

## 三原色型白色 LED による高速照明光通信の一検討

望月 輝, 藤本 暢宏

### A Study on High-Speed Illumination Light Communication Using a White LED Comprised of the Three Primary Color Chips

Hikari MOCHIZUKI \* and Nobuhiro FUJIMOTO \*\*

#### synopsis

A simple and high-speed modulation technique using a white LED for illumination light communication are proposed to enable Ubiquitous Network. The proposed modulation technique enable a 110Mb/s operation. Experimental results show that the proposed system can play a key role in high-speed illumination light communication.

keywords: white LED, illumination light communication

#### 1. はじめに

白色LED(Light Emitting Diode:発光ダイオード)を用いた照明光通信システム[1]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。白色LED[2]は、小型で低駆動電圧であり、また、省電力・長寿命であるため環境への配慮から、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んでいる。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ているが、いずれ社会生活の様々な所へ適用されると期待されている。

今回の報告書では、回路構成の単純化を図りつつ照明光通信の高速化を目指した一色変調方式を検討し、試作回路により基本動作を確認したので報告する。

#### 2. 一色変調方式

白色LEDには二つのタイプがある。一つは青色LEDで蛍光体を光らせ疑似白色とする疑似白色LED、もう一つは

\*近畿大学大学院システム工学研究科

Graduate School of Systems Engineering, Kinki University

\*\*近畿大学工学部電子情報工学科

Department of Electronic Engineering and Computer Science, School of Engineering Kinki University

RGB の三原色を発光して白色とする三原色型白色 LED である。今回の光源として、前者は蛍光体の応答速度が遅く高速化に向かないため、後者の三原色型白色 LED[3]を採用した。

今回提案した一色変調方式というのは一色の変調を加えて、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。

### 3. 一色変調方式の原理確認実験

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。光送受信回路のブロック図を図 1 に示す。光送信回路では、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、市販オペアンプをプリアンプとして、識別 IC を組み合わせて光受信回路を組んだ。

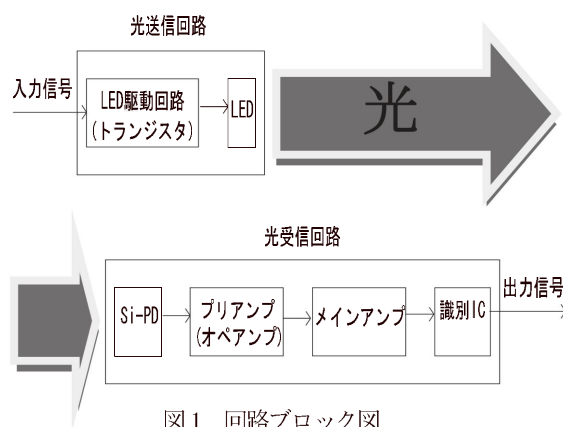


図1 回路ブロック図

#### 3-1. RGB のうち変調させる一色の決定

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 に直列に接続した負荷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。測定結果をそれぞれ図 2~図 4 に示す。また、3dB 降下遮断周波数  $f_c$  をまとめたものを表 1 に示す。

以上の結果より、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 を変調をかける光源とした。

次に、赤色 LED を用いて LED の駆動条件の最適化を行った。

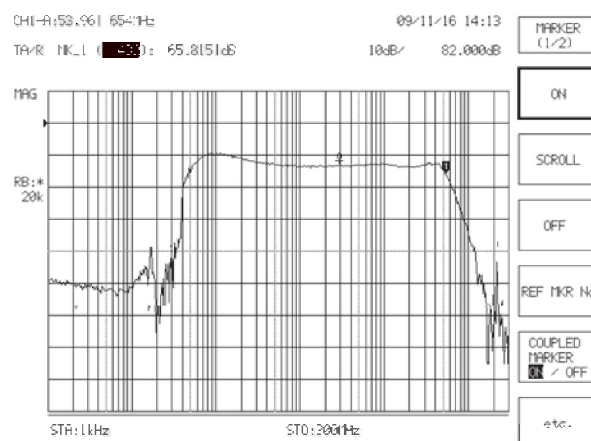


図2 赤色 LED の周波数応答特性(改善回路あり)

