

# 無線方式の発展と展開

安達文幸

東北大学大学院工学研究科

E-mail: [adachi@ecei.tohoku.ac.jp](mailto:adachi@ecei.tohoku.ac.jp)



## 内容

- 4Gの目標
- 3Gまでの無線技術
- 4Gシステムコンセプト
- 4G無線アクセス
- むすび

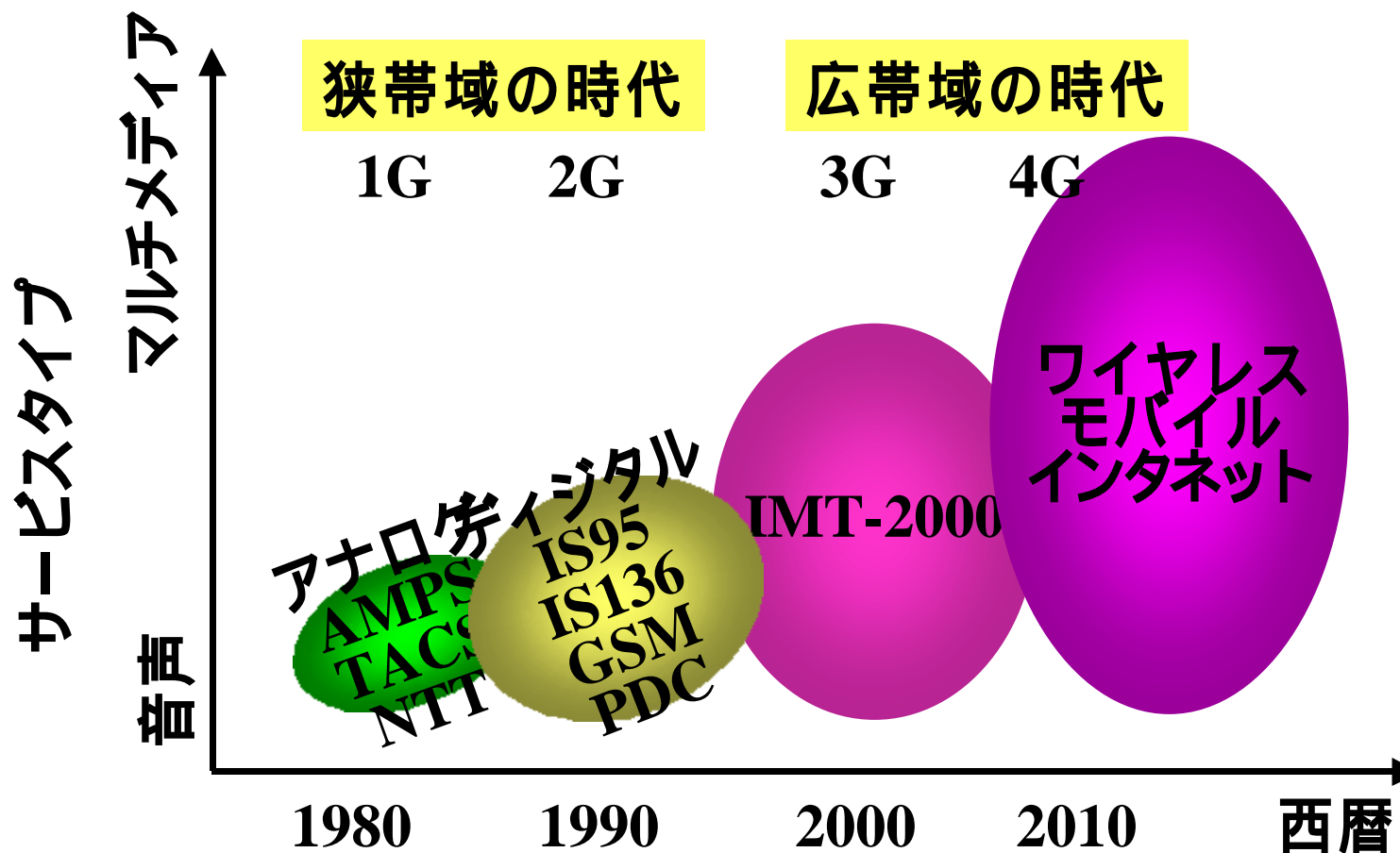


# 4Gの目標

---

# 未来への進化

■ 社会の進展に合わせて、およそ10年毎に世代が変わる。





# 4Gのサービスは？

- **インターネットを中心とした移動マルチメディア**
  - WWW閲覧, ダウンロード
  - 電子メール, Voice over IP
  - 各種商取引
  - 放送形態サービス
  - 高度道路交通システム(ITS) との相補的役割
- **無線リンクの特徴**
  - 上下リンク非対称レート(下り>>上り)  
WWWサイトからの画像ダウンロードでは1対数10にも及ぶアンバランス
  - ますます増大する情報量  
1MB静止画像では4秒@2Mbpsの転送時間



# 4Gシステムの技術目標

- IPに最適化した広帯域ワイヤレスネットワーク
  - ピーク速度
    - 歩行環境：10～20Mbps
    - 移動環境：2Mbps
- 低速から超高速レート情報の効率的な多重
  - パケット系を基本にしたリンク設計
  - ランダムと予約ランダムの混在
  - 上下リンクへのレートリソースの柔軟な割当
- 品質（遅延、無線伝送レート）
  - 均質サービスを捨て、最低保証付きベストエフォートタイプの導入
- ワイヤレスセキュリティ

