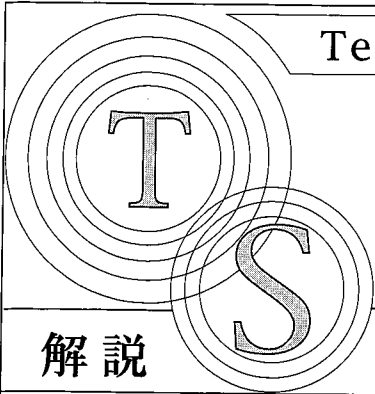


Title	マイクロ波フォトニクス技術
Author(s)	小牧, 省三; 塚本, 勝俊
Citation	電子情報通信学会誌. 84(3) p.163-p.166
Issue Date	2001-03
oaire:version	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/3397">https://hdl.handle.net/11094/3397</a>
rights	copyright©2001 IEICE
Note	

***Osaka University Knowledge Archive : OUKA***

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University



# マイクロ波フォトニクス技術

解説

小牧 省三 塚本 勝俊

小牧省三 正員 大阪大学大学院工学研究科通信工学専攻  
E-mail komaki@m.ieice.org  
塚本勝俊 正員 大阪大学大学院工学研究科通信工学専攻

Trends of Microwave Photonics Technology. By Shozo KOMAKI and Katsutoshi TSUKAMOTO, Members (Graduate School of Engineering, Osaka University, Osaka-fu, 565-0871 Japan).

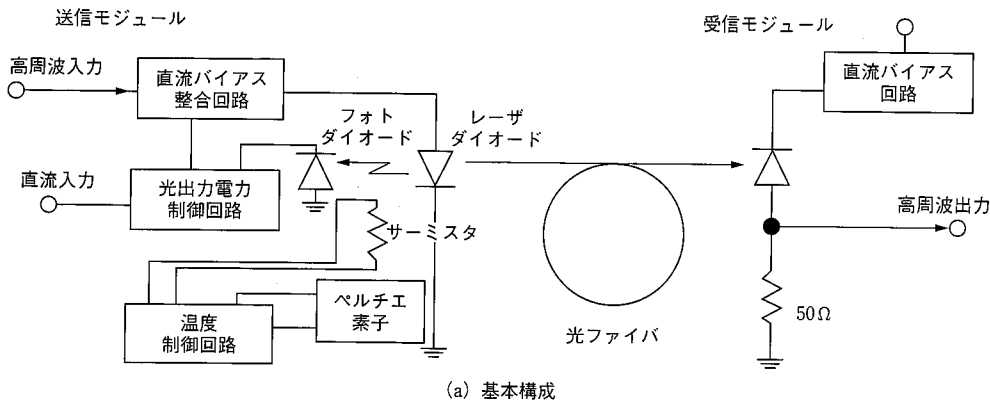
## 1. ま え が き

電波と光を融合した技術をマイクロ波フォトニクス技術と呼んでおり、無線通信、計測、アレーアンテナ、電波天文、CATV等の広い応用範囲があり、国内外において活発に研究がされてきている<sup>(1)-(4)</sup>。この技術は電波をそのままの形態でファイバ中に閉じ込めて遠くまで伝送することが可能であるため、電波形式の変更に柔軟

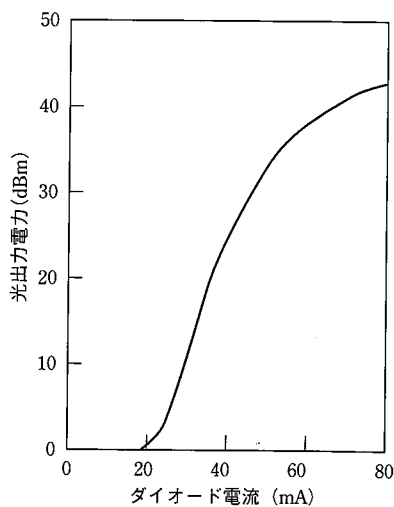
に対応できる汎用的な無線基地局を実現でき、方式柔軟性が高いという特徴がある。現在、地下街・トンネル・ビル内等の電波の到達しづらい場所を解消する目的で実導入が進められている。本稿ではマイクロ波フォトニクス技術について、特に無線通信分野の概略を解説する。

