

ミリ波帯の最近の研究開発動向

平成19年1月29日

情報通信研究機構
新世代ワイヤレス研究センター
小川博世

発表概要

- 加入者系アクセスシステム
- 32GHz帯／光無線の伝送特性
- 短距離60GHz帯システム
- 120GHz帯ミリ波無線技術
- 10Gbps光無線通信

日本における割り当て周波数帯等

- 18-GHz帯(準ミリ波帯公共業務用無線アクセスシステム)
- 22-GHz帯(800 MHz)
 - 22.0-22.4 GHz, 22.6-23.0 GHz
- 26-GHz帯(1750 MHz)
 - 25.25-27.0 GHz
- 38-GHz帯(900 MHz)
 - 38.05-38.5 GHz, 39.05-39.5 GHz
- WRC-2000における新周波数帯 (new MMW bands for High Density Application in Fixed Services (HDFS) including FWA)
 - 31.8-33.4GHz, 37-40GHz, 40.5-42.5GHz
 - 51.4-52.6GHz, 55.78-59GHz, 64-66GHz

37-GHz帯システム



| Specification | |
|-------------------|-----------------------|
| Center Frequency | 37.0/36.25GHz |
| Antenna | 30 cm ϕ Parabola |
| Antenna Gain | 36 dBi |
| Modulation | 16/64/128QAM |
| Number of Carrier | 4 |
| Data Rate | 622 Mbps |
| Frame | STM-4 |
| Distance | About 1.0 km |

横須賀ミリ波FWA テストベッド



32GHz帯無線装置



屋内装置



横須賀市猿島 設置装置

32GHz帯屋内装置仕様

| | |
|---------|--------------------|
| 無線周波数 | 32 GHz帯 |
| 複信方式 | FDD（周波数分割複信方式） |
| 変調方式 | QPSK／16QAM（適応変調） |
| 空中線電力 | +11 dBm |
| アンテナ利得 | 28dBi（平面多素子型） |
| 占有周波数帯幅 | 60 MHz / 15 MHz |
| アンテナ | スロットアレーアンテナ |
| エア伝送速度 | 160 Mbps / 40 Mbps |
| インタフェース | 100M-based Ether |

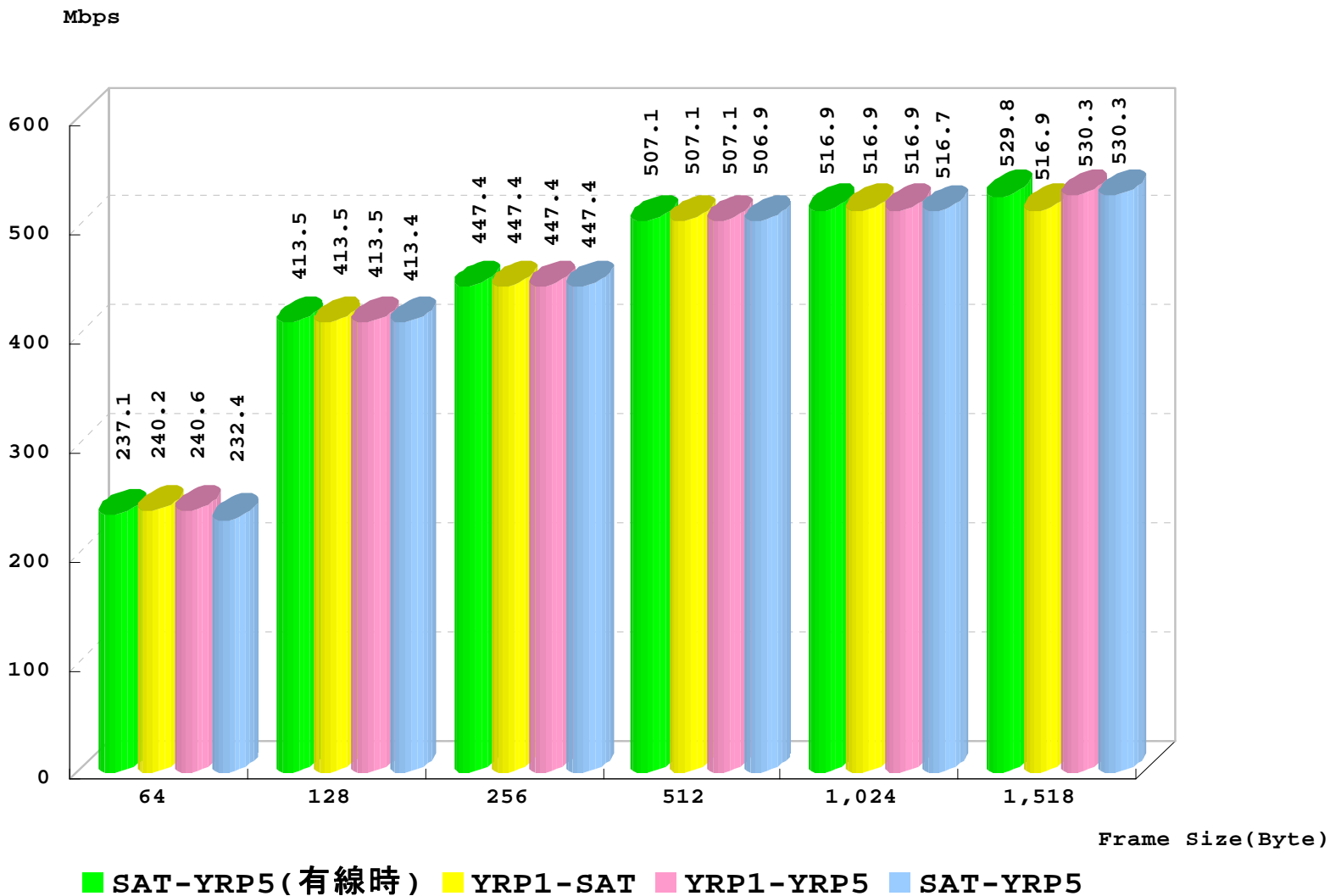
屋外装置の外観



横須賀市役所屋上

Through put

Ethernet Frame Size



ウェブによる猿島ライブ映像サポート



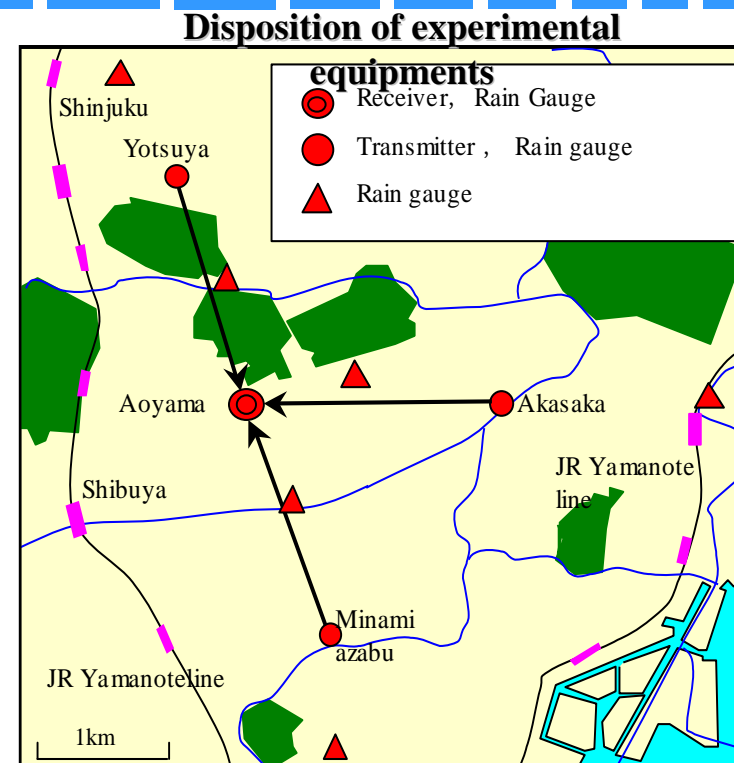
横須賀市ホームページ



魚のライブ映像例

32GHz帯／光無線信号伝送特性の測定

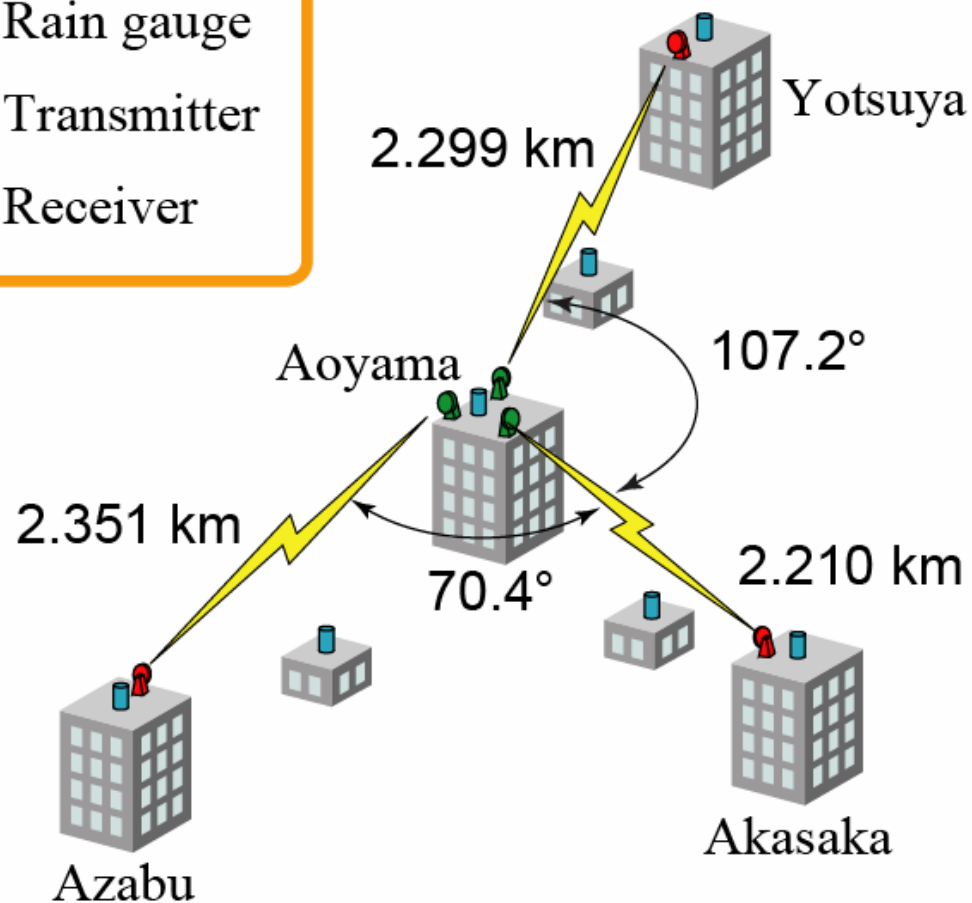
- 目的
 - 32GHz帯ミリ波に対する降雨減衰量, その空間相関の把握
 - 都市部における雨域の狭い集中豪雨(ヒートアイランド現象)と伝搬特性との関係の明確化
- 伝搬試験の概要
 - 東京青山に伝搬試験場所を選定
 - 無線回線: 3区間
 - 光無線回線: 1区間(無線回線と併設)
 - 雨量計: 10ヶ所
 - 32GHz帯降雨減衰分布の推定, 降雨減衰係数の導出
 - 回線設計における各種設計値に反映



東京都内における伝搬特性評価系

f : 32GHz帯

- ☑ : Rain gauge
- 📡 : Transmitter
- 📶 : Receiver



評価系システム



赤坂からの風景



受信装置(青山)



光受信装置(青山)



