

ISBN 978-4-905304-28-9

# LED を利用した きのこ栽培

～きのこ栽培における光の効果～



農林水産省委託プロジェクト  
「国産農産物の革新的低コスト実現プロジェクト」  
「光・きのこコンソーシアム」編



独立行政法人 森林総合研究所  
Forestry and Forest Products Research Institute



## はじめに -Introduction-

きのこは我々日本人が好んで食し、日々の食卓に彩りを添える親しみやすい食材の一つです。きのこ類は現在、国内林業総生産の半分以上、年間2000億円を超える巨大な産業です。国内産牛肉と比較しておよそ半分程度、野菜類においてはトップテンに入るほどの市場規模を有しています。農山村地域においては、その経済と人口の維持・確保に大きく貢献する重要な産業の一分野をきのこ類が担っています。しかし今日に至っても、市場に好まれる栽培きのこを作出するための方法はいまだ経験に頼るところが大きく、従来からの育種・栽培がなされているのが現状です。そのため、メーカーや生産者からは、生産現場の問題に即応して、将来展望を持つ戦略的な栽培技術が要望され続けており、きのこ生産における画期的なブレークスルーが常に待ち望まれています。

本技術マニュアルでは、従来型の蛍光灯等を利用した栽培法から脱却し、より高い生産効率を狙った、LED照明装置を用いた省エネルギー型の新たなきのこ栽培法について、基礎研究及び実用技術開発の両方向から詳しい解説を行っています。

2014年3月

「光・きのこコンソーシアム」

本マニュアルは、農林水産省委託プロジェクト研究  
「国産農産物の革新的低コスト実現プロジェクト」  
の成果をご紹介します。

### 「光・きのこコンソーシアム」参画機関

独立行政法人森林総合研究所  
国立大学法人東京工業大学  
国立大学法人岡山大学  
公益財団法人岩手生物工学研究センター  
群馬県林業試験場  
長野県野菜花き試験場  
長野県林業総合センター  
奈良県森林技術センター  
徳島県立農林水産総合技術支援センター

# LED を利用したきのこ栽培

## 目次

### I きのこには光が必要＜日本の主な栽培きのこ＞

・ 光ときのこ	(独)森林総合研究所	2
・ LED (Light Emitting Diode)	(独)森林総合研究所	3
・ きのこの栽培	長野県林業総合センター	4
シイタケ	徳島県立農林水産総合技術支援センター	14
エノキタケ	長野県野菜花き試験場	16
ブナシメジ	長野県野菜花き試験場	18
ナメコ	長野県林業総合センター	20
マイタケ	群馬県林業試験場	22
アラゲキクラゲ	群馬県林業試験場	24
エリンギ	奈良県森林技術センター	26
バイリング	長野県野菜花き試験場	28

### II きのこ栽培への LED 利用

きのこ栽培と LED	(独)森林総合研究所	30
菌床シイタケ	徳島県立農林水産総合技術支援センター	32
エノキタケ	長野県野菜花き試験場	37
ブナシメジ	長野県野菜花き試験場	41
ナメコ	長野県林業総合センター	45
マイタケ	群馬県林業試験場	49
アラゲキクラゲ	群馬県林業試験場	55
エリンギ	奈良県森林技術センター	56
バイリング	長野県野菜花き試験場	63



## I きのこには光が必要＜日本の主な栽培きのこ＞

### 光ときのこ

「きのこ」は生物学的には菌類に分類されます。菌類は通常、目に見えるほどの大きな形態の変化は起こりませんが、きのこ類に限っては、特有かつドラマティックな形態変化を起こします。それが「子実体（我々が目にするいわゆる「きのこ」）」と呼ばれる、きのこにとっての生殖器官です。このきのこの「子実体」を栽培し、時には森林で採取し、我々日本人は昔から食用としてきました。

きのこは光合成を行いません。しかしながら、きのここと光の関係は古くから知られ、20世紀初頭の文献にも「きのこが子実体を作るためには光が必要である」と記されています。近年の研究では、きのこの形成に必要な光が、主に「青色」であることが分かってきました。



## LED (Light Emitting Diode)

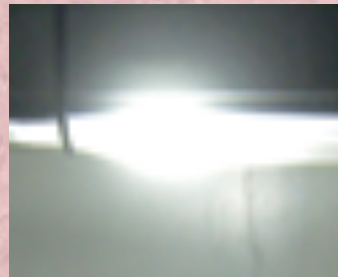
LED とは Light Emitting Diode の略号で、一般には「発光ダイオード」と呼ばれ、光を発する電気素子の通称です。特定の半導体素子を組み合わせることにより、電気エネルギーが光エネルギーに変換される不思議な現象が、20 世紀初めにイギリスやロシアの科学者達によって観測されていました。その後の 1969 年（昭和 44 年）に、アメリカの大手電機メーカーである General Electronic 社から、一番最初の LED である赤色 LED が実用化され販売されました。

その後、1993 年（平成 5 年）に日本の日亜化学工業株式会社が青色 LED を高輝度化して市販し、ほぼ全ての色の光を利用できるようになりました。現在では、省エネルギー・長寿命などの多くのメリットを持つ未来型光源として家庭用の照明をはじめ、様々な分野で利用されるようになっていきます。

本技術マニュアルでは、きのこ栽培に必要な照明を「従来の蛍光灯等から LED に置き換える」ことによって、省エネルギー化を図りつつ、生産の増収や栽培製品の価値を高める技術と応用例を紹介していきます。

### <LED 照明のメリット>

- ・省電力：必要な電力が従来よりも低い
- ・長寿命：寿命が長いため、交換頻度が少ない
- ・小型・軽量：設置場所を選ばない
- ・熱の発生が少ない：空調等に与える影響が少ない
- ・単波長：望みの波長・色が選べる
- ・強い構造：蛍光灯の様に割れない



## きのこの栽培

### ○きのことは

きのこは、菌類の仲間で、植物のように光合成を行わず、栄養分を外から摂取して、菌糸と呼ばれる糸状の細胞の集合体を伸ばし、胞子で増える特徴があります。胞子を作るために目に見えるような大きな子実体をつくります。この子実体のこと、または、それを作る菌類の仲間を「きのこ」と呼んでいます。ちなみに、大きな子実体を作らないものは通常「カビ」と総称しています。

### ○きのこ生産の現状

#### 品目別生産量

全国的に売られているきのこの主要な販売品目としては、シイタケ、ナメコ、エノキタケ、ブナシメジ、マイタケ、エリンギなどがあります（図1）。

国産のきのこ生産品目で、最も古いのはシイタケです。生シイタケと乾シイタケがあり、生シイタケの約85%は菌床栽培、約15%は原木栽培です。国内産の乾シイタケの大半は現在でも原木栽培によります。一時期、生シイタケ、乾シイタケとも中国からの輸入が増大しましたが、現在は国内産が主力となっています。

エノキタケ、ナメコは、シイタケに次いで生産の歴史が古い品目です。ナメコが生産地、消費地とも東日本に偏っているのに対して、エノキタケは生産地、消費地ともに全国的に広がりました。ヒラタケも生産の歴史は古いのですが、昭和50年代後半から生産が始まったブナシメジと商品イメージが競合したため、次第に生産量が減少しました。

マイタケ、エリンギとも、現在では定番商品となっていますが、企業の生産進出により全国的に広がった比較的新しい品目です。

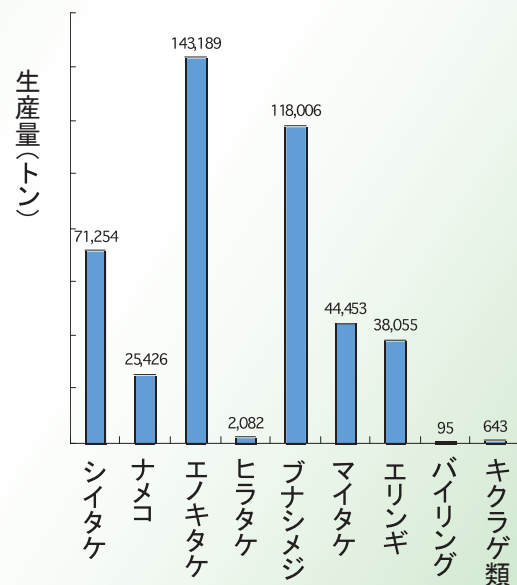


図1 全国きのこ生産量  
(平成23年・林野庁資料)

### ○品目別市場単価の推移

図2に主要品目の市場単価の推移を示しました。シイタケだけ例外的に高めの単価で推移していますが、全体的に低迷傾向が続いています。これは、企業も含めた産地間競争の激化により低価格競争が続いているためです。したがって、きのこ生産者にとって、コスト削減や収量増等の生産性向上の努力が絶えず求められる厳しい状況が続いています。

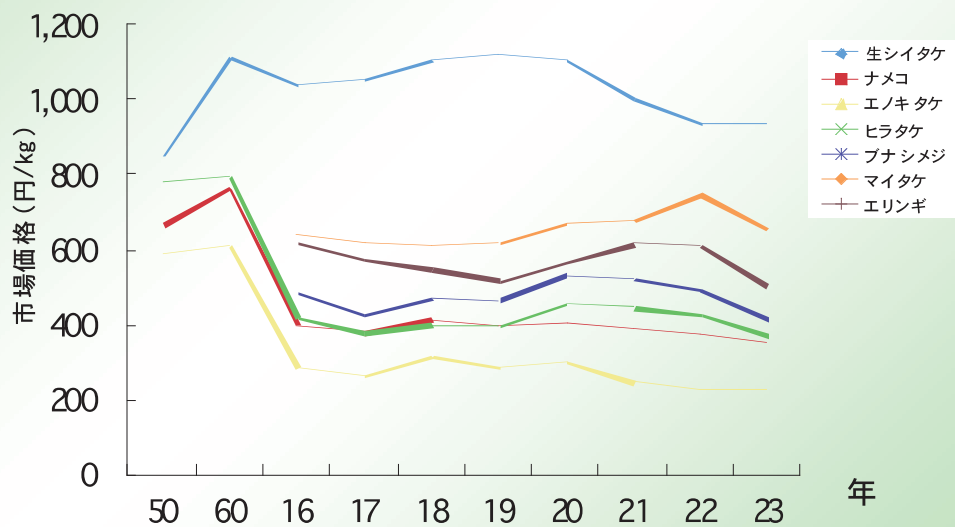


図2 品目別市場単価の推移（平成23年・林野庁資料）





### ○きのこの生産方法

きのこの生産方法は、原木栽培と菌床栽培に大きく分けられます（図3）。現在では、生産量から見ると菌床栽培が主力となっています。菌床栽培のほとんどで、冷暖房の完備した空調施設が利用されています。

菌床栽培でも使用する容器の形態によって、ビン栽培と袋栽培があります（図4）。機械化にはビン栽培の方が有利なため、シイタケ、マイタケ以外ではビン栽培が主力です。

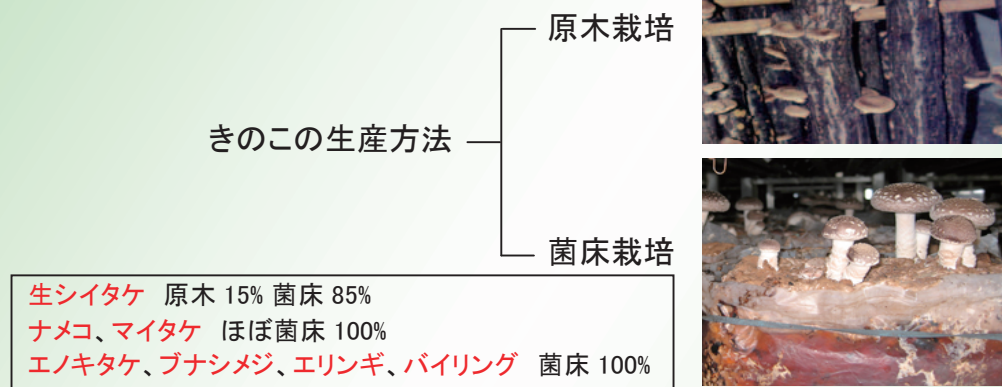


図3 きのこの生産方法と品目

菌床栽培の容器による栽培形態  
「ビン栽培」「袋栽培」

袋栽培主体……2.0～2.5kg(菌床重量)  
シイタケ、マイタケ

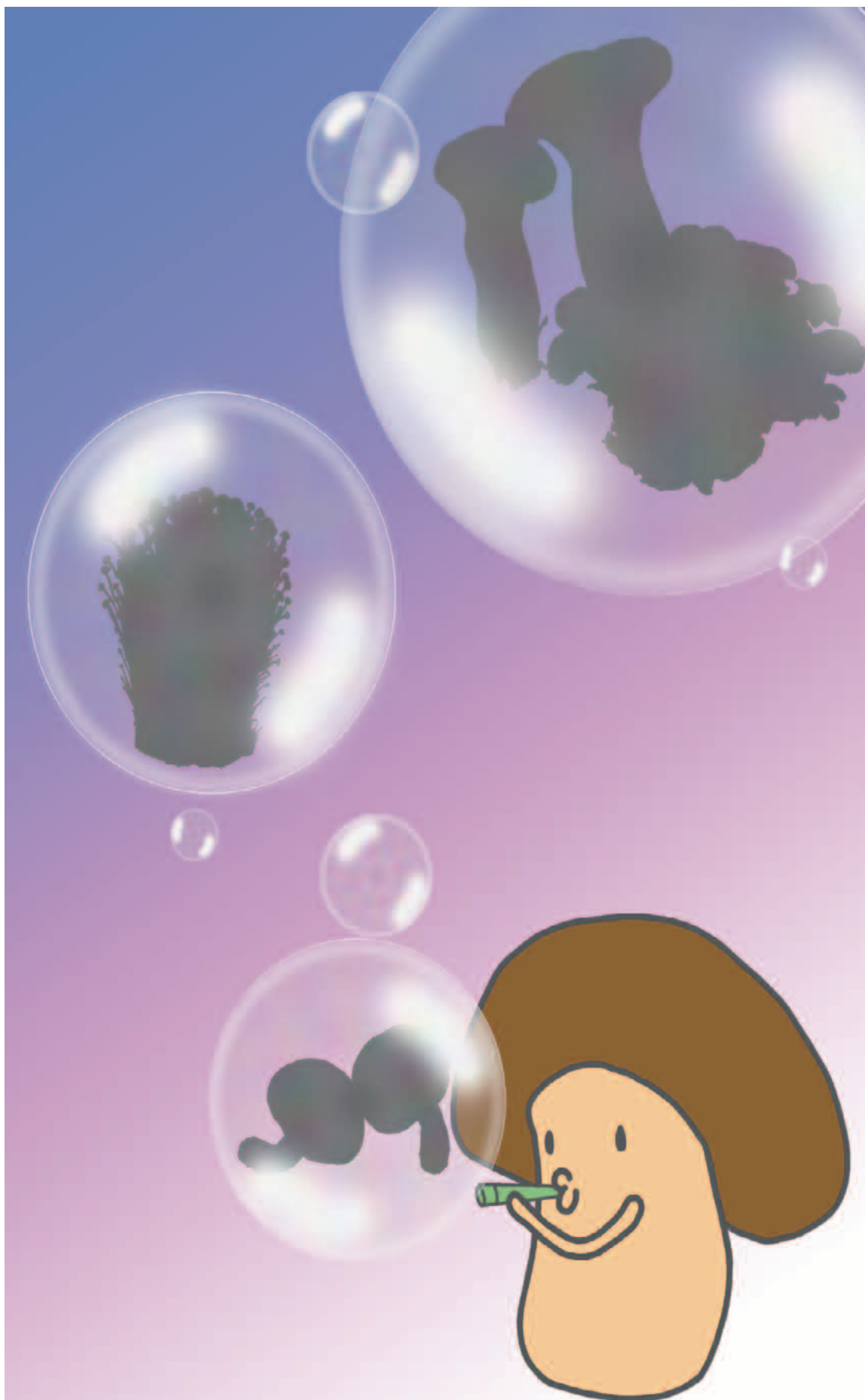
ビン栽培と袋栽培  
バイリング

ビン栽培主体……800～1,100ml(培地重量)  
ナメコ、エノキタケ、ブナシメジ、エリンギ



図4 きのこの品目と使用する容器

—きのこには光が必要—



### ○菌床栽培きのこの一般的な生産工程

一般的な菌床栽培工程は図5のとおりです。接種後の培養過程は、菌糸体を培地内にまん延させる工程です。菌類であるきのこ類は光合成を行わないため、菌糸体の伸長には光を必要とせず、培養過程では照明を特に用いないのが一般的です。

