

照明器具デザイン課題導入による図形科学教育へのインパクト

鈴木 広隆(suzuki@arch.eng.osaka-cu.ac.jp)
大阪市立大学大学院工学研究科都市系専攻

要旨：大阪市立大学のこれまでの図形科学教育は、投影方法の知識や作図法、CG による図形空間情報の構築については効果を挙げてきたものの、最終的に生成される図に決定的な影響を与える光のふるまいを十分に身に付けさせるには至っていなかった。そこで、2004 年度より CG で作成する課題の 1 つを「照明器具」に変更し、光のふるまいの考慮なしに作品が完成しないシステムとした。本稿では、課題の内容の変化に伴う提出作品の質・量の変化、他の課題への波及効果について、提出作品のデータファイル进行分析することで定量的な把握を試みた。

An Impact of Introduction of Design of Lighting Equipment into Graphic Science Education

Hirotaka SUZUKI(suzuki@arch.eng.osaka-cu.ac.jp)
Department of Urban Engineering, Graduate School of Engineering, Osaka City University

*Abstract:*In Osaka City University, Graphic Science Education has been located not as an entrance of drawing and designing exercise but as design language education constructed by knowledge and technique which facilitate intelligible communication making good use of diagrams. Author believes that consideration of light flow is highly significant because the same shapes can give different impression with different lighting environment. Accordingly author introduced the assignment which design lighting equipment making use of CSG model. As lighting equipment has close relationship with light flow, student should understand behavior of light flow before they start construction of the works. In this paper, submitted works and evaluation of the assignment by students themselves are explained. Finally, the result of text data analysis for submitted works are described to show the impact of the works. Total byte of each submitted works and result of keywords search were examined to evaluate the impact.

1. はじめに

大阪市立大学では、図形科学を設計製図演習の入り口としてではなく、図を介してコミュニケーションを円滑にするためのリテラシー教育(デザイン言語、図 1 参照)と位置付けて教育を行ってきた¹⁾。このコンセプトに基づき、投影法の理解と作図技術の習得を目的とした図形科学 I、CG を用いて自由に形状を作成し、さらに光や色彩を考慮してデザインを行う図形科学 II を開講しており、特に図形科学 II で提出される作品については高いレベルのものが少なくない。しかし、図形については複雑な形状を工夫して表現しているものが認められるにもかかわらず、出来上がった図形の表現に大きな影響を与える光の取り扱いについては、十分に吟味された作品が少ない。

これは以下の点が理由として考えられる。

- 演習で用いている CG アプリケーションである POV-Ray^{注1)}が照明計算方法として Ray Tracing 法を

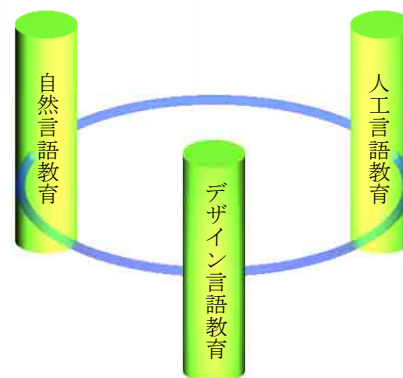


図 1 3つのリテラシー教育の柱(文献¹⁾より)

採用^{注2)}しており、柔らかな間接光の表現が困難であるため、光の積極的な利用を学生に呼びかけなかった。同時に、大域照明の計算法に関する説明を行う時間を十分に設けていなかった。

- デザイン言語という位置付けであっても、図学(図法幾何学)教育のバリエーションであるため、光や色彩といった副次的な部分よりも図形そのものに対する評価を重視するという姿勢を打ち出していた。