雨量計

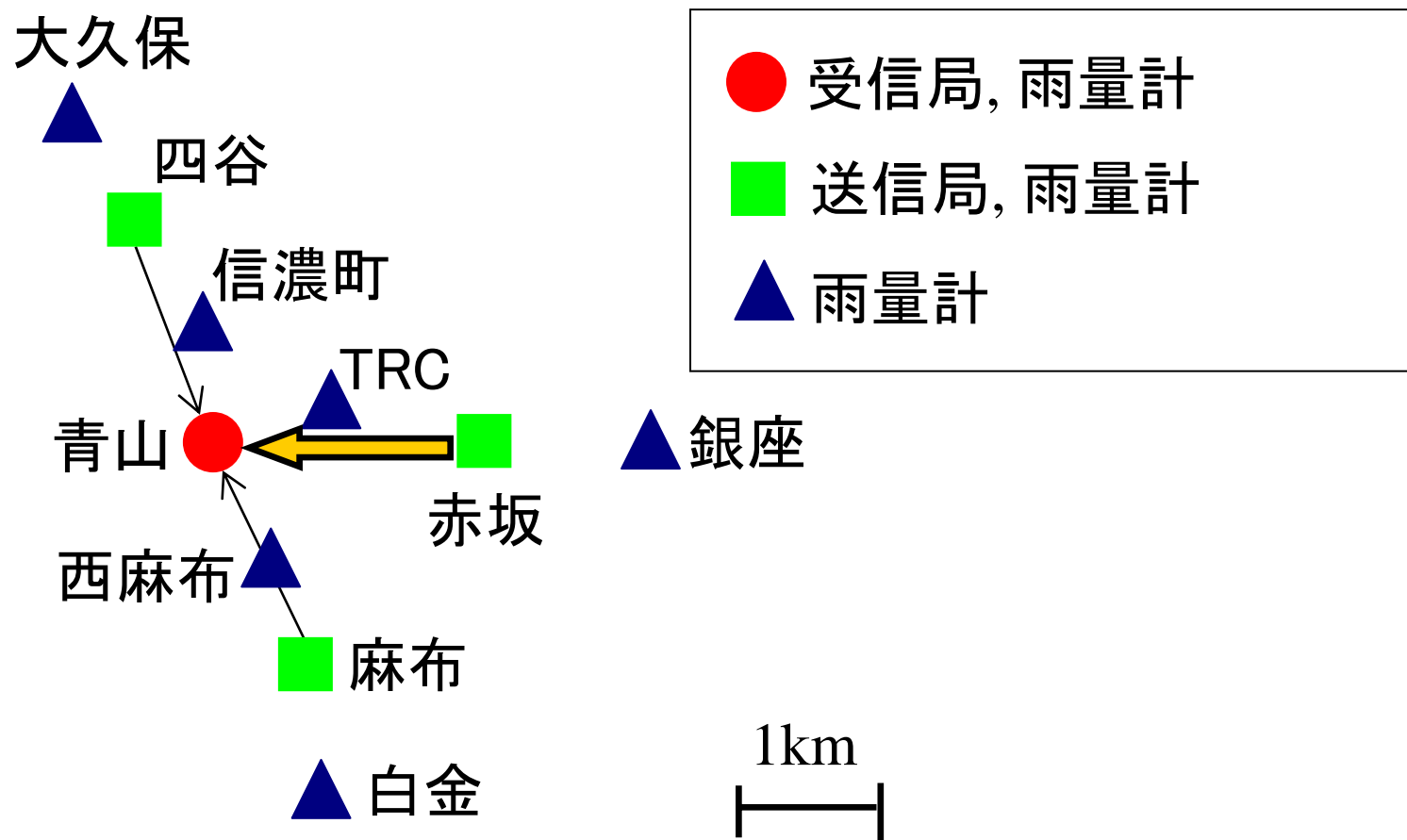
輻輳化等の対策として光波の活用

光波帯システムの長所

- ・高速・大容量化が可能
- ・建設コストが安い
- ・免許が不要

測定概要

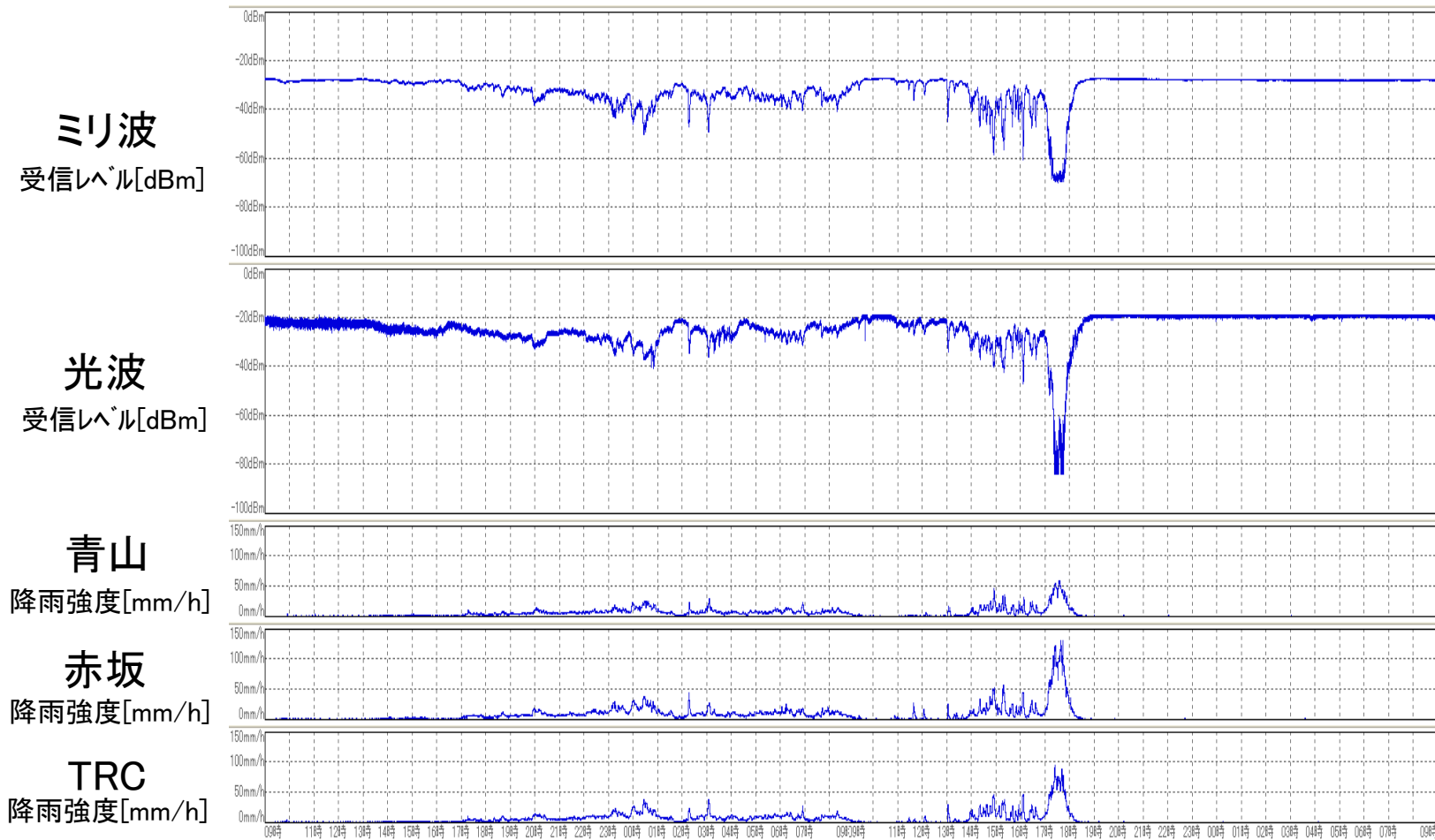
測定期間：平成14年4月～現在も継続中



装置概要

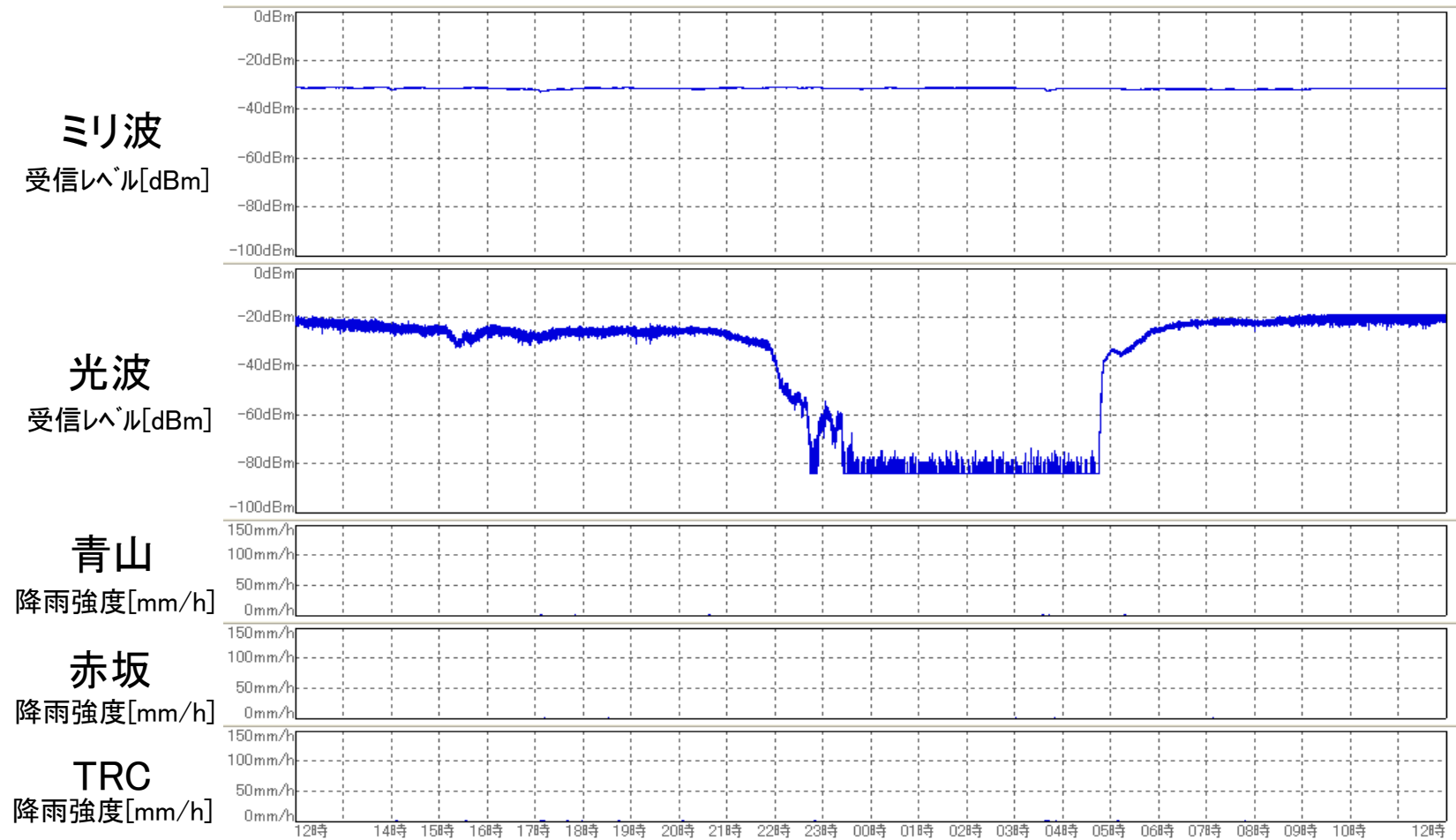
| 項目 | ミリ波 | 光波 |
|-----------|----------------------------|-------------------------|
| 周波数 | 32.6GHz | 375THz (0.8 μ m) |
| 送信出力 | 約200mW | 約10mW |
| アンテナ | パラボラアンテナ (25cm ϕ) | — |
| アンテナ利得 | 33dBi | — |
| 受光口径 | — | 130mm |
| ダイナミックレンジ | 約55dB | 約60dB |
| その他 | 防滴構造、雲台使用 | 防滴構造、雲台使用 |

測定結果(逐時変化)



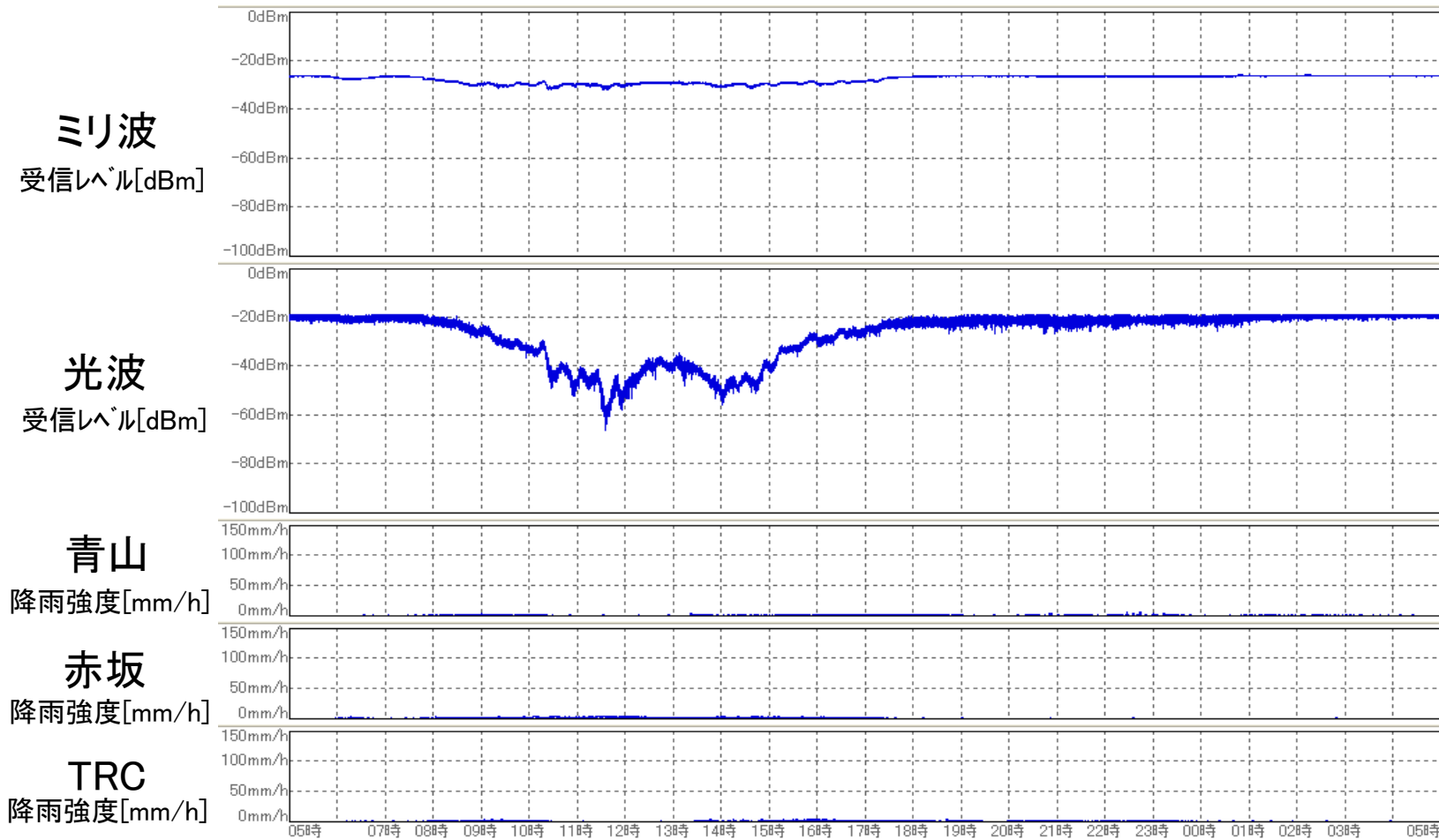
(a)降雨時

測定結果(逐時変化)



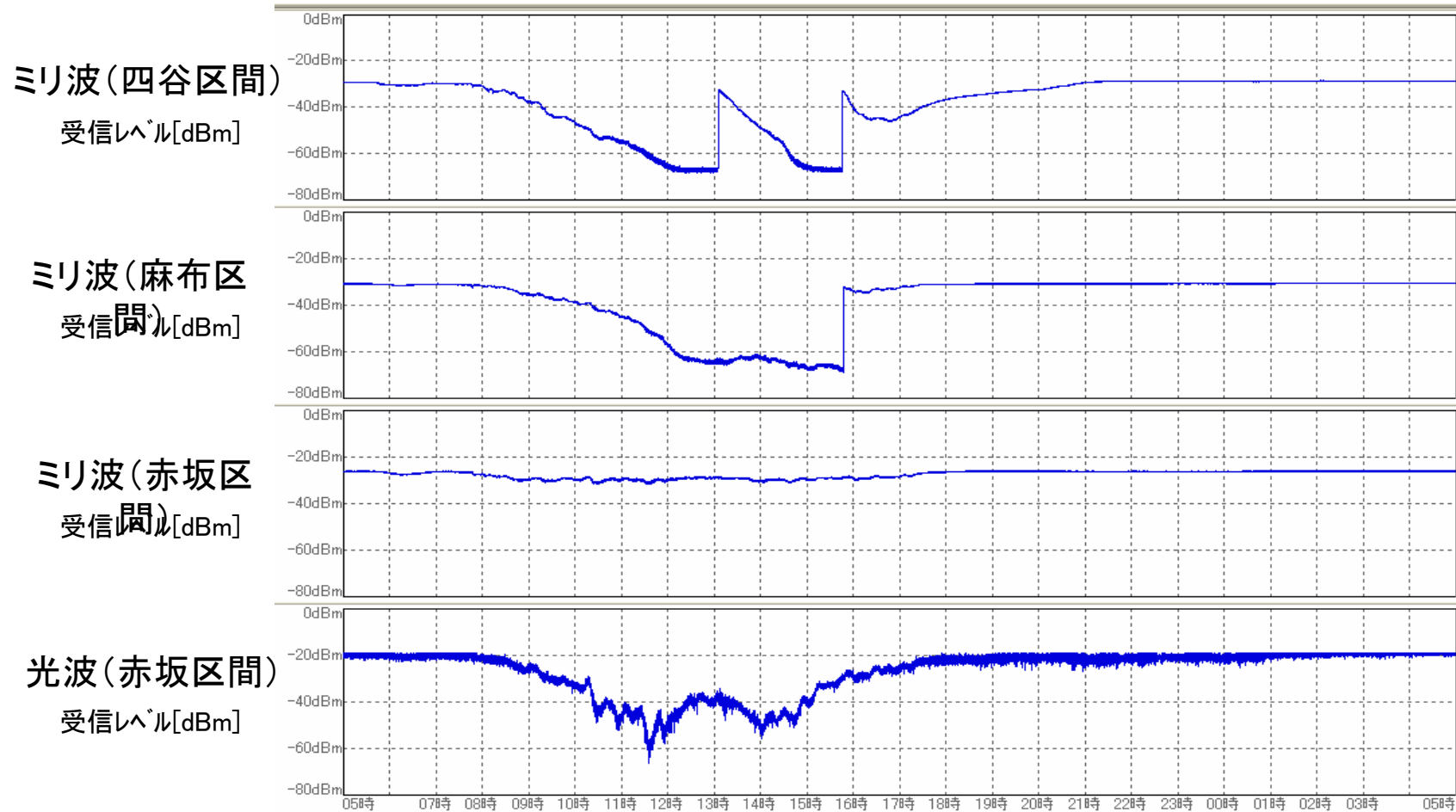
(b)霧発生時

測定結果(逐時変化)



