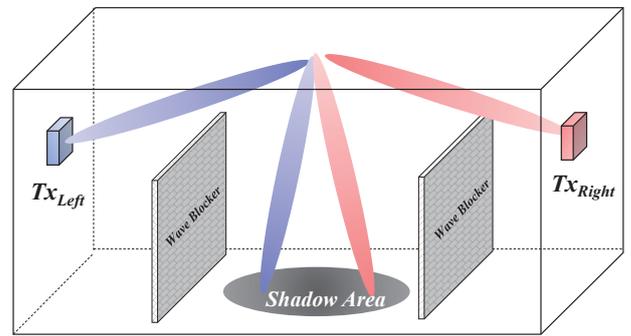


図 11 ローカル 5G のユースケースに向けた HMTS の適用例

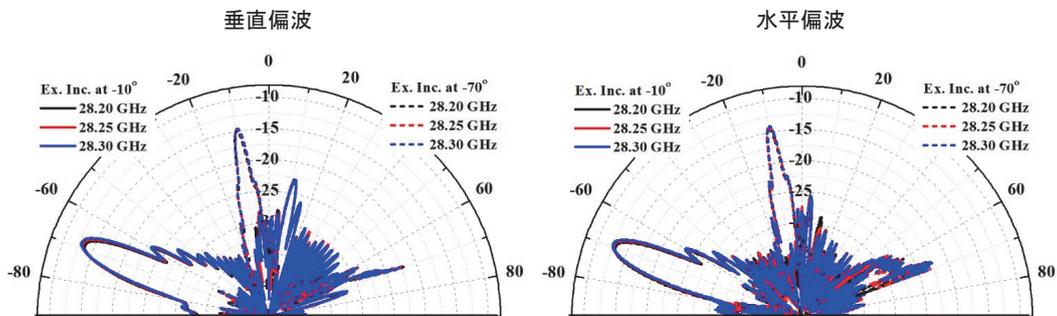


図 9 HMTS の -10° 入射における RCS パターン測定結果

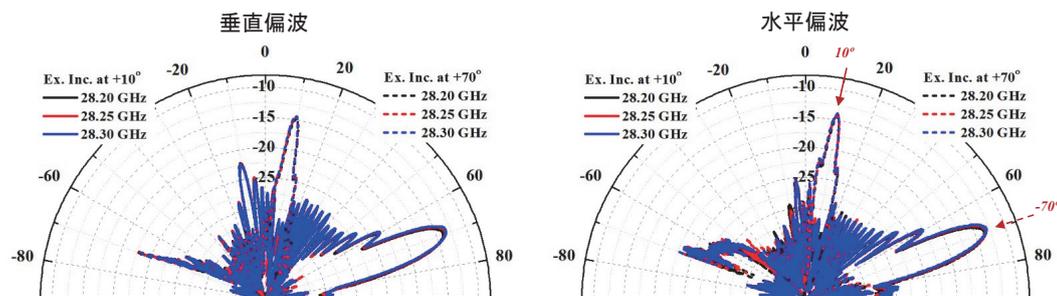


図 10 HMTS の $+10^\circ$ 入射における RCS パターン測定結果

を制限し、所望方向への高い反射性能を簡単に実現することができた。開発した HMTS は、シミュレーション結果と測定結果がよく一致していることから、設計手法の妥当性を示すと同時に、ローカル 5G アプリケーションの不感地帯を解決するための適用例を示すことで、有用性も示した。また、 $\theta_i = \mp 10^\circ$ から $\theta_m = \pm 70^\circ$ の対称な入射特性を持ち、設置の複雑さを軽減してより良いコスト効率を実現可能としている。

文 献

- (1) S. Suyama, T. Okuyama, Y. Inoue, and Y., Kishiyama, "5G multiantenna technology," *NTT DOCOMO Technical Journal*, vol. 17, no. 4, pp. 29-39, 2016.
- (2) T. Hongnara, Y. Shirasawa, T. Sasaki, K. Sasaki, K. Sato, I. Oshima, N. Michishita, H. Nakabayashi and K. Cho, "Dual-polarized broad-beam reflective metasurface based on multi-sheet configuration for local 5G application at 28.25 GHz," in *Proc. the 15th European Conf. Ant. and Propag. (EuCAP 2021)*, Dusseldorf, Germany, 2021.
- (3) A. M. H. Wong and G. V. Eleftheriades, "Perfect anomalous reflection with a bipartite Huygens' metasurface," *PHYSICAL REVIEW X*, Vol. 8 Iss. 1, Feb. 2018.
- (4) A. M. H. Wong, P. Christian, and G. V. Eleftheriades, "Binary Huygens' metasurfaces: experimental demonstration of simple and efficient near-grazing retroreflectors for TE and TM polarizations," *IEEE Trans. Ant. Propag.*, Vol. 66, Iss. 6, Jun. 2018, pp. 2892-2903.
- (5) A. D.-Rubio, V. S. Asadchy, A. Elsakka, and S. A. Tret'yakov, "From the generalized reflection law to the realization of perfect anomalous reflectors," *Science Advances*, Vol. 3, No. 8, Aug. 2017.
- (6) Y. Kato, K. Omori, and A. Sanada, "D-Band Perfect Anomalous Reflectors for 6G Applications," *IEEE Access*, Vol. 9, Nov. 2021, pp. 157512-157521.
- (7) C. Qi, A. and M. H. Wong, "Discrete Huygens' metasurface: realizing anomalous refraction and diffraction mode circulation with a robust, broadband and simple design," *IEEE Trans. Ant. Propag. (Early publish)*, Apr. 2022.
- (8) CST Microwave Studio 2022, France, www.3ds.com.

☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆

Tanan Hongnara
元電気興業



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



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及び電波伝搬の研究・開発に従事
電子情報通信学会会員



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



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



大島 一郎
平成 7 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
博士(工学)



道下 尚文
防衛大学校教授
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)



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



長 敬三
千葉工業大学教授
電子情報通信学会・IEEE 会員
博士(工学)

技術紹介

トランジスタ式プラズマ設備における 大気圧プラズマ着火

新井 亮*

Atmospheric Pressure Plasma Ignition in Transistor Plasma Facility

Akira Arai

当社既存のトランジスタ式電源は金属熱処理以外にも、プラズマ発生装置用の電源としても使用されている。今回、客先より真空管式電源からトランジスタ式電源への入れ替え依頼を受けた。客先仕様により、大気圧下にてプラズマ着火させる必要があった。トランジスタ式電源でのプラズマ着火は、大気圧下であること、周波数が低いことからプラズマ着火は困難と予想された。大気圧下かつ低い周波数でプラズマ着火させるため、トーチ形状の検討や、トランジスタ式電源の負荷回路の見直しを行い、大気圧着火に成功した。最後に、大気圧着火後の加工テストを実施したところ、製品化に向けた課題も見つかった。

Our transistor power supply is used not only for metal heat treatment, but also for plasma generators. This time, we received a customer's request to switch from a vacuum tube power supply to a transistor power supply for a plasma generator. According to customer specifications, it was necessary to ignite the plasma under atmospheric pressure. Plasma ignition with a transistor power source was anticipated to be difficult because it is under atmospheric pressure and the frequency is low. To ignite the plasma at a low frequency under atmospheric pressure, we studied the shape of the torch and reviewed the load circuit of the transistor power supply, and generated plasma under atmospheric pressure. Finally, we conducted a processing test after atmospheric pressure ignition and found some issues for commercialization.

1. はじめに

当社既存プラズマ設備と客先設備の違いについて説明する。高周波電源を入れ替えるにあたり、一番の問題はプラズマ着火方法であった。

当社既存プラズマ設備の場合、上部のトーチと呼ばれるガラス管の内部でプラズマを生成する(写真1)。トーチ構造を図1に示す。中央のガラス管内は真空引きできる構造となっており、着火の際は 10^2Pa 程度の真空度とすることで、トーチ内部に電離しやすい状態を作ることができる。トランジスタ式電源を使用し、コイルに400kHz程度の高周波電流を流すことでグロー放電が発生し、そこへアルゴンガスを投入することで容易に熱プラズマへと移行



写真1 当社従来プラズマ機

* 高周波統括部 開発部

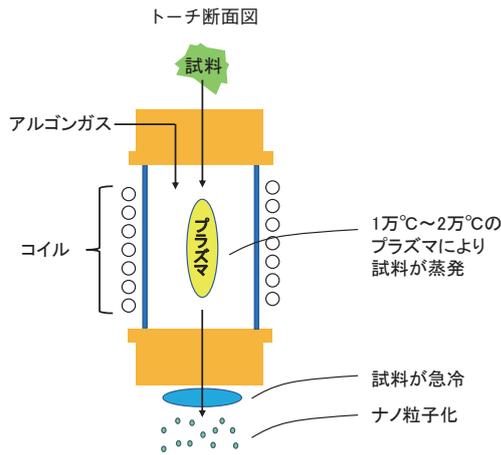


図1 トーチ構造

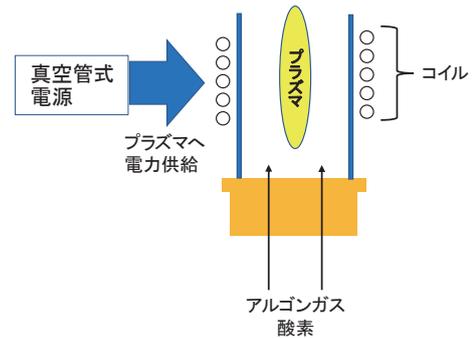


図2 客先プラズマ設備

非常に困難な環境でのプラズマ着火が今回の課題となる。

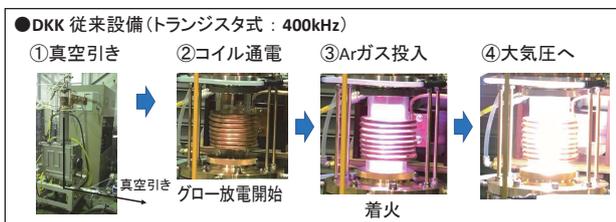


写真2 当社既存プラズマ設備着火手順

その後、アルゴンガスの投入を継続することで徐々にトーチ内圧を上げ、大気圧プラズマとなる(写真2)。このように発生させた熱プラズマは約1万℃～2万℃の高温であるため、上から投入された試料は瞬時に蒸発し、トーチ下部で急冷され、ナノ粒子化される。このようなナノ粒子をはじめ、様々な分野で当社既存の従来プラズマ装置は使用されている。

対する客先現行設備を図2に示す。ガラス管内でプラズマを発生させる点では、当社既存プラズマ設備と同様であるが、アルゴンガスを下から投入しトーチ上面は開放されているという点では異なる。着火の際は、アルゴンガスをトーチに投入しつつ、コイルに通電することでトーチ内の電極からアーク放電が発生する。その状態を数秒維持すると着火させることができる。真空管式電源を使用することで、トランジスタ式電源よりも高い高周波電流を発生させることができるため、トーチを真空引きすることなく熱プラズマへの移行が可能となっている。

今回は客先現行設備と同様の構造をしたトーチを使用し、トランジスタ式電源の限界である400kHz程度の高周波電流にて、熱プラズマの着火が求められた。すなわち、大気圧下かつ400kHz程度という

