

可視光通信

春山真一郎

慶應義塾大学 大学院
システムデザイン・マネジメント研究科

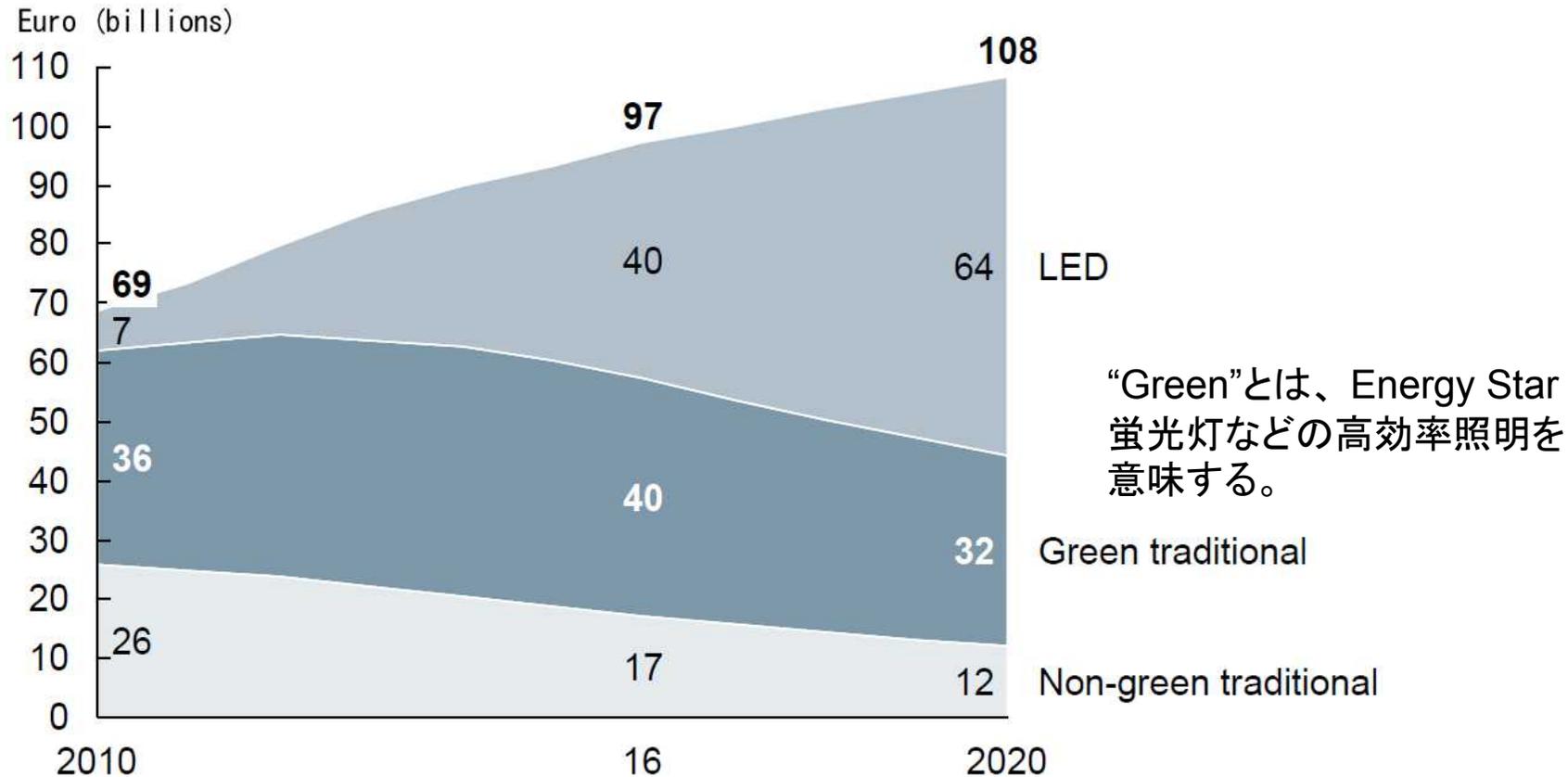
2013年2月
電波航法研究会 第3回研究会

内容

1. 可視光通信
2. 可視光通信を用いた位置サービス
3. 可視光通信コンソーシアム
4. 可視光通信の標準化

1. 可視光通信

可視光通信の注目の背景:LED照明の普及



資料: McKinsey & Company, “Lighting the way: Perspectives on the global lighting market”, 2nd Edition, August 2012

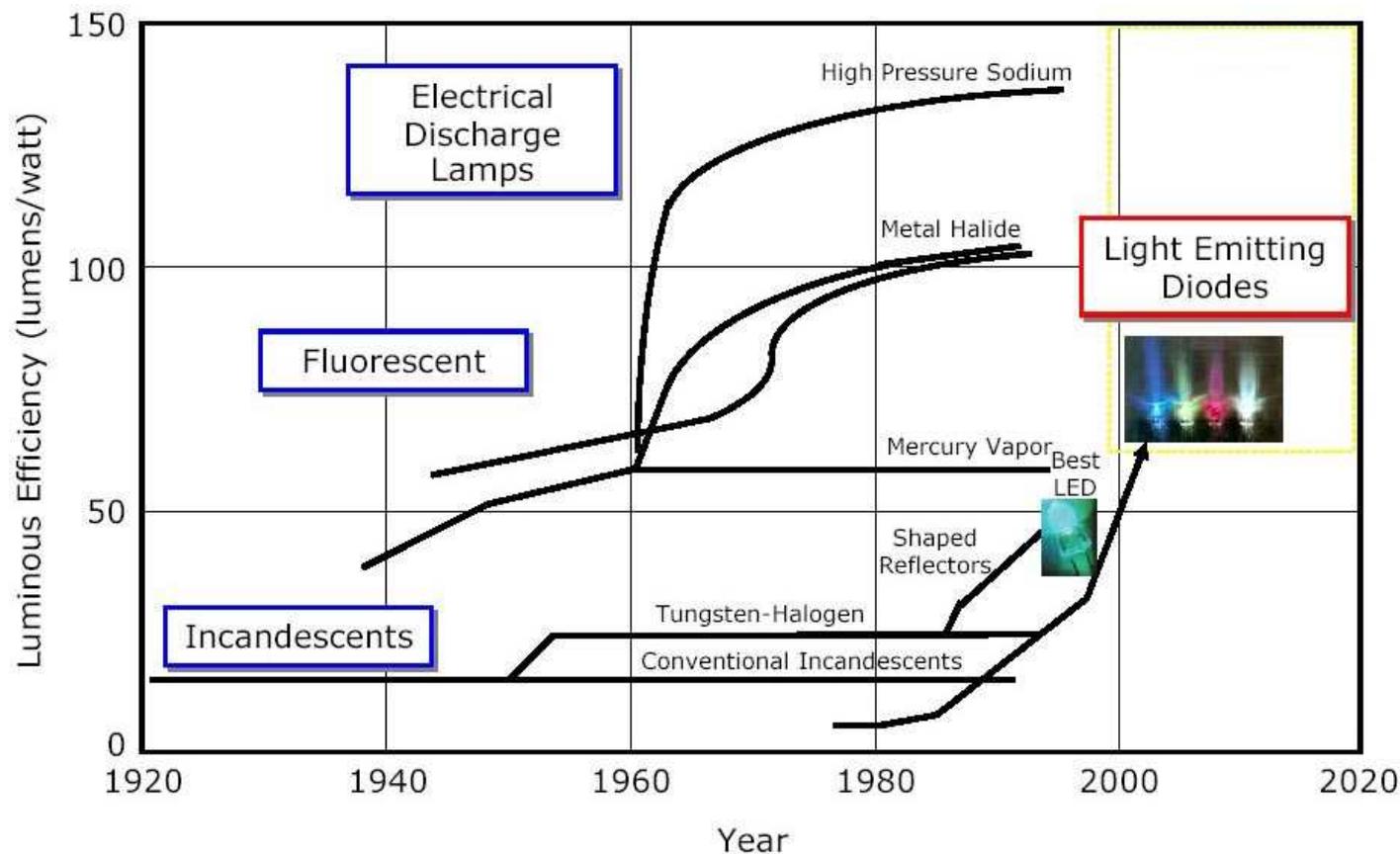
LED照明の市場シェアは2020年に64%に達すると予想されている。

LED照明の普及

LED照明が近年急速に普及しつつある理由:

