



可視光通信による 移動体情報通信システムの検討

2016年3月18日

大柴小枝子

京都工芸繊維大学 大学院工芸科学研究科



本発表の流れ

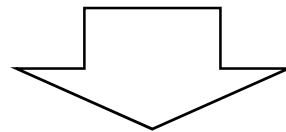
1. 本研究の背景(可視光通信)
2. LED信号機による可視光通信システム
信号機間、信号機－車間
3. ボラードを用いた歩行支援システム
ボラード－歩行者間通信



背景

◎ モバイルトラフィックの急増

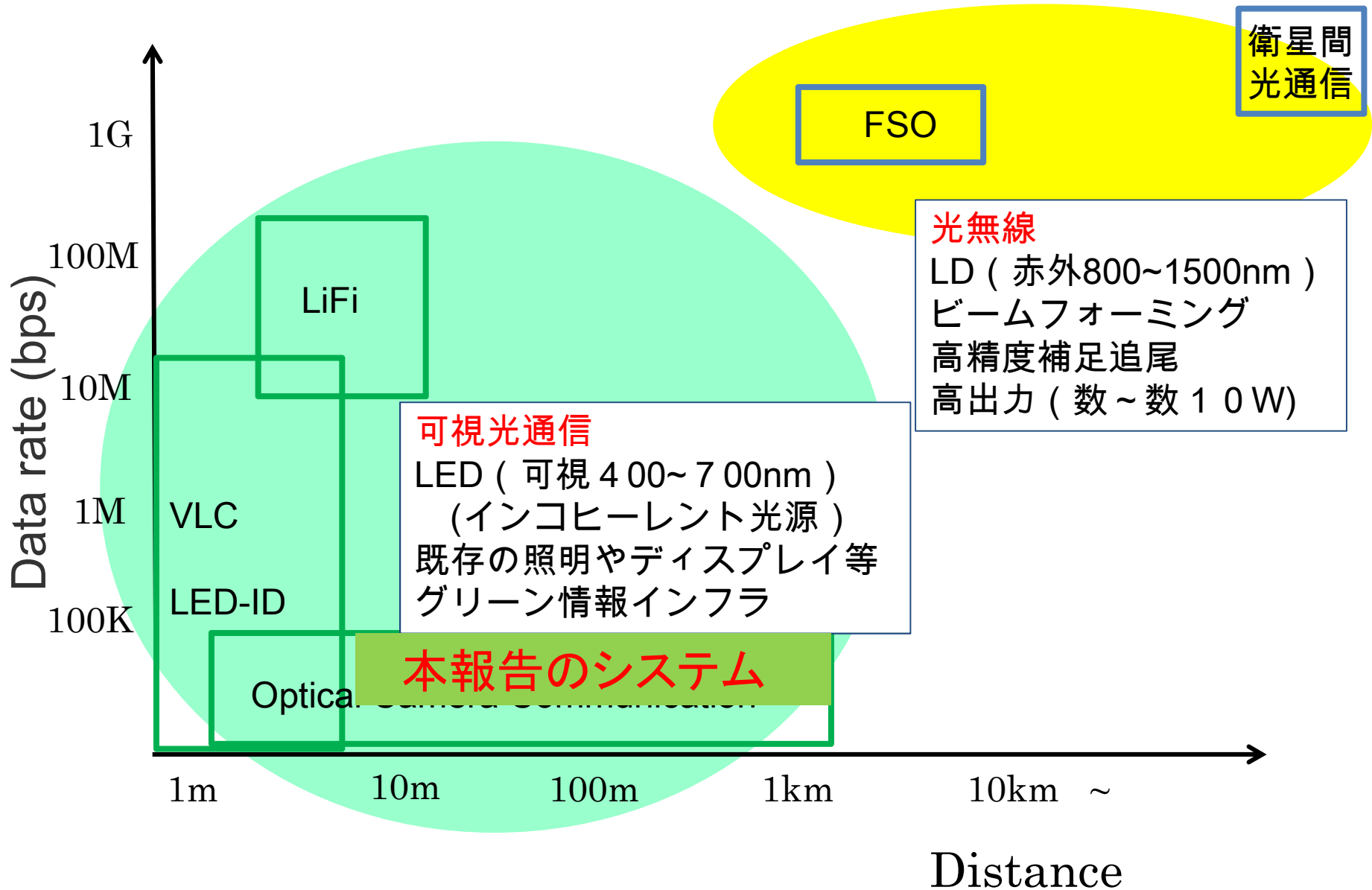
- ◎ 年間平均増加率: 78%
- ◎ 2016年のトラフィック総量
対2011年比で18倍、対2014年比で2.6倍
(Cisco Visual Networking Indexより)



◎ 無線通信帯域の確保の必要性

- ◎ 300GHz～テラヘルツ帯の利用
- ◎ 既存サービスの利用帯域の圧縮
- ◎ 空間光通信 (LED可視光通信 など)

空間光通信





可視光通信

資料 A tutorial overview of VLC, <http://www.ieee802.org/15/pub/TG7.html>



- IG-THz : 300 GHz to 10 THz (contribution 15-07-0623-01)
- 802.15.3c : 57 GHz to 64 GHz
- IrDA : 334THz(900nm) to 353THz (850nm)

- 広帯域(300 THz以上)
- 既存のLED照明を送信器として利用できる。
→設置済みのデジタル・サイネージや照明機器、
交通信号などを可視光通信に活用可能
- 電磁干渉フリー (航空機・病院)



可視光通信注目の背景

◎ LED照明の普及

◎ 2016年40% ⇒ 2020年60%以上(予想)

◎ LEDの発光効率の改善

◎ 2010年70 lm/W ⇒ 2015年150 lm/W

2020年 200 lm/W(予想)

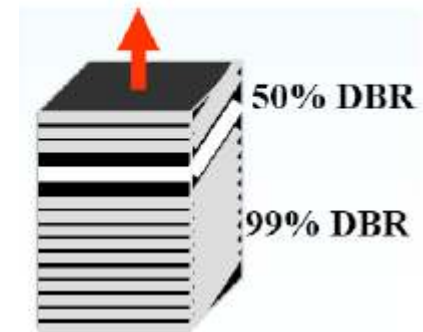
(全エネルギーを可視光にできたとしても 683 lm/W)

◎ 長寿命・低消費電力(従来の照明比)

◎ LEDの変調特性改善

◎ 汎用LED(10 Mbps) ⇒ 共振器型LED

(> 500 Mbps)



RCLED

~500 Mbps



標準化の動き

日本ではJEITAによるVLCコンソーシアムを中心とした標準活動
(2006~2007)

欧州では The Home Gigabit Access project (OMEGA) (2008)

IEEE 802.15.7

Visible Light Communication (2009~2011)

<http://www.ieee802.org/15/pub/TG7.html>

IEEE 802.15.7r1

15.7 Revision: Short-Range Optical Wireless
Communications Task Group (TG 7r1)

(2014.12~)



標準化の動き

IEEE 802.15.7r1 Short-Range Optical Wireless Communications (2015.1 1st meeting)

- **Optical Camera Communications** which enables scalable data rate, positioning/localization, and message broadcasting, etc. using devices such as the flash, display and image sensor as the transmitting and receiving devices .
- **LED-ID** which is wireless light ID (Identification) system using various LEDs.
- **LiFi** which is high-speed, bidirectional, networked and mobile wireless communications using light.

http://www.ieee802.org/15/pub/IEEE%20802_15%20WPAN%202015_7%20Revision1%20Task%20Group.htm



目次

1. 本研究の背景(可視光通信)
2. LED信号機による可視光通信システム
 - ・信号機間通信
 - ・信号機一車間通信
3. ボラードを用いた歩行支援システム
 - ボラードー歩行者間通信

LED信号機を用いた可視光通信

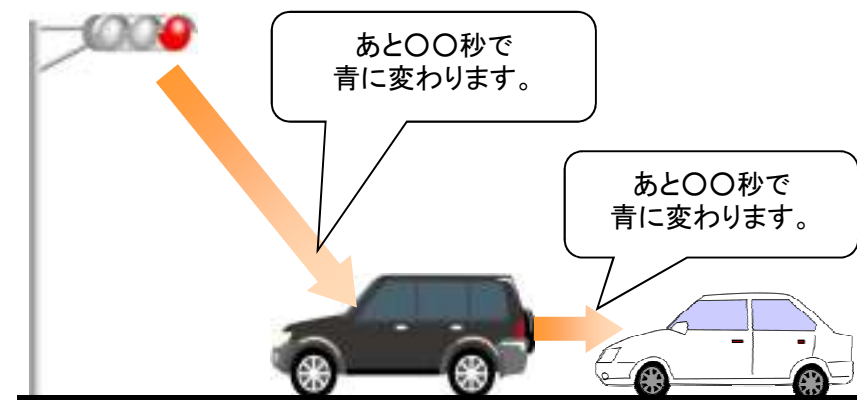
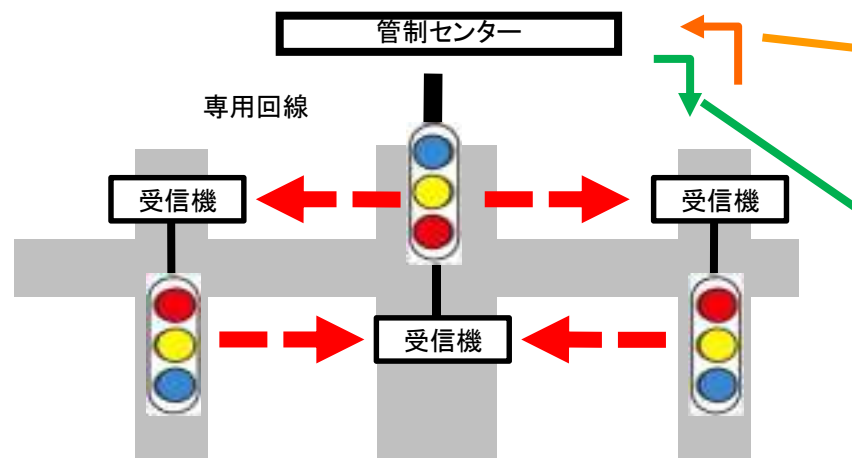
LED信号機・・・昼夜、天候問わず24時間利用可能、設置密度が高い

