

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 4 日現在

機関番号：32644

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009 ～ 2011

課題番号：21360281

研究課題名（和文） 昼光利用のための対比－飽和グレアの動的評価方法の開発

研究課題名（英文） Development on dynamic evaluation on contrast-saturation glare for daylighting

研究代表者

岩田 利枝（IWATA TOSHIE）

東海大学・工学部・教授

研究者番号：80270627

研究成果の概要（和文）：200 字

昼光による不快グレアは動的な評価が必要である。本研究の目的は、窓面からの不快グレア評価方法を開発することにある。視野内輝度分布に基づくグレア源の抽出、前順応輝度の影響の検証、瞳孔径変化による対比効果と飽和効果の支配的な条件範囲の決定、周辺視における分光分布の影響の検証を行った。結果から求めた評価指標を用いて、自動ブラインド制御や日射遮蔽装置の不快グレア抑制性能の評価を行い、適用性を示した。

研究成果の概要（英文）：

To assess discomfort glare from daylight, dynamic evaluation method is required. The purpose of this study is to develop an evaluation method for discomfort glare from windows including shading devices. Glare sources are determined from the visual field by using luminance image and the effect of adaptation level on glare sensation was examined. The border between the contrast glare and the saturation glare was determined due to the change of the pupil size and the effect of spectral distribution on peripheral glare was tested. The applicability of the evaluation method was also demonstrated.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	8,200,000	2,460,000	10,660,000
2010 年度	4,300,000	1,290,000	5,590,000
2011 年度	2,100,000	630,000	2,730,000
年度			
年度			
総計	14,600,000	4,380,000	18,980,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学・建築環境・設備

キーワード：環境設備計画

1. 研究開始当初の背景

人工照明のための不快グレア評価指標として Unified Glare Rating (UGR) が CIE（国際照明委員会）で決められ、ISO8995 および JIS 基準に用いられているが、昼光照明の不快グレアについては、国内外とも基準と

して認められている指標がない。CIE の技術委員会 TC3-39 Discomfort glare from daylight in buildings（研究代表者も委員）の最終報告も、昼光グレア評価の問題点をまとめるにとどまった。

人工照明による不快グレアと比較して昼

光によるグレアでは以下(a)~(d)の4つの問題が考えられる。(a)光源が大きいため、対比効果だけでなく総量(飽和効果)がある、(b)光源が視点より下にもある(既存の位置指数では対応できない)、(c)グレア源が視野内に均等に位置していないので、前順応輝度の影響が大きくなる、(d)不均一な輝度分布と昼光の変動のためグレア源を特定することが困難である。

これらの問題に対し、国外の研究は人工照明用グレア式の係数の修正が中心になっている。大光源からのグレアでは1960年代のHopkinsonらの研究が最も知られている。これは自身が提案した人工光源の評価指標を、対比効果が小さく評価されるように修正したのだが、実空間の評価には合わない。近年、ヨーロッパで窓面グレアに関する研究が発表されているが、いずれもそれぞれの実験結果と相関が高くなるようにUGRや既存の評価法に修正を加えたにすぎず、限定された条件でしか用いることができない。

国内では、順応の影響を考慮した評価法も提案されているが、実験条件範囲が広いため、実空間へ適用すると評価の差が現れない。戸倉(研究分担者)らは窓に限定せずに高輝度部分のグレア評価を示した。対象領域と周辺領域のコントラストの強さをフィルタリングで求めて高輝度部分の抽出を行っているが、評価との関連がはっきりしていない。

研究代表者らも人工視野を用いた実験から、光源の大きさによって対比の影響が変化することを示した評価法(Predicted Glare

Sensation Vote: PGSV)を開発した。これは現在ブラインド制御などに使用されているが、実空間では高輝度部分の位置・範囲が変化し、グレア源と背景の分離が難しいため、背景は人工照明照度、グレア源は昼光照度のように予め固定して計算している。また研究代表者らは視線下部の位置指数の提案も行っている。

