

# 電興技報

2021

No.53



巻 頭 言

『未来の当たり前をつくる企業  
～ Pioneering the future ～』



代表取締役社長 近藤 忠登史

当社は1950年の創業以来、高度情報化社会における通信・放送インフラ整備や自動車産業の安全性の向上を通じて、より便利な生活環境の実現の一役を担ってまいりました。

当社の取り扱う製品が、各分野において社会に貢献できていることは、長きにわたり諸先輩方が築かれた技術と、それを継承しさらに磨きをかけレベルアップさせてきた賜物であると思っております。

「電興技報53号」刊行にあたり、これまで継続して本技報に携わられてきた方々に深く感謝申し上げます。

先般、2021年3月26日に当社として「中長期経営戦略」を発表させていただきました。当社は、今後のビジョン、いわゆるありたい姿である「未来の当たり前をつくる企業～Pioneering the future～」の実現に向けて、新規事業の創出を始めとした成長戦略を具体化していきたいと考えております。そのためにも、既存技術のさらなる向上と発展はもとより、新技術の研究開発を推し進めていくことが必要不可欠です。研究開発への投資を積極的に行い、次世代通信に向けた研究開発を加速させると共に、熱処理技術を活用した新市場参入の推進も行ってまいります。また、場合によっては自社開発のみならず、他社との協業等も視野に入れ、スピード感を持った研究開発を進めていくことで、企業価値の向上と成長を実現していきます。その結果、社会インフラへの貢献と生活の利便性向上に大きく寄与できると確信しております。

当社は今後、従来以上に新技術の開発と技術力の向上に努め、「未来の当たり前をつくる企業～Pioneering the future～」の実現に向け努力し続ける所存でございます。そして、時代の変化の激しい社会に優れた価値（製品）を提供し、社会に貢献していきます。



## ローカル5Gへの取組み

### ローカル5Gシステムによる洋上IoT実証実験



愛媛県宇和島市 宇和海に浮かぶ洋上生け簀においてローカル5Gの電波伝搬特性実験を実施した。  
洋上での実験試験局免許の取得は国内初の事例であった。 (本文1ページ)

28GHz 帯 無線中継装置



3.7GHz 帯 無線中継装置



28GHz 帯, 3.7GHz 帯 RF レピータ(無線中継装置)。  
28GHz 帯はアンテナ一体型, 3.7GHz 帯はアンテナ分離型。 (本文 11 ページ)

## ねじれ構造鉄塔



株式会社東日本放送殿 新社屋屋上 25m鉄塔

本鉄塔は、仙台市のあすと長町社の広場公園に隣接する東日本放送殿新社屋屋上に建設され、建物意匠と調和した、ねじれ構造を採用している。鉄塔の最下部は建物と正対しているが、2節目より上部の主柱材を垂直に対して5°傾斜した構造とすることで、視覚的なねじれを表現している。

(本文 45 ページ)



---

## クランクシャフト スプリットピン

---

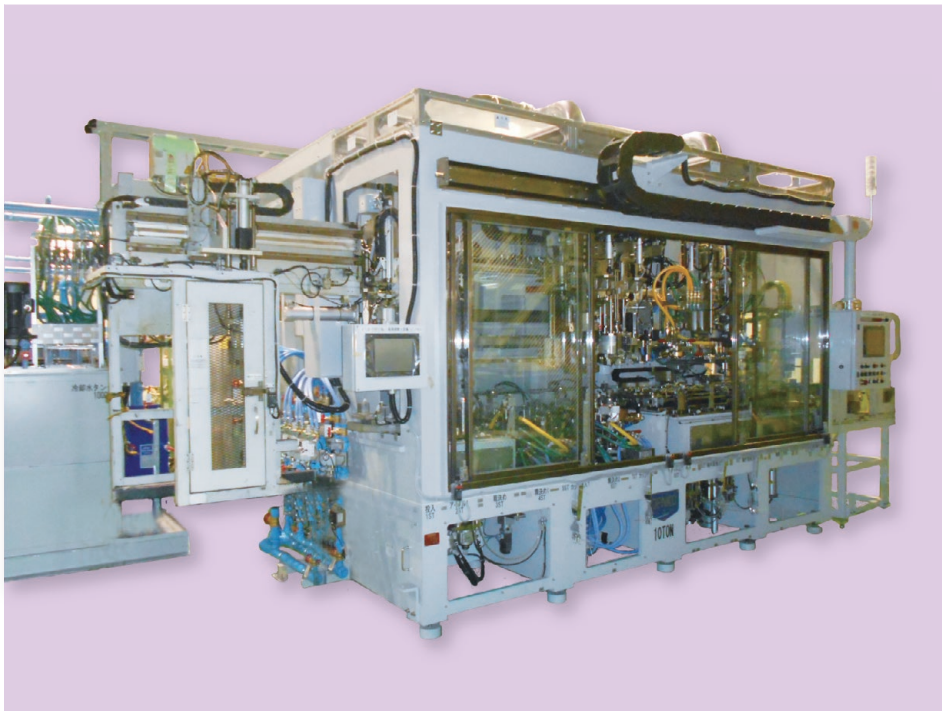


焼入コイルの工夫と高周波電流の特性を生かし発振機 1 台につき焼入コイル 2 台で焼入れを行うスプリットピン形状のクランクシャフト焼入焼戻設備。  
(本文56ページ)

---

## 多品種インボードアウター焼入装置

---



インボードアウターの焼入加工時間を従来製品より4割短縮させた設備。  
加工機種の変更を容易にした段取り作業の自動化システムを搭載。  
(本文59ページ)



## 製品紹介

ローカル 5G システムによる  
洋上 IoT 実現のための実証

藤田 正人\*      三塚 正博\*      鈴木 裕介\*  
富山 徹\*\*      重見 明弘\*\*\*      小林 真也\*\*\*\*

## Demonstration of Local 5G Systems to Realize Offshore IoT

Masato Fujita, Masahiro Mitsuzuka, Yusuke Suzuki,  
Toru Tomiyama, Akihiro Shigemi  
and Shinya Kobayashi

当社は、2020 年度よりローカル 5G を用いたシステム構築事業に取り組んでいる。この度、ローカル 5G の実証実験およびユースケース開拓の機会として、2020 年 3 月に総務省で実施された“令和 2 年度予算 IoT の安心・安全かつ適正な利用環境の構築”に係る提案の公募に、愛媛大学、愛媛県、及び株式会社 NTT ドコモとのコンソーシアムで参加し、採択された。本稿では、ローカル 5G システムを通信インフラとした高画質な映像伝送の成功、および洋上における電波伝搬に関して得られた知見について紹介する。なお、Sub6 帯・Stand Alone 構成のローカル 5G システムによる洋上での実験試験免許取得は、国内初の事例となった。

We have been working on a project to build a system using Local 5G since FY2020. As an opportunity to conduct demonstration experiments and develop use cases for Local 5G, a consortium with Ehime University, Ehime Prefecture, NTT DOCOMO, Inc., and ourselves was organized and participated in “Appeal for Proposals for Establishment of Safe, Secure, and Proper Usage Environment of IoT under FY2020 Budget” conducted by the Ministry of Internal Affairs and Communications in March 2020, and the proposal was adopted. In this paper, the success of the high-quality video transmission using the Local 5G system as the communication infrastructure and the knowledge obtained about the radio wave propagation at the offshore are introduced. This is the first time in Japan that a Local 5G system with Sub6 band and Stand-Alone configuration has been licensed for experimental testing at the offshore.

## 1. はじめに

本実証実験で取り扱う遊魚三次元位置測定装置<sup>\*1</sup> (以下、遊魚測定装置)とは、愛媛大学理工学研究科小林真也教授の研究室で開発中のシステムである。遊魚測定装置は、ある特定のルールで水中に配置した複数のカメラで撮影した魚の映像により、魚数や魚の位置、活性状態等を解析するものである。これらの情報を把握することで、魚の出荷管理や給餌の

最適化、魚病対策など、漁業への応用が期待される。遊魚測定装置で正確な解析を行うためには、高画質の映像が不可欠で、安定した高い通信品質と大きな通信帯域が必要となる。本実証実験では、生け簀に設置されたカメラ映像を遊魚測定装置に無線伝送する通信インフラとして、ローカル 5G システムを利用する(図 1)。キャリア通信のユースケースはイン

<sup>\*1</sup> 遊魚三次元位置測定装置：愛媛大学 理工学研究科の小林真也教授が発明したシステムで、養殖用水槽や生け簀で飼育中の養殖魚を遊泳状態のまま、水中三次元空間内で、その位置を三次元位置座標として求められる装置(2020 年 3 月特許出願)。遊魚の位置座標を取得することで、対象領域の遊魚の動きを把握、魚数や活性状態を類推することができる。

\* ワイヤレス研究所  
\*\* 営業企画部  
\*\*\* 支店統括部 広島支店 四国営業所  
\*\*\*\* 愛媛大学

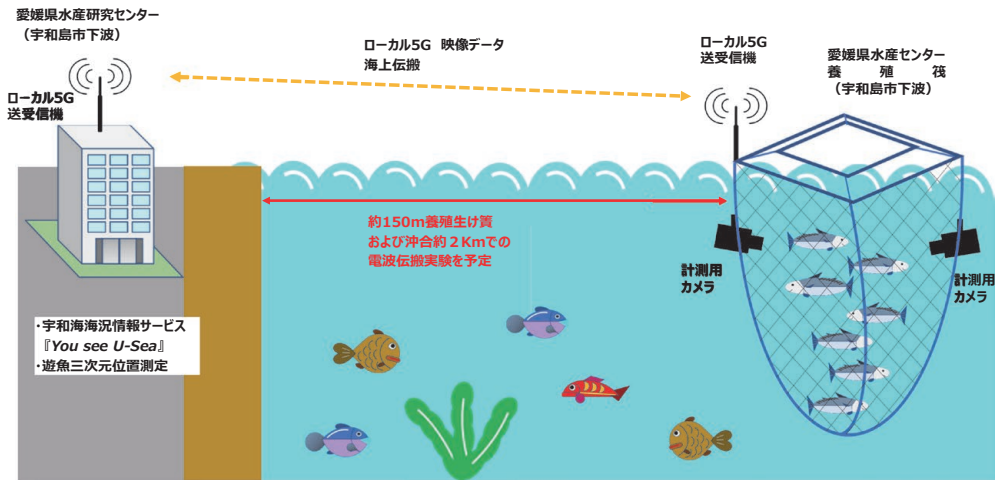


図1 実証システム概要

ターネット閲覧や動画の視聴が大部分であり、Downlink (基地局から端末方向への通信) 主体の通信であると考えられる。一方、ローカル 5G システムにおける主要なユースケースは、映像伝送のような Uplink (端末から基地局方向への通信) 主体の通信であることが想定される。

## 2. 実証の目的

当社は、コンソーシアムの中でローカル 5G システムの提供・構築を担う。また、本実証実験において当社が目的とするのは、以下の2点である。

- ・洋上における電波伝搬特性の知見  
沖合での長距離通信試験、及び生け簀上での定点観測を実施することにより、ローカル 5G システムを陸上 - 洋上間で利用する場合における電波伝搬特性 (通信距離、海上反射、波浪、潮位変動による電波伝搬の変動など) の知見を得ることで、洋上での常用的利用の観点からその有効性や利用条件、制約を明らかにし、洋上における無線回線設計手法を確立すること。

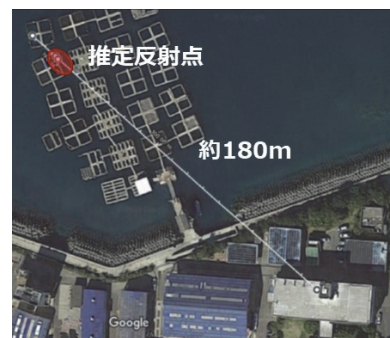
- ・洋上通信における映像伝送の実証  
洋上での無線回線設計手法を踏まえた機器設定やアンテナ選定などを行い、本実証実験環境において遊魚測定装置に有用な映像を、ローカル 5G システムにより伝送できることを実証する。

## 3. 試験環境

### 3.1 機器設置場所

本実証実験は、愛媛県宇和島市郊外、宇和海の入江に位置する愛媛県水産研究センターで実施した (写真1)。黒潮が常に流れ込む宇和海は潮流が速く、干満差は最大で2m 近くに達し、天候によっては荒い海況となる。

写真2 に基地局、及び送受信端末の設置状況を示す。a) は送受信端末から基地局、b) は基地局から送



画像 ©2020 Google、画像 ©2020 Maxar Technologies、Planet.com、地図データ ©2020

写真1 実証環境全体図



a) 送受信端末から基地局 b) 基地局から送受信端末方向

写真2 見通し環境

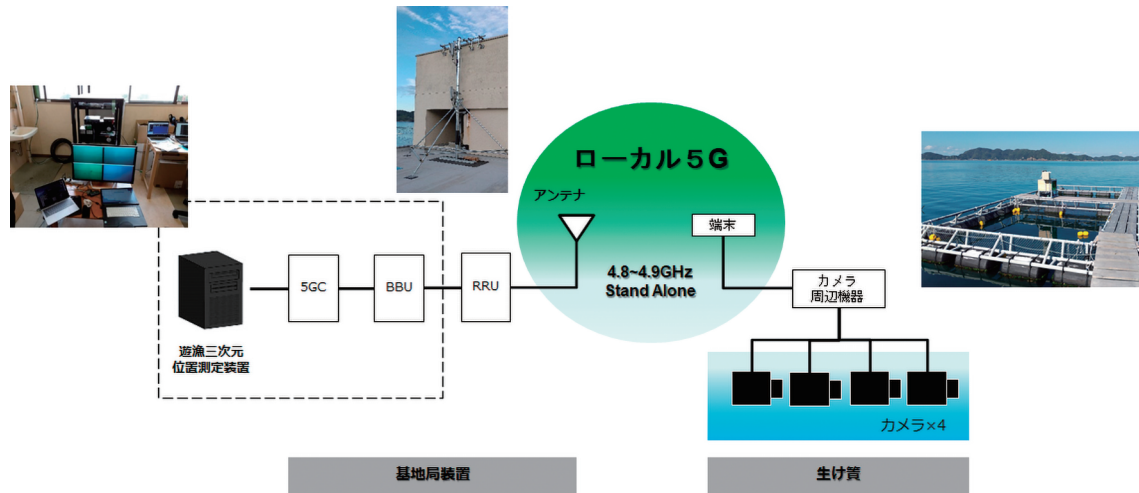


図2 システム構成

受信端末方向への見通しでおよそ 180 m となる。

### 3.2 システム構成

図2にローカル5G実験システムの全体構成を示す。生け簀内の水中カメラ映像は、同じく生け簀に設置された送受信端末から、水産研究センター本館屋上に設置した基地局に伝送される。基地局側で受信した映像情報は、遊漁測定装置へと有線で受け渡す構成となっている。なお、ローカル5Gシステムは、Sub6帯<sup>\*2</sup>(4.8~4.9GHz)の周波数帯でStand Alone<sup>\*3</sup>構成とした。

本システムを構成する機器は以下の通りである。

#### ■基地局装置(陸上側)

5GC<sup>\*4</sup>装置、BBU<sup>\*5</sup>装置、RRU<sup>\*6</sup>および送受信アンテナと遊漁測定装置より構成される。5GC、BBU、および遊漁測定装置は水産研究センター建物内に、RRUと送受信アンテナは建物屋上に設置した。

#### ■カメラおよび送受信端末(生け簀側)

ローカル5G用の送受信端末と、映像受信機など

\*2 Sub6帯：5Gで使用可能な6GHz未満の周波数帯で他に28GHz周辺のミリ波帯がある。なおローカル5GのSub6では4.6~4.9GHzが使用可能。

\*3 Stand Alone(SA)：5Gの新しい技術のみで構成する単独型のシステム構成。Non Stand Alone(NSA)は4G LTEと5Gの基地局構成を組み合わせた非単独の構成。

\*4 5GC(5th Generation Core network)：5Gの呼制御を行うコアネットワークシステム

\*5 BBU(Base Band Unit)：5Gの無線信号処理を行う装置

\*6 RRU(Remote Radio Unit)：5Gの無線装置



写真3 生け簀カメラ設置環境

のカメラ周辺機器より構成される。送受信端末とカメラ周辺機器は作業棚に設置し、4台のカメラは約5m四方の生け簀内の四隅に水深およそ3mまで沈めて設置した。写真3に生け簀側の設置環境を示す。

## 4. 洋上における電波伝搬特性の確認

### 4.1 洋上での長距離電波伝搬試験

洋上での電波伝搬は、図3のようにアンテナ間を直進して到来する直接波と、海面で一旦反射して到来する反射波が受信側で合成される2波モデル<sup>\*7</sup>となる。直接波と反射波の位相が同位相であれば強め合い、逆位相であれば打ち消しあうので、図4の青線のように受信電力(RSRP<sup>\*8</sup>)が距離によって変動する。なお、反射波の振幅が大きいほど受信電力の変動幅が大きくなり、周波数が高いほど波長が短く

\*7 2波モデル：アンテナからの直接波と海面からの反射波が合成される伝搬モデルのこと。

\*8 RSRP(Reference Signals Received Power)：5G通信における基準信号の受信電力を示す。



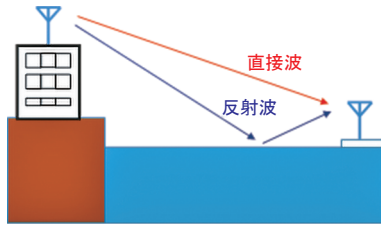


図3 洋上移動通信における直接波と反射波

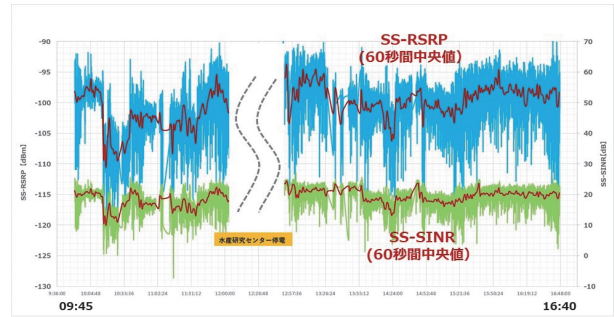


図6 RSRP の長時間観測結果

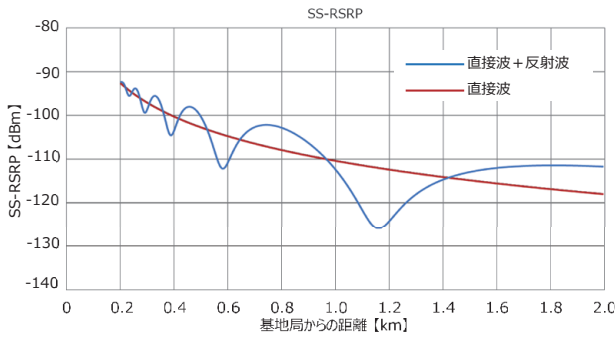


図4 2波モデルのRSRP(シミュレーション)

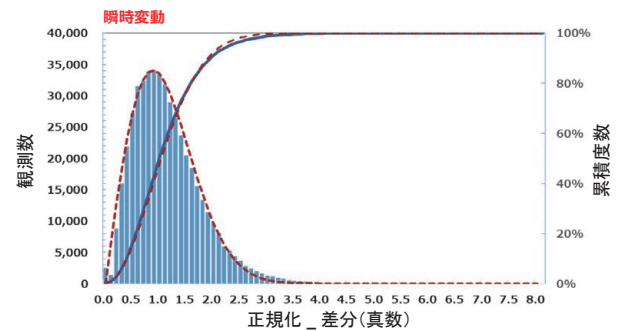


図7 60秒中央値と観測値の差分分布(RSRP)

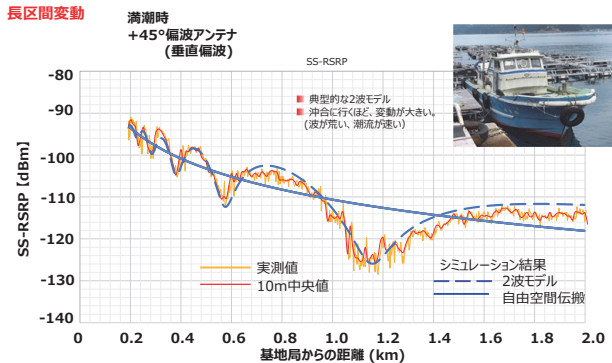


図5 送受信間距離とRSRP

海が荒れている場合、波頭が生じることにより海面反射は鏡面反射だけでなく、凸凹のある粗面の反射となる。粗面の反射点は常に瞬時的に変動しており、この変動と共に粗面反射波の電界強度や直接波との位相関係も変動する。このため、受信点での粗面反射波は、変動の激しい不規則な反射波(散乱波)として受信される。なお、この散乱波の受信電界分布はレイリー分布となることが知られている<sup>(1)</sup>。図7は、長時間観測より60秒間隔の中央値と観測値の正規化した差分分布である。瞬時変動特有のレイリー分布形状となっており、波浪による粗面反射波が生じていたことが確認できる。

なるため、受信電力の変動数(起伏の数)が多くなる。洋上に浮かぶ生け簀上の通信では、海面からの反射波に留意する必要がある。

宇和海の沖合2km地点から、基地局に向かって船で移動しながらRSRPの測定を行い、送受信間距離とRSRPの関係を観測した(図5)。この結果は2波モデルそのものであり、予めシミュレーションした結果と概ね一致している事が確認できた。

