# 可視光通信･光無線通信

可視光通信協会会長
慶應義塾大学名誉教授

中川　正雄

２０１６年１１月３０日

# 発表者の紹介

１９４６年生まれ。大学ではデジタル信号処理による無線受信機、CDMA、OFDM、移動通信など電波を利用した無線通信の研究に従事。光通信にも興味を持ち、レーザ利用の赤外線無線通信を研究、2000年ごろに、可視光通信を新分野として提唱。照明に用いられるLEDが高速な変調をかけられることに注目し、２００３年に可視光通信コンソーシアム（当協会の前身）を発足させた。

# 内容

# 1　電磁波の波長

紫外線　可視光線　赤外線　電波

波長　短い　　　　　　　　　　波長　長い

殺虫灯

青　緑　赤

赤外線通信

光ファイバー通信

携帯電話

放送

可視光線

青　435－480nm

緑　500－560nm

赤　610－750nm

赤外線通信

800nm―1000nm

長距離光ファイバー通信用

1550nm（1，55μm）

●可視光通信(VLC)は 上記可視光線の波長を利用。

●光無線通信は可視光通信と近赤外波長、光ファイバー通信用波長も用いた全体を言うが、ここでは近赤外線波長以上の通信を言う。

# ２．照明の歴史

ロウソク

↓

ガス灯

↓

白熱電球

↓

蛍光灯

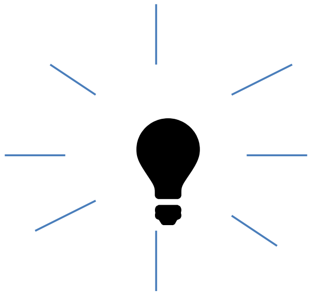
↓

LED

# 照明を高速に点滅できるか？

| | |
|---|---|
| ロウソク | × |
| ガス灯 | × |
| 白熱電球 | △ |
| 蛍光灯 | × |
| LED | ◎ |

# 高速に点滅できると何が出来るか？



・・・ー　・・　・・・　・・　ー・・・　・ー・・　・

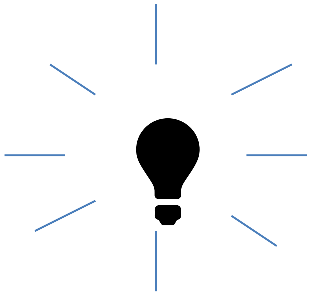
V　I　S　I　B　L　E

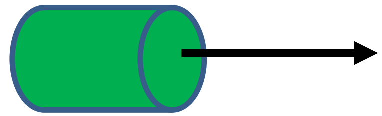
モールス符号でメッセージを送れる

## ３．　可視光通信

目に見える光を使った可視光通信が注目を浴びている。
その背景にはLED照明の普及がある。
LED照明の急速な普及の理由:

