

TRAIN協会 第3回講演会
「無線ネットワーク」

ブロードバンド無線アクセスの動向

平成13年3月17日

KDD研究所

篠永 英之

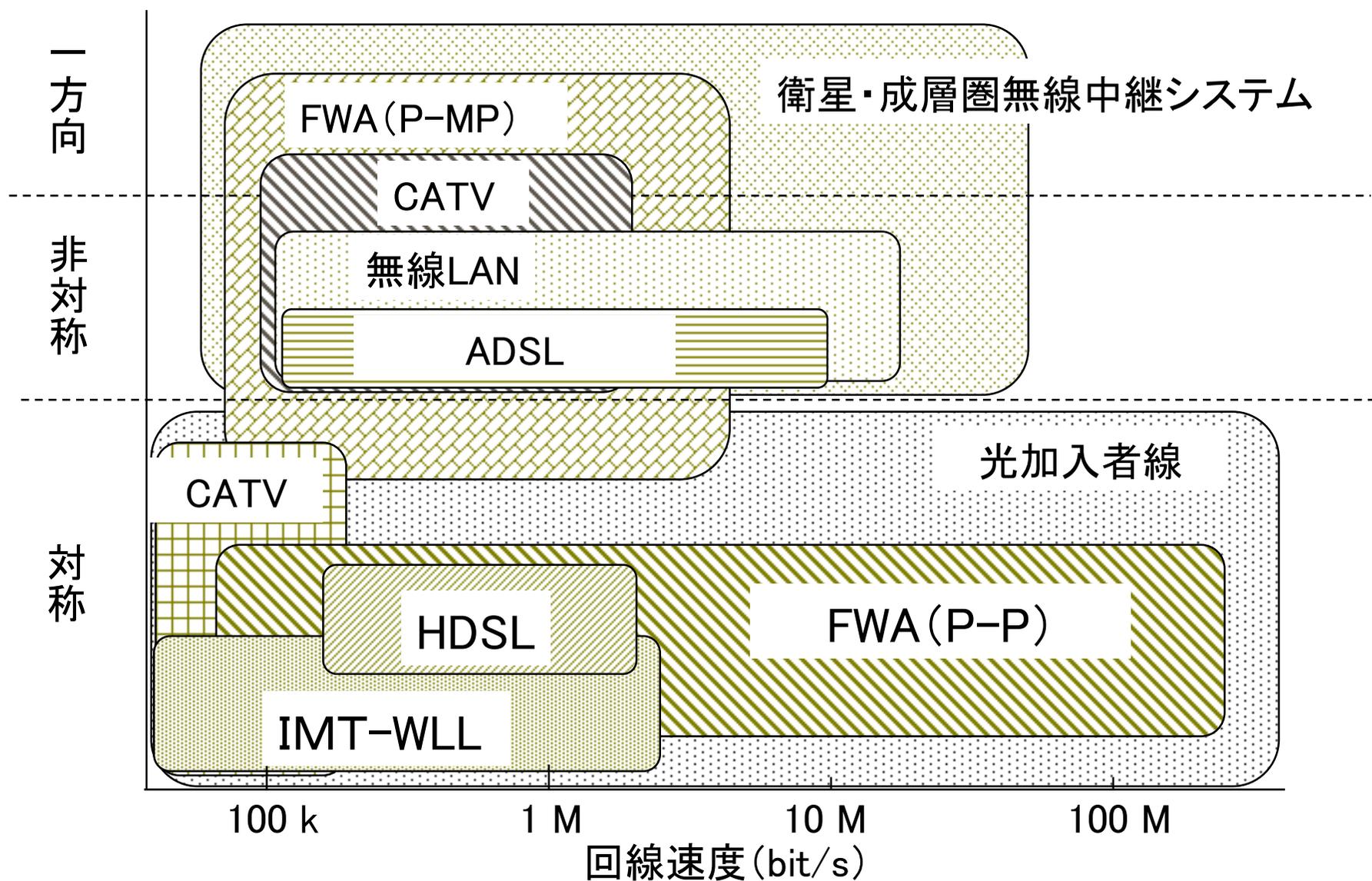
ブロードバンドアクセスの実現手段

- 光ファイバ網
- 同軸ケーブル(CATV網)
- メタリック(xDSL)
- 加入者系無線アクセス(FWA)
- 移動通信システム(PHS-WLL、PDC、IMT-2000)
- 無線LAN(2.4 GHz ISMバンド、5 GHz帯)
- 衛星通信(静止衛星、低軌道衛星)
- 光空間ビーム伝送システム
- 成層圏無線中継システム

日本の周波数割り当て

| | | | |
|---------|--------------|------------|-----------------------|
| 300 GHz | ミリ波 | 60 GHz帯 | 無線アクセス、無線LAN |
| | | 47 GHz帯 | 成層圏無線中継システム |
| | | 38 GHz帯 | } |
| 30 GHz | 準ミリ波 | 26 GHz帯 | |
| | | 22 GHz帯 | 加入者系無線アクセス (FWA) |
| | | 19 GHz帯 | |
| | | 14/12 GHz帯 | 衛星インターネット |
| 10 GHz | マイクロ波 | 5 GHz帯 | 無線LAN |
| 3 GHz | | 準マイクロ波 | 2.4 GHz帯 |
| | 2 GHz帯 | | IMT-2000、衛星携帯電話 (ICO) |
| | 1.9 GHz帯 | | PHS |
| | 1.5/1.6 GHz帯 | | 移動衛星通信システム (インマルサット) |
| | 1.5 GHz帯 | | } |
| 1 GHz | 900 MHz帯 | } | |
| | 800 MHz帯 | | 携帯電話 (PDC) |
| 300 MHz | | | |

各メディアの適用領域

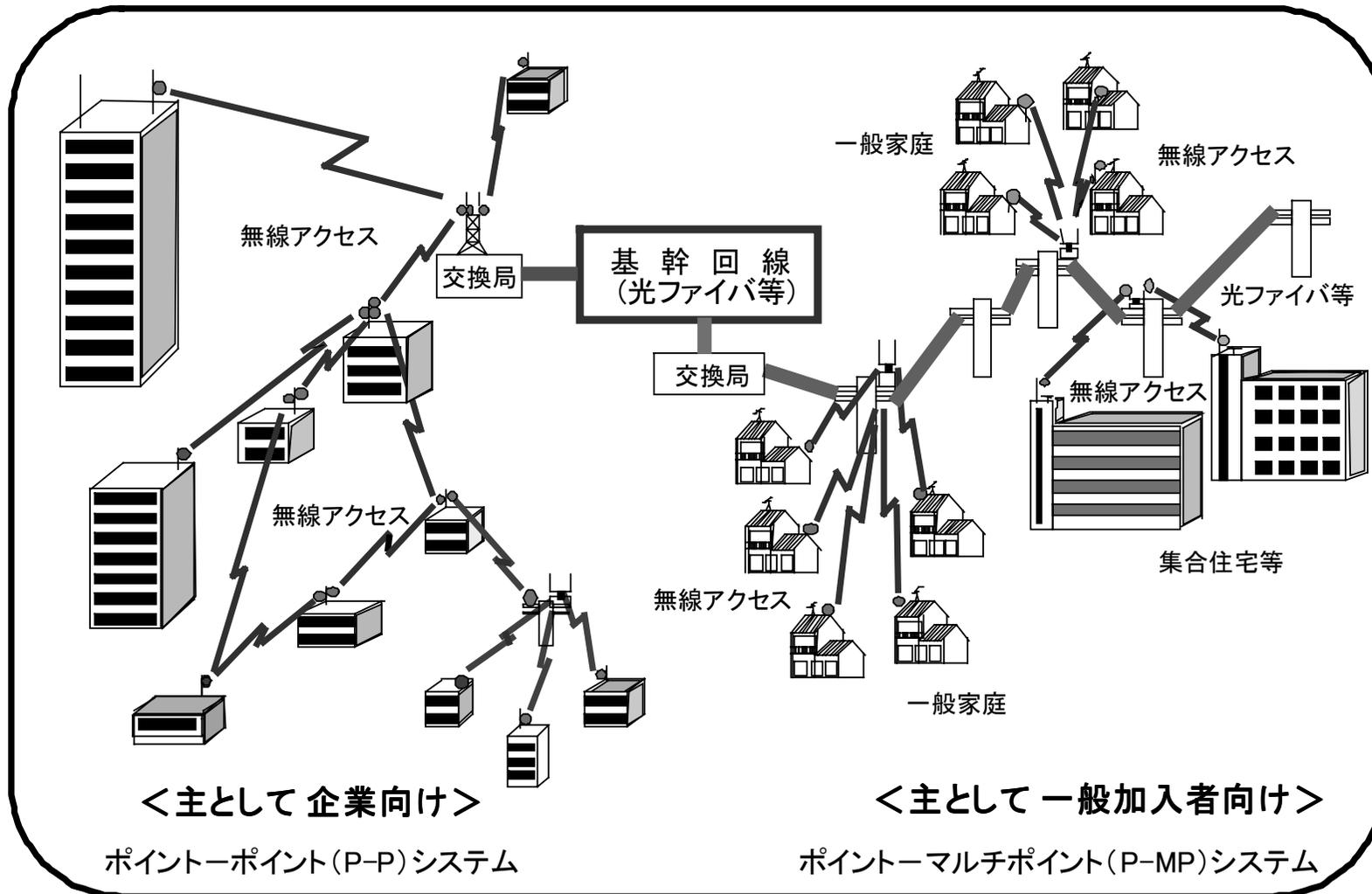


加入者系無線アクセス FWA (Fixed Wireless Access)



