

金属3Dプリンターを利用した導波管コンポーネント

湯川秀憲*
安部素実*
牛嶋 優*

Waveguide Components Manufactured by Metal 3D Printer

Hidenori Yukawa, Motomi Abe, Yu Ushijima

要 旨

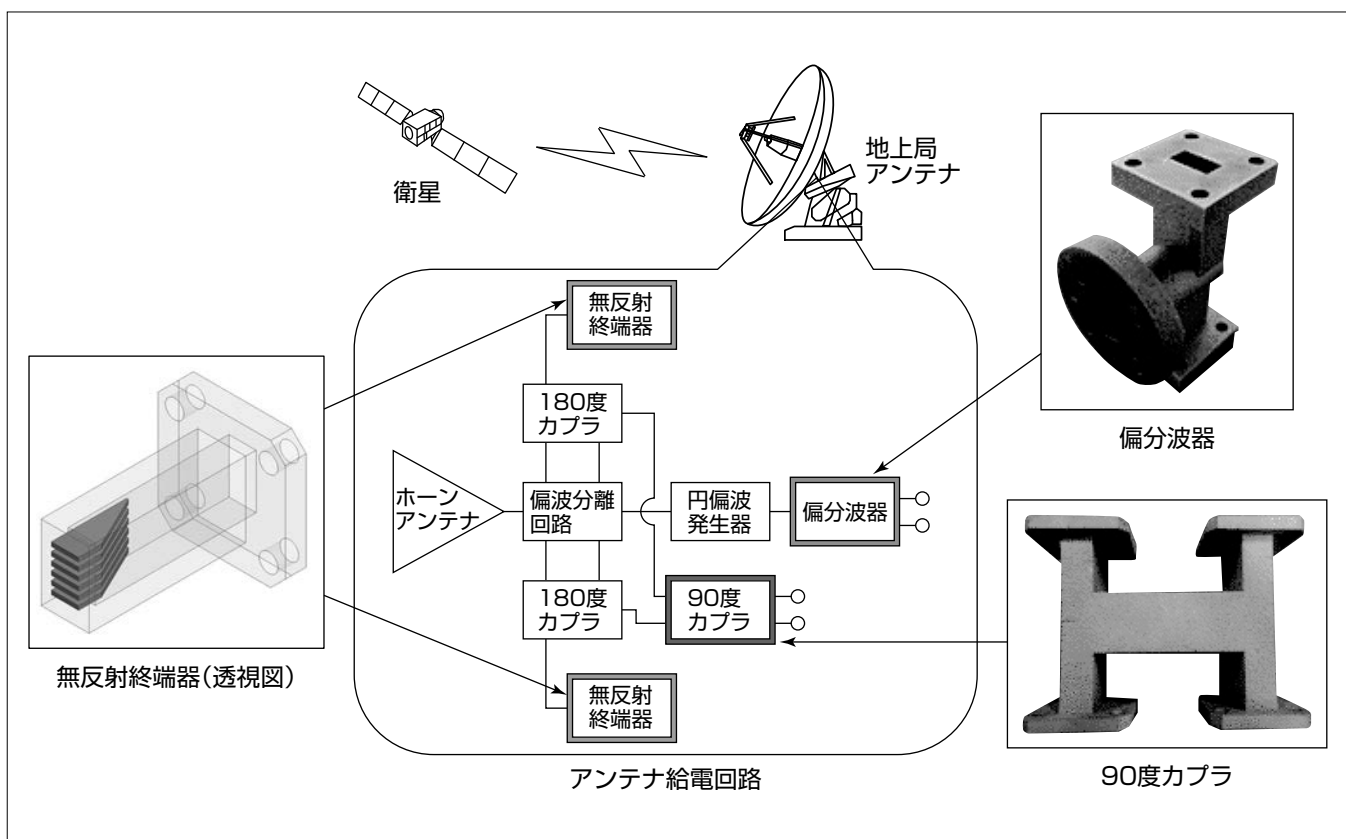
三菱電機では、衛星通信用アンテナ給電回路の一体形成と軽量化を目的に、3Dプリンターの利用による導波管コンポーネントの開発を進めている。3Dプリンターでは、複雑な形状の一体形成、カスタマイズ、軽量化などが可能になる一方、粉末を使用するため粉末の粒子サイズに依存した面粗さや製造誤差の増大などの問題も生じる。

