光ファイバ無線技術の最近の進展

笹井 裕之, 新保 努武, 中曾 麻理子, 増田 浩一, 布施 優

松下電器産業(株) ネットワーク開発センター (〒571-8501 大阪府門真市大字門真1006)

Recent Progress of Radio over Fiber Technique

Hiroyuki SASAI, Tsutomu NIIHO, Mariko NAKASO, Kouichi MASUDA, and Masaru FUSE

Network Development Center, Matsushita Electric Industrial Co., Ltd,
1006 Kadoma, Kadoma, Osaka 571-8501

(Received November 24, 2004)

A Radio-over-Fiber technique based on subcarrier multiplexing is a promising technique for modern wireless systems and networks. In this paper, we describe several example applications of Radio-over-Fiber: third- and fourth-generation cellular phone radio base station systems for dead zone services, a millimeter-wave fixed wireless access system using IF transmission format and CWDM technology, and a multi-band/multi-channel wireless LAN distributed antenna system enabling centralized management and dynamic traffic capacity control. Some experimental results are also demonstrated.

Key Words: Radio-over-Fiber, Radio base station, Fixed wireless access, Wireless local area network, Subcarrier multiplexing

1. はじめに

Radio-over-Fiber (RoF) 技術は、マイクロ波帯、ミリ波帯の無線信号を光ファイバに閉じ込めて長距離伝送^{1,2)}することにより、無線通信における電波不感地を解消して、無線アクセスシステムのユビキタス化を実現できる魅力的な技術である。

本技術は、すでに、第2, 3世代の携帯電話基地局向け光伝送システム^{3,4)}として実用化⁵⁾されており、地下街等での携帯電話の使用を可能としている。さらに、次世代無線ネットワークに対しても、その活用が期待されており、無線LANシステム^{6,7)}、高度道路情報システム (Intelligent Transport Systems: ITS)、第4世代移動体システム等の5 GHz帯無線サービスへの適用が検討されている。

本稿では、まず、RoF技術の基盤である副搬送波多重 (SubCarrier Multiplexing: SCM) 光伝送方式について概説した後、RoF技術を応用した各種のシステムを紹介する。特に、コスト的な観点から、半導体レーザーを直接変調する方法に焦点を当て、具体的には、携帯電話用システム、固定無線アクセスシステム、及び無線LAN用RoFシステムへの応用技術に関する最近の成果を報告する⁸⁾。

2. 副搬送波多重光伝送方式

RoF技術は、アナログ電気信号を光信号に変換して伝送するSCM光伝送方式に基づく技術である。

デジタルデータ (1/0) を、光のON/OFFに置き換えて伝送するデジタルベースバンド光伝送に対し、SCM光伝送では、周波数分割多重 (FDM) された無線周波数 (RF) 信号を、光強度のアナログ変化に変換して光ファイバ伝送する。通常、半導体レーザーを光源として、FDM信号によりその駆動電流を変化させることによって出力光強度を変化させる。この光強度変調信号は、光ファイバ伝送後、ホトダイオードなどの受光素子により、2乗検波され、電気信号に再変換される。

SCM光伝送方式は、当初CATV等の映像信号の光伝送技術として研究が進められてきた。CATVシステムの伝送性能は、信号対雑音電力比 (CNR)、2次歪 (CSO)、3次歪 (CTB) 等で規定され、SCM光伝送においては、半導体レーザーの非線形性や、光ファイバ伝送中の多重反射等が主な品質劣化要因となる。これらの劣化要因を低減することにより、大幅な低雑音、低歪化が図られ⁹⁾、100 ch以上の伝送容量が実現されるとともに、光信号を光のまま直接増幅する光増幅器の多段接続構成が検討され^{10,11)}、最近では長距離 (~100 km)、多分配 (~10万分配) の可能性^{12,13)}も示されている。

これに対し、携帯電話等の無線信号をSCM光伝送する場合、使用周波数が高周波化する一方で、狭帯域化されるため、2次歪は信号帯域外に発生し、主として3次歪のみを考慮すればよい。一方、移動端末から送信される無線信号を光伝送する場合、移動端末とアンテナとの距離が変化し、いわゆる遠近問題が発生する。このため、光伝