- 準ミリ波・ミリ波システム (22, 26, 38 GHz)

準ミリ波・ミリ波加入者系無線アクセス(FWA)



22/26/38 GHz帯の開放

FWAに関する答申概要（平成10年3月）

◆ 電気通信技術審議会答申（諮問第93号）

- 22／26／38 GHz帯で新規周波数を割り当て
- FWAの技術的条件規定
- 狙い：地域通信市場の競争促進
マルチメディアアプリケーションの早期普及

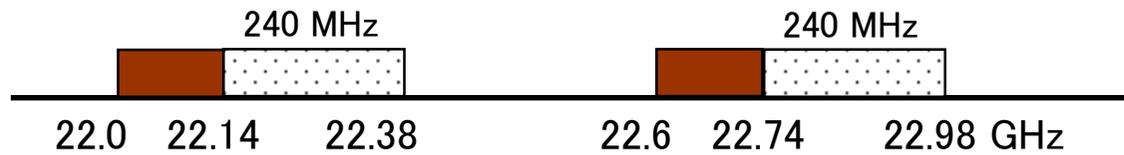
◆ 電波監理審議会答申（諮問第34号）

- P-P : 22／26／38 GHz
P-MP: 26／38 GHz
- 各社への割り当てはブロック単位：1ブロック帯域幅 = 60 MHz × 2(送受)
- 割り当てブロック枠

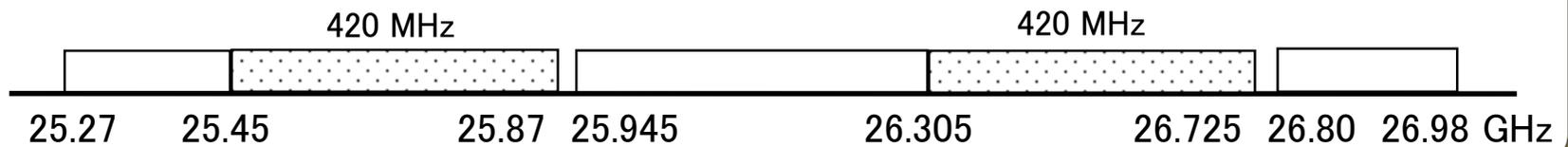
| | 11年1月～ | 11年4月～ | 13年X月～ |
|---------|--------|--------|--------|
| 22GHz 帯 | 3 | 4 | 4 |
| 26GHz 帯 | 7 | 7 | 13 |
| 38GHz 帯 | 7 | 7 | 7 |

FWA用周波数

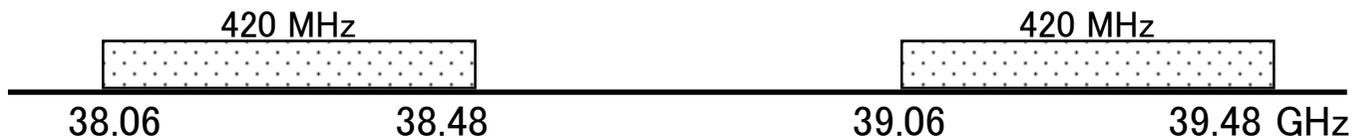
22 GHz帯

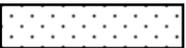


26 GHz帯



38 GHz帯



-  現行のシステム用割り当て帯域(平成11年開放)
-  平成13年X月に開放予定の帯域
-  平成10年以前に割り当ての旧システム帯域

答申のP-Pシステム

- 高速系52/156 Mbit/s: 16値以上のQAM
低速系6~45 Mbit/s: 4相PSK、4値FSKまたは16値以上のQAM
(なお、現状はQAMについては告示で64値までが認められている)
- 現行22 GHz, 6 Mbit/sは当面併存
- 誤り訂正は任意
- 監視制御機能あり
- 占有周波数帯幅は変調方式毎に許容値で規定
- 空中線電力: 500 mW以下
- スプリアス: 50 μ W以下
- 空中線特性: e.i.r.p. マスクで規定 (30~120 cm ϕ パラボラ相当)

6 Mbit/s P-P FWA諸元例

| | A社 | B社、C社 |
|--------|-----------------------------------|-------------------------------|
| 周波数帯 | 22.26～22.32 GHz / 22.86～22.92 GHz | |
| 所要帯域幅 | 10 MHz | 7.5 MHz |
| 通信方式 | FDD | |
| 変調方式 | 4値FSK(変調指数=0.7) | QPSK |
| FEC | 有り(リードソロン) | 無し/有り(BCH) |
| 伝送容量 | 1.544 Mbit/s × 4 | 1.544 Mbit/s × 4、6.312 Mbit/s |
| 送信出力 | 最大17または22 dBm | 最大23 または 20 dBm |
| 受信雑音指数 | 7 dB以下 | 8.5 または 8 dB以下 |
| 使用アンテナ | 30 cm φ 60 cm φ 120 cm φ | 30 cm φ 60 cm φ |

156 Mbit/s P-P FWA諸元例

| | D社、E社、F社 |
|--------|---|
| 周波数帯 | 22.26～22.32 GHz / 22.86～22.93 GHz |
| 所要帯域幅 | 60 MHz (1ブロック幅) |
| 通信方式 | FDD |
| 変調方式 | 16QAM |
| FEC | 有り(Block Code/Viterbi Decoding) / 有り(リードソロモン) |
| 伝送容量 | 156 Mbit/s |
| 送信出力 | 最大17、12 dBm / 最大18 または 20 dBm |
| 受信雑音指数 | 6 dB以下 |
| 使用アンテナ | 30 cm ϕ 60 cm ϕ 120 cm ϕ |

答申のP-MPシステム

- FDMAまたはTDMA
- FDDまたはTDD
- 変調方式：GMSK、4相PSK、16値以上のQAM
(なお、現状はQAMについては告示で64値までが認められている)
- 誤り訂正は任意
- 監視制御機能あり
- 占有周波数帯幅は変調方式毎に規定
- 空中線電力：500 mW以下
- スプリアス：50 μ W以下
- 空中線特性：加入者局のみ規定 (利得 \geq 20 dBi)

