



先端ワイヤレスコミュニケーション研究センター
Advanced Wireless Communication research Center



電気通信大学
先端ワイヤレスコミュニケーション研究センター(AWCC)
山尾研究室の研究紹介

2013年11月



研究ターゲット

山尾研究室では **将来必要となる戦略的要素技術の研究** と **社会に貢献できる実践技術の開発** を目的として、以下の分野を研究中

モノとモノをつなぐユビ キタスワイヤレス通信

- 高信頼 ITS通信
- 大規模・省電力
センサーNW
- 高信頼マルチホップ
通信
- CSMA/CAを凌駕
する自律分散プロトコル



無線資源(電力と 周波数)の極限利用

- リンコンフィギャラブル
RF回路
- 高効率線形増幅法
(EPWM)
- 高精度線形化技術
- 非線形に強い広帯域
光ファイバ無線通信

山尾研究室の構成(H25年度)

山尾教授



ユビキタスワイヤレス(UBQ)研究グループ

- (1) 高信頼・高効率マルチホップ通信技術の研究
- (2) 省電力大規模自律分散ワイヤレスネットワークの研究
- (3) ITS通信システムの研究

B4 4名、M1 2名、M2 3名、D2-D3 2名

ワイヤレスエコ(WECO)研究グループ

- (4) 新概念による高効率線形送信技術(EPWM)の研究
- (5) “リコンフィギャブル”無線回路の研究
- (6) 光ファイバ無線での線形送信技術

B4 3名、M1 2名、M2 2名、D2-D3 3名

石橋功至
助教
(2012.4.1~)

AWCC藤井研究室(藤井威生准教授)と協力して研究教育を実施しています。

携帯移動通信の進化

1980年代

1990年代

2000年代

2010年代

音声

低速データ
~64kbps

高速データ
& マルチメディア
384kbps ~ 20Mbps

ブロードバンド
& ユビキタス
50Mbps ~ 1Gbps

第1世代

アナログ方式

NTT ('79)
AMPS ('83)
TACS ('85)
etc.

第2世代

デジタル方式

PDC ('93)
GSM ('92)
IS95 ('95)
etc.

第3世代

IMT-2000

W-CDMA
cdma2000
TD-CDMA
WiMAX

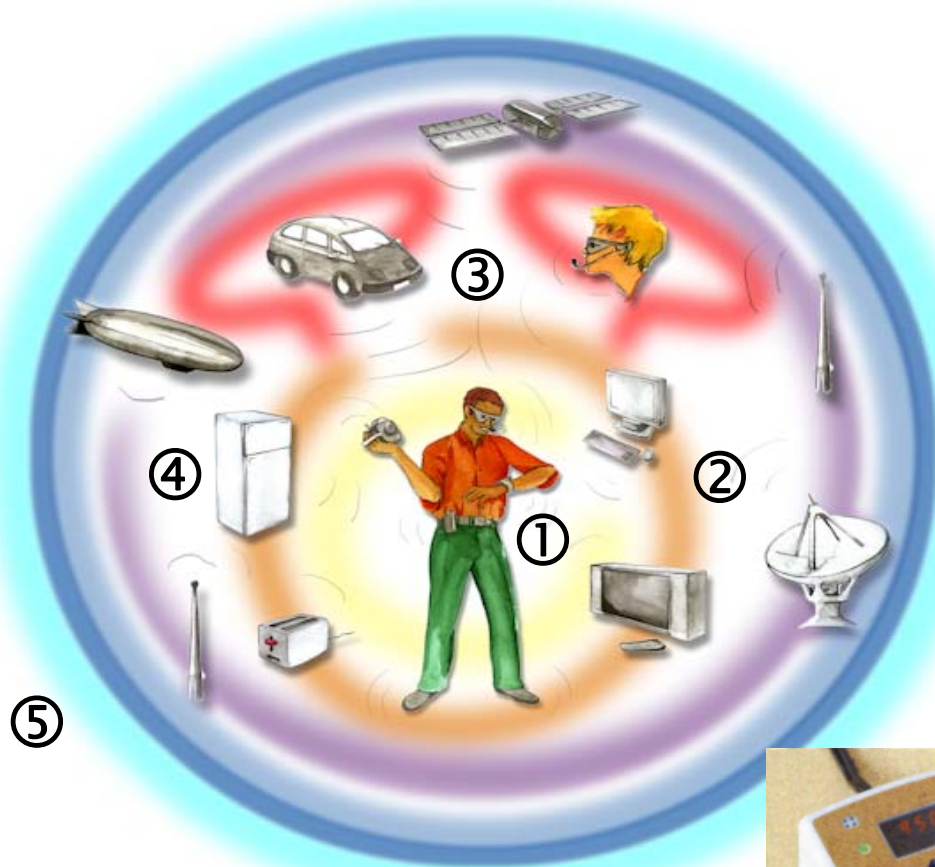
第4世代

4G

3G-LTE
LTE-Advanced

ユビキタスワイヤレスの時代

従来の携帯電話に代表される人と人・人とモノのコミュニケーションから、モノとモノが自律的にコミュニケーションする世界へと広がる



(Figure: WWRF 2001)

- 社会のあらゆる情報をワイヤレスデバイスで収集することで安全・安心な社会を支える生活インフラに
→ 大規模センサーネットワークなど
- 電子マネーや流通管理など経済の根本に大きな変革を与えるワイヤレスデバイスの高度化
- 微小ワイヤレスカプセルなどワイヤレスデバイスによる先端医療技術、インテリジェントヒューマンサポート機器による高齢化対策の進展

以上を可能にするための技術:

- <ウルトラローパワーワイヤレス送受信技術>
- <高信頼ワイヤレス信号伝送技術>
- <アドホックワイヤレスネットワーク構築技術>
- <高効率アンテナ・RF回路技術>



確率現象 (偶然) が支配する

自然現象 (電波伝搬) を用いた

危ないシステム

(可用性を保証できない)

現在の最も高度なシステムさえ、危なさの確率をできるだけ減らすことをめざしているに過ぎない。

その確率は、以前に比べれば格段にはよくなっているが。

電波は気まぐれ？

- 電波を観測すると受信状態が変動することが多い。
 - 一般に**フェージング**と呼ばれる。
- フェージングの原因
 - (1) **空間**そのものの変動による → 長距離伝搬で発生
(蜃気楼など)
 - (2) 原因の多くは空間をとりまく**環境の変化**にある。
 - 例1) 送信点または受信点の移動による
 - 例2) 周囲の物体(人間を含む)の移動
 - 例3) 建物や道路の水濡れ、積雪、落葉など

すイエんサー第1回 (NHK教育TV放映)