以上のように昼光不快グレアの評価に関する研究は少なくはないが、評価方法は確立されていない。特に、上に挙げた問題のうち(a)の対比効果と飽和効果、(c)の前順応輝度の影響、(d)のグレア源の抽出については研究の蓄積が不十分なため、実空間での評価ができない状態にある。

2. 研究の目的

「研究開始当初の背景」に示したように、昼光による不快グレアはグレア源の位置、大きさ、輝度、周囲状況が変化するので、グレア源が固定された人工照明の評価方法では対応できず、視野内の輝度分布に基づいた動的な評価が必要である。本研究の目的は、昼光不快グレアとして窓面(日射遮蔽装置を含む)からの不快グレア評価方法を開発し、

適用性を示すことにある。具体的には、視野内輝度分布からグレア源を抽出する方法の提案、前順応輝度を考慮した対比効果と飽和効果に基づくグレア評価方法の開発を行い、それらの適用性を示すことを目的とする。

3. 研究の方法

以下の(1)~(5)のように構成する。

(1) 既存の指標の特徴の検討

輝度分布画像からグレア源を抽出する窓面不快グレア評価方法であるDaylight Glare Probability (DGP)とPGSVについて各パラメータが予測グレア感に与える影響などを数値上で検討する。

(2) 輝度分布に基づくグレア源の抽出

① 窓面内輝度分布パターン作成

窓面内輝度分布はさまざまなパターンが考えられる。窓を含む視野の輝度分布実測を行い、その結果に基づき、年間シミュレーションを行って輝度分布パターンを作成する。輝度分布実測は方位、景観、時刻、天候などが異なる条件で、窓面内と室内の輝度分布をCCDカメラとフィッシュアイによる輝度画像取得システムを用いて測定する。直射日光がある場合には遮蔽装置を加える。

② グレア源の抽出

上記より得られた輝度分布を基に、輝度可変の人工窓とブラインドの反射率とスラット角によって、光の総量および対比の異なる22条件を作る。輝度分布はCCDカメラシステムで計測する。DGPでは作業面輝度(順応輝度)の4倍の輝度をPGSVではグレア源輝度(L_s)と背景輝度(L_b)のそれぞれの平均の比が最大になる輝度をグレア源と背景の境界としている。抽出方法の違いによる予測グレア感の違いを検討する。

(3) 対比-飽和グレアの非定常評価

① 順応輝度の影響

グレア源を含む視野を見る前の順応輝度が対比効果と総量効果に与える影響に関し被験者実験を行い、グレア感評価と瞳孔径変化を測定する。図1に示すような順応視野ボックスと評価視野装置を用いる。

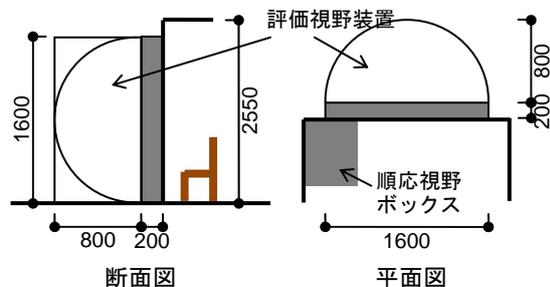


図1 実験装置

順応視野ボックスは半円筒面、評価視野装置は直径 1600mm の半球面で、いずれも被験者側から曲面を照らす。評価視野は均一輝度とする。

②対比－飽和グレアの検討

上記装置の評価視野を不均一輝度にして①と同様の実験を行う。さらに人工窓とブラインドを用いて被験者実験を行い、対比効果、飽和効果それぞれが支配的な範囲の決定方法を検討する。

