

ミリ波ブロードバンド通信・ 高速移動体通信技術

- － ミリ波ブロードバンド通信システム用アンテナ技術の研究開発 －
－ ミリ波高速移動体通信システムの研究開発 －

本研究開発は、総務省委託研究「電波資源拡大のための研究開発」にて、平成17～21年度に実施を行ったものです。

平成22年12月20日
三菱電機株式会社
小西 善彦

ーシステムイメージー

多ビームアンテナを用いたミリ波無線通信システムによる屋内無線LAN

- 1アクセスポイントアンテナ16ビームを高速切替制御、4m×4mエリアの端末と通信
- 1userあたり100Mbps×max.10users(トータル1Gbps)
- アンテナ拡張(下図は6アンテナ)により、エリア形状・面積を柔軟化
- アンテナ間協調制御による、100ビーム超の無線システム

ー研究課題ー

①多ビームアンテナ技術に関する研究開発

- アンテナ素子のビーム指向性の確保、ビームの最適配置、低損失な多接点切り替えスイッチの研究開発
- 16素子程度の素子アンテナで構成される秘匿性の高い、小型の多ビームアンテナを実現

アクセスポイントにおける課題

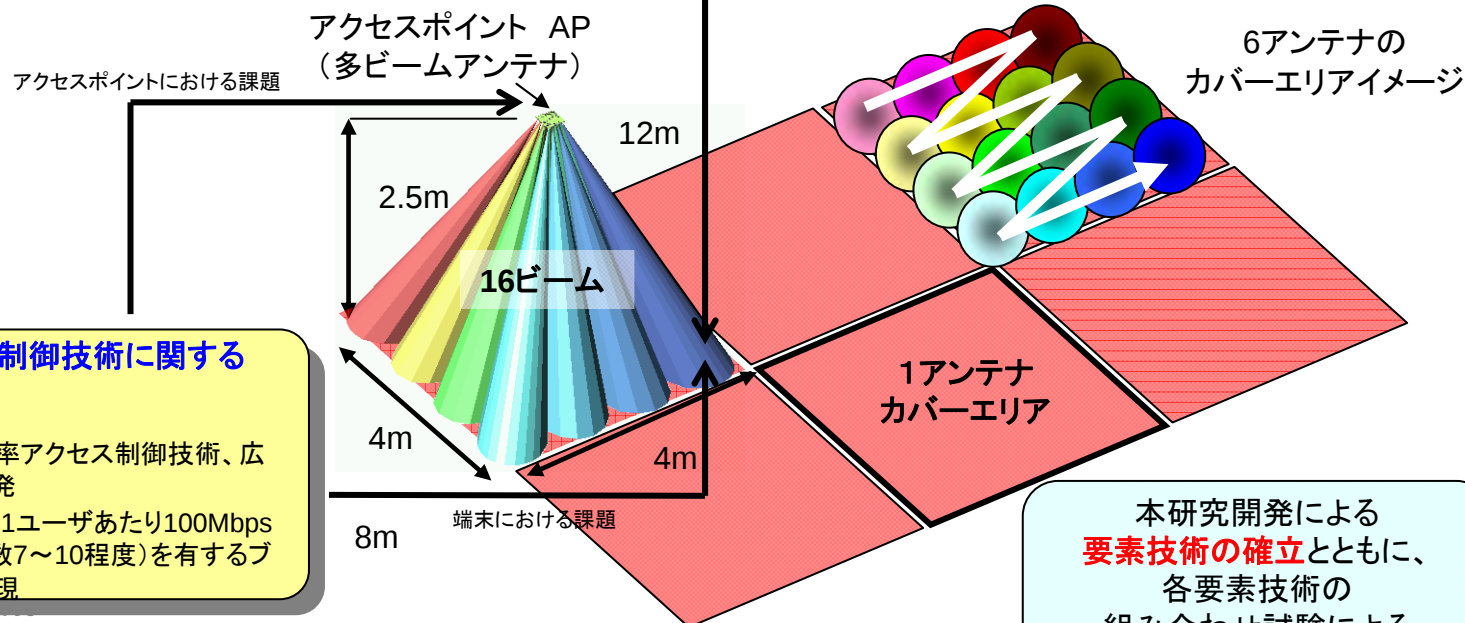
端末における課題

②小型・低コストアンテナ技術に関する研究開発

- 多ビームアンテナと対向するユーザ側アンテナの小型・低コスト、高性能化の研究開発
- ミリ波帯のアンテナの低サイドローブ化、高効率(低損失)化、低コスト化の実現

③広帯域通信・アクセス制御技術に関する研究開発

- 位置検知技術、高速・高効率アクセス制御技術、広帯域変復調技術の研究開発
- トータル実効レート1Gbps、1ユーザあたり100Mbps程度の実効レート(ユーザ数7~10程度)を有するブロードバンド通信技術の実現



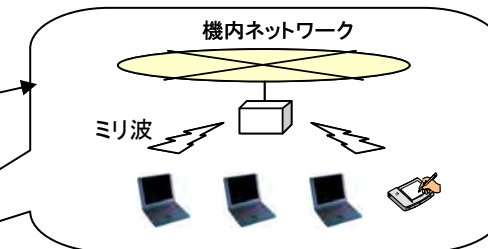
本研究開発による
要素技術の確立とともに、
各要素技術の
組み合わせ試験による
システムとしての動作検証・評価

