

# LED光源の特徴・注意点 ・花き生産での活用事例

農研機構

野菜花き研究部門  
露地生産システム領域

中野善公

# 中野善公 (なかのよしひろ)

1996年 京都大農→院農・植物栄養学講座  
2006年 博士課程で1年留年後、学位取得

ダイズ・ダイコン  
無機分析  
アミノ酸分析  
分子生物学

2006年 農研機構 近中四農研セ 香川県善通寺市  
2013年 花き研究所 茨城県つくば市  
2021年 企画戦略本部  
2023年 野菜花き研究部門 露地システム研究領域 花きG

トマト3年  
トルコ・鉢花7年

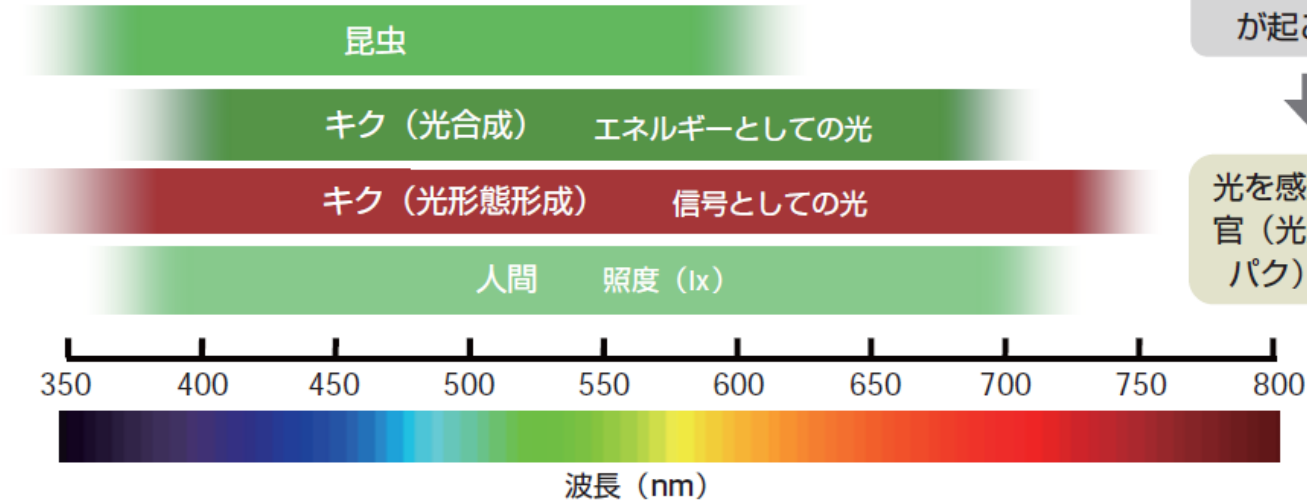
イチゴ2年  
キク8年

栽培生理学  
分子生物学  
遺伝学

注：(電気)工学の経験はありません

# 光は電磁波、色は波長で決まる

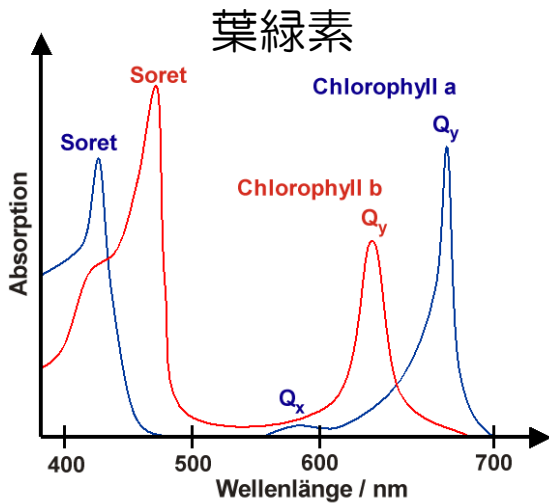
## ■ 生物が利用する光（波長域）の違い



なぜこの違い  
が起こる？



光を感知する器  
官（光受容タン  
パク）の違い



<https://ja.wikipedia.org/>