しかし、図を介してコミュニケーションを行う場面においては、光の使い方は極めて重要なものであり、同じ図形であっても、それに対する光の演出によって図形の説得力は大きく異なる。そこで、デザイン言語としての図形科学、という位置付けをより明確にし、また履修学生が光のふるまいを正しく理解してこれを図形の表現に利用できるよう、2004年度より光が最も密接に関わると思われる照明器具を課題として設定し、課題への取り組みを通してこれらに関する知識や技術を養う機会とすることとした。本稿では、これまでの講義スケジュールとの整合性、提出された作品の紹介を行うと共に、授業調査によるこの課題の学生の評価、及び提出された作品のデータ分析を行い、照明器具を課題として導入したことに対する評価、他の課題への波及効果などについて検討を行った。

2. これまでの講義スケジュールとの整合性

2.1 講義内容の変更点

表 1 に照明器具を課題として与えていなかった2003年度の図形科学IIの講義スケジュールを示す^{注3)}。照明器具を課題とした2004年度についても、基本的にこの流れを踏襲し、小課題2のCSG課題(プリミティブ図形の集合演算により複雑な形状を発生させる課題、テーマは任意)において、テーマを照明器具とすることとした。これにともない、第8回の「光の取り扱い」の講義の際に、「光源の見せ方」、「間接光の表現の仕方」というRay Tracing系CGアプリケーション固有の問題を解決するためのテクニックを紹介した。その内容の詳細については、2.3で述べる。

2.2 2003年度までの講義内容における光のふるまいに関する講義内容

2003年度までの講義でも、光のふるまい知識の説

表 1 図形科学IIの講義スケジュール

	講義内容	課題関連
第1回	Introduction	昨年の作品の感想、講義に対するコメント
第2回	POV-Rayの基礎	
第3回	オブジェクトの記述方法	小課題1出題(かかし)
第4回	回転、拡大・縮小、移動、繰り返し	小課題1提出、小課題2出題(階段)
第5回	条件分岐、定義済みの色の利用、ブロックパターン利用	
第6回	CSGモデル	小課題2提出、小課題3出題(CSG)
第7回	中間試験	
第8回	光の取り扱い(光源、反射、透過)	
第9回	最終課題出題、テクスチャーの利用、グループの利用、角柱、回転体	最終課題出題
第10回	その他知っておくと良いこと	小課題3提出
第11回	CGアニメーションの作り方1	
第12回	CGアニメーションの作り方2	
第13回	GUI型モデラーの演習	

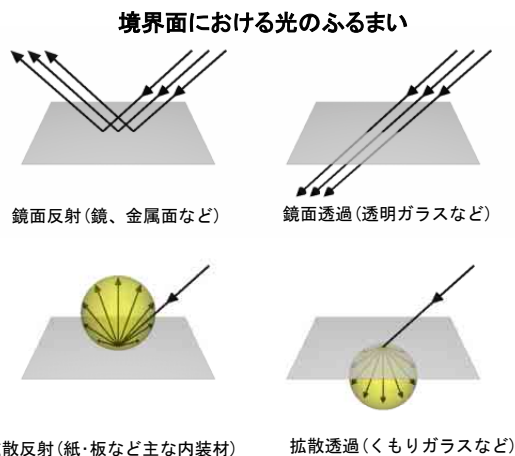


図 2 鏡面と拡散の違いの説明(文献³⁾より)

明を行っていた。それは、反射には鏡面・拡散の2種類があること(透過も同様)と、ある場所の明るさ(厳密には輝度)は、その場所における直接光と間接光の成分により定まる、という点である。

反射特性については、表1の第1週のIntroductionの講義の際に、図2のような図を呈示し、映り込み、光沢、てかりなどという日常的な現象に関連付けて説明を行った。

また、第8週の光の取り扱いの講義では、Introductionで説明した2つの反射特性の利用の仕方

を説明している(図3 参照)。なお、反射特性を拡散反射と鏡面反射の割合で与える方法は、コンピュータグラフィクス分野では一般的であるが、Ray Tracing 系のアプリケーションでは、鏡面反射に伴う現象である映り込みとハイライトを別に取り扱わなければならない。これは、実体としてのオブジェクトの映り込みと、実体のない光源(Ray Tracing 系アプリケーションでは光源は原則的に点となり大きさを持たない)の映り込みは、違ったプロセスで実現する必要があるからである。POV-Ray では、ハイライトの表現方法として Phong モデルが利用されており、これについても講義の際に説明を行っている。また、第 8 週では、配光特性を考慮した光源の利用法についても説明を行っている。

