

成果概要書
超高速ギガビット無線 LAN の研究開発

(1) 研究の目的

ミリ波を利用したギガビットクラスの超高速無線 LAN を実用化するため、ミリ波帯の伝播特性と広帯域伝送に適したアンテナ、変復調方式、および通信プロトコルを研究・開発する。

(2) 研究期間

平成 16 年度から平成 20 年度 (5 年間)

(3) 受託社名

(株) 国際電気通信基礎技術研究所<幹事>、富士通 (株)、沖電気工業 (株)

(4) 研究予算 (百万円)

平成 16 年度	269.5 百万円 (総額)
平成 17 年度	250.0 百万円 (総額)
平成 18 年度	300.0 百万円 (総額)
平成 19 年度	300.0 百万円 (総額)
平成 20 年度	287.5 百万円 (総額)

(5) 研究開発課題と担当

課題ア：ミリ波通信におけるアンテナ技術、フェージング対策技術等に関する研究

1. 超高速無線方式に関する研究
(株) 国際電気通信基礎技術研究所
2. 可変指向性アンテナに関する研究
(株) 国際電気通信基礎技術研究所
3. 無線セキュリティに関する研究
(株) 国際電気通信基礎技術研究所

課題イ：ミリ波通信における超高速変復調方式
およびメディアアクセス制御方式の検証・研究

1. ミリ波通信における超高速変復調方式の研究
(富士通 (株))
2. ミリ波通信におけるメディアアクセス制御方式の検証・研究
(沖電気工業 (株))

課題ウ：実用化に向けた総合実証実験の実施

(株) 国際電気通信基礎技術研究所

課題エ：研究開発課題全体管理

(株) 国際電気通信基礎技術研究所

(6) これまでの主な研究成果

特許出願： 33件
外部発表： 120件

具体的な成果

課題ア－1

(1) 数値チャネルモデル及び3次元レイトレースによる室内環境の遅延プロファイルを求め、伝搬減衰 82dB物理層における伝送速度が3Gbpsおよび伝搬減衰 88dB物理層における伝送速度が1Gbpsの場合にビット誤り率が 10^{-5} 以下となる見通しを得た。

(2) FSK変復調における伝送特性を確認するためICを開発し、電波暗室内において伝送実験を実施した。2値FSKで伝搬距離5.1mにおいて伝送速度1.96Gbps、ビット誤り率は 10^{-12} 以下、伝搬距離10mにおいて伝送速度1.00Gbps、ビット誤り率は 10^{-12} 以下であることを確認した。

課題ア－2

(3) 導波管スロットアレー、マルチポートスイッチ、制御回路で構成される8セクタ切替アンテナを開発し、ビーム切替によって室内全体を臨む方位角 180° をカバーできることを実験的に確認した(セクタ当たり平均カバー率82%)。

(4) 放射素子利得、スイッチ損失の測定値を用いた回線計算により3Gbps伝送を実現できることを確認した。周波数帯域は3Gbpsを実現できる周波数帯域3GHz(2チャンネル)を確保し、特に、考案した素子密配置導波管スロットアレーは8GHz(比帯域13%)を達成した。

課題ア－3

(5) 8セクタアンテナの開放セクタ切り替えにより、ビーム指向方向を制御し、暗号化のための暗号鍵を生成できることを確認した。実証試験により、鍵長128bitの暗号鍵を生成できることを確認した。良好な通信環境においては最短8sec、平均約12sec程度で鍵生成ができることを確認した。現状は鍵生成シーケンスにソケットとシリアルとの2つのインタフェースが混在するため、128bitの鍵を生成するのに約5.5secのウェイト時間を持たせている。よって今後、シリアル処理とソケット処理を1つにまとめることで、このウェイトは不要となるため、平均約6.5sec程度で鍵が生成できることになり、今後のさらなる鍵生成高速化の見通しを得た。

課題イ－1

(6) OFDM変復調方式において、サブキャリア数480、RF帯域幅1.2GHzに対応する変復調装置を開発し、BPSK変調、QPSK変調で、ビット誤り率 10^{-5} 以下を達成。16QAM変調において、物理層伝送速度3Gbpsをビット誤り率 10^{-5} 程度で達成した。

