

# 大画面高輝度ディスプレイを利用した光環境評価に関する研究

## 空間の明るさの再現性の検証

鹿毛 比奈子\*<sup>1</sup>・張本 和芳\*<sup>1</sup>・石渡 結希乃\*<sup>2</sup>・吉澤 望\*<sup>2</sup>

Keywords : high luminance large display, spatial brightness, luminance, eye-tracking

大画面高輝度ディスプレイ, 空間の明るさ, 輝度, アイトラッキング

### 1. はじめに

オフィスなどの執務空間は、従来の光環境は均質なものが一般的であったが、近年、オフィスでは空間用途の細分化と昼光利用・LED 照明の技術が進展し、空間の各部位の輝度が多様な光環境が提供されつつある。人が空間から感じる明るさ(以下、空間の明るさと記す。)は、空間全体の輝度に基づくことがこれまでの既往研究で示されており、空間の部位の輝度が異なる光環境から感じられる空間の明るさを正確に把握することは光環境の計画において重要である。建物の設計段階や竣工前では、光環境を事前に把握するため、シミュレーションを行うことが有用である。シミュレーション結果を呈示するディスプレイ機器は、近年、大型化・高輝度化が進んでいる。光環境を大画面かつ高輝度で出力可能なディスプレイに呈示することにより、実際と同じ空間の大きさおよび輝度により、光環境を体験することができる。これにより、実際の空間と同じ空間の明るさを体験することが可能となる。

そこで本研究では、大画面高輝度ディスプレイ(以後、大画面ディスプレイ)に光環境の物理量および空間の明るさを再現することで、設計者による光環境に関する仕様の検討や、顧客への提案において、光環境からもたらされる空間の明るさを体感可能とすることを目的とする。実空間と同じ輝度・色度分布を持つ画像を大画面ディスプレイに呈示した場合の、空間の明るさ評価の再現性を検証する。

また、人は昼光や人工光源により照らされた空間全体の輝度から明るさを感じており、注視点の輝度や時間の影響を受けている。注視された空間の部位と明る

さ評価に関する既往研究では、石田<sup>1)</sup>らが住宅照明を対象とした報告をしているが、オフィスでは検証はされていなかった。本研究では、オフィスを対象として、空間の注視点および輝度が被験者の空間の明るさへ与える影響を把握する。アイトラッキングにより空間の部位ごとの執務者の注視時間を検出し、空間の部位ごとの輝度を求め、空間の明るさ評価との関係を検証する。図-1 に今回の検証で使用した大画面ディスプレイの概要を示す。


	画面の大きさ	W:4,864mm H:2,736mm
	解像度	3,840×2,160
	最大出力輝度 (画面中央)	1200cd/m <sup>2</sup>
	ビット深度	24bit
	ガンマ値	2.2
(x,y)		
色域	R (0.703, 0.296), G (0.200,0.749), B (0.138,0.041)	
白色点	(0.303, 0.311)	

図-1 大画面ディスプレイの概要

Fig.1 The outline of high luminance large display

### 2. 大画面ディスプレイの光環境の再現性の検証

本章では、大画面ディスプレイに対する実空間の光環境の物理量(輝度)および、人が空間から感じられる明るさ(心理量)の再現性を被験者実験により検証した。

#### 2.1 オフィスにおける空間の明るさ評価実験

##### 2.1.1 オフィス実験概要

図-2 に実験平面図を示す。神奈川県にある南東・南西向き窓面を持つオフィスビル 2 階で、実験を行った。

\* 1 技術センター 都市基盤技術研究部 空間研究室

\* 2 東京理科大学

各窓面の上部には昼光を反射して天井面に照射する採光装置がある。被験者は南西側の窓面を向いた評価席に座り、床から 1200mm の視点高さから評価を行った。照明は上下配光となっており、上向き・下向きに調光可能である。

実験条件を表-1 に示す。実験条件は、大画面ディスプレイの中心位置の最大出力輝度が 1200cd/m<sup>2</sup> であることから、(1)空間内の輝度が 1200cd/m<sup>2</sup> 未満の条件グループ(夜間:人工照明のみ)と、1200cd/m<sup>2</sup> を上回る輝度を含む条件グループに分けた。さらに後者は、(2)夜間の人工照明のみの条件グループ(夜間: 1200cd/m<sup>2</sup>以上)と、(3)日中の窓面から昼光が入る条件グループ(日中: 1200cd/m<sup>2</sup>以上)を設定した。被験者は 20 代の学生 19 名とした。被験者には、図-2 の中央に示す評価席から南西面に向けて空間の明るさを評価させた。

