

## 蛍光灯通信における受光特性改善に関する基礎検討

○吉田 洋<sup>†</sup> 牧野 秀夫<sup>‡</sup> 劉 笑寒<sup>†</sup> 小林 卓<sup>†</sup>

<sup>†</sup>新潟大学大学院自然科学研究科 〒950-2181 新潟県新潟市西区五十嵐二の町 8050

<sup>‡</sup>新潟大学工学部情報工学科 〒950-2181 新潟県新潟市西区五十嵐二の町 8050

E-mail: <sup>†</sup>hiroshi@gis.ie.niigata-u.ac.jp, <sup>‡</sup>makino@ie.niigata-u.ac.jp

あらまし 本論文では蛍光灯通信を位置情報送信システムとして用いる場合における基礎検討を行う。はじめに通信範囲の計測実験を行う。仰角を 50 度から 90 度までの間で設定し、蛍光灯と垂直に交わるように設定した座標軸上でセンサを移動させ通信実験を行った。次に通信距離について計測実験を行う。蛍光灯近傍でのセンサ飽和の問題を解決するため、光学フィルタを用いた。結果として通信範囲が 90 度の場合±30cm, 50 度の場合では 50cm から 145cm となった。また、通信距離は光学フィルタを使用することで蛍光灯近傍での通信が可能となった。

キーワード 位置案内システム, 蛍光灯通信, 位置情報, 屋内位置案内, 受光特性

## Improved Reception Signals in a Fluorescent Light Communication System

Hiroshi YOSHIDA<sup>†</sup> Hideo MAKINO<sup>‡</sup> Xiaohan LIU<sup>†</sup> and Suguru KOBAYASHI<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Graduate School of Science and Technology, Niigata University

8050 Ikarashi-ninoty, Nishi-ku, Niigata-shi, Niigata, 950-2181 Japan

<sup>‡</sup> Department of Information Engineering, Faculty of Engineering, Niigata University

8050 Ikarashi-ninoty, Nishi-ku, Niigata-shi, Niigata, 950-2181 Japan

E-mail: <sup>†</sup>hiroshi@gis.ie.niigata-u.ac.jp, <sup>‡</sup>makino@ie.niigata-u.ac.jp

**Abstract** In this paper, we describe the basic characteristics of reception signals using fluorescent light, for indoor use. The first step, we measure the receiving range. The photo sensor is moved vertically to the fluorescent light axis with angle from 50 degrees to 90 degrees. To the Second step is to measure the available communication distance. Also, to avoid a near - field saturation of the photo sensor, we used an optical filter. As a result, the receiving range was from -30cm to 30cm when the angle of sensor is 90 degrees, and from 50cm to 145cm when the angle of the sensor is 50 degrees. Also, the communication distance was between 0.5m and 4m.

**Keyword** Location guidance system, Fluorescent lights communication, Location information, Indoor positional guidance, Reception signal characteristics

### 1. はじめに

近年、GPS 付き携帯電話やカーナビゲーションシステムの普及に伴い、位置・経路案内を行うサービスが広く普及し利用されている[1]。これらのサービス(以下、位置情報サービス)は絶対測位が可能である GPS(Global Positioning System)によって自己位置を特定し、利用者が設定した位置までの経路案内、もしくは自己位置周辺の案内を行う。一方で、屋内では衛星電波の取得が困難であるために GPS の精度が著しく低下する。よって、これらのサービスが利用できない。

そこで様々な技術を利用することで屋外と同様に屋内でも測位を行う手法が提案されている[2]。ここで筆者らは蛍光灯を用いた可視光通信(以下、蛍光灯通

信)による屋内測位方法を提案している。蛍光灯は一般照明として広く利用され、照度基準に準じて設置されている[3]。また、電源、設置場所の確保がすでになされている。これらの点から蛍光灯は位置情報を提供するプラットフォームとして十分な役割を果たすことができる。

さらに、可視光を用いれば、情報の出力を目視で確認できる。従って、情報の出力を容易に認識することが可能となる。また、壁等により空間が隔てられれば混在した通信が無いため通路と部屋等の識別を明確に行うことができる。これにより空間識別を確実に行うことができるため案内精度が向上する。

