

# 1.5GHzデジタル移動通信システム

## 5 1.5GHzデジタル移動通信用トンネルブースタ

基地局からの電波が到達しないトンネル内などで移動通信をサービスするためには、基地局と移動局の間で双方向に電波を直接中継するブースタが必要となる。本稿では、DoCoMoが開発した1.5GHzデジタル移動通信方式用トンネルブースタの技術を解説する。

すがぬま じゆん やまざき まさかつ おおだて ひとし えびね よしお  
 菅沼 純・山崎 正勝・大館 均・恵比根 佳雄

### まえがき

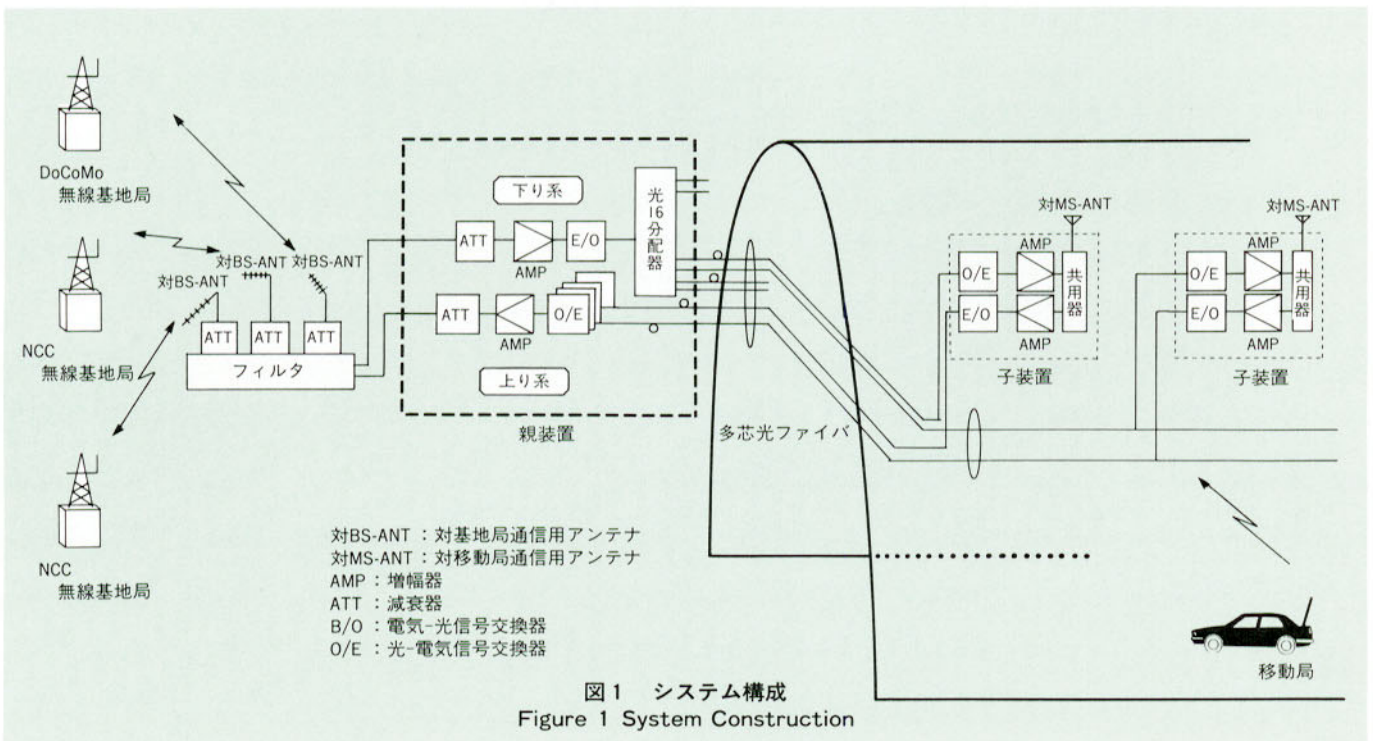
近年における自動車電話、携帯電話(以下、移動局という)の需要は急増し、いかなる場所でも使用したいというニーズに対応する必要が生じてきている。これらのニーズに対応するため、800MHz帯移動通信ではトンネル内に漏洩同軸ケー

ブルを敷設し、この漏洩同軸ケーブルに電波を増幅する増幅器を接続して、トンネル内へ移動通信サービスを提供してきた。

一方、本年4月より東京を中心にサービスを開始した1.5GHzデジタル移動通信では、800MHz帯に比べ周波数が高いために漏洩同軸ケーブルを使用した方式では漏洩同軸ケーブルの損失が大きくなり、800MHz移動通信と同等のサービスを提

