昼光利用時における窓面とその周囲の好ましい輝度対比に関する研究（その1）：
ブラインドを含む腰窓を対象とした検討RESEARCH ON ACCEPTABLE LUMINANCE CONTRAST
BETWEEN THE WINDOW AND THE SURROUNDING WALL (Part 1) :
EXAMINATION OF WINDOWS INSTALLED AT WAIST HEIGHT INCLUDING BLINDS加藤 未佳^{*1}, 吉澤 望^{*2}, 山口 秀樹^{*3}, 三木 保弘^{*4}*Mika KATO, Nozomu YOSHIZAWA, Hideki YAMAGUCHI
and Yasuhiro MIKI*

This study proposes a method for controlling the brightness contrast between the window and the surrounding walls. Daylight is not always good, especially in the visual environment, it is very difficult to adjust and requires proper control.

Experiments are conducted in full-scale space, and the main variables are interior reflectance, blind slat width and angle. Based on the experimental results, the formula “75% AIL” was proposed. The equation includes the brightness of the window and the internal reflectance. By using this relationship, it is possible to control the window luminance and the output of artificial lighting.

Keywords : Daylight lighting, PSALI, Luminance contrast, glare, Saving energy, Blind

昼光利用, プサリ, 輝度対比, グレア, 省エネルギー, ブラインド

1. はじめに

これまで、昼光は省エネルギーのために取り入れるという考え方が主流であったが、近年は内因性光感受性網膜神経節細胞 (ipRGC) の発見もあり、International WELL Building Instituteが運営するWELL Building Standard™に代表されるように、サーカディアンリズムへの影響を踏まえた「昼光を受ける権利」が見直されている。

しかし、従来より認知されている通り、直射日光を室内に直接取り込むことは極端な高輝度部分を生じる。直射日光の入射しない開口部であっても、天空輝度や対向建物の輝度などがグレアの原因となることがありいずれも視的快適性を低下させる。また、グレアが生じていなくても、窓面から見える景色と室内の輝度対比が大きいと、室内の印象を暗くするなどの弊害を生んでしまう。当然のことながら、昼光はいくらでも受け入れれば良いという物ではなく、特に視環境においてはその加減が大変難しく、適切な制御が必要である。

2. 昼光利用時の視的快適性を担保する指標に関する既往研究

昼光の適切な制御に関連する指標について、以下に示す。

(1) 基準昼光率、sDA と ASE

昼光に関する指標として代表的なものに基準昼光率¹⁾があるが、昼光で担保すべき光量の目安を示すものでしかないため、視的快適性が担保できるとは言えない。分布に関しては「昼光率の最小値の最大値に対する比」¹⁾があるが水平面のみを対象としている点で不十分であるし、視線方向となる鉛直面の物理量に関してはモデリングやシミュレーション現象の指標²⁾があるものの、あくまで顔などの立体物の見えに関するもので、窓面のまぶしさの問題などを解決するものではない。また、近年では年間評価指標としてsDAとASE等があり、量の確保を前者、過剰な昼光の抑制に後者を用いる提案がされている。ただ、これらも窓の外の明るさに関して、室内がどの程度の明るさであれば好ましいと感じるかという視的快適性の担保とは直接は結びつかない。

(2) グレア指標

開口部を対象とした大きな光源のグレアを評価できるものとして、日本建築学会環境規準の昼光照明規準・同解説³⁾にPGSV (Predicted Glare Sensation Vote) が示されている。日本人のデータに基づいた指標でありグレアの程度に対する説明力も高いが、オフィスは1.2

^{*1} 日本大学生産工学部創生デザイン学科 准教授・博士 (工学)

^{*2} 東京理科大学理工学部建築学科 教授・博士 (工学)

^{*3} 国土交通省国土技術政策総合研究所建築研究部設備基準研究室 主任研究官・博士 (工学)

^{*4} 国土交通省国土技術政策総合研究所住宅研究部 住宅情報システム研究官・博士 (工学)

Assist. Prof., Dept. of Conceptual Design, College of Industrial Technology, Nihon University, Dr.Eng.

Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Science and Technology, Tokyo University of Science, Dr.Eng.

Senior Researcher, Building Dept., National Institute for Land and Infrastructure Management, Dr.Eng.

Research Coordinator for Housing Information System, Housing Dept., National Institute for Land and Infrastructure Management, Dr.Eng.

