

# 電波政策ビジョン策定に 関係する研究成果の紹介

## ホワイトスペース通信の研究開発から 第5世代移動通信の研究開発へ

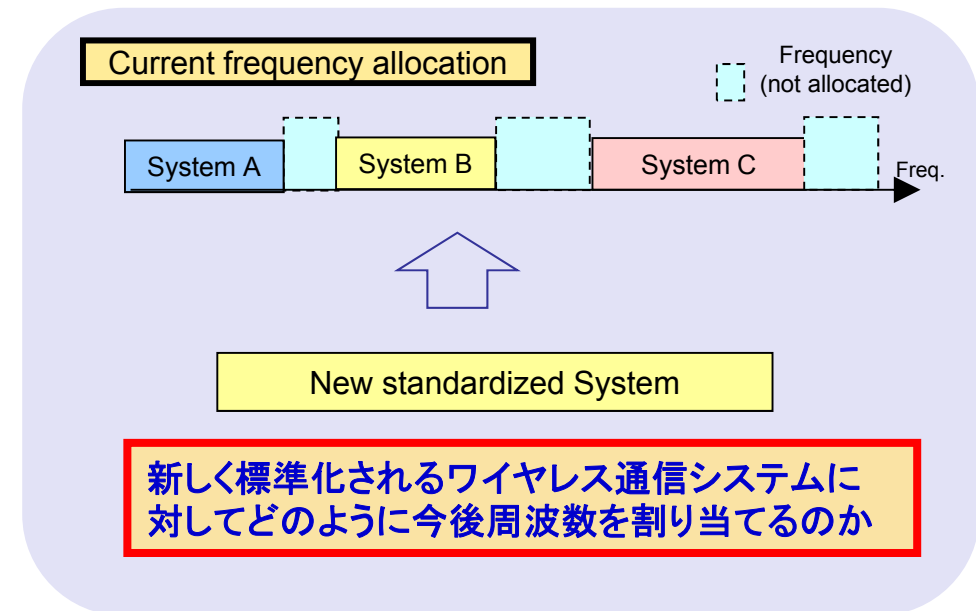
平成26年4月18日  
京都大学大学院情報学研究科  
独立行政法人情報通信研究機構  
原田博司

本資料の成果の一部は総務省電波資源拡大のための研究開発によるものである。



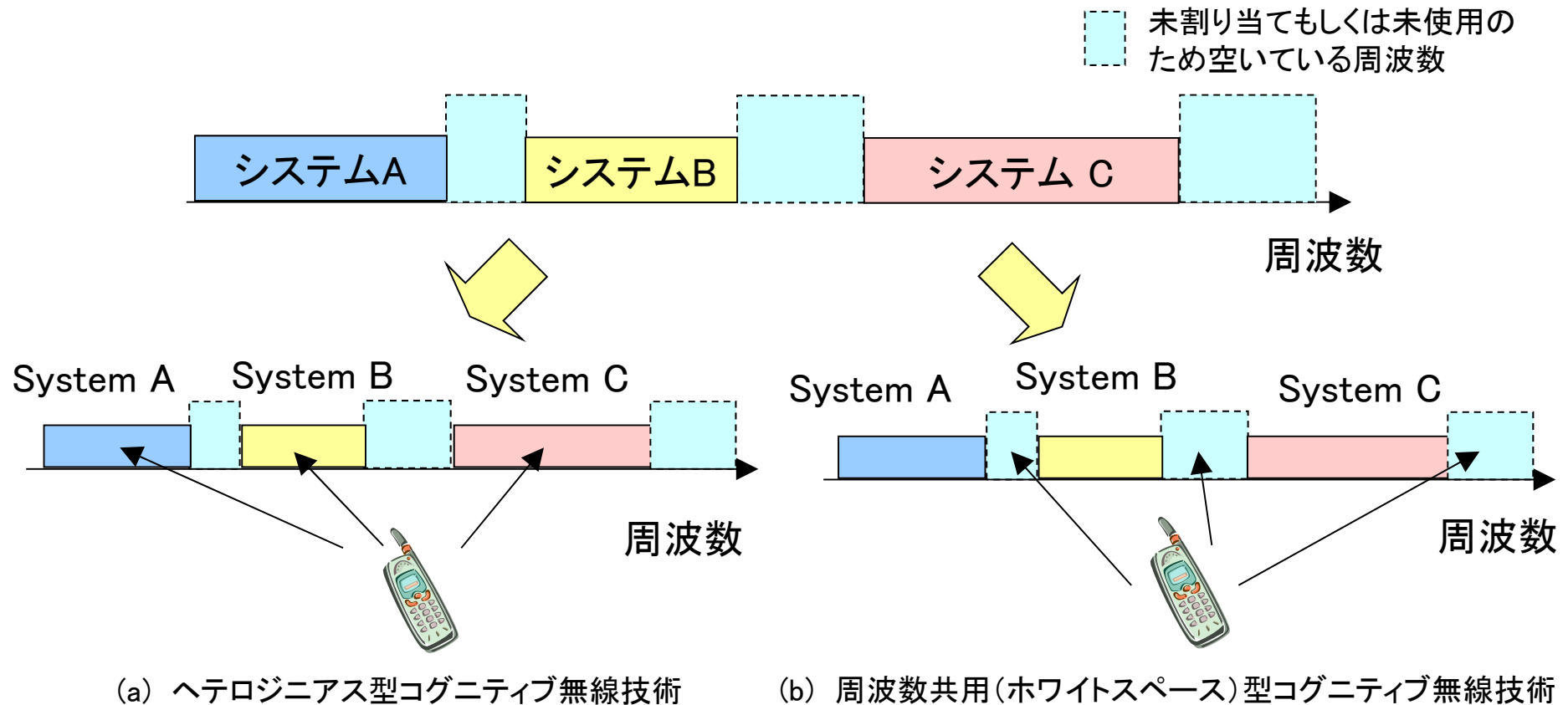
# 周波数共有が必要になる背景

- 6GHz以下の移動体通信に適した周波数が現在逼迫
  - ▶ ビッグデータ時代におけるセンサーの個数の増大. 現状は920MHzを中心に10MHz未満の周波数しか無い
  - ▶ 無線LAN, IEEE802.11acがリリースされついに帯域幅100MHz/chの時代. チャンネル数が多くとれない問題
  
- 新しい通信システムは現状のものよりもかならずブロードバンド
  - ▶ 今後標準化されるワイヤレスブロードバンド通信システムに対して十分な帯域幅がない ⇒ **新しい割り当て方法が必要**
  - ▶ 共通の周波数帯で複数の通信システムが共存する必要性有
  - ▶ **通信システム間の干渉を減らす方法を検討する必要性有**
  
- 通信システム間の干渉検出、干渉回避を行う方式の検討が必要
  - ▶ コグニティブ無線技術



# コグニティブ無線技術 定義と2つのカテゴリ

無線機が周囲の電波環境を認識し、その状況に応じて、他のシステムに干渉を与えることなく、周波数帯域、タイムスロット等の無線リソースを適宜利用することにより、利用者が所望の通信容量を所望の通信品質で周波数の有効利用をはかりつつ伝送を行う無線通信技術



