

## ブースタ特集

Special Issue of Booster Systems

## 1 周波数オフセットブースタ

1 Frequency Offset Booster

移動通信においてビルやトンネルなどの障害物により電波の届かない場所にサービスを行うためには、基地局と移動局の間の電波を中継増幅するブースタシステムが有効である。本稿では、移動通信用直接中継方式ブースタのうち開空間用として用いられる周波数オフセットブースタ (FOB : Frequency Offset Booster) について解説する。

In cellular portable and vehicular radio communications systems, because of transmission obstacles, such as buildings and tunnels, there are uncovered areas where the radio wave is cut off. These areas can be effectively eliminated by using a re-radiation systems, called "Booster", between base station and mobile station. This paper describes a frequency offset booster (FOB), which is a one of the re-radiation systems at open area for cellular portable and vehicular radio communications.

山崎 正勝 恵比根 佳雄 大館 均  
Masakatsu Yamazaki Yoshio Ebine Hitoshi Ohdate

## まえがき

近年、ムーバに代表される携帯電話の爆発的な需要の増加には目覚ましいものがある。それに伴い携帯電話を利用するユーザの使用範囲も都市部にとどまらず、郊外地、山岳地、トンネル内、地下街など多種多様となっている。従って、携帯電話（以下「移動局」）の使えない場所（以下「不感地」）の対応を早期に行うことが必要である。

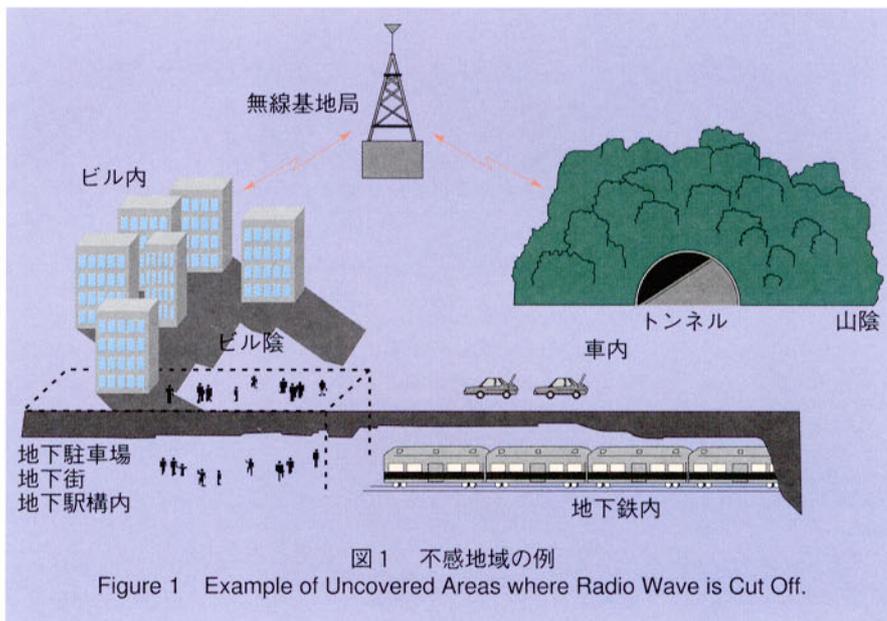
サービスエリアの拡大には無線基地局の設置が必須であるが、たとえ無線基地局を設置しても、山陰、ビル陰、ビル内、トンネル内、地下街など電波が届かない不感地が多数存在する（図1）。不感地の大半は数十m～数百m程度であり、これらの不感地のために無線基地局を新たに設置することはコスト面から見ると非常に不利である。ブースタはこの様な特徴を持つ不感地でのサービスを経済的かつ簡易に行うために重要な技術である。

ブースタの基本機能は、無線基地局からの高周波信号（以下「下り信号」）を直接増幅して不感地に再放射すること、

また、移動局からの高周波信号（以下「上り信号」）を直接増幅して無線基地局に再放射することである。無線基地局同様、電波が空間に放射されるので余計な歪みや雑音を発生させてはならない。このため、ブースタにおいてはただ単に下り信号・上り信号を増幅、再放射するだけでなく、放射電波を自分で監視してブースタが異常動作状態に陥った時、送信出力を抑圧、または動作を停止する機能

