

植物工場における効率的な採光のための 反射板の利用方法に関する研究

Application of Reflector in a Plant Factory for Efficient Lighting

芦田 恵樹^{*1} 石橋 由教^{*2} 建山 和由^{*3} 岸本 孝志^{*4}
Shigeki ASHIDA Yoshinori ISHIBASHI Kazuyoshi TATEYAMA Takashi KISHIMOTO

Abstract

This paper discusses the introduction of reflecting optical systems in plant factories. In such food production systems, the cost of glass panels and their supporting structure, designed for receiving the solar radiation, is very high and imposes strict limitations for the architecture of the facility. Our systems use reduced size apertures comparing to traditional greenhouses, which makes architectural design of the plant factory more flexible and better integrated with the landscape and urban environment. In our project, the effects of introduction of various reflectors were analyzed. Several experiments were carried using scale models in a sky simulator. This paper presents the influence of reflective blinds on uniformity of luminosity and effects of external reflectors on overall luminosity levels inside in addition to our previous analysis of internal reflectors. Our method can be applied in multi-layer cultivation plant factories, which makes situating them in urban areas more feasible.

キーワード：太陽光、採光効率、反射、植物工場、都市立地

Keywords: daylight, lighting efficiency, reflector, plant factory, urbanized design

1. はじめに

植物工場では生育環境が制御され、一連の作業も自動化されている。このため定期的な収穫ができ、生産性も高い。気象や土壌の条件に左右されことなく安定した食料生産ができる⁽¹⁾。また清潔な状態に保たれた施設内で養液を用いて栽培されるため、収穫した野菜は洗わなくて食べられるなど、無農薬、低細菌栽培による高い付加価値を収穫物に持たせることができる。農薬の残留が法的に強化される傾向にあるなか、食品企業や外食産業がその仕入先として注目度を高めている⁽²⁾。さらに光の波長や与える養分によって栄養成分をコントロールし、食物としての機能性の向上、あるいは医療や工業材料への適用を図るなど、露地栽培では困難な用途に向けた研究も多く推進されるようになってきた⁽³⁾。

しかし一方で、植物工場で作られる野菜は露地栽培では必要のない電力代、施設や機械の償却費が生産費に含まれ、農業経営の採算が取りにくいという課題を抱えている⁽¹⁾。ま

た太陽光併用型植物工場では、採光のために全面に配されたガラスとその強固な保持構造が初期建設費を増大させており、建築物としての設計、立地の自由度を著しく制限している。このような植物工場は都市部から離れて建設されることが多く⁽⁴⁾、消費者の認知度が低い。このため露地栽培で丹精込めて栽培されたイメージに比べ、工場生産の野菜は冷たいイメージで親しみにくいといった感情が、消費者の一部になお見られるようである⁽⁵⁾。

このような課題をふまえ、本研究では自然エネルギーを利用した植物工場を都市部に展開することを目的とし、反射を利用して太陽光をより効果的に採りこむ方法を検討した。これにより照明にかかるエネルギー消費の抑制と環境負荷の低減を図ると同時に、採光面を縮小させて建物としての自由度の増大を講じる。南面のみからの十分な採光を得ることなどによる採光面の縮小は、培地の多層化による栽培空間の効果的な利用、建築形状設計の自由度増大による周辺景観との調和、非採光面（屋上など）の有効利用、ガラス材の代替による構造の軽量化、既存建物を利用した植物工場への用途変更⁽⁶⁾など、都市部への展開に向けた効果が期待できる。

2. 都市部における植物工場の役割

ここではまず、なぜ採光効率を向上させてまでも植物工

*1 立命館大学総合理工学学院企画課（〒525-8577 草津市野路東1-1-1）
e-mail: ashidada@st.ritsumei.ac.jp

*2 立命館大学大学院理工学研究科修士（創造理工学専攻）

*3 立命館大学総合理工学学院理工学部教授（建築都市デザイン学科）

*4 株式会社京都研究所

（原稿受付：2008年6月9日）

場を都市部に立地させる必要があるのか、その意義について考察する。

地場産の農産物は遠隔地から輸送されて来たものより鮮度や安全性などの品質面でより優れている。都市部で農業生産を行うことにより、消費者は熟期に収穫された農作物を新鮮なまま得ることができ、また生産者も消費者のニーズに即時に応えることができる。身近で収穫された安全な農産物は、消費者と生産者の信頼関係を築く。さらに輸送のコストや環境負荷も縮小できる。

しかし都市部で農作物を生産する土地は、工場や学校の跡地などのまとまった面積が確保できないかぎり、新たに展開することは難しい。またこれらの土地を露地栽培に適用しても、連続して新しい苗を植えることは難しく周年の断続的生産となってしまう。また都市農園は水や緑、自然空間の提供等により環境や景観を維持し、ゆとりや潤いを提供するという貴重な役割も担っていると言われる一方で、農作業は汚いという先入観や農薬散布、鳥や昆虫の増加を嫌がる都市市民からの苦情も生じている⁽⁸⁾。

