

# 建築物におけるバイオミクリーの適用とその効果 —Self-Shading Wall の効果に関する数値シミュレーション— Application of Biomimicry in Buildings and its Effects — Numerical Simulation of the Effect of Self-Shading Wall —

光山 武宏\*, 三田村 輝章\*\*  
Takehiro Koyama and Teruaki Mitamura

keywords: Biomimicry, Façade, Numerical simulation, Self-Shading Wall  
バイオミクリー, ファサード, 数値シミュレーション, Self-Shading Wall

## 1. はじめに

現在、地球上に存在する自然が有する形態や仕組みは、途方もなく長い時間の中で淘汰され、生き残ってきたものである。そこには地球の環境に適応し生存するための手段が表れていると考えられる。こうした自然に学んで生活を豊かにしようという試みは昔から行われており「バイオミクリー」などと呼ばれている。身近な例としては、植物の実を模した面ファスナー（マジックテープ）の開発や、鳥のくちばしを元に設計した新幹線などがあり、その分野は多岐にわたる。

また、このバイオミクリーは建築の分野においても実践されている。その有名な例が、アフリカのジンバブエに建つイーストゲートセンターである。この商業施設は、シロアリの巣に築かれる煙突状の構造物が受動的に換気を行う仕組みを模倣して設計された。これにより、同規模・同地域の建物に比べ、消費エネルギーが3割ほど小さくなったことが報告されている<sup>1)</sup>。この他にもバイオミクリー建築は複数提案されているが、そのすべてが実際に建設されているとは限らず、また建設されている事例においても、バイオミクリーの成果が具体的に報告されているとは限らない。

本研究では、バイオミクリー建築の一手法として Self-

Shading Wall を取り上げ、これを単室モデルに適用し、その効果について数値計算を用いて検証する。

## 2. シミュレーション概要

### 2.1 Self-Shading Wall の概要

M. Shahda (2020) は、建築物におけるバイオミクリーの一環として、サボテンや蟻塚から着想を得た Self-Shading Wall を提唱した。当研究では一部の壁面にこの Self-Shading Wall を適用したモデルを用い、夏期のエジプトの気象条件下においてシミュレーションを行った。図1に Self-Shading Wall の概念図を示す。シミュレーションの結果、Self-Shading Wall は外壁の表面温度を低下させることが示され、特に水平方向に Self-Shading Wall を設けたモデルにおいてそれが顕著であることが報告された<sup>2)</sup>。なお、Self-Shading Wall は日射を遮る外部構造物という点では外付けルーバーに類似しており、これについては多くの研究が存在する<sup>3)</sup>。しかしながら、Self-Shading Wall は日射を遮蔽する部分が躯体と一体化しているという点で、ルーバーとは性質を異にする。