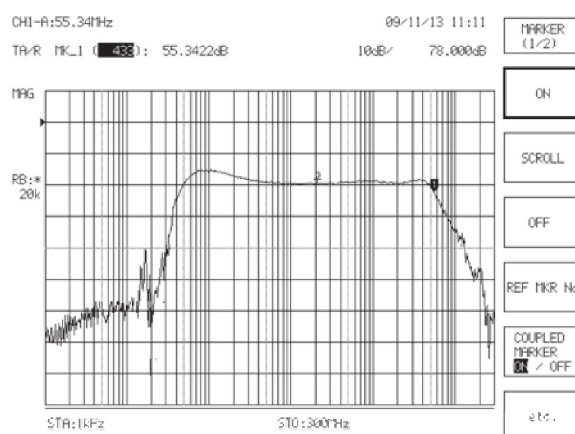


図3 緑色 LED の周波数応答特性(改善回路あり)

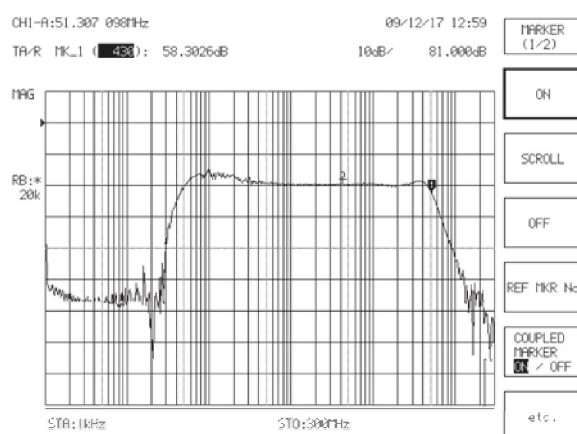


図4 青色 LED の周波数応答特性(改善回路あり)

表 1 周波数応答特性(改善回路あり)測定結果

	赤色	緑色	青色
$f_c$ [MHz]	54.0	55.3	51.3

3-2. LED 駆動条件の最適化

(1) 最適駆動電流値と最適負荷抵抗値の検討

(1)-1 LED に流す駆動電流値を 45mA に固定して負荷抵抗を変えた場合

LED に流す電流値を 45mA に固定し、負荷抵抗値を変えて改善前と後の周波数応答特性を測定した。結果を表 2 と図 5 に示す。

表 2 遮断周波数  $f_c$  の結果

	$f_c$ 前 [MHz]	$f_c$ 後 [MHz]
10 $\Omega$	22	40.9
22 $\Omega$	28	50
47 $\Omega$	31.8	56.8
56 $\Omega$	31.8	56.8
75 $\Omega$	34.3	59.7
100 $\Omega$	33.4	58.2
150 $\Omega$	35.1	58.2
220 $\Omega$	33.4	56.8
270 $\Omega$	32.6	56.8

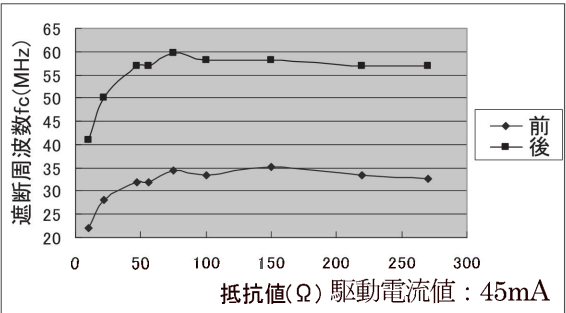


図 5 遮断周波数  $f_c$  の結果図

表 2 や図 5 を見ると 75  $\Omega$  より大きいほうが良いようにみえる。しかし、周波数応答特性を測定したときに 100  $\Omega$  以上では波形が不安定になっていたために使用しないことにした。

