

平成14年度 研究開発成果報告書

「新世代光無線アクセスシステム技術の研究開発」

目 次

1	研究開発課題の背景	1
2	研究開発分野の現状	2
3	研究開発の全体計画	3
3-1	研究開発課題の概要	3
3-2	研究開発目標	3
3-2-1	最終目標	3
3-2-2	中間目標	5
3-3	研究開発の年度別計画	7
3-4	研究開発体制	8
4	研究開発の概要（平成14年度まで）	13
4-1	研究開発実施計画	13
4-1-1	研究開発の計画内容	13
4-1-2	研究開発課題実施計画	15
4-2	研究開発の実施内容	16
5	研究開発実施状況（平成14年度）	18
5-1	光無線伝送方式、光無線システムの基礎研究	18
5-1-1	研究の内容	18
5-1-2	研究の効果	18
5-1-2	研究の詳細	19
5-2	超高速シームレスアクセスシステムの研究開発	37
5-2-1	研究の内容	37
5-2-2	研究の効果	37
5-2-3	研究の詳細	37
5-2-4	まとめ	45
5-3	超小型光無線伝送方式の研究開発	46
5-3-1	研究の内容	46
5-3-2	研究の効果	46
5-3-3	研究の詳細	47
5-3-4	まとめ	59
5-4	総括	59

参考資料、参考文献 (添付資料)

- 1 研究発表、講演、文献等一覧

1 研究開発課題の背景

近年、動画を含め、双方向で多量のデジタル情報を伝達する手段への要求が高まっており、職場のみならず、日本中のほとんどの家庭が超高速のインターネット網で常時接続されている環境が実現すると言われていた。また、日本が研究開発に力を入れている IPv6 技術により、パソコンだけでなく、多くの家電製品も情報家電として、ネットワークでつながれるようになる。このような環境の変化は、家庭のみにとどまらず、人々が携帯端末を使って、あらゆる場所で意識せずにネットワークに接続できることが常識になり、ネットワークが、電気やガス、水道や電話などと同様に、社会のすみずみに行き渡った、生活に不可欠な「身近な生活インフラ」となる時代が到来すると予想される。

日本政府も、「高度情報通信ネットワーク社会形成基本法」を成立させ、この法律に沿って打ち出された「e-Japan 戦略」により、「日本を5年以内に世界最先端のIT国家にする」目標を打ち出し、このような社会の実現に向かって、強気に動き始めている。

こうした社会の到来のためには、多岐にわたる技術革新が必要である。特に、人々があらゆる場所で、意識せずにネットワークに接続するには、携帯機器をワイヤレスで高速にネットワークと結ぶことが出来る技術の確立が必須である。

そのような技術の一つに、電波を利用した無線伝送技術がある。2.4GHz 帯を使った、伝送速度 1Mbps で到達距離も 10m と近距離はあるが、手軽に機器をワイヤレスでつなげる方式として Bluetooth といった新しい規格も提案され、注目を集めている。高速化への研究も活発で、5.2GHz 帯を使って伝送速度が 54Mbps の伝送が報告されている。

しかしながら、ネットワークにつながった機器を使うことが常識になる社会では、多数の人々が、同時に、同じ場所で、ワイヤレス機器を使用する可能性が高くなると考えられる。特に、高速で使用する用途では、同時使用での電波の混信による伝送速度の低下は、致命的な問題になる可能性がある。そのことを予想させる実験も、既に行われている。

このような事態を避ける目的で、新しい電波帯域であるミリ波帯の無線通信の研究開発も行われている。特に 60GHz 帯を用いたシステムについては、家庭内の超高速無線 LAN への適用、を目指して、国内で盛んな研究が行われている。同システムでは 1GHz 以上の伝送帯域確保も可能である。しかしながら、ミリ波を用いた送受信装置は小型化に限度があり、携帯機器に搭載可能な大きさに納めることは困難である。

このような状況を打破する可能性のある技術として、光を利用した無線伝送技術がある。光は、本来の特性として超高速の伝送能力があり、光ファイバを使った有線伝送の分野ではその優位性が広く認められている。光はまた、空間的に分離が容易であることから、その特長を使って、多量の機器間通信を混信無く行うことができる。さらに、波長が電波と比べて格段に短いといった物理的性質から、ミリ波を利用した高速無線技術では不可能な超小型システムが可能であるといった優れた性質がある。また、光が壁で遮断されるといった欠点が、セキュリティの観点では、室外での盗聴を不可能にするといった利点をもたらす。最近のサイバーテロ等の社会情勢を考えると、セキュリティの要求はさらに高まっている。特に、光を拡散させずビームで通信させる場合には、光のビームが相手にしか到達しない状況が実現されるため、自由空間に設置した仮想の光ファイバを通じての通信と同じことになり、室内における盗聴の可能性をも排除でき、有線並のセキュリティが容易に得られる。

それでは、光を使ったシステムが、なぜ一部を除いて使われていないのであろうか。現在の光を利用した無線伝送システムは、大きさやコスト、それらを満たす条件での高速性、いつでもどこでも意識せずに接続できるアクセス技術など、いくつかの技術課題をクリア出来ていないからである。

そこで、本委託研究では、まず、光を使った伝送システムの理想的な方式を理論的に検討する。また、携帯機器に搭載可能な大きさで、しかも 1Gbps 級の超高速で低価格な光無線通信手段を検討し、さらにネットワークにシームレスに接続するアクセスシステムを開発する。このようにして、課題を解決する技術を開発することにより、光を使った無線伝送システムが、ネットワークがすみずみまで

行き渡った社会において、超高速な無線伝送を担うことの出来る必須のシステムであることを実証する。

2 研究開発分野の現状

現在実用化されているワイヤレス通信手段の中で、モバイル機器に搭載した形態で用いられる方式としては、近接伝送用途の IrDA（光方式）を除けば、携帯電話の各方式あるいは Bluetooth 規格など電波を使った無線伝送システムが挙げられる。また、無線 LAN においては IEEE802.11b による通信速度 11Mbps のシステムが実用化され、ノートパソコン等で使われている。また、IEEE802.11a の規格で 54Mbps のシステムの商品化についてアナウンスがなされている。更なる高速化についても研究が進んでいるが、100Mbps 級のシステムについては、第 4 世代の携帯として研究開発が始まった段階であり、1Gbps 級の超高速通信については、提案もされていない。

一方、1Gbps 級の空間伝送が達成されているシステムとしては 60GHz 帯等のミリ波を用いたシステム、レーザビームを用いたシステム等がある。両者共にビル間の中距離伝送システムとして実用化されている。

しかしながら、いずれも大がかりなシステムであり本委託研究で実現を目指すモバイル機器に搭載出来るシステムを実現するものではない。また、この通信手段を利用した、光と電波を切り替える、あるいは電波を光に乗せ送るシームレス・バリアフリーシステムの研究も国内外で研究例は無い。

最近になって、我々の目標と同じではないが、光の高速性に着目した研究開発として、新しい構造の C-MOS センサーを使った室内での高速通信システムの提案もなされており、昨今電波に対する光の有用性が認識し始められており、今後この方面の研究開発が活発になっていくと思われる。

3 研究開発全体計画

3-1 研究開発課題の概要

高速ブロードバンドが普及し、家電や携帯機器を含めほとんど全ての電気機器が IPv6 を備える、すなわち全ての機器がネットワークに繋がれ、大容量のデータがやりとりされる時代が迫る中、ネットワークへの簡易な接続手段としてワイヤレス伝送へ期待が寄せられている。光無線は、1Gbps 級の伝送も可能等、次世代の方式として望ましい特性を有するが、現状は、大きさ、コスト、アクセス性など、いくつかの解決すべき課題がある。

本委託研究では、これらの課題を解決する技術を開発することにより、新世代に求められる高速で高信頼性を有するワイヤレス方式の確立を目指す。光無線の最大の利点としては、超高速性が挙げられるが、欠点としては遮蔽問題が有る。特に高速伝送を行う場合には伝送効率を上げる必要性からビーム伝送を採用する必要性が有り、遮蔽の問題が深刻となる。また、従来の光無線システムは、大きさ、コストの面で携帯機器等に内蔵できるレベルになく、小型でローコストに実現できる光無線方式が求められる。これら課題を解決することを目的とし、高速で高信頼性を有する光無線によるワイヤレス方式の開発を行う。以下にサブテーマごとの研究概要を記す。

- サブテーマ1 (光無線伝送方式、光無線システムの基礎研究)
拡散方式、直射方式、電波方式を用いた最適システムの研究、及び「光・無線融合技術」の適用について研究を行う。
- サブテーマ2 (超高速シームレス・バリアフリー・アクセスシステムの研究開発)
電波、光の両媒体を利用したシームレスな通信システムの研究を行う。
- サブテーマ3 (超小型光無線伝送方式の研究開発)
携帯機器に搭載可能な超小型光無線伝送モジュールの研究開発と同モジュールを用いた伝送方式について研究を行う。

3-2 研究開発目標

3-2-1 最終目標 (平成17年3月末)

光を使った無線伝送方式が、理論解析に基づいたシステムの最適化と、携帯機器に搭載可能な大きさで、1Gbps級の超高速が可能な光モジュールの試作開発と、シームレス・バリアフリーを可能にするアクセスプロトコルの開発により、いつでもどこでもだれもが超高速にネットワーク接続できる技術であることを、システムの実現性の可能性を示すことにより証明することを目標とする。

以下、各サブテーマの目標について具体的に示す。

サブテーマ1：光無線伝送方式、光無線システムの基礎研究

(1) 伝送方式の研究 (光直射方式、光拡散方式、電波方式、各ハイブリッド方式)

1) 光直射方式の伝送技術

ここでは、電波と異なり空間的な広がり少なく直進性に優れた光搬送波の特徴に着目し、光直射方式において空間的に分離され互いに干渉しない複数の伝搬路を同時に確保する技術について開発する。この技術開発により、一つの伝送空間内において 400Mbps から 1Gbps の (この数値は空間的に分離された伝搬路数に依存する) 大容量伝送の実現を目標とする。また、直射方式で問題となる遮蔽の影響

を軽減する技術についても開発し、より信頼性の高い伝送システムの実現をめざす。

2) 光拡散方式の伝送技術

ここでは、背景光雑音の抑圧技術、マルチパス伝搬に伴う遅延波抑圧技術、多元接続方式を導入にした同一チャネル干渉の抑圧技術を導入し、一つの送受信機対において 50Mbps 程度の伝送容量を実現する技術を開発する。

また、光直射方式と光拡散方式を融合したシステムとして、具体的には、送受信機間に見通し内伝搬路が確保できる場合は光直射方式により一送受信機対にて 100Mbps を超える伝送を、また、見通し内伝搬路が確保できない場合は光拡散方式により一伝送空間内において 50Mbps を超える伝送を可能とする。

3) 光・電波ハイブリッド方式の伝送技術

光および電波の搬送波としての伝搬性質の特徴を見極め、それぞれの長短所を相互に補完する光・電波ハイブリッドシステムを構築する。具体的には、光・電波ハイブリッドシステムでは、複数の光無線基地局を設置し、基地局と端末間に見通し内伝搬路を確保できる場合には、基地局と端末間のリンクは光搬送波を用いる光直射方式により接続し、100Mbps（一基地局あたり最大 400Mbps 程度）の伝送容量を確保する。

また、基地局と端末間に遮蔽物が存在し見通し内伝搬路を確保できない場合は、基地局と端末間のリンクは 5GHz 帯などの電波を利用して接続し、最大 50Mbps 程度の伝送速度を達成する。光・電波ハイブリッドシステムは、光搬送波のみを用いるシステムに対しては、遮蔽対策および複数の部屋から構成される屋内での無線伝送を実現するシステムとして、また、電波のみを用いるシステムに対しては、基地局と端末間が見通し内に位置する場合に光直射方式を用いることで伝送容量を向上させる高密度システムとして捕らえることができ、リンク数や端末数にも依存するが理想的には 1Gbps を超える伝送容量が可能となる。

(2) Radio over Infrared Wireless

1) Radio over Infrared Wireless の仮想無線自由空間化技術

光ファイバと光空間伝送路がカスケード接続された光ファイバ光無線系において様々な周波数帯の無線信号についてその光伝送方式を開発する。

カバーする無線周波数帯は、VHF 帯からミリ波帯であり、また無線信号の変調速度は、最大 150Mbps とする。

2) 光ファイバ光無線系における無線信号多重化方式ならびにルーティング技術

複数の無線信号を光搬送波上に多重し、光ファイバ光無線系を通して伝送する方式を開発する。5 個の無線信号を光多重化し、デジタル情報に対して復調後 BER を 10^{-6} 以下とする。

また、光搬送波上に多重された無線信号のそれぞれを所望の光無線端末にルーティングする方式を開発する。

3) 非線形抑圧技術

光コヒーレント伝送技術を含む光伝送系の非線形性に起因した相互変調歪の抑圧技術を開発する。SFDR (Spurious Free Dynamic Range) 30dB 以上を達成する。

サブテーマ 2 : 超高速シームレス・バリアフリー・アクセスシステムの研究開発

本サブテーマの最終目標は、IPv4とIPv6が混在するコンピュータネットワークにおいても、携帯電話の通信ネットワーク同様、光無線基地局のハンドオーバーが発生してもサービスを提供し続けることのできるシームレスなコンピュータネットワークの実現を目指す。

また、電波無線の使用が制限されている場所での携帯機器使用が社会問題になりつつあり、携帯機器の利便性とその使用制限で困惑している利用者も少なくない。そこで、電波無線が制限されている場所では、強制的に光無線に切り替える技術についても開発し、よりユーザーフレンドリーなバリアフリー通信システムの実現をめざす。

サブテーマ3：超小型光無線伝送方式の研究開発

携帯機器に搭載可能な大きさの超高速伝送方式を確立することを目標とする。そのため、通信速度 1Gbps 以上で、大きさ 1cm³ 程度の光モジュールを開発する。また、この光モジュールを使い、10m 程度の距離で自動的に中継器をサーチしての通信を始めるシステムが構築可能であることを実証する。

3-2-2 中間目標（平成16年2月末）

中間目標は、最終目標に至る途中経過であると考えており、その具体的目標については、サブテーマ毎に述べる。

サブテーマ1：光無線伝送方式、光無線システムの基礎研究

(1) 伝送方式の研究（光直射方式、光拡散方式、電波方式、各ハイブリッド方式）

1) 光直射方式の伝送技術

光直射方式において空間的に分離され互いに干渉しない複数の伝搬路を同時に確保するためのシステム構成を具体化すると共に、所要送信光電力・ビット誤り率・遮蔽による瞬断率などの特性評価技術を確立する。また、伝送容量の改善および遮蔽対策を目的として、複数の基地局を設置するマルチサテライト構成を考え、それによる諸特性の改善効果を評価する。

2) 光拡散方式の伝送技術

拡散方式の伝送速度の向上を目的として、伝搬損失の低減技術、背景光雑音の抑圧技術、マルチパス伝搬に伴う遅延波抑圧技術として、狭指向性光源および狭視野光検波器を用いた指向制御により遅延波抑圧対策を行う手法を提案する。また、それによる所要送信光電力・ビット誤り率などの諸特性の改善効果を評価する。

3) 光・電波ハイブリッド方式の伝送技術

光・電波ハイブリッド方式は室内ならびにシステム構成を具体化すると共に、その基礎検討として、光アクセス数（基地局数）と電波アクセスチャネル数との関係が基本特性に及ぼす影響を評価する。

(2) Radio over Infrared Wireless

1) Radio over Infrared Wireless の仮想無線自由空間化技術

光源の直接光強度変調を用いた 2GHz 帯までの無線信号がカスケード接続された光ファイバー光無

線系を伝送される方式において無線信号品質について理論的に評価する。光源に求められる所要送信電力と所要変調帯域、受光系も含めた所要線形性について明らかにする。

2) 光ファイバー光無線カスケード系における無線信号多重化ならびにルーティング技術

複数の無線信号を光ファイバー光無線を通して多重伝送する方式を開発する。無線信号周波数に対する透明性を確保した光多重化方式とルーティング方式を提案する。

3) 非線形抑圧技術

非線形に起因した歪の抑圧技術として光スイッチを用いた自然帯域標準化時分割多重化技術と光コヒーレンス多重化技術を確立する。

サブテーマ2：超高速シームレスアクセスシステムの研究開発

IPv4を使った既存のコンピュータネットワークにおいては、IPアドレス不足を回避するためにNATが使われている。本サブテーマの中間目標としては、IPv4単独のコンピュータネットワークにおける光無線基地局のハンドオーバーが発生してもサービスを提供し続けることのできるシームレスなコンピュータネットワークのシミュレーションシステムを構築し、その実現性を評価する。また、IPv6に関しても、単独でその可能性を評価する。

また、電波無線が制限されている場所では、強制的に光無線に切り替える技術については、実現手法を検討し、シミュレーションによるバリアフリー通信システムの実現性を評価する。

サブテーマ3：超小型光無線伝送方式の研究開発

最終目標の中間段階として、限られた方向内での自動サーチ機能をもった、光モジュールを試作し、その高速通信性能（1Gbps級）を実現する。

3-3 研究開発の年度別計画

(金額は非公表)

研究開発項目	H13 年度	H14 年度	H15 年度	H16 年度	年度	計	備 考
サブテーマ1：光無線伝送方式、光無線システムの基礎研究（再委託テーマ）							大阪大学、森永研究室、小牧研究室に再委託する。
サブテーマ2：超高速シームレス・バリアフリー・アクセスシステムの研究開発							
サブテーマ3：超小型光無線伝送方式の研究開発							
間接経費							H14 年以降は人件費上昇分を加味した。
合 計							

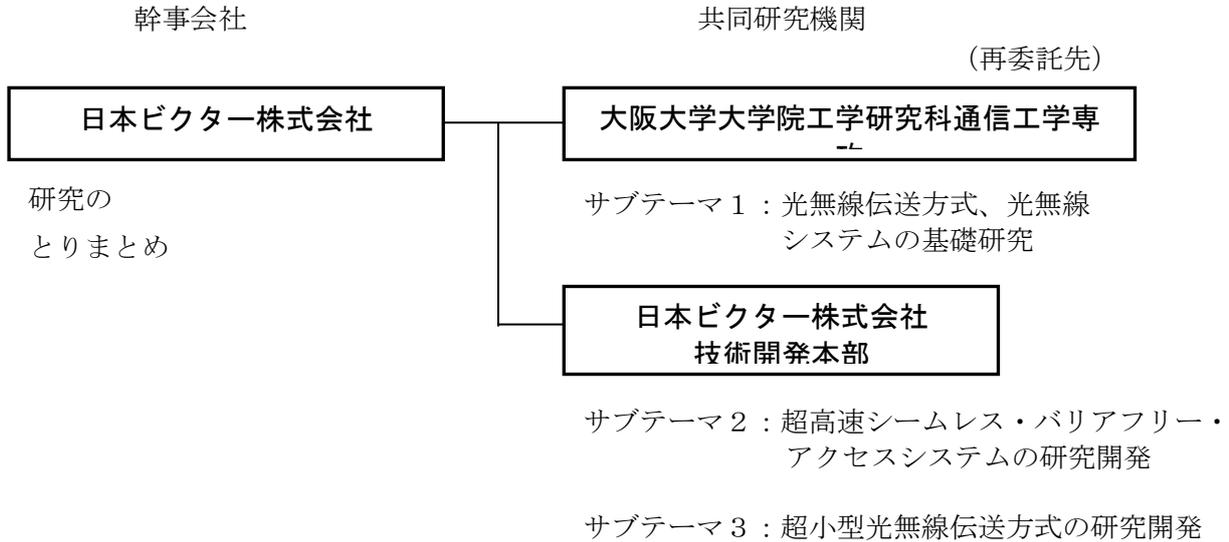
注) 1 経費は研究開発項目毎に消費税を含めた額で計上。

2 備考欄に再委託先機関名を記載

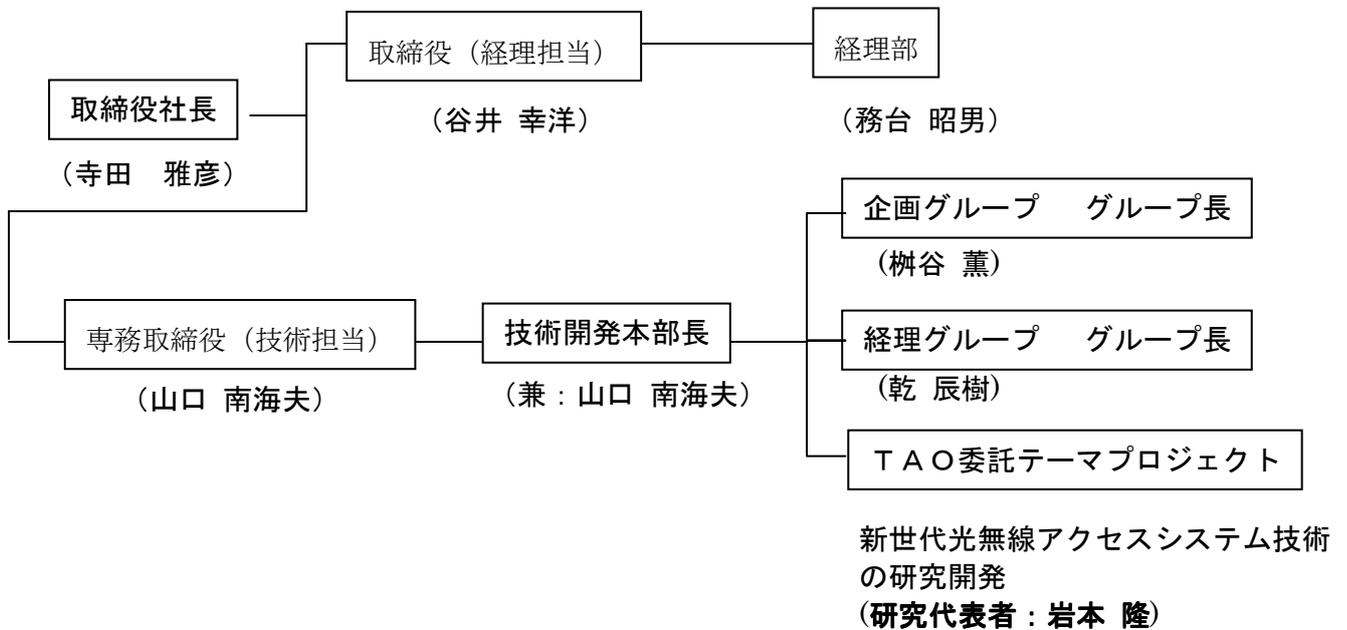
3-4 研究開発体制（平成14年度）

3-4-1 研究開発管理体制

本研究開発の推進は、日本ビクター株式会社を幹事会社とし、研究の取りまとめ、研究管理を行い、大阪大学大学院工学研究科通信工学専攻森永研究室及び小牧研究室に研究開発全般のアドバイスを受けると共に、サブテーマ1を担当していただき、実行する。