ただし、品目によって必要な培養期間は異なっています(表1)。主要な菌床栽培きのこので、培養期間が長いのはシイタケ、ブナシメジで80～90日間、ナメコはこの両者よりは短めの50～70日間です。短いグループは、エノキタケの25～30日間、エリンギの35～45日間です。マイタケ、バイリングは中間的で50日間程度となります。エノキタケ、エリンギは、菌糸体の培地全体にまん延すれば子実体発生の適期となりますが、シイタケ、ブナシメジ、ナメコは培地に菌糸体がまん延しても、さらに一定の熟成期間が必要になります。特にシイタケは、培養中に培地内に原基が形成される必要があります。

また、収穫方法や回数も品目や生産規模によって異なり、全体の栽培期間を決定する重要な要因となります。エノキタケ、ブナシメジ、マイタケ、エリンギ、バイリングは一般的に一番発生のみ収穫しています。ナメコも機械化の進んだ大規模生産者では一番収穫のみですが、家族労働のみの小規模生産者は三番収穫まで行う場合があります。シイタケでは5～6回収穫するのが一般的で、培地調製から収穫までの1サイクルに6か月間程度をかけています。

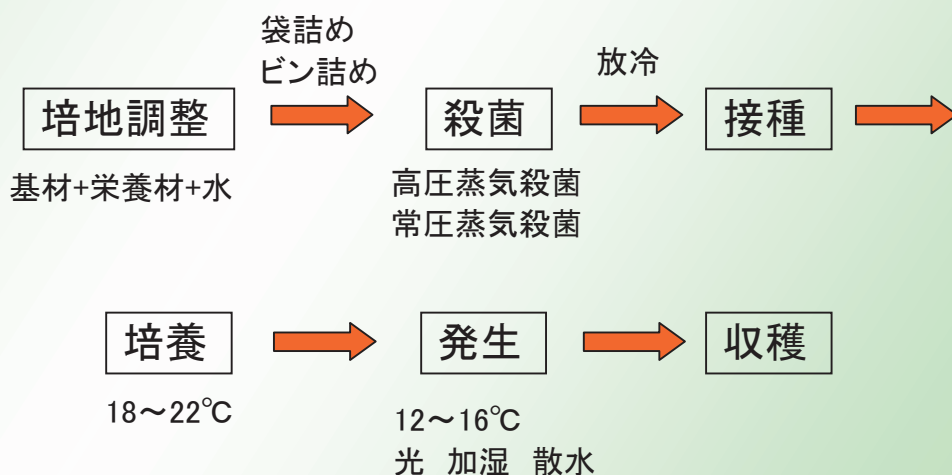


図5 一般的な菌床栽培の工程（空調施設）



表1 きのこの品目と栽培期間

### 栽培期間の長いきのこ

品目	培養期間	収穫回数	栽培期間
シイタケ	80～120 日	5～6 回	150～180 日
ブナシメジ	80～90 日	1 回	100～110 日
ナメコ	50～70 日	1～2 回	70～110 日

培養期間：菌糸体のまん延＋熟成 からなるため培養期間が長い  
(培養前期) (培養後期)

### 栽培期間の短いきのこ

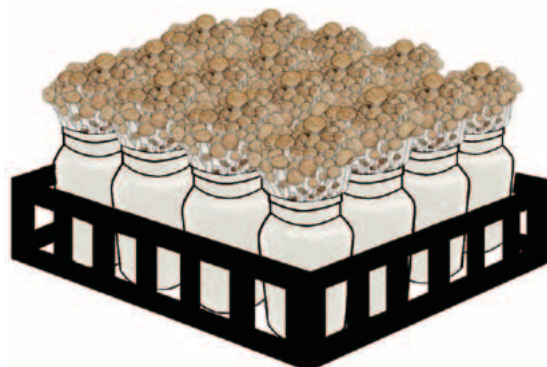
品目	培養期間	収穫回数	栽培期間
エノキタケ	25～30 日	1 回	40～45 日
エリンギ	35～40 日	1 回	50～55 日

培養期間：菌糸体のまん延  
に必要な期間のみで熟成期間が短い

### 栽培期間の中間的なきのこ

品目	培養期間	収穫回数	栽培期間
マイタケ	50～60 日	1 回	65～75 日
バイリング	50 日	1 回	65 日

マイタケは培養後期に光照射して原基形成



培養が終了すると、発生室に移して子実体の発生に必要な環境を与えるのが一般的ですが、きのこの品目によりその具体的な方法は異なります（図6）。

ナメコ、エノキタケ、ブナシメジ、エリンギは、培養終了後にビンの栓を外し、菌かき（古い種菌部分の除去）処理をして発生室に移します。その後、原基が形成され、その原基が生長して収穫できる子実体になります。発生段階は、発生処理をしてから原基が形成されるまでの期間と子実体の生長期間に分けることができます。

シイタケはこれらのきのここと異なり、培養中に培地内に原基が形成されてきます。発生段階は、培養中に形成された原基を生長させるだけの期間となります。マイタケも培養の後期に光を用いて原基形成を図り、原基形成を確認して発生室に移すのが一般的です。また、バイリングでは、培養後期に低温処理を施す必要があります。

このように同じ菌床栽培でもきのこによって、栽培方法が異なり、培養段階、発生段階それぞれに必要な処理が変わってきます。したがって、光利用の時期や目的が品目により異なることになります。

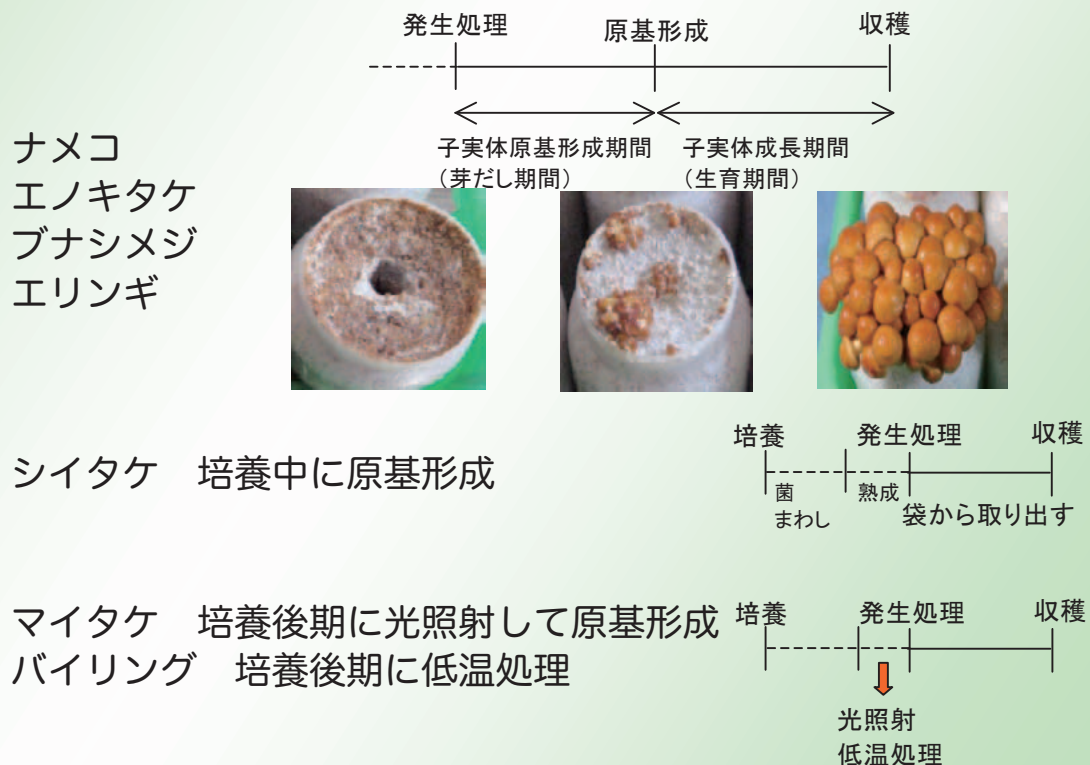


図6 きのこの品目と発生処理方法

### ○きのこ栽培における光の利用

先にも述べましたが、菌類であるきのこは光合成を行わないため、菌糸体の伸長には光を必要とせず、培養過程では照明を特に用いないのが一般的です（図7）。しかし、原基の形成、子実体の生長には光の存在は必須条件であり、栽培工程の発生段階では光が照射されています。原基形成と光条件、子実体の形質（形、色等）と光条件の関係については、十分に調べ尽くされていない種類も多いのが現状です。

特にシイタケは培養期間中に培地内で原基形成するため、培養後期に光を培地に照射して原基形成を促進する操作が行われています。他の種類についても培養段階での積極的な光利用が、今後新たなきのこ栽培技術の開発に道を開く可能性があります。また蛍光灯から、省エネルギー効果の高いLED照明に切り替えるだけでも、大きなコストダウンとなります。

#### きのこ菌床栽培における光利用

菌床栽培（従来法）  
培養 光照射なし  
栽培きのこ：菌糸体成長に光不要



菌床栽培きのこの多様化

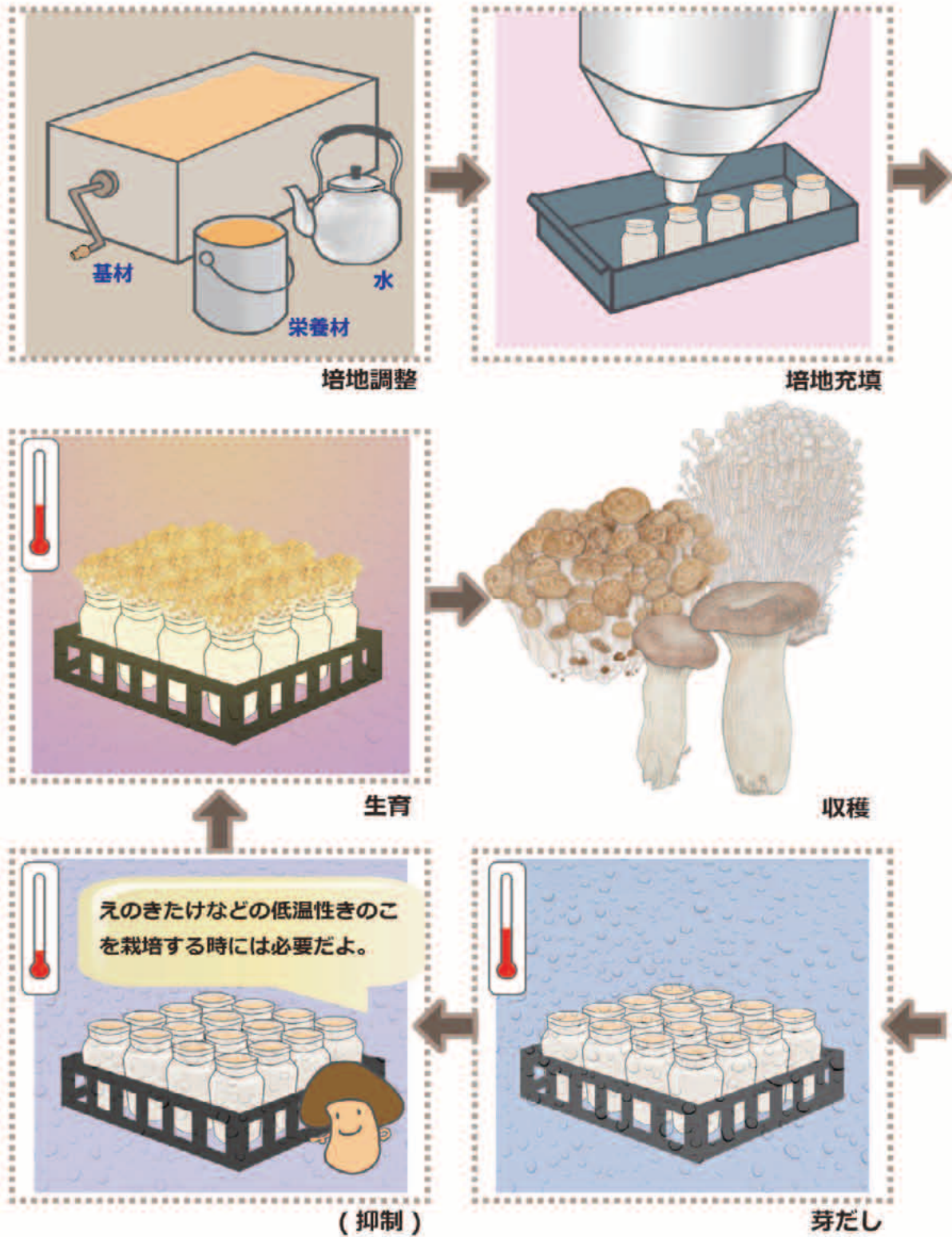
培養段階から光を利用するきのこ  
菌床シイタケ  
培養後期に光照射……原基形成を促進

図7 きのこ栽培と光利用

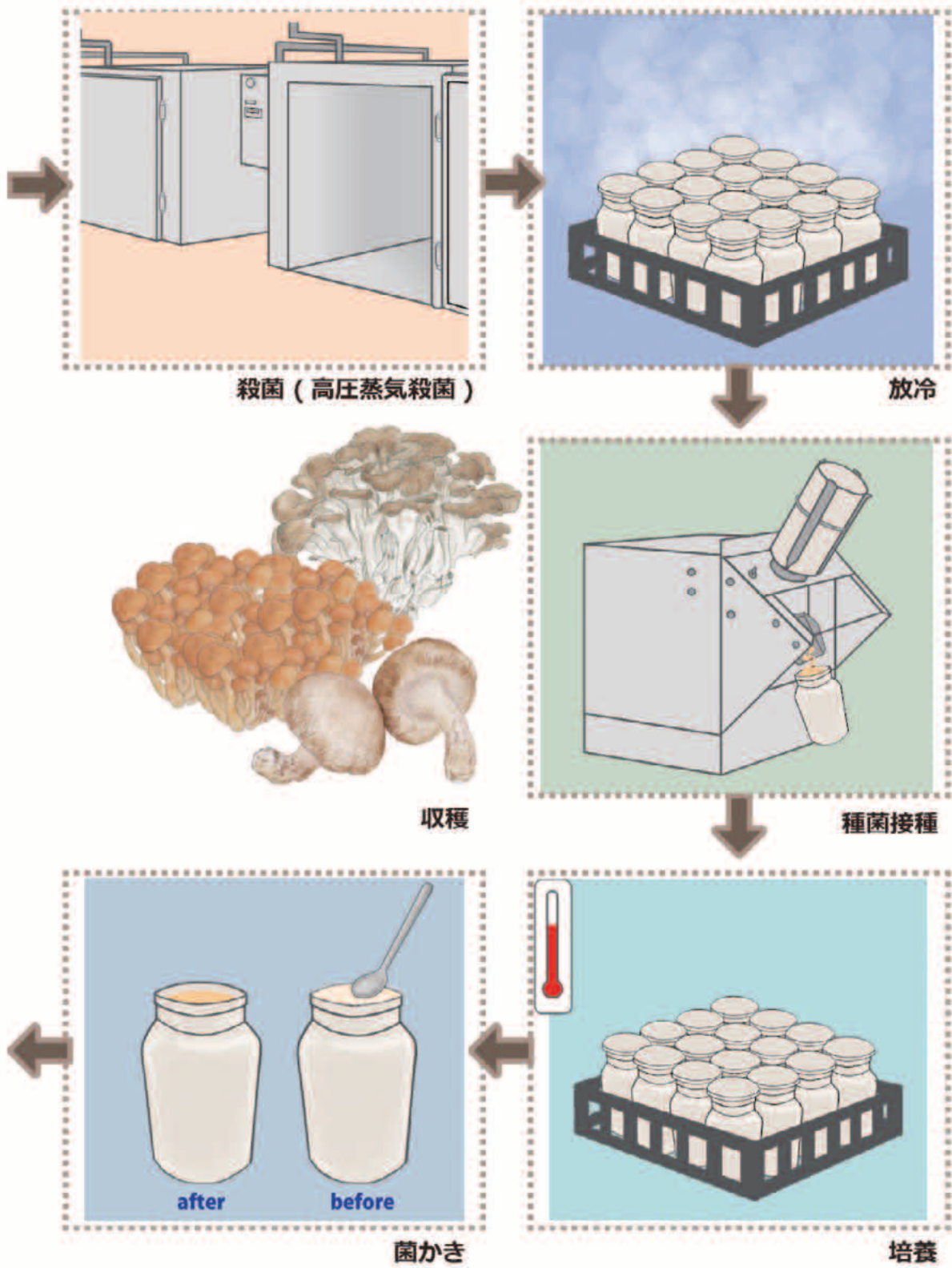




一般的なきのこ菌床栽培工程



—きのこには光が必要—



## シイタケ

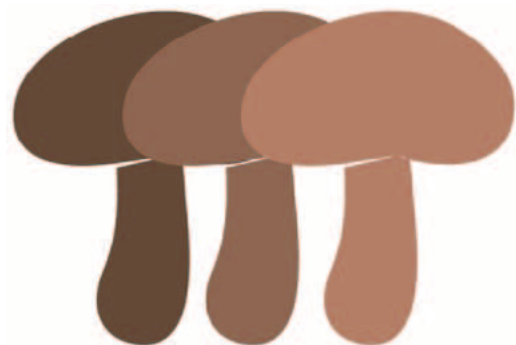
シイタケ(写真1)は、日本のほかに中国、台湾などの東アジアから東南アジア及び南半球のニューギニアやニュージーランドに分布するきのこで、通常はシイやカシなどの広葉樹の枯れ木に生えます。

