

小型反響チャンバを用いた MIMOアンテナの評価

岩手大学 理工学部 システム創成工学科 教授 ほんま なおき 本間 尚樹さん

1. まえがき

MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) アンテナは、複数信号の並列伝送を実現するキーデバイスであり、無線通信速度向上・大容量化に大いに貢献している [1]。しかし、端末用MIMOアンテナは小型端末に多数のアンテナを近接して配置する必要があるため、空間相関の上昇やアンテナ素子間の相互結合などのアンテナ特性に起因するシステム性能低下が問題となる。このようなMIMOアンテナの特性を厳密に評価するためには、全方位のアンテナ指向性評価のための高価な測定系が必要となる。

指向性を直接用いないMIMOアンテナの評価法として、MIMO OTA (Over The Air)*¹測定法が検討されている。複数プローブ*²を用いた方法 [2] と、金属製の反響チャンバを用いた方法 [3] が主

に用いられるが、より低コストかつ簡易な評価が可能な手法が望ましい。

本稿では、小型反響チャンバを用いたMIMOアンテナ評価法について述べる。反響チャンバの小型化を図るため、送受信アンテナを別々に用意せず単独のMIMOアンテナで評価を行う方式とした。この方式によって、MIMOアンテナ特性評価の低コスト化および簡易化が期待できる。

2. 小型反響チャンバを用いた MIMOアンテナ評価法

提案法を概念を図1に示す。図1(a)は自由空間に置かれたアンテナで、図1(b)は反響チャンバ内に置かれたアンテナである。ここでアンテナは送受信アンテナであり素子数は N である。提案法ではベクトルネットワークアナライザ*³を用いることを前提とし