被験者は窓面から 2m 離れた地点に座り（被験者の目の高さが 1.2m となるよう椅子の高さを調整）、窓面と窓の周りの壁の明るさのコントラストのバランスが好ましくなるように LED 照明の明るさを自身で調整する。顔を動かすなど室内は自由に見回せるが、体を後ろ向きにして背面を観察することは禁止した。なお、「窓面と窓の周りの壁の明るさのコントラストのバランスが好ましい」との表現は、前述した PSALI の考え方に基づき、提示された窓から望む天空輝度に対してどの程度の室内の明るさ（PSALI の場合は照度で、本実験では輝度）であればバランスが良いと感じるかを問う為に用いている。評価対象は輝度対比が最も生じる「窓面と窓周りの壁」に注目させているが、観察方法からも、その判断には壁面に連続する天井面や床面も影響があると推察される。そのため、壁面平均輝度の解析範囲には、壁面のみではなく、天井面や床面を含み、窓面（赤色の網掛け部）を除く 180 度の範囲の平均輝度（Fig.2 の黄色の破線部）とした。窓に近いほど評価への影響が高いと考えられるため、窓から離れる毎に寄与度が低くなるような角度による重み付けを行うことも検討したが、視線頻度は被験者によって異なり、その重み付けの根拠が明確にできないため、本論文では等価での平均輝度による分析に留めている。

Fig.2 Area to be analyzed for Ave.L_{wall}
壁面平均輝度の解析対象範囲

実験手順は以下の通りである。

- ①実験空間の前室（床上 70cm の照度が 570lx）にて実験説明と 10 分間の目の順応を行う。
- ②被験者は実験室に入り 30 秒間順応する。
- ③被験者が手元のリモコンを用いて、好ましい輝度対比になるように照明の明るさを調整する。LED 照明器具の出力は OFF から開始し、上昇させていく。（調節した後に 30 秒の順応を設け、再度好ましい輝度対比が確認し、好ましくない場合は再調整する）
- ④実験者が被験者の評価と時刻を記録した後、被験者が好ましいと設定した環境の照度及び輝度を測定する。（照度計測点は室中央床上 70cm と被験者の視線位置、輝度計測点は被験者視線位置。計測機器は Baumar 製 TXG13c の CCD カメラにフジノン製 FE185C046HA-1 の魚眼レンズを組み合わせたものである。）

なお、②から④を観察条件数（条件はランダムに提示）繰り返す。

3.2 実験①結果

被験者が好ましい輝度対比になるよう室内照明を設定した環境で計測した輝度分布画像を、窓面と壁面の領域を分けて求めた平均輝度の関係を Fig.3 に示す。なお、実験時に人工照明が点灯していない状況で室内の明るさをさらに下げたいという回答が 4 件（全回答の 0.56%）、最大出力より更に明るくしたいとの回答が 9 件（全回答の 1.25%）存在したが、少数であるため大勢には影響がないと判断し、本グラフには含んでいない。

左図は内装反射率毎に凡例を分けて示しているが、反射率が高いほど壁面に求める平均輝度が高い傾向である。内装反射率毎の相関係数を求めると、高い方から $R=0.78$ 、 0.73 、 0.73 と一定の傾向を示した。一方、右図は窓の大きさによる違いを比較したものだが、今回設定した窓の大きさの違いでは評価に差がみられない。

Fig.3 Relationship between Ave.L_{wall} and Ave.L_{window}
窓面平均輝度と壁面平均輝度の関係

（左：内装反射率による比較、右：窓の大きさによる比較）

4. 人工照明による一様な窓面輝度における実験（実験②）

4.1 実験環境の概要及び実験方法

実験②では人工照明で一様な窓面輝度の環境を作成し、全ての被験者が同一環境を観察して評価を行うこととした。実験空間の寸法は Fig.4 に示す通りで、被験者は窓面から 3m 離れた地点（視線高さ 1.5m）に座り評価を行う。なお、観察方法は実験①と同様である。

開口部の屋外側に蛍光灯 124 本（3450lm/本）と拡散性の乳白アクリル板を設置し、室内側の人工照明は実験①で最大輝度の不足があったため、コンパクト型蛍光灯と電球型蛍光灯を使用した自作の物へ変更した。光色はいずれも昼白色である。

