

# 建材組込照明の光演出空間特性評価法

## Evaluation of Light Energy Distribution in Room Illuminated by Multiple Light Sources

柴野 伸之\* · 星野 洋\* · 天沼 はるか\*  
Nobuyuki Shibano Hiroshi Hoshino Haruka Amanuma

光演出空間特性の評価において、ラジオシティ手法を計算手法の基盤として境界条件に照明器具配光特性データ、素材表面の反射率データ、および部屋形状データを設定することによって、実物空間試作の代用となる定量的評価が可能で、しかも精度の良い光環境シミュレーション技術を開発した。

また実物大の部屋形状における照度について、実測値とシミュレーション値とを比較した結果、誤差が10%以下の精度であることが確認できた。さらにVR技術と融合することで、実際の部屋空間にいるような感覚を伴って光環境を検討することが可能となり、実物の空間試作にかかるコストや時間を削減できると考えられる。

In the evaluation of light energy distribution, a high-accuracy simulation technology of a light environment has been developed. This technology, which is based on the radiosity method as the calculation method, enables the quantitative evaluation of a room without building actual space by using light distribution data of lighting fixtures, reflection rate data of the material surface, and room shape data as boundary conditions.

Comparison of the measured value and simulated value of illuminance in a life-size room indicated the error to be less than 10%. In addition, integration with virtual reality technology enables evaluation of a light environment with a sense of being in an actual room, thereby reducing the cost and time required for creating a real space.

### 1. ま え が き

2006年6月に住生活基本法が公布・施行されて以降、住宅政策が量から質へと明確に転換された。それに伴い、住空間の質的向上としてより快適な生活空間を創り出すことが重要となってきている。筆者らは、室内空間における快適環境を実現するため、人を取り巻く要素、とくに空間形状と連動する光環境、温熱環境、空気質環境、音環境を対象として、これらの環境予測をシミュレーションによって定量化し、客観的数値による快適性の評価を可能とする空間特性評価技術の開発に取り組んでいる。そのなかでもっとも早く実現できる可能性があり、事業的観点からも必要性の高い光環境の快適化に取り組み、独自開発の数値シミュレーションによって得られる照度分布などの光エネルギー分布の定量化による光環境の空間特性評価法を確立した。

快適な光環境は、暗過ぎず、まぶしくなく、夜間は眠り

を妨げず、さらに省エネルギーであることなど、居住者の生活行動と連動していることが必要である。従来のように、部屋天井の中央部に主照明が単一で設置される場合には、このような光環境の実現は困難であったが、複数のLED光源を組み込んだ建材とその配置によって快適な光環境を提供できる可能性が生じてきた。

建材組込照明によって、壁や床付近などこれまでは設置が困難であった場所に複数の光源を設置できるようになると、従来の知見だけによる快適性の評価では十分とはいえ、設置効果検証のために実物大の部屋空間を作製して照明器具を配置し、照度分布や顔面照度を測定することが必要となる。しかし実物大の部屋空間を作製するには多くのコストと時間を要し、また光環境は部屋形状や設置される設備の影響を受けることからさまざまなバリエーションの検討も必要となり、実物空間の代用となる精度の良い定量的な評価が可能なシミュレーション技術が必須となっている。

\* 新規商品創出技術開発部 New Product Technologies Development Department

光環境シミュレーションは、1979年 Whitted のレイトレーシング手法<sup>1)</sup> や 1984年 Cohen のラジオシティ手法<sup>2)</sup> の発表から現在に至るまで研究開発と実用化が進み、現在では商用ソフトウェアとして米国 ORA 社の LightTools<sup>\*1)</sup> やインテグラ社の Inspire<sup>\*2)</sup> など多数が使用されている。LightTools などが採用するレイトレーシング手法は器具設計などに有効であるが、空間全体の光エネルギー分布を求めることには適していない。一方、Inspire などが採用するレイトレーシングとラジオシティとの組合せ手法は、CG 描画を主眼としているために空間全体の照度分布の傾向を求めることはできるが、光エネルギー分布の精度についてはその情報が無い。また計算ロジックが非公開であることから精度保証に問題があり、かつ機能拡張性が不十分である。そこで筆者らは、保有する VR 技術<sup>3), 4)</sup> と照明シミュレーション技術を融合し、拡張した光環境シミュレーション技術を開発した。

