

SPC
Technical Report
島田理化技報 NO.18(2006)

目 次

■卷頭言

- 創立 60 周年を迎えて 1
目黒 清

■寄稿

- IMT-Advanced を中心とした移動通信システムの国際標準化に関する動向 3
早稲田大学 理工学術院 教授 高畠文雄

■ 60 周年記念特集

- 当社における無線通信技術の変遷 11
楳 敏夫

- 当社における産機事業の技術の変遷 20
安藤英一 竹森雅史 堀崎邦夫

■技術開発

【電子部門】

- 当社のマイクロ波ロータリージョイント 35
森 智之 細田裕一 島貴昌喜 伊藤久人

- 240W RF ドライバー 44
中村 亮 永月 巧 鈴木君尚 大竹正仁

- レーダ性能評価システムにおける減衰器、移相器制御データ決定の高速化 50
浜田深造 永月 巧 川井雄一

- Ka 帯衛星通信地球局用アップコンバーター、ダウンコンバーター 54
括石 真一郎 生駒俊治 田添 晃 松永和之

【産機部門】

- 薄板加熱技術 61
島津繁之 鈴木聰史 富田 始

- 300mmSi ウェーハ対応枚葉式 2 流体洗浄装置の開発 65
美濃秀志 原崎忠晴

- フッ素系洗浄剤対応型洗浄装置の開発 68
立幅義人 成岡正昭 片岡辰雄 渋谷節男

■製品紹介

【電子機器】

- 地上デジタル中継局用アンテナ共用器 73

【産業機器】

- 高周波発振器 (SFT-E シリーズ) ユニット型高周波発振器 SFT-EU5N / EU10N 75
「ソルブ 55_®」シリーズ洗浄剤対応 2 槽式洗浄装置 環境対応型精密洗浄システム SOL-LABO (ソルラボ) 76

- 特許登録紹介 79

■卷頭言

創立 60 周年を迎えて

代表取締役社長

目黒 清

Kiyoshi MEGURO



戦後の復興期、静岡県島田に集合した諸先輩が「日本の 21 世紀は物理と化学が基幹技術」との認識で「島田理化工業」と命名されスタートした当社は、今年で創立 60 周年を迎えます。会社創業の精神である「技術をもって産業社会に奉仕する」の経営理念のもと、電子機器事業は創立以来のマイクロ波応用機器をベースに、マイクロ波及びミリ波の無線通信機器、エネルギー応用機器を事業内容として今日に至っています。

一方、産業機器事業は超音波と高周波技術を中心に、高周波ミシン・超音波加工機を世に送り出し、大容量の加熱装置、そして半導体洗浄装置・液晶洗浄装置としてその技術が引き継がれてきています。

「WAVE」を通信に、そして洗浄・加熱にと大きな二つの流れに技術を活用、世に製品を送り出してきました。しかし今、技術の流れは、マイクロ波中継は光ファイバー通信に変わり、アナログ変復調はデジタル・ソフト処理に変わり、様変わりの様相を呈してきました。

当然の如く、既存の技術の延長線のみの製品では、マーケットは受け入れてくれません。

今、何が必要なのか、マーケットは何を求めているのか、しっかり吟味する必要があります。

創立 60 周年を迎、「還暦」に相応しく、もう一度メーカーの原点に戻り、技術革新が加速的に進展する市場環境の中で「社会の発展に貢献する新しい市場・技術を創造する」企業理念を事業として「現実」のものにしていかなければならぬと思っています。

電子機器事業は、来るユビキタスネットワーク社会の中で、次世代ブロードバンドのキーテクノロジーをベースにどういう製品を、そして、産業機器事業は、60 年間蓄積してきた洗浄及び高周波加熱技術をどう市場の流れにマッチした競争力ある製品を送り出していくかです。

そのためには、「技術力の強化」が何よりも重要であり、しかも他社と「差別化した技術」が求められています。

当社の限られた経営資源の中で、技術力の強化は全方位的でなく、特定分野・顧客に経営資源を集中していくことが必要でしょう。

5～10 年後とされる「ユビキタスネットワーク社会」での無線通信技術のキーワードは、「伝送容量の増大」と「機動性向上」であり、それを実現するカギは「パケット通信技術をベースにするコアネットワーク」といわれています。

かかる市場動向を受け、電子機器事業の課題は、従来のコンポーネント事業に加え、「システム提案力の強化」がなお一層必要であると認識しています。

産業機器事業は、高周波事業及び洗浄事業共、市場規模の拡大が期待できるでしょうが、事業環境は更に厳しさを増していく事が予想されます。

高周波事業は、現状約 400 億円程度の市場規模と言われていますが、自動車関係の需要拡大・

VOC 規制など環境問題に加え、「安全」重視の観点よりガスから電気への流れもあり、市場は拡大していくものと期待していますが、何を事業の「核」にしていくか見極めが必要です。

又、フラットパネル洗浄事業は、液晶・プラズマなど薄型TVは2008年度には2005年度出荷額の3～4倍に増加すると言われ、大幅な需要拡大が期待できますが、相当な価格の値下がりが予想され、益々経営環境が厳しくなる事と予想されます。

経営資源の総合力を勘案して、事業内容を吟味していく事が要請されてきています。

産業機器事業の課題は、バランスのとれた事業構造の構築と生産構造の強化が急務と肝に銘じています。社員一丸となって、ご期待に沿えるように頑張って行きたいと思っています。

最後に、創立60周年を迎える皆様方のご厚情・ご尽力に対しお礼申し上げるとともに、この60周年を一つの節目として、一段と努力していく所存ですので、なお一層のご支援、お力添えをお願い申し上げます。

■寄稿

IMT-Advancedを中心とした 移動通信システムの 国際標準化に関する動向

早稲田大学
理工学術院 教授
高畠 文雄
Fumio TAKAHATA



1. まえがき

現在、携帯電話は人々の生活にとって不可欠な存在になっているが、その起源は、1946年にアメリカにおいて導入された世界初の大ゾーン構成の都市内用自動車電話システムである。その後、30年近くを費やして小ゾーン構成の自動車・携帯電話システムが世界各国で開発・実用化され、日本においては、1979年に東京23区を対象にしたサービスが世界に先駆けて開始された。当時のシステムはアナログ方式をベースとしたものであり、第1世代システムと呼ばれている。現在の携帯端末からは想像もできないほど、当時の通信機器は重く大きく、簡単に持ち運べるものではなかった⁽¹⁾。

1980年代に入り、第2世代と呼ばれるデジタル方式をベースとした移動通信システムの研究開発が進められ、日本においては、1993年にPDC (Personal Digital Cellular) と呼ばれるシステムが商用化され、音声通話に加えて、低速データ通信も提供された。その後、デバイス技術などの発展による携帯端末の著しい小型化、i-mode、EZwebなどのモバイル・インターネットと呼ばれる付加価値の高いデータ通信の導入など、端末の買い上げを含む新たな料金体系の設定などが大きな起爆剤となり、携帯電話は急速に普及することになった。

第2世代システムまでは、各国各地域独自のシステムという色合いが強いが、それらシステムの研究開発と並行して、第3世代システムに関しては、全世界で共通して使用できる小型の移動通信端末の実現を目指して、統一された規格を設定すべきという機運が高まり、1985年にCCIR (International Radio Consultative Committee: 国際無線通信諮問委員会) のSG8 (Study Group 8: 第8研究委員会) のもとに、IWP8/13 (Interim Working Party 8/13: 中間作業班 8/13) を設置し、FPLMTS (Future Public Land Mobile Telecommunication Systems)

と名づけたシステムの無線伝送方式に関する標準化作業が集中的に進められることになった。その成果物が、FPLMTS から名称変更された IMT-2000 (International Mobile Telecommunications-2000) と呼ばれるシステムに関する数々のITU-R勧告 (International Telecommunication Union-Radio Communication Sector: 国際電気通信連合無線通信部門、CCIRの後身) である。IMT-2000という名称に含まれる数値2000は、西暦2000年頃のサービス開始、2000MHz (2GHz) 帯の無線周波数の使用、2000kbps (2Mbps) の最大伝送速度の提供に由来していると言われている。無線インターフェースのみを標準化しても、バックボーンのネットワークに関する規定を明確にしなければ、サービスを提供することができないことから、ITU-T (ITU-Telecommunication Standardization Sector: 国際電気通信連合通信標準化部門)において、ネットワークの枠組みや信号方式などに関する勧告が作成された。

グローバルな移動通信システムを実現するためには、無線周波数帯の割当てを決定しなければならない。具体的には、IMT-2000に関する上記検討結果を踏まえ、1992年に開催された WARC-92 (World Administrative Radio Conference: 世界無線通信主管庁会議)において IMT-2000 用として 2GHz 帯の 230MHz、2000 年に開催された WRC-2000 (World Radio Conference-2000: 世界無線通信会議、WARCの後身) (注1)において、追加周波数帯として、800MHz 帯の 154MHz、1.7GHz 帯の 175MHz、2.5GHz 帯の 190MHz が割り当てられた⁽²⁾。

今後の移動通信の発展に的確かつ迅速に対応するためには、必要不可欠な数々の勧告を作成するとともに、新たな無線周波数帯を確保しなければならず、極めて長い年月を要する。このような状況から、1999年には、上記ITU-R SG8のもとに、IMT-2000の高度化とその後継システム

(Future Development of IMT-2000 and systems beyond IMT-2000) の標準化作業を担当する WP8F (Working Party 8F; 作業班 8F) を新たに設置することを決定し、2000 年から活動を開始した。

現在、筆者は、移動通信システムに関する研究開発ならびに標準化を検討する日本における組織である総務省の情報通信審議会情報通信技術分科会 ITU-R 部会の部会長代理、ITU-R 部会のもとの移動業務委員会 (ITU-R SG8 対応) の主査、社団法人電波産業会 (ARIB; Association of Radio Industries and Businesses) の高度無線通信研究委員会の委員長などを務めているものの、移動通信システムの標準化作業に実質的に携わっているわけではない。そのため、世界各国の思惑が混在する中で、多数の組織に分かれて検討が進められている標準化に関する流れを詳細に理解することは容易ではない。このような自身の力不足を省みず、移動通信に関する標準化動向の執筆依頼を受諾した理由は、標準化作業に直接従事していない、いわば素人が現状をとりまとめる方が、一般の方々の要求や疑問に的確に答えることになるのではないかと考えたからである。

以下、第 2 章において移動通信の需要動向、第 3 章においてルートコンセプトとしての IMT の概念、第 4 章において IMT-2000 の後継システムとして正式に名称が確定した IMT-Advanced に関する標準化の動向、第 5 章において日本における検討体制について紹介する。

(注 1) WRC (World Radiocommunication Conference; 世界無線通信会議) ; ITU-R の会議であり、RR (Radio Regulations; 無線通信規則) を改正し、世界的な性質を有する問題を取り扱うことを目的として開催される。

2. 移動通信の需要動向⁽³⁾

図 1 は、日本における移動通信と固定通信の加入者数の推移を示したものである。同図より、固定通信の加入者数はほぼ横ばいの 6000 万加入程度を推移しており、2000 年度末に移動通信の加入者数は、固定通信の加入者数を超えた、2005 年度末には 1 億加入に達する勢いであったことがわかる。1996 年に NTT ドコモグループの携帯・自動車電話の加入者数が 1000 万を超えたことを考慮すると、ここ 10 年間における移動通信の伸びは目を見張るものがある。

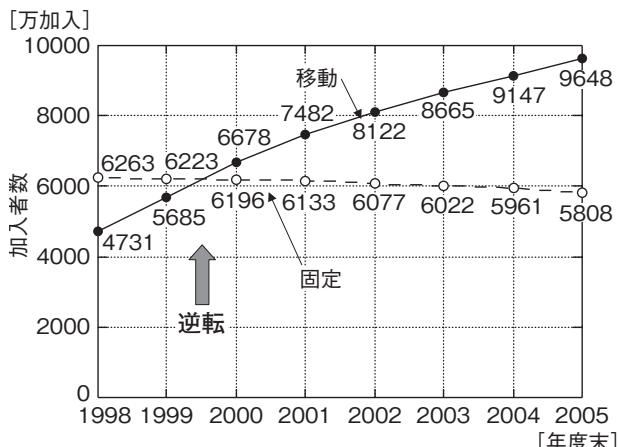


図 1 日本における固定通信と移動通信の加入者数の推移

図 2 は、全世界における固定通信と移動通信の加入者数の推移を示したものである。固定通信の普及段階にある国々が存在することにより、固定通信の加入者数も増加傾向にあるが、2002 年には、移動通信の加入者数が固定通信の加入者数を超え、世界的に見ても移動通信の普及が相当な勢いで進んでいることがわかる。

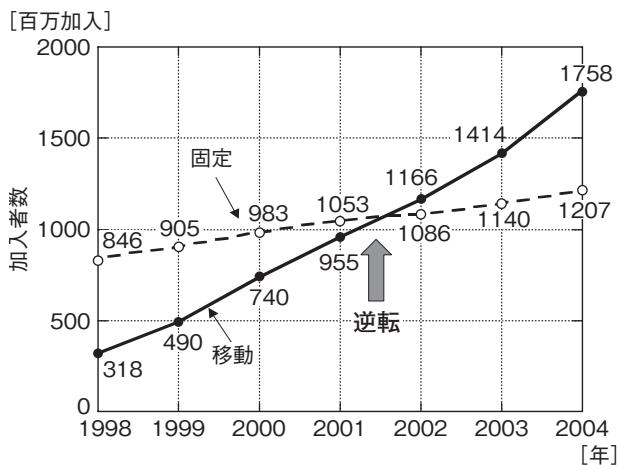


図 2 世界における固定通信と移動通信の加入者数の推移

図 3 は、日本における第 2 世代と第 3 世代 (IMT-2000) の移動通信の全加入者数に占める内訳を示したものである。図中の W-CDMA は NTT ドコモとソフトバンクモバイル、CDMA2000 は KDDI が提供している第 3 世代移動通信システムの名称である。同図より、2005 年度末には、第 3 世代移動通信の加入者数が、全体の加入者数の 50% を超えており、今後第 2 世代から第 3 世代への移行が順調に進むことが予想される。

携帯端末においては、元来の機能である通話にメール機能が付加され、現在では、端末の高度化にともない、音楽、映像、ゲーム、ウェブ、位置検索、カードなどの機能が続々と搭載され、人々が普段持ち歩く必需品の様相を見せており、今後の進化は予想もつかないと言っても過言ではない。

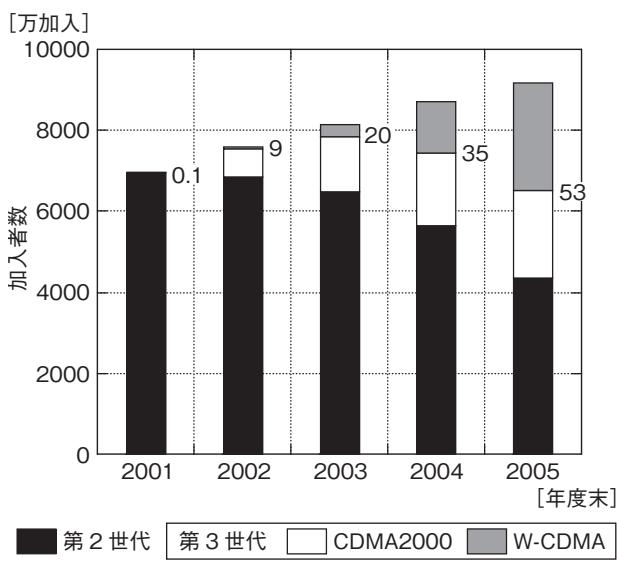


図3 日本の移動通信における第2世代と第3世代の加入者数の推移

3. IMT-2000とその高度化およびIMT-Advanced

IMT-2000の標準化を完了した後、WP8Fでは、2000年3月から2006年8月までの6年半にわたり、20回の会合を開催し、IMT-2000の高度化とその後継システムの標準化に関して、審議を重ねてきた。その間、後継システムの名称をIMT-Advancedとすることを、2005年10月に開催された第17回WP8F会合において合意し、同年11月に開催されたSG8会合において採択し、ITU-R決議案M. [NAME] “Naming for International Mobile Telecommunications” (IMTの名称)として、2007年10月に開催予定のRA-07 (Radiocommunication Assembly-07; 無線通信総会) (注2)に提出することになった。

図4は、上記決議案の内容を示したものであり、横軸はユーザに提供する最大伝送速度、縦軸は端末のモビリティ(移動性)を示したものである。既に勧告済みのIMT-2000では、最大伝送速度として、移動性を考慮して、高速移動時144kbps、歩行時384kbps、屋内2Mbpsを目標に設定された。

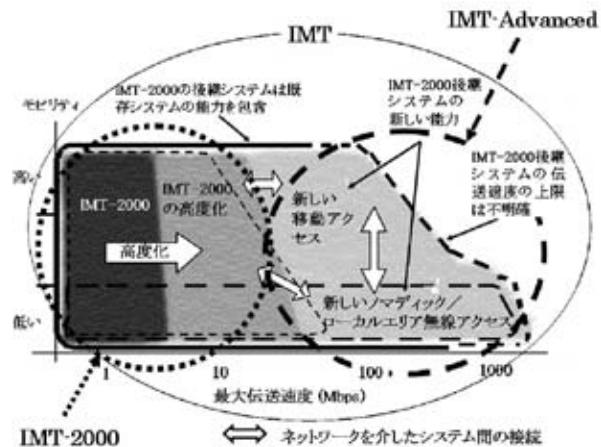


図4 IMT, IMT-2000とその高度化, IMT-Advancedの概念

IMT-2000として採用された地上系無線伝送方式は、複数種類に分類される。その中で日本において実用化されている主要な2種類の移動通信システムは、ともに通信方式としてCDMA (Code Division Multiple Access; 符号分割多元接続)、複信方式としてFDD (Frequency Division Duplex; 周波数分割複信)をベースとするが、無線インターフェースが異なり、一方はシングルキャリア、他方はマルチキャリアを採用するものである。日本において、前者はW-CDMA、後者はCDMA2000と呼ばれている。その他、通信方式としてCDMAをベースとし、複信方式としてTDD (Time Division Duplex; 時分割複信)を採用するUTRA TDD (Universal Terrestrial Radio Access TDD)とTD-SCDMA (Time Division-Synchronous CDMA; 時分割同期符号分割多元接続)と呼ばれる方式、通信方式としてTDMA (Time Division Multiple Access; 時分割多元接続)を採用するUWC-136 (Universal Wireless Communications-136)とDECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications)と呼ばれる方式があり、各国においてそれぞれ実用化されている⁽²⁾。

このように多数に分類されるIMT-2000をベースとした高度化システムに関する詳細仕様を、会議日程が限定されたWP8F会合の場で審議することは実質的に困難であるとの判断から、IMT-2000ファミリーコンセプトという概念が導入された。具体的には、個々のシステムを商用化している地域の標準化機関がそれぞれパートナーシップ・プロジェクトを立ち上げ、共同で詳細な技術仕様を取りまと

め、その結果をWP8Fで承認する形態を採用することになった。日本が積極的に参加しているプロジェクトは、無線伝送方式としてW-CDMA、コア・ネットワーク技術としてヨーロッパ標準規格であるGSM (Global System for Mobile Communications) の発展系を対象とした3GPP (Third Generation Partnership Project) と無線伝送方式としてCDMA2000、コア・ネットワーク技術として米国標準規格であるANSI-41 (American National Standard ANSI/TIA/EIA-41) の発展系を対象とした3GPP2 (Third Generation Partnership Project 2) である⁽²⁾。これら2つのパートナーシップ・プロジェクトを総称して3GPPsと呼ぶが、それらの検討結果を受け、2007年5月に日本で開催予定の第22回WP8F会合において、ITU-R勧告M.1457 “Detailed specification of the radio interfaces of International Mobile Telecommunications-2000 (IMT-2000)” (IMT-2000の無線インターフェースに関する詳細仕様) で規定されている陸上無線インターフェースに対する第7版の改訂を目指している。

IMT-2000の後継システムであるIMT-Advancedでは、最大伝送速度として、高速移動環境に対して100Mbps、低速移動または固定環境に対して1Gbpsが目安として設定されている。その他、図4中に矢印で示したように、IMT-AdvancedはIMT-2000とその高度化システム、ノマディック(可搬)やローカルエリアなどの新しい無線アクセスシステムとのインターワーキング機能を具備するものと定義されている。なお、IMTという名称は、IMT-2000とその高度化システムおよびIMT-Advancedを包含する総称、すなわちルートコンセプトとして使用されることになった。

(注2) RA (Radio Assembly; 無線通信総会) ; ITU-Rにおける標準化活動の方向性を決める重要な会議であり、研究課題の設定、勧告の承認などを行う。

4. IMT-Advancedに関する標準化の動向

IMT-Advancedと称せられるシステム概念が正式に定義されて以降、IMT-Advancedの標準化へ向けた作業が大きな論点として浮かび上がってきた。地域によって移動通信の普及度が異なるため、IMT-Advancedまでを包含して必要となる周波数帯域幅に対して大小の相違が生じ、さらにIMT-

Advancedに割り当てるべき無線周波数帯を明確にして標準化を早急に進めるべきと主張する国々とIMT-2000の高度化のみで当面は問題なしとする国々によって審議に臨む積極性がわかれている状況である。表1は、2006年9月に開催された第20回WP8F会合において組織された検討体制を示したものであり、特に、IMT-Advanced用の候補無線周波数帯に関する他の無線システムとの周波数共用を検討する数々のDG (Drafting Group) が設置されたことが注目に値する。

WP8Fにおける審議結果は、最終的に決議、勧告、報告として取りまとめられる。以下、現時点においてかなり完成度が高いと判断される主要な決議と勧告を列挙し、その概要を述べる。

① **ITU-R 決議案 M. [PRINCIPLES] “Principles for the process of development of IMT-Advanced” (IMT-Advanced開発のプロセスの原則に関する決議案)**

IMT-Advancedの標準化に向けた一般的原則を定めている。具体的には、IMT-Advancedの開発プロセス、技術的な最低要求条件と評価基準の定義、IMT-Advancedに関する無線インターフェース技術の提案募集、合意手順などが述べられている。本決議案は、第20回WP8F会合の直後の2006年9月に開催されたSG8会合において採択され、第3章で述べたITU-R決議案M. [NAME]とともに、RA-07に送付されることになった。

② **ITU-R 勧告 M.1645 “Framework and overall objectives of the future development of IMT 2000 and systems beyond IMT 2000” (IMT-2000の高度化とその後継システムに関するフレームワーク勧告)**

図4に示したようにIMT (IMT-2000の高度化と後継システムの総称) の能力について述べている。IMT-2000の高度化に関する検討は、3GPPsなどに委ね、その結果をWP8Fは標準化機関経由でITU-R勧告M.1457に反映するという指針を示している。

③ **ITU-R 勧告 M.1768 “Methodology for calculation of spectrum requirements for the future development of the terrestrial component of IMT-2000 and systems beyond IMT-2000” (所要周波数帯域幅の算出法に関する勧告)**

IMTにおいて要求される周波数帯域幅の算出法に関する基本的な考え方を述べている。具体的には、将来のサービスを想定し、伝送速度と遅延に関

する要求条件をもとに分類している。次に、それらサービスのトラヒック量を、都市部と地方部などにおける各種使用環境に対して推定し、各種無線通信システムで伝送されるトラヒック量を推定した後、IMT に必要とされる周波数帯域幅を算出するという内容である。

④ **ITU-R 勧告 M.2078 “Estimated spectrum bandwidth requirements for the future development of IMT-2000 and IMT-Advanced”** (地上系 IMT の所要周波数帯域幅の推定値に関する勧告)

無線伝送パラメータ、周波数利用効率、セルサイズ、各種無線通信システムへのトラヒック分配、人口カバー率などをもとに、IMT における 2020 年時

点の合計の所要周波数帯域幅を算出している。移動通信加入者が大小の市場設定を想定し、それぞれに必要な周波数帯域が 1720MHz と 1280MHz であると見積もっている。表 2 は、上記検討結果を具体的に示したものであり、既に割り当てられている周波数帯域と新規に必要となる周波数帯域が ITU 地域毎に整理されている。

⑤ **ITU-R 勧告 M.2079 “Technical and operational information for identifying spectrum for the terrestrial component of future development of IMT-2000 and IMT-Advanced”** (地上系 IMT の周波数特定のための技術・運用情報に関する勧告)

IMT への候補無線周波数帯について述べている。

表 1 第 20 回 WP8F 会合において組織された検討グループと担当項目

| グループ | 担当項目 |
|--------------------------------------|---|
| WP8F | ITU-R WP8F 全体 |
| WG DEV (DEVELOPING IMT) | 途上国への適用 |
| WG SERV (SERVICES) | サービスとマーケット関連 |
| SWG - PRINCIPLES | 決議案「Principles」の作成 |
| SWG - IMT.SRVC | サービス勧告／レポートの作成 |
| WG SPEC (SPECTRUM) | スペクトラム関連 |
| SWG - SHARING STUDIES | 周波数共用研究 |
| DG - SHARING RADAR | レーダとの共用検討 (2700 - 2900MHz / 3400 - 3700MHz) |
| DG - SHARING (FSS/FS) | 固定衛星／固定通信系との共用検討 (3400 - 4200MHz / 4400 - 4900MHz) |
| DG - SHARING (DVB) | デジタル放送 DVB (Digital Video Broadcasting) との共用検討 (470 - 960MHz) |
| DG - SHARING (BWA) | 固定 BWA (Broadband Wireless Access) との共用検討 |
| DG - SHARING (450MHz) | 450MHz 帯の他業務との共用検討 |
| SWG - SPECTRUM BANDS | 候補無線スペクトル帯域 |
| DG - BANDS (IMT. CANDI) | PDN レポート [IMT. CANDI] の作成 (候補周波数帯の技術および運用状況の情報) |
| DG - BANDS (ADV/DISADV) | 候補周波数帯の適否情報の整理 |
| SWG - WRC | CPM テキスト作成／WRC への準備関連 |
| WG TECH (TECHNOLOGY) | 無線伝送技術関連 |
| SWG - M. 1457 & Q.223 | 既存勧告の維持改定管理 (無線伝送技術勧告と課題 223 対応) |
| SWG - RADIO ASPECTS | 無線関連技術 |
| SAT - COORD (SATELLITE COORDINATION) | WP8D (衛星) とのコーディネーション |
| AH WORKPLAN | 各 WG に跨る作業計画などの調整 |
| AH CL (Circular Letter) | セキュラリティの作成 |

(WG ; Working Group, SWG ; Sub Working Group, DG ; Drafting Group, AH ; Ad Hoc, SRVC ; Services, FSS ; Fixed Satellite Service, FS ; Fixed Service, CANDI ; Candidate, ADV/DISAD ; Advantage/Disadvantage, CPM ; Conference Preparatory Meeting, PDN ; Preliminary Draft New, WRC ; World Radiocommunication Conference)

表 2 2020 年時点において IMT に必要とされる周波数帯域幅 (単位 : MHz)

| 加入者数 | 所要帯域幅 | 第 1 地域 | | 第 2 地域 | | 第 3 地域 | |
|------|-------|--------|------|--------|-----|--------|-----|
| | | 既分配 | 新規 | 既分配 | 新規 | 既分配 | 新規 |
| 少 | 1280 | 693 | 587 | 723 | 557 | 749 | 531 |
| | 1720 | | 1027 | | 997 | | 971 |

(第 1 地域 : ヨーロッパ、アフリカ、ロシア、東欧圏、第 2 地域 : 南北アメリカ大陸、第 3 地域 : アジア、オセアニア)

表1に示したように、候補として挙がっている共用無線周波数帯は、レーダ（2700–2900MHz/3400–3700MHz）、固定衛星通信および固定通信（3400–4200MHz/4400–4900MHz）、デジタル放送（470–960MHz）、固定系 BWA（Broadband Wireless Access；ブロードバンドワイヤレスアクセス）システム（IMT-2000 に分配されている 2.5GHz 帯）、その他の各種無線業務（450–470MHz）などである。周波数共用に関する検討は、2007 年 10 月に開催予定の WRC-07 における周波数帯確定へ向けての重要な課題であり、WRC-07 開催直前の第 22 回 WP8F 会合までに結論を得るべく、積極的な審議がなされることになる。

上記の他、2010 年、2015 年、2020 年におけるマーケットを解析・予測した ITU-R 報告 M.2072 “World mobile telecommunication market forecast”（サービス・マーケットに関するレポート）、IMT における所要周波数帯域幅の算出に必要な無線関連機能と無線パラメータを特定した ITU-R 報告 M.2074 “Radio aspects for the terrestrial component of IMT-2000 and systems beyond IMT-2000”（IMT-Advanced の無線関連のレポート）などが成果として挙げられる。

現在、IMT-Advanced の標準化に向けた第一歩の作業は正念場を迎えており、今までに得られた成果ならびに WRC-07 までに開催予定の 2 回の WP8F 会合における審議結果を CPM-07-2 (Conference Preparatory Meeting；会議準備会合、2007 年 2 月開催予定)（注3）あるいは RA-07 などにおいて採択するという厳しいスケジュールの設定となっている。

(注3) CPM (Conference Preparatory Meeting；会議準備会合)；ITU-R の検討結果を踏まえて、WRC の解決案を提示する会議。

5. 日本における検討体制

ARIB では、ITU-R SG8 における移動通信システムの標準化作業に日本が積極的に貢献するべく、1993 年に FPLMTS 研究委員会を立ち上げた。さらに、SG8 における FPLMTS から IMT-2000 への名称変更にともない、1997 年には IMT-2000 研究委員会へと移行した。その後、2005 年 11 月に開催された ITU-R SG8 会合において、IMT-2000 の後

継システムが IMT-Advanced に改称され、IMT-Advanced が具備すべき能力が定義された。さらに、国内外において、WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) などの BWA システムに対する取り組みが活発化するとともに、総務省のワイヤレスブロードバンド推進研究会の報告（2005 年 12 月）の中で「民間標準化団体等において、標準化や実用化に向けた組織的な取組の進展と期待」と提言された。このような状況のもと、ARIB では、IMT-Advanced、BWA などの次世代無線通信技術に関する研究調査、標準化、他の標準化機関との連携などを専門的に扱う組織が必要であるとの認識のもと、IMT-2000 研究委員会を全面改組して、2006 年 4 月 1 日に高度無線通信研究委員会を設立した。本研究委員会の目的は、「国内外の関係機関と連携を図りつつ、高度な無線通信システムに関する技術的検討を行うとともに、その国際的な標準化に寄与する。」とされている。図 5 は、高度無線通信研究委員会の構成を示したものであり、運営委員会、IMT-2000 部会、IMT-Advanced 部会、BWA 部会からなり、それらの役割は以下の通りである。



図 5 高度無線通信研究委員会の構成

(運営委員会)

研究委員会に提出すべき事項および研究委員会から委任された事項および委員長が特に必要と認めた事項について審議する。

(IMT-2000 部会)

3GPPs への参画、運営ならびに ITU への寄与などを通じて、IMT-2000 の国際標準化を推進するとともに、IMT-2000 に関する国内標準作成にも貢献する。本部会のもとに、Scope 検討 AH (Ad Hoc)、3GPP-SA (Service and System Aspect) 対応 WG、3GPP-RAN (Radio Access Networks) 対応 WG、3GPP-CT (Core Network and Terminals) 対応 WG、3GPP2 対応 WG がある。

(IMT-Advanced 部会)

IMT-Advanced に関する技術的検討を行うとともに、ITUへの寄与などを通してその標準化を推進する。本部会のもとに、標準化専門委員会と技術専門委員会が設けられ、さらに複数の WG が設置されている。

(BWA 部会)

BWA に関する技術的検討を行うとともに、ITUへの寄与などを通して、その標準化を推進する。

図 4 に示した新しいノマディック／ローカルエリア無線アクセスとして位置づけられる BWA システムの発端である無線 LAN (Local Area Network) の標準化は IEEE (The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.; 米国電気電子学会)において進められている。IEEE802.16 系として、2004 年と 2005 年に固定系と移動系の WiMAX が各々標準化された他、IEEE802.20 系の標準化が進められている。また、PHS MoU (Memorandum of Understanding) グループにおいて、次世代 PHS (Personal Handyphone Systems) の技術仕様が標準化されている。近年、これら BWA システムを IMT-2000 へ割り当てられた無線周波数帯域で運用する動きが見られる。IMT-Advanced の標準化は、このような BWA の技術的仕様の影響を強く受けるものと考えられる。

一方、2001 年には、サービス面を含めて、次世代のモバイル通信に関して検討するモバイル IT フォーラム (mITF) が設立された。本フォーラムは、「第 4 世代移動通信システムやモバイルコマースなどの新世代モバイルの早期実現を図るために、新世代モバイルに関する研究開発および標準化の調査研究、関係機関との連絡調整、情報の収集、普及啓発活動などを行い、もって電波利用の健全な発展に寄与することを目的とする。」とされている。図 6 は、mITF の構成を示したものであり、第 4 世代モバイル部会、コンテンツ・サービス部会、モバイルコマース部会、OMA 部会 (Open Mobile Alliance) などから構成されている。このうち、第 4 世代モバイル部会のもとには、WP8F 対応 WG があり、高度無線通信研究委員会の IMT-Advanced 部会における標準化専門委員会のもとの WG と所掌事項が一致するため、その部分は重複した組織となっている。

これら組織において検討された結果は、SG8 や 3GPPs における IMT-2000 およびその高度化の標準化に大きく寄与し、数々の成果が決議、勧告、

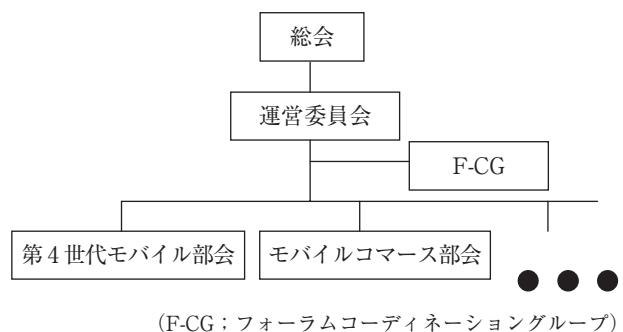


図 6 モバイル IT フォーラムの構成

報告の中に盛り込まれている。近年では、IMT-Advanced の標準化への貢献も大きく、数値的尺度の一例として、2005 年から 2006 年にかけて開催された WP8F 会合への日本の寄与を（日本からの寄与文書数／会合における全寄与文書数）で表現すると、13/53 (第 15 回), 13/74 (第 16 回), 11/60 (第 17 回), 8/62 (第 18 回), 8/94 (第 19 回), 12/97 (第 20 回) となる。また、種々の会合の場においても、日本からの代表者が幾つかの重要課題の議長を務めている。

