

機関番号：12101
 研究種目：基盤研究(C)
 研究期間：2008～2010
 課題番号：20560346
 研究課題名(和文) ミリ波帯を用いた10Gbit/s次世代無線PAN伝送技術の研究
 研究課題名(英文) Research on 10Gbit/s transmission technologies for next generation WPAN using millimeter wave bands.

研究代表者
 梅比良 正弘 (UMEHIRA MASAHIRO)
 茨城大学・工学部・教授
 研究者番号：00436239

研究成果の概要(和文)：

3つの環境(リビングルーム、会議室、オフィス)で60GHz帯伝搬実験を行い、統計的SISO(Single Input Single Output)ミリ波チャネルモデルを開発し、これをミリ波WLANの国際標準化を行うTG IEEE802.11adに提案して、標準評価モデルとして採択された。また、伝搬実験により水平・垂直偏波の直交偏波を用いるミリ波MIMO通信の交差偏波干渉は十分に小さいことを明らかにした。この成果を元に、レイトレーシング法に基づくMIMO伝送シミュレーションプログラムを開発し、直線偏波を用いた2X2直交偏波MIMO伝送方式を提案して特性評価を行った。その結果、半値幅が30度以下のアンテナを用いれば、等化なし、ZF(Zero Forcing)法の簡易な信号処理で良好な誤り率特性が得られること、円偏波を用いた2X2直交偏波MIMO伝送では、直線偏波に比べて安定なMIMO伝送が可能であることを明らかにし、MIMO伝送による10Gbit/s次世代無線PANの実現性を示した。

研究成果の概要(英文)：

Millimeter wave statistical SISO (single input single output) channel models have been developed based on the propagation measurement results in the three environments (Living, conference, and cubicle room). They were proposed to TG IEEE802.11ad, and adopted as the channel model for performance evaluation. The measurements results show that the cross polarization interference is small enough for MIMO transmission. Using the above-mentioned results, the MIMO transmission simulation program using ray-tracing have been developed for performance evaluation. The orthogonal linear polarization based 2X2 MIMO transmission scheme has been proposed and the simulation results show that the proposed MIMO scheme can achieve good BER performance using simple ZF (Zero Forcing) scheme and directional antenna with the beam width less than 30 degree without the equalizer. They also show that circular polarization based MIMO can achieve more stable performance than linear polarization and demonstrate feasibility of 10Gbit/s PAN.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2009年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学、通信・ネットワーク工学

キーワード：ミリ波、MIMO、無線PAN、チャネルモデル

1. 研究開始当初の背景

60GHz 帯を用いて 2Gbit/s の伝送速度を提供するミリ波帯無線パーソナルエリアネットワーク (PAN) の標準化が IEEE802.15.3c で進められている。また、マイクロ波帯を用いる次世代無線 LAN 標準規格である IEEE802.11n では、最大 600Mbit/s の伝送速度が期待されている。

2. 研究の目的

本研究では、ミリ波帯を用いた 10Gbit/s を達成する次世代無線 PAN の伝送技術として、ミリ波帯 MIMO チャンネルモデル、ならびに 10Gbit/s の超高速 MIMO (Multiple Input Multiple Output) 伝送技術の確立を目的とする。

3. 研究の方法

(1) ミリ波帯チャンネルモデルに関しては、波長が数ミリメートルとなるミリ波特有の伝搬特性を考慮し、理論的・物理学的に妥当と考えられる確率統計に従ったチャンネルモデルを開発した。モデルの基礎となるのは、IEEE802.15.3c 標準規格などで利用されている統計的チャンネルモデルとし、ミリ波通信の利用が想定されるいくつかの屋内環境において伝搬実験を行い、実測データからモデルの各パラメータを推定する。本研究では、まずは SISO (Single Input Single Output) チャンネルモデルを開発し、円偏波や直線偏波などの偏波による、複数の指向性アンテナを利用した MIMO 伝送のための新たなミリ波帯 MIMO チャンネルモデルを確立した。このミリ波帯 MIMO チャンネルモデルの確立により、10Gbit/s を超える超高速伝送方式の最適化、チャンネル容量の推定が可能になる。

