



ネットワーク社会の構築と 電波資源の有効活用

2010年5月25日

齊藤忠夫

CTOトヨタIT開発センター

東京大学名誉教授

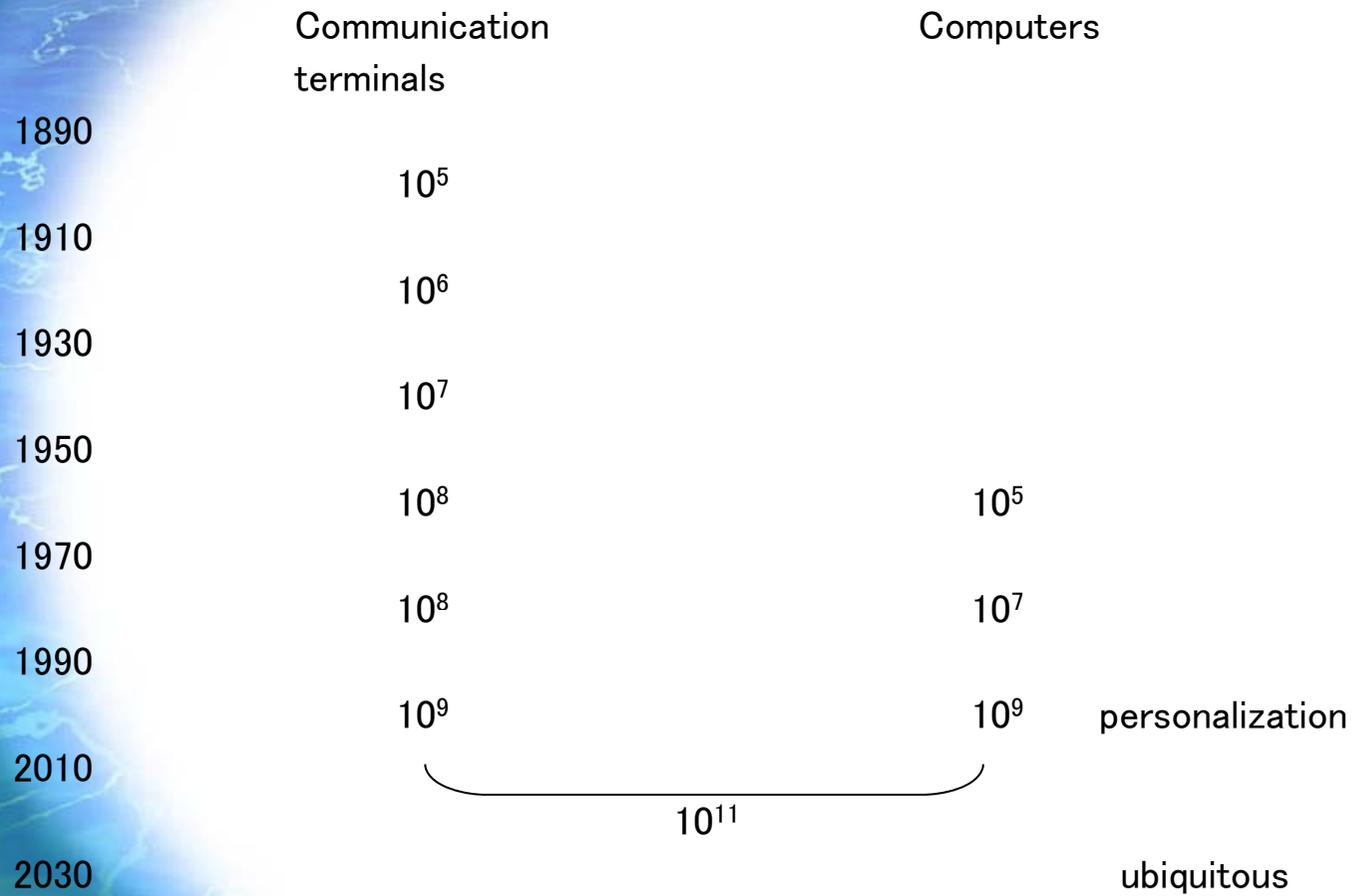
Cost Performance Improvement since 1960

	1990	2000	2010
LSI	10^6	10^8	10^{10}
Computer	10^3	10^5	10^7
Data Communication	10^1	10^3	10^5
Broadcasting	10^3	10^3	10^4

ムーアの法則の各分野への浸透は市場の大きさの影響が大きい。
市場の小さい分野は、市場の大きい分野に吸収される傾向が避けられない。

2010.05.25

ネットワーク利用者の飽和とその克服



2010.05.25

20世紀の後半のICTの発展

- ・ コンピュータ・通信端末の数は急速に増えた。
- ・ コンピュータの数で言えば世界の総数は20年ごとに100倍になっている。
- ・ それぞれのコンピュータの性能は当初は低いですが20年の期間の間にはその性能は前世代の機械の100倍になる。
- ・ この現象が広く知られるようになったのは1990年ころからである。
- ・ この時代の発展はパーソナル化と呼ばれた。
- ・ パーソナル化は先進国から世界の隅々に広がり今では端末の数は世界の総人口に匹敵するようになった。
- ・ エレクトロニクスの発展が継続すれば2020～2030年代には一人が100台のコンピュータを使いこなし、経済発展を進めることになる。

