

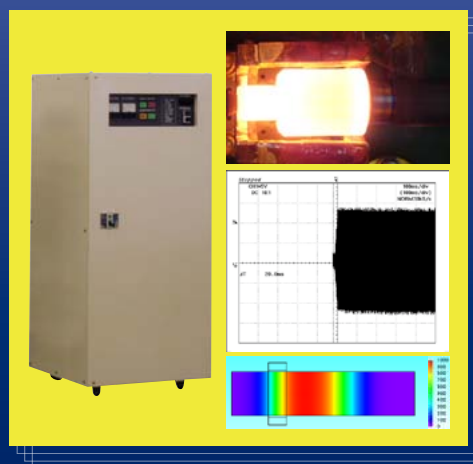
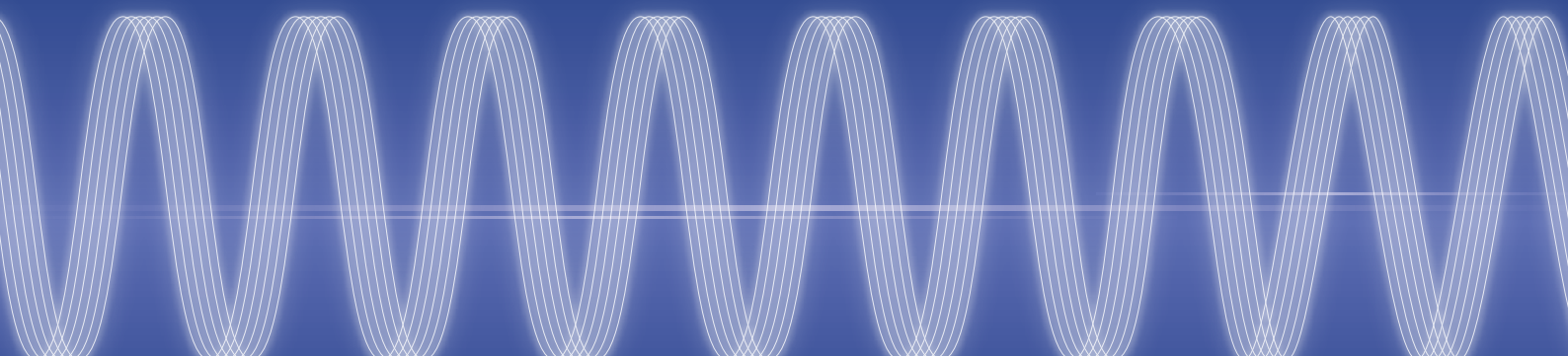
# 島田理化技報

No.24(2014)

SPC Technical Report

**特集**

- 半導体アンプ技術(SSPA)
- 自動車関連の熱処理技術



## 目次

## ■巻頭言

|                |   |
|----------------|---|
| 製品開発の転換点 ..... | 1 |
| 齋藤 淳           |   |

## ■寄稿

|                               |   |
|-------------------------------|---|
| 高周波SSPAの技術動向とシステム展開 .....     | 2 |
| 三菱電機株式会社 電子システム事業本部 技師長 宮崎 守泰 |   |

## ■特集論文 半導体アンプ技術(SSPA)

|  |   |
|--|---|
| 高周波ソリッドステートアンプの設計技術 .....                        | 9 |
| 小川 二良 稗田 忠晴 宮崎 慎也 會見 春樹 田添 晃<br>浅利 哲 四分一 浩二 黒川 孝 |   |

## ■開発品紹介・製品紹介

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| ミリ波帯広帯域ミキサ .....                  | 21 |
| Ka帯E/O変換器, 光ロータリージョイント .....      | 22 |
| 広帯域(2~8GHz)ダブルリッジホーンアンテナ .....    | 23 |
| 広帯域(2~8GHz)高出力AMP .....           | 24 |
| 広帯域(8~12GHz)Low Noise Amp .....   | 25 |
| 800MHz帯送受信増幅装置(送受ダイバーシティ対応) ..... | 26 |

## ■特集論文 自動車関連の熱処理技術

|                        |    |
|------------------------|----|
| 自動車関連の熱処理技術への取組み ..... | 29 |
| 谷口 直純                  |    |

|                   |    |
|-------------------|----|
| 鋼管焼入れ用高周波電源 ..... | 33 |
| 守上 浩市 篠塚 保志 片岡 辰雄 |    |

## ■製品紹介

|                     |    |
|---------------------|----|
| 切り板プレス前誘導加熱装置 ..... | 39 |
|---------------------|----|

## ■特許紹介

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| リミッタ装置, レーダシステム 特許第5235031号 ..... | 40 |
| 金型の加熱・冷却構造 特許第5243362号 .....      | 41 |

|               |    |
|---------------|----|
| ■特許登録紹介 ..... | 43 |
|---------------|----|

## ■ 巻頭言

### 製品開発の転換点



代表取締役社長  
齋藤 淳  
Jun SAITO

創業の1946年以来、当社は多くのお客様にマイクロ波・ミリ波技術、高周波誘導加熱技術（IH）を軸とした製品を提供させて頂き成長して参りました。この間、国内の通信インフラ構築、官公庁向けレーダ、電子応用機器の開発等に参加させていただき、売上規模の確保を図ってきておりましたが、通信インフラの一巡と官公庁の予算の縮減の影響もあり規模の確保は年々厳しくなってきました。また、産業機械分野では、国内景気の回復傾向があるものの、生産の海外移転が進み、国内の新規設備投資や更新需要は回復の兆しが見えてきません。これらの状況を踏まえ、既存分野の売上確保と新規事業の拡大を目指し、製品開発の方針も見直す時期に来ております。当社の保有技術の中で「強い技術をより強く」、「強い技術を核とした新規分野の事業創出」を念頭にメリハリのある、技術の応用分野を広げた開発に注力したいと考えております。

「強い技術をより強く」ではマイクロ波・ミリ波のこれまで培ってきた技術を更に磨き、超軽量の導波管部品の通信衛星への提供、高性能・高耐電力マイクロ波コンポーネントの加速器分野への提供等、差別化のポイントを明確にした開発に取り組んでおります。

「強い技術を核とした新規分野の事業創出」では高周波誘導加熱の技術を核にした客先の新規ニーズへのソリューション提供を念頭に、薄板の誘導加熱、塗装の乾燥・剥離、高温加熱、非接触給電等の製品化に取り組んでおります。この際、お客様のニーズを的確に理解し保有技術を如何に組み合わせるか検討できるシステムエンジニアの育成にも取り組んでおります。

また、開発にあたってはスピード感を持って、QCD（品質・価格・納期）の観点でご満足いただける完成度の高い製品作りに取り組むため、当社独自の開発や改善とともに、親会社である三菱電機の研究・開発部門や生産技術部門と連携して取り組みます。

この技報では、「強い技術をより強く」の観点で高周波 SSPA の技術を取り上げ、技術動向とシステム展開について寄稿頂くとともに、高周波 SSPA の設計技術について高性能化、高出力化、広帯域化、高効率化、実装技術の観点での取り組み状況を報告致します。

また、「強い技術を核とした新規分野の事業創出」では、高周波誘導加熱の省エネ・低炭素社会への新たな取組みとして自動車関連の熱処理技術への取組みと、当社で開発した鋼管焼入れ用高周波電源について紹介致します。

これまでの技術へのこだわりと品質への取り組みに加え、生産効率化による短納期化・低価格化を進め、お客様のニーズに的確に応えられる魅力的な会社を目指して取り組んで参りますので、今後ともご愛顧たまわりますよう宜しくお願い申し上げます。

■ 寄稿

# 高周波 SSPA の 技術動向とシステム展開

三菱電機株式会社  
電子システム事業本部  
技師長  
**宮崎 守泰**  
Moriyasu MIYAZAKI



## 1. まえがき

高周波技術は、携帯電話をはじめとする地上の無線通信や衛星通信、放送、種々のレーダ、無線電力伝送、さらには医療・科学応用向け電子線加速器やマイクロ波加熱など、様々な分野のシステムへと広がりを見せている。高周波の高出力増幅器は、これらシステムの正に心臓部であり最重要構成要素の一つに位置づけられる。

高周波の高出力増幅器は、1940年頃発明された Klystron, TWTA (Traveling-Wave-Tube Amplifier) などの電子管により実用化が始まった。一方、1952年に W. Shockley により電界効果トランジスタ (FET<sup>(1)</sup>: Field Effect Transistor) の理論が提唱され、高出力増幅器の半導体化すなわち SSPA (Solid State Power Amplifier) 化の可能性が芽生えた。当初、試作に用いられた Ge や Si は電子移動度が高周波用としては遅すぎたが、1966年、C. A. Mead により GaAs FET<sup>(2)</sup> が提唱され状況は一変した。GaAs の電子移動度が Si の数倍に及ぶことから、GaAs FET を適用した高周波 SSPA が実現された。さらに、1990年代前半からは、GaAs に比べてバンドギャップが 2.5 倍程度広く、且つ、飽和電子速度が速い GaN の研究が盛んになり、GaAs に比べて数倍高い出力電力密度と電力効率を有する高周波 GaN SSPA が実現され、近年、実用化の時期を迎えている。

高出力増幅器の草分けである電子管と近年の発展が著しい SSPA とは、適用システムによっては相互に競合する場面も見られる。電子管は数百 W ~ 数 MW といった高電力を高効率に出力できる特長があり、中でも TWTA は、出力こそ Klystron に及ばないものの広帯域性に優れており適用範囲は広い。しかしながら、比較的短寿命な上、高電圧バイアスが必要で装置が大掛かりになるなど、保守や取扱いの面で課題がある。一方 SSPA は、長寿命でバイアス

電圧も数十 V 以下と扱い易い。加えて、GaN の台頭など FET の進化と、インピーダンス整合や歪み補償などの回路技術の進歩により、性能面でも電子管に近づきつつある。しかしながら、1台の単位 SSPA で実現できる出力電力は数十~数百 W に留まり、必要な総出力が高まるにつれて合成数が多く必要となる。

本稿では、SSPA の適用拡大を図る上で要となる高出力化、高効率化、および低歪み化の各技術について歴史的な進化を俯瞰的に示す。さらに、適用システムの要求条件を鑑みつつ、今後の SSPA 技術の方向性について見解を述べる。

## 2. SSPA 技術の進展

### 2.1 高出力化技術

図 1 に SSPA の基本構成例を示す。SSPA の高出力化を図る上で重要な構成要素は、電力増幅を司る高周波 FET、FET とインピーダンス整合回路からなる増幅器デバイス、FET で生じる信号歪みを補償する歪み補償回路、これらを含む単位 SSPA、複数の単位 SSPA の出力を合成する電力合成器、更には図には示していないが FET で生じる熱を逃がす放熱構造などが上げられる。

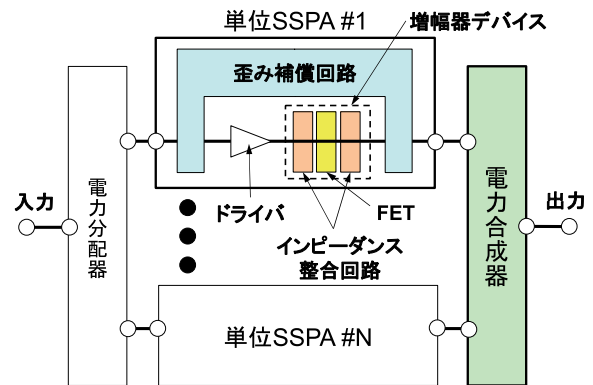


図 1 SSPA の基本構成例

FET の高出力化は主に、FET を構成する半導体の物性に依存する。図 2 に、種々の半導体および電子管の適用可能周波数領域と出力電力を示す。図中、半導体に対しての縦軸は SSPA としての出力電力を表す。現状、これまでの SSPA には、VHF 帯～UHF 帯の比較的低い周波数帯では Si-LDMOS、マイクロ波帯～ミリ波帯では GaAs が主に用いられてきた。加えて、1990 年代前半から台頭し始めた GaN が、2010 年前後から実用段階を迎えた。図 3 に Ku 帯 GaN FET 増幅器デバイス<sup>(3)</sup>の例を示す。GaN を適用することにより GaAs を適用した従来に比べ 5 倍以上の高出力化が図られ、 $15 \times 20\text{mm}^2$  程度のパッケージサイズで Ku 帯出力 100W を実現している。この他にも、C 帯で出力 250W、X 帯で 120W の GaN FET 増幅器デバイスが報告されている<sup>(3,4)</sup>。このように、GaN の働きにより高周波 SSPA の大幅な大電力化が進み、複数の SSPA を合成することで kW 以上の出力を比較的小形に実現可能となってきた。このため、図 2 に示す半導体領域と電子管領域の境界、すなわち Ku 帯以下の周波数帯において出力電力が数百 W ～数 kW 程度の領域であれば電子管から SSPA への置き換えが可能となってきた。

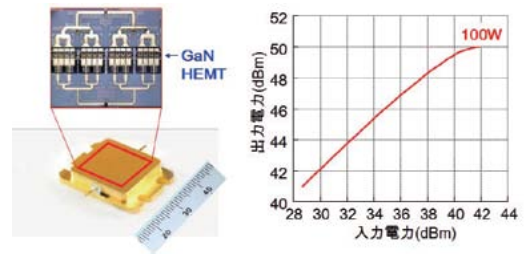


図 3 Ku 帯 100 GaN FET 増幅器デバイス

## 2.2 高効率化技術

SSPA の高効率化にとっても、FET 自体の性能が重要である。前節と同様に GaN の効果は大きく、Si-LDMOS や GaAs を適用する従来から 10 ～ 30 ポイント程度の大規模な高効率化が図れている。

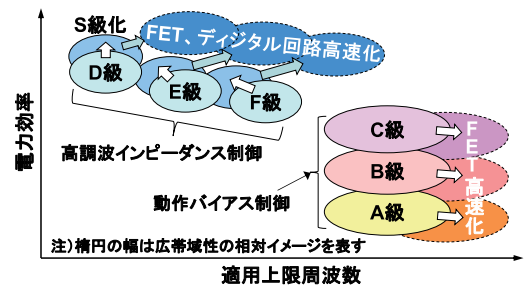


図 4 FET 動作モード毎の適用上限周波数と電力効率の比較イメージ

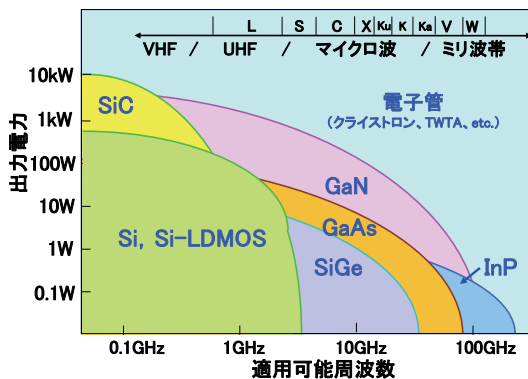


図 2 半導体および電子管の適用可能周波数領域と出力電力（出力電力は SSPA としての値）

次に、SSPA 高出力化のもう一つの要である電力合成器について触れる。電力合成器の損失は SSPA の出力電力低下に直結し発熱の要因にもなるため、徹底的な低損失化が求められる。また、合成出力が高まるにつれ、耐電力性能の確保も重要となる。この他、複数の SSPA を合成する点をメリットとすべく、合成時に一部の SSPA が停止しても総合出力の低下を極小化する設計が求められる。トーナメント形電力合成回路での実現例<sup>(5)</sup>が報告されている。

高効率化に特有の技術として、FET の能力を最大限に引き出す動作モードの設定技術がある。図 4 に、FET 動作モード毎の適用上限周波数と電力効率の比較イメージを示す。歴史的にはまず、半導体 FET のバイアス動作点を制御する A 級～C 級動作がある。これらは動作モードの設定が容易で、FET の理論効率は A 級が 50%、B 級が 75.8%、C 級は B 級以上となる。ただし、C 級動作は線形性と出力電力が大きく低下する。続いて、FET から出力される信号波や高調波のインピーダンスを制御する D 級～F 級動作<sup>(6-8)</sup>がある。これらは FET 内部での電圧と電流の時間波形の重なりを原理上ゼロにでき（スイッチング動作）、理論効率は 100%となる。近年、これらとの組合せで効力を発揮する S 級動作<sup>(9)</sup>も報告されている。S 級動作は予め入力信号を飽和疑似パルス列に変換してから FET にて飽和増幅する方式で、近年の FET とデジタル回路の高速化技術の向上により高効率化と高周波数化の両立が図られつつある。ただし、どの動作級においても、FET