(2) MIMO 伝送技術に関しては、上記で得られたミリ波 MIMO チャンネルモデルをもとに、提案する MIMO 伝送方式の特性評価のために、計算機シミュレーションソフトウェアを開発し、特性評価を行った。ミリ波帯チャンネルモデルの検討結果から、ミリ波帯 MIMO チャンネルモデルはレイトレーシング法でよく近似できることがわかったため、MIMO 伝送方式の特性評価では、主としてレイトレース法を用いた。本研究では直線偏波、ならびに円偏波を用いた 2X2 直交偏波 MIMO 伝送方式を提案して特性評価を行った。

4. 研究成果

(1) ミリ波帯チャンネルモデルの研究については、初年度は、研究実施計画に基づきミリ波帯チャンネルモデルの開発に必要な図 1 の自動測定システムの開発、および開発したシステムを用いた電波伝搬測定を行った。デスクトップ

環境、オフィス環境、自動車内環境で測定したデータを解析し、各環境でのミリ波 MIMO 通信の可能性の検討およびチャンネルモデルの開発を行った。また本研究を遂行するにあたり必然的に派生した研究として、伝搬測定に必要な広角指向性を有するアンテナの開発や、伝搬測定の結果を踏まえた反射波を利用したミリ波通信の応用検討なども行った。

次年度以降は、ミリ波 MIMO (Multi Input Multi Output) チャンネルモデルに関して、図 2 に示すリビングルーム環境で 60GHz 帯伝搬実験を行い、垂直・水平の直交偏波を用いた実験結果より、図 3 に示す同一偏波の受信電力と比較して、図 4 に示すように伝搬路における交差偏波成分の発生は十分に小さく、直交偏波を用いるミリ波 MIMO 通信の交差偏波干渉は十分に小さいことを明らかにした。ミリ波帯のように高利得アンテナを使用する場合には、到来波は図 5 に示す単一のクラスターで表現できることが分かり、測定データの解析により表 1 のチャンネルモデルパラメータを抽出して、統計的 SISO (Single Input Single Output) チャンネルモデルを開発した。この他、リビングルーム環境以外にもカナル及びキュービクル環境でも同様にチャンネルモデルを開発し、ミリ波 WLAN の国際標準規格である IEEE802.11ad に提案を行い、標準評価モデルとして採択された。また、人体による遮蔽により直接波が受信できない場合が発生することを考慮し、ビームフォーミング技術を用いることで、反射波を利用して通信を継続する場合のアンテナビーム幅について検討し、送受信アンテナの半値角を 30 度程度とすることで、リビングルーム環境で通信継続確率が 20%程度改善されることを明らかにした。

(2) ミリ波帯 MIMO 伝送技術の研究に関しては、初年度は、研究計画に基づき、周波数選択性フェージングのある SISO チャンネルを想定し、周波数領域等化 (FDE : Frequency Domain Equalization) を用いたシングルキャリア伝送方式の特性評価のためのシミュレーションソフトウェアを開発した。さらに、送信フレームを変更せず、遅延分散が大きくなっても受信側のみで処理可能なオーバーラップ FDE を提案し、図 6 に示すように、提案方式の有効性を明らかにした。なお、チャンネル推定においても、補間を用いた手法を提案し、改善効果を明らかにした。

