

## 蛍光灯通信における蛍光灯配置の効率化に関する研究

○吉田 洋<sup>†</sup> 牧野 秀夫<sup>†</sup> 富口 真行<sup>†</sup> 伏見 竜<sup>‡</sup> 長添 和史<sup>‡</sup>

<sup>†</sup>新潟大学大学院自然科学研究科

<sup>‡</sup>パナソニック電気株式会社

**あらまし** 屋外における位置測位手法としては広く GPS が用いられ、様々な場面で有益な情報を提供するツールとして活用されている。一方、屋内における位置測位手法については研究段階であり、未だ有効な手法が確立されていない。そこで、著者らは既設装置である照明器具に着目し、蛍光灯を用いた屋内位置情報システムの研究を進めている。本稿ではいわゆる蛍光灯通信における通信領域拡大を目的とした蛍光灯配置に関する研究について述べる。ここでは、重心ボロノイ分割を用いた蛍光灯配置方式を考案し、新たに通信領域シミュレーションを実施した。その結果、従来の設置位置と比較し案内対象となる通信領域が 16.2% 拡大可能であることが示唆された。

## Increased Indoor Data Reception Areas through an Improved Arrangement of Fluorescent Light using Voronoi Diagrams

Hiroshi YOSHIDA<sup>†</sup> Hideo MAKINO<sup>†</sup> Masayuki TOMIGUCHI<sup>†</sup> Shigemi FUSHIMI<sup>‡</sup>  
and Kazufumi NAGAZOE<sup>‡</sup>

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

<sup>‡</sup> Panasonic Electric Works Co., Ltd.

**Abstract** Global Positioning System (GPS) provide useful outdoor positional information. However, GPS is not effective indoors. This is the problem that should be overcome. We propose the use of existing Fluorescent Light (F.L) to develop a new F.L communication system, one that will increase the area of data reception. To enable this improvement in data reception area we arrange the F.Ls according to centers of gravity determined by related Voronoi Diagrams. From here, we undertake a new simulation and an evaluation of results suggests that we can obtain a 16.2% increase in the area from which data receive overall.

### 1. はじめに

近年、カーナビゲーションシステムや携帯電話によるナビアプリケーションなど位置情報を基にした様々なサービスが提供されている。従来、こうしたサービスは経路案内を中心に実施されていたが、最近では周辺情報の提供も同時に行なわれている。これらのシステムは主に Global Positioning System (GPS) を用いてユーザの位置を特定し、目的地までの経路、近隣情報の案内を行う方式である。こうしたサービスは、利用者に対し安価に有益な位置情報を提供することから広く普及している。

一方、建物内や地下街といった衛星電波が遮断される地域（以下、屋内と総称する）では GPS の測位精度が著しく低下するため、前述のサービスを提供することができない。しかし、こうしたサービスは高層ビルや複雑な地下街においても有用である。さらに、視覚障がい者にとっても、

屋外・屋内双方の案内情報が得られることは安全性の面からも不可欠である。

以上のような背景の下、屋内においてもさまざまな手法により位置情報を取得するシステムの研究がなされている[1]。現在、屋内位置測位の手法として超音波を用いた Cricket[2]や ActiveBat[3]、無線 LAN を用いた Ekahau[4] や Multilateration[5]、RFID などのタグ情報を用いた田中らなどの手法[6]など様々な研究がなされている。また、測位のみにとらわれず、経路案内におけるデバイスについてシームレスな経路制御手法についても研究が行われている[7]。

我々は屋内における既設の照明器具に着目し、蛍光灯を利用した可視光通信（以下、蛍光灯通信とする）を用いた位置情報提供システムの研究を行っている[8]。屋内では一般的に照明器具が設置されているため、位置情報提供システムのプラットフォーム構築において専用の電源や設置

箇所の確保を新たに行なう必要はない。一方、位置推定方式は受信情報を基に自己位置を情報送信装置位置に近似する方式と、送受信機双方の幾何学的な特性より算出する方式に分類できるが、本システムは前者の方式となり、蛍光灯位置に自己位置を近似する。さらに、可視光通信では壁やドアによって空間が隔てられることにより光が遮断され、混ざった通信が発生しないため空間識別を明確に行なうことができる。これまでに基礎的な研究として、蛍光灯通信における復号方式[9]や蛍光灯通信を用いた案内方式[10]の研究がなされている。

