

# 自動感度調整機能が付いた汎用光電センサの開発

## A Photoelectric Sensor with Automatic Sensitivity Adjustment

アズビル株式会社  
アドバンスオートメーションカンパニー

鈴木 慎一郎  
Shinichiro Suzuki

アズビル株式会社  
アドバンスオートメーションカンパニー

橋川 寿明  
Toshiaki Hashikawa

### キーワード

光電センサ, 外乱光, 相互干渉, 一体成形

光電センサを使用するお客さまは、自社の装置 / 設備のコスト競争力アップ、品質向上に取り組んできたが、昨今の社会情勢 / 経済情勢の変化はさらなる進化を余儀なくされている。こうしたお客さまの環境変化に対し、光電センサメーカーとして少しでもお役に立つため、最も汎用的に使用されているセンサ形状で、誰でも簡単に取付け調整ができ、また安心して使用できる性能を保持し、センサの長期使用性、省エネルギーによってお客さまへ貢献する自動感度調整機能付き汎用光電センサを開発したので報告する。

Recent social and economic changes have caused customers of photoelectric sensors to redouble their efforts to make their equipment and facilities more cost competitive and to improve the quality of their products. To assist in these goals, Azbil Corporation has developed a general-purpose photoelectric sensor which has the most commonly used sensor shape; is easy to install and adjust without specialized training, while retaining reliability for worry-free use; has a long service life; is energy-efficient; and is equipped with automatic sensitivity adjustment.

## 1. はじめに

お客さまが光電センサを使用する際のトラブルを抑え、装置の長期的な信頼性に貢献できるように、最も汎用的に使用されているセンサ形状で以下の機能を実現した。

- ・誰でも簡単に取付け調整ができる
- ・安心して使用できる性能を維持
- ・環境にやさしい製品

このため、光電センサを使用するお客さまが必ず実施する行為、すなわち「設置」、「運転」、そして社会的責任である「環境」の3つの項目に着目して、お客さまの作業コスト、運転コストなどのトータルコストの削減を目指した。開発にあたり上記3項目の課題を抽出し、それぞれの課題解決のための技術開発を行い、汎用光電セ

ンサ HP7 シリーズを開発したのでここに紹介する。

## 2. 製品概要

### 2.1 光電センサとは

光電センサとは光を媒体として物体の有無を検出し、電気的なオン / オフ信号を出力するセンサである。光電センサは光を出す投光部と光を受ける受光部で構成され、投光された光が物体により遮光または反射した状態を受光部が検出し信号処理し出力する。光電センサのタイプには投受光分離形の透過形、投受光一体形の反射形、リフレクタ形がある。また、透過形 / リフレクタ形は遮光で検出し、反射形は反射光で検出する (図1)。主に搬送装置、組立機械、加工機械、立体駐車場などの

工業用途で使用される。検出距離と検出体特性で使用するタイプを使い分ける。HP7シリーズの主な仕様を表1に示す。



図1. 光電センサのタイプ

表1. HP7シリーズの主な仕様

項目	透過形	反射形	リフレクタ形
使用温度範囲	-30 ~ +55°C		
電源電圧範囲	DC10.2~26.4V		
出力開閉電流	100mA以下 (抵抗負荷)		
応答時間	1ms以下		
消費電流	25 mA以下	17 mA以下	14 mA以下
検出距離	15m	1m	5m

## 2.2 光電センサ HP7シリーズの特徴

今回開発した光電センサ HP7シリーズの主な特徴は下記の通りである。

(1) 設置：誰でも簡単かつ安心して設置できる。下記の仕様を実現した。

自動感度調整機能、金属取付ねじ、明るい光芒を実現した。

(2) 運転：設置後の環境で安心して運転できる。下記の仕様を実現した。

インバータ蛍光灯やLED照明などの耐外乱光性能向上、透過形相互干渉防止、水/油に対する保護構造の性能の向上を実現した。

(3) 環境：長期使用とCO<sub>2</sub>排出削減できる。

長期使用性では有寿命部品の投光LEDに4元素LEDを採用し、かつ耐環境性能を大幅に向上させた構造を実現した。またCO<sub>2</sub>削減のために光電センサの消費電流を従来品比較で約1/2を実現した。

