デジタル無線機前進基地局の開発
Development of Digital Wireless Advance Base Station

高　橋　修　一　　高　岡　秀　流　　片　柳　　忍　　田　中　淳　也
Shuichi Takahashi　Shuryu Takaoka　Shinobu Katayanagi　Jyunya Tanaka

要　旨

デジタル変調方式の無線機は，従来のFM無線機と比較して周波数の狭帯域化により，有限な資源である周波数の有効利用とデータ伝送への適合性が優れ伝送効率が高まる等，利便性が大きく向上している。一方でFM無線機は，受信感度以下のノイズ混じりの環境でも，あるレベルまでは通話内容を理解する事ができるが，デジタル無線機は，通話が聞こえるか聞こえないかのどちらかとなる。状況によっては通話が途切れて内容が理解できないなどの弊害が発生する。特に山間部や都市部におけるビル陰などでは，この傾向が顕著となり，不感地帯での運用が課題となっている。

当社は，得意とするGPS技術と無線機技術を融合して，特にデジタルタクシー無線で実用化が望まれていたデジタル無線機用前進基地局を実用化した。

Abstract

Digital modulation wireless devices are well suited for effective data transmission at specific radio frequencies, which are now limited resources, available bands of frequencies being narrower than conventional FM radio equipments. Combined with the improving transmission efficiency, the user-friendliness of these devices is thus greatly increasing. On the other hand, FM radio equipments are able to pick up communications to some extent if the noise of the environment is at the level of reception sensitivity or below, while digital radio equipments are either able to pick up the communication or not. Depending on conditions, trouble may occur in which communication is interrupted and cannot be understood . This tendency becomes pronounced in mountain areas and spaces between buildings in urban areas, and the use of digital radios in such ‘dead zones’ is a problem.

JRC integrated its strong expertise in GPS technology and radio equipment technology, and has commercialized an advance base station which is excellent in dealing with dead zones.

1．まえがき

国内におけるタクシー無線機は，平成28年5月までに国内22万局の無線局全てがデジタル化される予定である。平成17年よりデジタル無線機が市場投入され，平成23年6月時点で約8万局の無線局がデジタル化された。

一方でデジタル無線機の特長である，データ配車等による無線利用の高度化は，配車効率の向上に一定の効果を上げているが，デジタル変調方式故のビル陰等の不感地帯の拡大が新たな悩みとなっている。不感地帯の解消には，エリア補完用無線局を設置するなどの対策が必要である。このエリア補完用無線局を前進基地局と称する。

前進基地局には，これまで個別に無線周波数が割り当てられてきたが，周波数の有効利用という意味では別の課題が残っていた。当社は，これらの問題を解消する為に，他社に先駆けて同一周波数での前進基地局運用を可能にするデジタルタクシー無線機用前進基地局を商品化した。本稿は，同前進基地局について実証実験の結果も含めて報告する。

2．前進基地局について

前進基地局は，主に主基地局の通信エリア外のエリア拡張やビル陰等の不感地帯補完対策に利用される補完基地局である（図1）。

通常，主基地局と前進基地局を同一周波数で同時送信すると，オーバーリーチエリアでお互いの電波が干渉し，通信に支障を来す結果となる。

その為，異なる周波数を用いるか，同一周波数であれば，送信タイミングをずらすかいずれかの方法でオーバーリーチエリアの不感地対策を行うのが一般的である。

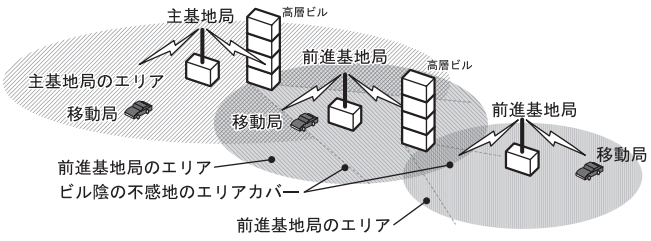

図1　前進基地局の概要
Fig.1　Outline of Advance Base Station

3．デジタル無線機の前進基地局

デジタル無線機の場合，効率良く通信する為には，通信する無線局間を同期させ，安定して同期を維持する物でなくてはならない。

従来，オーバーリーチエリアが存在しない異周波方式が，

前進基地局の主流であった。

但し，この方式は前進基地局用の専用周波数が必要となる事から，周波数効率が悪くなり，昨今の周波数逼迫の状況下においては前進基地局用周波数の割り当ては難しい状況にある。