高度道路交通システム (Intelligent Transport Systems: ITS) 応用

- 人と道路と車両とを一体化したシステムとして構築
- 道路交通の安全性, 輸送効率, 快適性の飛躍的な向上を実現

信号機間通信: 信号機制御のスマート化

信号機 - 車間通信: 自動車制御のスマート化



LED信号機を用いた可視光無線通信の課題

- ・変調による光源のちらつき(フリッカー)の防止
変調周波数 > 200 Hz (MFTP < 5 ms)

S. Berman et al., *Optometry and Vision Science*, vol. 68, 1991.

- ・太陽光などによる外乱光雑音の影響
DCLレベルの増加

- ・多重伝送時の他チャンネル成分による
マルチアクセス干渉雑音(Multi Access Interference : MAI)の影響

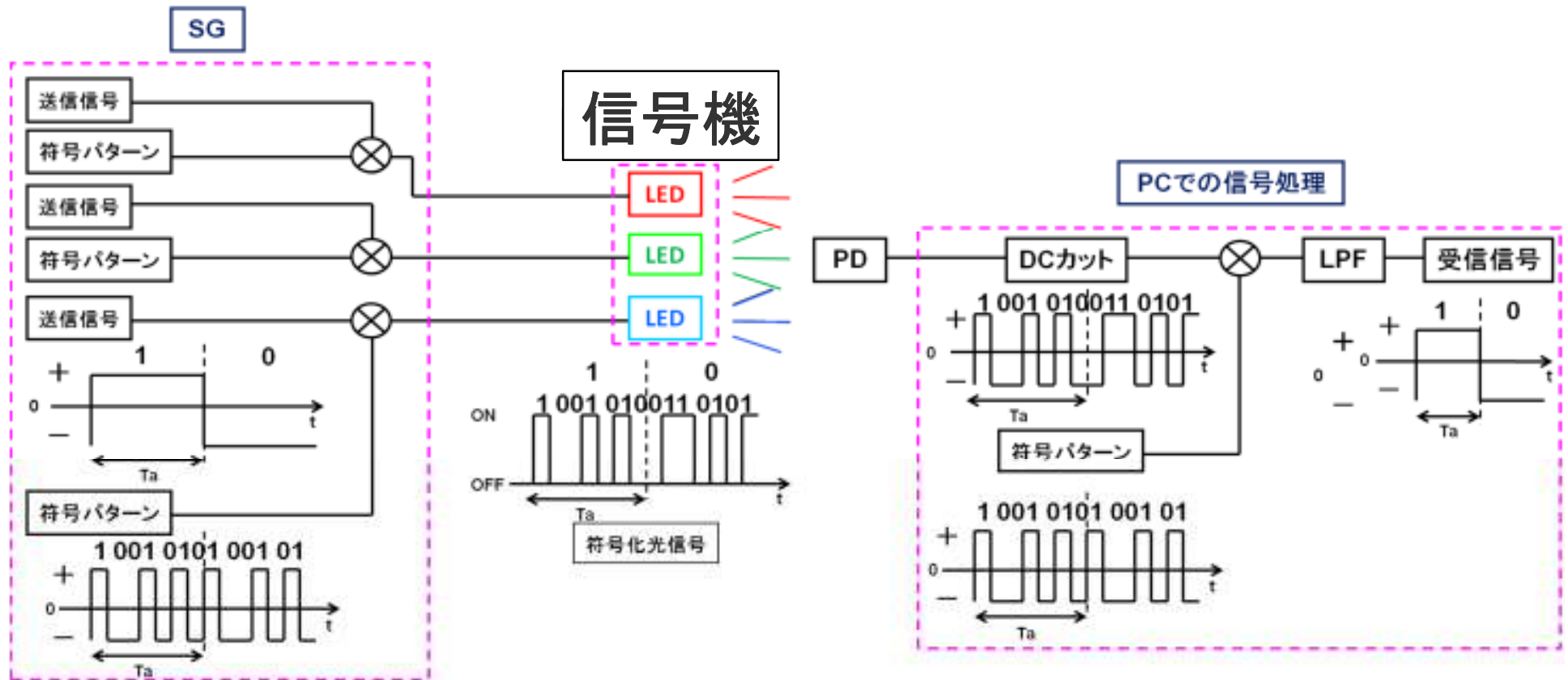
→雑音耐性の高い 直接符号拡散変調方式
広域通過フィルタによる雑音除去

渡邊、西井、大柴

可視光通信を用いた信号機間通信システムの雑音耐性向上による通信距離拡大に関する研究
: 電子情報通信学会和文論文誌 IEICE-B-J, No.2, pp.180-187, 2015



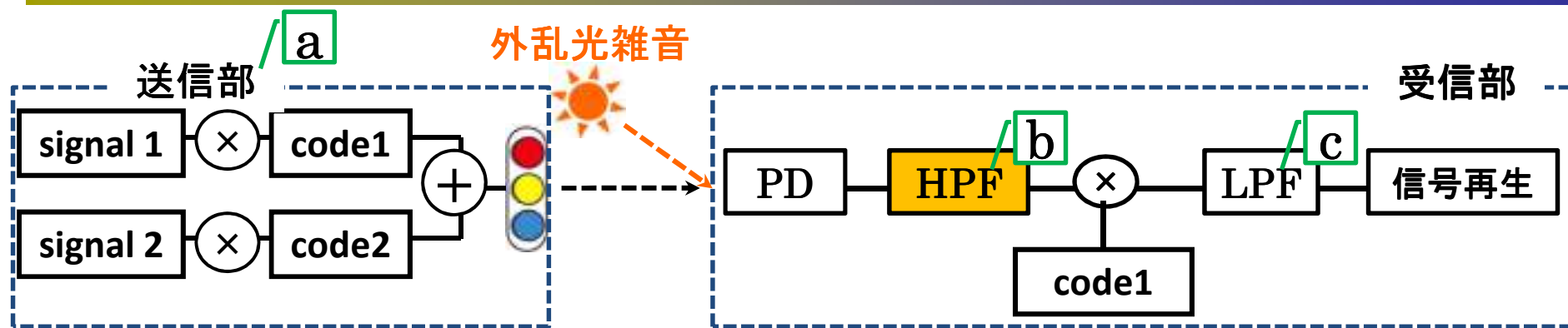
二値符号拡散変調方式



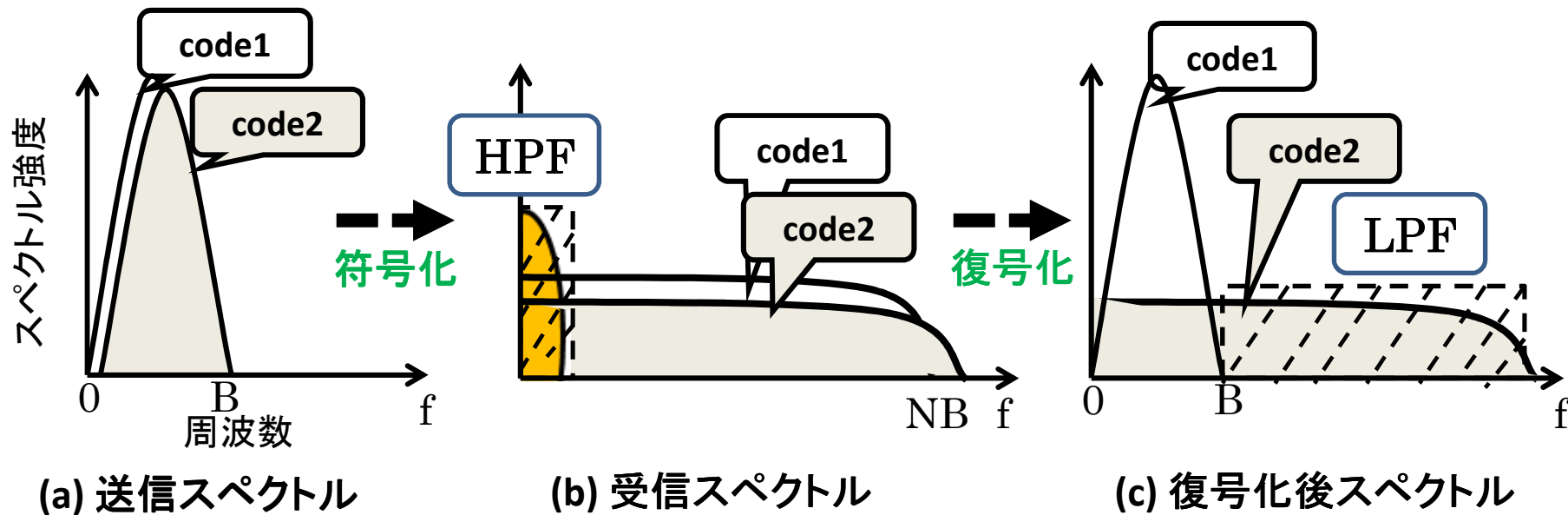
実験系

- ・送信信号のデータレートは2kbps、
- ・拡散に用いたコードは32chip直交Gold符号、チップレートは64kchip/s
- ・PD受信後、DCカットすることで、バイアスを変換
- ・送信時に用いた符号で逆拡散し、元の信号を再生する

