

令和 6 年 6 月 13 日現在

機関番号：34315

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K18445

研究課題名（和文）宇宙飛行士訓練を応用した遠隔チーム行動能力トレーニング及び評価尺度の開発

研究課題名（英文）Development of remote teamwork competency and its evaluation scale incorporating astronaut training

研究代表者

湊 宣明（MINATO, NOBUAKI）

立命館大学・テクノロジー・マネジメント研究科・教授

研究者番号：30567756

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、遠隔環境下でのチームワーク効率を向上させるために、NASAの宇宙飛行士訓練をモデルとしたシミュレーション訓練を開発し、その効果を検証した。NASAのMBTS訓練は参加者を個室隔離する必要があり、訓練の量的拡大が難しいという課題が存在した。本研究では、オンライン環境でMBTS訓練を再現するWEBアプリケーションを新たに開発し、物理的な隔離部屋を不要とし、より大規模かつ低コストでの訓練実施を可能にした。リモートワーク導入企業を対象として複数回の訓練実証を行い、参加者の訓練前、訓練直後、訓練一か月後のスキル伸長を定量的に比較した結果、介入訓練に一定の効果があることを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

集団内の個人作業に相互依存性がある場合、チームワークが効率を左右するとされる。Tuckman（1965）は、チームワーク育成には形成、混乱、統一、機能の4段階が存在し、即座に獲得できないと指摘している。本研究の学術的意義は、遠隔環境でのチームワークの迅速な育成という課題に対して、宇宙飛行士訓練を一般社会人にも適用可能にした点にある。また、遠隔環境でのチームワークのパフォーマンスに関する測定尺度を開発し、信頼性と妥当性を検証した。社会的意義として、コロナ禍を経てリモートワークが普及した現代において、遠隔環境でのチーム作業を改善する訓練を提供し、場所に捉われない柔軟な働き方の実現に貢献する。

研究成果の概要（英文）：This study developed and evaluated a simulation training model based on NASA astronaut training to enhance teamwork efficiency in a remote work environment. NASA's Moon base tabletop simulation (MBTS) training requires participants to be isolated in individual rooms, presenting challenges for scaling the training. In this study, we addressed this issue by developing a web application that can replicate the MBTS training in an online environment, eliminating the need for isolation rooms and enabling larger-scale, cost-effective training. Multiple field experiments were conducted with companies that have implemented remote work, comparing participants' skill improvement before, immediately after, and one month after the training. The results confirmed that the intervention training had a certain level of effectiveness.

研究分野：航空宇宙管理、システム工学

キーワード：宇宙飛行資源管理 チーム行動能力 遠隔環境 リモートワーク オンライン訓練

1. 研究開始当初の背景

集団内の個人作業に相互依存性がある場合、チームワークが効率を左右するとされる。Tuckman (1965) は、チームワークの育成には形成、混乱、統一、機能の4段階が存在し、即座に獲得できるわけではないと指摘している。しかし、新型コロナウイルス感染症の拡大を受けて在宅勤務や在宅学習が一般化する中、情報通信機器の整備のみでは作業効率向上に限界が生じている。紆余曲折を経てチームワークを発展させる従来アプローチには限界があり、オンライン環境におけるチームワーク育成が課題となっている。

従来研究の多くは対面でのチームワーク育成に重点が置かれているが、これらの知見は必ずしもオンラインでの遠隔環境に適用できるものではない。とりわけ、相手を視認できない環境で長期にチーム作業を継続する場合、遠隔地の状況認識能力の有無 (Pruyn and Sterling, 2006) や状況や時期に応じたリーダーとフォロワーの交代がチームの成果を決定するとの指摘がある (Landon et al., 2018)。宇宙飛行士訓練では、宇宙と地上という遠隔環境で働くことを要求される宇宙飛行士、及び地上から支援する運用管制官の協調作業を前提として、宇宙飛行資源管理 (Space Flight Resource Management, 以下 SFRM) と呼ばれる能力体系が存在する。SFRM の基盤となるスキル群は NASA によって定義されており、コミュニケーション、異文化理解、チームワーク、意思決定、チームケア、リーダーシップ/フォロワーシップ、紛争解決、状況認識の8種類で構成される (Baldwin 2008)。座学やシミュレーション訓練、野外でのサバイバル訓練を通じて8種類のスキルを体系的に習得することで、遠隔環境でのチーム行動能力を育成する (Pruyn & Sterling 2006; Landon et al. 2018)。

