

SPC Technical Report

島田理化技報 NO.19(2007)

目次

■巻頭言

技術開発についての一考	1
村上圭司	

■寄稿

超音波で物が動く？ 近距離場音波浮揚現象とその応用	3
東京工業大学 教授 工学博士 上羽貞行	

■技術開発

【電子部門】	
負の飛び越し結合係数を有する矩形導波管有極フィルター	11
生駒俊治 浅利 哲	

デジタル型屋内通信エリア拡張システム	15
岩倉章次 松崎 紀比古 宮崎慎也 鈴木君尚 田中克佳 四分一 浩二	

Ka帯VSATシステム用低雑音ブロックダウンコンバーター	21
拮石 真一郎 三神幸治 松永和之	

円形導波管狭帯域帯域通過フィルターの温度補償技術	25
平間智之 萩原栄治 貝田典之 浅利 哲 杉山裕通	

【産機部門】

ユニット型IHインバータ	35
村松 護 梶田 学 松村琢夫 板谷隆博 石間 勉	

大型ガラス基板対応枚葉洗浄装置の要素技術開発	42
北川賢一 米田尚史 美濃秀志	

超音波洗浄用発振器	47
辻 寛樹 西澤克広 安藤英一	

■製品紹介

【電子機器】	
気象観測用C帯レーダーフィルター	51
IMT-2000用中継増幅装置	52
FWA用18GHz帯フロントエンドモジュール	54
FWA用23GHz帯フロントエンドモジュール	55

【産業機器】

IH用小型ハンディCT	56
「ソルブ55 [®] 」シリーズ洗浄剤対応ワンサイクル洗浄装置 (SL-301A)	57
環境対応型精密洗浄システム SOL-LABO (ソルラボ) シリーズ	

■特許登録紹介	59
---------------	----

■ 巻頭言

技術開発についての一考

取締役
電子事業本部副本部長
兼 研究開発部長
村上 圭司
Keishi MURAKAMI



情報通信技術はデジタル化の進展とともに、急速に発達してきました。情報処理、通信方式、デバイス、ヒューマンインターフェースなどの技術がそれぞれ連携して高度化し、その結果として享受できる高度なサービスにより、私たちも多方面でその恩恵を受けてきています。今後も技術の進歩はさらに加速していくと思いますが、一方、サービスを享受する側からは、どこまで高度なサービスを使いこなせるのかという不安が残ります。技術の進歩はデジタル的に高度化が進みますが、私たち使う側から見れば、アナログ的にゆっくりと生活に入ってもらう方がついていけるように思います。

ところで、技術の進歩が即座に社会生活の便利さに結びつくのかということは議論があるところですが、技術の進歩が製品・サービスの高度化を通じて、大多数の顧客満足度の向上に大きく寄与していることは間違いのないと思います。さまざまな応用技術が時々刻々開発されて、新製品として市場に提供されます。しかし、よく見てみると技術そのものの根本である本質的な点で、従来からの進展度はそれほど大きくないのではないかと感じています。もちろん画期的な発見や発明により技術は急速に発展しますが、それほど頻度は多くありません。従って、私たちが時代の先端をいくような製品を世に出していくためには、技術の本質を十分把握した上で、早期に次の応用技術を適用するための準備をすることです。すなわち、世の中のニーズを予測し先取りして、素早く開発を先行着手する必要があります。

しかし、現在保有する技術だけで新製品ができるかといえばそう甘くはありません。新たな周辺技術を取り込み、機能・性能を向上させて製品に付加価値をつける必要があります。そのためには新技術開発に加えて、当社にない技術を保有する人達との協力・連携が重要です。このような判断を的確に実施するためには、常に自社、他社の技術力の相対評価と、事業戦略・開発戦略の方向性などを一段高いレベルで冷静に見ておかなければなりません。

技術を正當に判断するためには、技術そのものの本質をきちんと見極める必要があります。本質を探るのは難しいと思いますが、たとえば、応用技術で実現された製品の核心を形作る普遍的なもの、これが本質（技術のエッセンス）ではないかと考えます。

当社の主要事業の柱の一つである無線通信の分野に関しては、たとえば、マイクロ波回路理論、アンテナ理論、伝搬理論、通信理論などの基礎理論は50年ほど前に確立されており、信号処理などの最新といわれる技術も、20年ほど前には理論面ではほぼ確立されています。

一方、無線通信工学は、これらの理論を基盤として、装置として実現し実用化する手段として急速に進歩しています。メーカーは製品を社会に提供し、顧客に安心して利用いただくことを継続して信

頼を得ることが基本です。このため、非常に繊細に設計し検証を重ねて、製品として仕上げるまでに多くの時間と労力を投入しますが、これにより着実に技術が前進しています。

私は、これまで無線通信にかかわる研究開発・実用化開発に携わってきました。衛星通信や移動通信において、変復調技術や無線信号処理の分野は、結局は理論に裏付けされた雑音やフェージングとの戦いです。これらを克服するための実現手段として、理論解析に加え、アナログ／デジタル伝送技術、信号処理技術などをいかにかまく利用するかがポイントとなります。その経験から、目標とするのはあくまで理論限界であり、常にそこに向かってチャレンジすることが、従来よりもよいものを作り出す原動力ではないかと思えます。技術開発では何度も壁に突き当たりますが、そのたびに周囲の人と議論し、助けを頂きながら、本質を探るべくできるだけものごとをシンプルに考えることが大切だと思えます。

「技術は人なり」、そして「技術は一朝一夕にはならず」と私は思います。顧客から技術面で信頼を得るためには長年の蓄積が必要ですが、信頼を失うのは一瞬です。技術は正直で努力した分だけ応えてくれます。従って、常に世界の一流を意識して、自己には一段高い目標を設定しながら、着実にステップを踏んで進むのが技術の高度化への最短の道だと信じています。

また、技術者は視野を広げて、他人あるいは他社の人たちが当該課題にどのように取り組み、どんな成果を出しているのかをじっくり見てみることも重要です。冷静にかつ公平に自分の技術力を把握し評価できることは、自分のレベルが向上し、周りがよく見えてきたこととなります。独りよがりの判断をすると、小さな「技術」の差が製品としての価値の大きな差になって返ってきます。全体に目を配り、自分の持ち場を認識して、担当部分を高いレベルできちんと完成させることが最終的な成功につながると思えます。

技術は個人に宿りますが、企業としての製品開発力は人的ネットワークを含む総合力です。長期的視点で技術者を育成し、併せて技術の継承手法を社内システムとして確立することが企業の底力になり、私たちが拠り所とする最後の砦となります。

技術開発に関して感じていることを述べました。個々の技術力を高め、さらに周りの人と連携していくことで、シナジーが生まれて大きな成果を発揮することができます。同時に、仕事は明るく楽しく、かつ厳格な気持ちで集中力を持って取り組むことが大事だと思えます。当社は昨年60周年を迎えました。今年は新たに一年目の気持ちで、次の事業の柱となる製品とそれを支える新技術を皆さんと共に作っていきたいと思えます。

超音波で物が動く？ 近距離場音波浮揚現象と その応用



東京工業大学
教授
工学博士
上羽 貞行
Sadayuki UEHA

1. はじめに

粒子あるいは気泡が音波の定在波の節の位置に捕捉される現象は、以前から広く知られている⁽¹⁾。図1に示す例では、超音波振動子で励振されている円盤状放射体と角板状反射体によって形成されている定在波の節の位置に、引力に抗して球状の発泡スチロールが捕捉されており、音波が直流的な力を持っていることを示している。

筆者らの研究グループは、およそ10年前、底面が平らな数kgの物体が、定在波の節の位置ではなく、定在波のピッチに比べて極めて微小な距離で浮揚する現象を実験的に見出した。この場合、物体の材質に関わらず浮揚物体自身が反射板となり、音波放射面から数十～数百 μm の位置で浮揚する現象であり、筆者らはこの現象を近距離場音波浮揚と名付け、現象の実験的および理論的検討を行ってきた。また音波の放射、特に進行波に伴って生じる音響流を利用すると粘性力による推進力が得られるので、物体を非接触で搬送させるアクチュエーターを構成することができる。本稿では、これらの現象を解説すると共に、筆者らの研究グループがこの現象を利用して開発してきた物体の搬送、アクチュエーター、モーターなどの応用例を紹介する。

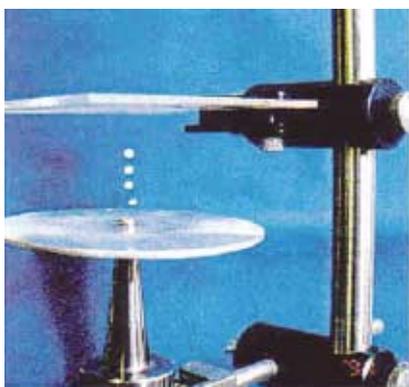


図1 定在波音場に捕捉されている粒子

2. 近距離場音波現象と理論

音波が存在する場すなわち音場に境界面のある場合を考えると、この境界面には界面の両側での音のエネルギー密度の差に応じた直流的な力が働く。

例えば図2に示すように、放射面が一様に同相ピストン振動している放射面の上に、底面が平らで、かつ密度と音速の積が空気のそれと二桁、あるいは三桁異なる物体を乗せると、物体は音波を完全に反射し、底面の上下における音波のエネルギー密度差に応じた放射圧 Π を受ける。この放射圧 Π は、空隙の距離 h が波長に比べて十分小さい場合

$$\Pi = \frac{1+\gamma}{4} \rho c^2 \frac{\xi^2}{h^2} \dots\dots\dots (1)$$

で表される⁽²⁾。ここで、 ρ ：触媒の密度、 c ：触媒の音速、 ξ ：振動板上の振動振幅、 h ：浮揚距離、 γ ：比熱比（空気中では1.4）を表す（日本語では放射圧という用語を用いるが、厳密には波動エネルギーの進行方向に働く単位面積あたりの力、すなわち応力であり、フランス語では正しく放射応力という用語を用いている）。

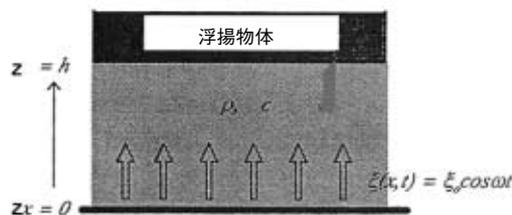


図2 近距離場音波浮揚現象の説明図

物体は、この放射圧 Π と物体の単位面積当たりの重量 W が等しい距離で浮揚することになる。

この式の物理的な解釈は、

- (1) 物体が定められた場合には、浮揚距離は、浮揚物体の重量の-0.5乗に比例し、振動振幅に比例する。
- (2) 浮揚力は周波数に無関係である。
- (3) 最大の放射圧は振動振幅と浮揚距離が等しい場合に得られる。

等である。

図3に示すように、放射面が同相でピストン振動している直径60mmのステンレス製ホーンの上に、断面形状が放射面と等しい浮揚物体を複数枚重ねて乗せることにより浮揚物体の単位面積あたりの重量を変化させ、それぞれの浮揚距離をレーザー変位計で測定した。図4には、振動振幅を一定とした場合に得られた浮揚距離を、単位面積当たりの重量の関数として示してある。実験値は実線で示されている理論値とよく一致しており、前述の関係が成立していることを示している。また、実験では最大15kgの重量のステンレス鋼円板の浮揚が確認できており、これは理論値20kgの75%にあたる。理論値と実験値の差は、完全な平面波の仮定からのずれ、有限な広がり振動系を用いていることによるものと考えられるので、この点からも (1) 式が成り立っていると判断できる。

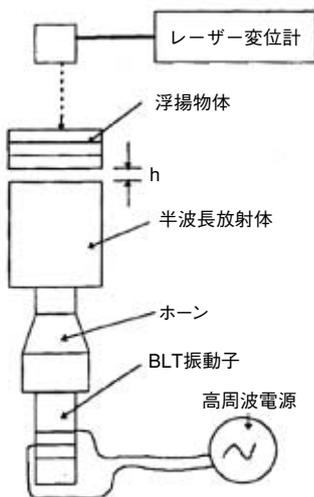


図3 超音波放射圧の測定系

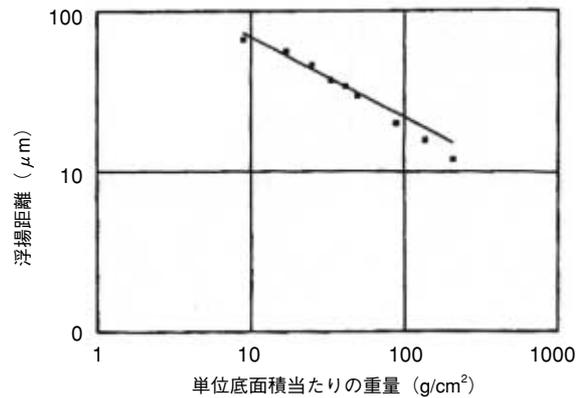


図4 浮揚力の測定結果例

3. 放射圧に付随する力

数十マイクロンから数百マイクロン程度の狭い空隙に音波が放射されると、構造に基づく波面の状態、吸収あるいは拡散などによりエネルギー密度の差が生じ、これにより音響流と呼ばれる直流的な流れが生じる。この流れは以下に示すようにベルヌイの原理に基づく引力と粘性による推力を伴う。

3.1 空隙における負圧による引力

図5に示すように、空気中で加振機により振動板を振動させて、反射板が放射された音波により受ける力を電子天秤で測る場合を考える。電子天秤の時定数は大きいので、電子天秤は音圧には反応せず、直流的な力にのみ反応することはいうまでもない。振動板（直径D=70mm）がピストン状に200Hzで振動する場合に、反射板に働く圧力を、振動振幅をパラメータとして空隙の厚さhに対してプロットした測定結果が図6に示してある。反射物体には、距離hが300μm以下の狭い場合には、放射圧による反射物体を遠ざける斥力が働いているが、距離が300μm以上になると引力が働く様子が分かる。加振周波数を変化させて測定すると、加振周波数が高くなるにつれて引力が働く範囲が少なくなり、4kHzでは斥力のみとなることが実験的に確認されている。

これは振動板と反射板の間にある空気円板の半径方向の共振周波数と関係しており、この空気円板の共振周波数に比べて、加振周波数が低い場合には空気円板は空隙の変化に追従でき、空気の流れが生じる。しかし空気の共振周波数より加振周波数が高い場合には空気の円板は振動に追従でき

ず流れは生じない。この場合、空気の流れの空間的平均値をUとすると、ベルヌイの定理

$$p + \rho gh + \frac{\rho U^2}{2} = const. \dots\dots (2)$$

により、速度が増加すると圧力変化

$$\Delta p = -\rho \Delta U \bullet U \dots\dots (3)$$

が生じる。ここでp, ρ, gはそれぞれ圧力, 密度, 重力加速度である。

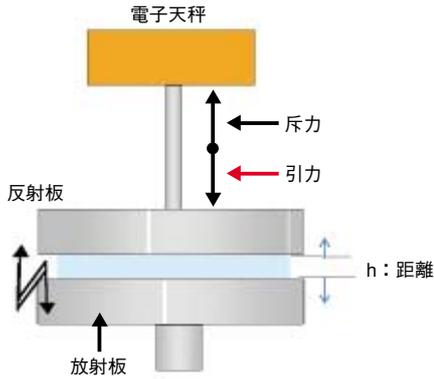


図5 反射板に働く力の測定系

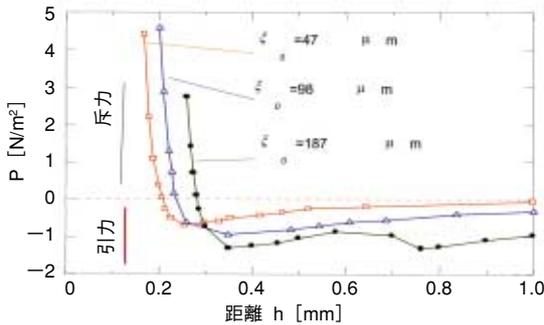


図6 反射板に働く力の測定例 (200Hz)

図7には、空気円板の理論的共振周波数が空気円板の直径Dの関数として実線で示されている。またプロットされている実験値は負圧を生じた周波数を示している。両者は極めてよい一致を示しており、前述の考え方が正しいことを証明しており、この

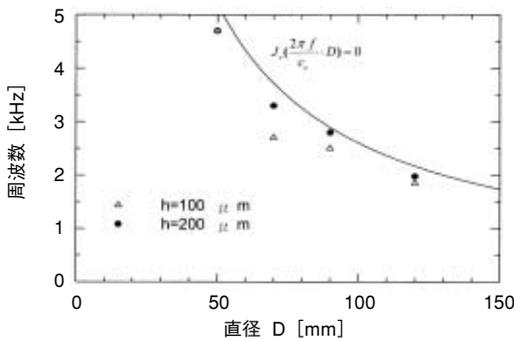


図7 空気円板の共振周波数

負圧が放射圧による斥力に重畳するものと考えている。

3.2 音響流に基づく粘性駆動力

図8に示すように、超音波が放射面から流体中に斜め方向に放射されると、超音波の鉛直成分に基づく放射圧が働くほか、超音波の放射に伴って生じる一定方向の流れである音響流の水平成分U(z)により、物体に粘性力τ

$$\tau = \mu_d \frac{\partial U(z)}{\partial z} \dots\dots (4)$$

が作用するので、これにより物体が水平方向に駆動される。ここでμ_dは動粘性係数である。

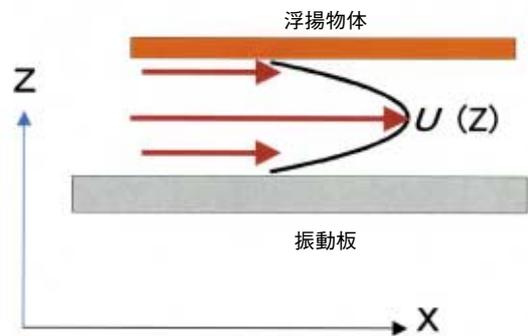


図8 音響流による推力

4. 近距離場音波浮揚現象の応用例

前節で述べたように、近距離場音波浮揚現象は放射圧のほかに音響流に伴う推力および引力が生じるので、これらを利用すると超音波アクチュエータを構成することができる。

4.1 たわみ進行波を利用する非接触搬送装置⁽³⁾

物体を浮揚させながら搬送させるためには、振動板にたわみ振動の進行波を励振する必要がある。試作実験装置の構造を図9に示す。この振動系では、振動板の両端にそれぞれ、変成比1.5倍のジュラルミン製の段付ホーンがM6の皿ネジ6個で結合されている。振動子は19.5kHzのボルト締めランジュバン振動子を使用し、駆動は定振幅制御、周波数自動追尾機能、振動振幅可変機能をもった発振器で行っている。駆動側の振動子から供給されたエネルギーは振動板を介して、もう一方の振動子に伝達され、抵抗で消費されることで進行波を得ている。すなわち一方の振動子に発振器を接続し、もう一方の振動子にはインピーダンス整合をとるため、抵抗とインダクタンスを接続してあり、駆動側の振動板の接続ネジの位置で最大20 μm_{pp}の振動振幅を得ている。

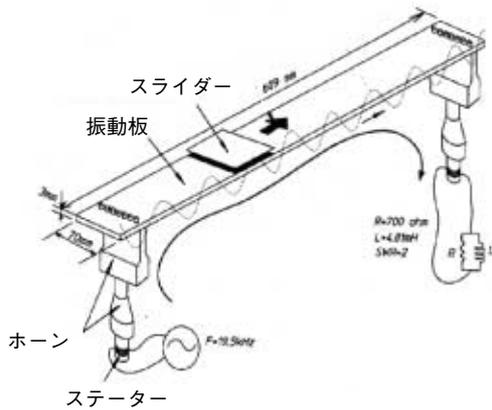


図9 音波浮揚利用搬送装置

駆動板はたわみモードで振動しており、物体は音源から遠ざかる方向に搬送される。これは音源から遠ざかる方向に進む進行波と同一方向である。

振動板の幅は、駆動周波数19.5kHzで、幅方向に一樣な進行波が振動板全面に生じる最大幅の70mmを採用している。物体の寸法は振動板の幅で制限され、搬送される物体の寸法が、振動板の幅とほぼ同等の場合、もっとも安定して搬送できることが実験的に確認されている。

振動板を一枚用いた場合、上述したとおり、19.5kHzで振動板の幅は縦振動の約1/3波長で70mmである。したがって、搬送することのできる物体の形状も最大で約70mmとなる。これでは、8インチ、12インチシリコンウェーハやガラス液晶基板の搬送が不可能である。そこで、これらの大型形状物体の浮揚と搬送を可能にするため、図10に示すように、振動板を2枚並列に並べ、浮揚物体の両側面に音波放射することで、大型物体の浮揚を可能にする方法が提案試作されている⁽⁴⁾。

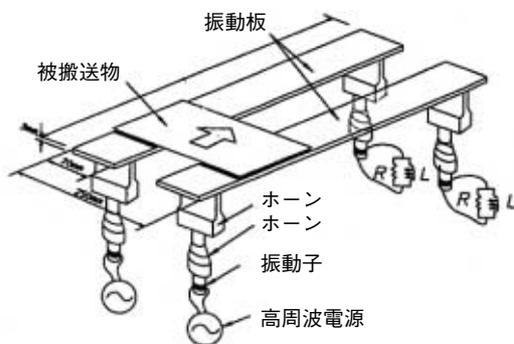


図10 並列配置を用いる音波浮揚利用搬送装置

4.2 粘性摩擦駆動超音波モーター

図9に示す振動板を円環状に折り曲げて円環とし、また平板状の被搬送物体を円環状ローターとして図11に示すようにすることで非接触で駆動される超音波モーターが実現できる。このモーターでは、円環に励振される軸方向たわみ振動の進行波により、空隙にある空気に音響流が生じ、(4)式で表される粘性力により、ローターが回転する。このモーターは粘性駆動であるため、固体摩擦を利用する場合に比べて推力が小さいが高速回転が可能である特徴を持っている⁽⁵⁾。また図12に示すように円盤状振動体に撓み振動を励振し、近接して配置されたローターを粘性力により駆動するモーターも提案試作されている⁽⁶⁾。

4.3 超音波浮揚リニアガイド

図13にはΛ字形の梁にたわみ進行波を励振し、この梁の上に、同様な形状のスライダを跨らせた浮揚現象利用リニアガイドを示す。このリニアガイドでは、スライダが放射圧により浮揚し、粘性力により直線状に移動する。また、進行波を得るのに両端近傍に配置された振動子を異なった適切な位相により駆動している⁽⁷⁾。さらに、図14のように振動方向変換器を用いてリニアガイドの寸法を小さくする方策も提案されている⁽⁸⁾。