本稿では、まず光環境シミュレーションの精度検証として実測値と計算値の比較を示し、次にシミュレーションに必要な境界条件について述べる。さらに計算手法の概要について述べ、最後に光環境を実物大立体映像として表示できる VR 技術への応用について紹介する。

## 2. 光環境シミュレーションの精度検証

### 2.1 実測値と計算値の比較検証

実物大の住空間において、実測値とシミュレーションから得られる計算値とを比較してその精度を検証する。

#### 2.1.1 対象空間の設定条件

住空間は 6 畳弱の幅 3640 mm、奥行 2730 mm で、天井高さが 2385 mm である。照明は天井四隅近くに同一種類の LED 照明をおおの 1 灯ずつ、4 灯配置している。また床面は明るいオーク材のフローリング、壁面と天井面は白色の壁紙である。

#### 2.1.2 光環境シミュレーションの設定条件

シミュレーションでは、同サイズの部屋形状データを作成し、照明器具配光特性データ、素材表面の写真データ、および反射率データを用いる。なおこれらのデータは計測して取得する。図 1 に住空間の実物写真と作成したシミュレーションモデルを示す。



(a) 実物写真 (b) シミュレーションモデル

図 1 対象空間の事例

### 2.1.3 比較検証結果

測定箇所は照度について 11 点 (床面上 9 点、壁面上 2 点)、Feu<sup>5)</sup> について 4 点である。図 2 ~ 4 にその位置を示す。なお、Feu とは明るさ感指標として近年新しく定義され、視点位置を定めた際の視野範囲における輝度分布平均を基に指標化したものである。

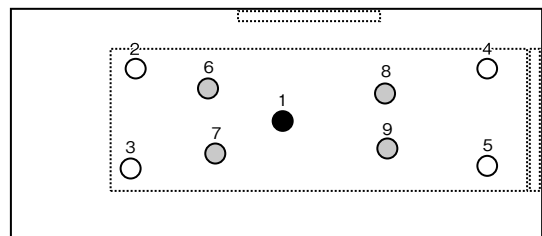


図 2 床面上測定箇所

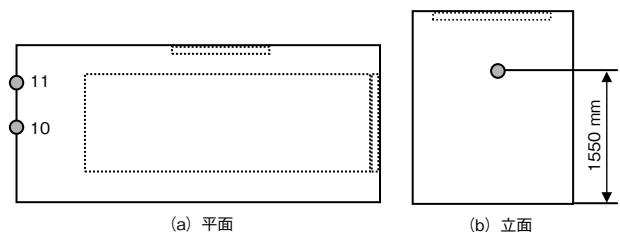


図 3 壁面上測定箇所

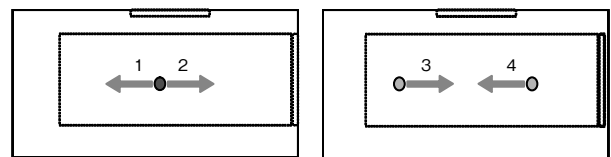
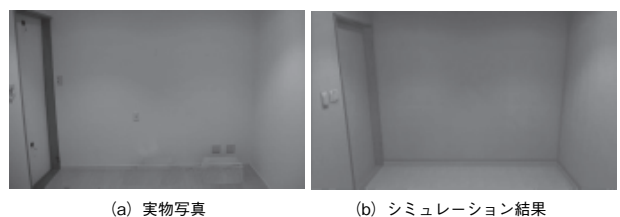