- 発光効率の改善
- 白熱電球の禁止の条例
- コスト低下、等





1001100110

LEDなら1Gbpsの
点滅も可能なもの
もある。

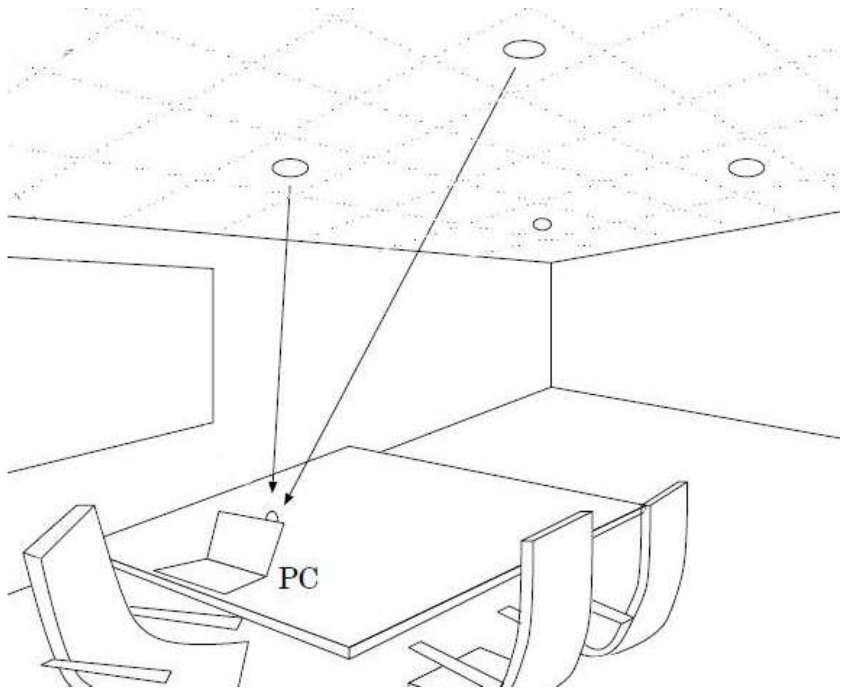
フォトダイオードで光を
電気に変換

ゆっくり点滅すると、光はチラつく
が、速ければ、一定の光に見える。

# 可視光通信の特徴

可視光通信の送信機および受信機の方向や広がり角度が大変重要になる。

照明器具の場合、可視光通信装置の設置位置および放射パターンをコントロールすることによって、照度および受信側の受信をコントロールすることができる。



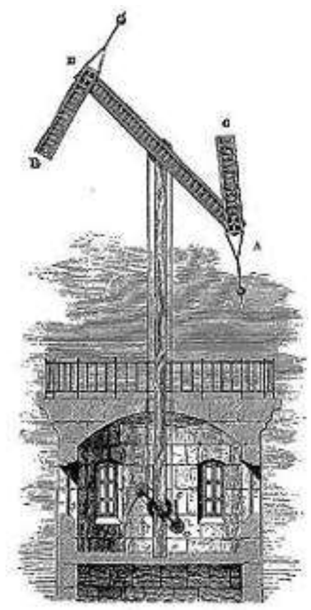
## ３．１．可視光通信の歴史

# 可視光通信の歴史

## 紀元前から18世紀:　人間の視覚による通信

紀元前7世紀くらいからの中国や
約2000年前の弥生時代の日本などで:
　　のろしによる通信
　　　　煙や火を使って情報を伝達

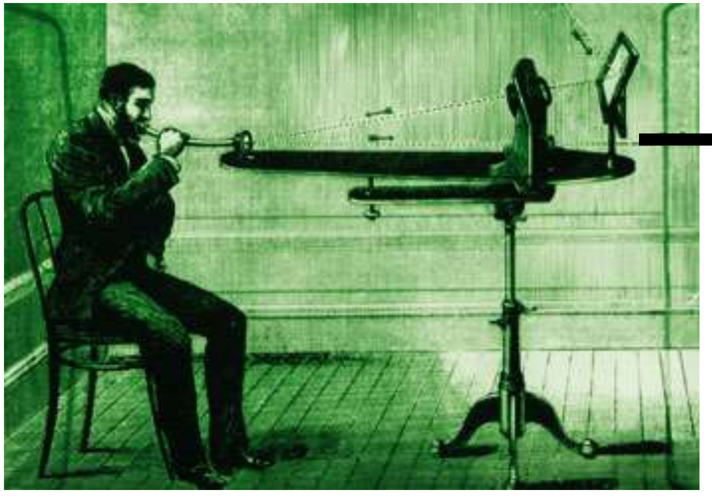
1793年:
　　クロード・シャップによる腕木通信
　　　　腕木の傾きで情報を伝達。
　　　　ヨーロッパで腕木通信の
　　　　ネットワークが作られた。



# 可視光通信の歴史

## 19世紀から20世紀:　光通信の始動期

1880年:アレキサンダー・グラハム・ベルによる光電話(photophone)の発明



可視光送信機

可視光受信機

Bell Laboratories

太陽の光を鏡に集光し、声による鏡の振動で光の強度を変調する。受信側では光をセレンにあてその抵抗値が電流の変化となって音声に変わる。これで200メートル以上の通信に成功した。

1960年代:レーザーの発明とともにその通信への応用が検討された。

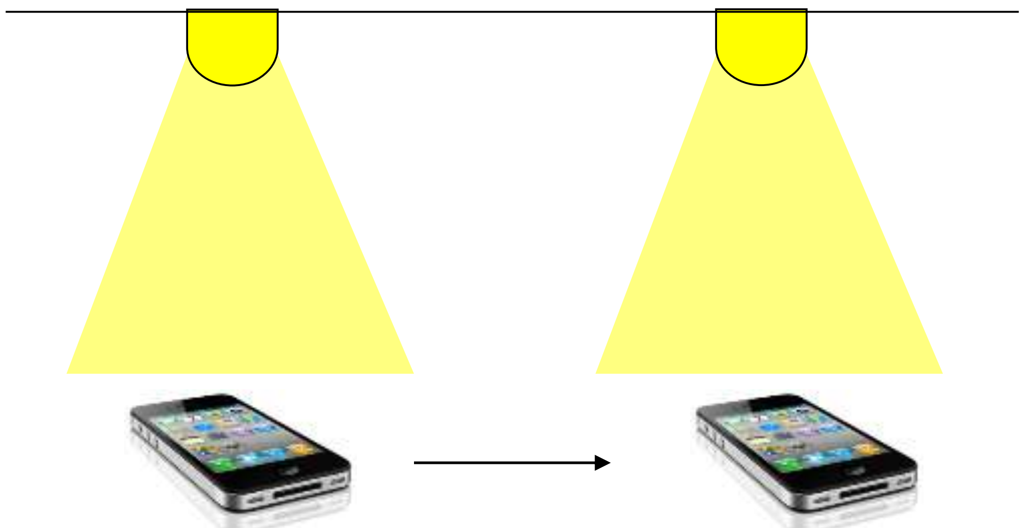
# ３．２．可視光通信の分類

1. PDC(single Photo Diode Communication)
   一つのホトダイオードを受信に用いた方法。
2. ISC(Imsage Sensor Communication)
   複数のホトダイオードのアレー（カメラのイメージ
   センサー）を受信に用いた方法

PDCは簡単。高速な伝送にも対応できる。長距離受信にはレンズを付けて可能。対象物が移動したら、機械的トラッキングを要求される。ISCは複数のLEDに対してもデータを復調できるし、それらの移動をトラッキングもできる。ただし、画像のフレームレートに伝送速度が影響される。

# 3.3. PDCを用いた位置情報取得

LED照明が照明光をもちいて位置データを送信した場合、受信機のフォトダイオードは、その信号を受信することで、その位置がLED光の範囲の照射領域にあることを知ることができる。