(7) 本機変調装置ベースバンド部とMAC装置との間で適応変調制御に

必要な RSSI 信号と制御信号の交換を行い、BPSK、QPSK、16QAM の変調制御機能稼働を確認した。60GHz ミリ波帯を通して RF 信号の送受を行い、受信した信号強度に応じた RSSI 信号により、送信側 1 次変調として、BPSK、QPSK、16QAM を自動的に選択できることを確認した。

(8) 室内無線 LAN に適用できる OFDM 変調方式パラメータをシミュレーションで決定した。さらに、オフィスを想定した実験室内で、OFDM 変復調方式によるミリ波帯でのパケット伝送試験を行い、送受信が行えることを確認した。

課題イー 2

(9) MAC 装置を PHY 装置に接続し、端末間で基地局を介した ping が動作することを P-MP での動作で確認した。

(10) 1.5Gbps を超えるスループットを模擬環境で確認した。(片リンクで 2.7Gbps、双方向通信で 2.2Gbps、マルチユーザーへのトータルスループットで Up Link : 0.97Gbps、Down Link : 0.7Gbps)

(11) RSSI 値から、変調方式を BPSK、QPSK、16QAM と適応的に切替る機能を実装。その閾値や最大再送回数なども設定変更可能とし、総合的に通信品質 (QoS) を制御できるようにした。

課題ウ

(12) 各ユニットが完成し、筐体へユニットを組み込み、無線 LAN システムとして正常に動作することを確認した。

(13) スループットの評価を行い、水平距離 4m、QPSK、R=3/4 で 580Mbps を達成した。

(14) 無線 LAN 機能の確認を行い、ftp によるファイル転送で P-P、P-MP ともプロトコルが正常に動作することを確認した。また、2ch 同時運用を行い、互いに影響を受けず、パフォーマンスの低下が無いことを確認した。

(15) 実用化について検討し、見通しを得た。

課題エ

(16) 定期的に打合せを実施し、インタフェース及び方式に関して、互いの意識のずれが生じないように管理した。このための定例会をこれまでに 42 回開催した。

(17) IEEE での標準化を目指す、ミリ波実用化に関するコンソシアムに参加し、本研究開発の研究成果の一部を提案した。

(7) 研究開発成果イメージ図

「超高速ギガビット無線LANの研究開発」の研究開発成果について

1. 施策の目標

ギガビットクラスの超高速無線LANや無線PAN等を実現するために、物理層における最大伝送速度3Gbps以上を達成し、端末については、USB接続等、携帯可能な装置として回路規模及び消費電力を達成できる見通しを確立する。また、100Mbps以上のデータ伝送速度を持つ移動通信システムを実現する。また、100Mbps以上のデータ伝送速度を持つ移動通信システムを実現するための技術の研究開発を行う。

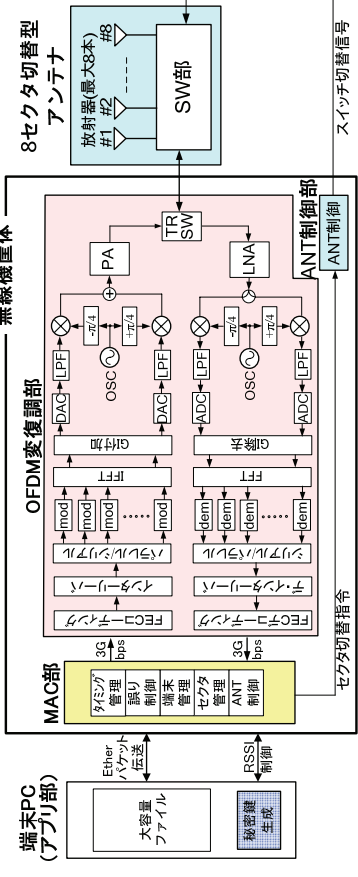
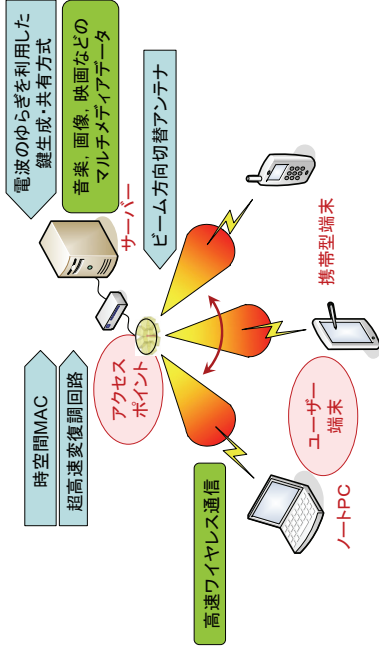
2. 研究開発の背景

