

照明光通信の開発をめざして

工学部電子情報工学科 教授 藤本 暢宏

1. はじめに

白色 LED(Light Emitting Diode:発光ダイオード)は 1996 年に開発された。このデバイスは、小型で駆動電圧が低いため省電力化が図れ、さらに長寿命であることなどから、現在の蛍光灯に代わる照明の主流として日々特性改善が進められている。現在では交通信号灯・携帯電話や電子機器のバックライトなどに使用され、特に、白色 LED 電球については低価格で売り出されて以降は急速に売り上げが伸び、家庭への普及が進んでいる。今後は、社会生活の様々な所へ適用されると期待されている。本学に異動して早や 6 年が経過しようとしているが、その時から取り組んできたテーマが照明光通信システムの研究開発である。企業にいたときから、白色 LED は将来必ず照明の主流になると信じてきたが、まず白色 LED 電球が普及し認知度が上がったことを大変ありがたいことと感じている。照明光通信システムはユビキタスネットワーク実現のための有望なインフラの一つである。このシステムにおいて白色 LED は照明機器として使われるだけでなく、通信にも使われる。この報告書では、近畿大学工学部でのこれまでの研究成果をまとめると共に今後の展望について述べて行きたい。

2. 白色 LED

人類のあかり開発の変遷を図 1 に示す。図から分かるように、白色 LED は人類が得た第四世代のあかりとして定義されている。勿論いきなり白色 LED が発明されたわけではなく、まず赤色の LED が開発され、その後長い時間がかかった後、青色 LED が開発され、それから白色の LED が開発されている。既に実用化されている白色 LED には、図 2 に示すように二種類のものがある。一つは擬似白色 LED と呼ばれるもので、青色 LED に黄色の蛍光体をかぶせ全体として白色に見えるようにしたものである。もう一つは三原色型白色

LED と呼ばれるもので、光の三原色である赤、緑、青(RGB)の LED を光らせることで白色に見せるものである。コスト的には一つの LED だけを使う擬似白色 LED の方が安い。また応答速度としては一般的に三原色型白色 LED の方が速いとされている。

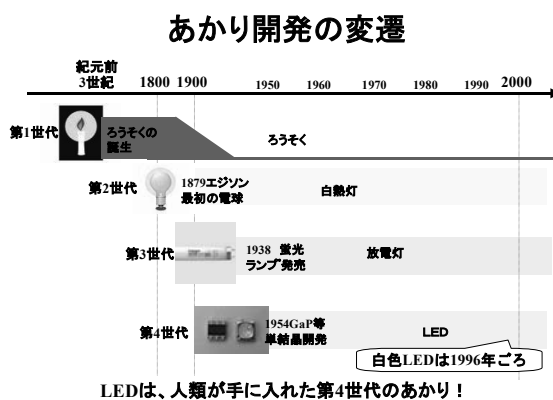


図 1 あかり開発の変遷

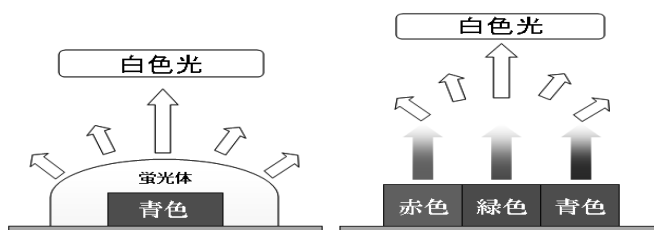


図 2 白色 LED の構成

3. 照明光通信システム

上記のような背景の下、これまで企業で培ってきた超高速光通信システム開発のノウハウを生かすべく、光通信の主要な光源の一つである LED が照明用光源インフラとして普及することを想定し、それを使って光通信を同時に実現する「照明光通信システム」の課題に挑戦しているところである。これが実現できれば、まさに「光ある所はいつでもどこでも通信ができる」光版ユビキタスネットワークの実現ができると考えている。

照明光通信の特徴としては、①光が見えるので誰でもが使いやすい、②見えている範囲しか届かないためセキュリティが高い、③照明設備を流用できる、④LED が小さく安いいため小型化、低コスト化が可能である、⑤無線免許が必要ない、⑥低消費電力で長持ちするため、省エネ、省資源で人や環境に優しいなどが挙げられる。