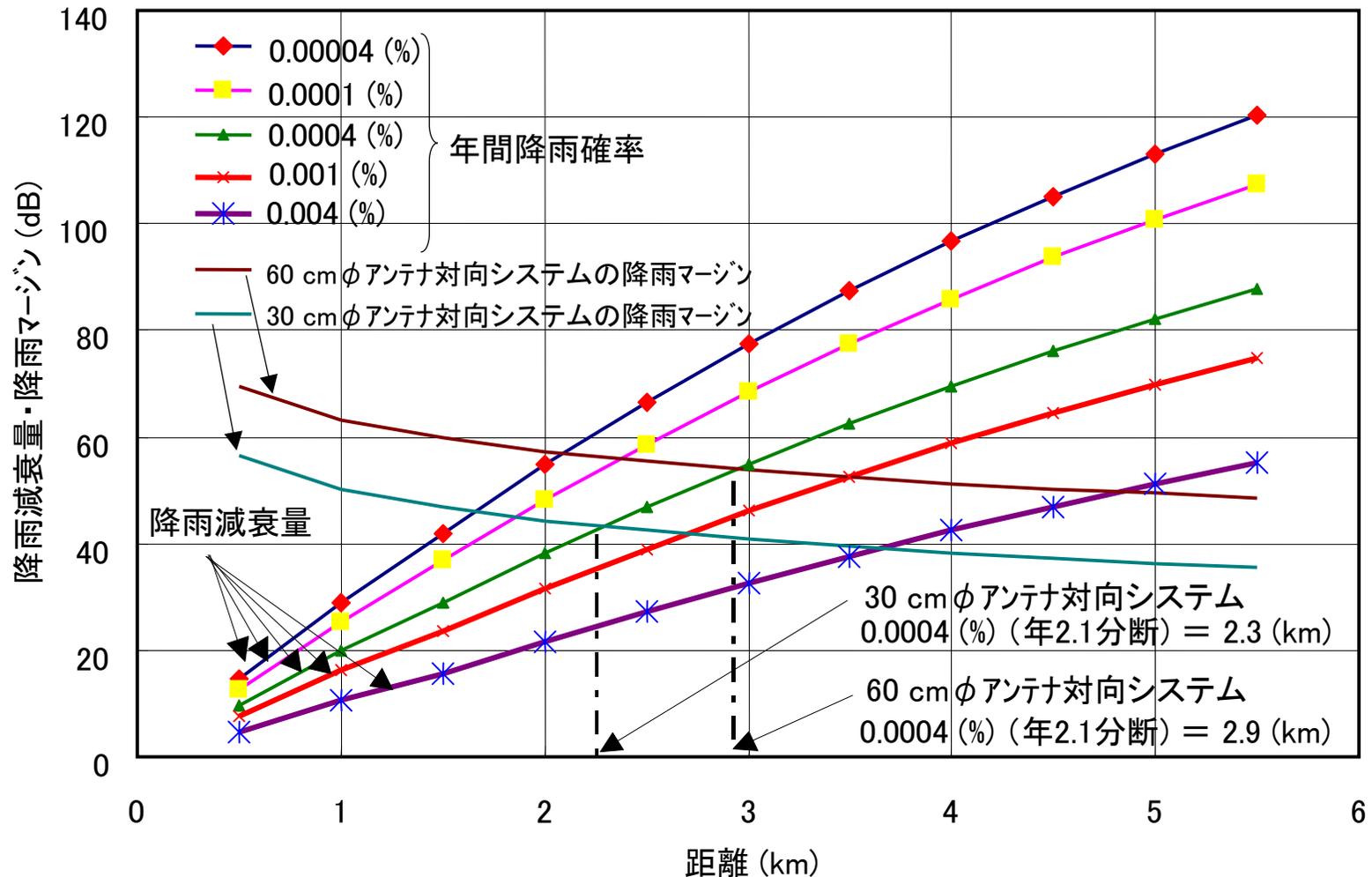
P-MP FWA (FDD方式) 諸元例

| | G社 | | H社 | |
|--------|-----------------------------|---------------------------------|---------------------------|----------|
| | 基地局⇒子局方向 | 子局⇒基地局方向 | 基地局⇒子局方向 | 子局⇒基地局方向 |
| 周波数帯 | 38 GHz | | 26 GHz | |
| 所要帯域幅 | 10 MHz | 3.5 または 7 MHz | 12.5 MHz | |
| 通信方式 | TDM/FDMA/FDDまたはTDM/TDMA/FDD | | TDM/TDMA/FDD | |
| 変調方式 | QPSK (16QAM/64QAMも可) | | QPSK (64QAMも可) | |
| FEC | リトソロン | | リトソロン | |
| 伝送容量 | 12.51 Mbit/s (QPSKの場合) | 7.35 Mbit/s (7 MHz幅のQPSKの場合) | 12.51 Mbit/s (QPSKの場合) | |
| 送信出力 | 最大21 dBm | 最大16 dBm | 最大24 dBm | 最大24 dBm |
| 受信雑音指数 | 7.5 dB 以下 | | 7.5 dB 以下 | |
| 使用アンテナ | セクタアンテナ | 30 cm φ | セクタアンテナ | 40 cm φ |

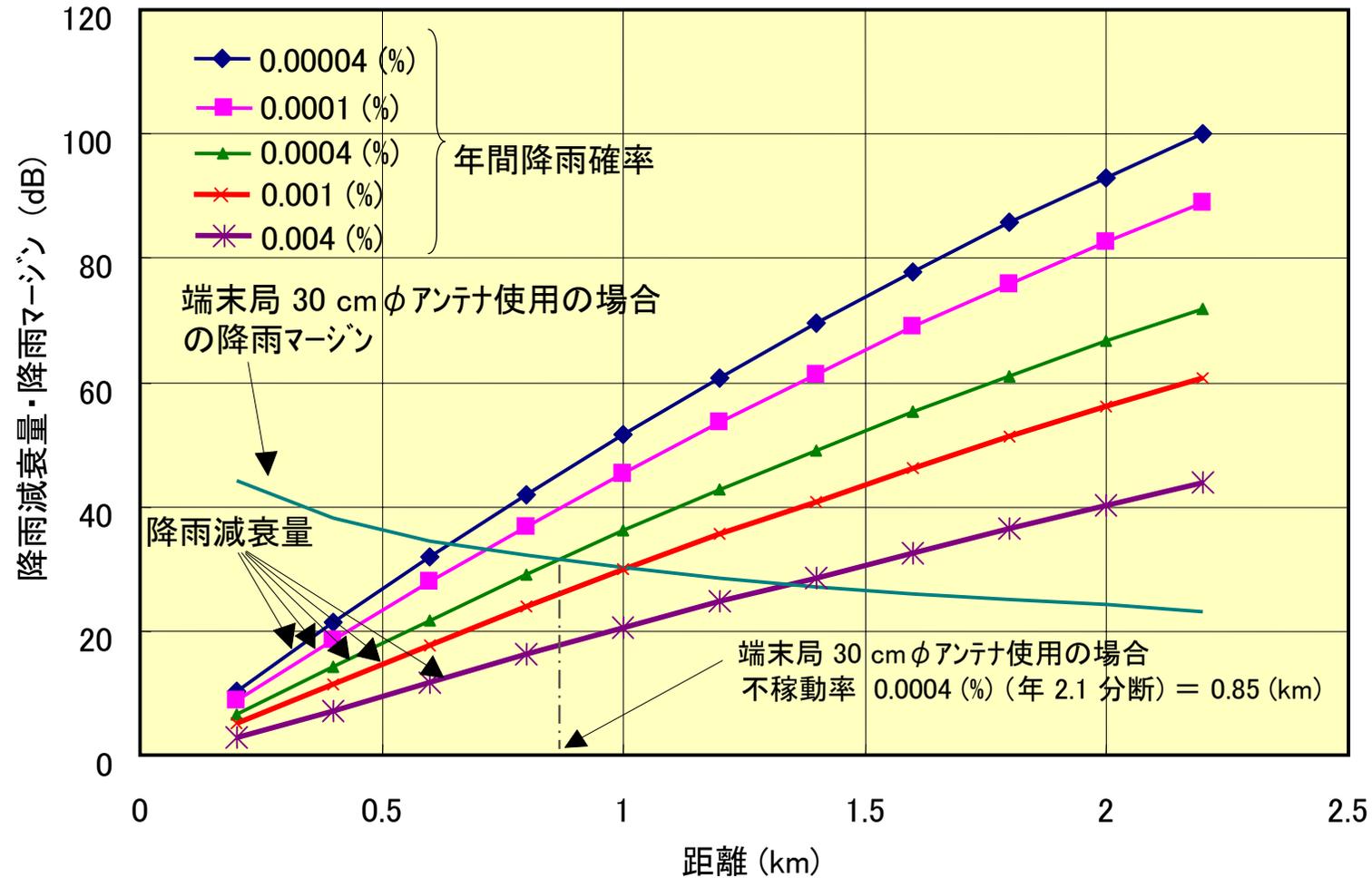
P-MP FWA (TDD方式) 諸元例

| | I社 | | K社 | |
|----------|--|-----------------|-----------------|----------|
| | BS⇒CPE方向 | CPE⇒BS方向 | BS⇒CPE方向 | CPE⇒BS方向 |
| 周波数帯 | 26 / 38 GHz | | 26 GHz | |
| 周波数配置 | 20 MHz間隔 | | 30 MHz間隔 | |
| 通信方式 | TDM/TDMA/TDD | | TDM/TDMA/TDD | |
| 変調方式 | DQPSK | | DQPSK | |
| FEC | BCH | | リードソロン | |
| 最大情報伝送容量 | 16 Mbit/s | | 24 Mbit/s程度(推定) | |
| 送信出力 | 最大17 dBm @ 26 GHz 最大15 dBm @ 38 GHz | | 最大19 dBm | |
| 受信雑音指数 | 7 dB以下 | | 7 dB程度以下(推定) | |
| 使用可能アンテナ | セクタアンテナ | 20, 30, 60 cm φ | セクタアンテナ | 30 cm φ |

22 GHz帯における通信距離と降雨減衰量の関係



38 GHz帯における通信距離と降雨減衰量の関係



システム外観例 (P-P FWA)

屋外設備

ODU (Out Door Unit) + Antenna

Size: 393mm ϕ × 320mmD

Weight: 16kg



屋内設備

IDU (In Door Unit)

Size: 480mmW × 66mmH × 300mmD

Weight: 4.5kg



システム設置例(P-P FWA)



システム外観例(P-MP FWA基地局設備)

屋外設備

ODU(Out Door Unit)+セクタアンテナ

寸法:ODU 220mmφ × 143mmD

ANT 206mmW × 338mmH × 144mmD

重量:ODU+ANT 10.5kg



屋内設備

IDU(In Door Unit)

寸法: 483mmW × 199mmH × 307mmD

重量:11kg



システム外観例 (P-MP FWA加入者局設備)

屋外設備

ODU (Out Door Unit)+指向性ビームアンテナ

寸法:ODU 220mmφ × 143mmD

ANT 220mmφ × 80mmD

重量:ODU+ANT 5.9kg



屋内設備

IDU (In Door Unit)

寸法:50mmW × 226mmH × 301mmD

(縦置きの場合)

重量:2.1kg



横置きの場合



縦置きの場合

海外のFWAの状況

- 米国

- 24、31、38 GHz帯等を利用したFWAが大きな事業
- WinStar、Teligent、ART等が全米でサービス提供
- 周波数はオークション、ANSIで技術標準制定

