

窓際への入射光分布の実測調査と窓に平行に見る
モデリング評価実験

窓際での人の顔のモデリングに関する研究 その1

MEASUREMENT OF DISTRIBUTION OF LIGHT INCIDENT UPON
WINDOWS AND EXPERIMENT ON THE EVALUATION OF
MODELLING PARALLEL TO THE WINDOW

Modelling of human face at a window Part 1

村上泰浩*, 小林朝人**, 矢野 隆***

Yasuhiro MURAKAMI, Asato KOBAYASHI and Takashi YANO

The distributions of light incident upon the windows of classrooms and offices were measured by a spatial illuminance meter designed by the authors. An experiment was also carried out to evaluate the modelling of human face at the window which simulated the typical pattern of vertical illuminance distribution. The relation between the vertical illuminance ratio and the subjective scale value is systematically separated by the window size and luminance, and is rather different with that proposed by Tabuchi. The relation between the semi-cylindrical illuminance ratio and the subjective scale value is separated mainly by the window luminance, and the ratio may be an index suitable for the modelling at a window.

Keywords : modelling, at a window, spatial illuminance, vertical illuminance ratio, semi-cylindrical illuminance ratio

モデリング, 窓際, 空間照度, 鉛直面照度比, 半円筒面照度比

1. 序

事務所, 学校などの照明設計では, これまで, 作業面での書類を初めとする各種の視対象の可視性の良否に基づき, 主として机上面の水平面照度の確保に主眼がおかれて来た。しかし, 近年, 視作業の対象の一つとして「人の顔」の見え方の重要性が指摘されてきている。

視対象としての「人の顔」は事務所においては, 執務中の打ち合わせ, あるいは会議を通じ, 学校においては, 授業中の教師と生徒, 共同作業中の生徒間等の, 対話相手とのコミュニケーションを図る上で, その見え方が大変重要である。これは従来のように, 書類等の可視性への注目ばかりではなく, 見え方といったより心理的な要素を加味することの必要性を示している。

また, 省エネルギーの見地から昼光の積極的な利用と, 昼光と人工照明との調和の必要性が論じられている。昼光を利用する場合は, 側窓採光の室では, 窓から室内方

向への光の流れが多く, 特に窓際では主光線方向性が強いために, 窓と平行方向を向く人の顔は, 窓側半分は明るいが反対側半分は暗い影になってモデリングが悪くなるといわれている。快適な昼光照明環境を設計するためには, 窓際での人の顔のモデリングの評価方法を確立しなければならない。

さて, モデリングとは「立体的な対象物に適度な明暗(なめらかな明暗変化とはっきりした陰影)をつけて, 立体の形を適切に表現する光の能力, または表現している光の状態」¹⁾と定義されている。したがって, モデリングの良否は入射光の指向性と拡散性の度合に依存する。立体に拡散性が高い光が入射するとき, 立体に生じる影は弱く, 「平板的」な印象になりモデリングは好ましくない。また, 入射光の指向性が高い場合, 立体に生じる影は濃く, 「どぎつい」印象になり, この場合もモデリングは好ましくない。好ましいモデリングは, 立体に適切な

本論文は, 文献16)~23)をまとめたものである。

* 熊本工業大学工学部建築学科 講師・工修

** 八代工業高等専門学校 校長・工博

*** 熊本大学工学部建築学科 助教授・工博

Lecturer, Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Kumamoto Institute of Technology, M. Eng.

President, Yatsushiro National College of Technology, Dr. Eng.

Assoc. Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Kumamoto Univ., Dr. Eng.

陰影が生じるような指向性の光と拡散性の光との適当なバランスの下で得られる。

モデリングに関する研究は以前から盛んに行なわれていて、主観的なモデリングの状況を評価、説明するための評価指標として各種の測光量あるいはその組み合わせが提案されている。以下に、これまでのモデリングに関する研究の主なものについて概観する。これらの研究はモデリングを単方向の測光量に基づく指標によって説明しようとするもの^{2), 3), 10)}と、空間的に平均化した測光量に基づく指標によって評価しようとする研究^{4), 6), 7), 8), 9)}に分けることができる。

前者の研究では、Moon と Spencer²⁾は評価指標として立体視対象物の最大対最小の輝度比 (Modelling Ratio) を用い、Hewitt³⁾は、平均鉛直面照度/水平面照度、および対象の立体上に顕著な陰影を生じせしめていると考えられる光の方向に対する2方向の照度比を用いた。田淵¹⁰⁾は、Moon, Spencerの Modelling Ratio を参考にして、窓際でのモデリングの状態を窓向き鉛直面照度と奥向き鉛直面照度の比で評価を行なうことを提案した。

後者の研究では Cuttle⁴⁾は、照明ベクトル⁵⁾とスカラー照度⁵⁾との比 (ベクトル・スカラー比) で評価を試みた。Fischer⁶⁾は、Cuttle らと同様の手法で実験を行ない、ベクトル・スカラー比での評価に Cuttle らの知見と異なることを報告している。その後、Cuttle⁷⁾は、前研究⁴⁾を修正発展させ有効ベクトル・スカラー比を提案した。また、坂口⁸⁾は、Cuttle らと同様の手法でモデリング評価実験を行ないベクトル・スカラー比の不備を指摘し、照明ベクトルと可視半球面平均照度の比という新しい指標を提案した。Bean⁹⁾は、昼光を利用した室内照明では、2つの評価指標、すなわち、水平モデリング指標 (最大鉛直面照度/円筒面照度⁵⁾) と垂直モデリング指標 (上下の水平面照度差/最大鉛直面照度) で考えるべきであると提案している。

このように、多くの評価指標が提案されてきたが、未だ、広く受け入れられる評価指標が確立されるには至っていない。また、これらの評価実験の多くは、窓際のモデリングを想定して行なわれたとは言い難い。窓際のモデリングを考えるためには、窓のように高輝度で、面積の広い光源を主光源とする光環境での評価実験が必要である。そのためには、先ず実際の窓際の光環境、特に被照点における光の入射状況を十分に把握し考慮する必要があると思われる。

本研究では、先ず窓際での人の顔のモデリングが問題になるであろうと思われる学校、事務所について、窓際への入射光分布の実測調査を行なった。次に、これらの測定結果に似た窓際の光環境を実験室内に作り出し、人の顔のモデリングの評価実験を行ない、窓際での人の顔のモデリング評価と諸測光量との関係を検討した。