## 3. 光電センサの課題

光電センサを使用するユーザが必ず実施する行為、すなわち「設置」、「運転」、そして環境負荷低減の「環境」の3つの項目の課題を以下に述べる。それらの課題を考慮し、解決すべきテーマを設定して、新たな機能、新たな構造を開発した。

### 3.1 設置上の課題

光電センサ設置は主に開梱、センサ取付、ケーブル配

線、光軸/光量調整、動作チェックの5工程からなる。この中で「光軸/光量調整」が最も経験を必要とし、重要な工程である。光電センサは設置状況や検出物体によって現場での調整が必要とされる。例えば、半透明体などの検出物体(図2)や背景の反射率が高い環境では、光量調整を行う必要がある。従来の光電センサでは感度調整用のポリウムを小型ドライバで回転させて、検出物体の有無を出力で確認する方法であった。この方法では、①作業者によって調整後の検出安定性のばらつきが出る、②光量調整に時間がかかる、③ポリウム抵抗の調整方法のため、近距離での調整が困難という課題を抱えていた。また「センサ取付」では、従来品はプラスチック製の取付ねじのため、ねじ締付強度が弱い、ねじ山が破損するという課題があった。



図2. 半透明体物体の検出事例

### 3.2 運転上の課題

光電センサを設置後、装置/設備は運転状態となる。この設置環境で光電センサが安定して動作することが求められるが、光電センサの安定した動作を阻害する要因として以下の課題がある。

- ①太陽光やインバータ蛍光灯、LED照明などの外乱光による出力誤動作(4.4.2項)
- ②透過形の並列設置による出力誤動作(4.4.2項)
- ③水、クーラント、洗浄剤などがかかることによるセンサ破損や出力誤動作
- ④静電気(ESD)によるセンサ破損
- ⑤インバータモータからの伝播ノイズによる出力誤動作
- ⑥装置/設備の振動・衝撃による取付ねじの緩みやセンサの破損

### 3.3 環境上の課題

環境負荷低減の設計のポイントは光電センサの用途を考慮し次の長期使用性と省エネルギー性に重点を置いた。

(1) 長期使用性について

従来製品の電気部品/機構部品について負荷条件(温度、ストレスなど)を考慮し、有寿命部品か否かで分類した。その結果、投光LED、調整ポリウム用“Oリング”、フ

フレーム取付ねじ部、ケーブル端の処理に課題があることが明確になった。

(2) 省エネルギー性について

従来製品のライフサイクル影響評価 (LCA) を実施した。この結果、光電センサの製造 / 輸送 / 使用 / 廃棄の段階別 CO<sub>2</sub> 排出量は全段階の CO<sub>2</sub> 排出量を 100% とすると使用段階で約 99% を占めた。また、製品使用時<sup>\*1</sup> の電力消費が環境影響のほとんどを占めていることがわかった。これより光電センサの消費電流の低減が課題として明確になった。

※ 1：製品使用条件は以下の通りとした。

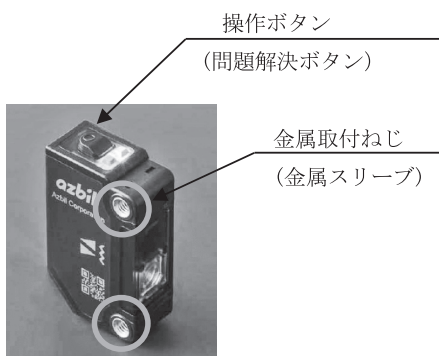
1 日 24 時間使用、使用期間は 10 年

## 4. 光電センサ HP7 シリーズの開発

### 4.1 センサ構造

#### 4.1.1 光電センサの外観

光電センサは最も汎用的に使用される業界標準サイズにて、上記の課題解決を図ることとした。光電センサの外観図を図 3 に示す。従来の感度調整用ポリウムを操作ボタン (問題解決ボタン) に変更した。また従来の光電センサの取付穴はセンサフレームにねじ加工をしたプラスチック製ねじであったが、金属製の取付ねじ (金属スリーブ) に変更した。取付ねじ部は長期間締付によるストレスが加わる箇所では設置環境によって、クラックなどの破損が発生しやすい部分である。ここを金属スリーブにすることでフレームに加わるストレスは大幅に削減できる。