また，移動局が主基地局と前進基地局のエリア間を移動し，通信する基地局をスムーズに切り替える（ローミング）には，移動局と基地局とは常に同期している必要があり，その為の同期信号管理用サーバが必要となる。この場合，お客様の設備導入費用も高額となる他，通信する際には移動局が主基地局，前進基地局どちらのエリアにいるか把握し，都度，周波数を切り替えて通信する必要があるなど，運用上の課題もあった。

4．開発した機器の特長

当社はGPSの受信データを応用することで，同一波を用いて効率的にエリア拡張が行える独自の前進基地方式を開発した。これにより，従来の課題であった，異なる前進基地局用周波数を不要とし，主基地局と同一波でエリア拡張が可能になった他，同期確立用サーバ等の専用設備も不要となることから安価で使い勝手の良い前進基地局を実現した。

表1　前進基地局仕様
Table 1　Advance Base Station Specifications

電気仕様	ARIB　STD　T-61　V2準拠
外形寸法	幅260×高750×奥300　(mm)
質量	40kg以下
最大消費電力	150W以下
電源電圧	AC100V　50/60Hz
温度範囲	0℃～40℃
空中線電力	5W　＋20/－50%

開発したデジタル前進基地局は，間欠送信方式の分散基地局をベースにしている（図2）。

図2　前進基地局　GPD-439G外観
Fig.2　Advance Base Station GPD-439G External Appearance

当社方式による前進基地局には，主に下記の特長がある。

(1) 同一波によるエリア拡張が容易である。
(2) 基地局間同期にGPSを用いている為，同期確立の専用サーバ設置が必要なく設置工事が簡単である。
(3) サーバの維持管理費用等ランニングコストが必要ない。
(4) 全ての基地局は，GPS信号で常に高精度な同期状態を維持する。
(5) デジタルタクシー無線機に必要な，自律送信出力制御機能（基地局の受信電界レベルによって移動局の送信出力をコントロールする機能）対応が極めて容易である。
(6) 前進基地局の縦列多段構成が可能である（図3）。

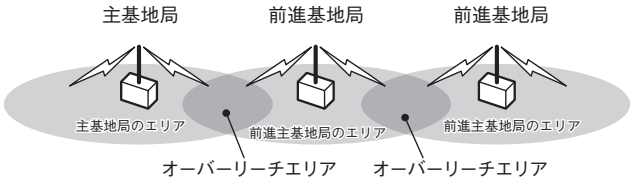

図3　縦列多段接続前進基地局のイメージ
Fig.3　Image of Cascade Connection Advance Base Station

5．前進基地局の構成

前進基地局の構成を図4に示す。

前進基地局に内蔵されたGPS受信機から出力されるPPS信号及び時刻情報により送受信機は同期信号送信タイミングを生成し，決められたタイミングで同期信号を送信する構成である。

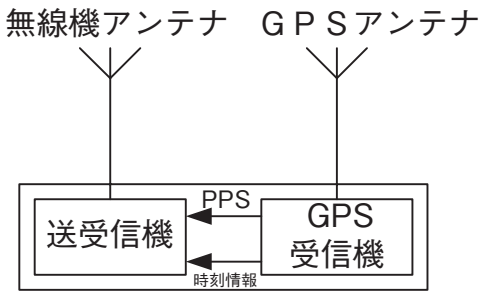

図4 前進基地局の構成
Fig.4　Configuration of Advance Base Station

6．前進基地局のしくみ

ARIB　STD-T61では，デジタル無線機のフレーム構成は4フレームを1クラスタフレームとして定義している。

1フレームは40msecであり，1クラスタフレームは160msecである。当社の分散基地局は，通常同期信号を2クラスタフレーム毎，つまり320msec毎に送信し，移動局との同期を確保している（図5）。

移動局は320msec毎の同期信号を受信し同期確立している。

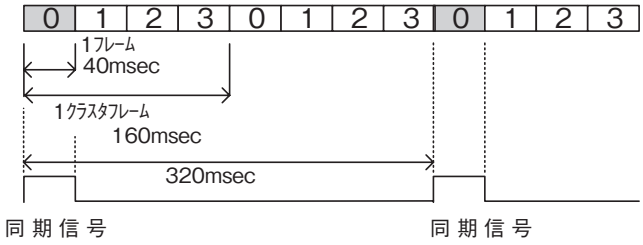

図5　ARIB　STD　T-61フレーム構成と
前進基地局同期信号送信タイミング
Fig.5　ARIB STD T-61 Frame Configuration and Advance Base Station Synchronized Signal Transmission Timing

