



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

2015年11月



# 先端ワイヤレス・コミュニケーション研究センター

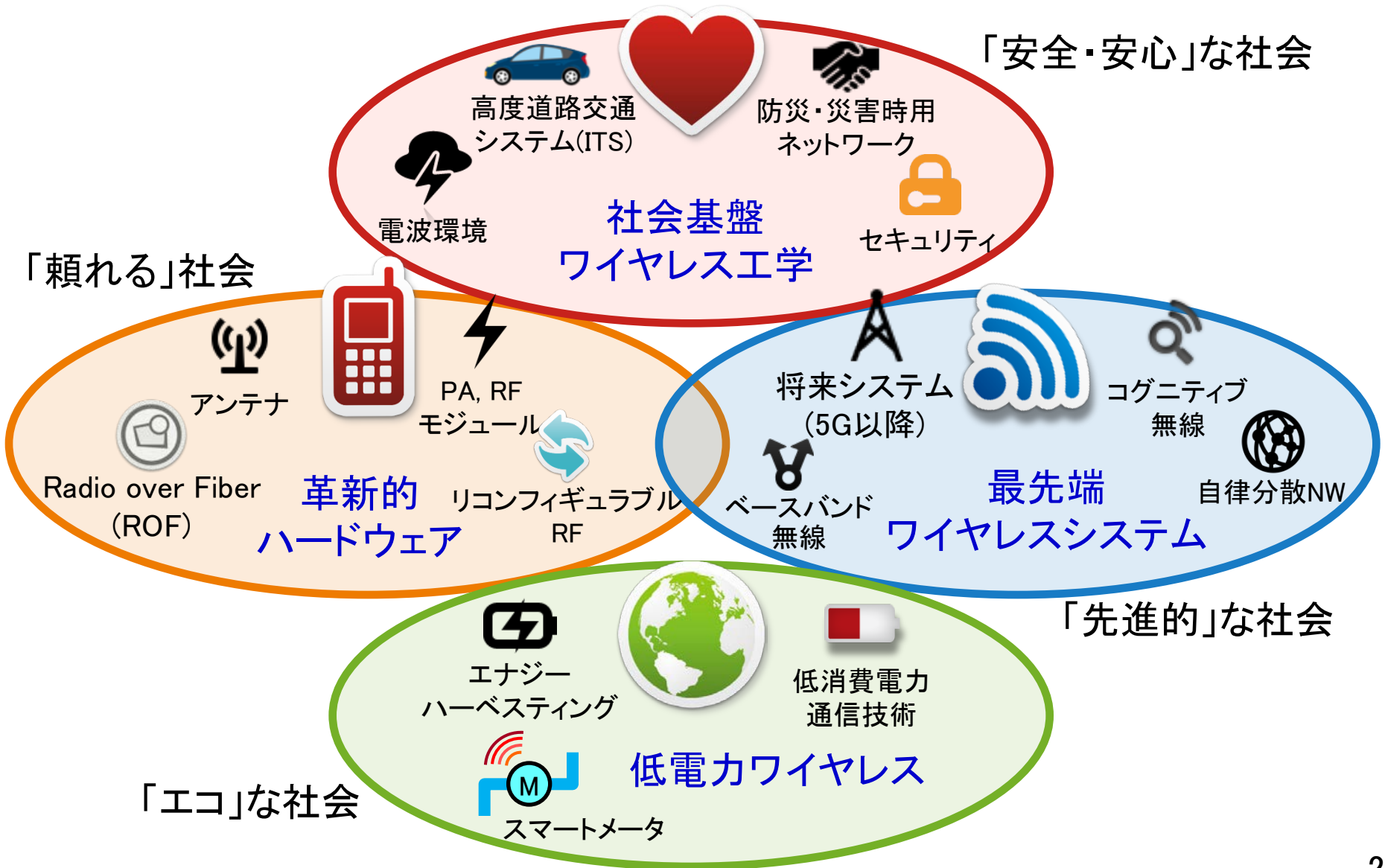
これからの社会にとって何が必要か？

- あらゆるものが繋がる社会へ
- 社会・生活を支える基盤を造る技術が重要
  - 多様な用途で、多様な端末が、多様な要求に応える
  - 少子・高齢化や地方の活性化に寄与する



情報通信を支えるワイヤレスから  
社会基盤を支えるワイヤレスへ  
Ambient Wireless in Connected Community

# AWCCの4つの研究分野



# AWCCの教員構成

- AWCCは大学院および学部と深く連携し、複数のプロジェクトを推進、客員教員とも連携し、共同研究などの産学連携や外部資金獲得で大きな実績を上げています。

センター長 山尾 泰

専任教員 山尾 泰、藤井威生、石橋功至  
3名 (+1名増員予定)

兼務教員 本城和彦、大木英司、唐沢好男、  
6名 石橋孝一郎(S)、石川亮、松浦基晴

客員教員（特定領域研究担当） 5名

協力教員 学内ワイヤレス関連教員 18名

客員教員（産学連携担当）企業・国研等所属 8名

NTTドコモ、富士通(5G)  
デンソー、トヨタITC(ITS)  
東京ガス(スマートメータ)など



企業・  
研究機関

国内外  
他大学\*

UEC

大学院

学部

AWCC

\* 早稲田、東工大、MIT、Jacobs Univ.  
北京郵電大、中国電子科技大、  
ホーチミン工科大ほか

# 学生の皆さんと AWCC

- 業績と経験豊かな**教授陣**
- プロジェクト研究や共同研究で鍛えられた**多数の大学院生の先輩**
- 外部資金による充実した**実験設備**や**シミュレーション環境**
- ゼミでの**徹底したディスカッション**による「**考える力**」の強化
- 積極的な**学会発表**を通じた「**プレゼンテーション能力**」の強化
- 特に、**国際会議**での発表等を中心とした**海外活動の推奨** などなど





# 山尾研究室の研究ターゲット

**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
- V2Mネットワーク
- スマートメータ  
 などの大規模・  
 省電力センサー  
 ネットワーク
- 自律分散マルチホップ通信



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(主にBPF)
- 高効率線形増幅法  
 (包絡線PWM)
- 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 1名、M1 2名、M2 3名、D1 1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、M2 2名、研究留学生 1名

電通大に来てはや10年。

趣味は； 飛行機、車、  
写真、オーディオ&映画  
山歩き、海外博物館めぐり

<http://www.awcc.uec.ac.jp/yamaolab/>

# 卒業生の進路(参考~H27)

- 大学院進学者が多い
- 大学院修士および学部卒業生の就職先

## 通信・放送事業者

NTTドコモ 5名、KDDI 2名、ソフトバンク 2名、NTT、NTTdata 各1名  
NTTコムウェア 1名、ドコモシステムズ、NTC 各1名、  
NHK 2名、福島放送 1名、 さくらインターネット 1名

## 電気・情報系メーカー

パナソニック 3人、東芝2人、三菱電機2人、富士通、日立、Sony、JRC、京セラ、日立国際電気、岩通、 $\alpha$ システムズ、サイバーエージェント、ベリサーブ 各1名

