

[共同研究成果]

プリントダイポールアレー板付パッチアンテナの 数値シミュレーション

東北大学大学院工学研究科

佐藤 弘康 村上 仁康 澤谷 邦男

1. はじめに

平面アンテナは薄形で量産に向いているなどの有用な特徴をもつため、さまざまな応用が期待されるアンテナである。パッチアンテナはその代表的な平面アンテナであり、無線 LAN, ETC, GPS, RFID などさまざまな用途に用いられている。アンテナの利得を上げるためにはパラボラアンテナのような立体構造が良く用いられるが、パッチアンテナをアレー化し、各素子を同位相で給電すれば、平面構造で高利得が得られる。パッチアレーアンテナはマイクロストリップ線路などの伝送線路を用いてアレー素子を励振するのが一般的であるが、素子数が増加するにつれて線路の曲がりにおける放射損や基板の誘電体損、線路の導体損により利得が低下する。

平面アンテナのひとつとして、高誘電率の誘電体板やプリントダイポールを周期的に配列した板をパッチアンテナの前面に設けて高利得化を図る検討が行われている[1-3]。数層の板を用意するだけの簡単な構成で 20dBi 以上の利得が得られるため、様々な応用が期待できる。これらのアンテナは誘電体カバー付アンテナ、または EBG(Electromagnetic Band Gap) 共振器アンテナと呼ばれている。実用上の問題として、必要な利得に対する構造の決定方法、及びアンテナのインピーダンス特性の解明が望まれる。また、小形化や高利得化の限界を明らかにすることも重要と考えられる。しかしながら、波長に対する板のサイズが大きいため、板が無限に広いものとして近似的に解析する方法が良く用いられてきた。実際には板の高さや寸法をはじめとする構造パラメータとアンテナ特性の関係、動作メカニズムを明らかにするためにはこれらのパラメータを考慮した解析が必要となり、大規模な電磁界解析を行う必要がある。

以上の背景を踏まえ、本研究では平面構造で給電線路を用いずに高利得が得られるプリントダイポールアレー (PDA) 板付パッチアンテナの設計指針を得ることを目的として、スーパーコンピュータを駆使して FDTD (Finite-Difference Time-Domain : 有限差分時間領域) 法[4] による電磁界解析を行い、動作メカニズムの検討を加えた結果を述べる。

2. 解析モデル

PDA板付パッチアンテナの構造を図1に示す。設計は5GHz ($\lambda_0=60\text{mm}$) で行った。グラウンド板の中央に一辺が $l_p=26\text{mm}$ ($\equiv \lambda_0/2$) の方形パッチアンテナを設け、その上面に高さ $d=68\text{mm}$ ($\equiv \lambda_0$) だけ隔ててPDA板を配置する。PDA板は一辺が $L_G=255\text{mm}$ ($\equiv 4.3\lambda_0$)、比誘電率が $\epsilon_r=3.3$ の誘電体基板上に長さ $l_x=20\text{mm}$ 、幅 l_y のプリントダイポールが間隔 $s_x=s_y=5\text{mm}$ で $n_x=10$ 、 $n_y=25$ 個配列されており、プリントダイポールとパッチアンテナの共振方向が一致するように配置する。グラウンド板の幅はPDA板の幅 L_G とほぼ等しい250mmとした。PDA板付パッチアンテナは多数の