これまでに分散処理を用いた位置情報の管理方法

やデータベースの構築法，そして移動速度と取得可能な情報量について種々の研究が進められている[4][5][6]。また，これらの研究および本稿では筆者らが独自に作成したアナログ復号回路を用いた受信機(以下，単に受信機とする)を使用しているが，更に復号精度やフィルタリング機能の向上を目的としてデジタル復号の研究も進められている[7]。実験環境としては実際に新潟大学情報理工棟 8 階にテストベッドを用意し案内実験を行っている。

ここで蛍光灯通信を位置情報サービスに用いるためには天井までの高さや通路の幅などの環境条件に左右されず，正確に通信を行うことが条件となる。そこで本稿では蛍光灯通信における受信特性について述べる。具体的には通信範囲，通信距離，光学フィルタの影響，送信情報のビット構成に関して実験結果を述べる。

## 2. 蛍光灯通信システム構成

図 1 に対象とする蛍光灯通信のシステム構成を示す。

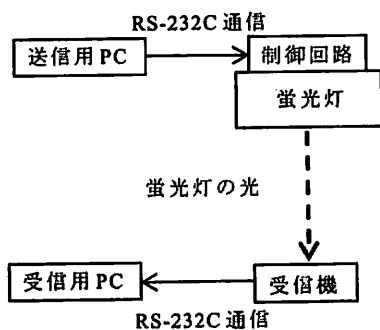


図 1 蛍光灯通信システム

送信用 PC から受信用 PC までの通信中で蛍光灯から受信機までの範囲が蛍光灯通信の範囲である。送信用 PC から蛍光灯までと受信機から受信用 PC の間については RS-232C 通信を用いて有線の通信としている。

また，暗室内で蛍光灯(松下電工株式会社 Hf 蛍光灯 FHF 32EX-N-H)を対象として通信範囲と通信距離の計測を行う[8]。

## 3. 実験方法

### 3.1. 通信範囲

受光可能範囲に関する実験を行う。図 2 にイメージ図を示す。

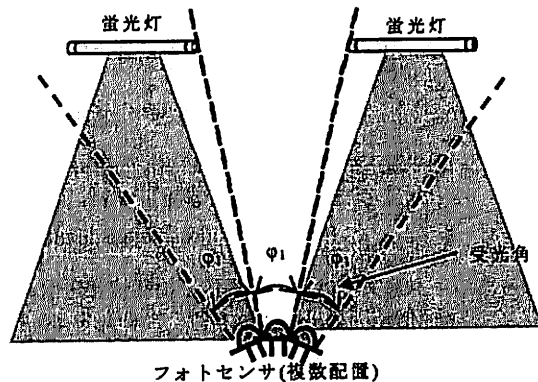


図 2 狭角センサ複数使用イメージ

あるひとつのセンサに対して複数の光源の光が照射された場合，正確に情報を取得することが困難となる。このため，可視光通信では光が混在する場合には正確な通信ができない。そこで広角のセンサを使用せずに狭角のセンサを複数使用することで通信範囲の拡大を図る。

この手法で通信範囲の拡大を目指す場合図 2 のようにセンサの設置角度を傾けた時，設置した仰角毎に通信に対して影響があるかどうかを考慮に入れる必要がある。そこで，センサの設置角度として設定する仰角を変数とした実験を行う。

#### 3.1.1. 仰角毎の通信範囲

受信機に用いているセンサはフォトトランジスタ(TOSHIBA 製 TPS601A)である[9]。この受光角は約±10度である。また，本稿では基礎検討として二灯式の蛍光灯を対象とした。

図 3 に示すように蛍光灯照明器具を設置した際の蛍光管の直線方向に対して垂直かつ照明器具の中心の直下を通るように座標軸を設ける。この時，実験に使用する照明器具は二灯式であるので器具の中心を原点とし各変数を設定する。センサを設置する仰角を  $\theta$ ，座標軸から蛍光灯までの高さを  $h$ ，また二灯式照明器具の中心と蛍光管との位置の差を  $a$  とする。各変数の設定イメージ図を図 3 に示す。

