

# プラズマ灯を用いた一次産業用灯具の開発

高橋 志郎、田谷 嘉浩、村田 政隆、柏谷 和仁\*

## Development of Illumination Apparatus for the Primary Industry using the Plasma Light

Shiro Takahashi, Yoshihiro Taya, Masataka Murata  
and Kazuhito Kashiwaya\*

### 要 旨

プラズマ灯は、省エネ、極めて高い演色性を有することや、蛍光灯やLED灯と同様に発熱が少ないなどの特徴の他に、光源の照度が高いながらもそのサイズが極めて小さいことから、配光が容易で、他の照明よりも照度効率を高めることでシンプルな構成で小型の灯具開発を可能とする。

本研究では、市販のプラズマ灯について、簡易的に照度の測定を行いその特性を把握するとともに、プラズマ灯を用いた一次産業用灯具として、水耕栽培システム用灯具及びイカ釣り漁船用灯具の開発を行った。

#### 1. 水耕栽培システム用灯具の開発

広い帯域の発光波長特性（高演色性）を持つプラズマ灯は、太陽光の波長特性に近いとされ、小指先程度のランプ球から高い効率で光を発生することができる。発光波長特性が太陽光に近いと、光源のシステムは非常にシンプルに設計できる。もちろん無電極の発光なので発熱も少なく、植物に近接も可能であり、距離があっても照度が取れるため、栽培できる植物の種類も豊富になると考えられる。

近年、様々な分野に展開されているLEDで光出力を上げる、多くの波長域の光を出力するためには、LEDの数を増やす方法しかなく、発熱やノイズ等により発光効率と信頼性が低下するため、後からの増設が難しいとされているのに対し、プラズマ灯はよりパワーのあるアンプに交換するだけで、簡単に光出力を増大できるため、シ

ステムの汎用性が高く灯具としての構築が簡便である。これらのことから、植物工場用灯具として開発製造コストが安価にできるメリットがある。

植物の成長は基本的に光合成によって行われるが、他に発芽・開花・子葉展開・葉緑素の合成など、植物の形態形成を誘起するために必要な光がある。これらに必要な光の波長域はそれぞれ違い、光合成には可視光全域、光形態形成には青色系（380nmから450nm）と赤色系（650nmから750nm）が必要であることが知られている。現在、省電力な植物工場の光源として採用されているLEDでは、光合成時の葉緑素が赤色系の吸収が良いこと、発芽など育成初期以外の形態形成に必要な光が赤色系に集中していること、青色LEDが高価であることなどから、主に赤色LEDを中心に形成した光源を採用しており、足りない波長域の光は蛍光灯や少数の青色LEDを組み合わせ

\*株式会社 仁光電機

責任著者連絡先 高橋志郎 (Shiro Takahashi) : s\_takahashi@techakodate.or.jp

るなどで、コストの低減を図っているが、その発光源の組合せは複雑で、栽培植物の種類に対して汎用性は低く、光源の開発コストがシステムの価格を押し上げている。また、LEDや蛍光灯は熱陰極（フィラメント）を用いた光源と比較して発熱が少なく、栽培植物に近接が可能のため必要照度を接近することにより取っているが、半面、栽培植物から離すと照度が取れず、育成できる植物は背丈の低い植物と種類が限られている。

そこで、市販の水耕栽培ユニット2台（高750mm×幅750mm×長3,150mm×2台、栽培可能植物40株×2台）を、太陽光を遮断した3.5坪のプレハブ内に設置し、プラズマ灯2灯（PLD-1およびPLD-2）を光源とした植物工場と見立てて水耕栽培システムの構築を行った。プレハブ内は温度、湿度、液肥濃度、二酸化炭素/酸素濃度、照度、照射時間、消費電力などについてオンラインで計測を行い、必要に応じて制御を可能とするための設備を設置した。

2灯のプラズマ灯の高さは水耕栽培ユニット上面から115cmとし、発光面からの鉛直方向の距離25、50、100および115cmの水平面において10cm×10cmのマトリクス構築し、その交点で照度の測定を行い、照度分布図を作成した。その結果のうち鉛直方向距離50cmおよび100cmの照度分布を図1に示す。この結果をもとに照度分布シミュレーターを構築し、これを照明設計指針とした水耕栽培システムを作製した。

照度シミュレーターの入力項目は、プラズマ灯の投入電力量、水耕栽培ユニット上面からのプラズマ灯の高さh、プラズマ灯間の距離wを入力

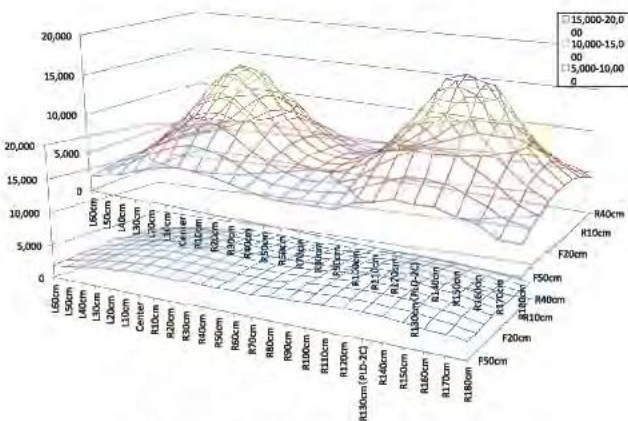


図1 プラズマ灯の平面照度分布  
鉛直距離50cm（上）および100cm（下）

することで任意のポイントPにおける照度が得られる。照度の計算式は実験的に（1）の式で求められ、直接照度の理論式とよく一致している。

$$E_1(\text{プラズマ灯1の照度}) = LT_1 \cdot h / (l_1^2 + h^2)^{1.54}$$

$$E_2(\text{プラズマ灯2の照度}) = LT_2 \cdot h / (l_2^2 + h^2)^{1.54}$$

$$E(\text{任意のポイントPの照度}) = E_1 + E_2 \cdots (1)$$

この照度シミュレーターにより得られた照度の相関より、プラズマ灯の高さおよび位置を決定し水耕栽培システムを構築した。照度シミュレーターの計算画面を図2に、作成したショーウィンドウタイプの水耕栽培システム外観を図3に示す。

