The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	イカ釣り集魚灯用LEDの開発
Author(s)	福田, 健一; 佐藤, 公紀; 大峠, 忍 他
Citation	電気材料技術雑誌. 2010, 19, p. 33-40
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/76858
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

イカ釣り集魚灯用LEDの開発

福田健一[1)]、佐藤公紀[1)]、大峠忍[1)]、小松原聡[1)]、吉野勝美[1)2)]
水引朋之[3)]、上田康志[4)]

[1)]島根県産業技術センター　〒690-0816 島根県松江市北陵町 1
[2)]大阪大学先端科学イノベーションセンター　〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2－1
[3)]島根電工株式会社　〒690-0842　島根県松江市東本町 5 丁目 46－2
[4)]株式会社トリコン　〒696-0102 島根県邑智郡邑南町中野 3825－8

イカ釣り集魚灯用として用いられるメタルハライド灯に代替するLED集魚灯に搭載するための特殊形状レンズをもつLEDを設計した。この特殊形状レンズをもつLEDによってイカ釣り集魚灯として有効と考えられる照射パターンをうることができた。このLEDを実装した基板を円筒状の筐体に設置することで風の影響を著しく低減したLED集魚灯を実現した。
この集魚灯とメタルハライド灯を用いて実際のイカ釣り漁を実施し、春から秋の操業試験では、集魚灯用途での電気エネルギー約40％減、1操業あたりで石油換算51L減の消費で、従来の全灯メタルハライド集魚灯を用いた場合を上回る漁獲を達成することができたが、冬の操業試験においては漁獲が減る傾向が見られた。

キーワード：　イカ、イカ釣り、集魚灯、LED、メタルハライドランプ

Development of LED Device for Squid Angling

Kenichi FUKUDA[1)], Kiminori SATO[1)], Shinobu OTAO[1)], Satoshi KOMATSUBARA[1)], Katsumi YOSHINO[1)2)], Tomoyuki MIZUHIKI[3)] and Yasushi UEDA[4)]

[1)] Shimane Institute for Industrial Technology, 1 Hokuryo-cho, Matsue, Shimane 690-0816 Japan
[2)] Center for Advanced Science and Innovation 2-1 Yamada-Oka, Suita, Osaka 565-0871 Japan
[3)] Shimane Denko Co.,Ltd. 46-2　Higashi-Honmachi, Matsue, Shimane 690-0842 Japan
[4)] Toricon Co.,Ltd. 3825-8 Nakano, Ohnan-cho, Ohchi-gun, Shimane 696-0102 Japan

To replace the metal halide lamps used for squid angling, LED with specially designed plastic package have been fabricated, with which columnar shaped squid angling lamps with light irradiation pattern desirable for collection of squids have been developed. This shape of the lamp was also effective for the suppression of influence of strong wind on sea.

With this new type of lamp loaded on a squid angling boat effectively much fishing amount of squids have been obtained with remarkable reduction of fuel oil consumption by about 40% compared with conventional metal halide angling lamps in the season from spring to autumn, but less fishing amount of squids in winter.

Key words: Squid, Squid angling, fish collecting lamp, LED, metal halide lamp

1.　はじめに

イカ釣りを効率良く行うため古くから漁火を焚きイカを集めることが行われてきているが、近年はメタルハライド灯を使うことが広く普及している。その結果、日本海の沿岸各地は人工衛星からも明瞭に強烈な明かりを発していることが知られている。このメタルハライド灯を点灯するための電力用に膨大な量の石油が使われており、石油価格の高騰からまた地球温暖化に繋がる環境問題の深刻化から大きく問題視されている。