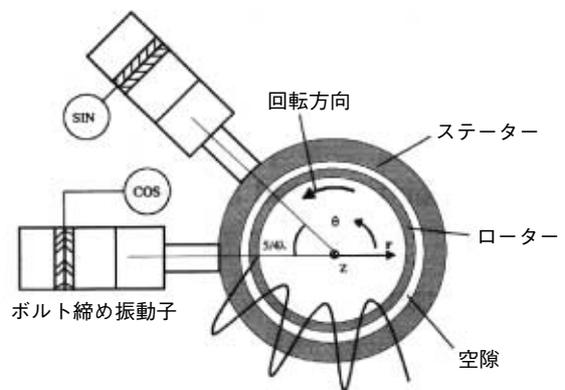


図11 音波浮揚回転モーターの構成例

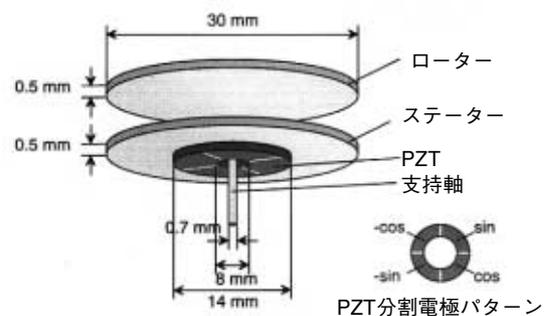


図12 円板のたわみ振動を利用する回転超音波モーター

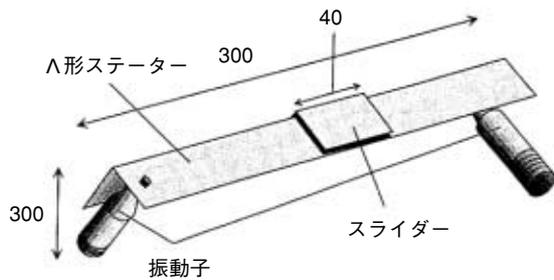


図13 音波浮揚利用リニアガイド (試作例1)



図14 音波浮揚利用リニアガイド (試作例2)

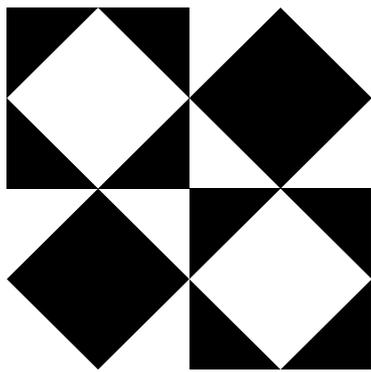
5. まとめ

近距離場音波浮揚現象とこれに伴う音響流に起因する負圧，粘性力について述べた。またこれらの現象を利用すると直径200mm，重量150gを超えるシリコンウェーハや液晶ガラス基板などの大形状物体を非接触搬送させることができる搬送装置が実現できることについて紹介した。これらの技術はまだ揺籃期にあり，今後の発展が期待される。

- (1) 例えばH. Hatano, Y. Kanai, Y. Ikegami, T. Fujii and K. Saito, "Ultrasonic levitation and positioning of samples," Jpn. J. Appl. Phys. 21, (Suppl. 21-3), 202-204 (1982)
- (2) 橋本芳樹, 小池義和, 上羽貞行, "音波浮揚を利用した非接触物質搬送," 信学技報 US93-67, 745-746 (1993)
- (3) Y. Hashimoto, Y. Koike and S. Ueha, "Near-field acoustic levitation of planar specimens using flexural vibration," J. Acoust. Soc. Am. 100, 2057-2061 (1996)
- (4) 橋本芳樹, 小池義和, 上羽貞行, "たわみ進行波を用いた非接触物質搬送," 信学技報US95-73,

37-44 (1995)

- (5) J.Hu, K.Nakamura, S.Ueha: An analysis of noncontact ultrasonic motor with an ultrasonically levitated rotor: Ultrasonics, Vol.35, pp. 459-467 (1997)
- (6) J.Saito, J.R.Friend, K.Nakamura and S.Ueha: Resonant Mode Design for Noncontact Ultrasonic Motor with Levitated Rotor, Jpn.J.Appl.Phys., Vol. 44, No. 6B, 4666-4668 (2005)
- (7) T.Ide, J.R.Friend, K.Nakamura and S.Ueha: A Low-Profile Design for the Noncontact Ultrasonically Levitated Stage: Jpn.J.Appl.Phys., Vol. 44 No. 6B, 4662-4665 (2005)
- (8) D. Koyama, T. Ide, J. R. Friend, K. Nakamura and S. Ueha, An ultrasonically levitated non-contact stage using traveling vibrations on precision ceramic guide rails, IEEE Trans. on UFFC, Vol. 54, No. 3, pp. 597-604 (2007)



【技術開発】

電子部門

負の飛び越し結合係数を有する矩形導波管有極フィルター

生駒 俊治
Toshiharu IKOMA

浅利 哲
Satoshi ASARI

共振器結合型フィルターを設計する上で共振器間の結合係数は重要なパラメータであり、特に飛び越し結合によりフィルター特性を有極化する場合には、その結合係数と隣接共振器間の結合係数との符号関係が非常に重要である。基本モードがTE₁₀の矩形導波管フィルターにおいては、結合素子に誘導性アイリスと容量性アイリスの両方を用いなければならないが、構造が複雑になる問題があった。本開発では、1つの共振器の共振次数をTE₁₀₁からTE₁₀₂に変えることで結合係数の符号を反転した場合と同じフィルター特性にすることができ、誘導性アイリスのみを用いた簡便な構造で、減衰極を有するフィルター特性を実現した。

1. まえがき

矩形導波管フィルターの1つとして誘導性アイリス結合帯域通過フィルターが良く知られている。この種のフィルターは構造が簡単で、低損失かつ耐電力特性も良好なため、ミリ波通信のアンテナ給電系や衛星通信のアンテナ給電系など、さまざまな用途に用いられている。

また、フィルターの減衰特性を向上させるために、隣接しない共振器間の飛び越し結合を行い、通過特性に減衰極を生じさせることは一般に知られている。隣接共振器間の結合素子が誘導性アイリスの場合、飛び越し結合素子が誘導性アイリスならば通過帯域の高域側に減衰極を、容量性アイリスならば通過帯域の低域側または低域側と高域側の両方に減衰極を作ることができる。結合素子の誘導性と容量性は結合係数の符号と関係するが、ここでは誘導結合を『正結合』、容量結合を『負結合』とする。本稿では、飛び越し結合を負結合とするため、容量性アイリスを使わずに共振器の共振次数を変えて、負結合の場合と同じフィルター特性にする方法を考案し、所望のフィルター特性が得られたので報告する。

2. 基本構造と動作原理

2.1 誘導性アイリス結合矩形導波管フィルター

今回開発した矩形導波管有極フィルターを説明する前に、誘導性アイリス結合矩形導波管帯域通過フィルターについて説明する。図1に3段の誘導性アイリス結合矩形導波管帯域通過フィルターの基本構造を示す。同図に示すように矩形導波管内に誘導性アイリスを約 $\lambda g/2$ 間隔に4個並べたものは3段の帯域通過フィルターとして動作する。ここで λg は、矩形導波管を基本モードTE₁₀が伝播する際の管内波長である。

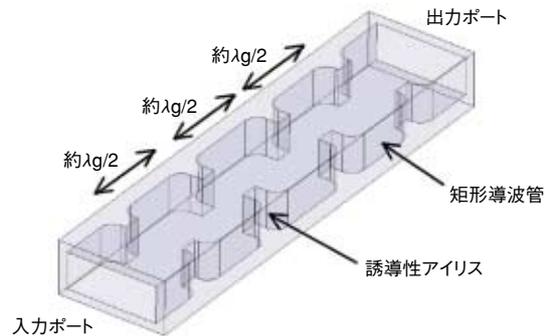


図1 誘導性アイリス結合矩形導波管フィルター

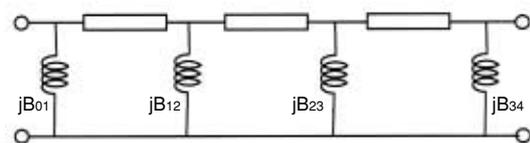


図2 導波管フィルターの等価回路

図2は図1の等価回路で、誘導性アイリスはサセプタンス jB_{mn} で表される。この時の伝送特性は、図3に示すような『帯域通過フィルター特性』となる。図1のフィルターに対し、導波管内部の磁界分布を解析した結果が図4である。

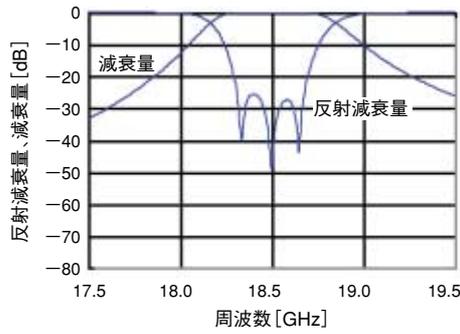


図3 導波管フィルターの伝送特性

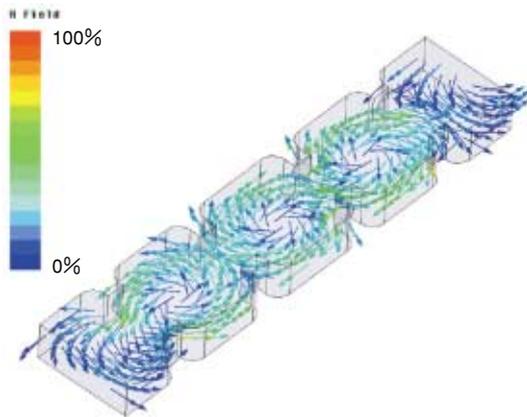


図4 導波管フィルターの内部磁界

2.2 正結合3段有極型導波管フィルター

図5に1段目共振器と3段目共振器の飛び越し結合をさせた3段の有極フィルターの等価回路を示す。1段目共振器と3段目共振器の飛び越し結合の結合係数 (jB_{13}) は、隣接段間の結合と同じ誘導性アイリス結合で行うため、その符号は正であり、通過帯域の高域側に減衰極を有する。図6に、図5の等価回路を使った伝送特性計算値と電磁界解析による伝送特性計算値の両方を示し比較した。図7にこのフィルターの磁界分布を示すが、1段目共振器と3段目共振器の飛び越し結合部の磁界分布を見ると、磁界方向が同じ向きになっており、これが『正結合』の特徴である。

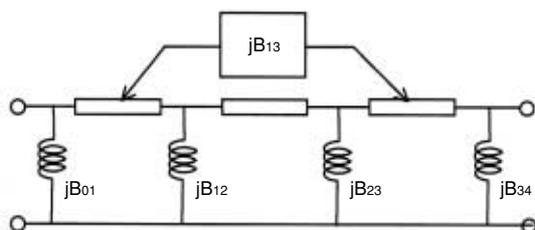


図5 1段目と3段目を飛び越し結合した有極形導波管フィルターの等価回路

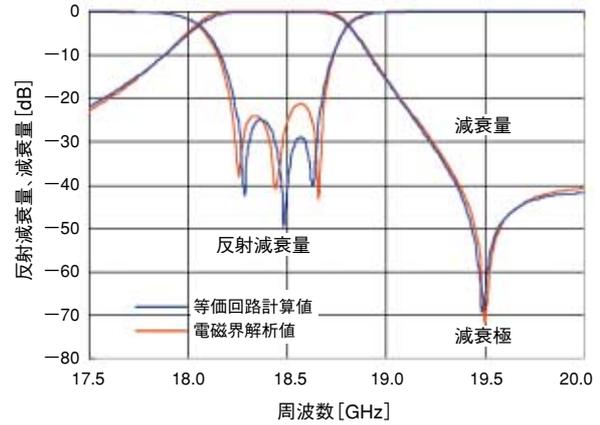


図6 正の飛び越し結合による有極形フィルターの周波数特性

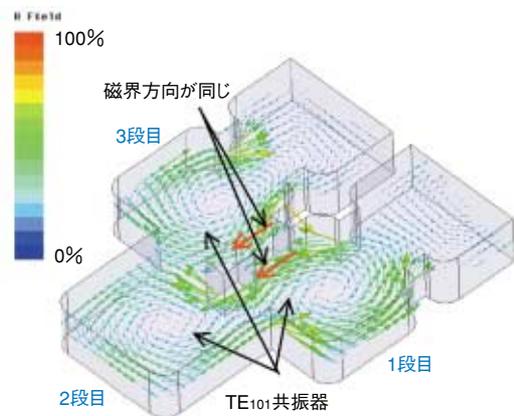


図7 正結合(誘導性アイリス)による有極形フィルターの内部磁界

2.3 負結合3段有極型導波管フィルター

図5の等価回路において1段目共振器と3段目共振器の飛び越し結合の結合係数 (jB_{13}) の符号を負にした時の特性を図8に示すが、図6とは逆に低域側に減衰極を有している。これを実現するためのフィルター構造として、飛び越し結合の結合方法を変えるのではなく、2段目共振器の共振モードを TE_{101} から TE_{102} にして、次段の位相を反転させる方法を考案した。これにより、容量性アイリスを用いることなく、『負結合』の飛び越し結合を実現し、通過帯域の低域側に極を持たせることができた。図9にこのフィルターの磁界分布を示すが、1段目共振器と3段目共振器のアイリス付近の磁界方向が互いに反対になっており(位相が反転)、これが『負結合』の特徴である。図8の等価回路計算値と電磁界解析値を比較すると、減衰量、減衰極の位置もほぼ一致している。

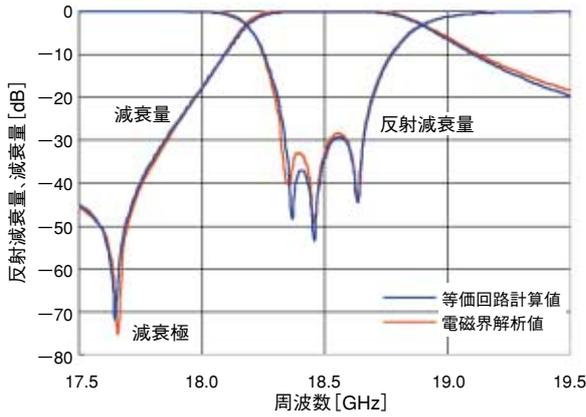


図8 負の飛び越し結合による有極形フィルターの周波数特性

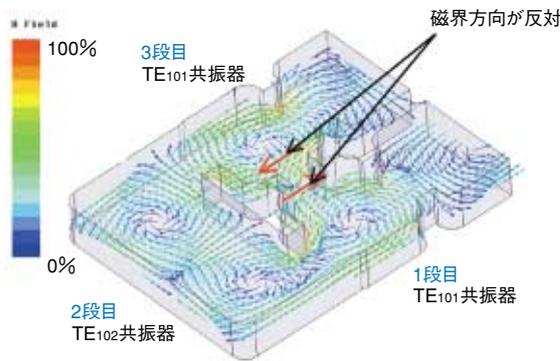


図9 負結合と同じ特性の有極形フィルターの内部磁界

3. 評価結果

実際に『負結合』で飛び越し結合させた7段帯域通過フィルターを試作した。

3段目と6段目共振器間を飛び越し結合をさせない場合、正の飛び越し結合させた場合および負の飛び越し結合させた場合の等価回路計算による伝送特性を図10に示す。同図より正の飛び越し結合では減衰量が劣化し、負の飛び越し結合では低域側と高域側の両方に減衰極が出来る事が分かる。この結果から、負の飛び越し結合を生成するために4段目共振器の共振モードをTE₁₀₂モードとし、3段目と6段目の共振器間を飛び越し結合させた。

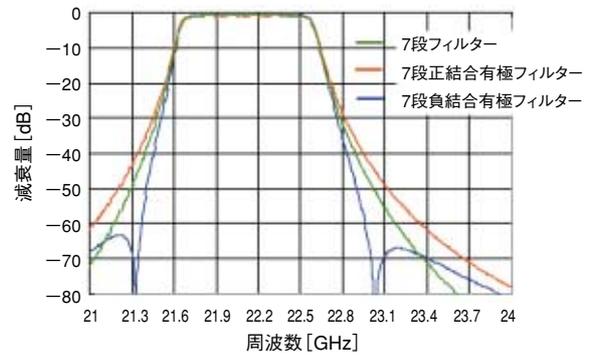


図10 7段フィルターの伝送特性

今回試作したフィルターの内部磁界解析結果を図11に示す。3段目と6段目の飛び越し結合部の磁界方向が反対になっており、『負結合』になっていることが判る。表1に試作したフィルターの主要性能に関する等価回路設計値、電磁解析値および測定

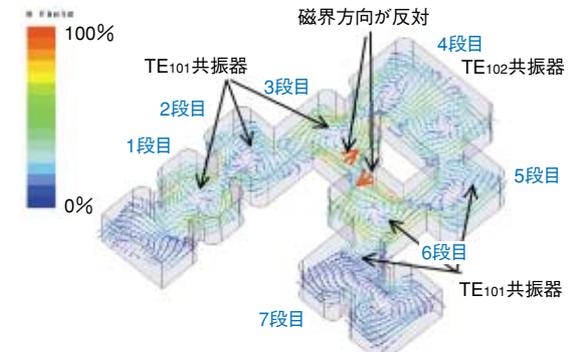


図11 7段の負結合の有極フィルターの内部磁界

値を比較した。また図12に今回試作したフィルターの等価回路計算値、電磁解析値および測定値を示すがよく一致していることが分かる。今回の試作により、多段のフィルターに対して『負結合』の飛び越し結合を与え、有極化することの有用性を確認した。

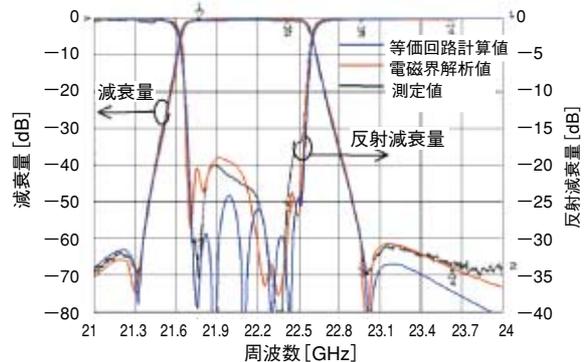


図12 試作品の設計値と電磁界解析値と実測値

表1 試作品の等価回路計算値、電磁界解析値、測定値比較

	反射減衰量 (21.8~22.4GHz)	挿入損失 (21.8~22.4GHz)	減衰量 (23~23.6GHz)
等価回路設計値	24dB	0.66dB	63dB
電磁界解析値	19dB	0.54dB	61dB
測定値	20dB	0.59dB	61dB

4. むすび

隣接結合と飛び越し結合に誘導性アイリス（正結合）を用いた矩形導波管帯域通過フィルターにおいて、共振器の共振次数を変えることにより、飛び越し結合を負結合にした場合と同じフィルター特性にする方法について述べ、理論的、実験的検討によりその有用性を明らかにした。今後はさらにこれらのフィルターを多段化するとともにマルチプレクサなどへの応用を試みたい。

5. 参考文献

- (1) 川口民雄, 小林禧夫 “Open-loop共振器間結合係数の磁気結合と静電結合の判別” 電子情報通信学会総合大会2004年C-2-79
- (2) 小西良弘 “実用マイクロ波技術講座理論と実際 第3巻” ケイラポ出版 発売元 日刊工業新聞社
- (3) Matthaei, Young, Jones “Microwave Filters, Impedance-Matching Networks, and Coupling Structures”
- (4) 井口 和孝, 辻 幹男, 繁沢 宏 “複数モードを用いた有極形導波管フィルタの一構成法” 電子情報通信学会論文誌1995年 Vol.78-C-1 No.6
- (5) 森重 宏 “無調整フィルタ” 島田理化技報 No.9.1997.
- (6) 宮崎, 西野, 湯川, 浅尾, 片木 “無調整フィルタの設計” 電気学会電磁界理論研究会, EMT-95-99, Dec.1995.
- (7) 宮崎, 湯川, 西野, 浦崎, 片木, 紅林 “反射零点補正によるアイリス結合導波管帯域通過フィルタの広帯域設計”, 電子情報通信学会論文誌 vol.J81-C-1, pp.642-649, Nov.1998.
- (8) 馬, 難波, 小林, “モード整合法によるアイリス結合導波管形帯域通過フィルタの設計”, 信学技報, MW99-26, pp77-82, May 1999.

筆者紹介

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
電子技術部
浅利 哲



デジタル型屋内通信エリア拡張システム

岩倉 章次
Syoji IWAKURA

松崎 紀比古
Norihiro MATSUZAKI

宮崎 慎也
Shinya MIYAZAKI

鈴木 君尚
Kimihisa SUZUKI

田中 克佳
Katsuyoshi TANAKA

四分一 浩二
Koji SHIBUICHI

携帯電話の電波が届きにくいビルの建物内や地下街などのエリアで、効率的な携帯電話サービスを可能とするデジタル型屋内通信エリア拡張システム（以下、本システム）を開発した。本システムはデジタル光伝送方式を採用しており、光ファイバー伝送距離による信号対雑音比の劣化が生じないことを特長としている。本稿では、システム構成、特長と主要性能および各構成装置の概要について述べる。

1. まえがき

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）は少なくなっている。しかし、ビルの地下や上層階は基地局からの電波が届きにくく、これらの屋内不感地エリアに対し、効率的にエリア拡張を可能にするシステムとして、基地局装置の近傍に設置し、RF信号をアンテナに分配する『同軸給電線によるアンテナ分散システム』を製品化してきた。

近年、大都市圏では高層ビル、マンションの建設、地下街の開発は一層進み、不感地エリアでさらに

効率よく携帯電話サービスを行うシステムの要望が高まっている。また、ダークファイバーの開放が一層進み都市部では光ファイバーの利用が容易である。このような状況を背景に基地局装置からデジタル光伝送による距離延伸と従来製品の特長である同軸給電線を利用した通信エリア拡張システムを開発した⁽¹⁾⁽²⁾。

2. システム構成

本システムはIMT-2000方式に用いられ、2GHz帯無線基地局変復調装置（以下、MDE）と接続することにより、電波の届かない閉空間エリアで携帯電話端末を使用可能とする中継システムである。本システムは『光拡張ユニット（以下、EXT）』、『RF光伝送装置（以下、親局）』、『RF光伝送中継装置（以下、HUB）』、『RF光伝送子局装置（以下、子局）』、『アンテナ』および『電源供給装置（以下、HUB-PS）』から構成され、各装置は光ファイバーと同軸ケーブルによって接続される。図1にシステム構成例を示す。

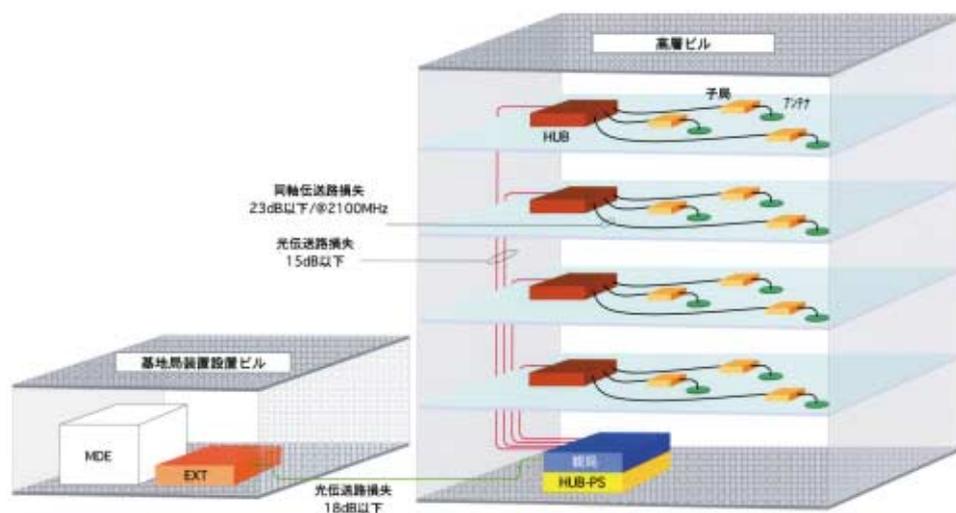


図1 システム構成例

EXTはMDE 1セクタあたりに1台接続可能で、各装置の配置はEXTを頂点としたツリー接続構成である。EXTには親局を最大2台、HUBを最大32台、子局を最大256台接続可能である。図2に最大システム構成図を示す。