内装反射率を 4 条件、窓面輝度を 4 条件用意し、照明のレベルを 8 段階設定し全 128 条件を評価対象とする。詳細を Table 4 と Table 5 に示す。なお、Table 5 の平均輝度は、被験者視点位置で計測した輝度分布より実験①と同様の Fig.2 の黄色破線で示す範囲を平均したものである。また、実験①で内装反射率毎に求められる輝度対比が異なる可能性を示したが、内装反射率の統一による白色知覚のズレの影響も否定できないため、実験空間に設置した机上に反射率の異なる 4 つの箱（一辺 20cm の立方体）を置くことで実験条件同士の環境を統一し、影響を排除した。実験室内部の様子を Photo 1 に示す。

Fig.4 Size of the space for experiment 2
実験空間の寸法（実験②）

Table 4 Experiment 2 variable (実験②における全 128 条件内訳)

Interior reflectance (内装反射率) (%)	3.1、18、44、81
Ave. Lwindow (窓面平均輝度) (cd/m ²)	625、1250、2500、5000
Lighting level (照明レベル)	1~8 (Cf. table 5 (表5参照))

Table 5 Ave.L_{wall} for input luminous flux
各照明レベルにおける内装反射率別壁面平均輝度

IR (内装反射率)	Ave. L _{wind} (窓面平均輝度) (cd/m ²)	Ave. L _{wall} for each lighting level (照明レベル毎の壁面平均輝度) (cd/m ²)							
		1	2	3	4	5	6	7	8
3.1%	625	1.1	1.3	1.5	1.9	2.7	4.3	6.1	9.2
	1250	2.2	2.4	2.6	3.0	3.9	5.5	7.2	10.5
	2500	4.3	4.5	4.8	5.2	6.1	7.5	8.9	11.7
	5000	8.7	8.8	9.0	9.4	10.3	11.7	13.5	16.5
18%	625	3.1	5.4	7.8	12.7	20.5	37.5	58.7	94.3
	1250	6.2	8.3	10.7	16.0	26.1	43.0	60.7	94.5
	2500	12.6	14.8	17.0	21.4	30.6	48.0	68.3	102.0
	5000	25.5	27.6	30.0	35.0	44.4	61.0	80.1	112.7
44%	625	9.2	18.6	28.8	49.3	88.9	152.5	239.6	378.7
	1250	19.1	28.7	38.9	53.6	97.9	165.7	250.0	392.3
	2500	37.6	47.3	57.2	76.3	112.4	177.5	224.8	412.7
	5000	78.0	87.5	98.4	119.4	155.3	213.7	306.6	420.3
81%	625	21.6	45.7	69.0	120.2	216.3	370.1	622.6	944.2
	1250	41.3	67.6	92.0	147.2	252.0	421.2	634.6	956.7
	2500	80.7	105.3	127.4	173.5	270.4	471.1	675.2	1013.8
	5000	98.7	192.3	216.4	260.7	377.1	553.1	756.5	1061.6

Photo1 Inside the experiment space 2

実験②の実験空間内部の様子

評価方法は恒常法とし「視作業を行う空間として想定した場合、窓面と壁面の明るさのコントラストのバランスが適していますか」の問いに対し適不適で回答する。なお順応は、実験開始前に10分間設け（実験の説明を受けながら過ごす）、評価空間毎は20秒経過した後評価を行う。提示順序は、壁面反射率のみブロック因子としたが、他の条件は順序効果による影響を排除するためランダムとした。被験者は20代の20名（男性15名、女性5名）である。

4.2 実験②結果

4.2.1 窓面輝度に対する照明レベルの適否の傾向

Fig. 5が窓面と壁面のコントラストバランスが「適している」と回答した割合である（窓面輝度の上の1～8の数字は、Table 5に示した室内側の照明レベルを表す）。壁面反射率が低い3.1%と18%は、照明レベルが高くなるほど「適している」の回答が上昇するが、44%や81%では、室内照明レベルがある一定の値を超えると低下する傾向が見られる。つまり、窓面輝度に対して壁面輝度を上昇させて対比を小さくしても、内在者が必ずしも満足するわけではない。

4.2.2 コントラストバランスの許容範囲と実験①との比較

前述したとおり、壁面輝度の上昇による対比緩和は一定の値で限界を迎えるが、本実験でこの傾向がみられた条件は照明レベルが6～8で、一般的な室内人工照明としては過剰な光束と考え、評価がピークに到達するまでの範囲で「適している」の回答が75%を超える壁面輝度（以下、75%許容壁面輝度、英訳は75% Acceptable