可視光受信端末のフォトダイオードが、LED照明の光を受けることで正確な位置を知ることができる。

フォトダイオードを用いた位置サービスでは、その位置精度はLED照明の放射パターンに依存しているが、一般的には数メートルである。

# ３.３．１　PDC利用その１
# 　視覚障害者向けの音声ナビゲーションシステム

# 視覚障害者向けの音声ナビゲーションシステム

視覚障害者向けの音声ナビゲーションシステム

可視光通信技術による位置情報を活用し、ヘッドホンからの音声案内ガイドを聞いて、ヘルパーに頼らず屋内歩行を行う。

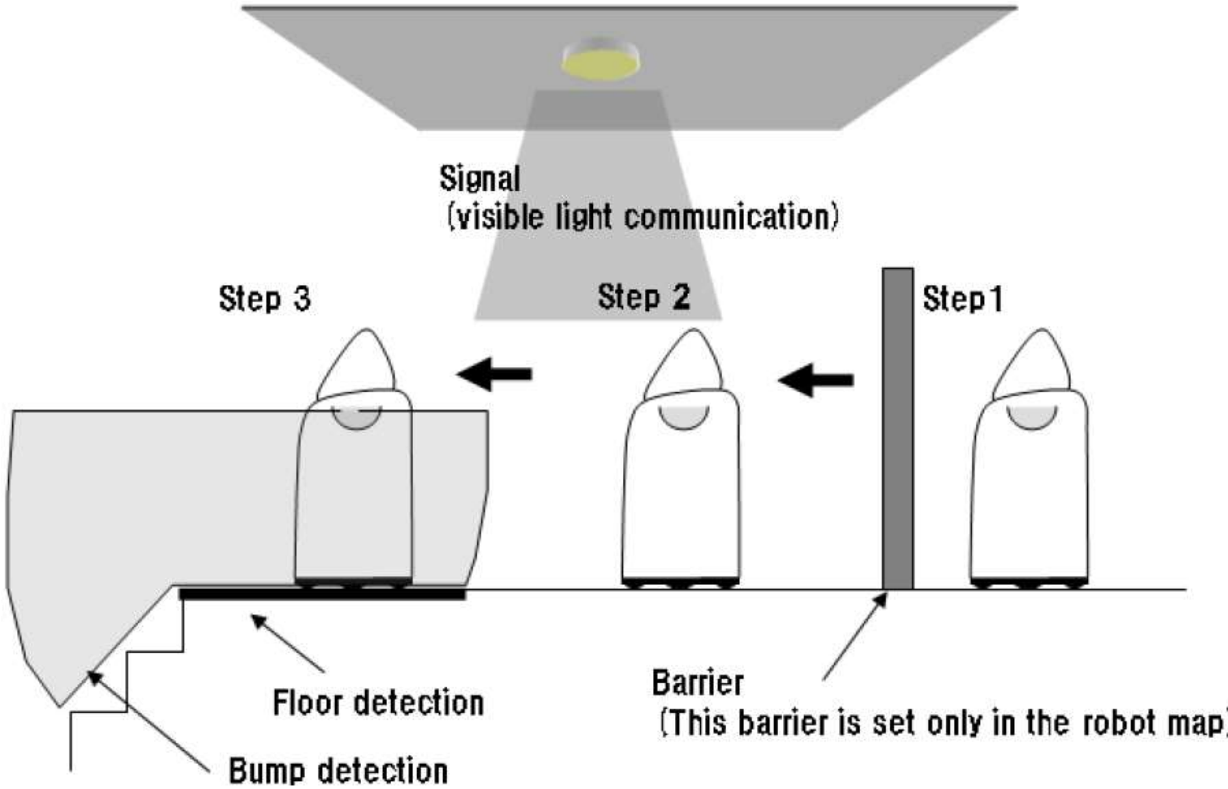
**慶應義塾大学　2012年　大阪・南港　ATCエイジレスセンターでの実証実験。**
**パナソニック様がLED照明送信機、スマフォ用可視光受信装置、サーバ等を製作。**

# 視覚障害者向けの音声ナビゲーションシステム

地磁気センサ内蔵のスマフォと可視光受信センサ　　バイノーラル録音された音を聞くためのヘッドフォン　　実際の使用状態

## ３.３.２　PDC利用その２
## 　ロボットの危険場所への進入防止

# ロボットの危険場所への進入防止




資料 : Ryosuke Murai, Tatsuo Sakai, Hajime Kawano, Yoshihiko Matsukawa, Yukihiko Kitano, Yukio Honda, and Kenneth C. Campbell, "A Novel Visible Light Communication System for Enhanced Control of Autonomous Delivery Robots in a Hospital", 2012 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII), pp.510-516, Fukuoka, Japan, December, 2012

ロボットが階段等で転落するのを防止するために、階段手前のLED照明から送られた位置情報を検知して自動的に停止する。

# ロボットの危険場所への進入防止


資料：Ryosuke Murai, Tatsuo Sakai, Hajime Kawano, Yoshihiko Matsukawa, Yukihiko Kitano, Yukio Honda, and Kenneth C. Campbell, "A Novel Visible Light Communication System for Enhanced Control of Autonomous Delivery Robots in a Hospital", 2012 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII), pp.510-516, Fukuoka, Japan, December, 2012

