

## ブースタ特集

Special Issue of Booster Systems

## 3 廻り込み波除去機能付無線呼出用開空間ブースタ

3 Loop Canceling Booster including Adaptive Canceling Function of Interference Waves

無線呼出方式において、基地局からの電波が到達しない地形、山陰などでサービスするためには開空間で使用できるブースタが有効である。一般に、開空間ブースタでは廻り込み波による不安定性を克服することが重要である。本稿では、廻り込み波除去機能付無線呼出用開空間ブースタ (LCB: Loop Canceling Booster) について解説する。

A booster system using an open area is effective where the propagation loss is large from base-station such as mountain valley or coming over mountain. Generally, a booster system is important to overcome unstable action from interference waves between a TX-antenna and a RX-antenna. This paper describes a loop canceling booster(LCB) for radio paging systems, which includes adaptive canceling function of interference waves.

伊藤 和人  
Kazuhito Itoh新宅 正佳  
Masayoshi Shintaku恵比根 佳雄  
Yoshio Ebine

## まえがき

ブースタでは増幅利得をより高くするため、送信アンテナと受信アンテナ間の結合減衰量（以下「結合量」）をできる限り大きく取ることが重要である。結合量が十分得られない場合、ブースタは受信増幅器および送信電力増幅器の飽和による利得低下および発振などの動作を生じることになる。アンテナ間の結合量は近似的に自由空間損失とアンテナの指向性係数を乗じた形で表され、波長換算で表せば周波数に依存しないで結合量が決定される。

ところで、無線呼出方式は280MHz帯が使用されており、携帯・自動車電話の800MHz/1.5GHzに比べて3~5倍もアンテナの物理的実寸法が大きくなる。従って、その設置条件が制約されると共にアンテナ開口も相対的に大きくなる。このため、アンテナ特性を改善し、低サイドローブ化する技術的制約も生じることになる。そこで、ブースタ内部で廻り込み波をキャンセルする機能を持たせ、所要の結合量を低減させることによって簡易

にブースタ局を設置できる。本稿では、廻り込み波除去機能付無線呼出用開空間ブースタ (LCB: Loop Canceling Booster) について述べる。

## ブースタの特徴と適用領域

ブースタ装置の総合利得を $G$ とし、マージン(伝搬の変動量)を $\alpha$ とすれば、結合量 $L_{coup}$ の関係は次式で与えられる。

$$L_{coup} > G + \alpha \quad (1)$$

ここで、 $G=80\text{dB}$ 、 $\alpha=10\text{dB}$ とすれば、 $L_{coup} > 90\text{dB}$ となる。280MHz帯でこの結合量を全てアンテナで得るためには、送受信アンテナ間の距離は数百m以上離す必要があり、アンテナ設置上の制限や導入コストの面から見て不利である。従来はこのような理由が無線呼出用開空間ブースタの導入を困難とさせていた。しかし、ブースタ内部に廻り込み波を除去する機能を設けることでアンテナ設置条件を改善することができる。例えば、廻り込み波の除去量が40dB程度とれば結合量は50dBでよく、送受信アンテナの間隔は数m以下で実現できることになる。

本稿で述べる廻り込み波除去機能付ブースタは除去性能を向上するためRF段とベースバンド(BB)段の2段でキャンセル処理を行っている<sup>1)</sup>。このため、ベースバンド段で大きな遅延が生じ、適用領域は既にサービスされているエリアにオーバーラップしない山間部などの孤立エリアとなる。

## システム構成

図1に本ブースタの構成図を示す。RFキャンセル、LNA(低雑音増幅器)、分配器、チャネル選択増幅器(以下「CSA」)、合成器、対基地局アンテナ、対移動局アンテナおよび監視制御系で構成される。CSAは最大8枚であり、中継波数は最大8波で個別増幅方式を採用している。表1に主要諸元を示す。