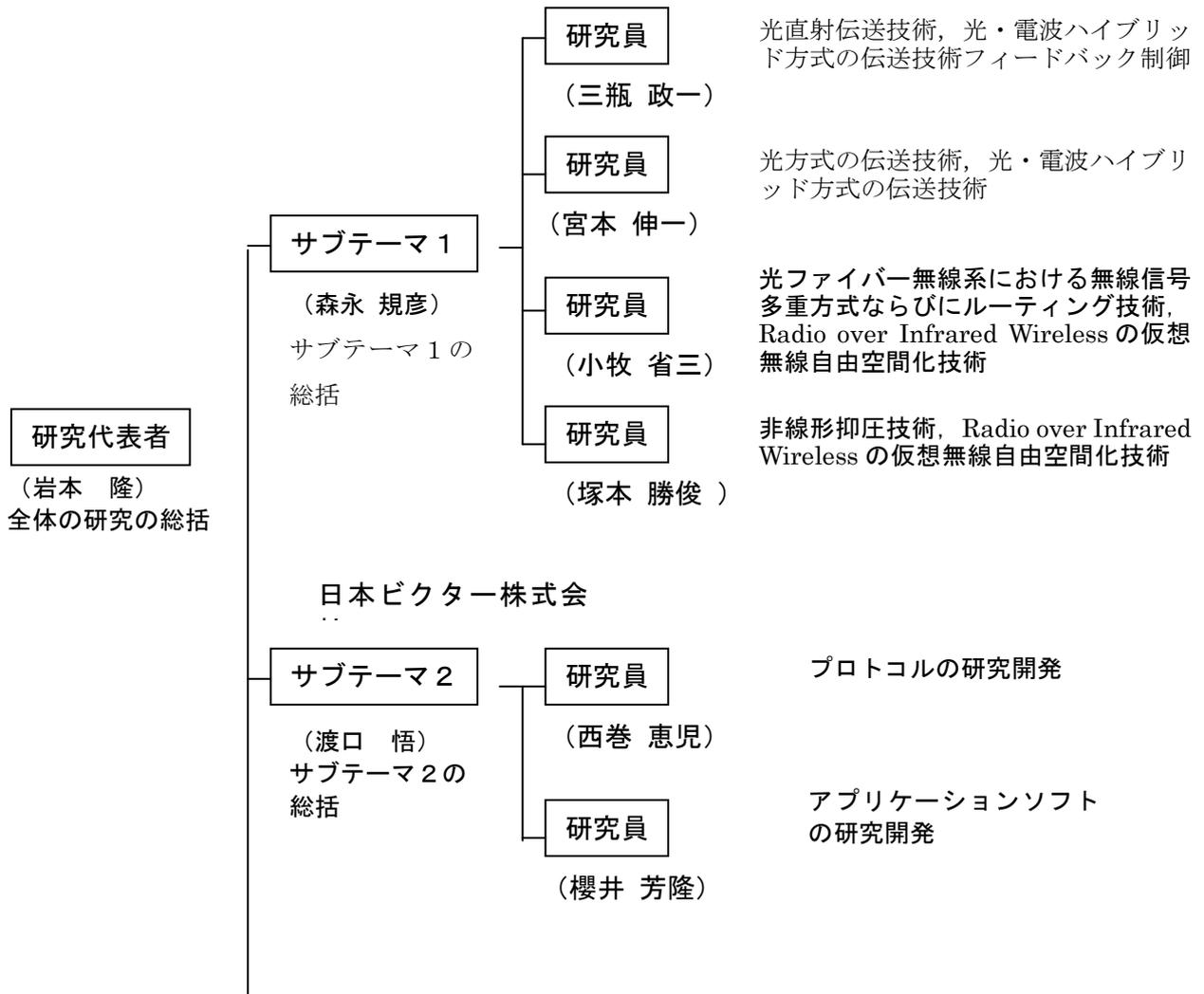


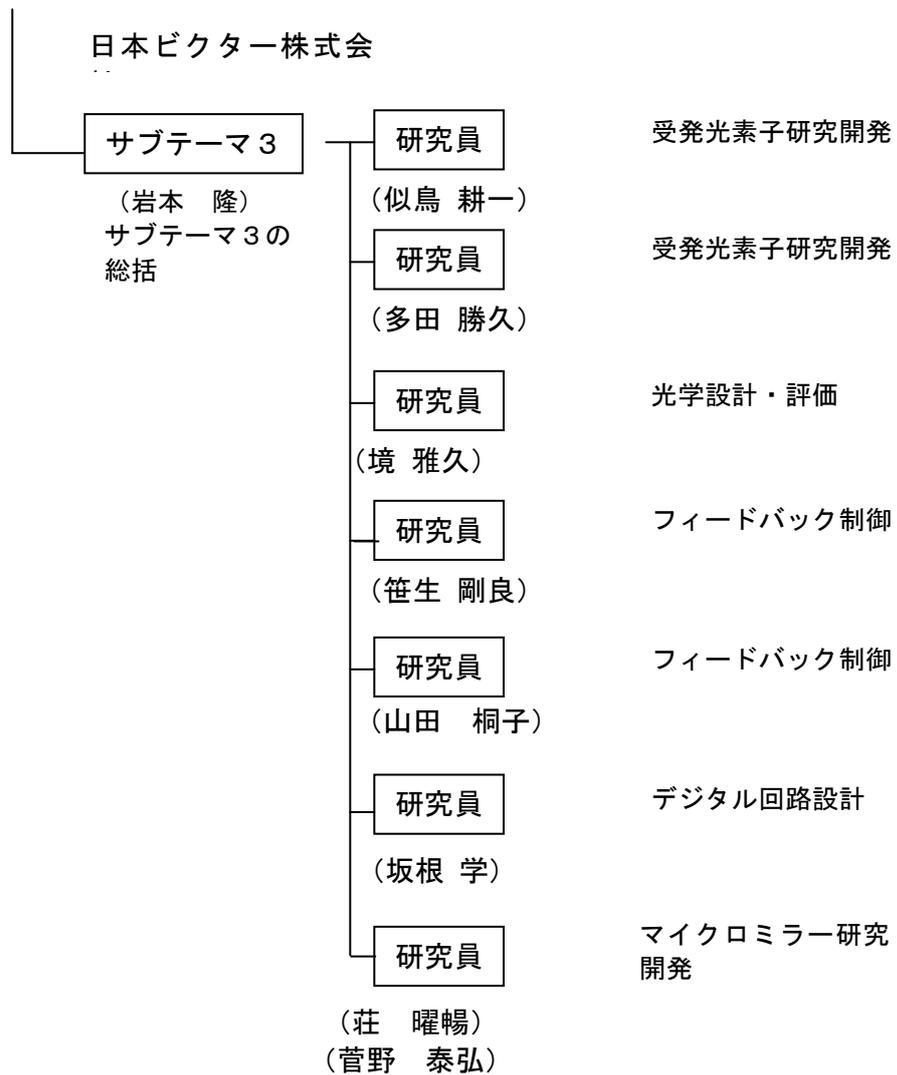
日本ビクター株式会社に於ける経理部門の体制と研究開発部門の体制



3-4-2 研究開発実施体制

大阪大学大学院工学研究科通信工学専攻





3-4-3 研究実施場所

サブテーマ1については、大阪大学大学院工学研究科通信工学専攻（大阪府吹田市）にて行う。

サブテーマ2及び3については日本ビクター株式会社技術開発本部（神奈川県横須賀市）にて行う。

4 研究開発の概要（平成14年度）

平成13年度は実質2ヶ月半なので、平成14年度に含めて記載する。

4-1 研究開発実施計画

4-1-1 研究開発の計画内容

ア 光無線伝送方式、光無線システムの基礎研究【サブテーマ1】

(1) 光無線システムの基礎研究

1) 光直射方式の伝送技術

光直射方式において空間的に分離され互いに干渉しない複数の伝搬路を同時に確保するためのシステム構成を具体化すると共に、所要送信光電力・ビット誤り率・遮蔽による瞬断率などの特性評価技術を確認する。また、伝送容量の改善および遮蔽対策を目的として、複数の基地局を設置するマルチサテライト構成法を検討する。

2) 光拡散方式の伝送技術

拡散方式の伝送速度の向上を目的として、伝搬損失の低減技術、背景光雑音の抑圧技術、マルチパス伝搬に伴う遅延波抑圧技術として、狭指向性光源および狭視野光検波器を用いた指向制御により遅延波抑圧対策を行う手法を確認する。

3) 光・電波ハイブリッド方式の伝送技術

光・電波ハイブリッド方式は室内ならびにシステム構成を具体化する。

(2) Radio over Infrared Wireless システムの基礎研究

1) Radio over Infrared Wireless の仮想無線自由空間化技術

光ファイバと光空間伝送路がカスケード接続された Radio over Infrared Wireless システムのシステム構成を具体化し、様々な周波数帯の無線信号に適した光無線伝送方式について検討する。

2) 無線信号多重化方式ならびにルーティング技術

複数の無線信号を Radio over Infrared Wireless 系で伝送するために RF 無線信号の光搬送波上への多重化技術を確認する。また、複数光無線基地局間の中継系への Radio over Infrared Wireless 適用技術とその際に必要となるルーティング方式を検討する。

3) 非線形抑圧技術

Radio over Infrared Wireless 系のダイナミックレンジの向上を目的として、光コヒーレント伝送技術を含む光伝送系の相互変調歪抑圧技術を開発する。

イ 超高速シームレスアクセスシステムの研究開発【サブテーマ2】

超高速シームレス・バリアフリー・アクセスシステムの実現を目指し、シームレス・バリアフリー無線通信プロトコルの研究開発に関しては、平成14年度前半は、IEEE802.11b 準拠の無線 LAN を利用して、基地局が変わらない（端末の IP アドレスが変わらない）ことを前提としたこのコンピュータネットワークの通信プロトコルをモバイル端末に対応した通信プロトコルへ改良するための基礎実験を行う。そして、平成14年度後半はその実験結果を基にモバイル対応通信プロトコルの基本設計を行い、その開発に着手する。

また、シームレス・バリアフリー無線通信アプリケーションソフトウェアの研究開発に関しては、平成14年度前半は、IEEE802.11b 準拠の無線 LAN を利用して、上記モバイル対応通信プロトコルで実現可能な VoIP システム実現性の基礎検討を行う。そして、平成14年度後半はその検討結果を基にモバイル

ル対応通信プロトコルで実現可能な VoIP システムの基本設計を行い、その開発に着手する。

ウ 超小型光無線伝送方式の研究開発【サブテーマ 3】

小型平成 14 年度は、H 13 年度の課題抽出結果に基づき、各要素技術の開発に重点を置いて研究を進める。

超小型光無線伝送制御方式の研究開発としては、フィードバック制御技術の確立を目指した評価システムの構築とそのシステムを用いた実現性の基礎検証を行う。また、中継器と光モジュール間の各種サーチ方式の基礎検討を実施する。

超小型光無線モジュールの研究開発として、光モジュール用発光素子の開発については、高速性の観点から、半導体レーザの開発、特に面発光レーザの高性能化に重点を置いて開発を進める。さらに、信頼性の初期検討も実施する。また、光の方向を制御する方式としては、マイクロマシン技術を利用したアクチュエータの要素技術開発を実施する。

4-1-2 研究開発課題実施計画

(金額は非公表)

研究開発項目	第1四半期	第2四半期	第3四半期	第4四半期	計	備考
ア. サブテーマ1 「光無線方式、光無線システムの基礎研究」 1. 光無線伝送方式の基礎研究 2. 光無線システムの基礎研究	基礎検討	基礎検討	評価システムの構築	評価システムの構築		大阪大学森永研究室へ再委託
	基礎検討	基礎検討	評価システムの構築	評価システムの構築		
イ. サブテーマ2 「超高速シームレス・バリアフリー・アクセスシステムの研究開発」 1. シームレス・バリアフリー無線通信プロトコルの研究開発 2. シームレス・バリアフリー無線通信アプリケーションソフトウェアの研究開発	基礎実験	基礎実験	基本設計	基本設計		
	基礎検討	基礎検討	基本設計	基本設計		
ウ. サブテーマ3 「超小型光無線伝送方式の研究開発」 1. 超小型光無線伝送制御方式の研究開発 2. 超小型光無線モジュールの研究開発	評価システム構築		基礎検討Ⅰ	基礎検討Ⅱ		
	初期検討Ⅰ	初期検討Ⅱ	特性改善Ⅰ	特性改善Ⅱ		
間接経費						
合計						

- 注) 1 経費は研究開発項目毎に消費税を含めた額で計上。また、間接経費は直接経費の30%を上限として計上(消費税を含む)。
 (合計の計は、「3-1の研究開発課題必要概算経費」の総額と一致)
- 2 備考欄に再委託先機関名を記載。

4-2 研究開発の実施内容

イ. 【サブテーマ1】光無線伝送方式、光無線システムの基礎研究

(1) 光無線システムの基礎研究

1) 光直射方式の伝送技術

光直射方式において空間的に分離され互いに干渉しない複数の伝搬路を同時に確保するためのシステム構成を具体化すると共に、所要送信光電力・ビット誤り率・遮蔽による瞬断率などの特性評価技術を確認する。また、伝送容量の改善および遮蔽対策を目的として、複数の基地局を設置するマルチサテライト構成法を検討する。

2) 光拡散方式の伝送技術

拡散方式の伝送速度の向上を目的として、伝搬損失の低減技術、背景光雑音の抑圧技術、マルチパス伝搬に伴う遅延波抑圧技術として、狭指向性光源および狭視野光検波器を用いた指向制御により遅延波抑圧対策を行う手法を確認する。

3) 非線形抑圧技術

光・電波ハイブリッド方式は室内ならびにシステム構成を具体化する。

(2) Radio over Infrared Wireless システムの基礎研究

1) Radio over Infrared Wireless の仮想無線自由空間化技術

光ファイバと光空間伝送路がカスケード接続された Radio over Infrared Wireless システムのシステム構成を具体化し、様々な周波数帯の無線信号に適した光無線伝送方式について検討する。

2) 無線信号多重化方式ならびにルーティング技術

複数の無線信号を Radio over Infrared Wireless 系で伝送するために RF 無線信号の光搬送波上への多重化技術を確認する。また、複数光無線基地局間の中継系への Radio over Infrared Wireless 適用技術とそれに必要となるルーティング方式を検討する。

3) 非線形抑圧技術

Radio over Infrared Wireless 系のダイナミックレンジの向上を目的として、光コヒーレント伝送技術を含む光伝送系の相互変調歪抑圧技術を開発する。

ロ. 【サブテーマ2】超高速シームレスアクセスシステムの研究開発

超高速シームレス・バリアフリー・アクセスシステムの実現を目指し、シームレス・バリアフリー無線通信プロトコルの研究開発に関しては、平成14年度前半は、IEEE802.11b 準拠の無線 LAN を利用して、基地局が変わらない（端末の IP アドレスが変わらない）ことを前提としたこのコンピュータネットワークの通信プロトコルをモバイル端末に対応した通信プロトコルへ改良するための基礎実験を行う。そして、平成14年度後半はその実験結果を基にモバイル対応通信プロトコルの基本設計を行い、その開発に着手する。

また、シームレス・バリアフリー無線通信アプリケーションソフトウェアの研究開発に関しては、平成14年度前半は、IEEE802.11b 準拠の無線 LAN を利用して、上記モバイル対応通信プロトコルで実現可能な VoIP システム実現性の基礎検討を行う。そして、平成14年度後半はその検討結果を基にモバイル対応通信プロトコルで実現可能な VoIP システムの基本設計を行い、その開発に着手する。

ハ. 【サブテーマ3】超小型光無線伝送方式の研究開発

平成14年度は、H13年度の課題抽出結果に基づき、各要素技術の開発に重点を置いて研究を進めた。平成14年度の成果の概略は以下の通りである。

超小型光無線伝送制御方式の研究開発としては、フィードバック制御技術の確立を目指したミラー制御評価システムを構築した。また、そのシステムを使用して、電磁ミラーのフィードバック制御検討を実施した。

また、中継器と光無線モジュール間のサーチ方式の基礎検討として、CMOS センサを用いたサーチ方式を検討し、その評価システムを構築した。また、そのシステムを使用し、相手へ自

分の位置を知らせるパイロット光の抽出方法及び、外乱光の影響について検討した。

超小型光無線モジュールの研究開発として、光無線モジュールの構成方法について仮想同軸方式及び非同軸方式について、シミュレーションによって比較検討した。

また、モジュール用発光素子の開発については、高速性の観点から、半導体レーザの開発、特に面発光レーザの高性能化の要素技術開発を実施した。

光の方向を制御する素子として、ミラーアクチュエータを利用することを想定しているが、マイクロマシン技術を利用したミラーアクチュエータの要素技術開発として、シミュレーション技術構築のためにシミュレーションにより算出した応答特性と試作したミラーの応答特性を評価した。

5 研究開発実施状況

5-1 【サブテーマ1】光無線伝送方式、光無線システムの基礎研究

5-1-1 研究の内容

(1) 光無線システムの基礎研究

1) 光直射方式の伝送技術

光直射方式において空間的に分離され互いに干渉しない複数の伝搬路を同時に確保するためのシステム構成を具体化すると共に、所要送信光電力・ビット誤り率・遮蔽による瞬断率などの特性評価技術を確認する。また、伝送容量の改善および遮蔽対策を目的として、複数の基地局を設置するマルチサテライト構成法を検討する。

2) 光拡散方式の伝送技術

拡散方式の伝送速度の向上を目的として、伝搬損失の低減技術、背景光雑音の抑圧技術、マルチパス伝搬に伴う遅延波抑圧技術として、狭指向性光源および狭視野光検波器を用いた指向制御により遅延波抑圧対策を行う手法を確認する。

3) 非線形抑圧技術

光・電波ハイブリッド方式は室内ならびにシステム構成を具体化する。

(2) Radio over Infrared Wireless システムの基礎研究

1) Radio over Infrared Wireless の仮想無線自由空間化技術

光ファイバと光空間伝送路がカスケード接続された Radio over Infrared Wireless システムのシステム構成を具体化し、様々な周波数帯の無線信号に適した光無線伝送方式について検討する。

2) 無線信号多重化方式ならびにルーティング技術

複数の無線信号を Radio over Infrared Wireless 系で伝送するために RF 無線信号の光搬送波上への多重化技術を確認する。また、複数光無線基地局間の中継系への Radio over Infrared Wireless 適用技術とその際に必要となるルーティング方式を検討する。

3) 非線形抑圧技術

Radio over Infrared Wireless 系のダイナミックレンジの向上を目的として、光コヒーレント伝送技術を含む光伝送系の相互変調歪抑圧技術を開発する。

5-1-2 研究の効果

(1) 光無線システムの基礎研究

1) 光直射方式の伝送技術

Point to Point (P-P)型指向直射方式の伝送技術光無線基地局と端末との間を Point to Point 型での伝送を行う指向直射方式を対象とし、光無線中継器を用いることで空間的に分離され互いに干渉しない複数の伝搬路を同時に確保するためのシステム構成を具体化し、その有効性についての検討を開始した。また、Point to Multi-Point (P-MP)型ハイブリッド直射方式と P-P型指向直射方式のオーバーレイ技術広指向の送受信機を用いることにより光無線基地局と端末との間で Point to Multi-point 伝送を行うハイブリッド直射方式と、光無線基地局と端末との間を Point to Point 型での伝送を行う指向直射方式をオーバーレイさせるシステムの構成を提案し、その基礎特性の評価を開始した。

2) 光拡散方式の伝送技術

拡散方式の伝送速度の向上を目的として、伝搬損失の低減技術、背景光雑音の抑圧技術、マルチパス伝搬に伴う遅延波抑圧技術として、狭指向性光源および狭視野光検波器を用いた指向制御により遅延波抑圧対策を行う手法の有効性について検証した。

3) 光・電波ハイブリッド方式の伝送技術

光・電波ハイブリッド方式は室内ならびにシステム構成を具体化すると共に、その基礎検討を開始した。具体的には、電波無線 LAN システムとしては、現在ホットスポットサービスなどへの応用が期待されている 802.11b 準拠の 2.4GHz 帯無線 LAN システムにより、また、光無線 LAN システムとしては直射方式光無線 LAN システムにより構成されるハイブリッド室内無線 LAN システムについて、その最も基本的なシステム構成での遮蔽による瞬断率、カバレッジ、スループット特性を評価した。

(2) Radio over Infrared Wireless システムの基礎研究

1) Radio over Infrared Wireless の仮想無線自由空間化技術

Radio over Infrared Wireless の仮想無線自由空間化のためのシステム構成、無線信号品質の理論的評価モデル構築について検討を開始した。

2) 無線信号多重化方式ならびにルーティング技術

光直接スイッチング符号化多重方式における無線信号の品質を実験により評価し、1干渉波に対して 30dB の信号対干渉波電力比が達成できることを確認すると共に、用いる光スイッチの消光比劣化時の信号品質を改善する拡散符号の適用手法を提案し、理論的にその有効性を示した。

3) 非線形抑圧技術

SCM 光コヒーレント周波数変調方式において LD の非線形に起因した相互変調歪を受信側の光周波数弁別器の非線形性により抑圧する相互変調歪抑圧技術を提案し、その有効性を理論的に示した。

