自然光利用と建築・設備計画

Architectural and Lighting Installation Planning for Daylight Utilization

1947年生。1972年名古屋工業大学大学院工学研究科電気工学専攻修了。現在、株式会社大林組東京本社設計本部設計技術部、1997年工学博士。

専門会員 齋藤 満
Mitsuru Saito

◀キーワード：昼光照明，昼光利用，窓デザイン，ハイテクガラス，照明設備

1. はじめに

アメリカのある環境心理学者の言によれば、人類が古代から適者生存の過程で身につけたことは、現代においてもわれわれの潜在意識のなかに脈々として引き継がれているそうである。

人工照明が高度に発達した現代においても、在室者が、建物への自然光（昼光）の入射に心理的な安らぎを覚えるのは、このような学説を裏付けているのかもしれない。なぜなら、自然光は、古代から人類に暖かさと明るさという、人類が生きていくために必要な何物にも替え難い恩恵を与えてきたためである。

図1は、ダムやせきなどに、そ河性魚類の回遊のために設置された「らせん魚道」である。「らせん魚道」は曲線水路によって構成されるため、設置敷地面積を大幅に削減できるうえ、プレキャスト方式による鉄筋コンクリート造の共通ブロック化が可能のため、現場打ちで構築される通常の直線魚道に比べて大幅な工期の短縮が可能である。以前、筆者は、この「らせん魚道」に関して、早朝に外部の明るさが1000 lx のとき、魚道内の明るさを15 lx 以上確保するためにはどれくらいの開口が必要であるか相談を受けたことがある。すなわち、1.5%以上の昼光率を確保する窓の設計である。魚のための採光設計は、もちろん人生で初めての経験であった。

本論は、もちろん動物ではなく人を対象とした、主として民生用建物における自然光利用に関する建築・設備計画の概説である。建築計画の分野では、ライトシェル

フやアトリウムのような特殊な採光構造の計画や、昼光制御ガラスなどの採用の検討が、設備計画の分野では特殊な採光システムや照明設備の制御などの採用の検討が主題となる。

2. 自然光利用の目的と方式

建築物における自然光利用の目的はさまざまである。前述のように、古代からの人類の進化の過程で身についた潜在的な人の欲求を満たすことが目的であったり、または近年、国際的な大命題である地球温暖化防止のための照明の省エネルギーを目的とすることもあろう。このうち前者の目的は、住宅系の建物に多い。すなわち、住宅系の建物では入射する自然光の量より室内に自然光が入射しているという事実、現象の方が重要ではないかと考える。

後者の目的は、事務所建物などのような非住宅系の建物に多い。非住宅系の建物において、照明設備が消費するエネルギーは、建物全体で消費するエネルギーの約30%前後を占める。これは、空調設備に次いで多い。このため、非住宅系建物の省エネルギー化にあたっては、照明設備の省エネルギーが重要な位置を占める。

しかしいずれの目的にしろ、自然光を利用しようとするときは、自然光が変動する光源であることに常に留意しなければならない。すなわち、季節、時刻、天候などによって、その光束も色も変動することをである。これが人工照明との大きな相違である。

自然光利用の方式は、図2に示すように、大きくはアクティブ方式とパッシブ方式に分類することができる。アクティブ方式は自然光の導入のため積極的に特殊な採光構造や採光システムを採用する方式である。

図1 採光窓を有する「らせん魚道」

図2 自然光利用の方式¹⁾

パッシブ方式は特別な採光構造や採光システムを採用していないが、入射する自然光の量に応じて人工照明を制御する方式である。

なお、いずれの方式においても自然光を建物内に導入することは空調の熱負荷、とりわけ冷房負荷に大きな影響を及ぼすことに注意しなくてはならない。すなわち、空調にとって窓に代表される開口は熱のウイークポイントとなる。

3. 自然光利用と建築計画

建物に自然光を効果的に導入するためには、なるべく大きな面積の開口を確保することが必要である。したがって、このためには特殊な採光システム・機器ではなく、建築の計画・設計で対処するのが効果的である。

自然光利用のための建築手法には、適切な採光窓の設計、ライトシェルフやアトリウム・ボイドの採用、自然光の入射制御が可能なガラスの採用などの検討が含まれる。以下に、これらの採用事例や採用に当たっての留意点などを示す。

3.1 ライトシェルフ

ライトシェルフ (Light Shelf) は、1980年代初頭ころからアメリカにおいて普及した採光構造である。

その採光コンセプトは、垂直な採光窓の中間にシェルフ (棚) を設け、これによって直射日光を天井に反射させ部屋奥まで自然光を導入しようとするものである。これによって、採光だけでなくひさしと同じような日射の遮へい効果も期待できる。