## 装置の概要

## ■ブースタ装置

対基地局アンテナで受信された基地局からの電波はRFキャンセル部に入力される。受信用の低雑音増幅器(以下

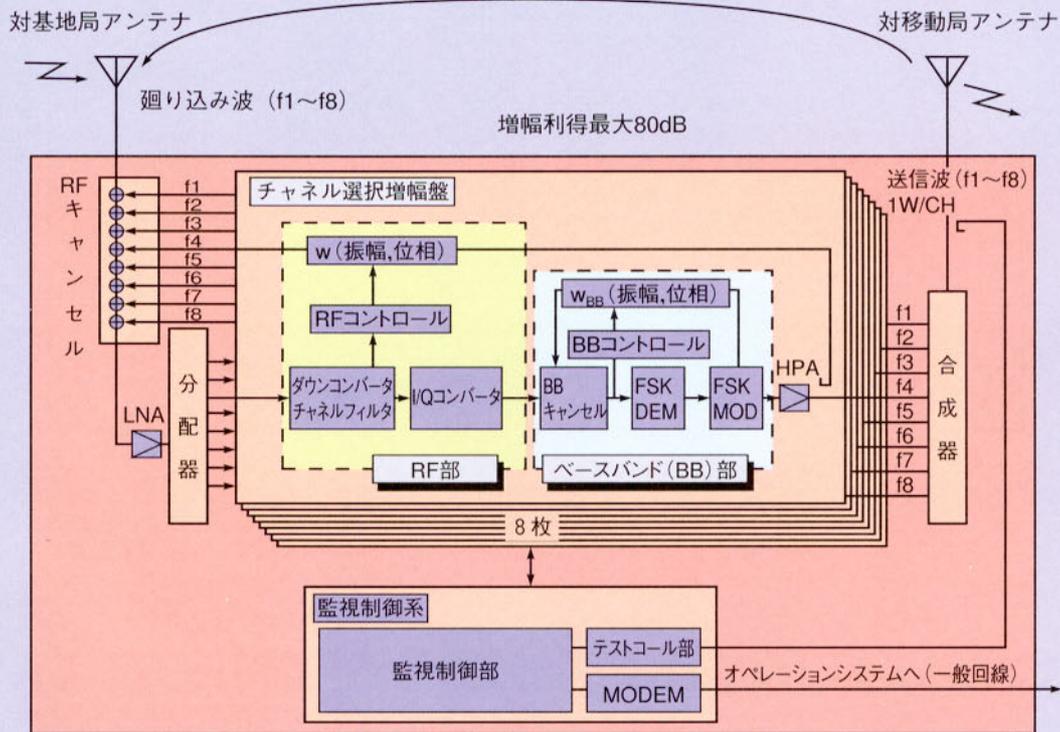


図1 廻り込み波除去型ブースタの構成  
Figure 1 Configuration of LCB.

表1 主要諸元  
Table 1 Major Specifications.

適用方式	NTT1200又はFLEX-TD	
装置増幅利得	最大80dB	
送信出力	1W/波	
中継チャンネル数	最大8波	
中継方式	再生中継方式	
廻り込み波除去量	静特性 (50dB)	30dB
	RF	20dB
	ベースバンド	20dB

〔LNA〕が飽和しないようにLNAの前段で各周波数ごとに除去信号を合成している。RFキャンセル部は合成器が8個従属接続されており、それぞれの合成器はチャンネル選択増幅盤の廻り込み波除去ループに接続される。対移動局アンテナからの廻り込み波 (f1~f8) は、RFキャンセル部の各合成器を通るたびに廻り込

み波除去信号と合成され、各周波数ごとにキャンセルが行われる。その後、LNA、8分配器を経て、CSAに入力される。CSAは主としてRF部、ベースバンド部で構成される。

