

光環境 学校 照度  
実測 シミュレーション

1. はじめに

学校照明は児童生徒が視対象物を見やすくすることを助け、近視の予防, 学習効果の向上などを図るうえで重要となっている<sup>[1]</sup>。学習空間に適切な光環境を整備するために、日本では JIS Z9110<sup>1958[2]</sup> (以下 JIS) や学校環境衛生基準<sup>[3]</sup>によって教室内での照度の基準が設けられている。しかしながら本研究の一環として実施したタイにある「虹の学校」と呼ばれる孤児院兼学校における実測調査の結果、生徒が学習に使用している教室の照度が JIS 及び学校環境衛生基準の下限値を下回り、学習空間の照度としては十分でないことを把握した。そのため本研究では照度、照度分布及び照度均斉度といった視対象がよく見えるための照明要件を考慮し、照明器具の本数や配置位置の検討を行うことで、学習空間として適切な光環境の実現するための提案を行うことを目的とする。

2. 研究概要

2.1 対象施設

本研究ではタイ王国のカンチャナブリー県サンクナブリ郡に建設されている「虹の学校」内の RC 造教室を対象とした。施設配置図を図 1 に示す。対象建物は教室及び図書館として使用されており、教室の北東側と北西側の 2 箇所に黒板が配置され主に学習の空間として使用されている。

2.2 測定概要

対象建物の平面図を図 2 に、測定概要を表 1 に示す。対象建物は教室と図書館の 2 室からなっており教室に 4 本、図書館に 4 本、合計 8 本の照明器具が配置されている。本測定は照明を点灯せず日光のみの条件で行った。

2.3 測定結果

図 3 に各測定点における照度の測定結果を示す。昼光照明では測定した 3 カ所でいずれも十分な照度を確保できておらず測定点 1 においてはいずれの時間帯でも 300 lx を下回っている。また、測定点 1 での夜間 (20:30) の照明点灯時の照度は 76 lx であり、照明点灯時も十分な照度が確保できていなかった。照度の評価を行うに当たり、表 2 及び表 3 に示す JIS と学校環境衛生基準値を用いた。

2.4 計算による検討概要

実測の結果から RC 造建物内 (教室側) では学習空間として適切な照度が得られていない結果となった。そこで必要照度を 300 lx に設定し、日光がない条件でも必要照度を満たす照明器具の本数の選定を行った。一般的な計算手法として光束法が用いられるが、照度分布、照度均斉度及び照明器具の配置といった詳細を決定するには至らない。そこでシミュレーション (Radiance) による検討も行い視対象が良く見えるための照明要件を含めた光環境の検討を

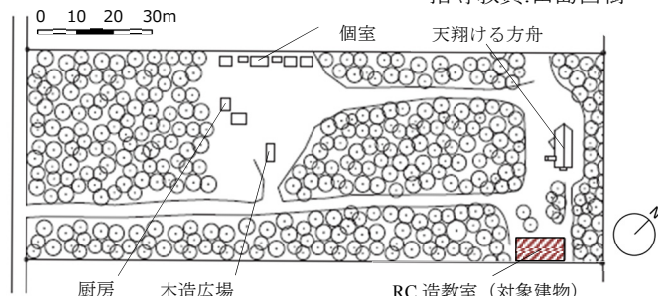


図 1 施設配置図

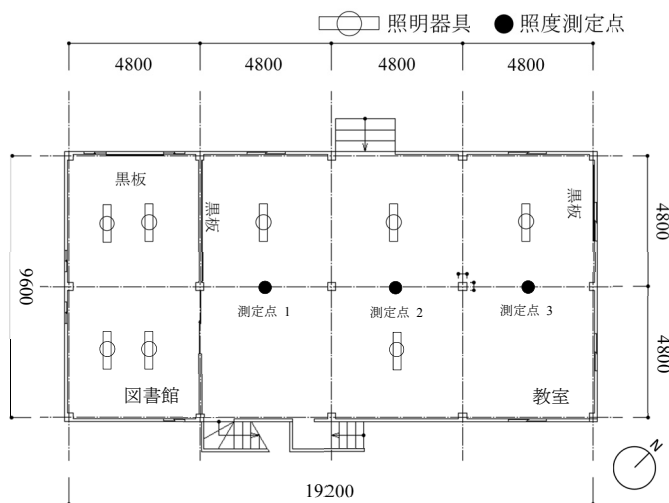


図 2 RC 造教室の平面図

表 1 測定概要

名称	RC 造教室
期間	2015/3/2~3/5
測定時間	8:00, 10:00, 12:00, 14:00, 16:00, 18:00, 20:30
測定項目	照度
測定点	測定点 3 点 (図 2 参照)
測定機器	testo 540

