



National Institute of Information and Communications Technology

電波有効利用を促進する技術の 技術動向と今後の方向性

2012年9月14日

独立行政法人 情報通信研究機構

熊谷 博

- 電波有効利用の促進において国際競争力を強化するために、我が国としてどの分野の研究開発に注力すべきか。
- 技術動向を踏まえて、我が国の今後の方向性を検討する。
- 検討する分野
 - 無線通信技術
 - 無線LAN
 - ソフトウェア無線
 - コグニティブ無線
 - スマートユーティリティネットワーク
 - 携帯端末用衛星通信システム
 - M2Mや新たな電波利用技術
 - 電磁環境技術

□ 5GHz無線LANシステムの意義

- 2.4GHz帯無線LANで収容しきれないトラフィックを収容
- 携帯電話トラフィックのオフロードへも貢献
- 災害時のバックアップ回線(メッシュリンク、無線アクセス、無人航空機:UAS)
- 1次産業等を中心とした地域ビジネス振興のためのインフラとしての利用

□ 技術動向

- IEEE802における標準化の進展(11a, 11n, 11j, 11ac等), 日本企業等も大きく寄与
- 無線LAN用周波数割り当ての拡大(4.9G, 5.03G, 5.3G, 5.6G)と高速化
- 耐災害地域自営メッシュ網構築のメインバンドの1つとしてテストベッド構築中(5.6GHz帯)
- 新サービスの参入(UAS: 5.03GHz帯=WRC-12にて合意)
- スループットのみでなく、ディペンダビリティ・耐災害性への着目、多対多M2M応用への拡大

□ 技術課題

- システム間周波数共用技術(アンテナ、コグニティブ、MAC ⇒ITU・国内技術基準策定への寄与)
- ホワイトスペース活用技術(時間、空間、周波数の動的有効活用)
- 太陽電池等再生可能エネルギーの変動特性を考慮した環境変動に強いノード間協調技術
- 地上多対多、地上・UAS間多対多ネットワークによる共用促進技術(ビジネス創生への寄与)

□ 周波数有効利用への貢献

- 携帯電話・2.4GHz帯・5GHz帯のひっ迫対策への貢献

無線通信技術(無線LAN):

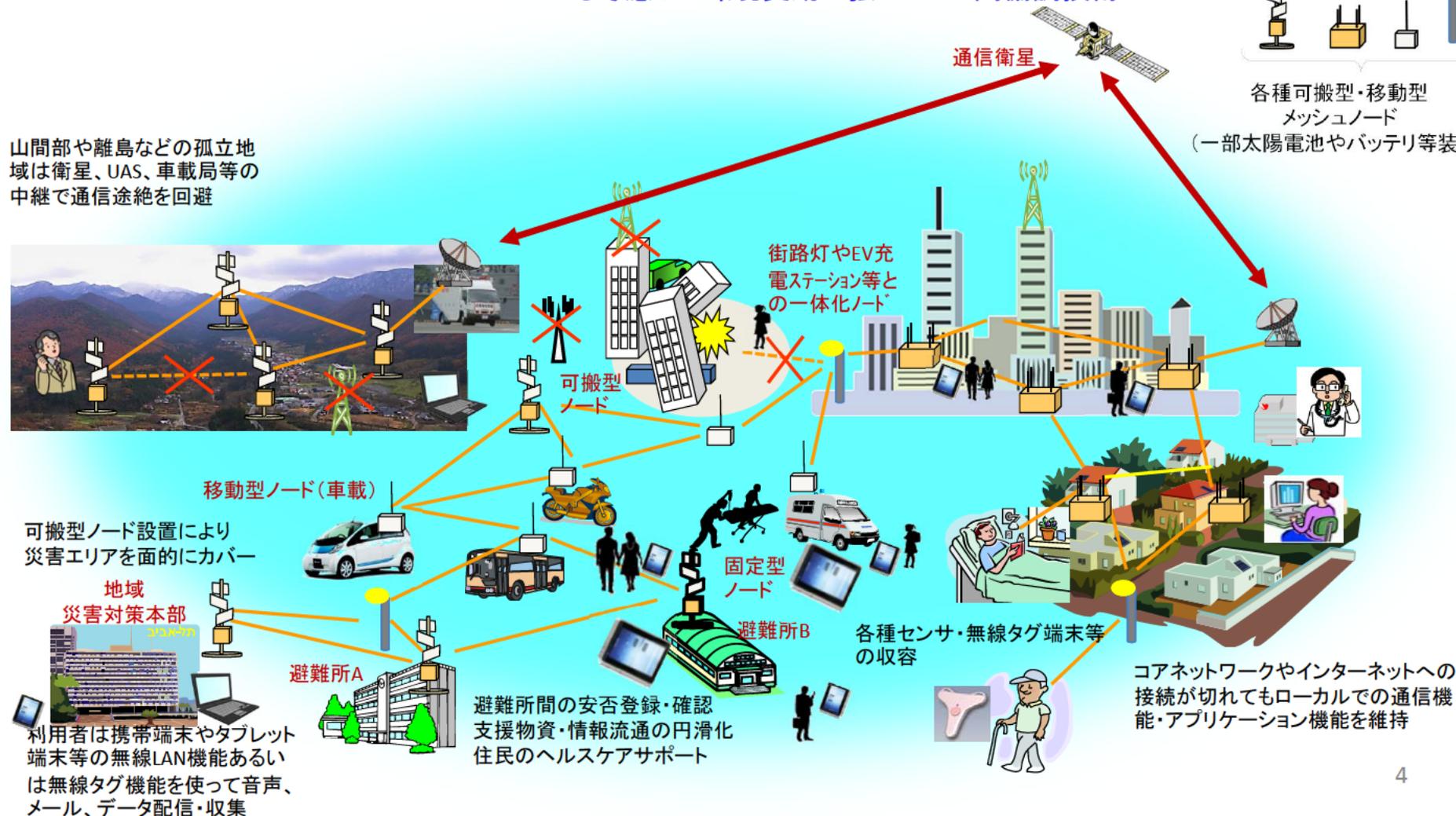
5GHz帯における周波数共用促進技術(メッシュネットワーク関連)

障害に強い5GHz帯自営系ワイヤレスメッシュネットワーク技術

- システム間周波数共用技術
- 5GHz帯の直進性の強さを利用したホワイトスペース活用技術
- 太陽電池等再生可能エネルギーの変動特性や移動ノードの利用も考慮した環境変動に強いノード間協調技術



