

VR（バーチャルリアリティ）技術による
レースカーテンの視認性評価手法の開発
その1 レースカーテンの視認性評価のための仮想空間の構築

Development of a Technique to Assess the Visibility of Lace Curtains using Virtual Reality
Technology

Part 1: Construction of a Virtual Space for Assessing the Visibility of Lace Curtains

多 屋 淑 子 井 田 真理奈
Yoshiko TAYA Marina IDA

VR（バーチャルリアリティ）技術による レースカーテンの視認性評価手法の開発

その1 レースカーテンの視認性評価のための仮想空間の構築

Development of a Technique to Assess the Visibility of Lace Curtains using Virtual Reality Technology

Part 1: Construction of a Virtual Space for Assessing the Visibility of Lace Curtains

多 屋 淑 子* 井 田 真理奈**

Yoshiko TAYA

Marina IDA

Abstract Lace curtains are typically used in living environments where buildings are clustered closely together, to prevent people outside from being able to see inside private spaces. While their ability to protect the privacy of residents is considered to be an essential feature of lace curtains, there seem to be no well-defined standards or techniques for evaluating their visibility. We previously developed a method for assessing lace curtain visibility using actual living spaces and human subjects. Our results revealed how the physical property values of curtain materials affect visibility. However, this method involves the major undertaking of preparing real living spaces, and is associated with heavy costs and other issues. In this study, we sought to investigate a new evaluation method. Specifically, we used virtual reality (VR) technology to reproduce a living space in terms of its floor plan, walls, flooring, and lighting conditions. Lace curtains were simulated to have the physical property values of their materials. A virtual 'person' outside who could be seen through the curtains was also modeled. The virtual space constructed using this method successfully approximated the real living environment on which it was based.

Key words: virtual reality (VR) バーチャルリアリティ, lace curtain レースカーテン, visibility 視認性, privacy protection プライバシー保護, assessment of visibility 視認性評価

1. はじめに

住宅などの建物が密集している地域では、外部からの視線にさらされる機会も多く、室内の視覚的情報がしばしば問題となっている。このような状況下、人が安心して安全に快適に生活するには、レースカーテンにはプライバシーを保護する機能が必要とされ、現在、さまざまな種類のレースカーテンが用いられているが、レースカーテンの視認性評価基

準や評価方法は確立されていない状況にある。建築・照明分野においても視認性に関する研究が行われている³⁻¹¹⁾が、視認性の評価対象を何にするか等の研究に留まり、生活の安心・安全・快適を保証する視認性に優れるレースカーテン素材の評価にまでは至っていないようである。このような状況から、我々は、被験者実験によるレースカーテンの視認性評価方法の検討や視認性と素材の物性値の評価方法の検討を行ってきた¹⁻²⁾。現在、実際の生活空間を使用して種々のレースカーテンの視認性評価を行うには、評価対象とするレースカーテンを実験毎に用意して付け替える必要があり、多くの種類のレースカーテンの視認性評価を行うには手間や経費がかさ

* 被服学専攻
Graduate of Division of Clothing

** 被服学専攻修了
Graduate of Division of Clothing

むことが問題となっている。そこで、本研究では、レースカーテンの視認性を評価する際に、実際の生活空間やレースカーテンの実物を用いることなく、精度良く再現性のある視認性評価を行う方法について検討する。具体的には、VR (=バーチャルリアリティ) 技術を用いて、仮想の生活空間と仮想のレースカーテンを構築し、レースカーテンの視認性評価実験を可能とするツールの開発を目指している。

2. レースカーテンの視認性評価のためのVRによる仮想空間の構築

本研究では、以下、現実 (Reality) の生活空間とレースカーテンを「実空間」と「実レースカーテン」と称し、VR (Virtual Reality) 技術を利用して構築した生活空間とレースカーテンを「VR空間」と「VRレースカーテン」と称することとする。

2-1. VR空間とVRレースカーテンを構築する際に必要な技術

レースカーテンの視認性評価を行う仮想空間であるVR空間は、レースカーテンを使用するVR空間とVRレースカーテンから構成され、実空間と実レースカーテンを用いた評価結果と同じ結果が得られるようにする必要がある。そのため、VR空間は、カーテンを使用する実際の部屋の間取りや壁、床、照明条件等を加味した生活空間を忠実にVRで作成し、VRレースカーテンは、実レースカーテンと同じ特性値持つVRレースカーテンの作成を行う。