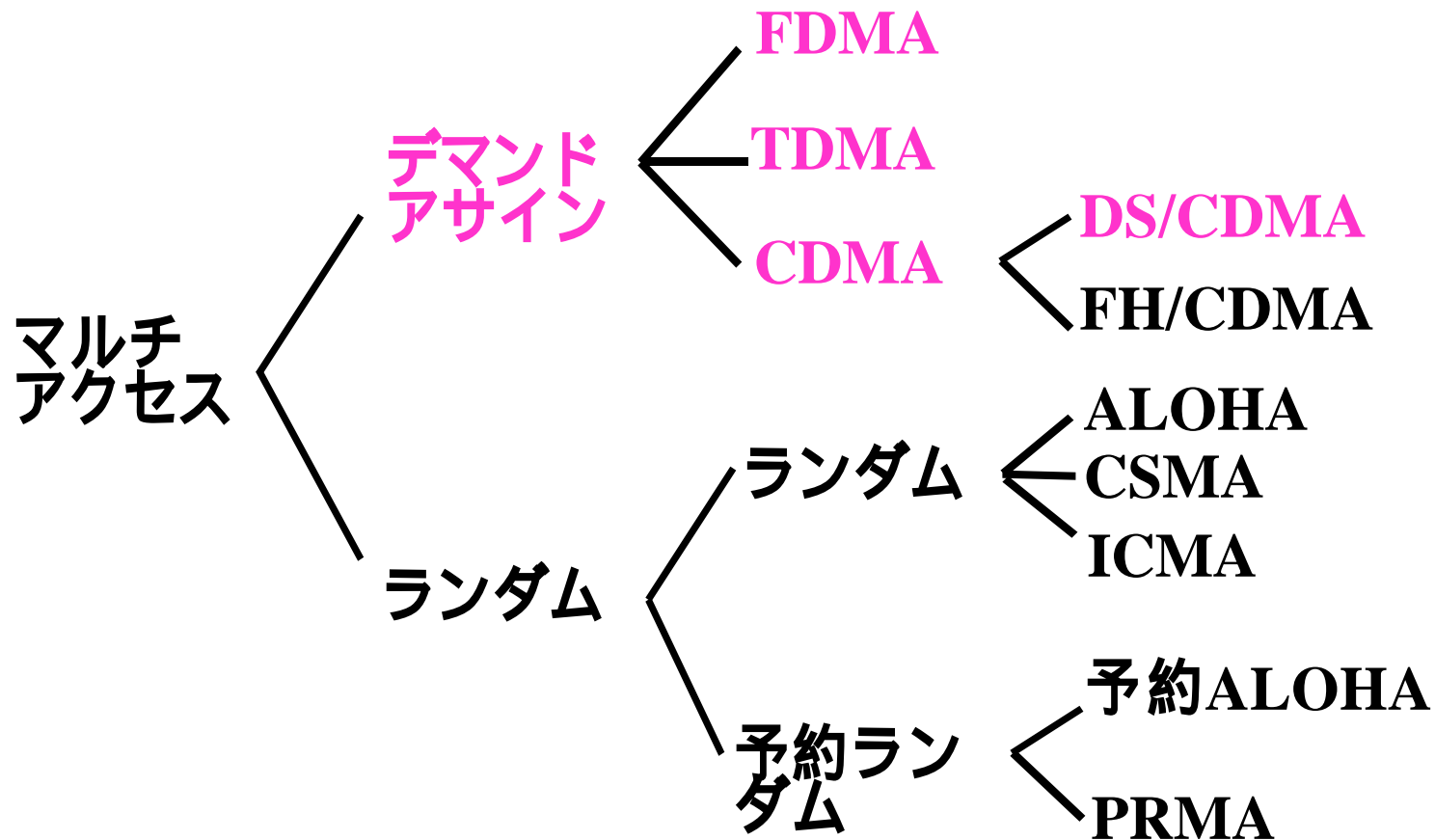


# 3Gまでの無線技術

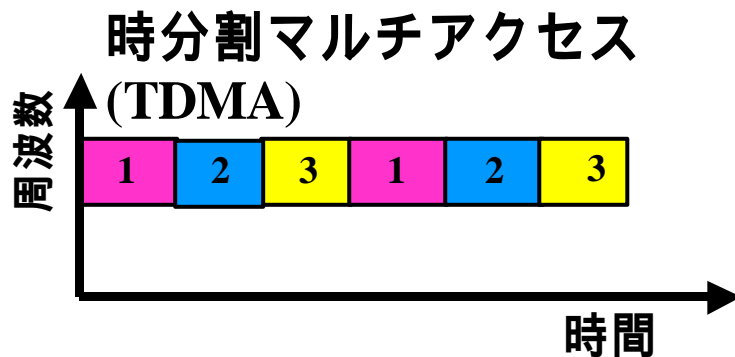
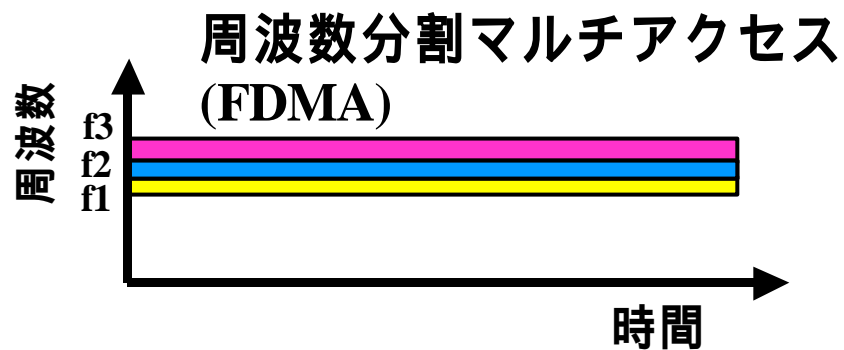
---

- マルチアクセス
- セルラーコンセプト

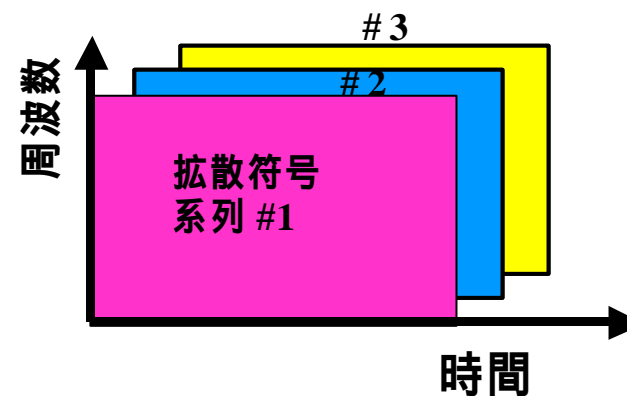
# マルチアクセス技術の分類



# FDMA, TDMAとCDMA



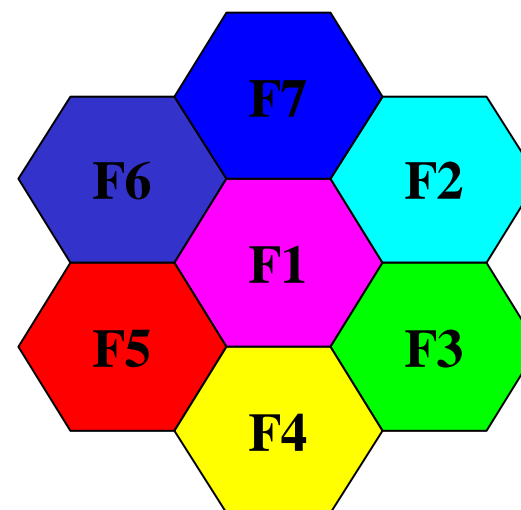
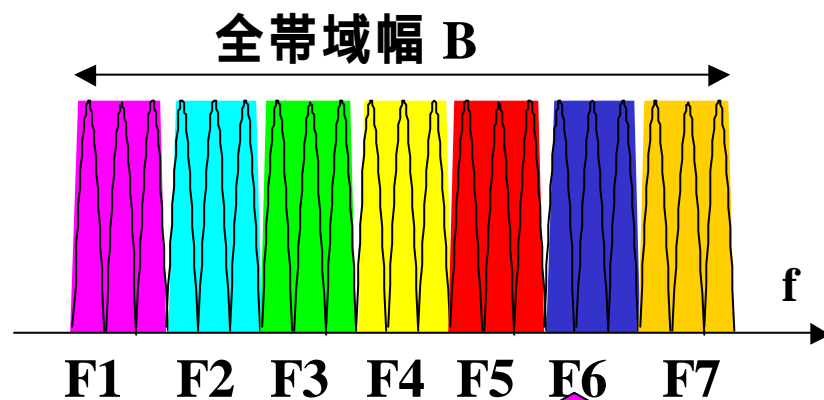
符号分割マルチアクセス  
(CDMA)