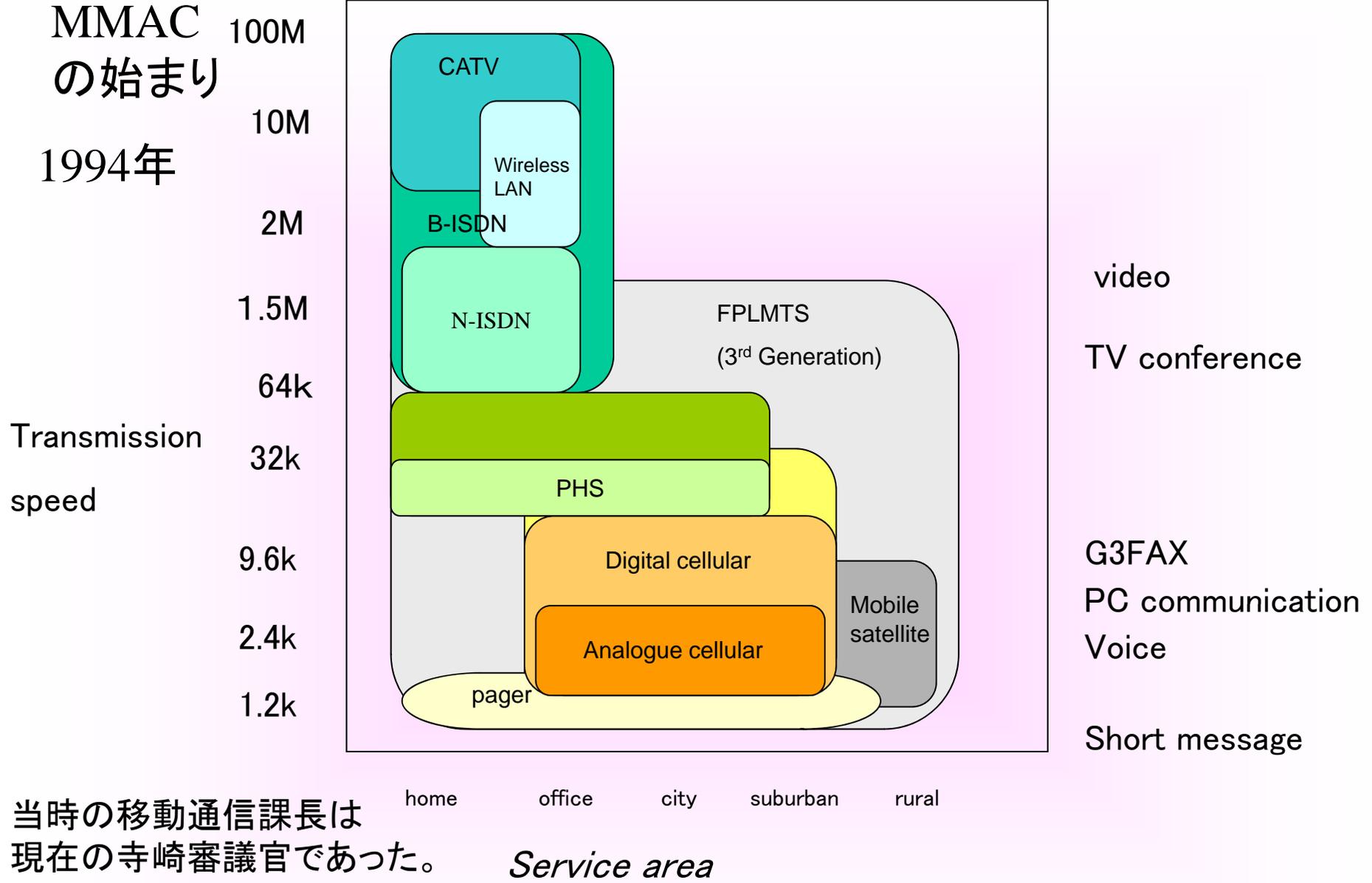
2010.05.25

ユビキタス時代の無線への期待

- ・ 多数の端末を有機的に接続する手段としての期待
- ・ 数量的には当面世界で1000億台の高性能マシンを扱う要求となる。
- ・ 電波の有限性を考えれば短距離無線が主となる。
- ・ 世界の無線アクセス技術は1990年代後半からこの方向で動いており、日本ではMMACが総務省のもとに貢献している。
- ・ ユビキタスの時代に向けこれを強化することが重要
- ・ MMACの中心的技術はこうした無線である。
- ・ 利用モードを考えればオープンアクセスが望ましい。
- ・ 1990年代にこうしたビジョンを持てたことは大きな貢献であり、こうした貢献を世界に理解してもらうことは重要である。