VR空間を構築する際には、実空間を忠実に再現する必要があり、そのための重要な要素である等身大の形状、テクスチャ (色や質感)、光環境について、以下の3種類のソフトを使用した。

1) 形状の作成

形状作成には3DCGモデリングソフトウェアである3ds-Maxを用いて等身大の形状を作成した。

2) テクスチャ画像編集

色や柄を再現するテクスチャ情報は、実空間の床面や壁面、使用するレースカーテンなどの写真を撮影し、画像編集ソフトPhotoshopで加工した後、作成するVR空間のオブジェクトに貼り付けて使用した。Fig. 1は作成したレースカーテンのテクスチャ画像の例である。

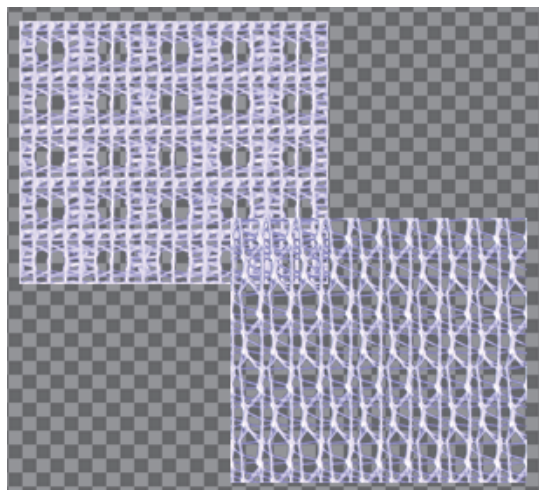


Fig. 1 Example of creating a texture image

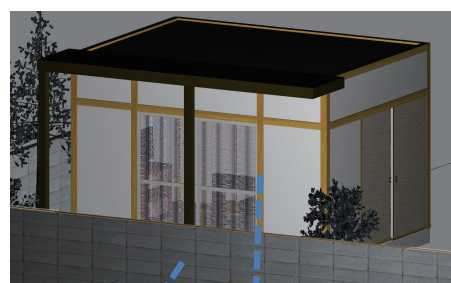
3) 光環境の再現

本研究では、昼間と夜間を模擬する昼環境と夜環境の2条件の光環境を構築した。その際には、照明シミュレーションソフトVRADを用いて作成した。このソフトは、蛍光灯の光の拡散や光が物体に反射した時の照度を精度よく再現でき、拡散反射光の計算により、光環境が再現できる。更に照明の種類、形状、光の強度、色温度等の調整を行うことにより、実空間の光環境に近い見え方を再現することができる。

Fig. 2は、上述のソフトを用いて、夜間における実際の家の一室のテクスチャと光環境を再現した例である。このように、VR技術を駆使することにより、実物と等身大の部屋、テクスチャ、光環境をVRで再現できることが確認できた。次に、この手法を用いて、レースカーテンの視認性評価を行うVR空間を構築する手法を検討する。

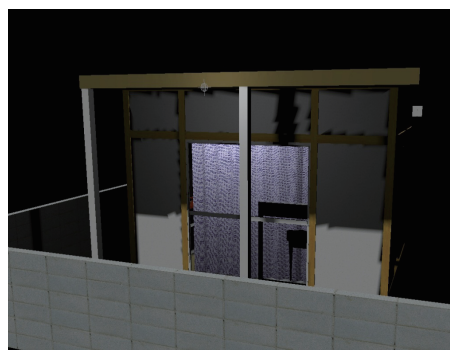
2-2. レースカーテンの視認性評価のためのVR空間の構築

Fig. 3は、レースカーテンの視認性評価で実際に使用した実験環境の概要図である。視認性評価実験を行うに際し、実空間のA室とB室の間に視認性を評価するレースカーテンを配置し、室内と想定したA室からレースカーテンを通して室外のB室を見る実験と、室外のB室からレースカーテンを通



