

照明エネルギーからみたトップライトと太陽光発電の比較

機械電子科 機械スタッフ 加藤俊文* 鈴木敬明*
株式会社スカイプランニング 外山 勸 小野巳吉

Comparison between skylights and solar-cell-lighting in terms of cost and energy consumption

Toshifumi Kato, Taka-aki Suzuki, Susumu Toyama and Miyoshi Ono

We have assessed the energy and cost conservation potentials of skylights by comparison of solar-cell-lighting. It was found that well-designed skylights could make illuminance enough for factory-working in day-time as well as under electrical lighting. In addition, total cost of facilities equipped with skylights would be extremely lower than that of solar-cell-lighting systems, which include electrical lighting facilities and solar cells as a power resource. On our estimation, solar-cell-lightings are economically unfavorable; on the other hand, we can recover the electrical power rates with energy-saving skylights facilities.

1. はじめに

温室効果ガス問題や天然資源の枯渇問題から、再生可能エネルギーや省エネルギー技術研究が重要な課題として上がっている。その中で、特に太陽光発電が注目されている。一方で、昔から利用されているため注目度は低いが、トップライト（天窗）は太陽光利用として、広く使用されている。この古くからの利用技術を、明らかになっている課題を解決して改良する事により、より使い勝手のよい機器となり、使用条件によっては太陽光発電よりはるかに効率のよいものとなる。

静岡県工業技術研究所では、トップライトの課題を解決し、建物内の照度をシミュレーションできるようにすることで、昼間照明器具としての位置づけを確立することをめざしている。そして、本報告では工場などへの普及を計るため、エネルギーと経済性の観点から、トップライトと太陽光発電との比較を行い、その優位点と特徴を明らかにする。そうすることにより、温室効果ガス削減や省エネ対策において、太陽光発電との住み分けを行い、より効果の高い場面での利用を計る。

2. トップライト

2. 1 トップライトの歴史と現状

建築の歴史を見ると長い間、光をいかに建物の中に導くのが、大きな課題となってきた。特に、大型建築物においては、採光が悪いと建物の中央部は昼間でも暗く、使い勝手の悪い建物となる。このため、窓の設計は非常に重要で、建築の歴史は一面窓の開発の歴史でもあった。

トップライトは、その中で必然的に出てきた構造であると考えられる。ただし、天井に窓を作るには、ガラス等の材料開発と雨漏りを防ぐパッキンの技術が必要になる。また、天井に窓をつけたときの問題である、室内の明るさのムラと暑さ対策が必要である。

以前は、鋸屋根に煙突というのが典型的な工場のスタイルであった。鋸屋根は北側の垂直面にガラスをはめ、上記の問題点対策としている。すなわち、北側を窓として日光の直射をさけ、またガラス面を垂直にして雨漏りを避けた。当時は、研究者が、この鋸屋根による採光の研究をおこなっている。現在でも、歴史のある企業においては、このスタイルの工場が見受けられる。

*) 現 機械科

【報告】

窓構造が考えられた。本構造は、静岡県工業技術研究所の共同研究先である(株)スカイプランニングが考案したものである。



写真1 鋸屋根工場（明電舎）

ただし、最近では照明器具の発達と安く安定した電気エネルギーの供給により、工場におけるトップライトの設置は廃れてきた。生産性向上のため、全面的に工場を囲み、中の明るさを一定に保つためである。また、同時に製品品質の向上や労働環境の改善のため、工場においてもエアコンによる空調が一般化してきた。その場合、従来のトップライトによる温度上昇は、エアコンへの負荷増加により、むしろ使用電力が増大するという結果をもたらした。このため、トップライト設置を推奨しない状況となっていた。



写真2 完全密閉工場（篠原鉄工所）

2. 2 直射光防止断熱トップライト

大型建物、特に工場などでトップライトの使用が減少した理由を整理すると以下の4点となる。

- ① 太陽光により工場作業面の明るさにムラができ、目に負担が大きい。
- ② 光が当たるところが暑く、作業環境が悪くなる。
- ③ 工場設計時に、トップライトによる明るさの設計ができなく、効果の設定ができない。
- ④ 雨漏りなどにより、設置後のトラブルが発生する。

ただし、これらの課題を解決すれば、トップライトには多くの利点があり、省エネのためにも、また、工場などでの作業環境の改善のためにも有効である。そこで、上記問題の解決策として直射光防止断熱天

熱線反射ガラス(網入りガラス)