2010.05.25

MMAC
の始まり
1994年



当時の移動通信課長は
現在の寺崎審議官であった。

Service area

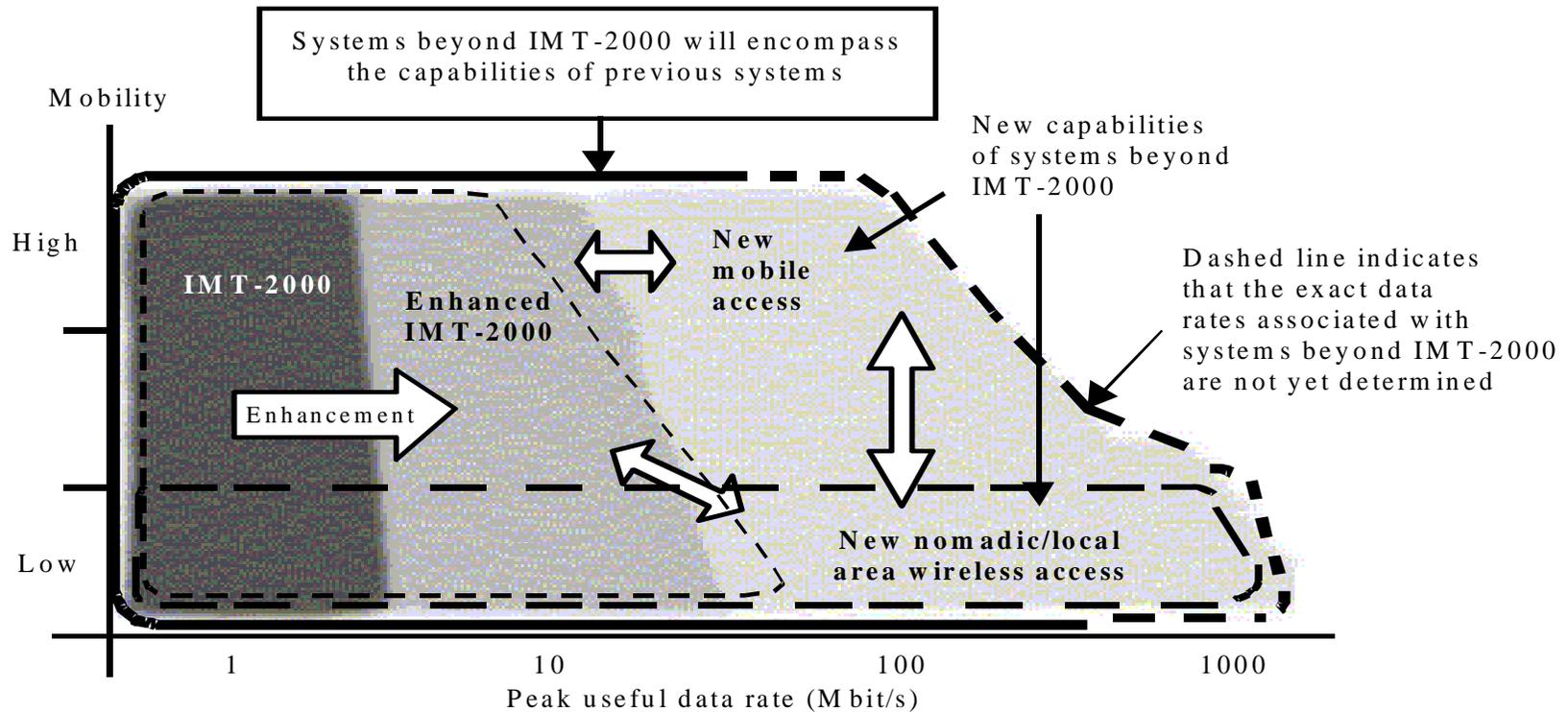
2000年の無線マルチメディア

日刊工業 1995年5月

MMACの先見性

FIGURE 2

Illustration of capabilities of IM T-2000 and systems beyond IM T-2000



↔ Denotes interconnection between systems via networks, which allows flexible use in any environment without making users aware of constituent systems

○ Nomadic/local area access systems

○ Digital broadcast systems

ITU-Rのvan図もMMACの産物

Dark shading indicates existing capabilities, medium shading indicates enhancements to IM T-2000, and the lighter shading indicates new capabilities of systems beyond IM T-2000.