2. 大気圧着火テスト

2.1 トーチ径の検討

最初のテストとして、客先現行トーチと当社既存トランジスタ式電源を組み合わせ、プラズマ着火を試みたところ、アーク放電は発生するが、着火には至らないという結果であった。そこでトーチの径について検討した。下記の式はうず電流の浸透深さを表しており、高い周波数であるほど電流が表面のみを流れるという表皮効果現象を表している。

$$p = 503 \sqrt{\frac{\rho}{\mu f}} \quad [m]$$

ここで μ [H/m]は透磁率、 ρ [Ω m]は電気抵抗率、 f [Hz]は周波数である。

アルゴンガスの抵抗率は1000 [μ Ω /m]、周波数は400[kHz]を適用し、うず電流の浸透深さは25mmと計算される。トーチ中心部でうず電流が干渉し合わない程度の、十分なトーチ径が必要であること。また、必要以上にトーチ径が大きい場合、うず電流密度の低下により着火が不利になることなどを考慮すると、トーチ内径は約110mmが適当と予想した(表1)。

表1 トーチ径の推定

	Arガス抵抗率 ρ ($\mu\Omega \cdot m$)	周波数 f (kHz)	浸透深さ p (mm)	プラズマ直径 D (mm)	トーチ内径 (mm)
トランジスタ方式	1,000	400	25	88	110

2.2 負荷回路の検討

実際に内径 110mm のトーチを製作しテストを実施した。その結果、コイルターン間やリードでの異常放電が多く発生した。これはコイル径を拡大させたことと、トーチ内に安定した磁束を発生させるため多ターンコイルを使用したことで、コイル付近が高電圧になることが原因と推察された。アーク放電が発生するコイル電圧は 7500V 以上であり、コイルターン間等にて異常放電が発生しないコイル電圧は 12000V 以下であることがわかった。この電圧範囲内にて、最も電流を流すことができる 10 ターンコイルを選定した。

また、トランス、コンデンサ、コイルから成る負荷回路を検討することで、コイル電圧の抑制を図った(図 3)。通常、コイルに高周波電圧を印加した際に、抵抗となる成分インダクタンスが弊害となり、コイルに高周波電流を流すことができない。そのインダクタンスを打ち消すため、コイルと直列にコンデンサが設置され、その後トランスにより電圧電流バランスが調整される構造となっていることが、高周波設備として一般的である。トランジスタ式電源出力後の、これらトランス、コンデンサ、コイルから成る回路を負荷回路と呼ぶ。図 3 において、当初はコイルに対し片側にコンデンサ 1 のみ設置することで回路を構成していたが、コイルを挟み両サイド

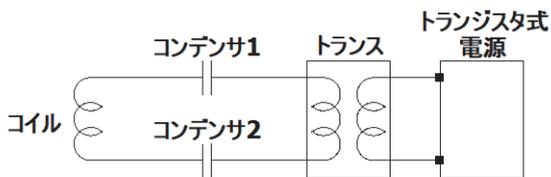


図 3 コンデンサ配置回路図

にコンデンサ 1、コンデンサ 2 に分けてコンデンサを設置する構造とした(写真 3)。これにより、当初は図 4 左のようにコイル上部が 0V 電位、下部が 12000V 電位となるところ、右図のようにコイル中央を 0V 電位にし、コイル上下に電圧を分散し、電圧を抑制した。

2.3 アルゴンガス放出防止の検討

トーチの上にフタを設置して着火を試みたところ、安定した着火が可能となることが判明した(写真 4)。これは標準状態のアルゴンと空気ではアルゴンの方が重いから、トーチ内に滞留し漏れ出ることはないが、トーチ内でアーク放電を継続させるとアルゴンガスは熱せられ、160℃に達するとアルゴンは空気よりも軽くなる性質がある。そのため、このフタにより放出が防がれ、安定した着火が可能となると推察される。以上のような検討と実験の末、400kHz のトランジスタ式電源を使用し、安定した大気圧プラズマ着火が可能となる。

2.4 サンプル加工テスト

プラズマを使用して、サンプル加工テストを実施した。サンプル加工に入る前に、アルゴンガスに酸素を加えるとともに、より電力を投入し火炎を大きくする。この状態で、プラズマ直上にガラス棒を設

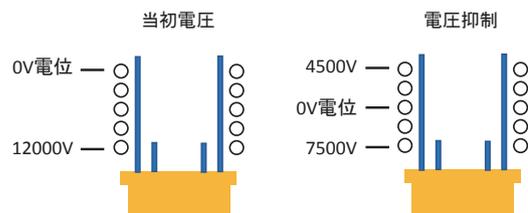


図 4 コイル電位の調整

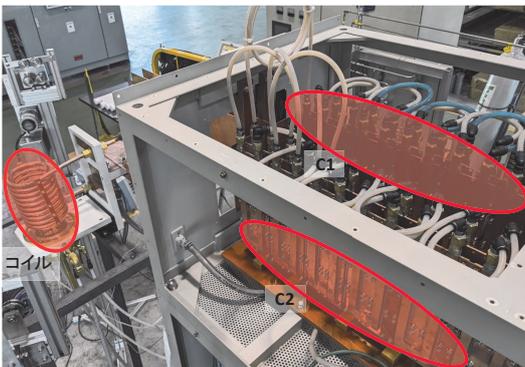


写真 3 コンデンサの配置位置

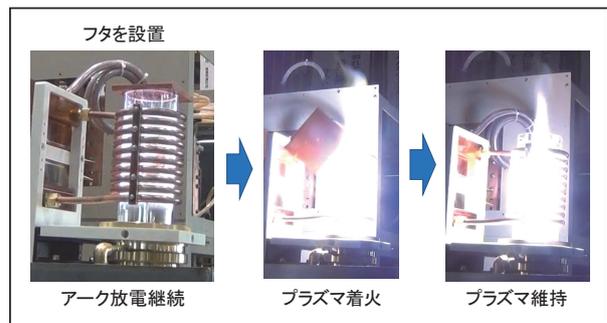


写真 4 フタ付きの状態での着火

技術紹介

材料供給装置と連動した 短時間サイクル設備の実現

佐久間敏之*

Realization of a Short-Time Cycle Equipment Linked with a Material Supply Equipment

Toshiyuki Sakuma

高周波焼入れを行う生産現場では省人化、加工の短時間化、省エネルギー化、低価格化の進んだ設備が用いられている。最近では、特に省人化と加工の短時間化が進んでおり、作業員1名で複数の生産設備を受け持ち、少ない時間で大量に加工することが求められている。この省人化の機能を満たすための対策方法の一つとして、一度に大量の材料を投入することで、長時間連続して焼入れ設備に材料を自動供給し続ける、「材料供給装置」の利用が挙げられる。

次に加工の短時間化は、1つの製品を加工する時間「サイクルタイム」を削減することである。サイクルタイムは加工と搬送の時間を合わせた時間で、生産量に直結する重要な要素であるため、短時間化が進められている。

今回、大量処理が可能な材料供給装置と連動した焼入れ機の製作を行い、省人化を実現した。また、10秒で2個の製品を加工するという短時間での加工サイクルの使用に対して、「材料供給装置」と「焼入れ設備」の動作との連動を最適化させ、高頻度のワーク供給に対応できる搬送機構を開発し製品化した。

本稿では、材料供給装置を用いて、短時間の加工サイクルを実現した焼入れ装置を紹介する。

At the production site where induction hardening is performed, an equipment that is advanced in labor saving, processing time reduction, energy saving, and cost reduction is used. Recently, labor saving and processing time reduction are especially advanced, and it is required that one worker takes charge of multiple production facilities and processes a large amount in a short time. As one of the countermeasures to satisfy this labor saving function, the use of “material supply equipment” that automatically supplies materials to the quenching equipment continuously for a long period of time by injecting a large amount of materials at once is mentioned.

Next, the processing time reduction is to reduce a “cycle time” including processing and transportation time for processing one product. The cycle time is an important factor directly linking to production volume and the cycle time reduction effort continues.

This time, we developed a quenching machine that works in conjunction with a material supply equipment that is capable of mass processing and realized labor savings. In addition, in response to the use of a short processing cycle of processing two products in 10 seconds, we have developed and commercialized a transport mechanism that optimizes the interlocking of the “material supply equipment” and the “quenching equipment” operations and enables high-frequency workpiece supply.

This paper introduces the quenching equipment that uses the material supply equipment to achieve a short processing cycle.

