

# 無線技術は何をめざすのか

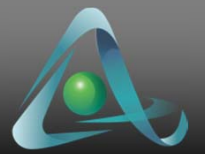
2015年7月

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 泰





- ◆ 無線通信技術の革新
- ◆ 要素技術の総合化(システム化)と  
これからの社会での無線技術の展開
- ◆ AWCCの研究と今後の展望



1918年12月8日 社団法人電信協会  
「無線電信講習所」創設  
モールス信号で通信を行う  
無線通信士を養成

1949年5月31日 国立学校設置法  
施行により電気通信大学設置

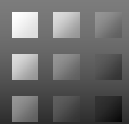
2018年 創立100周年記念

2005年4月  
先端ワイヤレスコミュニケーション  
研究センター (AWCC) 発足

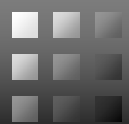
学内に分散する無線通信技術関連の  
教員を結集し、シナジー効果を得る

現在 教授 8名(兼務含む)  
准教授 1名  
所属学生数 約120名



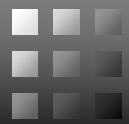


- ◆ カバレッジ(どこでも、いつでも通信したい)
- ◆ ブロードバンド化(ユーザスループット向上)
- ◆ 大容量化(多数のユーザを収容、周波数利用効率)
- ◆ 安定な通信品質(雑音、干渉による品質低下)
- ◆ 端末・基地局の小型・低消費電力化

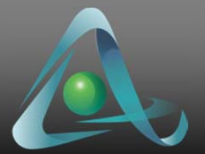


- ◆ カバレッジ(どこでも、いつでも通信したい)
- ◆ **ブロードバンド化(ユーザスループット向上)**
- ◆ 大容量化(多数のユーザを収容、周波数利用効率)
- ◆ 安定な通信品質(雑音、干渉による品質低下)
- ◆ 端末・基地局の小型・低消費電力化

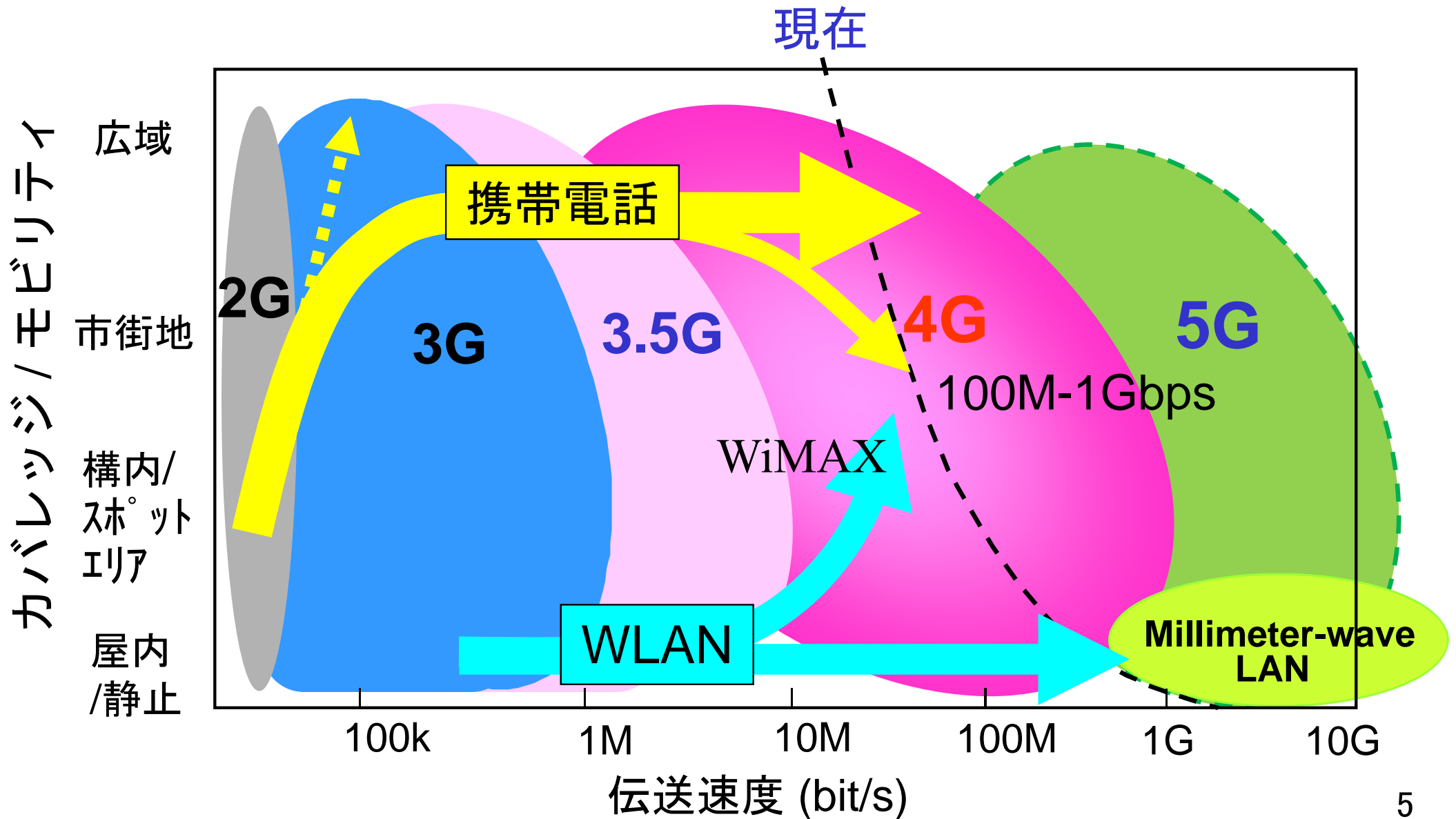


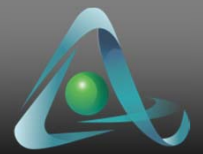


# カバレッジと通信速度のトレードオフ



- 無線通信システムは背反する要求を目指して進化中





## ● Shannonの通信路容量

$$S = G_r G_t P_t / L_p$$

$P_t$  ; 送信機出力電力  
 $G_t$  ; 送信アンテナ利得  
 $G_r$  ; 受信アンテナ利得  
 $L_p$  ; 伝搬損

$$C = B \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right)$$

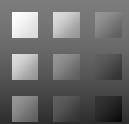
$C$  ; 通信路容量 (bit/s)  
 $B$  ; 通信路の帯域幅 (Hz)  
 $S$  ; 帯域幅上の受信信号の総電力 (W)  
 $N$  ; 帯域幅上の受信雑音の総電力 (W)

相反

$$Bn_0 \quad (n_0; \text{雑音電力密度} = kTF)$$

$T$  ; 絶対温度  
 $F$  ; 雑音指数

- ◆ シヤノン限界を実現する具体的な方法を、Shannonが示したわけではない
- ◆ 広帯域化で雑音電力が増加するので、 $S$  を増加しないと容量は増加しない



## ◆ 送受信間距離を短くして伝搬損失を減らす

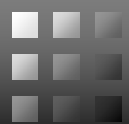
- ➡ 無線ゾーン半径縮小(マイクロセル、ピコセル、フェムトセル基地局の導入)  
送信機の電力効率改善

## ◆ マルチアンテナ受信／送信、ダイバーシチ技術

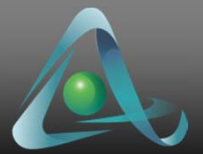
- ➡ フェージングによる損失増加の軽減、  
システムとしてのアンテナ利得の増加

これらの技術は、ブロードバンド化のみならず、  
大容量化・通信品質の安定化にも大きく寄与





- ◆ カバレッジ(どこでも、いつでも通信したい)
- ◆ ブロードバンド化(ユーザスループット向上)
- ◆ **大容量化(多数のユーザを収容、周波数利用効率)**
- ◆ 安定な通信品質(雑音、干渉による品質低下)
- ◆ 端末・基地局の小型・低消費電力化