図3に ITS サービス形態の一つである路車間および車々間通信への適用イメージを示す。既に全国レベルで信号灯火が LED に置き換わってきていること、また車のヘッドライトとリヤライトも全て LED になることをイメージしている。

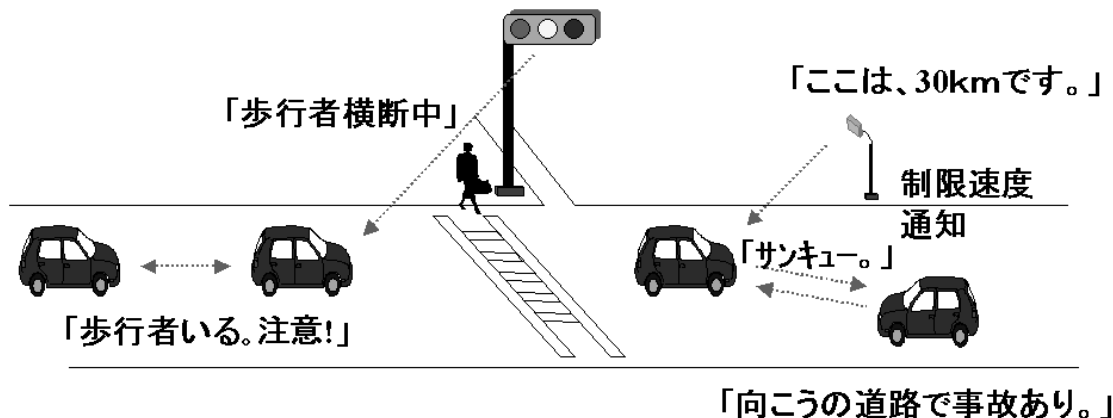


図3 路車間および車々間通信への適用

4. 白色 LED に関する研究成果

以下、これまで研究し提案してきた成果を報告する。但し、擬似白色 LED については、上記したように、その応答特性が遅いため、三原色型 LED の研究を主に行ってきた。

4.1 色多重方式の提案⁽¹⁾

この方式のポイントは、三原色 LED を使って白色で光らせつつデータ信号をどう送るかにある。

4.1.1 提案構成

基本的な考え方として三原色の LED を同時に光らせながらデータ通信を送る方式として色多重方式を考案した。従来方式では、入力データをまず3分割し、3つの

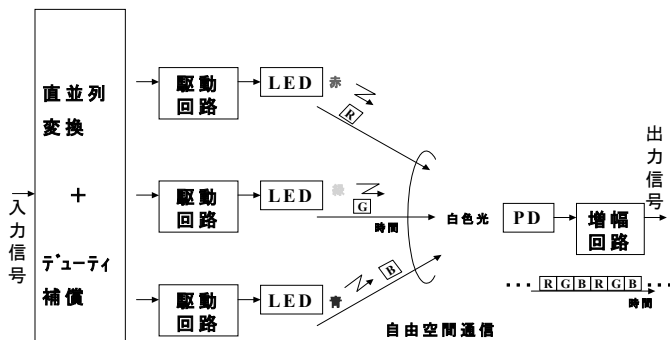


図4 色多重システムの構成

データ信号に変換する。それらをRGBの各色に分け送信を行う。受信部では、それらを色フィルタを用いて分離し、最後に電気処理段で3多重することにより元のデータを得る構成を採用していた。しかし、この構成では、色フィルタが高価であること、さらに受信回路が3つ必要なことから、回路が複雑で高コストになる欠点があった。一方、図4に示す提案構成では、RGBの3つの光データを、自由空間で時分割多重するので、従来方式での色フィルタや多重回路が不要になる。さらに受信回路も1つだけで3つの光を受信するだけのシンプルな構成にできる長所がある。この方式については色信号を空間で多重することから、色多重(CDM: Color division Multiplexing)方式と名づけている。

