

Readout

HORIBA Technical Reports

特集 粒子をはかる

January 1992 ■ No.4

「人の動き」センサー：
フレネルアーデット

The Fresnel-IRDET Human-Movement
Sensor

操谷俊之・高田秀次

Toshiyuki KURITANI, Syuji TAKADA

(Pages 83-90)

株式会社 堀場製作所

「人の動き」センサー：フレネルアーデット

The Fresnel-IRDET Human-Movement Sensor

操谷 俊之・高田 秀次

Toshiyuki Kuritani, Shuji Takada

要 旨

焦電形赤外線検出器を用いて「人の動き」感知用赤外モジュールIM-02(フレネルアーデット)を製品化した。IM-02は、集光レンズ・回路基板・ケースなど検出器を用いる上で最低限必要な部品を一つに集約したものであり、わずかの付加部品で簡単に「人の動き」センサーとして使用することができる。焦電形赤外線検出器は、最近ますますその用途を広げつつあるが、「人の動き」センサーのような赤外センサーシステムを正しく設計するためには、その光学系や電気回路についての知識が必要である。ここでは、IM-02を紹介すると共に、焦電形赤外線検出器についても解説した。

Abstract

Horiba has begun the manufacture of the Model IM-02 infrared module, which has a pyroelectric-type infrared detector for sensing human movement ; this model is distributed commercially under the name Fresnel-IRDET. The Model IM-02 design reduces the number of components to the absolute minimum and concentrates these into a single unit that holds the light-gathering lens, the circuit boards, the case, and the detector. This compact unit can then be used as a human-movement sensor with just the addition of a few auxiliary components. The pyroelectric infrared detector has recently come to be used in a wide range of applications. However, it is necessary to be familiar with the relevant optical systems and electronic circuitry use this type of detector in an infrared sensor system designed for the detection of the human body. This paper we introduce the Model IM-02 infrared module ; and in order understand the principles of its operation, we also look at the design and principles of the pyroelectric-type infrared detector.

1. はじめに

人の動きを感知するといえば、警備保障会社が使用する侵入者警報装置、工場や事業所における工作機械などの安全装置、自動ドアのセンサーなどを思い出させる。しかし最近では人の動きや人数を感知して、たとえば照明のコントロールや来客報知器、また室内エアコンやエアクリナーの風量をきめ細かく制御し、より快適な環境を創り出そうという試みがなされており、私たちの生

活に身近なものになりつつある。

人を感知する方法として、人が設定エリア内を動くことにより生じる赤外放射エネルギーの変化を検出する方法が簡便でかつ正確度も高く、この種のセンサーの主流になっている。人の体温のように、常温近くの物体から放射される赤外エネルギーは、その波長分布から見ると、ほぼ $10\mu\text{m}$ 付近でピークをもち、「人の動き」を感知するためには、この波長帯で感度を有することが必要である。

焦電形赤外線検出器は、当社の主力製品である非分散形赤外線分析装置の主要部品として長年の間研究開発が続けられてきたものであり、広い波長域にわたり平坦な分光感度を持ち、しかも素子を冷却する必要がなく常温で使用できるなど良好の特長がある。特定波長領域のみを透過するよう設計された赤外多層膜干渉フィルターと組み合わせることにより、自動車の排気ガス中の炭化水素 (Hydrocarbon : HC) や大気中の窒素酸化物 (Nitrogen Oxide : NO_x) の濃度測定装置、ビルの空調管理用炭酸ガスや一酸化炭素ガス (CO_2/CO) 濃度測定装置など、数多くの製品に搭載されており、これらの分析装置の小形化、高信頼化に役立っている。また波長が $10\mu\text{m}$ 付近の光を効率良く透過する赤外干渉膜フィルターと組み合わせることにより、侵入者警報器や放射温度計など、より広範な応用分野においても、その用途にあわせて設計した検出器を開発している。