供することが困難になる。このために1.5GHz帯の高周波電気信号を光信号に変換し、光ファイバでトンネル内に伝送した後に再び高周波電気信号に復調し、アンテナより放射してサービスを提供するシステムを開発した。

本稿では、システム構成、高周波電気信号から光信号への変換技術および本システムに使用するアンテナ技術について述べる。



## システム構成

図1に1.5GHzデジタル移動通信トンネルブースタのシステム構成を示す。

基地局からの電波は対基地局アンテナで受信し、親装置内で電気-光変換を行うために必要なレベルまで増幅し、電気-光変換器により光信号（サブキャリア振幅変調）に変換する。この光信号を光分配器により分配し、1.3μmシングルモード光ファイバによりトンネル内に設置した複数の子装置に伝送する。トンネル内の子装置では光ファイバにより伝送された光信号を光-電気変換器により電気信号に変換し、所要レベルまで増幅した後、トンネル内に設置した対移動局アンテナより移動機に対し電波を送信する。

トンネル内の移動機からの電波は対移動局アンテナで受信した後に子装置で増幅し光信号に変換する。この光信号を光ファイバにより親装置に伝送する。親装置では、各子装置から伝送された光信号をそれぞれ光-電気変換器により電気信

号に変換した後に合成器により各子装置からの信号を合成し、所要レベルまで増幅した後に対基地局アンテナより基地局に向けて送信する。

また、親装置は対基地局アンテナまでの給電線損失を低減するため防水性の収容箱に収容し、屋外のアンテナ近傍に設置することも可能である。トンネル内などの公共性の高いある場所では複数の事業者でシステムを共用する必要がある。対基地局アンテナ構成および中継可能なキャリア数などを考慮している。本システムでは1台の親装置に最大16台の子装置を接続することが可能である。図2に親装置、図3に子装置の実体写真例を示す。

## 電気-光変換、光-電気変換技術

本システムの中心となる技術は高周波電気信号を光信号に変換し、さらに光信号を電気信号に変換する光・電気変換部分である。本システムでは電気信号を光信号に変換するためにアナログレーザダイオードを使用し、高周波電気信号で直

接レーザ光を振幅変調し、波長1.3μmの光信号にする。光信号を電気信号に変換するためにはピンフォトダイオードを使用する。移動通信でこの技術を使用する際に大きな問題となるのは、3次相互変調歪とC/N特性である。3次相互変調歪IM3は、2波または3波の信号の組み合わせで発生する。

$$f(IM3) = 2f_1 - f_2, f_1 + f_2 - f_3$$

この3次相互変調歪が本システムで使用する周波数帯域内において規定レベル以下に抑える必要がある。このためには使用するレーザダイオードやピンフォトダイオードの特性を十分考慮する必要がある。

また、C/N特性に関しては移動通信においては通信中のレベルは電波の伝搬損失に依存して変動するため、これらを考慮したC/N特性とする必要がある。高周波電気信号を光信号に変換して伝送した後の受信C/Nは次式で表される。

$$C/N = \frac{OMI^2 \cdot (Pop \cdot \eta)^2 / 2}{(RIN \cdot (Pop \cdot \eta)^2 + 2e \cdot Pop \cdot \eta + \langle I_{th} \rangle^2) \cdot B}$$

OMI: 光変調指数

Pop: 平均受光パワー

η: PDの光電変換効率

B: 受信器帯域

RIN: LDの相対強度雑音

⟨I<sub>th</sub>⟩: 光受信器の等価入力雑音電流密度

上式で分子はキャリア1波当りの受信信号強度を示し、分母第1項、第2項、第3項はそれぞれ光源の雑音強度、ショット雑音、受信器雑音を表す。上式中のOMI（光変調指数）は次式で表される。

