

令和 2 年 6 月 4 日現在

機関番号：35302
研究種目：若手研究(B)
研究期間：2016～2019
課題番号：16K16332
研究課題名(和文) 没入型仮想環境技術を活用した寸法感学習スキーム「スケトレ」の開発とその効果の実証

研究課題名(英文) Development and Demonstration of the Effectiveness of the Learning Scheme "SUKETORE: Scale Training" Utilizing Virtual Reality

研究代表者
馬淵 大宇 (MABUCHI, Daiu)
岡山理科大学・工学部・講師

研究者番号：50757458
交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、VRを用いた独自のスケール感学習スキーム「スケトレ：スケールトレーニング」を「量編」と「質編」の2種類として開発した。前者は、大きさの異なる屋内10空間、屋外10空間の計20空間をVR上に提示し、それぞれの空間を等身大スケールで体験しながら空間寸法を言い当てていく学習方式である。後者は、近代建築の名作であるサヴォア邸をVR上に再現し、そのスケール感を等身大スケールで体験しながら学習できる方式である。また、学習者が把握するスケトレ前後の実空間における目測精度や立体構成の感覚を評価することで、当該学習スキームが一定のレベルでスケール感を向上させることが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

設計教育において、スケール感の習得は重要とされてきた。しかしながら、その教育環境には、これまで大きな変革はなかった。一方で、一部の設計教育では、VRを導入する動きが見られる。しかしながら、これまでにスケール感教育を目的としてVRが導入されたことはなかった。本研究では、検証実験により一定の効果が認められた、これまでにないスケール感学習スキームを開発することに成功した。この成果は、既成の設計教育に一石を投じる可能性がある。特に、図面や模型によるスケール感教育の限界を、VRにより突破できている点の意義は大きい。本研究には、より正確な空間認識ができる設計者やデザイナーの育成への寄与が期待される。

研究成果の概要(英文)：In this study, I developed a VR-based scale learning scheme "SUKETORE: Scale Training" as two types of schemes, "Quantity" and "Quality". The former is a method of learning in which visitors guess the size of space while experiencing 20 life-size spaces (10 indoor spaces and 10 outdoor spaces) in VR. The latter is a method of learning in which visitors learn about three-dimensional feelings while experiencing them on a life-size scale about the masterpiece of modern architecture, Villa Savoye, which is reproduced in VR. Also, a comparison of the learners' perceptions of SUKETORE before and after the implementation of SUKETORE revealed that SUKETORE improved the accuracy of eye measurement in real space and the sense of three-dimensional composition.

研究分野：建築計画

キーワード：VR スケール感 設計教育 建築 デザイン 被験者実験

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 設計教育におけるスケール感教育の重要性

設計教育において、空間や物の寸法(数値)と実際の広さや大きさ(イメージ)を一致させること(スケール感の習得)は重要とされてきた。秋田らによって行われた建築設計教育を担当する教員を対象としたアンケート調査が、スケール感教育の重要性を裏打ちしている。この研究によれば、「多くの教員がスケール感育成の重要性を認識しており、建築教育の中で育成できる」とされた。また、「ヒューマンスケールの感覚や、空間を想像できる感覚などを意識しながら教育をすること」が、スケール感教育において有効であることが示唆された。¹⁾しかしながら、以上のようなスケール感教育の重要性が建築設計教育を担当する教員に認識されるも、これまでその環境は抜本的に変革することはなかった。

(2) 設計教育における VR の可能性

設計教育では、現実世界とは別に人工現実世界を作り出す VR (Virtual Reality) を導入する動きがみられる。安福らの研究では、独自に開発した「没入型ウォークスルーシステム」により、VR をいち早く活用した建築設計演習が試みられている。具体的には、「学生の過去の設計課題や既往建築物等」の 3D モデルを作成させ、「当該システムを用いて原寸大の仮想建築物内をウォークスルー」体験させる演習が行われた。²⁾この研究は、現実世界を拡張する VR を建築教育に持ち込んだ研究として、極めて重要な価値を有する。しかしながら、スケール感教育を目的として開発され、効果が検証された研究ではなかった。

