

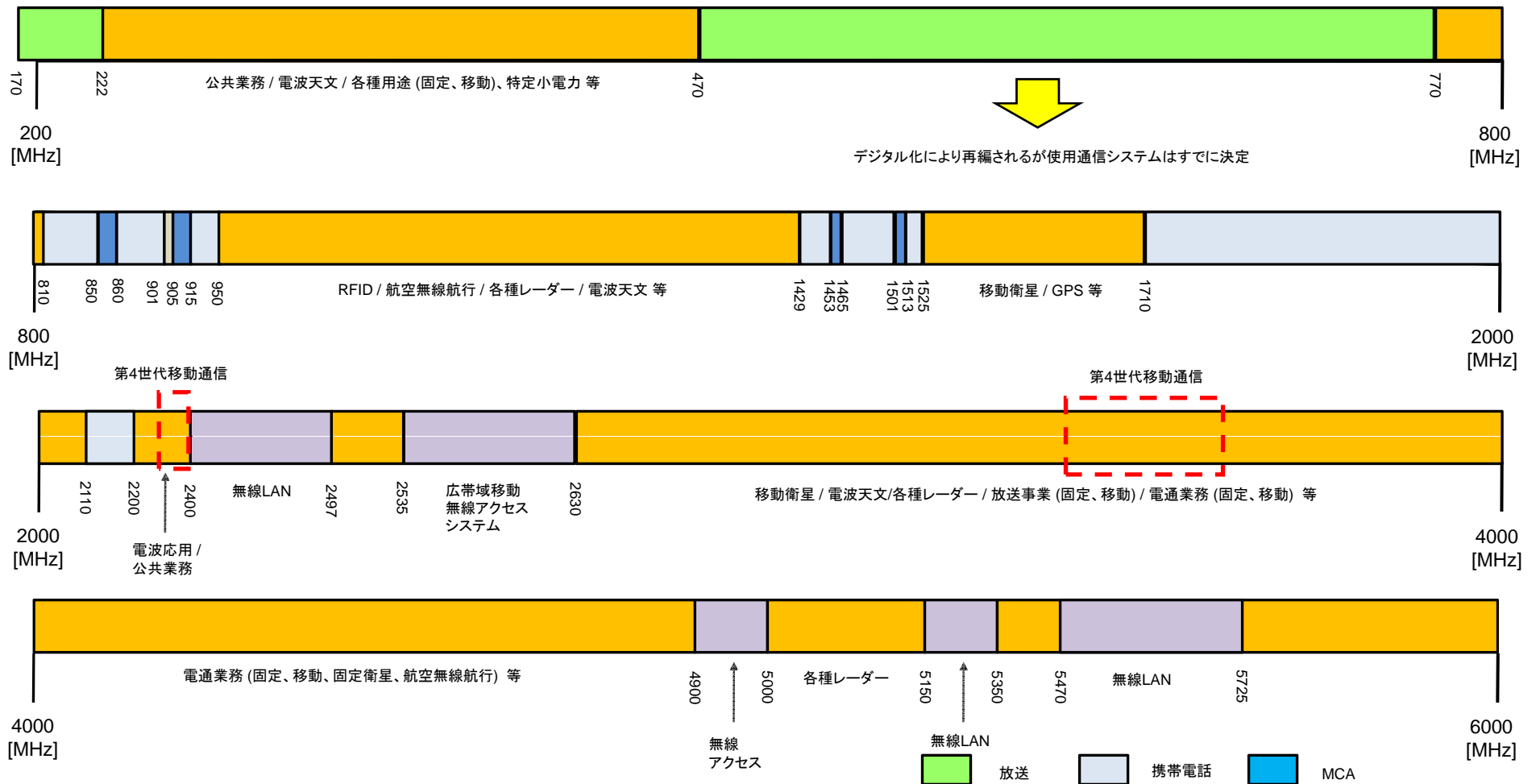
# コグニティブ無線技術の紹介と ITS無線システムへの応用

独立行政法人 情報通信研究機構  
新世代ワイヤレス研究センター  
ユビキタスマバイルグループ

# コグニティブ無線技術が必要となる背景

## 現在の周波数の割り当て状況からくる問題点 (1/2)

移動通信に適したVHF、UHF帯から6GHz以下の周波数においては、そのほとんどが無線通信システムに割り当てられており、今後標準化されるであろうブロードバンド移動通信に対して十分帯域が確保できない→何らかの対策を行う必要性があり



# コグニティブ無線技術が必要となる背景

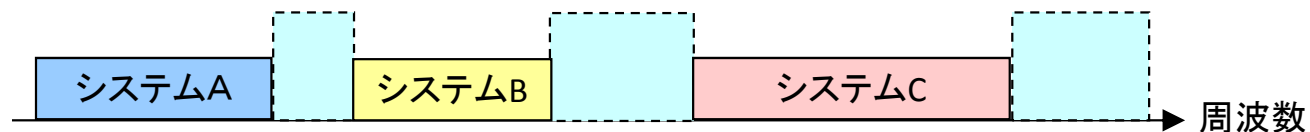
## 現在の周波数の割り当て状況からくる問題点 (2/2)

新しく標準化されるシステムは必ず既存のシステムに比べて広帯域(ブロードバンド)、空き周波数があれば容易に割り当てが可能であるが、空き周波数がない場合は、既存のシステムを別周波数帯に移行したり、廃止することにより、当該広帯域システムが運用できる周波数帯を確保する方法がとられてきた→**周波数移行に時間がかかり、新システムの迅速な導入ができない。また、今後標準化されるシステムは今まで以上にブロードバンド**

### 現状の周波数に利用状況例

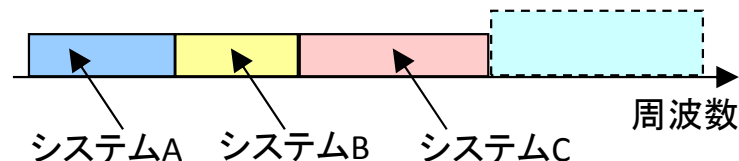
各通信システムに割り当てられている周波数と未割り当てもしくは未使用のため空いている周波数が存在

