

宮田 圭介

デザイン学部技術造形学科

Keisuke MIYATA

Department of Art and Science, Faculty of Design

佐藤 聖徳

デザイン学部技術造形学科

Kiyonori SATO

Department of Art and Science, Faculty of Design

羽田 隆志

デザイン学部技術造形学科

Takashi HADA

Department of Art and Science, Faculty of Design

本学の西側ギャラリーの作品照光を目的として、自然に近い太陽光採光の検討を実施した。各種採光システムを調査した結果、誘導光の空中伝送スペースの確保が困難であることから、光ファイバーで誘導できるレンズ・光ファイバー方式を採用した。採光システムを設置して照射光を観察したところ、現状でも、十分に風情の感じられることが確認された。むしろ、設置する際、システムの取付け器具や付帯工事の部品が目立つため、周囲の建物と調和が取りにくい点に課題のあることが判明した。

「採光システムの総コスト」は「システム本体価格+設置工事費」で決まるため、本体価格は上がるが設置工事費を下げることで、総コストが上昇しないデザインの検討を行った。その結果、取付け器具まで含めて採光システムをデザインすれば、美観を保ちながらも、安価に提供できる可能性のあることが明らかとなった。

For better lighting design products, natural light receiving systems are considered. It is difficult to lead the natural light freely, the light leading system by using optical fibers is applied. Its induced light is natural enough, its system shape isn't beautiful. That is, brackets and mounts are needed so as to combine the system with the building, these equipments aren't designed well. So, new system shape is proposed including its mounts shape. Its total cost is composed of the system hardware and the setup fee. Though the new hardware is more expensive, its setup fee is cheaper, the total cost may be the same as the conventional system.

### 1. はじめに

土地の有効利用のために容積率が高まり、家屋や建築物が高層化するにつれて日当たりが悪くなり、屋内に太陽光が入る時間が減少する傾向にある。従来であれば、自然採光の不足分を照明調光<sup>6)</sup>で補ってきたが、環境問題に対応するために電力の消費量を減らす生活様式が求められている。このような状況に対応するひとつの手段として、日照が遮られるビル北側や屋内などを対象に、反射鏡やレンズを用いて人工的に太陽光を送り込む「太陽光採光システム」が以前から実用化されている(図1)。しかし、本来の太陽光であれば、木漏れ日や夕焼けなど輝度や色調の変化から風情が感じられるが、これらのシステムでは再現することが難しい。また、採光システムのデザインも、後付タイプのもは建物との調和が難しいために、違和感を与える場合が多い。そこで、本研究では、「自然な光が感じ取れる」「美しい採光システム」の実現を目的として、以下に述べる活動を行い、景観に適合する採光システムのデザイン研究を実施した。

### 2. 各種採光システムの調査

まず、今回の研究対象となる採光システムを選定するために、各種採光システムの特徴について調査を実施した。太陽光を他の場所へ導く手段としては、鏡、プリズム、レンズ、光ファイバーなど、必然的に光学機器を用いることになる。大別すると、「反射鏡方式」「プリズム・反射鏡併用方式」「レンズ・光ファイバー方式」の三種類が挙げられる。また、各方式においても、固定式と太陽追尾式に分類される。そして、主な採光システムは、受光部、太陽追尾装置、伝送部、照光部から構成



図1. 採光システム例(浜松駅前)

される。次項では、各部の機能について説明する。

## 2.1 受光部

### 2.1.1 反射鏡方式

平面鏡や曲面鏡を用いて太陽光を必要な場所に反射、誘導する方式である(図2)。複数の曲面鏡を組み合わせて反射面積を確保して、公園や校庭などに採光を行う事例もある。夏期や南中時など太陽高度が高い場合は、鏡面を太陽に向けにくくなるため、伝送光量が減少する欠点がある。比較的長距離の伝送も可能であるが、光を照射する場所に正確に光を誘導する高い施工精度が求められる。また、反射鏡の面積を大きくすると風によって反射方向のずれや振動が生じるため、取付け強度を上げる必要がある。風雨による汚れや破損による性能低下を予防するために、透明な風防で覆う事例もある。