符号拡散変調方式の雑音除去の仕組み



◎スペクトル波形

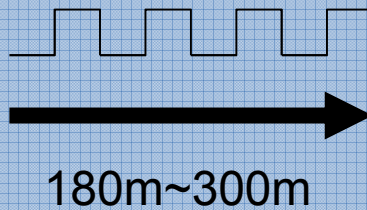


LED信号機を用いた可視光通信



送信側: 信号機

LED発光により
情報伝播



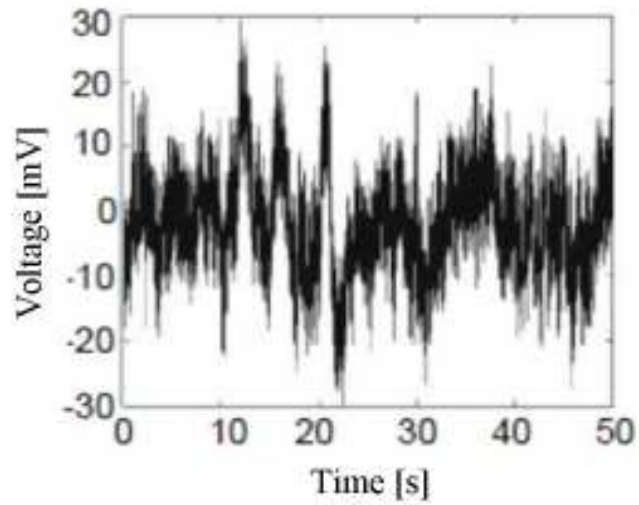
受信側: 受信装置

信号機 (日本信号(株)製) 高さ 5m
光度 433 cd(青) 417 cd (赤)
(192 LED)

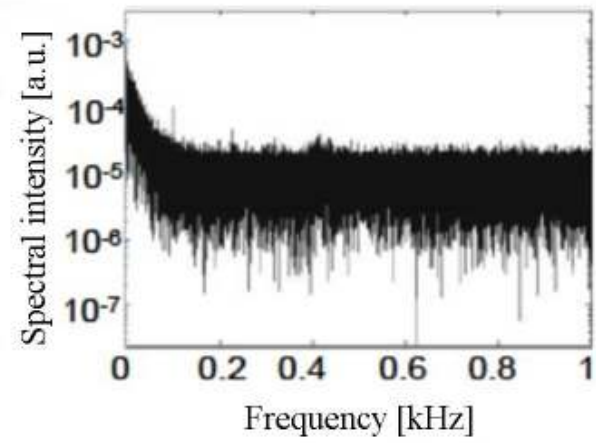
受信機 高さ 5m,
集光用レンズ, 直径60 mm, 焦点距離
75 mm, PD, 遮断周波数40 MHz



外乱光雑音波形



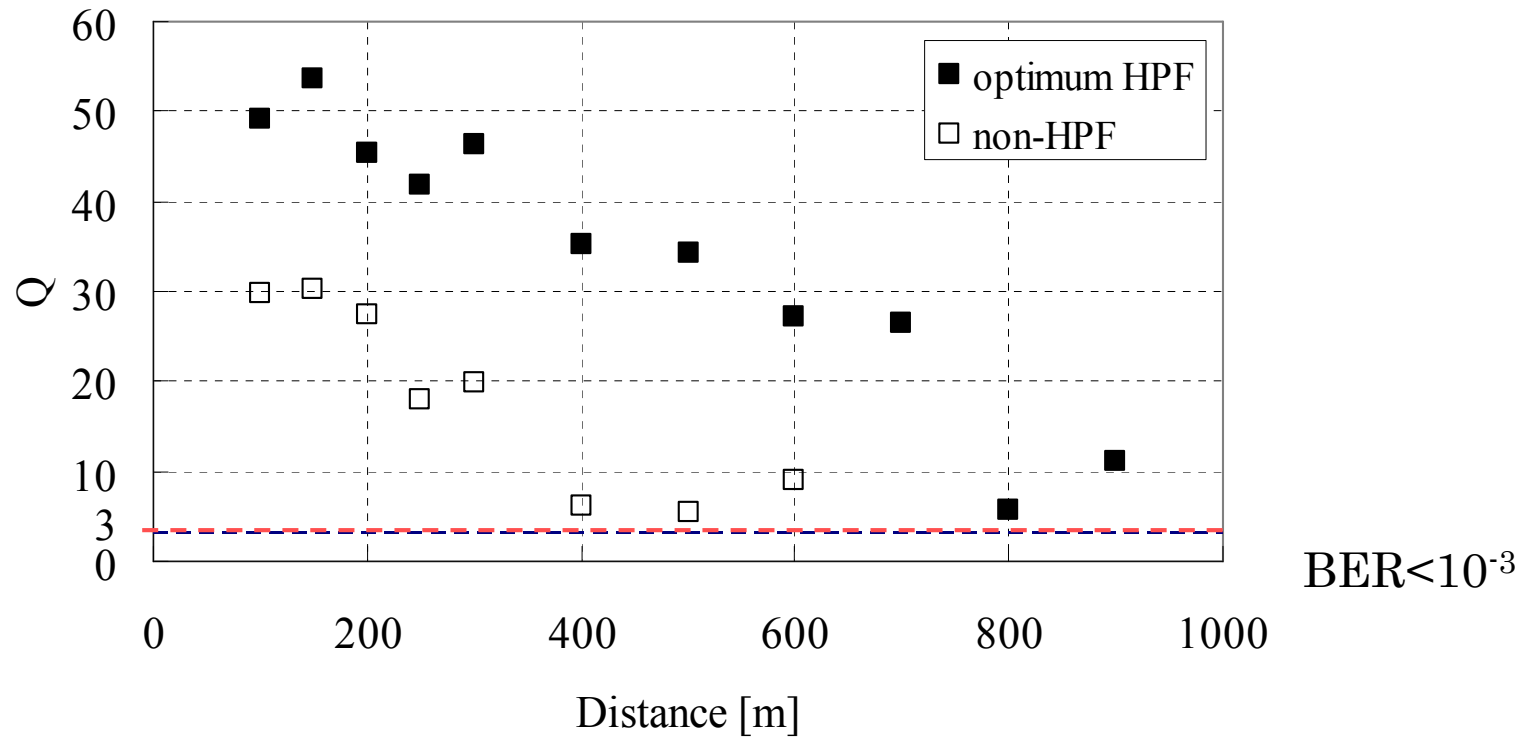
(a) 時間波形



(b) 周波数スペクトル



信号機間 可視光通信実験





目次

1. 本研究の背景(可視光通信)
2. LED信号機による可視光通信システム
 - ・信号機間通信
 - ・信号機一車間通信
3. ボラードを用いた歩行支援システム
 - ボラードー歩行者間通信



LED信号機一車(路車)間通信の課題

- ・変調による光源のちらつき(フリッカー)の防止
変調周波数 > 200 Hz (MFTP < 5 ms)

