自然光利用に関する技術動向

Technological Trends Concerning Utilization of Daylight

1964年生。1990年九州大学大学院工学研究科建築学専攻修士課程修了。1996年博士(工学)。現在、九州大学大学院人間環境学研究院空間システム専攻助教授。

正会員 古賀靖子
Yasuko Koga

◀キーワード：昼光照明，省エネルギー，照明制御，照明計算，性能評価，居住後評価

1. はじめに

建築照明における自然光利用として、昼光照明に関する最近の技術動向について述べる。すなわち、IDC '98 (International Daylighting Conference '98: 国際昼光照明会議'98) の概要を報告し、IEA (International Energy Agency: 国際エネルギー機関) と CIE (Commission Internationale de l'Éclairage: 国際照明委員会) の活動を紹介する。

2. 国際昼光照明会議 '98

IDC '98は1998年5月10日～13日にカナダのオタワで開催された。これは Natural Resources Canada (カナダ天然資源省), National Research Council of Canada (カナダ国立研究評議会), Public Works and Government Services Canada (カナダ公共事業局), IEA の共催で、IESNA (Illuminating Engineering Society of North America: 北米照明学会) のカナダ支部, Canada Mortgage and Housing Corporation (カナダ抵当・住宅公団), アメリカ合衆国の Lawrence Berkeley National Laboratory (ローレンス・バークレイ国立研究所) の後援によるものである。

昼光照明に関する国際会議の開催は、CIE などによる「Daylighting '90 (昼光照明 '90)」以来のことである。「Daylighting '90」は1990年10月9日～12日にモスクワで開催された。

IDC '98は、10分野の一般講演、開会時と閉会時の特別講演、パネル・ディスカッション、3件の教育ワークショップで構成され、昼光照明に関するさまざまな側面から研究発表と討議が行われた。筆者はパネル・ディスカッションのパネリストとして IDC '98に参加した。このほかに会期中は講演の一部と教育ワークショップ2に出席した。出席できなかった講演やワークショップも含め、それぞれの内容をプログラムと論文集に基づいて示す。

2.1 一般講演

一般講演1「Design Tools (設計ツール)」は、実務者に不可欠な昼光照明の設計ツールについて、現在広く使用されているものとともに、革新的なツールの考え方をテーマとした。新しいソフトウェアの紹介、および、現存する各種ソフトウェアの比較研究の報告があった。

一般講演2「Monitoring Techniques (監視技術)」は、建物に昼光照明が効果的に施されているか否かを監視する技術について、建物の経営者や所有者を援助するための指針とツールを提供するものである。監視と評価の実施要綱、POE (Post Occupancy Evaluation: 居住後評価) に関する研究が紹介された。

一般講演3「Prediction Techniques Part 1 (予測技術その1)」では、昼光利用の予測とシミュレーションの技術について、さまざまな方法を比較検討した。続く一般講演5「Prediction Techniques Part 2 (予測技術その2)」では、昼光照明の効果を評価するために現在用いられているモデルを取り扱った。

一般講演4「Lessons Learned from Daylighting (昼光照明からの教訓)」は、昼光照明を施した既存の建物を調査し、そこから得られる教訓を示すものである。アトリウムを有する地下空間、学校、事務所に関する研究報告が示された。

一般講演6「Advanced Fenestration Systems (先進の採光用開口システム)」は、建物の外側で効率的に昼光を集め、それを建物の中心部へ導入するための最先端の技術的提案を取り扱った。ライト・ガイドの概要、光ダクトや筒状の天窓の性能試験に関する報告があった。

一般講演7「Daylighting Design: Milestones & Challenges (昼光照明設計: 画期的な成果と挑戦)」は、昼光照明に関する最先端の研究と実務をテーマとした。昼光に応じた照明制御システムの評価結果、過去25年間の昼光照明に関する考察と今後の展望などについて発表があった。

一般講演8「Advanced Fenestration Measurement (先進の採光用開口に関する測光)」では、昼光照明の性能特性評価に関する事例研究が紹介された。

一般講演9「Control Systems (制御システム)」は、照明制御システムの性能に関するものである。照度レベルだけでなく、照明の質と省エネルギーを含めた議論が展開された。