送受信端末を設置した生け簀は、風や海面の変動を吸収し、上下・左右・前後に緩やかに動いている。このため、受信電界も緩やかに変動する。ちょうど長区間の中央値が変動する短区間変動と同じ状況となる。陸上移動通信の短区間変動は、dB正規分布となることが知られている<sup>(2)-(4)</sup>。図8は、60秒間隔の中央値と30分間隔の中央値との差分分布を示す。dB正規分布の形状を示しており、短区間変動に相当する緩やかな変動が生じていることが確認できる。

#### 4.2 生け簀上での定点観測

生け簀上のカメラ設置ポイントにおいて定点観測を行い、波浪や潮位の変化とRSRPの関係を確認した。RSRPの長時間観測結果(約7時間)を図6に示す。

#### 4.3 アンテナ偏波面と生け簀上のRSRP分布

図9に、基地局側のアンテナに垂直偏波アンテナ

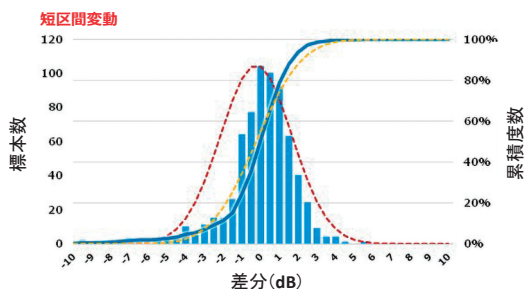
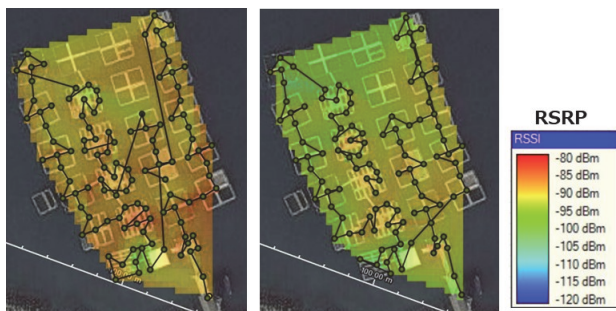


図8 60 秒中央値と 30 分間中央値の差分分布 (RSRP)



画像 ©2021 Google、画像 ©2020 Maxar Technologies、Planet.com、地図データ ©2020

a) 垂直偏波

b) 水平偏波

図9 生け簀上のヒートマップ

と水平偏波アンテナを使用した場合の、生け簀上の RSRP 分布 (ヒートマップ) 比較を示す。垂直偏波と水平偏波では海面反射 (鏡面反射) の特性が異なっており、反射減衰量の大きな垂直偏波の方が生け簀全般に渡って変動幅が少なく、良好に受信されていることが確認できる。

#### 4.4 洋上における電波伝搬の特性確認結果

洋上に浮かぶ生け簀上での通信は、停船状態の洋上移動通信 (船舶通信) と言える。基地局 (本館屋上) - 受信端末 (生け簀) 間の電波伝搬は見通し環境であるにも関わらず、洋上移動通信特有と言える海面反射や潮位変動、波浪による乱反射などが、電波伝搬特性上の独立した変動として現れて、重なり合っていることが観測された。観測された変動は、陸上移動通信の電波伝搬と同様に以下の3つの変動特性 (要因) に分類して整理することができる。

- ・ 長区間変動 (距離特性)
- ・ 短区間変動 (緩やかな変動)
- ・ 瞬時変動 (激しい変動, レイリー / ライスフェージング)

一般的な陸上移動通信と今回観測された洋上移動通信の変動特性 (要因) の比較を表 1 に示す。

長区間変動, 短区間変動, 及び瞬時変動が確認・

表 1 洋上移動通信の変動特性 (要因)

項目	陸上移動通信	洋上移動通信
長区間変動	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 距離特性 (変動)</li> <li>● 伝搬モデル (計算式)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 秦式 など (市街地の状況等により異なる。)</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 距離特性 (変動)</li> <li>● 伝搬モデル                             <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 2 波モデル・潮位 (鏡面反射)</li> </ul> </li> </ul>
短区間変動 (緩やかな変動)	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 場所的変動</li> <li>● 変動要因: 建物や地形の遮蔽 等</li> <li>● 対数 (dB) 正規分布</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 場所的変動</li> <li>● 変動要因: 生質自体の揺らぎ (上下・左右・前後)</li> <li>● 対数 (dB) 正規分布</li> </ul>
瞬時変動 (激しい変動)	<ul style="list-style-type: none"> <li>● マルチパスフェージング (レイリーフェージング)</li> <li>● 変動要因: 建物、移動体などの反射・回折</li> <li>● レイリー分布</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● マルチパスフェージング (ライス / レイリーフェージング)</li> <li>● 変動要因: (激しい) 波動 (粗面反射)</li> <li>● レイリー分布</li> </ul>

分類されたことにより、陸上移動通信と同様の無線回線設計手法が使用可能となる。但し、洋上移動通信の無線回線設計には、以下を留意する必要がある。

- ・ 伝搬モデル (長区間) はアンテナの海面反射係数を考慮した 2 波モデルを使用すること。
- ・ マージン設定値となる短区間変動, 瞬時変動の変動幅は陸上移動通信とは異なること。

## 5. 映像伝送の実証

### 5.1 映像伝送試験

前項の伝搬試験結果から、生け簀内に設置されたカメラの映像を伝送するために必要な無線通信設定を検討した。遊魚測定装置に必要なカメラの台数は、三次元的な観測のため最低でも 3 台以上、詳細なデータを取得しようとした場合には 6 台の使用が望ましい。生け簀を泳ぐ魚の種類と体長、遊泳速度により個々の魚を識別し、移動遊泳ベクトルを求めるためには毎秒 10 フレーム以上の動画像を用いる必要がある。本実証実験では 4 台のカメラを海中に設置し、カメラの映像を Full-HD 画質、毎秒 30 フレームで映像を伝送することを目標とした。必要な伝送速度は約 28Mbps であるが、一般的な公衆 LTE 回線の Uplink 実行速度では不足、あるいは安定した映像伝送が難しい。一方、無線回線を専有できるローカル 5G では、この伝送速度以上で常時安定した通信を行うこと (可用性を確保すること) が可能である。

生け簀からカメラ映像を伝送する場合の無線回線では、陸上移動通信とは異なる変動特性を考慮し、マージンとして織り込んでおく必要がある。本実証実験においても、BBU や RRU の機器設定、アンテ

ナの偏波面等を調整するなど、パラメータの最適化を行った。

遊魚測定装置から生け簀内のカメラにネットワーク経由でアクセスする際に、いわゆる NAT<sup>\*9</sup> 越えの問題がある。図 2 において、送受信端末は NAT 装置として機能するため、端末を境界点として以下の 2 つのネットワークセグメントに分割される。

① WAN 側ネットワークセグメント(ローカル 5G システム側)

② ローカルネットワークセグメント(カメラ側)

通常のインターネット接続でも見られるこのセグメントの分割において、②側から①側への通信に特別な設定は必要ない。しかし、①側に設置された遊魚測定装置から②側にある各カメラへ通信を開始することは、本実証実験のシステム構成におけるネットワークの仕様上そのままではできない。このように NAT に起因する通信の一方通行を解決することを NAT 越えという。NAT 越えにはいくつかの手法が考えられるが、本実証実験では送受信端末にポートフォワーディング<sup>\*10</sup> 設定を追加することにより、NAT 越えを実現している。

なお、実証実験委託における取り決めにより、本稿での詳細な機器設定情報の開示は控えている。

## 5.2 映像伝送試験結果

満潮時、干潮時を含む長時間の映像伝送試験において、通信帯域の大きな変動や瞬断は確認されず、当社が構築したローカル 5G システムを介して高画質な映像を安定して伝送することができた(写真 4)。生け簀内の水中カメラから遊魚測定装置



写真 4 生け簀内のカメラ映像

\*9 NAT(Network Address Translation):プライベート IP アドレスをグローバル IP アドレスに変換する技術

\*10 ポートフォワーディング:特定のポート番号宛てに届いたパケットをあらかじめ設定しておいた LAN 側の機器に転送する機能

へ送られた映像は、魚数カウント・活性状態など遊魚測定装置の解析に有用なレベルであった。

## 6. む す び

本実証実験を通じて、システムの有用性を確認した。同時に洋上生け簀上における電波伝搬特性のデータ取得に成功し、無線回線設計手法を確立するための貴重な知見を得られた。

ここで得られた知見は、ローカル 5G システムの用途として、洋上での使用を目的としたユースケースを広げ、様々な分野の IoT 化の促進に活用していく。

当社のローカル 5G システムへの取り組みは、機器・システムの開発だけでなく、ユーザーの視点に立ったコンサルティングサービス<sup>(5)</sup>やアプリケーション展開まで、トータルソリューションを提供していく。

## 謝 辞

本稿発表に際し、本件実証実験を主導して頂いた愛媛大学小林教授ならびにコンソーシアムメンバーの皆様、ご支援いただいた総務省および四国総合通信局のご担当者様、その他ご協力いただいた皆様に感謝御礼申し上げます。

## 文 献

- (1) YK-004 無線通信の電波伝搬:移動伝搬理解とシミュレーション技法の壺  
[http://www.radio3.ee.uec.ac.jp/ronbun/TR-YK-004\\_Propagation.pdf](http://www.radio3.ee.uec.ac.jp/ronbun/TR-YK-004_Propagation.pdf)
- (2) 電波伝搬ハンドブック(1999 細矢良雄他, リアライズ社)
- (3) デジタル移動通信の電波伝搬基礎(2016 改訂版 唐沢好男, コロナ社)
- (4) 無線通信の電波伝搬(1992 進士昌明, 電子情報通信学会)
- (5) 電気興業プレスリリース, [https://www.denkikogyo.co.jp/topics/pdf/release\\_201023.pdf](https://www.denkikogyo.co.jp/topics/pdf/release_201023.pdf)





製品紹介

# ローカル 5G のための エリア設計ソリューションの紹介

大島 一郎\*      関野 昇\*      水谷 貴典\*  
佐藤 啓介\*      佐々木克守\*\*      須藤 勇\*\*\*  
山形 建二\*\*\*\*

## Introduction of Area Design Solutions for Local 5G

*Ichiro Oshima, Noboru Sekino, Takanori Mizutani, Keisuke Sato,  
Katsumori Sasaki, Isamu Suto and Kenji Yamagata*

当社はローカル 5G 事業を本格的に進め、「DKK ローカル 5G 導入コンサルティングサービス」の提供を開始している。本稿では、そのサービスの一つであるエリア設計ソリューションの概要について紹介する。

We are fully engaged in Local 5G business and “DKK Local 5G deployment consulting services” have been provided. In this paper, the outline of an area design solution is introduced as part of the services.

### 1. はじめに

ローカル 5G は、第 5 世代移動通信システム (5G) を利用した、地域におけるローカルニーズに基づいた比較的小規模な通信環境を構築するものであり、工場、建設現場、病院や農地など多岐にわたる用途での利用が想定されている。2021 年現在、ローカル 5G の周波数としては、4.7GHz 帯 (4.6-4.9GHz) と 28GHz 帯 (28.2-29.1GHz) が割り当てられている。このうち 2019 年 12 月に 28GHz 帯の一部 (28.2-28.3GHz の 100MHz) において利用が可能となり、加えて 2020 年 12 月に残りの帯域 (4.6-4.9GHz および 28.3-29.1GHz) を拡張する制度改正が行われた。

当社は、2019 年半ばからローカル 5G の事業化を本格的に開始し、28GHz 帯無線機を自社開発 (本誌 11 ページ参照) するとともに、これからローカル 5G の導入を検討する顧客に対し、各々の対象エリアにおける電波環境調査、エリアシミュレーション、総務省への免許申請代行、機器販売・設置工事、保守・メンテナンス、アフターケアまでを包括的にサポートする「DKK ローカル 5G 導入コンサルティング

サービス」を開始している<sup>(1)</sup>。本稿では、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の概要について紹介する。

### 2. エリア設計ソリューションの概要

エリア設計は、ローカル 5G の通信品質を決定する上で非常に重要である。図 1 に当社のエリア設計ソリューションの流れについて示す。

①提案時：顧客からエリア化を希望する場所についてヒアリングを行った後、シミュレーションによ

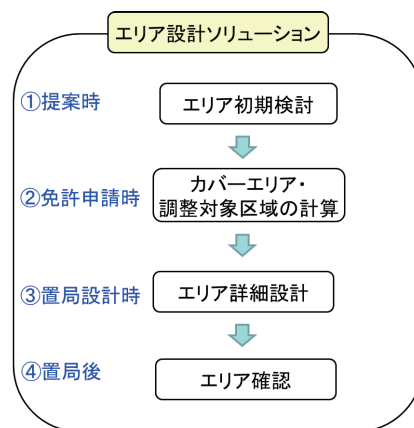


図 1 エリア設計ソリューションの流れ

\* ワイヤレス研究所  
\*\* 機器統括部 移动通信技術開発部  
\*\*\* 中央統括部 技術部  
\*\*\*\* 中央統括部 次世代通信システム営業部

る初期検討を行い、エリアの広さ、基地局の位置や数量などを見積もり、提案する。

- ②免許申請時：ローカル 5G の免許申請に必要な書類のうち、審査基準に定められた「カバーエリアの図」及び「調整対象区域の図」を計算・作成する。
- ③置局設計時：置局にあたり、エリア内の構造物等の影響を考慮した詳細な電波伝搬シミュレーションを行い、カバーエリア等の確認を行う。
- ④置局後：伝搬測定を行い、設計したエリアが構築できているか確認する。

以上のように、提案から置局後にいたるまでトータルのソリューションとなっている。

### 3. 当社のエリア設計ソリューションの特長

当社は、長年培ってきた高度なアンテナ設計・製作の技術、および電波伝搬に関する技術をもっており、それらの強みを生かしたエリア設計ソリューションを目指している。本ソリューションは次の3つが特徴となっている。

- ①アンテナ技術に支えられたエリア構築
  - ②電波伝搬実験に基づいたエリア構築
  - ③伝搬シミュレーションを活用したエリア設計
- 以下、それらの特徴について説明する。

#### 3.1 アンテナ技術に支えられたエリア構築

ローカル 5G では、決められた敷地内で高品質な通信ネットワークを実現するエリアを構築するだけでなく、サービスエリア外への干渉を抑圧するなど、電波に関する高い技術力が求められる。図 2 左に示すように、1 種類のアンテナだけでエリアを構築しようとすると、通信エリア外の場所ができてしまったり、他者の敷地へエリアがはみ出し、他者のエリアへの干渉が問題となったりする。当社は優れたアンテナ技術によって、28GHz 帯のようなミリ波帯においても豊富な種類のアンテナの設計・製作が可能

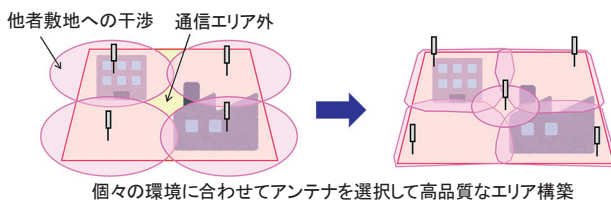


図 2 当社が目指す高品質なエリア構築の基本コンセプト

である。使用するアンテナを適切に選ぶことによって、図 2 右のような高品質かつ他者エリアへの干渉を抑制したサービスエリアを構築することができる。また、使用するアンテナを最適化することにより、基地局数を削減できる可能性もあり、顧客に対して最適な提案を行うことができる。

#### 3.2 電波伝搬実験に基づいたエリア構築

当社は、2019 年 12 月に 28GHz 帯の実験試験局免許を取得し、各種の電波伝搬実験を行っている。この実験試験局では、当社鹿沼工場の敷地の屋外環境、および工場建屋やオフィスなどの屋内環境で試験を行っている<sup>(2)</sup>。図 3 は当社の鹿沼工場での測定結果の一例である。実験のために用意した豊富な種類のアンテナにより、アンテナの指向性、偏波、および利得の違いに対するエリアの違いが確認できるなど、きめの細かいエリア構築のための重要なデータが得られている。これらの実験データを解析し、電波の伝搬特性を把握することで、信頼性の高いエリアの提供につながる。実験データの解析の一部については、本誌 19 ページで紹介している。

#### 3.3 伝搬シミュレーションを活用したエリア設計

2 節で述べたように、エリア構築のソリューションにおいては、顧客への提案の初期段階から受注後の置局設計にいたるまでトータルのエリア設計が必要になる。当社では、エリア設計ソリューションの流れに沿って、下記の 3 種類のシミュレーションソフトを用意し使い分けていくことで、きめの細かいエリア設計を行う。

- ・初期検討用ソフト：カバーエリア、基地局数などを見積もるためのシミュレーション
- ・免許申請用ソフト：定められた計算式に基づくカ

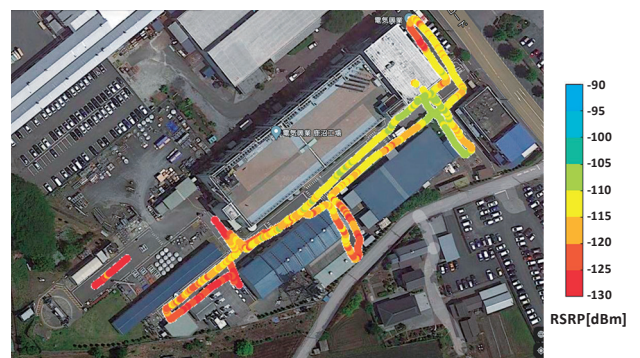


図 3 28GHz 帯での伝搬実験の測定結果の一例(受信電力)  
(出展：Google マップの航空写真を加工)





## 製品紹介

ローカル 5G 向け 28GHz 帯無線装置  
の開発

高橋 行隆*	長谷川尚也*	水谷 貴典*
齋藤 翔**	藪 和哉**	佐々木 希**
木本 颯***	寺島 由規**	菅原 健太****

Development of 28 GHz Band Radio Unit with O-RAN Fronthaul  
Interface Equipment for Local 5G

*Yukitaka Takahashi, Naoya Hasegawa, Takanori Mizutani, Sho Saito, Kazuya Yabu,  
Nozomu Sasaki, Hayate Kimoto, Yuki Terashima and Kenta Sugawara*

ローカル 5G は、企業や自治体など全国でサービスを提供する移動通信事業者以外が 5G に対応した専用の無線ネットワークを構築・利用できる。当社では 28GHz 帯のローカル 5G 向けシステムの開発を行っており、サービスエリア構築の重要な要素であるアンテナと無線装置を独自に開発してきた。本稿では、当社が提供するローカル 5G システム向けに開発した 28GHz 帯無線装置の概要と性能について紹介する。

In December 2019, MIC (radio regulator in Japan) started to accept applications for “Local 5G”, a license of private 5G system for non-carrier companies or local government, allocating 28.2GHz-28.3GHz.

We have been developing DKK Local 5G systems (5G Core Network (5GC), Central Unit (CU), Distributed Unit(DU), and Radio Unit(RU)). In this paper, we introduce the outline and performance of the 28 GHz band Radio Unit with O-RAN fronthaul interface.