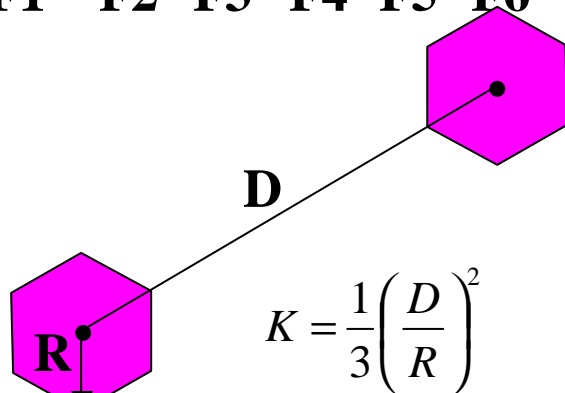


# セルラーコンセプト

- 広いサービスエリアを小さな無線細胞（セル）で覆う。
- 限られた周波数帯を有効に利用するため，同一周波数のチャンネルを異なる無線セルで繰り返して利用する。



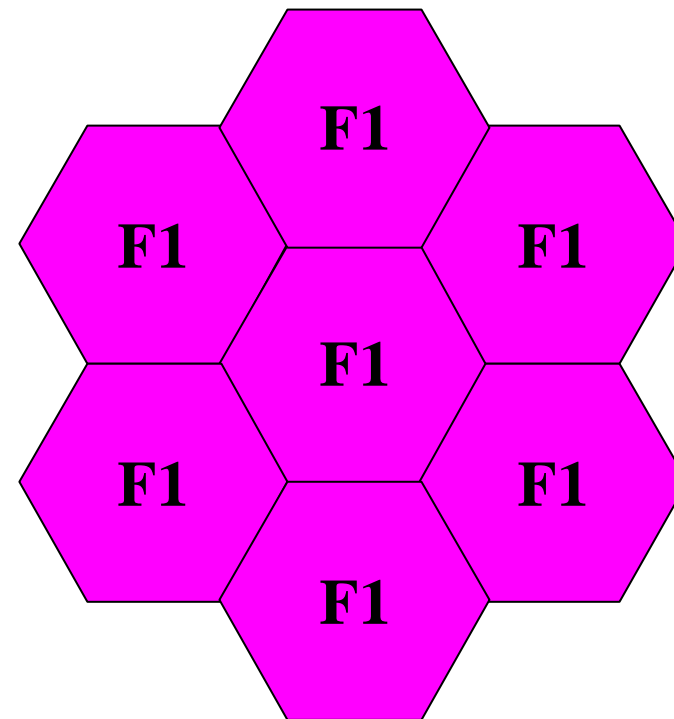
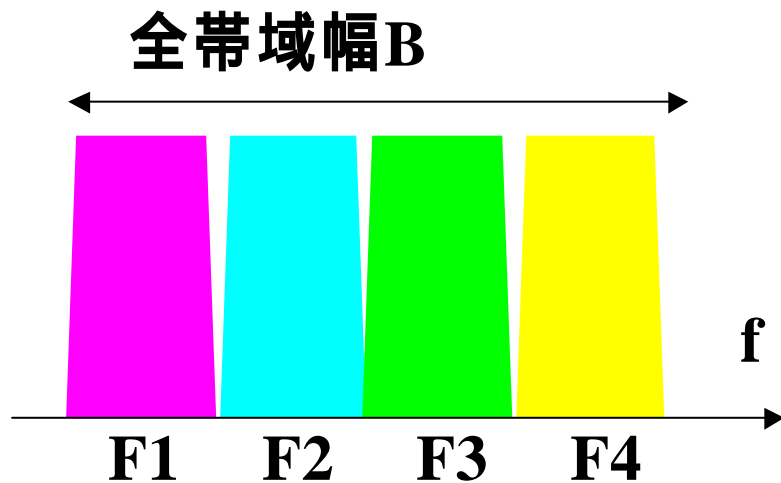
クラスタサイズ K=7



$$K = \frac{1}{3} \left( \frac{D}{R} \right)^2$$

# CDMAでは1周波数繰り返し

- 全ての無線セルで同じ周波数を再利用。



クラスタサイズK=1



# 4Gシステムコンセプト

---

# 3Gから4Gへの進化

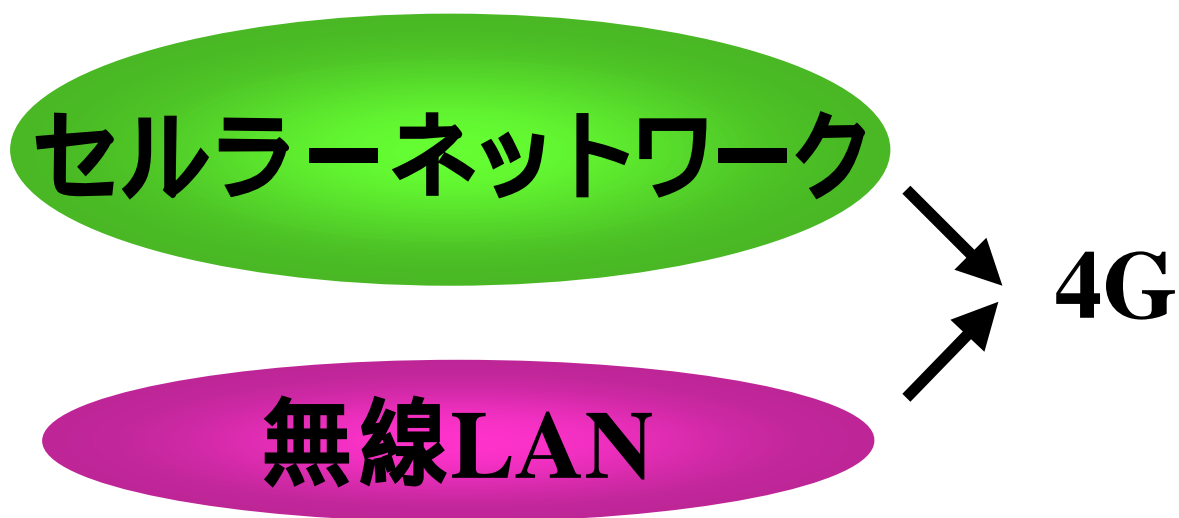
## ■ 何が変わると4Gと呼べるか？

IPに最適化された高速無線ネットワークに変わることでないだろうか。

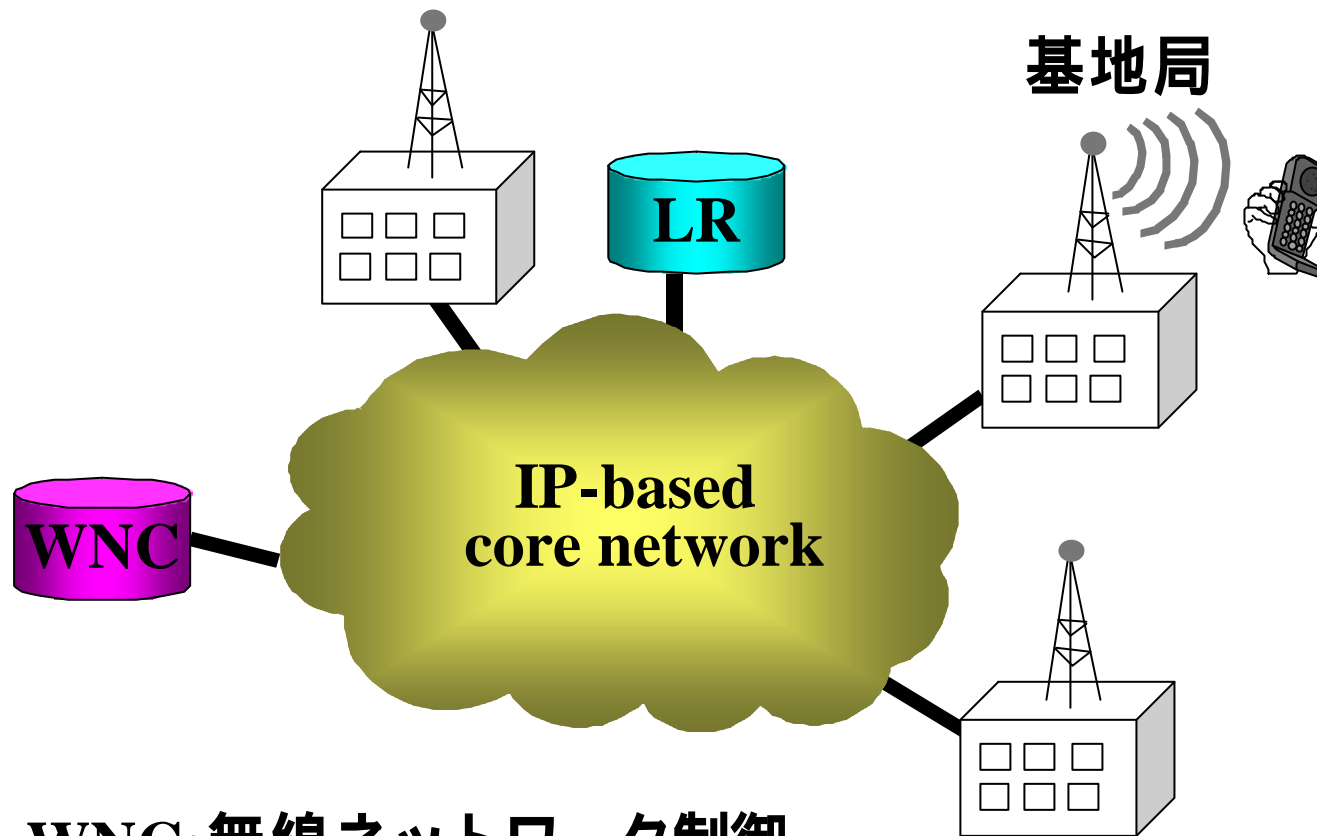
世代	1G	2G	3G	4G
ワイヤレスアクセス	アナログ	デジタル	デジタル	デジタル
	FDMA	TDMA・DS-CDMA	DS-CDMA	DS-CDMA? OFDM?
主サービス	音声	音声	音声	音声over IP?
			インターネット (テキスト)	インターネット (テキスト, 画)
ネットワーク	回線交換	回線交換	回線交換 + パケット交換	IPルーター(IP over ATM?)