(4)周辺視における分光分布の影響の検討

これまで使われてきた不快グレアの予測指標のパラメータに光源の分光分布は含まれていない。しかし、例えば青空光は短波長側に多くのエネルギーを持つ。L、M 錐体が網膜の中心に分布し、S 錐体が周辺に分布しているため視野周辺に短波長光が当たっている時、既往の研究のグレア感よりまぶしさを感じると考えられる。フルスペクトルランプ、白色 LED、青色 LED を取り付けた人工視野装置を用いて、調整法と比較法で被験者実験を行い、周辺視の短波長成分を多く含む光の不快グレアについて定量的に検討する。

(5)不快グレア予測プログラムの作成と検証

上記の結果を統合し、さらに窓外周辺状況を組み込んだ不快グレア予測プログラムを開発する。適用性を示すため、大空間オフィスでのブラインドゾーン制御の検討、5 種類のブラインド（通常型、裏表二色型、拡散透過型、角度変化型、ライトシェルフ型）装着時の不快グレアシミュレーションから不快グレア抑制性能の評価を行った。

全体としては(1)によって(2)～(4)の課題およびそれ以外の問題について焦点を絞る。(2)～(4)の検討課題それぞれについて実験・実測を行う。その後、全体を統合して(5)不快グレア予測プログラムの作成を行い、計画時・運用時について検証する。

4. 研究成果

方法に対応させて成果を示す。

(1) 既存の指標の特徴の検討

背景輝度 L_b とグレア源輝度 L_s が、指標によるグレア予測値に与える影響を DGP、PGSV について検討すると図2のようになり、DGP は常に総量グレアを評価している。

また DGP はオフィス作業において「グレアによる妨害がある」と回答、あるいはグレア感を「ひどすぎると感じ始める」以上に回答する割合 (0～1) を示している。PGSV のグレア感 (GSV、0：まぶしさを感じ始める～3：ひどすぎると感じ始める) とオフィス空間としての許容率 (許容できる人の割合) を求め、相互の比較を可能にした (図3)。

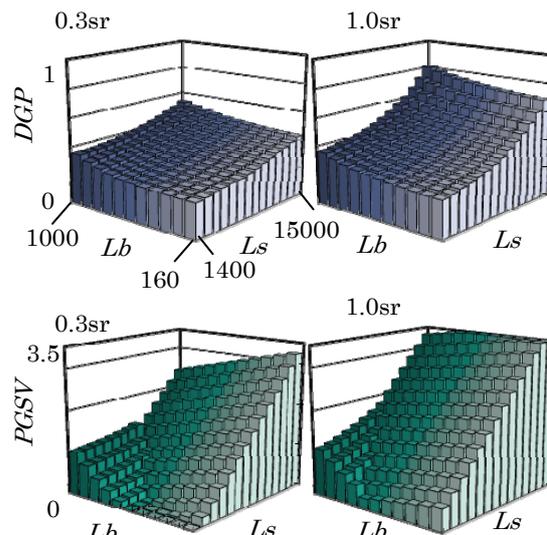


図2 背景輝度の影響大きさの比較 (PGSVとDGP) ($160 < L_b < 1000 \text{cd/m}^2$, $1400 < L_s < 10000 \text{cd/m}^2$)

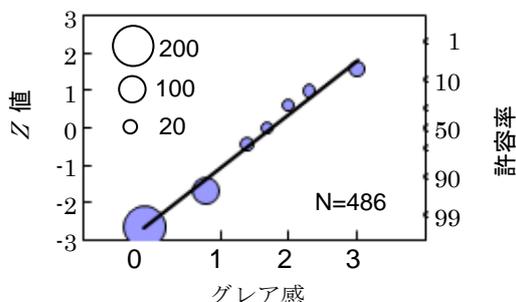


図3 グレア感とオフィスとしての非許容率

$$Z = 1.42 \times GSV - 2.57$$

$$N_{ac} = \int \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp \frac{z^2}{2}$$

GSV: グレア感 N_{ac} : 許容率

これらの成果を国際会議において発表し、窓面グレア評価においては対比効果と飽和効果の両方を評価する必要があること、グレア感は「空間の用途・作業」によって許容度が異なり「感覚」(刺激に対応)と「評価」(作業などが影響)の両方による基準作成という考え方を示した (学会発表①②④)。