* 高周波統括部 設計部

1. 材料供給装置とは

材料供給装置とは、高周波焼き入れを行う材料(ワーク)を振動させる事で、同一の姿勢に揃えつつ、一定方向に材料を運ぶ装置である。

すり鉢状のボウルに供給するワークとボウルの振動により自動で材料を供給する装置である。

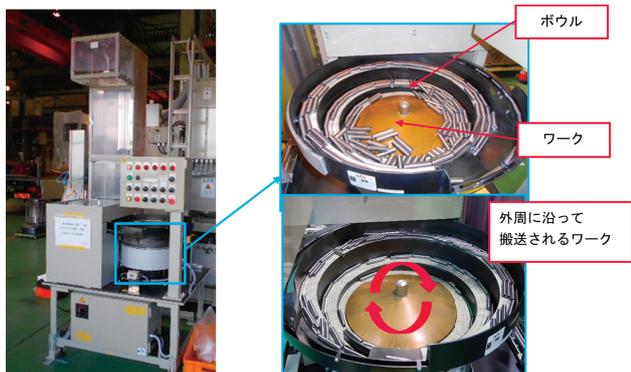


写真1 材料供給装置

パーツフィーダとも呼ばれていて様々な形状のワークに対応できる。

今回使用した装置はボウルに材料を供給すると、ボウルが振動しながら回転することで、ワークが円周外側方向に進む。

外周に沿ってガイドが設置してあり、ガイドに沿って進んでいき、このガイドが徐々に狭くなって進につれてワークは1列になっていく。

その先にワークの方向決めを行う機構があり、一定向きに揃えてワークを焼入れ機へ供給する(写真1)。

2. 焼入れ装置と材料供給装置の接続方法

設備構成について説明する。供給装置を含めた設備全体を図1に示す。

中央に焼入れ装置があり、装置内の左右に焼入れステージがある(写真2右)。各焼入れステージに対し材料供給装置が1台ずつ左右に設置されている。

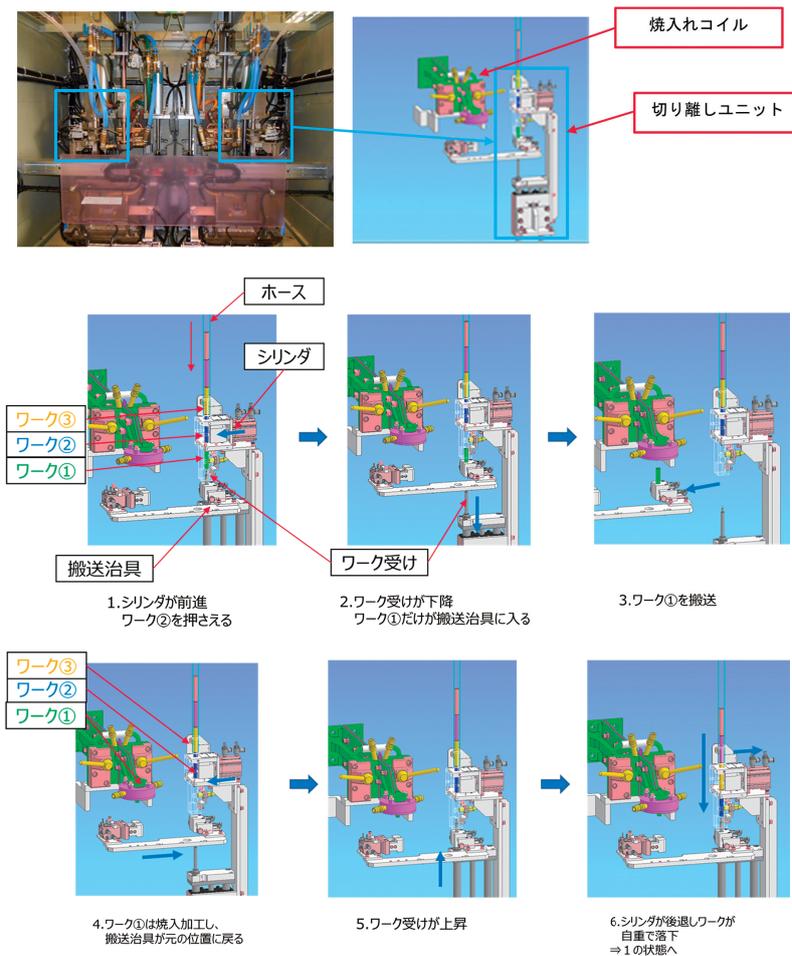


図1 ワーク切り離し機構

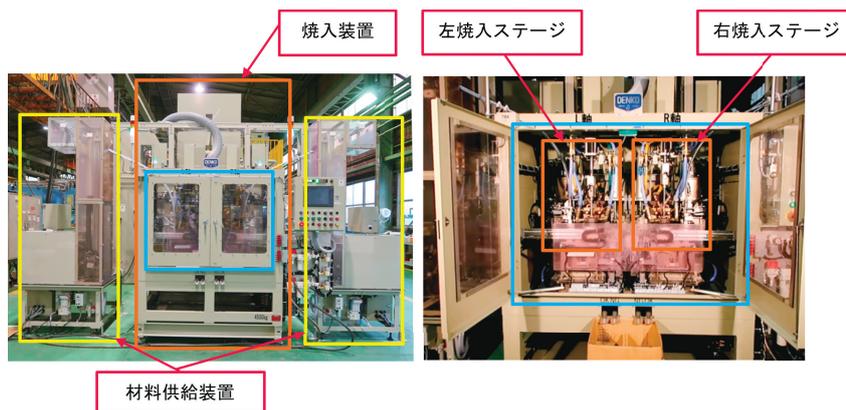


写真2 設備構成

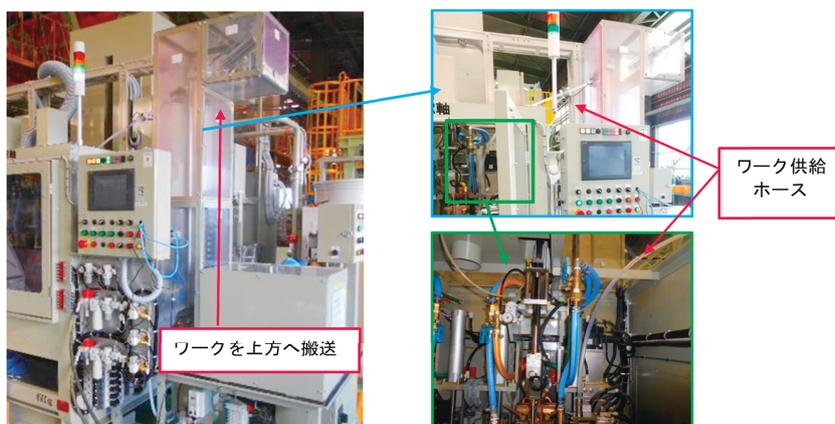


写真3 材料供給経路

焼入れ装置と材料供給装置の間のワーク搬送経路は内部をワークが通過できる内径を有するホースで接続されている(写真3)。

材料供給装置より一定方向にそろえられたワークは上方へ搬送される。次に経路であるホースに3個毎、ホース内部に送り込みホース内を滑り落ちる形で、焼入れ装置の受け渡し位置へ供給される。

この時ホース内はワークが連なって供給される。

この3本が焼入れ機側ですべて搬送が終わる前に次の3本の供給を行うことで、途切れることなくワークの供給を行う。

3. 焼入れ装置と材料供給装置の連動方法

材料供給装置から焼入れ機には供給ホース内でワークが連なった状態で供給されるが、焼入れ機では1個ずつ加工を行うため、連なったワークを切り離す機構が必要となる。

連なったワークを切り離す機構について説明する

(図1)。

1. ワークが供給されると、初めのワーク(ワーク①)が、ワーク受けの上に乗る、連なったワーク②がワーク①の上に乗った状態となる。
2. 焼入れ機が使用する1個上のワーク(ワーク②)を落下しないようにシリンダで横方向から押さえる。
ワーク①を受け取ったワーク受けが下降し、水平方向に搬送する搬送治具に移載する。
3. 搬送治具が、移動してワークを加工位置に移動。加工場所に移載する。
4. 移載が完了し加工を開始した後、元のワークを受け取る位置に戻る。
5. 再び、ワーク受けを上昇させ、ワーク②を受け取れる状態に戻る。
6. ワークを押さえていたシリンダを後退。ワークを自重落下させて、ワーク受けに移載させる。
(この動作を行うと、1.と同じ状態に戻る事に

製品紹介

5G NR O-RAN 対応無線装置 (O-RU)
の開発

山田 大輔* 久樹 隆史* 鈴木 裕介*
 佐々木 希** 齋藤 翔** 浅野 裕一**
 津田 寛弥**

Development of 5G NR O-RAN Radio Unit (O-RU)

*Daisuke Yamada, Takafumi Hisaki, Yusuke Suzuki,
 Nozomu Sasaki, Sho Saito, Yuichi Asano
 and Hiroya Tsuda*

5G NR システムでは、無線装置 (以下 O-RU) と制御装置 CU^{*1}/DU^{*2} 間インタフェースの共通仕様化 (O-RAN^{*3}) が進み、マルチベンダでのシステム構築が可能となってきた。当社では、O-RAN 対応のマクロセル向け高出力無線装置 (以下 Macro O-RU) 及びスモールセル向け小型低出力無線装置 (以下 Small O-RU) の2機種を同時開発した。

本稿では、当社で開発した2機種の O-RU の概要と仕様について紹介する。

In 5G NR system, common specifications (O-RAN^{*3}) for interfaces between radio unit (hereafter O-RU) and control units CU^{*1}/DU^{*2} have progressed, and it becomes possible to build systems with multiple vendors' equipment. We developed two types of O-RAN compatible radio unit, high-power radio unit for macro cells (hereafter Macro O-RU) and small low-power radio unit for small cells (hereafter Small O-RU) at the same time.

This paper introduces the overview and specifications of the developed two types of O-RU.

1. はじめに

LTE では、図1に示すように無線装置と制御装置 (ベースバンド装置) 間の信号やデータの形式はベンダーが独自に設定していたため、無線装置と制御装置は同一ベンダーの機器で構成されていた。

一方で5G NR では、図2に示すように O-RU と制御装置 CU/DU 間の信号やデータの形式が共通仕様化となったため、異なるベンダーの O-RU と制御装置 CU/DU でシステム構築が可能となった。これにより、当社は通信事業者の無線装置市場に新規参入できた。

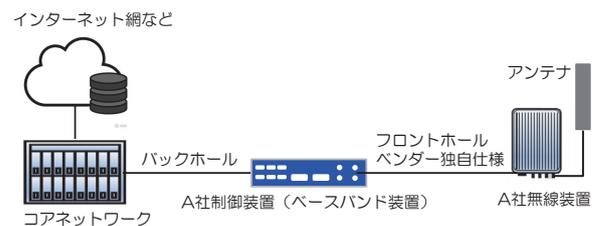


図1 LTE のシステム構成

- *1 CU (Central Unit) 集約ユニット: 主に無線装置及び DU の管理を行い、コアネットワークとの交通整理、L2 (PDCP) 及び L3 (RRC) を担当
- *2 DU (Distributed Unit) 分散ユニット: 主に符号化復号化並びに無線装置との交通整理を行う L1 (High-PHY) 及び L2 (MAC/RLC) を担当
- *3 O-RAN: オープンな無線アクセスネットワーク (Radio Access Network) 実現のため O-RAN アライアンスで策定されたインタフェース仕様、本装置は其中で O-RAN フロントホール・インタフェース仕様を採用 (2.3 章参照)

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

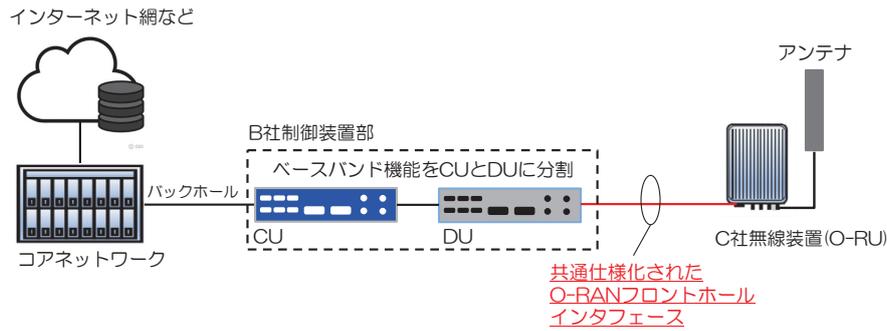


図2 5G のシステム構成



写真1 Macro O-RUの外観

表1 O-RUの主な仕様

項目	Macro O-RU	Small O-RU
周波数帯	n77/n78	
アンテナ数	4 (4 送信 4 受信)	
送信出力	3GPP TS38 104 Wide Area BS 準拠	3GPP TS38 104 Medium RangeA BS 準拠
EVM (256QAM)	4.5% 以下	
ACLR	43dBc 以上	
最低受信感度	-95.6dBm スループット 95% 以上	-90.6dBm スループット 95% 以上
対上位装置 インタフェース	O-RAN 7-2x	

2. 5G NR O-RU

2.1 概要

O-RU は、送信出力の違いで Macro O-RU と Small O-RU を開発した。また、制御装置側 CU/DU との接続は O-RAN 仕様に準拠している。写真1に Macro O-RU の外観を示す。

2.2 主な仕様

表1に開発した O-RU の主な仕様を示す。周波数帯は 5G NR で Sub6^{*4} 帯の n77/n78 に対応している。4×4 MIMO^{*5} に対応していて4系統の送受信回路を具備する。送信電力はそれぞれ 3GPP^{*6} の Wide Area BS, Medium Range BS に準拠している。代表的な送信の無線特性である ACLR^{*7} は

*4 Sub6: 6GHz 未満の周波数

*5 MIMO (Multi Input Multi Output): 送信側と受信側で複数のアンテナを使い伝送容量を向上させる技術

*6 3GPP (3rd Generation Partnership Project): 第3世代 (3G) 以降の移動体通信システム (携帯電話網) の標準規格の仕様の検討や調整を行う各国標準化機関によるプロジェクト

*7 ACLR (Adjacent Channel Leakage power Ratio): 隣接チャネル漏洩電力比

43dBc 以上、EVM^{*8} は 256QAM^{*9} で 4.5% 以下である。代表的な受信の無線特性である最低受信感度はそれぞれ -95.6dBm (Macro O-RU), -90.6dBm (Small O-RU) でスループット 95% 以上である。制御装置側とのインタフェースは O-RAN 7-2x に準拠している。次項で詳細について記載する。

2.3 O-RAN フロントホール・インタフェース

制御装置側 CU/DU とのインタフェースは、O-RAN アライアンス^{*10} が策定する O-RAN フロントホール・インタフェースである。

O-RAN アライアンスは、世界の通信事業者が中心になって、基地局と無線装置間のインタフェースの共通化・オープン化などを目的に、2018年に設立された団体である。当社も2019年より O-RAN アライアンスに加盟し活動に参加している。O-RAN 仕様に対応した装置同士であれば、異なるベンダーの装置