4.1.2 原理確認実験

提案 CDM 方式の有効性を確認するため原理確認実験を行った。送信側では、1:3 分離回路、RZ 変換回路および LED 駆動回路には市販ロジック IC を用いた。受信では、受光素子として Si-PD を用い、市販アンプと識別 IC を組み合わせた光受信回路を用いた。以上の構成により、IM-DD 方式による室内光伝送実験を PN7 段信号で行った。実験結果を図5に示す。25Mb/s までのエラーフリー動作を確認できた。

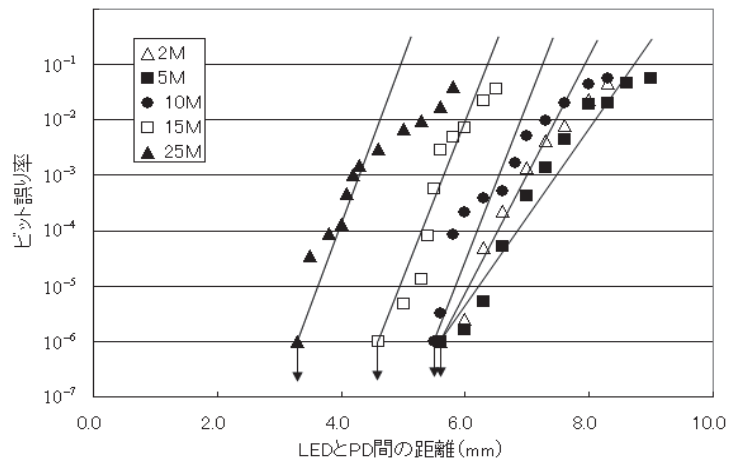


図5 色多重方式での誤り率特性

4.2 多値伝送方式の提案⁽²⁾

この方式のポイントは、時分割方式を用いた色多重とは異なる方式で、三原色 LED を白色で光らせつつデータ信号をどう送るかにある。

4.2.1 提案内容

A か B の 2 通りの状態があるとする。このどちらかの状態を 2 進数の 0 か 1 で表現すると、1 桁の数字で表現できる。これは 1bit と呼ばれる。次に、A,B,C,D の 4 通りの状態を表すことを考えると、00, 01, 10, 11 というように 2 桁の 2 進数で表現できる。このうちのどれか一つの状態を表すには 2bit の情報量が必要となる。多値変調は一つの信号を乗せる区間 (シンボル) に上記したような複数のビット情報を乗せるものである。これに対して 1 シンボルで 1 ビットの情報を乗せる変調技術を 2 値変調と呼び、一般的には、これが最もよく使用さ

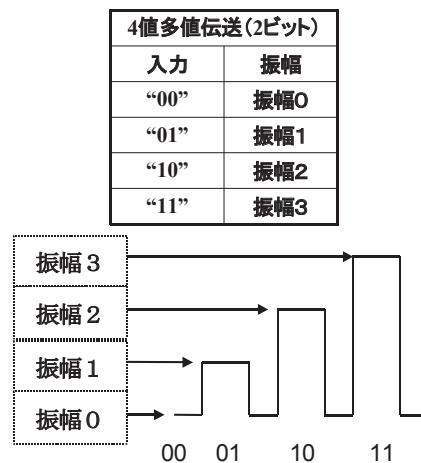


図6 4 値の割り当て

れる。2値変調は、1シンボル区間で信号に二つの状態を作ればよいが、多値変調（4値変調）では、図6に示すように、1シンボル区間で信号に4種類の状態を作り、2ビットの情報を表現することになる。この4値変調のメリットは、1シンボル区間に2ビット情報を乗せることができることから、実効ビットレートを1/2にできる点である。また、半導体レーザー：LDと比べ、白色LEDは変調可能速度が低いため、本技術により、より高速でデータ伝送を実現できる。従来の多値変調では、振幅の違いを実現するため、例えば、LEDなら、その素子に流す電流値を変化させることが行われてきた。しかし、この方法では、LEDに流せる電流に上限値があるため、トータルとしての光出力があまり大きくとれない、また、電流振幅の制御が複雑という欠点があった。

我々の研究している照明光通信では、照明の光が基本的には白色であるため、3原色型LEDをその光源とする場合、必ず3色を点灯させなければならない。これを逆に捉え、図7に示すように振幅レベルの違いを各色LED点灯の有無の組み合わせで実現する多値伝送方式を考案した。LEDが3色あるため、それらを組み合わせる本方式では、4値伝送が非常に都合が良い。