ロボット"HOSPI"がLED照明からPanasonic LUMICODEの信号を受信して階段の手前で停止している様子

## ３．３．３　PDC利用その３
## 水中可視光通信

# 水中可視光通信

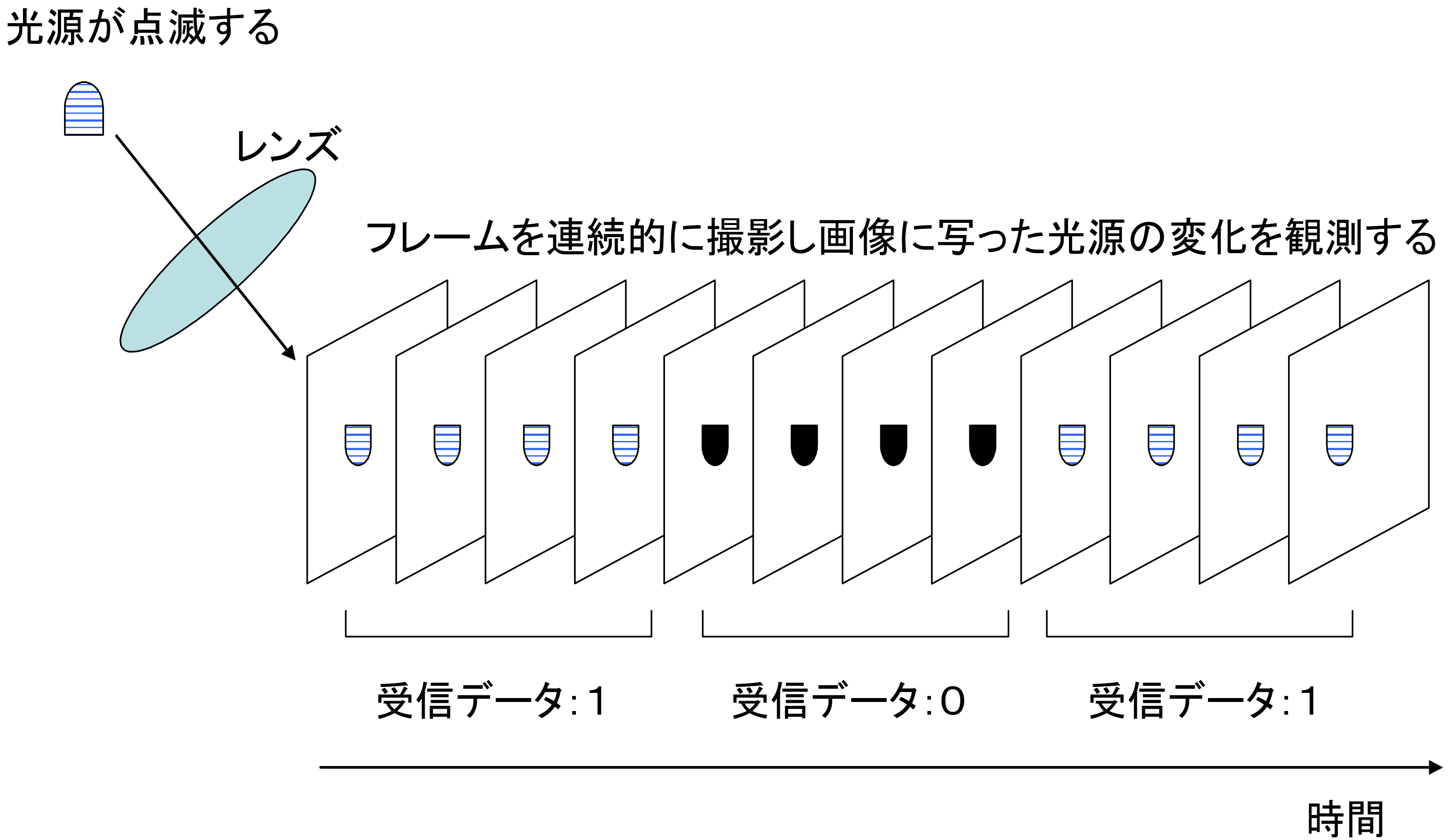

資料:株式会社マリンコムズ琉球i-MAJUNプロモーションビデオ

水中で、ダイバー同士が通信する場合、電波による通信は、水中での電波の減衰が大きいため難しい。また超音波による通信は可能であるが、データレートが低い。水中可視光通信は、30メートル程度通信することが可能であり、その製品は比較的低価格で提供することが出来ると同時に高速通信も可能。JAMSTECが開発中。可視レーザを利用して長距離通信を狙う。

# ３.４．ISCを用いた位置情報サービス

イメージセンサをもちいて可視光受信をすると、その光源の正確な到来方向を検出することができ、その結果端末の位置（ユーザーの位置）や光源の位置を非常に高精度（ミリメートルの精度）に計算することができる。

# イメージセンサーを用いた通信(ISC)の原理



# ３.４.１. ISC利用その１
# 灯台可視光通信

# 灯台可視光通信

2007年9月から、海上保安庁　海上保安試験研究センターと可視光通信コンソーシアム(VLCC)が実験中。灯台や灯浮標からの光をイメージセンサで受信し、港湾状況、海上交通情報、気象情報、災害情報など航行安全に関する情報等を提供することを目標としている。