5-1-3 研究の詳細

5-1-3-1. 光無線システムの基礎研究

光無線伝送方式の基礎研究光無線伝送における伝送形態は直射方式と拡散方式の 2 方式に大別できる。前者は送信端と受信端を対向させて伝送を行う方式で、伝送効率が高く、伝送帯域の確保が容易であるという特長を有する。特に送信端ならびに受信端の両方において指向制御を行い、送信端からビーム状に光を送出するビーム伝送の形態をとる指向直射方式では、最大限の伝送効率を得られる。しかしながら、直射方式では送信端と受信端の間での見通し内伝搬路を必要とするため、遮蔽に対して極めて脆弱である。また、指向直射方式では、指向制御を必要とするため、1つの送信端は1つの受信端に対してのみ信号光を伝送する。それにより、音声伝送など必ずしも高い伝送速度を必要としない受信端に信号光を送信する場合でも1つの送信端を必要とするなどシステムの利用効率は悪く、また、受信端の数の増減にも十分に対応できないといった問題を有する。一方、拡散方式は光を広範囲に放射し、部屋の壁、天井等に散乱反射させて伝送する方式であり、送信端、受信端を対向させる必要性が無く、遮蔽耐性も高いという特長を有する。しかしながら、拡散方式は伝送効率、伝送帯域共に低下の傾向は免れない。

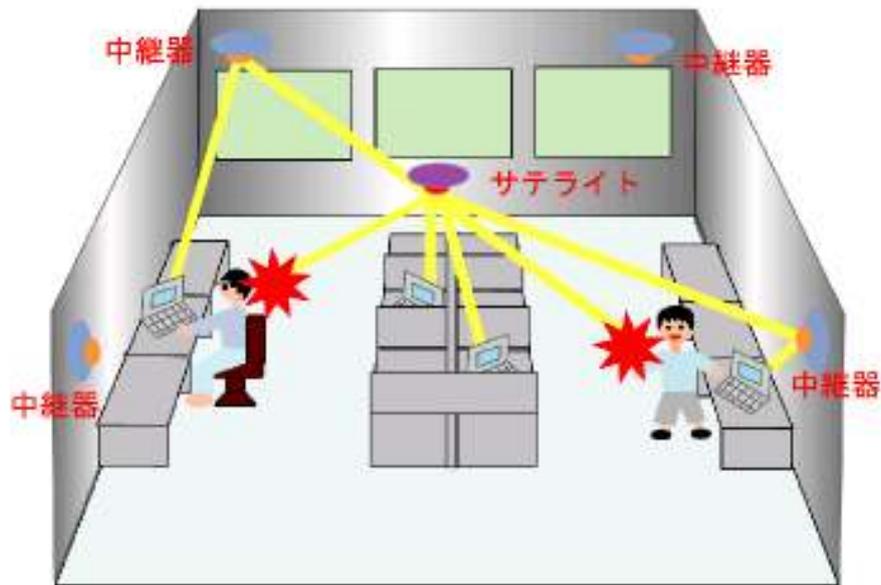


図5-1-1 光無線中継器を用いた指向直射室内光無線通信システムの概念図

本研究開発において、これまで、我々はまず、直射方式において問題の遮蔽の影響を軽減するシステムとして、新たに『光無線中継器を用いた指向直射室内光無線通信システム』を提案した。提案システムの概念図を 図5-1-1に示す。図5-1-1に示すように、本提案システムは、天井面や壁面などに送信端から受信端へ信号光を中継する中継器を設置するもので、これにより送信端と受信端の間に複数の光無線伝搬路を確保し、耐遮蔽性を高めるものである。

図5-1-2に示す室内モデル（室内にパーティションが設置されている）を用いて、光無線中継器を用いた思考直射室内光無線通信システムの基礎特性の評価を行った。まず、図5-1-2に示す室内モデルでのアクセス領域を評価した結果を図5-1-3に示す。また、端末の収容確率を評価した結果を図5-1-4に示す。まず、図5-1-3では、室内の各場所から見通し内光無線伝搬路を確保できる数を示しているが、図5-1-3から、提案システムを用いることにより、室内のあらゆる場所からアクセスポイントとの間で複数の見通し内伝搬路が確保できるため、遮蔽率（パーティションによって見通し内伝搬路を確保できない確率）の大幅な改善が期待できることがわかる。また、図5-1-4より、提案システムを用いることにより、遮蔽の影響が軽減され、端末の収容確率（サテライトもしくは中継器との見通し内伝搬路を確保できる確率）が改善されることがわかる。なお、『光無線中継器を用いた指向直射室内光無線通信システム』に関するこれらの研究成果は、YRP 移動体通信産学官交流シンポジウム2002ならびに電子情報通信学会光通信システム研究会、電子情報通信学会総合大会において論文発表を行っている。

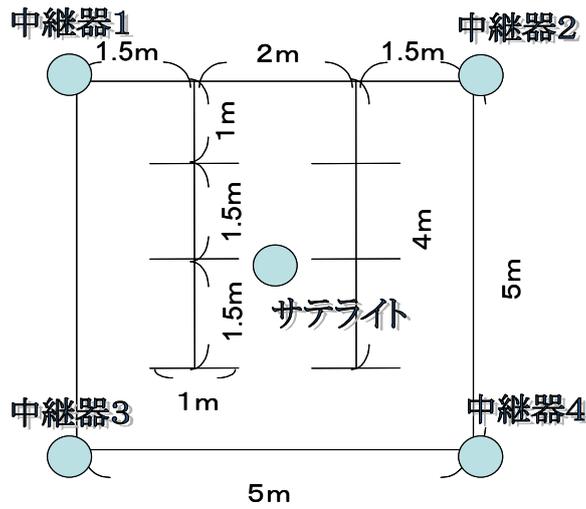


図5-1-2 特性評価に用いた室内モデル

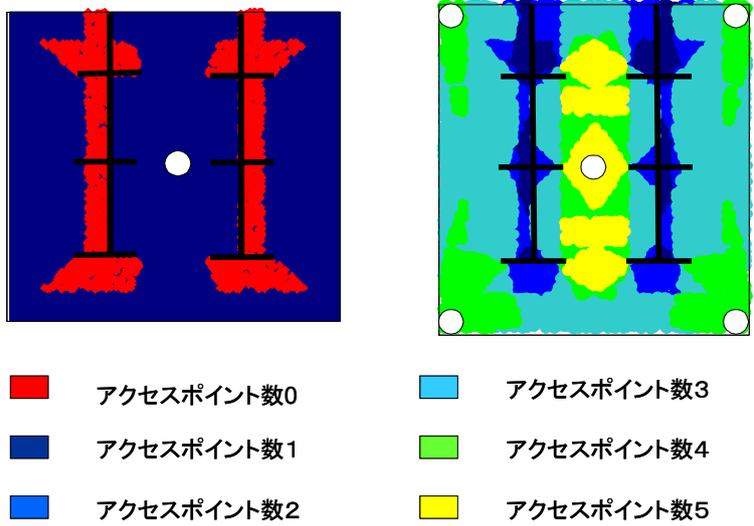


図5-1-3 端末の位置する場所と見通し内伝搬路を確保できるアクセスポイント数

(左は従来システム：部屋の天井面中央部に単一のアクセスポイントを設置、
 右は提案システム：部屋の天井面中央部に単一のアクセスポイントを設置、
 また、部屋の四隅に光無線中継器を設置)

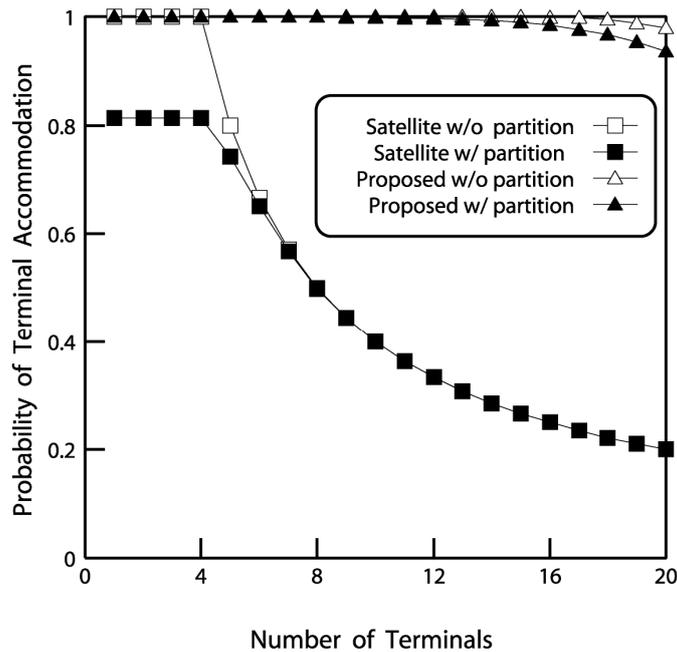


図5-1-4 従来システムと提案システムの端末の収容確率

また、それに並行して、指向直射方式のシステム利用効率の向上ならび受信端の数の増減に対する対策を目的として、天井面に設置されたアクセスポイント（サテライトと呼ぶ）と床面に位置する端末からなる室内光無線通信システムにおいて、サテライトと端末の両方が指向制御を行う指向直射方式と、サテライトは指向制御を行わず（広いビーム幅で信号光を送信し広い受信機視野で信号を受信する）、端末のみが指向制御を行うハイブリッド直射方式をオーバーレイさせた『指向直射・ハイブリッド直射オーバーレイ室内光無線通信システム』を提案した。上述のように、送信端からビーム状に光を送出するビーム伝送の形態をとる指向直射方式では、送受信機間での Point-to-Point 伝送 (P-P 伝送) により 100Mbps を超える伝送速度が得られるものの、サテライトならびに端末に装備される送受信機の指向制御を必要とするため、1つの送信機は1つの受信機に対してのみ信号光を伝送する。それにより、音声伝送など必ずしも高い伝送速度を必要としない端末と通信する場合であっても、サテライトでは 100Mbps を超える伝送が可能な指向性送受信機が必要となり、システムの利用効率は悪くなる。また、サテライトが装備する送受信機数以上の端末が存在した場合には、全ての端末を収容することができない。それに対し、本研究開発で提案する『指向直射・ハイブリッド直射オーバーレイ室内光無線通信システム』では、サテライトは指向性の送受信機（狭ビーム幅、狭受信機視野、高速伝送、1つの端末が光無線伝送路を占有）と無指向性の送受信機（広ビーム幅、広受信機視野、低速伝送、複数の端末が光無線伝送路を共有）の両方を装備することで、音声伝送など所望伝送速度の低い

端末については、サテライトは無指向性の送受信機を用いて通信し、一方、動画像の伝送など所望伝送速度の高い端末については、サテライトは指向性送受信機を用いて通信する。それにより、指向直射方式で問題となるシステムの利用効率の向上が図られる。また、サテライトが装備する送受信機数以上の端末が存在した場合には、無指向性送受信機を流用することで全ての端末を収容することが可能となる。本研究開発で提案した『指向直射・ハイブリッド直射オーバーレイ室内光無線通信システム』の概念図を図5-1-5に示す。

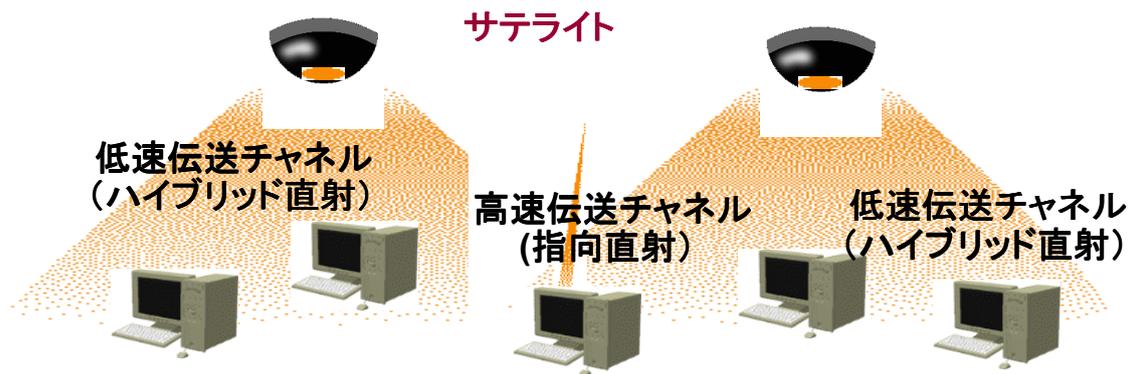


図5-1-5 指向直射・ハイブリッド直射オーバーレイ室内光無線通信システムの概念図

図5-1-5に示す指向直射・ハイブリッド直射オーバーレイ室内光無線通信システムでは、指向直射方式とハイブリッド直射方式を隣接する伝送空間において同時に使用する。

電波を用いるシステムでは、周波数、時間などで異種のシステムが同一のエリアに共存することが可能である。図5-1-5に示す指向直射・ハイブリッド直射オーバーレイ室内光無線通信システムでも、波長や時間によって2つのシステムを分離することは可能である。しかしながら、本研究開発ではコストならびに伝送速度の過剰な低下を避けるという観点から、指向直射方式、ハイブリッド直射方式、共に、同一の波長を用いて同一の時間に伝送を行うものとし、その場合に懸念される指向性送受信機を用いる指向直射方式と無指向性送受信機を用いるハイブリッド直射方式との間での信号光の干渉について検討し、その結果を図5-1-6に示す。図5-1-6では、横軸を指向直射方式の送信光電力、縦軸（左）を指向直射方式のカバレッジ、縦軸（右）をハイブリッド直射方式のカバレッジの減少率としている。

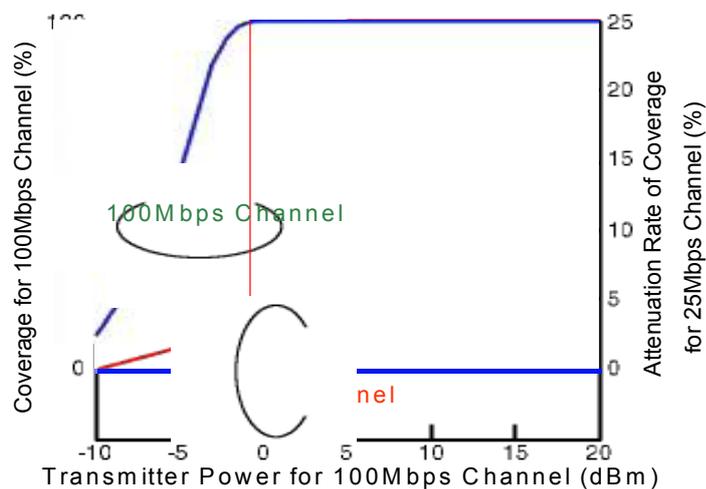
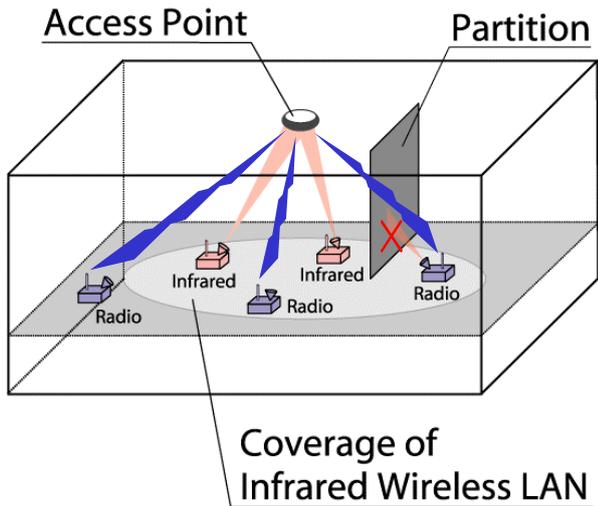


図5-1-6 指向直射方式の送信光電力と指向直射方式ならびにハイブリッド直射方式のカバレッジの関係

図5-1-6に示すように、指向性送受信機を用いる指向直射方式と無指向性送受信機を用いるハイブリッド直射方式を同時に用いるため、信号光の干渉による特性劣化が生じるものの、送信光電力ならびに受信機視野角(FOV)を適切に設定することで、指向直射方式とハイブリッド直射方式のオーバーレイが可能であることがわかる。なお、『指向直射・ハイブリッド直射オーバーレイ室内光無線通信システム』に関するこれらの研究成果は、電子情報通信学会通信方式研究会ならびに電子情報通信学会総合大会において論文発表を行っている。さらに、上記の研究内容以外にも、光無線通信システムと電波を用いる無線通信システムを組み合わせた『光・電波ハイブリッド室内無線通信システム』についての基礎的な検討を開始した。現在、IEEE802.11bやIEEE802.11a Standardに基づく無線LANシステムを有するホットスポットサービスが注目されているが、これらのシステムを用いるホットスポットサービスでは、最大伝送速度は十分でなく、また、同時に使用する端末との競合、他事業者のホットスポットサービスとの干渉などにより、1端末あたりの伝送速度は大幅に変動する。これらの対策として、光無線通信システムと電波を用いる無線通信システムを組み合わせた『光・電波ハイブリッド室内無線通信システム』を導入する。このシステムでは、アクセスポイントならびに端末は、光無線伝送用の送受信機と電波伝送用の送受信機の両方を装備する。端末は、アクセスポイントとの見通し内伝搬路の確保の可否ならびに所望伝送速度に応じて、光もしくは電波のどちらを用いてアクセスポイントにアクセスを試みるか決定する。それにより、電波のみを用いるシステムに比べると、光無線によりアクセスした場合には100Mbps以上の最大伝送速度を達成し、かつ、広がり狭い光無線伝送路を1端末で占有するため、1端末あたりの伝送速度は同時に使用する端末との競合、他事業者のホットスポットサービスとの干渉などにより変動することはない。また、光無線のみを用いるシステムに比べると、電波を用いてアクセスポイントにアクセスすることが可能となるため、遮蔽の影響を大幅に軽減できる。この『光・電波ハイブリッド室内無線通信システム』の概念図を図5-1-7に示す。図5-1-7に示すように、各端末はIEEE802.11bに基づいて電波によりアクセスポイントと通信を行うための送受信機と、ハイブリッド直射方式に基づく光無線によりアクセスポイントと通信を行うための送受信機を装備している。遮蔽やゾーン外れにより、電波、光のどちらか一方のみでしかアクセスポイントと通信を行えない場合は、それを用いてアクセスポイントと通信を行うものし、電波、光のどちらを用いてもアクセスポイントと通信を行うことができる場合には、期待される最大スループットが高くなる方を選択して、アクセスポイントと通信を行うものとする。



アクセスポイントおよび各端末は
両システムの送受信機を装備

電波無線 LAN システムのみを
用いる場合に対する利点

- 伝送速度の高速化
- 端末数増加に伴う
スループット低下の軽減

赤外線無線 LAN システムのみを
用いる場合に対する利点

- 遮蔽の影響の軽減
- カバレッジの広域化
- 端末数増加に伴う
スループット低下の軽減

図 5 - 1 - 7 光・電波ハイブリッド無線 LAN システムの概念図

◆ 自端末の予想されるスループットが高くなるシステムを選択

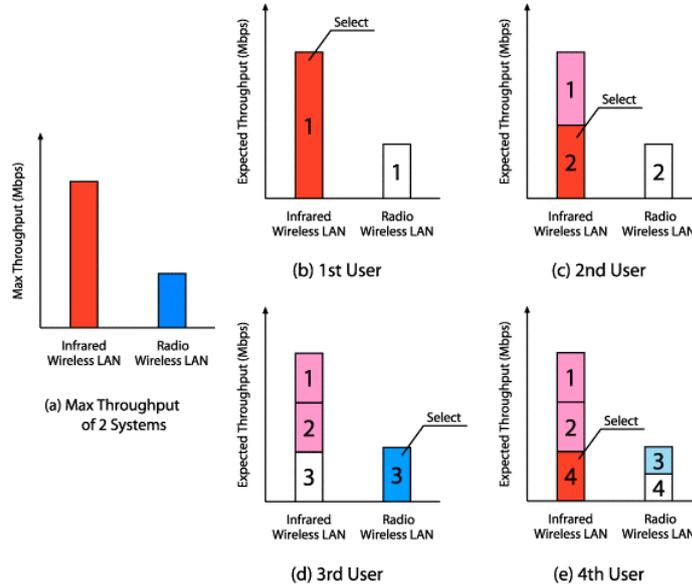


図 5 - 1 - 8 光と電波の選択方法

本研究開発で提案した『光・電波ハイブリッド無線 LAN システム』のスループット特性を評価し、その結果を図 5-1-9 に示す。なお、ここでは、図 5-1-9 右に示すような伝送区間を想定し、室内の 80% のエリアから、光によってアクセスポイントとの間での見通し内伝搬路を確保でき、遮蔽ならびにゾーン外れによって残り 20% のエリアからは光によりアクセスポイントとの間での見通し内伝搬路を確保できない状況にあるとしている。図 5-1-9 より、従来の電波のみを用いるシステム、また、光のみを用いるシステムと比較して、提案システムを用いることにより高いスループット特性が得られていることがわかる。特に、IEEE802.11b に基づく電波のみを用いる従来システムと比較すると、電波を用いるシステムでは高々数 Mbps 程度のスループットしか達成できないのに対し、提案システムでは電波に加えて、光によるアクセスも可能とするため、スループットの高速化が図られることがわかる。また、光のみを用いる従来システムと比較すると、光のみを用いるシステムでは遮蔽やゾーン外れによるスループットの低下が大きいのに対し、提案システムではスループットの低下を抑制できていることがわかる。これらの結果から、提案システムは、電波を用いることによって光無線 LAN システムにおいて問題となる遮蔽やゾーン外れの影響を軽減すると共に、従来の電波を用いる無線 LAN システムよりも遥かに高速な伝送を可能とするといえる。なお、『光・電波ハイブリッド無線 LAN システム』に関するこれらの研究成果は電子情報通信学会総合大会において論文発表を行っている。