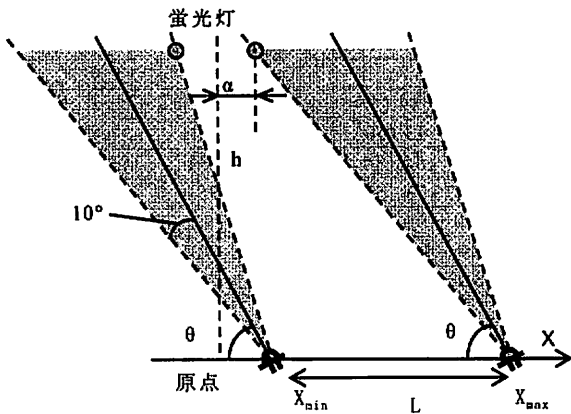


図 3 仰角を設定した場合の通信範囲

以上のように値を設定した場合、センサが蛍光灯からの光を受光できる位置を計算する。この時、蛍光灯はそれぞれ同じ情報を出力している。通信位置の最小値を  $X_{min}$ 、最大値を  $X_{max}$  とし通信可能である範囲(以下、通信範囲)を  $L$  とする。

ここで通信範囲の最小値  $X_{min}$ 、最大値  $X_{max}$  と通信範囲  $L$  を求める計算式は(1)、(2)式となる。

$$\begin{cases} X_{max} = \frac{h}{\tan(\theta - 10^\circ)} + a \\ X_{min} = \frac{h}{\tan(\theta + 10^\circ)} - a \end{cases} \quad (1)式$$

$$L = X_{max} - X_{min} \quad (2)式$$

以上より求めた値と実験により得た値を比較し、通信範囲を検証する。

### 3.1.2. 仰角毎の実験

実験では図3のように設定した座標上について受信機を5cm毎に移動しデータの受信を行い、通信が可能かどうかを検証する。通信するデータ内容は8ビットを1パケットとし、16進数で0x00~0xFFの256通りのパケットをそれぞれ100パケットずつ転送する。検証はビット単位でのエラー率(以下、ビットエラー率)を対象とし、本実験ではビットエラー率が1%以下である場合を通信可能とする。

この実験では照明器具の反射板の影響を調査するために反射板の有無についても同様の通信実験を行う。また、高さについては100cmで固定とした。

### 3.2. 通信距離

次に通信距離を測定する方法について説明する。

蛍光灯通信を用いて測位を行う場合、環境の影響として最も重要な点が通信距離である。建物、場所などさまざまな設置位置があるのでその場所ごとに応じて

受信機もしくはセンサを変更することは難しい。そこで同一の受信機を用いて、通信距離の変化に対する通信実験を行う。

実際に蛍光灯通信を位置情報サービスとして使用する場合、通信距離に関しては一般の建物の天井から利用者の高さが最も重要な距離である。建築物の天井の高さは、平均2.1m以上と定められている[10]が一般のビル等では2.5m~3.5m程度である。そこで利用者の身長やセンサの位置を考慮すると通信距離は1.5m~2.5m程度となる。

本稿では位置情報サービスに利用することを前提として研究を行っているが、他の利用法として利用者が取得したい情報がある場合、その情報を出力している光源に対してセンサをかざすことで受信する方法がある。そこで0.5m程度の近距離での通信も行えるようにセンサを設定する必要がある。

### 3.2.1. ユニットと光学フィルタ

実験対象とする蛍光灯およびユニットを図4に示す。

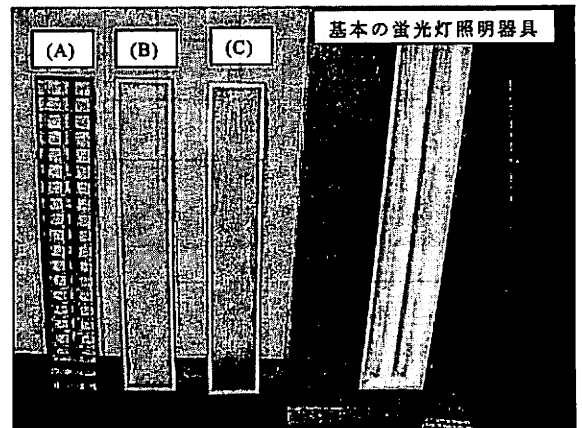


図 4 蛍光灯のユニットと蛍光灯照明器具

(A):ルーバー (B):パネル(乳白色) (C):パネル(乱反射)