**自動車・地図メーカー** 富士重工業2名、トヨタ自動車、インクリメントP 各1名

**建設系、教育系** 鹿島建設 1人、コムシス 1名、ベネッセ 1名

**公務員** 2名



# 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

# 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

送信出力小

● 他システムからの干渉を受けやすい

干渉回避技術

ITS

● 電波到達距離が短い

マルチホップ中継技術

センサー  
NW

● 電波環境が不安定

分散環境での高信頼化技術

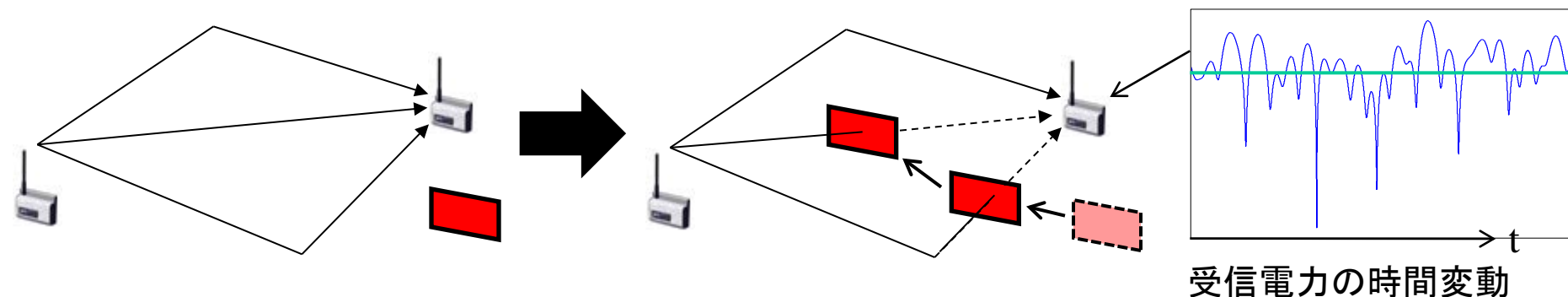
スマート  
メータ

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**

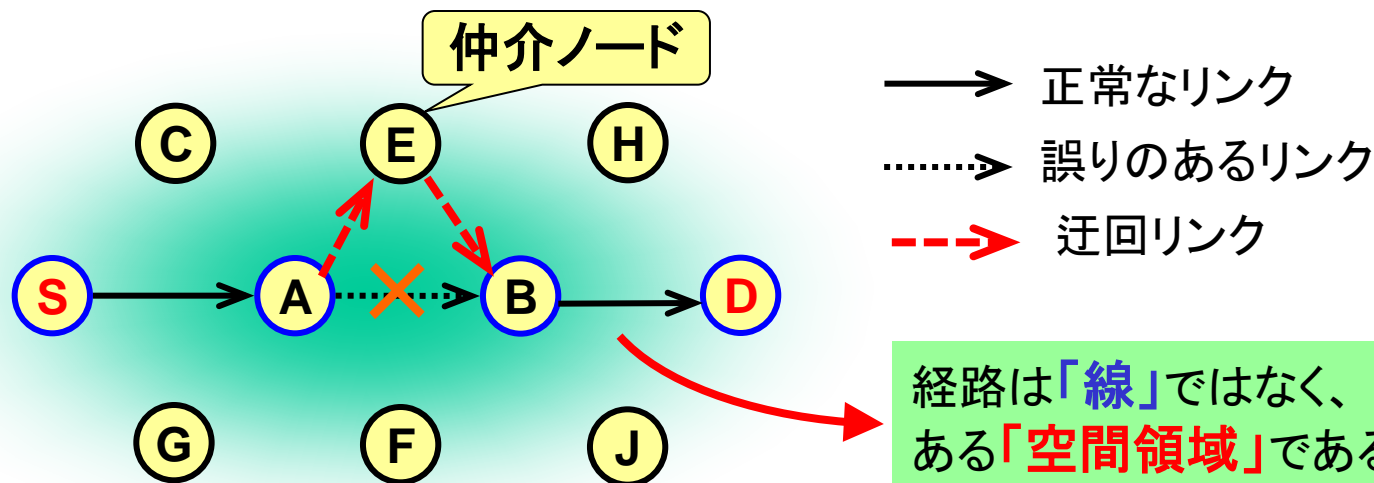
マルチホップ通信では, 受信レベルの劣化がホップ数に応じて増えるため,

**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**

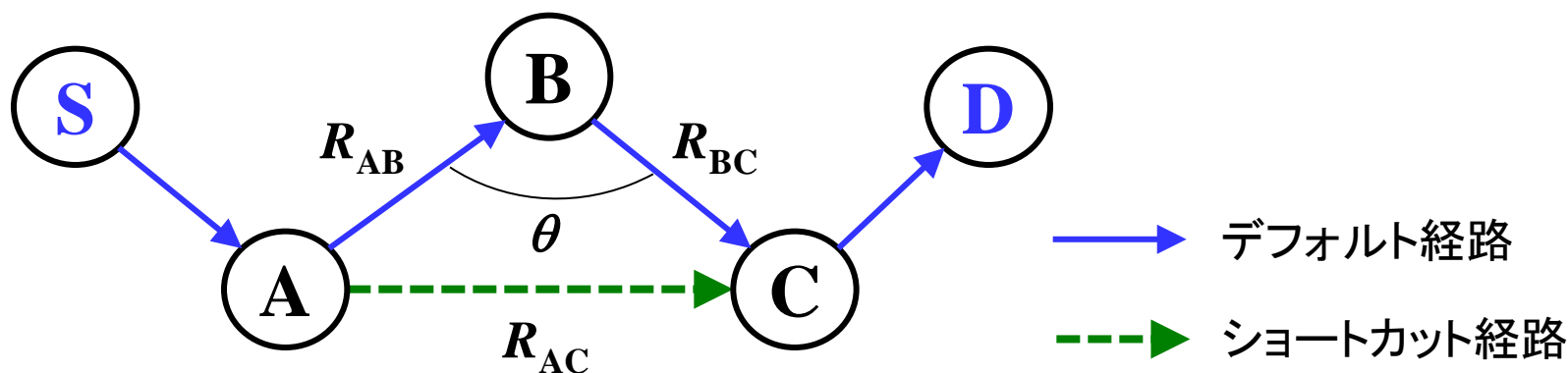


- ① 自らがどのリンクに対して仲介ノードとなりうるかを検知し
- ② バイパス対象のリンク切断を検知し
- ③ バイパス先のノードに仲介を提案し
- ④ バイパス先のノードに低遅延でパケットを送信

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

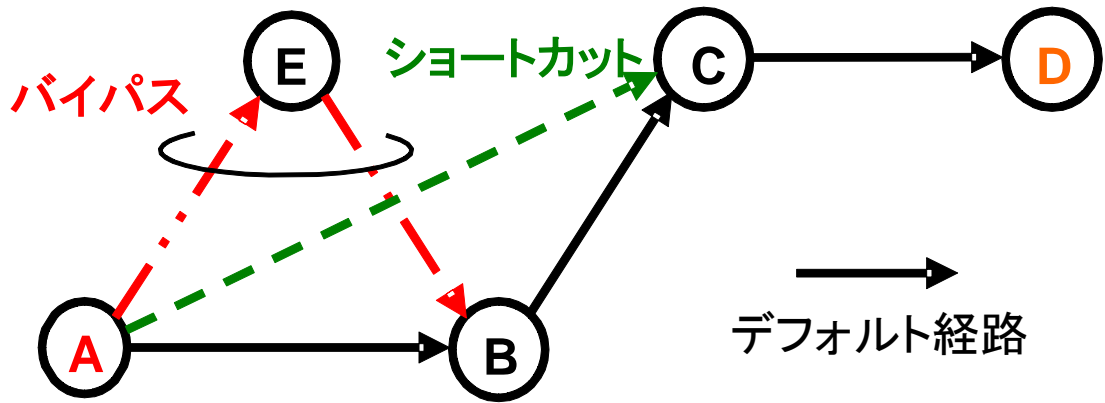
フェージング環境では、伝搬損失が平均値より小さくなる瞬間があり、マルチホップ通信において2つ先のノードでパケットが受信できることがある。これを活かし、かつ通常の経路での無駄な送信を停止することで、**伝送遅延の短縮**と**無線リソースの効率的な利用**を可能にする。