などがある。

本稿では、受信した高周波信号を50Hz程度周波数オフセットすることで、廻り込み波のビートが生じ、その検出レベルに応じて装置の発振防止など、自動制御をする周波数オフセットブースタ (FOB : Frequency Offset Booster) について述べる。また、関連技術として増幅技術、アンテナ系技術を中心に監視・制御機能などについても述べる。



## システムの特徴

ブースタには大別すると山陰、ビル陰などのサービスを可能とするための開空間用ブースタと、トンネル内、地下街などのサービスを可能とするための閉空間用ブースタがある。両者共に基地局からの電波を受信して増幅、移動局方向に再放射、また、移動局からの電波を受信して増幅、基地局方向に再放射するという点では同じであるが、開空間用ブースタでは、送信波が受信側に廻り込んで再入力されることによって、ブースタが正帰還となり発振を起こすことを十分考慮する必要がある(図2)。

開空間用ブースタの要素技術の一つとしてアンプ利得より大きい送受間結合量をとることにある。しかし、何らかの原因で増幅器利得より結合量が小さく( $G > L$ )になると、増幅器は発振状態になる。周波数オフセットブースタは動作状態で送受信間のアンテナ間結合量(廻り込み量)を測定し、発振の危険がある場合には事前にブースタの利得制御する機能、つまり、発振を自動的に停止させる機能を有する必要がある。

ブースタの増幅器は同時に2波以上の信号波を増幅するため、相互変調歪が発生する。この様な雑音を放出した場合、アクセスする基地局に影響を及ぼしサービスの低下をもたらすことになる。ブー

スタの増幅器では、A級アンプに歪み補償機能を用いることで、歪みを抑えて、数十チャンネルの信号波を同時に中継増幅することを可能としている。

また、アンテナシステムとしては、プリントアンテナ低サイドローブ化により、送受アンテナ間の結合量は従来のアンテナと比べて約10dB改善している。そのため、同一ポールにブースタ、対基地局用アンテナ、対移動局用アンテナを設置可能であり、これによって設置の簡易化を図ることができる(図3)。

## 廻り込み波レベル検出技術

ブースタを動作状態のまま送受アンテナ間結合量を測定する方法として、送信信号の周波数を受信信号からわずかにオフセットさせ、受信信号包絡線に発生するビートを検出する方法がある。以下にその動作原理と装置構成を示す。

ブースタの受信アンテナには、目的の受信信号と送信アンテナから廻り込んだ信号の合成波が入力され、各信号には以下の関係がある。

$$S = A + B/L \quad (1)$$

$$B = S \cdot G \quad (2)$$

上式より、ブースタの入力信号は、

$$S = A / (1 - R) \approx A(1 + R) \quad (|R| \ll 1) \quad (3)$$

S: 入力信号

A: 受信信号

B: 送信信号

L: 廻り込み信号減衰量

G: アンテナを含む利得

$R (= G/L)$ : 廻り込み信号ループ利得

となり、ブースタが安定な条件は、

$$|R| < 1$$

である。ブースタの基本構成を図4に示す。

周波数変換部では、送信信号周波数を50Hz程度シフトさせる。従って、ループ利得は

$$R = |R| \exp j(\phi t + \theta) \quad (4)$$

となり、入力信号を2乗検波するとビートが発生することが、次式よりわかる。

$$\langle s \rangle^2 = |A|^2 \{ 1 + 2|R| \cos(\phi t + \theta) + |R|^2 \} \quad (5)$$

$\phi$ : シフト角周波数

$\theta$ : 廻り込み信号の位相

検出部では、このビートの直流成分交流成分の比から

$$r = 2|R| / (1 + |R|^2) \approx 2|R| \quad (6)$$

として、ループ利得を測定する。

廻り込み信号のループ利得と検出部出力およびブースタの出力の特性を図5に示す。ブースタ出力はループ利得が-10dB以下ではほとんど変化なく、0dB付近で急激に増加し、発振に至る。従っ

