密植栽培に適した高採光型温室の開発

明るさと涼しさを同時に実現する温室に関する研究

DEVELOPMENT OF HIGH-LIGHTING GREENHOUSE SUITABLE FOR DENCE PLANTING

Research on the greenhouse that realizes the lightness and coolness simultaneously

中 島 広 志*1, 三 浦 玄 太*1
Hiroshi NAKAJIMA, and Genta MIURA

We have developed a high-lighting greenhouse suitable for dense planting in order to improve the yield per unit area at our own experimental farm in Joso City , Ibaraki Prefecture. Prior to development, we set following two targets to be achieved.

1. The developed greenhouse has to be brighter than conventional greenhouse so that there would be less risk of shortage of sunlight caused by dense planting.
2. Temperature in the developed greenhouse has not to become higher than the conventional greenhouse so that qualities of strawberries grown in the developed greenhouse don't deteriorate due to high temperature.

We measured solar radiation and temperature in the developed greenhouse and compared them with those factors of the conventional greenhouse and confirmed that the two targets mentioned above were satisfied. In addition to that, it was also confirmed that the strawberries grown in the developed greenhouse have high qualities in terms of yield, sugar content and other factors.

Keywords *: Greenhouse, Solar Radiation, Temperature, Yield, Sugar Content*
温室，日射量，温度，収穫量，糖度

1. はじめに

首都圏中央連絡自動車道常総インターチェンジ周辺地域では，常総市が中心となって，常総インターチェンジ周辺地域整備事業が実施されている．本事業では，農業生産から農産物の加工，販売，物流などを対象地内で一貫して行う，いわゆる「農業の 6 次産業化」を実現する産業団地（農産物の生産を行う農地的土地利用エリアと，物流施設，食品加工施設，道の駅など産業的な土地利用を行う都市的土地利用エリア）の形成を目指している．

当社は土地造成工事を受注すると同時に，常総市と地元地権者団体と共同で，本事業の総合的な推進の役割を担う事業協力者として参画している．

この事業協力の一つとして，イチゴの栽培を例に，栽培技術や農業経営ノウハウの蓄積，地元住民への施設園芸への理解促進・普及推進を目的として，イチゴの施設園芸栽培を実践する実証園芸施設「TODA 農房」を建設し，様々な検討を実施している．

本報告では，収穫量向上を目的に単位面積当たりの株数を増やすことが可能な密植栽培を採用するとともに，密植栽培に適した高採光型温室を考案，建設し，その性能について検証した結果を報告する．

2. 開発時に設定した目標性能

高採光型温室は，実証園芸施設「TODA 農房」の敷地内で，単位面積当たりの収穫量向上を目指した密植栽培の検討を行うために開発したものである．開発にあたっては，高品質かつ高収量を実現するために，以下の 2 つの目標性能を設定した．

① 移動式栽培ベッドを使用した密植栽培を行うため，日射量の不足が懸念されることから，従来型温室と比較して温室内の日射量が大きくなること．

② 日射量の増加に伴い，温室内の温度上昇が懸念されるが，高温環境下ではイチゴの実が早く着色し糖度が落ちるため，従来型温室と比較して温室内温度が高くならないこと．

3. 高採光型温室の概要

3.1 施設概要

表 1，表 2 に開発した高採光型温室の概要を示す．

表 1　高採光型温室の概要（その 1）

項目	内容
所在地	茨城県常総市内（ＴＯＤＡ農房敷地内）
温室面積	432 ㎡（間口 18m×奥行 24m）
構造	フィルム張鉄骨構造，現場打ちコンクリート独立基礎
屋根形状	スリークォータ型屋根 南側屋根勾配：3.5：10，側屋根勾配：5.5：10
軒高	南側 2.8m，北側 3.9m
栽培ベッド	高設養液栽培用ベッド

*1　戸田建設㈱技術開発センター　修士（農学）　Research and Development Center, TODA CORPORATION, M.Agr.