350年以上も前から人工栽培が行われている代表的な食用きのこです。

シイタケの栽培方法には、クヌギやコナラの原木を使い、林内や簡易な温室できのこを育てる「原木栽培(写真2)」と広葉樹のおが粉に米ぬか等の栄養源を加えた培地を使い、温度、湿度の管理できる空調施設できのこを育てる「菌床栽培(写真3)」があります。

作業の機械化がしやすく、気象条件などにあまり影響を受けない「菌床栽培」は、原木の入手難や後継者不足等によって生産が落ち込む傾向にある「原木栽培」とは反対に、年々生産量が増え、生シイタケ生産量の85%以上を占めています。

このマニュアルでは、生産量の多い「菌床栽培」による「菌床シイタケ」について解説しています。





—きのこには光が必要—



写真1 菌床シイタケ



写真2 原木栽培



写真3 菌床栽培



## エノキタケ

天然のエノキタケは傘が2～8cm、柄の長さは2～9cmで黄褐色～暗褐色で、秋の終りや春先の雪が残る山野に発生することから、別名「ユキノシタ」とも呼ばれます（写真1）。

昭和初期に栽培がはじまり、徐々に生産量が増えるにつれて、白色で傘が小さく、柄が長い形状が重宝されるようになりました。当時のエノキタケは光があるところで栽培すると、茎や傘が、クリーム色～茶色に着色してしまうため、生産者は暗い栽培室で作業していました。

品種改良と栽培技術の進歩によって昭和60年代に光が当たっても着色しない現在の品種が生まれました（写真2）。

光は、傘の形や茎の長さを揃え収量を増加する上で重要な環境要因の一つです。エノキタケの生育期間中に適切な光や温度の環境調節を行い、口ウ紙やプラスチック製の巻紙と呼ばれる扇状の器具を付けることによって、現在の柄や傘の形の整った市販されている形状を作り出します（写真3、写真4）。

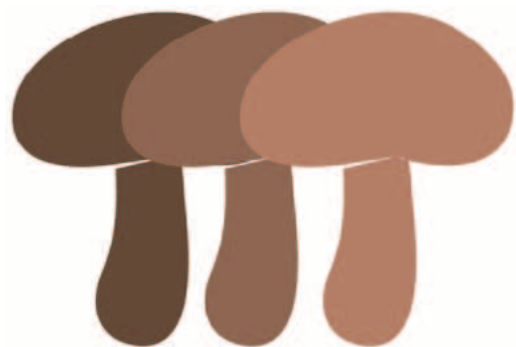




写真1 野生のエノキタケ



シナノブラウン      シナノ3号      シナノ4号

写真2 エノキタケ品種の変遷



写真3 紙巻き後のエノキタケ



写真4 収穫直前のエノキタケ

## ブナシメジ

天然のブナシメジは、秋にブナやカエデなど様々な広葉樹の枯れ木・倒木などに発生します。傘の大きさは4～15cm、柄の長さは3～10cm で、傘の中央部に灰褐色の大理石模様をあらわします（写真1）。食味に癖がなく、また食感もよいのが特徴です。

ブナシメジの施設栽培は、昭和47年に長野県で始まりました。その後、品種改良と栽培技術の進歩により規模拡大する生産者が増え、今では全国における生産量がエノキタケに次ぐ品目となっています。

ブナシメジの生育には光が非常に重要であり、傘の大きさや色、柄の長さを制御する働きがあります。生育期に光照射を行わない場合はきのこ全体が淡色になり、傘が小さく、柄が長い形状になります（写真2）。一般的にブナシメジ栽培では、きのこの丈が5～10mmに達する頃まで微量の光を、その後は収穫までの約10日間は7  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$  の光量子量で光を照射します（写真3）。

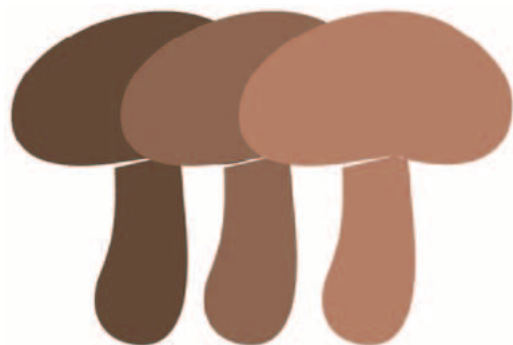




写真1 野生のブナシメジ



写真2 生育期の光照射の有無によるブナシメジの形状の違い  
(左：光照射有、右：無照射)



写真3 現地栽培施設におけるブナシメジの光照射状況



## ナメコ

ナメコは、日本国内において約 25,000 トンが生産されている主要な栽培品目です。

野生のナメコは、主にブナの倒木等に発生します（写真１）。人為的な原木栽培試験では、針葉樹から広葉樹までの幅広い樹種で、ナメコを発生させることができます。

東北地方を中心に、古くから野生のナメコが採取され食用にされてきました。野生ナメコの缶詰販売は、明治時代に山形県で始まりました。また、山形県で大正１０年頃にナタ目法による原木栽培が行われたのが、人工栽培の始まりとされています。収穫物は缶詰にされ、東京の博覧会等に出品されました。しかし、当時の都会の人達には「ぬめり」が受け入れられず、残念ながら不評だったようです。

戦後、純粋培養の種駒種菌が開発されたのをきっかけに原木栽培（写真２）が各地に広がり、生産量が増大しました。さらに、おが粉を用いた菌床栽培が、昭和３０年代後半に福島県内でトロ箱（木で作られた魚箱）を使って始められました。長野県では、エノキタケのビン栽培技術を取り入れ、空調施設栽培化と栽培工程の機械化が進み、効率的な栽培体系が出来上がりました。その後は、空調栽培用の極早生品種の開発されたことも相まって、この技術体系が全国に広まっていきました。

現在は、生産量の９５％以上が菌床で栽培されています（写真３）。また、生食用としての販売が多く、約８０％を占め、缶詰等の加工用は約２０％にとどまります。





写真1 野生のナメコ



写真2 原木栽培ナメコ



写真3 菌床栽培ナメコ

## マイタケ

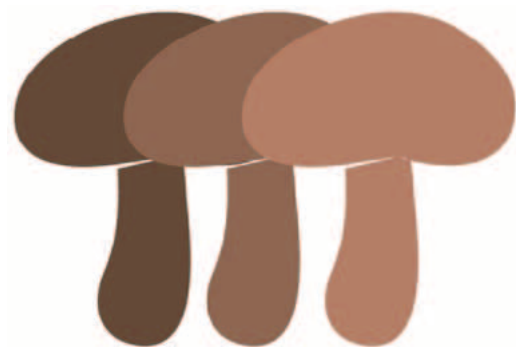
マイタケは漢字で「舞茸」と書きます。その姿が舞っているように見えることからとも、貴重なきのこなので見つかりと嬉しくて踊ることからとも言われています。

日本をはじめアジア、ヨーロッパ、北アメリカなど北半球の温帯以北に広く分布するきのこです。

きのこの形は、無数に枝分かれしたへら形や扇形をした傘の集団になっています（図1）。秋、ミズナラ、クリ、ブナなどの大木の根もとに生え、大きいものでは数kgにもなります。

野生のマイタケは古くから東北地方を中心に親しまれていましたが、栽培ができるようになったのは比較的新しく、昭和50年代です。ブナなどの広葉樹のおが粉を用いた菌床栽培で空調施設において栽培されています（図2、図3）。3kg近くある大型の菌床で作られ、数百gのきのこ（図4）が収穫できます。また、品種改良で開発された白いマイタケ（図5）も生産されています。

栽培が始まった頃は山村の小規模な施設で作られていましたが、今ではほとんどが大規模な工場で作られています。





## 野生のマイタケ



図1 野生のマイタケ

## 栽培されているマイタケ



図2 原基



図3 栽培の様子



図4 収穫前



図5 白いマイタケ

## アラゲキクラゲ

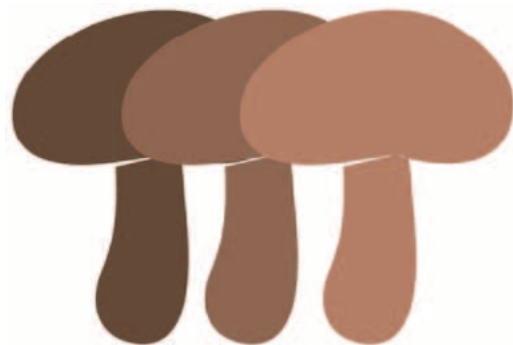
アラゲキクラゲ（図1）はキクラゲに似たきのこで、子実体の背面が毛におおわれているためこの名があります。

世界中の温帯から熱帯地域に普通に見られるきのこです。きのこの形は円盤状、杯状、耳たぶ状をしていて、かたいゼラチン質でできています。広葉樹の枯れ木、切り株上に群生します。

以前は原木栽培で生産されていましたが、最近は菌床栽培（図2、図3）が多く見られるようになりました。

夏期でも旺盛にきのこを作ることから、菌床シイタケ栽培の夏場対策で栽培されることが多いようです。

取れたてのきのこにさっと火を通して、酢の物や中華料理によく合います。また、乾燥して保存することもよく行われています。



## 野生のアラゲキクラゲ



図1 野生のアラゲキクラゲ

## 栽培されているアラゲキクラゲ



図2 生育途中の様子

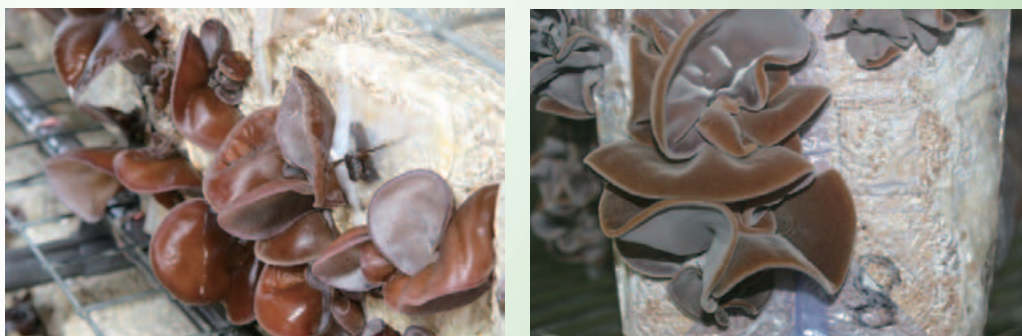


図3 収穫期



## エリンギ

エリンギは、ヒラタケ科ヒラタケ属のきのこであり、元々日本には自生せず、ヨーロッパから中央アジアを原生地とするきのこです。日本へは1993年（平成5年）頃に導入され、現在広くおこなわれているビン栽培が確立され、それに合った栽培品種が開発されてきました。それまでの食用きのこは異なり、しっかりとした食感と癖のない食味、様々な料理に適用できる用途の広さから消費者の人気を集め、またたく間に生産が拡大しました。

エリンギは、ほとんどが空調施設においてプラスチック製ビンを用いた菌床栽培により生産されています（図1）。エリンギの栽培工程を図2に示します。培地の詰め込みから収穫までの標準的な期間は50～60日間で、年間6回転が可能です。

培地には、数ヶ月間加水堆積した針葉樹（スギ、ヒノキ）のおが粉と栄養材（フスマ、米ヌカ、ホミニフィードなど）が用いられています（図2）。培養は、温度22～23℃、相対湿度60～80%の室内でおこないます。培養終了は菌糸がビン全体に蔓延して1週間から10日後、種菌を植えてから30～40日目となります。培養を終えたビンは、きのこの発生を促すため、培地の上部を掻き取ります。芽出しは温度15℃前後、湿度は95%前後に管理します。芽出し時にはビン口を新聞紙等で覆い湿度を保ちます。生育段階では芽出しよりも湿度を低く85～90%、温度は15～17℃に管理します。きのこの傘が八分開き程度で、周縁部が巻き込んだ状態の時に収穫します。

新規の栽培きのことして魅力ある作目であったエリンギですが、最近では需要も頭打ちとなっています。今後は、料理の幅の広さなど、このきのこの特性を生かし市場拡大に繋がる様な品種開発や生産技術の改善が求められています。エリンギは、光条件や炭酸ガス濃度などの発生環境条件により、きのこの形態が変化することから、光制御により目的に応じた形態のきのこをつくる技術の開発が期待されます（図3）。



図1 エリンギのビン栽培

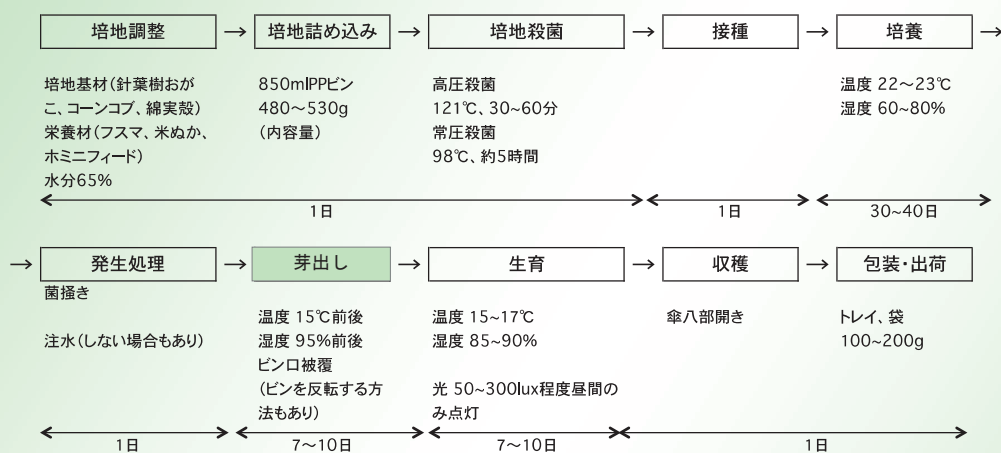


図2 エリンギの栽培工程



図3 様々な形態のエリンギ

品種の違いだけでなく、光や炭酸ガス濃度などきのこの発生環境をコントロールすることで、用途に応じた様々な形態のエリンギをつくる事が可能です。

## バイリング

バイリングは日本には自生していないきのこです。元々は中国の新疆ウイグル地区に自生するセリ科植物に寄生するヒラタケ属のきのこで日本では平成 15 年頃から栽培が始まりました。

このきのこはエリンギの変種であり、形態もエリンギに似ています。エリンギと異なる特徴は、「白色」で「傘が大きくなる」ことです。光を適度に当てることによって傘が大きくなりますが、他のきのここと異なり、着色はしません。光が弱かったり、光を照射するタイミングが合わないと傘が大きくなりず、柄が生長してしまうため、いびつな形になります。（写真 1）

また、他のきのこではあまり行われな、「芽切り」という作業を行うことがあります。これは、きのこの原基（芽）が出た直後に 1 本もしくは 2 本を残して、間引くことで、大きくて傘の形のよい子実体を育てる方法です。（写真 2、3）

