Examination of the Dual-Band Microwave Wireless Access System Using Radio on Fiber Technique

Yasuhiro Kanaoka Member (Kansai Electric Power Co., Inc.)

Satoru Kashimura Member (Oki Electric Industry Co., Ltd.)

Satoru Shimizu Non-member (Oki Electric Industry Co., Ltd.)

Keywords: Wireless Communication, Radio on Fiber, Wireless Access

A Radio on Fiber (ROF) technique has a great potential in wireless communication systems. In this paper, we performed fundamental examination of microwave wireless access systems based on Radio on Fiber.

Table 1. Specifications of the transmission system

Frequency	5.15~5.25GHz, 2.4~2.483GHz
RF Input	10dBm(Central Station) >-88dBm(Base Station)
RF Output	>-88dBm(CS), 10dBm(BS)
Optical Output	10dBm(CS), 3dBm(BS)
Optical Input	>0dBm
Wavelength	1310nm band

First, we designed and constructed examination systems applying dual band (2.4GHz and 5GHz) multi service transmission. The composition and parameters of the equipment is shown in Fig. 1 and Table 1 respectively. Transmission characteristic measurement of this equipment was performed for 2.4GHz and 5GHz band using wireless LAN systems based on IEEE802.11a (5GHz) and IEEE802.11g (2.4GHz). The results are shown in Fig. 3 (5GHz) and Fig. 4 (2.4GHz). Fig.3 and Fig.4 show that particular degradation of the transmission characteristics is not observed, when the ROF transmission equipment is added. As a result of transmission experiment, this ROF Equipment was confirmed to have sufficient performance.

Then, application of FP-LD was considered in order to reduce the system cost, and particular degradation of the transmission

Fig. 3. Performance of the ROF system (5GHz)

Fig. 4. Performance of the ROF system (2.4GHz)

characteristics was not observed when FP-LD was used.

Finally, BIDI (Bi-directional) module which integrated LD and PD within one package was made for further cost reduction. By measuring the transmission performance, applying BIDI module to ROF systems was shown to be effective.

Fig.1. Composition of the transmission equipment

光電波融合技術を用いたデュアルバンド マイクロ波帯無線アクセスシステムの検討

正員 金岡 泰弘* 正員 樫村 聡**
非会員 清水 聡**

Examination of the Dual-Band Microwave Wireless Access System Using Radio on Fiber Technique

Yasuhiro Kanaoka*, Member, Satoru Kashimura**, Member, Satoru Shimizu**, Non-member

A Radio on Fiber (ROF) technique has a great potential in wireless communication systems. In this paper, we performed fundamental examination of microwave wireless access systems based on Radio on Fiber.

First, we designed and constructed examination systems applying dual band (2.4GHz and 5GHz) multi service transmission systems and confirmed to have sufficient performance by transmission experiment.

Then, application of FP-LD (Fabry Perot Laser Diode) was considered in order to reduce the system cost, and most degradation of the transmission characteristics was not observed when FP-LD was used.

Finally, BIDI (Bi-directional) module which integrated LD and PD within one package was made for further cost reduction. By measuring the transmission performance, applying BIDI module to ROF systems was shown to be effective.

キーワード：無線通信，光電波融合技術，無線アクセス

Keywords : Wireless Communication, Radio on Fiber, Wireless Access

1. はじめに

光電波融合技術⁽¹⁾⁽²⁾は無線信号をそのままの形で光信号に変換して伝送することにより，光通信の持つ低損失性，長距離伝送性，と無線通信の持つモバイル性の長所を併せ持つ技術である。

この技術を用いた無線システムの構成を図1に示す。光電波融合では無線機を親局(Central Station)に集中配置し，無線機の信号をそのままの形で光信号に変換して子局(Base Station)に伝送し，子局は親局からの光信号を電気信号に変換し電波発射に必要な所要パワーまで増幅するのみの機能を持つ。このため光電波融合技術によって無線システムを構築すると，子局の構成が簡素化されメンテナンス

時，無線機の手入れが親局のみの作業で済むために，工事回数は従来に比べて単純に1／子局の回数になる。また親局は建物内に設置されるため作業も容易になる。また光信号を分岐，合成することにより，1台の無線機の信号を複数の子局から電波として発射することが可能になるため，1台の無線機でサービスを提供することのできる範囲を拡大することが可能となる。言い換えると従来技術に比べて少ない無線機数で無線サービスを提供することが可能

図1 光電波融合技術を用いた無線システムの構成
Fig. 1. A composition of wireless system using radio on fiber technique.