- 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

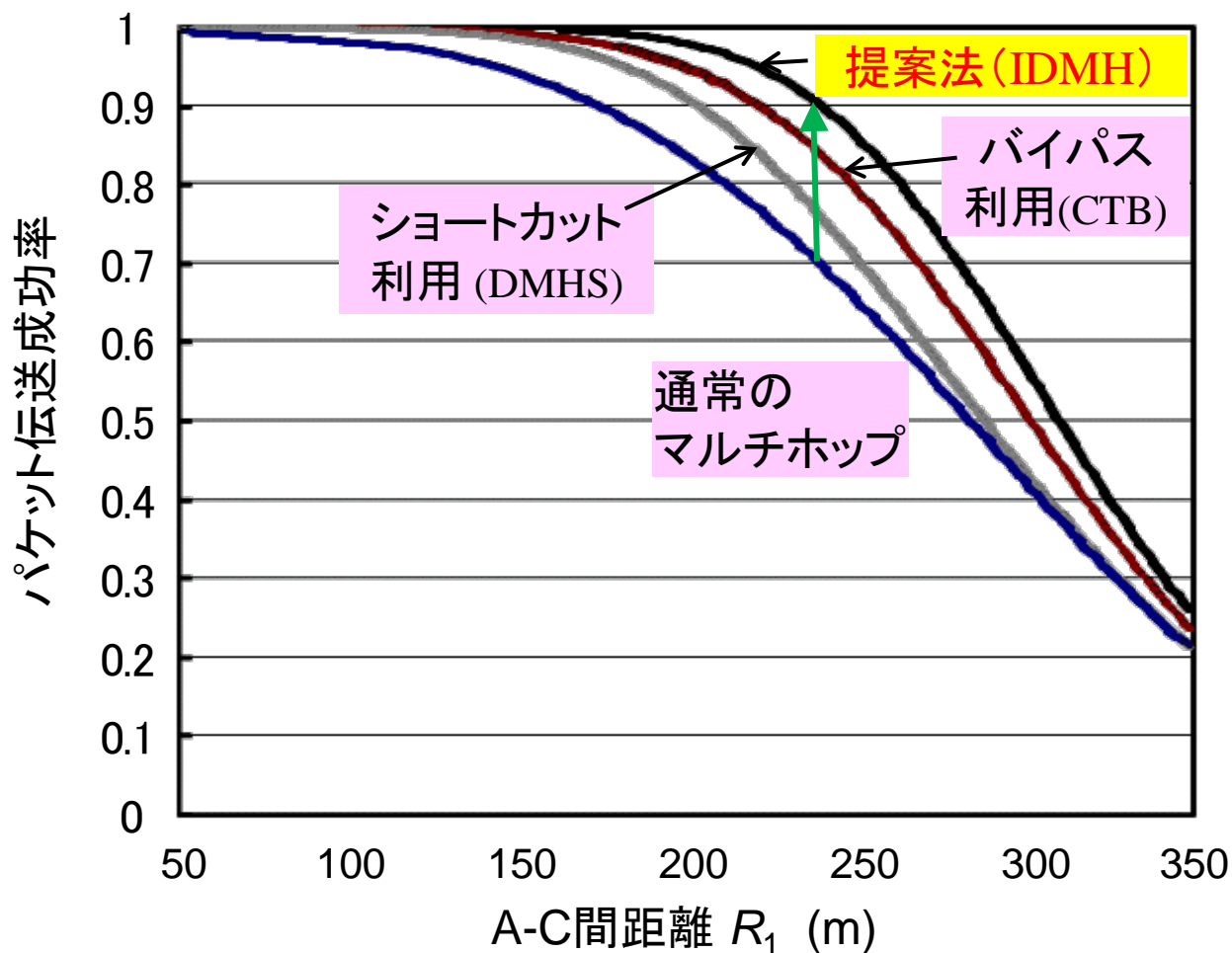


パス優先順序

- ↑ 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

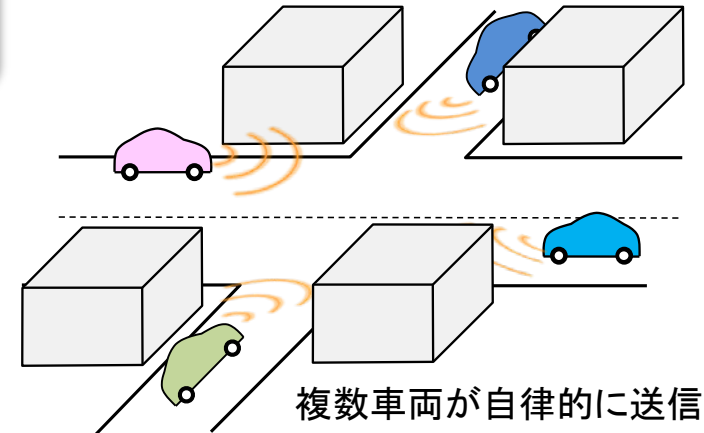
交通事故のない安全な社会の実現を目指して  
先進安全自動車(ASV\*)への期待が高まる

