植物生体情報と植物育成効率向上のための
照 明 制 御[†]

岩尾 憲三*, 長野 一重*, 高木 信義*

1. ま え が き

照明に関して、一般の照明とは若干趣きを異にする応用分野の一つに施設園芸面への応用がある。

近年の施設園芸の発展はめざましく、電力を積極的に利用する“植物工場”が、すでに中部電力株式会社管内にも出現している。

昭和58年度の統計によれば、国内におけるガラスハウスとビニールハウス 設置面積は2万8,900 ha であり、農業における施設園芸の比率は、今後とも着実に伸びていくものと思われる。

このような施設園芸の特徴は、投資規模が大きいくことに加え、エネルギーを積極的に利用して生産拡大を図る点にあるといわれている。ちなみにある植物工場のコスト分析例を示すと 表 1 のとおりである。

表 1 サラダナ1株(100 g)当たりの生産費

設 備 償 却 費	建 物	5.68円	11.1%
	照 明	0.96	1.9
	空 調	0.45	0.9
	栽 培	3.51	6.9
ランニングコスト	照明電力	17.20	33.6
	空調電力	3.62	7.1
	ランプ取替	5.26	10.1
	そ の 他	3.92	7.7
金 利 ・ 人 件 費		10.50	20.5
合 計		51.10円	100%

* H社のデータ¹⁾, 昭和58年現在。

照明電力のコストが目立つが、これは従来、太陽光に依存してきた植物の光合成を人工光で行なうためである。1日に0.5トン出荷しつづけるとすれば、9,200万円/年のコストがかかり、そのうち照明用電力、ランプ取り替えなどの費用は4,700万円/年で、約50%を占めることになる。

このようなエネルギー消費形のシステムでは、エネルギーの効率的な使用が問題になり、次のような課題が指摘され始めた。

[†] Study on Plant Physiological Information and Lighting for Optimal Plant Growth

* 中部電力総合技術研究所
Kenzo Iwao, Kazushige Nagano, Nobuyoshi Takagi
紹介者 編集理事 猪野原 誠

- (1) 作物生育のメカニズムを温度、光、水、養分などの条件との関連で基本的に解明すること。
- (2) 生育環境条件の制御技術の確立。
- (3) 栽培管理の装置化。

(1)と(2)については情報・制御の問題であり、(3)とあわせて考えるとよいよ“工場”の概念に近づいているといえる。

当研究所では、昭和52年から主として環境問題のニーズから、植物の生理変化に伴う種々の情報(植物生体情報)を計測する技術の開発に取り組んできた結果、(1)と(2)について有用な手段が得られたと考える。

本稿ではまず、植物の生長のしくみについて述べ、その結果、農業ではどのように環境制御が行なわれているか説明する。

次に、当研究所で進めてきた植物体情報の研究について説明するとともに、植物工場における照明を設計する際に重要と思われる植物の照明に対する反応を中心に解説し、問題になる事項について報告する。

2. 植物の環境と生長^{*1} のしくみ

植物の生長のしくみ全般について簡単に説明することは困難であるので、ここでは後述の3節に出てくる環境制御に関係する範囲について説明する。

2.1 植物の生育相

植物は一年生草本、多年性草本および木本に大別される。このうちの前者に、いわゆる「作物」として利用されるものが多い。

そのライフサイクルを示すと 図 1 のとおりである。

図 1 植物のライフサイクル

2.2 温度と生長

一般に種子は低温^{*4} 接触などにより休眠が解けた後、次

*1 「生長」という言葉は、いろいろな意味に使われるが、ここでは「植物体の重量増」という意味で使う。
*2 「栄養成長」とは茎、葉、根の生長をいう。
*3 「生殖生長」とは花、果実といった生殖器官の生長をいう。
*4 「低温」とは、所定の期間低温状態に置かれることをいう。

の条件が満たされると発芽する。

- (1) 酸素
- (2) 水
- (3) 温度

普通、酸素とか水が不足することはないので、発芽に適切な温度が問題である。たとえばメロンでは $31\sim 37^{\circ}\text{C}$ であることが調べられている。

一方、生育に適した温度は約 25°C である。一般に発芽に必要な温度は、生育に適した温度よりも高いことが特徴である。

また、果実を得るためには花芽が形成され、開花し結実する必要があるが、花芽形成には低温や日長* などの条件も満たさなくてはならない。花だけを生産する場合も開花までの条件は同じである。