*8 EVM (Error Vector Magnitude): 信号の変調精度

*9 256QAM (256 Quadrature Amplitude Modulation): 256値を使用した位相振幅変調で1度に8ビットを伝送できる

*10 O-RAN アライアンス: 5Gにおける RAN の規格を検討している団体

が接続可能になる。

O-RAN フロントホール・インタフェースは、O-RAN アライアンスのワーキンググループ 4 (WG4) で議論され、現在も随時仕様が追加されている。O-RAN 仕様は規格であるため、さまざまな接続構成や運用形態に対応できるようにインタフェースを規定している。このため、O-RAN 仕様で規定されるさまざまな機能やパラメータ値を上位装置と合わせる必要がある。本装置では、事業者様が規定した機能を実現し、複数の上位装置との接続試験を完了した。

O-RAN 仕様では、L3 の制御信号(M-Plane *¹¹)を規定するために、RAN 特有の制御信号を追加できる NETCONF/YANG を採用している。NETCONF/YANG は、Internet Engineering Task Force (IETF) の Request for comments(RFC) で公開された装置間インタフェースの規格である。O-RAN 仕様は、この一般的なプロトコルをベースに、O-RAN フロントホール・インタフェースに必要な制御信号を追加して、L3 の制御信号(M-Plane)を規定している。本装置では、はじめて異なる複数の上位装置と

M-Plane で通信して、運用(保守監視含む)に必要な各種設定を実施し、運用を開始できた。

2.4 O-RU の試験

O-RU の試験系を図 3 に示す。疑似 CU/DU はキーサイト社製の Open RAN Studio を採用した。主な機能として ORAN インタフェースに対応していて、無線特性試験に使用する 3GPP 定義の送信テストモデルを送信できる。また、3GPP 定義の受信テストモデルの BLER 測定も可能である。本試験系を用いて O-RU の試験を実施した。各 plane 別の機能概要と試験内容を表 2 に示す。M-plane は確立手順から主に

表 2 各 plane 別の機能概要と試験内容

plane	機能概要	試験内容
M-plane	"Start up" installation	M-plane 確立手順
	SW management	O-RU の SW 管理
	Configuration management	O-RU のパラメータ設定・取得
	Performance management	O-RU での測定項目管理
	Fault Management	O-RU の故障管理
	File Management	O-RU のとの間のデータファイル送受信
S-plane	PTP Sync-E	周波数と時間の同期確立
CU-plane	制御とユーザデータ	送受信無線特性

*¹¹ M-plane (Management Plane) : O-RAN フロントホール・インタフェースにおける Management (監視制御) 信号

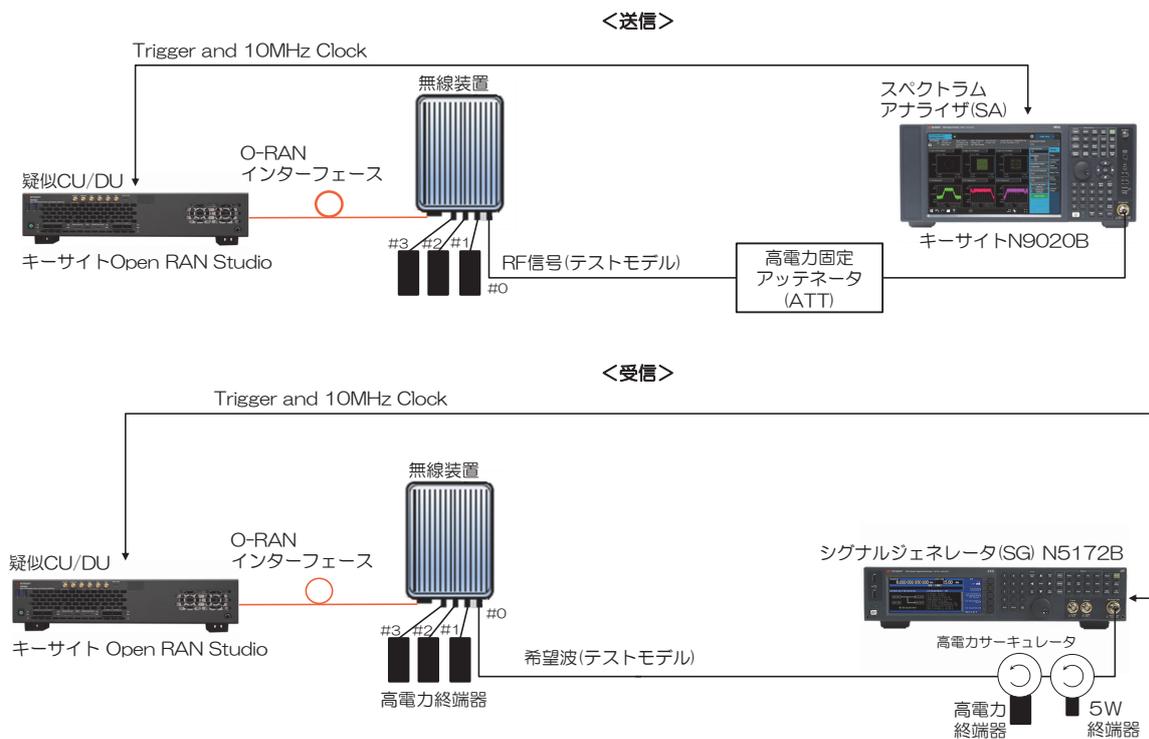


図 3 O-RU の試験系



齋藤 翔
平成 17 年入社
機器統括部 移動通信技術開発部
無線機器の開発に従事



津田 寛弥
令和 3 年入社
機器統括部 移動通信技術開発部
無線機器の開発に従事



浅野 裕一
令和 2 年入社
機器統括部 移動通信技術開発部
無線機器の開発に従事

製品紹介

5G 3Band 対応 DAS の開発

藪 和哉* 加納 宏基* 間舘 大泰*
早川 佳佑*** 洲崎 泰利* 水谷 貴典**

Development of DAS for 5G 3 Bands

*Kazuya Yabu, Koki Kano, Hiroyasu Madate,
Keisuke Hayakawa, Yasutoshi Suzaki and Takanori Mizutani*

日本国内の移動体通信市場では、各キャリアが5Gエリアの拡張を進めており、屋内通信エリア拡張を目的として、5G-indoor DAS^{*1}が使用されている。

当社では、5G-indoor DASに対応する装置の開発に取り組み、1.7GHz帯、3.5GHz帯、Sub6帯の3Bandに対応した製品を開発した。開発したDASは、1.7GHz帯のLTEをアンカーバンドとして、3.5GHz帯またはSub6帯の5G NR^{*2}信号を使用可能としたシステムである。本稿では、開発を行った5G 3Band対応DASについて紹介する。

In the mobile communications market in Japan, each telecommunications carrier is expanding its 5G area, and 5G-indoor DAS^{*1} is being used to expand the indoor communication area.

We have been working on the development of equipment that supports 5G-indoor DAS, and developed a product that supports 3 bands: 1.7 GHz band, 3.5 GHz band, and Sub-6 band. The developed DAS is a system that can use 5G NR^{*2} signals in the 3.5 GHz band or Sub-6 band with LTE in the 1.7 GHz band as the anchor band. This paper introduces the developed DAS for 5G 3 Bands.

1. ま え が き

各キャリアは、2020年3月より第5世代移動通信システム(5G)のサービスを開始し、2021年より5Gエリアの拡大が本格化した。5Gの周波数帯域は、3Gや4Gよりも高い周波数帯域であり、これまでの周波数帯域に比べて電波が届きにくい性質があるが、5Gサービス向けに割り当てられた周波数帯域は帯域幅が4Gと比較して広い(4Gでは最大20MHzに対して、5GのSub6帯で最大100MHz)ため、高速大容量な通信が可能という特徴を有している。そのため、5Gの屋内通信エリア拡張が重要となってくる。

屋内通信エリア拡張を目的としたDASは以前から導入されているが、5G-indoor DASでは、各周波数帯域(1.7GHz帯/3.5GHz帯/Sub6帯)に対応した1システムで4Gと5Gの無線信号を取り扱うことが

可能なシステムを求められていた。

2. 装置概要

今回開発したDASは、親機・中継機・子機から構成される。親機は、各周波数帯域に対応した装置を準備し、各基地局に応じた周波数帯域の装置を選択して使用することを可能な設計とし、親機同士を光ファイバで接続することにより複数の周波数帯域を一つのシステムで使用することを可能とした。子機は、1.7GHz帯と3.5GHz帯、1.7GHz帯とSub6帯を共用している装置を提案することにより、一つのアンテナポートから基地局で使用する複数の周波数帯域を出力可能な設計としているため、外部共用器の設置を不要な設計としている。

* 機器統括部 移動通信技術開発部
** 機器統括部 品質管理部
*** 高周波統括部 設計部

*1 DAS : Distributed Antenna System
*2 5G NR : 5 Generation New Radio



図1 子機写真

基地局送信において、DASは次のように動作する。無線装置から出力された無線信号が親機に入力されると、親機は無線信号を光デジタル信号に変換し、中継機(あるいは子機)へと送信する。中継機は親機から受信した光デジタル信号を子機へ分配する役割を持ち、子機は中継機(あるいは親機)からの光

デジタル信号を無線信号に復元し、接続されているアンテナから所定の送信電力で送信する。

一方、基地局受信では、基地局送信と逆の経路を通る。ユーザ端末から送信された無線信号がアンテナを介して子機に入力されると、子機は無線信号を光デジタル信号に変換し、中継機(あるいは親機)に送信する。中継機は子機から受信した光デジタル信号を集約して親機へ送信し、親機は受信した光デジタル信号を無線信号に変換して無線装置へ送信する。

3. 装置仕様

本DASは、1.7GHz帯のFDD-LTE^{*3}信号、3.5GHz帯のTDD-LTE^{*4}信号および5GNR信号、Sub6帯の5G NR信号に対応している。また、256QAMおよび4×4MIMO^{*5}に対応しており、1つの周波数帯

