

建築学: 快適性を科学する

建築と都市の「見え方」を設計する技術

建築学系 中村芳樹



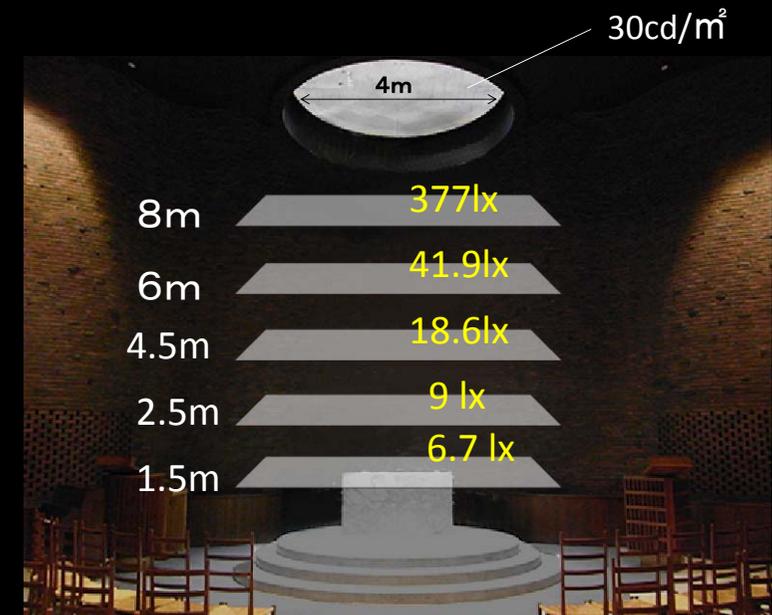
照度は点光源からの距離の二乗に反比例する

(逆二乗則と余弦則)

$$E_{\theta} = \frac{I}{r^2} \cos \theta$$

I: 光度(cd), r: 距離(m), E_{θ} : 照度(lx) (入射角 θ)

空間に存在する光の量は?



光が存在するだけでは、われわれの目には見えない

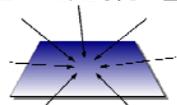


光が見えるためには、目に入る光が必要



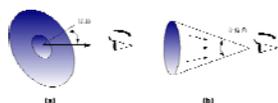
照度 [lx]

モノに当たる光の量



輝度 [cd/m²]

目に入る光の量



実物面の照度と輝度は深い関係がある

均等拡散面を仮定すると

$$L = \frac{1}{\pi} \rho \cdot E \quad \text{式(1)}$$

L : 輝度 [cd/m²]

π : 円周率

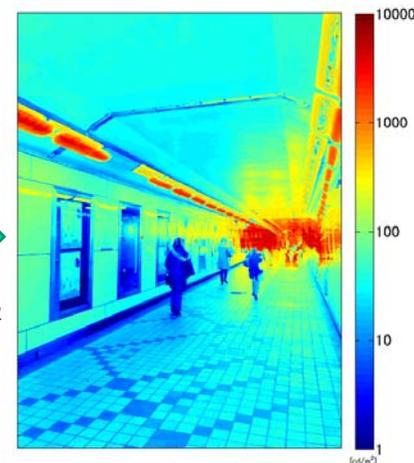
ρ : 反射率

E : 照度 [lx]

光の存在を示す測光量は照度
目に見える測光量は輝度



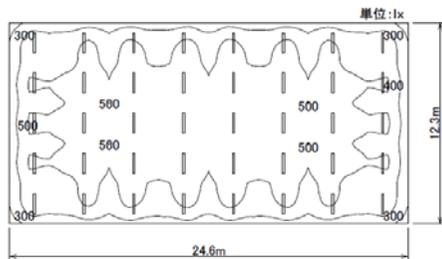
露出情報



輝度画像

光束法 $\rightarrow E = \frac{N \cdot F \cdot U \cdot M}{A}$

E: 作業面照度[lx] N: ランプの数
 F: ランプ1灯当たりの光束[lm] U: 照明率
 M: 保守率 A: 床面積[m²]



全体	
平均照度	490 lx
最小照度	250 lx
最大照度	596 lx
G1 (最小ノ平均)	0.511
G2 (最小ノ最大)	0.420

オフィス 蛍光灯32W*1	水平面照度分布図 計算面高さ0.7m 反射率 天井 75% 壁 60% 床 40%
------------------	--

日本建築学会環境基準 AIJES-L0002-2016
 照明環境規準

表6.1 照明環境の設計規準—居住

作業、活動又は用途	対応する室又は空間の例	L _{wm}	L _{cm}	UGR	ターゲット面	E _t	R _a	備考
事務	共同住宅管理事務所	20	15	19	机上面	500	80	キーボード面: E _t 500 lx / U _t 0.7 ディスプレイ面は低照度が望ましい。
会議、集会	共同住宅集会室	15	10	19	机上面	300	80	顔面: E _t 150 lx 調光を可能にすることが望ましい。
受付	共同住宅受付	15	10	22	机上面	300	80	顔面: E _t 200 lx
導入、滞留	共同住宅ロビー	10	7.5	22	床面	200	80	
共同住宅でのエレベーター待機	共同住宅エレベーターホール	10	7.5	—	床面	200	80	
エレベーター昇降	共同住宅エレベーターかご	10	7.5	—	床面	200	60	
昇降歩行	共同住宅共用階段	7.5	5	22	床面	150	40	階段への導入時の代表的な視野範囲における輝度の急激な変化を避ける。
共同住宅での洗濯	共同住宅洗濯場	7.5	5	—	台上面	150	60	
個人空間での活動	書斎、子供室	5	3	—	床面	100	80	勉強・読書(机上面): E _t 750 lx / U _t 0.7 PC作業(キーボード面): E _t 500 lx 遊び・ゲーム(机上面): E _t 200 lx 調光を可能にすることが望ましい。
住宅での応接	応接間、座敷	5	3	—	床面	100	80	テーブル・座卓(卓上面): E _t 200 lx 床の間・飾り棚(鉛直面): E _t 150 lx

照明学会 オフィス照明設計技術指針 (JIEG-008)