* 関西電力(株) 電力技術研究所
〒661-0974 尼崎市若王子 3-11-20
Kansai Electric Power Co., Inc. Power Engineering R&D Center,
3-11-20 Nakoji, Amagasaki-shi 661-0974
** 沖電気工業(株) 無線技術研究開発部
〒239-0847 横須賀市光の丘 3-4
Oki Electric Industry Co., Ltd. Wireless Technology R&D Division
3-4 Hikarino-oka, Yokosuka-shi 239-0847

となる。このように光電波融合技術を適用することによって、柔軟性と将来性に富んだ無線システムを構築することができる。

光電波融合技術の適用先として、電波伝搬距離が短いミリ波帯無線への適用⁽³⁾⁽⁴⁾なども研究されているが、より近未来での光電波融合技術の実システムへの適用を考える場合には、ミリ波帯無線は無線自体がまだ研究途上である。このため本報告においてはミリ波帯無線よりも一般的なマイクロ波帯無線、その中でも無線規格のグレードアップに伴う更新の頻度が高いと考えられる無線アクセスシステムへの適用を検討した。

検討の中では、はじめにマイクロ波帯無線アクセスシステムとして用いられる 2.4GHz 帯と 5GHz 帯のデュアルバンドを伝送する光電波融合技術による伝送装置を試作し、複数の無線システムへの対応性を確認するために、2つの周波数帯それぞれにおいて 2 種類の無線システムの伝送特性を測定した。次に試作した装置を実サービスに適用する際に問題となる伝送装置のコストを低減するために、電気・光変換部分に安価な FP-LD を用いた伝送装置を試作し、伝送特性測定によって、FP-LD 採用の有効性を検討した。最後に更なるコスト低減のために、光・電気、電気・光変換部を一体化したモジュールを試作した。

2. 光電波融合技術を用いたマイクロ波帯無線アクセスシステム用伝送装置

〈2・1〉 伝送装置の概要 マイクロ波帯を用いた無線アクセスシステムは、2.4GHz 帯を用いるものと、5GHz 帯を用いるものがある。伝送装置の試作にあたっては、① 2つの周波数帯の無線システムを伝送可能とする、② 光電気変換方式はできるだけ廉価な方式を用いる、③ 将来的に光信号の部分で分岐を行うことを視野に入れた装置とする、の 3 点を考慮して設計した。

表 1 に試作した伝送装置の主要諸元を、図 2 に装置の構成を示す⁽⁵⁾。

表 1 伝送装置の主要諸元

Table 1. Specifications of the transmission system.

Frequency	5.15~5.25GHz, 2.4~2.483GHz
RF Input	10dBm(Central Station) >-88dBm(Base Station)
RF Output	>-88dBm(CS), 10dBm(BS)
Optical Output	10dBm(CS), 3dBm(BS)
Optical Input	>0dBm
Wavelength	1310nm band
RIN	< -150dB/Hz
Conversion efficiency:LD	0.1~0.3mW/mA
Conversion efficiency:PD	0.8A/W
Equivalent noise current density:PD	< 20pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$ (5GHz), < 10pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$ (2.4GHz)

本装置は 2.4GHz 帯と 5GHz 帯無線システムのデュアルバンド同時伝送を行うため、高周波増幅回路は各周波数帯毎の独立構成とし、両周波数帯の合成、分離は電気光変換前および光電気変換後に行った。次に電気光変換方式は、LD の直接変調方式と、光変調器を用いた外部変調方式が考えられ、マイクロ波帯を伝送するシステムの場合はいずれの方式も適用可能であるが、今回の試作に当たっては、コスト面から廉価な方式である、LD による直接変調方式を用いた。また LD には携帯電話信号等のアナログ伝送用に開発された DFB-LD (Distributed Feed Back Laser Diode) を用いた。