AP : Access Point

「航空機内におけるユビキタス環境の実現に向け、地上と航空機間の無線リンクを実現する」
ことを目標とし、以下のサブテーマに分類し、研究開発を実施

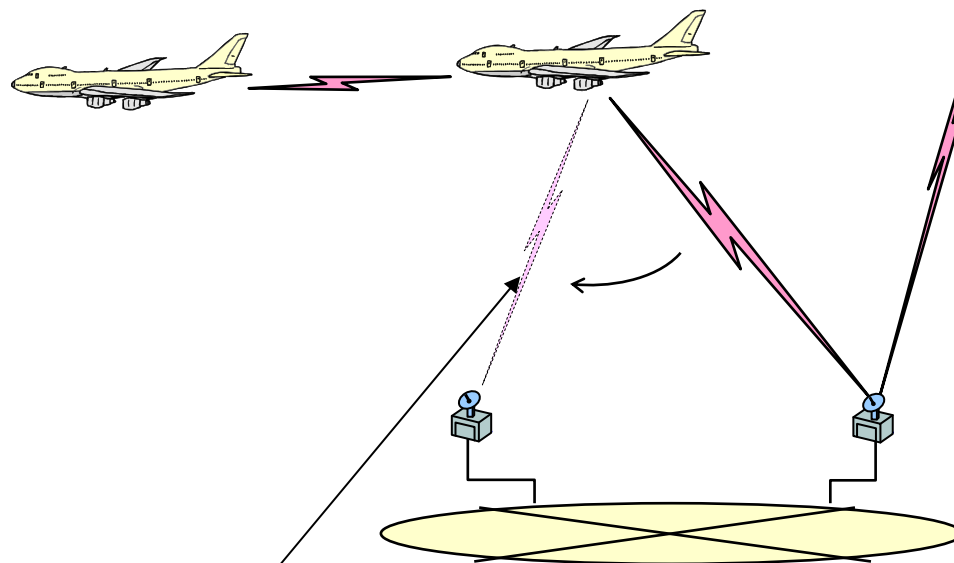
ア. 航空機広帯域無線システムに関する研究開発

- ・航空機に適したアクセス制御、捕捉・追尾制御技術
(長距離通信に対応したアクセス制御、高指向性ビームを用いた捕捉・追尾)
- ・航空機内に適した無線環境技術



イ. ミリ波帯アレーアンテナ(APAA)技術に関する研究開発

- ・ミリ波アクティブフェイズドアレーアンテナによる一次元電子走査アンテナ技術

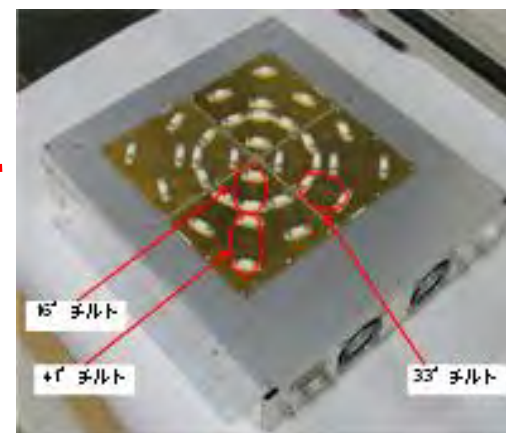
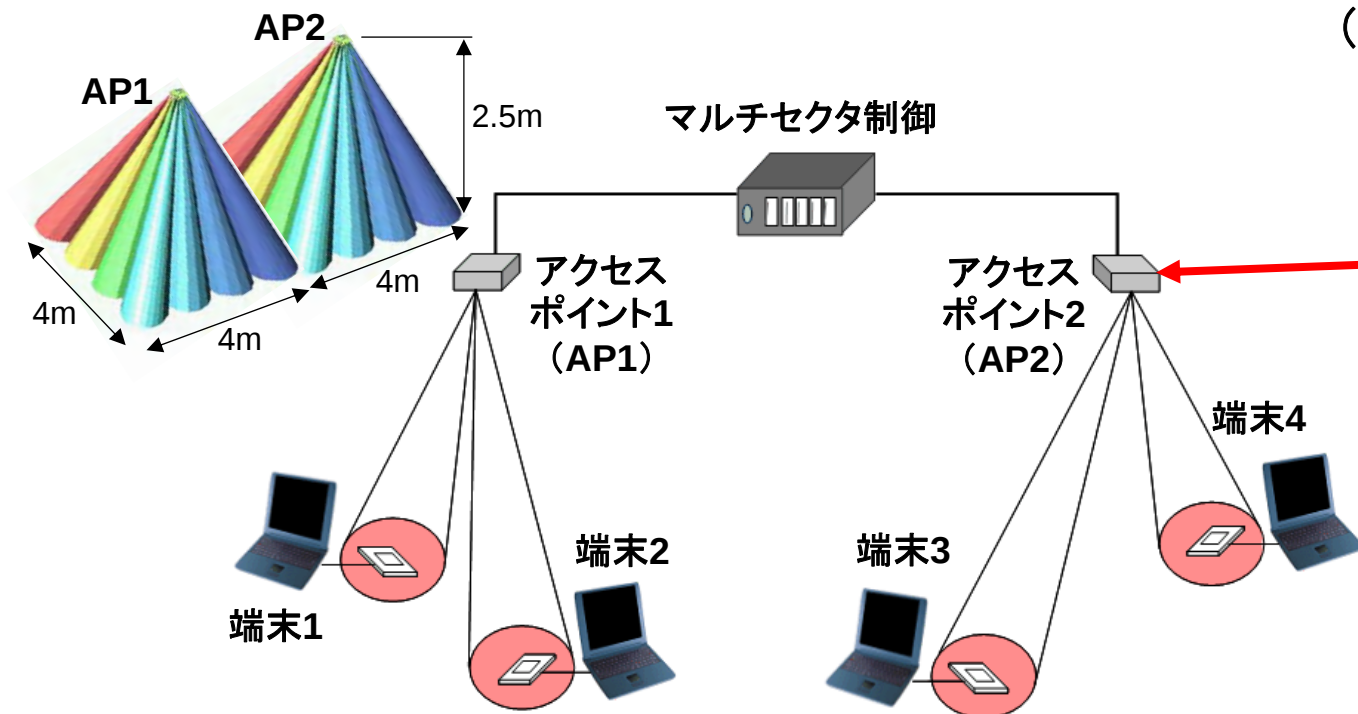


ウ. 高速移動ネットワーク技術に関する研究開発

- ・ハンドオーバー時のデータロスを抑える予測型ハンドオーバー技術
- ・モバイルIPとアドホックネットワークの連携による最適な経路管理技術

世界最速の「多ビーム切替型アクセスポイントー複数端末間60GHz帯双方向通信」を実証

1AP-1端末間最大実効レート:**739Mbps**, 2AP-4端末間合計実効レート:**583Mbps**
(1端末当り約**146Mbps**)



16ビーム切替型アクセスポイント(AP)用アンテナ

低損失樹脂基板に構成した
ビームチルト型ポスト壁導
波管スロットアレーアンテナ

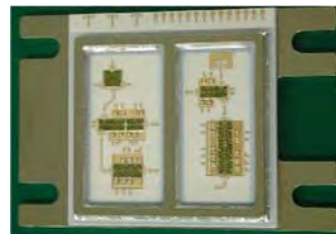


広帯域変復調技術(AP, 端末)