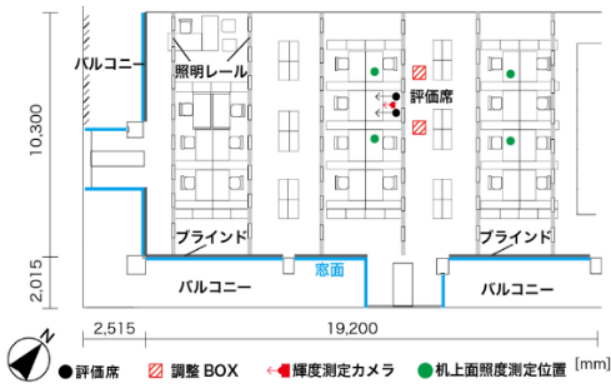


図-2 オフィス実験平面図  
Fig.2 The floor plan of experiment office

表-1 実験条件

Table 1 Experimental conditions

条件	時間帯	上向き照明	下向き照明	机上面照度
		○	×	
1)夜間 1200cd/m <sup>2</sup> 未満	A/B/C/D/E/F	○	×	700/500/300 /200/150/100
	G	×	○	400
2) 夜間 1200cd/m <sup>2</sup> 以上	H/I/J/K	○	○	700/500/300/200
	L/M	○	×	300(天井面採光あり)/ 300(天井面採光なし)
3)日中 1200cd/m <sup>2</sup> 以上	N/O	○	○	300(天井面採光あり)/ 300(天井面採光なし)

2.1.2 オフィス実験手順・評価方法

本実験では調整法による空間の明るさ評価を行った。被験者には評価席で 10 分間順応した後、“視野前方の空間全体の明るさ”を観察・記憶させた。次に調整 BOX の内部の明るさを、記憶した空間の明るさと同じ明るさに調節させた。調整後の BOX 内の算術平均輝度を空間の明るさ評価値とした。被験者の評価中、評価席より空間内の輝度・色度分布を計測した。

2.2 大画面ディスプレイを用いた空間の明るさ評価実験

2.2.1 大画面ディスプレイに呈示する画像の作成方法

実空間の輝度・色度データを変換し、大画面ディスプレイに呈示する画像を作成した。図-3 に画像の作成方法を示す。1200cd/m<sup>2</sup> 以上のピクセルを白飛び、1200cd/m<sup>2</sup> 未満を実空間の輝度・色度と同じ値になるようにマッピングした画像(以後、呈示画像)を作成した。

図-4 に実空間および呈示画像の算術平均輝度を比較した結果を示す。いずれの条件グループにおいて、実空間と呈示画像の平均輝度は同じ値を示し、大画面ディスプレイに実空間の輝度が再現されていた。

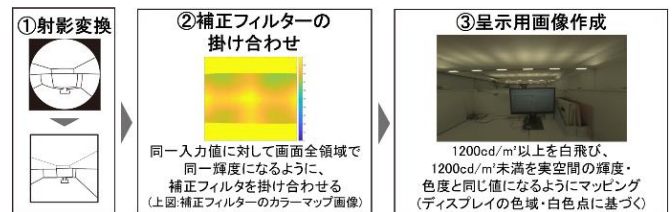


図-3 呈示画像の作成方法

Fig.3 The method to create a presentation image

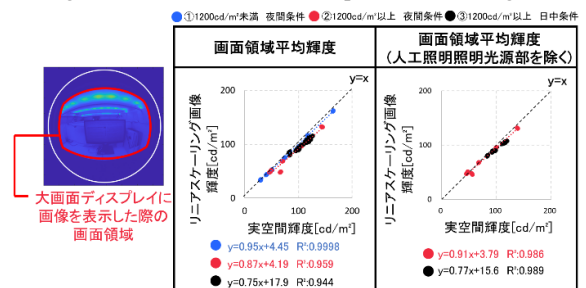


図-4 オフィスおよび呈示画像の輝度の比較

Fig.4 Comparison of the luminance value of real space and images displayed on large screen display