このため都市部への農業生産の展開における植物工場の意義は大きい。身近に植物工場を置くことにより、工場生産の冷たいイメージを払拭することも期待できる。むしろ植物工場の清潔なイメージが浸透する可能性も高い。植物工場であれば空きビル、空きテナントなどが適用でき、土地代が高いという都市部での問題を克服することができる⁽⁹⁾。従来から憩い、交流の場として存在する都市部の公園あるいは大型商業施設に併設することもできる⁽⁹⁾。人が日常集まる空間に植物工場を配置することで、食育や農業体験施設として、また農業を通じた環境配慮の意識を膨らませる機会として、親農と食育を図ることができる。加えて植物工場の周辺に飲食店、パン・惣菜・弁当屋、コンビニエンスストア、スーパー、百貨店などが多数存在することから、販売のルートも確保しやすい⁽¹⁰⁾。

このように都市部に植物工場を展開することは、工場経営に有利な点が多いことに加え、消費者の親農、食育といった意義、および都市食料需要への対応として大きな役割を担っている。

3. 反射を用いた太陽光の効率的な採りこみ

植物工場におけるエネルギーの消費問題は、ランニングコストとして経営に大きな負担をかけるのみならず環境負

荷低減の時流にも反している。このため自然エネルギーを利用した植物工場の展開は効果的な方法であるが、採光面積や方向、設置空間や建築形状に制約の多い都市部においては、太陽光の効率的な利用が重要な課題としてあげられる。

このような課題に対していままでに、採りこんだ光を有効に利用する方法として、工場の内壁面に反射板を配した照度改善の効果について検討を行ってきた⁽⁷⁾。この中で太陽光による効果は、屋外に設置した模型を用いた実験を行って検証した。模型は全面がガラスで構成され、間口 500mm、奥行き 500mm、高さ 400mmの直方体形状である。計測は北緯 35 度地点（滋賀県草津市）にて、1 月 28 日正午（冬季）に行った。また今回さらに既報に加え 6 月 1 日および 6 日の正午（夏季）に計測を行った。太陽高度はそれぞれ仰角でおよそ 38 度（冬季）、78 度（夏季）である。計測は床面で、照度計を鉛直上向きに設置して行った。実験は以下の 4 ケースに対して行い、結果の比較を行った。なお非採光面の内側には滑面アルミ箔（反射率 82.1%⁽⁷⁾）を反射材として設置している。実験の条件を Fig. 1⁽¹¹⁾に示す。

- (1) 全面ガラスとした採光方式（標準）⁽¹²⁾
- (2) 天井面からのみ採光した方式
- (3) 天井面に加え南面からも採光する方式
- (4) 南面からのみ採光した方式（夏季のみ）

計測した各条件での照度の比較を、今回計測した夏季のデータを追記して Table 1 に示す。なおこの表には、太陽光の入射とその反射による床面の照度を南北方向の鉛直面内（2 次元；Fig. 2⁽⁷⁾）で計算した結果も併せて示している。

これを見ると、ガラスの設置が南面のみであっても他の内壁面に反射板を配することにより、冬季においては全面採光に対し約 92%の照度が得られるという計算結果が得られている。ところが一方で、夏季は太陽高度の関係から南面からの採光が少なく、計測値および計算値とも南面のみからの採光では、全面採光の 20%以下の照度となっている。

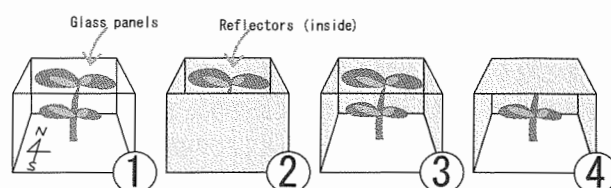


Fig. 1 Scheme showing various configurations of internal reflectors in experimental method⁽¹¹⁾.

Table 1 Measured and calculated illumination in experiment with direct sunlight⁽⁷⁾.

Glass panels	Winter (January 28)			Summer (June 1&6)		
	Illumination (lx)	Ratio		Illumination (lx)	Ratio	
		(Measured)	(Calculated*)		(Measured)	(Calculated*)
All directions	57303	1	1	55027	1	1
Ceiling only	37772	0.66	0.73	75047	1.36	0.95
Ceiling and south	80181	1.40	1.65	48267	0.88	1.12
South only	—	—	0.92	10900	0.20	0.17

Calculated; Without the effects of east-west sides

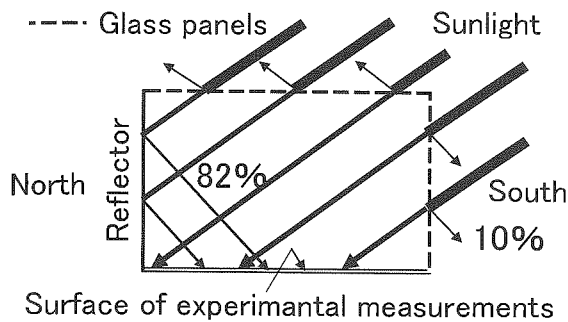


Fig. 2 Schematic longitudinal section of an experiment model with direct sunlight conditions⁽⁷⁾.

