

平成15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	2 頁
2	研究開発分野の現状	3 頁
3	研究開発の全体計画	4 頁
3-1	研究開発課題の概要	4 頁
3-2	研究開発目標	4 頁
3-2-1	最終目標	4 頁
3-2-2	中間目標	7 頁
3-3	研究開発の年度別計画	9 頁
3-4	研究開発体制	10 頁
4	研究開発の概要（平成15年度まで）	16 頁
4-1	研究開発実施計画	16 頁
4-1-1	研究開発の計画内容	16 頁
4-1-2	研究開発課題実施計画	21 頁
4-2	研究開発の実施内容	25 頁
5	研究開発実施状況（平成15年度）	29 頁
5-1	光無線伝送方式、光無線システムの研究開発	29 頁
5-1-1	研究の内容	29 頁
5-1-2	研究の効果	30 頁
5-1-3	研究の詳細	33 頁
5-2	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	67 頁
5-2-1	研究の内容	67 頁
5-2-2	研究の効果	67 頁
5-2-3	研究の詳細	67 頁
5-3	超小型光無線伝送方式の研究開発	102 頁
5-3-1	研究の内容	102 頁
5-3-2	研究の効果	102 頁
5-3-3	研究の詳細	103 頁
5-4	総括	140 頁

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る。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、強力に動き始めている。

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。

この様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、レーザー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 1cm^3 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本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							

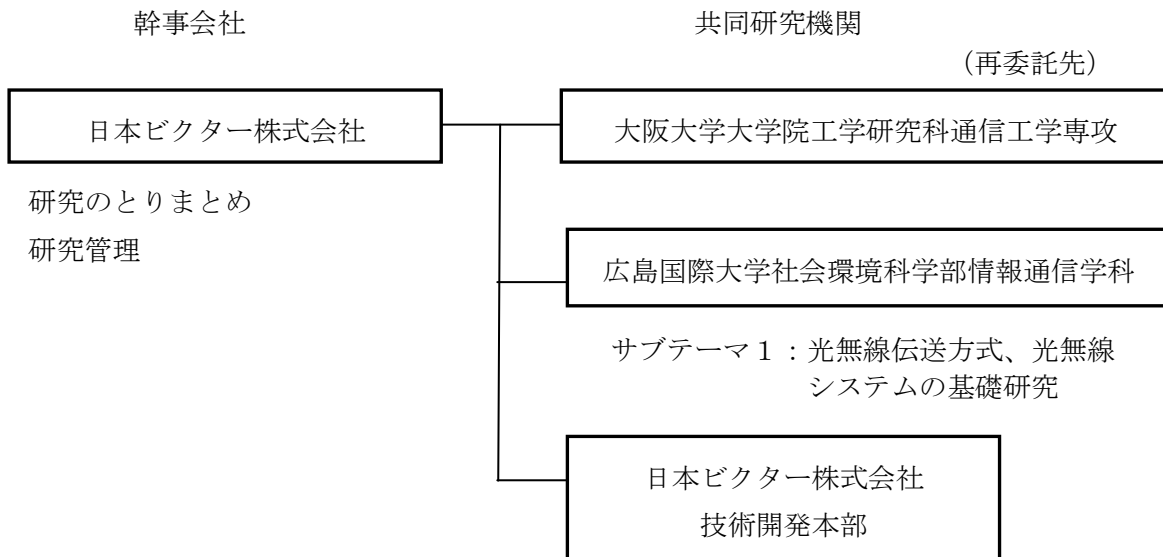
注) 1 経費は研究開発項目毎に消費税を含めた額で計上。

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15年度）

3-4-1 研究開発管理体制

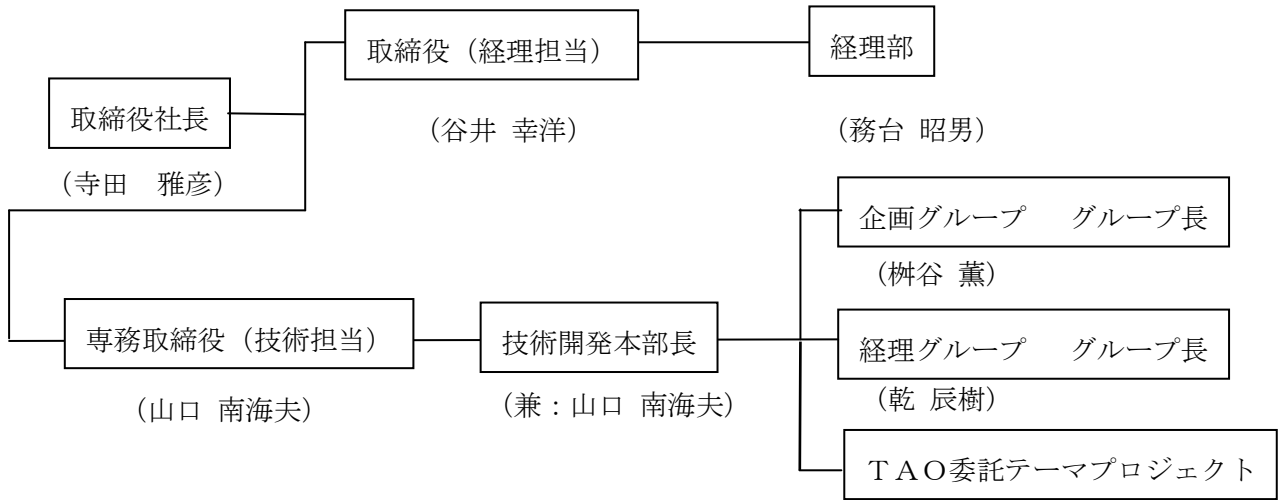
本研究開発の推進は、日本ビクター株式会社を幹事会社とし、研究の取りまとめ、研究管理を行い、広島国際大学社会環境科学部情報通信学科及び大阪大学大学院工学研究科通信工学専攻に研究開発全般のアドバイスを受けると共に、サブテーマ1を担当していただき、実行する。



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

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



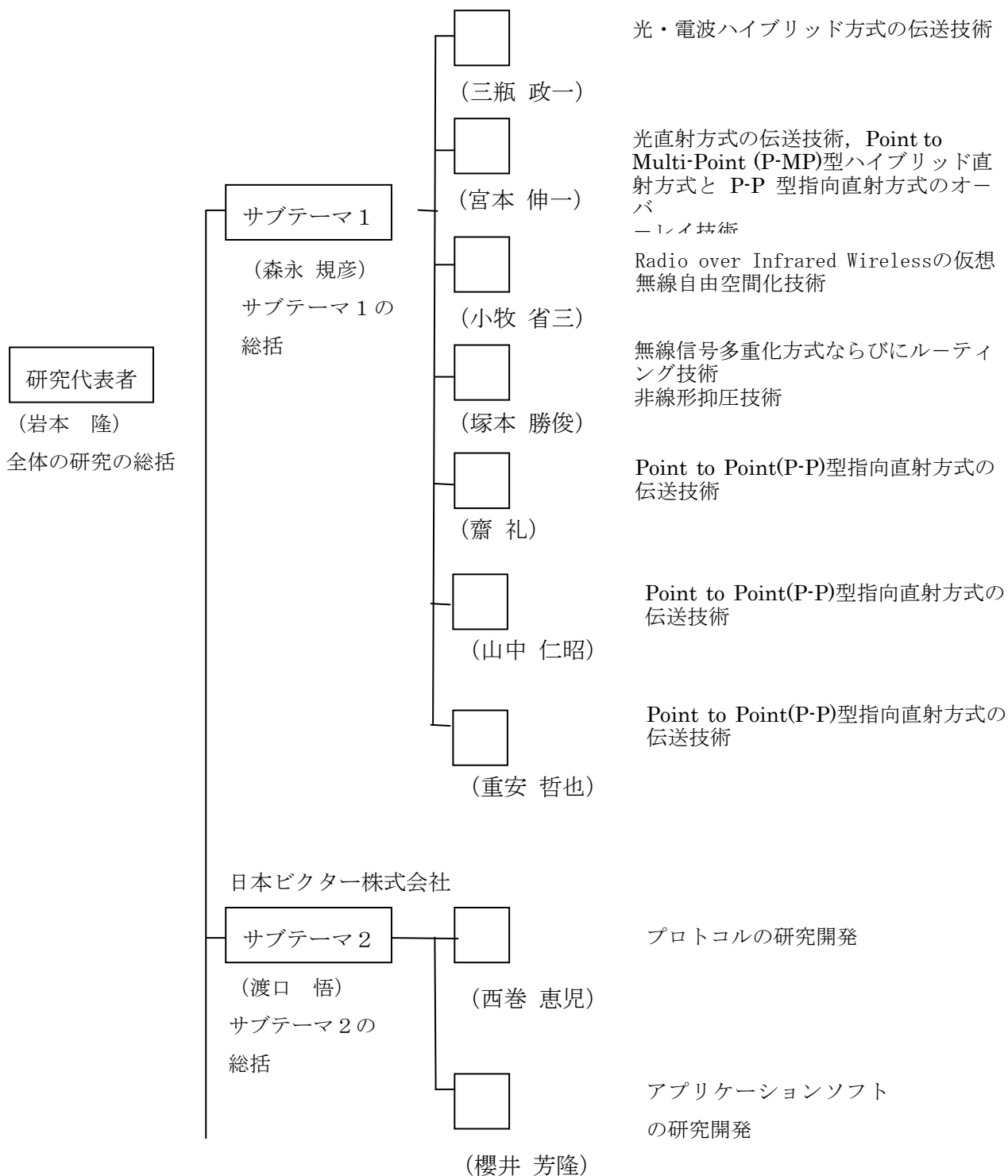
新世代光無線アクセスシステム技術
の研究開発

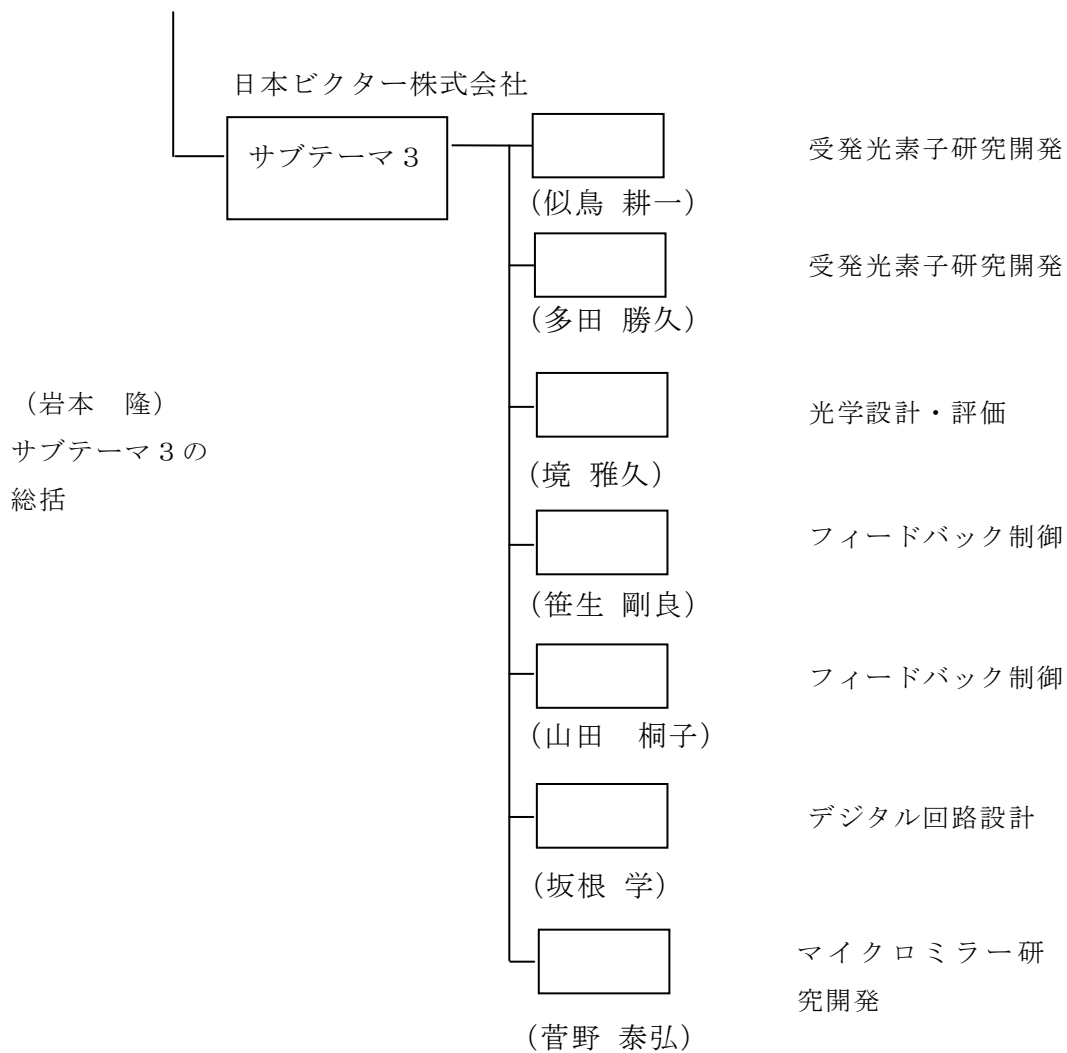
(研究代表者: 岩本 隆)

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

広島国際大学社会環境科学部情報通信学科





3-4-3 研究実施場所

サブテーマ1については、広島国際大学社会環境科学部情報通信学科（広島県呉市）ならびに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

(平成14年度)

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立する

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立する。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、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。

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。

(平成15年度)

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

a) 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について、所要送信光電力・ビット誤り率・遮蔽による瞬断率などの諸特性を評価する。

b) 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諸特性を評価する。

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確立する

3) 光・電波ハイブリッド方式の伝送技術

IEEE802.11a、802.11b、802.11gなどの電波を用いる無線LANシステムと、光無線LANシステムを併用するハイブリッド室内無線LANシステムについて、遮蔽による瞬断率、カバレッジ、スループットなどの諸特性を評価する。

(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融合した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立する。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、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。そこで、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。そこで、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。

ウ 超小型光無線伝送方式の研究開発【サブテーマ3】

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。

4-1-2 研究開発課題実施計画
(平成14年度)

(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	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
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		大阪大学小牧研究室へ再委託
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	基礎実験	基礎実験	基本設計	基本設計		
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	評価システム構築	評価システム構築	基礎検討Ⅰ	基礎検討Ⅱ		
2. 超小型光無線モジュールの研究開発	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。)

2 備考欄に再委託先機関名を記載。

(平成15年度)

(金額は非公開)

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. 光無線システムの基礎研究			評価システム	評価システム		
1) Point to Point (P-P)型指向直射方式の伝送技術	基礎検討	基礎検討	ムの構築	ムの構築		広島国際大学森永研究室へ再委託
2) 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、光拡散方式の伝送技術	基礎検討	基礎検討	評価システム	評価システム		大阪大学通信方式論領域へ再委託
3) 光・電波ハイブリッド方式の伝送技術			評価システム	評価システム		
2. Radio over Infrared Wirelessシステムの基礎研究	基礎検討	基礎検討	評価システム	評価システム		大阪大学小牧研究室へ再委託
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	一次システム設計 (電波・電波)	試作・評価	第二次システム設計 (光・電波)	試作・評価		
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	第一次アプリ設計	試作・評価	第二次アプリ設計	試作・評価		

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 3. 超小型光無線モジュールの研究開発	システム一次		システム二次	試作・評価		
		試作・評価				
	モジュール		モジュール	試作検討		
		仕様検討				
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

(平成14年度)

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。

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、半導体レーザーの開発、特に面発光レーザー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。

(平成15年度)

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

a) 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について、所要送信光電力・ビット誤り率・遮蔽による瞬断率などの諸特性を評価する。

b) 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諸特性を評価する。

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確立する。

3) 光・電波ハイブリッド方式の伝送技術

IEEE802.11a、802.11b、802.11gなどの電波を用いる無線LANシステムと、光無線LANシステムを併用するハイブリッド室内無線LANシステムについて、遮蔽による瞬断率、カバレッジ、スループットなどの諸特性を評価する。

(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融合した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立する。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。

ロ. 【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

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15年度前半は、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15年度前半は、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。

ハ. 【サブテーマ3】超小型光無線伝送方式の研究開発

平成15年度は、前年度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 研究開発実施状況（平成15年度）

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

a) 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について、所要送信光電力・ビット誤り率・遮蔽による瞬断率などの諸特性を評価する。

b) 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諸特性を評価する。

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確立する。

3) 光・電波ハイブリッド方式の伝送技術

IEEE802.11a、802.11b、802.11gなどの電波を用いる無線LANシステムと、光無線LANシステムを併用するハイブリッド室内無線LANシステムについて、遮蔽による瞬断率、カバレッジ、スループットなどの諸特性を評価する。

(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融合した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立する。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

a) Point to Point (P-P)型指向直射方式の伝送

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『光無線中継システム』について、光無線中継システムにおける所要中継器数ならびに固定遮蔽物による瞬断率特性を評価した。その結果、端末が部屋全体に亘って一様に存在するような状況においては数多くの中継器を設置する必要があるものの、端末が偏ったエリアに集中して存在するような状況であれば、その領域をカバーできるような箇所のみ中継器を設置することにより中継器を設置するためのコストならびにシステム全体での所要送信光電力の増加を抑えつつ端末の收容確率の改善が図られることを明らかにした。また、これまでの研究開発においては、パーティションウォールなどの固定遮蔽物(移動しない遮蔽物)による遮蔽を想定していたが、新たに、移動遮蔽物による遮蔽を想定した研究開発を行った。まず、移動遮蔽物による遮蔽のモデル化を行った。次いで、移動遮蔽物による遮蔽対策として、サテライトならびに中継器を含む2つのアクセスポイントと端末との間で2つの光無線伝搬路を確保するダイバーシチ受信方式(『2パスリンクを用いた光無線中継システム』と呼ぶ)を提案した。

b) 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(『オーバーレイシステム』)のシステム構成についてさらに詳細な検討を行った。また、無線LANシステムにおいて多元接続方式として一般に広く用いられているCSMA(Carrier Sense Multiple Access)方式を適用した場合の伝送特性についても検証した。その結果、アップリンクならびにダウンリンク共に、Point to Point(P-P)型指向直射方式により伝送を行う光無線基地局(サテライト)と、Point to Multi-point(P-MP)型ハイブリッド直射方式により伝送を行う中継器(リピータ)を適切に離して設置することにより、P-P型指向直射方式、P-MP型ハイブリッド直射方式共に良好なビット誤り率特性が得られることを明らかにした。また、多元接続方式としてCSMA方式を用いた場合、P-P型指向直射方式とP-MP型ハイブリッド直射方式との間での信号光の相互干渉の影響により最適なキャリアセンス閾値が存在し、キャリアセ

ンス閾値を適切に設定することで、チャンネル間の相互干渉の影響を抑圧してオーバーレイシステムが構築できることを明らかにした。

2) 光拡散方式の伝送技術

拡散方式では天井面や壁面での反射光を利用して信号光を伝搬するため、伝搬損失が高く、また、マルチパス伝搬に伴う遅延広がりが大きくなる。伝搬損失の増大は受信光電力の低減による通信可能領域(カバレッジ)の狭域化を招き、また、遅延広がりが増大はシンボル間干渉による伝送速度の低下を招く。そこで、まず、拡散方式での伝搬損失の低減を目的として、これまで我々が提案してきた様々な方向を指向する複数の送信ビームを装備する『マルチビーム拡散方式』を採用し、それによる伝搬損失特性の改善効果を評価した。その結果、従来のシングルビーム拡散方式と比較して、マルチビーム拡散方式を用いることにより、送信機近傍での過剰な受信光電力の抑圧、ならびに、送信機から離れた地点での受信光電力の改善が得られることを明らかにした。また、マルチビーム拡散方式を導入することより生じる遅延広がりが増大に対する対策として、様々な方向を指向する複数の受信光源を装備する『マルチディテクタ拡散方式』を導入し、その有効性に関する検証を開始した。

3) 光・電波ハイブリッド方式の伝送技術

電波を用いる無線伝送システムならびに赤外線領域の光搬送波を用いる無線伝送システム、それぞれの短所をもう一方の長所で補完する『光・電波ハイブリッド無線伝送システム』では、アクセスポイントならびに端末は電波ならびに光の両方の送受信機を装備する。光・電波ハイブリッド無線伝送システムでは、各端末は、光もしくは電波のどちらを用いてもアクセスポイントと通信リンクを確立できる場合は、どちらかの媒体(光もしくは電波)を選択して伝送を行う。搬送波としての特徴の違いから、光を用いて伝送する場合の伝送特性と電波を用いて伝送する場合の伝送特性は大きく異なるため、光・電波ハイブリッド無線伝送システムにおける媒体選択方法に関する検討は重要な課題である。また、光・電波ハイブリッド無線伝送システムでは、光を用いて伝送する場合に比較して、電波を用いて伝送する場合は広範囲な領域に亘って信号が伝搬するため、干渉の影響が大きく、光無線伝送と見合うだけの伝送速度、スループットを達成することは困難であり、電波無線伝送時の伝送特性が光・電波ハイブリッド無線伝送システム全体の特性のボトルネックになるものと予想される。そこで、本年度の研究開発では、まず、多元接続方式としてCSMA方式を適用した場合の媒体選択法について検討し、伝送するパケット毎に伝送媒体(光もしくは電波)を選択する手法を提案した。次いで、光・電波ハイブリッド無線伝送システムにおける電波無線伝送時の干渉抑圧を目的として、『伝搬経路制御方式』を提案し、その有効性について検証した。また、スループット特性の向上を目的として、IEEE802.11標準規格に着目した送信制御機構改善法についても提案した。その結果、我々が提案した伝搬経路制御方式を導入することにより、端末に無指向性送受信機を装備する従来方式と比較して干渉波を抑圧し、電波無線伝送時

の伝送特性の向上が図られることを明らかにした。また、送信制御機構改善法を導入することにより、電波無線伝送時のスループット特性の改善が得られることを明らかにした。

(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にシステム構成、無線信号品質の理論評価に必要となるシステムモデルの構築と無線信号品質のシミュレーションを含む理論解析を行った。まず、基地局までの無線信号の光伝送系においては、無線波が光SCM変調され光搬送波強度に重畳される副搬送波光強度無線変調方式について伝送される無線信号の品質について解析を行い、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した。これらの結果は、2)、3)の研究課題の中で利用している。また、光無線系については、無線波が光SCM変調され光搬送波強度に重畳される副搬送波光強度無線変調方式を対象にして、複数の光無線基地局からマクロダイバーシチ受信するシステム(RoIRW遍在アンテナシステム)を提案し、光無線搬送波内でのRF帯副搬送波のダイバーシチ受信効果、空間多重効果について検討を行った。

2) 無線信号多重化方式ならびにルーティング技術

無線信号周波数に対する透明性を確保した光への無線信号多重化方式として光直接スイッチング符号化多重(DOS:Direct Optical Switching CDM)方式を提案し、光ファイバ伝送実験系を用いて無線信号の伝送品質の評価を行った。

本方式ではチップレートを維持したまま帯域標本化周期内の拡散符号長を時間領域で拡大して処理利得を増大し、信号対干渉雑音電力比を改善することが原理的に可能である。これに着目した無線信号品質の改善手法を検討した。しかし、拡散符号長を時間領域で拡大するには無線帯域内に干渉雑音として残留するスペクトルエリアシング歪を除去する必要がある。そこで、受信機側に特別な信号処理を施すことなくこのエリアシング歪を抑圧可能な拡散符号の新しい構成法を提案し、実験的にその効果を確認した。

また、DOS-CDM方式には、受信機でのチップ同期実現が課題として残されている。すなわち、多重化された受信信号に含まれる希望信号の拡散符号のチップ同期を抽出して、受信機相関器に使用される光スイッチを駆動する必要があり、これは装置複雑性を増加させる問題となる。そこで、同じ時間方向への拡散方式であるが、受信側の符号チップ同期を必要としない光タップ遅延線を用いた送信側での拡散と受信側での逆拡散を行うDOS-CDM方式を拡張したRoF光CDM方式を新たに提案し、理論的に伝送される無線信号の品質を評価した。

3) 非線形抑圧技術

無線信号を変調信号とする副搬送光変調方式では、系の非線形に起因した相互変調歪雑音が伝送される無線信号のCN比を劣化させ、ダイナミックレンジを制限するた

めその抑圧が重要な課題である。本研究では、コヒーレント光変調方式の一つであるSCM光コヒーレント周波数変調方式に着目し、LDの非線形性と受信側の光周波数弁別器に起因した相互変調歪を抑圧する相互変調歪抑圧技術を検討してきた。本年度は、3次および5次相互変調歪まで抑圧するように設計されたチャープコントローラを用いる非線形補償受信機を提案し、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

1) 光直射方式の伝送技術

a) Point to Point (P-P) 型指向直射方式の伝送技術

室内光無線伝送システムは、信号光の伝搬方法により、送受信機間に見通し内伝搬路を確保する直射方式と壁面や天井面での拡散反射光を利用して見通し外においても通信が可能である拡散方式の2つに分類される。また、指向方式ならびに拡散方式それぞれにおいて、送受信機の両方が指向制御を行う指向方式、送受信機の両方が指向制御を行わない無指向方式、送受信機のどちらか一方のみが指向制御を行うハイブリッド方式に分けられる(図ア-1参照)。

これらの形態の内、直射方式は送受信機間に見通し内伝搬路を確保する必要があるものの、拡散方式に比べ伝搬損失が小さくマルチパスによる遅延広がりが小さいことから、高速かつ高品質な伝送が期待できる。特に、送受信機を対向させ、送信機からビーム状に光を送出しビーム伝送の形態をとる指向直射方式では、最大限の伝送効率が得られ、1GHzを超える帯域確保が可能となる。しかしながら、指向直射方式では、送受信機間の見通し内伝搬路を常に確保するため、遮蔽に対して脆弱である。そこで、本研究開発では指向直射型室内光無線伝送システムにおいて1つのサテライトと複数の光無線中継器を天井面に設置する『光無線中継システム』(図ア-2参照)を提案し、所要送信光電力・ビット誤り率・遮蔽による瞬断率などの諸特性の観点から、静止遮蔽物ならびに移動遮蔽物によって生じる遮蔽に対する耐性に関する検証を行う。見通し内伝搬路を用いる指向直射方式での遮蔽対策としては、天井面に設置される複数のサテライトを利用したサイトダイバーシチ方式や巡回発光セル方式なども提案されている。本研究開発で提案する光無線中継器を用いるシステムは、それらの方式と同様の改善を狙うものであるが、サテライトと端末間リンク、中継器と端末間リンクと同様にサテライトと中継器間リンクについてもPoint to Point (P-P) 型の光無線伝送を行うため、中継器の設置かつ移設が容易であるという特長を有する。

平成14年度の研究開発においては、光無線中継システムの提案ならびにシステム構成の具体化を行い、所要送信光電力およびビット誤り率の評価、ならびに固定遮蔽物によって生じる遮蔽に対する耐性について検証した。平成15年度の研究開発においては、平成14年度の研究開発成果を受けて、光無線中継システムにおける所要中

継器数と固定遮蔽物による瞬断率特性の関係について詳細な検討を行った。また、新たに、移動遮蔽物による遮蔽対策としてダイバーシチ受信方式を提案し、その有効性についての検証を開始した。具体的な検討内容を下記に示す。

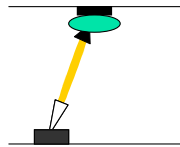
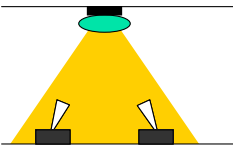
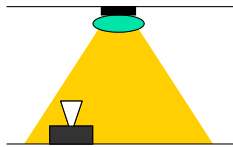
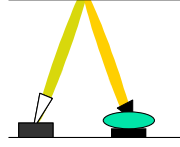
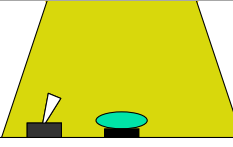
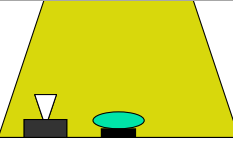
	指向方式	ハイブリッド方式	無指向方式
直射方式			
拡散反射方式			

図 アー1 光無線伝送システムの形態

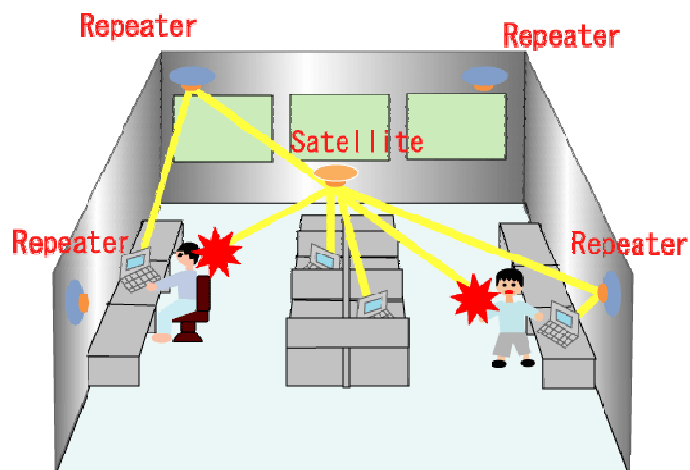


図 アー2 光無線中継システム

本研究開発で提案する光無線中継システムの構成ならびに室内に配置された固定遮蔽物の配置状況を図ア-3に示す。図ア-3に示すように、光無線中継システムでは、サテライトを天井の中央に、また、4つの光無線中継器を部屋の各隅に設置する。サテライトと各中継器は、それぞれ、サテライト-中継器間リンク用の光無線インターフェースを有し、また、サテライト、各中継器はそれぞれ端末とのリンク確立用の無指向性送受信機を1つと端末とのデータ伝送用の指向性送受信機を4つ装備する。サテライト-端末間リンク、中継器-端末間リンクと同様に、サテライト-中継器間リンクについても指向直射方式により伝送されるものとし、各中継器が最大4端末を収容することから、サテライト-中継器間リンクの伝送速度は中継器-端末間リンクの伝送速度の4倍(例えばサテライト-端末間リンク、中継器-端末間リンクの伝送速度が100Mbpsの場合、サテライト-中継器間の伝送速度は400Mbps)としている。

ここで、サテライト-中継器間を4つの指向性送受信機を並列に配置し、4つの空間的に平行な光無線伝送路を用いて信号光を伝送する方法も考えられる。しかしながら、この場合、中継器において信号光を非再生中継することが可能となるものの、伝送距離が増大するに伴い信号光が広がるため、受信側で干渉光の影響を避けるためには、中継器の大型化、もしくは、サテライト-中継器間距離の短縮化を招く。そこで、ここでは、サテライト-中継器間を1つの指向性送受信機を用いた1つの光無線伝送路により、中継器-端末間リンクの伝送速度の4倍の伝送速度で信号光を伝送するものとする。また、中継器においては、波形整形、タイミング再生、識別再生、伝送速度の変換を行うものとする。

以上のようなシステム構成を用いることにより、サテライト-中継器間および中継器-端末間における所要送信光電力の若干の増加を伴うものの、中継器を経由することでサテライト-端末間に複数の光無線伝搬路が確保される。この内、見通し内伝搬路が確保できているものの中から1つを選択することにより遮蔽の影響の軽減、中継器での送受信機数の増大による収容端末数の増大、サテライト-中継器間の光無線接続による中継器レイアウトの自由度の向上が期待できる。

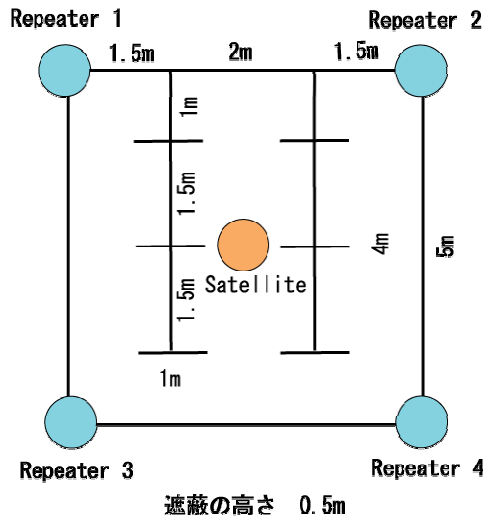


図 アー3 光無線中継システムのシステム構成と遮蔽物の配置状況

光無線中継システムでは、光無線中継器を用いることによりサテライトと端末との間に複数の光無線伝送路を確保するものであり、中継器の設置数を増やすに従い、遮蔽に対する耐性は向上するものと考えられる。しかしながら、中継器数の増加は、中継器を設置するためのコストならびにシステム全体の所要送信光電力の増加を招くため、システムを適用する部屋の大きさや端末の存在し得るエリアを十分に考慮して、光無線中継器を設置する数を決定する必要がある。特に、端末が部屋全体に亘って一様に存在する場合は、数多くの光無線中継器を設置する必要があるものの、一般に端末は偏ったエリアに存在することが多く、そのような場合においては、光無線中継器をさほど数多く設置する必要はないと考えられる。そこで、まず、端末が存在する位置の分布と必要な光無線中継器数の関係について検討した。以下の特性評価においては背景光電力を -30 [dBm]、サテライトおよび中継器における光源の半値角を 5.0 [deg]、各端末の受信機視野角を 5.0 [deg]とした。また、変復調方式としてオンオフ・キーイング強度変調/直接検波(OOK IM/DD)方式を用いるものとした。伝送空間として図ア-4で示した遮蔽モデルを考える。端末は図ア-4におけるP地点を中心とする標準偏差 σ のガウス分布に従って位置するものと仮定する。このような状況での中継器数と端末の収容確率の関係を図ア-5に示す。ここで、収容確率とは室内に存在する端末が固定遮蔽物による遮蔽の影響を受けずにアクセスポイントとのリンクを確立できる割合と定義した。また、中継器は図ア-4に示されるRepeater A, B, C, Dの順番で増設されるものとした。

図ア-5より、端末の分布の標準偏差 σ の値に関わらず、中継器の数が増えるに従い、端末の収容確率が改善していることがわかる。また、標準偏差 σ が大きい場合($\sigma = \infty$ の場合)は、端末は室内の広い範囲に亘って一様に存在することになるため、中継器を1つ設置したとしても端末の収容確率はさほど改善されず、高い収容確率を維持するためには数多くの中継器が必要であることがわかる。一方、標準偏差 σ が小さい場合は、中継

器を1つ(Repeater A)設置するだけで端末の收容確率は大幅に改善されることがわかる。

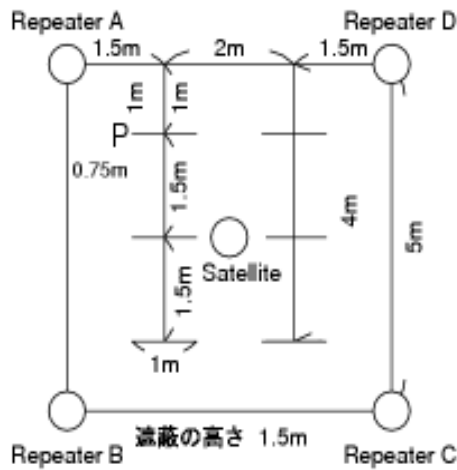


図 アー4 光無線中継システムにおける中継器と端末の分布

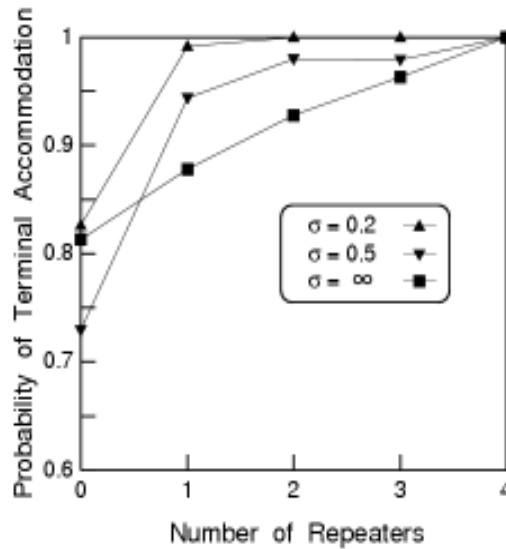


図 アー5 光無線中継システムにおける中継器数と收容確率

次に、端末の分布を表す標準偏差 σ と端末の收容確率が90%、95%、99%を満たすために必要な中継器数の関係を図ア-6に示す。図ア-6より、標準偏差 σ が小さい場合、端末がP地点付近の領域に存在する確率が高くなり、設置する中継器数を少なくすることが可能であることがわかる。以上の結果より、端末が部屋全体に亘って一様に存在するような状況においては数多くの中継器を設置する必要があるものの、端末が偏ったエリアで集中して存在するような状況であれば、その領域をある程度カバーできるような箇所のみ中継器を設置することにより、中継器を設置するためのコストならびにシステム全体での所要送信光電力の増加を抑えつつ端末の收容確率の改善が図られることがわかる。

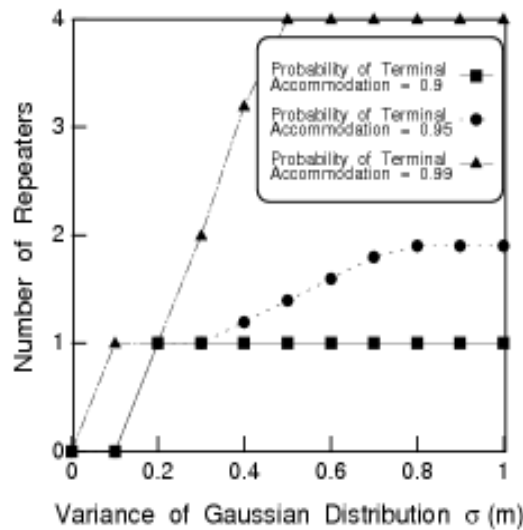


図 アー6 光無線中継システムにおける端末の分布と必要中継器数

以上の検討においては、室内に存在する遮蔽としてパーティションウォールなどの固定遮蔽物のみを対象としてきた。しかしながら、室内光無線伝送システムが利用される環境では、人などのように移動する遮蔽物(移動遮蔽物)による遮蔽の影響も懸念される。高速に移動する遮蔽物によって生じる遮蔽であれば、物理層において瞬時的な光無線伝送リンクの瞬断が生じたとしても、バッファリングなどのように上位層での対応によって遮蔽の影響はある程度軽減できると期待される。しかしながら、人などの移動は、必ずしも高速に移動するとは限らず、場合によっては移動と静止を繰り返すような状況も起こり得る。そこで、このような移動遮蔽物によって生じる遮蔽に対する対策として、サテライト、中継器を含む2つのアクセスポイントと端末との間で2つの光無線伝搬路を確保するダイバーシチ受信方式(『2パスリンクを用いた光無線中継システム』と呼ぶ)を提案した(図アー7参照)。また、移動遮蔽を表す遮蔽モデルとして、図アー8に示す遮蔽モデルを考案した。このモデルは、高さ 1.7m、直径 0.5mの円筒により人体をモデル化し、人がカバレッジ内の任意の位置に生起し、静止状態もしくは歩行状態のどちらかを選択するものとしている。また、静止状態にある人は生起位置に滞在し、歩行状態にある人は移動速度3km/hでランダムに与えられた進行方向に等速直線運動を行い、歩行状態にある人が壁や遮蔽物に衝突した場合には鏡面反射を行うものとしてモデル化を進めた。このような移動遮蔽モデルに基づいて、2パスリンクを用いた場合の光無線中継システムに関する詳細な特性評価ならびに移動遮蔽物に対しての有効性の検証については、平成16年度の研究開発において実施する予定である。

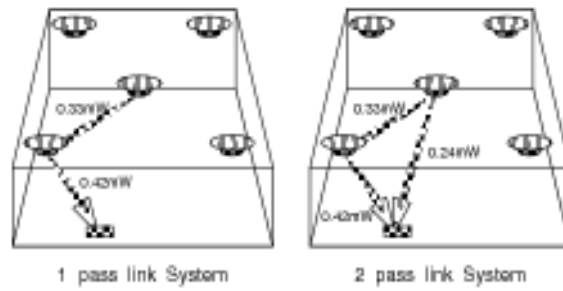


図 アー7 1パスリンクを用いた光無線中継システム（左）と
2パスリンクを用いた光無線中継システム（右）

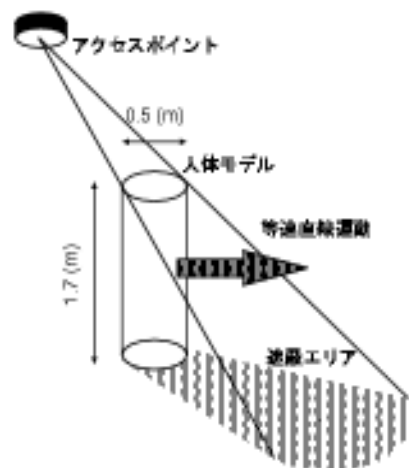


図 アー8 移動遮蔽モデル

b) 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

直射方式を用いた室内光無線通信システムにおいて、天井面に設置される光無線基地局(サテライト)と端末間で通信を行う場合、無指向性の送受信機を装備するサテライトと指向性の送受信機を装備する端末により構成されるハイブリッド直射方式を用いることにより、多元接続方式を用いた1対N通信を実現できる。しかしながら、ハイブリッド直射室内光無線通信システムでは、サテライトに指向性の広い送受信機を用いるため、ダウンリンクにおける伝搬損失が大きくなり、広範囲な通信可能領域(カバレッジ)を確保するには高い送信光電力が必要となる。さらに、多元接続方式を導入して複数端末が光無線伝搬路を共有する場合には、伝搬路を共有する端末数の増加に従って1端末あたりの伝送速度が低下し、高速伝送を行うことは困難である。一方、先に述べたように、指向性の送受信機を装備するサテライトと指向性の送受信機を装備する端末により構成

