

3. 研究開発の結果報告

(1) 研究開発内容

研究開発項目 1. 「トップライト各部材の光学特性の測定（実施期間 H21. 8～H22. 3）」
（H22 年度に研究開発完了）

研究開発項目 2. トップライトの配光データの構築（計画実施期間 H21. 10～H22. 7）
【分担：静岡県工業技術研究所】

研究開発項目 1 で計測した構成部材の拡散透過率、拡散反射率データから、光学シミュレーションに必要な双方向反射率分布関数（BRDF：Bidirectional Reflectance Distribution Function）、双方向透過率分布関数（BTDF：Bidirectional Transmittance Distribution Function）を導出した。これらの関数を用い幾何光学的な手法や光学シミュレーションを行うことで、任意の太陽光条件（太陽高度、直射日光強度、天球光強度）に対するトップライトの配光データを構築する手法を検討した。上記の技術開発により、トップライトの材料を変えた時の配光データを算出、データ化を実施した。当初計画した実施内容については計画通りに実施された。

研究開発項目 3. 新規製品の設計・開発（計画実施期間 H21. 10～H23. 3）
【分担：（株）スカイプランニングと静岡県工業技術研究所が共同で検討中】

研究開発項目 1 で測定した部材の光学特性、研究開発項目 2 で静岡県工業技術研究所が算出した配光データ、研究開発項目 4 で算出する照明評価値を参考に、（株）スカイプランニングが新製品の開発を行った。その結果、様々な施工対象、施工条件に対応できるよう、異なる配光のバリエーションを持つ新製品が開発された。当所の計画では研究終了後の H23. 4 以降なるべく早い時期での製品化を目標にしていたが、予定より早く新製品「スカイトップライト L-デザイン」が H22 年 11 月に発売開始された。

研究開発項目 4. 設置後の照明シミュレーション（計画実施期間 H22. 1～H22. 12）
【分担：静岡県工業技術研究所】

研究開発項目 2 でデータ化された任意の太陽光に対するトップライトの配光データに基づいた照明シミュレーションにより施工時の照度分布の計算方法を検討した。実務上、簡単に使用できることが望まれるため、計算結果の精度を落とすことなく簡便に照明評価値を算出する方法を検討した。当初計画した実施内容については計画通りに実施された。

5. 模型実験による検証（計画実施期間 H21. 9～H22. 7）
（H21 年度の計画変更により実施取りやめ）

6. 工場の実物実験による製品評価（計画実施期間 H22. 1～H23. 3）
【分担：（株）スカイプランニング】

（株）スカイプランニングの三ヶ日工場を改装し、実際の試作品を施工した。季節や時間による太陽高度の変化がある場合についてシミュレーション結果と比較するための実験環境を構築した。屋内外照度測定システムを用いて、室内の輝度・照度分布や温度などの同時計測を行った。

【分担：静岡県工業技術研究所】

H22 年度に購入した 2 次元色彩輝度計を用い、工場の床に敷いた反射率が既知の白色シートの輝度から、床面の照度を算出するプログラムを作成し、床面照度を 2 次元データとして計測した。計測データとシミュレーション結果の比較を行い、シミュレーション結果の妥当性を検証した。

当初計画した実施内容については計画通りに実施された。

(2) 得られた成果

研究開発項目 1. 「トップライト各部材の光学特性の測定（実施期間 H21. 8～H22. 3）」

(H22 年度の研究開発完了内容)

トップライトの性能（照明）シミュレーションを実現するために、トップライトの構成部材（網入りガラス、拡散板など）の光学特性の測定を実施した。（株）スカイプランニングが入手可能な試料を測定可能な寸法に加工し、静岡県工業技術研究所の変角分光測色機で、各試料の拡散透過率、正透過率、拡散反射率について分光測定した（40 サンプル）。特に、シミュレーションに重要な拡散透過率については、適切なシミュレーションが可能でできるだけ測定数が少ない角度条件（1315 条件）を導出し、その角度条件での測定を実施した。測定した拡散透過率の結果の一例を図 1 に示す。