2.2.2 大画面ディスプレイ評価実験概要

図-5 に実験時の評価位置を示す。呈示画像を大画面ディスプレイに呈示し、光環境を評価させた。被験者の評価位置は、空間や対象物の視野角が実空間実験と同一になる地点とした。被験者や評価方法は、実空間実験と同じとした。

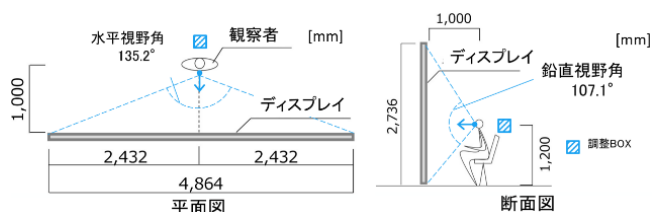


図-5 大画面ディスプレイ実験評価位置(左:平面図,右:断面図)  
Fig.5 Display experiment evaluation position (Left: plan view, Right: cross-sectional view)

2.3 実験結果

2.3.1 空間の明るさ評価値の比較

図-6 に、実空間と呈示画像の明るさ評価値(条件別の被験者平均)を条件グループごとに比較した結果を示す。③日中条件では両者で明るさ評価が一致した一方で、①②夜間条件では実空間より呈示画像をやや暗く評価する傾向がみられた。

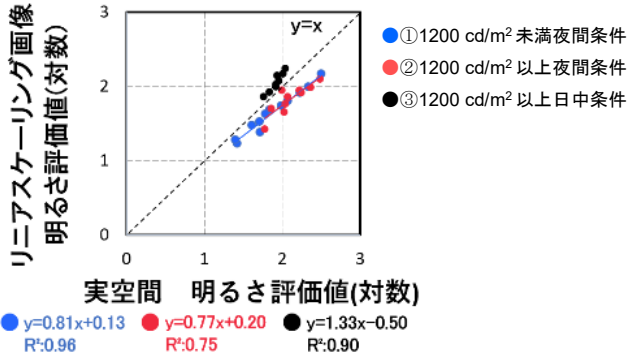


図-6 実空間と呈示画像の空間の明るさ評価値の比較

Fig.6 Comparison of spatial brightness evaluation between real space and images displayed on large screen display

2.3.2 大画面ディスプレイの周辺の輝度が空間の明るさ評価に与える影響の比較

空間の明るさ評価値を目的変数、評価空間の画面領域平均輝度  $L_d$  と評価空間の 180° 領域平均輝度  $L_{180}$  (大画面ディスプレイの場合はディスプレイの周辺領域も含む) を説明変数として回帰分析を行った結果を図-7 に示す。算出された近似式を実空間・呈示画像ごとに統計的に比較し、近似式が一致するか条件別に検証した。

イ):全ての条件

全ての条件の結果により作成した実空間および大画面ディスプレイの近似式は、画面領域平均輝度  $L_d$  および 180° 領域平均輝度  $L_{180}$  において、近似式の傾きおよび切片は異なった。

ロ):夜間条件・日中条件

夜間条件において 180° 領域輝度を説明変数とした際、実空間と呈示画像の近似式が一致した。このことから、夜間条件において呈示画像が実空間より暗く評価されたのは、大画面ディスプレイの周辺領域も評価に影響していた可能性がある。一方の日中条件では、画面領域平均輝度を説明変数とした際に近似式が一致した。

ハ):低輝度条件・中間輝度条件・高輝度条件<sup>注1)</sup>

近似式を、低輝度(平均輝度 50cd/m<sup>2</sup> 未満)、中間輝度(50~190cd/m<sup>2</sup>)、および高輝度(190cd/m<sup>2</sup> 以上)ごとに作成した。低輝度条件ではは 180° 領域平均輝度の方が実空間と大画面ディスプレイの明るさ予測近似式が重なり、高輝度条件(190cd/m<sup>2</sup> 以上)になるにつれ、画面領域平均を説明変数とした近似式の方が両者で一致した。

2.4 大画面ディスプレイの光環境の再現性の検証のまとめ

大画面ディスプレイでの空間の明るさ評価は、実空間での空間の明るさ評価と同等であることを確認した。

夜間条件において、実空間よりも大画面ディスプレイを暗く評価する傾向が見られた。その理由として、窓からの昼光照明の有無や空間内平均輝度の高低により、大画面ディスプレイの周辺の輝度が空間の明るさ評価に影響する可能性があることが示唆された。