- ① 可視光LEDの性能向上
- ② 白色LEDの発明と照明器具への応用
- ③ LED照明の長寿命性能
- ④ 白熱電球の禁止条例

① 可視光LEDの性能向上



LumiLeds Lighting - Philips Lighting and Agilent Technologies joint venture

LEDの効率が近年急速に向上してきており、その発光効率
率は白熱電球を超え、蛍光灯に追いつこうとしている。

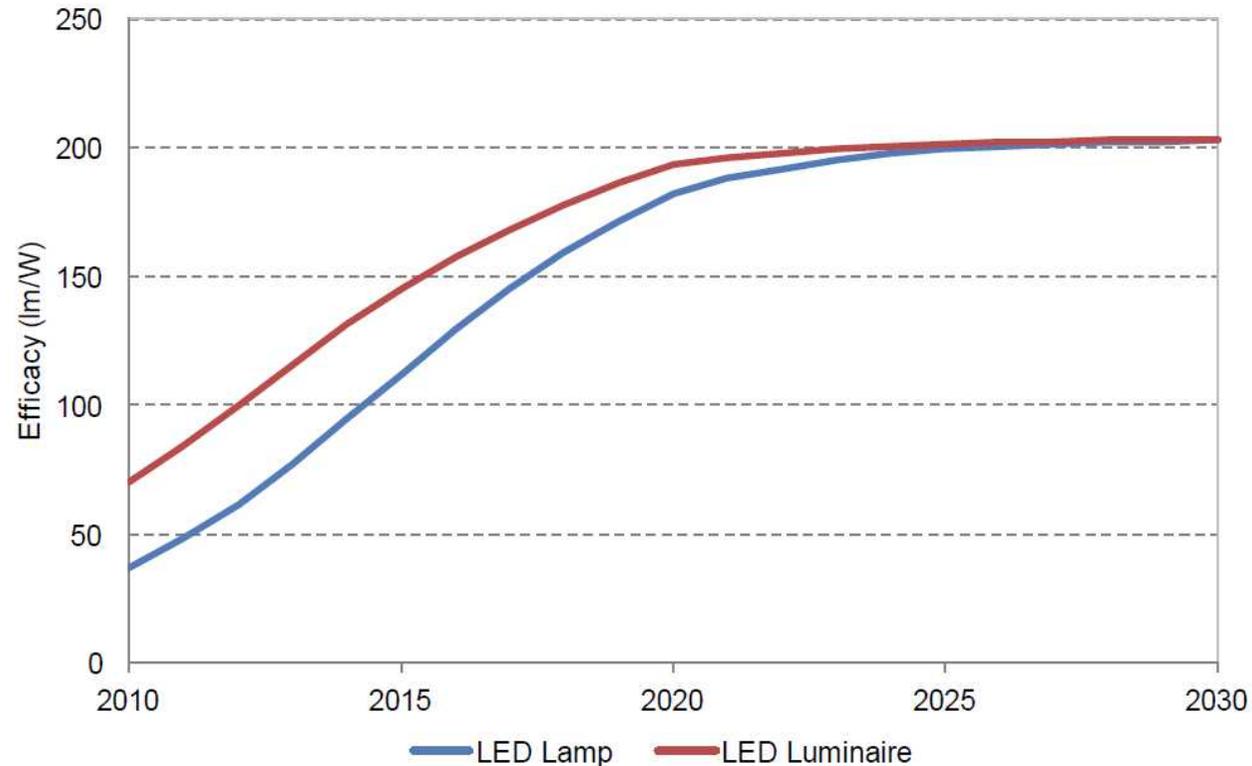
② 白色LEDの発明と照明器具への応用

白色LEDの開発の歴史

| 年代 | 開発の内容 | |
|-------|----------------------------------|------------------------------|
| ～1990 | 赤、黄緑、橙などのLEDは90年代以前から実用化済み | |
| 1993 | 青色LEDの実用化 | |
| 1995 | 緑色LEDの実用化 (青色LEDと同じ材料) | 光の3原色がそろい、フルカラーディスプレイ等の用途が拡大 |
| 1996 | 白色LED実用化 (青色LED+黄色蛍光体による擬似白色) | 照明用途での展開可能性が拡大 |
| 1998 | 3原色蛍光体(RGB)による真の白色の実現 | |

② 白色LEDの発明と照明器具への応用

照明用(白色)LEDの発光効率の改善



資料: US Department of Energy, Energy Efficiency & Renewable Energy, Building Technologies Program, "Energy Savings Potential of Solid-State Lighting in General Illumination Applications", January 2012

照明用LEDのLED発光効率は年々改良され2025年には200 lm/Wに達すると予測されている。

③ LED照明の長寿命性能

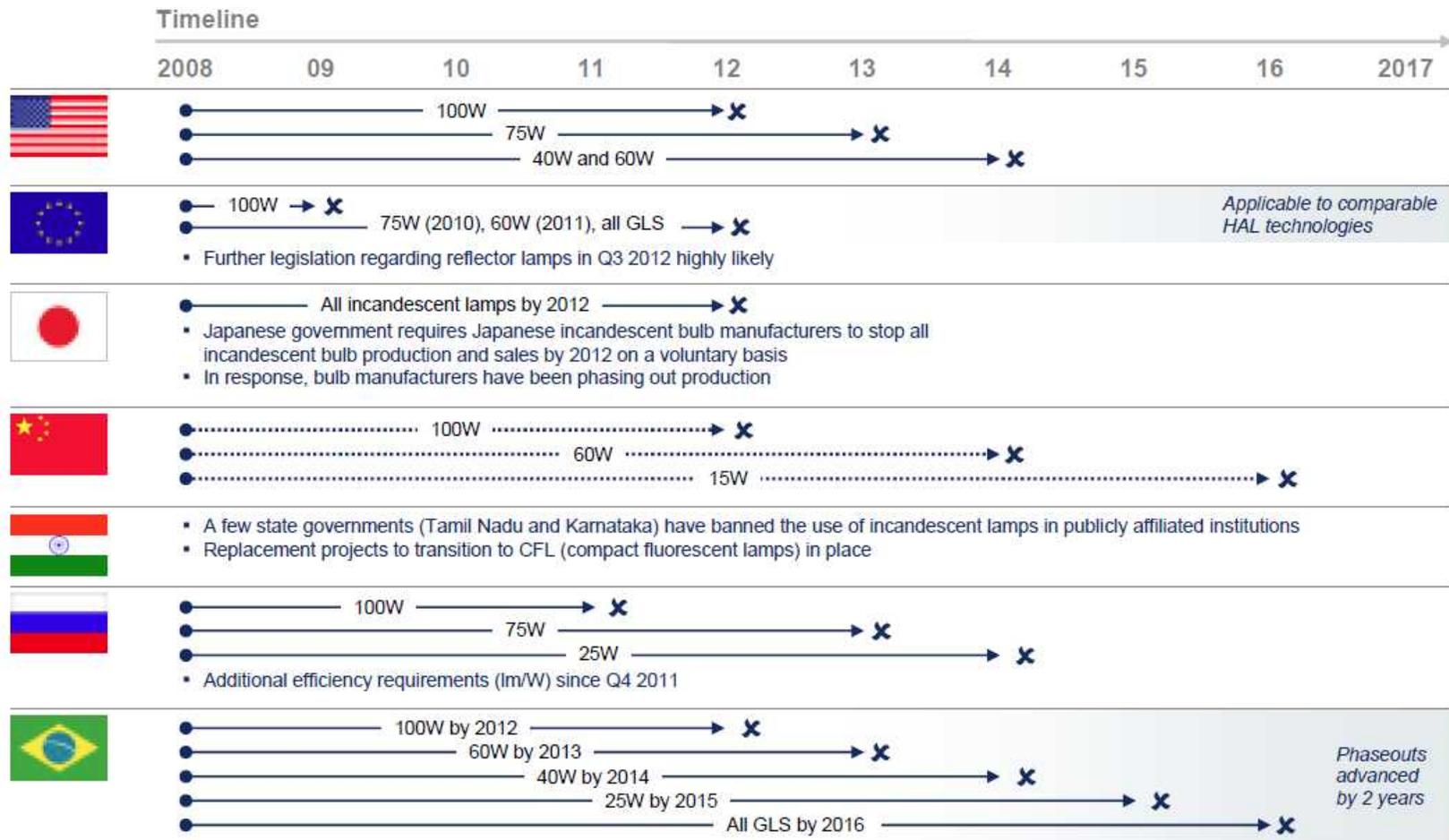
LED電球の一般的な性能

消費電力は白熱電球の約8分の1。
寿命は白熱電球の約40倍の4万時間。



➡ 非常にエコな光源

④ 白熱電球の禁止条例



資料: McKinsey & Company, "Lighting the way: Perspectives on the global lighting market", 2nd Edition, August 2012

省エネの観点から多くの国で白熱電球が禁止されつつある。

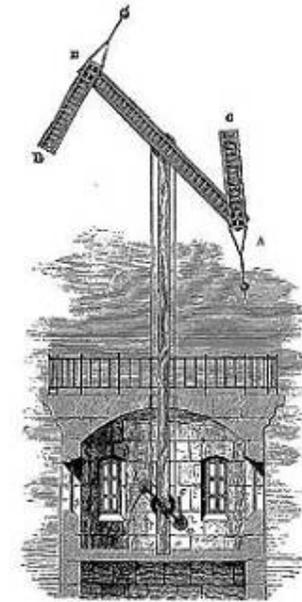
可視光通信の歴史

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

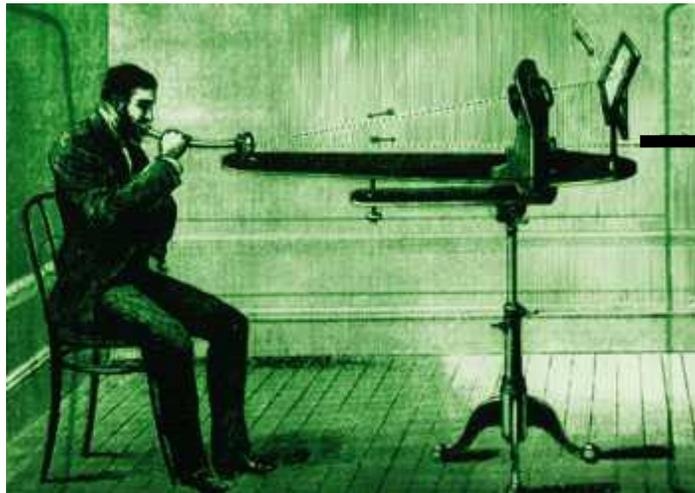
1793年：
クロード・シャップによる腕木通信
腕木の傾きで情報を伝達。
ヨーロッパで腕木通信の
ネットワークが作られた。



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。

可視光通信の歴史

1970年代以降：本格的な光通信の利用

1970年代：半導体レーザーの常温発振の実現と、光ファイバーの低損失化によりファイバーによる光通信が普及し、光通信の主流に。

また、空間伝播の光通信は1980年代以降：赤外線がビル間通信、赤外線LAN、IrDA、リモコンなどに利用されるようになった。

- ビル間通信：数百メートルから数キロメートル離れたビル間で赤外線レーザーをもちいて数百MbpsからGbpsの速度で通信を行う。
- 赤外線LAN
室内で赤外線LEDを用いてワイヤレスLAN的に利用する。
- IrDA
数センチから数十センチの距離で赤外線LEDを用いてPCと周辺機器などの間の通信を行う。
- リモコン
テレビやステレオなどの遠隔操作を赤外線LEDを用いて行う。