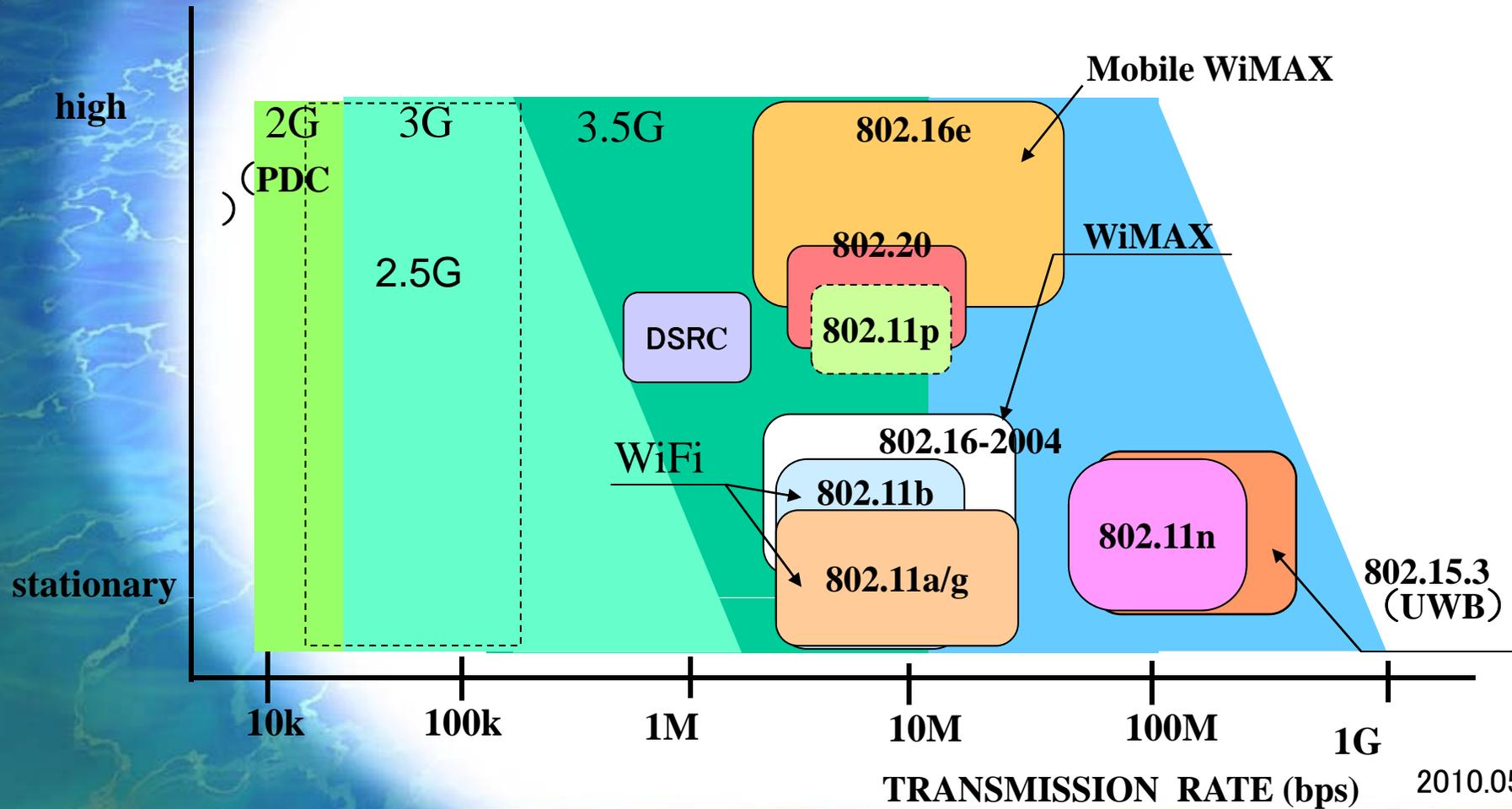
The degree of mobility as used in this Figure is described as follows: low mobility covers pedestrian speed, and high mobility covers high speed on highways or fast trains (60 km/h to ~250 km/h, or more).