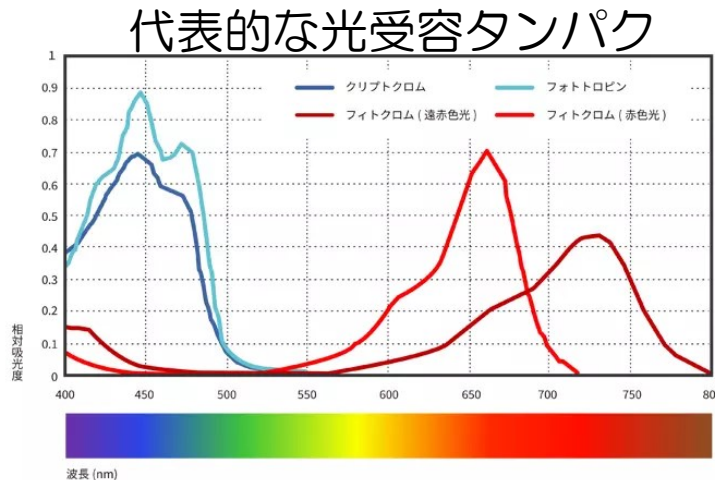


図4: 植物の相対吸光度曲線

他の色素

カロテノイド  
フラボノイド

# 本日扱う「光」について

## 光の作用

### クロロフィル

- ・エネルギー源（光合成）

## 強さが重要

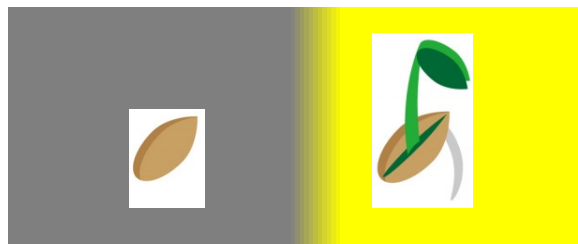
→LEDの特徴をあまり生かせない

- ・寡日照の補光は高圧系
- ・植物工場は葉物が多数

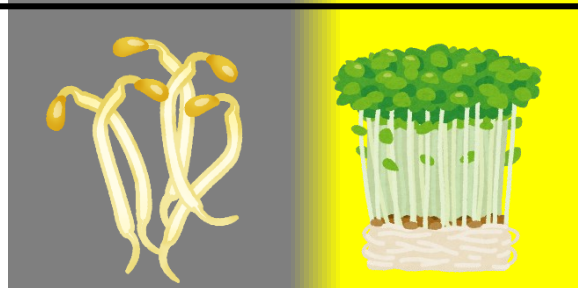
## 光受容タンパク質

- ・環境を知る情報源（光形態形成）

## 質・タイミングが重要



光発芽



葉緑素合成



開花の長日・短日反応

# 人には同じに見えても

放射されている波長は違う

電球色 LED      白熱電球      電球色 蛍光灯



見かけは同じ色の光

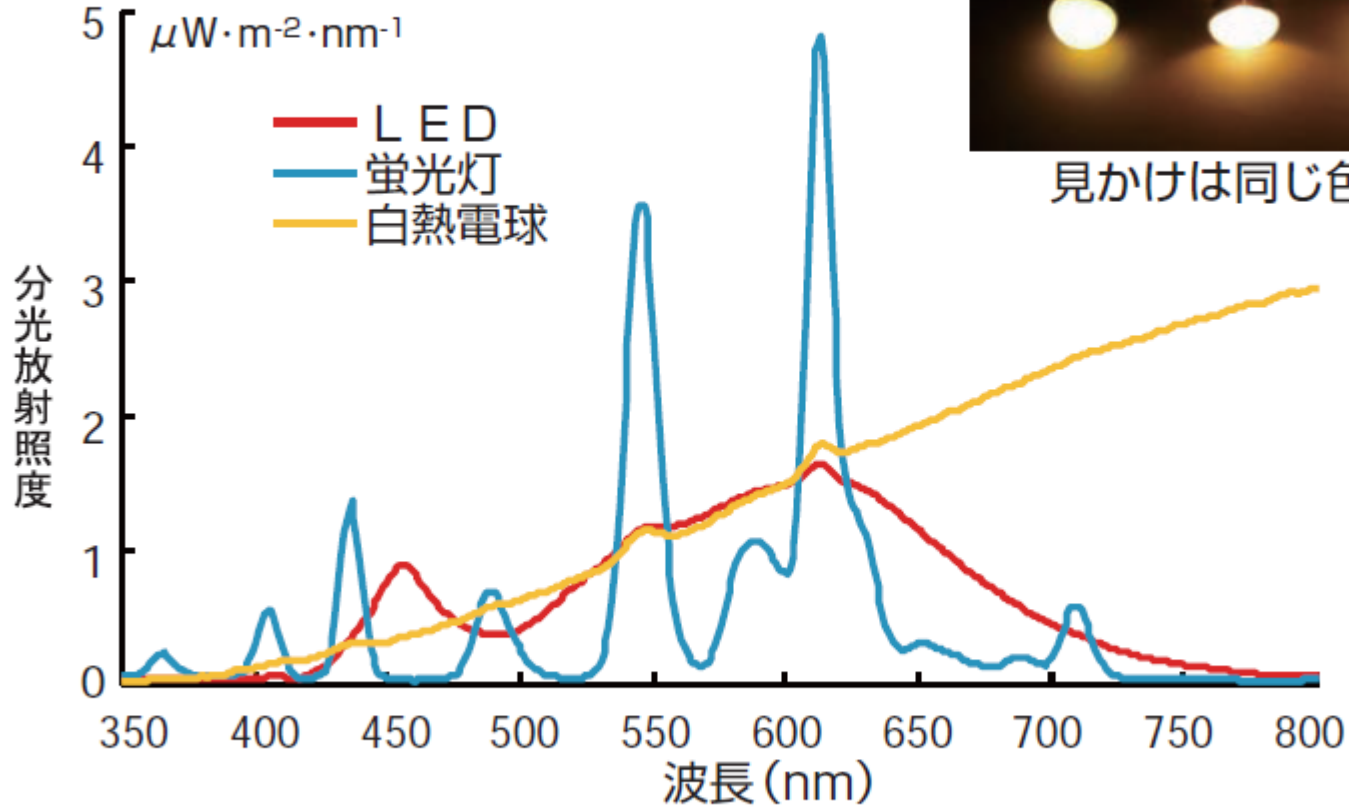


図1 3種類の「電球色」光源の分光分布

# 一般的な農業用人工光源の特徴

	白熱電球	蛍光灯	LED
色	白橙	白、白橙、昼白、ピンク、紫など	発光チップによる