サイズ：32.6mm × 20mm × 10.4mm

図 3. 光電センサ外観

#### 4.1.2 光電センサの構成

光電センサ構成図を図 4 に示す。この構造の特徴はセンサ内部への水・油の侵入を遮断する構造にある。

3.3 (1) で示した従来品の調整用ポリウムタイプに必要とした“Oリング”構造の弱点 (有寿命部品、低温に弱い、組立バラツキ大) は図 4 の表示窓 / 操作ボタンに示すようにインサート成形することで解消した。

また 3.3 (1) で示したケーブル端 (ケーブルシースと

リード線の隙間) からの水・油の浸入は図 4 のケーブルプリ成形部品 (ケーブルのインサート成形) によって解消した。

そして図 4 に示す部品をすべて組付けた後に一体成形を実施し、フレーム / ケース / 表示窓 / カバー / ケーブル Pre 成形を射出成形樹脂で固め、センサ内部への保護構造性能を格段に高めた。当社の保護構造試験で比較すると従来比で約 5 倍の耐久性改善ができた。

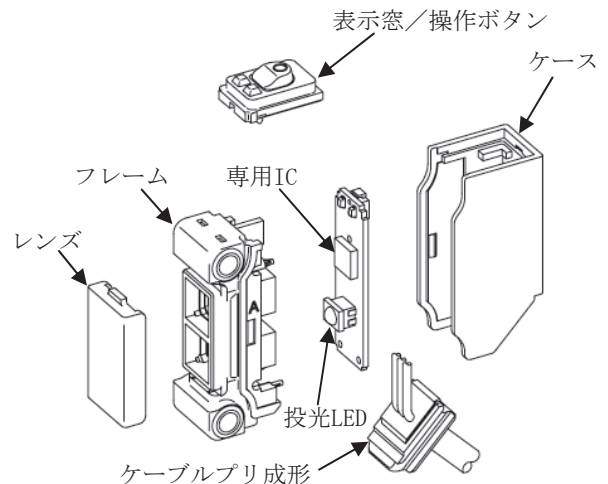


図 4. 光電センサ構成図

### 4.2 システム構成

今回開発した光電センサの全体システム構成を図 5 に示す。左側にセンサ入力要素 (電源、操作、光、電圧) があり、右側にセンサ出力要素 (投光、表示光、センサ出力) がある。従来の感度調整はポリウム抵抗をドライバで回転することで実施していたが、ボタン操作で実施できるようにした。このため、閾値設定などを実施するユーザインタフェース部はマイコンが処理し光電センサの機能実現は光電センサ専用カスタム IC (以下専用 IC) とするシステム構成とした。

マイコンにする利点は以下の通り。

- ① 様々な閾値設定が任意のソフトウェアで実現が可能。
  - ② 生産ラインのカスタム対応が容易。
- 専用 IC を採用する利点は以下の通り。
- ① フォトダイオード (PD) を内蔵するのでノイズの影響を受けにくい。
  - ② 図 5 に示す信号処理回路全体を静電シールドすることで耐ノイズ性が向上できる。
  - ③ 静電容量の影響を受けにくく応答が速い。
  - ④ 価値機能を実現する回路が具現化しやすい。
  - ⑤ 部品の小型化が可能。
  - ⑥ 機能対コストで低コストが可能。