# 無線LANとの融合

- 無線LANに近いネットワーク構成
- 無線ランダムアクセス



# IPベース 4Gのシステム概念



**WNC:無線ネットワーク制御**  
**LR: 位置情報, 回線状態**

# 無線チャネルの制約

## ■ 厳しい電力制限

■ Power  $f^{2.6}$  x Rate

■ 64kbps@5GHz の ピーク送信電力は  
8kbps@2GHz送信の87倍

■ あるいはセル半径を3.7分の1に縮小しなければ  
ならない(ピコセル)

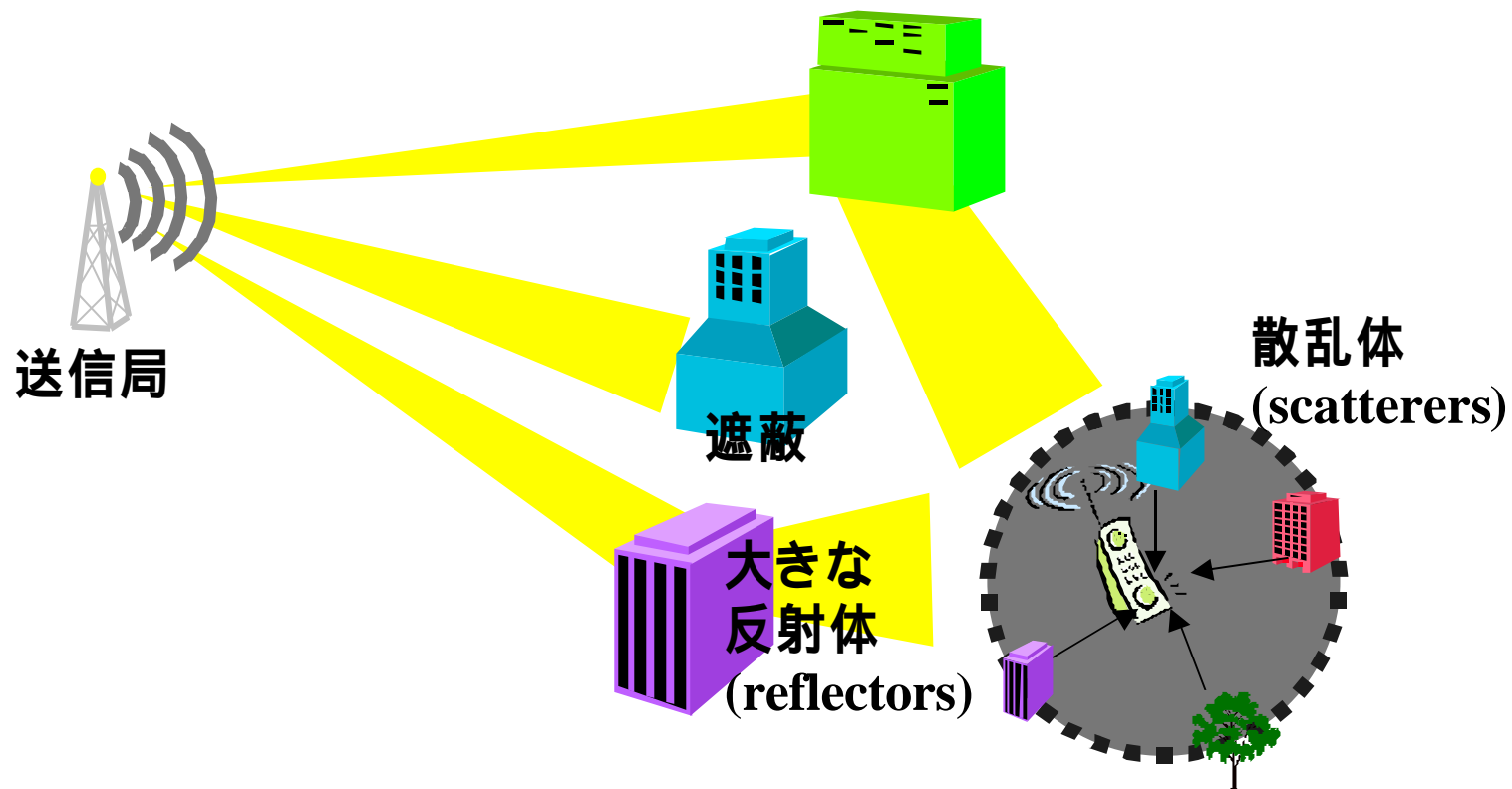
## ■ 厳しい周波数選択性フェージングチャネル

■ 微細構造のチャネルが見えるため, チャネル  
状態を表すパラメータの時間変化が激しい

■ パス損失もダイナミックに変化する. これまで  
の統計的考え方では限界あり.

# マルチパスチャネル

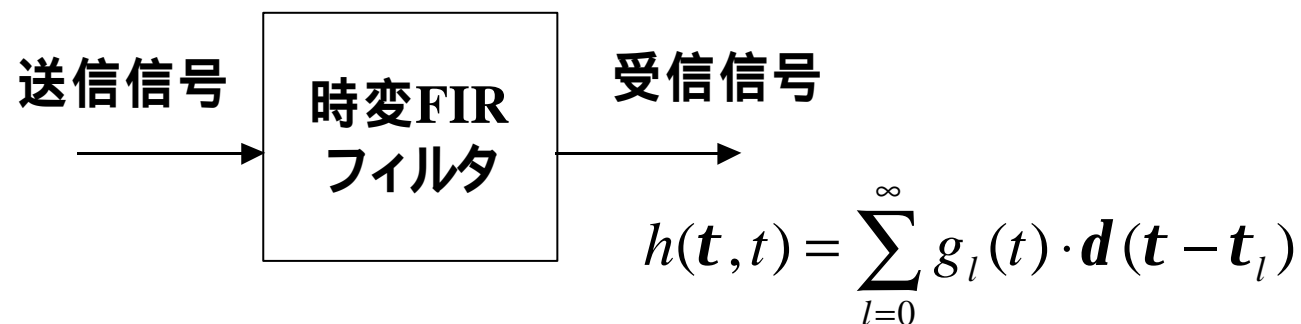
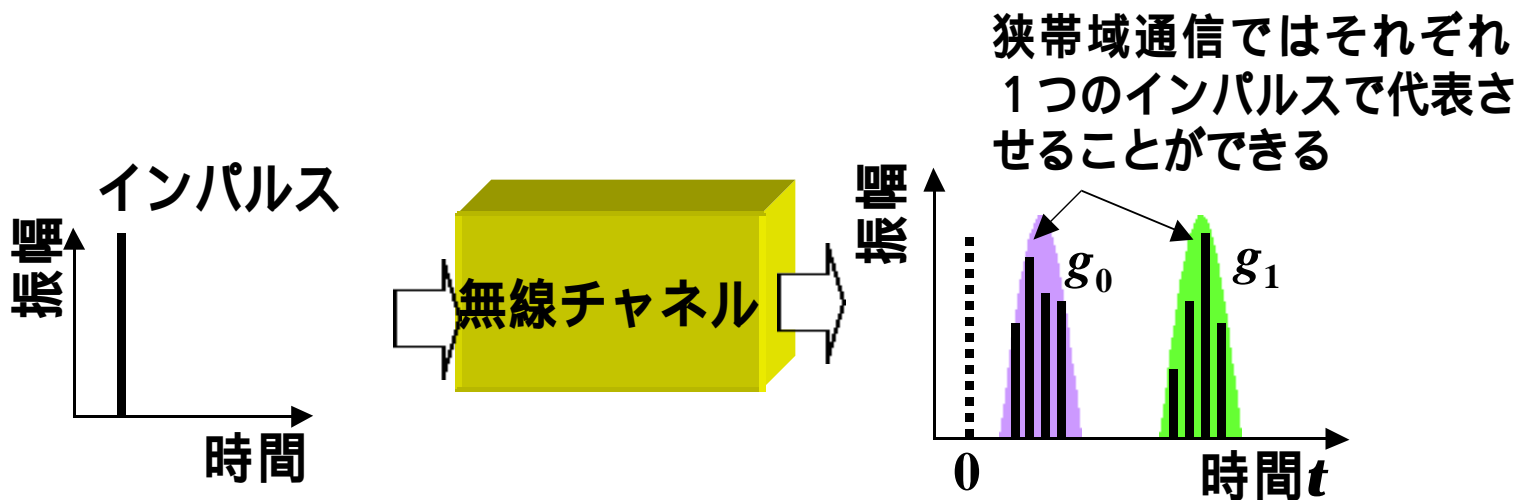
- 移動局周辺まで到達した電波は近傍の散乱物（構造物や樹木など）によって反射・回折される．それらが干渉しあってマルチパスチャネルが生成される．