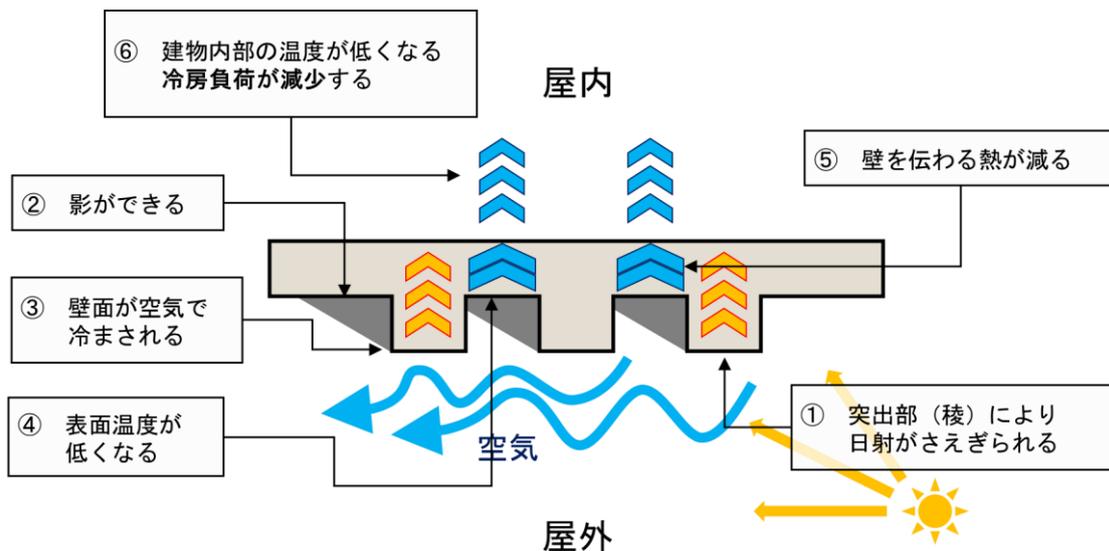


図1 Self-Shading Wall の概念図 (文献2を元に作成)

\* 前橋工科大学大学院・工学研究科 博士前期課程  
Master's Program., Graduate School of Engineering, Maebashi Institute of Technology  
\*\* 前橋工科大学・工学部 准教授・博士(工学)  
Assoc. Professor, Faculty of Engineering, Maebashi Institute of Technology, Dr. Eng.