## 2. マイクロ波フォトニクス技術の概要と特徴

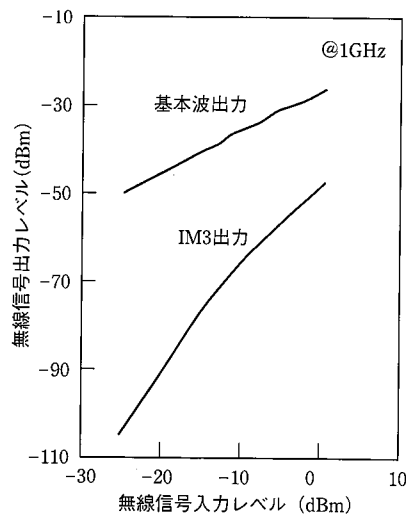
マイクロ波フォトニクスリンクの基本構成を図1に示



(a) 基本構成



(b) 電流-光出力特性



(c) 光リンク入出力特性

図1 光リンクの基本構成と特性

す。送信モジュールはレーザダイオードで構成されており、直流をレーザに流すことにより発光するが、その直流に電波を重畳することにより電波の強度に応じて光強度が変化する。これを光強度変調と呼んでいる。しかし、図から分かるように直流（電波）——光強度の変換特性は直線性が低く、複数の無線波の間で相互変調ひずみを発生し、無線信号間の干渉となる。このため、光の変調度を浅くして直線部分を使用するが、逆に、余り変調度を小さくしすぎると検波後の無線信号が小さくなり、総合雑音を最小にする最適変調度が存在する。現在、移动通信に使用されている10GHz以下の周波数帯であれば、上記に示した直接変調が主として用いられているが、今後利用が進むミリ波帯等の高い周波数については、レーザの外に専用の変調器を用いる外部変調器を使用することが多い。外部変調器としては偏光依存性の少ない電界吸収形（EMA）が使用される傾向にある。受信モジュールはpinフォトダイオードを使用する例が多い。

### 3. 移动通信への実導入例

マイクロ波フォトニクス技術を適用すれば、電波のまままで光ファイバ内の伝送が可能であるため、移动通信システムに対し以下のような特徴を有している。

- ① 電波形式に依存しない汎用基地局
- ② 基地局間ハンドオーバーの容易性
- ③ 不均一トラフィックへの無線設備リソース最適割当
- ④ マクロダイバーシチ、基地局間干渉キャンセラ
- ⑤ ファイバ内伝送による電波干渉の低減
- ⑥ 仮想無線空間の実現

このため、移动通信分野において広く実導入されている<sup>6)</sup>。図2は、地下駐車場の電波の届きにくい場所に応用した例である。ビルの高層階で移动通信用の空間波を受信し、光ファイバ内に閉じ込めて地下駐車場まで伝送し光検波した後、地下に再送信している。また、逆方向の場合も同様で、携帯端末で発信した電波を地下駐

車場のアンテナが受信し、光ファイバ内に閉じ込めて高層階まで伝送し、光検波した後、指向性アンテナを使用して屋外の移动通信基地局に向けて発信をしている。この装置の導入は比較的早く、導入後に電波形式がたびたび更改されているが、初期導入のまま継続して使用されている。この例では、レーザダイオードの変調周波数の制限があり、無線周波数で直接変調をしているのではなく、一度、中間周波数に変換した後、光強度変調している。光信号を地下に伝送しpinフォトダイオードで中間周波信号にした後、元の高周波信号に戻す際に必要となる局発基準信号も送信側の中間周波数で周波数多重して同一の光ファイバを用いて伝送している。無線周波数がマイクロ波、ミリ波等へ高周波化するすう勢があるが、中間周波に落として伝送する方法も現実的な解決策であると考えられる。

また、W-CDMAへの適用を行った場合の実験例についても欧州から発表がなされており、次世代への適用も本格化してきている<sup>6)</sup>。

### 4. 高速ワイヤレスアクセス方式への適用検討例

インターネット高速アクセスの需要が増大しており、光ファイバを含めた各種の接続方式が提案されている。その一つとして、FTTA<sup>(用脚)</sup>あるいはFWA<sup>(用脚)</sup>と呼ばれる電波を使用したものが注目され、数十Mbit/sをター

**用語解説**

**FTTA (Fiber-To-The-Air)** FTTHに対して光ファイバの先が無線となったアクセス系。FWAの実現方式となるほか、Radio-on-Fiber技術を使用すれば、様々な電波形式を光ファイバを用いて固定、半固定、移動ユーザーに配信できる。