未割り当てもしくは未使用のため空いている周波数



新しい通信システムに対して周波数を割り当てたい

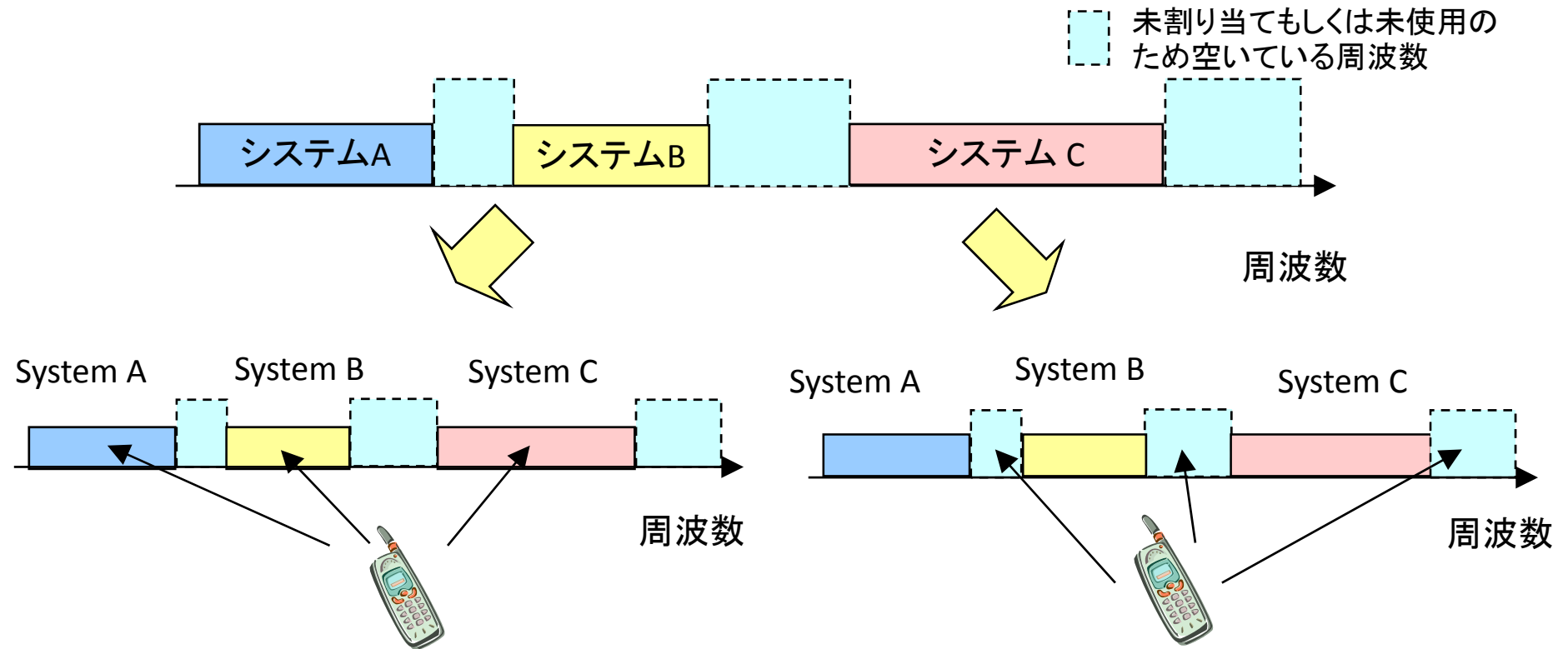
### 従来方式



周波数を再編して新しい空き周波数を使って必要な通信を実現

# コグニティブ無線技術の定義と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



(a) ヘテロジニアス型コグニティブ無線技術

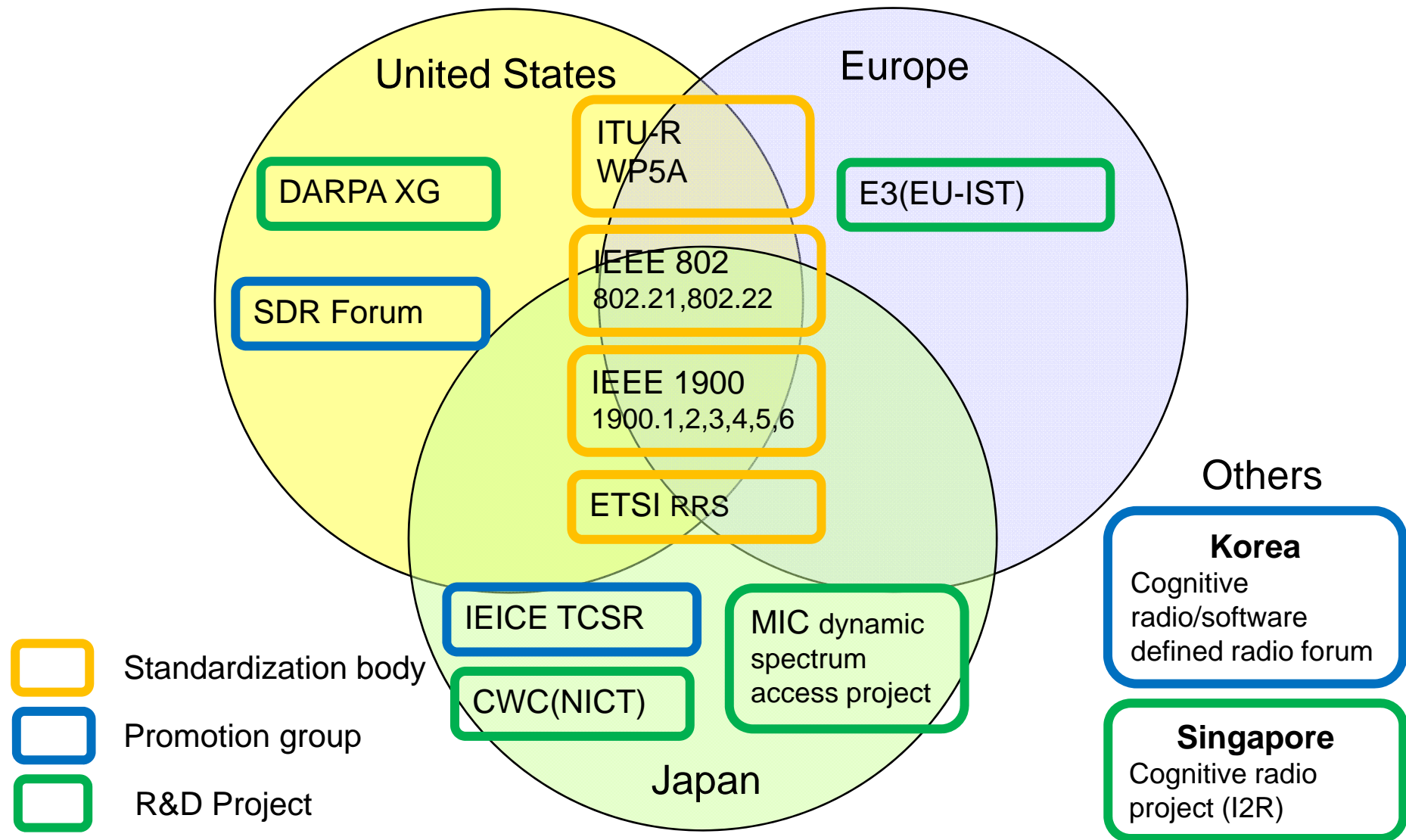
(b) 周波数共用型コグニティブ無線技術

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

# コグニティブ無線技術の定義と2つのカテゴリ

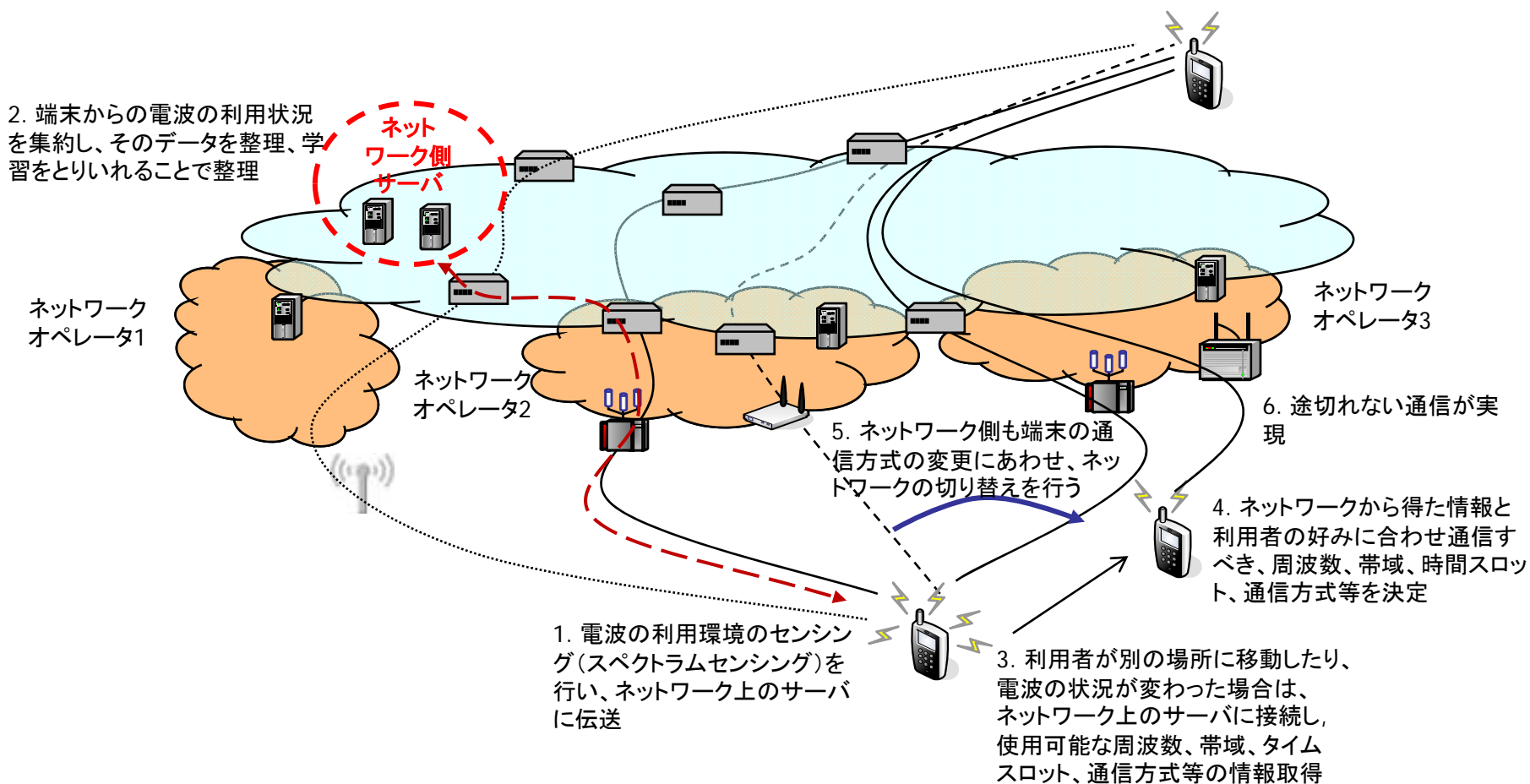
研究開発、標準化動向



# ヘテロジニアス型コグニティブ無線ネットワーク

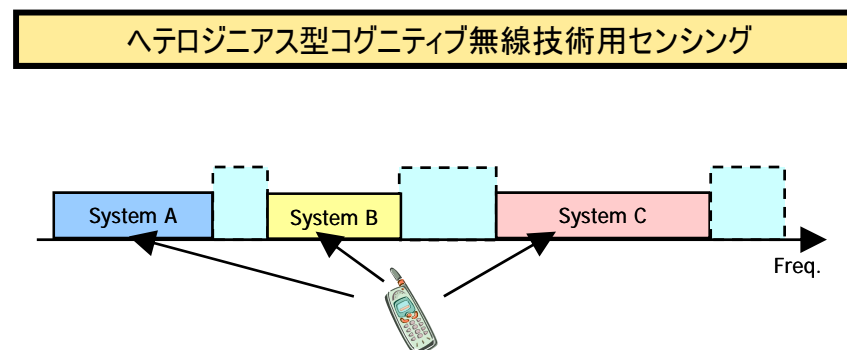
## 概要

各無線機における電波の利用環境のセンシング結果を情報をネットワーク側において集中的にもしくは分散的に配置されたサーバに集約させ、この集約したデータを整理、学習を取り入れることにより整理し、利用者が別の場所へ移動した場合においても、自身のスペクトラムセンシング結果だけでなく、このサーバから統計的なデータとして与えられる利用可能な周波数帯域、タイムスロット等の無線リソースの情報を利用して、使用する通信システム、周波数、帯域、タイムスロットを決定