図4中の一歩右が基本の蛍光灯照明器具である。そして、一番左の(A)がルーバー、左から二番目の(B)がパネル(乳白色)、左から三番目の(C)がパネル(乱反射)のユニットである。これらのユニットが使用されている蛍光灯は広く普及している。これらによる光の減衰等が通信に影響を与えることは十分に考えられるのでユニットを使用しないパターンを含めた計4通りについて実験を行う。

また、近距離では通信ができない場合があり、光の飽和に対する改善案として光学の可視光透過型のフィルタ(HOYA社製CAW-500、以下、単に光学フィルタとする)をセンサの前に設置する[11]。これにより可視光のみを透過させ、他の波長の光を遮断することで全体的な光の量を減少させ、センサの飽和を防ぐ。図5に使用した光学フィルタの特性、図6に使用した蛍光

灯の分光分布を示す。

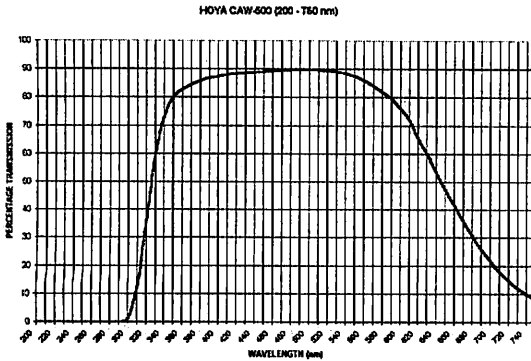


図 5 光学フィルタ特性表

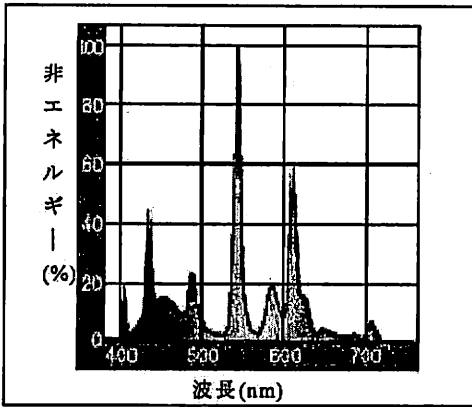


図 6 蛍光灯分光分布

### 3.2.2. 実験内容

対象蛍光灯の中心から垂直方向に 0.5m から 4.0m まで 0.5m 毎に通信実験を行うことで評価を行う。通信内容は実験 1 と同様に 8 ビットを 1 パケットとし、16 進数で 0x00~0xFF の 256 通りのパケットをそれぞれ 100 パケットずつとする。

以上の条件の実験を各ユニットを使用した場合において行う。さらに光学フィルタの有無についてもそれぞれに対して行う。

### 3.3. パケットのビット構成

上記の実験データを対象としてパケットの構成ビットに関して検証を行う。

具体的には本実験の通信で利用したパケットは 16 進数の 0x00~0xFF である。また、本通信実験では基本周波数が '1' ビット、信号周波数が '0' ビットに対応している。そこで、1 パケット中の '0' ビットの存在率がどれだけ通信に影響を与えるかを調査する。

## 4. 結果

### 4.1. 通信範囲計測結果

通信範囲の測定結果を表 1 に示す。

表 1 通信範囲実験結果

仰角 [度]	理論値[cm]	実測値[cm] 反射板あり	実測値[cm] 反射板なし
$\theta$	$X_{min} \sim X_{max}$	$X_{min} \sim X_{max}$	$X_{min} \sim X_{max}$
90	-24~24 (48)	-30~30 (60)	-25~25 (50)
80	-7~43 (50)	-10~50 (60)	-5~45 (50)
70	10~64 (54)	10~75 (65)	10~70 (60)
65	19~77 (58)	20~95 (75)	25~90 (65)
60	29~90 (61)	30~110 (80)	35~105 (70)
55	39~107 (68)	35~125 (90)	40~120 (80)
50	50~126 (76)	50~145 (95)	55~140 (85)