最近脚光をあびている、光ダクト方式も反

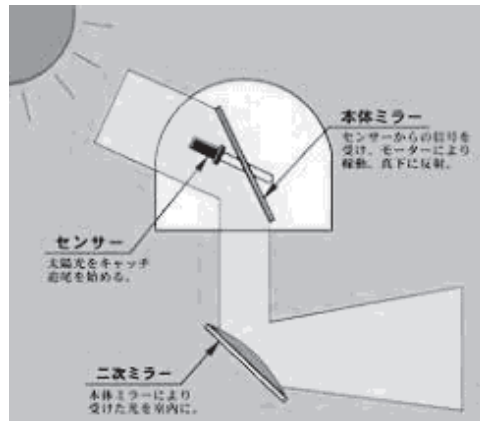


図 2. 反射鏡方式の例(提供テクネット)<sup>6)</sup>

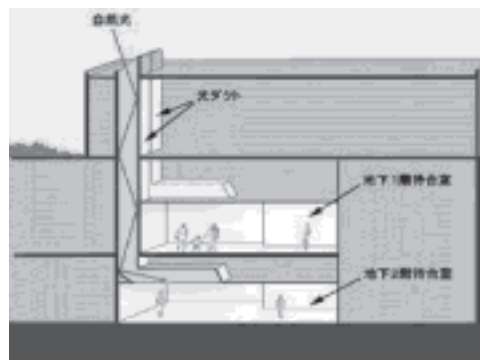


図 3. 光ダクト式の例(提供マテリアルハウス)<sup>7)</sup>

射鏡方式に分類できる。内面を鏡面にしたダクトで太陽光を誘導する方式である(図3)。原理は単純であるが、鏡に反射する度に光が伝達損失するため、実用例が少なかった。最近になって、全反射率95%を超える、極めて反射率の高い素材が開発されたために実用化が可能となった。また、伝送時に反射を繰り返すと光量が大幅に低下するため、最適設計を行うための反射シミュレーション技術の進歩も実用化の要因の一つに挙げられる<sup>3) 4)</sup>。

### 2.1.2 プリズム・反射鏡併用方式

フレネルレンズなどのプリズムシートを用いて、入射した太陽光をプリズムと反射鏡を併用して、必要な部位に誘導する方式である(図4)。太陽の高度の影響を受けにくく、面積当たりの採光量が多いため、大容量の光量伝送が可能である。構造上、風の影響も受けにくい。ただし、フレネルレンズの価格が高いことが難点である。

### 2.1.3 レンズ・光ファイバー方式

凸レンズを用いて集光した太陽光を、光ファイバーケーブルを用いて伝送する方式である(図5)。太陽に正対するようレンズの向きを制御できるので、最も集光効率が良い。伝送路の設計にも制約がないので、任意の場所に光を誘導することができる。ただし、集光に伴い太陽熱も集中するため、大口径レンズを使用する場合には、光ファイバーの過熱を避けるために冷却装置を要するなど、付帯設

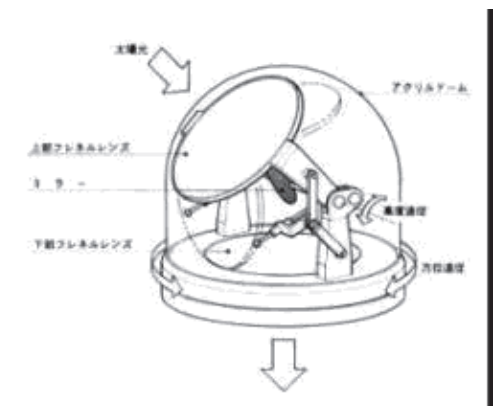


図 4. プリズム・反射鏡併用方式の例(提供三井造船)<sup>9)</sup>

備が必要となる。また、光ファイバーケーブルの価格が高いことも難点となる。

## 2.2 太陽追尾装置

特定の時間だけ採光すれば良い場合には追尾装置は不要であるが、多くの採光システムは何らかの太陽追尾装置を備えている。太陽の高度と方位を計測、かつ予測して、太陽の位置に関わらず最大光量を受光できるように追尾する。光センサを用いて、受光強度から太陽の位置を検出して受光部の向きを制御する手法と、採光システムの緯度、経度、時刻から太陽の位置を計算して受光部の向きを制御する手法の二種類に大別される。追従速度は0.25deg/min程度と非常に遅く、駆動エネルギーを要しないため、太陽電池で駆動することも可能である。