### 4.3 設置上の課題解決

3.1 で示した「センサ取付」課題は 4.1.1 で示した金属

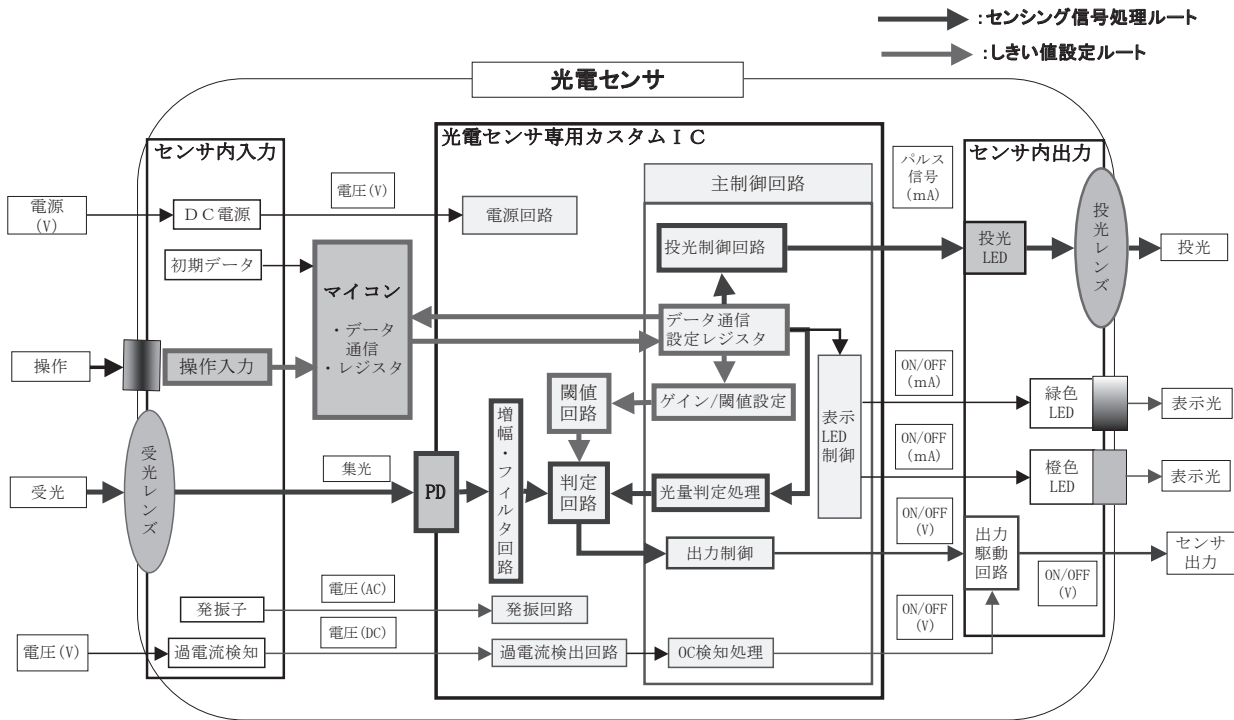


図5. システム構成

スリープで解消したので調整方法について説明する。

(1) 自動感度調整方法

3.1 で示した感度調整用ボリウムで光量調整するときの課題は 4.2 に示したシステム構成と 4.1.1 に示した操作ボタンによる自動感度調整方法を実現することで解消した。ここでは最も利用頻度の高いワークレスチューニングで内容を説明する。

ワークレスチューニングとは、検出体がない状態で安

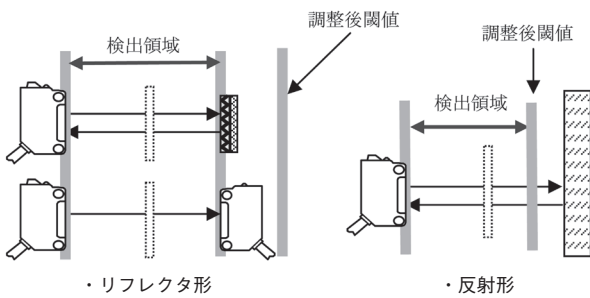


図6. ワークレスチューニングによる閾値設定

表2. ワークレスチューニング後の閾値

形式		調整後閾値
リフレクタ形	光量換算	50%
	距離換算	70%
透過形	光量換算	200%
	距離換算	70%

定した検出ができる閾値を自動で設定する調整方法である。設定する閾値は透過形・リフレクタ形が50%、反射形が200%の光量余裕度に設定される。(図6, 表2)

次に操作方法について説明する。まず、問題解決ボタン(図3)を2回押す(長押し, 一回押し)。その結果は図5の「操作」からの信号として操作情報をマイコンが認識し, ワークレス状態の光量値を専用ICの光量情報から二分法収束より求める。その結果と所定の光量余裕度係数よりワークレス閾値を設定する。正常に設定できた場合は緑LEDの点灯で知らせ, 異常の場合は緑・橙LEDの交互点滅で知らせる。他の自動感度調整方法として, 2点チューニング, 位置決めチューニングが選択できる。