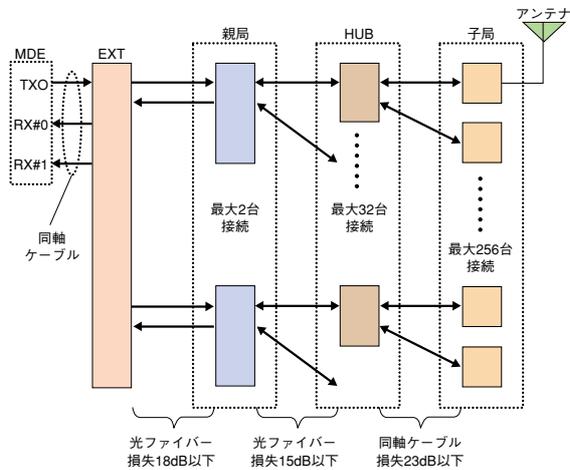


図2 最大システム構成図

3. 特長と主要性能

3.1 特長

本システムはEXTからの距離延伸を実現し、かつ親局、HUBおよび子局配置の自由度を高めることで設置工事の容易性を向上させている。

EXT-親局-HUB間はデジタル光伝送路にて接続する構成とし、光ファイバー伝送距離による信号対雑音比の劣化が生じないことを特長としている。また親局とHUB間は波長分割多重 (WDM: Wavelength division multiplexing) 技術⁽³⁾⁽⁴⁾により光ファイバー1芯で接続される。

各装置には、状態監視機能が設けられており、EXT-親局-HUB間のデジタル光伝送路を介して、EXTと親局で状態監視、制御が可能である。また、HUBと子局間はRF信号に電源を重畳する同軸給電線方式を採用しており、同軸ケーブル1本で接続される。

3.2 下り回線

MDEから入力する下りRF信号をEXTにてデジタル信号に変換し、デジタル光伝送により親局を中継して各HUBに信号分配する。

HUBでは、デジタル化されたデータ信号をRF信号に復元し、同軸線路を介して各子局に下りRF信号として分配する。各アンテナからは出力レベ

ル+10dBm/キャリアの電波放射が可能である。表1に電気性能、図3に隣接チャネル漏洩電力減衰比測定結果、図4に変調精度測定結果を示す。

表1 電気性能

項目	性能
伝送周波数帯域	2GHz帯
出力レベル	+10dBm/キャリア
隣接チャネル	5MHz離調点 : 45dB以上
漏洩電力減衰比 ⁽⁵⁾	10MHz離調点 : 50dB以上
周波数安定度	±0.05ppm以内

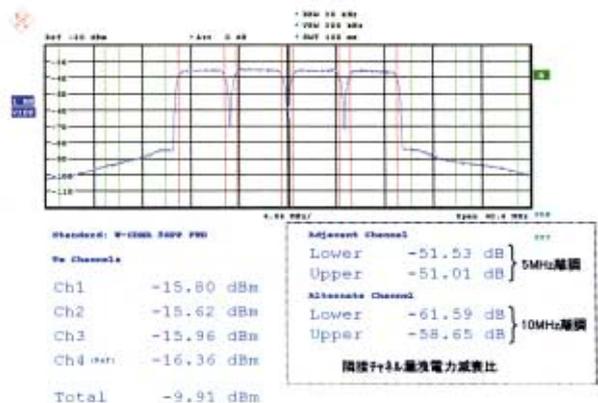


図3 隣接チャネル漏洩電力減衰比測定結果

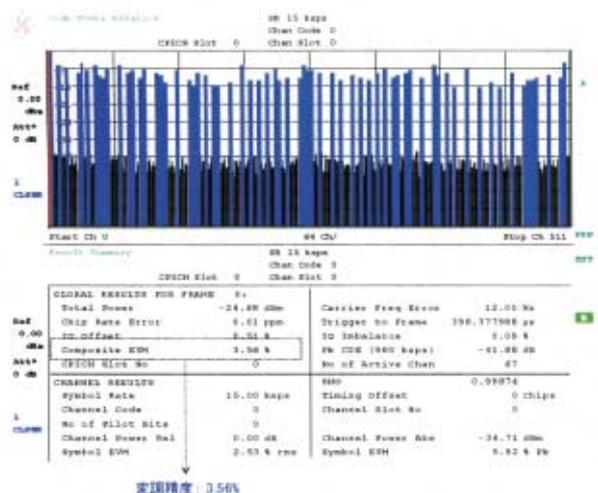


図4 変調精度測定結果

3.3 上り回線

各子局で受信した上りRF信号をHUBにてアナログ合成した後、デジタル信号に変換し、デジタル光伝送により親局へ送出する。親局では、各HUBから受信したデータをデジタル合成し、EXTへ送出する。EXTではデジタル化されたデータ信号をRF信号に復元し、MDEへ上りRF信号として出力する。

信号対雑音比劣化対策として子局の上りRF信号入力端にLNAを搭載し、RMT-HUB間の同軸線路損失によるS/N比劣化低減を図っている。さらに無線信号のデジタル変換⁽⁶⁾は、14ビットA/D変換器を用いることで、量子化ノイズ⁽⁷⁾の増加を抑圧している。図5に信号対雑音比測定結果を示す。

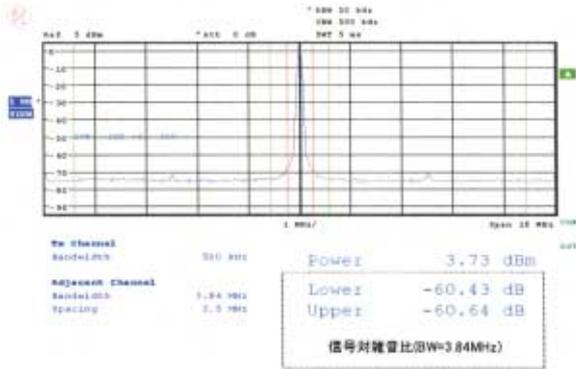


図5 信号対雑音比測定結果

3.4 インターフェースおよび環境条件

表2に本装置の光、電気のインターフェースおよび使用環境条件を示す。

表2 インターフェースおよび環境条件

項目		性能
光学的条件 (EXT,親局, HUB間)	伝送媒体	1.31μm零分散シングルモード光ファイバー
	コネクタ	LCコネクタ (IEC 61754-20準拠)
	伝送路損失	親局-HUB間：15dB以下 EXT-親局間：18dB以下
	反射減衰量	23dB以上
電氣的条件 (HUB-子局間)	コネクタ	N-Jコネクタ
	伝送路損失	23dB以下 (@2100MHz)
	V S W R	1.5以下
使用環境条件	温度	+5~+40℃
	湿度	45~85%
	電源	DC-40~-57V または AC90~110V 50/60Hz

4. 装置説明

親局およびEXTは、LAN (Local Area Network) 機器などを収容する19インチラックに実装可能であり、それぞれは電源確保が容易なAC100VまたはDC-48Vに対応する。EXTと親局に実装されるユニットはプラグイン方式を採用し、保守交換、増設、撤去が容易な構造である。図6に最大システム構成におけるEXT, 親局, HUB-PSの各装置を19インチラックに実装した形状を示す。

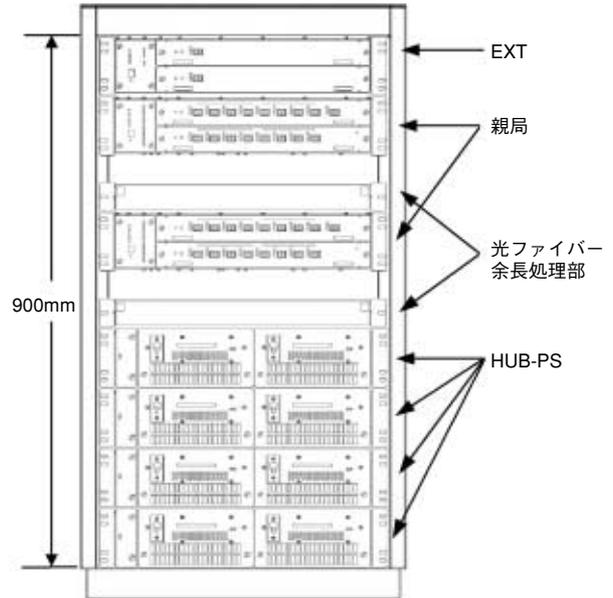


図6 19インチラック実装図

4.1 光拡張ユニット (EXT)

EXTはMDEの近くに設置され、MDEからの下りRF信号を光デジタル信号に変換する機能を有すると共に、親局からの光デジタル信号をRF信号に変換する機能を有する。

最大2系統のRF/デジタル変換回路を搭載することが可能であり、MDEからの下りRF信号を2分岐してRF/デジタル変換回路へ入力する。図7にEXTのブロック図を示す。

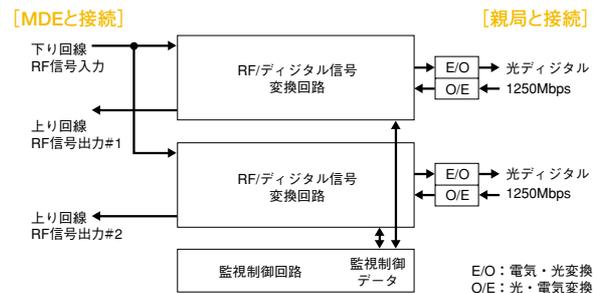


図7 EXTブロック図

4.2 RF光伝送装置（親局）

親局はEXTからの下り回線光信号を複数のHUBに中継する機能を有すると共に、上り回線ではHUBからの光信号を合成してEXTに中継する機能を有する。親局1台あたり、最大16台までのHUBを接続可能である。

合成分配回路0と合成分配回路1の2回路を搭載することが可能であり、合成分配回路1台あたり、最大8台までのHUBを接続可能である。図8に親局のブロック図を示す。

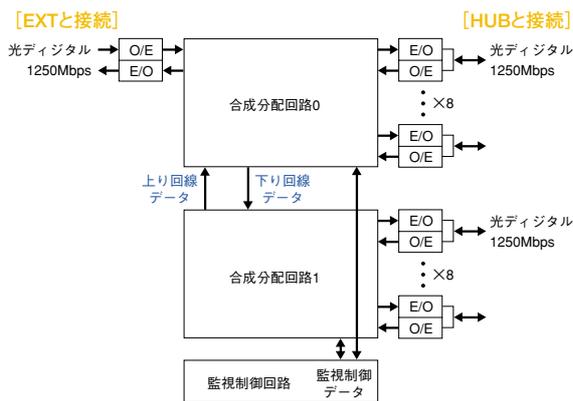


図8 親局ブロック図

4.3 RF光伝送中継装置（HUB）

HUBは子局の近くに設置され、下り回線では親局からの光信号をRF信号に変換する機能を有すると共に、上り回線では各子局からのRF信号を合成後光信号に変換する機能を有する。

最大8台までの子局と接続可能である。図9にHUB外観、図10にHUBブロック図を示す。

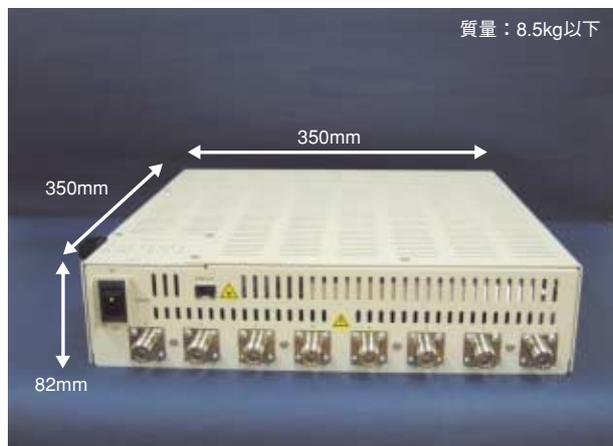


図9 HUB外観

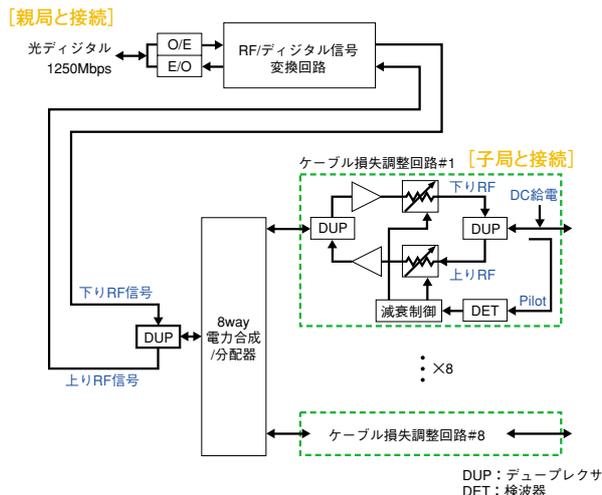


図10 HUBブロック図

RF/デジタル変換回路と8way電力合成/分配回路と8系統のケーブル損失調整回路とを備えており、RF/デジタル変換回路では下り回線デジタル信号をRF信号に変換し、上り回線RF信号をデジタル信号に変換する。8way電力合成/分配回路では、上り回線RF信号を8合成し、下り回線RF信号を8分配する。

ケーブル損失調整回路では、各子局から入力されるPilot信号電力を検波して、HUBと子局を接続するRF同軸ケーブルの損失を検出する。さらに、ケーブル損失検出結果から、下り回線と上り回線の周波数に対応したケーブル損失調整値を上下回線それぞれの可変減衰器に設定することにより、ケーブル損失に相当する利得を自動的に調整することが可能である。

4.4 RF光伝送子局装置（子局）とアンテナ

子局はHUBとRF同軸ケーブルで接続され、上下回線のRF信号を送受信する機能を有する。また、アンテナとも別のRF同軸ケーブルで接続され、携帯電話端末とRF信号を送受信する機能を有する。

子局装置は、天井など狭い場所に設置されることが多いため小型、軽量化を図っている。図11に子局外観、図12にアンテナ外観を示す。

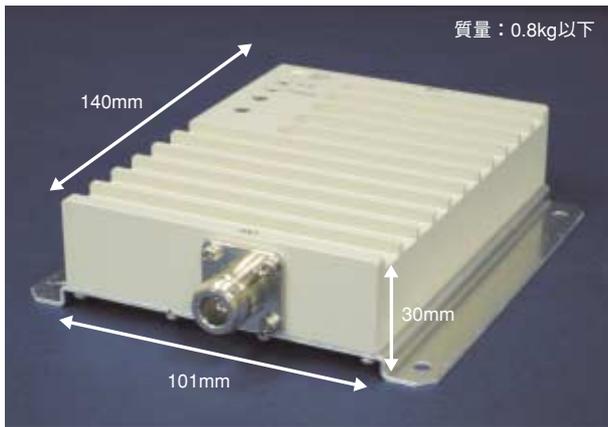


図11 子局外観



図12 アンテナ外観

上下回線利得を手動にて調整する機能を有しており、子局設置後に下り回線利得を調整することにより、連動して上り回線利得が調整される。また、子局にはPilot信号発振器を搭載しており、HUBに対して、Pilot信号を送信することにより、子局とHUBを接続するRF同軸ケーブルの損失をHUB側で検出することが可能である。子局に異常が発生した場合は、Pilot信号を停止することによって、HUBに異常を通知する。図13に子局ブロック図を示す。

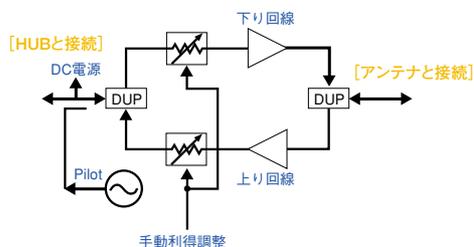


図13 子局ブロック図

5. むすび

デジタル型屋内通信エリア拡張システムの構成、

特長および性能について報告した。

今後は、1アンテナあたりのカバーエリア拡大を目指して、下り回線の出力電気レベル増加や上り回線の信号対雑音比改善など、改良機種の開発に努める。

6. 参考文献

- (1) 横 敏夫：“当社における無線通信技術の変遷”，島田理化技報，No.18（2006）
- (2) 伊藤 政浩，他：“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（2005）
- (3) 引馬，福家，中南，大矢根，小林：“FOMAエリアの経済的拡大に向けた無線基地局装置の開発”，NTT DoCoMoテクニカルジャーナル，VOL12，NO1，(2004-4)
- (4) 羽鳥 光俊，青山 友紀 監修，小林 郁太郎 編著：“光通信工学（1）”，コロナ社，1998年7月23日初版第1刷発行
- (5) 3GPP TS25.104 V7.5.0（2006-12）
- (6) 佐々木 公男 著：“デジタル信号処理 基礎理論と方法論”，丸善，平成13年3月30日発行
- (7) バァナード・スカラー 著，森永 規彦，三瓶 政一 監訳，橋本 有平，吉識 知明 訳：“デジタル通信（原著第2版） 基本と応用”，ピアソン・エデュケーション，2006年5月22日初版第1刷発行

筆者紹介

電子事業本部
東京製作所
電子技術部
岩倉 章次



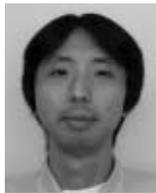
電子事業本部
東京製作所
電子技術部
松崎 紀比古



電子事業本部
東京製作所
電子技術部
宮崎 慎也



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
田中 克佳



電子事業本部
東京製作所
電子技術部
四分一 浩二



Ka帯VSATシステム用低雑音ブロックダウンコンバーター

栢石 真一郎
Shinichirou HANEISHI

三神 幸治
Koji MIKAMI

松永 和之
Kazuyuki MATSUNAGA

Ka帯双方向衛星通信システム（VSATシステム）に使われる受信用低雑音ブロックダウンコンバーター（BDC）を開発した。RF入力部に低損失の導波管型アイソレータを配置することで入力反射性能を改善しつつ、低い雑音指数性能を実現した。また、局発信号は外部から供給される基準信号を用いて生成しているため、システムとの同期性能が向上している。主要性能として変換利得60dB、雑音指数1.7dB、局発部の位相雑音 $-78\text{dBc}/\text{Hz}$ （1kHzオフセット）を得た。

1. まえがき

インターネットの普及に伴い、衛星通信分野では、広帯域伝送が可能なKa帯マルチメディア無線通信システムの検討が行われている。

国内では超高速インターネット衛星WINDSの打ち上げが2007年に計画され、米国やヨーロッパでは既存のデジタル衛星放送と高速インターネットを融合した双方向ブロードバンドアクセスシステムの構築が推進されている。

これらのシステムの地上局は、送受信フロントエンドモジュールとアンテナで構成された屋外装置（ODU）および変復調器とネットワーク接続機能を具備した屋内装置（IDU）で構成され、VSAT（Very Small Aperture Terminal）の呼称で広く知られている。このKa帯VSATシステムでは、アップリンク周波数として27.5～31.0GHz、ダウンリンク周波数として17.7～21.2GHzが用途別に4分割して使用されている。

今回、Ka帯VSATシステムに使用される受信用低雑音ブロックダウンコンバーターを開発し、良好な結果を得たので報告する。

2. ブロックダウンコンバーターの構成と主要性能

図1にブロックダウンコンバーターの構成を示す。受信波入力端（RF Input）に導波管アイソレータ

（ISO）を配置し、導波管-マイクロストリップ変換器を経て、低雑音増幅器（LNA）、イメージ抑圧フィルタ（BPF）、周波数変換器（MIX）、局部信号発振器（LO）、中間周波増幅器（IF-Amp）およびマルチプレクサ（MPX）が配置され中間周波出力端（IF Output）に至る。中間周波出力端とIDU間は同軸ケーブルで接続される。この同軸ケーブルを介して周波数変換された受信信号（IF）がIDUに送出されると共に、IDUから直流電源とLO波生成用の基準信号（Ref）がブロックダウンコンバーターに導かれる。MPXはこれらIF信号と基準信号及び直流電源を分離するための回路である。図1に各回路ごとの利得（Gain）と雑音指数（NF）を記した。また、本ブロックダウンコンバーターの主要性能を表1に示す。

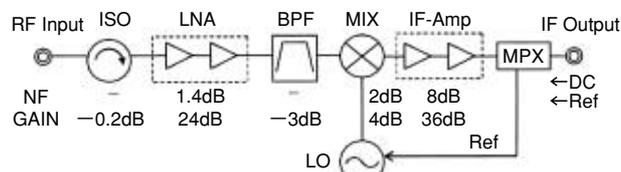


図1 ブロックダウンコンバーターの構成

表1 主要性能

項	目	性 能
R F	周 波 数	20.2 ~ 21.2GHz
I F	周 波 数	1000~2000MHz
雑 音 指 数		1.7dB
総 合 利 得		56~64dB
入 力 V S W R		1.3 : 1
1dB出力電力抑圧点		+15dBm

以下、各構成回路について技術的要点を記す。

3. 導波管-マイクロストリップ線路変換器

導波管部はWR-42相当、特性インピーダンスは使用帯域で408～425Ω（電圧と電力で定義）、マイクロストリップ線路の特性インピーダンスは50Ωである。構造を図2に示すが、伝送モードは、矩形導波管TE₁₀モード→同軸TEMモード→マイクロ

ストリップ準TEMモードの順に変換される。設計は電磁界解析により反射特性に注目して最適化している。計算結果は図3に示すように、所望の帯域で反射減衰量が-24dBである。

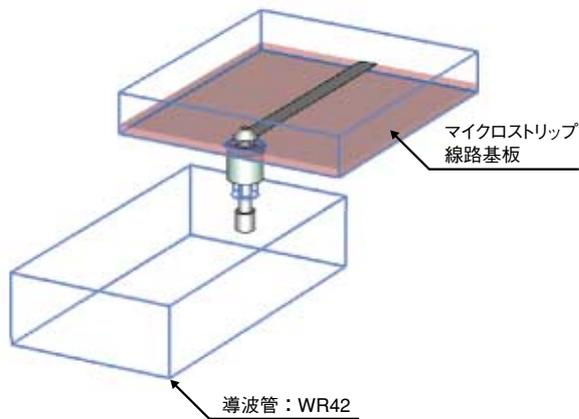


図2 導波管-マイクロストリップ線路変換器の構造

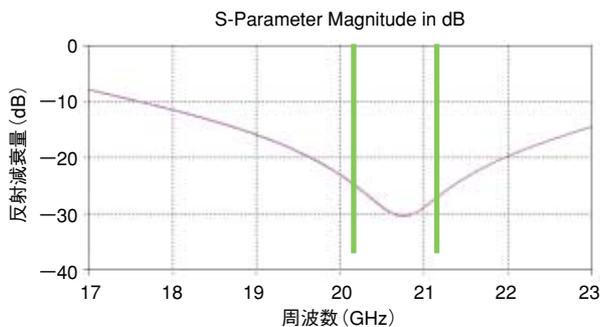


図3 導波管-マイクロストリップ線路変換器の反射特性計算値

4. 低雑音増幅器

ブロックダウンコンバーターの雑音指数はこの回路性能が支配的となる。増幅素子はHEMTを使い、2段構成とした。設計はHEMTの小信号Sパラメータとノイズパラメータを実測し、高周波回路シミュレータで性能の最適化を図っている。

図4に実測したHEMTの Γ_{opt}^* (Γ_{opt} の共役インピーダンス) およびS11 (入力側インピーダンス) を示す。ここで Γ_{opt} とは雑音指数が最少となる入力側負荷インピーダンスである。