(2) 輝度分布に基づくグレア源の抽出

①窓面内輝度分布パターン作成

グレア源の抽出方法の開発を目的に、窓を含む視野の輝度分布実測を行った。得られた輝度分布画像を基に気象データを用いて年間の視野内の輝度分布出現頻度について計算を行った。その結果、窓面内に見える天空以外の部分を背景に含めた場合の方が、光源輝度の背景輝度に対する比が大きくなる。PGSV 計算値について検討すると、天空以外

の部分にグレア源を含めると、グレア源平均輝度は低下するがグレア源の立体角が大きくなるため、計算方法による PGSV 計算値への影響は比較的小さかった。

また、ベネシャンブラインドを設置した窓について、ブラインドスラット面輝度と屋外天空部分輝度の比を求めた。条件を変えてシミュレーションを行い、スラット反射率 0.8 では輝度比が 0.2~1 に分布していることを示した。

②グレア源の抽出

輝度可変の人工窓とブラインドの反射率とスラット角によって、光の総量および対比の異なる 22 条件を作り、輝度分布は CCD カメラシステムで計測した。既往の研究を参考に 4 種類のグレア源抽出方法に基づいて画像上でグレア源の特定を行い、グレア源と背景の対比を算出した。PGSV 算出ではグレア源輝度 L_s の背景輝度 L_b に対する比 (L_s/L_b) が最大になる輝度を境界とした。窓面輝度、鉛直面照度が等しくても輝度分布によって境界輝度は異なる。例として窓面輝度 18000 cd/m^2 、目の位置の鉛直面照度 3333 lx の場合の室内輝度分布 (図 4) およびヒストグラム (図 5) とグレア源として抽出された部分 (図 6) を示す。

