

可視光通信技術の施設への応用

山本 裕治 五十嵐 雄哉 貞清 一浩
(技術研究所) (技術研究所) (技術研究所)

Application of Visible Light Communication Technology for Buildings

by Yuji Yamamoto, Yuya Igarashi and Kazuhiro Sadakiyo

Abstract

Visible Light Communication is a wireless communication technology using visible light as a medium. The light can be modulated for data communication and flicker is unrecognizable to human eyes. This technology can be one of the most important elements for an infrastructure of ubiquitous communications because various light sources such as lighting, electronic sign boards, traffic lights can be used as transmitters. We have developed “COMMUNICATION LIGHT” which has both function of an electrical lamp and a transmitter. We also made an audio guide system for museums as an application in buildings.

概 要

可視光通信とは、目に見える光の強度を高速に変調させることで情報伝送を行う無線通信のひとつである。照明、発光式表示装置、交通信号機などの光源を情報送信装置として利用できるようになるため、ユビキタス通信のインフラとなる可能性を秘めている。今回我々は、照明としての機能と通信装置としての機能を併せ持つ「通信照明」を開発し、建築におけるアプリケーションとして、展示空間における音声ガイドシステムを構築した。

§ 1. はじめに

光通信と言えば光ファイバケーブルを用いた有線通信の認知度が高いが、ここで言う可視光通信とは、照明など普段目にする光により情報伝送を行う、無線通信のひとつである。同じ電磁波である電波や赤外線による無線通信とは異なる「目に見える」という特徴を持った新しい通信手段として近年注目されている。¹⁾²⁾

青色LED(Light Emitting Diode)の登場以来、LEDは様々な色の表現が可能となり、交通信号機や発光型表示装置、装飾用イルミネーション、ディスプレイの光源として目にする機会が増えてきた。また白色LEDの発光効率は年々向上しており、一般照明としての利用も現実味を帯びてきた。

LEDは白熱灯や蛍光灯と比較して、その光強度を高速に変調させることが容易で、その点滅を利用してデータ通信を行うことが可能である。LEDの普及により、オフィスや家庭、公共空間などの様々な場所で可視光通信が行える可能性が出てきた。

可視光通信技術を利用すれば、様々な光源から情報を発信することが可能となり、ユビキタス・ネットワーク時代の情報提供インフラとなりうる。そこで、こ

れまで実証実験レベルであった可視光通信技術を商品レベルとするために本開発を行い、実空間における通信性能やアプリケーションに関する検証を行った。

§ 2. 開発の背景と目的

2. 1 ユビキタス時代のサービス

携帯電話に代表されるモバイル技術の進歩により、時や場所を選ばずに様々なサービスを利用できる環境が整ってきた。それに加え、ユビキタス・ネットワーク時代のサービスは、人の置かれた状況に応じた適切なサービスを提供することが大きな特徴となっている。このようなサービスを実現するためには、今、誰が、どこにいて、何をしているか、というコンテキスト情報の取得とその活用が重要となる。

我々はまず、人の位置情報活用の可能性に着目し、事業所PHSを利用した位置情報による設備機器制御³⁾や、アクティブ型無線ICタグを利用した位置情報による施設利用率診断の開発⁴⁾をこれまでにやってきた。その他、一般的な位置情報利用アプリケーションとしては、GPSを用いたナビゲーション、無線ICタグを

用いた人や物の移動把握や位置に応じた情報提供などが知られている。

通常、電波を利用した位置情報の最小検知単位は数 m 以上あり、電波強度や到達時間差を利用した非常に高度な位置推定演算を行ったとしても 1~3m 程度が限界である⁵⁾。電波による位置情報を利用したアプリケーションでは、この精度を前提としたシステムを設計する必要がある。

しかし、位置に基づいた様々なサービスを考えると、さらに高精度な位置検出が必要となる場面がある。空間的には隣接しているが意味が異なる空間を区別したい場合、例えばカウンターを挟んだ中と外、対面通行のそれぞれの通路、異なる業務を行う二つの窓口のそれぞれの待ち行列などが挙げられる。この場合それぞれの空間を、線を引いたように判別する必要がある。