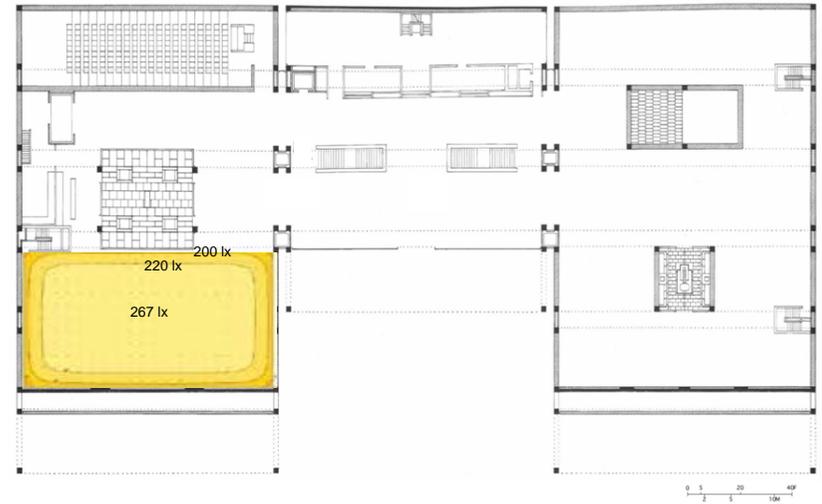
表 4.* オフィス照明基準表

室の種類	照明方式	視作業域内 (TALの場合)		室内全域 (全般照明の場合)		照度連続性	鉛直面照度 [lx]	壁面照度 ¹⁾ [lx]	天井面照度 ²⁾ [lx]	不快 glare (UGR)	光色	演色性推奨値 (Ra)
		水平面照度 [lx]	照度均斉度	水平面照度 [lx]	照度均斉度							
設計室、製図室	TAL/全般	1500	0.6以上			1:5以内	100以上	200	100	16	中,涼	80以上
事務室 ³⁾		750	0.6以上	750	0.6以上	1:5以内	100以上	200	100	19	中,涼	80以上
役員室		750	0.6以上	750	0.6以上	1:5以内	100以上	200	100	16	暖,中,涼	80以上
役員会議室	全般			500	0.6以上	1:5以内	100以上			19	暖,中,涼	80以上
診察室				500	0.6以上	1:5以内	150以上			19	中,涼	90以上
調理室		500	0.6以上			1:5以内	100以上	200	100	22	中,涼	80以上
印刷室、コピー室	TAL/全般	500	0.6以上			1:5以内	100以上	200	100	19	中,涼	80以上
電子計算機室、サーバー室		500	0.6以上			1:5以内	100以上	200	100	19	中,涼	80以上
中央監視室、管理室		500	0.6以上			1:5以内	150以上	200	100	16	中,涼	80以上
コールセンター		500	0.6以上			1:5以内	100以上	200	100	19	中,涼	80以上

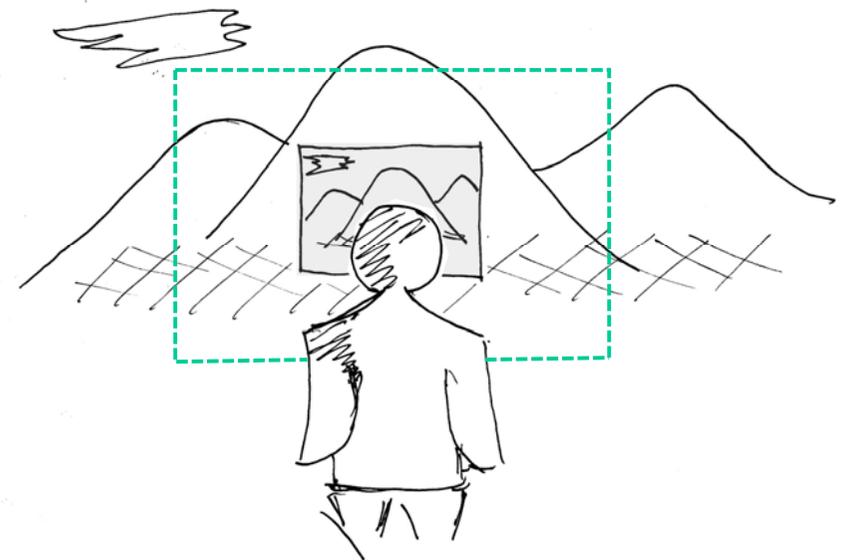
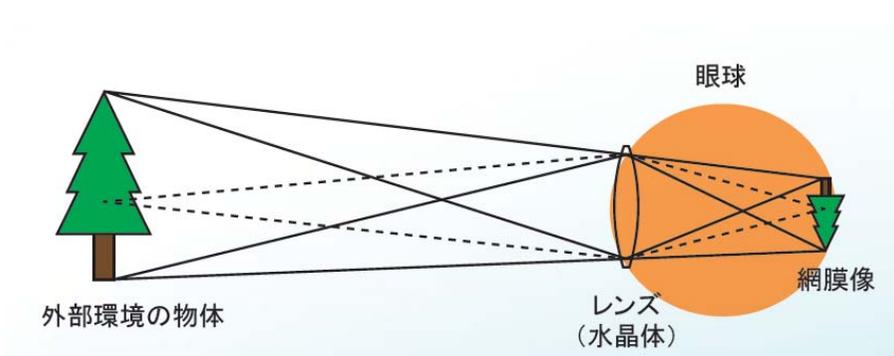


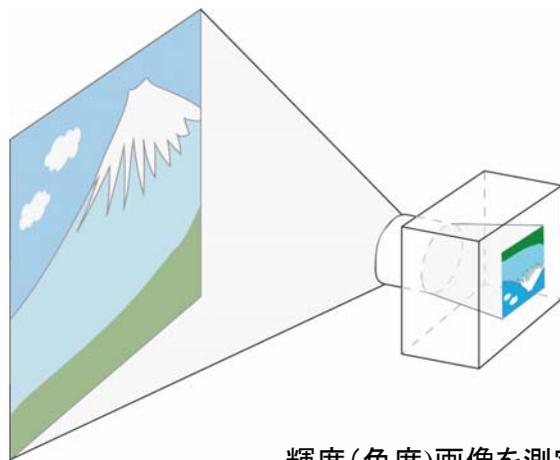


Illuminance distribution on a sunny day.

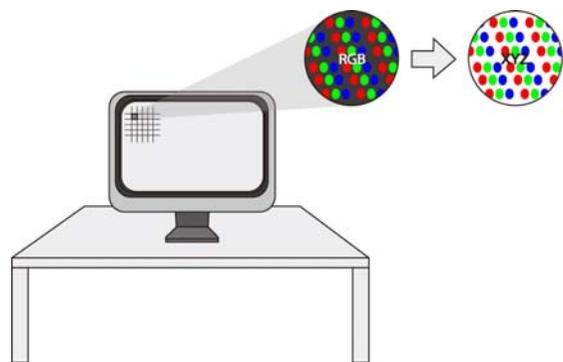
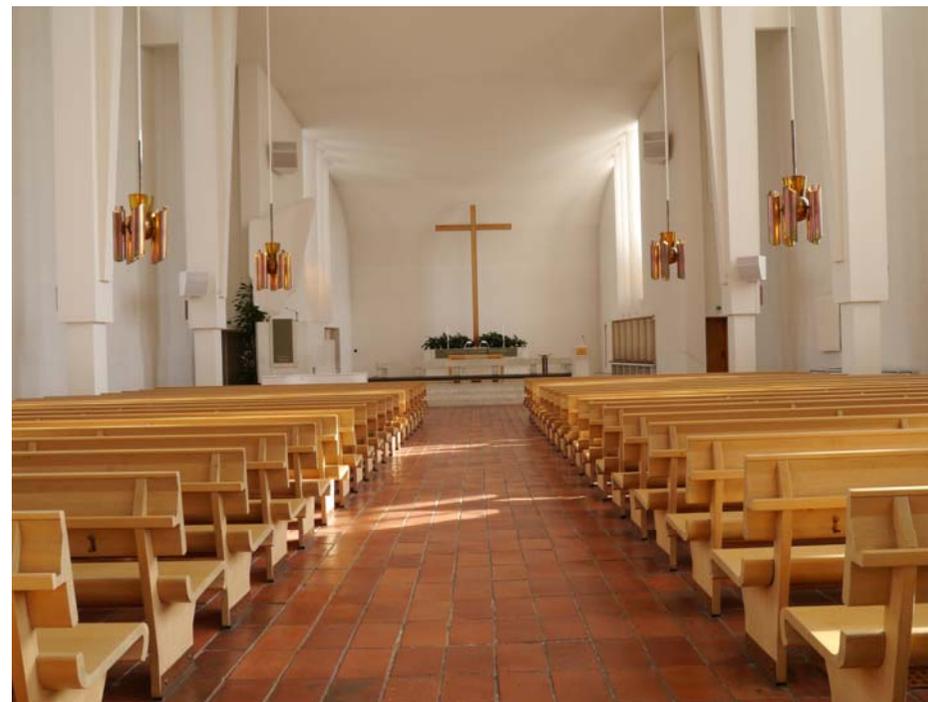