ミリ波帯 MIMO チャンネルモデルの検討の進捗に伴い、レイトレースを用いた MIMO 伝送方式の検討を進めた。ミリ波帯では指向性アン

テナを用いるため、遅延波の遅延時間は小さく、周波数選択性も小さい。また、直交偏波間干渉も小さく、チャンネル間の直交性が期待できるため、図7に示す水平・垂直偏波の直交偏波を用いたMIMO伝送方式を提案した。提案方式は、ミリ波帯チャンネルモデルの検討結果から導きだされたもので、直交偏波を用いることで、安定な2X2 MIMO伝送をZF法などの簡易な信号処理により実現でき、良好な特性も期待できる。これを確認するため、図8のオフィスルーム環境で1回反射のみを考慮したレイトレースにより、BER特性評価を行った。評価結果を図9に示す。ケース1は送信点の高さ=0.1m、受信点の高さ=0.02m、ケース2は送信点の高さ=0.1m、受信点の高さ=0.1m、ケース3は送信点の高さ=1.9m、受信点の高さ=0.02mである。図9に示すように、送受信点の高さの差を大きく、アンテナ半値幅を小さくすると良好な誤り率特性が得られることを明らかにした。さらに、図10に示すように、円偏波と直線偏波の場合の直交偏波2X2 MIMO伝送特性の評価を行い、円偏波と直線偏波では、反射係数の違いから、円偏波では直線偏波に比べ送受信点位置による特性変動を小さくできることを明らかにした。以上、提案の直交偏波MIMO伝送により、ZF法の簡易な信号処理で安定な2X2 MIMO伝送が可能であることを示した。

(3) ミリ波帯統計的SISOチャンネルモデルを開発し、ミリ波WLANの国際標準規格を作成しているIEEE802.11adに提案して標準評価モデルとして採択されたことは大きな成果である。ミリ波帯MIMOチャンネルでは、伝搬路での交差偏波成分が十分に小さいことは確認できたため、レイトレーシングを用いてミリ波帯MIMO伝送特性の評価を行った。直交偏波MIMO伝送方式を提案し、簡易なZF法で良好な特性が得られることを明らかにし、次世代WPANで10Gbit/sの実現可能性を示したことは大きな成果といえる。今後の課題として、統計的MIMOチャンネルモデルの開発と共に、直交偏波MIMO伝送方式の実験による実証が望まれる。

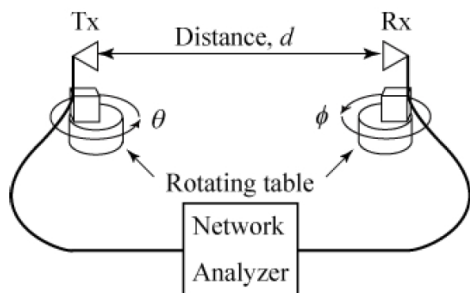


図1 伝搬自動測定システム

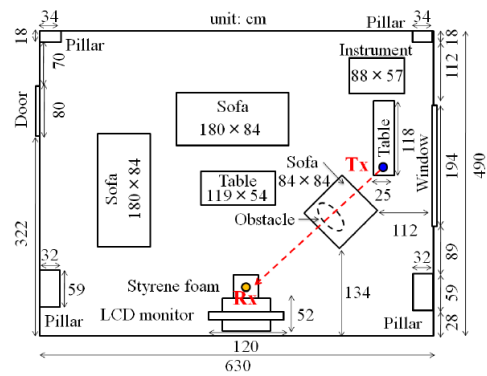


図2 リビングルーム環境床面図

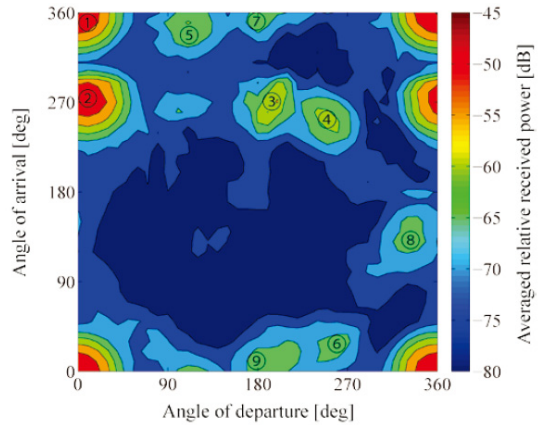


図3 垂直偏波受信電力分布
(図中番号は通信可能な到来波数)

