

明るさセンサ連動型自動調光機能付き照明器具

Residential Lighting Fixture with Automatic Brightness Adjustment Function by Sensor

由田 宏史* ・ 万波 寛明**

Hirofumi Yoshida Tomoaki Mannami

住宅用蛍光灯シーリングライトにおいて、明るさセンサを用いて周囲の明るさの変化に対してつねに設定した明るさを保つように蛍光灯の光出力を変化させる自動調光機能を付加することにより、快適性を保ちながら自然光を利用して省エネルギーが可能となる照明器具を開発した。

本製品は、さまざまな室内環境に対応して明るさセンサ検出値のずれの補正や明るさの設定変更がリモートコントロール送信器で容易に行え、操作性と利便性にも配慮している。

A residential fluorescent ceiling light capable of conserving energy by using daylight while maintaining comfort has been developed. The added auto-dimming function changes the light output of the fluorescent lamp for constantly maintaining the set brightness against the ambient brightness detected by brightness sensor.

This product enables the user to correct a difference of the detected value of the brightness sensor in correspondence to various room environments and change the brightness setting by using a remote control transmitter, thereby providing ease of easy operation and convenience.

1. ま え が き

近年、地球温暖化防止活動が広まるなか、家庭における消費電力の第二位を占める照明に対する省エネルギーのニーズは非常に大きく、照明器具は Hf（高周波点灯専用）器具へと急速に移行しつつある。

当社では、住宅用 Hf 器具の主力製品として、Hf 専用二重環形蛍光灯を搭載した「ツイン Pa」を開発してきた¹⁾。「ツイン Pa」は連続調光機能により、高い省エネルギー効果と快適性が得られるが、明るさの調整は手動操作で行う必要がある。一方施設用途では、日中の自然光を利用し、その明るさに応じて自動で調光する明るさセンサを搭載した照明器具がすでに実用化されている²⁾。

当社調べによると、在宅率の高い家庭では、日中でも約 87% の人が何らかの理由で照明を点灯させていることがわかっている。

そこで筆者らは住宅用シーリングライトにおいても、明るさセンサを使って周囲の明るさの変化に対して設定した明るさを保つように蛍光灯の出力を自動で調節する自動調光機能を付加することにより、快適性を保ちつつ省エネルギーが可能な利便性の高い照明器具を開発した。

本稿では、自動調光機能を付加するにあたっての制御技術や工夫点について述べる。

2. 自動調光機能の開発課題

自動調光機能の概要について以下に説明する。図 1 に設置概要、図 2 に動作概要を示す。図 1 に示すように、ランプ光や窓から差し込む自然光は床面や壁面などで反射するが、天井面に設置された照明器具の明るさセンサは、円錐状の検知範囲から入射するこれらの光を検知して電圧に変換する。

基本的な制御アルゴリズムは、「ランプ光 + 自然光」によるセンサ電圧が明るさ目標値に相当する電圧（以下、目標電圧値と記す）となるように、自然光の変化に応じてランプの出力をフィードバック制御するものである。図 2 は、自然光の変化（横軸）に対するランプ光、自然光、および「ランプ光 + 自然光」の各推移（縦軸）を示す。自然光が 0 から A まで増加するに従い、ランプ出力は目標の明るさから出力下限の明るさまで徐々に減少し、検知範囲の明るさである「ランプ光 + 自然光」は一定となる。なお、自然光が A 以上に増加した場合は、ランプは出力下限を維持しているため、検知範囲の明るさは一定とならない。

* 照明事業本部 インテリア照明事業部 Interior Lighting Division, Lighting Manufacturing Business Unit