バイリングは、傘の形状が重要であり、光は傘の形を制御するために重要な要因の一つです。

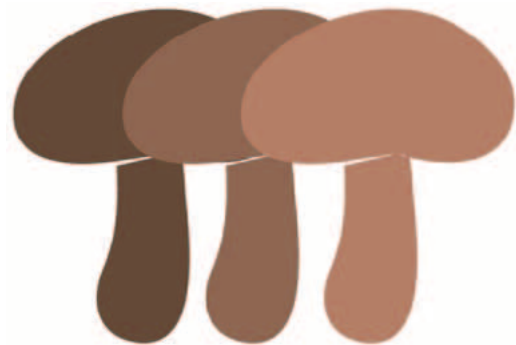




写真1 光の照射時期の影響（品種 シナノ淡雪）



写真2 芽切りしていない  
バイリング（品種 シナノ淡雪）



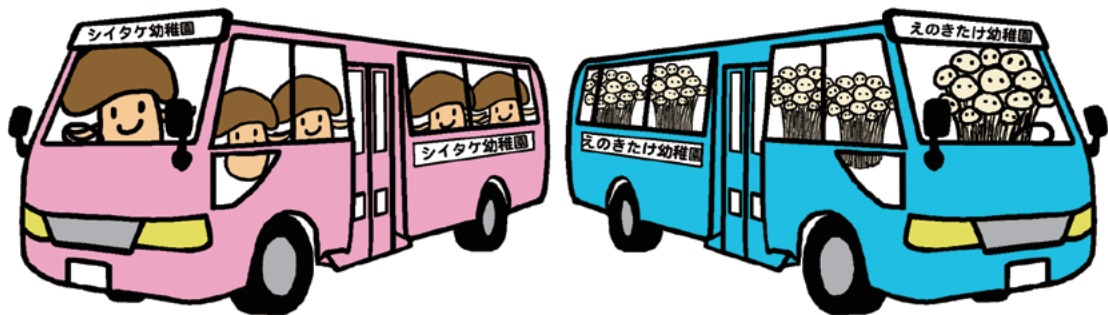
写真3 芽切りしたバイリング  
（品種 長菌 16 号）



## II きのこ栽培への LED の利用

### きのこ栽培とLED

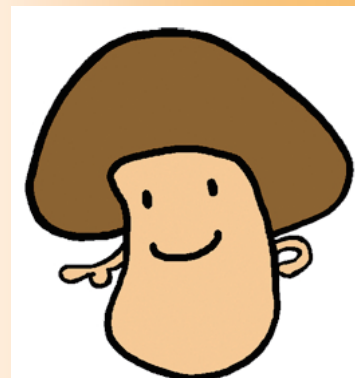
「きのこ」と一言に言っても、シイタケとエノキタケでは、キュウリとトマトぐらいの生物学的な違い・種の隔たりがあります。そのため、それぞれのきのこに特化・最適化した栽培法の確立が必要となってきます。



我々のグループでは、国内で栽培される各種きのこ品目に対し、きのこ栽培に最も有効な波長450ナノメートルの青色光を照射できるLED照明装置（写真1）を開発するとともに、それぞれのきのこの栽培特性に最適化した光照射技術を確認しました。



写真1 青色 LED 照射装置



この青色光LED照射装置を用いることにより、シイタケ及びマイタケでは、収量を増加させるとともに、より市場価値の高い製品を作出することが可能となりました。ナメコ・ブナシメジ・バイリング・アラゲキクラゲでは、栽培時の省エネルギー化を図りつつ、従来照明と同等の生産が可能であることを実証しました。エノキタケ栽培において非常に大きな問題である菌床剥離については、青色LED照射により、劇的に回避出来る事が分かりました。エリンギは特に光感受性が強く、栽培時における青色LED照射により、より市場に好まれる形状のきのこを作出できることが分かりました。

現在では、複数のLED素子を組み合わせることにより、きのこ栽培に効果的な青色光を含ませながらも、作業環境に配慮したより我々の目にも優しい白色LED装置を開発し（写真2）、実際の栽培技術への導入を行っています。この白色LED照明を用いた各種きのこの栽培においても、青色LEDの場合と同等の収量・付随効果を確保することに成功しています。

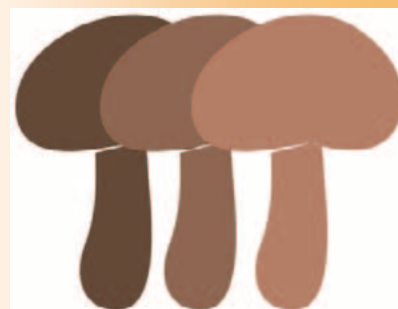


写真2 白色 LED 照射装置



本章では、8種類の国内主要栽培きのこ品目（シイタケ、エノキタケ、ブナシメジ、ナメコ、マイタケ、エリンギ、アラゲキクラゲ、バイリング）について、LED照明装置を用いた新たな栽培技術について詳しく解説していきます。

※青色LEDについて・・・本書で用いているLED照明の強度については、照度を目安に光の強さを決められないため、「光量子量（単位： $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ ）」という物理量で示しています。



## 菌床シイタケ

### 1. 青色 LED 照射による菌床シイタケの増収 —収穫量を増やすために—

菌床シイタケ栽培は、①シイタケ菌糸の培養、②シイタケの発生の 2 段階に分けることができます。菌糸を培養することで、原基というシイタケの基が菌床中に形成されます。ただし、この原基の形成には光（特に青色光）が必要です。

そこで、「①シイタケ菌糸の培養」期間に青色 LED を菌床に照射すれば、原基の形成が促され、シイタケの発生量が増加するのではないかと考えました。

ところで、菌床シイタケの培養期間は、シイタケ菌糸が伸長して培地全体に菌糸が蔓延するまでの約 30 日間の「菌まわし期間」とその後の「熟成期間」に分けることができます。

そこで、まず、菌糸が伸長する「菌まわし期間」での青色 LED の照射を検討しました。青色 LED を照射することで、菌糸の伸長するスピードが早くなれば、「菌まわし期間」の短縮が可能となり、培養期間の短縮となるからです。

ところが、青色 LED を照射すると逆に菌糸の生長が阻害されることがわかりました（図 1）。このことから、菌まわし期間での青色 LED 照射は良くないことがわかりました。

次に、熟成期間に青色 LED を照射して、シイタケの発生量を調査しました。

写真は、熟成期間に青色 LED を照射している様子です。

その結果、熟成期間に蛍光灯を照射したときと比べて、発生重量は最大で約 50%、市場価値が高いとされる M サイズ以上の発生個数も最大で 47%増加しました（図 2）。このように、シイタケの発生量を増やすには、熟成期間に青色 LED を菌床に照射すればよいことがわかりました。

それでは、青色 LED の明るさはどのくらいが適しているのでしょうか？

青色 LED の光量子量を  $1.2 \sim 20.5 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$  の 6 段階としてシイタケの発生量を調査しました。

その結果、発生重量、市場価値が高いとされる M サイズ以上の発生個数ともに、 $10.5 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$  がもっとも大きくなりました。このことから青色 LED の光量子量は  $10.5 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$  前後が最適であることがわかりました。







写真 熟成期間での青色 LED の照射

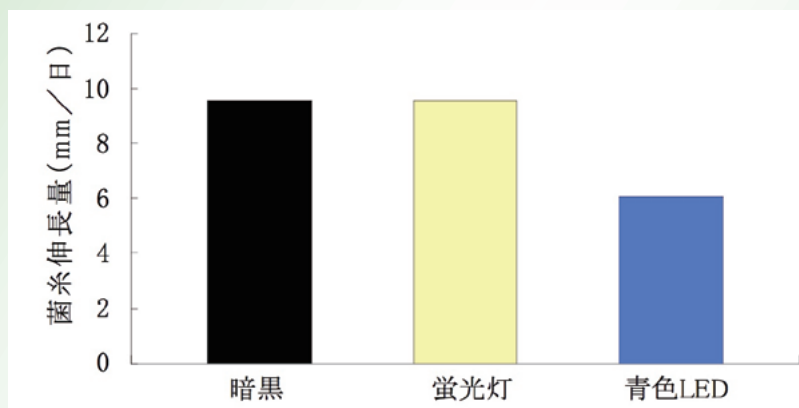


図1 光と1日あたりのシイタケ菌糸の伸長量  
(青色 LED(ピーク波長 455nm)、光量子量  $10.5 \mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ )

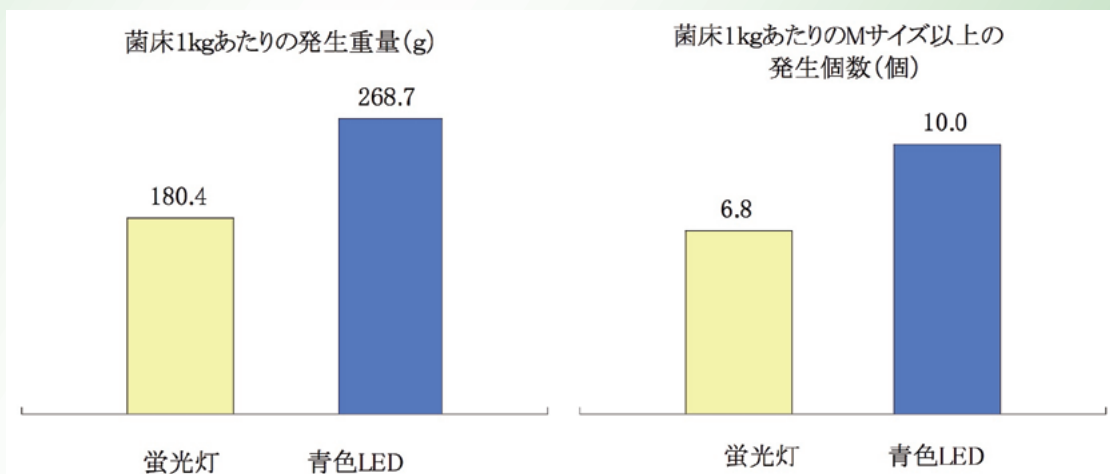


図2 青色 LED 照射とシイタケの発生量  
(青色 LED(ピーク波長 455nm)、光量子量  $10.5 \mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ )

## 2. 青色 LED 照射による熟成期間の短縮 —培養期間を短縮するために—

熟成期間に青色 LED を照射すると、発生量が増加することがわかりました。これは、青色 LED を菌床に照射することで、原基の形成が促進されたためと考えられます。

青色 LED の照射によって、原基の形成が促進されるのであれば、培養期間（熟成期間）の短縮もできるのではないかと考えました。

そこで、一般的な培養期間が 100～120 日とされている長期培養型の品種と、80～100 日とされている短期培養型の品種を用いて、青色 LED 照射による培養期間の短縮を検討しました。

長期培養型品種では、培養期間を 110 日（通常）と 82 日の 2 期間としました。両期間ともに菌まわし期間は 30 日間で、暗黒での培養です。110 日間培養の菌床は、菌まわし後の熟成期間に蛍光灯、82 日間培養の菌床は熟成期間に青色 LED を照射しました。

短期培養型品種では、培養期間を 90 日（通常）と 70 日の 2 期間としました。両期間ともに菌まわし期間は 30 日の暗黒培養です。90 日間培養の菌床は、菌まわし後の熟成期間に蛍光灯、70 日培養の菌床は熟成期間に青色 LED を照射しました。

このようにして、各菌床のシイタケ発生量を調査しました。

その結果、長期培養型品種は、通常の培養期間よりも約 30 日間短縮（110 日→82 日）、短期培養型品種は 20 日間短縮（90 日→70 日）しても、発生重量は同じながら、市場価値が高いとされている M サイズ以上の発生個数が増加し、逆に、市場価値の低い S サイズや奇形の発生個数が減少しました（図 3、4）。

S サイズのシイタケはまた、パック詰め作業に手間がかかります。S サイズの発生個数が減ることは、パック詰め作業の時間短縮につながります。また、1 次発生での S サイズシイタケの集中発生を防ぐための高温抑制管理（注）が不要になると考えています。

このように、熟成期間に青色 LED を照射することで、培養期間を 20～30 日短縮できることがわかりました。

(注) 培養終了後に 4～7 日間、温度 25～27℃の高温で追培養（高温処理）して原基数を減少させた後、温度を 15～17℃にしてシイタケを発生させる栽培法。

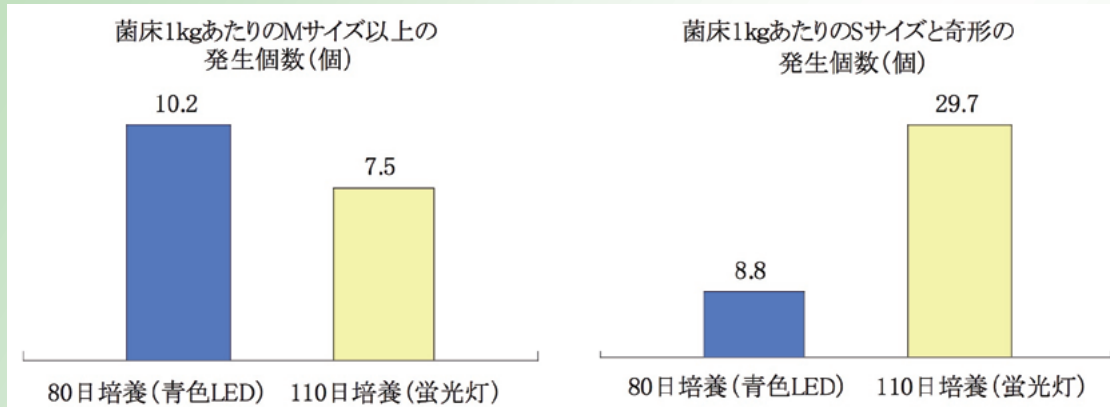


図3 長期培養型品種の培養期間別シイタケ発生量  
(青色 LED(ピーク波長 455nm)、光量子量  $10.5 \mu \text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ )

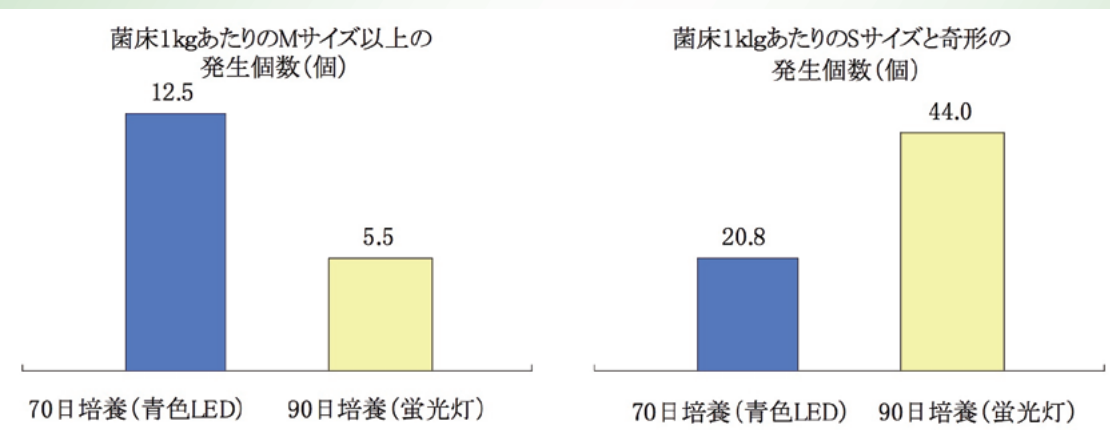


図4 短期培養型品種の培養期間別シイタケ発生量  
(青色 LED(ピーク波長 455nm)、光量子量  $10.5 \mu \text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ )

## エノキタケ

### 1 生育期（芽出し期）における菌床剥離軽減効果について

エノキタケはキノコが小さい時期（原基）の段階で、菌床面が一部剥げて株に残る「菌床剥離」という現象が発生することがあります（写真1）。菌かき後に蛍光灯の約半分の光量子量の青色LEDを照射すると、蛍光灯よりも顕著に菌床剥離軽減効果があることが明らかになりました（写真2）。また、照射時期は菌掻き3～5日後に2～4時間照射するのが良いとわかりました。（菌床表面の光量子量：青色LED（ピーク波長455nm） $17.4\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ 、蛍光灯  $30.1\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ ）