送性能として、極めて大きなダイナミックレンジが要求される¹⁴⁾。以下では、RoF技術を用いたシステム応用について、具体的な例を紹介する。

3. 光ファイバ無線技術のシステム応用

3.1 携帯電話基地局向け光伝送システム

RoF技術は、携帯電話の基地局システムにおいて、特に不感地対策に広く実用化されている¹⁵⁾。これにより、2002年末までに、主要地下街の84%、地下鉄駅の59%、主要トンネル(500 m以上)の47%において携帯電話が使用可能となっており¹⁶⁾、さらにプライベートビルにおいても数百ヶ所にRoFシステムが導入され、高層ビルを中心に今後も広く採用される予定である。無線周波数がさらに高周波化する第3世代、第4世代携帯電話においては不感地が増えるため、RoFシステムの重要性がますます大きくなると考えられる。

以下では、ビル用のマルチドロップ型のRoFシステム¹⁷⁾を紹介する。Fig. 1に、その構成例を示す。親局(Base Station)は6台の子局(Remote Station)と3本の光ファイバで接続されている。親局では、第2世代(800 MHz帯、1.5 GHz帯)及び、第3世代(2 GHz帯)の合計3帯域の携帯電話信号を周波数分割多重により収容し、電気光変換部(E/O)と光電気変換部(O/E)を用いて光ファイバ中を双方向伝送する。

下り系では、カスケード接続された各子局が光信号を分配してそれぞれ受光し、各受光パワーがほぼ等しくなるよう、各カプラの分岐比が調整される。上り系については、光源の低コスト化のため、CATV等のアナログ伝送用に一般に用いられる分布帰還型半導体レーザー(DFB-LD)に代えて、ファブリペロ型(FP-LD)を使用している。通常、光アイソレータを内蔵しないFP-LDは、反射光の影響により伝送性能が劣化しやすいが、本システムでは、反射光に対する耐性を高めるため、直接変調時のチャー

プ特性を利用し、伝送する無線信号周波数より周波数の低い信号を重ねて光スペクトル拡張する方式³⁾が提案されている。なお、上り系では、2回線の光ファイバに、それぞれ3台の子局がカスケード接続される。本構成により、必要な光ファイバ回線を6回線から2回線に削減できるため、経済性において有利である。但し、各子局からの複数の光信号が合波されるため、光信号間のビート雑音が発生する可能性がある。本システムでは、光スペクトル拡張によるビート雑音低減効果に加え、波長選別したFP-LDの採用により、温度変動等による波長変化があっても、波長制御なしで干渉しないようマージンを設けている。上り下り両回線において、CNR > 70 dB, IM3 < -65 dBの性能を達成しており、800 MHz帯、1.5 GHz帯、2 GHz帯の3帯域共用を実現している。なお、IM3は3次相互変調歪の略である。

次世代の移動体通信システムにおいては5 GHz帯を使用して100 Mbps以上の高速伝送容量を目指している。また、ユーザ干渉を抑圧するために、アダプティブアレーアンテナ(AAA)の適用が検討されている。複数アンテナを並列的に設けるAAAシステムでは、アンテナと変復調器間を多数の信号線で接続する必要があるが、同軸等に比べて細径、軽量の光ファイバは、その敷設性において極めて有利である¹⁷⁾。さらに、WDM技術を用いれば光ファイバの芯数を削減することも可能である。

Fig. 2は、RoFを用いたAAAシステムの上り系の構成例である。Fig. 2において、 n 個のアンテナ素子からの無線信号は n 回線の光ファイバ伝送路を介してA/D変換・復調部へそれぞれ伝送される。なお、本構成においては、RF信号をそのまま光伝送するのではなく、IF信号に変換して光伝送する構成を採用している。周波数変換機能がアンテナ側に必要となるが、光リンクの雑音特性により制限要因の厳しいRF光伝送方式に比べ、優れた性能を確保できる可能性が高い。また、高性能な帯域フィルタを用いて、隣接チャネルへの歪成分の漏れこみを抑圧して、W-

Fig. 1 Block diagram of multi-drop RoF system for cellular phone base station.

Fig. 2 Block diagram of the up-link of adaptive array antenna system using RoF technology.