資料：海上保安試験研究センター　長野浩樹 「海上保安試験研究センター　可視光通信への取り組み」 2013年2月

# 灯台可視光通信

昼間　100m通信成功時画面

実験に使われた
2マイル型LED灯台

小型灯台では、すでに
LED化がかなり進展している

**1km通信成功時画面**
（「立川灯台の風向NW風速10M」）


2780fps / 1.3kbps
通信解像度:0.016度/pix@10倍ズームレンズ
＝（1km先の30cm）

カシオ計算機（株）　研究開発センター　飯塚宣男氏　様写真提供

2008年10月に、九十九里浜での総合評価実験で受信実験を行い、
1022bpsで2km、1200bpsで1kmの可視光通信に成功。

# ３.４.２. ISCの利用その２
# 点滅するLEDを受信
# Picalico（製品）

# Picalico

カシオ計算機が2012年4月に、可視光通信を利用し、ARメッセージを合成したり、被写体となる人にも写真が届くアプリ「Picalico」の提供を開始した。

資料：Youtube「可視光通信技術を利用した世界初のiPhoneアプリ - CASIO ピカピカメラ」

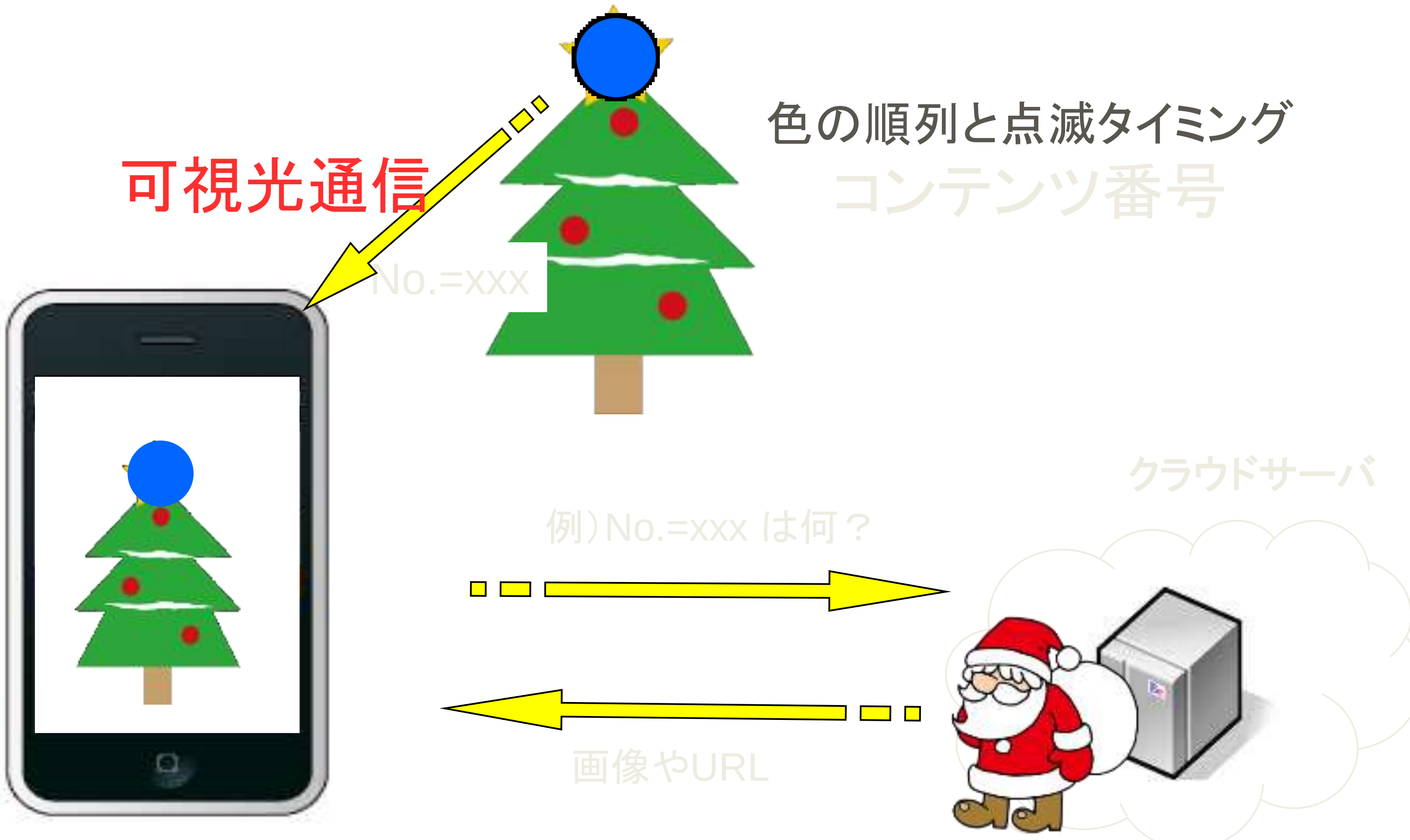
スマホのカメラを利用して非常に低速に点滅するRGBのLED光源からの光を受信し

撮影相手に写真の自動配布
撮影相手全員にプロフィールを自動配布
受信メッセージのタップで、サイトにアクセス
プロフィール送信しているユーザのデータを、ネームカードとして表示

✳ 世界初の可視光通信採用アプリ
iPhone / Andoroid 対応

- スマートフォンのカメラで光にむけると、画像などを受けとることができるアプリ
  - QRコードよりも通信距離はずっと長い
  - フリッカのある情報送信に気づきやすいアイキャッチ性