写真1 菌床剥離が混入した株

収穫した株に  
混入した菌床剥離

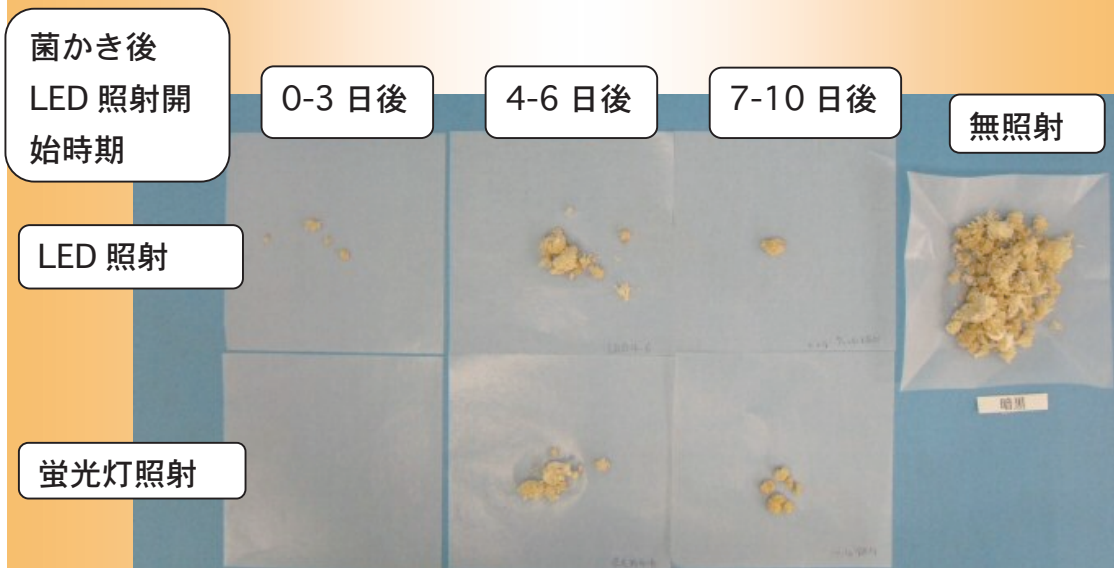


写真2 LED照射時期と菌床剥離発生量（1ビン当たり）



## 2 生育期（抑制期）におけるLED照射効果について

現在市販されているエノキタケは、光を当てても他のキノコと異なり着色しません。しかし、光がエノキタケの生長に影響がないわけではなく、非常に重要な役割をしています。キノコが生長し2～3cmになったときにLED光を照射すると、傘の形成を促進し、茎の長さを整え、品質（見栄え）が良くなる効果がありました。また、収量も増加しました（写真3、図1）。（菌床表面の光量子量：青色LED（ピーク波長455nm） $38.5\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ 、白色LED（青色LED+黄色蛍光体 $37.7\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ 、蛍光灯 $38.7\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ ）



写真3 生育期（抑制期）におけるLED照射効果

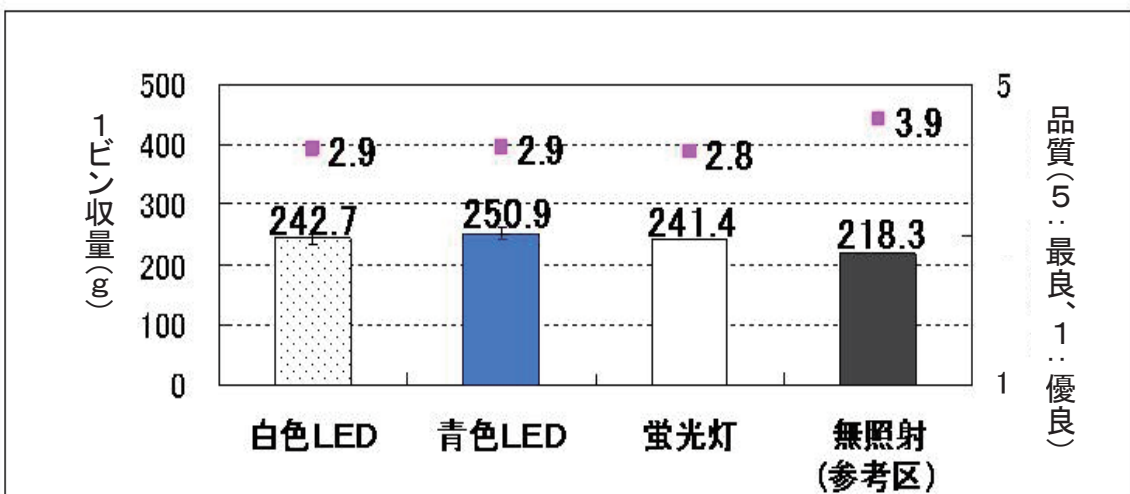


図1 生育期（抑制期）における光照射の効果

### 3 現地栽培施設でのLED照明の利用について

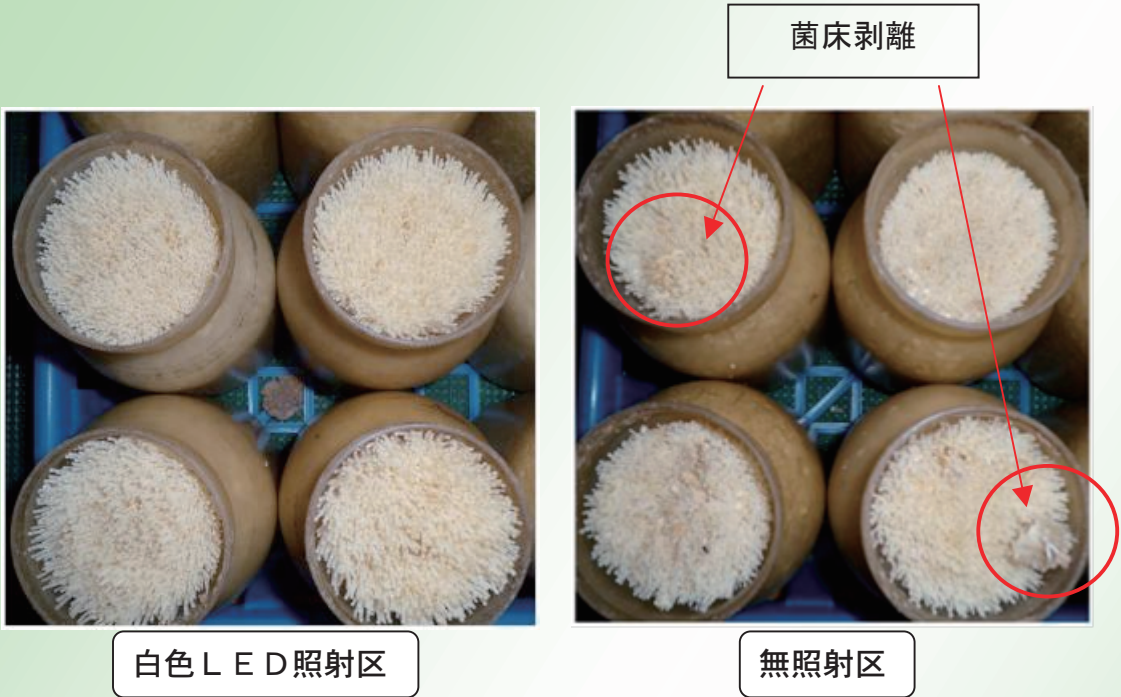
エノキタケ栽培施設では、生育を調節するための抑制機と呼ばれる移動型の照明装置が用いられます。

この装置にLED照明を装着し芽出し期に照射した結果、現地栽培施設においても菌床剥離軽減効果が実証されました（写真4、写真5、図2）。（試験時の光量子量（光源から50cm） 青色LED（ピーク波長455nm） $15.2\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ 、白色LED（青色LED+黄色蛍光体） $15.5\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ ）



写真4 抑制機（中央）に装着したLED装置による照射





※青色LED照射区も同程度の軽減効果が見られた。

写真5 LED照射の菌床剥離軽減効果  
(抑制機にて12h/day 菌搔き後3～4日目)

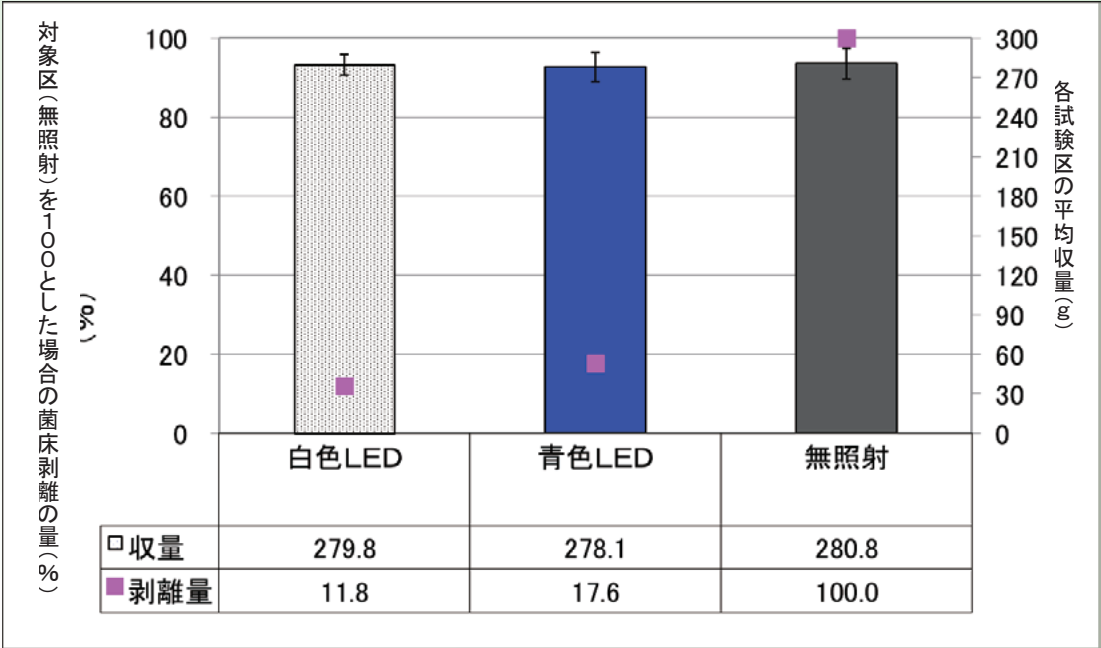


図2 抑制機によるLED照射の菌床剥離軽減効果と収量への影響

## ブナシメジ

### 1 培養・熟成段階における LED 照射効果について

ブナシメジは、光を用いず暗黒下で培養しています。

そこで、青色 LED を培養・熟成段階に光照射し、子実体にどのような影響があるのか調べました（写真 1）。その結果、菌回り完了の目安である培養 40 日目から青色 LED（ピーク波長 455nm）を当てることによって、生育日数の短縮効果がみられました。また、現地生産施設においても同様の効果が得られました。（試験時の光量子量（菌床表面）場内  $29.0 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ 、現地  $31.2 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ ）

方法：青色 LED 1 灯を培養 40 日目から照射開始  
1 日当たり 8 時間の照射

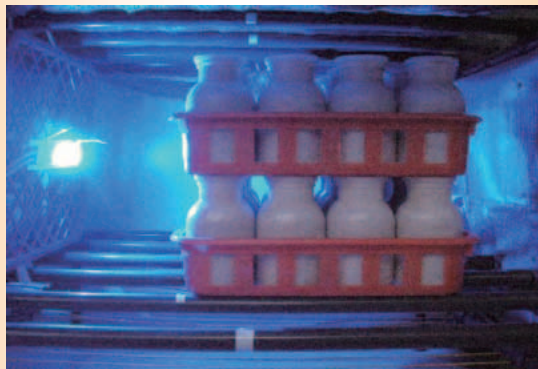


写真 1 培養中の青色 LED の照射試験状況



写真 2 培養中の LED 照射による生育日数の違い  
(LED 照射は収穫日が 1 ～ 2 日早い)



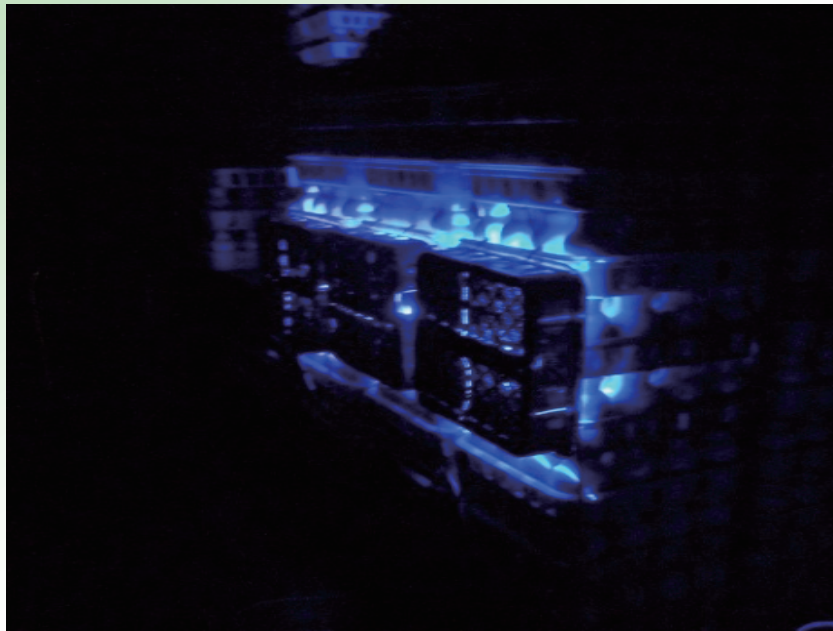


写真3 現地生産施設での青色 LED の照射試験状況



## 2 芽出し・生育段階における LED 照射効果について

従来、ブナシメジの芽出し・生育段階では、光照射の光源に白色の蛍光灯を使用しています。白色 LED が青色 LED と同様に利用できるか試験を実施したところ（写真4）、菌かき後 12 日目から LED 光を照射することで蛍光灯と同等の形状のきのこを収穫できることが分かりました（写真5）。また、現地生産施設においても同様の効果が確認できました（写真6）。（試験時の光量子量（菌床表面）  $23.4 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ ）

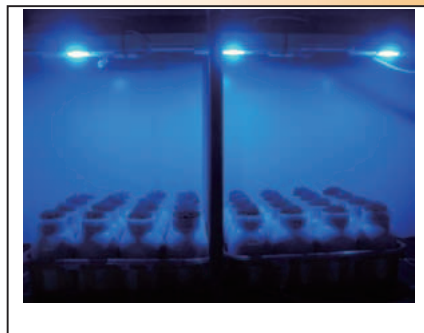
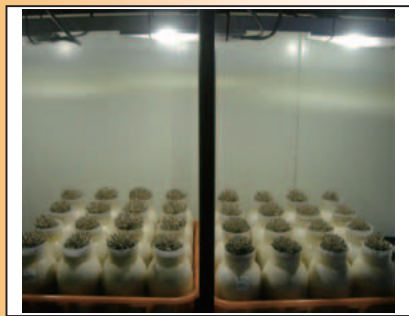


写真4 芽出し・生育段階における白色 LED と青色 LED の照射試験状況

（青色 LED（ピーク波長 455nm）、白色 LED（青色 LED+黄色蛍光体）



写真5 収穫前のきのこの形状

左：青色 LED（ピーク波長 455nm）、右：白色蛍光灯



写真6 現地生産施設における LED 照射試験状況



## ナメコ

### 1 LED を利用した大粒ナメコ栽培技術

通常、光を照射していなかったナメコ菌床栽培の培養後期に、12日間程度青色 LED を照射することで、菌床栽培でも原木栽培に近い大粒のナメコ生産が可能になりました（写真1）。さらに培養後期に15日間照射することで、発生処理後収穫できるまでの所要日数が7日間程度短縮することが分かりました。



写真1 培養後期における青色 LED 照射日数と発生した子実体(無照射(左) 照射12日(右))

一般的に、きのこは菌糸の伸長に光を必要としません。そのため、ナメコ栽培でも、菌糸を培地に蔓延させる「培養段階」で、特に光を培地に照射することはしていません。ところが、菌床シイタケ栽培で、培養後期の青色 LED 照射が子実体収量に影響を及ぼすことが確認されたため（シイタケの項参照）、ナメコ栽培においても培養後期に青色 LED を照射して(写真2)、子実体終了への影響を調査しました。

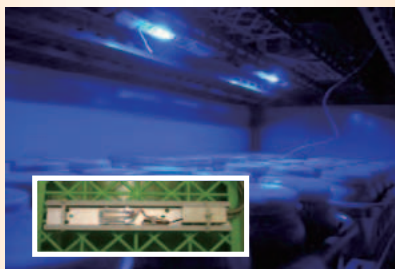


写真2 培養後期における青色 LED 照射状況と LED 装置(左下)



