Internet Week2001

携帯電話の仕組みと
モバイル・インターネット技術

工博　沖中 秀夫
KDDI株式会社
au技術本部　技術企画部長　理事
2001年12月7日

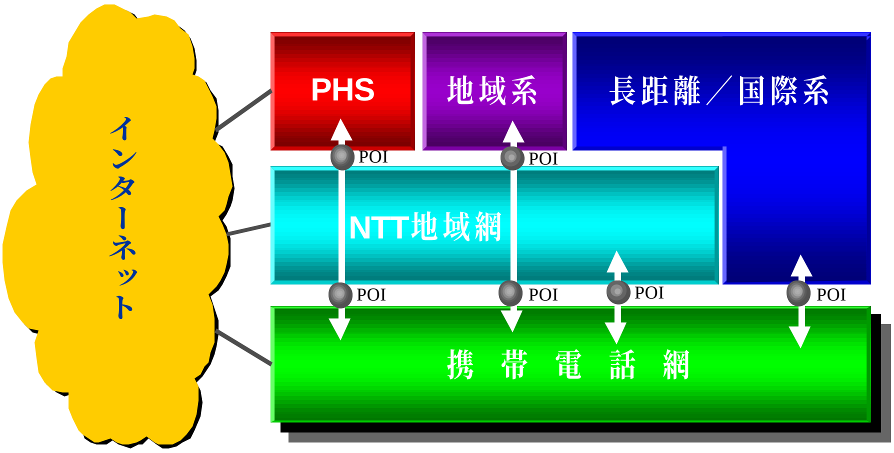
目 次

1．携帯電話がつながる仕組み
2．電波の特性
3．セルラー無線方式とは？
4．多元接続
5．ディジタル無線通信技術の基礎
6．パケット通信
7．携帯電話ネットワークにおけるパケット通信とインターネット接続
8．携帯電話機の中は？
9．第三世代携帯電話技術の動向

© 2001, by Hideo Okinaka, KDDI

1. 携帯電話がつながる仕組み

通信ネットワークの中の携帯電話ネットワーク



© 2001, by Hideo Okinaka, KDDI

電話番号の仕掛け（電話番号の造り）

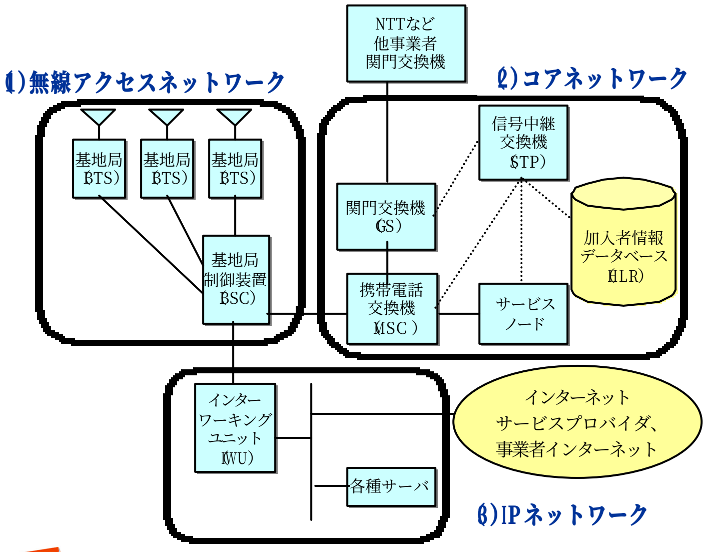
加入者番号（8桁）

0 A B C D E F G H J K

- C D E：事業者識別番号（3桁）（接続先網の識別）
- A B：携帯電話網番号（2桁）（現在は“90”。近々“80”を追加）
- 0：市外電話網アクセス番号（1桁）

KDDI Proprietary Information
2001/12/7/Page 5

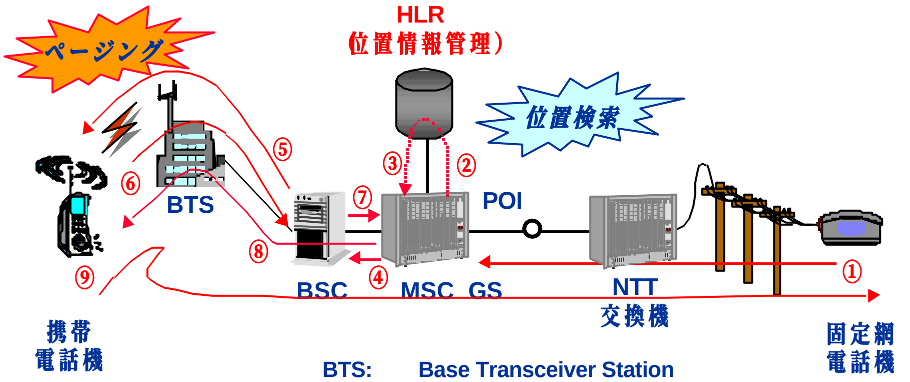
携帯電話ネットワークの構成



KDDI Proprietary Information
2001/12/7/Page 6

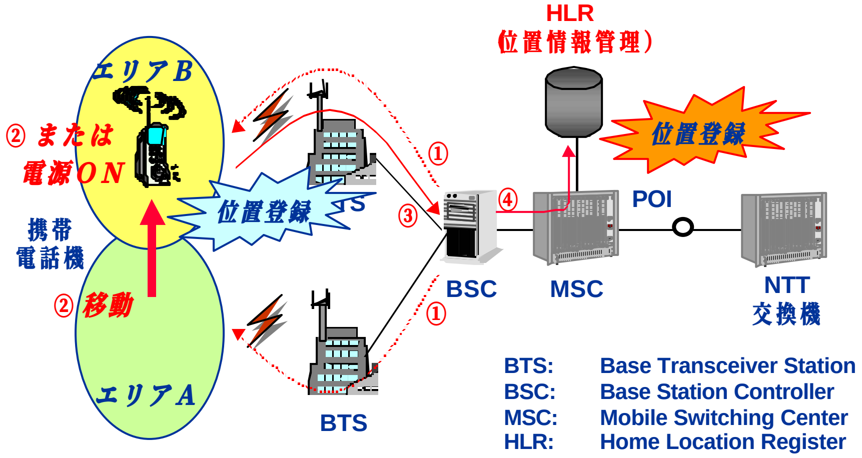
© 2001, by Hideo Okinaka, KDDI

携帯電話着信



BTS: Base Transceiver Station
BSC: Base Station Controller
MSC: Mobile Switching Center
HLR: Home Location Register
POI: Point of Interface

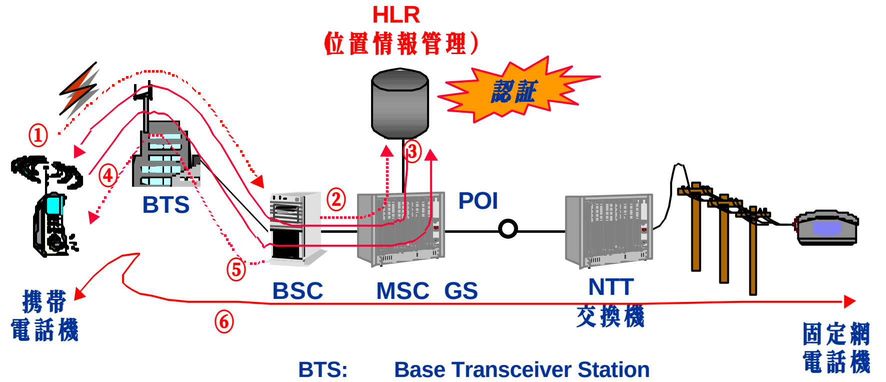
位置登録



BTS: Base Transceiver Station
BSC: Base Station Controller
MSC: Mobile Switching Center
HLR: Home Location Register
POI: Point of Interface

© 2001, by Hideo Okinaka, KDDI

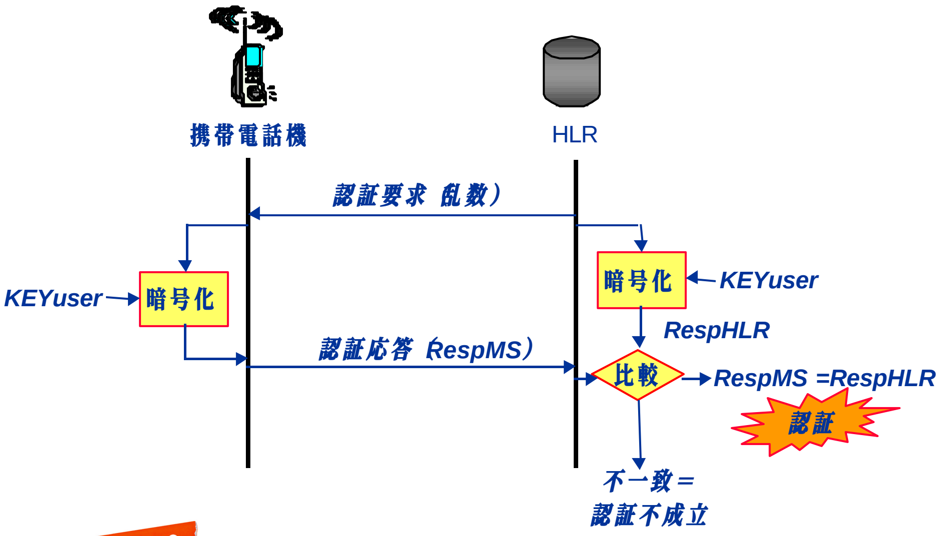
携帯電話発信



BTS: Base Transceiver Station
BSC: Base Station Controller
MSC: Mobile Switching Center
HLR: Home Location Register
POI: Point of Interface