設計で留意したことは、パッケージに収納されたHEMTのSパラメータの振幅と位相の変動である。

このため、両者の変動幅を予測した歩留り解析の結果から低雑音増幅器として十分な広帯域化を図っている。図5に初段増幅回路の利得とNFの周波数特性の実測値を示す。

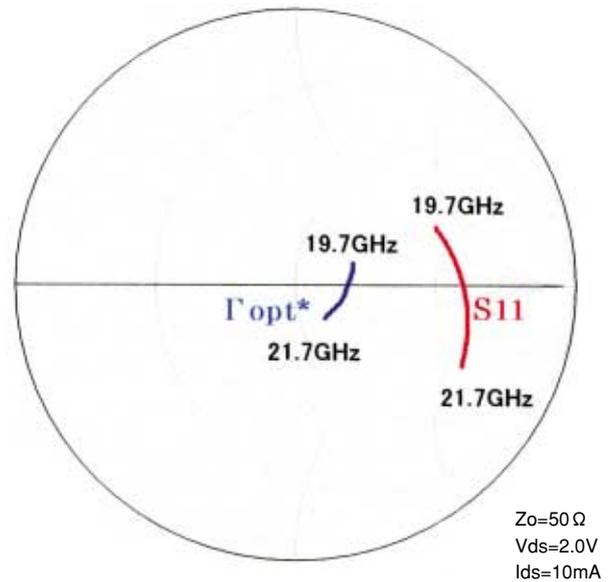
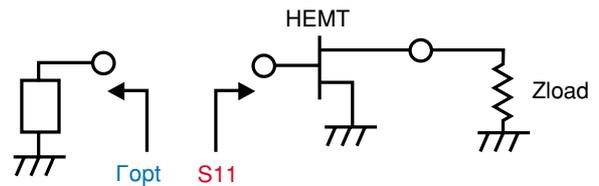


図4 HEMTの Γ_{opt}^* およびS11

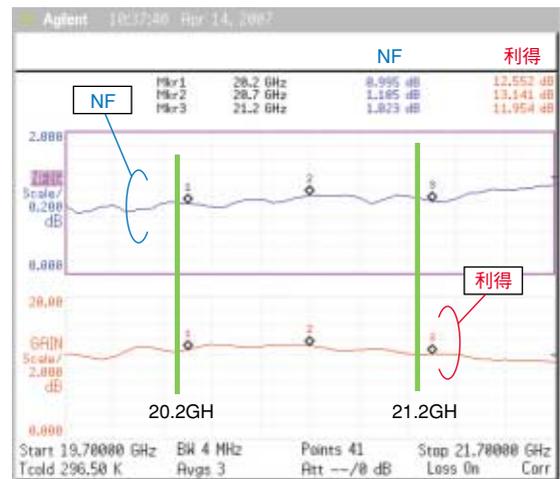


図5 初段HEMT増幅器の利得とNF

5. 局部発振器

局部発振器は9.6GHz帯PLL周波数シンセサイザを2倍倍する9.6GHz方式とした。誘電体共振器採用の電圧制御FET発振器と、SPD (Sampling Phase Detector) およびウインブリッジ方式のサーチ回路を組み合わせたアクティブフィルターを採用してPLL (Phase Lock Loop) を構成し、FET通倍器で2倍波に変換している。表2に2倍倍後のPLL周波数シンセサイザの位相雑音特性を示す。図6に

FET発振器の制御電圧 対 発振周波数の温度依存性を示す。

表2 局部発振器（19.2GHz）の位相雑音特性

オフセット周波数	位相雑音
1kHz	-78dBc
10kHz	-85dBc
100kHz	-104dBc

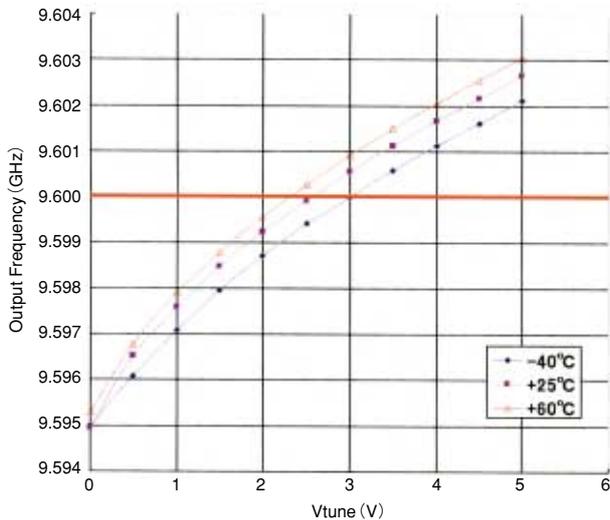


図6 9.6GHz DRO 制御電圧—発振周波数特性

6. 周波数変換器

周波数変換器はFETドレインミキサとした。

この方式のミキサはFETのドレインに局発信号を注入し、ゲートに受信信号を入力することで生成された中間周波（IF）をドレイン端で分波出力させるものである。各種ミキサの中からFETドレインミキサを選んだ理由は変換利得が高いことと、飽和出力が高いことであり、局発電力+5dBm注入時に変換利得4dB、出力1dB利得抑圧点-5dBmを得た。図7に変換利得と受信波入力端反射減衰量の周波数特性を示す。

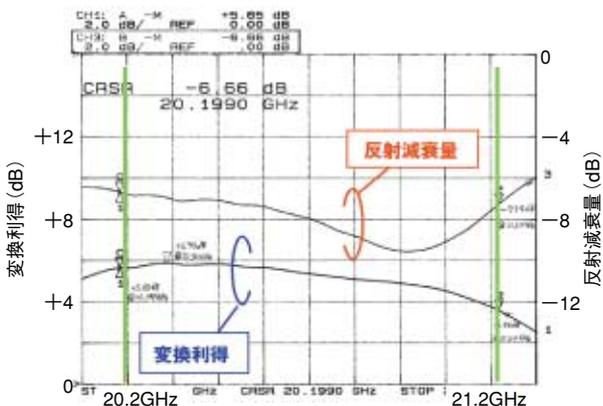


図7 周波数変換器の変換利得と受信波入力端反射減衰量

7. 中間周波増幅器およびマルチプレクサ

中間周波増幅器は高調波抑圧に留意し、デバイス選定においては飽和出力が高くかつ高利得のMMICとし、利得36dB、雑音指数8dB、1dB利得抑圧点19dBmを選んだ。

中間周波増幅器の後段には、マルチプレクサが配置される。ブロックダウンコンバーターで変換された中間周波が同軸ケーブルを介してIDUに送出され、同時にIDUから同軸ケーブルを介して駆動用電源の直流電圧+15~+24Vと基準信号10MHzが供給される。これらを合流点において分離する役目を果たするのがマルチプレクサである。

8. 総合特性

総合性能として、室温にて利得60dB、雑音指数1.7dB、局発部の位相雑音-78dBc/Hz（1kHzオフセット）が得られた。図8に変換利得とNFの周波数特性を示す。また、図9にブロックダウンコンバーターの外観を示す。

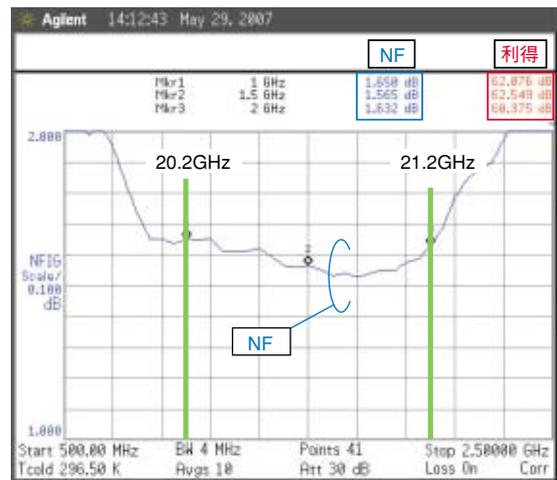


図8 Ka帯低雑音ブロックダウンコンバーター利得とNF特性



図9 Ka帯低雑音ブロックダウンコンバーターの外観

9. むすび

Ka帯低雑音ブロックダウンコンバーターを開発した。今後、量産化に向けた製品設計を行い更なる高性能化とコストダウンを図りたい。

10. 参考文献

- (1) 拮石 真一郎, 生駒 俊治, 田添 晃, 松永和之: “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”, 島田理化技報 No.18, pp.54-58, 2006
- (2) Pratt, T., Bostian, C., Allnutt, J., “Satellite Communications”, John Wiley & Son, New Jersey, 2002.
- (3) Gomez, J.M., “Satellite Broadcast Systems Engineering”, Artech House, Inc., Norwood, MA, pp. 48, 2002.
- (4) ITU, “Handbook on Satellite Communications, 3rd ed.”, Wiley, New York, 2002.

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
三神 幸治



電子事業本部
東京製作所
電子技術部
松永 和之



円形導波管狭帯域帯域通過フィルターの温度補償技術

平間 智之
Tomoyuki HIRAMA

萩原 栄治
Eiji HAGIHARA

貝田 典之
Noriyuki KAIDA

浅利 哲
Satosi ASARI

杉山 裕通
Hiroyuki SUGIYAMA

周波数を有効利用するためにフィルターによる周波数の選択度向上は非常に重要である。しかしながら、選択度を向上させると動作環境などの外的要因による周波数変動が無視できなくなるため、これらを考慮してフィルターを設計・製作する必要がある。当社では電磁界解析・熱変形解析などを行い、最適設計することで共振周波数変動の低減を図り、比帯域0.1%以下でピーク電力が数百kWクラスの高電力フィルターを数多く市場に投入している。

1. まえがき

近年、周波数の有効利用や不要波抑圧などの観点からフィルターに対して高度な技術的要求がなされている。当社ではこれらの要求に応えるため各種のフィルターを研究しているが、本稿では特に狭帯域な円形導波管フィルターの温度補償技術について述べ、この温度補償技術を用いて製品化した帯域通過フィルターを紹介する。

2. 共振モード

2.1 TE_{01s}モード⁽¹⁾の特徴

円形導波管フィルターに使用する伝送モードはいくつか存在するが、その中で最も耐電力性が良好なモードにTE_{01s} (s=1,2,...) モードがある。図1にこのモードの最低次数モード (s=1) であるTE₀₁₁モード共振器の電磁界分布を示す。電界は円周方向に回転した分布をしており、磁界は壁面で軸方向に向かっている。したがって電流は壁面の円周方向に流れる。図2にTE₀₁₁モード共振器の電磁界解析結果を示す。図2 (a) は共振器軸方向中心のXY平面における電界分布、図2 (b) は円周方向90°で分割したYZ,ZX平面における電界分布を表している。電界が最も強い部分は赤色、最も弱い部分は青色として表示している。図のようにTE₀₁₁モードの電界分布は共振器の中央付近に集中しており、管壁近くでは電界が小さくなるため、

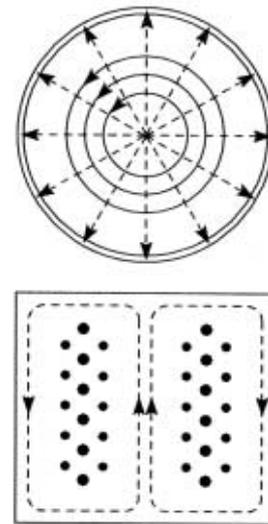


図1 TE₀₁₁モード電磁界分布
実線：電界
破線：磁界

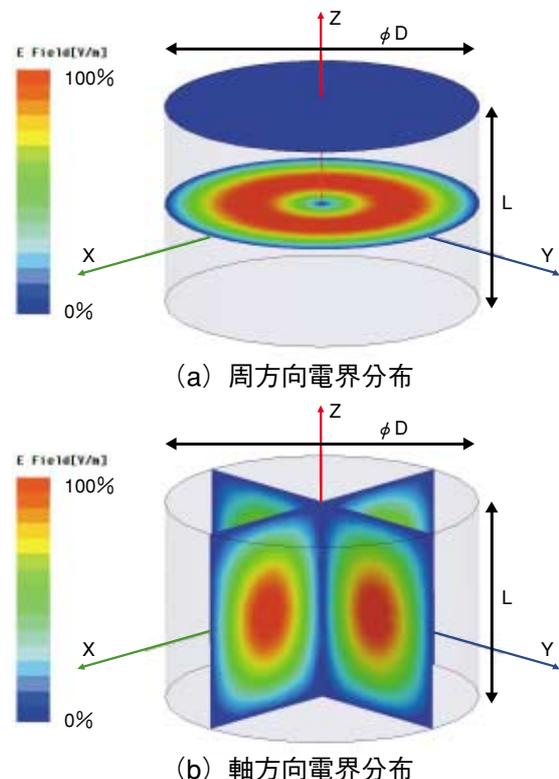
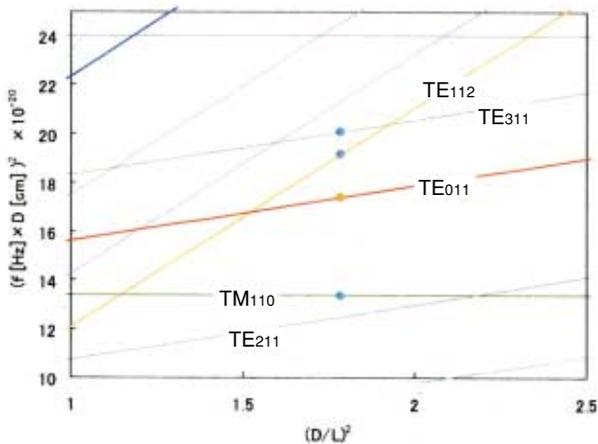
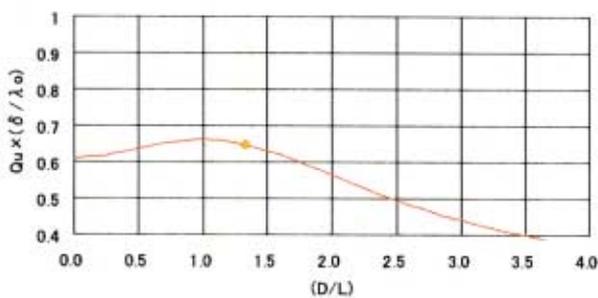


図2 TE₀₁₁モード電磁界解析



(a) モードチャート



(b) 無負荷Q

図3 TE₀₁₁円筒共振器チャート

他のモードよりも耐電力的に優れた特性を備えている。また共振器内部に突起物が存在した場合、突起物の先端に電界が集中して放電の原因となるため、共振周波数の設定は共振器軸長を可変する方法を採用している。

共振器の寸法は無負荷Qおよび不要モード共振（スプリアス共振）の関係から決定する。図3 (a) は使用周波数における円筒共振器モードチャートを示す。グラフは共振周波数の計算式から横軸 $(D/L)^2$ 、縦軸 $(fD)^2$ として表したものである。ここで、Dは共振器の直径、Lは共振器の軸長、fは共振周波数である。また、図3 (b) はTE₀₁₁モードにおける無負荷Qのチャートを示す。グラフは無負荷Qの計算式から横軸 (D/L) 、縦軸 $(Q_u \delta / \lambda_0)$ として表したものである。ここで、Dは共振器の直径、Lは共振器の軸長、 Q_u はTE₀₁₁モードの無負荷Q理論値、 δ は表皮厚、 λ_0 は共振波長である。共振器モードチャートからTE₀₁₁モードの周辺にスプリアス共振が多数存在していることがわかる。スプリアス共

振を遠ざけることができる寸法と無負荷Qの最高点は一致しないことが多いため、両方の値を考慮しながら最適寸法を決定している。

共振次数 (s) が2以上の共振器を使用した場合、無負荷Qが大きくなり、耐電力が増加するという利点がある一方、共振次数が1の共振器よりもスプリアスが近傍に生じ、サイズが大きくなるという欠点があるため、トレードオフを行ってモードを選択する。

TE_{01s}モードは耐電力性に優れ、かつ無負荷Qが高いため、レーダー給電系などの高電力機器に適している。

2.2 TE_{11s}モード⁽²⁾の特徴

TE_{11s}モードは図4に示すように周方向に電界が90°回転した2つのモードを同一周波数で生成することができる。このモードを励振するため周波数調整素子は周方向90°間隔で挿入し、2つの共振を結合するために結合素子は周波数調整素子の中間45°方向に挿入する。図5にTE₁₁₁モード共振器の電磁界解析結果を示す。図5 (a) は共振器内部の電界分布、図5 (b) は共振器内部XY平面上の電界分布を示す。図中の矢印は電界ベクトルの向きを示しており、共振器のXY平面上に直行した2つのモードが存在している。

図6にTE₁₁₁円筒共振器のチャートを示す。図6 (a) は使用周波数における円筒共振器モードチャート、図6 (b) は無負荷Qのチャートを示す。TE₁₁₁モードは最低次モードとなるため周辺にスプリアス共振が少ない反面、無負荷Qの値は低い。

TE_{11s}モードはひとつの共振器で2つの共振（デュアルモード）が得られるため小型化の要求が高いフィルターに適している。

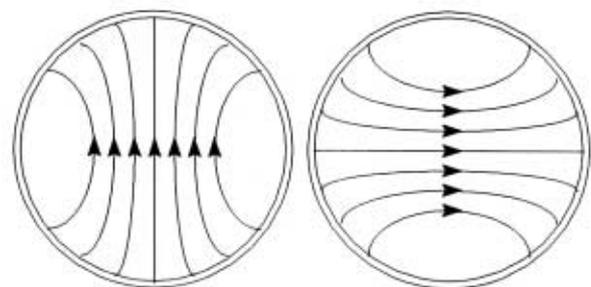


図4 TE₁₁デュアルモード電界分布

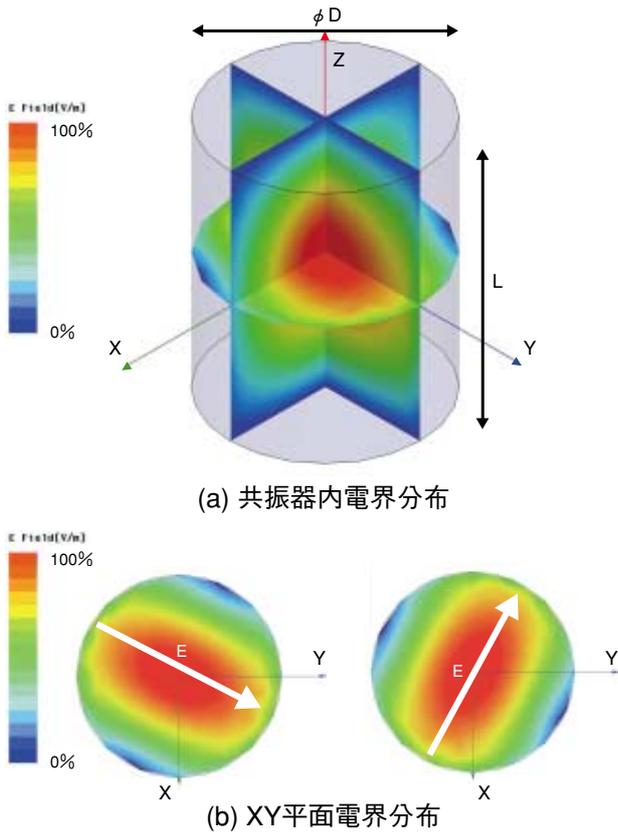


図5 TE₁₁₁モード電磁界解析

3. 温度変動の検討

共振器の共振周波数は動作温度範囲内で金属の線膨張係数による微小な寸法変化の影響を受ける。狭帯域フィルターは周波数の選択度が高いので温度変動による周波数変動を小さくする必要がある。

共振器の径を ϕD 、共振器軸長を L 、それぞれの線膨張による共振寸法変化を $\Delta D, \Delta L$ とすると共振器の温度係数 τ_f は次式で表される。

$$\tau_f = \frac{1}{f_0} \cdot \frac{\Delta f(\phi D, L)}{\Delta T} \quad (1)$$

$$f = \frac{c \cdot \sqrt{\left(\frac{\chi_{mn}}{\pi}\right)^2 + \left(\frac{s\phi D}{2L}\right)^2}}{\phi D} \quad (2)$$

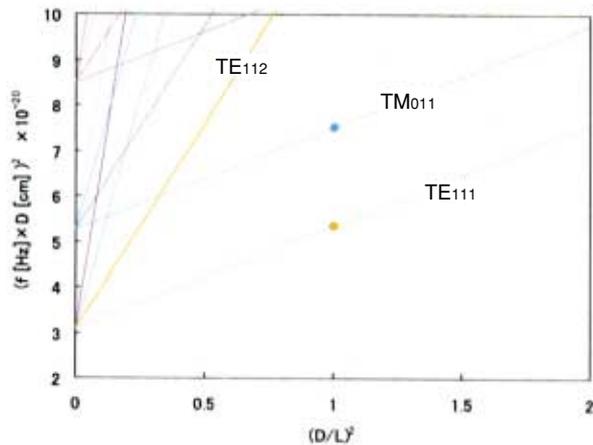
$$\Delta D = \phi D \eta_c \cdot \Delta T \quad (3)$$

$$\Delta L = L \eta_c \cdot \Delta T \quad (4)$$

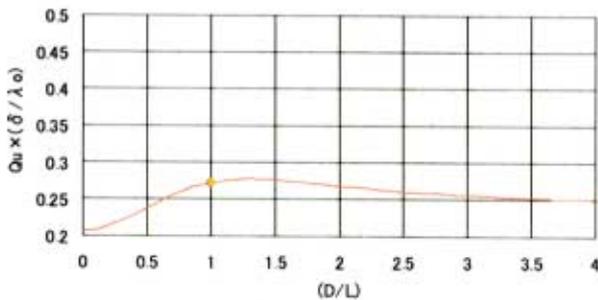
ここで f, f_0 は円筒共振器の共振周波数、 Δf は共振周波数の変動量、 s は軸方向共振次数、 χ_{mn} はベッセル関数 $J'_m(x) = 0$ の n 番目の根、 ΔT は温度変動量、 η_c は共振器の線膨張係数を表す。

3.1 TE_{01s}モードにおける温度補償

図7にTE_{01s}モードの共振器構造模式図を示す。図中のキャビティは円筒形導体を、シャフトは共振器軸長を調整する可変部を、ディスクはシャフト先端に取り付けられ共振器の一端をなしている部分を表している。図8にキャビティ単体の温度変形に伴う共振周波数変動とシャフト単体の温度変形に伴う共振周波数変動を表したグラフを示す。直径 ϕD 、軸長 L の円筒共振器は温度による構成部材の膨張/収縮の影響を受け、直径は $\phi D + \Delta D$ 、軸長は $L + \Delta L$ に変化する。式(1)～(4)からキャビティ単体の周波数変動は図8に示すように負の傾きを持つ。そのためキャビティ単体とは逆の正の傾きを持つ温度係数の調整機構を追加することで、お互いの傾きをキャンセルし周波数の変動量を小さくすることができる。図7におけるシャフトは線膨張係数とキャビティ内部への挿入寸法 L を適当な値に選ぶことによって周波数変動に正の傾きを持たせることができる。この結果、共振器全体の温度変動による共振周波数変動を小さくすることができる。



