

## 3-6-2 給電素子

### 3-6-2 Feed Array Element

松本 泰 (東北大学電気通信研究所) 田中正人  
MATSUMOTO Yasushi and TANAKA Masato

#### 要旨

ETS-Ⅷ搭載Sバンドフェーズドアレーアンテナの素子アンテナとして、軽量・高効率なカップマイクロストリップアンテナ(カップMSA)素子の開発を行った。本素子はハネカム基板の採用により軽量・高剛性な構造を有し、電磁結合給電により給電部分の金属接合を低減している。衛星搭載用として所望の電気性能と耐環境性能を持つ軽量な素子を実現した。

A new design of microstrip antenna (MSA) is studied for satellite-borne phased array antennas. Noble characteristics, low mass, simple construction, high efficiency, low mutual coupling, are achieved by a honeycomb-based structure with a surrounding metal cylinder (cup MSA). S-band cup MSAs are successfully developed for phased array-fed antennas on Engineering-Test-Satellite Ⅷ (ETS-Ⅷ).

#### [キーワード]

フェーズドアレーアンテナ, 衛星搭載アンテナ, 給電アレー, 素子アンテナ, マイクロストリップアンテナ

Phased array antenna, Satellite antenna, Feed array, Element antenna, Microstrip antenna

## 1 まえがき

次世代の衛星通信システムにおける重要な要素技術として、衛星搭載フェーズドアレーアンテナの研究開発が各方面で行われている[1]-[4]。多くのアンテナ素子を実装する衛星搭載フェーズドアレーアンテナでは、素子アンテナの構造がフェーズドアレー全体の電気性能のみならず、寸法・重量をはじめとする構造設計にも大きな影響を与える。したがって素子アンテナには、利得や素子間結合などの電気的特性と、小型・軽量・耐振動性などの機械的特性を両立できる構造が要求される。

マイクロストリップアンテナ(MSA)は軽量・薄型の構造で円偏波を放射可能なことから、従前から衛星搭載フェーズドアレーや給電アレーの素子として用いられている[5][6]。ただし衛星上の素子は宇宙空間に曝露されることから、素子の構成材料は宇宙環境に耐え得るものに限定される。さらに基本的構造のMSAは、基板の材

質や厚みによって利得や周波数帯域など重要な特性がほぼ決定され、設計上の自由度に制約がある。

この問題に対して、MSAの構造を工夫することにより電気的特性を向上させる方法が提案されている。例えば、素子前面に無給電素子を付加することにより、MSAの利得や周波数特性を向上させる方法[5][7]がある。しかしこの構造は、アレーを構成した際に隣接素子間の結合が増加しやすい問題がある[8]。

また、一端を解放した導体製円筒空洞の中にMSAを形成した構造(キャビティ付きマイクロストリップアンテナ:「Cavity-backed MSA」と呼ばれる。)により、一部の特性が向上することが知られている[9]-[11]。しかし、提案されている素子の構成は、剛性の確保のため給電素子や無給電素子を金属厚板で形成し、更にそれらを金属支柱により金属キャビティ内に支持固定する構造となっている。このため、MSA本来の利点である軽量性が大幅に損なわれてしまう。ま

た、給電方法として給電ピンを用いているため、給電点の金属接合におけるPIM (Passive Inter Modulation) 発生の観点からも不利である。

これに対し、円形の基板の上にプリントされたMSAを金属円筒で囲んだカップ状の構造により、電氣的にキャビティ付きMSAと等価な構造を有し、機械的には単純・軽量で衛星搭載に適したアンテナ素子(「カップMSA」と呼ぶ。)が構成可能である[12][13]。

ここでは、技術試験衛星Ⅷ型に搭載される移動体通信用フェーズドアレー給電アンテナ[14]に用いる、カップMSA素子の開発について述べる。本アンテナ素子は、ハネカム基板の採用により小型・軽量で十分な耐振動性を有する。また、給電スロットによる電磁結合給電[15]を採用し、PIMの原因となる金属接合箇所の低減を図っている。開発された素子は、同程度の電気性能を持つ他の素子に比較して、半分程度の搭載重量を実現した。