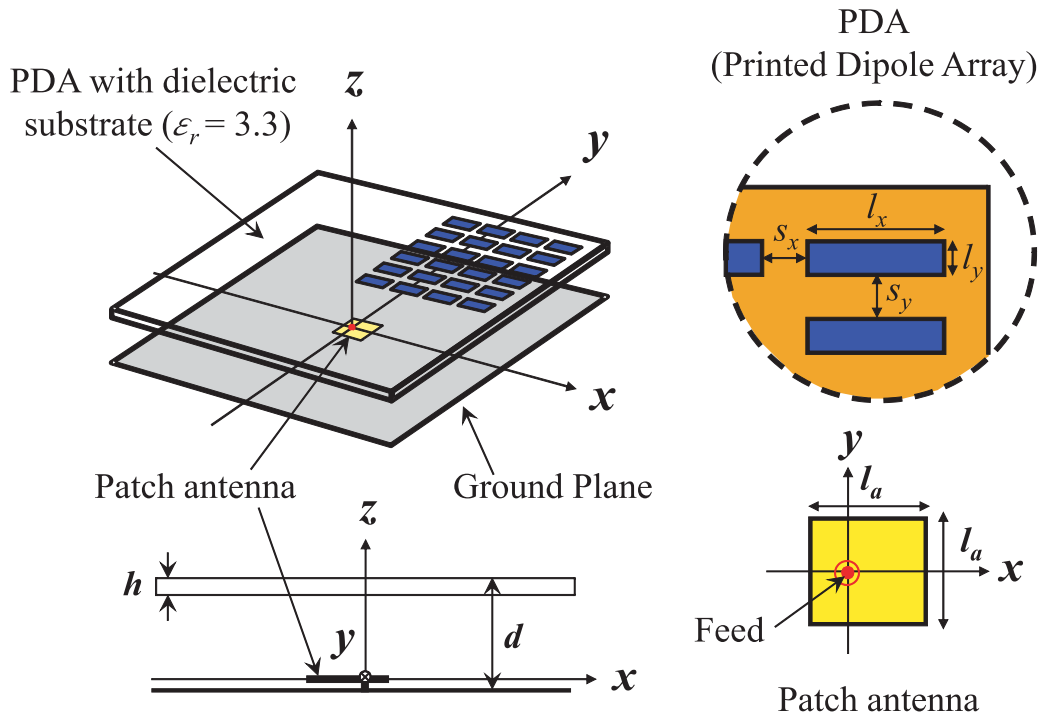


図1 解析モデル

構造パラメータを持つため、数値シミュレーションによる設計が有効である。本アンテナのように、波長に対して比較的大きい構造に対してFDTD法を適用するためには、高速かつ大容量のメモリを備えたスーパーコンピュータの使用が有効である。数値解析においてセルサイズは $\Delta x=1\text{mm}$ 、 $\Delta y=1\text{mm}$ 、 $\Delta z=0.4\text{mm}$ 、時間ステップ数を32000ステップとし、吸収境界条件は8層のPML (Perfectly Matched Layer) を用いた。また、給電は内部抵抗を 50Ω としたデルタギャップ給電を用い、ガウスパルスを励振して行った。

3. 計算結果と実験結果

PDA板付パッチアンテナのVSWR及び動作利得の周波数特性を図2, 3に示す。比較のため、PDA板がないパッチアンテナのみの結果も示してある。FDTD計算には東北大学シナジーセンターのベクトル型スーパーコンピュータ(SX-7, 283GFlops, 32 並列, 256GB memory)を用いた。FDTD法による計算結果は実験結果と概ね一致した。実験結果について、VSWRはパッチアンテナ単体の場合に4.91GHzにおいて1.05、PDA板付パッチアンテナの場合に4.6GHzにおいて1.05が得られた。PDA板があるときの動作利得は4.64GHzにおいて18.1dBiが得られ、パッチアンテナ単体のときより8.2dB上昇した。

4.6GHzにおける動作利得パターンを図4に示す。E面、H面共に計算結果と実験結果は概ね一致した。E面とH面のビーム幅はほぼ一致している。パッチアンテナが広角な放射特性を持つのに

