アンテナ技術

テレビジョン放送の完全デジタル化、携帯電話、スマートフォン、無線LANなどの急速な普及、LTEの登場やMIMO技術の普及などに伴い、アンテナ技術も日々進化しています。普段はその存在を意識することが少ないアンテナですが、電子回路と空間をつなぐインターフェースとして、その果たす役割は非常に重要であり、ICT社会において欠くべからざる存在になっていると感じます。しかし、それにもかかわらず、その技術の詳しい内容は専門家を除いて、あまり知られてはいないのではないのでしょうか。

今回は、まず、アンテナ技術全体の展望を解説してもらった後、中波送信用アンテナ、衛星放送や衛星通信における基地局用アンテナ、地上デジタル放送における送信用アンテナなど、比較的大きなアンテナについて解説していただきました。次に、地上デジタル放送や衛星放送の家庭用受信アンテナ、移動通信や地上デジタル放送用の携帯端末向け小型アンテナなど、比較的小型で身近なアンテナについて解説していただきました。また、放送局が使用する番組素材伝送用のアンテナや、自動車衝突防止用のミリ波レーダ、短距離向けの高速無線伝送システムなどに使用されているミリ波用アンテナについても、紹介・解説していただきました。さらに、特殊なアンテナとして、人の体を利用する人体アンテナについても解説していただきました。

以上のように、今回の特集では、アンテナに関して広範囲な応用分野を採り上げて、その分野の研究者や専門家の方にわかりやすく解説していただきました。普段はあまりアンテナのことを意識していない人も、この機会に理解を深めていただければ幸いです。

なお、本特集の企画は、柴田 豊編集幹事、牧野和洋編集幹事、山田悦久編集幹事と私が担当しました。

Antenna Technologies

特集 | アンテナ技術

1

全体展望

[正会員] 伊藤 公一†

キーワード アンテナ技術, 電波伝搬, 放送, 通信, 医療応用, 数値シミュレーション

1 ま え が き

「アンテナ」と聞いて、読者は何を思い浮かべるだろうか？ 例えば、数年前までの携帯電話には外部アンテナが付いていたが、近年の携帯電話あるいはスマートフォンには内蔵アンテナが多く用いられており、その存在を意識することは少ない。しかし、携帯端末にアンテナが必須であることは自明である。一方、最近大きな話題となった小惑星探査機「はやぶさ」¹⁾ (図1) には直径1.6mの高利得パラボラアンテナが使用され、また、東京スカイツリー® (図2) では「ゲイン塔」と呼ばれるアンテナ設置用鉄塔に取り付けられた放送用アンテナ群が目立つ存在となっている。

本特集では、上記のように、さまざまな分野や用途において、ますます重要性が増しているアンテナに関して、アプリケーション別にそれぞれの専門家に最近の動向や将来展望を解説していただいているが、それに先立ち、本稿ではアンテナ全体について、その重要性、最近の動向、将来展望などを筆者なりに述べる。

2 アンテナの重要性

2.1 アンテナの役割

アンテナあるいは電波は種々の用途に用いられているが、主なものは、

- (1) 情報伝送 (通信, 放送, データ伝送など)
- (2) 探査/観測 (レーダ, 測位, 電波天文など)
- (3) エネルギー利用 (電子レンジ, がん治療, 無線電力伝送など)

に大別されるであろう。さらに、アンテナを電子回路(デバイス)の一部と見なしたとき、その主たる役割には、

- (1) 空間と電子機器とのインタフェース
- (2) 空間フィルタ (アンテナの指向性を活用)
- (3) 周波数フィルタ (アンテナの狭帯域性を活用)
- (4) 増幅器/合成器 (空間における電力合成)
- (5) スイッチ (ビーム切替え)

図1 小惑星探査機「はやぶさ」¹⁾

図2 東京スカイツリー

- (6) センサ
- (7) カメラ (ミリ波イメージングなど)
- (8) 加熱器

† 千葉大学 大学院工学研究科

"An Overview of Recent Antenna Technologies" by Koichi Ito (Graduate School of Engineering, Chiba University, Chiba)

図3 代表的なアンテナの指向性

などが挙げられる。このように、アンテナには多くの役割が考えられるが、どの役割にはどのようなアンテナが相応しいのかを見極めることが必要である。その際、アンテナが使用される場面や状況、さらにはコスト等も考慮する必要がある。