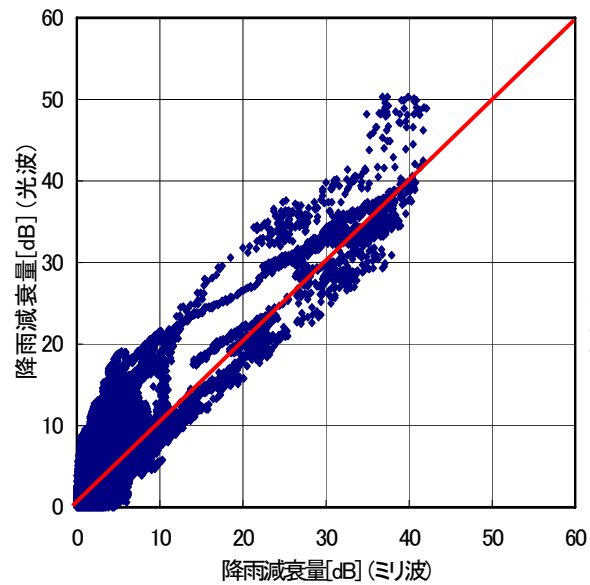
(c)降雪時

測定結果(逐時変化)

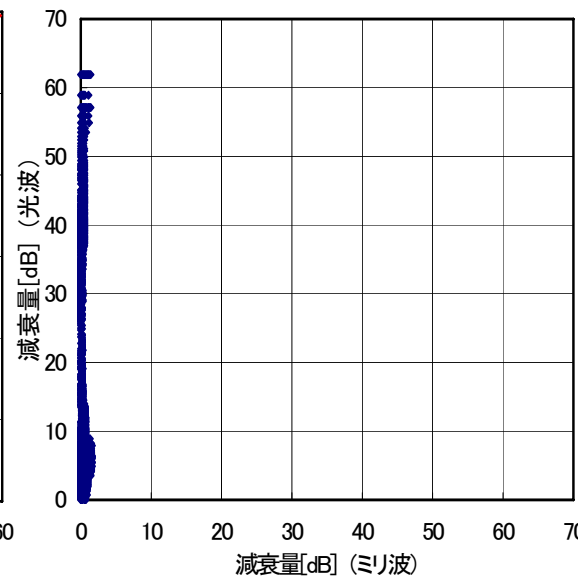


(d)降雪時のアンテナ着雪による減衰

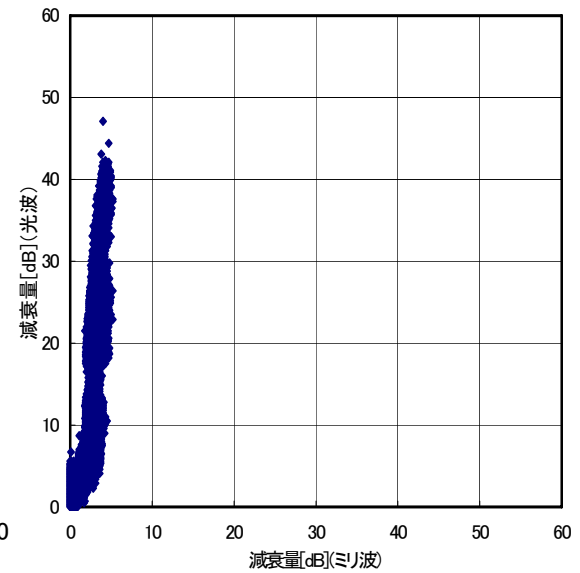
測定結果(減衰量の相関関係)



(a)降雨時

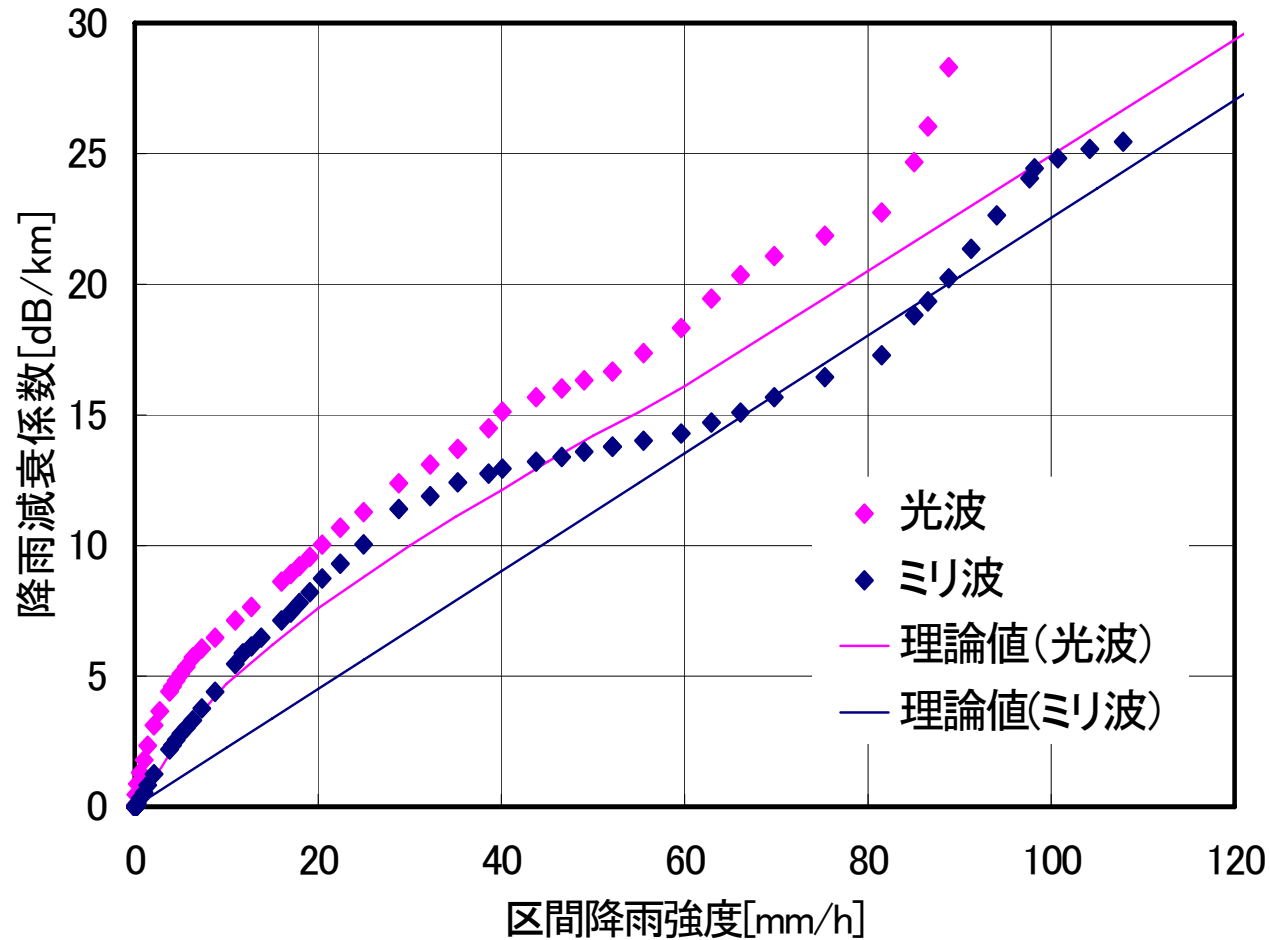


(b)霧発生時



(c)降雪時

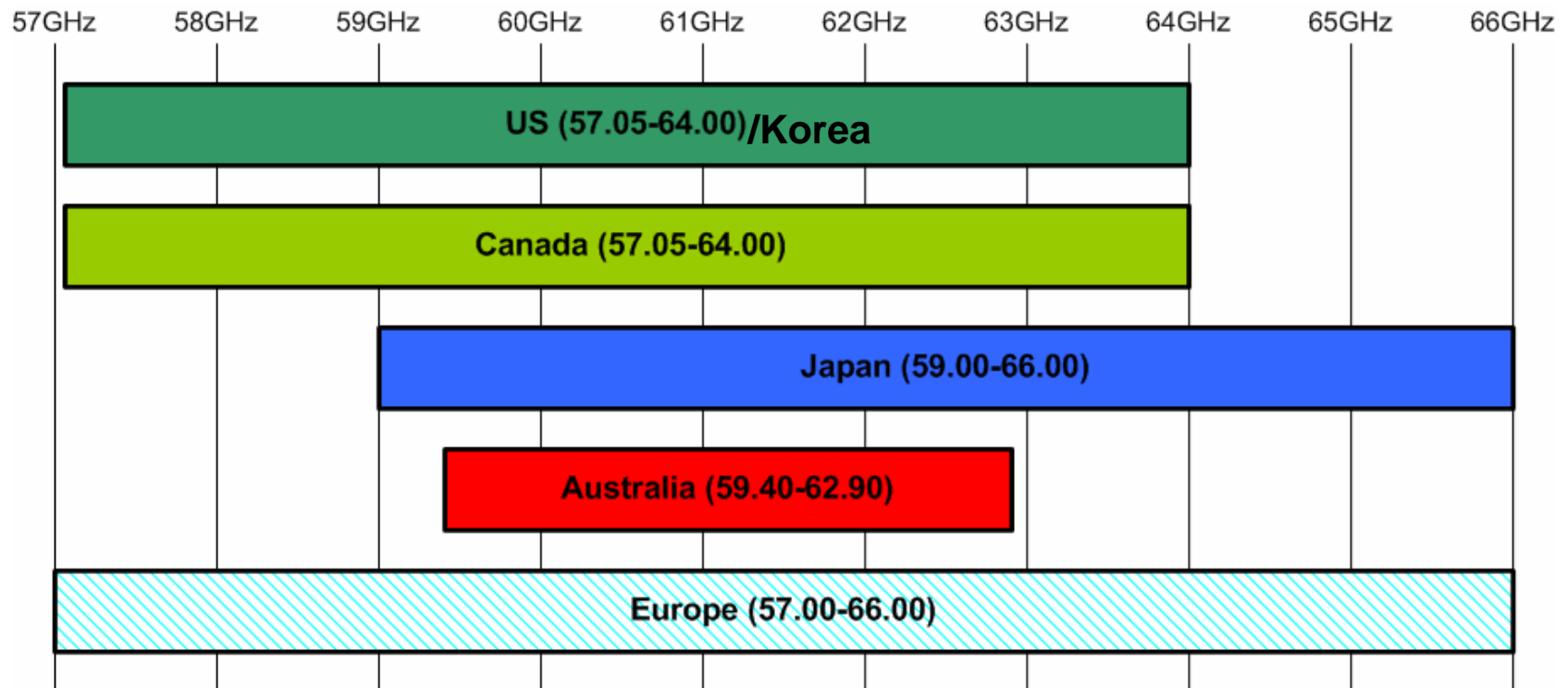
測定結果(降雨減衰係数)



各国における免許不要バンド

Proposed candidate frequency band to be considered

| Candidate band | Remarks |
|-----------------|---|
| 57 GHz – 66 GHz | This is the union of the bands currently approved for license-exempt use in Australia, Canada, Japan and the United States, and under proposed allocation in the Republic of Korea. The existing etiquette rules, spectrum sharing studies, and other analyses in these countries may be a model for considering the needs of commercial, military, and scientific uses of these frequencies. |