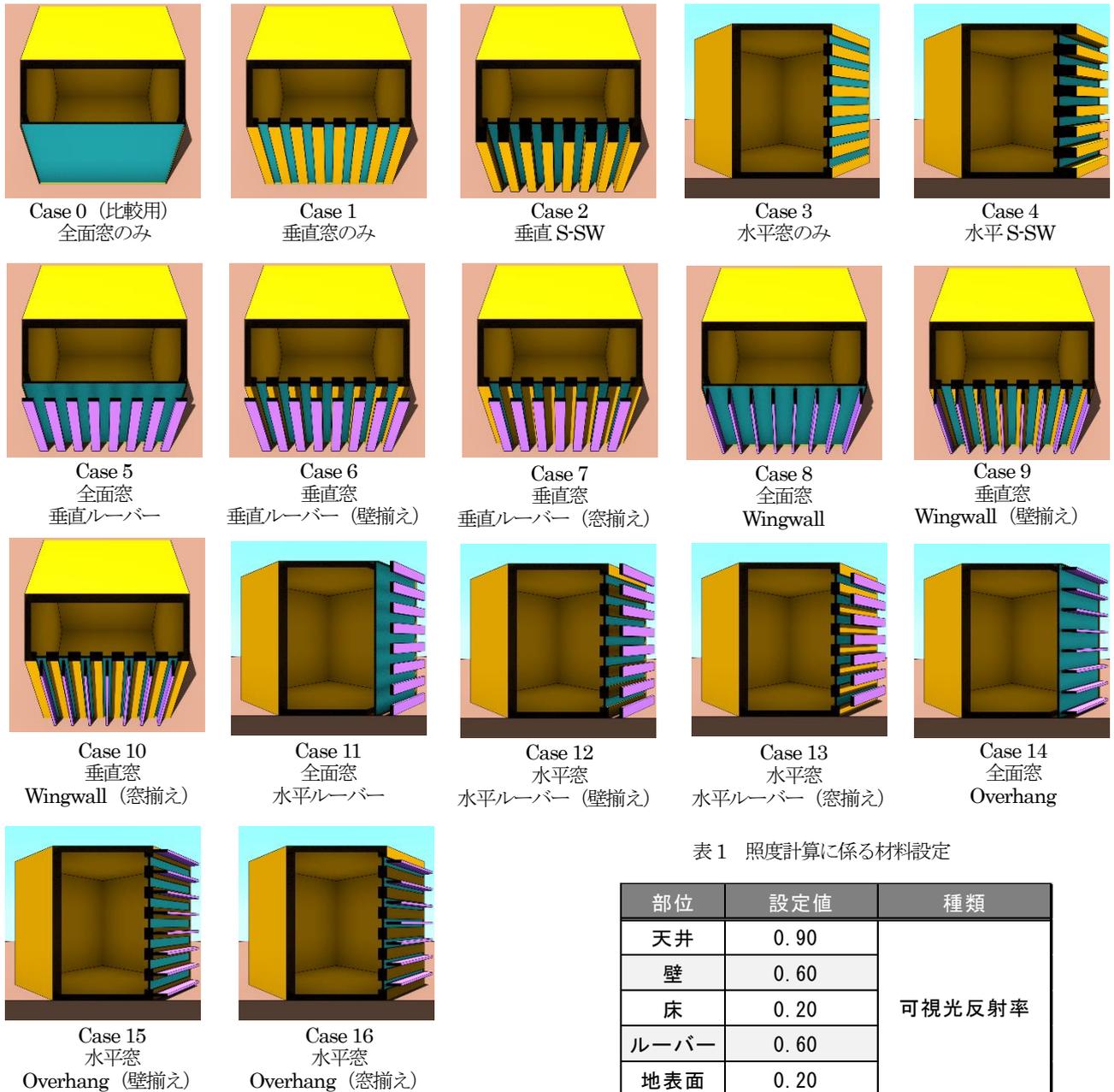


図2 計算モデルの断面パース

表1 照度計算に係る材料設定

部位	設定値	種類
天井	0.90	可視光反射率
壁	0.60	
床	0.20	
ルーバー	0.60	
地表面	0.20	
窓	0.81	可視光透過率

## 2.2 計算モデル

本研究では Self-Shading Wall を適用した単室モデルを対象として数値シミュレーションを行い、その結果を冷暖房負荷などによって評価・考察する。ただし、日本国内での使用を想定し、モデルには開口部を設けることとした。図2に計算モデルの断面パースを示す。Case 0、5、8、11、14は壁面全体に、Case 1、2、6、7、9、10は鉛直方向に、Case 3、4、12、13、15、16は水平方向に開口部が設けられている。このうち Case 2と4のモデルが評価対象の Self-Shading Wall に該当する。また、比較のために Case 5～16には外付けルーバーを設けた。Case 6と7、9と10、12と13、15と16は、それぞれ窓とルーバーの位置関係が異なっている。なお、Self-Shading Wall の特性に注目するため、開口部とそれに付随する Self-Shading Wall およびルーバーは南に面する壁にのみ設け、他の面はすべて完全断熱とした。

## 2.3 計算ソフト

計算にはシステム・シミュレーションツールの TRNSYS18 を使用する。屋外の気象条件は東京の拡張アメダス気象データの標準準を用いる。計算期間は1年間、計算間隔は1時間とし、1か月間の助走期間を設ける。換気は0.5 [回/h]で24時間稼働させる。暖房、冷房の設定温度はそれぞれ21℃、28℃とし、8時～18時の間のみ稼働させる。また、暖房期間は12月1日～3月31日、冷房期間は6月1日～9月30日とする。加えて光環境の計算については Daysim (Radiance) を TRNSYS 経由で利用する。材料設定には表1の条件を用いるほか、場所を東京(北緯35.69°、東経139.76°、海拔40m)とし、窓にはペアガラス(ガラス厚2.5mm、中空層12.7mm、U値2.95 [W/m<sup>2</sup>・K])を用いる。また、照度センサーは各モデルの中心部に1つだけ設定する。

### 3. 計算結果

#### 3.1 冷暖房負荷

図3に年間の冷暖房負荷を示す。いずれのモデルにおいても、暖房負荷が冷房負荷を大幅に上回る結果となった。なお、Case 0は暖房負荷が非常に小さいため、ここでは冷房負荷のみが示されている。これと同じ窓面積のCase 1、3、5、8、11、14は暖房負荷が小さく、年間の熱負荷は低い傾向にある。また、遮蔽物を設置したモデルの中で比較すると、水平の壁面にOverhangを施したCase 15や、垂直の壁面にWingwallを施したCase 9で小さくなっている。Self-Shading Wallを用いたCase 2と4については、同一の方向にルーバーを設けたモデルより冷房負荷は低く、暖房負荷や冷暖房の合計の負荷は高い傾向にあった。

#### 3.2 日射遮蔽率

図4にCase 2と4の日射遮蔽率のヒートマップを示す。垂直にSelf-Shading Wallを設けたCase 2では、年間を通じて12時付近で大きく遮蔽率が低下し、また冬期にこの性質が強まる。これは太陽が12時付近で真南に位置し、突出部の影がほとんど生じないためである。一方、水平方向にSelf-Shading Wallを設けたCase 4では、年間を通じて日射遮蔽率がおおむね安定している。これは南面において太陽高度があまり大きく変化せず、常に突出部の影が生じていることが原因と考えられる。しかしながら、太陽高度の低くなる冬期には遮蔽率が低下しているほか、Self-Shading Wallを東西面に向けた場合ではこれと異なる傾向を示すものと推測される。

