

視覚障害者歩行支援の蛍光灯通信位置情報システム

Fluorescent Light-Based Position Information System for the Visually Impaired

伏見 竜* · 牧野 秀夫** · 長添 和史***
Shigemi Fushimi Hideo Makino Kazufumi Nagazoe

蛍光灯による位置情報システムの開発において、蛍光灯照明器具の調光機能と4値PPM（Pulse Position Modulation）による伝送信号の符号化により、送信デジタル信号0と1の出現率に依存せずにつねに照明器具の平均輝度を一定にすることで、照明器具としての基本性能を確保しながら情報伝送機能の付加を実現した。

さらに、視覚障害者専用の受光端末のインタフェースおよび音声ナビゲーションアルゴリズムを開発し、視覚障害者を対象とした位置認識および目的地への誘導性を評価することにより、実用化に向けた基本仕様を明らかにするとともに本システムは視覚障害者の歩行支援に有効であることを確認している。

In the development of a position information system using fluorescent lights, an additional information transmission function has been achieved while maintaining a basic performance of the lighting fixture. To keep the average brightness of the lighting fixture constant without relying on the appearance rate of "0" and "1" of the transmission digital signal, the fixture utilizes both of the lighting adjustment function of the fluorescent light and transmission function of signal based on the 4 Pulse Position Modulation method.

Further, an interface of the light-receiving terminal dedicated to the visually impaired and a voice navigation algorithm has been developed and tested for position recognition as well as the performance of guiding a user to a destination. The series of research activities clarified the basic specifications for practical use and the system has been confirmed effectively for navigation by the visually impaired.

1. ま え が き

近年、高齢化に伴い、糖尿病網膜症や緑内障、最近では加齢黄斑変性などにより中途失明者が増加している。

そのため、社会的にも視覚障害者に対する生活支援が重要であると認識され、とりわけ歩行支援、就業支援、および就学支援の充実が切望されている。もっとも基本的な歩行支援においては公共交通機関や歩道などでバリアフリー化が推進されているものの、いまだ十分な環境とはいえないのが現状である。とくに、病院や公共施設などの屋内施設においては、点字ブロック等が整備されていても、不慣れた場所であることや人込みであること等の理由により、視覚障害者が点字ブロックまでたどり着けない状況も発生している。このように、自己位置の認識が困難となることが、視覚障害者本人の意思に反して行動範囲を狭めてしま

う要因となっている。そのため、視覚障害者の視覚機能を補う視覚代行システムの開発が望まれている。

そこで筆者らは、蛍光灯点灯回路技術と情報通信技術を組み合わせ、照明器具としての基本性能を確保しながら情報伝送機能を付加することで蛍光灯通信位置情報システムを開発した。また、その実証実験を行い、有効性について明らかにしたので以下に報告する。

2. 自己位置認識方式

2.1 自己位置認識方式の種類と特徴

視覚障害者の歩行支援のための自己位置認識方式の種類と特徴について述べる¹⁾。

自己位置認識方式としては、以下の3方式が挙げられる。

(1) スポット方式

離散的に配置された基準点が位置情報を発信し、受信

* 照明事業本部 照明R & Dセンター Research & Development Center, Lighting Manufacturing Business Unit

** 新潟大学 工学部 Faculty of Engineering Niigata University

*** 照明事業本部 照明システム開発部 Lighting System Development Dept., Lighting Manufacturing Business Unit

機はその位置情報を現在位置とみなす方式である。

(2) 三辺測量方式

三辺測量の原理を応用する方式で、信号の到来時間差から距離を割り出す TDOA (Time Difference of Arrival) 方式などがある。

(3) 相対移動履歴方式

移動方向と移動距離 (または速度) を検出して、その積算で相対測位をする方式である。ただし、絶対位置を測定することは原理的に不可能なため、他方式との組合せが必要となる。

また、自己位置認識を行うためのメディアとしては、電波方式、光方式、その他に大別できる。

- (1) 電波方式: GPS, RF-ID, 無線 LAN, UWB, Bluetooth * 1)
- (2) 光方式: 可視光, 赤外線
- (3) その他: 超音波