KDDI Proprietary Information
2001/12/7/Page 9

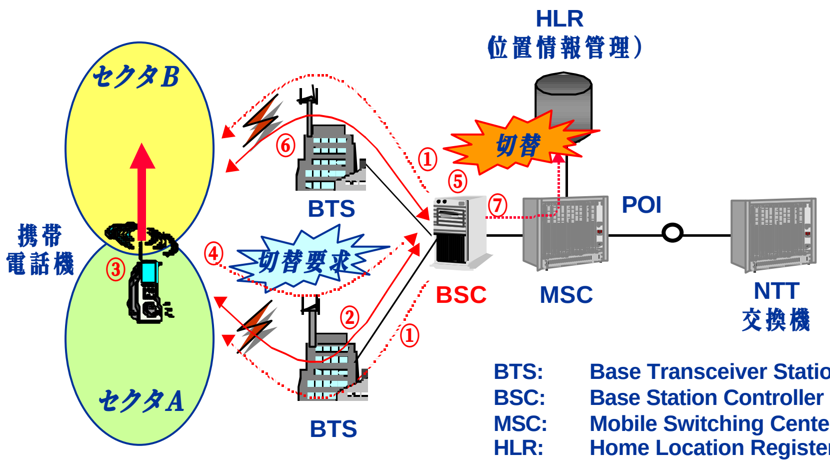
ユーザ認証（Challenge-Response型の例



KDDI Proprietary Information
2001/12/7/Page 10

© 2001, by Hideo Okinaka, KDDI

ハンドオーバー

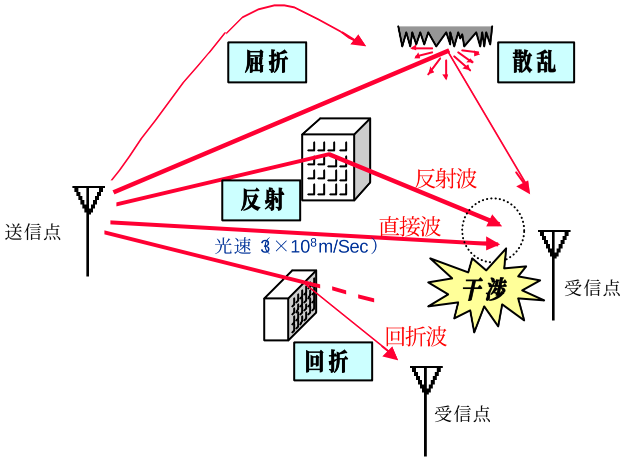


BTS: Base Transceiver Station
BSC: Base Station Controller
MSC: Mobile Switching Center
HLR: Home Location Register
POI: Point of Interface

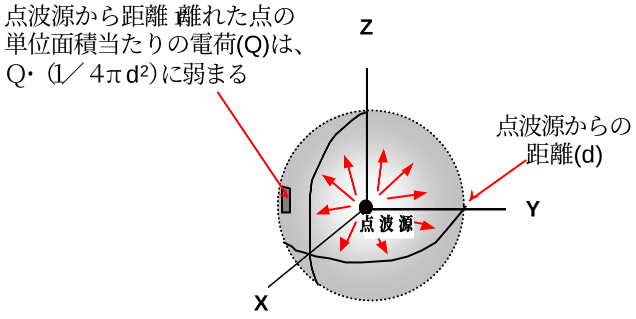
2. 電波の特性

© 2001, by Hideo Okinaka, KDDI

電波が持つ様々な性質



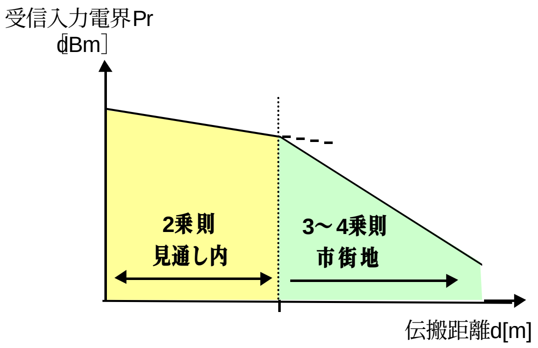
電波は何故減衰する？



点波源から輻射される球面波

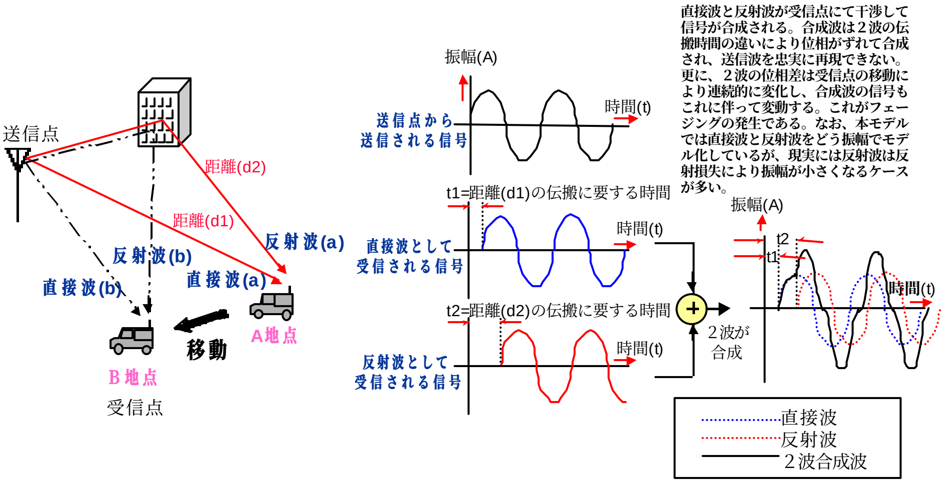
© 2001, by Hideo Okinaka, KDDI

電波の実際の伝搬損失



伝搬損失特性

フェージングとは？



© 2001, by Hideo Okinaka, KDDI

携帯電話で使う周波数帯

1GHz

2GHz

3GHz

800-900MHz帯：日本を含み世界的に携帯電話に利用
(NTTドコモとau)

1.5GHz帯：日本のみ携帯電話に利用(*J-PHONE*と*TU-KA*)

1.8-1.9GHz帯：世界的に携帯電話に利用（日本は未利用）

1.9-2.2GHz帯：次世代携帯電話(IMT-2000)に利用

2.4GHz帯：ISMバンド。無線LAN等に利用

4-6GHz帯：マイクロ波通信、衛星通信

3. セルラー無線方式とは？

© 2001, by Hideo Okinaka, KDDI

周波数には限りがある

❐セルラー通信に使いやすい周波数には限りがある

日本で使っている周波数帯

800MHz帯	上り/下り各	約50MHz
1.5GHz帯	上り/下り各	24MHz
2GHz帯	上り/下り各	60MHz
合計	上り/下り各	約134MHz

❐ １通話チャネルに必要な周波数帯域幅は10kHz程度

❐同時通話できる人数は？

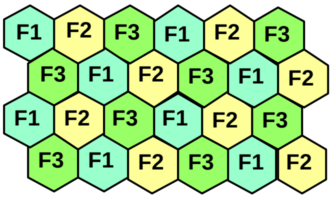
134MHz/10kHz = 13,400人 ➡ 足りない！

周波数の繰り返し利用

❐電波は距離により急激に減衰

（自由空間で2乗則、市街地では3～4乗則）

❐距離を置いて周波数を再利用 ➡ セルラー方式



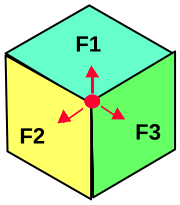
❐図の例では周波数帯域を3分割 ➡ 3回以上繰り返し利用すれば、周波数利用効率が上がる

© 2001, by Hideo Okinaka, KDDI

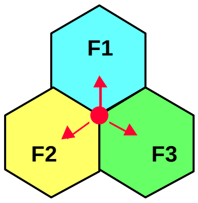
セクター化とは？

セル間干渉を低減するため、ビームアンテナを用いて
1基地局から複数セル（セクタ）を構成

ハニカム
3セクタ局



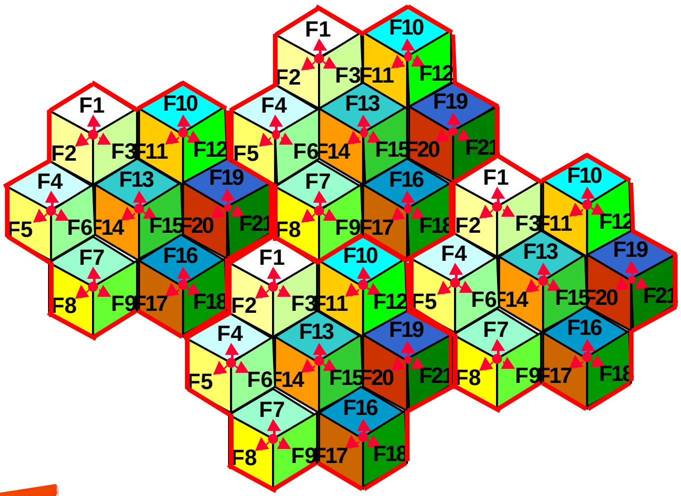
クローバーリーフ
3セクタ局



KDDI Proprietary Information
2001/12/7/Page 21

周波数繰り返しパターンの具体例(1)

