

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月21日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21560410

研究課題名（和文）ミリ波 Vehicle Area Network（VAN）伝送技術の研究

研究課題名（英文）Study on Transmission Technology for Millimeter-wave Vehicle Area Network

研究代表者

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

研究成果の概要（和文）：ミリ波 Vehicle Area Network（VAN）伝送技術を実現するための自動車内ミリ波チャンネルモデルを開発した。自動車内のミリ波伝搬特性を測定し、オムニアンテナを利用した場合に6-7nsの遅延スプレッドが観測され、複雑なイコライザは不要であることが分かった。さらにビームフォーミングアンテナなどの指向性アンテナを用いれば、遅延スプレッドは1-2nsまで小さくなり、基本的なシングルキャリア変調とレイクレーシーバで1Gbpsの通信が実現できることを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：A millimeter-wave channel model in the car has been developed to realize millimeter-wave vehicle area network（VAN）transmission technologies. By measuring the millimeter-wave propagation characteristics in the car, the results show the maximum delay spread of 6 - 7 ns can be achieved with Omni antennas without complicated equalizers. Feasible advances in beam forming antenna performance will reduce the maximum delay spread inside the car to only 1 - 2 ns. This result proves that millimeter-wave vehicle area networks can be achieved by employing a basic single carrier modem with simple rake receivers; no equalization is needed.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2010年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
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 VAN, 60GHz, チャンネルモデル

## 1. 研究開始当初の背景

近年のワイヤレス技術の進歩は目覚しく、携帯電話や無線 LAN, RFID など音声や映像などのデータ伝送だけでなく、センサや遠隔制御にまで幅広く利用されている。通信速度も高速化されており移動時に 100Mbit/s、静止時に 1Gbit/s の伝送速度を目標とした次世代携帯電話の研究開発が進められている。さらに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。ギガビットクラスの通信速度を実現するには、現在無線 LAN に利用しているマイクロ波帯での広い周波数帯域の確保は困難と考えられ、数 GHz の広い帯域を利用可能な 60GHz 帯などのミリ波帯の活用が望まれている [1]。特に 60GHz 帯は世界的にも欧米やオーストラリア、アジア各国で免許不要の周波数帯に

指定されていることから、現在この 60GHz 帯を利用して 1Gbps を越える通信速度を達成する無線通信システムの国際標準化が IEEE802.15.3c[2]や IEEE802.11ad[3]で行われている。ミリ波の広帯域性を利用したアプリケーションとしては屋内での高画質映像伝送や高速データダウンロードなどが提案されている。

## 2. 研究の目的

本研究では 60GHz 帯を自動車内での通信や車内と車外との通信に利用するミリ波 Vehicle Area Network(VAN)伝送技術を確立する。車車間や路車間の通信については、マイクロ波帯を利用した無線 LAN の IEEE802.11a をベースとして IEEE802.11p タスクグループ[4]で標準化が進められているが、数百 Mbps から 1Gbps 程度の通信速度を必要とする車内のエンターテイメントアプリケーションや、車の各種センサとモニタとの信号伝送を統合したマルチメディア通信システムを実現するためには、広帯域なミリ波帯の利用が有効と考えられる。またバックモニターからの映像やセンサ信号の伝送を考慮すると高信頼性と低遅延性がこのシステムに要求される。具体的な研究内容としては、60GHz 帯における車内環境、および車内-車外間を伝搬路とした場合のチャンネルモデルの確立、ならびに、信号処理量が小さく高速伝送に適した伝送方式技術の開発を行う。

## 3. 研究の方法

本提案のミリ波伝送技術を用いたミリ波 VAN 伝送技術の研究は、提案者がこれまで行ってきたミリ波 Personal Area Network (PAN)チャンネルモデル、ビームフォーミング技術ならびにミリ波伝送方式技術の研究を更に発展させるものである。ミリ波帯チャンネルモデルに関しては、提案者は IEEE802.15.3c 標準化において、ミリ波帯無線 PAN のチャンネルモデルの提案を行い、15.3c グループの物理層評価用標準チャンネルモデルとして採択されるに至った[5]。このチャンネルモデルでは、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仮定して、実測データからモデルの各パラメータを推定する手法を用いた[6]。本研究では、開発したミリ波帯チャンネルモデルをさらに発展させ、車内における指向性アンテナを利用した場合の新たなミリ波帯 VAN チャンネルモデルを確立する。そしてミリ波帯車内チャンネルモデルの確立により、1Gbit/s を超える高速伝送方式の最適化を行う。また金属壁に囲まれた車内で通信を行う場合、多くの反射波が発生し干渉

