

平成23年度国立天文台共同開発研究実績報告書

研究者 又は 研究代表者	氏 名	(ふりがな) なかがわ あきはる 中川 亜紀治 
	所属研究機関 部局・職	鹿児島大学大学院 理工学研究科 助教 電話 099 (285) 8077
研究テーマ	1G-10GHz帯広帯域受信機システムの開発	

本助成を受けておこなった初年度からの経緯を併せて報告する。

1. H21年度までの経緯

初年度はTSAタイプでデザインの異なる12基の小型フィードを作製し、試作と試験のサイクルは2回に分割した。1回目の結果をフィードバックすることで、2回目の試験ではサイドローブレベルなどに大幅な改善が見られた。しかし高周波側（8GHz以上）と低周波側（1～3GHz付近）では依然としてリターンロスが10dBを上回っていた。特に低周波側についてはアンテナのサイズそのものが低周波の波長に対して小さく、改善の余地があった。

2. H22年度の活動

低周波側の特性が悪いのはアンテナサイズが波長に対して小さいためである。しかし、大きなフィードは試作費用が高いため、H21年度試作で最も結果の良かったデザインのTSAのサイズを3倍にしたモデルを2基作製した。TSAの開口幅が最低周波数の1～1/2λにするのが良い事が既出論文から分かっているため、開口幅が低周波側の1GHzの半波長である150mmのTSAを作製した。また、初年度作成のTSAでは手焼きの感光基板であり、高周波側については製作精度が不十分であった。また、基板が廉価な反面、高周波特性は良くない。そこで日本ピラー工業に製作を発注し、高周波用テフロン基板で大型のTSAを作製した。高周波側、低周波側の放射特性に改善が見られたので、このTSAを2枚平行でアレイを組み、アレイ間隔に応じてビーム幅が狭くなること、回折ローブが発声することを確認した。また、日本通信機株式会社殿の協力によりアンプマウント付きの小型TSAの試作とシミュレーションを行った。アンプマウントのグランド面が広く、放射素子部に近接しているために所望でない方向への輻射が発生すること、これも含めて計算機シミュレーションでの特性の評価が可能であることがわかったが、不要輻射の抑圧やアレイ素子間のカップリングの制御が課題であることがわかった。

3. H23年度の活動

3.1 4素子TSAアレイでの試験

試作経費節約のため、H22年度試作の大型TSA基板を再度加工し、垂直・水平両偏波対応のアレイを組んで京都大学宇治キャンパス生存圏研究所の電波暗室でビームパターンなどの計測を行った。図1に製作した4素子TSAの外観と計測したビームパターンの一例を示す。主に発泡スチロールの治具を使って素子を組み、その組み付け精度や素子間の振幅・位相バランス誤差の影響を定性的に調べた結果、構成の変更が容易ではあるものの精度不足であることが確認できたので、以降は放射素子基板の製造時に開けた穴を利用してプラスチックのネジやアングル材で頑丈に固定する構造に変更した。また、素子の根本部分の電力分配器や同軸ケーブル外皮からの不要輻射を低減すべくシールドの設置や比較も行ったところ、ケーブル外皮の影響を十分に考慮して配置することでバラが不要であることが確認できた。そもそも同軸ケーブルの中は理論的には平衡モードしかあり得ないのだから、外皮や大地などコネクタを介してケーブル内皮とつながっている他の導体の取り扱いが非平衡モードによる不要輻射問題を解く鍵である。ただし、放射素子の直近に受信アンプを搭載した場合は増幅後の電流が極めて大きいため、わずかな非平衡成分でも問題になりうる可能性はあるが、その場合はマーシャント balan などの既存の広帯域 balan を利用すればよい。なお俗に言う「テーパ balan」は寸法と形状からは平衡・非平衡変換を行えない、つまり balan としての動作はしていないと考えられる。

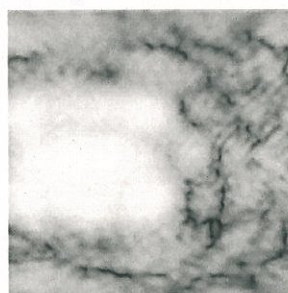


図1: 22年度製作のTSAを利用した4素子アレイの外観とビームパターン(4GHz)

3.2 TWA(Traveling Wave Antenna)への放射素子の変更とビームパターンの計測

これまでは基本素子としてTSA(Tapered Slot Antenna)を利用してきたが、基板内部で電界がねじれ、交差偏波を増大させること、線路インピーダンスの把握が難しいこと、不要輻射の抑圧が困難なことに加えアンプのコストが高いので放射素子の根本にアンプを直結する構造は当面は実用の見込みがないと考える。そこで放射素子をTWAに変更した。これは基板の片面に平行二線の伝送路を設け、そのまま放射素子へと変形させる構造である。TSAと異なりTWAでは放射部のインピーダンスが平行二線モデルで近似可能であり、放射素子の設計見通しが大きく改善された。