本稿では蛍光灯通信を用いた屋内位置情報提供システムの性能向上のため、蛍光灯配置と通信領域の關係に着目し、より通信効率の高い蛍光灯配置方式を検討する。

## 2. 蛍光灯通信

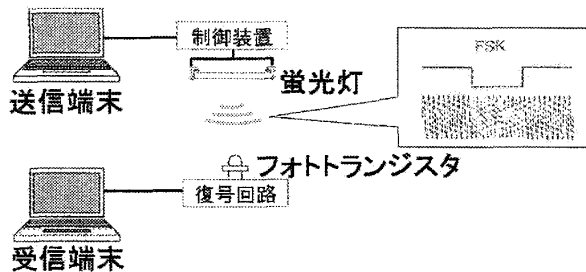


図1 蛍光灯通信

蛍光灯通信は蛍光灯の点灯周波数を変調させることにより情報を送信する。受信部ではフォトランジスタを用いて受光し、復号を行なう。

蛍光灯の本来の目的は照明であるため、日本工業規格 (JIS) [11]によって設定された照度基準が満たされるように蛍光灯が設置されている。表1にその例を示す。

表1 照度基準(一部抜粋)

対象施設	対象区域	照度 lx
学校	廊下	300 ~ 75
	非常階段	75 ~ 30
病院	廊下	300 ~ 150
	待合室	300 ~ 150
	非常階段	75 ~ 30
地下街	商店街	
	繁華	1000 ~ 300
	一般	500 ~ 150
	連絡通路	
	交通量大	500 ~ 150
	一般	200 ~ 50
事務所	玄関ホール (昼間)	1500 ~ 750
	廊下	200 ~ 100
	非常階段	75 ~ 30

以上を考慮し、蛍光灯配置を行なうために以下の点に注意をする。

- ・ 蛍光灯通信を行なうには蛍光灯からの光を直接受信器で受光する必要がある。
- ・ 本来の照明機能を損なわないように照度を考慮する。

蛍光灯通信において効率の良い蛍光灯配置手法を提案するにあたり、通信領域の拡大効果を調べる必要がある。しかし、実際に施工されている建物に対して蛍光灯の位置を変更することは困難であるため、蛍光灯通信のモデルを作成し、シミュレーションを用いて蛍光灯配置の効果を実験により確認する。

## 3. モデル作成

### 3.1. 蛍光灯位置

対象建物を新潟大学情報理工棟とし、照明に関するモデルを作成する。蛍光灯位置の基盤データとして、建築時に用いられる照明設備平面図 (以下、単に平面図とする) を用いる。簡略化のため平面図に記載されている情報のうち、主に蛍光灯と壁の情報に絞って廊下、部屋を識別できるモデル基盤を作成する。

### 3.2. 受信部

通信領域に関しては、受光角が±10度であるフォトランジスタ (TOSHIBA 製 TPS601A) [12]を想定する。また、マルチチャンネル型の受信機を想定し、得られる受光範囲を図2右の様に円形に仮定する。

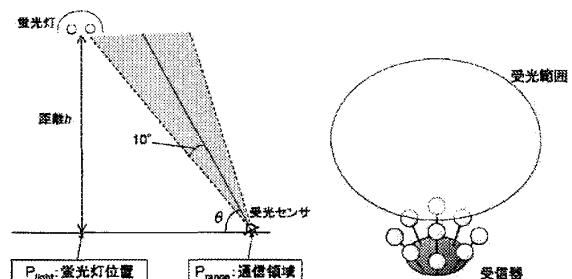


図2 受光センサと通信範囲算出

### 3.3. 通信領域

蛍光灯位置を  $P_{light}$ 、通信可能位置を  $P_{range}$ 、センサから蛍光灯までの高さを  $h$  (以下、単に距離  $h$  とする) とし、下記ステップによって蛍光灯に対する通信領域モデルを作成する。

- (i). 点光源による通信領域

点光源が (1) 式にて与えられる場合、得られる通信領域は図3左の通信領域となり、(2)式にて求められる。

$$\begin{cases} P_{light} = (x_{light}, y_{light}) \\ P_{range} = (x_{range}, y_{range}) \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} & (x_{range} - x_{light})^2 + (y_{range} - y_{light})^2 \\ & = \left\{ \frac{h}{\tan(\theta - 10^\circ)} \right\}^2 \end{aligned} \quad (2)$$