2.3 2004 年度に追加した講義内容

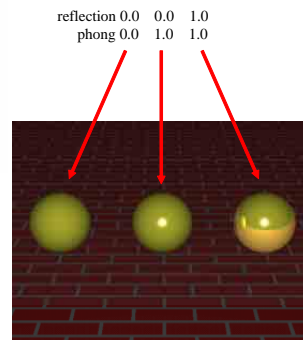
光のふるまいに関する知識は特に追加せず、光源の表現としての体裁をなすための CG 利用のテクニックについてのみ追加資料を配布した。その内容は、擬似的な間接光の表現と、発光して輝く光源そのものの見せ方である。

POV-Ray は Ray Tracing 系の CG アプリケーションであり、間接光の表現を行うためには Radiosity 法の原理及びパラメーターの設定方法、もしくは環境光の設定方法を教授する必要がある。ここでは、これまでに学習した内容の延長でこの問題を解決するため、視点位置に光源を配置することで間接光を与えることとした。一般に、ダミーの光源を配置すると、それによる不自然な影が生じてしまい、全体としての輝度分布のリアリティを損ねてしまうことがあるが、視点位置と光源位置が一致する場合は影が生じないため、無難な間接照度効果を得ることが出来る。

光源については、Ray Tracing 法が光源を原則として点光源としているため、発光面を見せることが困難であり、これは簡単には解決しない。ダミーの光源を構成するオブジェクト(以下、ダミーオブジェクト)で真の光源を覆うと、今度は真の光源からの光の流れがダミーオブジェクトに遮断されてしまい、真の光源による輝度分布を得ることが出来ない。そこで、ダミーオブジェクトを光の流れに干渉しないよう設定し、かつダミーオブジェクト表面の反射率を 1 以上に設定し、間接光のための微弱な光源による光だけでも強く反射し、結果として発光しているように見せるようなテクニックを紹介した。

ハイライトの例

```
object {
  sphere {<10, 0, 6>, 3}
  pigment {color rgb<0.9, 0.9, 0.2>}
}
object {
  sphere {<0, 0, 6>, 3}
  pigment {color rgb<0.9, 0.9, 0.2>}
  finish {phong 1.0}
}
object {
  sphere {<-10, 0, 6>, 3}
  pigment {color rgb<0.9, 0.9, 0.2>}
  finish {reflection 1.0 phong 1.0}
}
```



左の球は、reflection及びphongの設定が行われていないため、両方ともデフォルト値の0.0が用いられ、鏡面反射は起こらない。中央の球は、光源のみ鏡面反射しているため、不自然な状態になる。右の球は、reflectionとphong両方の設定が行われているため、レンガブロックパターンと隣接する球、及び光源が映り込んでおり、通常の鏡面反射を再現したものとなる。

図3 映り込みとハイライトの説明(文献³⁾より)

表2 照明器具の課題の提出者の所属学科学部

	工学部					生活科学部	計
	建築学科	土木工学科	物理工学科	情報工学科	環境都市工学科	居住環境学科	
1年生	31	29	1	0	25	44	153
2年生以上	2	0	0	18	0	3	

3 提出作品

照明器具の課題は、2003 年度までの CSG の課題としての位置付けを踏襲し、かならず CSG 処理を 1 回以上含んだ上で照明器具を表現することを条件とした。また、光の表現としては、光源から出発する光だけでなく、オブジェクトで受け止められる光も重要となるため、照明器具単体ではなく、必ず周囲の空間を併せて表現するものとした。