ユビキタスネットワーク社会に向け、無線通信の役割、重要性は今後ますます増大してゆく。現在の無線LANの伝送速度は数M～100Mbpsであり、今後デジタルコンテンツの容量が増大し、多人数が同時に利用するシーンが生じることを考慮すると、将来的には数Gbpsクラスの高速化が必要になる。ただし、マイクロ波では広帯域が確保できないため高速化に限界がある。より広帯域が利用可能なミリ波を利用した、伝送速度がギガビットを超える無線システムの研究開発は近年、諸外国で研究開発が進んでおり、我が国においても実用化に向けた早期の研究開発を進める必要がある。

3. 研究開発の概要と期待される効果

超高速ギガビット無線LANシステムとして、ミリ波を用い、室内環境においてPoint-to-Multi Pointで最大伝送速度3Gbpsで送受信を行うと同時に、同一方式による他の無線LANシステムと共存することが可能な技術の研究開発を実施。研究開発は以下の要素技術毎に実施し、研究終盤にそれらの技術を統合した無線LANシステムの実証試験を実施。

- ① MACからの指令によりビーム方向の切り替えを行う可変指向性アンテナ技術 (株式会社国際電気通信基礎技術研究所)
- ② 60GHz帯でのOFDM、FSKを用いた超高速変復調技術 (富士通株式会社、株式会社国際電気通信基礎技術研究所)
- ③ アンテナのセクタ切替管理と時間管理を統合した時空間メディアアクセス制御(MAC)技術 (沖電気工業株式会社)
- ④ 電波のゆらぎを利用して情報量的に安全な鍵生成・共有を行う無線セキュリティ技術 (株式会社国際電気通信基礎技術研究所)



システムイメージ

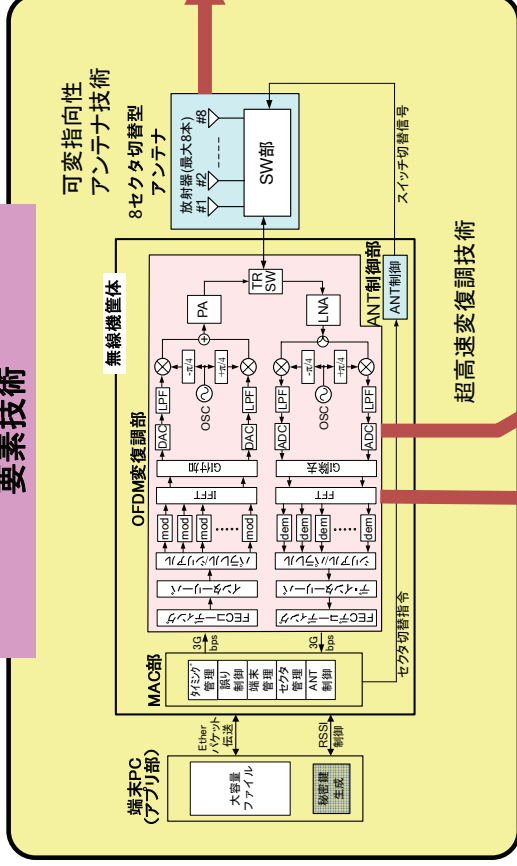
無線機の構成ならびに要素技術

4. 研究開発の期間及び体制

平成16年度～平成20年度(5年間)
NICT委託研究(株式会社国際電気通信基礎技術研究所、富士通株式会社、沖電気工業株式会社)