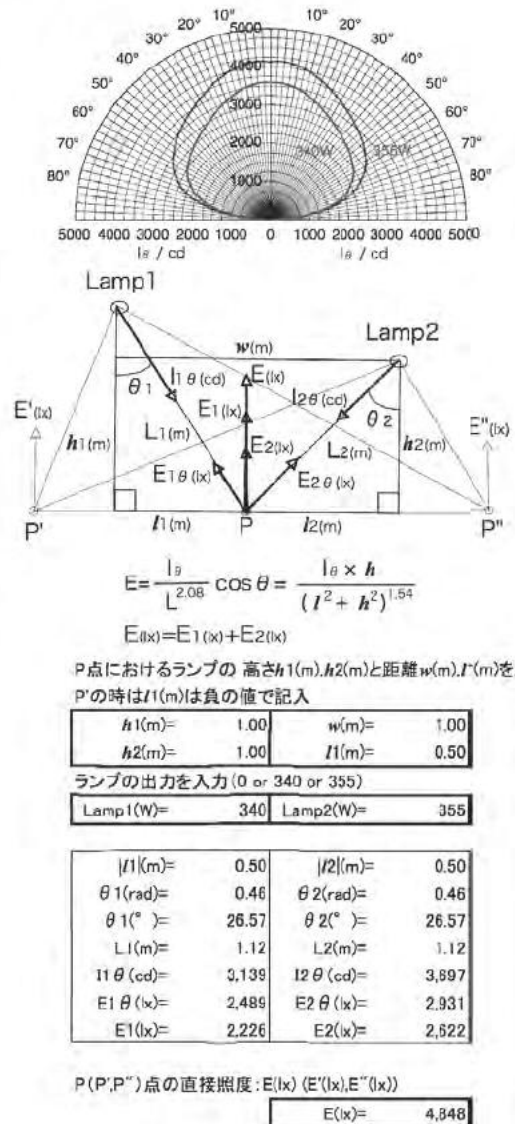


図2 照度シミュレーターの計算例

## 2. イカ釣り漁船用灯具の開発

イカ釣り漁業は、漁船の甲板上に高照度の集魚灯を点灯し、船下に集まったイカを釣り上げる漁法である。従来、イカ釣り用集魚灯の光源として主にメタルハライドランプが使用されてきた。メタルハライドランプは、高照度で、漁獲を促進させる作用がある半面、消費電力が大きく、消費燃料油の多くが照明によることが問題となっている。消費電力の低いLED灯によるイカ釣り集魚灯の開発も進められているが、現行のメタルハライド灯に比べ漁獲量が大幅に少なく、未だ実用化には至っていない。

また、メタルハライド灯には低消費燃料化が困難なことのほかに、その形状ゆえに必要な方向に光線を集中させる配光が困難という問題が、LED等には高照度化するためには船上のスペースや重量的に困難という問題を抱えている。

これらの問題を解決するために、プラズマ灯を用い、配光により照射範囲を最適化し、広い範囲からイカを集める機能を損なうことなく照度効率を向上させ、エネルギー消費量を低減するイカ釣り用集魚灯の開発を目指した。

現行メタルハライド灯をプラズマ灯へ置換する場合に必要なLEP灯数について算定した結果、現行のメタルハライド灯3kW × 50灯(150kW)は、海面上への照射効率を高めるように配光制御したプラズマ灯500W × 100灯(50kW)に置換可能であることがわかり、消費電力を約70%程度も低減できることがわかった。メタルハライド灯、LED灯との効率の違いについて表1に示す。

イカ釣り用の集魚灯には、照度や配光のほかに、過熱、電力消費量、重量、電磁波などの問題がある。発熱は、放熱板と鍍金/塗装の設計を行い最大70℃程度に、重量は放熱板を空冷にすることで8kg程度に、電磁波は放熱板がアンテナにならないようにすることで、無線、GPS、魚探等に影響を及ぼさない程度に低減した。以上のような設計を行い試作したイカ釣り用のプラズマ集魚灯(テストタイプ)を図4に示す。

現在、より軽量化、小型化を図った実証試験灯具を実際のイカ釣り漁船に搭載し、漁獲への影響や省燃費、改善点の洗い出しを行っている。また、配光に関してもより高精度な配光特性評価を行いある程度良好な結果を得ている。



図3 ショーウィンドウタイプ水耕栽培システム外観

表1 プラズマ灯とメタルハライド灯およびLED灯のエネルギー効率比較表

光源種類	A: 投入する電力	B: エネルギー変換効率	C: 海面への光束の到達率	D: 総合効率 A×B×C	総合効率プラズマ比
メタルハライド灯	1	0.36	0.15	0.054	28%
LED灯	1	0.38	0.30	0.114	61%
プラズマ灯	1	0.25	0.75	0.187	100%

エネルギー変換効率(電気から光への変換)はやや劣るが...

光束の海面への到達率が他光源に対して極めて高い

総合的な効率は他光源よりも高い!



図4 テストタイプイカ釣りプラズマ集魚灯外観