S. Berman et al., Optometry and Vision Science, vol. 68, 1991.

- ・太陽光などによる外乱光雑音の影響
DCレベルの増加

- ・他チャンネル成分による
マルチアクセス干渉雑音(Multi Access Interference : MAI)の影響

雑音耐性の高い直接符号拡散変調方式
広域通過フィルタによる雑音除去 + 光学フィルタ

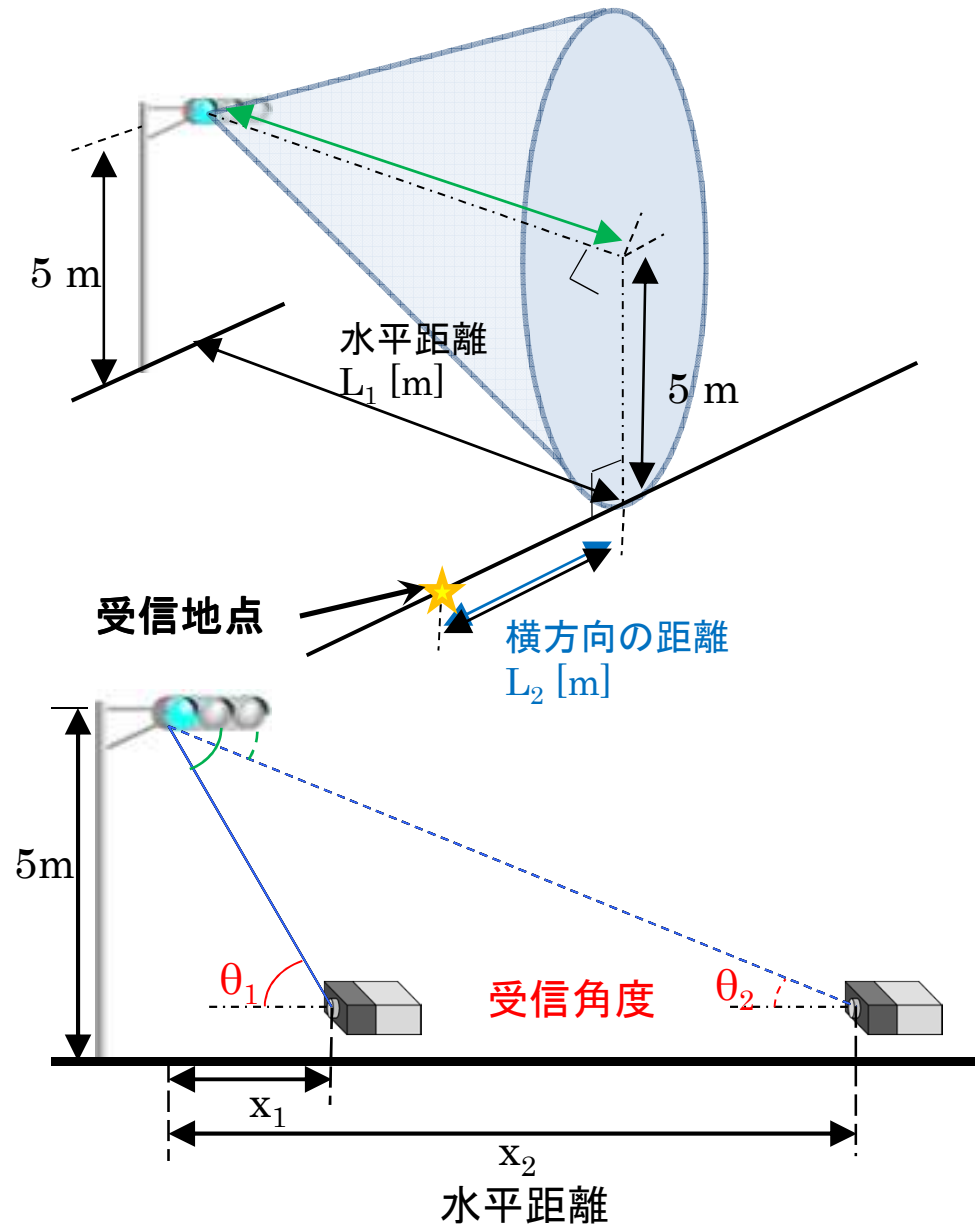
- ・LED指向性による通信エリアの限定



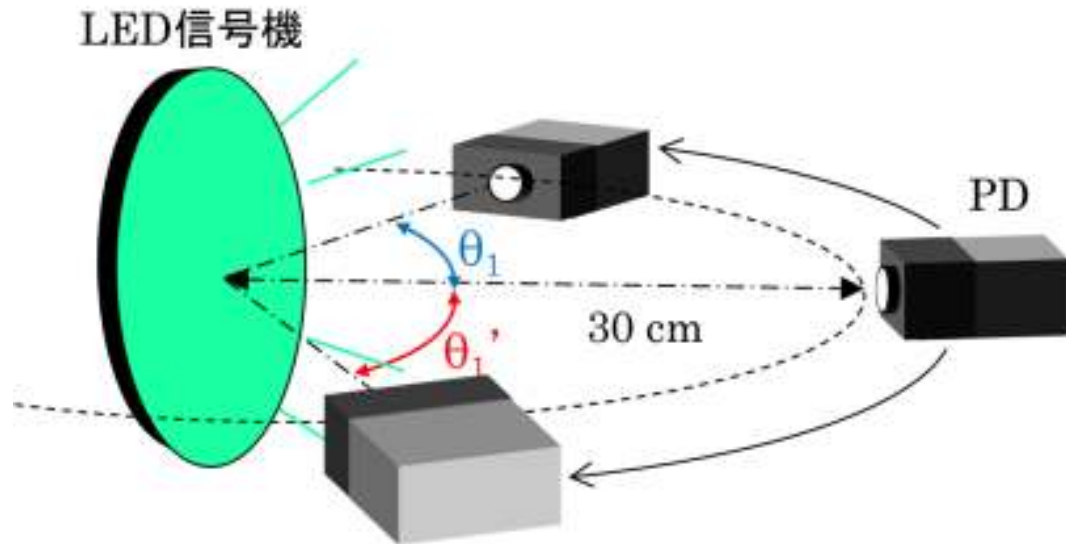
信号機一車間通信

信号機 (日本信号(株)製)
高さ 5m
光度 433 cd(青) 417 cd (赤)
(192 LED)

受信機 (浜松フォトニクス製)
APD レンズなし

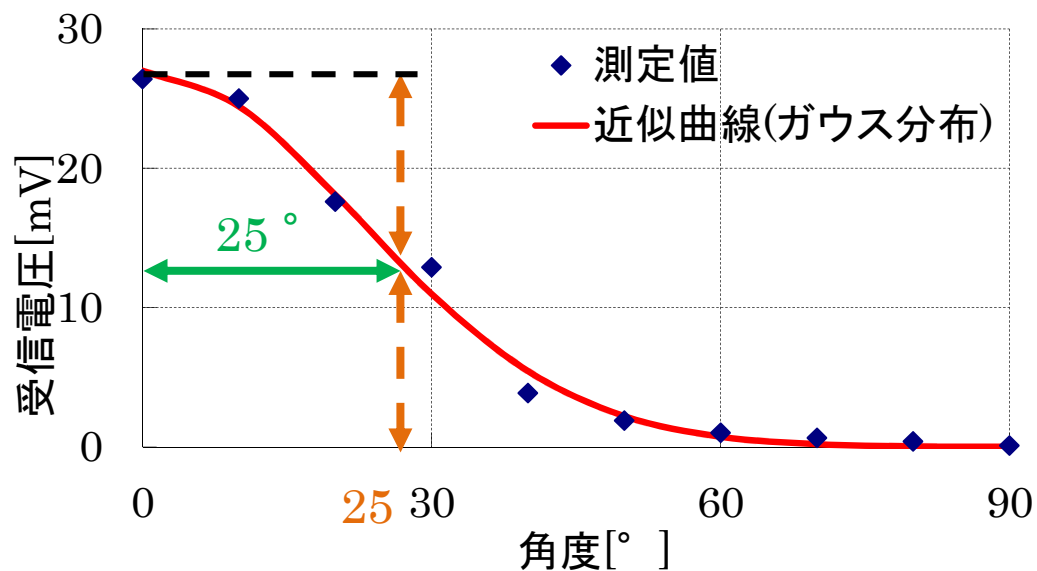


LED信号機の放射角度特性



半径30 cmの円周上でPDの位置を変化
各放射角度における受信電圧を測定

一般的に、指向性を持つ
光源(LED等)の放射角度特性は
ガウス分布に従う



$0^\circ \leq \theta_1 \leq 90^\circ$ の範囲で測定

• 正面(0°)における受信電圧が**最大**

• ガウス分布に従った特性

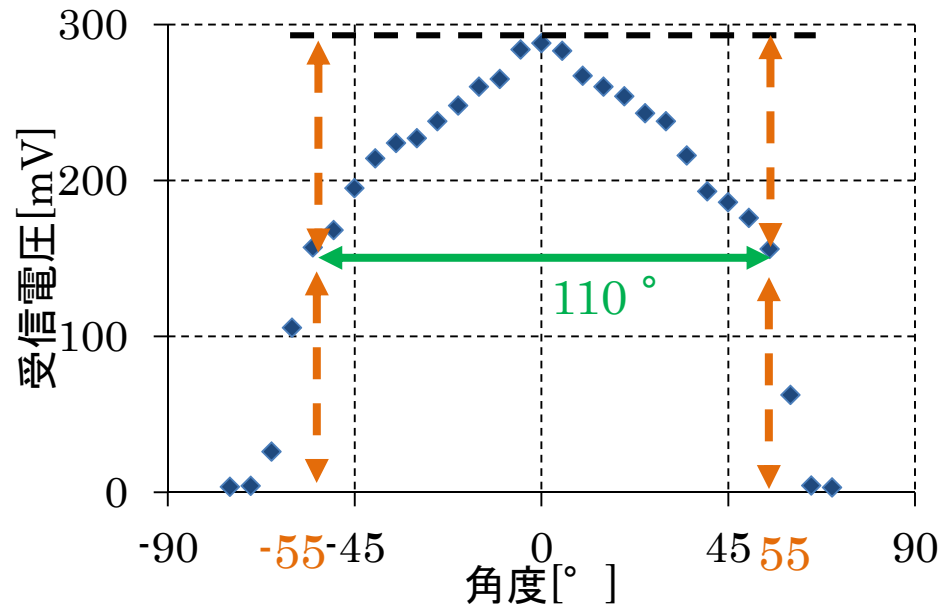
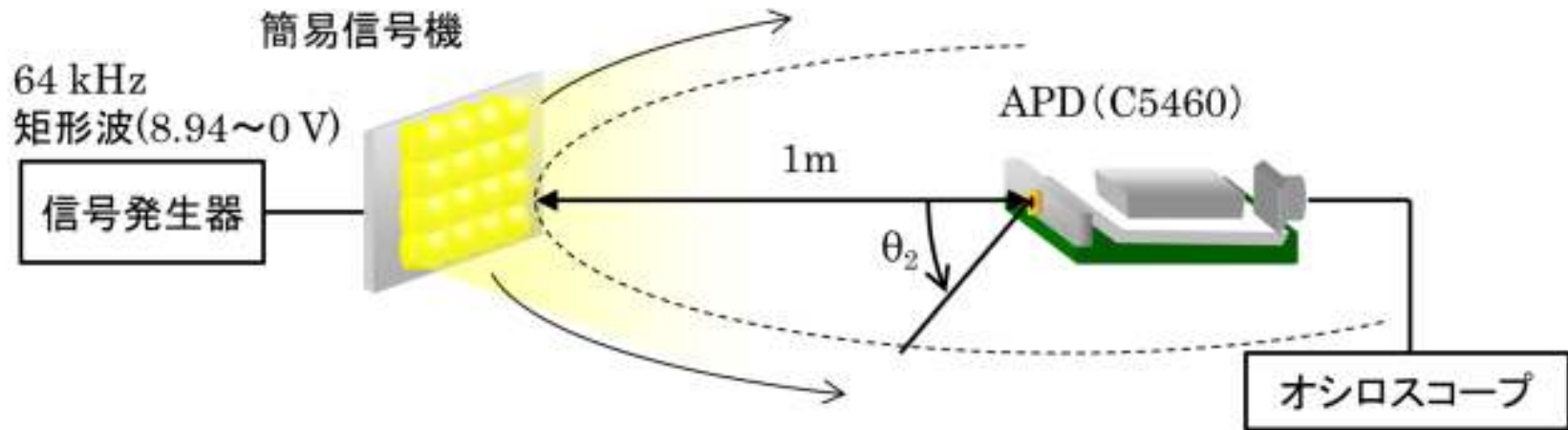
$$f(\theta_1) = 27 \times \exp\left(-\frac{\theta_1^2}{2 \times 500}\right) \text{ [mV]}$$