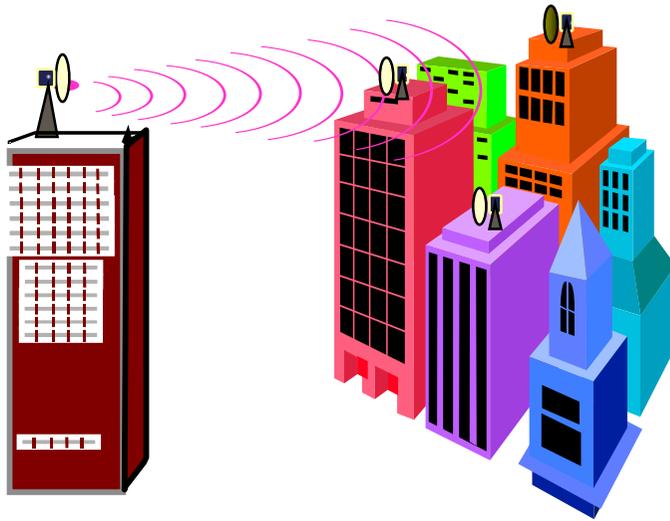
- 欧州

- 23、26、38 GHz帯等をLMDS (Local Multipoint Distribution System) 用として開放
- 英国、ドイツ、オランダ等、各国で周波数を徐々に開放
- 周波数はオークションと免許制が混在
- ETSIで技術標準制定

- アジア

- 香港、韓国、中国、台湾、シンガポール等でFWAの導入が進められている。

KDDI Winstar社



- 設立日 1998.12.28
 - 資本金 20億円
- (KDDI: 55 %、WinStar: 35 %、
住友商事: 10 %)

- 事業内容: 第一種電気通信事業
FWAをアクセス回線として設定・提供
- 使用周波数帯(平成13年4月現在):
22/38 GHz帯: P-P
26/38 GHz 帯: P-MP

広帯域データ伝送サービス

- 域内データ伝送サービス

同一の提供区域内でのend-to-endサービス

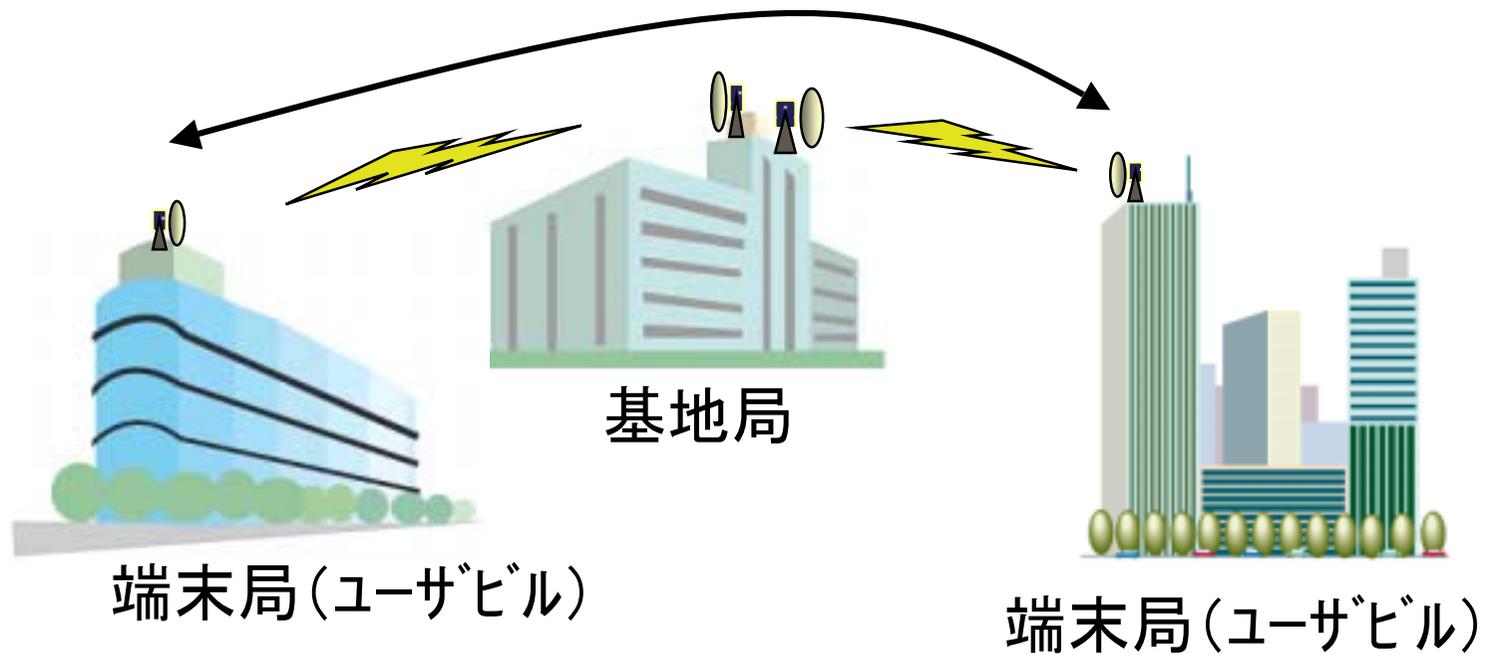
192 kbit/s ~ 1.5 Mbit/s、3/6 Mbit/s、45 Mbit/s、150 Mbit/s
(45、150 Mbit/sは1ホップに限定)

- 接続データ伝送サービス

KDDI網と相互接続するアクセス回線サービス

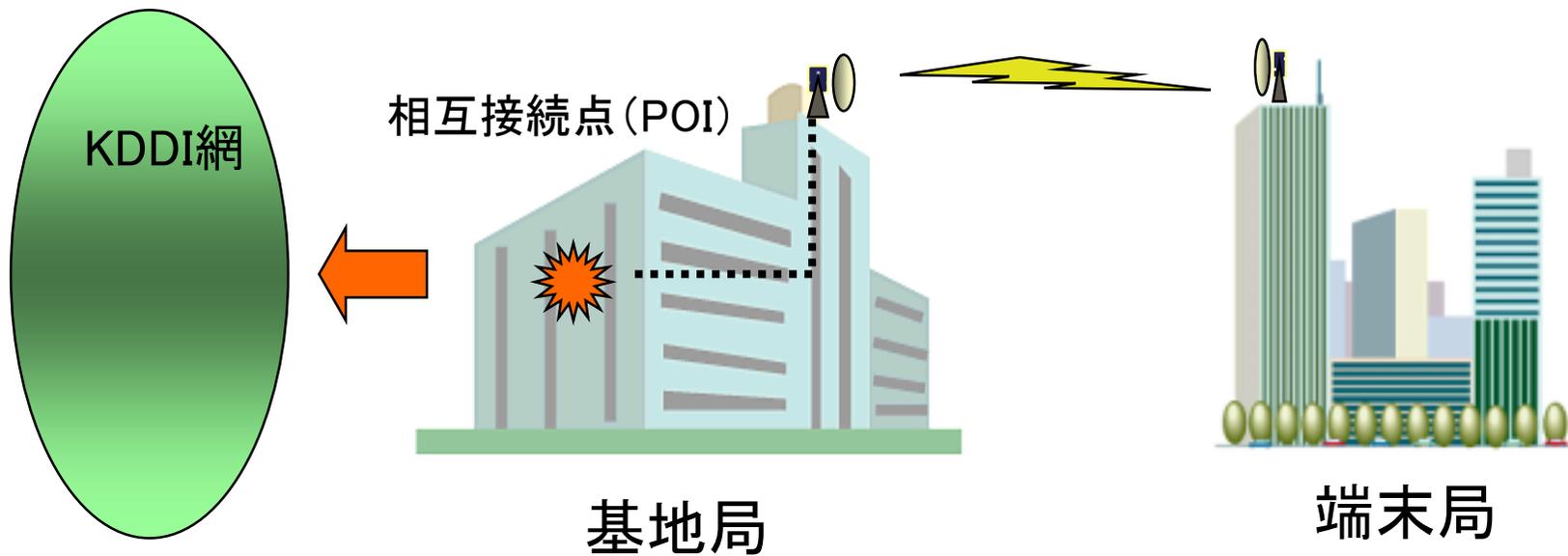
192 kbit/s ~ 1.5 Mbit/s、3/6 Mbit/s、45 Mbit/s、150 Mbit/s

域内データ伝送サービス (end-to-end)