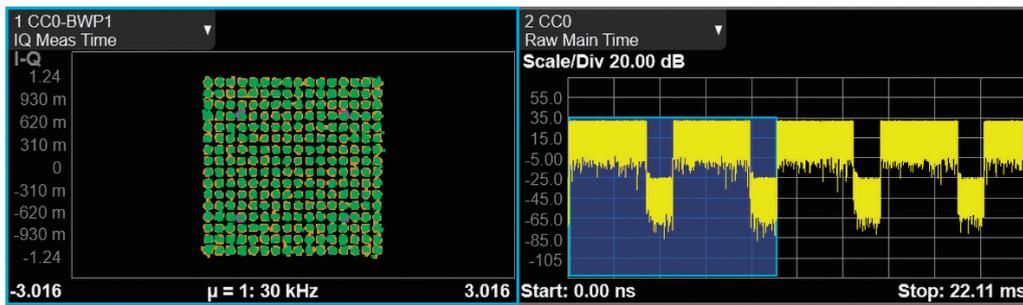


図2 無線特性

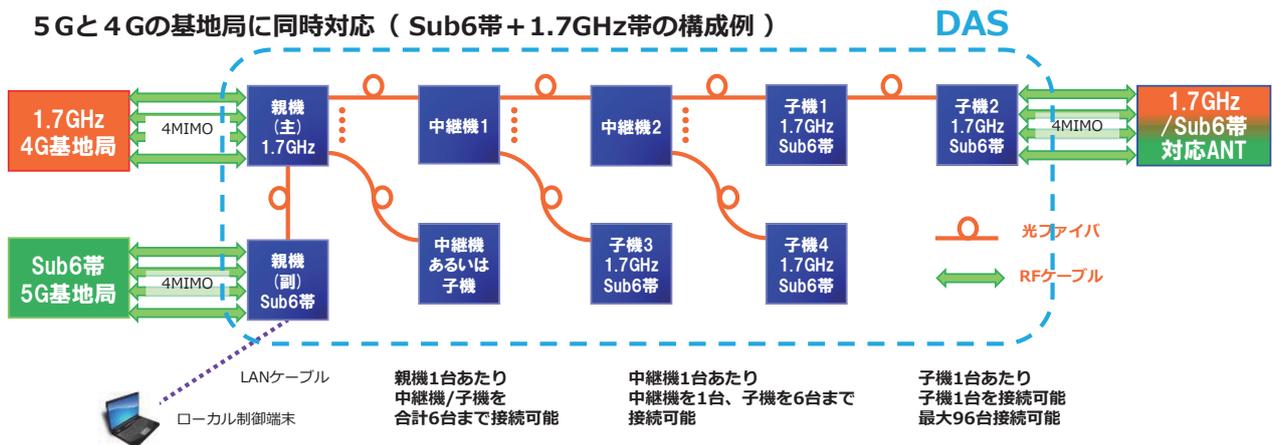


図3 接続構成

*3 FDD-LTE : Frequency Division Duplex - Long Term Evolution

*4 TDD-LTE : Time Division Duplex - Long Term Evolution

*5 MIMO : Multi Input Multi Output

製品紹介

5G システム対応 Sub6 帯アンテナ

久保 優樹* 大泉 勝也* 北角真太郎**

Sub-6 Band Antenna for 5G System

Yuki Kubo, Katsuya Oizumi and Shintaro Kitakado

通信事業者各社では5Gエリアの拡大を目的として、既存LTEバンドのNR化およびSub6帯を用いたエリア構築が進められてきた。高速通信・大容量通信を実現するためには、Sub6帯をはじめとした5G用として割り当てられた周波数帯を用いたエリア展開が重要となる。近年では、通信事業者のみならずインフラシェアリング事業者やローカル5G事業者によるサービスが増えてきていることから、使用用途に応じて様々なアンテナが求められる。本稿では、それらの多様化する需要に対応すべく製品化した各種Sub6帯アンテナの仕様と特長を紹介する。

Aiming the 5G area expansion, telecommunications service providers have been promoting the conversion of the existing LTE band to NR and the construction of areas using the Sub-6 band. For realizing high-speed communication and large-capacity communication, it is important to expand areas using the frequency bands allocated for 5G, including the Sub-6 band. In recent years, services by infrastructure sharing operators and local 5G operators, as well as telecommunications service providers, are increasing, so various antennas are required according to the purpose of use. This paper introduces the specifications and features of various Sub-6 band antennas that have been commercialized to meet these diversifying needs.

1. はじめに

通信事業者各社では5Gのサービスエリア拡大に取り組んでおり、既存LTEバンドのNR^{*1}化およびSub6帯を用いたエリア構築を進めている。高速大容量通信、低遅延、多数同時接続化を実現するためには、Sub6帯を用いたエリア構築が重要となる。Sub6帯は2019年4月に割り当てられた3.7GHz帯および4.5GHz帯を表しており、LTEバンドと比較して周波数が高いことから電波の直進性が高く、損失が大きいという性質がある。そのため、屋内や建物の陰などで電波が届きにくく、品質の高いサービスを提供するためには基地局の設置数において4Gより多く設置する必要がある。また、図1に示す通り、Sub6帯は通信事業者への割り当てだけではなく、ローカル5Gにも割り当てられている。ローカル



図1 Sub6帯周波数割り当て

5Gは現在、様々な実証実験が進められている段階であり、今後の普及が期待されている。このような背景から、通信事業者のみならずローカル5G用としても、使用用途に合わせた様々なSub6帯アンテナが求められる。

2. 製品ラインナップ

現在、当社では14機種のSub6帯アンテナを製品

* 機器統括部 移動通信技術開発部
** 高周波統括部 設計部

*1 NR: New Radio

表 1 Sub6 帯アンテナ一覧

項番	品名	種類	使用環境	偏波面	水平面指向性	サイズ [mm]
1	VH65A-3545RTD	セクタ	マクロセル	V/H	65°	φ 105 × 550
2	X35-3545RTD	セクタ	マクロセル	± 45°	35°	φ 150 × 465
3	VH360A-3545FTD-※	オムニ	マクロセル	V/H	360°	φ 52 × 1214
4	VH360-3450FTD	オムニ	スモールセル	V/H	360°	φ 45 × 158
5	VH360-3450FTD-UT45	オムニ	スモールセル	V/H	360°	φ 45 × 225
6	VH360-3450FTD-DT45	オムニ	スモールセル	V/H	360°	φ 45 × 225
7	X65-3545FTD	平面	スモールセル	± 45°	65°	75 × 75 × 28.5
8	X25-3545FTD	平面	スモールセル	± 45°	25°	200 × 200 × 27
9	X75-3545FTD-T35	平面	スモールセル	± 45°	75°	260 × 70 × 28.5
10	X65-3545FTD-W	平面	スモールセル	± 45° × 2port	65°	140 × 70 × 28.5
11	X25-3545FTD-W	平面	スモールセル	± 45° × 2port	25°	395 × 200 × 27
12	X1225-3545FTD	平面	スモールセル	± 45°	12°	395 × 200 × 27
13	R-3450FVQ-W	屋内用	—	V × 8port	360°	350 × 120 × 42
14	CSOW-3450FVH	屋内用	—	V/H × 2port	360°	350 × 120 × 42

としてラインナップしている(表 1)。いずれのアンテナも使用周波数帯は 3400MHz~5000MHz としており、通信事業者各社とローカル 5G の使用周波数帯を全てカバーした特性を有している。

表 2 アンテナの種類と特長

種類	特長
セクタアンテナ	<ul style="list-style-type: none"> 比較的高利得で広範囲のエリア化に適する 主にマクロセル用アンテナとして使用される
オムニアンテナ	<ul style="list-style-type: none"> 1 台でエリア構成可能 構成が比較的単純で安価にエリア構成が可能
平面アンテナ	<ul style="list-style-type: none"> 小型、軽量 不感地など狭範囲のエリア化に適する
屋内アンテナ	<ul style="list-style-type: none"> 小型、軽量 複数のアンテナを 1 つの筐体に集約し景観対策に対応 天井取付

製品化したアンテナは、大別してセクタアンテナ、オムニアンテナ、平面アンテナ、屋内アンテナの 4 つに分類できる。各アンテナ種別の特長を表 2 に示す。マクロセル用アンテナ、スモールセル用アンテナとして使用可能なアンテナ各種を製品化している。

3. 製品紹介

製品化した 14 機種の内、主要 3 機種の商品概要を以下に示す。

3.1 VH65A-3545RTD

製品概要を表 3、指向性を図 2、外観写真を図 3、アンテナ設置例を図 4 に示す。本アンテナは、高利

表 3 VH65A-3545RTD 製品概要

型名: VH65A-3545RTD					
周波数範囲	3400-3600MHz	3600-4100MHz	4500-4600MHz	4600-4800MHz	4800-5000MHz
偏波面	垂直偏波, 水平偏波				
利得	初期チルト: 17.3dBi 以上 可変時: 16.8dBi 以上		初期チルト: 17.5dBi 以上 可変時: 17.0dBi 以上		
水平面内指向性 ビーム幅	65° ± 10°	60° ± 10°		55° ± 10°	
垂直面内指向性 ビーム幅	9° ± 1°	8.5° ± 1°	7.5° ± 1°	7° ± 1°	6.5° ± 1°
定在波比	1.5 以下				
ビームチルト	電気チルト可変式 (AISG2.0 準拠)				
	初期チルト: 10° 電気チルト可変範囲: ± 5°				
耐電力	1 端子当たり 120W				
入出力端子	N-J × 2				
耐風速	75m/s				
質量	3.8kg 以下 (アンテナ本体)				
寸法	φ 105mm × 550mm (コネクタ除く)				

得かつ垂直面・水平面内指向性が低サイドローブのセクタアンテナである。主に 120° 間隔で配置し 3 セクタアンテナとして用いられる。ビームチルトを 5° ~15° の範囲で電氣的に可変することにより、使用環境に応じて柔軟なエリア構築が可能である。また、本アンテナは 1 台で 2T2R 通信に対応しており、図 4 のように 2 面併設することで 4T4R 通信にも対応することができる。

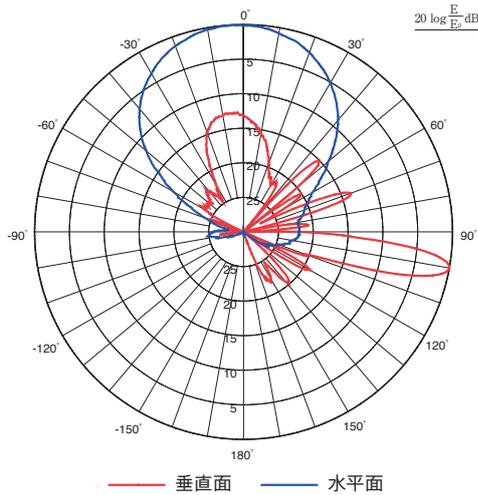


図 2 指向性

3.2 VH360-3450FTD

製品概要を表 4、指向性を図 5、外観写真を図 6 に示す。本アンテナは、スモールセル用オムニアンテナであり、小型・軽量ながら 1 台で 2T2R 通信に対応しており、高トラフィック地区や比較的小規模なエリア構築に適したアンテナとなる。

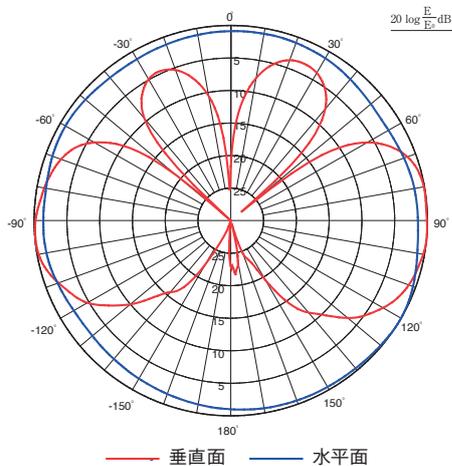


図 5 指向性



図 3 VH65A-3545RTD



図 4 アンテナ設置例

表 4 VH360-3450FTD 製品概要

型名：VH360-3450FTD			
周波数範囲	3400-3600MHz	3600-4200MHz	4400-5000MHz
偏波面	垂直偏波, 水平偏波		
利得	約 1dBi		
水平面内指向性	無指向性(偏差± 3dB)		
垂直面内指向性 ビーム方向	固定チルト: 約 0°		
定在波比	2.0 以下		
耐電力	1 端子当たり 30W		
入出力端子	N-J × 2		
耐風速	75m/s		
質量	約 500g(アンテナ本体)		
寸法	φ 45mm × 158mm(コネクタ, 突起物含まず)		



図 6 VH360-3450FTD

製品紹介

テレビ非常用可変指向性アンテナ

松本 伸史*

Variable Directional Emergency Antenna for TV Broadcasting

Shinji Matsumoto

自然災害等により送信所の放送設備が被災し、放送が継続できなくなる事態に備えて、放送事業者各社は非常用アンテナの整備を進めている。当社ではこれまで複数の非常用アンテナの製品化を行ってきたが、さらなる高機能化製品として、新たにテレビ非常用可変指向性アンテナを製品化した。

本稿では、製品化したテレビ非常用可変指向性アンテナについて紹介する。

Broadcasting companies are preparing emergency antennas to measure against situations where it is hard to continue broadcasting due to damages on broadcasting facilities at transmitting stations by natural disasters, etc. We have commercialized multiple emergency antennas so far, and as a product with even higher functionality, we have commercialized a new variable directional emergency antenna for TV broadcasting.