の原因になると予測されるため、アンテナの指向性を制御することで最適なパスを選択して遅延スプレッドの低下や受信電力の増加効果を得ること検討することが必要になると考えられる。この指向性制御技術については標準化において提案したビームフォーミング技術[7]をもとに検討を行い、最適なパスを選択できた場合に 1Gbps の通信速度を実現できる最も簡易な伝送方式の検討と最適化を行う。

## 4. 研究成果

ミリ波 Vehicle Area Network (VAN) 伝送技術を実現するための所期の目的としていた、ミリ波チャンネルモデルの開発および通信方式評価は達成された。

### (1)自動車内ミリ波伝搬測定

車内ミリ波伝搬特性を明確化するため、図 1 の測定システムを開発し、受信電力と遅延スプレッドの測定を行った。測定周波数は 61-64GHz とし、送信アンテナは 2.2dBi のオムニアンテナ、受信アンテナには 22dBi のホーンアンテナを使用し、受信アンテナを 360° (5° ステップ)回転させて、電力遅延プロファイルを測定した。カーナビゲーション装置を中央制御装置と想定し、図 2, 3 に示すように送信アンテナをダッシュボード上に配置し、受信アンテナは車内の助手席 (Rx1)、後部座席 (Rx2)、トランクルーム (Rx3) に配置した。図 4 に示す測定結果から、各場所での遅延スプレッドは最大で 6-7ns 程度となり、複雑なイコライザは不要であることが分かった。さらにビームフォーミングアンテナなどの指向性アンテナを用いて、直接波もしくは適切な反射波を受信できる場合には、遅延スプレッドは 1-2ns まで小さくなり、基本的なシングルキャリア変調とレイクレーバで 1Gbps の通信が実現可能であることを明らかにした。

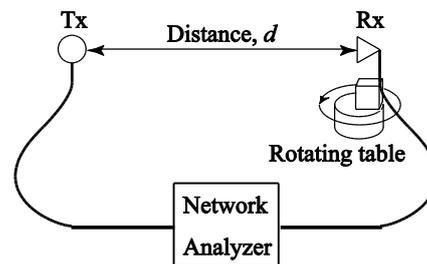


図 1 伝搬測定システム

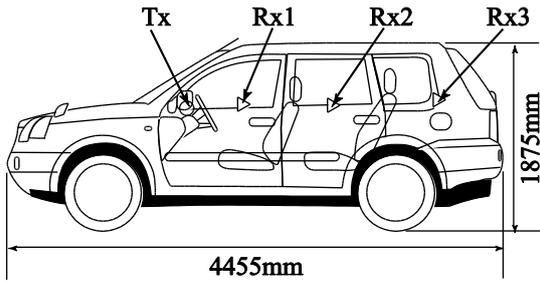


図2 車内送受信アンテナ位置 (側面図)

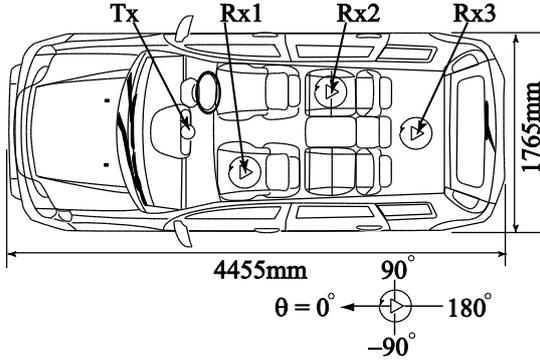
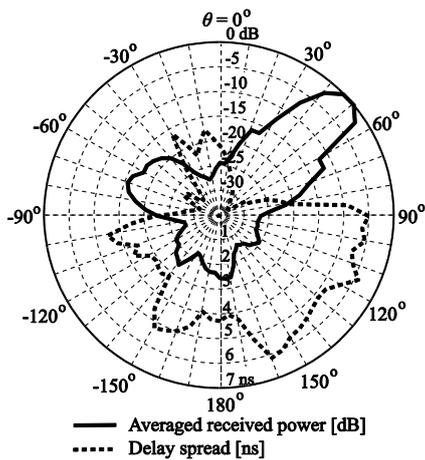
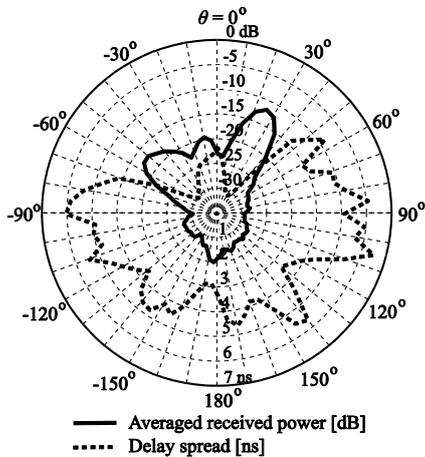