6. あとがき

前章までの内容から IMT-Advanced の標準化は近々中に終了するのではないかという印象を受けたかもしれない。それは全くの誤解であり、IMT-Advanced で期待しているサービス内容、マーケットなどを予測して、必要となる周波数帯域幅を推定し、それを達成するための無線周波数の確保に向けて動き出したというのが現状である。

現在、スーパー 3G、ウルトラ 3G などの名称で、高速かつ低遅延のサービスの提供が実現されようとしているが、それらは IMT-2000 の高度化という枠内であり、IMT-Advanced とは趣を異にするものである。

IMT-Advanced に関する詳細な技術仕様の標準化は、今後残された大きな検討課題である。IMT-Advanced を実現する技術が、IMT-2000 の高度化の延長線上に存在するのか、BWA を拡張したものになるのか、それらを融合したものとなるのかなど、考え方は様々である。いずれにしても、無線通信における永遠の研究テーマは無線周波数の有効利用であり、近年脚光を浴びている技術の一例として、複数の送受信アンテナを用意して、同一周波数帯の多重利用とダイバシチ技術による伝送品質の改善を

狙った MIMO (Multiple Input Multiple Output; 多入力・多出力) 技術、電波の受信環境を認識して、伝送方式を適宜変更または選定するソフトウェア無線やコグニティブ無線技術などが導入される可能性がある。

もうひとつの重要項目は、バックボーンのコア・ネットワークに関して、NGN (Next Generation Network) と題して、オール IP (Internet Protocol) 化の検討が積極的に進められている点であり、IMT-Advanced は IP 化の流れに沿うことが必須条件として考えられる。さらには、デジタル放送との融合などを考慮する必要があり、IMT-Advanced の技術仕様に関する標準化において検討すべき項目は多岐にわたる。

以上、移動通信の標準化について述べたが、英語の略語が極めて多く、できる限りフルスペルや日本語訳を記載したが、その内容まで踏み込むことはできなかった。関心のある項目に関しては、それらを頼りに技術書で調査していただきたい。移動通信分野の研究や業務の開発に携わっている方々が、現在どのような位置づけで仕事に従事されているかを理解する上での一助に本稿がなれば幸いである。

最後に、総務省と ARIB の関係各位から貴重な資料を多数いただくことによって、本稿を書き上げることができた。ここに深く感謝する次第である。また、筆者は、SG8、WP8F、3GPPs、IEEE などの標準化に関連する会議に実際に出席していないため、現場の状況を正確に記述していない可能性も否定できず、出席者の方々から叱りを受ける点が多々あることも予めお詫び申し上げる。

参考文献

- (1) 進士昌明編：“移動通信”，丸善、平成元年9月30日発刊
- (2) 服部武、藤岡雅宣編著：“改訂版ワイヤレス・ブロードバンド教科書 3.5G/次世代モバイル編”，インプレス、2006年4月1日初版第1刷発行
- (3) 総務省：“平成18年度 情報通信に関する現状報告”

当社における無線通信技術の変遷

槇 敏夫
Toshio MAKI

1. まえがき

創立 60 周年を機に、当社における近年の無線通信技術を振り返ってみた。1990 年代から 2000 年代までのわずか 10 数年は通信技術にとって激動の時期であり、これを目の当たりにできた。世界規模での無線通信の動向は、移動体通信とインターネットの台頭に強く影響され、IP 通信やユビキタスという言葉が業界やマスコミの共通語として受け入れられている。ここに記すのは約 50 年前、当社が無線通信と関わるきっかけとなった製品の紹介と、ここ十数年の当社における無線通信技術の変遷を『固定通信』と『移動体通信』を通して振り返ったものである。

2. 固定通信

2.1 【マイクロ波分波器】

本邦における本格的なマイクロ波無線方式は、1954 年に日本電信電話公社（以後、電電公社と称す、現 NTT）が 4GHz 帯を使い純国産方式として開発し、東京－名古屋－大阪間において実用化した。（電電公社方式名：SF-B1 方式）これにより、前年の 1953 年に開始された TV 放送は、東京の TV 番組が名古屋、大阪にも中継・放送できるようになり、以後 TV 放送の普及は急速に速まった。当社はこの純国産マイクロ波無線方式プロジェクトに参画し、

チャネル分波器としては国産第一号の IR-1 型分波器を製品化した⁽¹⁾⁽²⁾。

この IR-1 型分波器は『マジック Y ハイブリッド回路／帯域阻止フィルタ組合せ方式』であるが、以後 通信の大容量化に伴いアナログ変調方式からデジタル変調方式に移行し、システムの雑音分配（損失、反射、帯域内振幅偏差、群遅延偏差など）と中継装置小形化などの要求に応えるため、チャネル分波器は『マジック E ハイブリッド回路／帯域阻止フィルタ組合せ方式』、『サーキュレータ／帯域通過フィルタ組合せ方式』、『分岐線路／帯域通過フィルタ組合せ方式』など、その方式を進化させてきた⁽³⁾⁽⁴⁾。

また、1970 年代に入るとミリ波大容量通信の研究が本格化し、当社においても電電公社の指導を受け『ミリ波帯リング分波器』の開発が始まった。当時、電電公社は世界でもトップレベルのミリ波大容量通信技術を有しており、茨城－水戸間の現場試験で良好な結果を得たが、最終的に実用化されることはなかった。当社がこのとき得たミリ波リング分波器の技術は、その後通信衛星システムなどに利用された。

図 1 に前記国産第一号の 4GHz 帯 IR-1 型分波器、図 2 に分岐線路と帯域通過フィルタを組合せた 6GHz 帯 7 チャネル分波装置、図 3 に衛星搭載用に開発した 30GHz 帯リング分波器を示す。

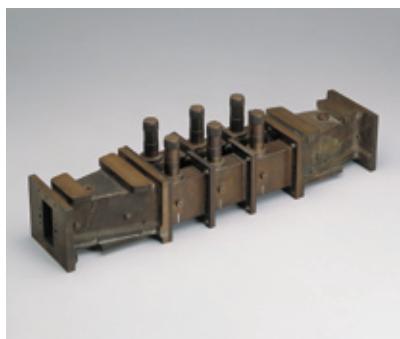


図 1 IR-1 型分波器

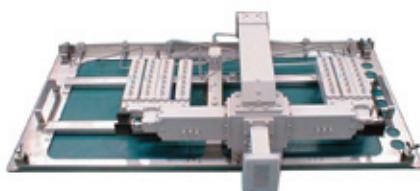


図 2 6GHz 帯 7 チャネル分波装置

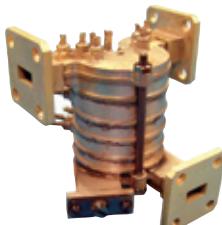


図 3 30GHz 帯リング分波器

また、当社のマイクロ波分波器技術においては、前述のチャネル分波器とともに群分波器も特徴的な技術である。4GHz 帯、5GHz 帯及び 6GHz 帯のアンテナを共用するための分波器で、これらの帯域の周波数配置は 5GHz 帯と 6GHz の間隔が 925MHz あるのに対し、4GHz 帯と 5GHz 帯の間隔がわずか 200MHz しかない。このため、まず 6GHz 帯を分布結合型方向性結合器を用いて分波した後、4GHz 帯と 5GHz 帯間は多分岐結合型方向性結合器を用い、ハイブリッド回路とカットオフフィルタにより分波している⁽²⁾。

この方式の群分波器は 1971 年から電電公社に納入を開始し、全国の基幹回線に使われた。また、電電公社が民営化された後、世界に先駆けて 256QAM 大容量通信をサービスする際は、低歪化のために群分波器の性能は改良され、一方では小型化の研究にも取り組みつつ、その生産は 2001 年まで続いた⁽⁵⁾⁽⁶⁾。図 4 に 4, 5, 6GHz 帯群分波器を示す。

一方、近年では多重モードフィルタが研究され、分波器の一層の小型化と低損失化が図られようとしている。当社でも誘電体共振器を用いたトリプルモード 6 段有極フィルタを実証し、この技術の拡張として金属共振器を用いたトリプルモードフィルタを考案した⁽⁷⁾。



図 4 4, 5, 6GHz 帯群分波器

2.2 【ミリ波伝送装置】

北米向け 38GHz 帯デジタル無線装置の本格的な生産を開始したのが 1995 年である。この無線装置は屋内ユニット (IDU) と屋外ユニット (ODU) で構成され、当社が担当したのは ODU である。この無線装置の変調方式は 4 値 FSK、伝送速度は 6Mbps、通信方式は FDD (周波数分割複信方式) であった。

この時期、『モジュールの集積化』がミリ波帯における加工技術の優先的課題であり、当時研究中であった当社のファイン MIC 技術をなんとか応用できないものかと議論した。

ファイン MIC とは MIM キャパシタ、スパイラルインダクタ、エピ抵抗または蒸着抵抗などの受動

素子だけを回路素子としたマイクロ波帯の微細回路で、このファイン MIC と半導体ベアチップデバイスを組み合わせることによって、当時はまだ普及していなかったミリ波帯 MMIC と同等性能を実現することを目指した。結果的にはこの当時、所望のミリ波帯デバイス (FET 等) の入手が旨く行かず、ミリ波帯への応用はあきらめたという経緯がある。その後、ミリ波帯 MMIC の研究が急速に進展し、国内外のデバイスメーカーから性能の良い MMIC が提案され、今日の当社フロントエンドモジュールのスタイルが決まっていった。なお、当社のファイン MIC は衛星搭載 C 帯アンプに採用されたのを最後に、現在では生産していない⁽⁸⁾⁽⁹⁾。

当社が 38GHz 帯 ODU の輸出を開始したこの時期、米国内にあってはクリントン政権下で通信の自由競争を目指した『通信法の大改定』が 1996 年に成立し、既存の大手通信事業者に対し膨大な数の新規通信事業者が名乗りを揚げた。この米国内の新規通信事業者は、次々と新事業計画を打ち出し、国内外から莫大な投資を得ることになった。この米国内の好況 (IT 景気) に支えられ、当社の 38GHz 帯 ODU は販売開始から 2000 年まで約 3 万台を輸出した。

一方、本邦においても 1998 年に郵政省 (現総務省) が省令を改正し『加入者系無線アクセス』として 22GHz 帯、26GHz 帯、38GHz 帯の大容量通信を認許した。その目的は増え続けるインターネット加入者対策のみならず、アクセス市場における競争促進も含んでおり、分社化した既存の大手通信事業者は参入期限の制約を受けた。このため、本邦において多くの新規通信事業者が、機器開発やフィールド試験に注力し、FWA (Fixed Wireless Access) という言葉が紙上を賑わせることになった。

2000 年の後半、米国は通信不況 (所謂 IT バブル崩壊) に陥り、翌年の 9.11 同時多発テロの後この影響は決定的となり、米国の新規通信事業者の多くは事業から撤退していき、これに関連した投資家や機器サプライヤなどは甚大な被害を受けた。

本邦における『加入者系無線アクセス』もまた、高速無線通信の品質やコストなどの課題が普及を妨げ、米国と同様に多くの新規通信事業者は事業から撤退していった。

このような国内外の市場環境変化に対し、当社のミリ波通信機器関連の技術開発は、Ethernet を介したインストールが極めて簡便な 50GHz 帯デジ

タル無線装置や、ギガビット級大容量通信の魅力を備えた60GHz帯の機器開発に移行していくのである⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾⁽¹²⁾。

図5に38GHz帯無線装置、図6に50GHz帯デジタル無線装置を示す。



図5 38GHz帯デジタル無線装置



図6 50GHz帯デジタル無線装置

2.3 【移動体通信基地局エントランス用マイクロ波伝送装置】

2001年に携帯電話通信網の交換機と基地局間との伝送路として、11GHz帯を使用した1無線システムあたり6.3Mbpsの信号を最大2系列伝送するデジタル無線装置を製品化した。図7に現地設置状態の外観を示す。

引き続き、2003年には1無線システムあたり26Mbpsの無線装置を開発した。屋内ユニット(IDU)と屋外ユニット(ODU)で構成されるこの装置は、保守性の向上を優先し、『現用系／予備系の無瞬断切替え機能』と『活線挿抜機能』を具備し、前記11GHz帯6.3Mbps装置のODUに対し体積比60%、質量比48%の『小型軽量化』を実現し、コールドスタンバイ方式を採用して『低消費電力』を図るとともに自局、対向局のみならずルート内の『IDUとODU全装置間の監視通話機能』を実現した。図8に本装置IDUとODUの外観を示す⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾。



図7 11GHz帯デジタル無線装置 (6Mbps型)



図8 11GHz帯デジタル無線装置 (26Mbps型)

2.4 【衛星通信地球局用マイクロ波／ミリ波モジュール】

人工衛星を中継機として利用した衛星通信システムは、1システムあたり地球上に一つのHUB局(親局)と複数の端末局(子局)とを配置し、ネットワークを組むことにより、親局を介した同報通信や子局同士の双方向通信を可能にしている。

この子局を通常『超小型衛星通信地球局：Very Small Aperture Terminal』と呼んでいる。当社におけるVSAT機器の本格的事業は1988年に始まった。当社が事業対象としたVSAT機器は、送信モジュール(Transmitter)と受信モジュール(LNB: Low Noise Block down converter)で、周波数帯は両者ともC帯及びKu帯である。

もともとこの通信システムは、北米の企業が専用通信回線として利用してきたもので、例えばガソリンスタンドの料金システムや、米国の有名な量販店Wal-Mart storesなどが自社の業務に使っている。1990年代の後半、インターネット配信サービスに利用する案が注目を集め、方式の標準化とともに回線容量拡大のため、新周波数Ka帯の機器開発が始まった。当社においては1999年、ヨーロッパの衛星通信会社が企画したKa帯VSAT用に『30GHz帯1W及び2W出力Transmitter』の開発に着手し、

2001年製品化を完了した。図9にKa帯2W出力Transmitterを示す⁽¹⁶⁾。

一方、C帯とKu帯のVSAT機器は成熟期を迎えた感があるものの、衛星からの微弱電波を受信するために、LNBは極めて低雑音が要求され、受信波を周波数変換する局部発振器の位相雑音は性能差別化の技術的指標になっている。また、Transmitterは両帯域とも送信出力増大の市場要求に応えるため、高効率化と小型化がポイントになっている。図10にC帯10W出力Transmitterを示す。



図9 Ka帯2W出力Transmitter



図10 C帯10W出力Transmitter

3. 移動体通信

3.1 【アナログ方式自動車・携帯電話用アンテナ共用装置】

1993年にデジタル方式携帯電話のサービスが開始されるまではアナログ方式(FM変調)でサービスされていた。1979年に電電公社が800MHz帯を使い、自動車電話のサービスを東京で開始した。その後、全国にネットワークを拡大し急速に普及していくのであるが、アナログ方式の場合はデジタル方式のように複数の搬送波(キャリア)を1台の低歪増幅器で共通増幅するのではなく、複数のキャリアはそれぞれチャネルに分離し、個別に増幅する方式であった。これら複数のキャリアがアンテナを共用するために必要なのが、アンテナ共用装置である。アンテナ共用装置はそれぞれのキャリアを分離

するため選択性の良いチャネル分波器と、それぞれのキャリア同士が干渉することなしに合成するための多分岐結合器、及び送信波と受信波を分離するための送受共用器から構成されている。当社は1978年に800MHz帯のアンテナ共用装置を製品化し、前記東京から始まったサービスに貢献するのであるが、周波数利用効率を高めるために、チャネル間隔をいかに狭くできるかが当時の課題であり、これらの課題を解決するための研究が続けられ、1992年に最大64チャネルを1アンテナで共用できる装置を製品化した⁽¹⁷⁾。

この装置は1系統32チャネルを2系統合成したもので、同系統内のチャネルセパレーションは250kHz、系統間のチャネルセパレーションは12.5kHzまで接近させることができ、当時の課題をクリアできた。また、チャネル分波器はTE_{01δ}共振モードを使った誘電体共振器で、無負荷Qは23,000と当時の最高水準を実現し、低損失化に貢献した。図11に800MHz帯64チャネルアンテナ共用装置の系統図を、図12(a)に同装置外観、図12(b)に同装置の誘電体共振器を示す。

急速に加入者が増加し続けるなか、無線基地局の建設も急ピッチで増加した。そのため無線基地局の省力化の要求が高まり、当社は1994年に自動同調型アンテナ供用装置を製品化するに至った。前記説明の誘電体共振器を用いたチャネル分波器を送信キャリアに自動同調する機能を付加したもので、その動作原理はもともと入力バッファとして用いていた共振器入力端のサーチュレータに検波器を組み込み、共振器への入射波と反射波を比較し、マイコン制御のモータで共振器を同調させるものである。これにより、トラフィックの混み具合に応じ、小ゾーン方式(セルラー方式)のチャネル配置を遠隔制御できるようになり、周波数利用効率はさらに向上することになった⁽¹⁸⁾。

その後、アナログ方式の自動車及び携帯電話は1999年に停波し、デジタル方式に置き換えられ、当社のアンテナ共用装置の役目を終えた。

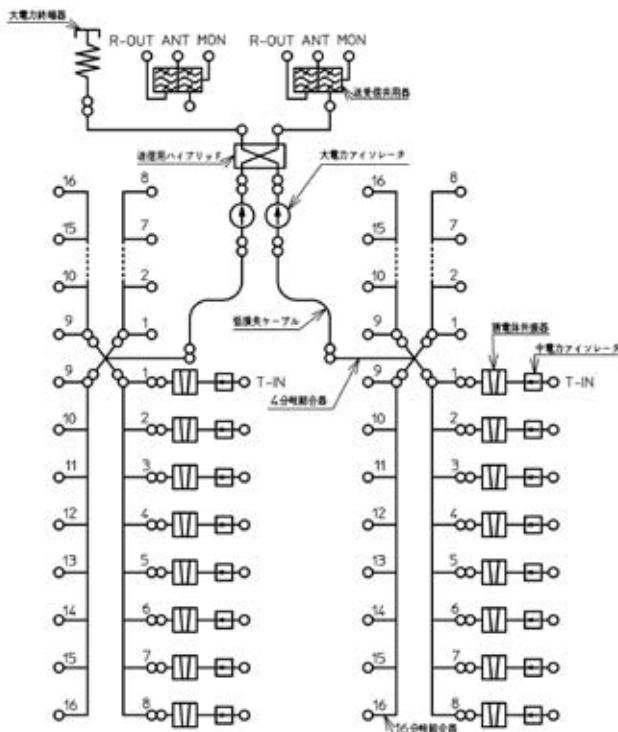


図 11 800MHz 帯 64 チャネル
アンテナ共用装置系統図



図 12 (a) 800MHz 帯 64 チャネル
アンテナ共用装置



図 12 (b) 800MHz 帯誘電体共振器

3.2 【デジタル方式携帯電話 基地局送受信増幅装置】

デジタル方式携帯電話の基地局送信系は複数の搬送波（キャリア）を小電力で合成した後、共通増幅しアンテナに給電するため、前項で説明したアンテナ共用装置は不要である。このため基地局送信系は大幅な小型化が図られ、運用中のキャリア変更が容易となった。

当社では1995年から1.5GHz帯デジタル方式携帯電話用の基地局送受信増幅装置の生産を開始した。送信増幅装置はアンテナのカバリッジエリア(セクタ)ごとに送信電力が規定され、最初の製品はセクタあたり32W(16キャリア)出力で、3次相互変調歪(IM3)抑圧量は60dBc以上であった。この低歪特性を実現するために『フィードフォワード歪補償方式』(以下FF方式)を採用し、装置に適用した⁽¹⁹⁾⁽²⁰⁾。

また、受信装置は給電線損失に起因する受信感度の低下を回避する目的で、屋外のアンテナ直下に配置されるため、耐環境性能には十分注意をはらった。

引き続き、1998年から800MHz帯デジタル方式携帯電話用の基地局送受信装置の生産を開始した。装置構成は前記1.5GHz帯と同様であるが、送信電力はセクタあたり64W(32キャリア)と2倍になったがほぼ同じ大きさでIM3抑圧性能を実現した。図13に800MHz帯の送信増幅装置を図14に同屋外受信装置を示す。



図 13 800MHz 帯デジタル携帯電話
基地局送信装置



図 14 800MHz 帯デジタル携帯電話
基地局屋外受信装置

最大の技術的課題は高効率化であり、回路素子やFF方式の制御アルゴリズム及び最終ステージの増幅器構成に改良を加える一方、FF方式以外の歪補償方式など、継続して研究している⁽²¹⁾⁽²²⁾⁽²³⁾⁽²⁴⁾。

3.3 【携帯電話 屋内通信エリア拡張システム】

携帯電話基地局の整備が進み、屋外で電波が届かないエリア（不感地エリア）は少なくなってきた。しかし、ビルの地下や高層ビルの上層階は基地局からの電波が届きにくい。これらの屋内不感地エリアに対し、通信を可能にするシステムとして、2001年に『同軸給電線によるアンテナ分散システム』を製品化した。このシステムは、対策を要するビルに設置された800MHz帯小型基地局と2GHz帯小型基地局の上り回線（携帯端末→基地局）信号と下り回線（基地局→携帯端末）信号の全4信号を一本の同軸伝送線路にまとめるための『共用器』と、不感地エリア（例えばホテルの部屋）ごとにアンテナを配置するための『アンテナ給電回路』で構成されている。アンテナ給電回路は同軸給電線を伝送する前記4信号を所要信号レベルで分岐・合成する方向性結合器と、結合端に接続されるアンテナで構成されている。このシステムは最大90個のアンテナを分散配置でき、設置も簡単なため比較的小規模のビルに使われている。

この同軸給電線によるアンテナ分散システムの規模を拡大するために、アンテナ給電回路に『増幅装置』を付加した新システムを2005年に製品化した。このシステムは対策エリアの規模拡大に伴い同軸給電線の長さが増すことで、給電損失が増加し、所要C/Nを満たさなくなるという欠点を利得可変型の増幅装置を配置して解決する方法を採用している。この増幅装置を動作するために必要な直流電源と監視制御信号は同軸給電線に重畠している。この新システムは最大240個のアンテナを分散配置できるため、大規模のビルにも対応している⁽²⁵⁾。

デジタル光伝送と同軸線給電を組合わせて、最大256個のアンテナを分散配置できるデジタル光伝送システムを2006年に製品化した。このシステムは携帯電話基地局から直接光ファイバでビル内の親局まで引込み、親局を介してビル内の子局まで光ファイバで配線した後、無線信号に変換し同軸線路でアンテナに給電するものである。このシステムは、同軸給電線によるアンテナ分散システムのように、ビル内に小型基地局を配置する場合にも適用できるなど、拡張性に富むほか、アンテナ端の送受信電力を一定になるよう制御できるので、施工が非常に容易である。図15にデジタル光伝送方式の構成例を示す。

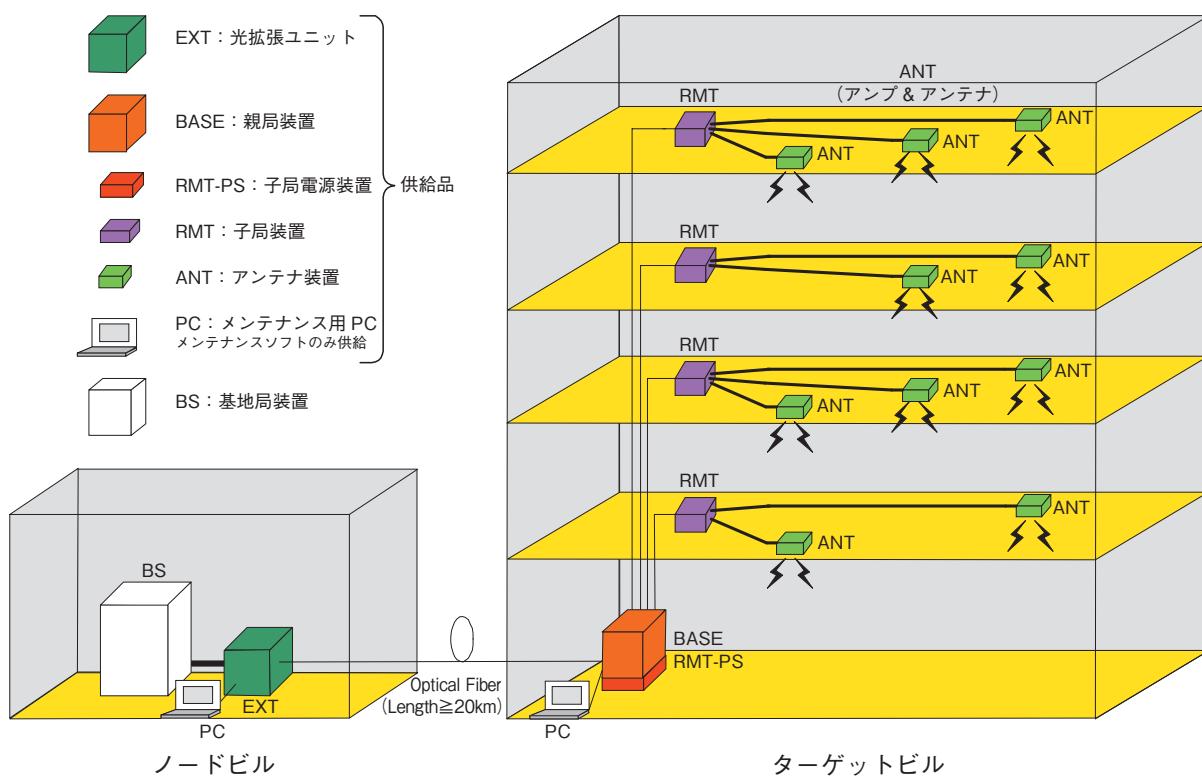


図15 デジタル光伝送方式アンテナ分散システムの構成例

3.4 【19GHz 高速無線 LAN 装置】

従来の LAN システムはメタリックケーブルや光ファイバなどの有線ケーブルで構築されるのが主流であったが、1990 年代に入るとオフィス内の配線の煩雑性と PC 端末の増設、移設をする際のわざわしさを解消するため、無線 LAN への期待が高まった。

また、LAN を流れるデータ容量は急速に増加しつつあり、『高速な無線 LAN』が必要になった。当社は NTT の指導を受け、構内無線局 19GHz 帯データ伝送用無線設備標準規格 (RCR STD-34) に準拠し、Ethernet インターフェースを有する高速無線 LAN 装置を 1995 年に製品化した。この装置は 1 台の中心局に最大 10 台の端末局を接続でき、各端末局は 8 ポートの HUB 機能を有しているため、1 台の中心局で最大 80 台の端末 (PC) を収容する LAN を構成することができるもので、当時の屋内 LAN システムとしては世界最高速の無線区間データ伝送速度 25Mbps を実現した。

無線 LAN はおもに室内で使用されるため、マルチパスによるスループット低下を避ける方法として、端末局ユニットに 12 個のセクターアンテナを持たせる角度ダイバシティを採用し、各セクタアンテナの通信品質をリアルタイムで監視して最適セクタを自動選択している。また、無線区間のパケット衝突を避けるため、GSMA (Global Scheduling Multiple Access) 方式を採用している。高周波部は小形化を図るため、各ブロックの集積化と実装基板の多層化を実現した⁽²⁶⁾⁽²⁷⁾。

図 16 に 19GHz 帯高速無線 LAN システムの利用形態、図 17 に同装置の外観を示す。

3.5 【収容箱】

自動車電話や携帯電話の基地局は無線基地局装置類のほか電力を供給するための整流装置や蓄電装置などで構成されているが、これらの装置を一定環境下で安定に動作させるためには専用の収容箱が必要となる。当社では 1992 年に製品化して以来、今日まで 3,300 台を超える製品を生産してきた。当社収容箱の技術的特長は、構成パネル内に発泡ウレタンを注入して軽量化していること、空調機メーカーと共同開発した防露・省エネ型空調システムを装備していること、現地組み立てが容易な構造としたことなどである⁽²⁸⁾。

機種は収容する基地局のタイプや付属装置の形態などにより十数種類がある。図 18 にビルの屋上に

設置された収容箱を、図 19 に収容箱の内部に機器を収納した状態を示す。

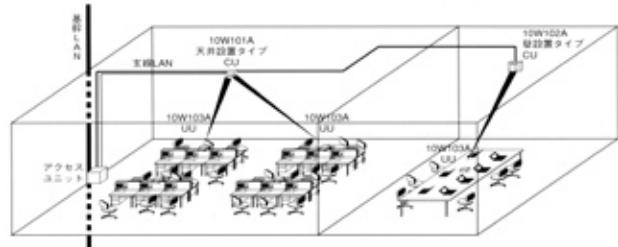


図 16 19GHz 帯高速無線 LAN のシステム利用形態



図 17 19GHz 帯高速無線 LAN 装置



図 18 設置された収容箱



図 19 機器を収納した収容箱

4. むすび

近年の通信技術の動向を注視すると、『固定通信』と『移動体通信』というカテゴリーが、この先もずっと継続するとは思えない。『通信』と『放送』の関係も同じである。機器の事業に携る者として10年後、今回と同じような特集が組まれることを楽しみにしたい。

5. 参考文献

- (1) 阿部 正志：“マイクロ波無線方式50年を迎えて”，島田理化技報，No.15 (2004)
- (2) 電気通信研究所25年史編集委員会：“電気通信研究所25年の記録・上巻”，日本電信電話公社電気通信研究所 (1974)
- (3) 鈴木 真吾, 浅利 哲, 山口 浩, 安田 義孝：“高能率デジタルマイクロ波通信用分波装置”，島田理化技報，Vol.2 No.2 (1992)
- (4) 田中 稔博, 平間 智之, 浅利 哲：“4／5／6／11G-150M-LE方式対応分波装置の開発”，島田理化技報，No.10 (1998)
- (5) 横 敏夫, 布谷 鶴雄, 馬場 覚志, 斎藤 利生：“群分波装置の高次モード変換係数の測定”，(1991) 春季信学大, B - 440
- (6) 横 敏夫, 黒野 正和, 友田 郁雄, 川原 裕之：“4, 5, 6GHz帯小形群分波装置”，(1991) 春季信学大, B - 441
- (7) 萩原 栄治, 渡辺 明徳, 加藤木 義男, 横 敏夫：“金属ブロックを用いたトリプルモードフィルタ”，(2003) 信学ソ大, C - 2 - 83
- (8) 横 敏夫, 平田 圭一, 増子 昭宏, 園田 治毅, 本間 俊彦：“アルミナ基板を用いたファインMICコンポーネント”，信学春全大, SC - 1 - 11 (1993)
- (9) 山口 宏之, 内山 文彦, 平田 圭一, 山田 伸明, 横 敏夫：“1.5GHz帯ファインMIC受信モジュール”，信学春全大, C - 92 (1995)
- (10) 四分一 浩二, 田中 稔博, 鈴木 哲也, 高木 聖二：“100BASE-Txインターフェースを有する50GHzデジタル無線装置”，第5回ミリ波ワーキショップ, MMW2004-8 (2004)
- (11) 高橋 熱, 小杉 正則, 若菱 忠高, 森 智之, 市川 就啓：“通信用ミリ波フロントエンドモジュール”，島田理化技報，No.16 (2005)
- (12) 黒沢 肇：“FWA用25GHz帯RFフロントエンドモジュール”，島田理化技報，No.17 (2006)
- (13) 仁平 浩之, 内山 文彦, 高橋 熱, 田尻 文威, 高木 聖二：“無線伝送装置送信部のコールドスタンバイ方式の一検討”，(2003) 信学ソ大, B - 5 - 51
- (14) 林 真一, 濱田 倫一, 富永 剛, 白津 哲也, 高木 聖二：“無線システム用QPSKデジタル変復調回路”，(2003) 信学ソ大, B - 5 - 49
- (15) 高木 聖二, 仁平 浩之, 伊藤 政浩：“26Mbpsデジタル無線伝送装置”，島田理化技報，No.15 (2004)
- (16) 笠原 康司, 秋本 昭, 若菱 忠高, 吉野 浩輔：“KaバンドVSATトランスマッター”，島田理化技報，No.14 (2002)
- (17) 中平 雅和, 加藤木 義夫：“800MHz帯アンテナ共用装置”，島田理化技報, Vol.2 No.1 (1992)
- (18) 中平 雅和, 相葉 智昭：“自動同調アンテナ共用装置”，島田理化技報，No.6 (1994)
- (19) 大竹 正仁, 永田 秀夫, 森岡 米嗣, 村上 勝, 佐々木 恭介：“800MHz帯10W超低歪フィードフォード増幅器”，信学秋全大, C - 40 (1992)
- (20) 永田 秀夫, 青木 和也, 伊藤 政浩, 則竹 賢治, 佐々木 恭介：“800MHz帯 GaAs FET電力増幅器”，信学秋全大, C - 53 (1992)
- (21) T. Ogawa, T. Iwasaki, H. Maruyama, K. Horiguti, M. Nakayama, Y. Ikeda, and H. Kurebayashi：“High efficiency feed-forward amplifier using RF pre-distortion linearizer and the modified Doherty amplifier”，IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest, pp.537-540, (2004)
- (22) 岩崎 隆司, 小川 二良, 鈴江 秀規, 堀口 健一, 中山 正敏, 池田 幸夫：“ドハティ増幅器の周波数・温度特性に対する実験的検討”，(2004) 信学ソ大, C - 2 - 29
- (23) 丸山 弘志, 岩崎 隆司, 林 亮太, 鈴江 秀規, 小川 二良, 能登 一二三, 山内 和久, 池田 幸夫：“直・並列ダイオード合成形RFプレディストーションリニアライザ”，(2005) 信学ソ大, C - 2 - 5
- (24) 岩倉 章次, 早川 達也, 松崎 紀比古, 堀口 健一, 中山 正敏, 池田 幸夫, 立木 武彦：“ドハティ増幅器の周波数・温度特性に対する実験的検討”，(2004) 信学ソ大, C - 2 - 9
- (25) 伊藤 政浩, 池端 道彦, 倉内 康敬：“同軸給電