山間部や離島などの孤立地域は衛星、UAS、車載局等の中継で通信途絶を回避



- ソフトウェア無線技術とは
 - 無線機の信号処理機能をソフトウェアとして実装
 - ソフトウェアの変更のみで、ハードウェアの変更を伴うことなく新しい通信方式や複数の通信方式に対応することが可能
- 利点
 - 新しい通信規格・法制度への対応
 - 開発・販売時には無かった新しい通信規格や法制度が定められた際に、ソフトウェアの改変にて対応が可能
 - 複数の無線規格への対応
 - コグニティブ無線技術やホワイトスペース通信技術と組み合わせて、ユーザのニーズや現在地において利用可能な無線の種類に応じ、最適な通信規格に切り替えながら、また複数同時通信が可能
 - ユーザの移動に応じて変わる使用可能な無線の種類の変化に追従した通信を行ったり、災害時などに一部の通信が使用不能になった場合に使えるものに切り替えて使用が可能
- 技術動向, 課題
 - 技術動向
 - 基地局においては同種システムのソフトウェア無線化が実現、すでに一部実用
 - ソフトウェア無線機の認証・技術適合のあり方
 - 認証取得時に想定されていない帯域・規格等にも変更可能となりえるため、検証のあり方について法整備が必要
 - コスト
 - あらゆる通信規格への変更に対応可能なように、搭載するハードウェア回路・デバイスに高性能なものが求められる

無線通信技術(ソフトウェア無線):



ソフトウェア無線機を構成する技術

□ マルチバンド/チューナブルデバイス

- 動作を想定する周波数帯全てにおいて、フラットな特性を有するデバイス(アンテナ、アンプ、フィルタ、ミキサ)が必要
 - アンテナには比帯域が高いものが必要
 - アンプには想定全帯域において低ノイズでフラットな利得の実現が必要
 - フィルタには、中心周波数と3dB帯域幅が自在に変更できることが必要
 - ミキサは、ベースバンド-高周波間の双方向変換を低ノイズで実現することが必要
 - NICTでは400MHz-6GHz帯に対応したアンプ、フィルタ、ミキサの開発に成功

□ ハードウェアプラットフォーム

- 高周波(RF)部
 - マルチバンド/チューナブルデバイスを利用し、想定する全帯域において所望の品質の信号を得る
- デジタル信号処理部
 - 再構築可能プロセッサを用いて各無線規格に対応した信号が生成可能とする
 - NICTでは第3世代携帯電話/IEEE802.11系無線LAN/WiMAXを切り替え可能な信号処理部の開発に成功

□ ソフトウェアプラットフォーム

- 各無線規格に対応したwaveformの導入・管理・切り替えをつかさどる部分と、無線機としての動作全体を制御する部分より構成。必要に応じ、コグニティブ無線機能やホワイトスペースデータベース等と連係動作



開発した高周波部(例)



開発した信号処理部(例)



開発したソフトウェア無線技術を利用したコグニティブ無線機

□ コグニティブ無線技術とは

- 電波の利用状況を認識(cognitive)し、周波数の利用効率の向上を目指す技術

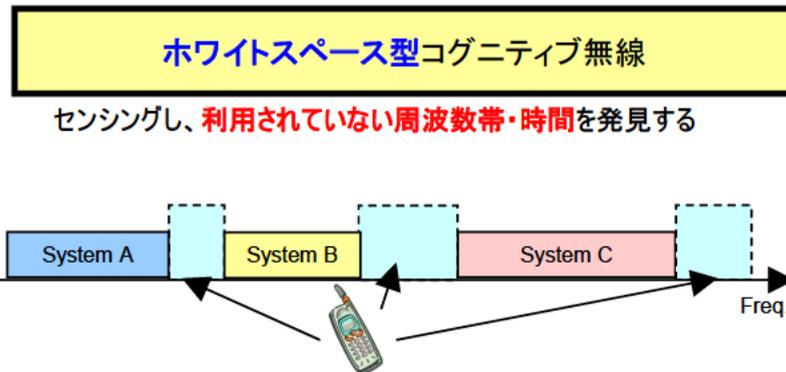
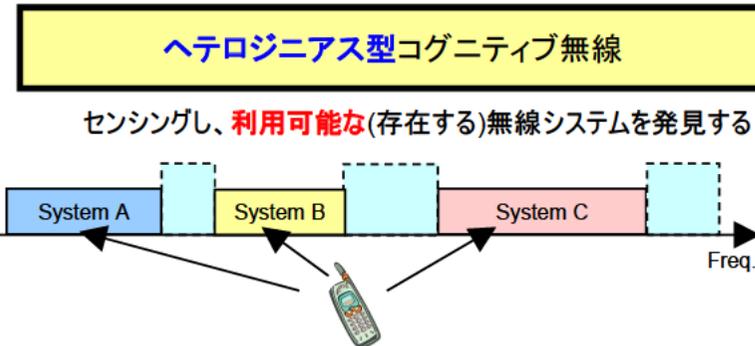
□ 2種のアプローチ

□ ヘテロジニアス型

- 利用可能な(使われている)周波数・無線システムを探し出し、最適(速度が速い、混雑していない等)なシステムに切り替え、使用する技術
- 利用の少ない周波数帯の利用効率を向上
- 現用技術の組み合わせで、トラフィックのオフロード技術として期待