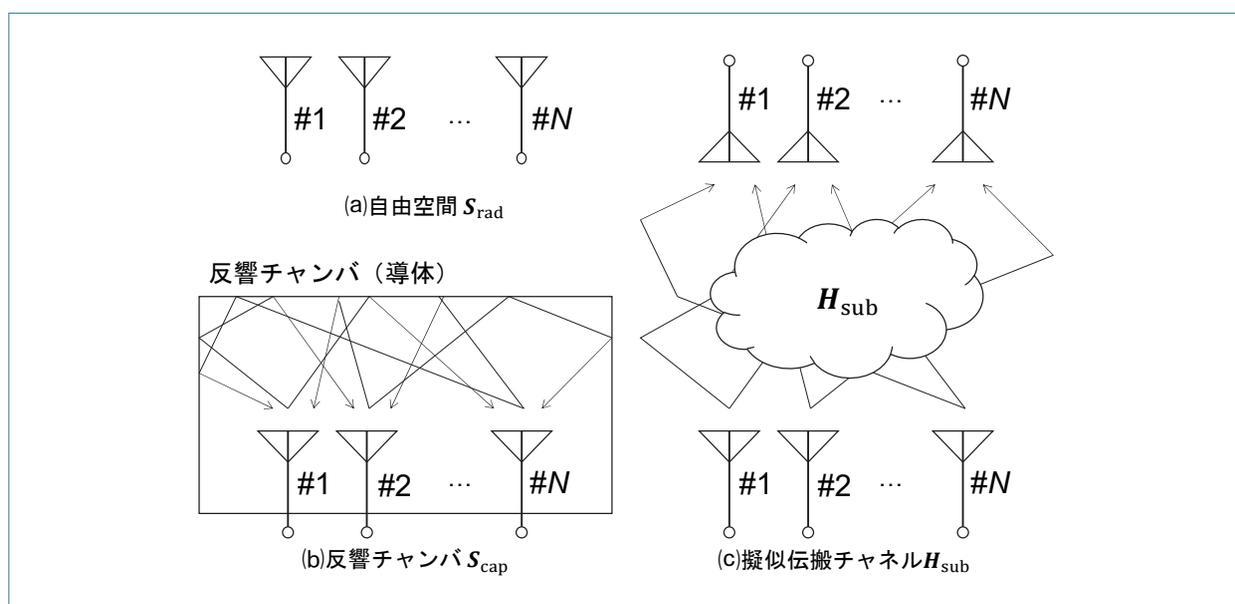


図1 提案法概念図



Profile

1996年東北大学・工学部卒業。1998年同大大学院工学研究科修士課程了。2005年同大大学院博士課程修了。博士(工学)。1998年日本電信電話(株)入社。以来、主として高速無線通信用平面アンテナ、MIMOアンテナシステムに関する研究に従事。2009年岩手大学工学部・准教授、2016年岩手大学理工学部・教授。2002年年度電子情報通信学会学術奨励賞、2003年APMC Best Paper Award、2006年本会通信ソサイエティ論文賞、2014年日経エレクトロニクスジャパン・ワイヤレステクノロジー・アワード、APMC 2014 Prize受賞。IEICE、IEEE会員。

ており、自由空間中にアンテナが置かれた場合のSパラメータ行列 S_{rad} と、銅などのできるだけ抵抗損の少ない金属で構成された反響チャンバ内で測定されたSパラメータ行列 S_{cap} を測定する。 S_{cap} は、アンテナ自体がもつ反射成分 S_{rad} と、アンテナから放射したのちチャンバ内で反射し、ふたたびアンテナに戻る反響成分の合計である。この反響成分は、図1(c)のように反響チャンバにより生成されるMIMOアンテナ自身の鏡像とMIMOアンテナの間の擬似的なMIMOチャネルであると考えることが可能である。従って、伝搬成分である擬似MIMOチャネルを、 S_{cap} から S_{rad} を減算し、

$$\mathbf{H}_{\text{sub}} = \mathbf{S}_{\text{cap}} - \mathbf{S}_{\text{rad}} \in \mathbb{C}^{N \times N} \quad (1)$$

により算出する。ここで、 $\mathbb{C}^{N \times N}$ は N 行 N 列の複素行列を意味する。しかし、このままでは伝搬チャネル行列は常に固定であり、統計的な性質が得られない。そのため、反響チャンバ内に攪拌機を配置しチャネルを変動させるかアンテナ自体をチャンバ内で移動させるなどの手段によって、伝搬路を攪拌する。