- 線によるアンテナ分散システム”, 島田理化技報, No.17 (2006)
- (26) 白土 正, 花澤 徹郎, 岡田 隆, 丸山 珠美: “19GHz 帯高速無線 LAN 装置”, NTT R&D, Vol.45 No.8 (1996)
- (27) 仁平 浩之, 佐々木 正年, 槙 敏夫, 武田 直樹: “19GHz 帯高速無線 LAN 装置”, 島田理化技報, No.8 (1996)
- (28) 福村 郷司, 杉山 裕通, 松本 光弘: “自動車電話基地局用収容函”, 島田理化技報, No.14 (2002)

筆者紹介

電子事業本部

東京製作所

技師長

槙 敏夫



■ 60周年記念特集

当社における産機事業の技術の変遷

安藤 英一
Eiichi ANDO竹森 雅史
Masashi TAKEMORI堀崎 邦夫
Kunio HORIZAKI

1. はじめに

今年は当社設立60周年にあたり、この機会に産機事業に関する技術の変遷について述べる。

産機のビジネスは大きく、洗浄と高周波加熱に分けられる。洗浄ビジネスの内容は半導体、液晶(FPD)それに精密の各分野の洗浄装置に係わるものであり、高周波加熱ビジネスは誘導加熱及び誘電加熱(マイクロ波加熱)装置である。

ここ10年ほどを振り返り、それ以前の重要な事柄も交えながら、それぞれの分野の技術について述べる。

2. 半導体洗浄

日本の経済は、最近、ようやく明るい話題が出てきたが、特に、半導体の分野では「失われた10年」とも言われる低調な状態が続き、米国に生産量で追い越され、また、近隣の国々にも追い上げられる状況であった。

このような中で、平成8年に半導体産業復活のため、経済産業省(当時は通商産業省)の指導のもとに、「技術研究組合超先端電子技術開発機構」(ASET)が設立され、産業界、学界の研究者を集め、半導体、磁気記録、ディスプレイの次々世代共通基盤技術の開発を目指した。また、300mmウェーハ対応の生産技術の開発のために半導体メーカー10社の共同出資による「株式会社半導体テクノロジーズ」(Selete)が設立された。

当社もSeleteと協力して300mmウェーハ用枚葉式及びバッチ式洗浄装置の評価を行った。図1に枚葉式の洗浄装置を、図2にバッチ式の洗浄装置を示す。

一方、ASETにおいては半導体の洗浄部門へ参加し「超微細粒子制御クリーニング技術の研究開発」のテーマのもと、ウェーハ上の微細粒子を超音速2流体ジェットにより発生させた高速の液滴により除



図1 300mmウェーハ用枚葉式洗浄装置



図2 300mmウェーハ用バッチ式洗浄装置

去する洗浄技術を開発した。当洗浄は水とガスだけによる洗浄であり、酸、アルカリ、あるいは洗浄剤を用いないことから環境への負荷の少ない洗浄方法である。また、30nmの微細粒子を光学的に検出できる洗浄評価技術を世界で初めて開発した。以下、それらの技術について述べる。超音速2流体ジェットとは、水とガスをラバールノズルといわれる先端部分に向けて拡がる形状のノズルに導入し、液滴をガス流により超音速に加速して被洗浄物に照射し、ウェーハ表面に付着している超微細粒子を除去す

るものである。図3は洗浄装置の要である超音速2流体ノズル（ラバールノズル形状）の断面を示す。大きさ30nm程度までの微細粒子の除去能力を持つ

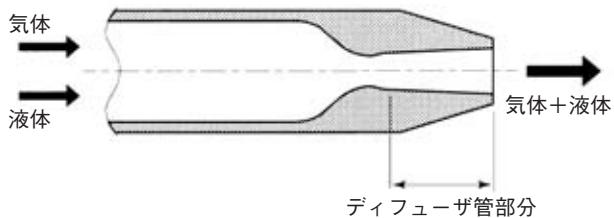


図3 超音速2流体ノズル

つ、超音速2流体ジェットによる洗浄のメカニズムは実験と数値計算による検討の結果、次のように考えられる。

- 液滴が被洗浄物に高速で衝突することにより；
1. 液滴内に発生する衝撃波によりダイナミックな圧力の変化が生じ微細粒子を剥離する。
 2. 被洗浄物表面に沿って流れるジェット流は飛翔する液滴の速度の2倍以上となり、そのジェット流で微細粒子を押し流す。
 3. 液滴の衝突により生ずる被洗浄物の振動により微細粒子は振り落とされる。

図4に液滴の衝突時の数値計算例を示す。

液滴が300m/sの速度で固体に衝突し、表面に沿って600m/s以上の速度で流れる状態を示している。

図5は固体表面と液滴の中心軸の交点における

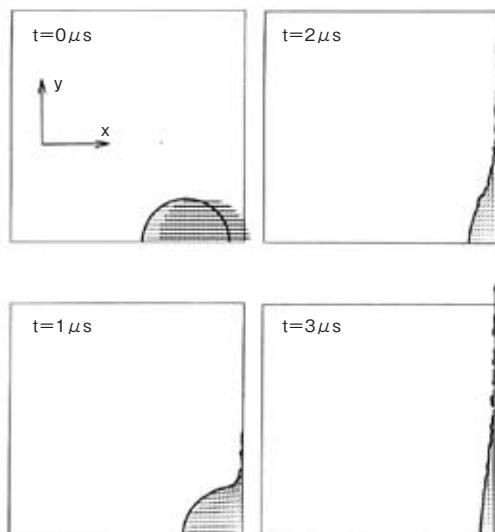


図4 数値計算例

圧力履歴であり、衝突後最大320MPaに達した後、振動を繰り返しながら減衰している。

さらに、洗浄能力を向上させるために、機能水（オ

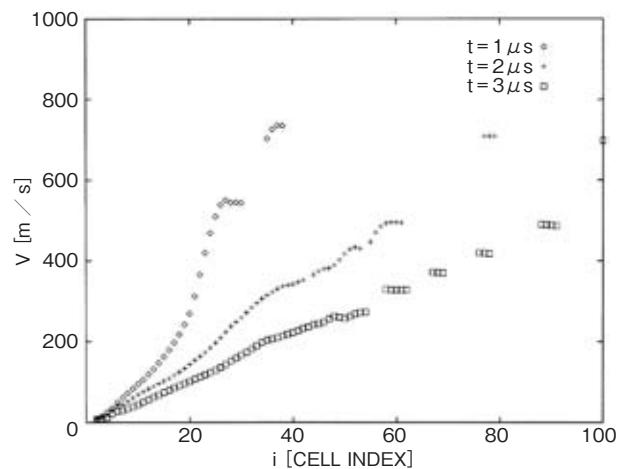


図5 流速分布

ゾン水、水素水、電解アノード水、電解カソード水など）の検討を行っている。被洗浄物が液中にある状態において、被洗浄物の表面状態と微粒子の付着力をその周囲にある液の影響を考慮して検討したものである。図6にそれらの結果を示す。

図中の左上にある四角で表しているものはガラス基板につけたPSL (Polystyrene latex) 粒子であり、剥がれやすいことがわかる。当然のことではあるが付着エネルギーが低いほど剥がれやすく、高くなると剥がれにくい。

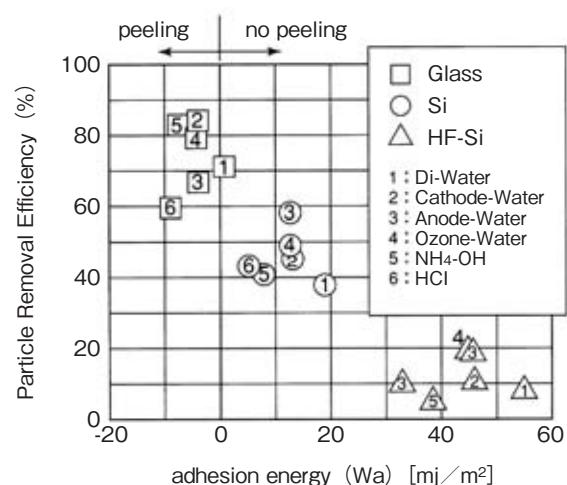


図6 付着エネルギーとPSL除去率の関係

次に 30nm 程度の微細粒子の検出手法について述べる。この大きさの微細粒子を検出するためには原子間力顕微鏡 (AFM: Atomic force microscope) が用いられるのであるが測定時間において実用的でなく、他に実用的に検出する装置がないため浜松フォトニクス (株) の協力を得て開発した。

微粒子の検出にはレーザー光を照射し、その散乱光を測定するのであるが、ウェーハ上の微細粒子を検出するために Discrete-Dipole Approximation 法を採用し具体的に観測装置を開発した。なお、DDA 法については巻末の参考文献を参照されたい。

2mm × 2mm の領域を 1 秒以下の速度で観察することが可能となり、また、30nm 程度の PSL を検出することが可能であることを AFM の観測と併せて確認している。図 7 は検出した 30nm の微細粒子のマップであり、その中の一微細粒子の原子間力顕微鏡 (AFM) 像である。

ASET で行った研究開発の成果は、現在、枚葉式超音速 2 流体ジェット洗浄装置として製品化され、半導体メーカーで使われている。

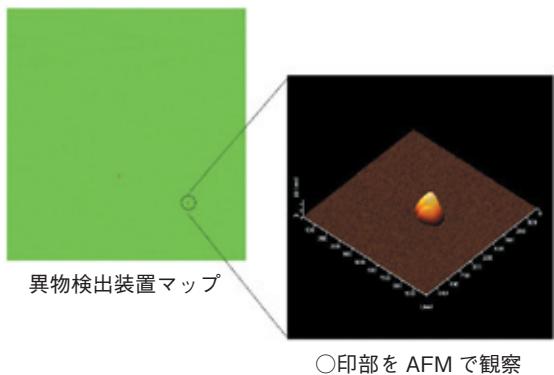


図 7 超微粒子検出装置の出力画像と AFM 画像

1997 年 9 月に IBM が全く新しい発想により電気銅めっき法による半導体の配線形成法を発表した。国内半導体メーカーもそれまで開発を続けていたが、大きな技術力の差を見せ付けられ、「銅配線ショック」とまで言われた。銅配線にすることにより、従来のアルミ配線に比べて電気伝導度がよいために配線を細くすることが可能となり、コンパクトに作ることができる。また、配線の抵抗と線間の容量 (キャパシタンス) で作る時定数が低くなるために集積回路のスピードを上げることができる。

当電解めっきの難しいところは、1 μm 程度の細い穴の中に隙間なく銅を堆積させる技術であり、

めっき液への添加物の配合、それに適した電気的条件など、いくつもの壁がある。

当社も 1999 年に半導体銅めっき装置を開発しセミコンジャパン、セミコンウェストで展示発表した。図 8 に示すのは C-Face と呼ぶ装置である。



図 8 C-Face (銅めっき装置)

当社の半導体事業は、2002 年に 2 流体洗浄装置などの枚葉装置を主とする方向に舵を切り今日に至っている。

3. 液晶基板洗浄

この 10 年でパソコンのモニターは、CRT から液晶パネルに変わり、画面の寸法も大きくなってきた。また、家庭でも液晶テレビ、プラズマテレビが広く普及し画面の拡大と低価格化が進んできている。

液晶パネルメーカーではガラス基板寸法の拡大と取り数の増大が続き、この 10 年で寸法は約 360mm × 460mm から約 1900mm × 2200mm と面積比にして約 25 倍に、取り数は約 10 インチ × 4 枚から約 40 インチ × 8 枚に拡大した。

また、液晶パネルの市場では、この 10 年間で韓国と台湾メーカーがシェアを伸ばし、約 80% を占めるに至っている。また製造装置も、韓国と台湾のメーカーの進出が目立つようになってきている。

当社で製作している液晶基板の洗浄装置は、大別すると、バッチ式と枚葉式、またこれらの複合タイプ (CSS: キャリアレス アンド シート バイ シート システム) の 3 種類に分けられる。

また、前述したようにガラス基板寸法の拡大により、近年の装置は、枚葉式のローラー搬送方式が主流となっているが、数年前までは、様々な搬送方式の装置が製作されていた。

まず、それらの装置のいくつかを紹介する。

液晶パネルの製作においては、ガラス基板上へ電極用の薄膜を成膜した後、レジスト塗布、プリベーク、露光、現像、ポストベーク、エッチング、剥離、絶縁膜成膜などの工程を繰り返すが、550mm×670mmまでのガラス基板のレジスト剥離用として、当社では、サーボモータによる高速ロボット搬送のレジスト剥離装置を供給していた。その装置の外観を図9に示す。



図9 レジスト剥離装置

このレジスト剥離装置の特長としては、カセットに入った数十枚の基板を搬送するタイプの他に、液中に持ち込むパーティクル量を減少し、より洗浄度の向上を実現したキャリアレスタイプがある。

キャリアレスであっても数十枚の基板を一度にチャッキングするため、搬送ロボットには、高精度の位置決めが要求された。

また、ゲート絶縁膜の成膜においては、電解溶液中に酸化したい金属をプラスに、他の金属電極をマイナスにして浸漬し、プラスにした金属の表面を酸化する技術の一つで陽極酸化法というものがあり、これを応用、装置化した陽極酸化装置を図10に示す。この装置には、枚葉式とバッチ式の2通りの装置があり、その各々が、サーボモータの高速ロボット搬送による陽極酸化処理のあと、ローラー搬送で洗浄を行う独特のスタイルを持っていた。



図10 陽極酸化装置

また、同じような搬送スタイルを持つ装置に有機物や酸化膜の除去を目的とした薬液処理装置などがある。

TFT基板とカラーフィルターを張り合わせた後、その空間に液晶を注入し、封止材（エポキシ系接着剤など）でシールを行うが、この液晶基板の張り合わせ、封止工程では、その封止後の洗浄を行うためのバッチ式封止後洗浄装置も数多く手がけてきた。装置の外観を図11に示す。

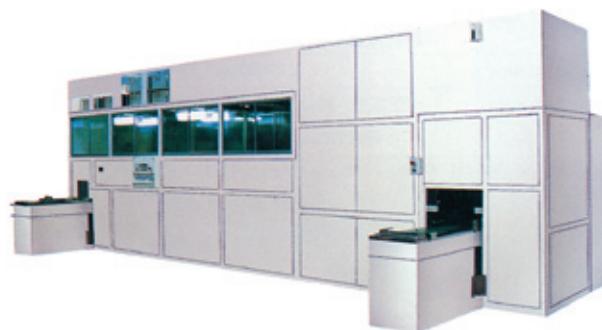


図11 封止後洗浄装置

封止後洗浄装置には、上下機構と横送り機構が独立したホールドラン搬送方式が採用されている。

なお、封止後洗浄装置と同様の搬送方式を採用したバッチ式装置として、基板寸法が1000mm×1200mm対応の成膜前洗浄装置、研磨後洗浄装置、出荷前洗浄装置などがある。

当社の枚葉式（ローラー搬送方式）の液晶用洗浄装置は、主にガラス基板メーカー向けと液晶パネル工程（配向膜塗布前洗浄、ラビング後洗浄）向け装置から納入を開始した。その後、1999年に液晶アレイ工程（レジスト塗布前洗浄、レジスト剥離等）向けのレジスト剥離装置を開発し、供給を開始した。

また、三菱電機株式会社先端技術総合研究所の協力を受けて、オゾンレジスト剥離技術を開発し、2001年に高濃度オゾンを利用したレジスト剥離装置を製品化した。

現在、基板寸法の拡大が急速に進んでいるため、顧客の協力を得ながら、基板寸法の大型化対応に取り組んでいる。基板の大型化は、装置設置面積、ユーティリティの増大をもたらす。当社では洗浄ツールの開発を進め、US-DIPからUSノズルへの置き換え、高圧BJノズルによる洗浄液の微粒子化、新型ブラシの開発等により、洗浄性能向上、設置面積削減、ユーティリティ削減などを図っている。



図 12 第 7 世代対応洗浄装置

図 12 に第 7 世代基板 (1900mm × 2200mm) 対応の洗浄装置の外観、図 13 に DIP-US の説明図、図 14 に US ノズルの断面図、図 15 に US ノズルの異物除去試験の結果、図 16 に高圧 BJ の異物除去試験の結果を示す。また搬送機構、ブラシ駆動機構も高剛性化、軽量化設計を行い、信頼性向上を図っている。更に装置設置面積及び、ユーティリティ削減のため、基板を斜めにして搬送する傾斜搬送方式の検討を進めている。

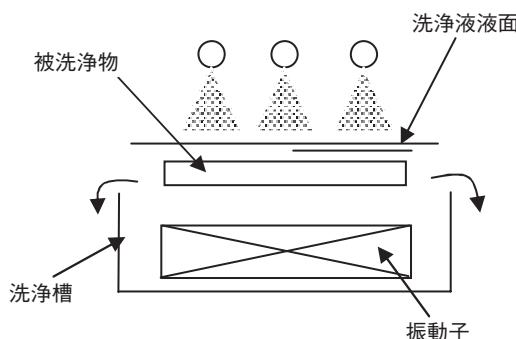


図 13 DIP-US槽

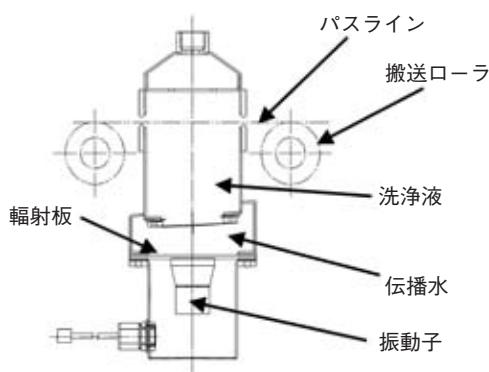
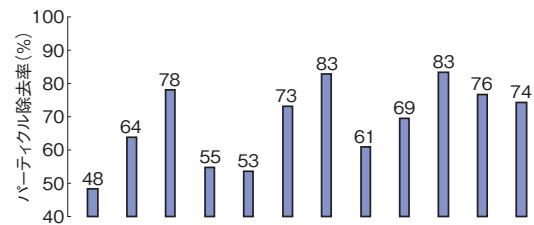


図 14 US ノズル断面図

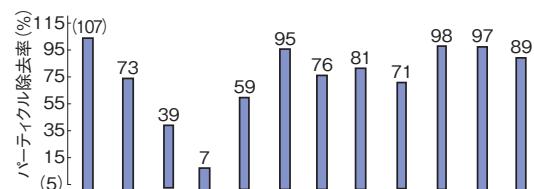


| 単位 | ①リンスSWのみ | | | | ②US-Dip (39kHzFe) | | | | ③US-ノズル (39kHzPZT) | | | |
|-----|----------|------|------|------|-------------------|------|------|------|--------------------|------|------|------|
| 単位 | S | M | L | T | S | M | L | T | S | M | L | T |
| 初期値 | 1946 | 818 | 226 | 2990 | 2002 | 857 | 214 | 3073 | 1891 | 904 | 255 | 3050 |
| 洗浄後 | 1010 | 297 | 50 | 1357 | 934 | 232 | 37 | 1203 | 581 | 151 | 60 | 792 |
| 除去率 | % | 48.1 | 63.7 | 77.9 | 54.6 | 53.3 | 72.9 | 82.7 | 60.9 | 69.3 | 83.3 | 76.5 |

除去率: (初期値 - 洗浄後) / (初期値) * 100

※S=1~3μm, M=3~5μm, L=5μm以上

図 15 US ノズルの異物除去試験結果



| 単位 | ①リンスSWのみ | | | | ②旧BJ(上1段) | | | | ③新BJ(上1段) | | | |
|-----|----------|-------|-----|------|-----------|------|-----|------|-----------|------|-----|------|
| 単位 | S | M | L | T | S | M | L | T | S | M | L | T |
| 初期値 | 343 | 170 | 101 | 614 | 201 | 50 | 38 | 289 | 508 | 97 | 85 | 690 |
| 汚染後 | 1270 | 1692 | 245 | 3207 | 1328 | 1857 | 151 | 3336 | 1942 | 2862 | 155 | 4959 |
| 洗浄後 | 2262 | 574 | 189 | 3025 | 659 | 132 | 65 | 856 | 923 | 159 | 87 | 1169 |
| 除去率 | % | (107) | 73 | 39 | 7 | 59 | 95 | 76 | 81 | 71 | 98 | 89 |

除去率: (汚染後 - 洗浄後) / (汚染後 - 初期値) * 100

※S=1~3μm, M=3~5μm, L=5μm以上

図 16 高圧 BJ の異物除去試験結果

4. 精密洗浄

当社の超音波洗浄への取り組みは昭和 32 年にさかのぼる。当時の超音波振動子はニッケル製であり、発振器には真空管を用いている。現在、振動子にはボルト締め圧電振動子、発振器は電界効果型トランジスタを用いているが超音波洗浄の原理は変わっていない。洗浄では、被洗浄物に加わる機械力、洗浄液の化学力、洗浄槽内、配管内の洗浄液の流し方とクリーン度、装置内クリーン度などが洗浄仕上がりを大きく左右する。当社では半導体ウェーハ、フラットパネル以外の洗浄を精密洗浄と位置付けしており、それらの用途に対応した洗浄技術開発が続いている。

超音波洗浄の主要応用分野である精密洗浄装置はフロン、エタン系の溶剤系洗浄装置と、洗剤を使用する水系高清浄用洗浄装置が主力であった。そのため、この 10 年間、環境負荷低減のために脱フロン脱エタンへの対応と、ディスク、ハードディスクドライブなどの、必要とされる洗浄仕上がりが年毎に上昇する洗浄要求に対応してきた。また設備投資効果向上のため、省フットプリント、省ユーティリ

ティ、高スループット化などにも取り組んできている。

脱フロン脱エタンへの当社の取り組みは早く、フロン、エタンの全廃に向け、1992年に炭化水素系溶剤を使用できるユニット型洗浄装置（SUC300シリーズ）を製品化し販売を開始している。この装置は約300mm角以内の被洗浄物に対応できる装置で、超音波洗浄、噴流洗浄、熱風乾燥が主な洗浄、乾燥方法であった。その後、大型の被洗浄物に対応するためのシリーズ化と洗浄、乾燥方法の充実が進められ、400mm角対応、500mm角対応のSUC400、500シリーズがラインアップされ、減圧と常圧を短周期で繰り返して行い、止まり穴の洗浄、乾燥にも対応できるようにした減圧超音波洗浄、減圧ベーバー真空乾燥などもラインアップされている。

今日では、三菱電機株式会社先端技術総合研究所の協力を受け、マイクロバブルによる表面吸着と分離作用を応用したマイクロバブル洗浄装置（MB-301）を開発し、販売している。この装置は溶剤を使用せず、水ベースによる洗浄方式を使用しているため、低コストかつ低環境負荷型の装置であるなど



図 17 マイクロバブル洗浄装置（MB-301）

多くの特長を有する。図17にマイクロバブル洗浄装置の外観を示す。

また、蒸気洗浄、乾燥に使用することのできるオゾン破壊係数ゼロのフッ素系洗浄剤などが開発され、性能調査、用途開発、製品開発が進められている。洗浄特性は異なるが、フロン、エタンと似た使い方ができるため、フロン、エタン系洗浄装置の設計上のノウハウを適用できる点が多い。図18にオゾン破壊係数0の洗浄剤を使用できるフッ素系洗浄剤対応型洗浄装置を示す。



図 18 フッ素系洗浄剤対応型洗浄装置

一方、情報化社会の高度化に伴い、半導体、記録媒体、表示素子のめざましい性能の向上にも支えられて情報化機器などの市場は大きく広がっているが、洗浄もそれらの性能向上への役割を果たしてきた。

例えば記録媒体であるハードディスクの記録密度はこの10年で約100倍になっている。そのため製造工程における洗浄もより高清浄な仕上がりを求められることとなり、管理されるパーティクルの大きさ、数とも毎年厳しくなっている。洗浄技術も向上を続け、当社では、装置内のクリーン度の向上はもとより、超音波のダメージを減らし、数ミクロンレベルのパーティクル除去を狙う、中周波の超音波洗浄装置の開発、洗浄槽内の液の流れの解析などの技術の蓄積を続け、それらの実現に対応している。

また、表示素子であるフラットパネルは大型化が進み、その製造工程で使用されるフォトマスクの寸法も1辺が2m近い大きさになっている。浸漬洗浄方法を採用しているため、装置全高が5.5mと、大型の装置となっているが、IPA蒸気乾燥使用時のIPA収容量を400L以下に押さえるなど、洗浄槽の省容積化を図っている。メンテエリヤの配置も従来装置と異なり、装置内クリーン度を確保しつつ、メンテ性を配慮した設計としている。洗浄槽も液深が深くなるが、超音波振動子の配置を工夫し、超音波を利用した洗浄を可能にした。乾燥はIPA蒸気乾燥又は温純水引上げ乾燥を選択できるようにしている。

被洗浄物は搬送ハンガー含め約100kgとなる為、剛性をあげ、安定に搬送できる機構を採用している。装置の外観を図19に示す。



図 19 大型マスク基板用洗浄装置

従来から供給を続けてきた光学部品等向け洗浄装置は、それまでは多槽／1筐体のスタイルであったが、新たな搬送機構を開発し、装置の体積を半減（当社比）すると共に、1槽／1筐体のユニットを組合せた装置とし、多くの顧客に使用頂いている。この装置は洗浄性能を確保しつつ、従来型に比べ、省フットプリント、省ユーティリティ、高スループットを実現し、投資効果の向上も図っている。またユニットを組み合わせた装置であるため、設置後でも洗浄工程の組み替えが可能になっている。図 20 にこの装置の外観を示す。

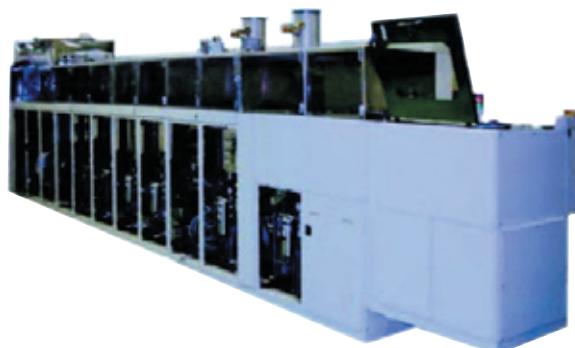


図 20 ユニットバッチ型洗浄装置

5. 高周波加熱

最近は、高周波加熱は家庭内で身近に使われている。誘電加熱は多くの家庭で見られる電子レンジであり、電磁調理器は誘導加熱の応用である。いずれも火を使うことなく加熱できることが特長であり安全性が高い。一方、業務用の分野でも、平成 7 年頃

からビル内にある厨房では調理人の作業環境の改善及び安全のために電磁調理器が使われ始めた。当社でも三菱電機株式会社とタイアップして業務用の電磁調理器を開発し、加熱の均一性あるいは様々な加熱パターンが選択可能であることを特徴に、食品加工機械の展示会に出展した。図 21 にレンジに組み込んだ例を示す。



図 21 業務用電磁調理器

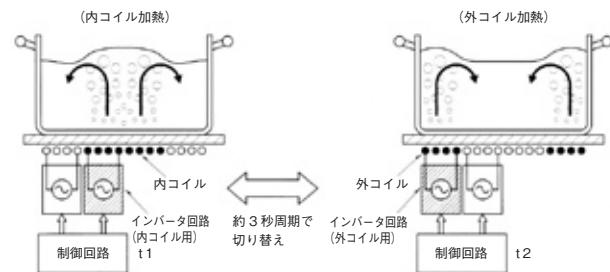


図 22 内・外パルス加熱方式

図 22 は内・外パルス加熱方式といわれるものを示したものである。内側のコイルと外側のコイルに交互に電流を流し、従来にない加熱パターンを作ることにより、例えばシチューの出来上がりが速くなる、という特長を持つ。

以下に、当電磁調理器で使われている高周波技術を紹介する。一番の特長はカレントトランス板（以下、CT 板）を採用した点にある。通常、カレントトランスはインピーダンスマッチングをとるために使われる。CT 板はその応用である。

通常の電磁調理器では渦巻状の加熱コイルを採用しているのであるが、このような形状のコイルでは中心部の磁界が弱いため加熱される鍋も中心部の温度が上がらず、ドーナツ状の加熱パターンを形成する。そのため、中心部での調理がうまくいかずホットケーキ、オムレツなどでは中心部が未調理のままである。

残ってしまうことがある。

このような不具合を解決するために上記の CT 板を開発し、中心部も加熱できるようにした。具体的には加熱コイルの上に CT 板を配置し、中心部まで磁界が強い状態を作る。図 23 に放射スリット型 CT 板を示す。

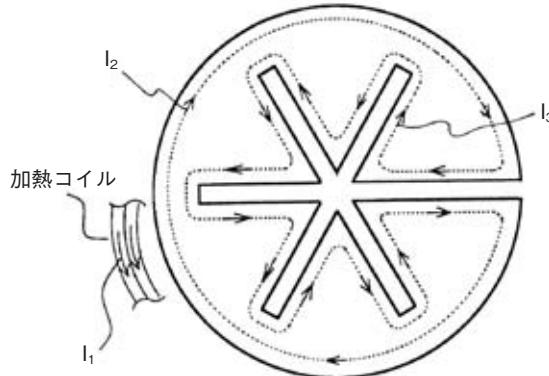


図 23 放射スリット型 CT 板

この CT 板の動作は、加熱コイルに流れる電流 I_1 に対して CT 板には破線で示す誘導電流 I_2 , I_3 が流れる。誘導電流は CT 板の周辺部を流れるため、スリットの形状に沿って流れる。そのため中心部に向かって電流 I_3 が流れることになり、鍋の中心部は強く発熱することになる。一方、CT 板の外周部の誘導電流 I_2 は加熱コイルの電流 I_1 の方向と逆の方向に流れるため磁界を互いに打ち消しあって、鍋の周辺部の発熱を抑え、その結果、均一な加熱が可能となる。

図 24 に従来型の加熱コイルによる温度パターンを示す。図 25 は放射スリット型 CT 板を適用した例である。中心部の温度が上昇しドーナツ状のパターンが解消されている。

環境意識が高まり、ISO14000 の認定取得事業所が増えるとともに、省エネルギーへの取り組みが見直されるようになってきた。図 26 は当社の高周波電源の省エネ、省スペースの推移を示している。最新のパワーエレクトロニクス技術を取り入れて格段の省エネを進めている。現在では当社の高周波電源は ECO 型のシリーズになっている。図 27 は ECO 型真空溶解用 600kW インバータ (SBT-EL600) の外観を示したものである。その特長は高効率であることに加え、高速加熱に対応が可能であり、大容量の発振器でありながら小型化を実現している。

ECO 型インバーターシリーズの中で、発振周波数が 100 ~ 300kHz の高周波高速インバータの仕様

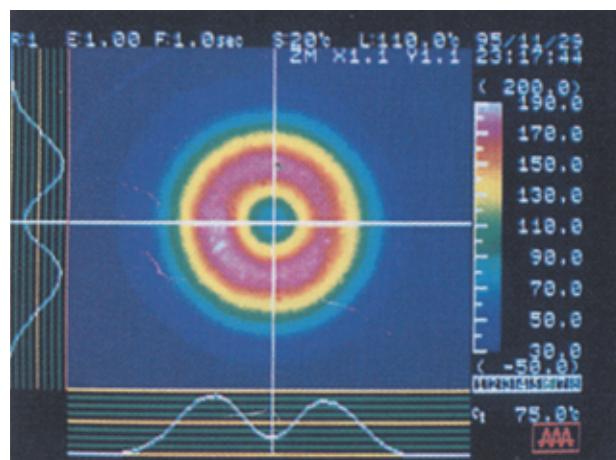


図 24 従来型コイルによる加熱分布

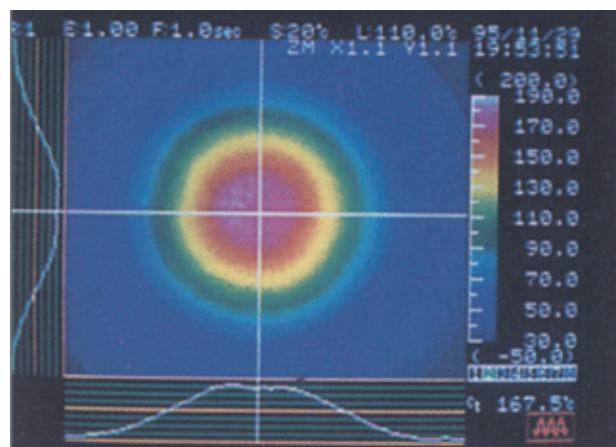


図 25 放射スリット型 CT 板による加熱分布

を表 1 に、装置の外観を図 28 に示す。当インバータの特長を以下に示す。

(1) 高速立ち上がり

位相制御方式を採用することにより、立ち上がり時間は 20ms (当社比 10 倍高速)。

(2) 信頼性の向上

平滑コンデンサーは充放電を繰り返すために性能劣化が避けられないが、3 相交流を直接ダイオードスタックで整流しインバータ部へ直流を供給する方式を採用して平滑コンデンサーを用いないことにより信頼性を向上させた。