このため南面のみからの採光による建物利用のとしての優位性を発揮するためには、特に夏季において採光を補助する機構を検討する必要がある。

この問題に着目し、筆者らはさらに多くの太陽光を効率的に採りこむ方法として反射ブラインドと外付け反射板による採光を講じ、実日射による屋外小型ハウス実験を行ってその効果の確認を行った⁽¹¹⁾⁽¹³⁾。反射ブラインドは採光面に配置して培地（床面）照度の均一化を図るもので、そのイメージをFig. 3 に示す。一方外付け反射板は室外の日射を採りこんで照度を向上させることを狙っており、Fig. 4 がそのイメージである。ところが本検討にあたり、実天空では計測日時および天候、周囲の状況などによって日射の状況が変化する要因が多いため、設置条件の適用効果への影響が詳細に把握できない。そこで今回は模擬天空を用いた模型実験を行って、採光の効率化を図るこれらの方法について考察した。

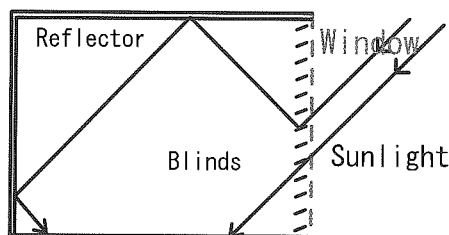


Fig. 3 Schematic section showing the application of daylight control element- reflective blinds (the luminosity distribution of the bottom surface becomes more uniform)⁽¹³⁾.

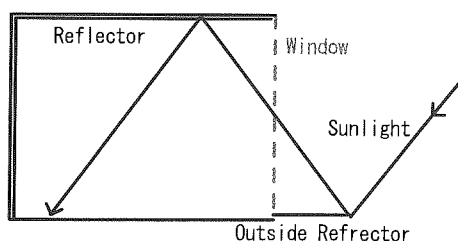


Fig. 4 Schematic section showing the application of external reflector (increased luminosity inside the model)⁽¹³⁾.

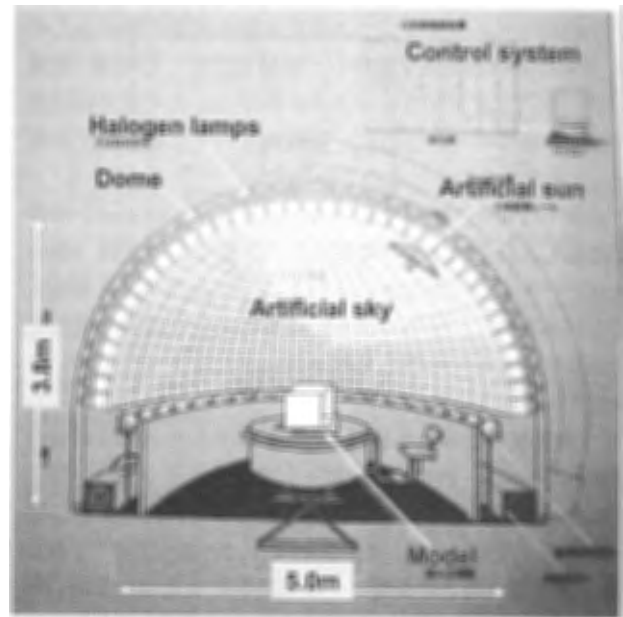


Fig. 5 Scheme of the sky simulator used for the experiment.

4. 模擬天空を用いた模型実験

4.1 実験方法

模擬天空とは、人工の照明を用い、日時と緯度、天候に応じた天空の照度と太陽の動きを再現させたものである。その概要を Fig. 5 に示す。模擬天空は人工天空、人工太陽、人工地面、制御関連装置で構成される。人工天空は直径 5m、高さ 3.8m のドーム形状で、乳白アクリル板と赤外反射膜に覆われた小型ハロゲン電球（85W）が 853 個配備されており、それぞれが 100 段階で調光可能で、設定した条件での天空照度を再現することができる。また人工太陽には直径 800mm の凹面鏡による光源反射形照明を採用しており、光源には小型ハロゲン電球（500W）を採用している。

