

# 屋内用 FOMA ブースタ装置の開発

移動通信サービスエリアを構築する場合、ブースタ装置は設置や保守のコストが安価であるため有効な手段である。一般的にブースタ装置を用いると、ブースタ送信雑音による基地局の加入者容量の低下が問題となる。今回、容量低下を抑えた屋内用 FOMA ブースタ装置を開発した。

ふじもと しゅん    いとう やすし    きじま まこと  
藤本 俊    伊東 悌    木島 誠

## 1. まえがき

FOMAのユーザ数は2005年8月現在で1,587万まで伸び、これに伴いビル内や地下街などの屋内におけるサービスの需要が増えている。ビル内や地下街では、隣接するビルによる遮蔽や建物・地下への侵入損失により屋外と比べて電波が届きにくい。また、高層ビル内のオフィスや店舗においては、周辺の複数基地局からの電波による干渉を受けやすい。このような屋内に対して経済的にサービスエリアを構築するためには、電波の到来状況、トラフィック量、設備導入時の設置コストおよび導入後の保守コストを考慮して、適切な無線装置を導入することが重要である。基地局および移動端末からの電波を受信して再放射するブースタ装置は、コンパクトで低価格であるため、小規模な屋内エリアをカバーする際に有効な手段である。

本稿では、このような背景の中で開発した屋内用 FOMA ブースタ装置の概要について述べる。

## 2. ブースタ装置の適用領域

図1にブースタ装置の利用イメージを示す。ブースタ装置は対基地局用アンテナ、対移動端末用アンテナ、ブースタ装置本体から構成される。対向する基地局およびブースタ装置でカバーされるエリア内の移動端末の無線信号をアンテナで受信し、ブースタ装置本体で直接増幅後に再放射することで、移動端末や基地局の受信レベルを補う。

屋内サービスエリアを構築する場合には、エリア面積、トラフィックおよびコストなどを考慮して導入する装置を決定する。図2に FOMA 屋内エリアとエリア構築に用いる屋内用無線装置との関係を示す。ブースタ装置は、トラフィックが低い小規模店舗や狭小スペースへのサービスエリア構築に適している。一方、トラフィックが高い大規模店