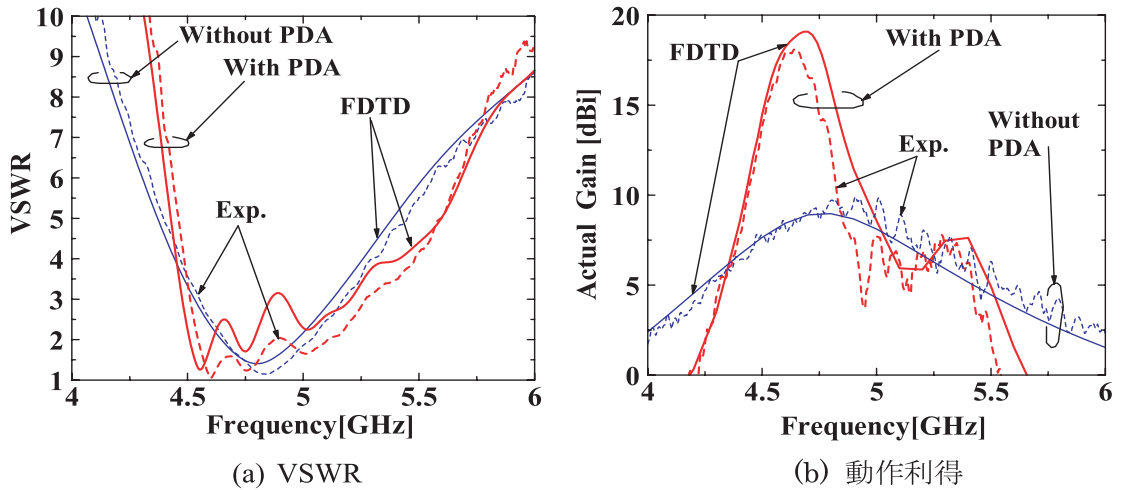


図2 VSWR, 動作利得の周波数特性
(赤: PDA板がある場合, 青: PDA板がない場合)

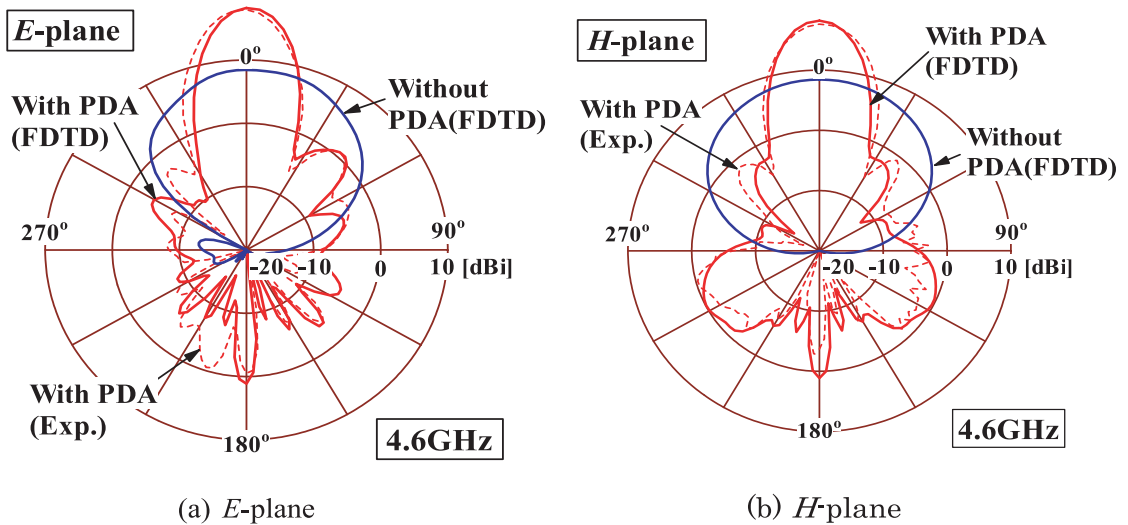
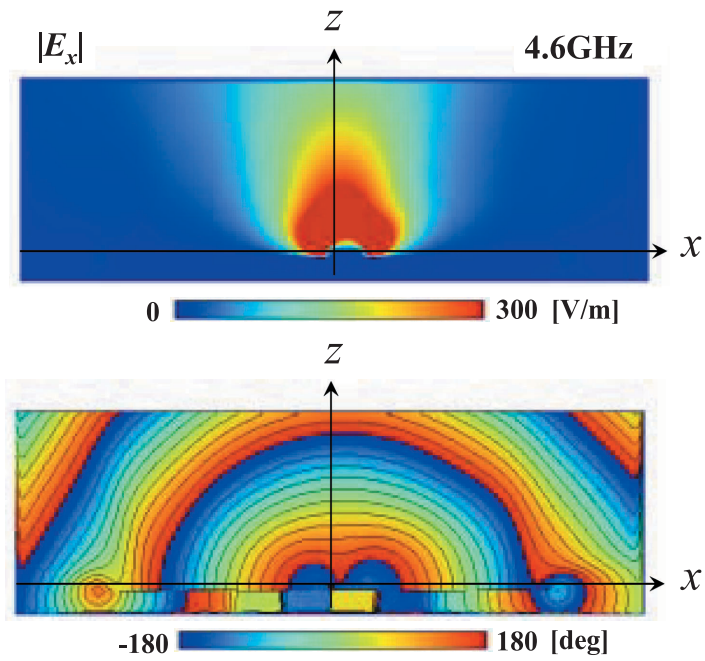