# ヘテロジニアス型コグニティブ無線ネットワーク 使用するスペクトラムセンシング法

- 使用する電波の利用環境のセンシング(スペクトラムセンシング)は既存のシステムの存在を調べるセンシング法
- 問題点
  - センシングレベルの問題
    - センシングレベルが各通信システムによって異なり、既存の通信システムに干渉を与えないことを十分確認する必要性有(例えば無線LANの受信感度はW-CDMAの受信感度に比べ高いため、W-CDMAのセンシングを行う場合は、低いレベルまでセンシングする必要性がある)
  - センシング時間の問題
    - 各通信システムによって、プロトコルがことなるため、基地局からのビーコン送付時間等各システムの方式を十分理解した上でスペクトルセンシングを行う必要性が有



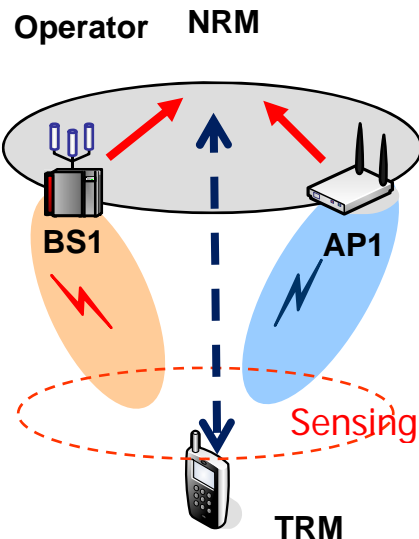
# ヘテロジニアス型コグニティブ無線ネットワーク

## 利用イメージ1(スペクトラムセンシングの機能を端末に入れた場合)

端末は、既存のオペレータの既存の無線通信システムをセンシングし、その結果を端末内のTRM(Terminal Reconfiguration Manager)に伝える。各端末のTRMはそのセンシング情報をネットワーク上のNRM(Network Reconfiguration Manager)に伝え、NRMはその情報を整理して、ユーザーの位置等に応じた最適な通信ネットワークをTRMに伝える。TRMはこの情報をもとにユーザーの好みも加味し、最終的に接続するネットワークを決定する。

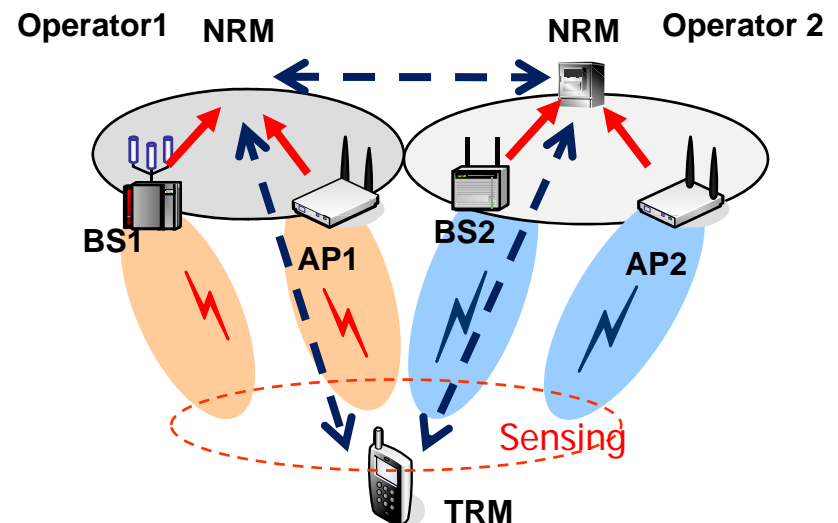
### Cognitive-based MIH(Media Independent Handover) and aggregation