内部の損失や電圧と電流の完全分離が難しいなどの要因から、実際の効率率は理論値から劣化する。F級動作の例として、C帯 GaN FET 増幅器デバイス<sup>(10)</sup>の試作結果を図5に示す。C帯において、出力は7Wながら効率70%を達成している。

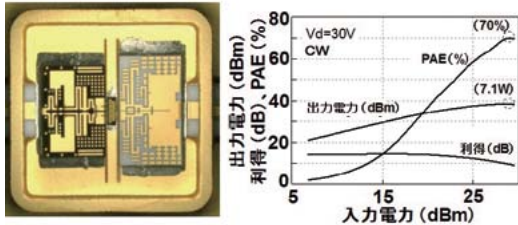


図5 C帯F級動作 GaN FET 増幅器デバイス

この他、入力電力に応じて複数の動作級を切り換えるドハティ増幅<sup>(11)</sup>、入力信号の振幅レベルに応じてバイアス電圧を制御するなどして常にFETを飽和動作させるEER<sup>(12)</sup> (Envelope Elimination and Restoration), ET<sup>(13)</sup> (Envelope Tracking), およびLINC<sup>(14)</sup> (Linear Amplification using Nonlinear Component) 動作など、理論は比較的古くから在るが、近年のFETやデジタル回路技術の進化と相まって高周波数化と高度化が図られている。高効率化の研究は、世界中で暇がない。

### 2.3 歪み補償技術

衛星通信や携帯電話などの通信分野では、電力増幅器の入出力特性に直線性が要求される場合が多い。しかしながら、FETの入出力特性は飽和点付近で直線性が劣化するため、最大出力・効率で動作させられず、出力・効率が低下する。このため、SSPAとして直線性を向上すべく歪み補償技術の研究開発が数多く行われている。歪み補償技術は主に次の2種類に分類される。すなわち、FETを含む増幅器デバイスの歪成分を周辺回路で抽出して増幅器デバイスの出力端で出力信号から歪成分を引き去るフィードフォワード形<sup>(15)</sup>と、同じく歪成分を抽出してSSPAの入力信号を予め逆方向に歪ませるプリディストーション形<sup>(16)</sup>に分類される。いずれもデジタル回路やメモリと組み合わせたりフィードバック系を用いるなど、複雑な構成がとられ<sup>(17)</sup>、リアルタイムに歪補償が必要な、多値・多重変調を扱う携帯電話基地局などで進化が進んでいる。今後、デジタル回

路の高速化と小形化が進むにつれて、複雑な歪み補償回路の大幅な小形化が進むと考えられる。

一方、もう少し簡単な構成で歪み補償効果を発揮できるダイオードリニアライザが考案されている。リニアライザはプリディストーション形の一種である。FETと逆の歪特性を有し、増幅器デバイスの入力側に設置される。これにより、SSPA全体として歪み特性が相殺され直線性が高まる。図6に、一例として仮想接地形Ku帯ダイオードリニアライザ<sup>(18)</sup>を示す。本リニアライザが、GaN FETを用いたKu帯SSPAに適用された結果、3次高調波歪み-26dBcを満足する出力電力が5dB以上高められている。

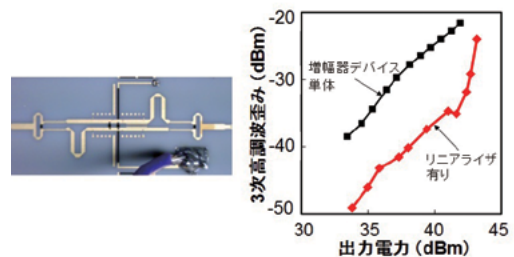


図6 仮想接地形 Ku 帯ダイオードリニアライザ (グラフは SSPA としての特性)

## 3. システムへの展開と今後への期待

### 3.1 システムへの展開

SSPAや電子管を搭載したシステムは、無線通信やレーダなどを中心に安心・安全・防災を支える分野や快適な暮らしを支える分野、さらには医療・科学応用分野などに幅広く適用されている。



図7 安心・安全・防災関連システムイメージ

図7に、安心・安全・防災関連システムイメージを示す。これらに対応して図8に示すようなSSPAが開発され適用が始まっている。しかしながら、周波数が高まるにつれて、また数百W以上の出力や広帯域性が求められる場合には、現状ではTWTA

の適用が多い。一方、多値・多重変調を扱う携帯電話基地局では、信号周波数付近のスプリアス成分の発生が少ない SSPA の適用が必須となっている。

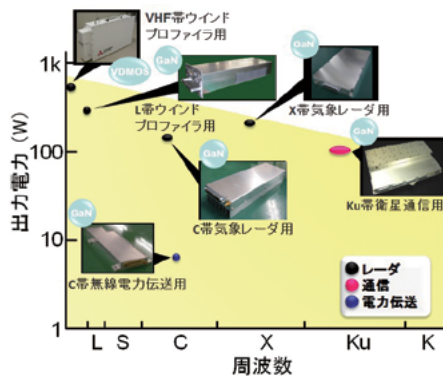


図 8 安心・安全・防災関連 SSPA の例

### 3.2 今後への期待

高周波 SSPA を高出力分野に広めるには、FET 自体の出力電力密度の更なる向上は元より、電力合成器の小形・低損失化、および放熱性の飛躍的向上が重要である。加えて、一層の高効率化と低歪み化を図るために、これまで述べてきた FET の動作モードや回路方式に関する優れたアイデアと、これから益々高速化が進む FET やデジタル回路との融合が、極めて有用と考える。例えば、FET を飽和領域で動作させる S 級動作技術や EER 技術などは、上述の技術融合による大きな効果が期待される。

## 4. むすび

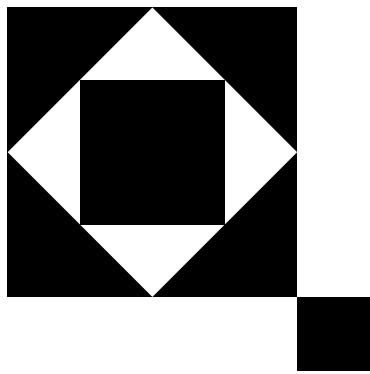
本稿では、高周波 SSPA を支える要素技術の進展を示し、今後の SSPA 適用拡大への期待を述べた。大電力性に優れる電子管との住み分けは今後も続くと考えられるが、寿命や扱い易さの面で優位な SSPA が、身近な適用分野から浸透拡大して行くことを期待したい。

### 参考文献

- (1) W. Shockley, "A unipolar" field-effect "transistor" ," Proc. IRE, vol.40, pp.1365-1376, Nov. 1952.
- (2) C. A. Mead, "Schottky barrier gate field effect transistor," Proc. IEEE, vol.54, No.2, pp.307-308, Feb. 1966.
- (3) H. Noto et al, "X- and Ku-band Internally Matched GaN Amplifiers with more than

100W output power," 2012 European Microwave Integrated Circuits Conf. Dig., pp.695-698, Oct. 2012.

- (4) H. Maehara et al, "Internally Matched GaN FET at C-band with 220W Output Power and 56% Power Added Efficiency," 2012 Asia Pacific Microwave Conf. Dig., pp.358-360, Dec. 2012.
- (5) 廣田, 田原, 大和田, 安永, 酒井, 宮崎, "入力数変更可能な S 帯導波管電力合成回路", 信学技報, 2013.
- (6) P. J. Baxandall, "Transistor sinewave oscillators," Proc. IEE (London) , vol.106, Part B, Suppl. 16, pp.748-758, May 1959.
- (7) N. O. Sokal and A. D. Sokal, "Class E, a new class of high-efficiency tuned single-ended power amplifiers," IEEE J. Solid State Circuits, vol.SC-10, pp.168-176, June 1975.
- (8) F. H. Raab, "FET power amplifier boosts transmitter efficiency," Electron., pp.122-126, June 1976.
- (9) A. Wentzel, C. Meliani, and W. Heinrich, "RF Class-S Power Amplifiers: State-of-the-Art Results and Potential," IEEE MTT-S Dig., pp.812-815, 2010.
- (10) K. Yamanaka et al, "Internally-matched GaN HEMT High Efficiency Power Amplifier for Space Solar Power Stations" , 2010 Asia Pacific Microwave Conf. Dig., WE3A-1, Dec. 2010.
- (11) R. J. McMorro, D. M. Upton, P. M. Maloney, "The microwave Doherty Amplifier," IEEE MTT-S Dig., pp.1653-1656, 1994.
- (12) L. R. Karn, "Single sideband transmission by envelope elimination and restoration," Proc. IRE, vol.40 no7, pp.803-806, July 1952.
- (13) F. H. Raab, "High efficiency amplification techniques," IEEE Circuits and Systems Journal, No.7, pp.3-11, 1975.
- (14) D. C. Cox, "Linear amplification with nonlinear components," IEEE Trans. on Commun. vol.COM-22, pp.1942-1945, 1974.
- (15) H. Seidel, "A microwave feed-forward experiment," Bell Syst. Tech. J., vol.50, pp.2879-2916, 1971.
- (16) 野島, 檜橋 "移動体通信用超低歪周波共通増幅器", 信学技報, RCS-90-4, pp.21-27, 1990.
- (17) K. Horiguchi, N. Matsunaga, K. Yamauchi, R. Hayashi, M. Miyazaki, and T. Nojima, "A wideband digital predistorter for a Doherty power amplifier Using a direct learning memory effect filter," IEICE Trans. Electron., vol.E93-C, no.7, pp.975-982, July 2010.
- (18) 能登, 安藤, 安永, 川上, "周波数制御型ダイオードリニアライザ", 信学ソ, C-2-33, 2013.





## 【特集論文】

半導体アンプ技術 (SSPA)



# 高周波ソリッドステートアンプの設計技術

## Development of Solid State Power Amplifier Design Techniques

小川 二良                      稗田 忠晴                      宮崎 慎也                      會見 春樹  
Tsuguyoshi OGAWA            Tadaharu HIEDA                Shinya MIYAZAKI               Haruki AIMI

田添 晃                      浅利 哲                      四分一 浩二                      黒川 孝  
Akira TAZOE                      Satoshi ASARI                      Koji SHIBUICHI                      Takashi KUROKAWA

高周波技術の活用分野は、医療・基礎物理学における加速器、マイクロ波加熱、無線通信および防衛・宇宙用の各種レーダなど多岐に亘っている。高出力増幅器は、それらシステムにおけるマイクロ波の増幅部としてシステムの機能・性能を決定する重要な位置づけを占めている。

一方、従来、高出力増幅器、特に数百ワット以上の高出力増幅器には、TWTA (Traveling Wave-Tube Amplifier) やクライストロンが用いられてきた。これは、高出力・高効率を得やすいなどの長所によるものであるが、逆に上記器材には、信頼性が低い、維持・整備性が悪いおよび小型化が図り難いという短所があった。そのため、上記短所を解決する手段として、近年の半導体技術の進展を背景に、Solid State Power Amplifier (以下 SSPA) の活用が図られるようになり、加えてその活用範囲は徐々に高出力領域・高周波領域へと拡大している。

TWTA から SSPA への置き換えが進められたシステムの代表例としては、レーダを挙げることができる。従来、高出力の TWTA を増幅器として用いていた各種レーダが、低出力の SSPA をアンテナ面に複数配置した APAR (Active Phased Array Radar) へと更新された。この背景には、APAR 化によるレーダの高性能化と共に信頼性および維持・整備性の向上要求があるものと考えられる。APAR では、電力増幅部を高電圧の電子管から信頼性の高い半導体に切り換えるとともに、単一の増幅器から複数の増幅器を使用 (出力を空間合成) するようにしたことで、信頼性および維持・整備性を飛躍的に向上させている。

また、近年では、高出力の TWTA そのものを SSPA に置き換えたいという要求も生じてきてい

る。なお、その場合、TWTA の高い出力を一つの半導体では実現出来ないため、複数の半導体の出力を合成することによって高出力化を図る必要がある。

以上述べたように、SSPA は今後のマイクロ波器材にとって非常に重要なものであり、継続的に性能向上のための技術開発を行うことが不可欠である。一方、SSPA の所要機能・性能はマイクロ波器材それぞれで異なっており、求められる技術課題も多岐に亘っている。

そのため、本稿では SSPA の設計に当たっての共通的な課題と考えられる以下の 5 つの要素技術を取り上げ、当社が開発した各種システムを用いて各技術に対する具体的な設計結果を報告する。

- ① 高性能化技術 (詳細を 1 項に示す)
- ② 高出力化技術 (詳細を 2 項に示す)
- ③ 広帯域化技術 (詳細を 3 項に示す)
- ④ 高効率化技術 (詳細を 4 項に示す)
- ⑤ 実装 (冷却) 技術 (詳細を 5 項に示す)

## 1 高性能化技術

### 1.1 概要

本項では、線形加速器のドライブ信号に使用した SSPA 方式の S 帯マイクロ波発振器 (以下、「RF DRIVER」と記す。) の出力パルスの高性能化技術を報告する。

ライナック (LINAC: Linear Accelerator) と呼ばれる線形加速器では、RF DRIVER のパルス信号をドライブ信号としたクライストロンで発生させた強力な電場を用いて、粒子を光速

近くまで加速し、タンゲステンなどのターゲットに当てることにより放射線を発生させている。ドライブ信号であるRF DRIVERのパルス信号の電力が変動すると、そのエネルギーに対応して電子の加速率が変わり、線形加速器から得られる放射線エネルギーが変動することになる。安定した放射線エネルギーを発生させる為に、線形加速器に入射する高周波パルス信号には、高安定な電力（振幅）特性が求められる。具体的には、RF DRIVERの出力電力（振幅）の変動幅（揺らぎ）を最小限にする必要がある。振幅変動の規定は、高周波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変動とパルス内振幅平坦度がある。短期出力変動は、ALC (Auto Level Control) 回路<sup>[1]</sup>の最適化により設計目標の0.25%以下の性能を得られている。

本項では、特にパルス内振幅平坦度に注目し、その変動を減じるために工夫した内容について報告する。

## 1.2 RF DRIVERの概要

まず始めに、RF DRIVERの機能について説明する。RF DRIVERの主要機能は以下の4点である。

- ① 高周波パルスの生成
- ② 高周波パルスの高電力増幅
- ③ 高周波パルス信号の制御
- ④ 監視制御インターフェース

次に、RF DRIVERの構成について説明する。RF DRIVERは、高出力パルス信号を発生する高周波部、制御回路、ALC回路、表示部および交流電源を直流に変換する電源部から構成される。RF DRIVERのブロックダイアグラムを図1に示す。回路構成の特徴は、高周波部の出力に可変減衰器および結合器を配置している点である。可変減衰器は、出力レベル制御のために、主に高電力のマイクロ波信号を減衰させることを目的としている。結合器は、出力電力検出用に配置し、検波器、およびSample/Hold回路と積分アンプにてALC回路を構成している。

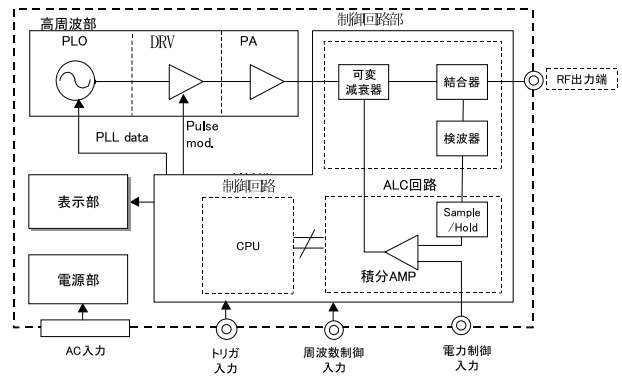


図1 ブロックダイアグラム

## 1.3 回路構成技術

高周波部と制御回路部の構成において、マイクロ波信号を減衰させる減衰器を高周波部の後段に配置する利点について述べる。減衰器の配置場所には二つの構成例が考えられる。一つは、増幅器の前段に減衰器を配置する場合である。この場合は、高周波部の増幅器には入出力特性の直線性が必要であり、効率面からもAB級バイアスを選択する事が多い。AB級動作の場合は、直流バイアス電流による自己発熱や、出力電力毎に変化する発熱および整合状態の変化も含めて、パルス内の振幅平坦度を満足する必要がある。