図3 動作利得パターン (a) *E*面, (b) *H*面
(赤: PDA板がある場合, 青: PDA板がない場合)

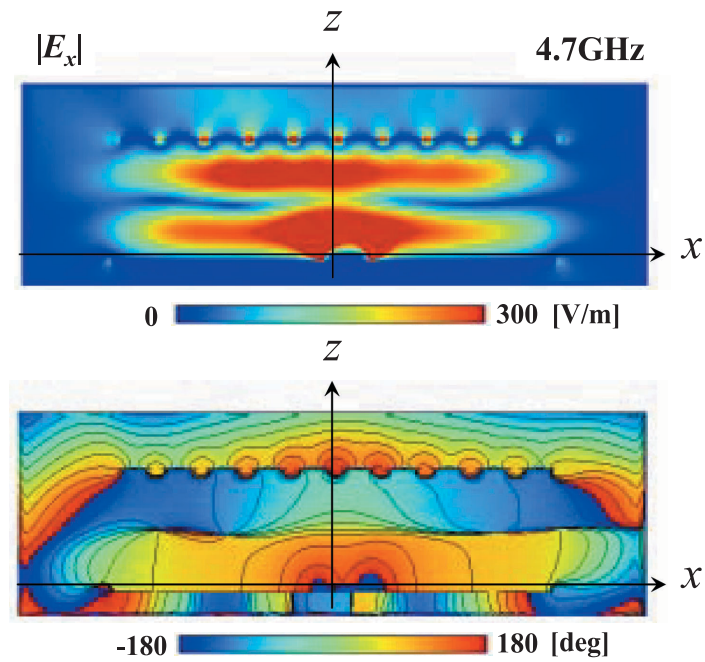
対して, PDA板があると正面方向に鋭いビームが観測された. PDA板があると, *E*面, *H*面共に比較的大きい後方放射が観測されており, *H*面においては120度と240度に大きなサイドローブが観測された. なお, 計算に要したCPU時間は32並列処理を用いて約200分であった.

4. 動作メカニズムの考察

数値解析結果と実験結果は概ね一致し, FDTD解析の妥当性が検証できた. そこで, FDTD解析を用いて動作メカニズムについて考察した. 電界の x 成分 E_x の振幅分布と位相分布を図4に示