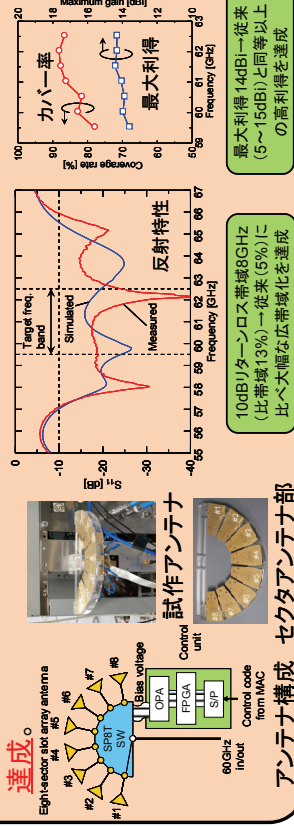
主な成果 (要素技術)

要素技術



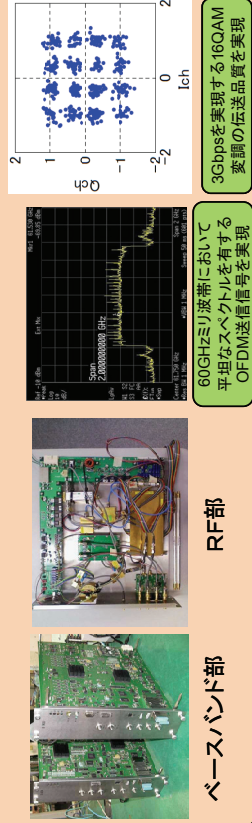
①可変指向性アンテナ技術

- 高利得な指向性アンテナで室内全体をカバーするためにビーム走査機能の実現が必要。
- ⇒ 広帯域・高利得の導波管スロットアレーアンテナとマルチポートスイッチを用いた60GHz帯セクタ切替アンテナにより、ビーム走査機能を実現。**従来方式のセクタアンテナに比べ広帯域・高利得を同時に達成。**



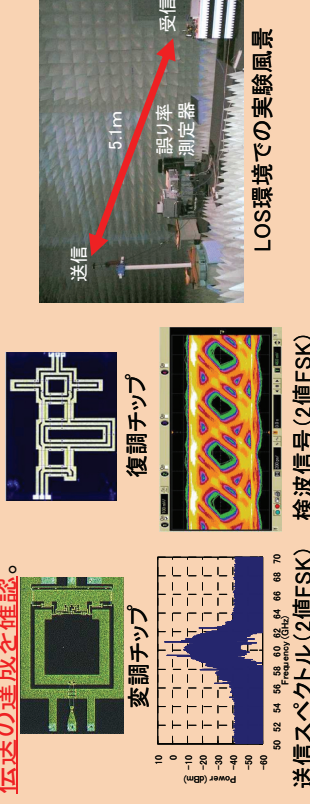
②超高速変復調技術 (OFDM)

- ギガビットクラスの超高速無線伝送を行うため、高速で適応的な多変調機能とマルチパス除去機能の実現が必須。
- ⇒ ミリ波帯においてOFDM変復調方式を採用し、16QAM変調や伝搬路推定・誤り訂正技術により、高速化・高信頼性化を実現。**物理層で3Gbpsの高速データ伝送を可能とし、ギガビットクラスの超高速無線LAN用PHYが構築できることを実証。**