実験に用いた植物工場の模型は、壁および天井の内側に反射面としてアクリル鏡板を配置した直方体形状で、南面は開放している。実験模型の概要をFig. 6 に示す。間口と奥行きはそれぞれ 660mmで、高さは実験条件に応じて3段階に変更できるようにした。鏡面の反射率は 80～85%⁽¹⁴⁾である。反射ブラインドおよび外付け反射板も同じアクリル鏡板を用いた。また今回の計測では同時に多点の照度を計測

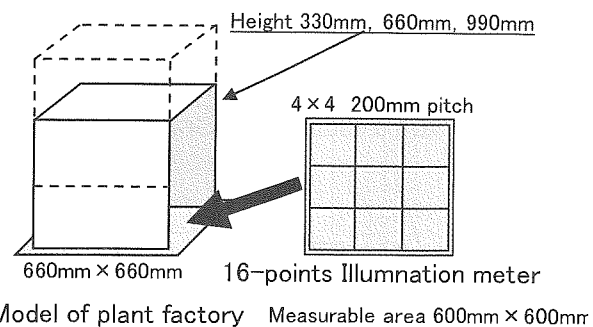


Fig. 6 Scheme of the plant factory model used in the experiment.

するため、フォトランジスタを木製化粧板に埋め込んだ16点照度分布計測板を製作し、培地を想定した床面に設置している。フォトランジスタが照度に応じて電気抵抗値を変化させるので、これに一定電流を与えて電圧変化を計測し、照度を検出するものである⁽¹³⁾。

実験では植物工場模型を模擬天空シミュレーション設備に設置し、以下に示す各実験条件にて夏至、中間期（春分、秋分）、冬至の日の出から正午まで（午後は午前と対称となるため省略）、培地（床面）照度の変化を連続計測した。地点設定は大阪とした。実験条件は次に示す項目について検討できるように設定した。

(1) 内壁反射板の効果確認 既に報告した内壁反射板の効果⁽⁷⁾について、内面を反射板とした場合とそうでない場合を比較し、再度確認した。なお反射しない面はアクリル鏡板の背面（黒色）とし、その反射率は5～10%程度⁽¹⁴⁾である。

(2) 南面開口高さの影響 採光における有効な南面の開口高さを確認した。設定した条件を Fig. 7 に示す。奥行きに対する開口高さの比を 1:0.5 (高さ $h=330\text{mm}$) ; Fig. 7(a), 1:1 ($h=660\text{mm}$) ; 同(c), 1:1.5 ($h=990\text{mm}$) ; 同(e) の3段階とし、また開口高さが確保できない建物を想定し、天井南側半分 (330mm) を開放することによる効果についても確認した (Fig. 7(b), (d)) 。

(3) 反射ブラインドの効果 各ルーバー板上面を鏡とした反射ブラインドによる採光の均一化について、ルーバー板のピッチ（各板の上下間隔）および設置角度を検討した。反射ブラインドは南側開放面に懸架し (Fig. 3) , すべてのルーバー板を同一のピッチ、角度で設定した。設置角度は水平とのなす角で、上面を室内に向けて傾ける場合を正とした。ルーバー板の幅については、模型サイズおよび具現性を考慮して固定 (30mm) した。

- ピッチ $p=20\text{mm}, 40\text{mm}, 60\text{mm}$

- 設置角度 $\theta = -10^\circ, 0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 40^\circ$

(4) 外付け反射板の効果 南側前面に反射板を設置して光を採り込み、照度を上げる効果について検討した。南側下端から反射板を張り出し (Fig. 4) , 南開口面下端辺を回転軸として引起すように設置した。南側床面から水平に張り出した場合が 0° となる。

- 張り出し長さ $f=330\text{mm}, 660\text{mm}$

- 引起し角度 $\phi = 0^\circ, 5^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 40^\circ$

(5) 天井北側半開の効果 今回新たに高い太陽高度での効果的な採光手段として、天井の北側半分 (330mm) を開放し、北側壁面の反射板を利用した場合の採光効果について検討し、その適用性を把握した。天井北側の半開による

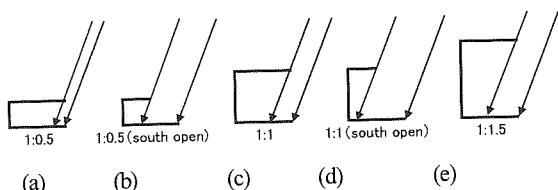


Fig. 7 Various geometrical conditions of the south aperture.

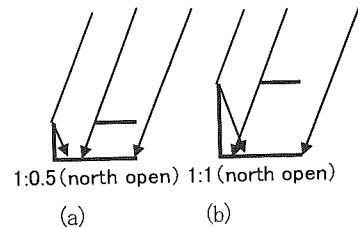


Fig. 8 Scheme showing application of ceiling aperture at the back of the model (at the north side).