まずは反射板を使用した場合の理論値と実測値との比較を行うと、ほぼ同等または実測値の方が広い範囲となることがわかった。具体的には通信範囲に関して理論値と実測値の誤差は約 20~32%(10~22cm)となった。また、反射板を使用していない場合には理論値と比較した時の誤差は約 0~17%(0~12cm)となった。また、図 7, 8 に通信範囲を示す。

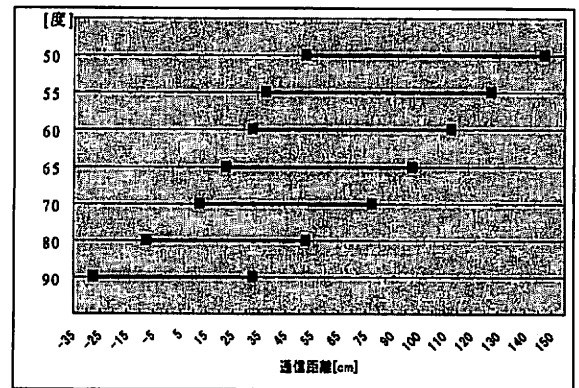


図 7 反射板使用時の仰角毎の通信範囲

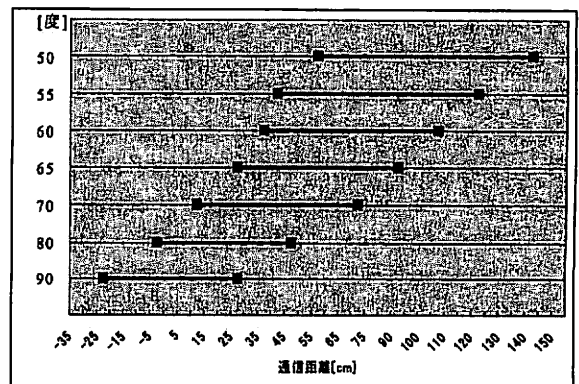


図 8 反射板未使用時の仰角毎の通信範囲

### 4.2. 通信距離計測結果

表 2, 3 に通信距離に関する実験結果を示す。

表 2 光学フィルタ未使用時のビットエラー数

	なし	ルーバー	乳白色	乱反射
0.5m	15627	6969	11512	16656
1.0m	197	76	20	283
1.5m	18	41	48	481
2.0m	6	13	24	45
2.5m	24	19	41	55
3.0m	55	20	50	44
3.5m	72	87	87	130
4.0m	190	191	141	202

表 3 光学フィルタ使用時のビットエラー数

	なし	ルーバー	乳白色	乱反射
0.5m	73	59	33	22
1.0m	16	13	31	31
1.5m	19	28	33	60
2.0m	14	26	30	43
2.5m	18	40	43	68
3.0m	52	37	27	92
3.5m	81	105	124	151
4.0m	213	188	186	130

表 2, 表 3 の 0.5m 地点の通信結果を比較すると明らかにビットエラー数が減少している。光の量を調節することで通信精度が向上した結果より、センサが飽和することによるエラーだったことが判明した。それと同時にセンサの飽和を防ぐことができた。

図 9 にユニットの影響を示す。尚、センサの飽和が改善されたものを対象のデータとした。

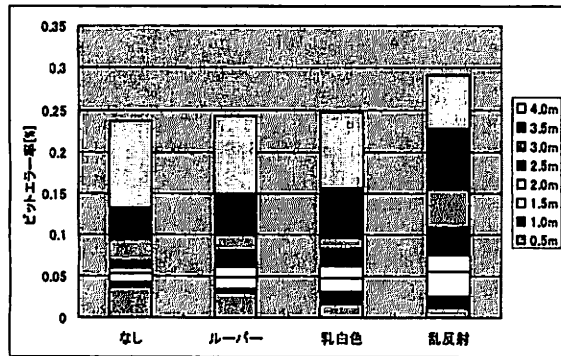


図 9 ユニットの影響

ユニットを使用していない場合でビットエラー率が最も低く、乱反射のパネルを使用した場合で最も高いという結果となった。

### 4.3. ビット構成別のビットエラー率

ここでビット構成によるエラーの影響について述べる。1 パケット中に '0' ビットが存在する数とビットエラー率との関係を図 10 に示す。このグラフは通信範囲の影響を調査した場合に得たデータを使用した。