(3) 電源力率 95% 以上

ダイオードスタックによる整流方式を採用しているため電流、電圧の位相ズレが生じないため、高力率が可能。

(4) 電源高調波の低減

ダイオードスタックを採用し制御整流素子を用いないため高調波の発生を低減。

— 高周波出力 100kW の比較 —

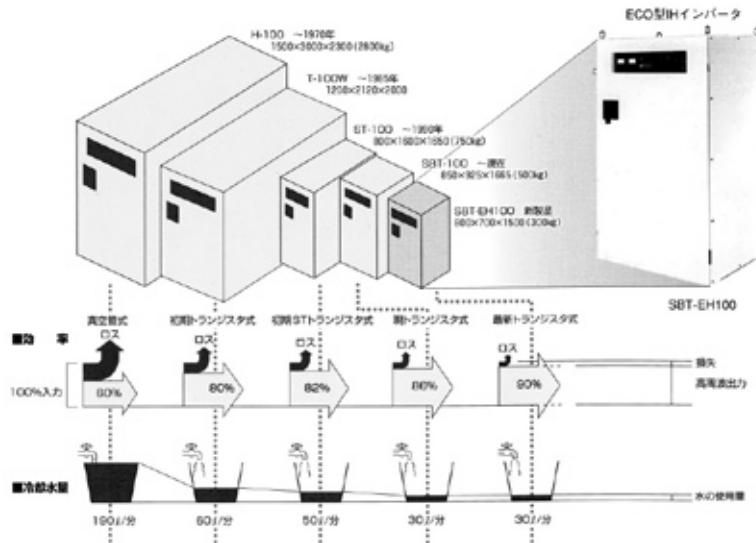


図 26 100kW 高周波電源の効率と大きさの変化



図 27 ECO 型 600kW インバータ

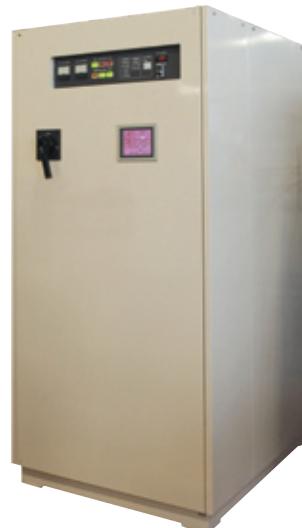


図 28 SFT-E100N 外観

表 1 高周波高速インバータ主要性能

| 型 式 | SFT-EN シリーズ |
|-------------|---|
| 電 源 入 力 | 三相 200V ± 10% 50Hz/60Hz |
| 定 格 出 力 | 25 ~ 300kW |
| 発 振 周 波 数 | 100kHz ~ 300kHz (内一波) |
| 冷 却 方 式 | 水冷 (純水不要) 水温 5°C ~ 35°C 比抵抗 4kΩcm 以上 硬度 CaCO ₃ 換算 170ppm 以下 |
| 使 用 周 围 条 件 | 温度 5°C ~ 35°C 湿度 85% 以下 |
| 出 力 安 定 度 | 電源電圧 ± 10% 対し ± 1% 以下 |
| 保 護 機 能 | インバータ温度異常, 発振周波数異常, 冷却水量低下アラーム, 加熱コイル地絡検出, DC/高周波過電流異常等 |

この高周波高速インバータは高周波焼き入れの用途に最適な特性を有している。

当社の強みは加熱装置に用いる高周波電源はすべて自社製品であり、顧客の多様な要求に応じることができることである。

2005年7月に有明・東京国際展示場（東京ビッグサイト）において開催された「サーモテック2005 第4回工業炉・関連機器展」に出展した薄板誘導加熱システムが話題を集めている。薄い金属板を均一に加熱できることが特徴である。最近の自動車には安全かつ軽量化のために高張力鋼板が使われるようになってきた。1mm以下の薄い鋼板である

が焼き入れをして用いられることもあり、上記の加熱システムが自動車業界から注目されている。さらには、2005年度から大気汚染防止法の改正（VOC規制）が施行され、鋼板の塗装にかえてラミネート鋼板や水性塗料の乾燥などの需要が伸びてきている。鋼板にラミネートを施す場合には均一な加熱が必要であり薄板加熱システムが適用されている。鋼板以外にアルミ板、ステンレス板、マグネシウム板などの薄板にも使用されている。図29に当システムによりアルミ薄板を加熱した状態を示す。従来の加熱方式では温度分布を生じ、端部の方が高温になるのであるが、当システムではほぼ均一に加熱されている。

このほか誘電加熱の環境関連装置への応用などがある。当社の強みは加熱装置に用いる高周波電源はすべて自社製品であり、顧客の多様な要求に応じることができることである。

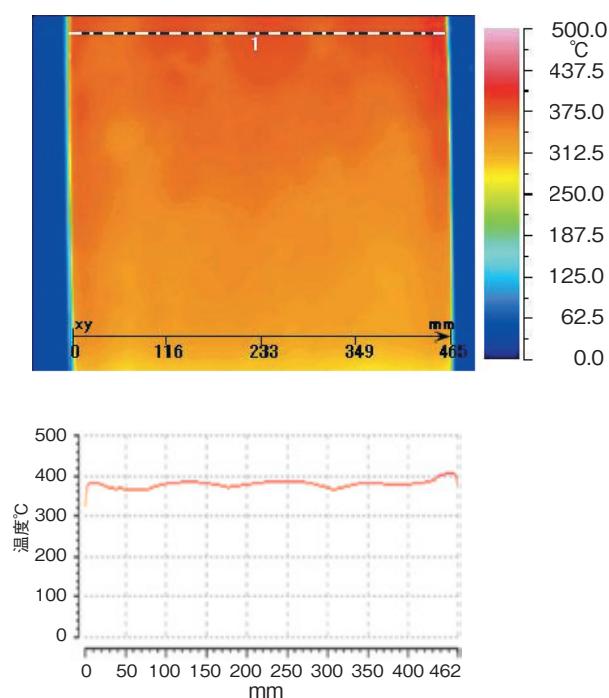


図29 アルミ薄板の幅方向温度分布

6. むすび

振り返ってみると、高周波加熱あるいは洗浄に使われている技術について、基礎といわれる多くは、昭和20年代から30年代に作られている。例えばビニールを溶着するための誘電加熱を応用した「高周波ミシン」といわれるものは昭和24年に製品化されており、超音波洗浄装置も昭和32年に販売され

ている。これらの技術は、現在使用されている分野こそ異なるものの、その原理、基礎技術は変わるものでなく、真に必要とされる技術は時代をこえて使われ続けている。

参考文献

半導体洗浄の関連

- (1) Song, S.H., Lee, S.Y., Study of atomization mechanism of gas / liquid mixtures flowing through Y-jet atomizers, *Atomization and Sprays*, Vol.6, 193-209 (1996)
- (2) 横山哲夫, 加圧2流体ノズルについて, 第5回微粒化シンポジウム講演論文集, 279-284 (1996)
- (3) Bowden, F.P., S. F.R. and Brunton, J.H., The deformation of solids by liquid impact at supersonic speeds, *Proc. Roy. Soc. A*, Vol.263, 433-450 (1961)
- (4) Field, J.E., Lesser, M.B. and Dear, J.P., Studies of two-dimensional liquid wedge impact and their relevance to liquid drop impact problems, *Proc. Roy. Soc. Lond. A*, Vol.401, 225-249 (1985)
- (5) Shi, H.H., Takayama, K., Generation of high-speed liquid jets by high-speed impact of a projectile, *JSME Int. J., B*, Vol.38, No.2, 181-190 (1995)
- (6) Korobkin, A., Global characteristics of jet impact, *J. Fluid Mech.*, Vol.307, 66-84 (1996)
- (7) Takayama, K., Application of holographic interferometry to shock wave research, *Proc., SPIE*, Vol.298 (1983)
- (8) Falcovitz, J., Ben-Artzi, M., Recent developments of the GRP method, *JSME Int. J., B*, 38, No.4, 497-517 (1995)
- (9) Godunov, S.K., A finite-difference method for the numerical computation of discontinuous solutions of the equations of fluid dynamics, *Mat. Sbornik*, Vol.47 (1959)
- (10) E.J. Verwey and J.Th.G. Overbeek, *Theory of Stability of Lyophobic Colloid*, Elsevier, Amsterdam (1948)
- (11) 立幅, 河合:“第44回応物春予稿集”, 2, p777, (1997)
- (12) 立幅, 鳴田, 安藤, 河合:“第35回接着学会年次大会予稿集”, p75 (1997)

- (13) D.H. Kaelble : J. Appl. Polym. Sci, 18, p1869 (1974)
- (14) A.Kawai, H.Nagata, M.Takata : Jpn. J. Appl. phys., 31, p3725 (1992)
- (15) A.Kawai : Journal of the Adhesion Society of Japan, 33, p39 (1996)
- (16) 本間俊彦, 山口広之：“小型・低価格F-MIC基板の開発と応用”, 島田理化技報, No.7, pp.35-40 (1995)
- (17) 日経エレクトロニクス 1996.6.3 (No.663) pp81-105
- (18) Jurgen Simon, Wolfgang Zilske, Franz Simon: “The Development of a High Speed Gold Sulfite Electrolyte for Bumping”, Proc. '95 Flip Chip, BGA, TAB and AP Symposium, San Jose (California) , pp275-289 (1995)
- (19) Jurgen Simon : “Development of a High Speed Gold Bumping Process Using a Sulfite Electrolyte”, IMC 1996 Proceedings, Omiya, pp265-269 (1996)
- (20) 平野他：“高速液体ジェットの生成方法及び固体表面の衝突現象に関する研究”, 平成9年度衝撃波シンポジウム, pp.555-558 (1998)
- (21) 北川他：“超音速2流体ノズルによる超微細粒子の除去”, 第45回応用物理学関係連合講演会, pp.785 (1998)
- (22) 立幅他：“AFMを使用したPSL粒子の付着力の解析”, 第45回応用物理学関係連合講演会, pp.780 (1998)
- (23) Tatehaba, et al: “Removal of PSL particle on substrate in the function water”, Symposium on particles on Solid Surface: Adhesion and Removal (Fine Particle Society) (1998)
- (24) 中川修：“次世代LSIにおける配線技術位置づけ”, Cu配線技術の最新の展開, P8-P11, (株)リアライズ社 (1998)
- (25) 柴田英毅：“LSI性能から見たCu配線の必要性, Cu配線技術の最新の展開”, P12-P18, (株)リアライズ社 (1998)
- (26) 大崎明彦：“多層配線技術の動向と展望”, エレクトロニック ジャーナル 22th, テクニカルシンポジウム予稿集, 電子ジャーナル, P9-P19 (1997)
- (27) 大場隆之：“0.13 μ m 以降のメタル配線技術の課題, エレクトロニック ジャーナル 22th”, テクニカルシンポジウム予稿集, 電子ジャーナル, P21-P25 (1997)
- (28) 品田他：“微細めっき技術”, 島田理化技報, No.9 P31-P34, 島田理化工業(株) (1997)
- (29) 菅野至, 佐藤一直, 黒田健, 横井直樹：“新しい物理洗浄技術 M ジェットスクラバによるパーティクル除去”, 三菱電機株式会社技報 Vol.71 No.3, pp.75-85 (1997)
- (30) N. Hirano, K. Takayama, J. Falcovitz & K.Kitagawa: “Study of high-speed droplet impingement on solid surfaces”, Particles on Surfaces 5 & 6 : Detection, Adhesion and Removal, pp.187-190 (1999)
- (31) 米田尚史, 西崎和人, 北川賢一, 安藤英一, 土屋隆生, 加川幸雄：“超音速2流体ノズルのシミュレーション及び洗浄効果”, 日本シミュレーション学会主催第18回計算電気・電子工学シンポジウム講演論文集, pp.103-106 (1997)
- (32) Y. Tatehaba, K.Shimada, E.Ando & A.Kawai: “Adhesion energy of polystyrene and substrate in Function water”, Proceedings of the Fifth International Symposium on Cleaning Technology in Semiconductor Device Manufacturing V, pp.536-543 (1998)
- (33) A.Kawai, H.Horiguchi, Y.Tatehaba, K.Shimada & E.Ando: “Analysis for adsorption behavior of PSL particle by using atomic force microscopy”, Proceedings of the Fifth International Symposium On Cleaning Technology in Semiconductor Device Manufacturing V, pp.536-543 (1998)
- (34) R.Schmehl, B.Nebeker & E.D.Hirleman: “Discrete-dipole approximation for scattering by features on surfaces by means of two dimensional fast Fourier transform technique”, J.Opt.Soc.Am.A / Vol.14 No.11 pp.3026-3036 (1997)
- (35) 平野他, 2000年春季応用物理学講演予稿集, 29P-F-15, 704p (2000.3)
- (36) 米田他, Proceedings of the 27th International Conference on Micro-and Nano-Engineering, 213p (2001.9)
- (37) 米田他, 島田理化技報第10号, 8p (1998.12) 液晶基板洗浄の関連
- (38) 石部, 竹森：“枚葉レジスト剥離装置の開発”,

島田理化技報, No.11 (1999)

- (39) 野田, 堀邊, 宮本, 大家, 葛本, 片岡, 大石, 大森, 畠, 安藤: “高濃度オゾンガスを用いたレジスト剥離技術及び装置の開発”, 島田理化技報, No.12 (2000)
- (40) 齊藤, 淳: “アッシング装置”, 月刊 Semiconductor World (1993.7)
- (41) 高梨ら: “光アッシング技術”, Semicon News (1988)
- (42) 大家, 野田, 宮本, 葛本: “第8回日本オゾン協会年次講演会講演集”, (1999)
- (43) Natraj Narayanswami and Steve Nelson: UCPSS (1998)
- (44) 萩原, 本多, 杉本, 堀池: “G5-M 角洗浄装置の要素技術開発”, 島田理化技報, No.15 (2004)
- 精密洗浄の関連
- (45) 大和田達郎: “減圧洗浄ユニット”, 島田理化技報, No.11 (1999)
- (46) 西澤克広, 安井亨, 岩元真居: “中周波洗浄システム”, 島田理化技報, No.15 (2004)
- (47) 米田尚史, 石川博章, 安藤英一, 園田治毅, 大森雅司, 古藤悟: “洗浄槽の流れの解析”, 島田理化技報, No.9 (1997)
- (48) 製品紹介: “大型マスク基板用洗浄装置”, 島田理化技報, No.17 (2006)
- (49) 製品紹介: “マイクロバブルを用いた洗浄システム”, 島田理化技報, No.16 (2005)
- (50) 大和田達郎, 滝下和宏, 立幅義人, 園田治毅: “光学部品洗浄装置の搬送機構の改善”, 島田理化技報, No.17 (2006)

高周波加熱の関連

- (51) 石間, 網倉, 田内, 吉田: “業務用電磁調理器ユニット”, 島田理化技報, No.8 (1996)
- (52) 製品紹介: “電磁調理器ユニットシリーズ”, 島田理化技報, No.10 (1998)
- (53) 寺川, 木村: “新型高周波発振器 SBT-200”, 島田理化技報, No.11 (1999)
- (54) 高橋勘次郎他: “高周波の工業への応用”, 東京電機大出版局, (1997)
- (55) 田内, 塚本, 木村, 寺川: “ECO型真空溶解用 600kW インバータ”, 島田理化技報, No.13 (2002)
- (56) 田内良男: “超小型「高周波電源ユニット・Dシリーズ」”, 島田理化技報, No.15 (2004)
- (57) 製品紹介: “鋼板加熱装置”, 島田理化技報,

No.16 (2004)

- (58) 村松, 梶田, 富田: “焼入れ用高周波高速インバータ”, 島田理化技報, No.17 (2006)

筆者紹介

産機事業本部

島田製作所

技師長

安藤 英一



産機事業本部

島田製作所

高周波技術部

竹森 雅史



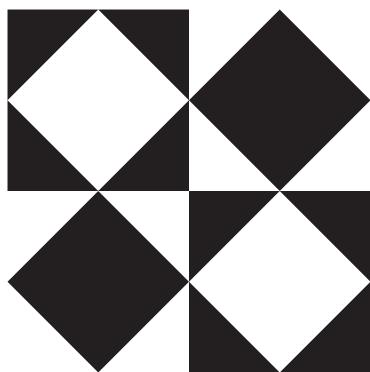
産機事業本部

島田製作所

生産管理部

堀崎 邦夫





【技術開発】
電子部門

当社のマイクロ波ロータリージョイント

森 智之
Tomoyuki MORI

細田 裕一
Yuichi HOSODA

島貫 昌喜
Masayoshi SHIMANUKI

伊藤 久人
Hisato ITOH

1. まえがき

『ロータリージョイント』という言葉は、機械的に回転しながら目的のものを伝える機能を有した部品や装置の製品名に使われている。目的のものとは、液体（水、油）や気体（水蒸気）あるいは光（通信用）であったりする。

ここではマイクロ波帯の電波を伝送することを目的とした『マイクロ波ロータリージョイント』を指している。（以後、ロータリージョイントと記す）例えば、レーダのアンテナは空間の指定された方位に対し、マイクロ波を発射しその反射波を捉えることで探知機能を果たすが、この場合、回転するアンテナと固定設置の送受信装置は回転自在のマイクロ波給電系であるロータリージョイントを介して接続されなければならない。そのほか最近では医療用加速器において高エネルギー化したマイクロ波の給電などにもロータリージョイントが使われている。本稿では当社が製品化した各種のロータリージョイントの動作原理や応用例などを紹介する。

2. 導波管型 2 チャネルロータリージョイント

2.1 動作原理

導波管型ロータリージョイントの機能は、固定側の矩形導波管から入力したマイクロ波を、機器を回転させながら給電系伝送線路として低損失、低変動特性を維持しつつ、回転側の矩形導波管に出力することである。動作原理の要点は、矩形導波管の伝送基本モード TE_{10} から回転対称の伝送基本モードに変換することであり、複数チャネルの場合は同軸 TEM モードを選ぶことが多い。また、後述する高電力用途でかつ単チャネルの場合は、円形導波管 TM_{01} モードを選ぶのがよい。ここでは矩形導波管 TE_{10} モードと同軸 TEM モードの変換方法の例を説明し、2 チャネル型を構成する方法を記す。

矩形導波管と同軸線路の変換方法として、アンテ

ナプローブ型、T バー型、リッジ型及びドアノブ型などがある⁽¹⁾⁽²⁾。図 1 にドアノブ型変換部の電磁界分布と構造を示す。矩形導波管部の伝送基本モードは TE_{10} で特性インピーダンスは標準導波管の場合、使用帯域において $400 \Omega \sim 450 \Omega$ となる⁽³⁾。また、同軸線路部の伝送基本モードは TEM で特性インピーダンスは任意であるが、通常高次モードの発生や機械的強度及びインピーダンス整合を考慮して $30 \Omega \sim 60 \Omega$ に設定する。

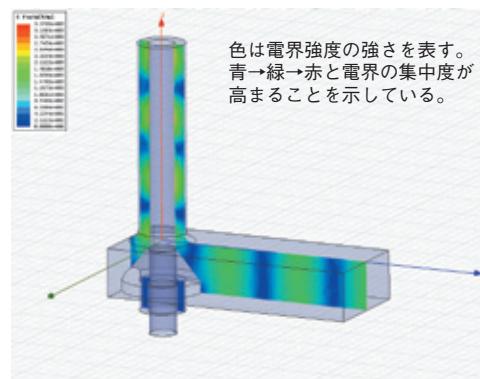


図 1 ドアノブ型変換部の電磁界分布

図 1において伝送モードが変換され、それぞれの伝送線路において基本モードの波長が異なる様子が良く分かる。注意しなければならないのはモード変換部の耐電力で、電界が集中しないような端部形状にし、インピーダンス整合効果も踏まえモード変換部の導波管寸法を最適に選ぶなどの工夫が必要となる。

例えば矩形導波管の耐電力理論式を式(1)に示し、工夫例を説明する。ここで a 、 b は導波管口径の長辺、短辺、 μ_0 は真空の透磁率 ($= 4 \pi \times 10^{-7} \text{H/m}$)、 ϵ_0 は真空の誘電率 ($= 8.854 \times 10^{-12} \text{F/m}$)、 f_C は導波管のカットオフ周波数、 f は伝送周波数、 E_b は絶縁破壊電圧 ($= 2900 \text{V/mm}$)、 K は気圧、温湿度、パルス幅、負荷 VSWR、導波管形状などによる補正係数である⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾。当社は工夫の一つとして、

導波管長辺寸法を広げることで耐電力の向上を図り、同時にインピーダンス変成比の低減効果として広帯域インピーダンス整合を実現している⁽⁸⁾。

$$P_b = \left\{ \frac{a \cdot b}{4 \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}}} \sqrt{1 - \left(\frac{f_c}{f} \right)^2} \right\} \cdot E_b^2 \cdot K[W] \dots \dots \dots (1)$$

2.2 多チャネル化の構造

ドアノブ型モード変換部の同軸管内部に、さらにもう一本の同軸管を通すことで2チャネル化を図ることができる。この方法を繰り返すことで、多チャネル化を実現できるが、ここでは2チャネル型について紹介する。図2に導波管型2チャネルロータリージョイントの構造図を示す。回転側のドアノブ型モード変換部はチョークを配置し、非接触構造を形成している。また、A部は前記した耐電力向上の目的で矩形導波管の長辺寸法を広げている。耐電力を向上させる他の方法として導波管の内部を加圧することがある。この場合、矩形導波管のフランジを気密型にするだけでなく、回転部にシールリングを装着し、気密構造にする必要がある。図3にX帯導波管型2チャネルロータリージョイントの外観を示す。

3. 同軸接触型多チャネルロータリージョイント

3.1 1チャネル型ロータリージョイント

図4に接触型1チャネルロータリージョイントの構造を示す。同軸伝送線路の中心導体と外部導体を固定側／回転側の境界面で接触回転させ、給電系伝送線路として低損失、低変動特性を維持する方法で、広く普及している。動作原理の要点は、伝送基本モードが回転対称の同軸TEMモードのため、伝送線路としての不連続を一定範囲に押さ込めばよいということである。

3.2 多チャネル化の構成

多チャネル化の方法として『2点給電ストリップリング方式』を紹介する⁽⁹⁾。図4に示す1チャネル型との組み合わせが基本となっており、1チャネル型同軸線路外導体の外側に2チャネル目以上を構成する方法で、構造を図5に示す。

図5において、第1チャネルは図4で説明した単チャネル型の構造で、第2チャネル以上は当社が

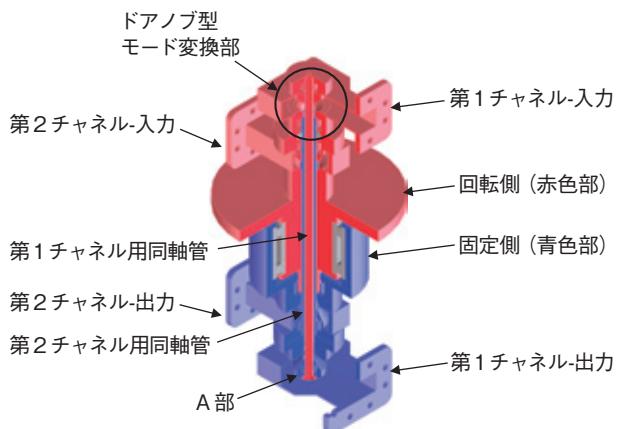


図2 導波管型2チャネルロータリージョイントの構造



図3 X帯導波管型2チャネルロータリージョイントの外観

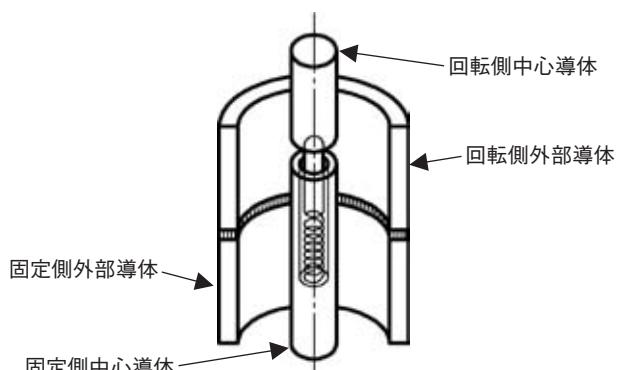


図4 同軸接触型1チャネルロータリージョイント

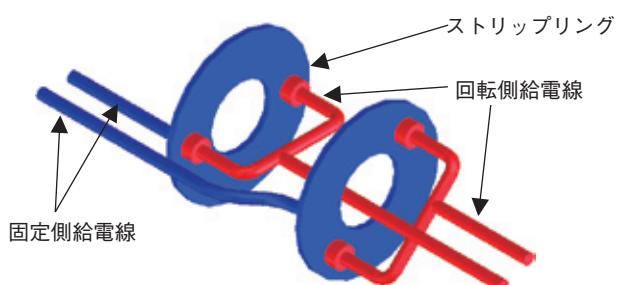


図5 多チャネル化の構造

開発した『2点給電ストリップリング方式』である。以下、ストリップリング方式の動作原理を説明する。

3.3 1点給電ストリップリング方式の動作原理

まず、1点給電方式の動作原理を説明する。図6に1点給電方式の動作モデルを、図7にその等価回路を示す。図7の等価回路の伝送特性を計算するため回路を対称軸で分割し、Even, Oddモード解析をした結果、Sパラメータは次式で与えられる。

$$S_{11} = \frac{\left(\frac{Z}{Z_0}\right)^2 - \left(2 + \frac{\tan\theta_2}{\tan\theta_1} + \frac{\tan\theta_1}{\tan\theta_2}\right)}{\left\{2 + \left(\frac{Z}{Z_0}\right)^2 + \frac{\tan\theta_2}{\tan\theta_1} + \frac{\tan\theta_1}{\tan\theta_2}\right\} + j\frac{Z}{Z_0}\{\tan\theta_1 + \tan\theta_2 - \cot\theta_1 - \cot\theta_2\}} \dots \quad (2)$$

$$S_{21} = \frac{-j\frac{Z}{Z_0}\{\tan\theta_1 + \tan\theta_2 - \cot\theta_1 - \cot\theta_2\}}{\left\{2 + \left(\frac{Z}{Z_0}\right)^2 + \frac{\tan\theta_2}{\tan\theta_1} + \frac{\tan\theta_1}{\tan\theta_2}\right\} + j\frac{Z}{Z_0}\{\tan\theta_1 + \tan\theta_2 - \cot\theta_1 - \cot\theta_2\}} \dots \quad (3)$$

式(2), (3)から、反射特性はストリップリングの電気長即ち直径に依存することがわかり、その最大値となる正規化アドミタンスは式(4)で与えられる。

$$\frac{Y_{in}}{Y_0} = j2\frac{Z_0}{Z} \tan\left(\frac{\pi^2 D \sqrt{\epsilon_{eff}}}{\lambda}\right) \dots \dots \dots \quad (4)$$

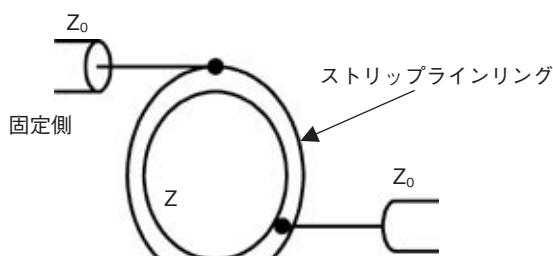


図6 1点給電方式の動作モデル

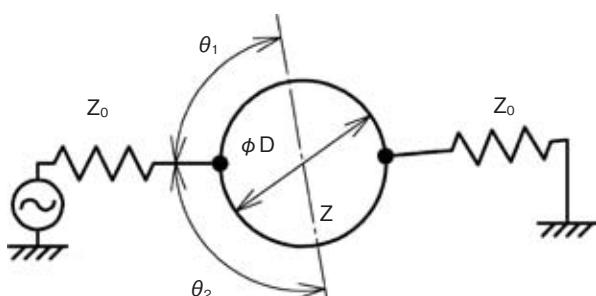


図7 1点給電型等価回路

$\sqrt{\epsilon_{eff}}$ ：ストリップリングを形成する基板の実効誘電率

D：ストリップリングの直径

λ ：自由空間波長

このように1点給電ストリップリング方式は、伝送特性がストリップリングの直径に依存するので、動作周波数の波長に対しストリップリングの直径が無視できる周波数範囲でしか使用できない。この欠点を解決するために『2点給電方式』を考案した。次項でこの方式の動作原理を説明する。

3.4 2点給電ストリップリング方式の動作原理

図8に2点給電方式の動作モデルを示し、図9にその等価回路を示す。図9の回路は対称であり点P₁と点P₂の電位は等しいのでこの点を短絡しても開放しても回路の性質は変わらない。これより2点給電形は1点給電形ストリップリングの直径を半分にしたのと等価であり、図9の等価回路は図10のように変換できる。図10の等価回路のA点における正規化アドミタンス Y_{in}/Y_0 は式(5)で示される。

$$\frac{Y_{in}}{Y_0} = \frac{2(M_2^2 - M_1^2 + M_3^2)}{(M_1 + M_2)^2 + M_3^2} + j\frac{4M_1M_3}{(M_1 + M_2)^2 + M_3^2} \dots \dots \dots \quad (5)$$

ここで

$$M_1 = \left[\frac{Z}{2Z_0}\right]^2 - \left\{2 + \frac{\tan\frac{\theta_2}{2}}{\tan\frac{\theta_1}{2}} + \frac{\tan\frac{\theta_1}{2}}{\tan\frac{\theta_2}{2}}\right\}$$

$$M_2 = 2 + \left[\frac{Z}{2Z_0}\right]^2 + \frac{\tan\frac{\theta_2}{2}}{\tan\frac{\theta_1}{2}} + \frac{\tan\frac{\theta_1}{2}}{\tan\frac{\theta_2}{2}}$$

$$M_3 = \frac{Z}{2Z_0} \left[\tan\frac{\theta_1}{2} + \tan\frac{\theta_2}{2} - \cot\frac{\theta_1}{2} - \cot\frac{\theta_2}{2} \right]$$

式(5)で求めた正規化アドミタンスに対し、整合回路を付加すれば動作周波数において実用上問題にならない反射特性が全ての回転角度において実現できる。

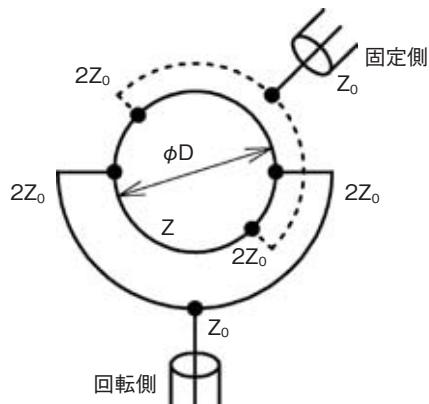


図 8 2 点給電方式の動作モデル

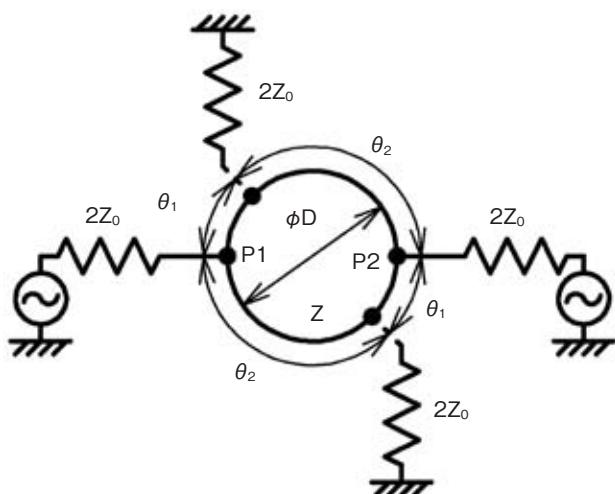


図 9 2 点給電方式の等価回路

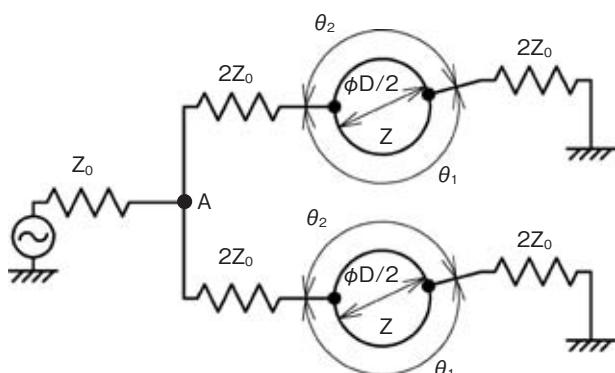


図 10 図 9 と等価な変換後の回路

3.5 同軸接触型 2 チャネルロータリージョイント

図 11 に同軸接触型 2 チャネルロータリージョイントの外観を示す。

3.6 応用製品

図 12 に同軸接触型 2 チャネルロータリージョイントと矩形導波管 1 チャネルロータリージョイントを組み合わせ、3 チャネルロータリージョイントを構成した製品を示す。



図 11 同軸接触型 2 チャネルロータリージョイントの外観



図 12 同軸／導波管 全 3 チャネルロータリージョイント

4. 同軸非接触型多チャネルロータリージョイント

接触型の同軸ロータリージョイントについて前項で説明した。ここでは『非接触型』で同軸インターフェースのロータリージョイントについて説明する。

4.1 動作原理と構造

固定側の同軸伝送線路に入力されたマイクロ波はストリップラインモードに変換後、同相同振幅で N 分配されて同軸管の内部導体に対し N ケ所で励振し、同軸 TEM モードに変換される。この同相同振幅の分配器は、任意の特性インピーダンスに変成することができるので、分配数 N と同軸管の特性インピーダンスは一義的に決定できる。

図 13 に同相同振幅ストリップライン 4 分配器の形状を示す。同軸モードを生成した後、この同軸管は固定側と回転側の内外導体境界部にチョークを配置し、機械的には非接触回転を実現し、動作周波数

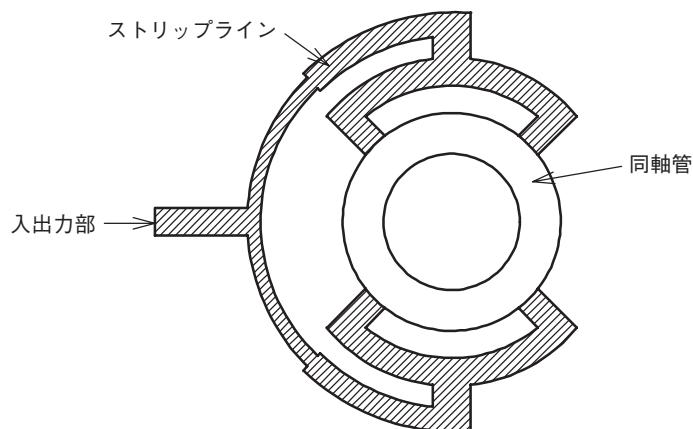


図 13 同相同振幅ストリップライン型分配器の形状

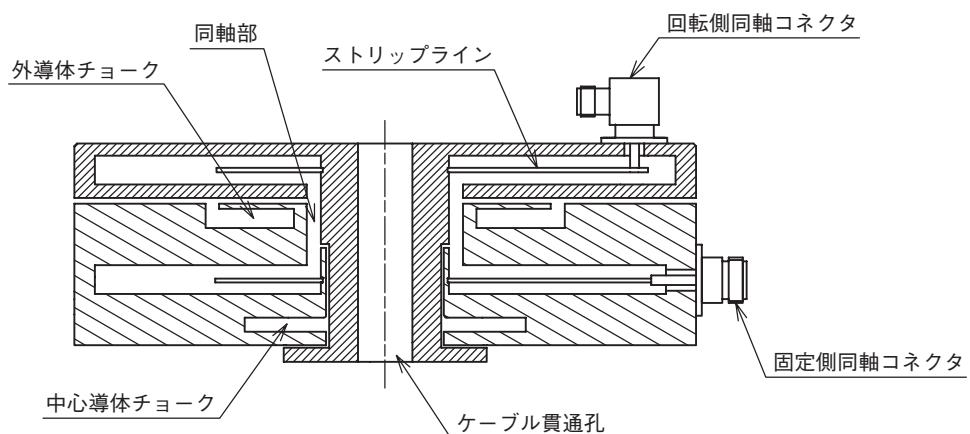


図 14 同軸非接触型ロータリージョイントの構造 (1 チャネル分)