「外なのにケータイが急に圏外ってありえなくな〜い!?!」



AKB48の前田敦子、倉持明日香、北原里英ちゃんと一緒に、電波のなぜ?について勉強しました。

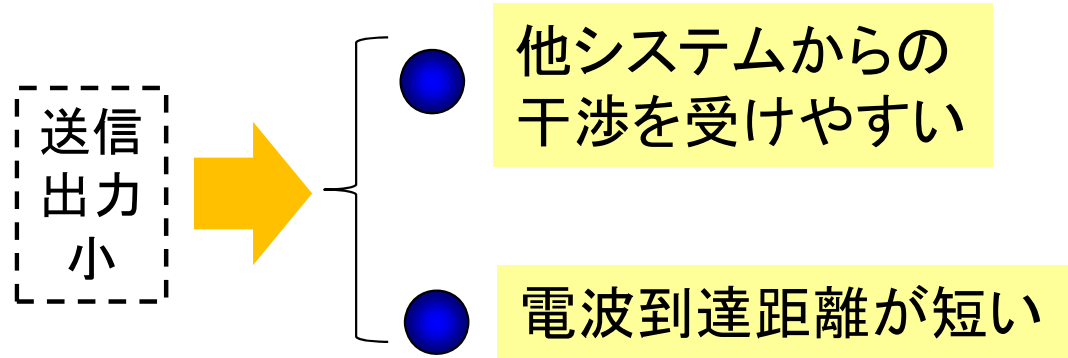
2009.3.31初回放映

ユビキタスワイヤレス通信の課題

● 利用できる電力に制限がある

● 分散したノードが協調して省電力動作

分散間欠受信技術



干渉回避技術

マルチホップ中継技術

● 電波環境が不安定

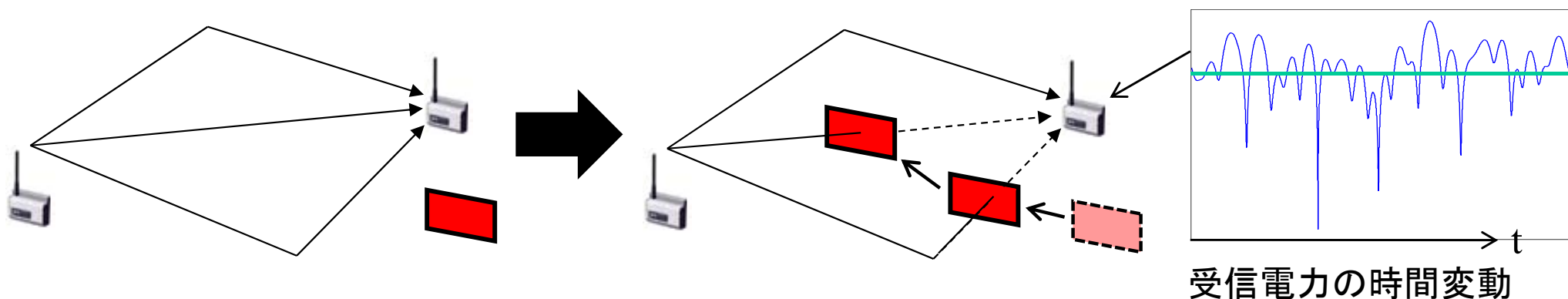
分散環境での高信頼化技術

従来の携帯電話システムとは異なる技術の開発が必要

(1) マルチホップ高信頼伝送技術

- センサーのように固定設置された場合でも、**多重波環境**のワイヤレス通信では**周囲の変化により低速のフェージングが発生** (仲上ライス分布)

↳ 周囲で人が動く, 扉の開閉など



低速フェージング環境下では**伝送エラーが数ms以上継続**

➤ MAC層でのARQ → **効果小**

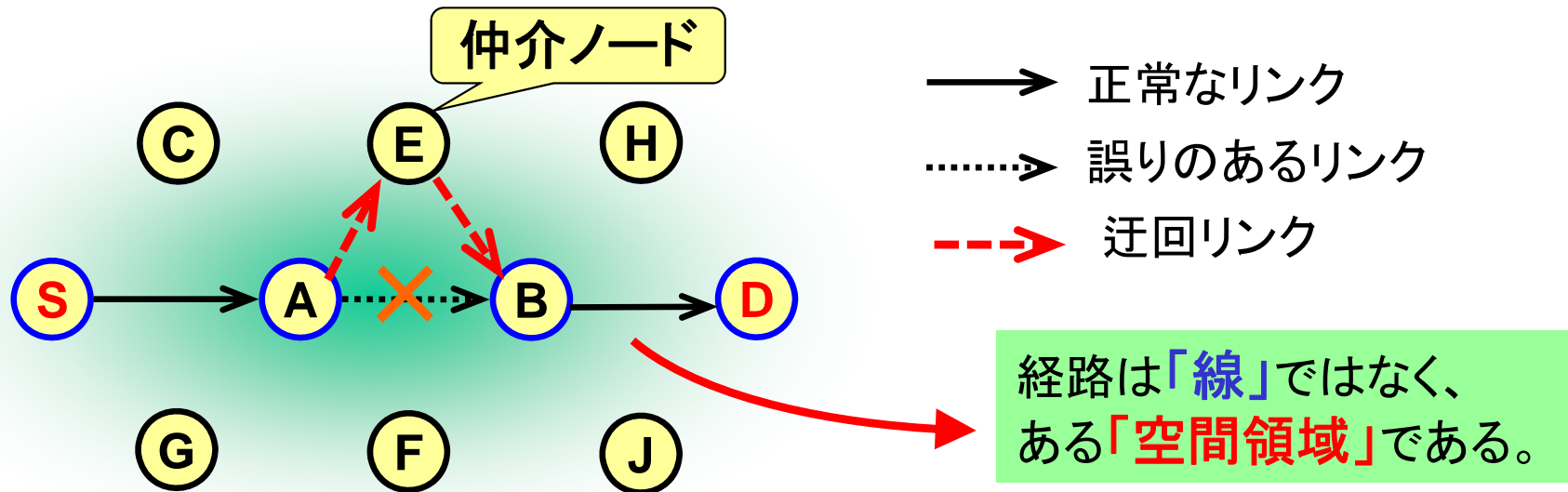
➤ ネットワーク層で経路再構築 → **伝送遅延が増加, 無線リソースを多く消費**

マルチホップ通信では, 受信レベルの劣化がホップ数に応じて増えるため,

伝送信頼度が著しく低下

その1; 環境認識による自律分散経路バイパス

マルチホップ通信においてあるリンクの切断が起きたとき、周辺のノードが仲介ノードとして**自律的かつ瞬時に迂回経路を提供**することで、マルチホップ通信の**伝送信頼度を向上**

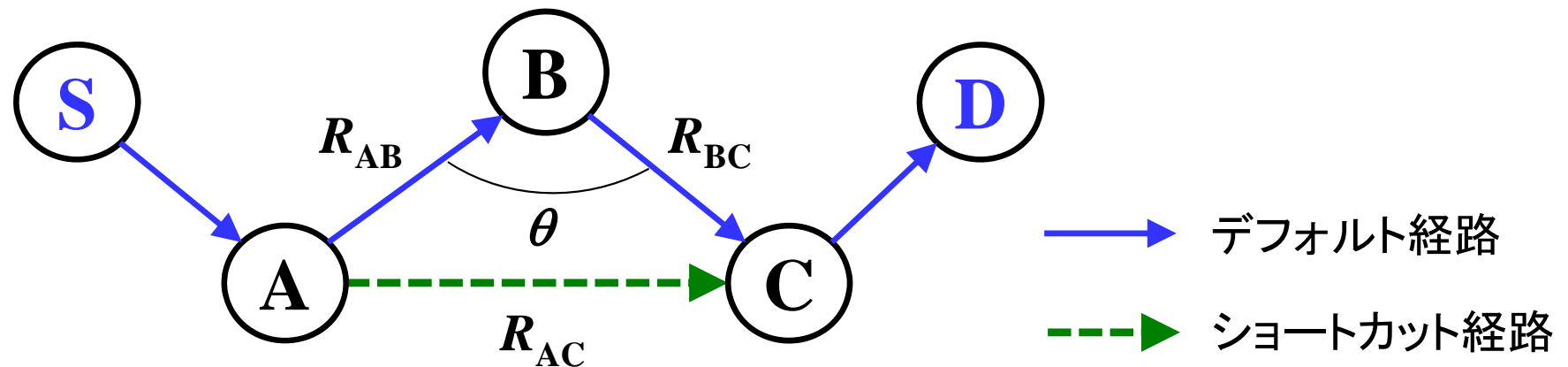


- ① 自らがどのリンクに対して仲介ノードとなりうるかを検知し
- ② バイパス対象のリンク切断を検知し
- ③ バイパス先のノードに仲介を提案し
- ④ バイパス先のノードに低遅延でパケットを送信