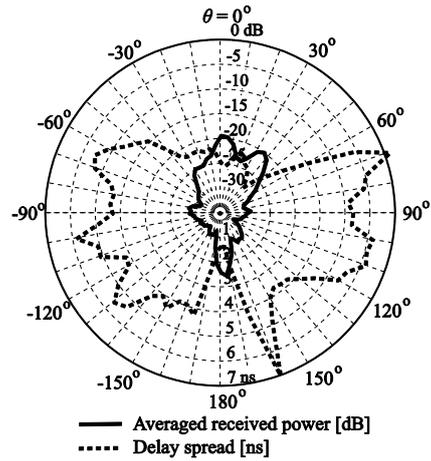
図3 車内送受信アンテナ位置 (上面図)



(a)



(b)



(c)

図4 各受信位置での受信電力と遅延スプレッド測定結果, (a) Rx1, (b) Rx2, (c) Rx3

## (2) 自動車内ミリ波チャネルモデルの開発

回線設計に必要なパスロスモデルおよびフェージング環境を表すのに必要なインパルスレスポンスモデルを測定データの統計解析から求め、伝送特性の評価シミュレーションを行うための自動車内ミリ波チャネルモデルを開発した。パスロスモデルは図5に示す送受信アンテナ間距離に対するパスロス係数を求めてモデル化を行った。インパルスレスポンスモデルについては、電力遅延プロファイルの測定データから考察し、従来のマイクロ波帯で利用されてきたマルチクラスタではなく、図6に示すシングルクラスタの指数関数減衰モデルが適用できると判断し、クラスタ内のレイの減衰係数と到来比率(ポアソン過程に従うと仮定)を図7, 8に示す統計解析から求めてモデル化を行った。インパルスレスポンスモデルは式(1)-(3)で表され、ビームフォーミングアンテナを使用した場合の、最も受信電力の大きくなる最適な第1候補のパスと次に受信電力の大きい第2候補のパスについて、各チャネルモデルパラメータを求めた結果が表1となる。

$$h(t) = \sum_{k=1}^N \beta_k e^{j\theta_k} \delta(t - \tau_k) \quad (1)$$

$$|\beta_k|^2 = e^{-\frac{\tau_k}{\gamma}} \quad (2)$$

$$P(\tau_k | \tau_{k-1}) = \lambda e^{-\lambda(\tau_k - \tau_{k-1})}, k > 0 \quad (3)$$

ここに、 $k$  は到来波の番号、 $N$  は到来波数、 $\beta_k$  はパス利得、 $\theta_k$  は位相、 $\tau_k$  は到来時間、 $\gamma$  は減衰係数、 $\lambda$  は到来比率である。

モデルの妥当性は生成したレスポンスと実測値との平均遅延スプレッドの差が 1ns 以内であることから確認した。

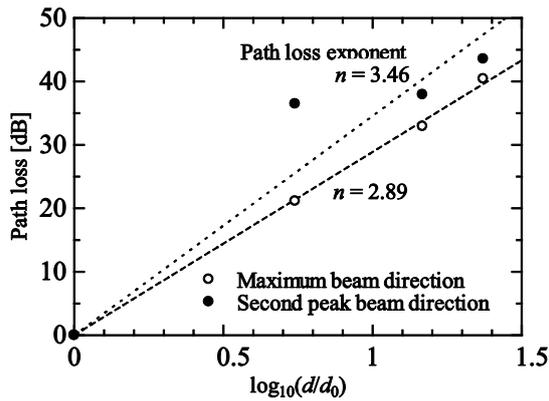


図5 パスロス係数導出(基準距離  $d_0=100\text{mm}$ )