2. 研究の目的

(1) 本研究の目的

本研究の目的は、VR を用いた独自のスケール感学習スキーム「スケトレ(スケールトレーニング:寸法訓練)」を開発し、スケトレ前後の実空間における目測精度や立体構成の感覚を評価することで、当該学習スキームがスケール感を向上させることを明らかにすることである。つまり、本研究は、これまで重要性が認識されてきたスケール感教育に、VR を新たな教育環境として導入することで、抜本的に建築やデザインの教育を変革することを目指すものである。

具体的には、以下の 2 種類のスケトレを開発し、その効果を検証する。

- ① スケトレ 量編:複数の異なる単純空間によりスケール感を学習することができるスキーム
- ② スケトレ 質編:著名な建築物によりスケール感を学習することができるスキーム

(2) スケール感

高橋によれば、スケール感とは、「対象の大きさの把握の正確さ」と共に、寸法を「認知」し、それに対して「感情」を抱き、その結果を「評価」するという「体験を成立させている三要素の複合した体系」とされた。³⁾また、秋田らの研究では、スケール感を「絶対尺度感」:「距離・幅などを数値的に把握する能力」、「相対尺度感」:基準となる寸法を元に「図面上の長さ、広さ、面積などの平面構成が分かる能力」、「比率尺度感」:基準となる寸法を元に「相互的なバランス、プロポーション、ボリュームなどの立体構成の感覚が分かる能力」の 3 つに分類して調査が行われた¹⁾。

本研究では、「見えがかり」から「対象の大きさ」を「正確」に「把握」する能力と、寸法を「認知」し、それに対して「感情」を抱き、その結果を「評価」する能力に分けてスケール感を扱う。本研究は、前者を「距離・幅などを数値的に把握する能力」の修養を目指す「スケトレ 量編」として開発し、効果を検証する。また、後者を「相互的なバランス、プロポーション、ボリュームなどの立体構成の感覚が分かる能力」の修養を目指す「スケトレ 質編」として開発し、効果を検証する。

3. 研究の方法

(1) 開発するスケトレの条件

本研究が開発するスケール感学習スキーム「スケトレ」は、新たな環境として VR を活用する点がこれまでのスケール感教育と根本的に異なる。2 種類のスケトレに共通する条件として、以下の 6 点を有する学習スキームとして開発を目指す。

- ① 自由に移動して短時間に屋内外の空間を体験できる。
- ② あらゆる大きさの空間寸法を学習できる。
- ③ 目測と計測を瞬時に繰り返すことで、スピーディーな学習ができる。
- ④ 実空間では計測困難な空間であっても、メジャーを当てて計測することができる。
- ⑤ VR を運用する環境が整えば、ユビキタスにスケール感教育を実施できる。
- ⑥ 一定のレベルで絶対尺度感や比率尺度感を養うことができる。

特に、⑤と⑥に関しては、実験的な検証が必要である。具体的には、VR 環境が整えば、場所を選ばずにスケトレが実施できることを示す必要がある。また、スケトレが実空間における目測精度や立体構成の感覚を向上させることを示す必要がある。

(2) スケトレの開発

- ① 「スケトレ 量編」の開発:「スケトレ 量編」は、大きさの異なる屋内空間 10 個、屋外空間

10個の計20個の空間をVR上に提示し、それぞれの空間を等身大スケールで体験しながら空間寸法を言い当てていく学習方式とする。まず、学習者は、高さ・幅・奥行きの順に、空間の寸法を目測して口頭で回答する。つづいて、ハンドコントローラーに割り当てたメジャー機能を用いて、目測と同様な順で空間各部の寸法を計測する。以上の学習を、20個の空間を移動しながら繰り返し行う。空間を移動する際には、ハンドコントローラーに割り当てた移動機能を用いる。以上により、VR上で目測と計測を何度も繰り返すことで、視認した空間サイズを数値に変換できる能力を急速に身につけることを目指す。「スケトレ量編」の学習の概念図を図1左に示す。