テクスチャー情報

(A) 色や質感を表現するテクスチャーの表現



(B) 光環境の表現

Fig. 2 Example of an existing residential room expressed by VR technology

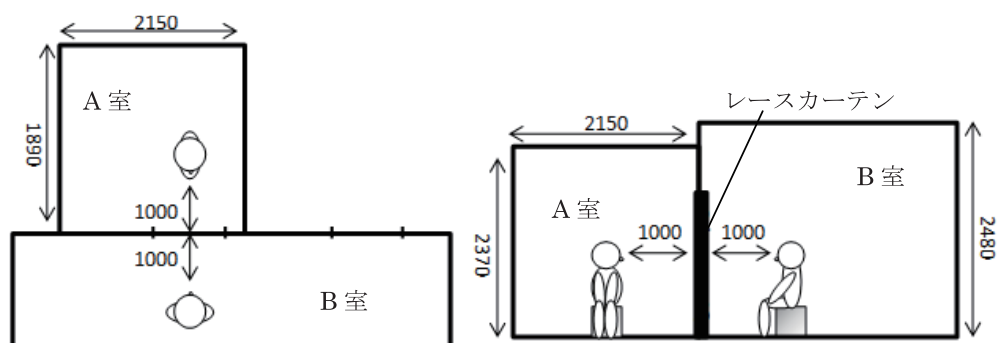


Fig. 3 Outline drawing of a real laboratory for assessment of visibility

して室内の A 室を見る 2 通りの実験を行うことのできる VR 空間を構築する。

ここで、VR 空間を構成する要素は、空間の形状、光環境、レースカーテン、視対象となる人物である。これらの要素は、実際の物性値を使用して作成し、実空間と同等な VR 空間の構築を検討した。

視認性の評価実験に用いる VR 空間は、実験環境とレースカーテンの形状作成には 3DCG モデリングソフトウェアを用い、撮影写真のテクスチャ画像編集には Photoshop を、光環境の再現には照明シミュレーションソフト VRAD を用いた。VR 空間の形状やサイズの再現には、Fig. 2 で示した実空間を等身大で作成し、VR レースカーテンの色や柄を再現するためのテクスチャ情報には、実空間の床面や壁面の撮影画像を使用した。Fig. 4 は、実空間の視認性



Fig. 4 VR space

評価方法で使用した実際の実験環境を VR 技術で再現した VR 空間である。

3. レースカーテンの視認性評価のためのVR レースカーテンの構築

3-1. VR レースカーテン用の試料の選定

Fig. 5 に示すように、市販のレースカーテンは、組織も柄も様々である。本研究で作成する VR レースカーテン試料は、供試試料 30 種²⁾の中から、柄と柄の間隔、糸と空隙のバランスを忠実に再現することが可能な白色の試料とし、さらに、写真撮影範囲の $2.5 \times 3.2\text{cm}$ 内に柄の最小単位が完結していること、最小単位が数回繰り返されているという条件も加えて、3 種のレースカーテンを選定した。それらは図中に四角で囲んだ試料である。

3-2. VR レースカーテンのテクスチャ作成

VR レースカーテンを作成するには、そのテクスチャを実物と同一にする必要があることから、レースカーテンの視認性に関する透過率や開口率を忠実に再現することを検討した。その際、実物のカーテンの透過率と開口率の測定は、レースカーテンの透過率および開口率の評価方法²⁾を用いた。Fig. 5 の 30 種のレースカーテン試料の透過率と開口率の関係は、Fig. 6 に示すように有意な相関が認められた。