# Picalicoの動作



# ３.４.３. ISC利用その３
# LED照明を用いた高精度ロボット位置制御

# LED照明を用いた高精度ロボット位置制御

慶應義塾大学、NEC

LED照明から位置情報
を送信

高解像度カメラでロボットから見たLED光源の正確な方向を検出

高速カメラでLED照明からのデータおよび方向を検出

これらの情報をもとに、ロボット上のコンピュータがロボットの正確な位置を計算しロボットを制御する。

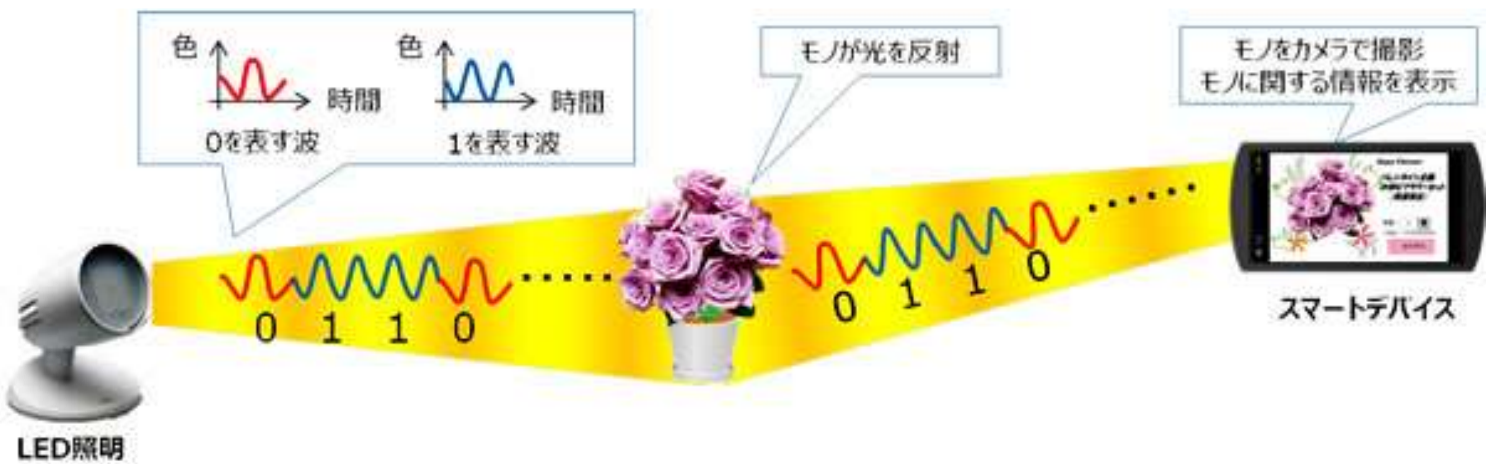
LED照明からの位置情報をもとにロボットを制御。位置精度は約1cm。

慶應、NECの共同研究　2010年

# ３．４．４．ISC利用その４
# 反射光を読み取る方式
# FlowSign（製品）

# 反射光を読み取る方式

富士通研究所のLED照明に当てた光をスマホで見ると情報が撮れる方法　FlowSign




光源は3原色からなり、瞬間的にRGBの強弱を情報で変化させる。見た目にはフリッカーはでず、白く見える。

# ３．４．５ ISC利用その５

## LEDの平面ディスプレーから光IDを読み取る方法
## LinkRay（製品）

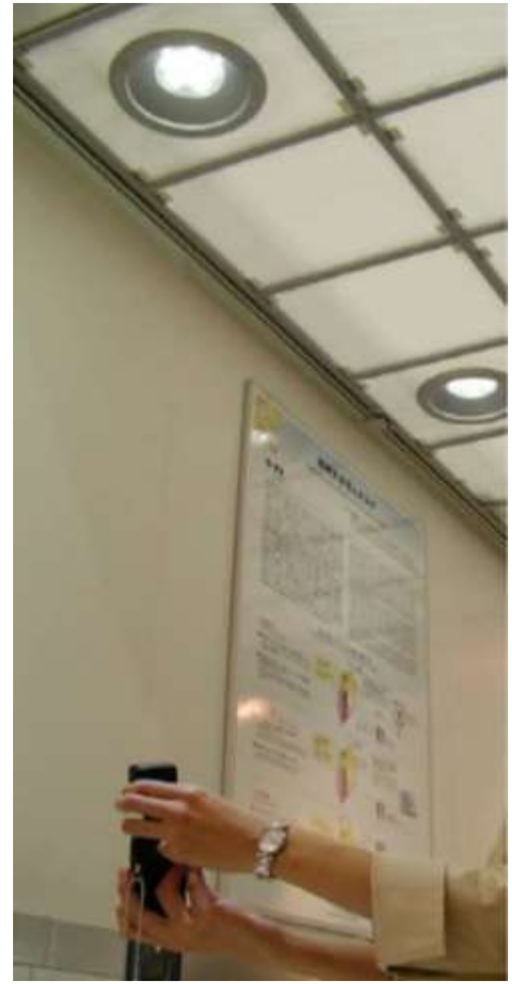
# LEDの平面ディスプレーから光IDを読み取る方法:
LinkRay　カメラのフレームレートに左右されない伝送速度

## パナソニックのLEDディスプレーからの光ID可視光通信

# ３．５．　可視光IDと標準
## 2004年頃の状況

LED照明にコスト・インパクトの小さい低速変調器を搭載し数Kbpsの可視光ID信号を送信、モバイル端末で受信する実験スタート
屋内位置情報ビーコンとして利用を想定