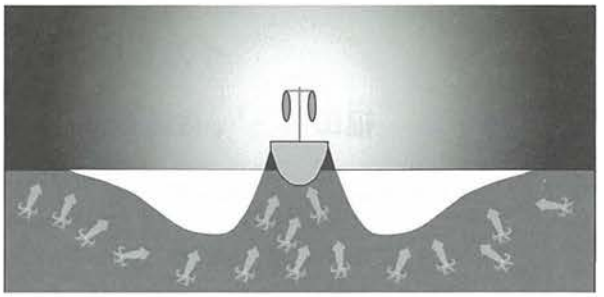
そこで高効率のLEDを使おうと云う試みがいろいろなされているが、いまだ充分な方法が確立されているとは言えず、様々な解決すべき問題がある。
人工衛星からもの凄い明るさで見えると云うことは光源から発する光のかなりの部分が海を照らすことなく上空に失われていることを意味する。

発する光が効果的にイカを集めるような光照射パターンを持つようなLEDを開発した。また、我々は実際の操業下では問題となる風の影響を受けにくくするため平板状ではなく円筒状の形状とした。これを用いて実証試験を行い、実際有効な実績を上げることができることを示した。

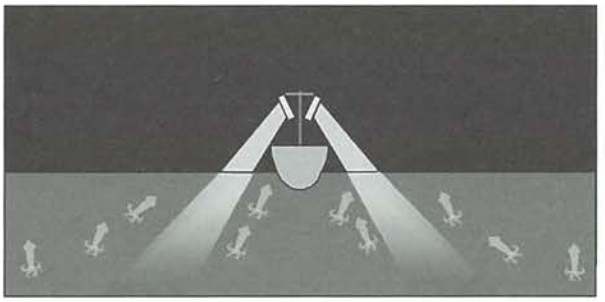
2.　集魚灯用LEDの開発

有効な集魚灯を開発するにはイカの習性、特に光に対する応答を知る必要があり、それを検討した。更に従来実績のあるメタルハライド灯がどのように光照射しているかを確認する必要がある。

船上に吊るされたメタルハライド灯の照射パターンは、図1(a)に示すように、①船近傍では水面から比較的水中深いところまで高照度域がある、②船体から離れるに従って高照度域は水面近傍のみとなり、やがて高照度域はなくなる、③船体の直下は陰となるため、周囲と比べて暗い領域となっている、と報告されている[1]。これが目標とする水中の照度分布の一つにはなるが、空を照らす上方への光は無駄となっている。



(a). Metal halide lamp in use



(b). LED(Normal type) in use

Fig.1 Schematic illustration of illuminance distribution around squid angling boat
図1：いか釣り漁船の照度分布概略図
(a).メタルハライド灯使用時、(b)LED(通常型)使用時

一方、従来開発されている通常タイプのLEDを使用した集魚灯の照射パターンは、図1(b)に示すように船近傍には水面から比較的水中深いところまで高照度域が形成されるものの、指向性が強いというLEDの特性より、船体から離れると急激に水中照度は低下し、スポットライトのように狭いエリアを照らしている状態である。実際このような照射パターンでは充分なイカ釣りの実績が上がっているとはいえない。

そこで我々は図2に示すようなLEDから所望の、即

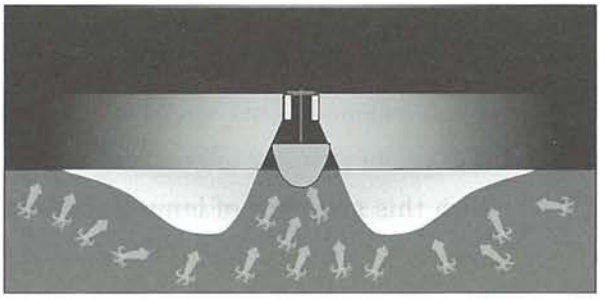


Fig.2 Schematic illustration of preferred illuminance distribution around squid angling boat
図2：望ましいいか釣り漁船の照度分布概略図

