



# 通信用デジタルビーム フォーミングアンテナ

—— 見えてきたインテリジェントアンテナとしての将来 ——

解 説

唐 沢 好 男 猪 股 英 行

唐沢好男, 猪股英行: 正員 (株) エイ・ティ・  
アール光電波通信研究所

Digital Beamforming Antennas in Communication Systems: As an Intelligent Antenna in the Future.  
By Yoshio KARASAWA, and Hideyuki INOMATA, Members (ATR Optical and Radio Communica-  
tions Research Laboratories, Kyoto-fu, 619-02 Japan).

## ABSTRACT

近年、デジタル信号処理技術の目覚ましい進歩によって、信号処理部をASICとよばれる専用LSIで小型実装できるようになってきたため、デジタルビームフォーミング(DBF)アンテナの通信分野への適用、特に移動体通信への適用を目指した研究が盛んになってきている。本稿では、ヨーロッパと日本で精力的に進められている通信用DBFアンテナの研究開発状況を紹介すると共に、「移動通信におけるインテリジェントアンテナ」としての将来性について展望する。

キーワード: デジタルビームフォーミング(DBF), インテリジェントアンテナ, 移動通信, ASIC

### 1. はじめに

電波の利用は通信・計測・電波天文等さまざまな分野に浸透し、そこで用いられるアンテナも多種多様である。その中で、次世代の移動通信用インテリジェントアンテナ(=知能をもったアンテナ)として脚光を浴びつつあるのが、本稿で紹介するデジタルビームフォーミング(Digital Beamforming: DBF)アンテナである。DBFアンテナはビームの走査や指向性の合成など高周波部が担ってきた大部分の機能をデジタル信号処理によって実現するアレーアンテナである。これまで、DBFアンテナの技術は、広い範囲から到来する電波を瞬時に識別することが必要なレーダの受信アンテナとして発達してきた<sup>(1)~(5)</sup>。通信用としては、DBFアンテナが本来有する高度な機能がこれまで必ずしも求められなかった上に、デジタル信号処理部への過度な負担が装置の規模とコストに反映し、いまだ実用には至っていない。しかしながら、近年、デジタル信号処理技術の目覚ましい

進歩によって、これまで不可能と思われていた小型・高機能な実装技術が現実的なものになるに従い、DBFアンテナの通信への適用、特に移動通信への適用を目指した研究が盛んになってきている<sup>(6)~(9)</sup>。

本稿では、DBFアンテナが有する高機能性・多機能性に着目してその特徴を述べ、世界の動向をふまえてDBFアンテナに関する研究紹介を行う。最後に、時代の要請と技術の進展によって見えてきた「移動通信におけるインテリジェントアンテナ」としての将来性について展望する。

### 2. DBFアンテナの原理と特徴

DBFアンテナは多くの素子アンテナで構成されるアレーアンテナの各々の信号を、途中で合成したり分配したりすることなくそのままデジタル信号処理部に取り込んで、マルチビーム形成や低サイドローブ特性等アンテナに求められる大部分の機能をデジタル信号処理によって実現するもので、アンテナの究極の姿

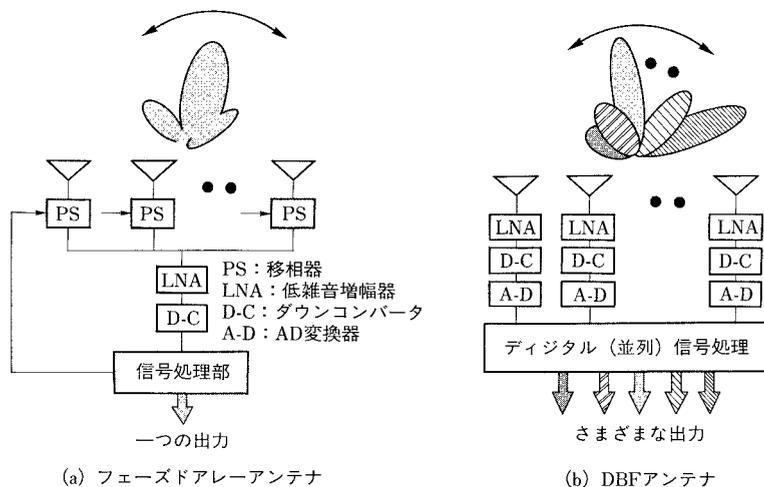
ともいわれている<sup>(9)</sup>。その信号処理の過程において、周りの環境に応じて適応的に動作するような「知能」を組み込むことができるので「インテリジェントアンテナ」でもある。そこにはアンテナ技術、デジタル信号処理技術、適応制御技術、実装技術等幅広い要素技術が集積される。また、適応信号処理という観点から DBF アンテナの本領は受信アンテナとして発揮されるが、受信 DBF アンテナの情報（適応受信した結果）に基づき送信信号も作り出すことができるので、インテリジェントな送信アンテナとしても同様に構成できる。ここでは、受信機能にポイントを絞ってその原理と特徴を述べる。