内容

1. 可視光通信
2. 可視光通信を用いた位置サービス
3. 可視光通信コンソーシアム
4. 可視光通信の標準化

2.可視光通信を用いた位置サービス

可視光通信と他の技術の差別化が必要

無線LAN技術や携帯電話用ワイヤレス・ネットワークが広く普及している現在、可視光通信はそれらの技術では容易に解決できないユニークなサービスを提供する必要がある。

可視光通信を用いた位置サービスが、他の技術に対する差別化となりうる

可視光通信は

- 通信距離が一般的には比較的短い
- LED照明などが広く普及しつつある

ことを考慮すると、可視光通信は位置を検出する技術として差別化することができる。

また、可視光通信の位置検出精度は大変高く、ミリメートル単位まで実現することができる。

2.1. フォトダイオードを用いた位置サービス

2.1.1. 視覚障害者向けの音声ナビゲーションシステム

2.1.2. 店舗向け動線調査システム

2.2. イメージセンサを用いた位置サービス

2.2.1. 可視光通信とイメージセンサを用いた可視光通信
3次元位置自動計測システム

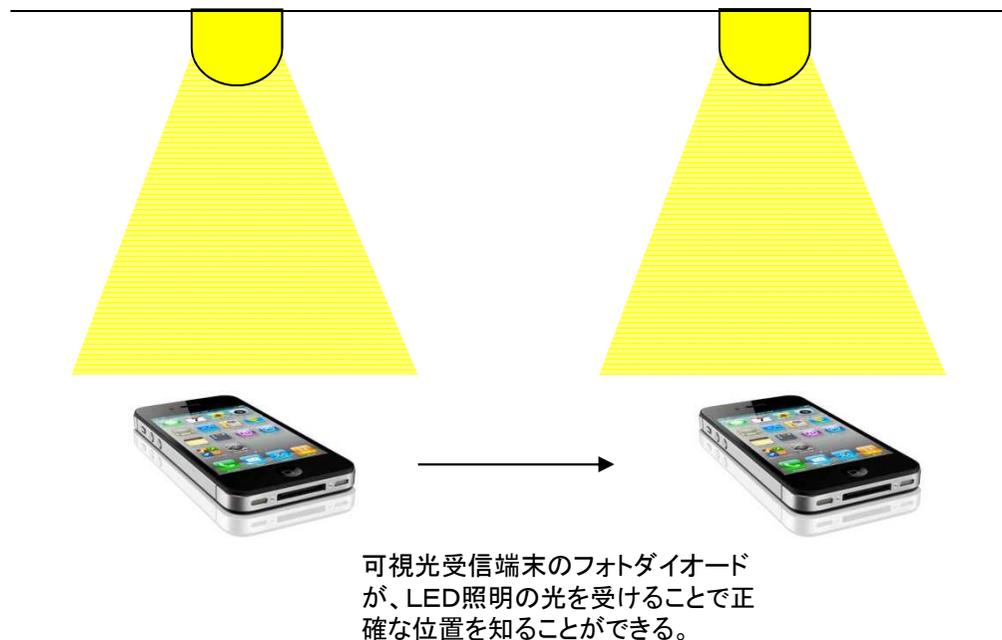
2.2.2. LED照明を用いた高精度ロボット位置制御

2.2.3. ピカピカメラ

2.2.4. スマートフォンによる視覚障害者用屋内ガイダンス

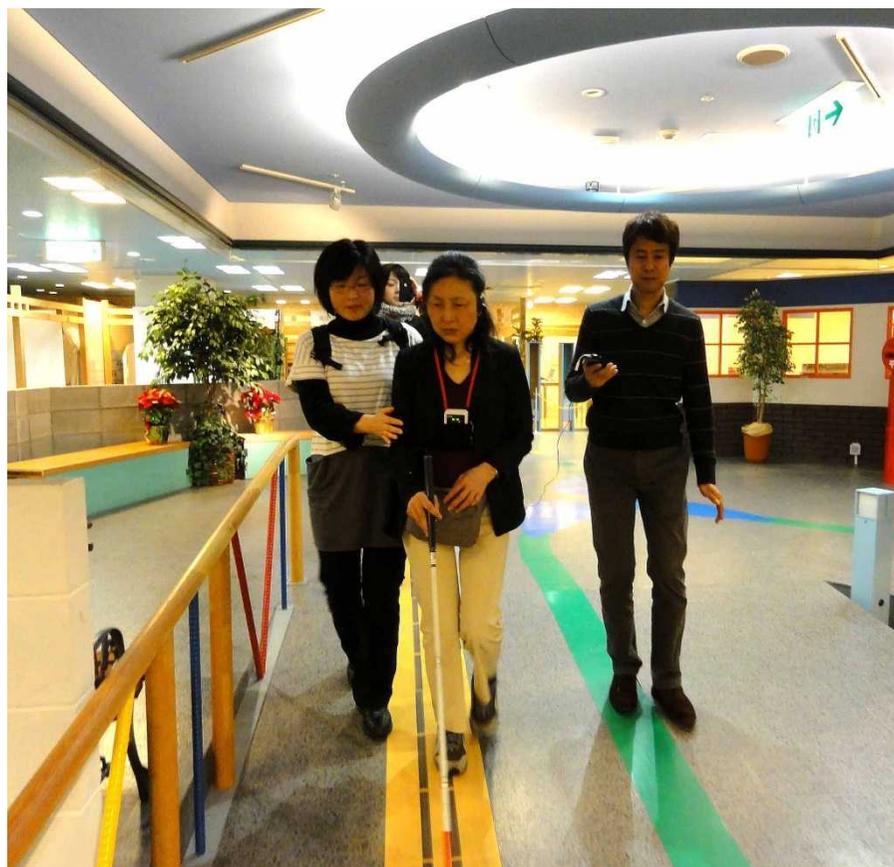
2.1. フォトダイオードを用いた位置サービス

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。



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。

2.1.1.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
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、スマホ用可視光受信装置、サーバ等を製作。

2.1.1.視覚障害者向けの音声ナビゲーションシステム



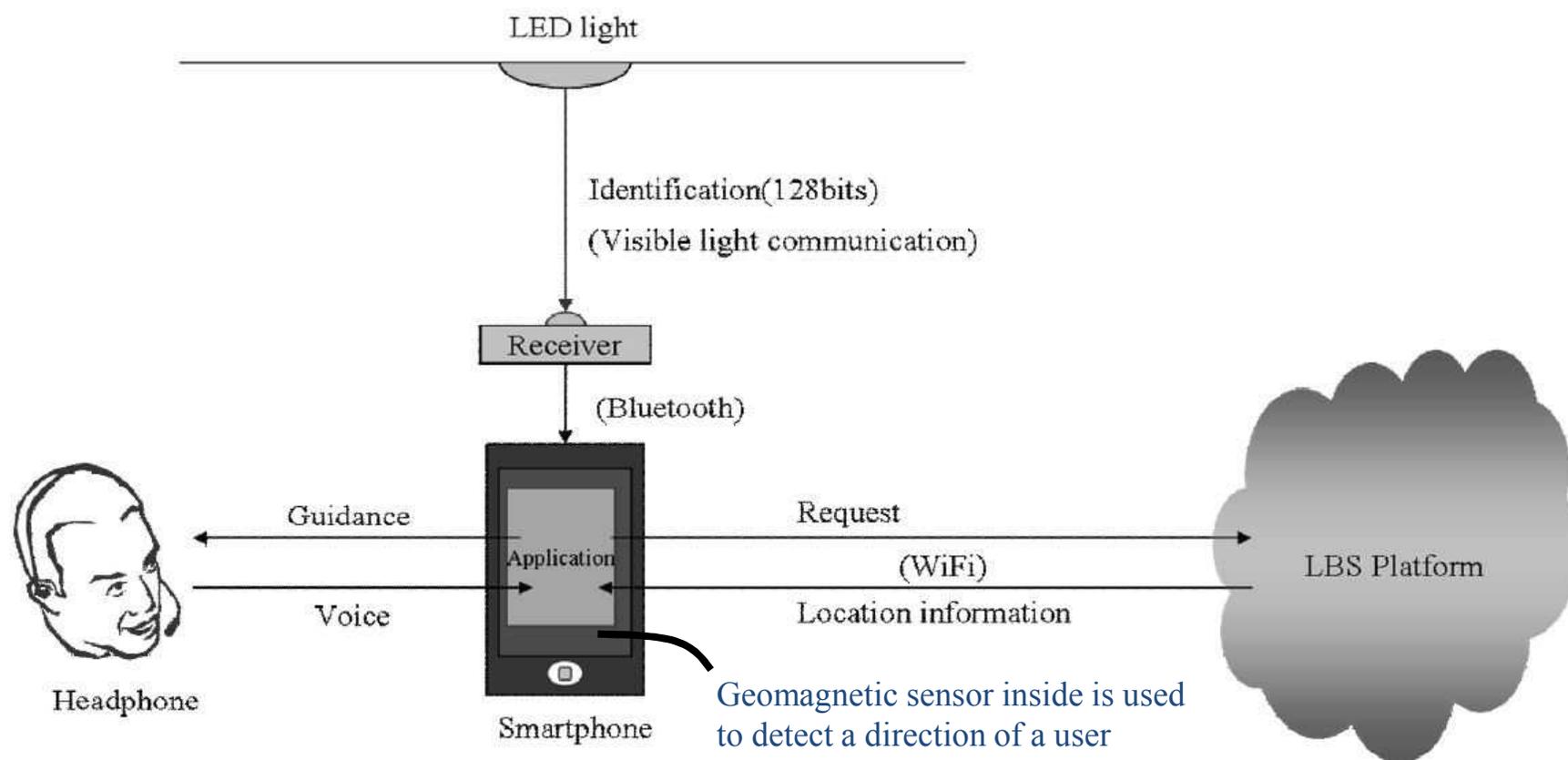
地磁気センサ内臓のスマートフォンと可視光受信センサ



バイノーラル録音された音を聞くためのヘッドフォン

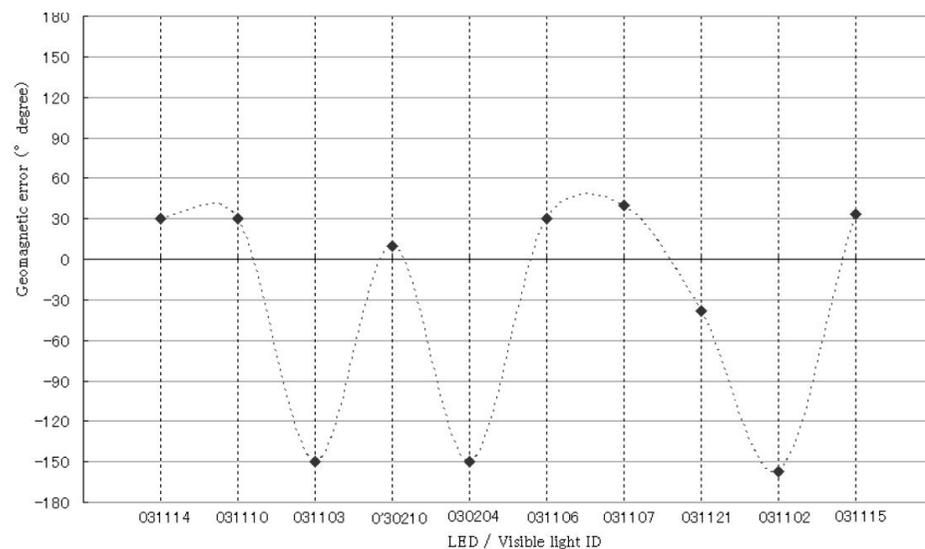
実際の使用状態

2.1.1.視覚障害者向けの音声ナビゲーションシステム

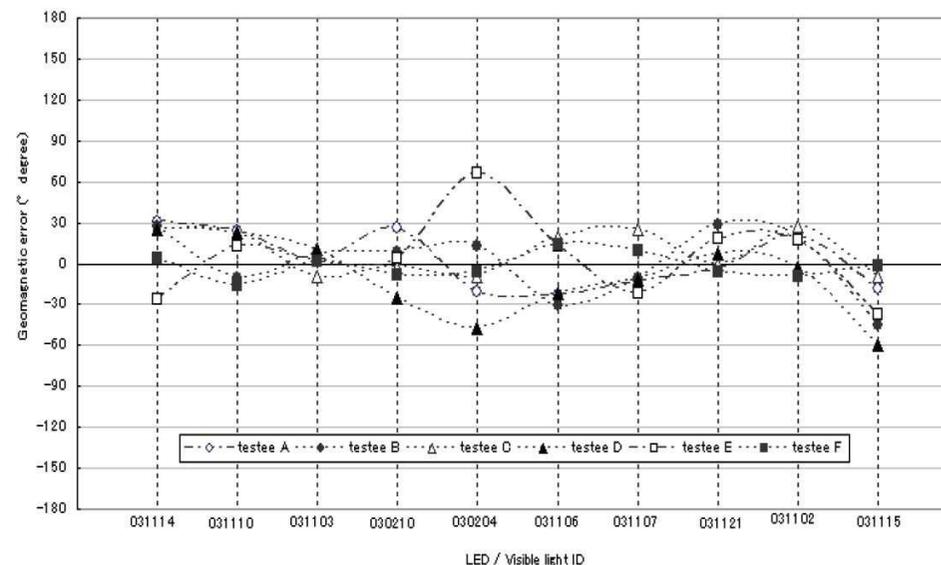


可視光通信を用いた視覚障害者向けの音声ナビゲーションシステムのシステム構成

2.1.1.視覚障害者向けの音声ナビゲーションシステム



地磁気補正前



地磁気補正後

Madoka Nakajima, Shinichiro Haruyama, "Indoor navigation system for visually impaired people using visible light communication and compensated geomagnetic sensing", 2012 IEEE International Conference on Communications in China (ICCC), Beijing, China. August 2012

