The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	A Study on Visual Perception of Daylighting in Architectural Space Using Immersive Virtual Reality
Author(s)	Hegazy Ali Ali Hegazy, Muhammad
Citation	大阪大学, 2021, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/85401
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

Form 3

Abstract of Thesis

Name	（MUHAMMAD HEGAZY ALI ALI HEGAZY）
Title	A Study on Visual Perception of Daylighting in Architectural Space Using Immersive Virtual Reality (没入型仮想現実感を用いた建築空間における昼光に対する視知覚に関する研究)

Abstract of Thesis

Immersive Virtual Reality technology has gained momentum in architectural design and research applications, mainly through creating Immersive Virtual Environments (IVEs). Several studies have employed IVEs as an alternative medium of real environments to assess the visual perception of daylighting in architectural spaces. However, limitations can be found in the current literature concerning interactivity and feedback methods. The aims of this study are to propose a novel method to extend the capability of IVE in evaluating daylighting in architectural spaces using a game engine, to validate the proposed method in terms of perceptions and quantitative measurements, and to validate the applicability of the method to architectural design by a case study on a specific building. This dissertation is composed of seven chapters:

In Chapter 1, a brief background of the study highlighting daylight significance in the built environment was described. Furthermore, it comprised the problem statement, objectives, and thesis framework.

In Chapter 2, a narration of the state-of-art was provided, focusing on daylight performance in quantitative measures and user-oriented indicators. Previous studies utilizing IVEs in lighting research were surveyed and discussed. Finally, the effectiveness of game engines in daylight simulation was conferred.

In Chapter 3, an overview of the proposed methods in this study was provided. The construction method of the IVE using a game engine was described. It also introduced the methodology of developing Perceptual Light Maps (PLMs) as a visualization approach of daylighting perceptions in architectural space.

In Chapter 4, the photometric accuracy of real-time rendering in game engines was investigated. Two daylit test models were simulated. Illuminance measurements at several points were compared across a validated lighting simulation and lux meter measurements in reality. Two real-time rendering techniques in the game engine were tested: a conventional technique and real-time raytracing (RTX). Generally, RTX notably outperformed the conventional technique. Compared to real sensor measurements, the average error percentage of RTX outputs was 15.8%, while 15% in the validated renderer. It was found that daylight illuminance in IVE was as accurate as the validated lighting simulation, even with the adoption of real-time rendering.

In Chapter 5, daylighting perceptual accuracy in the proposed method was validated from the viewpoint of users. Thirty-six subjects were recruited in two groups to evaluate daylight perception in a real space and its virtual replica. In a 5-point Likert questionnaire, subjects in the IVE majorly reported a high sense of "being there" and high accuracy of scale representation. The spatial distribution of subjects' perceptions in reality and IVE were generated and compared using PLMs, where a significant positive correlation was found. In addition, the aggregated brightness perceptions in reality and IVE were compared, where a higher significant positive correlation was found. Thus, it was found that the proposed method enabled the evaluation of daylighting perception in the same manner as in real space.

In Chapter 6, the proposed method was applied to Kimbell Art Museum, where 24 subjects explored a virtual replica of the museum, reported their brightness perceptions. The proposed method showed a unique output of the generated PLMs that cannot be identified by physical metrics, which was the detection of "mixed perception" areas, where subjects perceived the brightness of the same view differently. In addition, the cycloid vaults with indirect daylighting, a characteristic of the museum, were investigated as a source of mixed perception. 83% of mixed perception scenes included the vaults. It was found that the higher the luminance ratio between the vault and other scene compositions, the higher the occurrence of mixed perception. It was indicated that the indirect daylighting of the Kimbell Art Museum brought ambiguous brightness perception to the subjects, and it was clarified that the proposed method could detect areas that should be considered for various user evaluations in architectural design utilizing daylight.

In Chapter 7, findings and conclusions obtained from the whole study were summarized, and the possibilities of the proposed method in architectural planning research were discussed.