Single primary operator managed cognitive radio



### Cognitive-based CIO (Carrier Independent Operation)

Multiple primary operators managed cognitive radio



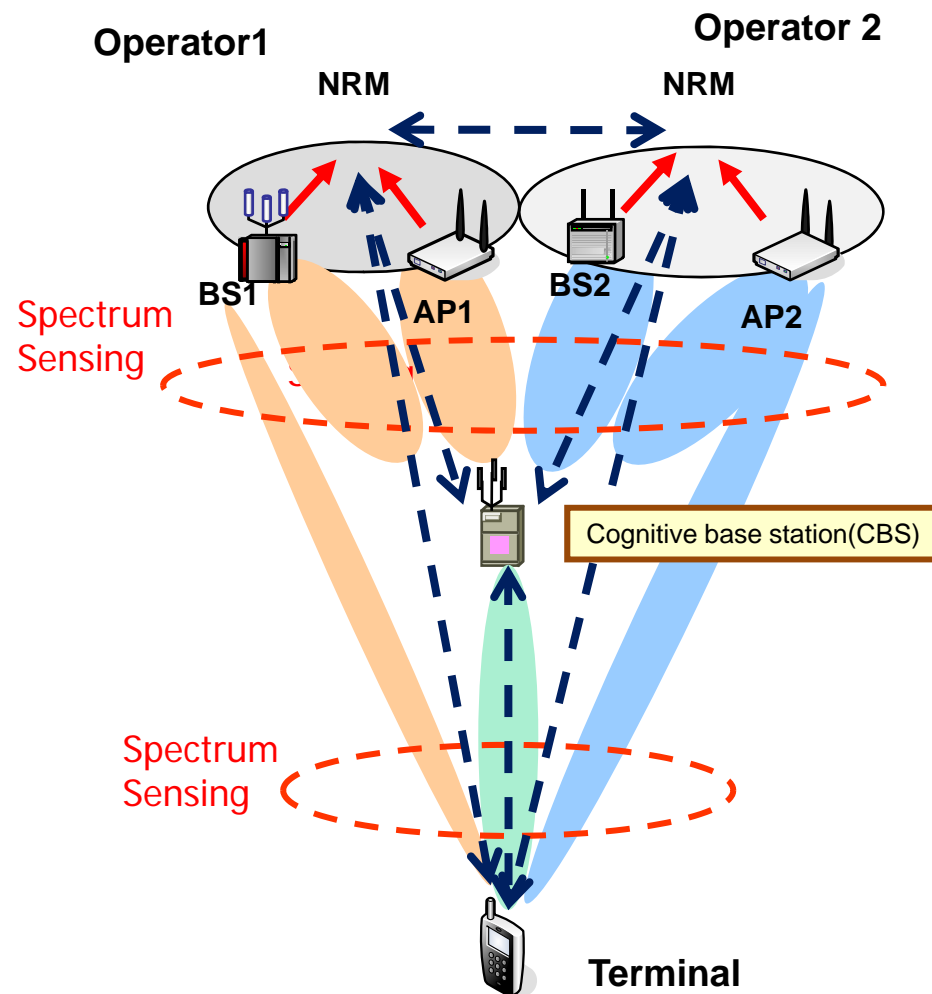
Information exchange  
 Information sharing



# ヘテロジニアス型コグニティブ無線ネットワーク

## 利用イメージ2(スペクトラムセンシングの機能を基地局に入れた場合)

- スペクトラムセンシングの機能を入ったCognitive Base Station(CBS)
  - 既存のオペレータの運用する既存の無線通信システムをセンシングし、接続、そして、そのシステムと干渉を回避できる方策をとった無線システムを利用して端末と接続
  - CBSに接続している端末は、CBSと接続する既存のオペレータの既存の無線通信システムを介してインターネットに接続
  - CBS自身が直接有線でインターネットにつながっていて、端末がその回線を用いてインターネットにも接続可能
- スペクトラムセンシング機能の入った端末
  - 既存のオペレータの運用する基地局、アクセスポイントからの信号、およびCBSからの信号をセンシングし、その情報をもとに、接続すべき通信システムを決定



# ヘテロジニアス型コグニティブ無線ネットワーク

## 研究開発項目

- ネットワーク側
  - 基本システムアーキテクチャ(必要となるエンティティ等)
  - 基本機能モデル(Functional Architecture)
  - ユーザ端末、ネットワークに接続する基地局から情報を収集するための機構、取得方法、取得情報のフォーマット
    - NRM、TRM、CBRM間の制御情報(シグナリング情報の通信方法、プロトコル、通信情報のフォーマット)
  - 各種通信システムとの接続方法
  
- 無線機側
  - コグニティブ無線機を実現するハードウェアプラットフォーム
  - マルチバンド/チューナブルな広帯域デバイス
    - アンテナ、フィルタ、アンプ、ミキサ、AD/DA変換、信号発生器
  - スペクトラムセンシング/学習/意志決定を行うためのコグニティブ無線用ソフトウェアプラットフォーム
  - スペクトラムセンシングを行うユニットとTRM、NRM等のRM(Reconfiguration Manager)とのインターフェース

# ヘテロジニアス型コグニティブ無線ネットワーク

## 開発の歴史(ネットワーク)

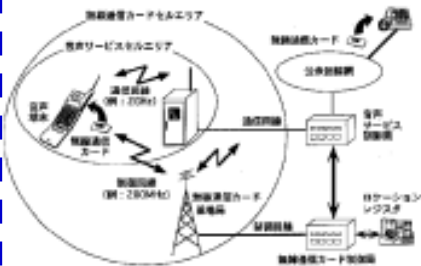
1997 98 99 2000 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10 11 12

### Research & Development on common signaling based communication systems

#### MASCOT

Mobile Access Signaling Card On Telecommunication systems

- Registering locations
- Notifying of receiving a call
- Dedicate outband common signaling



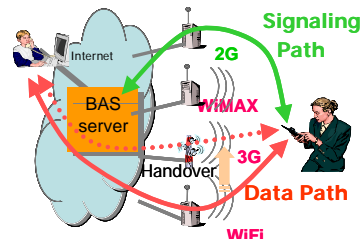
#### MIRAI

Multimedia Integrated network by Radio Access Innovation

- Seamless handover in heterogeneous networks
- Dedicated outband common signaling (prototyping)



- Inband common signalling



For deployment scenario 1

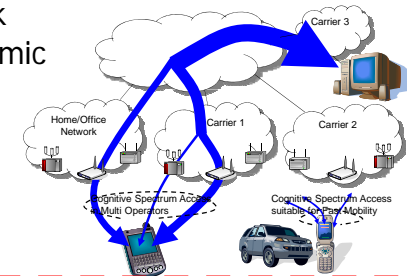
For deployment scenario 2,3

### Cognitive wireless/Dynamic spectrum access network project

#### CWC

Cognitive Wireless Clouds

- User centric always optimally connected wireless network
- Cognitive radio based dynamic spectrum access network



#### MIC project (CR/DSA)

R&D on elemental technologies for advanced radio spectrum sharing on mobile communication system  
Period: Dec. 2005-March 2008

#### MIC project (CR/DSA)

R&D on elemental technologies to increase frequency utilization efficiency for next generation mobile communication system  
Period: Sept. 2008-March 2013

# ヘテロジニアス型コグニティブ無線ネットワーク

## 主な研究成果(ネットワーク側)

### □ ユーザーが無線アクセス回線を自由に設定できる新世代ネットワーク無線アクセスアーキテクチャの基礎検討

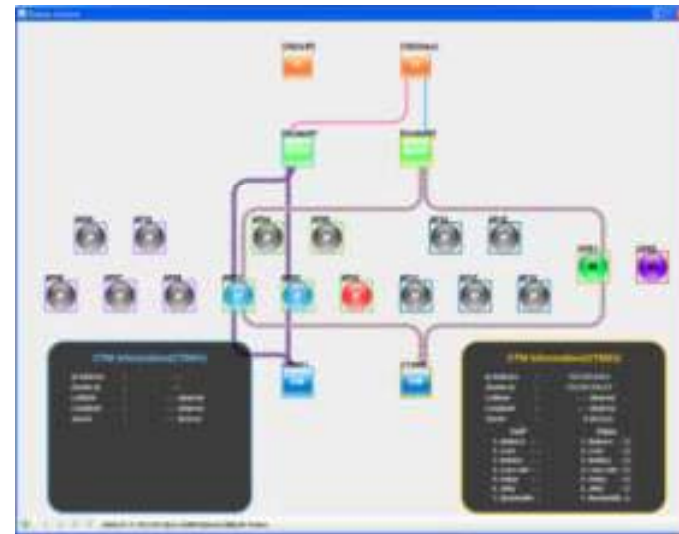
複数の無線ネットワークの利用状況を**認知(Cognitive)**して、複数の使用可能な無線を自在に組み合わせて通信を行うことが可能な**コグニティブワイヤレスネットワークアーキテクチャ(コグニティブワイヤレスクラウド)**を提案。ネットワーク機能と端末に機能を**分散**させて情報を収集し最適な接続先を計算可能とする**機能及びアルゴリズム**を設計するとともに**実証システム**を開発して検証を行うとともに、**提案アーキテクチャ**を標準化団体IEEE P1900.4に**提案**し、基本方針として採択された。