ナメコ栽培では従来、図 1 に示したように、培養期間の 40～60 日間、特に光を照射しない暗培養を行い、きのこの発生段階で蛍光灯を点灯してきました。

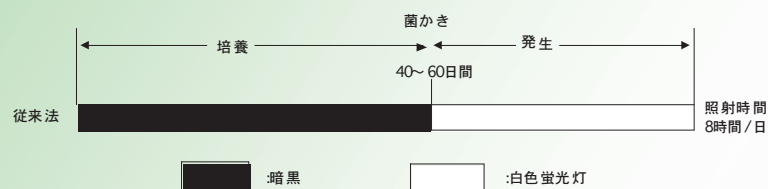
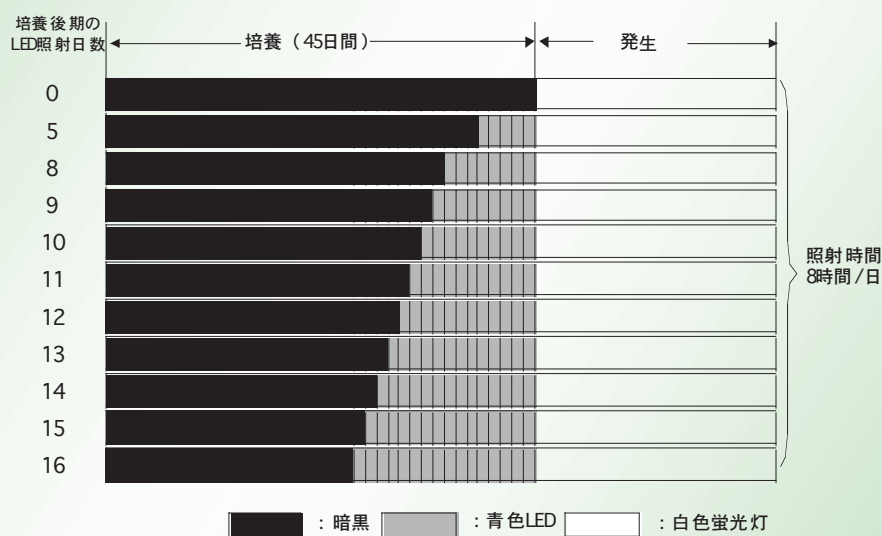


図 1 ナメコ栽培における従来の照明方法

そこで、図 2 に示したように、培養前期・中期は従来どおり暗培養を行い、培養後期に照射日数を変化させて青色 LED を照射しました。すると青色 LED の照射日数が 10 日を超えると、きのこの個重が無照射よりも 1.8 倍～2.2 倍に増加して、大粒のナメコが収穫できました（写真 1、図 3）。



【品種】キノックス N007、N008、N009 の 3 品種。【培地】ブナおが粉・ホミニーフード・大豆種皮培地（容積比 10：1：1、含水率 65％）。【容器】ポリプロピレン製 800ml ナメコ栽培用広口ビン。【培養】20℃で 46 日間行った。暗培養の後、培養後期に青色 LED を 0 日間、5 日間、8 日間、10 日間、11 日間、12 日間、13 日間、14 日間、15 日間、16 日間それぞれ培地に照射し、照射日数により 1 品種当たり 10 段階の試験区を設定した（1 試験区 3 本）。【発生】14℃湿度 90％以上。【照射】パナソニック製青色 LED（ピーク波長 450nm）2 台。パナソニック白色蛍光灯「クール」10W 1 台、照射方法（培養室、発生室）：栽培棚上部からビン上まで 21 cm の高さから 1 日 8 時間照射。

図 2 培養後期の青色 LED 照射条件

さらに、発生室に移してから一番収穫が得られるまでの所要日数が、照射日数の増加に伴って、短くなる傾向が見られました(図 3)。

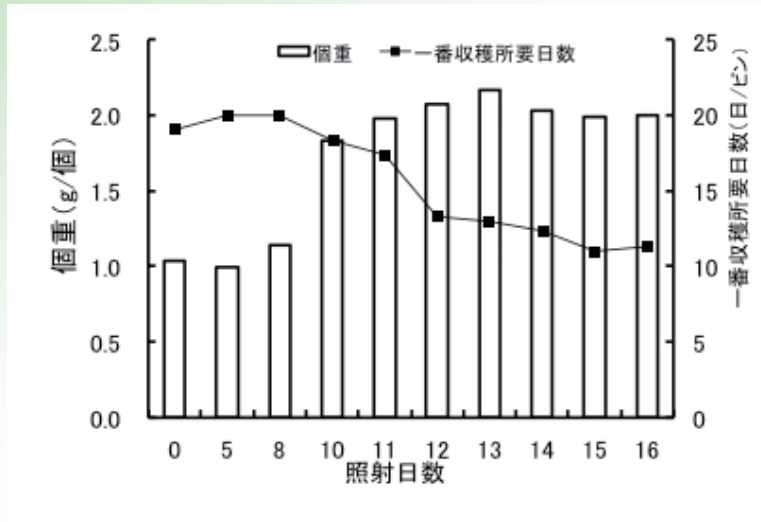
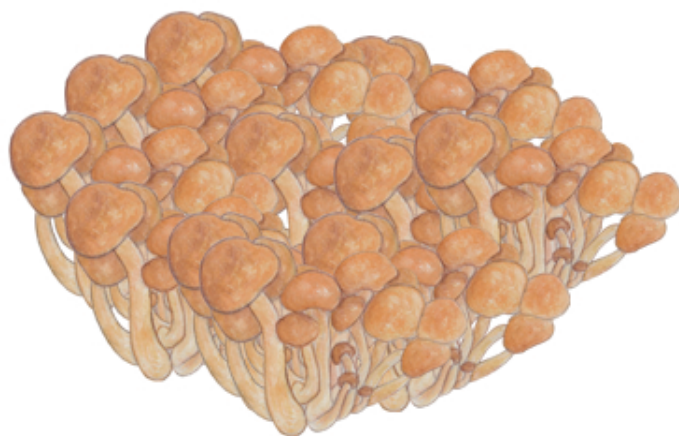


図 3 培養後期の青色 LED 照射日数とナメコ栽培特性  
(青色 LED:ピーク波長 455nm)



## 2 白色 LED による白色蛍光灯の代替

発生段階における照明として、白色蛍光灯は白色 LED で代替可能です。

生産現場で一般的に使用されている白色蛍光灯の白色 LED への代替可能性を検討するため、長野県飯山市のナメコ生産施設において現地試験を行いました。白色 LED 区と白色蛍光灯区との収量に明確な差はなく、発生段階で白色蛍光灯を白色 LED に代替可能なことが分かりました（図4）。

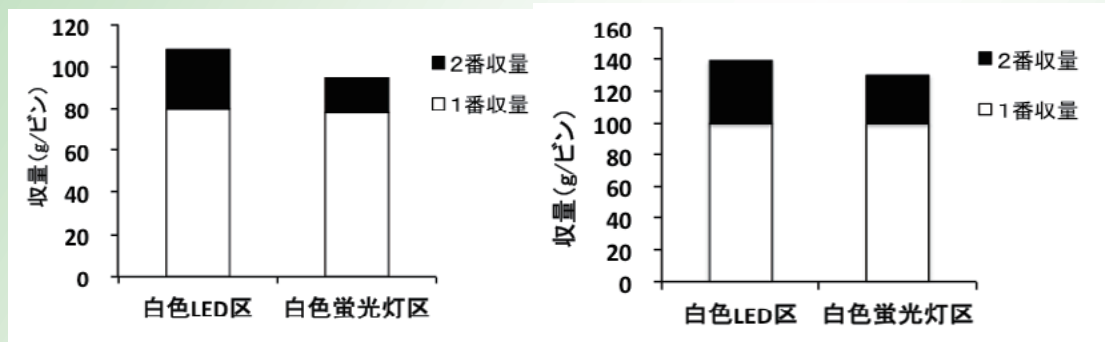


図4 現地試験による発生段階における白色 LED と白色蛍光灯の比較  
(左1回目、右2回目)

主な栽培条件は、以下の通り。

【現地試験場所】飯山市ナメコ生産施設。

【種菌】キノックス N007

【培地組成】1ビン当り：広葉樹おが粉 180g、フスマ 31g、コメヌカ 16g、貝化石 4g、乾燥オカラ 4g、ヤキヌカ 1g、含水率 65%

【培養】温度 20℃、暗培養 83 日間

【発生】温度 15℃、湿度 90%以上

【白色 LED 照射条件】パナソニック社製白色 LED (=青色 LED+黄色蛍光体)、5 点平均法による発生時照度  $27.6 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$  (菌床表面)

【白色蛍光灯照射条件】現地生産施設で使用している白色蛍光灯、5 点平均法による発生時照度  $1.4 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$  (菌床表面)

光は子実体原基の誘導及び生長に必要な他、発生室での収穫作業にとっても重要です。青色 LED の青い光では作業性が極めて悪いいため、生産現場では白色 LED 導入の検討が不可欠です。また、LED の光はその直進性から光源直近は明るいですが、光の拡散が少ないため、人の作業には不適切な一面があります。現地試験に際して、作業可能な「明るさ」を検討したところ、白色蛍光灯のほぼ倍程度の照度確保が必要であり、LED からの光の拡散と均一な照度確保が今後の課題と考えられました。

## マイタケ

### 1 LEDの照射方法がわかりました

まず、原基形成時の青色LED照射条件を調べました。照射方法は表1のとおりです。

表1 原基形成時における青色LED  
(ピーク波長 455nm) 照射

試験区	光量子量 ( $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ )	光源距離 (cm)
対照区	8.95	114
LED 強	8.74	38
LED 中	4.03	38
LED 弱	2.13	38
LED 微	0.97	38

\* 対照区は蛍光灯を原基形成時に照射

原基形成や子実体収穫までの日数には差が見られませんでした。収量では図1に示すようにLED中区の青色LED  $4 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$  が最も多くなりました。

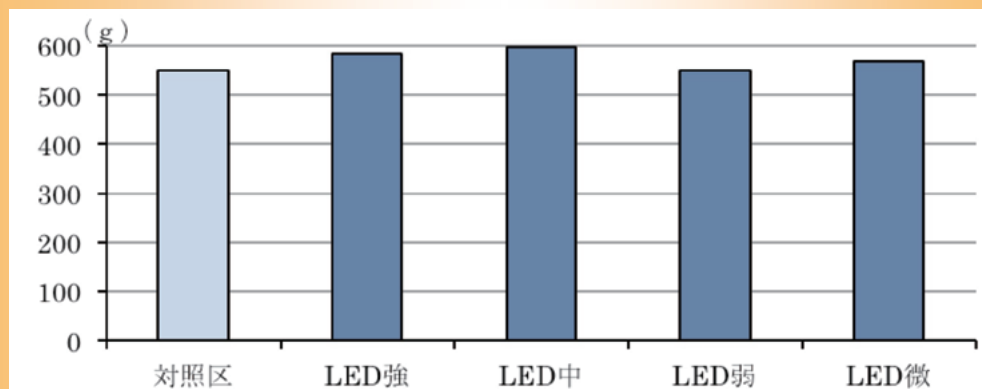


図1 原基形成時における青色LED照射による収量  
(青色LED:ピーク波長 455nm)

同様に白色LEDを原基形成時に照射してみると、栽培日数、収量ともに蛍光灯と差がありませんでした。これまでの蛍光灯に替えて、原基形成にLEDを利用できることがわかりました。

ただ、LEDは光の直進性が強く、直下が明るくなります。そのため、光が拡散するようにする、または菌床ごとに1個のLEDを割り当てるなど各菌床に均等に光を照射する工夫が必要です。



子実体の生育にも光は必要です。その条件を青色LEDにより表2のように設定し調べました。

表2 子実体生育時における  
青色LED(ピーク波長 455nm)照射

試験区	光量子量 ( $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ )	光源距離 (cm)
対照区	6.28	150
LED 強	7.84	78
LED 中	6.17	78
LED 弱	4.22	78
LED 微	2.99	78

\* 対照区は蛍光灯を原基形成時に照射

子実体収穫に要する日数を見ると、どの照射方法でもはっきりした違いはありませんでした。収量にもはっきりした差は見られませんが、全体的に見ると図2のようにLED照射でやや多くなるようでした。

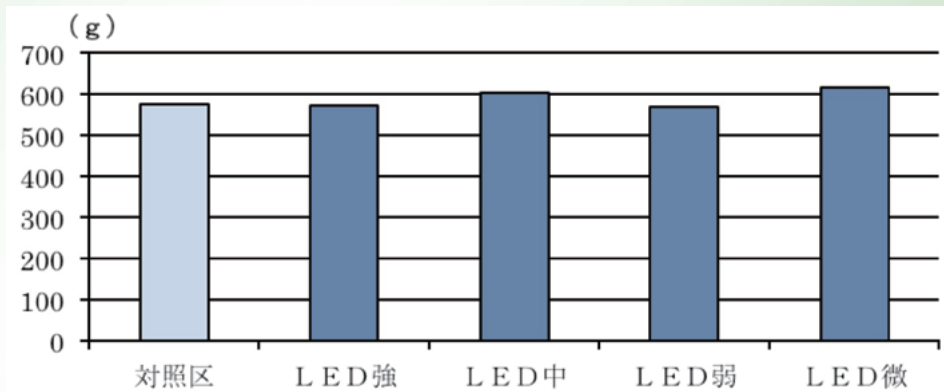


図2 子実体形成時における青色 LED 照射による収量  
(青色 LED:ピーク波長 455nm)



## 2 青色LEDの照射で色が濃くなります

子実体の色は青色LEDを強めに照射したときに図3、写真1のように暗褐色の割合が多く、黄茶色の割合が少なく、全体的に濃色に仕上がる傾向がありました。

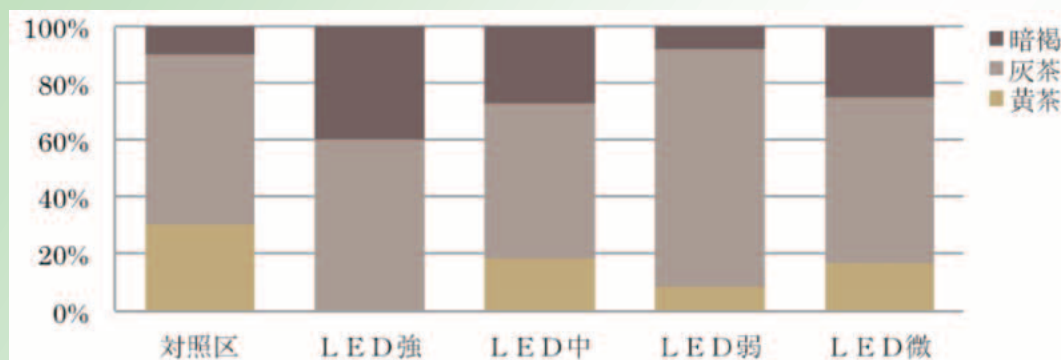
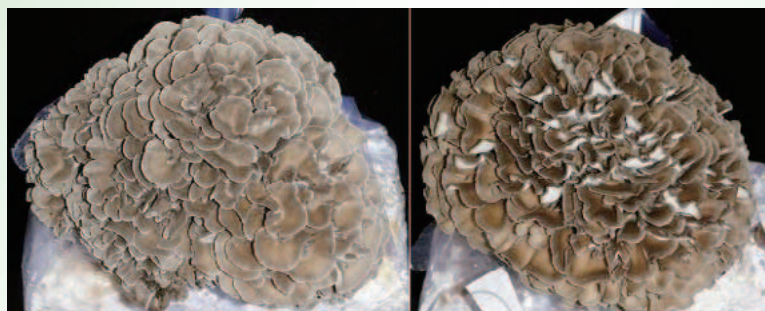


図3 子実体生育時における青色LED照射による傘の色  
(青色LED:ピーク波長 455nm)



蛍光灯照射(対照区) 青色LED照射(LED強)

写真1 青色LEDによる子実体の色の違い

(青色LED:ピーク波長 455nm)

子実体生育時の青色LED照射は、蛍光灯に比べ、やや収量が増えることがわかりました。また、蛍光灯と同様の光量子量であればより濃色の子実体が収穫できます。

白色LEDの照射では、蛍光灯と比べ栽培日数、収量ともにはっきりした差は見られませんでした。

これらのことから、LED照射によるマイタケ栽培は蛍光灯と同様にできることがわかりました。ただ、生育段階でのLED利用の場合も、原基形成時と同様に、それぞれのきのこに均一に光を照射する工夫が必要です。

### 3 LEDで栽培のバラツキを減らせます

これまでマイタケ栽培における光条件は、蛍光灯を念頭に、原基形成時で明るさがある程度以上、子実体生育時で文字が読める程度あればよいと言われてきました。そのため、それぞれの菌床に当たる光にバラツキがあっても注意を向けていないことが多くあり、このことが原基形成、子実体生育のバラツキを大きくしている原因ではないかと考えました。そこで、栽培期間を通じて、天井に設置した蛍光灯と各棚板に設置したLEDとで栽培を行い、栽培日数及び収量などの同調性を比較しました。

