

## 成果概要書

### 可視光通信による統合型通信ネットワーク技術の研究開発

#### (1) 研究の目的

本研究では、通信距離に応じて以下のような複数の可視光通信技術を開発することを目的とする。通信距離が1メートル~100メートルの範囲では、500bps~数 kbps の可視光LEDを用いた位置情報取得技術、通信距離が10センチメートル~10メートルの範囲では、5Mbps~100MbpsのワイヤレスLAN型の可視光LED通信、通信距離が10センチメートル程度の近接型可視光通信では、5Gbps~10Gbpsの超高速アイセーフ可視光レーザー通信を開発する。さらに、アップリンクを含めた可視光および電力線通信を用いた高速通信ネットワークの開発および実証実験を行う。

#### (2) 研究期間

平成19年度から平成21年度（3年間）

#### (3) 委託先企業

学校法人 慶應義塾、日本電気株式会社、株式会社 中川研究所

#### (4) 研究予算（百万円）

平成19年度	50（契約金額）
平成20年度	48（"）
平成21年度	48（"）

#### (5) 研究開発課題と担当

課題ア：高速可視光通信デバイスの研究開発

1. 数 kbps~5Mbps のフォトダイオードアレーデバイスの開発  
（慶應義塾大学）
2. 5Mbps~100Mbps の多値多重可視光LED通信の開発  
（株式会社中川研究所）
3. 5Gbps~10Gbps の WDM（波長分割多重）による可視光レーザー通信の開発（日本電気株式会社）

課題イ：位置情報取得技術の開発

1. 位置情報取得方式の開発（慶應義塾大学）

2. 500bps～数 kbps の位置情報受信用高速イメージセンサの開発  
(日本電気株式会社)

課題ウ：可視光通信による統合型通信ネットワークの実証

(6) これまでの主な研究成果

特許出願：国内出願	3 件	外国出願	0 件		
外部発表：研究論文	0 件	その他研究発表	30 件		
報道発表	1 件	展示会	5 件	標準化提案	2 件

**具体的な成果**

(1) 慶應義塾大学

数 kbps～5Mbps のフォトダイオードアレイデバイスの開発を目指して、フォトダイオードアレイを用いた受光素子とその信号処理回路を試作した。この受光素子では、フォトダイオードをアレイ状に集積化して、その上にレンズ光学系をおき、対象物の状況をフォトダイオードアレイ上に結像して、任意の場所のフォトダイオードを選択することで、送信源や照明が複数ある状況においても、任意の送信源のみから信号を受信できる。0.18 ミクロン CMOS プロセスの P ウェル層ーディープ N ウェル層ーP 型基板層を組み合わせた受光素子において受光感度 0.8A/W、応答速度は 86kHz が得られ、8 行 8 列 64 個の素子と選択回路、トランスインピーダンスアンプ (TIA) を一体化した集積回路を試作した。さらに、この集積回路と組み合わせるための専用電子基板の製作と制御用ソフトウェアの開発を行い、受信システムを試作した。このハードウェアに外注した制御ソフトウェアを組み合わせて、全体システムの動作検証を行った。制御ソフトウェアでは CMOS 撮像素子からの画像を読み込み、画像処理により輝度、大きさ等により信号源候補の判定を行う。最終的に選出された信号源の候補についてそれぞれの受光アレイを ON して、可視光送信源であった場合は信号源からの文字情報を画面上の該当箇所の画像に重ねて表示させる。ユーザがその画像上の文字をクリックすると横のテキストボックスにより詳細なテキストが表示される。テキストデータの送受信をデータレート 4.8kbps、距離 3m 以上で送信が可能であった。

続いて、5Mbps のフォトダイオードアレイデバイスの開発を目指して、標準 CMOS プロセスで製作されたアバランシェフォトダイオード (APD) を開発した。CMOS プロセスを用いることにより、APD、TIA、リミティングアンプ、バッファを同一回路に集積化することができる。ストライプ APD を新たに提案し、降伏電圧は約 8.3V で波長 650nm の光に対する APD の感度は 8.17V で 1.6A/W となった。設計した TIA は Hspice シミュレーションに於いて利得 98.1dB $\Omega$ 、帯域 20MHz

を得ており、試作した集積化フォトダイオード素子において 10Mbps 信号に於いてビットエラーレート  $10E-9$  を達成するために必要な平均入力光量は  $-40.8\text{dBm}$  となり通常の照明光下で動作させるのに十分な感度を有していた。

位置検出技術については、イメージセンサと可視光通信を用いた屋内での位置計測システムについて提案し、最低 2 点の LED ( Light Emitting Diode ) 光源より可視光通信される LED 光源の位置情報をイメージセンサで受信し、さらに画像処理を組み合わせることによりセンチメートル単位の誤差精度を実現した。この位置検出技術を用いて、携帯端末用位置検出装置およびロボット制御用位置検出装置を試作した。試作した携帯端末用検出装置は、イメージセンサによる可視光受信を行い、最低 2 つの LED 光源からのデータを受信し、同時にイメージセンサによって撮影された画像から光源の方向を計算し、さらに加速度センサを用いて重力ベクトルをモニターすることで携帯端末の姿勢を検出することができた。この方法で、携帯端末の 3 次元位置および姿勢を検出するものであり、位置精度 10 センチ程度を実現した。