1) 素材の開口率の再現

Fig. 7 の 3 種の試料の画像は、糸間の空隙は再現されず、このまま用いても光を透過することはできないことを示している。そのため、開口率の再現に

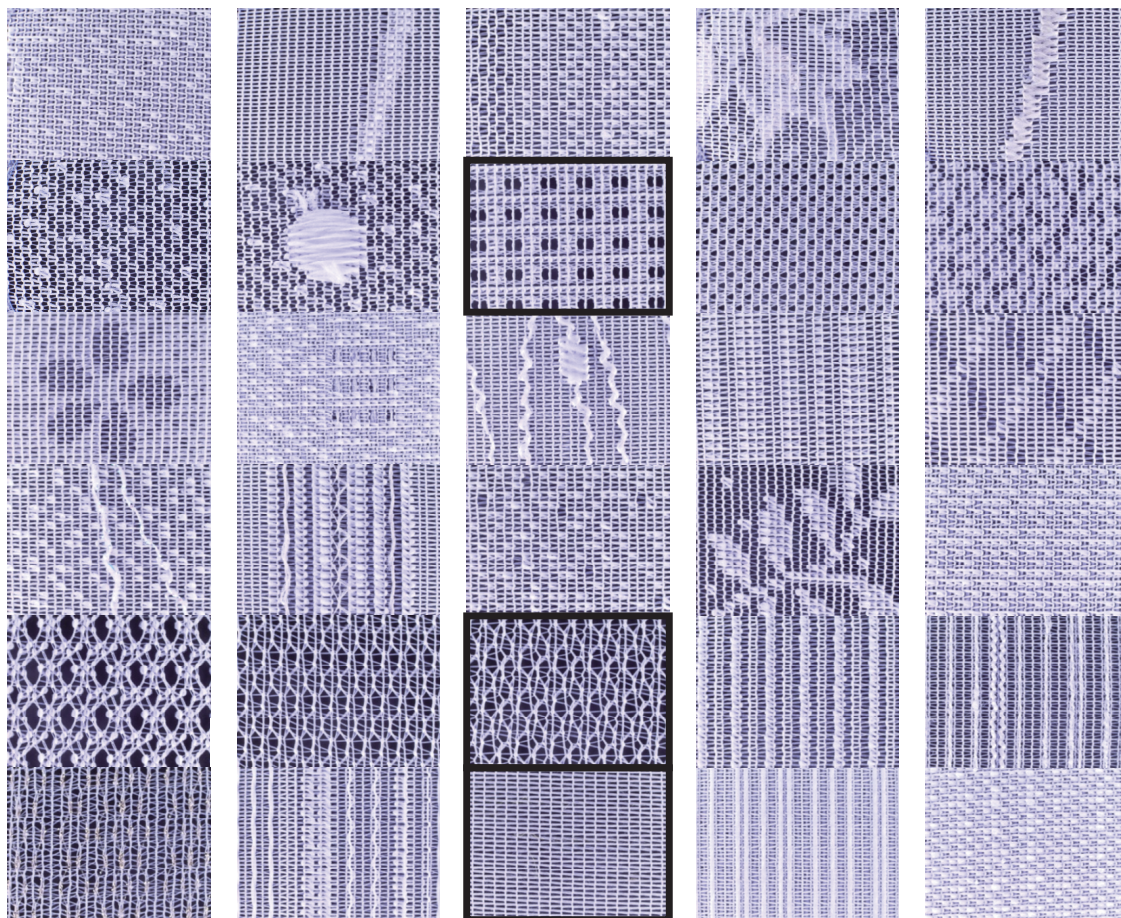


Fig. 5 30 kinds of commercial lace curtains

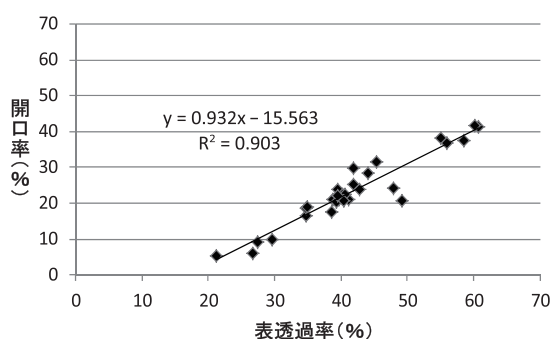


Fig. 6 Transmittance and aperture ratio of commercial lace curtains

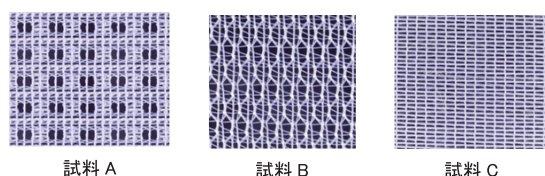


Fig. 7 Photographic image (does not transmit light)

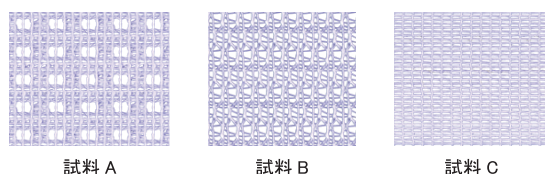


Fig. 8 An image reproducing the aperture ratio (transmitting light)