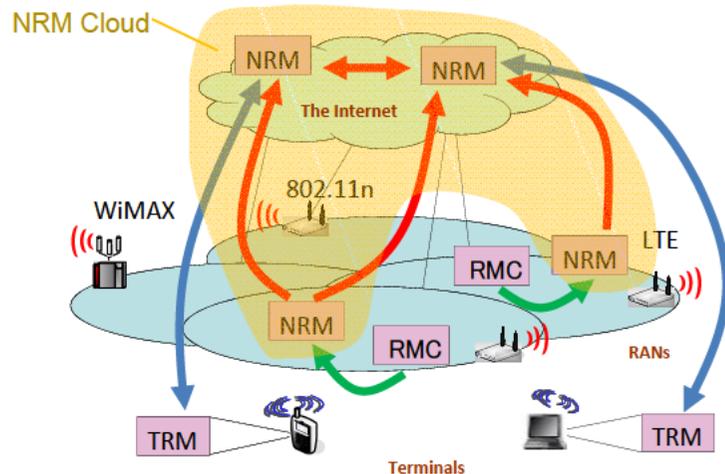
□ ホワイトスペース型

- ある場所・ある時間において利用されていない周波数帯・タイムスロット等を検出し、既存システムに干渉を与えないようにその帯域を共用する技術

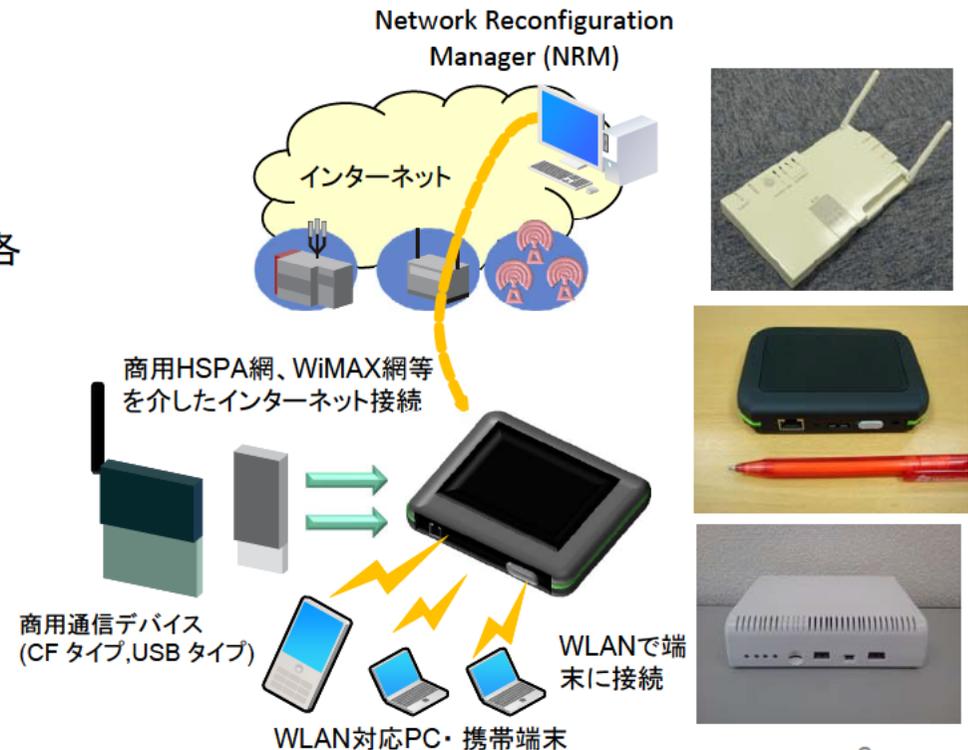


両アプローチを**組み合わせ活用**することにより、現在未利用、もしくは利用効率の低い周波数帯を効率的に使用することが可能に

- その場所で利用可能な無線システムのうち、最適なシステムに切り替えることで周波数全体の利用効率化を図る
 - 効率化を追求するためには、マクロレベルでの協調・最適化機能が必要
 - 複数の無線規格に接続可能なデバイスが必要
- IEEE 1900.4 / 1900.4a 規格(NICTが標準化に貢献)
 - 無線リソースの最適化を実現するためにネットワーク側, 端末側に具備する機能を標準化
 - ネットワークと端末間の情報交換・指示を交換
 - NRM (Network Reconfiguration Manager) がマクロレベルでの最適化判断を行い、各端末の変更先をアドバイス



- ヘテロジニアス型コグニティブ無線基地局
 - 既存の携帯端末やPCはそのままに、モバイルルータの中に実装
 - 複数の既存無線システムから最適なものを選んでインターネット接続
 - LTE/HSPA/W-CDMA, WiMAX, WiFi等
 - IEEE 1900.4/4a規格により制御
 - 一部で商用化が実施
 - 東日本大震災でも多くの被災地で利活用



□ ある場所・ある時間において利用されていない「ホワイトスペース」を見つけ、その帯域を共用する技術

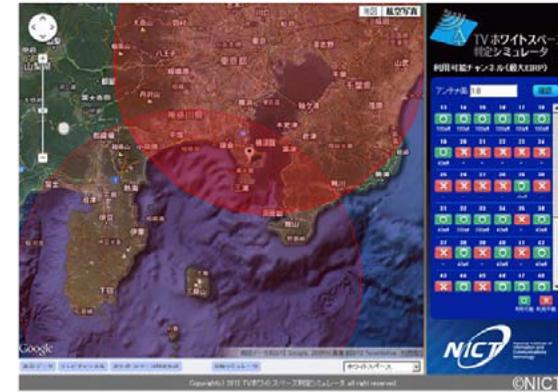
- 既に何らかの用途に割り当てられながら使用されていない周波数帯を活用するため、**既存用途のユーザに悪影響(干渉)を与えないのが絶対条件**

□ 動向

各国の動向	
日本	<ul style="list-style-type: none"> • 総務省「ホワイトスペース推進会議」にて利用のあり方を議論中 • 総務省「電波資源拡大のための研究開発」にて研究開発を実施中
米国	<ul style="list-style-type: none"> • FCCが2010年9月に、TVBDのための規則”Second Memorandum Opinion and Order”を発行 • データベースの運用組織として10組織が認定され、トライアルを実施
英国	<ul style="list-style-type: none"> • OFCOMにて法規制を検討
シンガポール	<ul style="list-style-type: none"> • IDAがテストプランを提示し、2010年より3社によるトライアルを実施
標準化機関の動向	
ITU-R	<ul style="list-style-type: none"> • 法規制のあり方(WP1B)や技術動向(WP5A)について議論が行われている
IEEE 802委員会	<ul style="list-style-type: none"> • UHF帯におけるホワイトスペース通信として、WRAN(802.22)、WLAN(802.11af)、WPAN(802.15.4m)の各規格について規定・もしくは議論中 • これらの規格を共存させる規格(802.19.1)も議論中
IEEE DySPAN委員会	<ul style="list-style-type: none"> • 制御アーキテクチャ(1900.4a)やMAC/PHY規格(1900.7)を規定・もしくは議論中