表 2 JIS Z9110:2011<sup>[2]</sup>

領域又は活動の種類	推奨照度	照度範囲
学習空間	教室	300 lx
	図書閲覧室	500 lx
		照度範囲
		200~500 lx
		300~750 lx

表 3 学校環境衛生基準値<sup>[3]</sup>

教室及びそれに準ずる場所の照度の下限値	300 lx
教室及び黒板の照度	500 lx

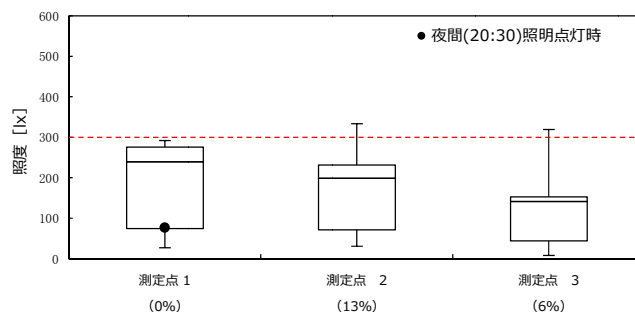


図 3 測定点毎の照度の観測結果

行った。図 4 に示すように梁に沿って区間を 6 つに分け、学習のスペースとして使用されている区間をゾーン A 及びゾーン B とし照度分布に関してはゾーン A を評価の対象とした。また、ゾーン A とゾーン B の中央と教室の中央の計 3 カ所に評価点（机上面高さ）を設け照度検討を行った。

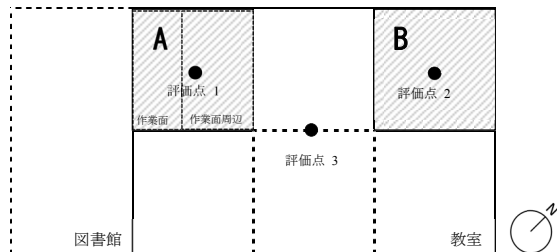


図 4 対象ゾーンと評価点

### 3. 光束法による照明器具の必要本数の検討

#### 3.1 光束法の概要

式 (1-1) に示す光束法<sup>[4]</sup>を使用し、必要照度を 300 lx と設定した際の照明器具の本数を計算によって算出した。Lamp の概要は実際に対象建物で使用されている照明器具のデータを Web 上<sup>[5]</sup>の情報を参考に設定した。計算に使用した Lamp の概要と光束法による計算条件を表 4 及び表 5 に示す。

$$E = U \times \Phi \times N \times \frac{M}{A} \quad (1-1)$$

E : 平均照度[lx]  
 A : 作業面の面積[m<sup>2</sup>]  
 Φ : 光源 (ランプ) の光束  
 N : 光源 (ランプ) の数  
 U : 照明率  
 M : 保守率

表 4 使用した Lamp の概要

Model Type	FL36WT8
Rate Lamp Watt[W]	36
Flux[lm]	3250

表 5 光束法による計算条件

	教室全体	ゾーン A	ゾーン B
A: 作業面面積	184.32m <sup>2</sup>	23.04m <sup>2</sup>	23.04m <sup>2</sup>
U: 照明率	0.61	0.41	0.41
M: 保守率	0.68	0.68	0.68

#### 3.2 計算結果

算出された照明器具の必要本数を表 6 に示す。教室全体で 44 本、ゾーン A、ゾーン B で 9 本ずつの照明器具が必要という結果となった。

表 6 計算結果

	教室全体	ゾーン A	ゾーン B
照明器具の必要本数	44 本	9 本	9 本

## 4. Radiance シミュレーションによる光環境の検討

本研究では SketchUp を用いて対象建物のモデルを作成し、su2rad プラグインを使用することで Radiance<sup>[7]</sup> シミュレーションのデータに変換し空間モデルの解析により光環境の分析を行った。