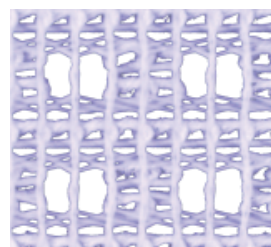


Fig. 10 Example of lace curtain reproducing transmittance

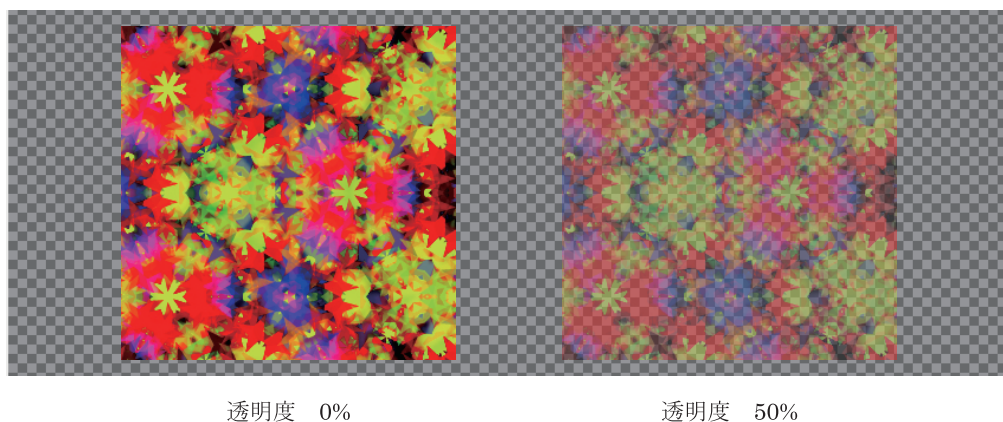


Fig. 9 Examples of image processing

は、Fig. 8 に示すように、レースカーテンの写真画像の黒色部分を完全に除去して透明にする必要がある。そこで、試料内に空隙を作成して光が透過するようにした。

2) 素材の透過率の再現

レースカーテン試料の透過率は、テクスチャの透明度を変化させることによる再現を試みた。Fig. 9 の画像処理の例のように、透明度が 0% であれば画像は鮮明なままであるが、透明度を 50% にすると半透明の画像となり、背景が透けて見えるようになることがわかる。

この方法をレースカーテン画像にも適用した。Fig. 8 に示すように、レースカーテンには開口率が再現され、その空隙部分は透明になることがわかる。次の段階として、糸部分の透明度を Photoshop で調整して変化させれば、糸間だけでなく、糸の中を光が通る様子を再現することができる。Fig. 10 は、透過率を再現した試料 A の例である。

3-3. VR空間内の視対象の作成

人は夜の暗い環境から日中の太陽光の明るい環境に至るまで、大きく異なった明るさの中で生活している。このような光環境の変化に対応できるのは、人の眼が周囲の明るさに順応することにより、その感度を広い範囲で上げたり下げたりしているためである。このように、人の眼は光の強度に応じてその感度を変化させて物を見ているため、光環境の再現には、物理的要素である光エネルギー分布の算出に加え、心理的要素である眼の感度を考慮した映像調整が必要となる。しかし、ある明るさの中で、人の眼がどの程度の感度で物を見ているのか、それを物理的に捉えることが困難である。

そのため、VR空間の作成には、実空間と同様な見え方を再現する必要があり、VR空間で再現する視対象は実空間における撮影画像を用いた。視対象は昼環境・夜環境での光環境下にて、Fig. 11に示すように、カメラ（Canon EOS 40D）を用いてシャッタースピードと色温度を変化させて撮影し、被験者にその中から実環境と最も見え方が近いと判定された写真を選択させた。被験者3名による検討の結果、写真のシャッタースピードと色温度は、Fig. 12に示す値が選択された。そこで、この写真を用いて、視対象を等身大サイズにて正確に再現することができた。