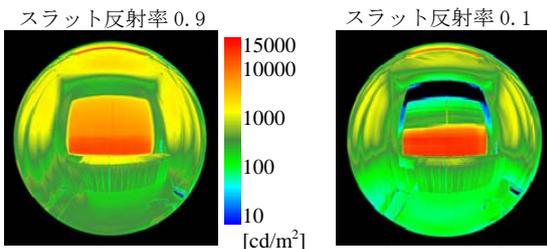


図 4 輝度分布

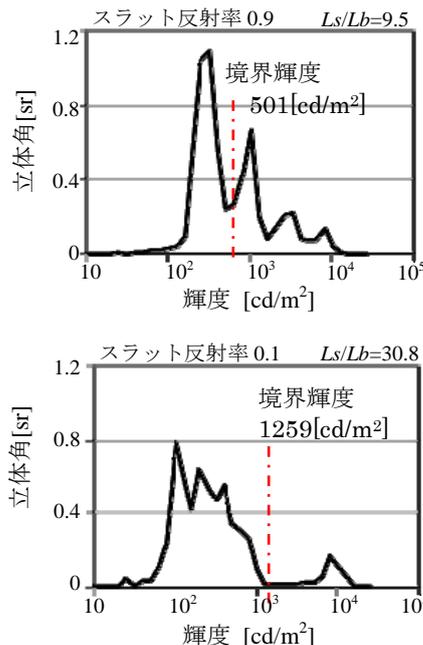


図 5 輝度ヒストグラムと境界輝度

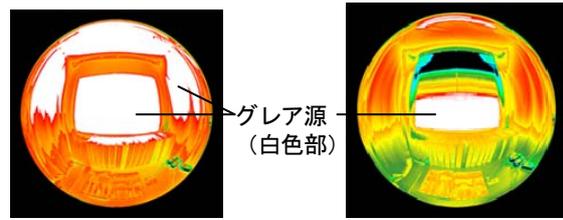


図 6 抽出されたグレア源部分

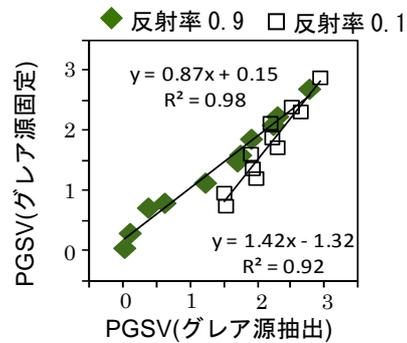


図 7 PGSV 算出法の比較

①でも PGSV は窓面内の天空以外の部分の扱いによる差が小さいことを述べたが、図 7 のように窓部分をグレア源とした場合とグレア源抽出を行った場合で PGSV の差は概ね小さい。境界輝度の決定方法の影響が小さい反射率 0.9 のブラインドの場合は RMSE は 0.2 であったが、反射率 0.1 では 0.5 となった。

求めた PGSV と主観評価のグレア感を図 8 に示す。模擬窓の結果では、PGSV はグレア感が低いときにやや過大評価になるが、実際の窓の結果から考えて、ターゲットとなる非許容率 10%~20% (PGSV で 0.9~1.2) あたりではグレア感を十分に予測できる。

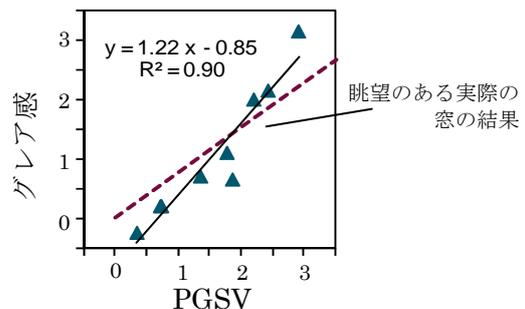


図 8 PGSV と主観評価

これらの成果は国際照明委員会 (CIE) 技術委員会 TC3-39 Discomfort glare from daylight in buildings で報告後、論文にまとめた。国際的にも輝度画像を用いたグレア制御が求められているが、運用上輝度画像制御が困難な場合でも、PGSV 制御で対応できることを示すことができた。

(3) 対比-飽和グレアの非定常評価

①順応輝度の影響

順応視野 (輝度 90, 230 cd/m^2) から輝度均

一の評価視野（輝度 400~2500cd/m²）に移動すると、瞳孔が収縮したが、瞳孔径は前順応輝度によらず、評価輝度によって定まった。瞳孔径の絶対値、変化量とも個人差が大きい、瞳孔変化が大きい被験者が必ずしも不快グレアに敏感ということとはなかった。

②対比-飽和グレアの検討

対比グレアが起りやすい不均一視野における平均評価輝度と瞳孔径の関係を図 8 に示す。均一視野と不均一視野の瞳孔径を比較すると、平均輝度が同じであれば高輝度部分の立体角が小さい場合、瞳孔径は不均一視野の方が収縮している。立体角 1sr は概ね均一視野の結果と一致している。

人工窓と反射率の異なるブラインドを用いて輝度分布のある視野を作り、網膜照度とグレア感の関係を均一視野の場合と比較して、対比効果と総量効果の検討を行った（図 9）。スラット反射率 0.9 のブラインドでは、概ね均一視野のグレア感と一致しており、飽和効果が支配的である。反射率 0.1 のブラインドでは、全条件で均一視野のグレア感よりも高くなり、対比効果によってグレア感を評価している。この結果に基づき対比-飽和の変移点を求めることによって、従来の対比効果と飽和効果の間にあった不連続点が修正された。