## 1. はじめに

2019年12月に、ローカル 5G 向けに 28GHz 帯の周波数 (28.2GHz~28.3GHz, 帯域幅 100MHz) が先行して割り当てられた<sup>(1)</sup>。ローカル 5G は、企業や自治体などが 5G に対応した専用の無線ネットワークを構築・利用できる。図 1 に示すように、病院や工場、公共施設や農場など幅広い場所・用途への適用が検討されている。当社ではローカル 5G 向けに、企画・提案やエリア調査・設計などのコンサルティング事業、免許申請代行や設置工事・検査などのコンストラクション事業、保守・保全やアフターケアサービスなどのメンテナンス事業の提供のために、検討・開発を行っている<sup>(2)</sup>。その中でも、サービスエリア



図 1 ローカル 5G の適用が期待されている場所の一例

の構築については、申請した敷地内のみをサービスエリアとし、敷地外への電波の漏れを抑えることが求められる。これには、高度なサービスエリア設計技術と、設計通りのサービスエリアを実現する無線・アンテナ技術が必要となる。どちらの技術も当社が

\* ワイヤレス研究所

\*\* 機器統括部 移動通信技術開発部

\*\*\* 元電気興業株式会社

\*\*\*\* 機器統括部 事業推進部

長年、培ってきた技術・経験が適用できる領域であり、当社独自仕様でアンテナおよび無線機の開発を行ってきた。以降では開発した 28GHz 帯無線装置の概要と性能について紹介する。

## 2. 28GHz 帯無線装置

### 2.1 概要

28GHz 帯無線装置は、アンテナ特性の違いで 3 機種(セクタアンテナタイプ、オムニアンテナタイプ、オムニアンテナ(高利得)タイプ)を開発した。また、上位装置との接続には、O-RAN アライアンス\*<sup>1</sup>が策定する O-RAN フロントホール・インタフェースを採用した<sup>(3)</sup>。

### 2.2 構造

6GHz 帯以下の周波数では、アンテナと無線装置が分離構造で、アンテナと無線装置間を同軸ケーブルで接続する形態が一般的である。しかし、28GHz 帯では、同様な形態とした場合、周波数が高くなった分だけ同軸ケーブルでの損失が大きくなってしまふ。そのため、開発した 28GHz 帯無線装置ではアンテナと無線機を一体構造とした。

写真 1 に 28GHz 帯無線装置(セクタアンテナタイプ)の外観を示す。セクタアンテナタイプは、電波が装置の正面方向に発射されることから、壁面やポール等に設置し、装置の正面方向をサービスエリアにすることができる。例えば、細長い構造の工場など

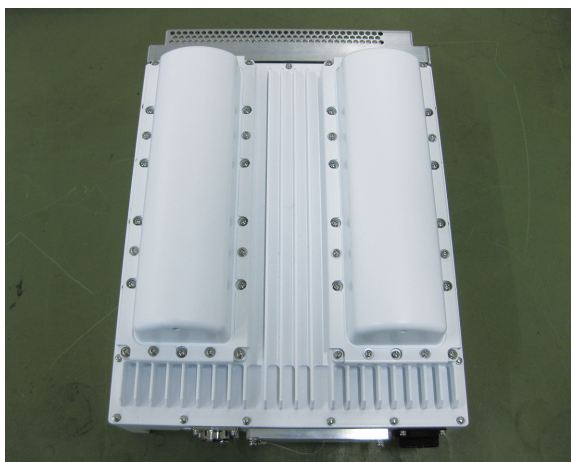


写真 1 28GHz 帯無線装置(セクタアンテナタイプ)の外観

で、片側の壁面に設置し工場全体をサービスエリアとすることが考えられる。一方、オムニアンテナタイプは、天井設置を想定しており、水平方向全周(360°)に電波を発射することができる。例えば、劇場などのホールの中心に設置することで、ホール全体をサービスエリアとすることが考えられる。

いずれのタイプも小型・軽量化のため、ファンを使用した強制空冷方式を採用している。また、施工性・保守性を考慮し、各ケーブルの接続やメンテナンス扉等は、1 か所にまとめている。

### 2.3 主な仕様

表 1 に開発した 28GHz 帯無線装置の主な仕様を示す。周波数はローカル 5G に割り当てられた 28.2GHz ~ 28.3GHz の 100MHz に対応している。1 装置あたり送受信回路数は 2 で、アンテナ数も 2 である。EIRP\*<sup>2</sup> は、1 アンテナあたり、オムニアンテナタイプが +25dBm、オムニアンテナ(高利得)タイプが +32dBm、セクタアンテナタイプが +35dBm である。EIRP については、当社の栃木県にある鹿沼工場での実環境試験結果と、パワー半導体仕様、消費電力や装置サイズ等を考慮して決定している。水平面内指向性(3dB ビーム幅)はオムニアンテナタイプが無指向性(360°)、セクタアンテナタイプが 65° である。垂直面内指向性(3dB ビーム幅)は、オムニアンテナタイプが 70°、オムニアンテナ(高利得)タイプとセクタアンテナタイプが 6° である。代表的な送信の無線

表 1 28GHz 帯無線装置の主な仕様

項目	仕様
周波数範囲	28.2GHz~28.3GHz
アンテナ数(送受信回路数)	2(2 送信 2 受信)
EIRP	オムニアンテナ: +25dBm オムニアンテナ(高利得): +32dBm セクタアンテナ: +35dBm
水平面内指向性	オムニアンテナ: 無指向性 オムニアンテナ(高利得): 無指向性 セクタアンテナ: ビーム幅 65°
垂直面内指向性	オムニアンテナ: ビーム幅 70° オムニアンテナ(高利得): ビーム幅 6° セクタアンテナ: ビーム幅 6°
ACLR	- 25.7dBc 以下
EVM(64QAM)	8% 以下
質量	10kg 以下
電源電圧	AC90V~AC110V
対上位装置インタフェース	O-RAN 7-2x

\*<sup>1</sup> O-RAN アライアンス: 無線アクセスネットワークのオープン化などを目的に設立された団体

\*<sup>2</sup> EIRP (Equivalent Isotropically Radiated Power): 等価等方放射電力



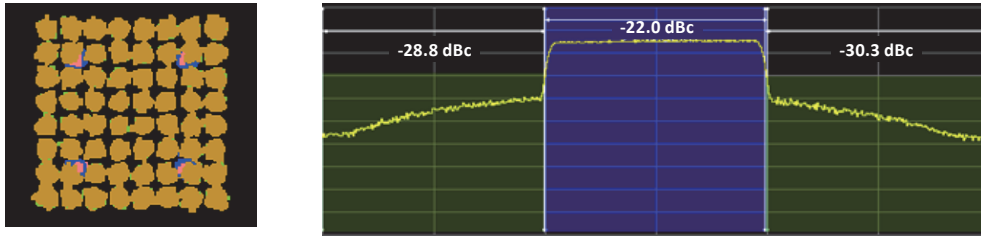


図2 無線特性の測定結果(左：EVM, 右：ACLR)

特性である ACLR<sup>\*3</sup>は -25.7dBc 以下, EVM<sup>\*4</sup>は 64QAM<sup>\*5</sup>で 8% 以下である。装置質量は 10kg 以下で, 電源電圧は AC90V~AC110V に対応している。ローカル 5G システムでの上位装置とのインターフェースは, O-RAN フロントホール・インターフェース 7-2x に準拠している。O-RAN フロントホール・インターフェースの詳細については次項に記載する。

#### 2.4 O-RAN フロントホール・インターフェース

上位装置(DU<sup>\*6</sup>)とのインターフェースは O-RAN アライアンスが策定する O-RAN フロントホール・インターフェースを採用した。O-RAN アライアンスは基地局と無線装置間のインターフェースの共通化・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, 異なる企業の装置が接続可能に

なる。表 2 に主な O-RAN フロントホール仕様を示す。

#### 2.5 主な性能

図 2 に無線特性の測定結果を示す。無線特性の主な指標である EVM は仕様 8% 以下に対して 5.3%, ACLR は仕様 -25.7dBc 以下に対して -28.8dBc といずれも仕様を満たしており良好な特性が得られている。また, EIRP についても良好な特性が得られている。

### 3. むすび

開発した 28GHz 帯無線装置について概要と性能を紹介した。本装置は当社が提供する 28GHz 帯ローカル 5G システムに組み込まれて販売される。また, 2021 年 4 月より装置単体での提供も開始している。

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 中央統括部

次世代通信システム営業部 ローカル 5G 営業課

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

表 2 O-RAN フロントホールの主な仕様

項目	仕様
TDD Configuration	dl-UL-TransmissionPeriodicity: ms0p625 nrofDownlinkSlots: 3 nrofDownlinkSymbols: 10 nrofUplinkSlots: 1 nrofUplinkSymbols: 2
Nominal Sub-carrier spacing	120kHz
Nominal FFT size	1,024
Total channel bandwidth	100MHz × 1CC
Number of spatial / Antenna streams	2
Fronthaul Ethernet link	25Gbps × 1lane

\*3 ACLR (Adjacent Channel Leakage power Ratio) : 隣接チャンネル漏洩電力比

\*4 EVM (Error Vector Magnitude) : エラーベクトル振幅

\*5 64QAM (64 Quadrature Amplitude Modulation) : 64 値を使用した直角位相振幅変調

\*6 DU (Distributed Unit) : O-RU の上位に接続する分散装置

#### 参考文献

- (1) 総務省, “ローカル 5G の概要について”, [https://www.soumu.go.jp/main\\_content/000644668.pdf](https://www.soumu.go.jp/main_content/000644668.pdf)
- (2) 電気興業プレスリリース, [https://www.denki-kogyo.co.jp/topics/pdf/release\\_201023.pdf](https://www.denki-kogyo.co.jp/topics/pdf/release_201023.pdf)
- (3) O-RAN Alliance, <https://www.o-ran.org/>



## 製品紹介

## 5G 対応 RF レピータの開発

藪 和哉*	三浦 進*	佐々木 希*
齋藤 翔*	高橋 久枝*	間舘 大泰*
澤村 志遠*	高橋 行隆**	佐藤 啓介**
水谷 貴典**	長谷川尚也**	

## Development of RF Repeater for 5G

*Kazuya Yabu, Susumu Miura, Nozomu Sasaki, Sho Saito, Hisae Takahashi,  
Hiroyasu Madate, Shion Sawamura, Yukitaka Takahashi, Keisuke Sato,  
Takanori Mizutani and Naoya Hasegawa*

2020年3月より国内で5Gの商用サービスが開始された。当社では、5Gのサービスエリア拡張に有効なRF<sup>\*1</sup>レピータ(以下、レピータとする)の開発を行っている。本稿では、開発した3.7GHz帯および28GHz帯レピータの特長と無線特性について紹介する。

The 5G commercial service started in Japan in March 2020. We have been developing RF repeaters (hereinafter "repeaters") that are effective for expanding the 5G service area. In this paper, we introduce the features and radio characteristics of the developed 3.7 GHz and 28 GHz band repeaters.

## 1. はじめに

第5世代移動通信システム(5G)用に3.7GHz帯/4.5GHz帯と準ミリ波帯である28GHz帯が新たに割り当てられ、2020年3月より国内で商用サービスが開始された。サービスエリアの拡張技術としては、従来からDAS<sup>\*2</sup>(分散アンテナシステム)やレピータ等が使用されている。特に28GHz帯は従来の周波数帯と比較して、伝搬損失が大きく、電波の直進性も強くなることにより、見通し外のエリアが増える。そのため、5Gでもサービスエリアの拡張技術が必要になると考えられる。

当社では、以前より無線装置やDASに加えて、レピータの開発に取り組んでいる。レピータは、移動通信基地局と端末間の無線信号を中継し、サービスエリアを拡張することを目的とする装置である。DL<sup>\*3</sup>(下り方向)では、ドナーアンテナで基地局からの無線信号を受信し、装置内部で増幅して、サービスアンテナから端末に向けて無線信号を放射す

る。また、UL<sup>\*4</sup>(上り方向)では、サービスアンテナで端末からの無線信号を受信し、装置内部で増幅して、ドナーアンテナから基地局に向けて無線信号を放射する。

本稿では、当社で開発している5Gに対応した3.7GHz帯および28GHz帯のレピータについて紹介する。

## 2. 3.7GHz帯レピータ

図1および写真1に、3.7GHz帯レピータシステムの概要および試作機の外観を示す。本システムは、ドナー/サービスアンテナを共に外付けの構成として、ドナー/サービスアンテナを自由に選択することにより、設置場所に応じたエリアの構築が可能である。また、レピータ装置1台に2経路(2送信、2受信)を有しているため、装置1台でMIMO<sup>\*5</sup>に対

\*1 RF : Radio Frequency

\*2 DAS : Distributed Antenna System

\*3 DL : Downlink

\*4 UL : Uplink

\*5 MIMO : Multi Input Multi Output

\* 機器統括部 移動通信技術開発部

\*\* ワイヤレス研究所



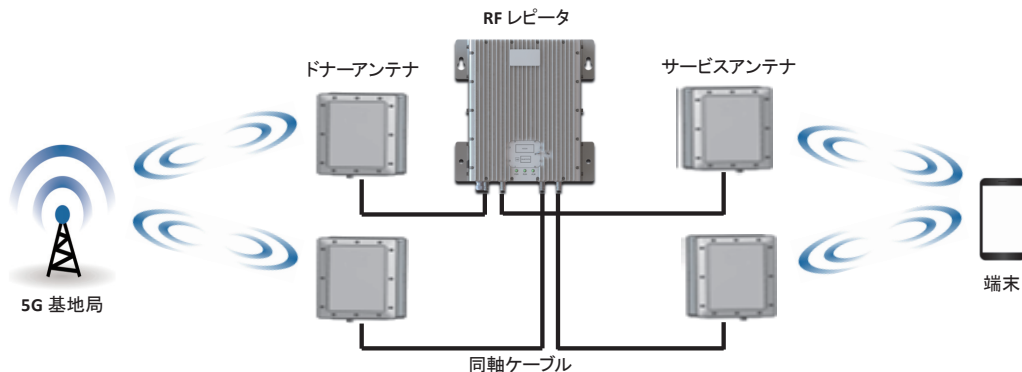


図1 3.7GHz 帯 RF レピータシステム概要

+30dBm (1W) とし、5G NR<sup>\*6</sup> の通信方式に対応している。中継可能な 5G NR の信号条件は、信号帯域幅 100MHz、搬送波 1 波、サブキャリア間隔は 30kHz である。また、受信した 5G NR の信号から切替えタイミングを自動検出するため、TDD<sup>\*7</sup> の UL/DL の切替え動作は装置内で自動的に行われる。装置内利得は 55~75dB、屋外設置を想定して防塵・防水規格は IP65 を採用した。



写真1 3.7GHz 帯 RF レピータ

表1 3.7GHz 帯 RF レピータ諸元

項目	仕様
周波数範囲	3.7GHz 帯
帯域幅	100MHz
通信方式	5G NR
信号帯域幅	100MHz
搬送波数	1 波
SSB サブキャリア間隔	30kHz
TDD 同期	装置内で自動動作
偏波数	2 偏波 (2 送信、2 受信)
送信電力	+30dBm / 1 経路
装置内利得	55~75dB
VSWR	2.0 以下
アンテナコネクタ	N 型
防塵・防水	IP65
装置電源	AC100V

応することを可能としている。

表1に、3.7GHz 帯レピータの諸元を示す。本レピータは、周波数範囲を 3.7GHz 帯、送信電力を

### 3. 28GHz 帯レピータ

図2および写真2に、28GHz 帯レピータシステムの概要および試作機の外観を示す。本レピータシステムは、ドナー／サービスアンテナを内蔵し、ドナーユニットとサービスユニットを分離した構成としている。ドナーユニットとサービスユニット間とは同軸ケーブルで接続し、ドナーユニットを基地局方向、サービスユニットをエリア構築したい方向に設置することにより、エリアの構築が可能である。また、アンテナはビームフォーミングアンテナを採用し、設置後も水平面・垂直面のビーム幅およびビーム方向を変更できるため、必要に応じて柔軟なエリア構築が可能となる。

表2に28GHz 帯レピータの諸元を示す。本レピータは、周波数範囲が 28GHz 帯の 5G NR の通信方式に対応している。中継可能な 5G NR の信号条件を信号帯域幅 100MHz、搬送波数 4 波として、EIRP<sup>\*8</sup> は 400MHz 帯域幅で +37dBm (5W) とした。また、本レピータも 3.7GHz 帯レピータと同様に、TDD の同期は装置内で自動的に動作する。ビームフォーミング

\*6 5G NR : 5G New Radio

\*7 TDD : Time Division Duplex

\*8 EIRP : Equivalent Isotropic Radiation Power





**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



**高橋 行隆**  
平成 14 年入社  
ワイヤレス研究所  
無線機器の開発に従事  
電子情報通信学会会員



**高橋 久枝**  
平成 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



**佐藤 啓介**  
平成 18 年入社  
ワイヤレス研究所  
移動通信用アンテナ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



**間諺 大泰**  
平成 31 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



**水谷 貴典**  
令和 2 年入社  
ワイヤレス研究所  
移動通信用基地局装置及び電波伝搬の研究・開発に従事



**澤村 志遠**  
平成 26 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



**長谷川尚也**  
令和元年入社  
ワイヤレス研究所  
無線機器の開発に従事



# 28GHzにおけるアンテナの違いに対する伝搬特性

大島 一郎\* 関野 昇\* 今井 哲朗\*\*

## Propagation Characteristics for Different Antennas in 28 GHz Band

*Ichiro Oshima, Noboru Sekino and Tetsuro Imai*

ローカル 5G における 28GHz 帯のエリア設計を目的として、工場敷地の屋外エリアと屋内エリアについてアンテナの種類を変えて伝搬測定を行い、異なるアンテナで送信した場合の受信電力の違いを示し、送受信間距離に対するパスロスの結果について 3GPP のチャンネルモデルとの比較を行った。屋外での測定結果より、パスロスはアンテナの種類によらず UMi のモデルでほぼ表現でき、また、屋内での測定結果より、無指向性アンテナの場合のパスロスは InF のモデルでほぼ表現できるが、指向性が鋭いホーンアンテナの場合においてはモデルから離れる結果となった。

本論文は、2021 年 2 月発行の電子情報通信学会技術研究報告の同タイトルの研究報告 (AP2020-126, pp.56-61) を加筆・転載したものである (copyright©2021 IEICE)。

Propagation measurements were performed for local 5G area design in the 28 GHz band by changing the antenna type outdoors and indoors locations at a factory site. The differences in the received powers between different transmitting antennas was investigated. In addition, pathlosses were compared with those of the 3GPP channel model. The outdoor measurements show that the pathloss can be expressed approximately by the UMi model regardless of the antenna type. The results of the indoor measurements suggest that the pathloss from the omnidirectional antenna can be expressed approximately by the InF model; however, the pathloss of the horn antenna with sharp directivity deviates from the model.

### 1. まえがき

我が国の移動通信においては、2020 年 3 月から 5G (第 5 世代移動通信) の商用サービスが開始された。5G では新たに sub6 帯として 3.7GHz 帯と 4.5GHz 帯、そして 28GHz 帯が通信事業者に割り当てられている。商用サービスが開始される 10 年ほど前から、5G に関する多くの実証実験が行われており、ミリ波帯などの高い周波数帯での実験が成功している (例えば文献 (1))。また、それらの 5G の周波数帯において伝搬実験が行われている<sup>(2),(3)</sup>。

2020 年 12 月には、Sub6 帯の 4.6 ~ 4.9GHz、28GHz 帯の 28.2 ~ 29.1GHz が、地域企業や自治体等が独自のネットワークを構築できるローカル 5G の無線シ

ステムに割り当てられた。ローカル 5G では、そのシステムの規模が小さいため、商用の 5G よりも設備投資を抑える必要がある。例えば、5G では 28GHz 帯においてビームフォーミングアンテナの使用が主流になっているが、ローカル 5G ではそのような高機能なアンテナ装置の導入が難しい。そのため従来の基地局アンテナの範疇において、様々な指向性のアンテナを使い分けていくことが必要となる。

本報告では、ローカル 5G の周波数帯のうち 28GHz 帯を対象とし、エリア設計の観点から、工場敷地の屋外エリアと工場の屋内エリアについてアンテナの種類を変えて伝搬測定を行った結果について示す。異なるアンテナで送信した場合の受信電力の違いを明らかにするとともに、送受信間距離に対するパスロスの結果について 3GPP<sup>\*1</sup> のチャンネルモデルとの比較を行う。

\* ワイヤレス研究所

\*\* 東京電機大学

## 2. 測定環境と使用アンテナ

ローカル 5G の 28GHz 帯においては、屋外および屋内でのエリア化が認められている。今回の測定では、当社鹿沼工場の敷地の屋外エリアと屋内エリアを対象とした。図 1 に測定環境を示す。(a)屋外の測定環境は、およそ 100m × 240m の敷地内に複数の建物が並んでおり、建物間の通路を測定ルート(赤線)としている。ルートの経路長は約 900m である。(b)屋内の測定環境は、2 ~ 4m 程度の比較的大きな製品を組み立てる工場であり、30m × 90m の面積、約 5m の天井高となっている。作業エリアには組立途中の製品や棚などが置かれている。作業エリア間の通路を測定ルートとしており、ルートの経路長は約 180m である。図の左側のエリアは、工場内建物の陰となり 100%NLOS (Non Line of Sight) と

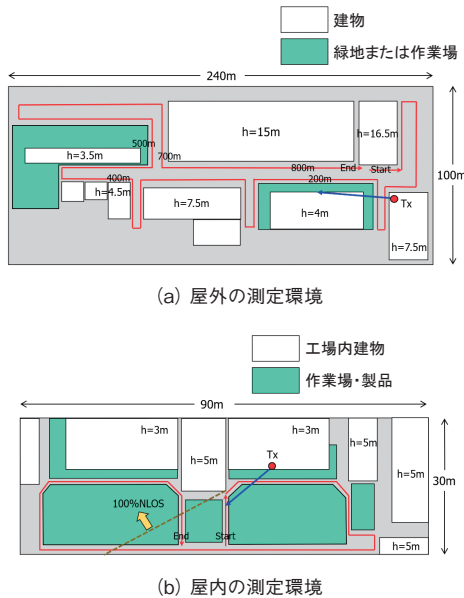


図 1 測定環境

表 1 測定諸元

項目	諸元
周波数	28.3GHz 100MHz 帯域
送信電力	20dBm (ケーブル損失 10.5dB)
送信信号	FR2 100MHz TM3.1 (64QAM)
送信アンテナ高	屋外 9.4m 屋内 3.5m
受信アンテナ高	1.5m
偏波	垂直偏波

\*1 3GPP : Third Generation Partnership Project  
\*2 RSRP : Reference Signal Received Power

なっている。

表 1 に測定諸元を示す。中心周波数 28.3GHz の 100MHz 帯域の試験信号で送信し、5G 用スキャナを用いて RSRP \*<sup>2</sup>(参照信号受信電力)を測定する。送信機の出力電力は 20dBm であるが、送信機 - アンテナ間のケーブル損失は 10.5dB であり、実質的に送信電力は減少している。送信アンテナは、図 1 に示すように建物の屋上に設置している。送信アンテナ高は、屋外の場合は 9.4m であり、屋内の場合は 3.5m である。受信アンテナは台車で移動し、高さは 1.5m で一定である。今回は垂直偏波での測定結果を示す。

表 2 にアンテナの諸元を示す。送信アンテナは 2 種類とし、それぞれ無指向性アンテナ、ホーンアンテナとする。受信アンテナは無指向性アンテナであり、送信アンテナの無指向性アンテナと同一である。図 2 に送信アンテナの指向性を示す。無指向性アン