しかし、いずれの方式においても、位置精度、伝送範囲、電源確保などで問題があり、普及するには至っていない。

そこで筆者らは、公共施設の至る所に設置されている蛍光灯照明器具のユビキタス性に着目し、スポット方式による蛍光灯通信位置情報システムを提案する。

この方式は、以下の特徴を有している。

- (1) 設置の制約が少ない
 - (a) 光の指向性を活かすことで、受光範囲を限定することが容易である。そのため、他の照明光との相互干渉対策が容易にできる。
 - (b) 受光側の複眼化により、近接して照明が設置された環境下でも相互干渉を抑制して伝送範囲を拡大することが可能である。さらに、三辺測量方式を応用すれば、位置精度を高めることも可能である。
- (2) 設備投資が小さい
 - (a) 照明用電源が利用でき、新たな電源供給工事を必要としない。
 - (b) 情報伝送機能を搭載した蛍光灯照明器具 (以下、情報発信型蛍光灯と記す) は、GPS や無線 LAN などを用いた専用機器と比較して安価である。

代表的な自己位置認識システムと蛍光灯通信システムの比較を表 1 に示す。

表 1 自己位置認識システムの比較

	RF-ID	無線 LAN	蛍光灯通信
位置精度	○	×	○
伝送範囲	○	○	○
電源完備	×	×	○
設置コスト	○	×	○
設置許可	不要	要	不要

2.2 蛍光灯通信方式の原理

蛍光灯の点灯方法は、輝度の安定性やエネルギー効率を向上させるために電子式安定器と呼ばれる装置を用いる方式が一般的である。

この場合、点灯周波数が同一であれば輝度は一定となることから、内部回路をソフトウェアで制御して点灯周波数を変更することにより輝度を調整することが可能となる。これが周波数調光制御の原理である。この動作周波数は、蛍光灯の発光効率や赤外線リモートコントローラとの相互干渉等を考慮して、一般的には 40 ~ 100 kHz の範囲で設定される。また蛍光灯は電子式安定器の動作周波数 1 周期当りに 2 回点滅するため、実際の光の点灯周波数は 2 倍の 80 ~ 200 kHz での点灯となる。

蛍光灯通信方式は、この調光機能を利用したものであり、図 1 にその原理を示す。ここでは送信用デジタル信号の 0, 1 に対し、二つの異なる点灯周波数を対応させて変調している。

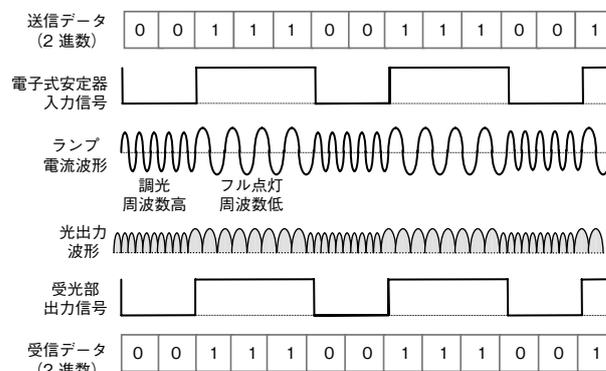


図 1 蛍光灯通信方式の原理

受信した蛍光灯の光を復調するためには、周波数変復調方式 (以下、FSK 方式と記す) と振幅変復調方式 (以下、ASK 方式と記す) の二通りが用いられ、可視光受信側で、FSK 方式に対応した復調回路または ASK 方式に対応した復調回路を用意すれば送信データの復調が可能となる。ただし ASK 方式の場合は、FSK 方式と比較して太陽光や他の照明機器などの周囲光の入射の影響により伝送範囲が狭くなるのが先行実験より明らかになっている。そこで、筆者らは、蛍光灯の光を復調する方式として、FSK 方式を採用する。