基地局を介して2地点間を接続

接続データ伝送サービス



長距離網のアクセスサービス

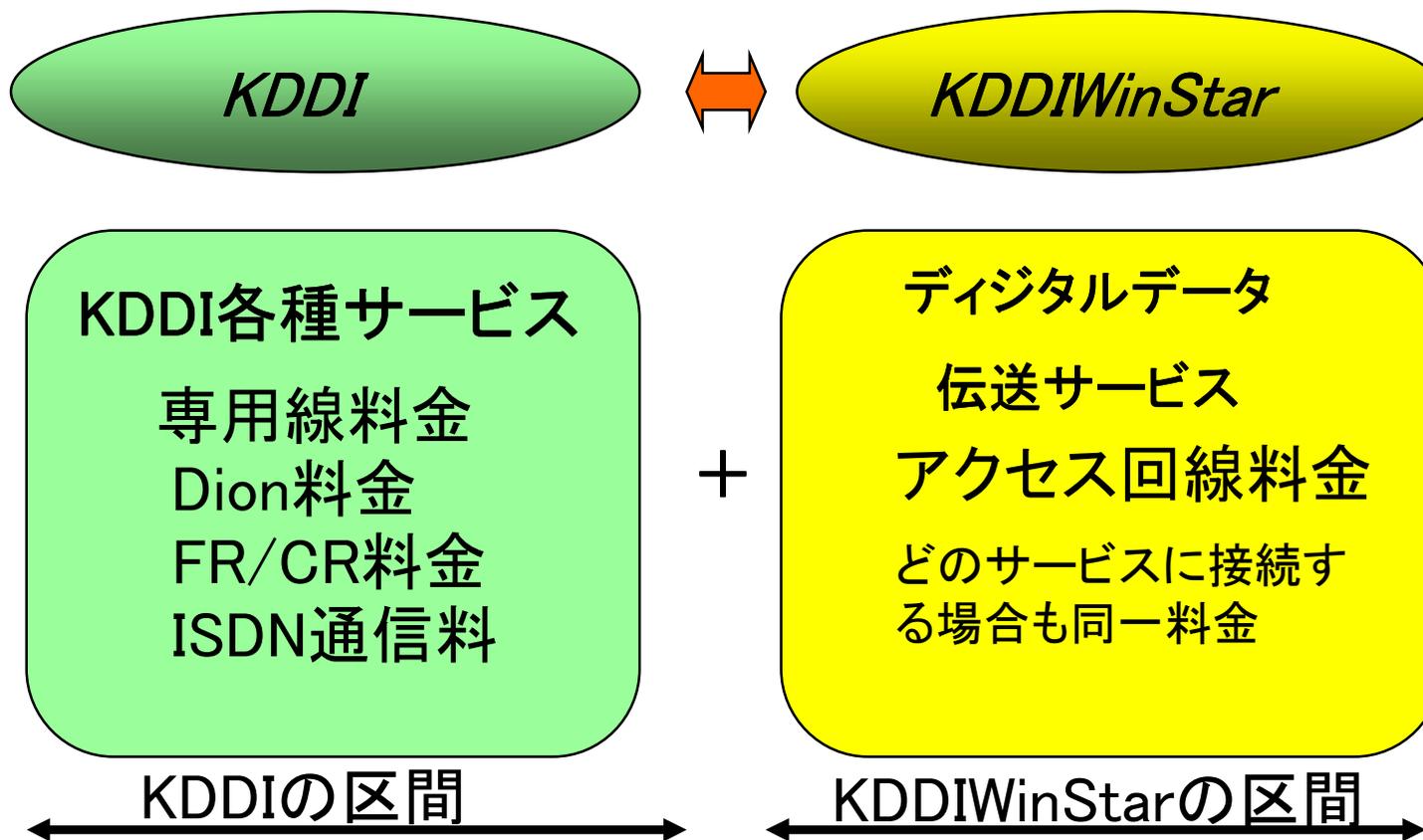
常時接続型 IPサービス

- **スーパー** : バックボーンを1ユーザが占有
⇒高品質な常時接続型インターネット
- **スタンダード** : バックボーンを複数ユーザで共用
⇒低コストな常時接続型インターネット
- **エコノミー** : バックボーンをスタンダードより多くのユーザで共用
⇒低コストな新規導入用途
バックアップ接続用途

インターフェースの提供条件

| 品目等 | 物理的条件 (コネクタの形状の一例) | 電気的条件 | | |
|--|---------------------------------------|--|-----------------------------------|-----------------------|
| | | 伝送速度 (bit/s) | 符号形式 | 送出レベル等 |
| 1.5 Mbit/s (192 kbit/s, 256 kbit/s, 384 kbit/s, 512 kbit/s, 768 kbit/s, 1 Mbit/s) | 8 端子コネクタ (ISO 標準 IS 8877 準拠) | TTC 標準 JT-G703-a 準拠 TTC 標準 JT-I431-a 準拠 | | |
| 3 Mbit/s, 6 Mbit/s | BNC 形コネクタ (JIS-C5412 準拠) | 6.312 k | TTC 標準 JT-G703-a 準拠 | |
| 45 Mbit/s | BNC 形コネクタ (JIS-C5412 準拠) | 44.736 M | TTC 標準 JT-G703 準拠 (DS3 フォーマット) | |
| 150 Mbit/s | F04 形単心光ファイバコネクタ (JIS 規格 C5973 準拠) | 155.52 M | NRZ 符号 | 光出力+3 dBm 以下 (平均値) |

料金の構成



初期費用と月額費用

☆初期費用(導入費用)

- 回線接続工事費(1,500円)
- 屋内配線工事費(実費)
- 無線設備設置工事費(実費)

☆月額費用(運用費用)

- アクセス回線の月額料金(料金表による)
- TA等の月額使用料(料金表による)
- 屋内配線使用料(料金表による)

アクセス区間の月額料金(円)

| | 域内データ伝送サービス | | 接続データ伝送サービス |
|------------|-------------|----------|-------------|
| | end-to-end | 1ホップ° | |
| 1.5 Mbit/s | 145, 000 | 118, 000 | 118, 000 |
| 3 Mbit/s | 522, 000 | 307, 000 | 307, 000 |
| 6 Mbit/s | 522, 000 | 307, 000 | 307, 000 |
| 45 Mbit/s | ----- | 659, 000 | 659, 000 |
| 150 Mbit/s | ----- | 927, 000 | 927, 000 |

その他料金(円)

| 回線 品目 | TA使用料 (月額) | 屋内配線使 用料(月額) | 工事費用(一時金) | | | |
|------------|---------------|-----------------|------------|------------|------------|--------------|
| | | | 回線接続 工事 | TA設置 工事 | 屋内配 線工事 | 無線設備 設置工事 |
| 1.5 Mbit/s | 8,500 | 2,000 | 1,500 | 実費 | 実費 | 実費 |
| 3 Mbit/s | 15,000 | 2,000 | 1,500 | 実費 | 実費 | 実費 |
| 6 Mbit/s | 15,000 | 2,000 | 1,500 | 実費 | 実費 | 実費 |
| 45 Mbit/s | --- | 2,000 | 1,500 | --- | 実費 | 実費 |
| 150 Mbit/s | --- | 2,000 | 1,500 | --- | 実費 | 実費 |

(注)TA使用料と屋内配線使用料は、ユーザにて手配する場合は不要。

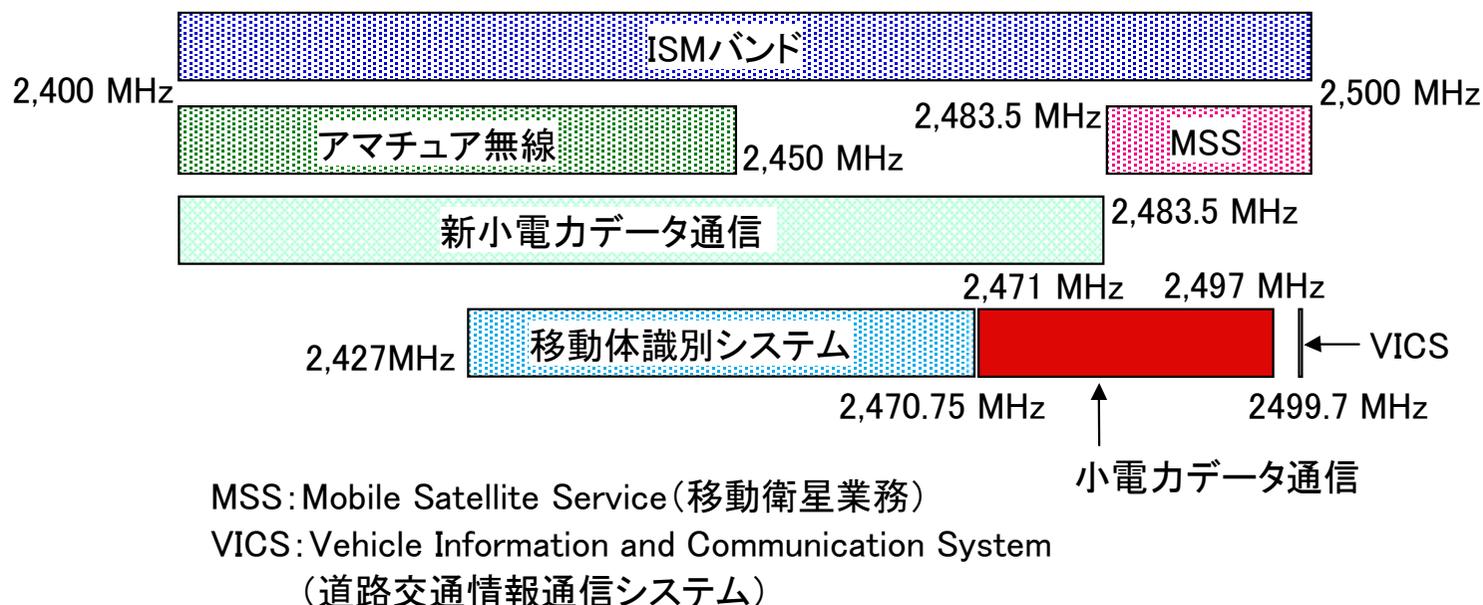
2.4 GHz帯 ISMバンドを用いた 小電力データ通信システム(無線LAN)