たとえば、洋らん（デンドロビウム）の場合 13°C 以下約50日の低温条件が必要である。

以上のように、植物がどの生育段階にあるかによって好適な環境条件が異なるために、3節に示すような環境制御技術の意義がある。

また、大規模にエネルギーを投入して環境制御を行なう場合にはその効果を計測し、評価することが重要であろう。

2.3 光 と 生 長

植物に対する光の作用としては、光合成作用と日長作用とが挙げられる。

光合成の反応式は次に示すとおりである。植物は光合成の産物により自らを構築し生長していく。

(光合成式)

合成されたぶどう糖は、すぐ水に不溶性のでんぷんに変えられる。

(ぶどう糖) (でんぷん) (水)

その結果、葉緑素の内部ではぶどう糖で飽和することなく

図2 C₃植物とC₄植物の光合成特性

* 「日長」とは、「短日」「長日」をさし、植物によって決まった夜（暗期）の長さより長い、あるいは短いことをいう。したがって、暗期の途中に数分程度の照明が行なわれると、「短日」の条件は満たされない。これを光中断という。

光合成の反応は継続する。でんぷんはやがてセルロースなどに変化し植物体を構築する材料などになる。

図2に、光合成の著しいとうもろこしなど多くの植物が属するC₄植物**と、トマトなど多くの植物が属するC₃植物***の光合成特性を示した。植物の種類により光の利用効率はかなり異なる。

次の日長作用であるが、きくは短日植物と呼ばれ、秋になって日照時間が短くなると花芽を形成する。このため白熱電球など、人工光で長日条件にすることにより2か月余りその開花を遅らせることができる。

以上で説明した光合成あるいは、日長変化に効果のある光の強さは大きく異なり、前者は数千～数万 lx のレベルが必要であるのに対して、後者は月光よりわずかに明るい程度（5～20lx）で足りる。

2.4 水 と 生 長

植物の含水率は高く、植物にとって水の果たす役割は重要である。

図3 光合成速度と葉内水分レベルとの関係（牛島・田崎）

とくに、光合成に及ぼす影響は図3のとおりで、体内水分の減少により光合成速度は減少する。含水率の低下により葉の気孔が閉じ、二酸化炭素の取得が減少することが直接の原因である。また、含水率の低下により光合成産物の根への分配率が増大し、葉への分配率は減少することが知られている。

2.5 肥 料 と 生 長

植物の生長に必要な元素は次に示すもので、「植物栄養の10元素」と呼ばれる。

窒素N、リンP、カリウムK、炭素C、水素H、酸素O、硫黄S、カルシウムCa、鉄Fe、マグネシウムMg（これに微量元素として、ほう素B、亜鉛Zn、マンガンMn、モリブデンMo、銅Cuなどが必要である。これらはすべて水溶性の化合物として吸収される）。

これらのうち一部は植物体を構築する材料となるが、多くは光合成や呼吸、その他の代謝を正常に保つための栄養として働く。

** 光合成反応に関与する炭素Cの数の違いにより、C₃植物とC₄植物の区別がある。

*** 水欠率とは、純水に浸して十分に膨潤した葉の重さを100にしたときの生葉の重量の割合。

図4 いねの葉の光合成速度と葉の窒素レベルの関係(津野)

一例として、窒素Nの葉内含量と光合成速度との関係を図4に示した。

葉内の窒素レベルが高いと光合成も促進される。窒素の働きとしてもう一つ重要なことは、葉への光合成産物の分配率を高め、根への分配率が減少することが知られている。つまり窒素が多過ぎると枝葉ばかり繁茂する。

2.6 大気成分と生長

一般大気中の植物は、生理的に CO_2 の飢餓状態にあるといわれている。したがって、環境の CO_2 濃度を高めると光合成が促進される植物は多い。その例を図5に示す。大豆は大気中の CO_2 濃度が 300 ppm では $20 \text{ mg CO}_2/\text{dm}^2\text{hr}$ 程度であるが、1,600 ppm で強い光のもとでは4倍の $80 \text{ mg CO}_2/\text{dm}^2\text{hr}$ という驚異的な光合成速度の増加が認められる。実際に高 CO_2 濃度の環境で作物を育てると多くの作物で数倍の増収があることがわかっている。ただし、2,500~3,000 ppm といった高濃度になると気孔が閉じ、逆に光合成が妨げられることも知られている。