される指向直射方式では、光搬送波の持つ高い集光性を活かした高密度な1対1通信による高い伝送効率を実現できるものの、指向制御を行う送受信機を用いるためサテライトに装備される1つの送受信機は1つの端末に占有され端末数の増減に対して柔軟に対応することはできない。そこで、本研究開発では直射方式を用いた室内光無線通信システムにおいて、指向直射方式ならびにハイブリッド直射方式それぞれが有する問題に対する対策として、指向性の狭い送受信機を装備し指向直射方式により高速伝送を行うサテライトと、指向性の広い送受信機を装備しハイブリッド直射方式により複数端末の収容を可能とする光無線中継器を同一エリアに設置する『オーバーレイシステム』（図ア-9参照）を提案する。

平成14年度の研究開発においては、オーバーレイシステムの提案ならびにシステムの具体化を行い、指向直射方式とハイブリッド直射方式との間での信号光の相互干渉が生じるものの、サテライトおよび中継器の送信光電力ならびに受信機視野角(Field of View:FOV)を適切に設定することにより、オーバーレイシステムを構築できることを明らかにした。平成14年度の研究開発においては、多元接続方式については具体的に想定せず特性評価を行っていた。平成15年度の研究開発においては、無線LANシステムにおいて、多元接続方式として一般に広く用いられているCSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance)方式を想定し、CSMA/CAを導入した場合のオーバーレイシステムの特性を評価し、オーバーレイシステムの構築の可能性に関する検証を開始した。具体的な検討内容を下記に示す。

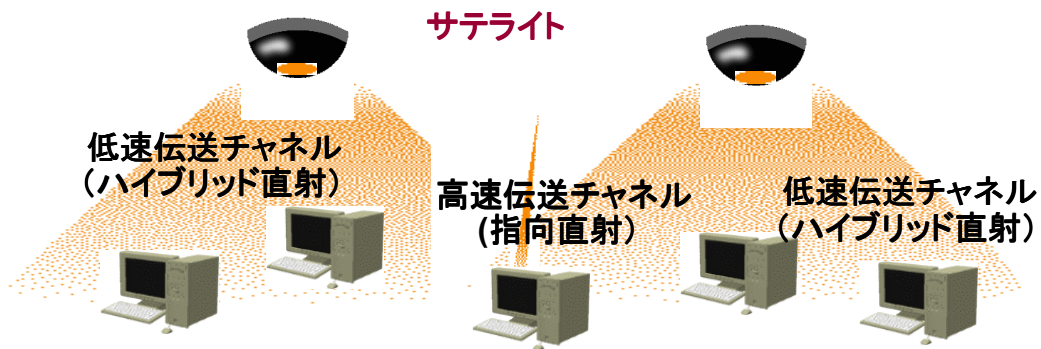


図 ア-9 指向直射方式とハイブリッド直射方式のオーバーレイシステム

多元接続方式としてCSMA/CAを用いたオーバーレイシステムでは、指向直射方式を用いるチャンネルとハイブリッド直射方式を用いるチャンネルの間の競合によるスループットの低下が懸念される。サテライトと中継器(リピータ)の間の距離が小さい場合、サテライトおよび高速伝送チャンネルを利用する端末は低速伝送チャンネルの光搬送波を、また、リピータおよび低速伝送チャンネルを利用する端末は高速伝送チャンネルの光搬送波をキャリアセンスする可能性があるため、各チャンネル間での競合を招いてしまう。また、サテライトとリピータの間の距離が大きい場合、ダウンリンクにおいては、端末の受信機視野角(FOV)内に干渉光源が入らないため、チャンネル間の競合は生じないものの、アップ

リンクにおいては、衛星とリピータの間の距離にかかわらず、端末の位置によっては衛星、リピータ共に干渉光源がFOV内に入る可能性があるため、キャリアセンス閾値を過度に小さく設定すると衛星は低速伝送チャンネルでの信号光を、リピータは高速伝送チャンネルでの信号光をキャリアとして認識してしまい、チャンネル間の競合が生じる。しかしながら、衛星とリピータの間の距離およびキャリアセンス閾値を適切に設定することによりチャンネル間の競合を解消し、指向直射方式とハイブリッド直射方式の短所を補い合うオーバーレイシステムを構築できると考えられる。

ここで対象とする伝送空間を図ア-10に示す。衛星は図ア-10における $(x, y) = (a, a)$ ($-5(m) \leq a \leq 5(m)$)、リピータは $(x, y) = (-a, -a)$ の天井面に設置され、部屋全体をカバーする。衛星とリピータは任意の床面に位置する端末を収容する。また、特性評価の簡単化のため、衛星およびリピータに収容される端末数はそれぞれ1端末とする。

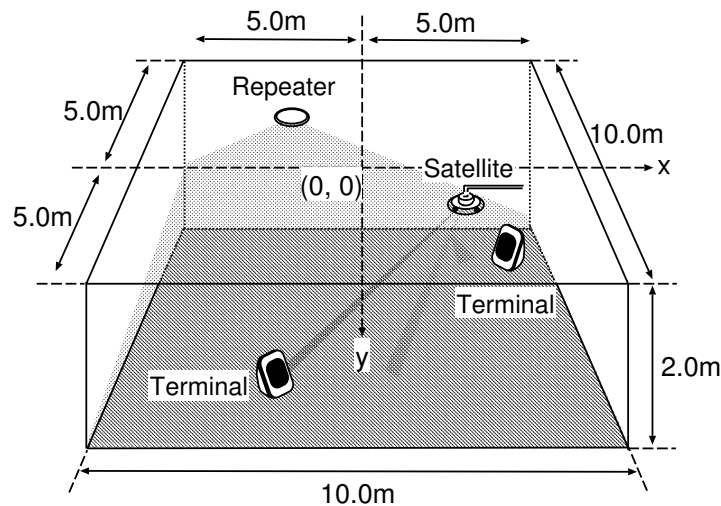


図 ア-10 本特性評価で対象とする伝送空間

まず、提案システムにおけるダウンリンクについて、高速伝送チャンネルと低速伝送チャンネルの間の干渉の影響を評価する。特性評価においては、表ア-1に示すシミュレーション諸元を用いるものとする。ここで、衛星の送信光電力は、リピータからの干渉光が存在しない場合において、所要品質(ビット誤り率、 $BER \leq 10^{-6}$)を満たすように高速伝送チャンネルを利用する端末の位置に応じて設定し、リピータの送信光電力および光源の半値角は、衛星からの干渉光が存在しない場合においてリピータの位置に応じて伝送空間の任意の位置に存在する低速伝送チャンネルを利用する端末の所要品質($BER \leq 10^{-6}$)を満たせる値に設定する。また、端末は最も干渉の影響が大きくなる位置に配置する。図ア-11にリピータからの干渉の影響下における高速伝送チャンネルを利用する端末のBERおよび衛星からの干渉の影響下における低速伝送チャンネルを利用する端末のBERと衛星とリピータの間の距離の関係を示す。図ア-11に示されるように、衛星とリピータの間の距離が2mでBERが急激に改善している。これはサ

テラライトとリピータの間の距離が2mを越えると高速伝送チャネルを利用する端末のFOV内にリピータからの信号光が、低速伝送チャネルを利用する端末のFOV内にサテライトからの信号光が入ることがなくなるためと考えられる。図アー11に示す結果より、ダウンリンクにおいては、サテライトとリピータの間の距離を2m以上離せば干渉の影響を受けないことがわかる。

表 アー1 シミュレーション緒元

	Satellite	Repeater
伝送速度 (Mbps)	100	
光源の半値角 (deg)	5.0	
受信機視野角 (deg)	5.0	
背景光電力 (dBm)	-30.0	
光検波面積 (cm ²)	1.0	
変調方式 / 検波方式	オンオフキーイング / 直接検波	

	High Rate Terminal	Low Rate Terminal
伝送速度 (Mbps)	100	
光源の半値角 (deg)	5.0	
受信機視野角 (deg)	5.0	
背景光電力 (dBm)	-30.0	
光検波面積 (cm ²)	1.0	
変調方式 / 検波方式	オンオフキーイング / 直接検波	

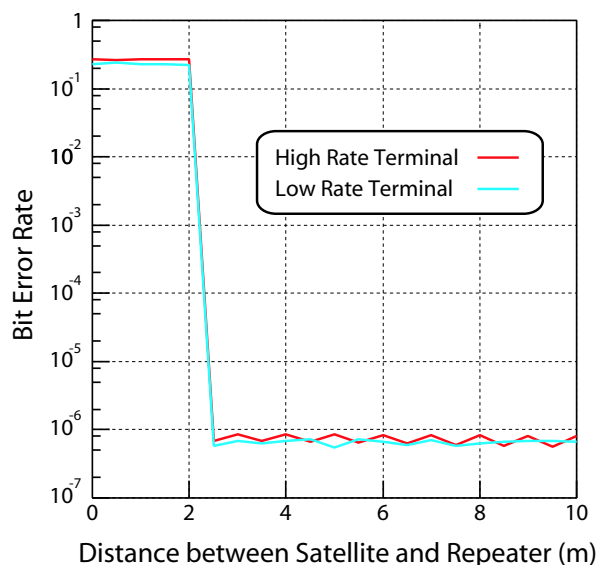


図 アー11 ダウンリンクにおけるビット誤り率(BER)特性

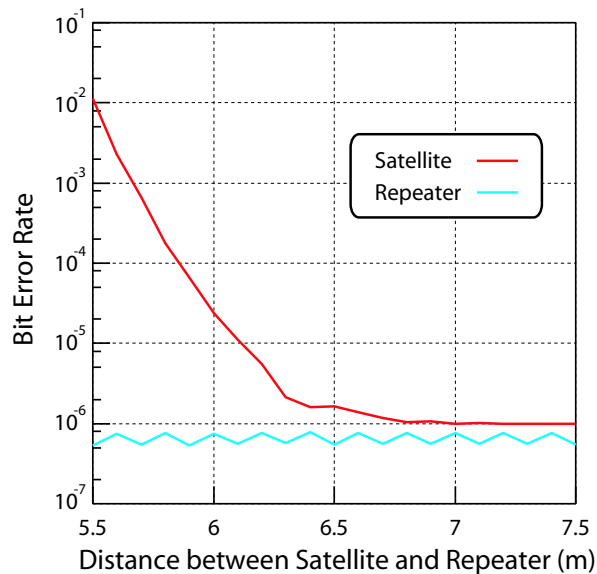


図 アー12 アップリンクにおけるビット誤り率(BER)特性

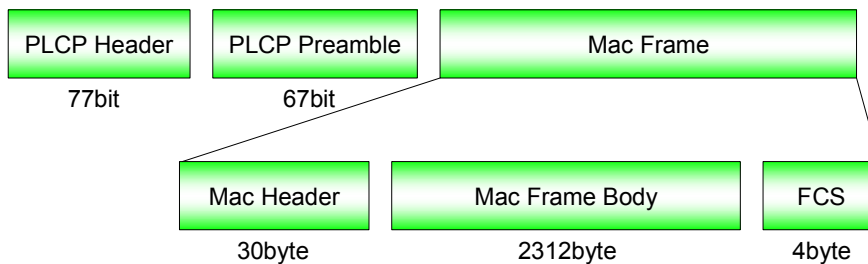
次に、提案システムにおけるアップリンクについて、高速伝送チャンネルと低速伝送チャンネルの間の干渉の影響を評価する。特性評価においては、前評価と同様に表アー1に示されるシミュレーション諸元を用いるものとする。ここで、高速伝送チャンネルを利用する端末と低速伝送チャンネルを利用する端末の送信光電力は、干渉光が存在しない場合において所要品質 ($BER \leq 10^{-6}$) を満たすように端末の位置に応じて設定し、リピータのFOVは、リピータの位置に応じて伝送空間全体をカバーできる値に設定する。また、端末は最も干渉の影響が大きくなる位置に配置する。低速伝送チャンネルを利用する端末からの干渉の影響下におけるサテライトのBERおよび高速伝送チャンネルを利用する端末からの干渉の影響下におけるリピータのBERとサテライトとリピータの間の距離の関係を図アー12に示す。図アー12に示されるように、サテライトとリピータの間の距離が小さい場合、サテライトのBERは劣化するものの、リピータのBERは劣化していない。これは、低速伝送チャンネルを利用する端末の所要送信光電力が高速伝送チャンネルを利用する端末の所要送信光電力と比較して大きいためと考えられる。また同図より、サテライトとリピータの間の距離が増大するにしたがって、サテライトのBER特性は改善している。これは、サテライトとリピータの間の距離が増大するにしたがって、サテライトが低速伝送チャンネルを利用する端末から受信する干渉光電力が小さくなるためと考えられる。図アー12より、アップリンクにおいては、サテライトとリピータの間の距離を7m以上離せば干渉を受けないことがわかる。

最後に、提案システムにおけるキャリアセンス閾値の最適値について検討を行う。特性評価においては、前評価と同様に表アー1に示されるシミュレーション諸元を用いるものとする。また、CSMA/CAにおける各パラメータおよびフレーム構成を図アー13に示す。ここで、送信光電力、リピータの半値角ならびにFOVは前評価と同様とし、サテライトとリピータの間の距離は図アー12に示される結果より7mとする。また、端末はチャ

ネル間の競合によりスループット値が最も低下する場所に配置する。キャリアセンス閾値とスループットの関係を図ア-14に示す。なお、図ア-14の横軸は背景光による受信電力を基準とし、その値からのキャリアセンス閾値の増分を表示している。また、縦軸はスループットを表している。図ア-14に示されるようにキャリアセンス閾値が-90[dBm]付近でオーバーレイシステムにおける低速伝送チャンネルのスループットが増加している。また、キャリアセンス閾値が-45[dBm]付近でオーバーレイシステムにおける高速伝送チャンネルのスループットが増加している。これは干渉光源からのキャリアの電力がキャリアセンス閾値を下回るようになるため、高速伝送チャンネルと低速伝送チャンネルとの間での競合がなくなるためと考えられる。さらに、キャリアセンス閾値が-25[dBm]付近でスループットが減少しているが、これは受信信号光電力がキャリアセンス閾値を下回るため、信号光を無視し受信しなくなるためである。図ア-14に示される結果より、最適なキャリアセンス閾値は-45[dBm]~-25[dBm]程度の範囲であり、その値にキャリアセンス閾値を設定することで、多元接続方式としてCSMAを導入した場合においても、チャンネル間の競合をなくしオーバーレイシステム全体で100Mbpsのスループットを達成できることがわかる。

SLOT TIME	(μ sec)	8
SIFS TIME	(μ sec)	10
CW* Minimum		63
CW* Maximum		1023
RTS/CTS Option		NONE

* Contention Window



図ア-13 CSMA/CAの緒元とフレーム構成

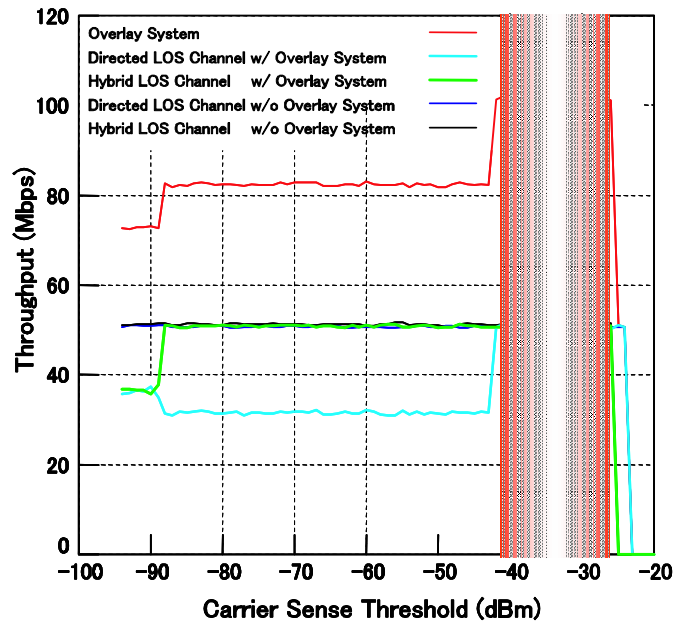


図 アー14 キャリアセンス閾値とスループットの関係

2) 光拡散方式の伝送技術

先に示したように(図アー1参照)、室内光無線伝送システムは、信号光の伝搬方法により、送受信機間に見通し内伝搬路を確保する直射方式と壁面や天井面での拡散反射光を利用して見通し外においても通信が可能である拡散方式の2つに分類される。天井面や壁面での反射光を利用することで、送受信機間での見通し内伝搬路の確保を必要としない拡散方式は、直射方式(指向直射方式、ハイブリッド直射方式)に比較して、遮蔽に対する耐性に優れる。しかしながら、一方、反射光を利用して信号光を伝送するため、伝搬損失ならびに遅延広がりが大きくなる。拡散方式での伝搬損失の増大は、受信光電力の低減による通信可能領域(カバレッジ)の狭域化を招き、また、マルチパス伝搬に伴う遅延広がりの増大はシンボル間干渉による伝送速度の低下を招く。そこで、本研究開発では、拡散方式におけるカバレッジの広域化ならびに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に関する検討を行っている。具体的には、平成14年度の研究開発においては、光拡散方式のシステムにおける送受信機モデルならびに光拡散方式の伝搬路モデルを構築し、ビット誤り率についての評価手法を確立した。平成15年度の研究開発においては、平成14年度の研究開発成果を受けて、引き続き、光拡散方式の伝搬損失特性、遅延特性についての評価手法の確立、複数の方向を指向する送信機による伝搬損失特性の向上、複数の狭視野受信機を用いた指向制御による遅延波抑圧対策に関する検証を開始した。

具体的には、まず、拡散方式における伝搬損失に対する対策として、これまで我々が提案してきた、様々な方向を指向する複数の送信機を装備するマルチビーム拡散方式(図アー15参照)を採用し、それによる伝搬損失特性の改善効果を評価した。これまで

の単一の方向を指向する光源では、送信機近傍では過剰な受信光電力が得られる一方で、送信機から離れるに従い受信光電力は急激に減少する。それに対し、ここで導入したマルチビーム拡散方式では、様々な方向を指向する複数の送信機を装備することで、送信機近傍での受信光電力の過剰な増加を抑制し、かつ、送信機遠方での受信光電力の向上を図るものである。マルチビーム拡散方式を用いた場合の伝搬損失特性ならびに遅延広がり特性を図アー16に示す。なお、ここでは、垂直方向を指向するビームについては、ビームの数を1、半値角を70[deg]としている。また、周辺方向を指向するビームについては、ビームの数を12、傾斜角を70[deg]、ビーム半値角を10[deg]としている。図アー16に示す結果より、マルチビーム拡散方式を用いることにより、伝搬損失特性の平坦化が図られ、送信機近傍での過剰な電力が抑えられることがわかる。また、送信機から離れたところにおいても伝搬損失の改善が得られ、シングルビーム拡散方式に比較して、高い受信光電力が得られることがわかる。一方、遅延広がり特性について見ると、マルチビーム拡散方式では様々な方向を指向するビームを用いて信号光を送信し、受信機はマルチパス伝搬路を経由した信号光を受信するため、シングルビーム拡散方式よりも遅延広がりが増大することがわかる。伝送速度が低速な場合には、受信光電力が誤り率特性を支配する主要な要因であるため、マルチビーム拡散方式を用いることにより特性の改善が期待できる。しかしながら、一方、伝送速度が高速になるにしたがって、マルチパス遅延広がりに起因する遅延広がりが誤り率を支配するため、マルチビーム拡散方式を用いることによって高い受信光電力が得られたとしても誤り率特性の改善は期待できない。平成16年度の研究開発においては、マルチビーム拡散方式における遅延広がりの増大に対する対策として、様々な方向を指向する複数の受信光源を装備するマルチディテクタ拡散方式（図アー17参照）を導入し、マルチディテクタ拡散方式による遅延広がりの抑圧効果ならびにビット誤り率を評価し、マルチビームならびにマルチディテクタ方式の有効性について検証を進める予定である。

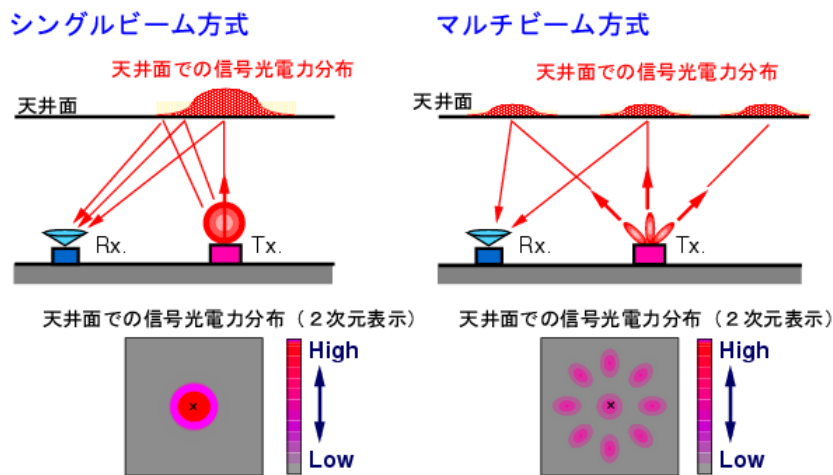
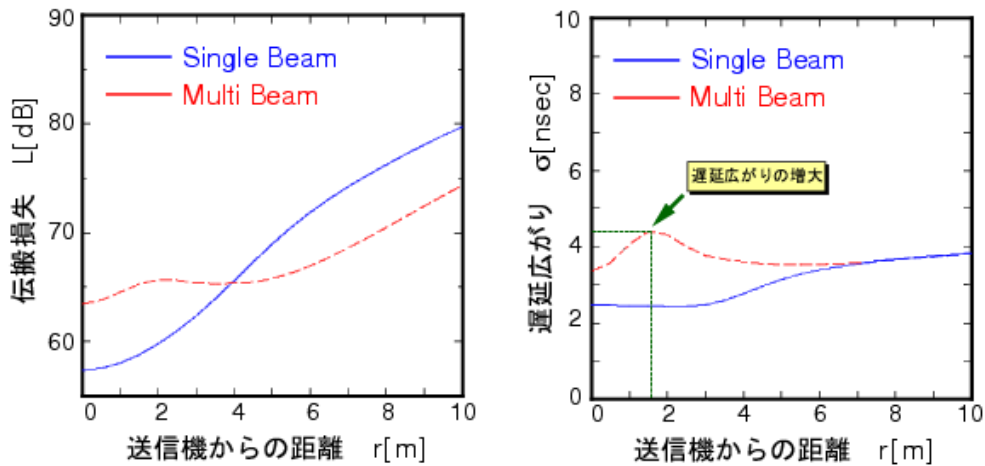


図 アー15 シングルビーム拡散方式とマルチビーム拡散方式



- マルチビーム方式の緒元
 (1) 垂直方向ビーム1, 周辺方向ビーム12, 傾斜角70[deg]
 (2) 垂直方向のビーム半値角10[deg], 送信光電力77[mW]
 (3) 周辺方向のビーム半値角10[deg], 送信光電力77[mW]
 (4) 受信機視野60[deg]

図 アー16 マルチビーム拡散方式における送受信機間距離と伝搬損失および遅延広がり特性

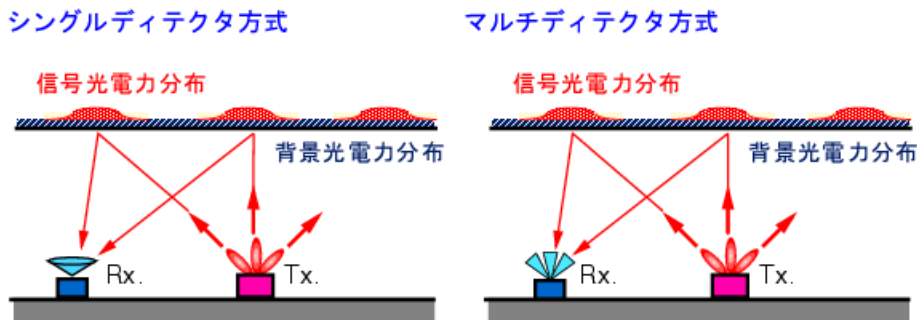


図 アー17 シングルディテクタ拡散方式とマルチディテクタ拡散方式

3) 光・電波ハイブリッド方式の伝送技術

近年の急速なIT(Information Technology)社会の進展に伴いノートパソコンやPDA(Personal Digital Assistant)等の小型携帯情報端末が広く普及し、家庭内や小規模オフィス等のSOHO (Small Office、Home Office) 環境やホットスポットサービスが提供される公共エリア等において、場所を選ばずにそれらの端末を相互に接続可能な無線LANシステムへの関心が高まっている。無線LANシステムは有線LANシステムと比較して伝送速度や伝送品質の面では劣るものの、端末の増減・再配置等に対する柔軟性に優れ、ネットワークを構築するシステムとして今後ますます普及するものと予想される。現在、無線LANシステムとしては、本研究開発の主な対象である光無線伝送システム以外にも、IEEE802.11b/g準拠の2.4GHz帯、IEEE802.11a準拠の5GHz帯の電波を用いるシステムなどが実用化されている。これらのシステムは、全て、開空間を伝搬路とするという意味においては同一ではあるものの、システムに利用される搬送波の種類や周波数帯

の違いによって伝搬特性および信号処理技術が異なり、システムとしての特徴は大きく異なってくる。例えば、電波を用いるシステムは光を用いるシステムと比較して、一般に、遮蔽に対する耐性に優れ、かつ、1つのアクセスポイントにて広範囲なカバレッジを確保できるといった特長を有する。しかしながら、伝送速度の面ではさほど高速な伝送を行うことはできず、また、広範囲な領域にわたる信号伝搬により競合する端末数が増加した場合や、同一周波数帯を利用する異種の電波無線ネットワークが隣接した場合には、スループットの低下や遅延の増大が懸念される。一方、本研究開発において対象としている光搬送波を用いる無線伝送システムは、電波を用いる方式と比較して、室外輻射がないため隣接する無線ネットワークからの干渉を受けない、また干渉を与えない、秘匿性に優れる、光搬送波の有する指向性ならびに伝搬路制御の容易性を活かした高速大容量かつ高密度な通信が期待できるといった特長を有する。特に、アクセスポイントとなる衛星と端末それぞれに指向性を持たせることでPoint to Point (P-P)型伝送を行う指向直射方式では1Gbps以上の高速な伝送が容易に実現できると共に、CSMA(Carrier Sense Multiple Access)により伝送路を共有する電波無線伝送システムでは一般に困難とされている帯域保証型の伝送も可能となる。さらに、無指向性の衛星と指向性の端末を用いて数10Mbps～100Mbps程度の伝送を行うハイブリッド直射方式は、多元接続方式の導入により単一の衛星で複数端末を収容することが可能であり、指向直射方式と比較して端末の増減・再配置に対して柔軟に対応できる。しかしながら、先に述べたように、光搬送波を用いるシステムは遮蔽に対して脆弱であり、また、信号光の到達する範囲が限られるため、1つのアクセスポイントにて広範囲なカバレッジを確保することはできず、広範囲なカバレッジを確保するためには数多くのアクセスポイントを設置する必要がある。そこで、本研究開発では、電波を用いるシステムならびに赤外線領域の光搬送波を用いるシステム、それぞれの短所をもう一方の長所で補完する『光・電波ハイブリッド無線伝送システム』(図ア-18参照)を提案し、光・電波ハイブリッド無線伝送システムの有効性に関する検討を行っている。平成14年度の研究開発においては、光・電波ハイブリッド無線伝送システムのシステム構成を具体化すると共に、光無線中継システムの提案ならびにシステム構成の具体化を行い、スループット特性ならびに遮蔽に対する耐性の観点から、従来の電波のみを用いる無線伝送システムおよび光のみを用いる無線伝送システムに対する光・電波ハイブリッド無線伝送システムの優位性を明らかにした。平成15年度の研究開発においては、昨年度の研究開発成果を受けて、下記のa)～c)について検討を行った。

a) 光・電波ハイブリッド無線伝送システムにおける媒体アクセス制御(Medium Access Control:MAC)方式に関する検討

光・電波ハイブリッドシステムにおけるアクセスポイントならびに端末は電波ならびに光の両方の送受信機を装備し、各端末は、光もしくは電波のどちらを用いてもアクセスポイントと通信リンクを確立できる場合は、どちらかの媒体(光もしくは電波)を選択して伝送を行う。ここでは、多元接続方式としてCSMA方式を適用した場合の媒体選択法

について検討を行う。

b) 光・電波ハイブリッド無線伝送システムにおける干渉抑圧技術に関する検討

光・電波ハイブリッド無線伝送システムでは、光ならびに電波の両方による伝送が可能であるが、電波無線伝送においては広範囲な領域に亘る信号伝搬によって、光無線伝送よりも干渉の影響は大きくなる。特に、電波無線伝送時の伝送速度の高速化を目的として、送信電力制御により高い受信SNR(Signal to Noise Power Ratio)を確保しようとする場合には、干渉の影響はさらに顕著になると予想され、光・電波ハイブリッド無線伝送システムにおける電波無線伝送時の干渉抑圧対策が急務である。そこで、ここでは、ワイヤレスホームネットワークなどのアクセスポイントが狭いエリアに混在するようなシステムでの干渉対策技術について検討を行う。

c) 光・電波ハイブリッド無線伝送システムにおける送信制御機構の改善による伝送速度の高速化

一般に、光・電波ハイブリッド無線伝送システムにおいては、電波による無線伝送と光による無線伝送を比較した場合、電波を用いた場合の伝送速度は光を用いた場合の伝送速度よりも低くなる。そのため、光・電波ハイブリッド無線伝送システムでは、電波無線伝送時の伝送速度がシステム全体での伝送速度を決定する主要な要因となり、光・電波ハイブリッド無線伝送システムのスループット特性の向上を図るには、電波無線伝送時のスループットの改善が必要不可欠となる。そこで、ここでは、電波無線伝送時のスループット特性の改善を目的として、現在広く普及している電波無線LANシステムの標準規格であるIEEE802.11に着目し、同標準規格中で規定されている媒体アクセス制御(MAC)プロトコルの送信制御機構を改善する技術について検討を行う。

以下では上記a)～b)についての具体的な検討結果について示す。

a) 光・電波ハイブリッド無線伝送システムにおける媒体アクセス制御(Medium Access Control:MAC)方式に関する検討

ここでは、光・電波ハイブリッド無線伝送システムにおける媒体アクセス制御方式(光もしくは電波の選択方法)に関する検討を行った。昨年度までの研究開発においては、光・電波ハイブリッドシステムにおけるアクセスポイントならびに端末は電波ならびに光の両方の送受信機を装備し、各端末は、電波、光のどちらを用いてもアクセスポイントと通信リンクを確立できる場合は自端末の得られる最大スループットが高い方を選択してアクセスポイントとの通信を行うものとした。しかしながら、実システムにおいて、各端末が光ならびに電波を用いた場合の最大スループットを予測することは困難である。そこで、本年度の研究開発では、多元接続方式としてCSMA方式を導入し、新たに伝送するパケット毎に伝送媒体(光もしくは電波)を選択するものとした。この方式では、端末ならびにアクセスポイントは伝送すべきパケット毎に伝送に用いる媒体を選択するものであり、例えば、チャンネルの空き時間率(idle時間率)に基づく伝送媒体の選択法(図A-19参照)や、キャリアセンスにより、チャンネルがidleであると時間的に早く判断された媒体を優先的に用いるものである。今年度末の時点では、シミュレーション緒元の設

定(表評価技術の確立)を終え、来年度の研究開発において、伝送パケット毎に伝送媒体を選択するアクセス方式を用いた場合のスループット特性を評価する予定である。

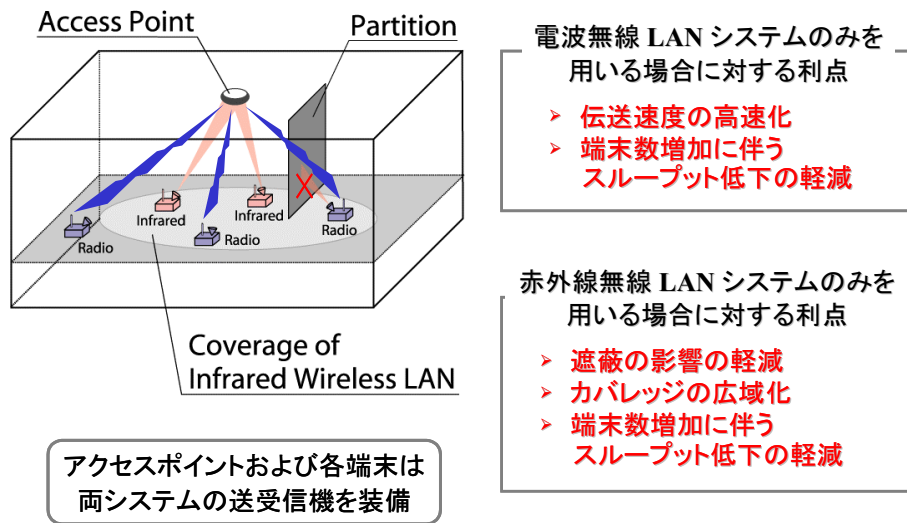


図 アー18 光・電波ハイブリッド無線伝送システム

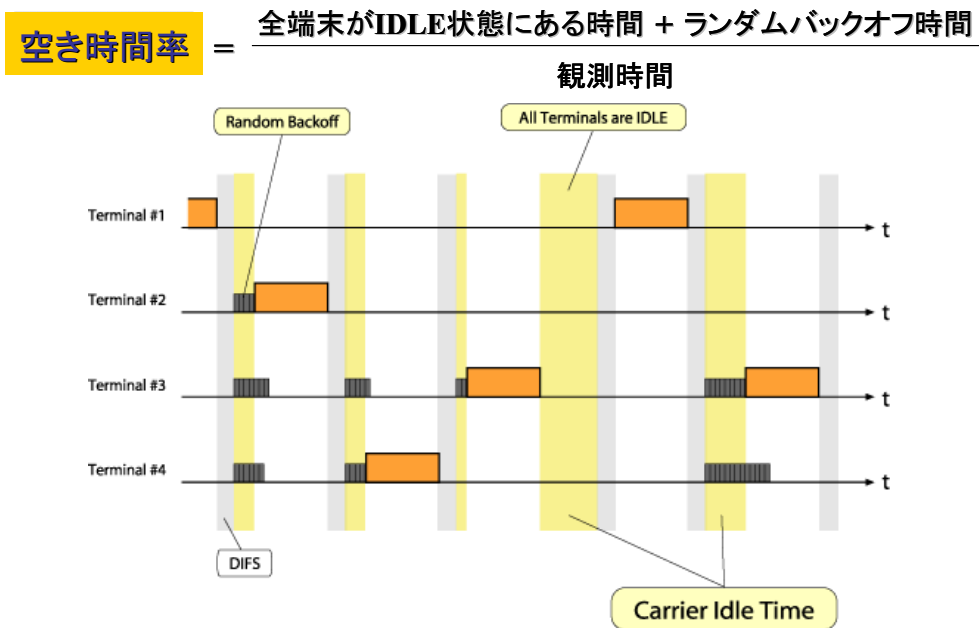


図 アー19 チャンネルの空き (idle) 時間率に基づく伝送媒体選択法

b) 光・電波ハイブリッド無線伝送システムにおいて、電波を用いて伝送する場合に生じる干渉抑圧技術に関する検討

電波を用いるシステムにおいては、光を搬送波として用いる場合に比較して、広範囲な領域に亘る信号伝搬に起因する干渉により、光を用いるシステムよりも干渉の影響が大きくなると予想される。さらに、光伝送と見合う伝送速度を実現させるには、受信局において所要のSNRを満たすために送信局における送信電力は増大するため、干渉抑圧

対策が急務となっている。この状況を受け、われわれは、特に、将来的な光伝送との融合を考え、ワイヤレスホームネットワークなどのアクセスポイントが狭いエリアに混在するようなシステムでの干渉対策の研究を平成15年度上半期より着手した。

このようなシステムでの干渉対策を考えた際の問題点としては、まず、第一に、アクセスポイントが狭いエリアに密接して存在するため、干渉が様々な方向から到来し、従来、無線通信分野において行なわれてきた適応等化技術等に代表される、受信時に干渉を抑圧する技術では、十分に干渉を抑圧することが難しいという問題点が挙げられる。また、第二に、ワイヤレスネットワークなどのシステムでは、各端末の自立分散性が重視されるために、干渉抑圧制御においても、各端末において自立分散的に制御できる方式が望ましいことが挙げられる。

そこで、これらの点を考慮し、われわれは、端末において、自立分散的に、送信時に不必要な方向に対して放射する干渉を低く抑えることを目的とした『伝搬経路制御方式』を提案し、DS-CDMA方式をアクセス方式としたシステムにおいて検討を行なった。

『伝搬経路制御方式』は、端末にアダプティブアレイアンテナを導入し、新たに提案した『Deep Null Creation Technique(DNCT)』及び『Wide Null Creation Technique(WNCT)』により、従来困難であった、端末でのアダプティブアレイアンテナの指向性を制御し、システム全体の干渉抑圧を行なう方式であり、端末からアクセスポイントへ放射される伝搬パスを、アダプティブアレイアンテナの指向性制御を用いることにより、端末において干渉となる方向への放射電力を大きく抑圧するものである。

それでは、本検討の結果を報告するにあたり、まず、伝搬経路制御方式の概略について述べた後、提案方式を用いた提案システムのシステム構成について示す。続いて、提案システムの干渉抑圧特性について、計算機シミュレーションによる結果を示す。

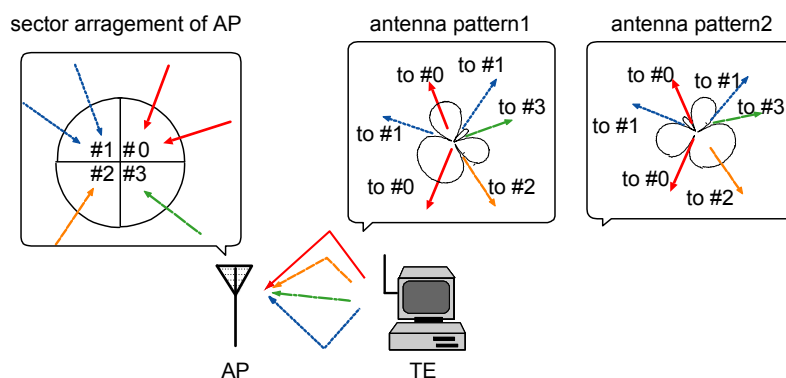


図 アー20 伝搬経路制御方式の概念図

提案方式する『伝搬経路制御方式』では、アクセスポイント(AP)をセクタ化し、端末において通信対象とするセクタ(ターゲットセクタ)を選択し、このセクタに対して、端末に設置したアダプティブアレイアンテナの指向性制御を行う。このとき、ターゲットセクタのアンテナ指向性に加え、非ターゲットセクタに対してヌルが向くように制御することで、端末-AP間の有効な伝搬経路を選択すると同時に、隣接セル/セクタに対す

る干渉電力の放射を大きく抑圧することが期待できる。図ア-20は提案する伝搬経路制御方式の概略図について示している。また、図ア-20は、一例として4セクタ化した場合の基地局のセクタ配置図、端末のアンテナパターンを示しており、セクタ配置図、アンテナパターンにおける矢印は上り回線における各素波の受信角(AOA)、送信角(AOD)の方向である。また、antenna pattern 1はセクタ#0を、antenna pattern 2はセクタ#2をそれぞれターゲットセクタとした場合の指向性を表している。

図ア-20より、antenna pattern 1を用いた場合はセクタ#0へ到来する素波に対してのみアンテナの利得が向けられ、その他のセクタへ到来する素波に対してはヌルが形成されることにより、セクタ#0に対してのみ信号の放射が行なわれ、通信を行なわない非ターゲットセクタに対して干渉が大きく抑圧されていることがわかる。また、antenna pattern 2を用いた場合についても同様にセクタ#2に対してのみ信号の放射が行なわれており、通信を行なわないセクタに対して干渉が大きく抑圧されていることがわかる。

続いて、提案システムのシステム構成について示す。提案システムでは、システムのアクセス方式としてDS-CDMA(Direct Sequence-Code Division Multiple Access)方式、Duplex方式としてTDD (Time Division Duplex)方式を用いている。また、端末では、アンテナの指向性を制御する際に、MMSE (Minimum Mean Square Error) 基準に基づいてアンテナウエイトの生成を行なっている。この際、希望信号および干渉信号の遅延プロファイルを測定し、測定された遅延プロファイルにおけるパスの中で、アンテナウエイトの収束で重視するパスのみ取捨選択した後、アンテナウエイトを制御する方式を用いている。

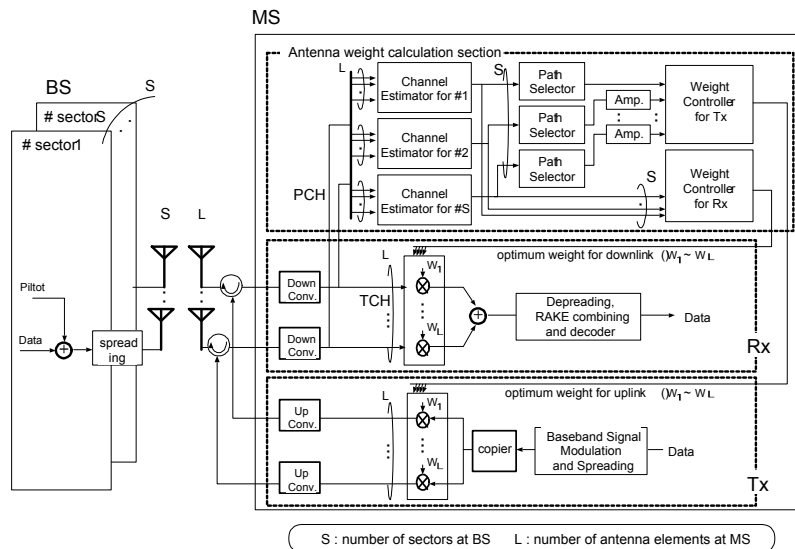


図 ア-21 : システム構成

図ア-21において各アクセスポイントでは、各セクタにおいて伝搬路推定用にパイロット信号をトラフィックチャネル(TCH)に符号多重し、セクタ毎にユニークに割り当てられた拡散系列で拡散を行う。