そこで、3Dプリンターの利点と欠点を考慮し、製造誤差の影響を低減する90度カプラと偏分波器、ほかのコンポーネントとの一体形成を可能にする無反射終端器を開発した。

90度カプラは六角形導波管を適用することによって製造時の変形を低減し、機械切削品と比べ同等の反射特性

(23dB)と軽量化(従来比2/3)を実現した。また偏分波器については、従来に比べて簡易な構造を考案して製造誤差の影響を低減し、機械切削を想定した従来品と同等以上の反射特性(22dB)を実現した。さらに吸収体が用いられる無反射終端器については、ほかのコンポーネントとの一体形成後でも吸収体の挿入を可能にするスリットを設けた短絡端構造を考案した。

なおコンポーネント単体では面粗さの増大による損失の増大は不可避である。今後さらに3Dプリンターの利点を生かし、コンポーネント同士を機械切削ではできない最短経路で接続するなどしてアンテナ給電回路としての低損失化を図り、実運用化に向けた開発を進めていく。



衛星通信用アンテナ給電回路の構成と導波管コンポーネント

3Dプリンターの利点と欠点を考慮し、製造誤差の影響を低減する90度カプラと偏分波器、ほかのコンポーネントとの一体形成を可能にする無反射終端器を開発した。90度カプラは信号を分配する回路、偏分波器は直交する二つの偏波からなる信号を分離する回路、無反射終端器は不要な漏れ信号を吸収する回路である。一般的な機械切削と比べて同等の反射特性が得られ、2/3に軽量化できることを確認した。

1. ま え が き

近年3Dプリンターによって製造された部品の実製品適用が様々な分野で始まりつつある。3Dプリンター技術は、三次元の形状データをもとに粉末樹脂や粉末金属などの材料を一層ずつ層状に積み重ねて目的の立体形状とする製造技術である⁽¹⁾。複雑な形状の一体形成、カスタマイズ、軽量化、製造期間の短縮、製造コストの削減などが可能になるため、多様なニーズに応じた早期の開発が容易になり多品種生産品への適用に有効である。一方で粉末を使用するため、粉末の粒子サイズに依存した面粗さや製造誤差の増大、積層中に生じる粒子の欠落による機械強度不足などの問題も生じる。

衛星通信用アンテナ給電回路に代表される高周波導波管コンポーネントは典型的な多品種生産品であり、3Dプリンターの利用は魅力的である。そこで当社では衛星通信用アンテナ給電回路の一体形成と軽量化を目的に、3Dプリンターの利用による導波管コンポーネントの開発を進めている⁽²⁾⁽³⁾。

本稿では、3Dプリンターの利点と欠点を考慮し、製造誤差の影響を低減する90度カプラと偏分波器、ほかのコンポーネントとの一体形成を可能にする無反射終端器の開発内容について述べる。いずれも設計周波数帯はK帯である。粉末材料としては製造後に金属めっきが必要となる粉末樹脂ではなく、製造後にそのまま使用できる粉末金属を用いた。2章で90度カプラ、3章で偏分波器、4章で無反射終端器の各開発内容について述べる。

2. 90度カプラ

2.1 構成

90度カプラは入力端子から入力された信号を通過端子と結合端子に分配して出力するコンポーネントである。図1に提案するブランチライン形90度カプラの構成(空洞部)を示す。この構成では、一般的な矩形(くけい)導波管ではなく六角形導波管を適用したことが特長である。なお試作品では各端子は直角に折り曲げて引き出している。

図2に3Dプリンターでの製造を想定した場合の矩形導波管と六角形導波管の断面の比較を示す。従来の矩形導波管では積層の際に自重のため水平天井が垂れ下がってしまう。これを解決し、かつ、電気性能も考慮して、3Dプリンター積層面(図2中の破線部)に対して造形角度 θ が45度傾く三角屋根形状とした。

2.2 試作評価結果

図3に試作した等分配(結合度3dB)の90度カプラを示す。アルミ合金(AlSi10Mg)を材料として粉末床溶融結合法⁽⁴⁾による金属3Dプリンターを用いて、図2に示す積層面で製造した。図4、図5に評価結果を示す。製造誤差の影響によって測定結果と計算結果に差異は見られるものの、比

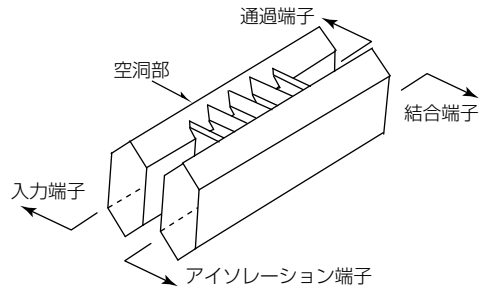


図1. 提案するカプラの構成(空洞部)