栽培試験を行った栽培室は天井に蛍光灯が設置されており、栽培棚は4段です。蛍光灯区は天井のみの照明とし、LEDは棚ごとに同じ光量子量で各菌床に照射できるように設置しました。その結果を図4、図5に示しましたが、原基形成日数、栽培日数ともに蛍光灯区では棚の上下によるバラツキが大きいことわかりました。青色及び白色LED区においてもバラツキは見られましたが、蛍光灯に比べて小さく、栽培日数に与える光照射の影響は大きいことがわかりました。また、蛍光灯、青色LED及び白色LEDそれぞれに照明装置で上段から最下段までの全体の平均栽培日数を見ると、はっきりとした差はありませんでしたが、バラツキは青色LED<白色LED<蛍光灯の順で大きくなっていました。

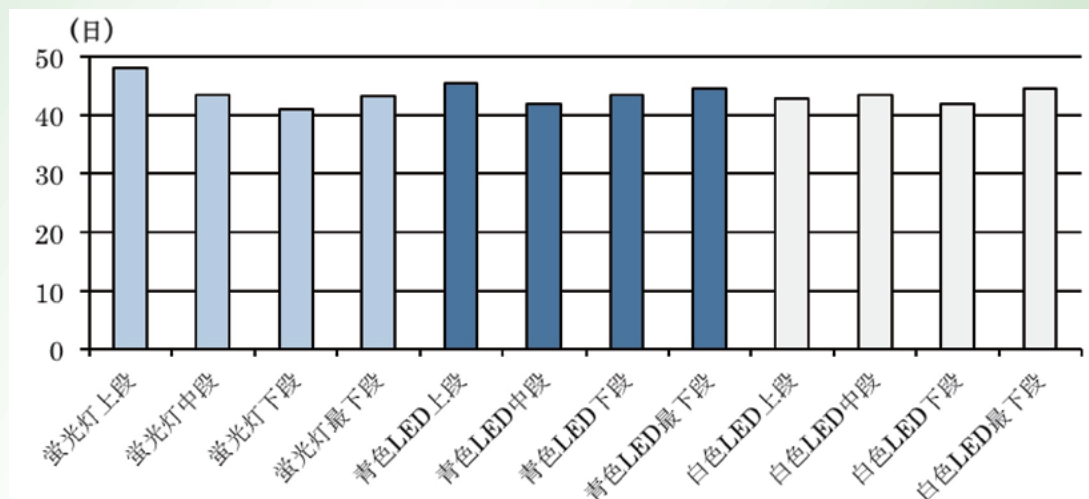


図4 原基形成日数

(青色LED:ピーク波長 455nm、白色LED:青色LED+黄色蛍光体)

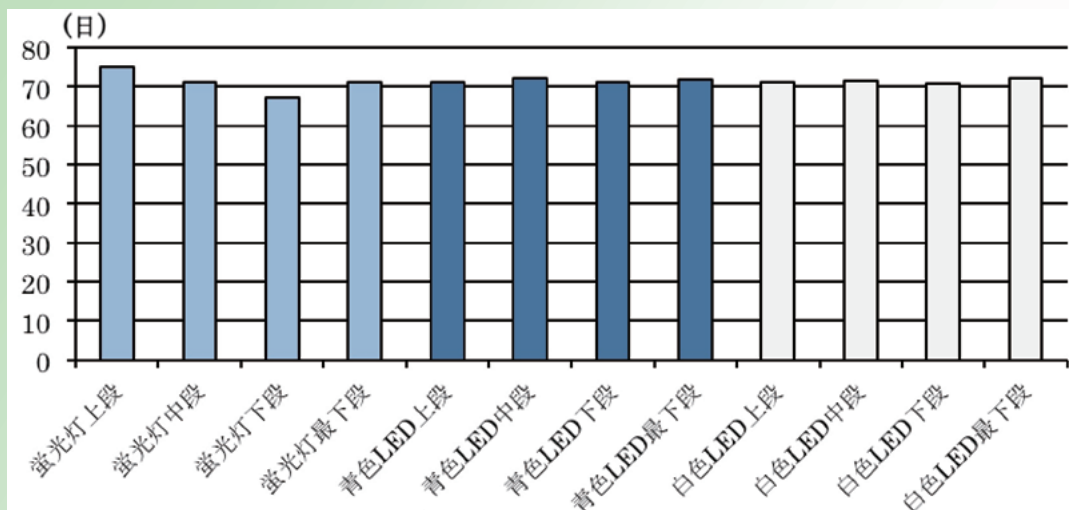


図5 収穫日数

(青色 LED:ピーク波長 455nm、白色 LED:青色 LED+黄色蛍光体)

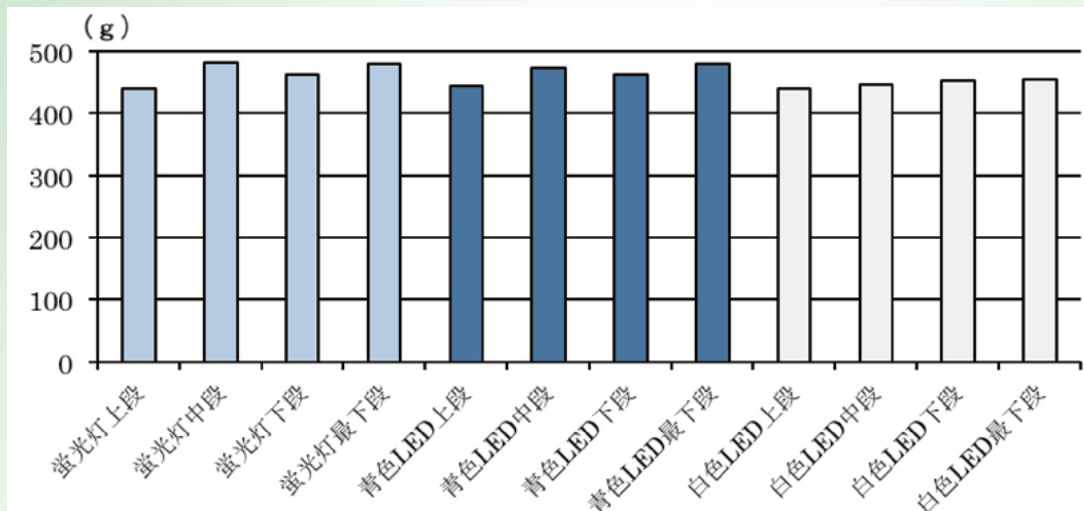


図6 収量

(青色 LED:ピーク波長 455nm、白色 LED:青色 LED+黄色蛍光体)

照明装置及び棚ごとの収量（図6）を見ると、栽培日数同様に蛍光灯照射でバラツキが大きく、LEDでは青色LEDで棚ごとのバラツキが目立つものの蛍光灯に比べると小さいことがわかりました。日数同様に照明装置ごとに全体のバラツキを見ると、青色LED<白色LED<蛍光灯の順に大きくなっていました。



### おわりに

このように、青色LED及び白色LEDをマイタケ栽培に利用することは可能であり、これまで普通に使われてきた蛍光灯と比べたとき、栽培日数及び収量に差がないことがわかりました。子実体の色において、青色LED照射で明らかに濃色の子実体が増すこともわかりました。青色LEDは作業性がとても悪く、原基形成の確認も青色LED下では判別が難しいほどです。その問題を除けば青色LEDがマイタケ栽培に適していると考えられました。実際の栽培現場では、白色LEDを中心に設置し、一部青色LEDにする、または両方設置し、作業時間以外は青色LEDを点灯する等の工夫が必要です。

また、LEDの特性で照射された光の直進性が高く、今回多くの場合4菌床に1灯の割合でLEDを設置しましたが、マイタケは子実体が大きいため、光が均等に照射できず、一つの子実体でも傘色に濃淡が見られることがありました。したがって、栽培に係る多くの菌床に、また、子実体全体に均一に光が照射できるLEDの照明装置の開発と、設置方法の検討が今後の課題であると考えられました。



## アラゲキクラゲ

原木栽培等で簡易に栽培されることの多いアラゲキクラゲですが、菌床栽培も見られるようになってきました。そこで、菌床栽培において青色LEDの照射を行い、その効果を調べました。

照射方法は、子実体発生時に蛍光灯を対照区として、青色LEDを2段階の強度で照射しました。光量子量は表1のとおりです。

表1 発生時における青色LED  
(ピーク波長 455nm)照射

照射光源	光量子 ( $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ )	光源距離 (cm)
蛍光灯	4.33	187
青色LED強	6.21	73
青色LED弱	1.17	73

子実体の発生処理開始から2ヵ月間照射を行い、その間の収量を積み上げ、100菌床あたりに換算して図1に示しました。蛍光灯と比較し、青色LED強区はほぼ同等の収量を上げることができました。青色LED弱区では、蛍光灯や青色LED強に比べ明らかに収量が少なくなることがわかりました。子実体の色や形はどの照射方法でも違いは見られませんでした。

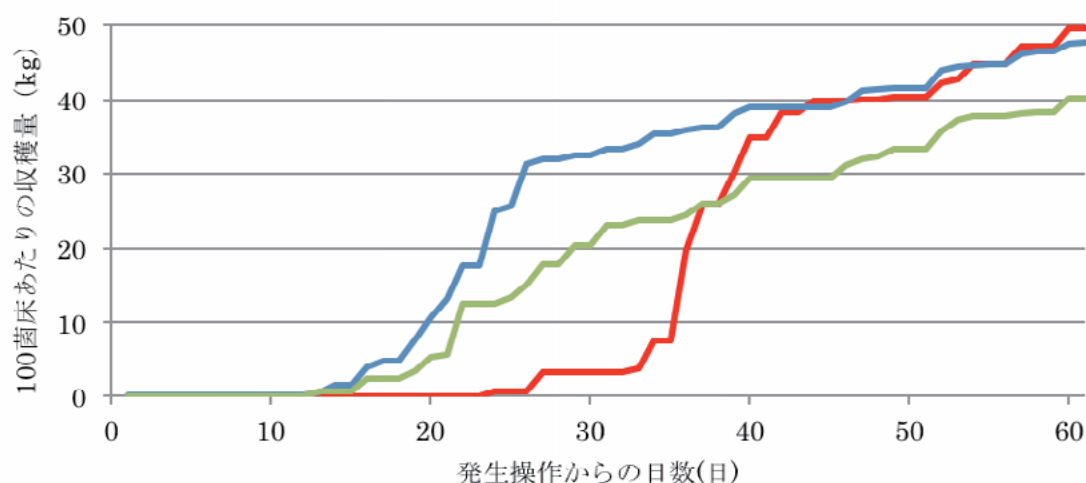


図1 アラゲキクラゲの収量

— 蛍光灯 — 青色LED強 — 青色LED弱

## エリンギ

青色 LED 照射できのこの形を自在にコントロールできる！？

エリンギは、きのこの柄の独特の食味や食感が好まれるため、傘が小さく、柄が太くて長いきのこが広く流通し、エリンギの商品イメージとなっています。この形態を実現するためには、通常は1つのビンから数本の大型の子実体を発生させる栽培が行われてきました。光の波長や照射時間を調整することによって1ビンから発生するきのこの数や形態をコントロールできれば、販売先や用途に応じた形態のエリンギを生産することができ、品質や生産性の向上につながると考えられます。そこで、エリンギ栽培において、各工程の光照射条件が菌糸体成長、きのこの収量や形にどのように影響を及ぼすかを調べました。

### 1. 培養段階における光の影響

寒天培地上の菌糸成長に対しては、青色光は他の波長（色）と比較して、成長抑制の作用を示します（図1）。しかし、栽培においては、培養段階の前期、中期、後期に光を照射しても、その後のきのこの発生量や栽培日数、きのこの形態には影響を及ぼさないことがわかりました（図2）。

### 2. きのこの形態に及ぼす光波長（色）の影響

試験管培養によって小さなきのこを形成させ、きのこの発生段階に及ぼす光波長（色）の影響を調べました。赤、黄では暗黒下での発生と同様に、きのこの芽が出来てから傘の形成が遅れ、柄が長く傘の小さなきのこを形成しました。これに対し、青色光と蛍光灯では、きのこの芽ができた直後から傘が柄とともに成長し、柄が短く傘の大きなきのこを形成しました（図3）。これは、通常のビン栽培においても同様の傾向が見られました。



### 3. きのこの形態におよぼす青色光強度の影響

試験管培養によって、青色 LED（ピーク波長 455nm）を用いてきのこの発生段階に及ぼす光強度の影響（弱： $0.15 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ ～強： $30.73 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ （菌床表面））を調べました。光が強いほど傘の直径が大きく、傘表面の色が濃くなり、柄が短くなりました。また、光が弱くなると傘の直径が小さく、傘表面の色が薄くなり、柄が長くなりました（図4、図5）。通常のビン栽培においても同様の傾向が見られました。また、白色 LED（青色 LED+黄色蛍光体）においても同様の傾向が見られました。

### 4. 光照射時期がきのこの形態に及ぼす影響

きのこの生育段階において、白色 LED（青色 LED+黄色蛍光体）と青色 LED（ピーク波長 455nm）を用いて、光の強さと光照射時期がきのこの形態に及ぼす影響を調べました。きのこの芽ができてから成熟するまで弱い光（白色：約  $0.17 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ 、青色：約  $0.15 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ （菌床表面））を照射すると、柄が長く傘の小さなきのこができました。きのこが小さな時期から大きくなるまで強い光（白色：約  $8.94 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ 、青色：約  $7.98 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ ）を照射すると、柄がある程度伸びた後、傘の成長が促進されるため、柄が長く傘の大きなきのこができました。さらに、きのこの芽ができてから大きくなるまで強い光を照射すると、柄の伸長が抑制され、傘の成長が促進されるため、柄が短く傘の大きなきのこができました。これらの傾向は、白色光と青色光で共通して見られましたが、傘の成長促進と柄の伸長抑制は青色光においてより顕著に見られました。また、発生タイプの異なる品種間で（株採りタイプ、1本採りタイプ）、光照射が子実体形態に及ぼす影響は共通していました。

以上の結果から、エリンギの発生段階において、青色 LED を用いて、光強度と光照射時期を変えることで、きのこの柄の長さや傘の大きさを調整し、生産目的に合った形態を持つエリンギを栽培できることが明らかとなりました。