#### (1) フェーズドアレーアンテナと DBF アンテナ

DBF アンテナの特徴はフェーズドアレーアンテナと比較するとわかりやすい。図1は両者の基本構成を示している。フェーズドアレーアンテナは各素子アンテナの給電部の位相を調整することによって所望のパターン（指向性）を作り出すことができ、そのパターンを周囲の電波環境の変化に応じて適応的に制御することもできる。その場合でもアンテナが有する顔（＝

パターン）は瞬時瞬時いつも一つである。一方、DBF アンテナは個々のアンテナの信号をそのまま（周波数は変換されるが情報は保存された状態で）デジタル信号に変えて取り込み、各々ウェイトを与えて合成する際、異なる組合せを並列処理によっていくつでも作り出すことができるため、アンテナ一つでさまざまに変化する複数の顔を同時にもつことができる。同様の機能をアナログ回路（Bloss 回路、Butler-Matrix 回路等）を用いて実現することも可能であるが<sup>(10)</sup>、給電配線がマトリクス状にふくそうするのでアンテナ素子数が多くなるほど複雑になり、かつ、ビームマネージメント（ビーム再構成等）にフレキシビリティがないのも欠点である。DBF の場合、受信後の雑音の影響を逃れるため素子ごとに低雑音増幅器が必須であり、アンテナ素子と能動素子が一体化したアクティブアンテナ構成となるが、コストの高い移相器が不要になるメリットは大きい。DBF アンテナは信号処理によって所望のパターンを並列的に作り出すことができるためマルチビーム形成や複雑な電波環境に適応的な動作が求められる分野に適している。

#### (2) アナログ回路とデジタル回路の接点



移相器を制御することによってアンテナパターンが変化する  
(一つの顔がさまざまに変化する)

並列信号処理によって、複数のパターンを同時に制御できる  
(多数の顔がさまざまに変化する)

図1 フェーズドアレーアンテナと DBF アンテナの特徴比較

各々のアンテナからの信号（アナログ信号）は、どこかの段階でアナログ／デジタル変換（A-D）され信号処理系（DSP部）に取り込まれる。図2はベースバンド部、中間周波部（IF部）、高周波部（RF部）でのA-D変換の例を示している。ベースバンド部（a）の場合にはかなりの処理がアナログ部でなされているので、DSPが有する信号処理機能を最大限に発揮できる。すなわち広帯域信号の処理に適している。中間周波部の場合（b）は、サンプリングや処理速度の限界から信号帯域幅の1～数倍に中間周波数が設定される場合が多い。RFサンプリング（c）はサンプリングオシロスコプの原理に従い、高周波信号を間欠的にサンプルし直接（b）と等価な信号を得る方法である。また、技術的に難しい面もあるが「アンテナ+デジタル回路」という通信機の理想に近づいている。