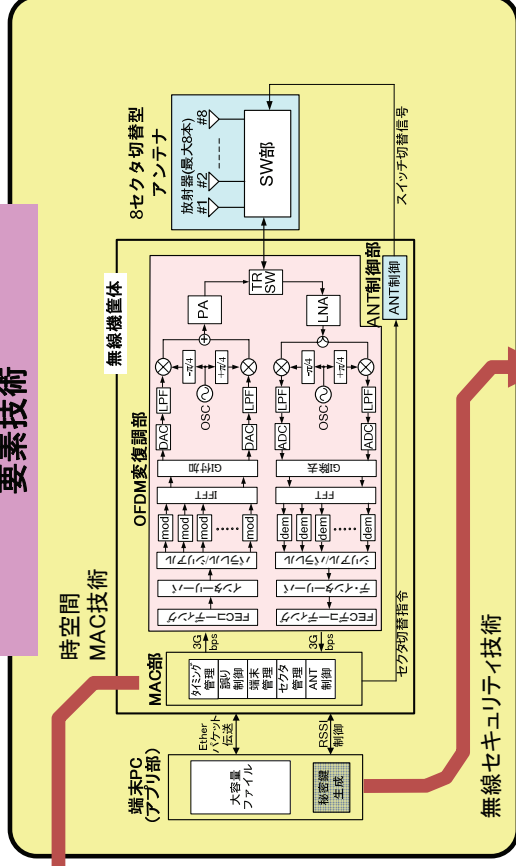
②超高速変復調技術 (FSK)

- OFDM変復調装置よりも小型で簡易なシングルキャリア変復調装置の実現性の把握が必要。
- ⇒ 簡易な構成のFSK変調方式と遅延検波による復調方式を用いた周波数変換不要の直接変復調回路の開発により、**2Gbpsで5.1mの伝送の達成を確認。**



主な成果(要素技術)

要素技術

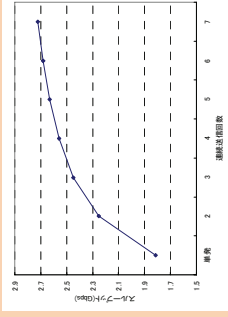


③時空間MAC技術

●セクタアンテナの制御と、適応変調の制御を同時に行う、高効率・高スループットな時空間メディアアクセス制御(MAC)方式の確立が必要。
 ⇒異なるセクタに存在する複数の端末を管理するとともに、無線セキュリティに対応可能な従来にない高機能な超高速時空間MAC方式を確立。各種環境で評価を実施。目標スループット1.5Gbpsに対し、模擬PHY装置を介しての試験では最高2.7Gbpsを記録した。



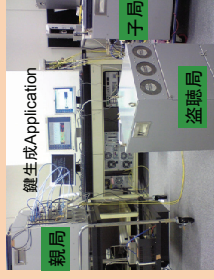
時空間MAC装置



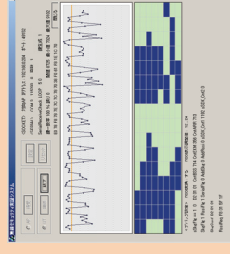
スループット測定結果

④無線セキュリティ技術

●加速度的に性能が向上する計算機を用いた盗聴局に対しても、極めて盗聴されにくい情報量的安全性に基づく鍵生成・共有システムの確立が必要。
 ⇒マイクロ波帯における実機評価システムを開発し、無線LANで想定される環境下での実験により、本技術の設計手法を確立。また、確立した設計手法を元に、ミリ波帯において、情報量的安全性に基づく鍵生成・共有ができることを実証。