電波環境認識
(Cognitive)による自律分散
局所パス制御

その2; ダイナミックショートカット

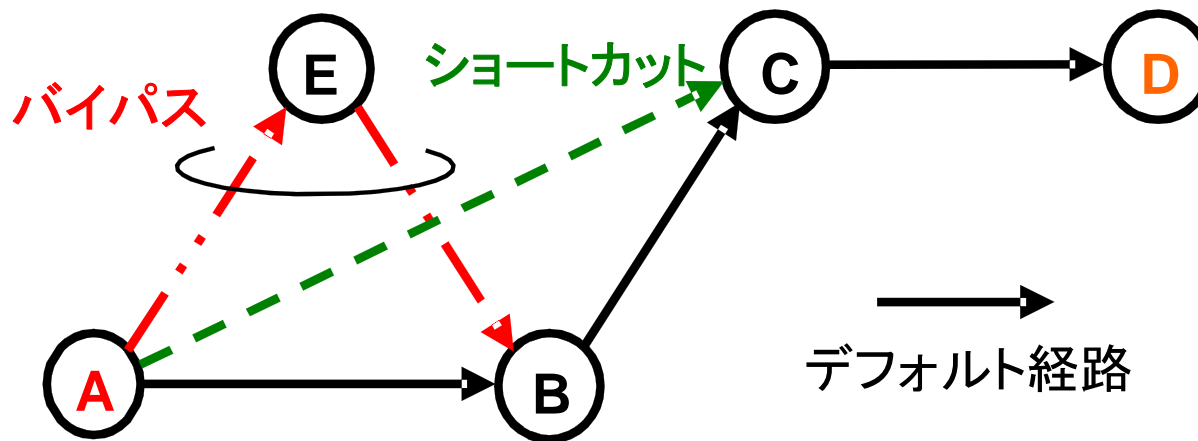
フェージング環境では、伝搬損失が平均値より小さくなる瞬間があり、マルチホップ通信において2つ先のノードでパケットが受信できることがある。これを活かし、かつ通常の経路での無駄な送信を停止することで、**伝送遅延の短縮と無線リソースの効率的な利用**を可能にする。



- ① 経路上のノードは2ホップ先ノードを認識 (REP情報に追加)
- ② 2ホップ先ノードが受信できるようデータパケットに宛先アドレスを追加
- ③ ショートカット受信した場合には、1ホップ先ノードが転送を中止するよう、優先度の高い制御メッセージ (STP) を送信

その3 自律分散経路バイパスとショートカットを統合したダイナミックマルチホップ制御

自律分散経路バイパスと、ダイナミックショートカットを同時に可能にし、**自律的かつ瞬時に最適な経路を提供**することで、マルチホップ通信の**伝送信頼度向上と伝送遅延の短縮、伝送効率の向上**を達成する