2. 窓際への入射光分布の実測調査

2.1 測定装置

空間の照度として考えられる測光量⁵⁾に照明ベクトル、平均球面照度 (スカラー照度)、平均半球面照度、平均円筒面照度、平均半円筒面照度等がある (以下、これらを総称して空間照度と呼ぶことにする)。照明ベクトルを除く空間照度は各々の形状を持つ微小立体表面上の平均照度である。したがって、個々の空間照度を瞬時に測定するためには、各々の形状の受光部を有する測定機器が必要である。それらの測定機器は市販されているものが少なく、国内では上述の測光量を近似的に簡便に測定するために中村らが試作した六面照度計の提案¹¹⁾があるのみである。筆者らは照度計の受光部を水平方向及び垂直方向に回転させることによって、任意の向きに支持することができる装置を試作した (以下、2軸回転式空間照度計と呼ぶ)。

試作した2軸回転式空間照度計本体の概観を図-1に、その構成を図-2に示す。三脚に固定した水平回転用DCサーボモーターの回転軸にコの字型のアームを取り付

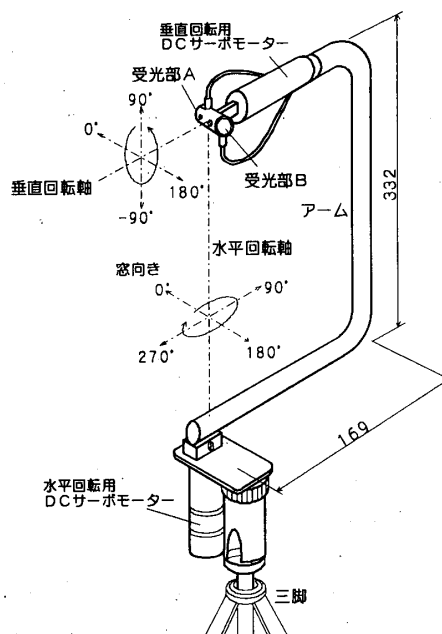


図-1 空間照度計本体の概観図

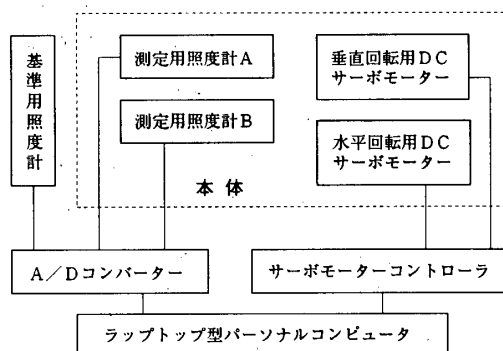


図-2 空間照度計の構成図

け、アームの先端に垂直回転用小型DCサーボモーターを固定する。その回転軸にこれと平行に2個の照度計受光部（ミノルタ T-1M 型、直径 16.5mm）を互いに背を向け、回転軸から等距離になるように取り付ける。水平、垂直回転用モーターを任意のステップ角で回転させることにより、受光部を両軸の交点を中心に小さな球面（半径 15mm）上であらゆる方向に向けることができる。この2つのモーターを制御プログラムによりコントロールし、逐次受光部の向きを変えて照度を測定することにより、照度の空間的分布状況を容易に把握でき、上述の各種の空間照度の測定が可能である。水平角、高度角とも各 15° 間隔で全方向を測定するのに約 30 秒を要するので、本体以外にもう1台の照度計（図-2 中の基準用照度計）を窓に正対させて固定し、測定中に変動した窓面輝度の変動の影響を補正できるようにしてある。

2.2 測定方法及び測定対象室

この2軸回転式空間照度計を使って実際の室で窓際の空間照度の測定を行なった。本体照度計受光部が窓に直面した時を 0° として、水平角 15° 間隔毎に 345° までの 24 方位に受光部が向いた時の照度を携帯用パソコンに自動的に記録させる。次に高度角を 15° 間隔で変えながら同様に 24 方位について測定し、全方向の測定を終える。高度 0° の時の 24 方位の照度を読み出せば方位別鉛直面照度分布が得られ、或る方位角時の各高度（24 高度）の照度を読み出せば、その方位の高度別照度分布が得られる。このようにして全方向の照度分布も得られる。

測定を行なったのは、表-1 に示す3種類のいずれも側窓採光室である。窓際 1m、床上 1.5m の位置で測定を行なった。室の状態から容易に測定可能であった時には窓から 2m、3m 入った点でも測定した。室の間口（窓幅）の中央位置で測定しよう心がけたが、中央部に柱がある場合には、これを避けてその右側または左側の窓の中央部で測定した。すなわち窓は測定点から見て、必ずしも左右対象の位置にあるとは限らない。

測定した室は南向きが多いが、北向き、東向きの室も含まれている。いずれも無人の空室状態時で、直射日光の室内への入射はない。室内の机、椅子、掲示物等はそのままの状態、室内照明は点灯せず昼光のみである。事務室で側方壁にも窓がある場合には、カーテン、ブラインド等で遮蔽し片側採光室として測定した。また、測定終了後、各室の天井、壁、床の反射率を輝度計と標準反射板を用いて数ヶ所ずつ測定した。

測定した教室、事務室の室内の諸寸法と仕上げ状況を表-1 に示す。教室、事務室の各室内寸法の平均値は似通った値を示しているが、片側採光教室は小人数のゼミ室や大講義室が含まれるため、室幅、奥行、窓幅の寸法の標準偏差が大きい。教室の天井高は大講義室を除けば

表-1 実測した室内の諸寸法（実測平均値）と仕上げ

		片側採光教室	両側採光教室	片側採光事務室
用途及び測定室数		大学講義室 30 室 大学ゼミ室 10 室	小学校、中学校、 大学の計 40 室	貸事務室(空室)、 会議室の計 24 室
室間口		9.91m (4.44)	8.15m (1.37)	9.85m (2.91)
室奥行		8.70m (3.10)	8.29m (0.95)	9.17m (2.21)
窓幅		8.06m (3.86)	7.29m (1.38)	7.52m (2.26)
窓高		1.96m (0.11)	2.19m (0.17)	1.61m (0.20)
窓台高		0.81m (0.19)	0.81m (0.17)	0.91m (0.16)
室内仕上げ	天井	白色系天井材	同左	同左
	壁	プラスター塗装 黒板、掲示板	プラスター塗装 板張り(小中校) 黒板、掲示板	ビニールクロス (白色系)
	床	Pタイル、 塩ビシート	Pタイル、 塩ビシート、 板張り(小中校)	Pタイル、 塩ビシート、 カーペット敷き