現在のVANダイアグラム

MOBILITY

2G、2.5G、3G、3.5G、4G: 移動通信

802.○□: IEEE系



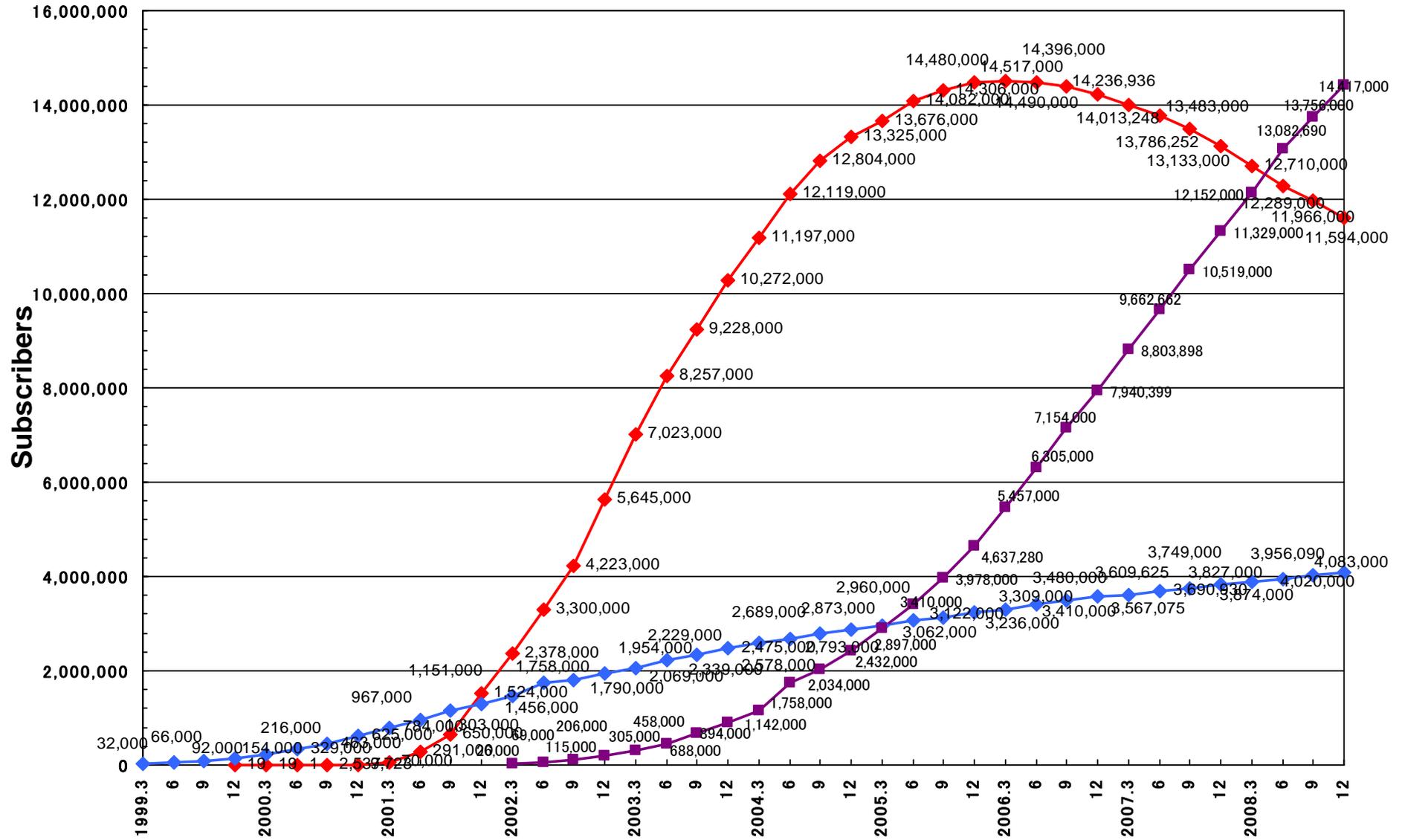
2010.05.25

インフラ投資を軽減する無線の活用

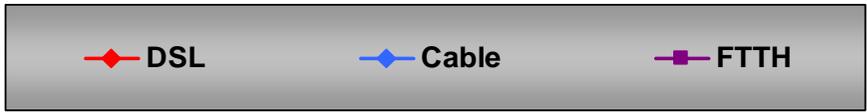
- ・ 多数の情報機器の展開はネットワークを中核として進む。
- ・ 現在までインフラストラクチャの整備が先行した先進地域では有線通信、有線TV等による電波活用の方策に努力が行われた。
- ・ ネットワークが新興地域に及ぶときには無線のより広い活用が不可欠になる。
- ・ 日本の情報産業は途上国での市場開拓に遅れをとっているが、途上国では機器のみならずそれを活用する環境整備が機器に伴って求められ、先進地域でも有線インフラに頼らないシステム構築の知恵を蓄積しなければならない。