(a) モードチャート



(b) 無負荷Q

図6 TE₁₁₁円筒共振器チャート

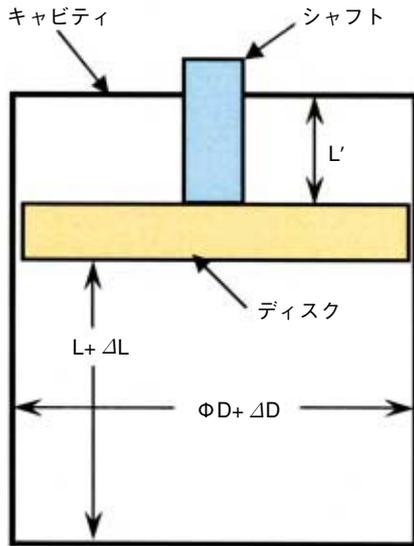


図7 共振器構造模式図

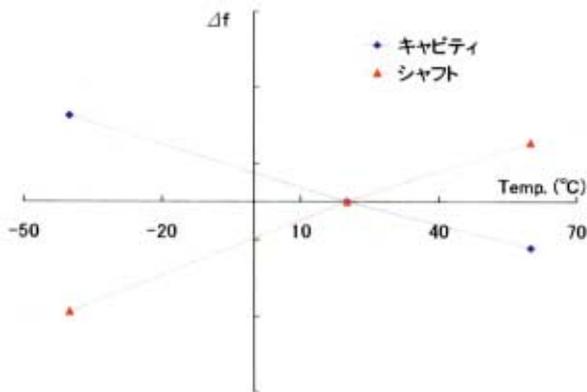
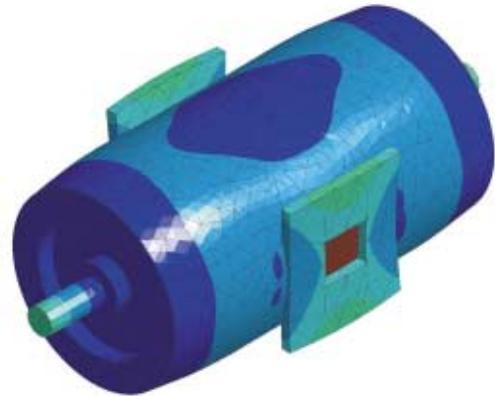


図8 各部の温度変動



(a) 解析モデル



(b) 解析結果

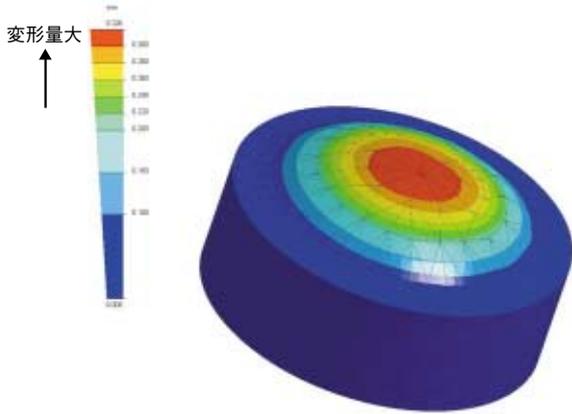
図9 共振器熱変形解析

図9に熱変形解析を行い共振器の各部寸法や形状の変動について計算を行った結果を示す。共振器の径方向と軸方向では径方向の変形の方が周波数変動に与える影響が大きいため、共振器の軸方向寸法の変動量を大きくして周波数変動を抑えている。また、共振器の各部厚みなどによる歪も発生するため、熱変形解析の結果を電磁界解析に反映して検討を行っている。

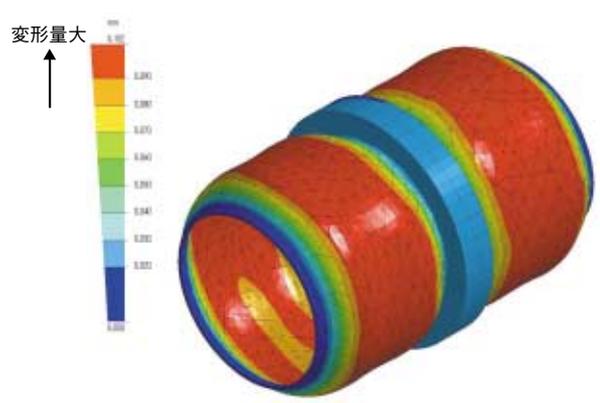
図10はディスク内部に線膨張係数が異なる材質を封入した時の熱変形解析結果を示す。図のようにディスク端面が変形すると共振周波数が変動するため、この変形を利用して共振器の温度変動をキャンセルすることもできる。

以上の検討結果を考慮して共振器を製作し、共振周波数の温度による変動を測定した結果を図11

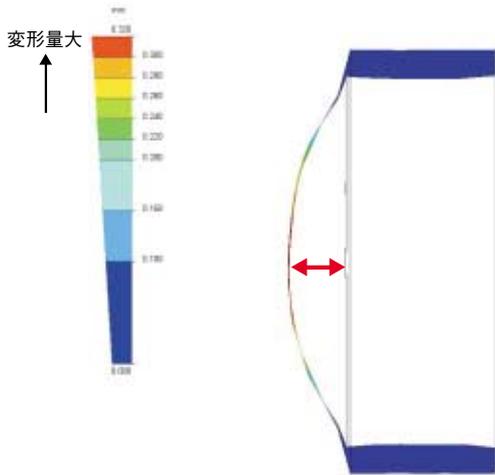
に示す。結果は周波数変動が $\Delta T=100^{\circ}\text{C}$ の範囲で0.8ppm以下に抑えられており、狭帯域なフィルターに使用するのに十分な温度補償値が得られている。



(a) 解析結果

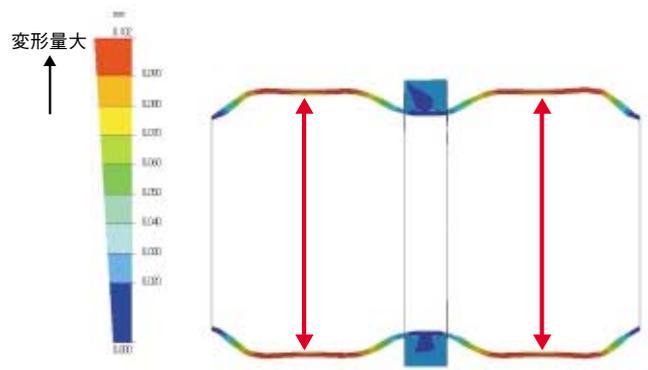


(a) 解析結果



(b) 解析結果 (断面図)

図10 共振器ディスク部熱変形解析



(b) 解析結果 (断面図)

図12 変形抑制ベルト使用共振器の熱変形解析

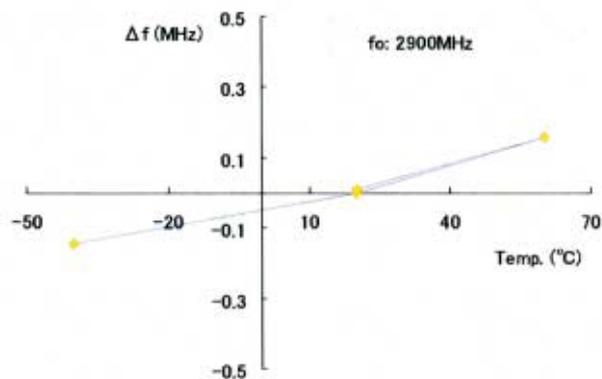


図11 TE₀₁₁共振器温度変動測定結果

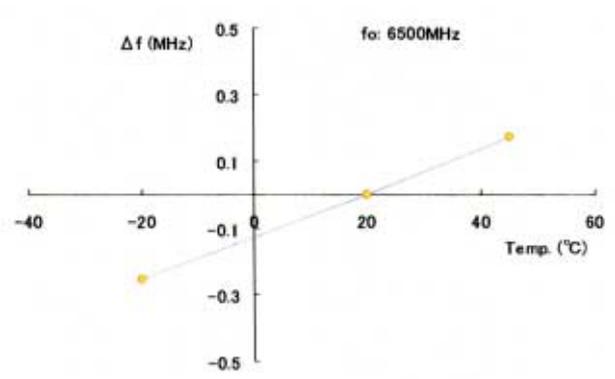


図13 TE₁₁₁共振器温度変動測定結果

3.2 TE_{11s}モードにおける温度補償

TE_{11s}モードは一般的に軸方向に共振器を縦続接続して帯域通過フィルターにすることが多いため、TE_{01s}モードのような方法で温度変動を抑えることが困難である。TE_{11s}モードは図5に示した電界分布のように軸方向中心に電界が集中している。したがって、この部分の寸法変動を抑えることができれば

共振周波数の温度変動が減少する。

図12に共振器軸方向中心位置の外周に共振器の線膨張係数よりも小さい係数を持つ材質を変形抑制ベルトとして巻いた状態で熱変形解析を行った結果を示す。図のように温度変動による共振器の変形は変形抑制ベルトを巻いた共振器中央付近の外周はその周りに比べて小さく抑えられている。

以上の検討結果を考慮して共振器を製作し、共振周波数の温度による変動を測定した結果を図13に示す。結果は周波数変動が $\Delta T=65^{\circ}\text{C}$ の範囲で0.7 ppm以下に抑えられており、狭帯域なフィルターに使用するのに十分な温度補償値が得られている。

4. 湿度変動の検討

共振器内部に湿度がある場合、水蒸気は誘電率を持つことから湿度による誘電率の変化が共振周波数の変動をもたらす。したがって、周波数変動を抑えるためには温度のみならず湿度の影響を考慮する必要がある。

次式は湿度から誘電率を計算するための式である⁽³⁾。

$$\epsilon_r = n^2 \quad (5)$$

$$n - 1 = \frac{208}{T} \left(P + \frac{4800 \cdot e}{T} \right) \cdot 10^{-6} \quad (6)$$

$$e = H_u \cdot E(T_A) \times 10^{-2} \quad (7)$$

ここで、 n は屈折率、 T は温度、 e は水蒸気圧、 P は気圧、 H_u は相対湿度、 $E(T_A)$ は飽和水蒸気圧を表す。

以上より、温度・湿度条件における比誘電率の値を計算すると常温常湿(25°C,45%)では1.0018、高温多湿条件(45°C,95%)では1.0031となる。両条件の比誘電率変化分を設定して計算を行うと、共振周波数の変動は-15ppm程度になり無視できない値となる。したがって、設計時には共振器内部の湿度変化を考慮する必要がある。

5. 耐電力の検討

一般的な共振器のTE_{01s}およびTE_{11s}モードの共振周波数 f における絶縁破壊電力(P_0)を次式に示す⁽⁴⁾。

$$P_0 = TE_{01s} = 886 \cdot \frac{s \cdot w}{g_k \cdot f^2} \cdot \frac{\lambda_g}{\lambda \left[1 - \left(\frac{\lambda}{\lambda_g} \right)^2 \right]} \quad (8)$$

表1 低減係数を考慮する条件

条 件			
温	度	T	
湿	度	M	
負 荷	V S W R	Vs	
高	度	Alt	
加	圧	Atm	
ほ	こ	り	SC
パ	ル	ス 幅	PW
繰	り	返 し 率	RR
低	気	圧	Rk
帯	域	端 部	eg
形	状		F
総 低 減 係 数			$R = T \cdot M \cdot Vs \cdot Alt \cdot Atm \cdot SC \cdot PW \cdot RR \cdot Rk \cdot eg \cdot F$

$$P_0 = TE_{11s} = 204 \cdot \frac{s \cdot w}{g_k \cdot f^2} \cdot \frac{\lambda_g}{\lambda \left[1 - \left(\frac{\lambda}{\lambda_g} \right)^2 \right]} \quad (9)$$

ここで、 s は軸方向共振次数、 f は共振周波数、 w は比帯域幅、 g_k は g ファクター、 λ_g は管内波長、 λ は共振波長を表す。

絶縁破壊電力は表1の条件により変化するため、耐電力設計ではこれらの総低減係数 R ($R < 1$)を考慮して補正を行うと絶縁破壊電力は $P_p = P_0 \times R$ となり、入力電力に対して十分な安全係数を持つように設計を行うことが必要である⁽⁵⁾。

6. 狭帯域フィルター特性

図14に参考例として当社の製品であるS帯狭帯域フィルターの通過特性を示す。このフィルターは比帯域0.1%、ピーク電力は数十kWのものであり、共振器はTE₀₁₁モードを使用している。フィルターの使用温湿度条件による共振周波数変動は $\Delta T=100^{\circ}\text{C}$ の範囲で約1.0ppmであり、実用上十分な温度補償値を実現している。

図15は当社の狭帯域フィルター製品の一例である。図15(a)はS帯のTE₀₁₁モード共振器を使用した帯域通過フィルター、図15(b)はC帯のTE₁₁₁モード共振器を使用した帯域通過フィルター、図15(c)はX帯のTE₀₁₂モード共振器を使用した帯域通過フィルター⁽⁶⁾である。

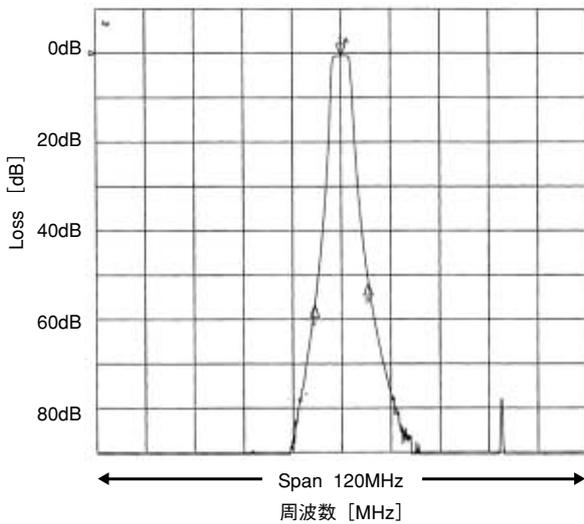


図14 S帯狭帯域フィルター特性

7. むすび

以上、温度補償型狭帯域フィルターを設計する上で考慮すべき点を述べてきた。当社では電磁界解析・熱変形解析などを行うことによって最適設計し、共振周波数変動が1ppm以下の共振器を実現している。それら共振器を用いて、温度補償の要求が厳しい比帯域0.1%以下でピーク電力が数百kWクラスの高電力フィルターも数多く市場に投入し、運用実績での評価を得ている。

今後も狭帯域フィルターをはじめ各種フィルターについて、解析やノウハウを駆使して市場の要求に対応できるようにしていきたい。

8. 参考文献

- (1) A.E.Atia and A.E.Willams, "General TE₀₁₁ mode in a spherical cavity", IEEE Trans.Microwave Theory Tech., vol.MTT-24, No10,pp640-648,Oct.1976.
- (2) Roger L.Fjerstad, "Compact,Wide Range Dual TE₁₁₁ Mode Preselector", IEEE Trans.Microwave Theory Tech., vol.MTT-14, No9,Sep.1966
- (3) George L.Matthaei,Leo Young,E.M.T.Jones, "MICROWAVE FILTERS, IMPEDANCE-MATCHING NETWORKS, AND, COUPLING STRUCTURES", McGRAW-HILL BOOK COMPANY, New York, pp.889-961,1964.
- (4) B.F.Husten and H.Lyons, "Microwave



(a) S帯帯域通過フィルター



(b) C帯帯域通過フィルター



(c) X帯帯域通過フィルター

図15 狭帯域帯域通過フィルター

- Frequency Measurements and Standards", A.L.E.E. Technical Paper,pp. 48-49, December, 1947.
- (5) J.Ciavolella, "Take the Hassle Out of High Power Design", Microwaves & RF,pp.60-62, June,1972.
- (6) 森重宏,田中稔博 "Xバンド高電力フィルター" 島田理化技報 No.14 2002

筆者紹介

電子事業本部
東京製作所
電子技術部
平間 智之



電子事業本部
東京製作所
電子技術部
萩原 栄治



電子事業本部
東京製作所
機械技術部
貝田 典之



電子事業本部
東京製作所
電子技術部
浅利 哲



電子事業本部
東京製作所
機械技術部
杉山 裕通



【技術開発】

産機部門

ユニット型IHインバータ

村松 護
Mamoru MURAMATSU

栢田 学
Manabu KABATA

松村 琢夫
Takuo MATSUMURA

板谷 隆博
Takahiro ITAYA

石間 勉
Tsutomu ISHIMA

本報告は、5kW/10kW誘導加熱（IH：Induction Heating）用インバータのモデルチェンジに関するものである。成果は、ユニット構造化と操作部のマイコン化により「小型化」、「高機能化」、「低価格化」を達成したことである。

はじめに、誘導加熱の原理および装置の概要について説明する。次に、ユニット型インバータの特長、および各ユニットの技術解説を述べ、最後に実施例を紹介する。

1. まえがき

2001年に商品化したSFT-Eシリーズ5kW/10kWインバータは、高効率、省エネルギー、省スペースという利点から各産業界で好評を得ており、当社高周波事業の小型機種での主力製品となった。

出力5～10kWクラスの製品は、国内外に競合メーカーが多く、更なる小型化、高機能化、低価格化へ移行しており、モデルチェンジが必要となった。

今回のモデルチェンジでは、ここ数年間に当社が取り組んできた小型インバータの開発、高性能FETモジュールの開発、および出力監視装置の開発成果に加え、新技術として電力系回路のプリント基板化を実施し「コンパクト」、「高性能」、「高機能」、「低コスト」を兼ね備えた新型インバータを製品化した。

2. IH（誘導加熱）とは

図1に示すように、交流電流が流れるコイルの中に金属棒（被加熱物）を置くと、金属棒の表面には電磁誘導による渦電流が発生し、コイルと金属棒が離れているにもかかわらず、金属棒自身が発熱する（非接触で自己発熱）。この現象を利用した加熱方法が誘導加熱（IH）で、身近な例では、IH炊飯器やIHクッキングヒータなどがある。



図1 誘導加熱による発熱

近年、家庭用として身近になってきた誘導加熱であるが、産業用としては、以下に示す誘導加熱の特長により40年以上も前から利用されている加熱方法である。

- ①被加熱物の単位面積に供給される単位時間当りのエネルギーが大きいため、高速加熱・高温加熱が可能である。
- ②被加熱物そのものが加熱するため、熱損失が小さく、加熱効率が大きい。
- ③高周波電力を変える事により、温度制御が容易である。
- ④コイルの配置と周波数を選定することにより、被加熱物の表面のみを加熱したり、被加熱物全体を加熱することができる。
- ⑤金属溶解などの際は、電磁力によって溶湯が自動的に攪拌（かくはん）される。
- ⑥自己発熱であるため、スケールの発生がきわめて少ない。
- ⑦外部から被加熱物へ熱を加える必要が無いため、作業環境が良く取り扱いが容易である。

2.1 誘導加熱装置の基本構成

図2に、産業用誘導加熱装置の基本構成を示す。用途によっては、さらに搬送装置や、熱処理室（炉、チャンバー）などが加わる場合もある。

(1) IHインバータ

商用電力を誘導加熱に適した高周波電力に変換する。加熱コイルに流す交流電流は、数十～数百kHzの高周波電流であるため高周波発振器、または高周波電源と呼ぶ場合もある。

(2) 高周波変流器

高周波電源と加熱コイルとの間に付ける整合用トランス。加熱コイルのインピーダンスが低い場合（コイルの巻き数が少ない場合）に使用する。

(3) 加熱コイル

高周波磁界を発生させ高周波エネルギーを有効に被加熱物に供給するための最も重要な部品。被加熱物の形状や要求温度などの条件にあわせて製作する。

(4) フィーダ

IHインバータからの高周波電力を高周波変流器および加熱コイルに伝送する配線。ブスバーと呼ぶ場合もある。

(5) 冷却水供給装置

IHインバータ、加熱コイルなどの冷却に使用する。冷却水の水質が悪い環境ではチラーユニットを、圧力・水量が確保できない環境では冷却水循環ユニットを使用する。

(6) 出力監視ユニット

IHインバータの出力電流を検出し、加熱サイクルごとの電力量を計測する。出力設定値に対し、出力が変動した場合は、警報信号を出力する。

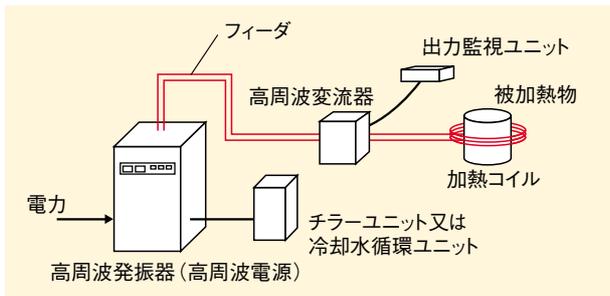


図2 誘導加熱装置の基本構成

2.2 誘導加熱の用途

図3に高周波誘導加熱の出力・周波数別用途を示す。また、図4に当社IHインバータのラインナップを示す。

今回開発したユニット型IHインバータは、出力は5kW/10kWで産業用IHインバータとしては低出力の領域であるが、周波数領域が、20～400kHzと広範囲であるため、ろう付け・はんだ付け、接着、

蒸着、シール、インサートなど、用途は多種多様である。

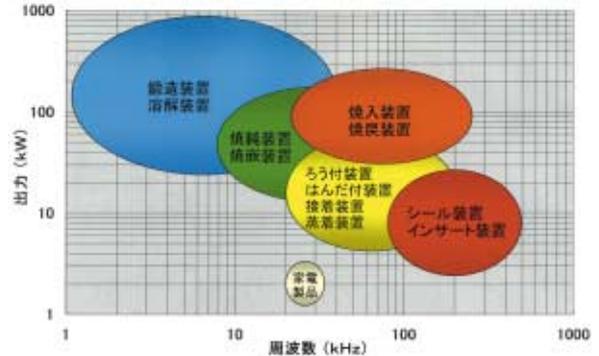


図3 高周波誘導加熱の出力・周波数別用途

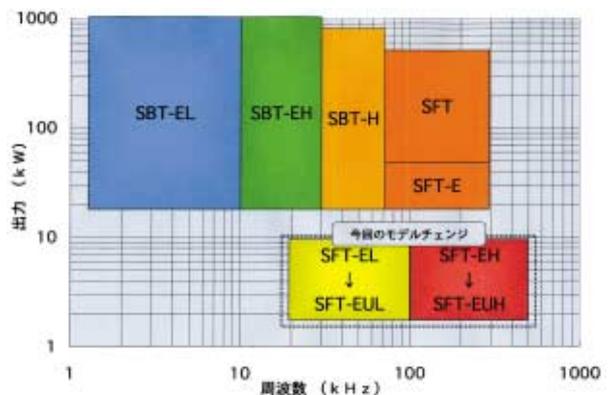


図4 当社IHインバータのラインナップ

3. ユニット型IHインバータの特長

図5に従来機（SFT-E、一体型）と新型機（SFT-EU、ユニット型）の外観を示す。



図5 製品外観(写真右)

開発したIHインバータの特長は、

(1) 小型

従来型と比較して、体積比50%、質量比60%の小型化・軽量化を達成した。

(2) 高信頼性

電力系回路のプリント基板化（省配線），特殊部品の削減，加工部品の削減により，従来型と比較して，総部品点数を40%削減した。

(3) RoHS対応

(4) 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を可能とした。ユニット形状は，19インチ規格（JIS C 6010-2）に準じており，複数台のインバータ搭載や，客先装置への組込み，他社機器の組込みなど，拡張性が向上した。

(5) 新型操作パネル（ユニット）

マイコンを搭載し，プログラム操作，出力監視，警報履歴管理などが可能。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ある。操作面は，小型スイッチパネルおよびLCDディスプレイの採用により薄型化した。