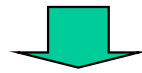


- 移動通信を初めとするワイヤレス通信ネットワークでは、複数の加入者が**空間**という**伝送媒体**を共同利用する。

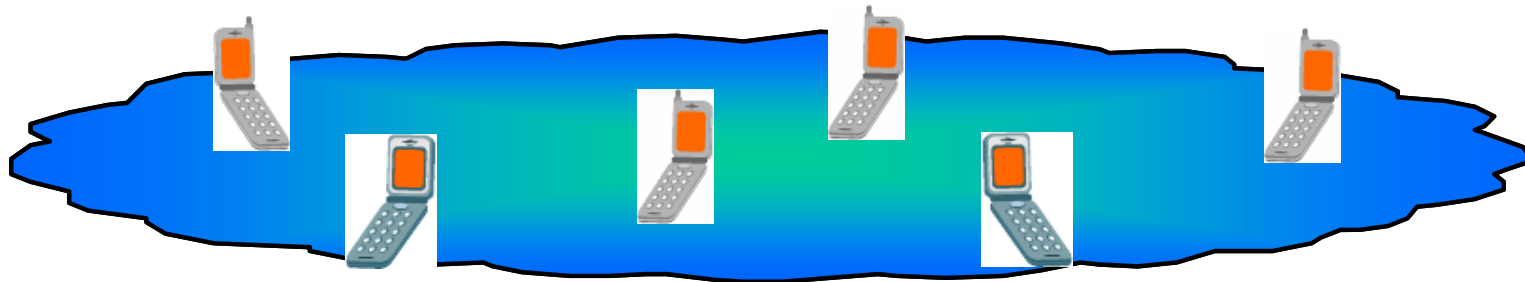
## Multiple Access (MA; 多元接続)



複数の(ユーザ/通信機が)



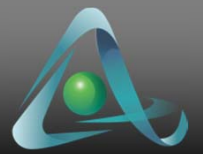
伝送媒体を利用する



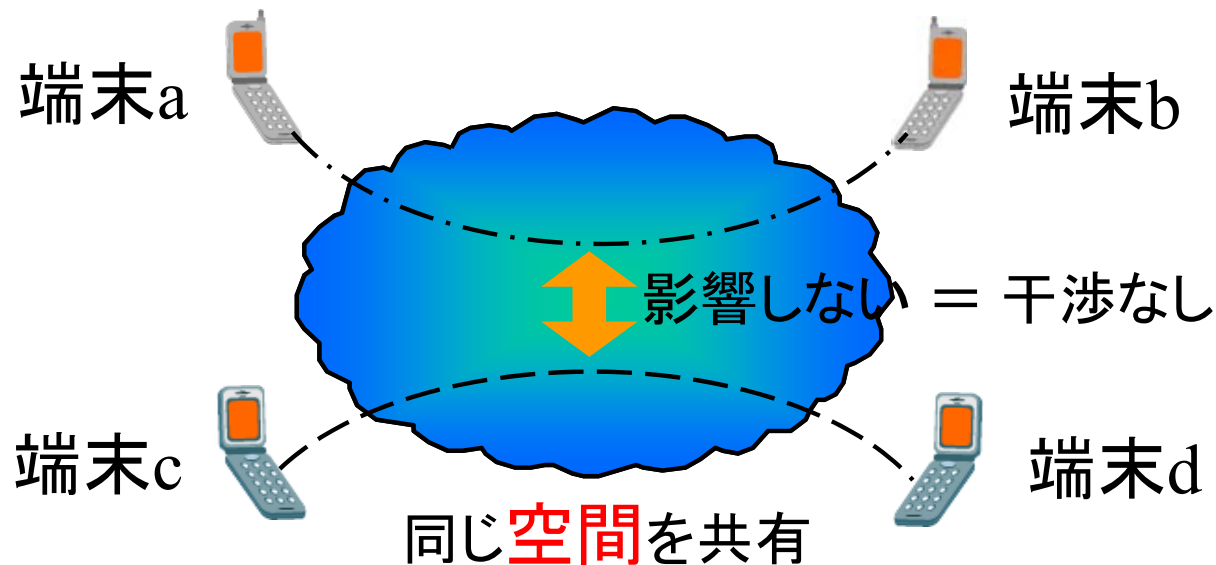
複数のユーザ/通信機が、**互いの通信を妨害(競合)せず**、**伝送媒体を共同利用**することがマルチプルアクセスである。



# マルチプルアクセスと通信チャネルの独立性



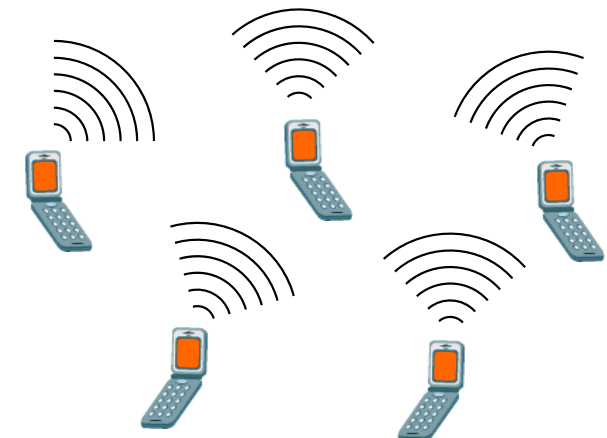
- 干渉を防ぐには、端末毎の通信が互いに「**独立**」で相互に影響しないことが必要

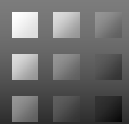


- ではどのようにして評価するか？

ここでは空間の概念の導入が必要。

単位空間において、できる限り多量の通信が可能なシステムが望ましい





# 周波数(スペクトル)利用率



- **情報伝送速度**のユーザ総計でシステム容量を表したとき

単位帯域(1Hz)・単位面積(m<sup>2</sup>)あたりのシステム容量で周波数(スペクトル)利用効率を表すと考えることができる。

## スペクトル利用率

$$\eta_{bit/s} = \eta_s \cdot \eta_{ch} \cdot \eta_t(n) \quad (\text{bit/s/m}^2/\text{Hz})$$

空間的利用効率

(1/m<sup>2</sup>)

同一周波数繰り返しの稠密化(誤り訂正符号化、干渉キャンセラ)

伝送周波数効率

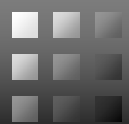
(bit/s/Hz)

多値変調(64QAM~)  
適応変調・符号化  
MIMO多重

時間軸上の利用効率

(Erl/ch)

無線リソース割当制御  
(ユーザ間ダイバーシチ)



# 未使用周波数の有効利用



- 現実には全ての周波数帯域が24時間、全ての空間で使用されているわけではない。
- 空間および時間によって未使用の周波数帯域を有効活用することができれば、実質的なスペクトル利用率を上げ、大容量化することが可能となる。
- このためには、現在の環境を認識して**2次ユーザ**が使用可能な帯域を決定できる必要がある。

## コグニティブ無線

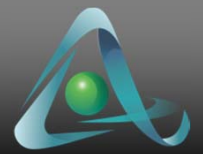
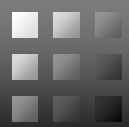
### 実現の課題

- ✓ **1次ユーザ**の正確なセンシング法
- ✓ **1次ユーザ**に関する詳細なデータベースと**2次ユーザ**のアクセス手段
- ✓ 任意の周波数帯域にアクセスできるバンドフリー無線回路



- ◆ カバレッジ(どこでも、いつでも通信したい)
- ◆ ブロードバンド化(ユーザスループット向上)
- ◆ 大容量化(多数のユーザを収容、周波数利用効率)
- ◆ **安定な通信品質(雑音、干渉による品質低下)**
- ◆ 端末・基地局の小型・低消費電力化