## (ii). 線光源への拡張

本モデル作成では直管型蛍光灯を線光源と仮定した。

(i)と同様に、光源より得られる通信領域は光源を直線とみなした(2)式にて表される。その様子を図3右に示す。

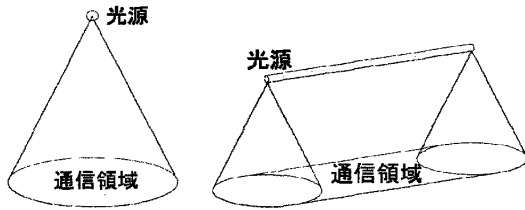


図3 点光源から線光源への拡張

## (iii). 2灯式への拡張

線光源を2つ並べた様子となる。(ii)と同様に光源により得られる通信領域は(2)式にて表される。図4上が表す領域が通信領域となる。

## (iv). 反射板の影響

一般に蛍光灯照明器具には背面に反射板が設置されており均等に光が照射されるように設計されている。そこで、2灯式蛍光灯を面光源、光源の周囲には反射板の影響が一様に分布すると仮定し、図4下のように通信領域が設けられることとする。この通信領域は(3)式にて表される。

$$\begin{aligned} & (x_{range} - x_{light})^2 + (y_{range} - y_{light})^2 \\ & = \left\{ \frac{h}{\tan(\theta - 10^\circ)} + \alpha \right\}^2 \end{aligned} \quad (3)$$

$\alpha$  : 反射板による影響

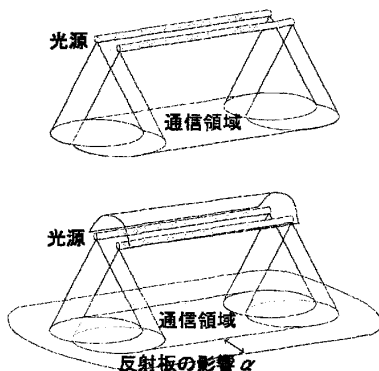


図4 2灯式、反射板の拡張

### 3.4. 照度算出

$E$ を照度[lx],  $I$ を光度[cd],  $r$ を距離[m]とすると、照度

算出は(4)式で表される[13].

$$E = \frac{I}{r^2} \quad (4)$$

この式を基に製品仕様[14][15]から対応した光度を求め、照度の算出を行なう。また、この算出の際に保守率  $M$ 、器具効率  $\eta$ 、照明率  $U$ の3つの要素を追加する。それぞれ、保守率は蛍光灯の劣化、器具効率は光源からの光束を照明として利用できる割合、照明率は部屋の反射率を表す。これらの値も照度算出を行なう際に加え、(5)式により照度を算出することとする。

$$E = \frac{IMU\eta}{r^2} \quad (5)$$

ここでは、 $M=0.7$ ,  $\eta=0.82$ ,  $U=0.77$  とする。

### 3.5. 評価方法

モデル化による蛍光灯配置結果の推定を行なうためには、まずモデル自体の評価を行なう必要がある。そこで、対象とする建物内において現在の蛍光灯位置と通信領域を測定する。次に、その結果と作成したモデルを用いたシミュレーションの結果を比較する。国土地理院では屋内測位に関し測位誤差10cm以内を目標としているため、今回はその値を目標値とする[16].

照度についても同環境で実測とシミュレーションを行い、比較する。また、屋内における最低照度として用いられる値の30 lxを許容誤差とする。

## 4. 蛍光灯配置アルゴリズム

蛍光灯配置決定アルゴリズムとして重心ボロノイ分割を用いる。以下にその具体的方法について述べる。

### 4.1. 重心ボロノイ分割

ボロノイ分割はある領域に対して複数の母点が存在するときその母点によって領域を分割する手法である。領域内の任意の点がどの母点に近いかによって分割される。一方、重心ボロノイ分割とはボロノイ分割の応用アルゴリズムである。

ボロノイ分割された領域(以下、ボロノイ領域とする)の重心を求め、その点を新たな母点とする。この母点を基に再びボロノイ分割を行なう。以上を繰り返す、母点と重心がある閾値以内に収まった場合に得られる領域が重心ボロノイ分割領域となる。

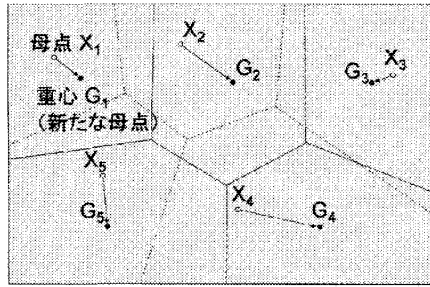


図 5 重心ボロノイ分割の例

## 4.2. 蛍光灯配置への応用

蛍光灯の中心を母点とし、重心ボロノイ分割を行なう。蛍光灯通信に適用する際の問題点と解決方法を述べる。

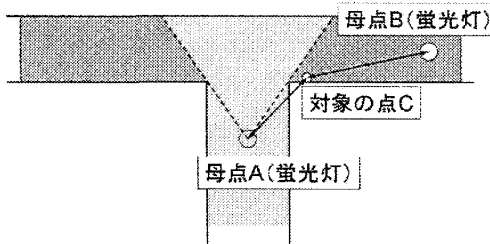


図 6 ボロノイ領域の問題

図 6において対象の点Cは母点A, Bと比較した場合、母点Aに近い。しかし、蛍光灯通信は直接光が届かない場所では通信ができないため、ボロノイ分割を行なった場合、母点Aと通信できない点もボロノイ領域として含むこととなる。そこで、ボロノイ領域に含む点と母点とを結ぶ線分上に障害物が存在する場合はボロノイ領域としないように変更を加える。