3. 実験評価

本実験環境の写真を図2に示す。中心周波数が5.2GHzのモノポールアンテナ2素子をアレー化し、

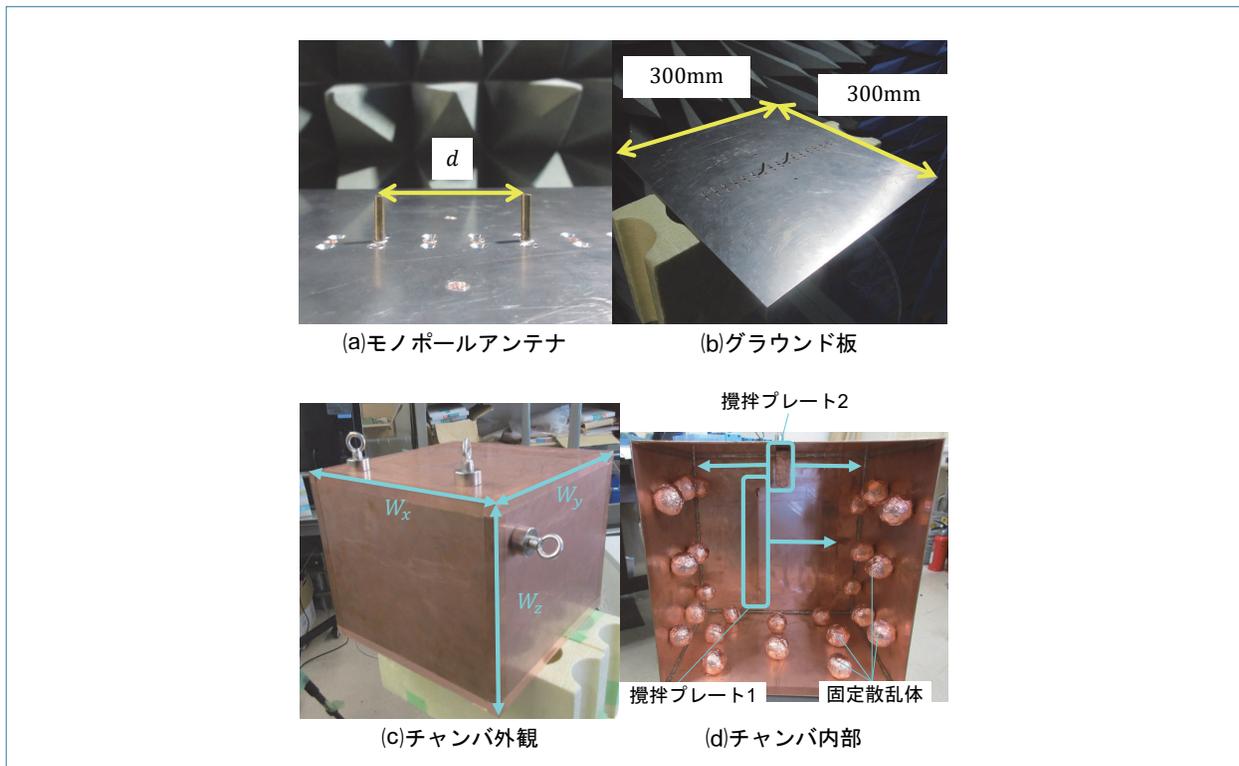


図2 実験に用いたアンテナと反響チャンバ

素子間隔距離を $d=14.4\text{mm}$ (約1/4波長), 28.8mm (約1/2波長), 43.2mm (約3/4波長) のいずれかとし, 2×2 MIMOの評価を行う. ここでアンテナ素子長は 13.4mm とし (図2(a)), アンテナのグラウンドは $300\times 300\text{mm}^2$ のアルミ板を用いた (図2(b)). 反響チャンバは $W_x\times W_y\times W_z=300\times 300\times 250\text{mm}$ の直方体とした (図2(c)). 図2に示すように, 直径約 36mm の銅テープで覆われた球 (固定散乱体)を反響チャンバ内部の側面3面に一面あたり8個ランダムに配置し (図2(d)), またグラウンド基板に, 基板の中心から半径約 130mm の円周上に等間隔に固定散乱体を12個配置した.

また, 本実験では, 反響チャンバ内にて攪拌プレートを移動させ統計評価を行った. 図2(d)に示すように $1.6\times 185\times 80\text{mm}$ の攪拌プレート1をチャンバ上面内側に, $1.6\times 43\times 124\text{mm}$ の攪拌プレート2をチャンバの側面内側に配置した. ここで, 図2(d)中の矢印は攪拌プレートの可動範囲を表している. 攪拌プレートは鉄製であり, チャンバ外部より磁石により固定および移動が可能である. なお, 攪拌プレートによる導体損を避けるため, 攪拌プレートを銅テープで覆い損失を低減した. 以上の実験系により, MIMOチャネル容量とMIMOチャネル容量中央値の素子間隔特性の評価を行った.

MIMOチャネル容量の累積確率分布 (CDF: Cumulative Distribution Function)*4を図3に示す. ここで, 素子間隔を1/4波長, 信号対雑音比 (SNR: Signal-to-Noise Ratio)*5を 20dB と設定した. 提案法による固定散乱体を配置した実験結果を「Proposed (w/fixed scatterers)」, 固定散乱体を配置していない実験結果を「Proposed (w/o fixed scatterers)」とし, アンテナ指向性から3次元的かつ均一にパスが分布すると仮定したJakesモデル [4]により算出した結果を「3D-Uniform」とした. チャネル容量は,

$$C = \log_2 \left| \mathbf{I} + \mathbf{H}\mathbf{H}^H \frac{\gamma}{N} \right| \quad (2)$$

で表されるShannonチャネル容量式より計算した. ここで, \mathbf{I} は $N\times N$ の単位行列, \mathbf{H} は $N\times N$ のチャネル行列, γ はSNR, $|\cdot|$ は行列式, $\{\cdot\}^H$ は複素共役転置である.