一般に非接触 IC カードとして普及している通信距離が数 cm の近接型無線 IC タグは、タグ自体に電源が不要であり、コストが比較的に安いと、入退場管理などによく用いられている。これを位置情報として利用した例としては、エリア内の読み取り装置で IC タグを検知した、チェックポイント通過のようなイベントをトリガーとして、携帯電話に情報提供を行うサービスが既に実用化されている。しかし、利用場所に読み取り装置を設置し、なおかつ利用者が読み取り装置にカードをかざす操作が必要となる。

通信距離が数十 cm である近傍型無線 IC タグを用いた場合、タグをかざす操作は不要であるが、アンテナが大型になるためにゲートのような設備を設置する必要があり、施設内における情報提供システムとしては美観を損ねるという問題がある。

アクティブ型無線 IC タグや Bluetooth などの近距離無線では端末が電源を持っており、半径 2~3m 程度の通信エリアを構築することも可能である。しかし、周辺環境によっては近づいても通信できない、あるいは遠くでも通信できてしまう、同じ場所でも通信できる時とできない時がある、といったばらつきがあり、位置を限定したサービスを行うためには電磁環境の対策が不可欠である。

2. 2 可視光通信の特徴

電波、赤外線、可視光はいずれも電磁波に分類されるものであるが、その波長（周波数）が異なり、性質にも違いがある。

電波と光の大きな違いのひとつは直進性である。光通信では、送信機と受信機がお互い見える位置関係にある場合のみ通信が行え、電波では間に障害物があっても通信できる。この特性は利用目的によって、利点にも欠点にもなる。相手を特定した比較的短い距離

の通信を行う場合には光通信が適している。

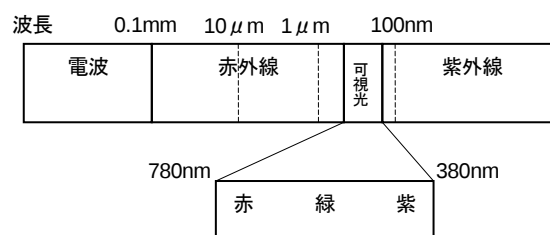


図-1 可視光の波長

次に、赤外線と可視光を比較すると、その光が人の目に見えるか否かがもっとも大きな違いとなる。

これまで光通信と言えば、有線無線を問わず赤外光を利用する物が多く、身近な例としては電器・電子機器のリモコン、IrDA 機器、ワイヤレスマイクやヘッドホンなどがある。通信媒体である光は見える必要が無い、もしくは見えない方が多い。

一方、可視光の利用を見てみると、照明など環境や対象物を明るくするための物や、インジケータや電光掲示板などのように点灯や消灯の状態で視覚的に人に情報を与える物があるが、これまで可視光は積極的に通信に利用されてこなかった。

このような可視光であるが、いたる所にある光源に可視光通信技術を応用することで、様々な場所から情報発信を行うことが可能となる。例えば照明から位置 ID を送信すると、GPS 電波の届きにくい屋内にいても位置情報を得ることが可能となる。

可視光通信は光無線通信であり、その特徴は赤外線通信に近いと言える。しかし可視光通信の方式には、赤外線通信の赤外光を可視光に置き換える以外にも、幅広い帯域（＝色）を利用した波長多重通信、受光素子としてカメラの撮像素子を利用したイメージセンサ通信など、可視光の特性を利用した様々な手法が提案されている。可視光通信には、他の無線通信方式に無い以下のような特長がある。

1) 通信媒体の視認性

通信媒体である光が目に見えるので、どこから情報が出ているのか、どこで通信が可能なのかを、人が見て判断することが可能である。

照明だけを見ても用途別に様々な種類があり、例えばスポット光を利用すれば、極めて狭い範囲にだけ光を届けることができる。光源の向きを変えることにより通信可能エリアを変更でき、その確認も容易である。また、情報利用者が情報送信源の位置や照射方向を認識した上で通信を行うような、従来に無い利用方法が考えられる。