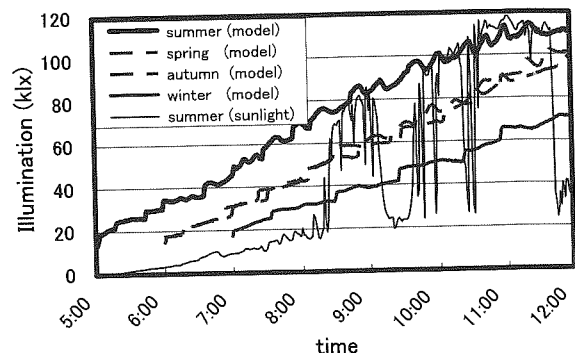


Fig. 9 Illumination levels inside the sky simulator at "four seasons" and actual external luminosity measured in summer.

北側壁面反射板の利用概念を Fig. 8 に示す。

なお計測値は、人工太陽が直接照射する計測点の値が実際の日射照度となるように、夏季好天時に屋外（滋賀県草津市）で実測した値を用いて換算している。植物工場模型を設置せずに直接人工太陽を培地照射して計測した16点照度の平均値（換算後）の経時変化を、実測値と併せて Fig. 9 に示す。実測値においてところどころ照度が低下しているのは、雲や建物など障害物の影響である。

4.2 実験結果と考察

(1) 内壁反射板の効果確認 内壁面を反射させることによる効果を、反射面とした場合、そうでない場合を比較して確認した。内壁反射板による照度の改善について、横軸に壁を反射面としない場合の平均照度、縦軸に反射面とした場合の照度の比率（反射がない場合に対するある場合の

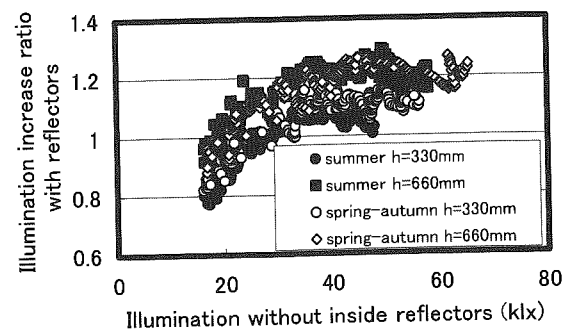


Fig. 10 Graph showing increase of illumination in the model equipped with internal reflectors.

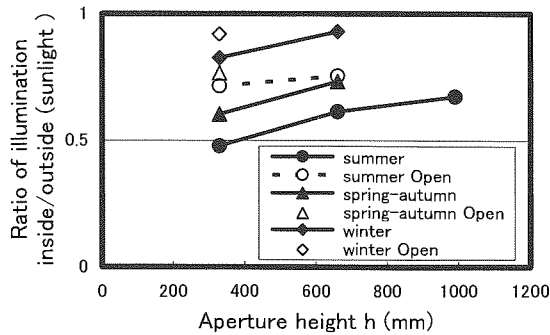


Fig. 11 Comparison of illumination decrease ratio in various aperture conditions.

比)をとって各実験条件での結果を比較すると Fig. 10 となる。光を多く採りこむほど内壁を反射面とする効果が大きく発揮され、反射が無い場合の照度(横軸)で 40klx 以上のとき、およそ 1 から 2 割程度の照度の改善が見られる。なお取り込む光の量が少ない 40klx 以下では、反射以外の要因による影響が大きく、反射による明確な改善効果が得られない結果となっている。

(2) 南面開口高さの影響 南面の開口高さの影響について、16 点照度の平均と変動係数の経時変化を計測した。開口高さの影響については、横軸に開口高さ、縦軸にモデルを設置しない場合(日射照度)との比率(条件に該当するデータの平均値)をとって比較した。この関係を Fig. 11 に示す。なお十分な日射がない時間帯(培地面照度が 20klx 以下)のデータは省いている。この図から開口部を南面のみとしたことにより、開口高さが奥行き 0.5 倍の条件では夏至に 5 割以上の照度低下が見られる。太陽高度が低い朝のデータや日射以外の天空光が加わるため、太陽が最も高い時点の日射のみで算出した 2 割までの照度低下(前出; Table 1)には至らないものの、既存ビルの流用などで想定される南面開口高さが低い場合には、夏季には採光について補助的手段が必要であることが改めて確認できる。中間期、冬至の順に、太陽高度が下がると入射光が多くなり照度低下が少なくなる。開口高さによっても照度低下が少なくなるが、夏至で $h=330\text{mm}$ から 660mm の増分と $h=660\text{mm}$ から 990mm の増分を比較すると、日射が培地に到達する割

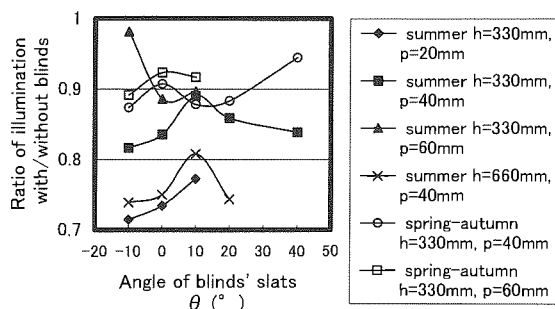


Fig. 12 Comparison of illumination levels at various seasons and different configurations of reflective blinds.