• 放射角度特性は左右対称
半値幅が $50^\circ (=25^\circ \times 2)$

放射角度は約 50°

受信機の入射角度特性

半径1 mの円周上で簡易信号機的位置を変化
各入射角度における受信電圧を測定



$-90^\circ \leq \theta_2 \leq 90^\circ$ の範囲で測定

- 正面(0°)における受信電圧が**最大値**
視野角は約 **110°**

近似曲線

$$f_2(\theta_2) = -1.51 \times 10^{-6} \theta_2^4 - 4.53 \times 10^{-5} \theta_2^3 + 2.81 \times 10^{-3} \theta_2^2 + 0.117 \theta_2 + 0.294$$



受信強度分布の算出方法

信号機と受信地点との直線距離 L_3 は

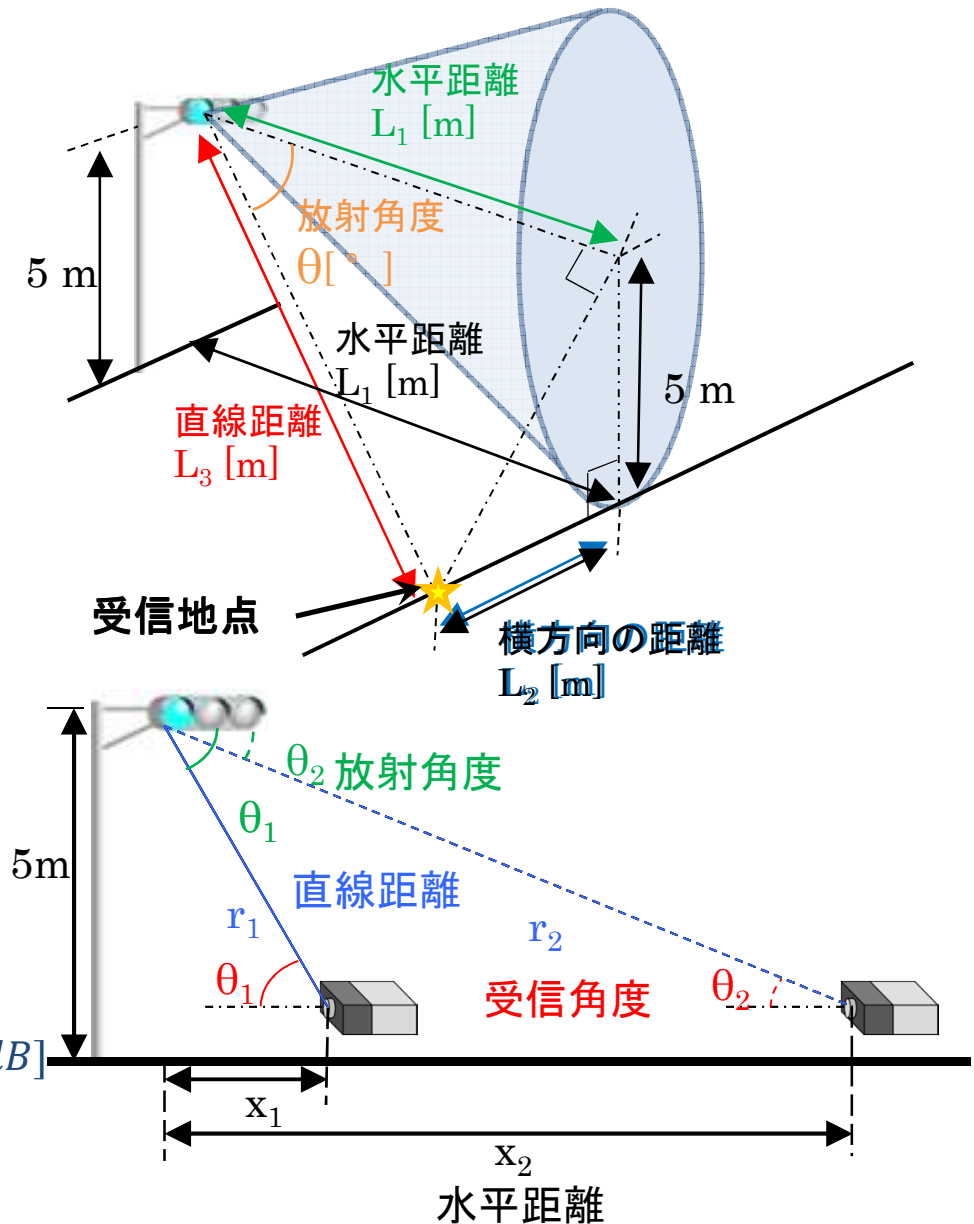
$$L_3 = \sqrt{L_1^2 + \left(\sqrt{5^2 + L_2^2}\right)^2} \text{ [m]}$$

受信地点への放射角度 θ は

$$\theta = \tan^{-1} \frac{\sqrt{5^2 + L_2^2}}{L_1} \text{ [}^\circ\text{]}$$

放射角度 0° ，直線距離1 mにおける受信強度を0 dBとすると各地点における光強度 I [dB]は

$$\begin{aligned} I &= 10 \log \{ (\text{距離減衰}) \times (\text{放射角度減衰}) \\ &\quad \times (\text{受信角度減衰}) \} \\ &= 10 \log \left\{ (L_3)^{-2} \times \exp \left\{ -\frac{\theta^2}{2 \times 500} \right\} \right\} + f_2(\theta) \text{ [dB]} \end{aligned}$$





受信強度分布の算出結果

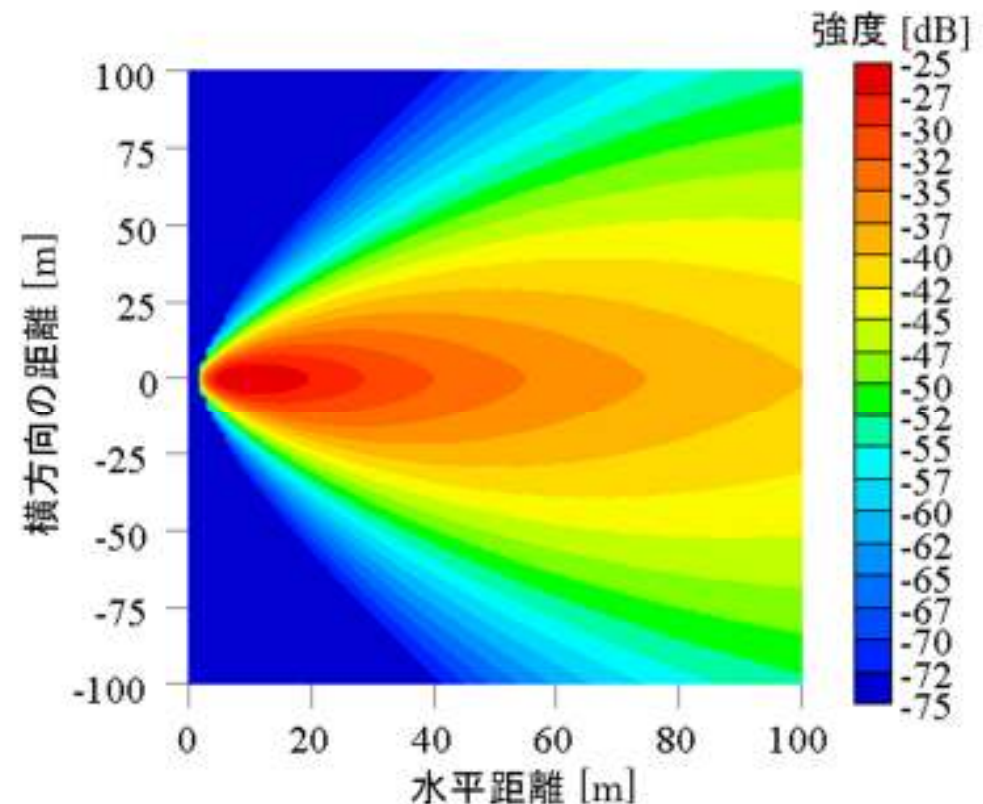
座標[0,0]の地点に信号機を設置した場合の受信強度分布

- 正面方向: 100 m
- 横方向: 200 m(左右100 m)