60GHz帯無線設備の技術的条件

- 平成12年2月 電気通信技術審議会答申
「60GHz帯の電波を使用する無線設備の技術的条件」

免許不要バンド

- ・変調方式:規定なし
- ・空中線電力:10mW以下
- ・周波数許容偏差:500ppm以下
- ・占有帯域:2.5GHz以下

- ・ミリ波映像伝送システム
- ・超高速無線LAN
- ・無線ホームリンク 等

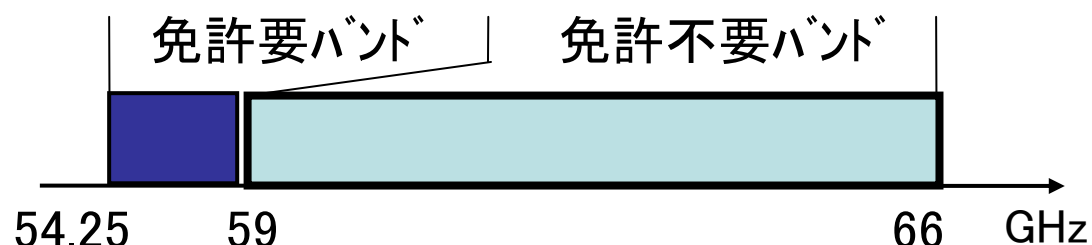
免許要バンド

- ・変調方式:周波数、振幅、
位相変調とその組合せ
- ・空中線電力:100mW以下
- ・周波数許容偏差:200ppm以下

- ・高速無線回線
- ・放送番組素材伝送システム
等

免許不要バンドの技術基準

59GHzを超え66GHz以下の電波を使用する無線設備の利用
(免許不要)が可能に

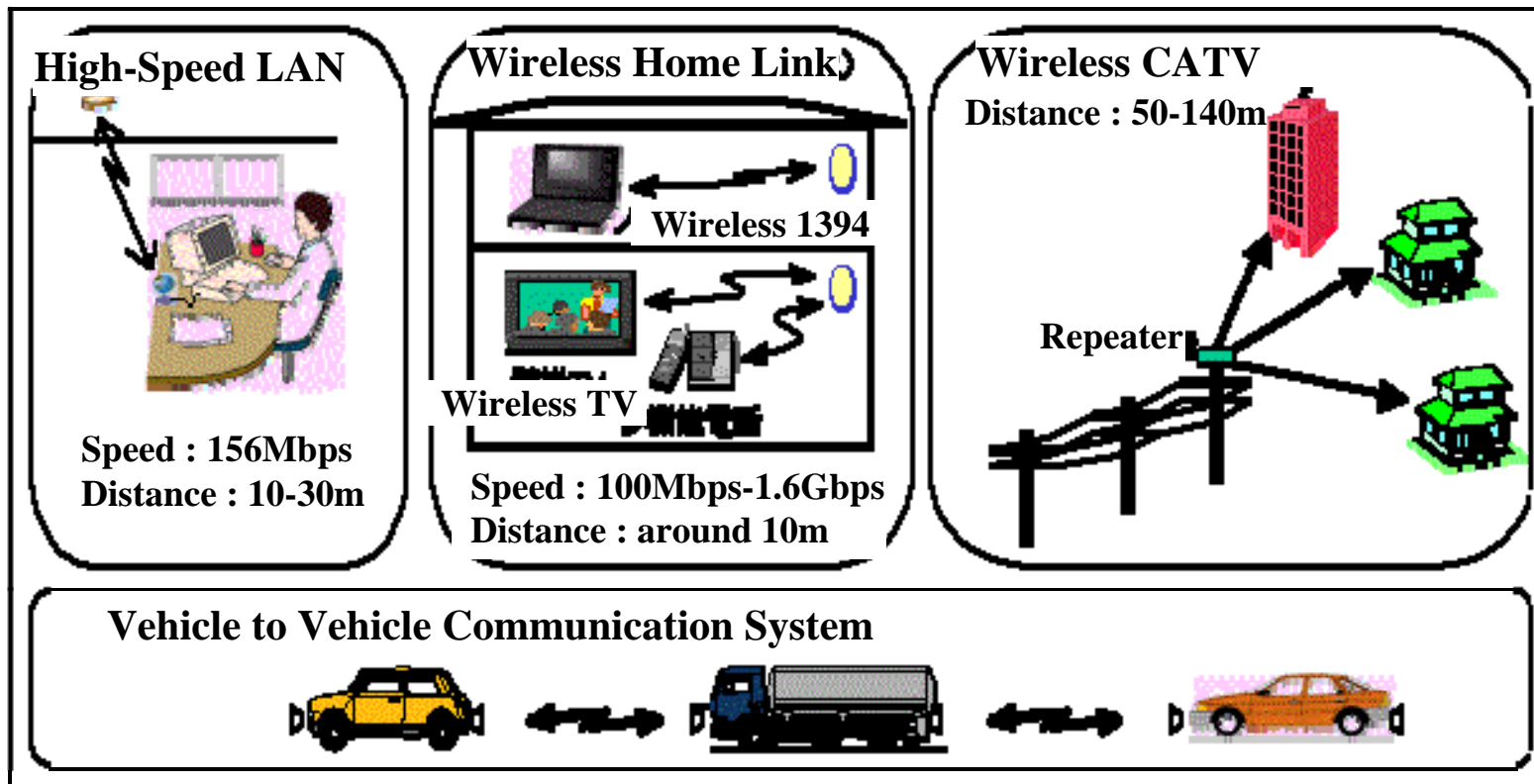


免許不要バンドの主な規定

| | |
|------------|------------|
| 空中線電力 | 0.01W以下 |
| 空中線電力の許容偏差 | +50%, -70% |
| 空中線利得 | 47dBi以下 |
| 周波数許容偏差 | ±500ppm |
| 占有周波数帯域 | 2.5GHz以下 |
| スプリアス発射強度 | 100 μW以下 |

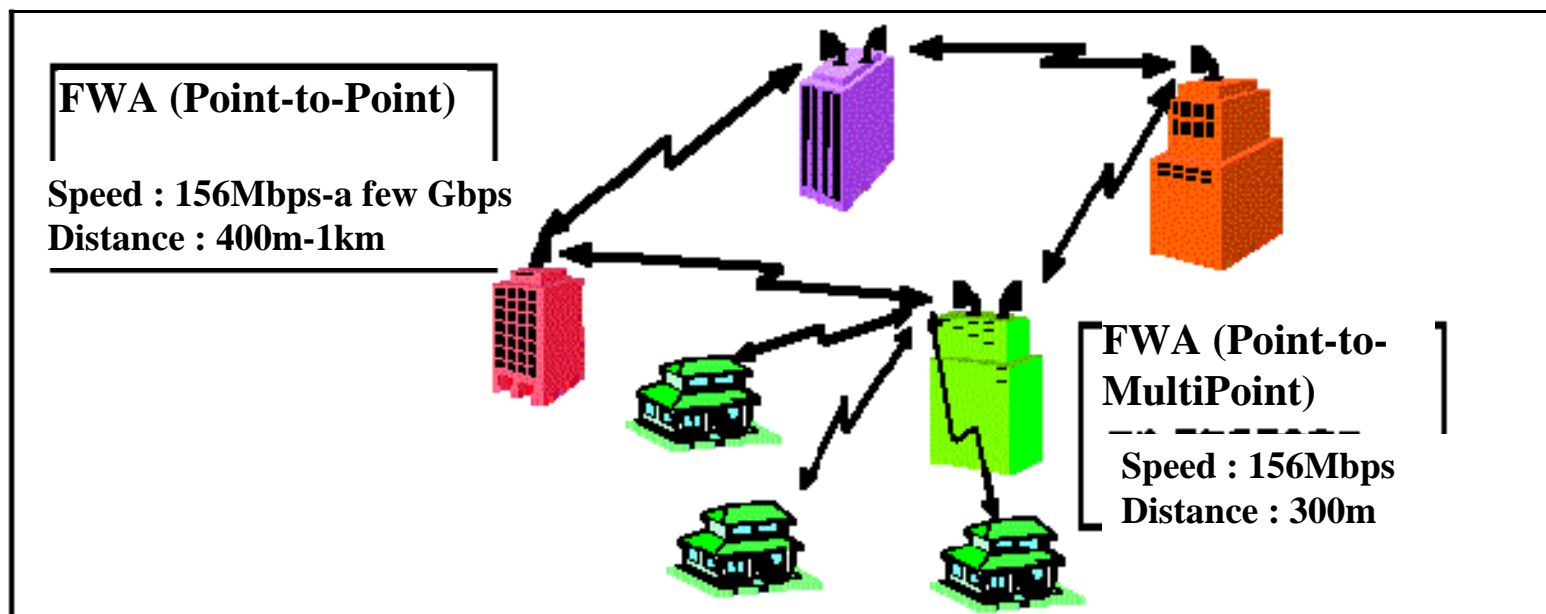
60GHz帯免許不要バンドを用いた応用例

★免許不要システム



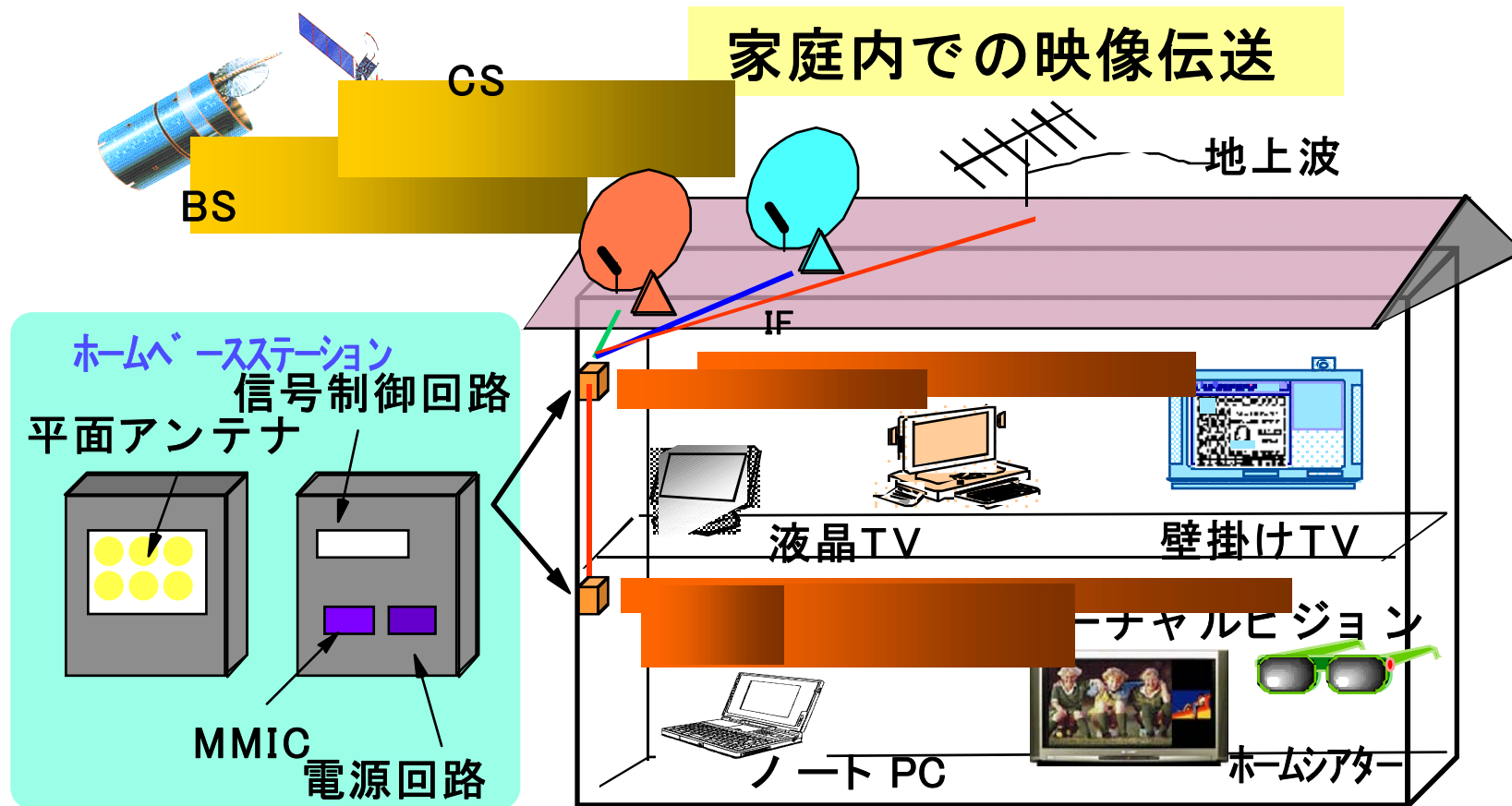
60GHz帯免許要バンドを用いた応用例

★免許要システム



ミリ波映像多重伝送システム

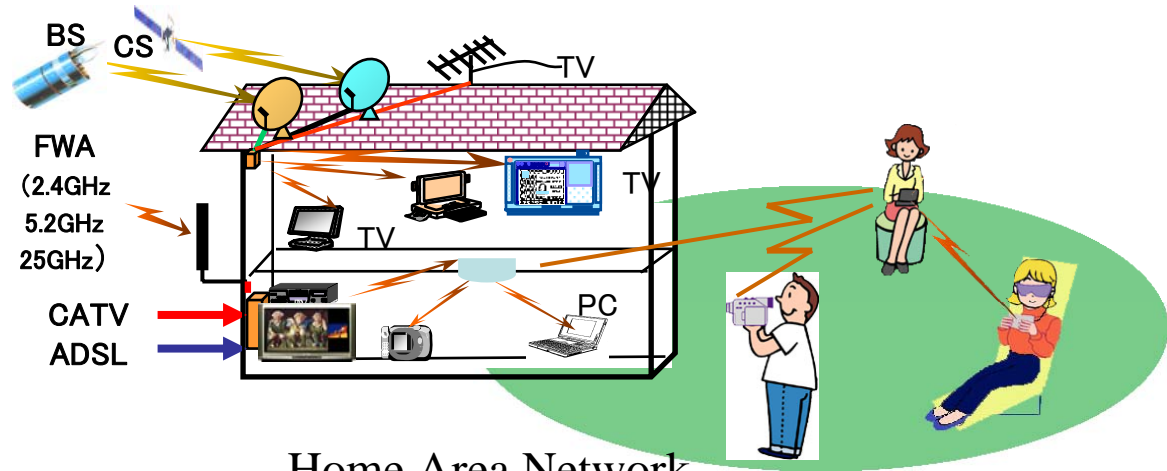
- 家屋内において1GHz以上の映像信号を分配するミリ波システムの開発 -



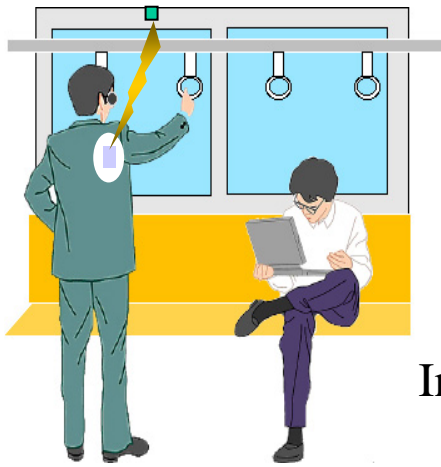
ミリ波アドホックシステム



Ad-Hoc Meeting



Home Area Network

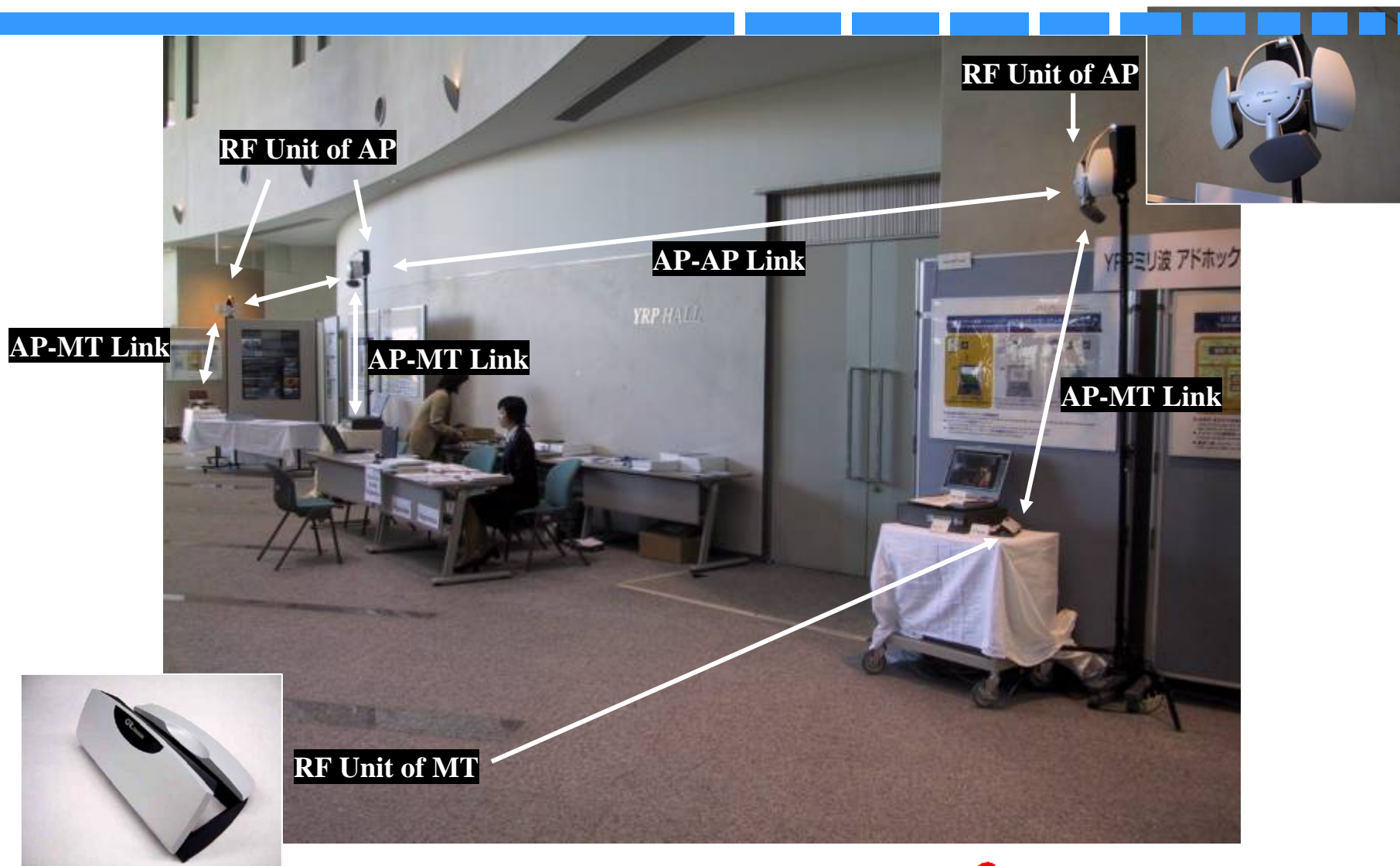


In Train



Digital KIOSK

TSMMW2004におけるデモンストレーション



Wireless GE Application Example (1)