2.3 蛍光灯通信位置情報システムの課題

蛍光灯を用いた情報通信の試みはこれまで幾つか提案されている²⁾。しかし、蛍光灯通信方式は、原理そのものよりも実用化時点で発生する回路構成上の問題によりいまだ実現されていない。すなわち、情報伝送時の点灯バランスの変動によるちらつきの抑制と、情報発信源として蛍光灯を利用する場合における発信源そのもののコストアップの抑制が必須の課題である。

そこで、既存の照明機器内の点灯回路を基本から見直し、従来の回路構成にハードウェアの改良とソフトウェア制御を加えるのみで、蛍光灯照明器具本体のコスト上昇を極力抑えた情報発信方法を提案する。

また、視覚障害者が実際に歩行支援サービスを利用するためには、蛍光灯から発信される位置情報をもとに、建物内の目的地まで案内するナビゲーションのあり方、視覚障害者にとって使いやすい MMI (Man Machine Interface) を追究していく必要がある。具体的には、従来の平面 2 次元情報では不可能であった建物内の高さの概念の導入、建物内の曲り角や階段などミクロ的なナビゲーション方法の確立などによるアクセシビリティの向上が課題である。

そこで、この向上を目的に、高さの情報を加えた 3 次元ナビゲーションデータ構造および視覚障害者が安全・安心に感じるナビゲーションアルゴリズムを提案する。

3. 蛍光灯通信方式の開発

3.1 伝送性能

視覚障害者が廊下を歩行する際のナビゲーションを想定して蛍光灯設置天井高さ 3 m、受光端末高さ 1 m とすれば、伝送距離は 2 m となる。詳細を以下に示す。

- (1) 伝送距離：2 m 以上（器具直下において）
- (2) 伝送範囲：0.5 m 以上（伝送距離 2 m において）
- (3) 伝送速度：9.6 kbps

3.2 点灯信号変調方式

蛍光灯通信方式で送信するデータ伝送方式 (FSK 方式) において、点灯周波数切替時における輝度差がちらつき発生の要因となっているので、これを抑制する変調方式を提案する。これにより、先に述べた、情報発信型蛍光灯のコスト上昇も防ぐことが可能である。

対策方法は以下の 2 点である。

- (1) 点灯回路構成の改良（ハードウェア）
点灯周波数切替時における輝度差を極力小さくするため、LC 型インバータ回路の共振曲線のランプ出力の傾きが極力水平になる回路定数を設定する。
- (2) 最適な符号化方式の採用（ソフトウェア）
送信デジタル信号 0, 1 の出現率に依存せずに、つねに平均輝度を一定にする符号化方式として 4 値 PPM (Pulse Position Modulation) を採用し、4 スロットで 1

シンボル (2 bit) を構成している (図 2)。

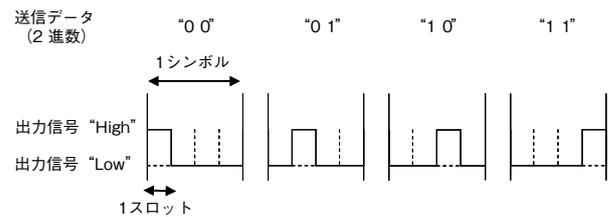


図2 送信データの符号化方式 (4値PPM)

3.3 受信光復調方式

蛍光灯通信方式において伝送距離を延し、かつ周囲光の影響を受けずに安定した受信をすることが重要である。

そこで、暗室環境下において、蛍光灯照明器具と受光部の距離を変えて受光端末の光電変換回路の出力波形を観測する。その結果、この出力電圧には蛍光灯通信信号の AC 成分 (デジタル信号 0 と 1 それぞれのサブキャリア周波数) のほかに、ノイズ成分である他の照明機器などの周囲光の DC 成分、蛍光灯通信信号の DC 成分 (点灯周波数切替時における蛍光灯輝度差) が重畳していることが明らかになった。また、デジタル信号が切り替わる過渡期において、応答時間差が生じていることも明らかになった。すなわち、蛍光灯の点灯周波数が移行する時間は、デジタル信号 0 から 1, 1 から 0 で異なる。