□ ホワイトスペースデータベース

- 既存ユーザに干渉を与えないために、データベースを参照して利用帯域を選定



□ 災害時におけるホワイトスペース通信の利用

- 既存インフラがダメージを受けたとき、ホワイトスペース通信によるアドホック/メッシュ通信を活用



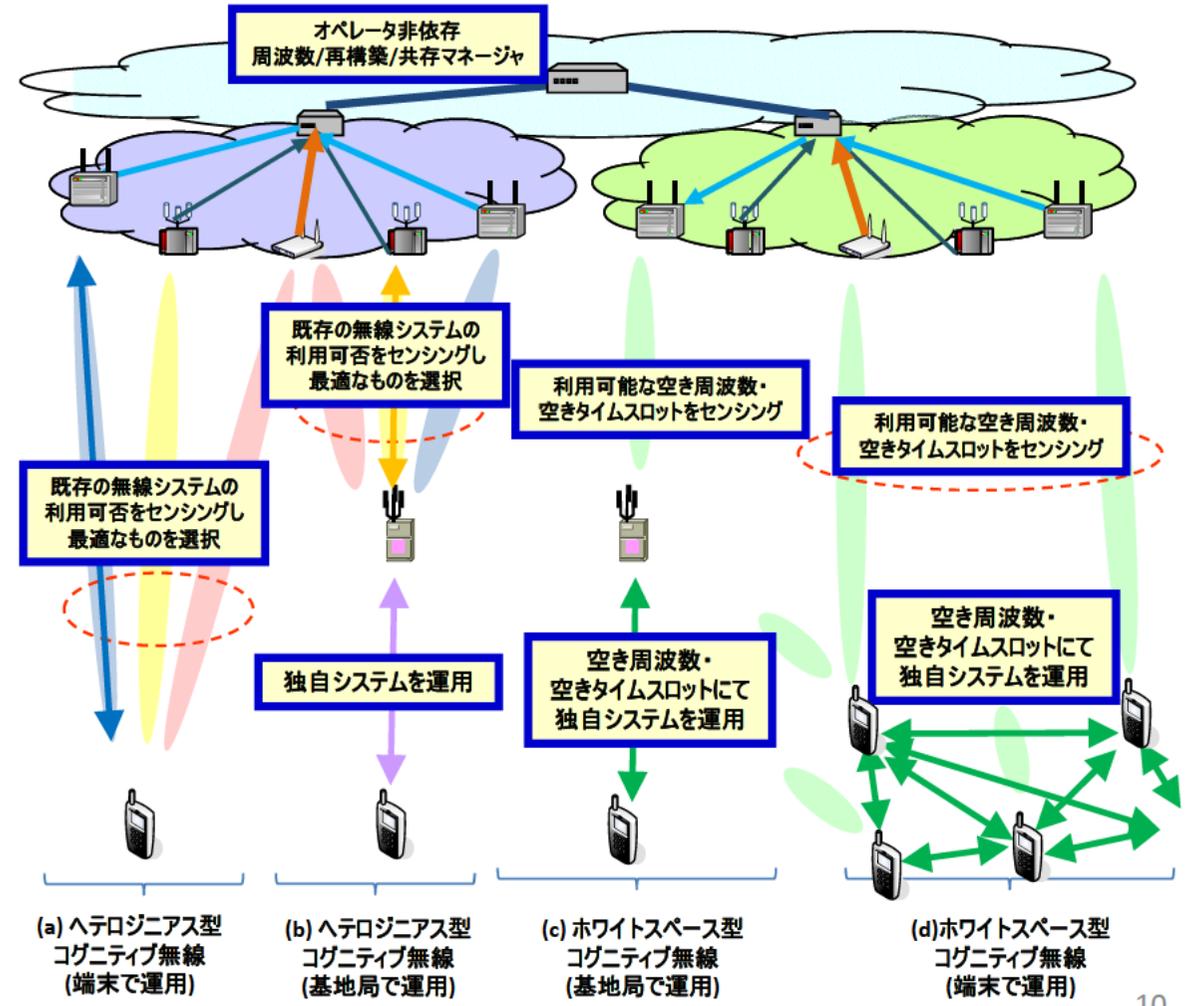
ホワイトスペース無線機
プロトタイプ

ソフトウェア無線技術とコグニティブ無線技術の融合

- 制御手段としてのコグニティブ無線技術と、実現手段としてのソフトウェア無線技術の融合
 - 各無線機の「最適な周波数利用方法」をコグニティブ無線技術が計算
 - その「最適な周波数利用方法」に従って、無線機の構成をソフトウェア無線技術により変更

- 端末にソフトウェア無線技術を適用する場合
 - あらゆる端末において、周波数の高度利用が可能に
 - 端末のコスト低減・低消費電力化が課題

- 基地局(モバイルルータ/中継局)側にソフトウェア無線技術を適用
 - 基地局がWAN側の無線を高度に切り替えることで、その基地局下の既存端末全てがメリットを享受可能になる
 - 端末をシンプルかつ小型に保つことが可能
 - 基地局の位置づけ(運用者・コスト分担)等が検討課題

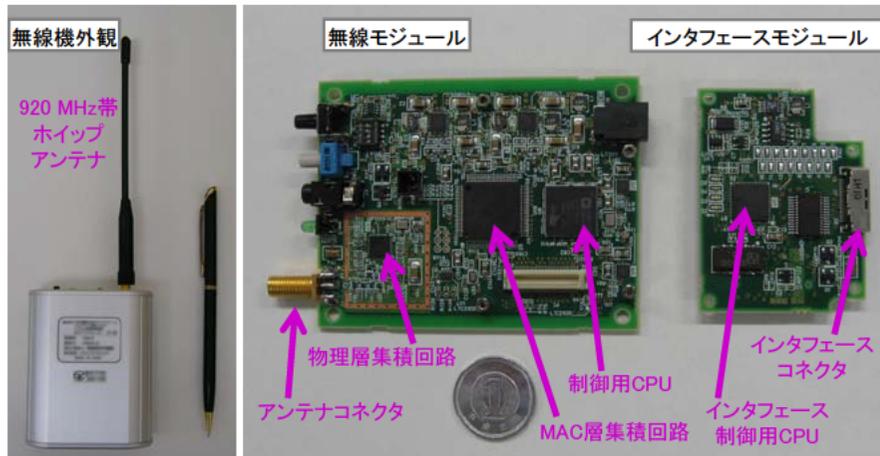
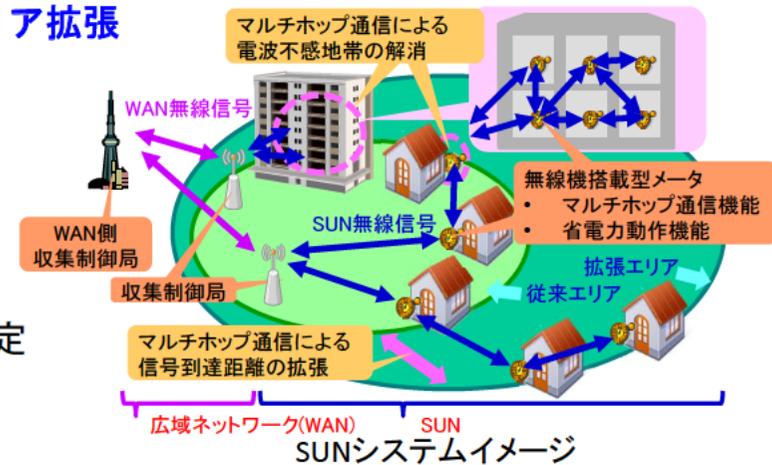


無線通信技術(スマートユーティリティネットワーク: SUN)



スマートメータSUN・ホームエリアネットワークHAN用途等の省電力無線通信システムに関する研究開発

- 海外・国内の技術・標準化動向
 - システムの物理層およびMAC層仕様について、IEEE 802.15.4gおよびIEEE 802.15.4e規格として採択、国際標準化完了(2012年3月)
 - 規格認証団体Wi-SUNアライアンス(2012年1月設立)による普及化推進
 - ホワイトスペースにおける利用形態について、IEEE 802.15.4mタスクグループで標準化進行中
- 課題
 - ホワイトスペースを含む周波数を活用したサービスエリア拡張
 - 電力制限時や電池駆動時を想定した省電力動作
 - 広域ネットワークとの連携
- 進むべき方向性
 - 標準規格準拠の無線機開発、および技術移転検討
 - 相互接続性の実証試験等を通じた普及化の推進
 - コグニティブ無線クラウドとの連携実証
 - ホワイトスペース活用のための物理層・MAC層技術の策定