②「スケトレ質編」の開発：「スケトレ質編」は、近代建築の名作であるサヴォア邸をVR上に再現し、そのスケール感を等身大スケールで体験しながら学習できる方式とする。まず、学習者は、平面図や立面図、断面図を基に、縮尺1/100の図面上でサヴォア邸を把握する。つづいて、VR空間に没入し、ハンドコントローラーに割り当てた移動機能を用いて、サヴォア邸の経路に沿った自由な観覧を行う。その際、ハンドコントローラーに割り当てたメジャー機能を用いて空間各部の寸法を適宜計測できるようにする。以上により、サヴォア邸を等身大スケールで体験することで、空間のバランスやプロポーション、ボリューム等の立体構成の感覚を学習することを目指す。「スケトレ質編」の学習の概念図を図1右に示す。

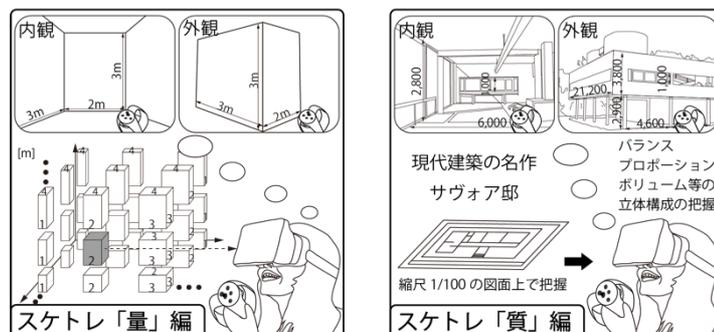


図1 スケトレ学習の概念図

(3) スケトレの教育効果の検証

①「スケトレ量編」の効果検証：「スケトレ量編」が、実空間における目測精度の向上に寄与することを明らかにする。また、VR環境が整えば、場所を選ばずにスケトレが実施できることもこの編により示す。

まず、前者を明らかにするために、被験者実験による検証を行う。具体的には、建築学科に所属する大学生(10名：男女各5名)を対象に「スケトレ量編」を実施し、スケトレ前後の実空間における目測精度を比較する。一定の範囲内で20個の空間サイズが異なるモデル群を4パターン準備し、日を変えて1パターンずつ計4回スケトレを実施する。また、実空間の目測精度の評価に使用する対象空間は、屋内外の大小異なる4空間(屋外2空間、屋内2空間)を準備する(図2)。目測する箇所は、対象空間につき空間の高さH、幅W、奥行きDの3寸法とする。具体的な手順は、表1に示す。



図2 「スケトレ量編」の実空間における評価に用いる対象空間

表1 「スケトレ量編」の被験者の試行手順

順	内容
1	実験の説明と事前アンケートを行う。
2	実空間の屋内外2空間ずつの高さ、幅、奥行き(計12箇所)を評価する。 →【スケトレ前の目測値【単位:0.1m】】:n=12/被験者
3	【4回のスケトレの実施】 屋内10空間(30箇所)、屋外10空間(30箇所)に対して、空間の各寸法(高さ、幅、奥行き)を目測【単位:0.5m】し、その後、メジャー機能を用いて正解寸法の確認(空間毎)を行う。
4	2.同様の実空間の屋内外2空間ずつの高さ、幅、奥行き(計12箇所)を再評価する。 →【スケトレ後の目測値【単位:0.1m】】:n=12/被験者
5	事後アンケートと謝礼の支払いを行う。

次に、後者を明らかにするために、T大学とN大学の研究者の協力を得て、「スケトレ量編」を別会場で実施する。これにより、VRを運用する環境が整えば、場所を選ばずにスケトレが実施できることを示せる。

② 「スケトレ 質編」の効果検証:「スケトレ 質編」が、立体構成の感覚の向上に寄与することを明らかにする。具体的には、サヴォア邸の図面をトレースしたことがある建築学科の大学生(12名:男女各6名)を対象に「スケトレ 質編」を実施し、スケトレ後に立体構成の感覚が変化しているかを確認する。まず、各被験者は、縮尺 1/100 の図面を見ながら立体構成の感覚を問う評価票をもとにサヴォア邸をイメージする。その後、VR 空間上でサヴォア邸を観覧し、所定の5つの空間(外観[4面]・エントランス・リビングルーム・ゲストルーム・中庭)に対して図面確認時と比べて違いを感じるか回答する。具体的な手順は、表2に示す。