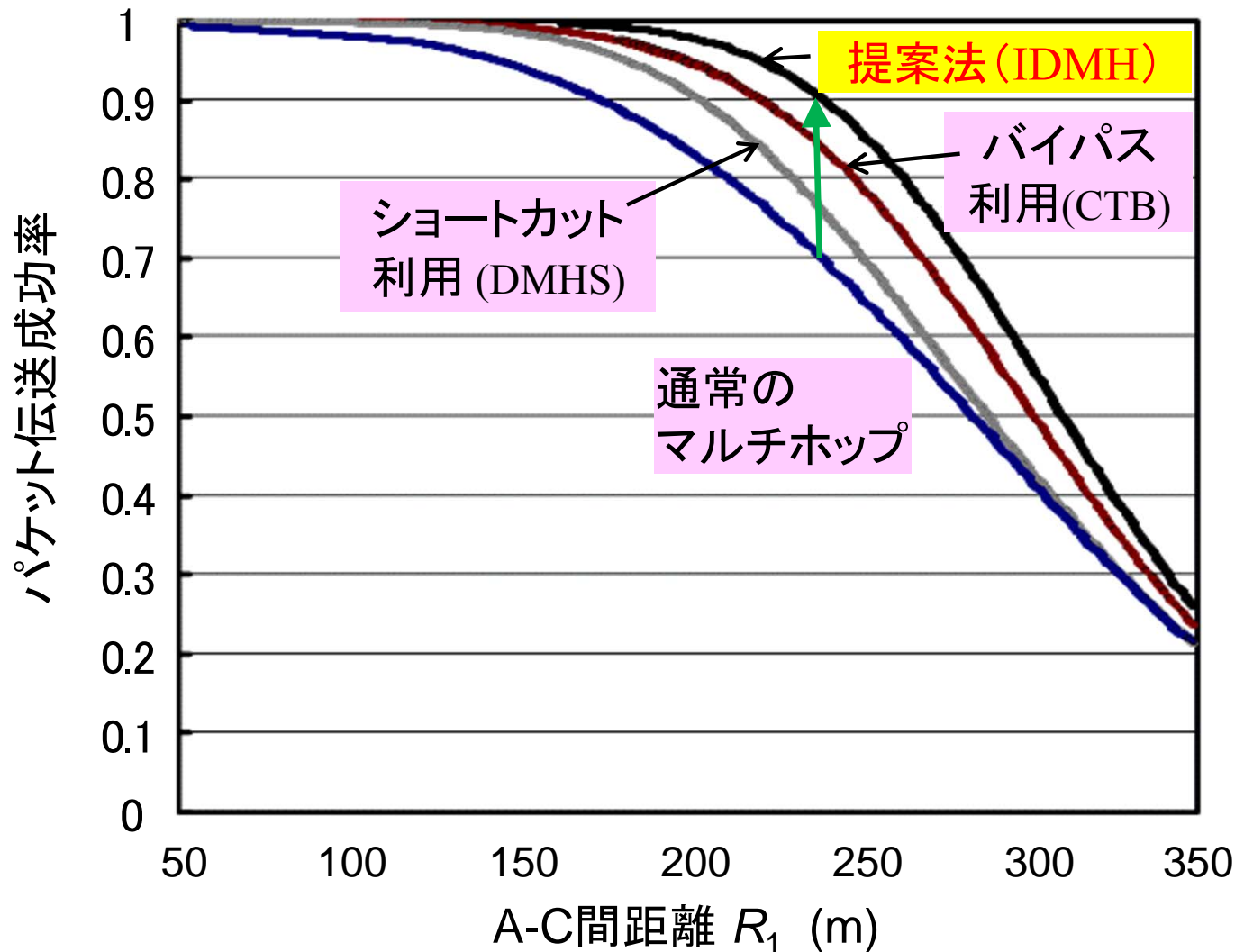


パス優先順序

- Path I: A-C
- Path II: A-B-C
- Path IIIa: A-E-B-C
- Path IIIb: A-B-E-C

統合ダイナミックマルチホップ制御の効果

- 提案法は飛越しまたはバイパス単独利用よりもさらに伝送成功率の改善が大きい。



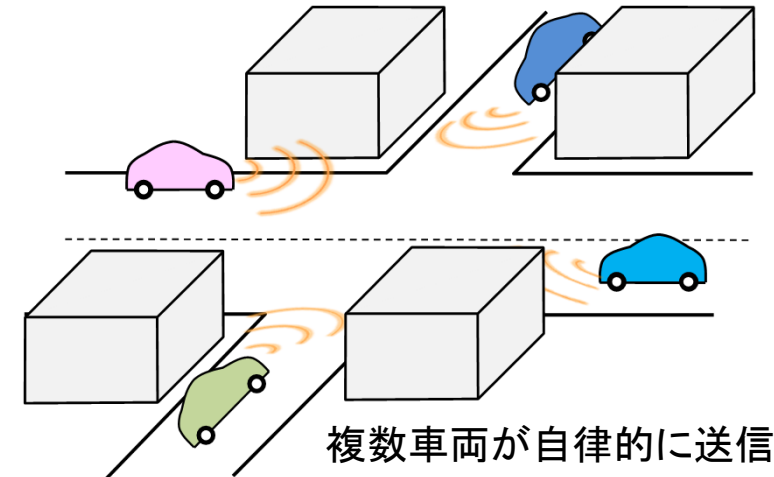
パケット誤り率を
30% から 9%
へ改善

効果はまず理論確率
計算を行い、さらにシ
ミュレーションで確認

(2) 大規模ITS通信システム

交通事故のない安全な社会の実現を目指して
先進安全自動車(ASV*)への期待が高まる

*ASV; Advanced Safety Vehicle



車車間で車両の速度や位置を
研究対象; 定期的に送信して情報を交換する
車車間ブロードキャスト通信システム

ARIB-STD T-109

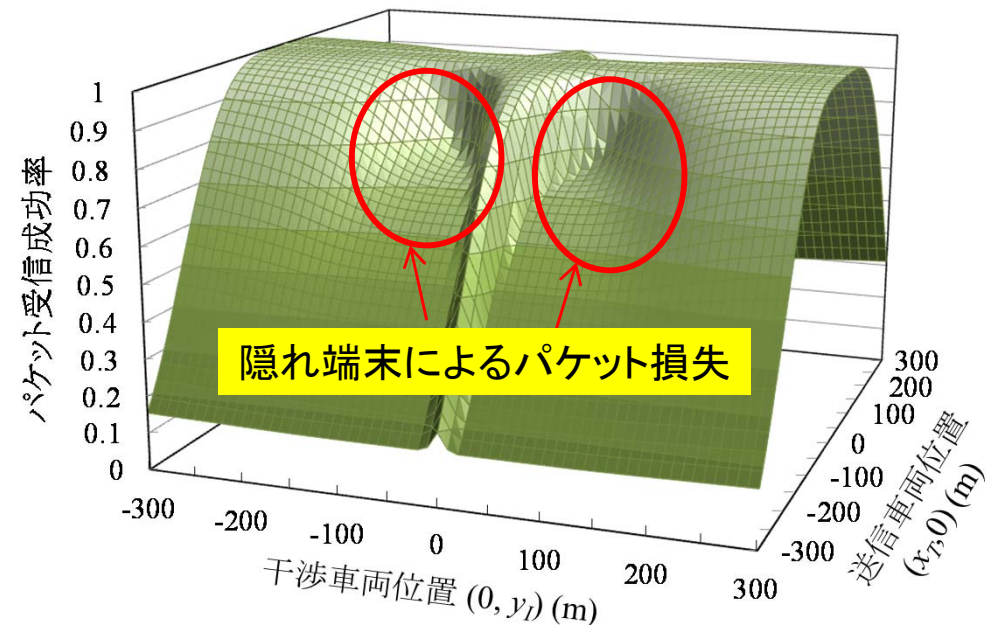
「700MHz帯高度道路交通システム」

技術課題

- ① 他の車両や建物によるシャドウイング
- ② 多数の送信車両からの信号の干渉
- ③ 車路間通信・車車間通信の統合

検討内容

- ・路側中継器による中継の効果
- ・交差点の電波環境での通信信頼度評価
- ・MAC層での送信制御法の改良



ワイヤレスECOの研究 (Wireless ECOminication)

将来、ワイヤレス通信の利用が様々な分野に広がり、**送信される情報の量も大幅に増加**すると考えられる。無線通信では情報を送るために**無線リソースを消費**するので、無線リソースの増大をくいとめ、**環境にやさしいワイヤレスシステム**を実現することが求められる。

無線
リソース

スペクトラム(周波数)

高効率変復調、マルチプルアクセス

◆OFDM, MIMO → 研究が既に多数開始

◆**コグニティブ無線**

→ **リコンフィギャラブル無線回路**が必要

電力(パワー)