## 2.3 伝送部

採光した太陽光は空気中で複数の鏡面反射を通じて、もしくはファイバーケーブルを通じて伝送される。「反射鏡方式」「プリズム・反射鏡併用方式」の場合は空中伝送のため、伝送経路としては遮蔽物のない空間が必要となる。特に光ダクト式の場合、ダクト内部の反射率次第で伝送効率が大幅に変動する。実験<sup>4)</sup>によると、内部反射材は反射率90%以上が必要であり、ダクト長は直管型で6mぐらい



図 5. レンズ・光ファイバー方式の例 (写真提供ラフォーレエンジニアリング)<sup>1)</sup>

が限界と考えられている (口径250mm×250mm, 反射率90%の場合)。「レンズ・光ファイバー方式」の場合は、ケーブルが敷設できる場所であれば容易に伝送路は確保される。

## 2.4 照射部

レンズや拡散板を用いて様々な配光とする場合が多い。「反射鏡方式」「プリズム・反射鏡併用方式」の場合は輝度が強すぎるために、多くの場合、間接光やプラスチックカバーを通して配光する。「レンズ・光ファイバー方式」の場合は、光ファイバーの先端部にダウンライトやスポットライトなど、通常の照明器具を用意して配光を行う。

## 2.5 本研究における有効性

研究の最終目標は、太陽光が十分入らない、本学の研究室棟3階テラス (図6) に太陽光を誘導することにある。まず、大光量の太陽光が伝送可能な反射鏡方式、反射鏡・プリズム方式で検討を行った。例えば、3m×3mの領域に照光可能な、平行光伝送のためには、当然のことながら9m<sup>2</sup>以上の反射鏡が必要となる。反射鏡の設置方法としては、研究室棟の屋上か、研究棟の連絡通路に受光部を設置する案が考えられる。しかし、遠州の強い季節風 (平均風速4.3m/s、2月度) に耐える支持構造で、大面積の鏡面を屋外設置するのは危険が伴うため、今回は対象外とした。

そこで、代替案として、西側ギャラリーの作品照光を目的とする太陽光照明の実現性検討を行った。作品を照らすには50cm×



図 6. 研究室棟3階テラス

50cm領域の照光で十分であるが、誘導光の空中伝送スペースの確保が困難であるため、光ファイバーで誘導できるレンズ・光ファイバー方式を用いることにした。ただし、集光部は本学の2階緑地「出会いの広場」に設置せざるを得ず、常に人目の付く場所であるため、設置器具を含めた採光システムのデザイン変更が必要となる。

なお、参考までに静岡県浜松駅前の地下道に設置されているレンズ・光ファイバー方式の大型の採光システム(図1)の稼働状況も観察した。広小路地下道の円形広場中央部(図7)の照明として太陽光採光を活用している。円形広場の天井中央部に太陽光採光システムの照光部があり、その周囲に補助照明として蛍光灯が設置されている。日照時は太陽光だけでも照明として機能するが、曇天時や夕方は照度が低下するために、蛍光灯など補助照明を併用する必要があると、本学テラスをカバーする光量を得るのは難しいことが確認された。

### 3. 太陽光採光システムの試用

本来の太陽光であれば木漏れ日や日内変動から風情が感じられるが、既存システムでは再現が難しいものと予想された。そこで、照射光の状況調査のため、10月から12月までの3ヶ月間、研究室棟11階の南側実験室に太陽光採光システムを設置して、照射光の観察を行った。試験機として、12眼「ひまわり」集光機(XD-50S/12AS型、ラフォーレエンジニアリング製)を使用した。実験室の出