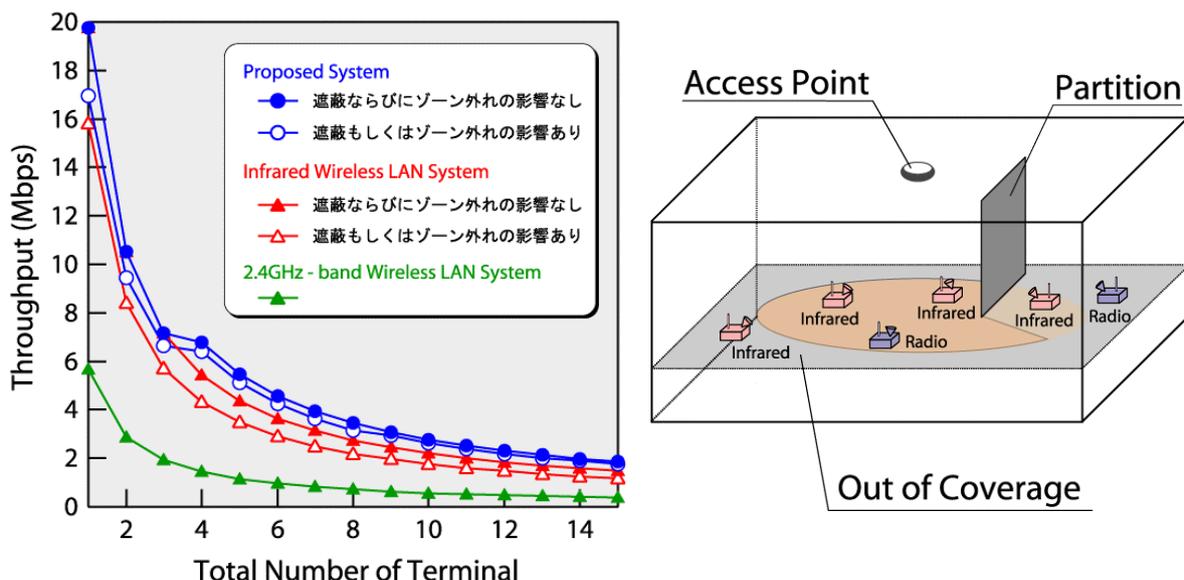


図5-1-9 端末数とスループットの関係

5-1-3-2. Radio over Infrared Wireless システムの基礎研究

1) Radio over Infrared Wireless の仮想無線自由空間化技術

光ファイバと光空間伝送路がカスケード接続された Radio over Infrared Wireless (RoIRW) システムについて、まず、無線 LAN などの基地局間を結ぶエントランスネットワークを RoIRW で実現するシステム構成の検討、RoIRW に適した光変復調技術、ネットワーク構成の検討に着手した。

2) 無線信号多重化方式ならびにルーティング技術

RoIRW ネットワークでの複数の無線信号波伝送に必要となる RF 無線信号の光搬送波上への多重化技術とルーティング方式について理論と実験の両面から検討している。

多元接続、ルーティング方式として、基地局簡易化と無線信号の非同期アクセス性に優れる直接光スイッチング (DOS: Direct Optical Switching) CDMA 方式について検討を行っている。本方式では、受信機に光反転相関受信機 (OPRC) を用いることにより、通常無線通信で使用される両極性拡散符号を光 CDMA 方式でも使用できるようになり、多重数と干渉信号抑圧特性の改善が期待される。本検討では、受信 CI 比 (搬送波対干渉電力比) について理論解析と実験による測定を行い、信号品質劣化要因の一つである光スイッチの消光比バランスの影響について明らかにした。また帯域標準化周波数不足に起因した自己干渉の受信信号品質への影響を測定した。

次にダウンリンクを対象にして拡散符号重みの光パルスへの割り当て方法に伴う OPRC 動作の違いに着目した CI 比 (搬送波対干渉電力比) 改善手法を提案し、その有効性を実験的に確認した。

【検討結果の概要】

図5-1-10に直接光スイッチング (DOS: Direct Optical Switching) CDMA 方式の実験構成を示す。送信機では、RF 信号で LD を変調後、光信号を光スイッチ (LN 強度変調器) でオンオフエンコードする。受信機では、受信信号光を二つの枝に分岐した後、互いに相反する符号で2つの光スイッチにより相関をとり、光バランス検波と BPF により RF 信号を再生する。

送受信機に同一の符号を用いて希望波電力を測定し、異符号を用いて干渉波電力を測定し、CI 比を評価した。拡散符号には符号長が 15 から 2047 の M 系列を用い、拡散符号周期 0.1[msec] で無変調搬送波を送信した場合の拡散符号長対受信電力の測定結果と CI 比測定結果をそれぞれ図5-1-11、12に示す。

図5-1-11より符号長を拡大した場合、希望波 RF 電力が一定であるのに対し、干渉波 RF 電力が抑圧されており、符号長が 255 では雑音電力以下に抑圧されることが分かる。

図5-1-12の各測定値は、送受信機の光スイッチの消光比が無限大であると仮定した場合の理論電力値に比べて劣化しており、符号長が拡大すると劣化の度合いが大きくなること分かる。そこで同図に光スイッチの消光比を考慮した理論解析結果を示す。送信機と受信機上下段の光スイッチの消光比 e_t, e_1, e_2 [dB] の実測値は、それぞれ 34dB, 14dB, 35dB であった。同図から符号長が長いほど CI 比は消光比のアンバランスに強く影響されることが分かる。理論解析の結果、符号長が 7 から 2047 の場合、受信機光スイッチの消光比が完全にバランスしている状態の理想 CI 比に対する劣化を 2.5dB 以下にするには、送信機光スイッチの消光比が少なくとも約 8dB 必要であることが分かった。

また、送信機、受信機下段の消光比がそれぞれ 34dB、35dB の状態で、理想 CI 比からの劣化を 2.5dB 以下とするには、符号長が (7, 15, 31, 63, 127, 255, 511, 1023, 2047) の場合、それぞれ (10, 14, 17, 20, 23, 28, 30, 32) [dB] の上段消光比が必要であり、符号長が長いほど両消光比のバランスをとる必要があることが分かった。

図5-1-13に、無線信号の帯域幅を 300kHz、変調方式を $\pi/4$ QPSK、チップレートを 4.2Mcps と固定した場合の拡散符号長対 SER 特性を示す。スペクトルエリアシングの影響による SER の劣化度を確認した。

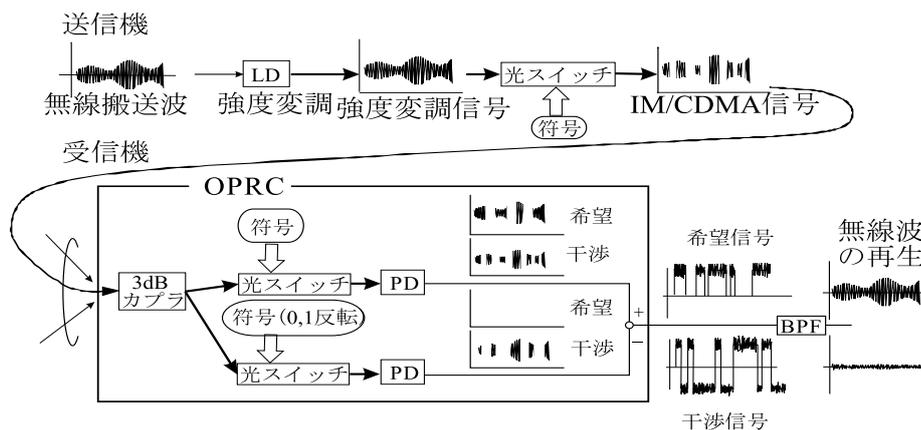


図5-1-10 直接光スイッチング(DOS:Direct Optical Switching)CDMA方式の実験系構成

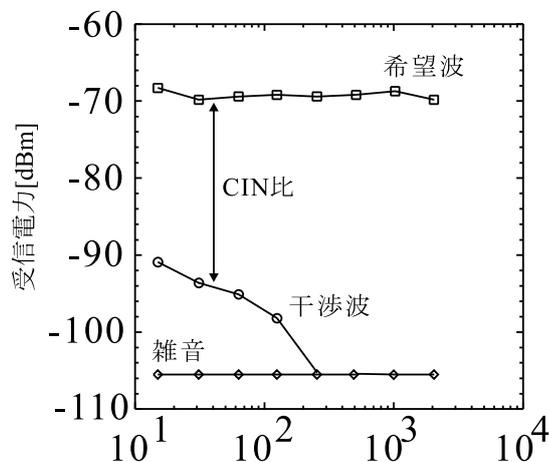


図5-1-11 拡散符号長対受信電力特性

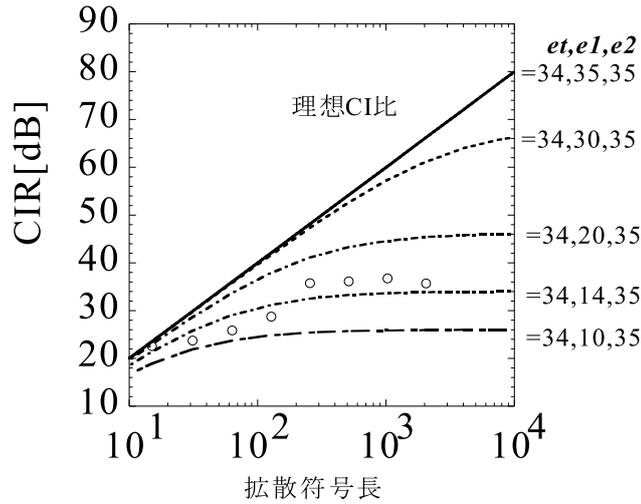


図 5-1-1-2 拡散符号長対受信 CI 比特性

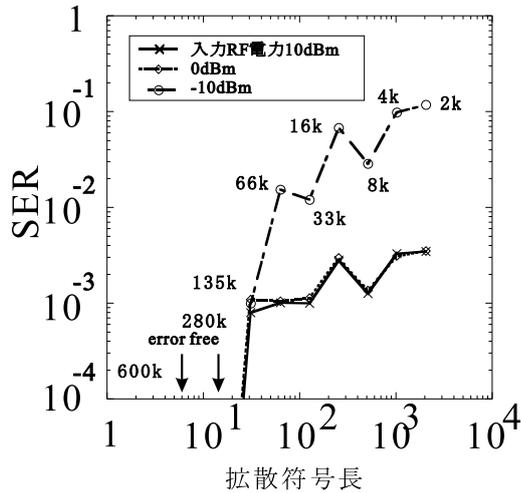


図 5-1-1-3 拡散符号長対 SER 特性

次にダウンリンクを対象にして DOS-CDM 方式において拡散符号語重みの光パルスへの割り当て方法に伴う OPRC 動作の違いに着目した CI 比(搬送波対干渉電力比)改善手法を提案し、その有効性を実験的に確認した。

図 5-1-1-4 に DOS-CDM システムのダウンリンク構成を示す。制御局(CS)では、無線信号を LD(Laser Diode)で光強度変調信号に変換した後、光スイッチ(OSW)を用いて各無線基地局(RBS)に対応する M 系列符号(c_k)によりオンオフ拡散して多重する。RBS の光反転相関受信機(OPRC)では、受信された光信号を光カプラ(OC)で二つに分岐し、互いに相反する動作をする光スイッチにより相関をとり、バランス光検波後に BPF を通して RF 信号を再生する。ここで、干渉局には希望局が用いる M 系列をビットシフトした系列を拡散符号として割り当てる。

さて本システムでは、M 系列の”0” , ”1” に対する光スイッチのオン-オフへのマッピング方法に次の 2 通りがある。一つの符号周期内の奇数個の”0” を光スイッチのオンに割り当てる系列(M_{odd} 系列)と、偶数個の”1” を光スイッチのオンに割り当てる系列(M_{even} 系列)である。拡散符号長 L のとき、 M_{odd} 系列を用いると干渉電力が $1/L$ だけ残留するのに対し、 M_{even} 系列を用いると、上下段

のパルス数が同数となるため光検波後の干渉波電力が同等となる。その結果、理論的には干渉波の完全な除去が可能となり、 M_{even} 系列の使用による受信 CIN 比改善が期待される。しかし、受信機の光スイッチ消光比が不十分であったり、上下段で挿入損、消光比がアンバランスな場合、その効果が得られないことが予想される。そこで本検討では受信機の光スイッチの消光比が不十分で、上下段の光スイッチにアンバランスが存在する場合の両系列の受信 CIN 比を測定した。干渉信号数は 1 とし、拡散符号周期 0.1msec、無変調搬送波電力 10dBm、LD の出力光電力 3.4dBm、波長 $\lambda : 1.3 \mu\text{m}$ で実験を行った。

図 5-1-15 に拡散符号長対 CIN 比の測定結果を示す。同図より M_{odd} 系列使用時の CIN 比は干渉電力に支配され、符号長を長くすることにより CIN 比が改善された。これに対して、 M_{even} 系列を用いるとどの符号長でも 25dB 以上の CIN 比が得られた。この CIN 比は、雑音電力に支配されており、干渉電力は雑音電力以下に抑圧されている。この結果から、 M_{odd} 系列に対して、 M_{even} 系列を用いることによる改善度は符号長 7 の場合 21dB、127 の場合に 7dB であった。なお、 M_{even} 系列を用いたときの測定結果では、符号長増大に伴って若干、CIN 比が劣化しているが、これはチップレート増大に伴うパルス波形の歪みにより光受信電力が低下したことに一因がある。引き続き原因を究明する必要がある。

図 5-1-16 に受信側の光スイッチ消光比差に対する CIN 比測定結果を示す。同図より M_{even} 系列を用いると消光比差が 18dB まで劣化しても CIN 比は約 3dB の劣化ですんだ。しかしながら、それ以上の消光比差になると CIN 比は大きく劣化した。 M_{odd} 系列を用いた場合と比べると、消光比差が 28dB の場合、18dB の CIN 比改善、消光比差が 18dB の場合、5dB の改善が得られた。

以上の結果から DOS-CDM ダウンリンクにおける M_{even} 系列の使用という提案手法の有効性が明らかになった。

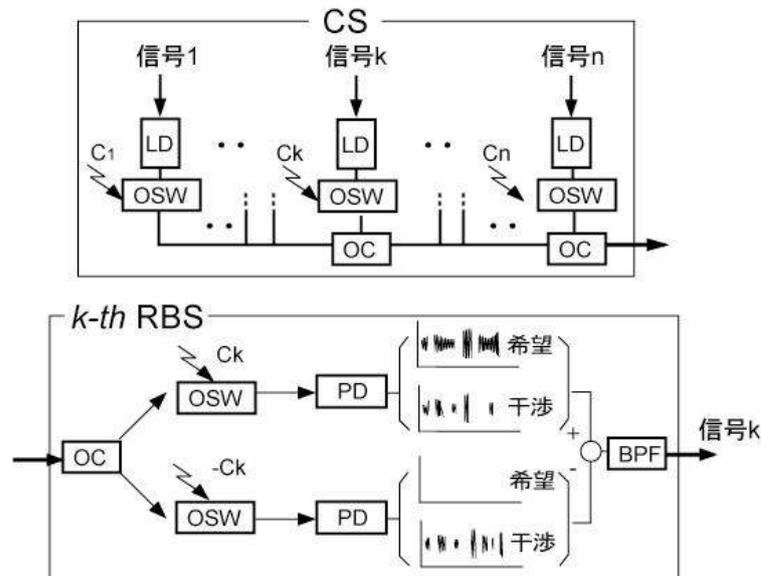


図 5-1-14 DOS-CDM システムのダウンリンクの構成

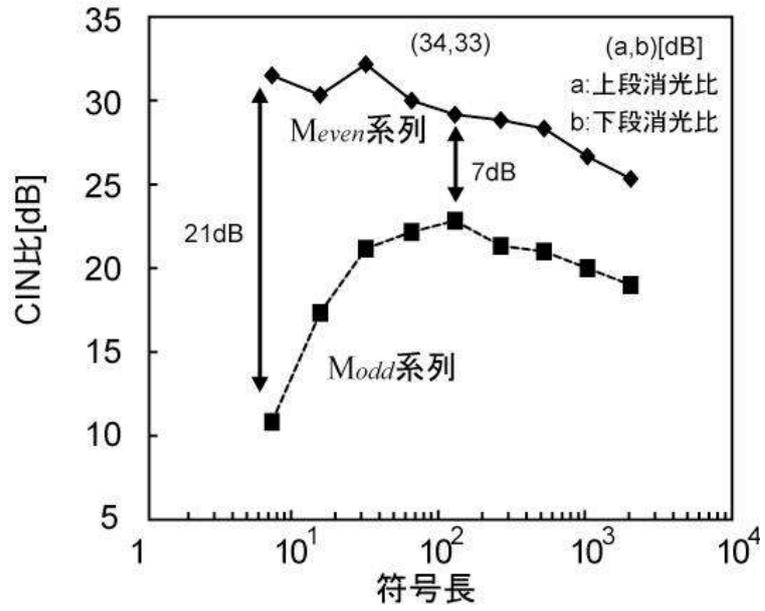


図 5 - 1 - 1 5 符号長対 CIN 比の測定結果

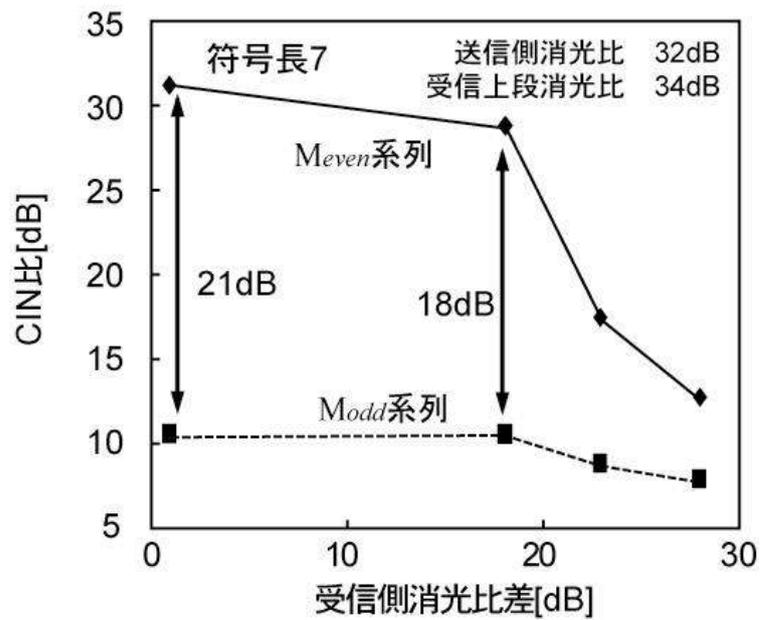


図 5 - 1 - 1 6 受信側の光スイッチの消光比差に対する CIN 比の測定結果

3) 非線形抑圧技術

Radio over Infrared Wireless 系のダイナミックレンジの向上には、光源の非線形に起因した相互変調歪を抑圧する必要がある。そこで、直接光周波数変調方式の適用を提案し、半導体レーザの周波数変調特性の非線形性を受信側の光周波数弁別器の非線形性を用いて打ち消す手法について検討を行っている。本検討では、マルチチャンネルの副搬送波多重(SCM)信号形式を想定して、スプリアスの影響を少なくする非線形補償受信機を提案し、最大周波数偏移とCND比の関係について理論解析により評価した。その結果、提案方式では、最大周波数偏移の変化に対して良好な受信信号品質が得られ、提案受信機が Radio over Infrared Wireless ネットワークのダイナミックレンジ改善に有効であることを明らかにしている。また、SCM チャンネル数が多い場合に問題となる5次の歪を考慮した非線形補償効果についても理論解析により評価した。以下に検討結果の概要を示す。

【検討結果の概要】

図5-1-17に非線形補償受信機の構成を示す。従来方式では、信号に空き帯域が存在することを前提として、帯域フィルタにより歪電力のみの観測を行い歪の抑圧を行った。しかし、IEEE802.11aなどの無線LAN規格で用いられるOFDM信号は、隣接チャンネル同士にスペクトルの重なりが生じており、信号成分の無い帯域が存在しないため従来手法の受信機では十分な抑圧効果が得られない。そこで、同一特性を持つ光周波数弁別器を3つ用意し、光周波数弁別特性を周波数方向にシフトさせる。そして3次相互変調歪を最小化する目標光位相シフト量から正負に同じだけオフセットした位相シフト量で2つの弁別器を動作させ、それらの出力電力の減算により検出電力から信号電力を取り除き、歪電力のみの検出を可能とする。その歪電力に基づいて残り1つの弁別器の位相シフト量を制御する。

図5-1-18に最大周波数偏移量に対するCND比の理論解析結果を示す。OFDM信号伝送の場合、入力無線信号振幅が大きく変動するため、光周波数偏移が大きく変化する。出力RF信号電力は最大周波数偏移量に対して2乗に比例し、RF歪電力は6乗に比例するため、非線形補償を行わないと最大周波数偏移量の増大に伴い歪電力が増加しCND比が大きく劣化する。従来方式の場合、検出しているRF電力のほとんどが信号のスプリアス電力になってしまうため、信号電力を抑圧する動作を行ってしまうためCND比が無制御の場合よりも劣化する。これに対して、提案方式では信号電力の影響を受けることなく歪電力を検出できるため、CND比を改善でき、瞬時電力が大きく変動するOFDM信号のような入力RF信号に対しても、ダイナミックレンジの改善が期待できる。