表 2　高採光型温室の概要(その 2)

項目	内容
栽培ベッド長	450m（15m×30 列，手動ハンドルによる移動式）
フィルム材質	硬質フッ素フィルム(ナシジ)(屋根，側面)
土間	防草シート
主要設備	高設養液栽培ベッド，養液自動給液システム，加温機（灯油），二酸化炭素発生機（灯油），培土加温機（温湯ボイラ，遮光カーテン（傾斜張りシェードカーテン），保温カーテン，天窓（片屋根はね上げ式），側窓（巻き上げ式（2 段，赤色ネット）），ミストノズル付き循環扇，環境制御システム（クラウド式）　等

3. 2 採光性を高めるための技術

温室の採光性を高めるために下記の技術を適用した.（図 1 参照）

(1) スリークウォータ型屋根（写真 1 参照）

屋根の形状は，南面屋根の勾配を 3.5 : 10 とし，北面屋根の勾配（5.5 : 10）より小さくしたスリークウォータ型屋根を採用した．天窓は採光が妨げられないように，片開き式で北面屋根に設置した．これにより，栽培ベッドへの日射は屈折光および反射光を除いて南面屋根から採光され，屈折や反射等による採光効率の低下が抑制される.

(2) 中柱のない構造（写真 2 参照）

温室の柱および合掌部材に従来型温室と比較して強度の大きな I 形鋼（250*125*4.5*6）を使用することにより，温室内に中柱がない大空間構造 (間口 18m×奥行 24m) を実現した. これにより，柱，桁や筋かいなどの鋼材による影の発生を少なくすることが可能となっている.

(3) 特殊遮光カーテン（写真 3 参照）

従来型の連棟温室の場合，遮光カーテンはワイヤー駆動式のものが採用される場合が多い．この場合，遮光カーテンを使用していない（光を必要としている）ときに栽培ベッドの上部にカーテンだまりが数か所形成され，影が発生する原因となる.

高採光型温室では，通常の遮光カーテンの素材より軽い素材を使用し，南面屋根を 1 枚で覆うタイプのものを開発した．この結果，不使用時の「カーテンだまり」は屋根の頂部付近の 1 箇所に収納され，栽培ベッド上に影が発生しない仕組みとした.

(4) 散乱光タイプのフィルムの使用

温室の被覆材には光線透過性の高い硬質フッ素フィルムを使用している．硬質フッ素フィルムは散乱光タイプのフィルムを使用し，影を発生しにくくしている．（図 2 参照）

(5) 栽培ベッドの方向

栽培ベッドを南北方向に設置することにより，栽培ベッドの両側に植えるイチゴ苗に均等に太陽光が当たるようにしている.

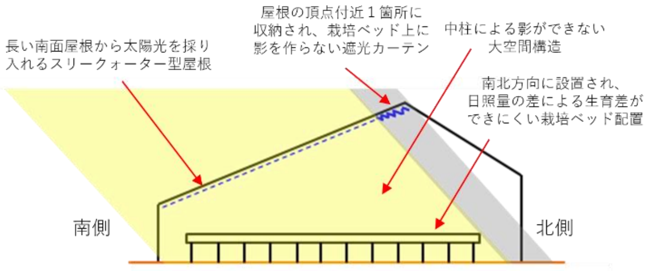

図 1　採光性を高める技術・工夫（特殊遮光カーテン他）

写真 1　スリークウォータ型屋根が特徴的な高採光型温室の外観

写真 2　中柱のない空間

写真 3　特殊遮光カーテン（非使用時）

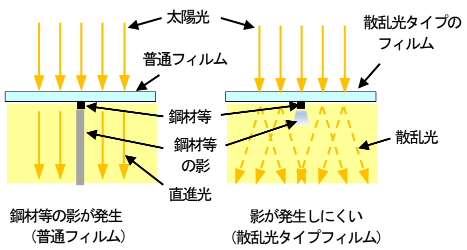

図 2　影の発生しにくい散乱光フィルム

4. 目標性能（日射量，温度）の検証

開発した高採光型温室の性能を検証するために，温室内の日射量および温度を測定した．比較対象として，同敷地内にある従来型連棟温室でも日射量および温室を測定した．

4.1 従来型連棟温室（比較対象）の概要

表 3 に比較対象とした従来型連棟温室の概要，写真 4 に温室の外観を示す．

表 3　従来型連棟温室の概要

項目	内容
温室面積	480 ㎡（間口 8m×2 連棟，奥行 30m）
構造	軽量鉄骨造フィルム温室
軒高	2.9m
栽培ベッド	高設養液栽培用栽培ベッド
フィルム材質	硬質フッ素フィルム（屋根），POフィルム（側面）
土間	防草シート