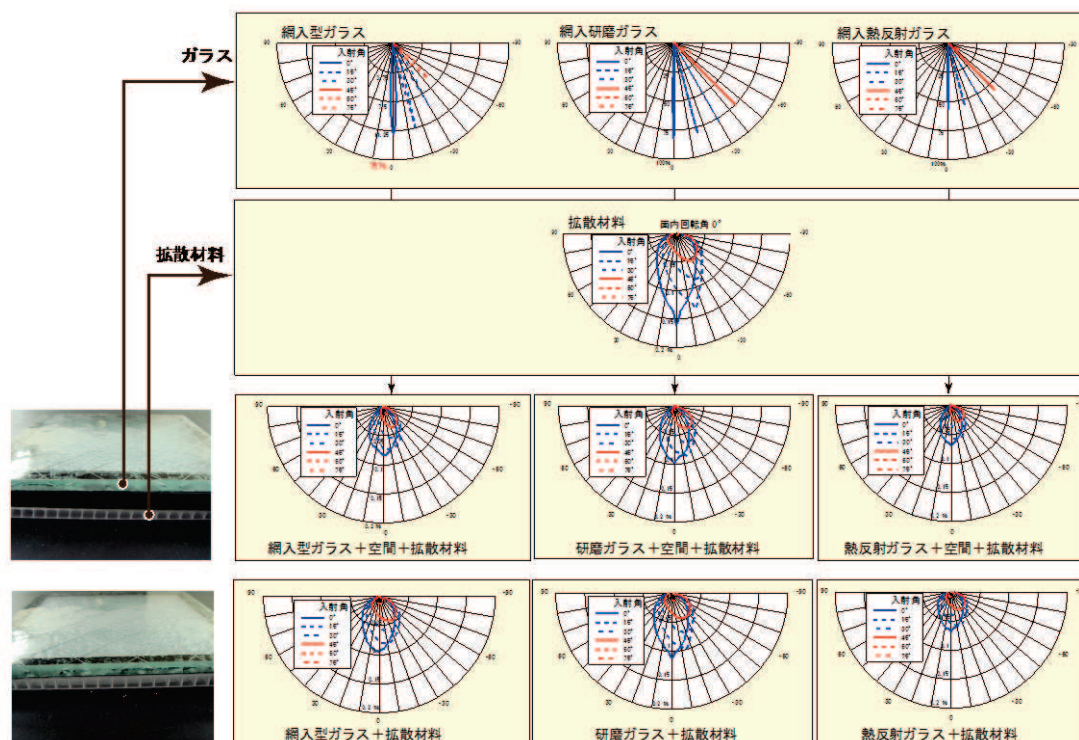


図 1 測定した拡散透過率の一例

研究開発項目 2. トップライトの配光データの構築（計画実施期間 H21. 10～H22. 7）

研究開発項目 1 で計測したデータから、光学シミュレーションに必要な双方向反射率分布関数、双方向透過率分布関数を導出した。双方向反射率分布関数については、拡散試料の特性が入射光の方向依存性（面内異方性）を持つため、静岡県工業技術研究所で専用プログラム（図 2）を開発し、双方向透過率分布関数を構築した。得られた双方向反射率分布関数、双方向透過率分布関数に基づき、光学シミュレーションシステムにより任意の太陽光条件（太陽高度、直射日光強度、天球光強度）に対するトップライトの配光データの構築方法を確立した。得られた配光データの一例を図 3 に示す。以上のように、当初の目標であったトップライトの配光データの構築は達成された。

※本研究成果については、照明学会平成 22 年度照明学会全国大会（H22. 9. 8）で発表した。

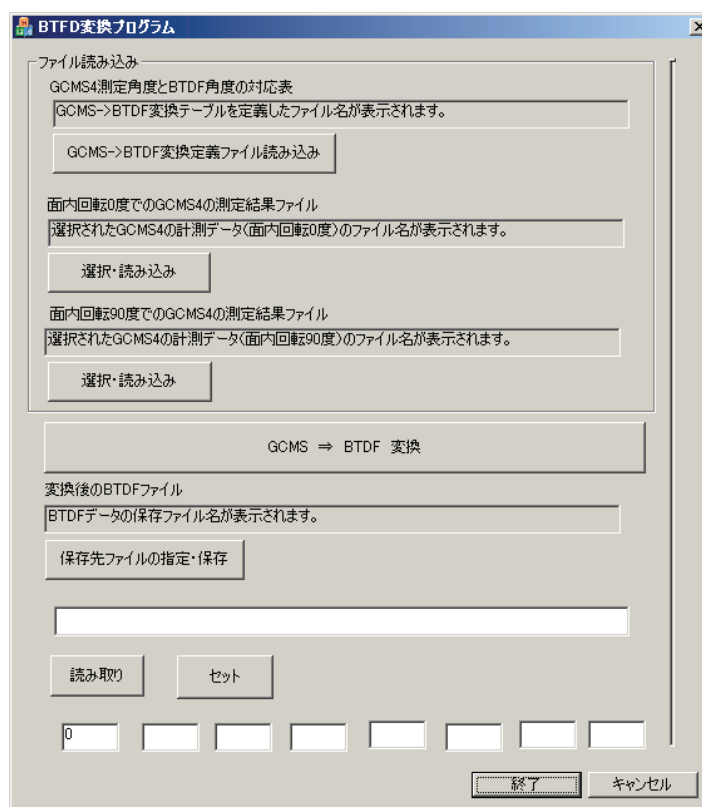
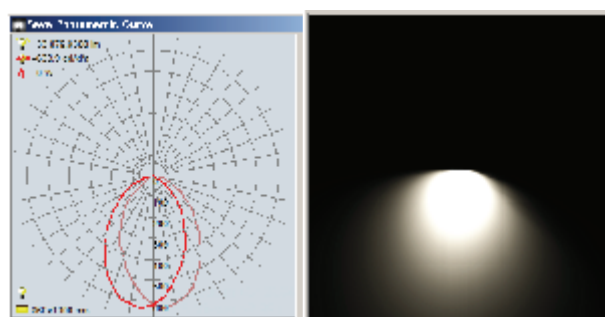