### □ 連続無線切替可能ハンドオーバー技術の研究開発

複数の無線をシームレスに切り換えるだけでなく、**複数のオペレータの無線を束ねて(Aggregate)**使用する方式を検討。ネットワーク側からの情報に基づいて、端末は**最適と思われる無線へと切り替え**を行う(Dynamic Spectrum Access)。

### □ 複数のエア・インタフェース、無線システムオペレータ間にまたがるコグニティブ通信実現のための無線ネットワーク制御技術の研究開発

コグニティブ無線端末、コグニティブ無線基地局からは認知(Cognitive)した多くの情報が得られる。これらの膨大な量の情報から、**意味のある(役に立つ)情報を抽出**し、効率よくそれを必要とする機器やユーザに届ける方式を設計。さらに、端末からの「同時に見える(使用可能な)基地局」の情報を統計処理し、**無線基地局の論理的地図**を作成することにより、**複数のオペレータの無線を束ねることの可能性**や、**移動時に次に接続候補**となる基地局について事前を知るアルゴリズムも設計。



ネットワークの状況管理



実証システムの概要

# ヘテロジニアス型コグニティブ無線ネットワーク

## 主な研究成果(無線機側)

コグニティブ無線ハードウェアプラットフォーム、ソフトウェアプラットフォームからなり、ソフトウェア無線技術を利用した通信システムの再構築も可能なコグニティブ無線機の試作に成功



### 基本仕様

- センシング可能周波数:  
400MHz-6GHz
- 使用高周波部:  
スイッチング型高周波部Version 2
- 使用FPGAボード: Ver.1の簡略化
- 使用CPUボード:  
Ver.2(ARM11ベース)
- 使用OS: LINUX

- 移動通信に利用しやすいUHF帯(400MHz)からマイクロ波帯(6GHz帯)までをセンシングし表示(センシング範囲は高周波部の能力に依存)-(a)
- 詳細なセンシング情報の表示とともに選択された周波数バンドでソフトウェア無線技術を用いて通信システムを同定 -(b)
  - ターゲットとする周波数帯を決定
  - 通信システムを実現するソフトをインストールし、通信の状態をセンシング-(\*)
  - 周波数を変更
  - 再度 RSSI, BER, FER (Layer1), 及び 接続性 (Layer 2) を測定
  - インストールした通信システムがターゲット周波数帯にいるかどうかを同定
  - (\*)にもどり、別の通信システムを実現するソフトウェアを高周波部および信号処理部にインストールし同様のセンシングおよびシステム同定を行う
- 通信システムを表示 -(c)
- ユーザが好みの通信システムを選び通信を開始 -(d)

(a)



(b)



(c)



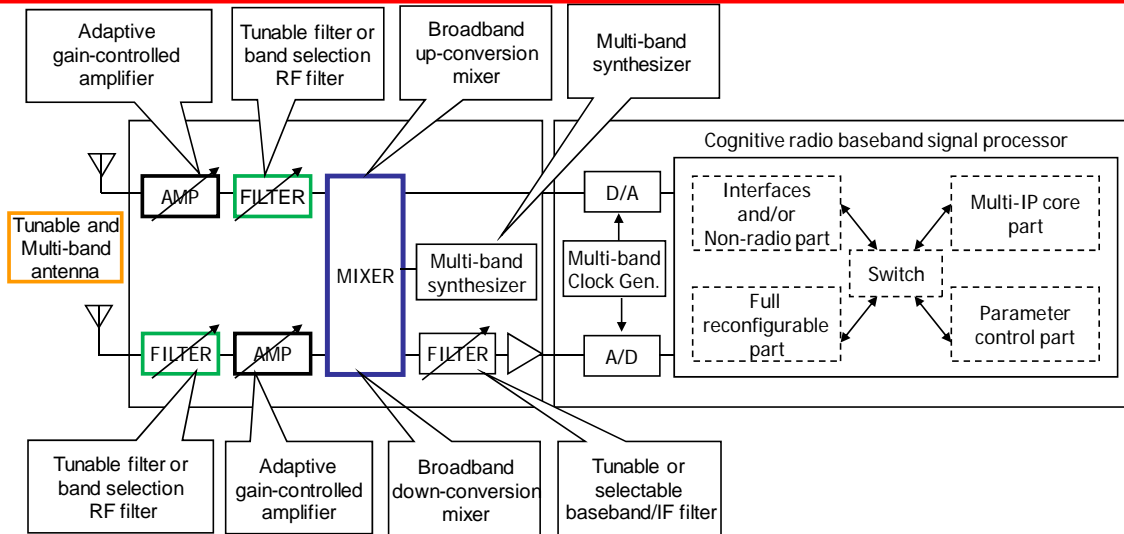
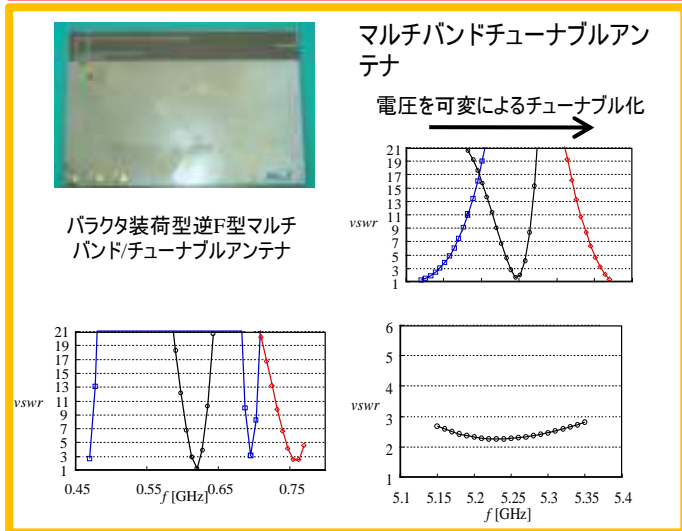
(d)



# ヘテロジニアス型コグニティブ無線ネットワーク

## 主な研究成果(デバイス関連)

UHF帯から6GHz帯に存在する無線システム、空き周波数をセンシングするためのハードウェアを実現するためのマルチバンド/チューナブルデバイスの開発を行った



マルチバンドチューナブル広帯域アンプ

9mm x 9mm

- チューナブル周波数帯域: 0.4-6.2GHz (2 mode)
- 最大利得(可変可能): 30dB
- 最大出力: 24dBm
- NF: 5dB以上
- 使用プロセス 90 nm RF-CMOS
- 電源電圧: 3.3 V