「人の動き」センサーや各種分析装置に組み込んで使用する場合、検出器そのものについての知識を持つことは言うまでもなく、集光系や電気回路についてもある程度の知識と理解が必要である。当社は、この検出器を導入する上での理解を深めるために、フレネルレンズ、回路基板など最低限必要な機能を1つのケースに集約した、「人の動き」感知用赤外モジュール IM-02 (フレネルアードット) を製品化した。

2. 焦電形赤外線検出器

赤外線検出器は、PbSe や HgCdTe など半導体材料を使用した量子形と、サーミスターやサーモパイルなどの熱形に分類される。量子形は高感度で高速応答である反面、感度の波長依存性と素子の冷却の必要性が避け難い欠点となっている。一方、熱形検出器は、感度の波長依存性がなく常温で使用できるなど使いやすさの面では優れているが、応答性や感度が不十分である。焦電形赤外線検出器は、熱形の中では応答性、感度も優れており、ますます広い用途に使用されつつある。

2.1 動作原理

赤外線が焦電素子に吸収されると、表面付近にわずかな温度変化が生じる。赤外線の検出は、この温度変化により素子内部に自発分極の変化を生じて、電荷が素子表面に過渡的に誘起される現象(焦電効果)を利用している。誘起された電荷は、約 $10^{11}\Omega$ の負荷抵抗で受けて電圧信号にし、FET をソースフォロア接続することにより、インピーダンスを変換して出力される。

2.2 焦電材料

焦電材料は、素子の感度が高いことは言うまでもなく、素子間の特性のばらつきが小さく、耐環境性に優れ、かつ安価であることが要求される。チタン酸

ジルコン酸鉛(Lead Zirconate Titanate : PZT)セラミクスは、キュリー点も約320℃と高く、誘電率も高い(ϵ_r =約400)ため、周囲温度に対する安定性にも優れている。

2.3 構造

図1(A)は検出器の構造であり、図1(B)は内部回路である。

一对の素子を相補的に接続した形に電極パターンを形成しているため、周囲温度の急激な変化や振動・衝撃などの、両素子に同時に入る信号に対しては互いに逆向きに焦電流が発生し、それぞれを打ち消し合う。これにより、外乱に対し安定で信頼性を高めている。

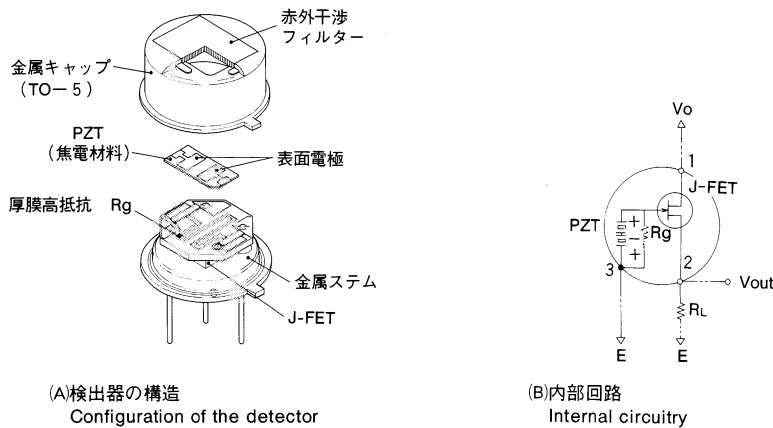


図1 焦電形赤外線検出器
Pyroelectric-type infrared detector

2.4 分光感度特性

焦電素子は、入射する光の波長に関係なく平坦な分光感度特性を示す。「人の動き」センサーは、太陽光の影響を低減するために、波長6 μm 以下を遮断し6~14 μm のみを受光するように、赤外透過材料を多層蒸着した赤外多層膜干渉フィルター(6 μm カットオンフィルター)と組み合わせて使用する。図2に分光透過特性を示す。