シャッタースピード



0.5秒

1/8秒

色温度



3700K

4300K

Fig. 11 Shutter speed and color temperature when viewing objects are created

夜環境

昼環境

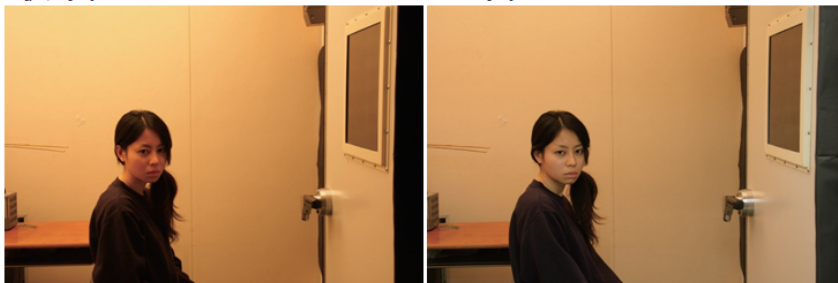
1/8秒
4300Kシャッタースピード
色温度1/5秒
4500K

Fig. 12 Creation of visual object in VR experimental space

Fig. 13 は、選択されたシャッタースピードと色温度を元に作成した視対象オブジェクトである。

3-4. VR 空間の光環境の作成

VR 空間の光環境は、照明シミュレーションソフト VRAD を用いて、Fig. 14 に示すように四角形の面光源にて作成した。

VR 空間の照度は、A 室（室内）の壁面照度と床面水平照度が実空間の照度に合うように調整して再現した。

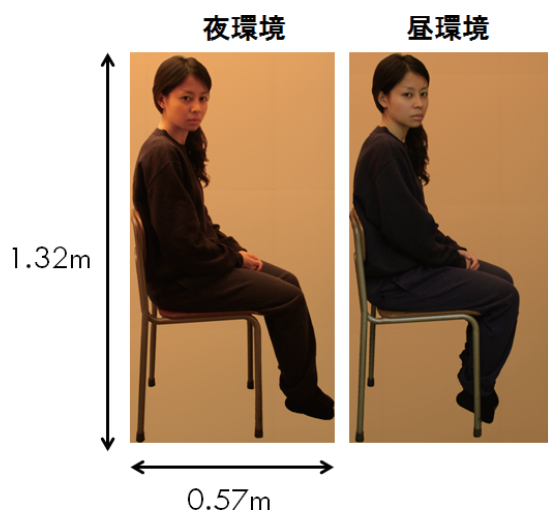


Fig. 13 Objects of VR experimental space reproduced with life-size

3-5. VR レースカーテンの光の強度と色の調整

昼環境と夜環境は、オレンジ色の室内照明がレースカーテンを照らすことから、試料として用いた白色のレースカーテンでも生成やオレンジ色のような色合いに見えることがわかった。例えば、夜環境にて不透明度を持つテクスチャを用いて照明計算を行っても室内側の面のみに照明が当たり、室外側は光が透過せずに影のように黒く表示されることがわかった。検討結果、VR レースカーテンの作成は、室内照明の影響の無い条件でカーテン全体に照明を当てて照明計算を行うというプロセスが必要であることがわかった。このようにして、実空間の撮影写真との比較を行いながら色の調整を行うと、カーテンに光が透過する様子を再現することができるようになった。Fig. 15 は、そのプロセスを経て作成した昼環境と夜環境の VR レースカーテンである。

次に、レースカーテン部分について、実空間にお

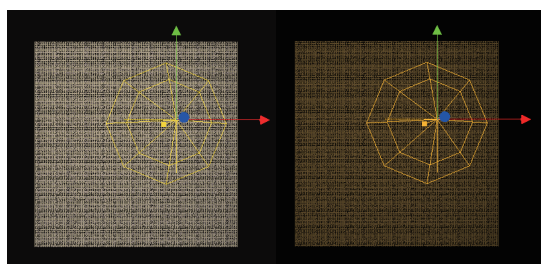


Fig. 15 VR lace curtain individually adjusted for light intensity and color (left: daytime, right: night time)

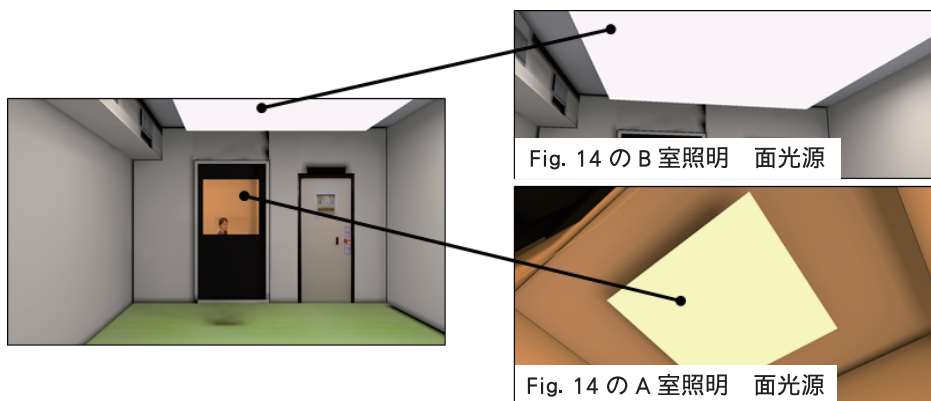


Fig. 14 Construction of light environments (surface light source)