外部環境が見える仕組み

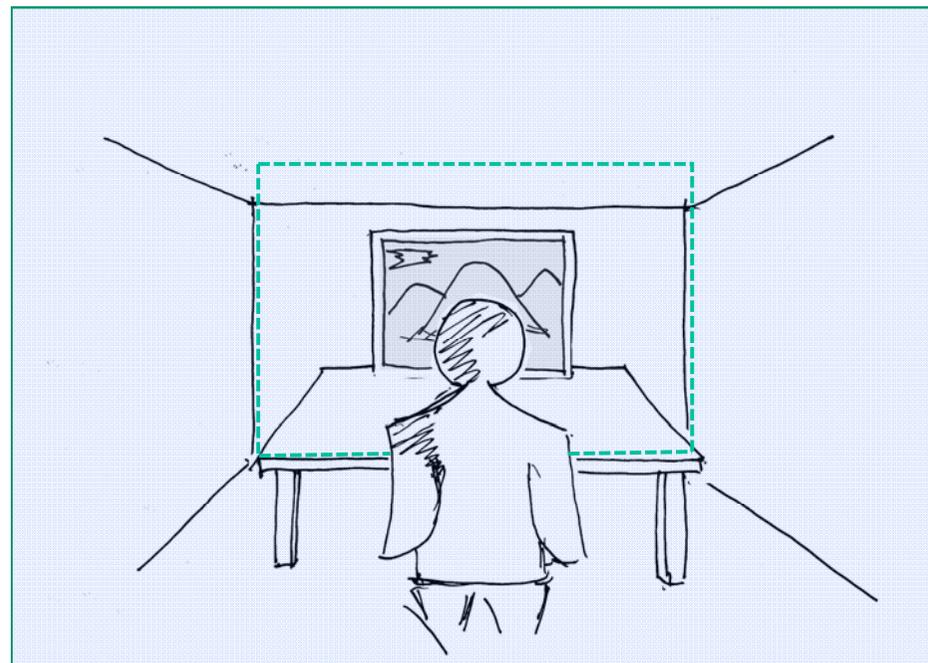




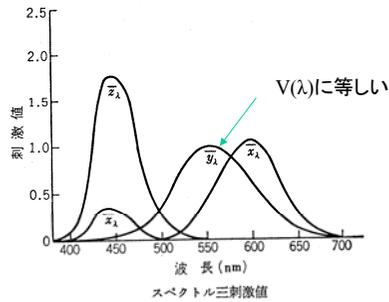
輝度(色度)画像を測定している



輝度(色度)画像を出力している

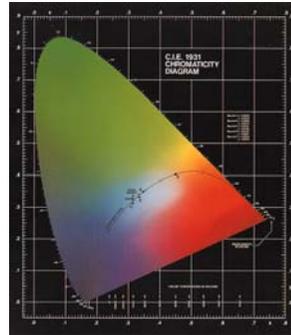


色の基本量



$$x = \frac{X}{X+Y+Z}$$

$$y = \frac{Y}{X+Y+Z}$$



色の基本量: XYZ刺激値

$$X = k \int_{380}^{780} P(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda \rightarrow$$

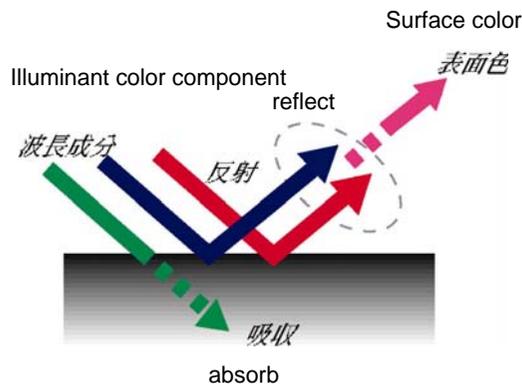
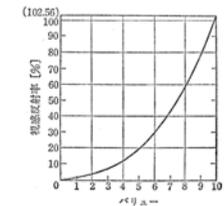
$$Y = k \int_{380}^{780} P(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda \rightarrow F = K_m \int_{380}^{780} V(\lambda) P(\lambda) d\lambda$$

$$Z = k \int_{380}^{780} P(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda \rightarrow$$

マンセル表色系

Munsell color order system

- JISで採用されている。(adapted in JIS and US)
- 色相(ヒュー)、明度(バリュー)、彩度(クロマ)の3次元で色を表す。(three color dimensions of hue, value, chroma)
- 5YR/6 12というような表記法。(色相、明度、彩度の順)(rule for color representation)
- 色の等歩度性が高い。(uniform color space)
- アメリカ、日本

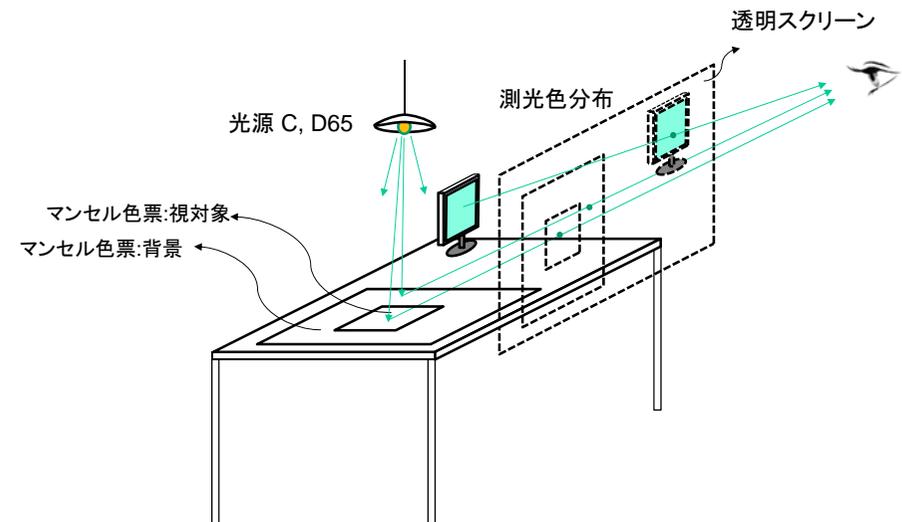


D65 standard illuminant:
(0.313, 0.329)