一方で端末局においては、受信検波後、まず、パイロットチャネルのみを用い、伝搬路推定部(Channel Estimator for each sector)において各セクタに対する伝搬路推定を行い、遅延プロファイルを測定する。下り回線においては、この遅延プロファイルを用い、ウエイト制御部(Weight Controller for Rx)においてMMSE基準に基づき最適なアンテナウエイトを求め、各アンテナ素子からのトラフィックチャネルの復調に用いる。一方で上り回線については、測定した各セクタに対する遅延プロファイルに対し、Path Selector部において『WNCT』、その後、Amp部において『DNCT』に基づいて操作した後、ウエイト制御部(Weight Controller for Tx)においてMMSE基準にもとづいて送信に最適なアンテナウエイトの生成を行い、各アンテナ素子からのトラフィックチャネルの送信に用いている。上り回線において『DNCT』『WNCT』を用いる理由は、MMSE基準によるアンテナウエイト制御では、合成信号のSN比は最大になるものの、必ずしも干渉電力に対して深いヌルが向くとは限らず、また、端末においてはアダプティブアレイアンテナの自由度が限られることから、より有効に自由度を利用して干渉電力の抑圧を行なう必要が生じるためである。

図ア-22に提案システムにおけるターゲットセクタでのCINRの累積分布特性について示す。計算機シミュレーション環境としては、3セル構成とし、各セルにランダムに2端末を配置した。各端末はアクセスポイントのセクタを1つ選択し、そのセクタに対して送信電力制御を行い(目標SNR10[dB])、送信電力制御は完全であるとした。また、アクセスポイントでのセクタ数を8、端末でのアダプティブアレイアンテナのアンテナ素子数を8としている。

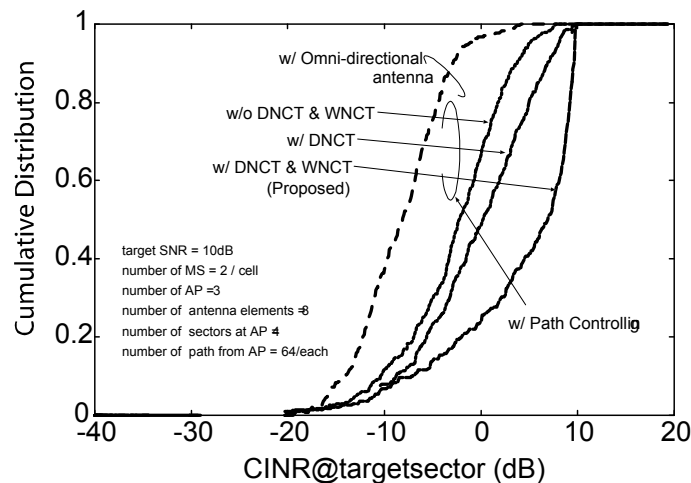


図 ア-22 各方式でのアンテナパターンの比較

図ア-22より、アダプティブアレイアンテナを端末に導入し、伝搬経路制御を行なうことにより、端末に無指向性アンテナを用いた従来方式と比較して、大幅にCINR特性が向上していることがわかる。これは、各端末において上り回線の送信時に伝搬経路制御を行なうため、ターゲットセクタに対して指向性を形成し、その他の干渉となるセクタに対しては、ヌルを向ける制御を行なうことにより、端末において干渉となる方向に対

し、放射する電力を大きく抑圧できているためであると考えられる。また、『DNCT』、『WNCT』を用いることにより、さらに特性が向上しており、従来方式と比較して、累積分布の50%値で比較して約20[dB]近い利得が得られていることがわかる。なお、これら『伝搬経路制御方式』に関する研究は、WPMC2003(Wireless Personal Multimedia Communications)および電子情報通信学会無線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研究発表を行なっている。

c) 光・電波ハイブリッド無線伝送システムにおける送信制御機構の改善による伝送速度の高速化

光・電波のハイブリッド無線LANシステムを構築するための基礎的研究として、まず、電波・光無線を比較した場合に、スループット性能からボトルネックとなる電波無線の通信性能改善についての検討を行った。特に、現在広く普及している電波無線LANシステムの標準規格であるIEEE802.11に着目し、同標準規格中で規定されている媒体通信制御プロトコル(MACプロトコル)の送信制御機構を改善することでスループットの向上を図る方法で検討を行った。

図ア-23にIEEE802.11標準規格中に規定されている基本送信手順であるDCF(Distributed Coordination Function)の送信制御シーケンスを示す。IEEE802.11において、送信を行う端末はその他の端末の送信を一定時間抑制するためにRTS/CTS制御を行えるように規定されている。送受信を開始する端末はRTS、CTSと呼ばれる短い制御パケットをハンドシェイクした後に実際のDATAパケットを送信する。このとき、送受信端末以外の端末はRTSもしくはCTSパケットを漏れ聞くことでこれからDATAパケットの送信が行われることを知り、一定時間送信を控えるように送信延期タイマであるNAV(Network Allocation Vector)を設定する(図ア-23中でNAV(RTS)、NAV(CTS)はそれぞれRTS、CTSパケットを漏れ聞いた場合に設定されるNAVの長さを示している)。このような送信制御はVirtual Carrier Sense機構と呼ばれDATAパケットの送信成功確率を向上させるための技術として採用されているが、送受信端末間でRTS/CTSハンドシェイクに失敗した場合、すなわち、実際にはDATAパケットの送信が行われないような場合には、その他の端末においてNAVのみが不必要に設定されてしまう問題が報告されている(不必要な送信延期問題)。このような問題が発生すると、送信可能状態にあるにもかかわらず送信を延期してしまうため、リンク使用効率の低下を招き、結果としてスループットの低下を引き起こしてしまう。そこで、本検討ではこの不必要な送信延期問題を解決するために、RTSパケット漏れ聞いた場合のNAV設定時間をCTSパケットを漏れ聞くに十分な時間に短縮し、CTSパケットが受信されない場合はそれ以上送信延期を行わないようにすることで、不必要な送信延期を回避する手法を検討し、計算機シミュレーションによりスループット性能を評価した。なお、正常にRTS/CTSハンドシェイクが成功した場合、すなわちCTSパケットを漏れ聞いた場合には再度NAVを更新することで、これまで通り、DATAパケットの送信を阻害しないように考慮した。今回検討を行った結果のNAV設定手法を図ア-24に示す。

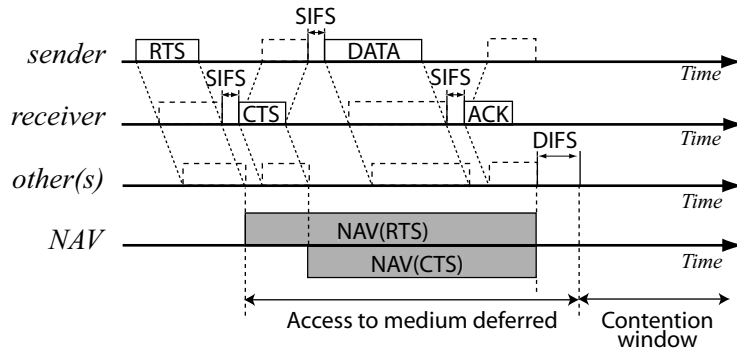


図 アー23 IEEE802.11DCF規格における送信制御手順

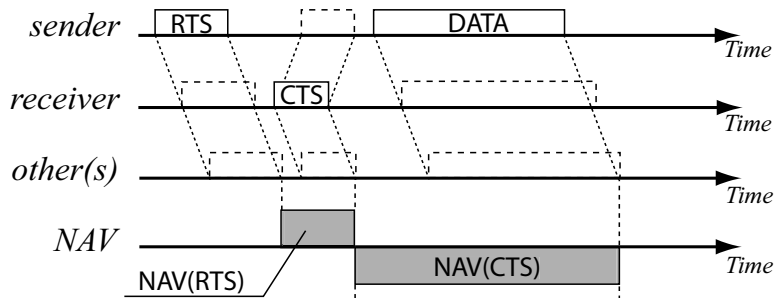


図 アー24 本検討によって提案するNAV設定手法

図アー25に本提案手法を用いた場合のスループット性能とIEEE802.11標準規格のスループット性能を計算機シミュレーションによって比較した場合の結果を示す。計算機シミュレーションでは、現在、広く普及しているIEEE802.11b準拠の無線LANカードを想定したパラメータを設定し、伝送レートとして、2Mbps、11Mbpsの2種類の結果を求めた。また、シミュレーション中で発生させたトラフィックとしては、UDPパケットを一定間隔ごとに各端末が送信するCBR(Constant Bit Rate)を採用し、パケットサイズとして、512byte、1024byteの2種類を採用した。

結果から、本提案手法はすべての組み合わせにおいてIEEE802.11標準規格よりも高いスループット性能となっていることがわかる。また、パケットサイズの影響としては、大きなパケットサイズの場合により向上効果が現れていることがわかる。これは、IEEE802.11標準規格における不必要な送信延期区間がDATAパケットの送信時間に依存するためである。また、伝送レートの影響としては、11Mbpsよりも低い伝送レートである2Mbpsの場合により大きな向上効果があらわれている。これは、もともと不必要な送信延期問題がRTS/CTSハンドシェイクの失敗によって発生することが原因となっている。RTS/CTSハンドシェイクが完了するまでの時間は、ネットワーク中のすべての端末が新たな送信を開始することが可能な状態にある。RTS/CTSハンドシェイク時間が長い場合、すなわち低伝送レートを用いた場合には、高伝送レートを用いた場合に比べRTS/CTSハンドシェイクの失敗が起こる確率が高くなる。従って、不必要な送信延期問題が発生しやすい状況となる。結果として、本提案手法の適応効果がより多く現れ、スループット

性能向上に寄与したものと考えられる。

なお、『電波無線LAN規格における送信制御機構の改善とその評価』に関する研究成果は、情報処理学会マルチメディア通信と分散処理研究会(DPS研究会)、ならびに、IEEE Wireless Communication and Networking Conference 2004(IEEE WCNC2004)において論文発表を行っている。

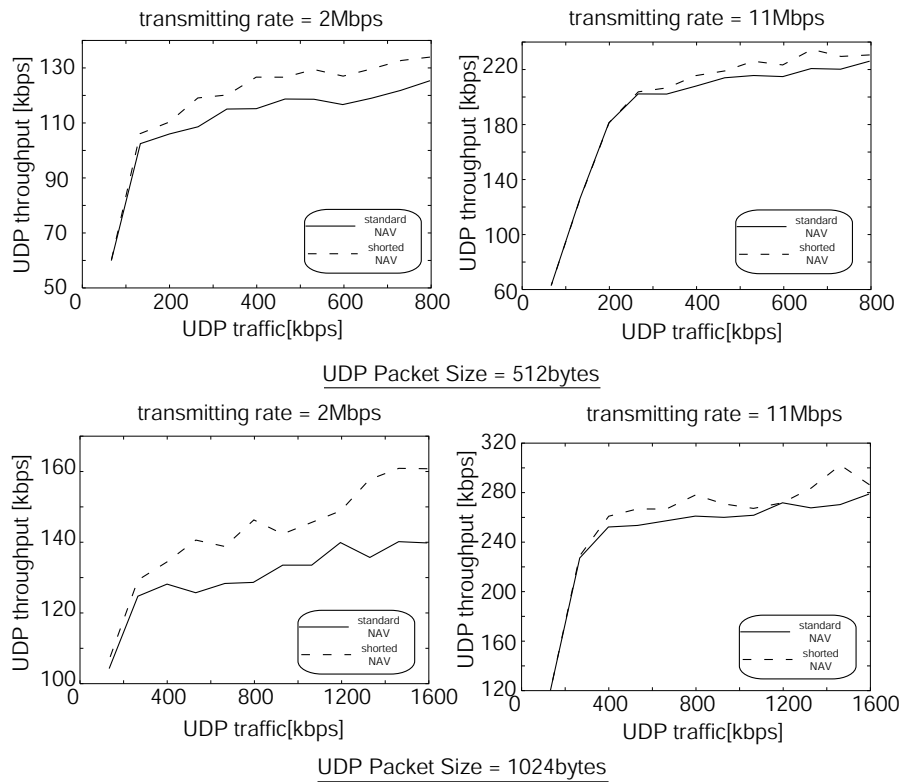


図 アー25 計算機シミュレーション結果によるNAV設定改善の効果

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

RoF (Radio on Fiber) 技術を光無線通信システムに適用した Radio over Infrared Wireless (RoIRW)、 Radio on Free Space Optics (RoFSO) システムは、光無線搬送波に電波を副搬送波として閉じ込めて無線信号を伝送する方式であり、機器への影響から電波を使用できない病院や研究施設、多くの無線システムが混在し、干渉により電波では通信が困難な場所での無線端末の使用を可能とする。RoF リンクとRoIRWをカスケードに接続すれば様々な電波周波数帯無線波を光に閉じこめたまま互いに干渉することなくエンド端末まで送り届けることができるわけである。また、RoFリンク、あるいはRoIRWにより複数の光無線基地局への様々な形式の信号転送も容易となりマクロダイバーシチ効果が期待できる。今年度は、光無線系については、光SCM変調によってRF帯無線波が光搬送波強度に重畳される副搬送波光強度無線変調方式を対象にして、複数の光無線基地局からマクロダイバーシチ受信するシステムを提案し、光無線搬送波内でのRF帯副搬送波のダイバーシチ受信効果についての検討を行った。RoFリンクを用いた遍在アンテナシステムの下りリンクでは、制御局 (Central Control Station : CCS) でのプレ重み付けにより、複数端末への同一周波数信号の空間多重 (Space Division Multiplexing: SDM) を実現できる。これをRoIRWシステムに適用し、同一チャネル副搬送波を用いた空間多重方式を実現するRoIRW遍在アンテナシステムを提案し、計算機シミュレーションによってダウンリンクにおける信号品質の評価を行った。

図ア-26にRoIRW遍在アンテナシステムの構成を示す。本システムでは、CCSでプレ重み付けされた無線信号は、光SCM変調により光強度に変換された後、RoFリンクを介して複数の無線基地局に転送され、各から無指向直射方式で各無線端末まで伝送される。無線基地局から端末までは無指向直射方式を用いる場合、マルチパスは発生しないので、プレ重み付けに使用する伝搬路行列 H は各端末の位置情報のみから算出でき、CCSはその逆行列 H^{-1} を用いて送信信号にプレ重み付けする。各無線基地局では、RoFリンクの光信号をそのまま空間に光無線信号として放射する。各受信端末では各基地局から送信された複数の光無線信号を受信し、O/E変換してRF信号に変換する。このとき各受信端末では所望無線信号に対する干渉波は抑圧されており、希望信号のみを受信することができる。

提案方式の有効性をシミュレーションにより示す。比較対象として、基地局からの送信光ビームを絞り、受信スポットを分けることで空間多重する方式を考える。シミュレーションに用いたRF帯無線信号の諸元を表ア-2に、RoIWRリンクの諸元を表ア-3に示す。図ア-27、28において(a)が、従来の受信スポット空間多重方式、(b)が提案するRoIRW遍在アンテナシステムである。ここで、無線基地局数と端末数は4つとし、受信端末がサービスエリアに分散する場合(図ア-27)と集中する場合(図ア-28)についてシミュレーションを行った。図中のモードは、IEEE802.11aで規定されている変調形式(モード)を表す。図ア-27から分かるように狭光ビームで各基地局が受信エリアを担当する従来の空間多重方式では、高モード、すなわち高変調多値数で誤り訂正能力は低い場合、受信エリアのオーバーラップによる干渉によりビット誤り率に残留誤りに起因した飽和が見られる。これに対して、提案方式では、そのような干渉による飽和は確認されない。また、図ア-28から分かるように端末がある場所に集中した場合は、提案方式の改善効果は高く、従来の方式では干

渉により通信不可能であっても、良好なBER特性が得られ、空間多重が実現できている。次に図ア-29に、4つの端末がサービスエリア内に一様分布した場合の、受信光電力に対する周波数利用効率を示す。同図より、低い送信光電力の場合、提案方式は広ビームを使用するため受信電力が低く雑音の影響により従来方式に比べ周波数の利用効率が劣化するが、高い送信光電力が得られる場合、従来方式が干渉により周波数利用効率が飽和するのに対して、高い周波数利用効率を得られ、実効伝送速度の改善が期待できる。例えば光電力が24[dBm]のとき、およそ2[bps/Hz]の改善が得られていることが分かる。また、従来方式ではシャドウイングに対する耐性が弱いのにに対し、提案方式では、複数ある無線基地局のうち、1つでも無線基地局が見通すことができれば通信が可能であり、シャドウイングに対する耐性も兼ね備えている。その定量的な評価を今後行って行く予定である。

表 アー2 RF帯無線信号の諸元

利用周波数帯域	5.2GHz帯
変調方式	BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM
誤り訂正	畳み込み符号, 拘束長 7
符号化率	1/2, 2/3, 3/4
利用帯域幅	16.6MHz

表 アー3 RoIWRリンクの諸元

伝送方式	無指向直射方式
光源半値角	45.0(deg)
受信機視野角	75.0(deg)
背景光電力	-30.0(dBm)
PD量子効率	0.53(A/W)
絶対温度	295(K)

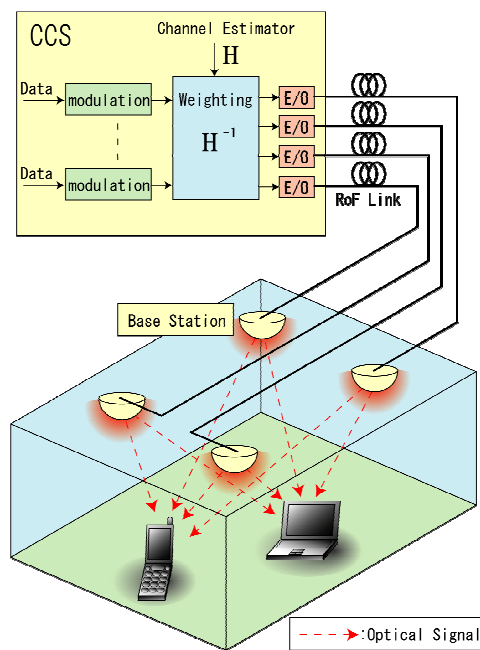
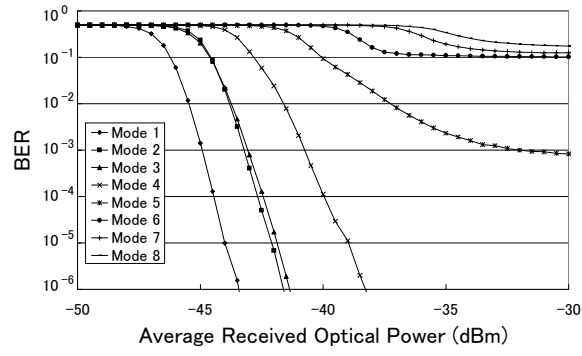
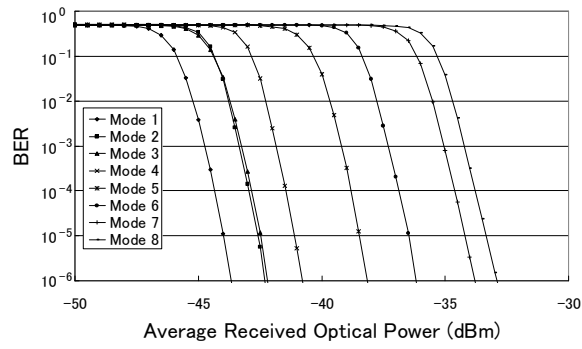


図 アー26 RoIRW遍在アンテナシステムの構成

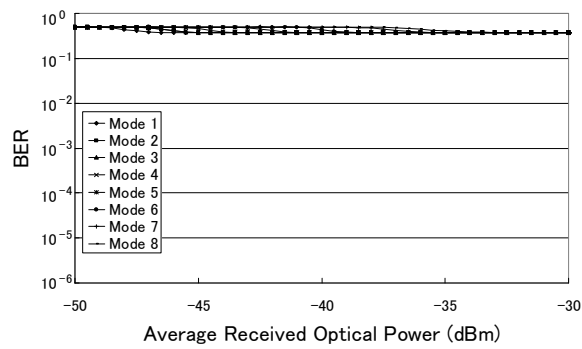


(a) 従来の受信スポット空間多重方式

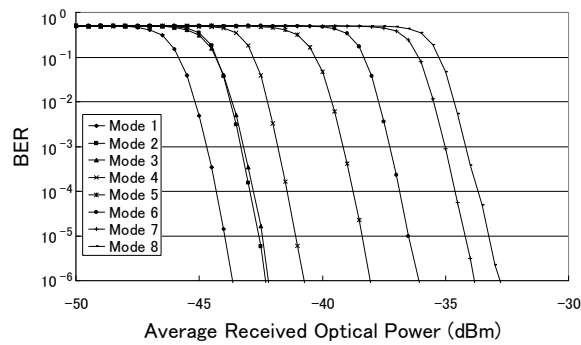


(b) RoIRW遍在アンテナシステム

図 アー27 平均受信光電力と平均BERの関係 (受信端末がサービスエリアに分散する場合)



(a) 従来の受信スポット空間多重方式



(b) RoIRW遍在アンテナシステム

図 アー28 平均受信光電力と平均BER (Bit Error Rate) の関係 (受信端末がサービスエリアに集中する場合)

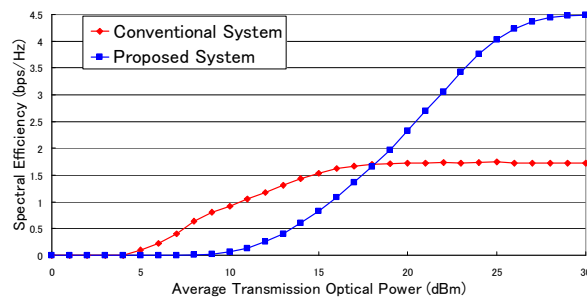


図 アー29 平均送信光電力に対する周波数利用効率 (4つの端末がサービスエリア内に一様分布した場合)

2) 無線信号多重化方式ならびにルーティング技術

本テーマでは、RoIRW ネットワークでの複数の無線信号伝送に必要となる 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比について理論解析と実験による測定を行ってきた。

さて本方式では、チップレートを維持したまま帯域標本化周期内の拡散符号長を時間領域で拡大して処理利得を増大し、信号対干渉雑音電力比を改善することが原理的に可能である。しかしそのためには無線帯域内に干渉雑音として残留するスペクトルエリアシング歪を除去する必要がある。そこで、本検討では、受信機側に特別

な信号処理を施すことなくこのエリアシング歪を抑圧可能な拡散符号の新しい構成法を提案し、実験的にその効果を確認した。

直接光スイッチング(DOS:Direct Optical Switching)CDMA 方式では、1 拡散符号系列内の各光パルスに重畳されている無線信号は、受信機において光検波出力が無線帯域フィルタを通過するときに補間によって再生される。ここで拡散符号長を無線信号波の所要帯域で決まる帯域標本化周期以上に拡大すると、処理利得が改善されるものの無線信号帯域内に両隣に存在するスペクトルエリアシング歪が現れ、自己干渉雑音となって CI 比を劣化させる。これらのスペクトルエリアシング歪の位相特性は、拡散符号系列内の各光パルスの時間位置によって決まることに着目して、エリアシング歪を抑圧できる符号系列を提案した。これは、とろじスティック写像から得られる符号系列であり、その歪抑圧効果を実験により確認した。図ア-30 に受信光電力対シンボル誤り率(SER)特性の実験結果を示す。無線信号として $\pi/4$ シフト DQPSK 方式を用いて PHS 波(無線周波数:1.9[GHz]、帯域幅:300[KHz])を送り、拡散符号周波数 75KHz、拡散符号長 63 の用いた場合の結果である。比較のために M 系列を使用した場合の SER 特性も併せて示している。M 系列を使用すると、受信光電力が大きくなるとスペクトルエリアシング歪に支配され、SER 特性にフロアが生じるのに対して、提案符号を用いればそのようなフロアは生じず、歪電力を抑圧されることを実験的に確認することができた。

ところで直接光スイッチング(DOS:Direct Optical Switching)CDMA 方式には、受信機でのチップ同期実現が課題として残されている。すなわち、多重化された受信信号に含まれる希望信号の拡散符号のチップ同期を抽出して、受信機関連器に使用される光スイッチを駆動する必要がある、これは装置複雑性を増加させる問題となる。そこで、同じ時間方向への拡散方式であるが、受信側の符号チップ同期を必要としない光タップ遅延線を用いて送信側での拡散と受信側での逆拡散を行う RoF 光 CDMA 方式を新たに提案した。本方式でも、相互相関の低い符号系列を使用することが接続基地局数を改善するには必要であり、M 系列などバイポーラ符号を使用することが望まれる。そこで、図ア-31 に示すように受信側の逆拡散器として、希望信号系列の 1、0 に一致した符号相関器とその反転符号に一致した符号相関器の並列構成の逆拡散器を提案した。これにより、希望信号と干渉信号を受信したとき、上ブランチだけの使用では大きく残留してしまう干渉信号を下ブランチからの干渉信号と相殺させることができ、干渉信号電力を抑圧することが可能となる。この 2 ブランチ出力の合成方法には、バランス型光検波器を使用して光検波後の RF 帯で減算する方法と、上下ブランチ出力に光移相器により極性を反転させ、3[dB]カップラで合成し、単一光検波器で受光するという光領域での減算を行う方法の 2 つが考えられる。

この 2 つの合成方式について光分岐損を補償するために使用する光増幅器の自然放出光雑音を考慮して、光検波後の再生された無線信号の搬送波電力対干渉+雑音電力比(CIN 比)に関する理論解析を行った。図ア-32 に符号長対 CI 比の特性を示す。RF 帯で減算するバランス型 PD に比べ、光領域で干渉波を抑圧するため光検波後の RF 帯での干渉電力抑圧度が高いシングル PD の方が、符号長が長い領域で約 3[dB]の改善効果があることが分かった。また、光増幅器利得対 CIN 比の数値例を図ア-33 に示す。同図では、符号長 L が 15 と 63 の場合を示している。光増幅器の大きい領域では、符号長 L が 15 の場合、CI 比が CIN 比を決定するため、シングル PD 型の方が良好な CIN 比を示しているが、L が 63 の場合、自然放出光と信号光間のビート雑音が CIN 比を支配するため、雑音除去能力のあるバランス型 PD の方が良好な CIN 比

を示すことが分かった。今後、所要接続基地局数、所要 CIN 比を達成する最適符号長と光増幅器の利得について検討する予定である。

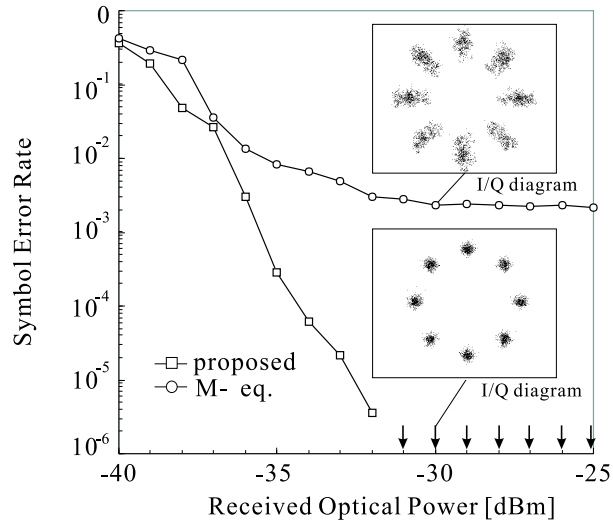


図 アー30 受信光電力対シンボル誤り率(SER)特性の実験結果

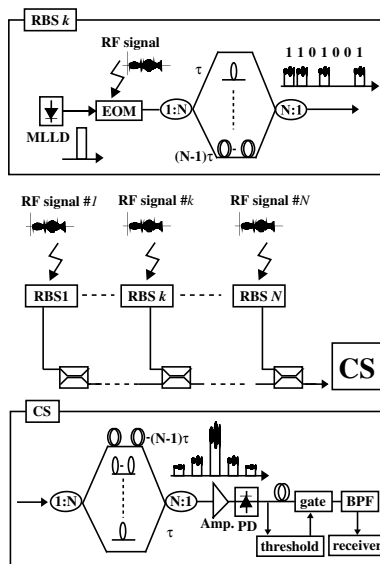


図 アー31 符号拡散器と逆拡散器の構成

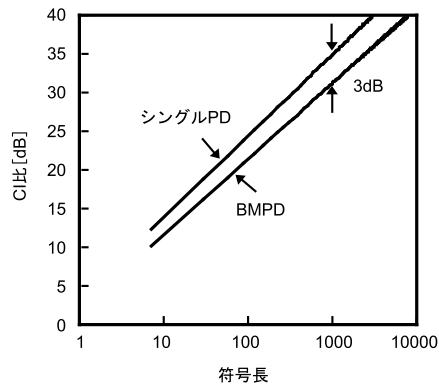


図 アー32 符号長対 CI 比

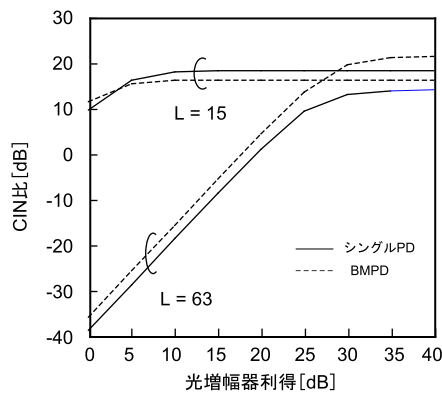


図 アー33 光増幅器利得対 CIN 比

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きた。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CIN比の関係について理論解析により評価した。以下に本年度の検討結果を示す。

RoIWR、RoFリンクで用いられるSCM強度変調/直接検波方式ではLDでのクリッピングや非線形性により相互変調歪が発生し、ダイナミックレンジが低下する。そこでクリッピング歪に強く広帯域利得である光周波数変調方式の適用を検討してきた。しかし、この方式においてもLDと光周波数弁別器の非線形性により相互変調歪が発生し、伝送される無線信号の品質劣化の要因となる。昨年度までに検討を行ってきた

補償方式では、3次相互変調歪を最小に抑圧すると同時に、高次相互変調歪を最小に抑圧できないことが課題として残されていた。そこで本年度は、高次相互変調歪も同時に抑圧する手法を提案し、受信信号品質が改善されることを理論的に明らかにする。

図ア-34に提案する非線形補償受信機の構成を示す。MZI型光周波数弁別器の入力端に付加されたチャープコントローラで光FM信号のチャープ変化をコントロールした後、MZI型光周波数弁別器で光強度変調信号に変換し、バランスドミキシング検波により無線信号に変換する。検波された無線信号を出力用とモニタリング用の2つに分岐させ、空き帯域の相互変調歪成分を検出し、それを最小に抑圧するようにチャープコントローラのチャープ特性をフィードバック制御する。図ア-35にチャープコントローラの構成を示す。これはグレーティング素子と光周波数シフタで構成される。グレーティング素子の波長分散特性を利用し、一意に対応する空間に光FM信号を分散させ、光周波数シフタで周波数シフトさせる。周波数シフトされた信号はスラブ導波路で集光され、チャープコントロールされた光FM信号が出力される。

本研究では3次および5次相互変調歪まで抑圧するように設計されたチャープコントローラを用いる非線形補償受信機について受信信号品質について理論解析を行った。図ア-36に正規化最大周波数偏移量とCD(Carrier power to distortion power ratio)比の関係、図ア-37に正規化最大周波数偏移量とCND(Carrier power to noise plus distortion power ratio)の関係を示す。また同図には、比較のため非線形補償を施さない場合、及び従来の位相シフト非線形補償方式の特性も併せて示す。表ア-4に計算で用いたパラメータを示す。

図ア-36より、正規化最大周波数偏移量が0.2のとき、CD比が位相シフト非線形補償方式よりも約19[dB]改善される。さらに非線形補償しない場合に比べCD比が約35[dB]改善されている。これは位相シフト制御では3次と5次の合成電力が最小に抑圧されるが、提案方式では3次と5次をそれぞれ独立に抑圧できるためである。

図ア-37より、提案する非線形補償受信機を用いた場合のCND比が他方式に比べ最も良好な特性が得られることが分かる。ここで、相互変調歪電力が雑音電力以下となる正規化最大周波数偏移量レンジをSFMDR(Suprious Free Maximum Frequency Deviation Range)と定義する。これは、入力RF無線信号の振幅に相当するので、本光FMリンクのSFDRに相当する。提案方式を用いるとSFMDRは位相シフト非線形補償方式と比べ3.5[dB]改善され、さらに非線形補償しない場合に比べ6[dB]改善される。すなわち提案非線形補償受信機を用いることで入力無線信号の振幅が大きい場合でも非線形歪の発生を低減でき、ダイナミックレンジが改善されていることが分かる。今後は、チャープコントローラの周波数分解能など実現上の課題を考慮した評価を行っていく予定である。



図 アー34 非線形補償光FM受信機

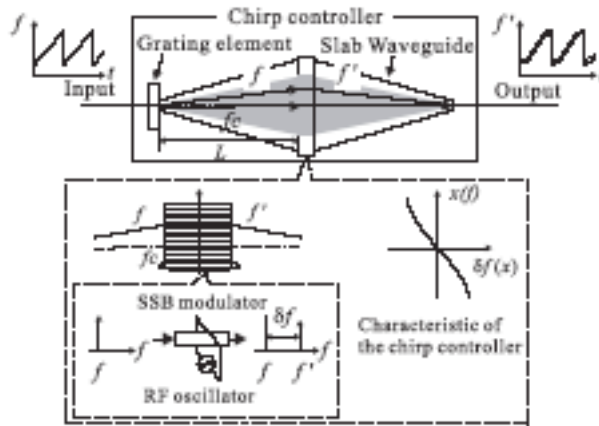


図 アー35 チャープコントローラの構成

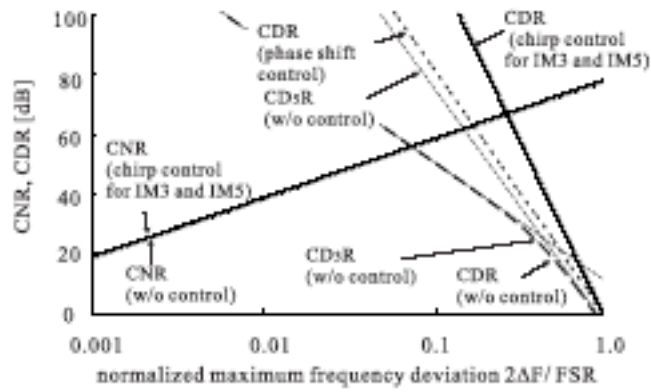


図 アー36 正規化最大周波数偏移量とCD比の関係

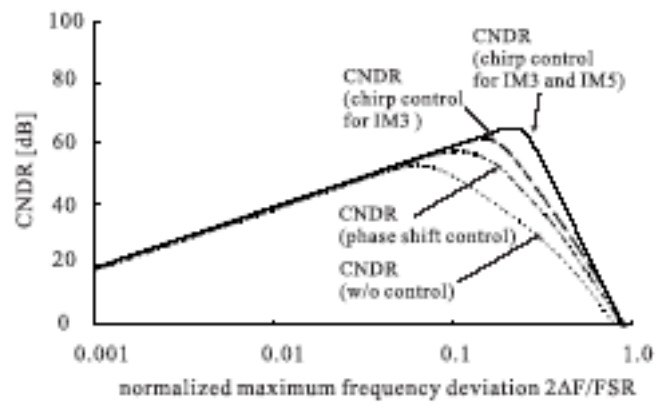


図 アー37 正規化最大周波数偏移量とCND比の関係

表アー4 数値計算に用いたパラメータ

光搬送波電力 [dBm]	-10
強度変調係数	0.01
変調効率 [MHz/mA]	72
2次非線形成分 [MHz/mA ²]	0.01
3次非線形成分 [MHz/mA ³]	0.001

5-2 【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

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15年度前半は、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15年度前半は、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。

5-2-2 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、IP層にIPIPトンネルデバイスを追加する手法を提案し、既存のアプリケーションソフトウェアに手を加えることなくシームレス通信システムが実現できることを検証した。本手法の有効性確認として、15年度の前半は、電波無線内におけるサブネット間のローミング通信の検証を行い、既製のIEEE802.11bシステムを用いてローミング時にも情報がシームレス受信できることと、ローミング時の切り替え時間などの情報を入手した。後半は、電波無線と光無線とのローミング通信システムを構築し、電波無線と光無線間のローミング時にも情報がシームレス受信できることを確認した。また、平成16年度の委託研究課題である、本シームレス通信プロトコルのIPv6へ対応を実現するために、現状分析と実現手法の考察を行った。

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、上記シームレス通信検証システムを利用して、ローミング時のストリーミング情報送受信状況を確認した。その結果を基に、シームレス通信システムに最適なファイル転送方式の検討を行った。

5-2-3 研究の詳細

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、IP層にIPIPトンネルデバイスを追加する手法を提案し、既存のアプリケーションソフトウェアに手を加えることなくシームレス通信システムが実現できることを検証した。本手法の有効性確認として、15年度の前半は、電波無線内におけるサブネット間のローミング通信の検証を行い、既製のIEEE802.11bシステムを用いてローミング時にも情報がシームレス受信できることと、ローミング時の切り替え時間などの情報を入手した。後半は、電波無線と光無線とのローミング通信システムを構築し、電波無線と光無線間のローミング時にも情報がシームレス受信できることを確認した。また、平成16年度の委託研究課題である、本シームレス通信プロトコルのIPv6へ対応を実現するために、現状分析と実現手法の考察を行った。

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、上記シームレス通信検証システムを利用して、ローミング時のストリーミング情報送受信状況を確認した。その結果を基に、シームレス通信システムに最適な映像圧縮方式の検討を行った。

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

1) 経緯

本委託テーマでは、電波無線を媒体とした電波無線インターフェースを二つもしくは光無線を媒体とした光無線インターフェースと電波無線インターフェースを装備したクライアント端末における異なるインターフェース間のスムーズなローミングの実現を目的としている。ローミングは、IP技術を用いて実現し、これを手動で実現できることを平成14年後半に確認した。平成15年前半は、これを自動化する第一次試作を行い、性能を評価した。

平成15年後半は、IEEE802.11b/11a/11gに対応したローミング検討を行うと共に、IPv6実験環境構築に向けた動向調査を行った。

2) シームレス無線通信プロトコル第一次試作

平成15年10月までに手順を一連の動作とする自動切換えソフトウェア及び同仕組みの有用性を検証するためのソフトウェア一次試作を終了したので報告する。検証したソフトウェアは、

- ・電波無線内におけるサブネット間のローミング通信システム
- ・電波無線と光無線とのローミング通信システム

で利用可能であり、各々の評価状況を次項以降で詳細に述べる。

a) シームレスデーモン

本項では基盤となるソフトウェア「シームレスデーモン」の特徴を説明する。シームレスデーモンは、アプリケーションのバックグラウンドで動作するユーザモー

ドプログラムとして構成される。その機能は、電波無線や光無線インターフェースのリンク状況を監視し、光無線インターフェースのリンクの切断を検出した場合光無線インターフェースから電波無線インターフェースへ自動的に切り替えを行う。その後も光無線インターフェースの監視を継続し、光無線インターフェースのリンクが再接続されたことを検出した場合光無線インターフェースへの切り替えを実行する。

切り替え機構は、IP in IPトンネルデバイスを操作し、ルーティングテーブルを変更することで実現する。シームレスデーモンが操作するTCP/IPプロトコルスタックをレイヤごとに整理し、図イー1に図示する。

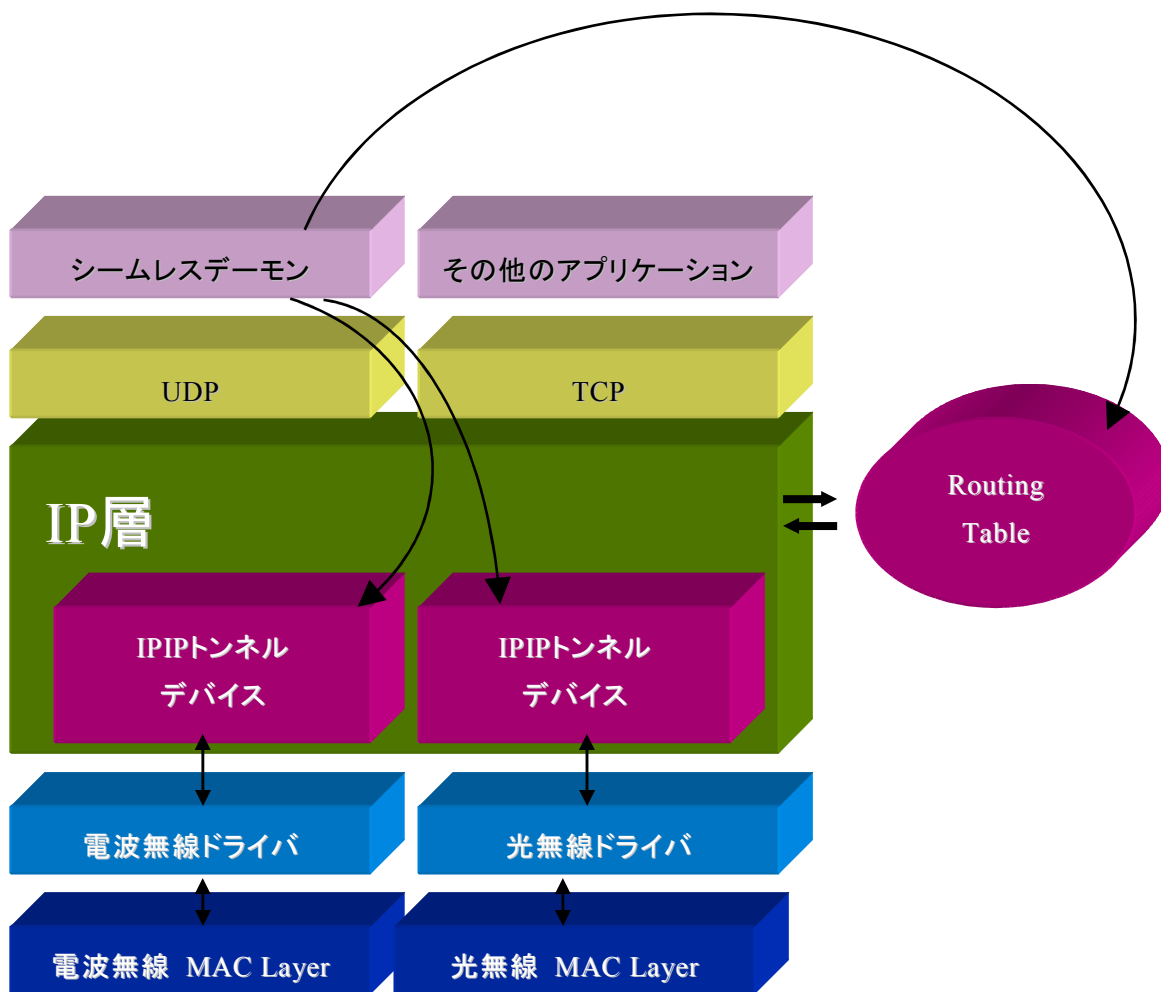


図 イー1 ソフトウェア・スタック構成

b) 電波無線内ローミング・システム構成

図イー2に示す実験環境の様に、ルータにより異なる4つのサブネットに区切り、外部ネットワークを想定した各サブネット上に3台のIEEE802.11bアクセスポイント（AP）を接続する。また、家庭内環境を想定したサブネットにはServerとHome Agent機能を有するRouterを設置する。本報告のシームレスデーモンなる切り替えソフトウェアを実装したClientを用いて、Serverに対しICMP：Pingコマンドを継続して送信しながら、異なるサブネットに接続されたAP間の切り替え実験を行った。