** 照明事業本部 照明基幹デバイス綜合部 Lighting Devices Development Division, Lighting Manufacturing Business Unit

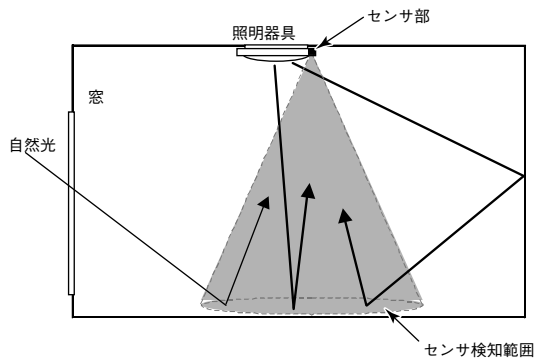


図1 設置概要

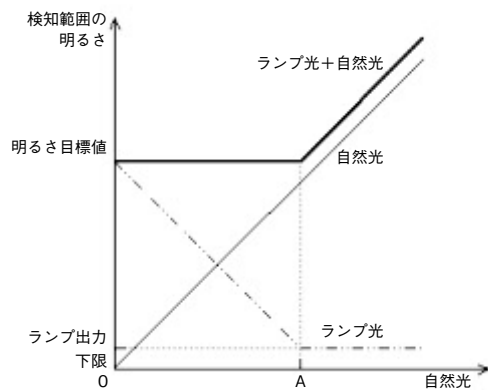


図2 動作概要

ここで一般住宅用途を考慮すると、この方式には以下の問題が考えられる。

(1) 周囲環境の多様性と変化（静特性）

周囲の明るさが同じであっても、テーブルの有無やカーペットの色などにより反射率が違うため、センサ電圧値も大きく異なる。一般住宅のインテリアは多種多様であり、その影響は非常に大きい。さらに部屋の模様替えなどにより環境が変わる場合がある。たとえば反射率が2倍になったとすると、目標電圧値も2倍にならなければ正常に動作しなくなる。

(2) 調光応答性（動特性）

自然光に対する照明器具の明るさの応答性が速すぎると、人が立ったり横切ったりしただけで過敏に反応してしまい、不快感を与える。逆に応答性が遅すぎると、周囲が暗くなってもなかなか明るくならない。

(3) 個人差の吸収

人の明るさに対する感じ方には個人差があり、また年齢やその場の状況によっても、必要とされる明るさは異なる。

これらの問題点を解決するための課題を以下に述べる。

(1) さまざまな室内環境に対する適応性

①幅広い反射率に対して精度良く明るさを検知できること。

②使用環境の変化に応じて目標電圧値の変更が容易にできること。

(2) 周囲の明るさ変化に対する調光スピードの最適化

①一時的な明るさ変化に過敏に反応しないこと。

②暗い状態が長く続かないこと。

(3) 明るさの調整機能の付加

①必要に応じて明るさ目標値の変更が容易にできること。

3. 課題解決の方策

以下に前述の課題を解決する方策を述べる。

3.1 さまざまな室内環境に対する適応性

まず一般的な状況として、対象となる環境を以下のように設定する。

(1) 明環境（反射率最大）

床：カーペット（白）

テーブル：ダイニングテーブル+テーブルクロス（白）

カーテン：白

(2) 標準環境

床：フローリング（茶）

テーブル：座卓（茶）

カーテン：ベージュ

(3) 暗環境（反射率最小）

床：カーペット（黒）

テーブル：なし

カーテン：黒

各環境において、外光や他の光源のない状態で、試作した照明器具を各調光比で点灯させた場合のセンサ電圧の測定結果を表1に、そのグラフを図3に示す。なお、測定に用いる明るさセンサの出力上限は約4.2Vであり、その範囲内で測定できるように負荷抵抗を調整して測定を行っている。調光比100%時の環境の違いによるセンサ電圧の動作範囲は0.17～3.26V（約19倍）と広く、調光も含めた場合には0.02～3.26V（約160倍）とさらに広いものとなる。どのような使用環境においても正常に動作する必要があるが、このままではセンサ電圧の動作範囲下限付近の電圧値が低く、測定精度が悪くなってしまう。また、下限電圧0.02Vをたとえば0.1V（5倍）となるように負荷抵抗を調整すると、上限電圧3.26Vは16.3Vとなり、センサの出力上限である4.2Vを大きく越えるため測定できないという問題がある。