## 2 カップMSA素子の構成

カップマイクロストリップアンテナ素子(カップMSA素子)の基本構成を図1に示す。カップ

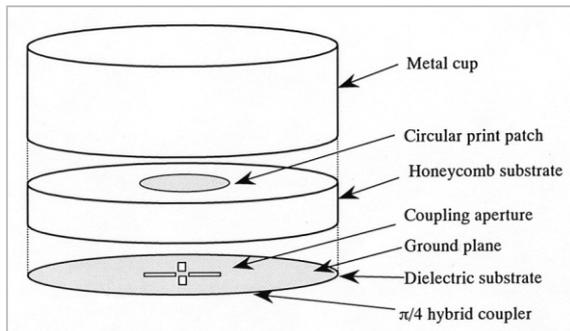


図1 カップMSAの構成

MSAはカップの底に相当する基板部分と、それを囲む金属円筒から構成される。ハネカム基板には円形のプリントパッチが形成されている。ハネカム基板の裏面(放射面の反対側)には、円偏波発生用ハイブリッドを形成した誘電体基板が接着されており、この誘電体基板とハネカム基板はグラウンド面を共用している。このグラウンド面には給電用結合スロットが設けられ、このスロットを介した電磁結合による2点給電により

円偏波を発生する。MSA、ハイブリッド、コネクタを含む各基板の重量は、金属カップの重量に比較して無視できる程度である。なお、基板厚の厚いハネカム基板においては、不要モードの励振により給電点間にカップリングが発生し、薄い基板のMSAに比較して軸比が劣化しやすい。これを防止するために給電用スロットと対称な位置に無給電スロットを設けている[15]。

金属円筒は、電氣的にはMSAの面内方向及び裏面方向への電波の放射を抑圧する効果がある。同時に隣接素子間の相互結合が減少するとともに、単体素子の開口効率が増加することが確認されている[12]。低い相互結合は給電アレーの励振誤差を少なくするために必要である。また、素子開口の面内方向及び裏面方向の利得減少は、衛星上に搭載された他のアンテナとの電波干渉の抑止に効果的である。

一方、金属円筒は一体形成されているため、それ自体が高い機械的剛性を有する。この円筒によりハネカム基板が補強されるので、打上げ時の環境に対して高い機械的剛性を持った素子が実現できる。

## 3 ETS-Ⅷ搭載用素子の開発

ETS-Ⅷ搭載用のSバンド大型展開アンテナに用いるフェーズドアレー給電素子として、カップMSA素子の開発を行った。ETS-ⅧのSバンドアンテナは送受分離としているため、給電アレー素子も送受専用として設計する。フェーズド

表1 給電アレー素子に対する要求性能

	Transmit	Receive
Frequency	2.50 GHz	2.66 GHz
Polarization	RHCP	RHCP
Bandwidth	> 40 MHz	> 5 MHz
Gain	> 8.9 dBi	> 8.9 dBi
Mutual Coupling (1λ spacing)	< -40 dB	< -40 dB
Axial ratio	< 1.5 dB	< 1.5 dB
Maximum Input	> 20 W	-
Diameter	< 1 λ	< 1 λ
Weight	< 200 g	< 200 g
Number of element	31	31

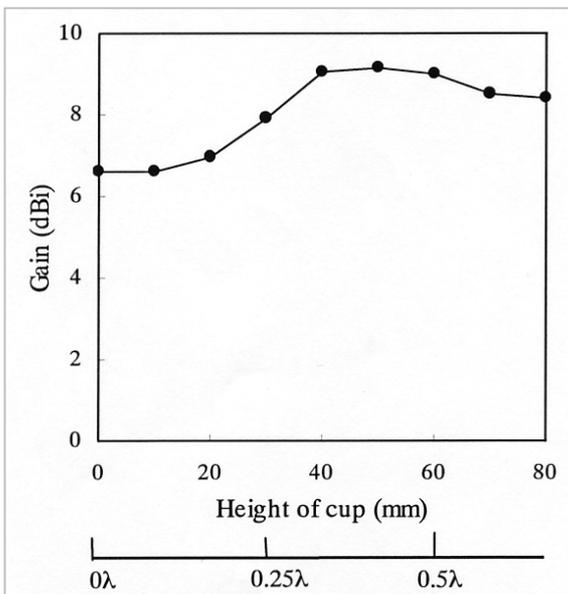


図2 カップ高さに対する利得変化 (カップ直径1λ)