Fig.5 Percentage of answers that the wall luminance is "acceptable"

窓面と壁面のコントラストバランスを「適」とした割合

Fig.6 Comparison of 75% AIL between Exp.1 and Exp.2
内装反射率毎の75%許容壁面輝度（実験①と実験②の比較）

Interior Luminanceの略とし75% AILと記述）を窓面輝度毎に算出した。なお、被験者の75%の「適」で良いかの議論はあるが、100%では外れ値などの影響を排除できず、50%では半数の満足に留まると考え、ここでは75%での解析結果を基に論じていくこととする。

Fig. 6に75%許容壁面輝度と壁面反射率の関係を示す。破線が実験①の結果で、各内装反射率毎に窓面と壁面の輝度対比を算出し累積度数分布から75%タイル値を求めた。また、実線が実験②の結果であり、Fig. 5のデータを基に窓面輝度と壁面輝度の対比を算出し、「適している」の回答割合（10%以上のみ解析対象）との関係式を最小二乗法から求め75%許容壁面輝度を算出している。これによると、同じ窓面輝度でも壁面反射率が高くなるほど、要求される壁面輝度が高くなる傾向が実験①、②ともに見られる。窓面輝度が2500cd/m²で内装反射率80%付近では値のズレがあるが、実験手法や被験者が

異なる点を勘案するとほぼ同様の傾向といえるだろう。

なお、いずれの反射率においても窓面輝度が 5000cd/m² の条件では満足率が 60% を下回り、75% 許容壁面輝度は求められなかった。室内の視的快適性を確保するには日射遮蔽装置等を用いて窓面輝度下げる必要があると推察される。

5. ブラインドを設置した際の 75% 許容平面輝度の検討

5.1 実験目的

窓面の日射遮蔽装置にブラインドがある。ブラインドを設置すると、窓の領域に窓面の高輝度部分とブラインド面の低輝度部分の縞の対比が生じ、窓面平均輝度は低下させるが最大値は変化しない。この状況が実験①と実験②におけるほぼ様な窓面輝度から求めた 75% 許容壁面輝度に対して、どのような傾向を示すか検討を行った。

5.2 人工照明で天空を模擬した空間での検討 (実験③)

5.2.1 実験条件および実験方法

実験③は実験②で使用した空間にブラインドを設置して行った。実験変数は窓面輝度・内装反射率・ブラインド反射率 (内装反射率とほぼ同等のものを使用)・スラット幅・ブラインド角度・室内照明レベルの 6 因子とし全 756 条件である。詳細を Table 6 に示す。なお、輝度分布の計測方法及び壁面平均輝度の算出方法は、実験②と同様である。Table 7 に内装反射率が異なる 4 種類の空間写真を示す。

Table 6 Experiment 3 variable (実験③における実験条件一覧)

Ave. Lwindow (窓面輝度) (cd/m ²)	1250, 2500, 5000		
Interior reflectance (内装反射率) (%)	3.1, 18, 44, 81		
Slat reflectance (ブラインド反射率) (%)	4.4, 41	16, 83	
Slat width (スラット幅) (mm)	15, 25, 50	25	without blind ブラインド無し
Slat angle (ブラインド角度) (°)	0°, 30°, 45°, 60°		
Lighting level (照明レベル)	2~8 (Table.5)

Table 7 Photo inside the experiment space
内装反射率毎の実験空間内部の様子

内装反射率とブラインドのスラット幅及び角度をブロック因子とし、窓面輝度をランダムに提示した評価空間に対し、室内照明の出力を照明レベル 2 から 8 まで順に上昇させていき、実験②同様の質問で窓面と壁面の輝度対比の適否を尋ねた。なお、観察方法および順応時間に関しても実験②と同様とする。被験者数は 20 代の男性 15 名、女性 5 名の計 20 名である。

5.2.2 実験③結果

ブラインドの有無による違いを比較するため内装反射率 3.1% と 81% の結果を Fig. 7 に示す。同じ室内照明レベルの評価を比較すると、ブラインドが設置されることで「適している」の回答割合が高くなる傾向がみられる。