注) () 内は標準偏差

表-2 教室と事務室の室内面反射率の測定結果
(実測平均値 単位 [%]) () 内は標準偏差

	壁面	天井面	床面
教室	53.1(20.4)	74.0 (12.6)	24.8(10.3)
事務室	72.7(11.3)	84.6 (11.9)	29.7(10.6)

例外なく 3m であるのに対し、事務室では 2.5~2.7m と低い。そのため、窓上辺の高さも事務室の方が低い。窓は全て透明の板ガラスである。

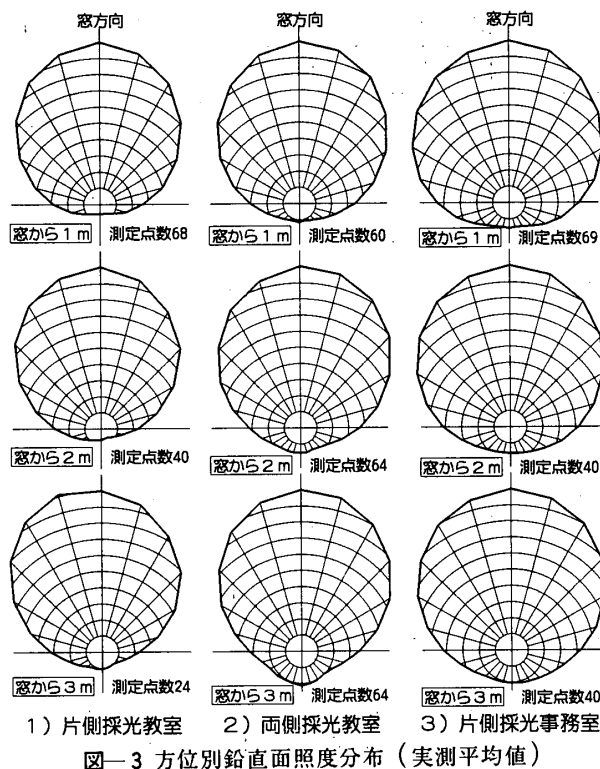
2.3 測定結果

表-2 は教室、事務室の室内各面で測定したの反射率の平均値である。全体的に、教室に比べ事務室の反射率が高いことがわかる。特に壁面の反射率の差が大きい。教室の壁面の平均反射率は黒板（平均反射率約 10%）を除いて計算しているので、教室の壁面の総合的な平均反射率は更に低いものと思われる。

各測定点で測定したデータから、窓向き鉛直面照度を 100 とした時の各方位の鉛直面照度の相対値を計算し、片側採光教室、両側採光教室、片側採光の事務室の3種類の室内について、窓からの距離 1m、2m、3m 毎に平均して、方位別鉛直面照度分布を求め図-3 に示す。

片側採光の教室の 1m、2m の点は、ほぼ同様の分布パターンを示し、その形は正円よりやや縦長の細身の円形となっている。室奥向き鉛直面照度（180°）は窓向き鉛直面照度（0°）の約 5% 程度でしかない。窓と平行な向き（90°）の照度は約 25% である。窓から 3m 入ると、室奥向きの照度成分が大きくなっていることがわかる。

両側採光の教室での分布状況は、形状は片側採光教室と似た細身の分布パターンを示す。窓からの距離が増す毎に、窓と平行な向きの照度の変化はないものの、室奥



表—3 室奥向き鉛直面照度、窓と平行な向きの鉛直面照度の窓向き鉛直面照度に対する割合 [%] (実測、窓際1m)

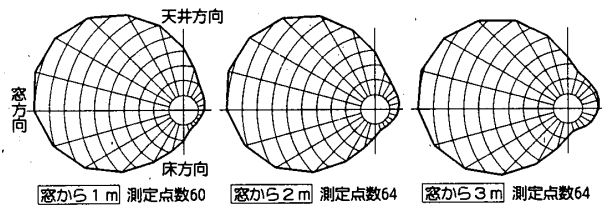
	片側採光教室		両側採光教室		片側採光事務室	
	室奥向	窓平行	室奥向	窓平行	室奥向	窓平行
最小値	1.8	15.3	3.5	20.5	4.2	26.3
最大値	10.4	37.3	19.6	40.2	27.8	64.7
平均値	5.65	27.3	10.0	30.6	12.4	42.6
標準偏差	1.82	4.41	3.23	4.48	3.83	8.03

向きの照度成分の増加が著しい。これは、廊下側の窓からの入射光による影響と思われる。

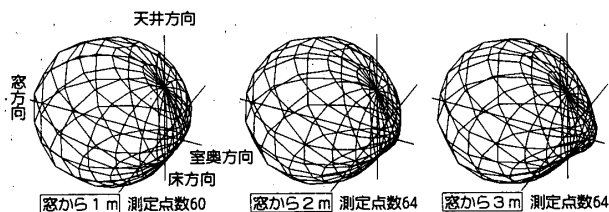
片側採光の事務室の場合は、片側あるいは両側採光の教室での分布状況とかなり異なり、正円に近いが、左右にやや膨らんだ分布をしており、片側採光教室と比べ室奥側からの成分が大きいことがわかる。事務室の壁面、床面の反射率が表—2に見られるように教室と比べ高いためであると考えられる。

表—3は室奥向き鉛直面照度と窓に平行な向きの鉛直面照度の窓向き鉛直面照度に対する割合を窓際1mについて求めたものである。片側採光教室のその割合は最小値、最大値、平均値とも片側採光事務室のそれぞれ4割、6割程度である。

図—4は両側採光教室における窓に垂直な鉛直面での高度別の実測照度を、窓向き鉛直面照度を100とした時の相対値に換算して、窓からの距離毎に平均し、その分布を示したものである。図—3の方位別鉛直面照度分布をそれぞれ90°回転させたような分布をしている。しかし、測定点高さの上側(天井側)と下側(床側)では、分布の形が若干違っている。また、窓向き0°より上向き