Ultra High Speed Download System

- 1GB Download :
<30s (Windows 2000 Server)

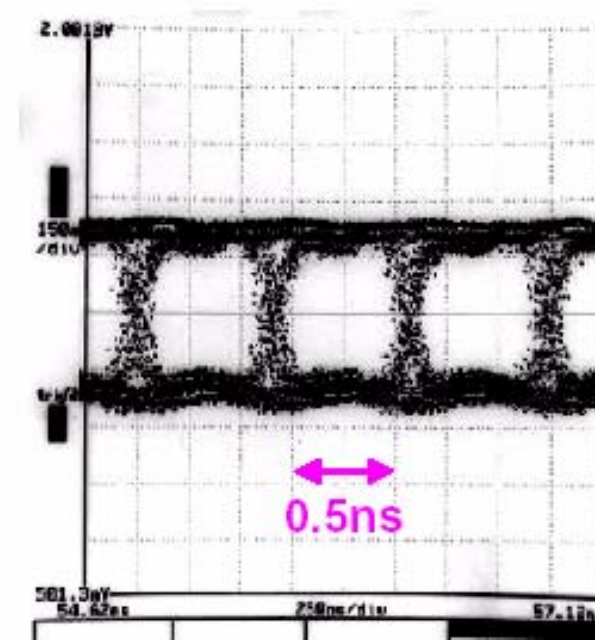


Uncompressed High Definition TV Signal Transmission

1.485Gb/s Uncompressed High Definition TV Signal Transmission based on HD SDI (Serial Digital Interface) Standard



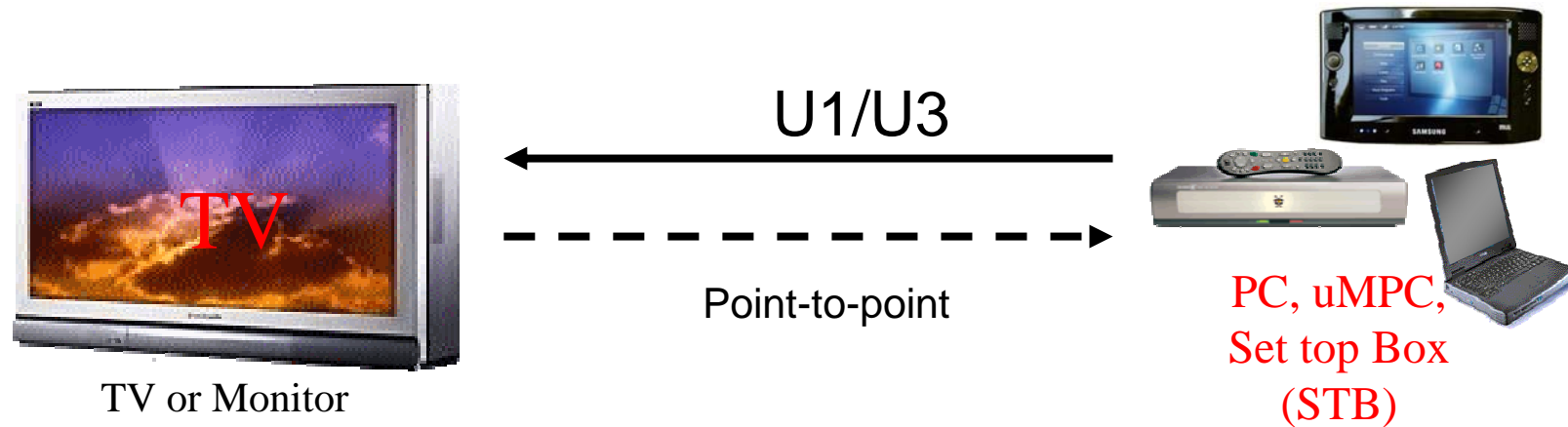
Receiver and HD SDI Monitor



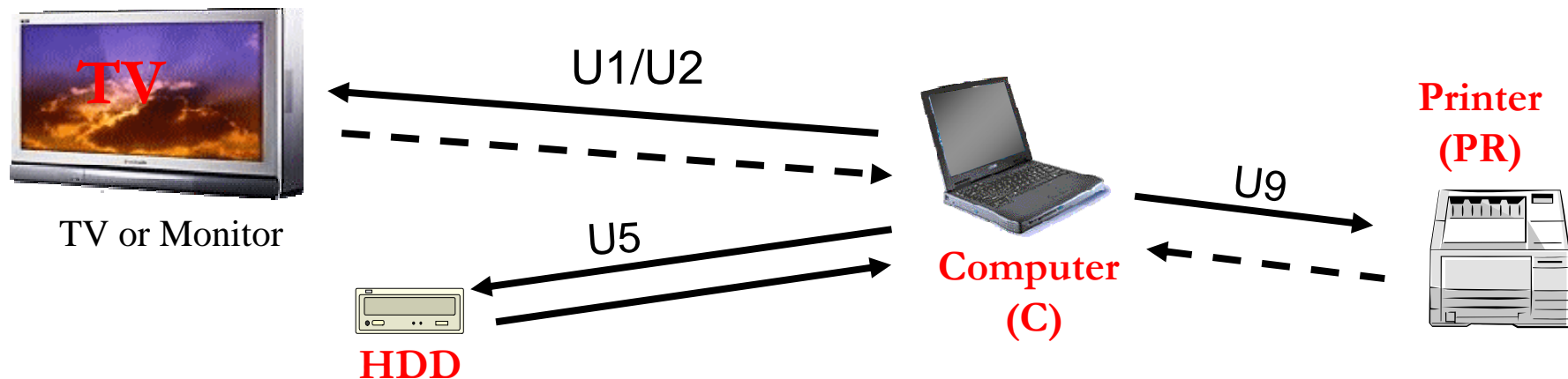
Eye Pattern of Received Signal

IEEE802.15.3cの標準化モデル

非圧縮画像伝送アプリケーション

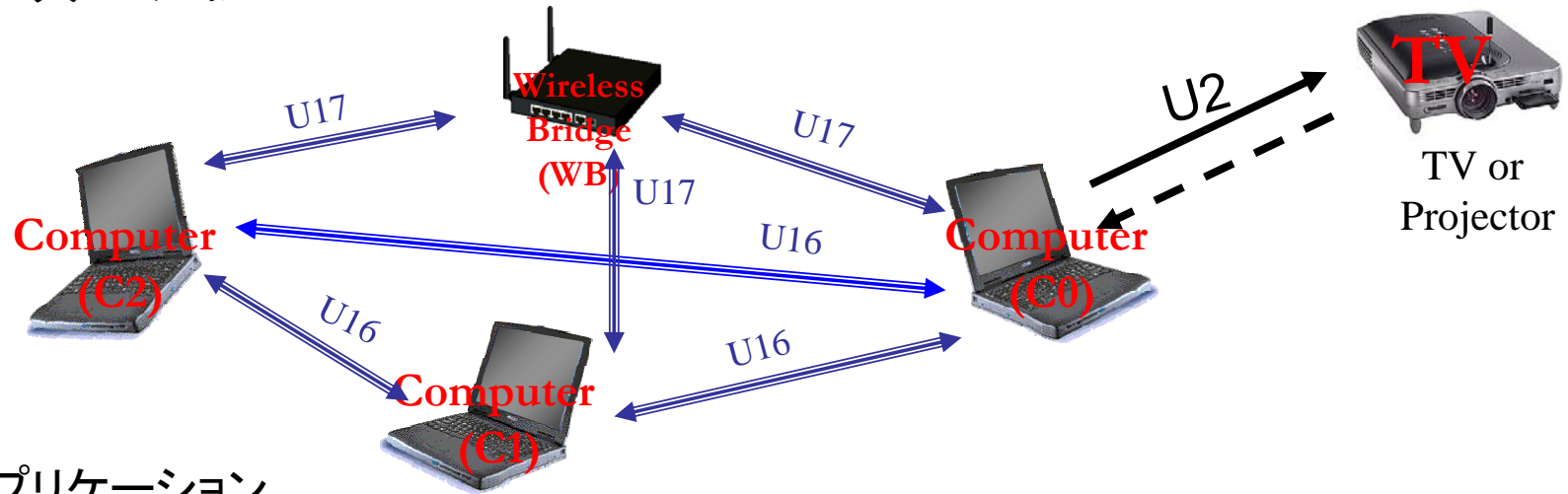


オフィス アプリケーション

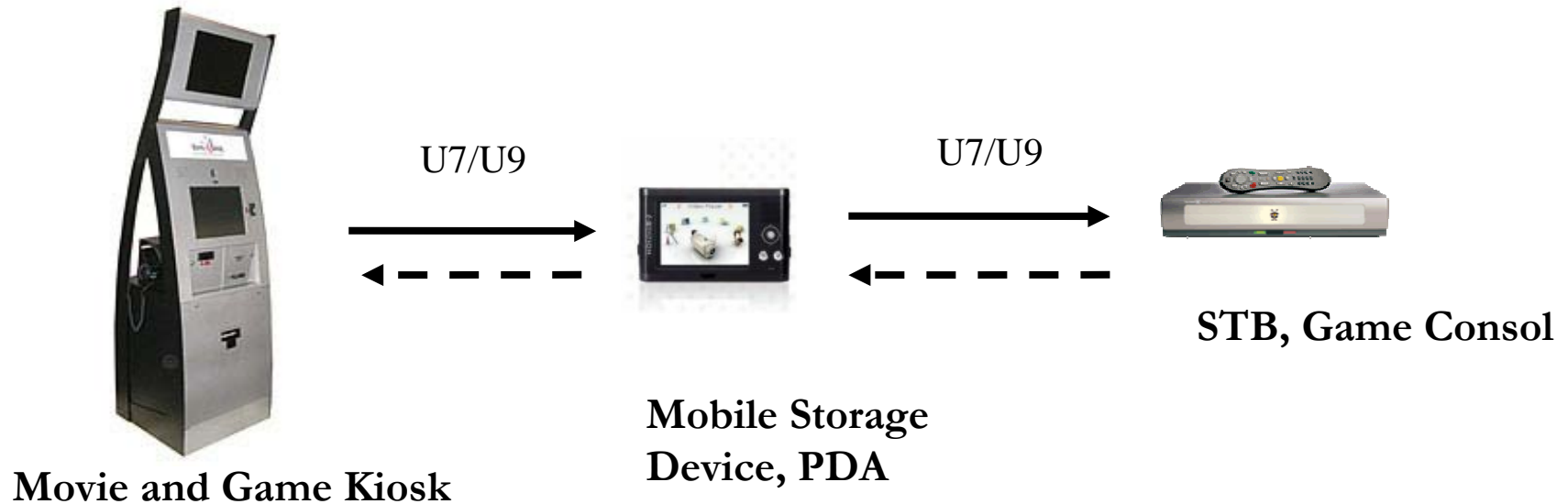


IEEE802.15.3cの標準化モデル

Adhocアプリケーション



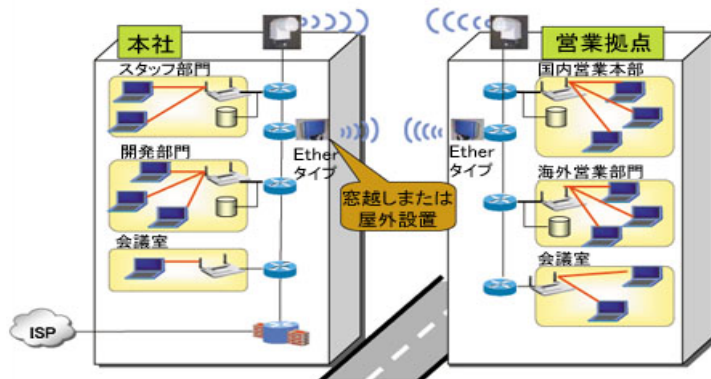
KIOSK アプリケーション



60-GHz 送受信装置

NEC Engineering Ltd.

■ 基幹 LAN (例: 道路を隔てたオフィス間) 1000BASE または 100BASE



60-GHz 装置主要諸元

| 型名 | 60G Ether1G M | 60G Ether1G L |
|-------------|---------------|---------------|
| 使用環境 | 屋内 | 屋外 |
| 周波数 | 60/63GHz | |
| 出力電力 | 10mW 以下 | |
| 無線伝送距離 | 25m | 100m |
| 無線伝送速度 | 最大1.25Gbps | |
| 伝送方式 | 双方向全二重通信 | |
| 変調方式 | ASK 変調 | |
| インタフェース仕様 | 1000BASE-SX | |
| 光コネクタ | LC-Duplex | |
| 外形寸法(W×D×H) | 200×50×140mm | 280×272×365mm |
| 重量(本体) | 約600g | 約7kg |
| 入力電圧、消費電力 | AC100V, 10W | AC100V, 15W |

60-GHz 送信機および受信機

MASPRO DENKOH Co. September 2003

Collaboration project with NHK, Murata Manufacturing



Transmitter



Receiver

装置概観

シャープ株式会社(2005年2月)