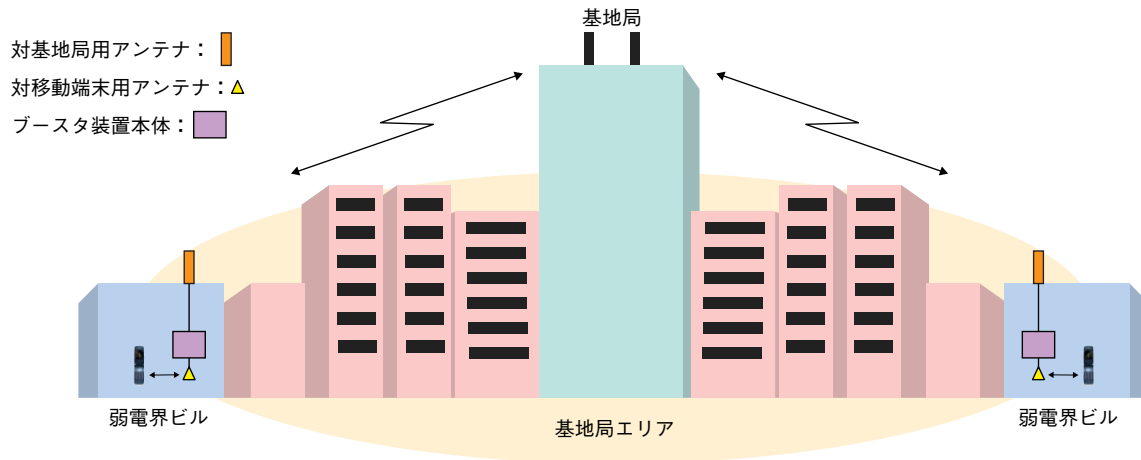


図1 ブースタ装置の利用イメージ

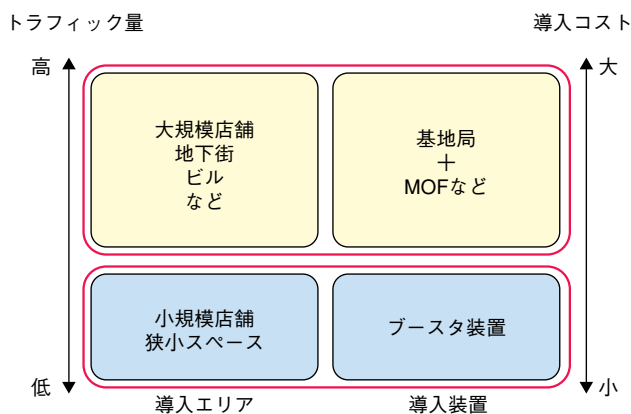


図2 FOMA屋内エリアと屋内用無線装置の関係

舗や地下街などでは、対移動端末用アンテナ数が多く無線装置と対移動端末用アンテナ間の伝送距離が長いいため、基地局と伝送損失が低いRF光伝送装置（MOF：Multi-drop Optical Feeder）などを組み合わせて導入している。

### 3. ブースタ装置の設計条件

ブースタ装置の無線特性は、上り回線は移動端末と同等の規格である3GPP（3rd Generation Partnership Project）TS25.101[1]に準拠し、下り回線は基地局と同等の規格である3GPP TS25.104[2]に準拠している。さらに、ブースタ装置の帯域外利得の特性などは3GPP TS25.106[3]に準拠している。また、ブースタ装置を開発するうえで、ブースタが放射する雑音電力（以下、ブースタ送信雑音）による基地局の上り加入者容量（以下、容量）への影響や、ブースタ送受信アンテナ間における結合減衰量を考慮する必要がある。以下に、両者の設計条件について述べる。

#### 3.1 ブースタ送信雑音と基地局上り加入者容量

ブースタ装置は装置価格や設置コストなどの面で有利で

ある反面、ブースタ送信雑音が容量に影響する。ある基地局がカバーするセル内に $n$ 台のブースタ装置が設置される場合の、基地局の受信器雑音を $N_{BTS}$ とする。この $N_{BTS}$ にブースタ装置の雑音を加わり、全体の雑音電力が上昇する[4][5]。このとき、ブースタ未設置時の容量を $C$ 、ブースタ設置時の容量を $C'$ 、基地局が許容する干渉マージン（以下、ロードマージン）を $\eta$ 、 $k$ 番目のブースタの雑音が基地局において受信される電力を $N_{TBK}$ とすれば、基地局の容量は式(1)で表される。

$$C'/C = 1 - \frac{\sum_{k=1}^n N_{TBK}}{(\eta - 1)N_{BTS}} \quad (1)$$

全体の容量を1とすると、ブースタ設置台数に応じてブースタ送信雑音が増加し、容量が低下する。図3に基地局とブースタ間伝搬損失（以下、伝搬損）と容量低下およびブースタエリア半径の関係を示す。ここで、ブースタ利得は45dBおよび60dB、ブースタ設置台数を10台/セル、ロードマージン $\eta$ を2dBおよび6dBとする。ブースタ利得が大きく伝搬損が小さいほど、エリア半径は大きくなるが、基地局で受信されるブースタ送信雑音が増加するため容量低下量も大きくなる。利得45dBブースタでは、容量低下がほぼ無視できる量となっている。利得60dBブースタでは、利得制御領域内の伝搬損減少分だけブースタ利得を小さくすることで、基地局で受信されるブースタ送信雑音を一定に抑えることができる。