A-D変換器のビット数をいくつに設定するかは、信号品質と処理能力に影響を与える重要な問題である。アンテナ素子数が多くなると、

BPF：帯域フィルタ LPF：低域フィルタ

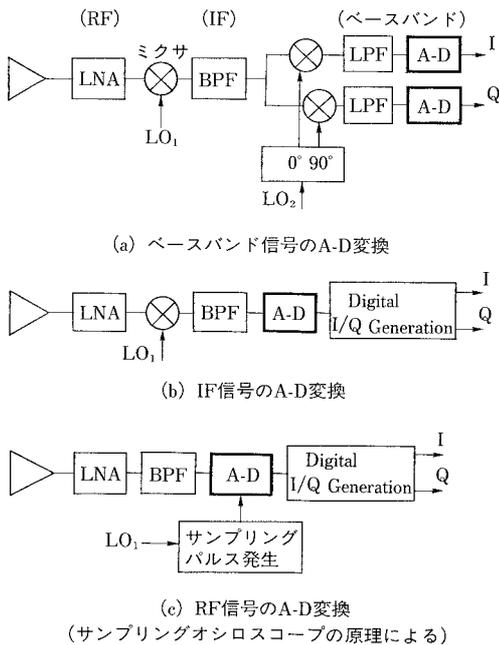


図2 DBFアンテナに用いられる代表的なA-D変換方式

ビット数を減らすことも可能となるが<sup>(1)</sup>、特に、入力信号のレベル変動が大きいケースに適用する場合には詳細な検討が必要である。

(3) エレメントスペースとビームスペース  
デジタル信号処理を行って所望の品質をもつ信号を取り出す場合、素子アンテナの各々に最適な重みづけをして合成する方法が一般的である。これに対して、いったん、指向性をつけて一定方向の電波を受けやすくするビームを複数形成してから、それらの出力を最適合成する方法もある<sup>(11),(12)</sup>。前者の処理はエレメントスペース、後者はビームスペースとよばれている。図3はビームスペースの基本構成を示している。いずれの場合でも、その最適な重みを決定するアルゴリズムには適応フィルタの理論に基づくLMS (Least Mean Square), RLS (Recursive Least Square), CMA (Constant Modulus Algorithm) 等がよく使われる。制御が収束した状態は、アルゴリズムが同じであれば二つのスペース方式で変りはない。しかしながら、DBFアンテナの本領はこのビームスペース方式（すなわち1次処理としてマルチビームを先に形成する方式）に現れる。多数の素子を有するアンテナでは一つ一つの素子の中の所望信号は雑音や干渉波の中に深く埋もれるので、最適ウェイトをみつけるのに時間がかかるのに対して、

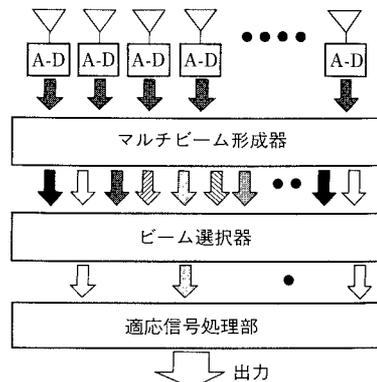


図3 ビームスペース方式DBFアンテナの適応信号処理の例 図の矢印の色の濃さはC/N（またはC/I）の程度を表し、濃い色ほどC/Nが低い。適応信号処理部では少ない数の信号を取り扱うので、収束時間を短くできる。

ビームスペースではそのいくつかのビームにはかなり高い品質の信号をもつものが存在する。それらのビーム出力だけを使うことで目的とする品質の信号が得られる。これは大幅な回路規模と演算時間の減少をもたらす。

1次処理に相当するマルチビーム形成はDBFアンテナが最も得意とする信号処理である。このマルチビームを少ない演算で形成する方法としてFFTのアルゴリズムがよく用いられる<sup>(1)</sup>。直線上に等間隔(通常1/2波長間隔)に配列された $N$ 本(2のべき乗)の素子からなるアレーアンテナから $N$ 個のビームを形成するときに適用できる。ここで、 $N$ 番目のアンテナの延長線上に仮想的な $N+1$ 本目のアンテナを考え、1番目のアンテナとの間で位相差が $2m\pi$  ( $m = -N/2, -N/2+1, \dots, -1, 0, 1, \dots, N/2-1$ )となるように各素子アンテナの位相を決定する。その状態で全素子アンテナの出力を合成すると $N$ 種類の $m$ の値に対して、各々 $N$ 個の値が計算できる。この操作は離散フーリエ変換(DFT)の計算をしていることと等価になり、加算および乗算とも $N^2$ 回の演算が必要になる。この演算にFFTのアルゴリズムを用いると加算を $N \log_2 N$ 回に、乗算を $2N \log_2 N$ 回に減らすことができるので、 $N \geq 4$ で効果が現れ、アンテナ本数が増えるほど効果が大きくなる。