一方、増幅器の出力側に減衰器を配置する場合は、高周波部の増幅器の出力電力は固定で良く、マイクロ波信号が出力されている期間のみ増幅すれば良い事から、C級バイアスが考えられる。C級バイアスは、入出力特性のリニアリティは必要なく、入力電力が小さいときは増幅しないので、トランジスタの平均的な自己発熱が抑えられる<sup>[2]</sup>。また、出力電力を固定しているため、パルス内の振幅平坦度を特定の電力でトランジスタの整合回路を最適化できる効果も期待できる。AB級とC級動作のバイアスポイントの違いを図2に示す。

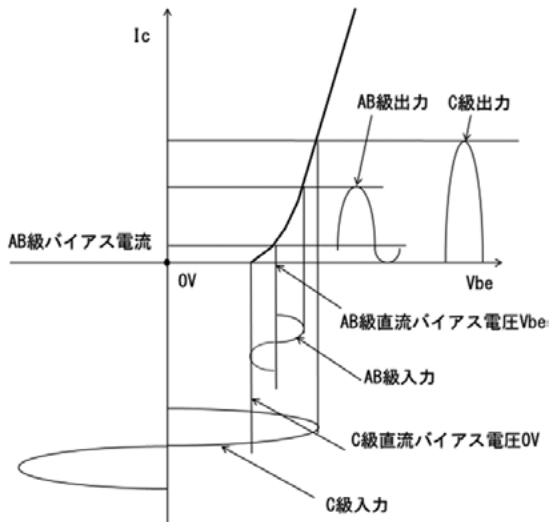


図2 AB級およびC級バイアスポイント

1.4 パルス内振幅性能

パルス内振幅平坦特性は、温度に依存した特性を持っている増幅素子もあるため、評価試験を実施し確認した。これにより、パルス内振幅平坦度を満足するために、高周波部の温度変化を15℃以下に抑えることが必要であるという結果を得た。本RF DRIVERでは、ヒータ等の発熱体と温度センサを用いた制御回路で高周波部を所定の温度範囲に保つ制御を実施し、また、高周波部の発熱も効率化により温度上昇を12℃に抑えた。1.3項に示した回路構成の利点も含め、周囲温度+15℃～+50℃においてもパルス内振幅平坦度0.2dB以下の目標性能を実現した。

図3にパルス内振幅平坦度の温度変化グラフ、図4に常温(+25℃)での代表的なマイクロ波パルス信号波形をそれぞれ示す。

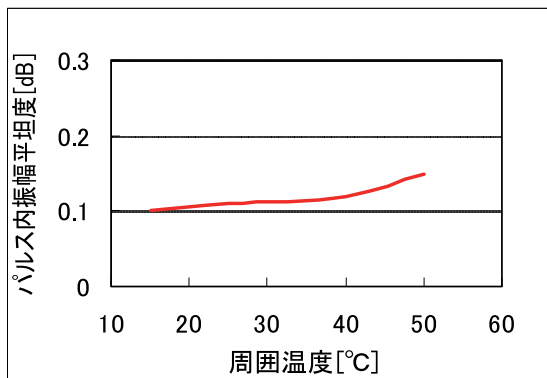


図3 パルス内振幅平坦度の温度変化

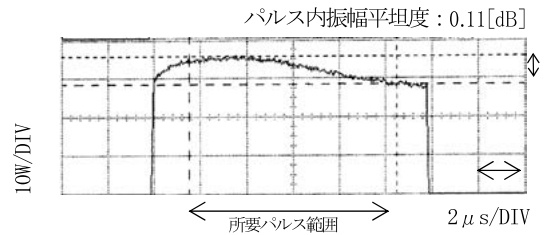


図4 パルス信号波形 (+25℃時)

2 高出力化技術

2.1 概要

本項では、64合成によるSSPAの高出力化(C帯1.6kW出力)技術を報告する。

SSPAは、半導体技術の進歩とともに高出力と高周波化が進んでいる。当社のSSPA製造実績を図5に示す。

SSPAは、装置の高出力を得るために多数のFET(Field Effect Transistor)を用いた電力合成を行う。電力合成の基本回路は、Wilkinson方式が良く知られ、各FETならびに合成回路をトーナメント状に構成することで電力合成を実現する。その場合重要となるのは、以下の二点である。

- ① 合成による電力損失の最小化
- ② 通過位相(電気長)の均一化

①は、装置の出力電力と使用するFET単体の飽和電力から合成数を決める。

例えば800W出力を得たい場合、100W出力のFETを8合成するか、または50W出力のFETを16合成するかは、FETの出力特性、温度特性の性能比較とそれら性能のバラツキ、発熱によるジャンクション温度の制約および実装条件から決定する。

また、合成による電力損失すなわち、合成器の損失と合成器間を接続する損失を極力小さくすることが重要である。

②は合成する複数のFETの通過位相(電気長)の均一化である。FET単体での通過位相のバラツキが少ないものを選定もしくは選別するか、あるいは位相調整機能を追加して均一にする。但し、位相調整機能を追加すると周波数帯域が狭くなるので注意が必要である。

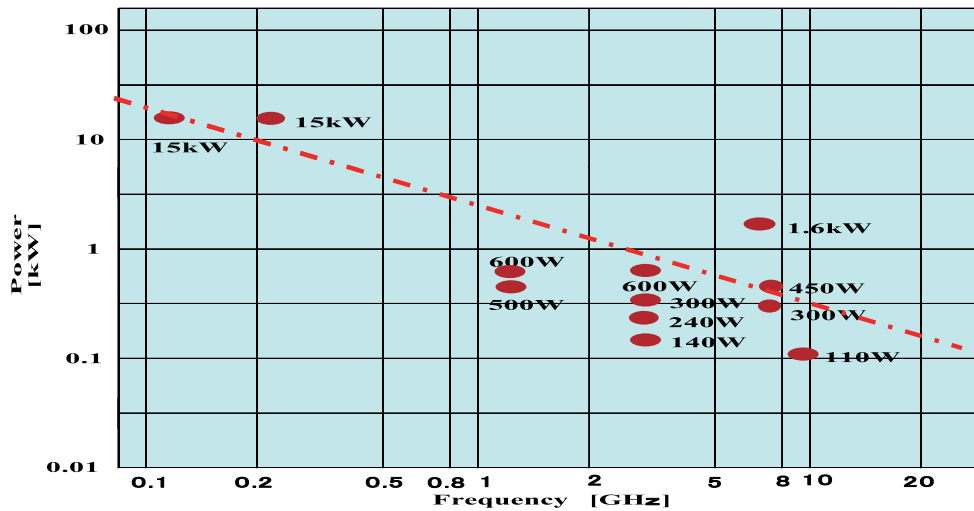


図5 SSPA 製品マップ

なお、FET の通過位相のバラツキを抑えるためには各反射特性についても管理する必要がある。

近年、FET 単体の飽和電力が上がり、そのため合成数も少なくすることが可能になってきたが、それでも従来装置への置き換えとしては、2～数十合成が必要である。

2.2 C 帯 1.6kW 出力 SSPA の製作

上記重要点を考慮して当社では各周波数、各出力電力の置き換え装置を設計、製作してきたが、ここでは1例として周波数帯がC帯、出力1.6kWのSSPA（以下、本機）を製作したので以下に記載する。本機は出力電力幅10dB以上のリニア動作が可能な高出力マイクロ波発振装置である。本機の外観を図6に示す。



図6 C 帯 1.6kW 出力 SSPA 外観

2.3 合成による電力損失の最小化

本機は、合成方法の最適化を行った結果、8合成器出力の後段に8合成器を配置し、総合成数を64とした。本機は19インチラック内に8合成器を重ねて収納出来るような構造とした。合成による電力損失の最小化に最も重要である8合成器の通過損失と通過位相を表1に記載する。8合成器単体の通過損失は目標値0.5dB以下に対し、0.31dB Typicalであった。

表1 合成器の特性

| SN   | 通過損失 [dB]<br>(合成損を除く) |
|------|-----------------------|
| NO.1 | 0.34                  |
| NO.2 | 0.31                  |
| NO.3 | 0.33                  |
| NO.4 | 0.29                  |
| NO.5 | 0.35                  |
| NO.6 | 0.27                  |
| NO.7 | 0.35                  |
| NO.8 | 0.26                  |
| NO.9 | 0.33                  |

0.31dB Typ. 0.35dB Max.

## 2.4 通過位相の均一

8 合成器の単体の位相ばらつきを表 2 に示す。本機の FET と合成器を組み合わせた位相の総ばらつきを表 3 に示す。合成器のポート間位相ばらつきと FET の位相ばらつきを加算において、位相調整を行い、本機の目標である位相ばらつき  $\pm 5^\circ$  以内を満足した。

表 2 合成器の通過位相特性

| SN   | ポート間位相ばらつき [°] |
|------|----------------|
| NO.1 | $\pm 1.3$      |
| NO.2 | $\pm 0.8$      |
| NO.3 | $\pm 1.1$      |
| NO.4 | $\pm 0.9$      |
| NO.5 | $\pm 0.7$      |
| NO.6 | $\pm 1.4$      |
| NO.7 | $\pm 0.6$      |
| NO.8 | $\pm 1.2$      |
| NO.9 | $\pm 1.4$      |

$\pm 1.1^\circ$  Typ.  $\pm 1.4^\circ$  Max.

表 3 組み合わせ後の通過位相特性 (位相調整有)

| ポート NO.          | ポート間位相ばらつき [°] |
|------------------|----------------|
| NO.1 1 ~ 8 ポート   | $\pm 1.0$      |
| NO.2 9 ~ 16 ポート  | $\pm 0.5$      |
| NO.3 17 ~ 24 ポート | $\pm 0.4$      |
| NO.4 25 ~ 32 ポート | $\pm 0.2$      |
| NO.5 33 ~ 40 ポート | $\pm 0.7$      |
| NO.6 41 ~ 48 ポート | $\pm 0.1$      |
| NO.7 49 ~ 56 ポート | $\pm 0.1$      |
| NO.8 57 ~ 64 ポート | $\pm 0.6$      |

$\pm 0.5^\circ$  Typ.  $\pm 1.0^\circ$  Max.

## 2.5 C 帯 SSPA 出力電力

本機の出力電力の結果を表 4 に示す。

表 4 出力電力の結果

| 項目          | 目標値    | 結果   | 備考            |
|-------------|--------|------|---------------|
| 出力電力 [kW]   | 1.6 以上 | 2.0  | —             |
| 出力可変範囲 [dB] | 10 以上  | 12.6 | 109W ~ 2,000W |

## 3 広帯域化技術

### 3.1 概要

本項では、SSPA とハイブリッドカップラとを使用した S/C 帯 (2 ~ 8GHz) 用の高出力・広帯域化技術を報告する。

アレイアンテナ等のシステムに組み込まれる高周波増幅装置には、広帯域、高直線性、高出力、高利得といった特性が要求される。加えて、設置環境の制約によって小型化が要求されることがある。

一般的に、高利得、小型な増幅装置を設計する場合、増幅素子として Monolithic Microwave Integrated Circuit (以下、MMIC) を選択するのが容易である。MMIC であれば、整合回路が不要 (または最小限) で、1 素子で十分な利得を得ることができる。ただし、増幅素子に、FET を使用した場合と比べて消費電力や飽和電力の面で MMIC は劣るため、MMIC を使用して高い飽和電力 (高出力) を得るためには、ハイブリッドカップラを用いた電力合成という手法をとる。このとき、増幅装置の周波数特性はハイブリッドカップラの周波数特性で決定されるため、広帯域増幅装置の実現には、ハイブリッドカップラの広帯域化が必要である。

### 3.2 S/C 帯用ハイブリッドカップラ

S/C 帯用ハイブリッドカップラ (図 7) は、ガラスエポキシ基板に、ブロードサイド結合形とブロードサイドの上下の面を少しずらして結合を調整したオフセット形を組み合わせた対称形多段方向性結合器により実現した。図 8 にシミュレーション結果、図 9 に測定結果を示す。

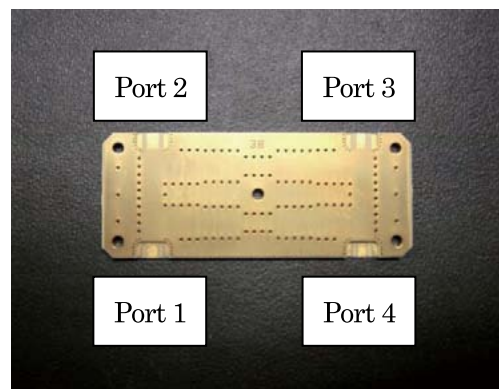


図 7 ハイブリッドカップラ外観

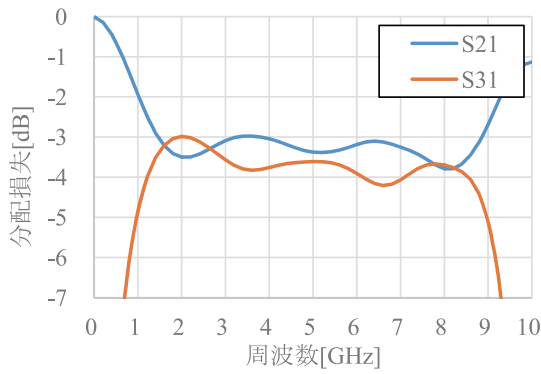


図8 ハイブリッドカップラ分配損失 (シミュレーション値)

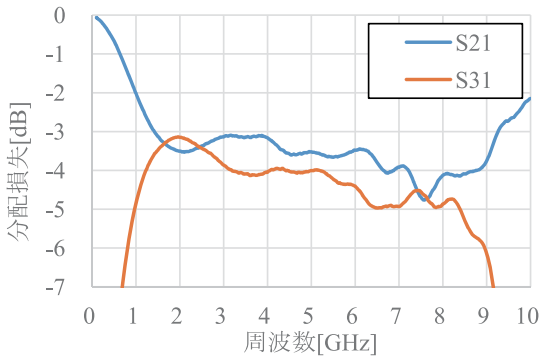


図9 ハイブリッドカップラ分配損失 (実測値)

### 3.3 S/C 帯用高出力増幅装置

S/C 帯用高出力増幅装置の構成を図10に示す。

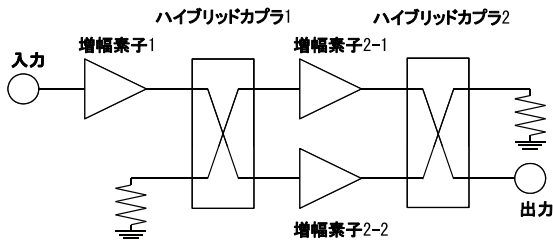


図10 S/C 帯用高出力増幅装置構成

増幅素子1, 増幅素子2にはMMICを使用する。入力されたマイクロ波は増幅素子1で増幅後、ハイブリッドカップラ1で2分配される。分配されたマイクロ波は、それぞれ増幅素子2-1, 増幅素子2-2で増幅され、ハイブリッドカップラ2で合成される。以上の構成により、増幅装置としては、増幅素子2の飽和出力の約3dB増の出力電力が期待できる。

実際のS/C帯用高出力増幅装置の外観を図11、利得の周波数特性を図12、利得直線性を図13にそれぞれ示す。利得における周波数帯域内偏差は2~8GHzで約3.7dBp-pである。使用しているMMICは単体でP1dB=+29.1dBmである。図12, 13より、電力合成することで高出力、高直線性を実現したことが確認できる。