ISMバンドとは？

- ISMバンド: Industrial, Scientific and Medical(産業科学医療)バンド
- 電子レンジ、医療用レーザーメス、医療用ハイパーミア等が使用
- ISMバンドで運用する無線通信システムは、ISM機器からの干渉を容認する必要がある。

2.4 GHz帯における周波数割り当て



2.4 GHz帯無線LAN

- 平成4年12月、郵政省令が公布、施行
- 平成11年12月、高速化を図った新規格策定
- 免許不要な小電力データ通信システム（技術適合検査が必要）
- 電子レンジ等からの干渉の影響を極力回避するため、スペクトル拡散技術を適用
- 無線LAN割り当て帯域：2,400～2,483.5 MHz（新規格）
2,471～2,497 MHz（旧規格）
- 1チャンネル当たりの占有帯域幅：最大26 MHz
- 同時使用可能なチャンネル数：3チャンネル（新規格）

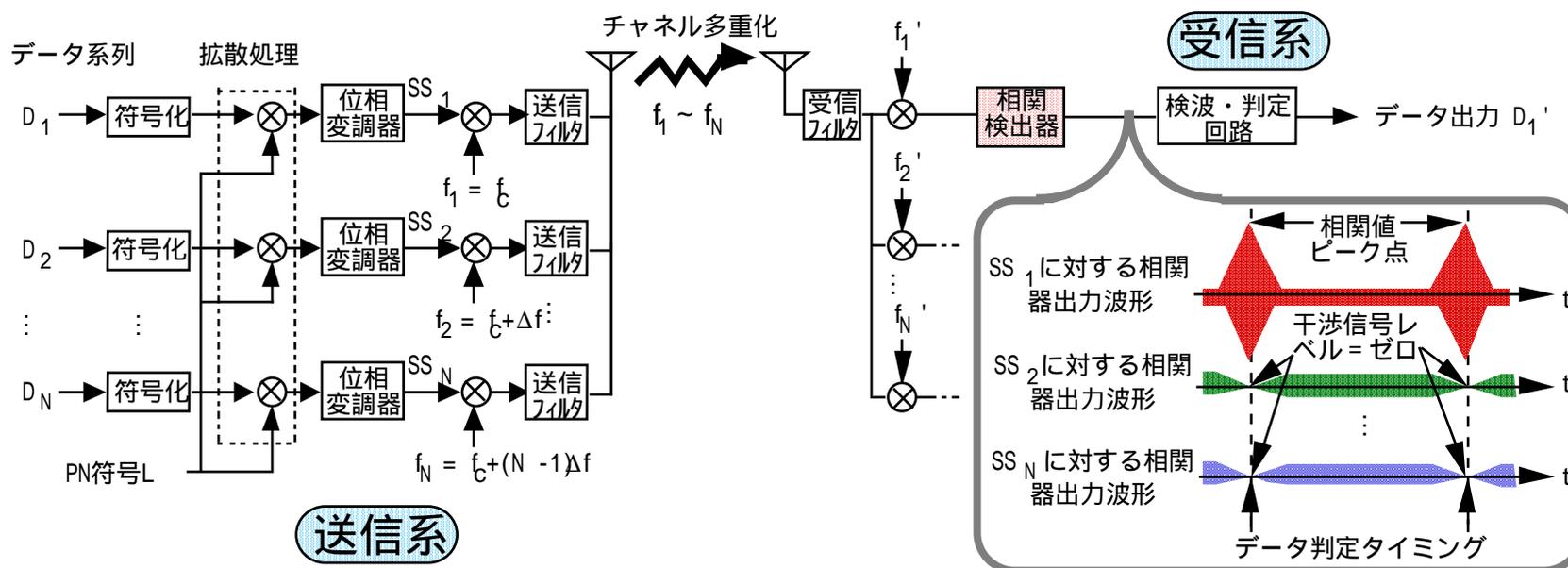
2.4 GHz帯無線LAN

- 通信速度：
 - 11、5.5、2、1 Mbit/s (IEEE802.11b準拠の無線LAN)
 - 18、10 Mbit/s (KDD研究所のCFO-SS18A、CFO-SS10A)
- 通信距離：
 - IEEE802.11b: 屋内で30～50 m、屋外見通し内で1～2 km程度
(11 Mbit/sの場合)
 - CFO-SS18A/10A: 屋外見通し内で10 km程度 (使用アンテナに依存)
- 最近の高速化検討：
 - IEEE802.11gで 20 Mbit/s以上の2.4 GHz帯高速無線LANの検討中

KDD研究所の研究開発

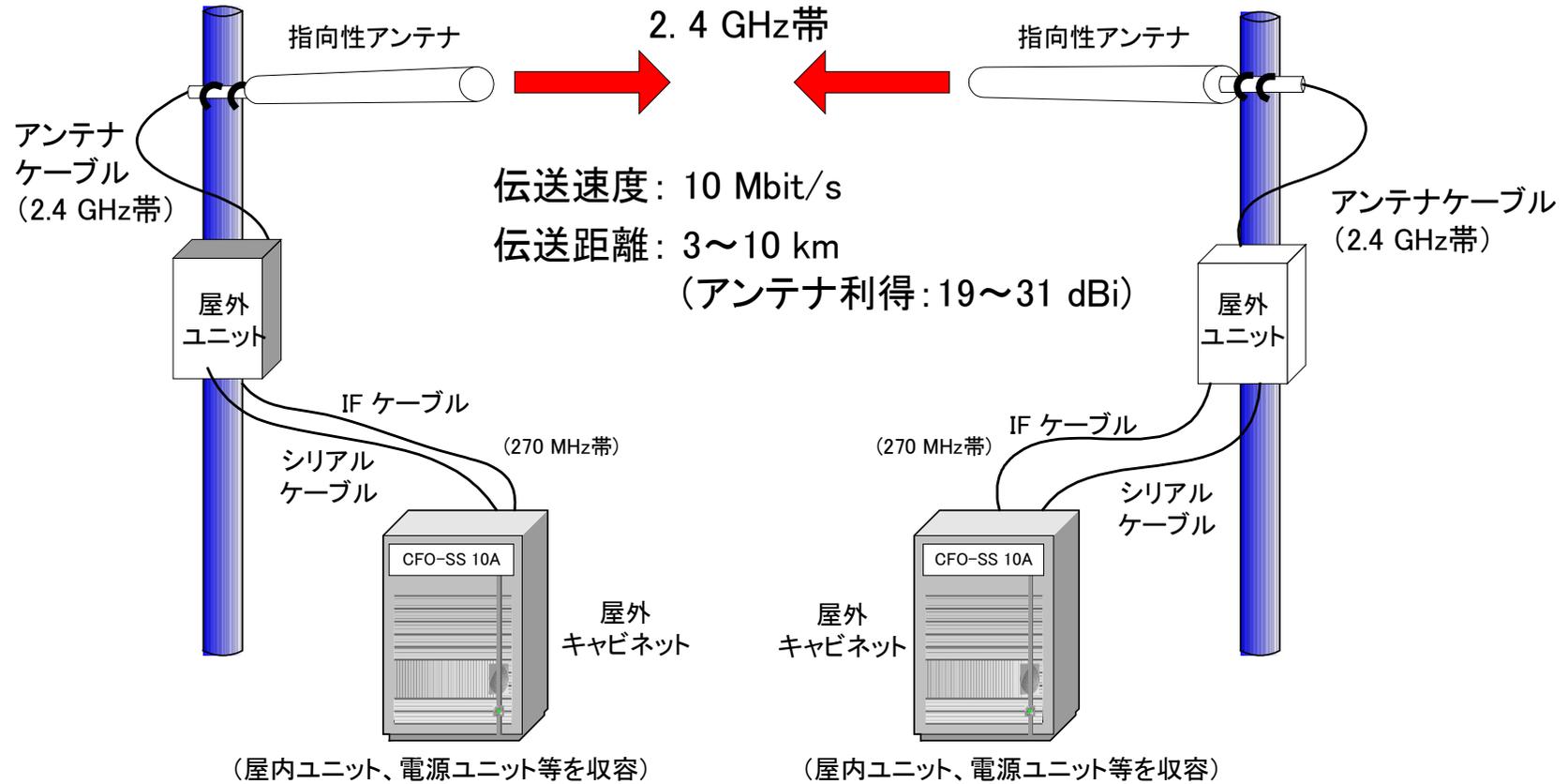
- CFO-SS (Carrier Frequency Offset-Spread Spectrum: 搬送波周波数オフセットスペクトル拡散通信) 方式