図 2 開発した双方向透過率分布関数 (BTDF) 変換プログラムの画面



北緯 35° 51′ 東経 139° 31′、夏至正午、晴天時の配光データ
※使用するガラス、拡散板の光学特性に基づき算出

図 3 計測した光学特性データと太陽光条件に対するトップライトの配光データ

研究開発項目 3. 新規製品の設計・開発 (計画実施期間 H21. 10~H23. 3)

【分担：(株) スカイプランニングと静岡県工業技術研究所が共同で検討】

得られた研究成果を活用した新製品開発を実施し、新製品として「スカイトップライト L-デザイン」を、H22 年 11 月に発売開始した。この製品は、研究当初の問題点であった施工時の照明効果を把握できないという問題点を本研究成果に基づき解決し、事前に照明シミュレーションでその効果を検討することが可能な提案型商品である。提案の際には、本研究成果を利用し、以下の 3 つのステップで採光設計を実施する。

- ステップ 1 採光計画に当たって計画の建物概要、目的とする室内照度の設定
- ステップ 2 その上で天窗の配置計画の立案
- ステップ 3 天窗照明シミュレーションによる検証→必要に応じて配置計画の変更

開発した新製品は、H23.3月に竣工した(株)カインズの新流通センター(新矢板物流センター:栃木県矢板市)に採用された。

また、トップライトの考慮事項の一つである太陽光の熱対策についても、赤外線反射ガラス、赤外線吸収素材を使用した製品についても検討した。熱対策製品については、今後の製品化を計画している。

※本製品の内容については、「金属屋根 施工と管理」2010年10月号に掲載された。

※本製品については、以下の新聞掲載があった。

- 平成 22 年 11 月 12 日 日本経済新聞
- 平成 22 年 11 月 12 日 静岡新聞
- 平成 22 年 11 月 17 日 読売新聞
- 平成 22 年 11 月 18 日 中部経済新聞

研究開発項目 4. 設置後の照明シミュレーション (計画実施期間 H22.1~H22.12)

【分担: 静岡県工業技術研究所 ((株) スカイプランニングと共同で実施)】

研究開発項目 2 でデータ化されたトップライトの配光データに基づいた照明シミュレーションを、実務上、簡単に使用できるよう簡便に照明評価値を算出する方法を検討した。その結果(株)スカイプランニングと共同で、以下のようなトップライト設計手順を構築した(図 4 とその脚注参照)。研究開発項目 3 については、この設計手法を利用している。