開発した小型省電力SUN無線機

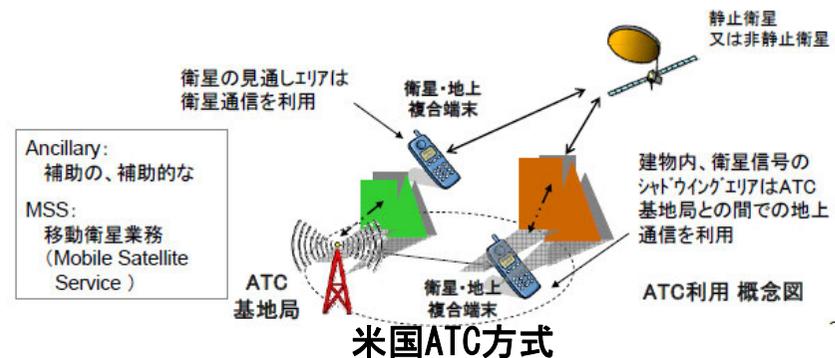


ガスメータ、放射線量計との接続実証 (WTP2012展示)

世界の携帯端末用衛星通信システムの現状

- 現在、携帯端末で通信が可能な衛星システム
静止移動体衛星通信システム: Thuraya、Garuda、Immarsat I-4
非静止移動体衛星通信システム: イリジウム
- 衛星携帯のみのシステムと、衛星/地上のデュアルモードのシステムがある
- 近年、米国では、衛星携帯電話をメインとして地上系を補完的に利用するATC方式(Ancillary Terrestrial Component) の3つのMSS/ATCシステムを計画中(一部は衛星打上済); SkyTerra、Dish Networks
- ヨーロッパでも、地上系3G携帯端末で衛星によるSDMB(Satellite Digital Multimedia Broadcasting)サービスを計画; Eutelsat
- これらシステムは、衛星系と地上系で同一周波数帯を共用することが特徴

- 衛星移動通信(MSS)周波数帯域において、衛星通信事業者にのみ許された地上系を補助的に利用するシステム
- 衛星通信事業者のみ使用可能で、地上系通信事業者は使用できない
- 衛星はマルチビームアンテナを使用し、ビームごとに異なる送受信周波数を使用する
- 衛星系と地上系の周波数をビームごとに入替え、同一周波数帯を共用する