帶においては同軸給電線路として低損失、低変動特性を維持している。回転側同軸管においては、固定側と同様にストリップラインに分割給電され、同相同振幅で電力合成されて回転側の同軸伝送線路に出力される。図 14 に 1 チャネル分の同軸非接触ロータリージョイントの構造を示し、図 15 にその外観を示す。

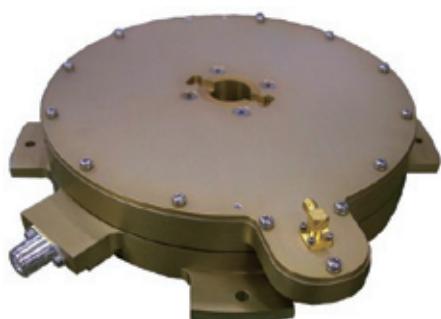


図 15 同軸非接触型ロータリージョイントの外観 (1 チャネル分)

4.2 多チャネル化

前項で説明した 1 チャネル分ロータリージョイントの同軸管の内側を別チャネルの同軸線路（例えばセミリジッドケーブル）を貫通配置し、1 チャネル分のロータリージョイントを管軸方向に積み重ねることにより、多チャネル構成を実現することができる。図 16 は矩形導波管ロータリージョイントの同軸中心導体の内部空間に前記非接触型ロータリージョイントに繋がる同軸ケーブルを 4 本通することで、5 チャネルのロータリージョイントを実現した構造図を示し、図 17 はその外観を示す。

5. 円形導波管 TM_{01} モード型ロータリージョイント

固定側と回転側のインターフェースが矩形導波管で、回転部分に円形導波管 TM_{01} モードを使用した導波管ロータリージョイントが医療用直線加速器などの高電力給電系に用いられている。ここでは当社が製品化した円形導波管 TM_{01} モード型ロータリージョイントについて説明する。

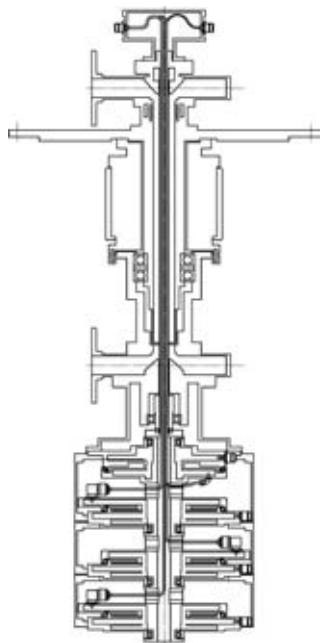


図 16 5 チャネル型ロータリージョイントの構造図



図 17 5 チャネル型ロータリージョイントの外観

5.1 動作原理と構造

インターフェースである矩形導波管を伝送する基本モード TE_{10} を回転対称の円形導波管 TM_{01} モードに変換するため、固定側と回転側の 2箇所にモード変換部を配置している。図 18 に構造図を示す。モード変換部は希望モードである円形導波管 TM_{01} モードが励振されるだけでなく、不要モードである TE_{11} も僅かに励振されてしまう。図 19 に円形導波管の TM_{01} モードと TE_{11} モードの電磁界分布を示すが、回転対称の TM_{01} モードに対し TE_{11} モードは回転対称ではなく、このモードの成分が回転部の円形導波管に混在していると、回転した際に伝送特

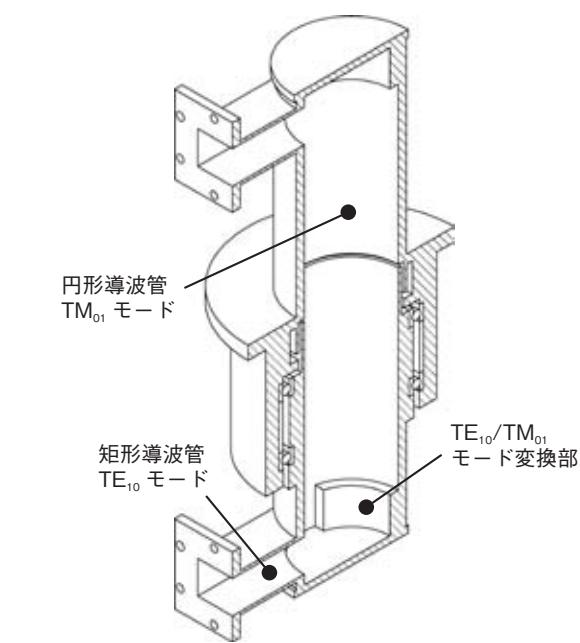


図 18 円形 TM_{01} モード型ロータリージョイント構造図

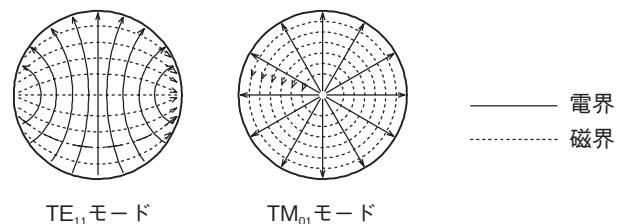


図 19 円形導波管 TM_{01} モードと TE_{11} モードの電磁界分布

性の変動が発生し、給電系としての要求を満たせなくなる⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾。このため、円形導波管の内径と伝送長は不要モードの抑圧を最優先している。以下、原理を説明する。

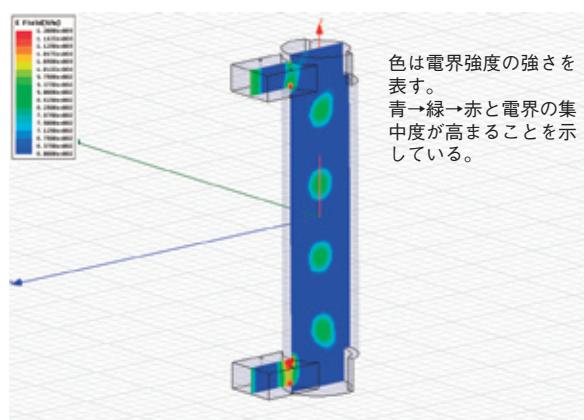
円形導波管のモードに依存する遮断周波数 fc を式 (6) に示す⁽¹⁰⁾。

$$fc = \frac{C_0 \cdot X_{mn}}{\pi \cdot D} [\text{Hz}] \dots\dots\dots (6)$$

ここで、 C_0 、 X_{mn} 、 D 及び π はそれぞれ光速、各モードのベッセル関数の根、円形導波管の内径及び円周率である。不要モード TE_{11} の遮断周波数は、希望モードの TM_{01} の遮断周波数よりも低いので、モード変換部で TE_{11} モードが発生すると、円形導波管を伝送してしまい、前記の伝送特性劣化をまねく。そこで、円形導波管部の TE_{11} モード伝送長を選ぶ

ことで逆相合成し、同モードの伝送を抑圧している。このため、動作周波数の帯域が制限され、当社の場合帯域幅は標準的に約5%としている。図20は矩形導波管からモード変換部を経て円形導波管 TM_{01} モードが発生する様子を電磁界解析したものである。

本型式のロータリージョイントに限らず、回転側と固定側で軸ずれを有したまま装置に組み込んだとき、ロータリージョイントの導波管部に応力が発生し、回転による繰り返し荷重を重ねることで疲労をまねく⁽¹²⁾。このような不具合を避けるため、図21に示すような軸偏芯による回転時の変位や荷重を考慮して、事前に詳細な強度検討を実施している。また、耐電力を高めるため通常SF-6ガスを加圧充填するので、回転部の気密保持は重要な機械的性能となる⁽¹³⁾。この結果、S帯ではピーク電力25MW、C帯ではピーク電力16MWを問題なく給電している。図22にS帯円形 TM_{01} モード型ロータリージョイントの外観を示す。



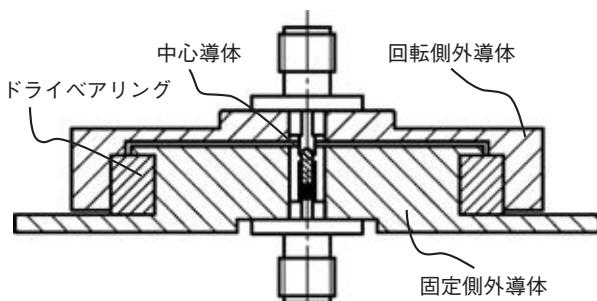


図23 同軸外導体容量結合型ロータリージョイントの断面構造



図24 同軸外導体容量結合型ロータリージョイントの等価回路



図25 同軸外導体容量結合型ロータリージョイントの外観

7. むすび

当社が製品化した各種のマイクロ波ロータリージョイントを紹介した。マイクロ波帯の給電装置としては特殊機器の部類に属するが、今後も蓄積した技術を応用し、新たな要求にも応えていきたい。

8. 参考文献

- (1) GEORGE L. RAGAN : "MICROWAVE TRANSMISSION CIRCUITS", McGRAW-HILL BOOK COMPANY INC, pp.314-361, (1948)
- (2) 細田 裕一 : "航空機搭載用ロータリージョイントの構造解析", 島田理化技報, No.16, (2005)
- (3) 石井 宗典, 東 生造, 青木 俊男, 大井 国夫: "マイクロ波回路", 日刊工業新聞社, pp.13-14, (1969)
- (4) TAWNA WILSEY, GARD MEDDAUGH : "EQUATIONS AID BREAKDOWN-FREE

COMPONENT DESIGN", MICROWAVES & RF, NOVEMBER, pp.79-91, (1991)

- (5) G.K.HART, M.S.TANENBAUM : "HIGH POWER BREAKDOWN OF MICROWAVE COMPONENTS", Sperry Gyroscope Company, pp.62-67, pp.199-205, (1955)
- (6) GEORGE L.MATTHAEI, LEO YOUNG, E.M.T.JONES : "MICROWAVE FILTERS, IMPEDANCE-MATCHING NETWORKS, AND COUPLING STRUCTURES", McGRAW-HILL BOOK COMPANY INC, pp.895-910, (1964)
- (7) J.Ciavolella : "Take the Hassle Out of High Power Design", MICROWAVES, June, pp.60-62, (1972)
- (8) 特許第1634072号, 発明の名称:高電力同軸導波管変換器
- (9) 特許第1585555号, 発明の名称:同軸型ロータリージョイント
- (10) 小口 文一 : "マイクロ波およびミリ波回路", 丸善株式会社, pp.38-42, (1964)
- (11) 清水 俊之, 三原 義男 : "マイクロ波工学", 東海大学出版会, pp.77-86, (1967)
- (12) 鵜戸口 英善 他: 機械設計便覧, pp.68-75, (1992)
- (13) THEODORE S.SAAD : "MICROWAVE ENGINEERS' HANDBOOK VOLUME 1", ARTECH HOUSE INC, pp.31, (1971)
- (14) 特許第3378093, 発明の名称:ロータリ・ジョイント

筆者紹介

電子事業本部
東京製作所
電子技術部
森 智之



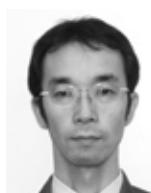
電子事業本部
東京製作所
機械技術部
細田 裕一



電子事業本部
東京製作所
電子技術部
島貫 昌喜



電子事業本部
東京製作所
機械技術部
伊藤 久人



240W RF ドライバー

中村 亮
Ryo NAKAMURA永月 巧
Takumi EIGETSU鈴木 君尚
Kimihisa SUZUKI大竹 正仁
Masahito OTAKE

1. まえがき

がん治療における放射線治療は、手術、抗がん剤とともに重要な役割を果たしている。現在では技術の進歩により治癒の確率が高く、しかも副作用の少ない治療が実現されている。

放射線治療システムのひとつとして、診察台に乗った患者の治療部分にX線を照射する医療用直線加速装置 (Linear accelerator 略称: リニアック) がある⁽¹⁾。

X線照射の効果は、がん細胞のDNAに損傷を与える細胞の増殖を抑えることで、最終的には死滅させることができる。

当社では、従来よりこのシステムに使用されるクライストロンアンプのドライブ用高出力RFパルス信号発生器 (名称: RFドライバー) を製作している。

近年、デジタル制御技術の進歩によりシステムとのインターフェース改良や、機能向上の要求が高まってきたので、従来機種に代る新型装置を開発し、

良好な性能が得られたので報告する。

2. 放射線治療システムの概要

図1により医療用直線加速装置 (リニアック) の構成と動作を説明する。

RFドライバーで生成したピーク電力が数百WのRFパルス信号はクライストロンアンプに注入され数MWに増幅された後、加速器に導かれる。一方、電子銃から加速器に注入された電子は、前記RFパルス信号のエネルギーによって光速近くまで加速され、タンゲステンなどの金属ターゲットに衝突することでX線を発生する。発生したX線は指向性が低いためコリメータにより放射形状を整形し、がん細胞に照射される。

加速器に入力するRFパルス信号のエネルギーに比例して電子の加速率が変わり、電子が金属に衝突した時に発生するX線エネルギーが変動する⁽²⁾。効果的な治療を行うためには装置のX線エネルギーの変動 (揺らぎ) を最小限にする必要がある。

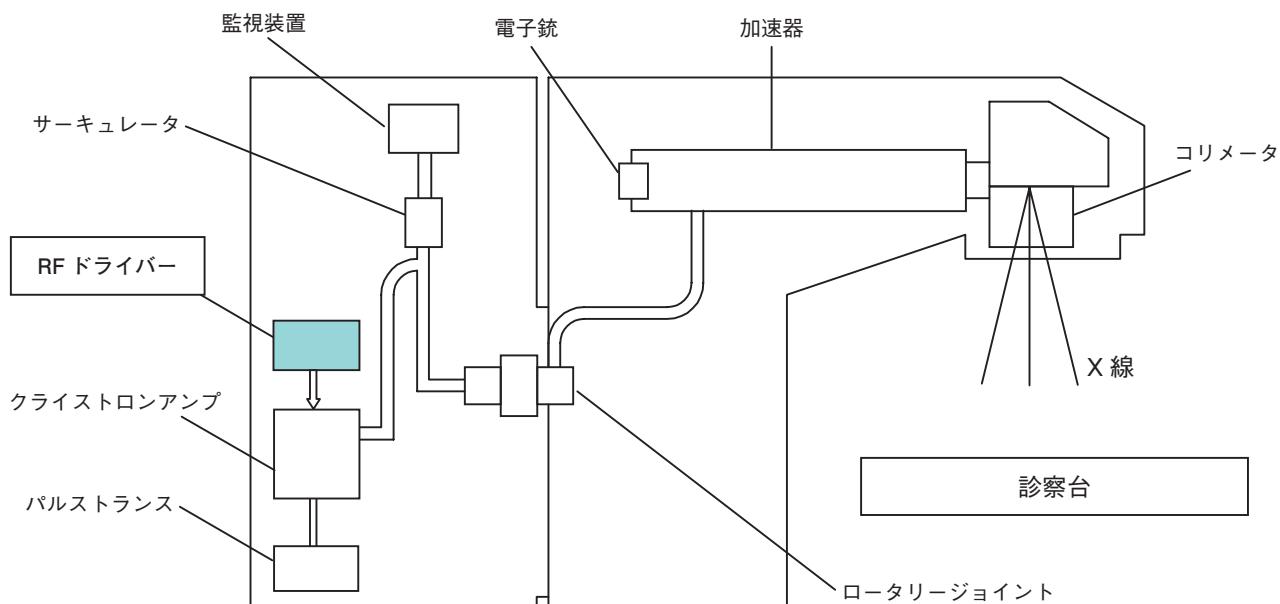


図1 医療用直線加速装置 (リニアック) の模式図

今回開発した RF ドライバーでは、周波数安定度、短期出力振幅変動及びパルス内振幅平坦度の改善に対し、特に注目した。

図 2 に実際の放射線治療の様子を示す。



図 2 放射線治療の様子

出典：財団法人倉敷中央病院

3. RF ドライバーの構成

RF ドライバー（以下 本装置という）に要求されている機能は以下の 4 項目である。

- ① RF パルスの生成
- ② RF パルスの高電力増幅
- ③ RF パルス信号の制御
- ④ 監視制御インターフェース（対システム）

本装置は、図 3 のブロックダイアグラムに示すように高周波部、可変減衰器、結合器、検波器などの RF コンポーネントと制御回路、ALC 回路、表示部及び交流電源を直流に変換する電源部で構成されている。

外観を図 4 に示す。

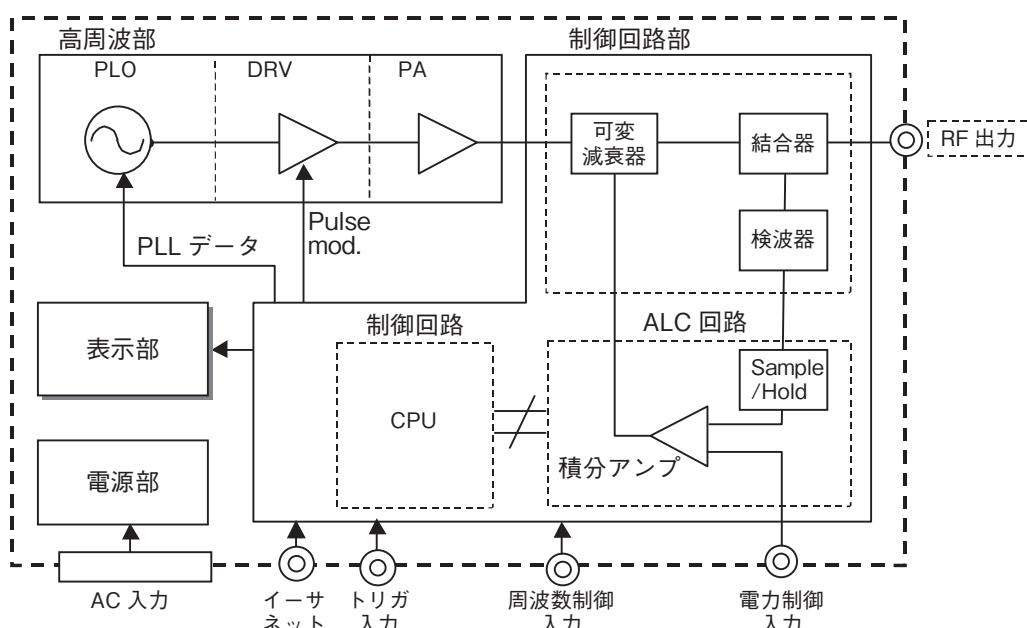


図 3 改良型 RF ドライバーのブロックダイアグラム



図 4 改良型 RF ドライバーの外観

3.1 高周波部

PLO にて高安定な RF 信号を発生し、後段をドライブする DRV (ドライバーアンプ) のバイアスを間欠制御することにより、RF パルス信号を生成している⁽³⁾。

PA はこの信号をピーク電力 350W 以上に増幅し、高電力 RF パルス信号として出力する。

PA は 250W 出力のトランジスタを用いた C 級動作パルスアンプで、2 合成にて所要の出力を得ている。

3.2 制御部

出力レベル制御のために、高電力の RF 信号を減衰させる可変減衰器と出力電力検出用の結合器、検波器、及び Sample/Hold 回路と積分アンプにて ALC (Auto Level Control) 回路を構成している。

この回路により RF パルスの出力レベルを安定に保つとともに、外部制御による出力電力設定機能をもたせている。

制御回路に CPU を搭載することで周波数制御及びパルス繰返しの制御をするとともに、イーサネットのインターフェースを介して、内部異常を上位システムに報告することを可能としている。

3.3 表示部

表示部には LCD 表示器を用いることで周波数、電力、パルス変調の各設定値や異常発生時のアラームコードを表示している。

3.4 電源部

AC-DC 変換回路を搭載した複数電圧出力の電源回路である。AC80V から 265V までの広範囲な入力電圧に対応できるため、世界各国での使用を可能にしている。

4. 本装置の特長

4.1 新しい機能

機能面での大きな特長は、イーサネットによるデジタルインターフェース機能を追加したことである。従来の装置は周波数及び出力電力をアナログインターフェースで外部から制御していたが、この追加機能により上位システムとの監視制御インターフェースを拡張させることができる。

また、このデジタルインターフェースを利用して監視機能を追加し、安全性の向上を図っている。

改良された主要機能は下記の 4 項目である。

(1) RF 出力制御機能

外部アナログ入力による周波数、出力電力及び

パルスの制御に加え、イーサネットによるデジタル制御を可能とした。

(2) テストモード機能

内部トリガ発生回路を追加し、外部からのトリガパルス入力がなくても RF 出力を発生させることができる。これにより簡易的に動作確認ができるため、システムインストール時の作業性が向上した。

(3) LCD 表示機能

LCD を採用したことにより、周波数と出力電力の他にパルス条件やアラーム情報を表示できるようにした。

(4) 自己診断機能

出力電力や周波数、および内部温度などを監視し、異常時イーサネット経由で上位システムへアラーム報告をする自己診断機能をもたせた。異常時には RF 出力をシャットダウンさせることができるために、運用上の安全性が向上した。

4.2 主要性能

PLO を採用したことにより、周波数温度変動を 2ppm 以下に抑え込んでいる。

以下、主要性能を示す。

| 項目 | 仕様 |
|-----------|-------------------------|
| 出力電力 | 240W 以上 (5 ~ 240W まで可変) |
| 出力周波数 | 2856MHz |
| 周波数温度安定度 | ± 5kHz |
| RF 出力パルス幅 | 2 ~ 12 μsec |
| 出力パルス繰返し | 90 ~ 420pps |
| レベルジッタ | 0.25% 以下 |
| 周囲温度 | + 10 ~ + 50°C |

5. 技術課題

5.1 周波数安定度

(1) システム要求

医療用直線加速装置システムにおける加速器は、電子を効率よく加速できる周波数帯域が非常に狭い。

このため RF ドライバーには高い周波数安定度が求められる。

(2) 設計条件

PLO を採用することで周波数安定度の改善を図った。

この方式の場合、パルス周期毎に周波数制御信号を読み込み、A/D 変換して PLL データを設定するタイミングと PLO がロックするタイミングの時間短縮が課題となった。(セッティング時間)

セッティング時間は、基本的には RF パルス信号の周期以下であれば良く、発振器の温度特性や固体差を考慮し、前記周期の 1/2 以下を設計条件とした。

(3) 結果

PLO を採用することで周波数安定度は従来品

に比べ各段に改善し、 $\pm 5\text{kHz}$ 以下を実現した。

また、CPU でのソフトウェア制御処理を最適化し、ハードウェア的には PLO のループフィルタの最適設計を行うことで、セッティング時間の設計条件を満たすことができた⁽⁴⁾。

図 5 に本器の周波数設定タイミングチャートを示す。

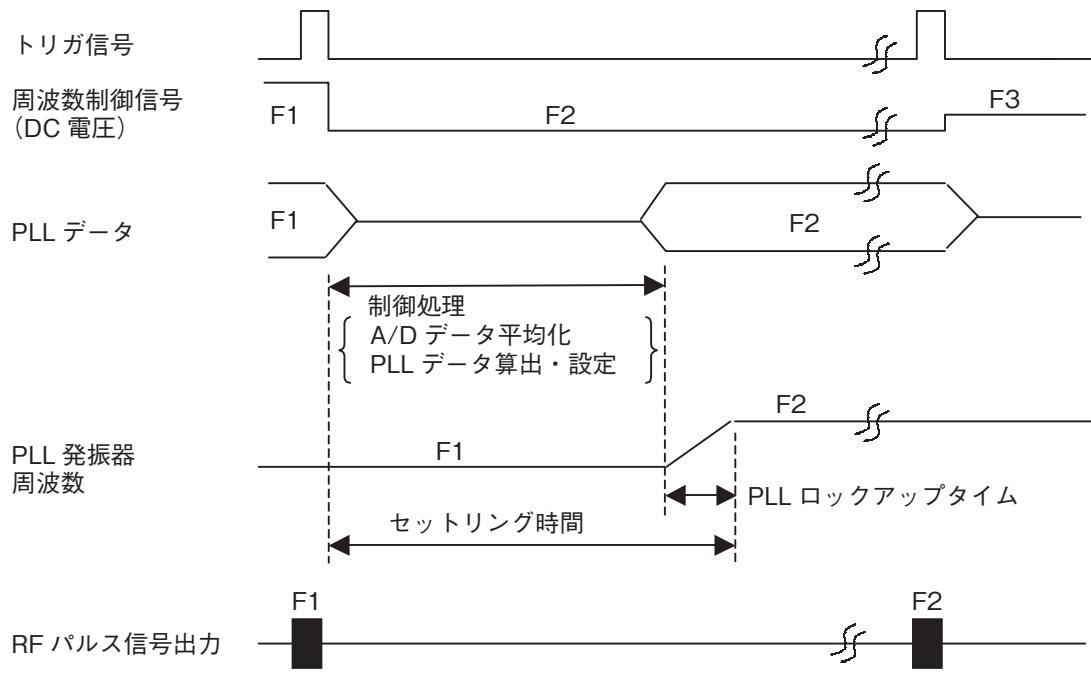
5.2 振幅変動

RF パルス繰返し周期毎の電力誤差により発生する短期出力振幅変動（レベルジッタ）とパルス内振幅平坦度の 2 点に着目した。

5.2.1 短期出力振幅変動（レベルジッタ）

(1) システム要求

クライストロンのエージングなどを含む幅広い使用目的に対応するため、本装置の RF パルス周期の下限を 90pps まで低くする必要がある。RF パルス周期の可変幅と ALC 効果、及びレベルジッタ（数分間における出力電力の変動）には密接な関係があり、レベルジッタ特性を規定値以内に抑え込むために ALC 安定度を高くしつつ、かつ ALC 応答時間を早めることが求められる。



*F1, F2, F3 : RF 周波数

図 5 周波数設定変更タイミングチャート

(2) 設計條件

レベルジッタを低減させるため、連続的補正が可能なアナログ積分アンプを用いた ALC 回路を構成した⁽⁵⁾。レベルジッタは、式 (1) の ALC 応答時間を長くするほど安定するが、一方で従来と同等 (50ms) 以下の応答時間を確保する必要がある。

また、ループの安定性を保証し、レベルジッタ性能を確保できる条件は、式(2)に示す ALC ループ利得で決まり、理論値と実験評価から 1.5 倍以下である。設計値としては RF パルス周期下限値 90pps にて ALC ループ利得を 1.3 倍とした。これにより ALC 応答時間は、8.5ms(計算値)となつた。これを満たす積分アンプ利得を式(3)にて算出し、C, R 値を決定した。

$$ALC\text{ 応答時間 (sec)} = t \div ALC\text{ ループ利得} \dots \dots \dots \quad (1)$$

$$ALC\text{ ループ利得} = \\ Vsens \times Psens \times Gi \dots \dots \dots \quad (2)$$

- ・ Vsens (V/dB) : 出力電力変化に対する積分アンプ入力電圧変化
- ・ Psens (dB/V) : 積分アンプ出力電圧変化に対する出力電力変化
- ・ Gi : 積分アンプ利得

- t (sec) : RF パルス繰り返し周期 (ALC 更新周期)

- ・C (F) : 積分アンプのコンデンサ容量値
- ・R (Ω) : 積分アンプの抵抗値

(3) 結果

最低繰返し周期 90pps にて安定な ALC 動作を実現し、規定のレベルジッタ性能が得られた。

5.2.2 パルス内振幅平坦度 (サグ)

(1) システム要求

周囲温度及び自己発熱によるパルス内振幅平坦度の所要性能を、強制空冷方式のみで満足させる必要がある。

(2) 設計条件

所要のサゲ特性を満足するためには、実験結果から高周波部の温度変化を15°C以下に抑えることが必要である。このため、高周波部が高温の時はファンにより冷却し、低温時はヒーターを使い所定の温度に保つ方式とした。またコールドスタート時ウォームアップ時間の短縮のために、ヒーターによる加熱時間制御を考慮する必要がある。

設計においてこれらの条件を考慮し、ヒーター発熱量やヒートシンク形状、風量等を条件に熱シミュレーションを行い最適化を図った⁽⁶⁾。図6に高周波部の熱シミュレーション実施例を示す。

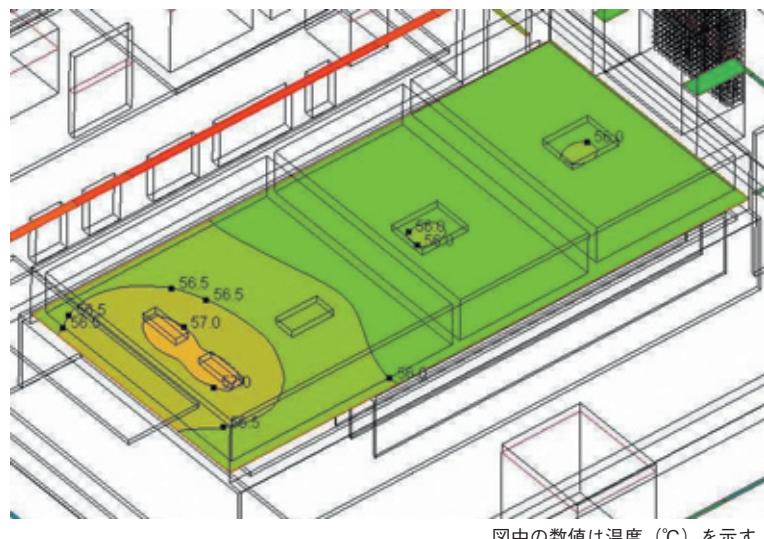


図6 高周波部の熱シミュレーション実施例

(3) 結果

周囲温度 +15 ~ +50°Cにおいて高周波部の温度変化を 12°Cに抑えた。これにより、サグ特性は設計値 (0.2dB 以下) を満足することができた。図 7 に常温時の代表的な RF パルス信号波形、図 8 にサグ特性の温度変化グラフを示す。

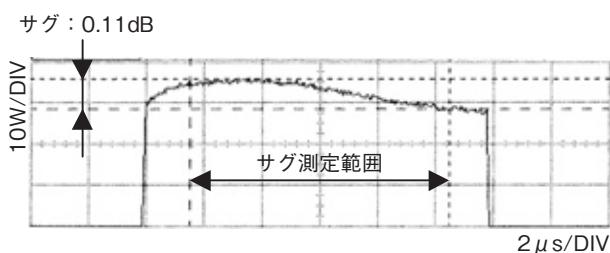


図 7 RF パルス信号波形 (+25°C時)

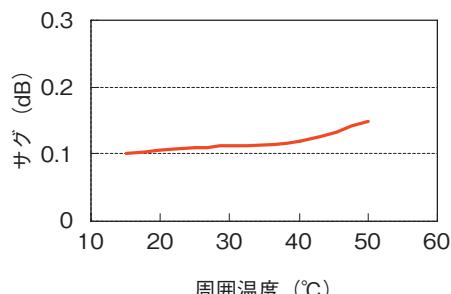


図 8 サグ特性の温度変化

6. むすび

今回、周波数安定度と振幅変動の 2 つの課題に取り組み、当初予定した設計性能を満たすことができた。また、イーサネットデジタルインターフェース機能を追加し、監視制御機能を充実させることができた。

開発した RF ドライバーはシステムインストール時の扱い易さや運用時のウォームアップ時間の短縮など、リニアックシステム内で使い易いものにした。また、自己診断機能を入れることで運用時の安全性を向上した。

7. 参考文献

- (1) 国立がんセンター HP
- (2) 亀井 亨 木原 元央 共著：“加速器科学”，丸善, pp.18-24, (1993)
- (3) トランジスタ技術編集部編：“パワー MOSFET の実践活用法”，CQ 出版, pp.31-41, (2000)
- (4) 小沢 利行 著：“PLL シンセサイザ回路設計

法”，総合電子出版社, pp.48-68, (1994)

- (5) 岡村 勢夫 著：“解析ノイズ・メカニズム”，CQ 出版, pp.214-220, (1987)
- (6) 伊藤 謙司 国峰 尚樹 著：“電子機器の熱対策設計”，日刊工業新聞社, pp.186-203, (1992)

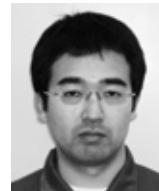
筆者紹介

電子事業本部

東京製作所

電子技術部

中村 亮



電子事業本部

東京製作所

電子技術部

永月 巧



電子事業本部

東京製作所

機械技術部

鈴木 君尚



電子事業本部

東京製作所

電子技術部

大竹 正仁



レーダ性能評価システムにおける減衰器、移相器制御データ決定の高速化

浜田 深造
Shinzou HAMADA

永月 巧
Takumi EIGETSU

川井 雄一
Yuichi KAWAI

1. まえがき

アレイアンテナ制御装置（以下本装置という）は、レーダ性能評価のためにレーダをとりまく電波環境の模擬を行なうシステムの一部として被測定物への電波目標波、電波環境波の到来角度の制御を行う装置である。図1に多数のアンテナで構成されるアレイアンテナの一部と、被測定物との関係を示す。

本装置は電波放射位置制御方式として、位相合成方式を採用している。これは隣り合う3アンテナの出力の振幅を制御することにより3アンテナで構成される三角形内の任意の位置から合成波を放射させる方式である。

本稿では、本装置の電波放射位置制御で実施している減衰器による振幅制御データ（以下減衰器制御データ）と移相器による位相補正データ（以下移相器制御データ）決定方法の高速化について報告する。