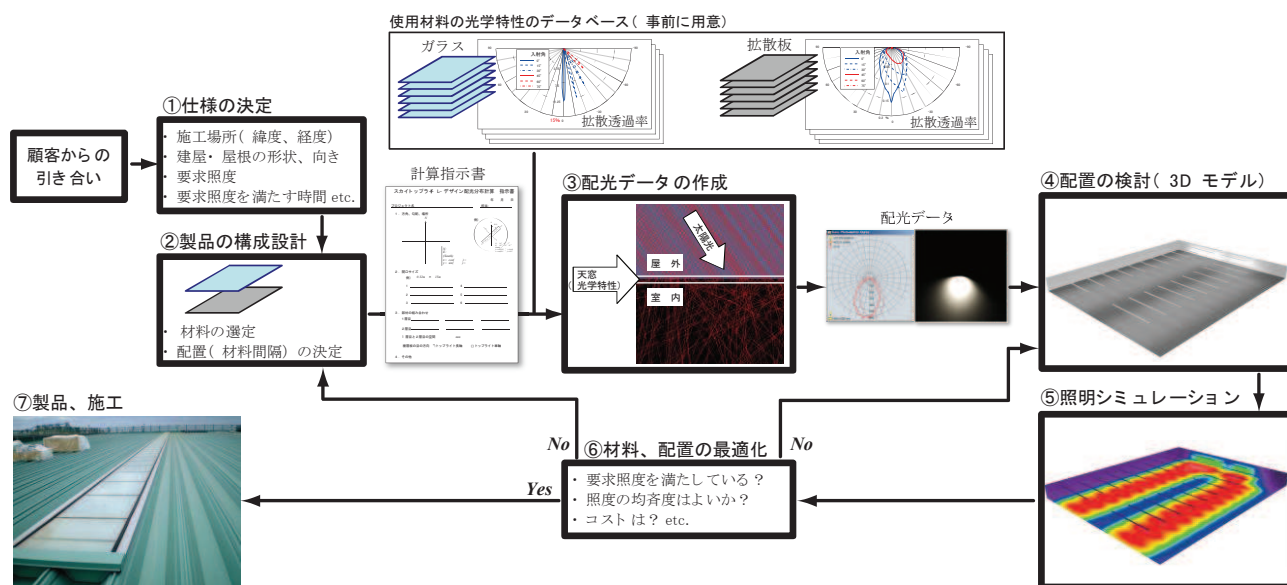


図 4 開発した設計手法

- ① 仕様の決定: 顧客からの引き合いに対し、施工場所(緯度、経度)、建屋・屋根の形状、向き、要求照度、要求照度を満たす時間などの製品仕様を決定する。
- ② 製品の構成設計: 仕様に対し適切と思われる材料の選定、配置(材料間隔)を決定する。また、決定した構成での配光データの計算指示書を作成する。
- ③ 光データの作成: 既用意してある窓材(ガラス板、拡散板等)の光学特性(研究開発項目 1 の成果)と、施工場所の緯度・経度、日時に対応した屋光条件から光線追跡法を用いた光学シミュレーションを使用して配光データを作成する(研究開発項目 2 の成果)。
- ④ 配置の検討(3Dモデル): 対象建築物の構造から適切と思われる製品の配置設計案を作り、照明シミュレーションが行えるよう 3次元モデルを作成する(研究開発項目 4)。
- ⑤ 照明シミュレーション: ③で作成した配光データと、④の配置設計案に基づき照明シミュレーションを行い、作業面照度等の評価値を算出する(研究開発項目 4)。

※④⑤の作業は作業の簡便化のために照度シミュレーションのフリーウェアである DIALux(DIAL GmbH 製)を使用して行っている。

- ⑥ 材料、配置の最適化：⑤の照明シミュレーションの結果が①で決定した仕様を満足しているか判定する。満足していない場合は②製品の構成設計を変更するか、④で検討した配置設計案を再検討し、満足いく結果が得られるまで検討を行う。
- ⑦ 製品、施工：⑥で決定した最適な材料構成、配置の製品を顧客に提案する。あわせて、照明シミュレーション結果も提示する（研究開発項目3の成果）。

※本設計手法については、H22年9月に「室内照度シミュレーション方法」として特許出願するとともに、「金属屋根 施工と管理」2010年10月号に掲載された。

6. 工場の実物実験による製品評価（計画実施期間 H22.1～H23.3）

【分担：（株）スカイプランニング】

（株）スカイプランニングの三ヶ日工場において計測した映像データの例を図5に示す。照度計等の計測器の配置図を図6に示す。計測した照度データの結果の一例を図7に示す。工場内では照度を多点計測しているが、トップライトに適切な拡散板を用いれば、測定場所が違っていても照度はほぼ同じになっていることが計測された。また、トップライトの輝度計測により、シミュレーションした配光データの妥当性が確認され、グレア値の評価の検討が合わせて可能であることも確認した。

加えて、照度計測結果からトップライトの省エネ効果についても検討した。計測した照度データからトップライトによる照明の節電効果を考察した結果を図8に示す。図8から分かるように、作業に必要な照度 500ルクスをトップライトのみで得られる時間は、夏期で平均約 7.2 時間、冬季で平均約 4.8 時間であり、その間は照明電力が不要になり節電効果が高いことが確認された。