演算量を減らす工夫は、平面アンテナ(2次元配列)の場合<sup>(13)</sup>や円形配列の場合<sup>(14)</sup>についても試みられている。このような工夫による演算量の低減は限られた処理能力の中でDBFアンテナから最大限の性能を引き出すためにも極めて重要である。

### 3. 通信用DBFアンテナの研究開発の動向

DBFアンテナはレーダに使われる軍用技術として発達してきたため、性能の追及に主眼が置かれ、「DBFアンテナ=巨大な高機能システム」としてのイメージが定着している。このため、小型・低価格を重視する通信分野への適用

は懐疑的にみられていた。このイメージを一変させつつあるのが、ASIC(Application Specific Integrated Circuit)とよばれる専用LSIによる小型実装技術の進歩である。これを機にDBFアンテナはその高機能性を必要としている移動通信分野で一気に花を開かせようとしている。

#### (1) 衛星搭載用マルチビームアンテナ

欧州宇宙機関(ESA)では、近い将来の移動体衛星通信システム(周波数1.5~3GHz)を想定した衛星搭載用マルチビームアンテナとしてDBFアンテナのフェージビリティ研究を行っている<sup>(7)</sup>。現実的なものとなりつつある移動体・パーソナル衛星通信サービスを提供する周回軌道衛星や静止衛星通信システムへの適用をねらっており、現在、装置メーカーやコンサルティング会社とコントラクトベースで調査研究を進めている<sup>(15)</sup>。多くのテクニカルレポートが作成されているようであるが、余り開示されておらず、入手可能な情報は限られている。

現在の評価では、低軌道衛星に求められるビーム数が50程度以下ではアナログ方式(パトラマトリックス方式)に優位性があるが、中軌道あるいは静止軌道衛星に求められるビーム数60以上についてはアナログ、デジタル両方式に可能性をみている<sup>(7)</sup>。DBFは消費電力や装置の大きさがビーム数に余り依存しないので、ビーム数が多いところで有利と考えられている。また、ビームマネージメントにおけるフレキシビリティが高いのも大きな利点の一つである。現時点での移動体衛星通信システムへの適用に関してはビーム数100当り(すなわちインマルサットPクラス<sup>(16)</sup>)がアナログビームフォーミングとデジタルビームフォーミングの取捨にかかわるクリティカルラインのようである。

このように大規模と思われていたDBFアンテナが、小型軽量化に最大ウェイトを置く衛星搭載用アンテナとして可能性が出てきたのは、デジタル信号処理部を小型に実装可能なASIC(専用LSI)の技術進展に負うところが大きい。限られた処理能力の中でどの程度の機能

が実現できるかは、信号の帯域幅(サンプルレート)やアンテナの素子数に依存する。ESAのコントラクトを受けてERA社が実施した1991年時点での評価によれば、10チップのASICで、20素子アンテナの帯域10MHz信号を処理できると算定している<sup>(6)</sup>。

衛星搭載用ではASIC化に際しての課題、すなわち消費電力、放熱問題、耐宇宙環境性等、がDBF実現の鍵を握っているように思われ、DBFアンテナの時代の足音はもうそこまできているようである。

## (2) 移動体衛星通信用移動局アンテナ

移動体搭載用アンテナには、移動体の動きに伴って変化する電波の到来方向を正しく捕そくして追尾する機能や、地面や建物から反射された波によるマルチパスフェージングの軽減、更には、他衛星からの干渉除去等、正にインテリジェントな働きが求められる。ATR光電波通信研究所では、この分野への適応を目指したL帯(1.5GHz帯)DBFアンテナの研究開発を進めている<sup>(8)。(12)。(17)~(20)</sup>。