無線機が既存の通信システムを認識し、その結果に基づき利用者の必要とする帯域幅を既存システムで確保し、通信を行う

無線機が空き周波数、時間帯(ホワイトスペース)を認識し、その空き周波数/時間を使って、必要な帯域を確保し通信を行う

## TVホワイトスペース通信 目的

現行のシステムよりも  
“より多くのチャンネル”で、“より遠くの距離”で  
ブロードバンド通信を実現

大前提は既存利用者（一次利用者、免許人）の  
保護を行うこと

- 用語
  - ▶ 一次利用者：既に当該周波数を免許されている利用者
  - ▶ 二次利用者：特定の電波利用のために一次利用者に割り当てられている周波数を、一次利用者の保護を前提に周波数共用を行う利用者
  - ▶ ホワイトスペースデータベース：一次利用者と二次利用者との間の共用条件を両利用者の無線パラメータ（電力、位置等）と電波伝搬モデル等を用いて計算する機器
- TV帯(470MHz-710MHz)
  - ▶ 周波数が240MHzあり多くのチャンネルがとれる
  - ▶ 700-900MHz帯に比べ、同一送信電力利用時の伝送距離が増大

# TVホワイトスペース通信 検討事項

## 一次利用者(免許局)の保護方法

一次利用者から二次利用者想定通信エリアへの干渉量の算出