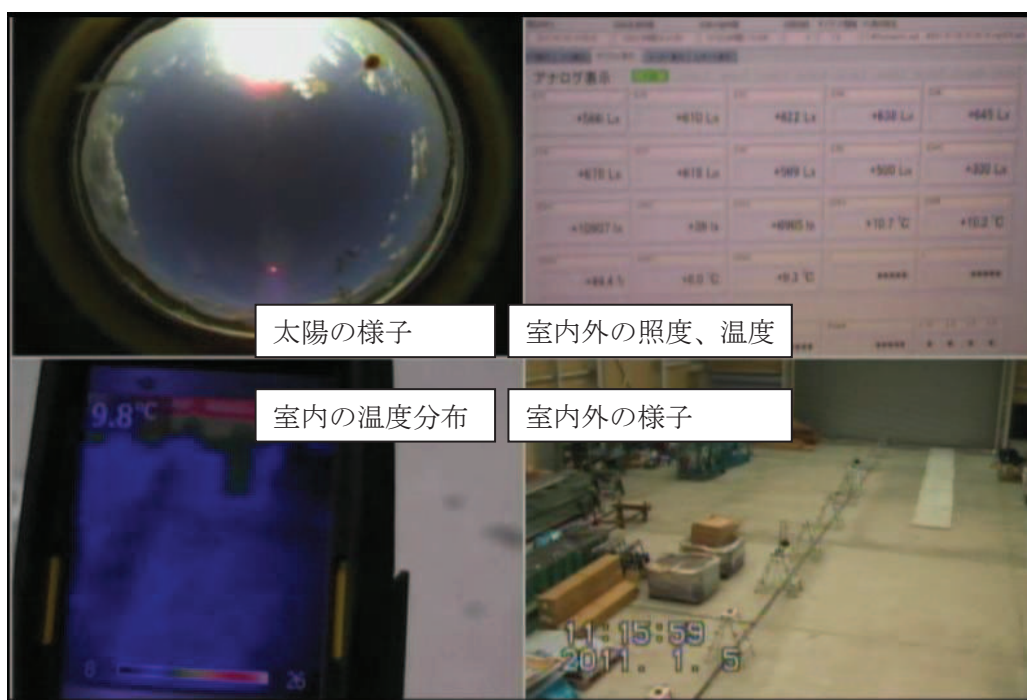


図5 工場での照明環境の計測映像

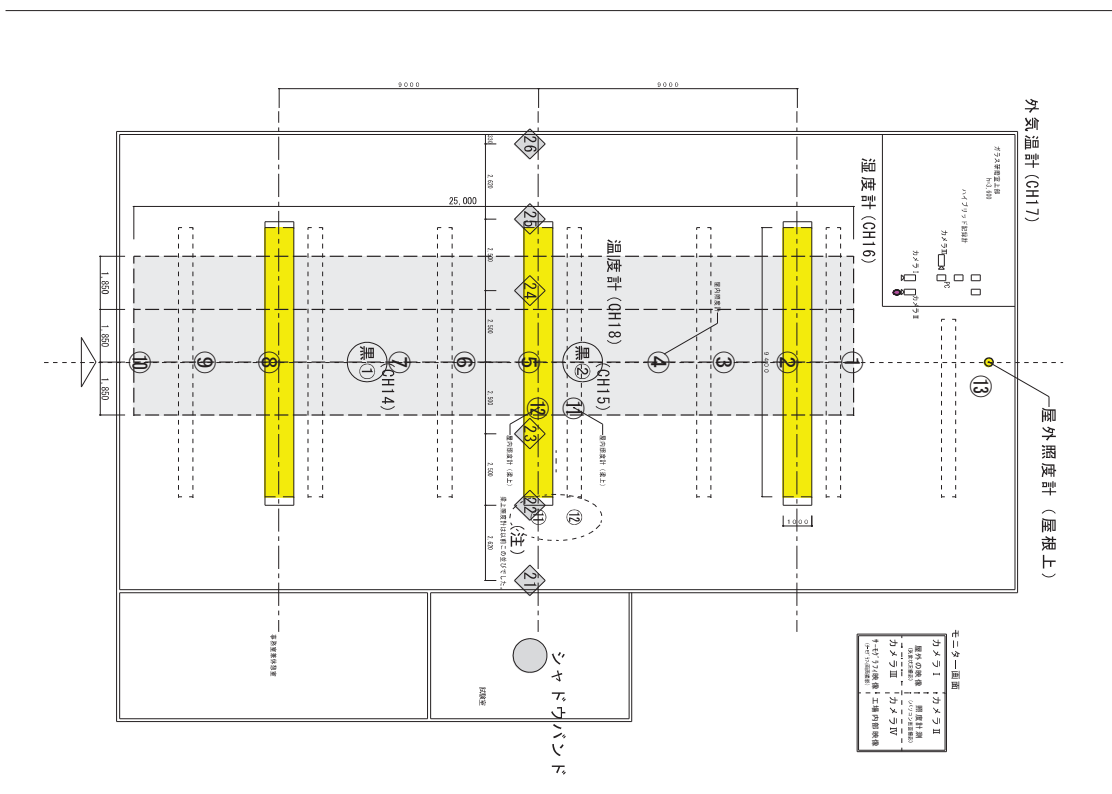


図6 計測器の配置図 (○、◇が照度計)