ち、無駄に空間を照らすことなく、有効に水面を照らししかもメタルハライド灯の水面への照射パターンに近くなるLEDの開発を試みた。

砲弾型のLEDはその頭頂部方向を中心にある程度の広がりを持った放射状の照射パターンとなり、LEDを水平方向に設置した場合、水平方向から上方の概ね50％の光量が有効に使われない。そこで砲弾型LEDのプラスチックレンズの形状に工夫を加えることを行った。即ち、無効な方向へ向かう光線が、特殊形状の界面に全反射の臨界角以上の角度で入射することによってほぼ全反射し、有効な方向の光となるような構造を実現したわけである。基本的な個々のLEDパッケージの構造は図 3 に示すように、凸面状の出射面と凹面状の反射面からなり、LEDチップから出てレンズの内側からの反射面に当った光はそこで全反射されレンズの出射面から屈折して出て行く。この成分が直接チップから出射面方向に出た成分と重なって実際の照射パターンとなる。

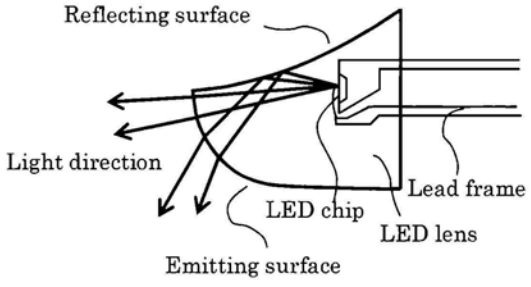


Fig.3 Configuration of developed LED package
図３：開発したＬＥＤパッケージの構造

今回、LEDパッケージから照射される光パターンを数値計算するプログラムを作成し、様々な形状のプラスチックパッケージからの出射パターンを計算することで最適な形状を探求した。この計算は二次元の計算とし、図4に示すように、計算対象とするレンズの形状を設定した上で、面積を持たない点光源を仮定したチップを原点に配置し、光線追跡を行った。具体的には、レンズを構成する面（今回の2次元の計算においてはライン）が $y = f_1(x)$、$y = f_2(x)$、$y = f_3(x)$、$y = f_4(x)$の関数で構成されるレンズを計算対象として、チップから放たれた光がレンズ内側の面に到達した時点でその面に対する入射角を計算し、臨界角以上であれば全反射されるとして次の面に到達するまでさらにレンズ内での光線追跡を継続し、入射角が臨界角以下となる場合は、屈折角を計算して最終的にレンズから出た光が進行する角度を計算した。この計算結果にチップ単体の配光特性（角度-光度特性）による重み付けをすることにより、各光線の重み付けを行い、設定したレンズをもつLEDパッケージの配光特性を計算した。

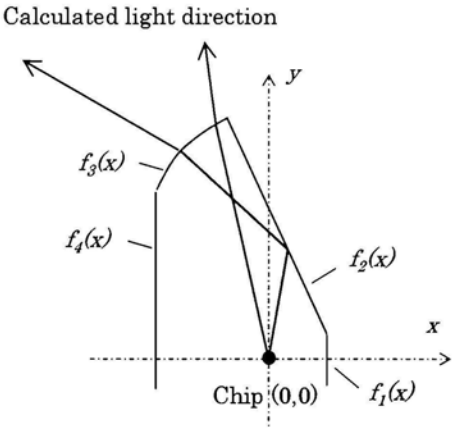


Fig 4 Calculation of LED light direction
図４：ＬＥＤから放出される光の進行方向の計算

レンズを構成する望ましい関数の決定のためには、Engineous Japan 社の最適化ソフトウエア iSIGHT を用いて自動計算を行った。このソフトウエアは、計算結果を評価して自動的に設計変数を変更し、ベターな設計変数を探求するものである。具体的には図2で示した分布が得られる配光特性を目標特性とし、設定したレンズ形状による特性の計算値と目標特性の差を最小化するという条件で自動計算を行い、最適なレンズ形状を示す設計変数（関数 $y = f_1(x)$、$y = f_2(x)$、$y = f_3(x)$、$y = f_4(x)$の各係数）を探求してレンズ形状を決定した。図5に計算結果に基づき、実際に試作したLEDパッケージの外観（斜視図）を示す。

図6に目標とした特性、決定したLEDの特性の計算値と、実際に試作したLEDの指向性の測定値を示す。この図は、図4のy軸方向を 0° 方向として、各角度での光度を、光度の最大値で除して比率としてプロットしたものである。なお、図2のようにLED集魚