OFDMによる広帯域変復調
(信号帯域320MHz)

高速・高効率アクセス制御技術

可変フレーム構成により通信制御
を高速・高効率化

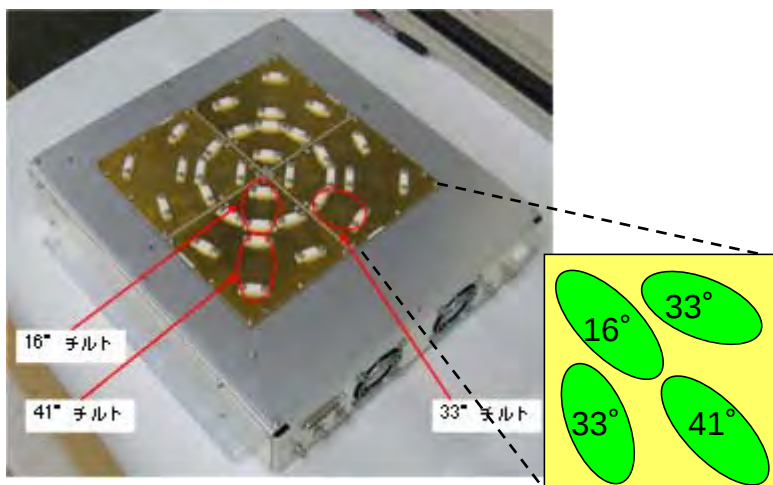


送受信MMICモジュール(AP, 端末)

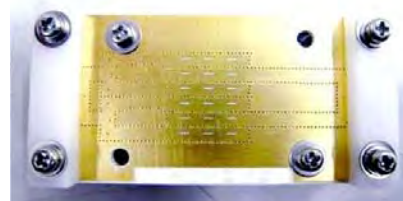
GaAsを採用した60GHz帯高出力
増幅器MMIC(出力19dBm, Siの4倍)

番号	目標	達成状況	得られた成果
1	1アクセスポイントアンテナ 16ビームを高速切替制御	1アクセスポイントアンテナ 16ビームを高速切替制御	1アクセスポイントあたり16ビームで 面的エリアをカバーできることを実証
2	天井高さ2.5mで 4m×4mエリアの端末	天井高さ2.3mで 3.5m×3.5mのエリアでの 通信を確認	当初の想定エリアで通信ができる 見込みを確認
3	1ユーザ(端末)あたり 100Mbpsで 最大10ユーザ(端末)を 想定し、トータル1Gbpsの スループットを実現	1ユーザ(端末)あたり 146Mbps@4端末時	端末数とスループットとの関係を 明確化
4		システム試験では 最大4ユーザ(端末)	ユーザ(端末)の増加時のシミュレー ションにより、10ユーザ以上でも対応 できることを確認
5		1Gbpsの伝送速度を実現 するモデムを用いた1対1 伝送で最大739Mbps のスループットを確認	システム効率:74%を達成
6	アンテナ拡張により、エリ ア形状・面積を柔軟化	2アクセスポイントでのシス テム試験により、アンテナ 拡張できることを実証	シミュレーションにより、アクセスポイ ントの増加に対応できることを確認
7	アンテナ間協調制御によ る、100ビーム超の無線 システム	2アクセスポイントでのシス テム試験により、32ビーム の無線システムを構築	シミュレーションにより、アクセスポイ ントの増加に対応できることを確認

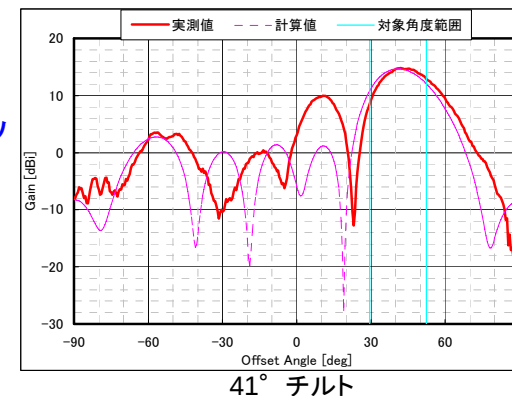
◇研究成果(多ビームアンテナ技術)



- 低損失基板にポスト壁導波路で構成したビームチルト型導波管スロットアレーアンテナ



アンテナ利得(41° チルトのセルエッジ48° 方向利得)
目標値: 13.6dBiを達成
[測定値: 14.3dBi]

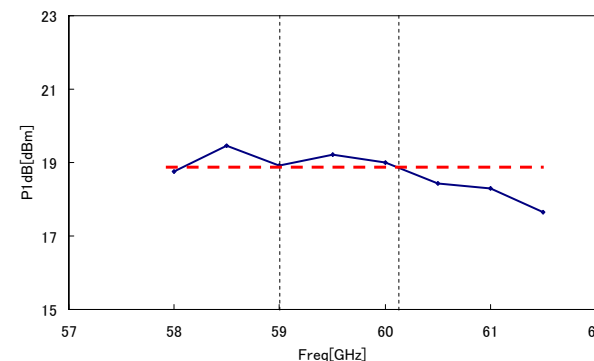
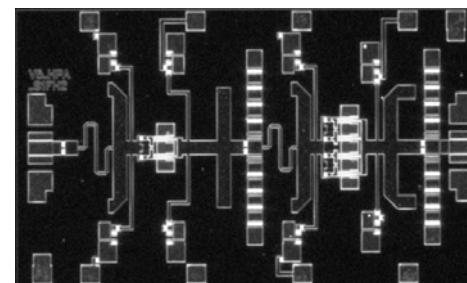
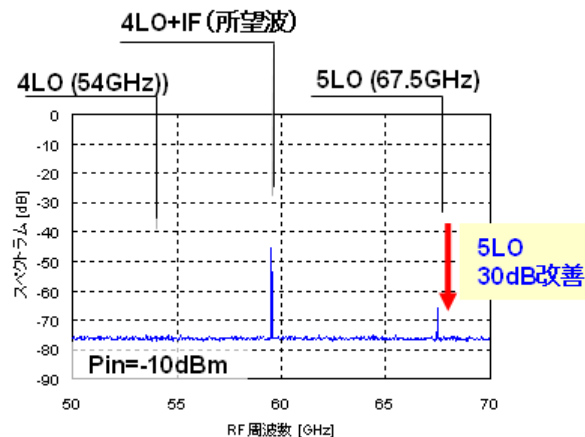
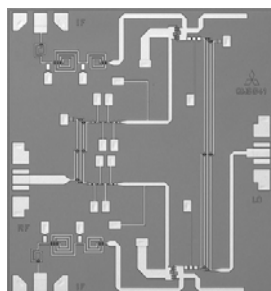