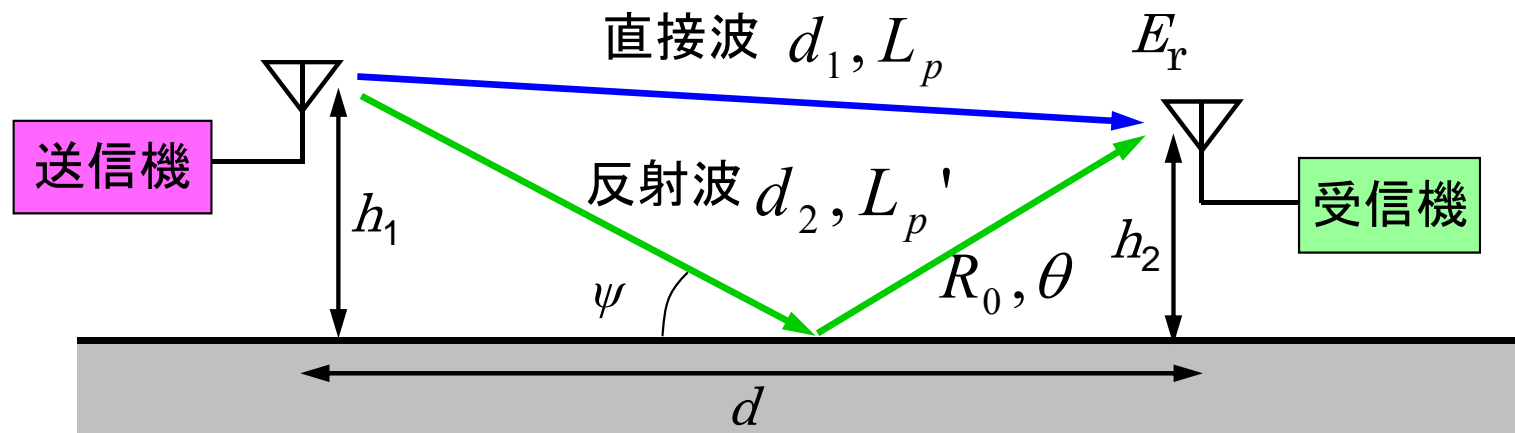


## ● ワイヤレス通信の本質とは

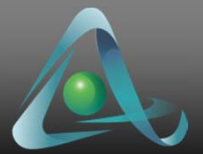
**確率現象** (偶然) が支配する

**自然現象** (電波伝搬) を用いた

時には使えないシステム



見通し区間でも地面反射波によりフェージングが発生



## フェージングの原因; 多重波伝搬

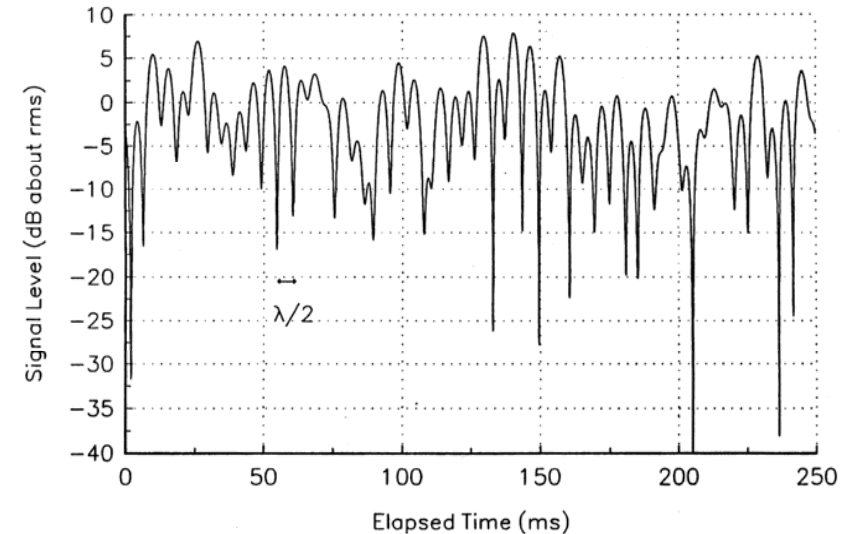
(1) 気候の変化や気象現象(蜃気楼など)による空間の状態変化

(2) 空間をとりまく環境の変化

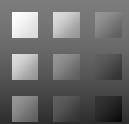
例1) 送信点または受信点の移動による

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

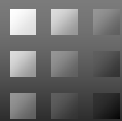


- ワイヤレス通信のほとんどの環境でフェージングは避けられない
- その影響を抑える技術(TPC; 送信電力制御とダイバーシチ受信)は携帯電話システムでかなり高度化したが、未だ完璧ではない
- 一方、小型のユビキタスデバイスやセンサーでは、高価な対策が困難であり、フェージング対策が未だ大きな課題である

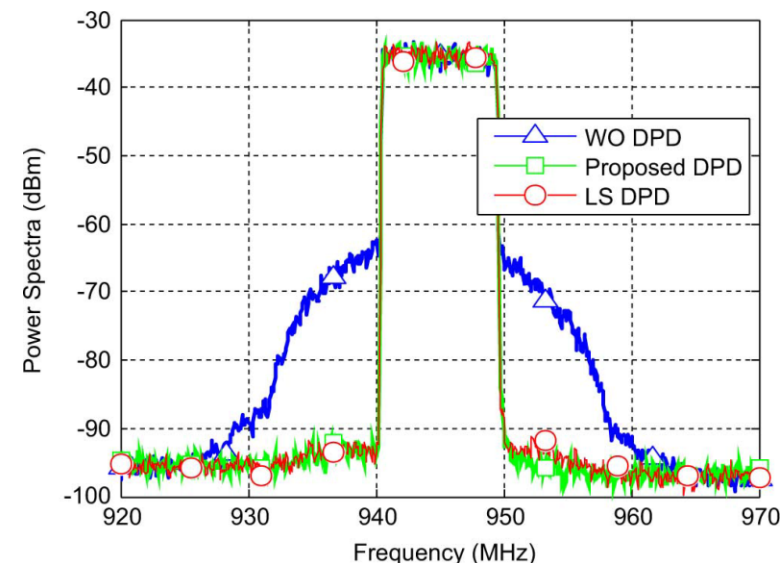


- ◆ カバレッジ(どこでも、いつでも通信したい)
- ◆ ブロードバンド化(ユーザスループット向上)
- ◆ 大容量化(多数のユーザを収容、周波数利用効率)
- ◆ 安定な通信品質(雑音、干渉による品質低下)
- ◆ **ハードウェアの小型・消費電力化**





- ワイヤレス通信では干渉を抑えるため帯域外放射を厳しく規制
- ブロードバンド信号伝送に用いられるマルチキャリア変調(OFDM)は非線形の影響を受けやすく、帯域外放射が発生するため、高い電力効率での増幅が困難
- 端末や基地局の小型・消費電力化のために **線形性と高効率の両立**が必要

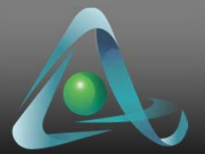
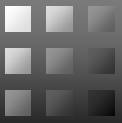


OFDM信号送信スペクトル

## 非線形補償技術、パルス変調増幅技術

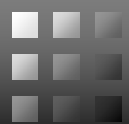
### 実現の課題

- ✓ 非線形素子の正確なモデル化と、少ない次数での逆特性の探索法
- ✓ 非線形補償帯域のブロードバンド化、複数帯域の一括補償
- ✓ 源信号が不明な受信機でのブラインド非線形補償
- ✓ パルス動作送信法の技術確立



## 2. 要素技術の総合化(システム化)と これからの社会での無線技術の展開



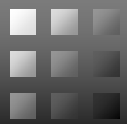


# ワイヤレス通信品質劣化の原因と対策

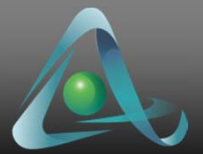


- ワイヤレス通信で良好な通信品質を得るためには、複数の原因に対する**広い範囲の技術**が必要

熱雑音	$S/N_{th}$	信号 $S$ の伝搬損を抑える技術
都市雑音	$S/N_m$	
干渉	$S/I$	干渉 $I$ を抑圧・軽減する技術
遅延ひずみ	$S/D$	信号のひずみ $D$ を抑える技術
同期誤差	$\varphi$	
装置精度	EVM	変復調精度を高める技術