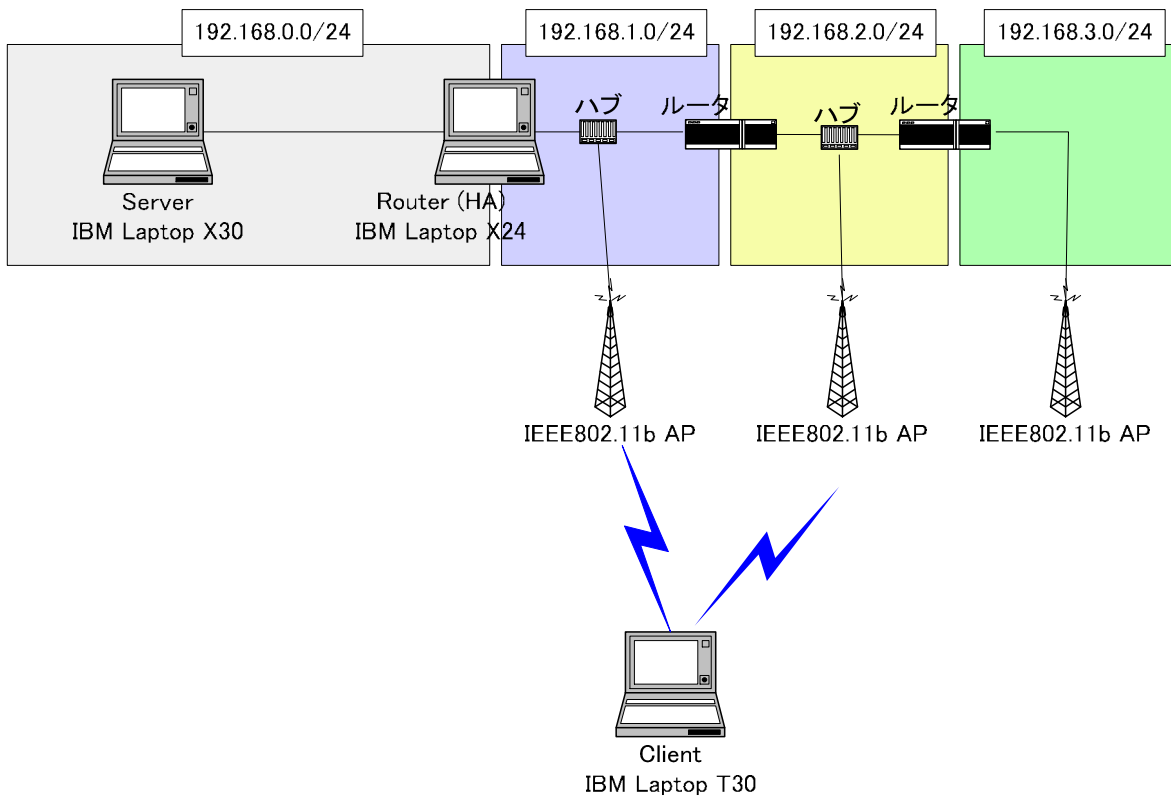


図 イー2 電波無線内実験環境

表イー1は、図イー2中の各機器のIPアドレスや実装したサービスの詳細である。Client以外の機器は各サブネット内で固定IPアドレスとし、更にRouterにはDHCPサーバー・サービスを実装した。Clientは、VIPアドレス：192.168.0.22をホームアドレスとして持つが、外部ネットワークにおいてはDHCPクライアントを起動しIPアドレスを自動取得する。

表 イー1 機器詳細

機器名	IP アドレス	サービス	詳細
Server	192.168.0.1	NFS	*NFSによりMPEG2（3Mbps相当）もしくはMPEG1動画を提供可 *IBM Laptop X30
Router (HA)	192.168.0.240 192.168.1.240	DHCP	*Mobile IPv4 Home Agent機能搭載（ヘルシンキ大学試作） *IBM Laptop X24
Client	*VIP192.168.0.2 2 *DHCPにより取得	*DHCP Client *Seamless SW	*本報告のソフトウェア搭載 *IBM Laptop T30
Routers	192.168.1.254 192.168.2.254	*Static Routing *DHCP	Plat' Home社製Open Block S
	192.168.2.240 192.168.3.240	*Static Routing *DHCP	Plat' Home社製Open Block S
Hub	-	Switching	*PCI FX05P2
IEEE802 .11b AP	192.168.1.10 192.168.2.10 192.168.3.10	*Wireless AP	*京セラ社製KY-BR-WL100 *Intel WDAP 5000

Server、Router（HA）、Clientに実装したOS：Linux Kernel 2.4.18（RedHat8.0）



図 イー3 端末実装状況

2枚のIEEE802.11b対応PCカードを実装した実験端末を図イー3に示す。PCカードは電波無線制御を実現するAiroドライバに対応するためCisco社製：PCM-352を使用している。

c) 実験内容

前述の端末に搭載されたNICを切り替えた際の動作状況を観測した。

- ① Client から Server に対し 1[sec]に 1 度、Ping コマンドを継続して送信する
- ② Client は電波無線強度の一番強い AP を検出したならば、常に最高値を示す AP を利用し通信する様、NIC の切り替えを行う
- ③ Client の移動や AP の電源 ON/OFF により電波無線強度に変化を与える
- ④ 通信用 NIC を切り替えた際、Ping コマンドの送受信状況を確認する

d) 実験結果

図イー2に示したシステム構成において、NIC切り替えによるサブネットマスク間のローミングを確認した。また、500回のPingコマンドを送信した際の、応答を受信するまでのRTT (Round Trip Time) をPingコマンド毎に集計した実験結果を表イー2にまとめる。

表 イー2 電波無線環境下におけるローミング実験結果

回数	RTT (Round Trip Time) [msec]			パケット損失
	Min	Average	Max	
1回目	2.3	24.8	554.7	1
2回目	2.3	25.9	543.2	0
3回目	2.3	23.2	745.9	0
4回目	2.3	47.8	542.1	1
5回目	2.3	35.3	530.2	0
平均	2.3	31.4	583.22	2/2500

表イー2において、Pingコマンドの応答受信までのRTTはMinで2.3[msec]であるが、この数値はNICの切り替えが行われず、かつRouter (HA) に最短距離にあるAPを使用しServerと通信を行ったケースと考察でき、切り替えに要するローミング時間には直接影響を受けなかった数値と予想する。

一方、パケット損失は2/2500回の頻度で検出された。これは、切り替え時にUDPパケットであるPingコマンドがServerへ到達しなかったか、Pingコマンドを送信した直後にNICを切り替えてしまい受信不可能に陥った等の原因が予想される。

そのため、今後のUDPパケットを利用する通信システムでは細心の注意が必要である。

また、切り替え時間に関しては、RTTの最大値は約750[msec]であったため、ソフトウェア上での切り替え時間は従来Mobile IPよりも高速に行えていると判断できる。

e) 課題

実験結果による課題を以下に列挙する。

- ・UDP パケットの損失があるため、ストリーミングアプリケーションではパケット損失を吸収する手法
- ・外部ネットワークの処理時間（Router、AP など）に依存し、切り替え時間も影響を受けるため、外部ネットワークを考慮した時間測定等の実験
- ・IEEE802.11b 2枚の実装はコスト高であるため、コスト削減手法の検討

3) 電波無線と光無線とのローミング

前項で報告した電波無線内のローミング実験の手法を踏襲し、一方の電波無線インターフェースを光無線インターフェースに置き換え、電波無線と光無線とのローミングの実験を行った。この結果について報告する。

a) 概要

前項で述べた電波無線内におけるシステムと本システムの違いは、前者は切り替えの際、一時的に2つのインターフェースをアクティブにし切り替え処理を行った後、直前に使用したインターフェースを切り離す処理であるのに対し、後者は光無線から電波無線に切り替える際は2つのインターフェースともオフラインにする必要があることである。これは電波無線の場合、電波強度の強弱が連続的に変化することを期待できるのに対して、光無線の場合はオン/オフのどちらかの状態しかなく、非連続的に変化することに起因する。本実験は光の不連続性がサービスにもたらす影響を解明することを目的とした。

図イー4に本実験に用いたシステム構成を示す。ここではソフトウェア構成を簡略化するため、使用する機器の構成を最小のものとした。また光無線インターフェースおよび光無線アクセスポイントは、実験用の簡略的なものを作成し使用した光無線アクセスポイントの特徴を表イー3に示す。

表 イー3 光無線部仕様

	光無線部仕様
データ転送速度	125[Mbps]
インターフェース	100Base-Tx 100Mbps対応
通信距離	約30[cm]

光無線部とPCおよびHUBと接続するインターフェースはIEEE802.3互換であるため、PC-HUB間の接続は、有線接続と等価であり、前項で述べた切り替え手順をほぼそのままの状態で使用することが可能である。

図イー4において、クライアントPCは光無線及び電波無線を媒体とするNICを1つずつ装備しており、どちらか一方のインターフェースを用いてサーバと通信を行う。

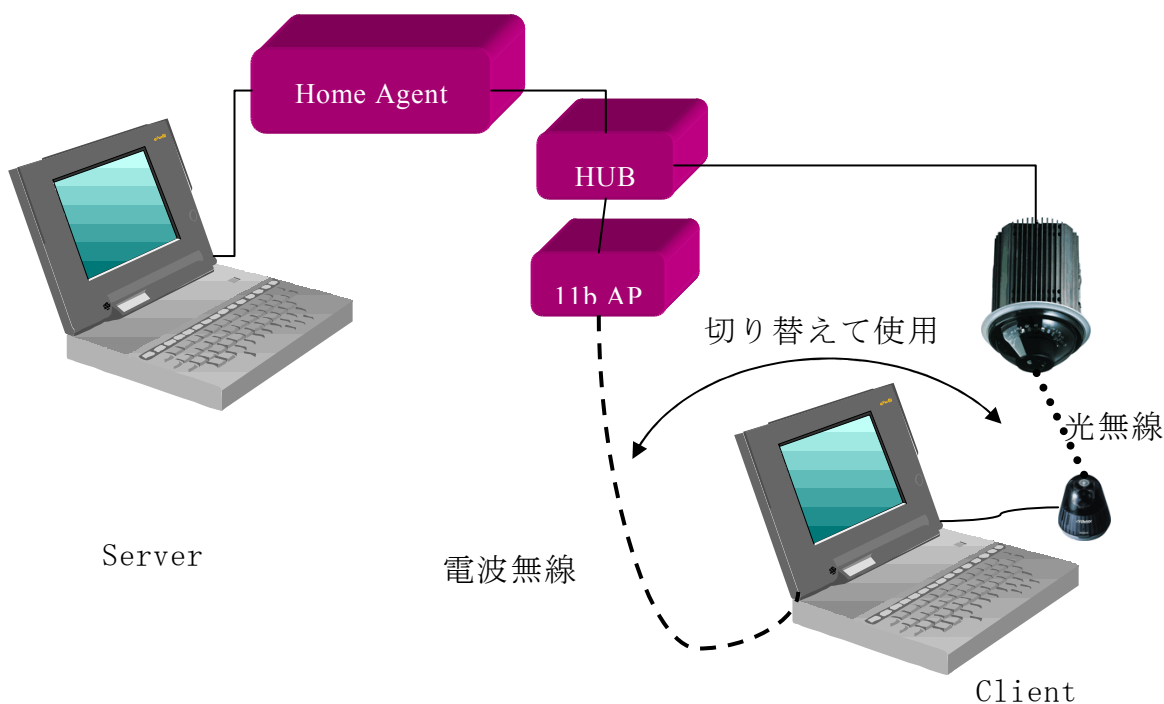


図 イー4 シサクシステムコウセイガイヨウ

b) 実験内容

図イー4の接続構成において、クライアントPCのNICを切り替えた場合の挙動をアプリケーションの動作状況から観察する実験を行った。

- FTP クライアント
- ストリーミングアプリケーション
- Gnome Meeting (ビデオ会議アプリケーション)

上記のそれぞれを実行中に光無線から電波無線にインターフェースを切り替え、アプリケーションが示す動作状況を観察する。

c) 実験結果

それぞれの場合の動作結果について述べる。

- FTP：光無線に切り替えたときから転送レートが上昇し、光無線の広い帯域を生かしていることが伺えた
- ストリーミングアプリケーション：基本的な動作を確認したが、帯域の変化に追従不可能な場合があった。追従した場合でも応答速度はきわめて遅い
- Gnome Meeting (ビデオ会議アプリケーション)：切り替え時に数[sec]程度映像が停止した

これらの実験結果から、FTP、HTTP等のTCPプロトコルを用いたデータ転送用プロトコルを用いたサービスであれば、問題なく動作することが判明した。

しかし、リアルタイム性を要するサービスは切り替え後もサービス継続は可能であるが、伝送帯域の変化には追従せず、切り替え前と同等のサービスを提供し続けることがわかった。これは光無線の伝送帯域を想定したサービスでは電波に切り替わった後、帯域が十分に確保できず受信側でフレーム落ちや遅延が発生することを、逆に電波を想定したサービスでは光無線に切り替わったとき、広い帯域を十分に生かしきれないことを意味する。

また、サーバから音声、映像データをクライアントに向けて発信するストリーミングサービスでは、ユーザが好みの帯域幅を持つデータ品質を選択する機能を提供する場合がある。この場合帯域の変化に追従しサービス品質が変化するが、帯域測定時間、クライアント側で映像が途切れないよう十分に(10[sec]程度)バッファリングを行うなどの理由から帯域変更への追従速度はきわめて遅い。

更にリアルタイム性が必要なサービスはIP電話などのコミュニケーション分野でのリアルタイムサービス等がある。リアルタイムサービスではクライアント側でのキャッシュ量を最小限に抑える必要があるため、切り替えの間に損失されるパケットの補償を行うことが困難である。

こうした背景からシームレス通信技術とサービスの親和性は次のように整理できる。

表 イー4 シームレス通信プロトコルとアプリケーションの親和性

サービス	親和性	対応
ファイル転送	◎	シームレスデーモンやアプリケーションは既存のままで問題なし
ストリーミング	○	バッファ量を抑え、NICの切り替えに速やかに反応するソフトウェアが必要
リアルタイム通話	△	短時間の通話の途切れをユーザが許容する必要がある

d) 課題・今後の予定

結論として、NIC切り替え手法を確立することによる通信アプリケーションの使用環境向上を確認できた。一部のアプリケーションではパケットロスの影響を受けるものの、本プロトコルはソフトウェアのみで構成されるため、極めて安価にシステム構築が可能なことは有利な点である。

実験の結果、リアルタイム性を有するサービスでの使用は光無線の広い帯域を生かしきれないか、もしくは電波無線利用時にパケットロスが発生することが判った。帯域の変化に追従するアプリケーションであれば解決できるが応答が遅い。応答の速い帯域追従型ソフトウェアが必要である。

4) マルチインターフェース (IEEE802.11b/11a/11g, 有線, 光無線) 対応検討

先述したシームレス通信ソフトウェアは、PHY層の通信媒体に依存せずIPv4網内で異なるサブネットローミングを可能とし、複数NICの中から最適NICを自動選択できる。第一次試作では、電波無線NICとしてIEEE802.11bを採用し評価したが、IEEE802.11b/11a/11g 対応NICを搭載すれば、容易にIEEE802.11トータル無線混在システムへの対応が可能と予想される為、評価システムを構築し動作検証を行った。

a) 単体ドライバ評価

Linux OS上で動作可能なIEEE802.11トータル無線ドライバソフトウェアにはAtheros社チップに対応した「Madwifi」と、Intersil社チップに対応した「PRISM54」がある。事前の調査結果からPRISMは要求条件を満足しなかった経緯がある為、今回はMadwifiを選択し実装した。Madwifiドライバ単体の評価結果を表イー5に纏める。

表 イー5 Madwifi単体評価結果

要求項目	項目概要	評価結果
アクセスポイントのサーチ	MACアドレス入手	○
	電波強度の入手	○
アクセスポイントの指定	APのMAC指定	○
	SSIDの設定	○

b) システム評価

図イー5に実験システム全体図を示す。図中のClientは、IEEE802.11b/11a/11g対応PCカード（IOデータ社製:WN-AG/CB2）を搭載し、Madwifiドライバと本シームレス通信ソフトウェアを実装した。

実験システムでは、192.168.1.0/24サブネット系にIEEE802.11b/11a/11g対応アクセスポイントを、192.168.2.0/24サブネット系にIEEE802.11b対応アクセスポイントを夫々設置した。更に、Clientの内蔵有線ポートを利用し192.168.3.0/24サブネット系では有線を使用することとした。有線を抜線/挿入し該サブネットから脱着する。その他は表イー1と同様のため説明は省略する。

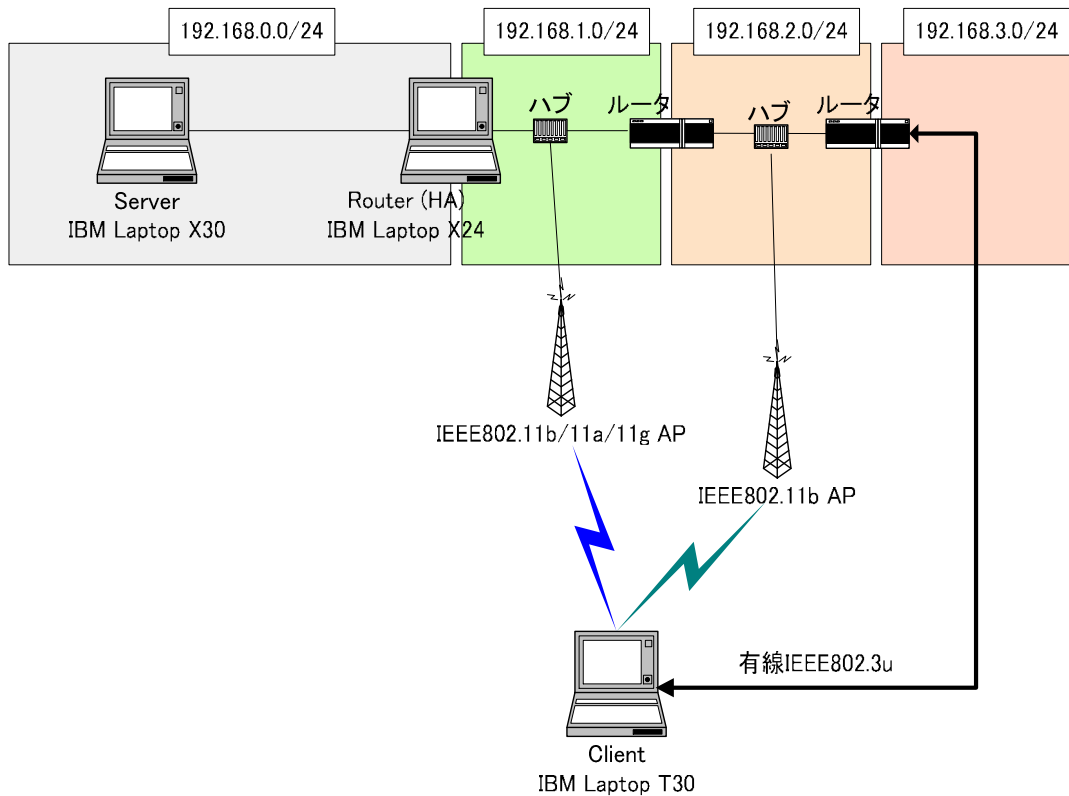


図 イー5 マルチインターフェース対応検討システム

Clientは、スループットの高いインターフェースを優先し使用することが望ましいと考え、本シームレス通信ソフトウェアが自動選択するフローを図イー6の様に変更した。

具体的には、NICの最大転送速度から下記の順に従い最適NICを選択する。

- ①光無線 NIC と有線 NIC の最大転送速度を 100Mbps
- ②IEEE802.11g/11a を 54Mbps
- ③IEEE802.11b を 11Mbps

図イー6において、100Mbps相当のNICのリンクが確立しているか確認し (S2)、リンクが確立していれば該NICを優先し使用するように制御する (S3)。100MbpsのNICが使用できない場合には、54Mbps相当の11a/11g アクセスポイントが検出できたか確認し (S4)、検出されていれば電波強度の最高値のアクセスポイントを選択する (S5-S6)。11a/11gのアクセスポイントがなければ、11bのアクセスポイントが検出できたか確認し (S7)、検出されていれば11bの最適なアクセスポイントを選択する (S8-S9)。

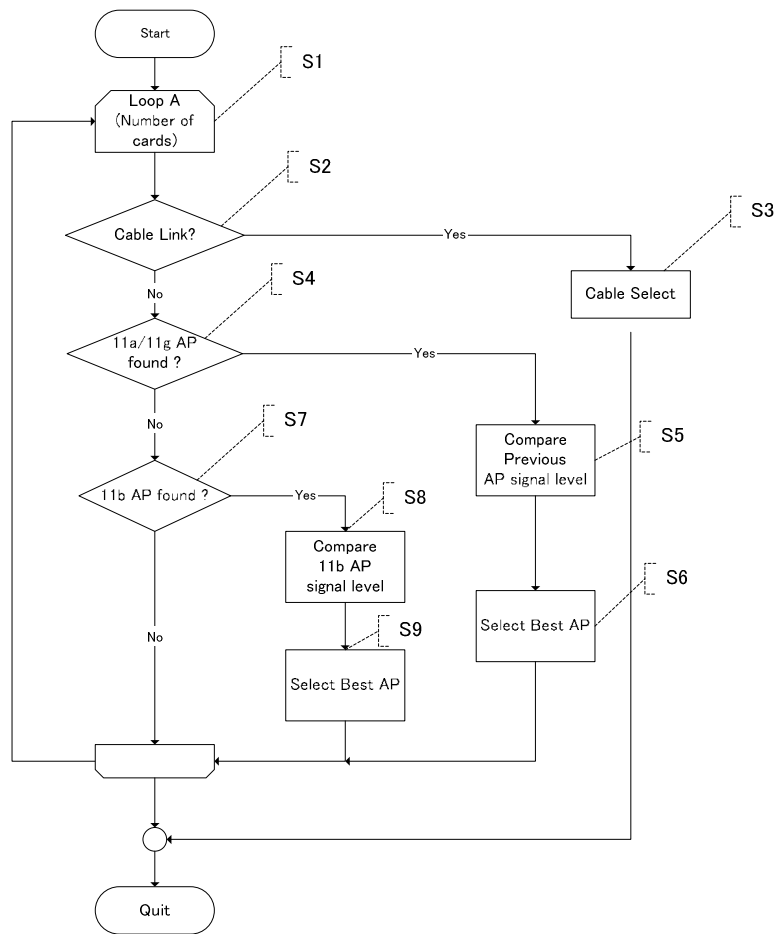


図 イー6 NIC自動選択フロー

c) 実験結果

図イー5の状態 ClientからServerへICMP:Pingパケットの送受信を行いながらサブネット間の移動を試みた。その結果、各種電波無線から有線へ、またその逆の切替動作は異なるサブネット間において可能であった。しかしながら、電波無線アクセスポイント間のシームレス切替に関しては、電波無線アクセスポイントが突然電源オフになった場合、検出までに最大60[sec]を費やしてしまい、この期間中はパケットロスが生じた。表イー6に実験結果をまとめる。

電波無線アクセスポイントの電源オフ検出に時間を要す原因は、Atheros社無線チップか或いはMadwifiドライバソフトウェアに起因している。今回はIOデータ社製無線NICによる評価のみであったが、他NICを利用し幅広く評価する必要がある。

表 イー6 実験結果

移動方向	実験結果
各種電波無線→有線	異なるサブネット間の移動後もPingパケット送受信が可能
有線→各種電波無線	同上
電波無線11b→ 電波無線 11b/11a/11g	電波無線11bアクセスポイントの電源オフ検出まで遅延があり、最大60[sec]のパケットロス発生
電波無線 11b/11a/11g→電波 無線11b	電波無線11b/11a/11gアクセスポイントの電源オフ検出まで遅延があり、最大60[sec]のパケットロス発生

d) まとめ

図イー7に、本シームレス通信ソフトウェアが、PHY/データリンク/デバイスドライバに対し要求するシグナル定義を通信媒体毎に纏める。

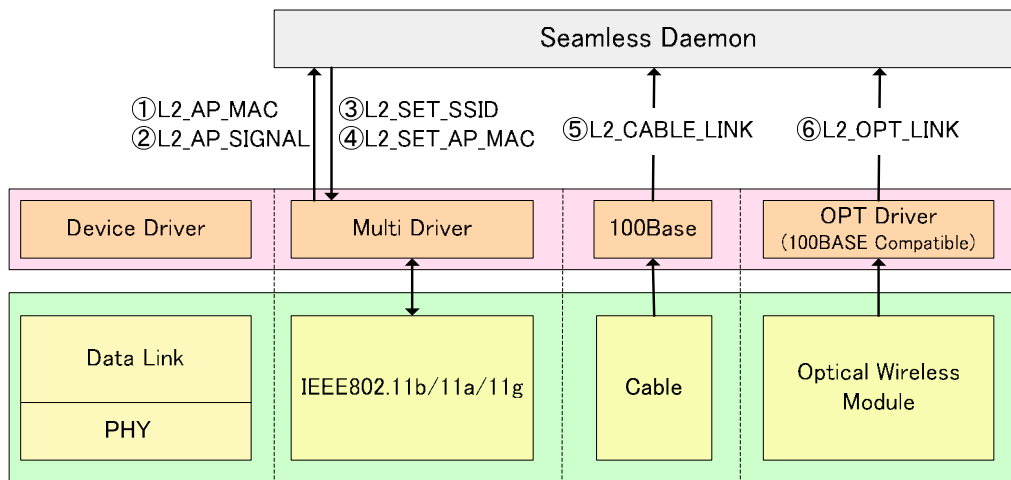


図 イー7 シグナル要求定義

1) IEEE802.11b/11a/11g

- ①L2_AP_MAC : APのMACアドレスを入手できること
- ②L2_AP_SIGNAL : AP毎の電波無線強度が入手できること
- ③L2_SET_SSID : NICにSSIDを指定できること
- ④L2_SET_AP_MAC : NICが通信するAPのMACアドレスを指定できること

2) Cable: (IEEE802.3u, 有線100Base-TX)

- ⑤L2_CABLE_LINK : 有線のリンク信号を入手できること

3) Optical Wireless Module

- ⑥L2_OPT_LINK : 光無線伝送路のリンク信号を入手できること

今回の実験の様に最大転送速度のみでNIC選択を判断した場合、電波無線の使用状況やシステム・トラフィックの状態を無視するため、通信システム全体としてスループットを下げる可能性もある。システム全体から鑑みたNIC選択方法に関しては、今後の検討課題である。

5) IPv4 から IPv6 への移行

a) IPv6の現状

現在のインターネットプロトコルの主流であるIPv4は、サーバやパソコンなどのコンピュータ同士を接続するネットワークとして整備され、世界中に普及している。今後はコンピュータだけでなく家電機器、携帯電話などが接続できるサービスが考えられ、端末を識別するIPアドレスの枯渇が問題視されている。これを解決するために開発されたプロトコルがIPv6である。IPv6を用いれば、膨大な数の端末がPeer to Peerで、かつ安全に接続できる可能性があり、KAME、USAGIなどのプロジェクトチームによって開発が進んでいる。

しかしながら、インターネットの急速かつ広範囲の普及のため、IPv4からIPv6への移行は時間がかかると予想されている。現在ほとんどの機器がIPv4のみに対応しているが、これらの機器が少しずつIPv6にも対応した機器に置き換わる、と段階的に進むと考えられる。即ち、広く設置されたIPv4のネットワーク網の中にIPv6ネットワークが存在し、IPv6ネットワーク同士は、IPv4ネットワークを経由して接続する、IPv4とIPv6の混在する時期がしばらく続くことになる。

b) Mobile IPv6の動向

IPv6環境内のシームレス通信技術の動向を調査した。IPv6において、異なるリンクに端末が移動しても通信の継続性を確保するMobile IPv6^[1] (MIPv6) プロトコルがある。MIPv6では、Mobile IPv4に比較して①Foreign Agentの廃止、②経路最適化を標準定義、③ファイアウォールに整合するなどの改善を図っている。

MIPv6の動作概略を下記にまとめる。

1) Mobile Node (MN) の移動検出:

ルータが送信しているRouter Advertisement (RA) より移動を検出し、RAに含まれているプレフィックス情報と自MACアドレスから気付けアドレス(CoA:Care of address)を生成する。

2) Home Agent (HA) への位置登録 (Binding Update, Binding Acknowledgement) :

MNは、HAへCoAを通知する。HAはMNへACKを返答し、CoAをBinding Cacheにエントリする。Correspond Node (CN) からのデータはHAのトンネルにより、カプセル化されMNへ転送される。

3) MIPv6未対応のCNとの通信:

Binding Cacheを持たないCNとの通信は、HAとのリバーストンネルを利用する。HAはMNからのカプセル化を解除しCN宛へ送信する。

4) MIPv6対応のCNとの通信:

MNとCNの直接通信を行う為、Return Routabilityの手続きによるMNとCN間の認証を行い、MNからCNに対しCoAを通知する。CNは、Binding Cacheを使いCoAのMNへパケットを送信する。

リンクを移動する際、MIPv6を使用してもリンク切替期間にパケットロスが発生する為、これを改善するプロトコルとしてFMIPv6 (Fast handovers for Mobile IPv6) ^[2]や、HMIPv6 (Hierarchical Mobile IPv6) ^[3]等の草案も提案されている。

①FMIPv6

FMIPv6において、Mobile Nodeは、移動先のAccess Router (NAR) で使用するアドレスを移動前のAR (PAR) に接続しながら事前に取得可能となり、PARに届いたパケットをNAR側へ転送することでパケットロスを最小限にする狙いがある。この概略フロー例を図イー8に示す。

現状、NARの情報取得方法やNARへの切替トリガなどに対しては言及されておらず^{[4][5]}、また高速ハンドオーバー時に対する懸念^[6]も指摘されている。

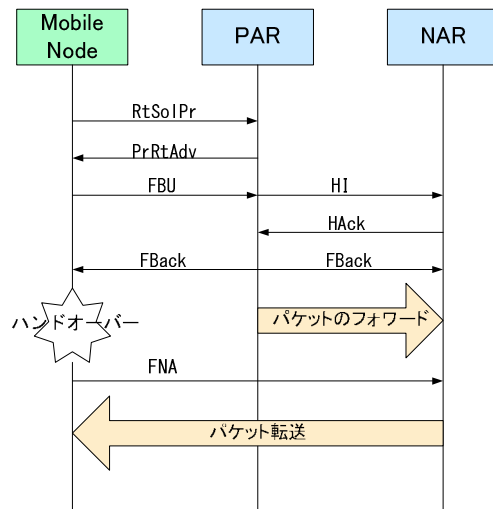


図 イー8 FMIPv6プロトコルフロー例

②HMIPv6

HMIPv6では、Mobile Nodeが移動した際の位置管理機能を分散させ、シグナリングを局所的に抑圧し移動時の高速性を向上する手法である。ネットワークを複数エリアに分割し、そのエリア内にMobility Anchor Point (MAP)を配置する。該エリア内部の移動時にはMAPが位置管理を行う。

MAPはマイクロモビリティを確保し、Home Agent (HA)はマクロモビリティを管理することになり、特に大規模ネットワークで有効な技術である。図イー9にHMIPv6の構成例を示す。HMIPv6では、先述したFMIPv6との共存も検討されている。

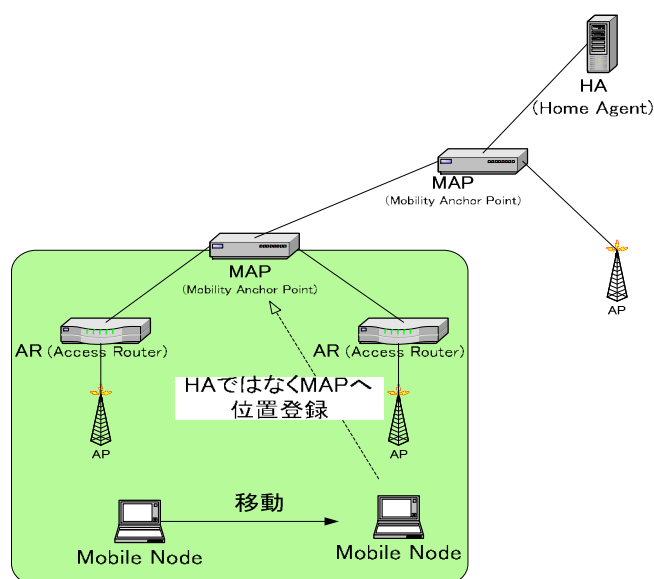


図 イー9 階層化Mobile IPv6の例

FMIPv6並びにHMIPv6は、IPv6環境内におけるハンドオーバー時のパケットロスやシグナリングコストの改良を見込めるが、何れも標準化途中にあるMobile IP拡張技術であり、現段階では、IPv4とIPv6の混在環境におけるハンドオーバー手法に関しても言及されていない。

c) IPv6混在手法検討

IPv4とIPv6が混在する状態で端末間の通信を可能にする方法は、主に「デュアルスタック」、「トンネリング」、「トランスレーション」に分類できる。これらの移行技術について述べる。

(1)デュアルスタック

デュアルスタックは同一の端末がIPv4とIPv6の両方の通信機能を備え、どちらの環境にも接続可能にする手法である。デュアルスタックは、アドレスの選択やDNS解決など、多くの問題に対応することが可能である反面、プロトコルスタックを複数持つことから携帯端末など小型の端末には不向きである。

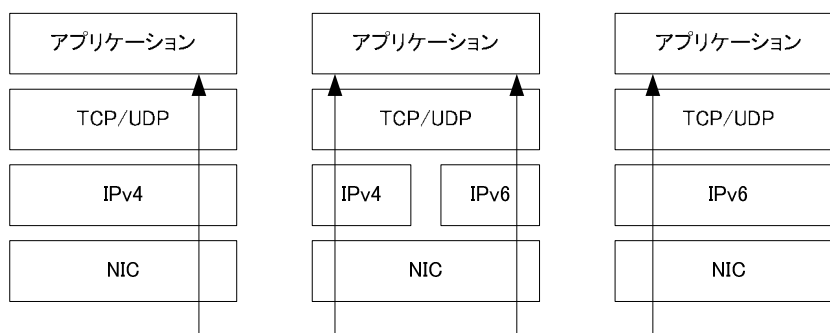


図 イー10 デュアルスタックによる通信

(2)トンネリング

トンネリング手法は、IPv6パケットをIPv4ヘッダでカプセル化することにより、IPv4ネットワーク上でIPv6パケットを搬送可能とする手法である。トンネリング手法では、送信端末もしくは途中のルータにおいてIPv6パケットがIPv4パケット内にくるまれ、目的地の終端ポイントまでトンネル転送され、ここでカプセル化を解除されて元のIPv6パケットとして送信される。トンネルを作成する手順やIPv6アドレスの割り振り方によっていくつかの形態を持っている。表イー7に代表的な手法とその特徴を示す。

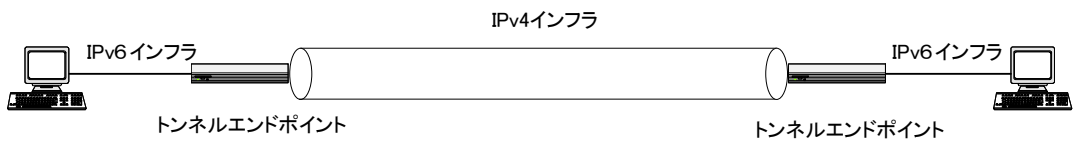


図 イー11 トンネリング手法

表 イー7 各トンネリングの特徴

6to4	RFC3056で定義されている。ただし、グローバルIPv4アドレスが必要であり、イントラネットの移行には不向き。
ISATAP	インターネットドラフトで規定されている。6to4と違い、プライベートIPv4アドレスによる構成も可能である。
6over4	RFC2529で定義されている。IPv4インフラがマルチキャスト機能をもつことが特徴である。

(3) トランスレータ

トランスレータは、IPv6とIPv4とを相互変換し、接続を可能とする手法である(図イー12)。トランスレータは、「ヘッダ変換」、「トランスポート層リレー」、「アプリケーション層ゲートウェイ」に分類される。それぞれの特徴を表イー8に示す。

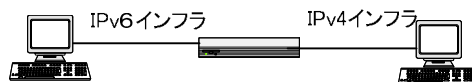


図 イー12 トランスレータ

表 イー8 各トランスレータの特徴

	ヘッダ変換	トランスポート層 リレー	アプリケーション層 ゲートウェイ
階層例			
方式	IP層でIPv4ヘッダとIPv6ヘッダの付け替えをする	トランスレータがIPv6(v4)パケットを受信し、送信元の代替としてIPv4(v6)を使い宛先ホストと通信する	アプリケーション(サービス)毎にコネクションを終端し、トランスレータがProxyサーバとなる
速度	速い	ヘッダ変換方式より遅い	遅い

d) 実験環境構築方針

前述の3つの手法のうち、「デュアルスタック」「トランスレータ」方式を用いた混在環境では、すでに実証したIPv4におけるシームレスプロトコルを搭載するだけでシームレス性の確保が容易に行える。そこで「トンネリング」方式による混在環境におけるシームレス性確保を目的とし、検討を行った。

6) IPv4、IPv6混在環境におけるシームレス通信

a) 概要

前述のとおり、IPv4からIPv6への移行段階では、IPv4とIPv6のインフラが混在する可能性が高い。混在時は、図イー13に示すようにIPv4のネットワークインフラ上にIPv6ネットワークが点在し、各IPv6ネットワークは、上記移行手順を用いて他のIPv6ネットワークもしくはIPv4ネットワークと接続すると考えられる。そこでIPv6ネットワーク同士をトンネリング技術によってIPv4ネットワーク上を経由し接続する場合を想定し、IPv4-IPv6混在環境のモデルを構築した。

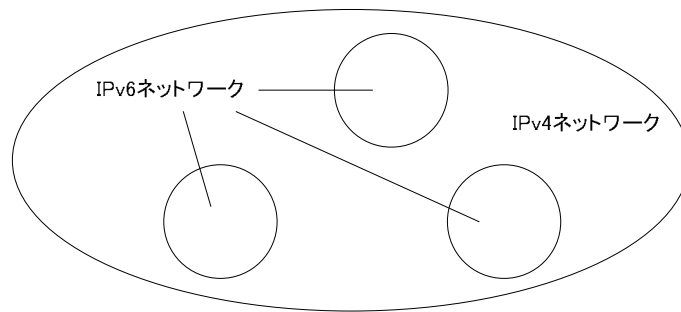


図 イー13 IPv4/IPv6混在ネットワーク

b) 混在環境のモデル化

混在環境モデルの構成図を図イー14に示す。図イー14において、MNはデュアルスタックの移動端末である。IPv4トンネルは、IPv4ネットワークをモデル化したものであり、一方はMNに、他方はトンネルエンドポイントルータを介してIPv6実験用ネットワークに接続されている。IPv4トンネルは、前述のトンネル手法のうち、プライベートIPアドレスを用いることが可能なISATAP方式とした。

MN上に搭載されたアプリケーションで作成されたパケットは、MN内部にてIPv4ヘッダでカプセル化され、IPv4トラヒックとしてトンネルエンドポイントへ配送される。トンネルエンドポイントは、カプセル化を解き、IPv6実験用ネットワークへIPv6トラヒックとしてパケットを配送する。

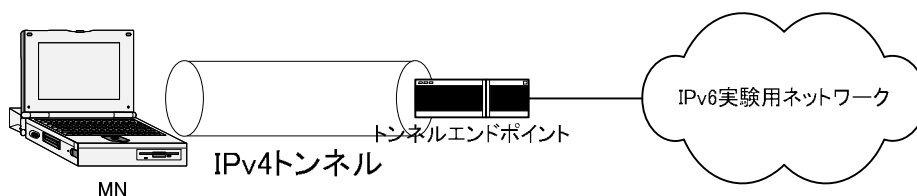


図 イー14 混在モデル構成図

c) 今後の予定

本シームレス通信プロトコルを次世代IPスタックであるIPv6へ対応することができれば、携帯電話へ搭載するなど更に汎用性が増すと予想される。今後はIPv6対応を目指し、端末へIPv6の実装、手動による切り替え機構の評価を経て、IPv6対応シームレス通信プロトコルの確立を行っていく予定である。