これらのデータを基に、実験②の解析手法を用いて 75% 許容壁面

輝度を窓面輝度毎算出した。一例として Fig. 8 に窓面輝度が 1250cd/m² における結果を示す。単純に窓面輝度と壁面輝度の対比で 75% 許容壁面輝度が決まるのならば、空隙率 (ブラインドの間から見える窓面の割合) による違いに係わず同じ傾向を示すはずだが、空隙率の低下に伴い 75% 許容壁面輝度も低下している。

Fig.7 Difference in evaluation depending on
the presence or absence of blinds
ブラインドの有無による評価の違い

Fig.8 75% AIL of blind installation conditions
(Example of Ave.Lwindow 1250cd/m²)

ブラインド設置時 75% 許容壁面輝度 (窓面輝度 : 1250cd/m²)

そこで、窓の領域をブラインド部分も含めて平均した窓領域平均輝度を算出し、壁面輝度との対応を検討したところ、Fig. 9 の通り内装反射率毎に高い相関がみられ、スラット幅やブラインド角度の異なる条件が混在しているにも係わらず、いずれも相関係数 R=0.9 以上となった。今回の実験条件のような様な天空の場合に、ブラインドを含めた窓領域を平均したものを窓面輝度として扱うことができると考えられる。なお、本結果を踏まえ、以下において実験①と実験②における窓面輝度が意味する範囲を拡張し、ブラインドの有無にかかわらず窓領域を平均したものも窓面輝度として表現する。

Fig.9 Relationship between Ave.L_{wall} and Ave.L_{window area} with blinds
ブラインド設置時の壁面平均輝度と窓領域平均輝度の関係

5.3 実際の天空を用いたブラインド設置時の検討（実験④）

5.3.1 実験目的及び実験概要

実験③では窓面が拡散面であるが、実際の環境ではブラインド面に直射日光が反射し室内の明るさが上昇することもある。また、窓から見える景色に天空以外のものが含まれており一様天空ではない状況についても検討が必要と考え、直射日光が入射する南面の部屋でブラインド設置時の実験を行った。

実験空間はオフィスビル（茨城県つくば市）の4階に設けた。空間寸法はFig. 10に示すとおりである。窓の方位は南であり、大きさを実験②及び③と統一している。実験空間の寸法は設置環境の制約で少々異なるが、窓からの距離等を一致させほぼ同様の環境とした。

人工的に作った一様天空とは違い、被験者が観察する状況が時々刻々と変化するため、多くの条件を連続的に評価することが難しい。そこで、内装反射率は18%と81%、ブラインドは反射率81%でスラット幅が25mm、スラット角30°と条件を限定したうえで、Table 8に示す組み合わせの全28条件を午前と午後の1回ずつ観察し、計2回評価をしてもらうこととした。実験時期は2013年12月中旬から2014年1月初旬であり、直射日光が入射する晴天日のみ実験を行った。

Fig.10 Size of the space for experiment 4
実験空間の寸法（実験④）

Table 8 Experiment 4 variable（実験④における実験条件一覧）

Interior reflectance(内装反射率) (%)	18, 81	
Slat reflectance(ブラインド反射率) (%)	83	without blind ブラインド無し
Slat width(スラット幅) (mm)	25	
Slat angle(ブラインド角度)	30°	
Lighting level (照明レベル)	2~8(Same as Experiments 2・3)	

提示順序は、内装反射率とブラインドの有無をブロック因子とし、室内照明条件をランダムに提示した。被験者は実験③と同様の観察方法で、窓面と壁面の輝度対比の適否を口頭で回答してもらう。被験者は20代の男性16名、女性4名の計20名である。

5.3.2 実験結果及び考察

実験④の全条件から「適している」と回答した窓面平均輝度と壁面平均輝度との対比を内装反射率毎に求め、その累積度数分布から75%タイル値を算出した。なお、Fig. 11の様に壁面に直射日光が入射している場合には、その部分を除外して壁面平均輝度を算出した。

窓面輝度が1250cd/m²と仮定した際の75%許容壁面輝度をFig. 12の左に示す。実験③の結果（破線）と比較すると、実験④の方がより高い75% AILを示している。そこで、植栽の領域は窓面に含まれていても、高輝度部分と分離して捉えられている可能性があると考え

え、植栽部分を窓領域から外したA領域（Fig. 13を参照）における平均輝度を窓面輝度として75%許容壁面輝度を算出すると、Fig. 12の右のように実験③に沿う値となる。

