

広帯域フィードのシミュレーション (p28)

氏原秀樹(NICT)

0. 概要

SKAやVLBI2010など広帯域フィードを必要とするアンテナや、既存アンテナの広帯域化を目指して、国立天文台共同開発経費により広帯域フィードの開発を行ってきた。また、鹿島34mアンテナでは2013年度使用開始を目指して入れ子ホーンで4周波数対応フィードを開発中である。これらのフィードのシミュレーションの結果の一部を報告する。



1. これまでの広帯域フィードの開発

単独の放射素子だけでは周波数に対してビーム幅が一定となるような広帯域フィードは作れない。ビーム幅は波長/口径に比例するが、波長の変化に応じて電気的な開口径を変化させることができないからである。Eleven Feedでは異なる共振周波数を持つダイポールの重ね合わせでビーム幅一定に近づいたが、付帯回路の構造が複雑で損失が多く、ビーム幅をアンテナ光学系に合わせて調整できないという欠点があり、フィードに合わせたアンテナ光学系を設計せざるを得ない。

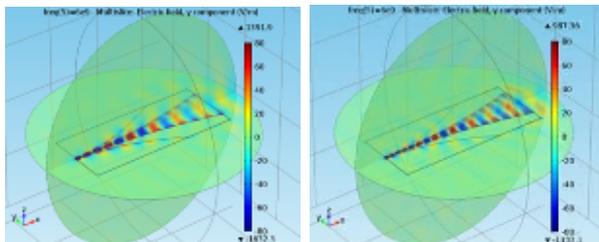


図1a TWAの電磁界分布の計算例。周波数は6GHz。
左: 比誘電率=2.2, 右: 比誘電率=10.0
基板サイズはLxWxt=280mm x 120mm x 1mm。

昨年度は進行波型アンテナ:

Traveling Wave Antenna(TWA)でアレイを組み、ビーム幅の制御を目指した。これまで試験していたTapered Slot Antenna(TSA)より低交差偏波が期待でき、平行2線モデルが放射素子部分でも適用できてインピーダンスの計算も容易であるので扱いやすい。COMSOLでのTWAの電磁界の計算例の一部を図1aに示す。誘電率が高いと基板外への漏れ出しが減少し、開口端でダイポール状の波源となる。基板誘電率の選択も重要であることがわかる。

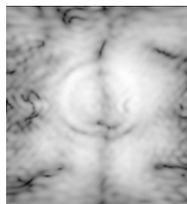


図1b : 2012/02/20版
8素子 TWAのビームパターン
(±60度x±60度)。
周波数は4GHz。

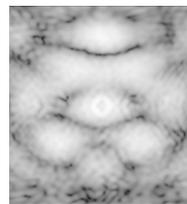


図1c : 2012/8/10版
8素子 TWAのビームパターン
(±60度x±60度)。
周波数は4GHz。

京大METLABで測定を行ったアンテナ形状とビーム形状を図1b,1cに示す。2011年11月版の直線2偏波対応TWA 4素子アレイでは教科書通りの綺麗な回折ローブが見えており、2012年2月版ではその開口内部に小型素子を追加して回折ローブを抑圧することを試みた。ビームが中心にまともな回折ローブが減ったものの、中央にヌルが生じた。COMSOLによるシミュレーションと2012年8月版の試作アンテナの動作から、アレイの個々の素子外縁の電流が逆相の波源となるためだとわかった。今後も実験を積み重ね、さらに素子形状や給電部分のデザインの改善を進めていきたい。P-CAL用の直線1偏波のアレイでは配置が単純なので問題にならないだろう。

2. 鹿島34m用広帯域受信システム

VLBIによる時刻比較実験と将来のVLBI2010対応を睨み、鹿島34mアンテナ向けの広帯域受信システムを開発することとなった。いわゆる「**ガラケー**」を意識して岳藤氏により**GALA-V**と命名された。鹿島の厳しいRFI環境で成功できれば他の島でも大陸であっても生き残れるはずである...。フィードはコルゲートと多モードホーンの入れ子構造で考えている。関戸氏によりイグアナフィードと命名されたので筆者はそれぞれイグアナの母/娘フィードと呼んでいる(荻尾望都の「イグアナの娘」はまだ読んでない。ゴメンナサイ)。娘フィードを多モードホーンとしたことで壁厚が薄くでき、母フィード内の電磁界へ擾乱の抑圧を狙ったが扱いにくいことには変わりはない。

現Cバンドのコルゲートホーンの代わりにイグアナ・フィードを搭載する。受信周波数配列は遅延決定での周波数0冗長配列条件と鹿島のRFI環境、フィードの実現可能な比帯域から、3.2-4.8GHz, 4.8-6.4GHz, 9.6-11.2GHz, 12.8-14.4GHzの4周波数となった。開口能率は50%以上を目指しているが、6.7GHz帯、8GHz帯では能率は落ちるだろう。7GHzまでは母フィード、8GHz帯以上は娘フィードが担当するが、構造の都合により母子間で波長は合わず、断絶は避けられない。8GHz帯は既にS/X帯用フィードが搭載されているので除外するかもしれない。フィードの設計だけでなく、ポーライザが極めて難しい。