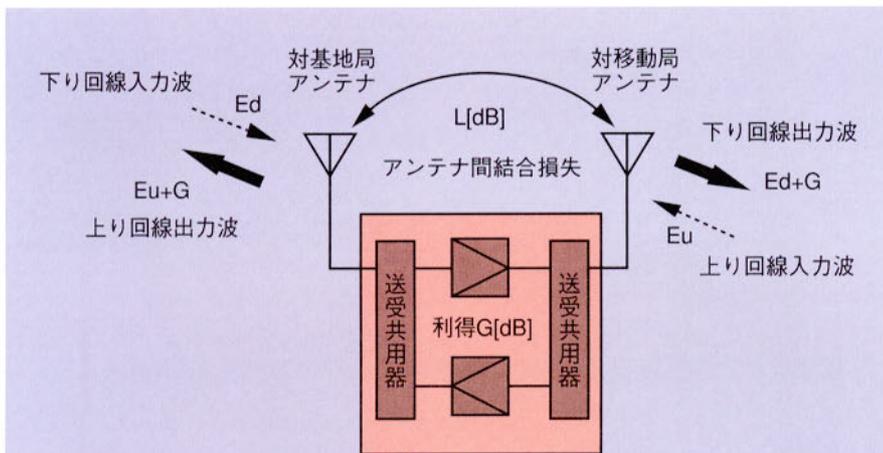


図2 開空間ブースタにおける廻り込み  
Figure 2 Spillover Signal for Booster Systems at Open Area.



図3 ブースタ設置例  
Figure 3 Example of Booster Systems Setting Up.

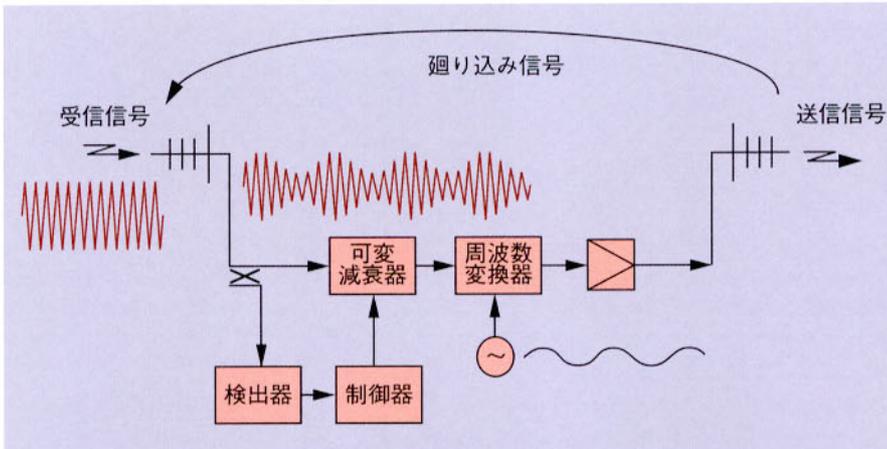


図4 廻り込み検出  
Figure 4 Block Diagram of Detecting Spillover Signal.

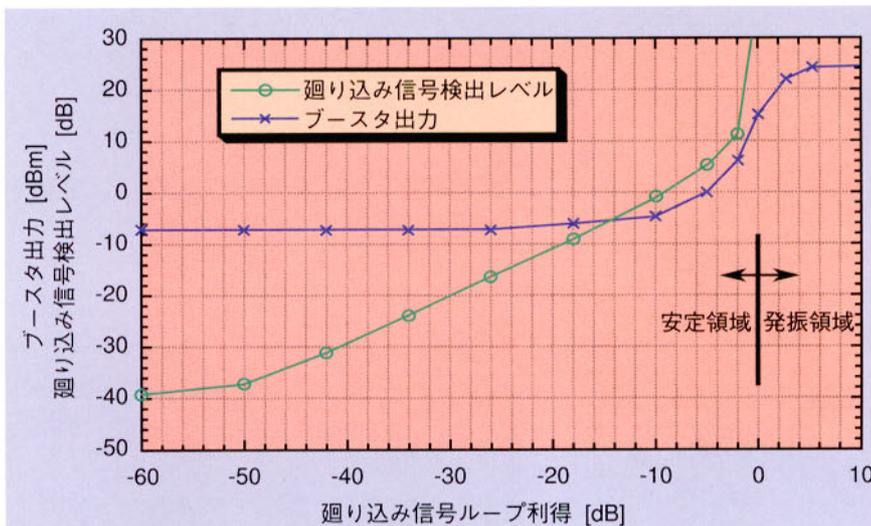


図5 廻り込み信号検出  
Figure 5 Loop Gain of Spillover Signal and Gain Variation of Re-radiation System.