# マルチパスチャネルのインパルス応答

## ■ 無線チャネルのインパルス応答 $h(t, t)$ のモデル化

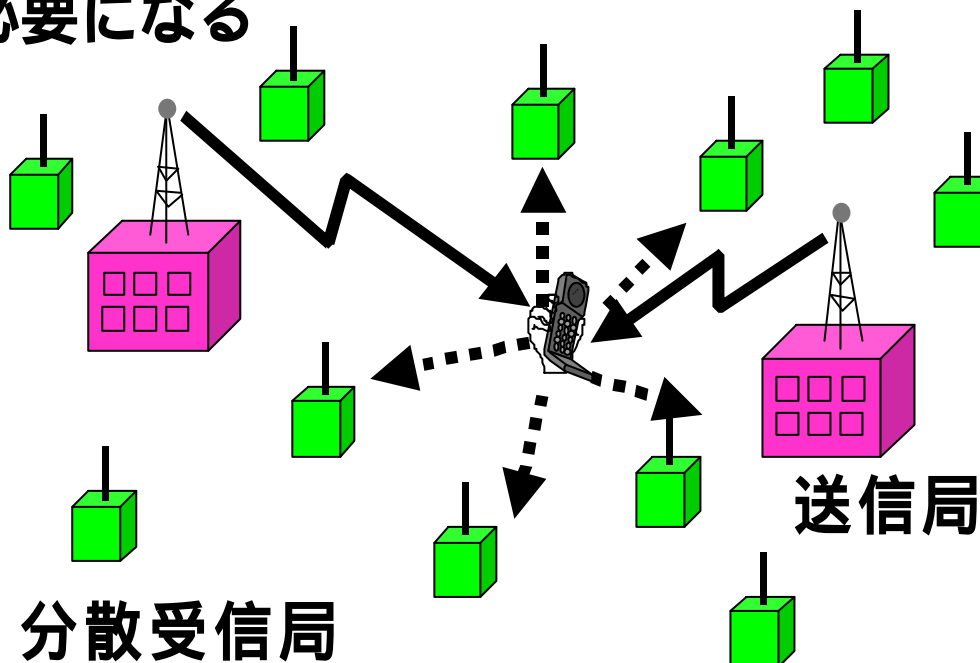


# 無線チャネルの制約を解決するには？

- 徹底して移動局の送信電力を低減を可能とする無線システムと無線技術の両方の開発が必要
- これまでのようなセルラー設計は破綻する？
- 有望な技術
  - ピコセルを用いる分散受信局ネットワーク
  - 低温受信機
  - 様々な無線技術の組み合わせ
    - 高効率変調
    - チャネル符号化
    - ダイバーシチ
    - アンテナアレーなど

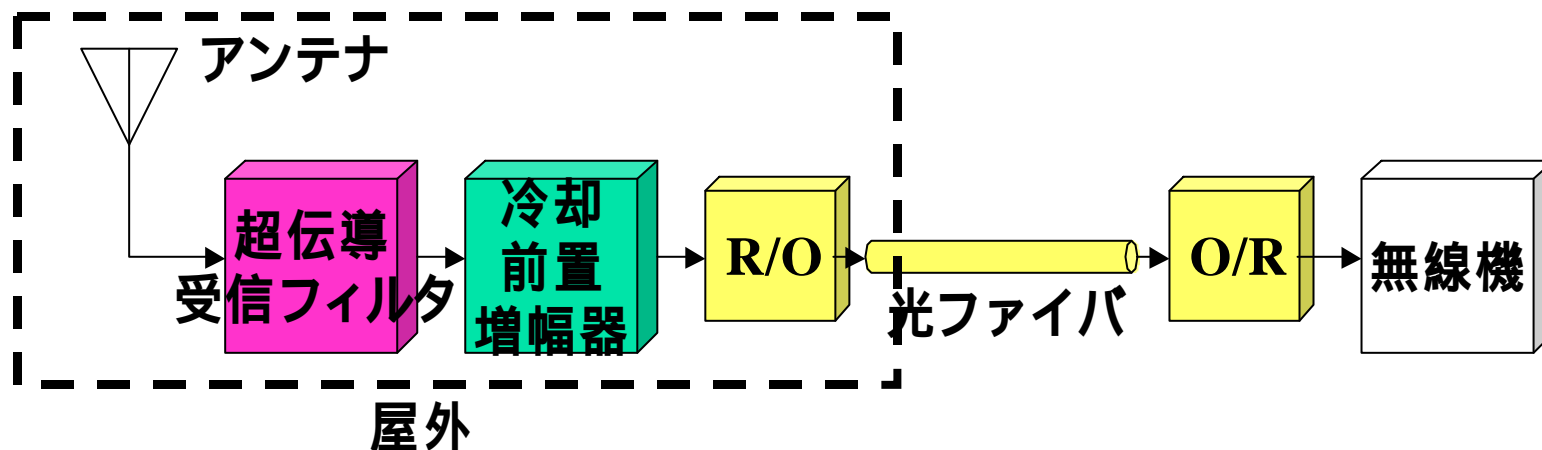
# 自律分散受信局ネットワーク

- 送信と受信機能を分離して自律分散受信基地局ネットワークを構成する
- 受信基地局の追加・削除が柔軟に行えることが重要
  - 無線ネットワークのアーキテクチャを根本から変更することが必要になる