図—4 両側採光教室の高度別照度分布 (実測平均値)



図—5 両側採光教室の方向別照度分布の立体表示 (実測平均値)

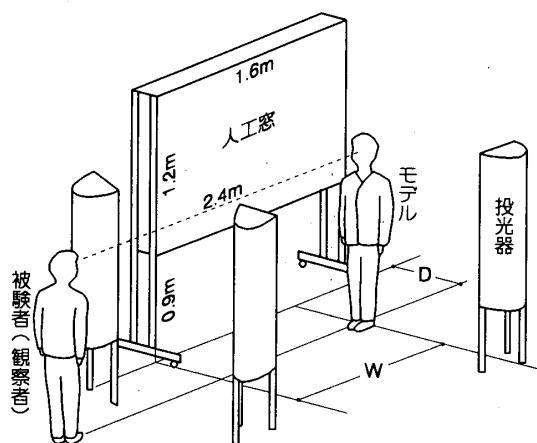
15°の値の方が大きくなっている。これは、測定高さが窓高さの中央部より下側にあること、窓外の輝度の違い、天井と床面の反射率の違いによるものと考えられる。窓からの距離が違って天井向きの照度(水平面照度と等しい)はあまり変わらず、窓向き鉛直面照度の約40%となっている。

事務室における高度別分布も図—4とはほぼ同様の分布となり、方位別鉛直面照度分布の場合ほどの違いは見られなかった。片側採光の教室についても室奥側成分が僅かに減少する他は同様の分布となる。

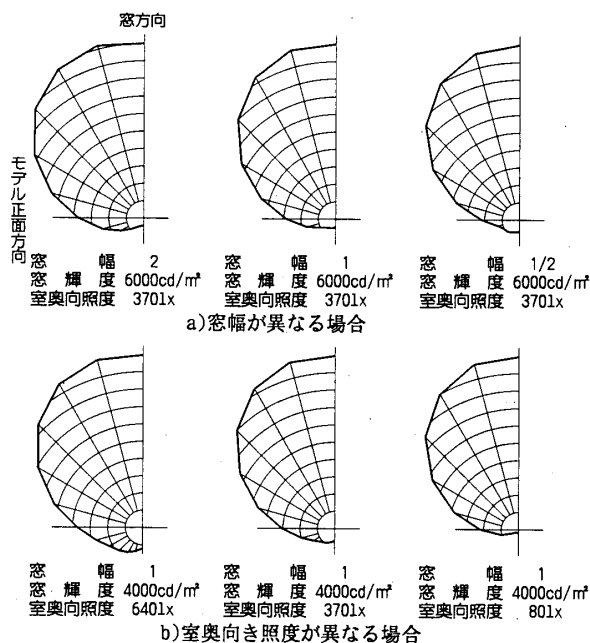
図—5は図—3,4同様、窓向き鉛直面照度を100とした時の相対値を全方位について求め、同経度及び同緯度毎に結びアイソメ図に示したものである。アイソメ図のため細部の検討は難しいものの照度の空間的分布状態を視覚的に把握することができる。

3. 窓際での人の顔のモデリングの評価実験

窓際での人の顔のモデリングは、昼光による窓面輝度に加え、視対象である人の顔の窓からの距離および室内寸法、窓幅、室内反射率等の室内特性の違いにより、その状態は異なるものと考えられる。実際の教室、事務室等の居室を使って行う窓際でのモデリングの評価実験では、昼光の変動により、実験条件の統一性の確保が難しい。側窓採光室の窓際への入射光分布の実測結果から、被照点の位置および室内特性の違いによる照度の入射光分布の相違状況が分った。すなわち、入射光分布は、被照点の位置および室内特性を光学的に反映している。そこで、種々の輝度に調光できる人工窓と、実際の窓際での入射光分布に似た種々の分布を作り出す装置を実験室内に設置し、窓際の光環境を模擬的に造り、窓際での人の顔のモデリング評価実験を行うことにした。序でも述べた通り、側窓採光室の窓際は窓と平行方向を向く人



図—6 実験見取図



図—7 実験時のモデルの顔の位置の鉛直面照度分布の例

の顔のモデリングが悪くなるとされる^{1), 10)}ので、本報では窓を横にして窓と平行方向を向く人をその正面から見てモデリングの評価を行った。

3.1 実験方法

人工窓は、乳白色アクリル板の背後に極く近接させて40 W 蛍光ランプ 28 本を並べて立て、図—6 に示すような1.2m×1.6m のほぼ均一な輝度の面を作り、種々の輝度に調光できるようにしたものである。これを全面黒塗りの実験暗室内に置き、図のようにこれを窓に見立てて、D = 0.6m 離れてこれと平行方向に向いて立つ人（以下モデルと呼ぶ）の顔を窓の反対側（室内側）3 方向から照明する。これらを人工窓とは独立に調光して、モデルの顔の位置に実際の窓際の鉛直面照度分布に似た照度分布を作る。窓面輝度のほか、人工窓の一部を覆うことによって窓の幅 W（モデルの位置から測る）を変え、さらに奥向き鉛直面照度を変える。実験時の窓面輝度、窓幅、奥向き鉛直面照度を表—4 のように設定する。どの

表—4 実験条件

窓面輝度	2000, 4000, 6000 cd/m ²
窓幅	W/D = 2, 1, 1/2 (D=0.6m)
室奥向き鉛直面照度	60 ~ 680 lx で各3段階
被験者	男 25 名, 女 25 名
モデル	男 22 才