#### 3.2 アンテナ間結合減衰量

ブースタ装置を用いる場合には、送信用アンテナから送信した電波を受信用アンテナで受信する回込みという現象

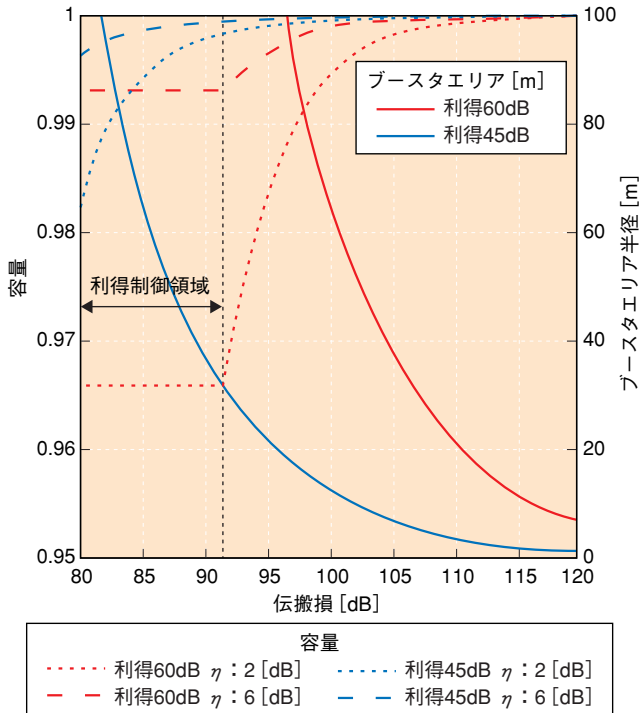


図3 基地局とブースタ間伝搬損失と容量・エリアの関係

が起る (図4)．回込み量はブースタ装置の2つのアンテナ間距離が近接している場合や反射物が周囲にあった場合に大きくなる．送受信のアンテナ間における結合減衰量を  $L_c$ ，ブースタ装置の利得を  $G_{TB}$ ，マージンを  $M$  とすると式(2)のブースタ運用条件を満たす必要がある．

$$L_c > G_{TB} + M [dB] \quad (2)$$

$L_c < G_{TB}$  となった場合，ブースタ送信波が受信側に再入力され，ブースタは正帰還状態となり発振して運用できなくなる．結合減衰量は伝搬状況により変動するため，運用条件は変動分のマージン  $M$  を見込んでいる．

## 4. 開発したブースタ装置の概要

従来のブースタ装置は，設置前に回線設計を実施し，最適な出力電力となるようにブースタ利得調整を行っていた．しかし，基地局アンテナのチルト角の変更，建物などの新設，工事クレーンなどによる遮蔽，基地局の新設などといった周辺環境の変化によって伝搬損失も変動する．この場合，従来のブースタ装置は利得調整が必要となる．そこで，伝搬損失の変動に応じて，即座に利得調整を行い，容量低下を抑える機能を有する自動利得制御ブースタ装置を開発した[6][7]．

またFOMAの普及に伴い，小規模店舗などで違法に設置されたブースタ装置の不要波の影響で通信品質が劣化する

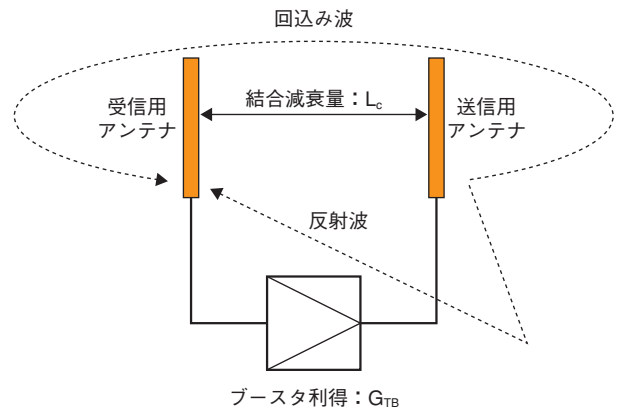


図4 ブースタ受信アンテナへの回込み

ケースが増えている．そこで，容量低下を抑えつつ小規模なエリアを構築できる廉価な固定利得ブースタ装置を開発した[8]．

これら2つの装置の概要を以下に述べる．

### 4.1 自動利得制御ブースタ装置

#### (1) 装置概要

自動利得制御ブースタ装置の外観を写真1に，基本仕様を表1に示す．ブースタ利得は40～60dBの可変とし，自動利得制御機能を付与した．出力電力は上り20dBm，下り10dBm程度でありエリア半径は最大100mである．

図5に本ブースタ装置の装置構成を示す．伝搬損失を推

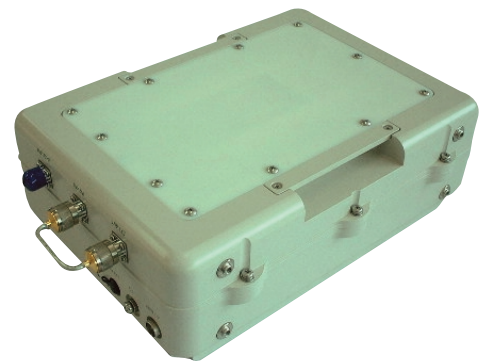


写真1 自動利得制御ブースタ装置外観

表1 自動利得制御ブースタ装置基本仕様

出力電力	上り20dBm, 下り10dBm
利得	40～60dB 自動利得制御機能付
エリア	約20～100m
電源電圧	AC100V
消費電力	100VA以下
サイズ	250×350×120mm
重量	約10kg