新型インバータの主要性能を，表1に示す。

表1 主要性能

型 式	SFT-EU5N	SFT-EU10N
定 格 出 力	5kW	10kW
発 振 周 波 数	20～400kHz(内一波)	
電 源 入 力	三相180～240V 50Hz/60Hz	
	7kVA	14kVA
冷 却 水	5L/min	
使用周囲条件	温度5～40℃ 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 など	
操 作 盤 機 能	<ul style="list-style-type: none"> ・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 寸 法	W450mm×H350mm×D450mm	
質 量	約35kg	

4. 操作ユニット

操作パネルの基本機能は，高周波出力のON/OFF操作，出力電力の設定操作，出力状態の表示，異常発生時における警報表示などである。

今回のモデルチェンジでは，ユニット化（パッケー

ジングの変更）と同時に，競合メーカーとの差別化を図るために大幅な機能追加を行った。図6に操作ユニットの外観を，表2に主要性能を示す。



図6 操作ユニット外観

表2 操作ユニット主要性能

名 称	操作ユニット	
型 式	EUDMS-4	
冷却方式	自然空冷	
外形寸法	W430mm×H50mm×D250mm ※突起物およびラックマウント金具を除く	
質 量	4.2kg	
電源入力	1φ AC85～240V	
主 構 成 品	コンソール	パネルスイッチ（操作・設定） LED（ステータス）
	ディスプレイ	LCD，20文字×4行 （バックライト付き）
	H8 マイコンボード	メインCPU（H8ファミリー） インターフェース（シリアル，LAN）
	LANコネクタ （RJ45）	イーサネット通信用
	Dサブコネクタ （9ピン）	シリアル通信用
主 要 機 能	インバータユニットインターフェース DIOインターフェース アナログ信号インターフェース 加熱ON/OFF操作，出力指令値設定 各種モニタ表示，アラーム表示 操作およびアラーム履歴管理 ヒートプログラム機能，通信機能（LAN，シリアル） 出力監視機能，アナログ信号補正テーブル機能	

4.1 操作ユニットの構成および特長

従来型インバータの操作パネルは，操作スイッチ，アナログメータ，アラーム表示灯および出力設定器という非常にシンプルなものであった。今回のモデルチェンジでは，マイコン搭載基板を開発することで，機能追加と拡張性向上を図ると共に，操作および表示器の見直しを行った。

結果，パッケージング面，および機能面上，完

全に独立したユニット化を達成した。以下、操作ユニットの主要構成の特長を説明する。

(1) メイン基板

構成は、メインCPUと複数のPIC（Peripheral Interface Controller：周辺機器制御用コントローラ）、インターフェース回路およびスイッチング電源などである。従来型インバータではハードウェア（タイマーリレー、調節計、PLCなど）の追加を必要とする機能が、対応ソフトウェアへの切り替えで可能となった。

(2) 操作・表示器

機能追加により操作および設定項目が増加したために、メニュー方式を採用した。

操作手順および配置について、社内モニター試験を実施し、現場作業者の意見を反映した。

表示器には、LCDディスプレイを使用することで、機能追加に伴う表示情報量のアップに対応すると共に、アナログメータなど的高額部品が削減された。

4.2 操作ユニットの新機能

操作ユニットをマイコン化したことにより、従来型のインバータにはなかった多くの機能を持たせることが可能になった。以下、代表的なものを説明する。

(1) ヒートプログラム機能

加熱ON/OFF、出力指令値を時間軸でプログラムする機能。以下、本機能を利用した具体例を挙げる。

- ・多段階的に出力指令値を切り替える
- ・加熱タイマー（ON/OFF時間の設定）
- ・加熱中や加熱終了時にブザーやシグナルタワーを点灯させる

(2) 出力監視機能

高周波電流出力を検出し、監視する機能。本機能により、単位時間ごとに加熱ワークに供給されたエネルギー量を算出し、加熱に関するトレーサビリティが可能。

(3) 通信機能

制御端末（パーソナルコンピュータ）と直接接続またはLAN接続し、外部遠隔操作が可能。本機能により、インバータの状態をリアルタイムで監視することが可能。図7に通信機能を利用した監視制御画面の例を示す。



図7 監視制御画面例

(4) イベント履歴管理機能

インバータのイベント^(注1)発生時に、イベント名と、装置状態情報^(注2)を、履歴データとして内部メモリに記録する機能。本機能は、異常発生に至る原因究明や、トレーサビリティ情報収集に利用可能。

履歴データは、LCDディスプレイに表示可能である。また、SDカードに保存することも可能。

(注1) イベント：加熱ON/OFF、アラーム、出力指令値変更など

(注2) 装置状態情報：インバータの高周波電流値、直流電流、直流電圧、発振周波数、内部温度など

5. インバータユニット

5.1 構成

インバータユニットは商用電源の50Hz/60Hzから高周波電力を発生させるものであり、整流回路、インバータ回路、制御回路で構成される。

- ①整流回路：三相交流電力を直流電力に順変換する。
- ②インバータ回路：直流電力をスイッチングにより高周波電力に逆変換し、マッチングユニットへ供給する。
- ③制御回路：スイッチング周波数の制御ならびに出力指令値と高周波電流フィードバック値との比較による定電流制御を行う。

図8にインバータユニットの外観を、図9に内部を、表3に主要性能を示す。



図8 インバータユニット外観



図9 インバータユニット内部

表3 インバータユニット主要性能

名称	インバータユニット
型式	EU-INV5L (5kW, Lタイプ)
	EU-INV5H (5kW, Hタイプ)
	EU-INV10L (10kW, Lタイプ)
	EU-INV10H (10kW, Hタイプ)
冷却方式	水冷 (3L/min)
電源入力	三相180~240V (パワー系) 単相180~240V (制御系)
外形寸法	W430mm×H150mm×D450mm ※突起物およびラックマウント金具を除く
質量	12.5kg
主構成	制御基板, 整流・フィルタ基板 インバータ出力基板 スイッチング電源, 冷却ファン, 放熱器
主要機能	高周波電力の生成 操作ユニットインターフェース 高周波出力制御, イベント制御 DC電圧モニタ, 高周波電流モニタ 周波数モニタ, 温度モニタ 装置異常監視, 発振異常監視

5.2 インバータユニットの特長

整流回路, インバータ回路をそれぞれ基板実装化した。出力10kW, 周波数400kHzクラスでは誘導加熱業界初である。以下に基板実装化のメリッ

トを挙げる。

①組立, 配線コストの削減

部品実装, 配線接続が基板に集約され, 部品組立, および配線作業を大幅に削減。

②小型軽量化

使用部品の集約, 高密度実装により小型化・軽量化を実現。

③信頼性向上

部品点数の削減, 誤配線リスクの低減により製品レベルでの信頼性が向上。

5.3 開発における課題とその解決方法

大電流回路の基板実装化, ユニット化における課題と解決方法を以下に示す。

①ユニット内の排熱効率化

②基板実装部品および基板パターンの昇温低減

①インバータユニットは密閉度が高く, 通電時に発生する熱がこもりやすい構造となっている。ユニット内の極端な雰囲気温度上昇は部品の温度上昇, 性能劣化, 製品寿命の短縮に直結するため抑えなければならない。当インバータユニットは, 温まった雰囲気をファンでヒートシンクに吹き当てて熱交換し, ユニット外部へ放熱する構成とした。

②整流回路, インバータ回路とも大電流が流れるため部品やパターンの発熱は避けられない。温度上限を超えての使用は部品の性能劣化, 基板の変形などを引き起こすおそれがあった。そこで, ユニット内の発熱部品すべてが万遍なく冷却されるようファンのダクト形状, 基板部品配置を変化させてユニット内の風の流れを最適化させた。更に基板パターン上で発熱の大きい箇所はパターンを工夫し独自の放熱技術により解決した。

5.4 開発品の評価結果

出力電力13.5kW, 冷却水入口温度40℃と実運用より過酷な条件下で連続通電試験を実施した。

結果, 部品や基板上限温度は規格内に抑えることを可能にした。また, インバータの性能も満たすことができ, 今回採用した冷却方法が有効であることを確認した。

6. マッチングユニット

6.1 構成

マッチングユニットの基本機能は, トランスによるマッチング調整, ならびに共振コンデンサに

よる周波数の選定である。図10にマッチングユニットの外観を、表4に主要性能を示す。



図10 マッチングユニット外観

表4 マッチングユニット主要性能

名称	マッチングユニット	
型式	EU-MAT5L (5kW, Lタイプ)	
	EU-MAT5H (5kW, Hタイプ)	
	EU-MAT10L (10kW, Lタイプ)	
	EU-MAT10H (10kW, Hタイプ)	
冷却方式	水冷 (2L/min)	
外形寸法	W430mm×H150mm×D450mm ※突起物およびラックマウント金具を除く	
質量	16kg (5L, 10L) ※標準仕様の場合 14kg (5H, 10H) ※標準仕様の場合	
主構成	トランス	タップ切替可 (手動)
	共振コンデンサ	個数変更可能 構成 (並列・直列) 変更可能
主要機能	下記調整により負荷とのマッチング (整合) を行う。 ・マッチングトランスの巻数比 ・共振コンデンサの個数および構成 (最大16個, 4P×4Sまたは8P×2Sの構成が可能)	

(1) トランス

インバータの出力インピーダンスと、被加熱物の入力インピーダンスとのマッチング調整を行う。

トランスの1次側 (インバータの出力) からみた2次側 (被加熱物) インピーダンスはトランス巻数比の2乗分の1となる。被加熱物に入力される高周波電力が最大となるように巻数比を決定する。配線接続箇所を替え、巻数比変更が可能である。

(2) 共振コンデンサ

誘導加熱では被加熱物の材質や用途により周波数帯が異なることは前述した。周波数は加熱コイルのインダクタンスと共振コンデンサのキャパシタンスにより決まる。

加熱コイルのインダクタンスは、被加熱物の形状・寸法により可変幅が制限されるため、共振コンデンサのキャパシタンスを変更して、目標周波数に調整する。

6.2 マッチングユニットの特長

(1) 共振コンデンサの拡張性

キャパシタンスの変更において、装置仕様ごとにコンデンサそのものを変更した場合、コストと納期が問題となる。当社では以前からコンデンサの種別およびキャパシタンスを数種類に絞り込んだものを標準コンデンサとして設定し、標準コンデンサの個数および構成 (並列数・直列) を変え、キャパシタンスを変更している。

新型機は、コンデンサ接続板の追加、およびショート板の接続変更により、最大16個, 4P (並列) × 4S (直列) または8P×2Sの接続が可能である。

(2) 冷却水配管の容易性

マッチングユニットはトランスの一次、二次各巻線および共振コンデンサの接続板は大電流による発熱のため水冷している。

新型機は、配管継手の位置や、配管順序を工夫し、通水接続用ナイロンチューブの曲げ部分に無理がかからないように配管しやすい構造とした。コンデンサ接続板の追加時も追加配管しやすいよう考慮した。

7. ユニット型インバータの装置実施例

図11および図12にユニット型インバータを使用した高周波加熱装置の実施例を示す。



図11 高周波ろう付け装置



図12 高周波予熱装置

8. むすび

ユニット型IHインバータについて概要および特長を説明した。

本製品は、新聞、および当社ホームページで発表し、2007年7月から販売・出荷を開始した。

冒頭でも述べたが、5～10kWクラスの製品は国内外に競合メーカーが多い機種である。

今回の開発は、「小型化」、「高機能化」、「低価格化」全てを満たす製品を目標に進めてきた。目標設定が高く、基本設計から見直しを行うことになり、新技術などを駆使して、結果として特長ある製品が完成した。特に、多種多様な顧客ニーズに対応するべく、メンテナンス性や拡張性には十分配慮したが、今後はマーケティングを推進し更に改良するとともに、他機種への技術展開も検討していく所存である。

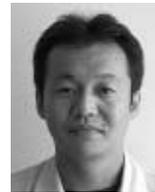
9. 謝辞

本開発を通じて、三菱電機（株）生産技術センター殿の協力を頂きました。

ここに感謝の意を表します。

筆者紹介

産機事業本部
島田製作所
高周波技術部
村松 護



産機事業本部
島田製作所
高周波技術部
栂田 学



産機事業本部
島田製作所
高周波技術部
松村 琢夫



産機事業本部
島田製作所
高周波技術部
板谷 隆博



産機事業本部
島田製作所
高周波技術部
石間 勉



大型ガラス基板対応枚葉洗浄装置の要素技術開発

北川 賢一
Kenichi KITAGAWA

米田 尚史
Takashi YONEDA

美濃 秀志
Hideshi MINO

最近の好調な液晶テレビの販売に牽引され、液晶パネル製造業界ではガラス基板の大型化が更に加速されている。大型液晶基板の生産に対応可能な洗浄装置の要素技術開発について報告する。基板大型化に伴うユーティリティーの増加と高スループットに対応するため、洗浄性能向上を目的とし、基板搬送姿勢の方式検討（水平搬送→傾斜化）を行った。傾斜させることによりランニングコスト削減、洗浄・乾燥効果の向上が期待できる。また、傾斜搬送方式に対応した高洗浄性能の洗浄ツールの開発を行った。

1. まえがき

最近注目を集めている、液晶テレビを始めとする薄型テレビの需要は、ますます大きくなると予想され、驚くべき勢いでブラウン管式テレビを駆逐している。更に日本国内では、2011年の地上波デジタル放送への転換が、薄型テレビへの買替えを加速すると予測されている。世界市場においては、液晶テレビが今後数年にわたり平均成長率10%以上を維持するであろうと言われている。また、モニター、ノートPC、テレビと開拓されてきた液晶パネルの市場に、大型広告・ビル広告用途の新しい市場の成長が見込まれ、今後益々需要が伸びると予想されている。

今年7月、某液晶パネルメーカーが次世代液晶パネルの工場新設を発表した。そのパネル製造に用いられるガラス基板のサイズは第10世代基板とい

われており、2010年量産開始を予定している。

ガラスサイズ大型化の変遷を表1に示す。テレビに牽引される形で液晶パネルは大型化しており、ガラス基板サイズは年々拡大している。

そこで今回、市場ニーズに対応した大型基板対応の枚葉洗浄装置の要素技術開発を行い、種々のデータや新しい洗浄ツールを得ることができた。本稿では、これら要素技術開発について報告する。

2. 要求性能

ガラス基板大型化に伴う課題を下記に示す。

- (1) 基板生産量を確保するために搬送速度を従来よりも速くする必要がある、そのために安定した搬送、洗浄、乾燥が困難になる。
- (2) 基板表面に滞留する液量が多くなるため、異物が再付着する可能性が高くなる。
- (3) 洗浄ツールが大型化、長尺化するため、均一な洗浄効果の確保が困難となる。
- (4) ユーティリティー所要量が増加し、ランニングコストが高くなる。
- (5) 装置設置面積（フットプリント）が大きくなり、ランニングコストが高くなる。

そのため、装置に求められる性能は、

- (1) 高スループット（高生産量）
 - (2) 高洗浄・高乾燥力
 - (3) 低ランニングコスト（省ユーティリティー）
- であり、その解決策の一つとして、基板の搬送姿勢を水平から傾斜へ変更する事を検討した。

表1 ガラスサイズ大型化の変遷

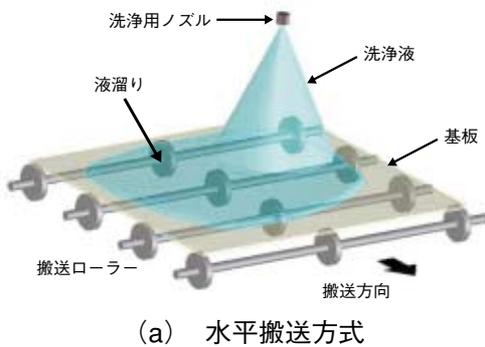
世 代	5世代	6世代	7世代	7.5世代	8世代	10世代
サイズ(mm)	1100×1250	1500×1850	1870×2200	1950×2250	2160×2460	2850×3050
面積(m ²)	1.4	2.8	4.1	4.4	5.3	8.7
面積比	1.0	2.0	3.0	3.2	3.9	6.3
質量(kg)	2.4	4.9	7.2	7.7	9.3	15.2
質量比	1.0	2.0	3.0	3.2	3.9	6.3

その理由を以下に記す。

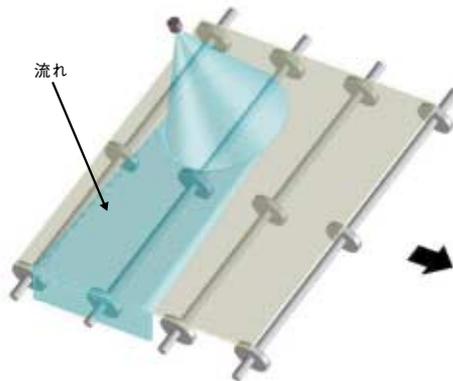
従来の枚葉式洗浄装置では、**図1 (a)** のように基板を水平状態で搬送し洗浄していた。それに対して傾斜搬送方式とは**図1 (b)** に示すように、基板を搬送方向に対して傾けて搬送する方式である。これにより、基板上に洗浄液の流れができ、滞留することがなくなるため異物の再付着を防止する。また、洗浄液が自然落下することにより基板上の液膜の厚さが薄くなるため、高い洗浄効果を確保することが可能となる（詳細は後述）。同時に、乾燥性が良くなるため、乾燥時間を短縮できる。特に従来の装置でたびたび問題となっていた最終乾燥工程において、エアナイフの液切り性能の改善が大いに期待できる。

洗浄液の自然落下により、次工程への洗剤の持出し量の削減、エアナイフへのエア供給量の削減など種々のユーティリティー所要量が削減可能で、ランニングコストの低減が実現できる。更に上記性能の向上により洗浄工程（プロセス）の短縮が可能となり、フットプリントの削減に繋がる。すなわちランニングコストの削減も期待できる。

本稿では、特に洗浄力向上への取り組みについて報告する。



(a) 水平搬送方式



(b) 傾斜搬送方式

図1 搬送方式

3. 傾斜搬送方式の検討

傾斜搬送方式を採用することにより、基板上の液挙動が水平時と異なり、洗浄効果に大きな影響を与える。基板上に付着した異物を除去する力は、基板上の液膜厚さが厚くなるほど急激に低下することが分かっている。つまり、液膜が厚い状態ではジェットなどの洗浄効果が薄れてしまう。洗浄ツールの能力を最大限発揮させるためには、液膜の制御が不可欠である。

高洗浄力（高乾燥力）を確保するためには、液膜の挙動を制御することが必要となる。基板上の液挙動を実験、シミュレーションなどにより確認したので、**図2** に示す。

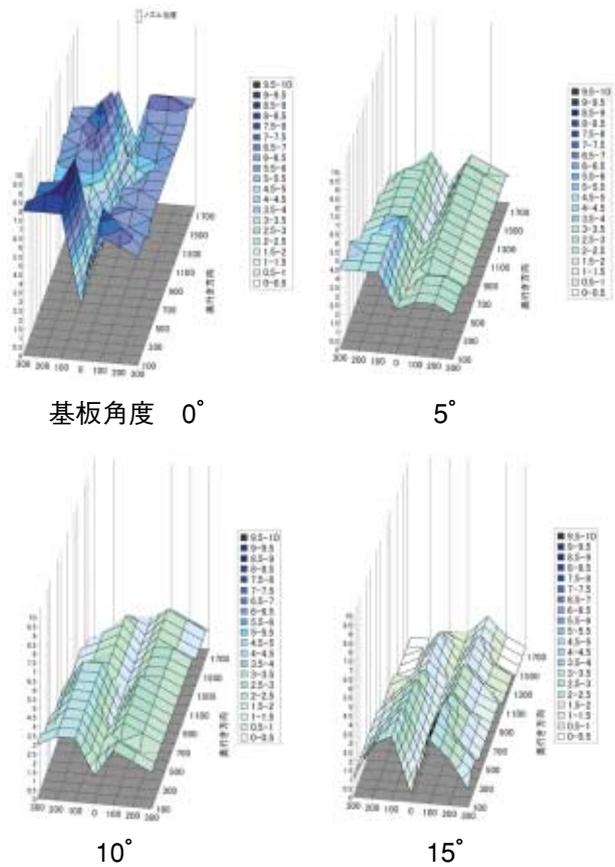


図2 液膜厚さ測定結果

本図は、基板上の液膜の厚さを測定した結果である。基板を床面に対して0° から15° まで傾斜させながらシャワーをかけ、流れる液膜の厚さを測定した。図の奥側から手前に向けて傾斜が付いている。中央谷部にライン状にシャワーをかけており、色の濃い部分ほど膜厚が厚いことを示す。

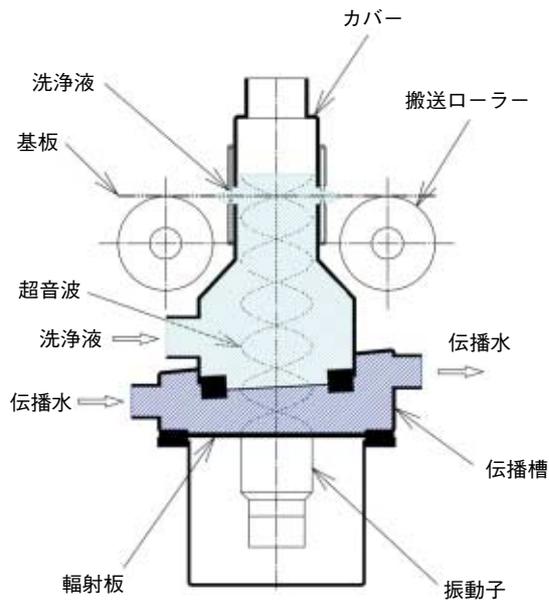
図より、角度が5° で急激に膜厚が薄くなるのが分かる。5° 以上は徐々に液膜が薄くなる傾向に

ある。これより、基板搬送角度を5°以上傾斜させることでシャワーなどの洗浄ツールが効率的に使用できることが推測できる。

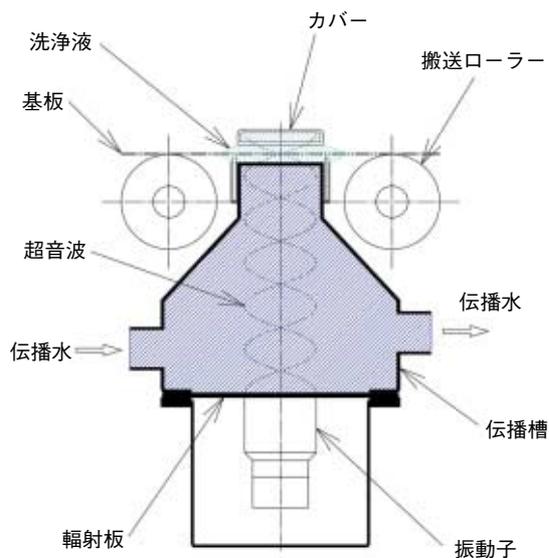
4. 洗浄ツール

以上のように傾斜搬送方式における液挙動の制御への取り組みについて報告したが、洗浄力の向上を求めて傾斜搬送方式に対応した洗浄ツールを開発した。

従来型のUS（超音波）ノズルの欠点を改良しつつ、傾斜搬送方式に対応したUSノズルを開発したので紹介する。



(a) 従来型ノズル (詳細図)



(b) 傾斜対応USノズル (詳細図)