表1 センサ電圧測定結果

調光比 (%)	電圧 (V)		
	明環境	標準環境	暗環境
100	3.26	0.70	0.17
91	2.93	0.63	0.15
75	2.39	0.52	0.13
70	2.21	0.48	0.12
56	1.82	0.39	0.10
42	1.41	0.30	0.08
28	1.05	0.23	0.06
20	0.77	0.16	0.04
15	0.59	0.13	0.03
10	0.42	0.09	0.02

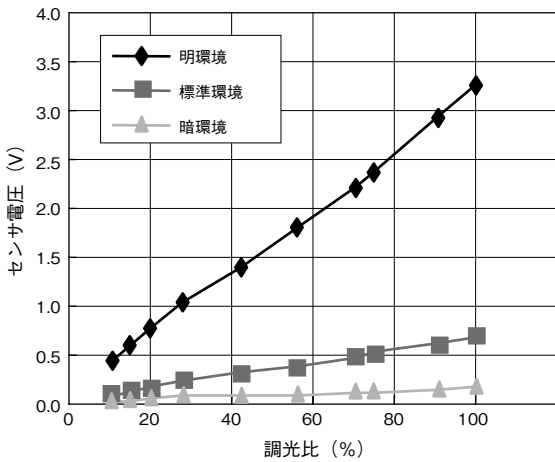


図3 センサ電圧測定結果

そこで、図4に示す負荷抵抗切替回路を採用することにより、この問題の解決を図る。明るさセンサに光が入射すると、出力端子に接続された負荷抵抗群には光量に比例した電流Iが流れ、電圧に変換されてマイクロコンピュータのアナログ入力端子に入り、内部でデジタル値に変換されてプログラム処理される。

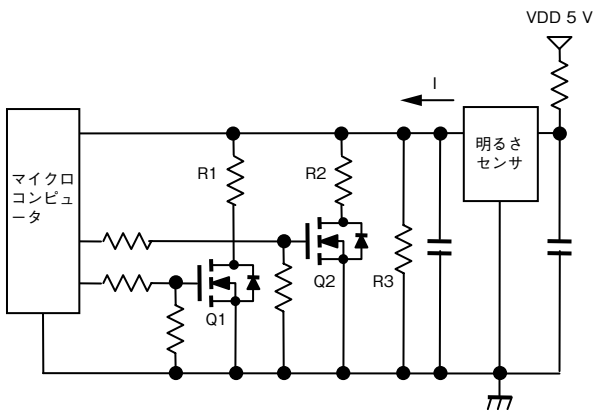


図4 負荷抵抗切替回路

負荷抵抗の合成抵抗値の比が $R1 \cdot R3 / (R1 + R3) : R2 \cdot R3 / (R2 + R3) : R3 = 1 : 3 : 9$ となるように設定してセンサ電圧の有効範囲を $0.1 \sim 4.0 \text{ V}$ とすることで、スイッチ素子 Q1, Q2 をオン/オフして、表2に示すようにセンサ電圧の測定レンジを切り替えて確実に有効範囲内で測定することができる。なお、図3の結果はレンジ1の測定結果に相当する。レンジ1で $0.02 \text{ V} (= I \times R1 \cdot R3 / (R1 + R3))$ でも、レンジ3に切り替えると $0.18 \text{ V} (= I \times R3)$ となり、有効範囲を満足している。

表2 レンジ-合成抵抗組合せ

レンジ	Q1	Q2	合成抵抗	倍率(*)
1 (明環境)	オン	オフ	$R1 \cdot R3 / (R1 + R3)$	1/3倍
2 (標準環境)	オフ	オン	$R2 \cdot R3 / (R2 + R3)$	1倍
3 (暗環境)	オフ	オフ	$R3$	3倍

*標準環境用の合成抵抗値に対する倍率

次に、実際に負荷抵抗を切り替える方法について説明する。自動調光の動作中にセンサ電圧が有効範囲を超えそうになったときにレンジを頻繁に切り替えなければならない場合もあり、動作が煩雑となる。また、目標電圧値も同時に変更しなければ正常な動作とならない。そこで、リモートコントロール送信器の環境設定ボタンを押し、次の手順で自動的にレンジ切替とセンサ電圧の測定を行い、さらに使用環境に応じた目標電圧値の設定を行うことで、簡単な操作でさまざまな環境に対応できる。