（ハニカム型・3セクタ・7サイト繰り返し）

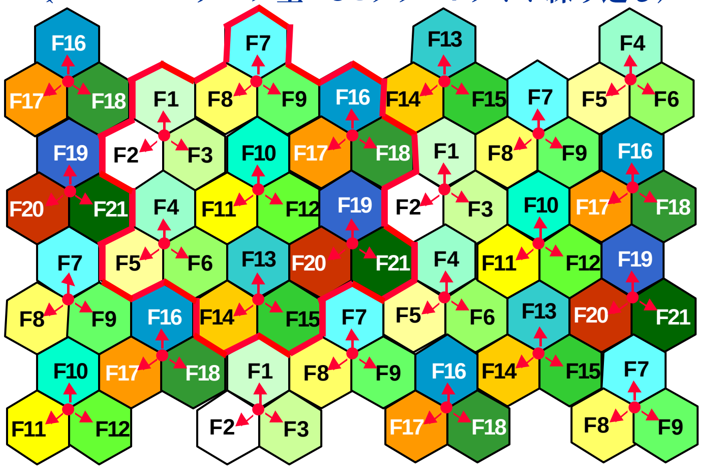


KDDI Proprietary Information
2001/12/7/Page 22

© 2001, by Hideo Okinaka, KDDI

周波数繰り返しパターンの具体例(2)

（クローバーリーフ型・3セクタ・7サイト繰り返し）



KDDI Proprietary Information
2001/12/7/Page 23

4. 多元接続

KDDI Proprietary Information
2001/12/7/Page 24

© 2001, by Hideo Okinaka, KDDI

多元接続（マルチプル・アクセス）とは？

❐ひとつの無線キャリアを複数の利用者で共用すること

➡ 複数の利用者が同時に利用している無線信号から希望信号だけを分離して取り出し受信する技術

❐分離の基礎は直交関数系

*Si=Ai*Fi*

Si : 利用者 *i*の送信信号

Ai : 利用者 *i*の送信情報（受信者には未知）

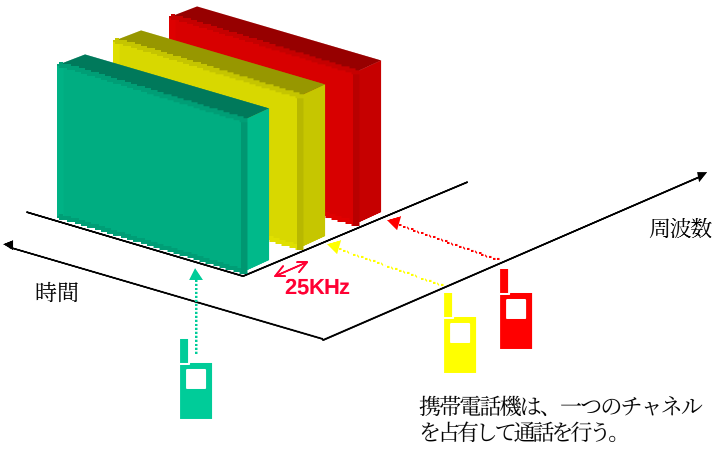
Fi : 利用者 *i*を識別するための直交関数

*Fi*Si*=d *ij* となっていれば

*Si*Fi=Ai*, *Sj*Fi* =0

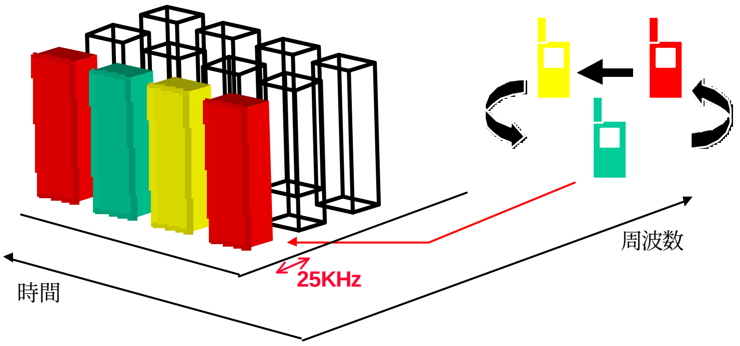
となって、*Ai*だけ取り出せる

FDMA（周波数分割多元接続）方式



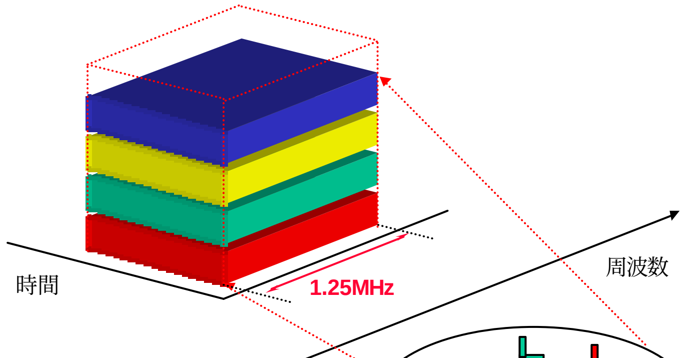
© 2001, by Hideo Okinaka, KDDI

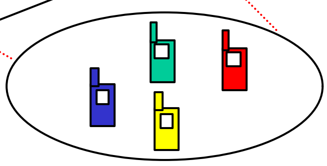
TDMA 時間分割多元接続)方式



携帯電話機は、一つのチャネルを順番に利用しながら通話を行う

CDMA 符号分割多元接続)方式





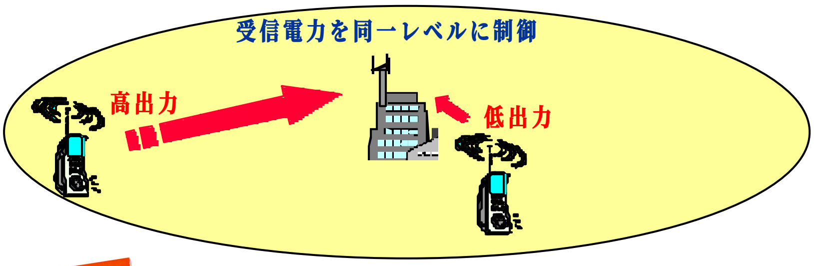
複数の携帯電話機が、一つのチャネルを共有して、同時に通話を行う。
携帯電話機間の識別は電話機毎に異なる符号になる（一種の暗号化）