したがって課題解決のためには、ノイズ成分である周囲光の DC 成分と蛍光灯通信信号の DC 成分を極力除去し、蛍光灯通信信号の AC 成分のみを増幅して 2 値化すること、および蛍光灯特有の問題である応答時間差をソフトウェア処理で正常な 2 値信号に補正する工夫が必要である。対策方法については以下に詳述し、その機能ブロックを図 3 に示す。

- (1) 光電変換回路内の DC 成分除去回路で、周囲光の DC 成分と蛍光灯通信信号の DC 成分を除去する。
- (2) プリアンプで、光電変換回路の出力波形を波形が飽和しないレベルで増幅する。
- (3) BPF (バンドパスフィルタ回路) で、プリアンプ出力の蛍光灯通信信号の AC 成分のうちサブキャリア周波数帯域内の成分のみを通過させる。
- (4) メインアンプで、通過したサブキャリア周波数成分を増幅する。
- (5) コンパレータで、サブキャリア周波数成分をパルス波形に変換する。
- (6) 復調 CPU で、コンパレータ出力波形のパルス計数を行い、それぞれのサブキャリア周波数に割り当てられたデジタル信号 0 と 1 に変換して 2 値化する。
- (7) 制御 CPU で、発生した応答時間差に対し、サンプリング位置制御によりパルス幅を補正して正常な 2 値データに変換する。

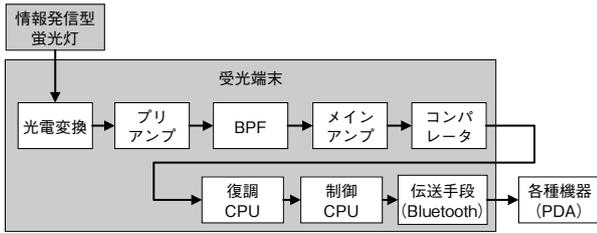


図3 機能ブロック (受信光復調方式)

3.4 伝送性能評価

開発した方式の評価条件を表2、評価の概要を図4、評価結果を図5に示す。この結果から、目標の伝送性能を満足していることがわかる。なお、パケット長24バイトの伝送を実現していることから、ユニークIDとしてユビキタスIDを付与することも可能である¹⁾。なお、ユビキタスIDは、「ユビキタスIDセンター」が提唱している固有IDである。

表2 評価条件

ランプ	FHF32EX-N-H
受光素子数	1個
受光素子半値角	10°
器具台数	1台
外光	なし
スロット長	0.104 s
bit 構造	4値PPM
パケット分割	なし
エラー処理	なし
ビット数	24 byte
送信回数	100回
データ送信方法	手動
Start Bit	1 bit (High 信号が1)
Stop Bit	7 bit (Low 信号が7)
通信速度	9600 bps