〈2・2〉 無線システムの伝送特性 現在マイクロ波帯無線アクセスシステムに用いられる専用の標準規格はまだ存在せず、独自規格を用いてサービスが行われている場合を除けば、2.4GHz 帯では IEEE802.11b, IEEE802.11g 規格による無線システムで、5GHz 帯においては IEEE802.11a と Hiswan 規格による無線システムにてサービスが行われている。また将来的にはこれらの規格のグレードアップされた規格によってサービスが行われること、IEEE802.16, IEEE802.20 で規格制定作業が行われている無線システムによってサービスが行われること等が考えられる。

ここでは、今回試作した伝送装置がマルチバンドにおいてマルチサービスに対応できることを確認するため、各周波数帯毎に複数の無線システムの伝送特性を測定した。

伝送特性の測定に使用する無線システムは、入手可能なものから一般的なものを選択するという観点から、IEEE802.11a, Hiswan, IEEE802.11b, および IEEE802.11g 準拠の市販無線システムを用いることとした。

測定は図 3 に示す実験構成によって実施した。伝送特性は光伝送装置の子局と無線機の間を高周波減衰器によって接続し、高周波減衰量に対する伝送スループット特性を測定することによって評価した。なお、高周波減衰量 20, 40, 60, 80dB は自由空間損失での伝送距離、約 0.1m, 1m, 10m 100m (2.4GHz) および約 0.05m, 0.5m, 5m, 50m(5GHz) に相当する。なお伝送スループット特性以外には、スプリアス信号が 2.4GHz 帯、5GHz 帯それぞれの高周波増幅器にて抑えられていることを確認した。

図 2 伝送装置の構成

Fig. 2. Composition of the transmission system.

図 3 実験構成

Fig. 3. Experimental setup.

図 4 ROF 伝送装置の特性 (IEEE802.11a)

Fig. 4. Performance of the ROF system (IEEE802.11a).

はじめに親局—子局の光伝送装置間を光コードによって直接接続した場合の親局から子局方向の伝送特性を、無線機を光電波融合による伝送装置を介さないで直接減衰器を用いて接続した場合の特性とあわせて図 4 から図 7 に示す。但し IEEE802.11 b のみについては、実験環境の問題から、光電波融合による光伝送装置の親局—子局間での高周波漏れによって光コードを用いた直接接続の特性が測定できなかったため、光コードの代わりに 400m の光ファイバを接続した場合の特性を示している。図 4 から図 6 において高周波減衰量が 20dB 程度と少ない領域でスループットが劣化している。これは自由空間損失での伝送距離 0.1m(2.4GHz), 0.05m(5GHz)が減衰量 20dB に相当することから、無線機の近接により無線機入力過大となって伝送特性が劣化することと同様の現象が発生したためと考えられる。また高周波減衰量に対する伝送速度、および伝送速度が劣化する減衰量が図毎に異なるのは、それぞれの無線機の通信可能距離が異なるためである。

図 5 に示される Hiswan の特性が悪いのは無線機自体が原因である。これは Hiswan の無線機を用いて実空間で無線伝送実験を行い、伝送距離 10m 以上で伝送速度が劣化したことにより確認した。次に図 4 から図 7 までそれぞれにおいて、無線機同士を直接接続した場合と、光電波融合による伝送装置を介した場合の伝送特性を比較した。その結果伝送装置を介しても最大伝送速度は劣化せず、伝送速度

図 5 ROF 伝送装置の特性 (Hiswan)

Fig. 5. Performance of ROF system (Hiswan).

図 6 ROF 伝送装置の特性 (IEEE802.11b)

Fig. 6. Performance of ROF system (IEEE802.11b).

図 7 ROF 伝送装置の特性 (IEEE802.11g)

Fig. 7. Performance of ROF system (IEEE802.11g).

が劣化する場合の減衰量の差も 3dB 以内と、複数の周波数帯で、それぞれ複数の無線システムを用いた場合において、光電波融合による伝送装置を付加することによる伝送特性の劣化は実用上十分に問題とならないレベルであった。

次に光伝送装置の親局—子局間を光ファイバで接続し、光ファイバの長さを変えた場合の無線システムの伝送特性を測定した。その結果を図 8 から図 11 に示す。

5GHz 帯無線システムの IEEE802.11a (図 8) では光ファイバ長を変化させたとき、ファイバ長が 800m では伝送特性の劣化は観測されず、900m 以上で特性の劣化が観測さ

図 8 光ファイバ伝送距離特性 (IEEE802.11a)

Fig. 8. Optical fiber transmission characteristic (IEEE802.11a).