© 2001, by Hideo Okinaka, KDDI

CDMAにおける遠近問題と移動機送信電力制御

セル間干渉を低減するため、基地局からの距離 伝搬損失）に応じて移動機送信電力を増減

- ➡ CDMAでは、同時通話チャネルが全てランダム雑音源となるため、精密 ·高速な電力制御が必要
- ➡ 結果として平均送信電力の大幅な低減 長い電池寿命）



KDDI Proprietary Information
2001/12/7/Page 29

第三世代は何故CDMAか？

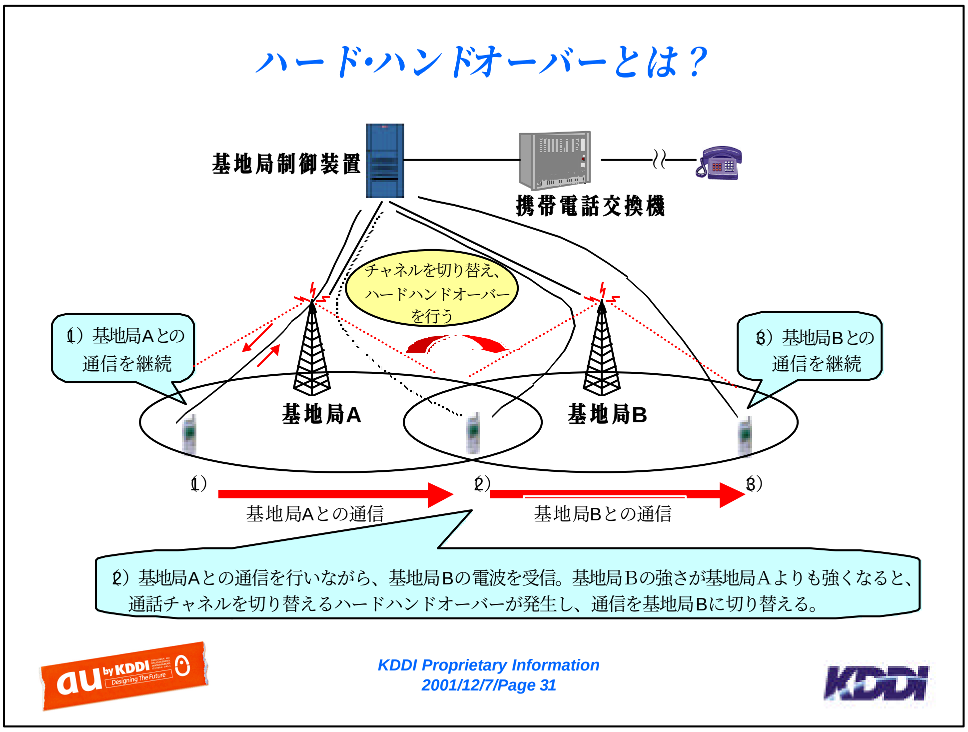
❒ CDMAの特徴

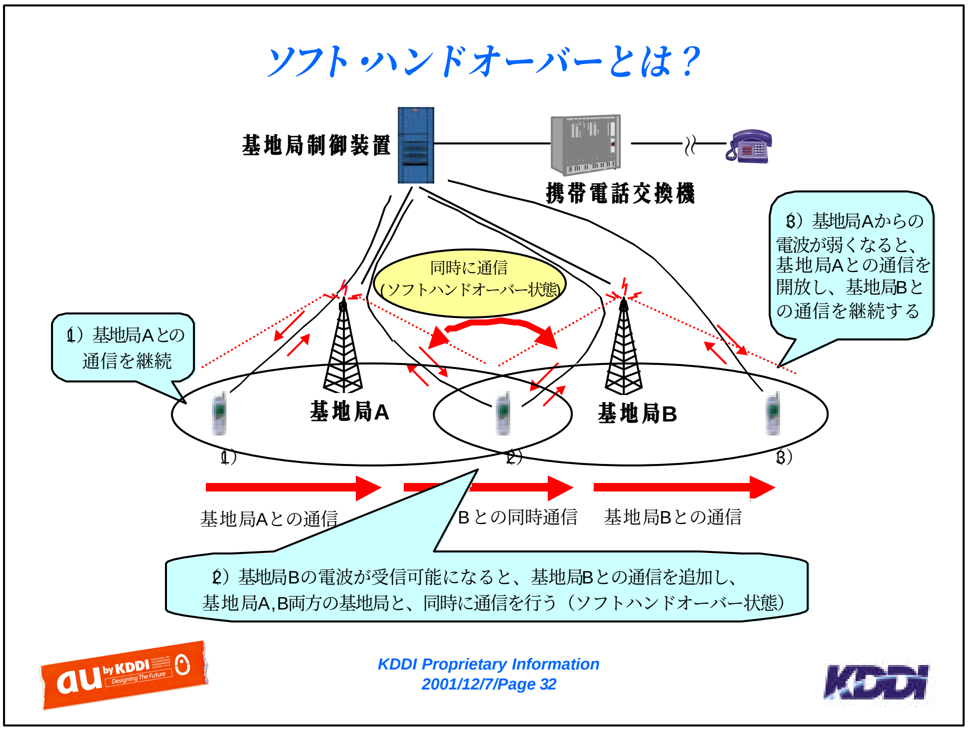
- ≻ RAKE受信機とソフトハンドオーバ
  - ➡ マルチパスの分離 ·合成 高い耐フェージング特性）
  - TDMAで必要な等価器不要
  - 複数基地局からの信号合成
  - 移動機受信ダイバシティ不要 ·無瞬断ハンドオーバ）
- ≻ マルチコード割当 ➡ 柔軟なチャネル伝送レート設定可能
- ≻ 統計的回線設計可能 全ての同時通話チャネルからの干渉 =ランダム雑音）
- ≻ 同一周波数再利用 ➡ セル周波数プラン不要
- ≻ 連続モード送信可能 ➡ 補聴器に対する間欠雑音対策

❒ 技術的難しさ ➡ 遠近問題 精密な電力制御）

KDDI Proprietary Information
2001/12/7/Page 30

© 2001, by Hideo Okinaka, KDDI

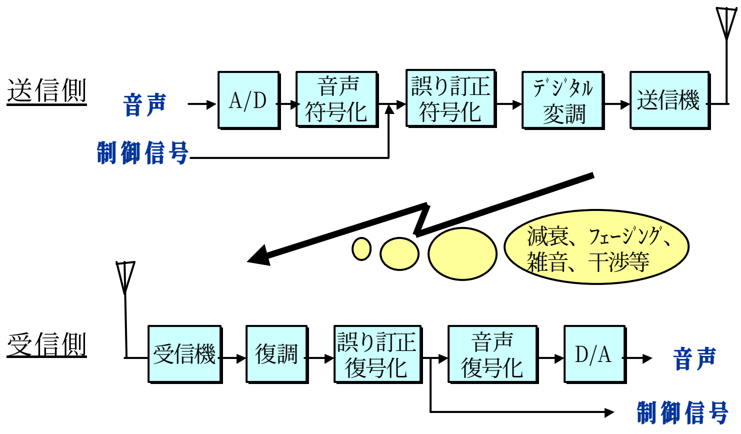




© 2001, by Hideo Okinaka, KDDI

5. ディジタル無線通信技術の基礎

音声ディジタル無線通信方式の基本構成



© 2001, by Hideo Okinaka, KDDI

音声符号化方式

音声符号化
- 波形符号化方式
- 分析合成符号化方式
- ハイブリッド符号化方式

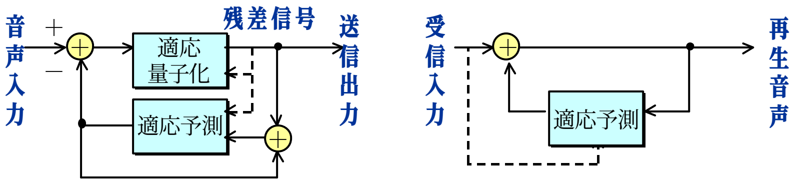
実用例

PCM (64kbps) - ISDN
ADPCM (32kbps) - PHS

LPC (2.4-4.8kbps)

APC-MLQ (16kbps) - Inmarsat
VSELP (11.2kbps) - PDC
PSI-CELP (5.6kbps) - PDC
EVRC (8kbps) - cdmaOne
AMR (12.2kbps) - W-CDMA

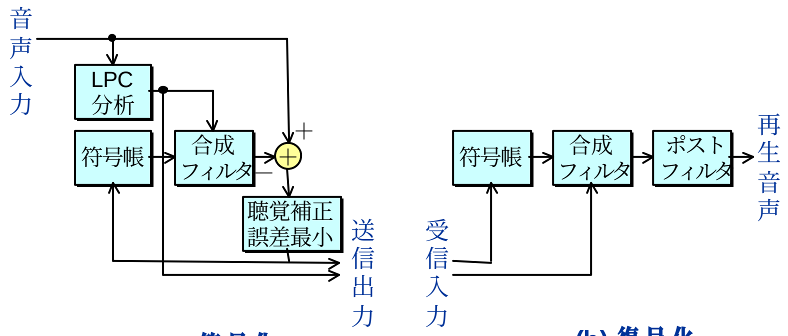
ADPCM方式の基本構成



(a) 符号化　　(b) 復号化

© 2001, by Hideo Okinaka, KDDI

CELP方式の基本構成



(a) 符号化　　(b) 復号化

VOXと可変レート符号化

❒ VOXと可変レート音声符号化

➢ VOX ➨ 会話時の音声存在時間確率は40%程度
無音時に送信を止めることで
➨ 移動機電池寿命を改善（上り）
同一チャネル干渉の低減によりを品質改善（下り）

➢ 可変レート音声符号化
➨ システム負荷に応じて音声伝送レート
をダイナミックに設定
（cdmaOneのEVRCで採用）

© 2001, by Hideo Okinaka, KDDI

誤り訂正（FEC）符号

- 誤り訂正符号
  - ブロック符号
  - 畳み込み符号
    - 畳み込み復号方式
    - 最尤復号方式
    - 逐次復号方式

実用例

- ブロック符号: BCH符号 / Reed-Solomon符号 - CD
- 最尤復号方式: Viterbi復号 - 広く通信システム
- 逐次復号方式: CDMA2000高速データ

ブロック誤り訂正符号の仕組み

4ビットの情報ビットに$[i_1, i_2, i_3, i_4]$に、3ビットの検査ビット

$p_1=i_1+i_2+i_3$

$p_2=i_2+i_3+i_4$

$p_3=i_1+i_2+i_4$

を付加する符号$c=[i_1, i_2, i_3, i_4; p_1, p_2, p_3]$ を考える。（ここで加算（+）は排他的論理和）

情報系列[i1, i2, i3, i4]=[1000]　→ 符号後c=[1000;101]

⬇ **伝送**

受信符号後c'=[0000;101]

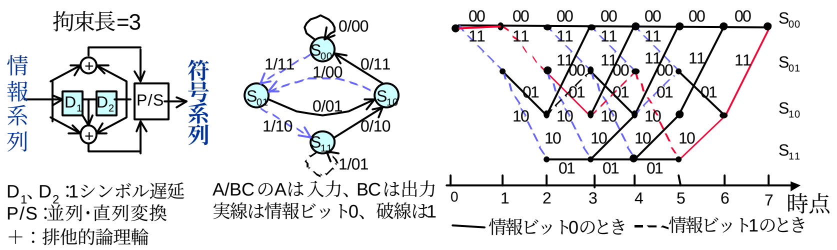
→ c'の情報ビット部分から計算した検査ビット$[p_1'', p_2'', p_3'']=[000] \neq$ c'の検査ビット部分$[p_1', p_2', p_3']=[101]$