Reflected luminous color:
 Y_d, x_d, y_d

C standard illuminant:
(0.310, 0.316)

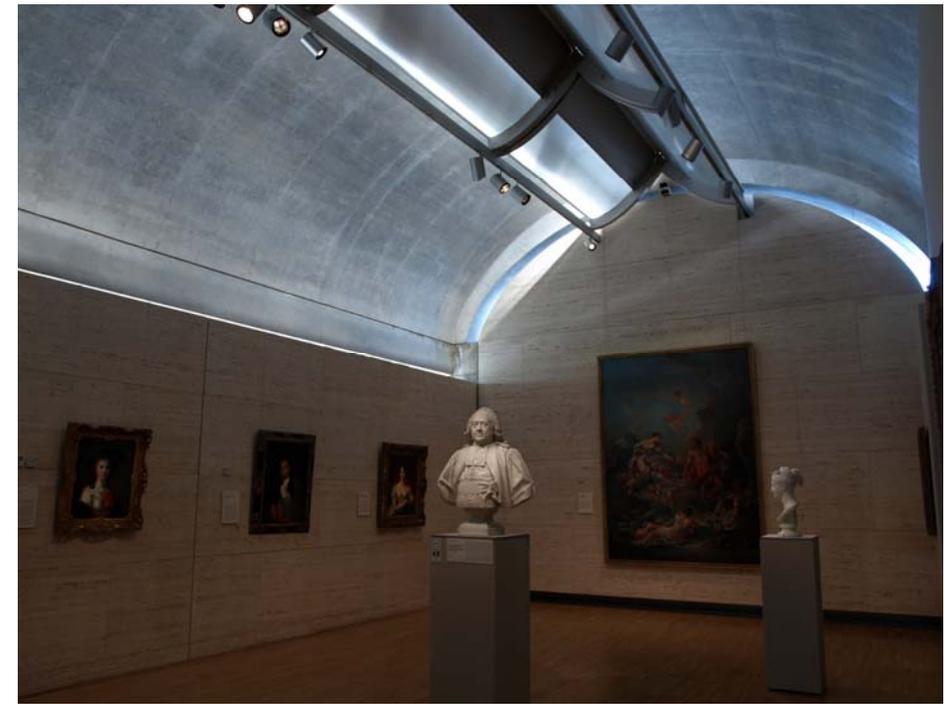
Reflected luminous color:
 Y_c, x_c, y_c



これからの説明では、輝度・色度を測光色と表現します。

図 色の恒常性が成り立つ条件とPCディスプレイと測光色分布の関係

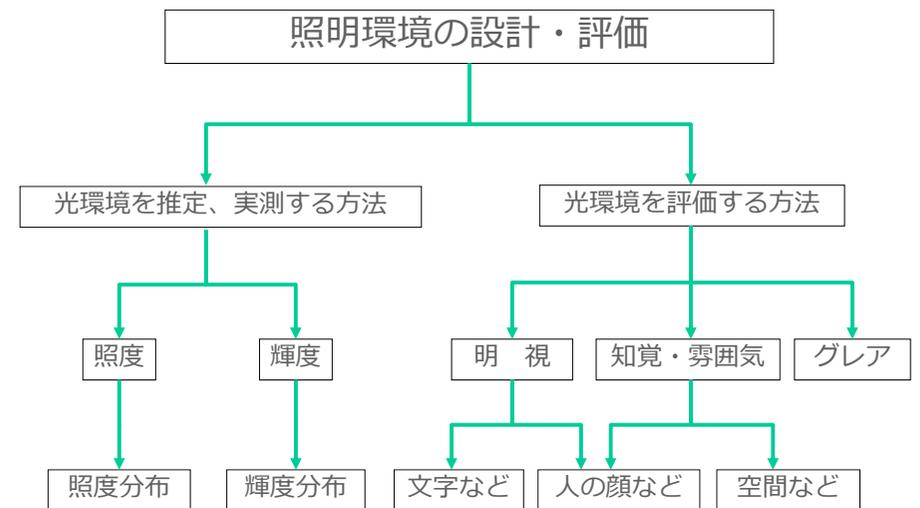
「見え方」を決めるのは コントラスト



Louis Kahn: 沈黙と光 (Silence and Light)

「光」がない状態には二つある。

LightlessとDarkless





視認性 明視の三要素

グレア
$$UGR = 8 \log \left[\frac{0.25}{L_b} \sum \frac{L^2 \omega}{P^2} \right]$$

明るさ知覚 ボードマンなどの明るさ推定モデル
(三要素で決まるとする)

アピアランスをデザインするには
コントラスト・プロファイル法を用いて



等価の視対象サイズ、視対象輝度、背景輝度を
算出し

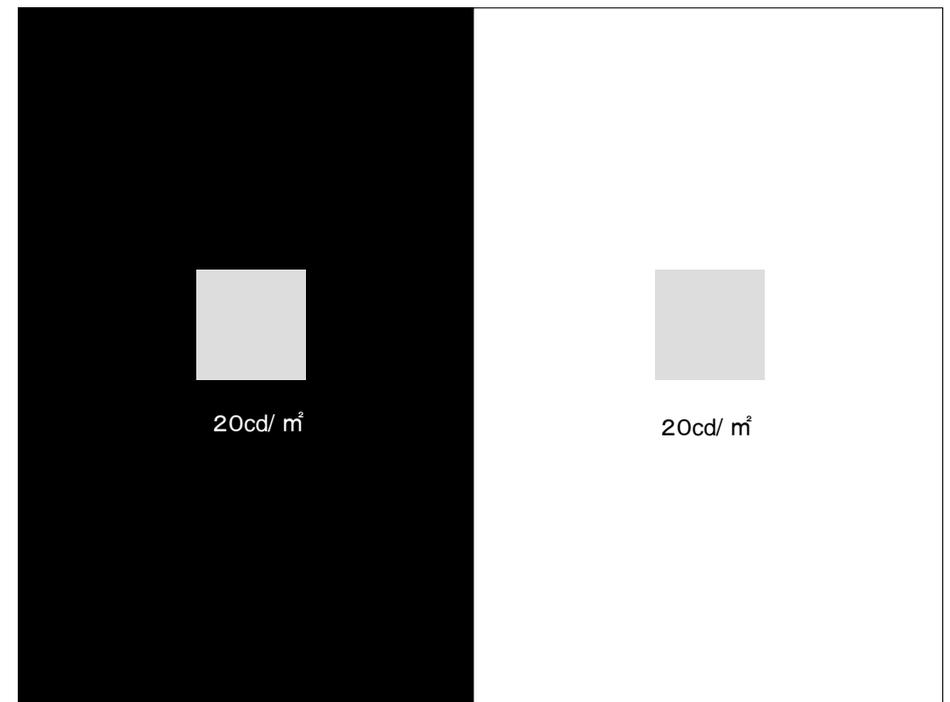
$$\text{Log}_{10}(L_t) = AV + 1.178 * CV$$