表 2 アンテナ諸元

アンテナ	諸元
送信アンテナ 1	無指向性アンテナ 利得 : 3.7dBi
送信アンテナ 2	ホーンアンテナ 機械チルト : 10° 利得 : 24.7dBi
受信アンテナ	無指向性アンテナ 利得 : 3.6dBi

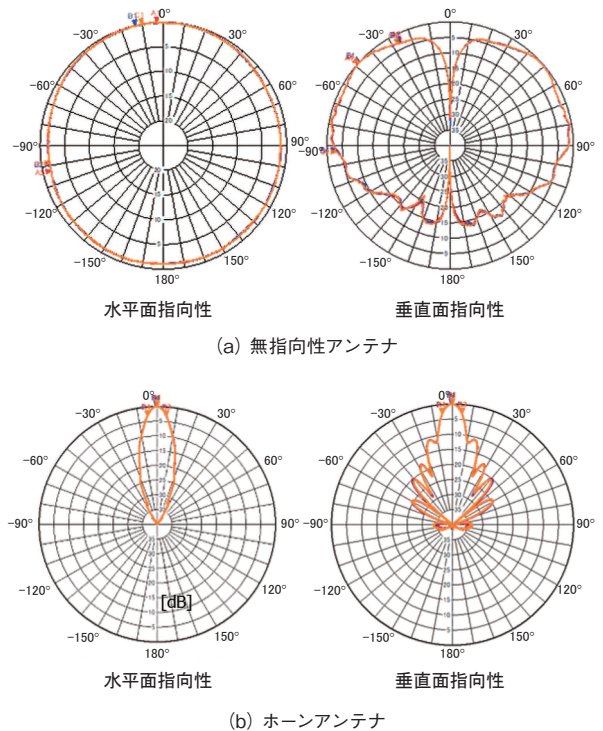


図 2 送信アンテナ指向性

テナは、地板付きモノポールアンテナであり、ダイポールと同様の指向性となっている。ホーンアンテナについては、水平面・垂直面ともに約 $10^\circ$ のビーム幅となっており、設置時に機械的に下向きに $10^\circ$ チルトさせている。また、ビーム方向は、図1における青矢印の方向に向けている。さらに、青矢印の示した点がビームの最大放射方向の到達点を示している。

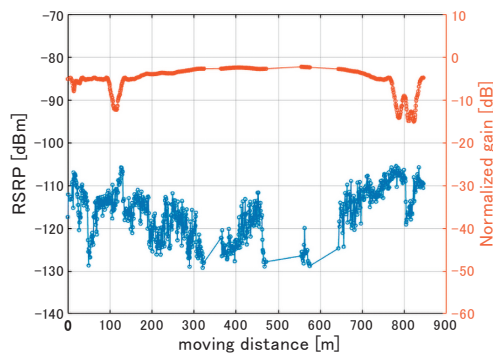
### 3. 測定結果

#### 3.1 屋外測定結果

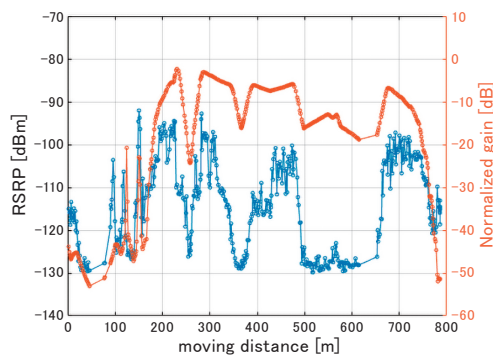
図3に、屋外環境で各送信アンテナを用いた場合のRSRPを示す。グラフの横軸は、測定ルートに沿った移動距離である。基本的には、図1(a)に示した測定ルートで移動しているが、重複してルートを移動している場合もあるため、各送信アンテナで移動距離が異なっている。およそ $0\sim 200\text{m}$ の区間と $800\text{m}$ 付近が送信アンテナに近い場所である。およそ $500\sim 700\text{m}$ の区間が送信アンテナから離れた場所であり非見通しとなっている。その他の区間については、見通しの場所と建物の陰などで非見通しとなっている場所が混在している。非見通しの区間においては、

受信電力が小さくなりスキナで受信できず、データが不在の箇所がある。また、グラフでは、受信位置方向における送信アンテナの指向性の相対利得(最大利得で正規化)を併記している。(a)無指向性アンテナでは、受信位置に対する相対利得の変動は少ないが、(b)ホーンアンテナでは、指向性が鋭いため、受信位置に対する相対利得の変動は激しくなっている。

各送信アンテナ使用時のRSRPの結果から、(a)無指向性アンテナの場合は、建物等の影響を受けているが基本的には送受信間距離に応じた受信電力となっている。(b)ホーンアンテナの場合は、ビーム方向に近い $200\text{m}$ 付近で高い受信電力となっているが、基地局から遠いエリア( $400\sim 500\text{m}$ 付近)についても受信電力が高い状態である。これはホーンアンテナの利得が高く、基地局から遠いエリアでもメインビームの影響が依然として大きいためである。また、受信電力の大きさは、相対利得の変動と同一の傾向があり、指向性の影響を大きく受けているが、特に基地局に近いエリア( $0\sim 200\text{m}$ の区間と $800\text{m}$ 付近)において、相対利得が低いにも関わらず、受信電力が上昇している。これは利得が低い方向であっても、建物等による反射により電力が上昇している

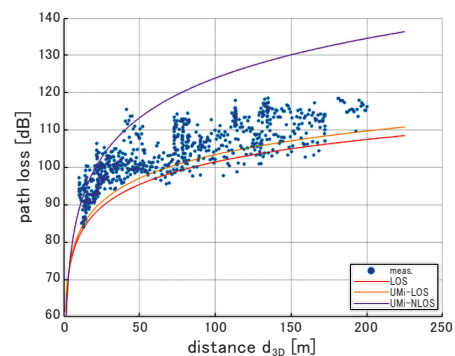


(a) 無指向性アンテナ

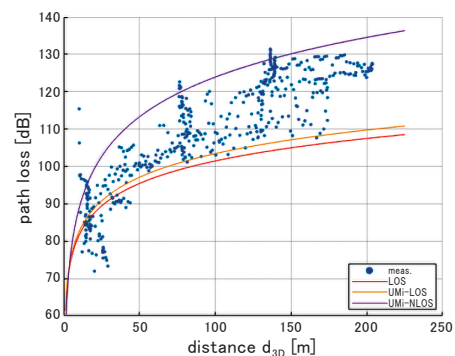


(b) ホーンアンテナ

図3 移動距離に対するRSRPと指向性(屋外)



(a) 無指向性アンテナ



(b) ホーンアンテナ

図4 パスロスとチャネルモデルの比較(屋外)



と推察される。

図4に各送信アンテナを用いた場合の送受信間距離に対するパスロスの散布図を示す。グラフには、3GPPのチャンネルモデル<sup>(4)</sup>のうち、UMi(Urban Micro)-Street Canyonのパスロスモデルを併記しており、UMi-LOSとUMi-NLOSを示している。さらに自由空間の伝搬損も併記している(LOS)。また、パスロスの測定データは、図3で示したアンテナ利得をRSRPの測定結果から取り除いたものである。いずれの送信アンテナの場合においても、ほとんどの値はUMi-LOSとUMi-NLOSの曲線間に分布しており、UMiのモデルで表現できているといえる。ただし、基地局に近い距離においては、ホーンアンテナの場合に、自由空間でのパスロスよりも大きくなる部分がある。これは、図3で見られた、相対利得が低いにも関わらずRSRPが上昇している現象が原因となっている。

以上より、本測定環境のような建物に囲まれた工場敷地の場合は、アンテナの種類によらずUMiのチャンネルモデルでほぼ表現できていると推定が可能であるといえる。

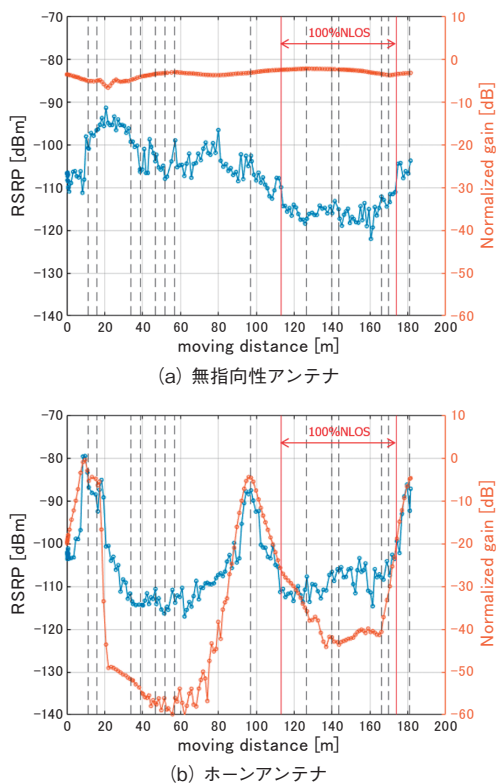


図5 移動距離に対するRSRPと指向性(屋内)

### 3.2 屋内測定結果

図5に、屋内環境で各送信アンテナを用いた場合のRSRPを示す。グラフの横軸は、図1(b)に示した同一の測定ルートでの移動距離であり、およそ115~175mの区間は完全な非見通し(100%NLOS)であり、その他の区間はLOSとNLOSが混在している。グラフでは、受信位置方向における送信アンテナの指向性の相対利得を併記している。屋外の場合と同様、(a)無指向性アンテナでは、受信位置に対する相対利得の変動は少ないが、(b)ホーンアンテナでは、指向性が鋭いため、受信位置に対する相対利得の変動は激しくなっている。

各送信アンテナ使用時のRSRPの結果から、(a)無指向性アンテナの場合は送受信間距離に応じた受信電力となっており、100%NLOSの区間では受信電力がより減少している。(b)ホーンアンテナの場合は、最大放射方向の到達点(図1(a)の青矢印が示す10m付近)とビーム方向(青矢印)の延長線上の地点(95m付近と180m付近)で受信電力が高くなっている。それに対し、相対利得が低いエリア(20~85m)や100%NLOSのエリア(115~175m)においては、受信電力は減少しているものの相対利得の減少分と同

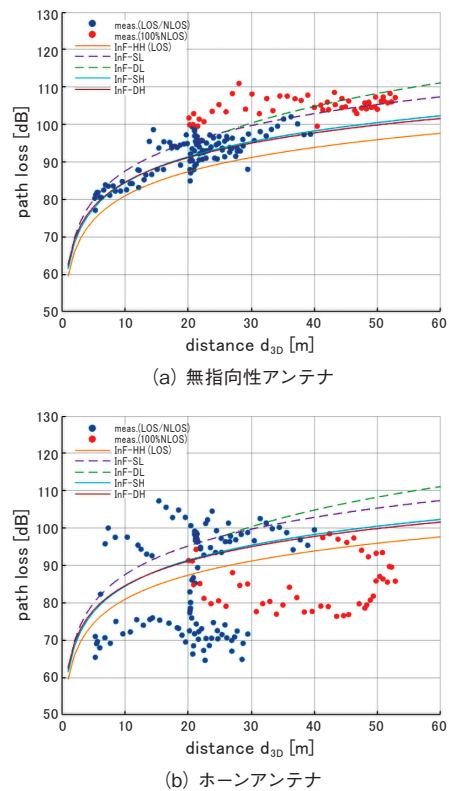


図6 パスロスとチャンネルモデルの比較(屋内)

表3 InF のチャンネルモデル

InF-SL	InF-DL	InF-SH	InF-DH	InF-HH
Sparse clutter, Low BS	Dense clutter, Low BS	Sparse clutter, High BS	Dense clutter, High BS	High Tx, High Rx
LOS and NLOS				100%LOS

比ではなく、10～20dB 程度上昇している。これは、壁や構造物での反射により受信電力が上昇していると推察される。

図6に各送信アンテナを用いた場合の送受信間距離に対するパスロスの散布図を示す。グラフには、3GPP のチャンネルモデル<sup>(4)</sup>のうち、表3に示す InF (Indoor Factory) のモデルを併記している。また、LOS/NLOS 混在区間と 100%NLOS 区間でドットの色を分けて表示している。このパスロスは、図5で示したアンテナ利得を RSRP から取り除いたものである。(a) 無指向性アンテナの場合には、InF-SH もしくは InF-DH の基地局アンテナが高い場合のモデル(比較的 LOS が多い環境)に沿った分布と、InF-SL の基地局アンテナが低い場合のモデル(比較的 NLOS が多い環境)に沿った分布が混在している。100%NLOS 区間については、それらのモデルよりも上昇する傾向がある。(b) ホーンアンテナの場合は、一部 InF-SL に沿った部分もあるが、大部分はチャンネルモデルに沿った分布とはなっていない。これは、図5(b)において相対利得の低いエリアで受信電力が上昇している部分が多くを占めていることが原因である。

以上より、屋内環境においては、無指向性アンテナの場合は、LOS/NLOS 混在区間では InF のチャンネルモデルにほぼ沿った分布となっているが、100%NLOS のような完全に遮られているエリアについてはそのモデルで表現できていないといえる。また、指向性が鋭いホーンアンテナの場合においては、チャンネルモデルから大きく離れる傾向がある。そのため、チャンネルモデルによる受信電力の計算が適用できない場合があり、レイトレーシング法などの反射や回折を考慮した計算が必要と考えられる。

#### 4. む す び

ローカル 5G の 28GHz 帯を対象とし、エリア設計

の観点から、工場敷地の屋外エリアと工場の屋内エリアについてアンテナの種類を変えて伝搬測定を行い、異なるアンテナで送信した場合の受信電力の違いを示し、送受信間距離に対するパスロスの結果について 3GPP のチャンネルモデルとの比較を行った。

屋外での測定結果より、建物に囲まれた工場敷地の場合は、アンテナの種類に関わらず UMi のチャンネルモデルでほぼ表現でき、チャンネルモデルによる受信電力の推定が可能であるといえる。

屋内での測定結果より、無指向性アンテナの場合は、LOS/NLOS 混在区間では InF のチャンネルモデルでほぼ表現できるが、100%NLOS のエリアについてはそのモデルで表現できていない。一方、指向性が鋭いホーンアンテナの場合においては、チャンネルモデルから大きく離れる傾向があるため、レイトレーシング法などの反射や回折を考慮した計算が必要と考えられる。

また、屋外での送信アンテナに近いエリアや、屋内において、鋭い指向性のアンテナの場合に、相対利得が低い方向においても受信電力が上昇する傾向が見られた。レイトレーシング法によるシミュレーションと実測の比較はすでに始めているが<sup>(5)</sup>、今後、この現象も含めて解析を行う予定である。

#### 文 献

- (1) 岸山祥久, 須山聡, “5G 特集(1)—社会課題解決・社会変革実現に向けたドコモの挑戦— これまでの取り組み,” NTT DOCOMO テクニカル・ジャーナル, Vol.28, No.2, Jul. 2020.
- (2) 杉村独歩, 芳野真弓, 萩原弘樹, 工藤友章, 小林敏幸, “28GHz 帯における屋内 LOS 環境のアンテナ指向性による伝搬測定,” 信学ソ大, B-1-27, Sep. 2019.
- (3) 芳野真弓, 杉村独歩, 室伏竜之介, 萩原弘樹, 工藤友章, “4.5GHz 帯 /28GHz 帯におけるアンテナ指向性による受信レベル変動,” 信学技報, A・P2019-1, pp.1-6, May 2019.
- (4) 3GPP TR 38.901 V16.1.0, “Study on channel model for frequencies from 0.5 to 100 GHz,” Dec. 2019.
- (5) H. Yamakura, G.S. Ching, Y. Kishiki, N. Sekino, I. Oshima, and T. Imai, “Evaluation of ray tracing simulation with urban microcell environment measurements at 5G Band,” ISAP2020, Jan. 2021.

☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆



**大島 一郎**  
平成7年入社  
ワイヤレス研究所  
移動通信用アンテナ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)



**今井 哲朗**  
東京電機大学  
電子情報通信学会・IEEE 会員  
教授・博士(工学)



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



# 十字型共振器を用いた 28GHz 帯偏波共用 反射型メタサーフェスの開発

ホンナラ タナン\*      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\*\*\*\*

## 28 GHz Band Dual-Polarized Reflective Metasurface with Cross-Shaped Resonator

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

本稿では、28GHz 帯偏波共用反射型メタサーフェスの設計について述べる。メタサーフェスは反射位相を制御するため、異なる大きさの十字型共振器を周期的に配列し構成される。今回、入射角  $\theta_i=0^\circ$  の垂直偏波および水平偏波を反射角  $\theta_r=70^\circ$  へ反射させるメタサーフェスを開発した。 $\theta_r=70^\circ$  の大きな反射角を実現しつつ、サイドローブレベルは 10dB 以下を達成している。

In this paper, the design of 28 GHz band dual-polarized reflective metasurface is presented. The metasurface is composed by different size of arrays of cross-shaped resonators to control the reflection phase based on energy surface channeling technique. By properly designing the metasurface, it can anomalously reflect both vertical and horizontal polarized incident plane waves from  $\theta_i = 0^\circ$  to  $\theta_r = 70^\circ$ , while achieving a radiation power ratio of the main reflected beam to its sidelobe of over 10 dB.

### 1. はじめに

第5世代移動通信システム(5G)の導入が世界的に始まり、無線データレート的大幅な向上を目的として、28GHz帯が割り当てられ利用されている<sup>(1)</sup>。しかしながら、28GHz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、カバーエリアが狭くなるという課題がある<sup>(2)</sup>。この課題を克服するために、入射角( $\theta_i$ )からの電波を所望の角度( $\theta_r$ )に反射することができるメタサーフェス(MTS)が提案されている<sup>(3)</sup>。多くは、位相勾配型 MTS の検討が行われているが、所望の反射角度( $\theta_r$ )の増加に伴い、高いサイドローブが発生してしまう<sup>(4)</sup>。近年では、サイドローブの低い反射性能を得るための設計方法が提案されている<sup>(5)</sup>。異なる長さの金属ストリップを

用いて反射位相が不均一の位相勾配となるよう設計することで、大きな反射角と低サイドローブ特性を両立している。

本論文では、(5)で提案された技術を適用し、28GHzにおける偏波共用反射型 MTS を設計した。 $0^\circ$ の入射角( $\theta_i$ )から $70^\circ$ の反射角( $\theta_r$ )への反射を実現している。

### 2. メタサーフェスの構成

図1(a)に提案した MTS のユニットセル構成を示す。セラミックと PTFE の複合基板上に設計されており、セル面積は  $2.85 \times 2.85 \text{mm}^2$  となる。表面には幅  $w$  の十字型共振器が印刷されている。垂直偏波と水平偏波との間の反射位相応答を独立に制御できるように長さ  $l_v$ ,  $l_H$  をパラメータとする。

次に、所望の反射を生じさせるために、図1(b)に示すように、寸法の異なる4つの十字型共振器( $U_1$ ,  $U_2$ ,  $U_3$ ,  $U_4$ )を配置して、一定の周期をもつスーパー

\* 機器統括部 移動通信技術開発部

\*\* ワイヤレス研究所

\*\*\* 防衛大学校

\*\*\*\* 千葉工業大学

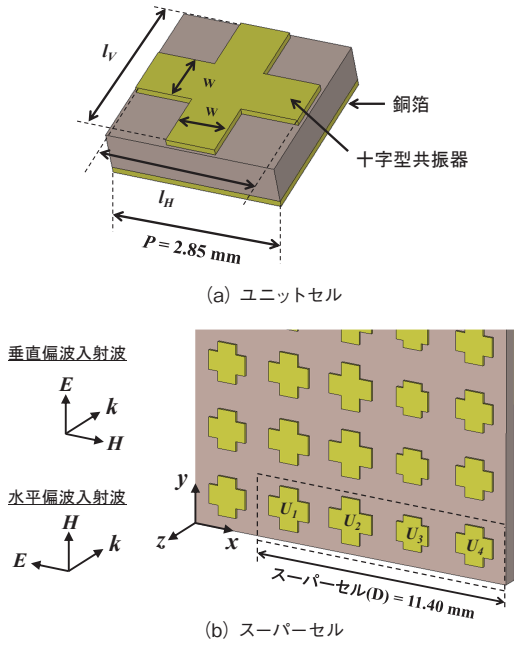


図1 メタサーフェスの構成

セルを形成した。スーパーセルの長さ  $D$  は、

$$D = \frac{\lambda_0}{|\sin \theta_i - \sin \theta_r|} \quad (1)$$

から計算される。ここで  $\lambda_0$  は自由空間の伝搬波長である。 $\theta_i=0^\circ$  および  $\theta_r=70^\circ$  の値では、設計周波数 28GHz の場合、 $D$  は約 11.40mm となる。