**FWA (Fixed Wireless Access)** ユーザー宅と通信事業者を固定式無線回線で結ぶ無線アクセスシステム。WLL (Wireless Local Loop) とも呼ばれる。

**WDM (波長分割多重 (Wavelength Division Multiplexing))** 光搬送波の波長を変えて、複数の信号を一心の光ファイバに多重する方式。

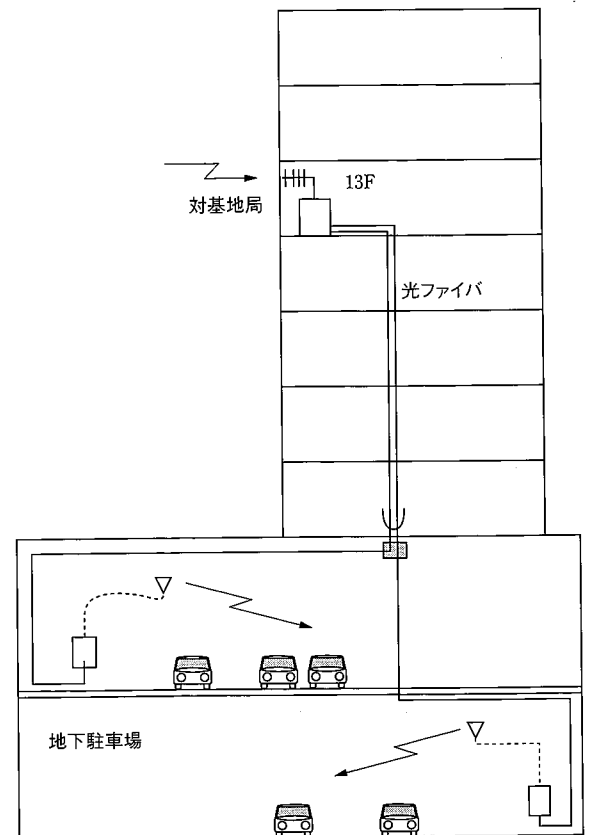


図2 移动通信への適用例

ゲットに活発な研究開発項目となっている。また、家庭内ネットワークとしてもワイヤレスであることが望ましく、100Mbit/sを超える伝送速度の検討がなされている。これらで使用される周波数は高速需要に対処できるミリ波あるいはマイクロ波帯域を主眼においており、降雨や建物隔壁による減衰を考慮すると光ファイバによる基地局までの伝送が有効な手段と想定されている。

図3は欧州 ACTS FRAN プロジェクトにおいてフランスで検討が進んでいる例である<sup>(7)</sup>。この例では、各家庭へのデジタル動画像配信、電話、コンピュータ接続を目的としており、ATM 伝送レート 622Mbit/sをサポートし、28GHz帯 16QAM 変調方式を採用している。上りについては、データ速度は 40Mbit/s 程度で十分なため、29GHz帯 FSK 変調を採用している。また、光変調器への負担とファイバの分散による影響を避けるため、送信側では、2GHzの 16QAM 変調波で光変調し両側帯帯伝送を行い、同時にミリ波キャリアを光単側帯帯伝送している。リモートユニットでは、この信号とミリ波キャリアの差周波数信号を増幅して空間に送信している。また、アンテナで受信した上り方向のミリ波 FSK 信号と光信号から抽出したミリ波キャリアの乗算を行い、615MHz の中間周波信号形式で上り方向伝送してい

る。このように、ミリ波帯域に応用する場合は、光変調器の動作周波数を低減したり、光 SSB 化によりファイバ分散の影響を回避する手法が必要になる。

### 5. 構内 LAN 用無給電トランシーバ

図4には英国ブリティッシュテレコムで検討された無線 LAN への応用例を示す<sup>(8)</sup>。この方式は、デジタルコードレス電話と 2.4GHz 帯の無線 LAN の信号を対象に無線基地局電源を無給電化するもので、設置に際し電源の供給が不要となる。このためには、無線基地局において

- ① 集中制御局向けのレーザ素子をなくすこと
- ② 空間に送出するための高周波増幅器をなくすこと
- ③ 使用する各種素子が無バイアスで動作すること

といった困難な条件を満足する必要がある。図に示した例では、①について、上り回線用の光源 +17dBm を集中局から伝送し、無バイアスの電界吸収形ダイオードを使用して変調を加えている。また、②については、光検波器出力をそのまま空間に放射している。この例では、電波の送信強度は -11dBm 程度であり 10m 程度のエリアでの動作を想定している。近年、検波後の電波出力を高くする目的で単一走行キャリアフォトダイオード (UTC-PD) の適用も検討され、これを使用することに