- 60GHz帯での4次高調波形低スプリアスIRM MMICチップ

ミキサ構成

目標: 新規構成のミキサの開発を実現[5LOを30dB改善]

- ミリ波送受信モジュール部内にあるHPA MMICチップ



HPA MMIC単体の出力特性

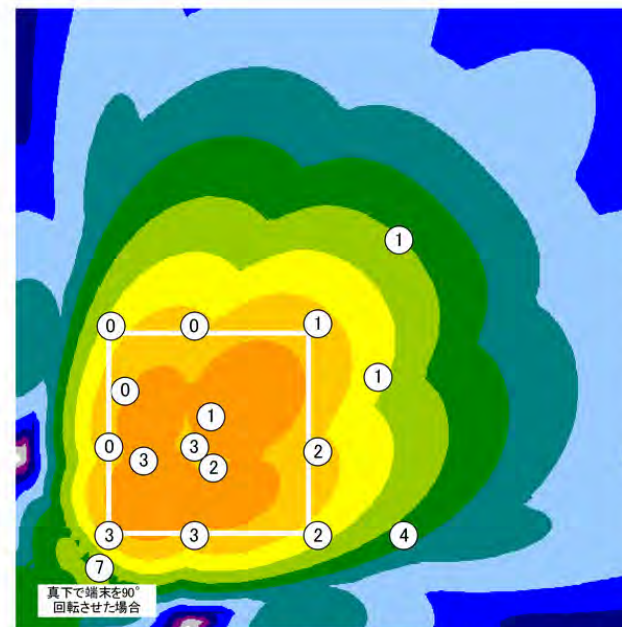
目標値: 19dBmを達成
[測定値: P1dB 19dBm]

●多ビームアンテナのカバーエリアにおける面的特性評価
＜試験系＞（基礎データ取得）



設計どおり、ほぼ全体にわたって、均一な特性を取得

広帯域アクセス制御装置と組み合わせた
端末位置認識・通信確認結果



- 白線内⇒設計上の通信エリア
- 通信エリア内では、広帯域アクセス制御装置が設計どおり、端末の位置を認識し、最適ビームを選択
- 最適な変調方式を選択し、通信確立(適応変調)していることも確認

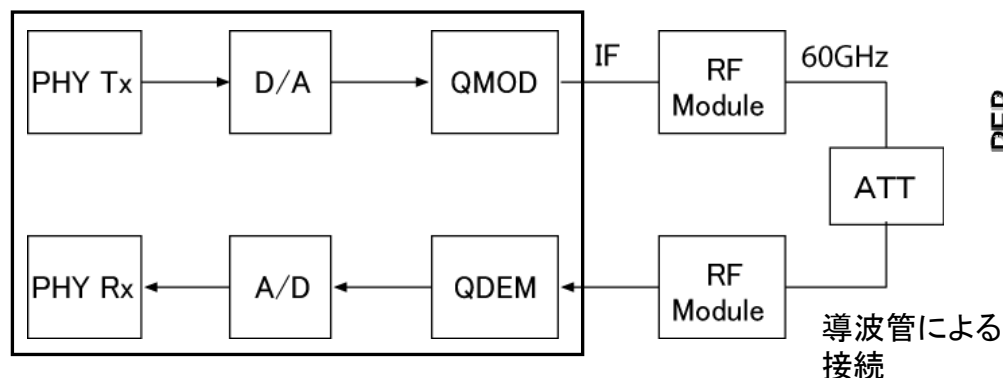
システムの動作を実証

◇研究成果(広帯域通信・アクセス制御技術)

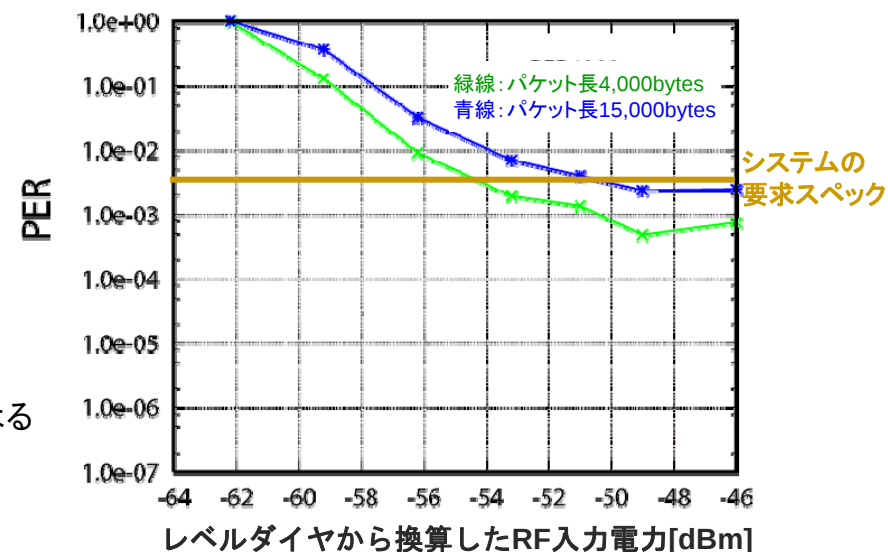
広帯域変復調装置(PHY)の諸元

変調方式	OFDM	FFT帯域幅	400MHz
伝送路符号化	畳込み符号	信号帯域幅	320MHz
OFDMシンボル時間	2.72 μ sec	FFTポイント数	1024
伝送速度	150Mbps~1.2Gbps	所要パケット誤り率	PER<1e-2@1Gbps