集団での協働・協調作業を扱う具体的な訓練体系として、航空関係者の搭乗員資源管理 (Helmreich et al., 1999)、船舶関係者の艦橋資源管理 (Griffioen et al., 2021)、医療関係者の Team STEPs (Clapper, 2019) 等が開発されているが、SFRM 訓練のように遠隔での協調作業を前提にトレーニングを設計するものは希少である。SFRM に関しては、座学やシミュレーション訓練、野外でのサバイバル訓練などが開発されているが (Jenkins et al., 2002)、宇宙飛行士を対象としたアナログ訓練であり、一般社会人への適用は試みられていない。コロナ収束後の社会でもリモートワークやオンライン講義が定着するとの予測があり、社会変化を見越した遠隔での行動シミュレーション訓練の開発には意義がある。

2. 研究の目的

本研究は、集団内で個々の作業に相互依存性がある状況下でのチームワークの効率性に焦点を当て、特に遠隔環境での協調作業を前提に、宇宙飛行士訓練をモデルとしたシミュレーション訓練を実装し、その効果を検証することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 本研究では、米国航空宇宙局 (NASA) により開発された Moon Base Tabletop Simulation (MBTS) 訓練から着想を得て、遠隔環境においてチーム行動能力を発揮するためのシミュレーション訓練を設計した。実物の MBTS (図1) は4人1組の参加者がそれぞれ異なる部屋で隔離され、音声通信 (トランシーバー) による情報のみを共有しながら、共通の目標達成に向けて集団が協調的に意思決定・行動する卓上シミュレーション訓練である (Frost, 2015)。電力、酸素、制限時間などの制約条件に加え、突然の通信途絶やトラブル発生への対処等、相互に隔離された状態でのチームワークや状況認識、コミュニケーション、チームケア、リーダーシップ、フォロワーシップ、意思決定、紛争解決など、宇宙飛行資源管理のスキルを習得することができる。訓練では、印刷された40マス×40マスの用紙、ペン、ストップウォッチ、作業内容カードを用いて、4名1組が互いに隔離された部屋で訓練を受ける (図2)。しかし、実際の訓練では受講者毎に物理的に隔離可能な部屋が必要であり、訓練対象の量的拡大が困難という課題があった。

(2) そこで本研究では、オンライン環境で MBTS 訓練を再現する WEB アプリケーションを開発した (図3)。ビデオ会議アプリケーション (Zoom 等) のブレイクアウト機能を併用し、音声通信のみで情報共有と意思決定を行うことができる仮想訓練環境を実装した。これにより、参加者毎の物理的隔離スペース及び通信用トランシーバーが不要となり、より大規模かつ低コストでの訓練実施を可能にした。

また、訓練効果測定に関して、宇宙飛行資源管理 (SFRM) の中核スキル群 (Baldwin, 2008) として定義される8スキルを定量的に測定する新たな測定尺度を開発した。この SFRM スキル測定尺度は39項目の質問文から構成され、5段階 Likert 尺度を用いて、参加者の主観による回答を依頼する形式である。2890名を対象にして測定尺度の信頼性及び妥当性を検証した結果、遠隔環境でのチーム行動能力を信頼性・妥当性のある尺度で測定することが可能であることが確認された。

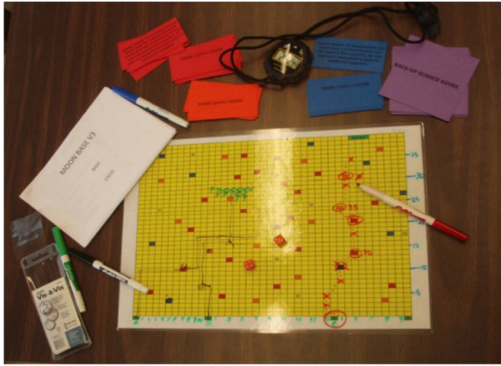


図 1. 実際の MBTS (Frost, 2015)