CDMA信号の光伝送ダイナミックレンジを拡大^{18,19)}した報告もある。

アンテナ素子数 n は、要求される性能に依存するが、一般に6~16程度が必要であり、受信ダイバシティの場合、この2倍を要する。さらに、3セクタ構成では数十本の信号線が必要となり、同軸ケーブルでは敷設性に大きな課題がある¹⁷⁾。このため、RoF技術は、魅力的なソリューションとなる可能性がある。

3.2 波長多重を用いたFWA光伝送システム

固定無線アクセス(FWA)は、ビル間通信や複数の加入者との同時通信などを無線で行うものであり、数十 Mbps 程度の高速アクセスを実現するものである。一般的な現在のFWAでは、最大半径4 km程度の無線エリアをカバーすることが可能であるが、より広範なエリアや、特に都市部での不感地帯をカバーする場合には、RoF技術の適用が有効である。Fig. 3に、RoF技術を適用したFWAシステムの構成例を示す^{20,21)}。また、Fig. 4には、基地局(BS)とリモートステーション(RS)のブロック構成を示す。BSはRF変調器及び復調器を、RSはアンテナを有し、電波により各端末(TS)との通信を行う。

1台のRSがカバーする4セクタに、それぞれ異なる周波数($f_{RF1} \sim f_{RF4}$)を設定し、無線周波数帯として32 GHzを使用している。

ミリ波信号を光伝送できる光外部変調器や高速受光素子等の高周波光デバイスは、現状では非常に高価であ

Fig. 3 Schematic diagram of FWA prototype system using RoF and CWDM technology.

Fig. 4 Block diagram of the base station and the remote station.

る。このため、上りリンク・下りリンクとも、RF信号を一旦、1.9 GHz帯の中間周波数(IF)に変換して、光伝送する構成を採用している。

さらに、波長が1.55 μm 帯のCoarse Wavelength Division Multiplexing(CWDM)技術を導入し、BSとRS間を、1本の光ファイバで接続している。これにより、以下の特徴を実現する。

- 1) 各IF信号は、連続的にアクセス可能であるとともに、BS-RS間の伝送において無線信号間の干渉を抑圧することが可能
- 2) 波長多重間隔が広いため、LDや波長多重・分離用の光フィルタの温度コントロールが不要
- 3) デジタル光通信システムで一般的に使用されているCWDM用のLD及び光フィルタを流用できることによる高い経済性

Table 1に、双方向8チャネル光伝送ユニットの目標性能を示す²²⁾。無線信号の伝送品質に影響を与えないように、無線信号品質に対して、10 dBのマージンを持たせて、所要CNR、IM3は、それぞれ、31 dB、31 dBとした。開発した試作機では、使用温度範囲-10~50 $^{\circ}\text{C}$ において、41 dB以上のCNRと31 dB以上のIM3性能を達成した。

CWDM技術を用いたRoFシステム用デバイスとして、分布帰還型半導体レーザーと受光素子、薄膜フィルムCWDMフィルタからなる、超小型CWDM用送信・受信モジュールの開発例がある²³⁾。

さらに、最近の報告では、ミリ波信号をそのまま光伝送する、シングルサイドバンド変調器²⁴⁾や高速応答可能な単一走行キャリアフォトダイオード²⁵⁾が、開発されている。これらの光デバイスの低コスト化が近い将来、実現されることを期待する。

3.3 マルチバンド/チャネル無線LANシステム

無線LANは、携帯電話に比較して高速アクセスを手軽に実現できるため、企業等での構内を中心に急速に普及している。しかしながら、アクセスポイントを簡単に設置できる反面、限られたエリアに複数のアクセスポイントが集中し、電波干渉などの問題を引き起こしつつあることが指摘されている。又、一度構築したシステムを異

Table 1 Target specifications of optical units.

Items	Downlink	Uplink
Radio modulation format	QPSK, 16QAM	QPSK, 16QAM
Frequency of IF signals [GHz]	1.9	1.9
Number of optical signals	4	4
Wavelength [nm]	1470-1530	1550-1610
CNR [dB]	> 31	> 31
IM3 [dBc]	< -31	< -31
Optical fiber (SMF) length [km]	3 (max)	3 (max)
Total optical loss [dB]	8±2	8±2