2. 構成

2.1 システム構成

アレイアンテナは、被測定物を中心とする球面上に配置された多数のアンテナから構成されており、図1のように各々のアンテナに直列に減衰器と移相器が接続される構成となっている。電波放射位置の制御は、電波放射位置を含む三角形を構成する隣り合う3アンテナの出力の振幅を各々に接続されている減衰器で制御することにより行う。図1のように3アンテナの位置座標を各々（Az1, El1）、（Az2, El2）、（Az3, El3）、電波放射位置座標を（Azt, Elt）とした時の各アンテナの出力振幅比を計算により求め減衰器を制御する。また、減衰器の位相特性による各アンテナの位相のずれを補正するために移相器の制御を合わせて行う必要がある。

P1, P2, P3 : 電波放射を実施する3アンテナ
Az1, Az2, Az3 : 3アンテナのアジャマス座標
El1, El2, El3 : 3アンテナのエレベーション座標
Azt : 合成波のアジャマス座標
Elt : 合成波のエレベーション座標
θ Az : アジャマス方向電波到来角度
θ El : エレベーション方向電波到来角度

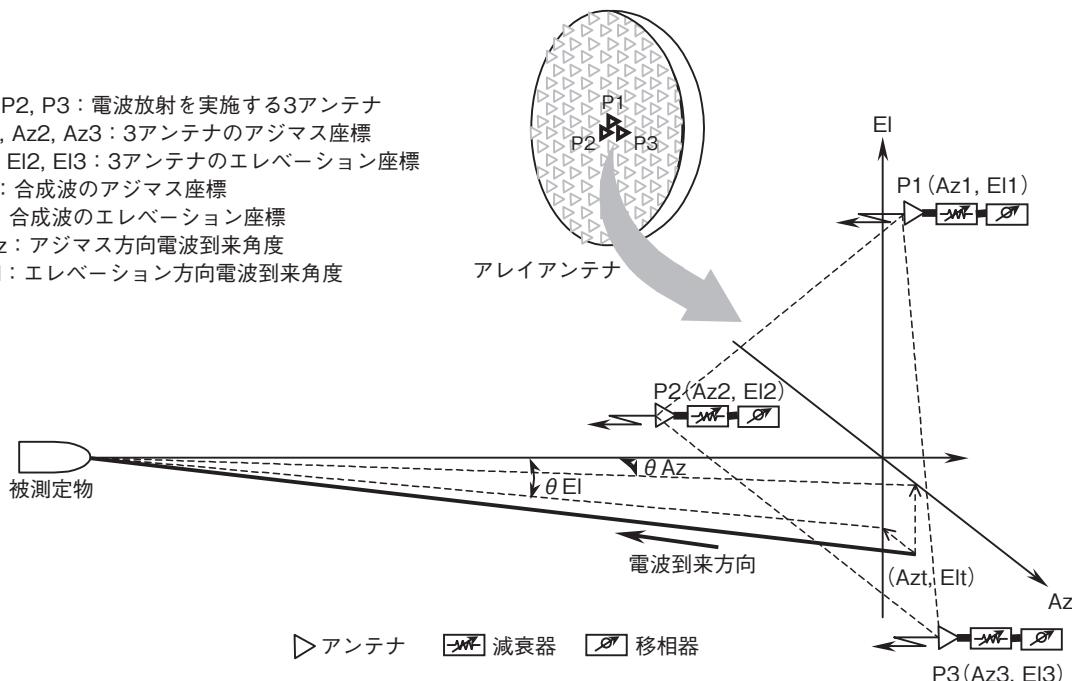


図1 電波放射位置制御概略構成

3. 減衰器、移相器制御方法

3.1 従来の方法

計算により求めた各アンテナの出力振幅比の実現と各アンテナ間の位相をそろえるため、各アンテナに直列に接続されている減衰器及び移相器を制御する。この時、減衰器の位相特性が出力信号の位相に影響し、移相器の減衰特性が出力信号の振幅に影響する。このため、両方の影響を同時に相殺しながら減衰器と移相器の減衰量と位相量を設定する必要がある。

従来は、作業者が出力信号の振幅と位相をモニタしながら、スイッチボックスを使用して直接減衰器及び移相器を制御し最適な振幅、位相を得る制御データを求めていた。この方法では1アンテナ当たり数時間もの時間を要していたため、数百個ものアンテナで構成されるアレイアンテナの場合数ヶ月かかることになり現実的ではない。

3.2 新制御方式

あらかじめ各アンテナに直列に接続された減衰器、移相器各々の減衰特性、位相特性を測定しておき、ソフトウェア処理により短時間で、必要な振幅比を実現し位相をそろえるための減衰器制御データ、移相器制御データを求める。以下に制御手順を図2、図3を参照して説明する。

- (1) 各アンテナに直列に接続された1組の減衰器、移相器に対して制御データ0で制御した時の出力信号の減衰量、位相を相対的に0[dB], 0[°]とみなす。(図2ステップ1)
- (2) 計算により求めた3アンテナの振幅比及び位相差ゼロを実現するための目標値(減衰量 Ad[dB], 位相量 0[°])を設定する。(図2ステップ2)
- (3) 減衰器減衰特性より減衰量 (Ad) を実現する減衰器制御データ (X1) を求める。(図2ステップ3, 図3①, ②)
- (4) 減衰器位相特性より、減衰器制御データを0からX1に変化させた時の位相変化分 (Pa1) を求める。(図2ステップ4, 図3③, ④)
- (5) 移相器を制御することにより減衰器で発生した位相変化分を相殺するため、移相器位相特性より位相変化分 (Pa1) をキャンセルする位相 (360° - Pa1) を実現する移相器制御データ (Y1) を求める。(図2ステップ5, 図3⑤, ⑥)

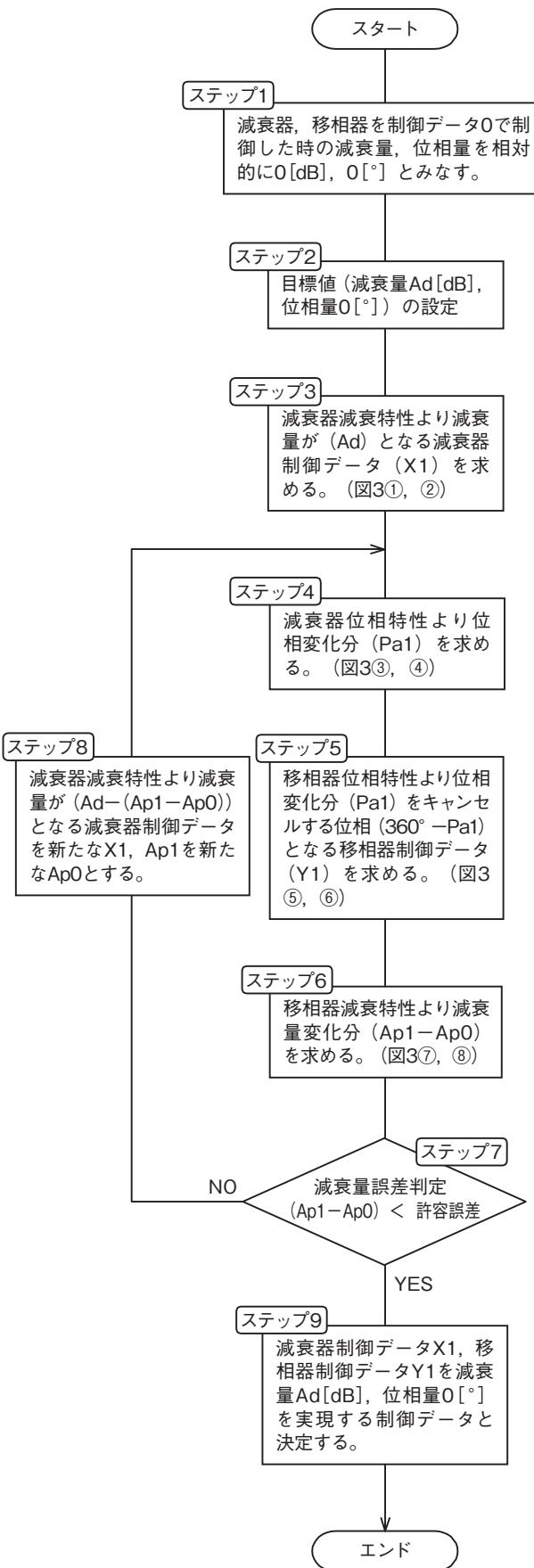


図2 減衰器、移相器制御データ決定フローチャート

- (6) 移相器減衰特性より、移相器制御データを0からY1に変化させた時に生じる減衰量変化分($Ap1 - Ap0$)を求める。(図2ステップ6, 図3⑦, ⑧)
- (7) (6)で求めた減衰量変化分($Ap1 - Ap0$)を減衰量誤差として判定する。(図2ステップ7, 図3⑧)
- (8) (7)の誤差判定の結果許容できない場合、減衰器で生じる減衰量誤差($Ap1 - Ap0$)を差し引いた減衰量($Ad - (Ap1 - Ap0)$)を新たな目標値とし、減衰器減衰特性より減衰量が目標値($Ad - (Ap1 - Ap0)$)となる減衰器制御データを新たなX1, Ap1を新たなAp0とし(4)～(7)を繰り返す。(図2ステップ8)
- (9) (7)の誤差判定の結果許容できる場合、減衰器制御データX1, 移相器制御データY1を減衰量 Ad [dB], 位相量 $0[^\circ]$ を実現する制御データと決定する。(図2ステップ9)
- (10) 上記(1)～(9)を3アンテナに接続されている各々の減衰器、移相器の組合せについて実施する。

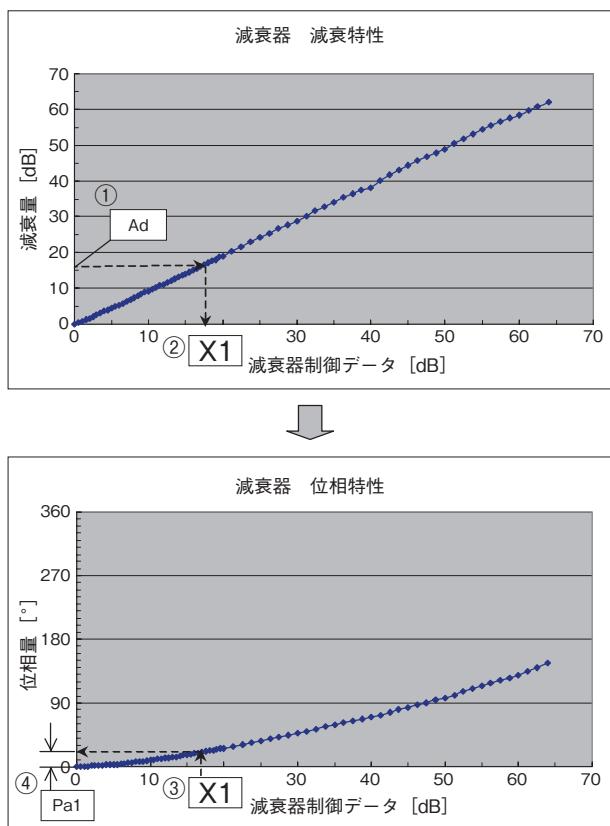


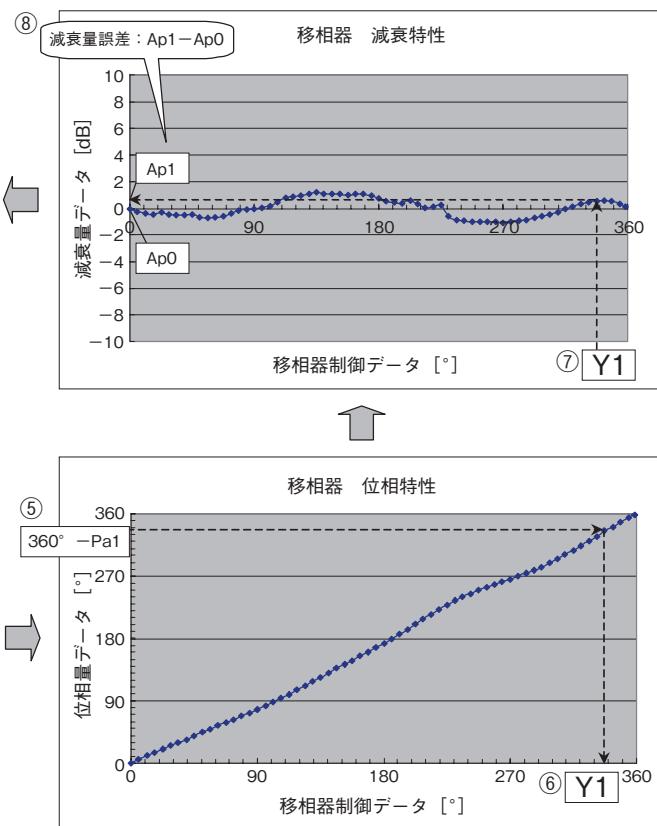
図3 減衰器、移相器の減衰特性および位相特性

表1 電波到来角測定結果

| No. | 設定値 [°] | | 測定値 [°] | | 誤 差 [°] | |
|-----|---------|--------|---------|---------|---------|--------|
| | AZ | EL | AZ | EL | AZ | EL |
| 1 | 10.00 | 10.00 | 9.990 | 9.989 | -0.010 | -0.011 |
| 2 | 10.00 | -10.00 | 9.988 | -10.073 | -0.012 | -0.073 |
| 3 | -10.00 | -10.00 | -9.984 | -10.055 | 0.016 | -0.055 |
| 4 | -10.00 | 10.00 | -9.990 | 10.001 | 0.010 | 0.001 |
| 5 | 0.00 | 0.00 | -0.035 | -0.041 | -0.035 | -0.041 |
| 6 | 0.00 | 0.45 | -0.021 | 0.425 | -0.021 | -0.025 |
| 7 | 0.00 | 0.90 | 0.001 | 0.863 | 0.001 | -0.037 |
| 8 | 0.00 | 1.35 | 0.005 | 1.361 | 0.005 | 0.011 |
| 9 | 0.52 | 0.00 | 0.533 | -0.040 | 0.013 | -0.040 |
| 10 | -0.52 | 0.00 | -0.570 | -0.043 | -0.050 | -0.043 |

3.3 レーダ性能評価システムへの応用

アレイアンテナ面上の任意の位置から電波放射するためには、電波放射位置を含む3アンテナの振幅比を任意に設定する必要がある。また、実際には各アンテナへの配線長の違いを吸収するため、さらに減衰量、位相を補正する必要がある。一方、3.2項に示すアルゴリズム及び補正処理をシミュレーション時間内にリアルタイムで実施することは困難である。したがって、実現する減衰量対減衰器制御データ



タ・移相器制御データの組合せを、減衰器によって決まる減衰量の全制御範囲にわたりあらかじめ求めておく方法を採用した。そしてシミュレーション中に変化する3アンテナの振幅比に応じた制御データを検索し、減衰器、移相器をリアルタイムに制御することにより電波放射位置の制御を行う。本方式によれば、数百個ものアンテナの場合でも約2時間で全制御データを求めることができる。**表1**に本方式で求めた制御データを用い電波放射位置を制御した場合の電波到来角測定結果を示す。この結果より電波到来角度精度の仕様(0.1°以内)を満足し、本方式が有用であることを確認できる。

4. むすび

本方式の採用により、従来の人手による方法では膨大な時間がかかる処理を短時間で行うことができるようになった。

今後は、制御データ取得時とシミュレーション実行時との環境温度変化による接続ケーブル等の膨張収縮に伴う位相量の変化をいかに補正するかが課題である。

筆者紹介

電子事業本部
東京製作所
電子技術部
浜田 深造



電子事業本部
東京製作所
電子技術部
永月 巧



電子事業本部
東京製作所
電子技術部
川井 雄一



Ka 帯衛星通信地球局用アップコンバーター、ダウンコンバーター

拮石 真一郎
Shinichiro HANEISHI

生駒 俊治
Toshiharu IKOMA

田添 晃
Akira TAZOE

松永 和之
Kazuyuki MATSUNAGA

1. まえがき

人工衛星を中継機として利用する衛星通信地球局用に Ka 帯アップコンバーターとダウンコンバーターを開発した。アップコンバーターは UHF 帯の IF 信号を 28GHz 帯の RF 信号に周波数変換した後、後段の進行波管増幅器 (TWTA) に注入するとともに、TWTA からの送信信号を監視する機能を有し、ダウンコンバーターは人工衛星からの 18GHz 帯 RF 信号を UHF 帯の IF 信号に周波数変換する機能を有している。今回、開発機を評価し良好な結果を得たので報告する。

2. アップコンバーター

2.1 構成

周波数変換方式としてスプリアス抑圧特性に優れ

たダブルコンバーション方式を採用し、ローカル発振器はデュアルループ PLL 方式を採用し低位相雜音化を図った⁽¹⁾⁽²⁾。送信帯域に近接する不要波を抑圧する目的で導波管フィルターを採用している。また、監視制御部として、本装置の後段に接続される TWTA (進行波管増幅器) の送信電力モニターと、インシアユニットとの通信を行なう監視制御ボード及び電源部で構成している。

送信チャネル切り替えは、外部制御信号に基づくローカル発振器の周波数切り替えによって行われる。また、ビットレートに追従して送信電力を可変する機能、回線状態により送信電力を可変する機能、さらに送信系のレベル変動の補正機能も備えている。図 1 にアップコンバーターとダウンコンバーターの関係を説明するブロックダイアグラムを示す。

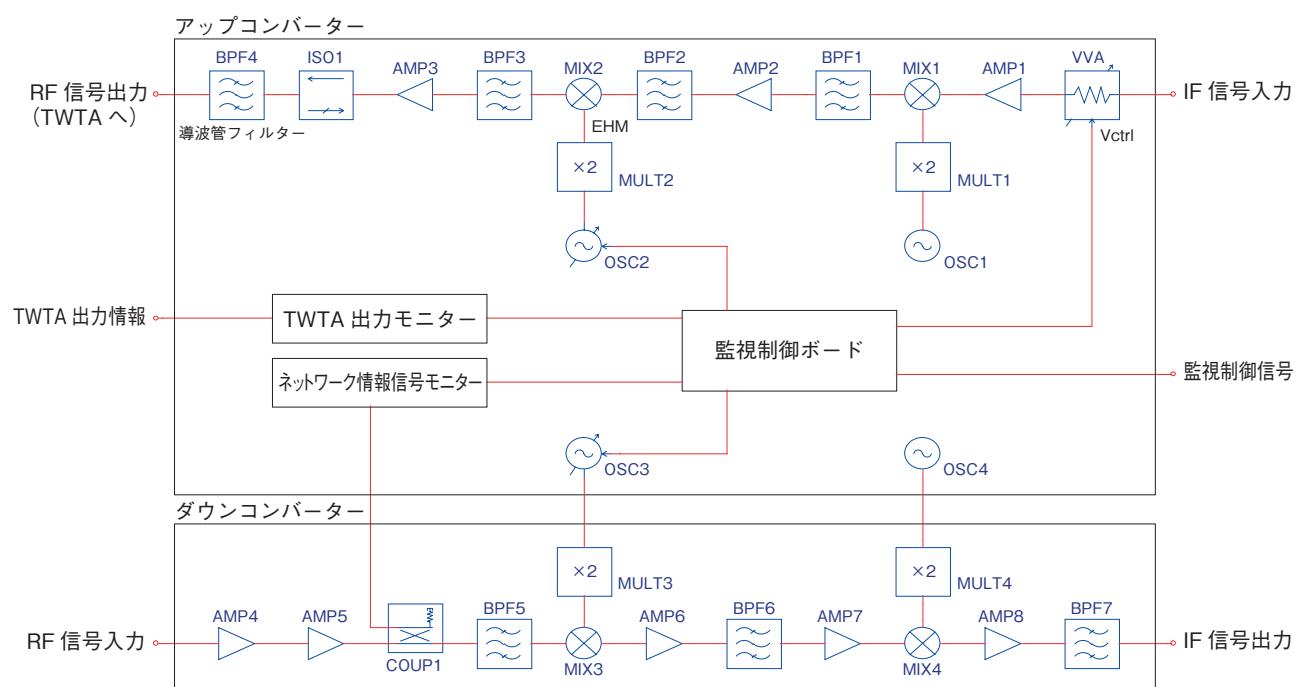


図 1 Ka 帯アップ／ダウンコンバーターのブロックダイアグラム

2.2 スピリアス抑圧フィルター

周波数変換後のRF信号には送信帯域の近傍に不要波(スピリアス)が含まれるため、これを抑圧するために、十分な減衰量と低い通過損失のフィルターが要求される。このため、空洞共振器と誘導性窓で構成した直結形導波管フィルターを採用した⁽³⁾。表1に得られたフィルターの性能、図2にフィルターの構造、図3にフィルターの周波数特性を示す。このフィルターの特長は、入出力端に周辺回路との接続用にマイクロストリップラインを採用し小型化を図ったことと、6次チエビシェフ特性とし、高減衰量を実現したことである。

表1 導波管フィルターの性能

| 項目 | 評価結果 |
|-----------------------------|-------|
| 挿入損失 | 2.5dB |
| 帯域内振幅偏差 | 0.5dB |
| 減衰量($F_0+0.75\text{GHz}$) | 36dB |
| VSWR | 1.2 |
| 群遅延偏差 | 0.3ns |

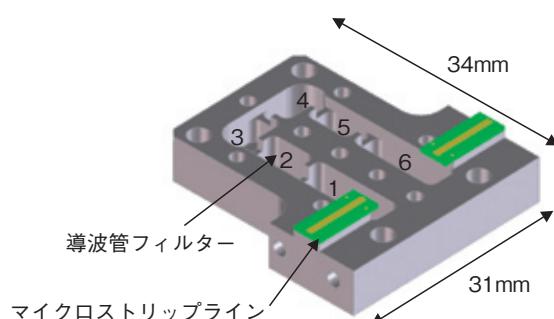


図2 導波管フィルターの構造

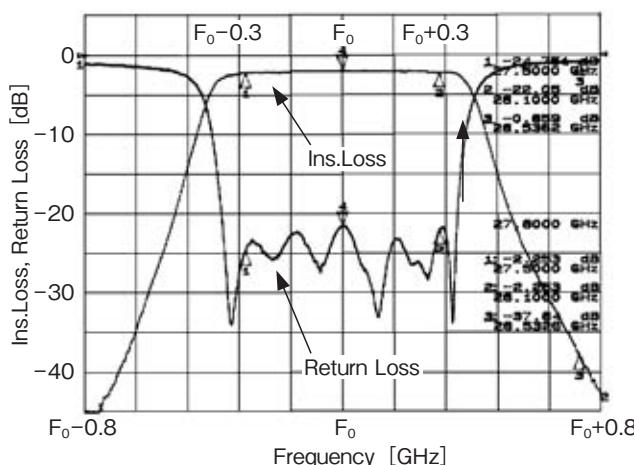


図3 導波管フィルターの周波数特性

2.3 送信電力制御

本装置は送信波に対し、多値PSKの適応変調方式を採用しており、変調方式に応じデータ伝送速度(ビットレート)は1.5Mbps～51Mbpsで可変する。このため、ビットレートに対応した送信電力を正確に制御する必要があり、TDMA信号の同期検波を行ないフレーム毎にアップコンバーターの線形利得を可変することで、この機能を実現している。

この制御プロセスの概要を記す。

- ①外部装置と制御装置間の通信は、各スロットのガードタイム内で行なっている。
- ②TDMA信号に同期させて検波器出力を読み込むため、外部装置との制御信号をトリガとしている。
- ③1フレーム内で検波電圧の最大値をTWTAの出力と判断し、電力値に換算する。
- ④電力換算結果から利得制御量を計算し、電圧可変減衰器の設定電圧を設定する。
- ⑤利得補正用の電圧可変減衰器の電圧設定は、1フレーム間隔で行なっている。

2.4 TWTA送信電力モニター回路

前項の送信電力制御を正確に実行するため、TWTAからの送信電力を正確にモニターできなければならぬ。図4にTWTA送信電力モニター回路のブロックダイアグラムを示す。この回路はシステムのビットレートによる利得可変、回線状態による利得可変、送信系のレベル変動補正に対応するため、送信電力モニターは46dBの検出範囲が必要となる。そのためTWTAから送信される28GHz帯信号をVHF帯に周波数変換し、このVHF信号に対しログアンプを組込んだ回路で検波している。

この結果、-3～+43dBmのTWTA送信出力を所望の精度で検出することを実現した。得られたTWTA送信電力検波特性を図5に示す。

2.5 得られた性能

表2に今回得られたアップコンバーターの性能を、図6(a)にアップコンバーターの外観、図6(b)にカバーをはずした内部を示す。

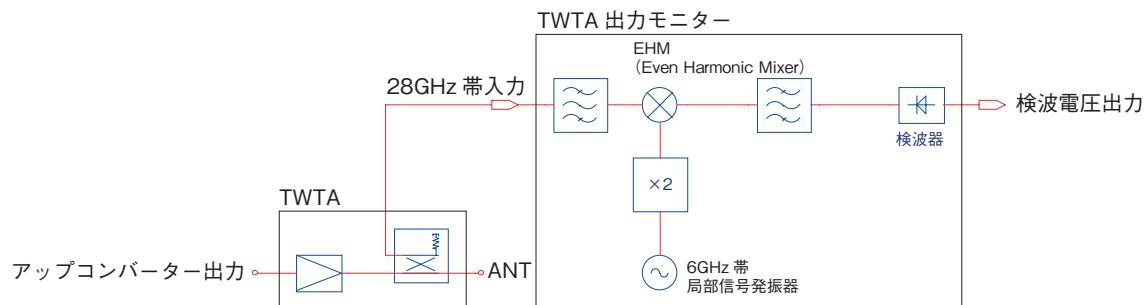


図4 TWTA 送信電力モニター回路のブロックダイアグラム

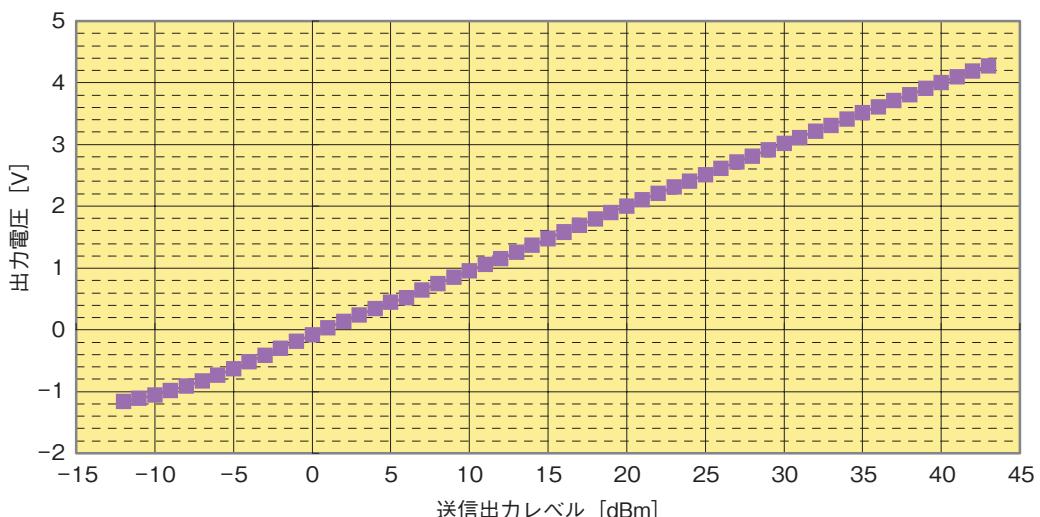


図5 TWTA 送信電力検波特性

表2 アップコンバーターの性能

| 項目 | 結果 |
|---------|--|
| 入力周波数 | UHF 帯 |
| 入力周波数帯域 | 150MHz |
| 入力レベル | -10dBm nominal |
| 出力周波数 | 28GHz 帯 |
| 周波数安定度 | 0.1ppm |
| 変換利得 | 0dB |
| 最大出力レベル | +5dBm |
| 帯域内振幅偏差 | 0.2dB |
| 群遅延特性 | 0.7ns |
| 位相雑音特性 | <ul style="list-style-type: none"> -65dBc/Hz@100Hz offset -75dBc/Hz@1kHz offset -75dBc/Hz@10kHz offset -85dBc/Hz@100kHz offset -105dBc/Hz@1MHz offset |



図6 (a) アップコンバーターの外観



図6 (b) アップコンバーターの内部

3. ダウンコンバーター

3.1 構成

ダブルコンバージョン方式を採用し、低 NF 特性を得るための低雑音増幅器、イメージ抑圧のためのバンドパスフィルター、18GHz 帯 RF 信号を UHF 帯 IF 信号に変換する周波数変換器で構成されている。また、ダウンコンバーターはネットワーク情報信号として、受信電力検出信号も受信し、方向性結合器で分岐して信号の一部をアップコンバーターにフィードバックする機能を有している。

3.2 ネットワーク情報信号検出回路

ネットワークを管理するための情報は受信信号(18GHz 帯)に含まれているため、これを検出し、送信系制御情報としてフィードバックしている。図 7 にネットワーク情報信号検出回路のブロックダイアグラムを示す。この検出回路は受信信号を VHF 帯に周波数変換し、ログアンプを組込んだ検出回路により、広いダイナミックレンジにおいて線形の検波電圧を得ている。ネットワーク情報信号(受

信信号)は入力レベルが非常に低いため、S/N 比を十分確保する必要があり、入力部に低雑音増幅器を採用するとともに、周波数変換器前段に低損失の導波管イメージ抑圧フィルターを配置し、NF 劣化を防いでいる。またログアンプの入力には、帯域制限用の狭帯域水晶フィルターを配置し受信感度を確保、-133 ~ -125dBm のネットワーク情報信号を検出している。

3.3 得られた性能

表 3 に今回得られたダウンコンバーターの性能を、図 8 にダウンコンバーターの外観を示す。

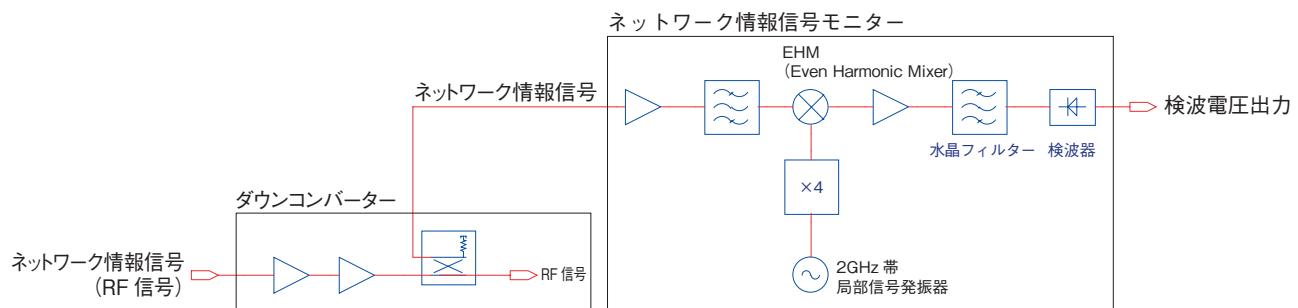


図 7 ネットワーク情報信号検波回路のブロックダイアグラム

表 3 ダウンコンバーターの評価結果

| 項目 | 結果 |
|---------|----------------------------|
| 入力周波数 | 再生信号: 18GHz 帯 |
| | 網情報信号: 18GHz 帯 |
| 入力周波数域幅 | 1.2GHz |
| 入力レベル | 再生信号: -65 ~ -90dBm |
| | ネットワーク情報信号: -115 ~ -130dBm |
| 出力周波数 | 再生信号: UHF 帯 |
| | ネットワーク情報信号: 18GHz 帯 |
| 雑音指数 | 1.3dB |
| 変換利得 | 60dB |
| 最大出力レベル | 0dBm |
| 帯域内振幅偏差 | 0.8dB |
| 群遅延特性 | 0.8ns |



図 8 ダウンコンバーターの外観

4. むすび

衛星通信地球局用のKa帯アップコンバーターと
ダウンコンバーターを開発した。今後実用化に向け、
生産技術も含め研究を継続する予定である。

5. 参考文献

- (1) D. H. Westwood : Noise Consideration for Solid State Microwave Sources in High Capacity FM Radio Systems, *Telecommunications*, April (1968)
- (2) V. Manassewitsch : Frequency Synthesizers Theory and Design, John Wiley & Sons, Inc., (1976)
- (3) S. B. Cohn : "Direct Coupled Resonator Filters", *Proc. IRE*, vol.45, pp.187-196, February (1957)

筆者紹介

電子事業本部
東京製作所
電子技術部
拮石 真一郎



電子事業本部
東京製作所
電子技術部
生駒 俊治



電子事業本部
東京製作所
機械技術部
田添 晃



電子事業本部
東京製作所
電子技術部
松永 和之



【技術開発】
産機部門

薄板加熱技術

島津 繁之
Shigeyuki SHIMAZU

鈴木 聰史
Satoshi SUZUKI

富田 始
Hajime TOMITA

1. まえがき

誘導加熱を利用して金属を加熱する場合、被加熱物が磁性材と非磁性材とでは、技術的難易度の点で大きな差がある。家庭でも良く使われている電磁調理器を例に挙げると、今ではアルミ鍋などの非磁性材の加熱ができる調理器もあるが、数年前までは非磁性材は使用できないとされていた。

工業用誘導加熱技術も同様であり、非磁性材の薄板を加熱するには、周波数の高い高周波発振器を使用するか、板面に対して垂直磁界を発生させる加熱コイルを使用し、温度分布を犠牲にして使用せざるを得ない状況であった。

工業用の薄板加熱は、その利用目的、材質、サイズ等の多様化が更に進み、ますますその需要が拡大している。

本稿では、金属薄板（厚みが $10 \mu \sim 1\text{mm}$ 程度）の幅方向温度分布を改善することを主目的として開発された薄板加熱技術について報告する。

2. 加熱コイルの構成及び特徴

表1に薄板加熱の分類を示す。誘導加熱で薄板を加熱する用途は多種多様であり、住宅用建材、自動車用部品、家電部品、飲料缶材料、食品包装用容器、金属箔などである。

薄板加熱で使用する加熱コイルは、厚板又は磁性材用のトンネル型と、主に非磁性用（磁性材も可）のトランスバース型とに大きく分類される。以下、それぞれの特徴を説明する。