消費 (W)	50-100	15-30	5-15
定格寿命 (時間)	1K-2K	5K-15K	数十K
発光効率 (lm/W)	<20	40<	20<
価格 (円)	-400	-1500	<u>-5000</u>
防水性	◎	△	△
力率	1.0	<u>0.5-0.6</u>	<u>0.5-0.9</u>

チップより先に回路が故障？

ピンからキリまで

回路の放熱穴が必要

コイル・抵抗など発光以外の消費  
力率0.7・10Wなら皮相電力  
14VA必要 (10/0.7)

どの製品もほぼ同じ。

農業においても容易に伝えられる共通言語。

内側の塗料によって主となる波長が異なる。  
筐体によって耐候性が異なる。

チップによって、塗料によって波長が全く異なる。  
筐体によって配光が異なる。  
筐体によって耐候性が異なる。

かなり人に伝えにくい。

# 名前で波長が決まるのは白熱電球だけ

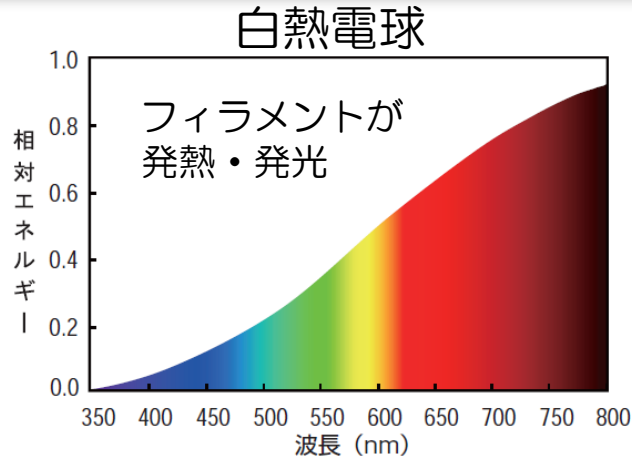
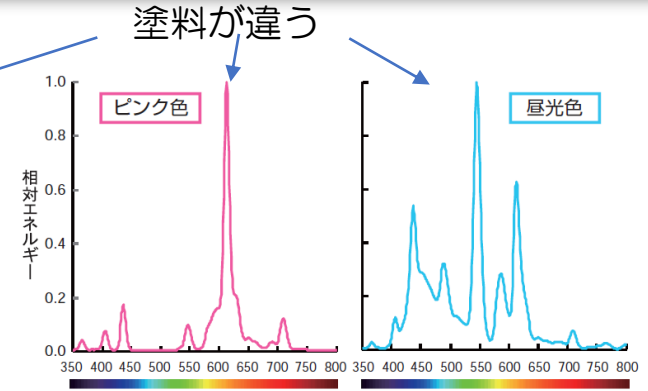
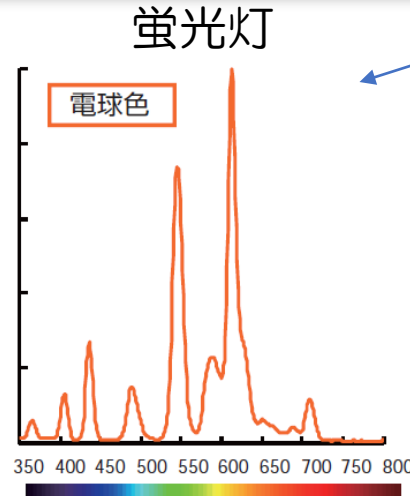