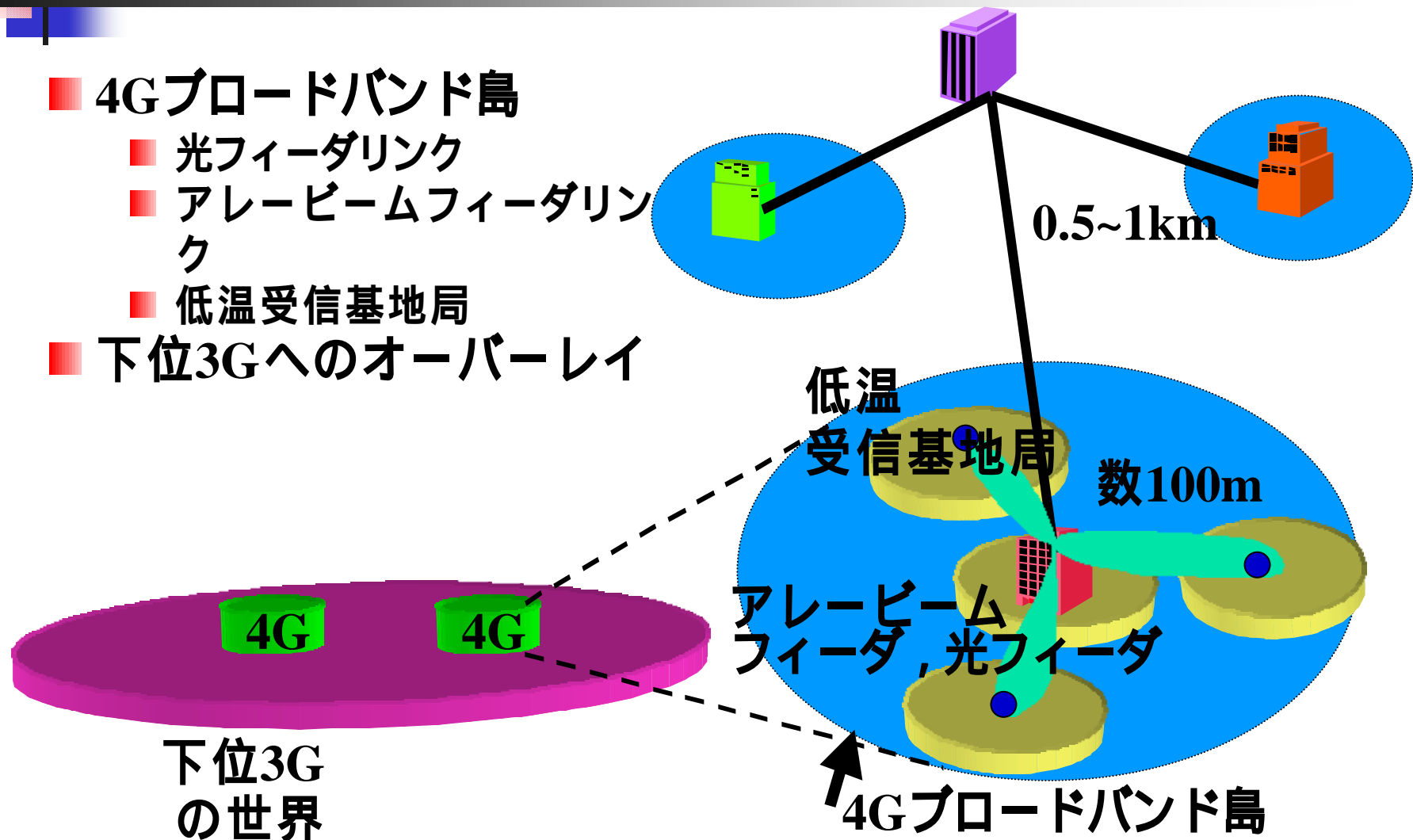
# 低温受信基地局

- 冷却増幅器による雑音指数(NF)の低減
- 超伝導受信フィルタの適用
  - フィルタ損失の低減
  - 帯域外減衰特性の急峻化



# 4Gのイメージは例えばこんな？

- 4Gブロードバンド島
- 光ファイダリンク
- アレービームファイダリンク
- 低温受信基地局
- 下位3Gへのオーバーレイ



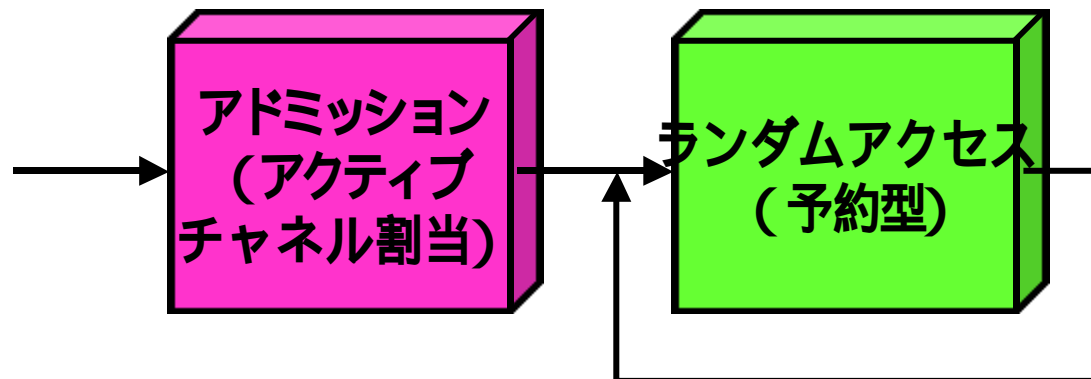


# 4G無線アクセス

---

# 無線IPのためのランダムアクセス

- アドミッションコントロール  
アクティブチャネルの割当
- ランダムアクセス  
長いパケットは予約型





# チャンネル適応伝送技術への挑戦

- ランダムアクセス方式
  - アドミッション：DS/CDMA, MC(OFDM)-CDMA, MC-DS/CDMAのチャンネルを割当
  - ランダムアクセス：予約ALOHAまたは他とのハイブリッド
- 双方向通信方式の選択
  - FDD vs TDD ?
- 上り・下りリンクで異なるアクセス，変調，双方向方式



# TDMAとCDMAの比較

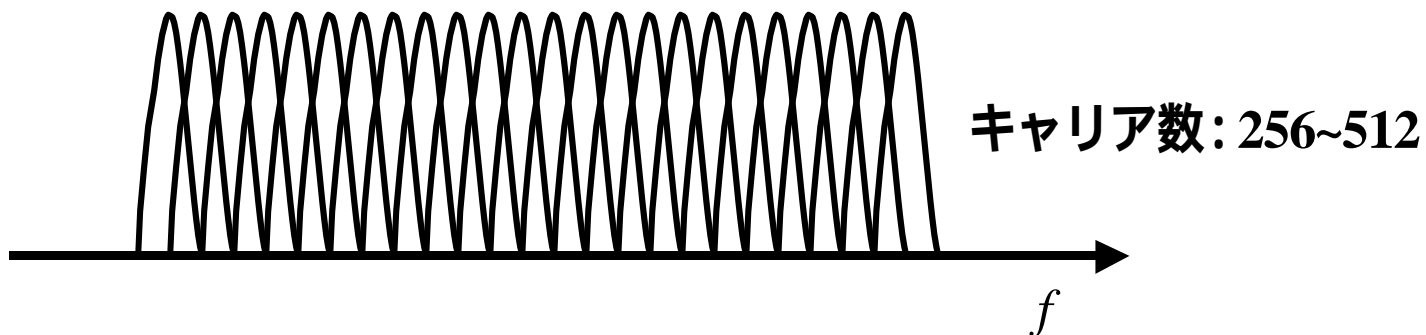
アクセス		フェージング	マルチパスダイバーシチ	サイトダイバーシチ	ピーク電力
TDMA		周波数選択性	等化器	ハード	中
CDMA	DS		Rake	ソフト	1
	OFDM	周波数非選択性	なし		大