「参考文献」

- [1]David B. Johnson, et al.” Mobility Support in IPv6,”
Draft-ietf-mobileip-ipv6-24.txt, June 2003.
- [2]R. Koodli., draft-ietf-mipshop-fast-mipv6-01.txt 30 January 2004
- [3]Hesham Soliman, Flarion draft-ietf-mipshop-hmipv6-01.txt February, 2004
- [4]阿相、上、三田、荒牧「高速ハンドオーバーのシグナリング軽減手法の提案」信学総会2004 B-06-049
- [5]吉武、大西、小川、水戸「FMIPにおけるAP切替方法に関する一考察」信学総会2004 B-06-048
- [6]渡辺、西山、服部、小野、越塚、坂村 「既存ルータ混在環境におけるモバイルIPハンドオーバーの高速・高信頼化の提案」 情報処理学会 全国大会2004 1H-2

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

1) 概要

シームレス無線通信プロトコルの実装実験の結果から、ストリーミングソフトウェアに対応したシームレス無線通信アプリケーションの第一次試作を行った。本試作では、図イー15に示すようにシームレス通信プロトコルが選択したNICに併せて、映像の解像度を変更するストリーミングサービスを提供することを目的としている。



図 イー15 シームレス無線通信アプリケーションイメージ

2) シームレス無線通信アプリケーション仕様策定

品質変更機能を提供するため、表イー9に示す3つの手法を立案し検討した。

表 イー9 切り替え方式比較

名称	内容
a) ファイル切り替え方式	2つのビットレート（圧縮率）の異なるファイルを用意し、適宜切り替えて送信する方式
b) トランスコード方式	オリジナルの映像を出力する時点でビットレート（圧縮率）を変更する方式
c) デュアルコーデック方式	2つのエンコード機構を設け、適宜切り替えて送信する方式

表イー9に示した各方式の特徴について整理する。

a) ファイル切り替え方式

サーバに予め転送時のビットレートが異なる2つの映像ファイルを用意する。クライアントは、使用中の無線インターフェースに適切なビットレートを選択し、選択結果をサーバに送信する。サーバは受信した選択結果を元にどちらかのファイルを読み込み、送信することで画質切り替えを実現する方式である。事前に同一のコンテンツを撮像した2つのビットレートの異なる映像ファイルを用意する必要があるため、ライブ映像の切り替え用途には向かないが、例えば放送を事前に録画し、後で見ると言った一般的に広く使用されるVTR等の録画装置に適用でき、応用範囲は比較的広い。

b) トランスコード方式

トランスコード方式は、サーバ側においてオリジナルの映像データをクライアントの要求に併せてリアルタイムにビットレートを変更し、送信する方式である。本方式を用いれば、a) ファイル切り替え方式のように複数の映像ファイルを用意する必要がなく、さまざまなビットレートに対応できる可能性がある。反面、高速な演算能力が望まれるためハードウェアで構成する必要がある。

c) デュアルコーデック方式

デュアルコーデック方式は、ライブ映像を配信するときに適した方式である。オリジナルの映像データを2種類の方式でエンコードを施し、サーバ側は常に2つのビットレートの映像データを送信可能な状態に保つことを特徴とした方法である。例えば自社で製造、販売するDVCは、DVコーデックとMPEG4コーデックの2つのエンコード装置を持っており、これら2つの装置から出力された圧縮データを同時に送信

することが可能である。

これら3つの方式のうち、VTR機器への適用性が高く今後の業務展開への反映が容易なファイル切り替え方式に着目し開発を行うこととした。

ファイル切り替え方式で使用するコーデックは、低域から広域まで幅広くサポートできるMPEG4とした。MPEG4は、デジタルビデオカメラによるメモリ記録用途やデジタルスチルカメラによる映像記録用途に広く採用され、特に比較的低いビットレートによる圧縮方式として支持されている。

MPEG4は、時間領域における冗長性の除去を伴う圧縮を行う。すなわち、図イー16に示すように基準画像フレーム（Iピクチャ）を先頭とし、過去のフレームから一方向のフレーム間予測を行い、差分を符号化したPピクチャと過去と未来のフレームから二方向のフレーム間予測を行い、差分を符号化したBピクチャを連続配置することで圧縮率を向上する圧縮方式である。

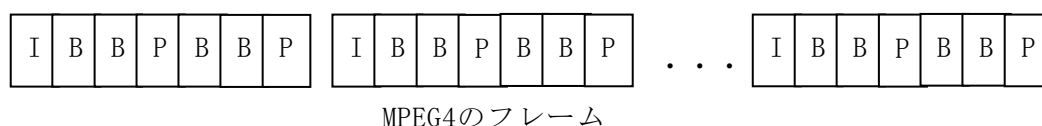


図 イー16 MPEG4フレーム概略図

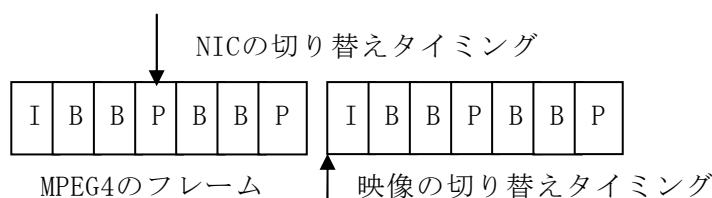


図 イー17 切り替えタイミング

NICの切り替えは任意の時点で発生するが、切り替え時の送信フレームによっては、映像の切り替えを行えない場合がある。例えば、Iピクチャの直前でNICが切り替わった場合、切り替え直後はIピクチャから再生することにより連続した映像フレームを送信することが可能である。一方、PピクチャやBピクチャの位置でNICが切り替わると、最も近い時間に読み込んだIピクチャまで戻らなければフレームの復元ができない。

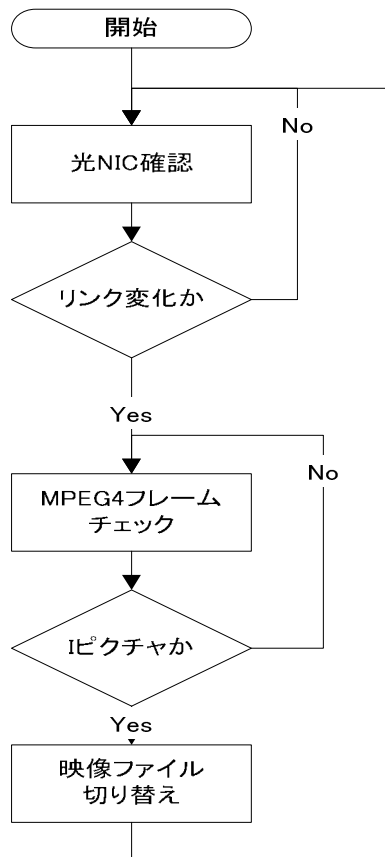


図 イー18 切り替えフローチャート

ここでは、図イー17に示すように、NICが切り替わった時点以降のIピクチャの位置に同期して映像データへ切り替える方法を採用し検証することとした。図イー17の方法を採用すれば、MPEG4エンコード装置（ハードウェア）や圧縮方式を改変する必要がない。しかし、2つの映像ファイルのIピクチャの位置が同期している必要がある。またIピクチャと次のIピクチャの間隔が長い場合、切り替えに要する時間が増大する。このため、下の2つの前提条件を設定した。

- 1) 2つのビットレートの異なる映像ファイルにおけるIピクチャは同じ位置にある
- 2) Iピクチャと次のIピクチャの間隔は1[sec]とする

上記を満たす映像ファイルを2つ用意し、Iピクチャが来る毎に、どちらか一方の映像ファイルへ切り替えることを第一次試作の仕様とした。図イー18に、本シーケンスをまとめたフローチャートを示す。

3) 第一次試作

a) 概要

本試作で検討すべきソフトウェアは大きく分類すると、サーバソフトウェア、クライアントソフトウェアの2つである。同時に作成し評価することが望ましいが、本アプリケーションの有用性を検討する場合、ユーザの目に直接触れるクライアントが重要である。そこで第一次試作では、まずクライアントソフトウェアの試作、評価を行い、十分に検討したのちにサーバソフトウェアを試作することとした。

まず、クライアントソフトウェア要求条件を

- ・ MPEG4 をデコードできること
- ・ デコードしたデータを画面上に再生できること
- ・ 2つの映像データを選択する機能を持つこと

とし、ローカルストレージに蓄積された2つの映像データを任意の時点で切り替えて途切れなく表示する機能を検討した。ネットワーククライアントとして動作するためには、サーバからのデータを受信する機能も必要である。例えば、クライアントソフトウェアが上記要求条件を装備していれば、ネットワークファイルシステムを用いてサーバ上に置かれた映像ファイルを読み込むことによりサーバ上のデータを取得することは可能である。

b) クライアント試作

デコーダ、表示部など一部のクライアント構成要素については既存ソフトウェアを流用することとした。このため既存のストリーミングクライアントソフトウェアを調査し、本研究への適用が容易なソフトウェアを選定し、これをベースに切り替え部を試作することとした。Linux用ストリーミングクライアントはいくつか存在するが、その中からオープンソースである点、クライアント及びサーバが実装されている点、MPEG4をデコードできる点などからMPEG4IP²⁾を選定した。

試作はMPEG4IPのソフトウェア群のうち、クライアントソフトウェア (mp4player) を改変することで行った。改変ポイントは、

- ・ 2つのファイル情報を同時に持つ機能の追加
- ・ 外部からのトリガに応答する部分の追加
- ・ トリガに応答し、ファイルを選択的にオープンする機能の追加
- ・ 任意の I ピクチャの位置から再生するシーク機能の追加

である。外部からのトリガとはNICの切り替え情報であり、トリガはシームレス通信プロトコルから入力される仕様である。従って本ソフトウェアが動作するためにはシームレス通信プロトコルが予め実行されている必要がある。図イ-19に本ソフトウェアの動作概要フローを示す。

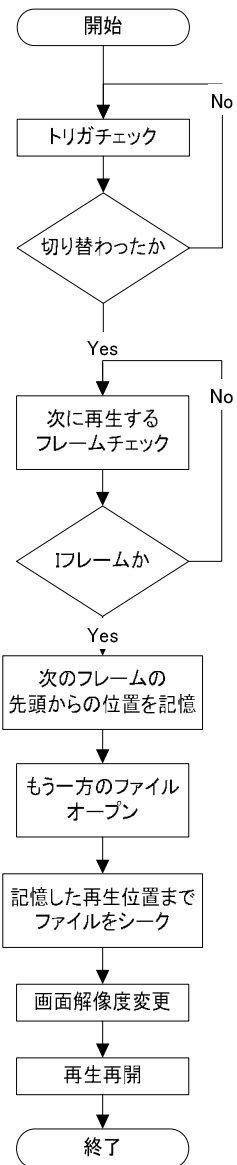


図 イ-19
シームレス無線通信
アプリケーションフロー

4) 評価

試作終了後下記の要領で主観評価を行った。

a) 評価内容

- ①光無線使用時の高解像度画像、電波無線使用時の低解像度画像を確認する
- ②切り替えた直前と直後の映像が繋がっているか、確認する

- ③上記切り替え時に、映像の遅延関係や表示状況を確認する
- ④NIC 切り替え時期と映像切り替え時期のディレイを観測する

b) 評価結果

図イー20に第一次試作機のシステム概要、図イー21に光無線による映像伝送時の表示映像、図イー22に電波無線による映像伝送時の表示映像をそれぞれ示す。



図 イー20 試作システムの概要



図 イー21 光無線の場合の画像



図 イー22 電波無線の場合の画像

第一次試作機は、評価内容①ならびに②項に関し要求通りの動作を実現した。また、評価内容③に関しては、光無線インターフェースのリンク切断/再接続の認識が瞬時に行われ、映像の切り替えは、映像表示部が一度消去され再び描画されるため、切り替えたことが明らかに判るその時間は0.5[sec]程度であり、比較的短い。評価内容④に関しては、映像はIピクチャを待ってから切り替わるため、1～2[sec]程度ディレイが発生した。

切り替え時間の短縮、ディレイの軽減等改善点は存在するが、今後のアプリケーション検討を行うための第一次試作として十分に機能している。

本ソフトウェアはネットワーククライアントとして動作する必要がある。ネットワーク対応の初期段階としてサーバに設置されたファイルを、ネットワークファイルシステムを介して読み込み、表示する実験を行ったので次項で報告する。

5) ネットワークファイルシステムを利用した通信実験

a) 実験内容

図イー23に示すように端末を接続し、サーバ上でネットワークファイルシステム(NFS)サーバを起動する。クライアントではNFSクライアントを起動し、サーバの所定のディレクトリをローカルディレクトリにマウントする。サーバ上の所定のディレクトリには、映像ファイルを設置する。

クライアントでローカルにマウントされたディレクトリの中の映像ファイルを読み込み表示する。このとき、NICを切り替えて動作状況を観察する。

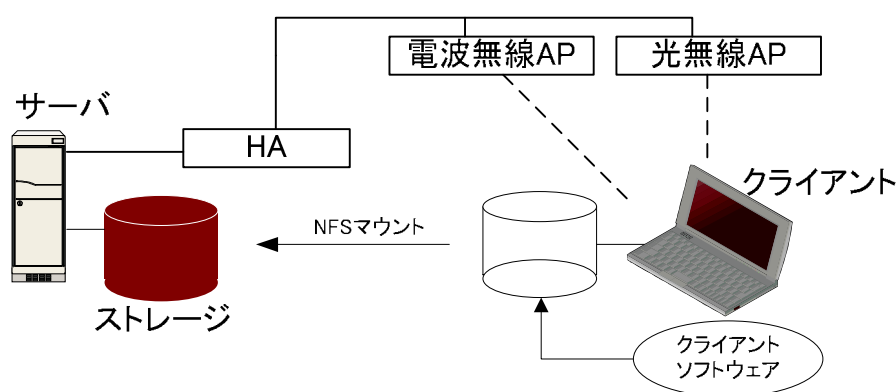


図 イー23 NFS通信実験システム構成図

b) 実験結果

- ①ランニング試験中、インターフェースが切り替わりサービスが再開されるまでには数[sec]程度映像が静止することがあった
- ②開くべきファイルが見つからず、サービスを継続できないことがあった

③上記症状が原因で、リンクの切断／再接続を短い時間で繰り返した場合には期待通りに切り替えは行われず、リンク状況が落ち着いた時点でサービスが再開されることがあった

①は、TCP/IPにおけるルーティングテーブルの変更に要する時間に起因している。Linuxカーネルに何らかの改変を加えなければ改善することは困難であると考えられる。

②は、ファイルを送信するプロトコルに起因すると考えられる。ファイル転送のためにNFSを用いているが、NFSはUDPを用いたネットワークファイルシステムを提供するソフトウェアである。前項で本シームレス通信は、TCPを用いたファイル転送には有効であると述べたが、UDPを用いたファイル転送では不具合が生じることが判明した。これはNFSのタイムアウトを長く設定するなどすれば回避できると考えられる。NFSのように一部のソフトウェアではシームレス無線通信プロトコルと併用するための改変が必要であることが判明した。本ソフトウェアのサーバを構築する際はこれに十分留意する必要がある。

③は、①と②の双方に起因する。①と②の改変が施されれば解決すると予想され、それらの改変が困難な場合、NICの切り替え処理が終了するまで次の切り替えトリガをマスクするなどの回避手法が考えられる。

c) 課題

ネットワークを介して映像データを受信するためにはNFSは不適切であることが判った。まずはTCPを用いるネットワークファイルシステムを調査し、これを実装した場合の動作状況を確認する必要がある。その上でサーバ試作の検討を行う必要がある。

また、第一次試作ではMPEG4による圧縮映像の伝送を試みたが、時間圧縮を行う方式に対応するため、多くの前提条件が必要であった。前提条件は、時間圧縮を行う圧縮方式特有のものであるため、時間圧縮を行わない方式では不要である。今後は前提条件の軽減を検討すると共に、適用分野を考慮しつつ他の圧縮方式についても調査を行い、シームレス通信アプリケーションに最適な圧縮方式、伝送方式の検討を行う。これによりシームレス通信アプリケーションの使用環境の向上を目指す予定である。

6) Motion-JPEG2000を用いたシームレスアプリケーション

a) 概要

前項では映像圧縮方式としてMPEG-4を用いてシームレスアプリケーションの実験を行ったが、MPEG-4はフレーム間圧縮を行うことから、切り替えに際しては基準フレーム画像の到着を待つ必要があり、これが切り替え時間を増大する要因となつて

いた。そこで本項では、フレーム内のみで圧縮する代表的な手法であるMotion-JPEG2000を用いたクライアントソフトウェアを試作し、評価を行った。

b) クライアント試作

試作したソフトウェアの構成図を図イー24に、評価を行ったホスト環境を表イー10に示す。本試作ソフトウェアは、ファイル読み出し部、トリガ処理部、映像選択部、映像復号部、映像表示部からなる。二つのファイル読み出し部は、一方は電波無線用の伝送帯域を低く抑えた映像、他方は光無線用の映像品質を高く保った映像をそれぞれ読み込み、映像選択部へ出力する。映像選択部は、トリガ処理部へのトリガ入力を受信し、トリガ内容に応じて電波無線用映像、光無線用映像を切り替えて映像復号部へ出力する。映像復号部は、選択した映像信号を非圧縮映像信号に復号し、映像表示部へ出力する。映像出力部は、映像を画面に表示する。なお、トリガ処理部への入力はキーボードによる入力で代替している。

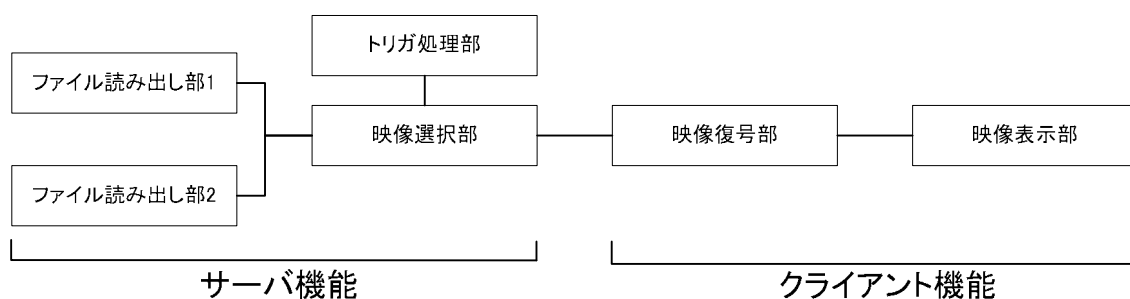


図 イー24 ソフトウェア構成図

表 イー10 主要スペック

映像伝送レート	光無線用映像1Mbps、電波無線用映像100kbps
符号形式	Motion-JPEG2000
映像解像度	320 x 240 (pixel)
使用したマシンスペック	CPU:Pentium 4 3.2GHz Memory:512MB VideoCard:ATI Radeon 9800

本クライアントソフトウェアと前項で示したMPEG4を用いたシームレスアプリケーションとの違いは、「切り替えタイミング」及び「映像選択部の処理」である。切り替えタイミングは、図イー25に示すように、Motion-JPEG2000を用いた符号化方式では、圧縮フレームが全て基準フレームであるために、トリガ入力直後のフレ

ームから切り替えが可能である。このため、最小の時間で切り替えることが可能である。

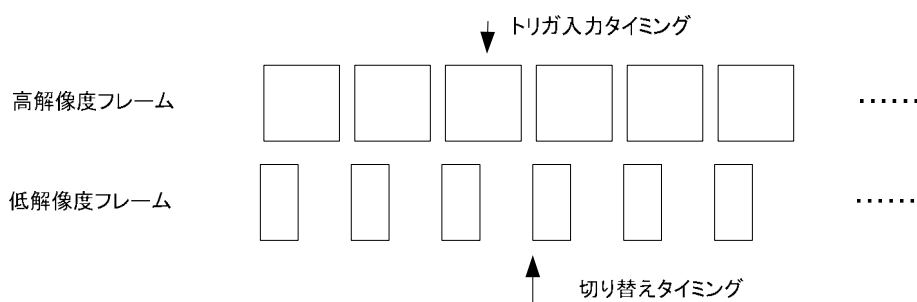


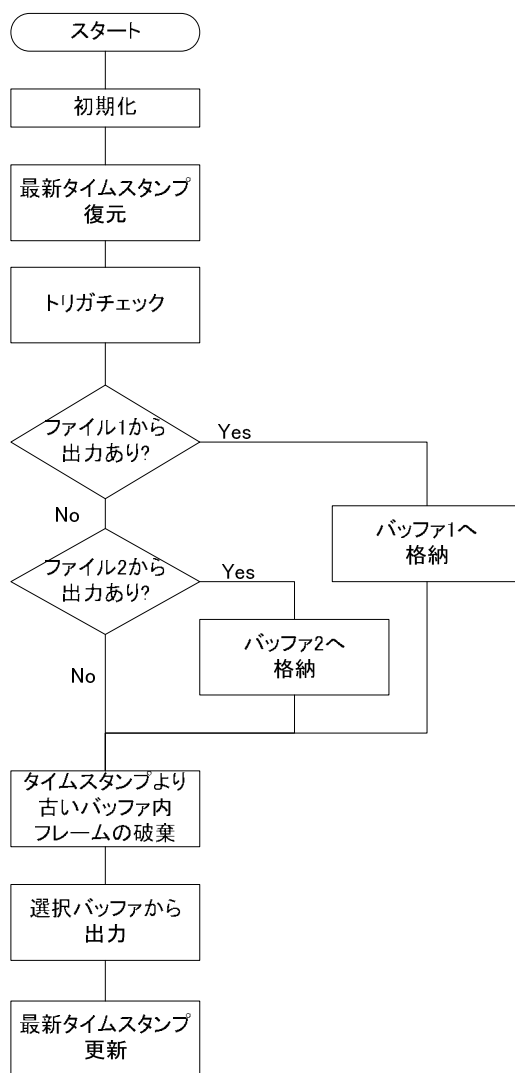
図 イー25 切り替えタイミング

次に映像選択部の内部処理を示す。図イー26は映像選択部の内部処理のフローチャートである。映像選択部は、アプリケーションフレームワークによって呼び出される。アプリケーションフレームワークは、ファイル読み出し部1及び2を呼び出し、データの読み込みを行う。次に読み込まれたデータと共に映像選択部を呼び出す。映像選択部は、まず初期化を行った後、直前に映像復号部へ送信したフレームのタイムスタンプを復元する。タイムスタンプは、ファイル読み出し部がフレームデータと共に送信する時間情報であり、映像選択部はこれより古いフレームデータを破棄する。次にトリガチェックを行い、トリガ内容によって出力すべき映像を記憶する。次に入力されたフレームデータをタイムスタンプと比較するため、2つのバッファへ一旦格納する。ここで復元済みのタイムスタンプと2つのバッファ内にあるフレームに付加されたタイムスタンプを比較し、バッファ内に古いフレームが残っている場合、これを破棄する。こうしてバッファ内に前回送信した続きのフレームだけが残るよう調整したのち、トリガ情報にマッチするバッファからデータの出力を行う。データ出力が終了した時点で、最後に出力したバッファのタイムスタンプを記憶し、処理を終了する。

本試作ソフトウェアによる第一の目的は、圧縮方式の変更がシームレス通信に与える影響を検証することであり、ネットワーク伝送路上の特性と区別するためネットワーク伝送の部位は省略している。また、復号に要する時間と消費するCPU能力が切り替え時間に与える影響を最小限にとどめるため、映像の解像度、映像伝送レートとも低めに設定している。

本試作ソフトウェアは単体のホスト上で動作するが、シームレスプロトコルを搭載したサーバクライアントシステム上で動作させるためには、ソフトウェアコンポーネントを図イー25における映像選択部より左の部位と映像復号部より右の部位で分離し、前者をサーバ、後者をクライアントとして再構成し、更にトリガ処理部への入力をシームレスプロトコルから切り替え情報出力部と接続することで実装可

能である



図イー 2 6 映像選択部のフローチャート

c) 評価方法

試作ソフトウェアを動作させ、伝送レートの異なるファイルを切り替る。この際、切り替えトリガ入力時点から映像が再開されるまでの時間を計測する。

d) 結果

切り替えに要する時間は、平均で0.3秒程度であった。

切り替え時に画面が停止する原因は、復号部に異なった圧縮状態のデータが突然入力されるため、復号パラメータを切り替えることに時間を要することと思われる。停止状態を皆無にするためには、復号部を2つ設け、動作する復号部自体を切り替える方法が考えられる。しかし、MPEG4を用いた方式に比べると、きわめて停止時間は短縮できると予想する。

この結果から、シームレスアプリケーションに搭載する映像復号方式は、Motion-JPEG2000に代表される、フレーム単位で圧縮する方式が最適であると考えられる。

参考文献

- (1)<http://dynamics.sourceforge.net/>
- (2)<http://mpeg4ip.sourceforge.net/>
- (3)<http://webdav.org/>

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15年度は、前年度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。

5-3-2 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。また、外乱光、特に太陽光に対する対策として、太陽光スペクトルのくぼみがある950nm帯の面発光レーザの開発に着手した。

光の方向を制御する、アクチュエータとして平成15年度は電磁ミラーアクチュエータに絞った検討を行った。電磁ミラーアクチュエータの課題の一つとして、低消費電力化が挙げられ、本年度はその改善を行った。

前年度は、角度はふれないが小型化の可能性のあるマイクロミラーアクチュエータと、角度のふれる電磁ミラーアクチュエータの検討を平行して実施した。しかしながら、その後の光学シミュレーションの結果、十分な伝達特性を得るために必要なミラーサイズが求められ、ミラーサイズの律則から、本体小型化のメリットが少ない事が分かったため、平成15年度は電磁ミラーアクチュエータに絞った検討を行った。電磁ミラーアクチュエータの課題の一つとして、低消費電力化が挙げられ、本年度はその改善を行った。

5-3-3 研究の詳細

平成15年度は、限られた方向内で自動サーチ機能を持った超小型光モジュールのプロトタイプを試作・検証することと、広範囲の自動サーチ機能の原理検証を実施することを目標とし、上期はその要素技術の開発を実施した。下期はそれら要素技術を組み合わせて自動サーチ機能をもったモジュールを試作し、その特性を検討した。

5-3-3-1. 超小型光無線伝送制御方式の研究開発

1) 基礎検証モジュールの研究開発

超小型光無線モジュールの一次試作システムとして、仮想同軸構造を用いた片方向送信モジュール(片方向基礎検証モデル)によりシステムを検討した。本システムでは、サーチ・サーボに必要最小限の受光光学系とレーザ送信部のみをもち、別途配置した受信モジュールに対してサーチ・サーボを行うと共に、片方向でデータ通信を行い、伝送性能の評価を可能とする。

次に、二次試作システムとして、データ通信用受信部を含めた双方向通信モジュール(双方向基礎検証モデル)の検討を行った。

a) 片方向基礎検証モデルの構造及び外形

片方向基礎検証システムの概略を図ウ-1に示す。

光無線モジュールは、透過光・反射光を分割することのできるビームスプリッタを用い、送信光と受信光の光軸を、同軸でマイクロミラーによって制御する仮想同軸型とする。

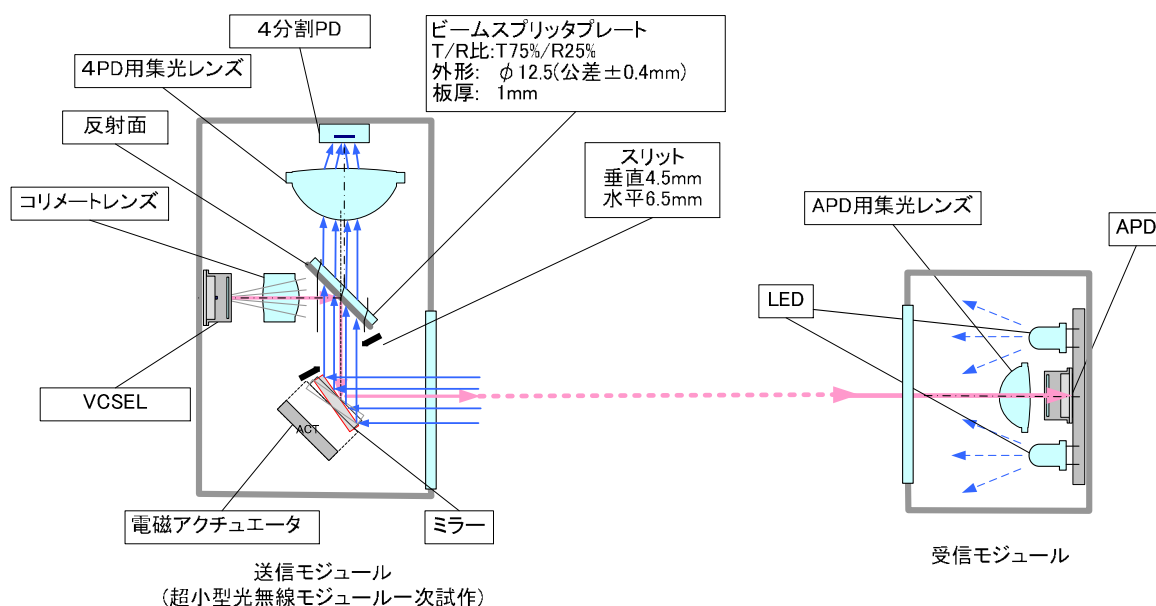


図 ウ-1 片方向基礎検証システム

発光素子(VCSEL:面発光レーザ)から出射された光は、コリメートレンズによって平行光に近いビーム光に成形され、ビームスプリッタ、及びマイクロミラーによって反射され、相手装置に送信される。相手装置から入射したパイロット光は、マイクロミラーに

よって反射され、ビームスプリッタを透過し、集光レンズによって受光素子(4分割PD)に集光される。受信光のスポットが4分割PDの中心になるように、マイクロミラーを制御することによって、光軸を相手装置に調整する構造となっている。

受信モジュールは、2つの発光素子(LED)からパイロット光が、広指向に出射され、その中心に集光レンズ及び受光素子(APD)が配置されている。

図ウー2は、光無線モジュールの構造図である。マイクロミラーを駆動するアクチュエータとしては、電磁コイルを用いたアクチュエータを用いる。このアクチュエータの構造では、アクチュエータ回転中心とミラー表面にずれがあるため、アクチュエータの角度によって、入射光の軸がシフトし、4分割PD上で検出誤差が発生する。これを回避するために、間にスリットを設けて入射光束の位置を固定した。また、受発光素子の各パッケージの公差が大きいため、素子およびレンズをXYZ調整可能な機構とし、この調整機構を利用し基本性能の検証を行った。

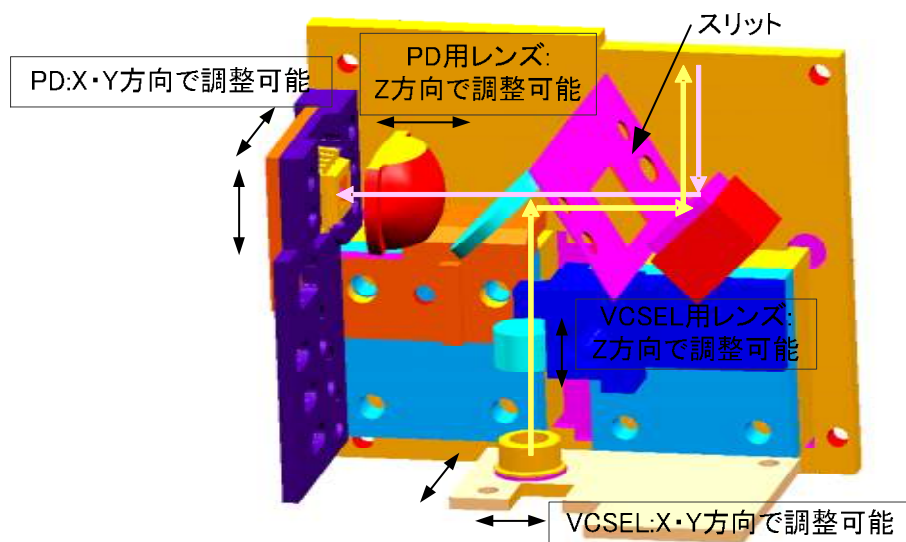


図 ウー2 光無線モジュール構造図

b) 光無線モジュールの回路構成

光無線モジュールの回路構成を図ウー3に示す。光軸調整用に4分割PDを用い、集光レンズにより形成されたパイロット光のスポットが中心に位置するように、ミラーアクチュエータを制御する。制御系はDSP内部にソフトウェアサーボとして実装されている。

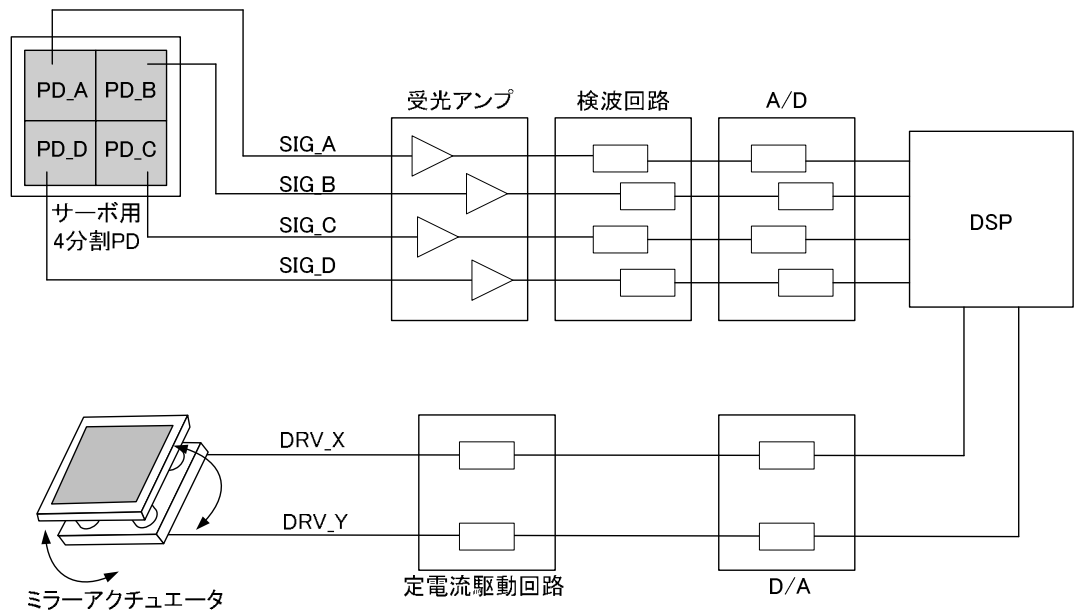


図 ウー3 光無線モジュールブロック図

以下では、各ブロックの機能及び設計ポイントについて記す。4分割PDの受光信号を受光アンプにて増幅する。受信ユニットからのパイロット信号は外来光の影響を低減するため特定周波数にて変調されており、受光アンプではその周波数にて高S/Nの受信ができる設計となっている。また、検波回路部ではパイロット信号を抽出し、その受光レベルを出力する回路構成となっている。従来は、1つの検波回路で4つの入力信号を切替えて用いていたが、本方式では個々のPDの受信レベルを高速にA/D変換する必要があるため、切替え時定数の制約から4チャンネル分の検波回路が必要となった。これらの検波出力をA/D変換(16bit)し、DSP内部での制御演算により制御出力を算出し、D/A変換(16bit)によりミラーアクチュエータ2軸分の制御信号が生成される。この制御信号に基づき定電流駆動回路にてミラーアクチュエータを駆動している。ミラーアクチュエータのインダクタンス成分の影響を除去するために、低電流駆動回路を採用し高速応答を実現している。

これらの回路において、集光レンズにより形成された4分割PD面上でのパイロット光のスポットと検波回路部の出力の関係を図ウー4に示す。4分割PDの各素子とスポットのサイズは概ね図のような関係となっている。

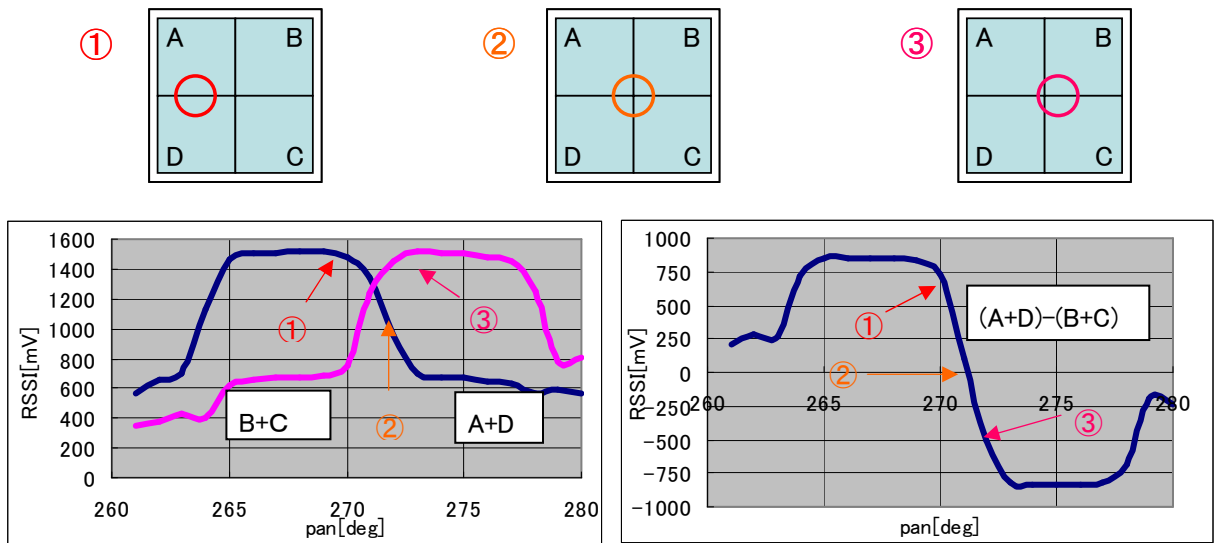


図 ウー4 検波回路部出力とスポットの関係

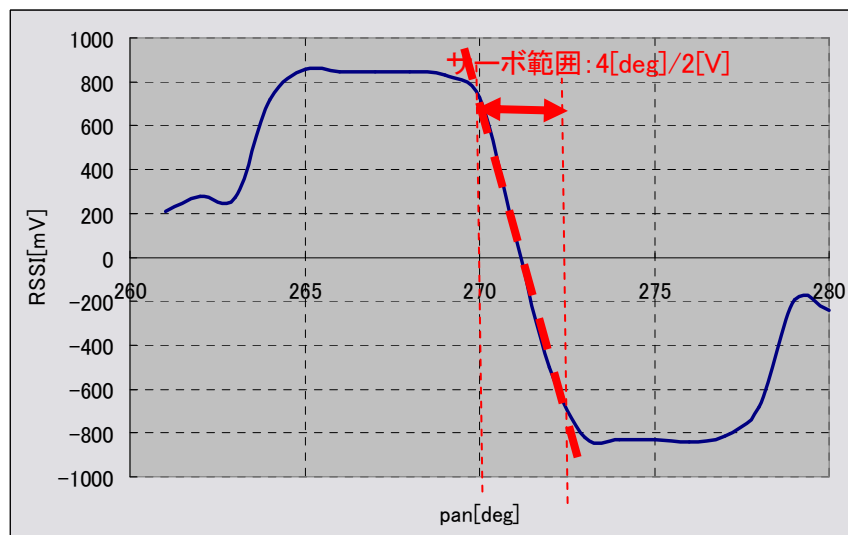


図 ウー5 Sカーブ特性

①光のスポットが左半面にある。

スポットが左反面にあり、素子サイズよりもスポット径が小さいため、図の近傍では、(A+D)の出力値は変わらず、(B+C)の出力値はノイズフロアとなる。

②光のスポットが中央にある。

スポットが中央にあり、①の状態よりも左半面の素子への光量が減るため、(A+D)の出力値も減少し、(B+C)の出力値と同一となる。

③光のスポットがわずかに左反面にかかっている。

さらに、(A+D)の受光信号レベルは減少し、(B+C)の受光信号レベルが増大する。

前記のような状況において、(A+D)-(B+C)の演算をすることにより、図ウー5のような特性を得ることができる。一般的にSカーブと呼ばれ、図中央部の直線性の良い部分を用いて制御を行っている。

c) アクチュエータの制御方式

上記構造・回路構成のモジュールにおいて、4分割PD面上でのパイロット光の受光レベルを誤差信号として、ミラーアクチュエータのフィードバック制御を行った。フィードバック制御系のブロック図を図ウー6に示す。

電磁ミラーアクチュエータを駆動する場合には、コイルのインダクタンスをも考慮する必要があることから、定電圧駆動ではなく定電流駆動とした。定電流駆動にて駆動して測定したアクチュエータの周波数特性を図ウー7に示す。一次共振が170[Hz]程度であり、二次共振が10[kHz]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。さらに、定電流駆動としたことにより、制御対象周波数(DC~数[kHz])においてインダクタンスによる位相周りなども現れていない。