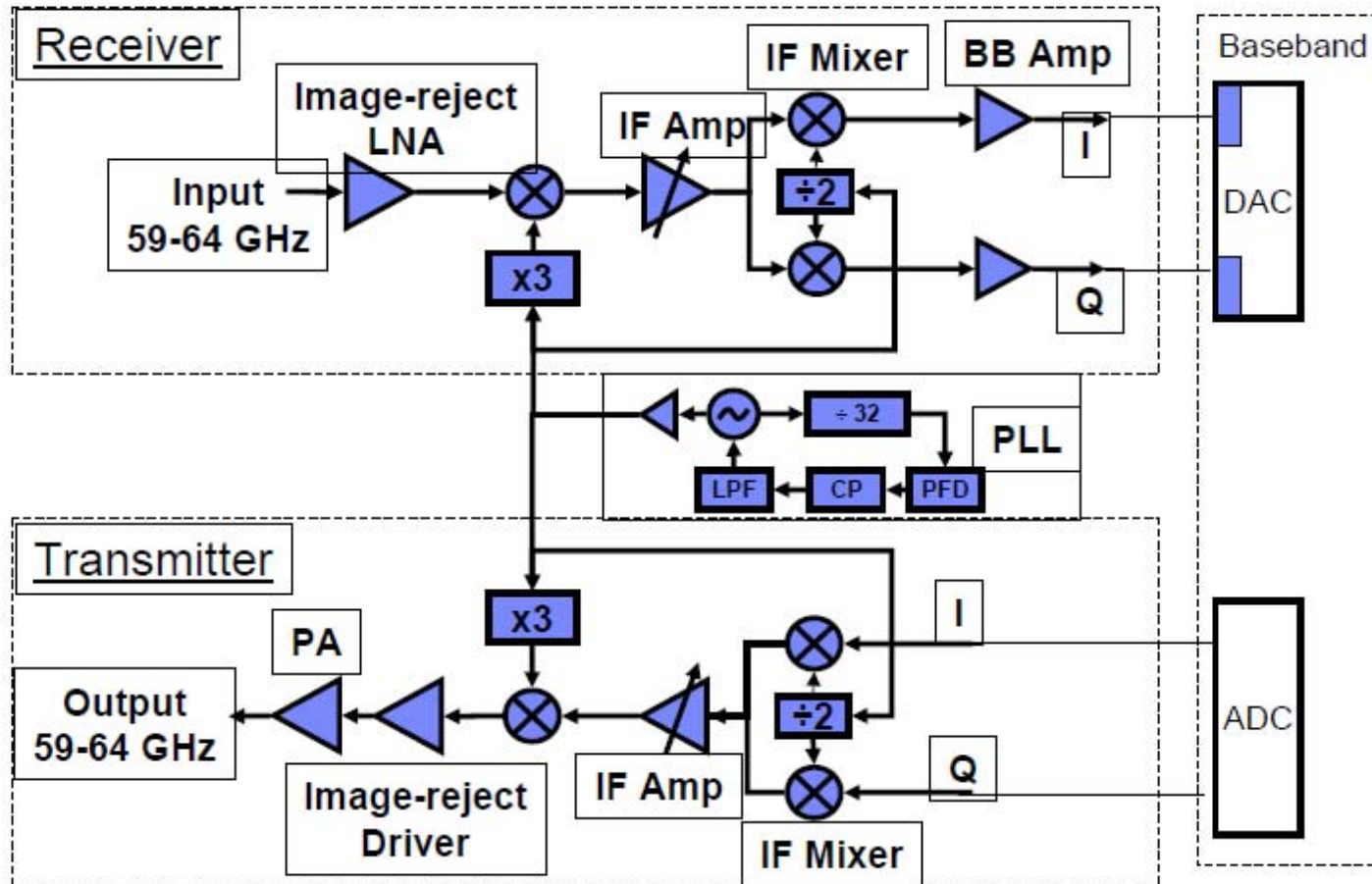


Transmitter

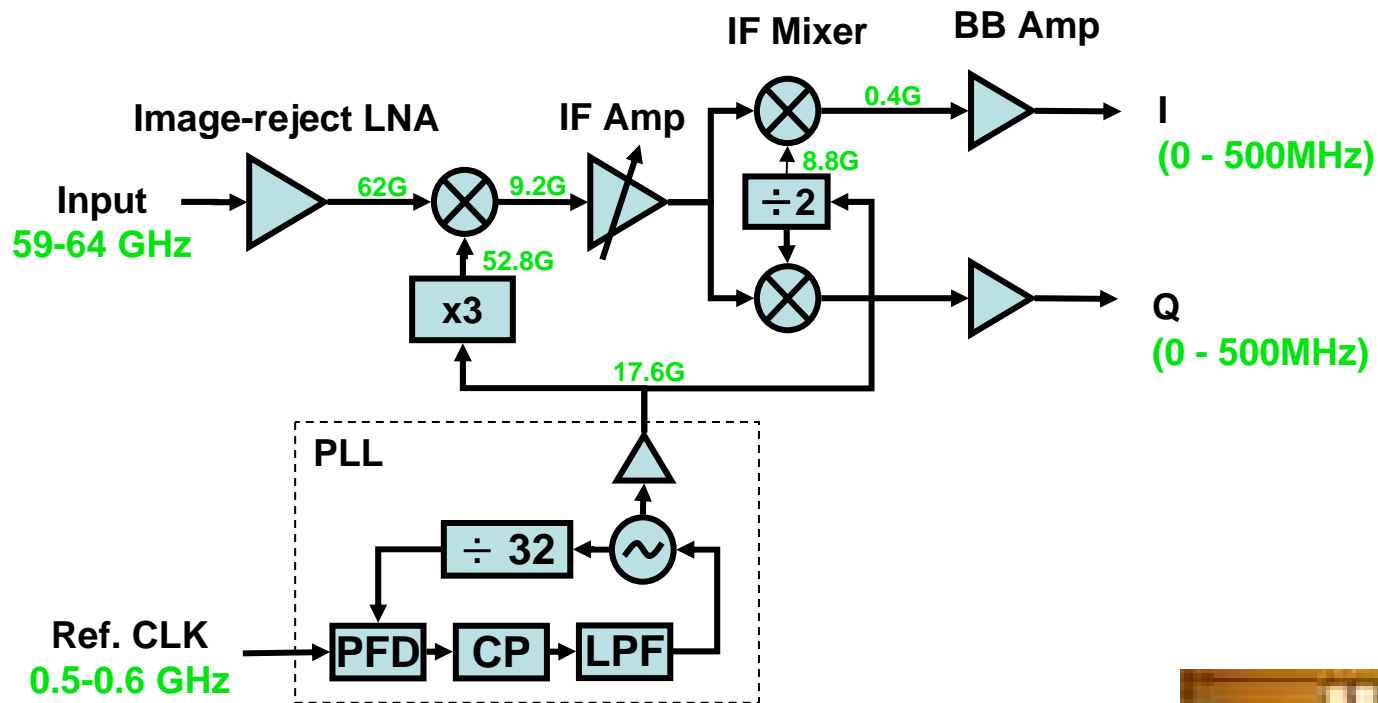


Receiver

60-GHz Receiver and Transmitter



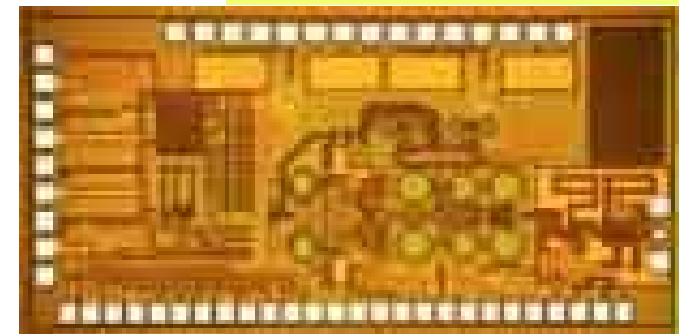
60-GHz Receiver in SiGe BiCMOS 8HP(IBM)



Integration Level

- 342 NPNs
- 1200 FETs
- 77 transmission lines
- 15 inductors
- 715 resistors
- 189 MIMs
- 53 pads

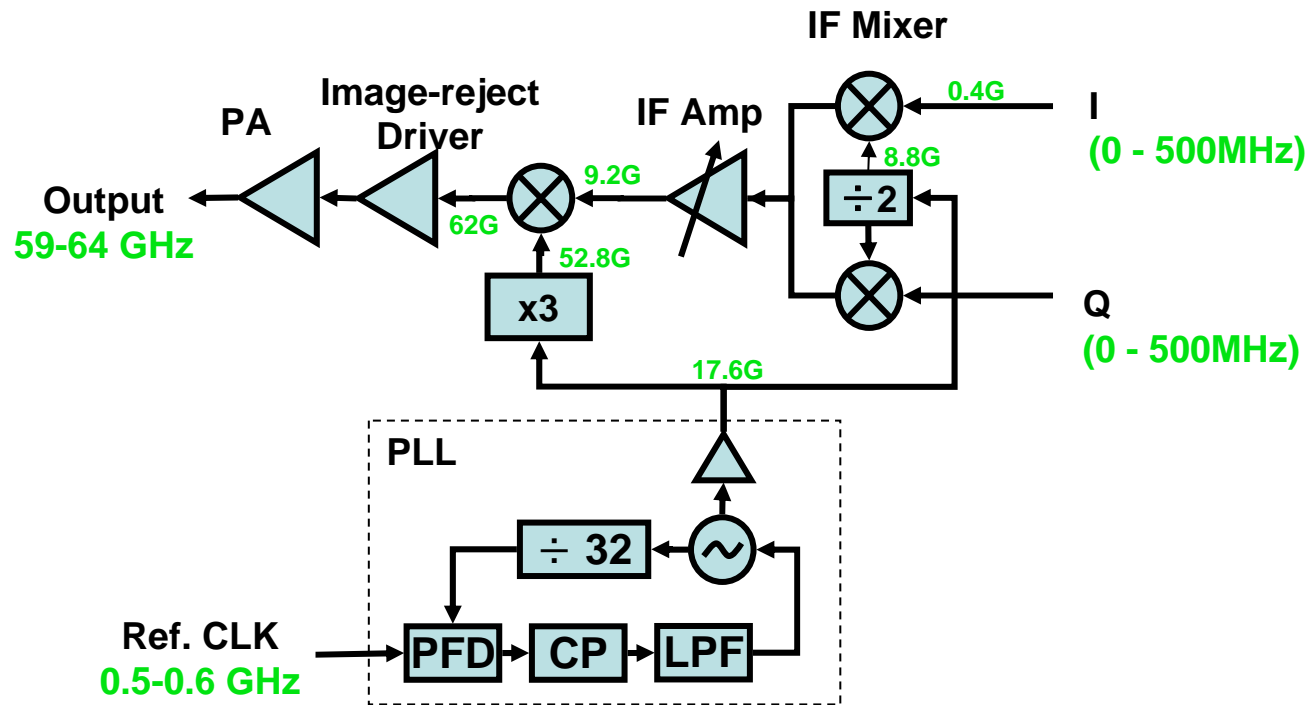
- Highest integration level for millimeter-wave circuits
- Complexity approaching that seen at 5 GHz.



Size: 3.4 x 1.6 mm²

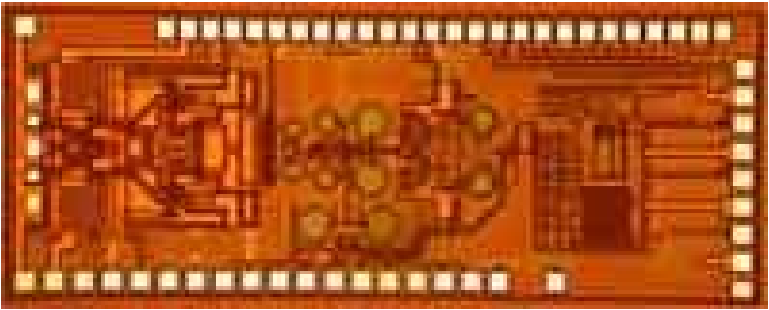
15-06-0003-00-003c

60-GHz Transmitter in SiGe BiCMOS 8HP(IBM)



- Integration Level**
- 359 NPNs
 - 1040 FETs
 - 157 transmission lines
 - 13 inductors
 - 521 resistors
 - 270 MIMs
 - 60 pads

- High integration level is unique for millimeter-wave.
- Complexity approaching that seen in early commercial implementation at 5 GHz.



Size: 4 x 1.5 mm²

15-06-0003-00-003c

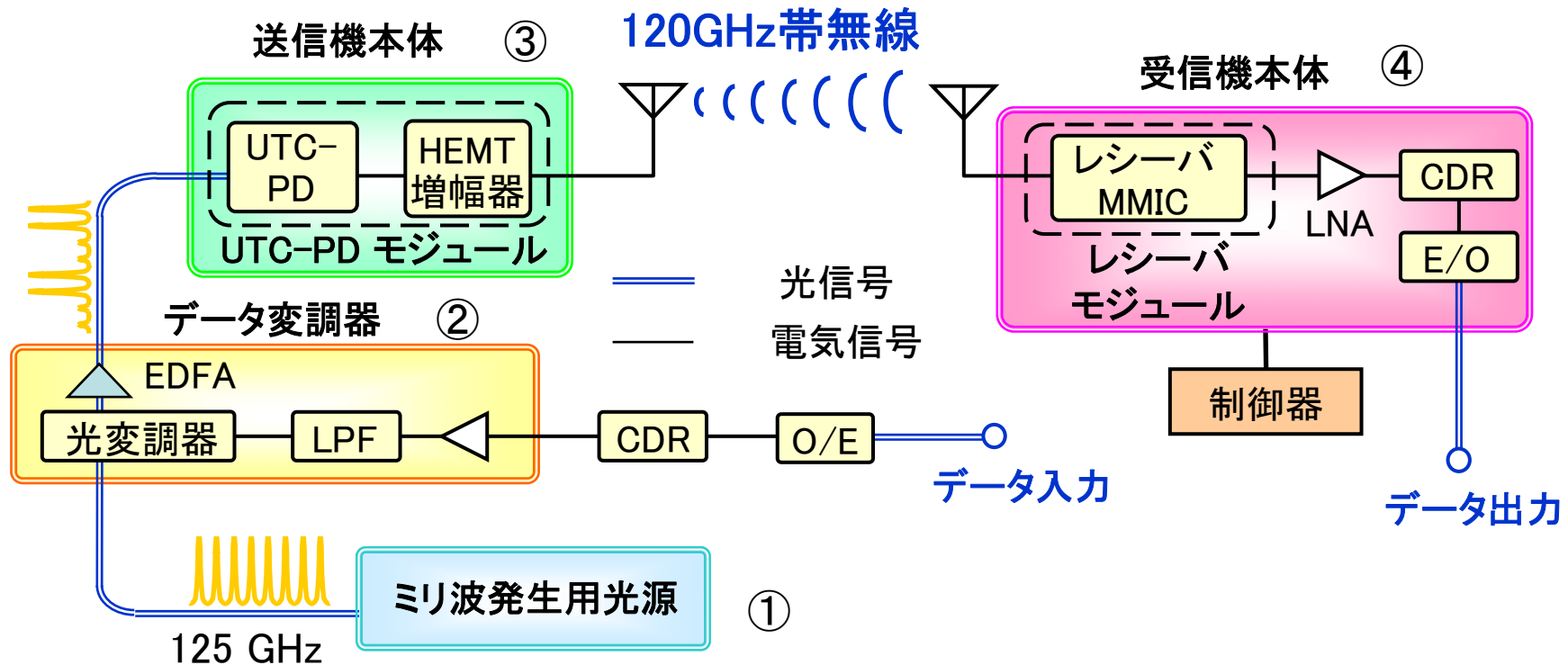
米国におけるミリ波レギュレーション

- 免許要バンド: 71-76 GHz, 81-86 GHz
 - Maximum power: 55dBW
 - Maximum beamwidth: 0.5 deg.
 - NO frequency stability requirements
 - 1.25GHz segments
 - FDD or TDD both allowed
- 免許不要バンド: 92-95 GHz band
 - Prohibited band: 94-94.1GHz
 - Indoors only
 - Unlicensed parameters

120GHz帯ミリ波無線技術：システム構成

光技術と電子回路技術の融合により120GHz帯無線システムを構築

- ① 125GHzで強度変調された光信号(サブキャリア信号)をミリ波発生用光源から出力
- ② 光変調器でサブキャリア信号に 10Gb/s データ信号を重畳
- ③ 高速・高出力の光電変換素子 UTC-PD でサブキャリア信号を光電変換
- ④ ミリ波信号の増幅、データ信号の復調は InP HEMT MMIC で実施