# DSとOFDMのスペクトル

## ■ DS

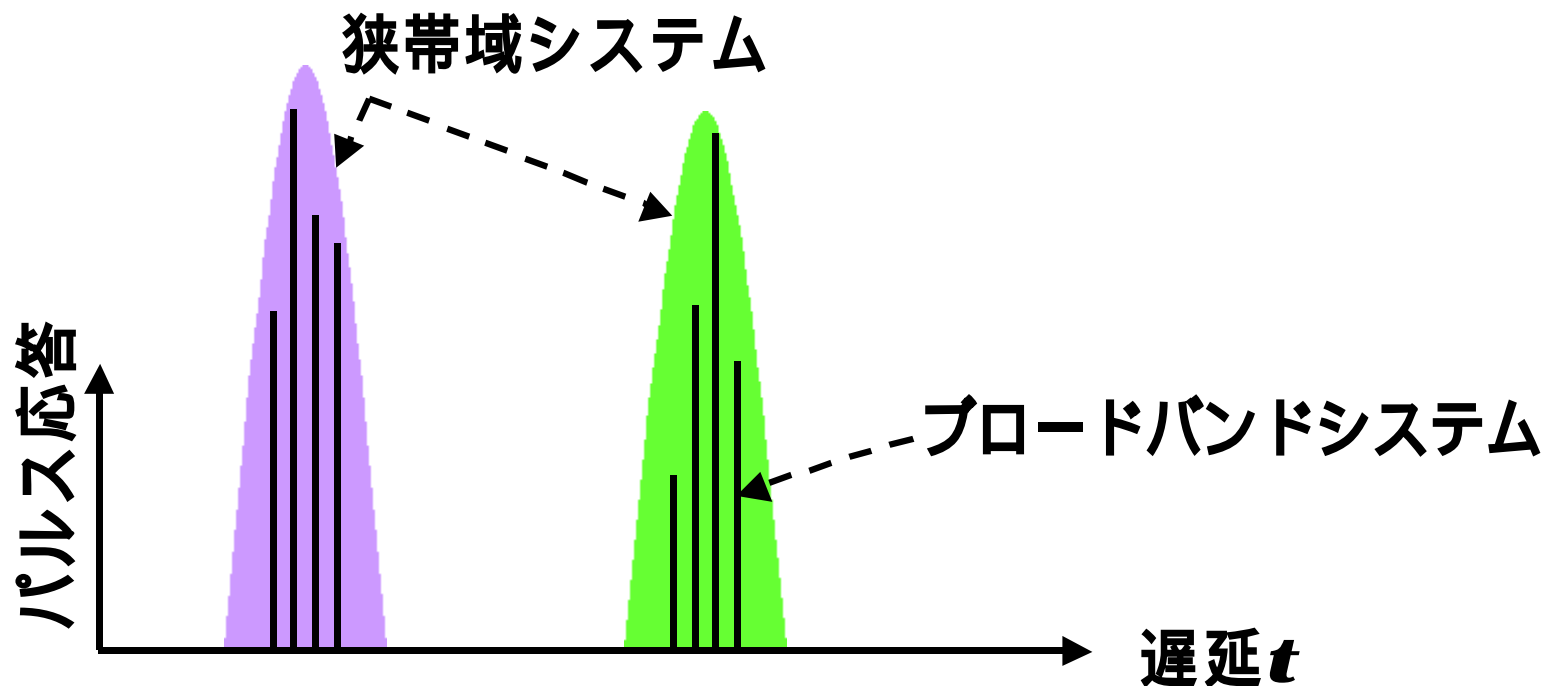


## ■ OFDM

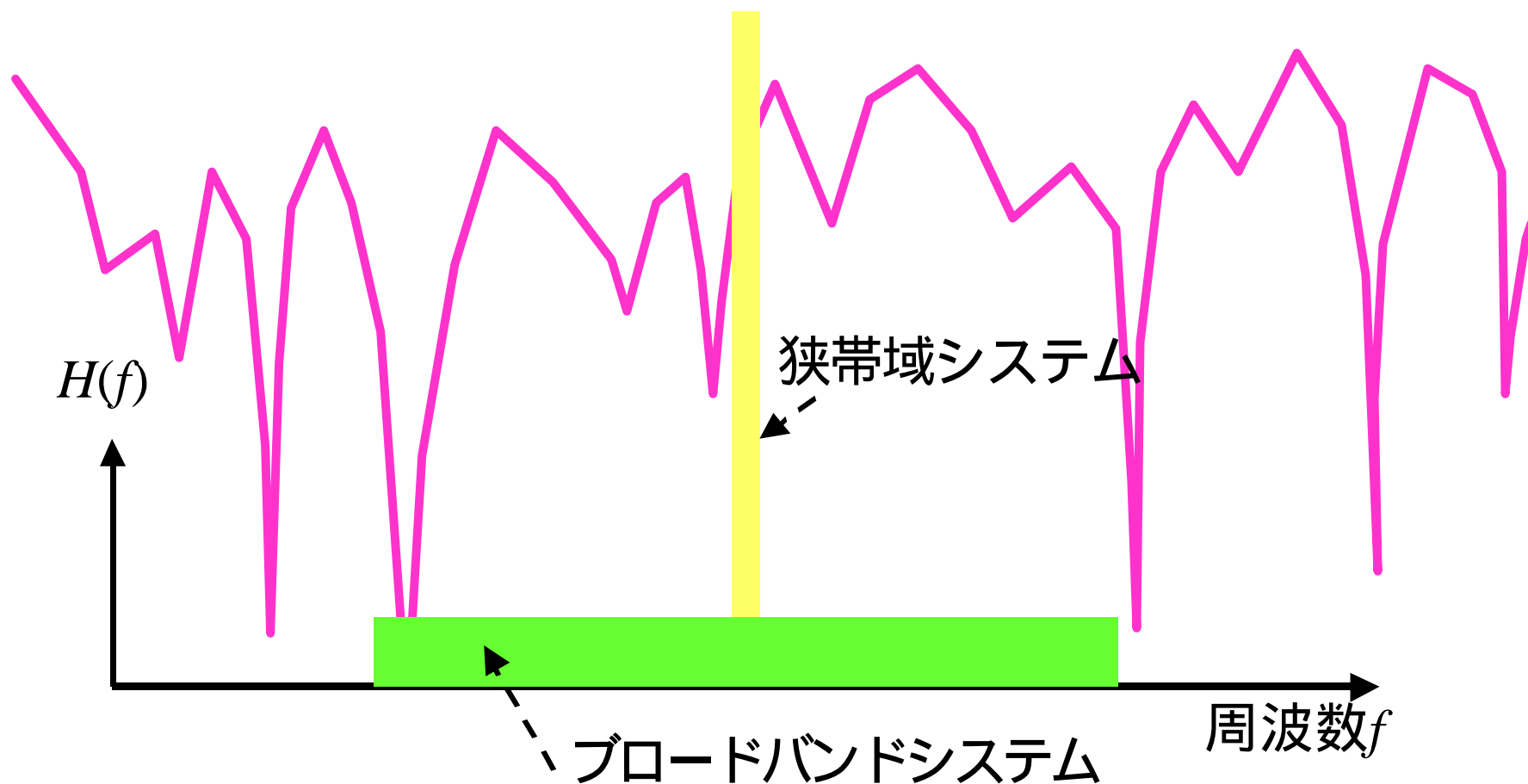


# 時間ドメイン処理(DS)の限界

- 分解されるマルチパスの数が膨大  
有限Rakeフィンガ数のDS/CDMAでは
  - ・ 電力損失がする
  - ・ チャネル推定精度が劣化する

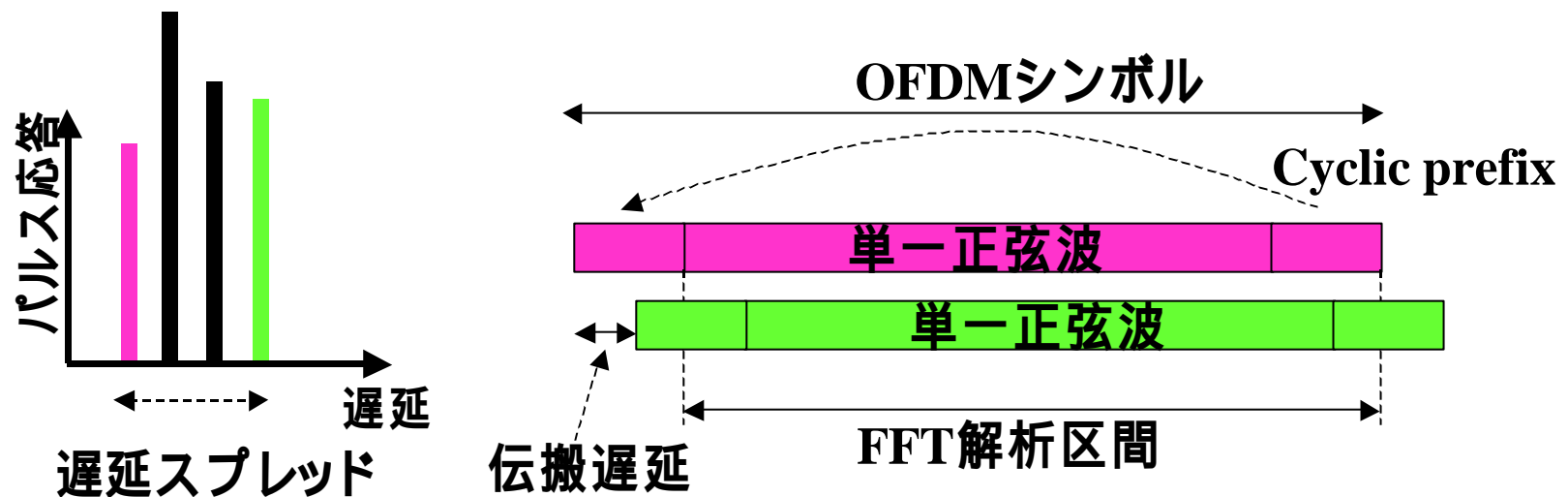


# 周波数ドメイン処理(OFDM) の可能性



# OFDMにおけるCyclic prefixの役割

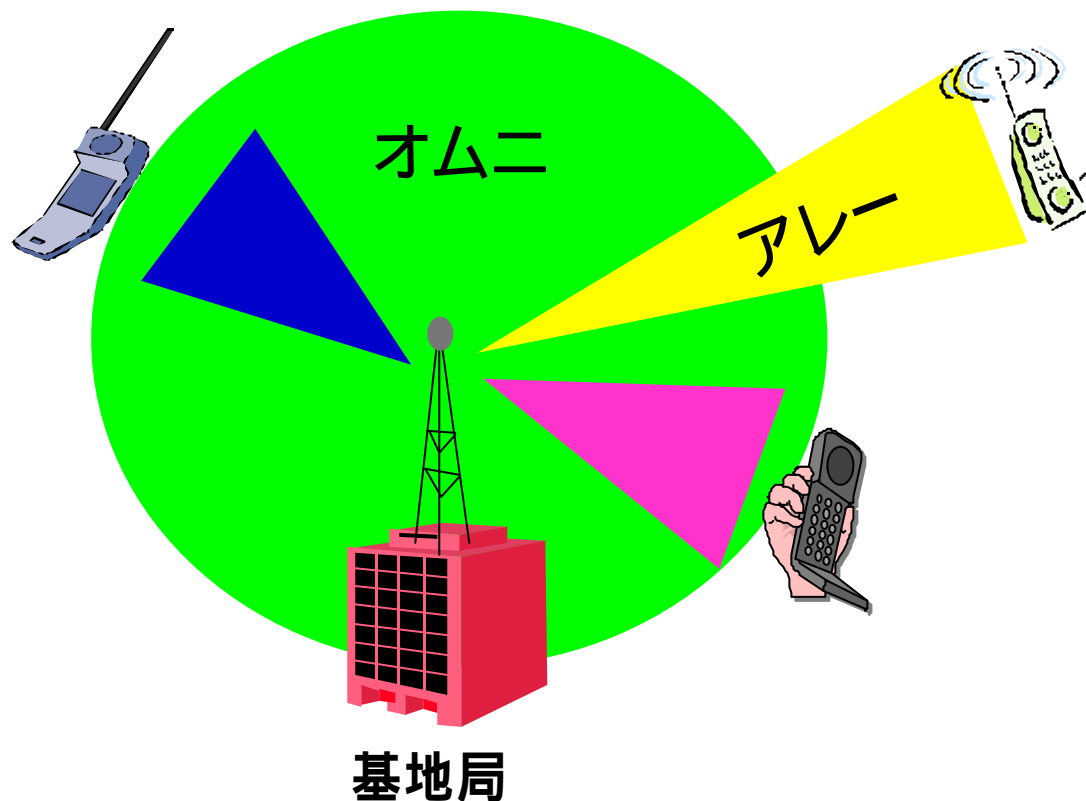
## ■ Cyclic prefix付加による擬似無限周期性化



- 各サブキャリアは単一正弦波なので、遅延スプレッド < Cyclic prefix時間長であれば遅延スプレッドの影響を受けない 周波数非選択性フェージング
- 課題はマルチパスダイバーシチ効果が得られないこと

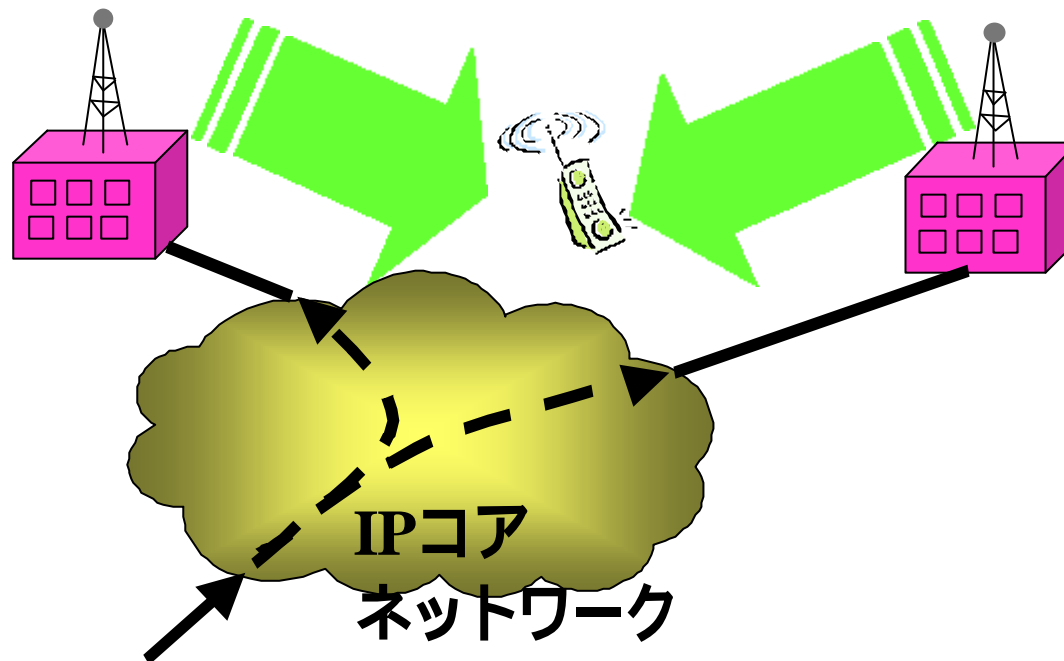
# OFDM-CDMAにおけるマルチ パスダイバーシチ

- 時間：ハイブリッドARQ, 多数回送信
- 電力：送信電力制御
- 空間：適応アンテナアレー送受信



# シャドウイング対策用サイトダイバーシティ (ソフトハンドオフ)

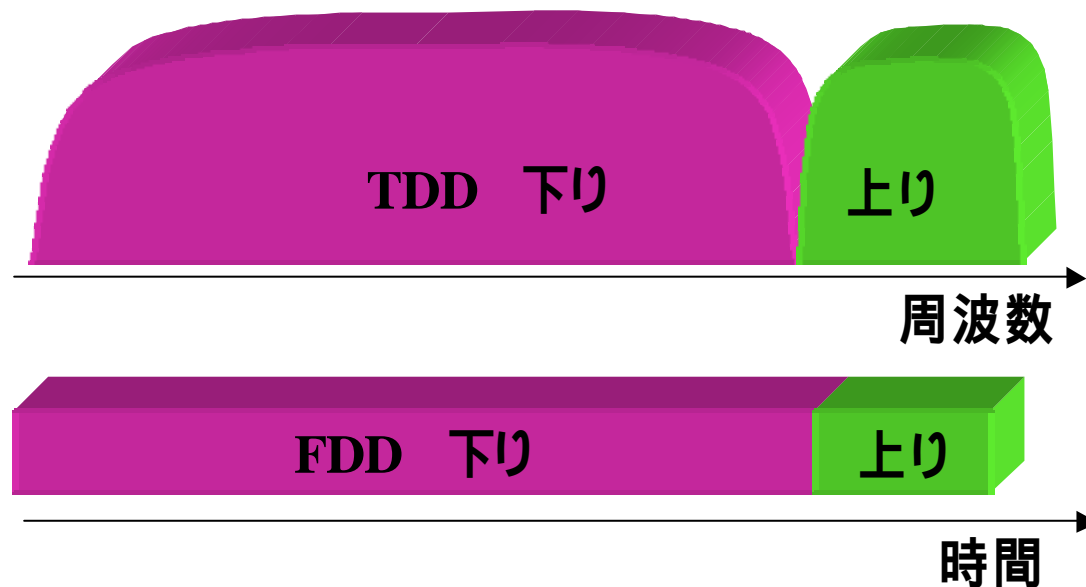