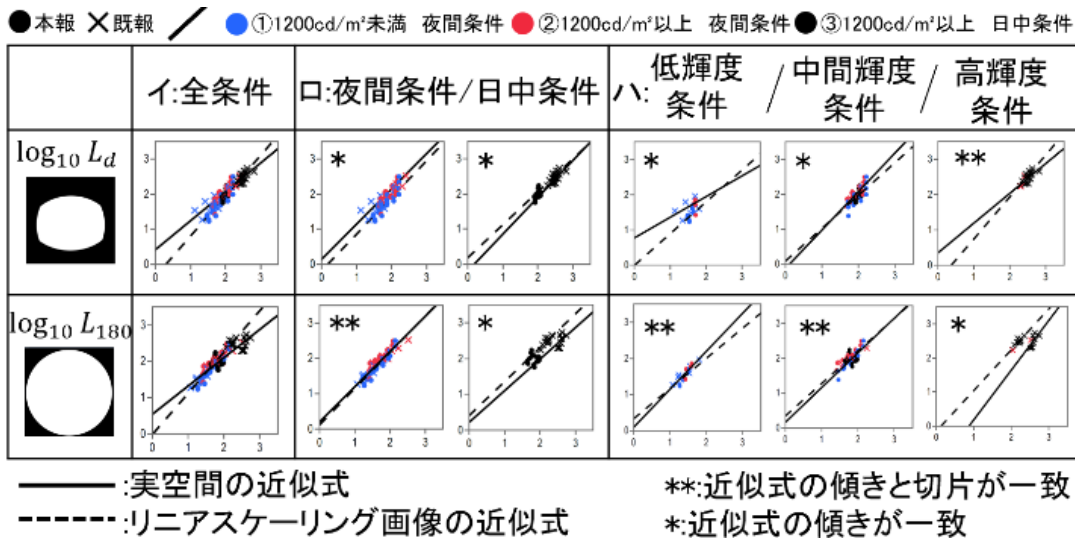


図-7 (上段)画面領域の輝度  $L_d$  と空間の明るさ評価の関係  
(下段)180° 領域の輝度  $L_{180}$  と空間の明るさ評価の関係

Fig.7 (Top) Relationship between screen area luminance  $L_d$  and spatial brightness evaluation  
(Bottom) Relationship between luminance  $L_{180}$  in 180° area and spatial brightness evaluation



### 3. 注視点の移動と空間の明るさ評価の関係

本章では、オフィスを対象として、アイトラッキングにより空間の部位ごとの執務者の注視時間および位置を検出し、空間の部位ごとの輝度を求め、空間の明るさ評価との関係を検証した。

#### 3.1 アイトラッキングを用いた被験者実験概要

空間の明るさ評価における被験者の観察状況を把握するため、大画面ディスプレイに呈示した光環境を対象とし、アイトラッキング装置を装着した被験者に、空間の明るさを評価させ、その際の空間の部位ごとの注視時間を測定した。図-8 に実験概要を示す。被験者は20-30代の学生・社会人の22名とした。表-2 に光環境条件を示す。照明方式・評価席の向き・採光装置の有無が異なる7つのオフィスを対象とした。

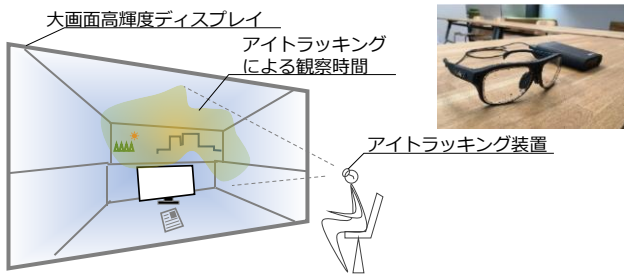


図-8 実験概要  
Fig.8 Experiment outline

### 3.2 実験方法

図-9 に呈示した光環境の一部を示す。呈示した光環境は、2.2 に示す手法と同様に作成した。図-10 に実験の評価手順を示す。被験者は、実験空間に10分間順応した後、ディスプレイに呈示された空間を把握するため20秒間観察した。この時、被験者は空間の明るさは評価しない。この後、被験者は光環境を10秒間観察し、空間の明るさを7段階で回答した。被験者の順応状態への影響を防ぐため、設問は呈示する光環境の平均輝度と同じグレースケール画像に示した。図-11 に実験の様子を示す。