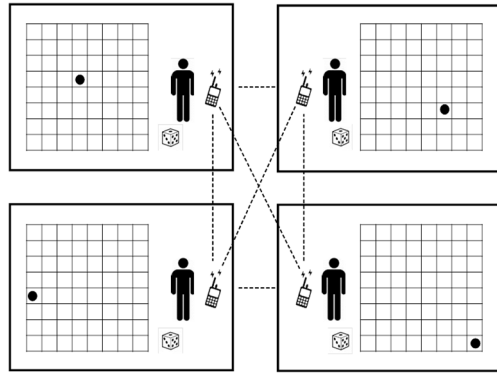


図 2. MBTS 訓練の隔離環境

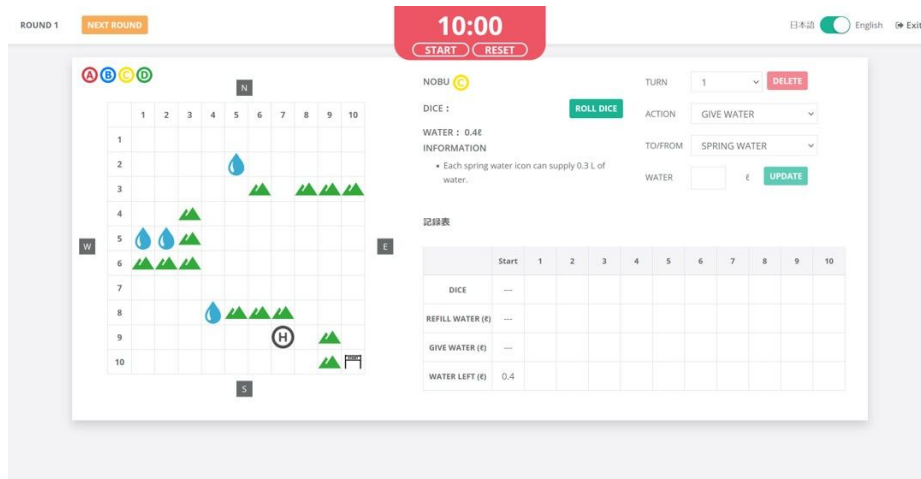


図 3. シミュレーション訓練用 WEB アプリケーション画面

(3) NASA の MBTS 訓練では、正方形のマス目が書かれたボード上(図1)を、サイコロを振りながら出た目の数に応じて位置を移動させ、共通のゴールを目指す。途中で通信途絶トラブル等も設計されており、チーム内での協調行動や緊急対応能力の有無が試される (Frost 2015)。実際の MBTS は飲料水、電力、酸素量の資源制約など、複雑なルールとシナリオ設定があり、1日~2日(8時間)で実施されるため (Frost 2015)、一般適用は難しい。本研究では、宇宙飛行士以外への訓練実施を目標に置き、3時間以内で訓練を完了できるよう簡素化を図った。

(4) 今回開発したシミュレーション訓練(図3)では、訓練参加者は、4名1組のチームを組み、音声のみで会話しながら、10×10のマス目が描かれた地図を使って訓練を行う。野外の遭難を想定して、時間内に指定された救出場所へと全員が到達することを目指す。参加者に情報提供される地図にはスタート時点の参加者(A, B, C, D)の位置に加えて、各自が保持する飲料水の量、移動の障害となる山の配置や飲料水を補給可能な湧き水の配置、救出場所の4つのアイコンが記載される。山や湧き水の配置は参加者共通であるが、飲料水の量は参加者により異なり、また、ゲームの進行に応じて状況は変化するため、最新情報を共有しなければチームとして最適な意思決定ができない。山の配置や保持水の量には様々なパターンを設計し、難易度をレベルに合わせて調整可能な仕組みを導入した。

(5) 本訓練はリモートワーク実践者の環境に合わせて、オンライン環境で行う。訓練システムのユーザー画面を図3に示す。画面上に初期設定が表示された地図、時計、サイコロ、記録表の機能を実装した。時計は残り時間を管理し、サイコロはマップ上を移動できる範囲に制約を出すための道具である。リーダーがフォロワーに対しサイコロを振る人を指示し、出た目の数に応じて進むことができる。最初に保持する飲料水の量は初期設定により与えられ、飲料水の残量を記録表で管理しながら、湧き水、または、仲間から飲料水補給が可能なルールとした。