ける撮影写真と構築したVR空間における写真の比較を行った。Fig. 16はサンプルBの例である。両者を比較すると、VR空間のVRレースカーテンは、実空間で撮影した写真に近い表現となったことがわかる。以上より、本研究で構築したVR空間とVRレースカーテンは、実際の居住環境における実物のレースカーテンを用いた視認性評価をしなくとも視認性

評価を行える可能性を見出すことができた。

3-6. レースカーテンの視認性評価のためのVR実験室の完成

Fig. 17は、上述の手法を用いて完成したVR実験室の昼環境での全体図であり、実際の実験室を再現できる可能性を認めることができる。

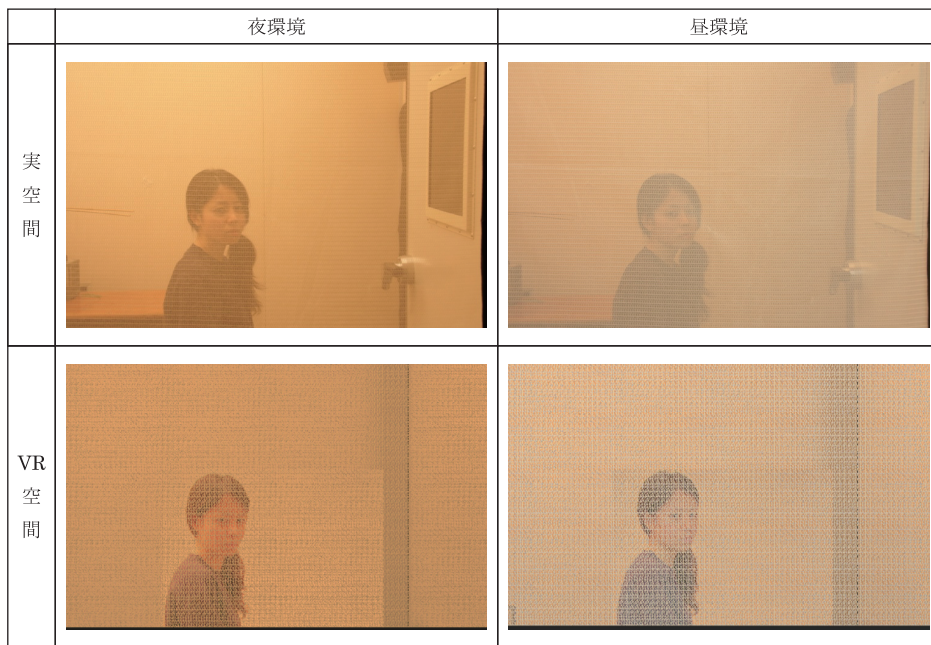


Fig. 16 Example of comparing photographs of lace curtains in real space and VR space (sample B)



Fig. 17 Overall view of the VR laboratory constructed (daytime)

4. まとめ

本研究では、レースカーテンの視認性評価を行うための実験環境をVRにより構築することを目的とし、視認性評価を行うためのVR空間とVRレースカーテンから構成されるVR実験環境として機能する仮想空間を構築する手法について検討した。

その結果、以下が明らかとなった。

- (1) VR空間は、実験環境の床、壁、天井、ドア、レースカーテン、視対象の形状を等身大スケールで作成でき、実物の撮影画像をテクスチャとして用いることにより、色や質感を再現することができた。VR空間の光環境の作成には、照明環境の調整を行うことにより、実空間を模擬する昼環境と夜環境の2種の光環境を構築することができた。
- (2) 視認性評価を可能とするVRレースカーテンの作成は、実物のカーテン素材の透過率と開口率を表現すれば、実物のカーテンを模擬できることが明らかとなった。その際、実物のテクスチャを形状に貼付しただけでは視認性に影響する糸間の空隙の割合を表わす開口率と光の透過率は再現されないことがわかった。
- (3) VRカーテンに開口率を再現するには、画像に糸間の空隙を与える必要があり、画像から空隙部分を除去すればよいことがわかった。
- (4) 透過率を再現するは、糸間の空隙部分だけではなく、糸の中を光が透過する様子を再現する必要があり、画像に透明度を与えて半透明にすることで解決することができた。しかし、半透明のテクスチャを用いて照明計算を行っても、室内側の面は照明が当たるが、室外側は光が透過せずに影のように黒く表示されたため、視認性評価を可能とするVR実験環境を構築するためのさらなる工夫を行った。その結果、室外側にも光が透過するVRレースカーテンを作成するには、室内の照明の影響が無い状態で、レースカーテンのみに個別に照明を当て、実空間の画像と比較しながら光強度と色の調整を行う必要があることがわかった。
- (5) 視対象のテクスチャは、シャッタースピードと色温度を調整した撮影写真の中から、現実の見え方に近いものを選定した。その際、視対象の