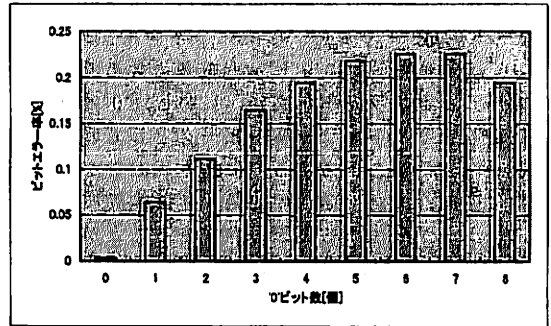


図 10 パケット構成別ビットエラー率

また、通信距離に関する計測を行ったデータでも同様の結果が得られた。

## 5. 考察

### 5.1. 通信範囲計測実験

通信範囲の計測を行った結果、反射板を使用した場合には理論値よりも大きい値を得た。誤差として最大で約 32%(22cm)となっている。そこで、この原因となる要素を検証する。

まず、単純な計測の際の手作業による誤差が挙げられる。結果から逆算すると高さ 3cm、仰角 2 度を誤差とした場合には理論値と実測結果がほぼ一致する。よって設定したパラメータが僅かに変化するだけで、結果に大きく影響があることがわかった。これは垂直距離に対して水平距離、つまり高さの変位に対して通信範囲の変位に大きい違いがあることに原因があると考える。

次に反射板を使用していない場合では理論値と比較すると通信範囲の誤差は最大で約 17%(12cm)以下である。よって、上記の結果と比較すると反射板の影響を考慮する必要があると考える。そこで、(1), (2) 式を導出ためのモデルを考えた場合、基本的に線光源と仮定し、反射板の影響を考慮していない点なども誤差の要因と考える。このことからモデル式に反射板の影響を考慮することでより良いモデル式ができると考える。

### 5.2. 通信距離計測実験

実験結果より光学フィルタを使用することで近距離での通信精度が改善された。具体的には最大約 8% のビットエラー率が約 0.01% に改善できた。また、光学フィルタの有無に関して長距離においても問題が生じることはなかった。

また、各ユニットによる影響は最大でも 0.1% 以下である。これより利用目的として位置情報サービスを考えるとユニットによる影響は少ないと判断できる。ここで単純に蛍光灯通信の精度を評価する場合であれば、ユニットなしが最もビットエラー率が低く、乱反射の

パネルを使用した場合が最も高い結果となった。

### 5.3. ビット構成

図 10 により明らかに '0' ビットを多く含んでいる場合の方がビットエラー率が高い。しかし、'0' ビット数が 6 個辺りをビットエラー率のピークとしている。このことから、情報を出力する際に基本周波数から信号周波数に変調、または信号周波数から基本周波数に戻す際にエラーが発生する要因が存在することがわかる。

この問題は受信機だけではなく送信部分の改善も必要であると考えられる。

### 5.4. 位置情報サービス

現在、位置情報サービスには様々な測位手法がある。例えば TOA(Time of Arrive)や電波強度を用いた測位や、特定位置に設置した装置から位置情報を取得する方法がある。前者は主に無線通信を利用した測位で利用されている方法であり、後者は IC タグを用いた測位で利用されている。

蛍光灯通信は後者の手法を用いている。そのため、各蛍光灯の近辺にいるということを正確に把握しなくてはならない。その際にどれだけの範囲で通信を行うことができるかということは非常に重要な情報となる。

