

測光色画像処理に基づく VR システムを利用した業務継続計画に資する視環境評価法の開発

東京工業大学 ○ 宮田智美 1*
東京工業大学 中村芳樹 2**

業務継続計画 測光色画像 視環境評価
VR システム オフィス視環境 体調変化

研究の目的

本研究は節電などが求められる大規模震災後等の非常時に業務継続性を長期間確保するための人工照明による視環境について、全方位測光色画像と VR システムを用いた評価方法を検討し明らかにすることを目的とした。

研究の内容

被災後直後など供給電力が断絶された停電時にも応急対応や避難所の運営等、優先度の高い業務を維持することは極めて重要な課題である。これに対して、都市や施設の設備を災害に備え設計する指針「業務継続計画 (BCP)」が作られている。しかしながら、現行の BCP では非常時は照明を通常時の 1/3-1/4 まで間引き非常電源でその環境を 3 日から 1 週間維持するという、消費電力のみを考慮したものになっている。したがって、実際に業務を継続する執務者に適切な視環境を確保できているかは不明であり、非常時における執務者の視覚的な負荷を考慮した上で、業務を継続できる条件を明らかにする事は必要である。非常時の視環境の研究は、これまで避難経路を対象としたものがほとんどで、業務継続性に着目したものは皆無である。そこで、本研究では昼間のオフィスにおけるデスクワークを対象とし、非常時の測光色分布を高精度提示可能なヴァーチャルリアリティシステムの開発し、省エネかつ長期持続可能な災害時指針を提示することを研究目標とする。

ヘッドマウントディスプレイ型ヴァーチャルリアリティシステム

ヘッドマウントディスプレイ型ヴァーチャルリアリティシステム (HMD 型 VRS) は、観察者に能動的に視環境を全方位において体験させるシステムである。Table 1 に HMD 型 VRS の仕様、Fig. 1 に評価視環境例とその概要を示す。ディスプレイ部分は 0~625cd/m² の広範囲の輝度提示が可能なスマートフォン、ヘッドセット部分は 103 度の広視角を持つゴーグルを用い、VR の提示は 3 軸の頭の動きを感知し画像を全方位に提示できるスマートフォンアプリを使用した。グレースケール画像提示時のディスプレイ中央の輝度およびヘッドセットのレンズによる減光の測定結果に基づき、対象とした視環境が HMD 型 VRS で 95.6% と高い割合で再現されていることを確かめた。

Table 1. HMD 型 VRS の仕様

Part	Device (detail)	Manufacturer
Display	iPhone XS Max (0~625 cd/m ²)	Apple
Headset	Urgod 3D VR Goggle (Visibility angle 103 degrees)	Urgod
VR presentation	THETA (3 degrees of freedom)	RICHO

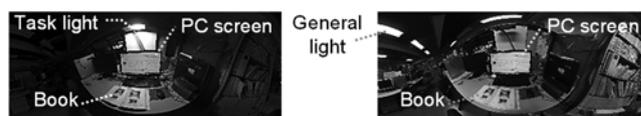


Fig.1 提示視環境例と概要

業務継続性評価 Business Continuity Assessment

期間中継続して業務を行うことは可能ですか。 はい・いいえ
Is it possible to continue working for X days? yes・no

フォーカル評価 Focal Assessment 0 特に負荷はない Not difficult
各作業(パソコン, 紙面)をすうえで作業の 1 やややりづらい Slightly difficult
負荷の程度を評価してください。 2 やりづらい Difficult
Assess how difficult it is to perform task 3 やっとできる Very difficult
(PC/Paper) for X days continuously. 4 できない Impossible

アンビエント評価 Ambient Assessment
部屋全体を見渡し、部屋全体に対する 0 特に不快感はない Comfortable
不快感の程度を評価してください。 1 やや不快 Slightly comfortable
Assess the room impression when 2 不快 Uncomfortable
working continuously for X days. 3 かなり不快 Very uncomfortable

Fig.2 視環境の評価質問と評価スケール

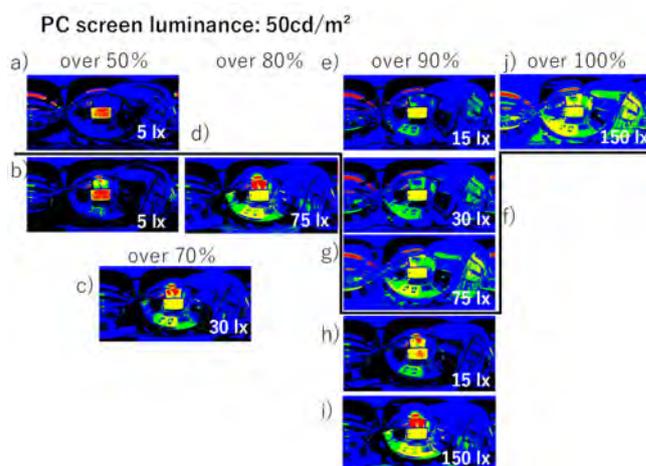


Fig.3 業務継続性と全方位明るさ画像検討画像
赤：光源と判断される (NB 値 9 以上), 黄色：明るく見える (7.5 ~9), 緑：明るくも暗くも見えない (6.5 ~7.5), 青：うす暗く見える (4 ~6.5), 黒：暗い色と判断される (4 以下)