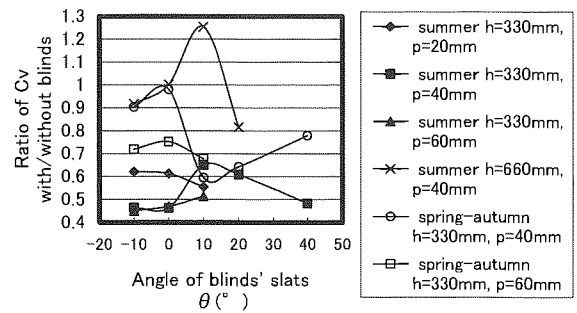


Fig. 13 Comparison of Cv (coefficient of variation) levels at various seasons and different configurations of reflective blinds.

合が増加するに従い開口の効果は徐々に小さくなっている。また天井の開口が可能であれば、その南側を開口することにより、南面の開口を高くすることと同等またはそれ以上の日射を採りこむことができることも示されている。

(3) 反射ブラインドの効果 さてここから、採光の効率化を図る方法のうちまずは反射ブラインドについて、培地照度の均一化、またこれによる全体の平均照度向上の効果について述べる。ルーバー板の設置角度とピッチの影響を詳細に検討するため、太陽高度が高い 10:00 から正午までのデータについて、設置角度を横軸に、縦軸には反射ブラインドを設置しない場合との比率をとって整理した。これらの関係を照度と変動係数についてそれぞれ Fig. 12, 13 に示す。図示する点は、各条件に該当する全データの平均値を示している。また凡例の数字はそれぞれ順に開口高さとしルーバー板のピッチである。この図から、ルーバー板のピッチについては今回の設定条件範囲($p=20$ から 60mm)において、ピッチを大きくしたほうが照度、変動係数のいずれにも改善効果が見られる。またルーバー板の設置角度については、照度で夏至に $\theta=10^\circ$ 程度、中間期に $\theta=0^\circ$ 程度が最適となっているように、太陽高度(季節)やピッチによってその最適値が異なることが表されている。このことから設定角度やピッチの最適制御の必要性、また今回は検討していないが場合によっては各ルーバー板個別の角度制御の必要性が示唆された。なお今回設定した実験条件で最も効果が見られた、夏至、開口高さ $h=330\text{mm}$ でルーバー板設置角度 $\theta=10^\circ$ 、ピッチ $p=60\text{mm}$ の場合について 11:00 時点での培地の照度分布を、反射ブラインドを設置しない場

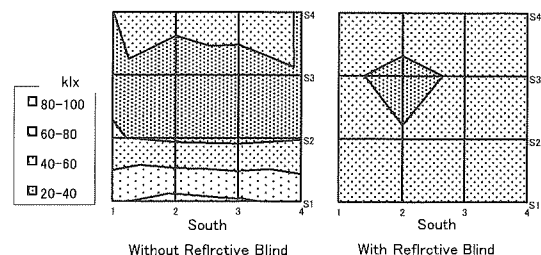


Fig. 14 Comparison of distribution illumination charts of models equipped with reflective blinds and without.

合と比較して Fig. 14 に示す。反射ブラインドを設置しない場合は培地南側に日射が集中し、20 から 80klx を超える範囲で照度が分布しているのに対し、反射ブラインドを用いた場合は、照度が 1 点を除き 40 から 60klx に均一化されていることが分かる。

(4) 外付け反射板の効果 次に外付け反射板を南側地上面に設置し、その引起し角度と張出し長さを変えて検討した培地面の照度向上について述べる。引起し角度と張出し長さについて詳細に検討するため、反射ブラインドの場合と同様に太陽高度が高い 10:00 から正午までのデータについて、引起し角度を横軸に、縦軸には外付け反射板を設置しない場合との比率をとって整理した。これらの関係を照度と変動係数についてそれぞれ Fig. 15, 16 に示す。反射ブラインドでの整理と同様に、図示する点は各条件に該当する全データの平均値である。また凡例の数字はそれぞれ順に開口高さ ϕ と張出し長さである。これらの図からおおむね $\phi=5^\circ$ 前後の引起しの場合に効果が大きいことが示されるが、夏至、開口高さ $h=330\text{mm}$ 、張出し長さ $f=330\text{mm}$ の条件では、引起し角度に対する照度の改善程度に他の条件とは異なる傾向が現れるなど、太陽高度や培地の奥行きなどを考慮して外付け反射板の設置方法を制御する必要も表されている。一方張出し長さについては、夏至、開口高さ $h=660\text{mm}$ の条件で比較したが、照度改善の程度に明確に影響していない。やみくもに大きな外付け反射板を設置する必要がないことが読み取れる。