表2 「スケトレ 質編」の被験者の試行手順

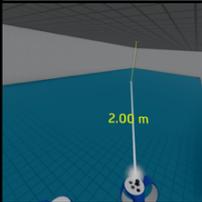
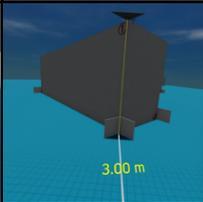
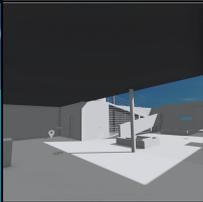
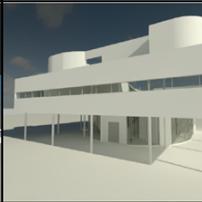
順	内容
1	実験の説明と事前アンケートを行う。
2	VR空間における、移動などの操作方法を練習する。
3	縮尺1/100のサヴォア邸の図面を見て、対象空間を確認し、立体構成の感覚を問う評価票をもとに空間をイメージする。
4	図面で確認した対象空間を、評価票をもとにVR空間上で確認した後、VR空間を出て評価票の項目について回答する。評価には、マグニチュード測定法を用いる。
5	3,4の行程を5つの空間に対して同様に行う。空間の確認順は、経路順位(屋外→1階→2階)とする。
6	事後アンケートと謝礼の支払いを行う。

4. 研究成果

本研究における主要な成果を示す。

(1) 開発したスケトレ:「スケトレ 量編」として、大きさの異なる屋内空間10個、屋外空間10個の計20個の空間をVR上に提示し、それぞれの空間を等身大スケールで体験しながら空間寸法を言い当てていく学習方式を開発できた。また、「スケトレ 質編」として、近代建築の名作であるサヴォア邸をVR上に再現し、そのスケール感を等身大スケールで体験しながら学習できる方式を開発できた。開発したスケトレの主な仕様は、表3の通りである。

表3 スケトレの主な仕様

項目	スケトレ 量編	スケトレ 質編		
VR提示装置	Oculus社製 Oculus Rift CV1: 視野角110度, 解像度2160×1200 (両眼)			
モデル制作ソフト	Autodesk社製 Revit LT			
VR制作ソフト	Autodesk社製 Revit LIVE			
計測寸法の種類	空間の高さ H, 幅 W, 奥行き D			
寸法表示方法	Oculus TouchIによるRevit LIVE規定の寸法表示方法[単位:m]			
モデル数	屋内:10空間 屋外:10空間	サヴォア邸 内外共通 1空間		
モデルの範囲	屋内[m]: H=2~6.5, W, D=2~16 屋外[m]: H=2~11, W, D=2~26.5	サヴォア邸[m]: H=9.4, W=19.2, D=21.6(外形)		
モデルに当てはめた素材	壁: 白色石膏調素材 床: 100mm角青色タイル調素材 天井: 300mm角天井白色タイル調素材	壁: 白色石膏調素材 床: 白色石膏調素材 天井: 白色石膏調素材		
照明	直上からの点光源	フランス ポワシー(所在地)における春分(3/20)の太陽位置からの点光源		
スケトレ実施時のイメージ	屋内	屋外	屋内	屋外
				

(2) スケトレの教育効果

① 「スケトレ 量編」の効果検証:

4回のスケトレ前と後に実施した実空間(屋外2空間, 屋内2空間)の目測精度を比較した。目測精度とは、実寸法と目測寸法の差の絶対値を指す。スケトレ前の目測寸法を「A」、スケトレ後の目測寸法を「A'」とした時、実寸法と目測寸法Aの差の絶対値を「 ΔA 」、実寸法と目測寸法A'の差の絶対値を「 $\Delta A'$ 」として、目測精度を示すことができる。つまり、 ΔA と $\Delta A'$ を比較することで、スケトレが実空間における目測精度の向上に寄与しているかを明らかにすることができる。