図7. 地下道での太陽光照明

窓に設置することにより、9時から17時まででは、100%太陽を捕捉できることが確認されている。照射光は太陽光の照度や色温度と対応しており、雲で日光が遮られると照射光は非常に暗くなる。日中は白色光になるが、夕方は橙色光になり、実際には、照射光の色から風情を感じられることが確認された。むしろ秋冬期の光量不足の方が課題となることが判明、以下の対策を実施した。

#### (1) スポットライトによる追加照射

採光システム集光部にミニレフランプ(100W)で照射して光量増加を図った。太陽光集光の妨げにならないよう、ランプは集光部より約15deg斜めに設置した。

#### (2) 反射鏡による追加照射

採光システム周辺の太陽光を集光することを意図して、集光部に隣接して反射鏡(50cm×150cm、ガラス製)を設置した。そして、反射鏡が受光した太陽光を集光部に照射した。

結果として、いずれの対策でも照度計での測定値は変化せず、対策効果は確認されなかった。採光システムの集光部の光学設計として、凸レンズ・光ファイバー軸と平行な光は、レンズによって屈折してファイバー開口部に集光される(図8)。しかし、斜めからの入射光については、ファイバー開口部外に誘導されるため、光量増大に至らなかったものと推察される。レンズ口径の拡大など基本設計を変更しない限り、光量増加は困難と思われる。しかし、光量が増大すると集熱量も増加するために、光ファイバーが加熱する恐れがあり、耐熱対策<sup>10)</sup>も必要となるため、さらなる対策は実施しなかった。

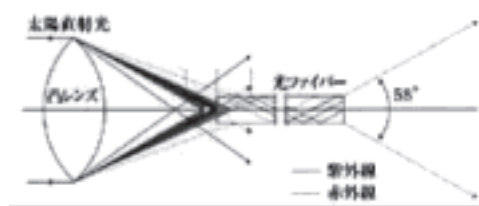


図8. 直射光の集光設計  
(提供ラフォーレエンジニアリング)<sup>1)</sup>

## 4. 建物と調和のとれたデザインの検討

### 4.1 設置状況の調査

一般論として、建物に装着する機器は、機器単体は完結したデザインで構成されているが、一旦設置すると、取付け器具や付帯工事の部品が目立つため、違和感を与える場合が多い。そこで、まず太陽光採光システムの設置状況の調査を実施した。静岡県西部での設置事例は少ないので、太陽光採光システムが掲載されているホームページから施工状況を調べた。

二十数例の設置状況（図 9、図 10）を観察した結果、「取付け器具は絶対に必要である」、「システムのデザインに合わせた取付け器具は少ない」、「建物のデザインに調和した器具が少ない」、「脱落しないように強度を最優先した取付けになっている」、「システム専用の取付け器具は少ない」傾向にあることが



図 9. 採光システムの設置例  
(写真提供ラフォーレエンジニアリング)<sup>1)</sup>



図 10. 採光システムの設置例  
(写真提供ラフォーレエンジニアリング)<sup>1)</sup>

確認された。また、建物毎に個別対応であるため、器具製作も含めた設置工事費用を意外に要することが分かる。施工業者にとっては、システムを確実に装着することが重要であり、その美観はあまり考慮されていないようである。逆に言えば、取付け器具までを含めて採光システムをデザインすれば、より美観が保てるし、総額で判断すれば、より安価に提供できる可能性のあることが明らかとなった。

### 4.2 採光システムのデザイン検討

上記の調査結果をもとに、「設置して美しい採光システム」をコンセプトにデザイン検討を行った。「採光システムのコスト＝システム本体価格＋取付け器具製作費＋設置工事費」であるから、デザインの改良により本体価格が上昇しても、設置費用を含めた総額で現状価格以下になるよう配慮した。現行システムの課題は、本体の底面が平板であるため、勾配のある屋根には水平を保つ治具（脚）を準備しなければならない点にある。従って、脚付きの採光システムにすれば課題は解決する。例えばTVアンテナのように、4脚で本体重量を支持して、張力のあるワイヤで固定すれば、設置作業は簡便になり、洗練されたデザインが構築できる。ただし、設置の安定性の点で考えると、4脚の場合は1脚が冗長になる。そこで、2脚仕様（図 11、図 12）と3脚仕様（図 13、図 14）のコンセプト案を作成した。