以上のように重心ボロノイ分割を行ない、蛍光灯を再配置する。

## 5. 実験

### 5.1. 蛍光灯通信シミュレーション

実際の建物における測定値とシミュレーションによって得られる蛍光灯位置、通信領域をそれぞれ比較する。

実測については実際にメジャーを用いて蛍光灯位置と通信領域を測定する。また、シミュレーションについては作成したモデルの座標により算出する。

シミュレーションについては反射板の影響を考慮するため、事前に蛍光灯単体での通信領域計測を行う。その結果を基に反射板の影響を考慮したシミュレーション式を作成する。

### 5.2. 照度シミュレーション

まず最初に、単体実験として暗室において蛍光灯中心から鉛直方向に距離  $h$  をパラメータとして照度を測定する。次にモデルを作成した同一の環境において実際の値を測定する。また、測定には受光部分離型デジタル照度計 T-10

(コニカミノルタセンシング(株)社製) [17]を用いる。

以上により得られた実測値と照度算出シミュレーションの比較を行なう。また、蛍光灯配置変更後においても照度基準を満たしているか確認する。

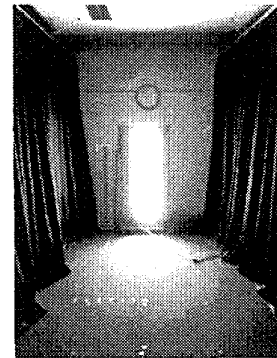


図 7 暗室における照度計測

### 5.3. 重心ボロノイ分割

4.で述べたアルゴリズムを適用し、シミュレーションにより新たな蛍光灯配置を考案する。

蛍光灯を用いた位置情報提供による経路案内は主に視覚障がい者を対象とした歩行支援システムという位置付けとし、研究が行われている。以前に障がい者から『どこで曲がればよいのか』などの交差点での情報が重要である』という意見がでた。そこで、本研究では対象を屋内の交差点とし、屋内案内領域に対する蛍光灯通信領域の割合を評価対象とする。具体的領域として屋内交差点の前後 1m 以内を対象とする。

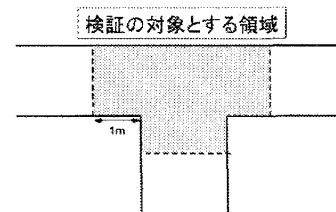


図 8 検証の対象領域

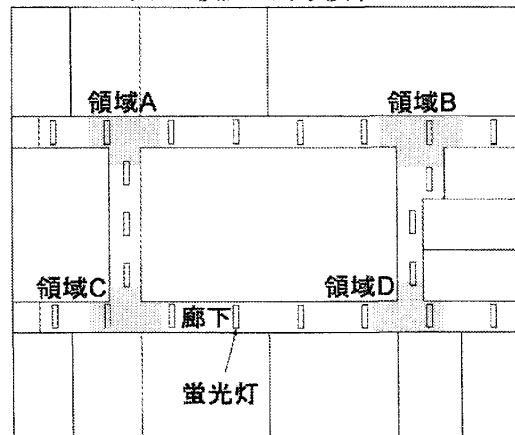


図 9 対象とする4つの領域

対象領域を領域A~Dとして、それぞれ従来の通信領域と提案する通信領域を比較する。

## 6. 結果

### 6.1. 通信領域シミュレーション

蛍光灯位置, 通信領域に関する実測値とシミュレーション結果 (以下, SR とする) について比較する.

#### 6.1.1. 単一蛍光灯の通信領域

反射板の影響を調査するため, 反射板の影響  $\alpha$  を 0 とし, 蛍光灯単体に対して通信距離の算出を行なった SR と実測値との誤差を表 2 に示す. 表 2 中の通信距離は蛍光灯直下からの通信距離を表す. また, マルチチャンネル型の受信器を構成するセンサの角度  $\theta$  は 60 度とした.