原理的には各素子の最大電流まで駆動することが可能であるため、先ほど述べた電流制限が緩和され、トータルの光出力を大きくとれる点と、各素子の電流制御は不要となり制御が簡単になる点とがこの方式のメリットである。

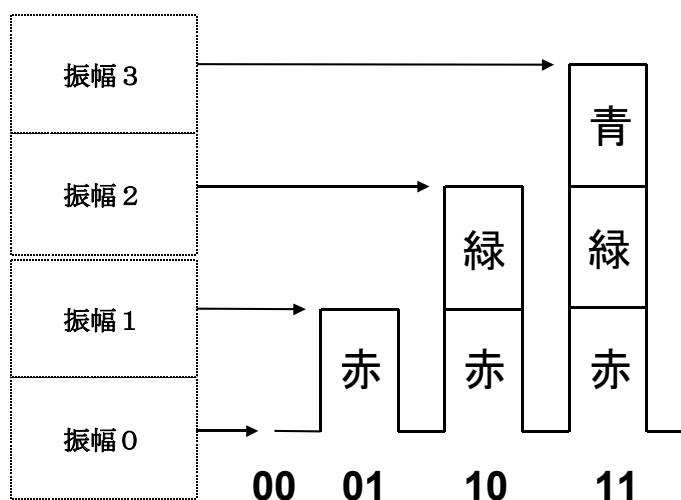


図7 4値へのLED光の割り当て

4.2.2 原理確認実験

提案多値伝送方式の有効性を確認するため原理確認実験を行った。送信側では、入力信号の符号化回路およびLED駆動回路に市販ロジックLSIを用いた。さらに受信では、

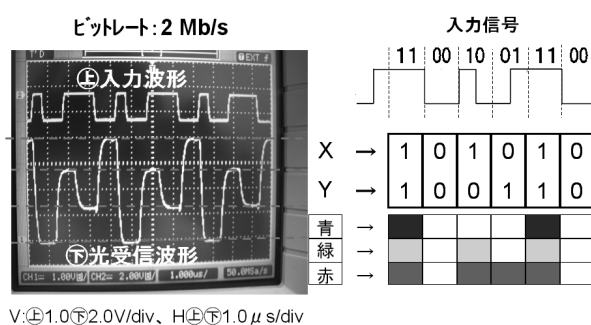


図8 入力電気信号と光信号との関係

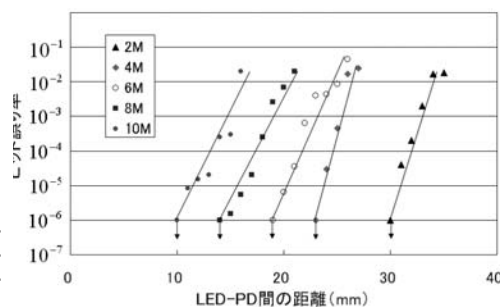


図9 多値光伝送での誤り率特性

受光素子として Si-PD を用い、市販アンプと識別 IC および市販ロジック LSI による復号化回路を組み合わせた光受信回路を組んだ。以上の構成により、IM-DD 方式による室内光伝送実験を PN7 段信号で行った。実験結果を図 8 および図 9 に示す。図 8 では、各色が正しく多重され多値化できていることが分かる。また図 9 から 10Mb/s までのエラーフリー動作を確認できていることが分かる。

4.3 一色変調方式の提案⁽³⁾

一色変調方式は一色のみに変調を加えて、他の二色は変調なしで点灯させることにより、白色の形で照明しながら通信を行う方式である。これによりシンプルな回路構成を実現するとともに、高速化も行いやすい形態になる。これまで提案してきた二つの方式では RGB それぞれに変調を加えて点灯させるため、LED 駆動回路のほかに複雑な回路が必要となる。

一方、今回の提案方式では一色のみに変調を加え、他の二色は変調なしで点灯させることにより、白色の形で照明しながら通信を行う方式とした。これで従来よりシンプルな回路構成を実現すると共に、高速化も行いやすい形態になった。