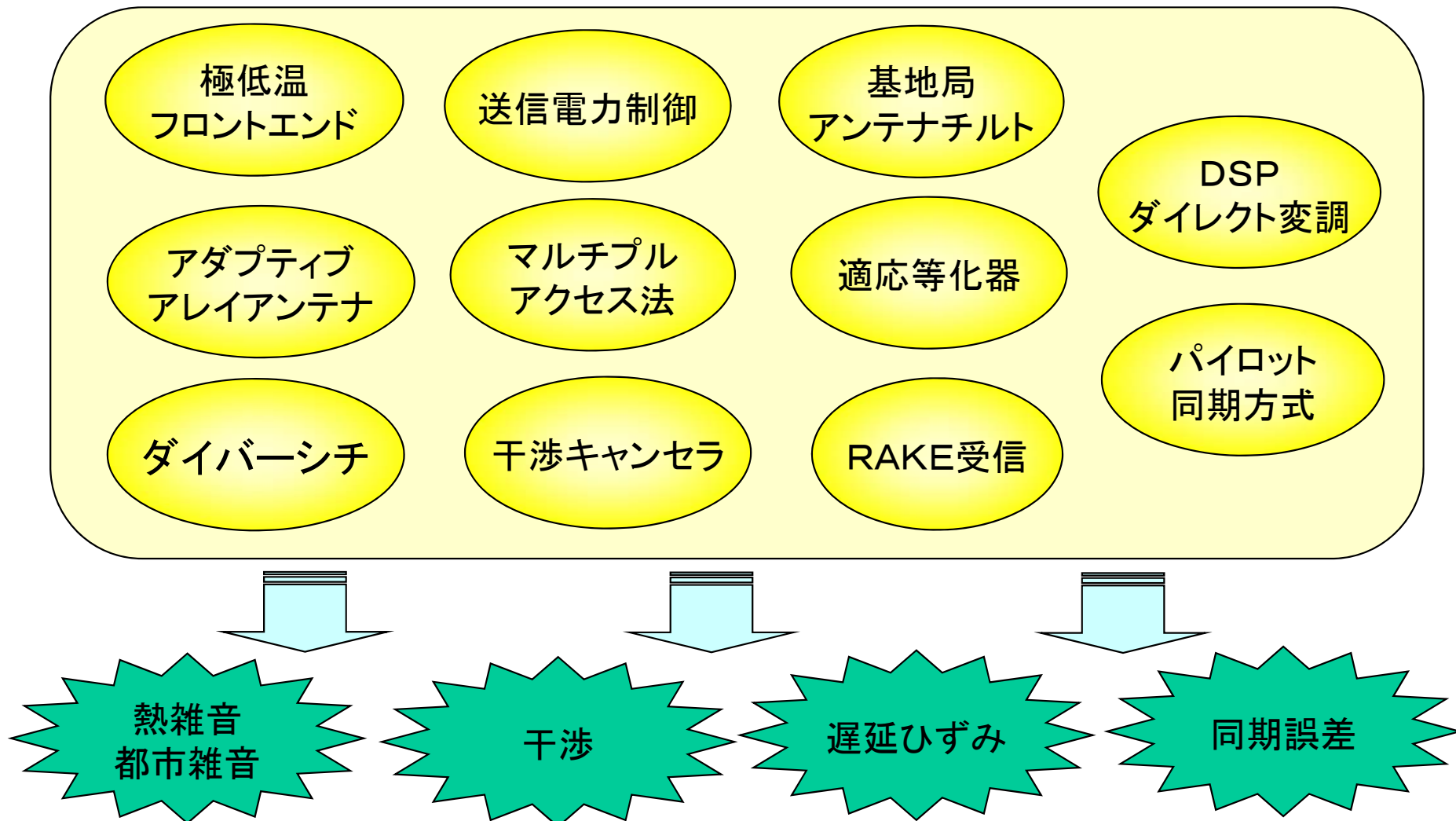


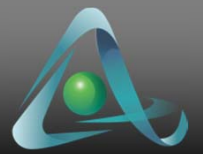
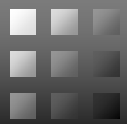
# 必要な技術分野



- 必要な技術分野は広く、個々の研究者の守備範囲では不足

プロジェクト研究が有効な技術を生み出す

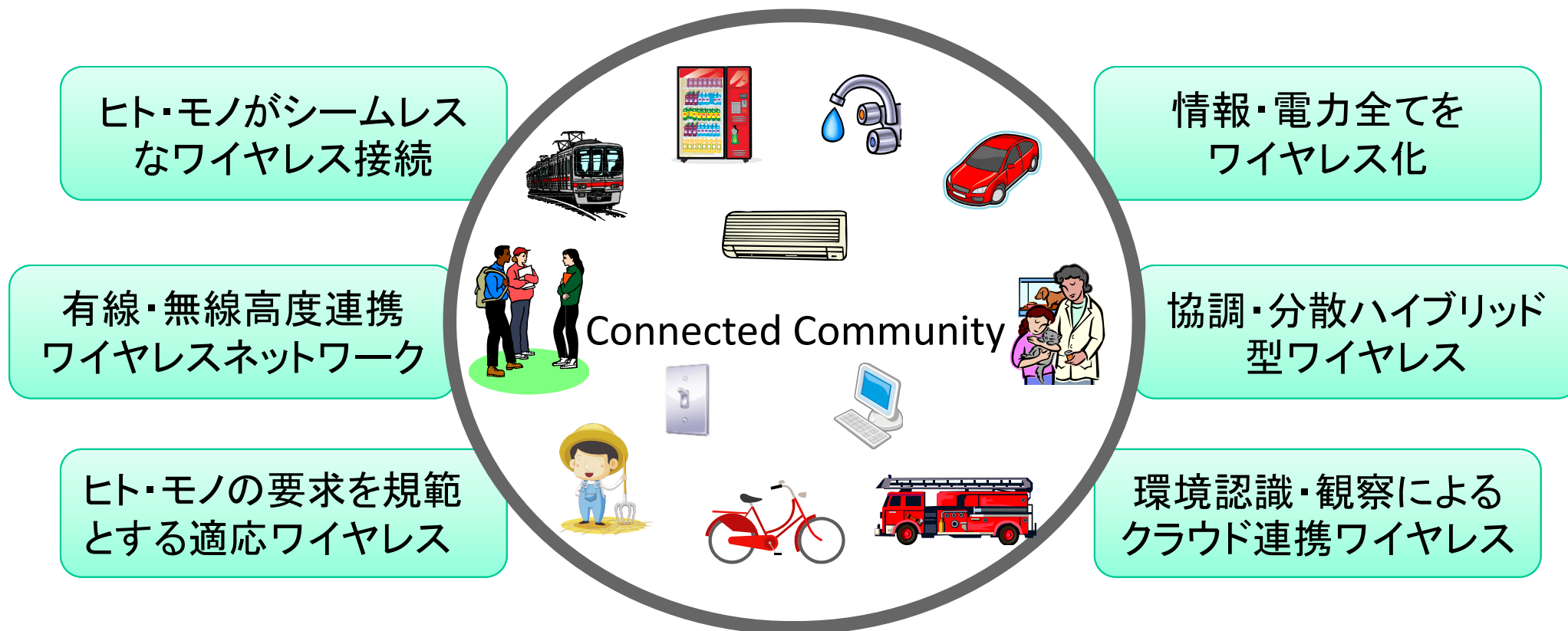




## 情報通信を支えるワイヤレスから 社会基盤を支えるワイヤレスへ

- 現在：情報通信を支える技術として重要な役割
- 将来：社会インフラを支える基幹技術
  - － 多様な用途で、多様な端末が、多様な要求品質
  - － 人とモノ、モノとモノ、社会にある様々な人やモノ同士が相互に接続

