

計算タスクを用いた VR 酔い度合いの計測の妥当性

南井 諒汰^{*1} 酒田 信親^{*1}

The validity of measuring VR sickness using computational tasks

Ryota Minai^{*1} and Nobuchika Sakata^{*1}

^{*1} 龍谷大学 先端理工学研究科

Abstract ---VR 酔いは乗り物酔いに似た不快感を与える症状であり、快適な VR 活動のために解決すべき問題の 1 つである。先行研究では、VR 酔いと乗り物酔いの類似点に着目し、乗り物酔いの緩和に用いられる首元の冷却を VR 酔いの緩和に応用し、空冷ペルチェ素子による皮膚表面冷却の VR 酔い緩和手法を提案した。酔いの度合いを評価する方法として、SSQ に加え、独自のレースゲームによる定量評価を行っていた。しかし SSQ の結果とレースゲームの結果は、相関がみられなかった。そこで本研究では、計算タスクによる新たな VR 酔い度合いの計測手法を提案し、それを検証した。結果から、提案した計算タスクでは、VR 酔い度合いを効果的に評価できないことが分かった。

Keywords: VR 酔い, SSQ, 皮膚表面冷却, ペルチェ素子, 計算タスク, VR

1 はじめに

近年, Virtual Reality (以下, VR) 技術の発達により, 企業だけでなく一般家庭でもその技術に触れることが容易になっている。しかし, VR の利用は, 吐き気や倦怠感, 平衡感覚の喪失といった不快感を引き起こす可能性がある [1-10,15]。これらの症状は VR 酔いと呼ばれ, 人によっては重度の体調不良に陥る場合がある。また, 症状自体は乗り物酔いのものと類似しているが, 起因の違いから, これら二つの酔いは同じ類の酔いではないと考えられている[10,15]。VR 酔いが発生するとその症状が治まるまでは VR の利用を継続することが難しく, 回復までの間は VR から離れる必要がある。また, 一度でも VR 酔いを感じると今後も VR 酔いの発生を意識するようになり, 継続的に VR 環境で快適に活動するうえで支障をきたす恐れもある。

これを緩和するため, VR 酔い緩和について様々な研究が行われている。VR 酔いが発生する原因についてはいまだに明確にされていないが, 感覚の不一致, ディスプレイの解像度不足, レイテンシ, 不適切な瞳孔間距離, Head Mounted Display (以下, HMD) の視野角といった要因により発生するのではないかと考えられている[10]。VR 酔いを解消するための研究では, これらの要因を取り除く, または軽減することで対処しているものがみられる。研究の一例として, VR 空間内に仮想の鼻を描画し, より現実に近い感覚での VR 体験を提供する手法[12]や, VR では歩行時に特に酔いが発生しやすいという点から, 歩行時の視界を制限することで違和感を減少させる[13] といった研究がある。

川村ら[15]は, VR 酔いと乗り物酔いの類似点に着目

し, 乗り物酔いの緩和に用いられる首元の冷却を VR 酔いの緩和に応用し, 空冷ペルチェ素子による皮膚表面冷却の VR 酔い緩和手法を提案した。その実験の際, VR 酔いの度合いを評価する方法として, Simulator Sickness Questionnaire (以下, SSQ) に加え, 独自のレースゲームによる定量評価を行った。しかし SSQ の結果とレースゲームの結果には, 相関がみられなかった。

そこで本研究では, 計算タスクによる新たな VR 酔い度合いの計測手法を提案する。

2 計算タスクを用いた VR 酔い度合いの計測

2.1 背景

先行研究では酔いの度合いを評価する方法として, SSQ に加え, 独自のレースゲームによる定量評価を行っていた。しかし SSQ の結果とレースゲームの結果には, 相関がみられなかった。その原因として, 酔いの指標としているレースゲーム中のコースアウト回数などの失敗動作には慣れによる変動や単純な操作ミスといった酔いとは無関係な要因が含まれるため, 酔いの度合いを直接反映する定量評価には不向きであったと考えられる。

そこで本研究では, 酔いが悪化すると注意力や集中力が低下し, 認知的な処理能力に影響が現れる点に着目し, 計算タスクを用いた VR 酔いの評価手法を提案した。計算タスクの正答率や反応時間を測定することで, 酔いによる認知的パフォーマンスの低下を客観的かつ定量的に評価できると考えた。