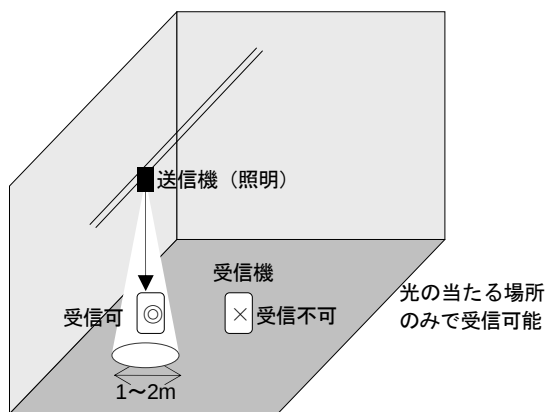


図-2 スポット光による通信可能エリア

2) セキュリティ

光は直進性が高く、扉、カーテン、手など身近な物で通信を遮断することができる。一般に電波を遮断するには、高度な電磁シールドを施すなどの対策が必要である。

また、通信を行うかどうかの判断は利用者にゆだねられ、勝手に情報を取得される心配が無い。

3) 安全性

電波は電波法によりその使用帯域や出力が制限されている。可視光通信と同様に高速に点滅する光としてはインバータ式のランプがあるが、今のところ法規制は無く、可視光通信は自由に利用できると言える。また、電子機器の誤動作の原因となることもない。

4) 設置場所の確保

通信のためには装置を設置する必要があるが、可視光通信ではすでに建物内にある照明を始めとする様々な光源に通信機能を付加することができる。建築計画上、新たに設置場所を確保する必要がなく、美観を損ねることも無い。

2. 3 開発の目的

我々はこの可視光通信の特性に着目し、場所に依存したサービスとして、展示空間における情報提供システムを試作、検証を行ってきた⁶⁾。そして今回、これまでに得られた知見を元に改良を加え、照明と通信の機能を融合させたシステムとして、音声ガイドシステムを構築し、効果の検証、評価を行った。

§ 3. 開発システム概要

3. 1 システム構成

本システムは、位置情報としての ID を送信する送信機 (スポット照明)、ID を受信してそれに対応する解説音声を再生する受信機 (ガイド端末)、これに照明

器具と ID や音声データを管理するシステム管理ソフトウェアから構成される、シンプルな音声ガイドシステムである。

本システムで採用した通信方式は、可視光通信コンソーシアム⁷⁾で定める、「可視光 ID システム」規格に準拠したものである。表-1 にその主な諸元を示す。また、図-3、図-4 にシステム構成を示す。

表-1 可視光 ID システム諸元

搬送波	ピーク波長 380~780nm の可視光
副搬送波周波数	28.8kHz
通信速度	4.8kbps
変調方式	SC-4PPM (4 値パルス位置変調)
ID 長	128 ビット
ID 送出時間間隔	約 0.1 秒

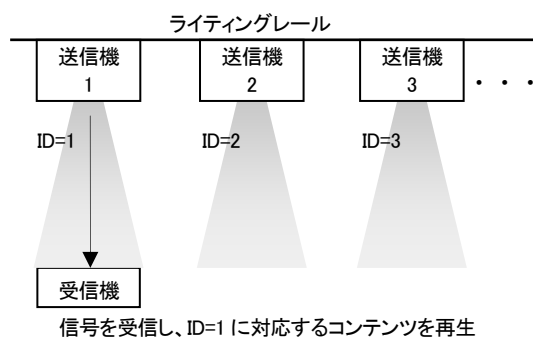


図-3 音声ガイドシステムの構成

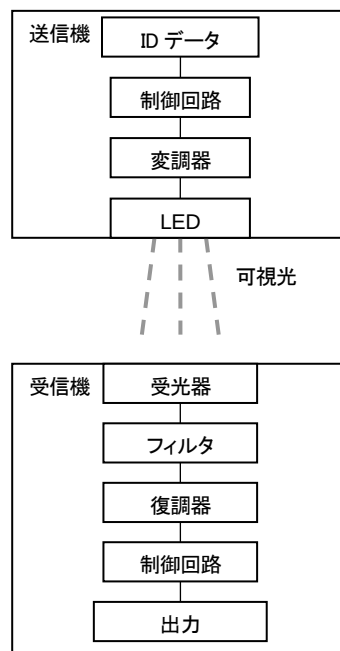


図-4 送信機・受信機の内部構成

3. 2 音声ガイドシステム

展示空間向け音声ガイドシステムとは、美術館や博

物館などにおいて、展示物に関する説明を音声で聞くことができる仕組みである。視覚で展示物を鑑賞しながら、聴覚でその物に関する情報を補うことができるため、より理解を深めることができる。