次に、コンセプトデザインが具現化できる

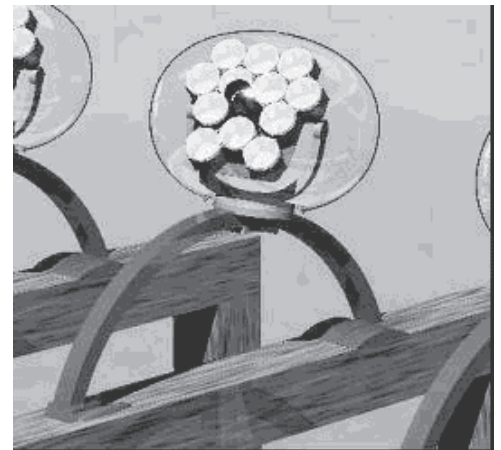


図 11. コンセプト案（2脚仕様）

か検討するために、現行の採光システムの構造の分析を行った(図 15)。12枚のレンズを固定した受光部の頭部が非常に重いため、転倒防止を考慮したデザインの必要性が確認された。太陽追尾コントローラについては、現状でも携帯電話4個分ほどのサイズで、特に耐熱対策も施していないことから、どのようにレイアウトを変更しても支障のないことが確認された。

2脚仕様の場合、受光部の回転のために大型ベアリングを使用して、太陽追尾コントローラも別置きすれば実現可能であるが、コントローラの防水対策など新たな対環境対策が必要となる。3脚仕様の場合は、現行の植木鉢形状の受光部支持部がより大型のアクリルドームに代わるだけである。植木鉢台もアクリルドームもほぼ同じ高さ寸法であることから、受光部の固定や太陽追尾コントローラ

の収納も容易であり、防水対策以外で技術的に難しい点はないと推察される。このように3脚仕様の方が汎用性の高いことと、製作も容易であることから、3脚案で詳細検討を行った。

#### 4.3 新型デザインの提案

3脚仕様の最終デザインを図 16 に示す。通常の建物への設置では前述の案(図 14)で十分であるが、本研究では「出会いの広場」に設置するため、オブジェとして強調したい。そこで、街路灯のようなフレームで固定したデザインを提案した。どちらの3脚仕様も取付け器具の追加製作は不要で、設置作業も容易であり、従来よりも景観に適合したデザインになることが期待できる。

#### 5. まとめ

現状の「レンズ・光ファイバー方式」太陽光採光システムについて、周囲の建物と調和の取れたデザインを提案した。「採光システムのコスト=システム本体価格+設置工事費」であるため、本体価格は上がるが、設置工事費が下がるデザイン検討を行った。現状と同等の価格以下で、より美しい採光システムが提供できる可能性が開けた。次のステップとしては、実際に試作を行って、実用性評価を実施していきたい。



図 12. コンセプト案の設置例



図 13. コンセプト案(3脚仕様)

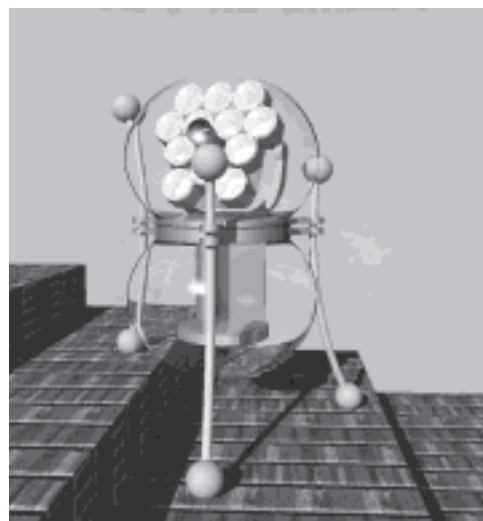


図 14. コンセプト案(設置イメージ)