- 同一PN (Pseudo Noise: 擬似ランダム) 符号により拡散された複数の同期スペクトル拡散信号を干渉しない状態で多重化する技術



CFO-SS方式の原理

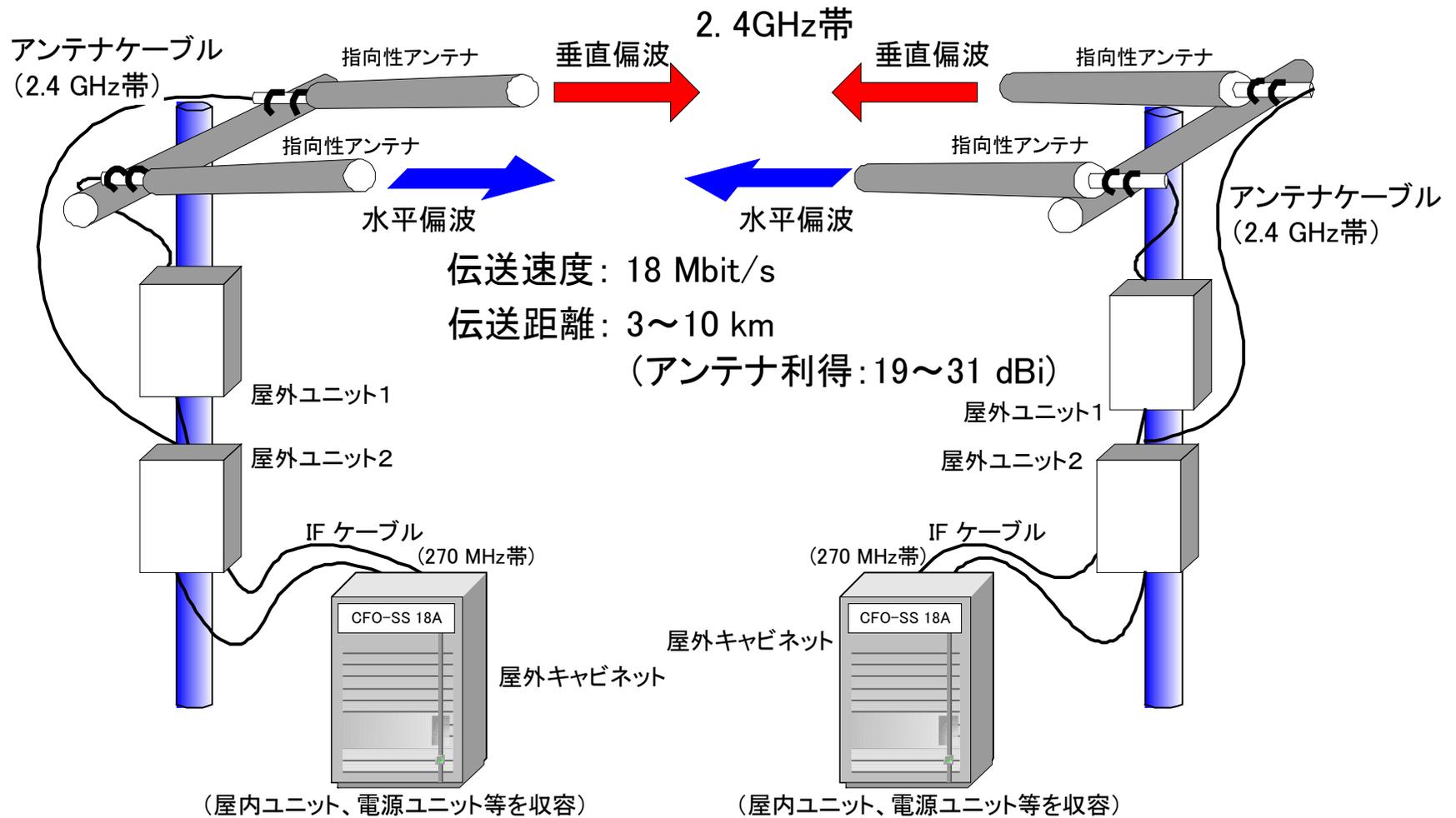
CFO-SS10Aの構成



CFO-SS10Aの外観



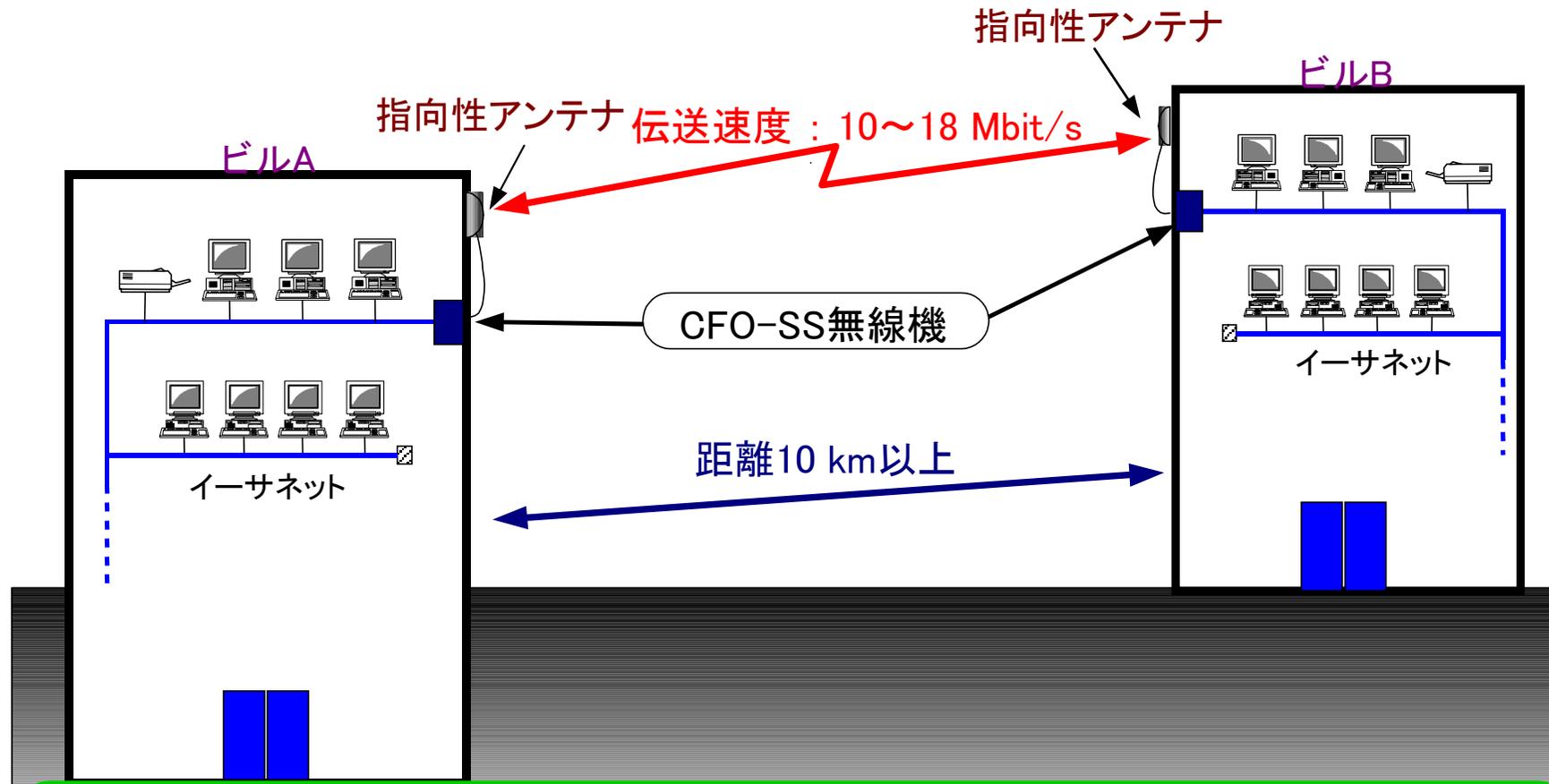
CFO-SS18Aの構成



CFO-SS18Aの外観



屋外固定無線LAN（CFO-SSシステム利用例）



- 免許不要なISMバンドを用いて、ビル間等で低コストなLAN間接続が可能
- 伝送速度10~18 Mbit/sを実現
- MPEG2等のカラー動画リアルタイム伝送システム、ポイント-マルチポイント接続等、種々のアプリケーションに対応可能

CFO-SS10A、18Aの機能

- SNMP機能
 - 無線チャンネル、動作モード、再送制御、グループID、子機ID等の設定・変更がEthernet経由で可能
 - 受信信号強度、送受信パケット数、CRCエラーパケット数等のデータをMIBによりEthernet経由で取得可能
 - PLLロック状態、システムエラー、ファン動作等をEthernet経由でモニタ可能
- 無線チャンネル切り替え機能
 - 他システムから干渉の影響を受ける場合、品質の良い別の無線チャンネルにSNMPを利用して切り替える機能
 - 周波数切り替え後に、CFO-SS間で無線チャンネルの設定確認を行い、誤設定排除