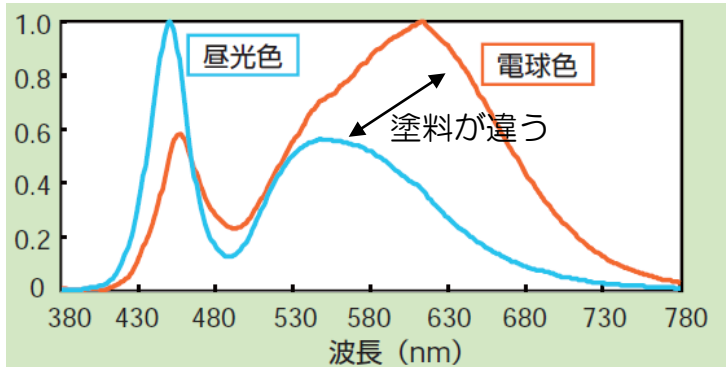
図 白熱電球の波長スペクトル



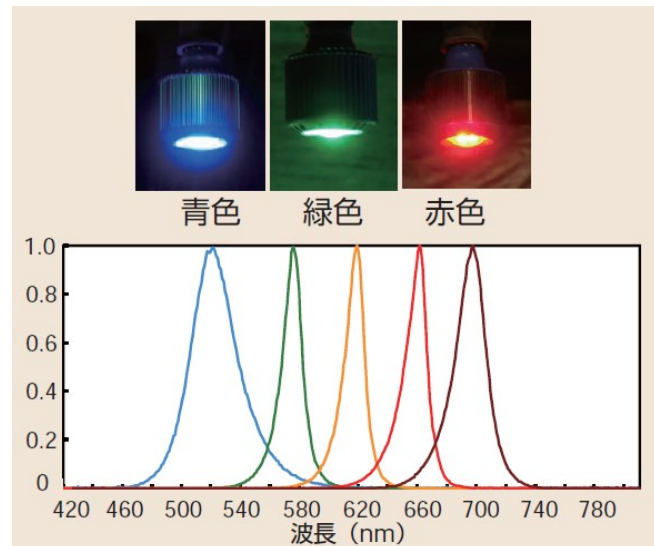
紫外光を管内壁の蛍光塗料で変換

## LED

青色光を蛍光塗料で変換するタイプ



## 単波長型



# LEDは伝達・再現が大変

研究推進・現場普及の鍵



## 光が当たる場所はどういう状態か？

白熱電球は伝達・再現が容易

「 $\text{O}^\circ\text{W}$ の白熱電球を、高さ $\text{O}^\circ\text{m}$ 、縦横 $\text{O}^\circ\text{m}$ 間隔で吊って点灯」

「LEDを、高さ $\text{O}^\circ\text{m}$ 、縦横 $\text{O}^\circ\text{m}$ 間隔で・・・



「●  $W$ の●色LEDを、



「●  $W$ の短波長型でピークが● nmのLEDを、

「● ●社の型番● ●を、

+メーカー公表の分光分布を付ける

加えて、筐体（チップ配置、皿の形）によって配光特性も違う



# 光を測るのは大変

測定範囲	エネルギー量		光量子数
		人の目補正あり	
光源からの すべて	放射束	光束	光量子束
	W	ルーメン(lm)	$\mu\text{mol} \cdot \text{s}^{-1}$
★ 単位面積当 たり	放射照度	照度	光量子束密度
	$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$	ルクス(lm $\cdot$ m <sup>-2</sup> )	$\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$