マルチバンドチューナブル広帯域バンドパスフィルタ

9mm x 9mm

- チューナブル周波数帯域:
  - Mode 1: 0.4~0.8 GHz
  - Mode 2: 0.8~1.3 GHz
  - Mode 3: 1.3~2.1 GHz
  - Mode 4: 2.1~3.0 GHz
  - Mode 5: 3.0~4.0 GHz
  - Mode 6: 4.4~6.0 GHz
- 可変可能3dB 帯域幅:
  - Mode 1: 250~600 MHz
  - Mode 2: 400~1300 MHz
  - Mode 3: 400~1500 MHz
  - Mode 4: 600~2000 MHz
  - Mode 5: 600~2000 MHz
  - Mode 6: 500~3250 MHz
- 減衰特性30dB/oct
- 使用プロセス: 90 nm RF-CMOS
- 電源電圧: 3.3 V

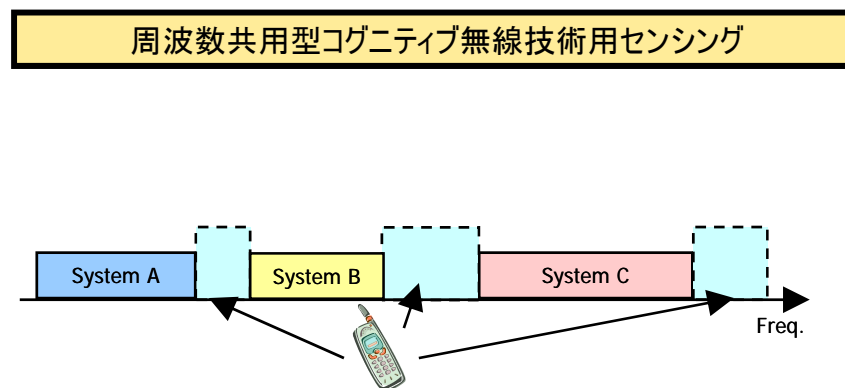
広帯域送受信ダイレクトコンバージョンミキサ

対応周波数0.4-5.8GHz,  
180nm SiGe BiCMOS  
3.3 V

- 送信側OP1dB: larger than -18 dB
- 送信側EVM: less than 3% (rms)
- 受信側 NF:
  - less than 5dB@ 400 MHz and 2GHz bands
  - less than 15dB@ 5GHz band
- 11%以下のEVMを満たす 受信側ダイナミックレンジ:
  - larger than 50dB@400 MHz and 5GHz bands
  - larger than 60dB@2GHz band

# 周波数共用型コグニティブ無線ネットワーク 使用するスペクトラムセンシング法

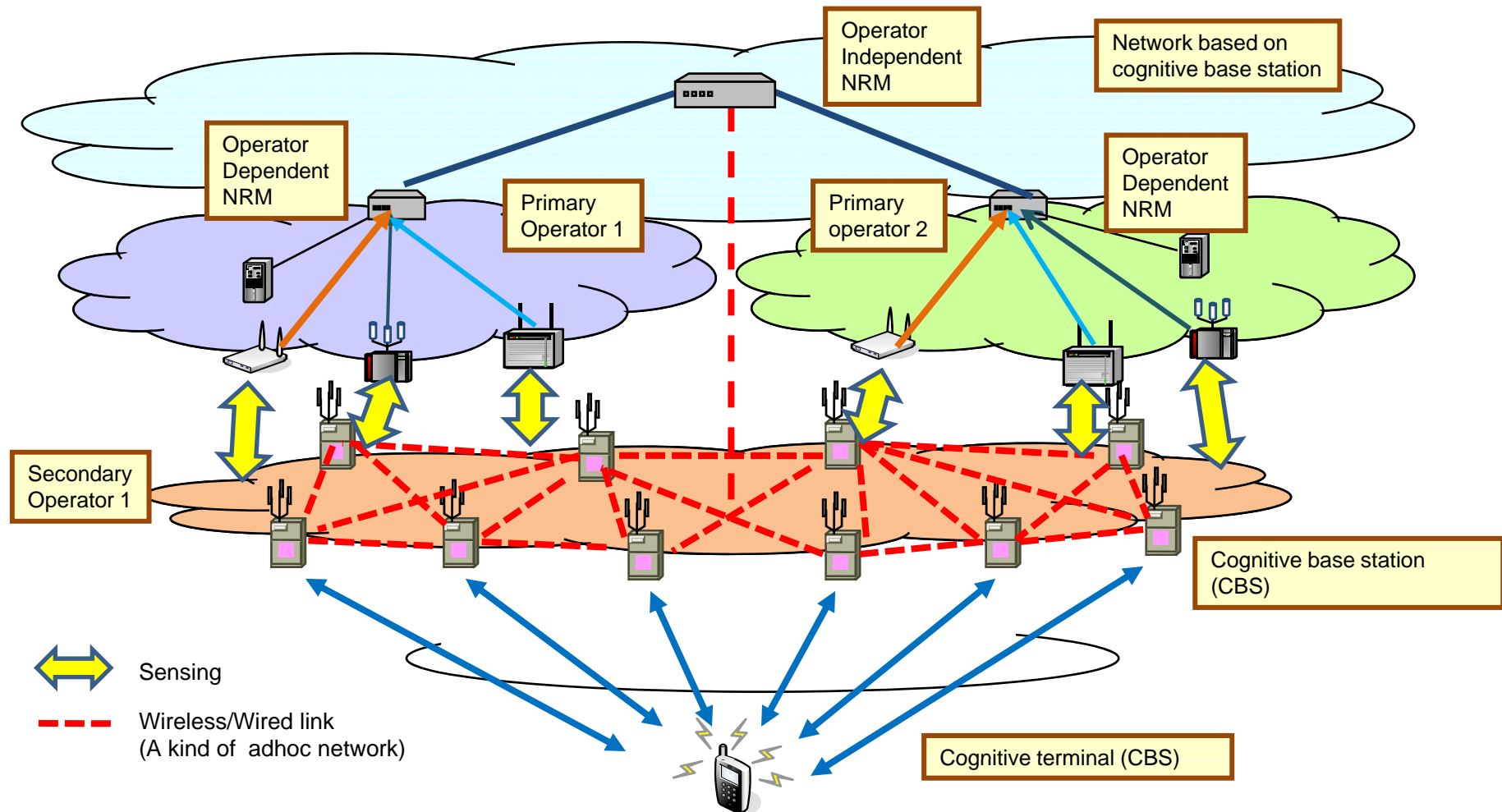
- 使用する電波の利用環境のセンシング(スペクトラムセンシング)は既存のシステムの存在しないことを調べるセンシング法
- 問題点
  - センシングレベルの問題
    - センシングレベルが共存しようとする各通信システムによって異なり、既存の通信システムに干渉を与えないことを十分確認する必要性有
  - センシング時間の問題
    - 各通信システムによって、プロトコルがことなるため、基地局からのビーコン送出時間等各システムの方式を十分理解した上でスペクトルセンシングを行う必要性有



# 周波数共用型コグニティブ無線ネットワーク

利用イメージ1(スペクトラムセンシングの機能を基地局に入れた場合)

セカンダリオペレータの基地局 (Cognitive base station: CBSと呼ぶ) は既存のオペレータ(プライマリオペレータ)が使用していない周波数の探すためにスペクトラムセンシングを行い、使用していないことがわかるとその周波数を用いて端末側と通信を行う。CBS同士は無線もしくは有線を利用して、互いが干渉しないように通信を行う。場合によってはCBS同士がアドホック的にネットワークを有線もしくは、無線により構築されている場合がある。そして、その一部のCBSがインターネット等に接続されている場合もある。