(6) 訓練では、最初に訓練概要を説明(30分)した後、2ラウンドのシミュレーション訓練を実施する。各ラウンドは参加者同士で情報共有や行動計画を行うブリーフィング(5分)、制限時間にチームとして行動するシミュレーション(10分)、結果に基づいてチーム行動の改善を話し合うデブリーフィング(10分)で構成される。ラウンド毎に使用する地図の設定は変更される。最後に Lessons Learned を共有する時間(30分)を設けて、遠隔でのチーム行動能力を高めるための気づきを得るための議論を行う。合計2時間半から3時間で完了する訓練とした。

訓練環境にはオンライン会議システム Zoom を併用し、ブレイクアウトセッション機能を用いて参加者を4人1組に分割した上で、上述したプロセスに従って2ラウンドを実施する。訓練フローのうち、ブリーフィング、及びシミュレーションのプロセスでは、端末に設置されたカメラ機能をオフに設定し、音声コミュニケーションのみで情報共有と意思決定を行う。一方、

各ラウンド後に実施するデブリーフィングでは、カメラ機能をオンに設定する。リモートワーク実施時には通信環境の制約から音声のみで会議を行うことも多く、その環境条件を再現し、Lessons Learned を経験的に獲得できるように設計した。

4. 研究成果

(1) 宇宙飛行資源管理スキル群を定量的に測定する新たな尺度を開発し、その信頼性及び妥当性を検証した。測定尺度は、39 項目の質問文から構成され、5 段階 Likert 尺度を用いて参加者の主観的な評価を求める形式である。総勢 2,890 名での検証作業を通じて、遠隔環境下でのチーム行動能力を信頼性および妥当性をもって測定可能であることが確認された。

(2) シミュレーション訓練の効果検証として、国内では立命館大学研究部職員 (n=73) に加えて、民間企業 3 社 (NTT ドコモ, タカラバイオ, 日吉) の依頼に基づき、社員向け「宇宙飛行士訓練を応用した遠隔チーム行動能力トレーニング」を実施した。訓練参加者の訓練前、訓練直後、訓練一か月後のスキル伸長を比較した結果、いずれの事例でも介入訓練に一定の効果があらることが確認された。

(3) 例として、民間企業 D 社 (n=40) を対象としたシミュレーション訓練の実施結果を示す。SFRM 中核スキル群 (Baldwin 2008) として定義される 8 スキルについて、訓練の前後及び一ヶ月後の 8 スキル全体の平均値の推移が表 1 である。被験者のチーム行動能力の伸長を確認するために、3 時点の平均値について一元配置反復測定分散分析を実施した結果、スキル全体において統計的な有意差が確認された ($=0.01$)。これは、実施した訓練が要因となり、被験者の 8 スキル全体のスキル伸長を発生させた可能性を示唆する結果である。

また、訓練効果の持続を確認するために、Bonferroni 法による多重比較を実施した (表 2)。その結果、訓練前の全体スコアと比較して、訓練後の平均値と訓練一か月後の平均値が統計的に有意 ($=0.01$) に伸長していることを確認した。これは、訓練実施一か月後においても訓練効果が維持されている可能性を示唆する結果である。

さらに、8 種類の個別スキルに関して同様の統計検証を行った。個別スキルの 3 時点での平均値の推移とこれらの平均値に基づき分散分析を行った結果、測定したすべてのスキルにおいて統計的に有意な差 ($=0.01$) が確認された。これは、開発した訓練により 8 スキルがそれぞれ伸長した可能性を示唆する結果である。

各スキルでの訓練効果の持続を Bonferroni 法による多重比較により検証した結果を図 4 に示す。訓練一ヶ月後の平均値を訓練前の平均値と比較した場合、8 種類すべての個別スキルにおいて統計的に有意 ($=0.01$) な伸長が見られることを確認した。以上の結果は、被験者が訓練前と比較して、より高いレベルのチーム行動能力を習得し、時間が経過した後もその効果が持続している可能性を示唆するものである。

(4) 専門家による検証及び妥当性確認として、2022 年 8 月に米国航空宇宙局 (NASA)、及び宇宙航空研究開発機構 (JAXA) ヒューストン駐在員事務所を訪問し、宇宙飛行士や宇宙飛行士訓練担当者の意見も踏まえて、本研究成果物である WEB 上でのシミュレーション訓練及びスキル測定尺度に対する妥当性を確認した。