一次利用者用センシング法の検討

二次利用者から一次利用者への干渉量の算出

二次利用決定法

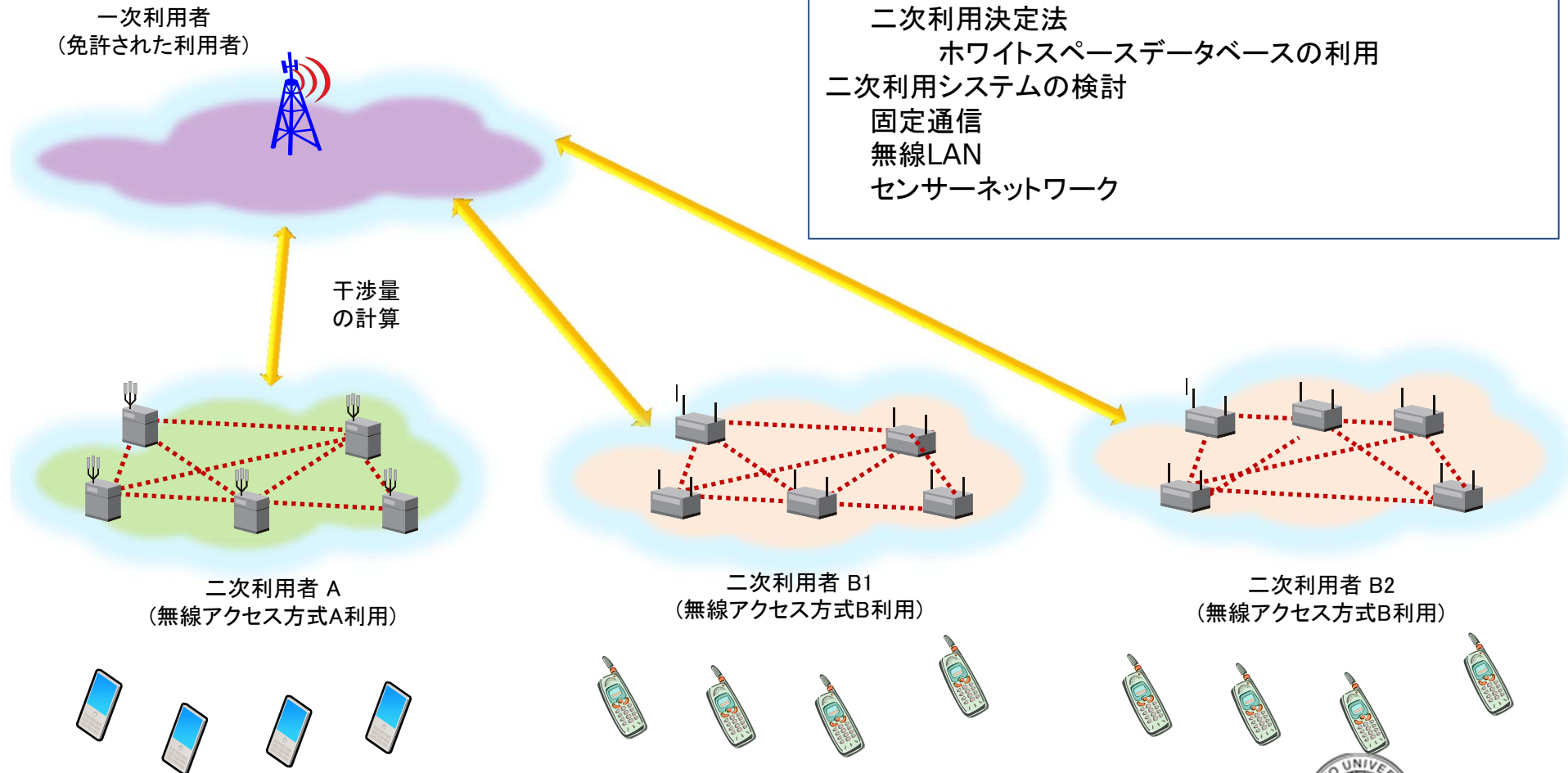
ホワイトスペースデータベースの利用

二次利用システムの検討

固定通信

無線LAN

センサーネットワーク

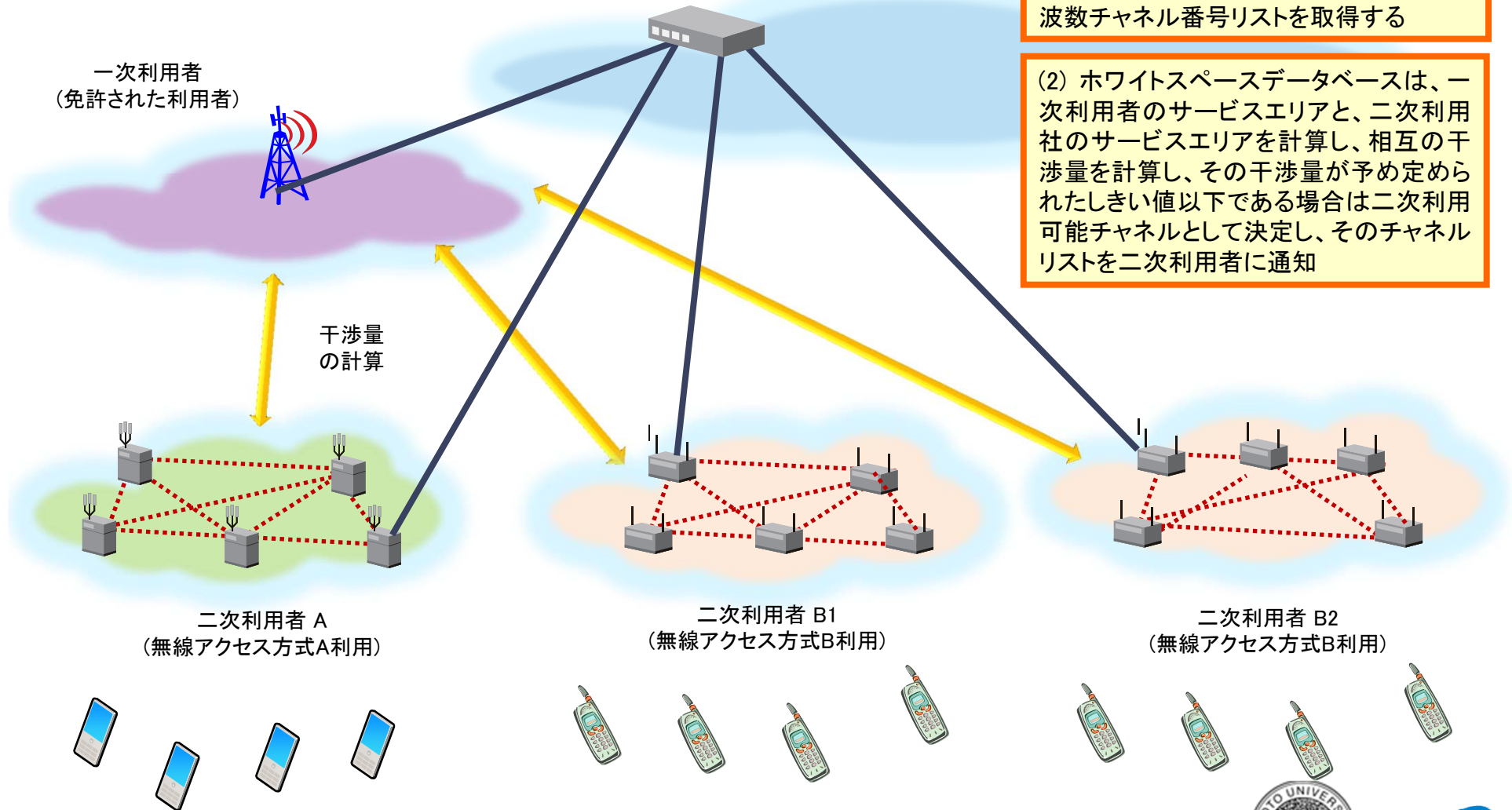


# TVホワイトスペース通信 一次利用者-二次利用者間保護用データベース

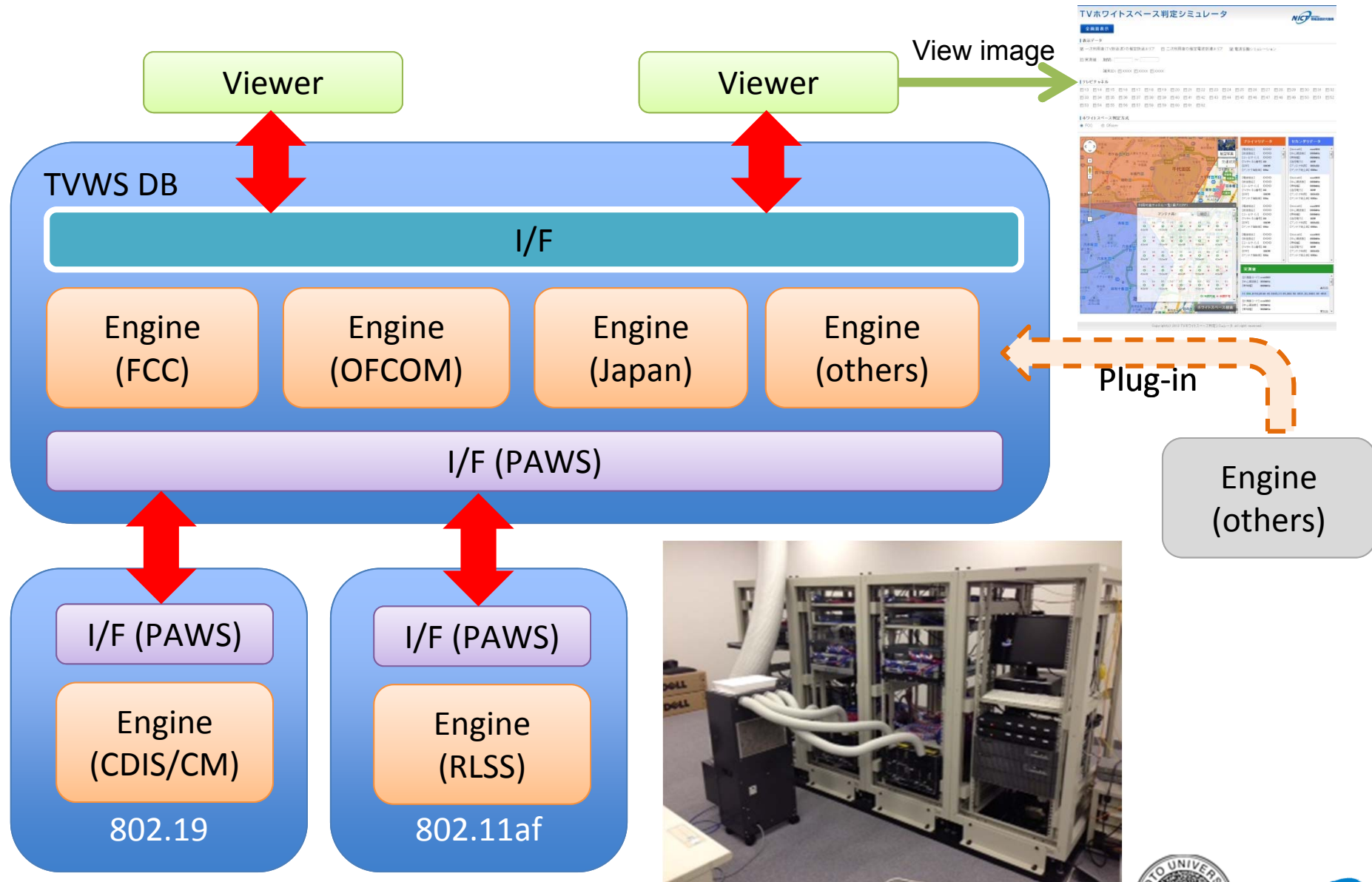
(a)一次利用者と二次利用者間共存用  
ホワイトスペースデータベース

(1)すべての二次利用者はホワイトスペースデータベースにアクセスし、自身の位置、無線パラメータを知らせ、利用可能な周波数チャンネル番号リストを取得する

(2) ホワイトスペースデータベースは、一次利用者のサービスエリアと、二次利用者のサービスエリアを計算し、相互の干渉量を計算し、その干渉量が予め定められたしきい値以下である場合は二次利用可能チャンネルとして決定し、そのチャンネルリストを二次利用者に通知