送受で周波数分離機能の高いパッチアンテナ(セルフダイプレクシングアンテナ)16素子を4×4の平面に配列したアレーアンテナ構成で、前述のFFTアルゴリズムにより上部平面上に16本のマルチビームを張る方式を採用している。16kbit/sの $\pi/4$ -QPSK信号を32kHzのIF帯でA-D変換し、信号処理部の後段にはビームスペースのCMA方式を組み込んだ実験システムの試作を進めている<sup>(18)</sup>。そこでは、信号処理部にユーザ側で回路構成の書き換えが自由にできるFPGA(Field Programmable Gate Array)を採用して、ソフトのデバッグや改良に機動性のある開発方式を採用しており、その中で、並列処理、パイプライン処理など演算速度の向上に多くの工夫を行っている。FPGAは処理速度と容量においてカスタム化されたASICに大きく劣るが、ASIC化に際してFPGAで開発したアーキテクチャがほぼそのまま利用できるため、FPGAによる開発段階でASIC実装イメージをもつことができる。図4はビームス

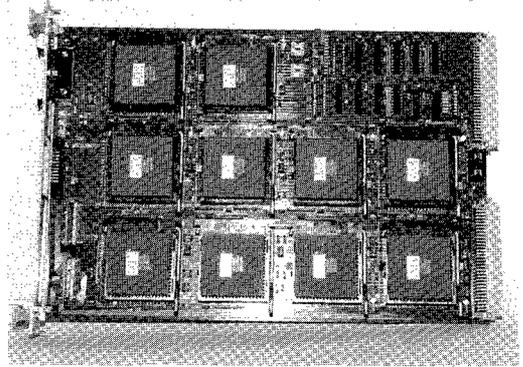


図4 16素子DBFアンテナ信号処理部のFPGAによる構成(受信系試作システムの外観) 34cm×22cmの大きさの中にビームスペースCMA方式を実現する回路が組み込まれている。この構成で16kbit/sのQPSK信号がリアルタイムに処理できる(最大64kbit/sの伝送速度まで対応可)。同じアーキテクチャ(回路構成)でASIC化すれば1チップで約2Mbit/sの信号を処理することができる。

ペースCMA機能を具備した信号処理部を10個のFPGA(一つ当たり約13,000ゲート)で構成したDSPボードであり、B4サイズの大きさに収まっている。同じ構成でカスタム化したASICを用いれば1チップですみ、130MHzのクロックで2Mbit/sのQPSK信号が処理できるとの見積りを得ている<sup>(18)</sup>。

形成されたマルチビームの内、常に最大レベルで信号を受信しているビームを選択する方法によって、ハードウェアとしての追尾機構(移動体の方位検出器やフィードバック制御機構)が一切不要になる。ETS-V衛星の1.5GHz電波を用いた野外走行実験によって、その機能も既に確認されている<sup>(19)</sup>。また、マルチビームの各ウェイトを制御することによって干渉波の方向にアンテナパターンの零点を形成する干渉波除去アルゴリズム:ビームスペースCMA方式<sup>(12)</sup>や、反射波も積極的に利用してSN比の高い信号を得るデジタルセルフビームステアリング方式<sup>(20)</sup>等、DBFアンテナのインテリジェンスを担う部分の研究も進められている。

## (3) その他

特定な応用分野を想定せず、簡易な構成によるDBFアンテナの実現を目指した研究・開発・試作がカナダのMcMaster大学において行

われている<sup>(9)</sup>。4素子アレーアンテナで構成し、制御アルゴリズムにはCMAを採用している。デジタル変換部の簡易化を図るため各アンテナ素子の情報を時間をずらしてサンプリングするシーケンシャルサンプリング等に特徴を出している。

DBFアンテナは主に軍用のレーダを対象として発展してきた技術であるため、この分野で開発実績をもつ国内外の製造メーカ、開発機関は通信用DBFアンテナの開発に際しても潜在的な力を有しており、蓄積されたノウハウの活用が期待できる。これらの機関での通信用としての開発動向はまだ余り表面にはみえてきていないが、アクティブアンテナ技術・デジタルI/Q検波技術・リアルタイム処理技術等、素地は固まってきていると感じられる。