灯として用いる場合は、0°が水平方向、マイナス側が海水面、プラス側が上空を照らす方向となる。まず目標特性と計算値の比較であるが、計算値の方がマイナス側に広がっており、また理想的にはゼロとなるべきプラス側にも光が出ているという形にはなっているものの、概ね目標特性に近い特性になっていると考える。この目標特性との差は、フレームとの干渉回避やサイズの制限によりレンズの形状に制約をつけており、すべての光を全反射するように反射面を設定できなかった等の要因が考えられる。また計算値と測定値の差であるが、こちらも一部に特性の異なる部分はあるものの、傾向としてはほぼ数値計算の結果と一致することが分かる。この計算値と測定値の差については、計算プログラムにおいてチップを点と近似したことなどに起因すると考える。

Fig.5 Picture of developed LED package (Perspective view)
図5：開発したLEDパッケージ外観（斜視図）

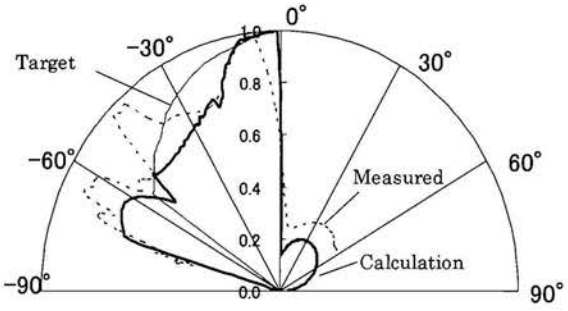
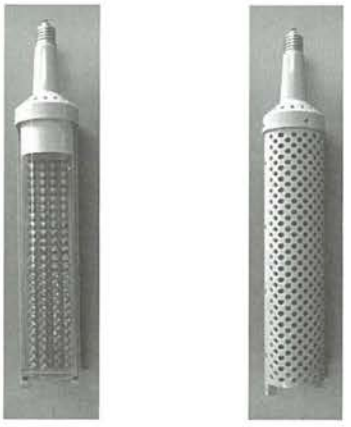


Fig.6: Comparison of target、calculated and measured luminous intensity distribution of developed LED.
図６：開発したＬＥＤの配光特性の計算値と実測値、目標特性の比較

なお、ここで用いたLEDの波長は中心波長500nmの緑色LEDを使用した。イカの最大視感度は470～490nm であるが、この領域の発光波長を有するハイパワーで比較的安価なLEDがないので上記のものを使用した次第である。

3.　円筒型集魚灯

従来の集魚灯は LED を平板上に並べたLED光源を平板形状（薄型直方体）の筐体内部に収めた形態をとっているが、海上で操業する漁船上ではかなりの風の影響を受けることから平板形状を避けることが望ましい。そこで、改良した特殊形状の LED をマトリックス状に並べたLED光源を円筒状の筐体に配置した集魚灯を開発した。（図7）



(a).Light-emitting side (b) Heat-dissipating side
Fig. 7 Developed LED devices for squid angling
図7：開発したLED集魚灯外観　(a).発光部、(b).放熱部

この集魚灯は新規にデザインしたLEDパッケージを持つLEDをプリント基板上に計100個配置し円筒状の筐体内部に配置したものである。（図8）

従来のLED集魚灯では、取付けのために船体に新たにフレーム等の工事が必要となるが、今回開発したLED集魚灯は、船体の工事を減らすために、現在使用されているメタルハライド灯のソケットを使用して固定する形態をとっている。集魚灯のサイズは上部の固定用のソケット部を含めると高さ 700mm、直径 115mm である。