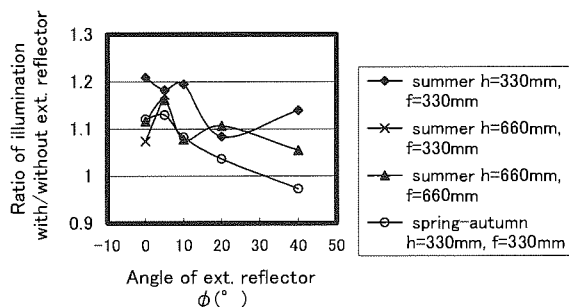


Fig. 15 Illumination levels at various seasons and different configurations of external reflector.

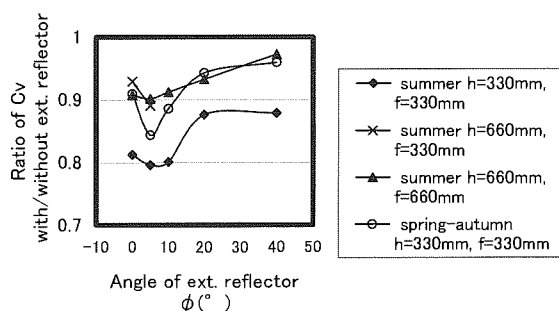


Fig. 16 Cv (coefficient of variation) levels at various seasons and different configurations of external reflector.

(5) 天井北側半開の効果 天井面北側半分の開口は、天井の開口と同時に、植物工場の北壁に沿って外側に鉛直に反射板を設置することも模擬している。計測では、天井面南半分を開口する条件と同等の効果が示された。北側からの反射の効果は、他の開口条件や反射ブラインド、外付け反射板と併用して発揮できるため、これらを補う方法として有効である。

4.3 摘要

栽培空間の内壁面に反射板を配置することによる照度の増加は、今回の実験においても確認することができた。これをもとに、採光面を減らしても照度の確保が見込めることを南開口面の大きさと天井開口の影響をふまえて確認した。この結果から、照度が不足する場合の反射による太陽光の有効な採りこみについて検討し、培地面の照度の均一化を図った反射ブラインドの効果、南面のみからの採光における照度の向上を図った外付け反射板の効果、および北側反射板の適用性について有効性を把握した。これらの可能性から、空間を有効利用できる多段培地が可能であり、また南面に向けて傾斜段差をつけることが、採光に対して有利であるという知見も得られ、太陽光を利用した植物工場の建物設計における方向性が示唆された。今後、採取したデータに基づき、太陽高度や方位に応じたこれらの適切な適用とその組み合わせ方法を講じる予定である。

5. 効率的採光を適用した植物工場の都市部への展開例

今回の検討成果を活用し、植物工場の都市部への展開について、工場跡地など比較的広い敷地に新設する場合を前提に、その具体例を検討した。

反射を用いた効率的な採光を施した多層式植物工場の一例を Fig. 17 に示す。3 階以上の上層部を南面ガラスパネルとして採光する傾斜多段式の植物工場とし、南側前面に今回検討した外付け反射板を設置する。内壁面は反射材である。天井は北側も開閉できる構造とし、夏季には開口して採光効率を向上させる。北側で採りこんだ光は鉛直平行にダクト状に配した反射板を通して 3 階に送る。北側天井の開口は換気の効果も期待できる。開口しない天井には太陽電池パネルを配し、自然エネルギーの利用を図る。また周辺に公園、下層階には商業施設や公共施設を配置し、日常的に都市市民が集まる環境として消費者との連携、ふれあいを図る。商業施設は上層階の一部にも展開する。商業施設では植物工場での生産物を購入したり、食したりできる。農作業（工場の制御操作やモニタリングなど）に参加できる施設も備える。

このように植物工場を都市に立地させて商業施設を組み合わせることにより、今回検討した太陽からの効率的な採光に加え、照明や空調に要するエネルギーの生活との共用を図ることができる。人が生活するには、多かれ少なかれエネルギーが必要である。そこで植物生育を通じた心の豊かさへの効果を期待し、植物の生育に必要な空調や照明を、