この結果より、窓面と壁面の対比を考える際に、ブラインドのような窓全体に細かい縞模様で低輝度部分が混在する場合は窓と一体としてとらえるが、植栽のように領域を分けて低輝度部分が連続的に存在する場合は、窓領域の高輝度部分と低輝度部分を分けて認知し、窓面輝度＝高輝度部分と判断し対比を評価している可能性がある。ただし、窓からの景色は1条件かつ、簡易な分析に留まっているため、推察の域を出ない。結論には、より詳細な検討が必要ではある。

Fig.11 Examples of excluded areas due to direct sunlight
直射日光の入射による壁面平均輝度算出対象外範囲の一例

Fig.12 75% AIL comparison between Ave.L_{area A} and Ave.L_{window area}
窓面の解析領域の違いによる75%許容壁面輝度の変化

Fig.13 Area A excluding the tree part of the window
窓面の植栽部分を除いたA領域

6. ①から④の全実験データに基づく75%許容壁面輝度の算出式

これまで示してきた実験①から実験④までの75%許容壁面輝度の全データをFig. 14に示す。実験手法及び解析手法に違いがあるにもかかわらず、実験間の違いはほとんど見られず、いずれの内装反射率においても同様の傾向を示している。なお、グラフの横軸は窓面平均輝度と表記しているが、実験①及び②においては窓面平均輝度で、実験③はブラインドを含む窓領域、実験④は植栽部分を除いた

窓領域内の高輝度領域（area A）による値である。

また、内装反射率毎に求めた近似式の傾きが一致する傾向が見られるため、内装反射率によって傾きが変わらないことを前提に 75% 許容壁面輝度の算出式を求めたところ、式 1 が得られた。

$$75\% AIL = 0.77L_{window} + 1.05\log_{10}\rho + 0.09 \quad \cdots \text{式 1}$$

75% AIL : 75% 許容壁面輝度（対数値）

L_{window} : 窓面平均輝度（対数値）

ρ : 内装反射率 ($0.03 \leq \rho \leq 0.81$)

Fig. 14 の実線が式 1 より算出される値を示しており、相関係数は $R=0.98$ と傾向を説明できている。

Fig.14 75% AIL based on all experimental data
全実験データにおける 75% 許容壁面輝度

7. 75%許容壁面輝度とグレア評価（PGSV）の違い

最後に、窓面と壁面の対比をグレアの程度として評価する手法として PGSV を例として、本研究で導いた 75% 許容壁面輝度との関係についての考察を行う。

まず、窓面のまぶしさの評価として、前述した実験③の評価空間に対し、Fig. 15 に示す評価スケールで回答させた上で、全被験者の回答と輝度分布から求めた PGSV の比較を行った。Fig. 16 にその結果を示す。岩田らの報告⁶⁾には Fig. 17 の評価カテゴリーの関係が示されており、まぶしさの評価スケールで 0 の値が PGSV の 0.5 と一致するとされているので、PGSV が 0 以上となる条件を対象に切片 0.5 での線形近似による相関係数を求めた。すると $y=x+0.5$ とはならないものの、相互の傾向には $R=0.83$ と高い相関がある。つまり、窓面のまぶしさの程度（知覚レベル）は、内装反射率の異なる空間でも、PGSV の値に基づけば、同列に扱うことができる事を示している。

Fig.15 Glare evaluation scale

まぶしさ評価のスケール

Fig.16 Relationship between glare evaluation value and PGSV

まぶしさの評価値と PGSV の関係

Fig.17 Relationship between glare evaluation scale and PGSV scale
まぶしさの評価スケールと PGSV の評価スケールの対応⁶⁾

一方で、窓面と壁面の明るさのコントラストのバランスを「適」と回答した条件のみを抽出し、その際のまぶしさの評価を内装反射率毎に集計したものが Fig. 18 である。これによると「まぶしくない」の回答のみではなく「ややまぶしい」「まぶしい」などの回答が含まれており、ある程度まぶしさを感じていてもその環境を許容していることがわかる。また、内装反射率 3.1% では「非常にまぶしい」が 3% とわずかながら含まれていたり、「まぶしい」が 11%、「ややまぶしい」が 28% 含まれるが、内装反射率 81% では、「まぶしい」が 3%、「ややまぶしい」が 20% と、まぶしさを許容する程度は、内装反射率が高いほど低くなる傾向である。これは、2. (2) で示した、空間の明るさでは内装反射率が違えば、用途が同じ空間でも同じ明るさを求めない（要求レベルが異なる）のと同様に、窓面輝度と壁面輝度の対比において、同等のまぶしさの程度を求めている可能性を示している。