変復調装置の評価系



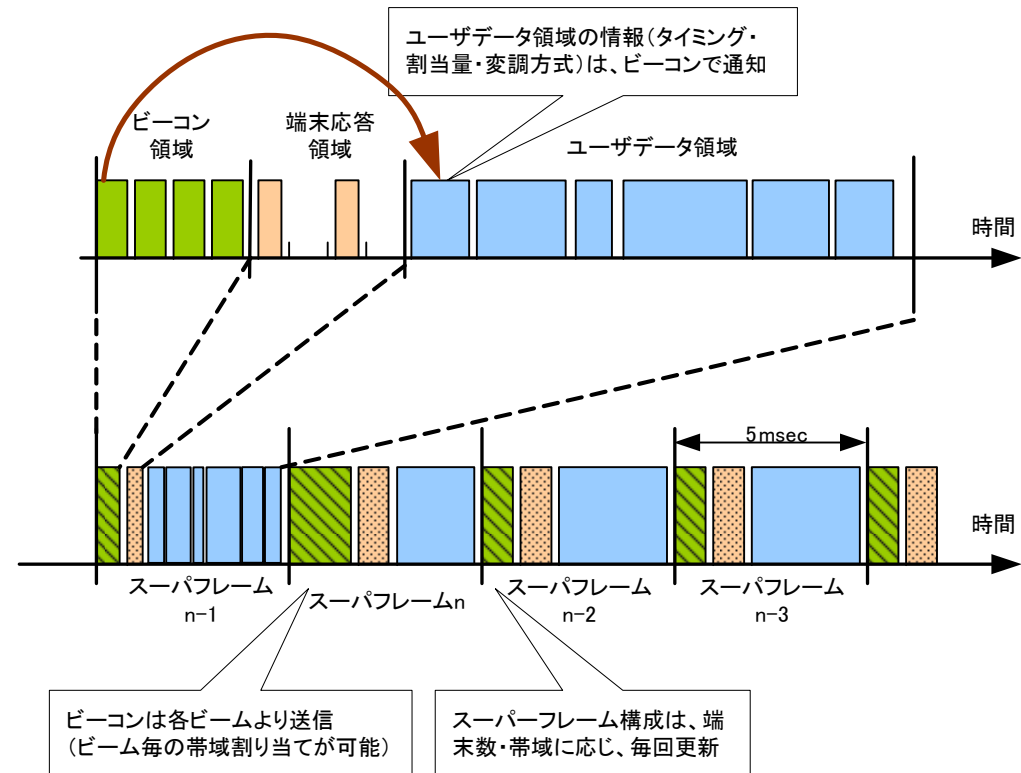
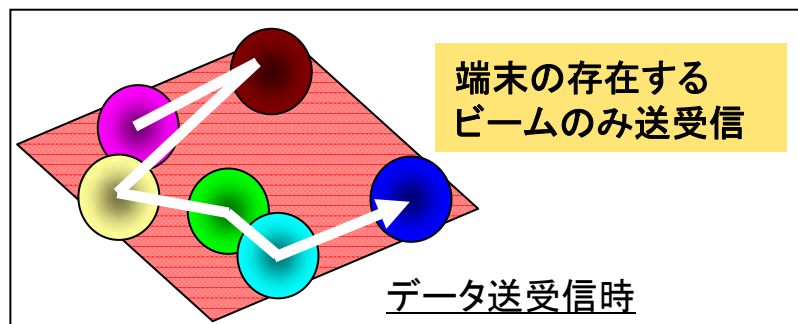
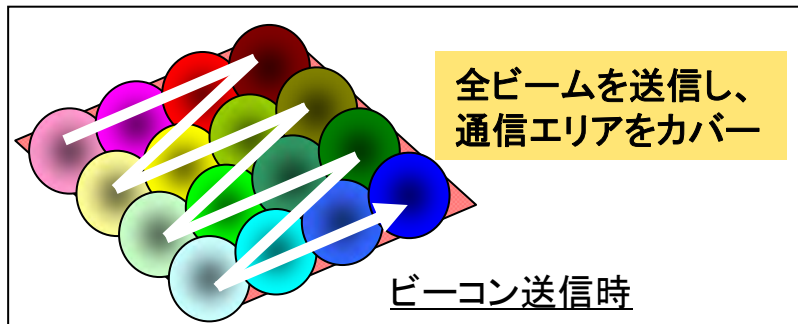
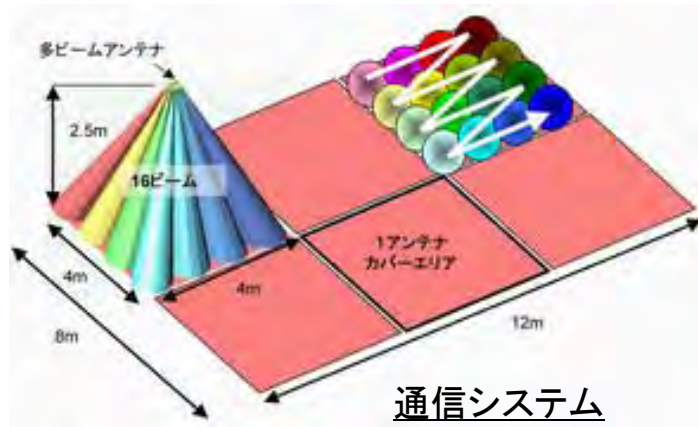
変復調装置の特性



パケット長15,000bytesの場合、-54dBm以上で1Gbpsが達成可能

PHY : Physical Layer, OFDM : Orthogonal Frequency Division Multiplexing, PER : Packet Error Rate
QMOD : Quadrature Modulator , QDEM : Quadrature Demodulator

◇研究成果(広帯域通信・アクセス制御技術)



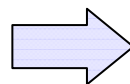
スーパーフレーム構成

TDMA制御とビーム制御を同時に実現するフレーム
フォーマット、および接続シーケンスにより、**アクセス
ポイント・端末間の検知と可変帯域割り当てを実現**

最大15,000byte (1500byte × 10フレーム)
のフレーム多重により、伝送速度に対する
システム効率: 74%を達成

◇研究成果(システム実証)

以下の様々なシステム系統にて、
通信システムとしての動作を検証・評価



APの数量・配置や端末(MT)の数量・配置に
依存しない柔軟な通信システムの確立を実証

●1AP-1端末(MT)の系



●1AP-2端末(MT)の系



●2AP-4端末(MT)の系



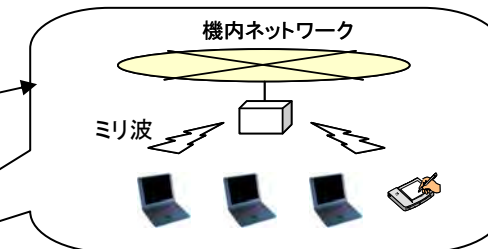
1アクセスポイント・1端末の環境で**最高スループット:739Mbps**を達成