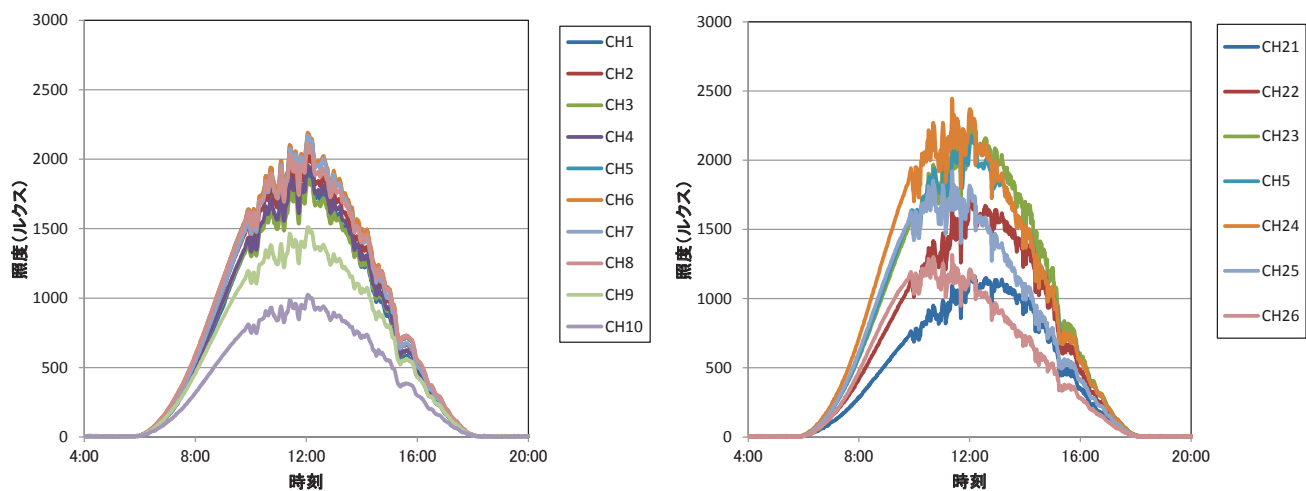


図7 拡散板付きのトップライトを施工した工場内の照度測定結果 (一例)
 左：工場の中央長手方向、右：工場の中央横方向の結果

500lx 以上の照度が得られる時間は、
夏季で約 7.2 時間/日、
冬期で約 4.8 時間/日であった。

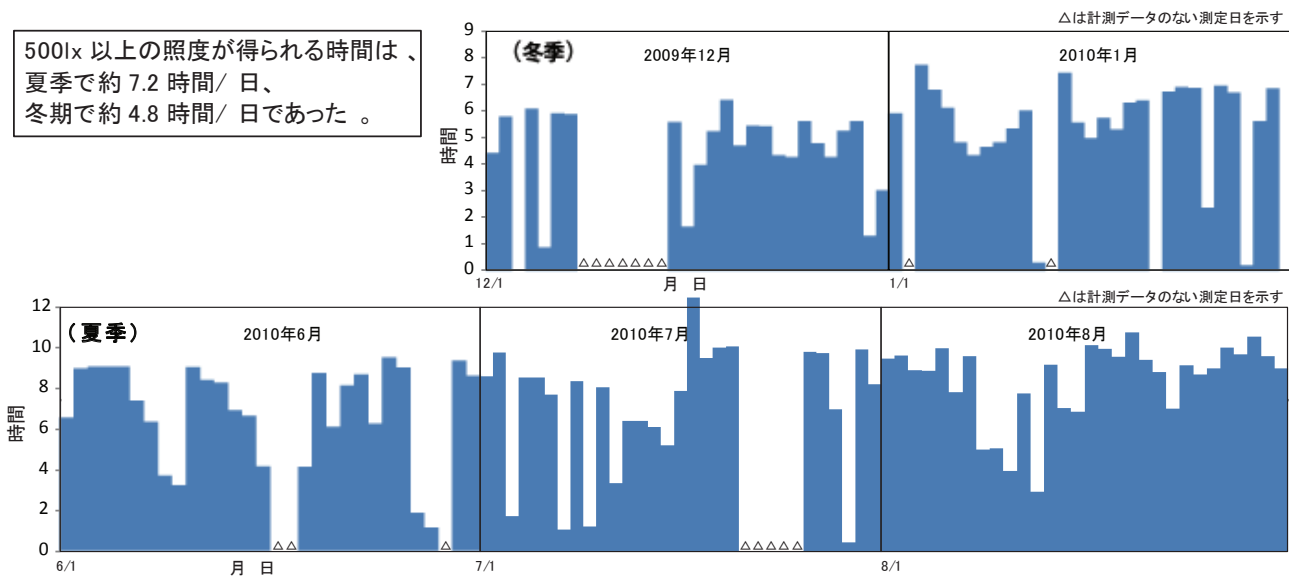


図 8 トップライトのみで作業に必要な照度 500 ルクスを得られる時間

【分担：静岡県工業技術研究所】

H22 年度に購入した 2 次元色彩輝度計を用い、工場の床に敷いた反射率が既知の白色シートの輝度から、床面の照度を算出するプログラムを作成し、床面照度を 2 次元データとして計測した。白色シートの配置位置を図 9 に、測定時の様子を図 10 に示す。