図 9 光ファイバ伝送距離特性 (Hiswan)

Fig. 9. Optical fiber transmission characteristic (Hiswan).

れた。Hiswan (図 9) では光ファイバ長が 1200m まで特性の劣化がなく、それ以上では通信不可能であった。次に 2.4GHz 帯の IEEE802.11b (図 10) においては光ファイバ長 6.4km まで特性の劣化がなく、それ以上では通信不可能、IEEE802.11g においては (図 11) 光ファイバ長 500m まで伝送特性の劣化はなく、ファイバ長をそれ以上に延長した場合に特性が徐々に劣化し始めた。

最後に光ファイバを 400m、高周波減衰量を 40dB として、5GHz 帯の IEEE802.11a と 2.4GHz 帯の IEEE802.11b 同時伝送実験を行った結果、単独伝送時と同じ伝送速度が得られた。

〈2・3〉 無線システムの光ファイバ伝送距離特性 前項の実験結果では、2.4GHz 帯、IEEE802.11b 以外の無線システムについて、光ファイバの伝送距離がいずれも 1km 以下であった。これに対して無線システムを構築する場合、親局は無線サービスを提供する事業者の局舎に設置することが考えられ、その配置状況を考えると、光ファイバを伝送できる距離は数 km 以上が望ましいと推定することができる。

ここでは、IEEE802.11a について検討した。伝送距離の短い原因は、IEEE802.11a の規格が、主に室内での伝送を

図 10 光ファイバ伝送距離特性 (IEEE802.11b)

Fig. 10. Optical fiber transmission characteristic (IEEE802.11b).

図 11 光ファイバ伝送距離特性 (IEEE802.11g)

Fig. 11. Optical fiber transmission characteristic (IEEE802.11g).

想定して策定されており、プロトコル上そもそも長距離の伝送を想定されていないことが考えられる。これはプロトコルのうち ACK のタイミングを変更することで、IEEE802.11a を光電波融合技術によって 3km の光ファイバを伝送させている例⁶⁾があることから確認できる。

以上のように、光電波融合技術を用いた無線システムを試作して伝送特性評価を行った結果、複数の周波数帯における複数の無線システムを特性の劣化がなく伝送できることが確認できた。但し IEEE802.11b 以外の無線システムでは伝送距離が 1km 以下であり伝送距離の長距離化に問題があることが明らかになった。

3. 伝送装置の低コスト化検討

〈3・1〉 伝送装置への FP-LD の適用 光電波融合技術を用いたマイクロ波帯無線アクセスシステムにより無線サービスを提供する場合、無線機は親局に集中配置される。このため無線機の取替時には親局での作業で済み、無線機を各子局に分散配置する従来技術に対して、取替に要する費用を低く抑えることが可能となる。しかし、サービス開始のための初期コストについては、マイクロ波帯でのサービスでは標準規格に基づく量産化されている無線機を用いることが考えられるため、光部分での分岐を行って 1 台の

無線機のサービスエリアを拡大した場合においてさえも、現状では従来技術を用いてサービスを開始する場合の初期コストの方が、光電波融合技術を用いる場合よりも低いことが十分考えられる。このため光電波融合技術による伝送装置、とりわけ子局装置の低コスト化が必要となる。

伝送装置の中でのコストがかかっている部分としては電気・光変換部があげられる。これは光電波融合技術による伝送装置では、CNR が回線品質に大きく影響を与えるため、低雑音の DFB-LD を用いているためである。

DFB-LD より安価な LD として、構造が DFB-LD より簡単で、かつ広く使用されている FP-LD がある。FP-LD は DFB-LD と比較して、コスト面では有利であるが、複数のスペクトルで発振することから、雑音特性面で不利である。2 項の伝送装置の DFB-LD を FP-LD に置き換えた場合の光部諸元を表 2 に示す。RIN (相対雑音強度) が DFB-LD 使用時は両周波数とも -150dB/Hz 以下であるのに対して、FP-LD を用いることによって約 10dB の劣化が見られる。他のパラメータは DFB-LD 使用時と変わらない。

光電波融合技術を用いた光電気変換部の CNR は

$$C/N = \frac{omi^2 \times (P_{op} \times \eta)^2 / 2}{\left\{ RIN \times (P_{op} \times \eta)^2 + 2e(P_{op} \times \eta) + \langle I_{th} \rangle^2 \right\} BW} \quad \dots\dots\dots (1)$$

omi: LD 部変調度, RIN: LD 強度雑音,
P_{op}: 受光レベル, η : PD の変換効率,
e: 電子電荷, *I_{th}*: PD 部等価雑音電流密度,
BW: 帯域

表 2 光部主要諸元

Table 2. Parameters of optical components.