複数アクセスポイント・複数端末による同時通信環境で
583Mbps(1端末あたり145.75Mbps相当)を達成

「航空機内におけるユビキタス環境の実現に向け、地上と航空機間の無線リンクを実現する」
ことを目標とし、以下のサブテーマに分類し、研究開発を実施

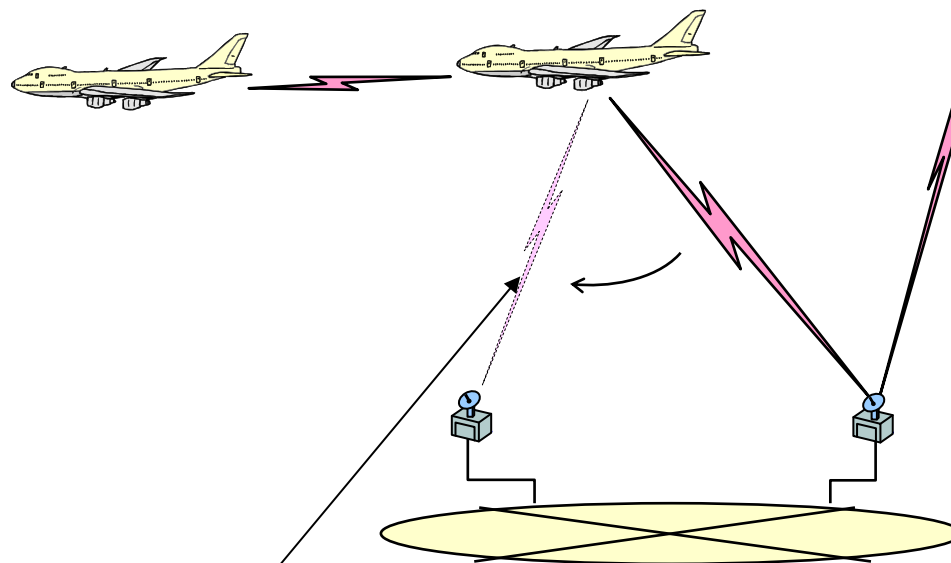
ア. 航空機広帯域無線システムに関する研究開発

- ・航空機に適したアクセス制御、捕捉・追尾制御技術
(長距離通信に対応したアクセス制御、高指向性ビームを用いた捕捉・追尾)
- ・航空機内に適した無線環境技術



イ. ミリ波帯アレーアンテナ(APAA)技術に関する研究開発

- ・ミリ波アクティブフェイズドアレーアンテナによる一次元電子走査アンテナ技術



ウ. 高速移動ネットワーク技術に関する研究開発

- ・ハンドオーバー時のデータロス进行最小限に抑える予測型ハンドオーバー技術
- ・モバイルIPとアドホックネットワークの連携による最適な経路管理技術

◇研究成果(実証実験)

ミリ波APAAによる地上局の
追尾・通信確認

高速ミリ波無線リンク確立

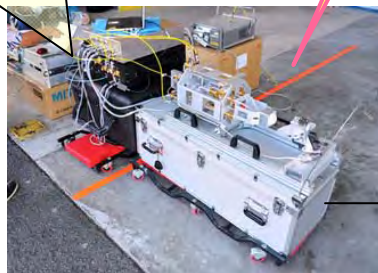
伝送速度: 100Mbps

飛行高度: 8000m

飛行速度: 280km/h

飛行高度、飛行速度は
小型飛行機の制約

地上局にて航空機の捕捉・
追尾・通信確認



搭載アンテナ(APAA)



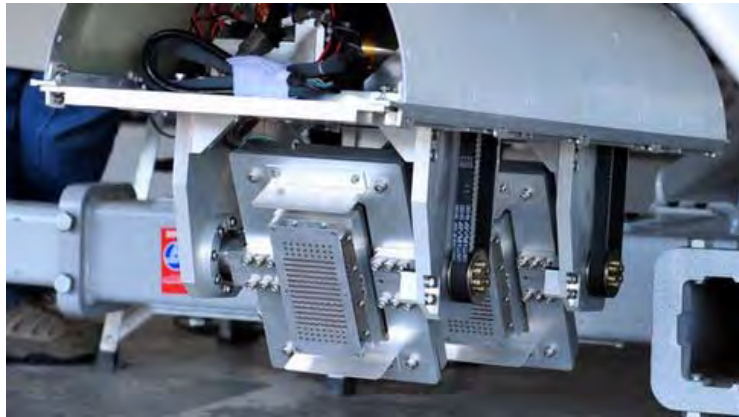
インターネット接続実証

e-mail, webカメラ、skypeなどの
アプリケーションの現地デモ
(動作確認)についても確認

晴天時のみならず
降雨時(小雨)に
おいても通信確認

インターネット回線

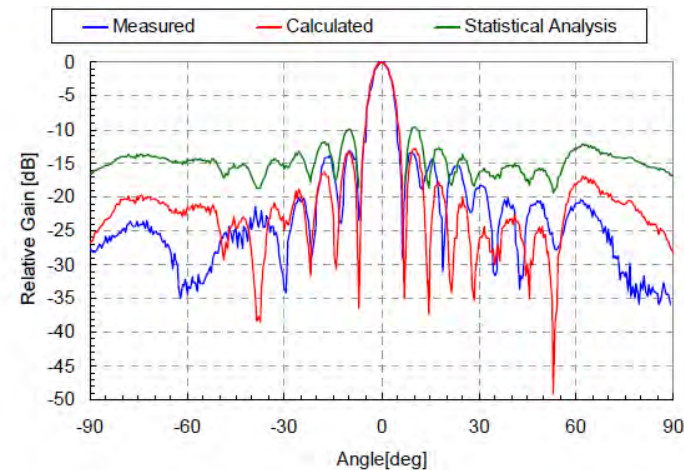
◇研究成果(アレーアンテナ(APAA)技術)



開発したAPAA(航空機搭載時)