# TVホワイトスペース通信 一次利用者-二次利用者間保護用データベースの開発

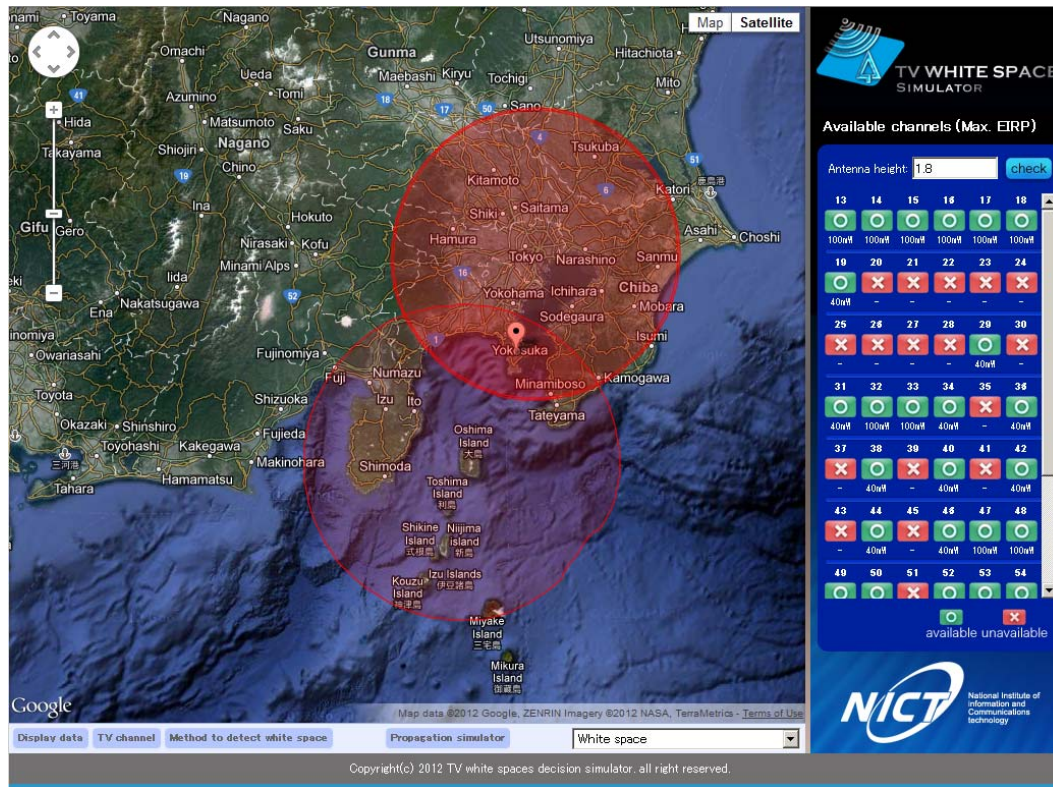


# TVホワイトスペース通信 一次利用者-二次利用者間保護用データベースの機能

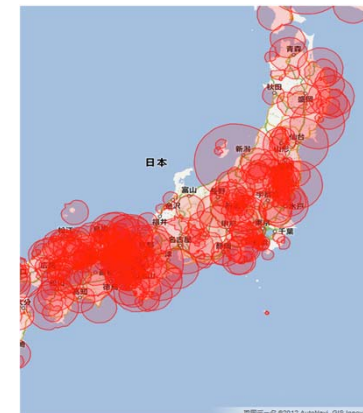
- 一次利用システム(地上波テレビジョン放送)の無線パラメータに関する情報を予めもつ機能
  - ▶ 位置
  - ▶ アンテナ高
  - ▶ 送信電力
  - ▶ アンテナにまつわるパラメータ
  
- いくつかの法規制に基づいて一次利用システムの通信エリアを計算する機能
  - ▶ FCC
  - ▶ OFCOM
  - ▶ 総務省(告示640号)
  - ▶ NICTオリジナル
  
- 二次利用システムの無線パラメータに関する情報を受け付ける機能
  - ▶ 位置
  - ▶ アンテナにまつわるパラメータ
  - ▶ 帯域幅、スペクトラムマスク
  - ▶ 送信電力
  
- 二次利用システムの通信エリアを計算する機能
  - ▶ NICT オリジナル



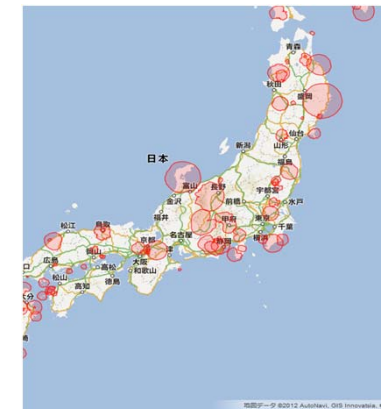
# 開発したホワイトスペースデータベースによる一次利用者の通信エリアの計算例と二次利用者に通知する利用可能なチャンネルの例



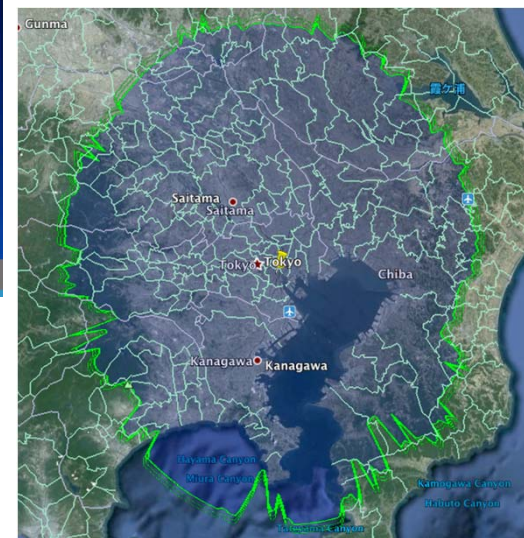
NICT'S TVWS database



Contour calculation (13 ch) based on FCC algorithm



Contour calculation (52 ch) based on FCC algorithm



Contour calculation based on NICT original calculation algorithm

## TVホワイトスペース通信 二次利用者間共存データベース(1/2)

- 一次利用者のみならず二次利用者間の共用を円滑に行うために、必要に応じて
  - ▶ 複数の二次利用者の無線局の情報を受け付け、その無線局のエリアを計算する機能