2010.05.25

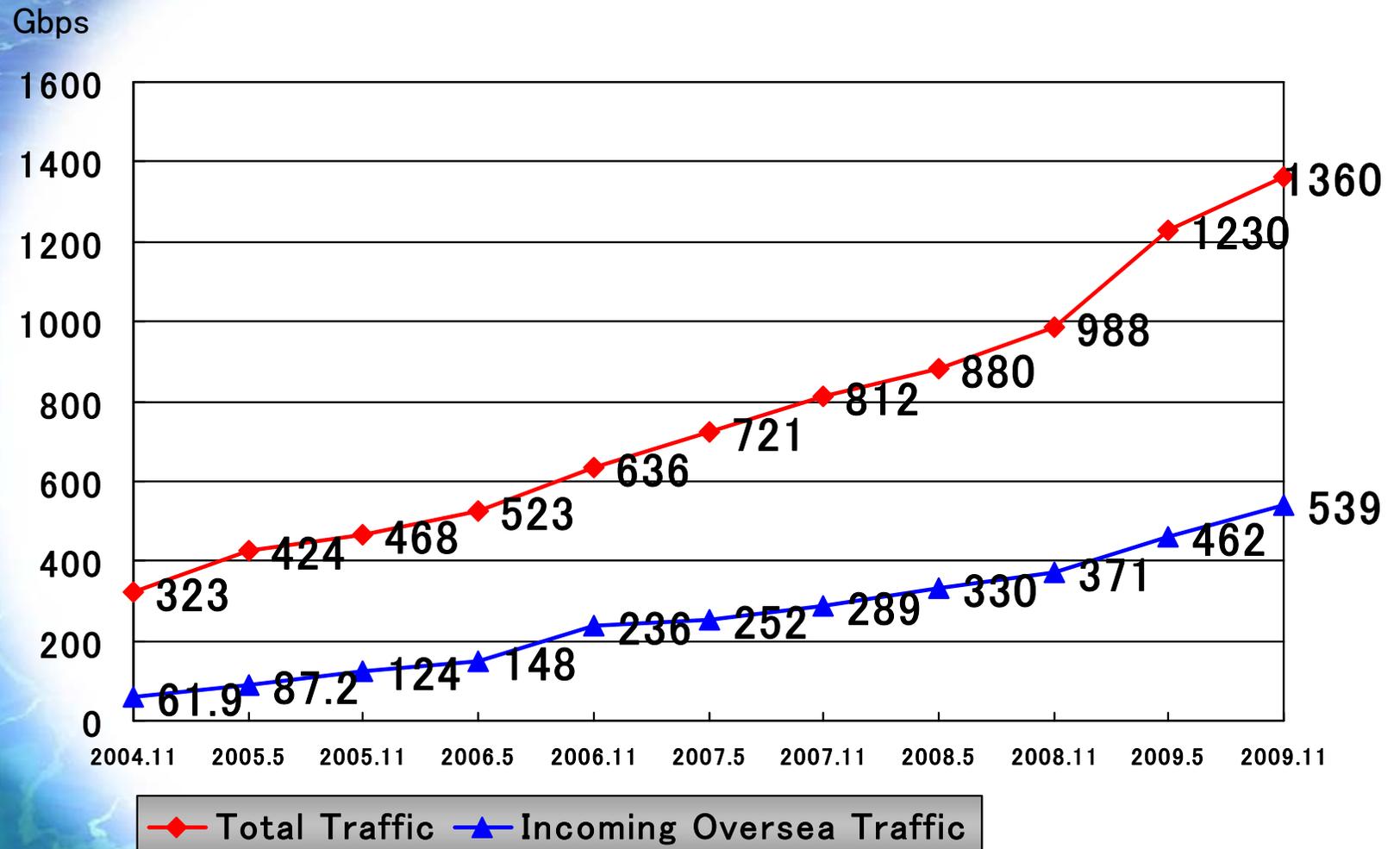
Broadband User in Japan



<http://www.soumu.go.jp/s-news/2005/051129.3.html>



Total Internet Traffic in Japan



2010.05.25

プロセッサの発展

ムーアの法則

1960～1965のIC技術の発展

1970年にはプロセッサが1チップ化することを予想

1971年11月	4004	2,300トランジスタ
1974年4月	8080	6,000トランジスタ
1978年6月	8080	29,000トランジスタ(5～10MHz)
1985年10月	386	27.5万トランジスタ(16～33MHz)
1993年3月	Pentium	500万トランジスタ(60～300MHz)
2000年11月	Pentium4	8000万トランジスタ(1.4～3.8GHz)
2007年11月	Itanium dual core	20億トランジスタ

サーバ向け

(36年で 10^6 倍)

(Intelの歩み 2007年12月より)

2010.05.25

ネットワークの高度利用の進展が重要である。

- ・ 日本においてはブロードバンド活用を促進するために、利用可能世帯100%計画が立てられ2010年完成する。
- ・ しかし総通信量とブロードバンド加入数で見れば利用者あたりのピーク通信量は40kb/sにすぎない。
- ・ 地域開発の点からも、地域の要求に対応した発展的な利用方法の進展が望ましい。自治体を中心としたネットワークのために地域公共ネットワークも構築されている。
- ・ 地域ごとに自治体と住民、企業、サービス機関がネットワークで幅広く連携するサービスの開拓が必要である。
- ・ 全国地域情報化推進協会(Applic)は自治体ごとにバラバラに構築されたシステムを標準化することによって自治体間、自治体一企業間の連携を推進している。

2010.05.25

無線活用の工夫

- ・ 多数のユビキタスコンピュータを迅速にネットワーク化するためには有線と連携した無線の活用が不可欠になる。
- ・ 2020年代のネットワークに接続される機械の数が100倍になれば、無線の利用要求も100倍を見込むことになる。
- ・ 現在低コストで構築できる無線機器は6GHz以下といわれているが、これが60GHzに進展したとしても現在の電波利用制度を超える協調型利用制度が望まれている。
- ・ こうした無線利用とそれを活用するアプリケーションの構築が長期的には国ごとの技術力に反映され、技術競争がおこなわれる。

2010.05.25

無線活用の限界の顕在化

- ・ 無線通信に好適な周波数帯におけるリソース不足
 - 特に6 GHz以下の周波数帯においてまとまった周波数帯域の確保が極めて困難
 - 日本では2015年辺りに周波数不足が深刻になると予想される
- ・ 現行の周波数利用に偏りがあり、多くの周波数帯では平均的利用率が必ずしも高くない
 - 時間的・空間的に見れば利用可能な周波数が存在する
- ・ 周波数資源は限られているが、computing powerは向上する
 - そのpowerを活かすために、またその能力を活用した有効な周波数資源の拡大が必要である。

2010.05.25

電波需要の拡大への対処

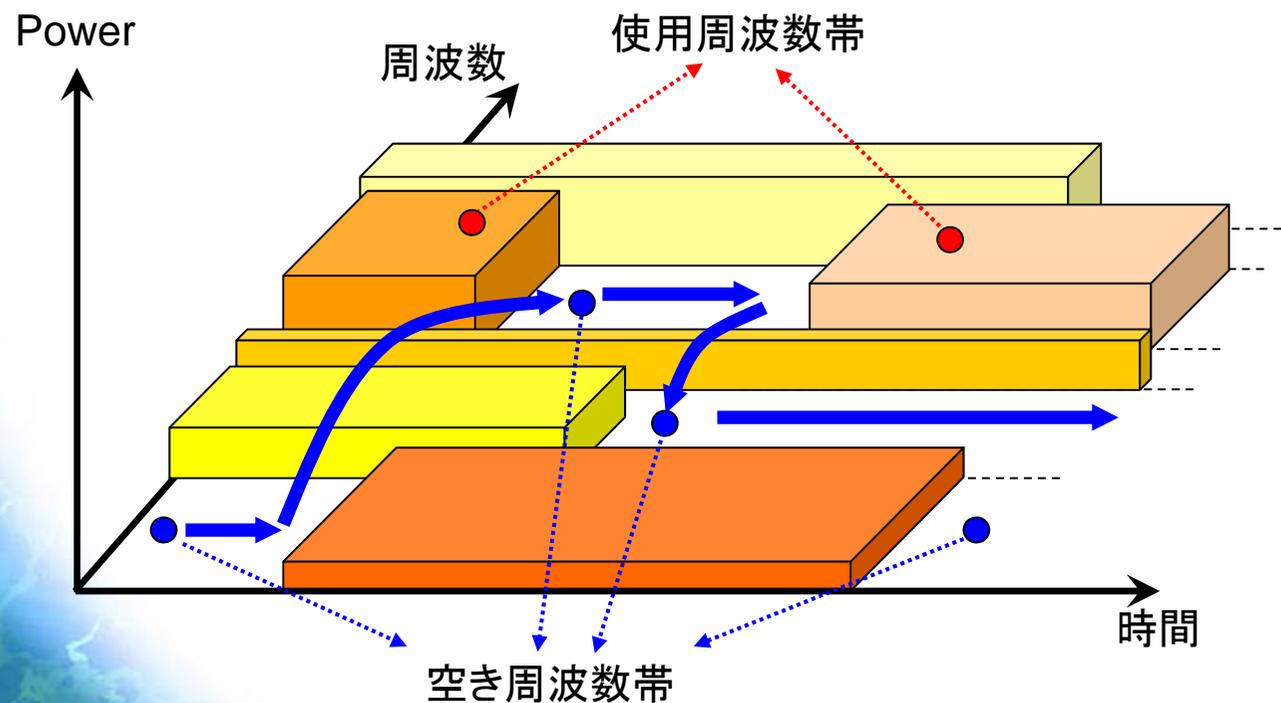
- ・ 現在、世界中で30億台を超える無線機器が使用されている（ほとんどは携帯電話とモバイル・コンピュータ）
 - 2025年までに約1,000億台に増加すると予測
- ・ 予測される無線機器およびアプリケーションの指数関数的成長は、設置密度の増加に合わせて有効に作動を続ける無線技術を開発する能力が前提となる
 - 特に、無線システムは、現在の10～100台/km²から2025年の1,000～10,000台/km²まで2～3桁の増加に対応しなければならない
- ・ 周波数帯は有限の資源であるという事実を考えると、これは無線分野で従来の枠にとらわれない技術革新を必要とする
- ・ コグニティブ無線は、従来の枠に入らない電波の扱いを可能にする。将来のネットワーク社会での競争力強化のための技術革新である。