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」

\*ASV; Advanced Safety Vehicle

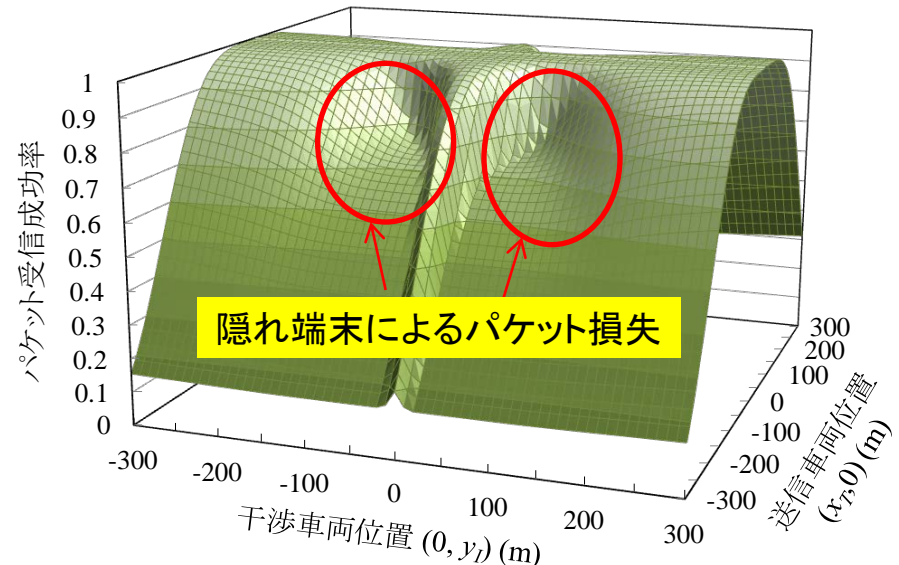


### 技術課題

- 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

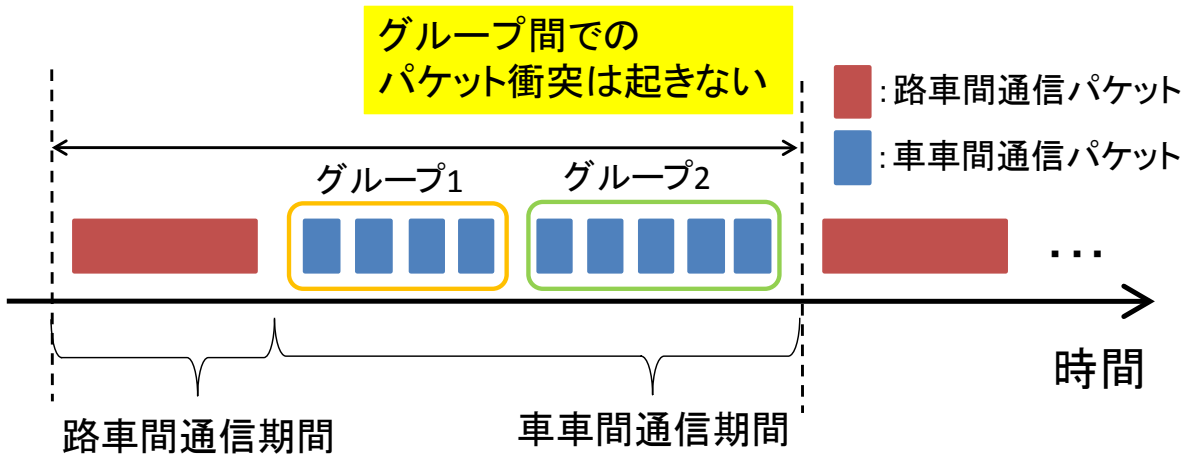
### 検討内容

- ・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

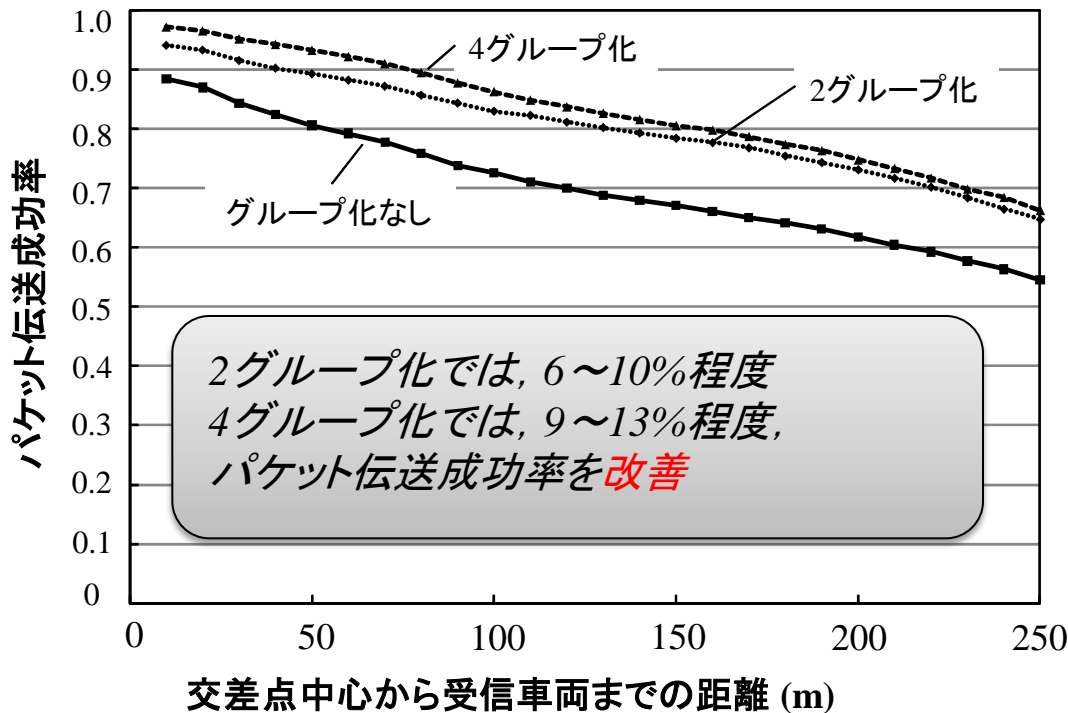


# その1 車両位置による棲み分けITS通信システム

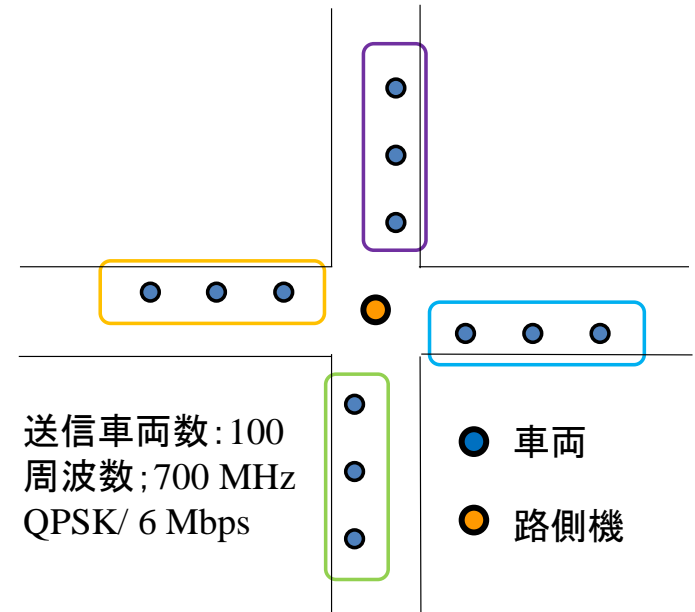
グループ間での  
パケット衝突は起きない



車両の位置によって送信時間をグループに分割し同時に送信する車両台数を制限することでパケット衝突を低減



## 交差点での4グループ化





## その2 路側中継器を併用したITS通信システム

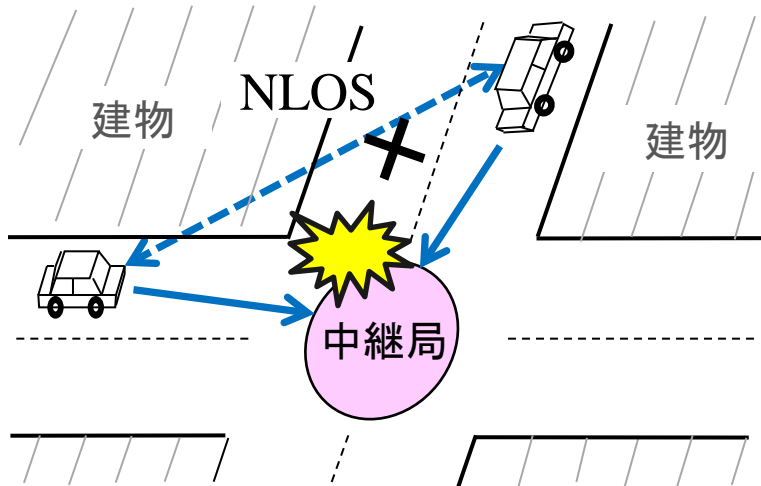
- 市街地などの**交差点環境**では建物等による**シャドウイング**の影響により伝送成功率が低下