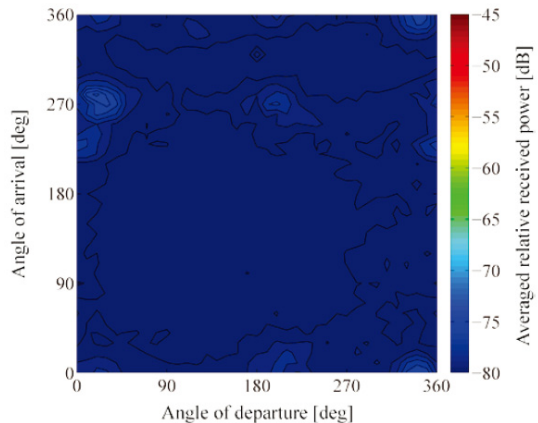


図4 垂直→水平交差偏波成分受信電力分布

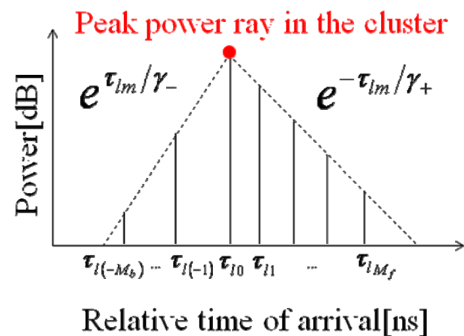


図5 イントラクラスターチャンネルモデル

表1 チャネルモデルパラメータ例
(リビソングルーム環境、アンテナビーム幅 30° の場合)

LoS /NLoS	Pol.	γ_- [ns]	γ_+ [ns]	$1/\lambda_-$ [ns]	$1/\lambda_+$ [ns]
LOS	V	0.652	1.29	1.79	1.11
	H	0.645	1.03	3.63	0.699
	C	0.623	0.854	4.88	0.968
NLOS	V	0.981	2.64	1.46	0.949
	H	2.66	2.14	0.424	0.984
	C	0.891	1.78	0.722	1.28

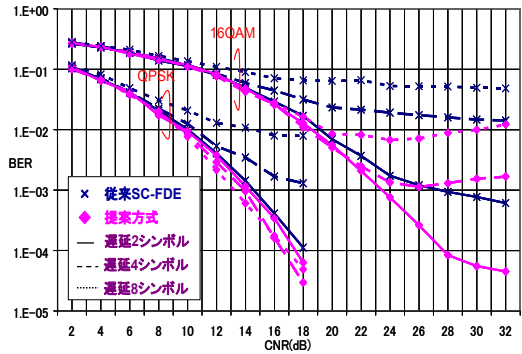


図6 提案 SC-FDE 方式と従来方式の BER 特性比較

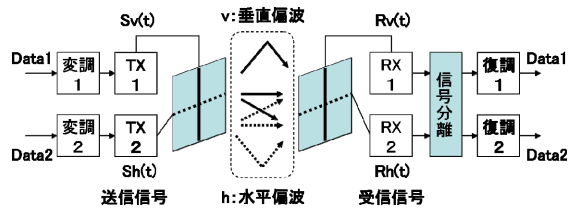


図7 60GHz 帯直交偏波 MIMO 伝送方式

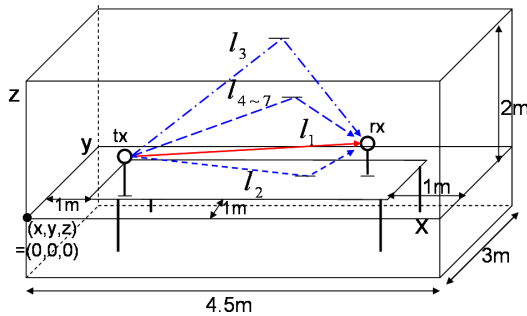
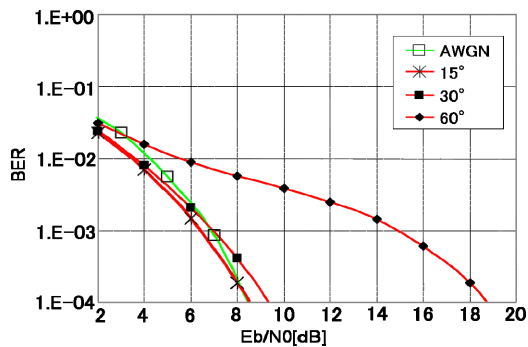
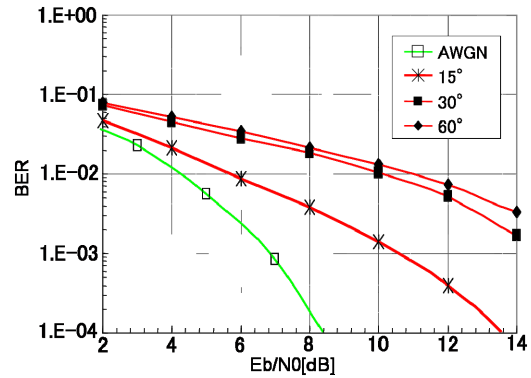