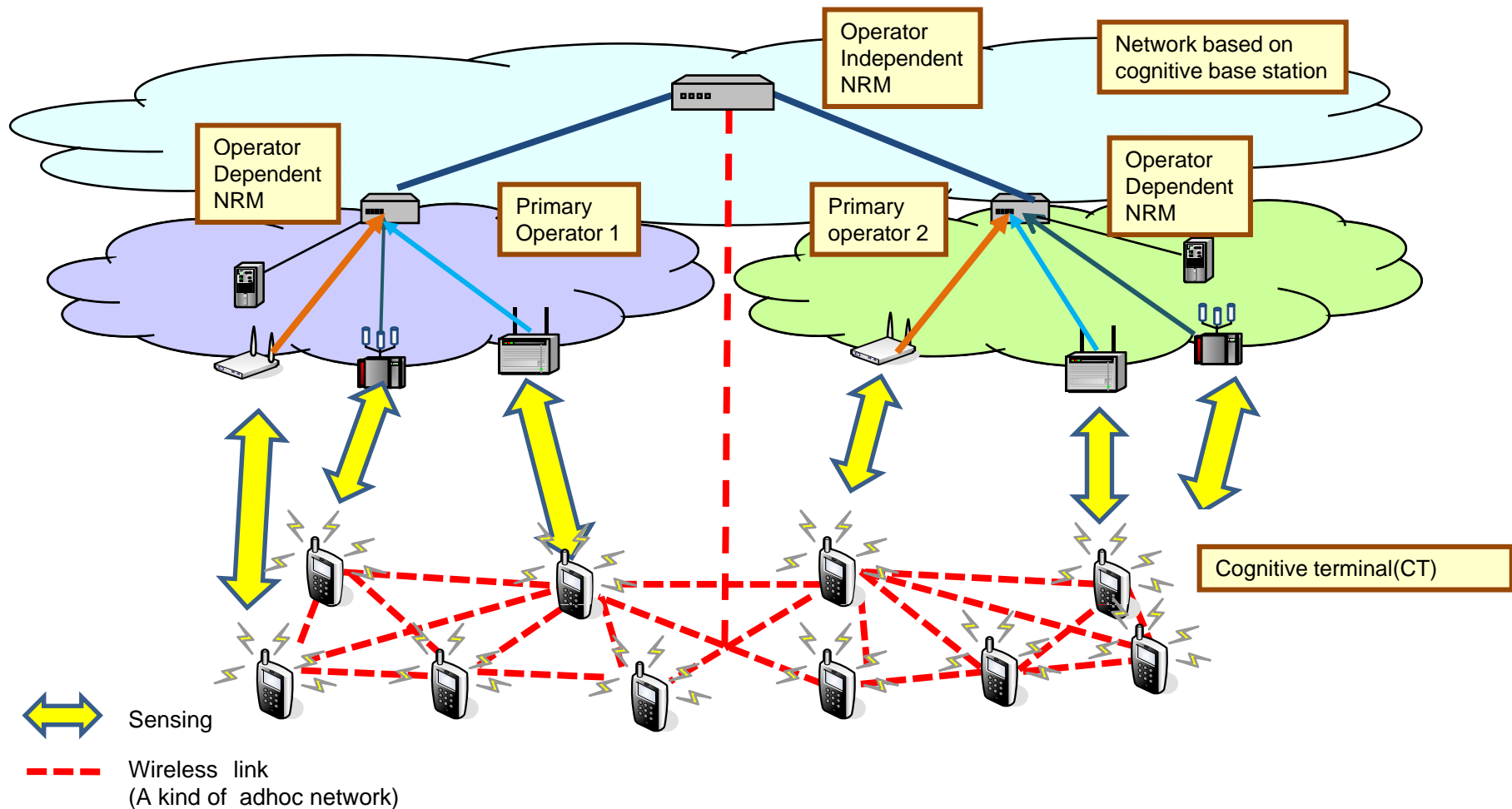




# 周波数共用型コグニティブ無線ネットワーク

利用イメージ2(スペクトラムセンシングの機能を端末に入れた場合)

コグニティブ端末(Cognitive terminal:CTと呼ぶ)は既存のオペレータ(プライマリオペレータ)が使用していない周波数の探すためにスペクトラムセンシングを行い、使用していないことがわかるとその周波数を用いてCT間で通信を行う。CT同士は無線を利用して、互いが干渉しないようにアドホック的に接続される。そして一部のCTがインターネット等に接続されている場合もある。