**Ambient Wireless in Connected Community**



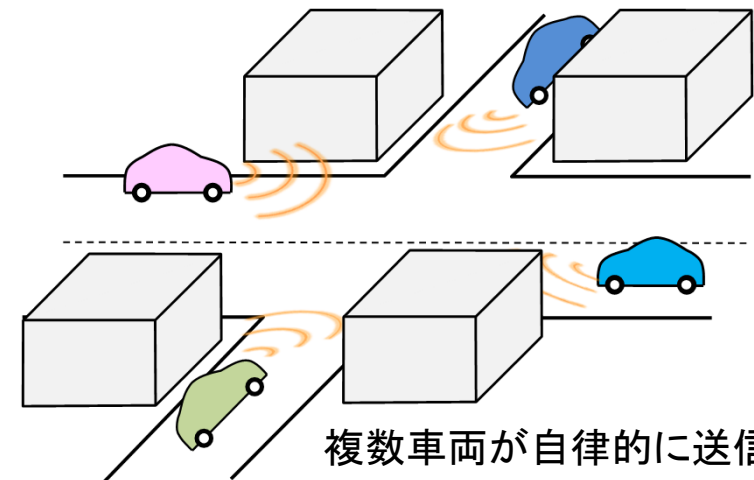
爆発的な無線需要の増加 → レイヤ・有線・無線を超えた究極的なネットワーク設計が必要

無線技術およびその周辺領域に関わる研究者の叡智の統合が必要

# 例1；自動走行に向けたITS通信技術の高度化

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定期的  
研究対象; に送信して情報を交換する**自律分散**  
**車車間ブロードキャスト通信システム**

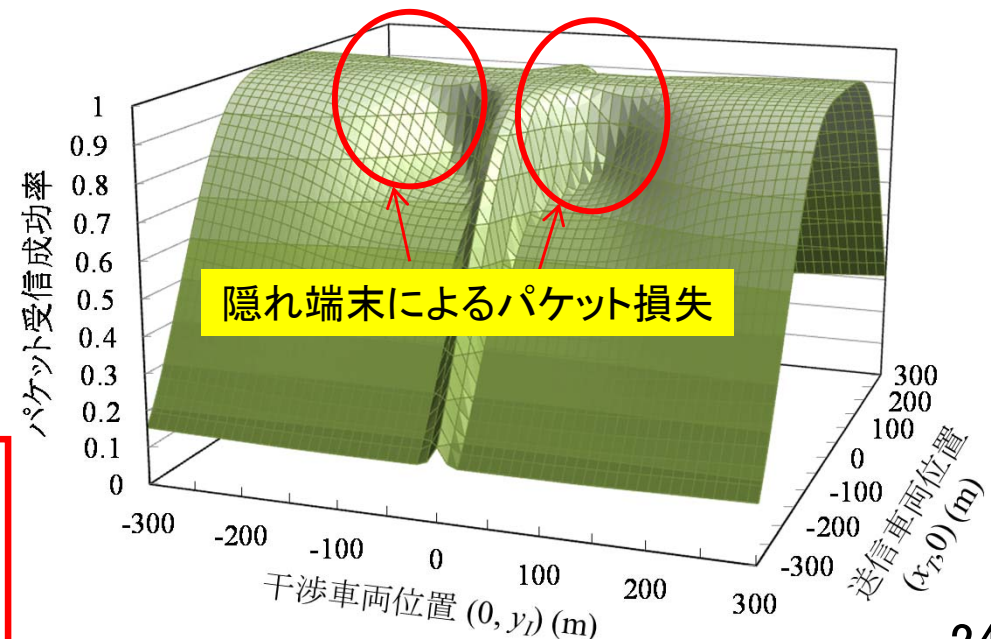
交差点環境における車車間通信パケット受信成功率

## 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

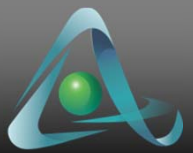
- ・路側中継器による中継の効果
- ・交差点の電波環境での通信信頼度評価
- ・MAC層での送信制御法の改良



内閣府の戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)(2014~ )の課題として官民挙げて推進  
AWCCも参画



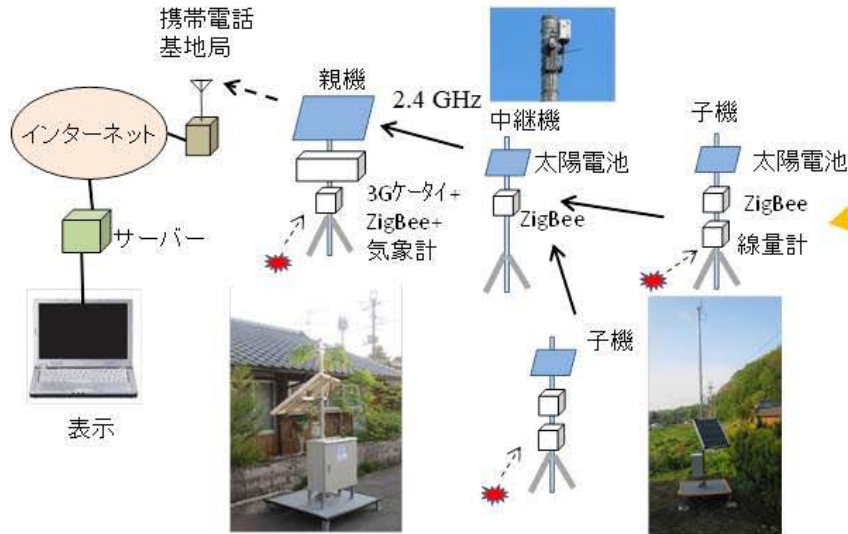
# 例2；放射線センサーネットワーク



【研究のねらい】 放射線量の時間・空間分布を明らかにし、住民の安全や除染事業に資する

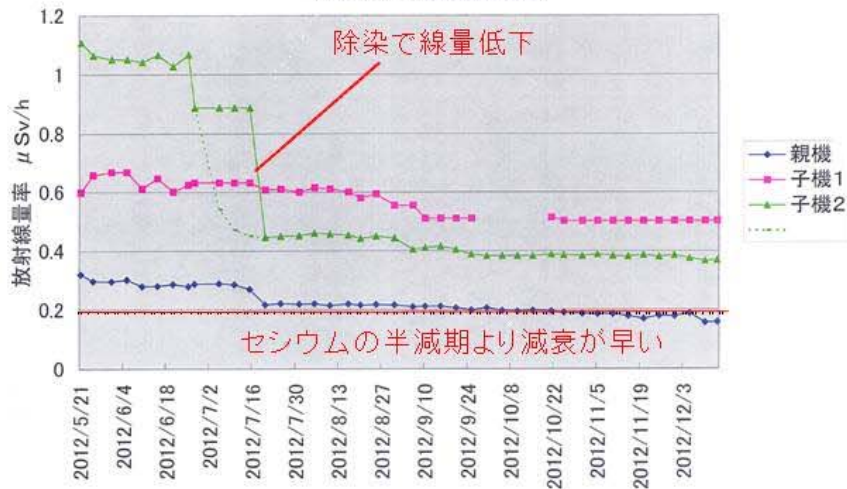
① ZigBeeセンサーネットワークを開発して2012年5月より3地点の線量を連続して測定、結果を大学に送信