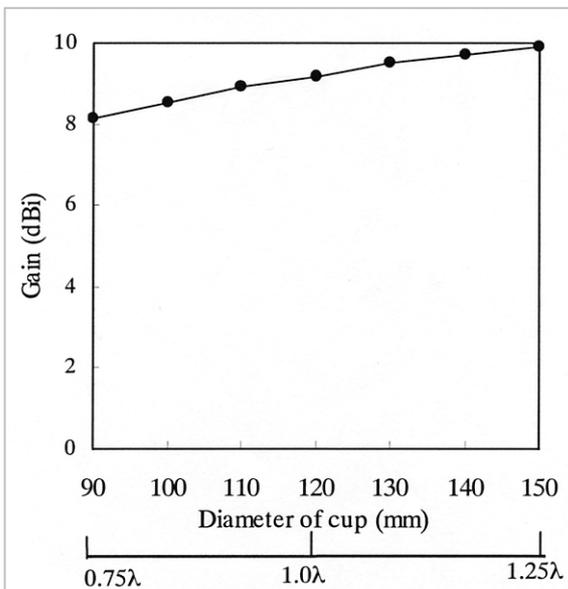


図3 カップ直径に対する素子利得の変化 (カップ高さ50mm)

アレー給電反射鏡アンテナにおいては、給電アレーの位置、素子間隔、素子数がアンテナの電気性能と重量・寸法への影響が大きい。衛星に搭載可能な形状寸法の範囲内でこれらのパラメータの最適化を行い[14]、素子アンテナに必要な性能を求めた。これを表1に示す。

カップMSAは、カップの寸法によって放射特性をある程度制御することができる。一例としてPTFE基板 ( $\epsilon=2.17$ ) 上に作成したMSAに対する、カップの高さと直径による利得の変化を図2、

図3にそれぞれ示す[12]。カップ高さ50mm前後において素子利得が最大となる。

なお、利得最大となるカップの高さは、カップ直径の変化 ( $3/4\lambda \sim 5/4\lambda$ ) にかかわらず一定であることが分かっている。一方、カップ高さを一定 (利得最大となる値) に保ってカップの直径を変化させると、素子利得はカップ直径と共に単調に増加する。この傾向は、ハネカム基板を用いたカップMSAにおいても同様である。以上を考慮し、カップ直径は所要素子間隔 (1波長) を満足できる最大値に定め、カップ高さは素子利得が最大となる値 (50mm) とした。また、MSAの基板としては、所用帯域を考慮して5mm厚のハネカム基板を用い、給電用スロットの寸法は、良好な軸比を得るために何種類かの試作を行って決定した。

表2 カップMSA素子(受信用)の実測特性

Center frequency	2.6575 GHz
Polarization	LHCP
Bandwidth	> 5 MHz
Gain	10.9 dBi* / 9.9 dBi**
Beam width	57.0 deg* / 54.5 deg**
Axial ratio	1.5 dB
Mutual coupling	< -40 dB (1λspacing)
Cup Diameter	114 mm (1λ)
Cup Height:	50 mm (0.44λ)
Weight	160 g

\*lone element / \*\*in array (1λspacing)