In this paper, the commercialized variable directional emergency antenna for TV broadcasting is introduced.

1. はじめに

大規模な自然災害等の発生時にいち早く正確な災害情報を伝達するメディアとして、テレビ放送の重要性は高い。しかし、災害状況によっては放送設備自体が被災し放送不能となる可能性が想定されるため、防災上の観点から放送ネットワークの強靭化が推進されており、速やかに復旧させるための非常用設備の整備が進められている。

当社では、これまで複数の非常用アンテナを製品化してきたが、この様な用途に向けた更なる高機能化製品として、テレビ非常用可変指向性アンテナを製品化した。本製品の特長は、アンテナの指向性をエリアに合わせて変更することができるチルト可変機構を備え、非常用送信車両への搭載が出来る様に軽量かつ受風面積を最小化した構造である。

2. 基本性能

製品化したテレビ非常用可変指向性アンテナの基本性能を表1に示す。使用周波数はUHFテレビ放

表1 基本性能

項目	性能
使用周波数(チャンネル)	470~710MHz(13~52ch)
偏波面	水平偏波 もしくは 垂直偏波
アンテナ利得	2dBd 以上(1段4面構成時)
V S W R	2.0 以下
ビームチルト	電気チルト 0°~20°
許容電力	100W 以下

送の全帯域である470~710MHzをカバーしている。また、エリア外への不要放射の抑制が可能となる様に、垂直面指向性のビームチルトを0°から下向き20°まで可変する機能を有する。

3. 外観, 構成

製品外観および構成を写真1, 図1に示す。本製品は縦に2面配置した2ダイポールアンテナ(2Dアンテナ, 写真1(a))とアンテナ背面に設けた2分配移相器で構成される4ダイポールアンテナ(4Dアンテナ)が基本パネルとなり、2Dアンテナの取り付けを90°変更することで、水平偏波または垂直偏波に変更が可能である。図2(a)に水平偏波構成, 図2(b)

* 機器統括部 固定通信技術開発部

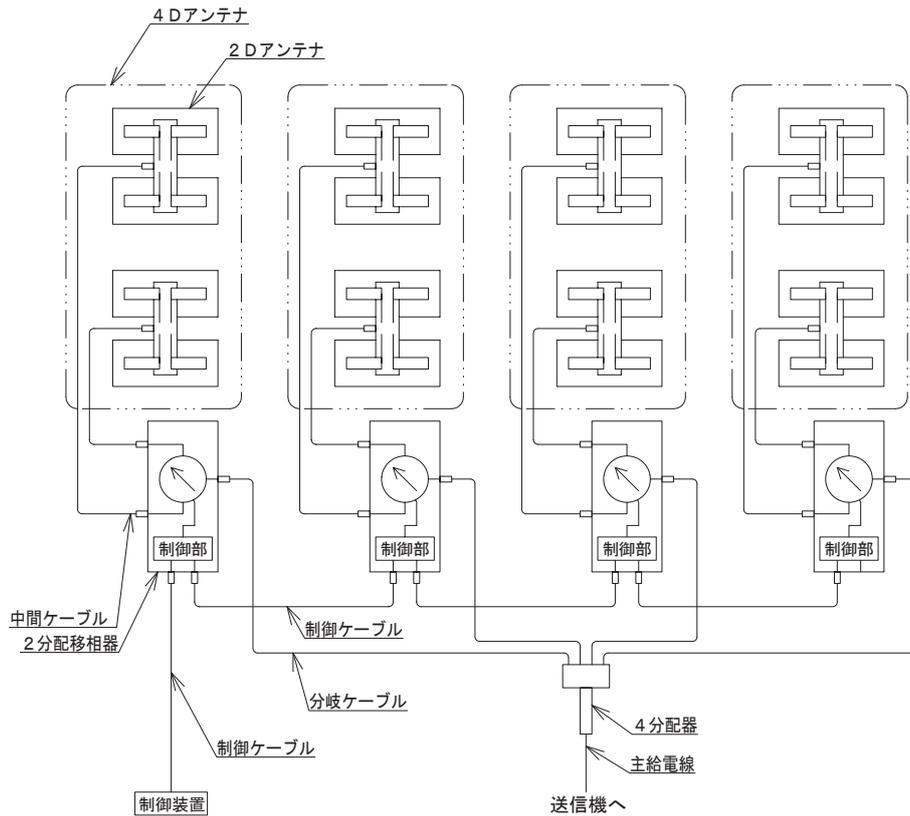
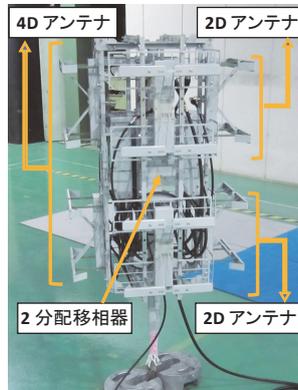


図1 構成

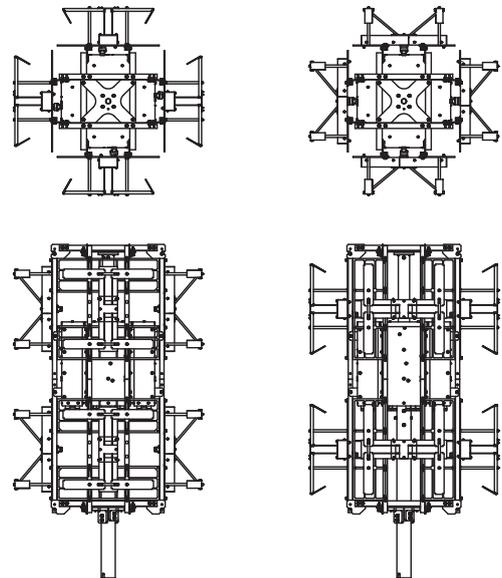


(a) 2D アンテナ



(b) 4D アンテナ1段4面(水平偏波)

写真1 製品外観



(a) 水平偏波

(b) 垂直偏波

図2 偏波面の変更

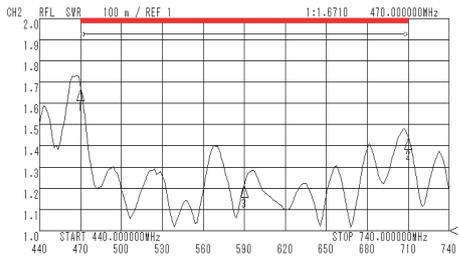
に垂直偏波構成を示す。この4Dアンテナを90°配置で1~4面合成することにより水平面指向性を単方向から無指向性まで変更することが可能で、かつ2分配移相器により垂直面指向性の電気チルトを0°から20°まで可変出来ることから、被災した放送局にあわせた効率のかつエリア外への不要放射を抑制したエリア構築が可能となる。また、本製品は非常用送信車両などの伸縮柱への設置が想定されるた

め、2Dアンテナの反射板を写真1(a)に示すようにグリッド形状とすることで、質量および受風面積を当社従来製品比で50%以上削減し、軽量かつ受風荷重を最小化した構造とした。

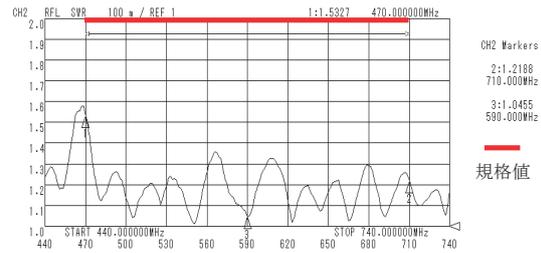
4. 総合の仕様と特性

4.1 VSWR 特性

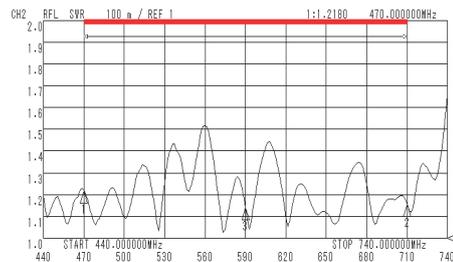
代表として4Dアンテナ1段4面(水平偏波)のチルト0°, チルト10°, チルト20°におけるVSWRの測定結果を図3に示す。本製品は合成面数, チルト角すべての組合せにおいて, UHFテレビ放送の全帯域で規格値2.0以下を満足する性能を有する。



(a) チルト 0°



(b) チルト 10°

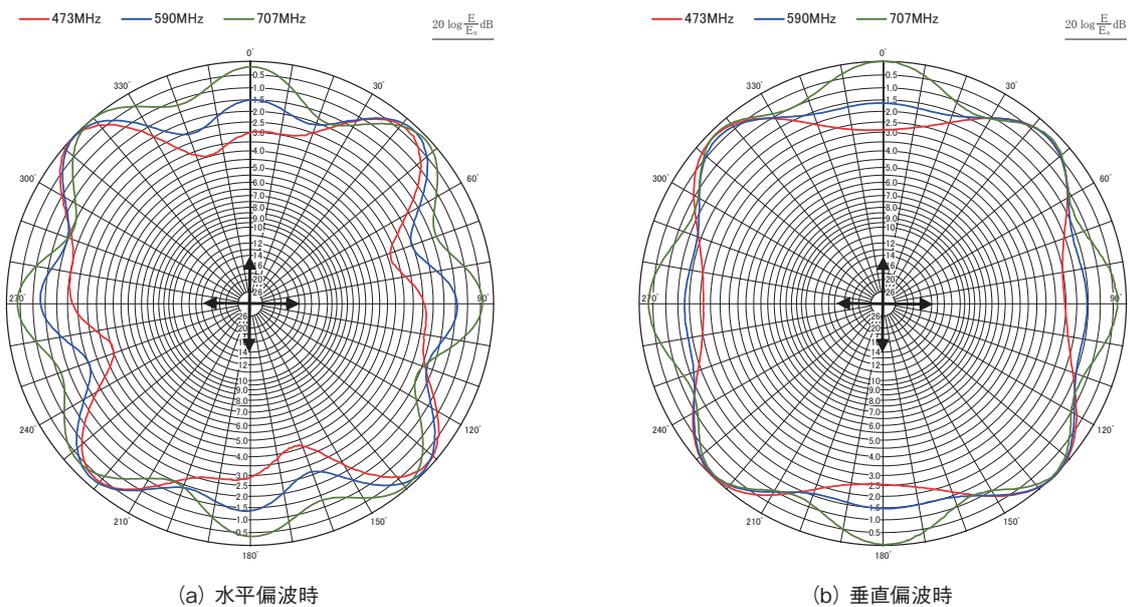


(c) チルト 20°

図3 VSWR測定結果[4Dアンテナ1段4面(水平偏波)]

4.2 指向性

4Dアンテナ1段4面の水平面指向性および垂直面指向性の測定結果を図4, 図5に示す。4面合成時の水平面指向性は, UHFテレビ放送の全帯域で偏差4.5dB以下の無指向性の特性が得られる。また, チルト20°において, 垂直面指向性の水平0°方向の減衰量は約10dB(@590MHz)となり, エリア外への不要放射の抑制が可能となる。



(a) 水平偏波時

(b) 垂直偏波時

図4 水平面指向性測定結果(4Dアンテナ1段4面)

製品紹介

ディープラーニングを用いた 人物検知システムの開発

藤沼 肇* 藤沼 亮太* 向井 友則*
北條 義勝** 喜多 将一***

Development of Human Detection System Using Deep Learning

*Hajime Fujinuma, Ryota Fujinuma, Tomonori Mukai,
Yoshikatsu Hojo and Shoichi Kita*

当社では、2021年からサーマルカメラを用いた人物検知システムの開発に取り組んでいる。既に開発済の「船舶検知システム」「鳥検知システム」に続き、不法侵入者の監視自動化に取り組み、システムの多様化を検討した。

本稿では、当社独自のカメラ制御監視ソフトウェア DK-iCam® での画像解析及びディープラーニング構築方法や、サーマルカメラ部とカラーカメラ部を備えた2眼式サーマルカメラによる人物検知と不法侵入者の区別方法について紹介する。

なお、DK-iCam® は当社独自のカメラ制御監視ソフトウェアにて所有している登録商標(商標登録第 6684299 号、第 6684301 号)である。(図 1, 以下, iCam)

Since 2021, a human detection system using a thermal camera has been developed. Following the "vessel detection system" and the "bird detection system" development, an automated monitoring of illegal intruders and diversification of the system have been studied.