路側機による車車間通信の中継アシストによる改善

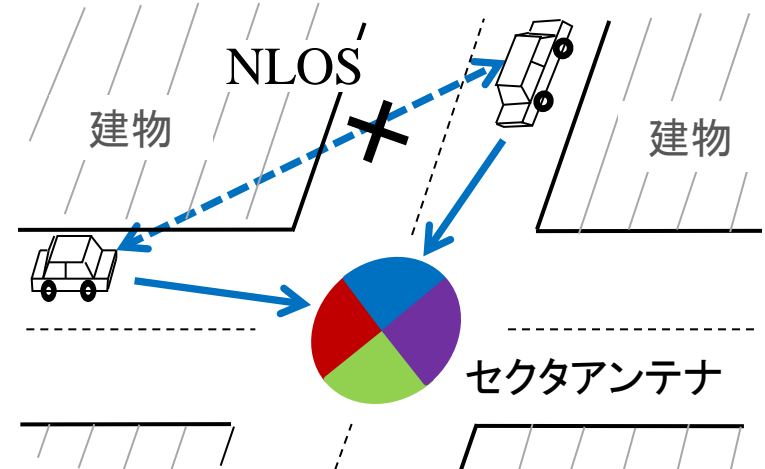
**課題** 隠れ端末問題により中継局での受信成功率が低下

通常の中継



隠れ端末によるパケット衝突の影響が大きく、中継効果が小

セクタ化受信中継アシスト法

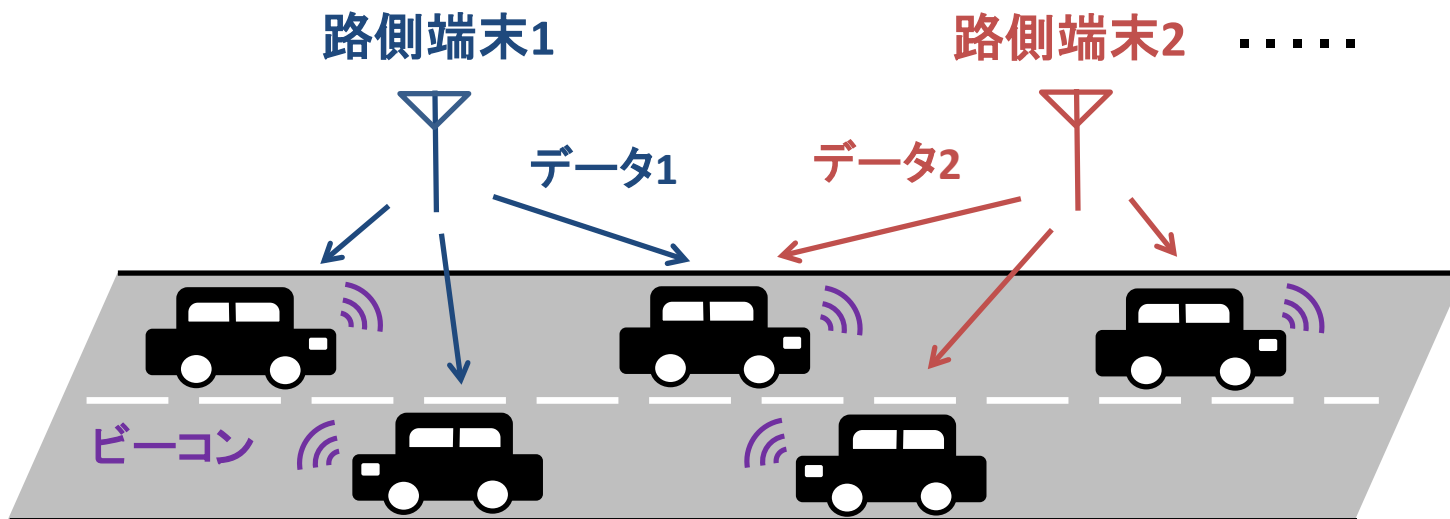


隠れ端末の影響を軽減し中継効果を最大化

総務省 戦略的イノベーション創造プログラム に参加し共同研究中！

# その3 V2M通信サービス

道路脇に置かれたセンサーまたは情報提供デバイスからの情報を通過車両が瞬時に取得



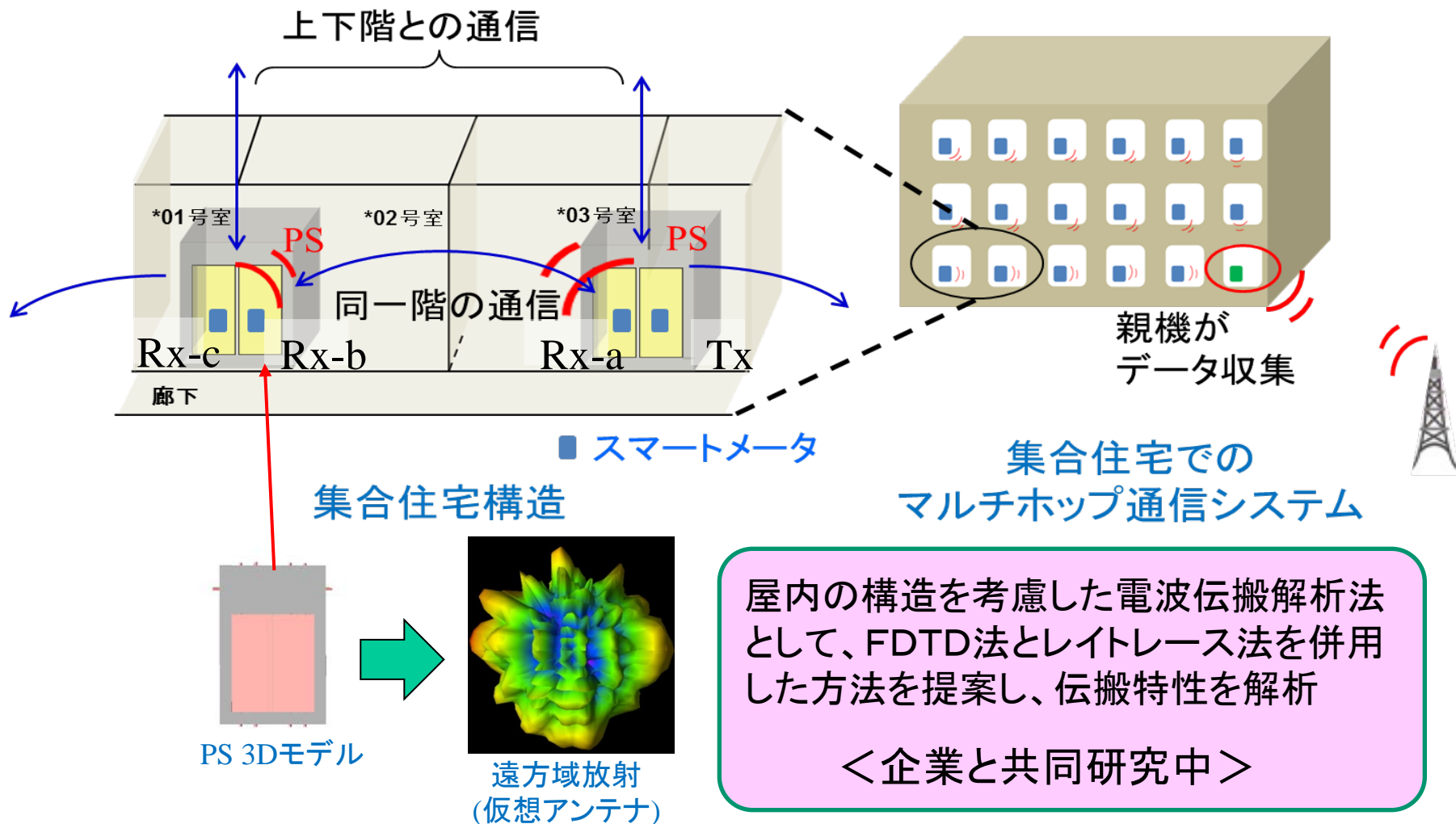
M: 車両台数      N: 路側端末台数

- ◆ 想定するM対N自律分散通信の手順
  1. 複数の車両が情報要求のための**ビーコン信号**をそれぞれ送信
  2. 路側センサはビーコン信号に応答し、周辺の車両に対しCSMA/CAを用いた**ブロードキャスト**で情報を送信