$$\text{Log}_{10}(L_b) = AV - 0.113 * CV$$



UGRなど、既往のモデルに当てはめて推定

コントラスト・プロファイル法とは



対象・周辺の決め方

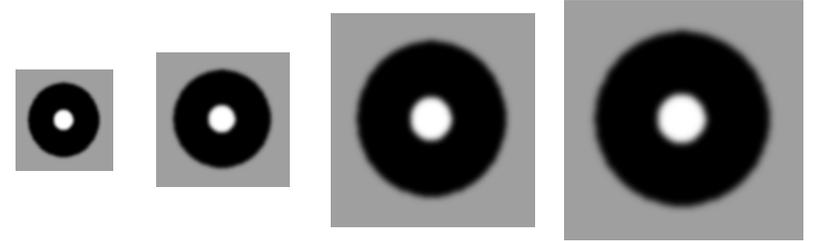


白: 対象輝度を計算する範囲

黒: 周辺輝度を計算する範囲

グレー: カウントしない範囲

コントラストを考える範囲を変化



狭い(小)

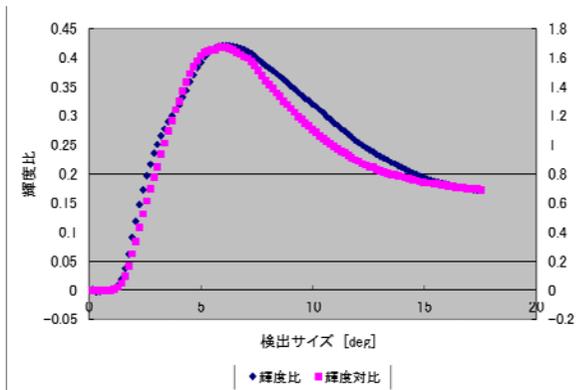
広い(大)

検出波長短い

検出波長長い

対象輝度を白の部分、周辺輝度を黒の部分として、コントラストを考える。

コントラスト・プロファイル



小さな対比の強さ ← → 大きな対比の強さ

-9.03E-09	-6.9E-07	-1.4E-05	-8.14E-05	-0.000145	-8.14E-05	-1.4E-05	-6.9E-07	-9.03E-09
-6.9E-07	-4.77E-05	-0.000851	-0.004344	-0.007298	-0.004344	-0.000851	-4.77E-05	-6.9E-07
-1.4E-05	-0.000851	-0.012131	-0.044467	-0.060253	-0.044467	-0.012131	-0.000851	-1.4E-05
-8.14E-05	-0.004344	-0.044467	-0.037362	0.094129	-0.037362	-0.044467	-0.004344	-8.14E-05
0.000145	-0.007298	-0.060253	0.094129	0.49049	0.094129	-0.060253	-0.007298	0.000145
-8.14E-05	-0.004344	-0.044467	-0.037362	0.094129	-0.037362	-0.044467	-0.004344	-8.14E-05
-1.4E-05	-0.000851	-0.012131	-0.044467	-0.060253	-0.044467	-0.012131	-0.000851	-1.4E-05
-6.9E-07	-4.77E-05	-0.000851	-0.004344	-0.007298	-0.004344	-0.000851	-4.77E-05	-6.9E-07
-9.03E-09	-6.9E-07	-1.4E-05	-8.14E-05	-0.000145	-8.14E-05	-1.4E-05	-6.9E-07	-9.03E-09

→ C値

輝度コントラストの算出フィルタ

1/9 ²								
1/9 ²								
1/9 ²								
1/9 ²								
1/9 ²								
1/9 ²								
1/9 ²								
1/9 ²								