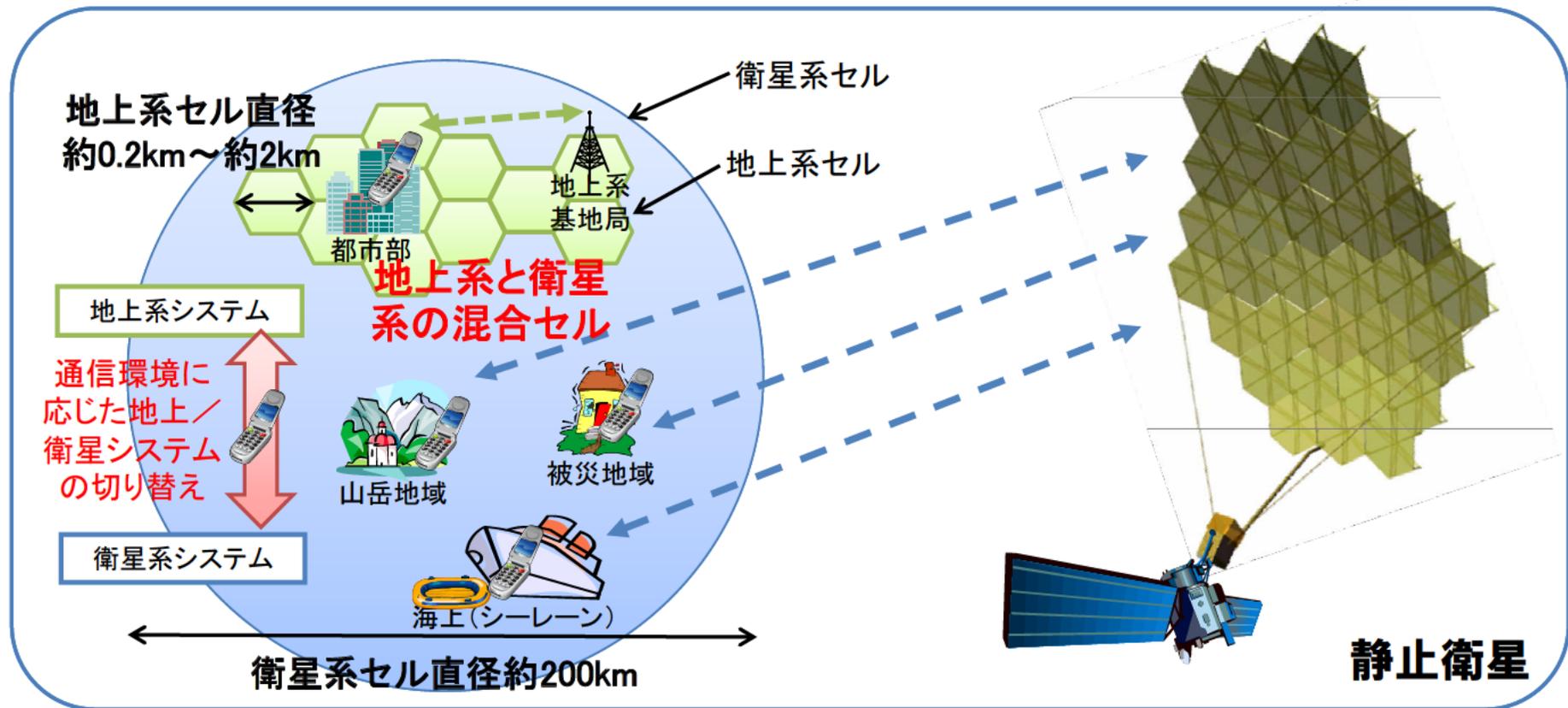


衛星移動通信システムの標準化の動向

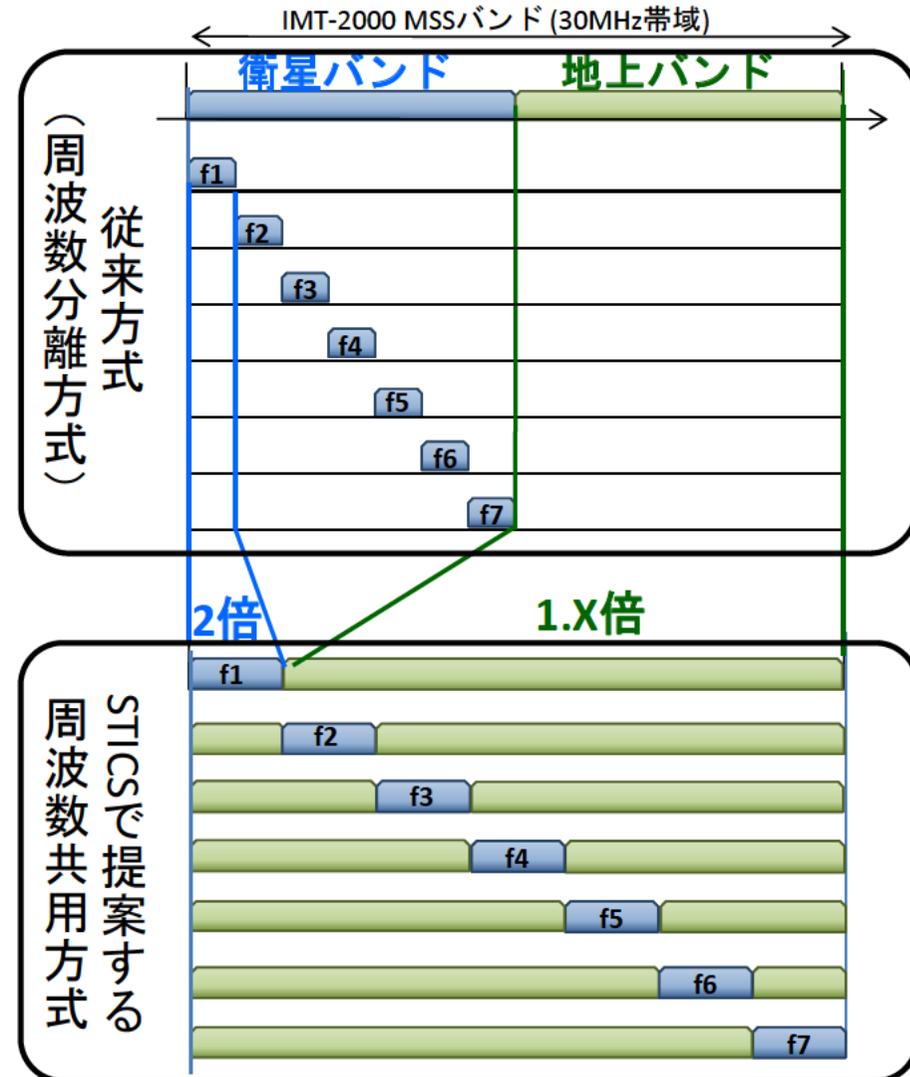
- ITU-Rにおける関連Study Group(SG)及びWorking Party (WP)はSG 4 (Satellite Service)、WP 4BおよびWP 4C
- WP4Bにおいては、LTE-Advancedをベースとした衛星無線インターフェースの勧告化の議論が実施されており、従来韓国のみ寄与文書を提出していたが、最近中国も提出してきている。
- WP4Cは干渉評価が今後議論される予定。
- その他、AWG (APT Wireless Group) 等でも議論を実施

日本の研究開発(地上/衛星共用携帯電話システム(STICS))

- 地上移動通信と衛星移動通信の周波数共用基盤技術の確立
- 地上系と衛星系の周波数の共用化により、周波数有効利用の促進と非常災害時通信の提供の同時実現が可能



- 衛星バンドの帯域幅を2倍、周波数くり返し数を細分化することにより地上バンドの帯域幅を2倍に近づけることができる(*1)
- 周波数共用方式では地上と衛星の間の周波数に干渉が発生するため、干渉による収容局数の限度について検討を実施中
- 地上回線収容局数を9千万局と概算(*2)
- より正確な収容局数の試算について各種測定実験をもとに実施中



(*1) 衛星系の周波数を7色繰り返しとする

衛星に関する帯域幅

周波数共用方式 $30/7=4.28\text{MHz}$ (1色あたり)

周波数分離方式 $30/2/7=2.14\text{MHz}$ (1色あたり)

STICSで提案している周波数利用効率の向上度 $4.28/2.14=2$ 倍

地上に関する帯域幅

周波数共用方式 $30*6/7=25.7\text{MHz}$

周波数分離方式 $30/2=15\text{MHz}$

STICSで提案している周波数利用効率の向上度 $25.7/15=1.7$ 倍

(*2) 同時通話率1%、干渉波強度0dBm、CIR=10dB、空間バードバンド10dBのとき

搭載機器における日本の研究開発の特徴

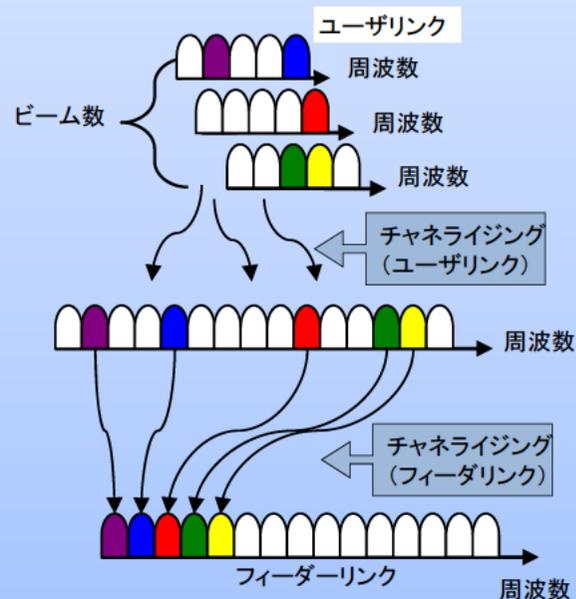
衛星通信機器をデジタル化し、DBF(デジタルビーム形成装置)とチャネライザを搭載

特徴

- 海外の衛星では衛星内にビーム形成装置を持たないGBBF(Ground Based Beam Former)方式が主流
- GBBF方式ではフィーダリンクに非常に帯域を要し、非効率(500MHz程度必要)
- 日本では、衛星内にDBFとチャネライザを持たせることで、フィーダリンク帯域幅を削減(100~200MHz)し、周波数の有効利用に貢献
- チャネライザを用い災害時リソース(帯域)の集中機能を有しており、その機能を検証
- チャネライザを用いることでリソースを有効利用するフレキシブルなペイロードに展開可能
- 衛星の電力、質量からの成立性検討も実施



送信超多ビームDBF/チャネライザ写真



直接信号をフィーダリンクへ落とすと不要な空きチャンネルも伝送される。

使用しているチャンネルのみフィーダリンクへ落とすことで周波数有効利用を図る。

チャネライザによる周波数有効利用

□ M2M通信システムの意義

- 人だけでなくあらゆるモノをネットワークに接続するInternet-of-things (IOT)を実現し、ビッグデータの収集と利用による新しい産業の創出に寄与するためのコア技術
- センサ等からのデータの収集だけでなく、モノや機械を無線を介して制御すること(双方向)も視野。制御の分野でこれまでの支配的だった有線を無線に置き換えられれば、省資源、軽量化、CO2削減等に貢献。また、ロボット等を含む移動するデバイスにも応用範囲が拡大。
- 生体センサのM2MであるBANと組み合わせれば、人の健康状態と機械や外部センサとのインタフェースにより、あらたな健康・安全・福祉・医療サービスの創出が期待。
- M2Mに近距離・閉空間での利用に適したUWBが適用できれば、車内や航空機内などでのM2M、人(ドライバやパイロット等)と機械のインタフェース、室内での測距・測位、ビデオ等のデバイス間高速伝送も可能に。