図5 CO_2 濃度と大豆の光合成速度 (Brun and Cooper, 1967)

大気成分のうち N_2 や O_2 は生育に大きく影響しないが、種子の発芽には O_2 の消費が著しい。

3. 農業における環境制御の現状

以上のとおり、光合成について考えてみても、照度、体内水分量、葉内の窒素の含有量、大気中の CO_2 の濃度などの複雑な影響を受けることがわかる。したがって、人工的に生育に適した環境を与える試みは、古くから行なわれていた。

わが国では、すでに江戸時代に土佐藩では和紙になたね油を塗った障子で温室を作り、冬でも生鮮な作物を作っていた。外国ではさらに古く、古代ローマ人がナイル河流域で作られていたガラスや雲母板で温室を作り、きゅうりやメロンを栽培していた。特に、ローマ皇帝は不老長寿の妙薬として、一年中取りたてのきゅうりを食べていたという史実は興味深い。

現在では、冷却、暖房、炭酸ガス濃度、土壌水分など、きめ細かい制御が行なわれている。植物工場については、太陽光を利用せず電灯照明による人工光だけで栽培するため、加温よりもむしろ冷房が必要になるほど、従来の温室栽培と多少ニュアンスが異なる。

4. 植物生体情報の研究

もともと生体情報という言葉は医学用語で、血圧や脈拍数、体温などをさす。植物の分野では、むしろ生体反応という言葉が生体情報の意味で用いられてきたようである。

当研究所が本研究に取り組んだ背景は、農業電化と環境保全の研究である。

農業電化の歴史は古く、わが国では明治32年(1902)山形県西田川郡大泉村に、かんがい用電動機が設置されたことに始まるとされている。その後、農業における機械化が進むにつれ、電気の特質である「力」、「熱」、「光」の各面で利用が拡大された。さらに、施設園芸の技術が進むにつれ、環境制御のための計測制御の面で電気の持つ「情報の担い手」としての特質に大きく期待がかけられている。とくに、今日のマイコンの普及はこの流れを加速するとともに、施設の制御への応用が試みられており、この際に作物の生体情報を計測し診断することが必要となっている。

一方、環境保全については、高度成長期の産業活動の影響が環境問題として、昭和40年代後半に社会的な関心を呼び、さまざまな分野で研究が進められた。その中で、供試植物を非破壊で連続測定し、植物が大気汚染物質に対してどのように反応するかを計測する技術が、重要な研究課題の一つになった。

このような背景から当研究所では、昭和52年4月から以下に述べるような植物生体情報の計測と処理に関する研究を開始し今日に至っている。

4.1 研究の方法

植物を図6のような多入出力の物理化学システムとみなすと植物生体情報の研究は、このシステムの入出力関係を明らかにしていくことであり、植物生育のメカニズムを把握、解析する段階にあると考えられる。

この計測技術の開発の方向を、これまでの研究の経緯から展望すると次の三つのジャンルに分けられよう。

- (1) 植物の生理現象を電気計測すること。
- (2) 植物自身をセンサ(検出器)と考えること。
- (3) 植物自身に内在する情報を測定すること。

(1)は、単に物理、化学量を電気量に変換、記録する「電気ものさし」にすぎないが、現象が精密に測定できるこ

図 6 植物系ブラックボックス

と、かつ状態変化の把握が可能になるという特長を持つ。

(2)は、外部の状態変化に植物がどう反応するかを、植物自身に聞くことであり、図6のブラックボックスの入出力関係を知る方法にはかならない。この方法から得られる知見は、植物工場に代表される作物の生長制御や環境保全技術に結びつくと考えられる。

(3)は、植物の内部に入力（信号源、体内時計など）がある場合の取り扱いと考えられる。われわれのこれまでの研究成果の中では、植物の振動現象がこれに当たると考えられる。

4.2 装置および測定項目

(1) 試 験 室

環境要因の変化に対する植物の反応を調べるため、人工光源（陽光ランプ）を設備し、気温、湿度およびガス濃度を各々独立に調節できる「人工気象装置」（表 2）を主として用いたほかガラス室も使用した。

表 2 人工気象室仕様

項 目	仕 様
光 源	陽光ランプ 0.21y/分 (0~40 k/x)
室 内 寸 法	1.0 m(W)×0.8 m(D)×1.0 m(H)
温 度	5~45°C±0.5 deg
相 対 湿 度	40~90%±5%