放射照度計、分光放射照度計：規格無し、機種特有のクセ、波長によっては感度が一定でない

照度計：国際規格があるのは照度計だけ、人の目が感じやすい波長は高く表示

光量子計：規格無し、機種特有のセンサー範囲（例：光合成環境計測用400-700nm）

器具、使用方法、測定方法を書けば伝達・再現可能

定植後は高さ1.8 m、縦横3 m間隔で設置した電球形赤色LED（エコノライトNAG、（株）エルム、ピーク波長625 nm）で暗期中断（22:00-4:00）を行った。分光放射計（MS-720、英弘精機（株））で測定した地表面の放射照度は0.3～0.4 W  $\cdot$  m<sup>-2</sup>であった。

現場では赤字部分を照度計（安い、統一規格、現場にある）に置き換えてよい  
UVやFRの領域は測れていないことに注意

# 使用する (LED) 機器を選ぶ

## 植物に

どの光受容タンパク質を經由して  
どのような形態変化を起こさせたい？

## 植物以外に

何を  
起こさせたい？

### 光受容タンパク質

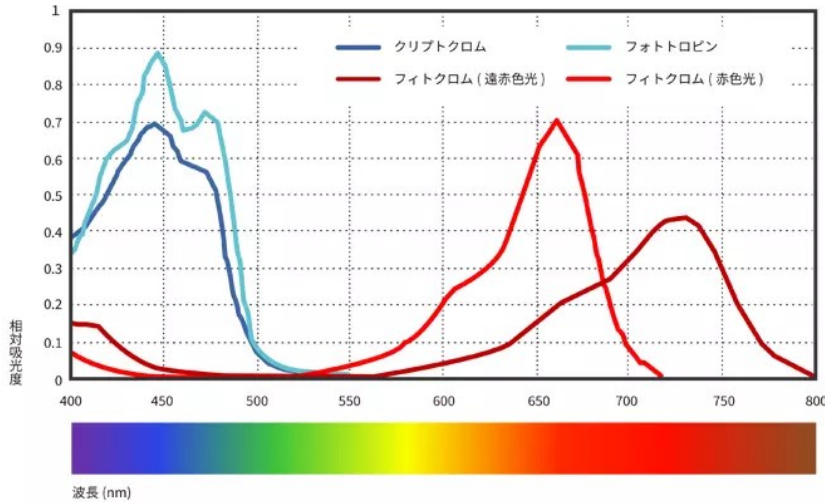


図4:植物の相対吸光度曲線



伸長・開花・着色などの促進・抑制

UVストレスを介した  
色素合成誘導  
病害虫耐性付与など

行動錯乱  
忌避  
生育阻害

目的以外に (悪) 影響  
がある・ない

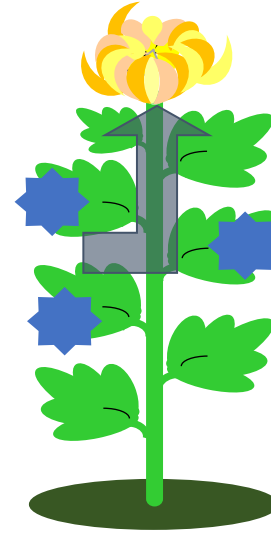
LED利用が最も進んでいるキクを例に→

# キク（短日植物）の日長反応

短日



開花ホルモン  
(フロリゲン  
: FTL3)



FTL3



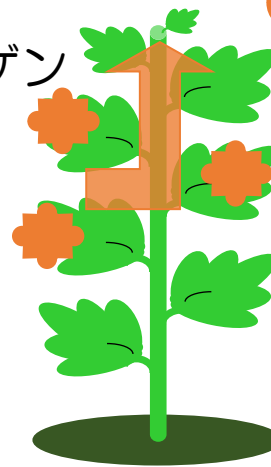
花芽  
分化  
・発達

花器官の形態形成を促進  
するタンパク質

長日



不開花ホルモン  
(アンチフロリゲン  
: AFT)



AFT

花芽  
分化

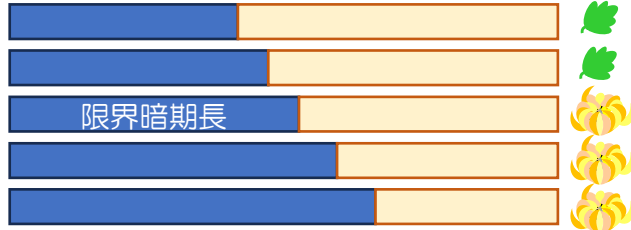
よく似たタンパク質だが  
促進できない

# キクの電照（暗期中断による開花抑制）栽培

キクは夜の長さを測っている



開花の限界暗期長より短い→開花抑制



開花の限界暗期長より長い→開花促進

暗期中断



限界暗期長を超える前に光→開花抑制

場所：葉  
 時間：限界暗期より前  
 波長：赤色  
 応答：フィトクロムPr型（吸収極大660nm）  
 → Pfr型  
 結果：アンチフロリゲンの合成促進  
 フロリゲンの合成抑制