② 移動式放射線量測定装置を開発して2012年10月より1次元、2次元(面)の線量分布を測定



放射線センサーネットワークの構成

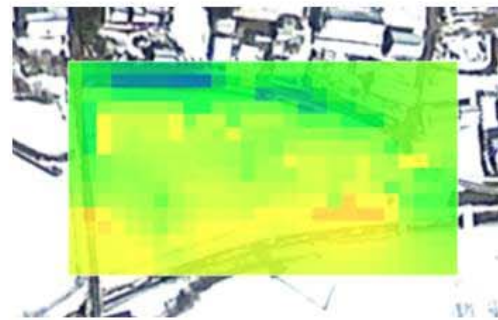
川内村第七地区線量推移



放射線量の時間的変化



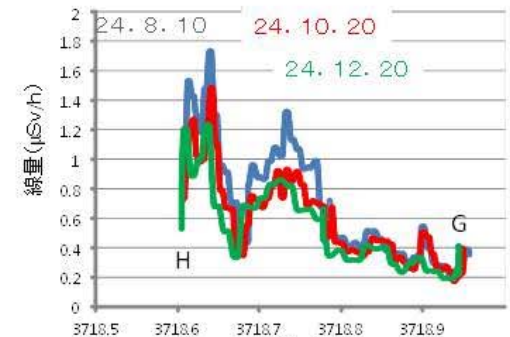
飛行式放射線測定装置



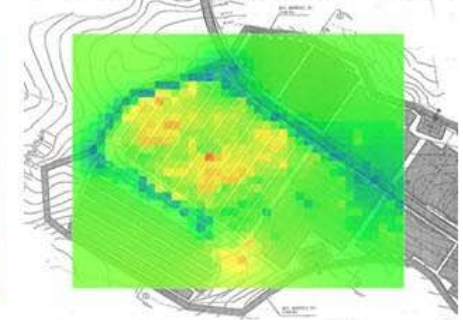
居住地の放射線量分布



歩行式放射線測定装置



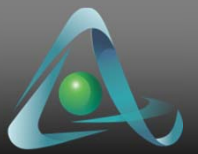
道路上の放射線量と変化



仮置き場の放射線量分布



# 例3; ワイヤレス電子棚札



【研究のねらい】: 1万個以上の低電力動作可能な電子棚札を収容できる小電力ワイヤレス通信システムの実現

【研究の新規性、有効性】: 従来にない膨大な数のノードを収容するための間欠動作での衝突防止・自律棲み分け方式の共同研究と実システムでの実証



電池駆動で7年動作  
1万台を数分で書換可能



値段以外の様々な情報を盛り込み、効率良く管理できる

「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。これからも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。

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。これからも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。

新 月 刊 2012年(平成24年)5月31日(木曜日)

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となつて、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。

## 電子値札——電気通信大

### 情報多彩、管理も効率よく

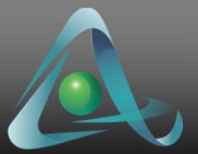
が25%に拡大。1台の親機で管理できる棚札も従来の数倍にあたる1500枚に増やした。

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。

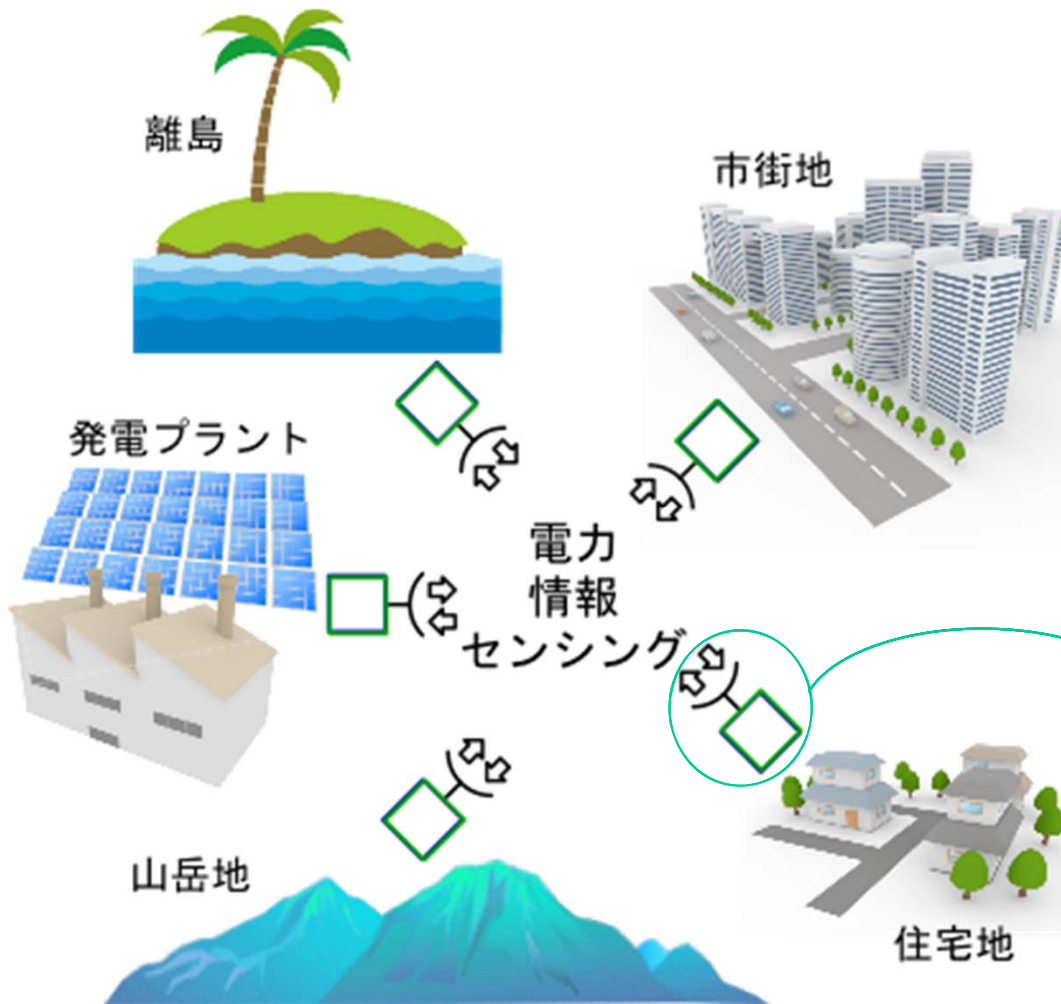
価格は棚札3000枚の場合でシステムなどと合わせて500万円。1枚当たりの価格は従来品より2〜3割高いが、2月に流通業の展示会への参加をきっかけに約200件の問い合わせが来ているという。埼玉県のスパーなど実際に導入した店も出始めた。

キャンペーン発  
この一品

# 例4; ワイヤレス(マイクロ波)給電

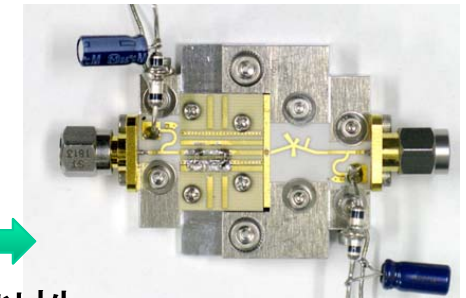
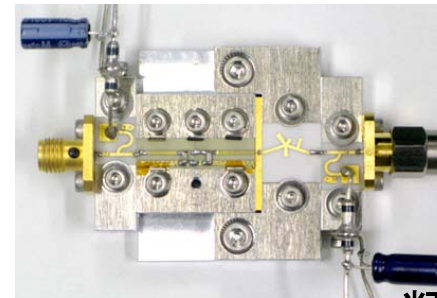


- ・高効率電力・情報同時送信・受信
- ・有線配線困難地への無線電力・情報供給
- ・分散協調型レーダシステム



GaN HEMT増幅器  
(直流→マイクロ波)

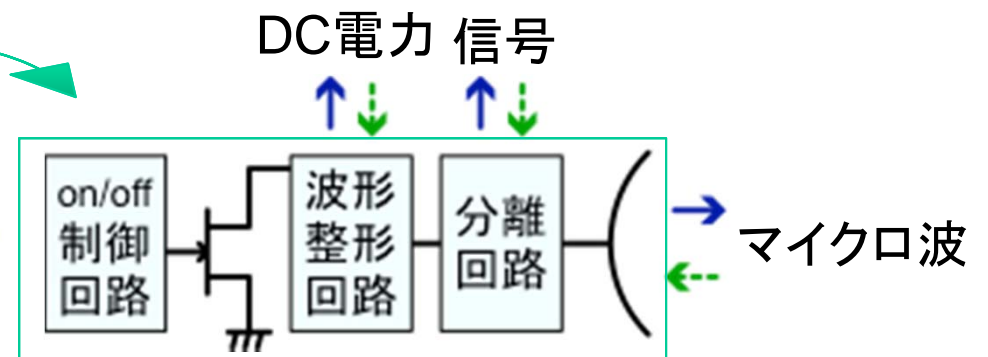
GaN HEMT整流器  
(マイクロ波→直流)