まず、10名の被験者の目測精度 ΔA (n=120)と $\Delta A'$ (n=120)を求め、それぞれの平均(μ)±標準誤差(SE)を求めた。そして、 ΔA と $\Delta A'$ の間に明確な違いがあるかを明らかにするため、一対の標本による平均値の検定(t検定)を行った。その結果、 $p=0.016=1.6\%$ となり、有意水準の5%を下回ったため、 ΔA と $\Delta A'$ の間に差があることが明らかになった。また、両者の平均値を比較すると、スケトレ後の目測による誤差が0.436m縮小しており、標準誤差も小さくなっていることがわかった。つまり、スケトレが実空間における目測精度の向上に寄与していることが明らかになった。(図3)

次に、T大学とN大学の研究者の協力を得て、「スケトレ量編」を別会場で実施した。スケトレのアプリケーションとVR提示装置を一時的に提供し、それぞれの会場で運用できるか確認してもらった。その結果、複数の被験者に対して、「スケトレ量編」を問題なく実施できることが明らかになった。つまり、VR環境が整えば、場所を選ばずにスケトレを実施できることも、この編により示すことができた。

② 「スケトレ質編」の効果検証：

外観[4面]・エントランス・リビングルーム・ゲストルーム・中庭の5つの空間に対して、立体構成の感覚を問う評価票をもとに効果を検証した。取得したデータは、マグニチュード測定法に基づいて記録されている。マグニチュード測定法とは、標準刺激を100とした場合に、比較刺激をいくつに感じるかを比率として記録する測定法である。この検証では、スケトレ前(図面確認時)の立体構成の感覚を100(標準刺激)とした時、スケトレ後に立体構成の感覚がどの程度変化したかを倍率で被験者に示してもらっている。具体的な分析と考察は、以下の通りである。

まず、立体構成の感覚を問う4つの評価項目(大きさ・高さ・複雑さ・美しさ)に対して、それぞれ平均(μ)と標準誤差(SE)を求めた。そして、スケトレが立体構成の感覚に変化を与えるかを明らかにするために、図面確認時(標準刺激:100)とスケトレ後(比較刺激:100に対する倍率)のデータに対して、一対の標本による平均値の検定(t検定)を行った。その結果、空間によってばらつきはあるが、全ての評価項目においてスケトレが有意($p < 0.05$)に立体構成の感覚を変化させることが明らかになった。(図4)具体的には、有意差が認められた空間をもとに、4つの評価項目を、次のように考察できる。

大きさ : 線で区切られた対象物(空間)として、鳥瞰的な視点から平面図等を把握した場合に比べて、アイラインから上方に広がる空と共に建築物(空間)を把握することで、空間を20~30%程度広く感じる。