米NSF Workshop on Cognitive Radio Networks, March 2009, Virginia, USA

2010.05.25

コグニティブ無線

- 送受信端末間で連携し、特定の場所および特定の時間において利用可能な周波数を把握、調整・選択し、状況に応じて切り替えながら通信を継続



2010.05.25

電波政策(米国、欧州、日本)

- ・ FCCの周波数開放政策
 - Spectrum Policy Task Force Report (2002)にて:
 - 既割当周波数の”opportunistic and dynamic”な利用を提言
 - ・ 「利用率の低い周波数帯に対し、本来業務である一次利用者の随時優先利用を担保しつつ、周波数が使用されていない時間を見計らって他の利用者が二次的に利用することをコグニティブ無線のアプローチにより実現する。」
 - ・ FCCは2009年11月4日大統領選挙の当日テレビ電波を多目的利用する制度を発表。アメリカでの話題はこの周波数に集中している。
- ・ 欧州ではCEPT(The European Conference of Postal and Telecommunications Administrations)が検討中
 - 現時点では懐疑的、更なる検討を要する
 - 「White spaceにおけるコグニティブ無線技術の最終的な技術要件を判断するには時期尚早」との見解
 - 2010年後半にレポート
 - 一方早期に実用化を目指す国も
 - ・ 英国では米国同様のTV放送用周波数帯において地域ごとの空きチャンネルを利用したコグニティブ無線の利用を認める制度化が進められている
- ・ 日本では
 - ホワイトスペースの議論が始まっている。日本ではテレビ帯域に限定しない周波数に多目的利用をホワイトスペースと呼ぶことが普通である。

2010.05.25

周波数共用のための協調

- ・ すべての電波利用が現在のレベル以上に安定に、高信頼で実現できるようにすることは前提として当然である。
- ・ 複数の利用者による周波数の共用は特定の周波数範囲において多くの実績がある。
- ・ 他の利用の状況に対応して利用者が協調的に振舞う技術は電子技術の発展によって大幅に進歩した。
- ・ TV放送波のように広く利用範囲、スケジュールが周知されているか、利用状況の事前の予測がどの程度できるかに対応して協調的利用にも多様な工夫が求められる。
- ・ 電波の到達距離の設計も多目的利用には重要な要素である。
- ・ 日本のようにオークション制度によって電波の財産価値が明確化していない利用制度は協調のためのルールづくりの環境としては有利である。