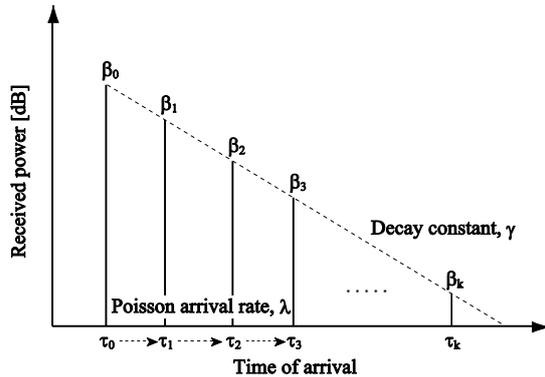


図6 シングルクラスインパルスレスポンスチャンネルモデル

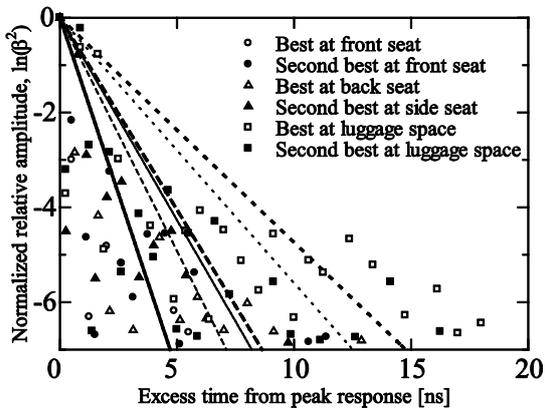


図7 減衰係数の導出

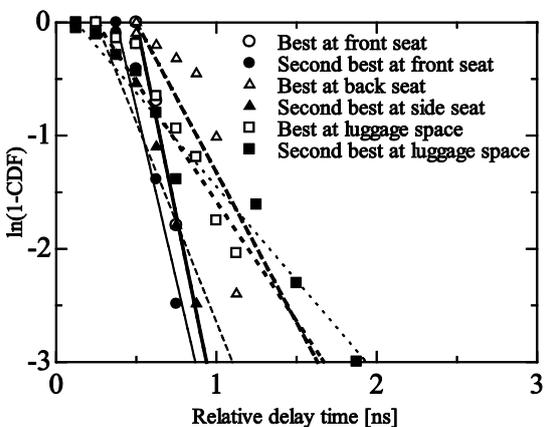


図8 到来比率の導出

表1 チャンネルモデルパラメータ

Rx position	Received power direction	Gamma $\gamma$ [ns]	Lambda $1/\lambda$ [ns]	Delay spread of model	Delay spread of meas.
Front seat	Best	0.6724	0.146	0.645	0.447
	Second best	1.171	0.165	0.165	0.856
Back seat	Best	1.234	0.377	1.199	0.834
	Second best	1.016	0.283	0.976	1.000
Luggage space	Best	2.109	0.474	2.034	2.060
	Second best	1.645	0.604	1.561	1.341

参考文献

[1]総務省電波利用ホームページ 周波数割り当て・公開, <http://www.tele.soumu.go.jp/j/freq/index.htm>

[2]IEEE 802.15 WPAN Millimeter Wave Alternative PHY Task Group 3c (TG3c), <http://www.ieee802.org/15/pub/TG3c.html>

[3]Status of Project IEEE 802.11adm [http://www.ieee802.org/11/Reports/vht\\_update.htm](http://www.ieee802.org/11/Reports/vht_update.htm)

[4]Status of Project IEEE 802.11 Task Group p, Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE), [http://www.ieee802.org/11/Reports/tgp\\_update.htm](http://www.ieee802.org/11/Reports/tgp_update.htm)

[5]Channel Model Sub-committee Final Report: 07/584r1 <http://www.ieee802.org/15/pub/TG3c.html>

[6]H. Sawada, Y. Shoji, C.S. Choi, "Proposal of novel statistic channel model for millimeter-wave WPAN," Proceedings of APMC 2006, No. FR4D-3, Nov. 2006.