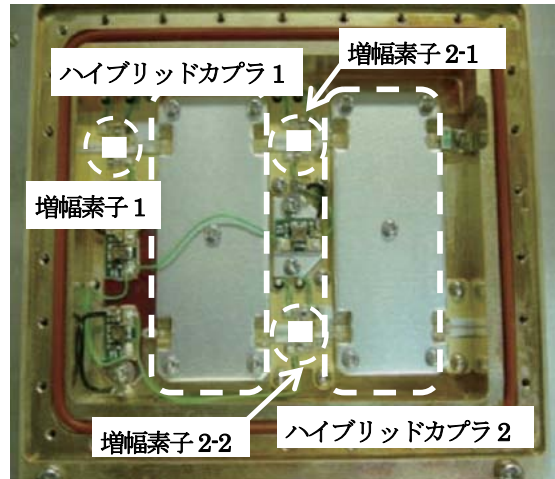


図11 S/C 帯用高出力増幅装置外観

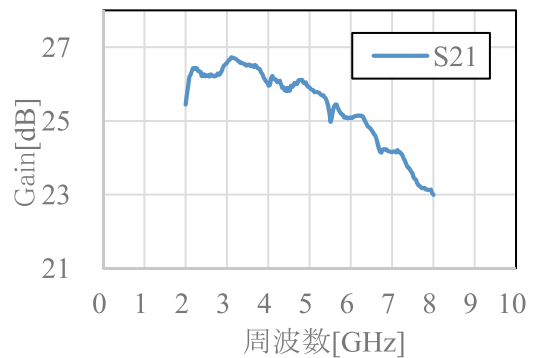


図12 S/C 帯用高出力増幅装置周波数特性

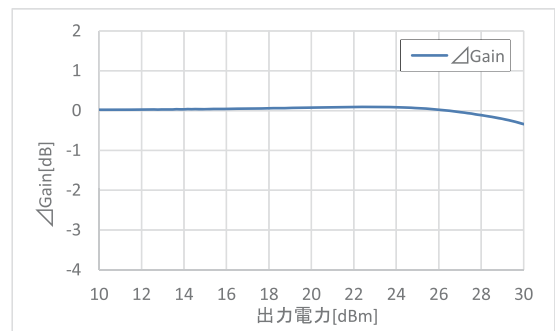


図13 S/C 帯用高出力増幅装置利得直線性



## 4 高効率化技術

### 4.1 概要

本項ではドハティ回路を使用した1.5GHz帯SSPAの高効率化技術を報告する。

移動体通信用基地局に使用される送信電力増幅器には、小型・低歪・低消費電力(高効率)といった性能が主に求められる。特に近年では、CO<sub>2</sub>排出量削減に努めるため省エネルギーが求められており、より低消費電力な送信電力増幅器が求められている。しかしながら歪と消費電力は一般的に相反する性能であり、低歪と低消費電力を両立させることは大きな技術的課題となっている。

今日では、低歪を得るために適切なバックオフで動作させ、これに加えフィードフォワードやプリディストーションといった歪補償技術を用いるが、これらの歪補償回路を搭載することで消費電力は増大してしまう。それを解決するためにドハティ増幅器、エンベロップトラッキングおよびアウトフェージングといった高効率化技術が提案されており、歪補償技術と併用することで低歪・低消費電力を両立させている。

### 4.2 ドハティ増幅器

ドハティ増幅器は、PAPR (Peak to Average Power Ratio) の高い変調信号を用いる場合において高効率を実現する技術として実用化されている。

図14にドハティ増幅器の構成図を示す。

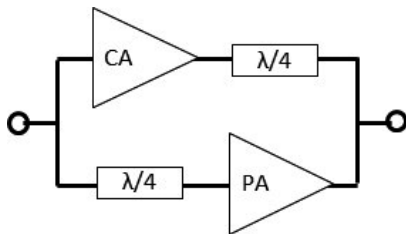


図14 ドハティ増幅器 構成図

ドハティ増幅器は、常に動作するキャリア増幅器(以下CA)とPAPRが高い時に動作するピーク増幅器(以下PA)という異なる動作を持つ増幅器を並列に接続し、さらにCAの出力側とPAの入力側それぞれに $\lambda/4$ 線路を接続して構成される。

これは前述のようにPAPRが低いときはCAのみで動作し、PAPRが高いときにCA・PA両方の増幅器が並列動作するため、高効率動作が実現できるという特徴を持っている。

ドハティ増幅器のPAは、C級バイアスで動作させることでPAPRが低いときにOFF状態とすることができ、合成端から見た出力インピーダンスはオープンとなる。そしてPAPRが高くなるにつれPAがON状態へ移行するため、出力インピーダンスを変化させることができる。PAPRが低いときは効率負荷、PAPRが高いときに飽和出力負荷となるように設計することで、PAの動作状態によってCAの負荷インピーダンスを変化させ、より高効率なドハティ増幅器を実現させている。

### 4.3 1.5GHz帯ドハティ増幅器

今回1.5GHz帯移動体通信用基地局用送信増幅装置として、100WクラスのFETをCA、PAに用いたドハティ増幅器を有する多段増幅器を開発した。FETは、高い効率性能を持つGaN-HEMT (Gallium Nitride-High Electron Mobility Transistor)を採用している。

また単体増幅器として高効率化を実現するために、基本波の効率整合回路に加えて高調波処理を施すことで、飽和出力電力時に73%以上となる高い効率が得られている。

表5に単体増幅器の主要性能を示す。

表5 単体増幅器 主要性能

| 項目          | 性能       |
|-------------|----------|
| 周波数         | 1.5GHz帯  |
| 利得          | 18.5dB以上 |
| 飽和電力        | +50dBm以上 |
| 効率(飽和電力出力時) | 73%以上    |

この単体増幅器を用いてドハティ増幅器を構成した。これによりバックオフ7.6dB動作時に48.4%以上となる高い効率が得られている。

図15に開発したドハティ増幅器の外観図を示し、表6にドハティ増幅器の主要性能を示す。

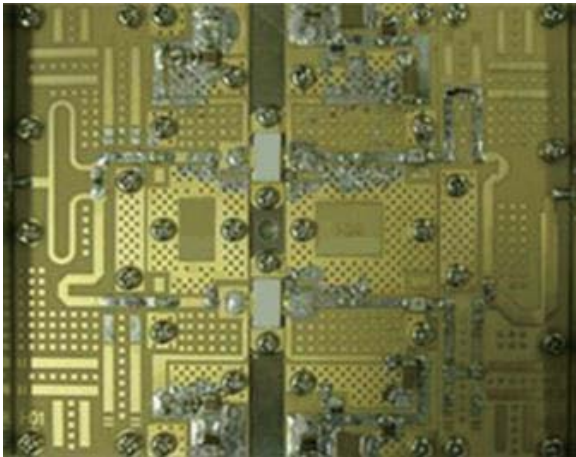


図 15 ドハティ増幅器 外観

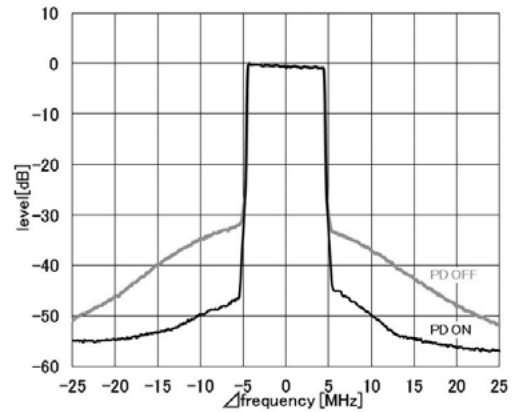


図 17 スペクトラム性能

表 6 ドハティ増幅器 主要性能

| 項目     | 性能          |
|--------|-------------|
| 周波数    | 1.5GHz 帯    |
| 利得     | 16dB 以上     |
| 飽和電力   | +52.3dBm 以上 |
| 効率 (※) | 48.4% 以上    |

(※) バックオフは 7.6dB

図 16 に、本ドハティ増幅器を用いた多段増幅器の回路構成を示す。利得が 73dB 以上、バックオフ 7.6dB 動作時の効率が 22.2% という性能を得ることが出来た。

またデジタルプリディストーション (DPD) による歪補償回路を組み合わせることで、3GPP の規格を十分満足する歪性能を得ることができた。図 17 にスペクトラム性能を示す。

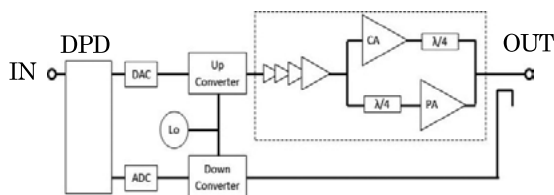


図 16 多段増幅器 構成図

## 5 実装 (冷却) 技術

### 5.1 概要

本項では、当社における実装 (冷却) 技術として、各種冷却方式と小型化・軽量化の設計例を報告する。

SSPA においては、出力電力の増大に伴う発熱および発熱密度の増加が生じているが、同時に小型・軽量化も求められている。また、運用環境については、環境温度や冷却液供給の可否などシステムにより異なっている。そのため、SSPA の実装設計に当たっては、①最適な冷却方式を選択する技術、②冷却性能を向上する技術、③実装密度を高める技術が必要となっている。

### 5.2 冷却方式

当社における冷却方式の開発実績を以下に示す。外部への放熱方式としては、空冷および液冷却方式の実績を有しており、SSPA 内の熱拡散および移送については伝導の他ヒートパイプ活用技術を有している。

#### (1) 空冷技術

当社における空冷方式の SSPA 開発例を図 18 および図 19 に示す。図 18 は従来品であり、図 19 は冷却性能を改善すると共に小型・軽量化を図った装置である。図 18 に示す従来品では、トランジスタを実装した SSPA ケースをヒートシンクに固定する構造を採用していたため、SSPA ケースとヒートシンク間の熱抵抗により冷却性能を低下させると共に寸法・質量面でも見直す余地があった。

そのため、図 19 に示す改善版ではヒートシンクと SSPA ケースを一体化し、①冷却性能の改善、②寸法・質量の低減を図った。

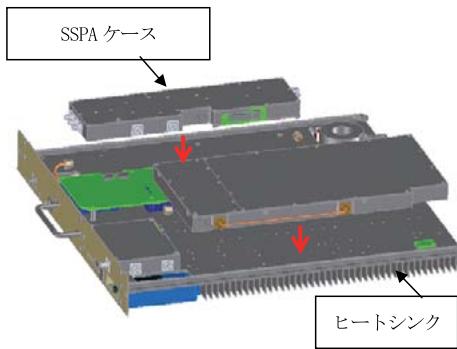


図 18 空冷方式 SSPA 例 (従来品)

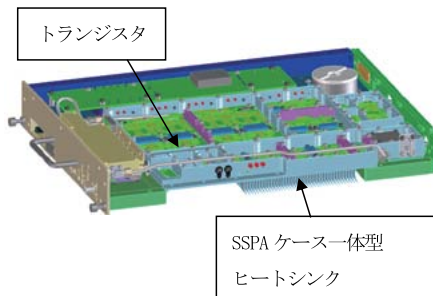


図 19 空冷方式 SSPA 例 (改善版)  
(特開 2003-218562 (P2003-218562A))

(2) 液冷技術

当社における液冷方式の SSPA 開発例を図 20 に示す。液冷方式においては冷却性能確保の他、液漏れに配慮し、トランジスタが組み込まれた金属製 SSPA ケースに金属性の液冷管を組み込む構造としている。また、SSPA 内の冷却管配置については、熱シミュレーションを行い最適化している。

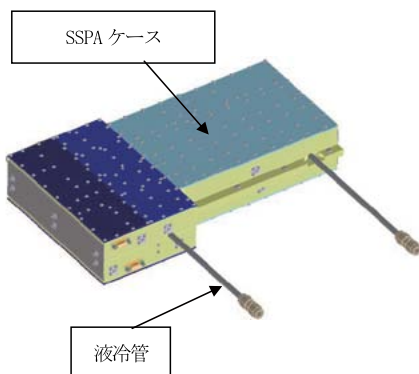


図 20 液冷方式 SSPA 例

(3) ヒートパイプの活用技術

ヒートパイプは、蒸発と凝縮の潜熱を利用した熱輸送素子であり、当社では、SSPA およびヒートシンク内での熱拡散および熱移送用に使用している。当社でのヒートパイプを使用した SSPA 開発例 (ヒートパイプをヒートシンク内に埋め込み) を図 21 に示す。

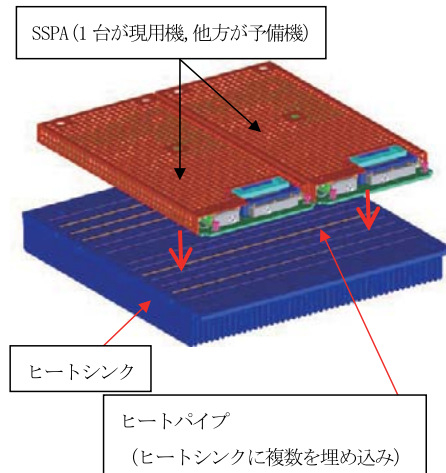


図 21 ヒートパイプを使用した SSPA 開発例

本装置は、ヒートシンク上にトランジスタを内蔵した 2 台の SSPA を実装したものである。この内 1 台は予備機であり、現用機に何らかのトラブルが発生した場合に、現用機の電源を OFF し、代わりに予備機の電源を ON にする。このため発熱面はヒートシンク面のいずれか半分となる。このような装置特性から、本装置では 2 台の SSPA 取付面間を結ぶようにヒートパイプをヒートシンク内に配設し、運用中の SSPA で発生した熱を、使用していない SSPA 側に輸送することで、効率的な放熱構造を実現した。

5.3 冷却性能改善への取組

当社における冷却性能 (放熱) 改善への取組みを以下に示す。図 22 および図 23 に冷却性能の改善を図りつつ小型・軽量化を達成した昨年度に開発した SSPA の外観およびその内部配置を示す。

## 7 参考文献

- [1] 岡村 勉 著, “解析ノイズ・メカニズム”, CQ 出版, pp.214-220, (1987)
- [2] 谷全祥市 新原 盛太郎 著, “高周波回路設計実務講座”, 工学研究社, pp.86-92,
- [3] 中山正敏, 高木直, 三菱電機情報技術総合研究所 “電力増幅器の低歪み・高効率化の手法” MWE 2005
- [4] Frederick H. Raab, Peter Asbeck, Steve Cripps, Peter B. Kenington, Zoya B. Popovic, Nick Pothecary, John F. Sevic, Nathan O. Sokal, “Power Amplifiers and Transmitters for RF and Microwave,” IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. 50, no. 3, pp.814-826, MARCH 2002
- [5] 小川二良, 丸山弘志, 茂野大作, 早川達也, 岩倉章次, 池田幸夫, “IMT2000 基地局送信電力増幅器の高性能化に向けた基本技術開発” 島田理化技報, No.17, pp.16-20, 2006

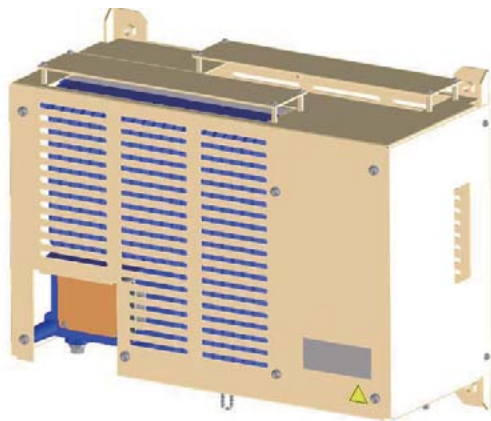


図 22 開発品外観  
(W290mm × D190mm × H450mm)

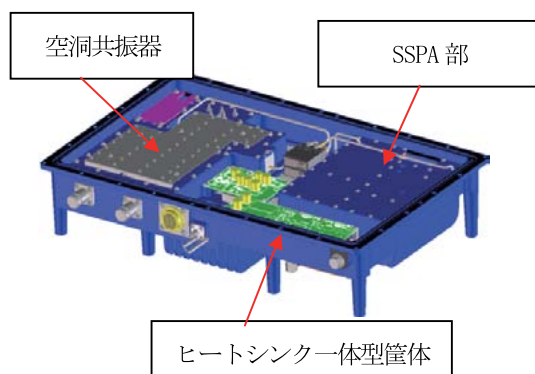


図 23 開発品内部配置

本装置においては、ヒートシンクと筐体の一体化、筐体と SSPA ケースとの一体化および筐体と空洞共振器との一体化を行うことで、従来品と比較して大幅な装置の小型・軽量化を達成した。具体的には、従来品に比して SSPA の出力は 3 倍に高出力化したにもかかわらず、質量および容積を、それぞれ、50%および 35%に低減した。

## 6 まとめ

本稿で紹介した各技術は、いずれも当社製品の中核部分をなす SSPA に関するキー技術である。一方、半導体の高性能化が進展していることも含め、SSPA には継続した低消費電力化を含む各種高性能化および小型・軽量化が要求されている。そのため、当社としては、お客様の各種ご要求にお応えできるよう、お客様との連携を密にしご要求を適切に把握した上で必要な SSPA の開発を継続して行っていく。

## 筆者紹介

事業統括部

技術部

小川 二良



事業統括部

技術部

稗田 忠晴



事業統括部

技術部

宮崎 慎也



事業統括部

技術部

會見 春樹



事業統括部

技術部

田添 晃



事業統括部

技術部

浅利 哲



事業統括部

技術部

四分一 浩二

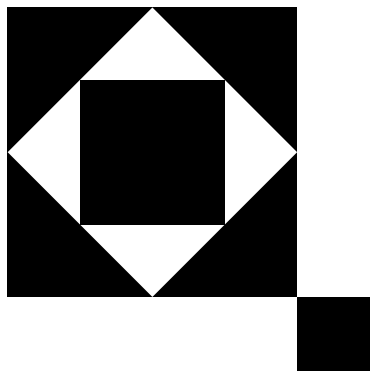


事業統括部

通信・電子統括

黒川 孝





## ミリ波帯広帯域ミクサ

### ■概要

本製品は、ミリ波帯超高速無線通信規格である IEEE802.11ad 用として開発した広帯域ミクサです。IEEE802.11ad で規定される 4 つの周波数帯域（チャンネル 1～4）に対応し、本製品一つで全 4 チャンネルに対応します。