多言語対応や個々人の好みにあわせて自由に移動ができるよう、あらかじめ解説音声データが格納されたポータブル型の端末を利用し、ヘッドホンで聞くタイプが主流である。最近では、美観やデザイン性を重視し、文字による説明がほとんどなされない美術館もあり、音声ガイドの重要性が高まっている。

ポータブル型端末を利用した音声ガイドシステムにおいて、目的のガイド情報を選択する手法として以下に挙げるような物がある。

1) 番号入力型

展示物の近くに番号を掲示しておき、端末にその番号を入力することで解説を聞くことができる。見やすい場所に番号を表示する必要があるが、美観を損ねる原因となる。また番号入力操作が面倒、という不満の多い方式である。それを考慮するとなるべく桁数の少ない数字を使う必要があり、管理者にとっては、展示物入れ替えの際の番号管理が煩雑となる。

2) バーコード読み取り型

人が番号を入力する代わりに、端末に備えられたスキャナでバーコードや QR コードを読み取る方式である。スキャン操作のために近接させる必要がある、見た目に意味が無く美観を損ねる、などの問題がある。

3) 無線 IC タグ型

バーコードの代わりに IC タグを設置し、端末が IC タグを読み取る方式。読み取り操作は必要であるが、バーコードより簡単である。ただし、読み取り位置をわかりやすく提示しておく必要がある。

3. 3 システム要件

これまでに挙げた問題点を解決する、望ましい展示空間向け音声ガイドシステムが満たすべき具体的な条件として、以下の項目を設定した。

1) 位置精度

区別したい展示物同士の設置間隔を 1m と仮定し、その距離において隣接する複数の場所を確実に判別できること。

2) 美観を損ねない

通信のために設置した装置が美観や景観に悪影響を与えないこと。

3) 簡単でわかりやすいインタフェース

展示物の鑑賞に集中できるよう、複雑な操作が不要であること。また、どこで情報を得られるかが容易に判別できること。

4) 容易な管理

利用者にとってわかりやすいだけでなく、施設管理者にとっても簡便でメンテナンスしやすいこと。

3. 4 システム設計

前述の要件を踏まえ、我々は可視光通信型音声ガイドシステムを提案する。以下のコンセプトにてシステム設計を行った。

3. 4. 1 照明器具の選択

照明器具としてスポットライト型の LED 照明を使用した。発光面の高さ約 2.2m の時、床面における照度 50lx 以上となる部分は、直径約 1m の円形となる。このランプ 2 台を 1 組として、同期させて点灯させることにより、通信可能エリア形状をある程度自由に構成できるようにした。通信可能エリアについて測定を行った結果は後述する。

また、展示空間にふさわしいデザイン性の高い物を目指した。

3. 4. 2 ユーザ・インタフェースの考え方

音声ガイドは、ある展示物を見ている時、その物についての解説音声を聞くことが主用途である。目的の解説音声をいかに手間無く聞くことができるかは、使い勝手を考える上で重要な要素である。

そこで、端末を持った人が展示物を見やすい位置に移動すると、自然と端末に光が当たりるように照明を計画した。そして、端末上のソフトウェアの仕様として、ID 信号を受信すると即座に解説音声の再生を開始するようにした。これにより、基本的には端末の操作は不要となる。

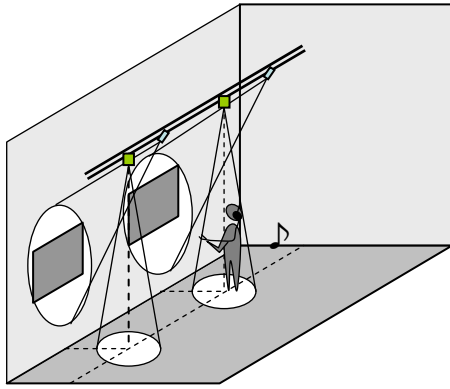
また、展示物を照らす展示用照明と音声ガイド用の通信照明を異なる色温度に設定して、情報を受けられる場所とそれ以外を区別できるようにした。本事例では、展示照明を低い色温度（電球色）、通信照明を高い色温度（白色）とした。