2.1 トンネル型加熱コイル

厚板又は磁性材（キュリー点まで）の加熱に適した加熱コイルで、磁界が板面に平行して発生し、渦電流が板の断面の周囲を一巡して流れため、板幅が変化しても使用でき、温度分布、効率共に良好である。通常、幅広材ではエッジ温度が高くなりやすい欠点を持っているが、当社では、加熱コイルの巻

き方を改善し均一加熱を実現している（当社呼称「ループ電流キャンセル方式」表1参照）。

ただし、非磁性材では誘導電流の浸透深さが深く、表裏からの一巡する誘導電流が相殺され効率が低下する。最悪、加熱できないという問題があった。

2.2 トランスバース型加熱コイル

トンネル型で対応できない非磁性材の薄板に対しては、板面に対して垂直磁界を発生させるトランスバース型加熱コイルを使用する。しかし従来のものは、板材の幅変化への対応が難しく、エッジ温度の調整も満足できる状況では無く、図1のように加熱コイルの幅より板幅が狭い場合には、エッジ部分で発生する過加熱現象が問題となっていた。

この現象を無くし、板幅が変化しても均一加熱できる技術が求められていた。

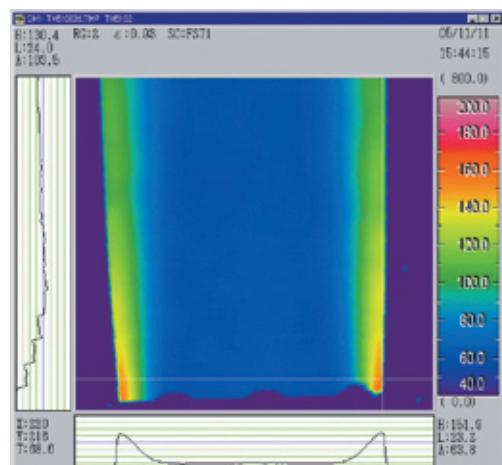
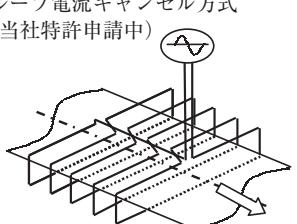
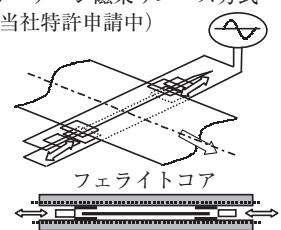
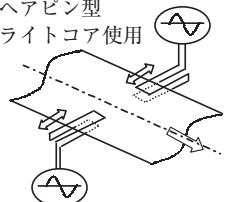
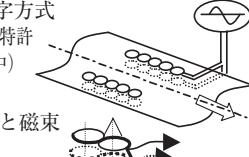
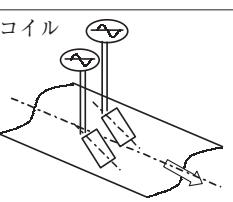
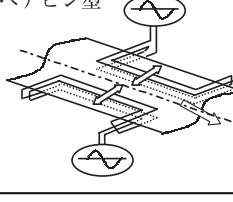


図1 従来のトランスバース型温度分布

3. 新トランスバース型加熱コイル

今回、非磁性材の薄板を均一加熱するため、当社で新しい加熱コイルであるリーケージ磁束リユース（以下 LFR : Leakage Flux Reuse という。）方式のトランスバース型加熱コイルを開発した（特許申請中）。図2に本加熱コイルの外観を示す。

表1 薄板加熱の分類

| ワーク種類 | | 金属材料 | 非磁性材 (常温) | | 磁性材 (常温) | | | |
|--------|--------------------|---------------------------------|---|--|--|--------------------------------------|--|--------|
| | | | Al, SUS304, Cu, Mg 他 | | 鋼板, SUS400系, Ni | | | |
| | | | 厚さ (目安) | 1mm 未満 | 1mm 以上 | 3mm 未満 | | 3mm 以上 |
| 加熱温度 | | 全温度範囲 | | キュリー点未満 | キュリー点以上 | キュリー点未満 | キュリー点以上 | |
| 工業加熱用途 | | | ・ラミネート ・塗料乾燥 ・焼鈍 ・合板圧接 ・銅フープ材 ・焼鈍 ・PC板加熱 | ・ラミネート ・塗料乾燥 ・焼鈍 ・合板圧接 ・ターゲット材半田付け | ・ラミネート ・塗料乾燥 ・焼鈍 ・プレス前加熱 ・合板圧接 | ・ハイテン鋼板 ・プレスクエンチ (自動車部品) ・合板圧接 | ・ラミネート ・塗料乾燥 ・焼鈍 ・プレス前加熱 ・合板圧接 | |
| 全体加熱 | トンネル型 | ループ電流キャンセル方式 (当社特許申請中) |  | | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | トランスバース型 | リーケージ磁束リユース方式 (当社特許申請中) |  | | ○ | ○ | | |
| 部分加熱 | エッジ加熱 | 部分トンネル型 横長ヘアピン型 フェライトコア使用 |  | | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | 部分トランスバース型 選択加熱 | 8の字方式 (当社特許申請中) 電流と磁束 |  | | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | ヘアピン型 | 片面コイル |  | | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | ヘアピン型 | 縦長ヘアピン型 |  | | ○ | ○ | △ | △ |

図中の記号説明 ○: 最適 ○: 可能 △: 可能 (評価中)

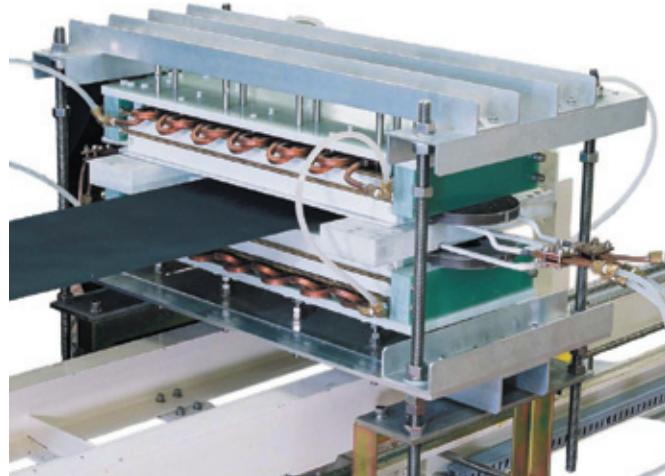


図2 新トランスバース型加熱コイル外観

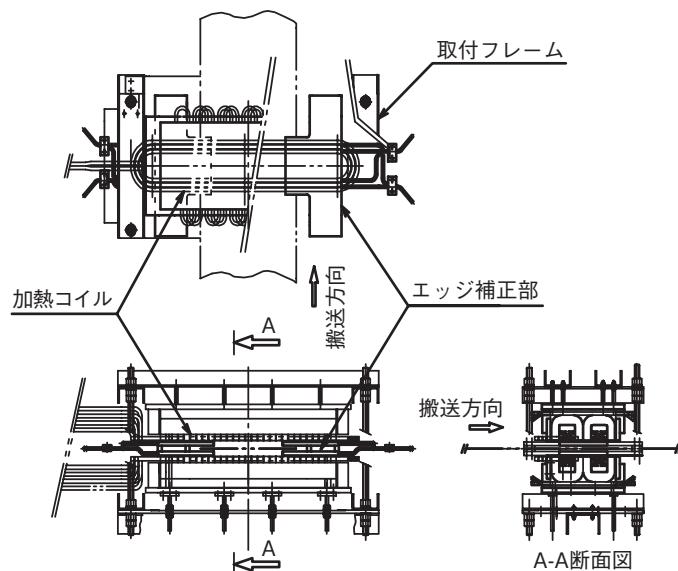


図3 新トランスバース型加熱コイル構造

LFM方式により、加熱コイル（一次コイル）の一次磁束の一部である薄板の外側を通過する漏洩磁束を有効に利用して、補正コイル（二次コイル）に発生させた逆起電力による電流を薄板両サイドに伝送し、一次磁束と逆方向の二次磁束を発生させ、薄板の両エッジ部の磁束密度を抑え、温度上昇を緩和させ均一加熱を可能とした。

従来型のトランスバース型加熱コイルは垂直磁界のみを使用し誘導加熱していたため、加熱コイル幅より狭い薄板はエッジ部に誘導電流が集中し、過加熱されていた。一般的な解決方法として、板幅より狭い加熱コイルを使用し外側を除いた範囲を加熱した後、更に別の加熱コイルを配置し、外側部分を再度加熱する方法を採用しており、一つの加熱コイルで

全体を均一加熱することは困難で加熱コイルの構成が非常に複雑であった。

4. 加熱評価結果

今回のLFM方式の新トランスバース型加熱コイルでは、図3に示すように、従来型のトランスバース型コイルに温度補正用のコイルが両サイドに構成されている。本加熱コイルの仕様を表2に示す。一つの加熱コイルで多品種の板幅に対応可能であり、均一加熱が可能となった。

新トランスバース型コイルでの加熱試験を行った結果、従来型コイルで発生したエッジ過加熱現象は無くなり、温度分布は $380^{\circ}\text{C} \pm 20$ 以内となり、均一加熱が可能となった。（表3、及び図4参照）

表2 新トランスバース型加熱コイル仕様

| | |
|---------|---|
| 基本構成 | 加熱コイル部 (一次コイル)・補正コイル (二次コイル)・フレーム部 |
| 対応薄板サイズ | 厚み 1mm 以下 幅 200 ~ 500mm |
| 加熱温度 | 室温 ~ 400°C |
| 周波数 | 5kHz ~ 15kHz |
| 電力 | 50kW 未満 |
| 冷却 | 水冷 (純水不要) 水温 5°C ~ 35°C 比抵抗 4kΩcm 以上 硬度 CaCO ₃ 換算 170ppm 以下 |
| 寸法 | W1470 × H900 × D650mm (カバー、取付用架台などを除く) |
| 質量 | 約 100kg |

表3 新トランスバース型加熱コイルテスト条件

| 項目 | 内容 |
|--------|-------------------------------------|
| 薄板寸法 | 厚み 0.3mm × 幅 465mm |
| 薄板材質 | アルミ |
| 薄板送り速度 | 6m/分 (加熱時間 約 2.5 秒) |
| 加熱目標温度 | 380°C |
| 使用発振器 | SBT - EH100 |
| 出力電力 | 約 24kW |
| 発振周波数 | 13kHz |
| 温度測定機器 | 赤外線サーモグラフィ装置 「サーモトレーサ TH9100PWV」 |
| 温度測定環境 | 温度測定面には黒体塗料塗布 外気温 約 25°C |

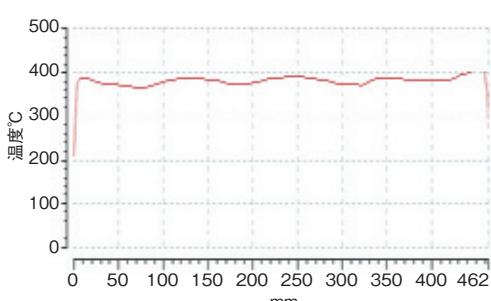
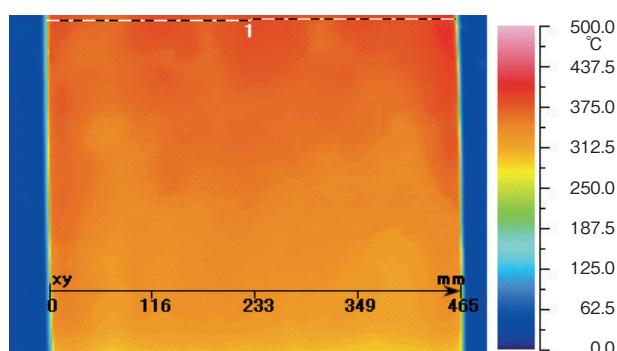


図4 新トランスバース型加熱コイルの温度分布

5. むすび

薄板誘導加熱技術の新型 LFR 方式トランスバース型加熱コイルについて概要及び特長を説明した。これにより、非磁性材の薄板均一加熱という大きな課題が解決できた。第4回サーモテック2005展に出演した際の薄板加熱装置においても、その反響は大きくサンプルテスト等の依頼が急激に増加している。

今後は、均一温度分布の高精度化、高温加熱用への応用、薄板と表面絶縁材との加熱接合の温度制御などが必要である。更なる改良を行い、薄板加熱技術を確立して行く。

筆者紹介

産機事業本部

島田製作所

高周波技術部

島津 繁之

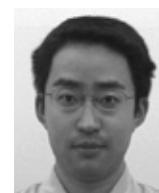


産機事業本部

島田製作所

高周波技術部

鈴木 聰史



産機事業本部

島田製作所

高周波技術部

富田 始



300mmSi ウェーハ対応枚葉式 2 流体洗浄装置の開発

美濃 秀志
Hideshi MINO

原崎 忠晴
Tadaharu HARASAKI

1. まえがき

洗浄ツールとして 2 流体ノズルの開発がされて久しく、現在はバブルジェットや亜音速ジェット、SS ジェット（超音速ジェット）など数種類が存在し、フラットパネル用洗浄装置や半導体、精密洗浄用に数多く採用されている。

本稿では 300mm 対応枚葉式 2 流体洗浄装置の開発内容について報告する。

2. 装置の概要

本装置の外観（図 1）及びコンセプトを以下に示す。

- (1) ハイレベルの異物除去能力
- (2) 省フットプリント
- (3) 省エネルギー



図 1 装置外観

300mmSi ウェーハ用処理装置には、バッチ式処理装置と枚葉式処理装置がある。

本装置に搭載している 2 流体洗浄チャンバは、リシスとスピンドル乾燥機能を併せ持つ。本装置は、当チャンバを 2 基搭載したコンパクトな枚葉洗浄装置である。

装置のフットプリントは 1300mm × 2400mm で、バッチ式装置の半分以下のサイズにより、洗浄エリアへの装置レイアウトが容易である。

廃液は基本的に純水のみとして、省エネや環境負荷低減にも配慮している。

オプション機能として、オゾン水処理や薬液対応も考慮しており、ユーザーの要求に合わせた専用設計に対応が可能である。表 1 に主要性能を示す。

表 1 主要性能

| 項目 | 仕様 |
|---------|--|
| ウェーハサイズ | φ 300mm |
| 処理プロセス | SS ジェット → 純水洗浄 → リンス |
| 処理能力 | 75 枚 /hr |
| チャンバ数 | 2 |
| FOUP 数 | 2 |
| 搬送ロボット | 1 台 |
| 所要用力 | AC100V 2kVA AC200V 50kVA 純水 20L/min ドライエア 50NL/min N ₂ 800NL/min CO ₂ 2L/min 排気量 40m ³ /min |
| 装置寸法 | W2400 × H2300 × D1300mm |

3. SS ジェット洗浄の原理

キャリアガス（N₂ 又はドライエア）を 2 流体ノズルに流し、そこへ純水を供給すると、ガス中で純水は小液滴となる。小液滴はキャリアガスによって加速され、最終的に洗浄する基板の表面に衝突してその表面に物理的な効果を発生させる。（図 2 参照）

基板に到達した小液滴は異物に直接衝突して基板から除去すると同時に、基板表面で水平に広がり、サイドジェットとして異物を基板から引き剥がす力を発生させる。

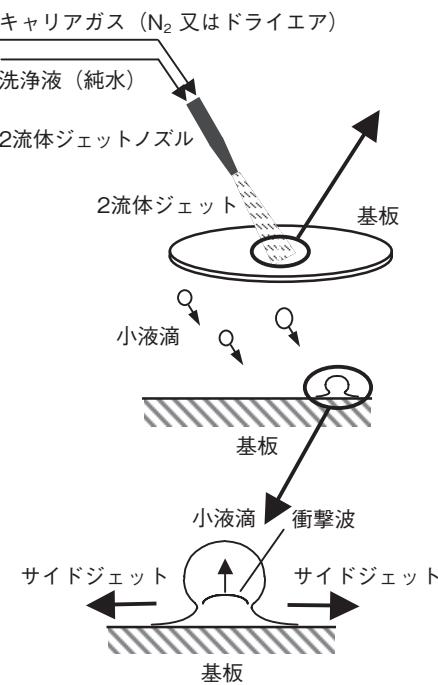


図2 洗浄メカニズム

4. 超音速ノズルの流速分布

半導体ウェーハ用に採用している2流体ノズルは図3のような複数の形状があるが、水の粒子を超音速まで加速するには一旦ノズルの口径を絞った後に、徐々に断面積が拡大する一定長さの加速領域を持つ形状が必要になる。

超音速ノズル1と超音速ノズル2との流速比較結果を図4に示す。共にノズル先端から約20mmの地点で流速最大となるが、ノズル2ではノズル内で水粒子が十分加速されていることから、広範囲で400m/s(マッハ1.2)以上となっている。

音速を超える速度で水粒子を基板上に衝突することで、従来の亜音速ジェットを超える強力な洗浄力を生んでいる。

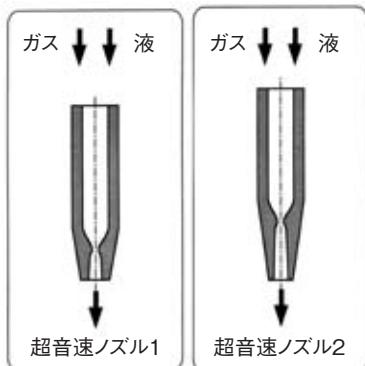


図3 ノズル断面図

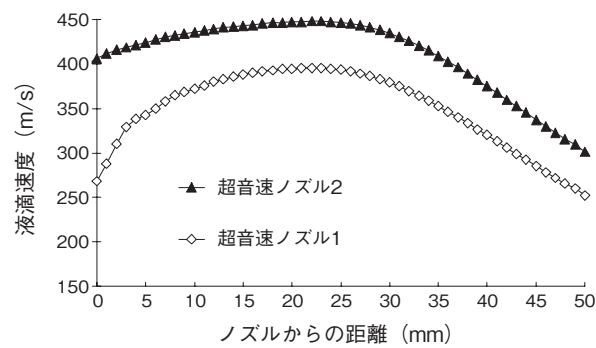


図4 流速分布

5. チャンバ内の気流制御

2流体ジェット洗浄は大量のガスに少量の純水を混合させて洗浄を行うシステムであるが、チャンバ内の気流制御が不十分な場合、跳ね返った水粒子により基板が再汚染されたり、装置内が水浸しになる。これを防止するため、チャンバ内の気流制御スリットの改良及び排気量の適正化を行っている。

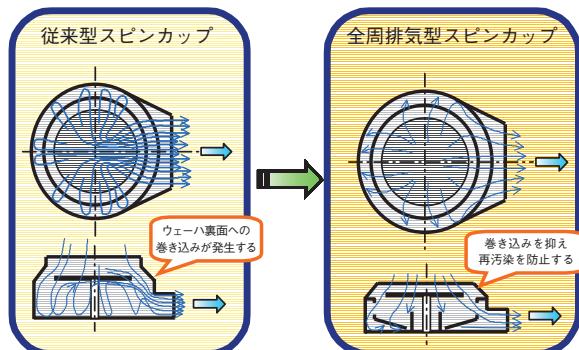


図5 スピンカップの改善

図6は、気流制御最適化後の排気状態をクリンビュアにより可視化したものである。全周方向に均等に排気されている。

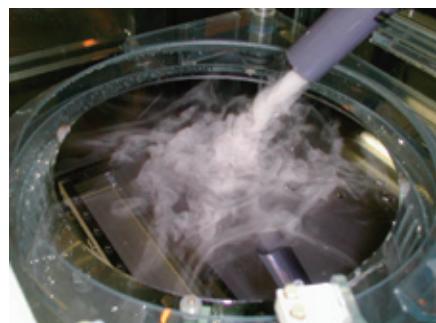


図6 気流制御最適化後の排気状態

6. 洗浄性能

SS ジェット洗浄は従来にない強力な洗浄効果を得られるが、同時に基板へのダメージの問題も発生する。

図7に成膜後ウェーハにおけるダメージ評価結果を示す。ガス流量が多い(=流速UP)ほど基板へのダメージが多くなることを示している。

図8に他の洗浄ツールと比較した異物除去評価結果を示す。ダメージがない流速においても、ディスクブラシ洗浄や高圧洗浄よりも高い異物除去率が得られることがわかる。

図9に300mmシリコンウェーハにおけるSSジェット洗浄前後での異物数変化を示す。

SSジェット洗浄はナノサイズの異物に対しても高い除去性能を示しており、次世代の洗浄ツールとして有効である事を示している。

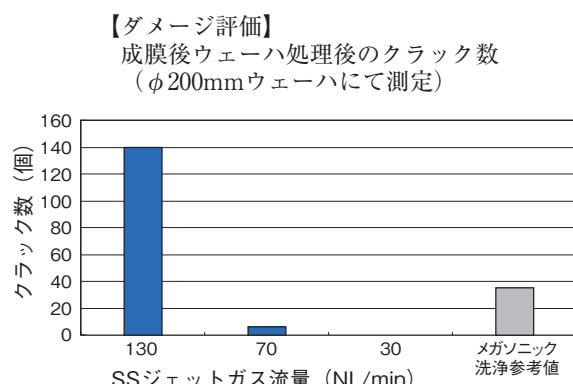
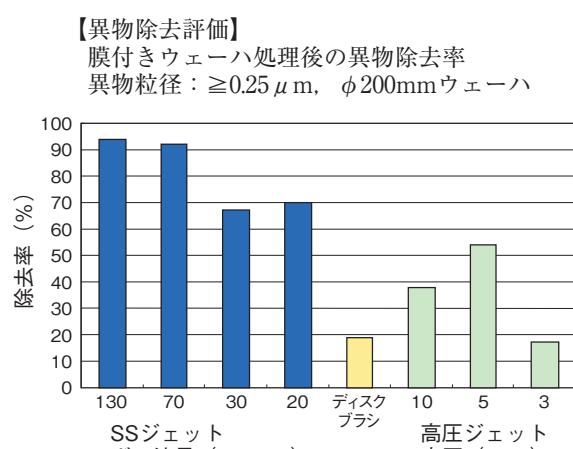
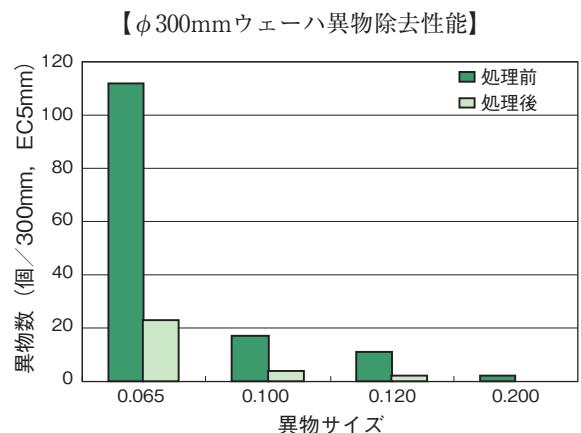


図7 ダメージ評価結果



| | | | | | |
|----------|-----|---------------|------|---------------|------------|
| 統一基本工程 | 洗浄 | \Rightarrow | リーンス | \Rightarrow | 乾燥 |
| 処理時間 | 30 | | 10 | | 20 (sec) |
| ウェーハ回転数 | 500 | | 500 | | 2000 (rpm) |
| 使用液体: 純水 | | | | | |

図8 異物除去性能比較



| | | | | | | | |
|---------|--------|---------------|--------------------|---------------|---------|---------------|------------|
| 洗浄工程 | オゾン水塗付 | \Rightarrow | SSジェット | \Rightarrow | DIW リンス | \Rightarrow | 乾燥 |
| 処理時間 | 90 | | 90 ^(注1) | | 30 | | 30 (sec) |
| ウェーハ回転数 | 100 | | 600 | | 600 | | 2000 (rpm) |

(注1) ノズル動作: 1往復 (ウェーハ全面)

図9 300mm ウェーハ洗浄評価結果

7. むすび

今後、半導体用枚葉洗浄装置としては2流体ジェット洗浄が主流になると想定しており、SSジェットを搭載した装置の需要は今後確実に拡大する。

半導体以外の基板洗浄についても高洗浄性能、低ランニングコスト、環境負荷低減の観点から、SSジェットを搭載する装置は今後増加していくと考える。

筆者紹介

産機事業本部
島田製作所
洗浄技術部
美濃 秀志



産機事業本部
島田製作所
洗浄技術部
原崎 忠晴



フッ素系洗浄剤対応型洗浄装置の開発

立幅 義人 成岡 正昭
Yoshihito TATEHABA Masaaki NARUOKA

片岡 辰雄 渋谷 節男
Tatsuo KATAOKA Setsuo SHIBUYA

1. まえがき

フッ素系洗浄剤は不燃性、低毒性、乾燥性が良い、リサイクル可能、低エネルギーコストなど、他の洗浄剤にはない特徴があり、さまざまなニーズに応えることのできる洗浄剤である。しかし、「オゾン層保護法」と「地球温暖化対策推進法」により1995年に特定フロン等(CFC-113, 1, 1, 1-トリクロロエタン)は全廃となり、代替フロン(HCFC-225等)は2020年に全廃が決まっている。そのためフッ素系洗浄剤は炭化水素系洗浄剤や水系洗浄剤への代替が進んでいる。しかし、炭化水素系洗浄剤では可燃性や乾燥性の問題があり、水系洗浄剤では排水処理に大型設備が必要となるなど、それぞれの洗浄剤には問題がある。あるいは塩素系洗浄剤は環境問題や毒性問題から、使用が敬遠され始めている。このために最近ではオゾン層破壊に対しても地球温暖化にも影響の小さい、環境保護と洗浄性能を満足するフッ素系洗浄剤(HFC, HFE)が使われている。

以上のような背景から、本稿では市場要求が最も多い金属部品の脱脂洗浄を主目的とした代替溶剤対応洗浄装置の開発について報告する。はじめにフッ素系洗浄剤(HFC系)をベースとした洗浄・乾燥プロセスの開発について報告し、次に当社のフッ素系洗浄剤対応型洗浄装置の概要について報告する。

2. フッ素系洗浄剤のプロセス開発

2.1 HFC系洗浄剤

HFC系洗浄剤は構造中に塩素を含まないため、オゾン層破壊機能を持たない。しかし、塩素を含有しないため、単体では洗浄力(脱脂力)をほとんど持たない。そのために、添加剤を混合し洗浄性を向上した洗浄剤が商品化されている。表1に各社の添加剤入りHFC系洗浄剤の比較表を示す。添加剤の例としては、溶解性に優れたグリコールエーテル

やエステル系溶剤をHFC系洗浄剤に、引火点を持たない範囲内で混合したものである。また、添加剤入りHFC系洗浄剤を沸騰させ、蒸気乾燥剤として使用する場合、添加剤は高沸点であるためにHFC蒸気の妨げにはならない。

表1 添加剤入りHFC系洗浄剤の比較表

| 項目 | 添加剤入りフッ素系洗浄剤 | | |
|------------------------|--------------|------|------|
| | A社 | B社 | C社 |
| 沸点°C | >40 | >68 | >50 |
| 価格(A社=1) | 1 | 3 | 1.5 |
| 密度(g/cm ³) | 1.16 | 1.26 | 1.09 |
| 蒸発潜熱(cal/g) | 42 | 30 | — |
| KB値 | >100 | — | 86 |
| 関連する法規制 | 特に無し | 特に無し | 特に無し |
| ODP | 0 | 0 | 0 |
| GWP | 890 | 870 | 890 |

ODP: オゾン破壊係数 (CFC-11=1)

GWP: 地球温暖化係数 (CO₂=1)

2.2 洗浄プロセス

2.2.1 金属部品脱脂洗浄試験

脱脂洗浄に関して、各社の添加剤入りHFC系洗浄剤について、洗浄方法として超音波洗浄と沸騰洗浄との比較を行った。以下に洗浄条件を示す。表2にその結果を示す。

- ・被洗浄物: ピストンリング
 - ・汚染物: 切削油(粘度36mm²/s, 40°C)
 - ・洗浄条件: 洗浄(表2中の洗浄方法)30秒→リンス+超音波(US)30秒
- リンス液は各社のHFC系洗浄剤(添加剤無し)を使用した。
- ・評価方法: 油分残渣測定(μg/cm²)

表2 各種添加剤入りHFC系洗浄剤と洗浄方法の比較

| | 洗净方法 | 洗净結果 (油分残渣: $\mu\text{g}/\text{cm}^2$) |
|---------------|-------|--|
| A 社製 HFC 系洗净剂 | 沸騰 | <1 |
| | 浸漬 US | <2 |
| B 社製 HFC 系洗净剂 | 沸騰 | <1 |
| C 社製 HFC 系洗净剂 | 沸騰 | <1 |
| (参考) 炭化水素系洗净剂 | 浸漬 US | <1 |

いずれの添加剤入り HFC 系洗浄剤も洗浄能力は優れている。また、沸騰洗浄と浸漬 US 洗浄では沸騰洗浄の方が良いことが確認された。

以上の結果をもとに、プロセス構成は沸騰洗浄を中心に組み立てた。次に装置のプロセス構成を紹介する。

2.2.2 装置のプロセス構成

HFC系洗浄剤を使用した装置模式図を図1に示す。第1槽目（図中①）において添加剤入りHFC系洗浄剤で沸騰洗浄を行い、第2槽目（図中②）においてHFC系洗浄剤で被処理物に付着した添加剤をすすぐ、第3工程（図中③）では蒸気乾燥を行う。ここで、第1槽目は沸騰洗浄であり、第3工程の蒸気層の形成も兼用させている。また、第1槽に超音波を使用（沸騰+超音波）すれば更に洗浄効果上がる。

ながる恐れがある。また、フッ素系洗浄剤は他の洗剤と比較して高価格なために、無駄な排出量の増加は極力抑えたい。そのために蒸気乾燥の原理を理解しておくことが重要になってくる。

槽内のフッ素系洗浄剤は外部熱源からの加熱により沸騰状態になると、その上部に沸点に等しい温度の蒸気層を形成する。気化し上昇する蒸気のほぼ全量は、槽内上部に設けた凝縮コイルで凝縮液化し、回収される。回収した洗浄剤は繰り返し使用する。

熱平衡状態にある蒸気内に蒸気温度以下の被洗浄物を入れると、蒸気は被洗浄物表面で凝縮するが、この相変化による凝縮潜熱により被洗浄物は昇温する。一方、凝縮した洗浄剤は表面を流下しながら成長し、自重に耐えきれなくなると被洗浄物表面から液滴となって離脱する。最終的に被処理物温度が蒸気温度に等しくなった時点でこの相変化は生じなくなる。この状態の被洗浄物を低速で引き上げる際に、被洗浄物の熱容量から被洗浄物に付着している液に蒸発潜熱分を与えることによって液が蒸発する。したがって、被洗浄物の比重や比熱が小さく、また形状が複雑な場合には、液の総蒸発潜熱>被洗浄物の熱容量となり完全乾燥しなくなるため注意を要する。

2.3.2 蒸気乾燥における熱計算

被洗净物を洗净剤の蒸気で乾燥させるために必要なヒーター容量を考察する。

一般的な例として質量 10kg のステンレス（初期温度 20°C, 比熱 0.12kcal/kg・°C）を HFC 系洗浄剤の蒸気（沸点 40°C, 比熱 0.3kcal/kg・°C）により 1 分間で加熱するとする。

必要な熱量 Q は (1) 式で与えられる。

$$Q = W \cdot C_p \cdot (t_{BP} - t_S) / \theta \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad (1)$$

$$= 10 \cdot 0.12 \cdot (40 - 20) / (60/3600)$$

$$= 1440 \text{ [kcal/Hr]}$$

ここで、Q:熱量 [kcal/Hr], W:被洗浄物質量 [kg],
 C_p :被洗浄物比熱 [kcal/kg・°C], t_{BP} , t_s :洗浄剤沸点,
 初期温度 [°C], θ :昇温時間 [Hr]

更に、加熱効率 70% とすると加熱に必要なヒーター容量 H は以下となる。

$$\begin{aligned}
 H &= Q \cdot (1/\eta) / 860 \text{ kcal/Hr} \\
 &= 1440 \cdot (1/0.7) / 860 \text{ kcal/Hr} \\
 &= 2.32 \text{ [kW]}
 \end{aligned}$$

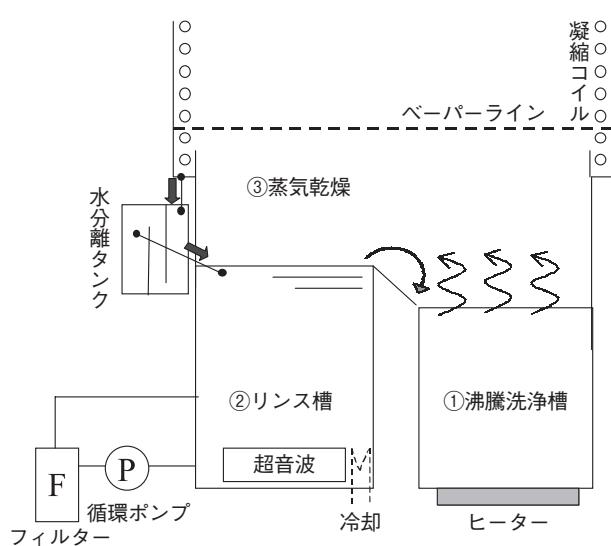


図 1 装置模式図

2.3 蒸氣乾燥

2.3.1 蒸気乾燥の原理

乾燥工程は洗浄工程と共に非常に重要な工程であり、フッ素系洗浄剤は蒸気乾燥が可能である。最適な工程で洗浄を行っても乾燥次第では洗浄不良につ

ここで、 H ：ヒーター容量 [kW]、 η ：加熱効率 このヒーター容量と同程度の能力で実機にも使用している。

2.3.3 低消耗性

洗浄剤の沸点が低いものほど、蒸気圧が高いので散逸量は多くなる。低減策としては主に以下の項目が挙げられる。

- ・フリーボード高さ（蒸気層上面から槽開口部までの高さ）若しくはフリーボード比（フリーボード高さ／開口短部寸法）を大きくとる。
- ・凝縮コイルの冷却水温を下げる。
- ・凝縮コイルの冷却水量を上げる。
- ・蒸気槽付近の気流の乱れを無くす。
- ・蒸気槽開口部にフタを設ける。
- ・被洗浄物の出し入れ速度を下げる。取り出し前に一時停止（ドゥエル方法）を行う。
- ・被洗浄物の置き方を工夫する。