### ■特長

- ・ミリ波帯無線 LAN 通信 IEEE802.11ad 用に最適です。
- ・IEEE802.11ad の 4 つの帯域（チャンネル 1～4）に対応、約 9GHz 幅の広帯域特性を実現します。

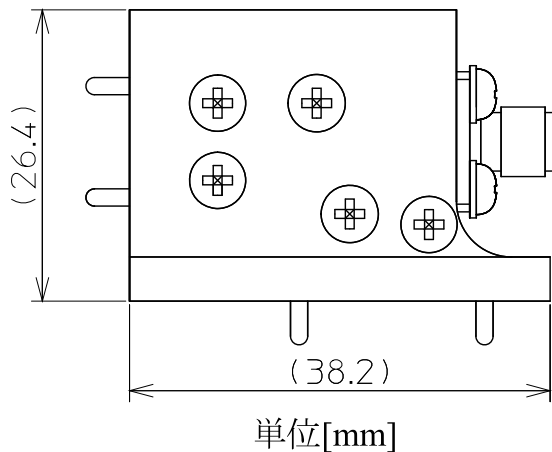
### ■主要性能

| 項目          | 性能   |
|-------------|--|
| 周波数         | RF : 57.22 ~ 65.9GHz<br>LO : 44.24 ~ 50.72GHz<br>IF : 12.98 ~ 15.18GHz |
| 変換損失        | -14dB 以下   |
| チャンネル内振幅偏差  | 4dB 以下   |
| LO 入力電力     | +10dBm 以上  |
| RF インターフェース | WR-15  |
| LO インターフェース | WR-19  |
| IF インターフェース | SMA (f)  |

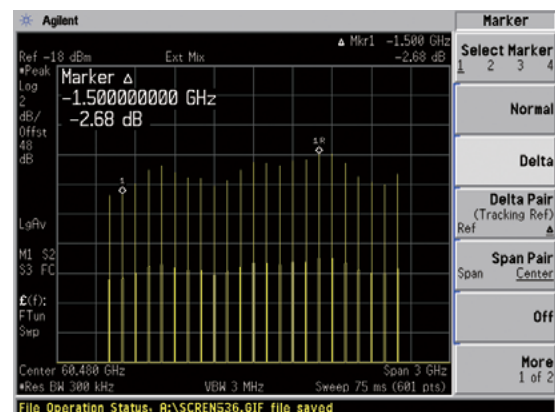
注 表はアップコンバータとしての性能



ミクサ外観



ミクサ寸法



チャンネル 2 (60.48 ± 1.1GHz) 振幅偏差 (代表値)

問い合わせ先  
事業管理部  
TEL 042-481-8573

## Ka 帯 E/O 変換器, 光ロータリージョイント

### ■概要

ROF (Radio on Fiber) 方式用の光コンポーネントを提供します。Ka 帯 RF 信号用 E/O 変換器は、光源と外部変調器で構成し、RF 信号を IF 信号にダウンコンバージョンすることなく Ka 帯 RF 信号を光伝送します。光ロータリージョイントは、光伝送区間に回転機構を有することを可能とし、End to End で伝送システムの ROF 化を実現します。

### ■特長

- ・E/O 変換器は、ペルチェ冷却型の LD (Laser Diode) に APC (Automatic Power Control) 機能を付加し、高精度・高安定なアナログ光伝送を実現しました。
- ・光ロータリージョイントは、低挿入損失、非接触による高信頼性、電磁障害の影響を受けない等の特長を有します。

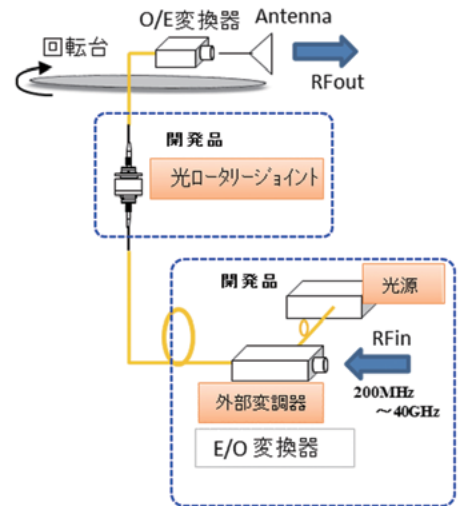
### ■主要性能

Ka 帯 RF 信号 E/O 変換器

| 項目       | 主要性能                       |
|----------|----------------------------|
| RF 出力レベル | Max 1.0 dB                 |
| RF リップル  | 2.0dBp-p ( 33GHz ~ 34GHz ) |
|          | 7.0dBp-p ( 1GHz ~ 34GHz )  |
| 波長       | 1550.12nm ± 0.1nm          |
| コネクタ     | FC/SPC                     |

光ロータリージョイント

| 項目   | 主要性能                                   |
|------|--|
| 挿入損失 | Max 1.0 dB                             |
| 回転変動 | Max 0.5 dBp-p                          |
| 波長   | 1.31 μm 又は 1.55 μm                     |
| ファイバ | Single-Mode (9 μm/125 μm)<br>2 mm ケーブル |
| コネクタ | SC/SPC Connector                       |
| 外形寸法 | W 102.7 × H 100.2 × D 30mm<br>(突起物含まず) |



光源

外部変調器

Ka 帯 RF 信号 E/O 変換器外観



光ロータリージョイント外観

問い合わせ先  
事業管理部  
TEL 042-481-8573



## 広帯域 (2 ~ 8GHz) ダブルリッジホーンアンテナ

### ■概要

2 ~ 8GHz まで広帯域にわたって使用可能なダブルリッジホーンアンテナです。全長 120mm 以下と小型のため、小スペースに設置できます。全帯域において VSWR2.0 以下を実現しました。

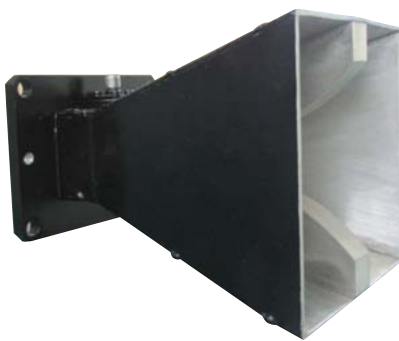
インターフェースは SMA コネクタ接続になります。

### ■特長

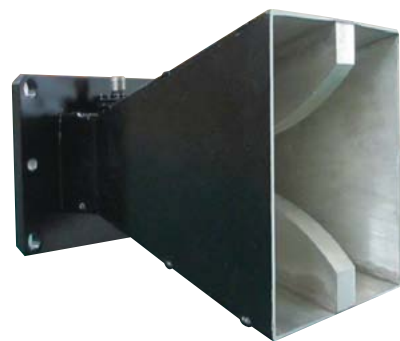
- ・広帯域で低 VSWR (Voltage Standing Wave Ratio) を実現。
- ・小型形状のため狭い設置スペースでも採用可能。
- ・アルミニウム製のため軽量。

### ■主要性能

| 項目          | 仕様  |   |
|-------------|---|---|
|             | アンテナ 1  | アンテナ 2                                      |
| 周波数範囲       | 2.0 ~ 8.0GHz                                  |   |
| 利得          | 6dBi 以上 (2GHz において)<br>10.5dBi 以上 (8GHz において) | 5dBi 以上 (2GHz において)<br>11dBi 以上 (8GHz において) |
| VSWR        | 2.0 以下  |   |
| RF インターフェース | SMA コネクタ                                      |   |
| 寸法          | 開口面 幅, 高さ : 120mm 以下                          | 開口面 幅, 高さ : 85mm 以下                         |
|             | 全長 : 90mm 以下                                  | 全長 : 120mm 以下                               |



アンテナ 1 外観



アンテナ 2 外観

## 広帯域 (2 ~ 8GHz) 高出力 AMP

### ■概要

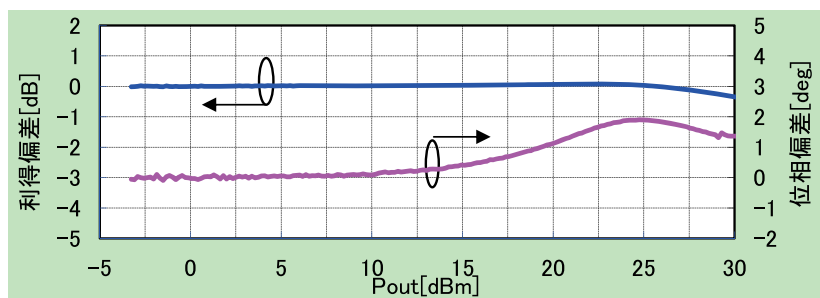
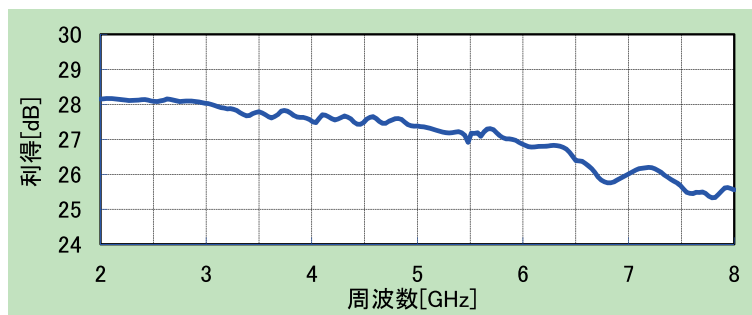
高性能なハイブリッドカップラを採用した、広帯域 (2 ~ 8GHz)、高出力な増幅器です。通信・レーダ等各種 RF 信号の増幅用途に適しています。

### ■特長

- ・広帯域 (2 ~ 8GHz) で高出力 (+32dBm 以上) な増幅器です。
- ・出力電力に対して利得, 通過位相偏差が少なく直線性に優れた増幅器です。

### ■主要性能

| 項目                      | 仕様  |
|-------------------------|---|
| 周波数                     | 2.0 ~ 8.0GHz  |
| 利得                      | 25.0 <sup>+3.5</sup> <sub>-0</sub> dB                 |
| 直線性<br>(利得偏差)<br>(位相偏差) | ± 1.0dB 以内 (+30.0dBm 以下)<br>± 3.0deg 以内 (+30.0dBm 以下) |
| P1dB                    | +32.0dBm 以上   |
| NF                      | 5.5dB 以下 (@+25°C)                                     |
| 入出力 VSWR                | 2.0 以下  |
| 消費電流                    | +15V, 1.5A 以下<br>-15V, 0.05A 以下                       |
| 外形寸法                    | 102.7 × 100.2 × 30.0mm<br>(突起物含まず)                    |



広帯域高出力 AMP 特性

問い合わせ先  
事業管理部  
TEL 042-481-8573

## 広帯域 (8 ~ 12GHz) Low Noise Amp

### ■概要

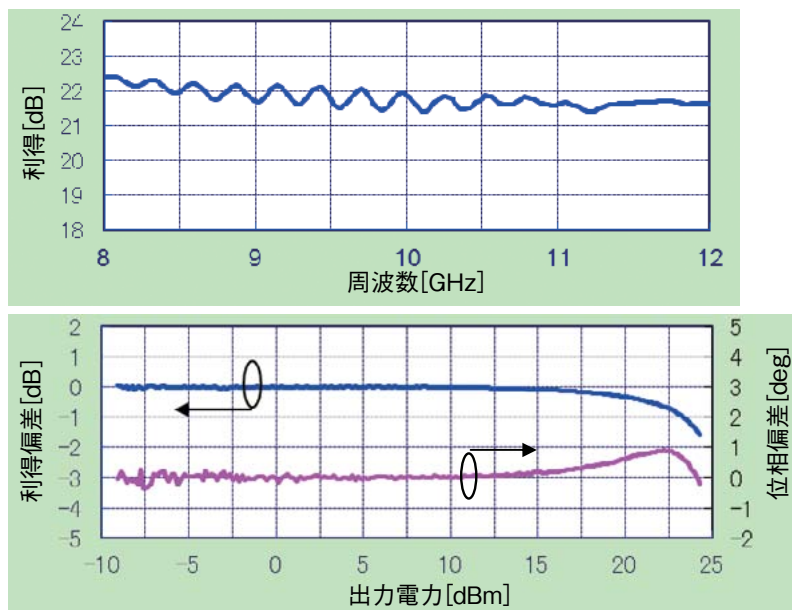
GaAs FETを採用した、X帯の広帯域 (8 ~ 12GHz) LNA です。全周波数帯域においてNF特性が3.5dB以下という低雑音特性を有しており、通信・レーダ等の各種RF信号の受信用途に適しています。

### ■特長

- ・広帯域 (8 ~ 12GHz) で低雑音 (NF : 3.5dB 以下) な増幅器です。
- ・出力電力に対して利得, 通過位相偏差が少なく直線性に優れた増幅器です。

### ■主要性能

| 項目                      | 仕様  |
|-------------------------|---|
| 周波数                     | 8.0 ~ 12.0GHz   |
| 利得                      | 21.0 ± 2.0 dB   |
| 直線性<br>(利得偏差)<br>(位相偏差) | ± 1.0dB 以内 (+22.0dBm 以下)<br>± 3.0deg 以内 (+22.0dBm 以下) |
| P1dB                    | +23.0dBm 以上   |
| NF                      | 3.5dB 以下 (@+25°C)                                     |
| 入出力 VSWR                | 2.0 以下  |
| 消費電流                    | +15V, 0.8A 以下   |
|                         | -15V, 0.05A 以下  |
| 外形寸法                    | 42.7 × 80.0 × 27.0mm<br>(突起物含まず)                      |



広帯域 Low Noise Amp 特性

問い合わせ先  
事業管理部  
TEL 042-481-8573

## 800MHz 帯送受信増幅装置（送受ダイバーシティ対応）

### ■概要

本製品は800MHz帯携帯電話基地局に用いるアンテナ分岐による合成分配損失を補償する送受信増幅装置です。

本製品を使用することにより、給電線損失によるエリア縮小を防ぐことができます。

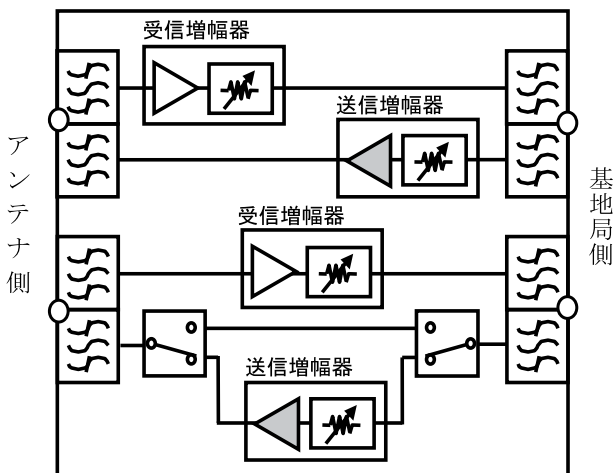
無線構成としては、送受ダイバーシティに対応した送受2系統を有しています。

### ■特長

- ①送信・受信個別に利得を設定することが可能です。
- ②日光の直射や風雨を考慮した屋外設置可能な構造となっています。
- ③各増幅器及び送受共用器を筐体と一体化構造とし、かつ送信増幅器の高効率化により小型・軽量化を実現しています。
- ④送受共用器は、構成部材の最適化により温度変動の少ない特性を実現しています。
- ⑤送信増幅器の歪補償方式には、APD（Analog Pre-Distortion）方式を採用し、高効率ドハティアンプとの組合せにより従来機種に比較し大幅な効率改善を行っています。
- ⑥無線性能は3GPPの規格に準拠しています。