#### 4. 将来の展望 —移動通信におけるインテリジェントアンテナとして—

「啐啄（そったく）同時」という言葉がある。雛がかえろうとして卵の殻を内側からコツコツとつつくのを「啐」、母鳥が生まれ出ずる雛を待つて外からコツコツとつつくのを「啄」といい、その二つの動作が同時に行われたときに新しい命が世に出る。「時を得る」という意味らしい。これを、DBFアンテナにおける「シーズ」と「ニーズ」の合致という視点から展望したい。

##### ニーズ

通信用に求められる高機能アンテナとして、次のようなものが挙げられる。

- (1) 多数のビームがフレキシブルに地球を照射する衛星搭載用マルチビームアンテナ
- (2) めまぐるしく変化する劣悪な電波環境の中でいつもビームが衛星に向けて所望の信号のみをキャッチすることができる衛星通信用移動体搭載アンテナ
- (3) 限られた周波数の中で効率良い通信を可能とする地上系セルラ基地局アンテナ

(1), (2)については3.の中で既に述べた。(2)について補足すると、DBFアンテナによる高機能性が必要になるのは画像伝送等広帯域

情報伝送サービスであり、これが移動体に対して提供される時代である。840機の衛星を低軌道に打ち上げマルチメディアサービスを提供しようとするTeledesic(旧Calling)システム<sup>(21)</sup>はその一例である。小型・低コスト化が実現できればフェーズドアレーアンテナを用いて商用サービスが開始されている航空衛星通信の航空機搭載用アンテナ等としてのニーズもある。

(3)についてはまだ余り取り上げられていないが、DBFアンテナの高機能性を発揮するのにふさわしい適用分野と思われる<sup>(22)</sup>。次世代の移動通信方式として期待が高まっているCDMA(符号分割多元接続)方式に対しては、基地局をアレーアンテナ構成にしてチャンネル容量増加を図るシステムの提案が盛んになってきた<sup>(23)~(26)</sup>。周波数の利用効率を高める努力は無線通信に課せられた永遠のニーズであり、10~20倍、あるいはそれ以上のチャンネル増加に可能性を有するDBFアンテナにかかる期待は非常に大きい<sup>(26)</sup>。

##### シーズ

DBFアンテナは信号処理部に多くの機能を集中させているので、信号処理部において「どのくらいの伝送帯域の信号が指定のアルゴリズムでリアルタイムに動作し」、そのときの「規模とコストが現実的である」かどうかか、「使い物になる」かどうかを決める。その鍵を握っているのがASICによる実装技術である。この技術は信号処理プロセッサ(DSP)の性能の進歩に依存する。2000年ごろを想定すると、マルチメディアやHDTV向けにDSPの研究が加速され、DSPの演算処理速度は更に向上し、現状の10倍近い性能向上が見込まれる<sup>(27)</sup>。このころには、情報速度20Mbit/s、ビーム数20程度の処理が1チップのASICで可能となろう。

DBFアンテナがさまざまな要素技術よりなる複合技術であることは既に述べた。MMICと一体化したアンテナ構成法等RF部の技術<sup>(28)</sup>、知能の部分の担うアダプティブ制御アルゴリズムに関する技術<sup>(29)</sup>は、それ自体で研究分野をもち、各々の中で着実な進歩をみせている。い