RF部はIF段のチャンネルフィルタにて50kHz間隔でチャンネル分離を行い、その後直交検波を行う。RFコントロール部

では、廻り込み波除去ループの位相と振幅を対基地局アンテナからの廻り込み波に対して逆位相、同振幅となるよう制御することによって廻り込み波を除去している。

後述するが、RF部だけでは十分な廻り込み波の除去量を確保できないため、ベースバンド部では再生中継方式によるさらなる廻り込み波の除去を行っている。ここで検波されたベースバンド複素包絡線信号のキャンセル誤差を測定し、I/Q直交信号にてFSK変調器からの廻り込み波除去ループの位相と振幅を制御し廻り込み波の除去を行う。再生中継後、HPAにて電力増幅を行い、チャンネル合成後、対移動局アンテナで送信する。電力合成後の送信電力は1波当たり最大1Wである。

#### ■監視制御系

監視制御系は監視制御部、テストコール部、MODEMで構成され、監視はLCB自身が行い、異常があれば監視側に

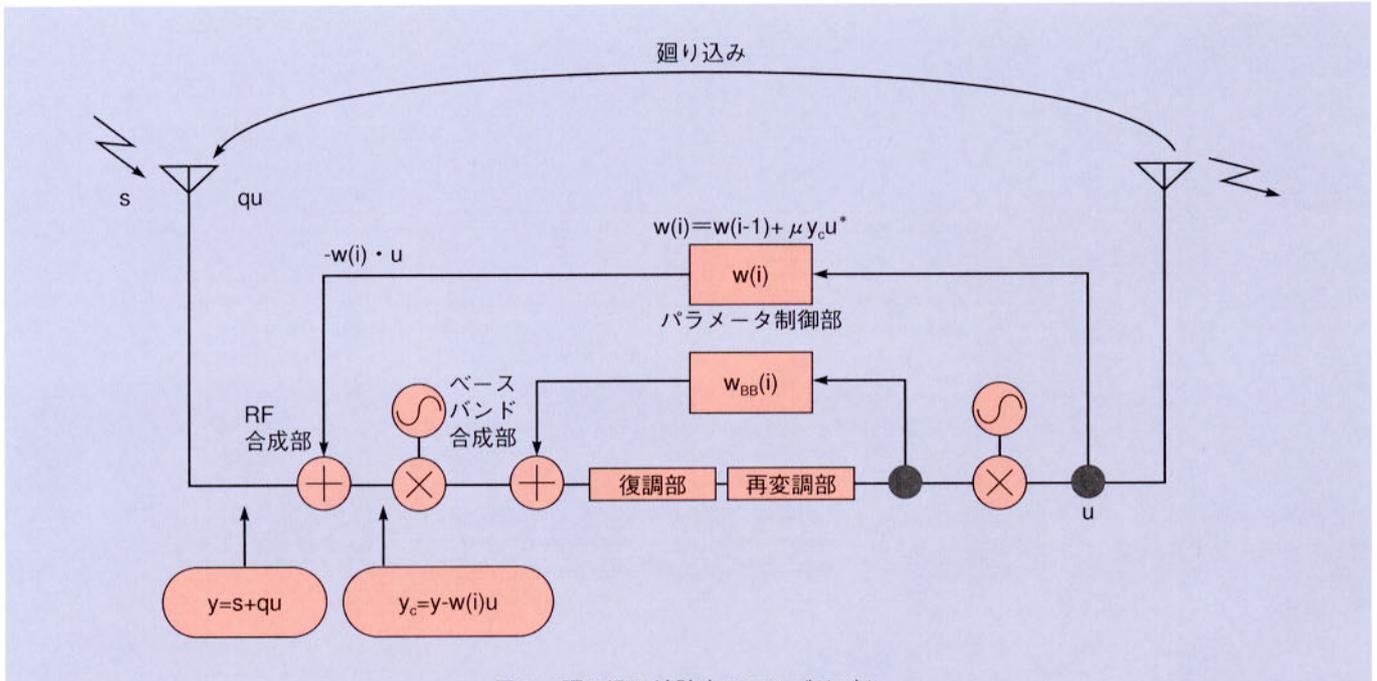


図2 廻り込み波除去のアルゴリズム  
Figure 2 Block diagram of Adaptive Cancelling Circuit.