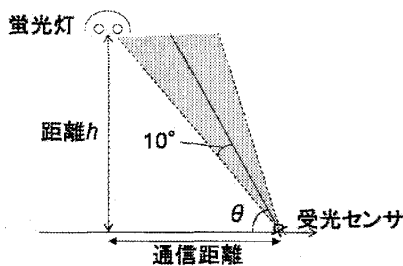


図 10 通信距離

表 2 単体評価 [cm]

		距離 $h$			
		120	130	140	150
通信距離	実測値	114	120	128	137
	SR	101	109	117	126
	誤差	-13	-11	-11	-11

単体評価における実験では, シミュレーション値が実測値よりも平均で 11.5cm 小さい値となった.

#### 6.1.2. 実環境の通信領域

シミュレーションにより求めた蛍光灯の位置, 通信領域を出力した画像を図 11 に示す.

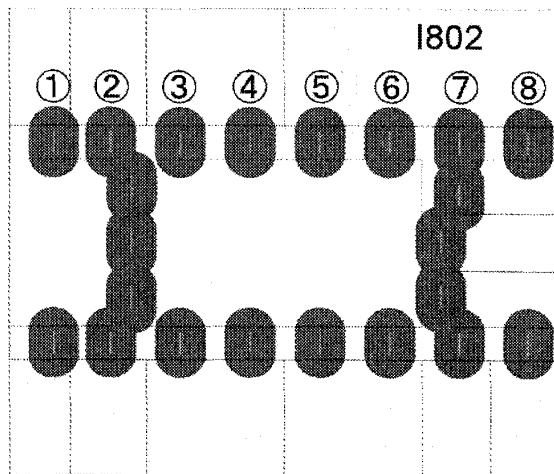


図 11 通信領域シミュレーションの例

結果の位置を比較するために図 11 の左上を原点とす

る  $xy$  座標系を設けることとする. 以下, その座標系に基づいて位置を比較する.

出力画像から蛍光灯, または通信領域の座標を求めた. また, 原点が画像中の左上となるため, 蛍光灯の位置を絶対値で実測することが難しい. そこで, 実測値については平面図に記載されているドアやパイプスペースなどの情報を基に相対位置を測定することで蛍光灯の座標を測定した.

ここで, 蛍光灯①~⑧について  $x$  座標を比較した結果を示す. また, 座標系は 1cm 単位で作成した.

表 3 蛍光灯位置比較

蛍光灯番号	①	②	③	④
実測値	220	517	884	1260
SR	230	530	895	1260
誤差(絶対値) [cm]	10	13	11	0

蛍光灯番号	⑤	⑥	⑦	⑧
実測値	1613	1978	2348	2720
SR	1625	1990	2355	2720
誤差(絶対値) [cm]	12	12	7	0

実測値, SR の誤差を算出した. 誤差は最小で 0cm, 最大で 13cm となった. また, シミュレーションの蛍光灯位置を実測した値に置き換え, 次の実験を行なった.

図 11 の一部を抜き出した図を図 12 に示す. 通信領域の比較を行なうため, 図 12 の点 a~e の 5 箇所について通信可能であるかどうかを調査した.

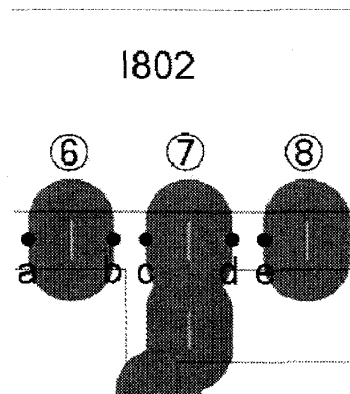


図 12 通信領域調査点

上記 5 点について距離  $h$  を 150cm と固定し測定を行なった. また, 単体実験の結果より反射板の影響  $\alpha$  を 12cm としシミュレーションを行い, 実測値と比較した.

表 4 通信領域比較

測定点	a	b	c	d	e
実測値	1845	2140	2220	2503	2580
SR	1854	2140	2219	2505	2583
誤差 [cm]	9	0	1	2	3

実測値とシミュレーションとの誤差は最大で 9cm であった.

## 6.2. 照度シミュレーション

### 6.2.1. 単一蛍光灯の照度

蛍光灯から鉛直下方に測定した値とシミュレーションによって算出した値との比較結果を表 5 に示す。

表 5 照度計測比較結果 (単体)

高さ[cm]	150	200	250	300	400	500
実測[lx]	1062	656	423	310	184	123
SR[lx]	1095	617	395	274	155	99
誤差[lx]	-33	39	28	36	29	24
誤差[%]	-3.2	6.1	6.8	11.6	16.3	19.8

距離  $h$  が 200cm において誤差が最も大きく、許容誤差 30 lx 以内の計測点は 3 点であった。しかし、どの点も誤差 30 lx 前後であることが確認できる。また、実測値に対する割合では距離  $h$  が増加するにつれ誤差も増加する結果となった。