#### 3.3 照度

図5にCase 2と4の室内照度のヒートマップを示す。ここでは3000 [lux]以上の値をすべて赤く表示している。双方のモデルにおいて、10月～3月は3000 [lux]を超える時間が長く、眩しさを感じやすい室内環境になっている。一方で夏期はおおよそ2000 [lux]前後で変動しており、建物の中心においては過不足ない照度が確保されている。なお、今回の計算では照度センサーをモデルの中心部にしか配置しておらず、照度の変動が激しい傾向にあった。今後は照度センサーを増やし、5点法などによって求めた平均照度を評価していくことが望ましいと思われる。

#### 3.4 光環境の各指標

図6に各モデルにおけるDA (昼光自律性)、CDA (連続昼光自律性)、UDI (有用昼光照度)、DF (昼光率)を示す。ここで、各評価指標の内容を以下に示す。

- ・DA : 300 [lux]以上の照度のある時間が年間に占める割合
- ・CDA : DAの閾値よりやや低い照度も含めた指標  
DAよりも値が大きくなる
- ・UDI : 100～2000 [lux]の間の照度のある時間が年間に占める割合
- ・DF : 屋外照度に対する室内照度の割合

DAはCase 5と11で著しく低下している。すなわちこの2つは他のモデルより明るい時間が長いということだが、同じ窓面積を持ち遮蔽のないCase 0よりも明るい時間が長いとは考えにくい。ルーバーからの反射が影響している可能性もあるが、さらなる検証が必要である。またCase 5と11のCDAはDAと比べ2倍ほどの値になっている。これは300 [lux]よりやや低い照度の時間帯が多くなることを示すが、その原因についても今後明らかにしていく。なお、Case 2と4のDAおよびCDAは、ルーバーを用いた各モデルと大きな差が見られなかった。

また、UDIは遮蔽物のないCase 0や1などで低く、それ以外

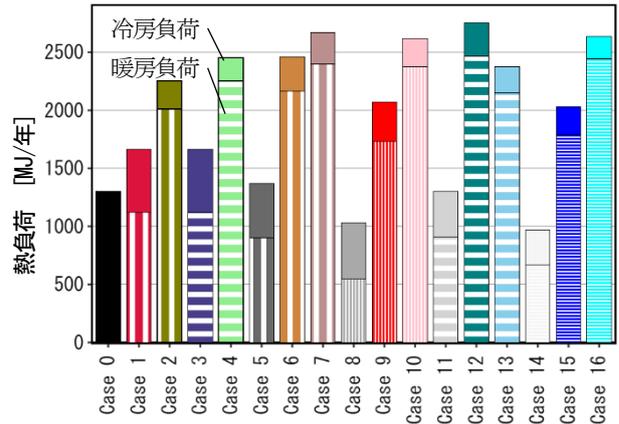


図3 年間の冷暖房負荷

では大きくなる傾向が見られる。窓面積の大きいモデルは当然ながら入射光が多く、したがって2000 [lux]を超える時間が長い。適切な結果といえる。ただし先述したCase 5と11についてはこの限りでない。UDIは値が大きくなるほど優秀な光環境を示すことになるが、最もUDIが大きかったのは、垂直の窓面にWingwallを施したCase 10であった。次いで、水平の窓面にOverhangを施したCase 16、水平の壁面にルーバーを施したCase 12などとなった。Case 2と4のUDIはルーバーを用いたモデルの平均値より若干高い傾向にあった。

DFを見ると、遮蔽のないCase 0、8、14で著しく高くなっている。なお、ここにおいてもCase 5と11は顕著に低い値を示しているが、今後の検証で原因を明らかにしていく。Case 2と4のDFはルーバーを用いたモデルとおおよそ同じであった。