各フレームは，DATAフレームとVOICEフレームに区分けされているため，同期信号を安易に増やすと，データ通信，音声通信に影響することになる為，2クラスタフレームで1個の同期信号送信が，安定した同期を確保し，データ通信，音声通信をする最も効率の良いタイミングとなっている。

ここで，主基地局と，前進基地局がそれぞれ勝手に同期信号を発したとする。図6は一例であるが，オーバーリーチエリアでは同期信号同士が干渉し，移動局は同期信号を認識出来なくなる為，移動機の同期は不安定になってしまう。

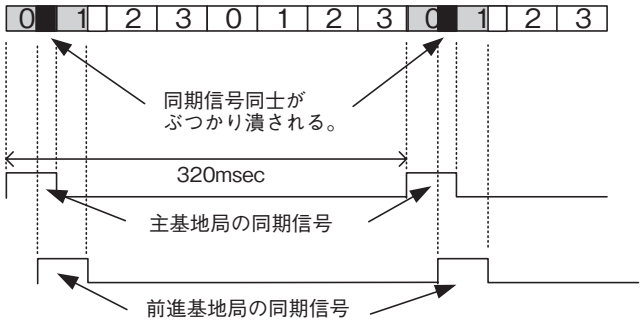

図6　ARIB　STD　T-61フレーム構成と
同期信号送信タイミング例
Fig.6　ARIB STD T-61 Frame Configuration and Example of Synchronized Signal Transmission Timing

この為，当社はGPSのPPS信号からタイミング生成し，主基地局，前進基地局それぞれの同期信号を交互に送信するよう工夫した（図7）。

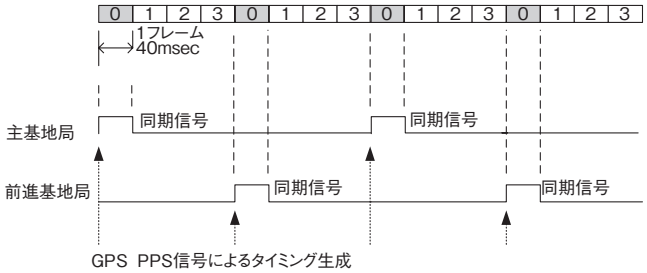

図7　当社の前進基地局同期信号送信タイミング
Fig.7　JRC Advance Base Station Synchronized Signal Transmission Timing

7．実証試験の結果

デジタル無線機用前進基地局として評価すべきポイントとして以下の評価を行った。

(1) 初期同期確立評価

前進基地局対応した場合の初期同期確立時間評価を行った。基地局は，320msec 毎に1フレーム（40msec）の同期信号を送信する。基地局からの送信信号は，フェージングを付加して，レベル調整を行い，移動局に入力する。移動局において，受信動作を開始してから初期同期確立するまでの時間を評価した。

移動局の入力レベルを変化させ，10dBステップ毎に，各100 回測定した（表2）。結果，１秒以内の同期確立が確保出来ており，十分な性能を有している。

表2　初期同期確立時間
Table 2　Initial Synchronization Establishment Time

同期確立所用フレーム ＼ 入力レベル（dBm）		−50	−60	−70	−80	−90	−100	−110
1	～328msec	84%	97%	98%	100%	98%	99%	95%
2	～648msec	14%	3%	2%	0%	2%	1%	5%
3	～968msec	2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
4	～1288msec	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

(2) 下りデータ信号のMER評価

前進基地局にした場合の下りデータ信号の受信率の評価を行った。測定条件は（1）に同じである。比較対照として，連続送信の場合と間欠送信の場合のMERを比較した。

結果，若干の劣化が認められるが，実用上影響の無い結果となっている（表3）。

表3　下りデータ信号のMER比較評価
Table 3　Comparative Evaluation of MER of Downward Data Signals

送信形態＼入力レベル（dBm）	−50	−60	−70	−80	−90	−100	−110
連続送信型	100%	100%	100%	100%	99.9%	99.8%	97.6%
間欠送信型	99.5%	99.7%	99.8%	99.7%	99.9%	99.8%	94.1%

(3) 自律送信出力制御評価

前進基地局にした場合の自律送信出力制御への影響を評価する。自律送信出力制御が義務づけられている連続送信型と，前進基地局（間欠送信型）の比較とする。

移動局において受信開始から30秒後の受信レベルを測定する。移動局の入力レベルは，−53dBm〜−83dBm の範囲とし，10dB ステップで調整する。測定回数は入力レベル毎に100 回とした。結果，受信レベルに対する測定誤差は，±2dB の範囲に入っており良好である（表4）。