図 4 Feu測定箇所 (視点高さ 1550 mm)

実物写真とシミュレーション結果を可視化した CG を図 5 に、また照度および Feu の実測値とシミュレーション値の比較検証結果を表 1、表 2 に示す。精度は実測値を基準に、シミュレーションとの差異の割合を誤差として百分率で示す。また照度と Feu は、シミュレーション結果を表示する画面上から任意の位置を指定することで取得することができる。この結果から、室内空間における照度と Feu において、誤差 10 % 以下の計算精度を実現できることがわかる。



(a) 実物写真 (b) シミュレーション結果

図 5 実測とシミュレーション結果の比較

表1 照度の実測値とシミュレーション値の比較検証結果

測定点	実測値 (lx)	シミュレーション (lx)	誤差 (%)
1	134.0	130.9	2.3
2	124.0	119.3	3.8
3	120.0	119.3	0.6
4	125.0	114.6	8.4
5	120.0	114.3	4.7
6	128.0	127.2	0.6
7	124.0	126.8	2.3
8	136.0	130.1	4.3
9	131.0	131.8	0.6
10	62.7	66.4	5.9
11	64.1	68.6	7.2

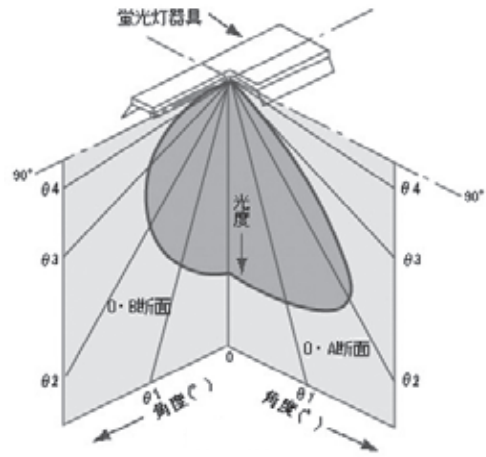


図7 照明器具の配光特性データ

表2 Feuの実測値とシミュレーション値の比較検証結果

測定点	実測値 (lx)	シミュレーション (lx)	誤差 (%)
1	10.57	10.55	0.2
2	10.86	10.66	1.8
3	10.46	10.38	0.8
4	10.40	11.09	6.6

### 3.1.2 素材表面の反射率データ

これは入射光と反射光との光エネルギー強度の比であり、輝度計を用いて測定する。具体的には図8に示すように、完全拡散板と素材の輝度をおのおの測定し、完全拡散板の既知の反射率から素材の反射率を求めるものである。完全拡散板には、ITE（映像情報メディア学会）指定のグレースケールチャートを使用する。

## 3. 光環境シミュレーションの境界条件

### 3.1 境界条件の測定と作成

精度の良い計算値を得るためには、照明器具の配光特性データ、素材表面の反射率データ、および部屋形状データを境界条件として設定する必要がある。光環境シミュレーションの手順を図6に示す。

#### 3.1.1 照明器具の配光特性データ

照明器具配光特性データとは、図7に示すように方位と放射される光エネルギーの強度を表し、配光測定装置によって計測する。なお照明器具には個体差があるため、事前に測定してばらつき等を確認する必要がある。本検証では実測に用いた照明器具を取り外し、配光測定を行っている。