<自動車関連企業と共同研究中>

# (3)スマートメータセンサーネットワーク

- ガス、電気、水道などの使用量を時々刻々収集するためのネットワークが近々導入予定



# 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**

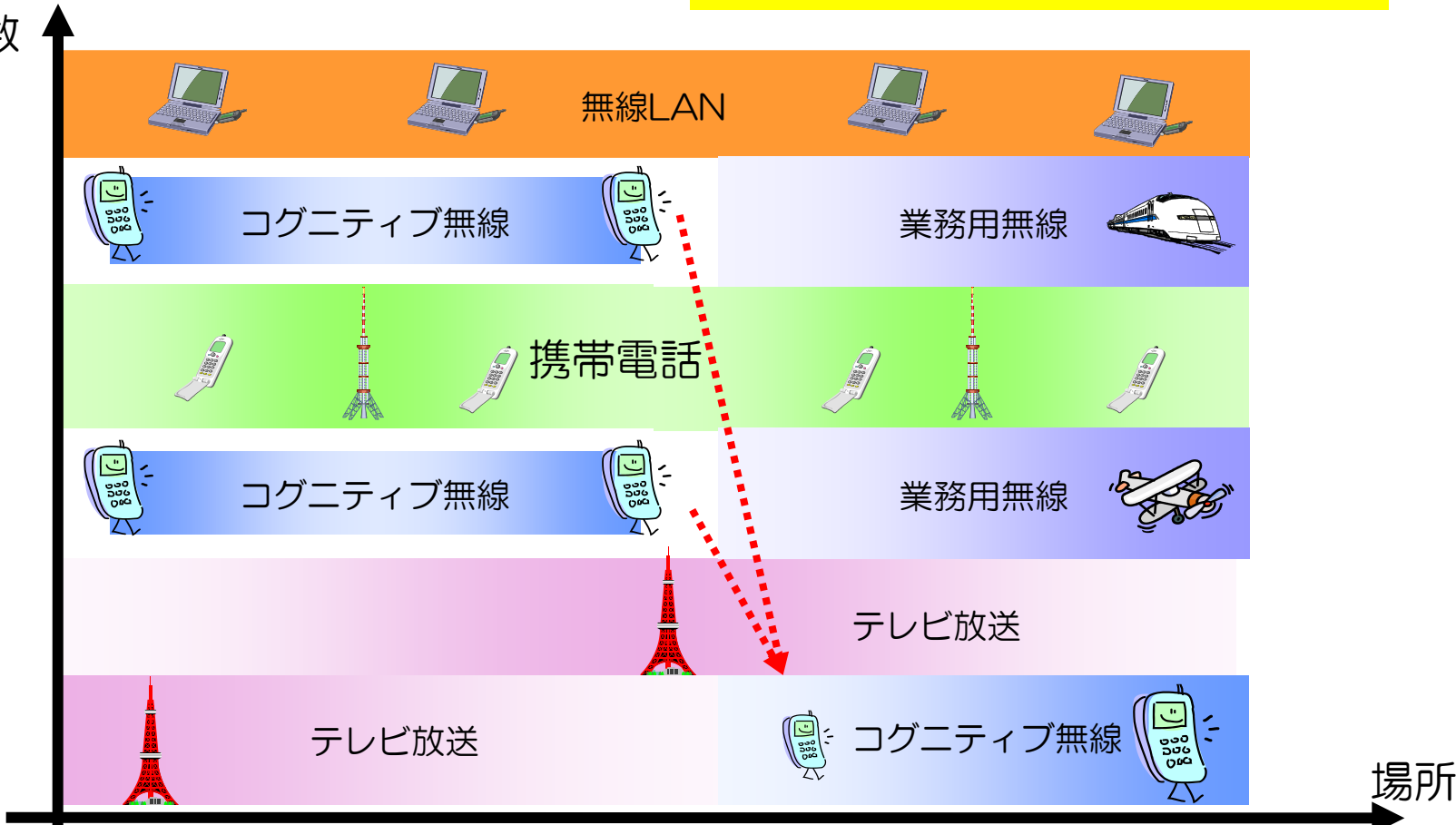
→ 従来の**FF, PD**の限界を超える高効率の追求

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

周波数



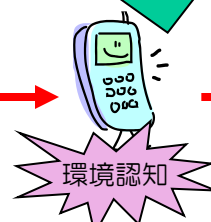
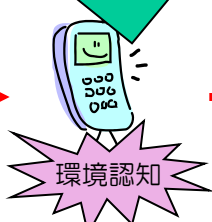
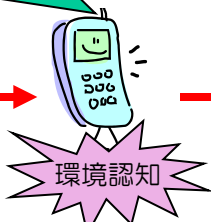
まとまった帯域がない！  
すきまを組み合わせさせて利用

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

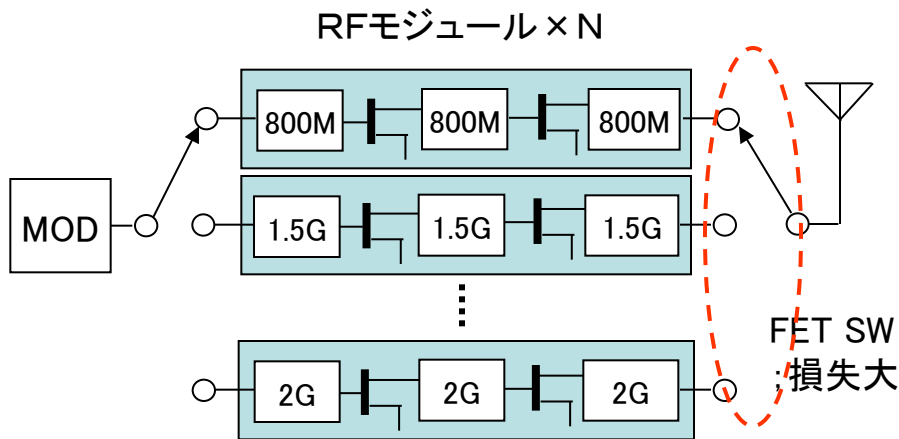
干渉が減ってきた！  
通信速度を速めよう

通信開始

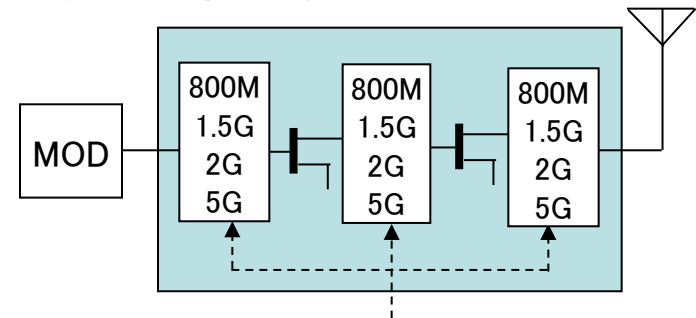


# リコンフィギャブル無線回路の研究

## ● 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

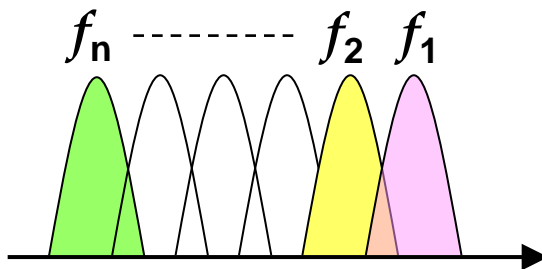


## リコンフィギャラブルRFモジュール

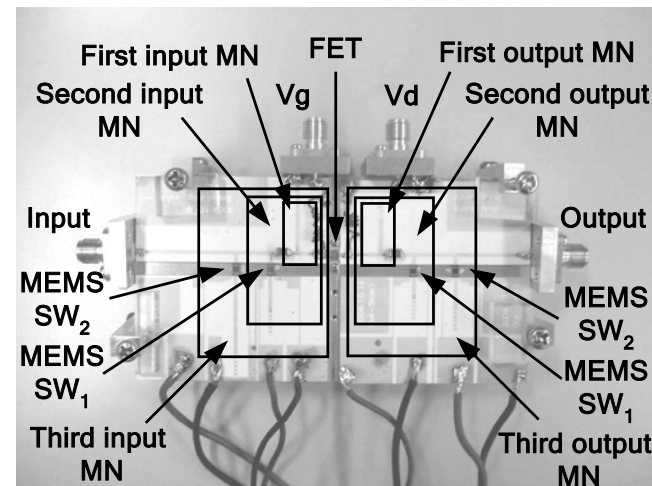


## 可変帯域制御

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**)