表—5 室奥向き鉛直面照度、窓と平行な向きの鉛直面照度の窓向き鉛直面照度に対する割合 [%]（実験時）

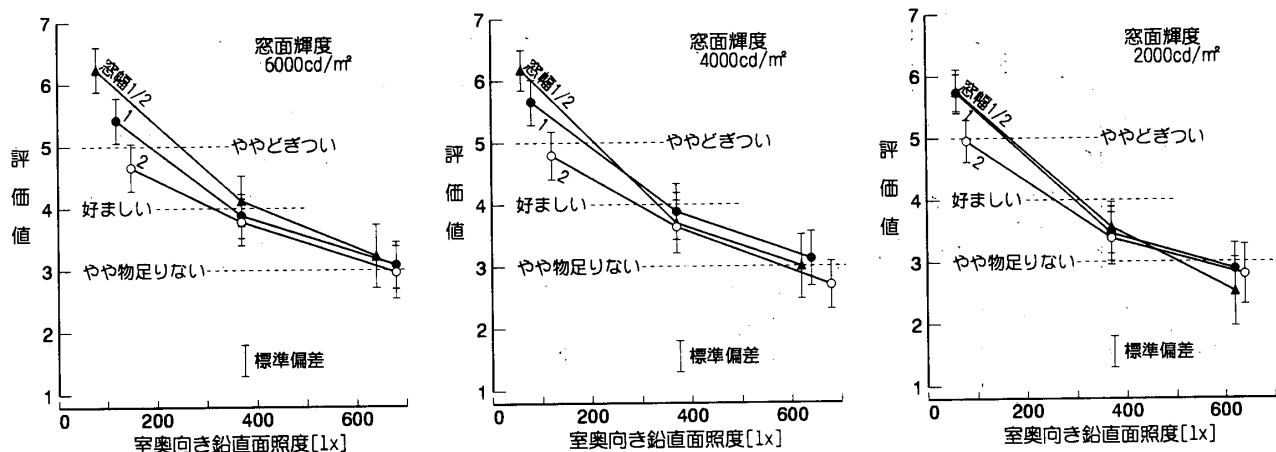
	室奥向き	窓と平行な向き
最小値	1.4	13.4
最大値	27.4	59.7
平均値	8.36	32.1
標準偏差	6.73	13.2

表—6 カテゴリー番号とその意味内容

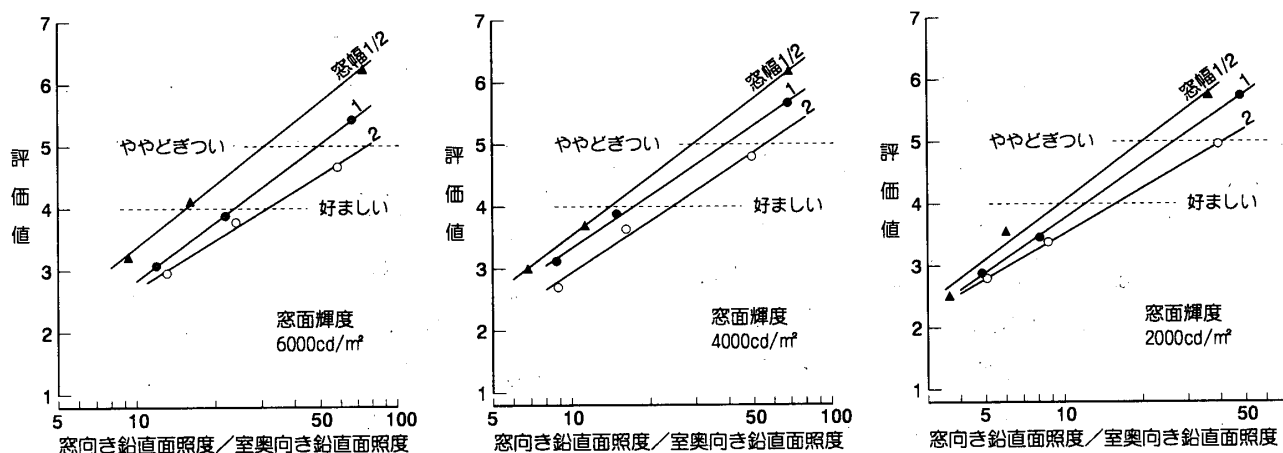
1. 顔に立体感がなく平板的に見える。
(顔面の影が薄過ぎて、陰影は非常に乏しい)
2. 顔の立体感はかなり物足りない。
(顔面の影がかなり薄く、陰影もかなり乏しい)
3. 顔の立体感はやや物足りない。
(顔面の影がやや薄く、顔面に陰影がやや乏しい)
4. 顔の立体感は適当で好ましい。
(顔面の影の濃さは適当で、目鼻立ちもはっきりわかる)
5. 全体としてややどぎつい感じである。
(顔面の影がやや濃い、顔の暗い部分の目鼻立ちはわかる)
6. 全体としてかなりどぎつい感じである。
(顔面の影がかなり濃い、顔の暗い部分の目鼻立ちは微かにわかる)
7. 全体として非常にどぎつい感じである。
(顔面の影が濃過ぎて、顔の暗い部分の目鼻立ちがわからない)

条件の場合にも3方向からの投光を調節して、実測調査で得られた窓際への入射光分布（図—3 及び個々の室での実測分布）を参考にして、27通りの全ての実験条件で、実際の室の窓際の1mの点の方位別鉛直面照度分布に似た照度分布（被験者側180°の範囲）を作る。得られた方位別鉛直面照度分布の例を図—7に示す。その際、特に重要であると考えられる、室奥向き鉛直面照度と窓に平行な向きの鉛直面照度の窓向き鉛直面照度に対する割合は、表—3に示す実測結果の範囲になるよう留意した。その割合を表—5に示す。

モデリング状態の判断実験であるので、モデルの位置の鉛直面照度分布だけではなく、斜めに入射する光による照度を含めた条件設定が好ましい。しかし、高度別照度分布（図—4）は、方位別鉛直面照度分布（図—3）に見られた程の、室による違いは見られなかったため、ここでは方位別鉛直面照度の分布に特に注意を払った。また、中心窩の順応には注視点とその近くの明視野の輝度が圧倒的に寄与しており、周辺部分の視野が暗黒であっても中心窩順応への影響はほとんど無視できるほどに小さい¹²⁾ことから、モデルの背景の壁面輝度については考



図—8 室内奥向き鉛直面照度とモデリング評価値



図—9 鉛直面照度比とモデリング評価値

慮していない。

被験者には、各実験条件毎にモデルの顔を正面から見て（距離 2.4 m）、表—6 のカテゴリーに従って、その時に判断したモデルの顔のモデリングの状態をその番号で報告させる。1 回（1 条件）の評価に要する時間は、各被験者で異なるものの比較的短く、評価中の視線がモデルの顔から離れることは少なかったと思われる。

窓際のモデリングに大きく影響を与えられ考えられるモデルの顔面への窓からの直接光の入射方向と入射範囲は、窓の大きさと窓とモデルの距離により決まるため、窓幅は W/D で表わし、窓幅 2 は幅の広い窓を想定し、窓幅 1/2 は幅の狭い窓を想定したもので、窓幅 1 はその中間である。