[7]J. Wang, P. C. Woo, C. S. Sum, Z. Lan, F. Kojima, T. Baykas, R. Kimura, R. Funada, H. Harada, S. Kato, H. Sawada, I. Lakkis, "Robust and Highly Efficient Beamforming Procedures for 60GHz WPAN," IEEE 802.15-08-0190-00-3c

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)

[雑誌論文] (計1件)

1. Hirokazu Sawada, Hiroyuki Nakase, Katsuyoshi Sato, and Hiroshi Harada, "A Sixty GHz Vehicle Area Network for Multimedia Communications," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 27, No. 8, pp.1500-1506, Oct. 2009. (査読有)

[学会発表] (計 36 件)

1. 高橋俊也、沢田浩和、加藤修三、ミリ波通信接続性改善に用いる反射体サイズに関する検討、電子情報通信学会総合大会、2012年3月23日、岡山
2. 沢田浩和、加藤修三、金属積層板ミリ波低損失ナロービームアンテナ、電子情報通信学会ソサイエティ大会、2011年9月14日、札幌
3. 佐藤洋介、藤田和矢、沢田浩和、中瀬博之、加藤修三、スリット付きミリ波8素子ダブルスロットアレイアンテナ、電子情報通信学会ソサイエティ大会 2011年9月14日、札幌
4. 高橋俊也、沢田浩和、加藤修三、複数の反射体を用いたミリ波室内通信の接続性改善、電子情報通信学会ソサイエティ大会2011年9月14日、札幌
5. 藤田和矢、沢田浩和、加藤修三、ワイヤレスハーネス通信システムの検討、電子情報通信学会ソサイエティ大会 2011年9月14日、札幌
6. 井上大輔、藤田和矢、佐藤雄一、包中尉、沢田浩和、加藤修三、ワイヤレスハーネス通信システムの信頼性評価における一検討、電気関係学会東北支部連合大会、2011年8月25日、多賀城
7. 包中尉、井上大輔、佐藤雄一、藤田和矢、沢田浩和、加藤修三、ワイヤレスハーネス通信用電波ホースとアンテナの整合性についての検討、電気関係学会東北支部連合大会、2011年8月25日、多賀城
8. 佐藤雄一、井上大輔、包中尉、藤田和矢、沢田浩和、加藤修三、ワイヤレスハーネス通信におけるアンテナ半値角の影響、電気関係学会東北支部連合大会 2011年8月25日、多賀城
9. 佐藤洋介、沢田浩和、加藤修三、アンテナ素子間隔を考慮したダブルスロットアレイアンテナの小型化、電子情報通信学会 SRW 研究会、2011年8月22日、東京
10. 高橋俊也、沢田浩和、加藤修三、屋内ミリ波通信における反射体設置効果の統計評価、電子情報通信学会 SRW 研究会、2011年8月22日、東京
11. Yosuke Sato, Kazuya Fujita, Hirokazu Sawada, Hiroyuki Nakase, Shuzo Kato, A Millimeter-wave 8-element Double Slot Array Antenna for High Gain Beam-forming, Global Symposium on Millimeter Waves 2011, May 23-25, 2011, Espoo, Finland
12. 佐藤洋介、藤田和矢、沢田浩和、中瀬博之、加藤修三、ミリ波8素子ダブルスロットアレイアンテナの開発、電子情報通信学会総合大会、2011年3月14日、東京
13. 藤田和矢、沢田浩和、加藤修三、ワイヤレスハーネス通信のための電波ホースの信頼性評価、電子情報通信学会総合大会、2011年3月14日、東京
14. 井上大輔、藤田和矢、佐藤洋介、沢田浩和、中瀬博之、加藤修三、ワイヤレスハーネスを用いたマルチチャネル伝送の一検討、電子情報通信学会総合大会、2011年3月14日、東京
15. 佐藤洋介、藤田和矢、沢田浩和、中瀬博之、加藤修三 ミリ波ダブルスロットアレイアンテナの開発、電子情報通信学会 SRW 研究会、2011年3月3日、横須賀
16. Hirokazu Sawada, Kazuya Fujita, Shuzo Kato, Katsuyoshi Sato, Hiroshi Harada, Impulse Response Model for the Cubicle Environments at 60GHz, APMC2010, 2010年12月10日、横浜
17. Shunya Takahashi, Hirokazu Sawada, Hiroyuki Nakase, Shuzo Kato, Connection Probability Enhancement Using Artificial Reflectors for Millimeter Wave Communications, APMC2010, 2010年12月10日、横浜
18. Yosuke Sato, Kazuya Fujita, Hirokazu Sawada, Shuzo Kato, Design and Performance of Beam-forming Antenna with Discrete Phase Shifter for Practical Millimeter-Wave Communications Systems, APMC2010, 2010年12月9日、横浜
19. Kazuya Fujita, Hirokazu Sawada, Shuzo Kato, Intra Car Communications System Using Radio Hose, APMC2010, 2010年12月8日、横浜
20. 佐藤洋介、藤田和矢、沢田浩和、中瀬博之、加藤修三、ミリ波4素子スロットアレイアンテナの開発、電子情報通信学会 SRW 研究会、2010年12月8日、東京
21. 高橋俊也、沢田浩和、加藤修三、ミリ波屋内通信における反射波を用いた接続断確率の改善、電子情報通信学会 SRW 研究会、2010年12月8日、東京
22. 高橋俊也、沢田浩和、中瀬博之、加藤修三、反射体を利用したミリ波屋内通信の接続性改善、電子情報通信学会ソサイエティ大会、2010年9月17日、大阪
23. 藤田和矢、沢田浩和、加藤修三、60GHz帯自動車内通信システム実現に向けた電波ホースの評価、電子情報通信学会ソサイエティ大会、2010年9月17日、大阪
24. 藤田和矢、沢田浩和、加藤修三、60GHz帯自動車内通信システム実現に向けた電波ホースの評価、電子情報通信学会ソ