### 4.1 昼光照明に関する検討

図 5 に測定点 1 の照度の実測値と昼光照明で行ったシミュレーションの結果を示す。表 7 に使用したモデルの設定値を示す。全天空照度を明るい日の天空状態として一般的に設定される 30,000 lx と設定した。実測値とシミュレーションによる照度は実測値がやや高い値を示したが一定の精度があると考え、以下の検討でも本モデルを採用した。

表 7 モデルの設定値

設定日	3月3日
全天空照度	30,000 lx
経度 / 緯度	東経 15.144° / 北緯 98.457°
地盤面の反射率 / 大気汚濁度	0.2 / 1.7

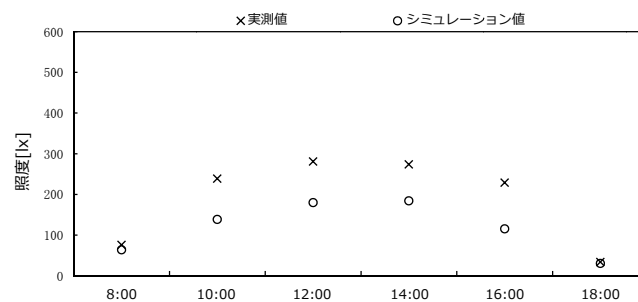


図 5 測定点 1 の照度結果

### 4.2 人工照明に関する検討

光束法で算出した照明器具の必要本数 44 本について照明器具の配置の検討を行った。使用 Lamp は光束法と同様の条件となっている。その他シミュレーションに使用した設定条件を表 8 に示す。

表 8 シミュレーションに使用した Lamp の設定条件

Lamp type	WHITE
Lamp geometry	cylinder
Cylinder length[m]	1.2
Cylinder radius[m]	0.013
Lamp lumens[lm]	3250
Lamp color[RGB]	58.955464, 58.963287, 58.983340

#### (1) 器具配置

建物の梁との関係から照明器具 44 本の配置を図 6 のように行った。なお当該建築の梁等の構造上の制約により日本の学校照明として一般的に使用されている 2 本組の照明器具は設置できず一器具一本の配置とした。

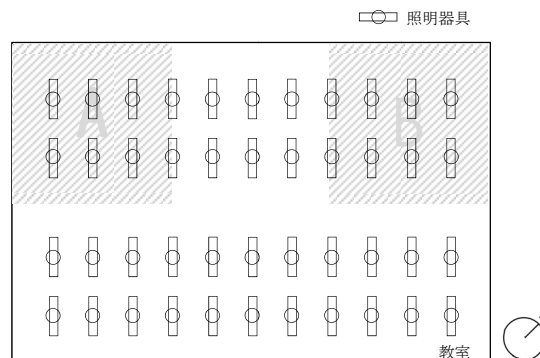
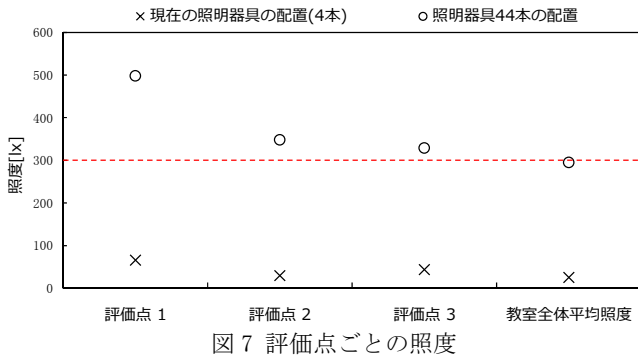