2.2 計算タスク

計算タスクには, 1 桁 3 項の加減算を出題し, 答えを

4 択から選択する形式を設けた。問題は 1 から 9 と、+、- をそれぞれ組み合わせた 2916 通りから、ランダムに出題されるようになっている(図 1)。この計算タスクに 1 分間取り組んでもらい、評価の対象として、回答数と正答率を用いた。なお、操作は光学式マウスとトラックボールマウスの 2 種類から被験者に普段使用している方を選んでもらい、実験を行った。

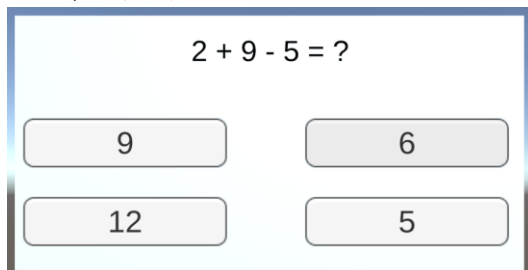


図 1 計算タスク画面

2.3 実験タスク

本実験では先行研究と同様に、VR 酔いを引き起こすため、首の運動による操作のみで行う VR ゲームの体験をタスクとして設定した。HMD には古い小屋が映し出されており、HMD 装着者はこの小屋の中央に身を置く(図 2)。この空間では白球が小屋の中のランダムな位置に出現し、その場に 2 秒間滞留した後に消失し、小屋の中のランダムな位置に白球が出現するといった動作を繰り返す。HMD の画面中心部には白色のドットが、画面左上部には白球獲得数が表示されており、ドットを白球に重ねることで白球を獲得できるようになっている。これらは HMD の変位に遅延なく追従する。

今回の VR ゲームでは VR 酔いを引き起こすための視覚効果を 6 種類用意し(表 1)、これらが 15 秒ごとに順番に切り替わっていく仕様とした。初めの 15 秒はゲームに慣れることを目的とした視覚効果のない映像で、それ以降、6 種類のシーンが 3 周するまで順番に切り替わっていく仕様である。計 4 分 45 秒(285 秒)でタスク完了となる。

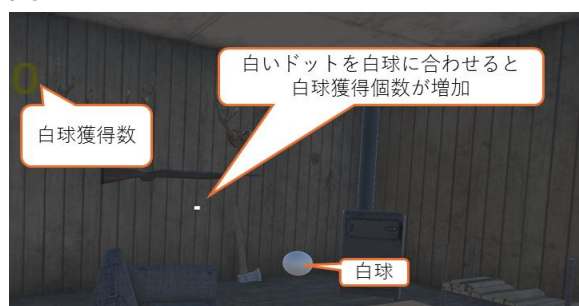


図 2 VR ゲーム画面

表 1 タスク中に切り替える視覚効果(順不同)

反転	0.5秒遅延	動作10倍
前後移動	左右移動	上下移動

2.4 実験環境

計算タスクと VR 酔いを誘発させるような VR ゲームには Unity (2022.3.16.f1, 2019.4.31.f1) を、HMD として VIVEPro2 を使用した。冷却装置として、市販のネッククーラー (Neo TK-NECK2-BK, 質量 150g) を改造したもの(以下、冷却装置)を用いた(図 3)。冷却装置にはペルチェ素子が内蔵されており、印加電圧によって温度を調整できる。本来は 3V もしくは 5V の電圧のみが印加できる仕様であったが、改造により印加電圧を操作できるようにし、本実験においては 8V の電圧を印加するよう設定してある。この印加電圧の電源として Kungber 可変直流安定化電源 SPS3010(出力電圧範囲 0-30V, 0-60V, 出力電流範囲 0-10A, 0-5A)を使用した。冷却装置は先行研究と同様のものを用いた。



図 3 冷却装置(左)と冷却の様子(右)

2.5 実験の流れ

実験は図 4 のような流れで A, B, C または A, C, B の順で行った。A では酔いを引き起こす前の計算タスクデータ(以下、事前時)を、B では VR ゲーム実施中に冷却を行わなかった場合のデータ(以下、通常時)を、C では VR ゲーム実施中に冷却を行った場合のデータ(以下、冷却時)を取得することを目的としている。また、計算タスクの結果が慣れに左右されないよう、実験開始前に計算タスクに慣れるための練習を行った。順序効果を緩和するために被験者の半分は実験条件 B・C の順番を入れ替えて行った。