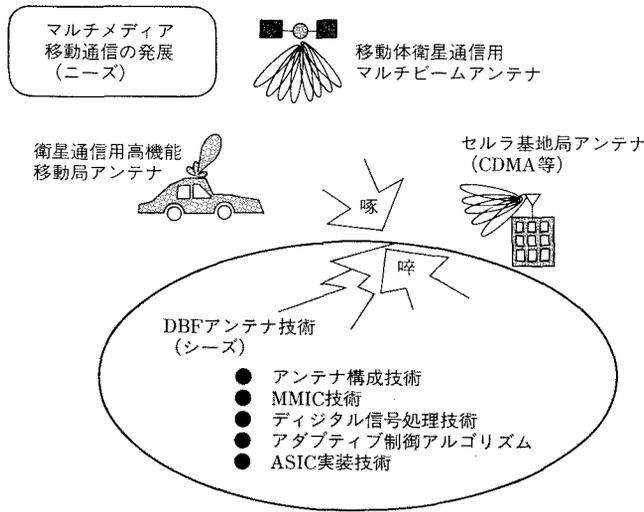


図5 DBF アンテナ技術のシーズとニーズ 生まれ出ずる技術とそれを待ち望むマルチメディア社会との間に「啐啄(そったく)同時」の気運がみなぎっている。

ずれも DBF アンテナの実現に必須の技術である。

図5にこれらニーズとシーズの関係をまとめて示す。

### 5. おわりに

通信用 DBF アンテナの研究開発に焦点を当てて技術動向と展望を述べた。通信用に限ってみると、ESA (ヨーロッパ) を核とした衛星搭載用アンテナ技術、ATR (日本) における移動体搭載アンテナ等、まだ研究機関は限られているが、いずれも力を入った取組みをしている。一つ一つの衛星から 100 を超えるビームがフレキシブルに地上を照射して地上の至るところに通信手段を提供し、また、地上では高い指向性をもつアンテナが追尾装置なしに衛星電波を正しく受信する広帯域移動体衛星通信、セルラ基地局のアンテナが所望波と干渉波を的確に識別し、従来の 10 倍も 20 倍も周波数が有効に利用される地上系移動通信、いずれも DBF アンテナによって実現するだろう 21 世紀のイメージである。

マルチメディア社会の到来が求める高機能アンテナに対する期待と、デジタル信号処理技

術の目覚しい進展に伴うアンテナ技術の進歩により、DBF アンテナを取り巻く環境は、正に「啐啄(そったく)同時」の気運がみなぎってきたといえよう。但し、生まれつつある技術に対して、過剰な期待を抱くこともまた危険である。例えば、DBF で 100 MHz 以上の帯域を扱える可能性はみえておらず、このあい路をいかに切り開くかが、次の発展の鍵となろう。

### 文 献

- (1) H. Steyskal, "Digital beamforming antennas: An introduction," *Microw. J.*, vol.30, no.1, pp.107-124, 1987.
- (2) P. Barton, "Digital beam forming for radar," *IEE Proc.*, vol.127, Pt.F, no.4, pp.266-277, 1980.
- (3) B. Wardrop, "Digital beamforming in radar systems," *Proc. of Military Microwave Conf.*, MM84, pp.319-323, 1984.
- (4) S. Inatsune, T. Fujisaka, Y. Oh-hashii, M. Kondo, R. Ito, and N. Takeuchi, "Digital beamforming using a planar array," *IEICE, Proc. of the 1989 Int. Symp. Noise and Clutter Rej. (ISNCR)*, pp.377-382, 1989.
- (5) S. Takeya, M. Shinonaga, Y. Sasaki, H. Miyauchi, M. Matsumura, and T. Morooka, "Application of DBF technique to radar systems," *IEICE Trans. Commun.*, vol.E77-B, no.2, pp.256-260, Feb. 1994.
- (6) M. Barrett, "Digital beamforming network technologies for satellite Networks for Space Applications," *ESA WPP-030*, pp.3.6.1-3.6.11, Nov. 1991.
- (7) F.A. Petz, J. Ventura-Traveset, I. Stojkovic, and