LEDは1個あたり消費電力1W相当のハイパワータイプを使用しており、なおかつ集魚灯の小型軽量化

のためにLEDを高密度に実装していることから、LEDの放熱についても配慮する必要がある。この集魚灯においては、円筒状の筐体内部の概ね2／3の領域にLEDから発生した熱を外部に放出する放熱板(ヒートシンク)を配置し放熱部としている。円筒状筐体内部のうち、LEDを配置した発光部については海水等の浸入を避けるため防水構造を取っているが、放熱部については外部空気との熱交換を促進させるために、筐体に多数の穴を開けて空気の出入りを可能としている。これら放熱板、筐体の穴の仕様(開口率)については、連続使用中に LED チップの温度が制限温度以下になるように検討を行い決定している。

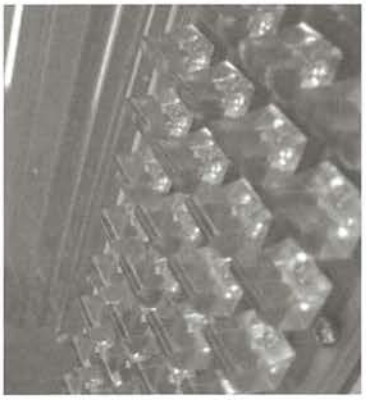


Fig.8: Close up of Light-emitting side
図8：発光部拡大図

電源は、メタルハライド灯の場合は、船に設置された発電機からの交流200Vが各集魚灯のソケットを経由して供給されているが、今回は、既設の電源設備の改造を最小限とするために、船室に新たに設置した交流直流変換装置を経由して、既設交流200Vとは別系統で直流100Vを各LED集魚灯に供給する形をとっている。

4. 開発した集魚灯を用いた操業実績

操業実験は漁業協同組合JFしまね恵曇支所の9.9トン型船を使用し四季を通じ各 10 回実施した。

実際には新規開発した集魚灯と従来のメタルハライドランプ集魚灯を様々な比率、配置で漁船に装荷して、実証実験として操業比較を行った。図9の写真は実際に用いた漁船である。また表 1 に、操業実験を行った試験条件(LED 集魚灯とメタルハライド灯の灯数、合計の消費電力)とメタルハライド灯のみを使用した通常操業時と比較した原油消費量の削減量(計算値)を示す。

Fig.9: Squid angling boat used for test
図9：操業試験を行ったイカ釣り漁船

表 1：試験設定条件
Table 1: Test Condition

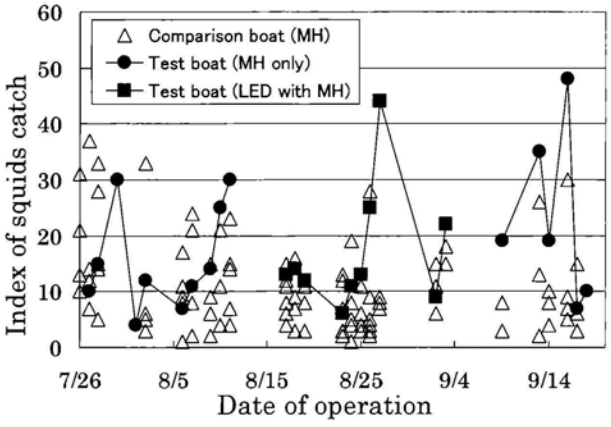
	No. of LED lamp	No. of MH lamp	Electric power consumption kW	Fuel consumption Liter/Op.	Fuel save Liter/Op.
Pattern ①	25	4	14.5	35	95
Pattern ②	25	4	14.5	35	95
Pattern ③	30	6	21.0	50	79
Pattern ④	26	10	32.6	78	51
Pattern ⑤	30	10	33.0	79	50
Pattern ⑥	25	11	35.5	85	44
Norm. Op.	0	18	54.0	130	(Base)

* MH: Metal halide lamp

操業比較は、試験操業日毎に、LED 灯使用時の試験船の漁獲と、試験船と同じ恵曇漁港に水揚げした同規模のイカ釣り漁船(以下、「同規模船」という。)を比較することで行った。この同規模船については毎日同一の船ではなく、他漁港所属の船が恵曇漁港で水揚げした場合についても、同海域で操業を行ったと判断して比較データとして用いている。