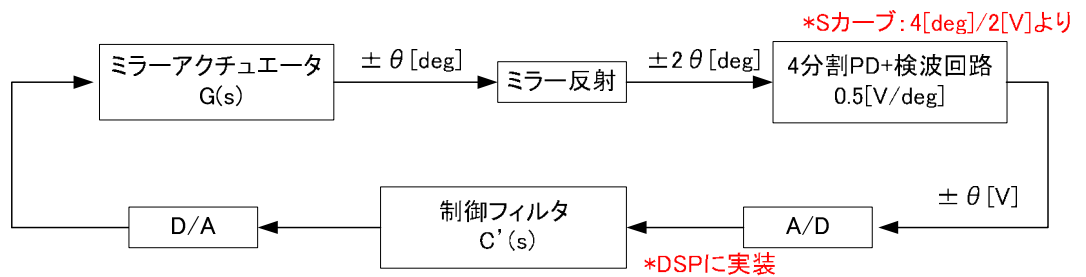


図 ウー6 フィードバック制御系ブロック図

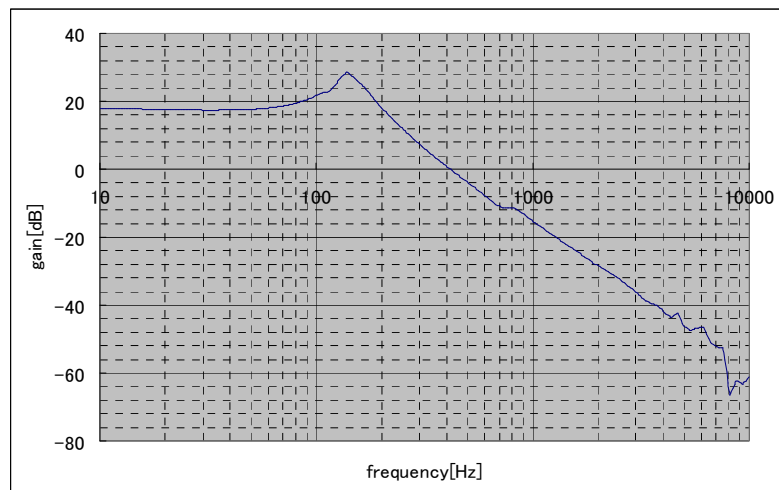


図 ウー7 電磁ミラーアクチュエータの周波数特性

この特性のミラーアクチュエータに対する制御フィルタの設計を行った。設計値は

ゲイン交点:500[Hz]、位相余裕:60[deg]とする。設計したフィルタの一巡伝達関数(シミュレーション値)を図ウ-8、測定結果を図ウ-9に示す。

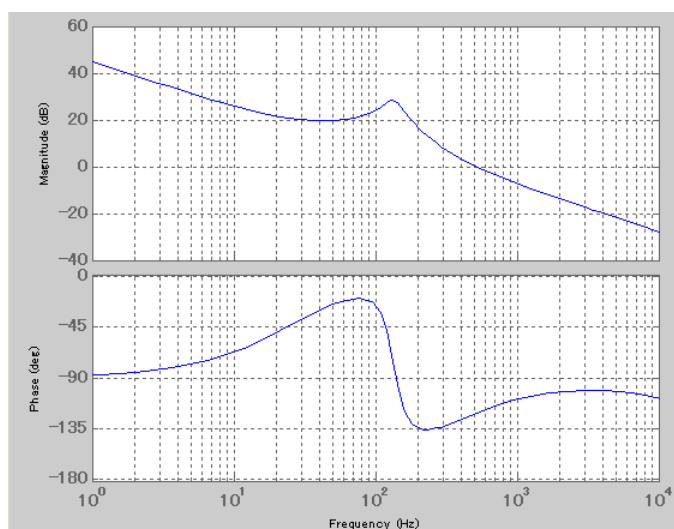


図 ウ-8 一巡伝達関数(シミュレーション値)

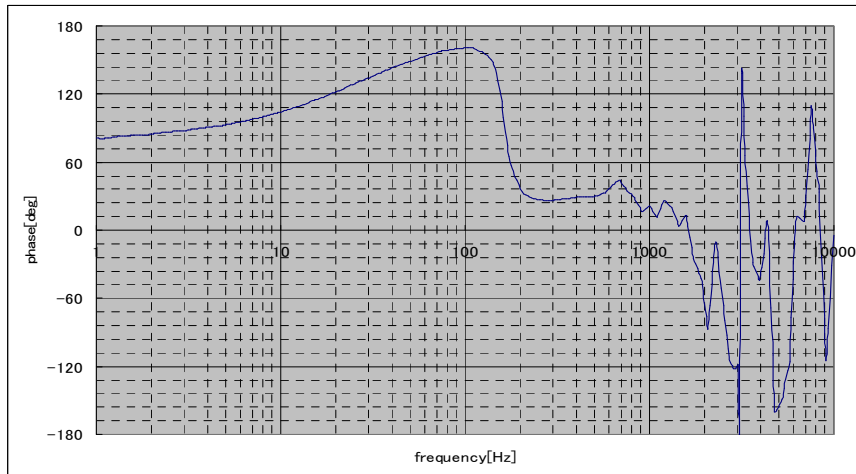
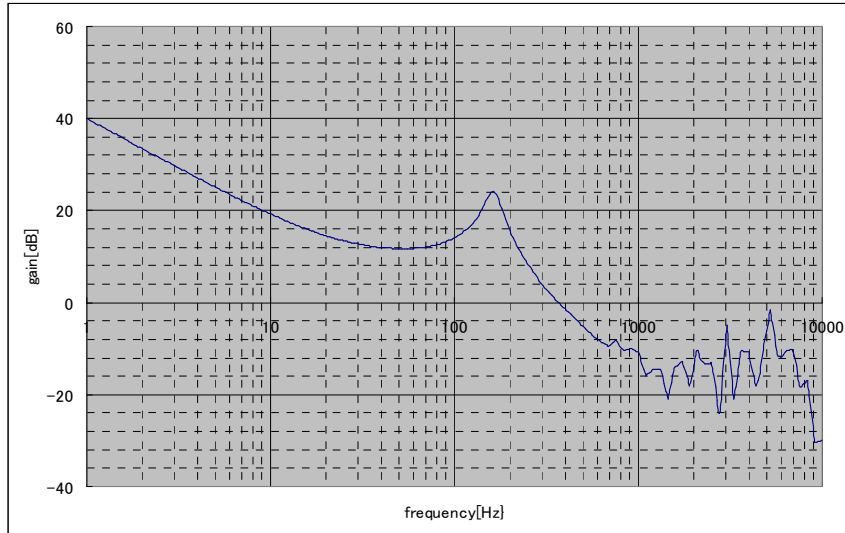


図 ウー9 一巡伝達関数(測定値)

測定値では、シミュレーション値に対して、ゲインに数[dB]、位相に20[deg]の差が生じた。原因として、A/D変換回路の遅延などが考えられる。

d) 片方向基礎検証モデルの性能評価

図ウー10に、データ受光部及びパイロット光源によって構成される受信器を示す。この受信器を用い、試作した光無線モジュールを送信器として、追従・通信性能を評価した。実験環境を図ウー11に示す。

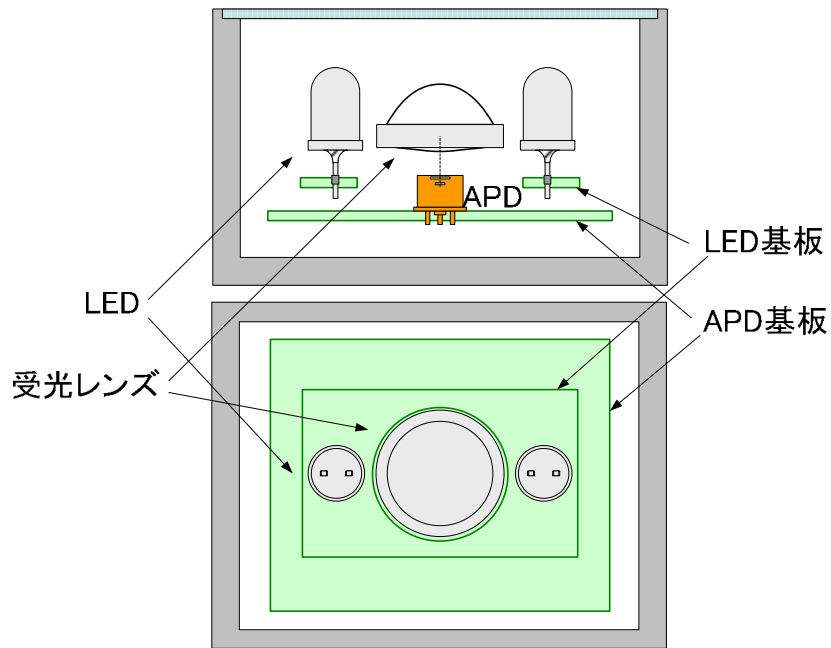


図 ウー10 受信器構成

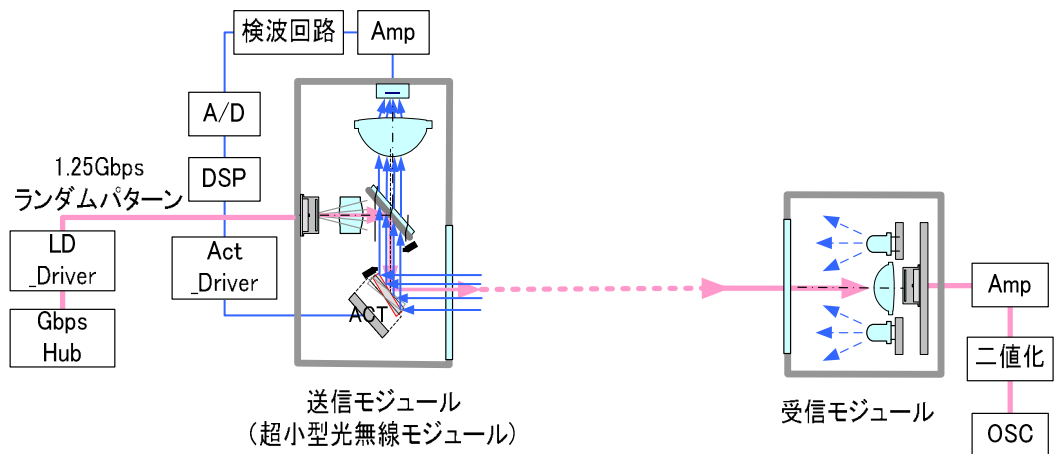


図 ウー11 実験環境

① 追従性能

図ウー10の受信器におけるパイロット発光部スペックを下記に示す。

- 発光素子: LED×2本
- 発光指向角(半値): 20[deg]
- 放射強度(実測): 281[mW/sr]

この発光部に対する追従動作(サーボ動作)の性能を評価した。本モジュールでは、ミラーアクチュエータの可動範囲を±10[deg](ビーム偏向範囲: ±20[deg])とした。

測定の結果、距離3.8[m]までは±15[deg]で、パイロット光源に対して追従可能であった。3.8[m]以上では、追従範囲が狭くなるが、5.6[m]までは追従が可能であった。

ビーム偏向範囲に対して追従可能範囲が狭くなっている。

② 通信性能

送信器(光無線モジュール)に1Gbps_LANのHubを接続し、送信データを1.25Gbpsのランダムパターンとした場合の、受信器において受信した差動信号($\pm Rx$)を図ウー12に示す

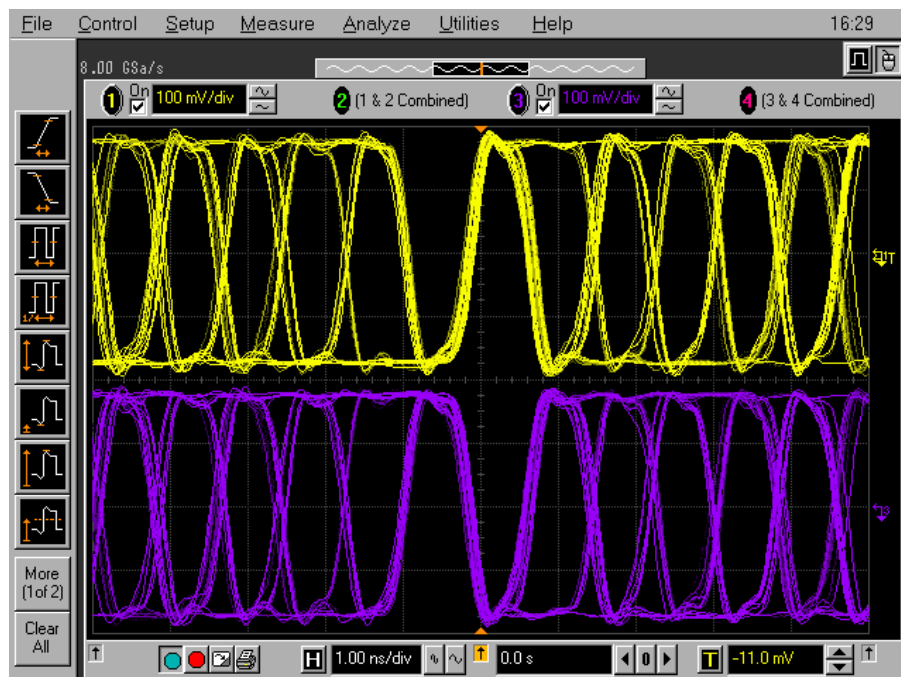


図 ウー12 受信信号アイパターン

e) 双方向基礎検証モデルの検討

以上のように片方向基礎検証モデルを用いた一次試作システムでは、サーチ・サーボに必要最小限の受光光学系とレーザ送信部のみをもち、別途配置した受信モジュールに対してサーチ・サーボを行うと共に、片方向でデータ通信を行った。次に、データ通信用受信部を含めた双方向基礎検証モデルの構成について述べる。

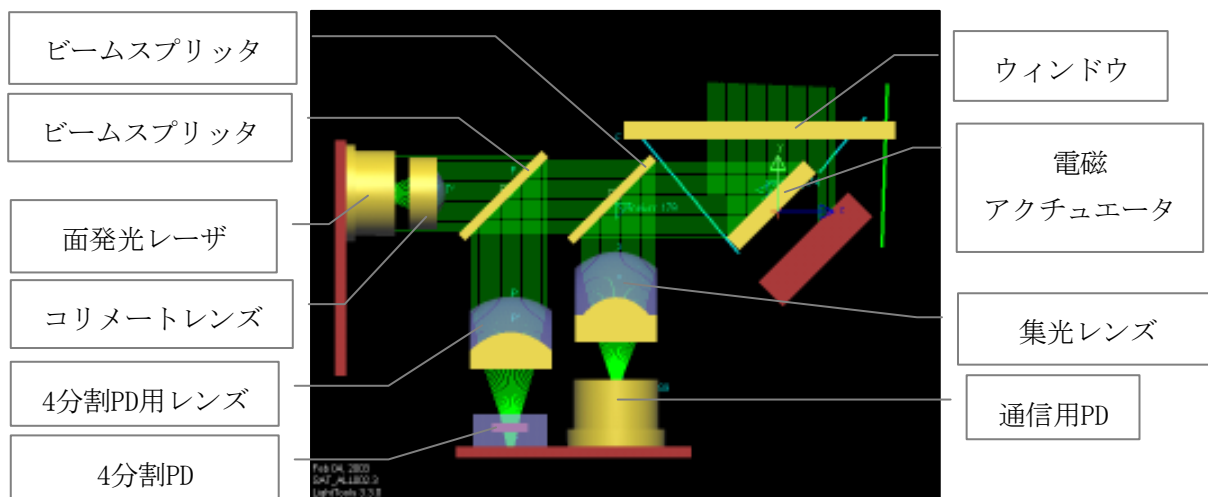


図 ウー13 双方向基礎検証モデルの基本構成

本モデルでは、まず高い受光感度と高速サーボが可能な仮想同軸構造について検討を行った。図ウー13に基本構成を示す。図のように本構成では、高速応答性に優れた通信用PDと集光レンズおよびビームスプリッタが追加される。

構成上もっとも重要なのは、送信光と受信光の電気的および光学的アイソレーションである。電気的アイソレーションを確保するためには、面発光レーザと通信用PDを十分に離す必要がある。図に示す基本構成では、面発光レーザと通信用PDの間に4分割PDおよびレンズを配置した。一方、光学的アイソレーションを確保するためには、まず各ビームスプリッタおよびレンズに反射防止膜をコートすることが望ましい。反射防止膜を施すことで、各面で反射される4~6%の不要光をそれぞれ0.5%以下に低減することができる。反射防止膜は、サーボおよび通信光の光量増加にも効果がある。更に、光学的アイソレーションは、面発光レーザの発光波長と、4分割PDおよび通信用PDに照射される受光波長を変え、かつ波長選択フィルタやミラーを用い、各々の波長を分離し、不要光を遮断することで実現することができる。波長分離の方法としては2つの方法がある。1つの方法は、ビームスプリッタをダイクロイックミラーとし、発光波長を100%透過(または反射)し、受光波長を100%反射(または透過)する方法である。この方法は、入射した光の100%を4分割PDと通信用PDで利用できるため伝送性能的に有利である。しかしながら2つの波長が近接している場合、例えば780[nm]と850[nm]のように、波長間隔が70[nm]程度しかない場合には、斜入射により波長特性が低域にシフトし、所望の特性が確保できない場合がある。また膜の層数が非常に多くなり部品コストの上昇が懸念される。もう1つの方法としては、4分割PDや通信用PDの前段または、各レンズの前段に、受光波長のみを透過するフィルタを配する方法である。この方法は、ビームスプリッタによる入射光量の低下はあるが、少ない膜の層数で安価に実現可能である。

以上の基本構成をもとに二次試作システムとして双方向通信可能な基礎検証モデル

について検討を進めている。図ウー14に構成を示す。

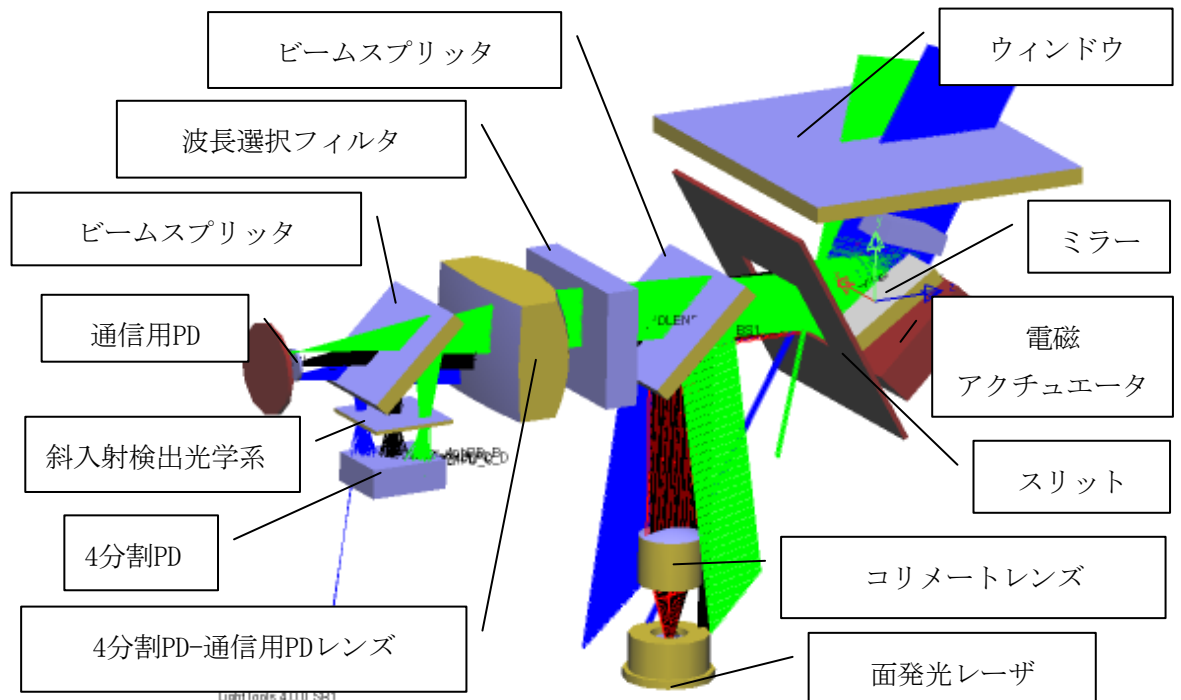


図 ウー14 双方向基礎検討モデルの構成

双方向基礎検証モデルは、一次試作システムに対し、通信用PD、波長選択フィルタ、斜入射検出光学系が追加される。4分割PDは、面発光レーザと通信用PDの間とし、電気的アイソレーションに有利な配置とする。また、ミラーの外部を通過して入射してくる不要光の影響を受光素子が受けないように、初段ビームスプリッタの下部に面発光レーザを配置する。面発光レーザの発光波長は、780[nm]と850[nm]の2波長とし、通信相手の波長と異なる波長で発光する。更に4分割PDと通信用PDの前段に受光波長のみを透過し、自身の発光波長を遮断する波長選択フィルタを設ける。これにより光学的アイソレーションの確保が可能となる。

4分割PDとレンズの間には、斜入射検出光学系が配置される。斜入射光学系は、回転対称型回折素子などで構成され、入射した光束が垂直入射の場合、入射光束の分布が偏っていたとしても、均等に4分割PDに照射される。入射した光束が斜入射の場合には、斜入射検出光学系を用いない場合と同様に、4分割PD上の照射光は、アンバランスとなり、所望のSカーブ特性を得ることができる。

以上の検討結果をもとに試作した双方向通信基礎検討モデルを図ウー15に示す。

図のように試作したモデルでは、図ウー14に示した基本構成に加え、各受発光素子の光軸調整やビームの広がり角の調整、4分割PDのSカーブ特性の調整を行うための機構部を備え、各部の基本性能およびシステム性能の詳細な検証を可能としている。

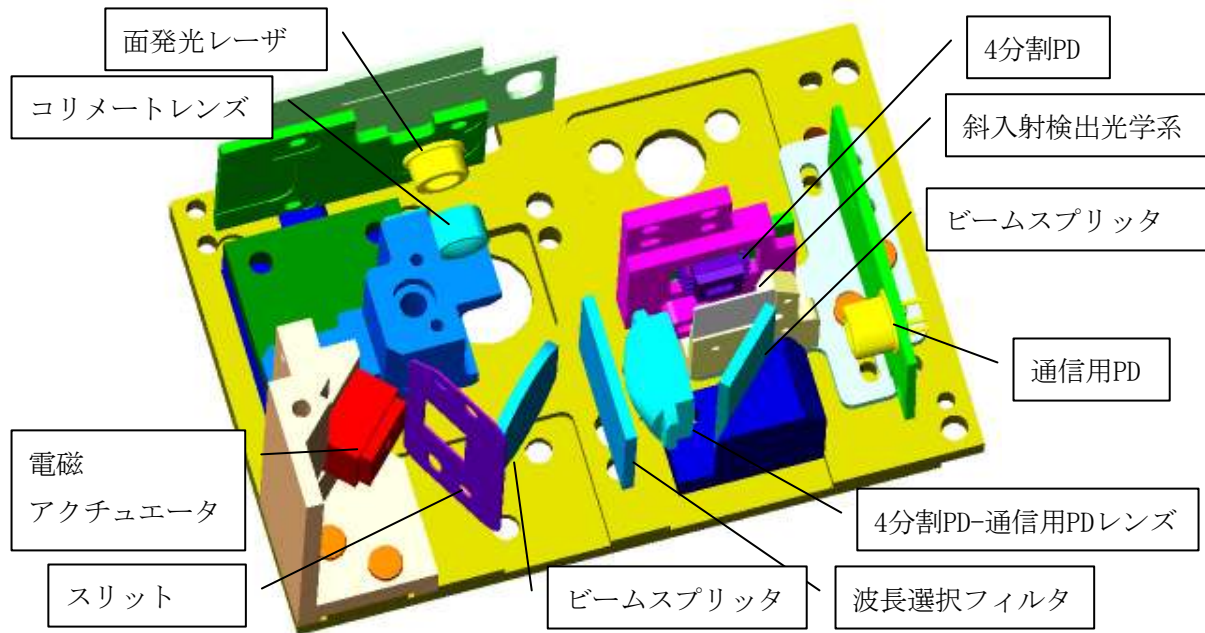


図 ウー15 双方向通信基礎検証用試作モデル

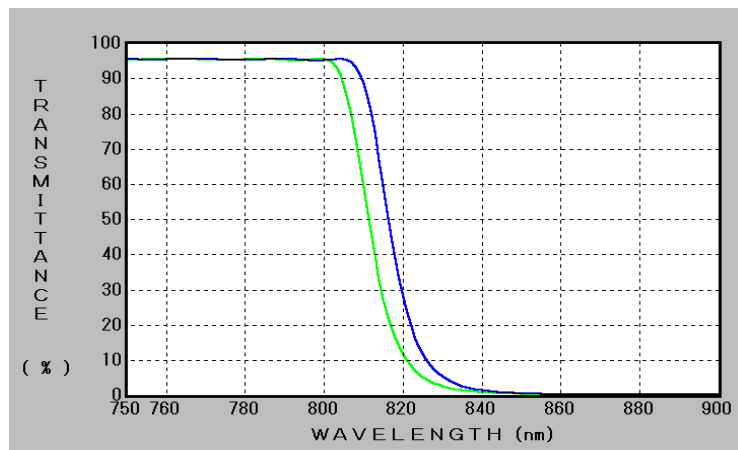


図 ウー16 780[nm]透過/850[nm]阻止用波長選択フィルタ

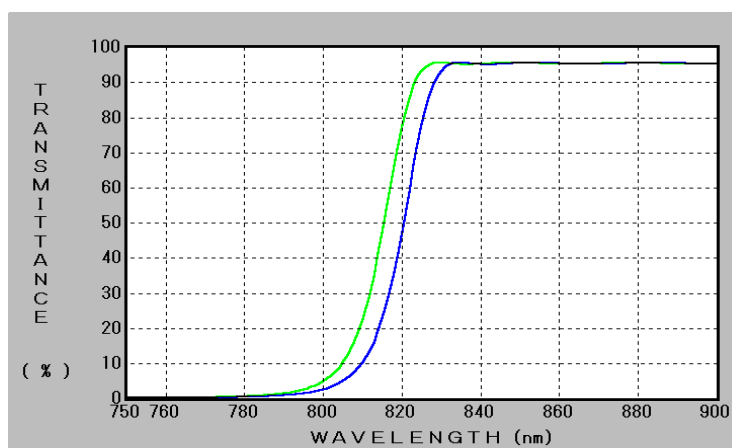


図 ウー17 850[nm]透過／780[nm]阻止用波長選択フィルタ

図ウー16、17に、780[nm]透過用および850[nm]透過用として試作した波長選択フィルタの分光特性(実測)を示す。誘電体膜の総数20層にて、使用波長の透過率96%、阻止波長の透過率平均均1%の結果を得た。結果より光学的アイソレーションに対する十分な効果が期待できる。

以上、試作したモデルでは、片方向通信の基礎検証モデルである一次試作システムの最大幅約40[mm]に対し、+20[mm]の幅60[mm]で双方向通信を実現する。今後は試作モデルを基に、光学特性、電気特性、システム性能の評価・検証を行う。

2) 広範囲自動サーチ機能の検討

昨年度より、通信相手の位置(方向)を高速に特定しビームを向けるための機能(広範囲自動サーチ機能)を実現するため、2次元撮像素子(CMOSセンサ)を用いて検討を進めてきた。具体的には、図ウー18に示すよう、通信相手からの任意の周波数で点滅させたパイロット光のON、OFFタイミングで撮像後、両フレームの差分データをとることで、パイロット光のみを抽出し、方向を特定する。本方式を用いることで、画像中の不要なノイズ成分を除去し、方向特定のアルゴリズムを比較的容易にすることが可能となるが、

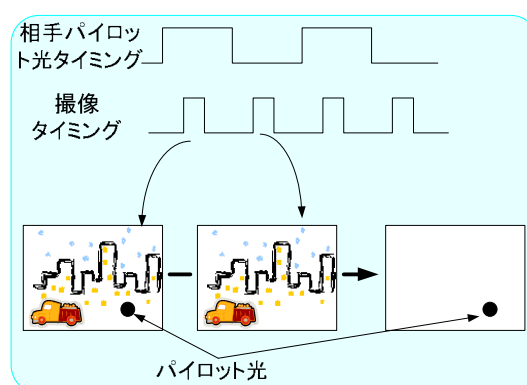


図 ウー18 抽出手法

- ① 太陽光の影響
- ② 広視野角レンズの実現

と言った課題が指摘されていた。以下、各課題への具体的取り組みを記す。

a) 太陽光対策への取組み

ノイズ成分の1つである太陽光は、CMOS センサの「画素PD飽和」の要因となる。本課題を軽減させるため、「地表に到達する太陽光は大中のH₂Oの影響により950[nm]近辺の強度が小さい」(図ウー19参照)ことに着目し、太陽光対策として、パイロット光波長を950[nm]近辺に設定し、かつ光学フィルタにて不要波長成分を除去する検討を進めている。しかし、汎用CMOSセンサは長波長感度に配慮されていないため検証が困難であり、新たに長波長高感度CMOSセンサの試作を開始した。新規CMOSセンサの特徴を以下に示す。

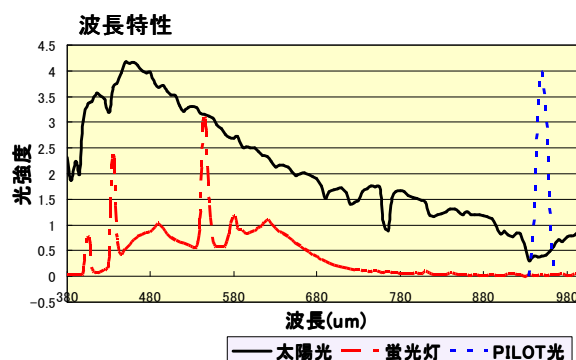


図 ウー19 太陽光波長特性

- ① 画素数 136×136 画素
(□20[μm/pixel])
195×195画素
(□13.9[μm/pixel])

特定すべく方向精度に直接影響する画素数はより多いことが望ましい。しかし画素数の増加は、受光感度の低下(各PD面積の減少)、チップ面積の増加、画像データ量の増加による演算量増加、取り込み速度の低下等のデメリットもあり、今回は2つのパターンを試作、検証する。

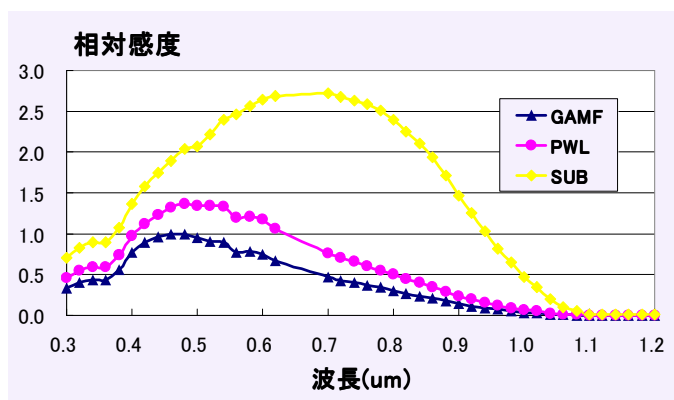


図 ウー20 CMOS感度-波長特性

② 長波長(950[nm])感度の向上

長波長側の光をより多く電気信号として取り込む為にはPD部の接合において電圧を印加した時、Si内により深く空乏層が広がる必要がある。そこで接合部の下の状態を標準のCMOSプロセス(GAMF)とP不純物の濃度を減らした状態(PWL)、さらに濃度を減らした状態(SUB)でシミュレーションを行い、分光感度を見積もった。(図ウー20参照)その結果不純物濃度を一番下げた状態に分光感度の向上が顕著に表れており、今回の試作に適用する。

③ 外部トリガによる露光タイミング及び全画素同時露光機能

パイロット光の点滅周波数にあわせた撮像、高速化を考慮し、外部トリガによる露光が不可欠となる。また、光の点滅を撮像するため、CMOSセンサで一般的に使用される順次露光(ローリングシャッタ)方式ではなく、全画素を同時に露光するシャッタ方式を採用する。

④ フレーム差分出力機能

前述のようにパイロット光抽出にはパイロット光のオン、オフ状態のフレーム差分データを用いるため、センサ内部で本処理を行う。これにより、周辺回路を減らせるだけでなく、画素ごとに差分用蓄積部を設けアナログレベルでの差分演算を行うため、後段に設けられるADCのダイナミックレンジを有効に使うことができる。

b) 広視野角レンズ開発への取組み

高速広範囲自動サーチ機能を実現する上で、サービスエリアを広げるためには、CMOSセンサに取り付けるレンズには、広視野角でかつ損失の少ない光学系が要求される。本開発においては視野角150[deg](±75[deg])を目標に開発を進めている。以下、開発の詳細について述べる。

① 広視野角レンズの概要

図ウー21に開発をすすめている広視野角レンズの概略図を示す。

広視野角レンズは、全角150[deg]の広い視野角を有し、かつ曲面形状を非球面とすることで、入射開口が最小となる±75[deg]などの広角入射に対しても、入射光をセンサ上に効率的に結像する。また各レンズ面にはフレネル反射損失を低減するために、パイロット光の発光波長において反射損失

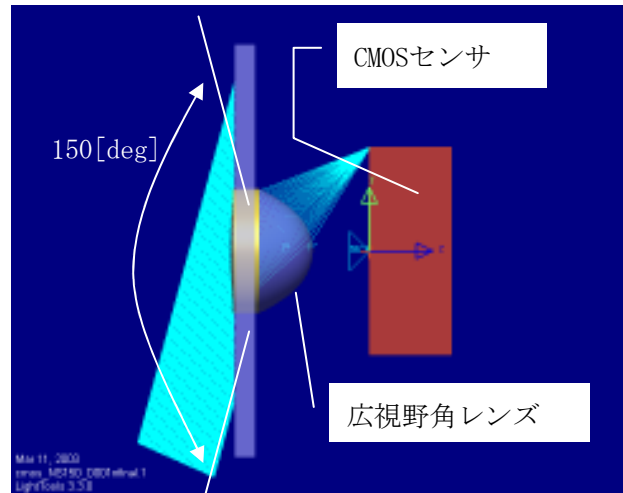


図 ウー21 広視野角レンズ

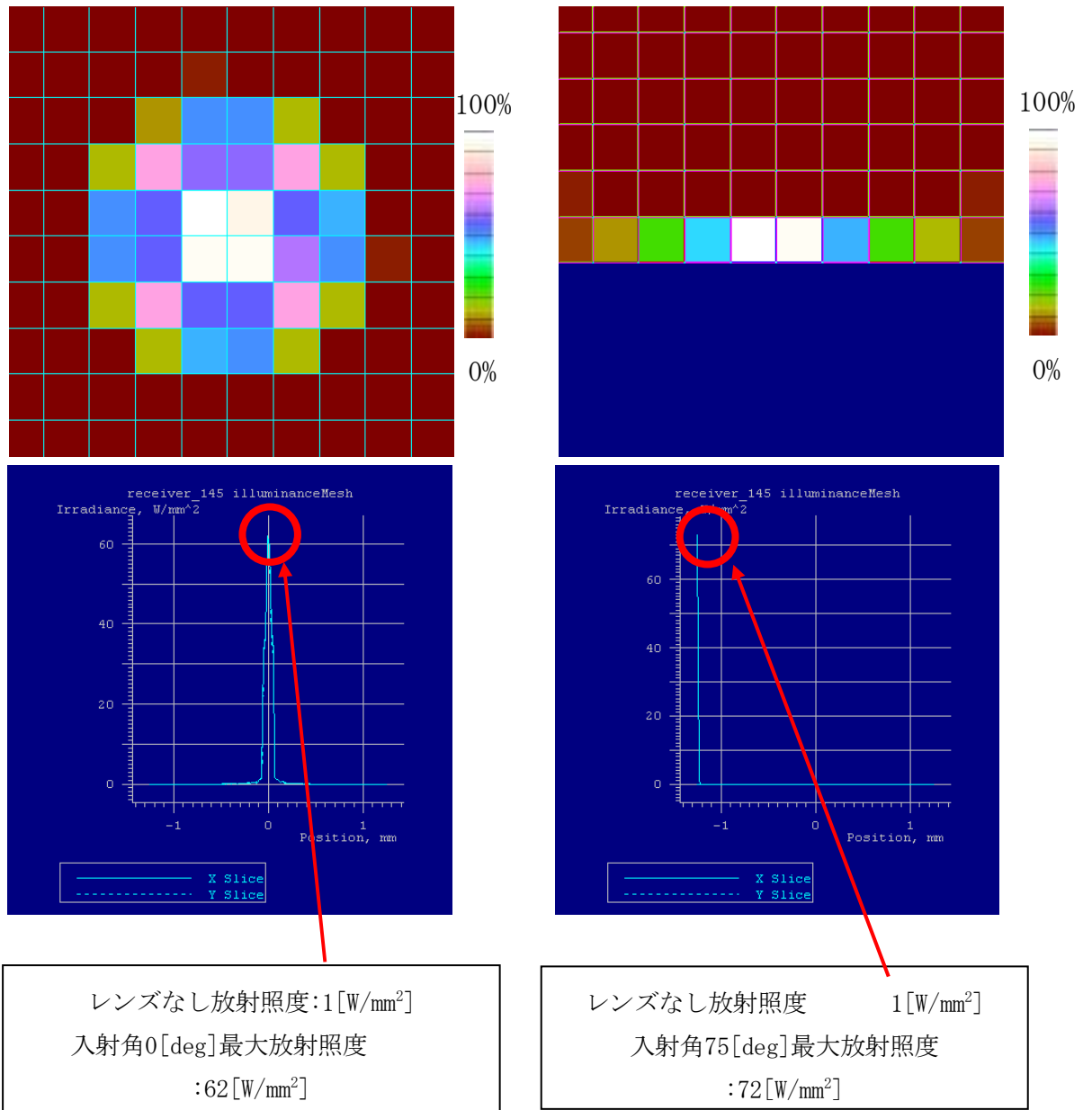
が最も小さくなるようフッ化マグネシウムなどの反射防止膜が施される。レンズ材料としては、可視光カットフィルタと同様の成形材料が望ましい。本開発においては、三菱レイヨン社のアクリペットIRグレードでの成形を想定し、アクリペットのベース基材であるアクリル樹脂でレンズの設計を行っている。

②シミュレーション評価

開発した広視野角レンズの光学特性について、光線追跡シミュレーションによる評価を行った。結果について以下に記す。

レンズへ照射されるパイロット光の光量は、放射照度1[W/mm²]と仮定した。(放射照度:1[mm²]あたりに照射される光量。)この光量は、レンズを配置しない場合、すなわちCMOSセンサへ直接パイロット光が照射された場合と同値である。

図ウー22(1)および(2)は、それぞれ0[deg]入射と75[deg]入射におけるCMOSセンサ上の照度分布特性である。各図の上段は、センサ上に結像したスポット形状と照度を示す。格子に囲まれた1ブロックは20[μm]角の1画素に相当する。各図の下段は、センサ全体におけるスポット光の照度分布を示す。図のように入射光量の低下が予想される±75[deg]の広角入射において、スポットが最小となるように非球面形状が設計されている。



(1) 0[deg]入射における照度分布特性

(2) 75[deg]入射における照度分布特性

図 ウー22 広視野角レンズの照度分布特性

図ウー23に0[deg]から75[deg]のパイロット光入射に対する1画素当たりの放射照度シミュレーション結果を示す。これより、0[deg]入射から75[deg]入射までの全角度において、放射照度として

62[W/mm²]以上、レンズ効果としては、62倍以上の感度向上が期待できる。

図ウー24に入射角度に対するセンサ上の結像位置の変位の、図ウー25に入射角度に対する角度分解能、すなわち1画素がカバーする角度範囲のシミュレーション結果を示す。これより、開発したレンズが0[deg]入射から75[deg]入射まで高いニアリティを有し、角度分解能も1.1[deg]から1.6[deg]の範囲内で比較的安定していることがわかる。

この高いニアリティにより、CMOSセンサ上に結像したスポット位置から通信相手の方角を微小範囲内に限定する広指向サーチアルゴリズムを比較的容易にすることが可能となる。

以上、開発した広視野角レンズの光学特性について、シミュレーションによる評価を行い、理論上は所望の特性が得られることを確認した。次に実際にレンズを製作し、CMOSセンサと組み合わせて所望の特性を得るための課題について述べる。

③広視野角レンズにおける課題

広視野角レンズの課題としては、CMOSセンサへの取り付け精度が挙げられる。特にレンズの視野角が150[deg]と広くセンサへの入射角が大きいため、高さ方向(センサとの間隔)において高精度が要求される。横方向の

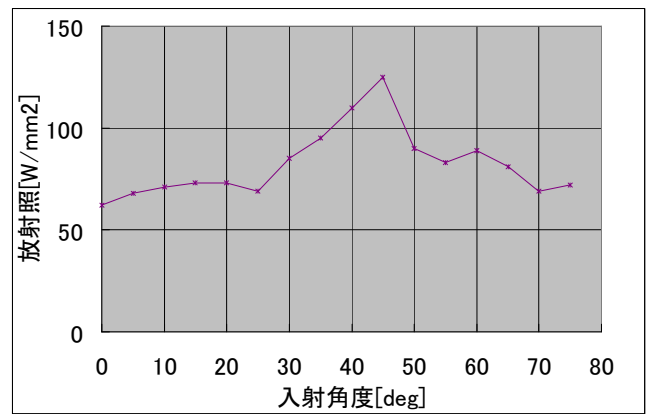


図 ウー23 シミュレーション結果(1)
広視野角レンズ 受光感度特性

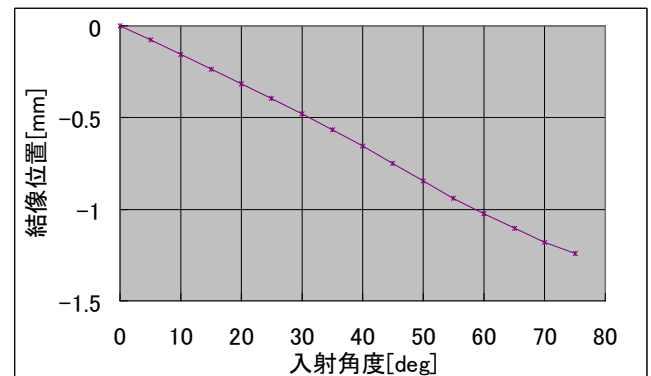


図 ウー24 シミュレーション結果(2)
入射角度に対するセンサ上の結像位置

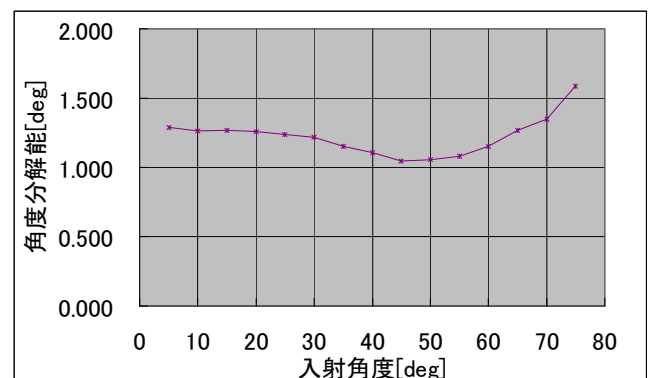
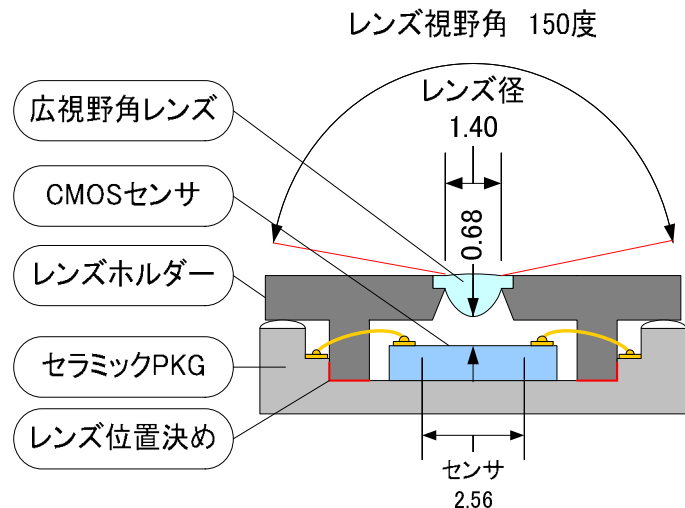