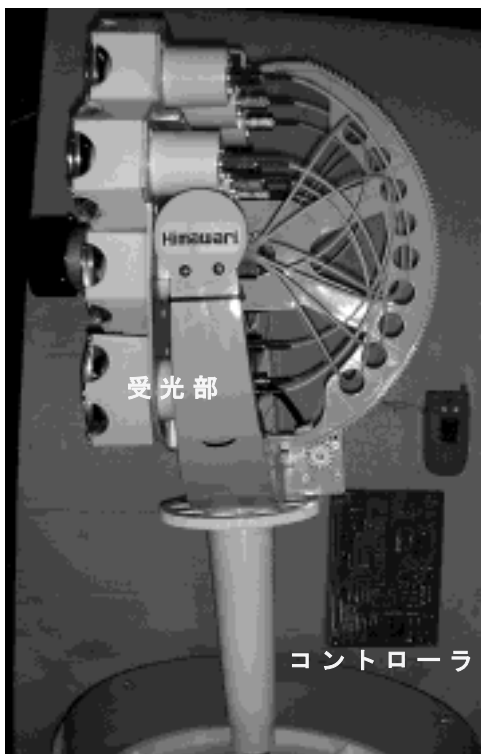


図 15. 採光システム部品例

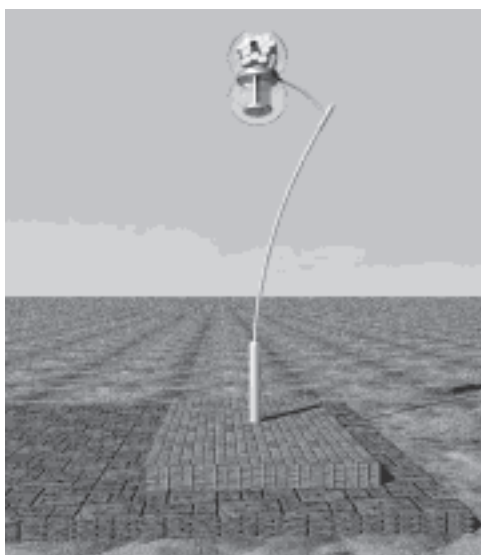


図 16. 提案デザイン (街灯仕様)

なお、本稿は平成 16 年静岡文化芸術大学デザイン学部長特別研究費による研究成果の一部であり、関係者に謝意を表す。

#### 参考文献

- 1) 太陽光採光システム「ひまわり」、ラフォーレエンジニアリング, <http://www.himawari-net.co.jp/>
- 2) 「太陽光採光システム協議会」, <http://www.sun.or.jp/>
- 3) 海宝幸一「光ダクトシステムによる自然光導入事例」, 照明学会誌, Vol.86.No.6,pp.358-361,2002
- 4) 椎名, 斉藤, 沖, 高橋「プリズム方式採光システムの光搬送ダクトに関する実験的研究」, 照明学会第34回全国大会, pp.279,2001
- 5) 藤井, 加屋野「位相ホログラムを用いた太陽光集光—コンピュータシミュレーション—」, 照明学会誌, Vol.85.No.7,pp.484-487,2001
- 6) 迫, 高井「オフィスビルにおける自然採光と照明調光制御の実施例」, 照明学会誌, Vol.82.No.10,pp.821-824,1998
- 7) 「光ダクト」, マテリアルハウス, <http://www.materialhouse.co.jp/>
- 8) 「太陽光採光システム」, テクネット, <http://www.tecnet.ne.jp/natulight.html>
- 9) 「太陽光採光装置ご紹介資料」, 三井造船, <http://www.sun.or.jp/product/mitui/mitui-main1-011031-Kanji.htm>
- 10) 冢永, 有安「光ファイバーを用いた太陽光による照明装置の開発」, 福岡工業大学電気工学科松尾研究室卒業論文 (2000), <http://www.ee.fit.ac.jp/~k-matsuo/2000/sotuken-H/fai.files/frame.htm>
- 11) 日本建築学会編「光と色の環境デザイン」オーム社, (2003)