図—6 のようにモデルの背後部分の窓は、被験者が見るモデリングに直接関係しないので、一部（幅 0.4 m）しか設けていないが、室内で窓の中央部分に立っている人を考えるならば、窓幅 2, 1, 1/2 はそれぞれモデルの背後の方にも同じ幅の窓が続いているとして、窓の全幅（ W/D ）が 4, 2, 1 である窓に相当すると考えてよいであろう。

3.2 結果

被験者のカテゴリー判断の結果から、各実験条件毎に

表—7 実験結果（照度比）と田淵の提案値

	鉛直面照度比			半円筒面照度比
	$W/D=1/2$	$W/D=2$	田淵の提案	
好ましい	9~15	17~30	2~6	4.5~6.7
ややどぎつい	20~30	40~80	10	8~11

被験者のカテゴリー番号を平均して実験条件毎のモデリング評価値（以下、評価値と呼ぶ）を求めた。

図—8 は全被験者平均の評価値と、実験時のモデルの顔の位置の奥向き鉛直面の照度との関係である。上下にとった幅は標準偏差を表す。当然ながら、室内側から顔を照らす照度が低いほど評価値は高く、モデリングはどぎつくなり、照度が高いほどモデリングは平板的になる。その状況は窓幅によって異なるが、その違いは窓の輝度が高いほど、室内からモデルを照らす奥向き鉛直面照度が低いほど大きいことがわかる。

図中の「ややどぎつい」、「好ましい」、「やや物足りない」は、それぞれカテゴリー 5, 4, 3 を示したものである。図から、かなり大まかな言い方をすれば、300~400 lx 程度の奥向き鉛直面照度があれば窓際のモデリングに問題はなく、600~700 lx 程度以上になるとモデリングは平板的でやや物足りない状況になることがわ

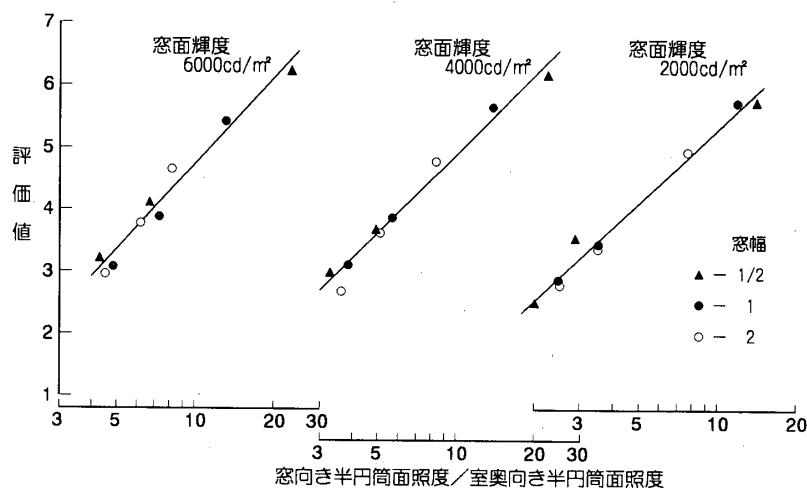


図-10a)

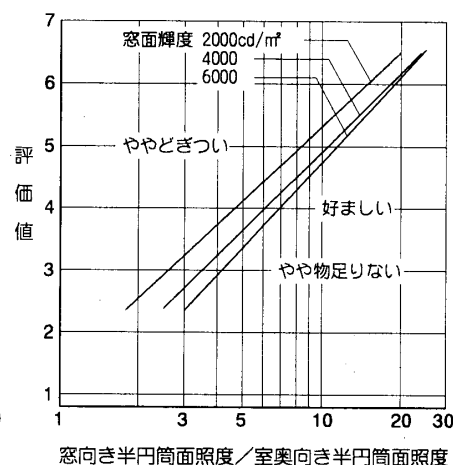


図-10b)

図-10 半円筒面照度比とモデリング評価値

かる。

3.3 考察

(1) 窓際のモデリングの鉛直面照度比による検討

同じ評価値（同じモデリング状態）を得るための鉛直面照度比は窓幅によってかなり異なり、窓の輝度によっても異なる状況を見ることができる。

図から読み取れる「好ましい」および「ややどぎつい」とされた照度比の値は表-7の通りである。田淵の提案値とは非常に異なる結果となった。

実際の窓際では、太陽直射光の入射がなくても窓向き鉛直面の照度が10,000 lxになることは十分ありうると思われるが、提案値によれば、この時そこに1,700 ~ 5,000 lxもの室内からの奥向き鉛直面照度がなければ「好ましい」モデリング状態は得られないこととなり、日常経験する実状には合わないように思われる。今回の実験から得られた「好ましい」状態が得られる奥向き鉛直面照度300~400 lxとは大きな開きである。

同じ評価値のための室内向き鉛直面照度は、図-8からは窓幅が大きいほど小さくてよいことがわかる。また図-9からは、窓幅が広いほど大きな鉛直面照度比が許されることがわかる。これらは、窓幅が広い場合にはモデルの顔を斜め前方から照らす窓からの光がかなりあ

るために、室内側からモデルを照らす光が少なくてもモデリングが悪化しにくいからであり、窓幅が狭い場合には、斜め前方からの光が少ないために窓からの光の方向性が強く、モデリングは損なわれ易いからであると考えられる。

窓面輝度が高いほど窓向き鉛直面の照度は高くなるから、図-8に見られるように同じモデリングの状態に対して大きな室内向き鉛直面照度が必要なのは当然である。しかし、図-9からはその鉛直面照度の比率は一定ではなく、窓面輝度が高いほど大きな鉛直面照度比が許されることがわかる。これは窓面輝度によって目の順応がそれぞれ異なるので、モデルの顔の各部のアパレントブライトネス¹³⁾が異なるためではないかと思われるが、目の順応輝度が不明であるのでこの段階での検討はできない。

(2) 窓際のモデリングの半円筒面照度比による検討

このように見てくると窓際のモデリングの評価には、その位置の照度や光の入射方向などだけではなく、入射光の総量に関わるような、ある種のスカラー値を考える必要があるのではないと思われる。

