

平成22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	
研究実績	本助成を受けて平成21年度より2年間の活動を行っている。初年度からの経緯を併せてこれまでの活動を報告する。 1. 昨年度までの経緯 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. 22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、昨年度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$1 \sim 1/2\lambda$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、ビームフォーミングの基礎実験を行った。 3. フィードアンテナの試作と性能評価 平成22年6月に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。22年度に製作した大型のTSAアンテナ2基を使用している。単体でのビームパターンの計測と2素子でアレイ化した時のビームパターンの計測を行った。また、アレイでの測定ではアレイ間隔をE面に垂直な方向に10cm隔てた場合と20cm隔てた場合で測定を行った。ビームパターンの測定周波数は、単素子では1.4GHz, 2GHz, 3GHz, 4GHz, 6.7GHz, 8.4GHz, 10GHz, 12GHzの8周波数、2素子アレイはその一部である。 3.1 単素子でのビームパターンの計測 22年度に作成した大型のTSAアンテナを用いて計測した。メタノールメーザーの観測に使う6.7GHzでのビームパターンを図1に示す。図2には21年度に作製したアンテナでの同周波数のビームパターンを示す。21年度のアンテナのE面ビームパターンは$\pm 40^\circ$で20dB落ちだったが、22年度作製の物は$\pm 20^\circ$で20dB落ちであり、ビームパターンが鋭くなった事が分かる。	

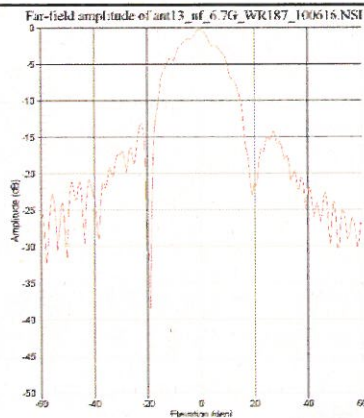


図1:22年度のTSAによるビームパターン

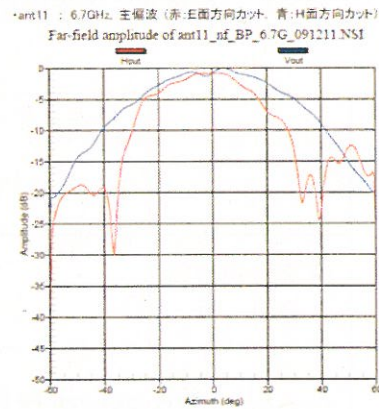


図2: 21年度のTSAによるビームパターン

3.2 二素子アレイでのビームパターンの計測

TSAのビーム幅は、基板に平行な断面が垂直な断面より狭い。これを揃えるために、基板に垂直方向に2素子を重ねたアレイを構成し、ビームパターンの計測を行った。図3に2素子平行アレイの構成を示す。アレイ間隔は発泡スチロールの厚みで調整できる。図4はアレイ間隔100mmでの6.7GHzのビームパターンを示す。単素子に比べてメインローブの幅が狭くなっているのが分かる。サイドローブレベルの上昇はアレイによるグレーティングローブと考える。