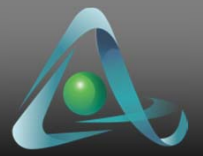
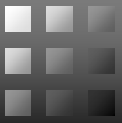
変換効率82% (5.43 GHz) 類似性 変換効率78% (5.45 GHz)

1つの回路で  
両機能を実現

マイクロ波一直流電力変換モジュール

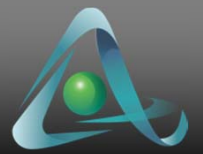


トランジスタ



### 3. AWCCの研究と今後の展望

# AWCCの組織体制の強化(2015.4)



- AWCCは**兼務教員**、**協力教員**を通して**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、**産学連携**や**外部資金獲得**でも大きな実績を上げてきたが、2015年度に**ミッション**を見直し体制を強化

センター長 山尾 泰

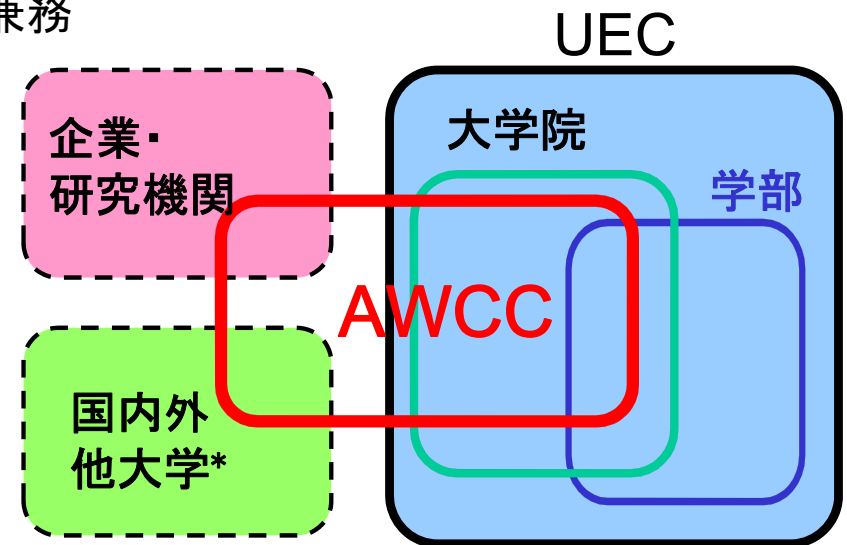
専任教員 山尾 泰\*、藤井威生\*、石橋功至\*  
3名 (+1名増員予定) \* 情報・通信工学科/専攻兼務

兼務教員 石橋孝一郎、大木英司、唐沢好男、  
4+2名 本城和彦、石川亮、松浦基晴

客員教員(特定領域研究担当) 4+1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

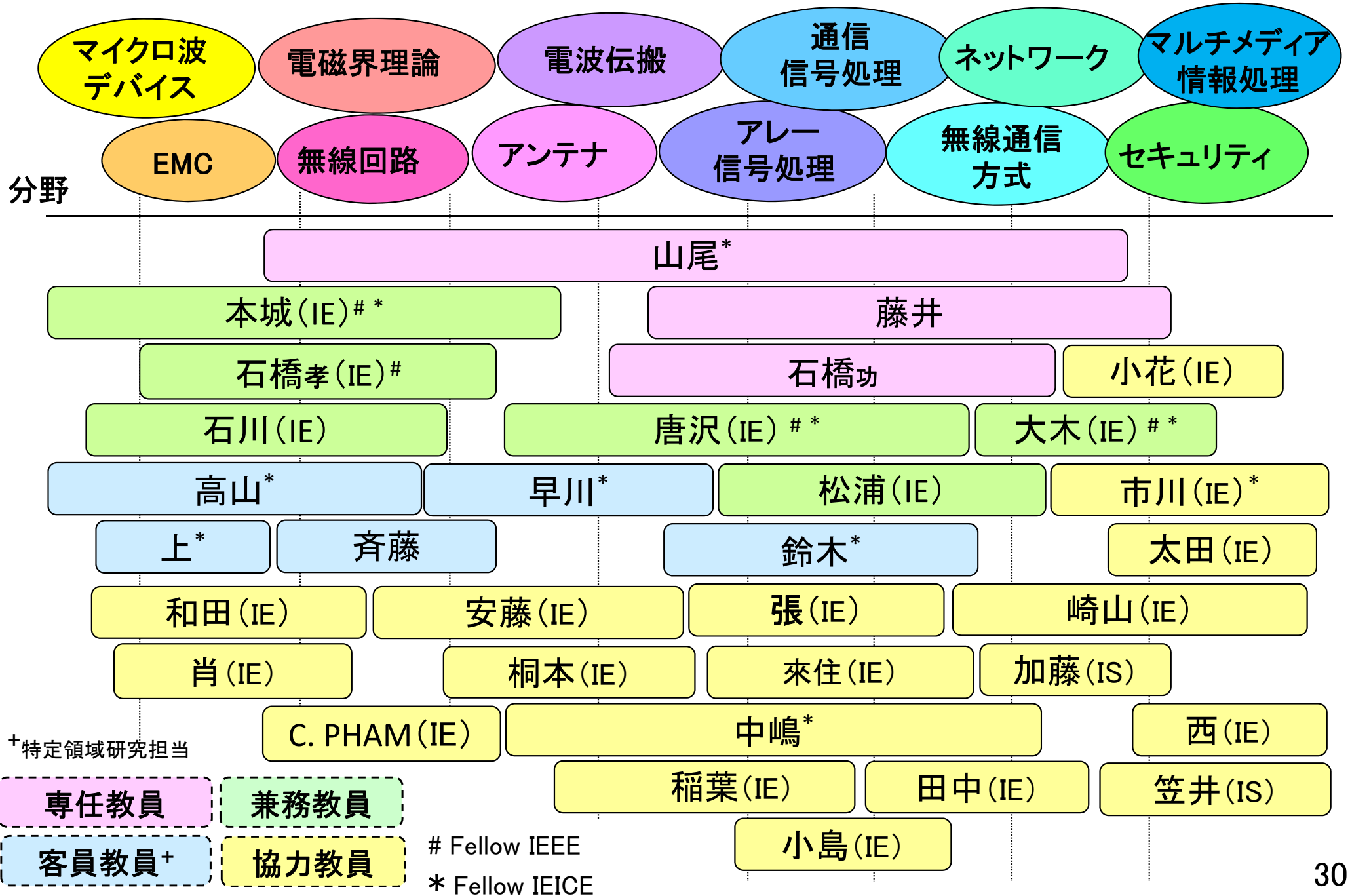
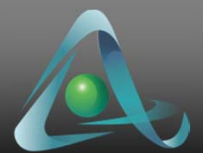