COMSOLでTWAの計算機シミュレーションを行ったところ、基板誘電率が低くなると基板外への漏れ出しが大きくなることが確認でき、アレイを組む場合のコントロールパラメータとしての利用可能であることがわかった。図2にCOMSOLでの計算例を示す。しかしながら、周波数に寄らず放射電磁波の電界成分は放射素子の物理開口に達するまで素子から離れないことがわかった。すなわち、高い周波数になれば電氣的な開口径が小さくなることは期待できず、単一のTSA/TWA素子で周波数に寄らずビーム幅を一定にすることは不可能であることがわかった。しかし、サイズや形状の異なる複数の素子で受信する周波数帯を分担すれば問題は回避できる。

そこでまずはTWAで4素子アレイを製作し、のちに小型素子を内部に追加してビームパターンを計測し、定性的な振る舞いを検証することとした。4素子アレイの外観とビームパターンの測定例を図3に示す。素子形状と配置で生じる回折ロープが見えるが、非対称性は少ない。これは、構造の改善により組み立て精度が向上したからである。4素子アレイの内部に小型素子を追加した8素子アレイの外観とビームパターンの測定例を図4に示す。目論み通り回折ロープが減ってビームが中央に集中してきた。中央付近のヌルは結合度のアンバランスによるものと考えられる。よって、この開発方針が正しいことは確認できた。

4. まとめ

広帯域フィードの基礎開発としては残念ながら実用化までは至らなかったものの、そもそも低周波・広帯域アンテナの開発経験がない日本の電波天文学グループのなかで当初は十分に考慮できなかった問題点を明らかにし、今後の実用化のための重要なマイルストーンを通過できた。また、鹿嶋11mや大坂府立大学による22GHz-50GHzでの利用を目指した研究が始まるなど、広帯域フィード開発の裾野を広げることに貢献でき、意義ある萌芽的研究であったと考える。

アレイに用いる素子を増やした場合、素子間のカップリングを考慮する必要があるのでシミュレーションは必須であるが、計算機シミュレーションにおいては、現状の80GBのメモリサイズでは4素子アレイが限界であった。フィード素子だけでなく、その周囲空間とその外側の吸収帯を模擬した空間、ポートの構造でメッシュ数を消費するからである。そもそも比帯域が10倍であれば最適なメッシュ数は10の三乗異なるため、高周波側では必要メモリが顕著に増大する。今後のメモリ価格の下落とCPUの性能向上が待たれる。

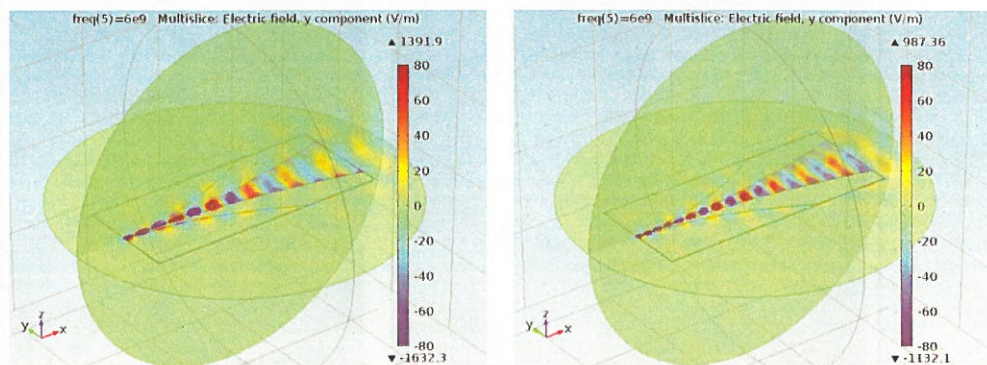


図2. COMSOLによるTWA素子のシミュレーション例.

左:比誘電率2.2, 右:比誘電率10.0. 周波数はともに4GHz.