(5) 国際的な共同研究として、2021 年 12 月にシンガポール国立大学 (NUS) の学部生に対してシミュレーション訓練を 2 回実施した。仏航空宇宙系のグランゼコールである ISAE/SUPAERO との共同研究をスタートさせ、2024 年 2 月から 3 月にかけて同校の 2 回生 96 名に対してトレーニングを実施した実績がある。

(6) 成果の普及を図るため、日本語及び英語でのマニュアルを執筆した。今後 PDF ファイルで国内外に向けて公開する。

(7) 研究成果発表として、2 件の国内学会 (日本経営システム学会, 日本シミュレーション・ゲーミング学会), 2 件の国際学会 (The 11th International Association for the Advancement of Space Safety (IAASS2021), The 33rd International Symposium on Space Technology and Science (ISTS2022)) で口頭発表を行った。さらに、国際 Journal 誌への論文投稿を行い、Journal of Space Safety Engineering (JSSE), Journal of Evolving Space Activities (JESA) に査読論文が採択・掲載された。

表 1. 一元配置反復測定分散分析 (全体)

訓練前 (SD)	訓練後 (SD)	一月後 (SD)	F-value
2.63(0.476)	2.92(0.507)	3.07(0.548)	$F(2,78) = 32.2 **$

* : $p < 0.05$ ** : $p < 0.01$, SD: Standard Deviation

表 2. Bonferroni 法による多重比較結果 (全体)

			SE	p 値	
訓練前	vs	訓練後	0.288	0.0561	$p < 0.001$ **
	vs	一月後	0.444	0.0561	$p < 0.001$ **
訓練後	vs	一月後	0.156	0.0561	0.0205 *

* : $p < 0.05$ ** : $p < 0.01$, SE: Standard Error

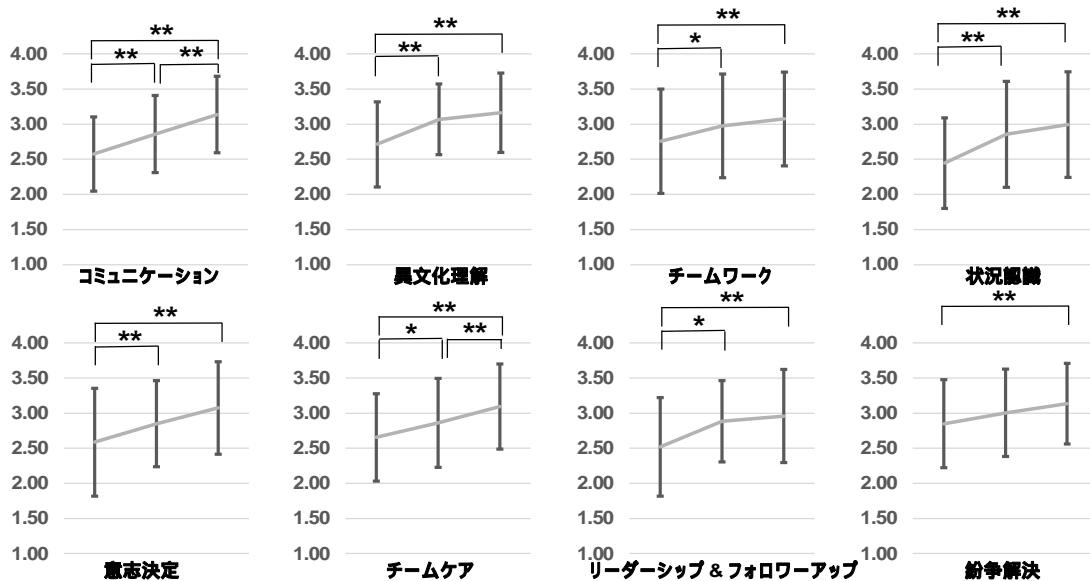


図 4. 企業 D 社での効果検証 (Bonferroni 法による多重比較, $n=40$, $\alpha=0.05$)