屋内での地磁気の方角の狂いを可視光源の位置ごとに補正することでユーザーが向かっている正確な方向を計算することができる。

2.1.1.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の実証実験の動画

2.1.2.店舗向け動線調査システム

(株)中川研究所

スーパーマーケットにおいて、可視光IDランプを店舗内各通路に配置し、カートに取付けた受信端末で可視光IDを受信し、その取得ID履歴をもとに客の動線を解析する。

光ID受信器

ID発信器



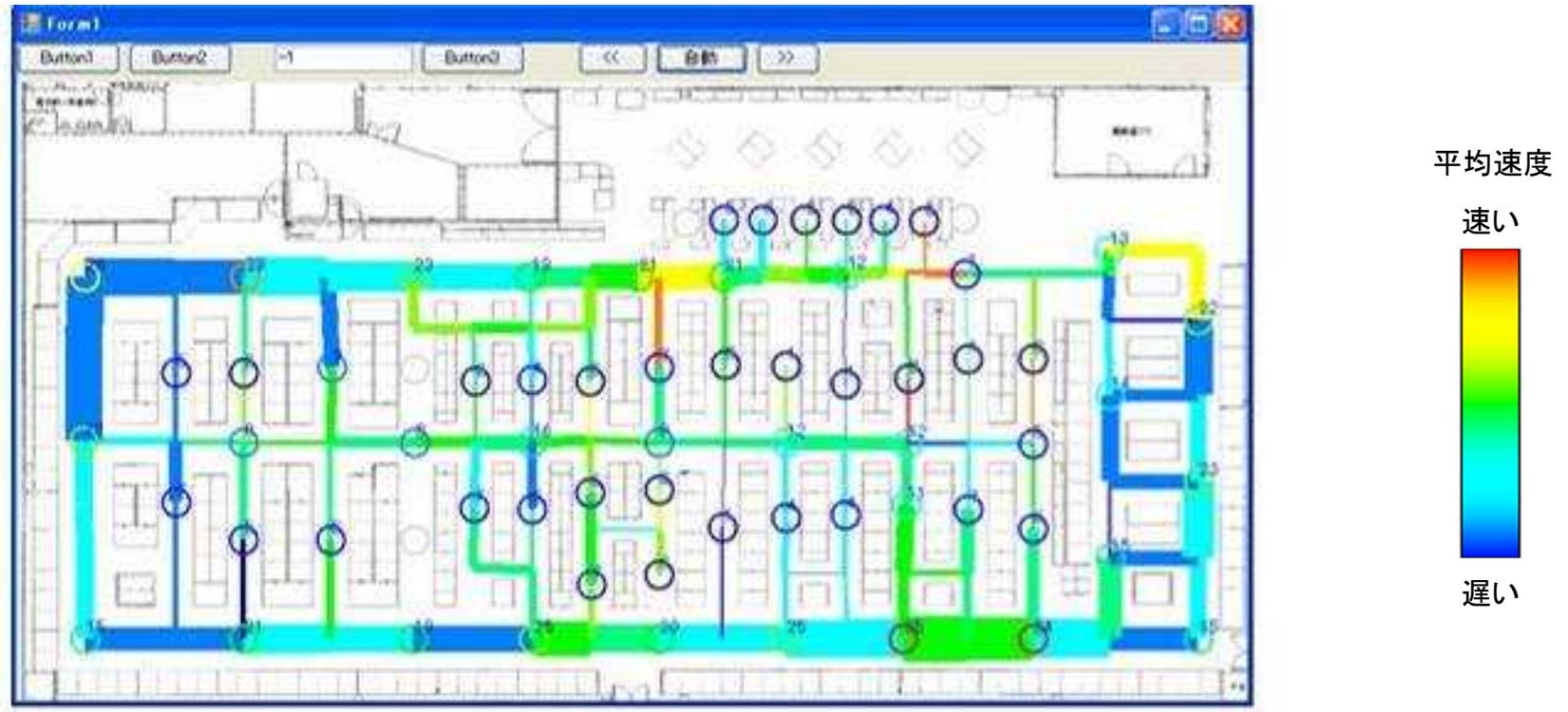
天井ランプ型



カートに取り付けられた受信器

2.1.2.店舗向け動線調査システム

複数の動線を重ね合わせた例



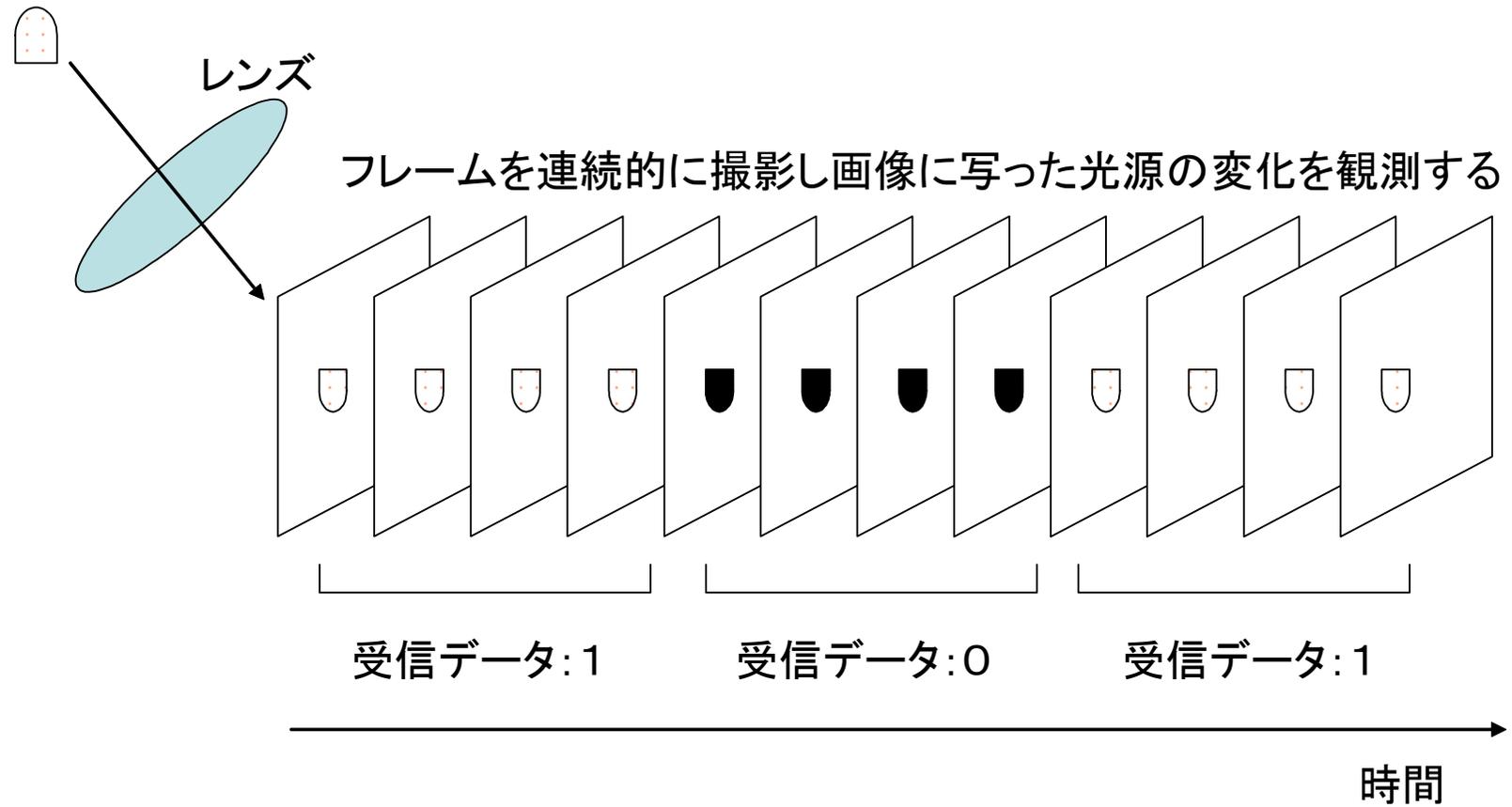
線の太さを見ることで、どの通路を多くの客が通過したかが判る。
また、線の色を見ることで、どれくらいの平均速度で移動したかも判る。