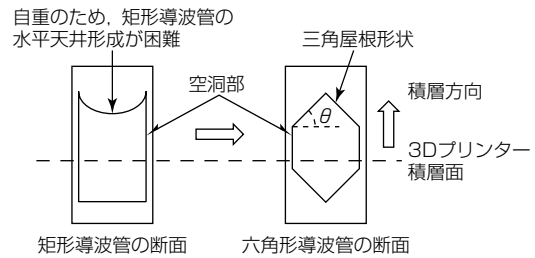


図2. 導波管断面の比較

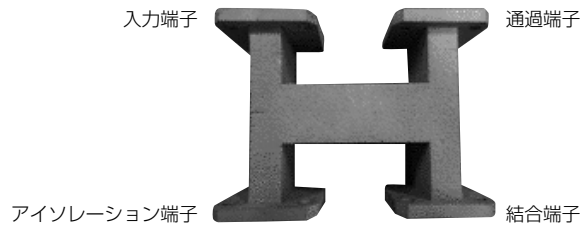


図3. 金属3Dプリンターによる90度カプラの試作品

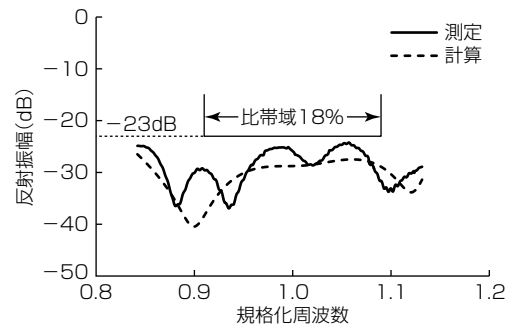


図4. 90度カプラの入力端子での反射特性

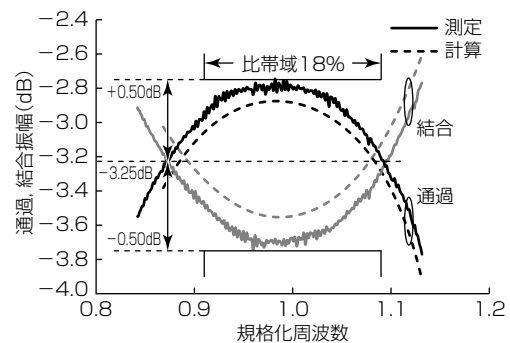


図5. 90度カプラの通過・結合特性

帯域18%で、反射振幅-23dB以下、結合度3.25dB±0.5dB、損失0.25dB(=結合度実測値3.25dB-結合度理想値3dB)が得られた。また図6に示すように、機械切削による製造

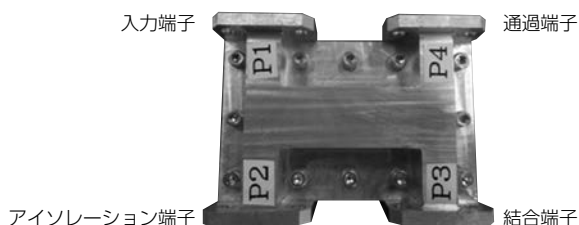


図6. 機械切削による試作品(90度カプラ)

表1. 特性の比較

	3Dプリンター	機械切削
結合度	3.25 ± 0.5dB	3.1 ± 0.5dB
反射振幅	-23dB以下	-22dB以下
質量	96g	149g

も併せて行い特性について比較した。表1に特性の比較を示す。機械切削では一体形成ができないため二つのパーツに分割して製造し、ねじでとめている。ねじをとめるための容量が増えること、またねじの質量が加わることから、機械切削品の質量は増大する。3Dプリンター製造品は機械切削品と比較して、損失の増大は0.15dB程度であり、質量は36%減を実現した。

3. 偏分波器

3.1 構成

偏分波器は、共通端子(円形導波管)から入力された直交する二つの偏波からなる信号を分離し、それぞれ異なる分岐端子(矩形導波管)に出力するコンポーネントである。図7に提案するT分岐形偏分波器の構成(空洞部)を示す。良好な反射特性を実現するため、図8に示すように共通端子の中心軸上からオフセット配置した階段状円すい台だけを短絡端に設けたことが特長である。従来のT分岐形偏分波器⁽⁴⁾では図9に示すように中心軸上に配置した階段状円すい台に複数の突起が設けられている。提案構成は従来構成に比べ簡易な構成であり、製造誤差の影響を低減できる利点がある。また提案構成は階段状円すい台がオフセット配置されているため共通端子側からドリルが入らない箇所があり機械切削での製造が困難である。その点でも3Dプリンターでの製造ならではの構成となっている。