明るさ検討画像を用いた業務継続性評価

HMD 型 VRS を用いた主観評価実験に基づき、男女 20 名（就労経験者 11 名、学生各 9 名）を対象とし、継続期間ごとのパソコン及び紙面資料の読み書き業務継続に必要な机上照度、画面輝度の関係を求めた。その結果、業務継続に必要な机上照度は全般照明では事務所照度基準の下限値 1/10-1/2 である 30-150 lx で 10 日間可能となり、またこの照度は、画面輝度が低いと期間が短いと低くなることを明らかにした。

さらに各画素の明るさ知覚が明るさ尺度値（Natural Brightness Value 以下 NB 値）を用いて定量的に示された明るさ画像を基に生成された明るさ検討画像を用いた分析から、紙面とその周辺で、空間の周辺で明るい領域が増えると業務継続性を向上できること、非常時のオフィス視環境のように低輝度の空間では、高いパソコン画面輝度では画面が明るすぎてまぶしく光源と判断され、業務継続性を低下することが示唆された。

中間領域の視環境と作業のしやすさの関係

実環境と同じ輝度・色度分布を全方位的に提示する HMD 型 VRS を用いた実験結果に基づいて、デスクワークの作業しやすさと空間の周囲と視対象の中間領域である視対象周辺の視環境における関係を確認した。

実験は暗室で行い、最初 5 分間暗順応させた被験者に、順応状態を戻す緩衝空間（30 秒間）、評価視環境（25 秒）提示し、1) 作業しやすさ、2) 空間のオフィスとしての適切さ、3) 3 日間を想定した場合の業務継続性をスケールに基づき評価させた。被験者は健康な視覚をもつ 20-30 代の男女 15 名（学生 8、就労経験者 7 名）とした。評価視環境は単独用オフィスブースを想定し、読み書きなどの机上作業用 120 空間と、パソコン作業用 180 空間とした。

その結果、机上作業では机上照度が高いほど、照射された範囲が広いほど、作業性評価が高く、視作業領域のみが照射される場合は作業のしづらさが残ることがわかった。また、視作業対象の左右や手前より視作業対象の上方部分が明るくなる方が、作業性が高くなることが示唆された。パソコン作業では、画面が薄暗くみえたり、まぶしく見えたりすると、作業性が低下するため、照明や什器のレイアウトと総合的に考えていく必要がある。低画面輝度 50 cd/m² では薄暗く、高画面輝度 200 cd/m² ではまぶしく見え、画面のまぶしさを軽減させ作業性を高めることが出来ると分かった。

次に、全方位測光色画像を変換して得られる明るさ画像（立体角考慮）を用いた分析から、読み書きでは、視対象が明るいだけでは不十分で、まっすぐ正面を向いた時に見える視対象から仰角正方向 40-50 度の部分の明るい

作業性評価が高くなることが判明した。

緊急時において 3 日間非常電源で作業をする場合を想定すると、机上照度 75 lx では読み書き作業では 93 %、パソコン作業では画面輝度 50 cd/m² で 33 % 業務継続可能となり、パソコン作業では、狭角の照明を用い、デスク上にパーテーションを設置し、画面付近に明るい面を増やすと業務継続性が 40-60 % 向上することが明らかになった。**執務者の体調変動と非常時の業務継続性の関係とスタンドアロン VR システムの開発**

月経周期に応じて印象評価実験を実施できるヘッドマウントディスプレイ型スタンドアロンバーチャルリアリティシステム（HMD 型 SVRS）を新たに開発し、これを用いた印象評価実験、不快感月経周辺期症状の程度値（Menstruation Disorder Value、M 値）と主観的作業効率の計測を月経前、月経中、月経後に 3 回実施した女性 35 人の女性就労経験者の実験結果から月経周期が業務継続性の評価に与える影響について明らかにした。

実際の環境における業務継続性を評価 VR との比較

非常時の節電運用を想定したオフィスを作成し、男女 10 名（就労経験者 6 名、学生 4 名）同様の視環境を HMD 型 VR を用い提示し、印象評価結果から実空間と VR を用いた業務継続性評価と実空間の差を明らかにした。さらに同様の被験者を対象のオフィスに午前 9 時から 16 時 30 分まで 2 日間滞在させ、パソコン作業・資料の読み書きなど実際に行わせた際の評価結果とこれらの結果と比較させる生理データとして唾液内のコルチゾールを、実験両日と前後 1 週間の 6 日間、1 日 5 回採取した唾液内の測定値から長時間の暗所作業による身体へ影響について明らかにした。

研究の成果、新発見

本研究は VR システムを構築し、業務継続性を許容可能な範囲で維持できる視環境を実験的に明らかにし、これを人工照明で確保する方法を述べるとともに、測光色画像処理に基づく業務継続性評価の有効性を示した。

今後の予定

非常時の厳しい視環境や労働環境においては、執務者疲労による体調変化が現れると予測できる。実験結果の分析に基づき、業務継続性から観た体調変動と暗所作業による疲労と視環境評価の関係、VR と実視環境評価の関係を確かめていく。

謝辞

本研究の一般財団法人大成学術財団の助成による。記して感謝の意を表す。

参考文献

中村 芳樹：ウェーブレットを用いた輝度画像と明るさ画像の双方向変換：輝度の対比を考慮した明るさ知覚に関する研究(その 3)、照明学会誌、第 90 巻、第 2 号、pp. 97-101、2006. 12

*環境・社会理工学院 建築学系 都市・環境学コース博士課程

**環境・社会理工学院 建築学系 都市・建築学コース教授

* Grad. Student, School on Environment and Society, M. Eng

** Prof., School on Environment and Society, Dr. Eng.