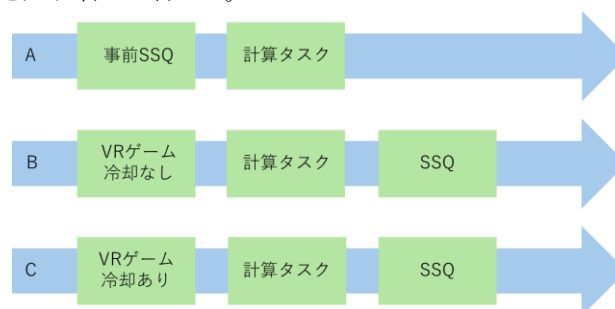


図 4 実験の流れ

また、本実験には被験者として 20~24 歳の 21 名(男性 20 名, 女性 1 名)が参加した。各被験者にはこの実験では酔いが発生すること、気分が悪いと感じたらいつでも実験を中断できるという点をあらかじめ説明し、各被験者からの了承のうえで行った。

2.6 評価方法

VR 酔いの評価の定性評価として SSQ を用い、定量評価として VR ゲームの白球獲得数、計算タスクの回答数の減少率と、正答率を用いた。VR ゲームの白球獲得数については、被験者の中には VR ゲームを途中でギブアップした人がいた事を考慮し、285 秒あたりの獲得数に換算して比較した。

2.7 実験結果

今回の実験では酔いの緩和を評価するために、実験時に回答してもらったリッカート尺度を用いたアンケートの「実験で酔いを感じた」という項目で 7 段階中 4 以上の評価を付けた 16 名(以下、VR 酔い発生者)、「実験で酔いを感じた」という項目で 4 未満の評価を付けた 5 名(以下、VR 酔い非発生者)、それらを合算した全被験者 16 名の 3 つのデータに着目した。この 3 群でそれぞれ得られた、SSQ のトータルスコアを図 5～図 7 に、VR ゲームの白球獲得数を図 8～図 10 に、計算タスク回答数の減少率を図 11～図 13 に、正答率を図 14～図 16 に示す。なお、図中の*では結合された 2 つのデータに有意差が確認された事を示す。また、検定手法として 3 群に違いがあるかどうかを判断するために、フリードマン検定と、正規分布しているかどうかの Shapiro-Wilk 検定を行った。なお、図中の*では結合された 2 つのデータに有意差が確認された事を示す。また、検定手法として $p < 0.05$ としたウィルコクソン符号順位和検定を行った。

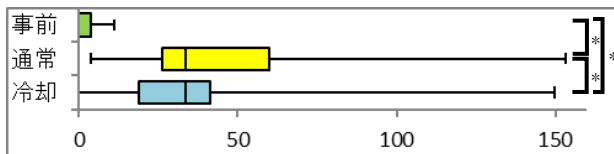


図 5 SSQ トータルスコア (VR 酔い発生者)

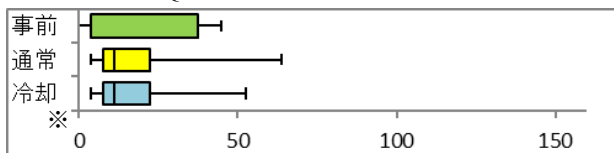


図 6 SSQ トータルスコア (VR 酔い非発生者)

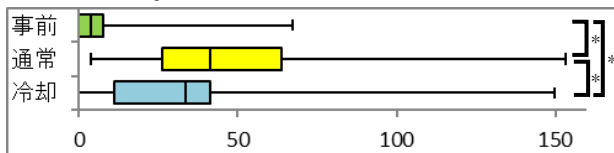


図 7 SSQ トータルスコア (全被験者)

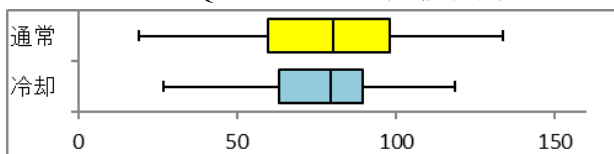


図 8 VR ゲームの白球獲得数 (VR 酔い発生者)