図 ウー25 シミュレーション結果(3)
入射角に対する角度分解能

取り付け精度に関しては、あらかじめ公差分の画素をセンサ外周に用意しておき、レンズとセンサの中心軸がずれた場合は、センサの中心軸をレンズの中心軸に電氣的にオフセットすることで対処可能である。今回のCMOSセンサ試作においては、 $\pm 80[\mu\text{m}]$ の取り付け誤差を考慮し、視野角 $\pm 75[\text{deg}]$ を確保するために必要なセンササイズ



$\square 2.56[\text{mm}]$ に対し、 $2.72[\text{mm}]$ としている。

図 ウー26 広視野角レンズの取り付け

図ウー26に広視野角レンズの取り付け例を示す。図のようにCMOSセンサは、セラミックパッケージの底部に銀ペーストなどで固定される。レンズは、レンズホルダに取り付けられた状態で、セラミックパッケージの外周部や底部で位置決めされたのち固定される。

高さ方向の精度は、レンズ厚、ホルダ厚、パッケージ厚、センサ厚および各部材を固定する接着材の厚み公差などで決まり、図のようにパッケージ底部でレンズ高さを位置決めすることで、パッケージ厚のばらつきを排除した場合においても、最大 $\pm 0.144[\text{mm}]$ の取り付け誤差が予想される。この誤差は、シミュレーション上、 $0[\text{deg}]$ 入射で約53%の照度低下となるため、更に高精度に実装可能な取り付け手法の確立が必要である。

今回試作したCMOSセンサにおいては、これら取り付け精度を考慮し、レンズホルダの位置決めをセンサ表面で行えるよう、センサ表面に位置決め専用のエリアを設けるとともに、ワイヤボンディングについても考慮して開発を進めている。センサ表面で位置決めが可能となれば、センサ厚や接着層のばらつきを排除することができ、取り付け誤差は、最大 $\pm 0.06[\text{mm}]$ に縮小される。これにより、 $0[\text{deg}]$ 入射における照度低下は、約53%から約27%に低減可能となる。

来年度は、広視野角レンズの実証実験を進めるとともに、如何に精度良く実現するか、量産方法も含めて検討を進めていく。

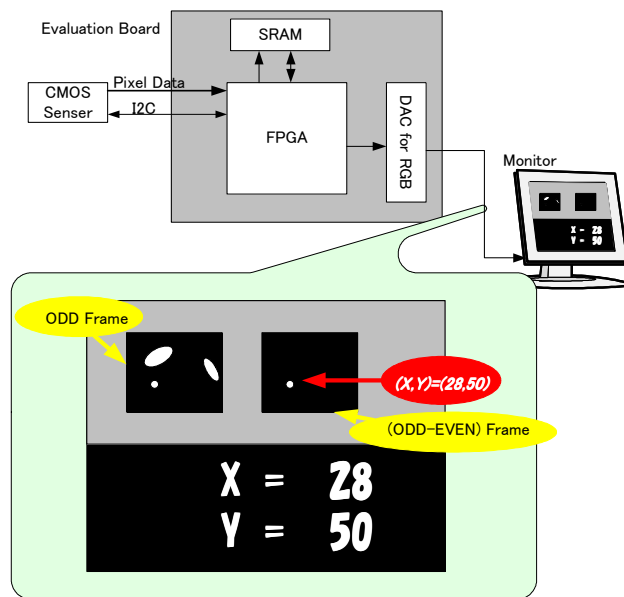


図 ウー27 サーチ評価システム

c) 今後の取り組み

今年度、フレーム差分によるノイズ(蛍光灯)除去の検証、レンズ特性の基礎検証、相手方向特定アルゴリズムの検討を目的に図ウー27に示す評価システムを構築した。CMOSセンサにはナショナルセミコンダクタ製のLM9630を使用した。来期は今回試作のCMOSセンサに変更してさらに検討を進める予定である。

また、図ウー28に今回試作したCMOSセンサを示す。現在、特性及び機能の評価を行っている。今後は前述の試作レンズを取り付けた後、

- ①レンズ特性と取り付け精度の検証、及び対策の検討
- ②太陽光の影響軽減の検証
- ③相手光抽出及び方向特定アルゴリズムの検討

を進める予定である。また、基本性能の向上、ADCの内蔵化、アルゴリズム実現のためのDSP部のオンチップ化等の検討を進め、来年度、第二次試作を行う予定である。

また、サーボ制御部、及び次章で報告する広範囲駆動アクチュエータとの連携(相手方向情報の受け渡し)アルゴリズムの開発も進めていく。

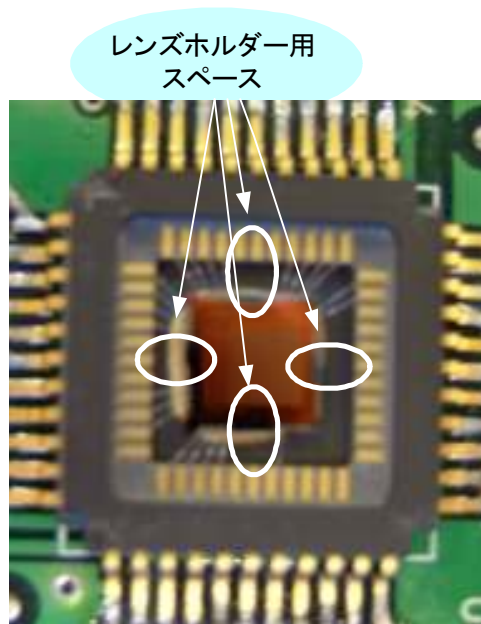


図 ウー28 試作CMOSセンサ

5-3-3-2. 超小型光無線モジュールの研究開発

平成15年度は、超小型光無線モジュールに搭載する予定の素子の改良検討を実施すると共に、光無線モジュールの光学構成の検討を行った。

1) 面発光レーザの開発

発光素子として使用する面発光レーザ開発は、受信器側にて太陽光の影響の少ない950nm帯で発光する素子の検討もスタートさせた。

上期の開発項目を下記に示す。

1. 850nm面発光レーザの信頼性評価（前年度からの続き）
2. 950nm面発光レーザの要素技術開発

a) 850nm面発光レーザの信頼性評価

前年度は、試験素子を信頼性試験機に入れるまで終了したので、今期にその結果を報告する。

(i) 実験方法

通電素子数：4個

通電条件： $P_o=0.5\text{mW}$ 、 50°C 、APC通電

面発光レーザ素子形態：ポリイミド埋込みエアポスト

(ii) 結果

表ウー1に今回の面発光レーザ通電試験結果、表ウー2に表ウー1の結果からの累積故障率の値、図ウー29、図ウー30に表ウー2の累積故障率のグラフ、図ウー31に今回の面発光レーザ通電試験結果のAgingグラフを示す。

(iii) 考察

しきい値電流の上昇、 I_{op} の上昇、効率の減少から、活性層の劣化が起きていると考え

られる。原因としては、プロセス時のドライエッチング等でのダメージ層が除去されていないためと考えられる。今回の結果での寿命を推定した。

① 緩慢劣化とした場合

図ウ-29を見ると最初に劣化したものだけ直線からずれている。よって、これを考慮しない場合（図ウ-30）を使って計算した。

また、今回の実験では、温度による活性化エネルギーを求められないので、NTTが実験した結果を使用した。

活性化エネルギー $\Delta E=0.68\text{eV}$

$$\begin{aligned}\text{温度加速係数}(@50^{\circ}\text{C}\rightarrow 25^{\circ}\text{C}) &= \exp \{11606 \times 0.68 \times (1/298 - 1/323)\} \\ &= 7.77\end{aligned}$$

図ウ-29より、メジアン $t_m=137.5$ hrs.

84%故障時間 $t_1=213.9$ hrs.

16%故障時間 $t_2=82.4$ hrs.

$$\mu = \ln(135.5) = 4.92$$

$$\sigma = 1/2 \times \{ \ln(213.9) - \ln(82.4) \} = 0.477$$

$$\text{MTTF}(@50^{\circ}\text{C}) = \exp(\mu + \sigma^2/2) = 153.5 \text{ hrs.}$$

$$\text{MTTF} (@25^{\circ}\text{C}) = 153.5 \times 7.77 = \underline{\underline{1194.2 \text{ hrs.}}}$$

② 突然劣化とした場合

60%信頼水準故障率推定より計算

$$\text{総コンポーネント時間} = 4 + 137.5 + 107.5 + 200 = 449 \text{ hrs.}$$

$$\text{MTTF} (@50^{\circ}\text{C}) = 449/5.24 = 85.7 \text{ hrs.}$$

$$\text{MTTF} (@25^{\circ}\text{C}) = 85.7 \times 7.77 = \underline{\underline{665.9 \text{ hrs.}}}$$

目標MTTFは、 5×10^4 hrs. であり、目標から大きくはずれていることが判った。今後、プロセス等の最適化をはかり、信頼性向上を検討する。

表 ウー1 850nm面発光レーザ通電試験結果

Channel#1 (HB113-1#10M13)	I _{th} (mA)	I _{op} (mA) @P _o =0.5mW	V _{op} (V) @P _o =0.5mW	η (W/A)	Wavelength(nm) @P _o =0.5mW
エージング前	1.1	2.8	2.646	0.286	847.025
エージング後 (200hrs.)	1.4	4.6	3.183	0.159	847.6
変化率(%)	27.27	64.29	20.29	-44.41	0.07

Channel#2 (HB113-1#10M16)	I _{th} (mA)	I _{op} (mA) @P _o =0.4mW	V _{op} (V) @P _o =0.4mW	η (W/A)	Wavelength(nm) @P _o =0.4mW
エージング前	1.88	3.7	2.592	0.432	850.75
エージング後 (107.5hrs.)	1.94	4.4	2.752	0.152	850.975
変化率(%)	3.19	18.92	6.17	-64.81	0.03

Channel#3 (HB113-1#20M23)	I _{th} (mA)	I _{op} (mA) @P _o =0.5mW	V _{op} (V) @P _o =0.5mW	η (W/A)	Wavelength(nm) @P _o =0.5mW
エージング前	2.4	4	3.04	0.316	853.5
エージング後 (137.5hrs.)	2.5	4.5	3.222	0.236	853.675
変化率(%)	4.17	12.50	5.99	-25.32	0.02

Channel#4 (HA089#20M24)	I _{th} (mA)	I _{op} (mA) @P _o =2mW	V _{op} (V) @P _o =2mW	η (W/A)	Wavelength(nm) @P _o =2mW
エージング前	9.6	16.4	2.731	0.291	838.2
エージング後 (4hrs.)	10.5	18.4	2.894	0.27	838.55
変化率(%)	9.38	12.20	5.97	-7.22	0.04

表 ウー2 表ウー1の結果からの累積故障率

(a) 全素子分

時間(hrs)	故障率(%)
4.01	20
107	40
137.5	60
200	80

(b) 直線から外れたものを除いた分

時間(hrs)	故障率(%)
107	25
137.5	50
200	75

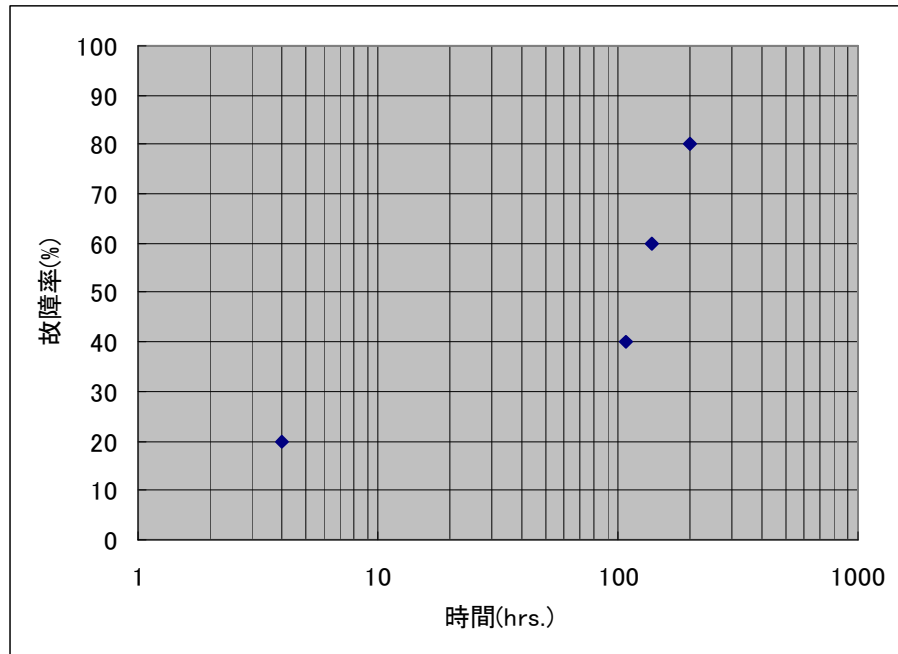


図 ウー29 故障率グラフ(全素子)

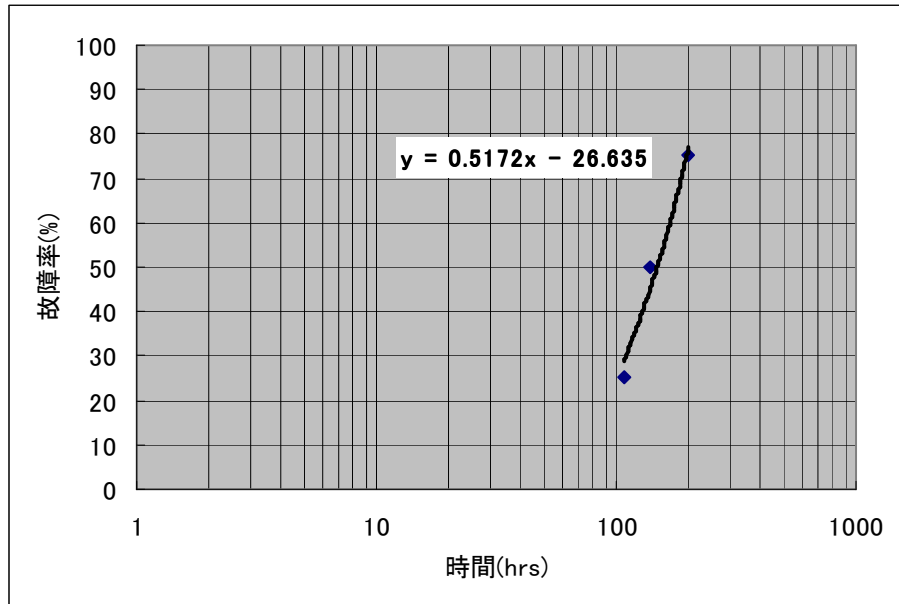


図 ウー30 故障率グラフ

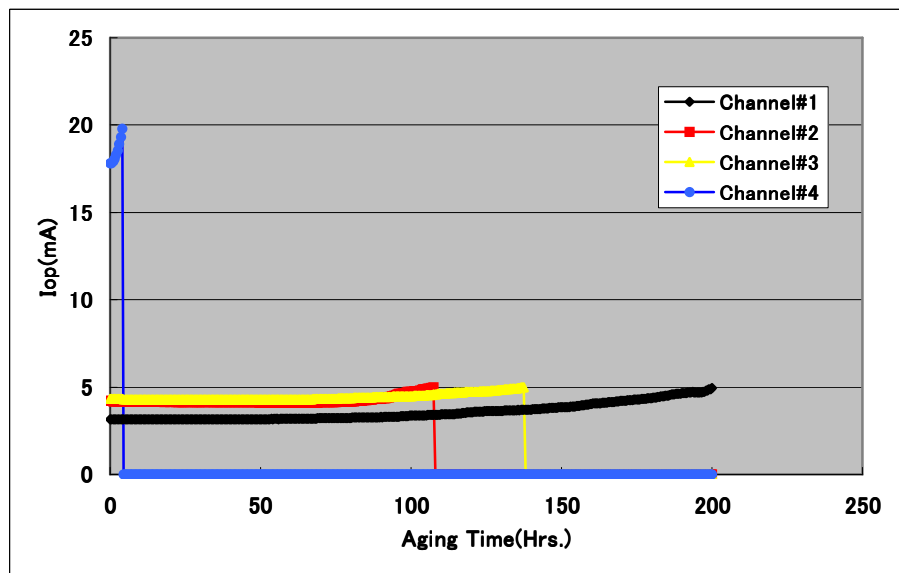


図 ウー31 通電試験結果の Aging グラフ

b) 950nm 面発光レーザの要素技術開発

今期より新たに 950nm の面発光レーザの開発をスタートさせた。

まず、950nm 面発光レーザの構造設計を行った。今回設計した 950nm 面発光レーザの素子構造を図ウー32 に示す。

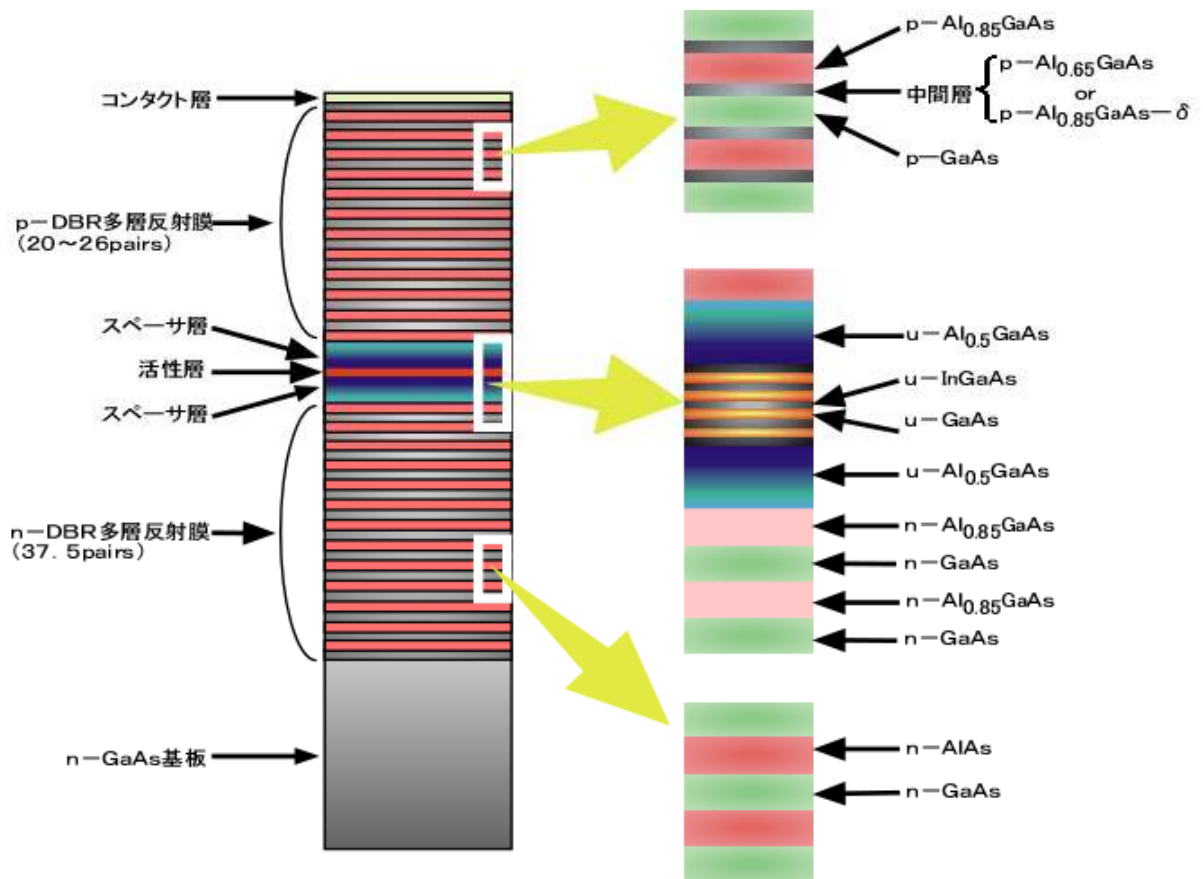


図 ウー32 950nm 面発光レーザエピ基本設計

活性層は、発振時の温度上昇を考慮して、設計値を 935nm に設定した。波長 950nm は、前回までの 850nm のときと違い、活性層に「InGaAs」を使用することになり、材料系が変わることになる。よって、新材料である「InGaAs」層の作製条件を検討した。

InGaAs/GaAs-SQW (Single Quantum Well) の PL (Photo Luminescence) 評価結果を表ウー3に示す。実験より、成長温度が高いと PL 波長の面内分布が悪く、温度を低くすると PL 波長の面内分布が改善することを確認した。よって、成長温度を、580°C を基本とすることにした。また、活性層の設計値である 935nm 付近で発光する条件を得た。

表 ウー3 面発光レーザPL評価結果

	Tg (°C)	PL wavelength(nm)					material	thickness (Å)
		Top	Center	Bottom	Ave.	uniformity (%)		
HD088	650	1028.62	995.34	975.17	994.81	1.7	InGaAs /GaAs	80/100
HD089	650	982.52	956.05	939.24	955.27	1.3	InGaAs /GaAs	80/100
HD090	650	930.67	916.60	907.52	916.32	0.8	InGaAs /GaAs	80/100
HD091	650	940.71	923.74	914.58	923.06	0.8	InGaAs /GaAs	100/150
HD093	650	913.49	896.49	884.50	895.70	1	InGaAs /Al0.3GaAs	80/100
HD106	650	964.92	942.27	927.71	941.50	1.2	InGaAs /GaAs	80/100
HD107	650	956.01	936.58	924.98	936.26	1	InGaAs /GaAs	80/100
HD108	650	946.18	922.93	908.78	922.09	1.2	InGaAs /Al0.15GaAs	80/100
HD109	650	958.06	933.48	919.01	933.67	1.3	InGaAs /Al0.15GaAs	80/100
HD111	650	837.62	838.89	839.05	838.73	0.1	GaAs /Al0.3GaAs	80/100
HD112	650	957.11	938.29	925.40	937.61	1	InGaAs/GaAs (3QW)	80/100
HD120	620	836.02	838.03	839.01	837.83	0.1	GaAs /Al0.3GaAs	80/100
HD121	620	974.68	957.57	945.38	956.61	1	InGaAs /GaAs	80/100
HD125	620	980.75	966.71	945.52	963.21	1.2	InGaAs /GaAs	80/100
HD155	540	1006.97	1011.37	1015.59	1012.18	0.30	InGaAs /GaAs	80/100
HD156	580	1003.99	1000.40	994.76	999.49	0.30	InGaAs /GaAs	80/100
HD160	580	930.97	930.14	930.07	930.23	0	InGaAs /GaAs	80/100
HD161	580	938.61	937.79	937.30	937.89	0	InGaAs /GaAs	80/100

次に、さらに他の構成要素であるDBR層、スペーサ層について条件を検討する必要があり、それらを行うにあたり、まず、カーボン（以下Cと記す）を使ったp型のドーピングの条件出しを行った。結果を図ウー33～35に示す

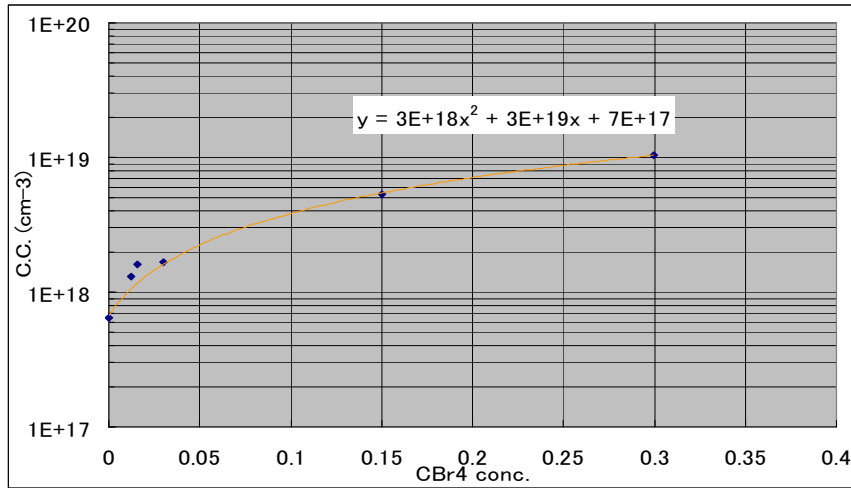


図 ウー33 Al_{0.85}GaAs Cドーピング条件

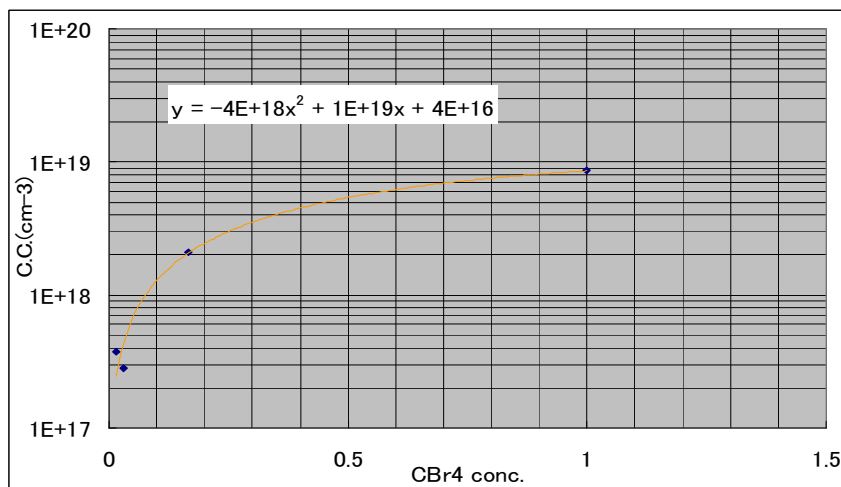


図 ウー34 GaAs Cドーピング条件

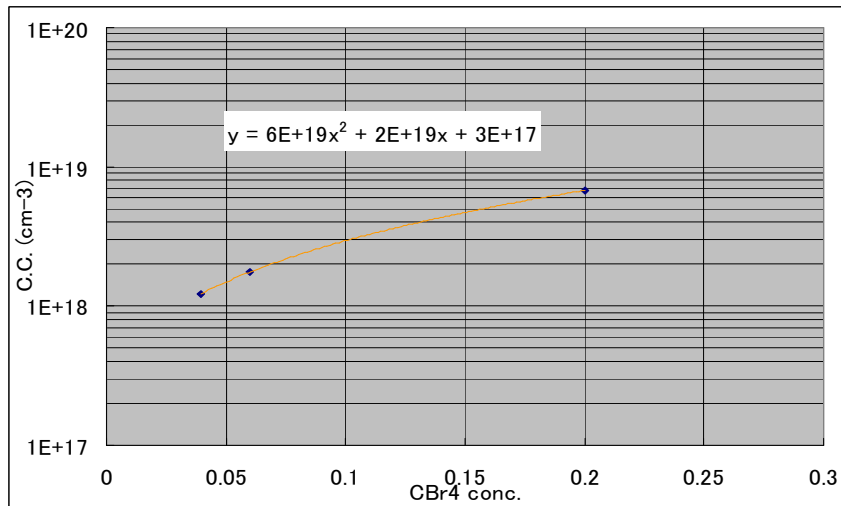


図 ウー35 Al_{0.65}GaAs Cドーピング条件

Cドーピングの条件出しにおいて、実際に面発光レーザの結晶成長を考えると活性層であるInGaAs層の成長後にp型DBR層を成長する順番となるので、InGaAs層成長条件の1つ

である成長温度を同じにすることが望ましい。よって、今回 δ ドーピングの成長温度は、 580°C で行うことを前提とした。結果より、 AsH_3 流量及び、ドーパントである CBr_4 流量をコントロールすることでp型DBR層の設計仕様であるキャリア濃度を $5 \times 10^{17}\text{cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ の範囲でコントロール可能なことを確認した。p型DBR層の設計仕様を表ウー4に、構造を図ウー36に示す。

表 ウー4 p-DBR層設計値

DBR層のタイプ	材料	設計膜厚	設計キャリア濃度
δ ドーピングタイプ	$\text{Al}_{0.85}\text{GaAs}$	681.3 \AA	$2 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$
	$\text{Al}_{0.85}\text{GaAs}-\delta$	50 \AA	$1 \times 10^{19}\text{cm}^{-3}$
	GaAs	669.0 \AA	$2 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$
中間層挿入タイプ	$\text{Al}_{0.85}\text{GaAs}$	750.7 \AA	$2 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$
	$\text{Al}_{0.65}\text{GaAs}$	50 \AA	$2 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$
	GaAs	669.0 \AA	$2 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$
中間層なし	$\text{Al}_{0.85}\text{GaAs}$	781.3 \AA	$2 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$
	GaAs	669.0 \AA	$2 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$

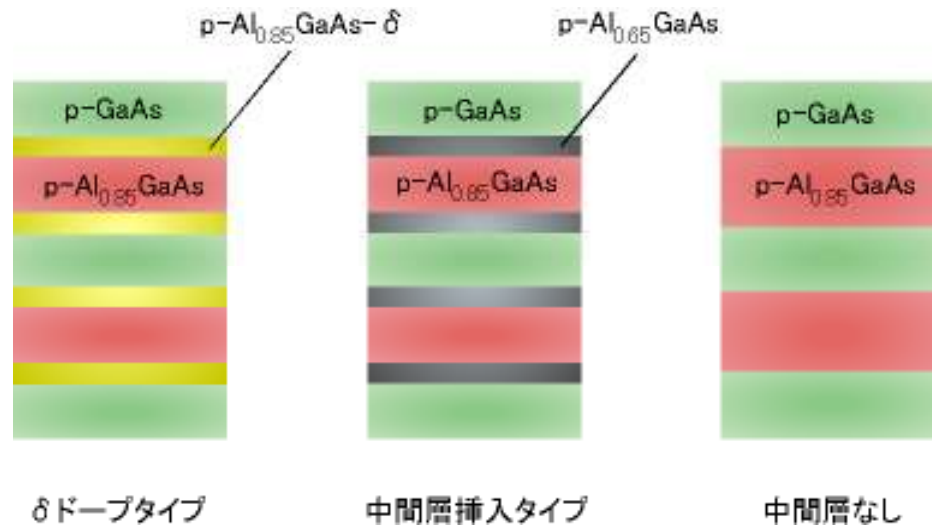


図 ウー36 p型DBR層構造

今回の面発光レーザでは、シングルモード発振が必要であるため、構造に狭メサ構造 ($10[\mu\text{m}] \phi$ 程度)の採用を検討しており、可能な限りp型DBR層の抵抗値を下げるようにしたいと考えている。よって、抵抗値を下げながら、かつ反射率を上げることを狙い、DBR層に δ ドーピングを導入することを検討した。

実際に、 δ ドーピング仕様及び比較として中間層1層挿入した仕様と中間層なしの仕様のDBR層を10ペア分積層したウエハ3種類を作製し、作製したウエハの反射率を評価した。結果を、図ウー37~39に示す。結果より、10ペアで95%程度の反射率が得られていることが判明した。 δ ドーピングした高濃度層による光の吸収により、反射率の低下の可能性

が考えられたが、実際の素子では、20 ペア以上とするので、99.9%以上は得られると考えられ、 δ ドーピング導入に期待できる。来年度は、このウエハをメサ形状に加工し、抵抗を評価する。

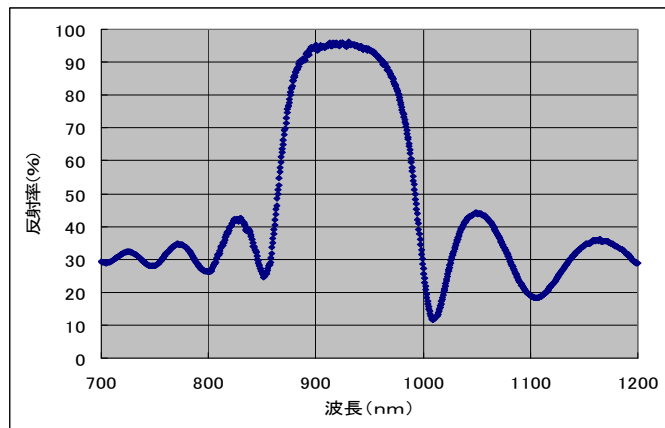


図 ウー37 p-DBR (δ ドーピングタイプ) 反射率評価

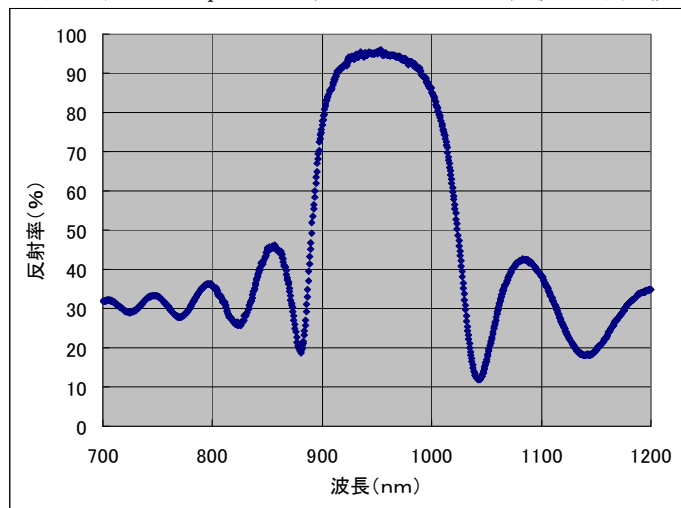


図 ウー38 p-DBR (中間層挿入タイプ) 反射率評価

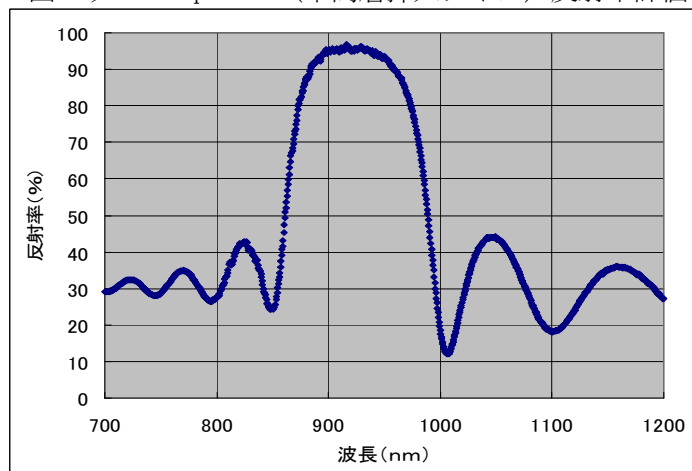


図 ウー39 p-DBR (中間層なしタイプ) 反射率評価

2) 電磁ミラーアクチュエータの低消費電力化

前年度は、角度はふれないが小型化の可能性のあるマイクロミラーアクチュエータと、角度のふれる電磁ミラーアクチュエータの検討を平行して実施した。しかしながら、その後の光学シミュレーションの結果、十分な伝達特性を得るために必要なミラーサイズが求められ、ミラーサイズの律則から、本体小型化のメリットが少ない事が分かったため、平成 15 年度は電磁ミラーアクチュエータに絞った検討を行った。電磁ミラーアクチュエータの課題の一つとして、低消費電力化が挙げられ、本年度はその改善を行った。

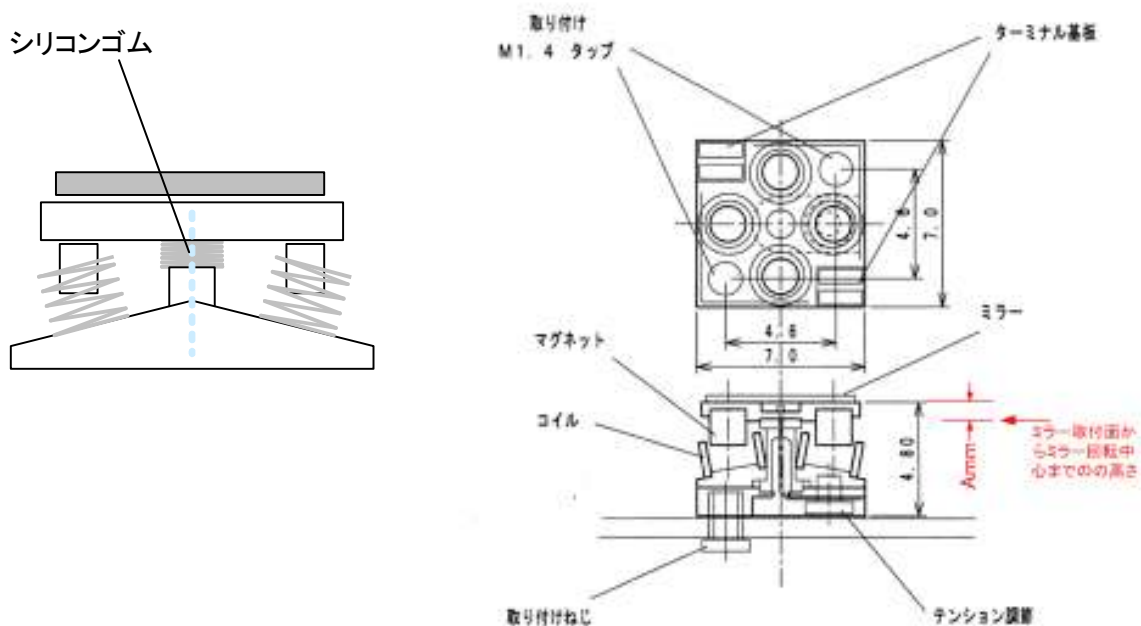


図 ウー40 電磁ミラーアクチュエータ構成図

ミラーアクチュエータの構成図を図ウー40 に示す。ミラー傾斜板の中央を糸で引っ張り、支点となるシリコンゴムに軽く押し付ける構成になっており、4つのコイル-マグネット間に作用する吸引、反発力によりミラー傾斜板を2次元に偏向制御を行うものである。シリコンゴムのダンパー効果により良好な周波数特性が得られるという特徴があるが、一方、ばねに抗して傾斜させるため、傾斜維持のためには電流を連続して通電させる必要がある。今回はこの消費電力を低減させる改良を行った。改良手段としては、次のような項目が考えられる。

1. ばね定数を低減させる。ただし、共振周波数も低くなるので、その影響を見極めつつ必要なら軽量化して共振周波数は変化させない。
2. コイル線径を変化させずにターン数を増加させることにより、起磁力で規格化すると消費電力が低下する。
3. ワイヤを丸線から角線に変更して、断面積を大きくして抵抗化を行い、消費電力を低減させる。
4. コイル-マグネット間の磁気効率を向上させる。

今回最も顕著な効果が得られ、採用したのは項目1であり、シリコンゴム形状をφ 1.2

× t 0.5からφ 0.6×t 0.5にまで変更することにより、最終的に約3倍の感度アップが達成された。その時の共振周波数変化は170[Hz]から100[Hz]であり、Q値、2次共振周波数に変化はほとんどなく良好な周波数特性を示す。その駆動電流を変えた場合のゲイン周波数特性を図ウ-41に示す。また、図ウ-42に1[Hz]正弦波駆動での偏向角の電流値依存性を示す。15[deg]偏向角において、およそ3倍の感度アップがみられ、消費電力としては約1/9の改善となった。今後は環境温度による影響等信頼性に関する検討を行う必要がある。

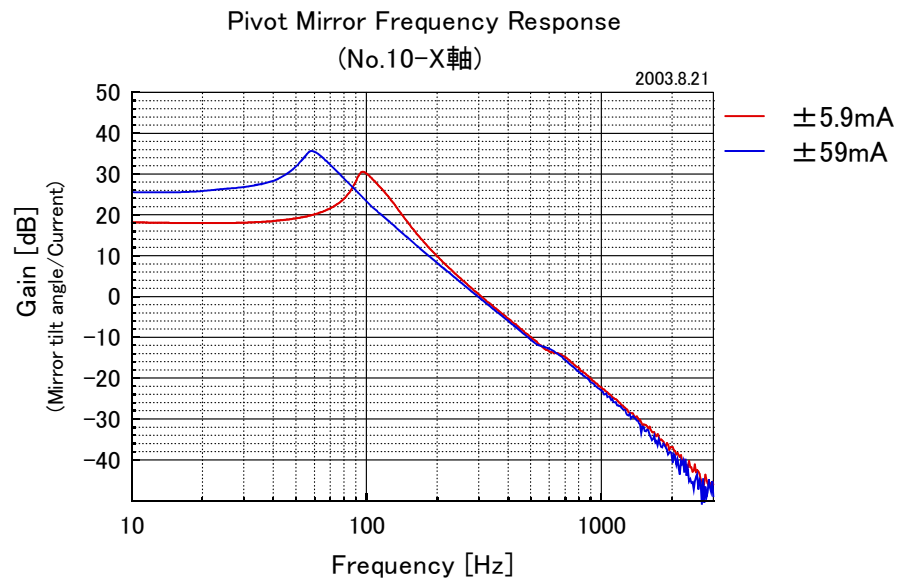


図 ウ-41 ゲイン周波数特性

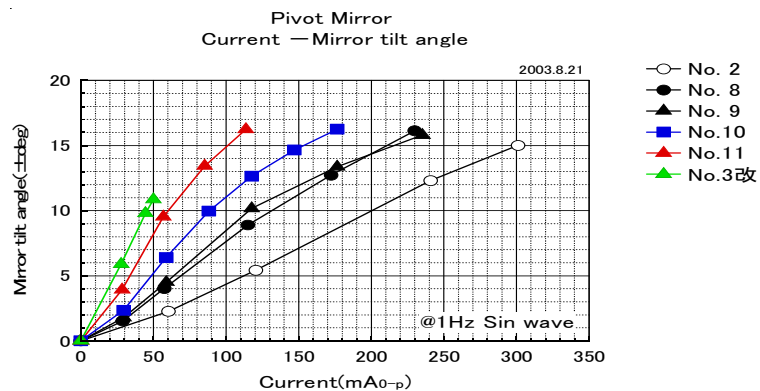


図 ウ-42 電流値依存性

3) 広範囲駆動アクチュエータの検討

上記電磁ミラーアクチュエータは低消費電力化されたものの、その可動範囲は±15[deg]であり、光学レンジでも60[deg]の範囲であり目標とする150[deg]レンジには及ばない。当初魚眼レンズとの組み合わせでこの範囲を広げようとしたが、光学シュミレーションの結果、ミラーに入射するビームの感度が低すぎるということがわかった。そのため、