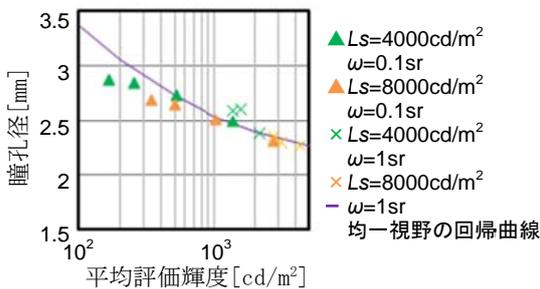


図 9 平均評価輝度と瞳孔径

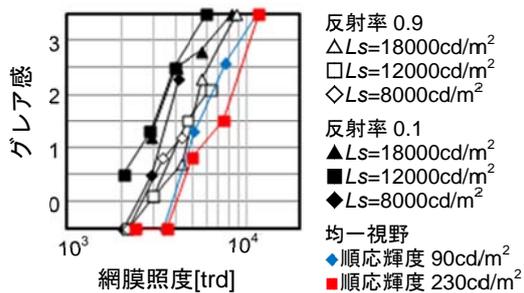


図 10 網膜照度とグレア感

(4) 周辺視における分光分布の影響の検討

従来の不快グレア評価は、分光分布の影響は加味されていない。調整法と比較法を用い、テスト光源（短波長側にピークを持つ光源）が基準光源（白熱電球）と等しいグレアをもたらすために必要な輝度を求め、ポジション

インデックスごとに比較した（表 1）。周辺の短波長光（例えば青空光）はよりまぶしさを感じさせる可能性があることを示した。

表 1 基準光源と等しいまぶしさとなるテスト光源輝度

呈示位置	Ls [cd/m ²]	青色 LED		白色 LED	
		Lt [cd/m ²]	輝度比 (対数)	Lt [cd/m ²]	輝度比 (対数)
τ=0° P=4	1600	164	0.10 (-1.99)	778	0.49 (-0.31)
τ=0° P=2		185	0.12 (-1.94)	2146	1.34 (0.13)
τ=45° P=4		143	0.09 (-1.05)	1256	0.78 (-0.11)
τ=45° P=2		227	0.14 (-0.85)	1404	0.88 (-0.06)

Ls: 基準光源輝度 Lt: テスト光源輝度 P: ポジションインデックス、τ: 視点と光源と視線を含む水平面がなす角

(5) 不快グレア予測プログラムの作成と検証

本研究で提案する不快グレア予測プログラムを運用時、計画時それぞれに用いる場合の適用性を検証した。

運用時の適用性の検証として、屋外照度を用いたグレア予測に基づく自動ブラインド制御プログラムを作成した。窓外の天空と地表部分の輝度分布、対向建物・庇等の影によるブラインドスラット上の輝度分布を組み込んだ。大空間オフィスにおいて各評価位置から最大グレアとなる窓位置を抽出し、在席位置によるブラインドのゾーン制御について検討した。数値シミュレーションと実際のオフィスで被験者実験の結果から、水平視野角 90 度範囲をゾーンとしたブラインドのゾーン制御で不快グレア抑制が可能なことを示した。ゾーン制御により不快グレア抑制と眺望確保の両立が可能になった。

計画時の適用性の検証として、5 種類の日射遮蔽装置について時刻ごとの輝度分布の測定を行い、PGSV を求めた。図 11 に結果の一例を示す。遮蔽装置の種類によってスラット輝度とスラット間から見える眺望の立体角割合が異なり、PGSV 値が異なる。不快グレア抑制性能を評価した。

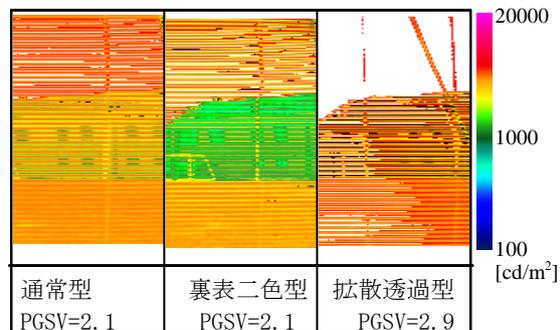


図 11 各日射遮蔽装置と PGSV

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

- ① T.Iwata, W.Osterhaus, H.Ito, Assessment of discomfort glare from windows with venetian blind using luminance distribution images, International Commission of Illumination (CIE), 27th Session, Vol.2, 751-757, 2011 査読有