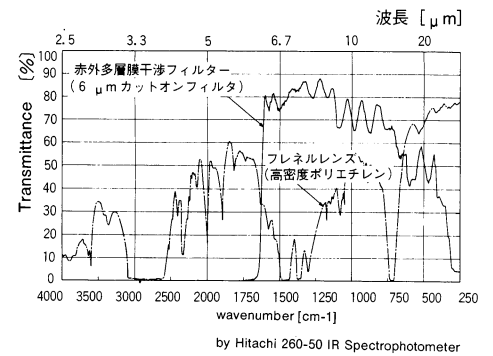


図2 検出器の窓材とフレネルレンズの分光透過特性
The Spectral transmission of the filter and fresnel lens

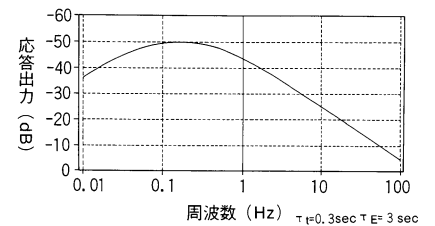


図3 焦電検出器の周波数応答例
Example of frequency response of the pyroelectric-type infrared detector

2.5 周波数応答特性

周波数応答特性は、素子の材料特性や形状によって決まる熱時定数 τ_r と電気時定数 τ_e の値で定まる。「人の動き」センサーとして用いる場合には、低周波応答特性(~10Hz)に重点をおいてそれぞれの素子パラメータを設計しており、図3に特性を示す。図4に実際の人の移動によるIM-02の応答波形例を示す。デュアル素子構造の検出器であるため、応答波形も複雑である。また、人の移動速度が変わると応答波形や感度が変わっていくことがわかる。

3. フレネルアーデット IM-02

「人の動き」センサーに焦電形赤外線検出器を用いるためには、レンズや反射鏡などの集光素子や、出力を利用しやすい形に変換する電気回路を設計し、組み合わせることが必要である。これらを1つの樹脂ケースにコンパクトに収納し、モジュール化したものがフレネルアーデット IM-02である。

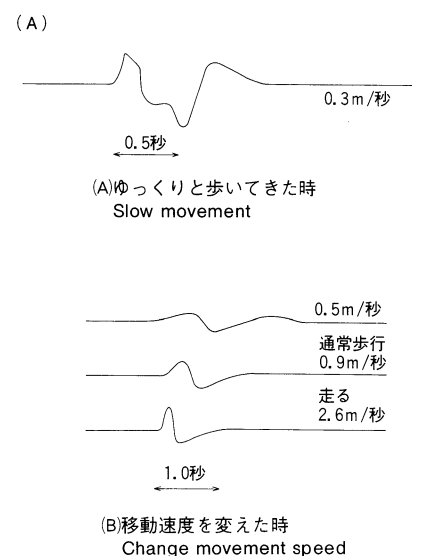


図4 人が感知エリアを横切った時の検出器の応答波形
Response wave form of the detector when a person has crossed the detection area.

IM-02には次のような特長がある。

- 「人の動き」センサーに必要な機能をコンパクトにまとめた
- 出力は、オープンコレクタである
- タイマー回路を内蔵し、出力の保持時間を最大200秒まで調整できる
- 電源印加直後の不要出力を抑制する回路が内蔵されている
- ケース側面にパネル取付用リブを付加した
- 周囲の雑音に強い