	5GHz band	2.4GHz band
Output : LD	2mW	2mW
RIN : LD	< -140dB/Hz	< -140dB/Hz
Conversion efficiency: LD	0.1~0.3mW/mA	0.1~0.3mW/mA
Conversion efficiency : PD	0.8A/W	0.8A/W
Equivalent noise current density : PD	< 20pA/ $\sqrt{Hz}$	< 10pA/ $\sqrt{Hz}$
Input : PD	1mW	1mW
Band width	16.8MHz	22.0MHz

表 3 光電気変換部の CNR 特性 (設計値)

Table 3. CNR characteristics of optical components (design value).

	CNR (5GHz)	CNR (2.4GHz)
DFB-LD	27.2dB	32.1dB
FP-LD	24.6dB	29.4dB

(RF input: -65dBm)

で算出される⁽⁷⁾。式中的変数のうち LD, PD 固有の値 (RIN, η , *I_{th}*) とシステムに依存する値 (BW) は調整不可能であるが、調整可能な *omi* の値を変更することによって、2 項の装置に準じた CNR 特性を有する伝送装置を設計した。

〈3・2〉 伝送装置の特性 伝送装置における光電気変換部の CNR 特性の設計値を表 3 に示す。この値は使用する無線機に適正な受信電力である -65dBm が入力された場合に式(1)から算出される CNR 特性で、FP-LD 使用時の *omi* を 5GHz 帯では DFB-LD 使用時の 0.5% から 1% に、2.4GHz 帯では DFB-LD 使用時の 1% から 2% に、それぞれ変更した。これにより DFB-LD 使用時に対して 5GHz 帯で 2.6dB, 2.4GHz 帯で 2.7dB の差しか有さない装置の設計が可能であった。

この設計に基づいて FP-LD を適用した光電波融合技術による光伝送装置の子局を試作した⁽⁸⁾。装置の構成は図 2 に示すものと同じであり、この装置を用いて図 3 の実験構成にて伝送特性を測定した。ここで、送信電力は 3dBm とした。従って、RF Attenuation の値が 68dB のところが、設計値における所望入力である -65dBm に相当する。

実験は光ファイバ長を 400m とし、無線装置システムには 5GHz 帯: IEEE802.11a 準拠, 2.4GHz 帯: IEEE802.11g

図 12 FP-LD 適用時の伝送特性 (5GHz)

Fig. 12. Transmission characteristics with FP-LD (5GHz).

図 13 FP-LD 適用時の伝送特性 (2.4GHz)

Fig. 13. Transmission characteristics with FP-LD (2.4GHz).

準拠の市販無線機を使用した。伝送特性測定結果をDFB-LD適用時とあわせて、図12(5GHz帯)、図13(2.4GHz帯)に示す。5GHz帯の場合は、スループットが劣化するRF Attenuationの値が65~70dBと設計値とほぼ同じになった。一方、2.4GHz帯は、さらに信号を減衰させても高スループットが得られている。これは、2.4GHz帯の無線機が設計値とした-65dBm以下の入力でも十分な通信特性が得られるようになってきているためである。5GHz帯の伝送特性においては、FP-LDを用いた場合とDFB-LDを用いた場合を比較すると、最大伝送速度は共に31Mbpsで両者の間に違いはなく、伝送速度が劣化する場合の減衰量の差が、FP-LDとDFB-LDとの設計値CNRの差分とほぼ同等の1~3dBであった。2.4GHz帯の伝送特性(図13)においても、最大伝送速度はFP-LD、DFB-LDのいずれを用いても同等(26Mbps)で、伝送速度が劣化する場合の減衰量の差が2種のLDを用いたときの設計値におけるCNRの差分とほぼ同等の1~2dBであった。