2.2. イメージセンサを用いた位置サービス

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

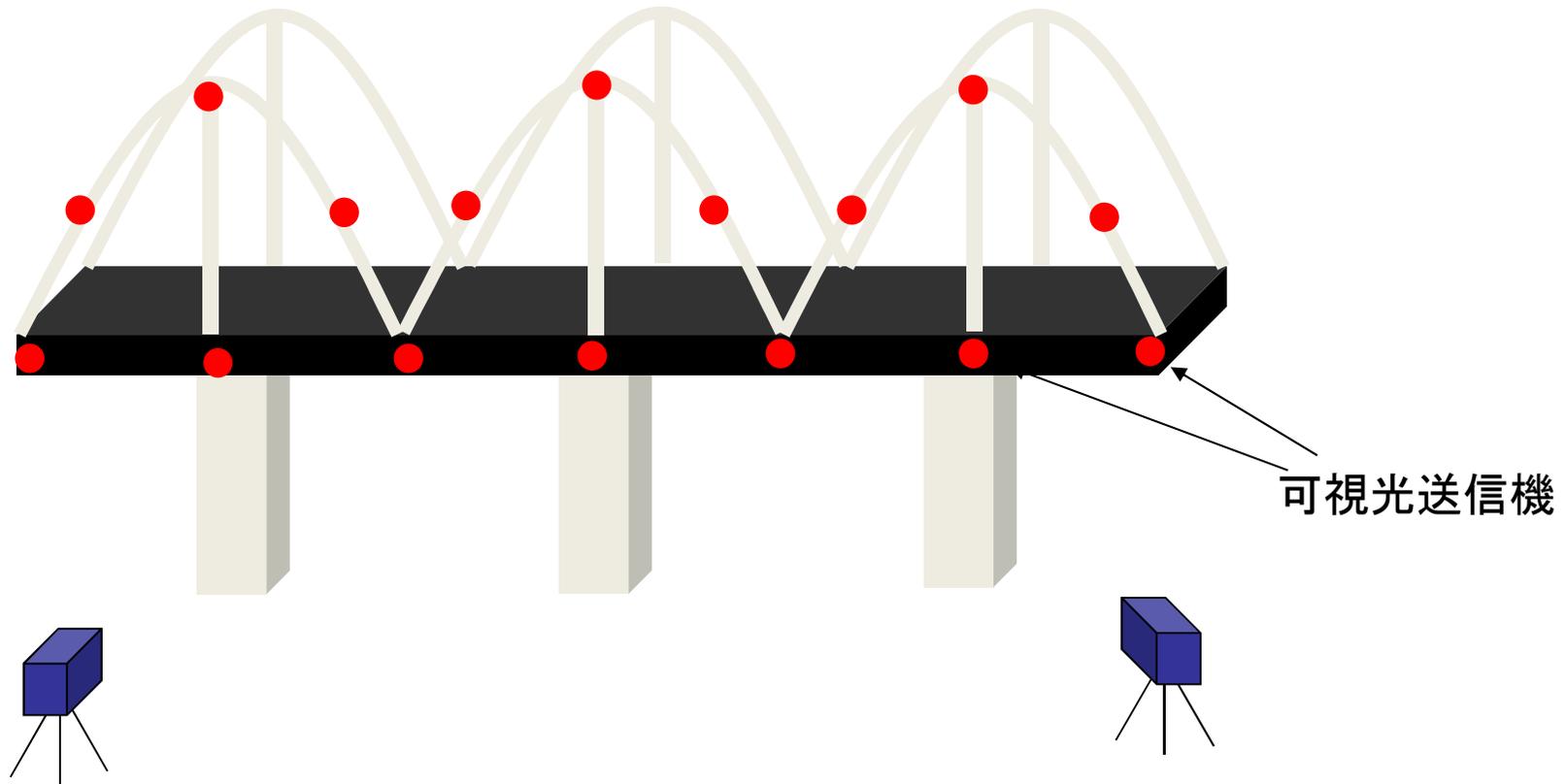
光源が点滅する



2.2.1. 可視光通信とイメージセンサを用いた可視光通信3次元位置自動計測システム

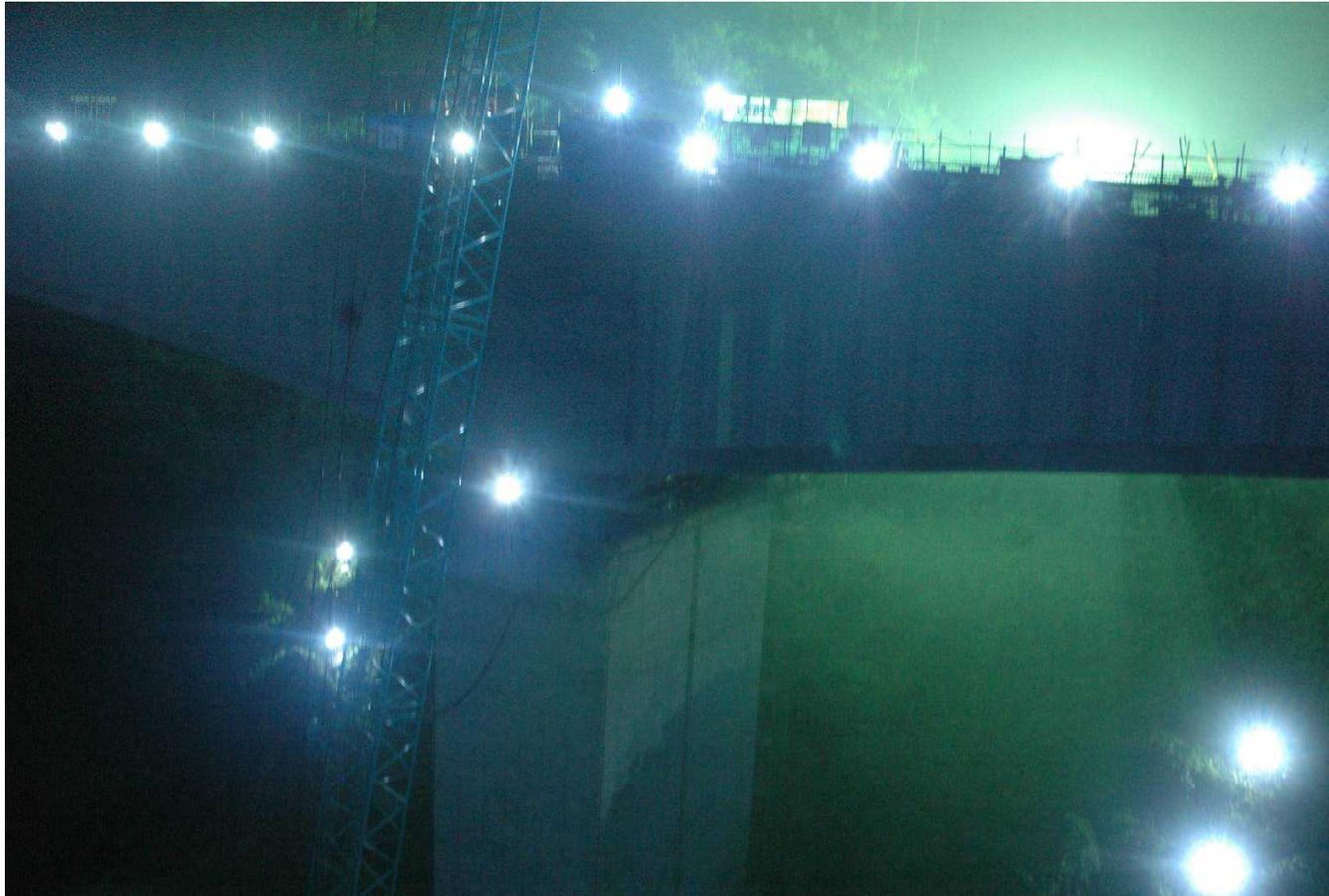
慶應、三井住友建設、中川研究所の共同研究

可視光通信と写真測量の技術の組み合わせを建築、土木などでの測量に応用する。



2箇所以上の位置からカメラで対象物を撮影し、複数のターゲットの撮影画像上での位置を元に対象物の位置を計測する。位置が既知の可視光送信機と、位置が未知の可視光送信機を同時に撮影、受信し、未知点の3次元位置を計算する。

2.2.1. 可視光通信とイメージセンサを用いた可視光通信3次元位置自動計測システム



静岡での第二東名の建築中の橋梁で実際に測量 2008年8月
計測対象が40m×40m 程度の場合、1mm の精度(分解能)で計測が可能
であることを実証。

2.2.1. 可視光通信とイメージセンサを用いた可視光通信 3次元位置自動計測システム



NHK World News, June 4, 2009. Visible Light Communication, Nakagawa Laboratory, Tokyo

Video demonstration of three dimensional position measuring system using visible light communication

2.2.1. 可視光通信とイメージセンサを用いた可視光通信3次元位置自動計測システム



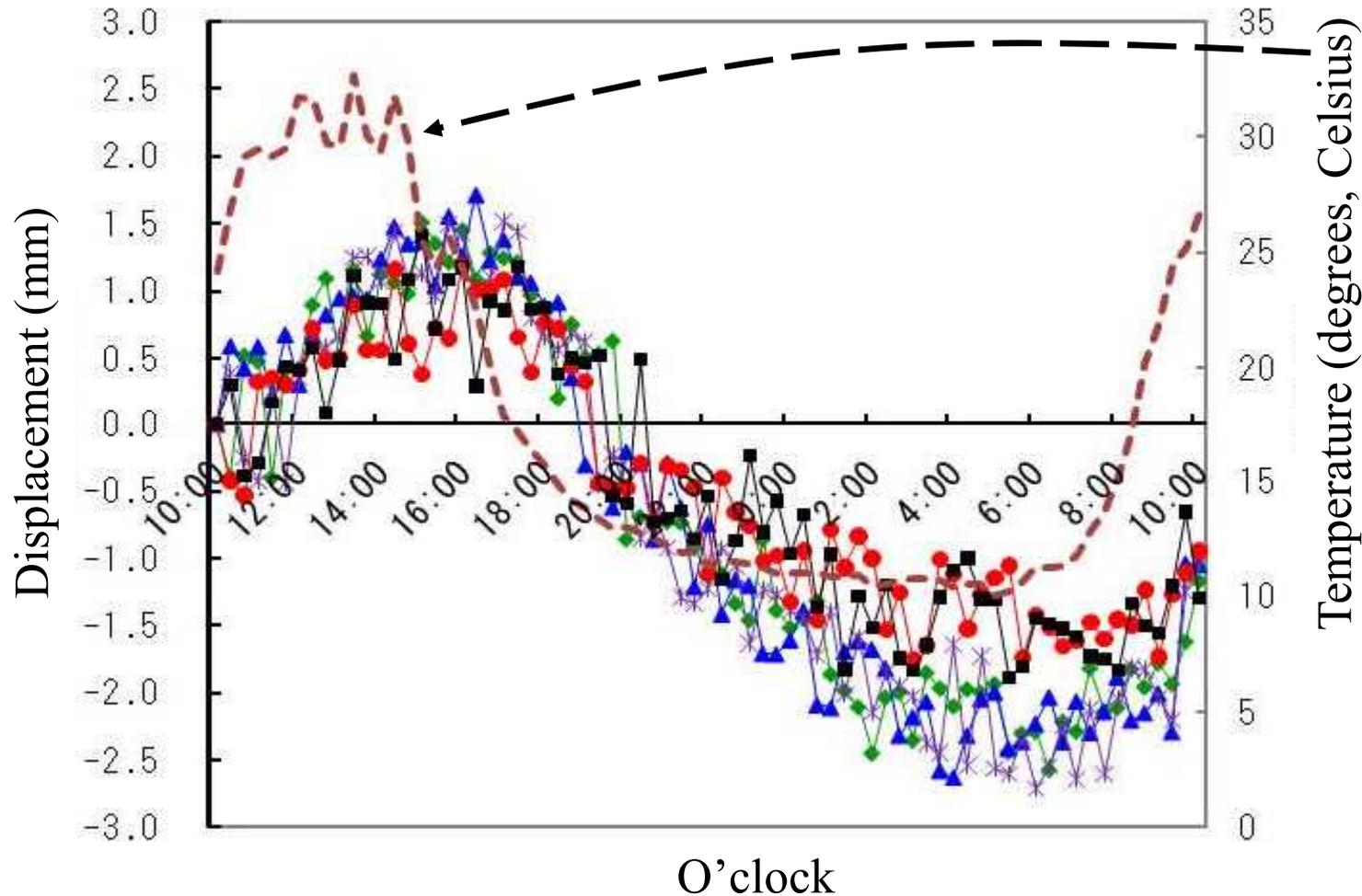
発注者 : JFE エンジニアリング株式会社(元発注:神戸市)