て、ブースタの出力の監視だけでは発振の直前までその兆候を把握できない。通話品質はループ利得が $-5$ dB以下では劣化は感じられず、発振点に近づくと急激に劣化する。

直接中継方式ブースタにおいては、発振の危険がある場合には廻り込み信号が増大した場合にループ利得が1を超えないように、ブースタの利得を可変減衰器で調整することで利得制御を行っている。

## ブースタの増幅技術

直接中継方式ブースタにおいては、共通増幅によって多数のキャリアの同時増幅を可能としている。共通増幅を行う場合、入力信号が包絡線変化を伴うため、

増幅器は入出力非線形によって相互変調歪を発生する。相互変調歪を抑えかつ経済性に優れた共通増幅を可能とする技術として、「自己調整形フィードフォワード増幅器(SAFF-A)」があり、ブースタにおいてもこの増幅技術を採用している。自己調整形フィードフォワード増幅器は従来のフィードフォワード(FF)の欠点であった、高次歪に対して有効でない、効率が悪く大電力増幅器には向かない、温度変化による動作不安定などの問題点を解決している。自己調整形フィードフォワードの基本構成を図6に示す。

SAFFは2つのループの最適動作条件を自動設定する機能をFFの中に装備し、外部からの制御などを一切必要としない自己調整形である。まず、歪改善特性に

直接影響する誤差除去ループの場合、主増幅器のループに注入されたパイロットの、FFの出力ポートにおけるレベルを相関検出器などの狭帯域検出器で高精度に検出し、その値がゼロとなるようにベクトル調整器1を制御回路で調整する。このパイロットのレベルがFF出力でゼロとなる時、主増幅器の誤差成分についても同様にゼロの条件が成立するので誤差除去ループに関する最適動作条件を実現できる。誤差検出ループについても、例えば、帯域外パイロットを用いて同様の制御を行うことにより最適動作条件を実現できる。これらの制御は運用中に常時実行されるので、増幅器の温度変化の影響を受けずに安定した動作をさせることができる。

## ブースタのアンテナ技術

開空間用ブースタアンテナは施工性を考慮して、対基地局アンテナおよび対移動局アンテナを図3に示すように同一軸状に設置している。ここで、アンテナ間の結合減衰量はアンテナ指向性と設置間隔(近似的には自由伝搬損失)で決定される。したがって、一定の間隔で大きな結合減衰量を確保するためには、アンテナ指向性の主放射方向より $90^\circ$ 方向の放射レベル(サイドロブレベル)をできるだけ抑圧する必要がある。

ここで、ブースタアンテナはアンテナ利得をできるだけ大きくするために、放射素子は $\lambda/2$ マイクロストリップアンテナを用いたアレーアンテナとしている。

図7は低サイドロブ化を図ったチョーク付 $2 \times 2$ 素子配列マイクロストリップアンテナの構成例である。ここで、アンテナ利得は $10$ dBiで、水平面内半値角は約 $40^\circ$ となる。垂直面内における $90^\circ$ 方向のサイドロブレベル $F/S=35$ dBとなり、チョークがない場合の $F/S=25$ dBに対し、その改善量は約 $10$ dBである。総合の改善量は2つのアンテナ指向性係数がかかるから $20$ dBとなり、アンテナ間隔が狭くできることになる。