- (1) 100%点灯
- (2) センサ電圧を測定
標準環境用のレンジ2で、短時間で測定する。
- (3) レンジ設定
測定値が有効範囲を満足する場合はレンジ2に決定、測定値が有効範囲を上回る場合は明環境用のレンジ1に、下回る場合は暗環境用のレンジ3に切り替え、再度センサ電圧を測定する（最大3回の繰返し）。
- (4) 決定したレンジでセンサ電圧を測定
時間を掛けて精度良く測定する。
- (5) 測定値（目標電圧値）、およびレンジを記憶

自動調光動作を行う際は、記憶した目標電圧値とレンジを用いてレンジの切替は一切行わない。また、明るさ目標値の変更を行う場合は、記憶した100%点灯時の目標電圧値に、調光比に相当する係数を乗じた値を変更後の目標電圧値として再設定する。

3.2 周囲の明るさ変化に対する調光スピードの最適化

自動調光の基本動作は、まず測定したセンサ電圧値と目標電圧値との比較を行い、測定値が目標値と一致するようにランプ出力を調整して一致するまで測定と出力調整を繰

り返す。途中でランプ出力が上／下限に達した場合は、再度測定に移行する。実際のランプ出力調整はマイクロコンピュータから出力する調光デューティー信号を点灯回路部に送り、点灯回路部の制御部で調光デューティーに応じて行う。

実用化にあたっては、周辺の明るさ変化に応じて違和感なく自然に明るさの調整を行う必要があり、以下の点に注意して明るさ変化に対する調光スピードの最適化を行う。

- (1) ランプ出力変化が気にならないように、明るさ変化に対する調光スピードをある程度遅くする。遅くし過ぎると動作しているかどうかわかりにくいので注意する。
- (2) 暗方向よりも明方向の明るさ変化に対する調光スピードを速くすることで、暗い状態が長く続かないようにする。無意識の状態では変化が気付きにくく、意識しているときには変化がわかるレベルが望ましい。

その結果を図5に示す。

測定は1秒ごとに10回行い、最大値と最小値を除く8回分の平均値を測定値とする。出力調整は明方向が1秒ごとに最大10回、暗方向が2秒ごとに最大5回行う。

また調光スピードは、ランプ出力100%から50%まで約80秒、50%から100%まで約40秒である。この仕様で実使用環境におけるモニタ評価を行い、とくに気にならないという結果が得られている。また、照明器具の下を人が通過したり、下で一時的に立ち止まってもランプ出力はほとんど変化しないことを確認している。

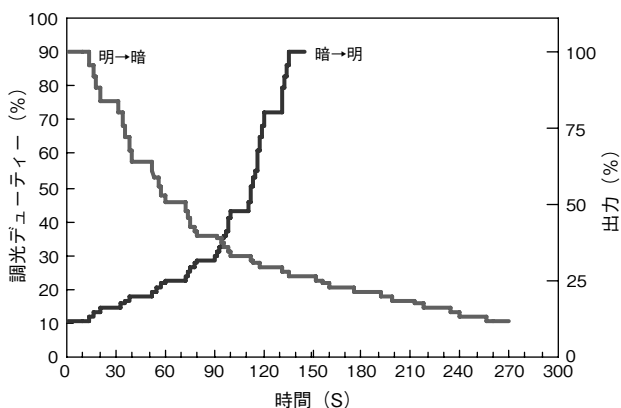


図5 明るさ変化に対する調光スピード

3.3 明るさの調整機能の付加

明るさ目標値100%で自動調光運転中に、リモートコントロール送信器の明るさ調整ボタンを押して、明るさ目標値を変更する場合のフローチャートを図6に示す。このボタンを押すと、いったん現在の明るさ目標値で点灯することにより、使用者が自然光を利用してどれくらい調光しているかがわかる。明るさは順送りで、ランプ出力を100%/70%/50%の3段階で移行させることで、実際に明る