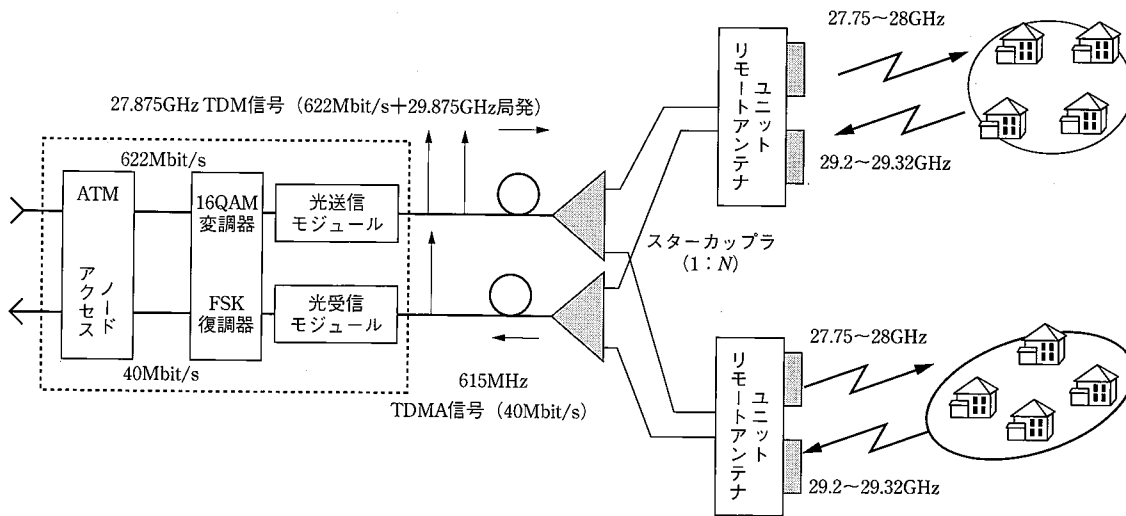


図3 FTTHへの応用例

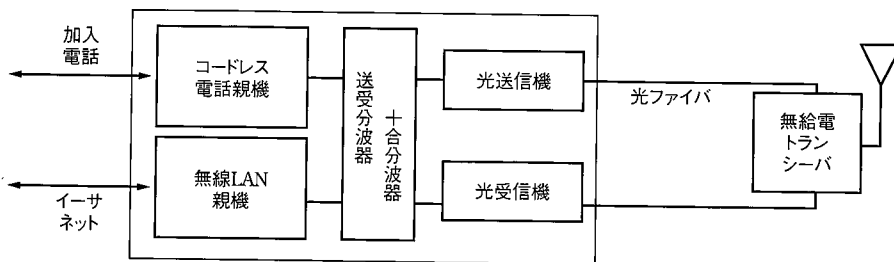


図4 無線 LAN 無線電トランシーバへの応用例

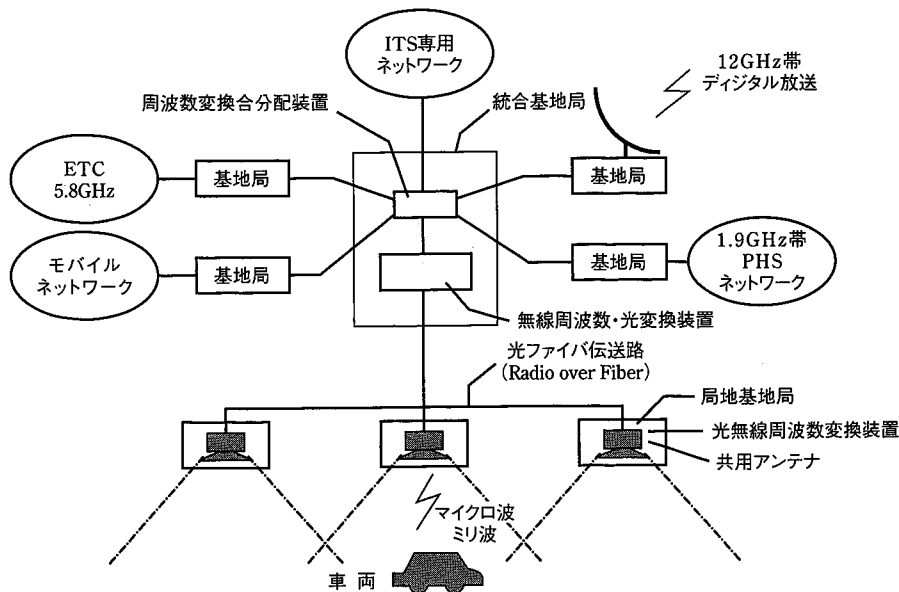


図5 ITSへの応用例

より、ミリ波帯域においても1mW以上の高周波出力を得ることが可能となってきている。

## 6. 高度道路交通システムへの応用

図5は自動車等の高速移動体と路側の通信を対象にマイクロ波フォトニクス技術を適用した例である<sup>9)</sup>。マイクロ波フォトニクス技術を使用する意義は下記のようにまとめることができる。