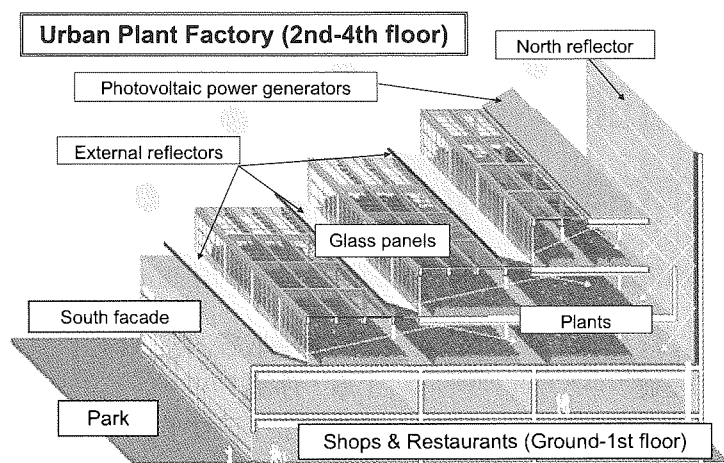


Fig. 17 Scheme section through multi story urban plant factory equipped with sunlight reflector system.

商業空間での人と共用する。光の共用には光ダクトなどの設備を利用することも効果的である。このような植物工場により栽培空間と生活空間が融合し、消費者の親農、食育、さらには心の療養が図られ、水や緑、自然空間による環境や景観の維持とゆとりや潤いの提供という、従来は都市農園が持っていた貴重な役割も担うことができる。

6. おわりに

都市部での植物工場の役割は、消費者の親農と食育、および外食、中食産業、医療、工業用途など都市食料需要への対応である。生産量の補完を求めた過度な環境制御は、エネルギーの消費すなわち環境への負荷拡大が免れない。生産量の確保や凶作補完にあたっては、広い場所が確保できる郊外部に自然エネルギーを利用した大規模な植物工場を設置し、本研究における採光効率の向上を施してその役割を求めることも効果的である。

エネルギーの有効利用が社会的課題となっている中、生活環境においては様々な効率化の検討が進められている。持続循環型エネルギー利用は、その目標である。都市部でも郊外部でも、その立地によらず自然エネルギーを有効に活用した植物工場の要求は今後ますます高まることが予想される。今回検討した反射による太陽光の効率的な利用に加え、蓄熱による太陽エネルギーの時間差利用技術、地下の恒温性の活用、過度な日射に対する遮熱技術、あるいは太陽電池や調光ガラスといった人工的なエネルギーの投入を必要としない材料技術の導入など、植物工場による農業生産における持続循環性を確保する技術の開発は重要な要素であり、今後も引き続き研究を進める予定である。

謝 辞

本研究における模型実験では、積水ハウス株式会社が総合住宅研究所に所有する昼光視環境実験室（人工天空システム）を借用した。積水ハウス関係各位のご好意ならびに

全面的なご協力に深く感謝の意を表す。

参考文献

- (1) 高辻正基, 植物工場の基礎と実際(1996), 1-164, 裳華房, 東京.
- (2) 富士経済, 2007 年版アグリビジネスの最前線と将来予測(2007), 1-223, 富士経済, 東京.
- (3) SHITA REPORT No.24, スーパーベジファクトリー“安全安心無農薬仕立て植物工場”(2007), 65-92, 日本生物環境工学会, 福岡.
- (4) 小倉東一, 植物工場運営実態の最新レポート SHITA REPORT No.21 植物工場関連の最新トピックス(2004), 38-48, 日本植物工場学会, 静岡.
- (5) 清水智美, 植物工場における光の効率的利用に関する研究(2006), 7-9, 立命館大学理工学部卒業研究, 滋賀.
- (6) 浪江麻美子, 都市型食料自給における植物工場の適用性に関する研究(2005), 24-41, 立命館大学理工学部卒業研究, 滋賀.
- (7) 芦田恵樹・清水智美・建山和由, 太陽光併用型植物工場における光の効率的な利用システムの検討, 植物環境工学 19(2)(2007), 59-65, 日本生物環境工学会, 福岡.
- (8) 後藤光蔵, 都市農地の市民利用(2003), 7-84, 日本経済評論社, 東京.
- (9) 藤井宏太郎, 「退行」都市に農業を埋め込む(2006), 立命館大学理工学部卒業設計, 滋賀.
- (10) 滝澤昭義・細川允史, 流通再編と食料・農産物市場(2000), 71-86, 105-168, 筑波書房, 東京.
- (11) 鈴木美帆, 植物工場における太陽光の効率的利用に関する研究(2005), 35-59, 立命館大学理工学部卒業研究, 滋賀.
- (12) 社団法人日本施設園芸協会, 五訂 施設園芸ハンドブック(2003), 6-60, 102-216, 園芸情報センター, 東京.
- (13) 芦田恵樹・建山和由, 自然エネルギーを利用した環境制御システムと高効率植物工場, Journal of MMIJ 123(9,10)(2007), 425-434, 資源・素材学会, 東京.
- (14) 松下電工株式会社, 照明設計資料(2005), 松下電工, 大阪.