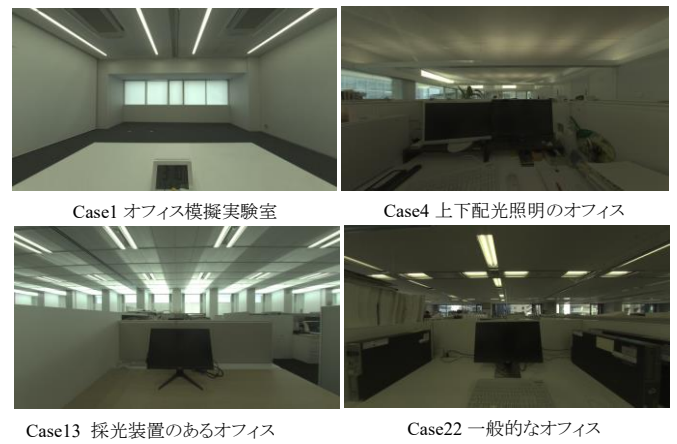


図-9 大画面ディスプレイに呈示した光環境  
Fig.9 Light environment presented on a large screen display

表-2 光環境条件

Table 2 Light environmental conditions

ケース	場所	視線方向	照明設定	平均輝度	画像内の窓の有無
1	オフィス 模擬実験室	窓	窓面 500cd/m <sup>2</sup>	76.1	○
2			窓面 1200cd/m <sup>2</sup>	80.9	○
3			100%点灯	300	○
4	上下配光照明 オフィス	窓	採光あり	114	○
5		壁	採光あり	118	○
6		窓	採光なし	78.0	○
7		壁	採光なし	81.1	○
8	一般照明オフィス (天井なし)	壁	夜間 300lx	71.7	○
9		窓	天井反射率-低	71.7	○
10		壁	天井反射率-低	59.1	○
11	一般照明オフィス	窓	天井反射率-高	75.4	○
12		窓	700lx	128	○
13	採光装置のある オフィス	窓	採光あり	288	○
14		壁	採光あり	176	○
15		窓	採光なし	132	○
16	一灯照明制御の オフィス	壁	700lx 均一	66.8	○
17			700-500lx 分布	54.7	○
18			500lx 均一	58.1	○
19			500-300lx	52.3	○
20			500-200lx	44.9	○
21			300lx 均一	41.4	○
22	一般照明オフィス	窓	700lx	93.2	○

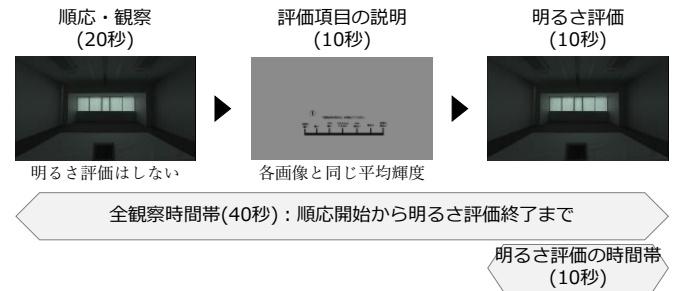


図-10 順応・観察・評価の手順と観察時間帯  
Fig.10 Adaptation/observation/evaluation procedures and observation time



図-11 実験の様子(左: 設問の呈示, 右: 評価)  
Fig.11 Experiment (Left: View questionnaire, Right: evaluation)

### 3.3 分析方法

以下の各種の方法で輝度を算出し、明るさ評価値との関係を分析した。

#### a) 観察方法の種類

観察方法の時間帯を「全観察時間(順応から明るさ評価を含む 40 秒間)」と、「明るさ評価時間(10 秒間)」の2種類(図-10)とし、それぞれの注視点における時間帯積算平均輝度と明るさ評価との関係を分析する。

#### b) 視野範囲の種類 (注視点の移動の有無)

図-12 に輝度平均の算出における視野範囲の種類を示す。「全視野の領域の平均輝度」は、呈示画像の領域を対象として、輝度の平均を算出するものであり、注視点の移動を考慮しない一般的な算出方法である。「注視点の平均輝度」は、移動する注視点の軌跡上の時間帯で積算して輝度の平均を算出するものである。この両者の比較により、輝度算出における注視点の移動の考慮の有無と明るさ評価との関係を分析する。