なる無線LAN規格にアップグレードする為には、全てのアクセスポイントを置き換える必要があり、管理面での課題が多い。

これらの課題を解決するため、RoF技術を導入したマルチバンド/チャンネル無線LANシステムが提案されている²⁶⁾。Fig. 5に提案システムのブロック構成を示す。センター側に設置される基地局(BS)は、無線LANのアクセスポイント(モデム)機能、RFマトリクススイッチ、電気光変換(E/O)、光電気変換(O/E)を有する。端末側に設置されるリモートアンテナユニット(RAU)は、電気光変換(E/O)、光電気変換(O/E)、RF部、アンテナを有し、無線信号により端末(WT)と通信を行う。

BS内のアクセスポイント機能は、RFマトリクススイッチにより、所望のE/O、O/Eと接続される。このスイッチ機能により、各々のRAUで使用するRFチャンネルを制御

し、各RAUが収容するWT数の変化に応じて、無線信号のトラフィック容量を適宜変更することができる。即ち、複数のアクセスポイント機能を各RAUが共有し、有効活用できるといった利点が得られる。

無線LANに使用できる周波数帯域から、周波数分割多重が可能な最大チャンネル数は、現状、2.4 GHz帯3 ch、5 GHz帯4 chの計7 chである。RoF技術を採用しているため、無線信号の変調方式に依存することなく伝送することが可能である。従って、2.4 GHz帯のIEEE802.11b及び11g、5 GHz帯のIEEE802.11aを混在して、使用することが可能である。

次に、RoFリンクとしての光伝送容量を確認するため、光伝送信号品質の評価を行った^{27,28)}。評価に当たり、Table 2に示したIEEE802.11の標準性能を参考としている。

Fig. 6に、下り系における光伝送性能の光変調度(OMI)依存性を示す。なお、2.4 GHz帯の無線LAN規格にはIEEE802.11b及び11gの2つがあるが、より性能の厳しい11gを前提とし、2.4 GHz帯の3 ch、5 GHz帯の4 chともOFDM-64QAM信号とした。

1 chのOFDM信号を光伝送した場合、OMIが3.5 %以上で所要CNR性能を満足する。一方、ACLRは、OMIが10 %程度以下の範囲ではCNRと同等の性能であるが、OMIがさらに増加するとLDの非線形歪成分により大きく劣化することが分かる。

同図には、伝送特性の計算値も併記した。なお、ACLRは、LDの非線形歪成分と雑音成分とからなるものとした。1 chの場合、CNR、ACLRの計算結果は、ともに測定結果と良好な一致を示していることがわかる。この算出方法を元に導出した7 chの伝送特性から、OMIが3.5 %～

Fig. 5 Block diagram of RoF multi-band wireless LAN distributed antenna system.

Table 2 Main specifications of the proposed WLAN system.

	IEEE 802.11a (5.2 GHz, OFDM-64QAM)		IEEE 802.11b (2.4GHz, CCK-11M)	
	ACLR (20 MHz offset)	≤ -25 dBc	Peak of sidelobe (greater than 11 MHz offset)	≤ -30 dB
Down link	CNR (18 MHz bandwidth)	≥ 40 dB	Peak of sidelobe (greater than 22 MHz offset)	≤ -50 dB
	EVM (@54Mbps)	≤ -25 dB	EVM	≤ 35 %
	Dynamic range of RF input signal (@E/O)	≥ 35 dB (@PER=0.1 / 64QAM)	Dynamic range of RF input signal (@E/O)	≥ 66 dB (@PER=0.08 / CCK)

Fig. 6 ACLR and CNR vs. OMI in single- and multi-channel transmission.

20%の範囲で所要性能を満たすことが分かる。

次に、上り系の基本的性能として、OFDM-64QAM信号(IEEE802.11a)とDSSS-CCK信号(IEEE802.11b)をそれぞれ1chずつ光伝送した場合のパケット誤り率(PER)特性を評価した。Fig. 7に、変調信号のCNRとPERの関係を示す²⁸⁾。いずれの無線LAN信号に対しても、理論値とほぼ同等のPERが得られており、光伝送による付加的な性能劣化要因は見られない。また、所要ダイナミックレンジも満たすことが確認されている²⁹⁾。

但し、上り系(RAU→BS)の性能からカバーできる無線エリアが制限されるため、光分岐により複数のRAUでカバーすることが提案されている。

以上の結果を元に、プロトタイプシステムを試作した。Fig. 8に、その概観を示す。BSには、IEEE802.11a, b準拠の無線LAN信号を、それぞれ2ch(計4ch)を出力するアクセスポイント機能を収容し、BS-RAU間の双方向光伝送に、波長分割多重技術を導入することにより、一芯の光ファイバで接続できる構成とした。最大伝送距離は、無線LAN信号のプロトコルが許容できる遅延時間で制限され、約700mである。遅延時間の制限を緩和させることにより、3km以上光伝送できることは確認済みである。端

Fig. 7 CNR vs. PER of WLAN signals.