< 引用文献 >

- Baldwin, E. (2008). Integrating space flight resource management skills into technical lessons for international space station flight controller training. 3rd IAASS Conference. Retrieved from <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20080041534.pdf>
- Baldwin, K., LaMantia, J., & Proziack, L. (2005). Emergency preparedness and bioterrorism response: Development of an educational program for public health personnel. *Public Health Nurse*, 22, 248-253.
- Clapper, T. (2019). Team STEPPS® is an effective tool to level the hierarchy in healthcare communication by empowering all stakeholders. *Journal of Communication in Healthcare*, 11(4), 241-244.
- Frost, R. (2015). What is the NASA simulator for the ISS Flight Controller Boot Camp "Moon Base" like?. Retrieved from <https://www.quora.com>
- Griffioen, D., Drift, P., & Broek, L. (2021). Enhancing Maritime Crew Resource Management Training by Applying Resilience Engineering: A Case Study of the Bachelor Maritime Officer Training Programme in Rotterdam. *Education Sciences*, 11(8), 378. <https://doi.org/10.3390/educsci11080378>
- Helmreich, R. L., Merritt, A. C., & Wilhelm, J. A. (1999). The Evolution of Crew Resource Management Training in Commercial Aviation. *International Journal of Aviation Psychology*, 9(1), 19-32. https://doi.org/10.1207/S15327108IJAP0901_2
- Jenkins-Todd, D., Kempton, R., Miller, B., Rogers, D. G., Bauer, J., Dillon, S. F., et al. (2002). NASA's Space Flight Resource Management Program: A Successful Human Performance Error Management Program. *SpaceOps Conference*. <https://doi.org/10.2514/6.2002-T4-12>
- Pruyn, P. W., & Sterling, M. R. (2006). Space Flight Resource Management: Lessons Learned from Astronaut Team Learning. *Reflections*, 7(2), 45-57.
- Landon, L. B., Slack, K. J., & Barrett, J. D. (2018). Teamwork and Collaboration in Long-duration Space Mission: Going to Extremes. *American Psychologist*, 73(4), 563-575.
- Tuckman, B. W. (1965). Developmental Sequence in Small Groups. *Psychological Bulletin*, 63, 384-399. <https://doi.org/10.1037/H0022100>

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Minato Nobuaki, Ikeda Yu, Higashimoto Yuki, Yamagata Kenji, Kamiyoshi Seiji	4. 巻 8
2. 論文標題 Developing a remote team training program based on the space flight resource management model	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Space Safety Engineering	6. 最初と最後の頁 138 ~ 149
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jsse.2021.04.001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Minato, N., Sakurai, R., Kito, K., Sasazawa, K., Fukushima, T., Yamagata, K.	4. 巻 1
2. 論文標題 Application of Astronaut Training for Building Remote Teamwork	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Evolving Space Activity	6. 最初と最後の頁 1 ~ 10
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.57350/jesa.98	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計14件（うち招待講演 0件/うち国際学会 9件）

1. 発表者名 Minato Nobuaki, Sakurai Ryo, Kito Kazuya, Yamagata Kenji
2. 発表標題 Is space-flight resource management skillset effective for remote workers on ground?
3. 学会等名 The 11th International Space Safty Conference (IAASS) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Minato Nobuakio, Sakurai Ryo, Kito Kazuya, Sasazawa Kohei, Fukushima Tomoya, Yamagata Kenji
2. 発表標題 Application of the Astronaut Training for Building Teamwork in Remote Work
3. 学会等名 The 33rd International Symposium on Space Technology and Science (ISTS2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 湊宣明, 鬼頭一哉, 桜井良, 山方健士
2. 発表標題 宇宙飛行士訓練を応用した遠隔チーム行動シミュレーション訓練の効果検証
3. 学会等名 日本シミュレーション&ゲーミング学会2021年度秋季全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 湊宣明, 鬼頭一哉
2. 発表標題 リモートワーク実践者を対象としたチーム行動能力の開発と評価
3. 学会等名 日本経営システム学会第67回全国大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 山方 健士、湊 宣明	4. 発行年 2021年
2. 出版社 実務教育出版	5. 総ページ数 183
3. 書名 リ・デザイン思考法	

1. 著者名 湊 宣明	4. 発行年 2022年
2. 出版社 講談社	5. 総ページ数 288
3. 書名 新しい ビジネスデザイン の教科書 新規事業の着想から実現まで	

〔産業財産権〕

〔その他〕

宇宙飛行士訓練で育成するチーム行動能力
<http://www.ritsumei.ac.jp/research/radiant/space/story2.html/>
 Developing Team Skills Through Astronaut Training
<http://www.ritsumei.ac.jp/research/radiant/eng/space/story2.html/>

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
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
シンガポール	National University of Singapore			
フランス	ISAE SUPAERO			