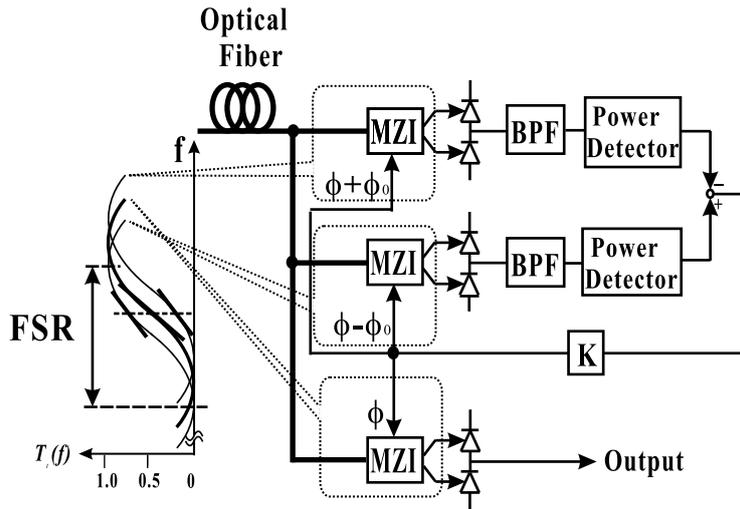


図 5-1-17 直接光周波数変調 RoIRW の非線形補償受信機の構成

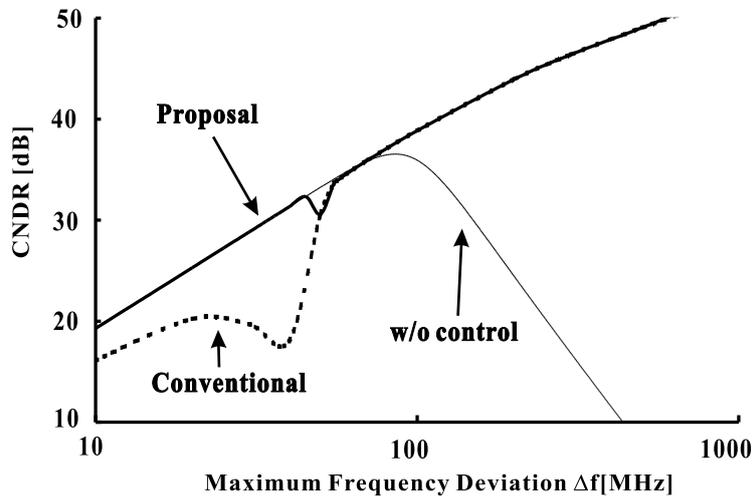


図 5-1-18 最大周波数偏移量対 CNDR 比特性

次に 5 次の非線形歪に対する提案方式の補償効果について理論的な解析を行い、評価した。本提案方式では、歪電力は受信側の周波数弁別器の位相シフト量の関数になっており、最適な非線形補償が行える移相量に制御(位相シフト制御)することで歪電力の抑圧が可能となる。しかし、3 次と 5 次相互変調歪それぞれを同時に最小化する制御は困難であるため、3 次と 5 次相互変調歪の合成電力を最小にするような位相シフト制御方法を提案した。

表 5-1-1 と表 5-1-2 に計算に用いたパラメータを示し、図 5-1-19 に 3, 5, 11 キャリヤで位相シフト制御しない場合の最大周波数偏移量対 CNDR 比を示す。同図から最大周波数偏移量が大きい場合、3 次相互変調歪電力を 5 次相互変調歪電力が上回ることが分かる。これは、無線搬送波電力対 3 次相互変調歪電力比 (CD3 比)、無線搬送波電力対 5 次相互変調歪電力比 (CD5) がそれぞれ最大周波数偏移量の 4 乗、8 乗に反比例して減少するためである。例えば、3, 5, 11 キャリヤの場合、最大周波数偏移量がそれぞれ 4.5 [GHz]、2 [GHz]、1 [GHz] より大きくなると 5 次相互変調歪が CD 比を支配する。したがって、キャリア数が多いほど、最大周波数偏移量の増大に対する 5 次相互変調歪の影響が大きくなることが確認できる。

次に、位相シフト制御した場合の CNDR 比を評価する。図 5-1-20 に CNDR 比と位相シフト量の

関係を示す。目標としている位相シフト量は、3次および5次歪合成電力を最小にする位相シフト量 ϕ_{\min} である。また、3次歪電力のみを最小とする位相シフト量を ϕ_{D3} とした場合、位相シフト制御を施さない場合のCND比についても併せて示す。図5-1-20より、最もCND比の改善効果が得られる位相シフト量は ϕ_{\min} であることが分かる。例えば、11キャリア、最大周波数偏移量が700[MHz]において ϕ_{D3} の場合のCND比に比べ約2[dB]、位相シフト制御を施さない場合に比べ約10[dB]改善されていることが分かる。

次に、位相シフト制御した場合のダイナミックレンジについて評価した。図5-1-21に非線形レーザダイオードを用いた場合の最大周波数偏移量対CND比特性を示す。同図より、位相シフト量を ϕ_{\min} とした時に最も大きいダイナミックレンジが得られることが分かる。また、キャリア数が多いほど、最大周波数偏移量大きいところで位相シフト量を ϕ_{\min} とする効果が大きくなる。すなわち、位相シフト量を ϕ_{D3} とした場合、3次歪電力は最小となるが、5次歪電力を抑圧できないのに対して、 ϕ_{\min} に位相シフト制御すると3次、5次の両方の歪抑圧効果が得られるわけである。

図5-1-22に線形レーザダイオードを用いた場合の最大周波数偏移量対CND比特性を示す。図5-1-21と同様の結果が得られている。

図5-1-21と図5-1-22を比べると、最大CND比が得られるのは、非線形レーザダイオードを用いた場合であり、11キャリアの場合、CND比が3[dB]だけ良いことが分かる。一方、ダイナミックレンジに関しては、線形レーザダイオードを用いた場合が非線形レーザダイオードを用いた場合に比べ200[MHz]良い。これは、線形レーザを用いた場合、5次相互変調歪電力が非線形レーザを用いた場合に比べ小さく、5次相互変調歪電力の影響が小さくなるからである。

以上のように、3次と5次相互変調歪の電力和を最小化する非線形補償方式によりCND比とダイナミックレンジ改善が得られることが明らかとなった。

表5-1-1 計算に用いたパラメータ

FSR [GHz]	17.5	P_c [dBm]	-10
m_k	0.0 1	$\Delta\nu$ [MHz]	0.5
T [K]	300	B [kHz]	300
r [A/W]	0.8	R_t [Ω]	50

表5-1-2 レーザダイオードの特性

	nonlinear LD	linear LD
α [MHz/mA]	72	72
β [MHz/mA ²]	0.01	0
γ [MHz/mA ³]	0.001	0

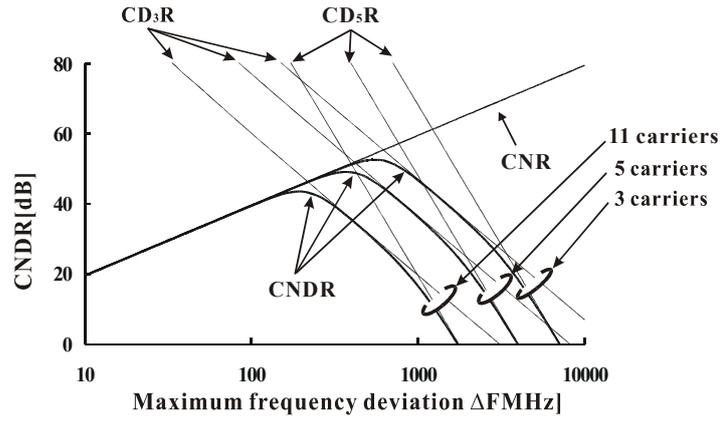


図 5-1-19 最大周波数偏移量対 CND 比

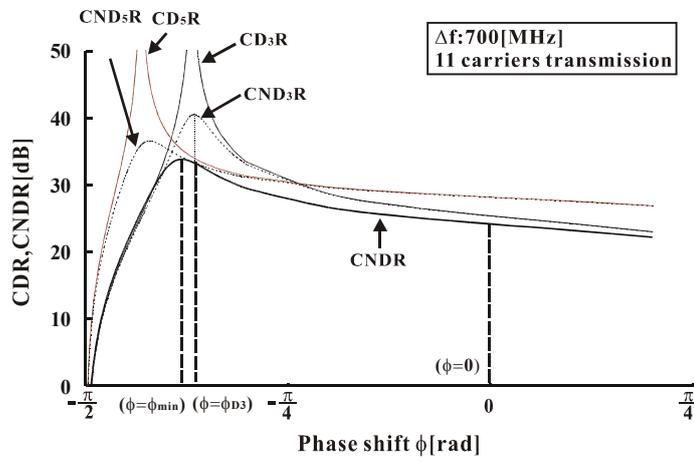


図 5-1-20 CND 比と位相シフト量の関係

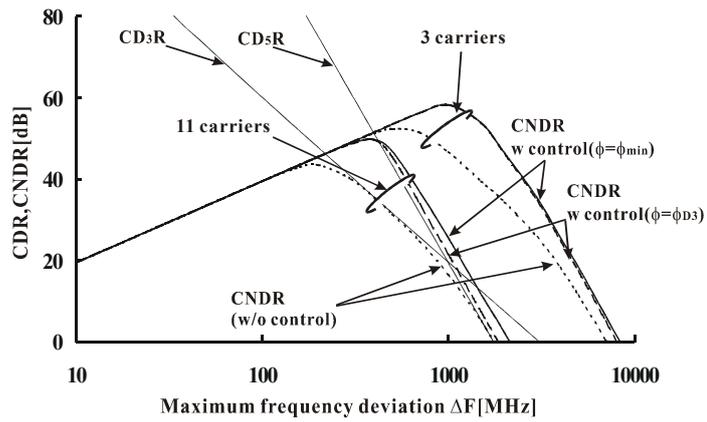


図 5-1-21 最大周波数偏移量対 CND 比
(非線形レーザーダイオードを使用した場合)

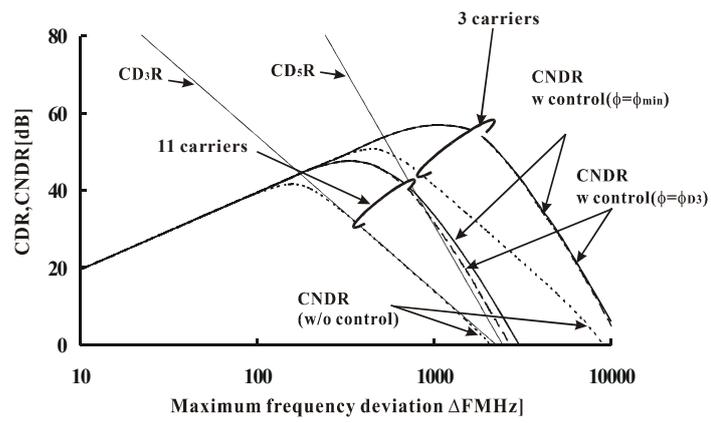


図 5-1-2-2 最大周波数偏移量対 CNDR 比
(線形レーザダイオードを使用した場合)

5-2 【サブテーマ2】超高速シームレスアクセスシステムの研究開発

5-2-1 研究の内容

超高速シームレス・バリアフリー・アクセスシステムの実現を目指し、シームレス・バリアフリー無線通信プロトコルの研究開発に関しては、平成14年度前半は、IEEE802.11b 準拠の無線 LAN を利用して、基地局が変わらない（端末の IP アドレスが変わらない）ことを前提としたこのコンピュータネットワークの通信プロトコルをモバイル端末に対応した通信プロトコルへ改良するための基礎実験を行う。そして、平成14年度後半はその実験結果を基にモバイル対応通信プロトコルの基本設計を行い、その開発に着手する。

また、シームレス・バリアフリー無線通信アプリケーションソフトウェアの研究開発に関しては、平成14年度前半は、IEEE802.11b 準拠の無線 LAN を利用して、上記モバイル対応通信プロトコルで実現可能な VoIP システム実現性の基礎検討を行う。そして、平成14年度後半はその検討結果を基にモバイル対応通信プロトコルで実現可能な VoIP システムの基本設計を行い、その開発に着手する。

5-2-2 研究の効果

シームレス・バリアフリー無線通信プロトコルの研究開発に関しては、平成14年度前半は、IEEE802.11b 準拠の無線 LAN を利用して、基礎実験を行い必要な情報を入手した。そして、平成14年度後半はその実験結果を基にモバイル対応通信プロトコルの基本設計仕様書を作成し、シームレス・バリアフリー無線通信システムの開発に着手した。現在、手動ではあるが、電波無線と光無線を切替えても通信を継続的に行うことが出来ることを確認した。これを自動化すれば、シームレス・バリアフリー無線通信システムの基本形が完成する。

また、シームレス・バリアフリー無線通信アプリケーションソフトウェアの研究開発に関しては、VoIP プロトコルの調査と基本実験を行い、上記モバイル対応通信プロトコルで実現可能な VoIP システム実現性の基礎検討とその開発に着手した。現在、上記、手動で電波無線と光無線を切替えて通信を継続的に行うことが出来るシステムを利用して基礎実験を行っている。

5-2-3 研究の詳細

5-2-3-1 シームレス・バリアフリー無線通信プロトコルの研究開発

IETF で規定の Mobile IP プロトコルを Linux-OS 搭載のモバイル端末に実装し、IEEE802.11b 無線 LAN 環境におけるローミング時間を測定した。この基礎実験結果を元に、Mobile IP における改良点を見出し、更に光無線・電波無線両方に応用可能な新規プロトコルの検討を行った。

具体的には、図5-2-1に示すような実験環境において、Mobile Node, Home Agent, Foreign Agent に Helsinki university of technology の Mobile IP プロトコル (<http://www.cs.hut.fi/Research/Dynamics/dynamics-0.8.1>) を実装した。京セラ社製アクセスポイント(AP)間を Mobile Node が人間の歩く速さで移動した際に生じるアプリケーション復帰時間などを測定した。

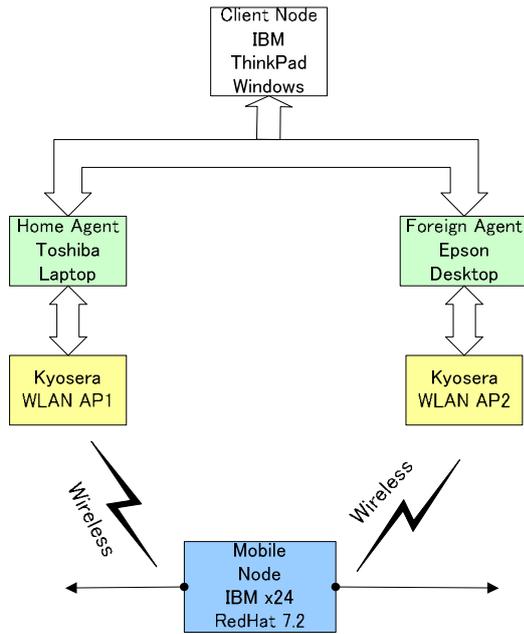


図 5 - 2 - 1 Mobile IP 実験環境

その結果、図 5 - 2 - 2 に示すアプリケーションレイヤの復帰時間には約 3~6 秒程度を要した。なお、図 5-2-2 はローミング時に生じる Mobile IP プロトコル通信フローの一例である。

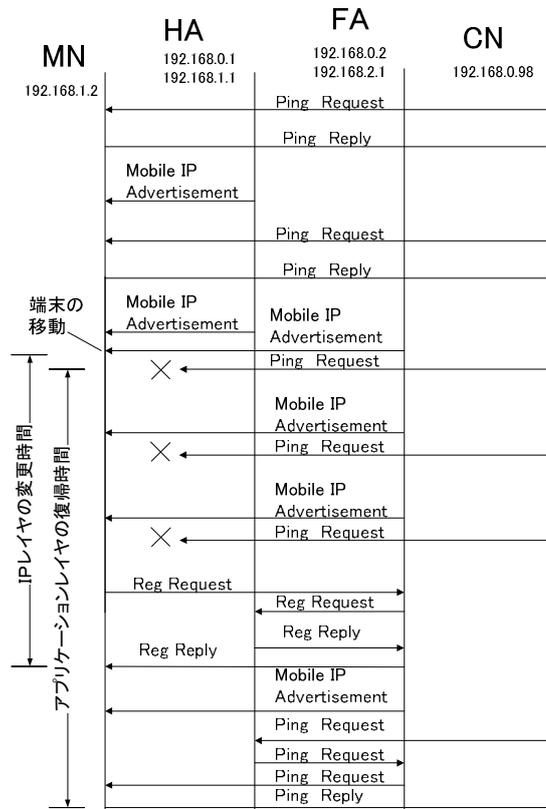


図 5 - 2 - 2 Mobile IP ローミング時通信フロー

本実験結果より、更なる高速性を確保しながら電波無線・光無線の両ワイヤレス通信に耐え

られる通信プロトコルを立案・検討を行った。詳細を次項で述べる。

5-2-3-2 シームレス・バリアフリー無線通信アプリケーション ソフトウェアの研究開発

VoIP システムの実現に向けて幾つかの独自方式を立案し、各方式の利点・欠点を比較検討した。その結果、VoIP システムだけでなく、汎用アプリケーションソフトウェアを流用可能な新規プロトコルやシステム設計を採用することとし、プロトコルの詳細仕様を決定した。以下、経緯と本プロトコルの概略を説明する。

1) 経緯

本委託テーマでは、IP 系でのローミング実現を目的としている。IP 系で接続される機器は、ネットワーク的に近接した機器同士の通信の効率化とトータルのトラフィックを抑えるため、セグメントと呼ばれる小グループに分けて管理される。機器に割り振られる IP アドレスは、セグメント固有の番号を含むため、機器を他のセグメントへ移動した場合、移動先のセグメント固有の番号を含む IP アドレスを割り当てなおす必要がある。TCP/IP における TCP 通信は、自機器と相手機器との間にコネクションを張り、データの信頼性を保障するが、コネクションを識別するための機器情報は、IP アドレスである。このため IP アドレスを変更するとコネクションを継続することができない。同一セグメント内で端末を移動した場合、移動先のセグメントは現在のセグメントと同一であるため、使用中の IP アドレスを用いて問題なくコネクションを継続できるが、セグメントをまたいだ移動を行った場合、IP アドレスを変更する必要があり、コネクションを継続することができない。

2) アプローチ方法

上記課題を解決するための手法の一つとして Mobile IP がある。

Mobile IP 以外のローミング実現方法として、

- ① アプリケーションレベルによるローミング保証 (CMS)
- ② 独自 MAC 方式

を立案し、これらの実現性を検討した。なお、本報告においては、Mobile IP は既知の技術のため詳細な説明は割愛する。

2) - 1. CMS 方式

CMS は、Connection Management Server の略で、本サーバは移動ノードと固定ノードもしくは他の移動ノードとの通信を常に中継するサーバである。動作概要は、移動ノード宛のデータを全てキャプチャし、移動ノードの移動先 IP アドレス宛てにデータを送付する。移動ノードが発信したデータは、CMS で一度受信し、発信元アドレスを CMS 自身に割り付けなおし、該当ノードへ送付する。CMS-移動ノード間の通信には、コネクションを張らない UDP プロトコルを使用することでコネクションの断絶を回避する。

2) - 2. 独自 MAC 方式

独自 MAC 方式は、無線部分において、IP アドレスを持たない方式に変更し、移動環境を提供する。移動ノード同士の通信においては、独自方式のプロトコルによる通信のみを行い、移動ノードと固定ノードとの通信においては、移動ノードのアクセスポイントがゲートウェイとなり、IP-独自 MAC 変換を行う。この際、セグメントの存在する IP 側の通信環境ではアクセスポイント同士が IP により通信を行い、配下の移動ノード情報を交換し、移動性の確保

を行う。

2) - 3. 各種方式比較

上記の各種方式に関する特徴を表 5-2-1 に整理する。

表 5-2-1 各種方式比較

方式	長所	短所
Mobile IP	全てのアプリケーションを利用しながら移動が可能	電波・光と通信インターフェースが複数になった場合、対応できない
CMS	アプリケーションレベルの開発のみで比較的容易に実現できる	独自アプリケーションのみサポート 高速性に懸念残る
独自 MAC	移動ノード同士の通信が特に高速	無線部分だけでなく IP 系の設計も必要で、設置時の難易度が高まる恐れがある

これらの検討結果を元に、それぞれの長所を組み合わせ、第 4 の方式となる本プロトコル（シームレス通信方式）を立案した。

3) シームレス通信方式

シームレス通信方式は、Mobile IP の要素技術と CMS 方式を組み合わせた内容である。その特徴を列挙する。

- ・移動ノードは、通信インターフェースに依存しない仮想的な IP アドレスを持ち、接続は本アドレスを用いて行う。
- ・移動ノードは、自身で送受するデータのカプセル化/デカプセル化を行うことで仮想アドレスを隠蔽し、インターフェースに依存した IP アドレスを用いて通信する。
- ・系にゲートウェイサーバを設置し、移動ノードと他のノードの中継を行う。
- ・ゲートウェイは、通過するデータをカプセル化/デカプセル化し、移動ノードの仮想アドレスと相手端末との通信を中継する。

本方式を用いれば、接続を張る際に使用する仮想アドレスがセグメント変更後でも不変であるため、シームレス通信が可能となる。更に通信インターフェースが変更された場合であってもこれらに依存しないため、光・電波と複数の通信インターフェースをまたいでローミングが可能となる。

本プロトコルの Mobile Node ではネットワークレイヤ (NIC など) の物理的な切り替えにより実 IP アドレスが変更されても、アプリケーションレイヤには固定のユニークな IP を永続的に提供する Virtual IP Layer 相当を設ける。また、システム内には移動先へ IP パケットを転送する HA (もしくは Mobile IP Proxy、ゲートウェイサーバ) を応用する。

4) プラットフォーム OS の選定

シームレス通信方式を実現するプラットフォームとして、Linux を想定した。Linux は、カーネルレベルで TCP/IP をサポートしているなど、OS としての機能が充実している。また、移植性が高いため、PC 上に搭載可能なだけでなく組み込み OS としても注目され始めている。更に無償でソースコードを入手可能なため本検討に最適であり、今後の事業化へのステップも踏みやすいと思われるため、採用を決定した。

5) シームレス通信仕様

5) - 1. 電波無線内ローミング

シームレス・バリアフリー通信プロトコルの実現を目指し、まず電波無線内 IP 系ネットワークで、サブネットをまたぐ高速ローミング手法の検討を行った。本シームレス通信方式は、1つのネットワークインターフェース(以下、NIC)がアクセスポイント A と通信中であれば、別の NIC を用いて異なるアクセスポイントをサーチする。アクセスポイント A との通信路が遮断もしくは電波状況が著しく悪化する場合に備え、事前に別のアクセスポイント B を検出し NIC を通信可能な状態にコンフィギュレーションを終了しておく。仮に通信中の伝送路状態において、電波状況が悪化もしくは光無線通信伝送路の遮断を検出したならば、アクセスポイント B との通信路へ即座に切り替える。この様子を図 5-2-3 に示す。