空気層

拡散部材

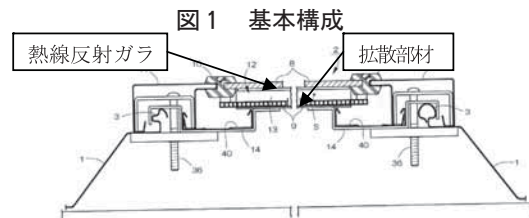


図1 基本構成

図2 基本構造

まず、熱線反射ガラスなどにより太陽光のうち赤外線光を反射する、また同時に紫外線もカットする。中に入った光は、拡散部材により拡散され均一な光となる。ガラスと拡散部材の間の空気層は、外部と室内とを断熱する。また、近年の大型ガラス張り建築物で、耐久性が実証されたガスケットを使用し、万が一雨漏りがしても、それを受け止める雨樋構造にした。これらの構造により、

- ① 太陽光は拡散部材で拡散され、室内での明るさのムラがなくなる。
- ② 太陽光のうち、主な熱源となる赤外線をカットして、また、拡散部材でも光を弱めるため、室内が暑くならない。
- ③ 雨漏りが発生しない。

2. 3 静岡県工業技術研究所研究内容

このように、課題が解決され省エネ等に多くの利点があるトップライトも、室内労働環境面から見た照度予測や、省エネ効果などの科学的なデータの裏づけがないと、導入が難しい。このため、直射光防止断熱構造トップライトの上記効果の科学的確認とともに、コンピューターシミュレーションにより、事前の明るさ予測ができるようにした。この研究は、(株)スカイプランニングとともに、独立行政法人科学技術振興機構より、「地域ニーズ即応型」として研究委託を受けている。

これらの研究により、非常に優れた基本特性を持

【報告】

ちながら最近では廃れていたトップライトを、新しい採光方法として蘇らせた。それは、トップライトが、照明器具と同じ様に扱え、なおかつ太陽光を利用する省エネの光源となることを意味する。

3. 太陽光発電

3. 1 太陽光発電の現状

枯渇が予想される化石エネルギーに対して、無限に供給される太陽光エネルギーは人類のエネルギー問題の解決のキーであることは間違いない。その中でも太陽光発電は、今後の電力エネルギー供給機器として大きな可能性がある。特に日本では、再生可能エネルギーの本命として住宅を中心に設置が進んでいる。

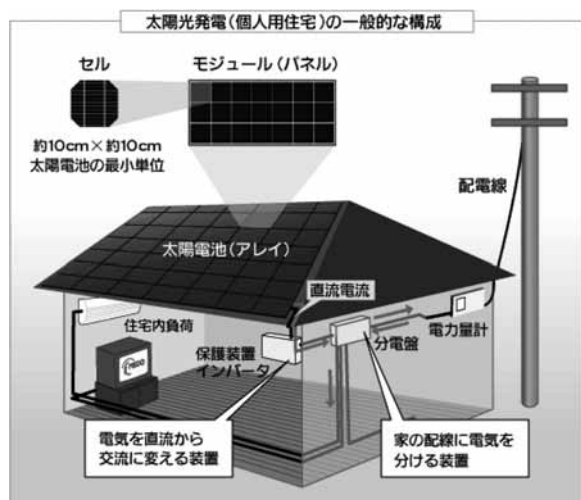


図3 太陽光発電（NEDOホームページ）

3. 2 太陽光発電の効率

一方で、この太陽光発電の電気エネルギーを照明に利用する場合は、システムとして無駄の多いものとなる。つまり、太陽光を電気エネルギーに変換した後、再度照明光に変換しなければならず、それぞれの変換においてロスが発生する。

太陽光発電の効率向上については、各太陽光発電機器メーカーが争って研究しており、製品のカタログ数としては、17%などという数字も見かける。ただし、カタログの発電効率はパネルの理論的な発電量であり、システム全体では発電モジュールによる直流電流を交流に変換する工程など多くのロスがあり、実際の製品の発電量は少なくなる。このため、経済産業省の「Cool Earth エネルギー革新技術計

画」(平成20年3月)では、2020年に変換効率10~19%、2030年には、変換効率15~22%をめざすとしている。

また同時に、電気エネルギーを光に変える照明器具の省エネ研究も盛んである。ほとんどすべての照明器具において、いかに効率よく電気を光に変えるかの研究がおこなわれている。その中でも、LEDがもっとも注目を集めている。照明器具同士の効率比較には、発光効率(1m/W)が使用され、それらのデータが公表されている。ただし、これは照明器具の明るさの比較のため、人間の視覚感度を考慮した値となっており、物理的なエネルギーの変換効率ではない。このため、エネルギーの変換率データそのものはないが、一般的には、効率の良い照明器具でも20%程度のエネルギーしか可視光にならないといわれている。残りのエネルギーは、紫外光、赤外光や熱などに変換される。