図5にIM-02の外観を、表1にIM-02と焦電検出器の仕様を示す。



図5 フレネルアーデット IM-02
External view of the Model IM-02

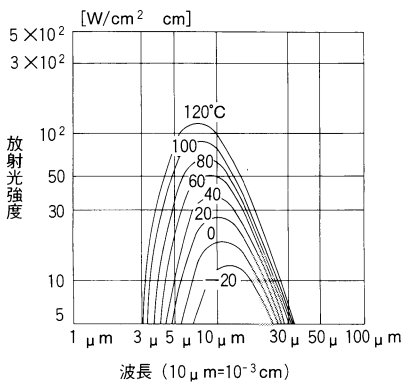


図6 黒体の分光放射強度
Spectral radiation of the black body

	赤外モジュール		焦電検出器	
型名	フレネルアーデットIM-02	IP-220/-222	IP-240/-242	IP-260
素子材料	PZT	PZT	PZT	PZT
感度波長範囲	8~13µm	6~25µm 但し7~14µmにて 透過率、70%以上	6~25µm 但し7~14µmにて 透過率、70%以上	6~25µm 但し7~14µmにて 透過率、70%以上
感度 (500, 1)	検知距離から5m	(500, 0.5) 2,200V/W	(500, 0.5) 2,200V/W	(500, 0.5) 2,200V/W
比検出率 (D*) (500, 1, 1)	—	(500, 0.5, 0.3) 0.9×10³cmHz ^{1/2} /W	(500, 0.5, 0.3) 0.9×10³cmHz ^{1/2} /W	(500, 0.5, 0.3) 0.9×10³cmHz ^{1/2} /W
オフセット電圧	オープンコレクタ出力消費電流 10mA以下	V _D =5V, R _S =10kΩにて 0.7V以下	V _D =5V, R _S =10kΩにて 0.7V以下	V _D =5V, R _S =10kΩにて 0.7V以下
電源電圧	4.5~7V	3~10V	3~10V	3~10V
動作温度範囲	0~50°C	-20~60°C	-20~60°C	-20~60°C
応答時間	—	300ms	300ms	300ms
受光面積	2×1mm 2素子	2×1mm 2素子	2×1mm 2素子	台所(1.8mm²) 2素子
視野角度	水平	80°	45°2方向	47°2方向
	垂直	32°	45°2方向	47°2方向
備考	フレネルセンサーモジュール 小型プラスチックケース収納 57(W)×(D)×28(H) オープンコレクタホルド 設定時間可変 2~200s	高受光面タイプ(H=5.1mm) IP-220;標準品 IP-222;可視光対策品	仮受光面タイプ(H=3.5mm) IP-240;標準品 IP-242;可視光対策品	指向性を改善 検知死角を排除 可視光対策可能

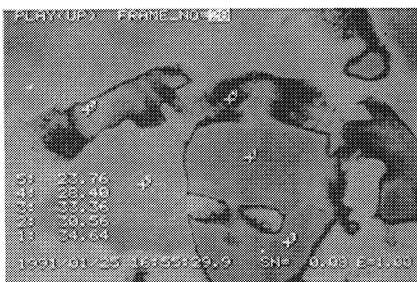
表1 IM-02の仕様
Specifications of the Model IM-02

3.1 測定原理

赤外線は目に見えないのでなじみがうすいが、自然界の物体は全てその温度に応じた赤外光を放射している(図6)。

人の表面温度は、その着衣や周囲温度によって異なるが、一般的には20~35°C程度であり、ほぼ波長10µm付近に放射のピークを持っている。図7は人の各部の表面温度分布の一例を示している。

まず、人体を「幅が20~50cm程度で、0.1~10m/secの速度で移動する20~35°Cの熱源」とモデル化する。反射鏡やレンズと組み合わせて、設定したエリア内にこのような熱源が移動してきた時に生じる受光量変化を、検出器で捉えられることにより、人の存在として感知する方法である。



	身体部位	表面温度
1	額	34.6°C
2	腕	30.6°C
3	頬	33.4°C
4	頭髮	28.4°C
5	背景	23.8°C

図7 人の表面温度測定例
Sample measurement of the surface temperature of a human being

3.2 集光系

人体から放射されるわずかの赤外線を効率良く検出器の受光面に集めるためには、レンズなどの集光素子が必要である。IM-02では、広い角度で効率良く感知するため、複数のレンズチップを組み合わせて13面のマルチフレネルレンズを使用し、26の感知エリアを放射状に配置している。レンズの材質は、この波長域で比較的良好な透過率を示す高密度ポリエチレンである。