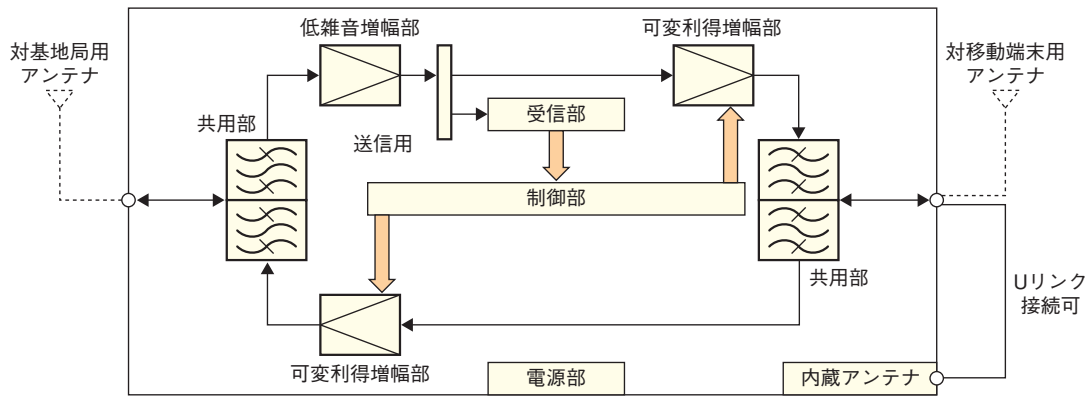


図5 自動利得制御ブースタ装置構成

定する受信部、受信部の伝搬損推定結果から可変利得増幅部の利得制御を行う制御部、上り回線と下り回線を1つの送受信アンテナへ接続する共用部、電源部、低雑音増幅部および内蔵アンテナから構成される。また、対基地局用アンテナおよび対移動端末用アンテナは、ブースタ装置本体のコネクタへ接続される。

(2) 自動利得制御法

本ブースタ装置の自動利得制御法を説明する。ブースタ受信部は移動端末と同様に、3段階セルサーチを行いスクランプリングコードの同定を行う。受信部は基地局送信の第1共通パイロットチャネル (P-CPICH : Primary-Common Pilot CHannel) のブースタ装置における受信電力を測定し、スクランプリングコードおよびP-CPICH送信電力などの基地局周辺局情報を第1共通制御物理チャネル (P-CCPCH : Primary-Common Control Physical CHannel) にて取得する。

基地局送信P-CPICH電力を $P_{T,P-CPICH}$ 、ブースタ受信P-CPICH電力を $P_{R,P-CPICH}$ とすると、伝搬損 $L$ を、式(3)のように推定する。

$$L = P_{T,P-CPICH} - P_{R,P-CPICH} \text{ [dB]} \quad (3)$$

ブースタ装置は、基地局で受信される雑音が許容量以内となるように、伝搬損測定結果から利得を決定している。ブースタ装置の最適な利得を $G_{TB}$ とした場合、式(4)で表される。

$$G_{TB} = L + NF_{BTS} - NF_{TB} - \alpha \text{ [dB]} \quad (4)$$

ここで $NF_{BTS}$ は基地局の雑音指数、 $NF_{TB}$ はブースタ装置の雑音指数、 $\alpha$ はシステムマージンである。

図6に、伝搬損とブースタ利得との関係を示す。伝搬

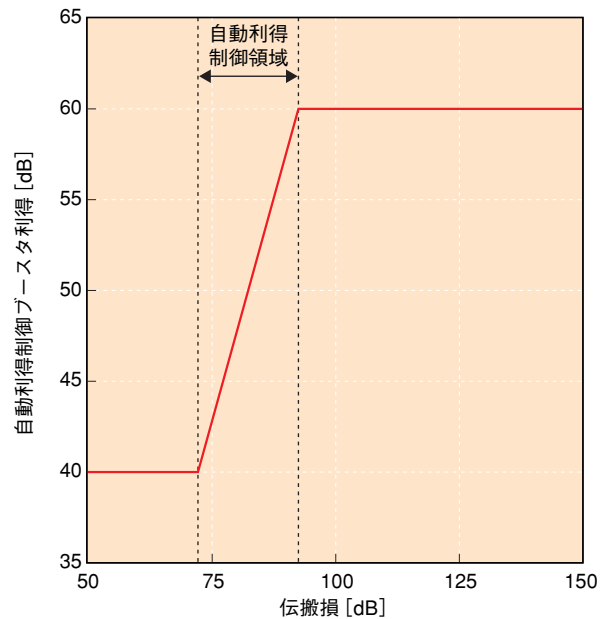


図6 基地局とブースタ間伝搬損失と利得の関係

損が利得制御領域内にある場合には、伝搬損に応じて自動利得制御を行い、最適な利得を設定する。これにより、3.1節で述べたように、基地局で受信されるブースタ送信雑音が一定となり、容量低下を一定の量に抑えることができる。また、伝搬損が利得制御領域より大きい場合、ブースタ装置の利得は最大値に設定される。