3D-uniformとProposed (w/fixed scatterers)は良好に一致することが確認でき, 固定散乱体を配置することで3D-uniformと近いMIMOチャネルが得られることが確認できる. 一方で, Proposed (w/o fixed scatterers)は分布の広がり狭くなり, 十分な攪拌効果が得られないことが明らかになった.

MIMOチャネル容量中央値の素子間隔特性を図4に示す. 固定散乱体を配置することで3D-uniform

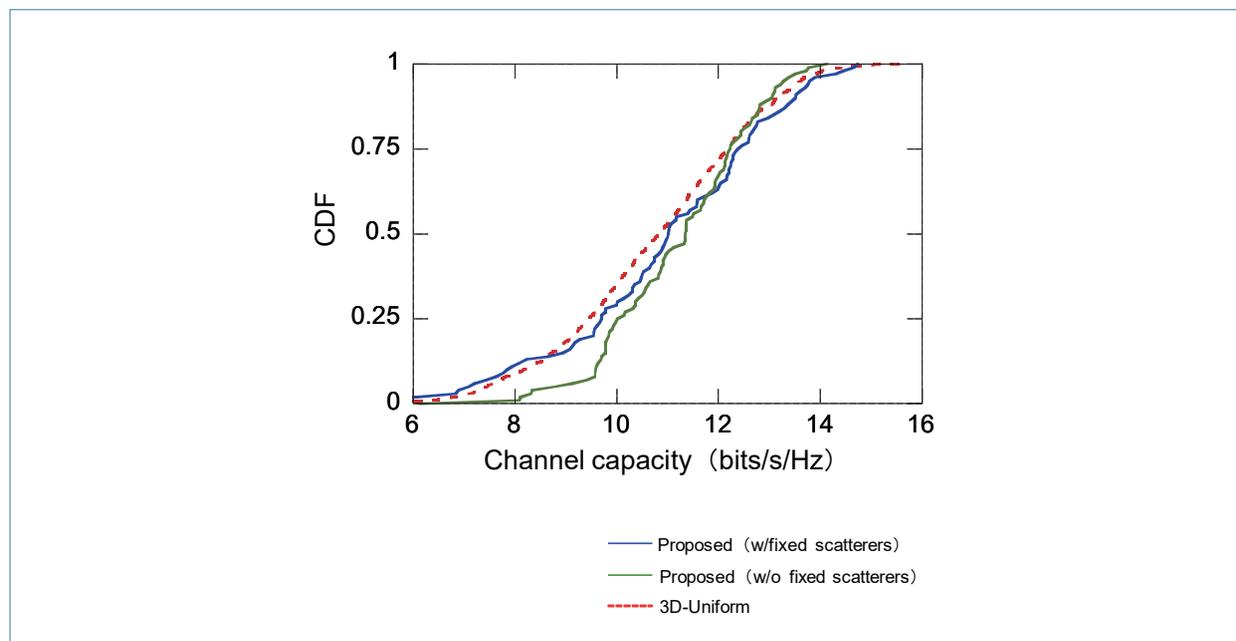


図3 チャネル容量の累積確率分布 ($d=1/4$ 波長)