2.2 指向性と利得との関係

アンテナの有する電気的特性のうち、指向性、利得、偏波等は空間における重要な特性であり、入力インピーダンス、反射係数(あるいはリターンロス)、VSWR(電圧定在波比)等はアンテナを回路として見たときの重要な特性である。

なかでも、指向性と利得の関係は極めて重要であるため、あえてここで触れておく。図3に代表的なアンテナの指向性を二つ示す。図3(a)はz軸に沿う半波長ダイポールアンテナの垂直面内指向性を、図3(b)はパラボラアンテナの指向性の一例をそれぞれ示している。携帯電話のように、不特定の方向から来る電波を受けるためには、図3(a)のような広いビーム幅が必要であり、したがって、必然的にアンテナの利得は低くなる(半波長ダイポールアンテナの利得は約2dBi)。一方、テレビ放送やレーダなどのように、遠方からの微弱な電波を受ける必要がある場合には高い利得が求められ、結果的に指向性は図3(b)のように鋭くなる。このように、通常用いられるアンテナでは、指向性と利得を独立には決められない。

2.3 波長でモノを見る

アンテナを扱う上で、そのアンテナや周辺の構造物の大きさが、使用する周波数の波長で表すとどの位になるかを知ることが重要である。例えば、BS放送受信用パラボラアンテナの直径が50cmであったとすると、周波数が約12GHz、すなわち1波長は約2.5cmであるため、このパラボラアンテナの直径は約20波長となる。物理的には大きくないが、電気的には大きなアンテナと言える。

次に、図4に示す独立行政法人情報通信研究機構の標準電波送信所に設置されているアンテナを見てみよう。これは福島県の大鷹鳥谷山に建設された傘型アンテナで、電波

図4 標準電波送信所(大鷹鳥谷山)
(提供：独立行政法人情報通信研究機構)

時計はこの電波も利用している。送信周波数は40kHz(波長は7,500m)、アンテナの高さは250mもある。しかし、波長で見ると、たかだか約3%程度であり、立派な超小型アンテナと言える。

通信や放送用のアンテナを設計あるいは測定する場合、2.2項で述べたように、指向性や利得は重要な特性であるが、これらは送受信アンテナ間の距離が遠方界と見なせるほど充分離れた場合に適用できる。最近、小型無線機器間の通信やデータ伝送等によく用いられるNFC(Near Field Communication)などでは、送受信アンテナ間の距離が短いため、指向性や利得などの指標をそのままでは使うことができず、近傍界での評価が必要となる。

3 アンテナに関する最近の動向

前述のように、アンテナは極めて重要なデバイスであり、世界中で研究開発にしのぎを削っている。ここでは、アンテナに関する動向を知る上で必要な国外の主要な論文誌や国際会議を紹介した後、最近のホットな話題の中から筆者が興味を持っている二つのアンテナを紹介する。

3.1 関連する主要な国外の論文誌および国際会議

アンテナおよび電波伝搬の分野において世界的に代表的な論文誌は、IEEE発行のTransactions on Antennas and PropagationおよびAWPL(Antennas and Wireless Propagation Letters)であろう。さらに、長い伝統を誇る英国IET発行の論文誌ProceedingsおよびElectronics Lettersにも関連の論文が多数掲載されている。

アンテナおよび電波伝搬の分野において世界的規模で毎年開催されている主要な国際会議としては、IEEEと米国URSI共催のIEEE AP-S International Symposium and USNC/URSI National Radio Science Meeting、欧州におけるEurAAP(European Association on Antennas and Propagation)主催のEuCAP(European Conference on

Antennas and Propagation) およびアジア・太平洋地域における ISAP (International Symposium on Antennas and Propagation) の三つが挙げられる。ISAP は 1971 年に初めて東北大学で開催され、2005 年からは国外でも開催されるようになり、本年は 5 年ぶりに国内 (名古屋) で通算 17 回目²⁾が開催された。