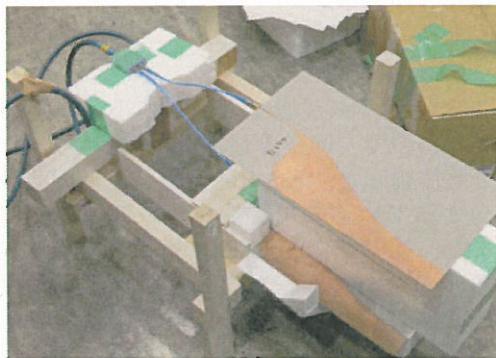


図3:22年度のTSAによる平行2素子アレイ

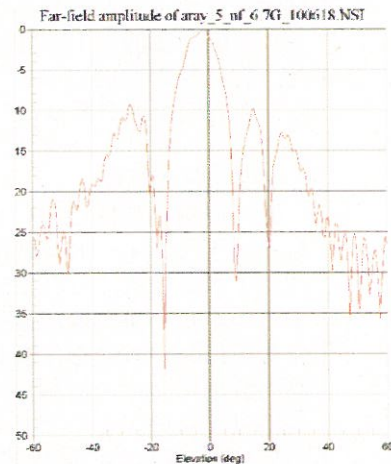


図4:アレイ間隔100mmでのビームパターン

3.2 民間企業との協力による開発活動

3.2.1 TSAの試作と測定

本活動の中で民間企業との協力による作業も開始した。図5に日本通信機株式会社により作成されたTSA広帯域試作フィードを示す。TSAフィードの根本にはアンプマウントが設けられている(図5の左側)。4素子でアレイに組めば水平・垂直両偏波対応フィードにできる。素子サイズは $W \times L \times t = 80 \text{ mm} \times 200 \text{ mm} \times 0.5 \text{ mm}$ 、基板の比誘電率は4.5、厚みは0.5mmであり、21年度作成のものより高誘電率で薄いものとなっている。また冷却を想定した高周波側の設計のフィードである。23年2月に京大生存研の近傍界測定装置でビームパターンの測定を行っている。アンプは3~23GHzのものを評価中である。今年度はアンプは搭載せず、フィードの給電線にそのままSMAコネクタをつなぎ、フィードのみの評価を行なった。

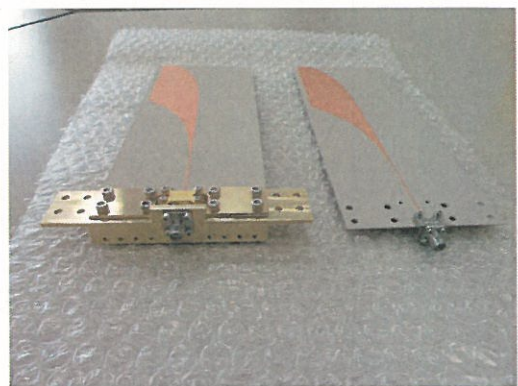
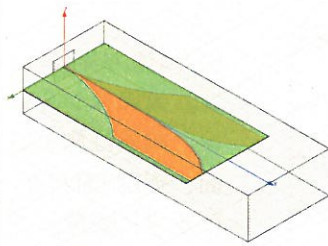


図5:日通機作成TSAの外観

3.2.2 HFSSによるシミュレーション



放射特性のシミュレーションをHFSSで行い、METLABで近傍界測定の結果と比較した。このシミュレーションも日本通信機が行なった。ビームパターンの測定は4.2GHzから12GHzまでをMETLABの近傍界測定装置で行った。図6に計算モデルの形状、図7に電場分布を示す。このモデルではアンプマウントを考慮していない。

図6：計算モデル、モデルを含む直方体の外側を放射境界とした。

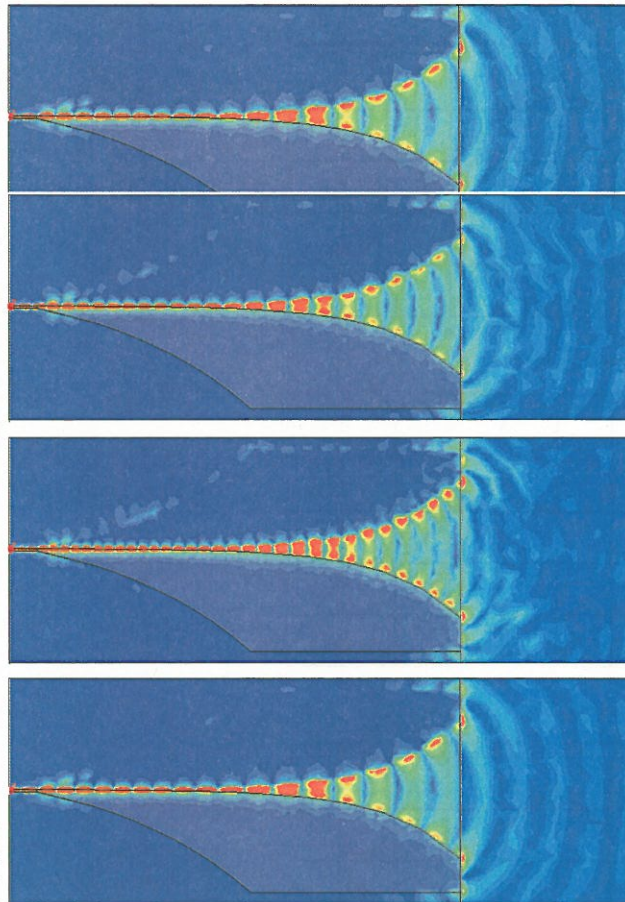


図7：HFSSによる電場分布、上から4.2GHz, 6.7GHz, 10GHz, 12GHz。

研究実績
(つづき)

素子サイズが波長と同程度となる低周波側ではビームが広がるのがわかる。近傍界測定装置で測定した遠方界ビーム形状を次項に示す。定性的にはシミュレーションとよく一致している。ビーム形状のシミュレーションではアンプマウント部分もモデルに入れたので、基板に並行な方向のビームの非対称性が再現された。アンテナ基板を垂直に設置した場合と水平に設置した場合のビームパターンを比較すると垂直設置のほうがシミュレーションとの一致が悪い。アンテナ基板の変形や周囲とのカップリングなどを考慮し、治具や測定環境を改善していきたい。また、低周波側では基板に平行な方向にビームが広がる傾向がある。