□ 技術動向

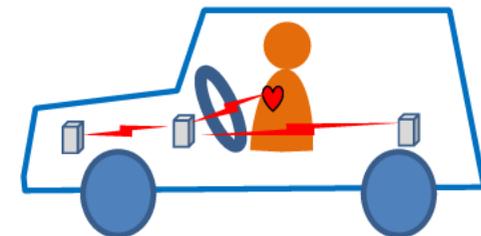
- M2Mは携帯電話回線やWiFi、ZigBee等、既存規格、既存バンドを中心にサービスが広がりつつあるが、より伝搬の厳しい閉空間や遮蔽が多い環境等での信頼性やスケーラビリティに課題。
- センサネットワーク用としてIEEE802.15.4、BAN用として、IEEE802.15.6の各標準規格がすでに成立。端末間通信用規格の策定に向けて、2012年5月より新たにIEEE802.15.8が発足。
- UWBは干渉への懸念により強い国内規制が残存するも、欧米では規制緩和が進行。このままでは欧米等に対する国際競争力低下が懸念。国内では、自動車メーカ、車内装備メーカ、産業機械メーカ等が関心。

□ 技術課題

- 高マルチパス・高遮蔽空間など(例えば、建物内・自動車内・航空機内等)での通信の高信頼化技術
- バッテリにて長時間駆動を実現するグリーンICT技術
- ドライバ、パイロット等、人の生体情報と車体・機体側をインターフェースする通信技術
- 多数のデバイス間でのネットワークを構成するためのスケーラビリティ技術やデバイス間同期技術、デバイス発見技術

□ 周波数有効利用への貢献

- 周波数共用の促進と、新たな電波利用技術の創生
- 国内技術基準策定と標準化への寄与



人・機械インタフェースの例：
運転者の生体情報を車に伝え、安全運転支援に活用

電波利用におけるEMC(電磁適合性)確保のための研究課題の例(1)

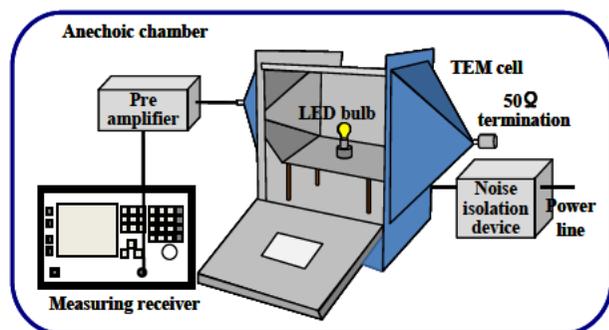
スマートオフィス・スマートハウスにおける電波干渉対策技術

- 太陽光発電システム, LED照明, 無線電力伝送等による電磁干渉対策
- 無線LAN・無線PAN, M2M無線システム等における相互干渉対策

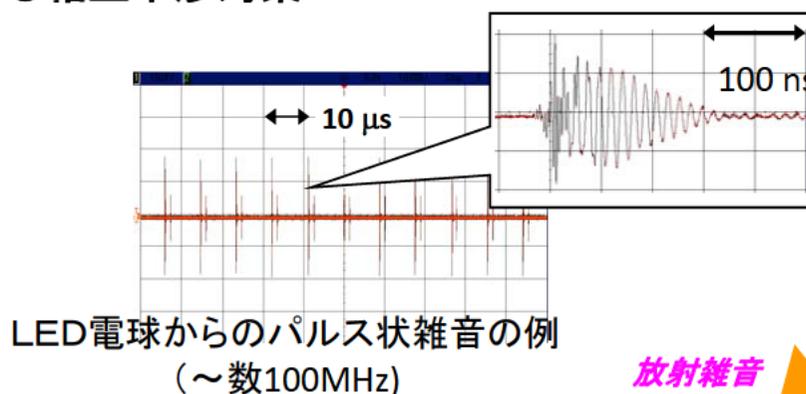
□ 電波干渉軽減のための研究開発

- 不要波発生機構(伝導/放射)と測定技術
 - 複数干渉源による複合効果
 - 電波による電気電子機器の誤作動防止
 - 不要波低減技術と評価法
 - 耐干渉通信方式
- 電磁環境センシング, 干渉軽減)

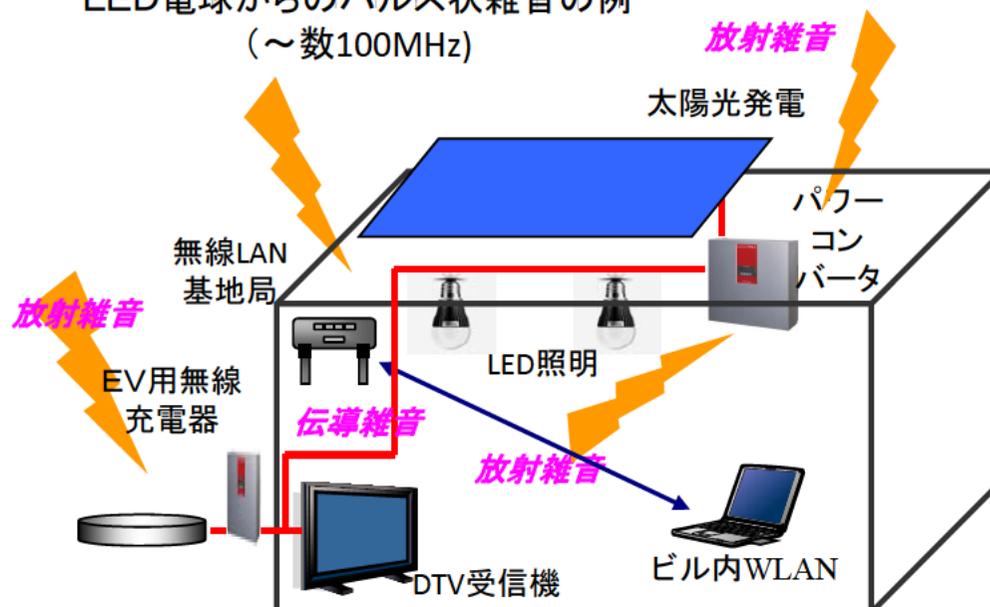
→ 省エネルギーと無線通信に適した
良好な電磁環境の両立



TEMセルを用いた広帯域雑音測定・評価系



LED電球からのパルス状雑音の例
(~数100MHz)



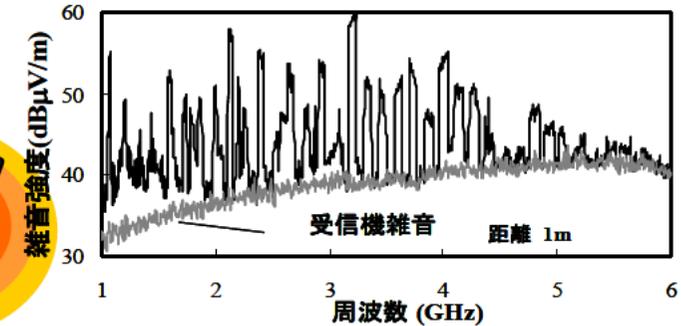
省エネルギー機器による雑音の発生と電磁干渉

電波利用におけるEMC(電磁適合性)確保のための研究課題の例(2)