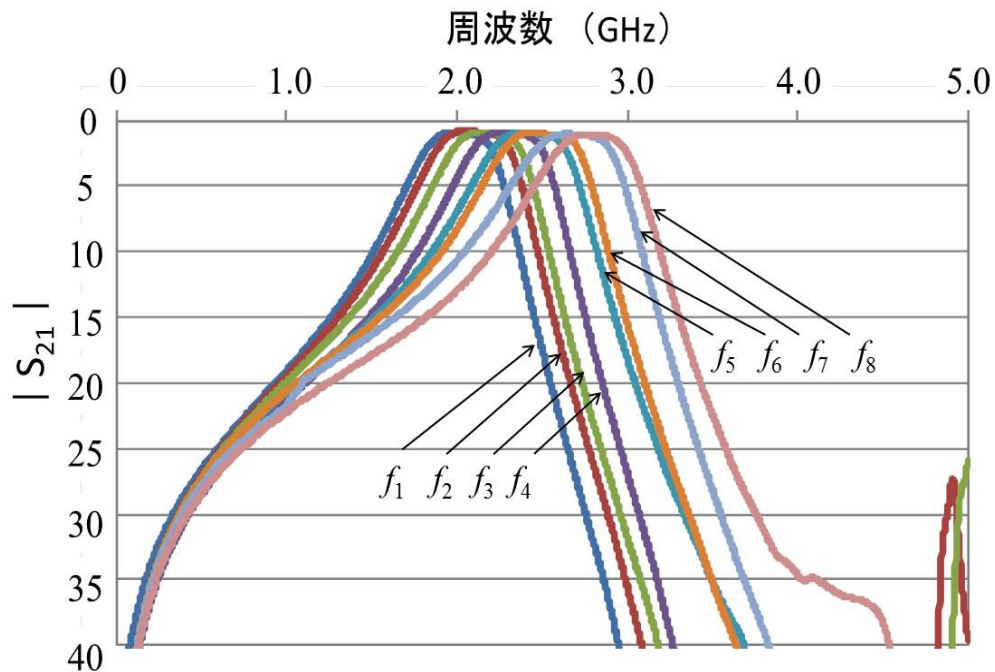
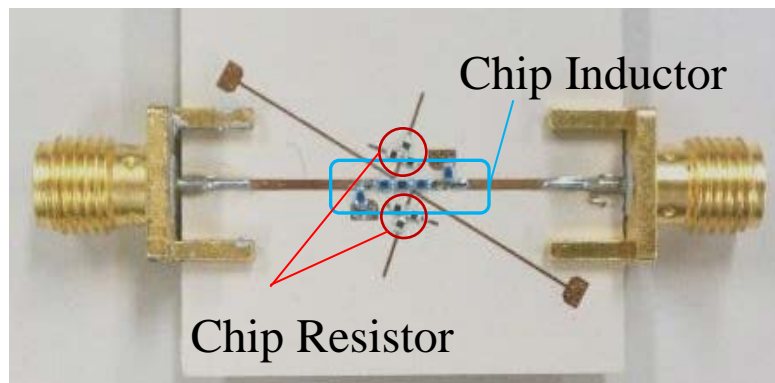


RF-MEMS SWを用いた900MHz/1.5GHz/1.9GHz帯  
リコンフィギャラブル電力増幅器 (NTTドコモ)



# 8周波数(3bit)切替可能な低損失のリコンフィギュ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

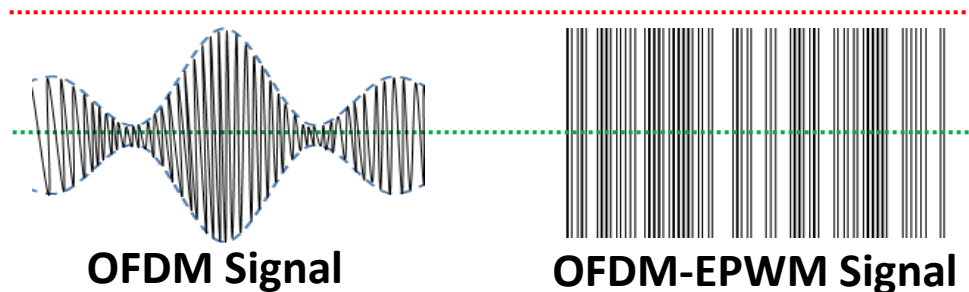
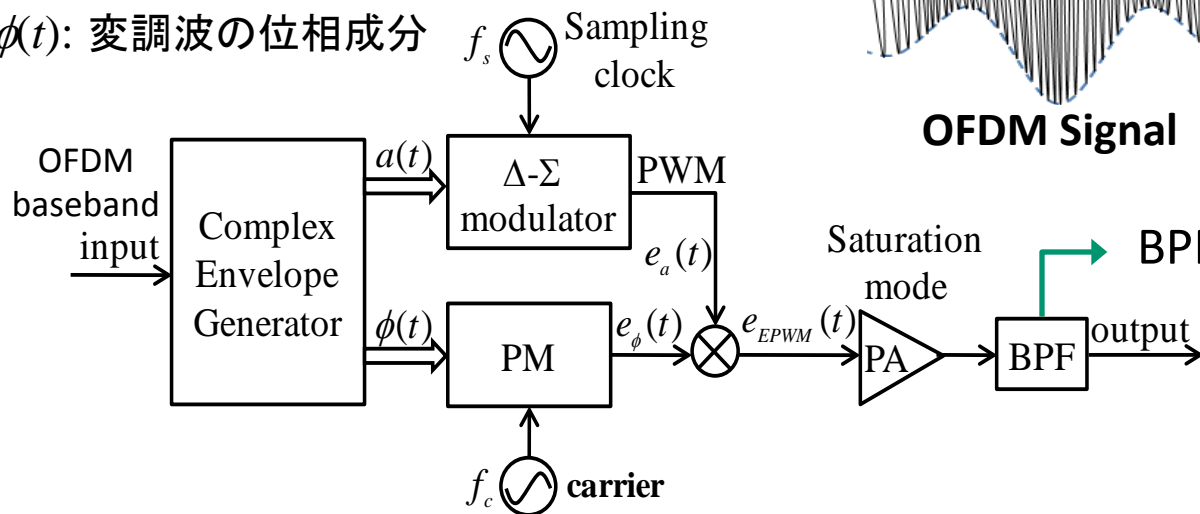
総務省 電波資源拡大のための研究開発に参加し企業と共同研究中!