図8はフレネルレンズの設計仕様である。

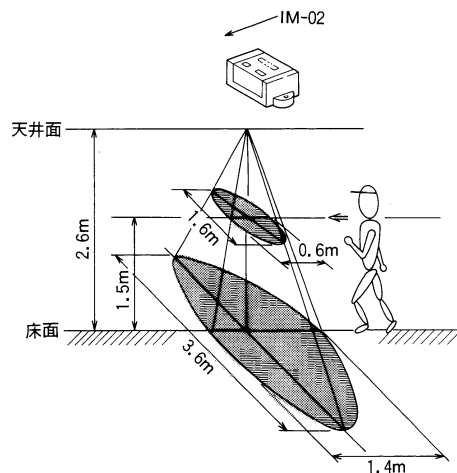


図 8 フレネルレンズの設計仕様
 Design specification of the Fresnel lens

3.3 電気回路

図 9 は回路構成である。

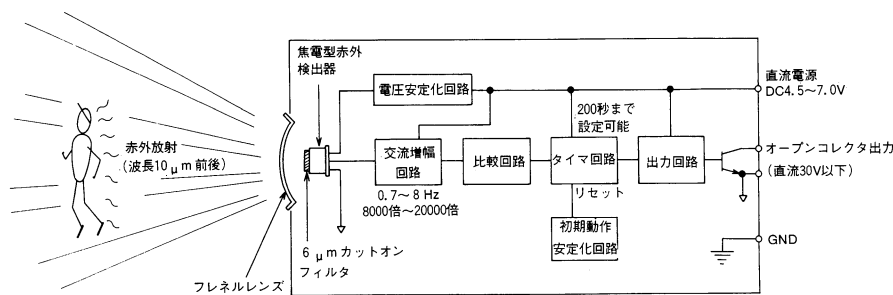


図 9 IM-02の回路構成
 Circuitry configuration of the IM-02

(1) 増幅回路

人が移動することにより発生する検出器の受光量変化は、数 μW と小さいため高い増幅率が必要である。IM-02では8,000~20,000倍に設定している。人の動く速度は0.1~10m/秒程度であるが、個々の用途に応じて異なってくる。これを周波数に置き換えると、IM-02では約0.3~5 Hz程度になる。センサーの応答特性は、検出器の応答周波数特性と増幅帯域の重ね合わせとなる。IM-02に使用している検出器の応答周波数特性は0.05~0.8Hzであるので、増幅回路に必要とされる帯域は約0.7~8 Hzとなる。

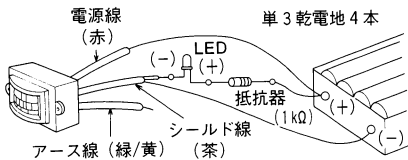
(2) タイマー回路

自動照明などに用いる場合は一定時間出力を保持することが必要であり、IM-02には出力の保持時間を最大200秒まで調整できるタイマー回路を内蔵している。

(3) ウォームアップ回路

受光素子の抵抗値が非常に高い($10^{11}\sim 10^{12}\Omega$)ため、電源を印加した後検出器各部分が安定するまで約10~20秒間を必要とする。IM-02では、電源印加後約30秒間出力を抑制する回路を付加し、不要な出力の発生を抑えている。

LEDを点灯させる場合



チャイムなどをならす場合

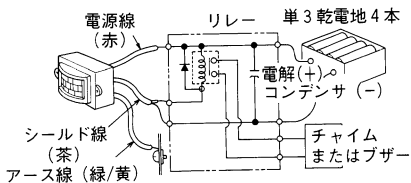


図10 LEDやチャイムを作動させるための回路構成例
Circuit configuration examples to operate LED & Chime

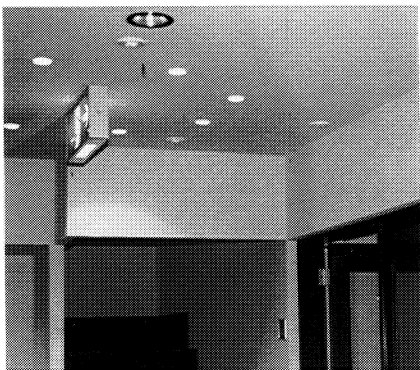


図11 照明コントロールシステムへの応用例
(天井取付用にセットアップした例)
Using the Model IM-02 in a lighting-control system
(Example here shows the unit mounted in the ceiling)