Fig.18 Percentage of each glare evaluation
内装反射率毎のまぶしさ評価の割合

75%許容壁面輝度（許容レベル）は、Fig. 18 で示した「適」と回答した条件における対比によって導出されたものであるため、当然、まぶしさの程度（知覚レベル）を示す PGSV とは異なるものとなる。

窓面輝度の制御に関しては、グレアの知覚レベルに基づいて計画する手法が多いが、内装反射率などの環境条件によってまぶしさの許容レベルが異なるため、同じ用途の空間を内装反射率に因らず全て同じまぶしさの程度で設計することは、同等の満足度を保証しているとは限らない。知覚レベルと許容レベルとどちらに基づき設計するかは適宜選択すれば良いと思うが、前者のみで設計を行よりも、双方を把握した上で選択するのでは意味が異なるだろう。

8. まとめ

本研究では、昼光を利用する際に生じる窓面と壁面の輝度対比をコントロールする手掛かりとして、窓面輝度に対する 75% 許容壁面輝度の算出式を実験①から④の実験結果より示した。数式導出にあたり得られた知見を以下に示す。

1. 内装反射率によって許容できる輝度対比が変化し、高反射率ほど窓面輝度に対する 75% 許容壁面輝度は高くなる。
2. 今回の実験条件の範囲に限ると、窓の大きさによる評価の違いは生じない。
3. ブラインドなど窓全体に均一に分布する輝度の高低は、ブラインド幅やスラット角を変化させ周期が異なっても影響がなく、窓の領域の平均値で扱うことが出来る。
4. 窓に低輝度部分と高輝度部分が領域を分けて存在する場合（植栽と天空など）、高輝度部分のみの平均値を窓面の輝度として認識している可能性がある。
5. PGSV とまぶしさの評価（知覚レベル）は一致するが、本研究で提案する窓面と壁面の対比についての評価（許容レベル）とは傾向が異なり、まぶしさを感じない環境を目指すことと、窓と壁面の輝度対比を執務者の要求に合わせて制御することは別である。

なお、窓の大きさに関しては今回の実験範囲を超える開口サイズも一般的に存在し、窓からの距離も多様なため、窓の立体角として整理し、更なる検討が不可欠であろう。加えて、室の用途によっても許容レベルは変化する可能性が高いため、執務室以外についても明らかにしていく必要があり、これらは今後の課題としたい。

謝辞

本研究の実施にあたり、東京理科大学大学院生であった水木祐太氏（当時）に多大なるご協力をいただいた。また、5 章の実験で用いたブラインドは株式会社ニチベイより提供いただいた。記して謝意を表す。

参考文献

- 1) Academic Standards for Design and Maintenance of Windows and Openings on Interior Lighting and Visual Environment AIJES-L001-2010, Architectural Institute of Japan, 2010.3 (in Japanese)
日本建築学会環境基準 AIJES-L001-2010 室内光環境・視環境に関する窓・開口部の設計・維持管理基準・同解説, 日本建築学会, 2010.3
- 2) Tabuchi Yoshihiko : Lighting requirements to obtain a favorable modeling effect for a three-dimensional object, Journal of the Illuminating Engineering Institute of Japan, Vol. 57(1), pp. 14-17,

1973 (in Japanese)

田淵義彦：立体対象に好ましいモデリング効果を得るための照明要件，照明学会誌 57(1)，pp. 14-17，1973

- 3) Standard for Daylighting AIJES-L0003-2018, Architectural Institute of Japan, 2018.3 (in Japanese)

日本建築学会環境基準 AIJES-L0003-2018 昼光照明規準・同解説，日本建築学会，2018.3

- 4) Kato, Mika: Influence that color temperature give for perceived level and demand level of spatial brightness, Summaries of Technical Papers of Annual Meeting, Architectural Institute of Japan, Environmental Engineering I, pp. 515-518, 2016.7 (in Japanese)

加藤未佳：光源の色温度が空間の明るさ感の知覚レベルと生活行為ごとの要求レベルに与える影響，日本建築学会大会学術講演梗概集 環境工学 I，pp. 515-518，2016.7