図 6 照明器具 44 本の配置図

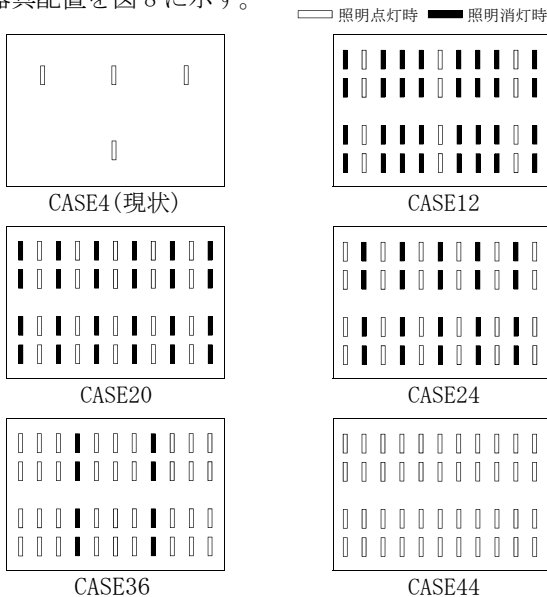
## (2) 机上面照度に関する検討

図 7 に現在の照明器具の配置と照明器具を 44 本配置した場合 (図 7) の照度の計算結果を示す。現在の照明器具の配置ではすべての評価点で照度が  $100lx$  を下回ったのに対し、照明器具を 44 本配置した条件では全ての測定点で  $300lx$  を上回った。



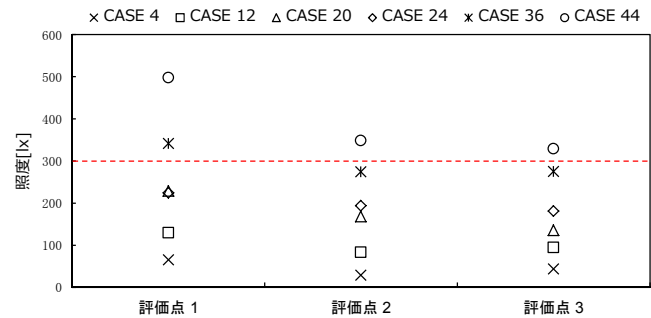
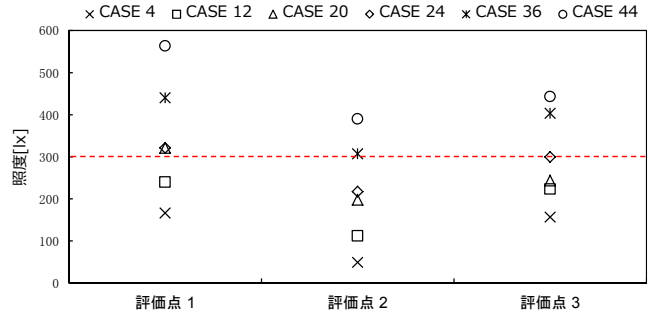
## (3) 照明器具の点灯本数の検討

44 本の照明器具を配置したシミュレーション結果ではどの評価点でも  $300lx$  を上回る結果となった。そこで照明器具の点灯本数を減らした条件を設定し、照度の検討を行った。また学習スペースであるゾーン A に評価点を増やし照度分布の検討も行った。照度器具の点灯本数は現状の照明器具の本数である 4 本、計算により必要本数を求めた 44 本に加え新たに 12 本、20 本、24 本、36 本で検討を行い、配置名称はそれぞれ CASE4、CASE44、CASE12、CASE20、CASE24、CASE36 とした。各 CASE の照明器具配置を図 8 に示す。



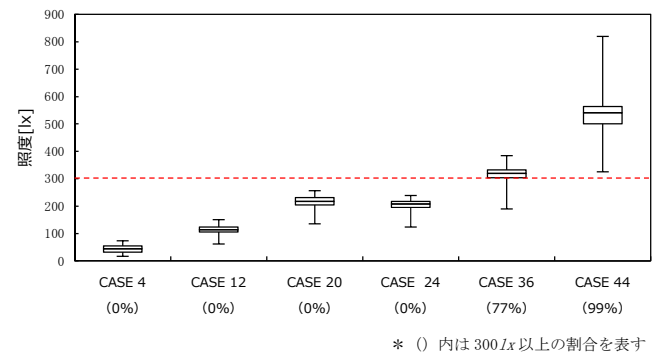
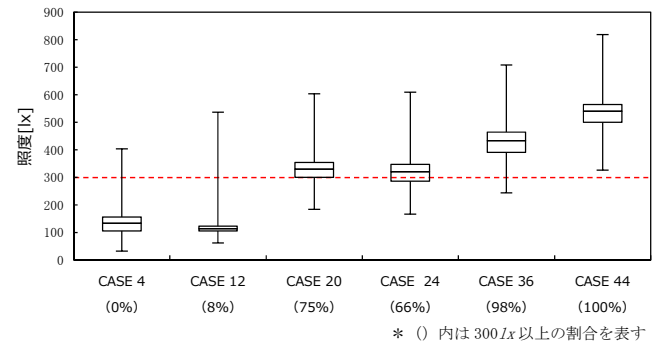
## (4) 点灯本数別の照度