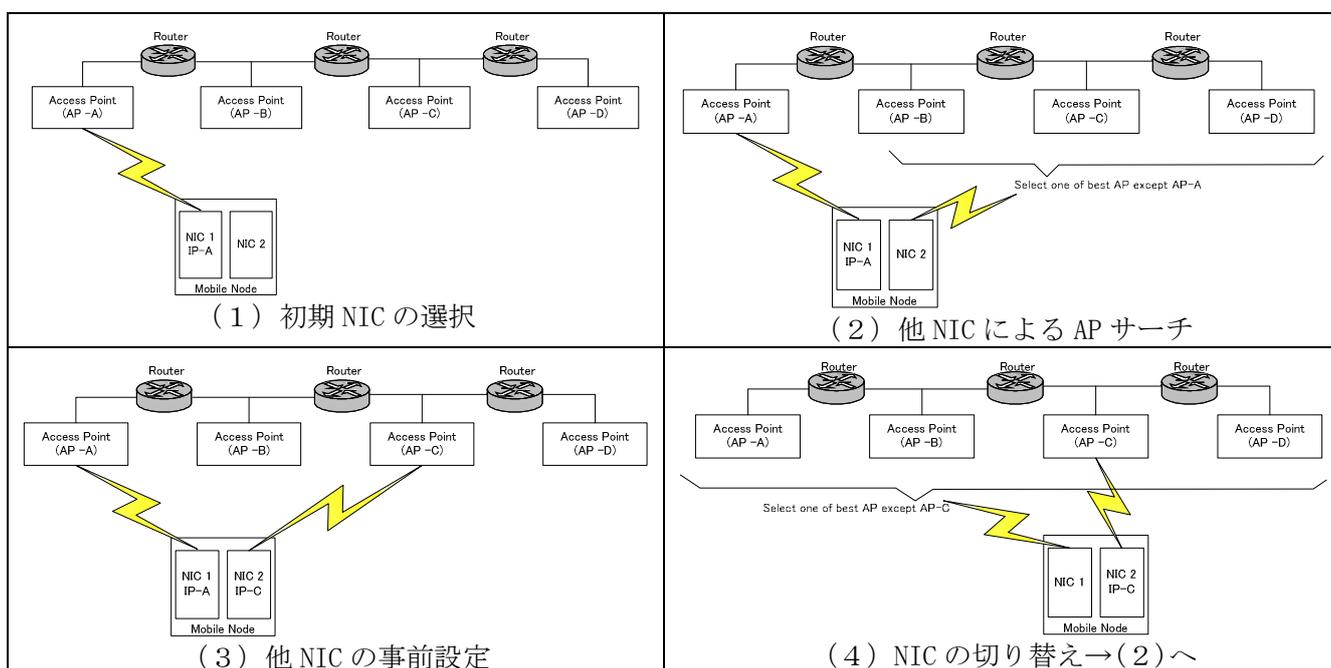
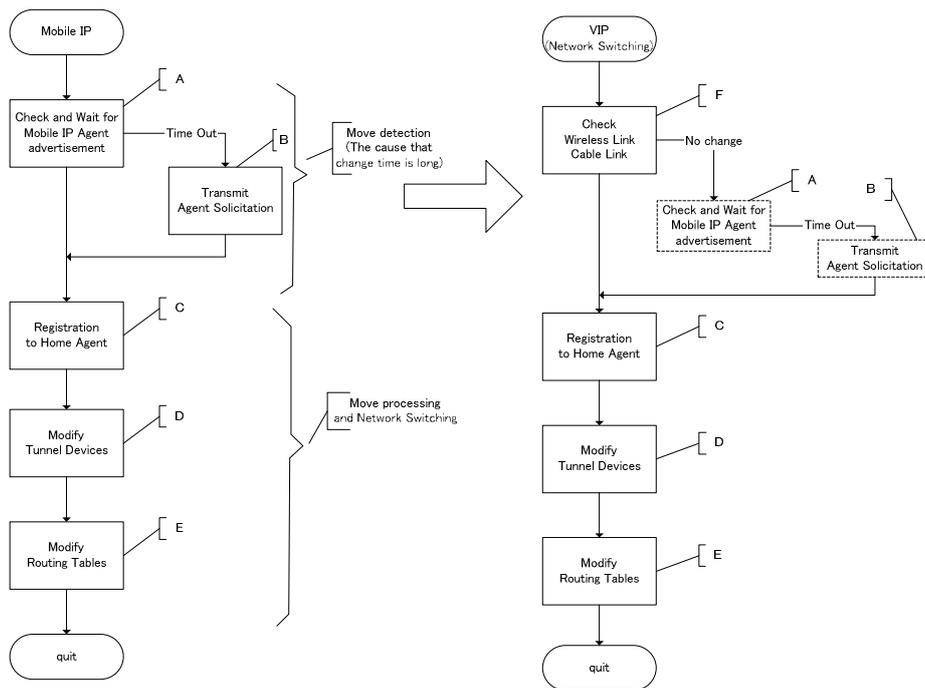


図 5-2-3 アクセスポイントの切り替え方式

5) - 2. 高速ローミングの実現

図 5-2-4 は、VIP レイヤにおけるネットワーク切り替え時に生じる処理フロー例であり、(i)は従来の Mobile IP を示し、(ii)は本シームレス通信方式における VIP の場合を示す。(i)従来 Mobile IP では、ネットワークの移動検出を行うにはルーター広告の一部を意味する Mobile IP Agent Advertisement を待ち、もし長時間にわたり受信不可能であれば、自らが Agent Solicitation を発行し、Agent 探索を行う。これらは、同図中の処理 A と処理 B に相当するが、移動検出を行うためのパケット受信待ち時間が長いと、高速な切り替え手法として懸念が残る。そこで、本シームレス通信方式の VIP では、処理 F により電波無線や光無線のリンク信号・無線強度信号を参照し、これらデータリンク層の情報を基に切り替え処理を行う構成とした。



(i) 従来 Mobile IP

(ii) VIP

図 5-2-4 VIP:Network 切り替えフロー例

以上のように、高速ローミング手法の検討結果として、

- 1) NIC のプレ・コンフィグレーション手法を搭載する 5) - 1。項参照
- 2) データリンク層のリンク信号や無線強度を基に NIC の切り替え判断するといった 2 点を採用する。

6) 電波無線ドライバの調査

本シームレス通信方式を達成するため、電波無線ドライバは表ロー 2 に記す要求項目を満足する必要がある。

表 5-2-2 電波無線ドライバ要求項目

要求項目	要求項目番号	戻り値もしくは期待する動作
アクセスポイントのサーチ	1	使用可能なアクセスポイントの MAC アドレス一覧を返答すること。
	2	アクセスポイント毎の電波強度を返答すること。
アクセスポイントの指定	3	指定の「ESSID」をネットワークカードへ設定すること。
	4	指定のアクセスポイントと通信を行うようネットワークカードへ設定すること。

表 5-2-2 に示した要求項目 1~4 を使用すれば、電波無線強度の確認やアクセスポイントの一覧、所望のアクセスポイントとの通信が可能となる。一例として、図 5-2-5 に電波無線強度の確認と指定アクセスポイントとの通信を実現するフローチャートを示す。図 5-2-5

のように、実際のサーチ後に取得したアクセスポイント毎の電波強度を確認すれば、ネットワークインターフェースを切り替えるべきか否か判断し、必要に応じてアクセスポイントを指定すればよい。

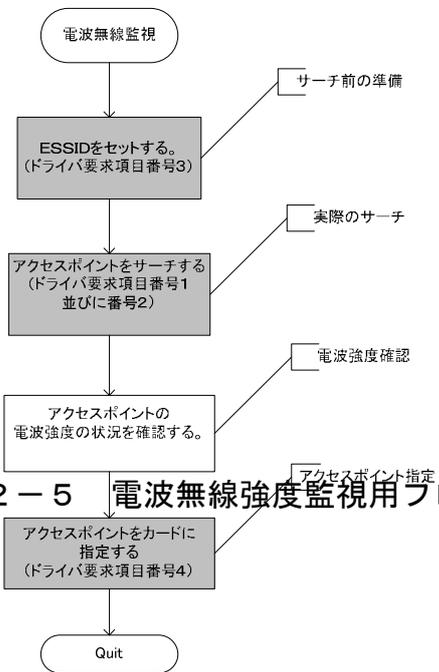


図 5-2-5 無線強度監視用フロー例

今回の試作では、IEEE802.11b で規定の無線アクセスポイントを想定し、無線内のみのローミング実験を行う。

Linux 上で扱える IEEE802.11b 用の無線ドライバには、ネットワークカード内で使用されるハードウェアチップにより異なるが、主に①airo ドライバ、②Orinoco ドライバ、③prism2 ドライバなどがあり、汎用的でカード単体のコストも安価である。これらは、更にネットワークカードの種類 (PCMCIA バス、PCI バス、miniPCI バス) などで選択される。試作・実験は、ノートパソコンを使用するため、PCMCIA カードもしくは miniPCI カードに関し、表ロー 2 を満足するか実際に評価した。

なお、miniPCI バスはノートパソコンに IEEE802.11b カードを内蔵している機種で使用されている。

表 5-2-3 評価結果

	Airo		Orinoco		Prism2 PCMCIA カード
	PCMCIA	MiniPCI	PCMCIA	MiniPCI	
要求項目 1	○	×	×	×	×
要求項目 2	○	×	×	×	×
要求項目 3	○	○	○	○	○
要求項目 4	○	○	○	○	○

表 5-2-3 のように、本試作上、シームレス通信方式の制御を満足するためには airo ドライバの PCMCIA カードが现阶段では最適と考え、CISCO 社製 AIR-PCM352 ワイヤレスカードにて実験を行うこととした。

7) 機能モジュール

7) - 1. 概要

シームレス通信機能は、全て LinuxOS 上で動作する、主に IP プロトコルスタックを操作するソフトウェアで実現する。ソフトウェアは、策定した仕様に基づき、表 5-2-4 に示す

ような複数の機能モジュールから構成するものとし、個々のモジュールの機能策定から始め、実装方法の調査、試作までを終了した。試作ソフトウェアの完成度は、コマンドベースで単体モジュール機能を実行し、その結果を観測しながら機能検証を行える。今後は自動的に単体機能モジュールを実行し、シームレス通信機能を実現する。

表 5-2-4 主な機能モジュール(ver0.50)

モジュール名	機能概要
selectAP	AP の MAC アドレス一覧を作成する。各 AP の電波強度を取得する。最適なアクセスポイントを選択する。
dhcp	DHCP による NIC コンフィグレーションを起動。
mnReg	Mobile IP HA に対する登録要求コマンドを発行。
Modify_Route	Routing Table の削除・追加・修正
tunnel	トンネルデバイスの作成・変更・削除

*電波内ローミング内での実験を優先しているため、電波/光無線ローミング時には詳細が変更される予定

7) - 2. トンネルデバイス操作

トンネルデバイスは、カプセル化、デカプセル化を行う機能モジュールである。本モジュールは、送信時には、上位アプリケーションが作成した送信用パケットデータを受信し、これに別の IP ヘッダを付加し、ネットワークインターフェースドライバに送信する。受信時は、ネットワークインターフェースドライバが受信したパケットをキャプチャし、ゲートウェイサーバが付加した IP ヘッダを取り除き、上位アプリケーションに送信する。

Mobile IP で規定の Home Agent との通信実験を行うため、RFC2003 で規定の IP in IP トンネル方式を採用する。

7) - 3. ルーティング制御

ネットワークインターフェースを複数装備した機器上で動作するアプリケーションが TCP/IP プロトコルを用いてデータを送信する場合、多くの例においてアプリケーションは使用するネットワークインターフェースを自ら決定せず、ルーティングテーブルと呼ばれる TCP/IP プロトコルスタック上に設置されたデータベースの記述内容に従う。換言すれば、ルーティングテーブルの制御により、多くの TCP/IP 通信アプリケーションが使用するネットワークインターフェースの指定が可能である。シームレス通信においてもルーティングテーブルを操作し、アプリケーションが送信するパケットは常にトンネルデバイスを経由して送信されるよう設定した。

7) - 4. 切り替え判定部

切り替え判定部は、設置されたネットワークインターフェースの状態を監視し、切り替えの必要性を判定するモジュールであるが、今回は電波強度の最も強いアクセスポイントへ接続を切り替える方式を採った。

7) - 5. 切り替え実行部

切り替え実行部は、7) - 4. の切り替え判定部の決定に基づき、ネットワークインターフェースの切り替えを実行する。切り替えの実行に必要な操作は、トンネルデバイスの再作成である。NIC1 から NIC2 に切り替える場合、切り替え前にトンネルデバイスが付加する IP

ヘッダには、送信元アドレスとして NIC1 に割り振られた IP アドレスが記述されている。これを NIC2 に割り振られた IP アドレスに変更することで切り替えを実現する。

また、切り替え実行部は、Mobile IP で規定の登録要求パケットを生成し、Home Agent (HA) へ送信する。HA からの登録応答を待ち、受理されたならば 7) - 3. などの処理を起動する。

8) コマンドベースによるシームレス通信

7) で説明した機能モジュールの動作を確認した時点で、これらを手動で起動し、シームレス通信が行えるか検証を行った。検証方法は、切り替え前に PING コマンドをサーバ宛に送付し、その返答をモニタしつつ、機能モジュールを順次起動する方法を採った。この結果、手動によるコマンド起動のため切り替え時間は遅いが、切り替えを行えることを確認した。切り替え後も PING コマンドの応答が消えることはなかった。機能モジュールの起動順序を下記に示す。

- ① NIC を送信元とするトンネルデバイス作成
- ② ルーティングテーブル変更
- ③ PING コマンド発行
- ④ ①で作成したトンネルデバイス削除
- ⑤ NIC2 を送信元とするトンネルデバイス作成

このうち、④と⑤の動作が擬似的に発生させた切り替えタイミングである。

5-2-4 まとめ

超高速シームレス・バリアフリー・アクセスシステムの実現を目指し、シームレス・バリアフリー無線通信プロトコルの研究開発に関しては、平成 14 年度前半は、IEEE802.11b 準拠の無線 LAN を利用して、コンピュータネットワークの通信プロトコルをモバイル端末に対応した通信プロトコルへ改良するための基礎実験を行い、平成 14 年度後半は、前半の実験結果を基にモバイル対応通信プロトコルの基本設計を行った。

平成 15 年度前半は、平成 14 年度の成果を活用し、IEEE802.11b に準拠した電波無線を二波、あるいは、IEEE802.11b に準拠した電波無線と IEEE802.11a に準拠した電波無線を併用して、光無線と電波無線の切り替え動作確認のシミュレーション実験を行う。そして、平成 15 年度後半は、IEEE802.11b に準拠した電波無線、あるいは、IEEE802.11a に準拠した電波無線と光無線 LAN を併用して、光無線と電波無線の切り替え動作の実証実験を行う。

また、シームレス・バリアフリー無線通信アプリケーションソフトウェアの研究開発に関しては、平成 14 年度前半は、IEEE802.11b に準拠した無線 LAN を利用して、上記モバイル対応通信プロトコルで実現可能な VoIP システム実現性の基礎検討を行い、平成 14 年度後半はその検討結果を基にモバイル対応通信プロトコルで実現可能な VoIP システムの基本設計を行った。

平成 15 年度前半は、平成 14 年度の成果を活用し、上記 IEEE802.11b に準拠した電波無線を二波、あるいは、IEEE802.11b に準拠した電波無線と IEEE802.11a に準拠した電波無線を併用して、光無線と電波無線の切り替え動作のシミュレーション実験システムを利用して、シームレス・バリアフリー VoIP の基礎シミュレーション実験を行う。そして、平成 15 年度後半は、上記 IEEE802.11b に準拠した電波無線、あるいは、IEEE802.11a に準拠した電波無線と光無線 LAN を併用して行う光無線と電波無線の切り替え動作実証実験システムを利用して、光無線利用時は高画質の画像伝送（高ビットレート）、また電波無線利用時は低画質の画像伝送（低ビットレート）に切り替える TV-IP-Phone の実証実験を行う。

5-3 【サブテーマ3】超小型光無線伝送方式の研究開発

5-3-1 研究の内容

平成14年度は、H13年度の課題抽出結果に基づき、各要素技術の開発に重点を置いて研究を進める。平成14年度の研究の概略は以下の通りである。

超小型光無線伝送制御方式の研究開発としては、フィードバック制御技術の確立を目指したミラー制御評価システムを構築する。また、そのシステムを使用して、電磁ミラーのフィードバック制御検討を実施する。

また、中継器と光無線モジュール間のサーチ方式の基礎検討として、CMOS センサを用いたサーチ方式を検討し、その評価システムを構築する。また、そのシステムを使用し、相手へ自分の位置を知らせるパイロット光の抽出方法及び、外乱光の影響について検討する。

超小型光無線モジュールの研究開発として、光無線モジュールの構成方法について仮想同軸方式及び非同軸方式について、シミュレーションによって比較検討する。

また、モジュール用発光素子の開発については、高速性の観点から、半導体レーザの開発、特に面発光レーザの高性能化の要素技術開発を実施する。

光の方向を制御する素子として、ミラーアクチュエータを利用することを想定しているが、マイクロマシン技術を利用したミラーアクチュエータの要素技術開発として、シミュレーション技術構築のためにシミュレーションにより算出した応答特性と試作したミラーの応答特性を評価する。

5-3-2 研究の効果

超小型光無線伝送制御方式の研究開発としては、フィードバック制御技術の確立を目指したミラー制御評価システムを構築した。本システムを使用して、電磁ミラーのフィードバック制御を検討した結果、アクチュエータの特性把握が出来ることを確認した。従って、アクチュエータの数値モデル化が可能となった。次のステップとしてそのモデルに基づくコントローラ的设计については今後のさらなる検討が必要である。

また、中継器と光無線モジュール間のサーチ方式の基礎検討として、CMOS センサを用いたサーチ方式を検討し、その評価システムを構築した。また、そのシステムを使用し、相手へ自分の位置を知らせるパイロット光の抽出方法及び、外乱光の影響について検討した結果、撮像タイミングをうまく設定することで、外乱光としての蛍光灯のノイズを除去できることが分かった。もう一つの外乱要因である、室内に入射する太陽光については、上記の対応以外に、太陽光が強いことによる CMOS センサの飽和への対応が必要であり、光学的なバンドパスフィルタの利用による対策が可能であり、次年度に検証する予定である。

超小型光無線モジュールの研究開発として、光無線モジュールの構成方法について仮想同軸方式及び非同軸方式について検討した。その結果、第一次試作として電氣的アイソレーションでは不利であるが、小型化に有利な仮想同軸構造を用いた片方向通信システムを検討することとした。

モジュール用発光素子として、面発光レーザの要素技術開発を実施した結果、本システムに適した単峰性を得られやすい構造として埋め込み構造が有利であることが判明した。また、電極構造を検討することにより 1GHz を越える高速応答性が得られると推定される。

光の方向を制御する、マイクロマシン技術を利用したミラーアクチュエータの要素技術開発としてシミュレーション技術の構築を行った。薄膜圧電駆動型のミラーにおいて、シミュレーションと実測値が良く一致しており、シミュレーションの有用性が確かめられた。

5-3-3 研究の詳細

5-3-3-1. 超小型光無線伝送制御方式の研究開発

1) マイクロミラー駆動方式の検討

本システムでは光をビームにして通信を行うため、ビームの方向を制御することが重要な開発要素である。光の方向を制御する方式として発光素子から出た光をレンズでビームにし、ミラーアクチュエータに反射させ、そのミラーの方向を制御することで出射する光の方向を制御することを想定している。そこで、平成14年度はそのミラーアクチュエータを制御するシステム構築を実施した。具体的なミラーアクチュエータの駆動方式として、電磁コイルを用いる方式と圧電薄膜素子を用いる方式、の二方式を検討した。

電磁コイルを用いる方式では、60[deg]程度のミラー偏向角を得ることができるが、常時100~200mAの駆動電流を流す必要があるため、携帯機器に組み込む、などのアプリケーションを考えた際は消費電流が問題になると予想される。また、外形サイズが比較的大きく、より多くの受光量を得るためには優位であるが、小型化という点では超小型光無線モジュールには不向きであり、サイズダウンが要求される。さらに、コストの点においても量産効果によるコスト低減に課題がある。

圧電薄膜素子を用いる方式では、現状、ミラー偏向角が数度程度であり、広指向の光学系を用いた場合でも、10[deg]以下の偏向角しか得られない。また、ミラーサイズが小さく、通信に必要な受光量が得られるか検討が必要である。しかし、駆動電流が少ないため、携帯機器に組み込む、などのアプリケーションを考えた際に有効である。そこで、今年度は、双方の得失を見極めるために、両方式について駆動方式の検討を行った。ミラーアクチュエータの詳細については、ハ-2. 3) で後述する。

ミラーアクチュエータ制御方式の検討のため、電磁コイルアクチュエータを用いた実験を行った。実験環境のブロック図を図5-3-1に示す。実際の通信のためには、通信相手の端末に対してビームを向けるため、通信相手からの受信光によってフィードバック制御を行うことになるが、第一段階として、今回は自身の送信光によってフィードバック制御を行うものとする。また、自身の送信光の動きを検出する受光素子として(Position Sensitive Detector)を用いた光スポット位置検出回路を開発した。位置検出回路は、PSD素子面において光が入射した位置に比例した電圧を出力する。(図5-3-2)