図2a. 34mアンテナの現Cバンドフィード。
これと交換で設置予定

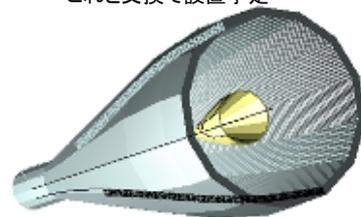


図2b.
イグアナ・フィードの模式図
入れ子になるのはエイリアンでは？

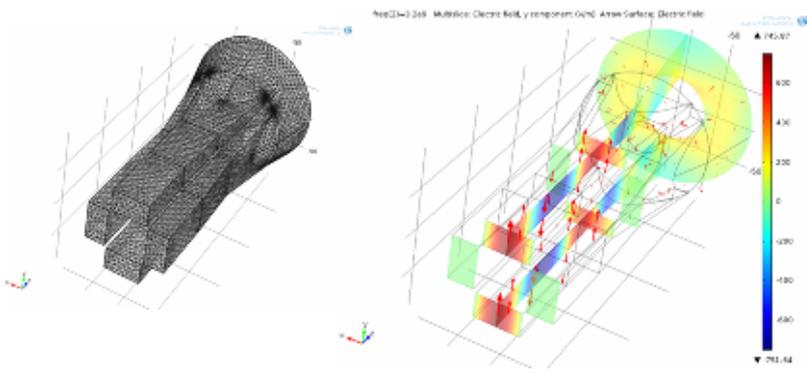


図2c イグアナ母フィードの入力ポートモデル

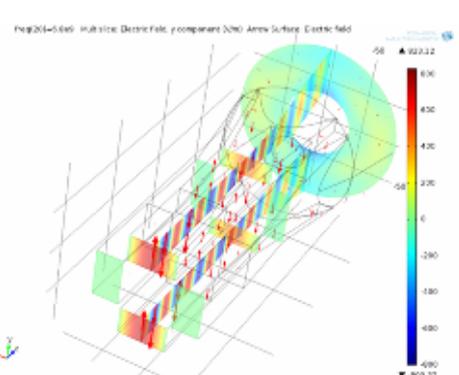


図2d COMSOLによる母フィード入力ポート内の電場分布
左:3.2GHz 右:6.8GHz, 電場のy成分を色表示

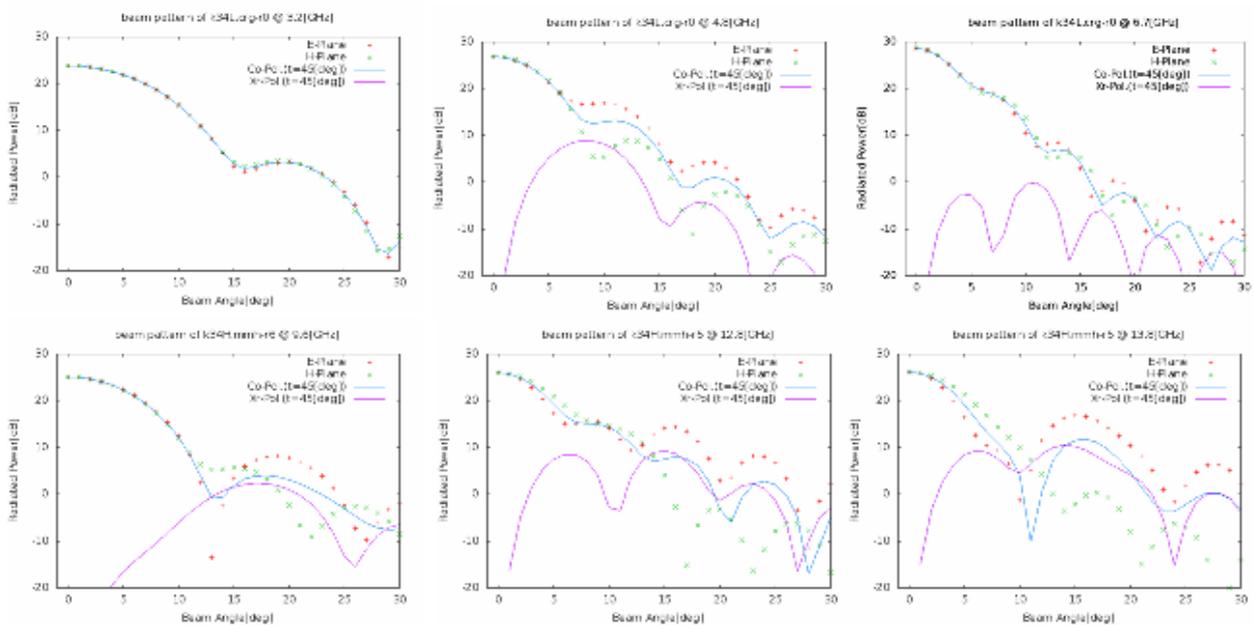


図2e 開発中のフィードの個々のビームパターン計算例。CHAMPでの計算なので入れ子にしたときの影響は考慮されていない。
副鏡の中心から縁までの見込み角は12度くらい。上段:母フィード、下段:娘フィード

3 今後の計画

現時点では入れ子にしたときの母フィードのシミュレーションはできていない。純粋に計算機の問題であり、TBクラスのメモリの載った計算機が買えれば解決する。もちろんメモリだけなら200万円あれば買えそうであるが、CPU速度が不足である。並列化の旨味は8コアくらいから薄れてくるから、実用的な時間内(せめて半日)に計算を終えるにはコア単体の演算能力の向上も不可欠である。

参考までに、他のデザインでの計算例も示す(図3a)。コルゲートの高次モードを利用したので、開口率率の変化は少ないと思われるが入れ子にしたときの挙動は一層複雑になるだろうから不採用とした。22/43GHz共用フィードやビームを広げて「きゃらぼんサブミリ」の複合光学系(案)には使えるかもしれない。ほか、いろいろ応用は利くだろう。

現時点では十分なシミュレーションができないので、費用対効果の点でイグアナフィードの第一世代は現用Cバンドを母体とするのが最善に思う。その結果をフィードバックして2世誕生を目指すのが効率的であろう。(映画「エイリアン」みたいに一作では終わらないと思う....)

図.3a コルゲートの多モードホーンのビームパターンの計算例