様式 7

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名　（ MUHAMMAD HEGAZY ALI ALI HEGAZY ）			
論文審査担当者		（職）	氏　名
	主 査	准教授	安福　健祐
	副 査	教授	木多　道宏
	副 査	教授	横田　隆司
	副 査	教授	阿部　浩和

論文審査の結果の要旨

近年、仮想現実感技術によって没入感の高い仮想環境（IVE）を構築することが可能になっており、建築設計および研究用途で注目が集まっている。IVE は実空間の代替媒体の一つとして、建築空間における昼光の視知覚を評価するのに採用されているが、これまでの手法ではインタラクティブ性やフィードバック方法において実空間とは異なる制約がみられる。本研究は、ゲームエンジンを活用して IVE の性能を向上させ、昼光の視知覚評価手法を提案すること、昼光に対する物理的な指標や実空間での視知覚特性と比較して提案手法を検証すること、具体的な建築空間をケーススタディとして提案手法の建築設計への適用可能性について明らかにすることを目的としており、以下の 7 章から構成されている。

第 1 章では、研究背景として建築空間における昼光の重要性に着目し、これまでの評価手法の問題提起を行った上で、本研究の目的、論文の構成を述べている。

第 2 章では、建築空間における昼光に関する物理的な指標および視知覚の指標について近年の研究動向を解説しており、特に IVE を活用した既往研究を整理した上で、昼光シミュレーションにおけるゲームエンジンの有効性について言及している。

第 3 章では、本研究で提案する手法のフレームワークを示しており、ゲームエンジンを活用した IVE の構築手順を詳述するとともに、昼光の視知覚を空間内に可視化するための Perceptual Light Map（PLM）を導入している。

第 4 章では、ゲームエンジンにおける昼光の再現精度を検証するため、2 種類の建築空間モデルを構築し、その照度値を検証済みの照明シミュレーションおよび実空間での照度計による実測値と比較している。IVE における従来の技法とリアルタイムレイトレーシング（RTX）を用いた技法を比較した結果、RTX の精度が高く、特に実測値と比較した場合に照明シミュレーションとの平均誤差が 15%であるのに対し、RTX の平均誤差は 15.8%であり、昼光による建築空間の照度分布は、ゲームエンジンを採用しても照明シミュレーションと同程度の精度を有することを明らかにしている。

第 5 章では、提案手法における昼光の視知覚の再現性を検証するため、被験者実験において 36 名を二つのグループに分け、大学の多目的スペースを対象に実空間と IVE で建築空間への没入感や昼光の明るさを評価させている。5 段階のリッカート尺度を用いた設問からは、被験者の IVE における没入感は高く、空間スケールの再現性についても評価が高い。また、被験者の昼光に対する視知覚を PLM により空間内に可視化した結果、実空間と IVE の間に高い相関がみられたことから、IVE を用いた提案手法における被験者の明るさに対する視知覚傾向は実空間と同等に評価できることを明らかにしている。

第 6 章では、展示空間に昼光照明が採用されているキンベル美術館に提案手法を適用し、24 人の被験者に IVE 上でインタラクティブな操作で探索させながら昼光照明による建築空間を評価させている。その結果、PLM によって物理的な指標だけでは特定できない、被験者により異なる明るさの知覚を示す「混合知覚領域」を検出でき、さらに混合知覚の発生箇所の 83%がキンベル美術館の特徴的なサイクロイド・ヴォールトがある保管庫にみられること、シーンを構成する要素の輝度比が高いほど、混合知覚の発生率が高い傾向がみられることから、キンベル美術館の昼光照明は被験者に曖昧な明るさ知覚をもたらしている可能性が示され、昼光を活用した建築設計において、利用者の多様な評価に対

する配慮が必要な箇所を提案手法によって検出できることを明らかにしている。

第 7 章は、本研究で明らかになった事項を取りまとめ、本論文の結論としている。

以上のように、本論文は IVE により構築した建築空間において、実空間に近い昼光の視知覚特性が得られるシステムを開発した上で、人の主観的な明るさ知覚に多様な評価が現れる場合の空間特性の一端を明らかにした点、提案された手法が建築設計の段階において、昼光に関する物理的指標と組み合わせながら、より利用者の嗜好を取り入れた設計支援につながる点で、建築工学、建築計画学の発展に大きく寄与するものである。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。