高効率線形増幅法／送受信法

◆OFDMのピーク抑圧法 → 研究が既に多数開始

◆**超高効率線形増幅法**

→ 従来の**FF, PD**の限界を超える高効率の追求

注) FF(Feed Forward), PD(Predistortion); 増幅器の非線形の補償法

コグニティブ無線とは

任意の無線周波数にアクセスできる無線回路が必要となる



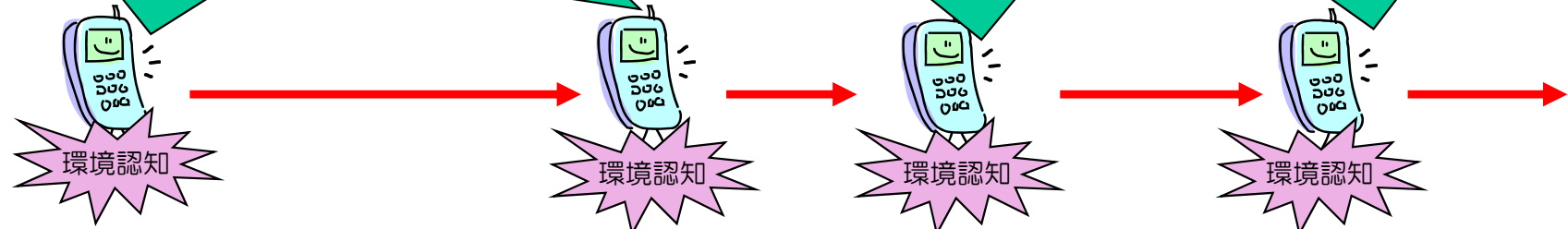
まとまった帯域がない！
すきまを組み合わせて利用

使っていた帯域の
干渉量が増加しているな

空いているテレビ帯域の
未使用チャンネルにシフト

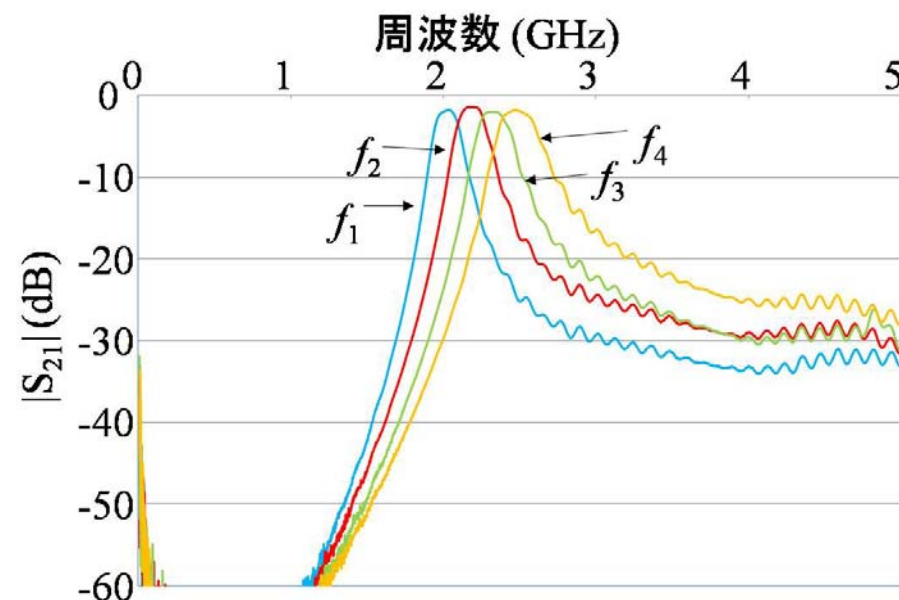
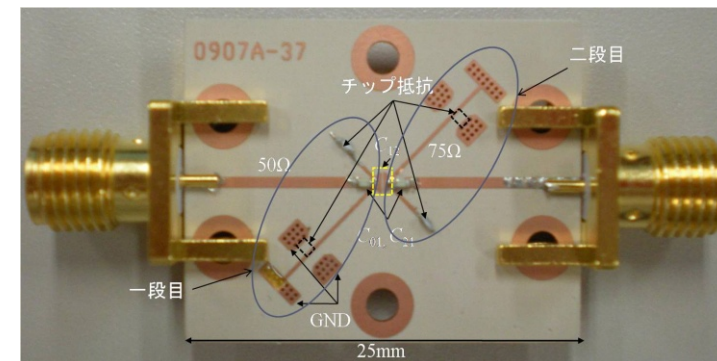
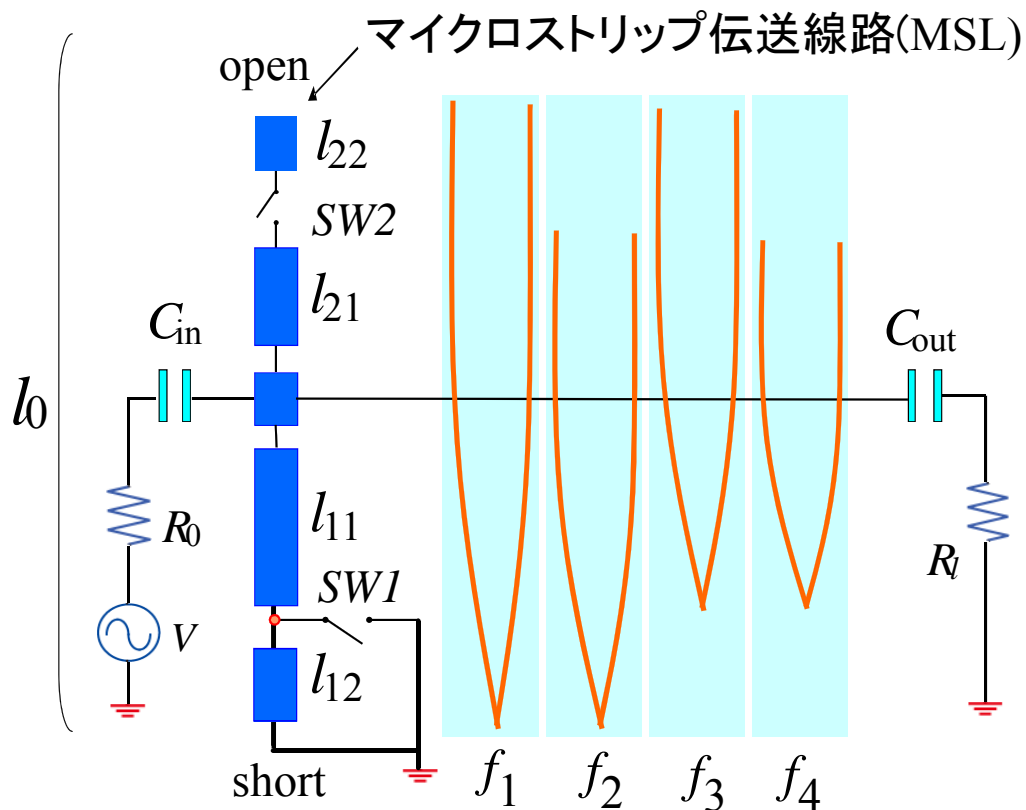
干渉が減ってきた！
通信速度を速めよう

通信開始



リコンフィギャラブルRFフィルタ

タップ付き $\lambda/4$ 伝送線路の間に N 個のRFスイッチを挿入することで 2^N の共振周波数を切り替える

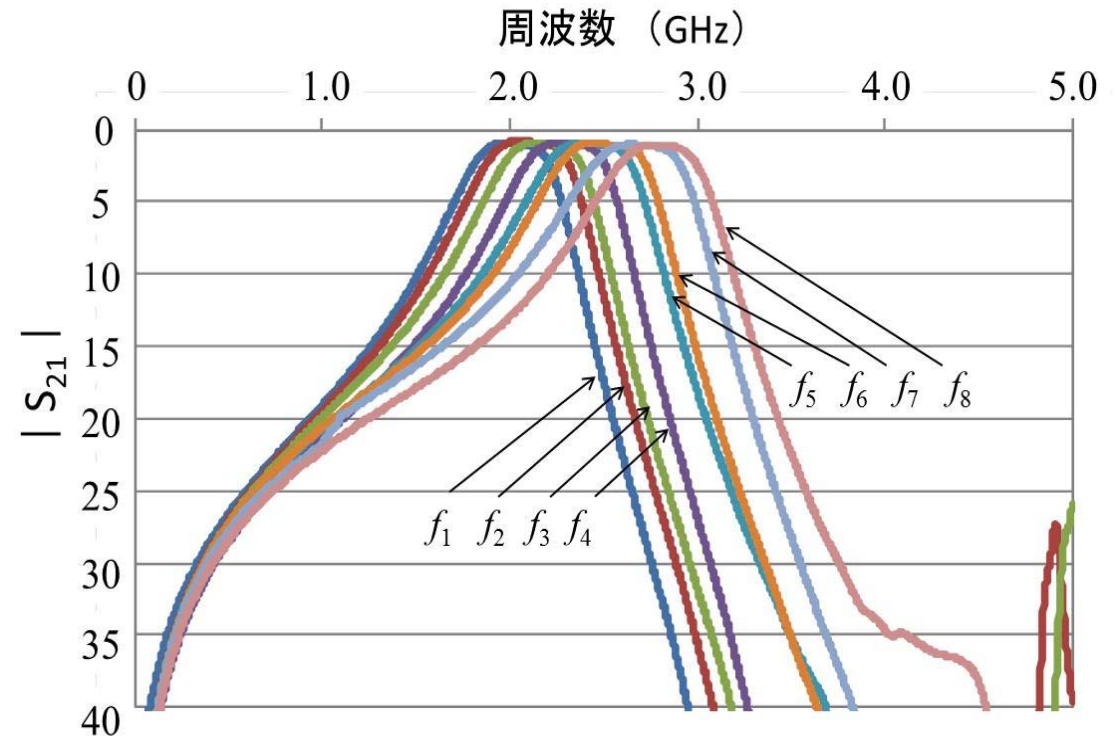
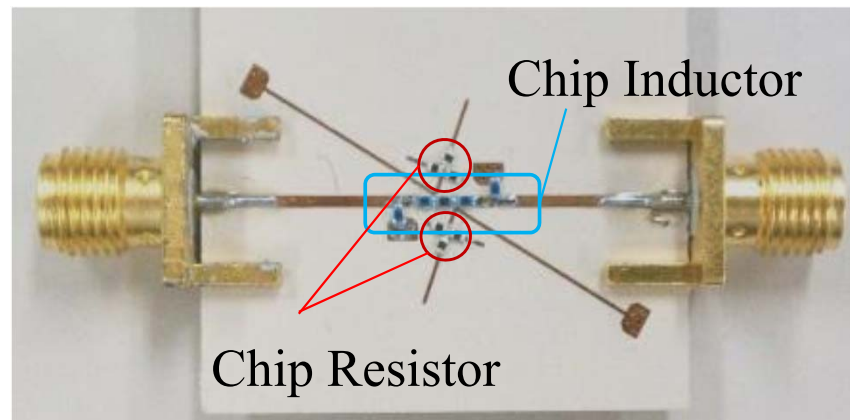


中心周波数	f_1	f_2	f_3	f_4
挿入損失(dB)	1.94	1.38	1.95	1.76
3dB帯域幅(MHz)	179	202	232	264

5) H. Mori, J. Ohtsuka, R. Fukuda and Y. Yamao, "Two-Stage Reconfigurable Bandpass Filter Using Two-Bit Variable-Length Transmission Line Resonator," Proc. APMC 2010, Dec. 2010.