さを確認しながら使用者が使いやすい明るさの選択ができる。

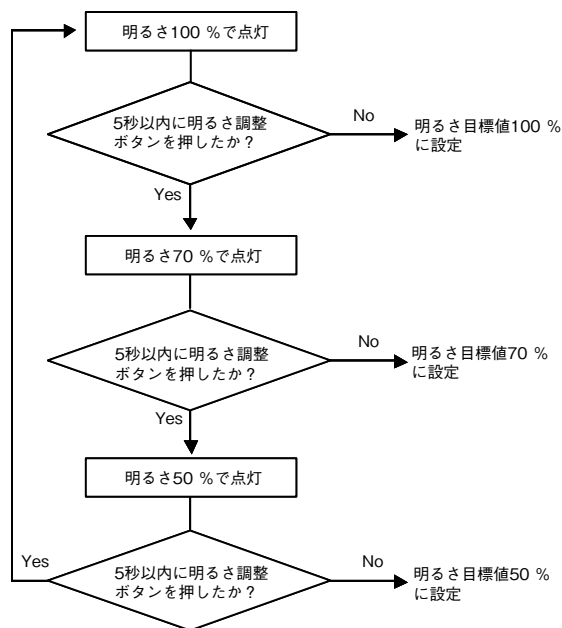


図6 明るさ調整フローチャート

4. 照明器具の構成

以下に、開発した照明器具の構成を述べる。図7に示すように、照明器具はランプを点灯する機能を有する点灯回路部、明るさセンサにより検知範囲の明るさを検知するセンサ部、センサ電圧値に応じて点灯回路部へ調光デューティー信号(PWM信号)を出力する制御部で構成される。使用時の主操作については、4.3節で述べる。点灯回路部は、ランプ出力10%から100%まで調光することが可能であり、制御部からの調光デューティー信号のデューティー値によって制御される。点灯回路部には商用電源が供給され、制御部には点灯回路部から、センサ部には制御部から電源が供給される。

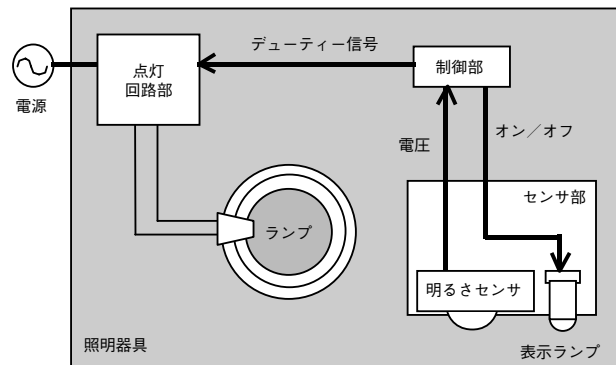


図7 照明器具の構成図

以下に開発品の仕様等を述べる。

4.1 センサ部

センサ部は、ランプ光が直接入射しないように、器具の外周部に配置している（図8）。

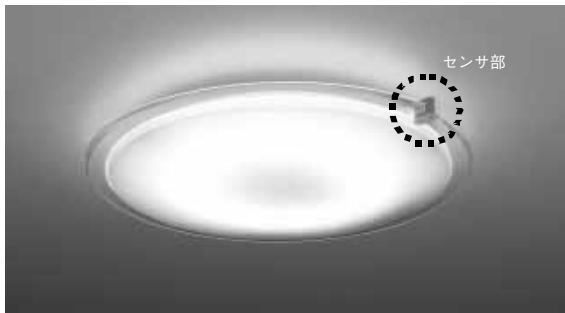


図8 照明器具およびセンサ部の外観

センサ部の明るさセンサには、視感度に近い分光感度をもち、明るさに比例したリニア出力が得られるフォトICを採用している。センサ部には表示ランプが配置してあり、自動調光中は点灯、また調光動作（出力調整）中は調光スピードに応じて点滅することで、器具の状態や自動調光中の動きが一目で認識できるよう配慮している。

4.2 制御部

制御部は図9に示すように、マイクロコンピュータ、受光素子、常夜灯、ブザーから構成されており、センサ部からのセンサ電圧や受光素子からの信号はマイクロコンピュータに入力される。