- 5) Inui Masao : Architectural design course Lighting and visual environment, Rikoh Tosho, 1978.04 (in Japanese)

乾正雄：建築設計講座 照明と視環境，理工図書，1978.4

- 6) Iwata Toshie, Sasaki Yoshikazu, Itoh Daisuke, Mochizuki Etsuko: The range of the total amount glare determined by the average luminance of the visual field, Contrast effect and grand total effect on discomfort glare Part 2, Journal of Environmental Engineering (Transaction of AIJ), Vol. 74, No. 635, pp. 25-31, 2009.1 (in Japanese)

岩田利枝，佐々木良和，伊藤大輔，望月悦子：視野内平均輝度による総量グレア範囲の抽出 不快グレアの対比効果と総量効果 その2，日本建築学会環境系論文，第74巻，第635号，pp. 25-31，2009.1

RESEARCH ON ACCEPTABLE LUMINANCE CONTRAST
BETWEEN THE WINDOW AND THE SURROUNDING WALL (Part 1) :
EXAMINATION OF WINDOWS INSTALLED AT WAIST HEIGHT INCLUDING BLINDS

Mika KATO^{*1}, *Nozomu YOSHIZAWA*^{*2}, *Hideki YAMAGUCHI*^{*3}
and Yasuhiro MIKI^{*4}

^{*1} Assist. Prof., Dept. of Conceptual Design, College of Industrial Technology, Nihon University, Dr.Eng.

^{*2} Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Science and Technology, Tokyo University of Science, Dr.Eng.

^{*3} Senior Researcher, Building Dept., National Institute for Land and Infrastructure Management, Dr.Eng.

^{*4} Research Coordinator for Housing Information System, Housing Dept., National Institute for Land and Infrastructure Management, Dr.Eng.

This study proposes clues to control the luminance contrast between windows and the walls around them.

Until now, the idea of incorporating daylight to save energy has been the mainstream, but in recent years the "right to receive daylight" has been reviewed in light of the impact on circadian rhythm. However, as has been conventionally recognized, taking direct sunlight directly into the room produces extremely bright areas. Even if the window is not exposed to direct sunlight, the brightness of the sky and surrounding buildings may cause glare, which reduces visual comfort. In addition, even if glare does not occur, if the contrast between the outdoor and indoor brightness seen through the window is large, the impression of the room will be darkened. It is not desirable to have too much or too little daylight. Especially in the visual environment, it is very difficult to adjust it, and appropriate control is required.

There are daylight factor and glare index (eg PGSV) as clues for daylight control. However, the former is only a guideline for the amount of light that should be guaranteed in daylight, and it cannot be said that visual comfort can be guaranteed. The latter can predict the degree of glare, but it is not clear how much glare is acceptable. Previous studies by the authors have shown that interior reflectance changes the required level of spatial brightness. As with spatial brightness, glare may have different tendencies in perception and demand, so this study examined the effect of interior reflectance.

Experiments are conducted in full-scale space, and the main variables are interior reflectance, blind slat width and angle. The size of the window is strictly different because the space used for each experiment is different, but it is about 1m x 2m and is installed at waist height. Windows were prepared both artificial uniform luminance and natural sky. Subjects are men and women in their 20s.

From the experimental results, the following became clear. First, glare standards are set according to visual task, but this study shows that the degree of glare tolerance tends to differ depending on the interior reflectance. This does not mean that the perception of glare is different, but that the permissible degree depends on the interior reflectance. Next, when calculating the luminance contrast between the window and the surrounding walls, the conditions for windows with blinds were also examined. It was thought that the maximum luminance and the non-uniformity of luminance had an effect, but these effects were not detected, and it became clear that the average luminance in the window area could be sufficiently explained. On the other hand, in the case where the high-luminance part such as the sky and the low-luminance part such as planting are clearly separated in the window area, the average value of only the high-luminance part is better than the entire window area.

Based on the experimental results, the formula "75% AIL" was proposed. The equation includes the brightness of the window and the internal reflectance. The correlation coefficient is $R = 0.98$.

By using this relationship, it is possible to control the window luminance and the output of artificial lighting, but the size of the window and other factors are limited in experimental conditions, so further studies are required.

(2021 年 1 月 8 日原稿受理, 2021 年 7 月 20 日採用決定)