### 6.2.2. 実環境の照度

モデルを作成した同一の環境において測定を行い、シミュレーションによって求めた値と実測によって求めた値とを比較した。計測箇所は対称性を考慮して図 13 に示す 119 点とした。

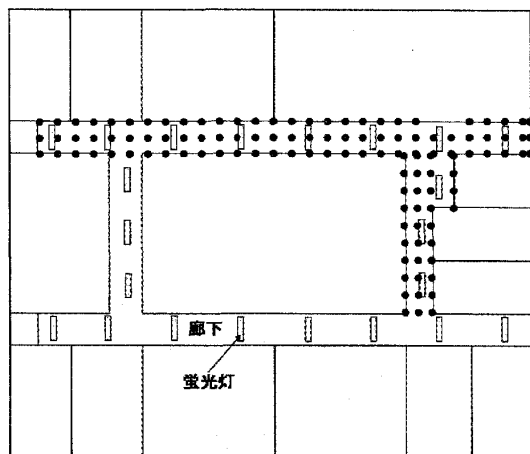


図 13 照度計測点

測定点の総数、照度誤差を以下に示す。

表 6 照度計測誤差

照度誤差[lx]	計測数	
0~30	54	45%
30~50	19	16%
50~100	40	34%
100~	6	5%
計	119	100%

約 45% の箇所では誤差が 30 lx 以下となった。

図 14 に図 13 の一部を抜き出し、計測点毎に照度誤差の大きさを色で表した図を示す。この図は色が濃いほど照

度誤差が大きくなることを表している。

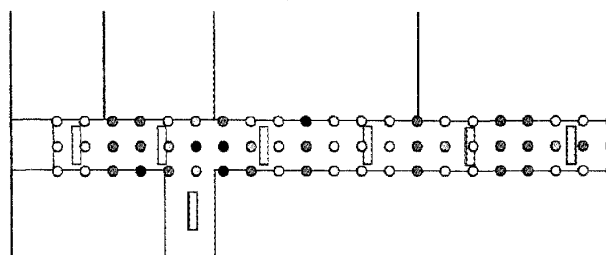


図 14 計測点毎の照度誤差

図 14 を見ると蛍光灯単体のみが影響を及ぼす点では照度誤差が小さく、複数の蛍光灯が影響を及ぼす点では照度誤差が大きくなっていることがわかる。

### 6.3. 重心ボロノイ分割

従来通りの蛍光灯配置と本研究により提案される重心ボロノイ分割を用いた蛍光灯配置を示す。

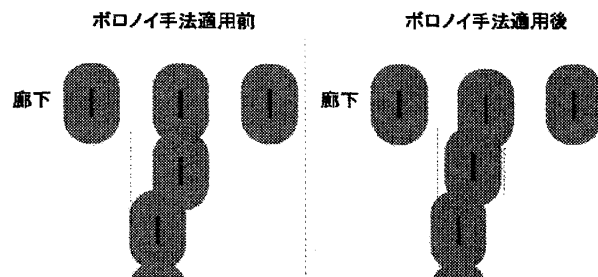


図 15 蛍光灯配置の違い

重心ボロノイ分割によって再配置を行なった場合に最も効果が現れた領域 B を抜き出した結果が図 15 である。図 15 のそれぞれに 5 つの領域が確認できる。中心に位置する蛍光灯が廊下に対して広く重複するように移っていることが確認できる。

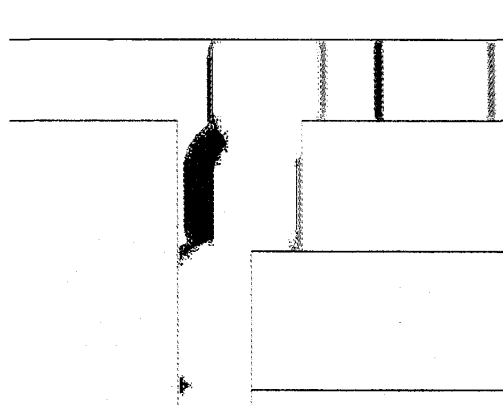


図 16 通信領域の差分

従来の通信領域と提案する方式により再配置した通信領域とを比較した結果を図 16 に示す。色が濃い領域が増加領域、色が薄い領域が減少領域となる。中心に大きく増加領域が確認できる。