2 次元色彩輝度計は、輝度分布を測定する機器であるが、光拡散性のある反射率が既知の材料を置くことにより、輝度の計測結果をその場所の照度に換算することができる。白色シートを敷いた床面の照度の計測結果を図 11 に示す。照度シミュレーション結果と比較するため、計測結果を床面の座標に画像変換により投影するプログラムを作成し、測定結果を床面座標系に投影した (図 12)。得られた結果とシミュレーション結果 (図 13) を比較したところ、実測データとシミュレーションデータの結果はよく一致し、照度の評価には問題ないレベルであることが確認された。

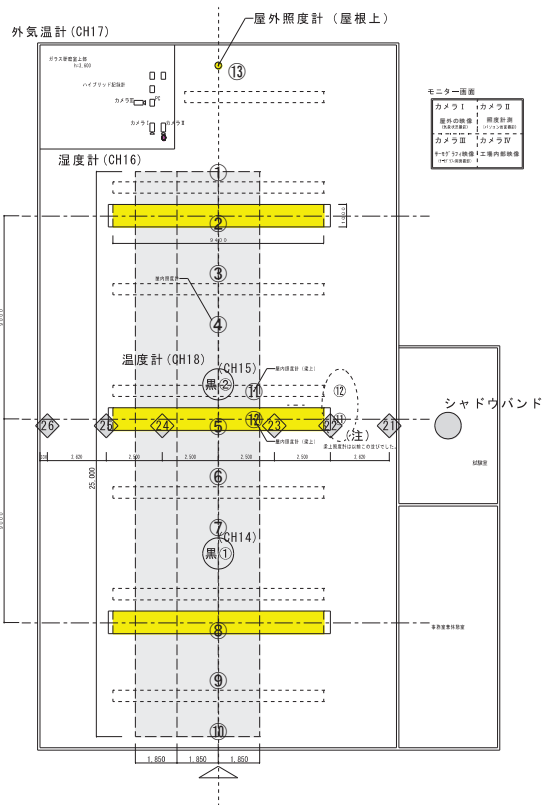


図 9 工場の配置 (灰色部が白色シート)

図 10 実験風景 (図 9 左上カメラ位置から撮影)

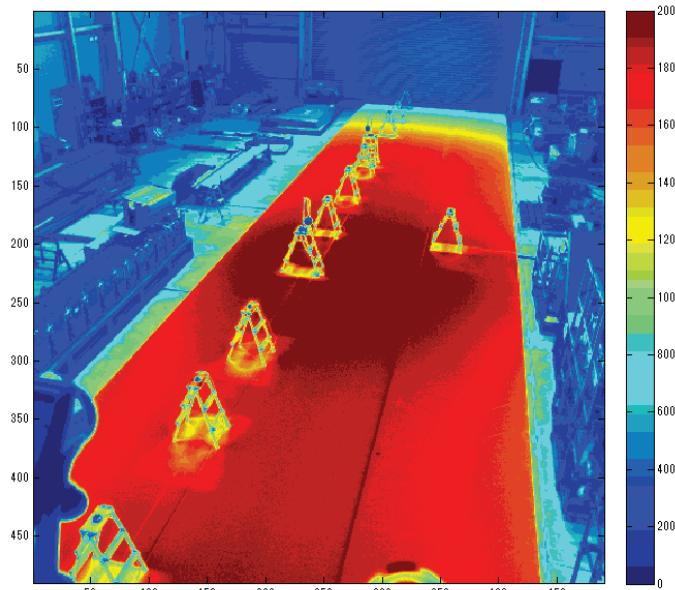


図 11 二次元色彩輝度計の計測結果から算出した白色シート上の照度値 (ルクス)