$$OMI = \frac{\sqrt{2} \cdot Prf / R}{I_b - I_{th}}$$

Prf: キャリア1波当りのLD入力レベル

R: LDの入力インピーダンス

I<sub>b</sub>: LDのバイアス電流

I<sub>th</sub>: LDのしきい値電流

上式の分子は光強度の変調振幅（ピーク値）を示し、分母は平均光強度を示す。したがって、受光パワーが大きいときはC/NはRIN（LDの相対強度雑音）に依存

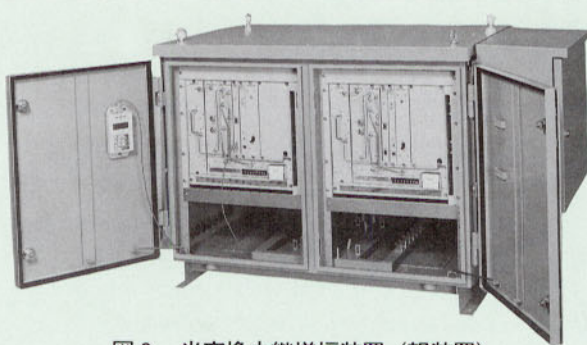


図2 光変換中継増幅装置（親装置）  
Figure 2 Optical Multiplexing Equipment for Base Station

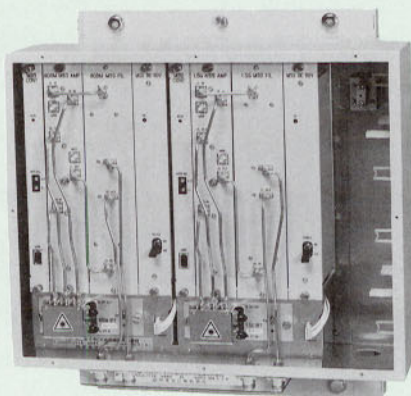


図3 光変換中継増幅装置（子装置）  
Figure 3 Optical Multiplexing Equipment for Mobile Station

し、受光パワーが小さいときは $\langle I_{th} \rangle^2$ に依存する。これらの条件から、適切なデバイス選択と動作環境を設定することにより所要する特性を満足することが可能となる。

また、電気信号を光信号に変換するためのレーザダイオードの特性は温度変化により大きく変動するため、ペルチェクーラを使用した温度補償回路が組み込まれている。

## 中継増幅器の技術

本システムでは、複数の事業者が使用する多数キャリアが中継可能であり、歪を低減した高品質な増幅動作が可能な共通増幅器を開発した。この共通増幅器は、過出力防止のAGC（自動利得制御）機能を有するとともに、3次相互変調歪を低く抑えたものとしている。また、電波法上の規格を満足できなくなる状況が発生した場合は動作を停止する保護機能も有している。

## アンテナ系技術

### ■アンテナ

本システムで使用するアンテナは2種類に大別される。1つは基地局との間での電波を送受信するために使用される対基地局アンテナであり、もう1つはトンネル内に設置され、移動局との間での電波の送受信を行うものである。

図4に対基地局アンテナの概略構造を示す。対基地局アンテナは、目的とする基地局との間で通信を行うため、できるだけ水平面内の指向性を鋭くする必要がある。これに加えて1.5GHz帯では800MHz帯に比べ伝搬損失が増加するため利得を大きくする必要があり、これらの条件を満足するために、八木アンテナを多段構成とした。1.5GHz帯の八木アンテナは素子間隔が狭くなり、降雪時の着雪による劣化を防止するため、円筒状のレドームに収容した。