In this paper, a method of building image analysis and deep learning using our unique camera control and monitoring software DK-iCam®, and a method of detecting people and distinguishing illegal intruders using a twin-lens thermal camera equipped with a thermal camera unit and a color camera unit are introduced.

DK-iCam® is a registered trademark (No. 6684299, No. 6684301) obtained for our own camera control and monitoring software. ((Figure 1, hereinafter iCam)

1. はじめに

自社の監視システムを顧客に提供する中で、「施設への不法侵入に対しての対策は出来ないか?」という問い合わせが多くあった。工場や民間人の立ち入りが禁止されている施設などで、夜間の不法侵入による盗難被害が発生している現状を踏まえて、iCam に人物検知及び不法侵入者を区別できる仕組みを構築した。昨今の人手不足により、監視者がシステムに常駐するケースが少なくなったことで、監視の自動化を加速して検討する必要がある。



図 1 DK-iCam®

* 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 広島支店

2. 概要

人物検知システムの基本構成を図2に示す。当社の2眼式サーマルカメラ及びカメラ接続箱を監視対象付近に設置し、カメラ接続箱内にiCamを搭載したカメラ制御装置とLTE^{*1}ルータを設ける。このiCamに人工知能の学習モデルを構築し、監視と検知を融合する仕組みとなる。

LTEルータはセキュリティを確保したVPN^{*2}接続を行い、遠隔地は場所を問わず、自治体の既設防災卓やタブレット端末でも監視が可能となる。

カメラ拠点を従来のシステムよりコンパクトな設計することで、自動化を行いたい場所へ可搬することもできる自由度を設けた。



図2 人物検知システムの基本構成

3. ソフトウェア iCam による人物検知方法

3.1 当社システムの特徴

一般的なシステムでもカメラによる動体検知(Motion detection^{*3})が数多くリリースされている。その多くがカメラ本体にその機能を有しており、OpenCV^{*4}という技術を用いている。

このような技術を活用したCCTV^{*5}カメラは多

*1 LTE: モバイル端末の通信方式。国際電気通信連合で4Gと称されている。

*2 VPN: 物理的に離れた拠点間ネットワークを仮想化してデータ通信を行う仕組み。

*3 Motion detection: 映像の変化から動体を検知する機能のこと。

*4 OpenCV: インテル®が開発した画像処理に特化したオープンソースライブラリのこと。

*5 CCTV: 放送分野以外でのテレビ技術応用/閉回路テレビジョンの総称。

いが、当社のシステムにおいてはサーマルカメラを使用することで、明かりがない完全な暗闇の中においても、映像をクリアに検出することが出来る。また、OpenCVとディープラーニングを併用した技術により、高精度な検知プログラムを構築している。

3.2 サーマルカメラ映像によるディープラーニングの構築

サーマルカメラによる人物検知を行うため、必要とされる人物の画像を収集した。人物以外の動体(車両、鳥など)を誤検知しないように、様々な大きさや方向から人物を撮影し、人物とそれ以外のモデル学習を実施した。

サーマルカメラの映像では、気温や風雨などで映像に多少の不明瞭な部分が発生するため、収集した画像にはノイズの追加や色彩の変更も施して学習させた。ディープラーニングには、船舶検知の際に使用したVGG16というCNN^{*6}を元にチューニングを行った(図3)。

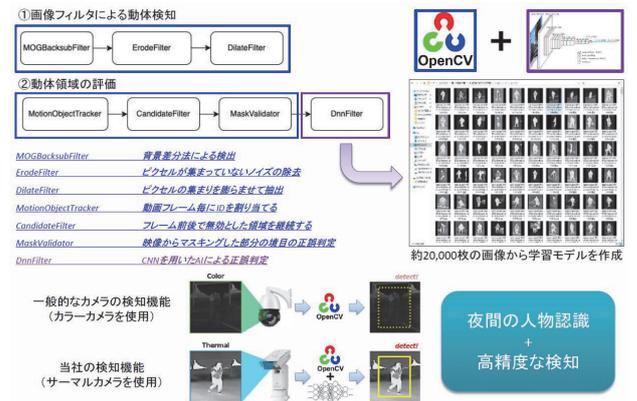


図3 当社検知システムの特徴とAI構築方法

3.3 カラーカメラ映像による不法侵入者の区別

施設関係者と不法侵入者を区別する方法については、サーマルカメラの映像で人物検知をしたのちに、カラーカメラの映像で近赤外線ライト(IR^{*7})の発光有無により判別する方式とした。近赤外線ライトは波長が730nmから920nmのものを使用する。肉眼では発光状態を目視することはできない。しかし、カラーカメラの光学センサー越しには、光源を撮像

*6 CNN: 畳み込みニューラルネットワークという機械学習の手法のひとつ。

*7 Infrared: 可視光の赤色より波長が長い光(赤外線)のこと。

することが出来る。この現象を利用して、施設関係者に手持ちの近赤外線ライトを所持してもらい、その光源がカラーカメラで撮像された場合には、アラーム発報しない。その逆として、近赤外線ライトを所持していない不法侵入者を撮像した場合は、アラーム発報する仕組みを構築した。

また、サーマルカメラで人物検知した範囲の座標を、カラーカメラの映像で近赤外線ライトの座標を合わせる。検知した人物を中心とした一定の範囲を設定して近赤外線ライトの光源を検知することで、不要な誤検知を防ぎ、精度の高い不法侵入者の区別が可能となる(図4)。

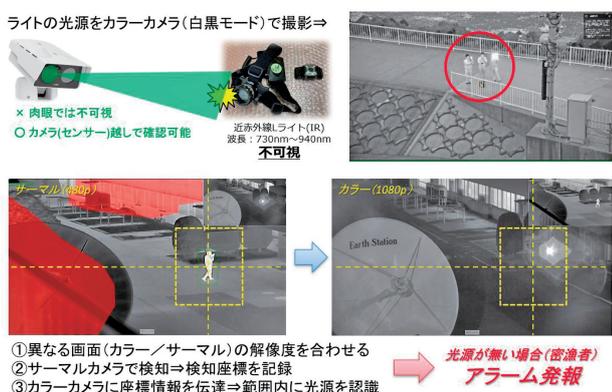


図4 近赤外線ライトを用いた判定方法

3.4 近赤外線ライトの課題

近赤外線ライトは、850nm及び940nmの波長のものが投光器として市場に販売されている。しかし、民生品の近赤外線ライトは、50m程度の近距離で照射するものが多く、それ以上の距離で使用出来るか不明確である。

また、施設関係者に近赤外線ライトを所持させることになると、常にカメラに対して光源を向けておく必要がある。最適な状態としては、光源を拡散できる近赤外線ライトを施設関係者の腰などに付けてもらい、どの方向からも検知可能とすることが、今後の課題となる。

4. 人物検知精度検証と改善

4.1 鹿沼工場での検証

サーマルカメラによる人物検知の精度を検証するため、当社鹿沼工場の屋上にカメラを設置し、駐車場を通行する社員の検知を実施した。一定の時刻で

通行した社員の人数を目視で数え、ソフトウェアで検知した人数と照らし合わせて検知率を求めた。

2021年2月22日に行った検証では、通行人数183人に対して人物未検知が9人程生じた。人物検知率としては95%という数値であったが、人物以外に車両を48回誤検知しており、総合的な検知率は78%に留まった(図5)。その後、人物画像をより多く集めてモデルの再学習を行ったが、思うように検知率が上がることがなかった。



図5 鹿沼工場での検知精度検証(1回目)

4.2 人物判定に伴うフィルタの追加と再検証

このような結果から、OpenCVを使った動体検知の部分にフィルタを追加した。ディープラーニングの判定前にある程度の篩をかけることで、AI判定時に不要な動体の除外を行う。

人物の画像は、基本縦横の比率が1対1(正方形)にはならないと仮定し、縦が大きくなることを前提とした。また、縦比率が長すぎる物体も一定値より高い値を除外し、人間に近い比率を設定した。サーマル映像で1pixel以下の動体は人物と見なさないことで、車両以外の小さな動体(鳥や昆虫類、遠距離の熱源)も検知対象から外すこととした。

その結果、別日(2021年3月11日)で撮影した実験では、通行人数183人に対し人物未検知が6人で人物検知率は96%、車両誤検知は2回と大きく改善し、総合的な検知率でも95%以上という結果が得られた。

このように、人物検知を行う際にはAIの精度だけでは足りない不確定要素が存在することが判った。実際にシステムを構築する場合は、実環境に合わせた画像の取得やモデル学習が必要となり、現場の環境を把握して提案を行うことが重要と考えられる(図6、図7)。

製品紹介

船舶用ギヤ焼入装置

長太 真*

Marine Gear Hardening Equipment

Makoto Nagata

当社では初となる「船舶用ギヤの焼入装置」を受注した。

船舶用ギヤは自動車用部品と比較し、サイズが大きいことが特徴である。

今回対象となる加工物は様々な形状のギヤである。小さいサイズは外径128mmで重量は約5kgf、大きなサイズは外径1,690mmで重量は約1,200kgfになる。また、シャフト状の加工物も焼入が可能であり、最大径175mm、全長710mmまで対応している。

これらの部品を1台で加工出来る装置として成立させるために、必要な機能を検討し、また操作性や設備寸法など、顧客要望に満たしたうえでコストダウンを実現させた。

本稿では、顧客要望への対応するために考案した機構と、機能を損なわずに実施したコストダウン内容を紹介する。

We have received a first order of “hardening equipment for marine gears”. Marine gears are characterized by their large size compared to automotive parts.

The objects to be processed at this time are gears of various shapes. The small size gear has an outer diameter of 128 mm and weighs about 5 kgf, while the large size gear has an outer diameter of 1,690 mm and weighs about 1,200 kgf. In addition, shaft-shaped workpieces with a maximum diameter of 175 mm and a total length of 710 mm are also objects to be quenched.

In order to configure a machine processing these parts in one unit, the necessary functions were examined, customer requirements such as operability and equipment dimensions were fulfilled, and cost reduction of the machine was made.

This paper introduces the mechanism designed to meet the customer requirements and the details of the cost reduction performed without impairing the functions.