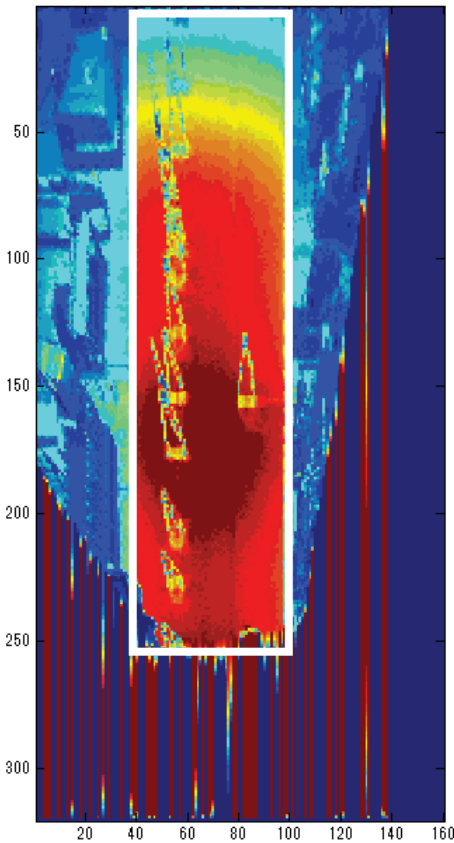


図 12 図 10 の結果を床面上に投影されるようデータ変換した結果 (白枠の部分が白色シート部)

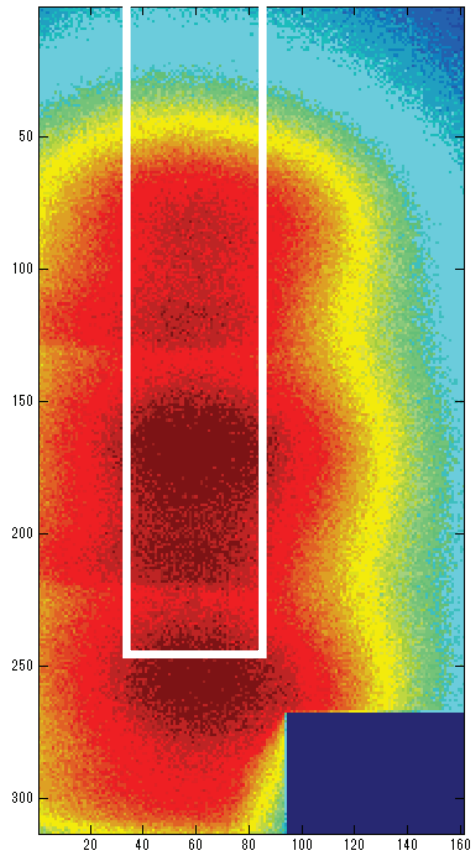


図 1 3 シミュレーション結果（白枠の部分が白色シート部）

(3) 今後の展開

開発した新製品の販売促進のために、H23年度に以下の展示会に参加する予定である。

- 第5回ビジネスマッチングインはままつ 2011 7月20日～21日 於：アクトシティー浜松
- ネキスポ関西 2011年9月7日～9日 於：インテックス大阪
- メッセナゴヤ 2011年11月9日～12日 於：ポートメッセなごや

本製品の効果の検証として、H23年度は、新製品を納入した（株）カインズの物流倉庫において室内照度の計測を行うとともに、本製品による省エネ効果（照明電力の削減）を東芝ライテック（株）とともに計測する計画をしている。

長期的な展望としては、人工照明と組み合わせた省エネ照明設備として積極的に提案を行うとともに、海外への売り込み（国内企業の海外工場、海外企業）も視野に入れた営業戦略を検討する。

(4) 知的財産権について

① 研究開発の結果得られた知的財産権

発明の名称：室内照度シミュレーション方法

出願番号：特願 2010-198731

出願日：平成22年9月6日

出願人：静岡県、株式会社スカイプランニング、株式会社産学連携機構九州

発明者：鈴木 敬明、加藤 俊文、小野 巳吉、外山 勸、古賀 靖子

概要等：板状光学部材毎に実測値に基づく双方向透過率関数と双方向反射率関数からなる固有の光学特性関数を用意し、その光学部材を複数枚組み合わせて構成した天窓について、その天窓を構成する各光学部材の固有の光学特性関数と構成態様に基づく光学的な物理モデルを作成し、その光学的な物理モデルを用いてその天窓から導入された昼光の天窓配光データを算出し、その配光データを利用してその天窓を施工したときの室内照度をシミュレーションする。光学部材毎に固有の光学特性関数をデータベース化したコンピュータシステムによりシミュレーションする。

② 今後の知財権確保について

特許については、外国出願を検討する。