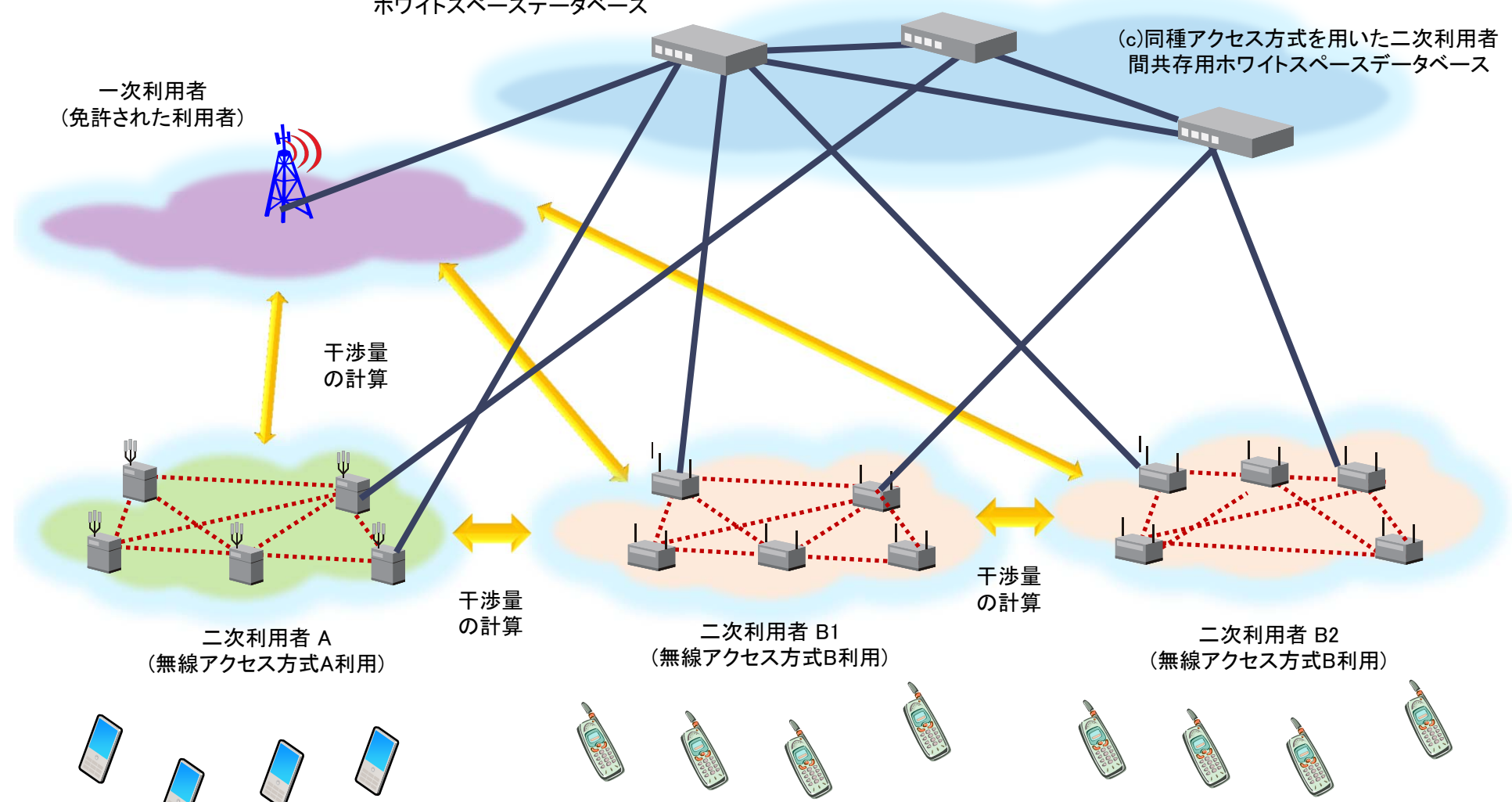
を具備させ、この計算結果と予め定められた相互干渉に関するしきい値を用い**二次利用者が相互に干渉しない無線パラメータを自動算出**し、二次利用者に通知する機能を具備、もしくは具備したデータベースと連携して動作するデータベース
  
- 保護対象によって2つのカテゴリ
  - ▶ 異なるシステムを用いる二次利用者間共存用データベース
  - ▶ 同一システムを用いる二次利用者間共存用データベース

# TVホワイトスペース通信 二次利用者間共存データベース(2/2)

(a)一次利用者と二次利用者間共存  
ホワイトスペースデータベース

(b)異種アクセス方式を用いた二次利用者間  
共存ホワイトスペースデータベース

(c)同種アクセス方式を用いた二次利用者  
間共存ホワイトスペースデータベース



(注)サーバは集中制御/監理だけではなく、分散制御/監理もありうる

# IEEEにおけるTVホワイトスペースの標準化 概要

標準化団体	グループ	プロジェクトの内容	NICTが就任している役職
IEEE 802	802.22	54MHzから862 MHzまでのVHF/UHF帯のTV用周波数における固定利用の可搬型端末と専門家によって設置された基地局とのpoint-to-multipoint型の無線地域ネットワーク(wireless regional area networks: WRAN))を実現するためのCognitive MACと物理層を含む無線通信方式の標準仕様	副議長
	802.22b	22の拡張、センサー等のモニタリングアプリケーションへの拡張	議長、セクレタリ
	802.11af	TVホワイトスペース周波数帯を利用および共存するために必要となる法的な必要条件に合致する802.11の物理層およびMAC層の改正	副議長、セクレタリ
	802.15.4m	802.15.4システムを各国で定められているTVホワイトスペース周波数帯で運用できるようにするための物理層/MAC層に関する改正	副議長、セクレタリ、テクニカルエディタ
	802.19.1	異なる独立したTVBD(TV Band Device)ネットワーク及び異なるTVBDデバイス間の共存方式に関する標準化	議長、テクニカルエディタ
IEEE Dyspan Standards Committee	1900.7	ホワイトスペースシステムの管理を行う1900.4およびセンシング情報の取得、交換等を行う際のインターフェース規格1900.6との接続性をもつホワイトスペース周波数帯におけるdynamic spectrum access radio systemsの物理層/MAC層の標準化	議長
	1900.4a	ヘテロジニアス型ワイヤレスネットワークにおける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した1900.4規格に付加的なコンポーネントを定義し、ホワイトスペース周波数における無線通信サービスも利用できるようにした標準化	副議長、テクニカルエディタ、セクレタリ

# IEEEにおけるTVホワイトスペースの標準化 主な通信方式

## 802.22

Parameters	Specification
Frequency range	54-862 MHz
Multiple access	OFDMA
Payload modulation	QPSK-OFDM, 16QAM-OFDM, 64QAM-OFDM
FEC coding rate	1/2, 2/3, 3/4, 5/6
Transmit EIRP	4W (maximum) for BS in US
Transmission rate	4.54-22.69 Mbps
FFT mode	2048
Number of effective subcarriers	1680
Number of subchannels	60 (24 data carries and 4 pilot carriers each)
Carrier spacing	3.35 kHz
Symbol period	298.655 us
Cyclic Prefix (CP) Modes	1/4, 1/8, 1/16, 1/32
Maximum net throughput (Mbps)	17.91 (1/4), 19.35 (1/8), 20.79 (1/16), 21.51(1/32)
Duplex	TDD

## 802.11af

Parameters	Specification
Frequency range	54-862 MHz
Multiple access	CSMA
Payload modulation	QPSK-OFDM, 16QAM-OFDM, 64QAM-OFDM, 256QAM-OFDM (Option)
FEC coding rate	1/2, 2/3, 3/4, 5/6
Number of FFT-points	128
Number of effective subcarriers	114
Based 802.11ac operational bandwidth	40 MHz
Nominal bandwidth	5.33 MHz (6/7 MHz) ,7.11 MHz (8 MHz)
Downclocking factor from 802.11ac 40 MHz bandwidth	7.5 (6/7 MHz), 5.625 (8 MHz)
Maximum number of spatial stream (NSS)	4
Cyclic Prefix (CP) Modes	3.0/ 6 us (6/7 MHz), 2.25/ 4.5 us (8MHz)
Maximum net throughput	Mandatory 20.0 Mbps (6/7 MHz, 64 QAM, R=5/6, NSS=1,CP=3.0 us), Optional 426.7 Mbps (24/28 MHz, Base 256 QAM, NSS=4, R=5/6, CP=3.0 us)

# IEEEにおけるTVホワイトスペースの標準化 開発された無線機



IEEE 802.11af/a based  
TVWS/2.4G access point/tablet  
terminal



White space LTE eNB and wireless  
adapter



Prototype Overview



IEEE 802.22 radio for regional area network  
(Demonstrated Super WiFi Summit and NAB show)