図10は各操業日毎の試験船および同規模船の漁獲の例(夏季試験)を示すが、この図に示すように、同じ集魚灯のパターンであっても実際の操業では漁獲量に大きなばらつきが生じる。表2に操業期間毎の漁獲量の平均値を示すが、秋から冬にかけて試験船の漁獲が下がる傾向はあるものの平均では開発したLED 集魚灯を用いた試験船は同規模船とほぼ同等の漁獲が得られた。

また表3には、春から秋の操業試験について、配置パターン毎の試験船の漁獲と、それぞれのデータに対応する期間での同規模船の漁獲の比較を示す。この表に示すように、メタルハライド灯の灯数の比率が大きくなるほど漁獲量は増加する傾向があるが、パターン④の条件で、通常操業時、つまり全灯メタルハライド集魚灯使用時を上回る漁獲量を達成できた。この条件においては通常操業時と比較して集魚灯用途での電気エネルギー約40%減、1操業あたりで51Lの原油消費量削減となる。



* MH: Metal halide lamp

Fig.10: Index of squids catch (summer test)
図10：試験期間中の漁獲量(夏季試験)

表2: 1操業あたりの漁獲量の比較
Table 2: Index of squids catch in one operation

	Test 1 6/14 ~7/3	Test 2 8/17 ~9/4	Test 3 10/15 ~11/7	Test 4 2/7 ~3/23	Average
Test boat	22.6	16.9	27.9	7.4	18.0
Comparison boat	13.0	8.5	28.4	48.3	17.2
Test boat Lamp pattern	①②⑥	③④	③④	⑤⑥	

* unit : index of squids catch in one operation (night)

今後は更に操業実績を積み重ねると共にさらなる小型・軽量化へ向けた改良を進める予定である。尚、発光波長がイカの視感度に近い LED が安価に入手できるようになれば、これと置き換えることにより更なる漁獲量の増加が期待できる。

また、イカの視感度が良い今回の LED ランプの他にいくつかのメタルハライドランプを併設した方がいいと云うことは、メタルハライドランプの LED 光の波長以外の成分、緑、黄色、赤の光もある程度効果を持っている可能性を持っていることを示すものかもしれない。たとえば、イカの餌となる小魚やプランクトンを集める役割を担っている可能性などもあるのかもしれない。

表3: パターン別1操業あたりの漁獲量の比較
Table 3: Index of squids catch, comparison in lamp pattern

	Pattern ①	Pattern ②	Pattern ③	Pattern ④	Pattern ⑥
Test boat	11.0	5.3	17.9	25.9	44.3
Comparison boat	21.0	10.3	19.4	15.6	7.3
Test boat No. of data	3	3	9	10	4

* unit : index of squids catch in one operation (night)

5. おわりに

イカ釣り集魚灯用としてメタルハライド灯に代替する特殊形状LEDレンズを設計しLEDパッケージを作製した。

最適の光照射パターンを得るLEDレンズの形状を決定する計算手法を開発し、頭頂部の一部に凹面を持つレンズ形状の LED をデザインして作製した。風の影響を低減させるため、この LED を円筒内に配列した集魚灯を作製し、実測の結果得られる光照射パターンがイカ釣り集魚灯として有効な照射パターンであることを実証した。

この集魚灯を用いて実際のイカ釣り漁を実施し、冬場に漁獲が減る傾向はあるものの、春から夏にかけては、消費電気エネルギー40%減、石油換算51L減のエネルギー消費で従来のメタルハライド集魚灯を用いた場合を上回る漁獲量を達成することができた。

この新しく開発したイカ釣り集魚灯により初期コストはかかるものの省エネルギー、省コストでイカ釣り操業が実現できることを実証できた。これは地球温暖化抑制を含めて地球環境問題にも大きく資するものと考えている。