制御部の機能は、目標電圧値を設定して、センサ電圧値と目標電圧値が一致するように調光デューティ信号を点灯回路部へ送信することである。また、リモートコントロール送信器から送信された赤外線信号は受光素子で受信するとマイクロコンピュータで処理され、蛍光灯や常夜灯の点灯、調光、消灯、および自動調光の開始や受信時の応答音としてブザー音の出力などの所定の動作を行う。

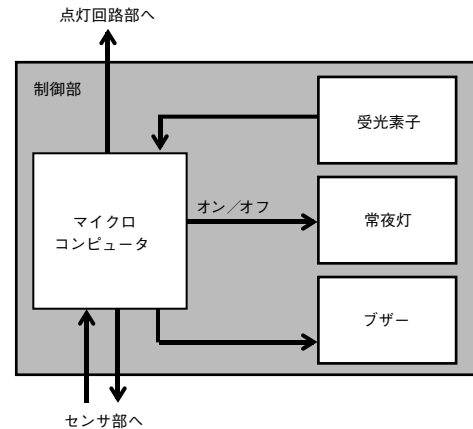


図9 制御部の構成図

4.3 リモートコントロール送信器

リモートコントロール送信器の外観を図10に示す。

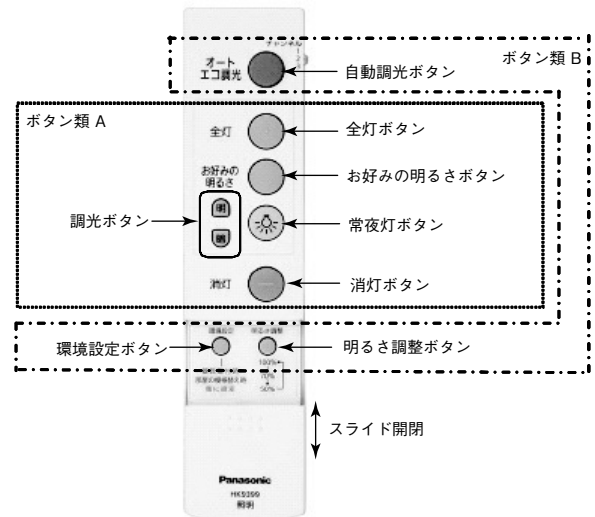


図10 リモートコントロール送信器の外観

この送信器には連続調光機能などの操作のためのボタン類A（全灯、お好みの明るさ、常夜灯、調光、消灯）と、自動調光機能の操作のためのボタン類B（自動調光、環境設定、明るさ調整）とがある。自動調光ボタンを押すと照明器具が点灯し、明るさ検知による自動調光が開始する。また、解除はボタン類Aを押すと解除してそれぞれのモードに移行するため、1回の操作で自動調光の設定と解除を容易に行えるように操作性に配慮している。また環境設定ボタンと明るさ調整ボタンは、使用頻度が低いため、リモートコントロール送信器のスライド開閉カバー内に配置されており、誤って押されることのないように配慮している。

5. あとがき

住宅用蛍光灯シーリングライトにおいて、明るさセンサを用いて周囲の明るさの変化に対してつねに設定した明るさを保つように蛍光灯の光出力を変化させる自動調光機能を付加することにより、快適性を保ちながら自然光を利用して省エネルギーが可能となる照明器具を開発した。

本製品は、さまざまな室内環境に対応して明るさセンサ検出値のずれの補正や明るさの設定変更がリモートコントロール送信器で容易に行え、操作性と利便性にも配慮している。

今後はさらに、本方式を適用した自動調光機能付き製品の品種を拡充し、普及を図ることで省エネルギーの推進に貢献したいと考えている。

*参考文献

- 1) 中尾 宏樹, 片岡 高明, 黒木 芳文: 高周波点灯専用2重環形蛍光灯連続調光型シーリングライト, 松下電工技報, No. 77, p. 47-51 (2002)
- 2) 齋藤 清, 片山 就司, 齋藤 良徳, 村上 善宣: 明るさ設定学習機能付き照明器具「おまかせセルコン」, 松下電工技報, Vol. 55, No. 1, p. 101-106 (2006)

◆執筆者紹介



由田 宏史
インテリア照明事業部



万波 寛明
照明基幹デバイス総合部