表4　自律送信出力制御評価
Table 4　Autonomous Transmission Output Control Evaluation

送信形態＼入力レベル（dBm）		−53	−63	−73	−83
連続送信型	平均値（dBm）	−53.9	−63.7	−73.6	−83.5
	最大値（dBm）	−53	−62	−73	−82
	最小値（dBm）	−55	−65	−75	−85
間欠送信型	平均値（dBm）	−53.3	−63.2	−73.3	−83.5
	最大値（dBm）	−52	−62	−73	−83
	最小値（dBm）	−54	−64	−74	−84

(4) ローミング評価

基地局の送信形態は間欠送信型とする。

基地局からの送信信号は，フェージングを付加し，レベル調整を行い移動局に入力する。2台の基地局（主基地局ならびに前進基地局）で交互に音声送信を行い，ローミング動作の確認を行う。

移動局の入力レベルは，−90dBm〜−110dBm の範囲とし10dBステップで調整する。入力レベルの組み合わせは6種類とする。測定回数は，入力レベル毎に100 回とする。

結果，各レベルにおいて100%ローミング動作が可能である（表5）。

表5　周波数利用効率評価
Table 5　Frequency Utilization Efficiency Evaluation

主基地入力レベル（dBm）＼前進基地入力レベル（dBm）	−90		−100		−110	
	主基地↓前進基地	前進基地↓主基地	主基地↓前進基地	前進基地↓主基地	主基地↓前進基地	前進基地↓主基地
−90dBm	100%	100%	100%	100%	100%	100%
−100dBm	−	−	100%	100%	100%	100%
−110dBm	−	−	−	−	100%	100%

(5) オーバーリーチエリアでの動作評価

オーバーリーチエリア内の移動局における下りデータ信号の受信率を測定する。測定は，移動局を主基地局に同期させた状態で開始させるものとする。

結果，オーバーリーチエリア内の移動局において，正常に受信できることを確認した（表6）。

表6　オーバーリーチエリア動作評価結果
Table 6　Overreach Area Operation Evaluation Results

主基地入力レベル（dBm）＼前進基地入力レベル（dBm）	−90		−100		−110	
	主基地から送信	前進基地から送信	主基地から送信	前進基地から送信	主基地から送信	前進基地から送信
−90dBm	99.9	99.9	100	99.0	99.6	89.7
−100dBm	-	-	99.6	98.7	99.4	92.2
−110dBm	-	-	-	-	93.7	89.4

(6) 周波数利用効率への影響評価

1ch 当りの収容可能無線局数から周波数利用効率を検証した。検証条件を以下とした。

・移動局の稼働率：400 台　100%稼動。
・移動局は任意発呼方式とし，任意発呼間隔は，実車時250m，空車時125mとする。よって，実車時30 秒毎，空車時15 秒毎に送信するものとする。
・実車率：40%
・移動局の走行速度：30km/h
・移動局からの送信データは，1 フレーム長（40msec）とする。
・オーバーリーチエリアにいる移動局の割合は，全体の10%とする。
・前進基地局設置時，主基地局エリア，及び前進基地局エリアでは，200 台ずつ稼動しているものとする。

タクシーの基地局は1周波数あたり最大で400台収容が技術的に採用可能か否かの判断基準となっている。この基準からすれば移動局からの平均発呼回数は25 回/秒以下（平均発呼間が40msec 未満）を満足しなければならない。

一般に基地局の受信回数は，移動局の発呼回数と同一となり平均発呼回数が21.4 回/秒である。

前進基地局を設置した場合，主基地局，または前進基地局の受信回数は自基地局とオーバーリーチエリアの移動局の発呼回数の和となり平均発呼回数は11.7 回/秒である。この結果から，前進基地局を設置することによって1基地局当りの収容台数を実質減らすことができる。また，同じ収容台数であれば移動局からの発呼間隔を短くすることができる事が実証された（表7）。

表7　移動局からの平均発呼回数，平均発呼間隔
Table 7　Average Number of Calls and Average Interval of Calls from Mobile Station Devices

	集中基地局エリア（主基地局エリア）	オーバーリーチエリア -	前進基地局エリア -
集中基地局	21.4回／秒 (46.8msec間隔)		
主基地局＋前進基地局	9.6回／秒 (104.0msec間隔)	2.1回／秒 (466.3msec間隔)	9.6回／秒 (104.0msec間隔)