(2) 自動感度調整の効果

自動感度調整方法では, ①作業者にかかわらず調整後の検出安定性が一律, ②調整が短時間(10秒以下), ③近距離でも一定割合で調整が可能という結果となった。

光電センサは通常, 工場出荷状態では最大感度に設定されている。この状態で検出がうまくいかない場合に, 問題解決ボタンを2回押すことにより最適設定値に調整する。例えばリフレクタ形で半透明体を検出の場合に使われる(図2)。仮に1000台を光量調整するとして従来品のボリウムタイプと比較をした結果を表3に示す。調整時間で1/5, 作業費換算で約3.3万円の削減となった。

表3. 光量調整方法の違いによる作業費比較

	ポリウム調整	ワークレスチューニング
調整時間(秒)/台	30	6
総調整時間(時間)	8.3	1.7
総調整作業費(円)	42,667	8,333

条件：調整台数 1000 台， 賃率 5,000 円 / 時間

#### 4.4 運転上の課題解決

3.2 で示した運転上の課題のうち，③水，クーラントによるセンサ破損 ④静電気 (ESD) によるセンサ破損 ⑥振動衝撃による取付ねじの緩みは 4.4.2 のセンサ構造で示した対策で大幅に性能向上した。ESD 試験では 30KV 以上で破壊なしとなり，従来品の 2 倍の耐量となった。締め付けトルクは 0.8Nm となり従来品の 1.6 倍となった。また，⑤インバータモータからの伝播ノイズによる出力誤動作は 4.2 に示した専用 IC の構成とシールド構造によって対応した。

##### 4.4.1 耐 AC 外乱光性能向上

###### (1) 実現方法

光電センサは，図 5 に示す投光 LED から発する投光の光が検出物体によって変化し，その光 (受光) が受光レンズを通しフォトダイオード (PD) で検知し，増幅・フィルタ処理し，信号判定してオン/オフ信号として出力する。外乱光とは自ら発する投光以外の光を総称し，その光で誤ってオン/オフ出力することである。

外乱光の具体例として太陽光や白熱灯などの直流 (DC) 外乱光とインバータ蛍光灯や LED 照明などの AC 外乱光に分類される。DC 外乱光については IEC60947-5-2 (近接スイッチ) に測定方法・評価方法・判定条件が規定されているが AC 外乱光については規定がない。しかし昨今インバータ蛍光灯や LED 照明のようにインバータ回路で駆動する照明が一般に使われる状況となり，それに伴う性能向上が求められるようになった。

このため，AC 外乱光 (特にインバータ蛍光灯や LED 照明) に対する耐性向上を検討した。

光電センサが AC 外乱光によって誤動作するのは自ら発する投光の周期 (パルス変調光) に非常に近い周波数成分を持つため，自らの光と外乱光の区別がつかないために生じる。

このため，インバータ蛍光灯や LED 照明の周波数成分の調査を行い，10 k ~ 180 k Hz 程度の周波数成分であることがわかった。従来の光電センサの投光パルス変調方式 (図 7 従来方式 (■)) では，投光信号の周波数帯域が AC 外乱光 (▲) の周波数帯域と同じ帯域にあるため，フィルタで除去することができなかった。それに対して今回の投光パルス変調方式 (図 7 変調方式 (◆)) では高周波に変調することで，AC 外乱光 (▲) と異なる周波数帯に信号成分を持たせることができた。そして

受光器にその高周波変調と同じ周波数を通過帯域とする狭帯域のバンドパスフィルタ (BPF) (図 7, BPF 特性) を設け，AC 外乱光と受光信号を区別した。これより耐 AC 外乱光の性能を従来比で数倍向上させた。(特許出願中)