2010.05.25

コグニティブ無線の進化

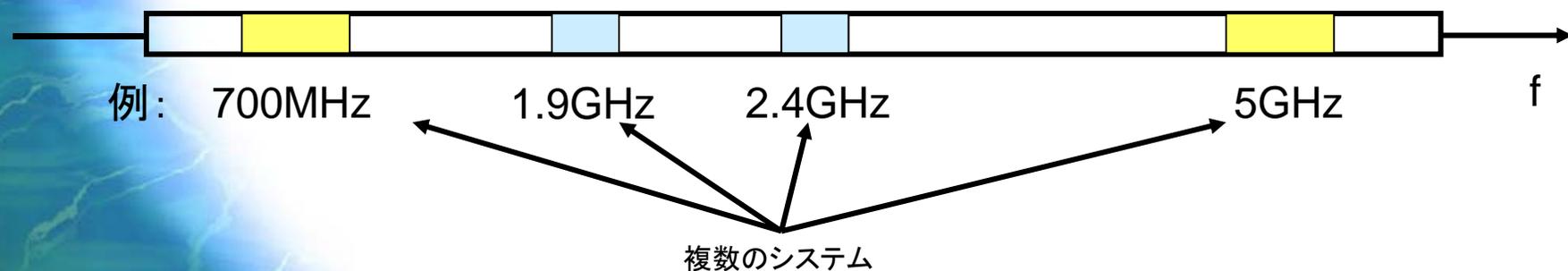
- ・ 第1フェーズ
 - ヘテロジニアスネットワーク(マルチモード通信)
- ・ 第2フェーズ
 - 割り当てられた範囲内のスペクトラムの免許不要使用
- ・ 第3フェーズ
 - スペクトラムの一次利用者に割り当てられた周波数帯域の適応的二次利用
- ・ 第4フェーズ(最終フェーズ)
 - スペクトラムの開放:
 - 一次利用者モデルの廃止、必要なとき必要な分の周波数帯利用モデル
 - ・ リアルタイムで取引または割り当てられるような新たな管理体制
- ・ 第1フェーズから第4フェーズへの移行は必ずしもこの順番通りになるとは限らない
 - 国や地域によって第3フェーズの実現性が高い

インベーション、
難度

2010.05.25

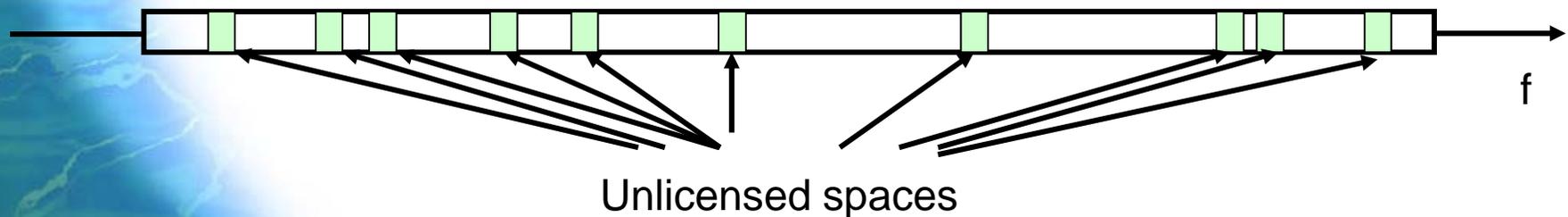
・ 周波数利用形態

- 各システムに割り当てられた専用帯域のみを使用
- システム間を切り替えもしくは連携
- 1次システムインフラに依存した通信が行われるため、1次システムが規定したカバレッジ範囲内でのみ通信が成立



・ 周波数利用形態

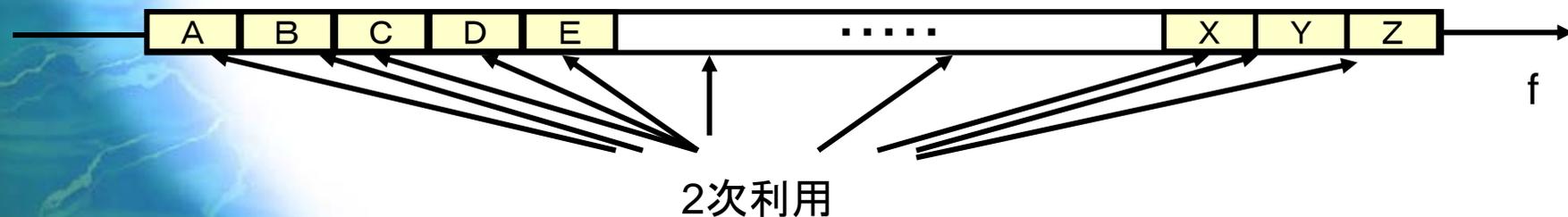
- 割り当てられた範囲内の免許不要スペクトラムを使用。特定帯域を周波数共用可能帯域として専用システムが存在しない形で開放
- ISMバンドライクな周波数帯が単数・複数存在。国や地域によって開放帯域が異なる可能性



2010.05.25

・ 周波数利用形態

- 一次利用者に割り当てられた周波数帯域の二次利用を可能とするフレキシブルな周波数利用形態
- プライマリ・セカンダリネットワーク型の周波数共用
- セカンダリは周波数共用の際に、プライマリが要求する水準で、プライマリ保護を実現する必要



- ・ 周波数利用形態
 - スペクトラムの開放：一次利用者モデルの廃止、必要なとき必要な分の周波数帯利用
 - 既存の課金体制とは異なる可能性
 - ・ 利用した分だけの資源（周波数帯域、時間など）に応じて料金
 - 究極のダイナミックスペクトラムアクセス
 - ・ 周波数の境界がない、任意の周波数を任意のユーザが任意の範囲で利用

ホワイトスペース研究への期待

- ・ ホワイトスペースの活用にはなお多くの課題がある。
 - ・ 多数の利用を可能にする無線方式
 - ・ 通信距離が異なる無線間の協調
 - ・ 短距離無線を活用するマルチホップ通信
 - ・ 移動する条件での無線間の強調
- ・ こうした課題を克服し、多様な資格の利用者が通信を活用し豊かな社会を形成することが国際競争力の鍵である。
- ・ 電波技術の専門家もそれを活用したビジネスを指向する専門家も集まり、新たな可能性を探ることが重要である。
- ・ 九州地区のKIAIによる積極的なアイデアに期待する。

2010.05.25