ミラーと受発光モジュールを別のアクチュエータで大偏向角に駆動させ、入射開口および感度を確保するとともに、フィードバックのための微調は上記電磁ミラーアクチュエータが高速応答するという全体駆動方式というものを検討した。全体駆動に必要なとされるのは、150[deg]レンジの高速駆動であるが、より高速な微調は必要ない。このようなものとして、150[deg]レンジのカバーのためにはパン/チルト機構が有望であると考え、次のような2つのモデルを検討することにした。パン回転の高速駆動には、トルクに余裕があり、静止トルクも大きく自己保持性のある超音波モータの直接駆動を採用し、チルトの高速駆動には、ステッピングモータとウォームギアの組み合わせによる自己保持性のあるものと、自己保持性は犠牲になるが、速度的には全く問題のない、電磁ミラーアクチュエータをチルト方向のみ微調だけではなく大偏向角駆動させるものである。この場合パン回転があるので、150[deg]レンジをミラー単独で変位させる場合の半分の偏向角の37.5[deg]レンジの傾斜角が必要となる。

次にこの2つの機構モデル図を図ウ-43に示す。

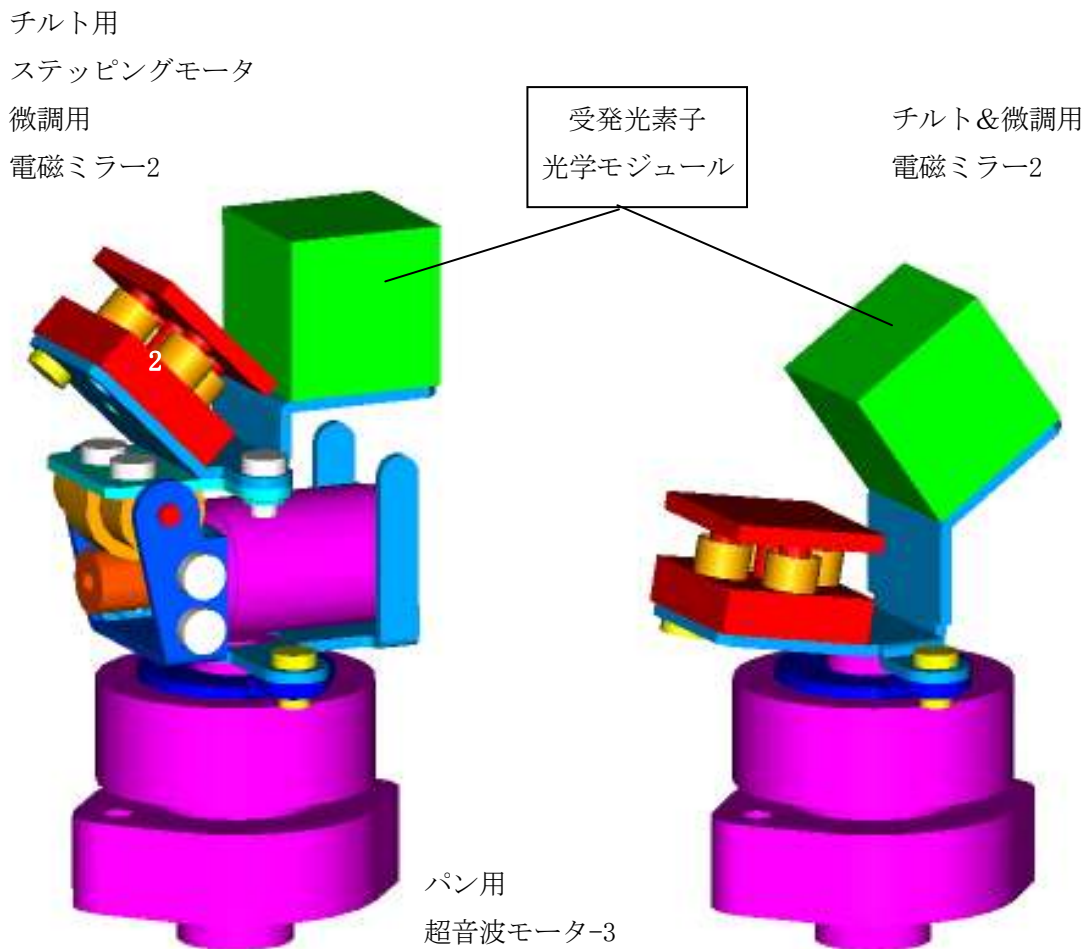


図 ウ-43 全体駆動モデル図

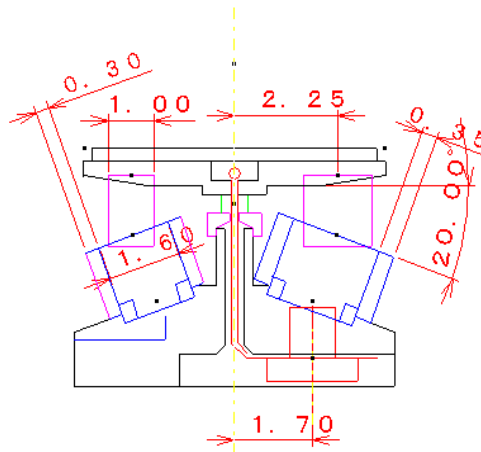


図 ウー44 電磁ミラー改良断面図

微調用に加えてチルト用に電磁ミラーを応用するモデルにおいては、電磁ミラーにチルト方向のみの偏向角の増大および、自己保持性がないことから更なる低消費電力駆動が要求されるので、そのための改良も行った。チルト方向の駆動感度を上げるために片方向X方向のコイル巻き数を増加させるべく、Y方向は微調だけなので磁石&コイルを小型に改良したものである。その構成図を図ウー44に断面図として示す。図左側が小型化したY方向の片側断面図で、右側がコイル巻き数を増加させたX方向の片側断面図で、併せて表示してある。巻き数の増加は25%アップとなっており、また20[deg]の偏向角に対応すべくコイル傾斜分を増加させ可動範囲増加に対応させている。試作測定の結果では、およそコイル巻き数増加分の消費電力の低下は確認できているが、傾斜保持電流が必要なのが大きな欠点である。

次にステッピングモータによる75[deg]のチルト駆動速度の検討結果を図ウー45に示す。設計段階では、ステッピング角18[deg]のモータを使用し、プルイン動作で1000[pps]駆動で0.1秒で75[deg]傾斜が可能ないように、減速比を1/24としている。実測検討の結果、起動速度1000[pps]では動作しなかったため、起動速度500[pps]から等加速領域を設けて、徐々に加速して定速スピードで駆動させるスローアップ駆動を検討した結果、20[msec]の等加速領域で2500[pps]まで速度を上げることで、75[deg]相当の100ステップの移動所要時間が50[msec]になるなど、目標の100[msec]より短時間で駆動可能なことが確かめられた。パン回転&チルトとも自己保持性があり、保持のための駆動電流が必要ないという特徴をもつタイプとして、このパン回転-超音波モータ、チルト-ウォームギア付きステッピングモータという組み合わせの全体駆動方式で、今後制御検討を進めていく予定である。

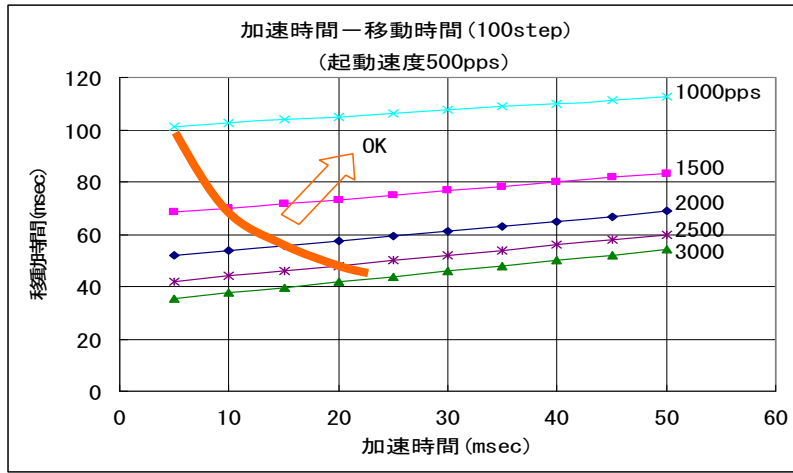


図 ウー45 ステッピングモータによるチルト移動所要時間

4) 光無線モジュールの構成

現在試作検討を進めている基礎検証モデルでは、受発光素子がプラスチックモールドパッケージやカンパッケージに封入されており、受発光部の小型化が困難である。

またパッケージの寸法公差に加え、素子とパッケージの取り付け公差が大きいため、受発光軸の調整が複雑となる。そこで、光無線モジュールでは、各受発光素子をパッケージのないベアチップで構成し、アクチュエータ以外のモジュールの小型化のために、各光学部品の無調整での取り付け方法についても検討を行っている。図ウー46に光無線モジュールの基本構成を示す。図のように光無線モジュールは、ベアチップの受発光素子と光学素子ブロックからなる μ モジュールおよび電磁アクチュエータで構成される。各受発光素子は、シリコン基板やセラミック基板上に高精度に実装される。更に光学素子ブロックは、受発光素子の上部に、図には記載していない固定部材を介して高精度に固定される。電磁アクチュエータと μ モジュールは、一般的な機械精度で固定される。

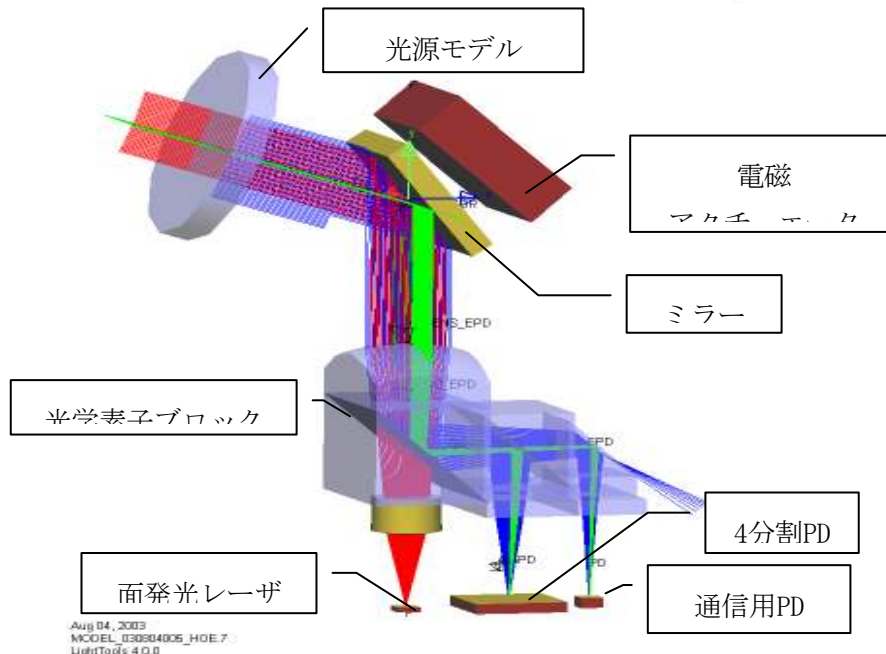


図 ウー46 光無線モジュールの基本構成

図ウー47に、 μ モジュールの基本構成を示す。 μ モジュールでは、小型化のために、入

射光はメインレンズで集光されながら受光素子に照射される。4分割PDは、メインレンズの焦点位置に配置される。通信用PDは、4分割PDとの光路差を補正する集光レンズを介して、焦点位置に配置される。また面発光レーザの放射光は、メインレンズとコリメート補正レンズにより所望の放射角にコリメートされた後、空間に放射される。各ビームスプリッタは、面発光レーザの放射光と4分割PDおよび通信用PDへの照射光を分離する。

図ウー48に、 μ モジュールに必要な有効開口を示す。図では説明のために各部品が分離されているが、実際に製作する際は、一体成形される。

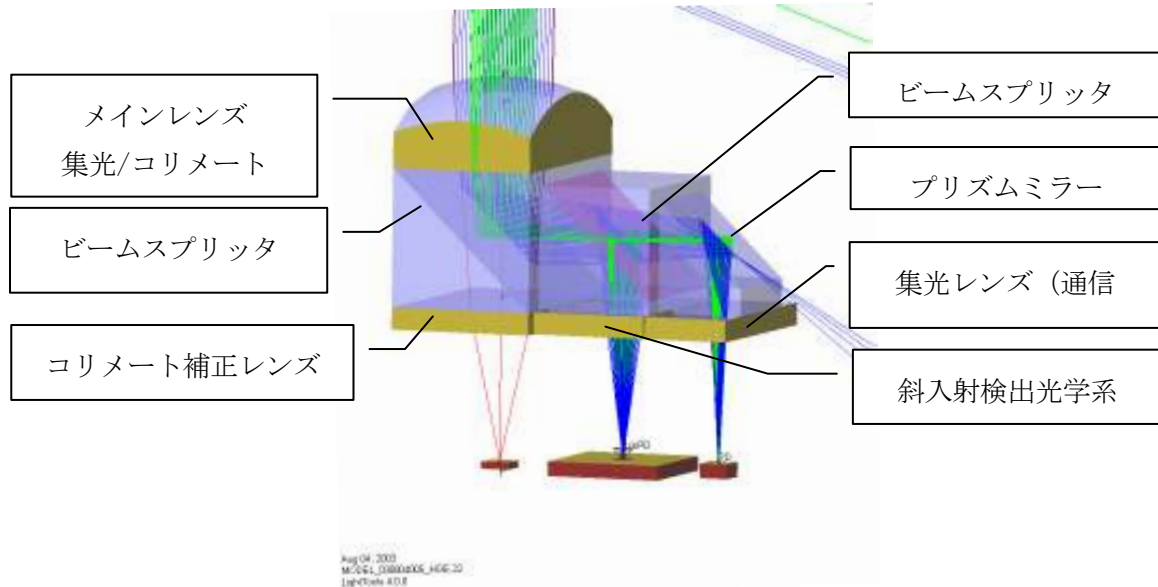


図 ウー47 μ モジュールの基本構成

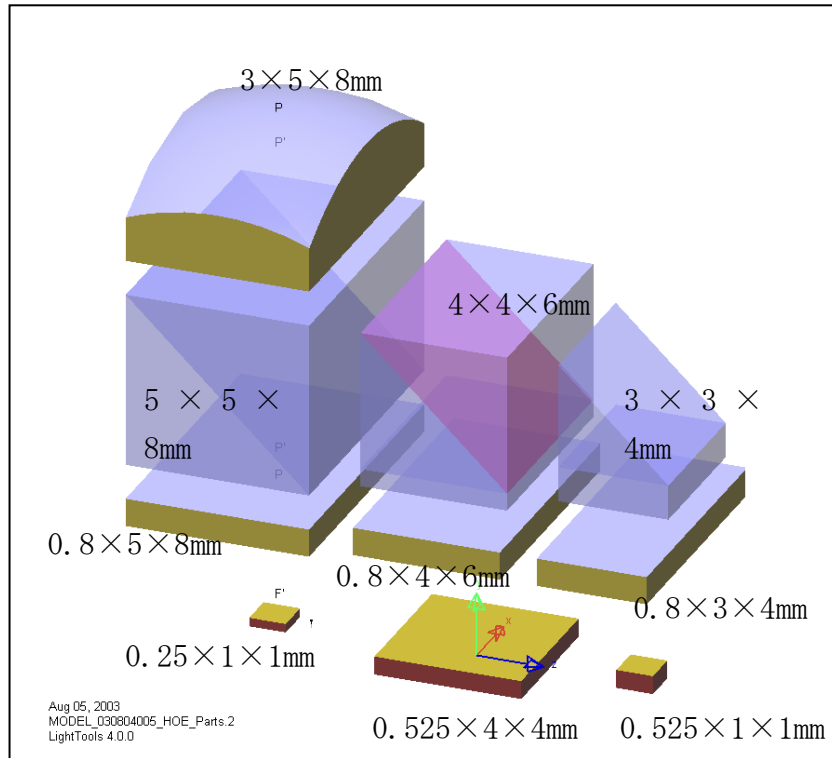
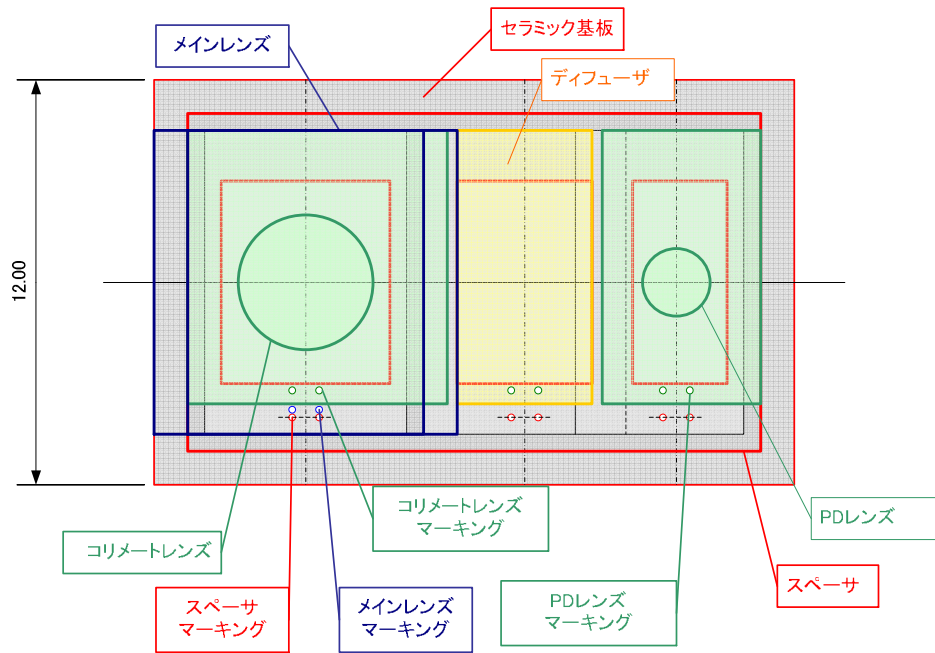
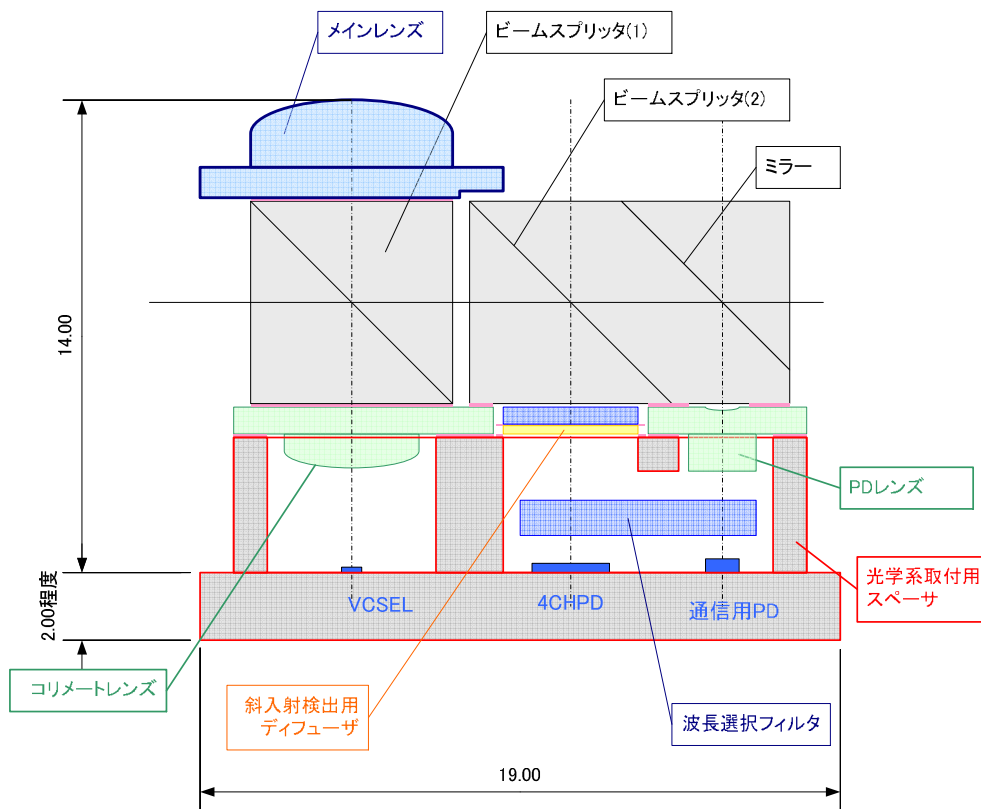


図 ウー48 μ モジュールの有効開口

検討した基本構成を基に μ モジュール検証モデルの詳細設計を行った。図ウー49に設計した μ モジュール検証モデルの試作形状を示す。



(1) 上面図



(2) 上面図

図 ウー49 μ モジュール検証モデルの試作形状

図のように検証モデルでは、ビームスプリッタ(2)とミラーを一体とし、ビームスプリッタ(1)と(2)は調整時にそれぞれ個別に可動できるよう別体とした。メインレンズ、コリメートレンズ、PDレンズは、収差低減のため片面非球面形状とし、組立時にレンズを吸着保持するためレンズ上面に平坦エリアを確保している。斜入射光学系としては、ポリカーボネイト樹脂にホログラムパターンを成形した拡散シートを用いる。波長選択フィルタは、双方向通信基礎検討モデルと同様の誘電体膜を20層コートした干渉フィルタを用いる。面発光レーザ、4分割PD、通信用PDは、それぞれセラミック基板に実装される。セラミック基板は、通常のガラスエポキシ基板と比較し寸法精度に優れ、比誘電率が高く高周波パターンの小型化に適している。また基板を箱型とし壁面も含め自由に導体パターンを配置可能であるなど、モジュール化に有効である。セラミック基板と光学機能ブロックは、高精度に製作された光学系組立用スペーサを介して取り付けられる。スペーサおよび各レンズ上面には、組立時の位置基準となるφ0.2mmのマーキングが複数施され、各マーキングをCCDカメラでモニターしながら受発光素子に対する位置決めを行う。

以上、光無線モジュールの検討として、光学系の詳細設計を行い、各部の試作に着手した。今後は、試作が完了した部品から単体評価を行い、最終的にはμモジュールとしての組立性の検討と性能評価を行う

5-4 総括

【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

2) 光直射方式の伝送技術

a) 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、電波と異なり空間的な広がりが少なく直進性に優れた光搬送波の特徴に着目して、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。平成14年度ならびに平成15年度の研究開発においては、(1)光無線中継システムの提案、(2)光無線中継システムのシステム構成の具体化、(3)光無線中継システムの所要送信光電力特性についての評価手法の確立と評価、(4)光無線中継システムのビット誤り率特性についての評価手法の確立と特性評価、(5)光無線中継システムの固定遮蔽物による瞬断率特性についての評価手法の確立と特性評価、(6)所要送信光電力ならびに固定遮蔽物による瞬断率の観点に基づく光無線中継システムの有効性に関する検証、(7)光無線中継システムの移動遮蔽物による瞬断率特性についての評価手法の確立と特性評価、(8)所要送信光電力ならびに固定遮蔽物による瞬断率の観点に基づく光無線中継システムの有効性に関する検証、(9)所要光無線中継器数に関する検討、を行った。平成16年度においては、これまでの研究開発成果を踏まえて、光無線中継システムの遮蔽に対する耐性のさらなる向上を目指して、光無線中継器を用いたサイトダイバーシティに関する検討を行う。

b) 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

光無線伝送システムにおいては、送受信機の指向制御の有無ならびに見通し内伝搬路の有無により、システムの形態は分類される。送受信機間に見通し内伝搬路を確保し、光無線基地局側ならびに端末側の両方において指向制御を行い、Point to Point(P-P)型の伝送を行う指向方式は最も高速大容量な伝送を可能とするものの、1つの光無線伝搬路を一つの送受信機対で占有することから、端末の増減、再配置ならびに端末の移動に対して柔軟に対応することはできない。一方、広指向の送受信機を装備した光無線基地局を用い、端末側だけで指向制御を行うハイブリッド直射方式は、指向直射方式ほどの高速伝送はできないものの、光無線基地局と端末との間でのPoint to Multi-point(P-MP)型伝送を可能とし、端末の増減、再配置ならびに端末の移動に対して柔軟に対応することが可能となる。そこで、ここでは、光無線基地局と端末との間をPoint to Multi-Point(P-MP)型での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(P-P)型での伝送を行う指向直射をオーバーレイさせるシステム（以下では「オーバーレイシステム」と呼ぶ）に関する研究開発を行う。この研究開発により、端末の増減、再配置、移動に対応した光無線伝送システムを構築することが可能となると共に、無線伝送システムではその実現が比較的難しいとされているQoS (Quality Of Service)制御を導入することが可能となる。平成14年度の研究開発においては、(1)オーバーレイシステムの提案、(2)オーバーレイシステムのシステム構成の具体化、(3)オーバーレイシステムの所要送信光電力特性についての評価手法の確立と特性評価、(4)オーバーレイシステムのビット誤り率特性についての評価手法の確立と特性評価、(5)指向直射方式とハイブリッド直射方式との相互干渉下でのオーバーレイの可否に関する検証、を行った。また、平成15年度の研究開発においては、(6)端末収容確率の観点からのオーバーレイシステムの有効性に関する検証、(7)オーバーレイシステムの媒体アクセス制御(MAC)に関する検討を行った。平成16年度においては、これまでの研究開発成果を踏まえて、新たに、(8)オーバーレイシステムの媒体アクセス制御(MAC)を考慮したスループット特性に関する検討、(9)ハイブリッド直射方式からの干渉光電力の低減を目的として、マルチビーム・マルチディテクタを用いたハイブリッド直射方式における送信電力制御に関する検討、を行う。具体的には、オーバーレイシステムでは、指向直射方式とハイブリッド直射方式を同一エリアにおいて使用するため、その媒体アクセス制御(指向直射方式とハイブリッド直射方式のどちらを選択してアクセスするか)の方法について検討し、オーバーレイシステムを用いた場合のスループット特性を評価する。また、複数の送受信機(マルチビーム・マルチディテクタ)を装備した光無線中継器を用いて、ハイブリッド直射方式で問題となる所要送信光電力の低減、ならびに、オーバーレイシステムでのハイブリッド直射方式から指向直射方式への干渉電力の低減を図る。

2) 光拡散方式の伝送技術

天井面や壁面での反射光を利用することで、送受信機間での見通し内伝搬路の確保を必要としない拡散方式は、直射方式（指向直射方式、ハイブリッド直射方式を含む）に比較して、遮蔽に対する耐性に優れる。しかしながら、一方、反射光を利用するため、伝搬損失ならびに遅延広がりが大きく、指向方式に比べて十分な伝送速度を達成することはできない。そこで、ここでは、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に関する研究開発を行っている。具体的には、狭指向性送信機および狭視野受信機を用いた指向制御により遅延波抑圧対策を行う手法の確立を目指す。平成14年度ならびに平成15年度の研究開発においては、（1）光拡散方式の送受信機モデルの構築、（2）光拡散方式の伝搬路モデルの構築、（3）光拡散方式の所要送信光電力特性についての評価手法の確立、（4）光拡散方式のビット誤り率特性についての評価手法の確立、（5）光拡散方式の遅延特性についての評価手法の確立、を行った。また、平成15年度の研究開発においては、（6）狭指向性送信機および狭視野受信機を用いた指向制御による遅延波抑圧対策に関する検証、を行った。平成16年度においては、これまでの研究開発成果を踏まえて、新たに、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立する。特に、伝送速度の高速化を目指すに際して、最も重要な技術である遅延波抑圧対策技術に関する検討を進める。

3) 光・電波ハイブリッド方式の伝送技術

現在、ワイヤレスホームネットワークの形態の1つとして、無線LANシステムを利用したシステムが注目されている。ホームネットワークへの応用を視野に入れて研究開発されている無線LANシステムとしては、本研究開発の主な対象である光無線伝送システム以外にも、2.4GHz帯や5GHz帯の電波を用いるシステムなどがある。これらのシステムは、全て、開空間を伝搬路とするという意味においては同一ではあるものの、システムに利用される搬送波の種類や周波数帯の違いによって伝搬特性および信号処理技術が異なり、システムとしての特徴は大きく異なってくる。本研究開発では主として光搬送波を用いる無線伝送システムを対象としているが、様々な無線伝送システムの内、どの電磁波を搬送波として用いるシステムがホームネットワークに適しているかについてはネットワークに対する要求（カバレッジの広さ、伝送速度、QoS制御の可否、コストなど）により異なる。現時点では、比較的容易に導入できることから2.4GHz帯や5GHz帯を利用したホームネットワークが市場に普及している。しかしながら、有線系ネットワークでの伝送速度に比較すると十分な伝送速度を達成することはできず、将来的には光搬送波を用いるシステムの導入、共存が必要であると考えられる。そこで、ここでは、2.4GHz帯や5GHz帯などの電波ならびに光の両方を搬送波としてアクセス機能を装備し、それらを動的に切り替えることで、互いの搬送波の有する短所をもう一方の長所で補完する光・電波ハイブリッド方式を提案し、提案システムに関する研究開発を行っている。平成14年度の研究開発においては、（1）光・電波ハイブリッドシステムの提案、（2）電波を用いるシステムとして2.4GHz帯を用いるIEEE802.11b準拠の無線LANシステムを、また、光を用いるシステムとしてハイブリッド直射方式を用いるシステムを対象とし、それ

らを融合した光・電波ハイブリッドシステムのシステム構成の具体化、を行った。また、平成15年度の研究開発においては、(3)光・電波ハイブリッドシステムの媒体アクセス制御(MAC)に関する考察、(4)固定遮蔽物による遮蔽がある場合についての光・電波ハイブリッドシステムのスループット特性についての評価手法の確立と評価、(5)光・電波ハイブリッドシステムのカバレッジの評価、(6)電波を用いる無線伝送システムでの干渉抑圧特性に関する考察、を行った。平成16年度においては、これまでの研究開発成果を踏まえて、新たに光・電波ハイブリッド方式におけるQoS制御に関する検討を開始する。

(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融合した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。光無線系については、無線波が光SCM変調され光搬送波強度に重畳される副搬送波強度無線変調方式を対象にして、複数の光無線基地局からマクロダイバーシチ受信するシステムを考案し、光無線搬送波内でのRF帯副搬送波のダイバーシチ受信効果についての検討する。

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立する。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、光周波数変調技術、光スイッチを用いた自然帯域標本化時分割多重化技術、光コヒーレンス多重化技術等を用いた非線形に起因する歪の抑圧技術を確立する。

【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

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15年度前半は、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い、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った。そこで、平成16年度前半は、平成15年度の成果を活用し、最終目標である、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し、IPv4とIPv6が混在するコンピュータネットワークにおける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16年度後半は、IPv4とIPv6が混在するコンピュータネットワークにおける光無線と電波無線の切り替え動作確認の実証実験を行う。

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15年度前半は、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・バリアフリーアプリケーションの基礎シミュレーション実験を行い、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）に切り替えるアプリケーションの実証実験を行った。そこで、平成16年度前半は、平成15年度の成果を活用し、上記IPv4とIPv6が混在するコンピュータネットワークにおける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システムを利用して、シームレス・バリアフリーアプリケーションの基礎シミュレーション実験を行う。そして、平成16年度後半は、上記IPv4とIPv6が混在するコンピュータネットワークにおける光無線と電波無線の切り替え動作確認の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）に切り替えるアプリケーションの実証実験を行う。

【サブテーマ3】超小型光無線伝送方式の研究開発

平成15年度は、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）を評価した。また、最終目標に向け広範囲の自動サーチ機能の原理検証として、C-MOSセンサを用いた高速サーチ検討を実施した。また、広範囲に動く機構についても検討を実施した。

平成16年度は、これらの技術の集大成として、最終目標に向けて超小型光モジュールを試作する。また、そのモジュールを使って、通信速度1Gbps以上で、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検証し、携帯機器搭載可能な超小型通信システムが構築できることを実証する。

研究者氏名一覧

氏名	所属	担当研究項目
岩本 隆	日本ビクター（株） 技術開発本部デバイスユニット	研究代表者 プロジェクトの総括（サブテーマ3の総括を含む）
渡口 悟	日本ビクター（株） 技術開発本部システムネットワークユニット	サブテーマ2の総括
※西巻 恵児	日本ビクター（株） 技術開発本部システムネットワークユニット	プロトコルの研究開発
※櫻井 芳隆	日本ビクター（株） 技術開発本部システムネットワークユニット	アプリケーションソフトの研究開発
似鳥 耕一	日本ビクター（株） 技術開発本部デバイスユニット	受発光素子の研究開発
※多田 勝久	日本ビクター（株） 技術開発本部デバイスユニット	受発光素子の研究開発
※境 雅久	日本ビクター（株） 技術開発本部システムネットワークユニット	光学設計・評価
笹生 剛良	日本ビクター（株） 技術開発本部システムネットワークユニット	フィードバック制御
※山田 桐子	日本ビクター（株） 技術開発本部システムネットワークユニット	フィードバック制御
※坂根 学	日本ビクター（株） 技術開発本部システムネットワークユニット	デジタル回路設計
菅野 泰弘	日本ビクター（株） 技術開発本部デバイスユニット	マイクロマシン技術

本研究開発課題専従者については、氏名の欄に※を付記。

研究者氏名一覧（再委託先）

氏名	所属	担当研究項目
森永 規彦	広島国際大学社会環境科学部教授	総括指導
齋 礼	広島国際大学社会環境科学部助教授	Point to Point(P-P)型指向直射方式の伝送技術
山中 仁昭	広島国際大学社会環境科学部助手	Point to Point(P-P)型指向直射方式の伝送技術
重安 哲也	広島国際大学社会環境科学部助手	Point to Point(P-P)型指向直射方式の伝送技術
小牧 省三	大阪大学大学院工学研究科教授	Radio over Infrared Wirelessの仮想無線自由空間化技術
三瓶 政一	大阪大学大学院工学研究科助教授	光・電波ハイブリッド方式の伝送技術
塚本 勝俊	大阪大学大学院工学研究科助教授	無線信号多重化方式ならびにルーティング技術 非線形抑圧技術
宮本 伸一	大阪大学大学院工学研究科助手	光直射方式の伝送技術 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

参考資料、参考文献

- [1]David B. Johnson, et al.” Mobility Support in IPv6,”
Draft-ietf-mobileip-ipv6-24.txt, June 2003.
- [2]R. Koodli., draft-ietf-mipshop-fast-mipv6-01.txt 30 January 2004
- [3]Hesham Soliman, Flarion draft-ietf-mipshop-hmipv6-01.txt February, 2004
- [4]阿相、上、三田、荒牧「高速ハンドオーバーのシグナリング軽減手法の提案」信学総会2004 B-06-049
- [5]吉武、大西、小川、水戸「FMIPにおけるAP切替方法に関する一考察」信学総会2004 B-06-048
- [6]渡辺、西山、服部、小野、越塚、坂村「既存ルータ混在環境におけるモバイルIPハンドオーバーの高速・高信頼化の提案」情報処理学会 全国大会2004 1H-2

(1)<http://dynamics.sourceforge.net/>

(2)<http://mpeg4ip.sourceforge.net/>

(3)<http://webdav.org/>

添付資料

研究発表、講演、文献等一覧

サブテーマ1

学会発表（査読なし）

1. 山中仁昭、三瓶政一、森永規彦：“伝搬経路制御方式にもとづく隣接セル/セクタへの干渉抑圧に関する検討”，電子情報通信学会技術報告，RCS2003-72（July 2003）.
2. 重安哲也、松野浩嗣、森永規彦：“IEEE802.11マルチホップ環境下におけるAck運用の改良とその効果”，平成15年度電気・情報関連学会中国支部第54回連合大会講演論文集，pp.251-252（Aug. 2003）.
3. 平川忠之、重安哲也、松野浩嗣、森永規彦：“IEEE802.11DCFのRTS/CTS機構におけるNAVタイマ短縮とACKパケット省略の効果”，情報処理学会研究報告マルチメディア通信と分散処理（DPS-115），pp.1-6（Nov. 2003）.
4. 山中仁昭、三瓶政一、森永規彦：“伝搬経路制御方式にもとづく異なる伝搬環境での干渉抑圧に関する検討”，電子情報通信学会技術研究報告，RCS2003-196（Oct. 2003）.
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CSMA/CAを用いた直射方式のオーバーレイ構成に関する一検討”，映像情報メディア学会技術報告，Vol.28，No.14，pp.9-12（Feb. 2004）.
6. 宮岡克弥、宮本伸一、森永規彦：“指向直射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遮蔽対策に関する検討”，映像情報メディア学会技術報告，Vol.28，No.14，pp.13-16（Feb. 2004）.
7. 原田 諭、宮本伸一：“デュアルバンド無線LANシステムにおけるチャネル選択方式に関する一検討”，2004年電子情報通信学会総合大会，B-5-234（Mar. 2004）.
8. 谷尾卓俊、宮本伸一：“室内赤外線無線通信システムにおけるマルチビームハイブリッド直射方式の送信光電力制御に関する一検討”，2004年電子情報通信学会総合大会，C-14-14（Mar. 2004）.
9. 中西 隆、東野 武史、塚本 勝俊、小牧 省三：’バイポーラ符号を用いる光CDMA-RoF ネットワークシステムの一提案’，電子情報通信学会技術研究報告，Vol.MWP03，No.7，pp.37-42，（October 2003）.
10. 東野 武史、塚本 勝俊、小牧 省三：’直接光スイッチング CDMA RoF システムに適した拡散符号構成法’，電子情報通信学会技術研究報告，Vol.103，No.231，pp.13-18，（July 2003）.
11. 福本 直紀 村越 昭彦 塚本 勝俊 小牧 省三，“Radio over Infrared Wireless を用いた空間多重無線方式の提案”，信学総大会，C-14-15，p.388，（March 2004）

学会発表（査読あり）

1. Masaaki YAMANAKA, Seiichi SAMPEI, Norihiko MORINAGA：“A study on

- Interference Suppression to Adjacent Cells/Sectors Using Adaptive Multipath Control Technique”, Proc. of IEEE WPMC’03, Vol.3, pp.237-241 (Oct. 2003).
2. 重安哲也、松野浩嗣、森永規彦：“競合方式MACプロトコルにおける送信端末から2ホップ先の端末の影響”，電子情報通信学会論文誌，Vol.J87-B，No.1，pp.93-97 (Jan. 2004).
 3. Tetsuya Shigeyasu, Tadayuki Hirakawa, Hiroshi Matsuno, Norihiko Morinaga：“Two simple modifications for improving IEEE802.11 DCF throughput performance”，IEEE Wireless Communications and Networking Conference 2004, in CD-ROM, (Mar. 2004).
 4. Katsutoshi Tsukamoto, Takeshi Higashino, Takashi Nakanishi, and Shozo Komaki :’’Direct Optical Switching Code Division Multiple Access System for Fiber-Optic Radio Highway Networks’’, IEEE Journal of Lightwave Technology, Vol.21, No.12, pp.3209-3220, (December 2003).
 5. Takeshi Higashino, Katsutoshi Tsukamoto, and Shozo Komaki :’’An Experimental Investigation of Interference Suppression in Direct Optical Switching CDM Radio-on-fiber System’’, IEICE Transactions on Electronics, Vol.E86-C, No.7, pp.1158-1166, (July 2003).
 6. 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. Electron., Vol.86, No.7, pp.1167-1174, (July 2003).
 7. Akihiko Murakoshi, Katsutoshi Tsukamoto, and Shozo Komaki :’’Proposal of a Nonlinear Compensation Scheme Using a Chirp Controller in FM Radio on Fiber System’’, The 5th Japan-Korea Joint Workshop on Microwave and Millimeter-wave Photonics Technical Digest, Vol.1, No.F1-3, pp.127-130, (January 2004).
 8. Takashi Nakanishi, Takeshi Higashino, Katsutoshi Tsukamoto, Shozo Komaki :’’Ladder Configuration for Coding/Decoding Optical CDMA-RoF Network System Using Bipolar Spreading Code’’, Proceedings of The 5th Japan-Korea Joint Workshop on Microwave and Millimeter-Wave Photonics, Vol.1, No.1, pp.167-170, (January 2004).
 9. Takeshi Higashino, Hajime Yamasaki, Katsutoshi Tsukamoto, and Shozo Komaki :’’Proposal of Direct Optical Switching CDM Radio-on-Fiber Link with Chaotic Synchronization’’, Proceedings of The 5th Japan-Korea Joint Workshop on Microwave and Millimeter-Wave Photonics, Vol.1, No.1, pp.111-114, (January 2004).

10. Takeshi Higashino, Takashi Nakanishi, Katsutoshi Tsukamoto, and Shozo Komaki :''A New Spreading Code Generation Method for DOS CDMA RoF System and Its Experimental Investigation'', Proceedings of the International Topical Meeting on Microwave Photonics 2003, Vol.1, No.1, pp.291-294, (September 2003).

サブテーマ2、サブテーマ3

学会発表（査読なし）

1. 2003年6月（発表） The International Conference on Consumer Electronics (ICCE)

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

論文発表

なし