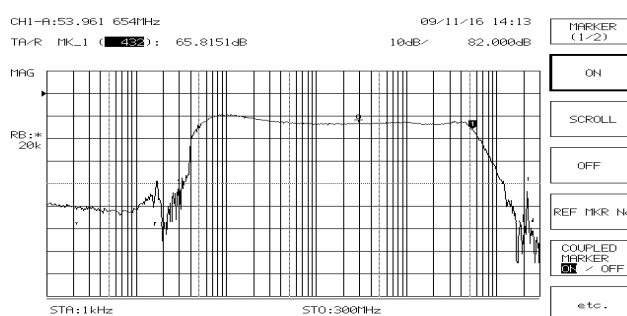


図 10 赤色 LED の利得周波数特性

4.3.1 原理確認実験

提案方式の有効性を確認するため原理確認実験を行った。送信回路では、LED 駆動回路に市販トランジスタを用いた。さらに受光素子として Si-PD を用い、市販オペアンプとプリアンプ、識別 IC を組み合わせて光受信回路を組んだ。

まず、RGB のどの一色を変調させるかを決定するために、それぞれに改善回路(LED に直列に接続した抵抗に並列にコンデンサを接続した高域ハネ上げ回路を繋いだ構成)を組み込んだ場合の周波数応答特性を測定した。

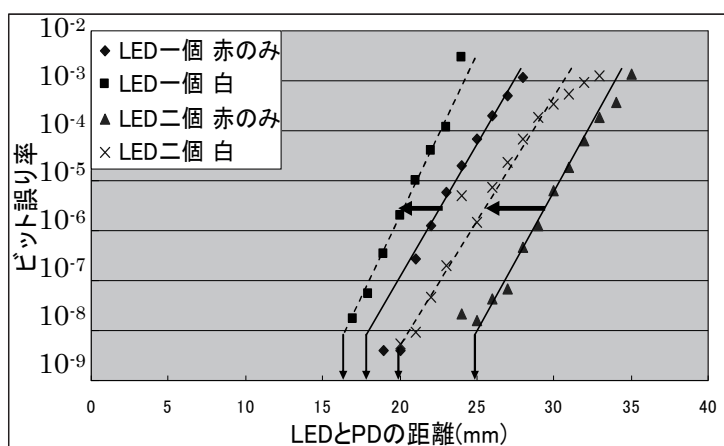


図 11 一色変調時の誤り率特性

その結果より、遮断周波数 f_c も高く、Si-PD を受光素子としたとき最も受光感度の高い赤色 LED を採用した。さらに LED の駆動条件の最適化も行った。図 10 に赤色 LED の利得周波数特性を示す。54MHz まで帯域を改善できていることがわかる。

以上の回路構成により、IM-DD 方式による室内光伝送実験をビットレート 110Mb/s の PN7 段信号で行った。比較のために LED 一個での一色変調方式に加えて、赤のみ点灯して変調した場合、さらに光出力パワーを大きくするために同条件で LED 二個にした場合の誤り率特性を測定した結果を図 11 に示す。結果より、一色変調方式の有効性を確認できた。今後は、さらなる高速化を行っていく。

5. おわりに

上記したように、これまでの研究は三原色型白色 LED の活用が主であったが、これからは、もう一つの白色 LED である擬似白色 LED についての研究も行っていきたい。現在、広島県産業技術振興協会の方々と「広島県照明光通信技術研究会」を立ち上げ活動を行っているが実用化に至る共同研究の芽がなかなか出てこないのが現状である。今やっと LED 電球が脚光を浴び始めたので、ぜひこれをきっかけにして実用化への道が開かれればと感じている。

参考文献

- (1) 梅木他, ”3 原色型白色 LED による色多重光伝送方式の一検討, ”2008 年度電子情報通信学会総合大会, B-10-48.
- (2) 竹谷他, ”3 原色型白色 LED による多値伝送方式の一検討, ”2009 年度電子情報通信学会総合大会, B-10-105.
- (3) 望月他, ”3 原色型白色 LED による高速照明光通信の一検討, ”2010 年度電子情報通信学会総合大会, B-10-42.