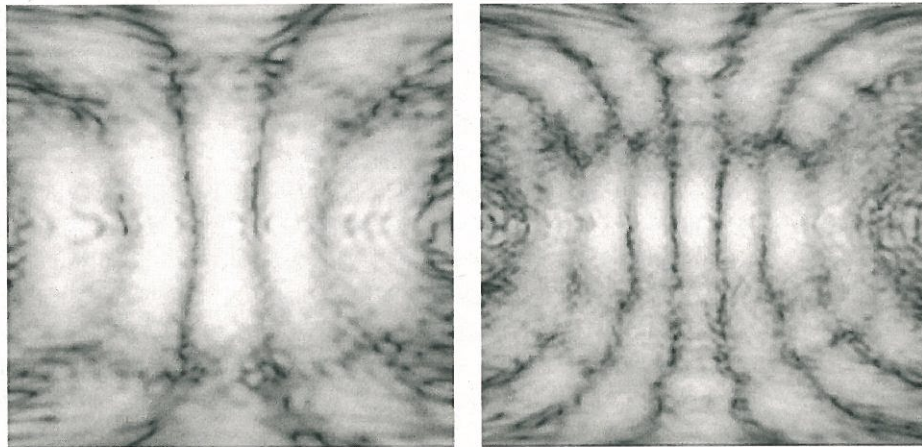
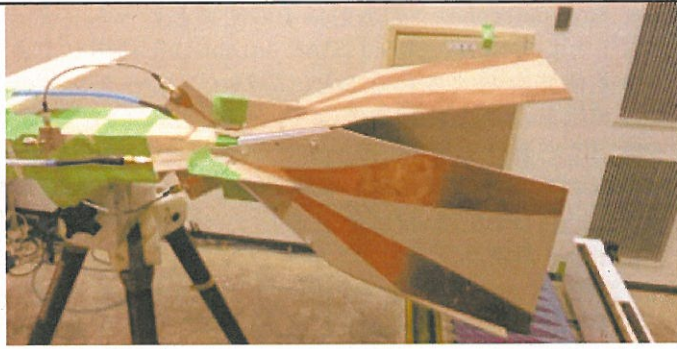


図3 4素子TWA(上段)とそのビームパターン(下段左:4GHz, 下段右:8GHz. 70x70度)

研究実績
(つづき)

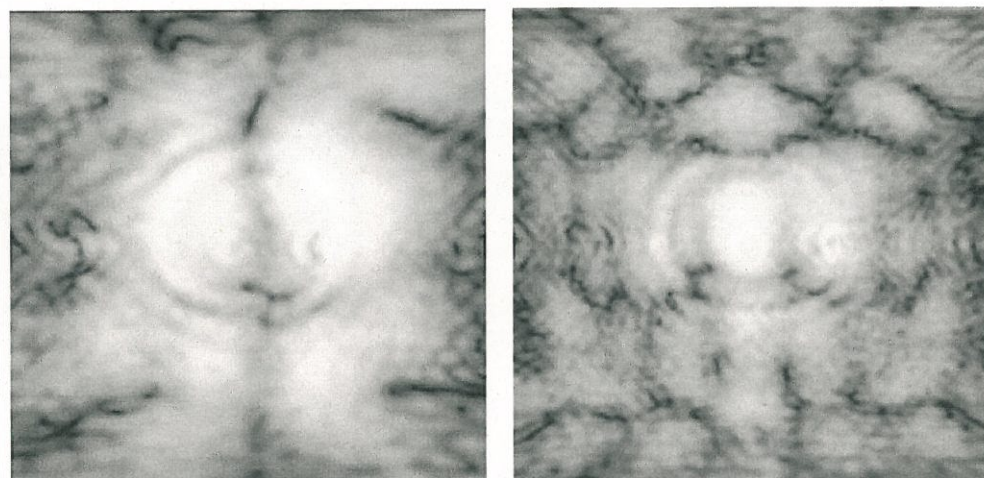
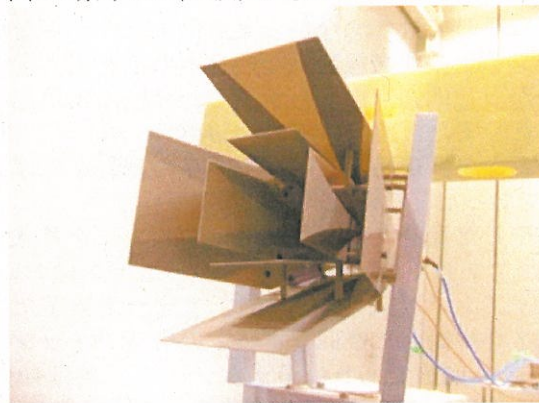


図4 4素子TWA(上段)とそのビームパターン(下段左:4GHz, 下段右:8GHz. 60x60度)

研究の活用	広帯域受信に対応した開発であるので、現在進んでいる次世代の国際的電波天文プロジェクトであるSKAへの利用や、測地VLBIの広帯域化を目指すVLBI2010への利用などが考えられる。また最近始まった鹿嶋11mや大阪府立大学による22GHz-50GHzでの利用を目指した研究との関連も挙げられる。
-------	---