8周波数(3bit)切替可能な低損失の リコンフィギャラブルバンドパスフィルタ

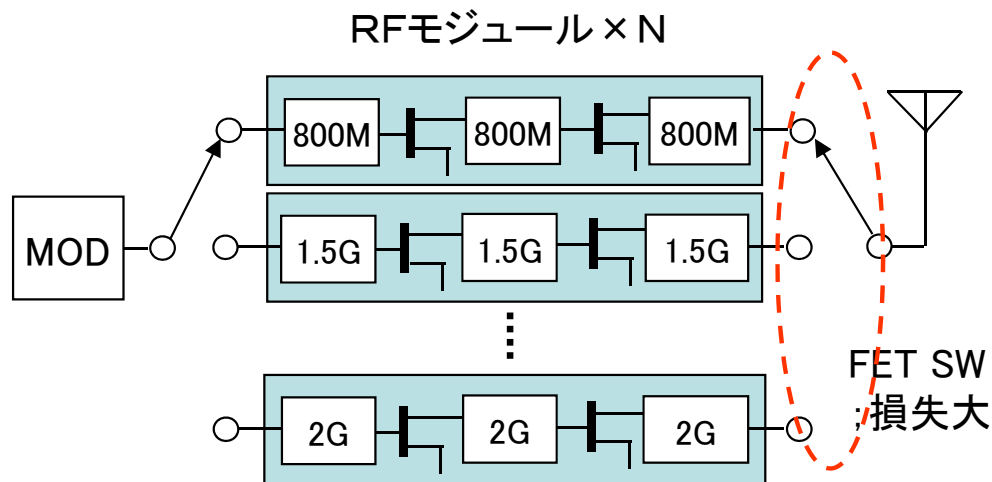
タップ付き $\lambda/4$ 伝送線路 + RFスイッチ
による3ビット(8周波数)切替2段BPF
において、**1dB以下の低損失で8周波
切替可能な**ことを試作で確認



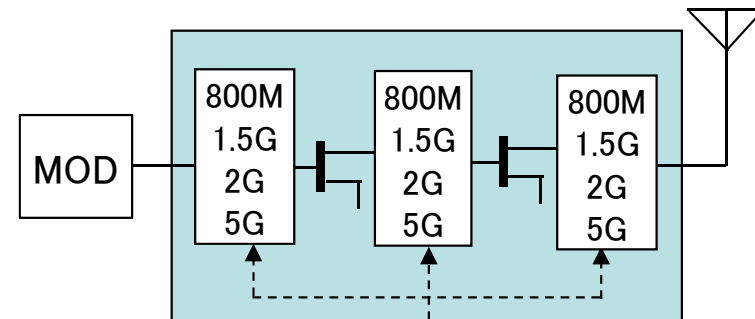
無線機の高度化により
無線周波数のより有効
な利用に貢献できる

	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	f_7	f_8
中心周波数	2.01	2.09	2.13	2.24	2.38	2.44	2.72	2.80
挿入損失(dB)	0.90	0.81	0.90	0.92	0.94	0.93	0.95	0.94
帯域幅(MHz)	505	542	520	528	563	574	552	597

● マルチバンドからリコンフィギャラブル、バンドフリーへ

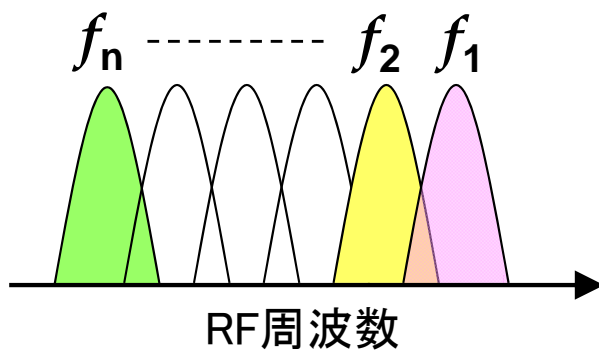


リコンフィギャラブルRFモジュール

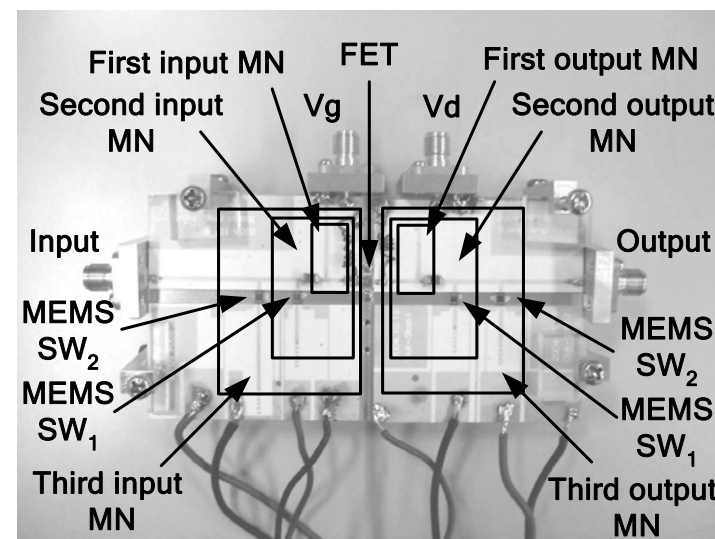


可変帯域制御

理想的には



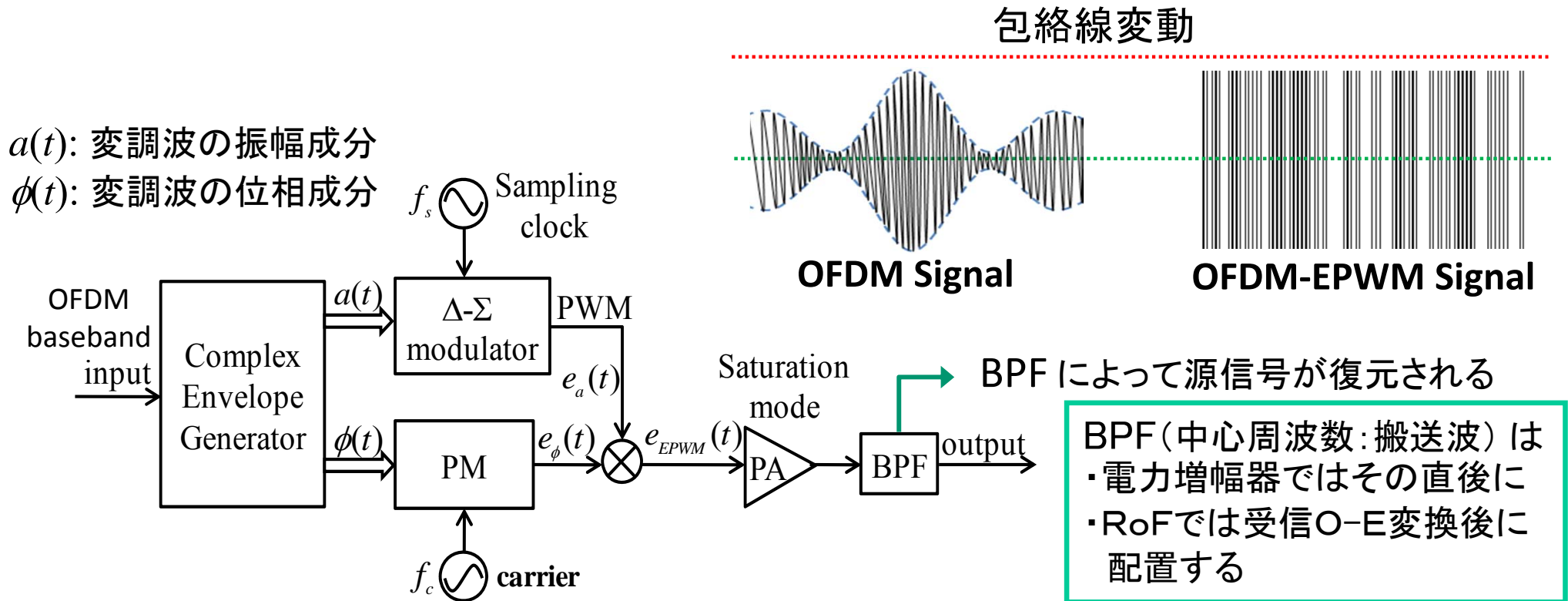
任意の周波数にチューニング可能
(バンドフリー)