### 6. まとめ

蛍光灯通信を利用した屋内位置案内システムの開発のために通信範囲、通信距離の計測実験を行った。

通信範囲については計測のための基本式を提案し、更に実測値と比較した。その際、測定誤差が最大で約 32%(22cm)であった。今後、反射板、蛍光灯本数を考慮し、モデル式を改善する予定である。

通信距離についての計測実験では近距離における通信が不安定になる問題の改善を試みた。その際、光学フィルタを使用し、光量を減少させる手法を用いた。その結果、センサの飽和を改善し正常に通信が行えるようになった。また、3 種のユニットを使用した場合の蛍光灯通信における影響を調査したが、計測における誤差はいずれの場合も 0.1% 以下となった。

送信パケットの検証により、送信の際に変調を行う際、または元の周波数に戻す際にエラーが生じる要因があることがわかった。

### 7. 今後の展望

蛍光灯通信を利用する環境では周囲光の影響など様々な場面を想定する必要がある。そのため、より正確なシミュレーションや測定実験を行う必要があると考える。また、複数のセンサを扱う際のそれぞれのセンサからの情報を個々に処理することで、高精度測位が可能と考えている。

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によるものである。

## 文 献

- [1] 森北肇, “図解これでわかった GPS(第2版)ユビキタス情報通信時代の位置情報”, 森北出版株式会社, 2005
- [2] 神谷泉, “測位技術の調査と IC タグ, UWB の測位への応用”, 国土地理院時報, vol.106, 2005
- [3] 社会法人照明学会普及部, “新・照明教室 光源”, 照明学会, 2004
- [4] 松坂典広他, “照明機器を用いた視覚障害者用屋内位置案内システム -受光特性の改善方法について-”, 電子情報通信学会技術研究報告 MBE2004-71, pp.17-20, 2004
- [5] Xiaohan Liu, Hideo Makino, Yoshinobu Maeda, “Preliminary Study of an Indoor Guidance System for the Visually Impaired using Fluorescent Light Communication”, ASGIS 2007, Chongqing Univ. of Posts and Telecom., China, April, 2007, pp 335-341
- [6] 吉田洋他, “蛍光灯通信における複数フォトセンサ設置方法に関する基礎研究”, 電気学会東京支部新潟支所研究発表会予稿集, pp.42, 2006
- [7] 小林卓他, “蛍光灯通信における受信波形特性を考慮した復号方式の研究”, 情報処理学会ユビキタスコンピューティングシステム研究会, 2009-UBI-12, pp101-108, 2006
- [8] 松下電工株式会社, “Hf 蛍光灯 データシート” <http://national.jp/product/conveni/lamp/pdf/087.pdf>
- [9] TOSHIBA, “TPS601A(F) データシート”, [http://www.semicon.toshiba.co.jp/docs/datasheet/ja/Opto/TPS601A\(F\)\\_ja\\_datasheet\\_070109.pdf](http://www.semicon.toshiba.co.jp/docs/datasheet/ja/Opto/TPS601A(F)_ja_datasheet_070109.pdf)
- [10] 建築基準法, <http://law.e-gov.go.jp/htmldata/S25/S25SE338.html>
- [11] HOYA CORPORATION, “HOYA COLOR FILTER GLASS”, E9304-1B010D, pp75-76
- [12] 春山真一郎, “ユビキタス可視光通信”, 電子情報通信学会, Vol.J86-A, No.12, pp.1284-1291, 2005
- [13] 中川正雄, “可視光通信”, 電子情報通信学会, Vol.J88-B, No.2, pp.351-359, 2006
- [14] 山崎浩, “省エネ照明用インバータ電源入門”, 日刊工業新聞社, 2004 年
- [15] オーム社, “照明工学”, 照明学会, 1997
- [16] 社会法人照明学会普及部, “新・照明教室 照明の基礎知識”, 照明学会, 2005

その他、蛍光灯通信に関して

- [1] Shin-ichi Nakada, Data transmission method by light, Syowa60- #32443, Patent application report in Japan, Application date: Aug. 3, 1983
- [2] Steven Leeb: Talking Lights, [http://www.talking-lights.com\(2001\)](http://www.talking-lights.com(2001)), US patent: #6198230, #6400482, #6426599, #6504633