また、これらの領域の増減の結果を領域 A~D 毎に距離  $h$  をパラメータとし、図 17 にグラフを示す。

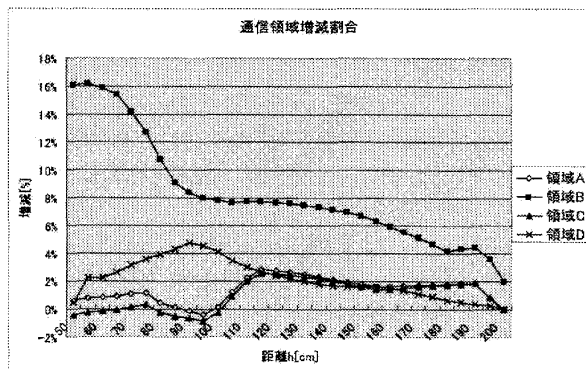


図 17 通信領域増減

距離  $h$  が 100cm 以上においては A~D の全ての領域において通信領域の増加が確認できる。また、最大で従来の通信領域に対して 16.2% の増加を確認した。

また、蛍光灯配置変更後における照度算出を行なったところ、全ての点で照度基準を満足した。

## 7. 考察

### 7.1. 通信領域算出式

単体実験の結果から実環境における実験の際の反射板の影響  $\alpha$  を 12cm と設定した。この値を変化させると測定点 a~e までの位置誤差は表 7 のようになる。

表 7 反射板の影響 単位[cm]

$\alpha$	a	b	c	d	e	平均
6	15	6	5	3	10	7.8
8	13	4	3	1	8	5.8
10	11	2	1	1	5	4
12	9	0	1	2	3	3
14	7	2	3	5	2	3.8
16	4	4	5	6	0	3.8
18	2	6	7	9	2	5.2

この結果から単体実験における反射板の影響の調査が最も実環境に近かったことが分かる。

今回は通信領域を算出する際における反射板の影響が未知数であったため、単体の実測実験によって求めた。通信を加味した蛍光灯照明器具においては、あらかじめ照度分布等の照明情報と共に蛍光灯通信範囲の設計が望ましいと考えられる。

### 7.2. 照度シミュレーション

一般に公開されている蛍光灯照明器具によって得られる照度が具体的な値の場合（以下、パターン 1 とする）とグラフの場合（以下、パターン 2 とする）がある。パターン 1 の場合はシミュレーションと実測との誤差が蛍光灯の個体誤差もしくは環境の影響とみなすことができる。

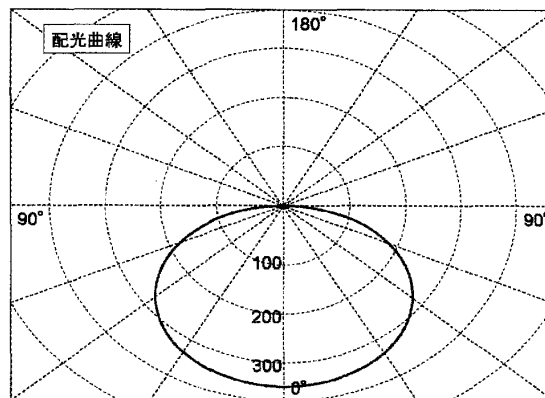


図 18 配光曲線例

一方、パターン 2 の場合は図 18 に示すようなグラフを読み取り、シミュレーションを行なう必要がある。この場合、モデル作成時において誤差が生じやすくなる。

#### 7.2.1. 単一蛍光灯の照度

単一蛍光灯の照度計測は暗室で行なった。この場合の実測値と SR の照度誤差は絶対値で 24 lx~39 lx であった。表 5 の実測値に対する割合で見ると照度誤差は距離が大きくなるにつれて相対的に大きくなった。この要因は反射板の形状による影響を含めて検討課題と考えられる。

また、実測値と SR を比較すると 150cm においてのみ実測値より SR の方が大きい値となった。これについては単体実験ではパターン 2 の照度算出方法であることに加え、照度が距離の二乗に反比例することによって誤差が生じたのではないかと考えられる。

#### 7.2.2. 実環境の照度

実環境に設置されている蛍光灯照明器具はパターン 1 によって照度を算出した。照度誤差の要因としては個体差や使用期間による劣化も考えられるが、図 14 を見ると複数の蛍光灯によって得られる照度の重ね合わせや、反射による影響を詳細に考慮する必要がある。

本実験におけるモデル作成では、壁の反射は全ての壁で一律に考え照度算出式を導出している。今後、壁材の性質等を考慮したモデルにおいて照度算出精度に対する影響度を調査したいと考えている。

今回は、シミュレーションにより蛍光灯配置を変更した後の照度を算出した。その結果、全ての点において最低照度は 30lx 以上となり蛍光灯配置変更による照度低下の問題は解決できるものと推定される。