(4) 電源ノイズ

検出器の出力は微小信号であるため、電源に含まれるノイズが重畳され易く、不要な出力を出したり動作不良を起こす原因になることがある。IM-02では、定電圧ICを内蔵することにより影響を取り除いている。

4. IM-02の応用例

図10は、IM-02を用いてLEDを点灯したり、チャイムなどを鳴らせる回路の例である。このように、抵抗やリレーなどわずかの付加部品で、「人の動き」センサーとして使うことができる。

IM-02の最も身近な応用例の一つに自動照明がある。図11は、滋賀県朽木村に建設した当社の研修施設(愛称：FUN HOUSE)に設置された自動照明システムである。電力制御回路を付加することにより、人が来ると、ホール中央の装飾照明設備(ハロゲンランプ8灯、480W)や洗面所の照明を一定時間点灯させる機能をもっている。また、これと同様のシステムを大規模にしたものが、国会図書館新館の地下書庫の自動照明にも使用されている。センサーを通路ごとに設置することにより、閲覧要求のあった書籍を係員が取りに行く際に、人が居る書棚エリアのみを一定時間自動的に照明するシステムである。このような比較的人の出入りの少ない場所に設置した場合、いちいちスイッチを入れたり切ったりするわずらわしさがなく便利である。

その他、エアコンや空気清浄器などに組み込んで、人の数や活動量に合わせてよりきめ細かくコントロールし、心地よい快適な空間を提供するためのセンサーとして用いられつつある。

5. 検出器の新しい試み

使用される分野が拡大するにつれて、検出器への要求もますます多様化している。これらは直接、信頼性の向上や機能付加など、検出器の使用可能な範囲の拡大に結びつくことが多く、以下に最近の2,3の例を紹介する。

(1) 可視光による影響の低減

従来は、屋内使用に限定されていたが、最近では、来客報知器や車庫の自動照明など、半ば屋外での使用が要求されるようになっている。太陽光や自動車の前照灯などの強力な光が検出器に直接入射する場合、検出器の窓材や接着剤のモールド部分で一部吸収されることにより生じる2次輻射により、不要な出力を生じることがある。当社は、金やクロムなどの金属をその部分にコートすることにより反射率を高め、可視光による影響を低減した(図12)。

(2) 死角の無い検出器

従来のデュアル素子形状の検出器では、人が横切る方向により、感度を有しない方向、即ち死角が存在する(図13(A))。天井に取付けてスポットエリアセンサーとして用いる場合には、どの方向から視野を横切っても感度を有することが求められ、当社は図13(B)に示す素子形状の検出器(IP-260)を開発した。従来感度がほとんど得られなかった方向(90°、270°)においても、感度が得られることがわかる。感度の方向依存性をさらに改善するためには、図13(C)のような素子形状を持つ検出器が有利である。この検出器は、本質的にどの方向