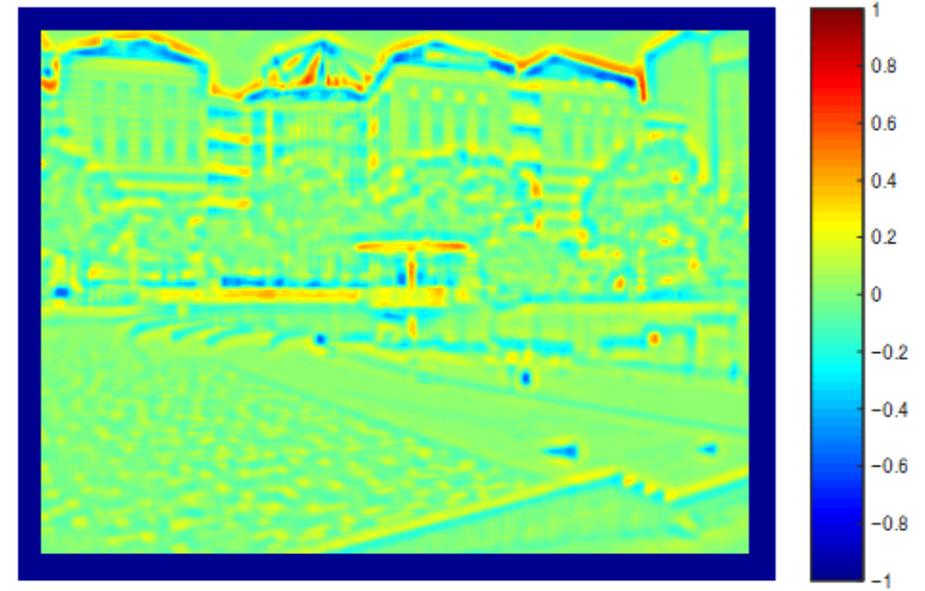
→ A値

平均値の算出フィルタ

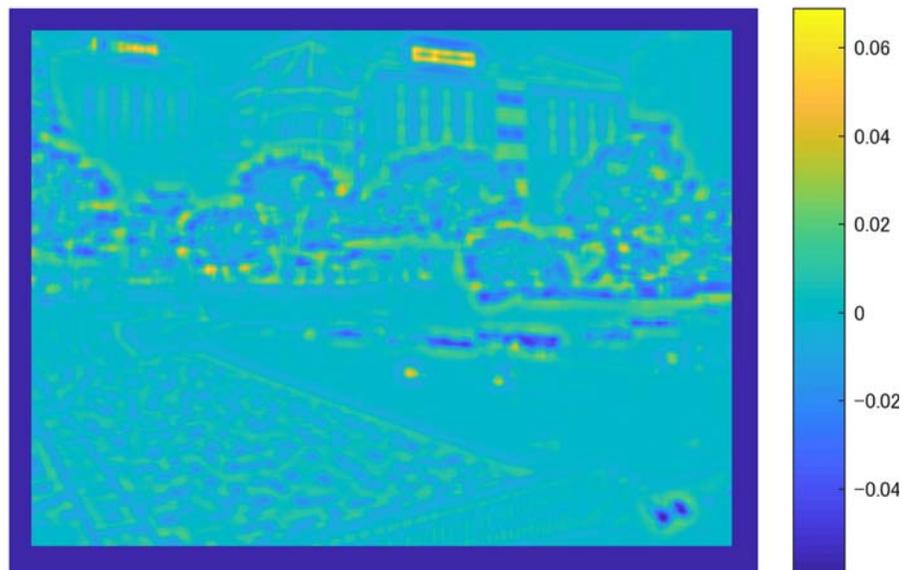
等価の視対象サイズ, 視対象輝度, 背景輝度

$$\text{Log}_{10}(Lt) = AV + 1.178 * CV$$

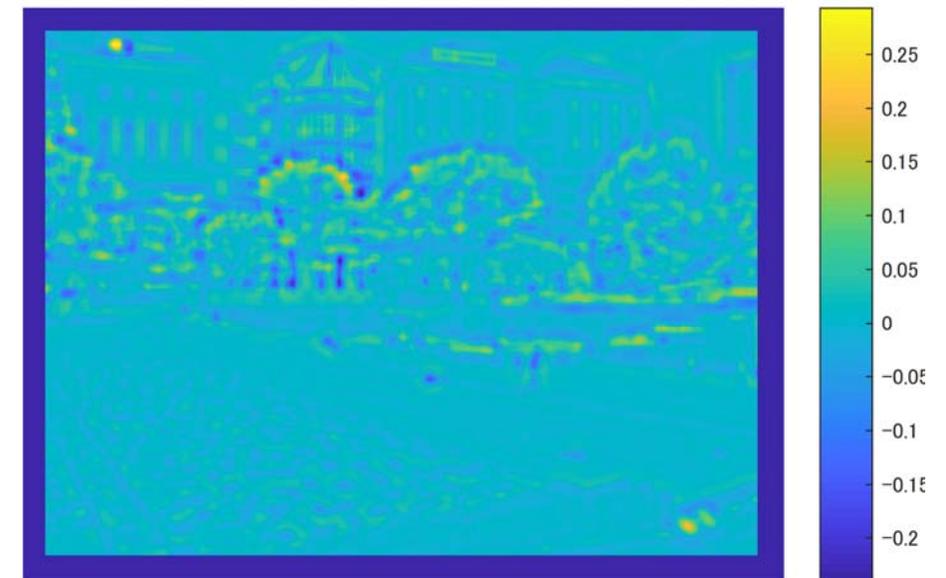
$$\text{Log}_{10}(Lb) = AV - 0.113 * CV$$



輝度コントラスト画像



aC(赤-緑コントラスト)画像



bC(黄-青コントラスト)画像

リアル・アピランス画像

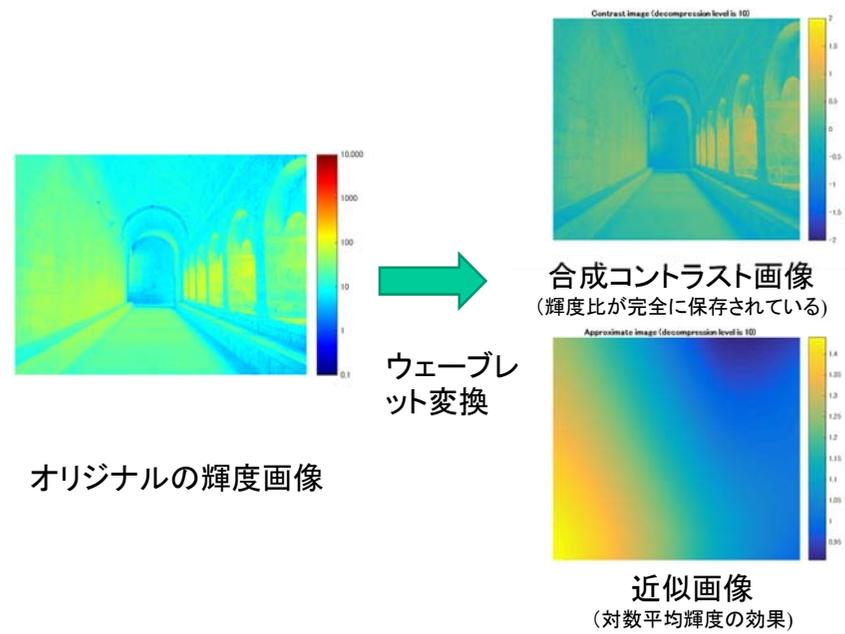
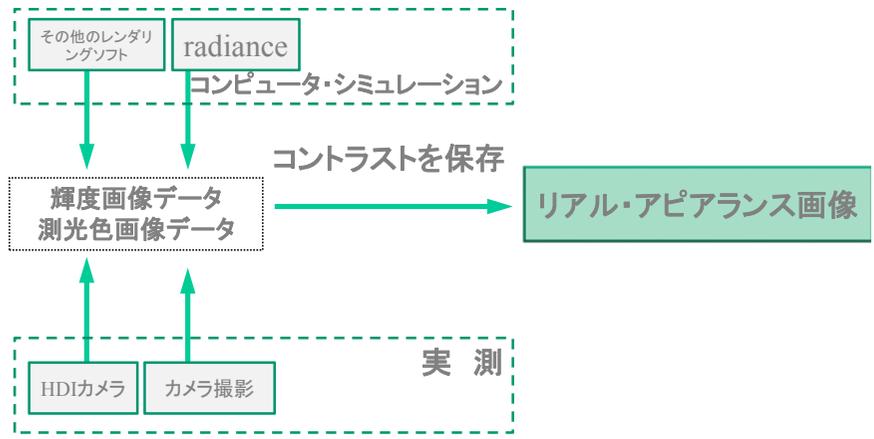
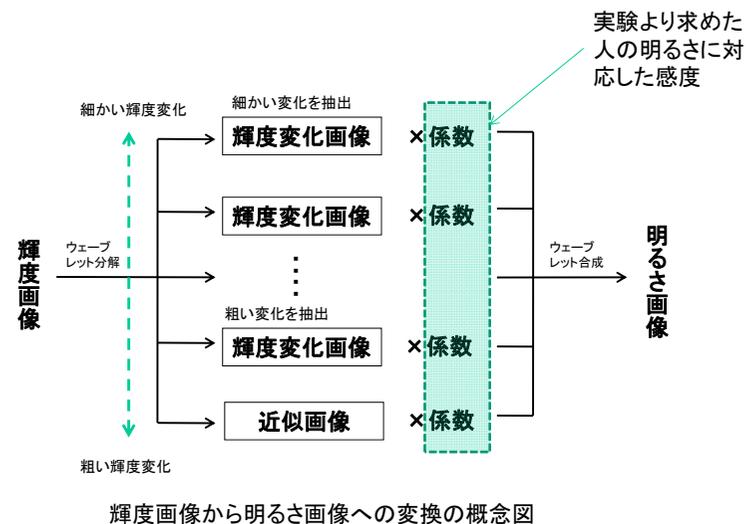