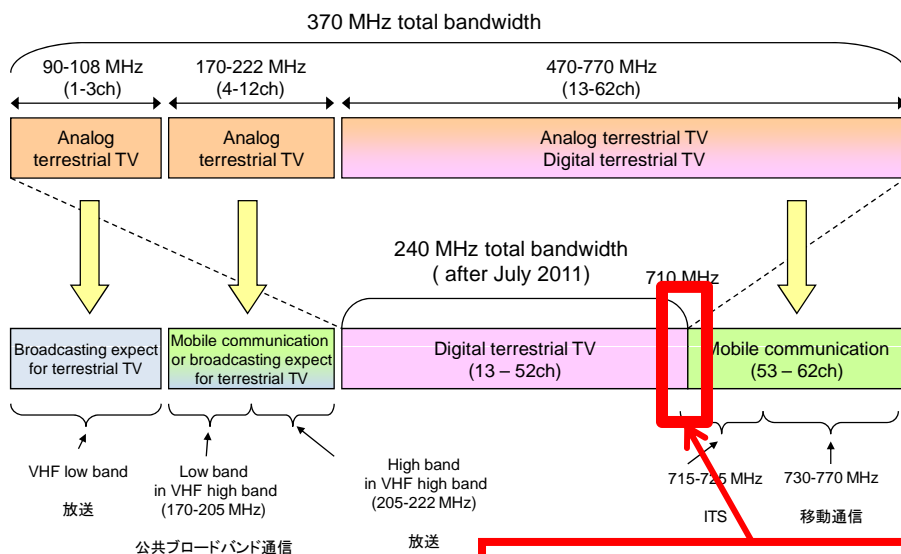


# コグニティブ無線技術とITS

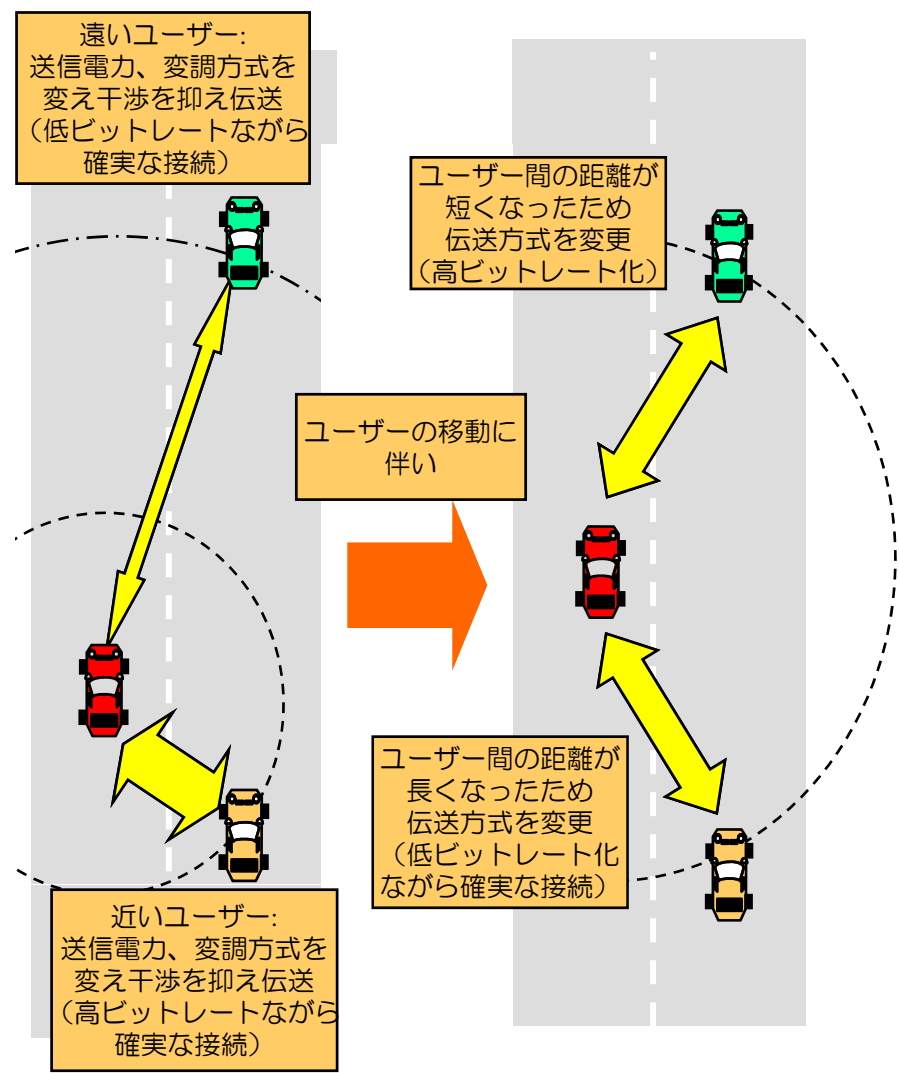
## アダプティブ車車間通信技術：現状のNICTでの研究課題

- 状況予測を含め、高速かつ適応的に伝送方式等を変化させる技術
- 高速移動時における回線品質の補償技術
- 携帯電話等の他システムに対する干渉軽減技術

- ・対象周波数帯：UHF帯
- ・通信セル：数100m程度
- ・モビリティ：時速180km程度
- ・想定伝送レート：最大数Mbps程度



TV局の出力とITS無線局との出力電力差が大きい  
 ためTV局からの干渉を受ける可能性があり(全国すべてではない)



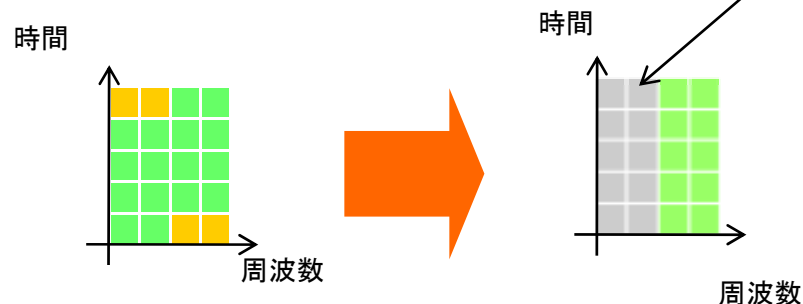
# コグニティブ無線技術とITS

## アダプティブ車車間通信技術にコグニティブ無線を適用した例

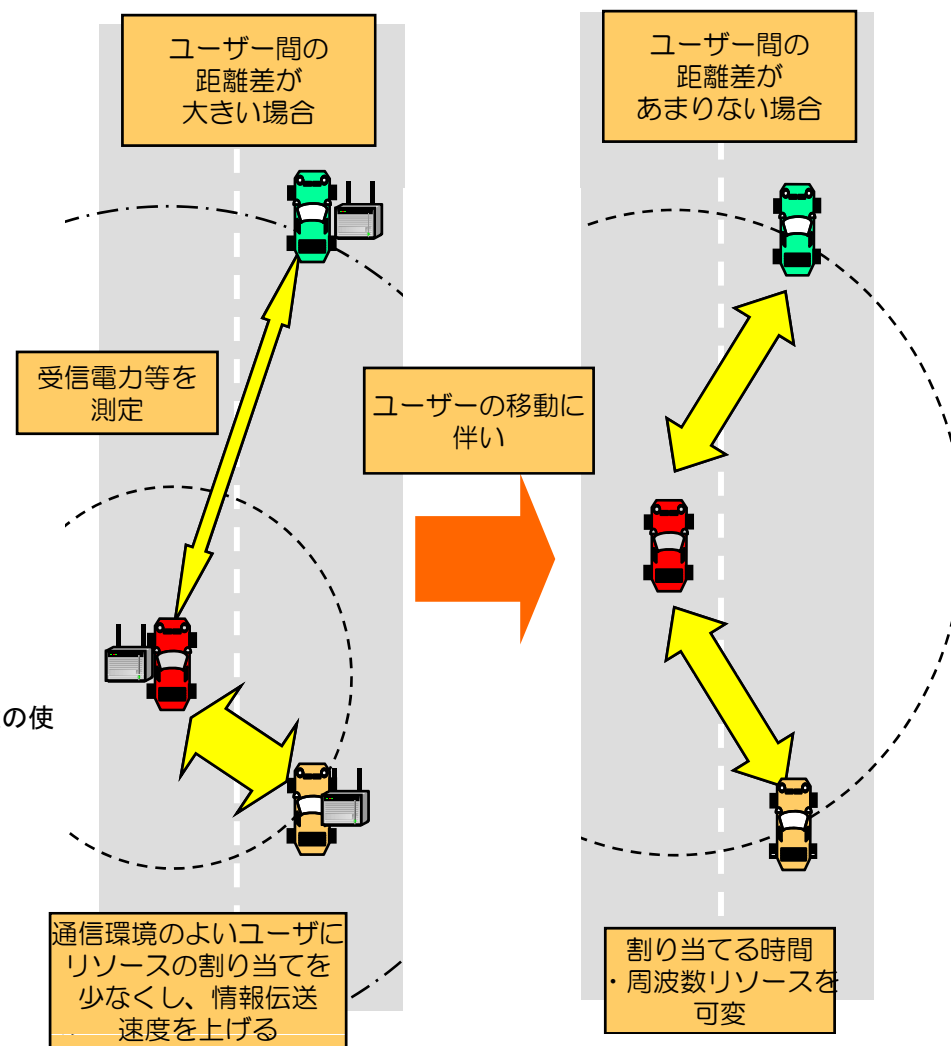
- 通信環境認識技術を具備した無線機を車載化
- 電波の利用環境をセンシング
- センシング結果をもとに、時間周波数の割り当てを行う
- 環境のよいユーザに時間・周波数の割り当てを少なくしそのかわり情報伝送速度を上げる
- ユーザー間で通信環境の差がない場合は、当分にリソースの割り当てを行う



- また、干渉が増えた場合は、干渉源に近いチャンネルは使用しないようにする



(a) 干渉するTV局がない場合 (b) 干渉するTV局がある場合



# まとめ

## □ 背景

- コグニティブ無線: 2015年度頃をめぐりに割り当てが難しくなる周波数帯において既存システムを大きく変化させることなく、周波数有効利用を図りつつ新しく標準化されるシステムに対して周波数を割り当てるための手段

## □ 概念

- 無線機が周囲の電波利用環境を認識し、その状況に応じて無線機が適宜学習等を取り入れつつ、ネットワーク側の協力を得ながらシステム内、システム間問わず複数の周波数帯域、タイムスロット、等の無線リソースならびに通信方式を適宜使い分け、ユーザの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

## □ 適用領域

- 単一の事業者内だけでなく複数の事業者間においてもユーザもしくはオペレータ側のQoSをできるだけ高めることができるようダイナミックに周波数を割り当て、かつ出力レベルをコントロールし、干渉レベルを考慮しつつ周波数利用効率を高める必要がある適用領域に使用可能

## □ NICTにおける研究開発動向/結果

- UHF-マイクロ波帯で動作可能なコグニティブ無線機に必要な基礎技術は開発されつつある
- 無線機、ネットワーク側それぞれ検討が進められつつある

## □ コグニティブ無線技術とITS

- 電波の利用環境の認識とリソース割り当てを加えることにより、少ない帯域でより高いスループットを実現することが期待される。また干渉回避のための有効な技術である。→今後さらなる導入検討が必要?