図3は、このようなコンセプトでアメリカカリフォルニア州のサニーベイル市に建設された Lockheed Building 157の断面図である。筆者も竣工直前に訪れたことのあるこの建物は、ロッキード社の設計部門が入居するインテリジェントビルである。

南面のライトシェルフは外部シェルフと内部シェルフとから構成され、北面のライトシェルフは内部シェルフのみで構成されている。外部シェルフは入射高度の高い夏の直射日光を、内部シェルフは入射高度の低い冬の直射日光を拡散光に変換し部屋の奥へ導入する。

内部シェルフは、図4に示すように室内にあたかも飛

行機の翼のように突き出している。その長さは約4 mである。南北面とも内部シェルフの上部には透明ガラスが、下部には熱線反射ガラスが“く”の字状にはめこまれている。

天井は南北の窓側とアトリウム側から部屋の中心に向かってスロープをつけ、ライトシェルフによって反射された直射日光を効率的に部屋奥まで導入している。天井高は窓際で約4.5m、部屋の中央で約3 mである。なお、階高は5.5mである。図5は、晴天日に、4階の南側で実測された昼光照度の分布を示す。

なお、人工照明は図4に示したように、タスク・アンビエント照明方式が採用されている。アンビエント照明は蛍光灯による間接照明方式で、照明器具には電子安定器が使われ、自然光の入射量に応じて自動的に10~100%に調光されるようになっている。

アメリカにおいては当建物を含めていくつかのライトシェルフを有する建物が建設された。しかし、その後この採光構造が急速に普及したとの報は残念ながら聞こえてこなかった。ライトシェルフを採用するときは、一般の側窓による採光方式のオフィスに比べて階高を高くする必要があり、コスト面での問題があったのではないかと考える。

わが国においては、東京ガス港北ニュータウンビル⁴⁾や、印西市総合福祉センターなどの採用事例が報告されている⁵⁾。

なお、ライトシェルフによって自然光を建物内に導入

図3 Lockheed Building 157の断面図²⁾

図4 Lockheed Building 157の内部シェルフとTAL

照度の単位：fc

図5 Lockheed Building 157の自然光の実測照度分布³⁾
(1月の晴天日、午前8時30分、4階の南側)

すると、空調の熱負荷に大きな影響を及ぼすことを前述した。したがって、ライトシェルフの設計に当たっては、自然光利用による人工照明の省エネルギー効果だけでなく空調熱負荷の増大にも留意する必要がある。

大橋らは、このような点に着目し、ライトシェルフの採用による年間の人工照明の省電力量と、窓面からの年間の日射熱取得量との比を昼光照明効果係数と定義し、これによってライトシェルフの自然エネルギー利用効果を評価する方法を提案した⁹⁾。そして、ライトシェルフの長さ、傾斜角、反射率、取り付け高さなどを変化させたときの昼光照明効果係数をコンピュータシミュレーションによって求め、これによって望ましいライトシェルフの仕様を検討した。東京地区に立地する、間口8 m、奥行き8 m、天井高2.6 m、設計照度500 lx、自然光利用によって人工照明を連続調光制御するオフィスにライトシェルフを採用したときの検討例によれば、ライトシェルフの長さは0.5～1 m、傾斜角は0°、反射率は0.1、取り付け高さは1.8 m程度が望ましいとしている。

3.2 アトリウムとボイド

アトリウム (Atrium) は欧米で普及が進んだ採光構造である。アトリウムとは、温室風の吹き抜け大空間を意味する⁷⁾。わが国においても、新宿 NS ビルなどの大型建物での導入を皮切りに多くの建物に採用されてきた。そしてアトリウムを設けることにより、奥行きの深いオフィスにおいても自然光の恩恵を享受することができるようになった。図6にアメリカのアトリウムを有するオフィスの例を示す。

アトリウムは、一般に外壁と屋根のガラスが占める面積が大きい。したがって、日射など外部環境の影響を受けやすい。このため、アトリウムの設計に当たっては省エネルギー化のため以下のような点に留意するのが望ましいとされている⁸⁾。

- ・日射透過率の低いガラス、ルーバ、スクリーン、垂れ幕、植栽などにより入射する日射量の低減を図る。
- ・東西にはガラス壁面を避け、隣接する棟の日影になるようにアトリウムを配置する。
- ・暖房負荷を低減するため、断熱性の高いガラスを採用する。

図6 アトリウムを有するオフィスの例 (アメリカ)

- ・屋根直下には熱溜空間を設け、自然換気によってこの熱を排出できるようにする。
- ・回転扉などによって、出入口の気密化を図る。
- ・空調はアトリウム底部の居住域のみとする。