- J. Alonso, "Technology review of present and future personal communication satellite payloads," IEEE MW Sys. Conf., Orlando, May 1995.
- (8) I. Chiba, "Adaptive and digital beam forming antennas for mobile communications," 1994 Asia Pacific Microwave Conf., pp.831-834.
- (9) P.Y. Zhao, and J. Litva, "Considerations for the hardware implementation of a four element digital beamformer," 1994 IEEE AP-S Int. Symp., Seattle, pp.116-119, 1994.
- (10) 電子通信学会編, "アンテナ工学ハンドブック," オーム社, 1980.
- (11) K. Takao, and K. Uchida, "Beamspace partially adaptive antenna," IEE Proc., vol.136, Pt.II, 6, pp.439-444, 1989.
- (12) 千葉 勇, 中條 渉, 藤瀬雅行, "ビームスペース CMA アダプティブアレーアンテナ," 信学論 (B-II), vol.J77-B-II, no.3, pp.130-138, March 1994.
- (13) 稲垣直樹, 神保寛久, 菊間信良, "マルチビームプラナーアレーアンテナにおける被覆条件について," 1990 信学秋季全大, B-75, 1990.
- (14) 大橋山昌, 葛西徳一, 藤坂貴彦, 近藤倫正, "円形アレーアンテナのマルチビーム形成アルゴリズム," 信学会第2回デジタル信号処理シンポジウム, B-2-4, Dec. 1987.
- (15) Petz, F.A. (ESA-ESTEC) : 私信
- (16) H.C. Haugli, N. Ilari, and P. Poskett, "Inmarsat's future personal communication system," Int. Mobile Sat. Conf. (IMSC'93), Pasadena, June 1993.
- (17) Y. Ohtaki, W. Chujo, K. Uehara, and M. Fujise, "Implementation of Digital beamforming antenna for mobile satellite communications utilizing multi-digital signal processors," IEICE, Proc. ISAP'92, Sapporo, pp.145-148, 1992.
- (18) 田中豊久, 三浦 龍, 千葉 勇, 唐沢好男, "ASICを用いたDBFマルチビームアンテナの開発," 信学論 (B-II), vol.J78-B-II, no.9, pp.602-610, Sept. 1995.
- (19) R. Miura, T. Tanaka, I. Chiba, A. Horie, and Y. Karasawa, "Experiment with a multibeam DBF antenna mounted on a vehicle by receiving a satellite signal," 1995 IEEE AP-S Int. Symp., pp.94-97, Newport Beach, California, June 1995.
- (20) R. Miura, I. Chiba, T. Tanaka, and Y. Karasawa, "Digital self-beam steering array for mobile satellite communications," JINA'94, pp.605-608, Nov. 1994.
- (21) F.E. Tuck, D.P. Patterson, J.R. Stuart, and M.H. Lawrence, "The Calling Network: A global wireless communication system," Int. Jour. Sat. Comm., vol.12, pp.45-61, 1994.
- (22) T. Ohgane, "Spectral efficiency improvement by base station antenna pattern control for land mobile cellular systems," IEICE Trans. Commun., vol.E77-B, no.5, May 1994.
- (23) R. Kohno, H. Imai, and S. Pasupathy, "Combination of an adaptive array antenna and a canceller of interference for direct sequence spread-spectrum multiple access system," IEEE J. Sel. Areas Commun., vol.SAC-8, pp.675-682, 1990.
- (24) H. Iwai, T. Shiokawa, and Y. Krasawa, "An investigation of space-path hybrid diversity scheme for base station reception in CDMA mobile radio," IEEE J. Sel. Areas Commun., vol.12, no.5, pp.962-969, 1994.
- (25) A.F. Naguib, A. Paulraj, and T. Kailath, "Capacity improvement with base-station antenna arrays in cellular CDMA," IEEE Trans. Veh. Technol., vol.43, no.3, pp.691-703, 1994.
- (26) 唐沢好男, 千葉 勇, 三浦 龍, 田中豊久, "DBFアンテナのCDMA移動通信基地局システムへの適用に関する考察," 信学技報, A.P94-121/RCS94-129, Feb. 1995.
- (27) 嶋 正利, "次世代マイクロプロセッサ," 日本経済新聞社, 1995.
- (28) 伊藤精彦, "モノリシックアンテナ," 信学誌, vol.77, no.7, pp.771-774, July 1994.
- (29) 河野隆二, "アダプティブアンテナを用いた空間・時間領域の信号処理の情報理論的考察," 情報処理, vol.35, no.7, pp.609-617, July 1994.



からさわ よしお  
唐沢 好男 (正員)

昭48山梨大・工・電気卒。昭52京大大学院修士課程了。同年国際電信電話(株)入社。以来、同研究所において無線通信の電波伝搬およびアンテナの研究に従事。平5より(株)ATR光電波通信研究所。現在、同社無線通信第1研究室長。工博。昭57年度本会学術奨励賞受賞。



いのまた ひでゆき  
猪股 英行 (正員)

昭40東北大・理・天文卒。昭45同大学院博士課程(物理)単位修得退学。同年郵政省電波研究所入所。以来、光および電波を用いたリモートセンシング等の研究に従事。平元同所関西支所長。現在、(株)ATR光電波通信研究所社長。工博。昭62年度科学技術庁長官賞受賞。