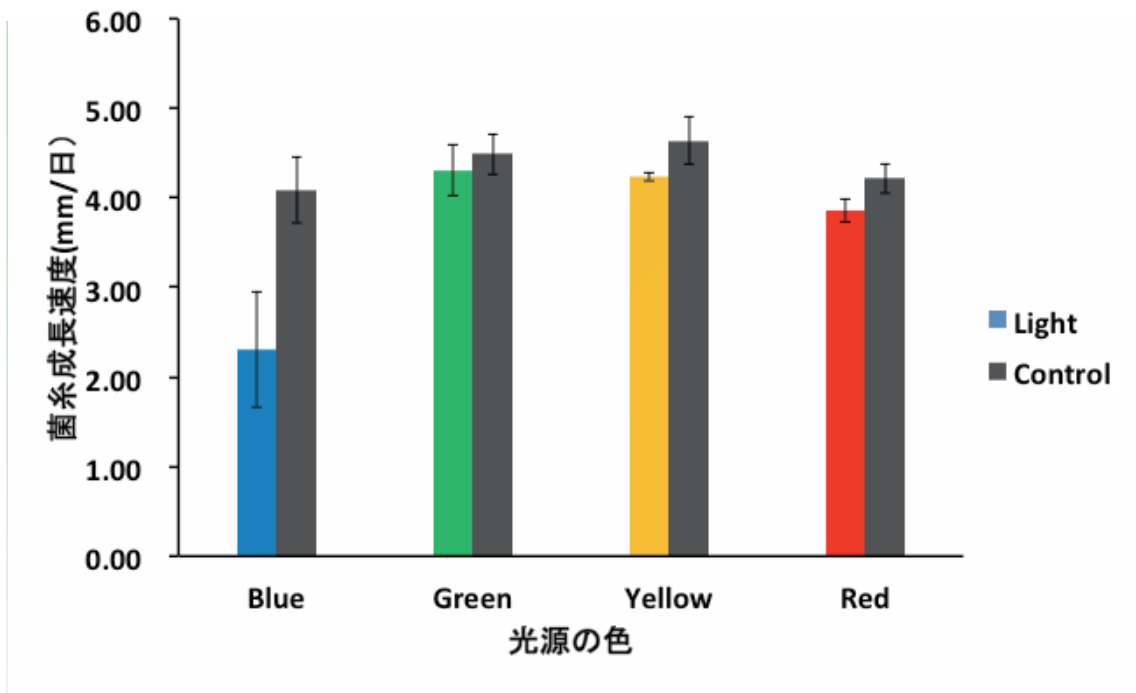


図1 寒天培地上の菌糸成長におよぼす光の影響

5日間光を連続照射し、菌糸伸長距離を測定。コントロール（暗黒）はその各色の実験ごとに測定。

光波長（ピーク）：赤（631nm）、黄（597nm）、緑（517nm）、青（455nm）、蛍光灯（3波長タイプ）



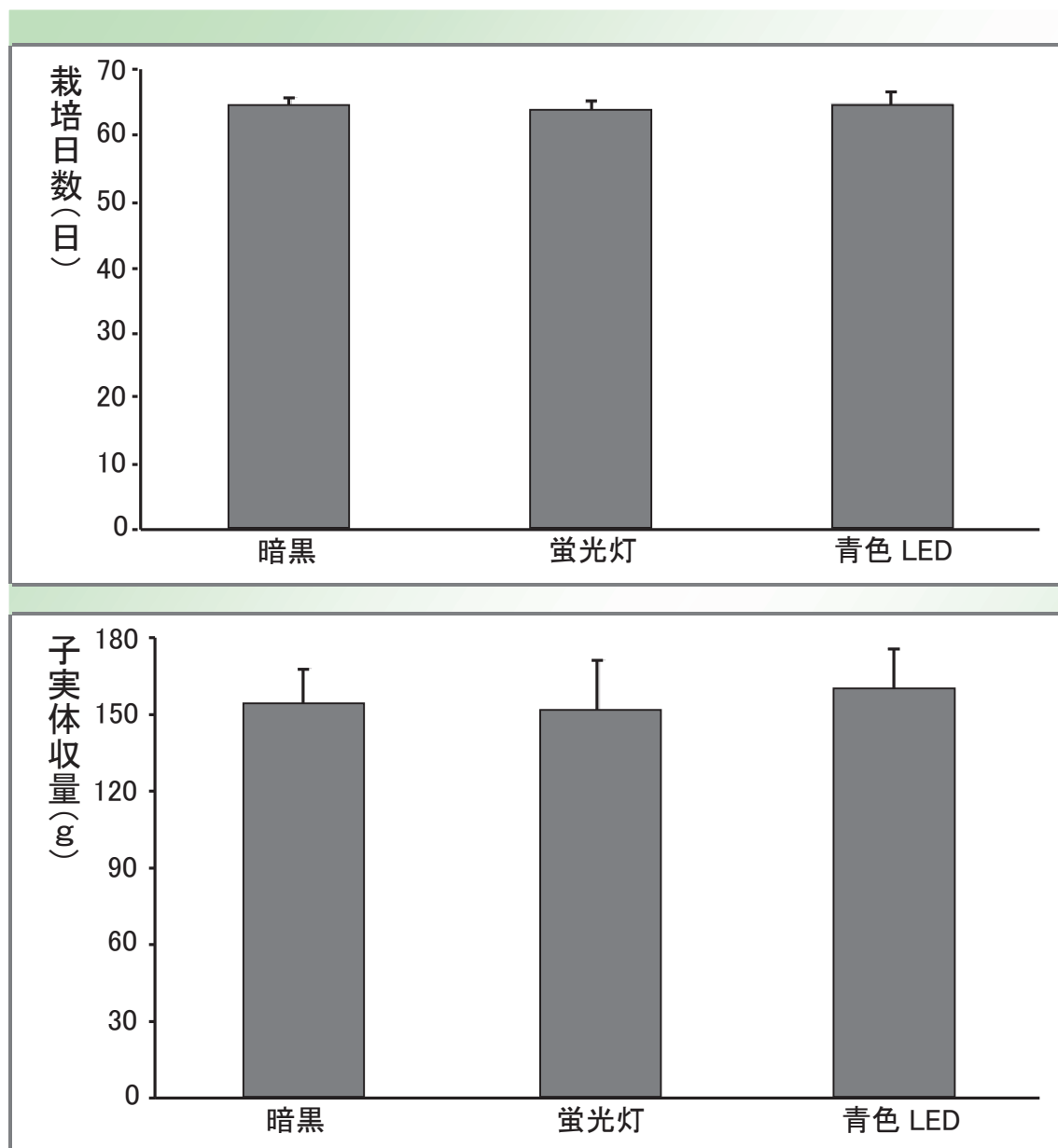


図2 培養工程における光照射の影響

ビン栽培において、培養30日から光を連続照射（光強度約  $10.5 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ 、菌床表面）した後、きのこを同一条件で発生させました。



図3 きのこの形に及ぼす光波長（色）の影響

約20gの培地を入れた試験管用い暗黒条件で40日間培養した後、発生室（温度約15℃、湿度約95%）に移動し、原基形成を確認後それぞれの光を連続照射しました。

光波長（ピーク）：赤（631nm）、黄（597nm）、緑（517nm）、青（455nm）、蛍光灯（3波長タイプ）

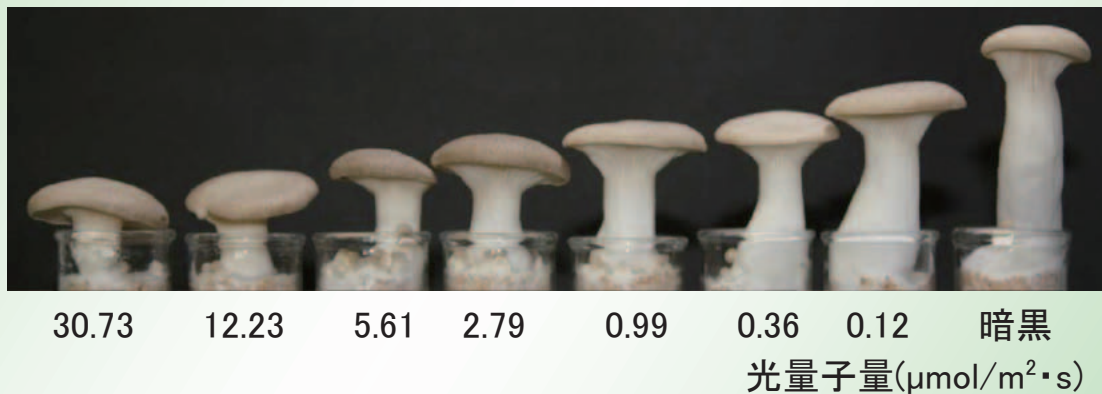


図4 きのこの形態におよぼす光強度の影響

約20gの培地を入れた試験管用い暗黒条件で40日間培養した後、発生室（温度約15℃、湿度約95%）に移動し、原基形成を確認後、青色LED（ピーク波長455nm）を用いて、それぞれの強さの光（菌床表面）を20分間隔で点灯消灯を繰り返しました。

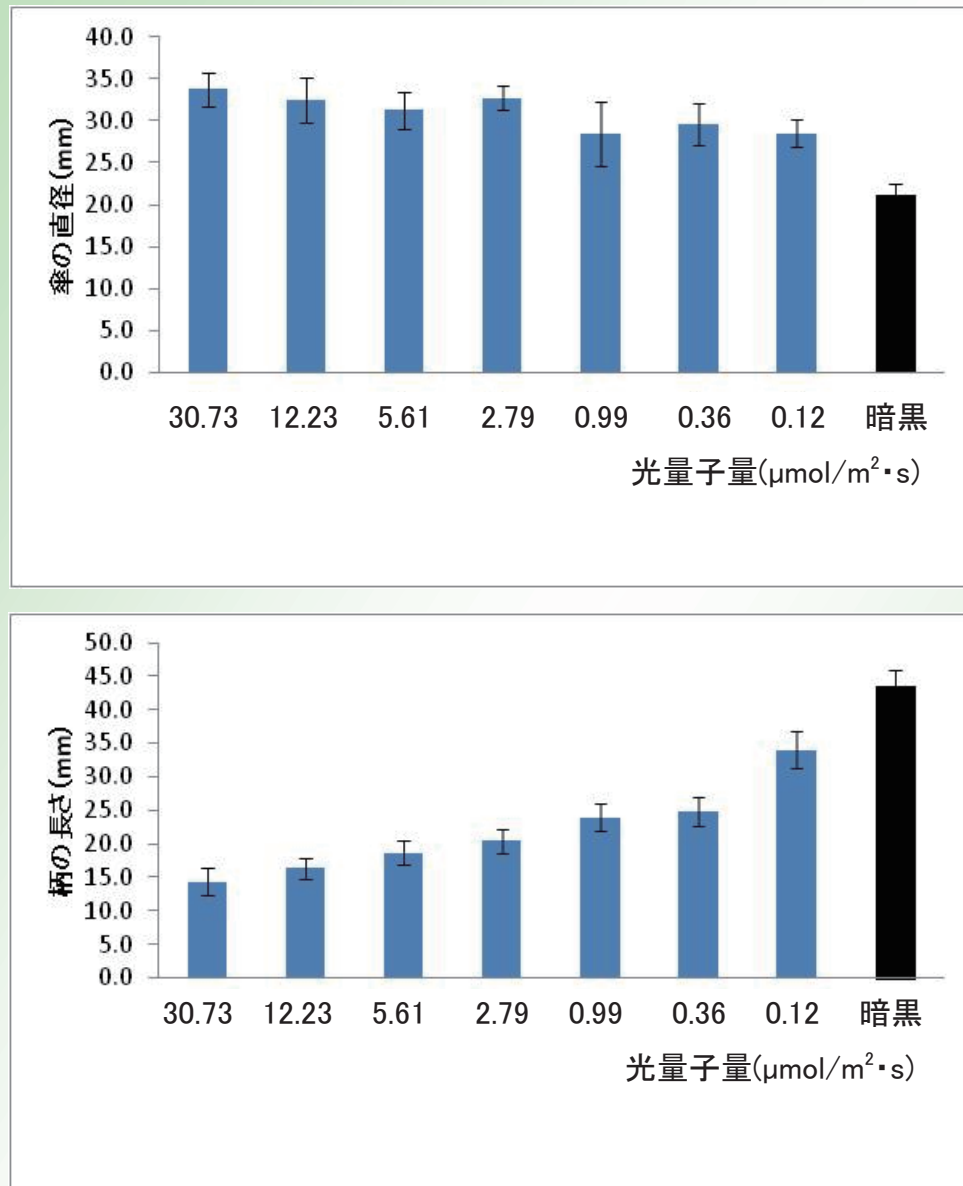


図5 きのこの形態に及ぼす青色LED（ピーク波長455nm）の光強度の影響(傘の直径と柄の長さ)

図4に示すきのこの測定値。各条件12本のきのこの菌床表面にて測定。





図6 きのこの形態に及ぼす光強度と光照射時期の影響

暗黒下で40日間培養後、発生処理し、子実体の芽ができた後、白色LED（青色LED+黄色蛍光体）と青色LED（ピーク波長455nm）の光強度を弱（白色： $0.17\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ 、青色： $0.15\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ ）、強1（白色： $8.94\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ 、青色： $7.98\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ ）及び強2（白色： $4.50\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ 、青色： $5.33\pm 1.54\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ ）として、20分間隔で点灯消灯を繰り返しました。きのこの生育中期から収穫までの光照射パターンを、a) 弱→弱、b) 弱→強1、c) 強1→強1、d) 強2→強2の4通りとしました。

## バイリング

### 1 生育期におけるLED照射の効果について

#### (1)照射開始時期について

バイリングは、光を照射して育てるきのこですが、LEDを用いて光を生育のどの段階から照射するのが良いか調べました。

その結果、きのこが生長し傘が2cm 前後になったとき（菌掻き後13～14日）からLEDを照射すると、傘の形成を促進し、柄の長さを整え、収量と品質が良くなりました（写真1）。



写真1 青色LED（ピーク波長 455nm）の照射時期と子実体の形状  
（菌かき後、照射開始までの日数 左から 9、10、11、12、13、14、15、16、無照射）

#### (2)光の種類と照射効果

現地栽培施設においてバイリングに傘径2cmの時期から白色LEDと青色LEDを生育時に照射した結果、きのこの生育と収量、品質において同程度の効果が実証されました（写真2）。（試験時の光量子量 白色LED（青色LED+黄色蛍光体）  $31.0 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$  青色LED（ピーク波長 450nm）  $30.5 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ ）

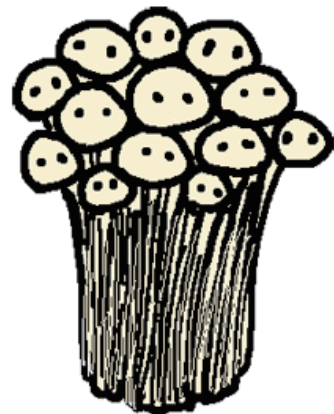


写真2 生育期の光照射ときのこの生育  
（左 白色LED、 右 青色LED）

## ＜おわりに＞

本稿の成果はここ数年にわたり、日本きのこ学会をはじめとする多くの国内外の学会や新聞誌面等で公表されています。また、日本特用林産振興会情報誌である「特産情報」誌において、各キノコに特化した栽培技術に関する連載を予定しています。発刊予定である「改訂・最新きのこ栽培技術」（（株）プランツワールド）並びに、より詳細な解説として本マニュアル「LEDを利用したきのこ栽培」を配布し、技術の普及を目指しています。

本マニュアルは、農林水産省委託プロジェクト「国産農産物の革新的低コスト実現プロジェクト」における課題「キノコの光応答メカニズムの解明及び高度利用技術の開発（平成21～25年度）」において、（独）森林総合研究所が中核機関として、徳島県立農林水産総合技術支援センター、長野県野菜花き試験場、長野県林業総合センター、群馬県林業試験場、奈良県森林技術センター、（公財）岩手県生物工学研究センター、東京工業大学大学院生命理工学研究科、岡山大学理学部、と共同で行った研究成果です。

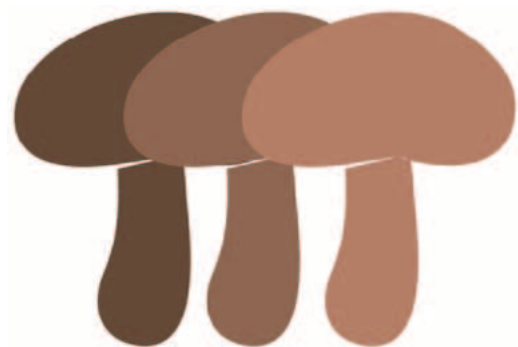


## 著者（あいうえお順）

阿部 正範	徳島県立農林水産総合技術支援センター 農産園芸研究課上席研究員
伊藤 将視	長野県野菜花き試験場 菌茸部 主任研究員（～平成 22 年度）
小島 靖	奈良県森林技術センター 主任研究員（～平成24年度）
風間 宏	長野県野菜花き試験場 菌茸部 技師（平成23年度～）
片桐 一弘	長野県林業総合センター 特産部 研究員（平成24年度～）
金子 真也	東京工業大学 大学院生命理工学研究科 助教
鎌田 堯	岡山大学 理学部 教授（平成 22 年度～23 年度）
河合 昌孝	奈良県森林技術センター 総括研究員（平成 25 年度）
國友 幸夫	群馬県林業試験場 きのか係 主任研究員兼きのか係長
小山 智行	長野県野菜花き試験場 菌茸部 主任研究員
坂田 春生	群馬県林業試験場 きのか係 独立研究員（平成23年度～）
坂本 裕一	（公財）岩手生物工学研究センター 主任研究員（平成22年度～）
佐野 広明	（独）森林総合研究所 きのか・微生物研究領域 特別研究員
砂川 政英	（独）森林総合研究所 きのか・微生物研究領域 主任研究員
鈴木 大	長野県野菜花き試験場 菌茸部 技師（平成23年度～）
角田 光利	（独）森林総合研究所 きのか・微生物研究領域長（～平成22年度）
中村 公義	長野県野菜花き試験場 菌茸部長
中村 雅哉	（独）森林総合研究所 きのか・微生物研究領域 チーム長
西澤 元	徳島県立農林水産総合技術支援センター 主任研究員（～平成23年度）
古川 仁	長野県林業総合センター 特産部 主任研究員（平成23年度～）
増野 和彦	長野県林業総合センター 特産部長
松本 哲夫	群馬県林業試験場 きのか係 独立研究員 （～平成 22 年度）
宮崎 和弘	（独）森林総合研究所九州支所 主任研究員
宮崎 安将	（独）森林総合研究所 きのか・微生物研究領域 主任研究員

## イラスト

浅野さとみ 東京工業大学大学院 生命理工学研究科 産学官連携技術員









独立行政法人 森林総合研究所  
〒305-8687 茨城県つくば市松の里1番地

編集・発行 きのこ・微生物研究領域  
発行日 2014(平成26)年 2月28日  
お問い合わせ先 編集刊行係  
電話 029-829-8135  
e-mail: [kanko@ffpri.affrc.go.jp](mailto:kanko@ffpri.affrc.go.jp)

※本誌掲載内容の無断転載を禁じます。