### 4. まとめと展望

本研究では、バイオミメティック建築の事例調査を行い、その結果を分析した。バイオミメティック建築は一定数の事例があり、多くは温暖な地域に位置することが分かった。また、バイオミメティック建築の実践として、サボテンの形状を模倣したSelf-Shading Wallを適用したモデルを用い、シミュレーションを行った。その結果、熱負荷においては、Self-Shading Wallに特筆すべき特性は見当たらなかった。また光環境においてもルーバーと大きな差異は見られなかった。今後はSelf-Shading Wallの更なる分析に向け、気象データや方位を変更した際の効果などについても検討を重ねていく。またSelf-Shading Wallが足枷となる冬期においては、Kinetic Façadeのような概念を適用し、気温や湿度の変化に応じて、電気などを使用することなくSelf-Shading Wallが格納されるような仕組みの提案を目指していく。こうした検証を重ねたのちに、例えば、快適性・省エネルギー性能・光環境といった要素を軸にモデルを配置した三軸グラフを作成するなど、多角的な評価に取り組んでいく。

#### 参考文献

- 1) Mick Pearce: Eastgate Building Harare , URL: (<https://www.mickpearce.com/Eastgate.html>), 2023年9月20日閲覧
- 2) Merhan M. Shahda: Self-Shading Walls to Improve Environmental Performance in Desert Buildings , Architecture Research 2020, 10, 1, pp. 1-14, 2020.
- 3) 例えば、佐藤智之 他: 統合ファサードにおける室内温熱環境に関する研究 ルーバーの日射遮蔽効果と年間空調負荷のケーススタディ, 日本建築学会環境系論文集, 第77巻, 第676号, pp. 467-474, 2012年6月

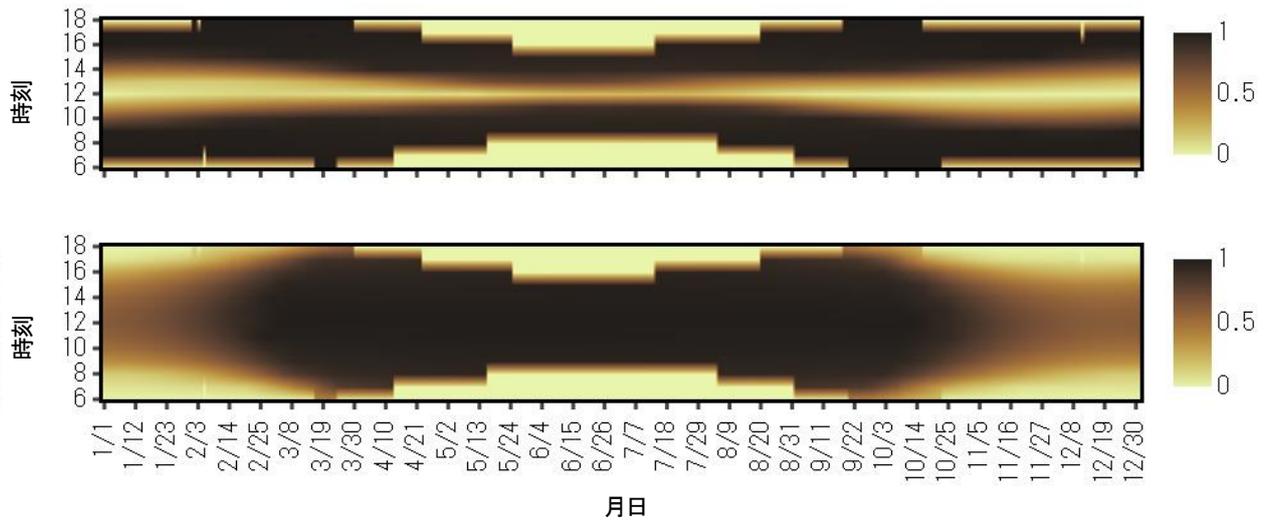


図4 年間の日射遮蔽率変動 (上: Case 2 下: Case 4)