農業専用品  
 ¥5,000/個  
 力率0.9以上  
 耐候性  
 チップ  
 カスタム可  
エコノライト®NAG  
 (株式会社エルム)

## 白熱電球

OK

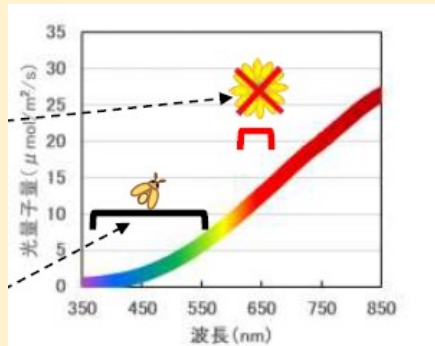
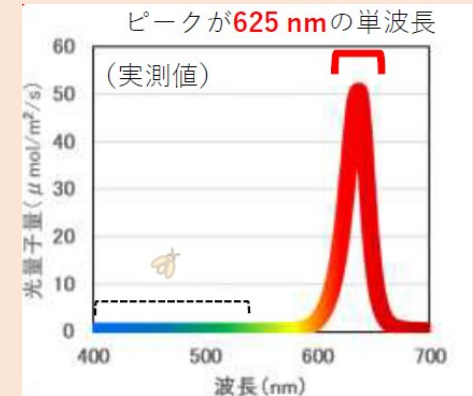
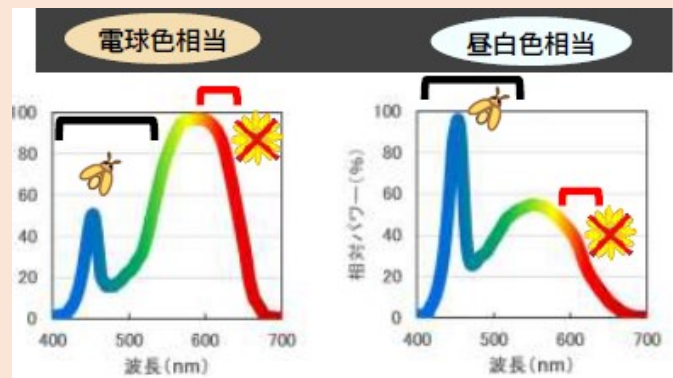


図 75Wの白熱電球の波長の実測値

## LED



一応OK：同じWでは効果が違う可能性

# キク電照用光源のあれこれ①

- 白熱電球はもう作られない？
- A. 特殊用途（農業用含む）は生産継続  
ただし、生産数減・価格上昇 ￥200→￥450

- 電球型LEDを買ったけど白熱電球もストックがある、同じ線に混ぜて大丈夫？
- A. 電気回路的には問題なし  
ただし、光の質・量が異なることに注意が必要  
機器ごとに間隔・点灯時間が十分か検証が必要  
契約電気容量内に収まるか確認が必要

- フィトクロム（吸収極大660nm）なのに625nmが効く？  
625nmの赤色チップ搭載？

A. おそらく、他に光のない夜間、660nmは多量にあるクロロフィルに吸収されてフィトクロムに届きにくい

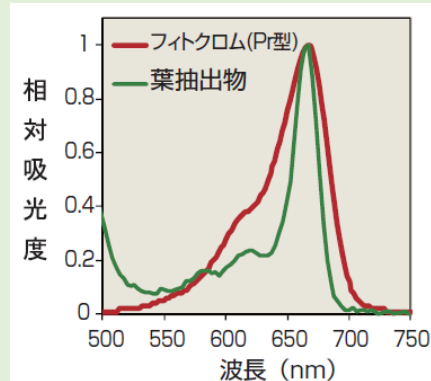
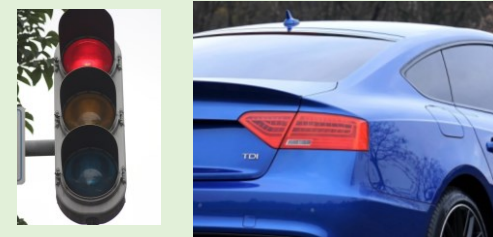