(2) 測 定 項 目

基礎研究の成果として、次の項目について測定方法を開発した。

(1)茎の静電容量、(2)茎の膨張、収縮、(3)葉の厚み変化、(4)芽の伸長、(5)果実肥大、(6)葉の伸長、(7)葉の温度、(8)蒸散速度。

(1)、(2)および(3)は植物の体内水分の変化を測定するため考案したものである。(4)、(5)および(6)は植物の生長、肥大を直接測るものである。なお、測定センサ取付け状況と測定結果を次節で説明する。(8)は鉢の総重量の減少から株の蒸散量（蒸散速度）を直接測ろうとするものである。

4.3 研究の成果

(1) 茎部静電容量の測定と事例

図 7 のように、茎の 2 箇所（通常 5 cm 間隔）に導電ゴムを巻き、その 2 極間の静電容量を静電容量計（YHP 社制）で測定する。測定周波数は 100 kHz である。

茎部の静電容量測定から得られる情報は、電極間の水分量、すなわち植物体内水分量およびその変化である。これは水の比誘電率 ϵ_s が、 $\epsilon_s=81.6$ と高いためである。

図 7 茎部の静電容量の測定方法

図 8 茎部静電容量と葉の相対含水量
(たばこ、橋本)

このことを示したのが 図 8 である。静電容量の絶対値は数十 pF のオーダーである。日変化は数 pF であるため測定はやや困難であり誘導に対する対策が必要である。図 8 に示したカーブは、体内含水量の広い範囲にわたって示したもので、静電容量との関係には非直線性が印象づけられるが、生育が行なわれている範囲での含水量の日変化は小さいので、両者の関係は実用上はリニアな関係とみなしうる。

この測定から得られる情報は、次の茎径変化と同じなので(2)で説明する。これらは、植物の含水量の非破壊連続測定に利用できる。

(2) 茎の膨張、収縮の測定と事例

歪ゲージ式変位計を 図 9 のように取り付け、茎径の変化を測定する。検出変位は変位感知レバーの中立位置に対して±0.4 mm である。

また、0.4 mm 傾くには 100 g の荷重を要する。図 9 の方法では、茎が膨張すると変位感知レバーは茎のほうへ傾き、収縮すると茎から離れる。レバーの変位は歪ゲージの抵抗変化を生じ、ブリッジ回路を介して電圧変化として測定する。

図 9 茎径変化の測定方法

図 10 ひまわりの水欠率と茎径の収縮量の関係(長野ほか)

この茎径変化と体内水分量の関係は、図 10 に示すように比例の関係にある。これは植物の含水率が高く、かつ水が非圧縮性であるため、体内水分の変化が体積変化として直接現われるためと考えられる。

茎径、すなわち植物の含水量は光の照射などの原因により気孔が開いて蒸散速度が増し、根の吸水能力を上回るため減少することが確かめられている。

図 11 照明による茎の収縮と灌水による膨張(ゴムノキ)

図 11 に、人工気象室を利用して茎径の変化を測定したデータを示す(ゴムノキ)。暗期から照度 30 klx の照明を行なうと数分～数十分遅れて茎は収縮していく。収縮の状態で灌水を行なうと、土壌が乾燥している場合には図のように吸水による茎の膨張が認められる。

照明に対する茎の収縮の時間遅れは、暗期に閉じていた気孔が開くの要する時間であり、みかんでは数分～十数分間、なしは約 1 時間で、植物の種類によって異なる。

図 12 蒸散量と茎径変化(カボック)

図 11 の茎径の過渡変化は指数関数的であるが、カボックのように振動的な応答を示す植物が多い(図 12)。

(3) 葉の厚み変化の測定と事例

葉の厚み変化の測定は、図 13 に示すように茎径変化の測定に利用した歪ゲージ式変位計を用いる。

図 13 葉の厚み変化測定セットアップ

測定原理は、茎径変化の測定と同様に葉の厚みの変化を歪ゲージ式変位計の変位感知レバーの変位に変換するようにしている。この測定装置を利用して、茎径変化と葉の厚み変化の関係を調べたのが図 14 である。

図 14 茎径変化と葉の厚み変化の比較同時測定(温州みかん)

気温 15°C の例で示す。光の照射によりまず、葉の厚みが減少し、約 30 分後、茎へ伝播することを示している。

光に対する反応速度は気温により変化するが、これは気孔の開閉速度が気温が低くなると遅くなるためである。

図 15 相対湿度のステップ変化に対する葉の厚みの応答(温州みかん)