4.2 日射量，温度の測定方法

温室内の日射量および温度は，温室内に設置した日射量計と温度計によって測定した．測定場所は温室の中央 1 箇所で，センサーの設置高さは両温室とも土間面から 1.8m に統一した．

4.3 測定結果

図 3~図 9 に温室内の日射量および温度の測定結果を示す．

日射量および温度の測定結果は時間平均値としている．

図 3 に 4 月晴天時の日射量測定結果の例を示す．高採光型温室と従来型温室内の日射量の推移は同じ傾向を示しているが，日の出から日没まで通して，高採光型温室内の方が大きくなっている．対象日の高採光型温室内における平均日射量は従来型温室内の 136.8% と従来型温室よりも大きくなっており，これは採光性を高める技術の効果によるものと考えられる．

図 4 に同日における温度測定結果の例を示す．高採光型温室内の温度は従来型温室内の温度より低くなっている時間が長いもの，両者の温度に大きな差異はなく両者の温度差は最大で 3℃程度である．対象日の高採光型温室内における平均温度は従来型温室内の 95.4%である．これは，高採光性型温室は上部の空間が広いため，熱が上部に逃げやすく，栽培ベッド付近の温度が上昇しにくくなっているためと考えられる．

図 5 に 3 月曇天日の日射量測定結果の例を示す．晴天時と同様に日の出から日没まで通して，高採光型温室内の日射量が従来型温室内より高くなっている．対象日の高採光型温室内における平均日射量は従来型温室内の 143.8%と従来型温室よりも高くなっており，曇天日においても採光性を高める技術の効果が表れていると考えられる．

図 6 に同日における温度の測定結果を示す．晴天日と同様に，高採光型温室内の温度が従来型温室内の温度よりも低くなっている時間が長いものの，両者の温度に大きな差異はなく，温度差は最大

写真 4　従来型連棟温室の外観

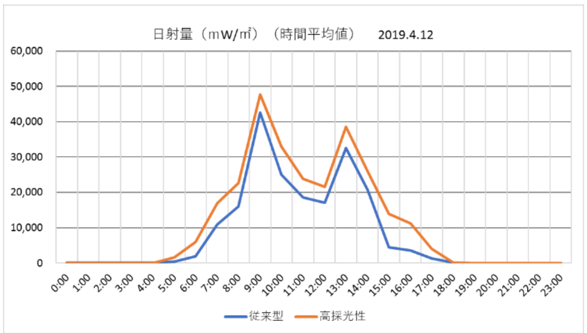

図 3　温室内日射量測定結果（4 月晴天日）

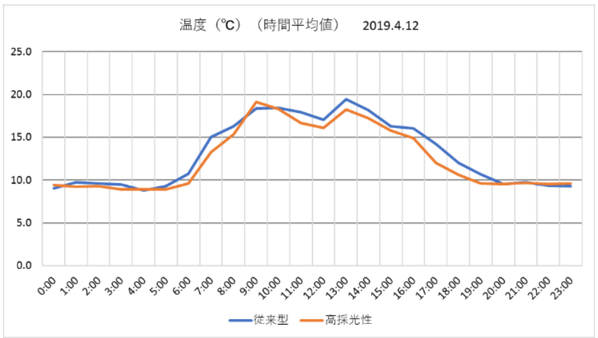

図 4　温室内温度測定結果（4 月晴天日）

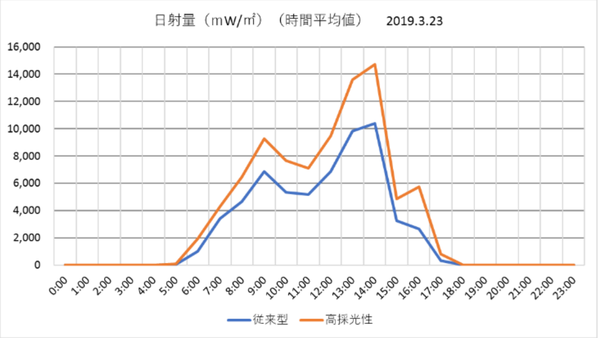

図 5　温室内日射量測定結果（3 月曇天日）

でも 3℃程度である．対象日の高採光型温室内における平均温度は従来型温室内の 89.8%であった．

図 7 に高温で日差しの強い 10 月上旬の日射量の測定結果を示す．他の事例と同様に，高採光型温室内の日射量が従来型温室内より高くなっているが，曲線の形状は他の事例ほど一致していない．これは，日差しの強い日の従来型温室では，日陰になる時刻と日陰でない時刻との日射量の差が大きくなるのに対して，高採光型温室では，影ができにくいため日射量の変動が少なくなっているためと考えられる．対象日の高採光型温室内における平均日射量は従来型温室内の 131.2%であった．