配水池建設工事に、2009年11月下旬、アルミドーム屋根の日照による温度変化などによる変位測量を行った。日照などによる温度変化によって屋根が膨張・収縮する際の変位を確認するために、屋根の各所(12点)にLED標点を設置し、地上に設置した2台のカメラで20分間隔で24時間の変位自動測量を実施し、数ミリの変異を確認した。

慶應SDM 春山真一郎

2.2.1. 可視光通信とイメージセンサを用いた可視光通信 3次元位置自動計測システム

Displacement measurement of the roof



Sumitomo Mitsui Construction Company R&D Report , October 2011

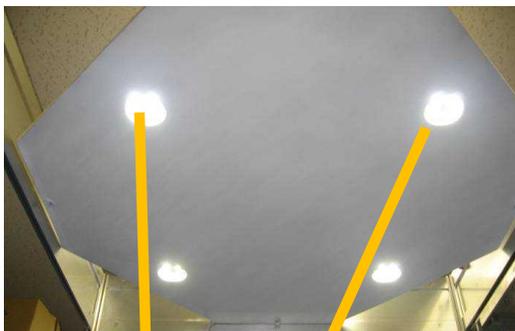
2.2.1. 可視光通信とイメージセンサを用いた可視光通信3次元位置自動計測システム

特徴

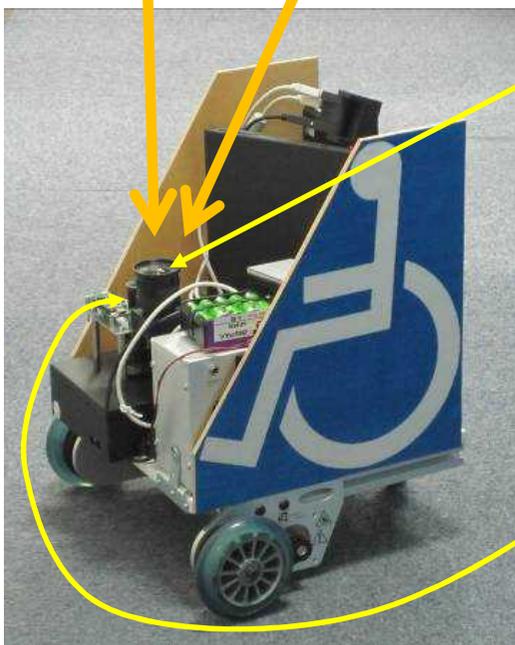
- 経時変化を観測することが可能。
- 暗闇でも計測可能。
- 多数の点を同時に短時間で計測可能。
- 一度光源を設置すれば、測量の度に人が測点に行く必要がない(安全性の向上、省力化)。
- 安価に自動計測が可能。

2.2.2. 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

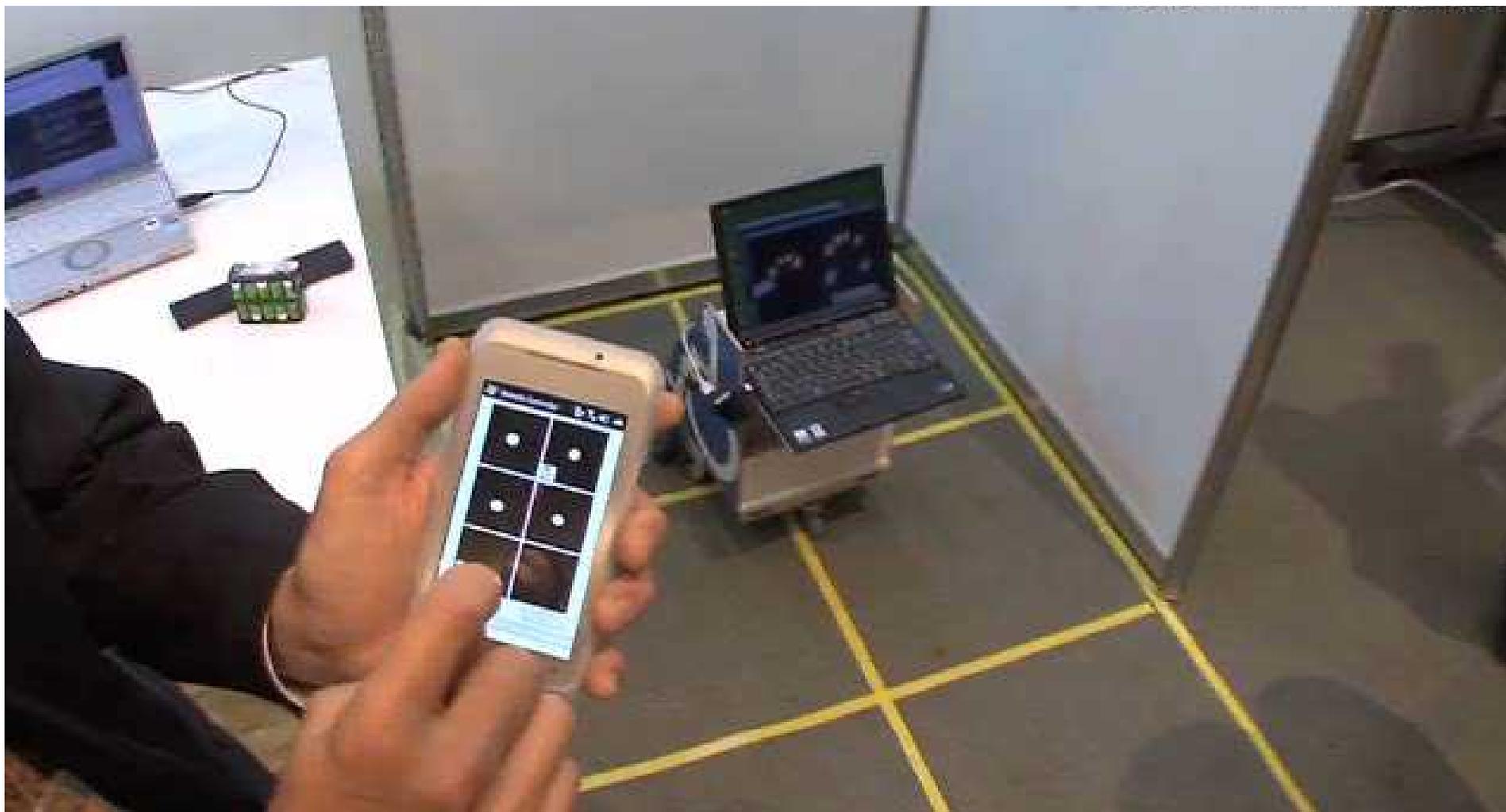
高速カメラでLED照明か
らのデータおよび方向を
検出

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。

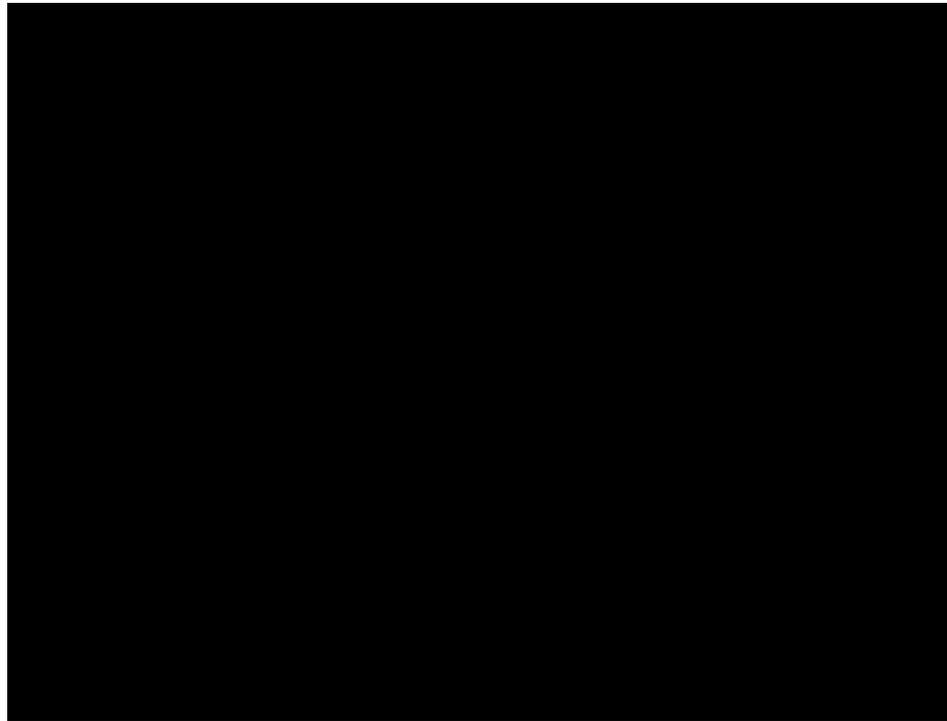
2.2.2. LED照明を用いた高精度ロボット位置制御

慶應義塾大学、NEC



2.2.3. ピカピカメラ

カシオ計算機が2012年4月に、可視光通信を利用し、ARな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「ピカピカメラ」の提供を開始した。