しかしベースバンド変調であり屋内外乱光下で動作不調



**CEATEC2004展示**
**パナソニックLED照明**
**NEC受信端末**

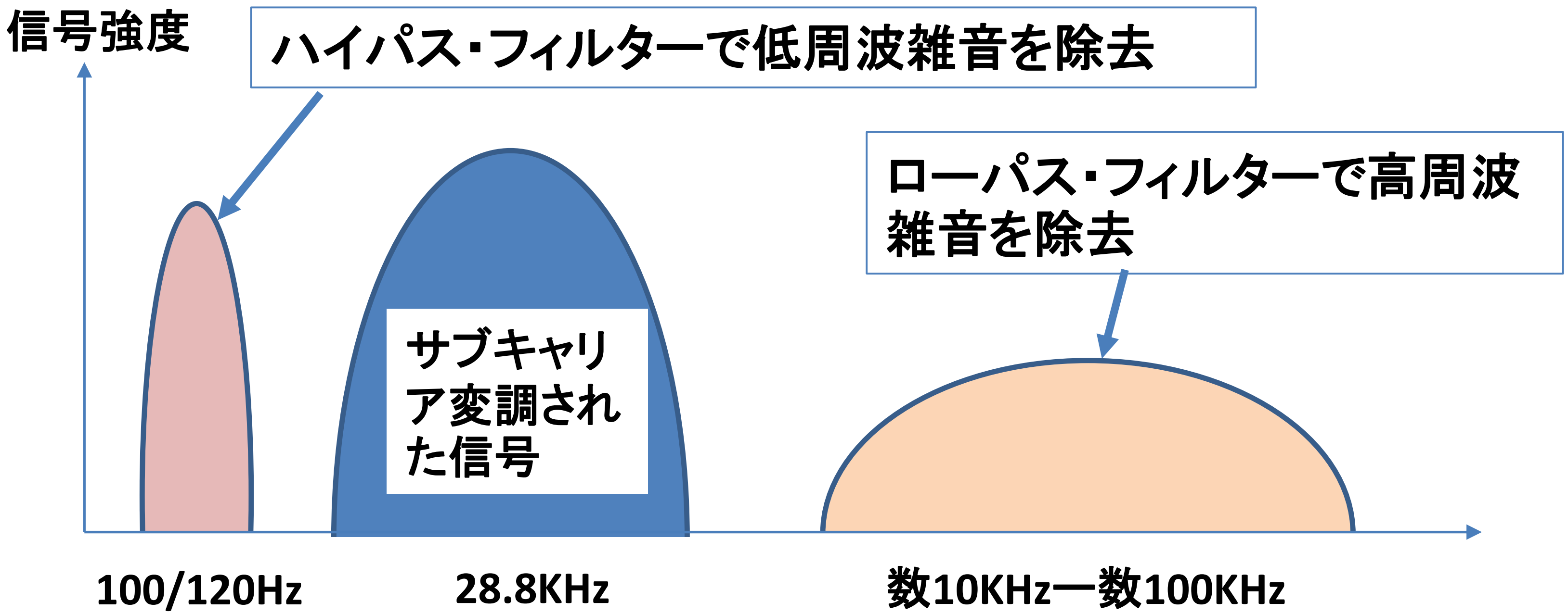
# JEITA CP-1222 の策定（2007年）

JEITA（電子情報技術産業協会） AV&ITシステム標準化委員会のなかの「可視光通信標準化Project Group」で可視光通信を標準化

CP-1222: 可視光IDシステム

- サブキャリア周波数：28.8kHz
  赤外線リモコンの38kHzより低い周波数を用いる
- 通信速度：4.8kbps
- 変復調方式:サブキャリア４値PPM
  目で見てチラつかないように設計
- 誤り制御方式：CRCによるエラー検出
- 送信データ：ID及び一般データ

# CP-1222受信機における外乱信号の除去




**受信機内での外乱除去で安定動作が出来るようになった**

# JEITA CP-1223 の策定（2013年）

## CP-1223:　可視光ビーコンシステム

CP-1222 からの変更点

- フレーム長の短縮：542bit → 158bit
- 28.8KHzサブキャリア変調の廃止

## フレーム長の短縮：受信レスポンスの向上のため

フレーム長 542bit=113msec ➡158bit=33msec

フレーム構造

| SOF (Start of Frame) | | Payload | EOF (End of Frame) |
|---|---|---|---|
| PRE (6-bit) | F-TYPE (8-bit) | ID / DATA (128-bit) | CRC-16 (16-bit) |