次に  $f_c$  が 50MHz 以上である 22  $\Omega$ 、47  $\Omega$ 、75  $\Omega$  を使用し、駆動電流値を変えたときのエラーフリーの距離を測定してどれが最適かを絞っていくことにする。

(1)-2 LED の負荷抵抗が 22  $\Omega$ 、47  $\Omega$ 、75  $\Omega$  において、駆動電流値を変えた場合

周波数応答特性の改善回路は入れず、ビットレートを 50Mb/s にして 22  $\Omega$ 、47  $\Omega$ 、75  $\Omega$  それぞれの場合において駆動電流値を変えながら測定を行った。測定結果を表 3 と図 6 に示す。

表 3 エラーフリーの距離の測定結果

		エラーフリーの距離 [mm]		
駆動電流	抵抗	22 $\Omega$	47 $\Omega$	75 $\Omega$
10mA		6	9	7
25mA		12	10	10
35mA		11	16	12
40mA		17	17	12
45mA		15	15	11
50mA		23	15	12

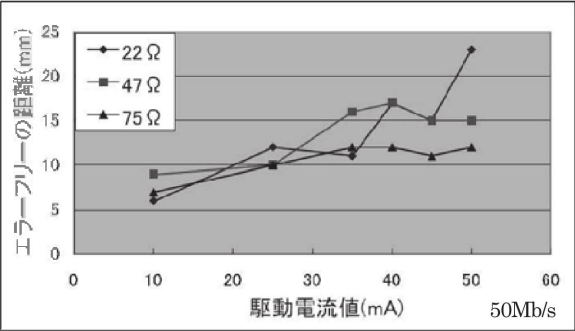


図 6 エラーフリーの距離の測定結果図

表 3 や図 6 を見る限り 22  $\Omega$  のとき 50mA 流すと一番距離は伸びているが、50mA は今回使用した LED に流せる限界値なので使用しないことにする。他の場合はどの抵抗値でも 40mA のときに距離が伸びており、特に 22  $\Omega$  と 47  $\Omega$  が共に一番長いという結果になった。ただし、22  $\Omega$  に比べ、47  $\Omega$  のほうが 40mA 付近で安定して距離を伸ばしているので 47  $\Omega$  を採用する。

結果より、ビットレート 50Mb/s では、LED の負荷抵抗が 47  $\Omega$  のとき 40mA の駆動電流値を流すことが LED 駆動の最適条件となる。

次にこの結果が、ビットレート 50Mb/s と 110Mb/s で周波数応答特性の改善回路があるときでも適用できるかを確認する。

(1)-3 周波数応答特性改善後のビットレート 50Mb/s と 110Mb/s でのエラーフリーの距離の測定

負荷抵抗値を  $47\Omega$  に固定し、周波数応答特性改善後のビットレート 50Mb/s と 110Mb/s の場合のエラーフリーの距離を駆動電流値を変えながら測定した。測定結果を表 4 に示す。さらに 50Mb/s における改善前と後の比較図を図 7 に、改善後の 50Mb/s と 110Mb/s の比較図を図 8 に示す。

表 4 改善後の測定結果

	エラーフリーの距離[mm]	
	50Mb/s	110Mb/s
10mA	11	5
25mA	17	13
35mA	21	18
40mA	23	18
45mA	23	17
50mA	22	21