また、光の照射を止めた場合の茎径の膨張の速度も気温の低下に伴って遅くなるが、これは根の吸水能力が温度に依存することを示している。

葉の厚み変化、すなわち葉内水分量の湿度変化に対する応答は図15のとおりである。これも気孔の反応から生じているものであるが、葉内の水分欠乏を防ぐよう気孔開度の調節が行なわれていることがうかがえる。

(4) 芽の伸長の測定と事例

芽の伸長量は本来、生長点の伸長を測定するべきであるが、実際には困難なので、本法では図16のように茎頂に近い部分をクリップではさみ、変位計(差動変圧器)を用いて伸長を測定している。変位計の測定範囲は0~5 mm、分解能力は0.05 mmである。変位測定器は0~2 VのDC電圧出力が得られ、これをレコーダで記録している。

図16 葉の伸長の測定方法

環境要因の変化に対する反応の例として、人工気象装置における芽の伸長の光の照射に対する反応を図

17に示した。暗期に0.4 mm/hrの速度で伸びていた芽の伸長は照明により0.07 mm/hrに減速する。暗くすると再び元の伸長速度に回復する。自然条件下でも同様の現象が認められ、木と草で同時測定を行なったデータを図18に示す。

自然条件下では、トマトは草丈の収縮すら生じていることが認められる。木本の例として用いたポプラでは収縮は

図17 芽の伸長の光に対する応答

図18 木本(ポプラ)と草丈(トマト)の比較 (8/28, 1977)

しないものの、やはり日中の伸長速度は低下している。トマトの草丈が収縮するのは、草の類は含水率が高いためと考えられる。

人工気象装置と本測定法を用いることにより、植物の伸長の温度特性が容易に求められる(図19)。

図19 トマトとデンドロビウムの長生温度特性

(5) 果実の肥大の測定法と事例

図20に示すような枠の一方に変位計を設置し、他方の位置調整ねじにより測定対象の果実をはさむ。このようにして、果径の肥大量を変位コアの移動に変換すると果径の肥大を電圧変化として記録することができる。

図20 果径肥大の測定器

本法を利用して、自然条件下のトマトの果径の肥大を測定したのが図21である。果径の肥大は芽の伸長と異なり、日中には肥大の速度が低下するものの収縮は起こらないことがわかった。ただし、曇・雨天では肥大速度の低下がみられないことから、日中の蒸散による含水率の低下がその原因と考えられる。

図21 トマト長径の肥大

なお、参考のため図21では茎径変化の同時記録も示した。

(6) 葉の伸長の測定法と事例

葉身の伸長測定は、図22に示すような装置を組み立て、葉身の伸長を変位コアの変位に変換して測定する。ただし葉柄は固定である。

本法を利用して、幼葉の生長が土の乾きによりどのように影響されるかを調べたのが図23である。灌水停止後、土壌の乾きに伴い伸長速長は著しく低下する。再び灌水を行なっても、伸長速度の回復には時間を要することが特徴

図 22 葉身伸長の測定法

図 23 ポプラ葉身伸長に及ぼす土の乾きの影響

図 24 湿度の急変と茎径振動 (ポプラ)

であった。また図 24 のように茎径の振動現象が現われる状態では葉身の伸長も脈動を示す。

(7) 葉の温度の測定法と事例

人間の体温に相当する葉温は、図 25 に示すようなイヤリング形のサーミスタ温度計により、葉の裏面の温度として測定する。

図 25 葉温の測定法

葉の温度を変化させる要因としては、太陽光や照明などからのエネルギー取得による温度上昇と蒸散による冷却が挙げられる。

この方法により、ひまわりの葉位別の葉温を測定した結果を図 26 に示した。葉の部位によって蒸散パターンが異なることが容易に確かめられる。参考のため茎径の変化

図 26 茎の膨縮と葉温運動との関係 (ひまわり: 草丈145 cm, 茎径 18.6 mmφ)

の同時記録も示した。

(8) 蒸散速度の測定法

蒸散量の測定は、ロードセル(電気式荷重計)を用いて鉢の重量減少から求める。また、蒸散速度は蒸散量のカーブをコンピュータで微分して求める。測定事例は(2)ですべてに述べたので省略する。