3.2 試作評価結果

図10に試作した偏分波器を示す。90度カプラと同様、アルミ合金(AlSi10Mg)を材料として金属3Dプリンターを用いた。図11にH面分岐端子での反射特性、図12にH面分岐端子-共通端子間の通過特性を示す。製造誤差の影響によって測定結果と計算結果に差異は見られるものの、比帯域8%で、反射振幅-22dB以下、損失0.3dB(=-通過振幅)以下が得られた。さらに、これらの測定結果について、従来の構成を機械切削で製造したと想定した場合の計算結果(製造誤差を与えた場合の最悪値)と比較した。表2に特性の比較を示す。3Dプリンター製造品は従来構成の

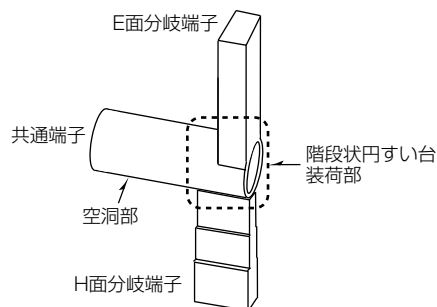


図7. T分岐形偏分波器の構成(空洞部)

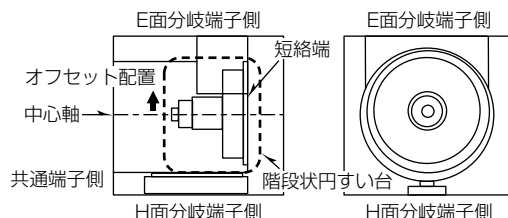


図8. 提案する階段状円すい台の構成(透視図)

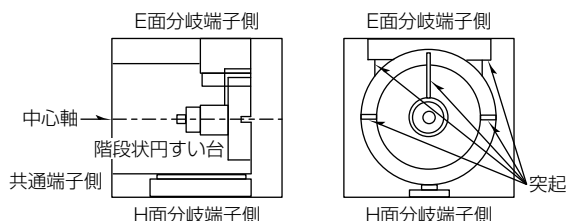


図9. 従来の階段状円すい台の構成(透視図)

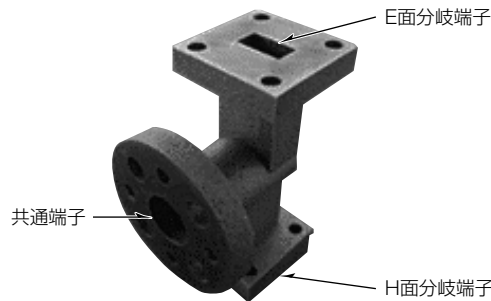


図10. 金属3Dプリンターによる偏分波器の試作品

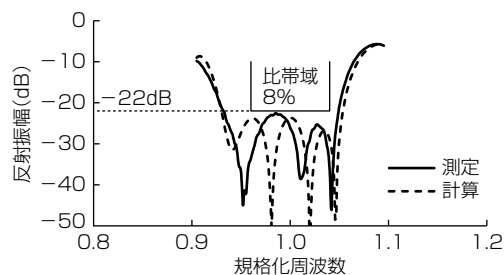


図11. 偏分波器のH面分岐端子での反射特性

機械切削品と比較して、損失の増大は0.2dB程度で同等以上の反射特性を実現した。

4. 無反射終端器

4.1 構成

無反射終端器は入力された信号を吸収するコンポーネン

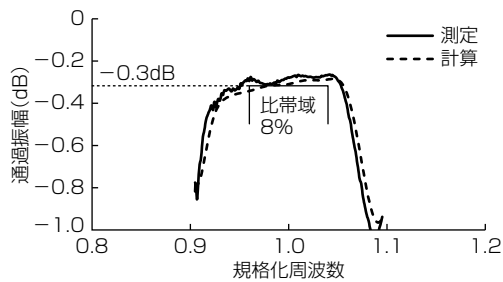


図12. 偏分波器のH面分岐端子-共通端子間の通過特性

表2. 特性の比較

	3Dプリンター(提案構成)	機械切削(従来構成)
損失	0.3dB以下	0.1dB以下(注1)
反射振幅	-22dB以下	-17dB以下(注1)
質量	26g	-