図-10a)はモデルの顔の位置での、窓側と室内側の半円筒面照度（但し15°間隔の鉛直面照度による平均値）

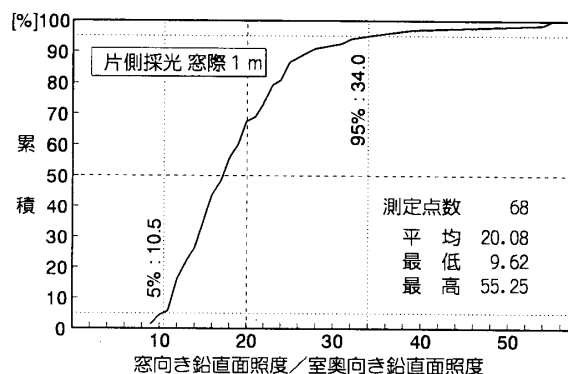


図-11 鉛直面照度比の累積度数

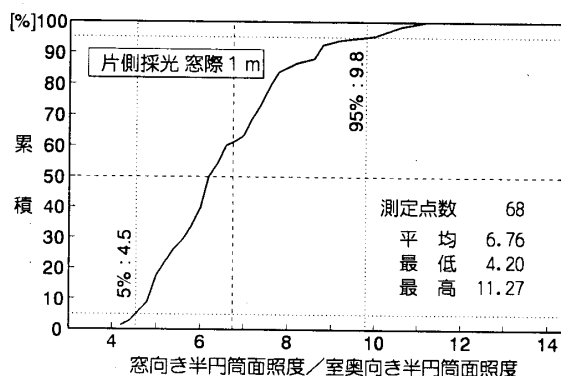


図-12 半円筒面照度比の累積度数

の比と評価値との関係である。正確には、半円筒面照度ではなく、各実験条件時に得られた被験者側の照度分布(図-7)から求めた4半円筒面照度の比である。モデルの後方にも同じ幅の窓が続いており、窓向きに対し左右対称な鉛直面照度分布となる場合には、半円筒面照度の比と同じになるので、半円筒面照度比と表わした。この図では図-8とは異なり、窓の大きさによる差がはっきりしないから窓面輝度毎に1本の直線を挿入してある。

図-10b)はa)をまとめたものである。図から同じモデリング状態が得られるときの半円筒面照度比は、窓幅の影響は小さく、主として窓面輝度のみの影響を受けると考えてよいことがわかる。図から「好ましい」と「ややどぎつい」に相当する半円筒面照度比を読み取り表-7に示した。

(3) 照度比の出現頻度による検討

図-11と図-12は前述の鉛直面照度分布を実測した片側採光の教室の、68測定点での鉛直面照度比および半円筒面照度比を求めて(但し15°間隔の鉛直面照度による計算)、それぞれその度数を累積図に表わしたものである。

図中にそれぞれの照度比の平均値、上下5%で切った90%レンジの上限値、下限値などを示した。この上限値～下限値は、鉛直面照度比で10.5~34.0であり、半円筒面照度比では4.5~9.8である。このそれぞれの90%レンジに、表-7の「好ましい」とされたそれぞれの照度比の範囲が殆ど含まれており、その出現頻度は全体の90%と80%である。またこの90%レンジに「ややどぎつい」範囲の一部が含まれるが、その出現頻度は約30%あるいは15%程度である。従って、一般に教室のような室では、窓際のモデリングは概ね「好ましい」状態であり、「ややどぎつい」状態になることは少ないと思われる。

半円筒面照度比による検討によれば、モデリングの評価値への窓幅の影響は小さいから、通常の窓際でも同様に、ほぼ「好ましい」状態であり、「ややどぎつい」状態になることは少ないと考えてよいと思われる。

以上のことから、通常の室の窓際では直射日光が入射してモデルの顔が強く照らされているような場合は別として、窓際のモデリングが許容できない程に「どぎつい」状態になることは殆ど起こらないと言えよう。

半円筒面照度比と窓際のモデリングの評価値との対応が良かったからといって、モデリング一般に対して半円筒面照度比が評価指標として適していると判断はできないが、窓際ではモデルへの窓からの直接光の入射方向と入射範囲が限られるので、半円筒面照度比は窓際のモデリング評価に対しては有力な指標であると考えてよいであろう。

(4) 窓際のモデリングのベクトル・スカラー比による検討

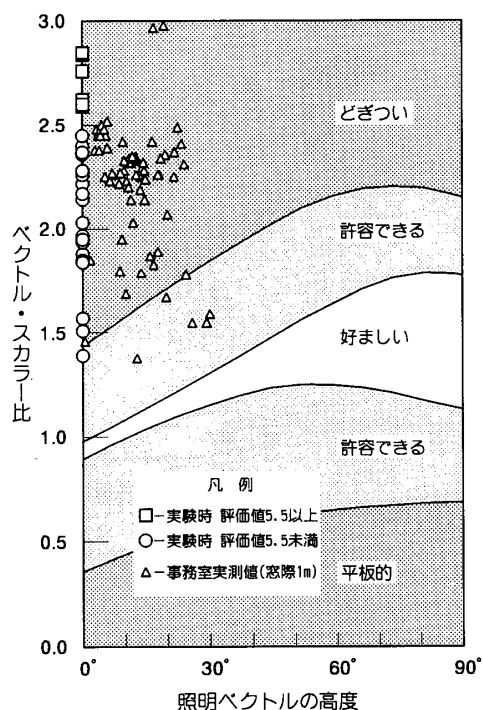


図-13 ベクトル・スカラー比によるモデリングの評価
(下図には文献1)のp.49図5.11を使用した)

図-13に事務室(窓から1mの点)での実測及び実験時におけるベクトル・スカラー比をCuttleらのモデリングの評価図に重ねてプロットして示す。事務室における窓から1mの点での照明ベクトルの高度角は、5°~30°程度であり、ベクトル・スカラー比は殆ど1.5以上であった。野口¹⁴⁾の事務所ビルにおける昼光のみの測定結果も同様の分布を示している。一方、実験中のモデル顔の位置が窓高さの中央部にあり、この位置における照明ベクトルの高度角は、0°、ベクトル・スカラー比も実測結果同様に殆どが1.5以上であった。これは、Cuttleらのベクトル・スカラー比によるモデリングの評価によると、全て「どぎつい」となることになる。しかし、今回の実験では「どぎつい」(図中四角印、評価値5.5以上)と評価される割合は7%程度でしかない。また、南ら¹⁵⁾は昼光による室内の窓際でのモデリングの評価実験を行ない、Cuttleらのベクトル・スカラー比の値からは「どぎつい」と予測されるが、実際の評価では「どぎつい」状態は起こりにくかったと述べている。