図 8 に同日における温度の測定結果を示す．日中は 30℃近くまで温室内の温度が上昇しているが，高採光型温室内と従来型温室内の温度は概ね同じ温度になっている．対象日の高採光型温室内における平均温度は従来型温室内の 98.2%である．

図 9 に 1 月晴天日における温度の測定結果を示す．日中は晴天であったが，夜間は冷え込みが激しく外気温が 0℃前後になった日の事例である．両温室とも，温室内の温度が 10℃以下になると加温機が作動し，温室内の温度を 10℃に保つように制御されているが，対象日のように特に寒い日の場合，従来型温室では制御のタイムラグによって温室内温度が 10℃以下になっている．高採光型温室では，保温カーテンと屋根の間の空間が従来型温室より大きく，温度変動に対する緩衝機能がより大きいと推定され，その結果として温度の低下が抑制されたと考えられる．

表 3 に 2018 年 10 月から 2019 年 4 月における高採光型温室内および従来型温室内の平均日射量と温度の測定結果一覧を示す．

高採光型温室内の期間平均日射量は従来型温室の 123.7%であった．また，期間平均温度は高採光型温室が 14.8℃，従来型温室が 14.9℃となり，ほぼ同じという結果になった．12 月，1 月の夜間は図 9 の例で示したように夜間の温度が従来型温室の方が低くなっていることを考慮すると，日中は高採光型温室の温度の方がやや低くなっているといえる．

表 3　高採光型温室と従来型温室との比較（日射量, 温度）

月	高採光型温室		従来型温室		高採光型／従来型	
	平均日射量 (mW/㎡)	平均温度 (℃)	平均日射量 (mW/㎡)	平均温度 (℃)	平均日射量 (mW/㎡)	平均温度 (℃)
10 月	11.590	18.7	8,035	18.9	144.2%	98.7%
11 月	8,792	15.6	8,39	15.7	105..2%	99.4%
12 月	7,188	14.0	7,102	13.2	101..2%	106.3%
1 月	10,909	13.0	9,810	12.7	113.6%	102.5%
2 月	10,579	12.8	7,465	13.1	141.7%	97.8%
3 月	11,782	14.3	9,103	14.9	129.4%	96.2%
4 月	12,781	15.4	9,773	15.6	130.8%	99.0%
期間平均	10,517	14.8	8,521	14.9	123.7%	100.0%