(3) 受信部特性

図7に測定した自動利得制御ブースタ装置の受信部ブロック誤り率 (BLER : BLock Error Rate) 特性を示す。自動利得制御ブースタ装置の受信部特性は、移動端末と同等の特性としている。表2に受信部の試験条件を示す。報知チャネル (BCH : Broadcast CHannel) のBLER < 1%を満たす所要P-CCPCH<sub>Ec</sub>/Iorは、静特性の場合は-18.5dB以下、動特性の場合-12.8dB以下である。これらは3GPP TS25.101[1]の規定を満足している。ここで、

BLERは「誤りの含まれるブロック数」÷「総ブロック数」で算出され、P-CCPCH\_Ec/IorはP-CCPCHのチップ当りの受信電力(Ec)と下り回線の基地局総電力の送信電力スペクトル密度(Ior)との比である。

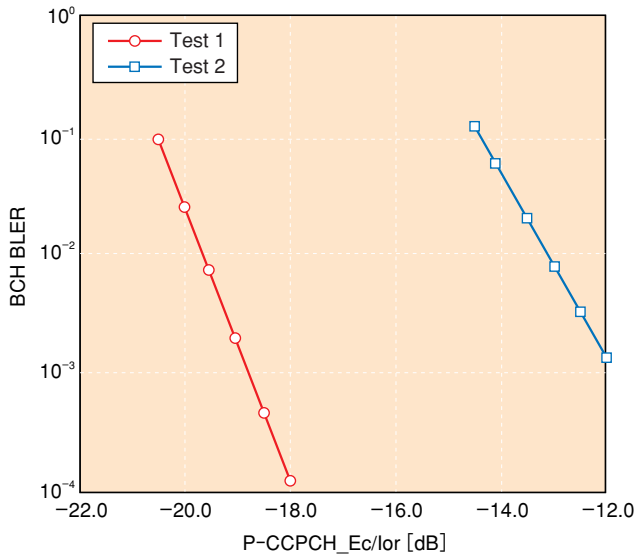


図7 ブースタ受信部のBCHのBLER特性

表2 受信部試験条件 (3GPP TS25.101 8.11.1)

項目	Test 1	Test 2
loc	-60dBm/3.84MHz	
I^or/loc	-1dB	-3dB
フェージング環境	静特性	動特性 Case 3
所要P-CCPCH_Ec/Ior	-18.5dB以下	-12.8dB以下

Ior：下り回線の基地局総電力の送信電力スペクトル密度  
 I^or：ブースタの対基地局用アンテナコネクタにおける総電力の受信電力スペクトル密度  
 loc：ブースタの対基地局用アンテナコネクタにおける帯域制限白色雑音の電力スペクトル密度  
 Ec：チップ当りの受信電力

## 4.2 固定利得ブースタ装置

開発した固定利得ブースタ装置の外観を写真2に、基本仕様を表3に示す。3.1節で述べたように、本装置では容量への影響が無視できる程度となるように利得を45dBに抑えている。このため、エリアは自動利得制御ブースタ装置を用いたときより狭く、半径20m以下の小規模店舗に適している。出力電力は上り17dBm、下り5dBm程度である。

図8に本ブースタ装置の装置構成を示す。自動利得制御ブースタ装置が有していた、受信部・可変利得部・制御部を省いてサイズを約1/6まで小型化、重量を約1/7まで軽量化できた。

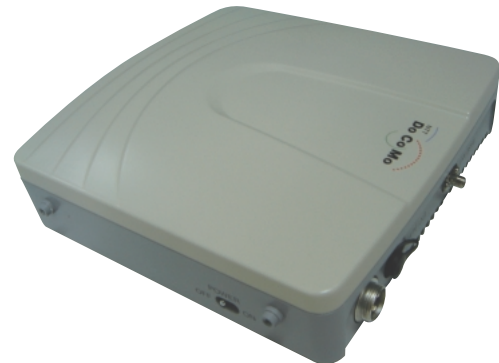


写真2 固定利得ブースタ装置外観

表3 固定利得ブースタ装置基本仕様

出力電力	上り17dBm, 下り5dBm
利得	45dB固定利得
エリア	約20m
電源電圧	AC100V
消費電力	20VA以下
サイズ	180×190×50mm
重量	約1.5kg