から横切っても均一な感度が得られるため、特に有用である。

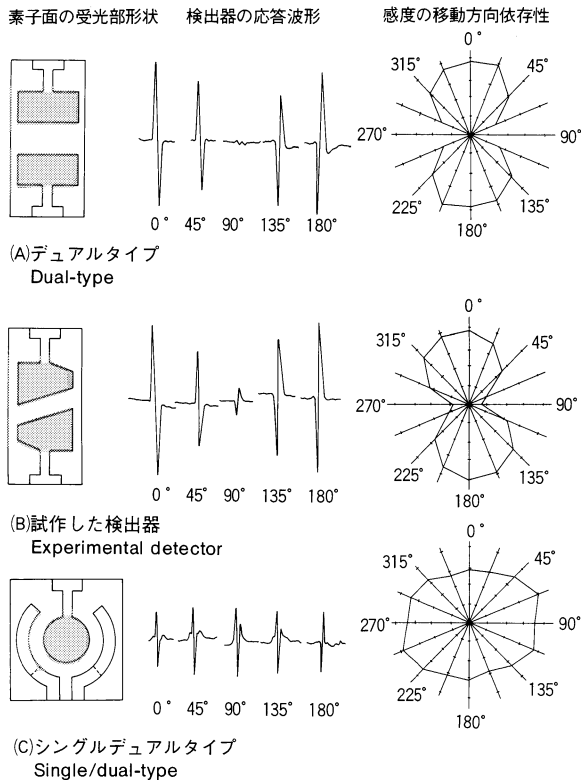


図13 素子形状と感度の方向依存性
Directional dependency of sensitivity and the element pattern

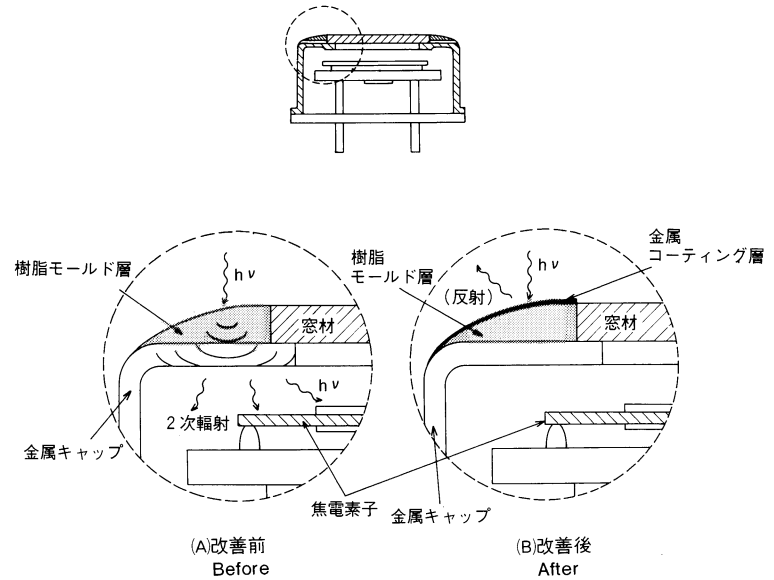


図12 強力な可視光による影響の低減
Reducing the effects of strong visual light

6. 今後の課題

焦電形赤外線検出器の研究開発は2分化する傾向にある。一つは、検出器の基本特性を改善して新たな用途を拡大することである。素子の薄膜化は、より高感度・低雑音・高速応答など特性改善の有効な手段である。もう一つの傾向は、低価格化・複合化による使いやすさの追求である。当社で最も力を注いでいる課題である。

一方、人にとって居心地の良い環境や使い心地の良い機械を実現するために、焦電形赤外線検出器を使った応用製品が開発されている。これらの機器をより有効に使うためには、検出器だけではなく、光学系や増幅器など周辺技術との適合性の研究開発がますます重要となる。

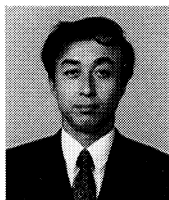
7. まとめ

以上、焦電形赤外線検出器と、それをういた赤外モジュールフレネルアーデットIM-02を紹介した。

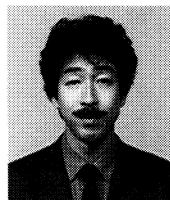
焦電形赤外線検出器は、高感度で室温で使用することができ、かつ量産性に富み低価格であることから、今後ますますその需要が拡大していくものと思われる。また、フレネルアーデットなどの赤外モジュールが、今後さまざまな分野で活用され、赤外センサーシステムのいっそうの普及・拡大に役立っていくことを願ってやまない。

参考文献

- 1) 焦電形赤外線センサ通則(EIAJ, EDX-8131)1990年3月制定.
- 2) 焦電形赤外線センサ試験方法(EIAJ, EDX-8132)1990年3月制定.
- 3) トリケップス技術資料“赤外線センサー”第24号.
- 4) “データ・シート・焦電形赤外線センサ” センサ技術 VOL.11, NO.9, P98(1991).



操谷俊之
Toshiyuki Kuritani
開発4部 主任
1953年2月21日生
大阪大学大学院
基礎工学研究科



高田秀次
Shuji Takada
開発4部 主任
1956年8月14日生
京都府立田辺高等学校
機械工学科