報告する。主な監視項目はCSA警報、LNA警報、テストコール部などである。テストコール部は無線回線の監視用受信機が各CSAの周波数に設定されており、監視側からテストコールの要求があった場合、受信結果を報告する。

監視側への報告および監視側からの制御についてはモデム-モデム間通信を用いて一般電話回線にて運用される。

### ■廻り込み波除去の動作

本ブースタは再生中継を採用しているため、受信から送信される間に中継遅延を生じる。中継遅延時間  $\tau d$  とシンボル間隔  $T_s$  の関係は  $\tau d \gg T_s$  となる。この時、受信信号（符号列） $s$  と再変調後の出力（符号列） $u$  の相関は、ほぼ0とみなすことができる。

合成部では、受信アンテナからの希望波とパラメータ制御部からの信号が入力される。図2に示す廻り込み波除去回路の構成はRF部およびBB部のそれぞれにおいて基本的には同じである。受信アンテナからは希望波と本ブースタ出力による廻り込み波の合成波が入力され、廻り込み波の除去が正常に行われた場合、図2の合成部の出力  $y_c$  は希望波のみとな

り、このとき  $y_c \approx s$  となるので  $y_c$  と  $u$  はほぼ無相関となり、合成部出力電力は最小になる。次に、廻り込み波が除去されず希望波に対して廻り込み波のレベルが高い場合、 $|s| \ll |qu - w(i)u|$  と表せる。従って、 $y_c \approx qu - w(i)u$  となり  $y_c$  と  $u$  の相関は高くなる。

合成部出力の電力は  $|y_c|^2$  に比例し、相関を小さくすることによって最も廻り込み波の除去量が大きくなる。廻り込み波除去のアルゴリズム<sup>2)</sup> は(2)式に示すように送信信号と合成部出力との相関が0になるように  $|y_c|^2$  を最小にするLMS (Least Mean Square) を基本とし、最

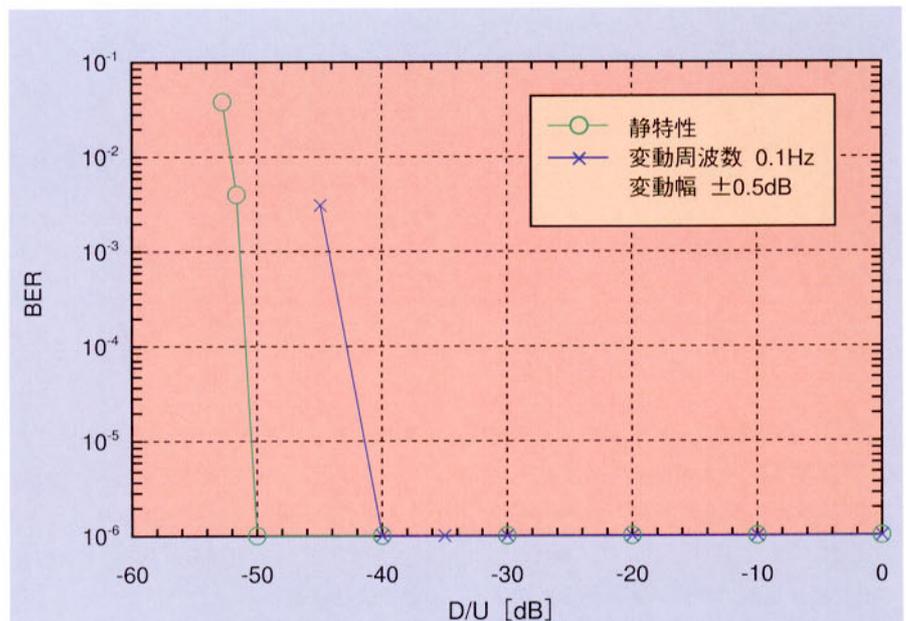


図3 静特性と動特性  
Figure 3 Static and Dynamic Characteristics.