120GHz帯ミリ波無線技術：実験局仕様



送信機仕様

- ・ 中心周波数 125GHz
- ・ 占有帯域 116.5～133.5GHz
- ・ 変調方式 ASK変調
- ・ 出力 10mW
- ・ 最大伝送距離 1.5km
- ・ アンテナ カセグレンアンテナ
- ・ アンテナ利得 49dBi

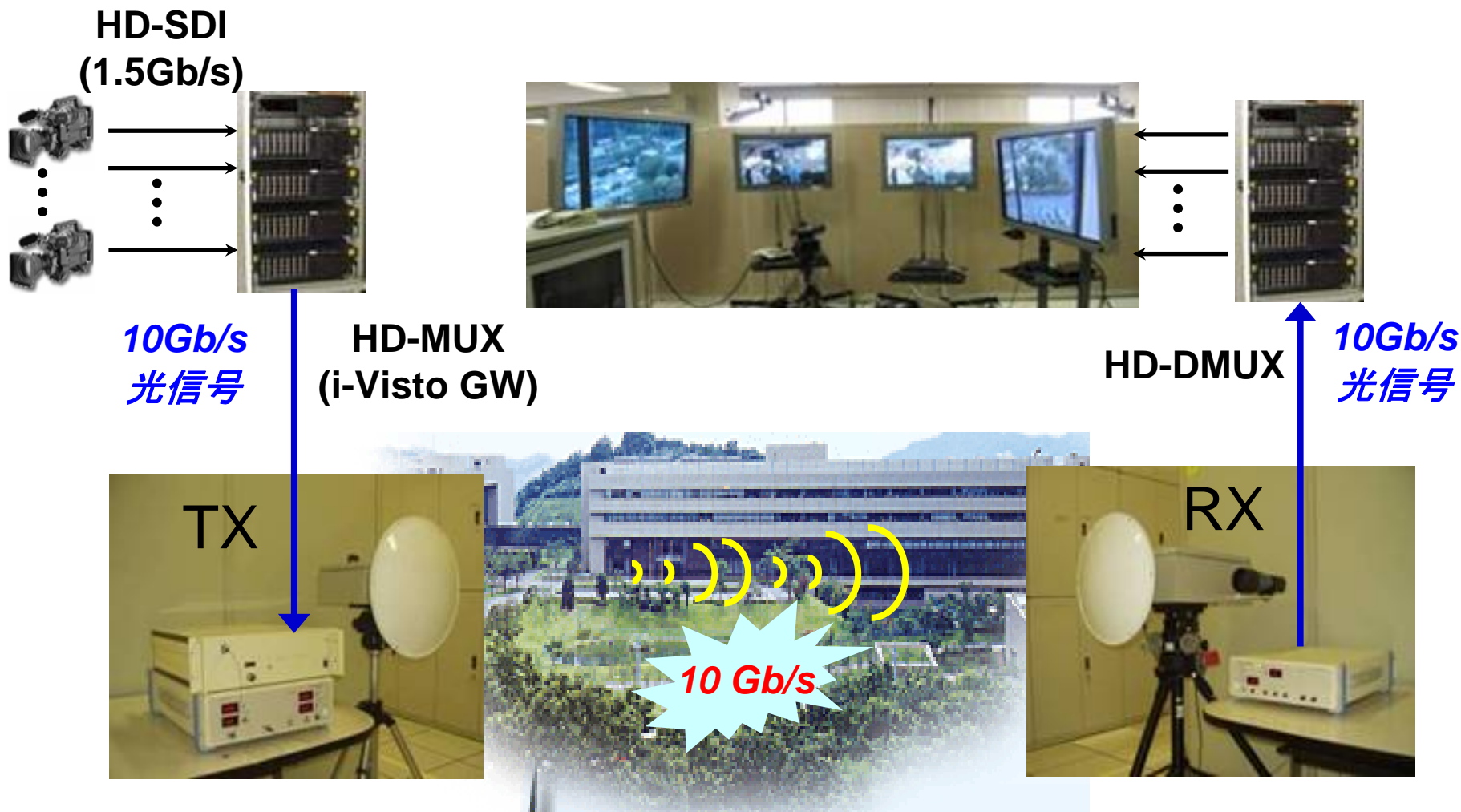


2005年8月、関東総合通信局より実験局免許取得

応用：非圧縮HDTV信号の多重無線伝送

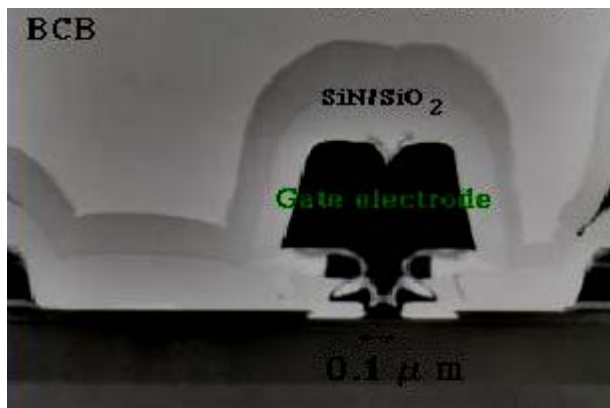


HD-SDI信号(1.5Gb/s)を最大6チャンネル伝送可能
光インターフェース：OC-192および10-GbEに準拠



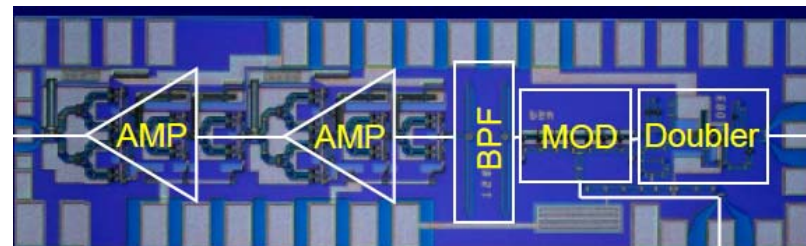
最近の進捗：全電気MMICモジュールの開発

デバイス技術

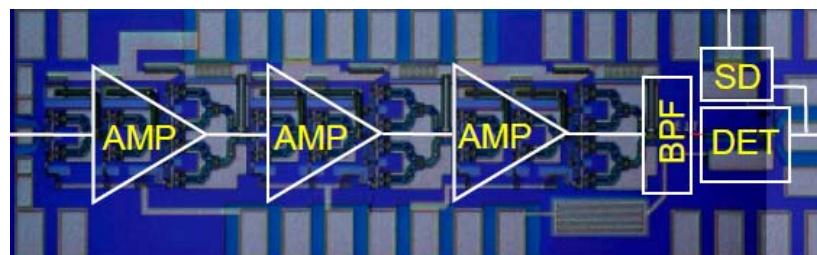


0.1-μm-gate InAlAs/InGaAs HEMT
 $f_t = 170$ GHz, $f_{max} = 350$ GHz

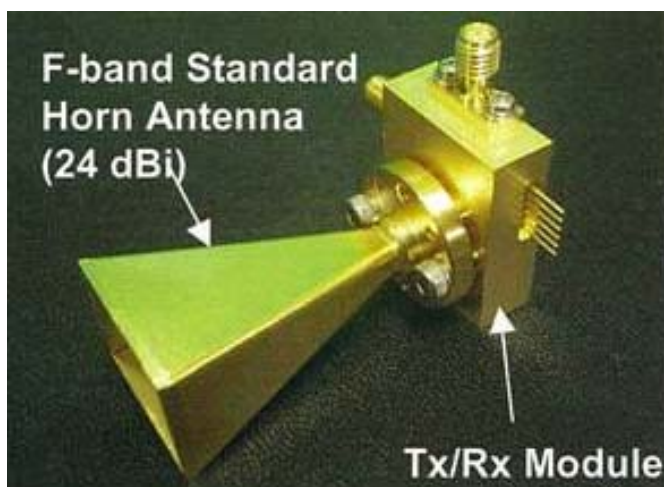
送信器MMIC



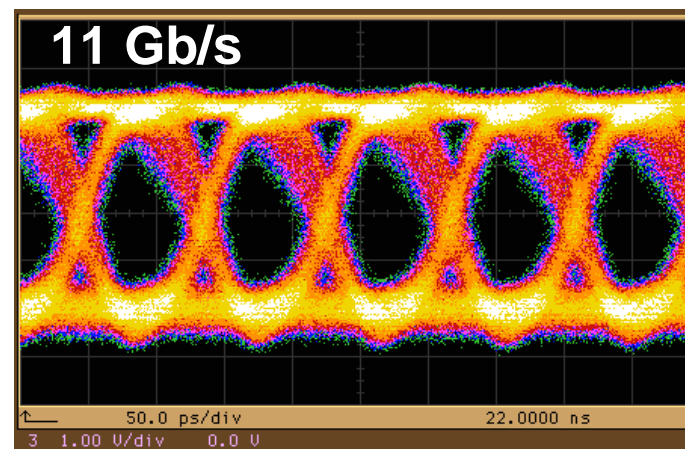
受信器MMIC



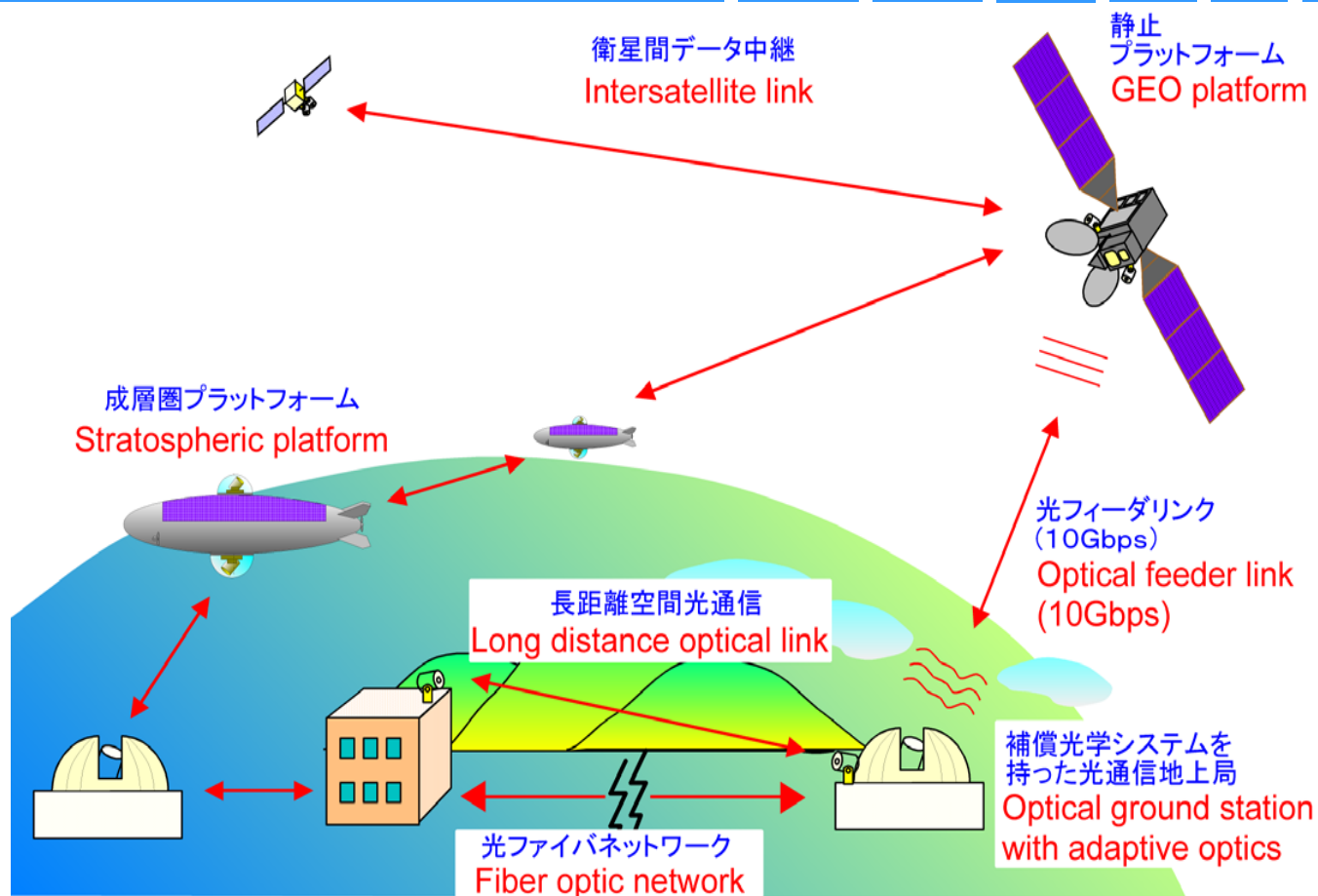
送受信モジュール



受信波形(アイパターン)