次に光ファイバの長さを変えたときの伝送特性の変化については、LDをFP-LDにしても伝送距離特性の変化は観測されなかった。

伝送特性の測定から安価なFP-LDを用いてもDFB-LDを用いた場合とほぼ同等の特性を得られたため、低コストな光電波融合技術による伝送システムの構築において、電気・光変換部へのFP-LD適用の有効性が確認できた。

〈3・3〉 FP-LDを用いた光電気、電気光一体型モジュールの試作 伝送装置の更なる低コスト化を行うために、FP-LDを用いて図14に示す構成の、光・電気(PD)、電気・光変換部(LD)を一体化モジュール(BIDI(Bi-directional)Module)を試作した。なお試作にあたっては表2に示す諸元を持つPD、LDを用いた。このモジュールは送受信を1.5 μ m帯と1.3 μ m帯の波長多重によって多重化しているために、伝送に必要な光ファイバが通常の半分の1心となり、モジュールの使用によりシステムの低コスト化を図ることが可能となる。

このモジュールを用いて図15に示す光伝送装置子局を試作し^⑨、伝送特性の測定を行った。光ファイバ長を400m、

無線システムをIEEE802.11a(5GHz帯)、IEEE802.11g(2.4GHz帯)としたときの、伝送特性を図16(5GHz帯)、図17(2.4GHz帯)にモジュール化を行わず、波長多重伝送も行わない場合の特性と併せて示す。5GHz帯2.4GHz帯ともモジュール化を行わない場合との特性差は数dB程度に収まっており、モジュール化による特性劣化はほとんどないことが確認できた。また光ファイバの伝送距離を変化させた場合の特性変化も観測はされなかった。

モジュール化を行わずにFP-LDを適用した場合の特性

図15 伝送装置の構成

Fig. 15. Composition of the transmission Equipment.

図16 BIDI モジュール適用時の伝送特性 (5GHz)

Fig. 16. Transmission characteristics with BIDI Module(5GHz).

図17 BIDI モジュール適用時の伝送特性 (2.4GHz)

Fig. 17. Transmission characteristics with BIDI Module(2.4GHz).

図14 BIDI モジュールの構造

Fig. 14. Composition of the BIDI module.

が、DFB-LD を適用した場合の特性とほぼ同等であることから、FP-LD を適用し、さらに、モジュール化を行った場合においても、伝送特性は DFB-LD 適用時とほぼ同等であるといえ、光電気変換部分のモジュール化が伝送装置の更なる低コスト化に有効であることが確認できた。

4. む す び

光電波融合技術を用いて、2.4GHz 帯と 5GHz 帯のデュアルバンドを伝送するマイクロ波帯無線アクセスシステムを検討した。

従来、このようなシステムを構築する場合、電気光交換部にアナログ伝送用に設計された DFB-LD を用いることが一般的であった。しかしながら、アナログ用の DFB-LD は高価であるために光電波融合技術普及の障害要因の一つになっていた。そこで本論文では安価な FP-LD を用いたシステムを構築して特性を評価した。そこで、本論文では安価な FP-LD を用いて、さらにこの LD と PD を一体化した BIDI モジュールにてシステムを構築し、その特性を評価した。その結果、FP-LD 組込んだ BIDI モジュールを用いた場合、従来に比べて伝送速度が低下する減衰量で評価して 6dB 以内の劣化に留まることが分かった。これは、実用上、十分に無視できる値である。以上の実験及び、考察により、光電波融合技術を用いたマイクロ波帯無線アクセスシステムに FP-LD を組込んだ BIDI モジュールを使うことは全く問題がないことを定量的に示した。

今後は光ファイバの伝送距離延長について解決を図っていくとともに、分岐合成等を含んだシステム全体の検討を実施する予定である。

(平成 16 年 11 月 1 日受付, 平成 17 年 9 月 12 日再受付)