課題は表 1 第 6 週目の CSG の説明を行った直後に出题されるが、第 7 週目が中間試験、第 8 週目が光の取り扱いとなるため、履修学生には出题から 1 週間の間に制作する照明器具を方眼紙に正投影(第 3 角法)で手書きで表現し、提出することを求めた。この後、光の取り扱いを学んだ後、2 週間後を締切として POV-Ray のデータ(シーンファイル)としてメールで提出することとし、最終的に 153 作品が提出された。提出者の属性は表 2 の通りである。

図 4 に、提出された作品の一部を示す。図 4 左上は 9KB のシーンファイルからなる工学部情報工学科 2 年生の作品、図 4 右上は 8KB のシーンファイルか

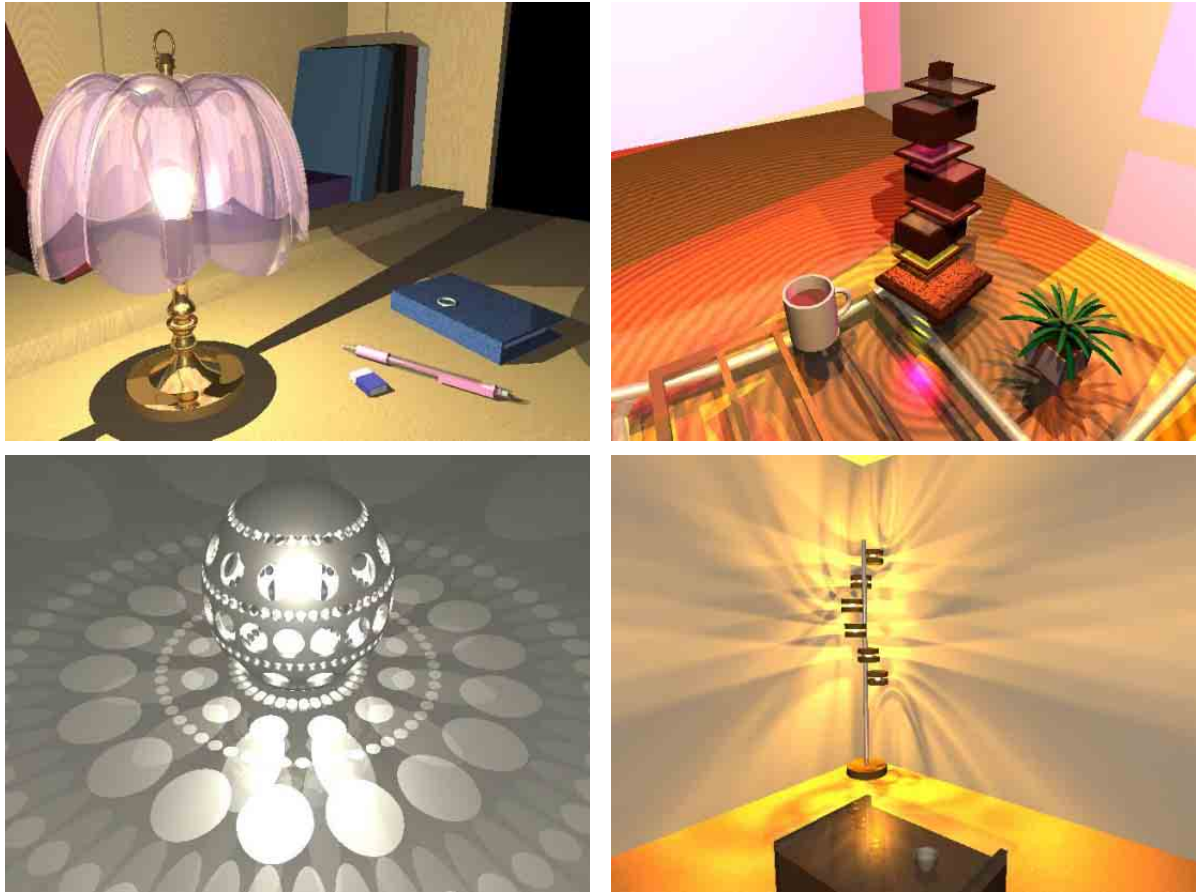


図4 提出された作品の例

らなる工学部建築学科1年生の作品である。これらはどちらも既存作品を基にしたもので、形状の再現性が非常に高い。また、図4左下、図4右下はそれぞれ2KB、3KBのシーンファイルからなる生活科学部居住環境学科1年生の作品であり、どちらもほぼオリジナルのもので、光源による輝度分布による表現が優れている。また、図4左上、左下の作品は、光源の発光面とそれ以外の部分の輝度のバランスが適切である。今回講義の際に伝えたテクニックでは、間接光を与えるための視点位置での光源と、発光面でのダミーオブジェクトの反射率がそれぞれの履修者の判断に委ねられてしまうため、直感で不自然さが判断できない場合には、暗すぎたり明るすぎたりするなどの不自然な作品となってしまった。また、特に天空光のテクスチャーとして晴天空に相当するものを利用した際には、それらは光源としては考慮されないため、室内は夜間だが室外は昼、というような不自然なイメージになってしまったものもあった。もっとも、光源や間接光の表現に適していないアプリケーションで照明器具を表現することは、履

修者の直感をトレーニングすることになるので、このようなアプリケーションの入門期の学生にあえて利用させることは意義のあることと考えられる。いずれにしても、様々な照明器具に基づく輝度分布の実例、天空光と人工照明が並存している場合の例など、シミュレーションではなく実際に現実空間の輝度分布の実例を収集し、次年度の課題出題の際には十分に情報提供する予定である。

4 授業調査結果