- 複数局から同じデータを送信することでシャドウイングの影響を軽減する



- 送信タイミングの高精度な同期ネットワーク  
パケットなので時間誤差を吸収できる可能性がある
- IPデータ経路決定アルゴリズムと高速ソフトハンドオフ

# 双方向方式

## ■ 非対称トラフィック



## ■ リソース配分変更の柔軟性の点でTDDが優れる





# むすび

## ■ 4Gシステムコンセプト

- WWW閲覧, ダウンロード, Voice over IP, 電子メール, 電子商取引などのインターネットサービス

- IPベースの無線ネットワーク

## ■ 無線LANとの融合

## ■ 無線技術

- 無線アクセス: OFDM-CDMA, アドミッションコントロール+予約ランダムアクセス

- 自律分散受信局ネットワーク

- 送信電力低減: ピコセル, 適応アンテナアレー, 低温受信基地局



# いくつかの重要なテーマ

- 自律分散受信局ネットワーク構成とプロトコル
  - セルラーコンセプトに依存しない自律分散受信局ネットワーク
  - IPデータ経路決定アルゴリズムと高速ソフトハンドオフ
- 適応アルゴリズムの徹底的な追求
  - アンテナアレー送受信
  - チャネル符号化
  - OFDMピーク抑圧
  - 可変レート
  - 送信電力制御
  - パケット干渉キャンセル
- 3Gとの共存
  - 携帯機へのソフト無線の経済的な適用