### 3. メタサーフェスの特性

図2は、反射角  $\theta_r=70^\circ$  を設計するために必要な MTS の反射位相を示したものである。

$$R = \frac{Z_S(x) - 120\pi}{Z_S(x) + 120\pi} \quad (2)$$

$$Z_S(x) = \frac{120\pi}{\sqrt{\cos \theta_i \cos \theta_r}} \frac{\sqrt{\cos \theta_r} + \sqrt{\cos \theta_i} e^{j\Phi_r(x)}}{\sqrt{\cos \theta_i} - \sqrt{\cos \theta_r} e^{j\Phi_r(x)}} \quad (3)$$

$$\Phi_r(x) = -k_0(\sin \theta_r)x + k_0(\sin \theta_i)x \quad (4)$$

$R$  は MTS の反射係数、 $Z_S$  は MTS の表面インピーダンス、 $\Phi_r(x)$  は反射位相である。

得られた結果から、反射位相が  $-180^\circ$  から  $180^\circ$  ままで変化していることが確認できる。しかし、前項で

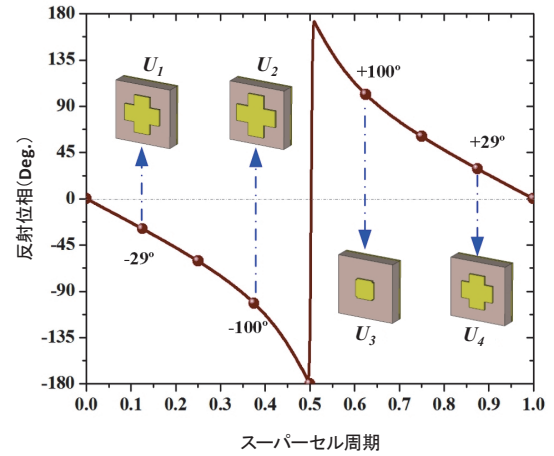


図2 反射角  $70^\circ$  の設計のための反射位相

述べたようにスーパーセルは4つの十字型共振器(ユニットセル)で構成されているため、 $U_1, U_2, U_3, U_4$  の各位置における反射角  $70^\circ$  の設計のための反射位相は、それぞれ  $-29^\circ, -100^\circ, +100^\circ, +29^\circ$  となる。

これらの4つの位相の値を、垂直・水平偏波の両方で達成するために、 $l_v$  と  $l_h$  を変化させ、ユニットセルのシミュレーションを行った。十字型共振器は  $x$  軸、 $y$  軸に沿って構成され直交しているため、 $l_v, l_h$  をそれぞれ変化させても垂直・水平偏波の反射位相応答は互いに影響せず独立している。

次に、反射波を調べるために、 $15\lambda_0 \times 15\lambda_0$  の有限表面積を持つ MTS のレーダ断面積 (RCS) を計算した。MTS には、図1(b)に示すように、垂直または水平偏波を照射し、 $x$ - $z$  平面上での RCS パターンを求め、図3(a)に示した。MTS は  $70^\circ$  方向に入射波を反射していることが確認できるが、 $0^\circ$  及び  $-70^\circ$  では高いサイドローブが発生している。そこで、MTS の性能を向上させるために、 $l_v$  と  $l_h$  をさらに最適化した。図3(b)は、最適化された  $l_v$  と  $l_h$  の値を設定した場合の RCS 放射を示している。垂直・水平偏波の両方において、サイドローブレベルはメインローブと比べ 10dB 以下を実現した。

### 4. ま と め

十字型共振器を用いた 28GHz 帯偏波共用反射型メタサーフェスを開発した。これは、第5世代移動通信システムのカバレッジエリアの拡大に適している。





製品紹介

# 近傍界指向性測定システム

小倉 大岳\*

## Near Field Radiation Pattern Measurement System

Hirotaoka Ogura

アンテナ指向性測定装置として、当社鹿沼工場に新たに近傍界測定システム SG64L を導入した。本測定システムは、アンテナ近傍の電界強度と位相から遠方界指向性を求める測定システムであり、比較的狭い電波暗室でも大口径アンテナの遠方界指向性を測定することができる。本稿では、その装置概要と仕様について紹介する。

As an antenna radiation pattern measurement system, a new near field measurement system SG64L was introduced at our Kanuma Plant. This measurement system can measure the far field radiation pattern of a large aperture antenna even in a relatively small anechoic chamber. In this paper, the outline and specifications of the system are provided.

### 1. はじめに

近年の移動通信分野における発展はめざましく、世界中で第5世代移動通信(以下、5G)のサービスが競い合うように開始されている。日本国内においても例外ではなく、3.7GHz帯を始めとするSub6帯を用いた5Gのサービスが開始された。5Gでは高速・大容量通信を実現するため、これまで以上に通信速度を含めた通信品質が重要視されるようになった。基地局アンテナにおいては、通信品質の劣化要因となる不要方向への放射の抑制など、求められる性能は高度化していく傾向にある。また、サービスエリア設計はこれまで2次元指向性を用いて検討されてきたが、より高品質なサービスを展開するため、3次元指向性を用いたエリア設計も進められている。

当社鹿沼工場に新たに導入した近傍界測定システムは、アンテナ近傍における電界強度と位相を測定し遠方界指向性を求める近傍界測定システムであり、被測定アンテナを中心にアーチ状に配置された63個のプロープにより、全方位の電界強度と位相を測定することで3次元指向性を求めることができる。

### 2. 近傍界測定

通常、アンテナの指向性を測定する場合は、被測

表1 遠方界測定と近傍界測定の比較

	メリット	デメリット
遠方界測定	<ul style="list-style-type: none"> <li>測定システムが比較的簡易</li> <li>測定結果の複雑な解析が不要</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>広い測定環境が必要</li> <li>外部(天候、周囲構造物)の影響を受ける(屋外測定サイト)</li> <li>他回線の干渉を受ける</li> </ul>
近傍界測定	<ul style="list-style-type: none"> <li>小さな電波暗室で測定が可能</li> <li>天候の影響を受けない</li> <li>他回線の干渉を受けない</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>測定結果を遠方界に変換するための複雑な解析が必要</li> <li>測定システムが複雑</li> </ul>

定アンテナと測定用アンテナとの間に、十分な距離を取り対向させて測定する遠方界測定が一般的である。しかし、基地局アンテナのような、波長に対してアンテナ開口が大きいアンテナでは、十分な距離を持つ広い測定環境を確保することが難しく、屋外測定サイトでは天候等の外的要因の影響を受けてしまう問題がある。

遠方界測定と近傍界測定の比較表を表1に示す。近傍界測定は、被測定アンテナ近傍の電界強度と位相を測定し、その結果から遠方界指向性や利得を求める測定方法であり、比較的小さな電波暗室にて大口径のアンテナが測定可能である。

### 3. 近傍界測定システム 装置概要

表2に装置概要を、写真1に装置外観を示す。現在、移動通信では主に700MHz帯からSub6帯(5GHz

\* 機器統括部 移動通信技術開発部

表2 近傍界測定システム 装置概要

項目	仕様
測定周波数範囲	0.4GHz~6GHz
最大利得 精度	0.4-0.8GHz: ±0.7dB 0.8-6GHz: ±0.5dB
-20dB サイドロープレベル測定精度 (被測定アンテナ 利得: 20dBi)	0.4-0.8GHz: ±0.9dB 1-6GHz: ±0.7dB
暗室寸法	8m×8m×7m
被測定アンテナ 最大寸法	2.7 m
被測定アンテナ 最大重量	120kg
測定速度 (2GHz 帯、1port)	約3分 (測定周波数およびアンテナ寸法による)

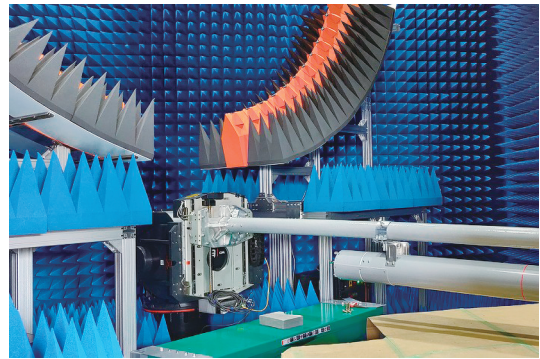


写真2 測定架台へのアンテナ取付

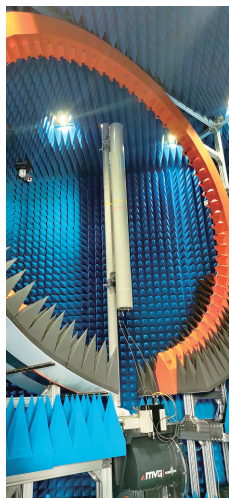


写真1 近傍界測定システム

帯)の周波数帯が使用されており、本測定システムは全ての周波数帯の測定に対応している。また、被測定アンテナの最大寸法は2.7mとなっており、現在主流となっているほぼ全ての基地局アンテナを測定することができる。

本測定システムの最大の特徴は、多プローブ方式を用いた高速測定であり、アーチ状に配置された63個のプローブを、スイッチングしながら各方向における電界強度と位相を測定し、被測定アンテナを180°回転するだけで3次元指向性を測定することができる。従来の遠方界測定では、垂直面内指向性、水平面内指向性、交差偏波識別度、利得を、それぞれ個別に測定する必要があり、測定項目に応じたアンテナの設置が必要であったが、本測定システムでは、それらすべての項目を一度に測定可能であり、大幅な測定時間の短縮が可能となる。

また、測定架台に被測定アンテナを取り付ける際に、遠方界測定サイトでは屋外での高所作業を伴っ

たが、本測定システムでは写真2の通り、電波暗室内で作業が行えるうえ、取付架台を水平に倒した状態でアンテナを取り付けることが可能であることから、安全に測定作業を行うことができる。

#### 4. 3次元指向性評価の必要性

図1に示す4素子のひし形配置アンテナモデルについて、2次元指向性(垂直面内指向性、水平面内指向性)の計算値を図2に示す。これまでの垂直面内指

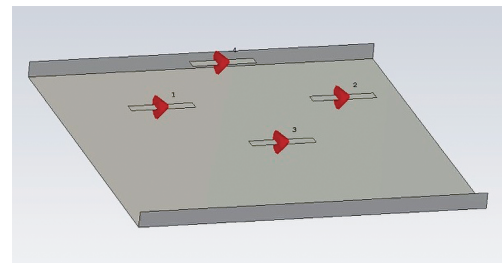


図1 ひし形配置モデル

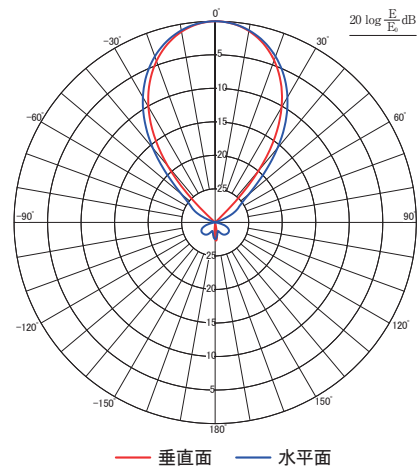


図2 2次元指向性

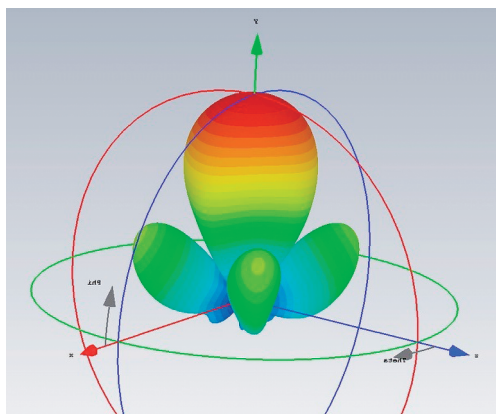


図3 3次元指向性

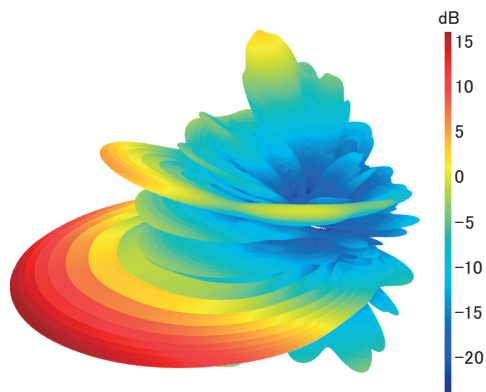


図4 3次元指向性

向性と水平面内指向性の2つの2次元指向性による評価では、ひし形配置モデルの指向性はサイドローブが抑制された良好な指向性に見える。しかし、図3に示した図1モデルの3次元指向性計算値では、大きなサイドローブが発生していることが分かる。図2の垂直面内指向性は、図3における3次元指向性の赤線上における指向性であり、水平面内指向性は青線上における指向性を示しており、サイドローブが発生していない面を評価していることから良好な指向性と見えてしまう。このように、2次元指向性では、測定するカット面によってサイドローブが小さく見えてしまう。

実際の運用上では、2次元指向性では評価していない方向における放射も、隣接局への干渉となり通信品質の劣化要因となる。そのため、更なる通信速度の向上が期待されている5G向け基地局アンテナでは、3次元指向性にて評価を行うことで、2次元指向性では評価することができない方向における不要波も抑制することが必要となる。

### 5. 3次元指向性測定結果

基地局アンテナとして一般的なセクタアンテナの、3次元指向性測定結果を図4に示す。3次元指向性の測定が可能となったことで、2次元指向性では評価する事が出来なかった方向への放射を実測により確認できるようになった。また、3次元指向性の所望の面を切り取ることで、図5、図6のように垂直面内指向性と水平面内指向性の2次元指向性としても出力することが可能である。

今後、既存の遠方界測定システムの測定結果と本測定システムの測定結果との整合性の確認、および

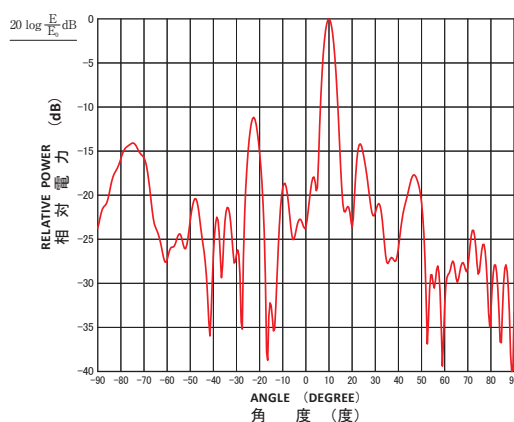


図5 2次元指向性(垂直面)

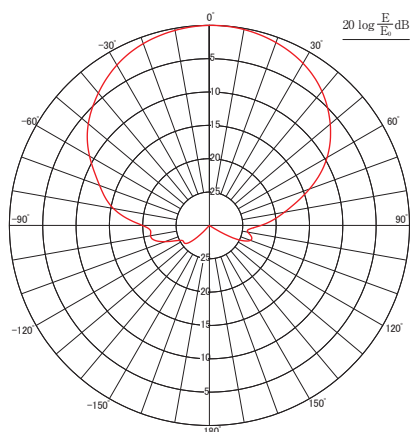


図6 2次元指向性(水平面)

適切な測定条件について、検証・検討を進めていく予定である。





製品紹介

# 地上波 4K・8K 実験局用 偏波共用アンテナの製品化

松本 伸史\* 榎 慶人\*\*

## Commercialization of Polarization-Sharing Antennas for Terrestrial 4K and 8K Experimental Stations

*Shinji Matsumoto and Yoshito Masu*

当社では 2019 年度に、地上波による 4K・8K など放送サービスの高度化の調査検討を目的とした福岡実験試験局整備を受注した。放送用送信アンテナは、これまで水平偏波または垂直偏波の単一偏波アンテナが使用されてきた。しかし、同実験局向けに要求されたアンテナは、UHF 帯 4 ダイポールアンテナ相当の性能を有する偏波共用アンテナであるため、新規に開発し製品化を行った。本稿では開発した製品の概要について報告する。

In FY2019, we received an order for the construction of an experimental test station in Fukuoka, Japan, for the purpose of investigating the advancement of terrestrial broadcasting services such as 4K and 8K. Until now, single-polarization antennas with horizontal or vertical polarization have been used for broadcast transmitting antennas. The antenna required for the Fukuoka experimental station was a polarization-sharing antenna with performance equivalent to a UHF quad-dipole antenna, so we developed and commercialized a new antenna. In this paper, we report the outline of the developed product.

### 1. はじめに

一般社団法人放送サービス高度化推進協会(略称:A-PAB)は、総務省から『放送用周波数を有効活用する技術方策に関する調査検討』の委託を受け、「新たな放送サービスの実現」を目的とし、東京・名古屋・大阪・福岡の実験試験局で、地上波による 4K・8K 放送の実現に向けた実証実験を行っている。当社はこの 4 局の内、福岡タワーに開設する福岡実験試験局設備を受注した。

4K・8K 放送は現行のフルハイビジョン放送に対して 4K で 4 倍、8K で 16 倍の画素数で構成される。このため、地上波で 4K・8K 放送を実現するためには、大容量伝送技術が必要となる。その技術のひとつとして偏波多重 MIMO<sup>\*1</sup> 技術が検討され、福岡実験試験局向けアンテナにおいても、従来放送用送

信アンテナに使用されてきた単一偏波アンテナではなく、偏波多重 MIMO に対応した偏波共用アンテナが採用されることとなり、新規開発の実施及び納品を行った。

本報告では、福岡実験試験局向けに開発した偏波多重 MIMO 対応の偏波共用 4 ダイポールアンテナ 2 段 3 面に関して報告する。

### 2. 仕様

福岡実験試験局向けアンテナシステムの仕様を表 1 に示す。偏波面は水平および垂直偏波、利得は水平偏波 4 ダイポールアンテナ相当の 9.2dBd である。偏波共用アンテナであるため、交差偏波識別度と偏波間結合量の仕様も盛り込まれた。

\* 機器統括部 固定通信技術開発部  
\*\* 支店統括部 九州支店

\*1 MIMO:無線伝送において複数のアンテナで送受信することで、伝送容量や伝送品質を上げる技術。

表 1 福岡実験試験局アンテナシステム仕様

項目	内容
アンテナ形式	偏波共用 4 ダイポールアンテナ 2 段 3 面
偏波面	水平および垂直偏波
使用周波数	51ch (698MHz ~ 704MHz)
入力インピーダンス	50 Ω
アンテナ利得	アンテナ単体にて 9.2dBd 以上
VSWR	アンテナ単体にて 1.2 以下
交差偏波識別度	アンテナ単体にて 15dB 以上 (指向性半値角の範囲にて)
偏波間結合量	30dB 以上

### 3. 外観・構造

開発した偏波共用アンテナの外観図を図 1、放射素子概略図を図 2 に示す。外観は反射板と放射素子を保護するカバーからなり、入力端子は水平偏波、垂直偏波の 2 端子を有する構造である。カバー内部の放射素子配置は、水平偏波はダイポール素子 1 列 4 段、垂直偏波はダイポール素子 2 列 2 段の構成とした。放射素子の設計については、シミュレーションにより指向性、VSWR、偏波間結合量の特性の最適化を図り、試作機を用いた評価にて各特性の確認を行いながら製品へ反映した。

また、放送用アンテナの単一偏波用アンテナパネル内の給電回路は、同軸線路で電力分配し、その後バランを経て平衡線路で放射素子に給電するのが一般的であった。この方式を偏波共用アンテナに採用した場合、水平偏波用と垂直偏波用それぞれの同軸線路、平衡線路が交差し、複雑な回路構成になってしまう。そこで、偏波共用アンテナ用アンテナパネル内の給電回路においては、ストリップライン構造を採用し、給電回路の簡素化を図った。

### 4. 単体特性

#### 4.1 VSWR, 偏波間結合量

VSWR 特性および偏波間結合量を図 3 に示す。VSWR (規格: 1.2 以下)、偏波間結合量 (規格: 30dB 以上) とともに仕様を十分満足した結果が得られた。

#### 4.2 指向性

アンテナ単体指向性を図 4 に示す。水平、垂直偏波ともに利得および交差偏波識別度は仕様を十分満足した結果が得られた。

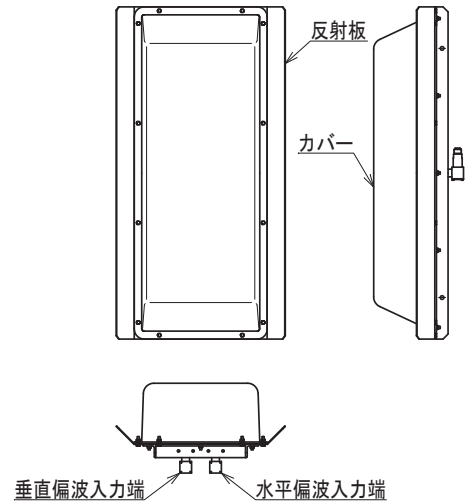


図 1 外観図

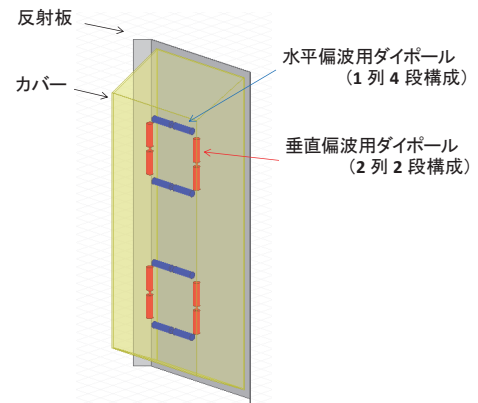


図 2 放射素子概要図

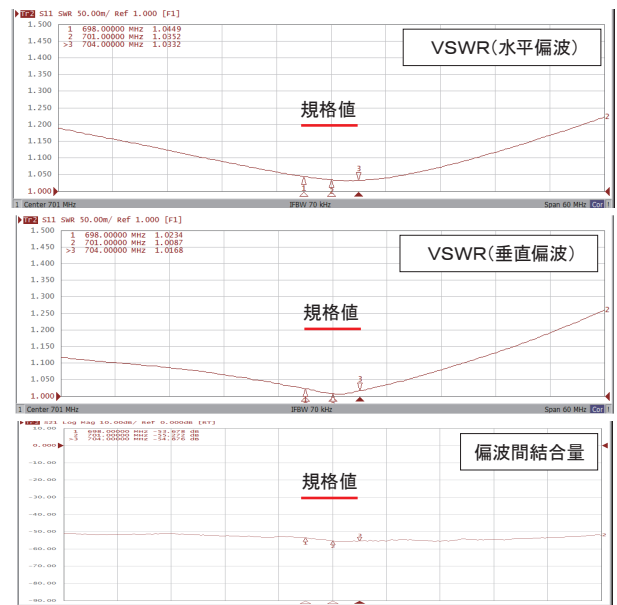


図 3 VSWR 特性・偏波間結合量 (アンテナ単体)