図形科学の課題としての照明器具の効果を検討するため、学期末試験(2005年2月1日)の場において、図5のような授業調査を行った。それぞれの項目について、「強くそう思う」、「そう思う」、「どちらでもない」、「そう思わない」、「全くそう思わない」の5段階で評価させた。同時に、階段、照明器具、最終課題のそれぞれの作品制作に費やした時間、主としてPOV-Rayを利用した環境、照明器具の作品がオリジナルであるか否かについて記述を求めた。課題作成に費やした時間の平均値は、階段が3.0時間(最小

図形科学Ⅱの授業の内容についてお答え下さい。

- この授業は面白かった
- この授業は分かりやすかった
- この授業で学んだことは将来役に立つ
- この授業を人に勧めたい

本年度より課題の内容が変更になった CSG を用いた照明器具の課題についてお答え下さい。

- 「CSG を用いた照明器具の課題」は面白かった
- 「CSG を用いた照明器具の課題」は光のふるまいに関する知識を身につける上で役に立った
- 「CSG を用いた照明器具の課題」で身につけた光のふるまいに関する知識・技術は、最終課題に反映された
- 来年度以降も、単なる「CSG を用いた図形の課題」ではなく、「CSG を用いた照明器具の課題」とすべきだ。

図5 授業調査の項目

0時間(すべて授業時間中に終了)、最大24時間)、照明器具が6.7時間(最小0.5時間、最大72時間)、最終課題が15.5時間(最小1時間、最大100時間)であった。なお、授業調査の時点では最終課題を提出しておらず、このためにこの時間を記入していない学生も見られた。また、最終課題作成に費やした時間は、この後のアニメーション課題の作成に費やした時間を含んでいるケースもあると思われる。

課題作成における POV-Ray の利用環境は、無回答を除くと95%以上が「自分(家族)のPCにインストールした POV-Ray を利用」であった。また、オリジナルの作品は98、何かを参考にした作品が50、無回答が5であった。

図6は、授業調査の結果について、「強くそう思う」を5点、「全くそう思わない」を1点とし、それぞれの質問項目ごとに平均値を求めたものをグラフに示したものである。総じて高い評価が得られたが、分かりやすさ、照明器具の課題で身につけたことが最終課題に反映されたかどうか、次年度以降も照明器具の課題を続けるべきかどうか、という項目についてやや評価が低かった。