航空機搭載用の
ミリ波帯アクティブフェーズド
アレーアンテナ(APAA)を開発

アンテナパターン
等の電気性能
確認のほか、
動揺試験にて
追尾機能を確認



アンテナパターン
測定結果



○動揺試験での確認フロー

送信局からの電波をスペアナでレベル確認



あらゆる姿勢に対してもレベルがほぼ一定



自己の姿勢を把握し、ビーム指向方向を
制御可能であることを確認

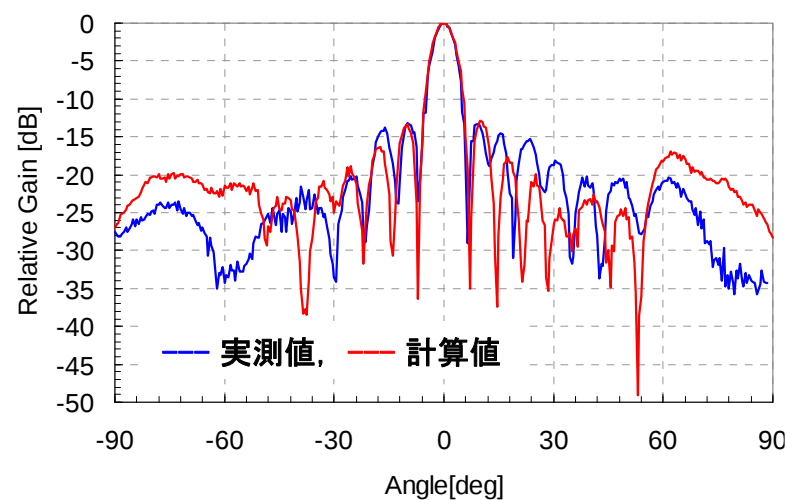
◇研究成果(アレーアンテナ(APAA)技術)



40GHz帯16素子樹脂射出成形
導波管ホーンアレーアンテナ



40GHz帯16素子×16列APAA

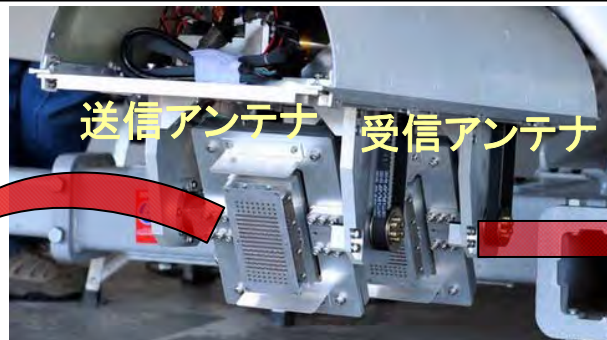


ビーム正面時の放射パターン(周波数:46.9GHz)

40GHz帯APAA試作評価結果

◇研究成果(アレーアンテナ(APAA)技術)

通信速度向上と高速なビーム指向方向制御のために移相器を備えた
高出力な送信モジュールと低雑音な受信モジュールを開発



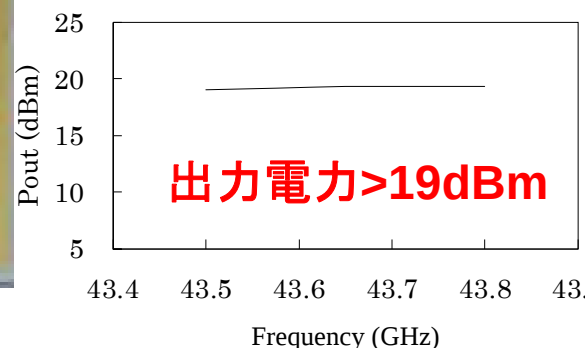
開発した送信アンテナと受信アンテナ



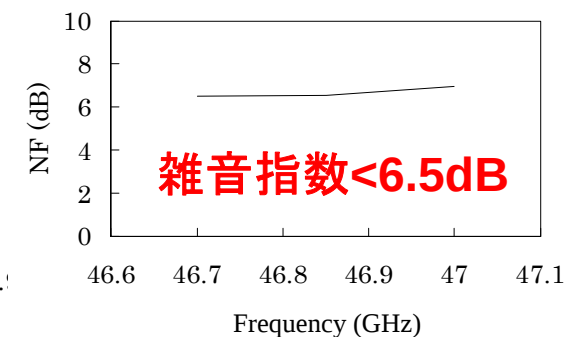
開発した受信モジュール
(25.6mm × 54.4mm × 3.9mm)



開発した送信モジュール
(25.6mm × 54.4mm × 3.9mm)



送信モジュールの出力電力



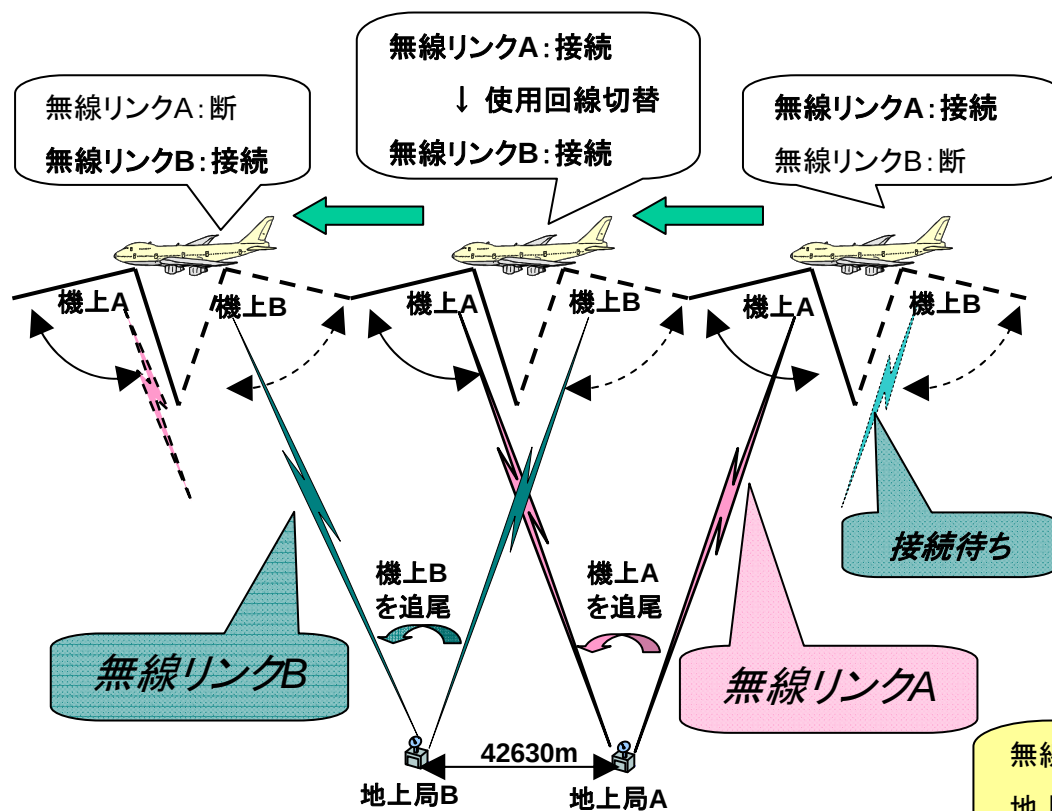
受信モジュールの雑音指数

業界トップクラスの高出力特性(送信モジュール)と
低雑音特性(受信モジュール)を実現

◇研究成果(高速移動ネットワーク技術)