対移動局アンテナはトンネル内の壁面または天井に設置するため、安全性の観

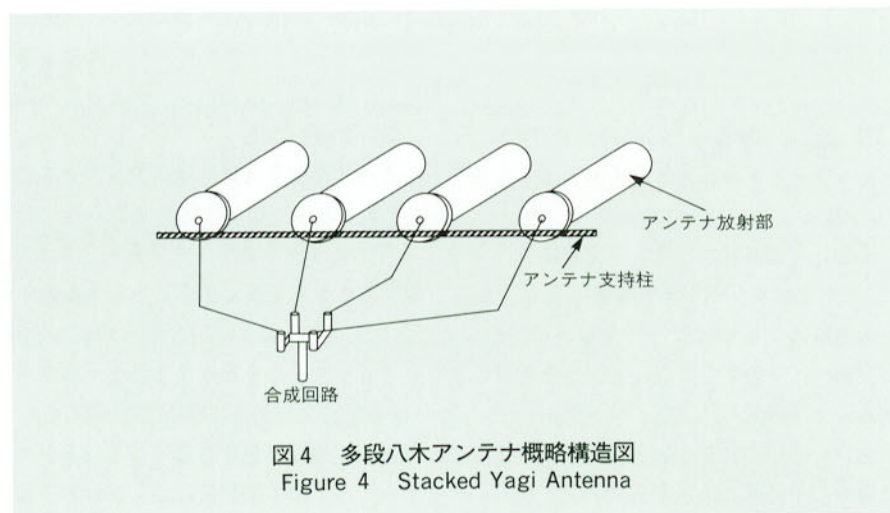


図4 多段八木アンテナ概略構造図  
Figure 4 Stacked Yagi Antenna

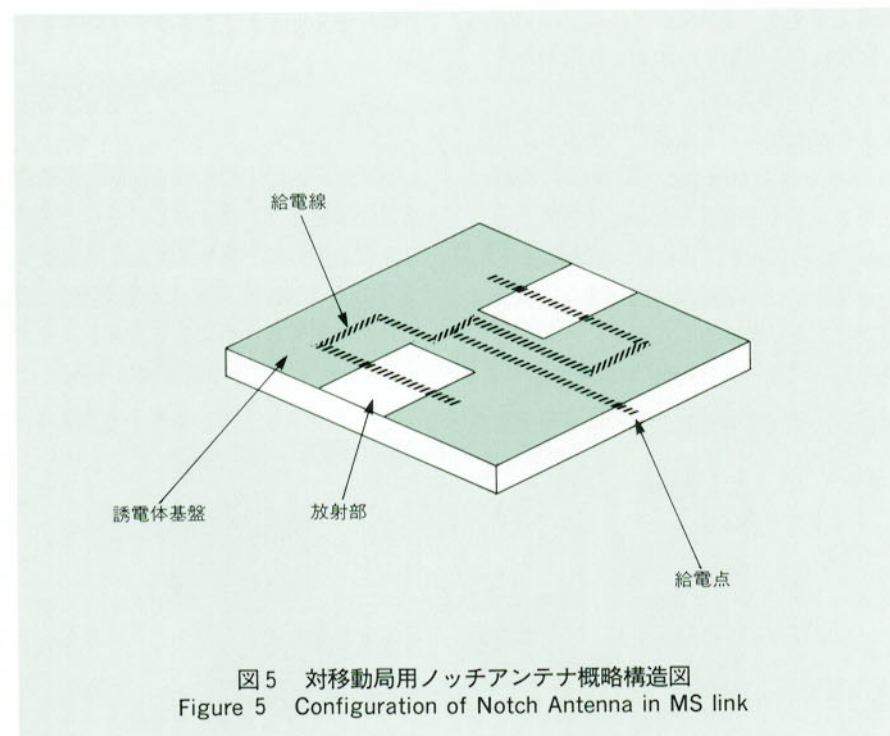


図5 対移動局用ノッチアンテナ概略構造図  
Figure 5 Configuration of Notch Antenna in MS link

点からできる限り突起のない平面構造とする必要がある。また、トンネル内の伝搬特性を考慮すると、アンテナ近傍では伝搬損失が少ないため放射波を抑圧し、遠方でアンテナ利得が大きいことが要求される。図5にトンネル壁面に取り付ける対移動局アンテナの概略構造を示す。アンテナを薄形化するために誘電体基盤に2つのノッチアンテナを構成した。それぞれのノッチアンテナは約0.5波長離れて構成されており、逆相給電されている。このことによりアンテナ正面方向でヌル点となりアンテナ近傍で放射波を抑圧したアンテナ設計となっている。

### ■高周波フィルタ

本システムでは、1.5GHzデジタル移動通信サービスを提供するすべての事業者の電波を中継する。このため、各事業者の基地局に対して対応する周波数帯域を中継するために、親局装置と対基地局アンテナの間に設置し、該当周波数帯域のみを選択する高周波フィルタが必要となる。これは、各事業者の基地局に対し必要な電波のみを中継することを目的としているが、1.5GHzデジタル移動通信においては各事業者に割り当てられた周波数が互いに隣接している。

このため本システムでは、必要周波数

帯域以外を極力減衰させる特性の高周波フィルタを開発し、各事業者ごとに設置することとした。

## その他の技術

### ■光ファイバの敷設

本システムではトンネル内に1本の多芯光ファイバを敷設し、各子装置の近傍で必要芯数のみを取り出し子装置への接続ケーブルと接続することにより、複数の光ファイバを敷設せずにシステムを構築することを可能とした。トンネル内において1本の多芯光ファイバから必要芯数のみを取り出すためにはトンネル内で多芯光ファイバのシースを剥き、内部の心線を取り出した後、この心線に子装置への接続ケーブルを融着する必要がある。通常これらの作業を行った場所では、多芯光ファイバの強度の低下や外部からの粉塵の進入が発生する恐れがある。本システムでは、新たにトンネル内での多芯光ファイバの分岐接続箱を開発することによりこれらの問題点を解決した。

## まとめ

本システムにより、1.5GHzデジタル移動通信方式をトンネル内にも安定して提供することが可能である。また、本システムは1.5GHz帯に限らず800MHz帯移動通信方式や280MHz帯ポケットベル方式の電波も中継可能であるため、従来は移動通信サービスを提供することが困難であった地下街等へのサービスの拡大を行うことが可能となり、今後の移動通信の利用範囲の拡大の一翼を担うものであると考えられる。

### 文 献

- 1) T. Tsuchiya, T. SHIRAISHI, J. ARATA: "Major Factor Affecting Fiber-Optic Transmission System Design for Radio Base Stations", IEICE TRANSACTION on Communications VOL. E76-B, No.9 pp1136-1144, Sep.1993
- 2) 渋谷, 金井, 江村: "光ファイバ伝送を用いたマイクロセル移動通信の無線信号集配方式", 信学会研究会RCS90-12. pp19-25