光宇宙通信の研究

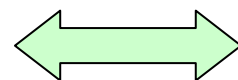


早稲田大学での光無線通信伝送実験

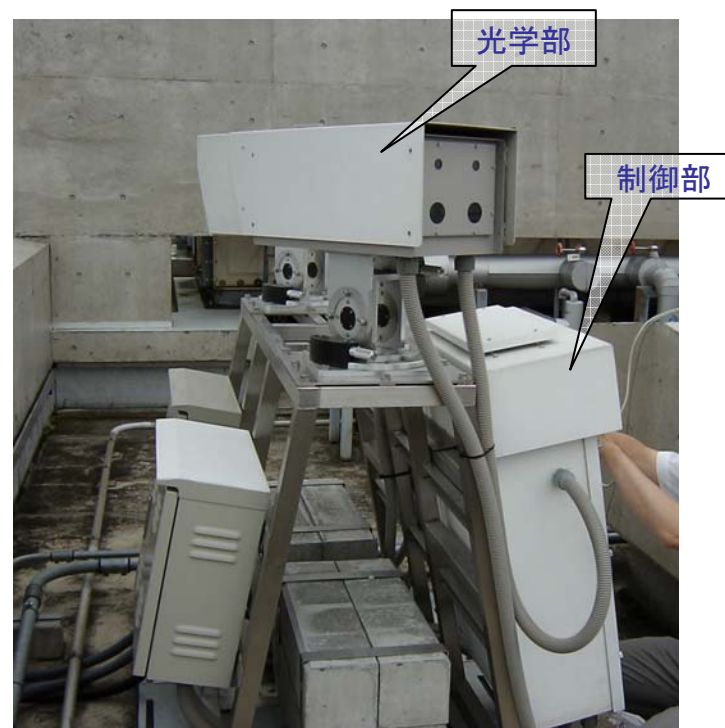


西早稲田キャンパスの屋上に設置した光通信装置 (右側)。左側は市販の光無線伝送装置で大気ゆらぎ評価のために設置。

成層圏プラットフォームでの実験用の開発した光アンテナモジュール及び捕捉追尾システムを早稲田大学に設置し、2005年6月から2.5Gbpsの伝送実験を実施。

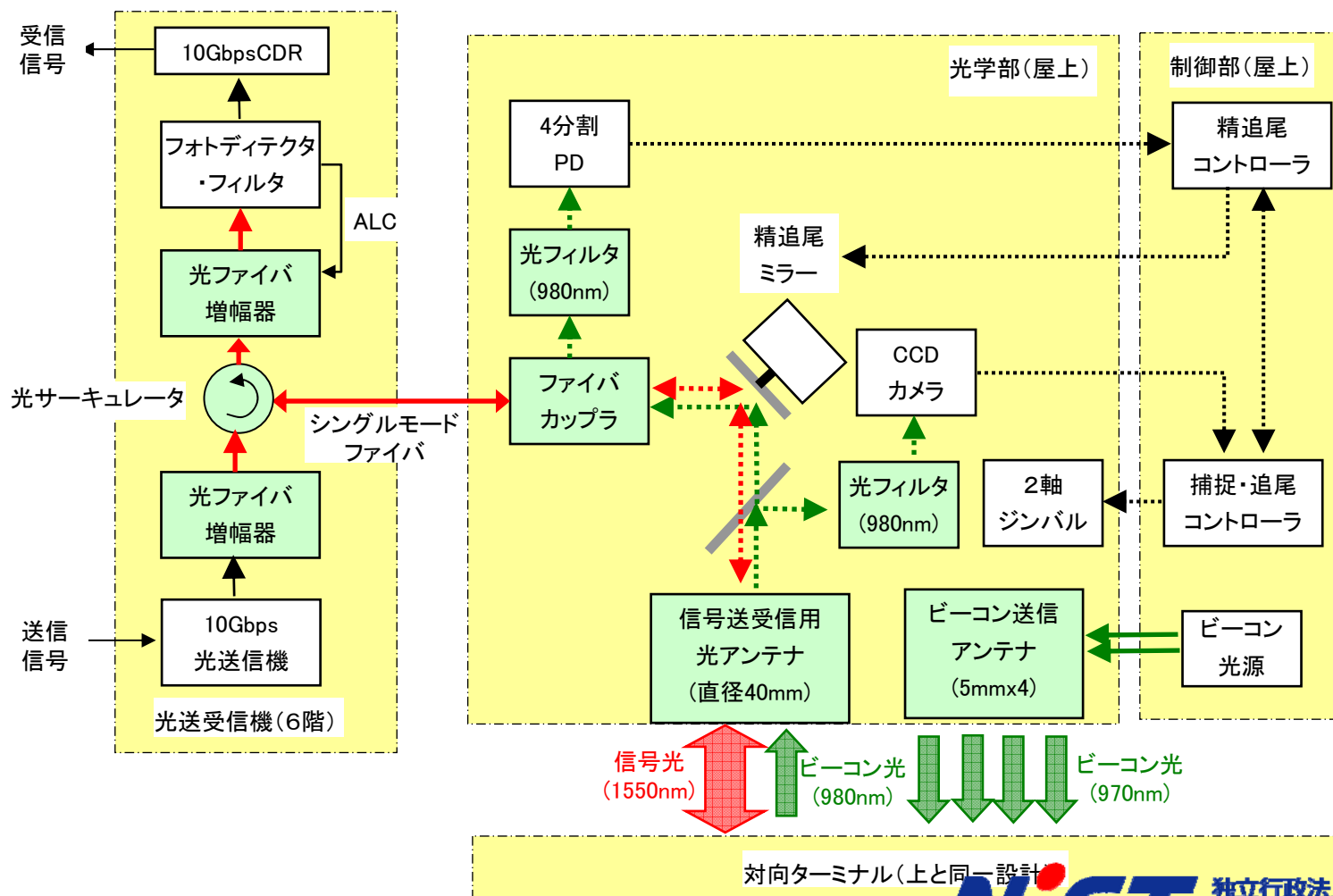


伝送距離
1km



大久保キャンパスの屋上に設置した光通信装置。装置の構成は西早稲田と同一。

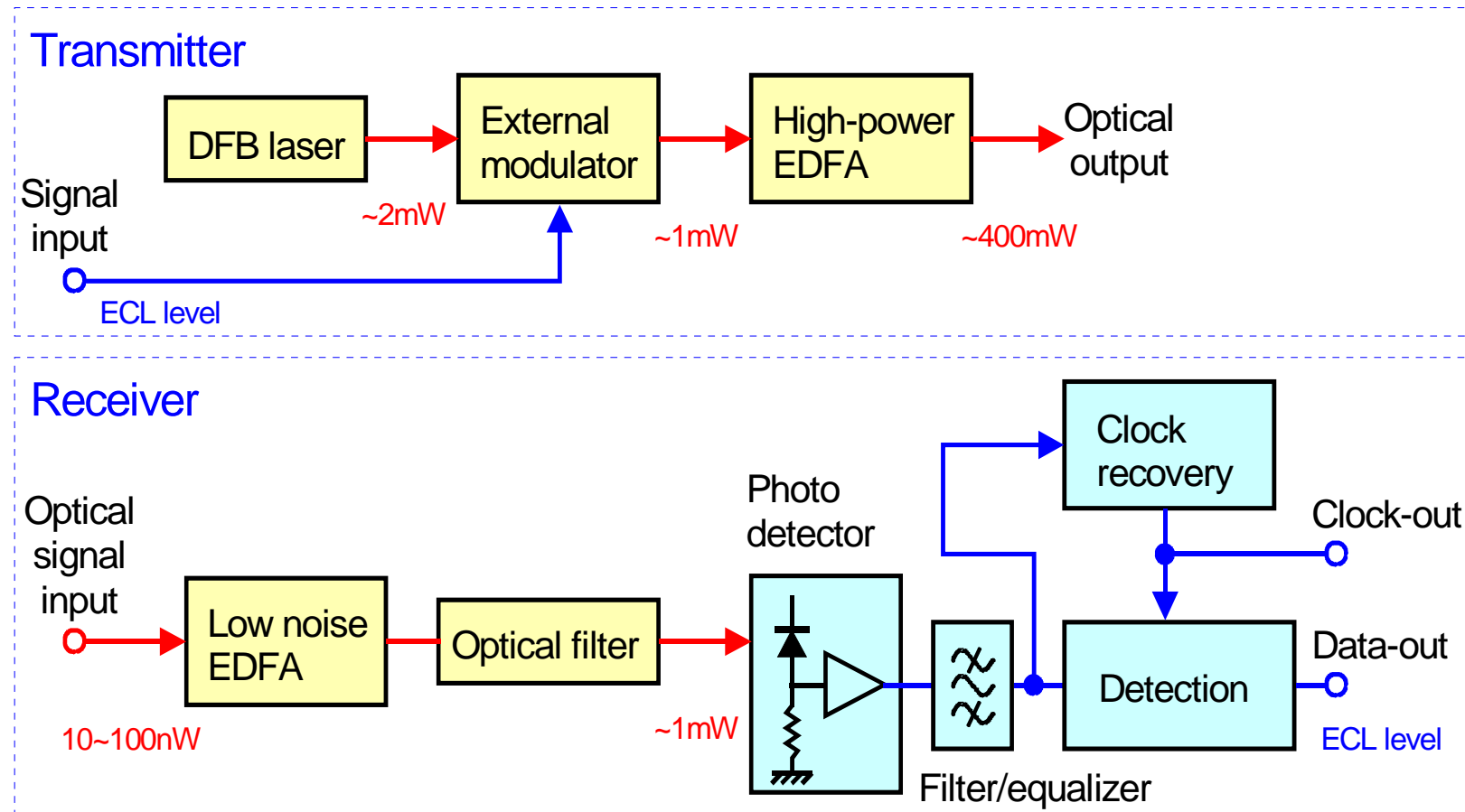
送受信ターミナルの構成



光通信実験装置の諸元

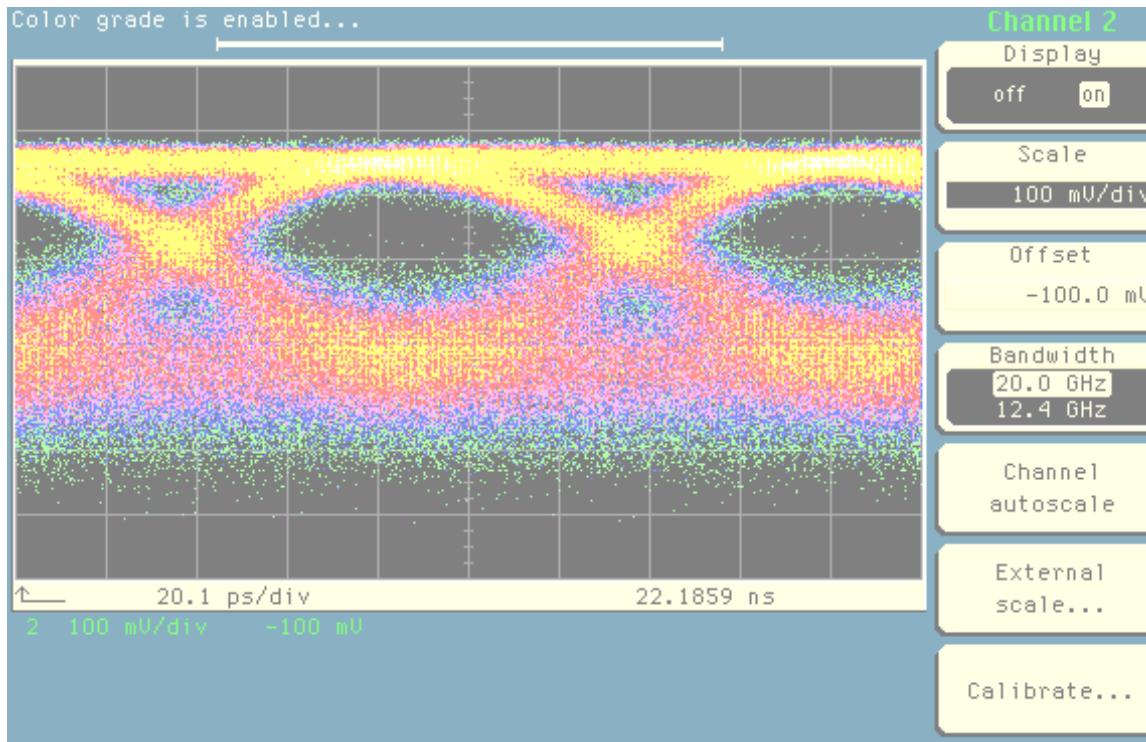
- 伝送距離: 1km
- レーザ波長: 1.562及び1.552 μm (信号伝送用、双方向)、
0.98 μm (ビーコン用)、
- 光出力: 受信点でクラス3A以下
(裸眼で安全なレーザー光強度)
- アンテナ: 直径4cm (1.5 μm 受信用)、
0.5cm (0.98 μm 帯送信用、4台)
- ジンバル: 2軸ステッピングモータ駆動
- CCD視野: $\pm 0.9^\circ$ (対角)
- ビーム幅: 0.5° (ビーコン光)

EDFAを用いた光送受信機の構成



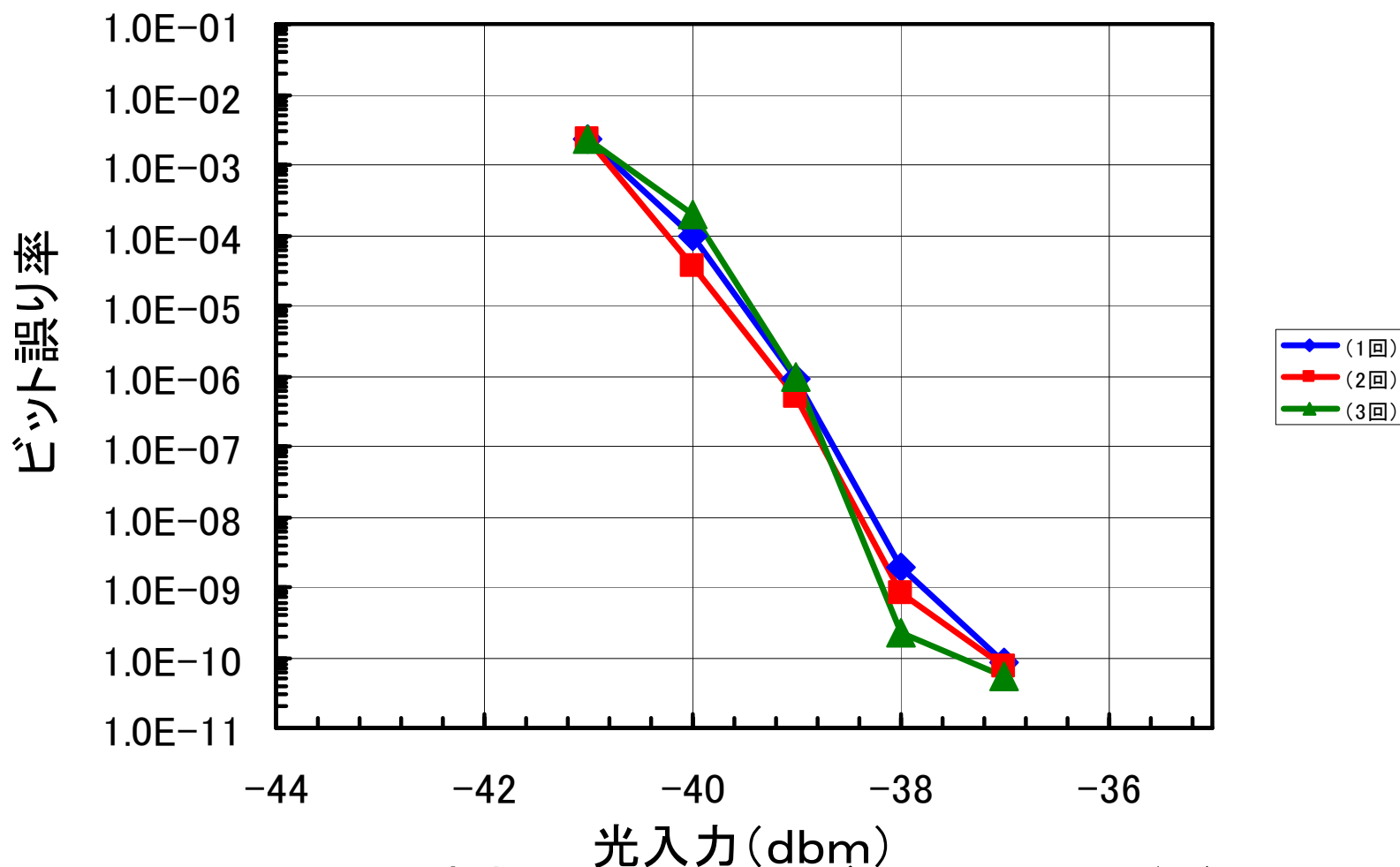
光ファイバ増幅器を活用することにより、送受信機の高出力化と高感度化が容易に達成できるようになった。早稲田での実験ではEDFA出力100mW、フィルタ帯域0.4nm、7GHzのベッセルフィルタを用いた。

10Gbpsの受信アイパターン



受信機入力電力が -37dBm の際の光受信機アイパターン。このときの誤り率はおよそ 10^{-9} に相当する。画面上部がゼロで、マークとスペースでショット雑音の大きな変化が現れている。

10Gbps受信機のビット誤り率特性



-37dBmの受信機感度、35dB以上のダイナミックレンジが得られた。

まとめ

- ミリ波帯は広帯域短距離通信として期待でき、デバイスの低廉化にともない、家電間接続デバイスとして有望である。
- 光無線はミリ波の補完として期待できる。