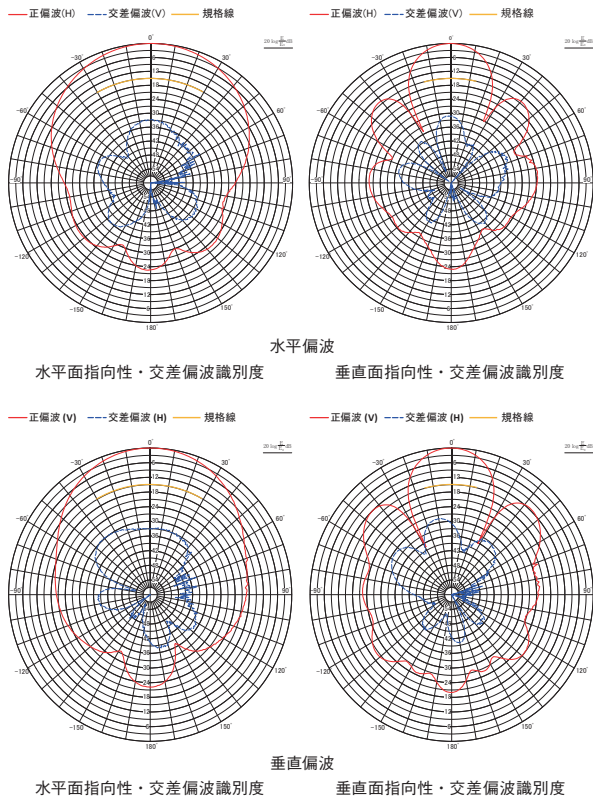


図4 アンテナ単体指向性

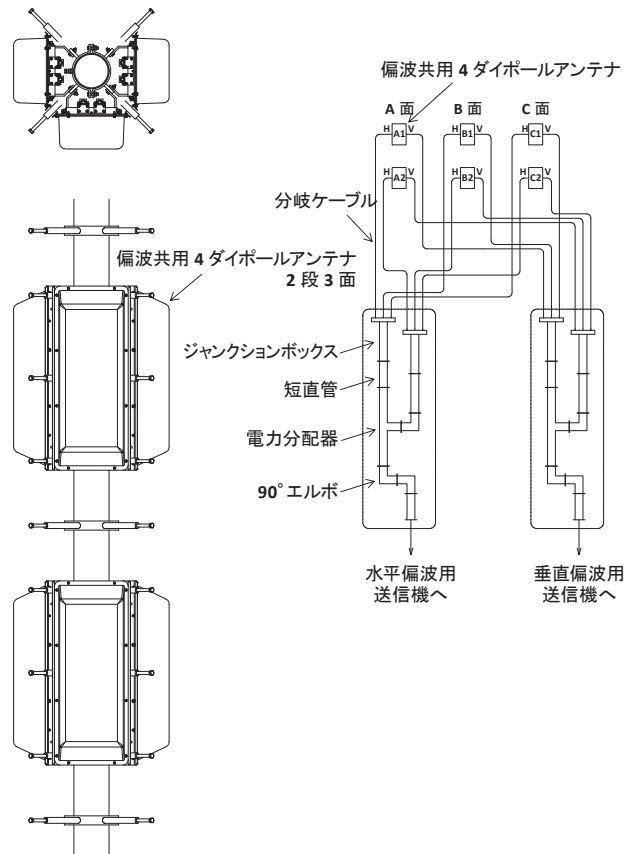


図5 福岡実験試験局アンテナシステム概要

### 5. 福岡実験試験局アンテナシステム概要

福岡実験試験局アンテナシステム概要を図5に示す。アンテナ構成は偏波共用アンテナ2段3面の構成である。設置後のアンテナシステムを写真1に示す。福岡タワーの地上高212mの鉄塔側面に設置された。

### 6. 総合性能

アンテナシステム入力端におけるVSWR特性、偏波間結合量を図6に示す。VSWR、偏波間結合量ともに規格を十分満足した結果が得られた。また、アンテナシステム指向性を図7に示す。

### 7. むすび

偏波多重MIMOに対応した偏波共用アンテナを開発し、福岡実験試験局へ納品した。今後も地上波4K・8K放送に向けた実証実験への製品供給を通して、地上波4K・8K放送の実現に向けて貢献していく。

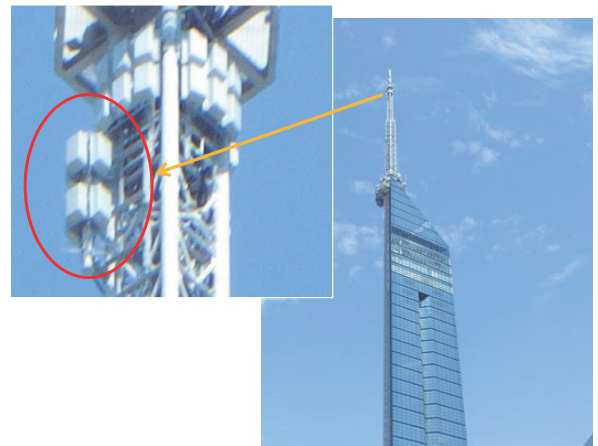


写真1 福岡実験試験局アンテナシステム概要

〒100-0005  
 東京都千代田区丸の内三丁目3番1号 新東京ビル  
 電気興業株式会社 中央統括部 中央営業部  
 営業一課  
 TEL : 03-6269-9057 FAX : 03-3216-1669



製品紹介

# 大型傾斜空中線支持フレームの製品紹介

木下 宗近\*      佐々木賢一郎\*\*  
 松下 匡\*\*\*      溝井 俊之\*\*\*\*

## Large Inclined Antenna Support Frame Product

Munechika Kinoshita, Kenichiro Sasaki, Tadashi Matsushita and Toshiyuki Mizoi

本稿は、日本電気株式会社殿より受注した大型傾斜空中線支持フレームの設計・製作・検査業務を紹介するものである。当社の扱う従来の鉄塔等鋼構造物に比べ、高い製品精度の要求への対応が必須であり、設計・製作・検査各工程において、様々な協議、検討を重ね、要求性能を満足する製品構築を達成した。本製品と同様な製品精度への対応は、当社の鉄構関連事業において事業範囲拡張に寄与し、今後の受注拡大へも期待されるものである。

This paper describes the design, fabrication and inspection of a large inclined antenna support frame ordered by NEC Corporation. Compared to the conventional steel structures such as steel towers that we deal with, it was essential to meet the requirement for high product accuracy, and we achieved the development of a product that satisfied the required performance through various discussions and examinations in the design, fabrication, and inspection processes. This product and the ability to meet similar product accuracy requirements will contribute to the expansion of the scope of the steel structure-related business and is expected to expand orders in the future.

### 1. はじめに

当社は、空中線の支持物として様々な鉄塔等鋼構造物（以下、鉄塔等と記す）の設計・製作に携わってきた。鉄塔等は、建築基準法及び関連法令に準拠して設計が行われ、製作は日本建築学会各種規準に準拠して行われるのが一般的である。

鉄塔等に求められる製作精度は、日本建築学会の「建築工事標準仕様書 JASS6 鉄骨工事」「鉄骨精度測定指針」に準拠しており、一般的な建築鉄骨の製品精度と同等としている。

今般、当社では、大型傾斜空中線を収める空中線フレーム及びそれらを支持する大型傾斜空中線支持フレーム（以下、支持フレームと記す）を受注した。本稿では、当部門で担当した図1に示す支持フレームについて述べる。搭載される大型傾斜空中線の要

求性能を満足すべく、従来の鉄塔等に比べ高い製品精度が要求された。加えて、支持フレームの設置場所の荷重制限があり、大型鉄骨構造物ながら、精度確保のための支持フレーム剛性（外力を加えて変形しようとするとき、その変形に抵抗する性質）確保と軽量化という、相反する要求性能に対応した製品を構築する必要があった。

設計から製作・検査までの各工程間の協議を重ね、

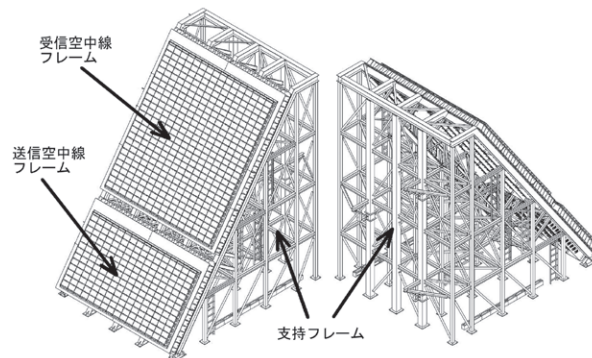


図1 支持フレーム全体図

\* 支店統括部 仙台支店  
 \*\* 中央統括部 安全品質管理部  
 \*\*\* 中央統括部 中央営業部  
 \*\*\*\* (株)デンコー 鉄構生産部



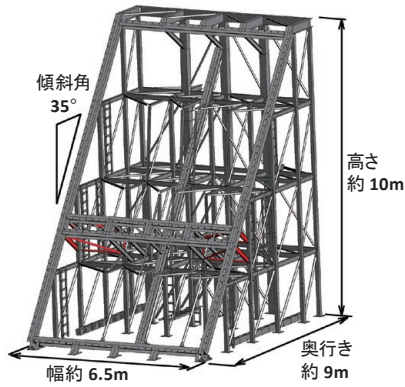


図2 支持フレーム概要図

表1 主な要求事項

No.	項目	要求事項
1	傾斜角	送受信空中線フレームを実装した状態で傾斜角35°~35.5°であること。
2	面精度	送受信空中線フレームを実装した状態で取り付け面の平面度(たわみ)が-4mm以下であること(設計+製品で-4.0mm以下を満足すること)。
3	組立再現性	現地にて、工場出荷検査同等の製品仕様を満足するよう再現性に配慮した設計とすること。
4	吊上安全性	現地にて、製品を組立てる際に、安全に吊上げ可能とすること。

要求性能を満足するための構造形式の決定、製作ディテールの構築、検査手法の確立など、様々な課題をクリアし製品実現に至った。

## 2. 製品概要及び要求事項

支持フレームは、図2に示す通り、高さ約10m、奥行き約9m、幅約6.5m、傾斜角35°~35.5°の三角錐体構造である。傾斜部分が支持フレームの正面、送受信空中線及び空中線支持フレームの取り付け面である。この取り付け面は、空中線の性能を維持するために高い精度が要求されている。主な要求事項を、表1に示す。

## 3. 支持フレームの設計

支持フレームの設計においては、空中線支持フレーム取り付け面の剛性と面精度確保、及び支持フレーム軽量化のための構造形式の選定が重要であった。

まず、剛性確保のためには、一般的に支持フレームの構成部材の大型化を進める必要があり重量増大に繋がる。本製品は、重量制限により軽量化をも達

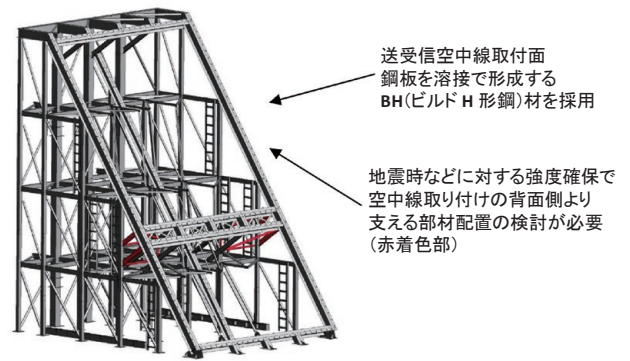


図3 支持フレームの構造

成しなければならない。最適化設計のために構成部材サイズと構造形式を変更しながら繰り返し解析を行う必要があった。そのため、設計の初期計画段階より、空中線フレーム、製作・関連部門とのデザインレビューを頻繁に実施し、空中線フレーム取り付け面への支持方法、取り付け面の構造形式、加工方法など、様々な協議を行った。

支持フレームの構造は、4層のトラスとラーメンの複合形式を採用した。図3に支持フレームの構造を示す。送受信空中線取り付け面は、H形鋼を採用することとしたが、面精度の観点から、鋼板を溶接で形成したBH(ビルドH形鋼)材を採用した。

面精度確保のため、等間隔で側面を鋼板で補強している。送受信空中線フレームは、送信、受信それぞれ分割構造となるため、上部及び下部に大きな開口部が必要となり、構造的に地震時などに対する剛性の確保が難しい。取り付け面を背面側より支える部材の配置について工夫が必要であった。

## 4. 支持フレームの製作

支持フレームの製作においては、送受信空中線フレーム取り付け面の平面度確保のため製作上の構造形式選定が重要となった。写真1に示す通り、送受信空中線フレーム取り付け面構造材のBH材の前面に、厚さ22mmのステンレス板を全長にわたり溶接接合で張り付け、機械加工を施し製品面精度を確保することとした。

製品製作に先立ち、送受信フレーム取り付け面の部分的試作を実施し、機械加工方法及び構造形式の妥当性を確認することとした。試作部分を図4及び写真2に示す。

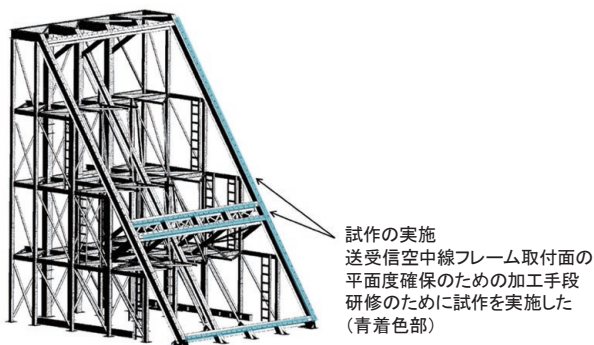
通常、鉄塔の仮組は製品寸法確認のため部分的に



写真1 BH材前面加工状況



写真3 仮組立状況(背面)



試作の実施  
送受信空中線フレーム取付面の  
平面度確保のための加工手段  
研修のために試作を実施した  
(青着色部)

図4 支持フレーム試作材



写真4 仮組立状況(正面)



写真2 支持フレーム試作材

実施することが多い。しかしながら、本支持フレームは、製品精度確保や組立再現性(現地にて工場出荷検査同等の製品仕様を満足する)の要求事項を満足させるために全数組立てによる仮組とした。組立方法・手順の構築、現場での組立再現のため部材合わせ位置をあらかじめマーキングするなど、製作時点で取り得る手立てを実施した。写真3、写真4に仮組立状況を示す。

### 5. 支持フレームの検査

支持フレームの検査は、従来の鉄塔等の検査手法、測定精度では対応できない高い精度が必要であり、

検査手法からの検討が必要であった。多方面の測定技術を検証した結果、レーザー光を使用した測定方法が高い精度で測定できることが分かり、レーザー光と同等の精度でありながら、簡単な方法で測定可能なDPA方式(デジタル・フォトグラメトリ)システム(以下DPA)測定器がベストであると判断し、使用することとした。

DPAは、2次元の測定方法とは異なり、光学カメラを使用して測定を行うことにより測定物の全体像の3次元測定解析ができる。合わせて、上下・左右寸法の誤差測定も可能となった。初めてDPA測定器を使用するため、検査手法の確認や検査員教育等の為、実検査測定前にデモ品を作成して検査方法のシミュレーションを行うことで、検査手法を確立した。DPAは特殊な測定方法を必要とするものではなく、汎用デジタルカメラでの撮影と同じである。基本的な操作方法を習得すれば、容易に検査業務を行うことができるため、今後の検査業務範囲の拡大、







## 製品紹介

東日本放送殿新社屋 ねじれ構造鉄塔  
(構造設計から製品製作) の紹介

牧羽 祥光\*      岡田 厚志\*  
吉岡 信昭\*\*    白田 雄一\*\*\*

**A Steel Tower with Twisted Structure on The New Building of  
Higashi Nippon Broadcasting Corporation  
(from Fstructural Design to Manufacturing)**

*Akimitsu Makiba, Atsushi Okada, Nobuaki Yoshioka and Yuichi Sirata*

本稿は、株式会社東日本放送殿の新社屋屋上に搭載する四角断面 25m 鋼管鉄塔の設計・製作について紹介するものである。本鉄塔は、意匠性を高めることを目的に、支柱材を斜め配置するねじれ形状を採用しているため、支柱材配置により制約された鉄塔内空間を有効に活用することが求められた。そのため、設計・製作各段階において様々な協議・検討が重ねられ、製品構築が実現した。従来の鉄塔構造とは異なる特異な構造への対応であり、特筆される事例として紹介する。

This paper describes the design and manufacturing of a square cross section 25 m steel pipe tower to be installed on the roof of the new building of the Higashi Nippon Broadcasting Corporation. For enhancing the design, this tower adopts a twisted shape in which the main pillars are arranged diagonally. And it was required to effectively use the restricted space inside the tower. Therefore, various discussions and examinations were held at each stage of design and manufacturing, and the product manufacturing was achieved. This is a noteworthy example of a unique structure that differs from conventional steel tower structures.

## 1. はじめに

本鉄塔は、あすと長町社の広場公園に隣接する東日本放送殿新社屋屋上に建設され、建物意匠と調和した、ねじれ構造を東日本放送殿からのご指示で採用している。アンテナ支持を主目的とする鉄塔としては、意匠性重視による特異な構造となっている。

本鉄塔の最下部は、建物と正対しているが、2 節目より上部の支柱材を垂直に対して 5° 傾斜した構造とすることで、視覚的なねじれを表現している。そのため、支柱材に取り付く水平梁材が単純平面ではなく、立体的、3 次元的な方向に取り付くため、水平梁材の配置が高さにより異なる。鉄塔内に設置される階段の昇降ルート、アンテナケーブル布設用垂直ラックの保持材、及び鉄塔外面に設置される意匠

目的の目隠しルーバー材の位置決定においては、2 次元(平面)と 3 次元(立体)を融合した手法での設計・製作が必要であった。本稿では、設計から製作まで手法・内容を紹介する。

## 2. 設計クライテリアについて

### 2.1 構造概要

鉄塔の構造概要は、次の通りである。

- a) 構造形式：屋上式四角断面鋼管鉄塔
- b) 構造：ラーメン構造(最下部のみトラス構造) (溶融亜鉛めっき)
- c) 接合：溶接接合(最下部と水平材はボルトによる摩擦接合)
- d) 高さ：25.2 m (建物屋上面より)
- e) 根開き：9.0 m
- f) 脚部：ボルト接合方式(露出柱脚とした)
- g) 使用材料：

\* 中央統括部 技術部  
\*\* 支店統括部 仙台支店  
\*\*\* (株)デンコー 鉄構生産部

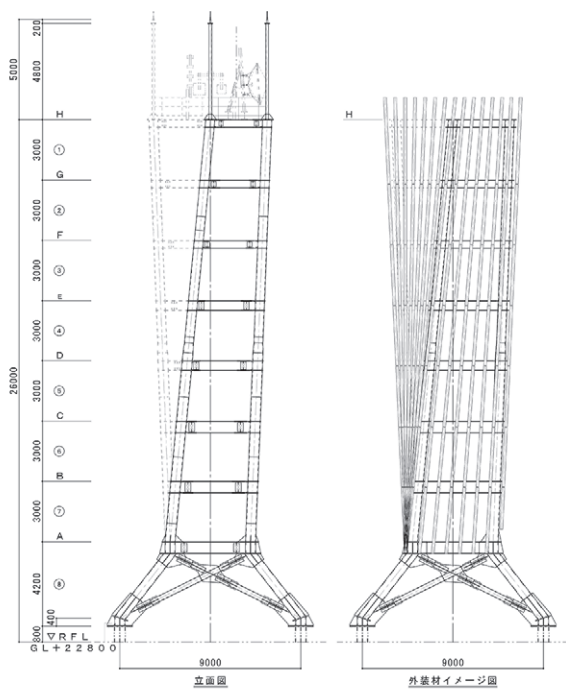


図1 鉄塔立面図

- 鋼材：建築構造用炭素鋼鋼管 JIS-G3475 (STKN490B)
- 一般構造用炭素鋼鋼管 JIS-G3444 (STK400)
- 建築構造用圧延鋼材 JIS-G3136 (SN490B, SN490C)
- 一般構造用圧延鋼材 JIS-G3101 (SS400)

図1, 図2に鉄塔設計図を示す。

## 2.2 鉄塔の強度計画

鉄塔は、耐風性、耐震性が求められ、外力に対して安全でなければならない。外力の諸元は、次の通りである。

- a) 風荷重：建築基準法，地上デジタル放送用送信設備設計共通仕様書に依る  
設計用地表面粗度区分：Ⅲ  
設計用基準風速：30 m/sec
  - b) 地震荷重：通信鉄塔設計要領・同解説(一社)建設電気技術協会に依る  
地震地域係数：Z=1.0  
標準せん断力係数：Co=1.0
- また、諸元は、以下の通りとした。  
鉄塔一次固有周期  $T_t$ ： $T_t = 0.504$  秒