Fig. 8 Developed BS RAU.

末側に設置するRAUの大きさは238×120×65mmと、A4サイズ以下の小型化を実現した。

今後の開発課題としては、市場への導入を加速するための低コスト化や、ビル内インフラとして他のサービスとの多重化などが考えられる。

最近では、RoFシステムのさらなる低コスト化を目的として、面発光レーザーの適用³⁰⁾や、マルチモードファイバの適用検討³¹⁾等が進められている。また、多重化については、周波数2.45GHzのOFDM-64QAM変調信号(IEEE802.11g準拠、54Mbps)と59.6GHzのDPSK信号(155Mbps)の同時光伝送実験³²⁾も報告されており、高速無線アクセスの可能性が示されている。

4. まとめ

RoF技術について、携帯電話基地局、FWAシステム、無線LANシステムへの適用を中心に、実用化動向及び研究開発動向を紹介した。RoF技術は、光ファイバ内に無線信号を閉じ込めて低損失で伝送、分配ができるため、周波数の再利用という観点からも有効な技術である。将来のユビキタスネットワーク構築に当たって、無線システムの役割は極めて大きなものとなりつつある中で、RoF技術はその基幹技術の一つとしてさらなる応用展開が期待される。

参考文献

- 1) D. M. Fye: *Proc. 40th VTC '90* (Orlando, 1990) p. 622.
- 2) H. Ogawa: *IEICE Trans. on Comm.*, Vol E76-B, **9** (1993) p. 1078.
- 3) H. Sasai, H. Yamamoto, K. Utsumi, and K. Fujito: *OSA TOPS* **12** (1997) p. 318.
- 4) H. Sasai, H. Yamamoto, M. Ishino, K. Utsumi, and K. Fujito: *Electron. and Comm. in Japan*, Part 1, **81**, No.11 (1998) p. 36.
- 5) H. Koyama, K. Nishioka, and K. Kato: *Technical Digest of the 1st Japan-Korea Joint Workshop on Microwave Photonics* (Osaka, 2000) p. 15.
- 6) H. Yamamoto, T. Niiho, K. Masuda, and S. Morikura: *Technical digest of the 2nd Korea-Japan Joint Workshop on Microwave-Photonics* (I-3, Seoul, 2001) p. 17.
- 7) T. Niiho, H. Sasai, K. Masuda and S. Morikura: *Technical Digest of International Topical Meeting on Microwave Photonics 2002* (Awaji, 2002) p. 25.
- 8) H. Sasai, T. Niiho, H. Yamamoto, K. Utsumi, and M. Fuse: *Technical digest of The 5th Japan-Korea Joint Workshop on Microwave and Millimeter-Wave Photonics* (Otsu, 2004) p. 35.
- 9) K. Fujito, T. Uno, T. Ichida, and H. Serizawa: *Technical digest of OFC '88* (New Orleans, 1988) p. 191.
- 10) K. Maeda, M. Fuse, and K. Fujito: *Technical digest of Optical Fiber Communication* (California, 1996) p. 318.
- 11) 布施 優, 工藤 義春, 前田 和貴, 雄谷 順, 石野 正人, 藤戸 克行: *電子情報通信学会論文誌B-I* **J78-B1** (1995) p. 553.