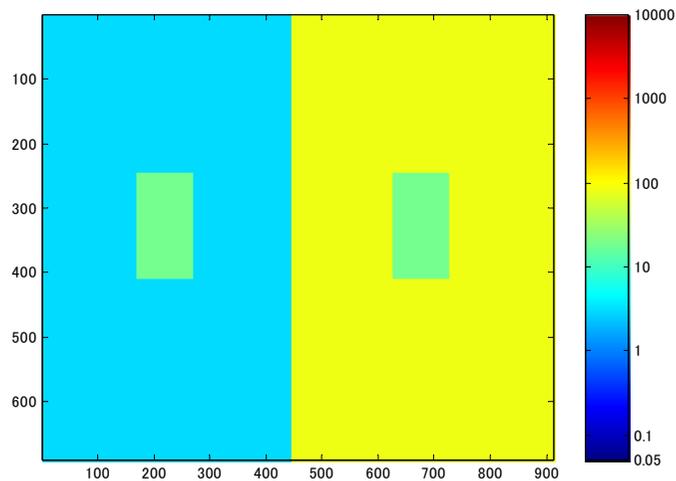
図12 輝度画像から抽出された合成コントラスト画像と近似画像



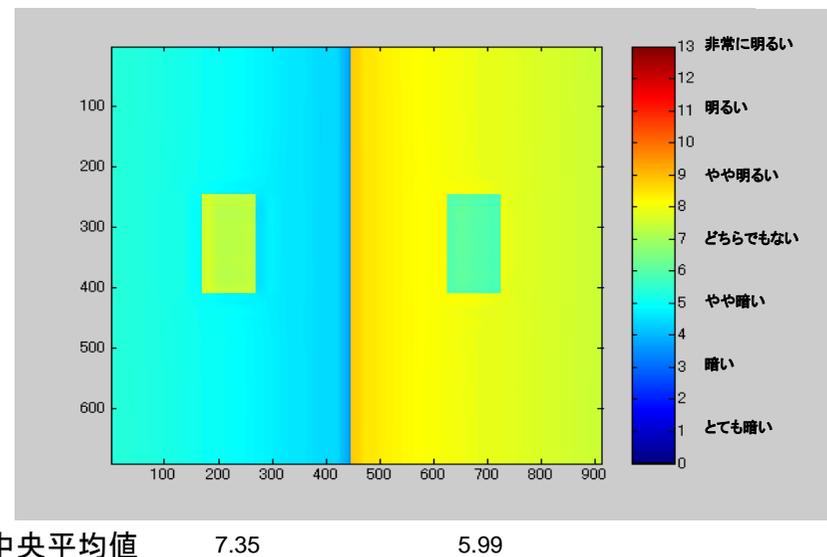
明るさ画像 (知覚する明るさの数量化)

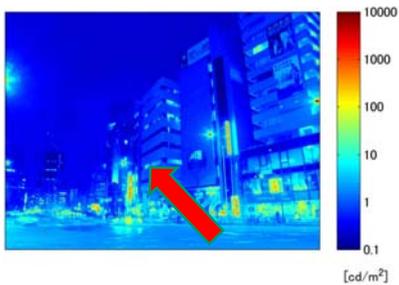
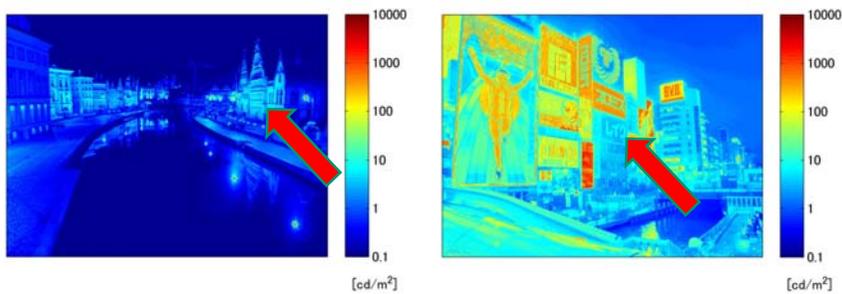


輝度画像 (距離6mから3mのスクリーンを見る→28度) (28deg/910pixel=0.03 deg/pixel)

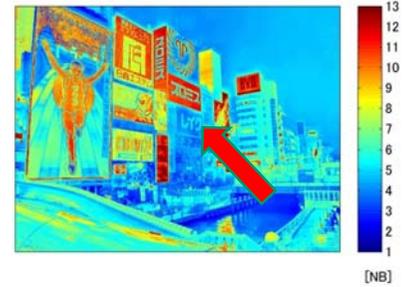
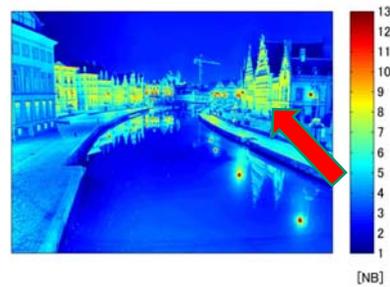