- ① 路車間情報通信に対する共通基盤の構築
- ② 高速移動時のハンドオーバー容易性
- ③ 簡易基地局の遍在化によるミリ波帯の利用可能性

実際に行われた実験では、各種の移動通信(PHS, PDC, IS-95)を高速道路自動料金収受システム(ETC)用の5.8GHz帯に変換し、ファイバ内を伝送させる方式であり、自動車ではこれを受信し、必要に応じて元の移動通信サービスに変換して使用する構成になっている。図に示すように、第3世代移動通信(IMT-200)やデジタル放送波等もターゲットに検討が加えられている。ファイバ長を延長することにより、ファイバ分散による両側波帯間の干渉が発生するため、4.で述べたと同様な解決策を必要とする。

## 7. 将来展望

高速光通信の領域では、全光処理ルーチングを旨としたフォトニックネットワーク、IP over WDM<sup>(10)</sup>あるいはフォトニックスイッチの研究が盛んに進められている。マイクロ波フォトニクスについてもこのような技術を適用可能であり、無線ハイウェイあるいは仮想無線空間として検討が進められている。現在、全光ネットワークはWDM、光波長スイッチを中心に検討が進められて

いるが、電波を対象にした場合には、符号分割多重(CDMA)、時分割多重(TDMA)等の形式のアドロップ、ルーチングを組み合わせ使用することも可能である。

## 8. むすび

本稿では、マイクロ波フォトニクス技術、特に通信への応用例について最新の状況を述べた。移動通信では電波の不感地域を解消する目的で実導入が行われており、今後、マイクロ波ミリ波帯域を利用した方式への適用を目的に各国から開発例が発表されている。将来は全光ネットワーク技術との融合が更に進むものと想定される。

## 文献

- (1) 井筒雅之, ほか, “特集号: マイクロ波フォトニクス探検隊,” エレクトロニクス, オーム社, vol.45, no.9, Sept.2000.
- (2) “Special issue on radio over fiber systems technology and applications,” H. AlRaweshidy, et al., eds, Wirel. Pers. Commun., Kluwer, vol.14, no.2, Aug. 2000.
- (3) 小牧省三, ほか, “特集号: マイクロ波と光技術の融合,” オプトロニクス, オプトロニクス社, vol.18, no.2, pp.107-112, Feb. 1997.
- (4) 塚本勝俊, 大塚裕幸, “光・電波融合ネットワークの現状と将来,” 信学誌, vol.80, no.8, pp.859-868, Aug. 1997.
- (5) T. Saito, et al., “Optical fiber link radio expansion system,” Sumitomo electric tech. review, no.40, pp.57-63, June 1995.
- (6) D. Wake, et al., “Measurement and simulation of W-CDMA signal transmission over optical fiber,” Electron. Lett., vol.30, no.10, 2000.
- (7) F. Deborigies, et al., “Progress in the ACTS FRANS Project,” Proceeding of the MWP '99, pp.115-118, 1999.
- (8) D. Wake, et al., “Microwave photonic devices, techniques and systems for fiber-radio,” CPT '99, pp.45-48, 1999.
- (9) M. Fujise, et al., “An Experimental Study on Multi-service Radio on Fiber Transmission System for ITS Road-Vehicle Communications,” MWP '99, pp.261-264, 1999.



小牧 省三 (正員)

昭45 阪大・工・通信卒。昭47 同大学院修士課程了。同年電電公社(現NTT)入社。平2 阪大・工・通信・助教授, 平4 同教授。デジタル無線通信方式並びに光通信方式の研究に従事。工博。昭51年度論文賞, 平5年度業績賞各受賞。IEEE 会員。



塚本 勝俊 (正員)

昭57 阪大・工・通信卒。昭59 同大学院修士課程了。阪大・工・助手, 講師を経て, 現在助教授。工博。光通信方式, 無線通信方式, 光電波融合通信方式の研究に従事。平7年度論文賞受賞。IEEE 会員。