Prototype Inside



IEEE 802.15.4m NB-OFDM  
radio for sensor networks

# 世界におけるTVホワイトスペースのトライアル

Place	Period	Members	Overview
Singapore trial	2011/03-2011/04	Singapore IDA, NICT, I2R, Huawei, MIT Lab, Energy Market Authority	Spectrum sensing, geo-location database access, propagation characteristic, transmission test.
Isle of Bute	2011/04-	Univ. Strathclyde, BT, BBC Research and Development, Steepest Ascent, Berg Design and Netpropagate	Provide a rural broadband trial network that would use white space radio spectrum to provide broadband connectivity to a small community on the south part of the Isle of Bute, Scotland.
UK Cambridge	2011/06-2012/04	Arquiva, SpectrumBridge, BT, Adaptrum, Nokia, BBC, Virgin Media, Microsoft, Cambridge Consultants, Neul, Alcatel-Lucent, Samsung, CRFS, DTG, CSR, BSKyB, The Technology Partnership	Geo-location DB access, Remote monitoring and control of the TVWS base station radios, Provision of broadband internet access to invited end users. City center coverage test, Rural connectivity test, M2M scenario test.
Singapore Commercial Pilots	2012/04-	I2R, MicroSoft, StarHub, Nuel, Adaptrum, Power Automation, Singapore Island Country Club (SICC), Spectrum Bridge, ZDW, Grid Communications, Terrabit Networks, NICT, Eurokars Group, Sentosa, HDB, NexWave, iconectiv	To deploy White Spaces technology pilots in Singapore, thereby accelerating the adoption of White Spaces technologies globally.
Helsinki	2012/08-	Turku univ. of applied sciences, Univ. of Turku, Aalto Univ. , Digita, Fairspectrum, NOKIA, Finnish communications Regulatory Authority	Algorithms for geolocation database, measurements and simulations, value chains and ecosystems
Kenya	2013/02	Kenya MIC, Indigo, Adaptrum, Microsoft	Utilize TV white spaces and solar-powered base stations to deliver broadband access.
South Africa Cape Town	2013/03	ICASA, TENET, eSchools Network, WAPA, Comsol, Google	Delivery broadband Internet service to ten schools within a 10 kilometer radius.

# TVWS実証実験 日本

## (1) IEEE 802.22, IEEE802.11af 長距離伝送実験

### 実験 1

IEEE802.22システムによる長距離伝送無線インターネットバックボーン回線の実現可能性検証試験

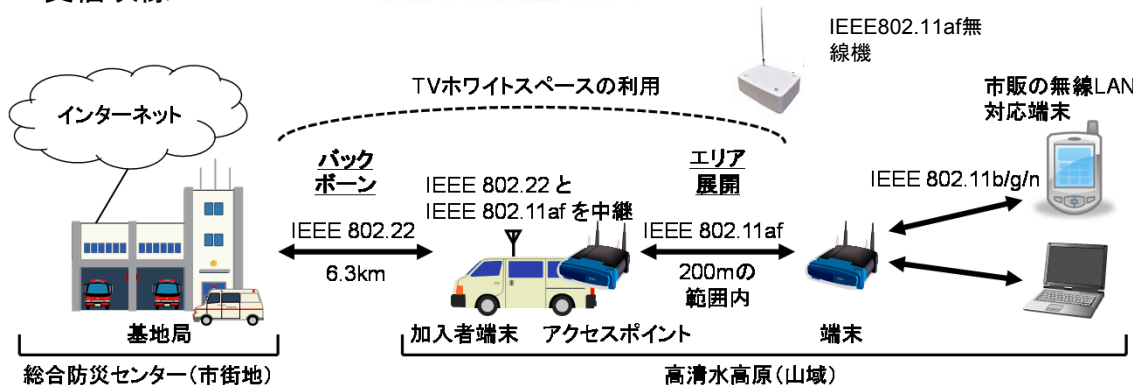
System	IEEE 802.22 PHY/MAC
Carrier frequency	470-710 MHz
Channel bandwidth	6 MHz
Signal bandwidth	5.6 MHz
TRX/PA unit output	1 mW/1W
Modulation	QPSK, 16-QAM, 64-QAM
Error correcting code	Convolutional code (coding rate: 1/2, 2/3, 3/4, 5/6)
Multiple access	OFDMA
FFT size/clock	2048 point/6.86MHz



### 実験 2

IEEE802.22システムによる無線インターネットバックボーン回線+IEEE802.11afによる無線LANエリア拡張+Wi-Fi(IEEE802.11b/g/n)無線アクセス接続試験

System	IEEE 802.11af PHY/MAC
Carrier frequency	470-710 MHz
Channel bandwidth	6 MHz
Signal bandwidth	4.83 MHz
Tx power	10 mW
Modulation	BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM
Error correcting code	Convolutional code (coding rate: 1/2, 2/3, 3/4, 5/6)
Multiple access	CSMA/CA
Multiplexing	OFDM
FFT size/clock	128 points / 5.33 MHz





## TVWS実証実験 日本

### (2) White space LTE 伝送実験

TVホワイトスペースを携帯電話のデータ通信の迂回回線（オフロード）用周波数として使い、その周波数ではWiFiではなく、LTEシステムそのものを無線LAN的に利用することを提案。TVホワイトスペースにおける無線機の出力は20dBm程度。データベースと接続し、TVホワイトスペースが“空いていれば”データ通信のみ迂回を行う。



#### TVホワイトスペース対応LTE基地局

- Release 8対応. YRPに整備のLTEコアネットワークに接続試験済
- FDD/TDDモード対応. TVWSにおいて2周波数確保できればFDD,それ以外はTDDモードにすることが可能
- 周波数470-710MHz. 最大出力30dBm. 帯域幅 5/10/20MHz
- 既開発のホワイトスペースにアクセスし, WSを自動確保
- 170(W) × 420(L) × 300(H) mm<sup>3</sup>