→ c'に誤りが含まれることが分かる（誤り検出）

→ 検査ビット作る式からi_1'が誤っていると推定でき訂正し[1000]を得る（誤り訂正）

© 2001, by Hideo Okinaka, KDDI

畳み込み誤り訂正符号の仕組み



(a) 符号化器　**(b) 状態遷移図**　**(c) 格子状態表現**

- 普通、符号化器のシフトレジスタの初期状態を00、また情報ビットを送り終わるとシフトレジスタの状態を00にするため2ビット余分に0を送ると約束する。例えば情報（01011）を送るとき送信する情報系列（0101100）となり、その符号系列は(c)の太線に対応する。
- 格子状表現を使うと、最小自由距離を比較的簡単に知ることができる。すべての時点でS_{00}にいるパスと、時点3でS_{00}に戻るパス（S_{00}→S_{01}→S_{10}→S_{00}）を比べると距離は5であることが分かる。実はこれがこの符号の最小距離となっている。

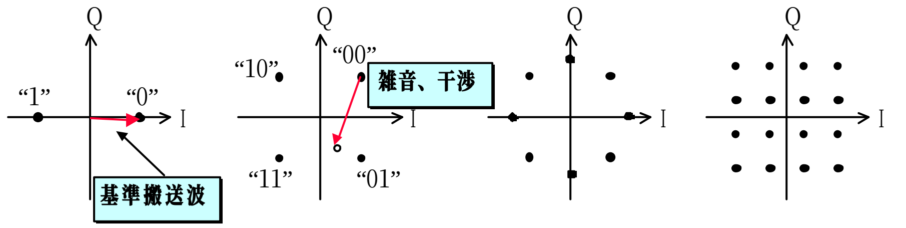
変 調

ディジタル変調　　　**実用例**

- 振幅偏移変調（ASK）
- 周波数偏移変調（FSK） → GMSK - GSM
- 位相偏移変調（PSK） → GMSK - GSM
  - 2相位相変調 — BPSK - cdmaOne
  - 4相位相変調 — QPSK - PDC/CDMA2000 1x, p/4-shift QPSK - PDC, HPSK - cdmaOne
  - 8相位相変調 — 8PSK - CDMA2000 1xEV
- ハイブリッド変調 — 振幅＋位相 — 16QAM - CDMA2000 1xEV

© 2001, by Hideo Okinaka, KDDI

伝送誤りが何故発生するのか？



BPSKの変調信号　QPSKの変調信号　8PSKの変調信号　16QAMの変調信号

変調信号の信号空間上の表現

フェージングとダイバシチ

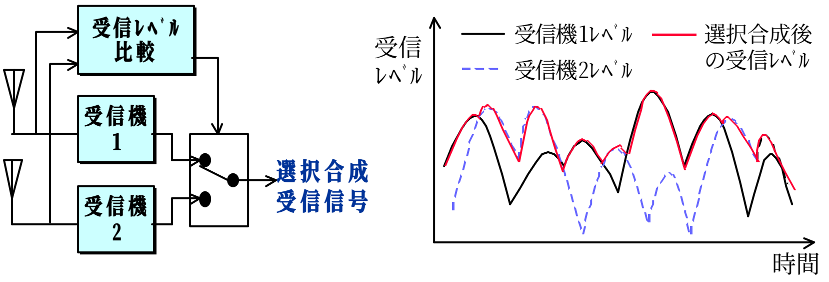
ダイバシチの目的：マルチパスフェージングによる信号劣化の低減

ダイバシチ方式	考え方と実用例
空間ダイバシチ	一定距離離した複数アンテナ使用：携帯電話基地局、PDC携帯電話機
時間ダイバシチ	時間間隔をあけて信号再送
パスダイバシチ	地理的に離れた局に同一信号送受：CDMA

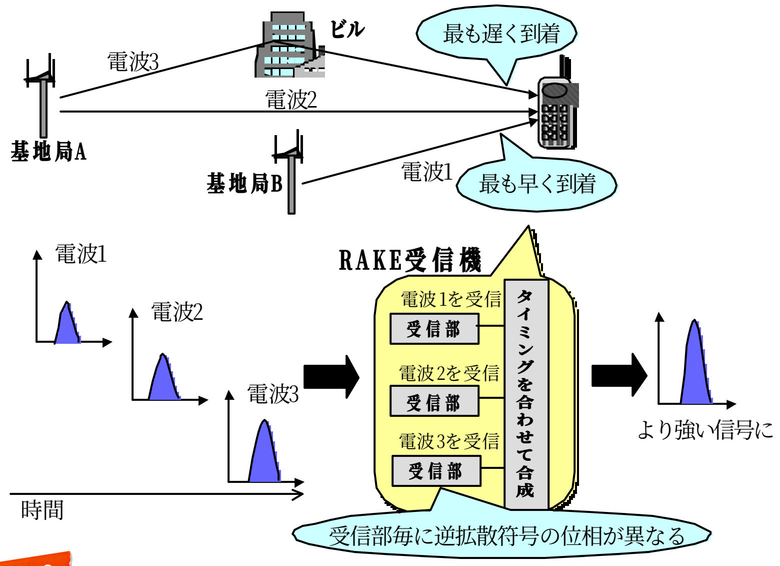
ダイバシチの分類		
	送信ダイバシチ	送信側で信号処理
	受信ダイバシチ	受信側で信号処理

© 2001, by Hideo Okinaka, KDDI

ダイバシチ受信



CDMAにおけるRAKE受信機とは？

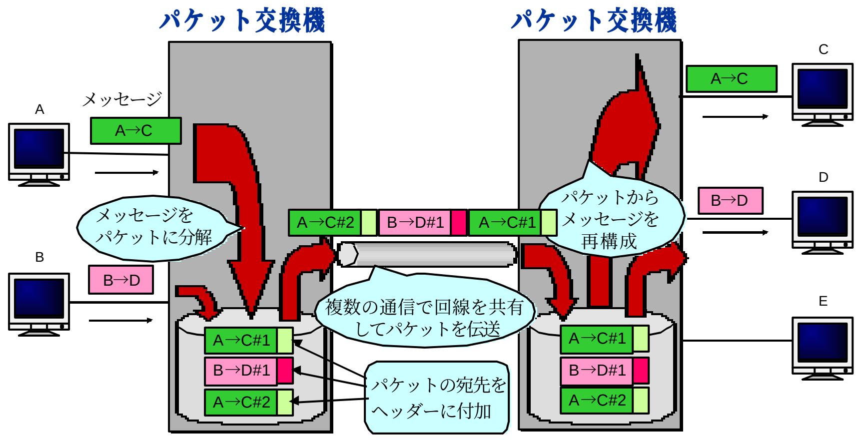


© 2001, by Hideo Okinaka, KDDI

6. パケット通信

KDDI Proprietary Information
2001/12/7/Page 47

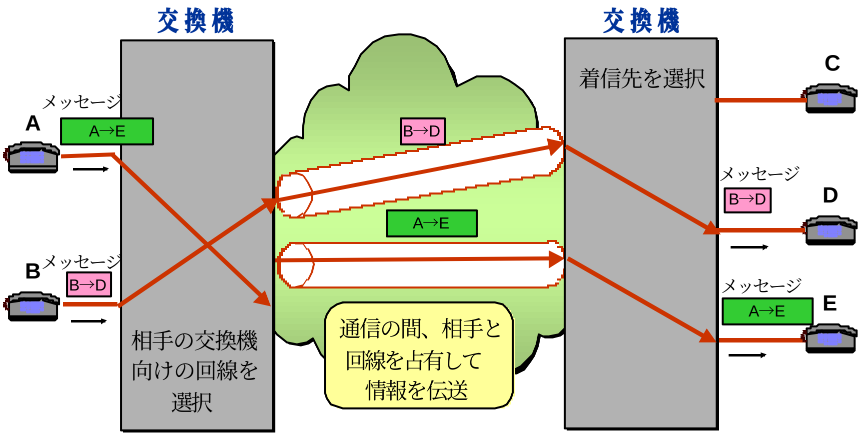
パケット通信方式の仕組み



KDDI Proprietary Information
2001/12/7/Page 48

© 2001, by Hideo Okinaka, KDDI

回線交換方式との違い



KDDI Proprietary Information

パケット通信と回線交換通信の比較

	回線交換方式	パケット通信方式
回線の利用形態	単独の通信で回線を占有	複数の通信で回線を共有
一つの通信が終了するまでの通信経路	常に同じ経路を経由	同じ経路を経由（仮想呼）またはパケットごとに経路を決定（データグラム）
適用領域	大量のデータを送受信する場合 例：大容量画像データのダウンロード	少量のデータを非連続的に送受信する場合 例：Web閲覧、電子メールやり取り
課金方式	接続時間に応じた時間課金	送受信したデータ量に応じた従量課金
実時間性	リアルタイム	ある程度の遅延を許容

KDDI Proprietary Information

© 2001, by Hideo Okinaka, KDDI

コネクション型通信とコネクションレス通信

パケット通信

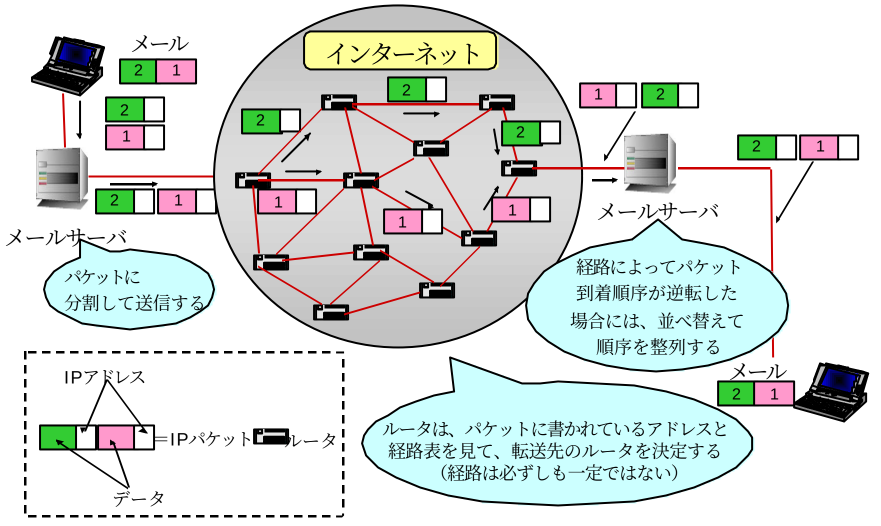
- **コネクション型（Virtual Circuit）**
- **コネクションレス（Datagram）**