一体型無線端末(PC, スマートフォン等)の自己電磁干渉対策技術

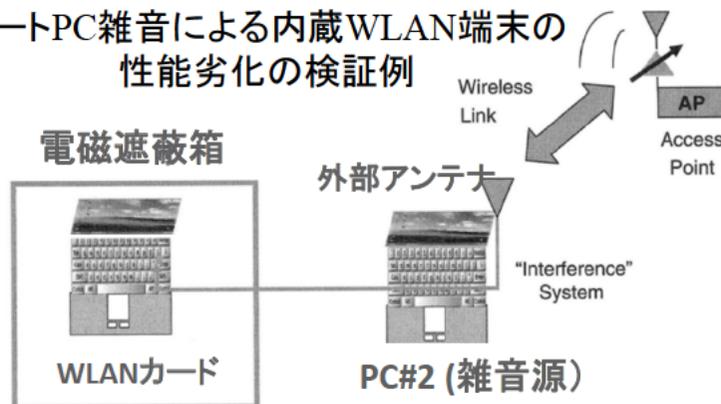
- ❑ 無視できない感度劣化が発生
- ❑ 登山愛好家:「山ではガラ携」の噂
- ❑ 幅広い対策技術の研究開発が急務
(レイアウト, 部品, 材料, 無線通信方式, 評価法)

➡ 無線通信の省エネルギー化と相互干渉の低減に寄与

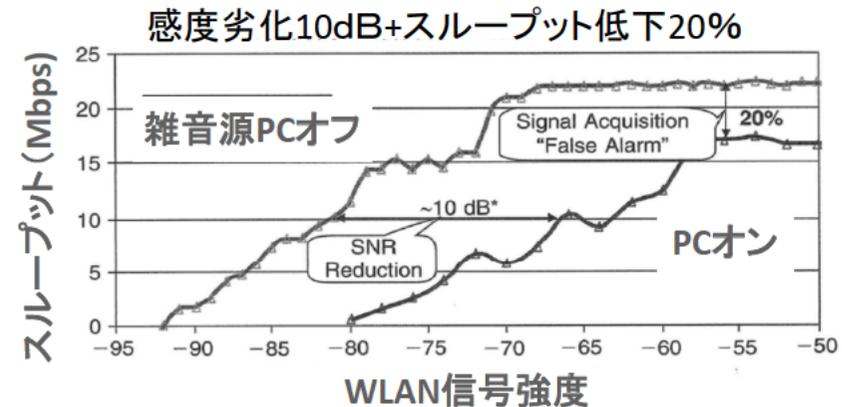


ノートPCからの雑音放射の例

ノートPC雑音による内蔵WLAN端末の性能劣化の検証例

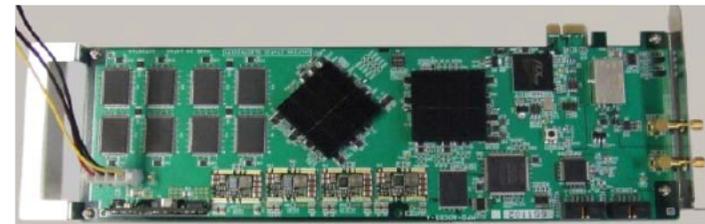


出展: K. Slattery and H. Skinner, *Platform Interference in Wireless Systems* (2008)



* 10 dB = >50% loss in RF Operating Range

広帯域雑音に対する統計量測定系の開発と通信システムへの影響予測



電波利用におけるEMC確保:無線業務保護のための国際技術基準の構築

□ CISPR(国際無線障害特別委員会)

無線障害の原因となる各種機器からの不要電波に関し、その許容値と測定法を国際的に合意することによって国際貿易を促進することを目的としたIEC(国際電気標準会議)の特別委員会。総会、運営委員会および分野別の6つの小委員会およびその下の作業班等から構成される。

□ CISPRにおける最近の話題

□ 30 MHz未満の放射雑音の許容値及び測定法の整備

(太陽光発電, 省エネ家電等からの不要電磁波の増加が見込まれる周波数帯)

A小委員会において測定法の検討を開始(2011~)

H小委員会において許容値設定方法の検討開始(2011~)

□ LED照明の雑音許容値・測定法

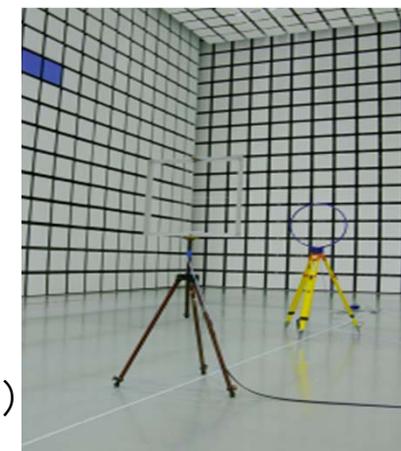
F小委員会において改訂(調光器, 複数点灯等)検討開始(2011~)

□ 太陽光発電用パワーコンバータの雑音許容値

B小委員会において検討中(現在委員会原案, 日本がプロジェクトリーダー)

□ 無線一体型情報端末の不要波測定法の見直し

I小委員会に日本から提案, 検討開始(2012~)



周波数30MHz以下における放射妨害波測定法の検討

□無線通信技術

□無線LAN

5GHz帯無線LANシステムは、震災経験を受けて、日本が世界に先駆けて災害時のバックアップ回線として有効な地域自営メッシュ網や無人航空機(UAS)による周波数有効利用促進技術の研究開発の取り組みを推進し、信頼性の向上や実用化を図るべき。

□ソフトウェア無線、コグニティブ無線

- ホワイトスペースの利用可否判定基準の策定など、現在進められている法整備や技術基準の策定、機器認証のあり方等、周波数共用のための検討を推進すべき。
- ソフトウェア無線技術とコグニティブ無線技術の融合に向けた研究開発を進めつつ、海外動向に歩調を合わせた実用化展開・標準化・知財戦略をとるべき。

□スマートユーティリティネットワーク

標準規格準拠無線機の技術移転を検討しながら、相互接続性の実証試験等を通じ普及化を図るべき。さらに、コグニティブ無線クラウドとの連携技術や、ホワイトスペース活用技術等の拡張を進めるべき。

□携帯端末用衛星通信システム

携帯端末用衛星通信システムは、近年欧米で地上／衛星共用システムの導入が計画され、日本においても地上／衛星共用携帯電話システムの研究開発を進めている。日本の衛星搭載通信機器のデジタル技術は柔軟な通信リソース割当や周波数有効利用を実現し、先進性を有する。この技術を生かし、今後は実用化研究等とシステム導入を進めるとともに、日本の国際競争力の強化を図るべき。

□無線通信技術

□M2Mや新たな電波利用技術

国際的な規制緩和の動きに乗り遅れないための周波数共用技術に関する研究開発を積極的に推進すべき。

□電磁環境技術

電磁環境技術は、省エネルギーと無線通信に適した良好な電磁環境の両立、無線通信の省エネルギー化と相互干渉の低減に向けた、測定・評価技術をはじめ幅広い対策技術の研究開発を進めるべき。