図3 フィトクロム (Pr型) と葉の粗抽出液の光吸収曲線



汎用的で安価なチップ

植物の特性と環境調節はセットで考える！

# キク電照用光源のあれこれ②

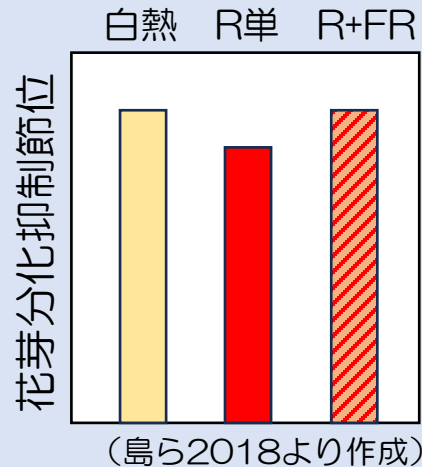
・キクの開花抑制はFR光も必要では？

A. ファイトクロムAへのFR光高照射反応がみられる品種もある

本当にその差は問題？

1. 営利生産上十分な日数

↓  
R単体で問題なし



2. 営利生産上必要な電照日数を耐えきれず花芽分化

→白熱電球で行う

→FRチップも搭載したLED照明器具を用いる

→そのような品種は変える

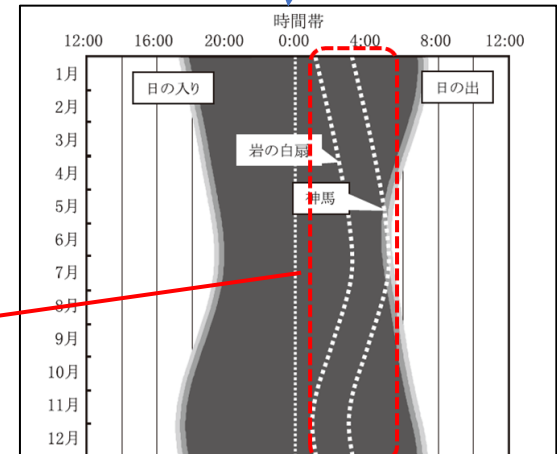
植物の特性と環境調節はセットで考える！

・夜何時に当てると効果が高い？

A. これまでの暗期中断：真夜中0時をまたいで電照

↓  
キクが光に敏感な時間帯は0時以降、品種で異なる

↓  
23:00-4:00、0:00-5:00（夜明）等



第7図 鹿児島市における日の入りから日の出（暗期）の年間推移と光感受性の高い時間帯との関係を表したモデル

# キク電照用光源のあれこれ③

・電球形LED（エルム）は高すぎる。

A. 電気料金・使い方に応じて試算が可能

A. 信頼のおける品を

LED照明器具は電子機器  
屋外使用を想定した耐候性が必要

キク電照は2夜、消えていると栽培失敗となる可能性大

A. (口頭で)

電球購入費用は電球形赤色LEDランプが高い

表 白熱電球と電球形赤色LEDランプの比較

	電球形LEDランプ	白熱電球
電源設置費用(円) <sup>※1</sup>		608,040
電球代(円/個)	3,900	473
電球数(個/10a)		100
電球の耐用年数の目安 <sup>※2</sup>	10年	3~4年
その他諸材料費(円/10a)		173,430
年間電気代(円/10a) <sup>※3</sup> 8月咲き	19,103	44,581
年間電気代(円/10a) <sup>※3</sup> 9月咲き	19,779	51,823

※1 現地試験への設置費用実績

※2 耐用年数は「キク電照栽培用光源選定・導入のてびき」を参考

※3 電気代には基本使用料含む

**しかし** 電球形赤色LEDランプの場合、電気代は白熱電球の半分以下となる

ちなみに…

10年間の費用の推移をみると、電球形赤色LEDランプを用いた方が初期費用は大きくなりますが、ランプ寿命が長く電気代が安いいため、8年以上電照栽培を継続して行う場合、白熱電球と比較し延べ費用が安くなるという結果になります。(電球形LEDランプは製品によって価格や消費電力が異なるため、試算結果は一例です。)