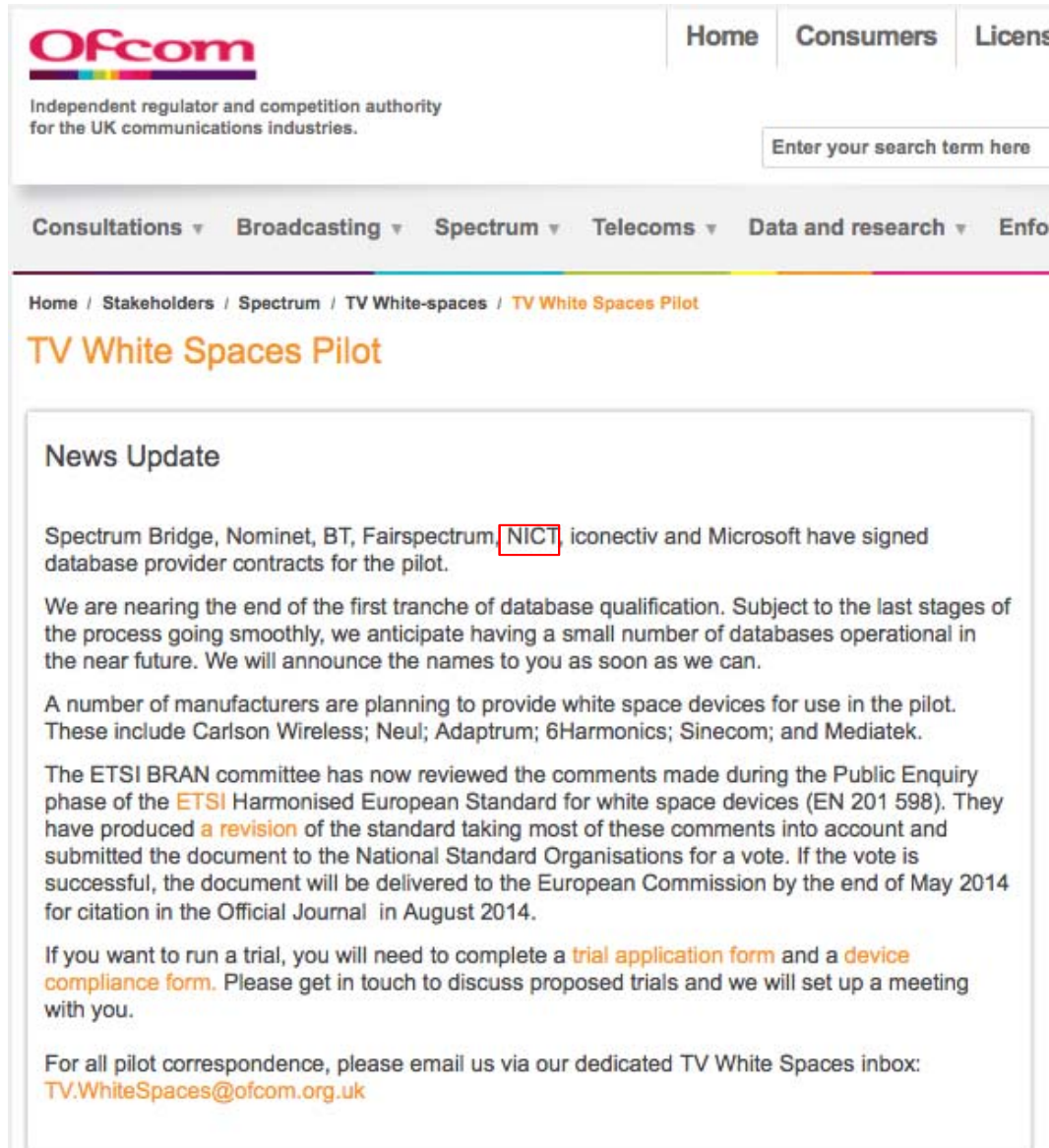
#### TVホワイトスペース対応スマートフォン

- Release 8対応. YRPに整備のLTEコアネットワークに接続試験済
- FDD(既存周波数), TDD(TVWS)に対応
- 周波数470-710MHzとBand1(商用周波数対応). UHF帯では最大出力20dBm. 帯域幅 5/10/20MHz
- 既開発のホワイトスペースにアクセスし, WSを自動確保
- 連続待ち受け時間 約290時間(TVWS), 約440時間(既存周波数), 約490時間(3G)
- Android4.2対応. 146g
- 約132(高さ) × 65(幅) × 10.9(厚さ)mm



## TVWS実証実験 英国

### (3) Ofcomホワイトスペースパイロット実験



**Ofcom**  
Independent regulator and competition authority for the UK communications industries.

Home Consumers Licens

Enter your search term here

Consultations ▾ Broadcasting ▾ Spectrum ▾ Telecoms ▾ Data and research ▾ Info

Home / Stakeholders / Spectrum / TV White-spaces / **TV White Spaces Pilot**

### TV White Spaces Pilot

#### News Update

Spectrum Bridge, Nominet, BT, Fairspectrum, **NICT**, iconectiv and Microsoft have signed database provider contracts for the pilot.

We are nearing the end of the first tranche of database qualification. Subject to the last stages of the process going smoothly, we anticipate having a small number of databases operational in the near future. We will announce the names to you as soon as we can.

A number of manufacturers are planning to provide white space devices for use in the pilot. These include Carlson Wireless; Neul; Adaptrum; 6Harmonics; Sinecom; and Mediatek.

The ETSI BRAN committee has now reviewed the comments made during the Public Enquiry phase of the ETSI Harmonised European Standard for white space devices (EN 201 598). They have produced a revision of the standard taking most of these comments into account and submitted the document to the National Standard Organisations for a vote. If the vote is successful, the document will be delivered to the European Commission by the end of May 2014 for citation in the Official Journal in August 2014.

If you want to run a trial, you will need to complete a [trial application form](#) and a [device compliance form](#). Please get in touch to discuss proposed trials and we will set up a meeting with you.

For all pilot correspondence, please email us via our dedicated TV White Spaces inbox: [TV.WhiteSpaces@ofcom.org.uk](mailto:TV.WhiteSpaces@ofcom.org.uk)

#### Ofcomトライアルの概要

- Ofcom: 英国周波数規制当局が2013年10月に開始をアナウンス
- 周波数470 MHz から790 MHz
- トライアルではWSデータベースとデバイス無線機とOfcomとの間で実際に行われる手順, 試験の方法, 運用の方法, 共存の方法についてトライアルが行われる
- ホワイトスペースについての規格はETSI Harmonised European Standard for white space devices (EN 201 598)を利用
- データベースサプライヤとして7社がOfcomと契約を実施. **NICTはそのうちの1社**
- Ofcomが要求する計算式と各データベースサプライヤの計算結果がきちんと合致するかどうか等Ofcomの仕様に対しての納品試験を実施中

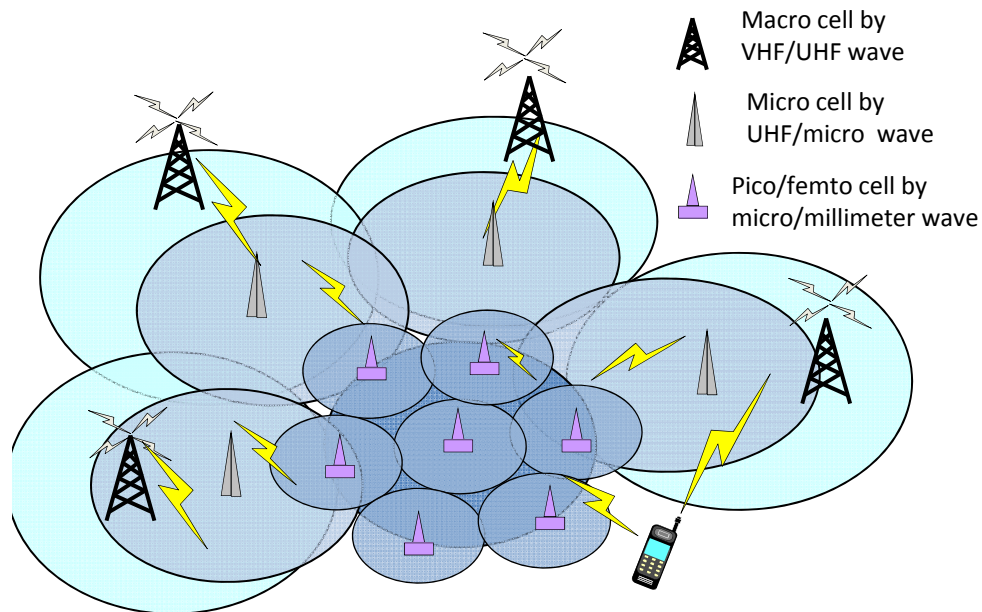
# 日本におけるホワイトスペース関連の研究開発 の考え方

- ホワイトスペース通信の研究開発は“第5世代移動通信システム開発の準備運動”という位置づけで大きな視野で研究開発をすすめるべき
  - ▶ 第5世代移動通信: 移動通信システムに対する周波数が枯渇, 携帯電話のライセンスバンドにおいても周波数共用を推進する必要性がある
  - ▶ 違い
    - ▷ TVホワイトスペース
      - 一次利用者: 放送(一方向, 受信者固定),
      - 二次利用者: 放送(一方向, 受信者固定), 通信(双方向, 固定, 準静止)
    - ▷ 第5世代移動通信
      - 一次利用者: 通信(双方向, 移動)
      - 二次利用者: 通信(双方向, 移動)
  - ⇒ 一次利用者の二次利用者からの保護が尋常でなく難しい, TVホワイトスペースの研究開発で準備を!!
  