実用例

一度経路設定（呼設定）すると呼終了まで全パケットを同じ通信経路を使用して伝送
例）X.25 パケット網

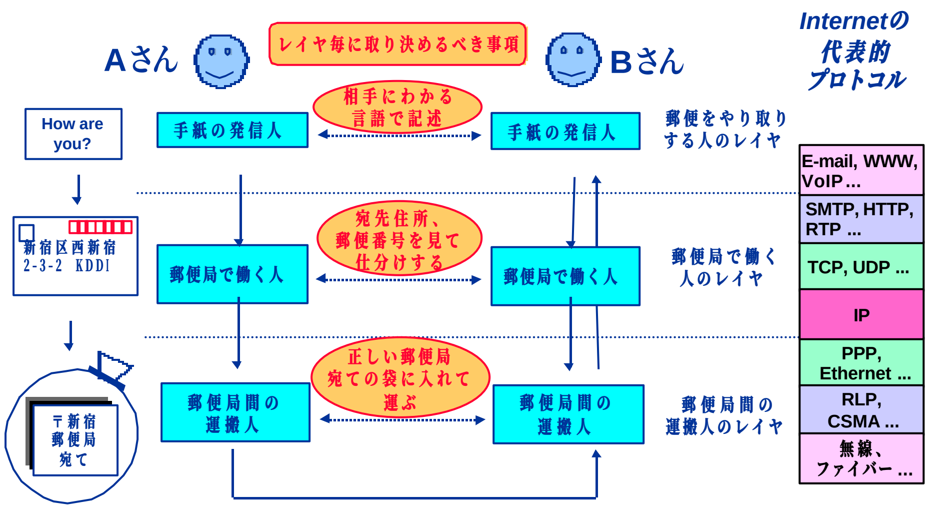
予め通信経路設定をせずパケット毎に異なる経路を使用 - 負荷分散
例）TCP/IP（Internet）

インターネットにおけるパケット通信



© 2001, by Hideo Okinaka, KDDI

インターネットの代表的プロトコルスタック

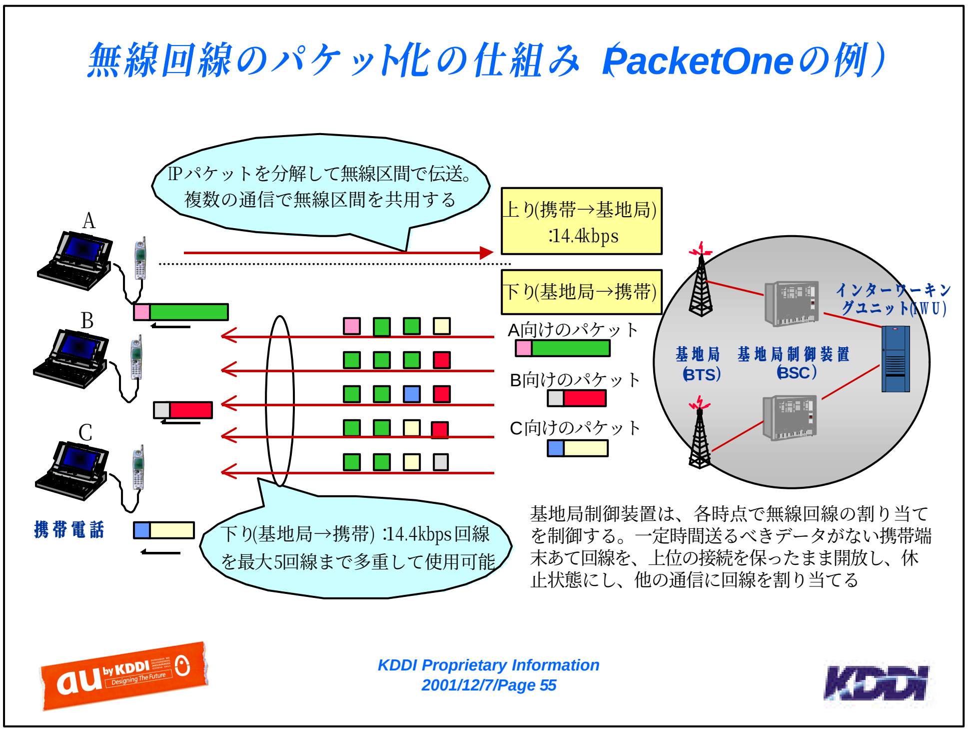


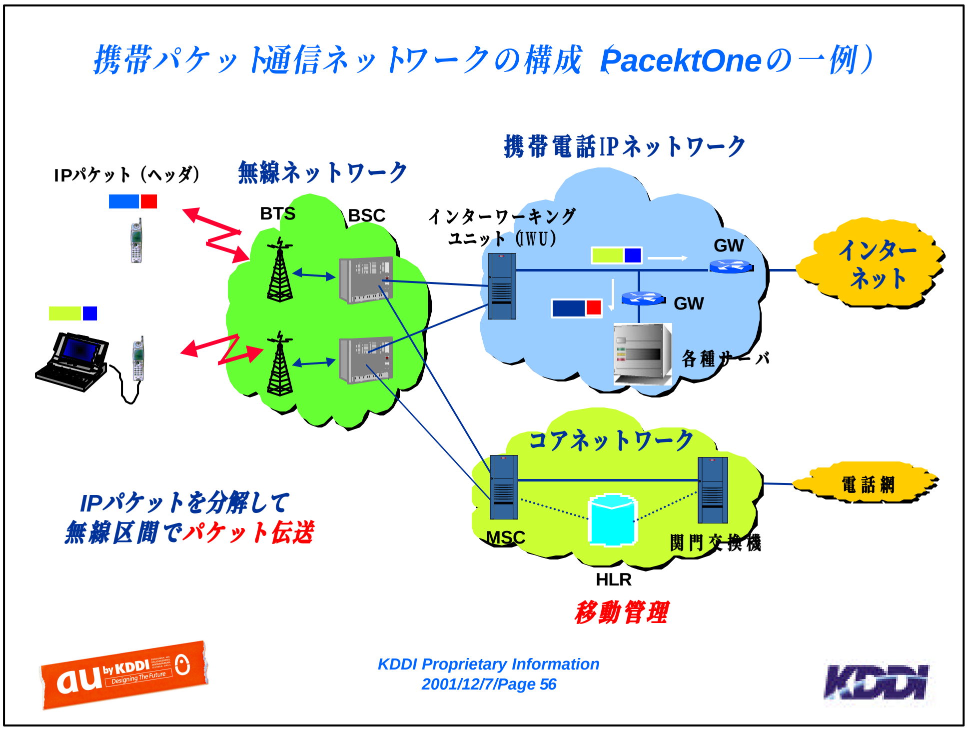
KDDI Proprietary Information
2001/12/7/Page 53

7. 携帯電話ネットワークにおけるパケット通信とインターネット接続

KDDI Proprietary Information
2001/12/7/Page 54

© 2001, by Hideo Okinaka, KDDI





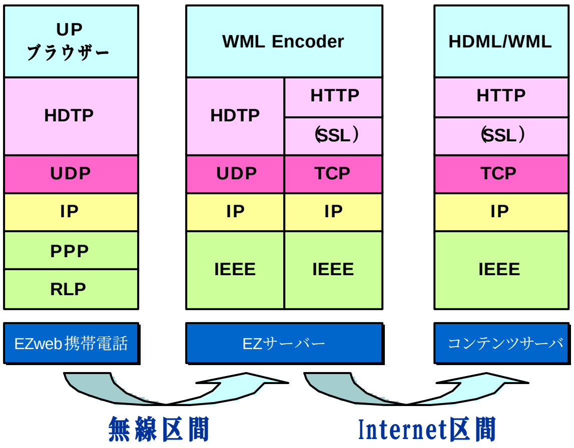
© 2001, by Hideo Okinaka, KDDI

国内携帯電話三社のモバイル・インターネット接続仕様

サービス名	EZweb	iモード	J -スカイ
開発元	WAPフォーラムが策定した標準仕様	NTTドコモが策定した独自仕様	J -フォンと慶応義塾大学が共同で策定した独自仕様
ブラウザ言語	HDML/WML	C - HTML	MML
サービス事業者	au／KDDI グループ	NTTドコモ グループ	J -フォン グループ