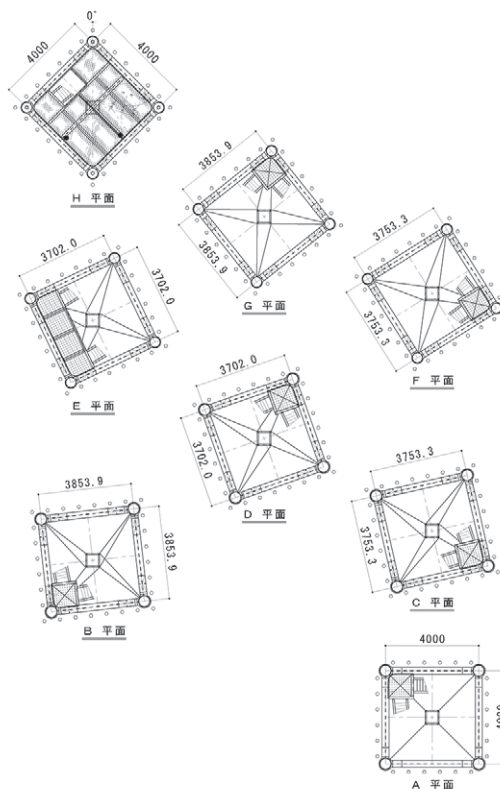


図2 鉄塔平面図

建物固有周期  $T$ ：鉄骨造のため、 $T = 0.68$  秒

鉄塔上部構造の設計目標は、次の通りとした。

- 長期荷重時：長期許容応力度以下
- 稀荷重時(暴風時)：短期許容応力度以下
- 極稀荷重時(地震時レベル2，弾性設計)：短期許容応力度以下

特に、地震時の極稀荷重時においては、弾性設計、短期許容応力度以下を設計目標としているのは、極稀荷重時においても通信機能を損なわないためである。

## 3. 応力解析について

### 3.1 構造モデル及び応力解析モデル

鉄塔の構造モデルは、節点番号・部材番号・結合条件および境界条件により構成される立体骨組モデルとした。構造モデルの鉄塔基部接合形式は、ピン接合とした。

応力解析は、三次元任意形状フレームモデルの構造解析が可能な『STAN / 3D』を使用した。

応力解析モデルは、平面軸の X 軸，Y 軸を中心に

対称となる正方形断面を、最下節(A面)の図心を軸とし、2節目より上部平面を各節毎に左回りに45°回転させて構築した。鉄塔各層の座標点は、解析モデル図より座標点を抽出する手法を採用した。

図3に鉄塔解析モデル図を示す。主柱材を2節目

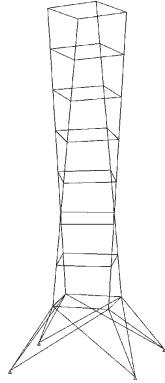


図3 鉄塔モデル図

表1 荷重ケース

荷重ケース	荷重方向
荷重ケース1	鉄塔自重及びアンテナ重量等の固定・積載荷重
荷重ケース2	風圧時0°方向
荷重ケース3	風圧時45°方向
荷重ケース4	地震時0°方向
荷重ケース5	地震時45°方向
荷重ケース6	ねじり力

表2 組合せ荷重ケース

組合せ荷重	荷重ケース
組み合わせ荷重ケース1	荷重ケース1 + 荷重ケース2
組み合わせ荷重ケース2	荷重ケース1 + 荷重ケース3
組み合わせ荷重ケース3	荷重ケース1 + 荷重ケース4
組み合わせ荷重ケース4	荷重ケース1 + 荷重ケース5

表3 通しダイアフラムの設計

TYPE	部材	H (mm)	B (mm)	tw (mm)	tf (mm)	bf (mm)	dc (mm)	td (mm)	ダイアフラム (mm)	
1	梁材	H390 × 300 × 10 × 16	390	300	10	16	300	447.7	18.6	PL-22
	柱材	φ 457.2 × 9.5	457.2	9.5						
2	梁材	H390 × 300 × 10 × 16	390	300	10	16	300	441.2	18.8	PL-22
	柱材	φ 457.2 × 16.0	457.2	16.0						
3	梁材	H-488 × 300 × 11 × 18	488	300	11	18	300	441.2	21.2	PL-25
	柱材	φ 457.2 × 16.0	457.2	16.0						
4	梁材	H-488 × 300 × 11 × 18	488	300	11	18	300	489.0	19.1	PL-25
	柱材	φ 508.0 × 19.0	508.0	19.0						
5	梁材	H-588 × 300 × 12 × 20	588	300	12	20	300	489.0	21.3	PL-25
	柱材	φ 508.0 × 19.0	508.0	19.0						
6	梁材	H-588 × 300 × 12 × 20	588	300	12	20	300	486.0	21.4	PL-25
	柱材	φ 508.0 × 22.0	508.0	22.0						

より傾斜させることによって、視覚的に鉄塔がねじれた印象をもたらしている。

応力解析を行う荷重ケースは、表1に示す6ケースとした。また、荷重ケースの組合せは、表2に示す4ケースとした。

### 3.2 断面算定について

本鉄塔は、柱と梁の剛性を考慮した断面算定を行う必要がある。断面算定に必要な柱の座屈長さは、日本建築学会「鋼構造許容応力度設計規準」P. 91の柱頭の水平変位が拘束されていない柱の強度とした。

### 3.3 柱梁接合部の検討

柱梁接合部は、溶接構造であるため通しダイアフラムを有する。通しダイアフラムの設計については、ダイアフラムと梁の降伏点を同一とする検討とした。

図4、表3に検討方法を示す。

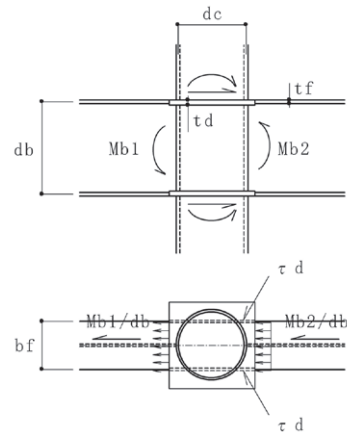


図4 通しダイアフラム概略図



### 3.4 最下層柱頭ダイヤフラムの軸力曲げ伝達

本鉄塔の構造モデル上、解析モデル基線と製作時基線に若干のずれが生じるため、基線のずれにともなう偏芯曲げを考慮し接合部パネルの検定を行う必要がある。

最下層柱頭の格点は、構造構成上、ダイヤフラム、補剛プレートが配置されている。

日本建築学会「鋼構造塑性設計指針」を踏襲し検定を行った。図5に解析モデル基線と製作時基線、表4にディテール検討を示す。

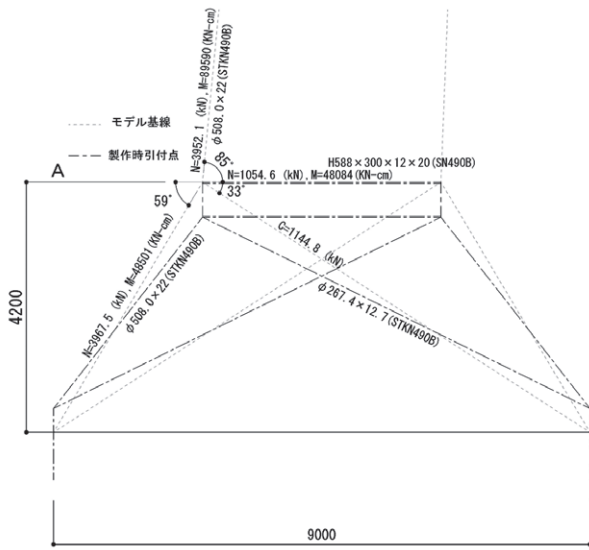


図5 モデル基線と製作時基線

表4 接合部パネルの設計

主材サイズ	φ508.0×22.0
材質	STKN490B
梁材	H588×300×12×20
材質	SN490B
・接合パネルモーメント	—
$pM = (bM_R + dbxN4) \times \sqrt{2}$	601835.48
$bM_R$ (kN・cm)	372688.99
$db$ (cm)	58.8
・全塑性モーメント	—
円形中空断面柱: $pM_D = Vex \sigma_v / \sqrt{3}$	2359331.714
$Ve = 2 \times dc \times db \times tp$	2573.792
$db$ (cm)	58.8
$tp$ (cm)	2.2
$de$ (cm)	48.6
全塑性モーメント比	3.920227045
$pMp > pM$	o.k

## 4. 図面、現寸について

製作図面作成では、2次元CADと3次元CADを併用し、双方の利点を取り入れた。製作図面作成後に実施する現寸作業では、その3次元作図データを活用した。図6、図7にそれぞれ3次元CAD図を示す。

工事現場打合せでは、作成した3次元CAD図を活用した構造協議を重ねることで、元請け工事会社殿との検証をスムーズに行うことが可能となった。特に、鉄塔内部水平材の配置については、次に示す留意事項の確認を図面段階で行うことができた。

### a) 昇降階段有効高さの確保

本鉄塔の昇降は、鉄塔内部に設置された階段

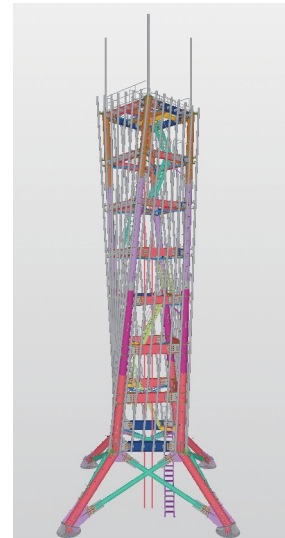


図6 立面モデル図(3DCAD)

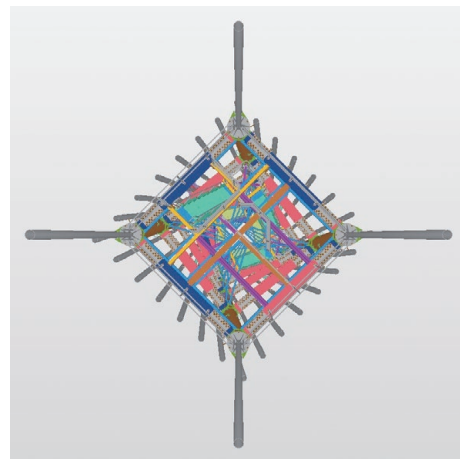


図7 平面モデル図(3DCAD)

を使用して行う。鉄塔材で囲まれた空間を利用して安全に昇降できる設計とする必要があるが、主柱材が傾斜して配置されているため、昇降スペースの確保、昇降のための階段有効高さの確保が必要であった。

b) 方杖材との干渉検証

鉄塔構造を構築するためには様々な部材を配置する必要がある。上側部材を下方から支える方杖材の配置は、構造上有効な位置への配置で、かつ、鉄塔内部空間の他部材との干渉を避ける必要があった。

c) 主柱材への溶接可能位置の見極め

本鉄塔は、鋼管材を主体に構成されている。鋼管材の格点は、溶接構造が多く採用されており、溶接可能位置の見極めは、構造構築において非常に重要である。3次元CAD図を活用することで、溶接可能位置の見極めを明確にすることができた。

## 5. 製作について

本鉄塔の製作は、従来の鉄塔に比べ、数多くの留意事項が存在する。代表的なものを次に示す。

- a) 主柱材が傾斜していることより水平梁の仕口が画一ではなく、3次元的な方向に取り付くため、主柱材の組み立てには、溶接施工が正確に行えるように、3次元CADデータを活用した様々なシミュレーションを行う必要がある。
- b) 主柱材は、鋼管材に様々な鋼板材を溶接して構成されている。主柱材が傾斜していることで、鉄塔構造を構築するためには、3次元CADデータを活用して、多数の対角寸法の設定を事前に行い、製造指示を行う必要がある。
- c) 最下節は、写真1に示す通り、建物柱位置から鉄塔2節目主柱材に向け、急激に傾斜した構造である。特に柱脚部と2節目主柱材との格点は、多くの鋼板が集中して配置され、主柱鋼管材に対して各種形状の鋼板の組立手順(仮付け溶接、本溶接)の明確化が重要である。

写真1～写真4に製品仮組立状況を示す。



写真1 最下節写真(建物との連結部)



写真2 中間部写真1(上側より撮影)



写真3 中間部写真2(下側より撮影)



写真4 頂部写真(上側より撮影)





製品紹介

# 太陽光発電所火災監視カメラシステム 画像解析を用いたソフトウェアの構築

藤沼 肇\*                      北條 義勝\*                      藤沼 亮太\*  
 加藤 慎一\*\*                  瀬下 浩一\*\*\*                  藤澤 保\*\*\*\*  
 水岸 正行\*\*\*\*\*          武田 明大\*\*\*\*\*

## Solar Power Plant Fire Monitoring Camera System Developing software using image analysis

*Hajime Fujinuma, Yoshikatsu Hojo, Ryota Fujinuma, Shinichi Kato, Koichi Seshita,  
 Tamotsu Fujisawa, Masayuki Mizugishi and Akihiro Takeda*

再生可能エネルギー分野において、近年太陽光発電所での設備火災が問題となっている。当社はカメラでの映像監視に付加機能を追加して、赤外線サーマルカメラの温度検知機能と画像解析による、火災監視用ソフトウェアを作成した。本稿では、当社独自のソフトウェアを用いた火災監視システムの詳細について紹介する。

In the renewable energy field, fires at solar power plants have become a problem in recent years. We have developed software for fire monitoring based on a temperature detection function of thermal imaging cameras and image analysis as additional functions for the camera-based video monitoring system. In this paper, we introduce the fire monitoring system using our original software in detail.

### 1. はじめに

太陽光発電所では、設備運用中に太陽光パネルの火災事故が多数発生している。原因としては、パネルを制御するパワーコンディショナーや分電盤、太陽電池モジュールの配線部分での短絡によるものなどが挙げられている。

火災監視システムでは、温度検知機能を搭載した2眼式サーマルカメラを導入することで、24時間365日の火災監視が可能となる。カメラ制御用ソフトウェア(以下、iCam)と、システム総合火災監視用ソフトウェア(以下、dCam)を使用し、設備の温度異常時や火災発生時に、発電所内の電気主任技術者(現場担当者)へのアラーム通知を行うことで、迅速に設備の状況把握が可能となる。

### 2. 概要

本システムは表1に記載の機器から構成され、図1のように配置される。2眼式サーマルカメラは常に24時間自動運転を行っており、撮像された映像を元に、カメラコントローラに搭載されているiCamでカメラ制御・温度解析を行う。IPネットワークで接続された各地点のカメラ映像は、配電所内の火災監視装置に搭載されたdCamにデータ伝送され、カメラ操作卓からアクセスすることで、カメラ操作が可能となる。

監視範囲の測定温度が、iCamで設定された閾値以上、且つ画像処理により火災と判断された場合、アラーム情報をdCamに伝達する。dCamは受信した

表1 太陽光発電所火災監視カメラシステム 機器構成

No.	機器	設置場所
1	2眼式サーマルカメラ	太陽光パネル付近
2	カメラコントローラ	キュービクル
3	火災監視装置	配電所

\* 機器統括部 事業推進部  
 \*\* 機器統括部 生産管理部  
 \*\*\* 管理統括部 総務部  
 \*\*\*\* 中央統括部 中央営業部  
 \*\*\*\*\* 支店統括部 名古屋支店

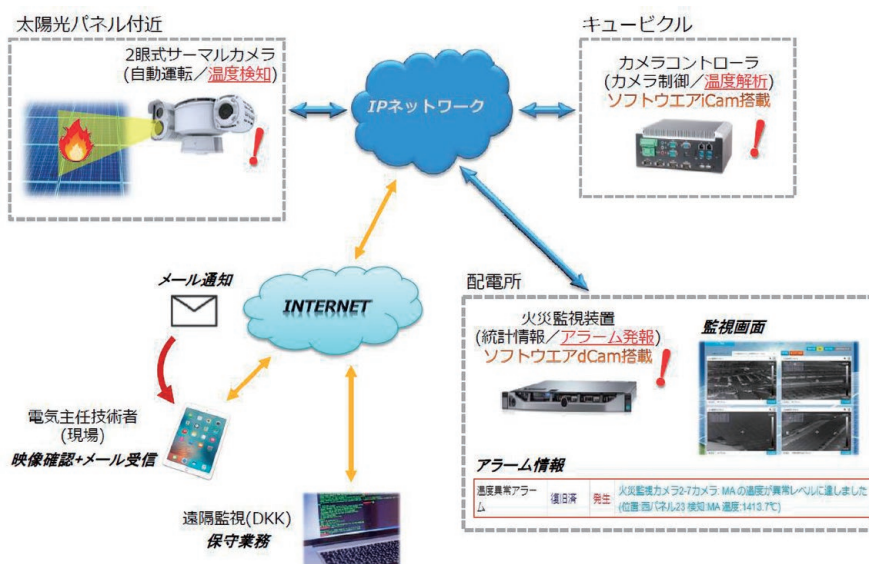


図1 太陽光発電所火災監視カメラシステム 系統図



写真1 温度の数値化と太陽光反射

アラーム情報を監視画面に表示し、VPN<sup>\*1</sup> ルータ経由でインターネットに情報を伝達し、監視者へメール通知を行う。

監視者は、VPN 接続をすることで、セキュアな環境を保ちながら現場の状況を確認することが可能となる。

### 3. ソフトウェア iCam の特徴

#### 3.1 太陽光発電所における課題

温度検知機能を搭載した2眼式サーマルカメラは遠赤外線を数値化する。しかし、太陽光発電所では晴天時にパネルからの太陽光反射が発生する為、その赤外線量が余りにも大きく、炎と見なしてしまう(写真1)。

温度閾値だけでのアラーム発報は、火災による異

常なのか判断することが出来ない。従って、火災と反射光を区別するシステムが必要である。その為、炎解析プログラムと反射光解析プログラムの構築を行った。

#### 3.2 画像解析の実証実験

画像解析のアルゴリズムを構築する為、当社工場において実際の炎や反射光を疑似的に発生させ、それぞれ画像データを集めた(写真2)。反射光については、実際にシステムを納品した太陽光発電所においてもデータ収集を行った。

#### 3.3 炎解析プログラムの構築

炎をカラー映像で解析すると、炎の「揺らぎ」による誤検知の発生や、太陽光での逆光による露出の変化で分析精度が落ちるといった懸念があった為、サーマル映像を用いた解析を行う方式とした。

サーマル映像を用いた炎解析では、「揺らぎ」を検出した画像のピクセルの候補をひと纏まりのバイナ

\*1 VPN (Virtual Private Network) : 二つの拠点間に仮想的に直接的な接続を構築すること。



写真2 鹿沼工場および太陽光発電所における炎・反射光の実証実験



写真3 炎画像によるバイナリマスク解析

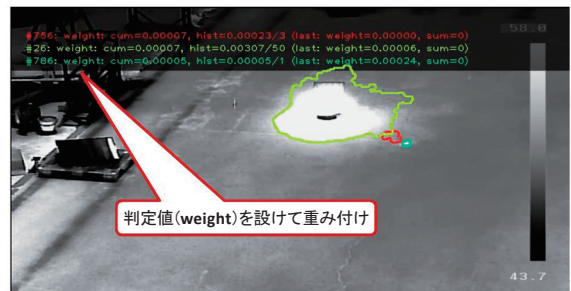


写真4 炎画像による重み付け

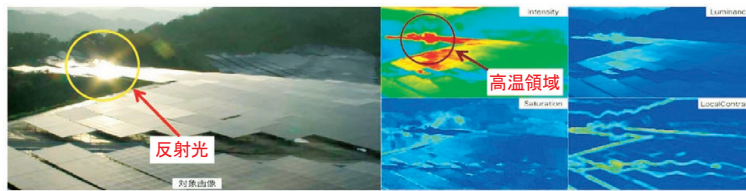


写真5 反射光画像による比較

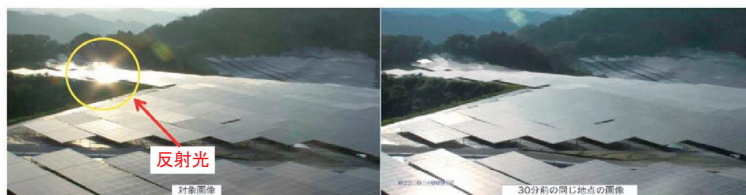


写真6 反射光画像による記録映像比較

リマスク<sup>\*2</sup>として分析する(写真3)。その後、炎領域の候補を選別する為に判定値を設けて重み付けを行い、炎の広がり具合に対して計算式を用いて数値化する(写真4)。

数値に閾値を設定して判定値(weight)を調整することで、画像処理により炎を適正に判別することが可能となった。

\*2 バイナリマスク：抽出対象領域内と領域外に分けて、対象領域のみを抽出すること。

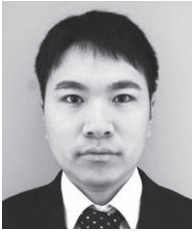
### 3.4 反射光解析プログラムの構築

反射光解析は、光の変化量やコントラストを用いる為、カラー映像で行う。

検出した画像からルミナンス(輝度Y)、クロマ(色差CbCr)、サチュレーション(彩度)等を数値化し、反射光領域候補の基準を計算する(写真5)。また、反射光は同じ場所に常に留まる事は無い為、記録映像の30分前の映像と比較をして、反射光の有無を判定した(写真6)。







**藤沼 亮太**  
令和元年入社  
機器統括部 事業推進部  
監視カメラシステムの開発及び設計業務  
に従事



**藤澤 保**  
昭和 58 年入社  
中央統括部 中央営業部



**加藤 慎一**  
平成 2 年入社  
機器統括部 生産管理部  
監視カメラシステムの開発及び設計業務  
に従事



**水岸 正行**  
平成 2 年入社  
支店統括部 名古屋支店



**瀬下 浩一**  
平成元年入社  
管理統括部 総務部



**武田 明大**  
平成 10 年入社  
支店統括部 名古屋支店

製品紹介

# クランクシャフト スプリットピン 高周波焼入方法

濱地 敏之\*      甲斐 浩之\*\*  
今増 寿尚\*      原 正行\*\*\*

## Crankshaft Split Pin High-Frequency Quenching Method

*Toshiyuki Hamachi, Hiroyuki Kai, Hisanao Imamasu and Masayuki Hara*

スプリット形状のワークを高周波焼入れする課題として、連結するピン部が焼鈍りを起こす、位相がずれているために過熱による溶融が発生することなどが挙げられる。

今回は、それらの課題を、焼入コイルの工夫と高周波電流の特性を生かすことで解決した。本方法については特許登録を行い、設備納入も果たしたので紹介する。

High-frequency quenching of split-shaped workpieces has problems such that the connecting pins are annealed, and melting occurs due to overheating caused by phase shift.