このように、ベクトル・スカラー比によるモデリングの状態の予測と評価実験による評価値とに食い違いが見られることから、窓際のモデリングをCuttleらのベクトル・スカラー比を用いた評価図で評価するのは問題があると思われる。

4. 結び

窓際での人の顔のモデリングを検討するために、窓際の光環境を教室、事務室について実測調査し、その測定

結果に似た光環境を実験室内に作り、人の顔のモデリング評価実験を行なった。結果を要約すると、

(1) 窓際での光の入射状況を把握するためにあらゆる方向での照度の測定が可能で、種々の空間照度の算出が可能である2軸回転式空間照度計を試作した。この装置で実際の窓際の各方向の照度を測定し、空間の光の入射状況を立体的に示した(図-3~5)。

(2) 鉛直面照度の方位別分布状況は、片側採光室であるか両側採光室であるかによって、また室内面の反射率の違いによってその分布形状に違いが見られた。

(3) 実験室内において人の顔のモデリング評価実験を行なった結果、鉛直面照度比による検討では、田淵の示す値と大きな開きがあった。

(4) 半円筒面照度比と窓際のモデリング評価値との間に良い対応が見られた。しかし、モデリング一般に対して半円筒面照度比が評価指標として適していると即断はできないが、窓際ではモデルへの窓からの光の入射方向と入射範囲が限られているので、半円筒面照度比は窓際のモデリング評価に対しては有力な指標であると考えられる。

(5) Cuttleらのベクトル・スカラー比によるモデリングの状態の予測と評価実験による評価値とに食い違いが見られることから、窓際のモデリングをCuttleらのベクトル・スカラー比を用いた評価図で評価するのは問題があると思われる。

今回の実験では、窓際での人の顔のモデリングを窓に平行な方向から眺めての評価実験であった。実際の視環境では視対象である相手の顔とそれを見る人との位置関係は窓に平行であるとは限らず様々である。また、相手の顔の向きも正面ばかりとも限らない。今後、このように向い合う人の相互位置関係を含めた窓際での人の顔のモデリングの評価を行なう必要があるものと考えている。更に、実際の昼光照明状態における評価実験を行い、模擬環境での実験との比較検討も必要であると考えられる。

参考文献

- 1) 日本建築学会編：設計計画パンフレット 30 昼光照明の計画, 彰国社, p. 26, 1985
- 2) Moon, P. and Spencer, D.: Modelling with light, Jour. Franklin Institute, Vol. 251, pp. 453~466, 1951
- 3) Hewitt, H. et al.: Lighting and the Environment, Trans. Illum. Eng. Soc., Vol. 30, pp. 91~116, 1965
- 4) Cuttle, C. et al.: Beyond the working plane, Proc. of the C.I.E. Conference, P. 67-12, pp. 471~482, 1967
- 5) 照明学会編：ライティングハンドブック, オーム社, pp. 238~241, 1987
- 6) Fischer, D.: The European approach to the integration of lighting and air-conditioning, Lighting Research and Technology, Vol. 2, pp. 150~159, 1970
- 7) Cuttle, C.: Lighting Patterns and the Flow of Light, Lighting Research and Technology, Vol. 3, pp. 171~189, 1971
- 8) 坂口忠雄, 江島義道, 永井久: 立体を好ましく見せるための照明条件に関する研究 (1),(2), 照明学会誌, Vol. 59, pp. 11~25, 1975
- 9) Bean, A.R.: Modelling indicators for combined side and overhead lighting systems, Lighting Research and Technology, Vol. 10, pp. 199~202, 1978
- 10) 田淵義彦: 側窓採光の事務所照明における昼光と人工光の協調の要件, 照明学会誌, Vol. 66, pp. 483~489, 1982
- 11) 中村洋, 沖允人, 小川増美, 山村康郎: 新しく試作した六面照度計と測定例, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (D), pp. 481~482, 1987
- 12) 小林朝人, 山下俊雄, 村上泰浩: 中心窩順応輝度評価に関する実験的研究 第2報 順応性状の概略, 日本建築学会論文報告集, 第324号, pp. 117~126, 1983
- 13) 小林朝人: 明るさの知覚尺度—APPARENT BRIGHTNESS SCALES—, 日本建築学会論文報告集, 第178号, pp. 83~92, 1978
- 14) 野口透: 照明のモデリング効果に関する調査研究, 照明学会誌, Vol. 56, pp. 452~456, 1981
- 15) 南幸伸, 岩田利枝, 宿谷昌則, 木村建一: 昼光を導入した室内のモデリングに関する被験者実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (D), pp. 1143~1144, 1993
- 16) 小林朝人, 村上泰浩: 窓際のモデリングに関する実験的研究, 日本建築学会九州支部研究報告 [環境系], 第31号・2, pp. 73~76, 1989
- 17) 村上泰浩, 小林朝人: 側窓採光室の入射光分布 (鉛直面照度の方向別分布), 日本建築学会九州支部研究報告 [環境系], 第31号・2, pp. 76~80, 1989
- 18) 村上泰浩, 小林朝人: 窓際のモデリングについて—1, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (D), pp. 145~146, 1989
- 19) 小林朝人, 村上泰浩: 窓際のモデリングについて—2, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (D), pp. 147~148, 1989
- 20) 村上泰浩, 小林朝人: 2軸回転式照度測定装置 (空間照度計), 日本建築学会中国・九州支部研究報告 [環境系], 第32号・2, pp. 181~184, 1990
- 21) 村上泰浩, 小林朝人: 2軸回転式照度測定装置 (空間照度計), 日本建築学会大会学術講演梗概集 (D), pp. 171~172, 1990
- 22) 村上泰浩, 小林朝人: 2軸回転式照度測定装置 (空間照度計) その2 装置の改良と市販測定計器との比較, 日本建築学会九州支部研究報告 [環境系], 第33号・2, pp. 37~40, 1992
- 23) 村上泰浩, 小林朝人: 2軸回転式照度測定装置 (空間照度計)—2, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (D), pp. 311~312, 1992

(1993年10月8日原稿受理, 1994年4月6日採用決定)