### 7.3. 重心ボロノイ分割

シミュレーション結果より、作成したモデルが蛍光灯位置、通信領域については実環境との位置誤差が 10cm 以内であると推定できる。

本実験において重心ボロノイ分割を用いた蛍光灯の配置アルゴリズムによって、距離  $h$  が 50cm~200cm の場合

において通信領域が従来と比較すると最大で 16.2%増加した。

ごく一部の条件においては通信領域が減少する結果となった。通常のボロノイ分割では凸領域となるが、本実験における対象が建築物となるため凹領域となる場合がある。これにより一部において通信領域の減少がみられたのではないかと考えられる。

## 8. まとめ

蛍光灯通信において蛍光灯配置と通信領域に着目し、重心ボロノイ分割を用いた蛍光灯配置方式を提案した。また、その効果に関しシミュレーションにより確認した。

まず、照度に関するシミュレーションでは全体の計測点に対し 45%の箇所では照度誤差を 30 lx 以下に抑えることができた。また、通信領域のシミュレーションに関しては位置誤差が平均 3cm となる結果が得られた。よって、目標とした誤差 10cm 以内の蛍光灯通信シミュレーションを達成できた。

次に、このモデルを重心ボロノイ分割を用いたアルゴリズムに適用し蛍光灯再配置を行なった。その結果、蛍光灯通信の通信領域が最大 16.2%増加する可能性のあることを確認した。従って、作成した照度算出シミュレーション方式を用いることで蛍光灯再配置による著しい照度低下を防ぎつつ、照度基準を満足する通信が可能と推定できる。

今後の課題としてはシミュレーションにより得られた重心ボロノイ分割を用いた蛍光灯配置の実測による通信領域の確認や照度算出精度向上を目的としたモデル構築の際に必要なパラメータの設定が挙げられる。

## 謝辞

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。

## 参考文献

- [1] 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, No.106, pp31-36, 2005
- [2] N.Priyanha, A.Chakraborty, H.Blakrishnan, The cricket location support system, Proc.ACM MOBICOM 2000, pp.32-43, Aug.2000
- [3] A.Harter, A.Hopper, P.Steggles, A.Ward, and P.Webster, The anatomy of a context-aware application, Proc.ACM MOBICOM 1999, pp.59-68, Aug.1999
- [4] Ekahau, Inc., Ekahau Positioning Engine <http://www.Ekahau.com/>
- [5] 徳永雄一, 伊戸靖則, 平岡精一, 横田裕介, 大久保英嗣, 無線センサネットワークにおける Multilateration 位置推定法の精度向上手法, 電子情報通信学会論文, Vol.J91-B, No.9, pp.1113-1124, 2008
- [6] 田中完爾, 木室義彦, 山野健太郎, 平山満, 近藤英二, 松本三千人, RFID システムによる自己位置推定とタグ配置作業, 電子情報通信学会論文, Vol.J88-D-II, No.9, pp.1759-1770, 2005
- [7] 山崎浩輔, 瀬崎薫, 位置情報適応型サービスに向けた地理的経路制御手法の提案, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J85-B, No.12, pp.2129-2137, 2002
- [8] Xiaohan Liu, Hideo Makino, Suguru Kobayashi and Yoshinobu Maeda, Research of Practical Indoor Guidance Platform Using Fluorescent Light Communication, 電子情報通信学会論文誌, Vol.E91-B, No.11, 2008
- [9] 小林卓, 牧野秀夫, 劉笑寒, 工藤淳平, 前田義信, 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 - 転送速度とサンプリング周波数について -, ユビキタスコンピューティング研究会(UBI), 2007-UBI-16, pp.15-22, 公立はこだて未来大学サテライト(2007.11)
- [10] 富口真行, 牧野秀夫, 鈴木祥之, 蛍光灯通信を用いた視覚障がい者向け屋内音声案内ソフトウェアの改良, 電子情報通信学会信越支部大会, 講演論文集, pp.98, 長岡工業高等専門学校(2008.9)
- [11] JIS (日本工業規格) Z9110(1979)
- [12] 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)
- [13] 照明学会, 大学課程 照明工学 (新版), オーム社, 2007
- [14] 東芝ライラック(株) 商品データベース <http://saturn.tlt.co.jp/product/search.jsp>
- [15] パナソニック電工株式会社, 照明オンラインカタログ <http://denko.panasonic.biz/Ebox/catalog/>
- [16] 国土地理院, 基本測量長期計画, 2004 <http://www.gsi.go.jp/GSI/6CYOKEI/chokei.html>
- [17] コニカミノルタセンシング(株), 受光部分離型デジタル照度計, [http://www.uno.co.jp/seihin\\_info/catalog/pdf/0571.pdf](http://www.uno.co.jp/seihin_info/catalog/pdf/0571.pdf)