- サイエティ大会、2010年9月17日、大阪
25. 沢田浩和、藤田和矢、加藤修三、佐藤勝善、原田博司、キュービクル環境における60GHz帯伝搬特性およびチャンネルモデル、電子情報通信学会ソサイエティ大会、2010年9月16日、大阪
  26. 佐藤洋介、藤田和矢、沢田浩和、中瀬博之、加藤修三、90度離散位相制御での60GHz帯ビームフォーミングアンテナ、電子情報通信学会ソサイエティ大会、2010年9月14日、大阪
  27. Hirokazu Sawada, Kazuya Fujita, Shuzo Kato, Katsuyoshi Sato, Hiroshi Harada, 60 GHz Channel Model for the Cubicle Environments, 電子情報通信学会 RCS 研究会, 2010年8月26日, 鹿児島
  28. Shunya Takahashi, Hirokazu Sawada, Shuzo Kato, Connectivity Probability Enhancement Using Artificial Reflectors for Millimeter Wave Communications System, 電子情報通信学会 RCS 研究会, 2010年8月26日, 鹿児島
  29. Kazuya Fujita, Hirokazu Sawada, Shuzo Kato, Millimeter Wave Intra Car Communications System Using Radio Hose, 電子情報通信学会 RCS 研究会, 2010年8月26日, 鹿児島
  30. 佐藤洋介、藤田和矢、沢田浩和、中瀬博之、加藤修三、Gain Variation of Beam-forming Antenna with Discrete Phase Shifter, 電気関係学会東北支部連合大会 2010年8月26日, 八戸
  31. Hirokazu Sawada, Hiroyuki Nakase, Shuzo Kato, Katsuyoshi Sato, Hiroshi Harada Impulse Response Model and Parameters for Indoor Channel Modeling at 60GHz, VTC Spring 2010, 2010年5月17日, 台北、台湾
  32. Hirokazu Sawada, Hiroyuki Nakase, Shuzo Kato, Katsuyoshi Sato, Hiroshi Harada, Millimeter-wave Indoor Channel Models for Super Broadband Wireless Communications, GSMM 2010, 2010年4月14日, インチョン, 韓国
  33. 高橋俊也、藤田和矢、沢田浩和、中瀬博之、加藤修三、反射体を利用したミリ波屋内通信システム、電情報通信学会総合大会、2010年3月17日、東北大学、仙台市
  34. 藤田和矢、沢田浩和、中瀬博之、加藤修三、ミリ波を利用した自動車内通信システムの提案、電情報通信学会総合大会、2010年3月17日、東北大学、仙台市
  35. 佐藤洋介、藤田和矢、沢田浩和、中瀬博之、加藤修三、コードブックによるアン

テナビーム制御方法の検討、電情報通信学会 総合大会、2010年3月17日、東北大学、仙台市

36. 柳沼薫、沢田浩和、中瀬博之、加藤修三、リビングルーム環境における60GHz帯反射波伝搬特性、電情報通信学会総合大会、2010年3月17日、東北大学、仙台市

〔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.katolab.riec.tohoku.ac.jp/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

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

### (2) 連携研究者

加藤 修三 (KATO SHUZO)  
東北大学・電気通信研究所・教授  
研究者番号：20500218

中瀬 博之 (NAKASE HIROYUKI)  
東北大学・電気通信研究所・准教授  
研究者番号：60312675