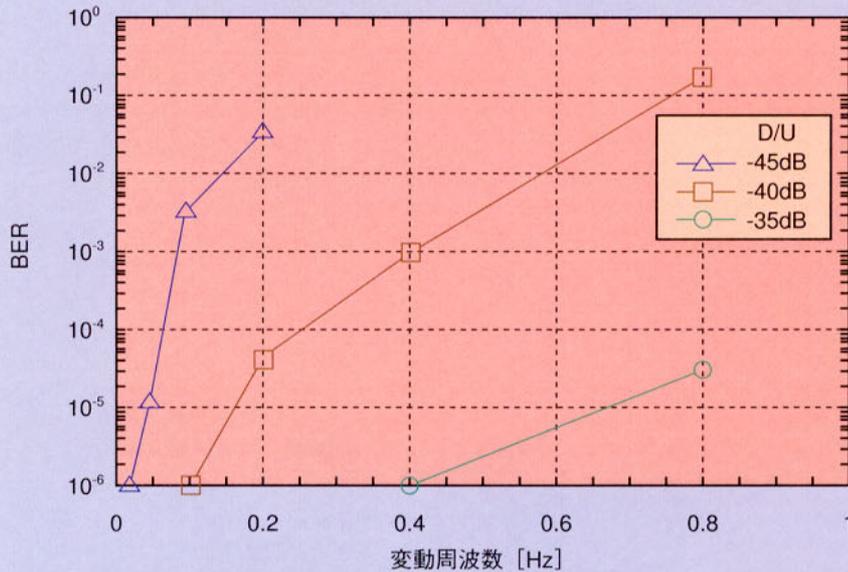


図4 BER特性  
Figure 4 BER Relation to Fluctuating Frequency.

急降下法を用い $w$ の更新を逐次的に行う<sup>3)</sup>。 $\mu$ はステップサイズであり、平均化のための重み付け係数とも考えられる。 $u^*$ は $u$ の複素共役を表す。

$$w(i) = w(i-1) - \frac{\mu}{2} \frac{\partial |y_c|^2}{\partial w} \quad (2)$$

この式は式(3)または(4)に変換することができる。

$$w(i) = w(i-1) + \mu y_c u^* \quad (3)$$

$$w(i) = w(0) + \sum \mu y_c(n) u^*(n) \quad (4)$$

式(4)の $\sum \mu y_c(n) u^*(n)$ の項は $y_c$ と $u^*$ の相関を表し、相関が低くなるように制御される。

### ■廻り込み波除去量

理論的には除去量は大きくとれることになるが、実際の装置では回路素子の誤差、チャンネルフィルタの遅延の周波数偏差、直交検波器の線形歪みなどがある。また、設置条件の誤差要因として、送受信ケーブル長による廻り込み波の遅延量、結合量の時間的変動などがあり、廻り込み波除去量の限界が決定される。

結合量が時間的に変動しない場合、廻り込み波除去量は静特性が確保されるが、結合量が時間的に変動する場合の除去量は劣化する。実際のアンテナを用い

て変動条件の測定を行った結果、おおむね変動周波数は0.1Hz程度、変動幅は±0.5dB程度であった。RF部だけの除去量は静特性で30dBであり、目標値の40dB以上 (BER $1 \times 10^{-6}$ 以下) の除去量を得るためベースバンド部でさらなる除去を行い、総合的には図3に示すとおり静特性で50dB、動特性で40dBを得ている。このとき動特性変動条件は、結合量 $q = q(t) = q_0(1 + q_1 e^{j2\pi f t})$ 、 $q_1 = 0.5$  dB、 $f = 0.1$  Hzとした。図4は変動周波数を変化させた時のBER特性であるが、変動周波数の増加に伴い、誤りが増加する。