3. 4. 3 通信可能エリアの設定

展示空間の照明では俗にライティングレールあるいはライティングダクトと呼ばれる器具がよく用いられる。レール上の任意の位置で照明器具の取り付けとそこからの電源供給が可能であり、設置位置に関して自由度の高い照明設計が行える。

また、本照明器具はランプ部の角度が可変となっており、投光の向きを変えることができるが、光を目視することでおおまかな通信可能エリアの確認を行うことができる。同じ光でも赤外光を用いたシステムでは、光が見えないため、通信範囲の確認に受信装置が必要になってしまう点において、可視光通信のシステムは優れていると言える。

図-5 に、展示空間での設置例と通信範囲の構成を示す。



図－５ 展示空間での設置例

§ 4. 性能測定および評価

先に述べた設計に基づき、送信機である照明器具と受信機である音声ガイド端末のハードウェアを実際に製作し、その特性や通信性能について検証を行った。

4. 1 通信可能エリア測定

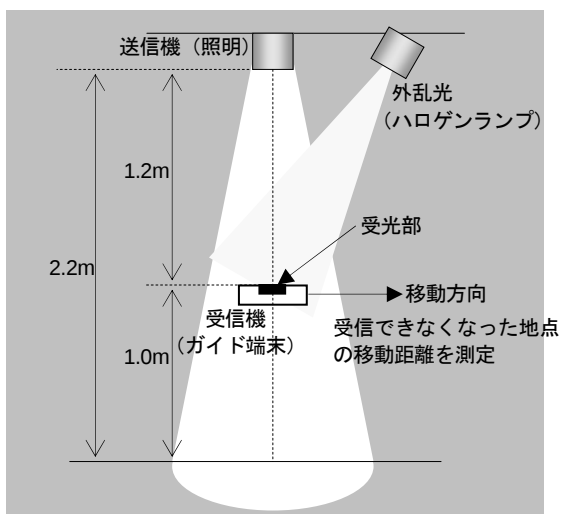
本照明と端末の組み合わせにおいて、通信可能エリアがどの程度正確に構築できるかを測定した。

また、通信媒体が可視光であるため、外乱となる他の光源の影響についても測定を行った。

4. 1. 1 測定条件

想定利用環境を美術館・博物館と設定した。測定を行った場所は無窓の部屋で外光が入らないため、光源は人工光源のみである。

照明発光部の床面からの高さは 2.2m、照明は鉛直下方を向いた状態、端末受光部は鉛直上方を向いた状態で床面からの高さ 1.0m の平面内にあるものとする。概略を図－6 に示す。

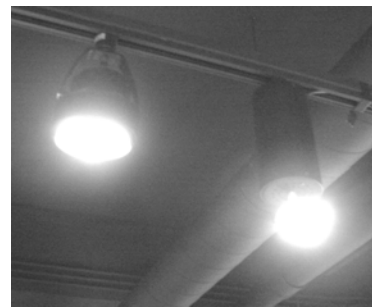


図－6 測定条件

4. 1. 2 測定方法

端末が照明の鉛直下方にある状態を基準点とし、基準点から端末を水平方向に移動させ、受信できなくなった地点の中心からの距離およびその地点での通信照明の明るさを測定する。

通信照明以外の光源が無い場合と、外乱として展示照明であるハロゲンランプの光が当たる場合の二通りで測定を行った。端末受光部における外乱光のみの照度を、通常の照明計画における鑑賞位置での最高照度より明るい約 300lx とした。



図－7 展示照明 (左) と通信照明 (右)

4. 1. 3 測定結果

測定結果を表－2 に示す。「受信可能半径」は受信できる限界地点の基準点からの距離を、「最低受信照度」は、その地点での通信照明のみの照度を表している。外乱光がある場合、若干通信可能エリアが狭まっていることが分かる。

表－2 測定結果

条件	受信可能半径	最低受信照度
外乱光無し	40cm	42lx
外乱光 300lx	35cm	50lx

4. 1. 4 評価

ハロゲンランプは AC 電源で点灯しているため、約 100Hz で明滅している。これは通信照明の副搬送波周波数 28.8kHz に対して十分低い周波数であるため、バンドパスフィルタによりその成分を除去できるはずだが、結果を見ると影響を受けている。受光センサの特性として、強い入力があった場合、感度が若干落ちる傾向があるが、フィルタの性能についても改善の余地があると思われる。