文 献

- (1) H. Al-Raweshidy, and S. Komaki, ed.,: Radio over Fiber Technologies for Mobile Radio Communications Networks, Artech House Publishers, Boston (2002)
- (2) D. Wake : "Trends and Prospects for Radio over Fibre Picocells", Int. Topical Mtg. on Microwave Photonics, MWP'02, Tech. Digest pp.21-24, Awaji, Japan (2002-11)
- (3) T. Kuri, K. Kitayama, A. Stohr, and Y. Ogawa : "Fiber-optic Millimeter-wave downlink system using 60GHz-band external modulation", *IEEE Trans. Microwave Technol.*, Vol.17, No.5, pp.799-806 (1999-5)
- (4) M. Fujise : "Study on System Concepts for Multiple Services Wireless Communications based on ROF", *IEICE Trans. On Commun.*, Vol.J84-B, No.4, pp.655-665 (2001-4) (in Japanese)
藤瀬雅行:「ROF マルチサービス無線システムについて」, 信学論 B, J84-B, 4, pp.655-665 (2001-4)
- (5) Y.Kanaoka : "An Examination of an Application for a Radio on Fiber Technique to Micro Wave Band Wireless Access Systems", IEEJ Com. Society, Report, CMN-04-06, pp.27-30 (2004-1) (in Japanese)
金岡泰弘:「光電波融合技術のマイクロ波帯無線アクセスシステムへの適用に関する一検討」, 電気通信研資, CMN-04-06, pp.27-30 (2004-1)
- (6) T. Niiho, H. Sasai, K. Tanaka, K. Utsumi, and S. Morikura :

"Optical Transmission Performance of W-LAN Signal Specified in IEEE802.11a using Radio on Fiber Technique", Technical Report of IEICE RCS 2003-29 (2003-05) (in Japanese)

新保努武・笹井裕之・田中和夫・内海邦昭・森倉 晋 :「Radio on Fiber 技術を用いた IEEE802.11a 信号の光伝送実験」, 信学技報, RCS2003-29 (2003-5)

- (7) S. Shibuya, K. Emura, and T. Kanai : "Optical fiber transmission of RF signal for microcellular mobile communication system", Technical Report of IEICE SAT90 29-40 pp.19-26 (1990-9) (in Japanese)
渋谷 真・江村克己・金井敏仁 :「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」, 信学技報, SAT 90 29-40 pp.19-26 (1990-9)
- (8) S.Kashimura, S.Shimizu, and Y.Kanaoka : "FP-LD Module for Micro-wave Wireless Access System Using Radio over Fiber Technique", Proceeding of Electronics, Information and Systems Conference Electronics, Information and Systems Society, I.E.E. of Japan, GS5-4 (2004-9) (in Japanese)
樫村 聡・清水 聡・金岡泰弘 :「光電波融合技術を用いたマイクロ波帯無線アクセスシステム用 FP-LD モジュールの試作」, 電気学会 電子・情報・システム部門大会, GS5-4 (2004-9)
- (9) Y.Kanaoka, S.Shimizu, and S.Kashimura : "BIDI Module for Micro-wave Wireless Access System using Radio on Fiber Technique", Proceeding of Electronics, Information and Systems Conference Electronics, Information and Systems Society, I.E.E. of Japan, GS5-3 (2004-9) (in Japanese)
金岡泰弘・清水 聡・樫村 聡 :「光電波融合技術を用いたマイクロ波帯無線アクセスシステム用 BIDI モジュールの試作」, 電気学会 電子・情報・システム部門大会, GS5-3 (2004-9)

金 岡 泰 弘

(正員) 1964 年 5 月 20 日生。1987 年 3 月京都大学工学部電気工学科卒業。1989 年 3 月同大学院電子工学科修士課程修了。同年関西電力(株)入社, 主として, 光通信, 無線通信の研究開発に従事。現在, 同社電力技術研究所研究員。1999 年電気学会電気学術振興賞, 進歩賞受賞

樫 村 聡

(正員) 1970 年 7 月 24 日生。1994 年 3 月芝浦工業大学工学部通信工学科卒業。1996 年同大学院通信工学科修士課程修了。同年沖電気工業(株)入社, 主として無線端末, ソフトウェア無線, 光無線通信の研究開発に従事。現在, 同社無線技術研究開発部

清 水 聡

(非会員) 1963 年 7 月 17 日生。1987 年 3 月京都大学工学部電子工学科卒業。1995 年千葉大学大学院自然科学研究科博士課程修了。1987 年沖電気工業(株)入社, 主としてデジタル信号処理, 音響分析, 無線通信に関する研究開発に従事。現在, 同社無線技術研究開発部課長。工学博士。1995 年海洋音響学会論文賞受賞