8．運用状況

この方式の前進基地局は大宮市のタクシー事業者で稼働し，エリア補完に大きな効果を発揮している。

図12に，実際運用しているエリアを示す。大宮市内に主基地局を，桶川市内に前進基地局を配置している。

ふたつの円は，主基地局，前進基地局からそれぞれ半径10kmの範囲を示しており，各基地局における大まかな通信エリアを示している。

図8は図12に示すオーバーリーチエリア内，★A地点における主基地局と前進基地局の同期信号をモニタした波形である。

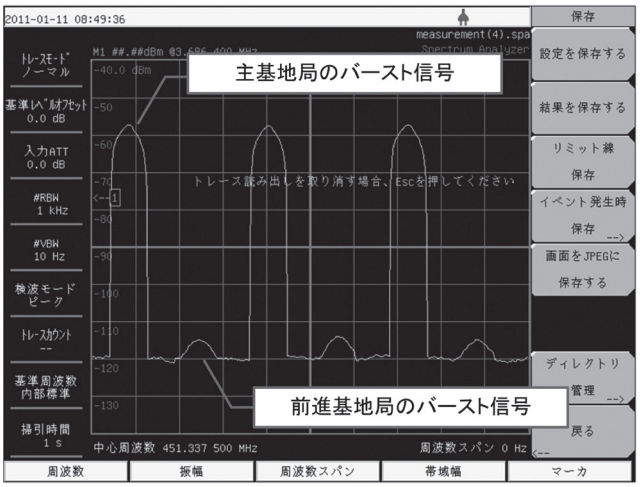

図8 大宮での実証実験同期信号モニタ画面
Fig.8　Synchronized Signal Monitoring Screen for Demonstration Test at Omiya

図9は，実際に主基地局が設置されている場所の写真で，マンションの上に主基地局の空中線が設置されている。

図9 主基地局
Fig.9　Main Base Station

図10は，前進基地局が設置されたタクシー会社の社屋である。図11は，前進基地局に設置されたGPSアンテナであり，主基地局から約15km離れている。

図10 前進基地局
Fig.10　Advance Base Station

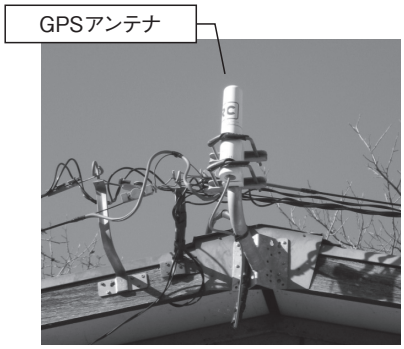

図11　GPSアンテナ
Fig.11　GPS Antenna

9．最後に

平成22年　関東総合通信局による「タクシー無線における高密度周波数共用技術に関する調査検討会」が開催され，周波数の効率的利用を踏まえたデジタルタクシー無線機の不感地帯対策について，検討がなされた。当社は同検討会の委員会，作業部会に参加し，本稿で紹介したGPSを利用した同期網方式の前進基地局を実証実験してその有効性を証明した。

本方式の前進基地局は，同一周波数を用いたエリア拡大，補完に大変有効な方式である事と，周波数が有効利用できる事から，今後山間部や都市圏におけるビル陰の不感地帯対策などで多くの需要が期待される。

同調査検討会の報告書は，関東総合通信局のホームページに詳細が掲載されているので参照いただきたい。

（http://www.soumu.go.jp/soutsu/kanto/if/press/p22/p2303/p230323k.html）

（特許出願　3件）

（参考文献）

タクシー無線における高密度周波数共用技術に関する調査検討会報告書

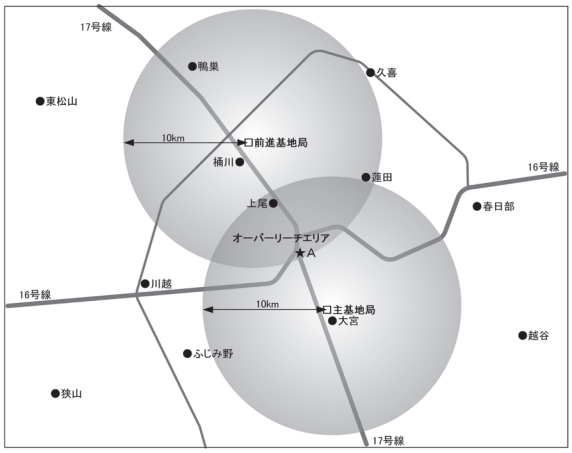

図12　主基地局と前進基地局エリア
Fig.12　Main Base Station and Advance Base Station Areas

用　語　一　覧

GPS：Global Positioning System（全地球測位システム）
PPS：Pulse Per Second
MER：Message Erasure Rate