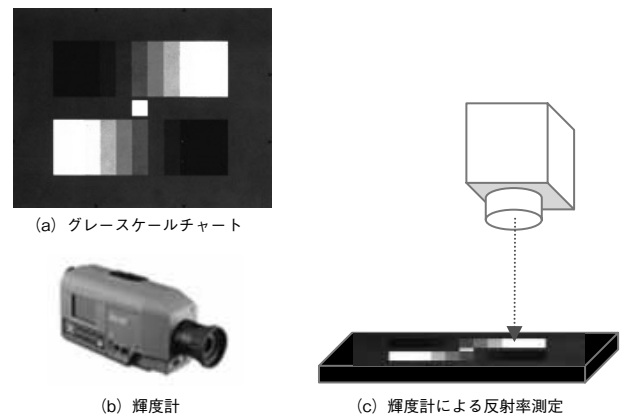


図8 反射率データ測定

#### 3.1.3 部屋形状データ

部屋形状データは、3次元形状モデリングソフトウェアを用いて作成するが、3D CADを用いて作成したデータを使用することも可能である。このデータは、表3に示すようにソリッドデータと分類され、このままでは写真データの貼付けや光エネルギー計算には適さない。そのためデータ構造の異なるサーフェスデータに変換する必要があり、本光環境シミュレーションはデータ構造変換機能を有している。

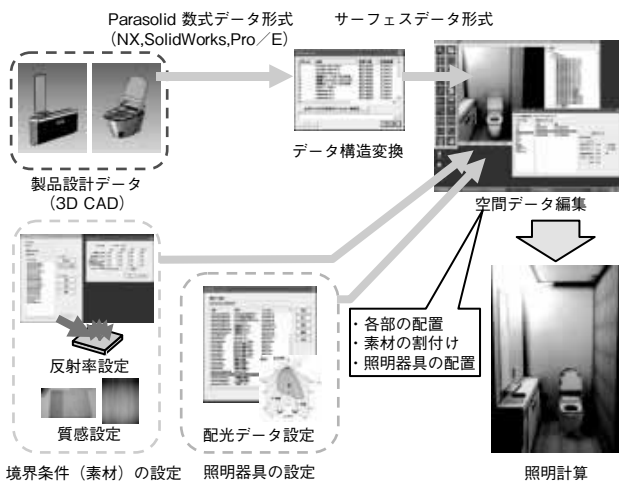


図6 光環境シミュレーション全体の手順

表3 ソリッドデータとサーフェスデータとの違い

	ソリッドデータ	サーフェスデータ
作成ツール	3DCAD	サーフェスマデラ
内部データ構造	計算式で形状を表現	頂点座標と面の複合で形状を表現
製造との結合	○ 金型 NC加工へ直結	× 金型 NC加工へ直結なし
質感（視覚）表現	×	○ テクスチャ、表面光沢
照明シミュレーションとの関係	×	○
リアルタイム／インタラクティブ性能	△	△

### 3.1.4 空間データ編集機能

照明器具配光特性データ、素材表面の反射率データ、および部屋形状データを境界条件として設定し、光環境シミュレーションを実行するために空間データ編集ソフトウェアを開発している。

## 4. 計算手法の概要とVR技術への応用

### 4.1 ラジオシティ手法

光エネルギーの伝達アルゴリズムとして、離散近似法であるラジオシティ手法を利用する。すなわち、空間形状表面を分割し、面と面とのエネルギー伝達を相互反射計算によって求める。図9に空間形状表面分割の実施例を示す。