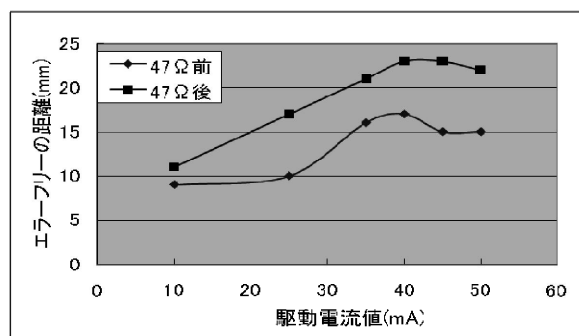


図 7 改善前と改善後の比較図

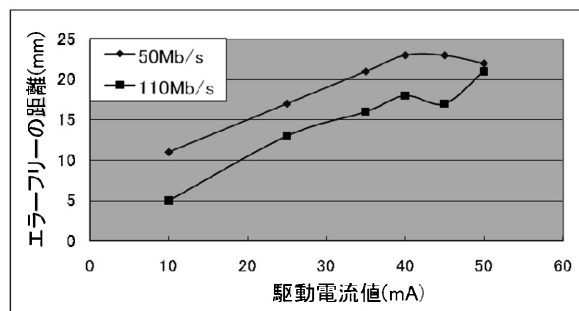


図 8 50Mb/s と 110Mb/s の比較図

図 7 から (1)-2 と同様に LED に 50mA 流した場合を除けば、改善前と後でエラーフリーの距離が一番伸びている電流値が 40mA で等しいので、図 5 の結果を適用して問題ないことが分かる。

次に図 8 から、40mA 流したときのエラーフリーの距離が 50Mb/s と 110Mb/s 共に一番伸びているのが分かる。

よってこれらの結果より、LED の負荷抵抗が  $47\Omega$  のとき駆動電流を 40mA 流すことが LED 駆動の最適条件であることが証明された。

次に LED に入力される電圧幅(これにより駆動電流変化幅も変わる)を変えることによりエラーフリーの距離が改善できるかを検討する。LED に入力される電圧幅というのは図 1 における LED 駆動回路の電圧出力幅である。

(2) LED に入力される電圧幅の最適値の検討

まず、今までの電圧幅の実測を行った。結果は  $0.65\text{Vp-p}$  だったので、この値の 2 倍 ( $1.3\text{Vp-p}$ ) と  $1/2$  倍 ( $0.33\text{Vp-p}$ ) の電圧幅でビット誤り率を測定し、電圧幅の最適値を決定した。50Mb/s における結果の比較図を図 9 に、110Mb/s における結果の比較図を図 10 に示す。