\* 早稲田、東工大、MIT、Jacobs Univ.  
北京郵電大、中国電子科技大、  
ホーチミン工科大ほか

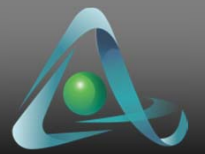


# AWCC教員の研究専門分野

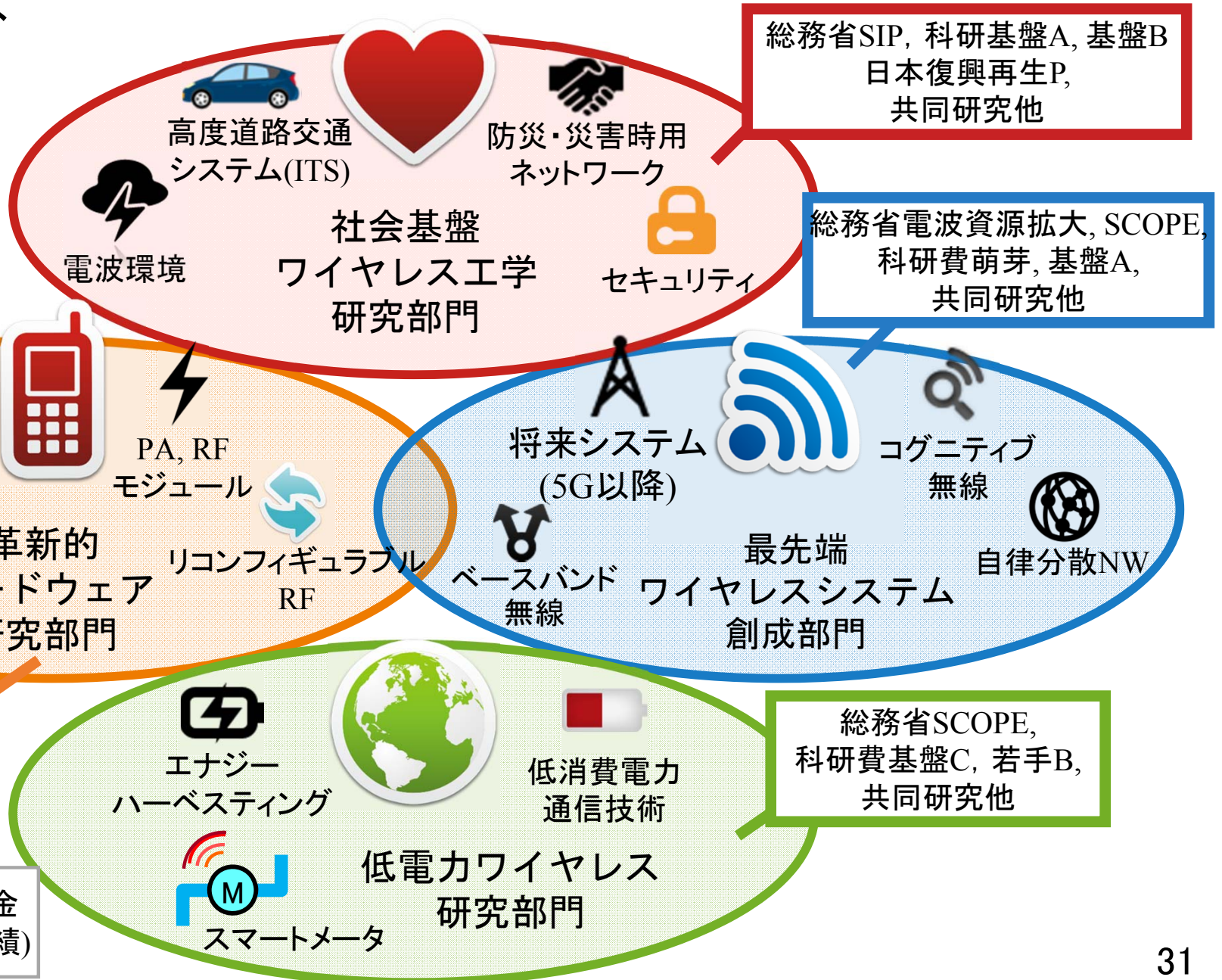
ワイヤレスのキー分野  
を広くカバー



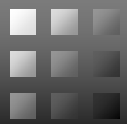
# AWCCのプロジェクト部門研究体制



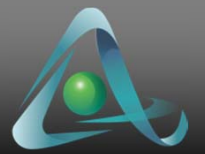
総合力強化のため、  
研究領域を4つに  
重点化して部門別  
体制を整え、プロ  
ジェクトベースで  
産学連携・外部資金  
の獲得を推進



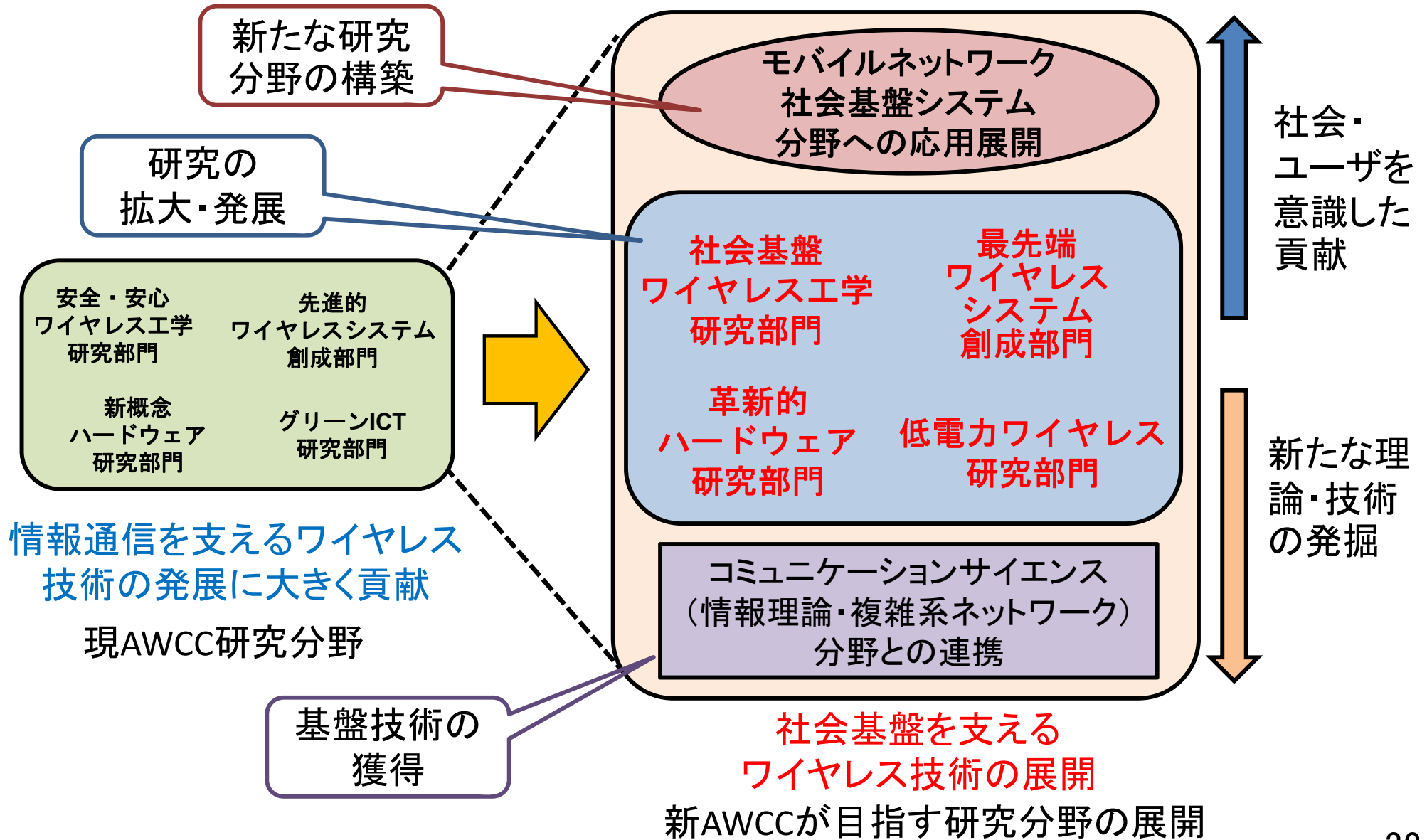
枠内は関連した競争的資金  
または外部資金(H25/26実績)



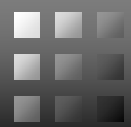
# AWCCの研究分野拡大



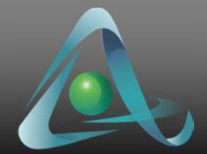
AWCCの長所を伸ばし不足分野を補いワイヤレスで社会に貢献







# Tokyo Wireless Technology Summit



AWCCと早稲田大学国際情報通信研究センター(GITI)は、ワイヤレス通信分野で世界的に著名な研究者6名の招待講演による国際シンポジウム Tokyo Wireless Technology Summit 2014 を2014年3月に共同開催(参加者数240名)



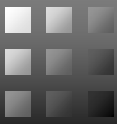
会場の様子



講演者との集合写真

将来のワイヤレス通信のブレークスルーを起こす技術について、様々な視点から会場を含めて活発に議論。 広く今後のワイヤレス通信関連ビジネスや研究開発等の参考とするとともに、AWCCとして今後の国際協力の緒とした。





今後ともAWCCは社会に貢献する技術の創出を目指して  
研究を推進します。

ご静聴  
ありがとうございました