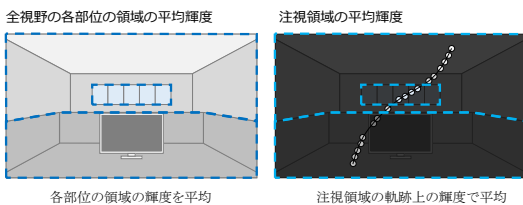


図-12 輝度平均の算出における視野範囲の種類

Fig.12 Types of visual field range for calculating average luminance

#### c) 空間の部位

図-13 に空間の部位の種類を示す。空間の部位を「全部位」「作業スペース以外(天井・壁・床・窓)」「窓以外」「作業スペース・窓以外(天井・壁・床)」に分類し、作業スペース、窓と明るさ評価との関係を分析する。

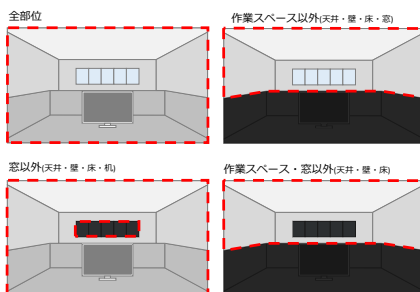


図-13 空間の部位

Fig.13 Part of space

### 3.4 分析結果

#### a) 観察方法と明るさ評価の関係

図-14 に観察方法の種類と明るさ評価の関係を示す。「全観察時間帯(順応から明るさ評価を含む 40 秒間)」

と「明るさ評価のみの時間帯(10 秒間)」について、注視点の平均輝度の対数を横軸に、明るさ評価の 7 段階を縦軸とし、1 条件・1 被験者ごとにプロットした。「明るさ評価時間帯」の方が、決定係数が高い結果となった。一般的な空間の観察方法と明るさ評価の空間の観察方法とでは視点中心の移動が異なり、明るさ評価時に注視する領域の輝度は、明るさ評価値の説明力が高いことを示しているといえる。

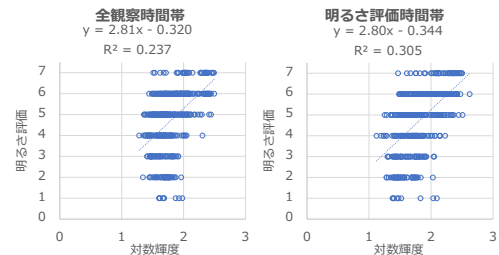


図-14 観察方法の種類と明るさ評価の関係

Fig.14 Relationship between Observation Method Type and spatial Brightness Evaluation

#### b) 視野範囲の種類

「全視野の領域の平均輝度」と「注視点の平均輝度」について、明るさ評価との関係の比較を図-15 に示す。対象部位は「全部位」「作業スペース以外の部位」とした。「全部位」を対象とした場合は「注視点の平均輝度」の方が説明力(決定係数)が高い傾向を示している。一方、「全視野の領域の平均輝度」で「作業スペース以外の部位」を対象とする場合でも、同程度に説明力が高まる。注視点を考慮した平均輝度が、特別に高い説明力を持つものではないことを示している。

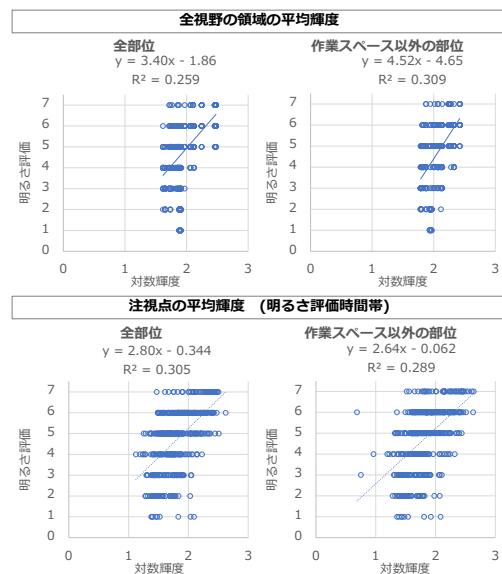


図-15 視野範囲と明るさ評価の関係

Fig.15 Relationship between viewing area and spatial brightness

c) 空間の部位と明るさ評価の関係

空間の部位を分類し、明るさ評価時間帯の注視点の平均輝度と明るさの関係性を求めた結果を図-16に示す。「作業スペース」の有無は図の左側と右側、「窓」の有無は図の上段と下段で比較される。全部位(作業スペース・窓を含む)を対象とする場合(左上)が最も良好な結果を示した。明るさ評価では「作業スペース・窓以外(=天井・壁・床)」が最も支配的だと考えられるが、「作業スペース」「窓」も空間の一部として観察され、明るさ評価に影響を及ぼしていると考えられる。