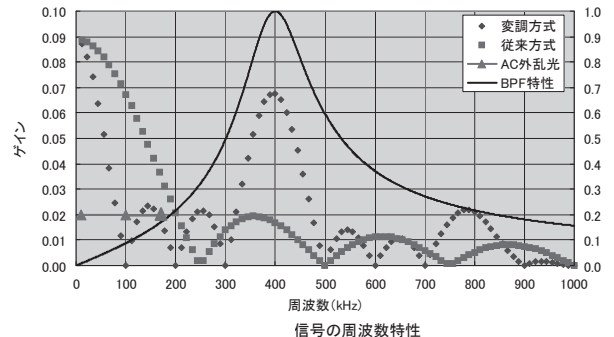


図 7. AC 外乱光耐性向上

###### (2) 効果

AC 外乱光の評価方法はインバータ蛍光灯や LED 照明と光電センサを正対させてセンサが誤動作する距離を測定する (図 8)。誤動作する距離が短いセンサほど AC 外乱光耐性が高いこととなる。透過形光電センサ HP7-T □ と競合 2 社との比較を実施した結果を図 9 に示す。3 社の中で HP7 が最も誤動作距離が短く AC 外乱光耐性が高い結果となった。また，この状態でワークレスチューニングを実施することにより誤動作距離を全くなくすることも可能となった。(図 9 (\* 1)) お客さまの運転環境で，照明を後々設置した場合も安心して使用できると考えられる。

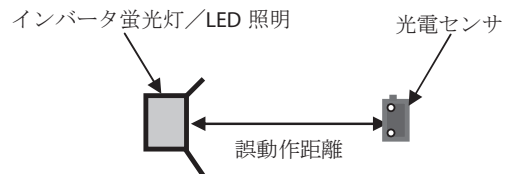


図 8. AC 外乱光測定方法

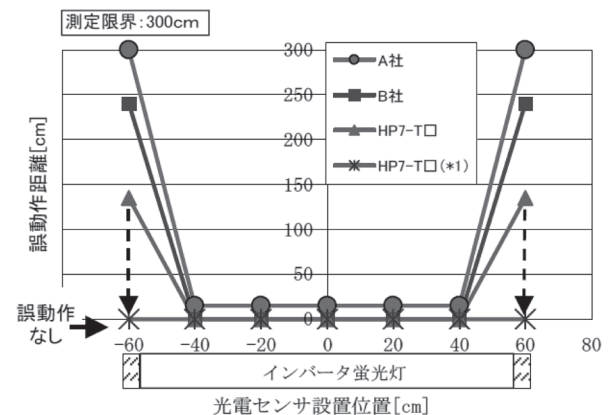


図 9. 透過形光電センサ競合比較

#### 4.4.2 透過形相互干渉防止

##### (1) 実現方法

透過形光電センサを密着して使用したい場合がある。例えば検出物の大きさ / 形状が異なる場合や薄物 / 厚物が混在して流れる場合安定して検出するために並列設置に取り付ける (図 10)。このとき問題になるのが相互干渉である。相互干渉とは並列設置された A 機, B 機において, A 機が発した投光信号と B 機が発した投光信号の区別がつかないために B 機の投光信号で A 機がオン / オフする事象である。従来品ではこれを回避するために透過形光電センサの投受光器を交互に設置するか, または相互干渉防止フィルタを装着する必要があった。しかし前者は配線処理が煩雑になる, 後者は検出距離が最大検出距離 1/2 以下になるという問題があった。

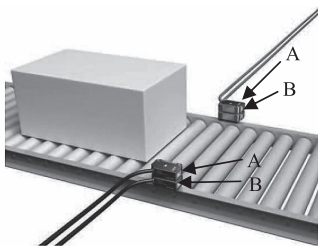


図 10. 透過形相互干渉の事例

A 機, B 機が誤動作するのは自らの光が区別できないことによる, このため A 機, B 機の投受光器がそれぞれ自らの光を識別する必要がある。

識別する情報として投光周期と投光パルス幅に着目した。投光器 A からは投光周期 A と投光パルス幅 A の投光が発せられ, 受光器 A では, A と判定する受光パルス幅を設定し, 受光信号の判別回路を設けた。同様に B 機に対しても投光器 B, 受光器 B の別条件を設定した。これによって, A 機, B 機はそれぞれ自らの光を判別できる状態となった。A 機は標準タイプ, B 機は異周波タイプとして用意した。

(特許出願中)