### ■主要性能

| 項目         | 内容                            |         | 備考            |
|------------|-------------------------------|---------|---------------|
|            | 送信（下り）                        | 受信（上り）  |               |
| 最大送信出力電力   | 30W × 2系統                     | -       |               |
| 利得（送信・受信）  | 2～12dB                        | 10～20dB | 0.5dB STEP 可変 |
| 隣接チャネル漏洩電力 | 3GPP 準拠                       | -       |               |
| 雑音指数       | -                             | 3dB 以下  |               |
| 消費電力       | 350W 以下（DC-48V）               |         |               |
| 使用環境条件     | -10～+50℃，65% ± 30% RH         |         |               |
| 外形寸法       | 高さ 290mm × 幅 450mm × 奥行 190mm |         |               |
| 質量         | 19kg 以下                       |         |               |
| 構造         | 防まつ筐体・自然空冷                    |         |               |



ブロック図



製品外観

問い合わせ先  
**通信営業部**  
 TEL 042-481-8519

## 【特集論文】

自動車関連の熱処理技術



# 自動車関連の熱処理技術への取り組み

## Efforts to automobile-related heat treatment technology

谷口 直純  
Naozumi TANIGUCHI

### 1. まえがき

リーマンショックのあと長きに渡り景気の低迷が続き、設備投資も抑えられてきたが、昨今アベノミクスや円安の効果から、市況は緩やかな回復傾向にあり、特に産業の下支えとなる自動車部品、電気機器、精密機器を中心に、製造業は全体で9%程度の増益となり、設備投資も徐々にではあるが増えてきている。

このような市場環境の中、当社の産業用誘導加熱（IH）ビジネスは、1946年の創業以来60年以上の歴史をもち、出力で数kWからMWクラス、周波数で1kHzから2MHzの幅広い周波数帯の電源を取り揃え、応用分野として図1に示す通り、焼入れ、焼戻し、ろう付け、はんだ付け、予熱、乾燥、シール、焼嵌、焼鈍、溶解、蒸着、鍛造など、広

い用途に使用され、国内はもとより、東南アジアを中心に広く海外へも製品展開されている。

IHの特長である短時間加熱の特性を活用し、省エネ・低炭素社会への新たな取り組みとして、図2に示すように、非磁性材・磁性材薄板の均一加熱、塗装乾燥、塗装剥がし、シリコン溶解、エピタキシャル成長装置など、電気炉やガス炉とIHを組み合わせたハイブリット炉方式（炉からIH）や、超高温加熱用途などにも積極的に取り組んでいる。

我国の製造業の中で、自動車及びその部品は、経済を支える中核であり、世界に誇れる産業である。

物づくりの中心を担う自動車業界では、今後も多くの用途でIHが使われていくと考えられるが、鋼管材料に対しても同様で、焼入れ、焼鈍、予熱、乾燥、鍛造、ろう付けなど、広い用途での展開が期待される。<sup>[1]</sup>

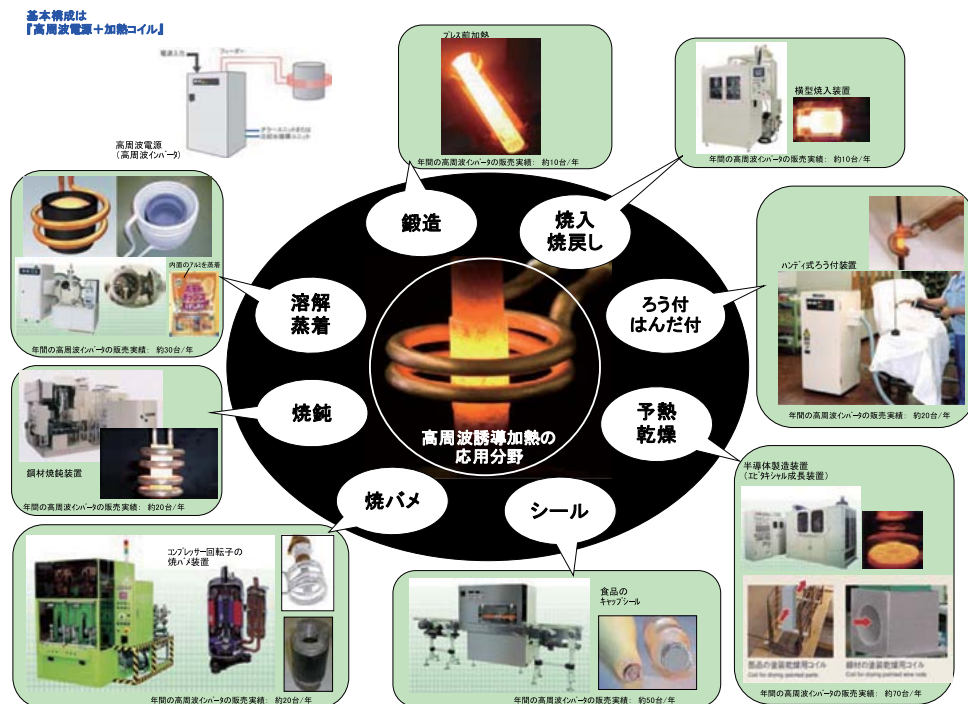


図1 IH 応用分野

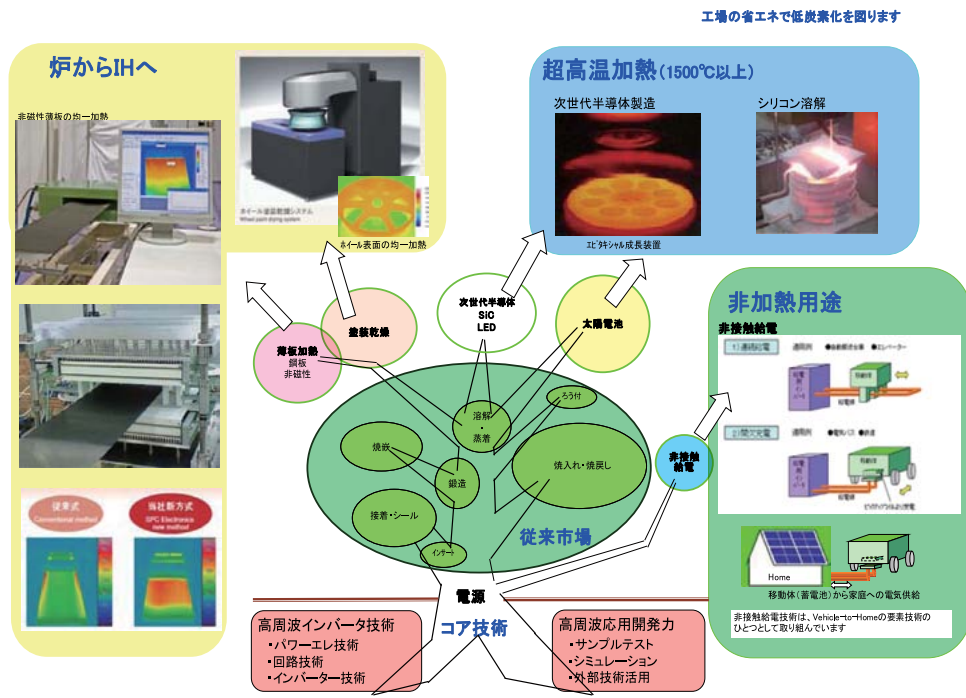


図2 IHによる省エネ・低炭素社会への取り組み

## 2. 自動車業界への取組み

自動車には約 4,000 種類、約 30,000 点を超えるような、他の製品に比べ非常に多くの部品が使われており、人命に関わる場所でもある事から、高い品質が求められる。このため精度の高い、高信頼性の加熱方法として、IH による熱処理が多くの製造工程で利用されている。

当社の製品も、図3に示すように、エンジン周辺や駆動部、タイヤやホイールを含む足回り、エアコンや各種モータなどの電装品、素材を含むボディーや内装品などを中心に、各種用途と目的で多数使われており、自動車業界へは IH 関連製品の平均売上に対して、約 30% 以上の納入実績を有している。

中でも、焼入れ、焼戻しの技術は、自動車用機械部品に対して不可欠な熱処理であり、表面焼入れや部分焼入れなどは、誘導加熱でしか処理できない技術として広く使われている。

## 3. 鋼管焼入れ用高周波電源

自動車業界では、近年、環境に配慮した低公害化を目指す動きが相次いでいるが、さまざまな性

能向上と、燃料消費削減に直結している車体の軽量化に対して、炭素繊維などは一部の高級車種に使用され始めているものの、現状は従来使用されている鋼板が主流となっている。鋼板での対応としては、肉厚を薄くすることが必須となるが、単純に素材の肉厚を薄くするだけでは強度が失われてしまう。そのため、強度を確保するにあたっては、弱い部位へ局部的に当て板などで補強する方法はあるものの、車体重量が増加するという問題が発生してしまう。その解決策として、高張力鋼板（ハイテン鋼）の焼入れ技術が用いられている。

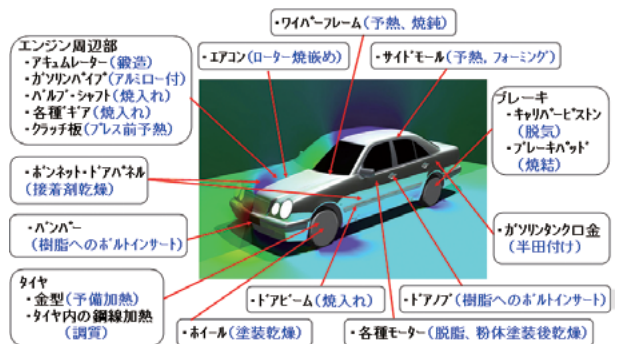


図3 IHの自動車用部品への使用例



この素材は、薄肉材料でも必要な強度を保つことが可能であり、剛性と軽量化という相反する課題を解決し、自動車用材料として多くの部位に使われている。

また、ハイテン鋼などを使った、自動車の軽量化技術が進むにつれ、正面からの衝突安全性はもとより、側面衝突に対しての安全性についても要求レベルが引き上げられており、補強材の一つとして鋼管が広く使われている。

この特集では、エンジン周辺や足回り、駆動系などのシャフト関連部品に、広く使われている焼入れ技術を応用し、他の熱源と比較して、短時間加熱、局所加熱の特長を活かした、鋼管焼入れ用高周波電源を紹介する。また、IHを活用する上で、複雑なワーク形状に対して、加熱コイル形状や加熱時間、冷却条件や温度バランスなど、焼入れ技術の主要な条件を正確に数値化できる最新の3Dシミュレーション技術を駆使することで、条件出しが短時間で可能となった。

更に、3DCADとデータをリンクさせることで設計を効率化し、立体的に構造検討を行うことで、加熱コイル部の設計時間を大幅に短縮することができた。

#### 4. むすび

2020年の東京オリンピックに向け、さまざまなかたちで新技術への取組みがなされており、自動車業界もEV車や燃料電池車など、新たな開発が進んでいる。当社も、自動車関連分野やそれに関わる素材分野への取組みを行うなか、従来技術や従来用途に加え、今回紹介した鋼管焼入れ技術の展開や、更に自動車業界のニーズに合わせた新技術への取組みを行っていく。

また、今まで培ってきた技術を応用し、地球環境への保全やエネルギー削減に積極的に取組み貢献していく。

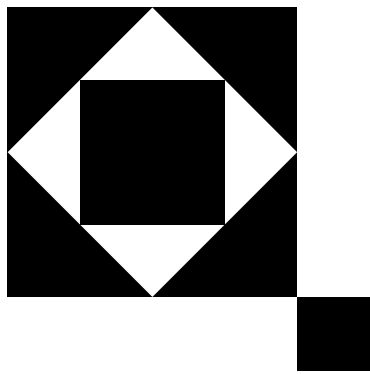
#### 参考文献

- [1] 経済産業省 2014年度ものづくり白書  
我が国ものづくり産業が直面する課題と展望

#### 筆者紹介

事業統括部  
産業IH営業部  
谷口 直純





# 鋼管焼入れ用高周波電源

## The High-Frequency Power Supply For Steel Pipe Quenching

守上 浩市  
Koichi MORIGAMI

篠塚 保志  
Yasushi SHINOZUKA

片岡 辰雄  
Tatsuo KATAOKA

### 1 まえがき

自動車や産業機器等の駆動部に使用される鉄鋼部品は、耐摩耗性を向上させるために、表面焼入れが施されている。表面焼入れには浸炭焼入れや火炎焼入れ、高周波焼入れ等の方法がある。特に誘導加熱を用いた「高周波焼入れ」は、安定した焼入れ特性が得られることに加え、生産性向上・省エネルギー・環境性など、近年の業界の要求を満足できることから広く利用されている。

本稿では、当社が開発した鋼管焼入れ用高周波電源を紹介する。

### 2 高速加熱型高周波電源

当社では、位相制御方式を用いた高速加熱型高周波電源「SBT-E (S) シリーズ」で出力容量が10～1000kWのものまで製品化している。

誘導加熱は、コイルが作り出す磁束に対し直角の方向に誘導電流が発生し、加熱対象物（以下、ワーク）を直接加熱する。また、誘導電流は高周波電流であるためワークの表面に集中して流れる。これを表皮効果といい、深さに対し指数関数的に減衰し、1/e倍となる深さを浸透深さと呼ぶ。浸透深さ $\delta$ は式(1)によって表される<sup>[1]</sup>。表1に代表金属の浸透深さを示す。

$$\delta = 5.03 \times 10^4 \sqrt{\frac{\rho}{\mu_r f}} \quad [\text{cm}] \dots \dots \dots (1)$$

ここで $\rho$ ：ワークの電気抵抗率 [ $\Omega \cdot \text{m}$ ]

$\mu_r$ ：ワークの比透磁率

$f$ ：周波数 [Hz]

表1 代表金属の浸透深さ

| 金属名               | 浸透深さ (mm) |       |        |
|-------------------|-----------|-------|--------|
|                   | 10kHz     | 30kHz | 200kHz |
| $\alpha$ 鉄 (25℃)  | 0.16      | 0.09  | 0.04   |
| $\gamma$ 鉄 (800℃) | 5.62      | 3.25  | 1.26   |
| SUS430 (磁性)       | 0.71      | 0.41  | 0.16   |
| SUS304 (非磁性)      | 4.43      | 2.56  | 0.99   |
| アルミニウム            | 0.95      | 0.55  | 0.21   |

誘導加熱の加熱効率に関して、管状ワークの厚みと浸透深さの関係を述べる。一般的には、ワーク厚に対して浸透深さが浅ければ加熱効率がよい。逆にワーク厚に対して浸透深さが深ければ加熱効率は下がる。しかし、図1のような管状ワークの場合には、ワーク厚に対して浸透深さが深い方が、加熱効率が高くなることが知られている。誘導加熱ではワークの材質、形状、厚みによって最適な浸透深さを選ぶことで、最適な加熱効率を得ることができる。

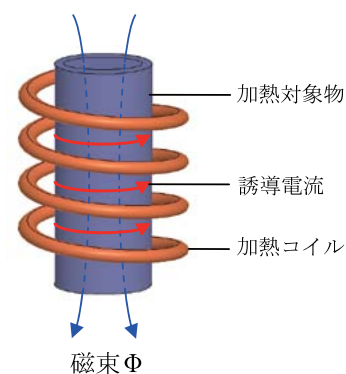


図1 加熱コイルと誘導電流

工業加熱の高速加熱、高速冷却を繰り返す量産処理工程では、生産性を更に向上させるために、高周波電源からの投入電力の立上りが高速かつ高

表2 SBT-E シリーズ仕様

| 型式        | SBT-E100                | SBT-E200                | SBT-E300                |
|-----------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 定格出力      | 100kW                   | 200kW                   | 300kW                   |
| 周波数       | H : 10 ~ 30kHz          | H : 10 ~ 30kHz          | H : 10 ~ 30kHz          |
|           | L : 3 ~ 10kHz           | L : 3 ~ 10kHz           | L : 3 ~ 10kHz           |
| 立上り特性     | 50ms 以下                 | 50ms 以下                 | 50ms 以下                 |
| 電源入力      | 3φ AC440V ± 10% 50/60Hz | 3φ AC440V ± 10% 50/60Hz | 3φ AC440V ± 10% 50/60Hz |
| 冷却方式      | 水冷                      | 水冷                      | 水冷                      |
| 外形寸法 (mm) | W800 × D700 × H1500     | W1200 × D850 × H1850    | W2200 × D1200 × H2000   |
| 重量        | 350kg                   | 650kg                   | 1050kg                  |

出力であることが重要となる。

当社では、出力の高速応答の用途に、50ms 以下の高速立上りが可能な SBT-E (S) シリーズを製品化している。本電源は、鋼管の移動焼入れや段付きシャフトの局部的な加熱、短期間サイクルの加熱等の高速加熱用途に最適である。表2に SBT-E シリーズの中から大出力高速焼入れに使用する 100kW、200kW、300kW の仕様を示す。図2に 200kW 高周波電源の外観を示す。