図3 US（超音波）ノズル

4.1 洗浄メカニズム

図3 (a) は従来型のUSノズルである。以下にUSノズルによる異物除去メカニズムを示す。

振動子により励起された超音波振動が輻射板、伝播水を通じて洗浄液に伝播される。搬送ローラー上の基板がUSノズル内を通過する際、洗浄液から超音波振動が伝播される。基板表面において、超音波振動で発生したキャビテーション効果により、表面に付着した異物が除去される。

なお、輻射板は僅かずつではあるが、超音波振動によって侵食され、金属異物が発生する。この金属異物が基板に直接触れるのを避けるため、輻射板と洗浄液との間に緩衝層としての伝播槽を設けている。

通常、100kHz以下の低周波超音波を用いた超音波洗浄では、超音波振動により発生するキャビテーション現象による物理的除去力と、洗浄液の持つ化学的除去力が作用することにより、異物が除去されるといわれている。

そのため、それぞれの除去力を高める工夫がされるが、物理的除去力について注目し改良した結果を以下に示す。

4.2 音圧

超音波を発振することにより発生した定在波により、音圧の高い部分をつくることでキャビテーション現象が発生する。キャビテーション現象により液中に衝撃波が伝播され、異物を基板表面から剥離しているといわれている。音圧が高いほど強いキャビテーション現象が発生し、異物の除去力が高くなる。

従って、いかに音圧を高くできるかが洗浄効果を高めるポイントの一つである。

定在波は、洗浄液など媒体内部の流れが強いと発生しにくくなるといわれている。図4に従来型ノズルにおいて、供給する洗浄液流量を変化させた場合の音圧を示す。供給する流量が増加するに伴い音圧が低くなっている。すなわち、洗浄液の流速が増加するに伴い、音圧が低くなるのが分かる。洗浄液の流れにより定在波が発生しにくくなるためと思われる。

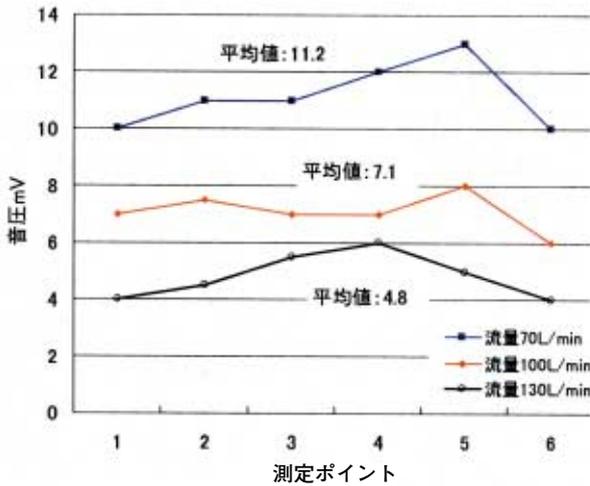


図4 流量と音圧との関係

図3 (a) に示すように、従来型USノズルではノズルと基板との隙間を満たすために大量の洗浄液を供給する必要がある。そのため、上記のように定在波が発生しにくくなり、音圧が低くなる。しかし、図3 (b) の傾斜対応USノズルでは、ノズルを密閉構造とすることによりノズル内部は常に液で満たされているため、流量を抑えることができ、その結果高い音圧を発生することが可能となった。基板との隙間に洗浄液を間接的に供給することにより、超音波を伝播させ洗浄する。

4.3 照射ポイント

次に基板に超音波を照射する位置であるが、一般的に液面より1/4波長（の奇数倍）の高さに音圧の高い定在波が存在するといわれている。すなわち、基板の上に、ある一定の厚みの液膜が必要である。従来型では、ノズル上部カバーに大量の洗浄液を供給することにより液膜厚を確保していた。しかし、基板の大型化により必要流量が多くなり、現実的ではない。これに対して、傾斜対応型では上部カバー形状の工夫により、常に基板上に1/4波長分の液が溜まり、基板表面の音圧を高くすることが可能となった。

4.4 傾斜対応

超音波振動を基板に伝播させるためには、基板と洗浄液が接している必要がある。しかし、図5に示すように、従来型ノズルを傾斜させると基板裏面側の洗浄液が基板まで満ちない領域が発生し、基板に超音波を十分伝播できなくなってしまう。

液面を盛り上げるには大流量が必要となるが、図4に示すとおり、洗浄液の流量が増大することにより音圧の低下をまねき、洗浄効果が低くなって

しまう。

それに対し、傾斜対応型ではノズル本体をBOX化し密閉構造としているので、ノズルが傾斜してもノズル内は伝播水で満たされるようになっている。この構造により、ノズルの傾斜に関わらず伝播槽を基板に近づけることが可能となり、少ない流量の洗浄液でも基板に接することができる。

二次的な効果として、洗浄液の流量を減らすことが可能となり、ユーティリティー削減効果もある。

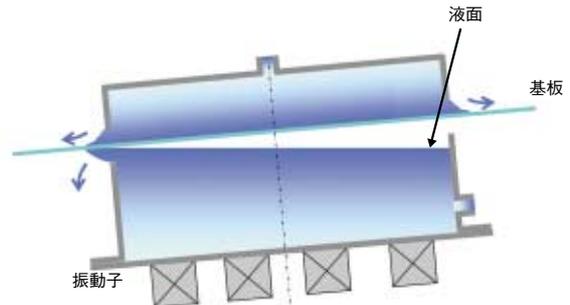


図5 従来型USノズル（傾斜時）

基板の位置における超音波の音圧を測定した結果を図6に示す。傾斜対応USノズルの音圧は高く、従来型と同等以上の洗浄効果が見込まれる。なお、傾斜対応ノズルの結果は傾斜角度5～15°の平均値である。

今後、洗浄効果の確認および耐久性試験など行う予定である。

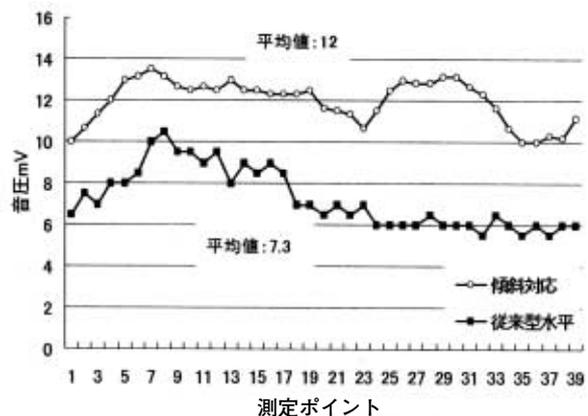


図6 音圧測定結果

5. むすび

新しい搬送方式を採用した大型液晶基板向け洗浄装置の要素技術開発について報告した。本開発の成果を取り入れた装置は、既に顧客への納入も

済み、生産ラインにて稼働中であり、フィールド評価中である。また、スループットの短縮、ランニングコストの削減については現在評価中である。なお、本稿に記載した内容は既に特許出願済みである。

市場の要求として、装置のコストダウン、メンテナンス性向上など、更なる能力UPを満たす必要がある。今後も市場ニーズに合った次世代基板向けの洗浄装置を開発していきたい。

筆者紹介

産機事業本部
島田製作所
洗浄技術部
北川 賢一



産機事業本部
島田製作所
洗浄技術部
米田 尚史



産機事業本部
島田製作所
洗浄技術部
美濃 秀志



超音波洗浄用発振器

辻 寛樹
Hiroki TSUJI

西澤 克広
Katsuhiko NISHIZAWA

安藤 英一
Eiichi ANDO

信頼性の高い超音波洗浄を実現するには、常に被洗浄物が投入された洗浄槽の共振周波数で安定した超音波出力を印加する必要がある。そのためには、超音波発振器の機能として、定出力制御機能と共振周波数追尾機能が必要不可欠である。

本文では上記課題を解決するために超音波洗浄の概要、超音波発振器の構成、回路手法について説明する。

1. まえがき

超音波洗浄用発振器の一般的な負荷は、超音波振動子が接着された輻射板を槽底面に取り付けた超音波洗浄槽である。これは、洗浄槽内の液の種類、温度、深さおよび被洗浄物の有無、種類によって常に共振周波数が変化する。

このため、いくつかの超音波発振器メーカーでは、信頼性の高い超音波洗浄を実現するために超音波出力が常に一定となるような定出力制御機能と、時々刻々変化する共振周波数を追尾するための共振周波数追尾機能を有した超音波発振器を販売している。

当社の販売している超音波発振器においても、一部の機種では定出力制御機能および共振周波数追尾機能を有している。

そこで、全機種に対して定出力制御機能および共振周波数追尾機能を有することができるように、新型の超音波発振器を開発している。

2. 超音波洗浄とは⁽¹⁾

超音波洗浄のメカニズムは複雑で、決定的な理論は確立されていないが、一般的に超音波を洗浄液中に照射することによって生じるキャビテーション、加速度、直進流などが被洗浄物の汚れに作用して、汚れの層を剥離、分散、乳化させることによると考えられている。

以下に、各洗浄原理について述べる。

①キャビテーション

洗浄液中に超音波を照射すると、その超音波振動は洗浄液に対して、ある瞬間には減圧力として働き、次の瞬間には圧縮力として働く。

この繰り返しの中で洗浄液に減圧力が作用すると、洗浄液中に真空の空洞が発生し、洗浄液に溶け込んでいる気体を取り込んで気泡となる。そして、次の瞬間に気泡には圧縮力が働いて押しつぶされ、気泡は消滅する。

このとき、今まで気泡を囲んでいた液分子が衝突するので、強い衝撃波が洗浄液中に発生する。この衝撃波により、被洗浄物に付着している汚れを直接破壊して洗浄液中に分散させる。

②加速度

洗浄液中に超音波を照射することにより、液粒子は振動する。その際に発生する加速度は周波数が高くなるにつれて大きくなる。

例えば、1ミクロン以上の異物除去洗浄に用いられる周波数28kHz、放射音波強度1W/cm²の液粒子の加速度は重力加速度の1,500倍に達し、サブミクロンの異物除去洗浄に用いられる周波数1MHz近傍、放射音波強度1W/cm²の液粒子の加速度は重力加速度の10万倍になる場合もある。

このような大きな加速度が、被洗浄物表面の汚れを振り切っていると考えられている。

③直進流

洗浄液中に超音波を照射すると、音の伝播方向に流れが生じる。これを直進流といい、これにより、被洗浄物付近の洗浄液の攪拌が行われる。

その結果、洗浄液が入れ替わり、溶解速度を高めるとともに、汚れの運搬もされている。

3. 超音波発振器の構成⁽²⁾

図1に超音波発振器の構成を示す。

①発振部

マイコンとシンセサイザによる発振方式を採用し、マイコンに設定した発振周波数の信号を出力

する。

②励振部

発振部からの発振周波数信号を増幅し、出力段 FETのゲート端子へ振り込み、出力段を発振周波数でスイッチング動作させる。

③出力段

発振部および励振部からの発振周波数信号で FETをスイッチング動作させ、出力トランスに高周波出力を伝送する。

④出力トランス

出力トランス1次側と出力トランス2次側のインピーダンスマッチングと定格出力のパワー伝送を兼ねている。

出力トランス2次側のインピーダンスは、力率補正回路と超音波振動子のインピーダンスにあわせる。

⑤力率補正回路

圧電型超音波振動子は容量性負荷である。ゆえに、共振周波数で駆動させた時に高周波電圧波形と高周波電流波形の位相差をなくすようなインダクタを接続して、インピーダンスマッチングをとる必要がある。

⑥超音波振動子

電氣的なエネルギーを機械的な振動エネルギーに変換する素子。図2に洗浄用超音波振動子の外観を示す。



図2 洗浄用超音波振動子

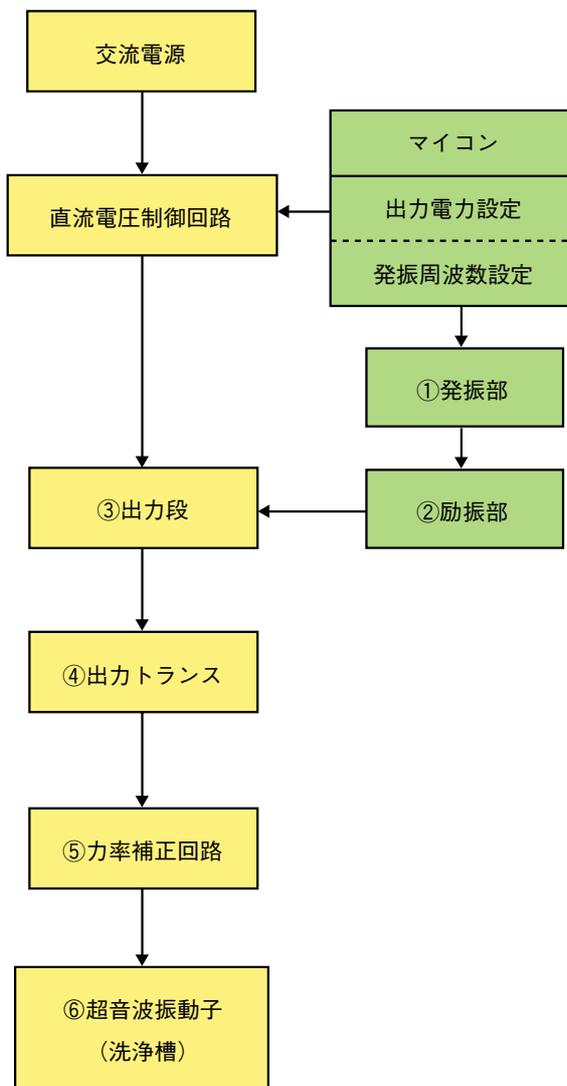


図1 超音波発振器の構成

4. 定出力制御機能

定出力制御機能は、超音波洗浄槽内の状態の変化による負荷変動、超音波発振器に供給する電源電圧の変動に対して、常に安定した超音波出力を印加するために必要な機能である。

図3に定出力制御機能を実現するための構成を示す。また、動作原理は以下ようになる。

- ①超音波振動子に入力される出力電力値を検出する。
- ②マイコンで設定している設定出力電力値と検出した実際の出力電力値を比較する。
- ③前②での結果がずれていた場合、出力段に印加する電圧を直流電圧制御回路により増減させて、実際の出力電力値を設定値に近づくように補正する。前①へ戻り、本サイクルを繰り返す。

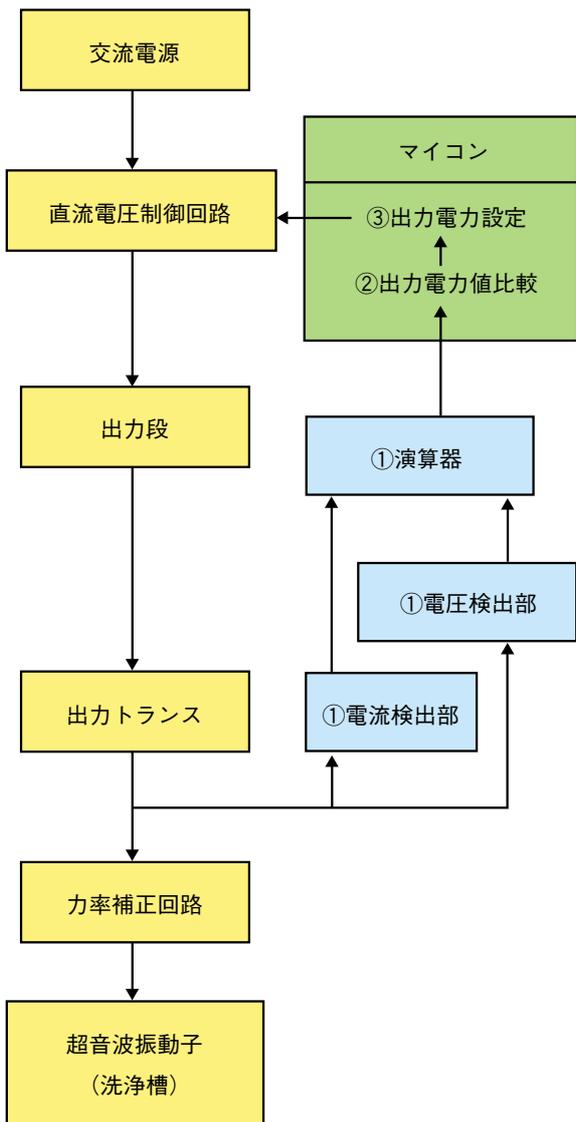


図3 定出力制御機能の構成

5. 共振周波数追尾機能

共振周波数追尾機能は、洗浄液の種類、温度、深さおよび被洗浄物の有無、種類が変化して共振周波数が変動しても、自動的に最適な発振周波数、すなわち、変動した共振周波数を追尾して、新たな発振周波数として選択して発振するために必要な機能である。

図4に共振周波数追尾機能を実現するための構成を示す。また、動作原理は以下ようになる。

- ①設定周波数に対して、発振周波数を例えば±1kHz、STEP：0.1kHzの条件で掃引し、掃引範囲内のおのおのの発振周波数における出力電力値を検出する。
- ②掃引範囲内のおのおのの発振周波数における出力電力値を検出するたびに比較し、大きい方の出力電力値と発振周波数を記憶する。

- ③掃引終了後、最終的に出力電力値が最大であったときの発振周波数を設定周波数としてセットし、発振させる。
発振開始してから一定時間後、再び前①に戻り、本サイクルを繰り返す。

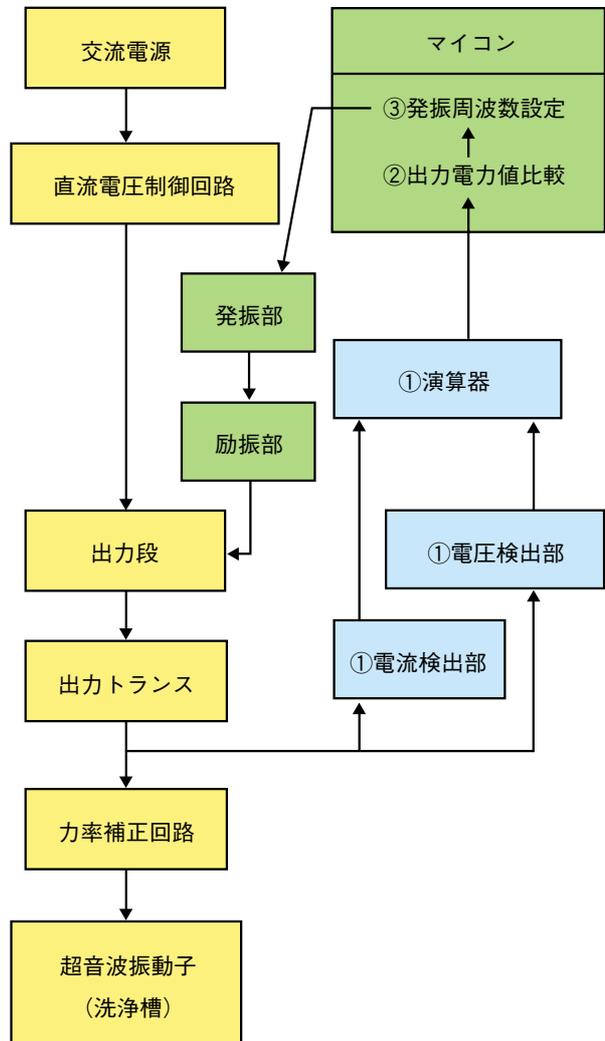


図4 共振周波数追尾機能の構成

6. 新型超音波発振器の主要基本仕様

- ・電源電圧 : 単相200V ± 10%
- ・消費電力 : 2.4kVA以下
- ・出力電力 : 定格600W/1200W
- ・発振周波数 : 25 ± 5kHz (公称 28kHz)
35 ± 5kHz (公称 39kHz)
70 ± 5kHz (公称 75kHz)
110 ± 5kHz (公称 100kHz)
- ・発振機能 : 単一発振, SWEEP発振, SHOT発振
- ・定出力制御機能 (APC: Auto Power Control)
- ・共振周波数追尾機能 (AFC: Auto Frequency Control)

- ・使用環境：保証温度0～40℃
保証湿度80%R.H.以下

図5に新型超音波発振器の外観を示す。



図5 新型超音波発振器

7. むすび

今後、定出力制御機能および共振周波数追尾機能を有した超音波発振器をラインナップし、より洗浄性能の高い、また、使い勝手のよい洗浄装置を目指す。

8. 参考文献

超音波工業会編：“はじめての超音波”，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
辻 寛樹



産機事業本部
島田製作所
洗浄技術部
西澤 克広



産機事業本部
産業機器事業部
技師長
安藤 英一



気象観測用C帯レーダーフィルター

■概要

本製品は気象観測用レーダーシステムで使用されるC帯レーダーフィルターです。

近傍スプリアス除去用の狭帯域帯域通過フィルター（BPF）と2倍波，3倍波除去用のハーモニックフィルター（LPF）からなります。

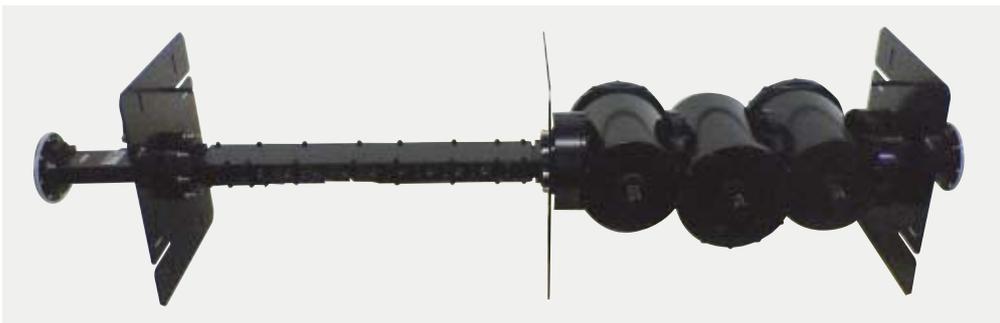
レーダーシステムで発生する高レベルのスプリアス（不要電波）を抑圧し，他の通信機器への影響を及ぼすことを防止します。

■特長

- ①超狭帯域フィルターであり，近接した周波数において高い減衰量を有しております。
- ②円形導波管TE_{01n}モード共振器を採用することにより高電力，低損失に対応しております。
- ③円形導波管共振器で発生する不要モード共振を除去するために，比較的通過帯域の広い矩形導波管共振器を組み合わせることによって広帯域の減衰特性を実現しています。
- ④ハーモニックフィルターは吸収型を採用することにより高電力に対応しています。

■主要性能

中心周波数 (fo)	5330～5370MHzの指定の一波
通過帯域幅 (fw)	fo±1.0MHz
挿入損失	fo±1MHzにて 1.8dB以下 (LPFを含む) 1.5dB以下 (LPFを除く)
減衰量	fo± 5MHzにて10dB以上 fo±10MHzにて20dB以上 fo±60MHzにて60dB以上 2×fwおよび3×fwにて60dB以上
運用電力	250kW (ピーク) : 0.22～0.25MPa
全長	帯域通過フィルター : 1200mm ハーモニックフィルター : 930mm
質量	帯域通過フィルター : 50kg以下 ハーモニックフィルター : 40kg以下
動作周囲温度	0～+40℃ (動作時), 0～95%RH



帯域通過フィルター外観図



ハーモニックフィルター外観図

問い合わせ先
電子機器事業部
TEL 042-481-8518

IMT-2000用中継増幅装置

■概要

中継増幅装置は、携帯電話基地局と同移動局からの電波を中継し、電波が伝わりにくいビル内や地下街などにおける通信品質を改善するために使用する製品です。

本製品には、対移動局アンテナを内蔵した小型中継増幅装置と対移動局アンテナを最大6個まで接続可能とする拡張型中継増幅装置の2機種があり、エリア状況に応じて最適なシステムを構築することが可能です。