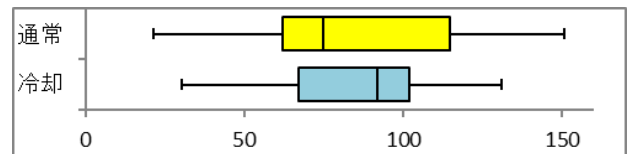


図 9 VR ゲームの白球獲得数 (VR 酔い非発生者)

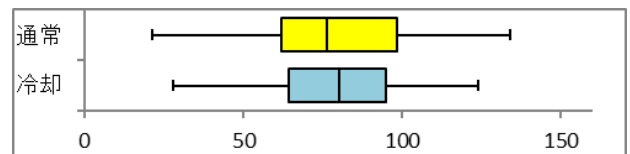


図 10 VR ゲームの白球獲得数 (全被験者)

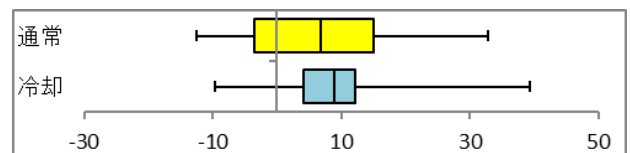


図 11 計算タスク回答数の減少率 (VR 酔い発生者)

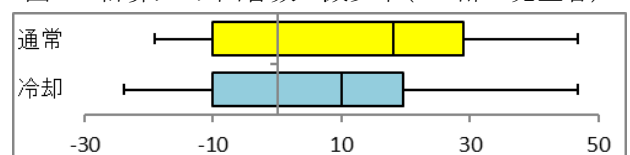


図 12 計算タスク回答数の減少率 (VR 酔い非発生者)

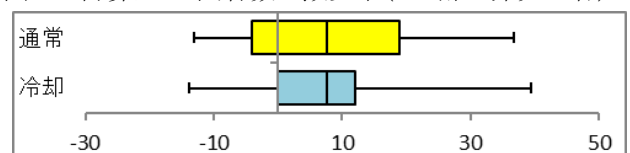


図 13 計算タスク回答数の減少率 (全被験者)

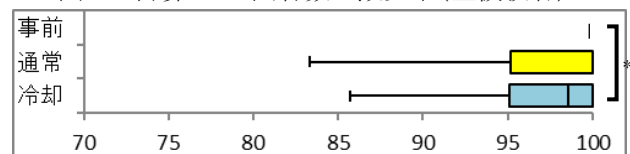


図 14 計算タスクの正答率 (VR 酔い発生者)

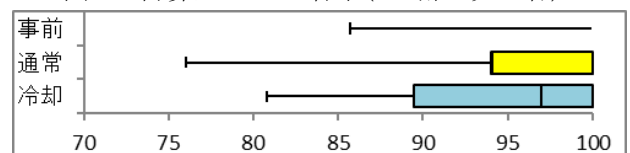


図 15 計算タスクの正答率 (VR 酔い非発生者)

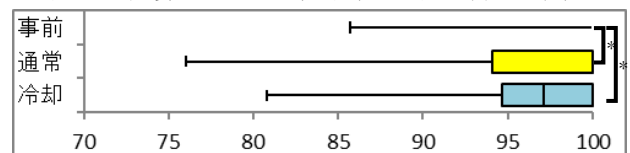


図 16 計算タスクの正答率 (全被験者)

VR 酔い発生者・全被験者の SSQ についてフリードマン検定を行った結果(図 5～図 7)、3 群間(事前・通常・冷却)で有意差が得られた。Shapiro-Wilk 検定を行った結果、いずれの群も $p > 0.05$ を満たさず、正規性は棄却された。VR 酔い非発生者の SSQ についてフリードマン検定を行った結果、3 群間で有意差は認められなかった。Shapiro-Wilk 検定を行った結果、正規性は棄却された。

VR 酔い発生者・全被験者の計算タスクの正答率についてフリードマン検定を行った結果(図 14～図 16), 3 群間で有意差が得られた。Shapiro-Wilk 検定を行った結果, いずれの群も $p > 0.05$ を満たさず, 正規性は棄却された。VR 酔い非発生者の SSQ についてフリードマン検定を行った結果, 3 群間で有意差は認められなかった。Shapiro-Wilk 検定を行った結果, 正規性は棄却された。