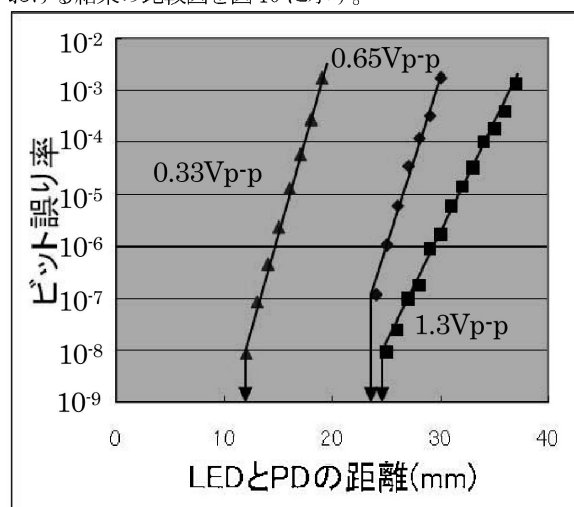


図 9 50Mb/s における比較図

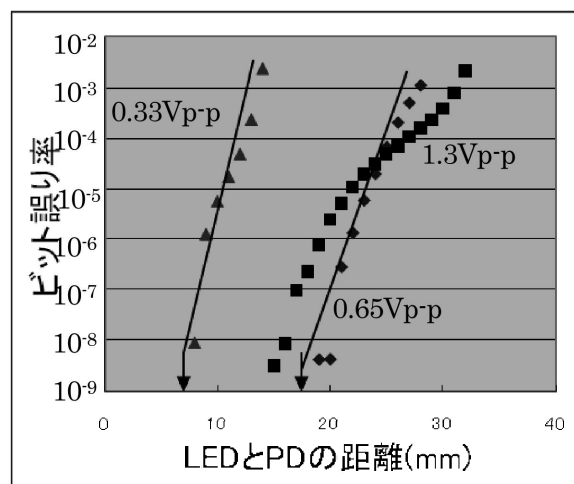


図 10 110Mb/s における比較図

図 9 においては電圧幅が  $1.3\text{Vp-p}$  のときに一番エラーフリーの距離が伸びていたが、図 10 においては電圧幅が  $0.65\text{Vp-p}$  のときにエラーフリーの距離が一番伸びる結果になった。よって 50Mb/s と 110Mb/s 共にビット誤り率が安定している  $0.65\text{Vp-p}$  を電圧幅の最適値と見なした。

最後に負荷抵抗値  $47\Omega$  で電圧幅を  $0.65\text{Vp-p}$  にし駆動電流を 40mA 流すという最善の条件で、LED 一個で一色変調方式を行った場合とさらに光出力パワーを大きくするため同条件で LED 二個にした場合の誤り率特性を測定する。

### 3-3. 最善条件で一色変調方式によるビット誤り率測定

最善条件で IM-DD 方式による室内光伝送実験を PN7 段信号で行った。LED 一個の場合と LED 二個の場合の一色変調方式に加えて、比較のためにそれぞれ赤色のみ点灯して変調した場合の誤り率特性も測定した。また、一色変調方式を行う際の青色と緑色 LED に流す電流は、この LED のティピカル値である 35mA に設定した。

#### (1) LED 一個の場合

赤色のみ点灯して変調した場合の周波数応答特性とビット誤り率をそれぞれ図 11 と図 12 に、一色変調方式を行った場合の周波数応答特性とビット誤り率をそれぞれ図 13 と図 14 に示す。

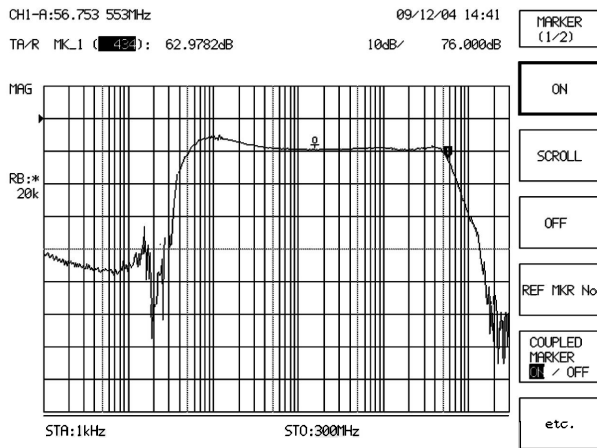


図 11 赤色のみの周波数応答特性( $f_c$ : 56.8MHz)