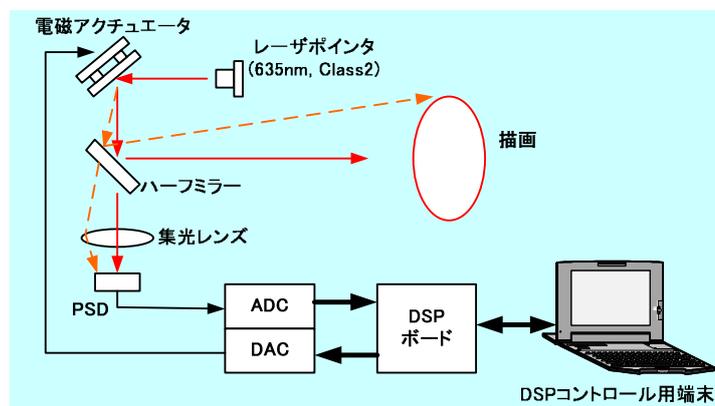


図5-3-1 実験ブロック図

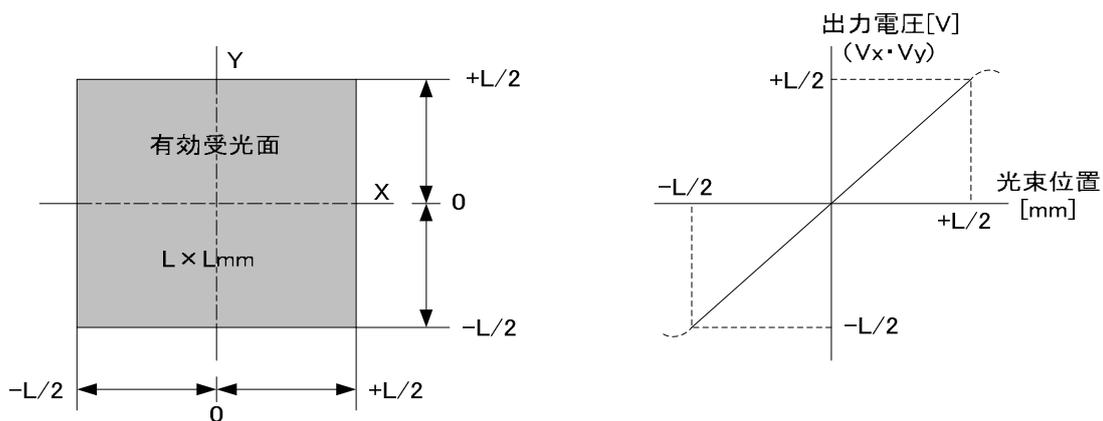


図 5 - 3 - 2 PSD の出力電圧

実験では、ミラーアクチュエータに可視光レーザポインタからコリメートされた光を照射し、その反射光を集光レンズによって受光素子 PSD に集光し、PSD で検出された反射光の位置情報によってアクチュエータにフィードバック制御を行う。ミラーアクチュエータは、Si 薄膜に Au を蒸着した薄膜ミラーを作製し、電磁アクチュエータに貼り付けた構成となっている。また、ミラーアクチュエータと集光レンズとの間にハーフミラーを設けることにより、空間に反射光の軌跡を描画することが可能となる。

本実験システムは、光学系の一部変更により通信対象からのパイロット光に対して送信光を当てて通信するシステムとすることが可能である。本実験システムでの検討終了後、上記の変更を行うことにより次のステップである通信システムの実験機として開発を進めていく予定である。

ミラーアクチュエータ制御のために新規開発した電磁コイルアクチュエータの周波数特性を図 5 - 3 - 3 に示す。

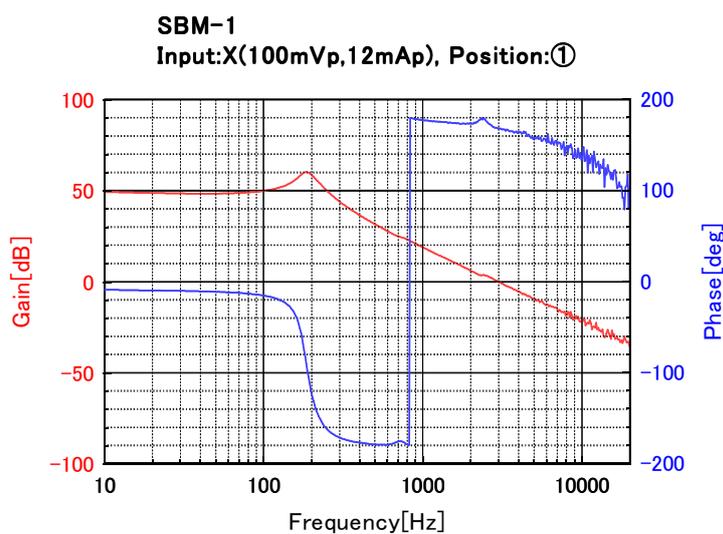


図 5 - 3 - 3 アクチュエータの周波数特性

一次共振が 170Hz 程度であり、二次共振が 10kHz 以上となっており、良好なアクチュエータ特性を有している。

フィードバック制御を行うアクチュエータのコントローラは、DSP プログラムにより DSP ボード上に実装される。アクチュエータの位置信号は、反射光の位置情報として PSD で検出され、A/D コンバータを介してコントローラ (DSP ボード) に入力され、コントローラは目標値と実際の位置との差がゼロとなるような操作量を演算し、操作信号を D/A コンバータを介してアクチュエータドライバに出力することによって、アクチュエータに対するフィードバック制御を行う。

2) 広指向サーチ方式の検討

サービスエリア内に存在する通信相手の位置 (方向) を高速にて特定し、ビームを向けるため、2次元撮像素子 (CMOS センサ) を用いる手法の検討を進めている。

通信相手を撮像画像から特定するには、

- (i) 画像認識により特定
- (ii) 変調された相手パイロット光を検出して特定

が考えられるが、(i) では形状、相手までの距離等が大きく影響し、プロセッサの負荷が大きくなるため、(ii) を採用し、比較的高速 (max. 580fps) にて連続撮像可能な CMOS センサを用い、基礎検討を進めるための評価システムの構築を行った。

本システムでは、レンズの特性上、サービスエリアを $\pm 45^\circ$ の円錐状とし、図 5-3-4 に評価システムの概略図および、実際に撮像したパイロット光の画像を示す。

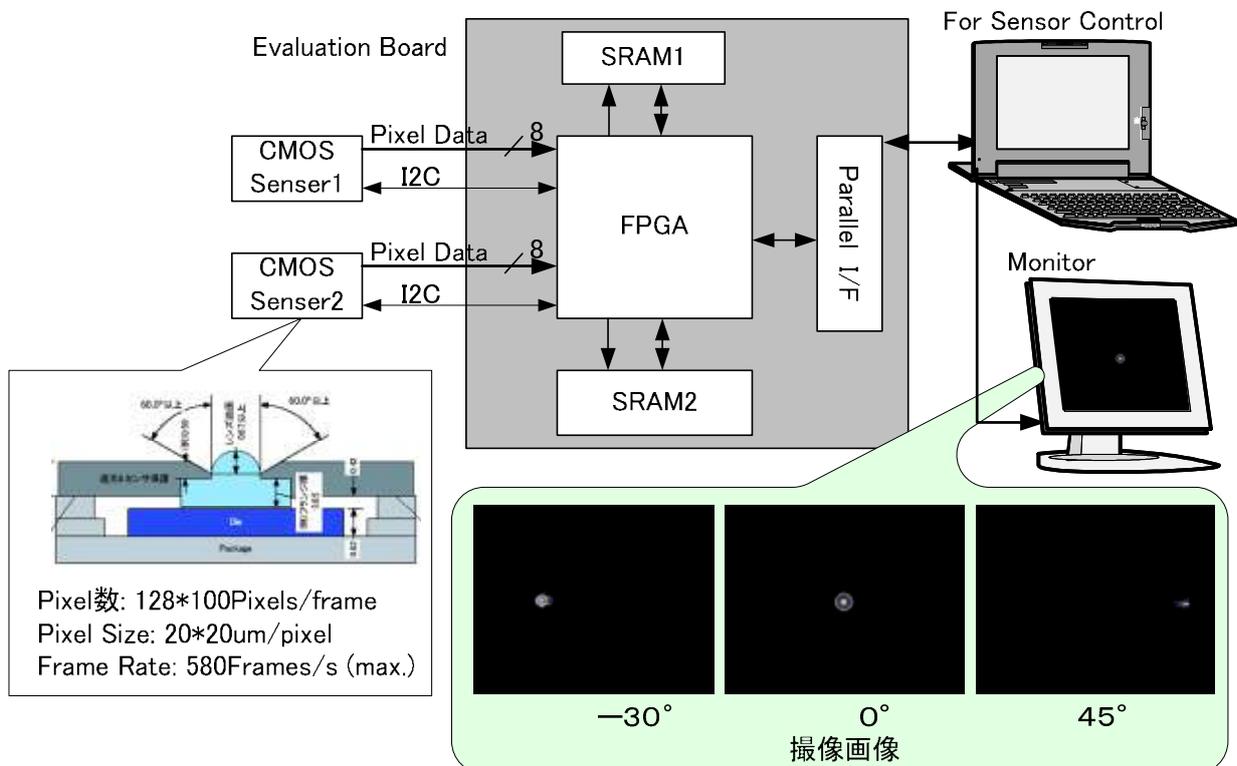


図 5-3-4 広角サーチ評価環境

ハー 2. 超小型光無線モジュールの研究開発

1) 光無線モジュールの構成

光無線モジュールの構成として、仮想同軸型と非同軸型の二つの構成案を検討した。

構成案 1 として、透過光・反射光を分割することのできるハーフミラーを用い、発光素子（レーザダイオード）からの送信光を透過させ、また、受光素子（PD）に入射される受信光を反射させることによって、送信光と受信光の光軸を同軸とし、光軸をマイクロミラーによって制御する仮想同軸型を検討した。

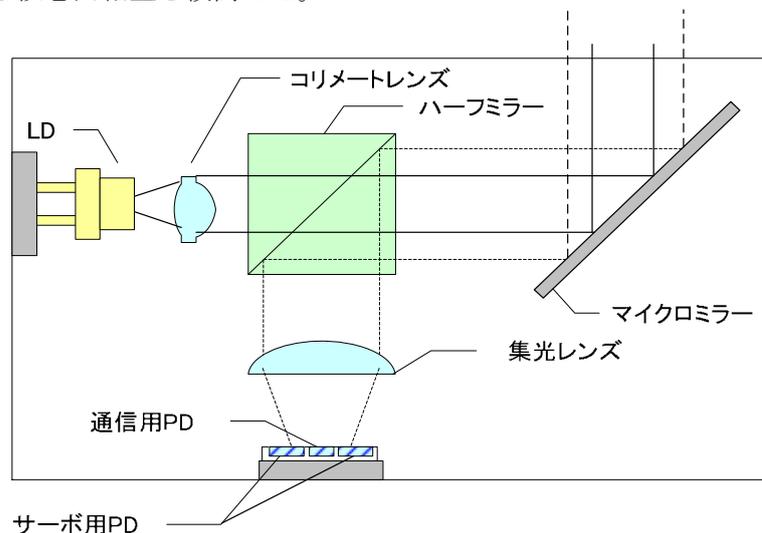


図 5-3-5 仮想同軸構造（多分割 PD）

この構成では、構成要素の最適配置により小型化が可能である。しかし、送受信の素子が近接するため、電気的なアイソレーションの確保が困難である。さらに、光軸が同軸上であるため、光学的なアイソレーションの確保も必要である。また、受光素子の多分割 PD は、中心の PD によって通信を行い、周囲の PD でビーム光軸の調整を行うため、サーチ終了後は伝送性能を確保するために通信用 PD に殆どの送信光が照射され、サーボ用 PD の受光量が少なくなるという問題点がある。

構成案 2 として、ハーフミラーからの光を受光する受光素子は、ビーム光軸の調整にのみ使用し、近接させて通信用の受光素子を別途設置する、非同軸型の構成の検討も行った。(図 5-3-6) この構成では、電気的、光学的なアイソレーションの確保は仮想同軸型よりも容易であるが、送信部と受信部が独立した構造であるため小型化には不向きである。また、発光素子に LD などを用いた場合は送信光の指向性が狭く、サーチ用 PD で光軸調整された状態では、通信用 PD で十分な受光量を得られない可能性がある。

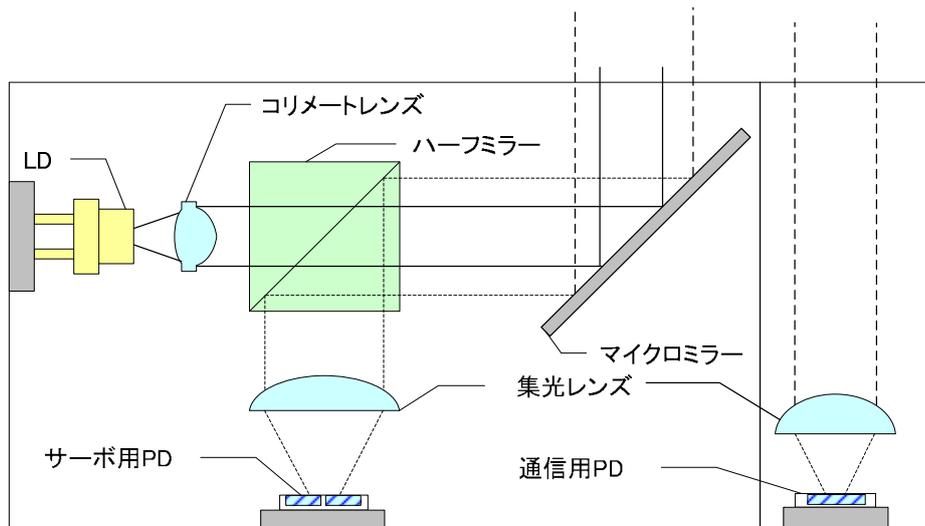


図 5 - 3 - 6 非同軸構造

一次試作システムとして仮想同軸構造を用いた片方向通信のシステムを検討することとした。本システムでは、光無線モジュールのデータ伝送は送信のみとし、他の受信モジュールに対してサーチ・サーボを行い、片方向でデータを伝送するものとする。受信モジュールはサーチ・サーボのためのパイロット光を発光する LED と光無線モジュールからの送信光を受信する通信用 PD とで構成される。(図 5 - 3 - 7)

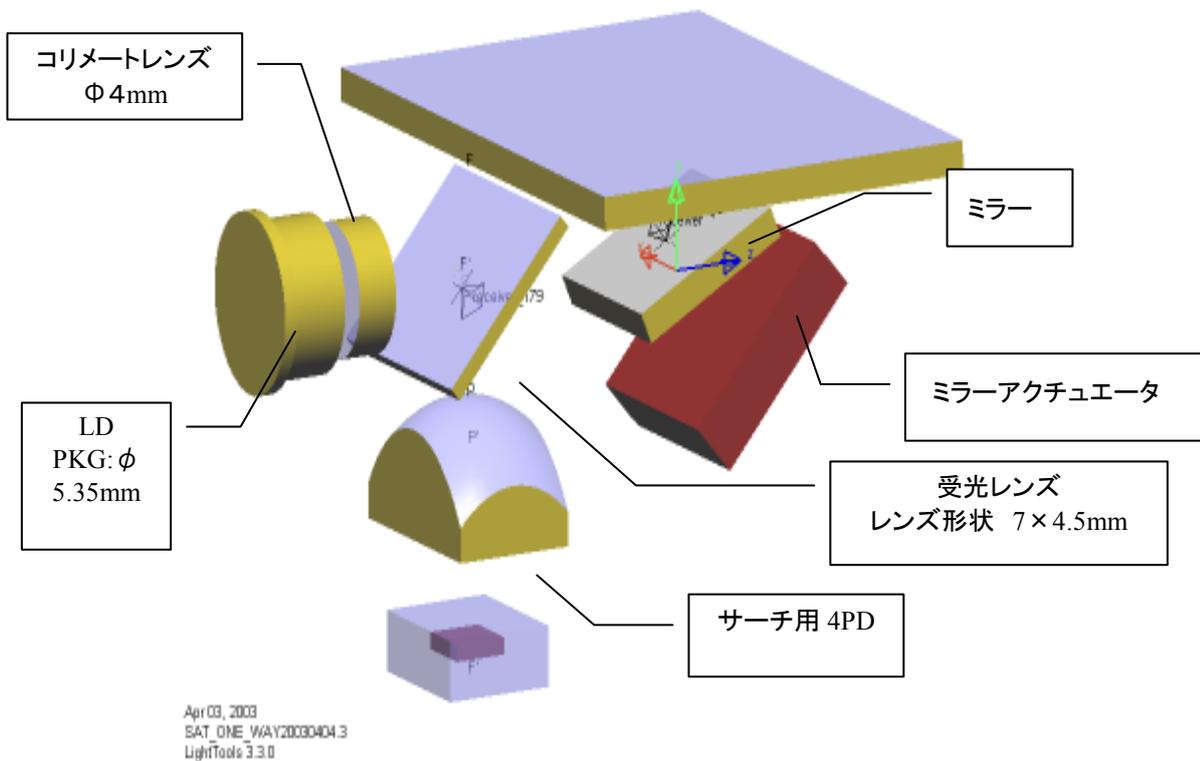


図 5 - 3 - 7

2) 面発光レーザの高性能化

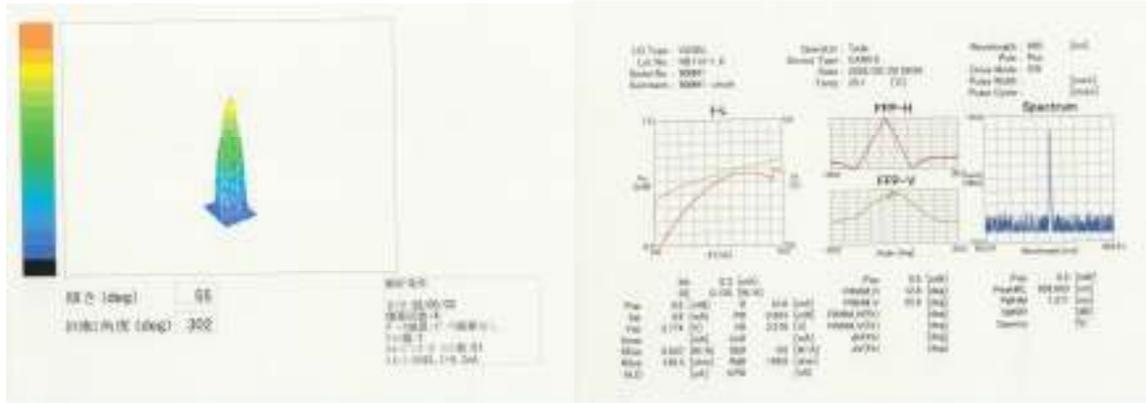
平成 14 年度は、光無線システムに適した面発光レーザの要素技術開発を重点的に行った。検討項目は、下記の通りである。

1. ビーム単峰性
2. 高速応答性
3. 信頼性の初期確認

2) - 1. ビーム単峰性

上期は良好な特性が得やすい酸化狭帯型を検討し、単一モード発振で、しきい値電流 0.3mA と良好な特性を示す素子が得られた (図 5 - 3 - 8)。しかしながら、最高光出力は 1mW 以下であり、引き続き高出力化の検討を実施した。

下期の検討の結果、酸化狭帯型では、AIAs の酸化制御及び、ビーム単峰性を再現性よく作製することが難しく、また、ある条件下ではビーム単峰性が得られても、電流注入を多くすると多モード発振することが判明した。よって、ビーム単峰性を制御性よく得やすい構造である狭メサ幅にした、埋め込み型面発光レーザが、本システムに適した構造であると判断し、この構造に重点を置いて最適化の検討を実施することにした。図 5 - 3 - 9 に埋め込み型面発光レーザと酸化狭帯型面発光レーザの断面構造図を、図 5 - 3 - 10 に埋め込み型面発光レーザと酸化狭帯型面発光レーザのニアフィールドパターン評価結果を示す。埋め込み型面発光レーザでは、電流注入を増やしてもビーム単峰性が保たれることを確認した。