- 12) 鈴木 幹哉, 大森 昭, 早川 弘一, 式井 滋: 2003年電子情報通信学会通信ソサイエティ大会講演論文集(新潟, 2003) p. 424.
- 13) 増田 浩一, 光仙 賢亮, 笹井 裕之, 森倉 晋: 2003年電子情報通信学会通信総合大会講演論文集(仙台, 2003) p. 527.
- 14) 白石 俊, 大串 宏, 土屋 俊之, 富田 秀孝: 1991年電子情報通信学会総合大会予稿集(4,1991) p. 88.
- 15) Y. Ebine: *Technical Digest of International Topical Meeting on Microwave Photonics '99* (Melbourne, 1999) p. 249.
- 16) MPHPT: MPHPT Communication news **13** No. 24 (2003) p. 3.
- 17) 恵比根 佳雄: 電子情報通信学会第二種研究会資料 MWP02-4, (札幌, 2002) p. 23.
- 18) T. Ihara, H. Tsoka, K. Higuchi, and M. Sawahashi: *The 13th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications 2002* (Vol. 1, Lisbon, 2002) p. 255.
- 19) H. Sasai and S. Morikura: IEICE Trans. Electron. **E86-C** (2003) p. 1153.
- 20) M. Miyashita, M. Kurono, Y. Serizawa, H. Yamamoto, Y. Shoji, and H. Ogawa: *Technical digest of The 4th Topical Symposium on millimeter waves* (Yokosuka, 2002) p. 211.
- 21) H. Yamamoto, K. Utsumi, M. Miyashita, M. Kurono, Y. Serizawa, Y. Shoji, and H. Ogawa: *Technical digest of International Topical Meeting on Microwave Photonics 2002* (Awaji, 2002) p. 241.
- 22) K. Hase, H. Yamamoto, and K. Utsumi: *Technical Digest of the 5th Topical Symposium on Millimeter Waves* (Yokosuka, 2003) p. 133.
- 23) T. Ohira, H. Souda, H. Yamamoto, and K. Utsumi: *Technical digest of The 29th European Conference on optical communication and the 14th International Conference on Integrated Optics and Optical Fiber Communication* (Rimini, 2003) p. 71.
- 24) H. Murata, S. Yamamoto, S. Sasai, and A. Enokihara: *Technical digest of Optical Fiber Communication* (Atlanta, 2003) p. 65.
- 25) H. Ito, H. Fushimi, Y. Muramoto, T. Furuta, and T. Ishibashi: *Journal of Lightwave Tech.* **20** (2002) p. 1500.
- 26) K. Utsumi, H. Sasai, T. Niiho, M. Nakaso, and H. Yamamoto: *Technical Digest of International Topical Meeting on Microwave Photonics 2003* (Budapest, 2003) p. 363.
- 27) H. Sasai, T. Niiho, K. Tanaka, K. Utsumi, and S. Morikura: *Technical Digest of International Topical Meeting on Microwave Photonics 2003* (Budapest, 2003) p. 139.
- 28) T. Niiho, H. Sasai, K. Tanaka, K. Utsumi, and S. Morikura: *Technical Digest of European Conference on Optical Communication 2003* (Rimini, 2003) p. 782.
- 29) T. Niiho, K. Tanaka, K. Masuda, H. Sasai, and K. Utsumi: *Technical digest of the 5th Japan-Korea Joint Workshop on Microwave-Photonics* (Otsu, 2004) p. 171.
- 30) C. Carlsson, A. Haglund, P. Modh, J. Gustavsson, J. Vukusic, and A. Larsson: *Technical Digest of International Topical Meeting on Microwave Photonics 2003* (Budapest, 2003) post-deadline paper.
- 31) D. Wake, S. Dupont, J-P. Vilcot, and A. J. Seeds: *Technical Digest of International Topical Meeting on Microwave Photonics 2001* (California, 2002) p. 7.
- 32) 久利 敏明, 池田 研介, 戸田 裕之, 北山 研一, 高橋 良郎: 2004年電子情報通信学会エレクトロニクスソサイエティ大会講演論文集(徳島, 2003) p. 308.

レーザーワード

光ファイバ無線技術(radio-over-fiber)

マイクロ波, ミリ波などの高周波無線信号を直接光信号に変換し, 光ファイバを用いて無線信号の形態のまま光伝送する技術. そのため, 無線信号の変調方式, 多重方式などに依存することなく, トランスペアレントな伝送が実現できる. また, 光信号を受信する側では, 光信号を電気信号に変換するだけで簡易に無線信号を再生で

きるため, 携帯電話サービス等における地下街や高層ビル内などの電波不感地対策を始めとして, 実用化が進められている. 但し, 光伝送後に忠実に無線信号を再生することが必要であるため, 低雑音・低歪の高品質な伝送特性を実現することが求められる. (笹井 裕之)