- 国内でのTVホワイトスペースでは, “より遠く”というよりより小電力で“より多くのチャンネル”という要望に応えるものが良い可能性
  - ▶ “より遠く”を実現する通信システムへの展開は理想的であるが, 都市部ではホワイトスペースが少ない, 郊外での利用が多くなる.
  - ▶ 送信出力を抑えるが現用システムで枯渇したチャンネル数を増やす“より多くのチャンネル”という目的は実現が郊外でも都市部でも行いやすい. (たとえば, 無線LAN, センサー無線等のチャンネル数増大)
  
- 国内利用のみならず海外展開も視野にいれて戦略的に研究開発をすすめるべき
  - ▶ 現状: TV帯は地上デジタルTVのみの売り込みのみ
  - ▶ 期待: 地上波デジタルTVの売り込み+UHF帯電波監理データベースの売り込み+TV帯ホワイトスペース通信システムの売り込み
  - ▶ アフリカ, 南米, 東南アジアのデジタル・デバイドを解消するための方式として売り込む

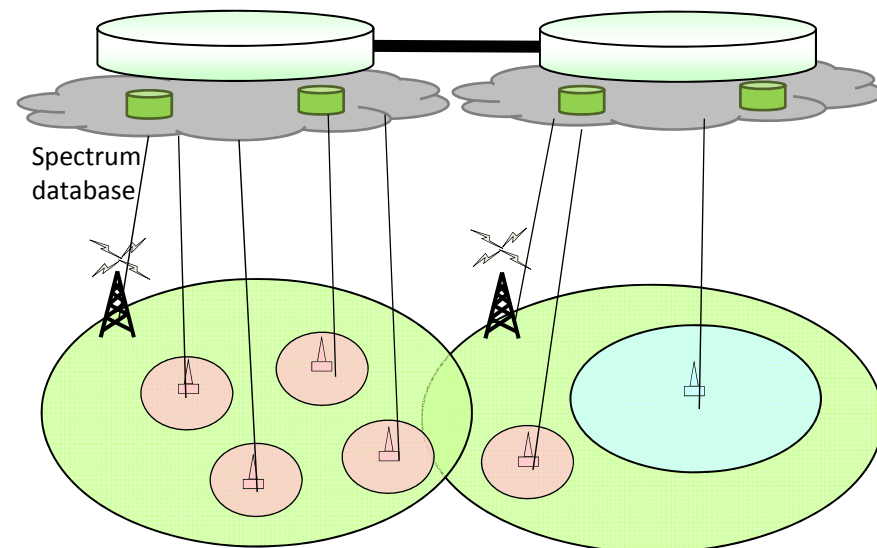
# 周波数共有（Dynamic Spectrum Sharing）を ベースにした第5世代移动通信

- 現在のマイクロ波・UHF帯だけではなく、高い周波数（ミリ波）、低い周波数（VHF帯、TV帯）を併用して用いることになる。
- マクロ/マイクロ/ピコ/フェムトセルは互いにオーバーラップして通信エリアを構成し、必要によっては同一周波数を用いている。

- マクロ/マイクロ/ピコ/フェムトセルにおいて同一周波数を用いてオーバーラップさせながら通信エリアを構成するために spectrum database もしくは dynamic spectrum sharing manager が必要になる。
- dynamic spectrum manager はその運用周波数、アクセス方式（例えばTDD/FDD）を必要によって制御できる。



Dynamic spectrum sharing manager

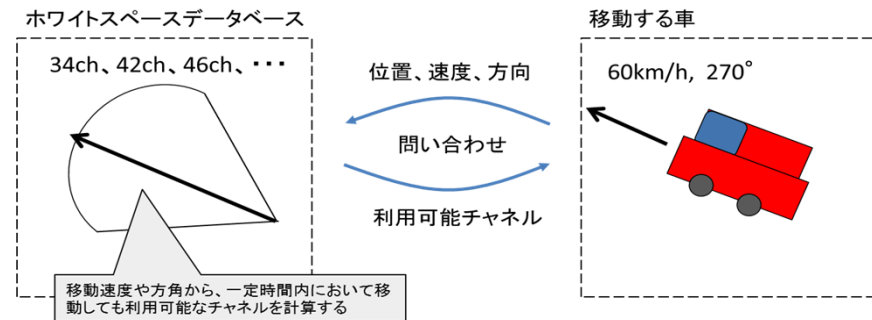


# 周波数共有 (Dynamic Spectrum Sharing) をベースにした第5世代移動通信の実現に向けた研究開発例 — 移動通信対応可能な周波数共有データベース —

- 地上波テレビ放送帯(470~710MHz)中のホワイトスペースの利用可否・共存を可能とするデータベース/マネージャ技術を開発
  - ▶ 一次利用者である、地上波テレビ放送への与干渉を回避
  - ▶ 異なる二次利用者間の干渉を回避するため、共存マネージャを設計

## ● 移動体の情報を考慮したデータベースを設計

- ▶ データベースが複数の移動体の情報を扱い、移動範囲を予測して周波数切り替えによる通信切断回数を抑制
- ▶ 車群が位置情報を集約してデータベースに提供
  - ▷ 移動体の代表端末が車群の情報を集約してデータベースに提供
  - ▷ 代表端末が車群全体の利用可能チャンネルをデータベースから取得
- ▶ 移動エリア予測に基づく利用可能チャンネルの算出
  - ▷ 従来のデータベースで扱っていた位置情報に加え、速度と方向を併せてWSDBに提供
  - ▷ WSDBは車群の移動範囲を予測し、推奨するチャンネルを提供
  - ▷ 無線機がデータベースに速度と方向を含む位置情報を提供できるように、データベース通信規格であるIETF PAWSを拡張



## 最後に

- 日本における周波数共用技術に関する研究開発は十分成熟しつつある。研究開発，標準化，実証とほぼ順調に進んでおり，その成果は世界展開をしつつある。
- 来るべき第5世代移動通信の時代における周波数共用を志向した研究開発プロジェクトも総務省を中心に立ち上がり，研究開発が推進されている
- 個々の研究プロジェクトの品質は非常に高く，その成果は第5世代移動通信推進する上で十分な破壊力をもつ

しかし，早期に検討を進めているプロジェクトの成果を効率的に展開するために以下についての方針を早急に考えるべきである

- 研究開発成果を早急に世界展開し，産業創出できるプロジェクトを多く作る
- 海外の人の中心に日本があるというプロジェクトを作る
  - ▶ ホワイトスペースパイロットプロジェクトは非常に良い例。日本が導入するかどうかは別に，世界に導入することを考えて，必要な項目を検討するプロジェクトを推進すべき