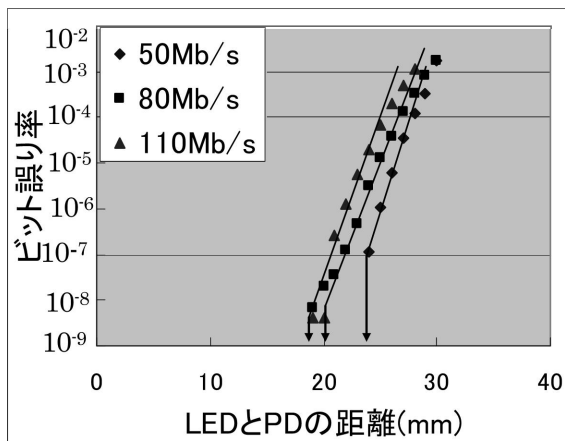


図 12 赤色のみのビット誤り率の結果のグラフ

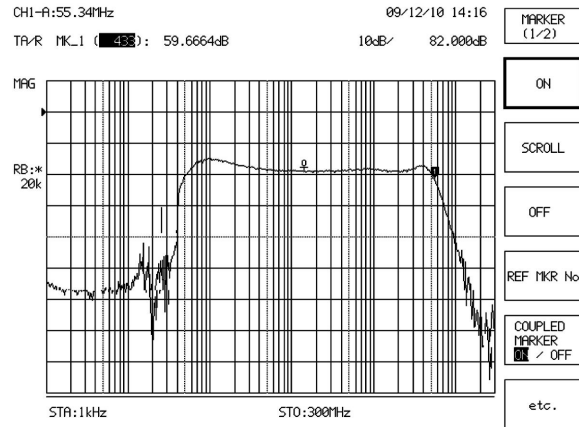


図 13 一色変調方式(赤のみ変調有り、青と緑は変調無しで点灯)の周波数応答特性( $f_c$ : 55.3MHz)

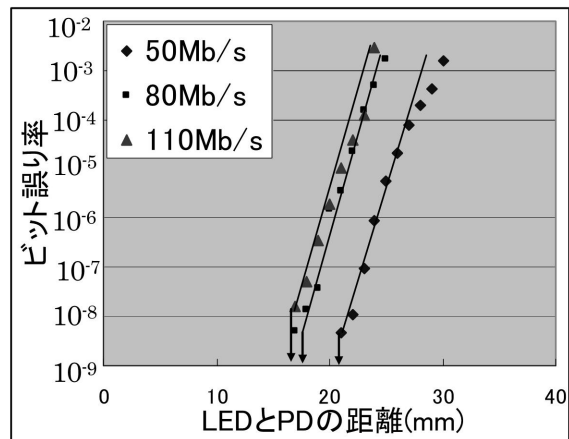


図 14 一色変調方式のビット誤り率の結果のグラフ

#### (1) LED 二個の場合

赤色のみ点灯して変調した場合の周波数応答特性とビット誤り率をそれぞれ図 15 と図 16 に、一色変調方式を行った場合の周波数応答特性とビット誤り率をそれぞれ図 17 と図 18 に示す。

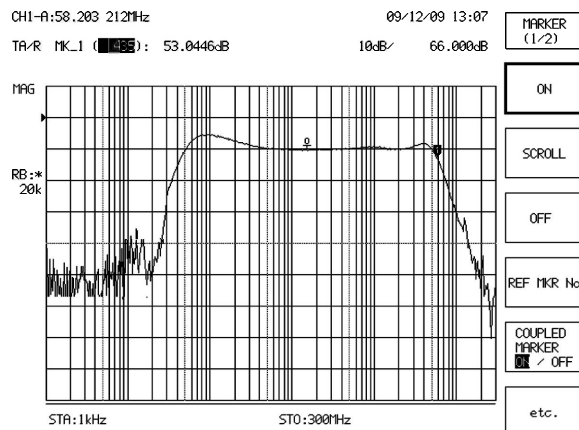


図 15 赤色のみの周波数応答特性( $f_c$ : 58.2MHz)