高さ : 建築物の最高高さや、比較的小さな部屋の天井高を25%程度高く感じる。

複雑さ : 列柱やスロープ、階段等が折り重なって見えたり、平面形状が入り組んでいたりすると、30~40%程度複雑に感じる。

美しさ : 等身大でサヴォア邸の立体構成を把握することで、30%程度美しく感じる。

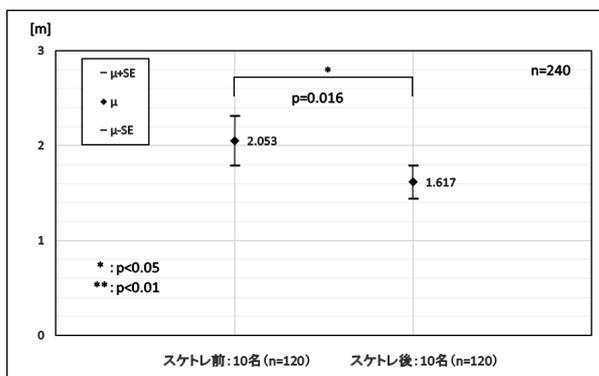


図3 「スケトレ量編」前後の目測精度の比較

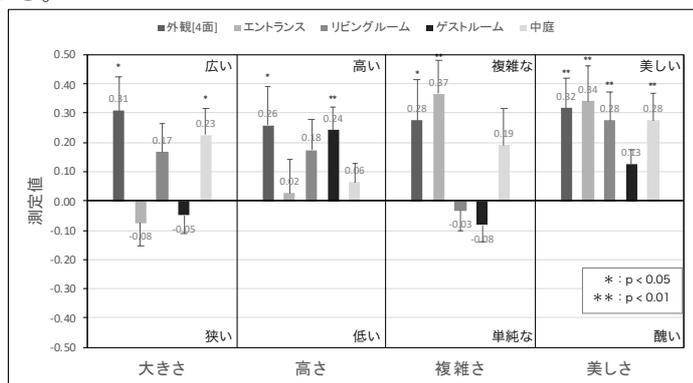


図4 「スケトレ質編」後の立体構成感覚の変化

このスケトレでは、周辺環境を再現していないため、周囲の建築物や樹木等と相対化してサヴォア邸の立体構成を捉えることはできない。また、VR特有な周辺視の歪み等により現実の空間把握とは異なっている可能性がある。しかしながら、縮尺を持った図面に比べると、VR空間上を等身大スケールで自由に観覧できるこのスケトレは、遥かに現実のサヴォア邸に近い立体構成の感覚を学習者に与えることができると推察される。したがって、「スケトレ質編」を行うことで、図面だけで建築物(空間)をイメージした場合に比べて、立体構成の感覚やそれに伴った美的感覚を、現実で得られる感覚に近いものへ補正できることが明らかになった。

以上により、本研究では、VRを用いた独自のスケール感学習スキーム「スケトレ(スケールトレーニング:寸法訓練)」を「スケトレ量編」と「スケトレ質編」の2種類として開発できた。また、学習者が把握するスケトレ前後の実空間における目測精度や立体構成の感覚を評価することで、当該学習スキームが一定のレベルでスケール感を向上させることが明らかになった。

<引用文献>

- 1) 秋田 美穂、戸部栄一、建築系大学教員の設計教育におけるスケール感の認識と設計課題に関する研究、日本建築学会計画系論文集、第596号、2005、235-238
- 2) 安福 健祐、阿部浩和、没入型ウォークスルーシステムを用いた建築設計演習の施行、日本建築学会第9回建築教育シンポジウム建築教育研究論文報告集、2009、13-18
- 3) 高橋 鷹志、建築と社会 特集スケール感、日本建築協会、1990、36-39

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 馬淵大宇
2. 発表標題 VRを用いた建築設計の教育と実務
3. 学会等名 釧路工業高等専門学校第9回若手理・工学セミナー
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 馬淵大宇
2. 発表標題 VRを用いた建築設計の実践と教育
3. 学会等名 OUSフォーラム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 馬淵大宇, 吉岡陽介, 遠田敦, 藤井皓介, 佐野友紀
2. 発表標題 VRを活用した寸法学習ツール「スケトレ」の開発と効果の検証
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 馬淵大宇
2. 発表標題 VRを活用した寸法感学習スキーム「スケトレ量編」の開発とその効果の実証
3. 学会等名 OUSフォーラム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 馬淵大宇
2. 発表標題 VR を活用した寸法感学習ツール「スケトレ」の開発とその効果
3. 学会等名 釧路工業高等専門学校第8回若手理・工学セミナー
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 馬淵大宇
2. 発表標題 VRを用いた建築設計手法に関する基礎的研究
3. 学会等名 釧路工業高等専門学校第7回若手理・工学セミナー
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 馬淵大宇
2. 発表標題 VRやストレス指標を用いたコ・クリエーション（共同創作）への挑戦
3. 学会等名 広島建設技術フォーラム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 馬淵大宇
2. 発表標題 VRやストレス指標を用いたコ・クリエーション（共同創作）への挑戦
3. 学会等名 OUSフォーラム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 馬淵大宇
2. 発表標題 VRを用いた建築設計手法に関する基礎的研究 模型を用いた建築設計手法との比較
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 馬淵大宇
2. 発表標題 没入型仮想環境技術を活用した寸法感学習スキーム「スケトレ」の開発
3. 学会等名 釧路工業高等専門学校第6回若手理・工学セミナー
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	吉岡 陽介 (YOSHIOKA Yohsuke)		
研究協力者	遠田 敦 (ENTA Atsushi)		
研究協力者	佐野 友紀 (SANO Tomonori)		

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	藤井 皓介 (FUJII Kosuke)		
研究協力者	瀧本 隆伍 (TAKIMOTO Ryugo)		
研究協力者	柴 雅之 (SHIBA Masayuki)		