### ■アンテナ系

送受信アンテナ間の廻り込み波の結合減衰量を50dB以上確保するためには、アンテナ間隔を大きく離すことにより確保できる。

図5にアンテナ構成法の一例を示す。施工性の簡易化を図るため、アンテナ支持柱に取り付けることを前提とし、垂直に配置した。アンテナ間隔( $d$ )に対する結合減衰量 ( $L_{coup}$ ) は次式で表され、図6に計算結果を示す。

$$L_{coup} = 20 \log \frac{2Rr}{|Zm|} \quad (2)$$

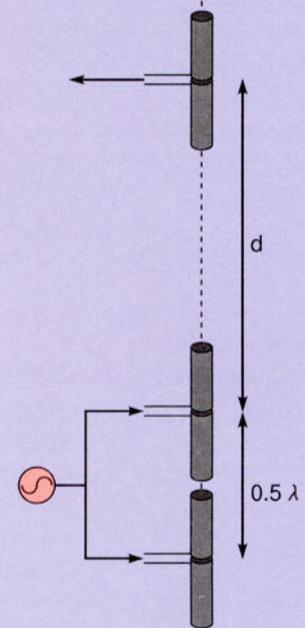


図5 アンテナ配置例  
Figure 5 Antenna Structure.

$Rr$  : 送受信アンテナの自己放射抵抗

$Zm$  : 送受信アンテナ間の相互インピーダンス

送受信アンテナにダイポールアンテナを使用し、同一軸に配列して50dBを確保するためには、送受信アンテナ間隔( $d$ )が約3波長(約3m)ですむため、アンテナの設置性が良くなる。

また、送信アンテナを2素子のアレーにすることにより、アンテナ利得が3dB向上し、かつアンテナ間隔は約1.5波長ですむ。このような配置とすることにより、必要な送受アンテナ間の結合減衰量がアンテナ間の距離をあまり離すことなく確保することが可能となる。なお、2素子合成が最適で、素子数を増やしても利得は向上するが結合減衰量は低下する。

## まとめ

本稿では廻り込み波除去機能付無線呼出用開空間プースタの機能概要と主要諸元を示した。今後は装置およびアンテナ系の除去能力を上げることによる高利得

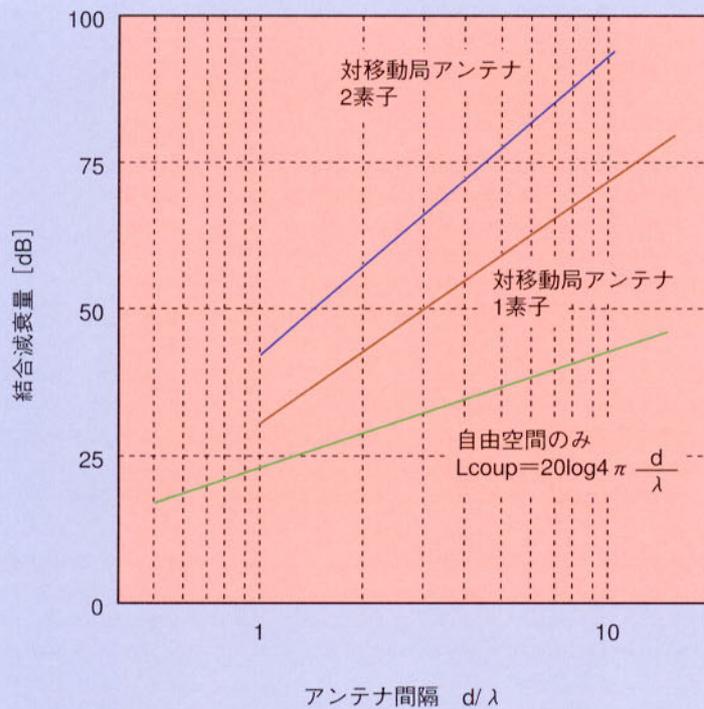


図6 アンテナ間の結合減衰量  
Figure 6 Mutual Coupling between Antennas.

- 2) 鈴木:“移動通信の基盤技術「2 移動通信における適応信号処理」”, 本誌, Vol. 1, No. 2, Oct. 1993.
- 3) Simon, Hykin, Adaptive Filter Theory, 2nd Edition, 1991, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey 07632.

化、ベースバンド処理機能を廃した経済化に向けて実用化を進める予定である。

#### 文献

- 1) 鈴木, 恵比根:“無線呼出方式用開空間ブースタ装置の構成と特性”, 信学'96春大, B-428.