RF-MEMS SWを用いた900MHz/1.5GHz/1.9GHz帯
リコンフィギャラブル電力増幅器 (NTTドコモ)

非線形ひずみの影響のない無線信号伝送 Envelope Pulse Width Modulation (EPWM)

OFDMなど非線形の影響を受けやすい無線信号の振幅成分をPWMで1ビット量子化し、包絡線振幅を0または一定値の2値に変換することで、**電力増幅器**や光ファイバ無線 (RoF) の**電気/光信号変換器 (E-O)** の非線形の影響を解決する技術

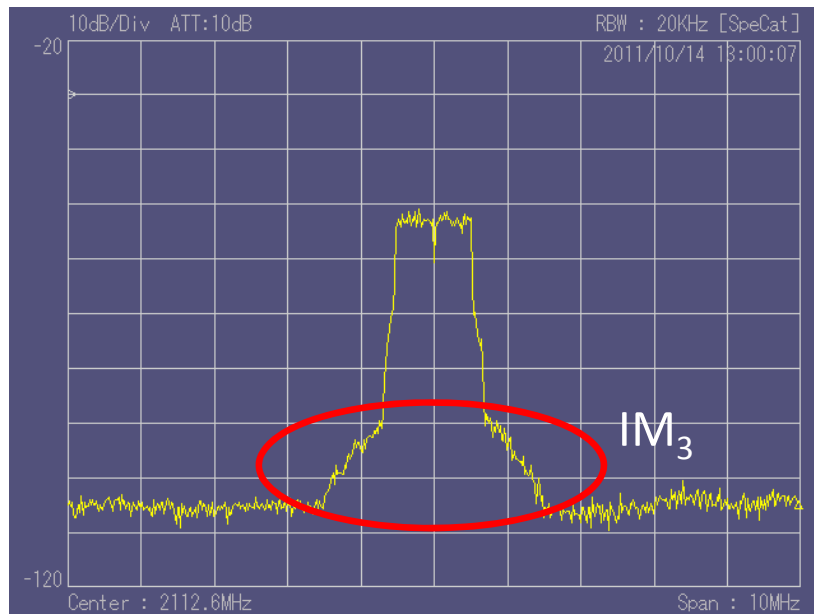


3) E. Umali, K. Kawazoe and Y. Yamao, "Quantization Noise and Distortion Analysis of Envelope Pulse-Width Modulation (EPWM) Transmitters for OFDM Signal Amplification," *IEICE Trans. Fundamentals*, vol. E93-A, no. 10, pp. 1724-1734, Oct. 2010.

EPWMの適用による効果

電力増幅器

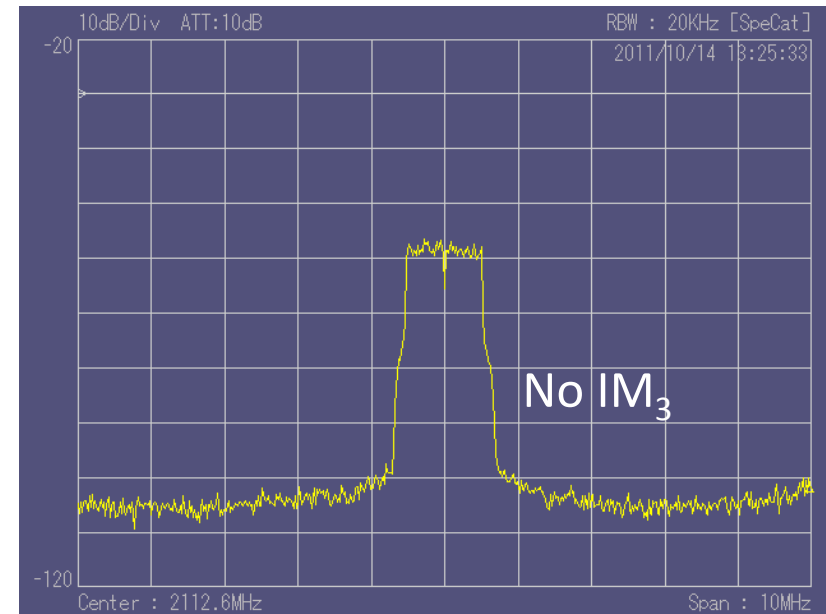
- 高効率の飽和増幅器を用いることで、高い電力効率(～60%)と無歪伝送の両立が可能