太陽光発電で発電された電気エネルギーで照明器具を発光させる場合、2度の変換のため、太陽光発電パネルに降り注いだ太陽光エネルギーの数%程度しか、照明として利用できないことになる。

4. 比較モデル

トップライトと太陽光発電を比較するためのモデルとして、床面積500㎡ 天井高さ8mの中小規模工場を考える。この工場で精密作業を行うため、作業面で750ルクスの照度が必要な場合を想定する。

5. 比較結果

5. 1 共通項目とシステムの違い

トップライトおよび太陽光発電とも、太陽の光を利用して電力事業者から購入する電力を削減する事は同じである。その効果は、正午付近を最大値として、季節・天候等に影響される。不足分は電力事業者からの電力に頼ることも同じである。今回の検討対象は従来のトップライトの課題を解決した直射光防止断熱構造とする。

5. 2 必要設備と装置

① 太陽光発電

高天井の工場照明には、HIDランプ（高輝度放電ランプ）が使用される事が多い。この照明を、工場稼動時には常に点灯しておく必要がある。



高天井の建物内を750ルクスの照度とするためには、一般的に20W/m²程度の電力がいる。このため、500m²の工場では、10kWの電力が必要となる。10kWタイプの太陽光発電装置は、15%の効率とすると、67m²程度のパネルが必要であり、工事費を含めて1,000万円かかると想定する。

日本の太陽光発電の設置は、住宅中心であり需要の80%以上を占める。住宅用設備の価格は、年々安くなってきている。個別の価格は、設置場所などに

表1 太陽光発電システムの価格の推移
(しずおかエネルギーデータより)

(販売価格：万円/kW)

年 度	太陽電池	付属機器	設置工事	合 計
平成9年度	65.2	26.1	14.9	106.2
平成10年度	67.4	24.8	15.2	107.4
平成11年度	59.8	21.7	12.4	93.9
平成12年度	54.2	19.9	10.3	84.4
平成13年度	48.1	19	8.7	75.8
平成14年度	46.2	16.9	7.9	71
平成15年度	45.1	16.3	7.6	69
平成16年度	44.1	16	7.4	67.5
平成17年度	42.8	15.9	7.4	66.1
平成18年度	43.3	16	9	68.3
平成19年度	43.6	16.3	9.7	69.6
平成20年度	42.5	15.5	8.9	66.9

より異なってくるが、60万円～70万円/kWである。

一方、工場用などの大型太陽光発電装置は、住宅用とは製品が異なっており、数も少ないため割高になっている。販売店でのヒアリングでは100万円/m²であった。また、静岡県庁本館屋上へ設置した10kWタイプの太陽光発電装置は、設置場所が高いのと、近くに重機が寄れないためもあり、1,123万円であった。

② トップライト

直射光防止断熱トップライトは、素通しガラスより太陽光の取り込み割合が悪い。それでも500m²の工場において、25m²のトップライトを設置すればよ

【報告】

い。(これは、現在研究中の実験工業で実際に確認している値である。) トップライトの必要面積および配置などの詳細設計については、現在研究中のシミュレーション技術が完成すればより明確になる。こちらも設置条件や流通により価格は変わるが、標準的な場合を想定して100万円とする。

5. 3 コスト比較

① 太陽光発電

太陽光発電の実証試験はあちらこちらで行われており、それらの結果によると、10kWタイプで年間10,000kWh程度の発電量である。

太陽光発電装置による発電量は、予想発電量＝定格発電量×(平均日照量/標準日照量強度)×日数×システム効率 で予想できる。この予想値と実際の発電量はほぼ等しい。

静岡市に設置することを想定し計算すると、10×4.14×365×0.75=11,306kWhとなり、日照時間の関係で発電量が全国平均より若干多い。

定格発電量 : 10 kW

1日平均日射量: 4.13kWh/(m²×日)

標準状態日射量: 1kWh/m²

システム効率 : 0.75 (周辺機器の効率やロス)

表2 kWあたりのモニター機発電量
(太陽光発電モニター事業等に関する調査より)
(kWh)

地 域	1	2	3	4	5
平成19年8月	117	120	122	122	
平成19年9月	94	99	85	98	
平成19年10月	86	94	81	92	97
平成19年11月	57	72	71	77	68
平成19年12月	36	56	72	65	74
平成20年1月	40	58	79	69	56
平成20年2月	51	74	101	91	63
平成20年3月	65	68	73	77	59
月平均	68	80	86	86	70