一般講演10「Advanced Fenestration Design (先進の採光用開口の設計)」は、昼光照明の性能を改善するための最近の開発について、革新的な方法や新しい材料などの情報を提供するものである。筒状の天窓、ライト・シェルフ、プリズム・ライト・パイプ、プリズム・パネルのルーバなどが紹介された。

2.2 パネル・ディスカッション

パネル・ディスカッションのテーマは「Codes and Standards (規準と標準)」である。カナダから2名、オーストラリア、日本、アメリカ合衆国からそれぞれ1名のパネリストが、各国における昼光照明に関する現行の規準と標準を概説した。また、今後あるべき動向について意見を述べた。

2.3 教育ワークショップ

教育ワークショップ1「ESP-r Software (ソフトウェア ESP-r)」は、建物の性能を詳細かつ現実的に評価するためのシミュレーション・システム「ESP-r」に関する報告である。電力消費の削減を目的とする「Daylight Europe」や先進の窓ガラス材に関する「IMAGE」など、ヨーロッパにおける研究活動から実例を紹介した。

教育ワークショップ2「Monitoring the Daylighting Performance of Real Buildings (実際の建物における昼光照明性能の監視)」は、昼光照明を施した空間を監視するため、その適切な方法を示すものである。昼光照明の物理的性能と省エネルギー量の測定、および、居住者の満足感の評価の手順が紹介された。これより、既存のシステムを利用しつつ、省エネルギーに関するシステム性能と使用者の満足感を改善することについて討論した。

教育ワークショップ3「ADELINE Software (ソフトウェア ADELINE)」は、ソフトウェア「ADELINE (Advanced Daylight and Lighting Integrated New Environment: 高度昼光・人工照明統合新環境)」の主要点を学ぶものである。「ADELINE」は「SUPER-LITE」や「RADIANCE」などのソフトウェアを合体させたもので、照明システムの挙動や性能に関する正確な情報を入手し、昼光と人工光による併用照明の問題を解決するためのツールである。

3. 昼光照明に関する IEA の活動

ここでは IDC '98の会場で入手したパンフレットに基づいて、昼光照明に関係する IEA の研究活動を紹介する。

IEA では、「Solar Heating & Cooling Programme (太陽熱冷暖房プログラム)」と「Energy Conservation in Buildings & Community Systems Programme (建物における省エネルギーとコミュニティ・システムに関するプログラム)」が、合同で Task 21「Daylight in Buildings (建物の中の昼光)」という研究活動を行っている。主な目的は、昼光照明技術の展開と昼光を意識した建築設計の促進である。IEA Task 21は課題別に4つのサブタスクに分かれ、オーストラリア、オーストリア、ベルギー、カナダ、デンマーク、フィン

ランド、フランス、ドイツ、イタリア、オランダ、ニュージーランド、ノルウェー、スウェーデン、スイス、連合王国、アメリカ合衆国の計16カ国が参加している。なお、SHC プログラムと ECBSC プログラムの詳細については、それぞれホームページ「<http://www.iea-shc.org/>」と「<http://www.iea-shc.org/useful.html>」を参照されたい。また、Task 21に関するホームページは「<http://www.iea-shc.org/Task21/indexfr.html>」にある。

IEA Task 21は、ヨーロッパ連合のエネルギー研究プログラム「JOULE」における研究活動「Daylight Europe (ヨーロッパの昼光)」とも協同している。「Daylight Europe」では建築設計者や技術者のために設計ガイドを作成している。それにはヨーロッパにおける約70件の事例研究が盛り込まれている。

3.1 サブタスク A : Performance Evaluation of Daylighting Systems (昼光照明システムの性能評価)

サブタスクAの課題は、昼光照明システムや装置の性能に関して国際的に認められた試験や評価の手順を開発することである。試験的研究によってそれらの方法の有効性を慎重に確認し、昼光照明の手法の展開にかかわる設計者と産業経営者のために資料を作成する。

サブタスクAでは、新築予定や既存の事務所建築、学校建築、商業建築、公共建築などに適用でき、建物全体で高い省電力が達成できる昼光照明の手法として、革新的なものと従来のものの両方に焦点を合わせている。性能評価は使用者の受容度とともに、視覚的、建築的、環境の側面から行われる。