信号機の真正面(0°)における
水平距離9 m地点が受信強度最大

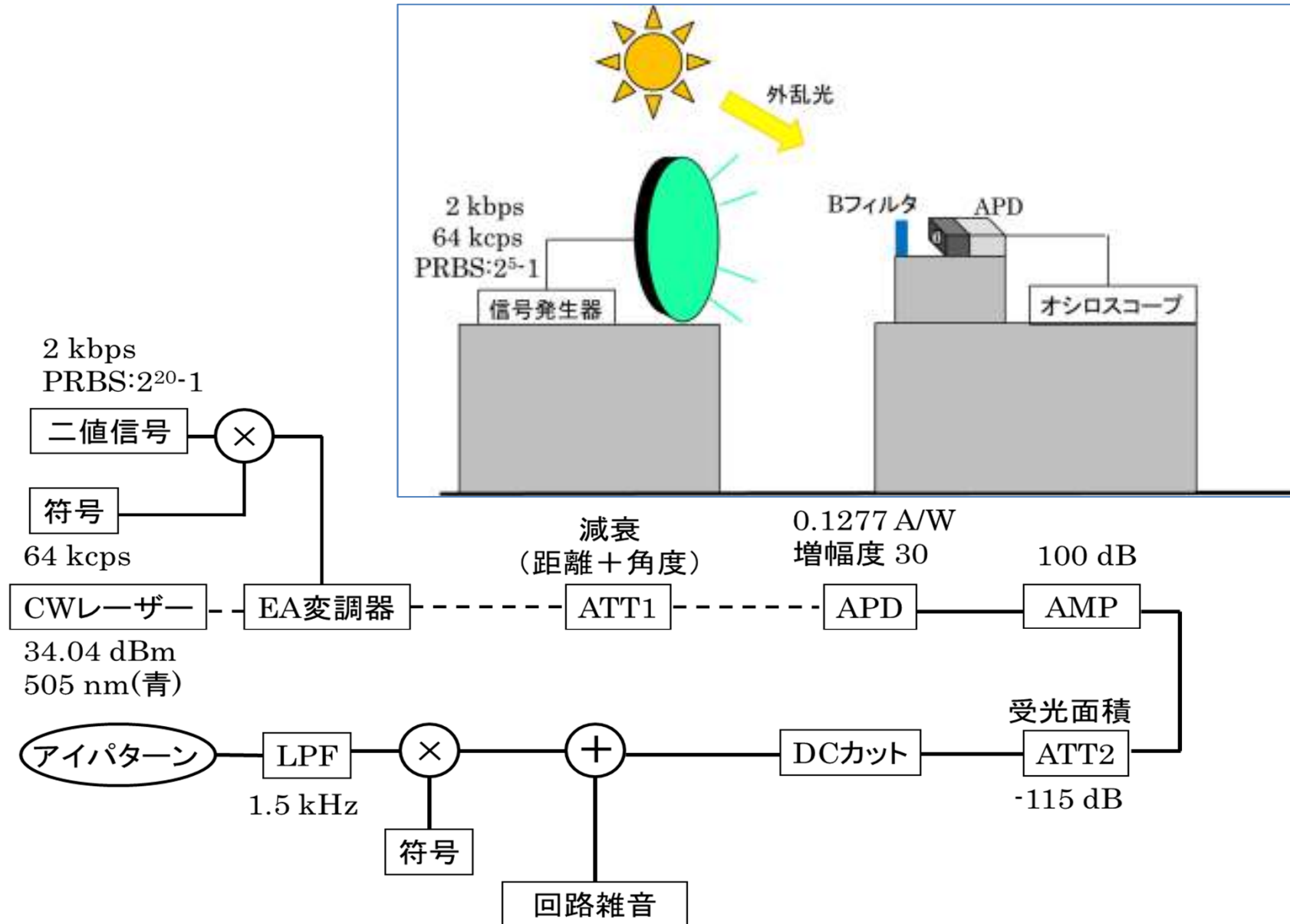
水平距離3 m以下のような極めて近い地点や、横方向に位置がずれると
大きく受信強度が減衰

道路幅(3~5 m)では横方向のずれの
影響は無視可能。

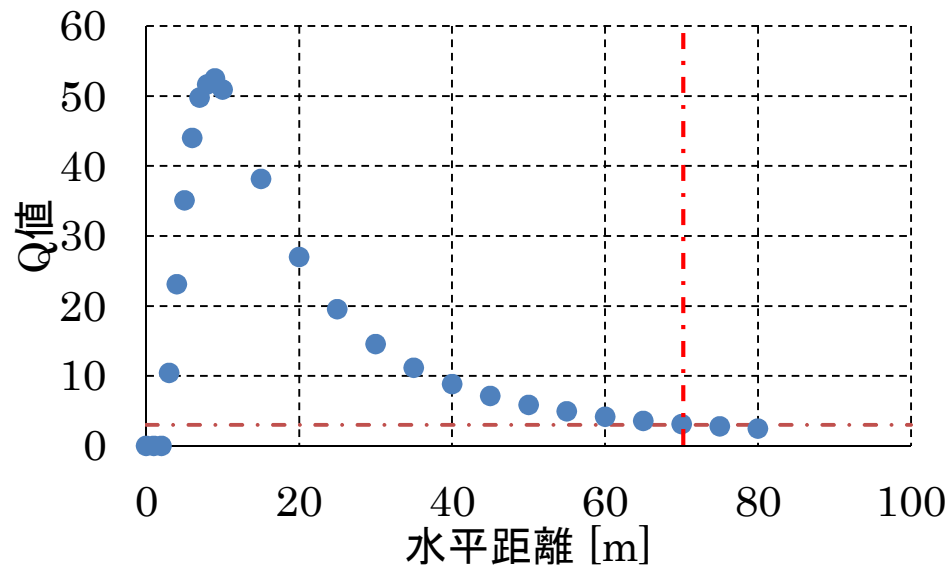
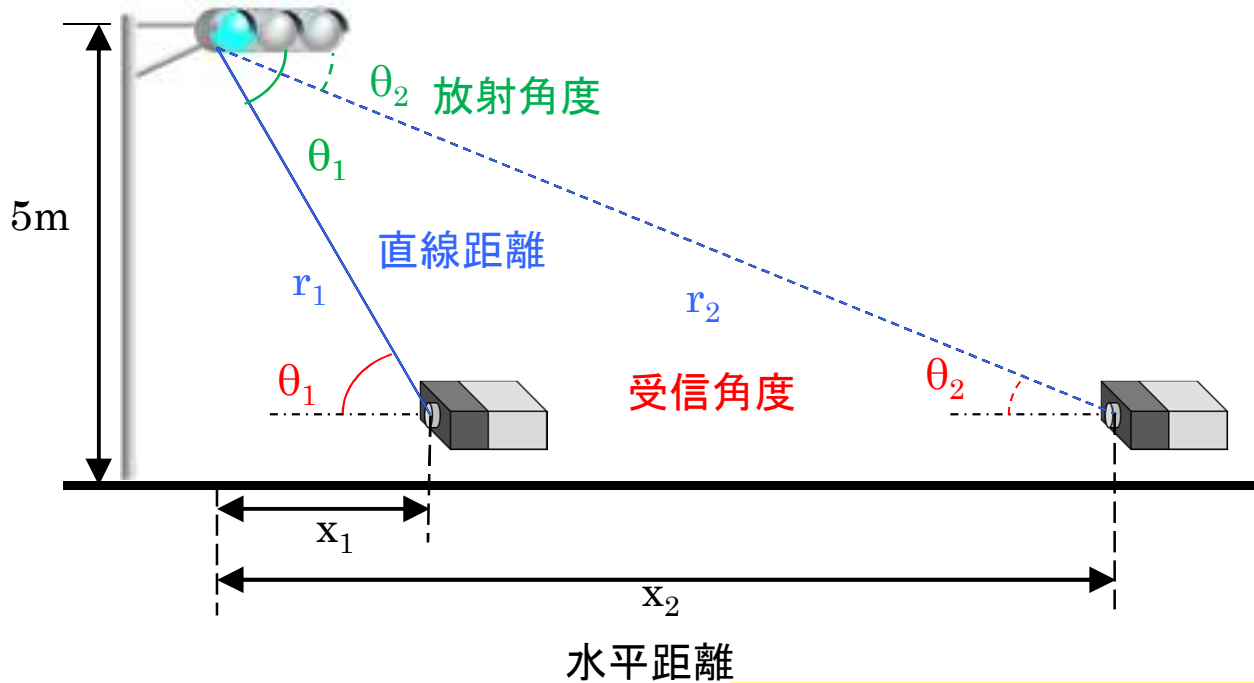