KDDI Proprietary Information
2001/12/7/Page 57

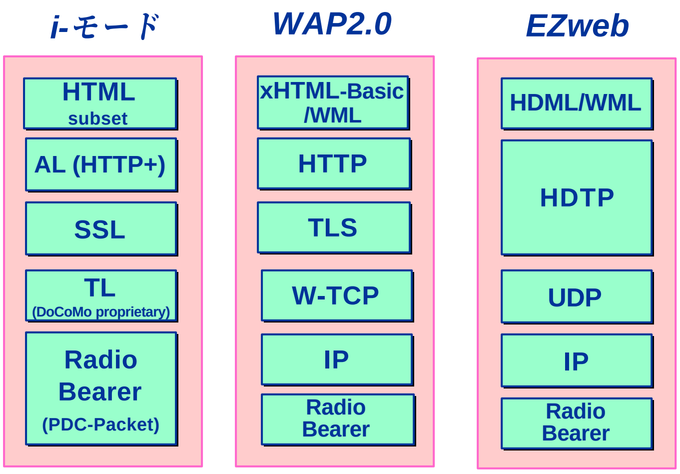
EZwebのプロトコルスタック



KDDI Proprietary Information
2001/12/7/Page 58

© 2001, by Hideo Okinaka, KDDI

iモード、EZweb、WAP2.0の無線区間プロトコルスタック



KDDI Proprietary Information
2001/12/7/Page 59

国内携帯電話三社のメール仕様

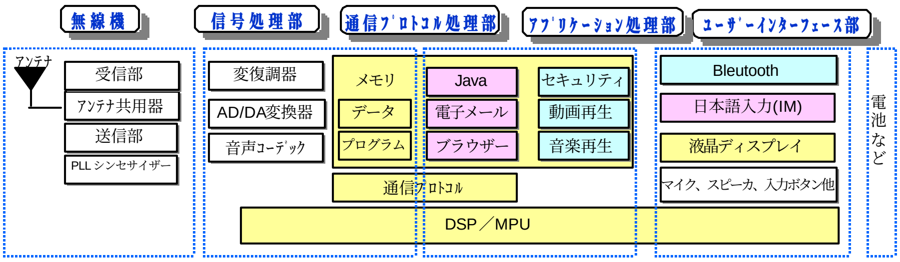
主な機能			EZweb@mail	iモード	J-スカイ
送信	最大文字数（全角文字換算）		500文字	250文字	64文字 3,000文字（ﾛﾝｸﾞﾒｰﾙ）
	添付ファイル容量		本文以外に100KB 容量は機種依存）	×	本文含み6KB
	添付ﾌｧｲﾙ形式 （※一部機種）	画像、ﾒﾛﾃﾞｨ、 アドレス、 スケジュール	PNG C-MIDI、SMAF※ vCard、vCalender	×	PNG、JPEG※ SMAF
	To、Cc、Bcc設定 （※一部機種）		To、Cc、Bccとも複数指定可（640byteまで）	Toのみ複数指定可 ※	To、Ccのみ複数指定可（5件まで）
受信	最大受信サイズ（全角文字換算）		5,000文字 3MB（サーバ）	250文字	192文字 3,000文字（ﾛﾝｸﾞﾒｰﾙ）
	受信方法		「差出人、件名」と「全文一括」の選択可	「全文一括」のみ	「差出人、件名（192文字まで）」と「全文一括」を選択可
	受信添付ファイル容量		本文以外に100KB 容量は機種依存）	×	本文含み6KB
	受信添付ﾌｧｲﾙ形式	画像、ﾒﾛﾃﾞｨ、 アドレス、 スケジュール	PNG C-MIDI、SMAF※ vCard、vCalender	×	PNG、JPEG※ SMAF
ﾒｰﾙの保存	保存期限 容量		期限30日 サーバ容量3MB	期限30日 50件	期限30日
その他	受信メール自動転送		転送先設定2件	×	×
	外部からのﾒｰﾙｻｰﾊﾞ接続		○（au.NET経由）	×	×

KDDI Proprietary Information
2001/12/7/Page 60

© 2001, by Hideo Okinaka, KDDI

8. 携帯電話機の中は？

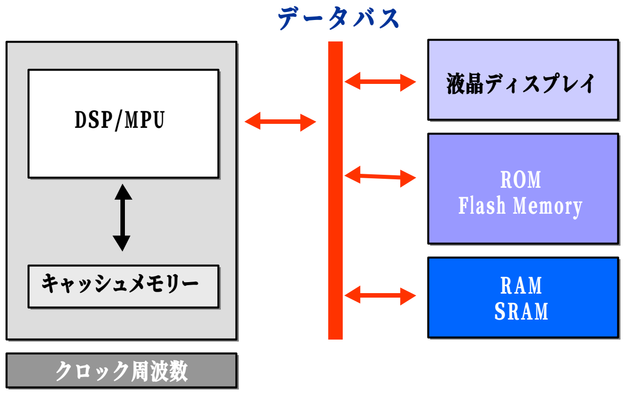
携帯電話機の中身



- モバイル・インターネットを支える重要なハードウェア
- (一部)搭載済みの重要なアプリケーション
- 今後搭載が予想される重要な機能

© 2001, by Hideo Okinaka, KDDI

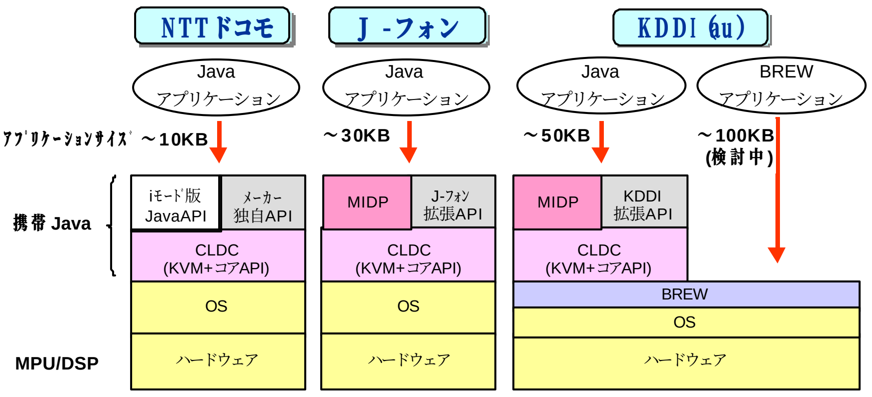
ハードウエアの現状



DSP/MPUの周辺機能の構成例

KDDI Proprietary Information
2001/12/7/Page 63

国内携帯電話三社のJAVA仕様



•API(Application Program Interface) :アプリケーションからOSの用意した各機能を使うための仕組み
•MIDP(Mobile Information Device Profile) :CLDCの中で、特にMobile端末向けのプロファイル
•CLDC(Connected. Limmited Device Configuration) 処理能力の限られた端末用に開発されたJava
•KVM :K Virtual Machine 携帯電話、PDAなどの端末用に開発されたVM

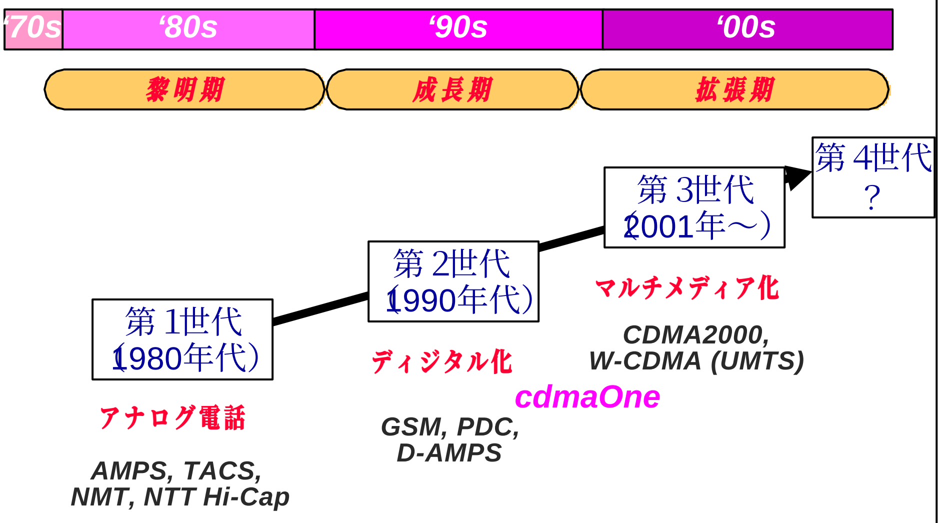
KDDI Proprietary Information
2001/12/7/Page 64