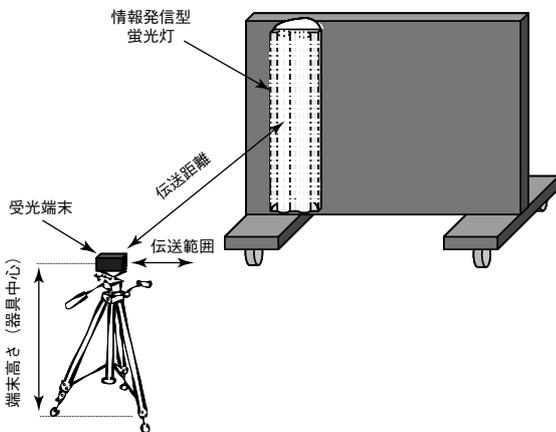


図4 評価方法の概要

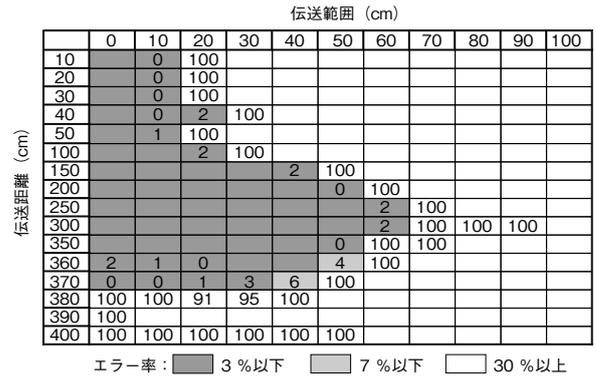


図5 評価結果

3.5 複眼受信方式

蛍光灯通信方式においては、情報発信型蛍光灯の設置条件にかかわらず、伝送範囲を拡大することが課題である。すなわち、情報発信型蛍光灯が密に設置されている環境下や、広角受光センサを単独で使用する場合には、受信側で一般蛍光灯の基本波と情報発信型蛍光灯の信号波が合成されるため、信号波のみを抽出して復調することは困難である。

そこで、複数の狭角受光センサをそれぞれの受光範囲が重ならないように配置し、それぞれが検出した信号波を並列に復調処理を行う複眼受信方式を採用している。図6にその機能ブロックを示す。

なお、複数のデータを同時に受信した際の処理は、アプリケーションの目的に応じて各種機器対応のソフトウェアで行う。たとえば位置精度が必要となるアプリケーションであれば、三辺測量の原理を応用してそれぞれ取得した位置座標と信号強度から推定される距離に基づいて複眼受光端末の位置を演算する処理を行う。一方、位置精度が問題とならないアプリケーションの場合であれば信号強度のもっとも大きいデータを採用する。

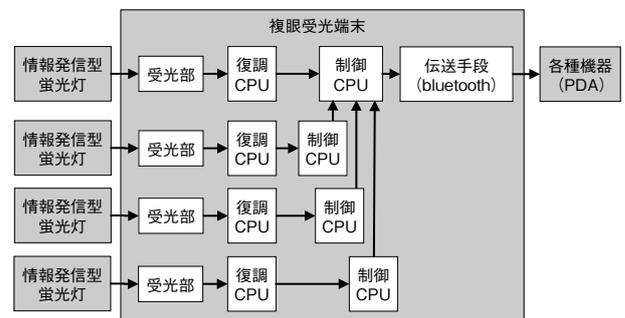


図6 機能ブロック (複眼受信方式)

4. 蛍光灯通信位置情報システム

4.1 視覚障害者の要求機能

先行実験の収集データ³⁾から、視覚障害者の要求機能を整理して表3に示す。

表3 視覚障害者の要求機能

優先順位	視覚障害者の要求機能
1	現在位置を簡単に知ることができる
2	目的地を簡単に設定できる
	目的地までの道案内情報を受信できる
3	進行方向にある段差などの危険情報を事前に知ることができる
4	屋内から屋外、屋外から屋内への移動時においてスムーズに受信できる
5	ハンズフリーで情報受信できる
6	向きに応じた道案内情報を受信できる (スタート地点を含む)

4.2 システム構成

前述の要求機能を実現するシステム構成について述べる。

開発するシステムは、情報発信型蛍光灯、受光端末、屋外 GPS 機能搭載携帯電話（以下、携帯電話と記す）、位置 ID 設定 PC で構成される。各情報発信型蛍光灯からは、位置 ID 設定 PC で設定された ID 情報が連続送信される。受光端末は、蛍光灯通信方式で復調された信号（以下、光信号と記す）を受信すると、無線手段の一種である Bluetooth 信号に変換して携帯電話に伝送する。携帯電話は、屋外 GPS 信号とこの Bluetooth 信号を受信する受信機能を有している。図 7 に、そのシステム構成を示す。