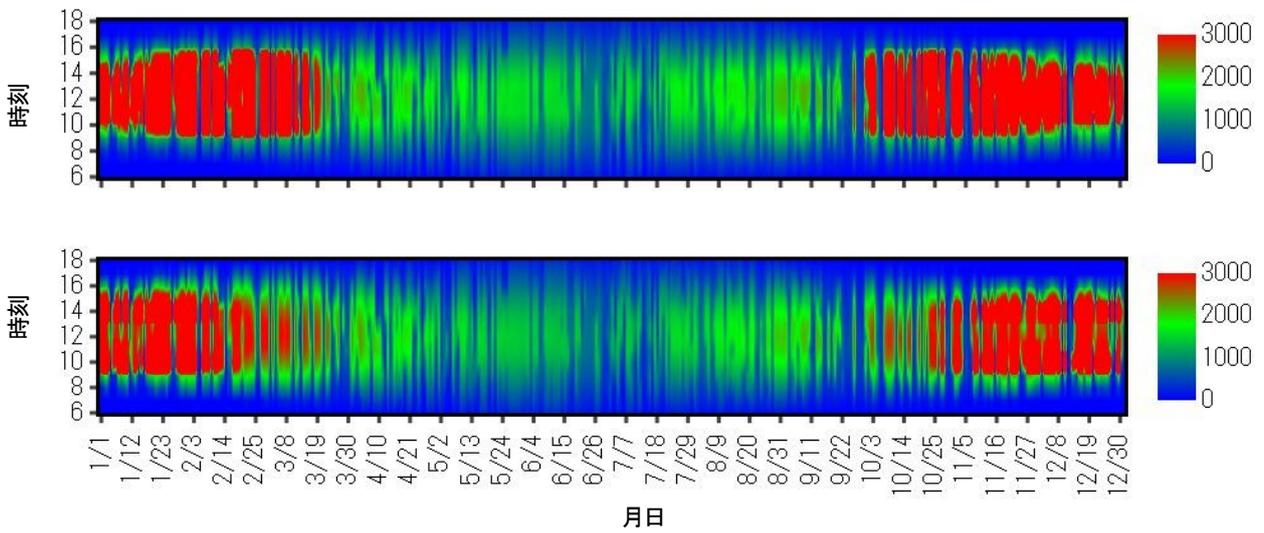


図5 年間の照度変動 (上: Case 2 下: Case 4)

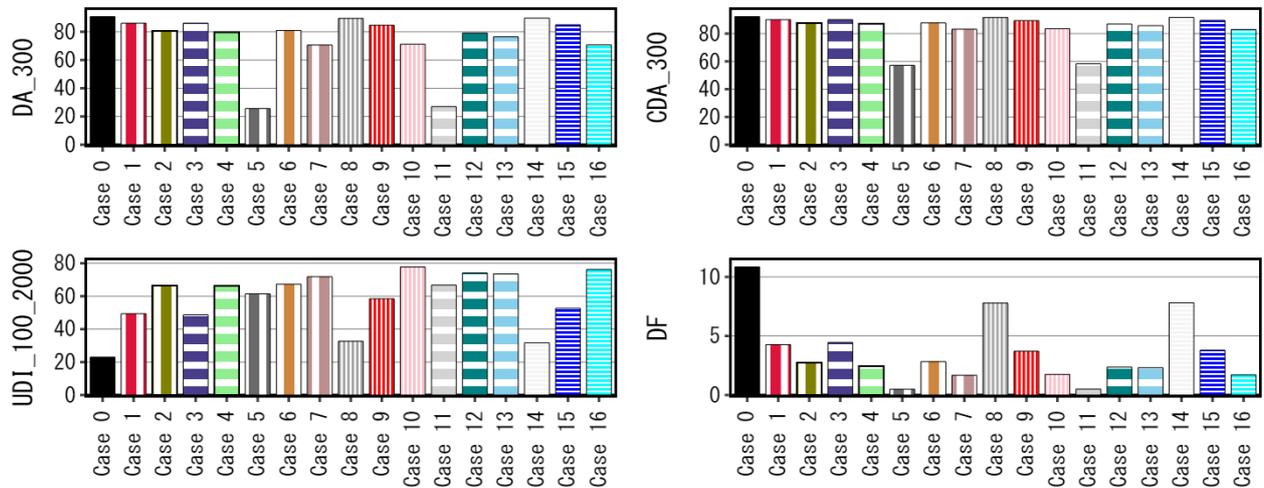


図6 各モデルにおける光環境指標