対比の効果を入れる→明るさ画





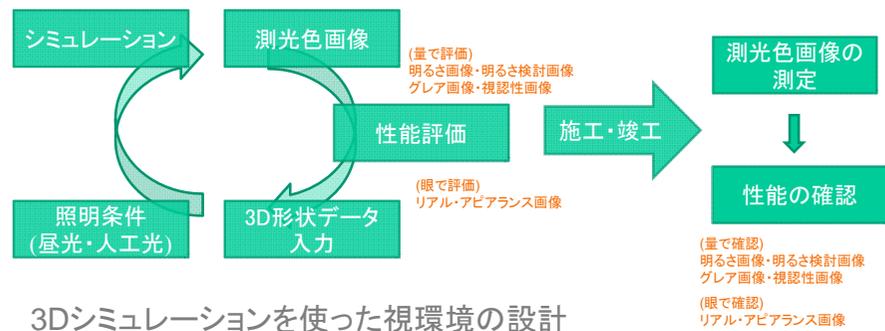
輝度画像



明るさ画像

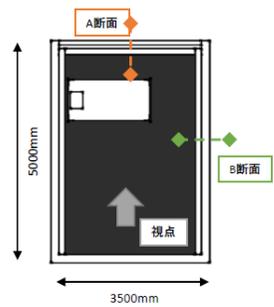
これからの視環境デザインの進め方

アピアランス・デザインの手順



3Dシミュレーションを使った視環境の設計

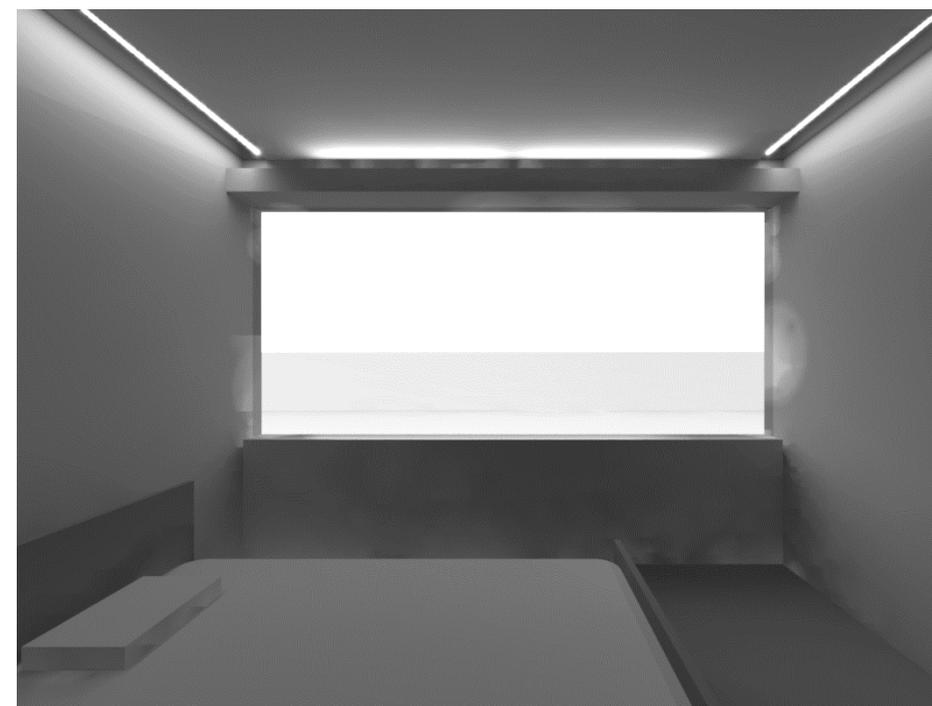
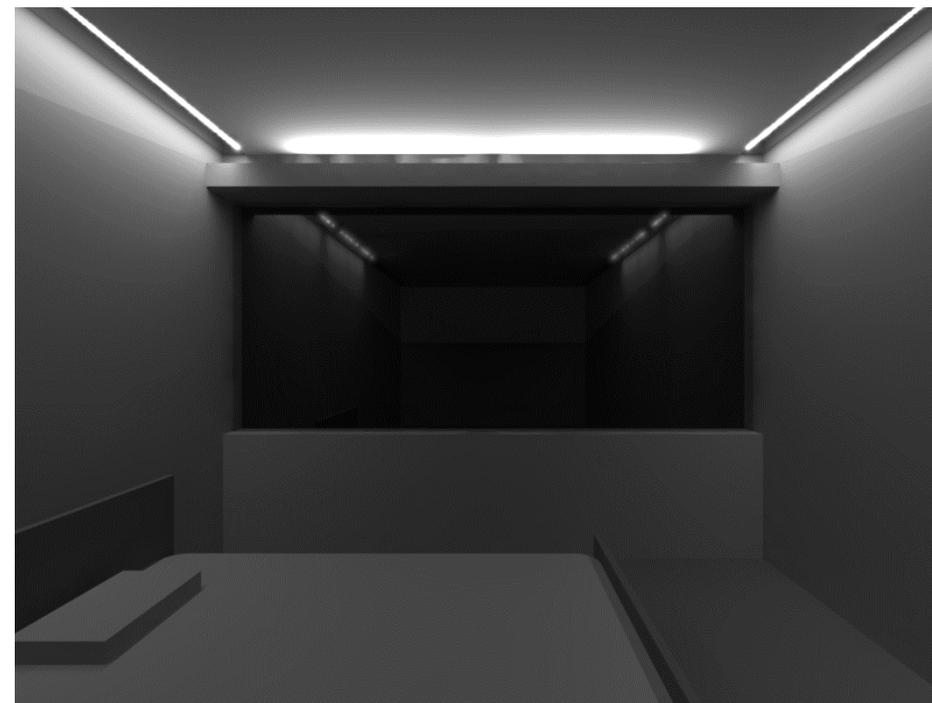
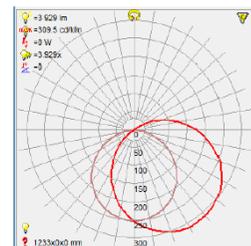
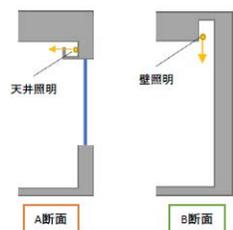
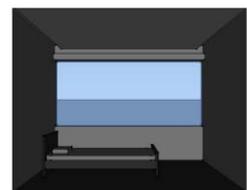
これからの設計は、3Dシミュレーションと測光色画像を用いたアピアランス設計になっていく



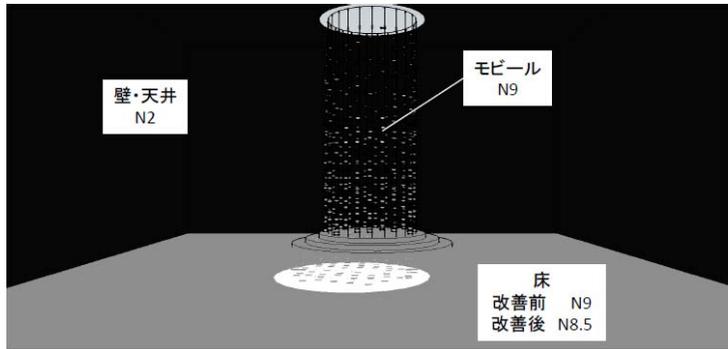
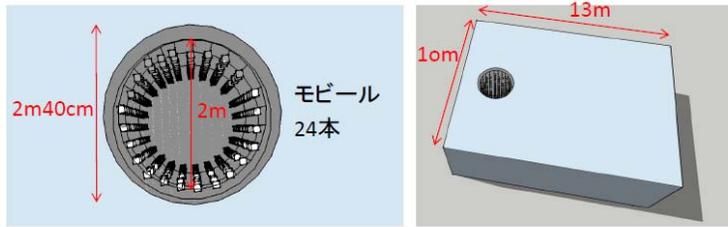
建物寸法: 5000mm*3500mm
(H=2600mm)

天井照明: 2灯、壁照明: 4灯(左右の壁に2灯ずつ)
仕様器具: ERK9818W(天井・壁共通)
4000lm 26.5W(遠藤照明)

反射率: 天井N7、壁N6、床N4
窓の透過率: 0.7

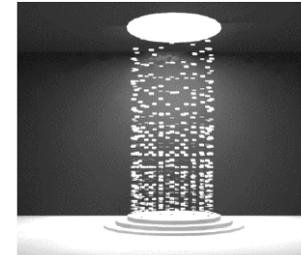


設計詳細



曇天空(-c) 30000 lx 春分12時

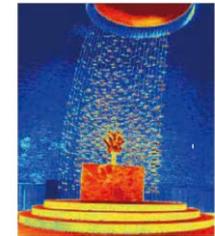
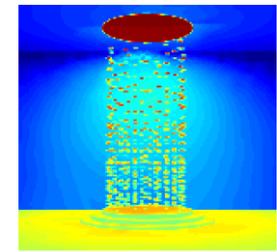
改善後 リアルアピアランス



MITチャペル



輝度画像



これからは見え方(アピアランス)を
直接設計するようになる