(注1) 計算値

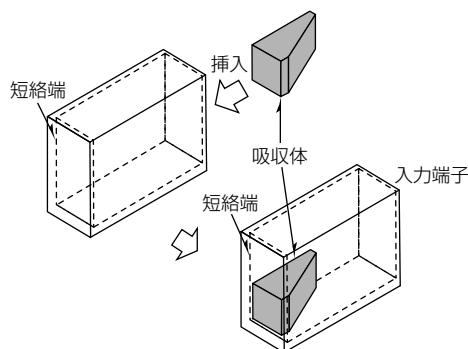


図13. 従来の无反射終端器の構成(透視図)

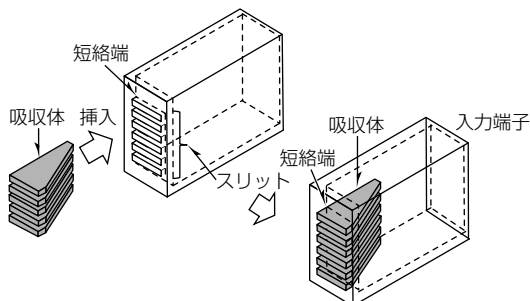


図14. 提案する无反射終端器の構成(透視図)

トである。アンテナ給電回路で不要な漏れ信号を吸収するために用いられる。図13に従来の无反射終端器の構成を示す。一端が短絡された矩形導波管内部に吸収体を挿入して形成される。このような構成では吸収体を挿入した後にほかのコンポーネントと接続する必要があり、複数のコンポーネントからなる回路の一体形成は困難である。

そこでほかのコンポーネントも含めた一体形成を可能にする新たな无反射終端器を考案した。図14に提案する无反射終端器の構成を示す。複数の細い穴(スリット)を設けた短絡端を持つ矩形導波管と吸収体からなるものである。ほかのコンポーネントと一体形成した後でも、スリットから吸収体を挿入できる利点がある。また、スリットは使用周波数で信号が伝搬しない形状とすることによって電氣的

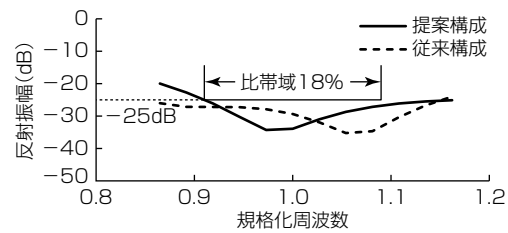


図15. 无反射終端器の反射特性

に短絡される。このためスリットを設けずに物理的に短絡された従来の構成と同等の特性の実現も可能になる。

4.2 電磁界計算結果

有限要素法による電磁界計算を行い従来構成と提案構成の比較を行った。図15に反射特性の計算結果を示す。吸収体としては磁気損失性材料を使用した。比帯域18%で反射振幅-25dB以下が得られ、提案構成は従来構成と同等の特性となることを確認した。今後、金属3Dプリンターを用いた試作評価を行う予定である。

5. むすび

3Dプリンターを利用した導波管コンポーネント(90度カプラ、偏分波器、无反射終端器)の開発について述べた。製造誤差の影響を低減する構造にすることによって、機械切削と同等の反射特性が得られるとともに、軽量化できることを確認した。なおコンポーネント単体では面粗さの増大による損失の増大は不可避である。このためアンテナ給電回路としての低損失化が課題となる。対策としては、3Dプリンターの利点を活用し、コンポーネント同士を機械切削ではできない最短経路で接続する、又は金属めっきや内面研磨が可能な構造にすることによって面粗さを低減するなどが考えられる。今後、ほかの導波管コンポーネントの開発や信頼性の検証なども行い、実運用化に向けた開発を進めていく。

参考文献

- (1) 3Dプリンタ総覧2015出版, 日経BP社 (2015)
- (2) Abe, M., et al.: A 3-D Metal-Direct-Printed, Low-Cost, and Light Hexagonal Waveguide Ka-Band Branch Line Coupler, 2017 EuMW, 188~191 (2017)
- (3) Yukawa, H., et al.: A Metal 3D-Printed T-Junction OMT with an Offset Stepped Post, 2017 EuMW, 444~447 (2017)
- (4) Rosenberg, U., et al.: Compact T-Junction Orthomode Transducer Facilitates Easy Integration and Low Cost Production, Proceedings of the 41st European Microwave Conference, 663~666 (2011)