図6の建物では、上記のうち夏の入射日射量の低減を図るためアトリウムの頂部南面に電動式の縦型ルーバを設備している。

次に、アトリウムと同じような概念の採光構造として、光庭 (Light court) やボイド (Void) がある。光庭は空調設備が普及する以前の大規模建物に採用されていたが、最近では採用例が少ない。一方、ボイドは最近の超高層集合住宅でよく採用されている。ボイドは建物の中央部に設けられる吹き抜け空間のことで、図7と図8に、地上41階建ての超高層集合住宅における例を示す。

なお、アトリウムと光庭・ボイドとの差は、前者には採光可能な屋根があるのに対し、後者には屋根がないことである。

3.3 トップライト (天窗)

トップライトは、工場のような大規模建物でよく採用される採光方式で、側窓に対し採光効率が非常によい。しかし、反面、晴天時には直射日光が入射する恐れがあ

図7 ボイドを有する超高層集合住宅の平面図⁹⁾

図8 ボイド空間

り在室者にグレアと熱感を与える。

図9に示す、アメリカのシカゴに建設された Argonne National Lab.の自然光利用は、トップライトによって導入された昼光のアンビエント照明への利用である⁷⁾。

直射日光の入射を遮へいするため、トップライトの直下には断面が円形の空調用ダクトを配し、このダクトの上面で反射された自然光を再び天井で反射させ、拡散した昼光を室内に導入している。

人工照明には、Lockheed Building 157と同じく、タスク・アンビエント照明方式が採用されている。アンビエント照明は、トップライトから入射する自然光と、トップライト直下に設備された空調用ダクトの左右に直線状に配置された蛍光灯器具による間接照明でまかなわれている。

図9 トップライトによる自然光利用のオフィス(アメリカ)

図10は、Argonne National Lab.と同じように、トップライトの下に昼光の拡散機能を有する半透明のパネルを設備し、自然光利用を図った美術館の例である。

3.4 昼光制御ガラス

ドイツでは、直射日光や天空光の室内への入射を制御する機能をもつガラスが開発され実用に供されている。

図11は、このような昼光制御ガラスのうち、直射日光の制御ガラスの概念を示す¹⁰⁾。このガラスはペアガラスの中間層にアクリル樹脂製のパーツを封入したもので、上方から入射した直射日光を天井方向へ反射させる。また、中間層にホログラムフィルムを張り付けることにより、水平方向の反射光も制御できる。ただし、このガラスは見通しがきかないため、通常の在室者の視線より上部の部位にのみ使用する。図12に実際の建物にこのガラスを使用した例を示す。

図13は天空光の制御ガラスの概念を示したものである¹⁰⁾。このガラスはペアガラスの中間層にホログラムフィルムを封入したもので、北に面した窓の外部に45°の傾斜角で設置し、天空光を天井方向へ反射させる。天空から入射する自然光を部屋奥に効率的に導入することができる。図14に実際の建物における天空光制御ガラスの設置例を示す。

図10 トップライトによる自然光利用の美術館

図12 直射日光制御ガラスを使用したオフィスの例

図13 天空光制御ガラスの概念¹⁰⁾

図11 直射日光制御ガラスの概念¹⁰⁾

なお、以上のようなガラス以外にも、自然光の透過、遮光だけを制御できるエレクトロクロミックガラスやサーモクロミックガラスのような調光ガラスもある。

エレクトロクロミックガラスは、ペアガラスの中間に酸化タングステンのような電気化学的酸化還元反応で色に変化する材料を調光層として封入したものである¹¹⁾。自然光の透過、遮光は、電界の印加、除去により制御する。

また、サーモクロミックガラスはペアガラスの中間に特殊ハイドロゲルを封入したもので、自然光があたって温度が上昇すると自律応答的にゲル状態に相転移し白濁

図14 天空光制御ガラスの設置状況

遮光する¹²⁾。したがって、特別な配線や電源を必要とすることなく、自身で冬は自然光を入射させて暖房負荷を、夏は遮光して冷房負荷を低減することができる。なお、白濁の開始温度は材料の組成を変えることにより60℃まで任意に調整できる。

しかし、これらの調光ガラスは、現段階ではまだ実用に当たって大面積化、コストダウンなどの課題が残っている。

4. 自然光利用と設備計画

冒頭に述べたように、自然光利用における設備計画の分野では、特殊な採光システムの採用や照明設備の制御などが主題である。

自然光利用のための種々の機器を使った特殊な採光システムには、反射ミラーを使う方式¹³⁾、採光ダクトを使う方式¹³⁾、光ファイバを使う方式¹⁴⁾、プリズムを使う方式¹⁵⁾などがある。これらは、いずれもすでに商品化されており、使用目的に応じて設計者が選択することができる。