サブタスクAの主な目標は、計画される建物や改築される建物における昼光照明システムや手法の選択と適切な統合に関して、建築設計者のために設計ガイドを作成することである。

主な成果は以下であると考えられている。

- ・昼光を利用し太陽による熱負荷を制御するシステムの能力を評価するため、システムと構成部品について測定すべき量の定義。
- ・さまざまな天空状態を示す人工天空における模型実験の適切な手順に関する推奨。
- ・実際の天空状態下での試験施設における実大の昼光照明システムの試験手順。
- ・世界各地のさまざまな天空状態の下での実大の室と模型によるシステムの性能評価。

3.2 サブタスク B : Daylight Responsive Lighting Control Systems (昼光に応じた照明制御システム)

サブタスクBの課題は、昼光に応じた照明制御システムの設計と評価に関する指針、および精選されたシステ

ムの性能評価に関する資料を作成することである。性能は、人工照明と昼光、あるいは昼光のみを室内の昼光照明に応じて制御するシステムの能力、および、システムに対する使用者の受容度に関して評価される。これにより、建物の所有者、開発者、建築設計者、技術者が昼光に応じた照明制御システムを選択し、建築設計の初期段階で省エネルギー量を推定することを支援する。

主な成果は以下であると考えられている。

- ・昼光に応じた照明制御システム、および市場に出ている基本構成部品に関するデータベース。
- ・昼光利用の機能として人工光を制御するシステムの能力特性を表示し評価するための総合的な監視実施要綱。
- ・必要照度、室内輝度分布、人工照明を制御するシステムの能力、省エネルギーの可能性、使用者の受容度に関する照明制御システムの性能試験と評価の結果。
- ・市場には出ていない若干の最新システムを対象とする上記のパラメータに関する試験結果。
- ・経費と試験結果に基づく照明制御システムの経済的実行可能性の解析に関する資料。
- ・技術者、建築設計者、照明コンサルタント、建物の所有者、産業経営者のための設計ガイド。

3.3 サブタスクC：Daylighting Design Tools（昼光照明の設計ツール）

サブタスクCの課題は、建築設計の実務者のために、精選された昼光照明の設計・解析ツールについて、それらの能力、精度、使い勝手を改良することである。これにより、実務者は種々の昼光照明システムや制御システムの性能を予測し、全体的な建物のエネルギー的側面に対する昼光照明の影響を評価することができる。

サブタスクCの活動には、昼光照明システムと制御システムのための新しいアルゴリズムの開発と有効性の確認だけでなく、現存する昼光照明ツールの能力と精度の評価も含まれている。サブタスクCは、とくに、CADモデルとエネルギー解析法への昼光照明ツールの融合に注目している。

主な成果は以下であると考えられている。

- ・実務者が基本設計段階で用いるための簡易設計ツールと図表の収集。
- ・能力と精度の評価を含む、昼光照明システムと照明制御システムのアルゴリズムに関する報告。
- ・実務者が建築設計の後期段階で用いるべき「ADELINE」で、高度の昼光照明・人工照明設計ツールに関する改良され統合されたパッケージ。

3.4 サブタスクD：Case Studies（事例研究）

サブタスクDの課題は、昼光を意識した設計が、居住者にとって申し分のない視環境と熱環境を維持しつつ、エネルギー効率を大幅に改善することの実証である。こ

のために、サブタスクDでは、種々の気候帯において、慎重に選択した建物に関する監視、評価、資料作成を行う。また、効率的な監視手順を確立し、昼光とエネルギー性能を評価する監視パッケージについて資料を作成する。測定される性能資料は、照度、室内の輝度分布、照明による電力消費、全体のエネルギー消費に関するものである。

革新的な昼光照明システムの重要な側面は、そのようなシステムと視覚的状态に対する居住者の評価である。サブタスクDは、通常の作業環境における昼光照明・人工照明制御システムに対する使用者の満足感あるいは受容度の評価手順を開発する。サブタスクAとBに関連し、その手順は、実大の試験施設の制御された状況下で使用できるように改造される。

主な成果は以下であると考えられている。

- ・監視実施要綱と昼光照明の手順、および、建物のエネルギー性能に関する資料収集。
- ・建物の中の昼光照明に対する使用者の受容度の評価手順に関する資料収集。
- ・昼光照明を施し実際の居住環境を設えた建物に対する省エネルギーの可能性と使用者の反応に関する資料収集を含む事例研究の報告。