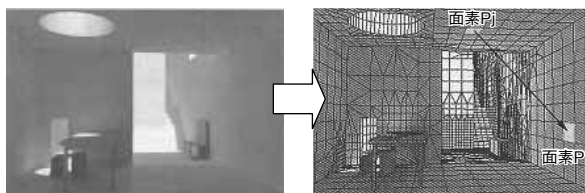


図9 ラジオシティ手法の実施例

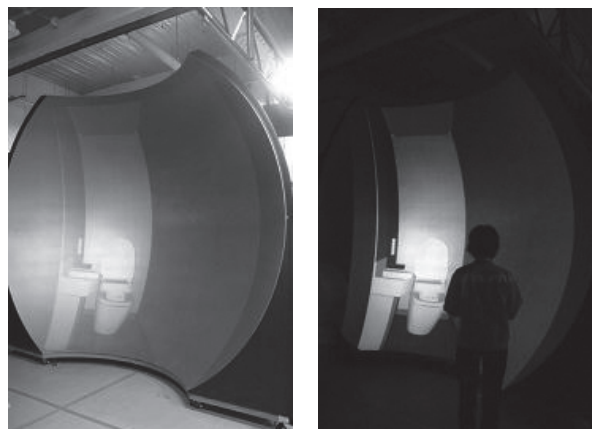
### 4.2 色特性

光源色を色度から sRGB カラーモデルに変換する。変換は CIE 表色系に準拠する。

### 4.3 VR技術への応用

筆者らは、等身大の立体映像表示システム CyberDome \*<sup>3)</sup> を開発した。CyberDome は、コンピュータで作成された3次元空間に、みずからが存在するような臨場感を得ることができる VR 技術の表示システムである。

本シミュレーションの結果を CyberDome に表示させることで、実物大の空間内部に入り込んで光環境を検討することが可能になる。このような仮想空間評価によって、さまざまな場所に複数配置された照明器具の効果を立体的な位置関係と連携して把握することが可能になる。図10に CyberDome とその評価事例を示す。



(a) 表示スクリーン

(b) 評価事例

図10 CyberDome とその事例

## 5. あとがき

光演出空間特性の評価において、ラジオシティ手法を計算手法の基盤として境界条件に照明器具配光特性データ、素材表面の反射率データ、および部屋形状データを設定することによって、実物空間試作の代用となる定量的評価が可能で、しかも精度の良い光環境シミュレーション技術を開発した。

また実物大の部屋形状における照度について、実測値とシミュレーション値とを比較した結果、誤差が10%以下の精度であることが確認できた。さらに VR 技術と融合することで、実際の部屋空間にいるような感覚を伴って光環境を検討することが可能となり、実物の空間試作にかかるコストや時間を削減可能である。

今後は、本技術がアイデア企画段階などさまざまな快適空間検討において活用されることを目指し、より簡易で専門家でなくても利用できる操作環境の構築と対話性向上を行うつもりである。さらに、光環境にくわえて、温熱環境など他の要素について、空間形状と連動可能なシミュレーションの開発に取り組む所存である。

---

●注

- \* 1) LightTools : 米国 ORA 社の登録商標
- \* 2) Inspire : 株式会社インテグラ社の登録商標
- \* 3) CyberDome : 当社の登録商標

\*参考文献

---

- 1) Turner Whitted : An improved illumination model for shaded display, Communications of the ACM, Vol. 23, No. 6, p. 343-349 (1980)
- 2) Michael G. Cohne, Donald P. Greenberg : The hemi-cube : A radiosity solution for complex environment, Computer Graphics (SIGGRAPH 85) , Vol. 19, No. 3, p. 31-40 (1985)
- 3) Shibano Nobuyuki, Sawada Kazuya, Takemura Haruo : Development of CyberDome a Scalable Immersive Multi Projection Display with Hemi-Spherical Screen, Asia Display/IDW04, Proceedings of The 11th International Display Workshop, p. 1431-1434 (2004)
- 4) 柴野 伸之, 澤田 一哉, 竹村 治雄 : マルチプロジェクタを用いたスケーラブル大型ドームディスプレイ CyberDome の開発, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 9, No. 3, p. 327-336 (2004)
- 5) 山口 秀樹, 篠田 博之, 池田 光男 : 照明認識視空間の明るさサイズの測定による実環境における空間の明るさ感の評価, 照明学会誌, Vol. 86, No. 11, p. 830-836 (2002)

◆執筆者紹介

---



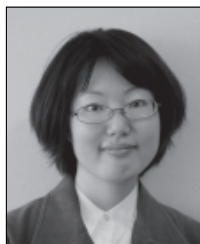
柴野 伸之

新規商品創出技術開発部  
工学博士



星野 洋

新規商品創出技術開発部  
工学博士



天沼 はるか

新規商品創出技術開発部  
一級建築士