##### (2) 効果

密着した並列設置でも最大検出距離 (15m) での使用が可能となった。このため倉庫の搬入口などの広い開口の設置にも誤出力の心配なく使用可能となった。

### 4.5 環境上の課題解決

#### 4.5.1 長期使用性

##### (1) 実現方法

3.3 (1) に示した長期使用性で明確になった課題のうち, 投光 LED 以外はセンサ構造 (4.2) で対応したのでここでは投光 LED について説明する。投光 LED はセンシングするための重要な部品であり, 通常時間経過とともに光量が低下する。この部品は部品選定のための試験方法 (高温高湿通電試験, 低温試験, 温度サイクル試験) を確立し, 判定条件を設定した。その結果より高輝

度 4 元素 LED (InGaAlP) を選定した。従来の 3 元素 LED (GaAlP) に対して, 光量低下は約 4 倍改善され, 10 年相当で 5% 程度の光量低下となる大幅な改善となった。

##### (2) 効果

有寿命部品である投光 LED は 10 年目の距離換算で約 97.8% (2.2% 減) となり, 製品耐用寿命の 10 年を実現することができた。

#### 4.5.2 省エネルギー性

##### (1) 実現方法

3.3 (2) に示した省エネルギー性を実現するため, 光電センサの低消費電流化の検討を実施した。光電センサの電流消費の多い箇所を特定し, 4 つの方策を実施した。①投光電流の削減: 投光 LED に高輝度タイプを選定し, 少ない電流で光量を確保した。②電圧駆動による削減: ベース電流が不要な MOS トランジスタで周辺部品 (表示 LED, 出力トランジスタなど) を駆動できるように専用 IC の駆動回路を変更した。③専用 IC の消費電流削減: BiCMOS (Bipolar Complementary Metal Oxide Semiconductor) プロセスを使用することで消費電流を小さくした。④新バラツキ設計の導入: 消費電流を求める計算式をたて, 構成要素をシミュレーションするモンテカルロ法を用いて, 適切なマージンでの設計とした。この結果, リフレクタ形の消費電流が従来形最大 30mA に対し, 最大 14mA を実現した。

##### (2) 効果

流通センターなどのコンベアラインなどには 1000 台単位で光電センサが使用される。仮に 1000 台使用しているとして従来品のセンサと電力消費量および CO<sub>2</sub> 排出量の比較した結果を表 3 に示す。年間電力消費量で約 2300kWh 削減, CO<sub>2</sub> 排出量で約 1.3 t の削減となった。

また, 波及効果として光電センサを駆動する DC 電源ユニットの駆動容量が半減となり供給電源のコストダウンとなり, またセンサバスなどに接続できるセンサ数を倍増することが可能となり, お客さまのトータルコスト削減にも寄与することが可能となった。

表 4. 消費電力 / CO<sub>2</sub> 排出量比較

	消費電力 (Wh)※1	年間消費 電力 (kWh)※2	CO <sub>2</sub> 排出量 (ton)※3	年間電力費 (円)※4
従来品	720	4320	2.4.2	86,400
HP7-P□□	336	2016	1.13	40,320
削減幅	▲ 384	▲ 2304	▲ 1.29	▲ 46,080

※1: 消費電力 = 消費電流 × 電源 24V × 1000 台

※2: 年間消費電力 = 消費電力 × 20 時間 / 日 × 300 日

※3: CO<sub>2</sub> 排出量 = 年間消費電力 × 0.000559 (t-CO<sub>2</sub>/kWh)

※4: 年間電力費 = 年間消費電力 × 20 円 / kWh

2010 年度の国内電力事業者の平均値 (1)

## 5. おわりに

本製品の開発では、社会情勢、経済情勢の変化とお客さまの課題をとらえて、顧客価値を向上させる製品仕様を作り上げ、それを達成するための手段を開発して進めることができた。この結果、製品開発、生産、営業で一体感が生まれて、顧客への価値提供を可能とし、顧客中心の開発が実現できた。また、自動化設備を開発し、国内生産でも価格対応力のある製品とすることができた。今後も顧客価値を向上のための新たな技術開発を進めたいと思う。

### <参考文献>

- (1) 環境省のサイトより引用  
2010年度の国内電力事業者の平均値  
<http://www.env.go.jp/>
- (2) 計測と制御, 第51巻, 2012年9号,  
アンプ内蔵型光電センサ HP7 シリーズ

### <著者所属>

鈴木 慎一郎	アドバンスオートメーションカンパニー 開発2部
橋川 寿明	アドバンスオートメーションカンパニー マーケティング部