4. 昼光照明に関する CIE 第3部会の活動

CIEの第3部会「Interior Environment & Lighting Design：屋内環境と照明設計」では、7つの技術委員会、すなわちTC 3-11、TC 3-12、TC 3-15、TC 3-19、TC 3-25、TC 3-32、TC 3-33が昼光照明に関係する研究活動を行っている。第3部会ではウェブサーバ(<http://ciediv3.entpe.fr>)を設置した。その内容に基づいて、TC 3-11、TC 3-12、TC 3-15、TC 3-25の研究活動を紹介する。

4.1 TC 3-11：Daylighting Calculation Methods（昼光照明計算法）

TC 3-11の目的は、昼光照明の計算法を調査、再考、作成することである。このため、現行の昼光照明計算法を調査し、技術資料を収集した。

現在、技術報告書のドラフト第1版が準備されている。この中で、TC 3-11は、それぞれの昼光照明計算法で何が得られ、どのような場合に用いるのが適切であるかを明らかにした。また、事例研究によって、コンピュータで使用する計算法の有効性を示している。

4.2 TC 3-12：Daylight and Solar Radiation Data for Building Performance（建物性能評価のための昼光・日射資料）

TC 3-12の目的は、さまざまな気候帯について現存する昼光と日射の資料を国際的に調査することである。TC 3-12は、それらの資料を気象学的な量の相関関係と

して解析し、実測資料が得られない場所における昼光照度を予測するための適切な方法論を開発する。また、コンピュータ・ソフトウェアに適用できる天空モデルの表示システムを開発する。

TC 3-12は発光効率に関する報告書を作成した。また、CIE 標準晴天天空と CIE 標準曇天天空を含む幾つかの天空輝度分布に適応する SDF (Standard Digital Format: 標準デジタル形式) を開発した。これは IEA Task 21のサブタスクCに関連しており、現在、有効性の確認作業が進行している。

4.3 TC 3-15: Sky Luminance Models (天空輝度モデル)

TC 3-15の目的は、CIE 標準晴天天空と CIE 標準曇天天空の間の天空状態を示す輝度分布モデルを決定し、包括的な天空輝度分布モデルを開発することである。TC 3-15は天空輝度分布モデルに関する種々の提案を調査し、検討している。

4.4 TC 3-25: Coordination and Development of the International Daylight Measurement Programme (IDMP) and its Data (昼光測定プログラム (IDMP) およびそのデータの調整と展開)

TC 3-25の目的は、世界的な規模で昼光と日射の連続測定を促進し、実測資料を必要とする CIE の TC やそのほかの機関と連携することである。CIE は1991年を IDMY (International Daylight Measurement Year: 国際昼光測定年) とし、この年に開催された第22回 CIE メルボルン大会において、IDMP (International Daylight Measurement Programme: 国際昼光測定プログラム) の開始を宣言した。IDMP に従い、現在、50カ所を超える世界各地の測定所で、昼光と日射に関する実測資料の収集を行っている。

TC 3-25は、活動の活性化を図り、実測資料の相互利用を促進するため、ウェブサーバ (<http://idmp.entpe.fr>) を設置した。ここでは、IDMP の歴史、測定所の設置や実測資料の処理に関する推奨、TC 3-25の目的、活動状況、委員会の議事録、委員名簿、実測資料のサンプルなど、IDMP に関する詳細な情報を提供している。

図1 カナダ国立美術館の団体専用玄関ホール

5. おわりに

おわりに、オタワのカナダ国立美術館を紹介する。旅行ガイドブックには、自然光をふんだんに取り込んだガラス張りのモダンな美術館で、カナダを代表するモシュ・サフディの建築とある。図1は美術館1階の団体専用玄関ホールである。この上は吹き抜けの中庭で、1階のホール中央に当たる部分に池が配されている。池の底面はガラスで、ほの暗いホールに、ゆらゆらと光を落としていた。

IDC '98では、昼光利用のエネルギー的側面ばかりが強調されていると感じた。IEA Task 21のサブタスクが居住者の評価を課題としているように、人間に対する質的側面を忘れてはならないと考える。