通信実験および解析



シミュレーション解析結果



受信機(C5460)を水平に設置
回路雑音を考慮したQ値の距離依存特性

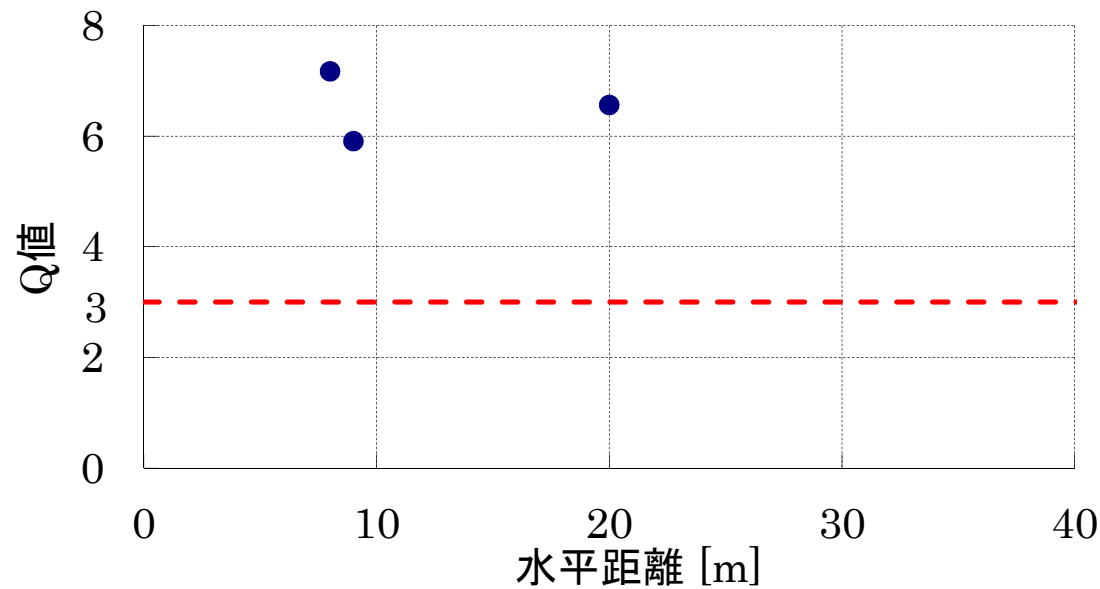
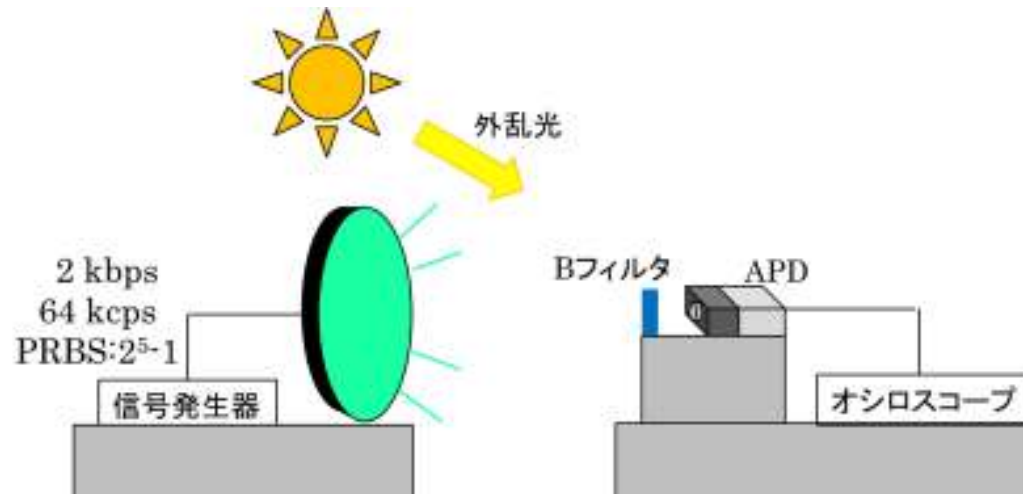
$Q \geq 3$ (BER < 10^{-3}) で通信可能と判断

➤ 9 m地点で最大値 ($Q = 52.5$)

➤ 3~70 m地点でQ値3を達成



屋外可視光通信実験結果



屋外での通信実験 8~20 m で良好な通信特性確認



目次

1. 本研究の背景(可視光通信)
2. LED信号機による可視光通信システム
 - ・信号機間通信
 - ・信号機一車間通信
3. ボラードを用いた歩行支援システム
 - ボラードー歩行者間通信

自発光式LEDボラードによる歩行支援

弱視者の夜間歩行を考慮した自発光式LEDボラード
特殊な点滅発光で弱視者の視認性向上

自発光式LEDボラードを使用する利点

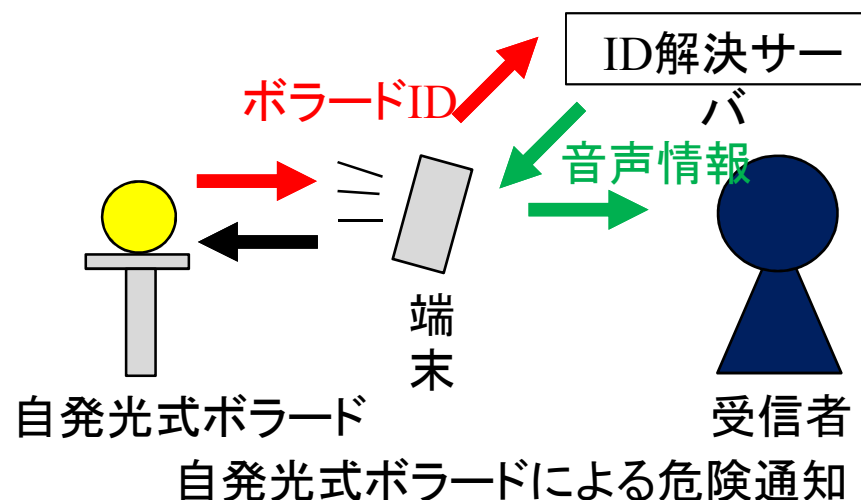
- 視認性が高い • 歩道上に約3~5 m間隔で設置
- 設置が容易 • 既存の照明に通信機能の追加



非発光式



自発光式(試作)





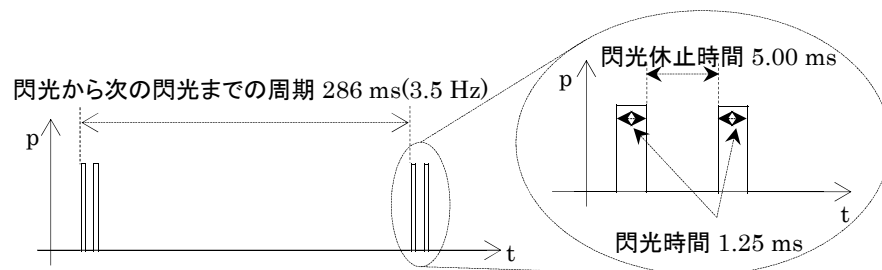
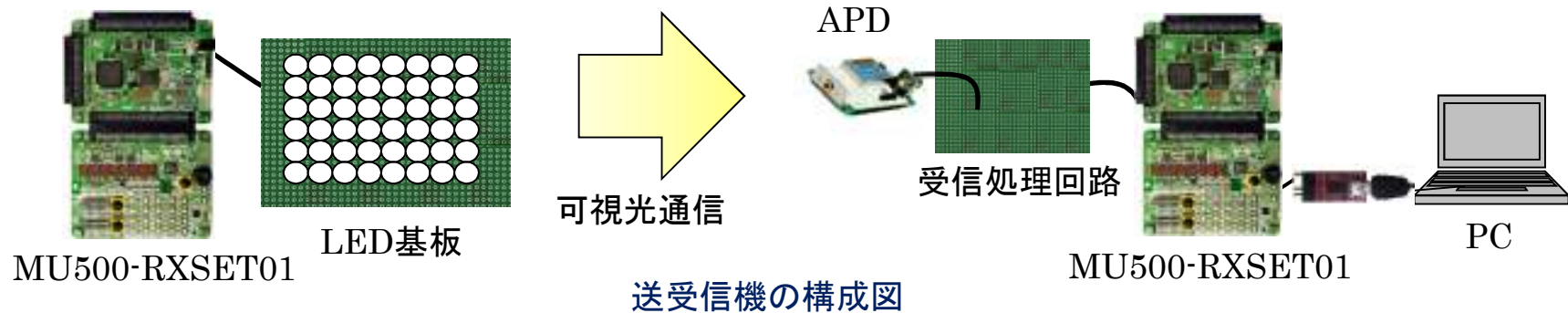
使用イメージ