図2 200kW 高周波電源 (SBT-E200) 外観

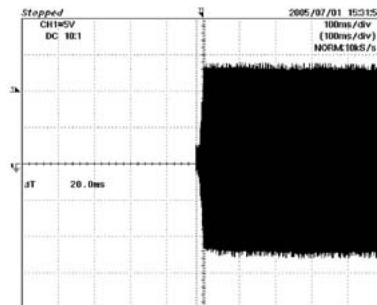
### 3 SBT-E シリーズ特長<sup>[2]</sup>

従来型電源では、三相交流電源を整流するためにサイリスタスタックを使用していた。商用電源電圧の正弦波を途中で点弧し、その点弧角を変えてインバータ部の入力電圧を可変させ、高周波電源の出力電力を制御している。SBT-E (S) シリーズ (高速型) では、整流部にはダイオードスタックを使用し、インバータ部で高周波電圧と電流位相を制御する位相制御方式を採用している。位相制御方式は従来型のサイリスタ制御方式と比べ以

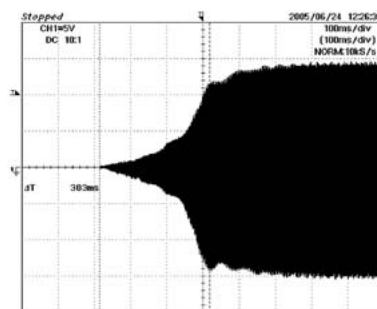
下の利点がある。

#### 3.1 高速立上り (出力立上り時間 50ms 以下)

サイリスタ制御方式は、商用周波数 (50 / 60Hz) の点弧角を可変するフィードバック制御で、通常、出力立上り時間が 200ms 以上であり、高速化回路を追加しても約 100ms が限界であった。位相制御方式では、インバータ部のスイッチング電圧と電流の位相差を変化させる高周波でのフィードバック制御であり、出力立上り時間は 50ms 以下 (従来比約 1 / 5) と、大幅に高速化した。図3に出力立上り特性の測定データを示す。



(a) SBT-E (S) シリーズ (位相制御方式)



(b) 従来型 (サイリスタ制御方式)

図3 従来型との出力立上り時間比較

### 3.2 信頼性向上, 低コスト化

従来型のサイリスタスタックによる整流は、大きなリップル電圧分を平滑するために、大容量の電解コンデンサが必要であり、充放電の繰り返し大電流による部品の性能劣化が避けられない。ダイオードによる整流では、リップル電圧成分は少なく平滑コンデンサが不要のため、定期的なメンテナンスおよび部品寿命による交換作業性が格段に少なくなり、製品レベルでの信頼性が大幅に向上すると共に、従来型と比較して部品点数が大幅に削減されている。

### 3.3 電源力率 95% 以上

サイリスタ制御方式は、三相交流電源の電圧・電流の位相ずれの発生により力率が悪化する。特に定格出力に対して、低出力設定時はその傾向が顕著であった。SBT-E (S) シリーズでは整流器にダイオードスタックを使用しているため、定格出力の 50% でも力率 90% 以上を維持し、定格出力時では理論値上限に近い力率 95% 以上となっている。図 4 に従来型との力率比較を示す。

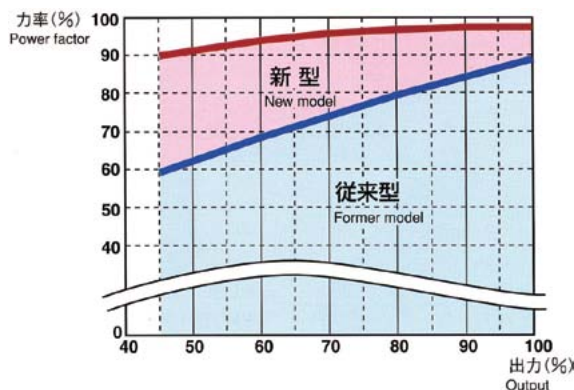


図 4 従来型との力率比較  
[ 新型：SBT-E (S) シリーズ ]

### 3.4 電源高調波の低減

従来型インバータと比較し、SBT-E (S) シリーズは電源入力電流の高調波成分（ひずみ）を大幅に低減している。また、高調波抑制対策ガイドラインに適合する 12 パルス方式のオプション構成が容易に対応可能である。表 3 に従来型と SBT-E(S) シリーズの高調波電流の発生比率を示す。

表 3 高調波電流発生比率（基本波との比率）

| 高調波電流                      | 5 次   | 7 次   | 11 次 | 13 次 | 17 次 |
|----------------------------|-------|-------|------|------|------|
| 従来型電源                      | 30.0% | 13.0% | 8.4% | 5.0% | 4.7% |
| SBT-E (S) シリーズ             | 17.5% | 11.0% | 4.5% | 3.0% | 0.5% |
| SBT-E (S) シリーズ<br>12 パルス方式 | 2.0%  | 1.5%  | 4.5% | 3.0% | 0.2% |

## 4 回路構成および動作原理<sup>[2][3]</sup>

図 5 に SBT-E (S) シリーズの系統図を示す。以下、動作原理について概要を説明する。

### 4.1 主回路系

主回路は、電源部、インバータ部、共振部で構成される。

三相電源からの交流電力は、6 個のダイオードで構成した三相全波整流器で直流電力に変換される。次に、この直流電力をインバータ部の高周波スイッチングにより高周波電力に変換し、共振部の出力トランス 1 次側に供給する。出力トランスはインバータ部と出力負荷側との絶縁、およびインピーダンスマッチングの機能があり、出力トランス 2 次側へ高周波電力を供給する。

### 4.2 制御系

制御部では、主にスイッチング周波数の制御と、高周波電流検出器からの高周波電流位相（フィードバック信号）による出力指令信号との比較による定電流制御を行う。

出力負荷は、電源に内蔵されている共振コンデンサ (C) と電源外部に接続される加熱コイル (L) からなる直列共振回路である。焼入れ用途のようにコイルインダクタンス値が小さい場合には、CT (カレントトランス) をコイル近くで接続してインピーダンス変換して電源出力に接続する。出力電流位相と出力電圧位相が同位相のとき出力電力が最大（フルマッチング）となる。また、出力電流位相が出力電圧位相よりも遅れる領域では出力電力が減少する。位相制御方式は以上の原理により、共振回路における高周波電流の位相を操作し、出力電力を可変する。実際には、インバータ部のスイッチング周波数は出力負荷の共振周波数よりも若干高い領域で 10% 程度偏移する。この偏移分は、誘導電流の浸透深さが周波数の 1/2 乗に反比例す

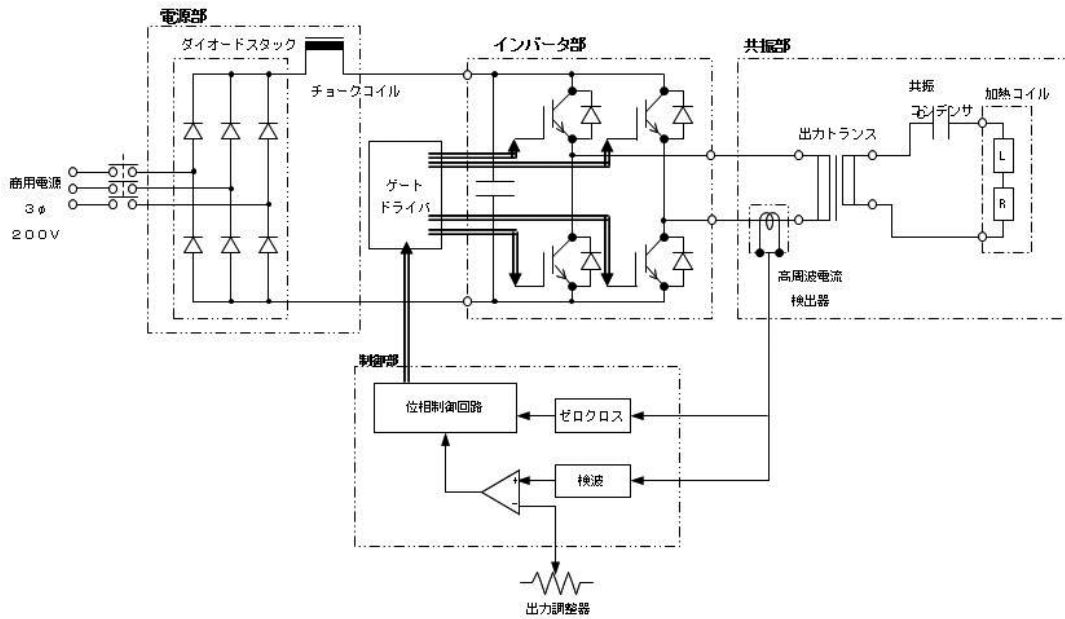


図5 SBT-E (S) シリーズ系統図

ることを考えると、焼入れ特性への影響は実際上ほとんどない。特に、薄板鋼管のキュリー点以上の場合は、浸透深さは板厚より数倍深くなっており、影響は無視できる。

### 5 移動加熱温度分布と立上り速度

弊社では、測定が困難な現象の把握や、加熱コイル、および電源の最適設計にシミュレーションを用いている。ここでは、出力立上り時間による温度分布の違いを誘導加熱 3D シミュレーションを用いて可視化した。

図6に解析モデルを示す。ワーク（被加熱物）は、内径60mm、厚さ1mmの管状ワークとし、加熱コイルは銅製角パイプ1ターン（幅10mm）、内径62mmとした。軸回転方向1/8モデルで解析を行った。

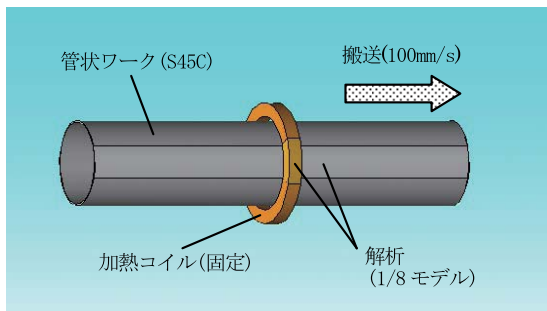


図6 解析モデル

まず、キュリー点以上の温度での周波数と加熱効率の関係を求めた（図7）。先に述べたように、管状ワークでは浸透深さの浅くなる高い周波数域での加熱効率は低くなり、比較的低い周波数である30kHz付近が最も高くなっている。この結果より、次の移動加熱温度分布解析は、周波数30kHzで行った。

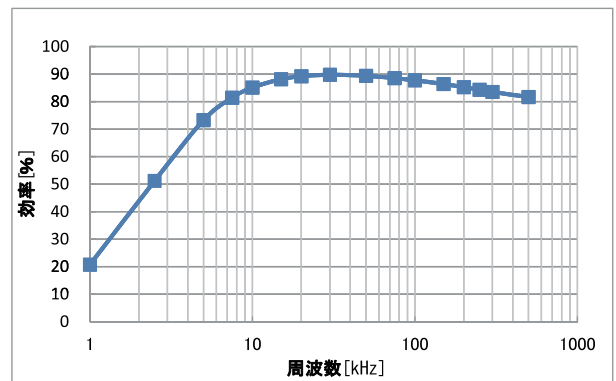


図7 周波数と加熱効率の関係（800°C時）

従来型電源と新型電源で、搬送される管状ワークを加熱した場合の温度分布解析結果を図8に示す。コイル電流は7500Aとした。従来型電源の立上り時間を200ms、新型電源の立上がり時間を50msとし、出力ONから500ms後の温度分布を比

較した。ワークの移動速度は100mm/sとした。

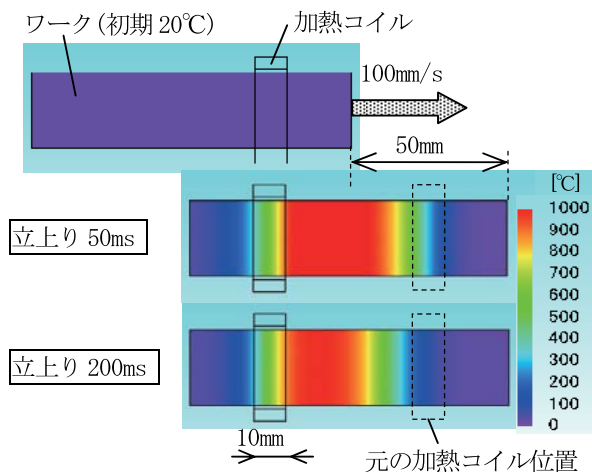


図8 立上り時間と温度分布(加熱後500ms後)

立上り時間が短い高速立上り電源を使用すると、温度遷移部が狭くなるため、局所的な加熱や短期間サイクル加熱など高速加熱用途に適していることがわかる。

## 6 むすび

今後もエネルギーコストの高騰や環境問題の観点から、機械部品や自動車部品の軽量化がますます必要とされていく中、鋼管材の高周波熱処理の適用はさらに拡大していくと想定される。それらを踏まえ、顧客のニーズに根ざした高周波電源の開発をしていくと共に、加熱コイル製作ではシミュレーションを積極的に活用することで、試験及び設計の効率化を図っていきたい。

## 7 参考文献

- [1] 松原 裕輔, 田内 良男: “カーボンファイバの誘導加熱技術”, 島田理化技報, No23, 2013
- [2] 村松 護, 梶田 学, 富田 始: “焼入れ用高周波高速インバータ”, 島田理化技報, No17, 2006.
- [3] 寺川 誠一, 木村 隆一: “新型高周波発振器 SBT-E200”, 島田理化技報, No11, 1999.

## 筆者紹介

事業統括部  
産業IH製造部  
守上 浩市

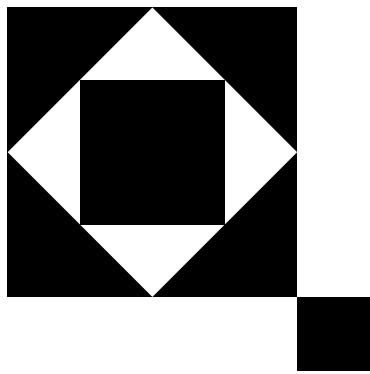


事業統括部  
技術部  
篠塚 保志



事業統括部  
産業IH製造部  
片岡 辰雄







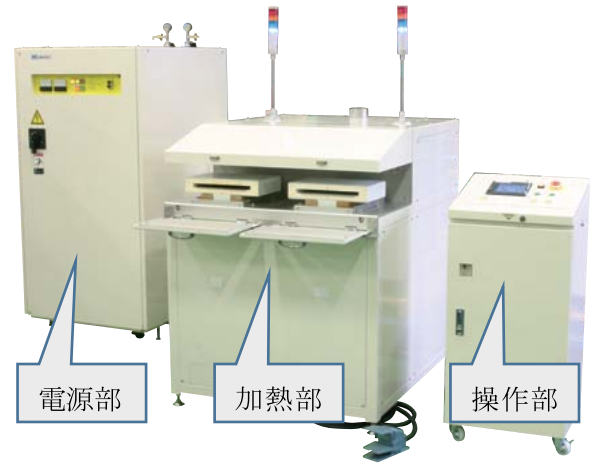
## 切り板プレス前誘導加熱装置

### ■概要

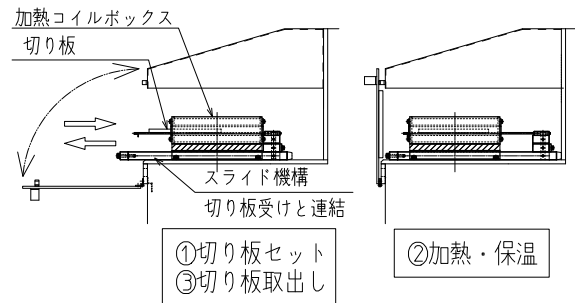
本装置は、鋼板などの切り板をプレスする前に約900℃に誘導加熱（IH）するもので、構成は、電源部、加熱部、操作部になります。従来は、作業者が切り板を工具で挟んで直火（ガス）で加熱していた作業を、IH方式に変えることで、高温になっていた作業場の環境が改善され、加工品質の向上を図ることができます。

### ■特長

- ①加熱コイル内での磁界による切り板自身の自己発熱のため、装置周辺温度が上がらず、クリーンな作業環境を確保できます。
- ②切り板のセットと取り出しは、オプションのスライド機構を取り付けることで簡単に対応ができます。
- ③左右の加熱コイルの運転は、タッチパネルから選択が可能で、片方の加熱中にもう一方に切り板をセットすることができ、作業効率が上がります。
- ④加熱時間は、約20秒／個程度であり、運転条件（処理時間、加熱出力、温度保持出力）をタッチパネルからプログラム設定できるので、繰り返し加熱に対して、高い温度精度を実現できます。
- ⑤ロボットや自動搬送装置を使うことで、無人化対応も可能であります。