ペイロード 512bit ➡128bit

# CP-1222/1223 準拠品の状況

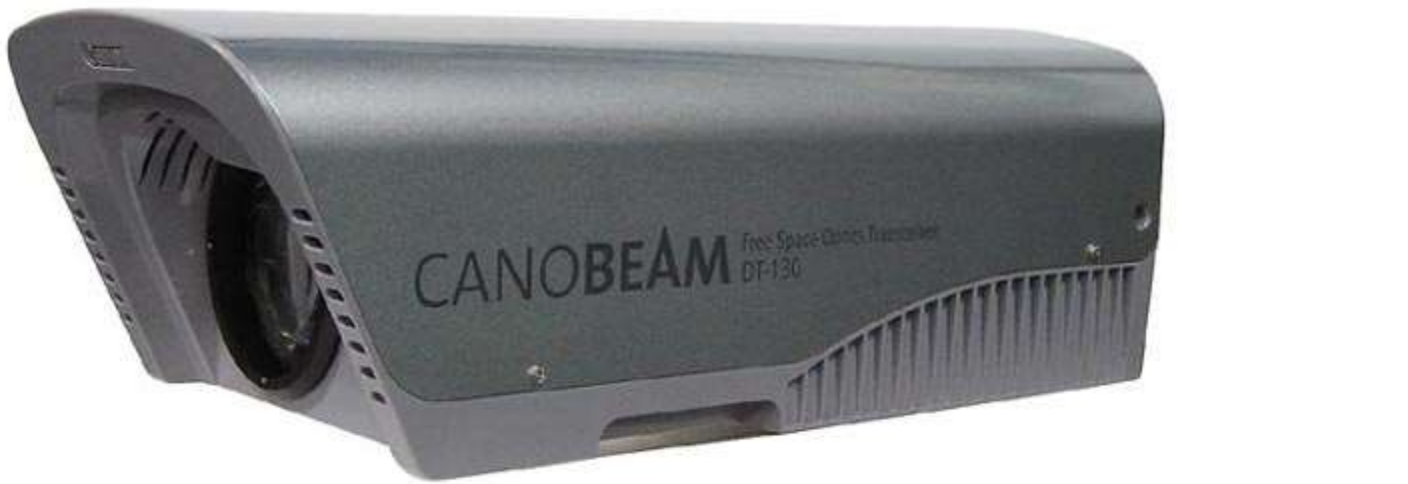

USB端子を使う可視光受信アダプタを含むキット
http://www.kashikou.jp/page-3811/

スマートフォン、タブレットのマイク入力端子を使う可視光受信アダプタ
http://shop.taxan.co.jp/id-rxs.html

# 4. 光無線通信

# ４．１　光無線通信利用その1
# CANOBEAM（製品）

# 近赤外レーザ利用の１．２5Gbps伝送用
# 光無線通信システム（100m～1000m）CANOBEAM



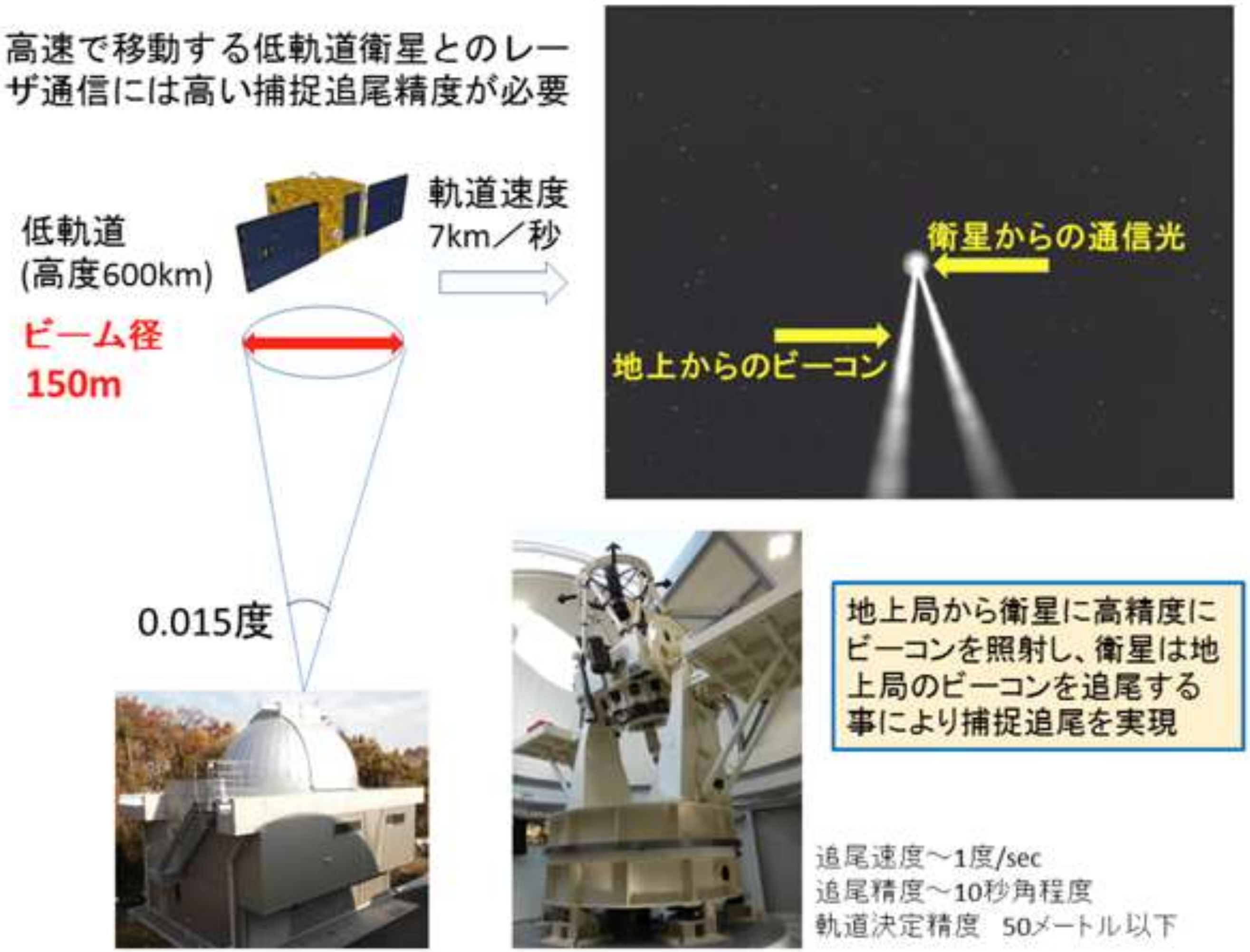

レーザー光は鋭い指向性があり、伝送損失が少なく、
高速伝送に向くが、アイセーフ問題が生じる。ビルの屋
上など人間が近づかない範囲での利用が好ましい。
狭い範囲のトラッキングが可能である。

## 4.2　光無線通信利用その２
## LED　Backhaul System（製品）

近赤外線利用のLED高速光無線通信
株式会社三技協　　　LEDなのでアイセーフ問題はない。

# ４．３　光無線通信利用その3<br>衛星地上間光無線通信

NICT(情報通信機構)による衛星地上光無線リンク
６００km上空周回衛星用　高精度トラッキングが肝である。
２０Gbpsを狙う。



# ５．非接触超高速ダウンロード用 可視光通信もしくは光線通信 (UcmVLC, UcmLC)

# 非接触型超高速ダウンロード用光通信の提案



原形は慶應、NEC共同研究
10Gbps可視光通信 2010年

- スマホ、タブレットなどに大きな情報容量をダウンロードする際に、ケーブル利用よりもWiFi等による無線がよいのはもちろんだが、時間がかかる。そこで、例えば無線給電用受け台に可視光通信、光無線通信の発光装置と受光装置を装置化して、センチメートル以下の距離の伝送が考えられる。複数個のLED、レーザなどの利用が考えられる。
- Ucm（Under centi meter distance)VLC、UcmLCまたは、NC（Non-Contact)VLC、NCLCと名づけたらどうだろうか。

ご清聴ありがとうございました。

この資料の作成に協力いただき、資料提供もいただいた当協会事務局長鈴木修司氏、資料提供いただいた特別学術会員の春山真一郎氏に感謝します。