QoE(ユーザ体感品質)によるシステム設計

BI5-5 CQ研企画(3/16)で発表



マイコン制御型送受信機の試作



信号の構成

[スタートビット+信号部+
信号休止時間]スタートビット

ト: 1bit

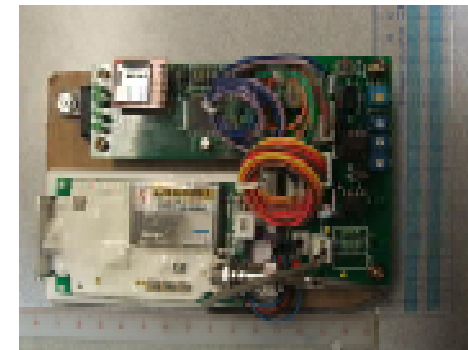
信号部: 16 bitのIDデータ

信号休止時間: 1 bit

コマンド: 8コマンド分

データ速度: 125 kbps

変調方式: 4PPM-R方式

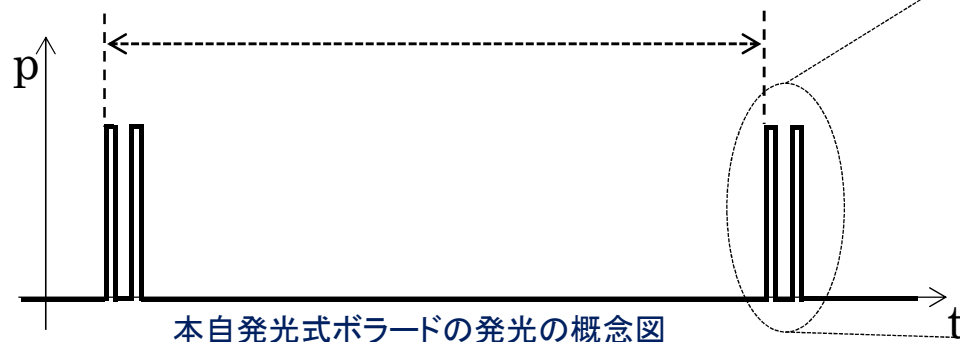


受信したIDデータに応じて音声を
再生

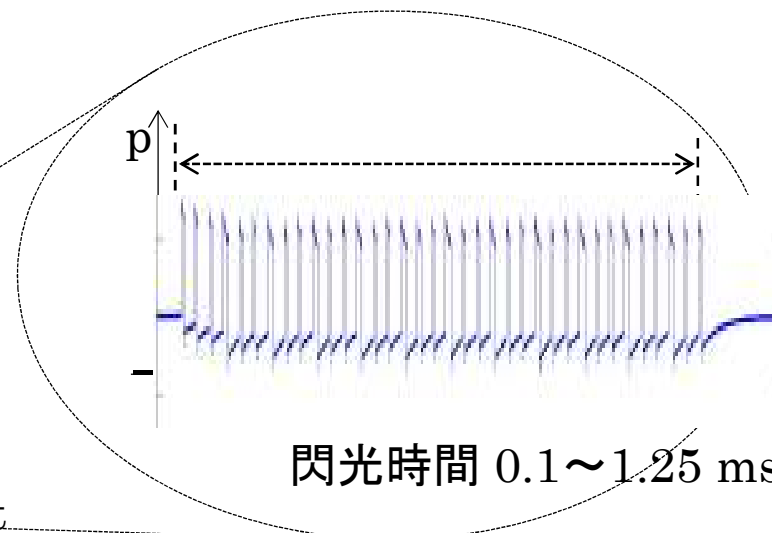
自発光式LEDボラードの発光

本自発光式LEDボラードの発光

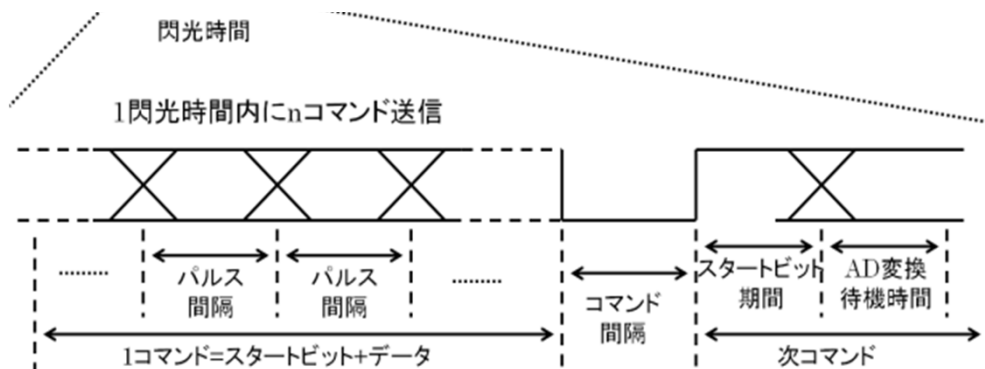
閃光から次の閃光までの周期 286 ms(3.5 Hz)



本自発光式ボラードの発光の概念図



閃光時間 0.1~1.25 ms



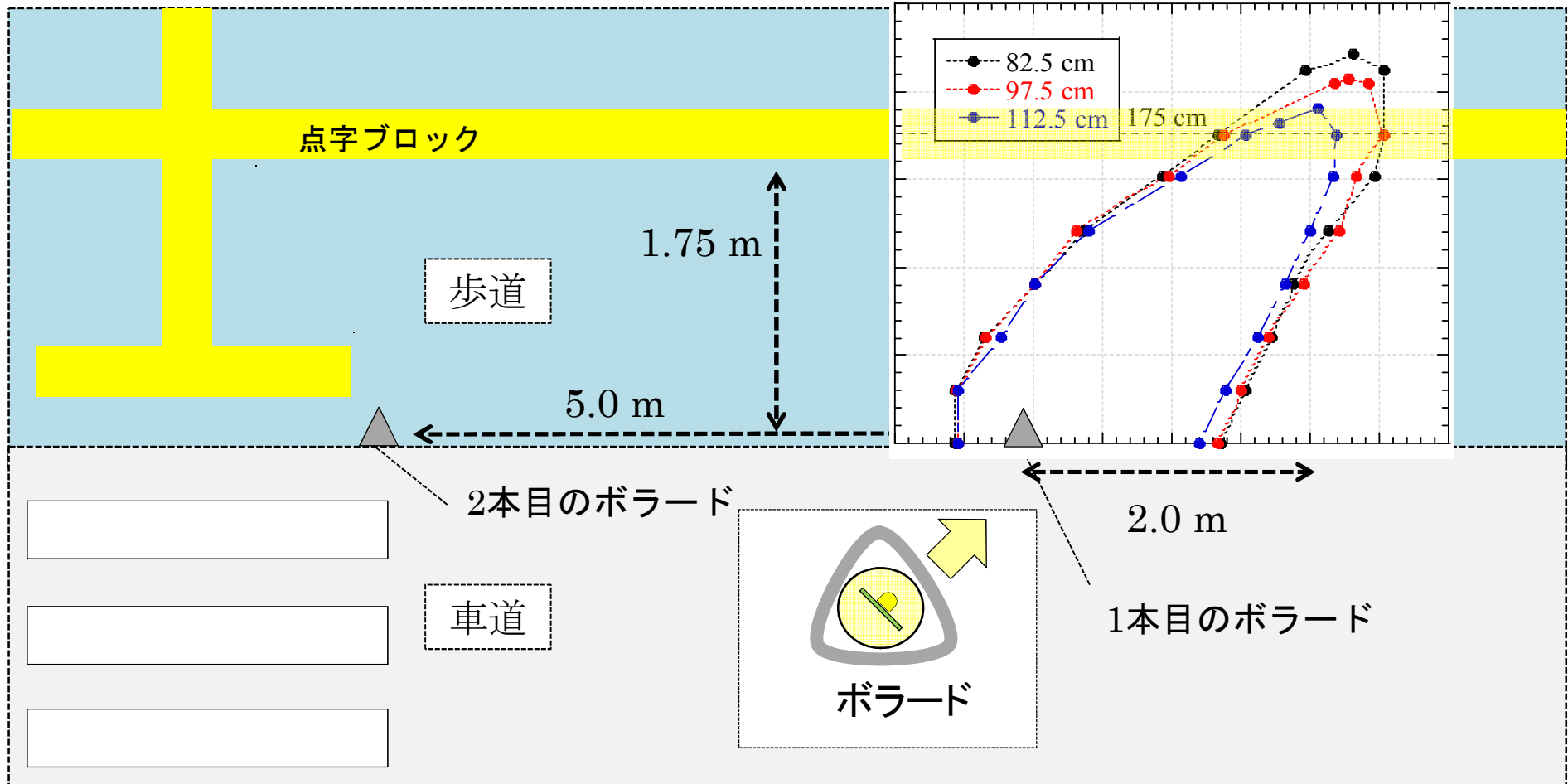
- ・ 2種の点滅周期
人体検知時: 3.5Hz
非検知時: 0.5Hz
- ・ 点滅パルス
閃光時間: 0.1~1.25 ms
閃光回数: 1~2回

125kbps 4PPM変調方式 PWMにより明るさの調整



歩道モデルと通信エリア

- 京都市道路構造を満たす歩道モデル



- 受信機の高さ 82.5 cm, 97.5 cm, 112.5 cm
- 受信機のボラードに対する角度0度から90度で受信可能とした



まとめ

信号機を用いた可視光通信の信号機間通信と 路車間通信システムについて検討

- 符号拡散通信方式を用いることで、フリッカーフリーで雑音耐性の高いシステムの構築を可能とすることを示した。

300m以上の信号機間通信を実証

- 信号機の放射角度特性および受信機の入射角度特性を測定
路車間通信における受信強度の分布特性を算出
水平距離3～70 mにおいて通信可能

弱視者のための歩行支援システムへの可視光通信の応用について紹介した