しかし、実際 300lx 以上の外乱光が当たることはまれであり、想定している展示環境においては、直径 1m 弱のスポット形に受信可能エリアを構築することができ、異なる ID を送信する通信照明が 1m の間隔で隣接する場合においても干渉無く受信できることを確認した。照明の下で端末を持つ自分の手の明るさを見て、

照らされていると感じる場所においては、ほぼ受信が可能であり、見た目と通信範囲がほぼ一致することも確認できた。

§ 5. 課題と展望

通信照明は変調により高速に点滅している。本システムの変調方式では、理論上 12.5%の時間消灯しており、通信を行わない本来の LED と比較して若干明るさが落ちる。現時点での照明用 LED の課題のひとつに明るさ不足があるが、可視光通信を行うにはそれを犠牲にしなければならない。本事例のように、一般建築物より低照度で構成される展示目的施設では問題無いが、一般空間にまで LED 照明と可視光通信が普及するには、LED の発光効率向上や価格の低下を待つ必要があるだろう。

また参考実験として、窓から太陽光が入る環境についても測定を行った。本受信機は屋内使用を前提に設計したため、端末受光部に直射日光が当たる状態では受信することができなかった。本方式による可視光通信を屋外で安定して行うには、その点を考慮しておく必要がある。

可視光通信の今後の更なる応用として、我々は照明だけでなく様々な光源から情報を発信することを検討しており、公共空間でよく見かける内照式のピクトグラムサインから情報を提供する試みを行った。

図-8 は、デパートなどに設置してあるインフォメーションサインから、周辺地図情報を提供するサービスの例である。ピクトグラムサインはそれ自体がメッセージ性を持っているが、ピクトグラムとそこから発信される情報に関連性を持たせることで、よりわかりやすい情報提供手段とすることができる。大量の情報が氾濫しがちな近年の公共空間において、景観を保ったまま詳細な情報を提供することが可能になるだろう。

<参考文献>

- 1) 可視光通信コンソーシアム編 中川正雄監修：“可視光通信の世界”，工業調査会，2006
- 2) 中川正雄：“ユビキタス可視光通信”，電子情報通信学会論文誌，Vol.J88-B，No.2，Feb.2005，pp.351～359
- 3) 佐藤博一，山本裕治他：“構内 PHS を利用した位置情報把握システムの開発”，清水建設研究報告，Vol.80，2004
- 4) 山本裕治，五十嵐雄哉：“無線 IC タグを利用した位置情報システムの活用”，日本建築学会大会学術講演梗概集，D-2，2005，pp.1423～1424
- 5) 日立製作所ワイヤレスインフォベンチャーカンパニー：“無線 LAN 位置検知システム日立 AirLocation™ II”，
<http://www.hitachi.co.jp/wirelessinfo/airlocation/index.html>
- 6) 登石久美子，山本裕治，五十嵐雄哉：“通信照明システムに関する研究 展示空間における利用メリットの考察およびシステムの試作”，日本建築学会大会学術講演梗概集，D-1，2005，pp.395～396
- 7) 可視光通信コンソーシアム：<http://www.vlcc.net/>
- 8) 春山真一郎：“可視光通信 一目に見える光によるユビキタスな通信”，電設技術，平成 18 年 8 月号，pp.135～138



図-8 サイン光からの情報取得 JAPAN SHOP 2006
清水建設 日本電気 NEC ライティング試作

§ 6. おわりに

LED を用いた通信照明および受信機となる音声ガイド端末を開発し、可視光通信を利用したアプリケーションとして展示空間における音声ガイドシステムを構築した結果について報告した。期待する通信性能が実現でき、また音声ガイドとしても利用者に優しいシステムであることが確認できた。

なお本システムは、ガイド用音声データも制作し、清水建設（株）技術研究所内にある「建設技術歴史展示室」における音声ガイドシステムとして実際に運用中である。

謝辞

本開発システムは、可視光通信コンソーシアム可視光 ID システム標準化 WG の活動成果を元を実現することができました。コンソーシアム関係者の皆様に深く謝意を表します。