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

2.2.4. スマートフォンによる 視覚障害者用屋内ガイダンス



慶應義塾大学 2013年 大阪・南港 ATCエイジレスセンターでの実証実験。

視覚障害者用屋内ガイダンス用の端末

- 端末: iPhone



端末は手で持つ

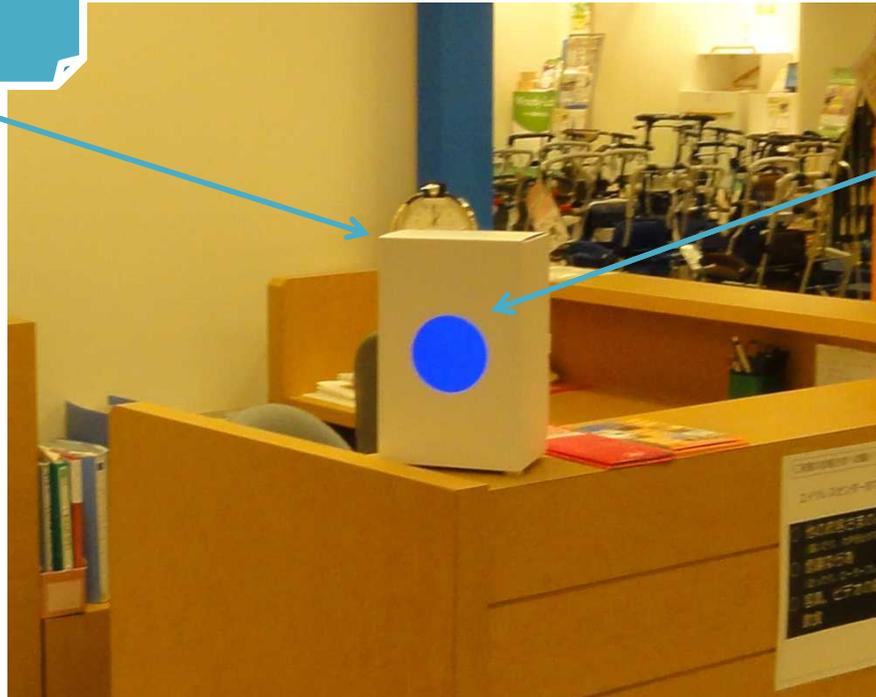


利用者がボタンを押す位置を認識するためのガイド付きプレート

ボタン操作を完全になくすことができなかつたためスマホにガイド付きプレートをオーバーレイ。

視覚障害者用屋内ガイダンス用マーカ

中身は7インチタブレット

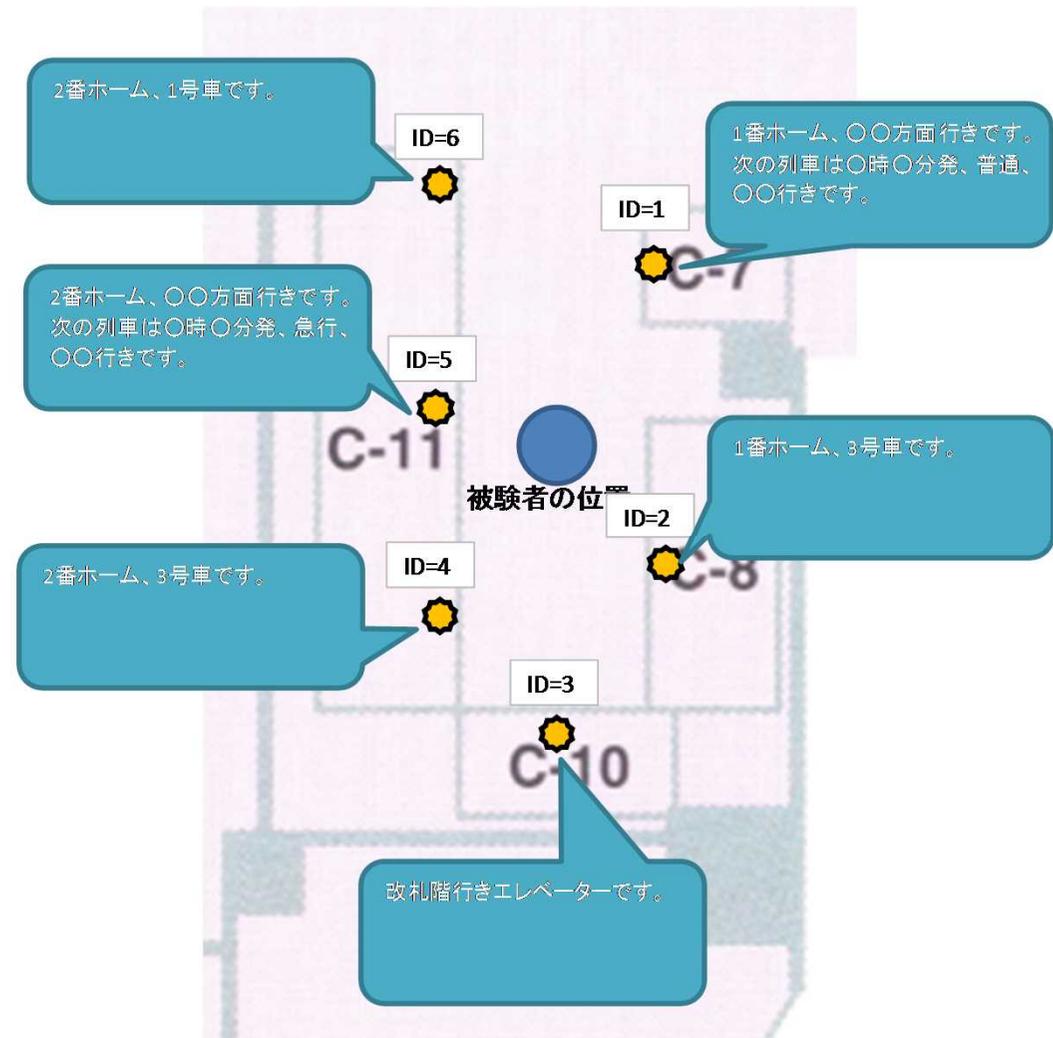


指定したIDのパターンで赤、緑、青に点滅

可視光の点滅でIDを送信する。

実証実験での公共空間のエミュレーション

- 駅、病院、及びレストラン街の3つのシチュエーションを設定し実施



駅の状況を想定しホームの位置や電車の情報を音声でガイドする

実証実験の様子



CASIO様のピカピカメラシステムの上に慶應が音声ナビゲーションおよび距離計測の機能を実装。

内容

1. 可視光通信
2. 可視光通信を用いた位置サービス
3. 可視光通信コンソーシアム
4. 可視光通信の標準化

可視光通信コンソーシアム

名誉会長：慶應義塾大学教授 中川 正雄
会長： 慶應義塾大学教授 春山 真一郎
副会長： 東京大学教授 坂村 健
早稲田大学教授 松本 充司
運営： 株式会社グローバルコム
発足： 2003年11月25日

前身：電子情報通信学会 第3種研究会「可視光空間通信研究会」を立ちあげ、2001年から2003年まで活動。慶応の中川教授、春山、名古屋工大の林助教授が会長、幹事をつとめ学会活動を行った。2003年に産業界への働きかけを行うため、「可視光空間通信研究会」を終了し、可視光通信コンソーシアムを立ち上げる。

可視光通信コンソーシアムの目的： 可視光素子を、照明、信号機、電光掲示、表示などに利用しつつ、可視光を通信にも利用することで、高速、安全でユビキタスな通信システムを研究、開発、企画、標準化、普及させること。

内容

1. 可視光通信
2. 可視光通信を用いた位置サービス
3. 可視光通信コンソーシアム
4. 可視光通信の標準化

可視光通信の標準化

- ① 2006年～2007年(日本)
JEITAでの可視光通信の標準化活動 (VLCCからの提案)
- ② 2008年～2010年(日本)
光無線通信関連3団体(VLCC、IrDA、ICSA)で共同開発
- ③ 2009年～2011年(米国)
IEEEにおいてIEEE802.15.7可視光通信の標準
- ④ 2012年～(日本)
JEITAでのあらたな標準化活動(VLCCからの提案)

① JEITAでの可視光通信の標準化活動 2006年～2007年

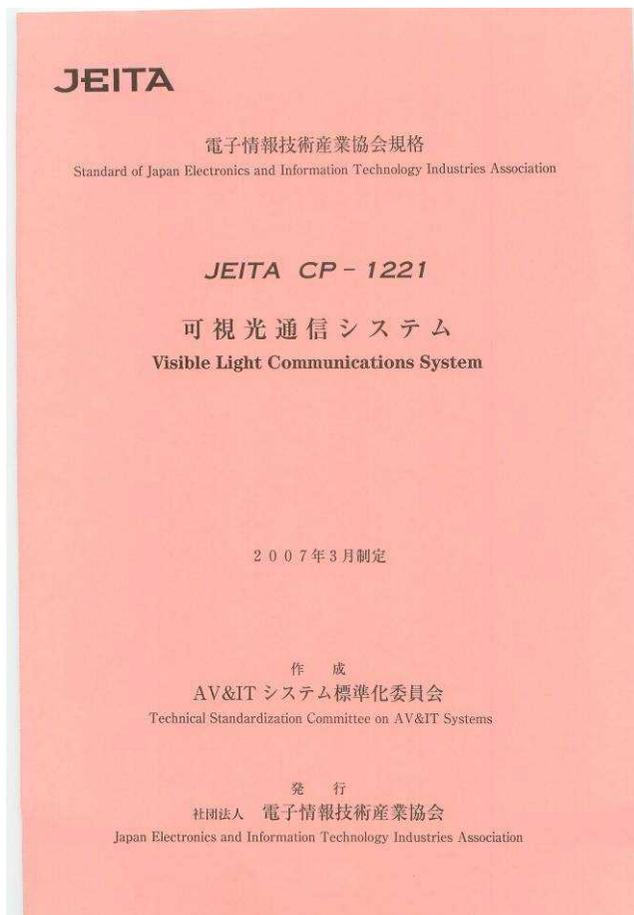
JEITA（電子情報技術産業協会） AV&ITシステム標準化委員会のなかの「可視光通信標準化Project Group」で可視光通信の標準化を議論し、可視光通信の標準を2007年6月に発表。

可視光通信標準化Project Groupメンバー企業：

(株)中川研究所
ソニー(株)
(株)テクニカフクイ
(株)東芝
日本電気(株)
パイオニア(株)
アバゴ・テクノロジー(株)

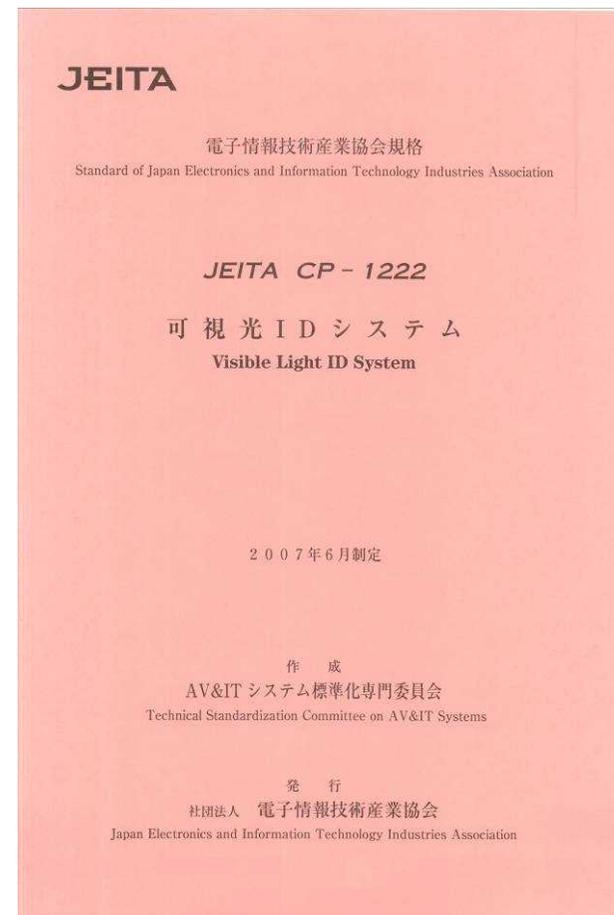
JEITAで標準化した可視光通信の規格

可視光通信システムについての標準



JEITA CP-1221: 可視光通信システム
Visible Light Communication System

可視光IDシステムについての標準



JEITA CP-1222: 可視光IDシステム
Visible Light ID System

JEITA CP-1221: 可視光通信システム

可視光通信の光の波長の範囲を380nm～780nmとし、アプリケーションごとにその波長範囲内で1nm単位の任意の範囲を決める。

光強度を特定の周波数で振動させたいデータに変調させるサブキャリア方式を用い、ことなるアプリケーションごとにことなるサブキャリア周波数を割り当てることでアプリケーション間の干渉を防ぐ。