6. 謝辞

本研究の一部は平成20年度および21年度 独立行政法人 科学技術振興機構(JST)重点地域研究開発推進プログラム(地域ニーズ即応型)委託事業の支援を受けたものである。また、実証操業試験は漁業協同組合JFしまねの協力を得て、JFしまね恵曇支所所属第三十三明和丸によって行われたものであり、船長の山下和雄氏を始め関係諸氏に深く感謝する次第である

漁業へのLEDの活用についてご教授をいただいた藤安洋 静岡大学名誉教授およびイカの習性に関してご教授を頂いた桜井泰憲 北海道大学水産科学研究院教授には深甚の謝意を表するものである。

参考文献

1) 奈須ら、イカ―その生物から消費まで、成山堂書店,1991

2) 荒川ら、小型イカ釣り漁船の集魚灯光の海中放射照度分布、日本水産学会誌 62(3),1996

3) 平成19年度 日本海沖合海域におけるいか釣り用青色発光ダイオード船上集魚灯試験結果報告書、石川水総資料 39 号、2008

4) 平成21年度 いか釣り漁業における発光ダイオード(LED)集魚灯の実用化に関する試験結果報告書、石川水総資料 42 号、2010

(平成 22 年 10 月25日受理)

福 田 健 一

1998 年九州大学大学院工学研究科機械工学専攻修士課程終了。バブコック日立株式会社勤務を経て 2005 年島根県産業技術センター研究員。主として、ＬＥＤに関する商品開発、熱流体シミュレーションなどに従事。日本伝熱学会会員。

佐 藤 公 紀

1975 年武蔵工業大学工学部機械工学科卒業。1999 年鳥取大学大学院工学研究科博士後期課程修了。博士（工学)。1976 年島根県工業試験場研究員、主任研究員、機械科長を経て、2003 年同所プロジェクトマネージャ。この間、1991 年～2002 年島根大学非常勤講師、2004 年～2008 年島根大学客員教授。主として、機械加工・特殊加工技術とその周辺技術および機能性材料の研究開発に従事。精密工学会、日本機械学会、炭素材料学会各会員。

大 峠 忍

1997 年 山口大学 工学研究科電気電子工学修士了。東芝マイクロエレクトロニクス株式会社勤務を経て、2006 年島根県産業技術センター研究員。主として、ＬＥＤに関する商品開発、熱流体シミュレーションに従事。

小 松 原 聡

1997 年広島大学大学院設計工学専攻 修了。日立金属株式会社勤務を経て、2002 年島根県産業技術センター研究員。生産システム科、新機能材料開発プロジェクトを経て、現在は熱制御システム開発プロジェクト主任研究員。主に、熱、構造等のシミュレーションに従事。精密工学会会員。

水 引 朋 之

1975 年広島工業大学電気工学科卒。1975 年　4 月　島根電工株式会社入社。主として電気設備設計、研究開発業務に従事現在に至る。

上 田 康 志

1980 年広島大学工学部第 2 類（電気系）卒業。三洋電機株式会社で自動化設備およびロボットの開発に従事。
2000 年有限会社トリコン設立、代表取締役就任。組織変更により 2009 年株式会社トリコン代表取締役。

吉 野 勝 美

1964 年大阪大学工学部電気工学科卒業、1969 年大阪大学大学院工学研究科電気工学専攻博士課程終了後、大阪大学工学部助手、助教授を経て 1988 年より大阪大学工学部電子工学科教授、2005 年から大阪大学名誉教授、2007 年から島根県産業技術センター所長を務める。その間、ハーンマイトナー原子核研究所（ベルリン）客員研究員、大阪大学低温センター長、東北大学教授併任、大阪大学先端科学イノベーションセンター特任教授など数々の要職を歴任している。工学博士。

研究分野は有機分子・高分子材料・液晶の電気・電子物性とデバイス応用、フォトニック結晶、高電圧技術、光デバイスなど広範囲にわたる。応用物理学会賞、大阪科学賞、電気学会業績賞、日本液晶学会功績賞、高分子学会業績賞、IEEE フェローなどをはじめとする数多くの賞を授与し、一方電気学会副会長、日本液晶学会会長などもつとめている。