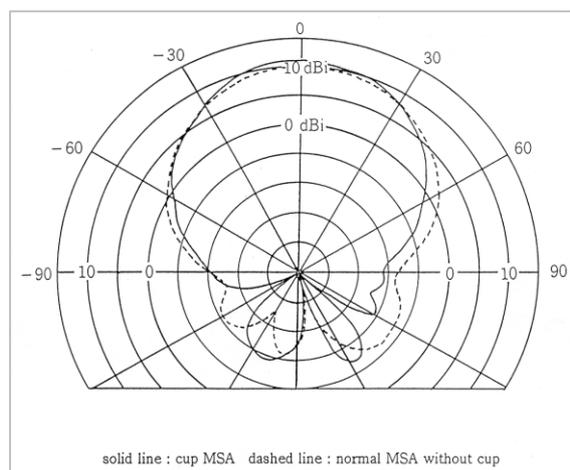


図4 カップMSAとカップ無しMSAの素子パターン

開発された受信用素子の特性を表2に示す。図

4はカップMSAの素子単体パターンを、金属カップのない素子と比較して示している。カップの付加によりビーム幅が減少し、素子単体の利得は1.2dB増加している。

なお、カップの付加による利得上昇が、図2に示す結果(カップ高さ0mmと50mmに対する利得差)よりも小さいが、これは使用基板(図2はPTFE基板、図4はハネカム基板)の比誘電率の違いにより、ハネカム基板上のMSAの直径がPTFEに比較して大きく、MSAの素子利得も高いためである。

次にアレー状態における素子の性能を評価するため、7素子アレーを構成し、中央の1素子だけに給電、他の素子は終端してパターンを測定した。結果を図5に示す。またアレー構成時と単

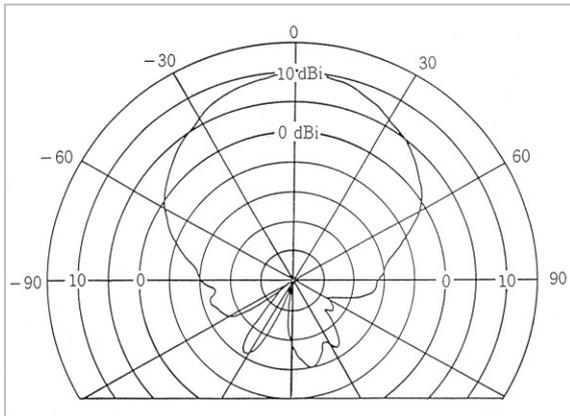


図5 アレー構成時の素子パターン

独時における素子利得とビーム幅を、表2に比較している。アレー構成時には、ビーム幅が54.5度と単独時よりも更に狭くなっている。しかし同時に正面方向の利得も1dB減少している。この原因は隣接素子の金属円筒の影響と思われる。

なお、隣接素子間の結合量は-40dB以下と低い値を示している。また、他の特性についても表2に示すように、給電アレー用素子として所望の性能を満足することが確認できた。

参考文献

- 1 J. J. Schuss, T. Carlson, R. Francois, P. Maloney, and A. Rohwer, "Design of the IRIDIUM phased array antennas", IEEE AP-S 1993, pp. 218-221, 1993.
- 2 E. Hirshfield, "The Globalstar system: breakthroughs in efficiency in microwave and signal processing technology", Space Communications Vol. 14, pp. 69-82, 1996.

表3 代表的な素子のカップMSA素子との特性比較

Element	Horn	Cup	Cup	Normal Cup	
		Helical dipole	MSA*	MSA	
Bandwidth (%)	~50*	~40	~10	~5*	~5
Gain (dBi)	8~9*	8.9	8.2	7~9*	~11
Coupling (dB)	<-40*	-23	-36	<-35*	-40
(1λ spacing)					
Max.Input(W)	~100*	180	100	40*	40
Height (mm)	>500*	200	130	~20*	<60
Diameter (mm)	120	120	120	120	120
Weight (g)	-	~350	~300	<100*	160

\*Typical Value

表3は、カップMSAと他の素子の比較である。比較対象の素子としては、直径1波長以内、Sバンド円偏波で動作可能なものを選んだ。表中、カップ付きヘリカル、カップダイポール、カップMSAの各素子は試作素子の実測結果、その他の素子については代表的と思われる値を記載している。カップ付ヘリカル、ダイポール素子に比較して本素子は、同程度の特性をほぼ半分程度の重量で実現している。