これらの採光システムの適用用途としては、地下や北面の居室、ボイドの下部空間、地下のプール、高層ビルの日陰対策などが考えられる。そして、これらによって自然光が導入されることにより、照明を自動的に制御することが可能となる。しかし、わが国の年間の日照率は約50%程度であるため、これらの役割に過大に期待することがないようにしなければならない。

わが国の自然光利用による照明制御は、1973年の第一次石油危機以降に普及した。しかし、初期のころは点滅制御方式がほとんどで、照明の点滅が在室者に与える心理的影響が大きかった。このためこの方式はやがて廃れ、段階調光方式を経て最近では連続調光方式が主流となっている。とくに最近普及が進んでいる Hf 蛍光灯器具は調光が容易なため、オフィスなどでは、自然光利用による照明制御と適正照度調整制御を組み合わせた照明制御も採用されてきている¹⁶⁾。

5. おわりに

以上、建築・設備計画の観点から見た自然光利用について述べた。わが国は、昨年12月に京都で開催された COP 3 (The 3rd session of the Conference Of the Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change: 気候変動枠組条約第三回締約国会議)において、温室効果ガスの総排出量を1990年比6%削減することを国際的に約束した。

温室効果ガスには二酸化炭素を含めて6種類のガスが指定されているが、このうち建物のライフサイクルの間

に排出される二酸化炭素の総排出量を削減するには、エネルギー消費量を低減すること、すなわち省エネルギーが最も効果が高い。

ここ数年、産業用のエネルギー消費量の伸びが小さいのに比べて、民生用の建築物におけるエネルギー消費量の伸びは非常に大きく、これらの建築物における省エネルギーは急務といわなければならない。

このような状況下、自然光利用は、今後、民生用の建物において重要な地位を占めると予測される。今後とも新しい採光構造や採光システムなどの研究・開発が待たれるとともに、空調の熱負荷への影響も含めた総合的な省エネルギー化に努めなければならないと考える。

参考文献

- (1) 斎藤満:「建物における昼光利用照明の実際」,平成3年電気関係学会関西支部連合大会論文集, p.S77 (1991)
- (2) L. S. Windheim et al: "Deep Daylighting/Innovative Lighting Concepts for a Large Office Building", Proc. of IDC (1983)
- (3) "Natural light and multizone dimming cut energy use", EC & M, JUNE, pp.57-59 (1985)
- (4) 海宝幸一他:「タスク&アンビエントの概念に基づいた自然採光計画」,日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.435-436 (1995)
- (5) 村松宏他:「竣工フラッシュー印西市総合福祉センター」,建築設備士, pp.25-30 (1997)
- (6) 大橋清文他:「ライトシェルフの昼光照明及び日射遮蔽効果の数値解析」,日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1327-1328 (1991)
- (7) 酒井寛二:「省エネルギー建築の手法ー空間にかかわる5つの手法ー」,SD8302, p.20 (1983)
- (8) 師住宅・建築省エネルギー機構:省エネルギーハンドブック'98, pp.223-225 (1998)
- (9) 斎藤満他:「桜宮リパーシティブ・ウォータータワープラザにおける照明設備」,平成4年照明学会全国大会講演論文集, pp.135-136 (1992)
- (10) H. F. O. Müller and M. Kischkoweit-Lopin: "NEW DAY-LIGHTING SYSTEMS," Proc.Vol.2 of 14th PLEA, pp.363-368 (1997)
- (11) 永井順一:「全固体型エレクトロクロミック窓材の開発」,太陽エネルギー学会誌, Vol.23, No.5, pp.44-48 (1997)
- (12) 渡辺晴男:「自律応答型省エネ調光ガラスの開発」,太陽エネルギー学会誌, Vol.23, No.5, pp.49-55 (1997)
- (13) 井上雅弘他:「反射を利用したインテリジェントビル・マンションの採光」,電気設備学会誌, Vol.8, No.3, pp.157-167 (1988)
- (14) 森敬他:「フレネルレンズによる太陽光(人工光を含む)の集光とその光ファイバーによる可視光の伝送について」,照明学会東京支部大会講演論文集, pp.22-24 (1980)
- (15) 富士本宜意:「平板プリズムを用いた採光装置の実験的研究」,日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.47-48 (1993)
- (16) 坪田祐二他:「省エネルギー照明制御システムの概要とその効果」,空気調和・衛生工学, Vol.72, No.1, pp.29-31 (1998)