実験環境

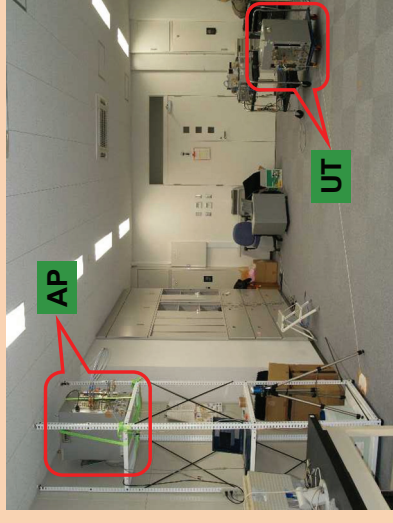
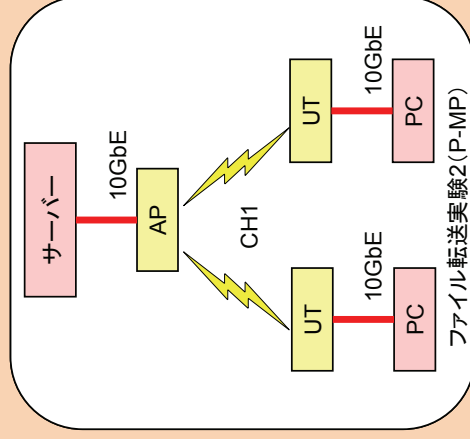
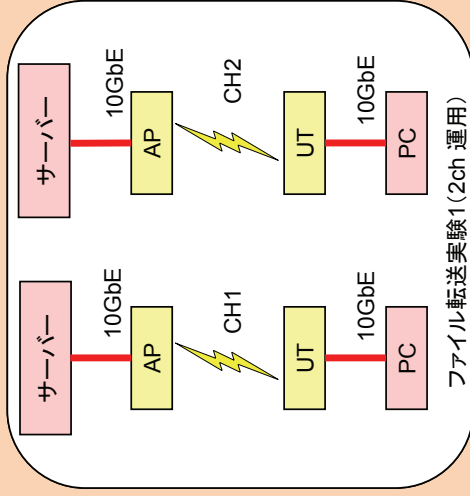


秘密鍵生成アプリケーション画面

主な成果(実証試験)

●要素技術の構成品を用いて無線LANシステム全系の構築を実現し、2局以上のアクセスポイントと2局以上の端末局が存在する室内環境で、大容量ファイルのダウンロード等における伝送速度、スループット等の計測を行い、無線LANシステムとして総合的な性能が得られることを実証することが必要。

- ファイル転送実験1 (2ch運用)
独立した複数の無線ネットワークがごく近い距離にあっても、互いに干渉すること無く、同時にファイルを転送できることを確認。
- ファイル転送実験2 (P-MP)
APに接続したファイルサーバーから、二台のUTに接続したそれぞれのクライアントPCが同時にファイルを転送できることを確認。



実験環境

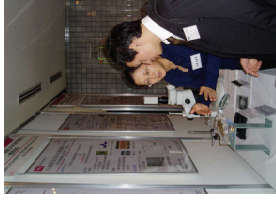
これまで得られた成果(特許出願や論文発表等)

特許出願	論文	研究発表	報道発表	標準化提案
33	13	107	1	2

研究成果の公開

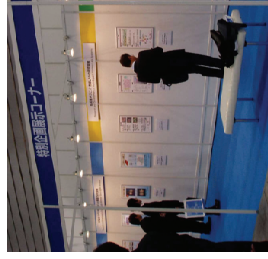
(1) ATR/NICTオープンハウス2008で研究成果を公開

ATRとNICTの共催で毎年開催される研究成果の発表会。2008年11月6日～11月8日の3日間、京都府精華町のATRで開催。本年の参加者は2209名。本プロジェクトからは展示ブースにおいてパネル展示とハードウェア展示を行い、本プロジェクトの研究成果を来場者に発表。



(2) マイクロウェーブ展2008の特別企画展示へ出展、ワークショップで招待講演

マイクロ波関連技術の分野で国内最大の展示会であり、参加者は毎年6000名を超える。2008年11月26日～11月28日の3日間、横浜市のパシフィコ横浜で開催。本プロジェクトからはミリ波技術の特別企画展示にパネル展示を行うとともに、ワークショップ「ミリ波帯無線システムの最新動向」の招待講演において本プロジェクトの研究成果を内外の専門家に向け発表。



(3) 新聞への掲載

本プロジェクトの研究成果が新聞紙面上で報道された。

- 日経産業新聞 2008年11月5日「ミリ波」で高速無線LAN
- 京都新聞 2008年11月7日パソコンで映画、音楽スイスイ無線LAN30倍高速化
- 電波タイムズ 2008年11月12日60GHz帯で伝送速度3Gビット実現 超高速無線LANシステムを開発