課題: ハンドオーバーにより秒単位の通信断のある環境や伝送距離に応じて無線帯域が変更される環境において、無線帯域を有効に利用可能とする無線連携によるハンドオーバー制御機能の実現

成果: ミリ波無線装置との連携機能を具備したネットワークエミュレータを用いて、航空機実験におけるミリ波接続環境と同等の実験環境を構築し、ハンドオーバー動作を確認した。

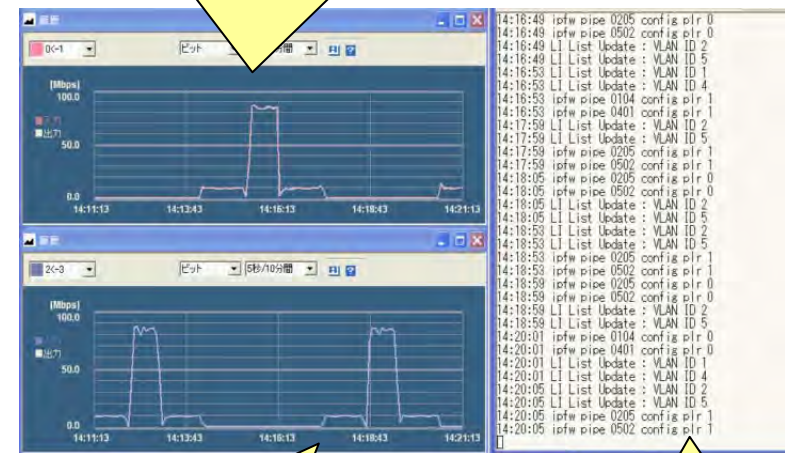


地上8000mを800km/hで飛行するジェット機を想定

無線リンクA のIPTラヒック

航空機の移動により回線伝送レートが
10⇒100⇒10 (Mbps) と変化

IPTラヒックも回線伝送レート変化に追従



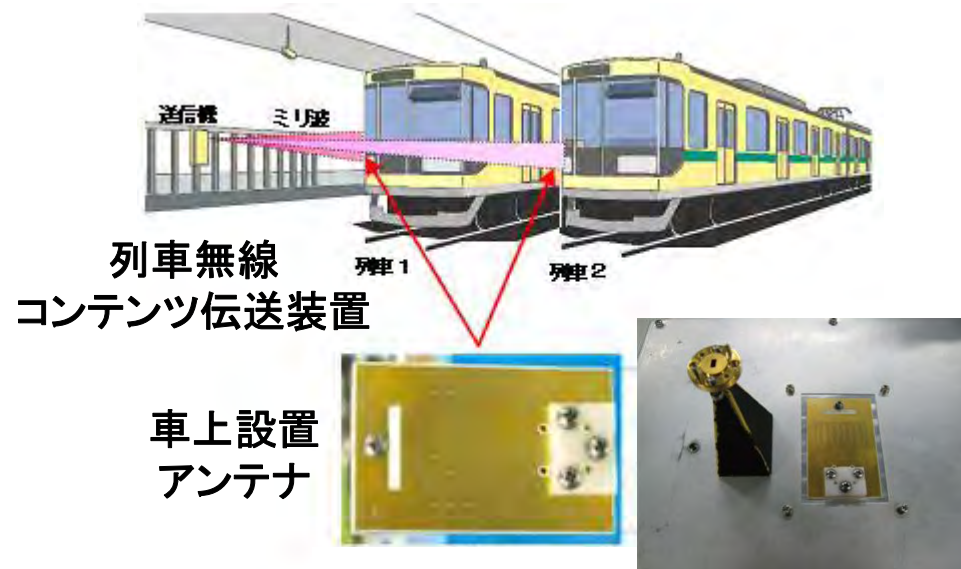
無線リンクB のIPTラヒック

地上局Bと接続が確立すると、
使用回線を切り替える

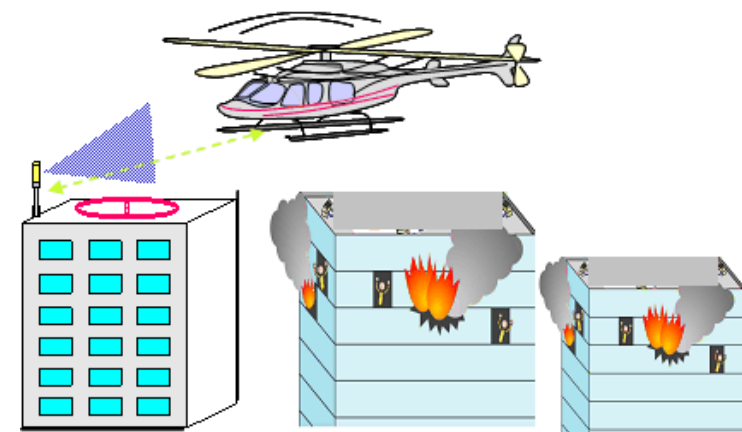
ネットワークエミュレータ
シナリオ動作ログ

以下のようなアプリケーションへの展開を想定

- ◆ ミリ波無線LANシステム
- ◆ 電車内などに情報を提供するミリ波コンテンツ伝送等の地上一車上間通信システム
⇒ 鉄道事業者向けに実用化(車上設置アンテナ, 送受信機MMIC)を実施
- ◆ 航空機等の移動体向けの大容量データ転送用無線システム



60GHz帯列車無線コンテンツ伝送システム



非着陸スポット・ブロードバンド

航空測量データ転送