図 9 及び図 10 に昼間 (12:00) と夜間 (20:00) での各 CASE のシミュレーション結果を示す。12:00 で  $300lx$  を上回る結果を得たのは CASE36 及び CASE44 となり、20:00 では CASE44 のみが  $300lx$  を上回る結果となった。



## (5) ゾーン A における照度

ゾーン A における 12:00 と 20:00 での照度分布のシミュレーション結果を図 11 及び図 12 に示す。分布の評価は  $0.2m$  間隔で行った。12:00 では、CASE4 及び CASE12 以外で  $300lx$  を上回る結果となった。20:00 では、CASE36 及び CASE44 の配置のみ  $300lx$  を上回る結果となった。



### (6) 照度均斉度

CIE<sup>[10]</sup>では、机上面高さの作業面の均斉度は 0.7 以上、また作業面のすぐ周辺の均斉度は 0.5 以上を推奨している。ゾーン A を作業面のすぐ周辺、児童たちが使用している机、黒板付近を作業面と設定し、評価は 0.2m 間隔で照度均斉度の検討を行った。図 13 に作業面、図 14 に作業面周辺の照度均斉度を示す。CASE20、CASE36 及び CASE44 が作業面の照度均斉度 0.7 を上回った。作業面周辺の均斉度は CASE36 と CASE44 が 0.5 を上回った。

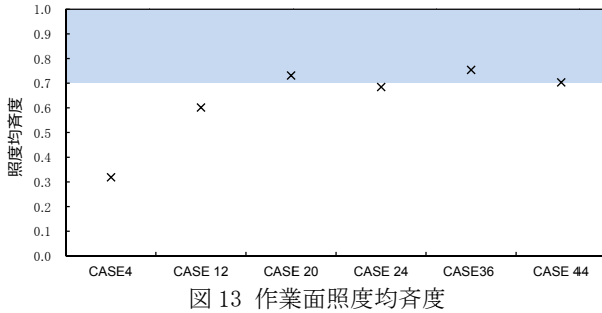


図 13 作業面照度均斉度

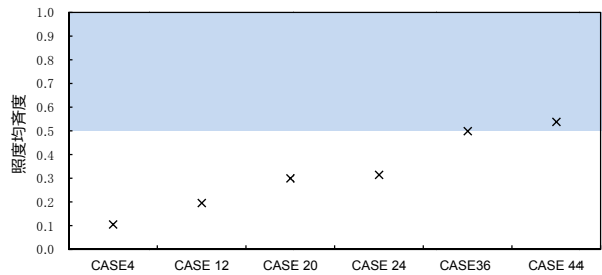


図 14 作業面すぐ周辺の照度均斉度

### (7) 照度分布

図 15 に CASE4 及び CASE44 での昼間 (12:00) と夜間 (20:00) の照度分布図を示す。各図は教室中央から北東方向を向いた視点となっている。CASE4 では、12:00 では教室中央より北側では 300 lx 程度の照度が確保されているが 20:00 になると十分な照度が確保されていない。CASE44 では教室全体で十分な照度が確保されていることが確認できた。

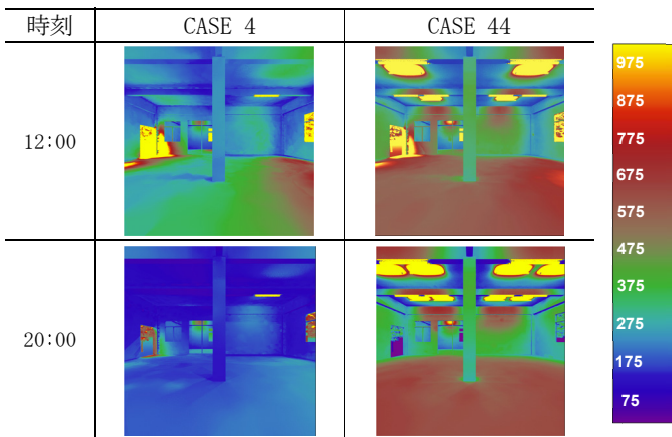


図 15 照度分布図

Unit:lx

### (8) 点灯本数と可能な活動

点灯本数別の計算平均照度と活動領域の基準必要照度の関係を昼間 (12:00) と夜間 (20:00) についてそれぞれ表 1、表 2 に示す。計算によって求めた平均照度が JIS<sup>[4]</sup>で定められている推奨照度を上回っていれば○、いなければ×とした。この結果から点灯本数別の対応可能活動領域の関係が把握できる。