当社ではフリーボードについては、フロンやジクロロメタン時代の蒸気洗浄装置の消耗量データより、フリーボード比が1未満では消耗量が多いこと、また装置外形寸法なども考慮してフリーボード1程度を設計目安としている。また、冷却水は余り下げすぎると空気中の水分の結露量が増加し、溶剤に水分が混じるため、10～20°Cを目安としている（当社装置には標準で水分離器を設置）。

その他フタの開閉等はスループットや使い勝手の問題があるが、安価で簡易な工夫で消耗量は削減できる。

また、当社装置においては、オプションとして更に低消耗を実現するために省エネモード機能がある。

2.4 安全性

フッ素系洗浄剤は、消防法に該当する引火点を持たない非危険物である。しかし、ある種の洗浄剤は燃焼範囲を有するため、火花（静電気等）や裸火を近づけると燃焼する恐れがある。したがって、当社装置には下記の安全対策を施している。

- ・ヒーター部の過加熱防止対策施工
- ・ヒーター部のエアーパージ施工
- ・循環ポンプは安全増し防爆品の使用
- ・樹脂部分の静電気対策施工
- ・空だき防止機能（液面センサー）設置
- ・専用ガス濃度検知装置（オプション）の使用

3. フッ素系洗浄剤対応型洗浄装置の概要

3.1 装置仕様

装置外観を図2に、装置断面を図3に示す。

外観寸法はW1750×H1200×D700mmである。装置仕様を表3に、装置構成を表4に示す。



図2 フッ素系洗浄剤用2槽式洗浄装置

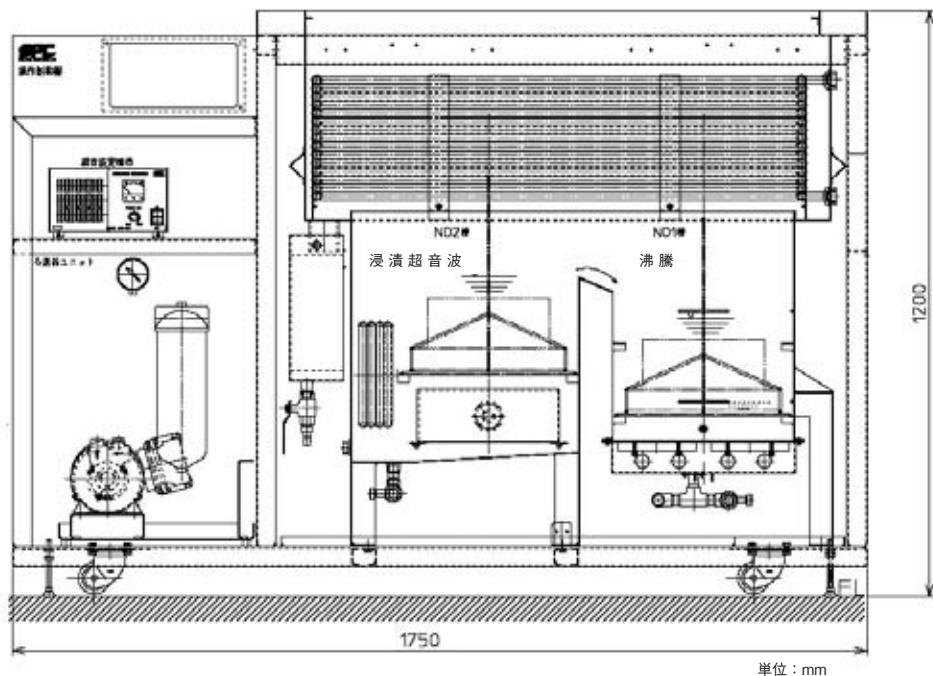


図3 装置断面図

表3 装置仕様

| | |
|---------|----------------------------------|
| 装置名称 | フッ素系洗浄剤対応 2 槽式洗浄装置 |
| 洗浄方式 | 沸騰, 浸漬超音波, 蒸気洗浄 |
| 装置外寸 | W1750 × H1200 × D700mm |
| 装置質量 | 約 200kg (液質量含まず) |
| 洗浄物外寸 | W300 × H145 × D240mm |
| 洗浄物質量 | 10kg/ カゴ以下 (カゴ質量含む) |
| 筐体仕様 | SS 材溶接構造 アイボリー色 吹付塗装 |
| パネル仕様 | SPCD 材 アイボリー色 焼付塗装 |
| 槽, 配管材質 | SUS304 |
| 超音波振動子 | PZT 投込型 (輻射板 SUS304) |
| 超音波発振器 | 28kHz 500W |
| 循環濾過 | 5L/min 濾過粒径 標準 $50\mu\text{m}$ |
| 所要電気量 | 3φ 200V 約 5kVA |
| 冷却方式 | 冷却水冷却又は水冷却装置 (注1) |
| 所要冷却水量 | 約 20L/min 15 ~ 20°C 0.1 ~ 0.2Mpa |
| 所要エアー量 | 約 10NL/min 0.3 ~ 0.4Mpa |
| 安全装置 | 各種警報, インターロック付 |

(注1) 水冷却装置はオプション

表4 装置構成

| 槽 No | 洗浄方式 | 洗浄液 | 槽寸法 W × D (mm) | 有効液深 (mm) | 液収容量 (L) | | 液温 (°C) | ヒーター (kW) |
|---------|----------------------|--------------|-------------------|--------------|----------|----------|------------|--------------|
| | | | | | 槽 | タンク | | |
| 1 | 沸騰 | フッ素系 洗浄剤A | 370 × 340 | (200) | 32 | - | 沸点 | 2.8 |
| 2 | 500W 28kHz 超音波 | フッ素系 洗浄剤B | 465 × 340 | 200 | 50 | 9 分離器 | 常温 | - |

4. 装置の特長

・多様な洗浄剤の適用

現在市販されている蒸気洗浄可能な代替溶剤のすべてが使用可能。

当社規格品洗浄装置 SUC シリーズと組合せ、水系洗浄剤、炭化水素系洗浄剤にも対応可能。

・2種類の洗浄工程が可能

[脱脂、フラックス除去] 沸騰洗浄→浸漬超音波洗浄（リンス）→蒸気乾燥

[異物除去] 浸漬超音波洗浄→蒸気乾燥

・安全対策（2.4項参照）

可燃性洗浄液と同等の対応を行い、接液部は防爆準拠部品を使用。

・取扱いが容易

操作性を考慮した設計となっているので、導入したその日から洗浄処理が可能。

・液消耗量の低減

フリーボード比、凝縮コイル、運転方法の見直しにより液消耗の低減を実現。

5. むすび

フッ素系洗浄剤対応型洗浄装置のプロセス開発、装置開発について報告した。装置は既に市場投入され、販売実績もある。今後は、更なる装置の高性能化、低価格化を進める。

参考文献

- (1) 刈米 孝夫他編：“新洗浄技術総覧”，産業技術サービスセンター，(1996)
- (2) 日本産業洗浄協議会編：“はじめての洗浄技術”，工業調査会，(2005)
- (3) 工業調査会編：“環境問題に対応する洗浄技術入門”，工業調査会，(2001)
- (4) 日本産業洗浄協議会編：“洗浄剤・洗浄装置活用ノート”，工業調査会，(2004)

筆者紹介

産機事業本部

島田製作所

洗浄技術部

立幅 義人



産機事業本部

島田製作所

洗浄技術部

成岡 正昭



産機事業本部

島田製作所

洗浄技術部

片岡 辰雄



産機事業本部

島田製作所

洗浄技術部

渋谷 節男

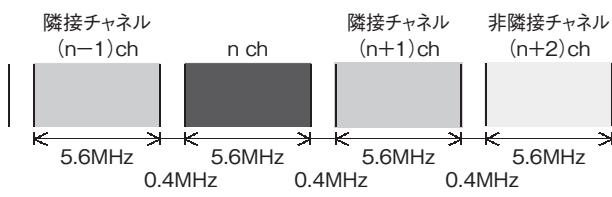


地上デジタル中継局用アンテナ共用器

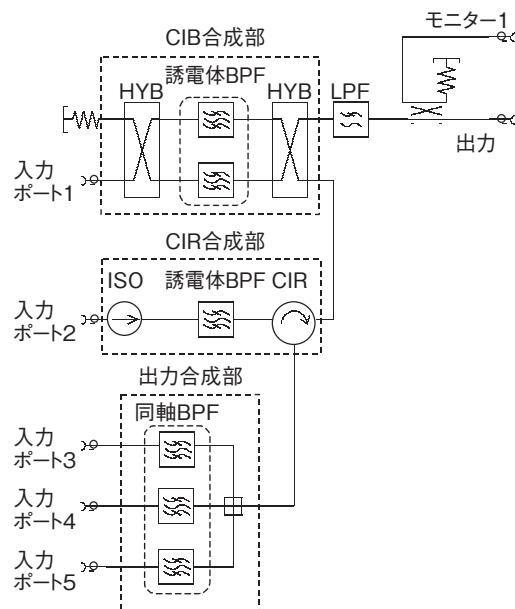
■概要

本製品は地上デジタル放送中継局の中継装置から出力される複数チャネルの送信波を合成し、アンテナを共用するために使用します。デジタル放送では隣接したチャネルが割り当てられており、隣接チャネルとのガードバンドは0.4MHzと狭いため、減衰特性の急峻なフィルターを使用し隣接チャネル配置に対応した共用器が必要となります。

本製品は「非隣接チャネルを共用する出力合成部」、「出力合成部からの出力と隣接するチャネルを共用するCIR合成部」、「CIR合成部からの出力と隣接する2チャネル帯域を共用するCIB合成部」、「高調波を減衰させるLPF」、「出力信号レベルをモニターするためのカップラー」から構成されています。



チャネル配置図



アンテナ共用器構成図

■特長

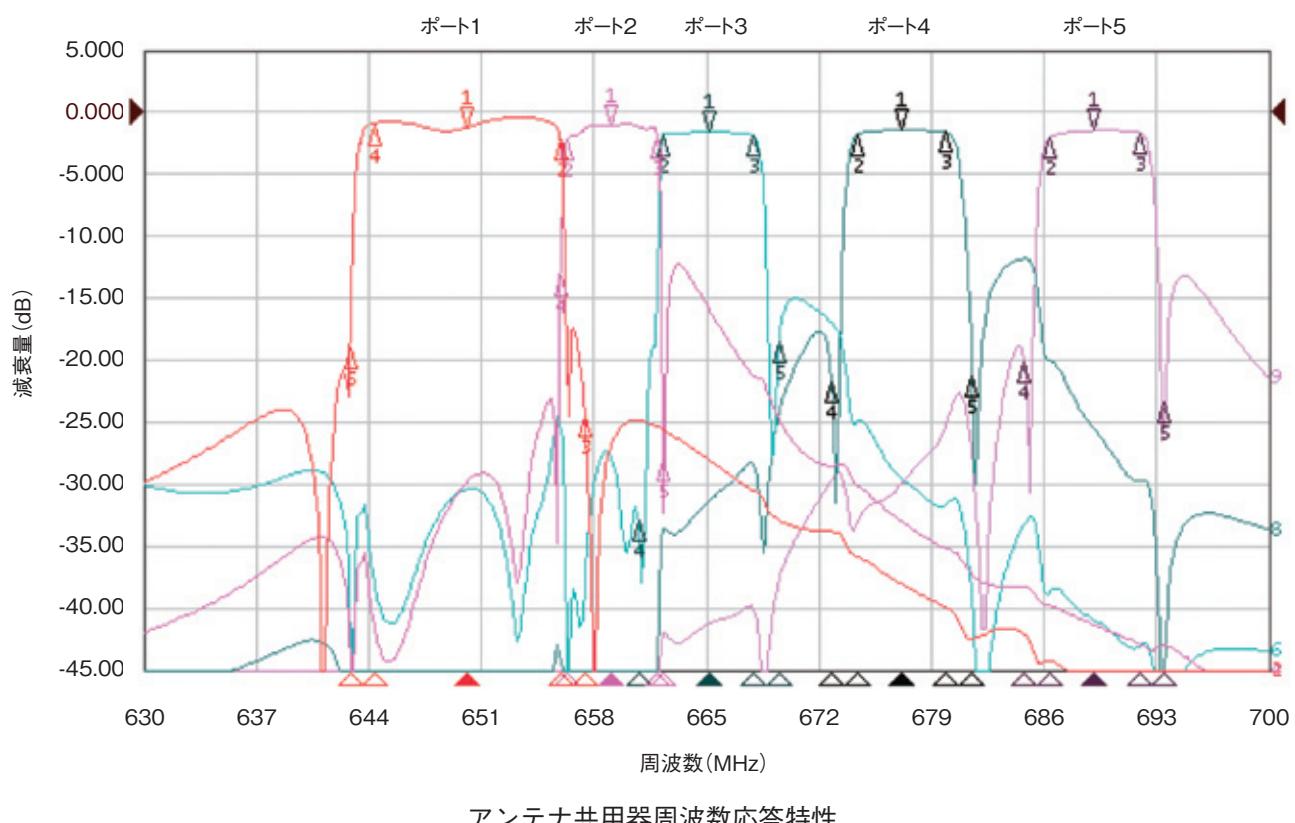
- ①CIB合成部は2チャネル分の帯域と隣接するチャネルを共用するために急峻な減衰特性が必要となります。これを実現するために、誘電体EH11 δ デュアルモード共振器を使用して通過帯域の両側に2つの減衰極を持つ6段のフィルターを採用しています。これにより急峻な減衰特性と併せて小型・低損失型を実現しています。
- ②CIR合成部は隣接チャネルを共用するために、誘電体EH11 δ デュアルモード共振器を用いて4段のフィルターを構成しています。通過帯域の両側に減衰極を持たせて減衰特性を急峻にすると共に、小型・低損失型を実現しています。
- ③出力合成部は非隣接チャネルを共用するために、4段の同軸フィルターを採用して低価格化を図っています。また、それぞれのフィルターを位相合成することで低損失型を実現しています。



製品外観

■主要性能

| 使用周波数帯域 | ポート No. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | | | | | | | | |
|---------|--|--|-----------|---|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| | ch | 指定 2 チャネル帯域 | 指定 1 チャネル | | | | | | | | | | | | |
| | 通過帯域 $fc \pm 2.79\text{MHz}$, オフセット +143kHz | | | | | | | | | | | | | | |
| 挿入損失 | 各 ch の fc にて 1.9dB 以下, 使用周波数帯域内において 2.7dB 以下 | | | | | | | | | | | | | | |
| 入力VSWR | 各 ch の使用周波数帯域内において 1.2 以下 | | | | | | | | | | | | | | |
| 端子間減衰量 | 20dB 以上 | | | | | | | | | | | | | | |
| 群遅延特性 | 各 ch の使用周波数帯域内において 1000ns p-p 以内 | | | | | | | | | | | | | | |
| 帯域内偏差 | 各 ch の使用周波数帯域内において 1.5dB p-p 以内 | | | | | | | | | | | | | | |
| 減衰特性 | ポート 1 | 通過帯域端 $\pm 1.5\text{MHz}$ にて 10dB 以上 | | | | | | | | | | | | | |
| | ポート 2 | $fc \pm 3.2 \sim 9\text{MHz}$ にて 10dB 以上 | | | | | | | | | | | | | |
| | ポート 3, 4, 5 | $fc \pm 4.36 \sim 9\text{MHz}$ にて 10dB 以上 | | | | | | | | | | | | | |
| 高調波減衰量 | $2 \times fc \sim 4 \times fc$ にて 40dB 以上 | | | | | | | | | | | | | | |
| モニター特性 | 30 \pm 1dB 以下 | | | | | | | | | | | | | | |
| 入出力接栓 | 入出力: N-J, 出力モニター: BNC-J | | | | | | | | | | | | | | |
| 環境条件 | 温度 | 性能維持範囲 $-10 \sim +45^\circ\text{C}$ 復元可能範囲 $-20 \sim +60^\circ\text{C}$ | | | | | | | | | | | | | |
| | 湿度 | 45% \sim 90%RH (結露しないこと) | | | | | | | | | | | | | |
| 外形 | W480 \times H749 \times D600mm | | | | | | | | | | | | | | |



問い合わせ先
電子機器事業部
TEL 042-481-8532

高周波発振器 (SFT-E シリーズ)

ユニット型高周波発振器 SFT-EU5N/EU10N

■概要

2001年に商品化したSFT-Eシリーズ5kW/10kW高周波発振器は、広くお客様から高い評価をいただき、弊社高周波事業の主力製品となりました。発売以来5年が経ち、お客様の生産設備のバージョンアップ等に伴い、更なる小型化・高機能化が求められていました。

この度、次世代型高周波発振器として大幅なモデルチェンジを行いました。三菱電機（株）生産技術センターの技術協力をいただき、基本設計から見直しを行いました。その成果として、ここ数年間に弊社が取り組んできた小型ユニット化技術・高性能モジュール開発技術・出力監視制御技術の集大成というべき製品が完成しました。

■特長

①ユニット構造

機能ごと（操作部／インバータ部／マッチング部）にユニット化し、ユニット単位でのメンテナンスが可能です。ユニット形状は19インチ規格に準じており、複数台のインバータ搭載や、お客様装置への組込み、他社機器の組込み等、拡張性に優れています。

②操作パネル

マイコンを搭載し、プログラム操作、出力監視、警報履歴の管理等が可能です。外部インター

フェースとしてRS-232Cシリアルポートおよびイーサネットポートを装備し、PCとの接続、ネットワーク構成が容易です。

③小型

従来型の高周波発振器と比較して、体積比50%、重量比60%の小型化・軽量化を実現しました。

④高信頼性

省配線設計、特殊部品の削減、加工部品の削減に取り組み、総部品点数を大幅に削減しました。

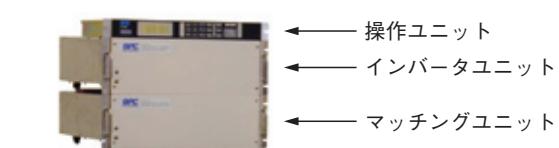
⑤RoHS対応

■主要性能

| 型 式 | SFT-EU5N | SFT-EU10N |
|-------------|---|-----------|
| 定 格 出 力 | 5kW | 10kW |
| 発 振 周 波 数 | 20kHz～400kHz（内一波） | |
| 電 源 入 力 | 三相 200V ±10% 50Hz/60Hz | |
| | 7kVA | 14kVA |
| 冷 却 水 | 5L/min | |
| 使 用 周 围 条 件 | 温度 5°C～40°C 湿度 85%以下 | |
| 保 護 機 能 | 発振器温度異常、発振周波数異常、冷却水量低下異常、地絡検出、直流および高周波過電流異常 等 | |
| 操 作 盤 機 能 | ・表示 LCDディスプレイ表示器 ・操作 マニュアル／プログラム／リモート ・外部インターフェース RS-232C／イーサネット | |
| 外 形 尺 法 | W450×H350×D450mm | |
| 質 量 | 約35kg | |



従来品（一体型）



新製品（ユニット型）

製品外観

問い合わせ先
産業機器事業部
TEL 042-481-8525

「ソルブ 55_®」シリーズ洗浄剤対応2槽式洗浄装置 環境対応型精密洗浄システム SOL-LABO (ソルラボ)

■概要

金属・電子部品洗浄用として、導入コストが安価で、環境性（地球温暖化防止、VOC 規制）、安全性、乾燥性能等に優れた次世代フッ素系洗浄剤「ソルブ 55」「ソルブ 55PG」「ソルブ 55HG」に対応した2槽式フロン代替溶剤洗浄装置を開発し、SOL-LABO (ソルラボ) の名称で販売を開始しました。

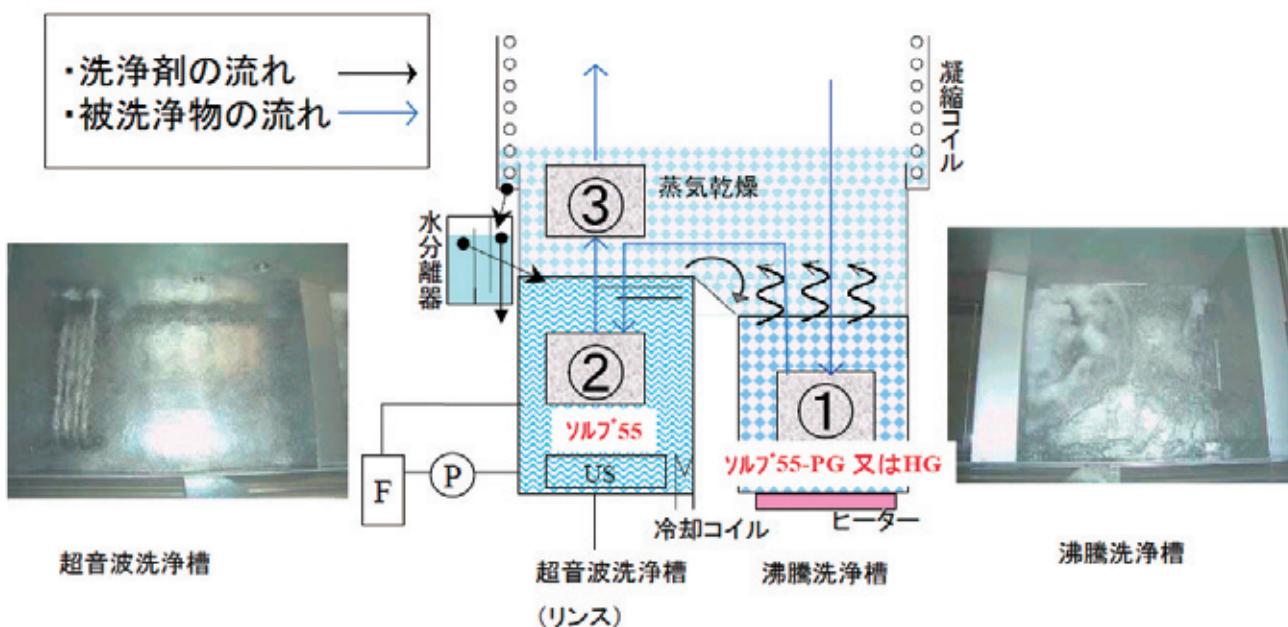
■適用装置例

- ①金属加工部品の脱脂洗浄
- ②プリント基板のフラックス洗浄
- ③光学部品の塵埃除去洗浄
- ④樹脂部品の離型剤除去洗浄
- ⑤金属束線の乾燥

■特長

- ①金属・電子部品精密洗浄用ソルブ系洗浄剤に対応
ソルブ系洗浄剤の特長を考慮した装置設計で、他社フッ素系洗浄剤にも対応可能。
- ②優れた乾燥性能
乾燥時間を炭化水素系の1/2以下、水系の1/3以下に短縮できます。
- ③液消耗量を考慮した装置設計
フリーボード比を高く設計しました。
稼働時、洗浄剤消耗を抑えるセーフモード／通常モード切り替え機能付き（オプション）です。
- ④操作が簡単
導入したその日から使用可能です。
- ⑤小型・省スペース
W1750×H1200×D700 (mm)
- ⑥多彩なオプション
オプション：超音波発振器／振動子、搬送／搖動ユニット、冷却ユニット、ガス警報器、油水分離ユニット、脱気装置他
- ⑦装置をサポートするプロセス技術
被洗浄物に適した洗浄剤を選定、安全な使用方法、洗浄剤管理方法を支援します。

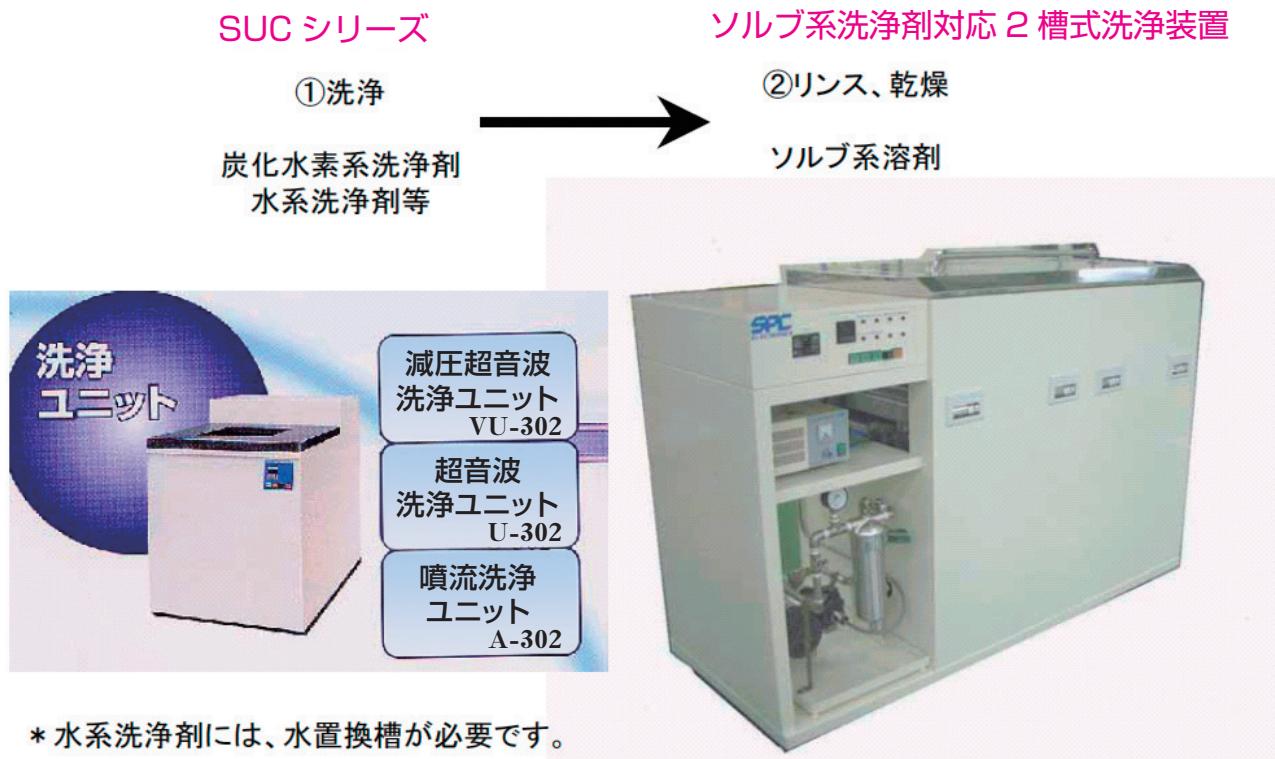
■基本洗浄フロー



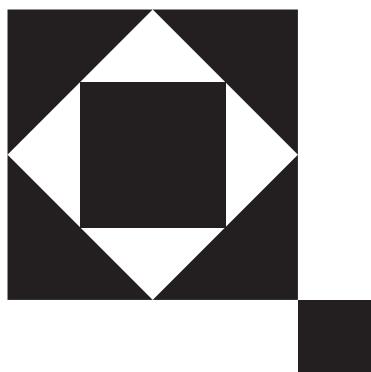
■多彩なオプション



■当社標準洗浄装置との組み合わせ (例)



問い合わせ先
産業機器事業部
TEL 042-481-8525



特許登録紹介
(2005年10月～2006年9月登録分)

| 登録番号 | 発明の名称 | 内 容 | 備 考 |
|---------|----------------------------|--|-------------------|
| 3737445 | 導波管-マイクロストリップ線路変換器および変換器部品 | <p>導波管端部の加工のばらつきのような物理的な構造変化ないし不良に起因する特性不良（インピーダンス不整合等）を事後的に改善できる導波管-マイクロストリップ線路変換器および変換器部品。</p> <p>従来は所用の帯域内でのインピーダンス整合が難しく、導波管バックショートを小型化できなかった。</p> | |
| 3762773 | レーザビーム均一照射光学系 | <p>レーザ光源からのレーザビームを分割するレーザビーム分割手段と、分割ビームを照射面上で重ね合わせて照射する手段とを有する、照射面上のビーム強度を均一にするものであり、互いに隣接する隣接分割ビームの一方を他方に対して時間的可干渉距離よりも遅延させる光学的遅延手段を含み、かつ分割したビームの1つおきに、光学的遅延手段を挿入することで分割ビーム間の干渉を防止し照射強度分布を均一化するレーザビーム均一照射用光学系。</p> <p>従来は複数の特殊な反射鏡を必要とし、配置も複雑となり、熱処理装置として配置すべき光学系の自由度が低くなる問題があった。</p> | 三菱電機株式会社殿との共同出願 |
| 3805753 | 円筒空胴共振器形フィルタ及び円筒空胴共振器 | <p>円筒空胴共振器の入出力開口窓に導電部材を取り付けることにより、通過帯域の周波数よりも僅かに高い周波数帯における減衰特性の劣化を解決することができる円筒空胴共振器形フィルタ。</p> <p>従来は円筒空胴共振器形フィルタをバンド・パス・フィルタとして用いる場合、高次モードは、基本モードにおける減衰特性を劣化させるため、その影響をできる限り避けるような構造にする必要があった。</p> | |
| 3806110 | 真空乾燥装置 | <p>処理槽を外側から加熱し、処理槽内の被処理物も加熱した上、真空乾燥することで真空引きされた気体からの液分の回収を効率良く行い、被処理物を効率良く乾燥させ、更に処理槽の熱効率を向上させることができる真空乾燥装置及びこれを用いた真空乾燥方法。</p> <p>従来は被処理物の再加熱及び加熱時の再予熱にかかる時間が必要となり加熱効率の悪い問題があった。</p> | |
| 3809434 | 物体検知装置及び物体の移動検出システム | <p>定常時の検波出力に基づいて送信アンテナから送信される高周波信号の周波数を制御し、物体検知の精度を高めることができ、誤差の起因を識別する精度を高めることができる。また送信/受信の方向を切り替えることができる、マルチフェージング対策とともに装置故障等に対するバックアップ機能も万全となり運用上の信頼性が高い物体検知装置及び物体の移動検出システム。</p> <p>従来は誤動作が生じたときに、原因の識別が難しく、また検知精度が十分でなく、装置等に対するバックアップ機能も不十分であるという問題があった。</p> | 東邦電機工業株式会社殿との共同出願 |

| 登録番号 | 発明の名称 | 内 容 | 備 考 |
|---------|--------------|---|-----|
| 3813946 | 高周波モジュール用ボード | <p>パッケージ化を必要としないことで、パッケージの実装作業、パッケージと高周波ボード間の配線が不要となり、小形化、実装効率の向上、大幅なコスト低減及び電気性能が大幅に改善された高周波モジュール用ボード。</p> <p>従来は実装効率、小形化、コスト低減、電気性能などの問題があった。</p> | |
| 3850822 | 電力増幅装置 | <p>帯域阻止フィルタを電力分配器および電力合成器内に設けないことで、遅延線路の遅延時間を短くすることができる。また挿入損失を低減させることにより、出力信号の直線性範囲を拡げることができる電力増幅装置。</p> <p>従来は所定の時間を進めることができる帯域阻止フィルタを電力分配器内に設けることは構成上容易ではなく、充分な時間を進めるることは難しく、かつ原価的にも有利とはいえないかった。</p> | |
| 3854118 | 複合電子回路 | <p>従来の複合電子回路に比べて、演算増幅器の入力換算電圧雑音及び入力換算電流雑音の影響を抑制することができるため、雑音特性を改善することができる複合電子回路。</p> <p>従来は、広帯域増幅器は雑音を含みやすくなるため雑音特性が悪かった。また非常に大きな雑音が演算増幅器から出力される場合、雑音を減らすことが難しかった。</p> | |

営業分野及び主要製品

【電子部門】

- 移動通信機器
 - 携帯電話基地局用送受信增幅装置
 - 携帯電話基地局用収容箱
 - 移動通信基地局用
 - マイクロ波コンポーネント
 - 移動通信用不感地対策装置
- 固定通信機器
 - ミリ波デジタル無線装置
- 衛星通信機器
 - VSAT 用送信ユニット
 - VSAT 用受信コンバータ
- マイクロ波・ミリ波 デバイス
 - 各種マイクロ波／ミリ波
 - コンポーネント・MIC モジュール
 - 各種レーダ、ライナック用
 - マイクロ波コンポーネント
- 電子応用機器
 - 航法装置試験用シミュレータ
 - レーダ機器試験用シミュレータ
 - ライナック用、マイクロ波加熱用発振器

【産機部門】

- 高周波機器
 - 高周波誘導加熱装置
 - 高周波電源
 - 高周波焼入・焼嵌装置
 - 高周波ろう付装置
 - 高周波シール装置
 - マイクロ波加熱装置
- 液晶製造装置
 - 液晶パネル洗浄装置
 - 液晶パネルウェット処理装置
 - ガラス基板洗浄装置
- 精密洗浄装置
 - HD・HDD 洗浄装置
 - 大型マスク洗浄装置
 - 眼鏡・光学レンズ洗浄装置
 - 電子部品洗浄装置
 - 金属部品洗浄装置
- 半導体製造装置
 - 半導体ウェーハ洗浄装置
 - 半導体ウェーハウェット処理装置

島田理化技報編集委員会

| | |
|------|--------|
| 委員長 | 横藤 明 |
| 副委員長 | 楳 敏夫 |
| | 安藤 英一 |
| 委員 | 森谷 陽一 |
| | 村上 勝 |
| | 土屋 克夫 |
| | 畠 一男 |
| | 伊藤 美津夫 |
| | 石間 勉 |
| | 小野 博昭 |
| 事務局 | 田端 邦光 |
| | 竹森 雅史 |
| | 堀崎 邦夫 |
| | 馬谷原 洋二 |
| | 佐田 修 |

島田理化技報 No.18 (無断転載を禁ず)

2006年12月22日 発行

発行所 東京都調布市柴崎2丁目1番地3
島田理化工業株式会社
TEL 042-481-8510 (代表)
FAX 042-481-8599 (代表)
ホームページ <http://www.spc.co.jp/>

編集兼発行人 島田理化技報編集委員会

印刷所 東京都中央区漆3-5-10
株式会社 三菱電機ドキュメンテクス
TEL 03-5566-0681

島田理化工業株式会社