This time, we solved these problems by devising a quenching coil and taking advantage of the characteristics of high-frequency current. We have registered a patent for this method and have delivered an equipment including this solution.

### 1. はじめに

当社の主力製品であるクランクシャフト高周波焼入設備は、各自動車メーカーに多くの納入実績がある。直列4気筒エンジン用クランクシャフトが大半を占める中で、当社では実績の無い形状の「スプリットピン」と呼ばれるクランクシャフト焼入設備の引き合いがあった。

スプリットピンの形状を図1に示す。スプリットピンの特徴としては、通常隣接するピン間に存在す

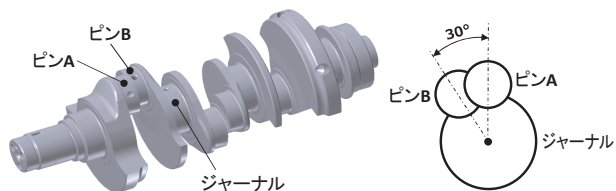


図1 スプリットピン

るクランクアームを介さず、ピン同士が直接連結している。また隣接するピン部はジャーナル中心から30°オフセットした形状となる。

### 2. スプリットピンの形状による懸念

連結するピン部は、ピン間にクランクアームが無く、別々に焼入れする場合、焼入れしていないピン部も誘導加熱されてしまう。また焼入れしているピン部の熱が熱伝導により伝わり、焼入れしていないピン部の温度を上昇させてしまう。先に焼入れした方は2回焼き、もしくは焼戻し温度以上まで上昇し、焼割れや硬度低下の懸念があった。そのため、2つのピン部は同時焼入れする必要があった。

しかし同時焼入れする場合でも、隣接するピン部の位相がずれているため、段差が生じ、ワーク角部に過熱による溶融や焼割れの可能性が考えられた(図2)。

\* 高周波統括部 開発部  
\*\* 未来研究所  
\*\*\* 高周波統括部 営業部

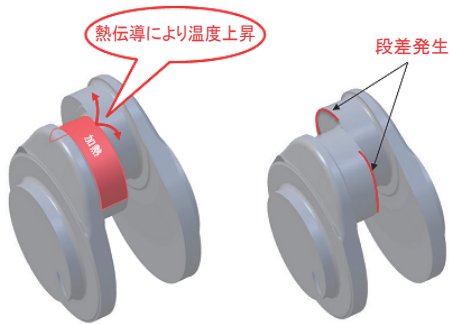


図2 形状による懸念事項

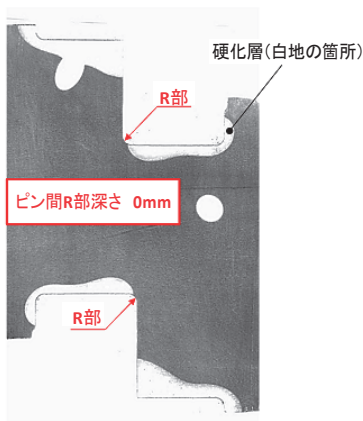


図3 従来設計におけるピン部品質結果(水平位相)

### 3. 焼入コイルの形状変更

焼入コイルに取り付くチップは、常にワークと接触し、焼入コイル頭部とワークの距離を一定に保ち、安定した品質を確保するために必要な部品である。従来設計では、焼入コイルとワークの接触防止のため、チップが焼入コイル頭部の外側に配置されるが、ピン間のつなぎ目において、焼入コイル頭部とワークの隙間が大きくなってしまふ。そのため、ピン間R部が焼入れされず、焼入れ深さの仕様を満たすことが出来なかった(図3)。対策として、ピン部が隣接する側の焼入コイル頭部はチップより外側に出す設計とし、焼入コイル頭部とワークの隙間を小さくすることで、焼入れ深さの仕様を満たす位置関係に設定可能となった(図4)。

ただし、焼入コイル頭部がチップより外側に出ることで、焼入れコイルとワークが接触してしまう。その対策として、「ガイド板」と呼ばれる部品同士で接触させ、焼入れコイルがワークと接触しない設計とした。2台の焼入コイルを並べたことを利用した手法であり、2台の焼入コイル間にあるガイド板同

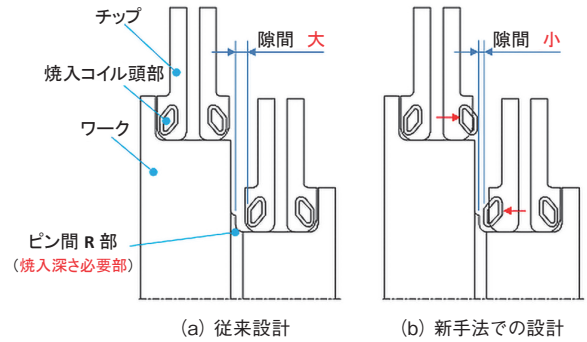


図4 焼入コイル頭部とワークの位置関係図

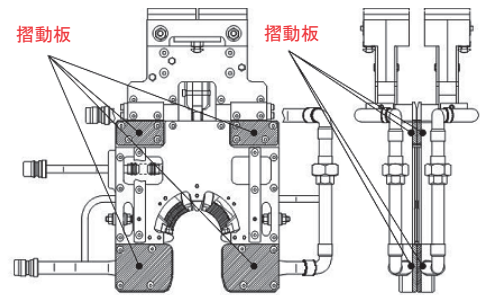


図5 摺動板

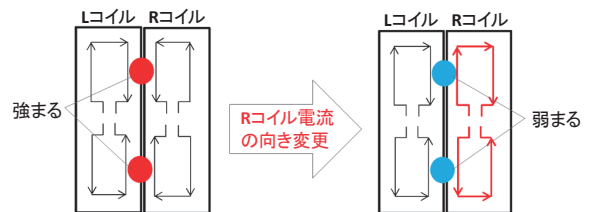


図6 コイルの電流の向き変更(焼入コイル頭部簡易図)

士は常に擦れ合うこととなる。本部品は「摺動板」と称す(図5)。

### 4. 電流の向き変更

2台の焼入れコイルが隣接する際に、電流の向きが同じであると磁場が強くなり、ワークを溶かしてしまう状態にあった。そのため片方のコイルの電流の向きを変更し、磁場が弱まる様にした(図6)。これにより、ワークの溶融も無く、焼入れが可能となった。

### 5. 条件と品質結果

上記手法にて実験を行い、得られた最良の焼入条件と品質結果を図7に示す。図7では代表として3・





## 製品紹介

多品種インボードアウトター  
焼入装置の改良

長太 真\*

## Improvement of Multi-Product Inboard Outer Hardening System

Makoto Nagata

多品種対応のインボードアウトター装置を受注したため、従来の装置より短時間で加工でき、かつ短時間で機種切り替え作業が完了できる装置を開発した。この装置は、加熱と冷却を別位置に分けて処理することで短時間加工を可能とした。さらに機種切り替えにおいては、従来の装置では部品を交換することで対応していたが、治具の電動開閉機構やボルトを使用しない固定方法を開発することで、作業時間を従来の半分に短縮させた。

本稿では、短時間加工を達成した方法の説明と、新たに開発した機種切り替え機構を紹介する。

For an order of inboard outer hardening system applicable for varieties of products, we developed a system that can process in a shorter time than conventional one and that can complete product model changeover work in a short time. This system achieves shorter processing time by separating the heating and cooling processes in different positions. In addition, the time required for product model changeover has been cut in half by introducing electric opening and closing mechanism for the jig and a product fixing method without bolts use.

In this paper, a method that enables short machining time and a newly developed product model changeover mechanism are introduced.

## 1. はじめに

自動車用等速ジョイントの部品として使われるインボードアウトターは、高強度化のために高周波焼き入れを行う。このインボードアウトターは種類が多く、加工設備には多品種対応の機能が求められる。

今回、設備の生産性向上の要求を受け、従来設備よりも短時間での加工と短時間で機種の切り替えが可能な装置が必要になった。

## 2. 短時間加工について

インボードアウトターは、主にカップ内径の溝部分と軸部分の2か所を焼入れするが、軸部分の焼き入れにおいては加熱範囲が広く深いため、水冷時間を

長くとる必要がある。

従来の装置では、加熱・空冷が終わった後、同じ場所で水冷するため、加熱・空冷時間＋水冷時間の合計が加工時間となり、搬送時間も含めるとインボードアウトターを1個加工するために28秒を要していた。従来装置の動作を図1に示す。

今回開発した装置では、加熱工程と冷却工程を別位置に分け、加熱後の空冷中にインボードアウトターを次の冷却工程へ移動させることで、加熱工程では加熱のみ、冷却工程は冷却のみの処理をする事を可能とし、加熱と冷却を同じタイミングで実施させることで、加工時間を短縮させた。今回開発した装置の動作を図2に示す。

加熱と冷却を別の場所で加工することで、インボードアウトターを1個加工する時間は16秒となり、従来と比較し約4割の短縮を実現した。

\* 高周波統括部 技術部

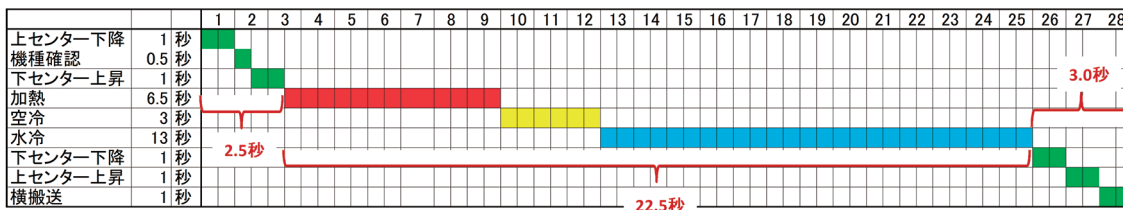


図1 従来装置の動作

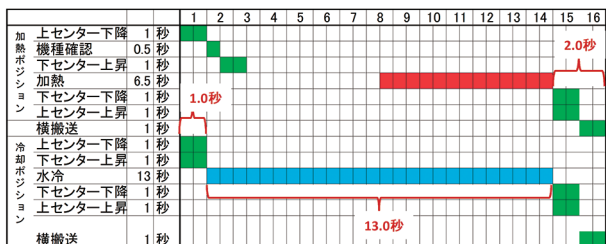


図2 今回開発した装置の動作

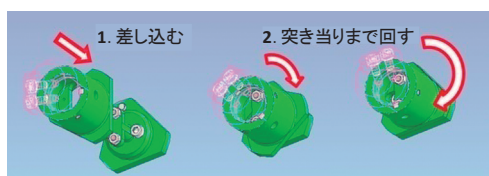


図4 工具レスの治具脱着機構

### 3. 機種切り替え機構の開発

従来の装置は、機種切り替えをするために、工具を使いボルトを外して部品交換していたが、今回の装置では以下の機構を開発することで、交換時間を短縮、または交換作業そのものを無くした。

#### 3.1 シャトル搬送機構の治具の電動開閉化

インボードアウターを横搬送する機構(シャトル搬送機構)において、従来は治具を交換することで様々な大きさのインボードアウターを搬送可能としていたが、今回は、位置制御が可能なサーボモーターを用いて治具を全箇所同時に開閉させる機構を開発し、治具交換をする事なく様々なサイズのインボードアウターを搬送出来るようにした(図3)。

#### 3.2 工具レスの治具脱着機構

従来の治具交換は、工具を使用し1か所1分程度の時間をかけて交換していた。今回、新たな治具固

定方法を考案し、工具レスでの治具交換が可能な構造を完成させ、設備に採用した。これにより、交換時間を1か所10秒程度へ短縮させた(図4)。

#### 3.3 工具レスの溝焼入用コイル接点クランプ機構

溝焼入用コイルの接点には大電流が流れる。接点で接触不良が発生しないよう、従来は工具を使ってボルトを強い力で締め付けるか、大きなエアシリンダや、油圧のシリンダを用いてクランプしていた。

しかし、今回の開発においては、設備サイズの制約から、この接点部分を従来の半分以下のスペースで成立させる必要があった。

そこで、弱い推力を大きな力に変換するリンク機構を応用したクランプ装置を開発した。これにより、動力としては小さなエアシリンダを用いるが、クランプ力は従来の大きなエアシリンダを用いた場合の2倍の力(約700kgf)を発生させることが可能となり、安定した接触状態を維持できる接点クランプ機構となった(図5)。

今回新しく開発した機構により、従来ではおよそ20分かかっていた機種切り替え作業を、半分の約10

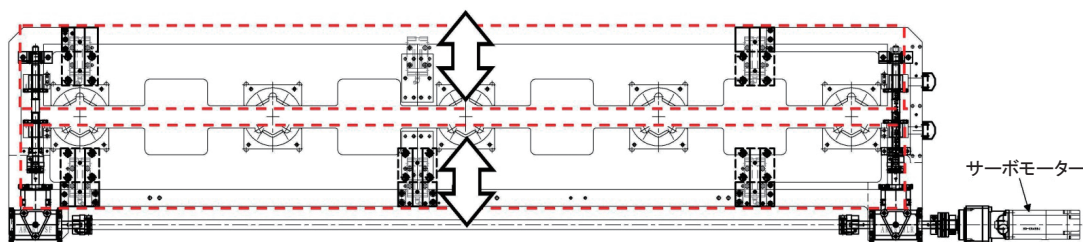


図3 シャトル搬送治具の電動開閉機構





## 2020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 6810766 2020.12.15	特願 2019-077882 2019.4.16	横型加熱処理装置	今増 寿尚
特許 6767725 2020.9.24	特願 2017-012585 2017.1.26	車両用無線充電システム および 車両用有線無線両用充電システム	佐々木邦夫 山根 貴佳
特許 6691448 2020.4.14	特願 2016-136448 2016.7.8	分散アンテナ装置	高橋 行隆 佐藤 啓介
特許 6687454 2020.4.6	特願 2016-080469 2016.4.13	無線基地局構造	佐々木克守 宍戸 洸太
特許 6671830 2020.3.6	特願 2014-047841 2014.3.11	熱処理装置	甲斐 浩之 増淵 秀司 長太 真
ZL201880004398.2 (中国) 2020.6.12	201880004398.2 2018.5.14	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
ZL201810910397.6 (中国) 2020.3.31	201810910397.6 2018.8.10	金属作製物の製造方法	今増 寿尚 城所 明
16349876(米国) 2020.5.26	16/349,876 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
3261179(EPC) 2020.12.2	15882602.4 2015.2.19	漏れ波アンテナ	大島 一郎 關 卓也
ZL201480081199.3 (中国) 2020.7.3	201480081199.3 2014.8.12	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

## 意 匠

登録番号 / 登録日	出願番号 / 出願日	意匠に係る物品	創 作 者
意匠登録 第 1662789 号 2020.6.12	意願 2019-15905 2019.7.16	柱取付用機器収納ケース	高橋 成佳

○ 2020年中に新たに登録となった実用新案権・商標権はありません。

## 社外発表および論文紹介

(2020年の社外発表)

### ●テラヘルツ研究会の成果について

佐藤啓介・寶迫巖(NICT)・平明徳(三菱電機)・栗山和久(関西テレビ), マイクロウェーブ展ワークショップ&エキシビジョン, 電子情報通信学会・ARIB, 2020年11月27日

2018年度, ならびに2019年度にARIB主催で定期開催されてきたテラヘルツ調査研究会にてまとめられた技術動向・応用分野・市場予測に関する調査の成果について報告した。テラヘルツ帯(252GHz以上~3THz以下までの電波)に関する①総括②通信への応用③センシング(物体認知)への応用の3部構成で発表。

### ●マイクロ波電力伝送への取り組み

関野昇, CEATEC2020 Wipot 展示ブース, CEATEC 実施協議会, JEITA, CIAJ, 2020年10月20日

CEATEC 展示ブース(WEB)にてマイクロ波WPTへの取り組みとして, ビームフォーミングアンテナ, エリア設計シミュレーション評価, SIP 第二期の取り組みについて紹介した。

### ●Dual-Polarized Broad-Beam Reflective Metasurface based on Multi-sheet Configuration for Local 5G Application at 28.25 GHz

Tanan Hongnara・白澤嘉樹・佐々木隆吉・佐々木克守・大島一郎・佐藤啓介・道下尚文(防衛大学校)・中林寛暁(千葉工業大学)・長敬三(千葉工業大学), EuCAP2021, EurAAP, 2021年3月22日

5G用として開発したメタマテリアル反射板に関する研究発表。複数枚の反射板を組み合わせて反射板のプロードビーム化を実現した。

### ●Incident Angle Reconfigurable Metasurface by Mechanically Extending Diffraction Grating Period

佐々木隆吉・Tanan Hongnara・白澤嘉樹・佐々木克守・大島一郎・佐藤啓介・道下尚文(防衛大学校)・中林寛暁(千葉工業大学)・長敬三(千葉工業大学), ISAP2020, 電子情報通信学会, 2021年1月27日

5G用メタマテリアル反射板に関する研究発表。反射板自身への入射角を可変しつつ, 反射方向を一定にすることにより設計・設置の柔軟性を向上する技術について報告した。

### ●Matching Circuit Design of Planer 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(防衛大学校)・大島一郎, ISAP2020, 電子情報通信学会, 2021年1月25日

移動通信用マルチバンド基地局アンテナにおいて低周波数帯でのチルト角を増加することで通信容量を改善するための周波数分散性位相器を提案している。本論文では, 提案した位相器の伝送線路への整合回路について電磁界シミュレータによる設計結果を示した。

### ●Evaluation of Ray Tracing Simulation with Urban Microcell Environment Measurements at 5G 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)・吉敷由起子(構造計画研究所)・大島一郎・関野昇・今井哲朗(東京電機大), ISAP2020, 電子情報通信学会, 2021年1月25日

工場敷地内を対象とした28GHz帯電波伝搬実験とシミュレーションを実施し, その結果を比較した。また, 3GPP伝搬モデルとの比較を行い, その結果を報告した。

### ●マイクロ波WPT装置の測定システム用アンテナに関する検討

吉田翔・関野昇・佐藤啓介・西森健太郎(新潟大学), 2021年電子情報通信学会総合大会, 電子情報通信学会, 2021年3月12日

マイクロ波WPT装置を測定するためのシステムに利用するアンテナに関する検討である。本システムには参照アンテナと呼ばれるアンテナを併用するが, 本発表ではメタマテリアル構造を用いて小型・低利得な参照アンテナを設計し, その評価を行った結果を報告した。

### ●11/15/18GHz帯のアンテナパターンについて

関野昇, 情報通信技術分科会 陸上無線通信委員会 第二回基幹系無線通信システム作業班, 総務省, 2020年10月28日

2019年度にARIBにて参画した固定系無線将来展望調査研究会にて当社と日本電業工作とで調査検討したパラボラアンテナ等の固定無線系アンテナ規格の調査について報告した。

### ●300GHz帯反射鏡オムニアンテナの検討

佐藤啓介・佐々木隆吉, 2021年電子情報通信学会 総合大会 シンポジウムセッション, 電子情報通信学会, 2021年3月9日

次世代移動通信6Gで割り当てが想定されている300GHz帯に関連する研究発表である。現在割り当ての周波数で用いられている技術では実現困難な垂直偏波オムニアンテナについて, 反射鏡を用いて実現した。

●28GHzにおけるアンテナの違いに  
対する伝搬特性

大島一郎・関野昇・今井哲朗(東京電機大学), 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, 2021年2月19日

ローカル5Gの28GHz帯のエリア設計を目的として, 工場敷地の屋外エリアと工場の屋内エリアについてアンテナの種類を変えて伝搬測定を行い, 異なるアンテナで送信した場合の受信電力の違いを示し, 送受信間距離に対するパスロスの結果について3GPPのチャンネルモデルとの比較を行った結果を報告した。

●自動車部品の誘導加熱技術

千葉正伸, 工業加熱 2020.5 Vol.57. No.3 通巻339号, 一般社団法人 日本工業炉協会, 2020年5月1日

自動車部品のカムシャフトやハブユニット部品を対象に高周波誘導加熱を利用した焼入焼戻し技術及び加熱コイルに関する特許等を紹介した。

●高周波焼入

甲斐浩之, 令和3年度初級熱処理塾, 東部金属熱処理工業組合, 2021年4月12日

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