←可視光の光強度変調によるサブキャリアにデータをのせるという点が重要

JEITA CP-1222: 可視光IDシステム

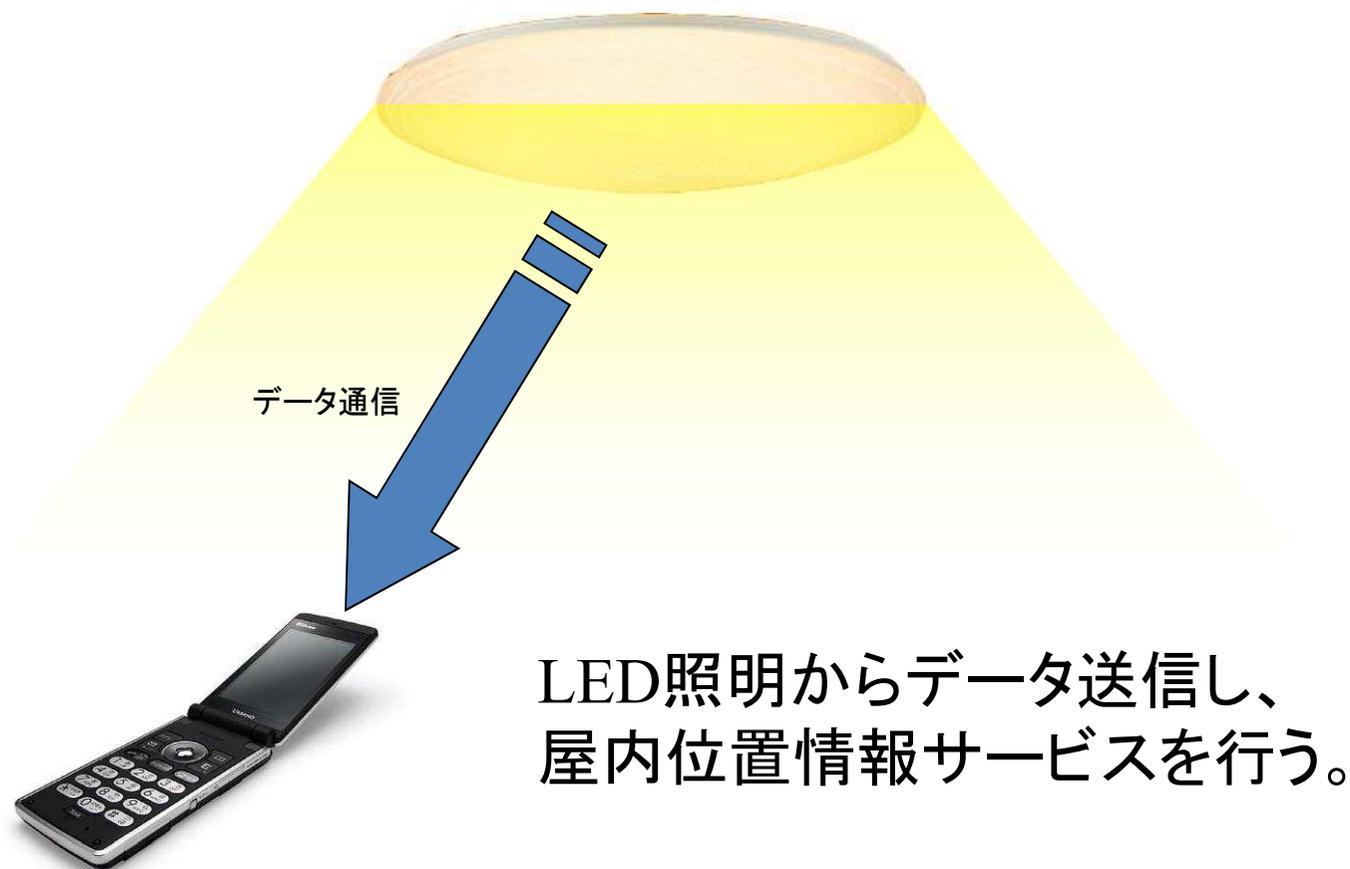
- サブキャリア周波数: 28.8kHz
赤外線リモコンの38kHzより低い周波数を用いる
- 通信速度: 4.8kbps
- データフレーム長: 512bits
- 変復調方式: サブキャリア4値PPM
目で見てチラつかないように設計されている
- 誤り制御方式: CRCによるエラー検出
- 送信データ: ID及び一般データ

② 光無線通信関連3団体 (VLCC、IrDA、ICSA) で共同開発・連携 2008年～2010年

可視光通信コンソーシアム (VLCC) は、相互の技術開発および研究を推進する為、2008年9月に、アメリカの赤外線データ協会 (IrDA) と共同開発協定を締結し、さらに、日本総務省ARIBの光無線通信システム推進協議会 (ICSA) ともリエゾン関係を構築し、共同開発・連携を進めた。

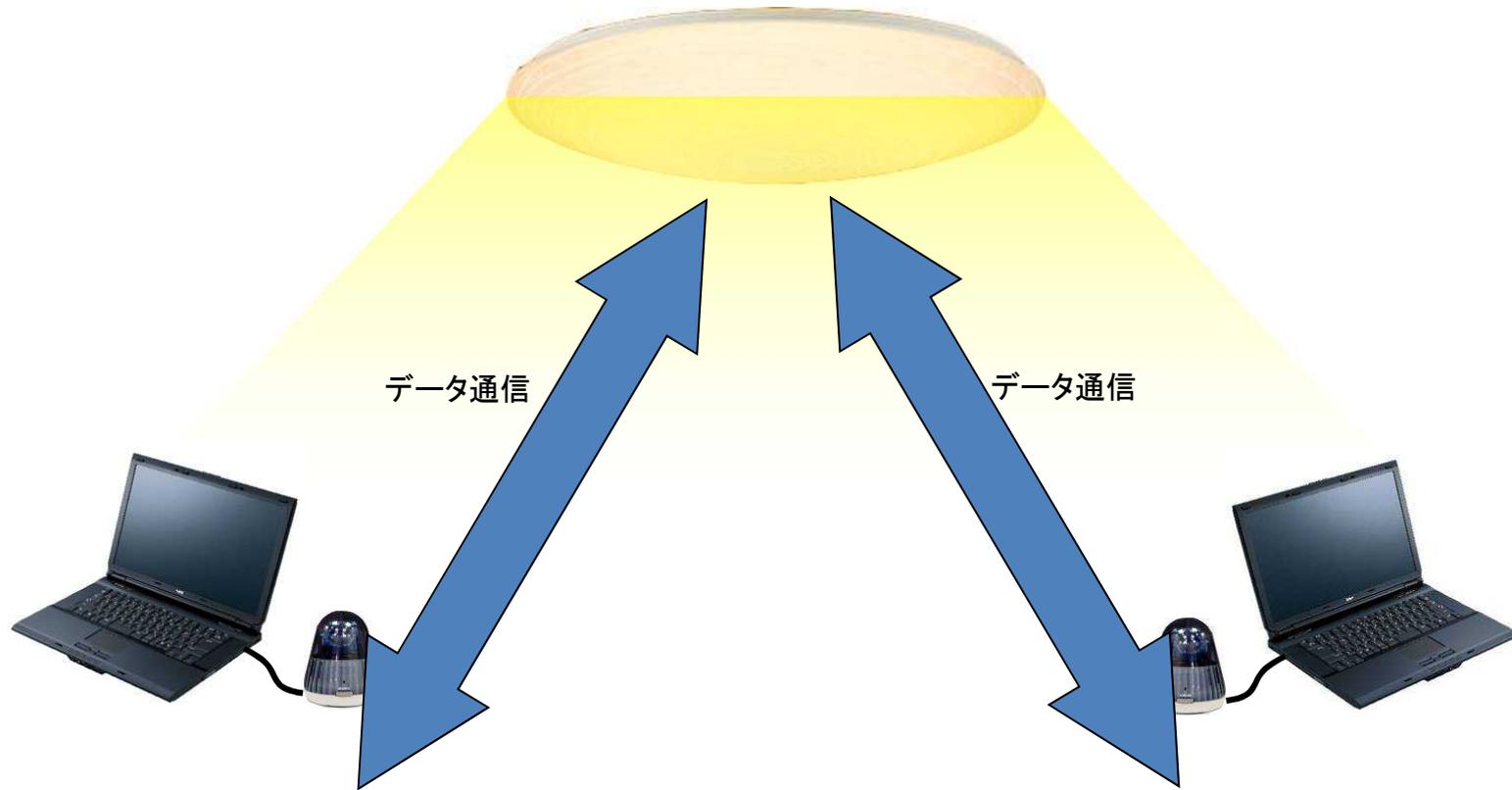
可視光通信コンソーシアム (VLCC) と、IrDA で可視光通信の標準共同開発・連携 (2008年～2010年)

アメリカの赤外線データ協会 (IrDA) との共同開発協定における可視光通信のユースケース例:



ICSAとの共同開発・連携によるアプリのイメージ

複数の端末と同時に通信できる可視光LAN



2010年2月にARIB STD-T50「光無線LANシステム」の第4版として可視光、赤外10M/100Mbpsの光通信の標準規格の策定がなされた。

③ IEEEにおいてIEEE802.15.7可視光通信の標準 2009年～2011年(米国)

2011年9月に、可視光通信の物理層(PHY)およびメディアアクセス制御層(MAC層)を規定したものが、IEEE 802.15のWireless Personal Area Network (WPAN) のなかの802.15.7として制定された。

④ JEITAでの可視光通信の標準化活動 2012年～

現在、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で、CP-1222を改変した新標準を策定中。

CP-1222との違い:

- ・ サブキャリアを使用しない
- ・ データフレーム長の短縮: 128bits

まとめ

今後広く普及していくと予想されているLED照明をもちいて通信をすると、位置サービスなどのさまざまな応用をユビキタスに展開することが可能になると思われる。