■特長

1.小型中継増幅装置

- ①対移動局アンテナを標準で内蔵しています。設置状況により「対移動局アンテナ切換スイッチ」の設定にて外部アンテナを使用することも可能です。
- ②増幅部には過出力保護機能を搭載しており、装置の異常時には出力断となるため異常状態での運用を回避することができます。
- ③小型中継増幅装置用治具を接続することにより下り受信信号レベルの確認が可能です。

2.拡張型中継増幅装置

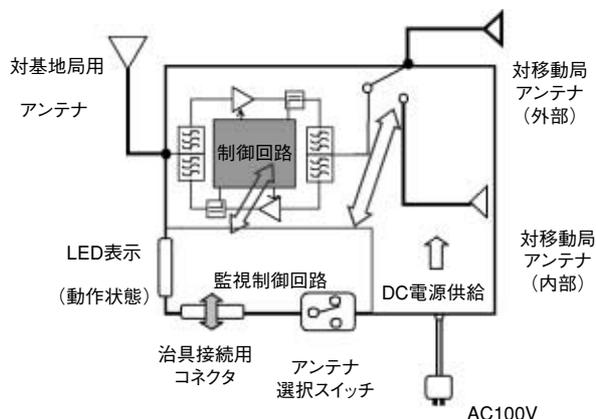
- ①中継増幅装置1台に対し最大6台までのアンプユニットが接続できることにより、1システムで複数の対象エリアをカバーすることが可能です。
- ②対基地局アンテナ～対移動局アンテナ間の利得が一定になるように設計されているため、施工時の電気調整が不要です。
- ③アンプユニットへの給電は、中継増幅装置より同軸ケーブルを介して行われるため、商用電源AC100Vを中継増幅装置に供給するだけで全てのユニットが動作します。
- ④中継増幅装置は過出力保護機能を搭載しており、装置異常時には出力断となり警報信号を出力します。これにより異常状態での運用を回避することができます。

■小型中継増幅装置 主要性能

項目	下り	上り	
周波数	2GHz帯		
最大出力電力	+5dBm	+17dBm	
利得	45dB		
ACLR	5MHz離調	-45dBc以下	-33dBc以下
	10MHz離調	-50dBc以下	-42dBc以下
消費電力	20VA以下/AC100V		
質量	0.6kg以下		
外形	130×90×38 mm以下		
周囲温度	0～+40℃		



小型中継増幅装置 外観



小型中継増幅装置 ブロック図

■ 拡張型中継増幅装置 主要性能
(中継増幅装置・アンプユニット)

項目		下り	上り
周波数帯域		2GHz帯	
最大出力電力		+5dBm	+17dBm
利得		45dB	
ACLR	5MHz 離調	-45dBc以下	-33dBc以下
	10MHz離調	-50dBc以下	-43dBc以下
消費電力		35VA以下/AC100V	

項目	中継増幅装置	アンプユニット
質量	2.2kg以下	0.7kg以下
外形	210×210×40 mm 以下	80×80×30mm 以下
周囲温度	0～+40℃	

(アンテナ)

項目	対基地局用 アンテナ	対移動局用 アンテナ
アンテナ利得	6dBi以上	0dBi以上
V S W R	2.0以下	
質量	1.0kg以下	0.5kg以下
外形	150×150×40 mm 以下	φ90mm以下



中継増幅装置



アンプユニット

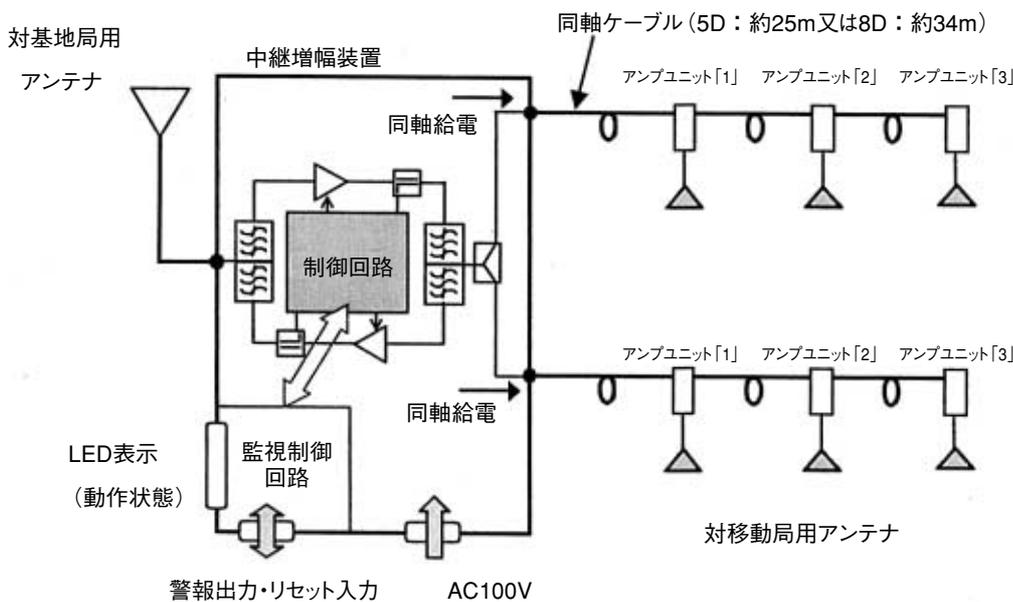


対基地局用アンテナ



対移動局用アンテナ

拡張型中継増幅装置 外観



拡張型中継増幅装置 ブロック図

問い合わせ先
電子機器事業部
TEL 042-481-8518

FWA用18GHz帯フロントエンドモジュール

■概要

本製品は18GHz帯FWA (Fixed Wireless Access) 用無線伝送装置に組み込まれるRFモジュールです。無線伝送装置の主な用途は、インターネットアクセス、IPネットワーク、WAN/LAN、セキュリティーモニターなどです。

■特長

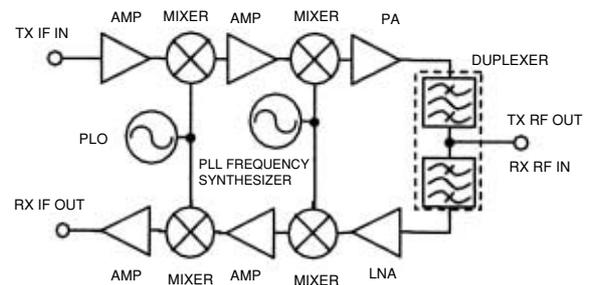
- ①小型DUPLEXERを内蔵したFDD (周波数分割複信) 方式による送受信モジュールです。
- ②局部発振器は、PLL周波数シンセサイザ方式を採用しており、RF周波数を10MHzステップ (オプションで1MHzステップ) で可変することができます。また、良好な周波数安定度特性、低位相雑音特性を実現しています。
- ③送信部PA (Power Amplifier) は、ベアチップ部品をパッケージ化し、高密度実装することにより小型化、低コスト化を図っています。
- ④DUPLEXERの低損失化により、良好な送信歪み特性、受信NF (雑音指数) 特性を実現しています。

■主要性能

名称	項目	性能
送信部	IF入力周波数	880MHz
	RF出力周波数	17.71~18.13GHz 19.27~19.69GHz
	変換利得	32~38dB
	ACPR (+20dBm出力, 64QAM)	-44dB
受信部	RF入力周波数	19.27~19.69GHz 17.71~18.13GHz
	IF出力周波数	680MHz
	変換利得	12~18dB
	雑音指数	4dB
局部発振器部	位相雑音 @10kHz offset	-76dBc/Hz
	@100kHz offset	-103dBc/Hz
	周波数安定度	±2.5ppm
電源部	DC+8V, DC+5V, DC-5V	合計12W (定常)
機構	外形 (W×H×D)	140×28×180mm
	質量	1.3kg
環境	温度範囲 (ケース温度)	-40~+65°C



RF モジュール 外観



RF モジュール 構成図

問い合わせ先
電子機器事業部
TEL 042-481-8518

FWA用23GHz帯フロントエンドモジュール

■概要

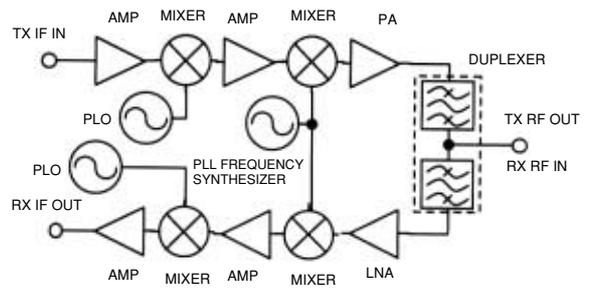
本製品は23GHz帯FWA (Fixed Wireless Access) 用無線伝送装置に組み込まれるRFモジュールです。無線伝送装置の主な用途は、インターネットアクセス、IPネットワーク、WAN/LAN、セキュリティーモニターなどです。

■特長

- ①小型DUPLEXERを内蔵したFDD (周波数分割複信) 方式による送受信モジュールです。
- ②局部発振器は、PLL周波数シンセサイザ方式を採用しており、RF周波数を1MHzステップで変更することができます。
また、良好な周波数安定度特性、低位相雑音特性を実現しています。
- ③送信部PA (Power Amplifier) は、ベアチップ部品をパッケージ化し、高密度実装することにより小型化、低コスト化を図っています。
- ④DUPLEXERの低損失化により、良好な送信歪み特性、受信NF (雑音指数) 特性を実現しています。



RF モジュール 外観



RF モジュール 構成図

■主要性能

名称	項目	性能
送信部	IF入力周波数	315MHz
	RF出力周波数	21.8~22.395GHz 23.0~23.595GHz
	変換利得	31~39dB
	ACPR (+17dBm出力, 64QAM)	-44dB
受信部	RF入力周波数	23.0~23.595GHz 21.8~22.395GHz
	IF出力周波数	140MHz
	変換利得	11~19dB
	雑音指数	5dB
局部発振器部	位相雑音 @10kHz offset @100kHz offset	-76dBc/Hz -101dBc/Hz
	周波数安定度	±2.5ppm
電源部	DC+16V, DC+8V, DC+5V, DC-5V	合計16W (定常)
機構	外形(W×H×D)	140×30×180mm
	質量	1.5kg
環境	温度範囲(ケース温度)	-40~+65℃

問い合わせ先
電子機器事業部
TEL 042-481-8518

IH用小型ハンディCT

■概要

IH (Induction Heating) は身近なものになり、産業用としても新方式加熱として積極的に採用されています。

最近、用途の多様化とともに局所加熱を小型かつ可動して行う要求も多く、従来のCT (Current Transformer) シリーズに、小型ハンディCTをメニュー追加しました。

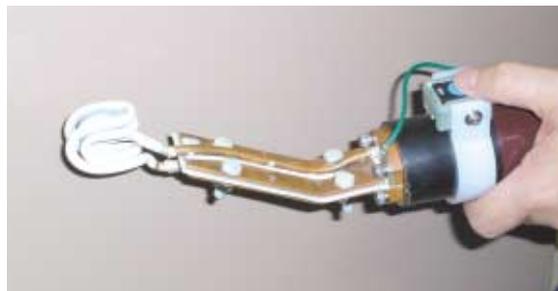
■特長

- ①フレキシブル可能な超小型CT
- ②当社標準インバータに接続
- ③独自の絶縁構造により信頼性アップ
- ④接続コイルのインダクタンスは0.4 μ Hまで対応

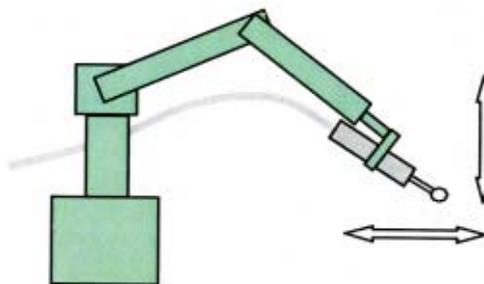


■用途/用法

- ①人が持って直接加熱作業



- ②産業用ロボットによる自動工程



■主要性能

型名	定格kVA	周波数	一次二次巻数比	外形寸法 (mm)	冷却水 (L/min)	質量 (kg)
CT - 10C	100kVA	20~80kHz	10:1	ϕ 50×L300	6	4
CT - 20C	180kVA	20~50kHz	12:1	ϕ 70×L320	8	6
CT - 30 / 40C	200kVA	20~40kHz	10:1	ϕ 85×L320	8	10

注) 周波数によっては定格kVAが低下する場合があります。

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ワンサイクル洗浄装置 (SL-301A) 環境対応型精密洗浄システム SOL-LABO (ソルラボ) シリーズ

■概要

金属・電子部品洗浄・乾燥用として、次世代フッ素系洗浄剤「ソルブ55」「ソルブ55HG」に対応した環境対応型精密洗浄装置SOL-LABO (ソルラボ) シリーズにあらたにワンサイクル洗浄装置 (SL-301A) が加わりました。

本装置は、2007国際洗浄産業展にて、来場者の好評を得ており、出展と同時に、販売も開始しました。

■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除去洗浄
- 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精密電子部品・光学ガラス基板などの仕上げ乾燥

■装置外観



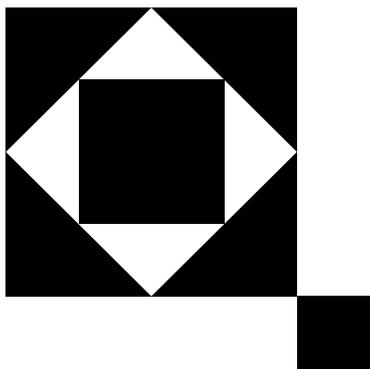
■特長

- ①金属・電子部品精密洗浄用ソルブ洗浄剤に対応
 - ・ソルブ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です。
- 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液消費量を考慮した装置設計
 - ・フリーボード比を高く設計し、1槽式にすることで開口面を少なくし、消費量をさらに少なくしました。
- ④昇降機構付き
 - ・カゴをセットするだけで、洗浄から乾燥まで自動で行います。
- ⑤小型・省スペース
 - ・W1400×H2225×D870 (mm)
- ⑥多彩なオプション
 - ・オプション: 超音波発振器/振動子, 冷却ユニット, ガス警報器, 油水分離ユニット, 脱気装置ほか
- 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。

■2007国際洗浄産業展でのデモ風景



問い合わせ先
産業機器事業部
TEL 042-481-8525



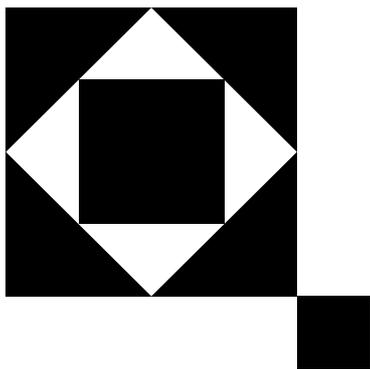
特許登録紹介

(2006年10月～2007年9月登録分)

登録番号	発明の名称	内 容	備 考
3920420	E H 整合器、マイクロ波自動整合方法、半導体製造装置	<p>立体回路を小型化しながら十分な耐電力性を確保し、またインピーダンス整合動作を高速に行える。</p> <p>従来のスタブ整合器では、大電力なマイクロ波のインピーダンスを整合することが困難であり、また整合器を構成する立体回路の寸法が大型化するという問題点があった。更に自動整合動作が困難であり、導波管内部の電力分布すなわち定在波を検出できなく、検波ダイオードおよびアナログ回路の交換作業が極めて煩雑だった。</p>	富士通株式会社殿および富士通VLSI株式会社殿との共同出願
3926533	処理装置	<p>処理気体が外部に漏れ出すことを防止し、基板の処理効率を向上したうえ、消費される処理気体の量が膨大な量になることを回避し、処理室の内部空間に充填されている処理気体が外部に漏れ出すことを回避できる。</p> <p>従来は基板の処理効率が低下し、消費される処理気体が膨大な量となり、かつ処理室の内部空間に充填されている処理気体が搬入出口から処理室の外部に漏れ出す恐れがあった。</p>	三菱電機株式会社殿との共同出願
3947703	液体秤量装置	<p>処理槽内に正確に秤量した薬液と純水とを供給でき、安定した処理を実現したうえ、純水の使用量を低減して低コスト化できる。</p> <p>従来は装置全体の製造コストが高くなり、かつ一定した薬液による処理が困難であり、更に純水の使用量が多くなるという不具合があった。</p>	
3863496	プリント基板の接地用導体への固定接続部およびプリント基板への流れ止め隆起部の形成方法	<p>接地導体パターンと接地用導体との電気的接続状態での固定を簡単に行うことができ、かつ、工程増加やコストアップを招くことなく、流れ止め隆起部の形成を行うことができる。</p> <p>従来は導電ゴム層を使用しているので、多くの工程を必要とすると共にコスト高の要因になる問題点があった。</p>	
3875965	無線受信装置	<p>判定帰還形等化器の発散を防ぎ、かつ判定帰還形等化器の発散時におけるフレーム非同期状態から短時間に復旧できる。</p> <p>従来はリセット動作後、判定帰還形等化器前段の回路が十分収束する時間を置いた後、判定帰還形等化器を動作させる必要があり、非同期状態からの復帰が非常に遅くなっていた。また判定帰還形等化器が発散していない非同期状態においてもリセット制御回路は判定帰還形等化器にリセット動作を行ってしまうという問題があった。</p>	三菱電機株式会社殿およびドコモ・テクノロジ株式会社殿との共同出願
3863867	無線装置	<p>制御局の基板と基地局の外部アンテナとの修理、保守及び試験を制御局に接続したセンター局まで確認する必要がなく、かつ容易に迅速な保守が行え、保守性、操作性が向上し、更に制御局から無線局のほぼ全ての装置を選択して監視し、装置全体を運用管理できる。</p> <p>従来は保守性または操作性に難点があり、かつ、基地局および制御局で直接確認して修理、保守できないという問題があった。</p>	ドコモ・テクノロジ株式会社殿との共同出願

登録番号	発明の名称	内 容	備 考
3964862	洗浄乾燥装置および洗浄乾燥方法	<p>多量の溶剤を使用することなく、短時間で被洗浄物の洗浄を行うことができる。</p> <p>従来は多量の溶剤の使用、装置全体の大型化、多量のエネルギーの消費が問題点であった。また、洗浄槽内の溶剤を全て排液するのに時間がかかり、洗浄が終了するまでに長時間を要してしまい、装置のスループットが遅くなるという問題点があった。</p>	
3944485	基板チャッキング装置	<p>チャックの垂直腕部の間隔を自由に変えることができるので、サイズの違う基板を自由に保持することができ、また基板をチャックする際の位置決めが極めて容易であり、更に構造が単純で故障の恐れが少く、長時間安定的に使用可能である。</p> <p>従来は基板の位置決めは高精度の機構を用いて行わねばならず、組立調整も高精度で行う必要があった。また基板のサイズが変わるたびにチャックを交換し、その都度高精度の組立調整を行う必要があった。</p>	
3944484	基板チャック装置	<p>基板とチャックピンとの接触圧力の低下は起こらず、チャックピンで基板を確実に保持し続け、基板の脱落を阻止する。</p> <p>従来は回転速度の増加に伴い、チャックピンとチャックアームの歪み量の合計が基板保持溝の深さを超えてしまい、基板がチャックピンから脱落してしまうため、基板の処理効率向上の大きな妨げとなっていた。</p>	
3960612	マイクロ波照射処理装置	<p>処理物全体における温度上昇および処理物全体の温度分布にムラが無くなり、処理後の処理物における乾燥ムラまたは加熱ムラを確実に防いで均一に処理することができる。</p> <p>従来は搬送する処理物の上下部だけにマイクロ波を照射する方式が採られているため、処理物全体における均一な温度上昇および処理物全体の温度分布にムラが発生しやすく、処理後の処理物に乾燥ムラ、加熱ムラが生じてしまうという不具合があった。</p>	
3961516	非接触温度計測装置	<p>従来の赤外線温度計測装置では計測することができなかった遮へい物内部の物体または遮へい物に遮られた物体の温度を正確に計測することが可能である。</p> <p>従来は遮へい物内部の物体または遮へい物に遮られた物体の温度を正しく計測することができないという問題があった。</p>	
3923491	マイクロ波照射処理装置	<p>搬送手段から落下した被処理物に起因して生じる不具合の発生を未然に防止し、かつ、被処理物を安定して搬送することができる。</p> <p>従来は作業が煩雑となって、作業時間に長時間を要し、処理効率が悪かった。また加熱処理をしたいベルト上の被処理物に効果的にマイクロ波を照射することができなかった。更にベルトは搬送方向の左右のどちらかに偏って蛇行し、被処理物を搬送できなくなるという問題点があった。</p>	

登録番号	発明の名称	内 容	備 考
3995256	同軸給電線方式による監視信号の伝達方式および方法	<p>結合器の分配比に左右されることなく、子機が監視信号の検波に要するダイナミックレンジも緩和でき、またRFケーブルの減衰が低減され、通信距離を拡大でき、更に監視用の回路を簡素化でき、かつ、子機の接続台数及び消費電流の制限を緩和できる。</p> <p>従来は子機の数が増加した場合、RFケーブルに流れる電流容量も増加させる必要があるが、子機の接続数量に制限があった。</p>	株式会社エヌ・ティ・ティ・ドコモ殿との共同出願
3999039	差周波数検出回路	<p>2つのデジタル入力信号の周波数に関係なく、確実にその差周波数を取り出し、デューティが50%の波形で出力することができる。</p> <p>従来、乗算器や排他的論理和回路の出力にはいろいろな周波数成分が含まれているため、確実に差周波数のみを取り出すのは容易ではなかった。また、これらの中間周波数信号を生成するいずれの回路でも、選択度をシビアにするためにバンドパスフィルタを再設計しなければならない問題点があった。</p>	
4000359	パラボラアンテナ用一次放射器	<p>反射損失の低減を図って、優れた受信特性を得ることができる。</p> <p>従来は突出部が設けられた箇所防水カバーの外面にへこみが生じるため、雪が堆積して受信障害が生じるおそれがあった。また、防水カバーの内面に突出部を形成すると、防水カバーの形状が複雑になるため、防水カバーの製造コストが高くなる問題点があった。更に突出部で生じる誘電損失が大きくなる問題もあった。</p>	
4011467	高周波誘導加熱装置	<p>板状導電性材料に流れる軸電流を低減して、板状導電性材料の幅方向における温度分布の均一化を図ることができる。</p> <p>従来は、板状導電性材料を加熱した際に、幅方向における温度分布を均一にすることが極めて困難であるという問題点があった。</p>	



営業分野及び主要製品

【電子部門】

- 通信機器
基地局関連機器
通信エリア拡張装置
衛星通信機器
ミリ波RFモジュール
- 電子機器
レーダ用RF機器
レーダ用シミュレータ
- 立体機器
スプリアス抑圧フィルター
ロータリージョイント
導波管コンポーネント
通信・放送用各種フィルター

【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
液晶パネルウエット処理装置
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
半導体ウェーハウエット処理装置

島田理化技報編集委員会

委員長 村上 圭司
委員 槇 敏夫
安藤 英一
森谷 陽一
村上 勝
土屋 克夫
畠 一男
石間 勉
小野 博昭
事務局 伊東 寿訓
竹内 文雄
丸山 正春
佐田 修

島田理化技報 No.19 (無断転載を禁ず)
2007年12月8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 東京都中央区湊3-5-10
株式会社 三菱電機ドキュメンテクス
TEL 03-5566-0681