5 シーンファイル分析結果

前述のように、POV-Rayにおけるオブジェクト記述はシーンファイルと言われるテキストファイルを構成する(図3左上のテキストはシーンファイルの一部)。2004年度履修学生のシーンファイルを、照明器具を導入していなかった2002年度、2003年度の学生のシーンファイルと比較することで、照明器具課題導入のインパクトを定量的に分析することができ

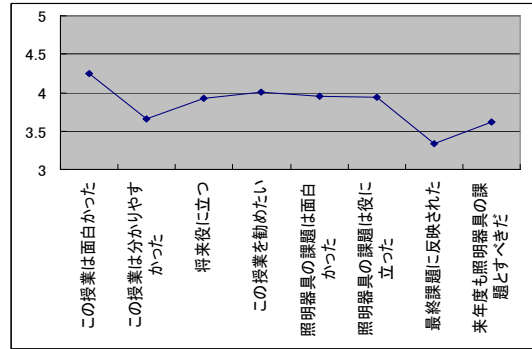


図6 授業調査の結果

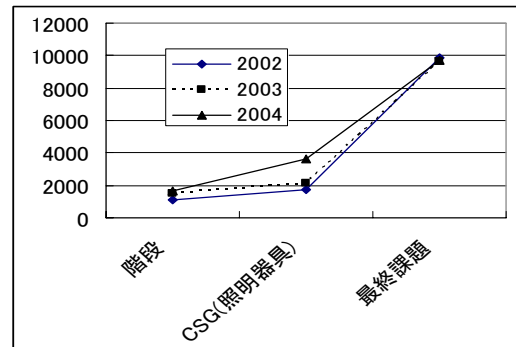


図7 3年間に提出されたシーンファイルの平均バイト数(縦軸はバイト)

る。ここでは、照明器具(2003年度以前はCSG)の課題に加えて、前後の階段、最終課題のシーンファイルも対象とした。分析の内容は、シーンファイルのファイルサイズ、配光特性を持つ光源の利用の有無、鏡面反射特性の利用の有無、金属の反射特性の利用の有無とした。

図7は、2002年度から2004年度に提出された階段、CSG(2004年度は照明器具)、最終課題の作品のシーンファイルの平均バイト数である。シーンファイルは、繰り返しや条件分岐の利用技術が未熟な場合には増大してしまうので、シーンファイルのバイト数の大きさが必ずしも作品のレベルの高さに結びつくものではない。しかし、エレガントな記述能力を持つ履修者と、そうでない履修者の割合が毎年同程度だと仮定すれば、平均バイト数の大きさは、作品に対する取り組みの熱心さを反映するはずである。この図によれば、各年度とも階段と最終課題の平均バイト数には大きな差がないが、CSG(2004年度は照明器具)では、2004年度はそれ以前に比べて1.7~2倍となっており、単なる形の表現に加えて光の取り扱いを考慮するために、シーンファイルが非常に大きくなっていることが分かる。