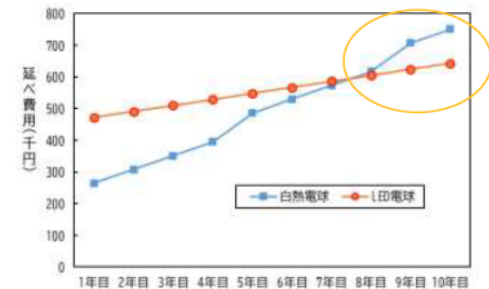
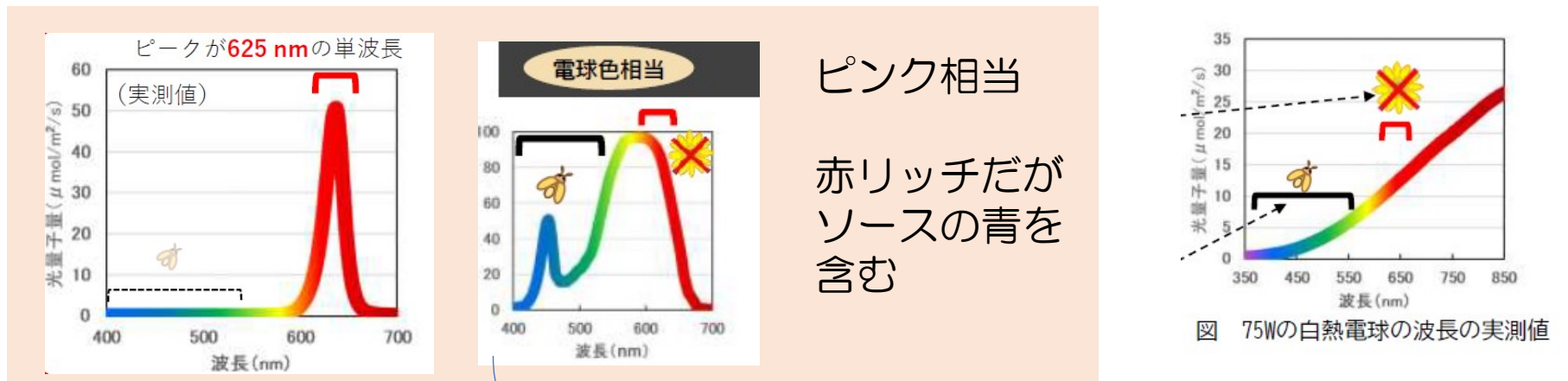


図 白熱電球と電球形赤色LEDランプの費用の年次推移  
8月咲きの試算、電照期間46日間、5時間電照。  
電気料金プランは東北電力よりそう+ナイト10(2020年12月現座時)で試算

# 花き栽培でのLED光源の活用事例

(普及と言える事例)

- 赤、ピンク、電球色等の電球型LEDによるキクの電照栽培



- FRを含む電球型LEDによるトルコギキョウの促成栽培  
(秋冬期、白熱電球からの置き換え)

トルコギキョウ (長日植物) : FRリッチ環境で花芽分化促進  
Rリッチ環境で花芽分化抑制



# 理解不足が招いた悲劇に学ぶ①

お父さんから引き継いだトルコギキョウ生産者  
「業者がトルコ電照用と言って持ってきた」  
「冬に少しでも開花を早めたいので4棟分買った」

県指導員

「君な、これはどれだけ点けても早くならんぞ」

「?!」



赤色単波長を購入していた

「トルコ電照用」も嘘ではない（開花抑制）

次年の訪問時にその人はキク生産に変わっていた

某県IPM技術の実証圃場

多くの関係者が見学・・・

実証技術1：

昼間の植物への赤色光照射によるアザミウマ類の防除

実証技術2：

夜間の防蛾灯点灯によるヤガ類の防除

同時に行い総合防除

実証技術1：効果を確認中  
植物への赤色光照射  
によるアザミウマ類の防除

昼間：赤

-----  
アザミウマの走光性を利用  
紫外・青＞緑＞黄＞赤

植物の緑色がマスクされ  
アザミウマの飛来が減少  
(するらしい)

実証技術2：確立済み技術  
防蛾灯

夜間：緑～黄

-----  
ガの交尾に必要な暗期を  
中断することで産卵（イモ虫  
発生）を抑制

つまり、飛来防止ではない  
虫の眼が感じやすい波長

あれ？

本日の話に加えて、大事なことです

- 適切なコントロール（対照区）を設けること

「LEDどう？」

「LED？使ってみただけどダメだったわ  
（よかったわ）」

よく聞くやりとりですが、これが試験研究はもちろん  
生産者間でももっと具体的・科学的な  
やりとりになる必要があると思います

少しでもお役に立てば幸いです

ご清聴ありがとうございました