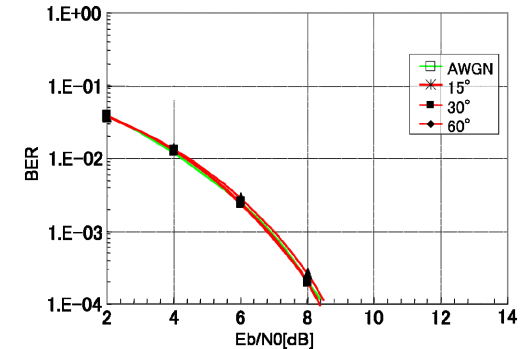
図8 レイトレースによる会議室環境のシミュレーション



(a) ケース 1



(b) ケース 2



(c) ケース 3

図9 会議室環境における 2X2 MIMO 伝送の BER 特性

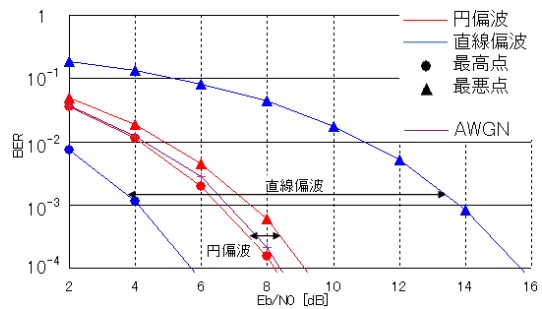


図10 直線偏波と円偏波による直交偏波 2X2 MIMO 伝送の BER 特性の比較

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 32 件)

1. 大友洋平、梅比良正弘、” 適応指向性アンテナを用いた無線 LAN ネットワークにおけるアンテナビーム幅の影響,” 電子情報通信学会総合大会 2011 年 3 月 15 日 東京都市大学 (東京都).
2. 高橋俊也、沢田浩和、加藤修三、” 屋内ミリ波通信における見通し通信路障害の改善方法,” 電子情報通信学会総合大会, 2011 年 3 月 14 日, 東京都市大学 (東京都).
3. 江林達矢、笹目利章、梅比良正弘、” レ