CFO-SS10A、18Aの機能

- 通信モード
 - ポイントーポイント(P-P)運用、ポイントーマルチポイント(P-MP)運用可能
 - P-MP運用において親機を経由した子機間通信可能
- セキュリティ機能
 - CFO-SS方式の特徴を生かしたスクランブル方式、データスクランブル、グループID(240兆通りのSSID)設定により通信傍受回避
- ブリッジ機能
 - MACアドレスの学習機能により、不要な無線パケットの送信回避
- ファームウェア・アップグレード機能
 - 専用ユーティリティを利用して、ファームウェアの更新可能

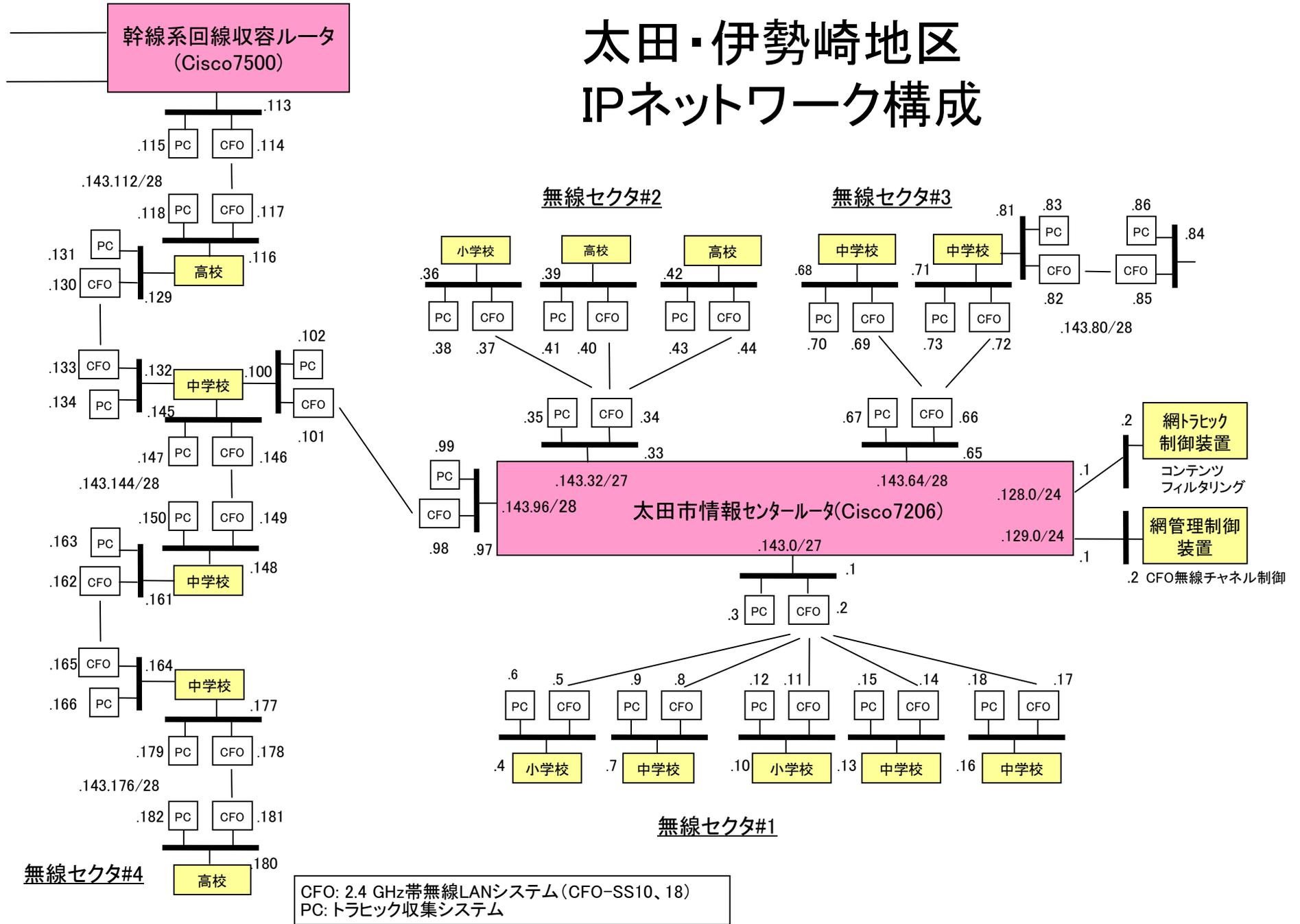
CFO-SSシステムの諸元

| | CFO-SS10A | CFO-SS18A |
|----------|---|---|
| 変調方式 | CFO-SS (Carrier Frequency Offset-Spread Spectrum) 方式 | CFO-SS方式 + DSPT (Dual-Polarization Staggered Transmission) 方式 |
| 使用周波数 | 2,400 ~ 2,483.5 MHz 2,471 ~ 2,497 MHz | 2,400 ~ 2,483.5 MHz 2,471 ~ 2,497 MHz |
| チャンネル帯域幅 | 26 MHz | 26 MHz |
| チャンネル数 | 4チャンネル (2414, 2442, 2470, 2484 MHz) | 4チャンネル (2414, 2442, 2470, 2484 MHz) |
| 伝送速度 | 10 Mbit/s | 18 Mbit/s |
| インターフェース | 10/100 Base-T | 10/100 Base-T |
| 空中線電力 | 0.08 mW/MHz | 0.08 mW/MHz |
| アンテナ利得 | 最大 24 dBi (オプションで最大31 dBi) | 最大 24 dBi (オプションで最大31 dBi) |
| アクセス制御方式 | CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance) | CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance) |
| 電源 | AC100 V、0.6 A | AC100 V、1 A |
| 動作温度 | 屋内ユニット: 0 ~ 40 °C 屋外ユニット: -10 ~ 60 °C | 屋内ユニット: 0 ~ 40 °C 屋外ユニット: -10 ~ 60 °C |
| サイズ | 屋内ユニット: W120 mm × H260 mm × D350 mm 屋外ユニット: W100 mm × H60 mm × D180 mm | 屋内ユニット: W160 mm × H260 mm × D350 mm 屋外ユニット: W100 mm × H70 mm × D180 mm |
| 重量 | 屋内ユニット: 8.5 kg 屋外ユニット: 0.9 kg | 屋内ユニット: 10 kg 屋外ユニット: 1.2 kg (2台使用) |

学校インターネット2でのとりくみ

- CFO-SSシステムを無線アクセスとして投入し、大規模無線ネットワークを構築、研究を実施
- 群馬県(太田・伊勢崎地区)
研究内容: 大規模無線ネットワークにおいて干渉を考慮した運用技術
(無線チャネルの動的プランニング)
- 茨城県(潮来地区)
研究内容: CFO-SSシステムと光空間ビーム伝送システムの併用運用技術

太田・伊勢崎地区 IPネットワーク構成



CFO-SSシステムの設置例



屋内ユニット

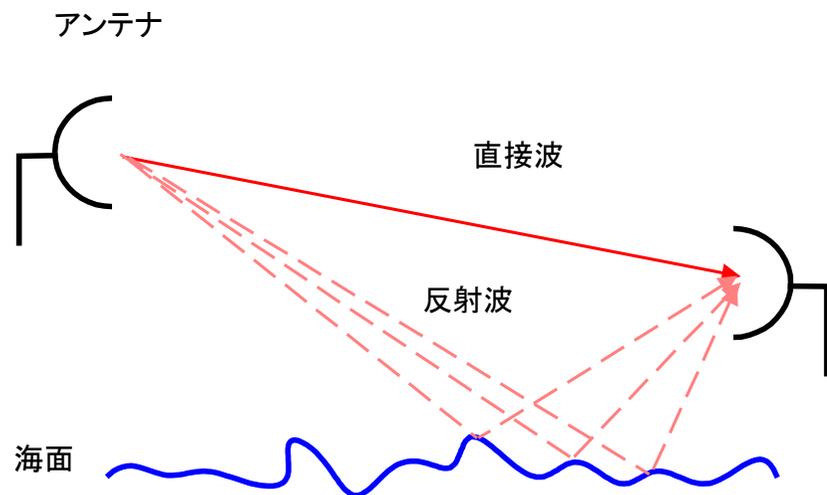


メッシュアンテナ
(19 dBi、長径60 cm)
と屋外ユニット

パラボラアンテナ
(31 dBi、直径2.4 m)



海上伝播を伴うCFO-SSシステムの特徴評価



海上伝播を伴う通信

- ・ 電波が海面反射することで、マルチパス環境が発生
- ・ 気象条件(天候・波の高さ)により通信品質が変動



通信距離が5 / 5.4 / 11.3 kmの3区間において、継続的に通信品質の取得を行い、長距離海上通信システムとしてのCFO-SSの実用性を評価

11.3 kmの海上通信距離は2.4 GHz無線LANとしては最長！

11.3 km区間における事前通信実験



▪ 実験概要

実施日：平成13年1月

無線機器：CFO-SS10A

アンテナ：小型19 dBiパラボラアンテナ
(60 × 42 cm)

アンテナ高：2～6 m(可変)

地上高：10 m/200 m

▪ 実験結果

- アンテナ高に応じて受信レベルが変化
- 最良点では室内と同等性能を達成
BER(Bit Error Rate): 1×10^{-8} 以下
スループット: 3.7～4.2 Mbit/s