[学会発表] (計 15 件)

- ① T.Iwata et al.: Automated control of blind slat angle based on 'contrast-saturation glare' evaluation method, International Conference on Effects of Light on Wellbeing, Experiencing Light 2009, 2009.10.27 オランダ(Eindhoven)
- ② T. Iwata and W. Osterhaus, Assessment of discomfort glare in daylight offices using luminance distribution images, CIE 2010 Conference on Lighting Quality and Energy Efficiency, 2010.3.15, オーストリア (Vienna)
- ③ 岩田利枝: 輝度分布画像を用いた窓面不快グレア指標の検討、日本建築学会大会学術講演会梗概集、2010.9.10、福井大学 (福井)
- ④ 岩田利枝: 輝度分布画像を用いた昼光照明オフィスにおける不快グレア評価、第 23 回 JCIE セミナー、2010.6.25、照明学会 (東京)
- ⑤ E. Mochizuki, Y. Koike, T. Iwata: Measurement on luminance distribution within actual windows, The 3rd Lighting Symposium of China, Japan and Korea, 2010.9.10, COEX (Seoul)
- ⑥ T. Iwata, Discomfort glare from daylight - Fundamentals and Application of Glare Assessment Methods, The International Workshop of Solid-state Lighting with Human Factor Technology (招待講演), 2012.3.1., 台湾中央大学(桃園市・台湾)
- ⑦ T. Iwata, Discomfort glare index for automated blind control, International Solar Energy Society (ISES) Solar World Congress 2011, 2011.8.29., Kassel (Germany)
- ⑧ M.Murata, T. Iwata, Discomfort glare caused by short wavelength light at peripheral vision, 4th International Conference on Human-Environment Systems 2011 第4回人間-生活環境系国際会議, 2011.10.3., 北海道大学、札幌
- ⑨ 村田正徳、岩田利枝、LED光源を用いた周辺

視の不快グレア評価に関する研究、日本建築学会 2011年度大会、2011. 8. 24、東京

- ⑩ 村田正徳、岩田利枝、周辺部不快グレアに関する基礎研究、照明学会 平成23年度 (第44回) 全国大会、2011. 9. 15、愛媛大学 (愛媛)
- ⑪ 長吉謙輔、岩田利枝、瞳孔変化を用いた対比-総量グレアの評価に関する研究、照明学会 平成23年度 (第44回) 全国大会、2011. 9. 15、愛媛大学 (愛媛)
- ⑫ D.Ito T.Iwata, View contact and illumination distribution provided by blind control for glare-free daylight environment, CIE 27th Session, 2011.7.13, Sun city (South Africa)
- ⑬ D.Ito and T.Iwata Development of lightshelf blind for daylighting, ISES Solar World Congress 2011, 2011.8.2., Kongress Palais Kassel (Germany)
- ⑭ 望月悦子、周辺視における青色光に対するグレア感度、照明学会 平成 23 年度 (第 44 回) 全国大会、2011.9.17.、愛媛大学 (愛媛)
- ⑮ Etsuko Mochizuki, Subjective experiment on glare sensitivity caused by blue light at peripheral vision, 4th Lighting Conference of China, Japan and Korea, 2011.9.23., Dalian(China)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岩田 利枝 (IWATA TOSHIE)
東海大学・工学部・教授
研究者番号：80270627

(2) 研究分担者

望月 悦子 (MOCHIZUKI ETSUKO)
千葉工業大学・工学部・准教授
研究者番号：80458629

(3) 研究分担者

戸倉 三和子 (TOKURA MIWAKO)
帝塚山大学・現代生活学部・准教授
研究者番号：90517591

(4) 研究分担者

伊藤 大輔 (ITO DAISUKE)
ものづくり大学・技能工芸学部・講師
研究者番号：10567978
(H21：研究協力者)