3 考察

VR 酔い発生者 16 名と VR 酔い非発生者 5 名, それらを合算した全被験者 21 名の結果について, 統計的有意差があったものや特徴的なものについて言及する。

3.1 SSQ による定性評価

SSQ について, 全条件の間で VR 酔い発生者と全被験者では, 統計的な有意差が得られ, 冷却条件は通常条件に比べて有意に酔いを軽減しており, 冷却は酔い緩和として有効であることが確認できた。(図 5～図 7)

3.2 VR ゲームにおける定量評価

VR ゲームの白球獲得数について, 平均差が VR 酔い非発生者や全被験者では, 通常条件よりも, 冷却条件の方がやや大きい傾向が得られた。しかし, VR 酔い発生者・VR 酔い非発生者・全被験者のいずれにおいても, 統計的な有意差は得られなかった。この結果から冷却による白球獲得数の低下防止効果は確認されなかった。

この結果は SSQ との相関が見られず, 定量評価として不適であると考えられる。(図 8～図 10)

3.3 計算タスクにおける定量評価

計算タスクの回答数の減少率について, 平均差が VR 酔い発生者では通常条件よりも, 冷却条件の方がやや大きい傾向が得られ, 全被験者では冷却条件よりも, 通常条件の方がやや大きい傾向が得られたが, いずれにおいても, 統計的な有意差は得られなかった。一方で, VR 酔い非発生者では冷却条件よりも, 通常条件の方が減少率は大きく統計的な有意差が得られた。この結果は仮説と逆の効果であるが, 自由度が 4 と非常に小さいため, サンプルサイズの不足が統計的検出力に影響を及ぼしている可能性がある。(図 11～図 13)

計算タスクの正答率について, VR 酔い発生者・VR 酔い非発生者・全被験者のいずれにおいても, 事前条件の正答率が高く, VR 酔い非発生者の事前—冷却条件を除いて, 事前との条件間で統計的な有意差が確認できた。VR 酔い非発生者の事前—冷却条件においても, $p = 0.066$ より有意差傾向があった。一方で, 通常—冷却間では VR 酔い発生者・VR 酔い非発生者・全被験者のいずれにおいても, 統計的な有意差が得られな

かった。この結果から, VR ゲームを実施後に正答率が有意に低下することが明らかとなった。このことから, VR 体験に伴う不快感が認知的な処理能力に影響が現れる可能性が示唆された。しかし, SSQ との相関は認められなかった。この結果は, 計算タスクの正答率が VR 酔いの症状を直接的に反映する指標とは言い難く, VR 酔いの定量評価手法としての妥当性には限界があることを示している。すなわち, 計算タスクは VR 体験に伴う不快感や認知的な処理能力に影響を検出することは可能であるものの, それを VR 酔いの強度と直結させることは困難であると考えられる。(図 14～図 16)

4 おわりに

本研究では, VR 利用時に発生することがある VR 酔いという症状の緩和を, 定量評価するために, 酔いが進行すると注意力, 集中力の低下が認知的な処理能力に影響が現れる点に着目し, 計算タスクを評価に用いる手法を提案した。計算タスクは, 1 桁 3 項の加減算を出題し, 答えを 4 択から選択する形式を設け, この計算タスクに 1 分間取り組んでもらい, 評価の対象として, 回答数と正答率を用いた。先行研究と同様に, 冷却装置として市販のネッククーラを改造したものを用意し, VR 酔いを誘発させるような VR ゲームを利用して実験を行った。実験では酔いの緩和を評価するために, 実験時に回答してもらったリッカート尺度を用いたアンケートの「実験で酔いを感じた」という項目で 7 段階中 4 以上の評価を付けた 16 名, 4 未満の評価を付けた 5 名, それらを合算した全被験者 21 名についてそれぞれ評価を行った。SSQ について, VR 酔い発生者と全被験者では, 統計的な有意差が得られ, 先行研究で示された通り, 首元冷却による VR 酔いの緩和が再現できた。VR ゲームの白球獲得数について, 冷却による白球獲得数の低下防止効果は確認されなかった。この結果から, SSQ との相関が見られず, 白球獲得数は定量評価として不適であると考えられる。計算タスクの回答数の減少率や正答率について, VR ゲームを実施後に正答率が優位に低下することが明らかとなった。このことから, VR 体験に伴う不快感が認知的な処理能力に影響が現れる可能性が示唆された。しかし, SSQ との相関は認められなかったため, 計算タスクの正答率が VR 酔いの症状を直接的に反映する指標とは言い難く, VR 酔いの定量評価手法としての妥当性には限界があることが分かり, それを VR 酔いの強度と直結させることは困難であると考えられる。