© 2001, by Hideo Okinaka, KDDI

9. 第三世代携帯電話技術の動向

KDDI Proprietary Information
2001/12/7/Page 65

第三世代とは何か？



KDDI Proprietary Information
2001/12/7/Page 66

© 2001, by Hideo Okinaka, KDDI

複数あるIMT-2000無線アクセス方式

地上系TDD	地上系FDD	衛星系
UTRA (TD-SCDMA) DECT	CDMA2000 UTRA(W-CDMA/UMTS) UWC-136	6方式

脚注

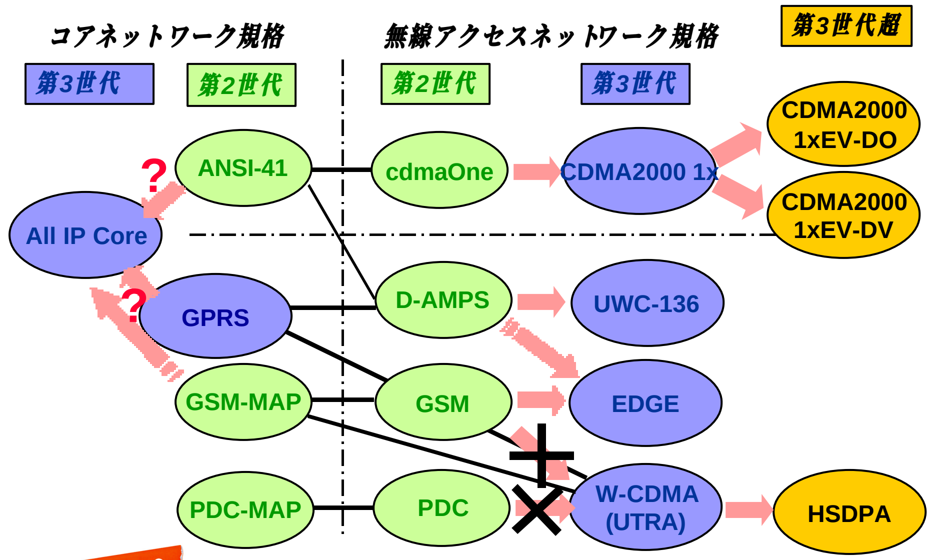
UTRA : Universal Terrestrial Radio Access
（欧州で開発された際の無線方式規格の名称）

UMTS : Universal Mobile Telecommunication Systems
（欧州におけるW-CDMAの名称）

DECT : Digital Enhanced Cordless Telecommunications
（欧州で開発されたディジタルコードレス電話規格）

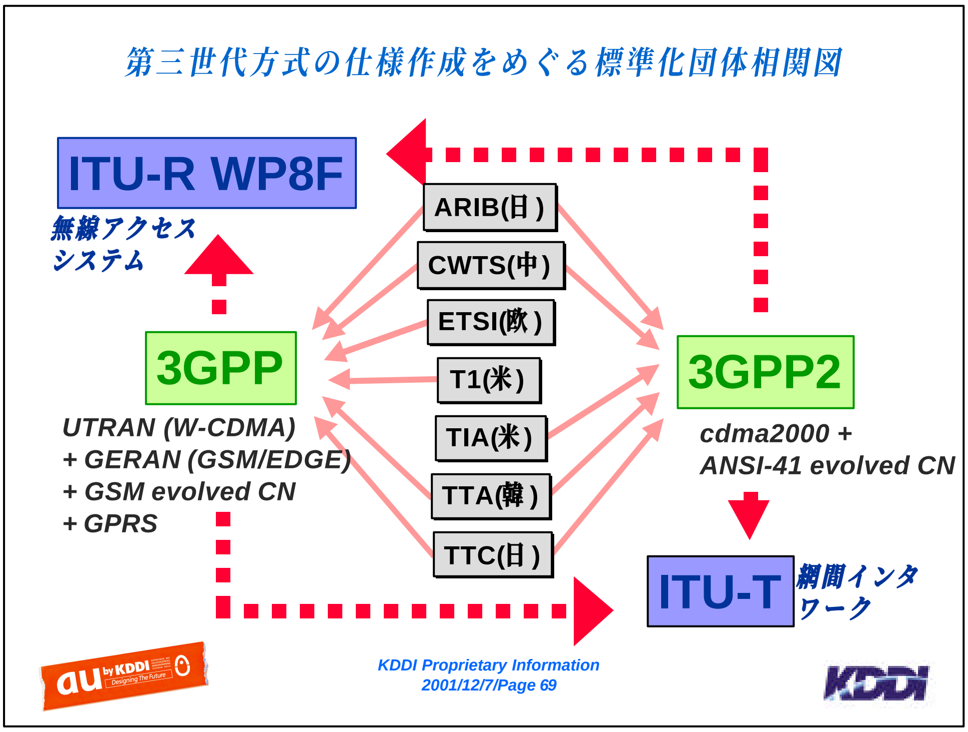
KDDI Proprietary Information
2001/12/7/Page 67

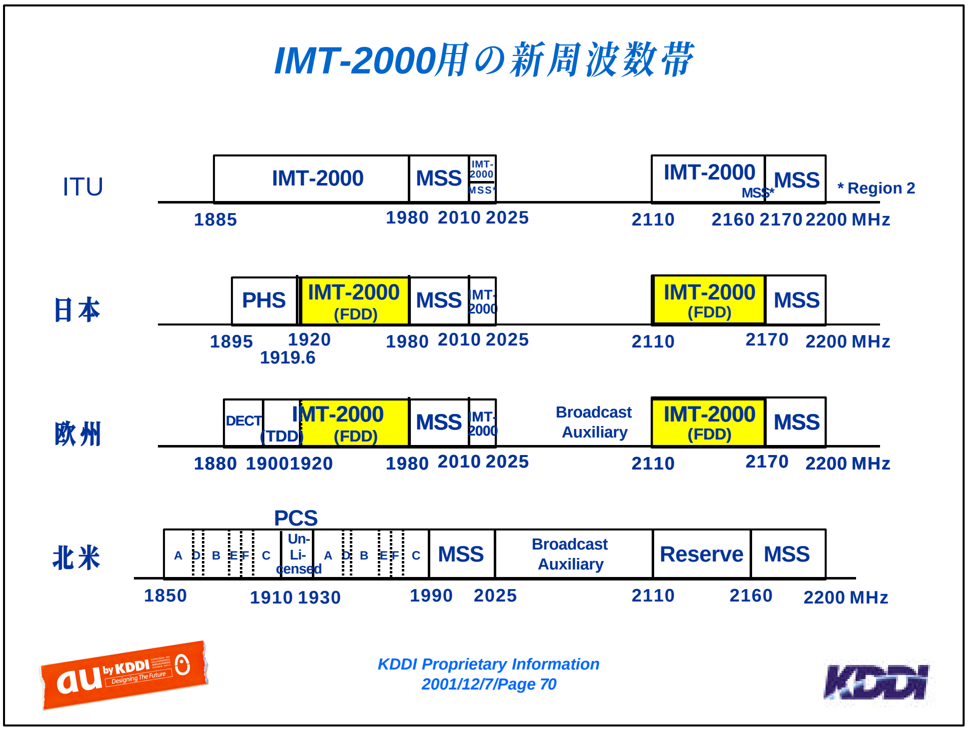
第三世代に向けての進化（Evolution）シナリオ



KDDI Proprietary Information
2001/12/7/Page 68

© 2001, by Hideo Okinaka, KDDI





© 2001, by Hideo Okinaka, KDDI

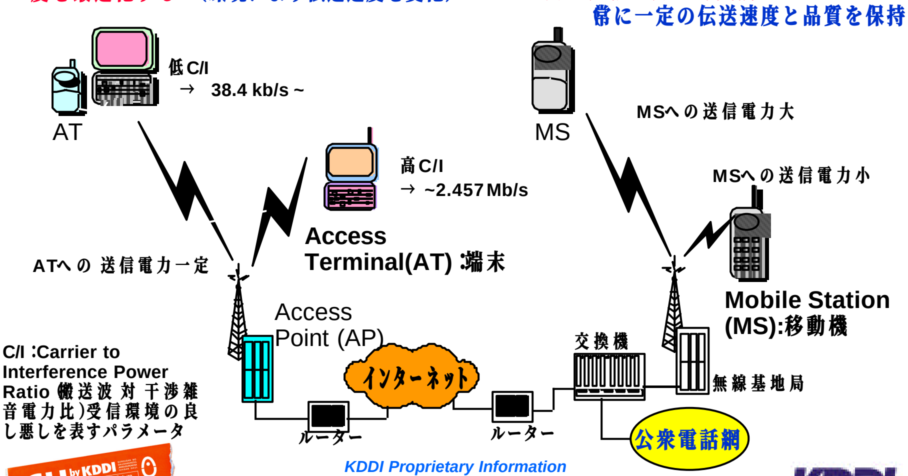
無線のADSLを目指すCDMA2000 1xEV-DO

CDMA2000 1xEV-DO

ATで測定したC/Iに応じて、瞬時瞬時にデータ速度を最適化する　（環境により伝送速度を変化）

CDMA2000 1x

MSの受信電力が一定になるように無線基地局の送信電力を可変調整
（常に一定の伝送速度と品質を保持）



KDDI Proprietary Information
2001/12/7/Page 71

CDMA2000ファミリとW-CDMAの方式比較

方式		CDMA2000 1xEV-DO	cdmaOne (IS-95B)	CDMA2000 1x	W-CDMA
帯域幅		1.25 MHz	1.25 MHz	1.25 MHz	5 MHz
通信サービス		データ	音声＋データ	音声＋データ	音声＋データ
接続タイプ		パケット	回線＋パケット	回線＋パケット	回線＋パケット
最大伝送速度 (bit/s)	FL	2.4 M	64 k	153.6 k	384 k (〜2M)
	RL	153.6 k	14.4 k	64 k (153.6 k)	64 k (384 k)
セクタースループット Forward Link)		600 kbps 以上	約125 kbps	約220 kbps	約1000 kbps
効率 (bps/Hz)		0.48	0.1	0.18	0.2

効率的なデータ伝送

KDDI Proprietary Information
2001/12/7/Page 72

© 2001, by Hideo Okinaka, KDDI

有り難うございました

www.kddi.com

KDDI Proprietary Information
2001/12/7/Page 73

© 2001, by Hideo Okinaka, KDDI