シミュレーションでは放射素子の外部からも放射が起きている。製作した素子では給電部にはアンプなどを設置する回路のための広いグランド面がフィードに近い距離にあり、これが放射素子部と結合して意図に反したアンテナとなっている。今後は放射素子の形状とともに、増幅回路部分の形状や放射素子との距離などを検討し放射特性を改善していきたい。

研究実績
(つづき)

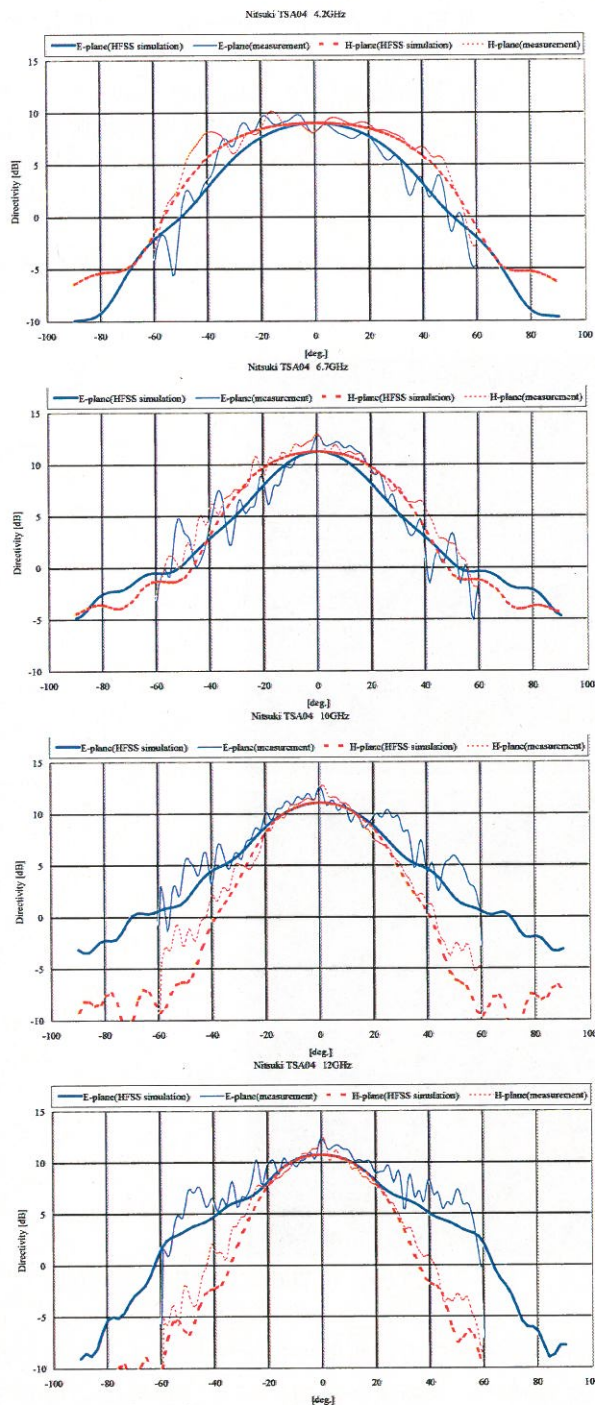


図8:遠方界ビームパターン。
太線はシミュレーション、細線は測定値。青はE面、赤はH面パターン。TSAは水平に設置。上から4.2GHz, 6.7GHz, 10.0GHz, 12GHz。

3.2.3 円偏波でのビームパターン測定

4枚のTSAでアレイを組み、ビームを絞るとともに直線偏波から円偏波を合成した。6.7GHz帯ではマイクロストリップ線路による90度ハイブリッドを利用して円偏波パターンの測定を行った。結果を図9に示す。寸法精度が不十分で、ビームの軸が正対しなかった。次回に改善する。

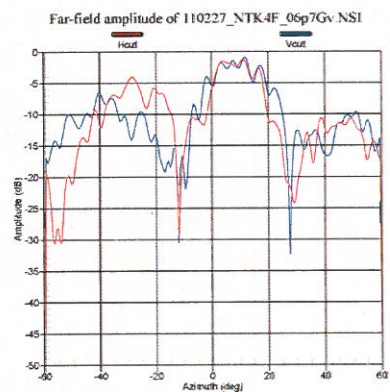


図9:円偏波でのビームパターン(6.7GHz)

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。
--------------	---