図

5-3-8 酸化狭窄型面発光レーザーの特性図

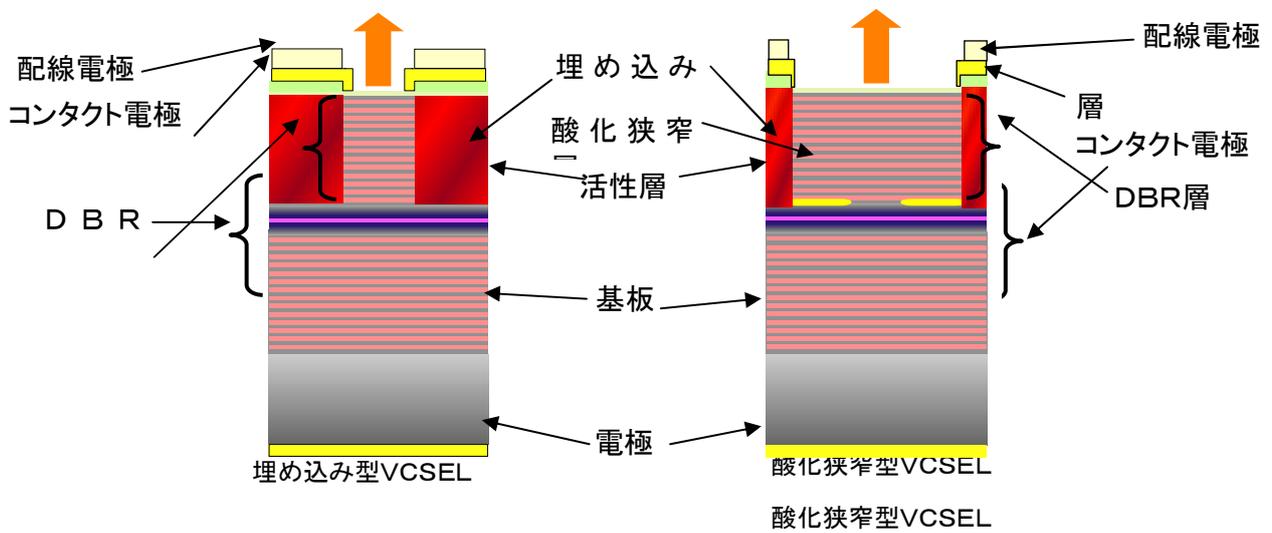


図 5-3-9 埋め込み型面発光レーザーと酸化狭窄型面発光レーザー断面図

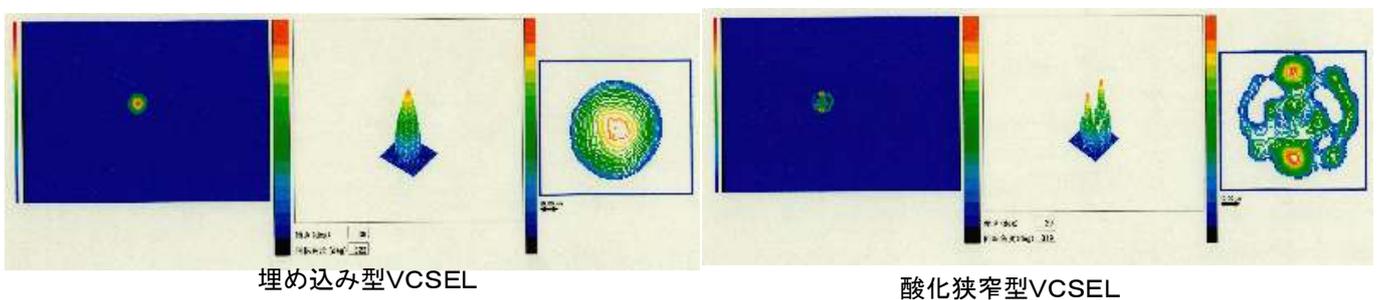


図 5-3-10 面発光レーザーのニアフィールドパターン

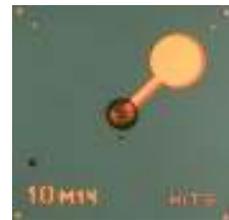
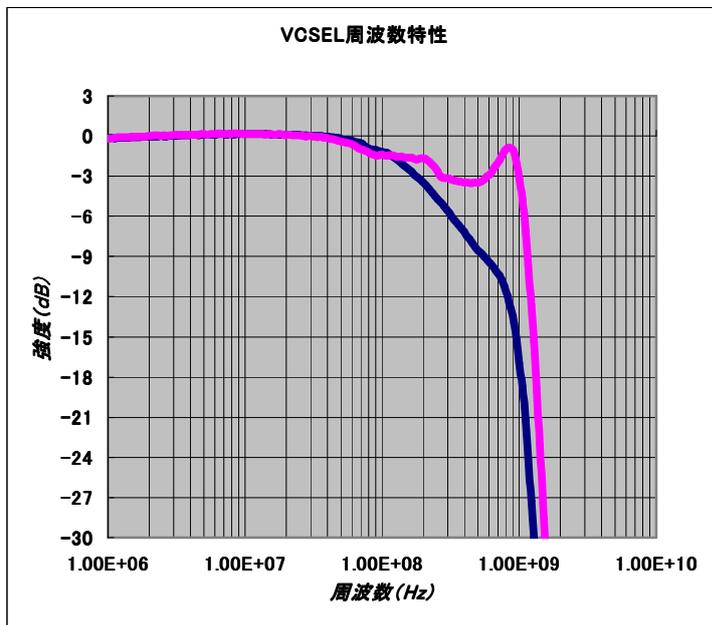
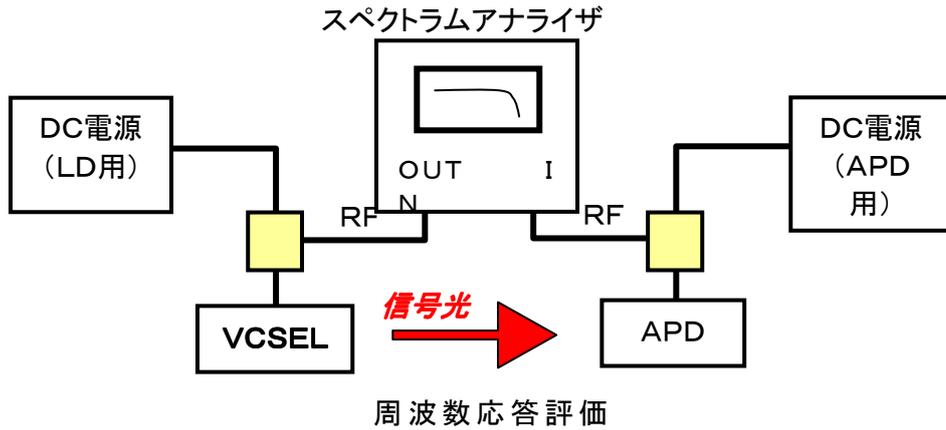
2) - 2. 高速応答性

本システムでは、1GHz 以上の高速応答性が要求される。そこで、電極の大きさを変えて周波数応答特性 (-3dB) の評価を実施した。

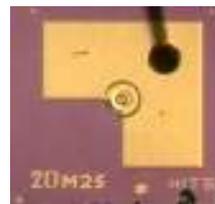
図 5 - 3 - 1 1 に周波数応答特性評価結果を示す。電極が大きいタイプでは、100MHz 程度しか行かなかったが、電極が小さいタイプでは、1GHz 以上の応答特性が推定される。

今回使用した測定装置は、1GHz まで測定可能な仕様であるため、どこまで高速応答性があるかは判定できない。

本検討により高速応答性には電極パターンの最適化が重要であることが確認できた。



電極パターン小



電極パターン大

図 5 - 3 - 1 1 周波数応答特性評価結果

2) - 3. 信頼性の初期確認

面発光レーザ用通電装置を導入し、これを使い、信頼性評価の初期検討を開始した。現在、経過を観察中である。

3) ミラーアクチュエータ要素技術の構築および試作検討

ミラーの要素技術開発として、シミュレーション技術の構築のため、圧電薄膜素子を題材にしたマイクロミラーの特性解析を行った。図5-3-12は、解析に用いたモデル及び試作ミラーの写真である。

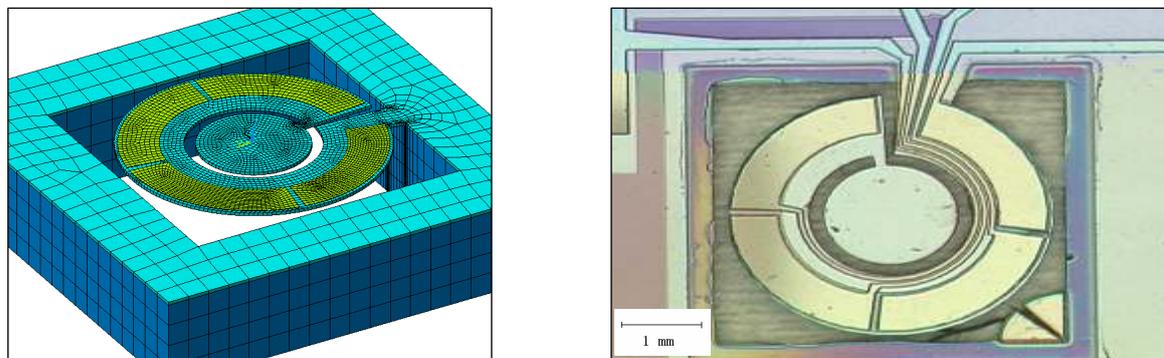


図5-3-12 シミュレーションモデル及び試作ミラー写真

この構造を使って、振動モードの周波数解析と実際の特性を比較した結果を図5-3-13に示す。

伝達関数の解析値及び実測値

解析：ANSYS multiphysics

実測：顕微鏡型 LDV.

例 15 μ m 厚マイクロミラー

偏向性能 : 1.3deg/60V

固有値 1st : 1kHz

Switching : ~2msec

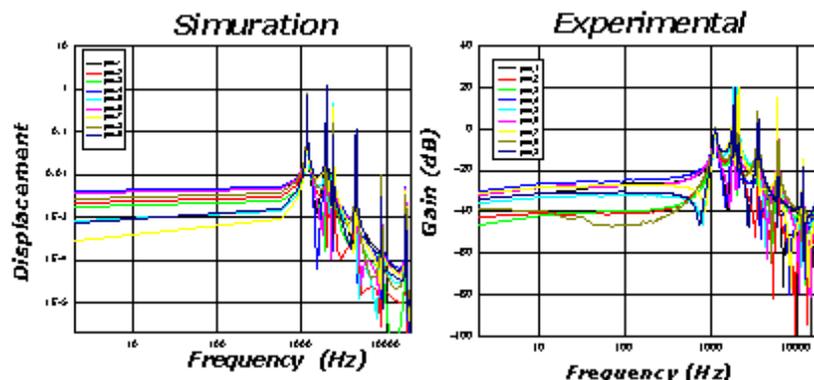


図5-3-13 マイクロミラー伝達関数の解析及び実測値

シミュレーションの縦軸は変位量、実験結果の縦軸は変位量の対数表示である。振動モードがあらわれる位置はシミュレーションと実測値で良く一致しており、本シミュレーションがマイクロミラー設計において有効な手段であることが確認できた。今後とも、この技術を利用して、効率的なマイクロミラーの設計を行う。

2次元光偏向デバイスであるマイクロミラーの特長は、薄膜圧電素子を駆動源とし、ミラー一部を1点支持型周回駆動アームで支持する全く新しい構造である。この1点支持型周回駆動アームにより薄膜圧電駆動の微小変位において精密な傾斜駆動を実現できる。中心部に直径 1.5mm ϕ のミラーがあり、ミラーは周回型のアームで1点支持されている。周回型アームには4つの薄膜圧電駆動素子が対称に配置され、それぞれ独立に駆動可能となっている。周回駆動アーム部上にスパッタにて成膜した圧電膜の圧電横効果による面内伸縮に連動した梁の凹凸変形動作によりミラー面の角度制御を行うものである。

マイクロミラーは単結晶シリコン (SOI(Silicon On Insulator)Wafer) を基材とし、微細エッチング加工により構造体を形成する。また、ミラーの角度可動範囲を拡大するために周回駆動アーム部の厚さのみを薄体化処理を施しており、約 $9\mu\text{m}$ になっている。また、ミラー一面にはレーザ光の反射のために約 $0.15\mu\text{m}$ 厚のコバルト系合金反射膜が成膜してあるが、その膜応力によってミラー平面度が悪化することのないよう、ミラー部は $15\mu\text{m}$ の厚みになっている。

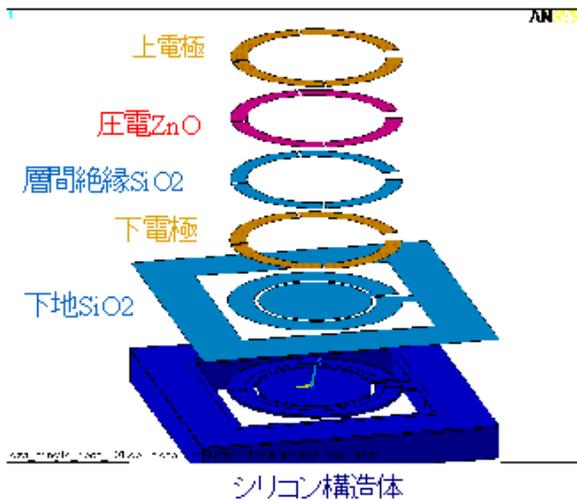


図 5-3-14 薄膜圧電駆動部の構造

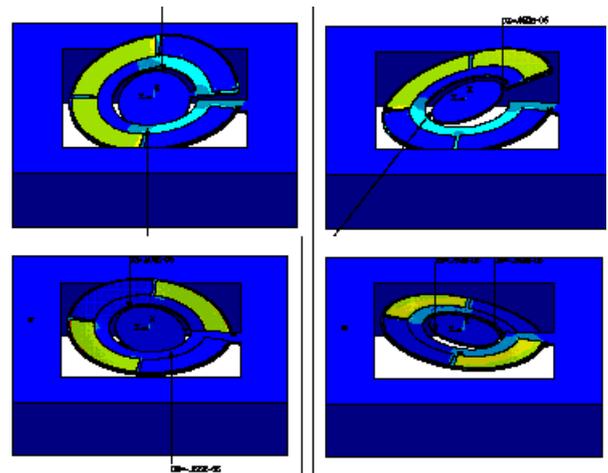


図 5-3-15 駆動シミュレーション

薄膜圧電駆動部の構造を図 5-3-14 に示す。圧電素子は ZnO のスパッタ薄膜であり、 ZnO 膜とシリコンの圧電モノモルフ構造を形成し、上下電極間電界による ZnO 膜の伸縮作用により周回アーム部全体が変形動作する。ミラー面をフリクションレスで傾斜動作を行う為の駆動方法は、シミュレーションの結果、周回アーム部表面の駆動部を 4 領域に分割し独立駆動することにより可能となることがわかった。図 5-3-15 にシミュレーション動作例を示す。

図 5-3-16 に圧電電極の配置と X, Y 軸の関係を示す。X 軸を中心にミラーを傾けるためには対角対向電極 X_{p1} と X_{p2} に同一絶対値で逆向きの電圧（電界）を与え、Y 軸を中心に傾けるためには対角対向電極 Y_{p1} と Y_{p2} に同一絶対値で逆向きの電圧を与える。また、両軸の駆動バランスを変えることにより 2 次元的な角度制御を行うことが可能となる。対角対向電極の印加電圧（電界）の和を常にゼロとすることにより、ミラー表面中心軸が変動しない 2 軸駆動が可能となる。

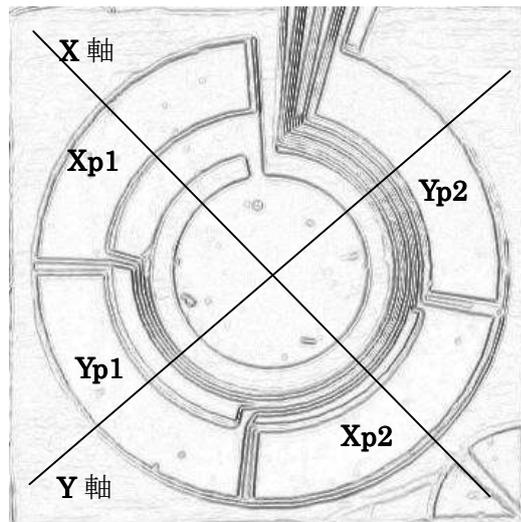


図5-3-16 電極とX,Y軸の配置

圧電薄膜の上下電極間の耐電圧は60V(約30MV/mの電界強度)であり、一方の電極をグラウンドとすると原理的に±60Vの範囲で駆動可能となる。しかし、特性評価の結果、圧電薄膜の印加電界の極性反転時に、応答遅延や変位量の非線形性が生じることが判明し、+30Vのコモン電位(オフセット電位)を圧電素子の下側電極に印加することにより0~+60Vの範囲の正電圧のみで駆動するようにした。すなわち対向する圧電電極にはオフセット電位を中心に反転した電圧を印加することにより正電圧側のみで極性反転駆動を実現している。正電圧側のみの駆動の為、ミラーの可動域は正負電圧駆動の場合の半分でレーザービームの偏向角として約4°が最大である。

図5-3-17にはミラーの過渡応答特性を示す。

駆動電圧の立ち上がり時間を調節することによりリングングを抑制することが可能で、2msec以下の高速応答が達成されている。また、図5-3-18に示すように、ミラーの表面形状は反射金属膜の応力制御により良好なものになっている。今回試作したマイクロミラーは次のような特徴を持つ。

- ① フリクションレス駆動なので高速応答
- ② フリクションレス駆動なので耐久性が高い
- ③ ミラー表面中心軸が変動しない2軸駆動が可能

ただし、偏向角度が現状4°と不足のため広範囲のレーザービーム制御には、単独での使用では不適であり、別の粗動ミラーと組み合わせた高速精動ミラーとして使う場合に適用できると思われる。

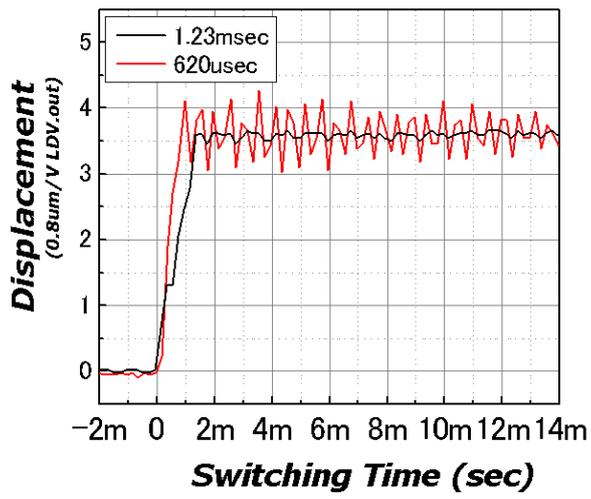


図 5 - 3 - 1 7 過渡応答特性

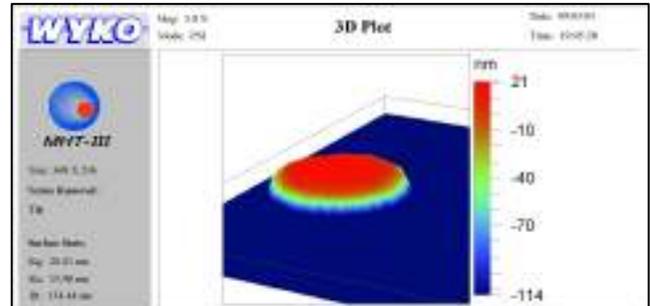


図 5 - 3 - 1 8 ミラー表面形状

5-3-4 まとめ

平成14年度は、各要素技術の開発を実施した。

超小型光無線伝送制御方式の研究開発としては、フィードバック制御技術の確立を目指し、デジタルフィードバックが可能なDSPを用いた評価システムを開発した。また、2次元C-MOSセンサを使った中継器と光モジュール間の広範囲高速サーチ方式の可能性検証として、基礎データの収集と太陽光及び蛍光灯ノイズの影響、その対策について検討した。

超小型光無線モジュールの研究開発としては、カーボンドーピングによる面発光レーザ素子の低抵抗化とそれを適用した高速応答性改善素子を試作中で、今期中に応答特性の評価と信頼性評価を実施する予定である。

光の方向を制御する方式として、圧電膜駆動シリコンミラーアクチュエータを試作し、4度の偏向角を実現した。また、より大きな偏向角対応として、ポリイミドジンバルミラーの検討を開始し、バルク方式の新構造アクチュエータとの性能比較を実施した。

平成15年度は、上記の要素技術検討結果に基づき、限られた方向内で自動サーチ機能をもった光モジュールのプロトタイプを試作し、その高速通信性能(1Gbps級)を実現する。また、最終目標に向けて、広範囲の自動サーチ機能の原理検証を実施する。

5-4 総括

本年度は、平成13年度の委託研究で行った開発環境整備に基づき、サブテーマ2はモバイル対応通信プロトコルの基本設計を行い、サブテーマ3では超小型光無線伝送システムの要素技術開発を実施し、概ね計画通りの進展であった。また、今年度からサブテーマ1として光無線の基礎研究及びradio over Infrared Wirelessシステムの基礎研究を大阪大学大学院森永研究室、及び小牧研究室に正式に再委託し、光無線技術及びその展開について主として理論的な面からの研究をスタートさせた。本年度は、方式の提案とその性能の評価を実施し、計画通りの進展であった。

平成15年度は、最終目標へ到る段階として、中間目標に向けての研究を実施する。

(添付資料)

1 研究発表、講演、文献等一覧

サブテーマ 1

1. 宮岡克也、宮本伸一、森永規彦：“赤外線無線中継器を用いた指向直射室内赤外線無線 LAN システムに関する一検討”、第 4 回 YRP 産学官交流シンポジウム、pp. 130-131, (July 2002).
2. 小林淳一、宮本伸一、森永規彦：“室内赤外線無線通信システムにおける指向直射方式とハイブリッド直射方式のオーバーレイ構成に関する検討”、電子情報通信学会技術報告 CS2002-53, pp. 41-46, (August 2002).
3. 宮岡克也、宮本伸一、森永規彦：“赤外線無線中継器を用いた指向直射室内赤外線無線 LAN システムの提案”、電子情報通信学会技術報告 OCS2002-72, pp. 61-66, (October 2002).
4. 中西隆、東野武史、塚本勝俊、小牧省三：“直接光スイッチング CDM RoF システムの CIR 改善手法”、2003 年電子情報通信学会総合大会 (発表予定).
5. 中川純、宮本伸一、森永規彦：“室内赤外線無線通信システムにおける赤外線無線中継器を用いた直射方式のオーバーレイ構成に関する一検討”、2003 年電子情報通信学会総合大会 (発表予定).
6. 宮岡克也、宮本伸一、森永規彦：“赤外線無線中継器を用いた指向直射室内赤外線無線 LAN システムのカバレッジに関する一検討”、2003 年電子情報通信学会総合大会 (発表予定).
7. 河内功、宮本伸一、森永規彦：“電波・赤外線ハイブリッド室内無線 LAN システムに関する一検討”、2003 年電子情報通信学会総合大会 (発表予定).

招待論文

塚本勝俊：“光ファイバ無線 (RoF) とその応用”、電子情報通信学会技術報告 OCS2002-65, pp. 23-28, (October 2002).

論文発表

1. Takashi Higashino, Katsutoshi Tsukamoto, and Shozo Komaki : "Experimental study of received signal performance in Direct Optical Switching CDMA RoF system", Proceeding of Microwave Photonics (MWP2002), **Vol. 1, No. 1**, pp. 233-236, (November 2002).
2. Akihiko Murakoshi, Katsutoshi Tsukamoto, and Shozo Komaki : "High order intermodulation distortion Analysis with consideration of nonlinear compensation in Direct Optical FM RoF System", Proceeding of Microwave Photonics (MWP2002), **Vol. 1, No. 1**, pp. 229-232, (November 2002).
3. Takeshi Higashino, Takashi Nakanishi, Katsutoshi Tsukamoto, and Shozo Komaki : "CIR improvement method in Direct Optical Switching CDM RoF network", Proceeding of the 4th Korea-Japan Joint Workshop on Microwave and Millimeter-Wave Photonics, **Vol. 1, No. 1**, pp. 25-28, (January 2003).
4. Takeshi Higashino, Takashi Nakanishi, Katsutoshi Tsukamoto, and Shozo Komaki: "An Experimental Investigation of Interference Suppression in Direct Optical Switching CDM Radio on Fiber System", IEICE Trans on Elec.(Conditional Accepted)
5. Akihiko Murakoshi, Katsutoshi Tsukamoto, and Shozo Komaki: "Theoretical Consideration on Nonlinear Compensation Method for Minimizing High Order Intermodulation Distortion Nonlinear Compensation in Direct Optical FM RoF System", IEICE Trans on Elec. (Accepted)

サブテーマ2、サブテーマ3

学会発表（査読なし）

1. 2002年9月24日 日本応用物理学会

論文名：周回アーム型2次元偏向圧電ミラー

Piezoelectric mirror actuated two-dimensionally by orbital arm

筆者：荘 曜暢、菅野 泰弘

2. 2003年1月 提出先：The International Conference on Consumer Electronics (ICCE)（査読なし）

論文名：A Study of Seamless Communication method with the adequate switching between Optical
and RF Wireless LAN

筆者：櫻井 芳隆、渡口 悟、西巻 恵児、坂根 学

発表予定日：2003年6月（ロサンゼルス）

論文発表

なし