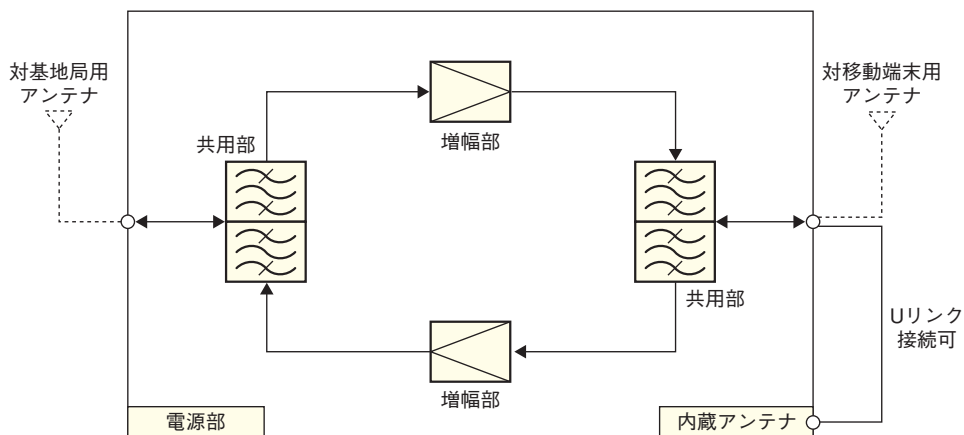


図8 固定利得ブースタ装置構成

## 5. あとがき

今回開発したFOMA用ブースタ装置について、特徴・設計指針・装置概要について述べた。ブースタ装置は、送信雑音や送受信アンテナ間結合減衰量を考慮すれば、設置や保守のコストを抑えることができるため、エリアを経済的に構築できる。また、廉価で電波法に則ったブースタ装置を提供することで、違法なブースタ装置の設置を抑制することが期待される。今後は、屋内用ブースタ装置のさらなる経済化、小型化、省電力化を図る予定である。さらに、屋外においても適用可能である高利得ブースタ装置を開発する予定である[9][10]。

### 文 献

- [1] 3GPP TS25.101, UE Radio transmission and Reception (FDD) (Release 4).
- [2] 3GPP TS25.104, BS Radio transmission and Reception (FDD).
- [3] 3GPP TS25.106, UTRA Repeater Radio transmission and Reception.
- [4] 石川 義裕, 梅田 成視: “通信品質劣化率を考慮したCDMA容量設計法,” RCS95-49, 1995-07.
- [5] 伊東 梯, 藤本 俊, 皆川 晃, 木島 誠: “IMT-2000用ブースタの雑音による上り容量劣化の検討,” 2005年信学会総合大会, B-5-128, 2005-03.
- [6] 伊東 梯, 恵比根 佳雄: “W-CDMA用自動利得制御機能付直接中継ブースタ,” 2000年信学会総合大会, B-5-82, 2000.
- [7] 高向 秀典, 伊東 梯: “W-CDMA用自動利得制御機能付ブースタの特性,” 2001年信学会総合大会, B-5-35, 2001.
- [8] 藤本 俊, 伊東 梯, 皆川 晃, 木島 誠: “IMT-2000用固定利得小規模ブースタ,” 2005年信学会総合大会, B-5-129, 2005-03.
- [9] 伊東 梯, 高向 秀典, 恵比根 佳雄, 藤本 俊: “IMT-2000用開空間ブースタ装置の構成,” 2003年信学会ソサイエティ大会B-5-54, 2003-09.
- [10] 藤本 俊, 伊東 梯, 木村 泰子, 恵比根 佳雄: “IMT-2000用開空間ブースタ装置の検証,” 2004年信学会総合大会, B-5-136, 2004-03.

### 用 語 一 覧

3GPP : 3rd Generation Partnership Project  
 BCH : Broadcast CHannel (報知チャンネル)  
 BLER : BLock Error Rate (ブロック誤り率)  
 MOF : Multi-drop Optical Feeder (RF光伝送装置)  
 P-CCPCH : Primary-Common Control Physical CHannel  
 (第1共通制御物理チャンネル)  
 P-CPICH : Primary-Common Pilot CHannel  
 (第1共通パイロットチャンネル)