1. 顧客の要望

顧客からは以下の要望があった。

- ・複雑な段取り替えをせずに、様々な大きさのギヤやシャフトが加工出来る機械。
- ・従来装置よりも省スペース化させた焼入装置。
- ・コイルとギヤ(又はシャフト)の位置関係を変更する際、今回装置は従来装置よりも精密且つ容易に、位置を変更出来るようにする。

2. 顧客要望への対応方法

顧客の要望に対して、以下の方法で対応した。

- ・段取り替えの作業項目と時間を減らす為、予め加工対象の把持位置調査と把持径の整理・分類を実施。径の異なるギヤを治具(チャック爪)へ乗せる場所を変えるだけで把持が出来るように、3段タイプのチャック爪を設計した(図1)。
 - ・ギヤ焼入用回転機構の中にシャフト焼入用回転機構を入れることで、ギヤとシャフトを1ユニット分のスペースで加工することができる、省スペースな回転機構を開発した(図2)。
- 赤で着色した箇所がギヤ焼入用回転機構、青で着

* 高周波統括部 設計部

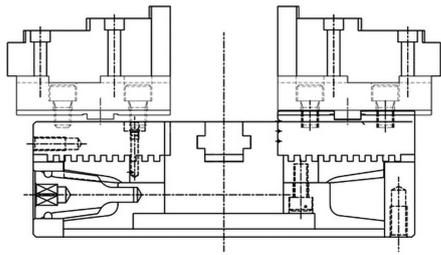


図1 3段タイプのチャック爪



写真1 手動パルス発生装置

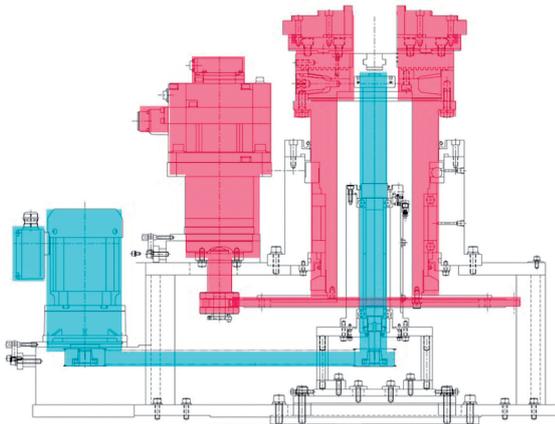


図2 回転機構の省スペース化

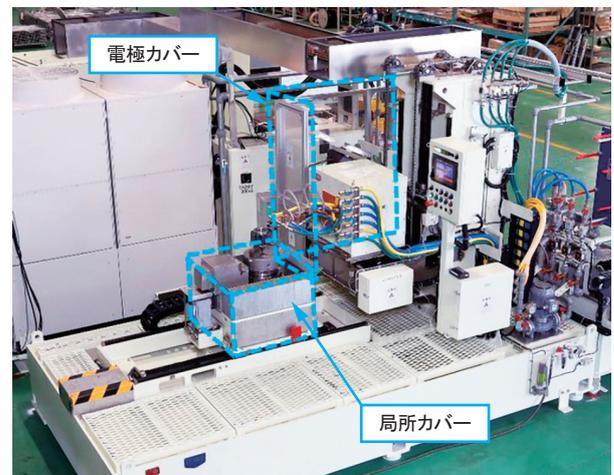


写真2 コストダウン実施後の焼入装置

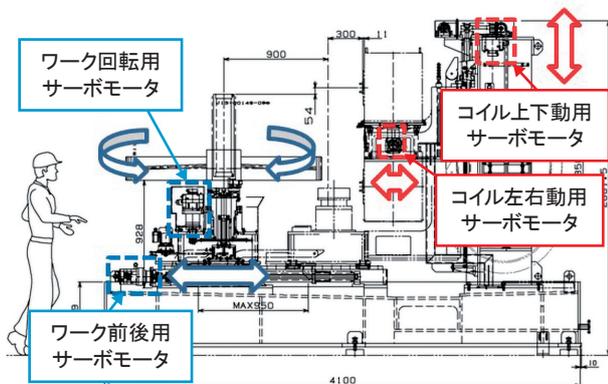


図3 サーボモータを使用した位置調整機構

色した箇所がシャフト焼入用回転機構である。ギヤ焼入用回転機構は、低速回転だが正確な角度で回転を停止させることが可能である。

シャフト焼入用回転機構は、正確な角度での回転停止は出来ないが、60rpmで主軸を回転させることが可能である。

- ・サーボモータと手動パルス発生装置を位置調整機構に採用することで、作業者が0.1ミリ単位でギヤ(またはシャフト)やコイルの位置を、容易に変更出来るようにした(図3, 写真1)。

3. コストダウンの内容と効果

顧客へ以下のコストダウン案を提案し認めて頂くことで、大きなコストダウンが出来た。

- ・シャフトを焼入加工する際、上センタユニットを使用せずともシャフトが自立する治具形状にすることで上センタユニットの製作を不要とした。その結果、受注原価のおよそ3%分のコストダウンが出来た。
- ・床への水飛散が無い事、及び安全の為に電極カバー取り付けを条件に、機械周囲のカバー・扉・柵を使用しない構造とした。その結果、受注原価の4.3%分のコストダウンが出来た(写真2)。

4. むすび

本装置は大きなギヤの歯を1歯ずつ焼入れすることも、シャフトを連続回転させながら焼入すること

2022年度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 7075960 2022.05.18	特願 2020-054646 2019.07.16	カバー組立体	高橋 成佳
特許 7063948 2022.04.25	特願 2020-119947 2020.07.13	過熱蒸気反応装置	今増 寿尚 木藤 清明
特許 7075079 2022.05.17	特願 2018-230019 2018.12.07	バトラーマトリクス回路	佐藤 啓介
特許 7118637 2022.08.05	特願 2017-248018 2017.12.25	高周波誘導加熱装置	小宮 誠 富居 博治
特許 7153758 2022.10.05	特願 2021-067808 2021.04.13	非常用可変指向性アンテナシステム	松本 伸史
特許 7211853 2023.01.16	特願 2019-041753 2019.03.07	無線中継装置	高橋 行隆 佐藤 啓介
2790270 (EPC) 2022.05.11	12855682.6 2014.06.03	送受信分離偏波共用アンテナ	佐藤 啓介
11570856 (US) 2023.01.31	16628110 2020.01.02	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溶融処理装置, 放射性廃棄物の溶融固化処理装置	栗田 洋平 久保 啓一 林 光典 富里 哲夫

商 標

登録番号 / 登録日	出願番号 / 出願日	商 標	発 案 者
商標登録 第 6684299 号 2023.3.27	商願 2022-122812 2022.10.26	DK-iCam	藤沼 肇 藤沼 亮太 斎藤 矯 北條 義勝 佐々木勇輔
商標登録 第 6684300 号 2023.3.27	商願 2022-122814 2022.10.26	DK-dCam	藤沼 肇 藤沼 亮太 斎藤 矯 北條 義勝 佐々木勇輔
商標登録 第 6684301 号 2023.3.27	商願 2022-122815 2022.10.26		藤沼 肇 藤沼 亮太 斎藤 矯 北條 義勝 佐々木勇輔
商標登録 第 6684302 号 2023.3.27	商願 2022-122817 2022.10.26		藤沼 肇 藤沼 亮太 斎藤 矯 北條 義勝 佐々木勇輔

○ 2022 年度に新たに登録となった実用新案権・意匠権はありません。

社外発表および論文紹介

(2022年度の社外発表)

●高周波熱処理という選択肢

今増寿尚, THERMOTEC2022, 一社)
日本工業炉協会, 2022年6月2日
カーボンニュートラル社会に向けた金属熱処理業界に向け, 高周波誘導加熱の省エネ効果をはじめ, 最新の弊社技術を紹介。

●高周波誘導加熱技術の将来展望

濱地敏之, THERMOTEC2022, 一社)
日本工業炉協会, 2022年6月3日
加熱シミュレーションと金属3Dプリンタによる高周波誘導加熱コイル製作の特徴・メリット, 弊社独自技術を発表。

●Unit Cell Structure of Huygens' Metasurfaces Reducing Beam Squint in Series-Fed Array

石田茉莉彩(千葉工業大学), iWEM 2022, IEEE AP-S Tokyo Chapter, 2022年8月29~31日

千葉工業大学と共同共同研究で扱う, 透過型メタサーフェスに関する報告。メタロッドアンテナ等の周波数特性(ビームスクイント)を補正し広帯域化を目指す技術。千葉工業大学の学生が取り組んでいるテーマ。共著者: Tanan Hongnara, 佐々木隆吉, Warangkana Chaihongsa, 佐藤啓介, 大島一郎

●O-RAN対応マクロセル用無線装置の無線特性評価

鈴木裕介, AMT研究会, IEICE / 電子情報通信学会, 2022年6月10日
1. 5G基地局のシステム構成
2. O-RAN対応マクロセル用無線装置無線仕様
3. テストモデル(送受信)
4. 送信無線特性評価
5. 受信無線特性評価
6. 無線特性自動測定システムの紹介
7. まとめ

●Dual-Polarized Biparite Huygens' Metasurface with Anomalous Wave Reflection for Local 5G Application

Tanan Hongnara, アンテナ・伝播研究専門委員会, 電子情報通信学会, 2022年8月18~19日

天井設置型のメタサーフェス (HTMS) について提案。提案する HTMS は, 回折格子1周期あたり2つの共振器でシンプルに形成され, 偏波共用構造である。回折格子周期を適切に選択し, 素子構造を最適化することで, 我々の最適な HTMS は反射特性である $\theta_i = 10^\circ$, $\theta_r = 70^\circ$ を実現可能である。また, 2素子で周期構造が形成できるため, 4方向の入反射に対応できる。また, 障害物の少ない天井を活用した伝搬環境構築が期待できる。

●OTA評価に向けたアンテナ・システム評価技術

関野昇, MIKA2022(第3種研究会, 革新的無線通信技術に関する横断型研究会), 電子情報通信学会研究会, 2022年10月12~15日

MIKA2022は電子情報通信学会研究会の第3種研究会であり, SIP研究成果のうち, アンテナに焦点を当てた概要について, ポスター展示により発表。

●金属3Dプリンタ製の誘導加熱コイル製作

今増寿尚, 第17回エレクトロヒートシンポジウム技術発表, 一社)日本エレクトロヒートセンター, 2022年11月1~30日

金属3Dプリンタによる高周波誘導加熱コイル製作の特徴・メリット, 弊社独自技術を発表。

●直交円偏波共用メタラインアンテナ

佐藤啓介, 2023年電子情報通信学会総合大会, 電子情報通信学会, 2023年3月7~10日

ワイヤレス電力伝送の送電システム用として, 簡易な構成で円偏波共用が可能なメタマテリアルアンテナに関する発表。

●反射角度を再構成可能なパッシブ型メタサーフェスに関する検討

白澤嘉樹, 2023年電子情報通信学会総合大会, 電子情報通信学会, 2023年3月7~10日

反射角度を可変するパッシブ型メタサーフェスの開発に関する発表。

●WPT用パッチアンテナの簡易構成法

相崎武幸, 2024年電子情報通信学会総合大会, 電子情報通信学会, 2023年3月7~10日

空間伝送型 WPT システムの輻射電界の位相測定に用いる固定アンテナ参照法にて必要となる参照アンテナの小型化設計と, その設計を応用した 920MHz 帯における WPT システムでの送電用アンテナとして, 小型リニアアレーアンテナを提案。

●機械学習によるナシ花粉量推定

藤沼亮太, コミュニケーションクオリティ研究会 (CQ), 電子情報通信学会, 2023年1月26~27日

機械学習による AI を用いて, ナシの1本の枝に咲くすべての花の画像データから, 開花ステージを分類し, 花粉の総量を推定するための AI 花粉採取量推定手法を提案。AI による推定技術は, YOLO を用いる YOLO は, 機械学習をベースとした物体検出アルゴリズムであり, ニューラルネットワークを使用して画像解析を行う。YOLO により求められた開花ステージの葯の数から, 採取した花粉量が対応するように算出し, 枝ごとの総花粉量を推定する AI 花粉採取量推定技術を開発した。

●OTA測定評価およびシステム評価方式の開発

関野昇, 2022年度 SIP/ワイヤレス電力伝送(WPT)システム研究会, 国立研究開発法人 科学技術振興機構, 2023年3月22日

SIP 成果に関するポスター展示と概要について報告。報告は SIP 参画 (WPT 関連) の全機関。