1:北海道、日本海側

2:山間部、山陰

3:東北太平洋側、関東

4:九州、太平洋沿岸部

5:沖縄

政府は、太陽光発電の設置を促進するために余剰電力の買い取り価格を2009年11月より値上げしている。住宅用48円/kWで、工場用24円/kWである。(2010年度も同じ)ただし、これは太陽光発電で発電した電力のうち余った分であり、モデルとしている工場では、発電した電力は工場内で消費され

る。その場合は、工場が買い取る電力料金の削減との比較となる。

工場では一般的に高圧の電力が供給され、色々な料金プランがある。それらは、住宅用より電力料金が安い。そのため、最高価格レベルの電力料金15円/kWhで計算しても、モデル工場の年間の電力削減料は15万円である。これでは、上記太陽光発電装置代金の回収に60年以上かかることになる。この計算では簡単にするために、年間を通して操業し、メンテナンス費用も考えないものとする。

表3 電力料金（中部電力ホームページより）

高圧（標準電圧6,000ボルト）契約電力500kW以上
基本料金が安く、電力料金が安いプランA

区分		単位	料金単価 (円/税込)
基本料金		ひと月1kWにつき	1,591.00
電力量料金	重負荷時	1kWhにつき	14.39
	昼間時間	1kWhにつき	11.73
	夜間時間	1kWhにつき	9.29

② トップライト

トップライトによる省エネ効果の実証試験は現在継続中であるが、平均で4時間/日は消灯することができる。これは、年間14600 kWhの電力削減量となる。（比較のため太陽光発電と条件は同じ）
こちらの場合、機器料金を4年7ヶ月で回収できる。メンテナンスに関しては、電気回路がある太陽光発電と異なり、実質フリーメンテナンスである。

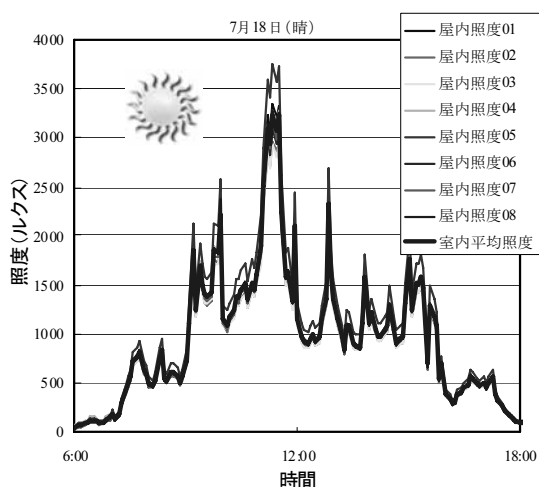


図4 実験工場照度測定結果

表4 消灯可能時間

照度500lux以上の積算時間

日付	時間	日照時間※
7月17日	2.2	0
7月18日	8.7	2.7
7月20日	7.8	5.5
7月21日	4.9	0
7月22日	5.4	0.5
7月23日	2.2	2.9
7月24日	7	2.2
7月26日	9.6	4.7
平均	6	

6. まとめ

太陽光発電は、枯渇が予想される化石燃料に代わる再生可能エネルギーとして非常に重要である。そして、太陽光のエネルギーを電気エネルギーに変換することにより汎用性が高く、使用場所や目的を選ばないなど使い勝手がよい。一方トップライトは、照明エネルギーだけへの対応であり、また建物の最上階のみの使用など使用が限定される。しかし、設置した場合の経済効率率は、太陽光発電に対して桁違いに良い。特に、昼間使用し常時点灯する必要のある大型建物（工場）などにはトップライトの特性が生きてくる。これらの建物には、トップライトの設置を優先させることにより、今後日本が取り組まなくてはならない省エネおよび温室効果ガス削減対策の、費用対効果向上に貢献できると考える。

参考文献

- 1) 村沢 義久：日本経済の勝ち方 太陽エネルギー革命 文春新書
- 2) 決戦前夜太陽電池 日経ビジネス
- 3) 静岡県：図表で見るしずおかエネルギーデータ
- 4) 経済産業省資源エネルギー庁：新たな買い取り制度がスタート
- 5) 財団法人新エネルギー財団：「太陽光発電モニター事業等に関する調査
- 6) 株式会社スカイプランニング：スカイトップライトカタログ
- 7) シャープ株式会社：産業用太陽光発電システム 住宅用太陽光発電システム
- 8) 株式会社京セラソーラーコーポレーション：住宅用ソーラー発電システム