- イトレーシングによる円偏波を用いた直交偏波ミリ波 MIMO 伝送方式の特性評価,” 電子情報通信学会東京支部 第16回学生研究発表会, 2011年3月12日 東京電機大学 (東京).
4. 高橋俊也, 沢田浩和, 加藤修三, “反射波を用いた屋内ミリ波通信接続性改善手法におけるアンテナビーム幅と特性改善効果について,” 電子情報通信学会 SRW 研究会, 2011年3月3日, YRP (神奈川県).
 5. 笹目利章, 渡邊雄彦, 梅比良正弘, 沢田浩和, “レイトレーシングを用いた 60GHz 帯 WPAN における直交偏波 MIMO 伝送方式の特性評価,” 電子情報通信学会 技術研究報告 SRW2010-13, No.2 pp.39-44, 2010年10月18日, NICT 本部 (東京都)
 6. Hirokazu Sawada, Hiroyuki Nakase, Shuzo Kato, Katsuyoshi Sato, Hiroshi Harada, “Impulse Response Model and Parameters for Indoor Channel Modeling at 60GHz,” VTC Spring 2010, 17th May 2010, Taipei. 査読有
 7. 笹目利章, 渡邊雄彦, 梅比良正弘, “ミリ波 WPAN におけるシングルキャリア伝送方式の特性,” 電子情報通信学会東京支部 学生会研究発表会, March 13, 2010, 東京電機大学 (東京)
 8. 沢田浩和, 中瀬博之, 加藤修三, 梅比良正弘, 佐藤勝善, 原田博司, “高利得アンテナのためのミリ波屋内チャンネルモデル,” 電子情報通信学会 RCS 研究会, 2010年3月4日, YRP (神奈川県).
 9. 渡邊雄彦, 梅比良正弘, 沢田浩和, “ミリ波 WPAN におけるレイトレーシングを用いた直交偏波 MIMO チャンネルモデルの検討,” 電子情報通信学会 RCS 研究会, 2009年12月18日, 機械振興会館 (東京).
 10. Hirokazu Sawada, Hiroyuki Nakase, Shuzo Kato, Masahiro Umehira, Katsuyoshi Sato, Hiroshi Harada, “Millimeter-wave Propagation Characterization for Multi-gigabit Video Transmission System,” APMC 2009, 9th Dec. 2009, Singapore. 査読有
 11. Hirokazu Sawada, Hiroyuki Nakase, Shuzo Kato, Masahiro Umehira, Katsuyoshi Sato, Hiroshi Harada, “Polarization Dependence in Double Directional Propagation Channel at 60GHz,” PIMRC2009, 16th Sept. 2009, Tokyo, Japan. 査読有
 12. Hirokazu Sawada, Hikaru Iseya, Tomomi Satou, Masahiro Umehira, Hiroyuki Nakase, Shuzo Kato, Katsuyoshi Sato, Hiroshi Harada, “Double directional propagation measurement at 60GHz,” Proceedings of WPMC 2009, 10th Sept. 2009, Sendai, Japan. 査読有
 13. 沢田浩和, 中瀬博之, 加藤修三, 梅比良正弘, 佐藤勝善, 原田博司, “オフィス環境における 60GHz 帯ダブルディレクショナル伝搬測定,” 電子情報通信学会 RCS 研究会, 2009年8月3日, 東北大学 (宮城).
 14. Hirokazu Sawada, Tomohide Tomatsu, Gen Ozaki, Hiroyuki Nakase, Shuzo Kato, Katsuyoshi Sato, and Hiroshi Harada, “A Sixty GHz Intra-car Multi-media Communications System,” IEEE 69th Vehicular Technology Conference, 29th Apr. 2009, Barcelona. 査読有
 15. Hirokazu Sawada, Kaoru Yaginuma, Yuki Kawahara, Tsukasa Yoneyama, “60GHz Band Conical Horn Antenna with Choke Structure for Broad Beamwidth,” Proceedings of Global Symposium on Millimeter Waves 2009, 22th Apr. 2009, Sendai, Japan. 査読有
 16. Masahiro Umehira, Takehiko Watanabe and Hirokazu Sawada, “A Flexible Performance Improvement Technique Using Overlap FDE for Single Carrier Based Millimeter Wave WPAN,” Global Symposium on Millimeter Waves 2009, 20th Apr. 2009, Sendai, Japan. 査読有
 17. Hirokazu Sawada, Tomohide Tomatsu, Hiroyuki Nakase, Shuzo Kato, Katsuyoshi Sato, Hiroshi Harada, “A Sixty GHz Band Vehicle Area Network for Multimedia Communications,” 電子情報通信学会 RCS 研究会, 2009年3月4日, YRP (神奈川県).
 18. 渡邊雄彦, 梅比良正弘, 沢田浩和, “SC-FDE におけるオーバーラップ処理を用いた遅延スプレッド特性改善法,” 電子情報通信学会総合大会, B-5-55, 2009年3月19日, 愛媛大学 (愛媛).
 19. 下田悠介, 梅比良正弘, “非線形回線における CI/OFDM と OFDM の特性比較,” 電子情報通信学会東京支部 学生会研究発表会, No. 107, 2009年3月7日, 東京電機大学 (東京).
 20. 柳沼薫, 沢田浩和, 川原祐紀, 米山務, “広角指向性をもつ 60GHz 帯チョーク付きコンカルホーンアンテナ,” 電子情報通信学会 MW 研究会, 2009年3月6日, NHK 技研 (東京).
 21. 渡邊雄彦, 梅比良正弘, “オーバーラップ周波数領域等化における符号間干渉低減のためのフレーム構成法の検討,”