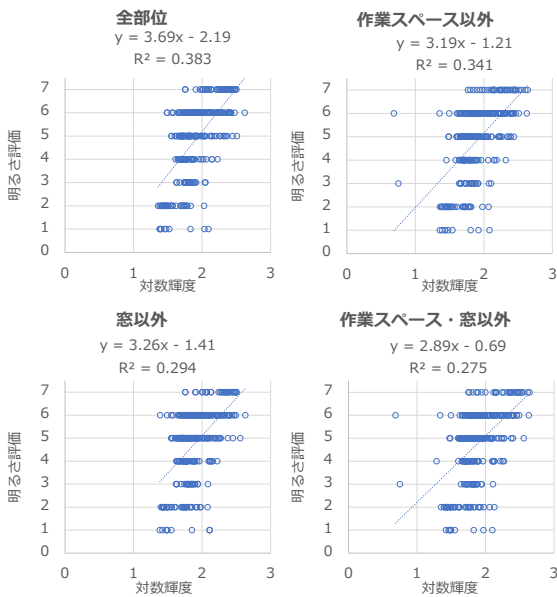


図-16 空間の部位と明るさ評価の関係

Fig.16 Relationship between parts and spatial brightness

3.5 注視点の移動と空間の明るさ評価検証のまとめ

明るさ評価時の注視点の移動を考慮した平均輝度の算出方法を示し、一般的な全視野の領域の平均輝度に比べて、明るさ評価の説明力が高いことを示した。また、明るさ評価には、作業スペースや窓も影響を与えていることを示した。

今回の検証では、注視点の観察時間を考慮しても劇的に空間の明るさ評価の説明力が上がっている訳ではない。これは中心視と周辺視が空間の明るさ評価に及

ぼず影響が検討されていないこと、注視点の対比効果を考慮していないことも含めて、今後検討すべき様々な課題が残されている。

4. 総括

大画面高輝度ディスプレイに実空間の光環境の輝度を再現する手法を構築した。大画面ディスプレイに呈示された光環境から感じられる空間の明るさ評価値は、実空間の評価値と同等であり、大画面ディスプレイに実空間の空間の明るさを再現可能であることを確認した。実際のプロジェクトにおいて、採光装置や光膜天井など光環境技術や、空間を構成する仕様(昼光・人工照明・什器・内装反射率)を考慮した光環境からもたらされる空間の明るさを、建物の竣工前に体験できるようになり、竣工後の光環境の具体的なイメージを把握することが可能となった。

注

- 注1) 輝度測定には以下のシステムを用いた。  
L-CEPT(国立研究開発法人建築研究所)【Canon EOS 5D Mark + SIGMA 8mmF3.5 EX DG CIRCULAR FISHEYE】
- 注2) (ハ)において境界値として用いた輝度は、全条件の空間内平均輝度の最大・最小値の差を対数軸で三分した際の値である。
- 注3) アイトラッキング装置はTobi pro glasses3を使用した
- 注4) 窓を含まない7条件を除き、15条件を対象とした

参考文献

- 1) 石田, 他: 照明設置位置ならびに注視箇所のかつろぎ時の適正照度への影響, 日本建築学会環境系論文集 第74巻 第644号, 1123-1129, 2009年10月
- 2) 鳥光, 他: 大画面 LED 高輝度ディスプレイを用いた再現性検証, 日本建築学会大会梗概集, 2021年9月
- 3) 石渡, 他: 大画面高輝度ディスプレイを用いた空間の明るさの再現性検証, 日本建築学会大会梗概集, 2022年9月
- 4) 鹿毛, 他: 注視点の移動と空間の明るさ評価の関係 その1, 日本建築学会大会梗概集, 2022年9月
- 5) 張本, 他: 注視点の移動と空間の明るさ評価の関係 その1, 日本建築学会大会梗概集, 2022年9月