5. 照明による光合成の促進と問題点について

植物工場における照明は従来の、人間の作業性のための照明や、ショーウィンドーなどの演色性を重視した照明と違って、これまで太陽光に依存してきた光合成を行なおうとするものである。このような数万 lx オーダの照明を行なうにあたっては、その効果を評価することが重要であろう。現在、このような評価手法が模索されているが、筆者らの計測技術で評価できる気孔の反応(開閉)から、照明に対する植物の反応および問題点について説明する。

図 27 カボックの茎径(体内水分)変化の照度の違いによる反応の差

図 27 は、観葉植物であるカボックを気温 15°C、湿度 80%の一定の条件のもとで、急に光を与えたときに示す茎の直径の変化を示したものである。

光が与えられると光合成を行なおうとして、暗期には閉

じられていた気孔が開き炭酸ガスを取り込み始める。気孔が開くと、カボックの体内の水分が外へ蒸散し始め、体内水分が減少し茎径は減少する。

32 klx の場合は、葉の裏の気孔からの水分の蒸散と根からの水分の補給がバランスして、一定の茎径で落ち着き支障なく光合成を営んでいる。

しかし、9 klx しか与えなかった場合では、茎径は振動をくり返している。これは気孔が開閉をくり返していることを表わしている。つまり、照度が低い場合には、気孔の開閉がスムーズに行なわれない。このためいったん開き始めると水分不足の状態まで茎径が縮んでしまい、また閉じ始めると水分不足が解消しても、そこでうまく閉動作が止まらず、光合成を妨げる全閉の状態まで行き過ぎてしまう。そしてこれを繰り返すのである。

気孔が開閉を繰り返している状態では、大まかにいって光合成に光のエネルギーは半分しか利用されていないこととなる。このことを図 28 に示す。茎径の変化が振動的である状態では、蒸散速度(図 28, 曲線 A)は、5~85 (g/hr・株)の間で変動を繰り返している。これは、気孔の全閉、全開に対応している。葉における蒸散速度と光合成速度は比例関係にあることが知られている。

図 28 蒸散速度と茎径変化
A: 蒸散速度(鉢の重量減速度) (g/hr・株)
B: 茎径変化 (μm)

この例に示す現象は多くの植物についても認められ、多大のエネルギーを消費して、植物に光合成を行なわせようとする場合、重要な問題と考えられる。

この対策として、たとえば、次のようなことが考えられる。

- (1) 気孔の開閉速度を上げる。
照度を上げる
気温を上げる
- (2) 水分蒸散量を減らす。
葉を茂らせない(葉をむしる)。
湿度を上げる。
- (3) 変化をゆるやかにする。
照度を上げる。

このうち、葉の数を減らす方法をためした例を図 29 に示した。

推測どおり振動の抑制が認められた。上記の例から植物工場の設計・運営においては諸条件の選定が重要であり、また、実際の現象はたいへん複雑であることが理解され

図 29 葉数の違いによる茎径の応答の変化(カボック)

たものと思う。この意味でも植物の生体情報を連続的に計測し、生育を診断する技術が有用であると考えられる。

6. あとがき

表 3 に工学と農学の違いを示した。植物生体情報の計測と処理の技術を確立するためには、これらの違いをわきまえておく必要があり、単純に工学的手法を適用しても農学では失敗することが多い。その原因の一つとして植物は生命現象という、きわめて高次元原理に支配されているためと考えられる。

表 3 工学と農学の比較検討

項 目	工 学	農 学
く り 返 し	易	困
個 体 差	小	大
履 歴 効 果	さ い	き い
状 態 の 変 化	少	多
計 測 の 基 準	な い	不連続に変化
シミュレーション	明 確	未 確 立
学問としての性格	容 易	困 難
システムとしての性格	物理・化学の応用 主として線形	経験の学問 ほとんど非線形

また測定器は小型であり、取り扱いが簡便でなければならないことに加え、生体になじむセンサの開発が必要である。たとえば、葉の厚み変化を測る場合、葉を傷つけないことや、葉のインピーダンスを測る場合、測定電流が葉の生理を妨げないなどの配慮が必要である。

当研究所で進めてきた植物生体情報の研究も 8 年目を迎えるが、これまでの基礎的な研究の成果が関係方面で役に立てば幸いである。本稿を終わるにあたって、研究面でお世話になりました電力中央研究所 龍野得三(前)理事をはじめ関係各位、農業気象学会の関係各位に謝意を表します。また、本稿を校閲していただいた当社前総合技術研究所担当大坪重遠氏に感謝いたします。