上記三つの国際会議は、アンテナおよび電波伝搬に関するすべてのテーマを扱うが、これら以外に特定のテーマに限定した小規模の国際会議が幾つか開かれている。例えば、小型アンテナを主に扱う IEEE 主催の iWAT (International Workshop on Antenna Technology) や、同じく IEEE 主催の APWC (Topical Conference on Antennas and Propagation in Wireless Communications)、IET 主催の各種セミナー (例えば、Seminar on Body-Centric Wireless Communications) などが活発である。さらに、放送関連の IEEE Broadcast Symposium、マイクロ波に関する国際会議 IEEE IMS (International Microwave Symposium)、APMC (Asia-Pacific Microwave Conference) や 3 年毎に開催される URSI GASS (General Assembly and Scientific Symposium of the International Union of Radio Science) などにおいてもアンテナ関連の発表が多数見られる。

3.2 人体近傍における通信用アンテナ

前述した各種の論文誌や国際会議において、近年、論文数が増加しているテーマとしては、メタマテリアル等の人工媒質を活用したアンテナ、MIMO (Multiple Input Multiple Output) 等を導入したアンテナシステム、無線電力伝送用アンテナ、人体近傍における通信用アンテナ、健康や医療応用のアンテナなどが挙げられるであろう。

ここでは、筆者が興味を持っている、人体近傍における通信用アンテナを採り上げる。この用途として、日本や韓国では数 MHz 前後の低い周波数帯が使われているが、欧米では数 GHz 帯 (例えば Bluetooth や Zigbee など) が主流である。それぞれ一長一短があり、用途に応じて使い分けことが望ましいが、それぞれの周波数帯における基本的な相違を認識することが重要である。図 5 は、人体中央部分に装着した同一の小型送信機による人体周辺における電界強度分布を示したものである³⁾。3 MHz では人体周辺に近傍電界が滑らかに分布しているのに対し、3 GHz では人体斜め上方および下方に強い放射が見られる。これは、2.3 項で述べたように、それぞれの周波数における波長 (図 5 の λ) と人の身長との相対関係によるものである。

3.3 健康・医療応用アンテナ

もう一つの例として、健康や医療応用のアンテナを見てみたい。最近では日常的な健康管理のため、アンテナ技術を取り入れたグッズがたくさん販売されている。また、介護やリハビリなどに役立つ無拘束モニタリングシステムもアンテナ技術のお陰で広く普及しつつある。

医療応用としては、以前から知られている遠隔医療シス

テムや MRI (Magnetic Resonance Imaging) 等の診断、さらにはがんや成人病等の治療にもアンテナ技術が活用されている。例えば、図 6 に示す最新のがん治療用ハイパサーミアシステム⁴⁾では、患者の周囲に 8 本のダイポールアンテナからなるアレーアンテナが 3 段 (合計 24 本) 配置され、それらの振幅および位相を制御することにより、体内の腫瘍を選択的に加温治療することが可能となっている。体内深部まで電磁波が到達するように、100 MHz 程度の低い周波数が使われている。

15 年以上も前のことであるが、マイクロ波の国際会議が米国で開かれ、ハイパサーミア関連のセッションにおいて、若い研究者が 2.45 GHz を使った外部加温装置で、いかに体内深部のがんの治療を行うかと言った発表を始めたとき、年配の座長が、現実的に不可能な研究の発表はするなと怒り出したことを今でも覚えている。余談であるが、このときから研究発表の場は、若手にとってはよい教育の場でもあると強く認識している。

なお、アンテナ技術の治療への応用については、主に電磁波が人体に与える熱的作用、すなわち適度な温度上昇あるいは凝固等の現象を用いており、最近では、これらを総称して英語では "Thermal Therapy" と呼ばれることが多い⁵⁾。

4 将来のアンテナ技術

本特集では、このあと、アプリケーション別に将来展望についてもそれぞれ解説されているが、ここでは筆者が普段から心に描いているアンテナ技術の将来について二つだけ述べる。

4.1 見えないアンテナ

現在のクルマにしても家電製品にしても無線技術が多用され、アンテナはなくてはならない存在になっている。しかし、デザイン的にはアンテナは邪魔であり、ない方が望ましい (このように言われるのはアンテナ屋としては寂しい限りであるが)。従来、アンテナを機器に「内蔵」するのではなく、視覚的に見えなくする方法として、非常に細い導線でアンテナを構成する方法⁶⁾および透明な導電性フィルムでアンテナを作製する方法⁷⁾などが考案されてきた。