装置外観（HFH-SFT100）



操作手順

### ■用途例

- ・鋼板の切り板プレス前加熱
- ・切り板の連続送り加熱（加熱部改造有り）
- ・切り板の材質は、鋼材の他、非磁性ステンレスなど対応可能

### ■主要仕様

| 型名          | 周波数 (kHz) | 板厚 (mm) | 加熱部 入力電力 (kW) | 加熱温度 MAX (℃) | 冷却水 (L/min) | 加熱部 外形寸法 W × H × D (mm) | 装置 全質量 (kg) |
|-------------|-----------|---------|---------------|--------------|-------------|-------------------------|-------------|
| HFH-SBTES30 | 25        | 6～10    | 30            | 900          | 30          | 1000 × 1300 × 1250      | 800         |
| HFH-SBTES75 | 25        | 6～10    | 75            | 900          | 50          | 1000 × 1300 × 1250      | 1000        |
| HFH-SFT50   | 100       | 3～10    | 50            | 900          | 40          | 1000 × 1300 × 1250      | 800         |
| HFH-SFT100  | 100       | 3～10    | 100           | 900          | 50          | 1000 × 1300 × 1250      | 1000        |

問い合わせ先  
事業管理部  
TEL 042-481-8573

# 特許紹介

## リミッタ装置、レーダシステム 特許第 5235031 号

出願 2011 年 3 月 発明者 日下 洋, 横 敏夫

### ■概要

マイクロ波帯やミリ波帯を用いたレーダシステムにおいて、過大な電力が受信端に入力された場合、レーダシステムの受信部を保護するために、マイクロ波リミッタ装置が用いられる。

本発明は、マイクロ波リミッタ装置の特性の均一化と、アンテナ側への不要放射抑制方法に関するものである。

### ■従来技術の課題

従来のマイクロ波リミッタ装置には、受信部を保護する抑制器として PIN ダイオードを用いているが、その動作原理から、自己バイアス電流の閾値のバラツキがマイクロ波減衰量のバラツキに繋がる。その結果マイクロ波リミッタ装置の特性が不均一になる。また、PIN ダイオードのインピーダンス不整合による基本波の反射に加え、PIN ダイオードの非線形性に起因する高調波成分までもがアンテナに返される。このような反射成分が、アンテナから副次的に発射されて電波法の規制に抵触することがある。

これらの問題に対して従来では、例えば PIN ダイオードの特性の選別と電気的な調整が要求されるが、コスト及び時間が増大して実現が非常に困難であった。

### ■発明の手段と効果

本発明のマイクロ波リミッタ装置の構成を図 1 に示す。まず、アンテナより受信した受信波を受信電力計測部にて計測する。その電力値に応じて、伝送する受信波を減衰、遮断する制御信号を、制御部から生成する。また、抑制器は可変減衰器、又は吸収型 SPDT スイッチで構成され、前述の制御信号の指示に応じて、受信波を減衰、遮断し、後段の受信部への影響を抑制する。これによってアンテナ側への反射波も抑制される。いずれの構成の抑制器でも受信波の減衰に PIN ダイオードを用いずに、受信波を減衰、あるいは遮断すること

から、PIN ダイオードの特性のバラツキや、インピーダンス不整合により生じる従来の問題を解決することが可能である。

また、LNA 制御部を備えており、抑制器で抑制できない程度の大電力の受信波を受信した場合でも、LNA の動作を停止させることで、LNA 以降の受信部を保護することも可能である。

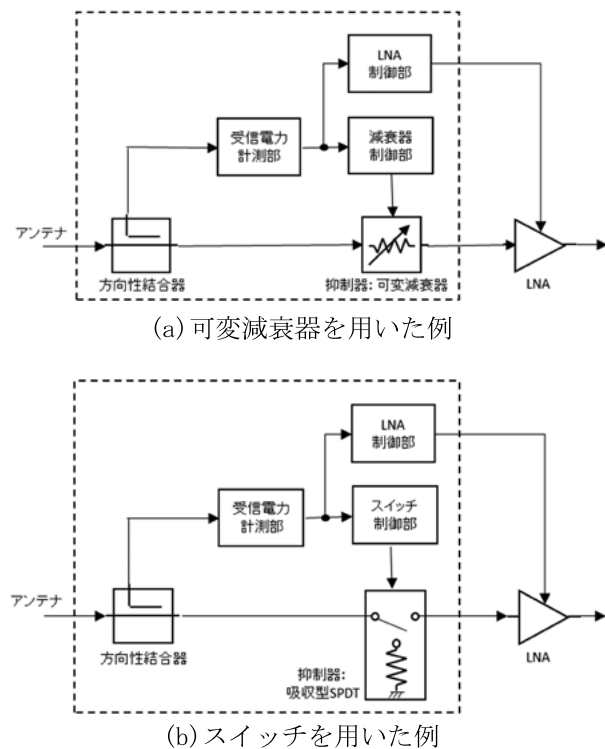


図 1 本発明を適用したマイクロ波リミッタ装置

# 特許紹介

## 金型の加熱・冷却構造 特許第 5243362 号

出願 2009 年 7 月 発明者 石間 勉 (株式会社ホンダロック殿と共同出願)

### ■概要

本発明は、プラスチック成型などに使用される金型の加熱分野で使われるものであり、誘導加熱 (IH) を利用して金型を急速加熱し、直後に冷却水を加熱コイルの回りの隙間に流して、急速冷却することにより、加熱と冷却を短時間に行うことのできる構造を特徴としている。

### ■従来技術の課題

樹脂の金型には製品の表面転写性から急速加熱、急速冷却が求められている。誘導加熱を利用した急速加熱は従来から行われているが、加熱後の冷却に時間がかかってしまうことが課題となっていた。

### ■発明の手段と効果

誘導加熱用の銅パイプコイルには金型から接触しないように隙間を開けている。これは、絶縁を確保するとともに、加熱時にコイルの内側を流れる冷却水からの金型への冷却を防止している。本発明では、図 1 に示すように、誘導加熱時にはこの隙間にエアを流しておき、加熱が終了した直後には、切換により冷却水を流し込む構造としている。次の加熱時には、エアで冷却水を排水した後に誘導加熱を開始する。

さらに、図 2 に示すように、金型ブロック部と母型との間に配置した絶縁材で周囲の構造体 (母型) から熱絶縁させる構造とし、金型の加熱、冷却を加速させている。

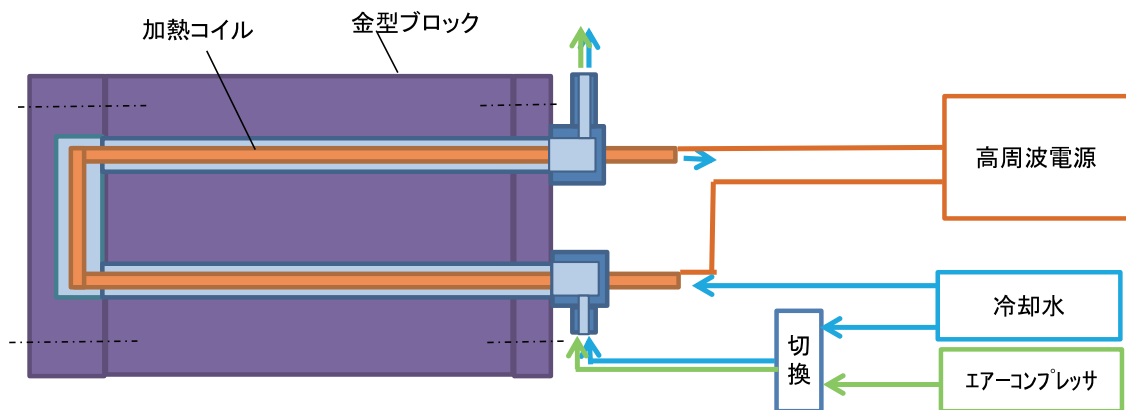


図 1 本発明の構成

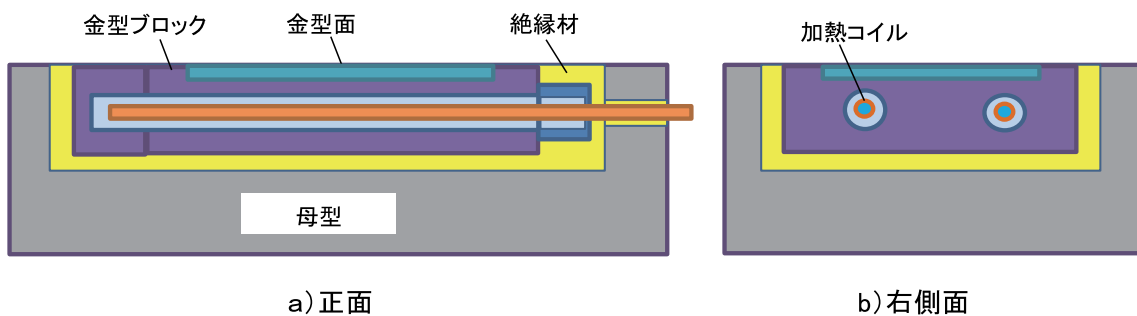
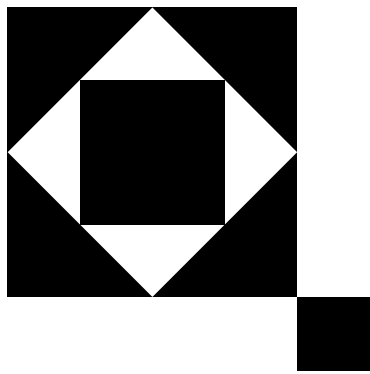


図 2 本発明の金型側面図



## 特許登録紹介

(2013年4月～2014年3月登録分)

| 登録番号    | 発明の名称 | 発明の概要    |   | 備考 |
|---------|-------|----------|---|----|
| 5341121 | 共振器   | 発明の利用分野  | 共振棒により励振された高周波信号を導体からなる線路を介して伝播することが可能な共振器。   |    |
|         |       | 従来技術の課題  | 共振器をダイキャストの工法により一体成型する場合には、治具による線路の配設作業を行わなければならない、作業性が悪かった。  |    |
|         |       | 発明の手段と効果 | 高周波信号を線路を介して伝播することが可能な共振器において、ハンダ付け作業を行うことなく線路を配設することができ、また簡単な構成により共振棒と短絡していない状態で線路を所定の位置に配設することができる。   |    |
| 5341120 | 共振器   | 発明の利用分野  | 高周波信号を伝播し、共振棒のみを備えた複数の共振器と組み合わせられてフィルタ装置を構成する共振器。   |    |
|         |       | 従来技術の課題  | ハンダ付け処理によって結合線路を接続する際に、ハンダごての熱が筐体から放熱されてしまい、ハンダ付け処理の作業性が悪化する問題があった。さらにダイキャストの工法上、共振棒の側面にそれぞれ結合線路を接続するための穴を設けることが困難な場合もあり、容易に筐体および共振棒を一体成型することができなかった。 |    |
|         |       | 発明の手段と効果 | 高周波信号を結合線路を介して伝播する構成の共振器において、ハンダ付け処理を行うことなく結合線路を配設することができる。   |    |
| 5335835 | 共振器   | 発明の利用分野  | 高周波信号を伝播し、共振棒のみを備えた複数の共振器と組み合わせられてフィルタ装置を構成する共振器。   |    |
|         |       | 従来技術の課題  | アンテナ方式の入出力機構を備えた共振器において、アンテナをそれぞれ共振器内に接触しないように配設する必要があり、同共振器を製作する際には、アンテナを最適な結合度に位置決めするために専用の治具を使用するか、結合度を調整するためのネジを別途設ける必要があり、同共振器を簡単に製作することができなかった。 |    |
|         |       | 発明の手段と効果 | アンテナ方式の入出力機構を備えた同共振器において、アンテナの位置決めによる結合度最適化が容易であるとともに結合度を調整するネジを設ける必要がなくなる。   |    |

| 登録番号    | 発明の名称          | 発明の概要    |   | 備考                       |
|---------|----------------|----------|---|--------------------------|
| 5269943 | 誘導加熱装置         | 発明の利用分野  | 非磁性材および磁性材よりなる薄板状の被加熱物を加熱する際に用いる誘導加熱装置。   |                          |
|         |                | 従来技術の課題  | トランスバース型誘導加熱装置を薄板状被加熱物の搬送路状に複数設けて、同複数の誘導加熱装置を用いて段階的な昇温パターンにより加熱を行うようにしていたが、複数の誘導加熱装置を配置するスペースが必要になることや、複数の誘導加熱装置を用いるためにコストが高かった。このため、トランスバース型誘導加熱装置の搬送方向において薄板状被加熱物を保温するための長さを確保することができず、薄板状被加熱物を保温することができなかった。 |                          |
|         |                | 発明の手段と効果 | トランスバース型の誘導加熱装置であって、スペースと効率の良い、段階加熱や保温を行うことができる。  |                          |
| 5307267 | 誘導加熱コイル        | 発明の利用分野  | 平面加熱を行う誘導加熱コイル。   |                          |
|         |                | 従来技術の課題  | 銅パイプ内を循環する冷却水による方式では、以下の問題があった。①銅パイプとフェライトコアとの接触面積が小さいため十分な冷却効果が得られない。②フェライトコアは、輻射熱による加熱や度重なる使用により除々に劣化する。③フェライトコア交換時に、銅パイプからフェライトコアを取り外す際に、銅パイプに力がかかり銅パイプの形状が変形し修正が必要となるため、フェライトの交換において、本作業が作業者にとって負担となっていた。   |                          |
|         |                | 発明の手段と効果 | フェライトコアを効率よく冷却することができ、かつフェライトコアを容易に交換することができる。  |                          |
| 5342921 | 金属板の誘導加熱装置     | 発明の利用分野  | 連続焼鈍工程などにおいて、搬送中の金属板を加熱するためのトランスバース型構造を備えた誘導加熱装置。   | 新日鉄住金エンジニアリング株式会社殿との共同出願 |
|         |                | 従来技術の課題  | 各鉄心の磁極間の漏洩磁束が増加して、金属板を貫通する加熱用磁束が急激に減少してしまうため、十分な加熱効率が得られない。このため、金属板を十分に加熱できるように誘導コイルを増加したり、また誘導加熱電源の出力を高めたりする必要があり、設備コストやランニングコストが増大していた。   |                          |
|         |                | 発明の手段と効果 | 磁極間の漏洩磁束を減少させることにより、設備コストやランニングコストの増大を招くことなく金属板の加熱効率の向上が図れる。また、雰囲気ガスのシール及び各誘導コイルの保護を行った状態で、金属板を不活性ガス雰囲気内で加熱することができる。  |                          |
| 5243362 | 金型の加熱・冷却構造     | 別掲       |   | 株式会社ホンダロック殿との共同出願        |
| 5235031 | リミッタ装置、レーダシステム | 別掲       |   |                          |

## 営業分野及び主要製品

### 【電子機器】

同軸・導波管コンポーネント

- ・通信用／レーダ用／エネルギー応用マイクロ波コンポーネント

通信機器

- ・移動体通信基地局用送受信増幅装置
- ・移動体通信用エリア拡張装置
- ・移動体通信基地局周辺機器
- ・移動体通信基地局用収容箱
- ・ミリ波／マイクロ波モジュール
- ・VSAT用機器

電子機器

- ・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
- ・放射線治療装置用マイクロ波コンポーネント及び発振器

### 【産業機器】

高周波誘導加熱（IH）方式による各種加熱装置及び付帯設備

- ・高周波溶解装置
- ・高周波焼入装置
- ・高周波焼バメ装置
- ・高周波ろう付，半田付装置
- ・薄板加熱装置（磁性・非磁性材対応）
- ・塗装乾燥装置
- ・各種高周波インバータ

#### 島田理化技報編集委員会

委員長 石間 勉  
副委員長 黒川 孝  
大竹 康紀  
委員 浅利 哲  
高木 聖二  
渡邊 信行  
四分一 浩二  
田内 良男  
事務局 吉岡 善信  
野田 幹一郎  
堀米 義嗣  
大和田 達郎

島田理化技報 No.24(無断転載を禁ず)  
2014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)481-8596 (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 東京都港区南青山1-1-1(新青山ビル西館)  
株式会社 アイブラネット  
TEL 03-3475-3151