参 考 文 献

- (1) 二ノ方兼武, 宮里満: 歪計による樹幹直径の日変化測定, 鹿児島大農学部報告(昭34)
- (2) Kozlowski, T. T.: Diurnal Variations in Stem Diameters of Small Trees, Botanical Gazette (1967)
- (3) Klepper, B., Browning, V. D. et al: Stem Diameter in

- (4) Meidner, H., Sheriff, D. W.: Water and Plants(1976)
(5) 鴨田, 内藤: 野菜の光合成及び蒸散に関する研究, 野菜試験場報告 (昭50)
(6) 岩尾, 藤野: 植物生体情報の計測(I), 電気関係学会東海支部大会 (昭52)
(7) 長野, 島地: 植物の水分制御に関する研究, 農業気象学会

誌 (昭53)

- (8) 古谷雅樹ほか: 物質の交換と輸送, 朝倉書店 (昭50)
(9) 猪瀬博, 茅陽一ほか: システム工学 I ~ IV 岩波書店
(10) 岩尾, 武田: 植物生体情報の計測(I), 農業, 気象学会東海支部会誌 (昭53)
(11) H社技術資料

(受付1985年9月5日)

新製品紹介

ガラス管をブリッジ技術でつないだ ナショナル ツイン蛍光灯シリーズ

松下電器産業株式会社は、スタイルを一新したコンパクトで新しい形状の蛍光灯、ツイン蛍光灯シリーズを発売した。

ツイン蛍光灯シリーズは、2本のガラス管をブリッジ技術でつないだ新構造で、形状が良い、輝度が高い、片口金構造で器具内配線が容易などの特長を有し、デザイン性の高い新しいイメージの蛍光灯器具が実現できる。

また、ブリッジ構造はランプの先端部が放電路から離れた構造のため、点灯中の温度上昇（水平点灯などの場合）が小さく、温度上昇によって生じる効率低下を防ぐ働きもする。

さらに、このブリッジ技術は4本のガラス管をつなぐなどの展開を図ることができる技術で、新しい形状や、よりコンパクト化を実現することが可能である。

今回発表の28 Wと36 Wは、主照明の分野に使用できる明るさを有し、直管・丸形蛍光灯に続く第3の蛍光灯として広い分野での普及が期待される。

<特長>

(1) スタイルを一新したコンパクトサイズを実現

36 Wは長さ410 mmで、ほぼ同じ明るさを有する40 W直管蛍光灯の約3分の1の長さを実現。

(2) 蛍光体に希土類蛍光体を採用した3波長域発光形

<定格表>

種 別	品 番	寸 法 (mm)		口 金	定 格 ランプ電力 (W)	初 特 性		定 格 寿 令 (h)	適合点灯管	¥ (円)		
		ガラス 管の 径	長 さ			ランプ電流 (A)	全 光 束 (lm)					
ツイン蛍光灯 (既存安定器 点 灯 形)	28 W	電 球 色 (2800 K)	FPL 28 LE	20.0	322	GY 10 q	28	0.435	2,100	7,500	FG-5 P	2,000
		バルック (5000 K)	FPL 28 EX	20.0	322	GY 10 q	28	0.435	2,100	7,500	FG-5 P	
	36 W	電 球 色 (2800 K)	FPL 36 LE	20.0	410	GY 10 q	36	0.435	2,900	7,500	FG-4 P	2,300
		バルック (5000 K)	FPL 36 EX	20.0	410	GY 10 q	36	0.435	2,900	7,500	FG-4 P	

問い合わせ先 松下電器産業株式会社 管球事業部
〒569 大阪府高槻市幸町1番1号
電話 0726-82-5521

希土類蛍光体を採用し、高効率・高演色性を確保するとともに、スリムな管径によって高輝度を実現。

光色は電球色 (2800 K)、バ ル ッ ク (5000 K) がある。

(3) 既存の安定器、点灯管がそのまま使用可能

電気特性は、既存の安定器、点灯管がそのまま使用できる特性に設計。

ランプ 適合安定器 適合点灯管

FPL 28 32 W蛍光灯用安定器 FG-5 P

FPL 36 40 W蛍光灯用安定器 FG-4 P

(4) 片口金構造の採用で器具内配線が容易。

(5) 定格寿命は7,500時間の長寿命設計。