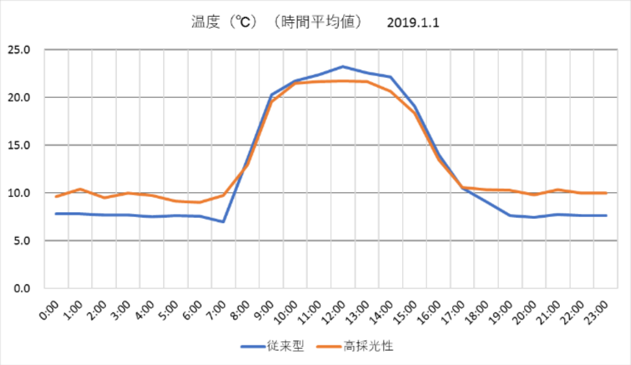

図 6　温室内温度測定結果（3 月曇天日）

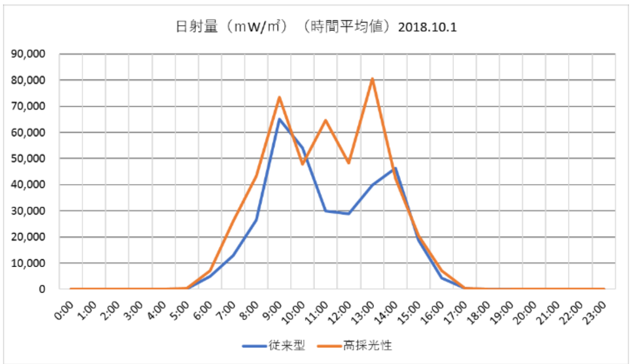

図 7　高温で日差しの強い晴天日の温室内日射量測定結果（10 月晴天日）

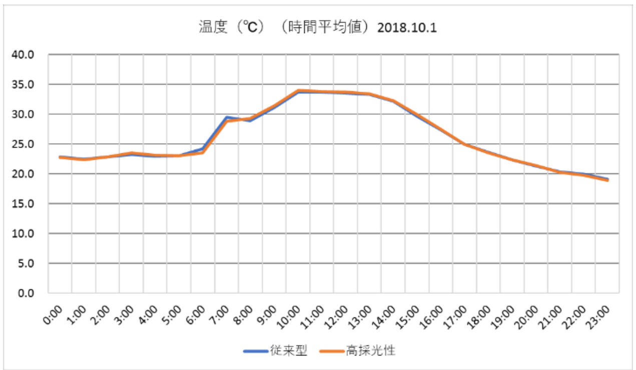

図 8　高温で日差しの強い晴天日の温室内温度測定結果（10 月晴天日）

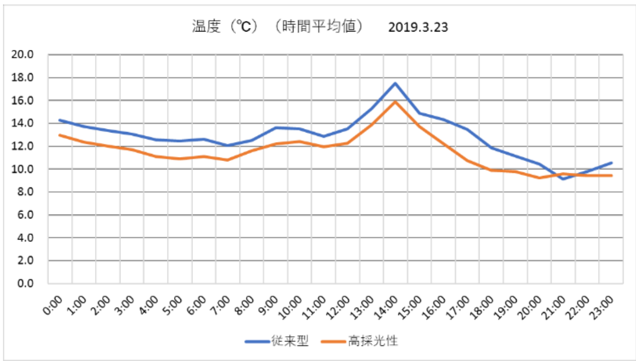

図 9　夜間冷え込みの激しい日の温室内温度測定結果（1 月晴天日）

5. 高採光型温室で栽培したイチゴの品質

高採光型温室と従来型温室で栽培した同品種のイチゴの品質等測定結果を表 2 に示す．高採光型温室と従来型温室では，高設養液栽培という同じ方式の栽培方法を採用しているが，栽培ベッドの形状，培土の配合，供給溶液の種類などの条件が異なるため，あくまで参考としての比較である．なお，温室内の温度，培地の加温，二酸化酸素の供給などの条件はほぼ同一条件で制御している．

表 4 に記載した測定値は，高採光型温室および従来型温室で品質管理用に栽培した紅ほっぺのサンプル株各 6 株の平均値である．

高採光型温室の方の実数が多かったため，粒重量はやや小さくなったが，他の項目は高採光型温室の方が優れているといえる．

表 4　高採光型温室と従来型の品質比較

項目	高採光型温室	従来型温室
1 株当り収穫量注1)（g/株)	1,101.4	845.7
大粒果注2) 重量（g)	486.8	369.2
大粒果率（%)	44.2	43.7
粒重量(g/粒)	18.7	19.7
実数注3)（個/株)	59.5	43.7
糖度(%)	11.0	10.6

注 1)：粒重量 7g 以上の実を対象とする.
注 2)：25g 以上の粒を大粒果と定義する.
注 3)：粒重量 7g 以上の粒数.

6. まとめ

本開発にあたっては，イチゴの密植栽培で高品質かつ高収量を実現するために従来型温室より日射量が高く，かつ温室内温度が従来型温室より高くならないという 2 つの目標性能を設定した．

温室建設後に，温室内の日射量と温室を実測し，目標性能の検証を行った結果，開発した高採光型温室が日射量・温度の 2 つの目標性能を満足していることが確認された．

また，高採光型温室内で栽培したイチゴの糖度，大粒果率などの品質は従来型温室内で栽培したイチゴと比較し同等以上であり，1 株あたりの収穫量は従来型温室内で栽培されたイチゴよりも高くなったことから，密植栽培において懸念される日射量不足による品質低下や収穫量低下などが発生していないことが確認された．

参考文献

1)　中島，三浦，大島，実証園芸施設における環境データ測定と栽培環境の管理, 戸田建設技術研究報告集 44 号，2018.11
2)　中島，三浦，田中，TODA 農房における環境測定と環境制御，戸田技報 107 号，2018.10
3)　小澤行雄，　内藤文男，園芸施設学入門，川島書店，1993