# 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

包絡線変動

$a(t)$ : 変調波の振幅成分  
 $\phi(t)$ : 変調波の位相成分



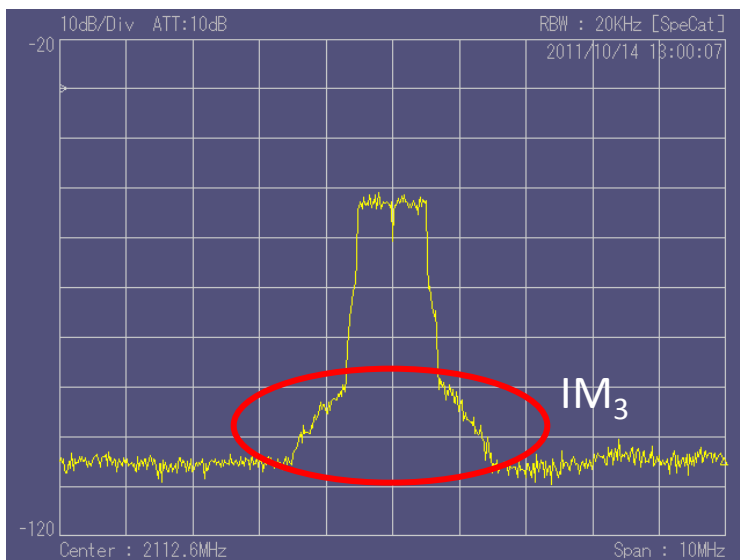
Saturation mode BPF によって源信号が復元される

BPF (中心周波数: 搬送波) は  
 ・電力増幅器ではその直後に  
 ・RoFでは受信O-E変換後に  
 配置する

# EPWMの適用による効果

## 電力増幅器

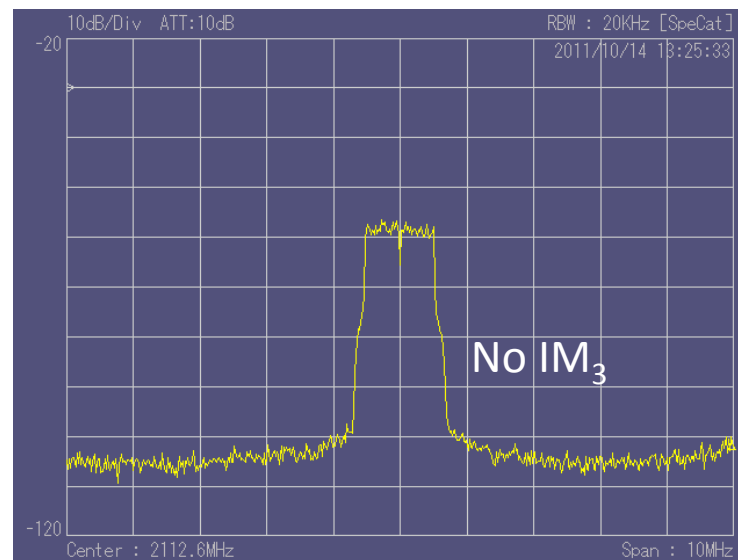
- 高効率の飽和増幅器を用いることで、高い電力効率(～60%)と無歪伝送の両立が可能



OFDM spectrum after  
RoF transmission with BPF

## 光ファイバ伝送

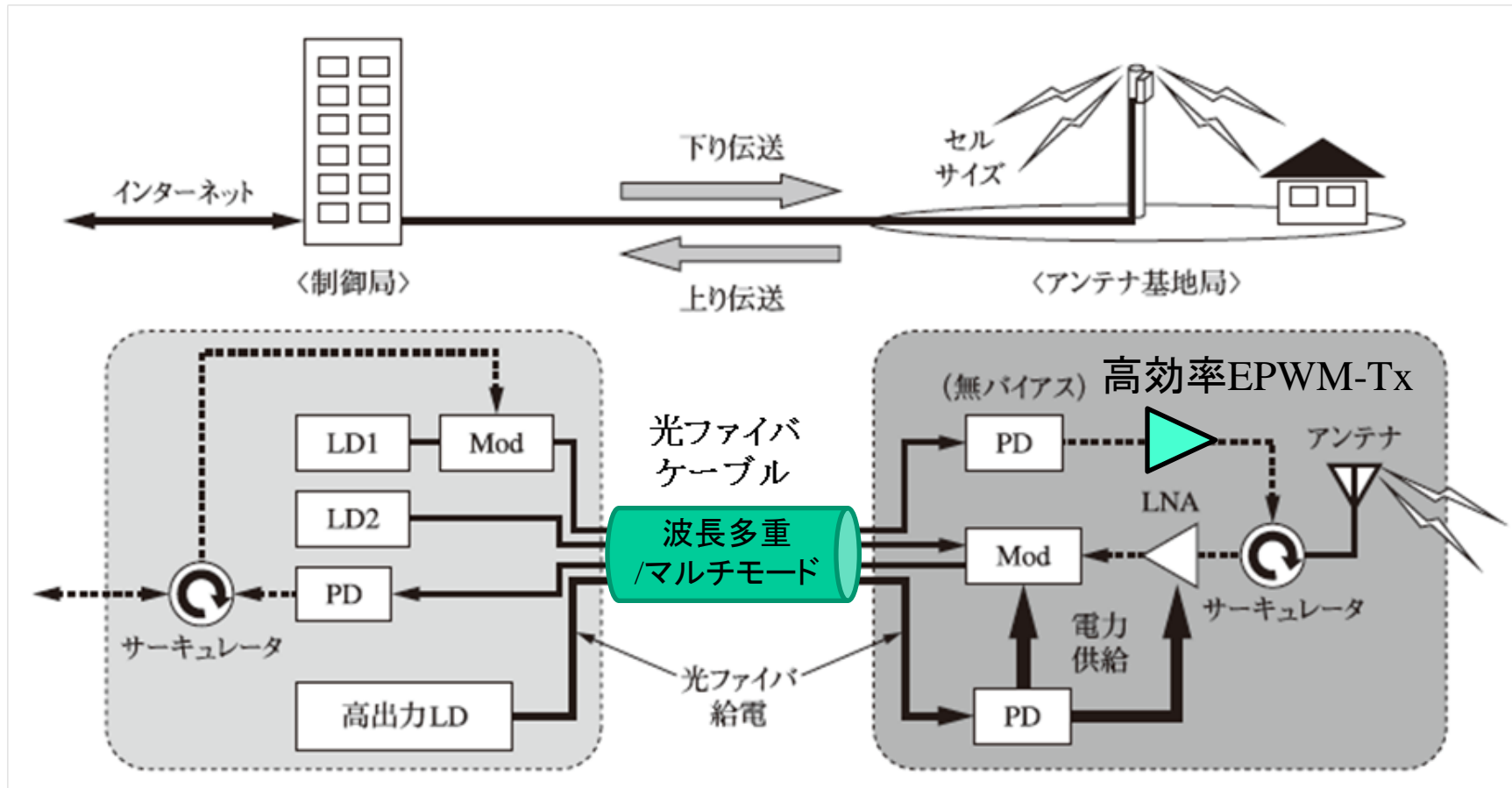
- 線形性の高くない安価なE-O変換器で無歪伝送が可能
- 長遅延のエコーひずみを、受信O-E変換後にリミッタを配することで除去可能



OFDM spectrum after ANC-EPWM  
RoF transmission with BPF

# 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】



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「電子棚札」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。

電子棚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。電通大の棚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。これからは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



- 2014.11月 IEEE MTTT-Japan **Young Engineer Award**(山尾研)
- 2014.5月 IEEE VTC2014-Fallで IEEE VTS-J **Young Researcher's Encouragement Award**(山尾研)
- 2014.3月 電気通信普及財団**テレコムシステム技術学生賞**(石橋(功)研)
- 2014.3月 電子情報通信学会**学術奨励賞**(藤井研)
- 2014.2月 NCSP'14 **Student Paper Award**(藤井研)
- 2014.1月 日中科学技術交流協会**中国人留学生研究奨励賞**(藤井研)
- 2013.12月 TJMW2013 **Young Researcher Encouragement Award**(石橋(孝)研)
- 2013.11月 IEEE MTTT-J/K/N **Yohei Ishikawa Award**(本城研)
- 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、石橋功至)
- 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の国際会議 VTC2012-Springで IEEE VTS-J **Student Paper Award**(2件同時、山尾研)



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・石橋研合同菅平台宿H26



教員3名、学生27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