見え方を重視して調整すると、視対象テクスチャの背景色と壁の色が乖離して見え方に違和感が生じることがわかった。視対象オブジェクトのみで背景色と壁の色を一致させれば、実際の見え方を再現できることがわかった。

以上から、次の段階として、本研究で構築したVR空間とVRレースカーテンを用いて被験者による視認性評価を行い、実空間実験による評価結果と比較することにより、VR空間実験による視認性評価の有効性を確認する必要がある。

〔要 約〕

建物が密集している生活環境においては、外部からの視線を防ぐためにレースカーテンが用いられている。レースカーテンにはプライバシーを保護する機能が必要とされるものの、視認性の評価基準や評価方法は明確ではないようである。そのため、我々は、実際の生活空間を用いた被験者実験によるレースカーテンの視認性の評価方法を検討し、その有効性や視認性に影響する素材の物性値との関係を明らかにしてきた。しかし、実際の生活空間を用いたレースカーテンの視認性評価方法は大掛かりで費用もかさむ等の問題があることから、本研究では新たな評価方法を検討した。具体的には、VR（Virtual Reality）技術を用いた仮想空間の作成には、生活空間は部屋の間取りや壁・床・照明条件等を再現し、レースカーテンには素材の物性値を反映し、視対象はレースカーテンを通して見える室外の人物を再現した。この方法を用いて、実際の生活空間に近似する仮想空間を構築できた。

参考文献

- 1) 齋藤あかね、成田千恵、多屋淑子：プライバシー保護のためのカーテン素材の視認性評価方法の検討、日本女子大学大学院紀要 家政学研究科・人間生活学研究科、14号、pp.175-180、2008
- 2) 成田千恵、井田真理奈、多屋淑子：レースカーテン素材の透過率および開口率の評価方法の検討、日本女子大学大学院紀要 家政学研究科・人間生活学研究科、23号、pp.197-205、2017
- 3) 奥田紫乃・松本宜考・佐藤隆二：窓を通してみ

- る室内及び室外の見え方に関する研究, その1—レースカーテンを通して見る視対象物の輝度算定法—, 照明学会全国大会講演論文集, p.119, 1998
- 4) 松本宜考・奥田紫乃・佐藤隆二: 窓を通して見る室内及び室外の見え方に関する研究, その2—視対象の輝度算定に要する各種レースカーテンの光学特性—, 照明学会全国大会講演論文集, pp.121-122, 1998
- 5) 吉田哲・宗本順三: 視線によるプライバシー加害・被害意識と窓のカーテンの遮蔽状態との関係: 公営建替集合住宅と木賃アパート建替集合住宅の比較, 日本建築学会計画系論文集 No.521, pp.103-110, 1999
- 6) 奥田紫乃・佐藤隆二・山中俊夫・甲谷寿史: レースカーテンを通した人の顔の見え方に対する評価法の構築—その1, 人の顔の存在及び外形の見え易さ—, 照明学会全国大会講演論文集, pp.127-128, 2000
- 7) 奥田紫乃・佐藤隆二・山中俊夫・甲谷寿史: レースカーテンを通した人の顔の見え方に対する評価法の構築—その2, 人の顔の細部の見え易さ—, 照明学会全国大会講演論文集, p.129, 2000
- 8) 奥田紫乃・佐藤隆二・山中俊夫・甲谷寿史: レースカーテンを通した人の顔の見え方に対する評価法の構築に関する基礎検討—評価法に組み込む明視要素の抽出と見え易さの評価尺度の構成—, 照明学会誌, Vol.84, No.11, pp.809-814, 2000
- 9) 奥田紫乃・佐藤隆二: レースカーテンを通した人の顔の見え方評価—人の頭部の見え方の言語評価尺度に関する研究—, 照明学会全国大会講演論文集, pp.128-129, 2001
- 10) 奥田紫乃・佐藤隆二・山中俊夫・甲谷寿史: レースカーテンを通した人の顔の見え易さ評価の予測, 照明学会全国大会講演論文集, pp.157-158, 2001
- 11) 奥田紫乃・佐藤隆二: 外部からの視線に対する意識と窓および周辺環境の実態, 照明学会誌 Vol.89 No.2, pp.77-82, 2005