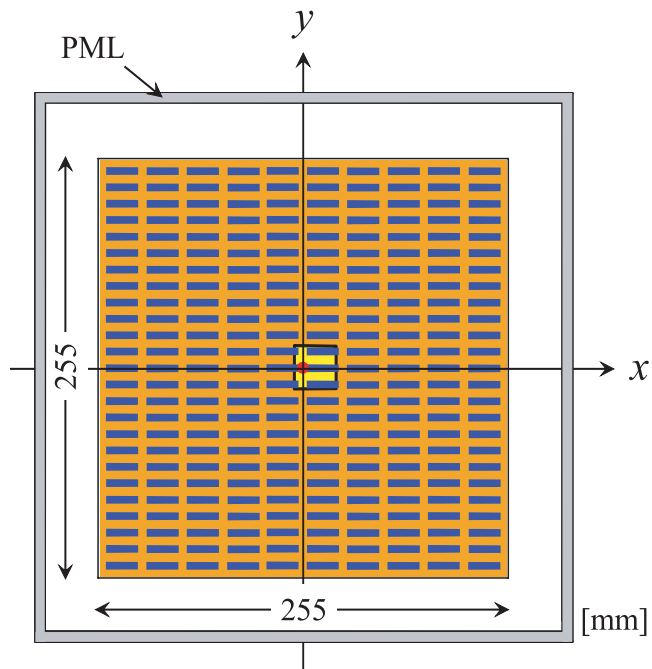


(a) パッチアンテナ単体

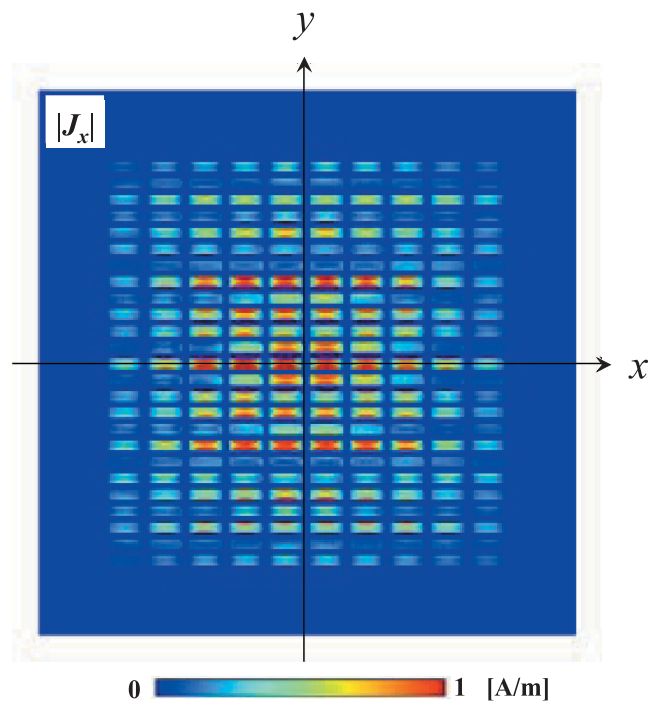


(b) PDA 板付パッチアンテナ

図4 PDA 板の有無に対する電界 E_x 成分の振幅分布と位相分布



(a) 解析モデルの断面図



(b) 電流分布

図5 プリントダイポールの電流分布 (x 成分 J_x , 4.7GHz)

す。(a), (b)はそれぞれ PDA 板がない場合とある場合の結果である。ここで、電界 E_x の振幅は入射電力 1W に対する値を表す。PDA 板がない場合、振幅はパッチアンテナ近傍のみが強く、概ね円形の等位相面が観測されている。一方、PDA 板がある場合はグラウンド板と PDA 板に挟まれた領域全体に強い振幅が分布しており、PDA 板の上方において概ね一様な振幅と等位相面が観測されている。

PDA 板上の磁界分布から求めたプリントダイポールの電流分布の x 成分 J_x を図 5 に示す。PDA 板の中央から放射状に強い電流が観測されている。PDA 板の端部のダイポールにも電流が流れており、 y 軸方向には島状に電流の強弱が現れた。以上の結果から、PDA 板を設けることにより、平面状の振幅、位相分布が得られ、実効的な開口面積が広げられたため動作利得が向上したと考えられる。

5. むすび

スーパーコンピュータを用いて PDA 板付パッチアンテナの FDTD 解析を行った。計算結果は実験結果と良く一致し、解析の妥当性が示された。PDA 板をパッチアンテナの上方にかざすことにより利得が大幅に向上する結果が得られ、実効開口面積が大幅に広げられることが数値解析により明らかとなった。

謝辞

本研究の一部は東北大学情報シナジーセンターのスーパーコンピュータを利用し、同センターとの共同研究で行われたものである。また、研究に当たっては同センターの有益なご指導と多大な協力をいただいた。また、装置の工作に当たり、東北大学電子・応物・情報系附属工場の小林昌博氏、システムリンクージ株式会社の千葉康明氏にご協力を頂いた。ここに深謝する。

参考文献

- [1] Young Ju Lee, Junho Yeo, Raj Mittra and Wee Sang Park, "Design of a Frequency Selective Surface (FSS) Type Superstrate for Dualband Directivity Enhancement of Microstrip Patch Antennas" IEEE AP-S, Volume 3A, pp.2-5, 2005.
- [2] 青木亮併, 佐藤弘康, 澤谷邦男, "高利得 EBG 共振器アンテナの基礎検討", 電子情報通信学会技術報告, AP2004-113, pp. 103-108, 2004.
- [3] 村上仁康, 佐藤弘康, 澤谷邦男, "プリントダイポールアレー付 EBG 共振器アンテナの設計", 電子情報通信学会技術報告, AP2006-45, pp. 37-42, 2006.
- [4] 宇野亨, FDTD 法による電磁界およびアンテナ解析, コロナ社, 1998.