昼間 (12:00) は教室全体では CASE12 以上の点灯本数で体操や卓球を行うのに必要な照度 (200 lx) を満たし、CASE20 以上の本数を点灯することで教室として必要な照度 (300 lx) を満たす。またゾーン A の CASE44 のみが図書閲覧や板書の作業に必要な照度 (500 lx) を満たす結果となった。夜間 (20:00) は教室全体では CASE36 及び CASE44、ゾーン A では CASE20 以上の点灯本数で体操や卓球を行うのに必要な照度 (200 lx) を満たし、教室として必要な照度 (300 lx) を満たすのは、教室全体では CASE44、ゾーン A では CASE36 及び CASE44 となった。

表 1 点灯本数と活動領域の関係 (12:00)

活動領域 と種類	基準値 必要照度	計算値 平均照度	教室全体						ゾーン A					
			CASE						CASE					
			4	12	20	24	36	44	4	12	20	24	36	44
12:00			180 lx	235 lx	300 lx	315 lx	395 lx	455 lx	135 lx	225 lx	325 lx	315 lx	415 lx	530 lx
体育*1	200lx	×	○	○	○	○	○	×	○	○	○	○	○	○
学習空間*2	300lx	×	×	○	○	○	○	×	×	○	○	○	○	○
作業*3	500lx	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×

\*1 体操及び卓球 \*2 教室及び体育館 \*3 図書閲覧及び板書

表 2 点灯本数と活動領域の関係 (20:00)

活動領域 と種類	基準値 必要照度	計算値 平均照度	教室全体						ゾーン A					
			CASE						CASE					
			4	12	20	24	36	44	4	12	20	24	36	44
20:00			25 lx	80 lx	145 lx	150 lx	230 lx	300 lx	45 lx	115 lx	215 lx	205 lx	315 lx	420 lx
体育*1	200lx	×	×	×	×	○	○	×	×	○	○	○	○	○
学習空間*2	300lx	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	○	○
作業*3	500lx	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×

\*1 体操及び卓球 \*2 教室及び体育館 \*3 図書閲覧及び板書

## 5. まとめ

本研究では、虹の学校の教室を対象に学校施設として必要な照度や、照度分布、照度均斉度といった視対象がよく見えるための照明要件に配慮した照明設計を光束法や Radiance により実施し、配置位置の検討及び点灯本数と対応可能な学習や活動の種類を確認した。

### 参考文献

- [1] (社)照明学会, “学校照明計画”, 照明ハンドブック, 第 2 版, (株)オーム社, 2003, p294
- [2] JIS Z9110<sup>1988</sup> 照明基準総則, 2000.06
- [3] 文部科学省 [改訂版] 学校環境衛生マニュアル 「学校環境衛生基準」の理論と実践 第二章 学校環境衛生基準 第 1 教室等の環境に係る学校環境衛生基準 2 採光照明, [http://www.mext.go.jp/a\\_menu/kenko/hoken/1292482.htm](http://www.mext.go.jp/a_menu/kenko/hoken/1292482.htm) (2015/9/21 取得)
- [4] (社)照明学会, “光束法による照度計算”. 照明ハンドブック, 第 2 版, (株)オーム社, 2003, pp80-81
- [5] LAMP TAN, [http://www.lamptan.co.th/en/product\\_detail.php?cat=&menu=Fluorescent&type=&item=T8%20%25%20%20%20](http://www.lamptan.co.th/en/product_detail.php?cat=&menu=Fluorescent&type=&item=T8%20%25%20%20%20) (2016/2/10 取得)
- [6] 照明学会・技術指針 JIEG-010(2013) “適正交換における照明モデルプラン”. 照度器具の適正交換に関する指針. 2013, p26
- [7] Radiance, <http://radsite.lbl.gov/radiance/> (2015/10/30 取得)
- [8] Radiance による光環境シミュレーション入門 Koji Takemasa
- [9] SketchUp, <https://www.sketchup.com/ja> (2015/9/25 取得)
- [10] CIE: Lighting of Indoor Work Place, CIE S 008/E-2001, p4