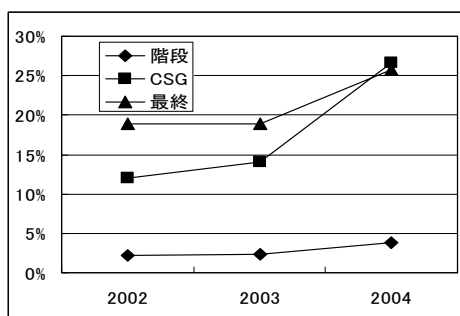


図8 spotlight を含むシーンファイルの割合

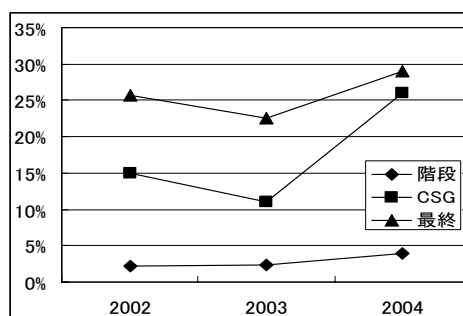


図10 phong を含むシーンファイルの割合

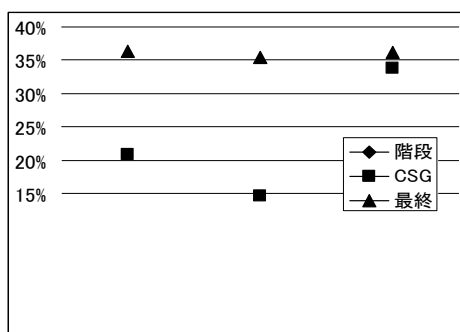


図9 reflection を含むシーンファイルの割合

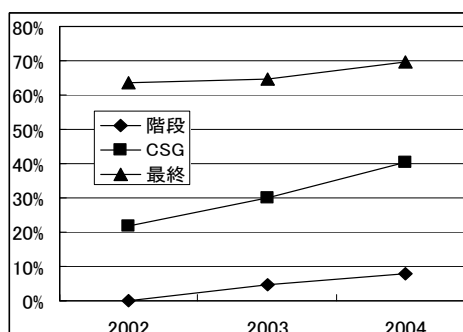


図11 metals.inc を含むシーンファイルの割合

また、図8～11に、「spotlight」、「reflection」、「phong」、「metals.inc」というキーワードを含むシーンファイルの割合の推移を示す(ただし、2004年度の照明器具の課題でもグラフではCSGと表記)。これらのキーワードは、それぞれ「配光特性のある光源」、「映り込みの発生する反射特性」、「ハイライトの発生する反射特性」、「金属の反射特性」の利用を推定させるものである。これらの図から判断すると、2004年度のCSGにおける各キーワードを含む割合が高くなっているのが顕著であるが、2004年度の最終課題においても、総じて他の年度より各キーワードを含む割合が高くなっていることが分かる。

6 まとめ

図形科学教育における提出課題のテーマとして照明器具を導入し、光の取り扱いについて履修学生の意識を高めることを試みた。履修学生の授業調査結果では、総じて高い評価が得られたが、分かりやすさ、及び最終課題に反映されたかどうか、次年度以降も照明器具の課題を続けるべきかどうか、という項目についてやや評価が低かった。しかし、提出された作品のシーンファイルの分析では、照明器具の課題で高まった光の取り扱いに対する意識は次の課

題でも持続しているようであり、少なくとも最終課題への反映、という点では十分な成果が上がっていると考えられる。今後は、この課題を継続させることで作品の平均レベルを上昇させると共に、現実空間の輝度分布の事例を呈示し、不自然な作品の数を減らしていく予定である。

補注

- 注1) Persistence of Vision Ray Tracerの略。POV-Rayの詳細は、POV-Ray公式Webページ(<http://www.povray.org>)を参照のこと。
- 注2) POV-Rayの最新バージョンは、Radiosity法、Photon Mapping法にも対応しているが、デフォルトの設定で使用する限りにおいてはRay Tracing法のみが用いられることとなる。
- 注3) 2003年度に整備された図形科学演習室の供用開始、それに伴いGUI型モデラーの利用機会を得たことなどの影響で、文献²⁾に示した図形科学IIの講義スケジュール(2001年度のもの)とは異なる点がある。しかし、「かかし」、「階段」、「CSG」、「最終課題」という4つの課題構成となっている点には変化がない。

参考文献

- 1) 鈴木 広隆、三木 信博、デザイン言語教授を目的とした図形科学教育に関する一報告、日本建築学会技術報告集、第16号(2002)、p349-p354
- 2) <http://graphics.arch.eng.osaka-cu.ac.jp/zukeikagaku/> 参照
- 3) 鈴木 広隆、三木 信博、大阪市立大学全学教育科目 図形科学II 平成16年度テキスト(2004)