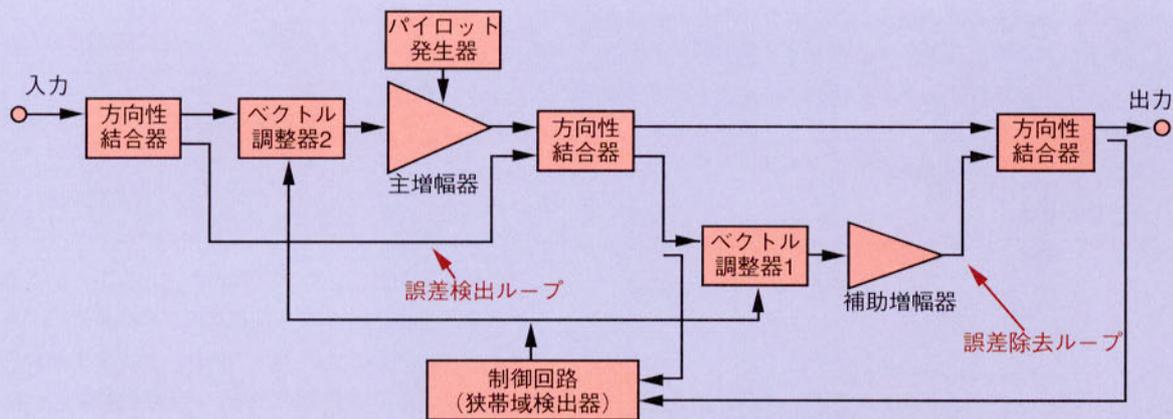


図6 自己調整形フィードフォワードの基本構成  
Figure 6 Block Diagram of Self-Adjusting Feed-Forward Amplifier.

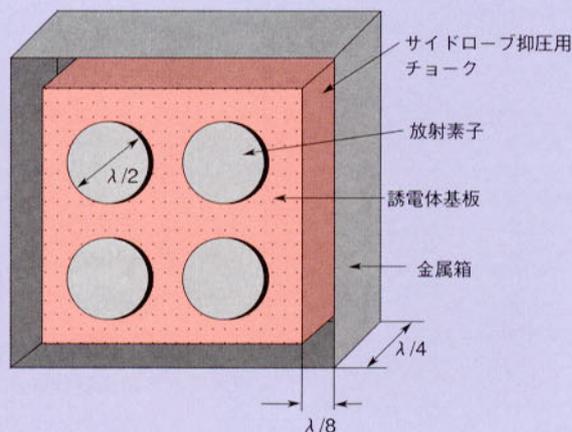


図7 チョーク付マイクロストリップアンテナの構造  
Figure 7 Structure of Micro Strip Antenna with  $\lambda/4$  Choke.

## ブースタの 監視・制御機能

ブースタ内部の監視はブースタ自身が行っており、発振状態では利得制御、装置内部温度異常では増幅動作停止など、各々の状態に対して最適な動作を自己判断して行う。この場合の装置の状態変化を監視側（移動体総合オペレーションシステム）に報告する手段として、電話回線を用いたモデム-モデム間通信を採用している。装置内部で状態変化が起こった場合、自動的にダイヤルアップして監視側に自己の状態の報告を行う。監視側では、ブースタからの報告信号の内容を判断してブースタに対して信号の受付完了の信号送出を行う。ブースタではこの受付完了信号が受信できない場合、再度

監視側に対して報告を行うことで、報告の確実性を上げている。監視側からの制御については、監視側からブースタに対してダイヤルし、ブースタの制御（電源ON/OFF、リセット）や現状態の問い合わせを行うことを可能にしている。この場合も、監視側が行った制御に対してブースタ内部の動作を報告させて制御の確認を行っている。

## まとめ

直接中継方式ブースタ方式の基盤技術および機能について示した。本システムは不感地でサービスを行う方式やその領域の大小によって装置を使い分けることによって、移动通信方式における不感地に極めて経済的かつ簡易にサービスを行うことが可能である。今後は、新しいシ

ステムにおいても本方式を活用できるよう開発を進めていく予定である。

## 文献

- 1) 大館，鈴木：“送受間干渉検出による利得制御形直接中継方式”，昭和61年信学全大452.
- 2) H. Ohdate, “A frequency offset booster with an oscillation prevention function for land mobile communication”, IEEE Proc. VTC, June 1987.
- 3) 野島，橋橋：“移动通信用超低歪多周波共通増幅器-自己調整形フィードフォワード増幅器 (SAFF-A)”，信学技報RCS90-4 (1990-1).