また、試作したロボット制御用位置検出装置は、イメージセンサと可視光通信を使用した位置情報システムでロボットの位置を検出し、さらに端末からの無線信号によるコマンド伝送に応じてロボットが自律的に位置を認識しながらユーザーの指定する位置まで移動することができる。この方式により 2 センチ未満の位置精度を実現することができた。

## (2) 日本電気株式会社

通信距離が 10 センチメートル程度の近接型可視光通信で、ダウンリンクを WDM 技術により実現し、超高速可視光レーザ通信を確認する。1 個の半導体レーザには 2.5Gbps で直接変調を行うとともに波長の異なる 4 つの可視光レーザモジュール ( 波長 405nm, 470nm, 650nm および 780nm ) を適切に密配置した光学系を構成し 4 波長多重の総伝送容量 10Gbp 送信系を構成した。一方、受信系では 4 系統の 2.5Gbps 受信回路を用意して受光モジュールへ帯域通過干渉膜型の波長フィルターを経由して拡散光から効率的に光信号を集光する構造を検討ことにより 2 波長多重光から所定の波長のみを選択する受信系を実現した。この 10Gbps 伝送系において PLC 系からの制御信号にもとづいて波長毎に伝送容量を制御可能とし、PLC を介した統合制御を実現した。

イメージセンサの読み出し領域を  $60 \times 30$  程度の画素サイズとする事により、センサインタフェースボードで毎秒数 19200 フレームの読み出し速度に向上させ、符号化された 4800bps 信号 ( 光信号速度 9600bps ) を 2 倍速でサンプリングした。イメージセンサからの受信信号に対して特徴抽出処理を行い、蛍光灯からの雑音光など外乱の多い環境においても目的とする LED 照明光信号点滅

パターンを誤り無く検出する方式を検討適用した。またLED光信号の点滅強度の変動に対しても光通信方式における適応受信技術を応用し、受信信号レベルの変動が存在しても安定な受信できる方式を設計し外乱の存在する環境において4800bpsかつエラー無しでLED照明光信号を受信できる事を確認した。本実験においてLED照明はPLC通信機能を有しており、統合化された可視光通信情報を提供可能であることも確認できた。さらに開発したイメージセンサでLED光源の位置検出を実現し慶応大学システムとの結合を確認した。

### (3) 株式会社中川研究所

可視光を媒体として用いた5Mbps~100Mbpsの高速ワイヤレス伝送方式について、送受信デバイスの評価検討、多値多重による伝送方式の検討及び伝送装置の試作による検証を行った結果、多値方式としてMLT-3方式を用い10cm~10mの範囲で100Mbpsの伝送が可能であることを実証した。

また、可視光通信による統合型通信ネットワークの実証として、上記高速ワイヤレス伝送方式の検討結果を用いた無線LANについて検討試作し、実用的なワイヤレスLANが構築可能であることを実証した。開発した可視光LANは、アップリンク媒体に赤外線を用いて空間全二重を確保すると共に、開発したネットワーク制御方式により1対N接続できる構成とした。また、照明をアクセスポイントとし、照明の届く範囲に複数の子機の設置を可能とするため、アクセスポイントの送受信指向性を広く、子機の送受信指向性は狭く設定した。狭い指向性の子機はアクセスポイントに対向させる必要があるが、本研究ではミラーアクチエータ及び方向制御方式の開発により自動的に対向させることを可能とした。

照明を兼ねたアクセスポイントを用いる方式は、PLCを用いることにより新たなネットワーク線接続の手間無しに設置が可能であるため、屋内ワイヤレスLANとして広範な活用が見込まれる。また、子機は自動的にリンクする機能を持つのでロボット等の移動体に取り付けることも可能である。このような特性を有する可視光LANは、本研究の別課題である 課題ア1) のフォトダイオードアレーデバイス、課題イ1) 位置情報取得方式2) 位置情報受信用高速イメージセンサといった正確な位置情報を取得し活用する要素技術と組み合わせることによって、より利便性のある統合ネットワークシステムの構築が可能である。

以上、本研究では、可視光LANの技術的実現性を検証したが、今後の普及促進にあたって標準化活動が重要であるとの認識に基づき、国内外での積極的な標準化活動を行った。具体的には、中川研究所が事務局として運営する可視光通信コンソーシアム(VLCC)を母体に、国内標準化活動として2008年10

月 24 日に 光無線通信システム協議会（ICSA）及び赤外線データ協会（IrDA）とリエゾン関係を結び可視光通信の標準提案活動を開始した。ICSA との共同活動では世界初の可視光通信規格となる ARIB STD-T50vol4 を策定し、2009 年 12 月 16 日に ARIB で承認された。また、国際的な通信規格の標準化団体である I E E E に可視光通信コンソーシアムのメンバーであるサムソン電子が設立した 802.15.7 に参加し同規格の提案を行った。さらに、本研究で検討した詳細な仕様について標準仕様に盛り込むことを目的として VLCC の標準化促進委員会で仕様の紹介を行った。今後も標準化活動を継続する予定である。