**OFDM spectrum after
RoF transmission with BPF**

光ファイバ伝送

- 線形性の高くない安価なE-O変換器で無歪伝送が可能
- 長遅延のエコーひずみを、受信O-E変換後にリミッタを配することで除去可能

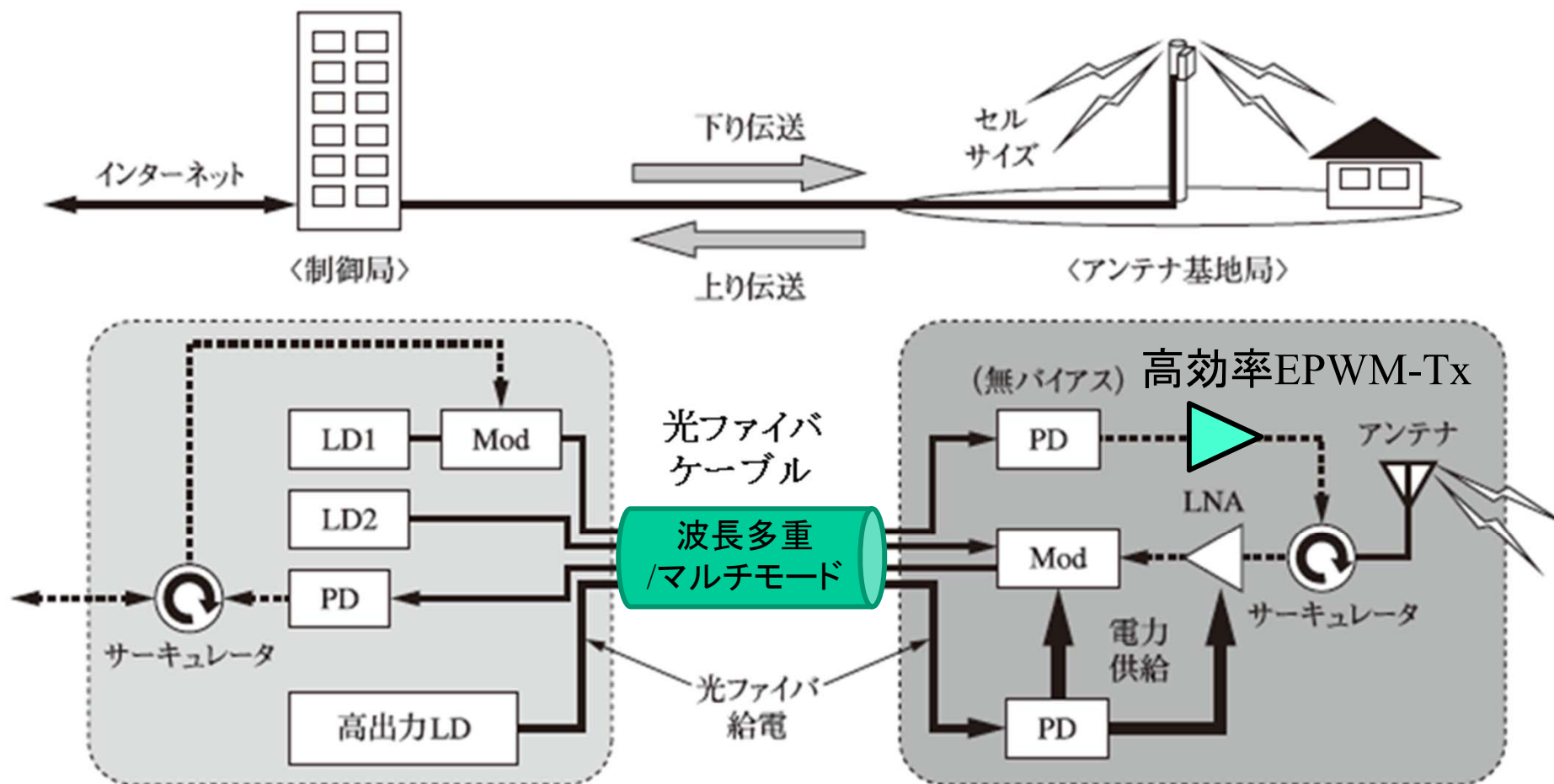


**OFDM spectrum after ANC-EPWM
RoF transmission with BPF**

4) X. Yu, M. Matsuura, S. Yokozawa, and Y. Yamao, "OFDM Signal Transmission by EPWM Transmitter in Nonlinear RoF Channel," Proc. of IEEE VTC2012-Spring, May. 2012.

光給電EPWM-RoFシステム*

*松浦基晴准教授との科研費基盤研究



非線形に強いEPWM送信の特性を活かし、なるべく少ない芯線数で**信号と電力を同時に伝送**する技術を追求する**供給電力の増大**がひとつの鍵； 高出力LD, 光ファイバ, PD, 多重法

最近のAWCC関連報道発表

- 2013年11月20日 “Unique and Exciting Research Symposium”紹介(朝日新聞)
【山尾センター長講演】
- 2012年5月31日 “電子値札-情報多彩、管理も効率よく”(日本経済新聞)
【山尾研究室】
- 2012年3月12日 “線量測定、安く運用、無料無線や太陽電池活用”
(日経産業新聞), 【中嶋研究室】
- 2012年2月22日 “オプトエレクトロニクス 電子棚札システム投入”
(日刊工業新聞), 【山尾研究室】
- 2011年11月28日 “無線でつないで自動化 放射線測定”(NHK-TV)
【中嶋研究室】
- 2011年11月4日 “実結ぶ中小の産学官連携 放射線計測ネット開発”
(日刊工業新聞) 【中嶋研究室】
- 2009年10月7日 “電波伝搬特性を測定 MIMO向け装置開発”
(日刊工業新聞) 【唐沢研究室ほか】
- 2009年9月11日 “電通大、宇宙太陽光発電向けマイクロ波増幅器を開発”
(日刊工業新聞) 【本城研究室】

企業との共同研究の成果例

日本経済新聞

2012年(平成24年)5月31日(木曜日)

キャンパス発
この一品

スーパーやコンビニエンスストアで見かける棚の値札がこれから大学発のデジタル式へと一新されるかもしれない。電気通信大学は高性能の「電子値札」を企業と共同で製品化し、今年から本格販売を始めた。発光ダイオード(LED)を使い多様な情報を精細に表示可能なうえ、無線通信技術を生かして効率良く管理できるのが特長だ。

電子値札は既に一部で実用化されているが、商品の値段だけ表示するのが一般的。電通大の値札は商品ロゴや産地情報なども示せる。表示する情報は店内に設置する親機から無線で送る仕組み。無線が有効に届く範囲はこれまで10メートル程度だった



値段以外の様々な情報を盛り込み、効率良く管理できる

電子値札——電気通信大

情報多彩、管理も効率よく

が25倍に拡大。1台の親機で管理できる棚札も従来の数倍にあたる1500枚に増やした。

テレビのリモコンなどに使われる無線規格「ZigBee(ジグビー)」を応用した。この規格の利用範囲を広げる技術を、電通大で無線通信を研究する山尾泰教授(57)が開発。同大の技術活用を推進する会社、キャンパスクリエイト(東京・世田谷)が着目し、電子機器開発のオプトエレクトロニクス(埼玉県蕨市)と製品化にこぎつけた。

価格は棚札3000枚の場合でシステムなどと合わせて500万円。1枚当たりの価格は従来品より2〜3割高いが、2月に流通業の展示会への参加をきっかけに約200件の問い合わせが来ているという。埼玉県のスーパーなど実際に導入した店も出始めた。

キャンパスクリエイトの安田耕平社長(69)は「大学の研究が製品の肝となるような成果を生み出せる実例の一つ。これから学内から生まれた研究成果の活用を進めたい」と力を込める。

最近のAWCC研究教育関連受賞例

- 2013.9月 電子情報通信学会フェロー(大木)、通信ソサイエティ活動功労賞(大木、石橋功)
- 2013.6月 WPMC'13 Student Best Paper Award(山尾研)
- 2013.5月 WTP2013 アカデミア・発表プログラム成績優秀者(藤井研)
- 2013.2月 電気通信大学 優秀教員賞<大学院国際プロジェクト運営教員グループ>
- 2013.1月 CCNC2013 Best Paper Award(藤井研)
- 2012.12月 APMC2012 Student Paper Award(本城研)
- 2012.9月 TriSAI2012 Best Paper Award(唐沢研)
- 2012.6月 電子情報通信学会RCS研究会 初めての研究会優秀発表賞(山尾研)
- 2012.6月 総務省関東総合通信局長表彰(山尾)
- 2012.5月 エレクトロニクス実装学会論文賞(本城研)
- 2012.5月 電子情報通信学会アドホックネットワーク研究会 若手研究奨励賞(藤井研)
- 2012.5月 電子情報通信学会SR研究会研究奨励賞(藤井研)
- 2012.5月 IEEE VTC2012-Spring VTS-J Student Paper Award (2件同時受賞)(山尾研)
- 2012.3月 電子情報通信学会学術奨励賞(藤井研)
- 2012.3月 電子情報通信学会WBS Student Paper Award(藤井研)

最後に……

山尾研究室では
ハード・ソフトの両面の研究を通して
個人の能力を引き出すとともに、
理論と実験の両側面から
あるいは企業との共同研究によって、
より広い視野から物事を見る目を養うことを
目指しています。



AWCC山尾・藤井・石橋研合同菅平合宿H25

The University of
Electro-Communications

AWCC



教員3名、学生35名が参加

1日目； 午前移動、午後からB4卒研究生によるポスター発表、温泉での夕食会

2日目； M1年生の研究発表、午後バーベキュー