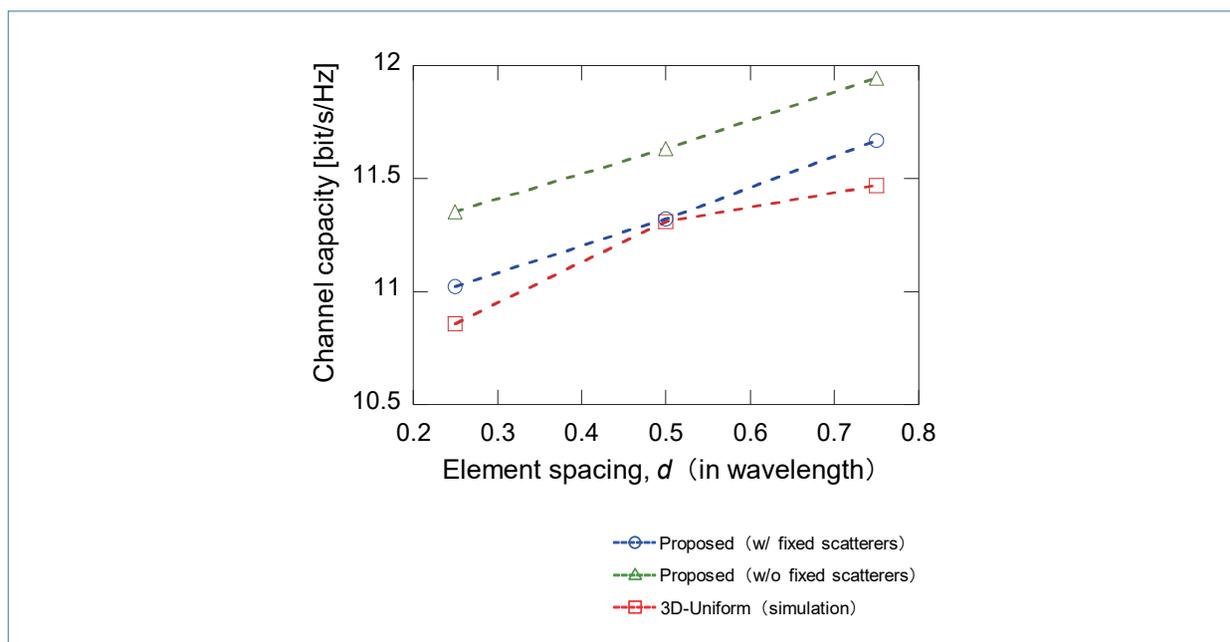


図4 チャンネル容量中央値の素子間特性

の結果と近いチャンネル容量特性が得られることが分かる。今回は一例として3D-uniformと比較したが、提案法によってアンテナ指向性を測定せずに、Sパラメータだけでチャンネル容量特性の評価が可能になることを明らかにした。

4. あとがき

本稿では、小型反響チャンバと単独のMIMOアンテナを用いたアンテナ性能評価法について述べた。本実験において、Sパラメータの測定によってマルチパス環境におけるMIMOチャンネル容量を推定できることが明らかになった。これにより低コストかつ簡易にMIMOアンテナの性能評価の実現が期待できる。

文献

- [1] G. J. Foschini and M. J. Gans : "Capacity when using diversity at transmit and receive sites and the Rayleigh-faded matrix channel is unknown at the transmitter," Proc. of WINLAB Workshop on Wireless Information Network, Mar. 1996.
- [2] S. Tsutomu, A. Yamamoto, K. Ogawa and J. Takada :

"MIMO channel capacity measurement in the presence of spatial clusters using a fading emulator," Proc. of 2009 IEEE 20th International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications, pp.97-101, Sep. 2009.

- [3] P. S. Kildal and K. Rosengren : "Correlation and capacity of MIMO systems and mutual coupling, radiation efficiency, and diversity gain of their antennas : simulations and measurements in a reverberation chamber," IEEE Communications Magazine, Vol.42, Issue.12, pp.104-112, Dec. 2004.
- [4] W. C. Jakes : "Microwave mobile communications," John Wiley & Sons, Inc., 1974.

-
- *1 OTA：無線通信信号をある空間上で伝送させることにより性能を評価する測定方法。
 - *2 プローブ：無線評価におけるプローブとは、任意の点の電波を測定もしくは送信するための装置の末端を指し、通常小形のアンテナ素子が用いられる。
 - *3 ベクトルネットワークアナライザ：元々は高周波回路素子の伝達関数を測定する装置であるが、回路素子の代わりにアンテナを接続することによって、伝搬路の伝達関数の測定が可能となるため、近年は近距離伝搬路の計測にもよく用いられている。
 - *4 CDF：確率変数の分布を累積して示したもの。
 - *5 SNR：雑音電力に対する所望信号電力の比。

本誌に掲載されている社名、製品およびソフトウェア、サービスなどの名称は、各社の商標または登録商標。