- 電子情報通信学会技術研究報告 RCS2008-234, pp.131~136, 2009年3月5日, YRP (神奈川).
22. 伊勢谷光, 佐藤智美, 沢田浩和, “デスクトップ環境における60GHz帯MIMO伝搬測定,” 東北地区若手研究者研究発表会, 2009年2月26日, 東北学院大学(宮城).
 23. 三浦善幸, 沢田浩和, “反射波を利用した60GHz帯無線通信の研究,” 東北地区若手研究者研究発表会, 2009年2月26日, 東北学院大学(宮城).
 24. 柳沼薫, 沢田浩和, 川原祐紀, 米山務, “60GHz帯広角指向性チョーク付きホーンアンテナの試作及びシミュレーション結果,” 東北地区若手研究者研究発表会, 2009年2月26日, 東北学院大学(宮城).
 25. Hirokazu Sawada, Kaoru Yaginuma, Masahiro Umehira, Katsuyoshi Sato, Shuzo Kato, Hiroshi Harada, “Non-Line-of-Sight Propagation Measurements at 60GHz for Millimeter-waves WPAN,” Asia-Pacific Microwave Conference 2008, 18th Dec. 2008, Hong Kong. 査読有
 26. 柳沼薫, 沢田浩和, 梅比良正弘, 佐藤勝善, 加藤修三, 原田博司, “NLOS オフィス環境における60GHz帯伝搬特性,” 電子情報通信学会ソサイエティ大会, no. B-1-41, 2008年9月18日, 明治大学(神奈川).
 27. 久万善広, 梅比良正弘, 沢田浩和, “オーバーラップFDEにおける周波数領域補間を用いたチャネル推定,” 電子情報通信学会ソサイエティ大会, no. B-5-59, 2008年9月18日, 明治大学(神奈川).
 28. 沢田浩和, 梅比良正弘, 佐藤勝善, 原田博司, “オフィス環境における60GHz帯見通し外伝搬特性,” 電子情報通信学会RCS研究会, 2008年8月29日, 北海道大学(北海道).
 29. 久万善広, 梅比良正弘, “オーバーラップFDEにおける短縮化CHU系列を用いたチャネル推定法の検討,” 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.108, No.188, pp.7~12, RCS2008-54, 2008年8月27日, 北海道大学(北海道).
 30. Hirokazu Sawada, Hiroyuki Nakase, Shuzo Kato, Katsuyoshi Sato, Hiroshi Harada, “A study of millimeter-wave communication using reflection waves at 60GHz,” 電子情報通信学会RCS研究会, 2008年8月29日, 北海道大学(北海道).
 31. 戸松友英, 尾崎元, 柳沼薫, 沢田浩和, 梅比良正弘, 佐藤勝善, 原田博司, “PC

- 周辺環境におけるミリ波帯経路損失測定,” 電気関係学会東北支部連合大会, no. 1H12, 2008年8月21日, 日本大学(福島).
32. 尾崎元, 戸松友英, 柳沼薫, 沢田浩和, 梅比良正弘, 佐藤勝善, 原田博司, “室内環境におけるミリ波帯見通し内電波伝搬測定,” 電気関係学会東北支部連合大会, no. 1H11, 2008年8月21日, 日本大学(福島).

[その他]

ホームページ等
東北大学電気通信研究所 加藤・中瀬研究室
<http://www.riec.tohoku.ac.jp/lab/kato/index-j.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

梅比良 正弘 (UMEHIRA MASAHIRO)
茨城大学・工学部・教授
研究者番号: 00436239

(2) 研究分担者

沢田 浩和 (SAWADA HIROKAZU)
東北大学・電気通信研究所・助教
研究者番号: 10360067