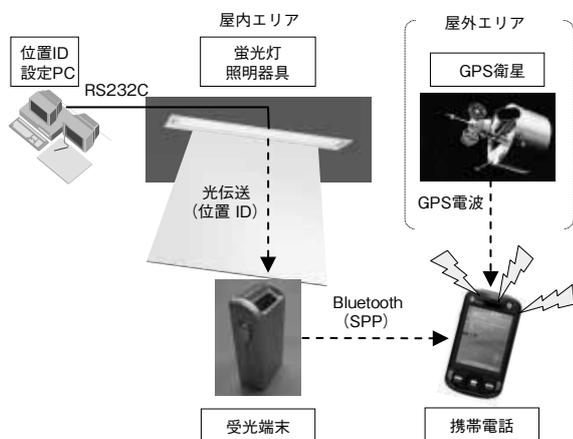


図7 システム構成

4.3 光伝送データ

屋外 GPS 信号のデータは標準化されており、緯度、経度、高度などで表現されるため、情報発信型蛍光灯の光信号のデータも同様に、緯度、経度、建物の階数で表現することが考えられる。

しかし、これらの情報を光信号で伝送すると、データ量が多いために伝送時間が長くなり、伝送信頼性が低くなる。とくに歩行状態では、静止状態と比較して伝送性能低下が顕著となる。

そこで筆者らは、情報発信型蛍光灯からは固有の ID のみを送信し、その ID をキーとして携帯電話のデータベー

スからその情報発信型蛍光灯の緯度、経度、建物の階数を取得する方法を提案する。なお携帯電話のデータベースは、携帯電話通信網などを介してアプリケーションサーバから取得する。

このように、情報発信型蛍光灯から固有 ID のみを送信する方法を用いることでデータ量を減らし、伝送に要する時間を短縮して伝送信頼性を高めることができる。また、アプリケーションごとにデータベースを最適化することが可能になり、レイアウト変更に対応するデータ更新も容易になる。

4.4 屋内外自動切替の判定法

歩行者ナビゲーションには、屋内案内モードと屋外案内モードの2種類がある。屋内案内モードは光信号の ID に応じてナビゲーションを行い、屋外案内モードは屋外 GPS 信号に応じてナビゲーションを行うモードである。

しかし屋内に居るにもかかわらず、光信号の ID を受信した後に屋外 GPS 信号を受信すると、画面に屋外の情報が誤って表示されてしまうことがある。

その対策として、携帯電話のデータベースに出入識別情報を追加する。これにより、出入口近傍の情報発信型蛍光灯から ID を受信すると、その ID をキーとして携帯電話のデータベースから出入口識別情報を取得する。屋内案内モードで出入口識別情報を認識した後に屋外 GPS 信号を受信した場合には、屋内案内モードから屋外案内モードに自動的に移行する。

このように、屋内外の移動の場合でも、正確な案内情報を取得することができる。

4.5 最短経路誘導法

目的地までの最短経路の誘導を行うため、情報発信型蛍光灯相互の接続による重み付き有向グラフを採用している。図 8 に重み付き有向グラフの例を示す。各階はエレベータにもっとも近い情報発信型蛍光灯でリンクさせ、各部屋の入口前に情報発信型蛍光灯が設置されていない場合には入口を表す仮想位置 ID を設ける。また、各情報発信型蛍光灯間の距離を枝の重みと定める。最短経路探索にはダイクストラアルゴリズムを活用し、ナビゲーションを開始した位置 ID を始点として経路を導出する。