いずれの方法でも、光透過率と電氣的損失、言い換えれば放射効率との関係を明確にすることが重要である。図 7 に、透明導電フィルム (材質は ITO (Indium Tin Oxide)) で構成したモノポールアンテナの例を示す⁷⁾。図 7 (c) から 5 GHz 帯においても光透過率 90% で放射効率は約 90% 得られることがわかる。

前述のように用途によってはアンテナは邪魔な存在であるが、透明アンテナであれば、面積の広い自動車のガラスや液晶ディスプレイなどにも取り付けることができ、利得の向上だけでなく、設計の自由度も増すことになるであろう。透明アンテナの更なる特性改善が望まれる。

見えないアンテナは一例であるが、従来の枠にとらわれ

図5 小形送信機による人体周辺における電界強度分布³⁾ 図6 がん治療用ハイパーミアシステムの一例⁴⁾

ず、革新的なアンテナの開発が期待される場所である。

4.2 アンテナの設計開発

実用的に優れたアンテナを設計開発するためには、その用途に適したアンテナを選び出す豊富な知識と経験、および仕様を満足するように最適設計を行う能力が必要である。設計開発の手順としては、まず数値シミュレーションを行うことが一般的である。近年、計算機による数値シミュレーション用のソフトの開発がめざましく、数多くの便利なソフトが市販されている。一例として、自動車のリアガラスアンテナによる2次元近傍電界分布、および、3次元放射パターンの数値シミュレーション結果を図8に示す⁸⁾。

この例では、自動車は静止している状態であるが、将来は自動車の高速走行に伴う特性変化なども解析および予測できるようになると期待される。

図7 透明導電フィルムで構成したモノポールアンテナ⁷⁾

図8 自動車のリアガラスアンテナによる近傍電界および放射パターンの数値シミュレーション結果の一例⁸⁾

自動車の例に限らず、最適な通信や放送受信を確保するためには、アンテナだけでなく、その周辺の構造物や環境なども含めた最適設計が重要である。そのためにも、アンテナの基礎知識を習得するとともに、洞察力を養うことも肝要である。

5 む す び

本稿では、全体展望として、限られた範囲ではあるが、アンテナの重要性、最近の動向、将来展望などを筆者なりに述べた。アンテナに関する研究開発は地味ではあるが、われわれの暮らしになくてはならないものである。

本稿がアンテナに関わる研究者、技術者、学生、さらには広く読者の皆さんにとって少しでも参考になれば幸いである。

(2012年9月10日受付)

〔文 献〕

- 1) <http://www.isas.jaxa.jp/j/enterp/missions/hayabusa/>
- 2) <http://www.isap12.org>
- 3) K. Ito, N. Haga, M. Takahashi and K. Saito: "Evaluations of Body-Centric Wireless Communication Channels in a Range from 3 MHz to 3 GHz", Proc. IEEE, 100, 7, pp.2356-2363, (July 2012)
- 4) <http://www.bsdm.com/>
- 5) 伊藤: "Thermal Therapy実用化のためのアンテナ技術と課題", 解説論文, 信学通信ソサイエティマガジン, 17 [夏号], pp.36-43 (2011)
- 6) M.S. Wu and K. Ito: "Meshed Microstrip Antennas Constructed on a Transparent Substrate", IEICE Transactions, E74, 5, pp.1277-1282 (1991)
- 7) N. Guan, H. Furuya, D. Delaune and K. Ito: "Radiation Efficiency of Monopole Antenna Made of a Transparent Conductive Film", Proceedings of 2007 IEEE AP-S International Symposium and USNC/URSI National Radio Science Meeting, pp.221-224, Hawaii, USA (June 2007)
- 8) <http://www.feko.info/applications/automotive>

伊藤 公一 1976年、千葉大大学院工学研究科修士課程修了。東京工業大学助手、千葉大学助手を経て、現在、千葉大大学院教授。2009年より、同大学フロンティアメディカル工学研究開発センター長併任。主として、移動通信用小形アンテナ、がん治療等の医療応用アンテナ、人体近傍通信、ファントムを用いた人体と電磁波との相互影響評価等の研究に従事。IEEE Fellow, 工学博士、正会員。