参考文献

- [1] Eunhee Chang, Hyun Taek Kim, Byounghyun Yoo, “Virtual Reality Sickness: A Review of Causes and Measurements”, INTERNATIONAL JOURNAL OF HUMAN—

COMPUTER INTERACTION. Vol.36. no.17, pp.1658-1682, Jul.2020

- [2] Majed Al Zayer, IsayasB.Adhanom, Paul MacNeilage, Eelke Folmer, “The Effect of Field-of-View Restriction on Sex Bias in VR Sickness and Spatial Navigation Performance”, CHI’19, no.354, pp.1-12, Glasgow Scotland UK, May.2019
- [3] Umer Asghar Chattha, Uzair Iqbal Janjua, Fozia Anwar, Tahir, Mustafa Madni, Muhammad Faisal Cheema, Sana Iqbal Janjua, ” Motion Sickness in Virtual Reality: An Empirical Evaluation”, IEEE Access, vol.8, no.19800600, pp.130486-130499, Jul. 2020
- [4] Shi-Hong Liu, Neng-Hao Yu, Liwei Chan, Yi-Hao Peng, Wei-Zen Sun, Mike Y.Chen, ” PhantomLegs: Reducing Virtual Reality Sickness using Head-Worn Haptic Devices “IEEE VR 2019, no.18923680, pp.817-826, Osaka, Japan, Mar.2019
- [5] Jean-Rémy Chardonnet, Mohammad Ali Mirzaei, Frédéric Mérienne, “ Features of the Postural Sway Signal as Indicators to Estimate and Predict Visually Induced Motion Sickness in Virtual Reality”, International Journal of Human-Computer Interaction, vol.3, no.10, pp.771-785, Jan.2017
- [6] Sarah D’Amour, Jelte E.Bos, Behrang Keshavarz, “The efficacy of airflow and seat vibration on reducing visually induced motion sickness”, Exp Brain Res, vol.235, no.9, pp.2811-2820, Sep.2017
- [7] Nahal Norouzi, Gerd Bruder, Greg Welch “ Assessing Vignetting as a Means to Reduce VR Sickness During Amplified Head Rotations”, SAP’18, no.19, pp.1-8, Vancouver, Canada, Aug.2018
- [8] Alla Vovk, Fridolin Wild, Will Guest, Timo Kuula, “Simulator Sickness in Augmented Reality Training Using the Microsoft HoloLens”, CHI’18, no.209, pp.1-9, Montreal, Canada, Apr.2018
- [9] CHUNG-YEN LIAO, SHAO-KUO TAI, RUNG-CHING CHEN, HENDRY HENDRY, “ Using EEG and Deep Learning to Predict Motion Sickness Under Wearing a Virtual Reality Device”, IEEE Access, vol.8, no.19800456, pp.126784-126796, Jul.2020
- [10] Steve Aukstakalnis, “AR の実践教科書”, pp.348-358, マイナビ出版, 東京, 2020
- [11] 神原誠之, “自動走行酔い: 車酔いと VR 酔いが併発する環境発生する動揺病”, 日本バーチャルリアリティ学会誌, 第 25 巻 1 号, pp.19-22, 2020
- [12] David Matthew Whittinghill, Bradley Ziegler, T Case, B Moore(2015), “Nasum virtualis: A simple technique for reducing simulator sickness”, GDC Vault, Mar.2015
- [13] Zekun Cao, Jason Jerald, Regis Kopper, “Visually-Induced Motion Sickness Reduction via Static and Dynamic Rest Frames”, IEEE VR2018, no.18060251, pp.105-112, Tuebingen/Reutlingen, Germany, Mar.2018
- [14] 氏家弘裕, “知っておきたいキーワード 映像酔い”, 映像情報メディア学年誌, Vol.61, no.8, pp.1122-1124, 2007
- [15] 川村大樹, 酒田信親, “皮膚表面冷却による VR 酔い緩和の研究”, vol.122, no.440, MVE2022-62, pp.79-84, 2023