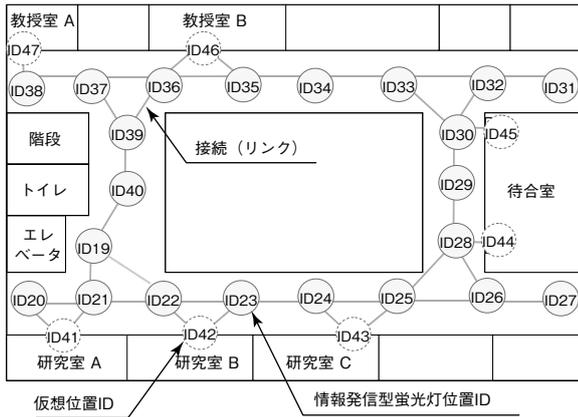


図8 重み付き有向グラフ

4.6 音声案内法

受信した位置 ID の履歴情報に基づき利用者の向きを判定し、この向きと目的地へのルート方向の成す角度から「××時の方向です」と音声案内する。目的地入口前に情報発信型蛍光灯が設置されている場合には、その位置 ID を受信した際に「目的地に到着しました」と音声案内する。一方、目的地入口前に設置されていない場合には、最寄りの情報発信型蛍光灯の位置 ID を受信した際に仮想位置 ID に接続する枝の重み（入口までの距離）を参照し、「約〇〇m 先、目的地入口です」と音声案内する。

また、利用者は視覚障害者であることから携帯電話の画面情報を把握することは困難であるため、携帯電話のジョグホイール機能を活用して障害者が選択した目的地を音声で読み上げる。

4.7 実用性の評価

視覚障害者による屋内外ナビゲーションの実用性評価を実施した。評価風景を図 9 に示す。表 3 に示した要求機能をすべて満足しており、視覚障害者の歩行支援に有効であることが示唆される。

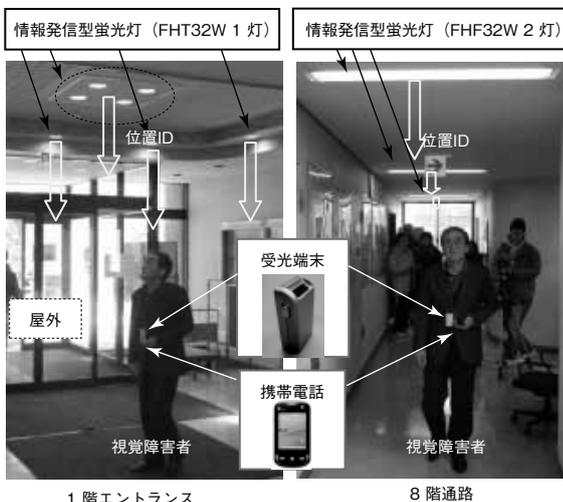


図9 評価風景

5. あとがき

蛍光灯による位置情報システムの開発において、蛍光灯照明器具の調光機能と 4 値 PPM による伝送信号の符号化により、送信デジタル信号 0 と 1 の出現率に依存せずにつねに照明器具の平均輝度を一定にすることで、照明器具としての基本性能を確保しながら情報伝送機能の付加を実現した。

さらに、視覚障害者専用の受光端末のインタフェースおよび音声ナビゲーションアルゴリズムを開発し、視覚障害者を対象とした位置認識および目的地への誘導性を評価することにより、実用化に向けた基本仕様を明らかにするとともに本システムは視覚障害者の歩行支援に有効であることを確認した。

本実験に協力いただいた視覚障害者の方々、および「NPO 法人障害者自立支援センター オアシス」の関係者には、深く感謝の意を表します。

なお、本研究の一部は総務省戦略的情報通信研究開発推進制度の補助を受けたものである。

●注

* 1) Bluetooth : Bluetooth SIG の登録商標

*参考文献

- 1) 別所 昌弘, 小林 真輔, 越塚 登, 坂村 健: ユビキタスコンピューティングと屋内環境の位置認識, 電子情報通信学会誌, Vol. 92, No. 4, p. 249-255 (2009)
- 2) 松坂 典広, 牧野 秀夫, 前田 義信, 石井 郁夫: 照明機器を用いた屋内位置案内方式, 第 18 回生体・生理工学シンポジウム論文集, p. 1-2 (2003)
- 3) 檜垣 宏行, 牧野 秀夫, 渡部 礼二, 鉄本 秀夫, 前田 義信, 石井 郁夫: 視覚障害者用音声位置案内システムにおける GPS 携帯電話・PDA の実験と評価, 日本生体医工学会 (ME), MBE2003-67, p. 61-66 (2003)

◆執筆者紹介



伏見 竜
照明 R & D センター



牧野 秀夫
新潟大学 工学部
工学博士



長添 和史
照明システム開発部