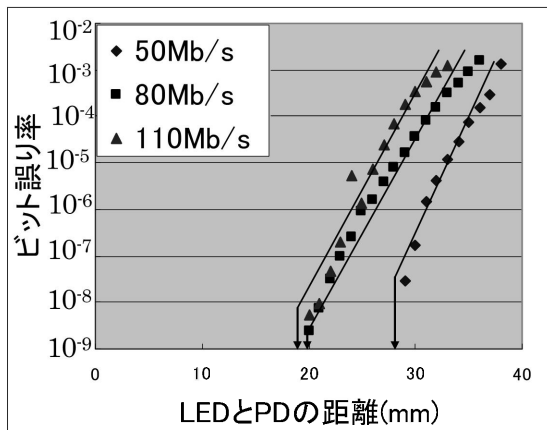


図 16 赤色のみのビット誤り率の結果のグラフ

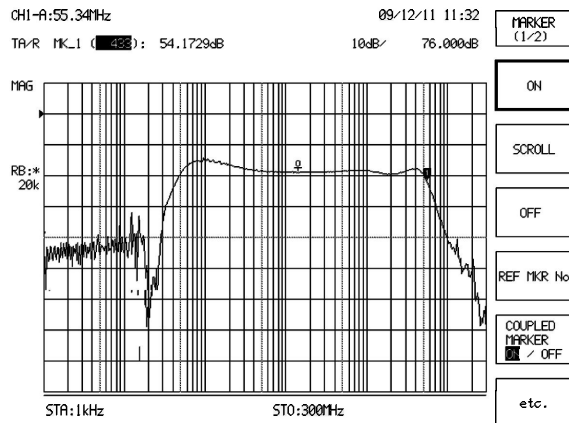
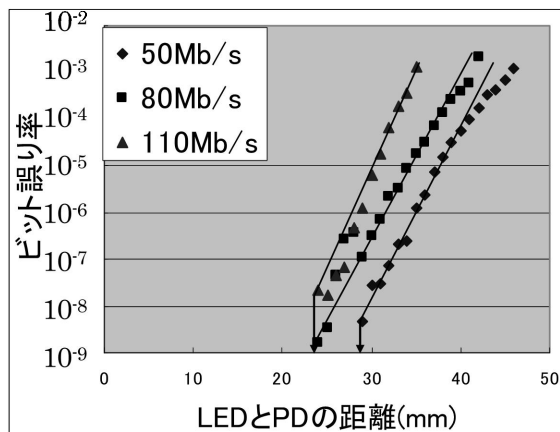
図 17 一色変調方式の周波数応答特性( $f_c$ :55.3MHz)

図 18 一色変調方式のビット誤り率の結果のグラフ

最後にビットレート 110Mb/s における LED 一個と二個、赤色のみと一色変調方式の比較を行うためのグラフを図 19 に示す。

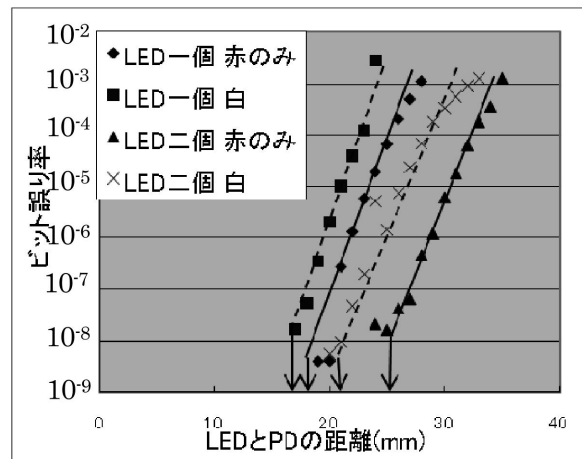


図 19 110Mb/s における比較図(実線：赤のみ、破線：\*白)  
\*白・・・一色変調方式を行った場合である。

#### 4. 結論

今回の原理確認実験により LED 一個の赤色で一色変調方式を行った場合はビットレート 110Mb/s で 16mm、LED 二個の赤色で一色変調方式を行った場合はビットレート 110Mb/s で 19mm までエラーフリーの距離を確保することができた。

これらの結果より一色変調方式はシンプルな回路構成で、かつ高速化も行えることが確認できた。

#### 参考文献

- [1] Y.Tanaka and M.Nakagawa, "Indoor visible light data transmission system utilizing white LED lights", IEICE Tran.Commun, vol.E86-B, no.8, pp.2440-2454, 2003.
- [2] S.Nakamura, "Present performance of InGaN-based blue/green/yellow LEDs," Proc. SPIE Conf.on Light-emitting Diodes: Research, Manufacturing, and Applications, vol.3002, pp.26-35, San Jose, CA, 1997.
- [3] SHARP 製 GM5WA06256Z