一方、ETS-Ⅷへの搭載を想定した耐環境試験(振動試験・熱真空試験)を行って特性に問題ないことを確認している。

4 むすび

フェーズドアレー給電素子として、軽量・高効率なカップMSA素子の開発を行った。本素子はハネカム基板の採用により軽量・高剛性な構造を有し、電磁結合給電によりPIMの原因となる金属接合を低減している。ETS-Ⅷ搭載用Sバンド給電アレー素子として、所望の電気性能と耐環境性能を持つ素子を、他に比較して1/2程度の重量で実現した。

- 3 Y. Kawakami, T. Sato, Y. Otsu, and S. Hama, "Study on S-band mobile communication systems using a geostationary satellite", 17th AIAA ICSS Conf., AIAA-98-1212, 1998.
- 4 T. Ohira, Y. Suzuki, H. Ogawa, and H. Kamitsuna, "Megalithic microwave signal processing for phased-array beamforming and steering", IEEE Trans. MTT, Vol. 45, No. 12, pp. 2324-2332, 1997.
- 5 鹿子嶋憲一, 山田吉英, 小林岳彦, "20/2GHz帯マルチビームアンテナの構成法について", 電子情報通信学会技術報告, A-P85-111, 1985.
- 6 田中正人, 木村繁, 手代木扶, 松本泰, 伊藤猛男, 赤石明, 水溜仁士, 大久保茂, "ETS-VI搭載Sバンド衛星間通信用アンテナの開発", 電子情報通信学会論文誌, Vol. J76 B-II, No. 5, pp. 442-451, 1993.
- 7 堀俊和, 中嶋信生, "広帯域同一面給電円偏波マイクロストリップアレーアンテナ", 電子情報通信学会論文誌, Vol. J68-B, No. 4, pp. 515-522, 1985.
- 8 西山英輔, 江頭茂, 徳吉隆哉, 崎谷昭秀, "無給電素子付きマイクロストリップアンテナ間の相互結合", 1991年電子情報通信学会全国大会, B-109, 1991.
- 9 F. Zabosh and J.T. Aberle, "Improving the performance of microstrip-patch antennas", IEEE Antennas and Propagation Magazine, Vol. 34, No. 4, pp. 7-11, 1996.
- 10 S.T. Jellet and M.E. Bialkowski, "A circularly polarized MSAT antenna element with increased operational bandwidth", 1994 IEEE Antenna and Propagation Symp., pp. 1044-1047 1994.
- 11 L. Rexberg, U. Jostell, M. Andersson, and T. Lorlentzon, "Feed array element for mobile communication service systems", 1994 IEEE Antenna and Propagation Symp., pp. 902-905, 1994.
- 12 M. Tanaka, "Effect of height and diameter of the cup on cup microstrip antennas", Trans. IEICE Vol. 81-B, No. 8, pp. 1700-1702, 1998.
- 13 Y. Matsumoto, T. Ide, M. Tanaka, T. Orikasa, and Y. Yamasa, "Array element and BFN design for phased- array-fed satellite antennas", 17th AIAA ICSS Conf., AIAA-98-1224, 1998.
- 14 K. Tokunaga, H. Tsunoda, H. Shoki, and M. Okumura, "Design optimization of phased array fed reflector antennas for mobile communication satellites", 17th AIAA ICSS Conf. AIAA-98-1223, 1998.
- 15 H. Shoki, K. Kawabata, and H. Iwasaki, "A circularly polarized slot-coupled microstrip antenna using a parasitically excited slot", Trans. IEICE, Vol. E-74, No. 10, pp. 3268-3273, 1991.

まつもと やまし  
松本 泰

東北大学電気通信研究所助教授 博士  
(工学)  
無線通信



たなか しょうと  
田中正人

総務部CRL・TAO 統合準備室主任研究員 博士(工学)  
衛星通信、アンテナ

