

令和元年6月11日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2016～2018

課題番号：16H04625

研究課題名（和文）過酷事象対応能力向上のための状況適応的システムの実現に関する研究

研究課題名（英文）Experimental study on the situation-adaptive system to enhance human performance to deal with severe situations

研究代表者

高橋 信（TAKAHASHI, MAKOTO）

東北大学・工学研究科・教授

研究者番号：00243098

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 9,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では原子力プラントにおける過酷事象発生時の安全性向上を目的として、過酷事象発生時に厳しい時間制約に直面した人間の対応能力を最大限に発揮するための状況適応的システムの実現のために基礎的な技術の開発を行った。シミュレーション環境において厳しい事象に対峙した人間の挙動を分析しその特徴をあきらかにした。次に簡易型ウェアラブルデバイスを用いた制御モード変化の推定手法を開発し、人間の対応能力の劣化を客観的な指標を元に推定可能であることを示した。更に情報の与え方の違いにより、想定されていない事象への対応能力に違いが生じることを実験的にあきらかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

福島第一原子力発電所の事故に関して、政府事故調査報告書（最終）においても委員長所感の中で「ありそうになりながらも起こり得る」を前提にした安全対策の重要性が指摘されている。本研究は想定されていないような事象が発生した場合の人間の対応能力の向上に資する内容であり、そのための基盤となる技術を提供する内容である。

研究成果の概要（英文）：In the present study, the functional framework to realize situation-adaptive system to enhance human performance has been proposed in order to increase the level of safety for nuclear power plant. The human behavior facing severe situation has been analyzed using smart grid simulation environment and the characteristic behavior of human has been clarified. Next, the human state estimation method using wearable device has been developed and it has been confirmed that the degradation of human performance can be detected based on the objective measurements. Finally, the differences of the human performance to deal with unexpected situations has been evaluated according to the directions given to subjects. The subjects who have been give strong direction to follow the prescribed procedures showed degraded performance when they faced the situations outside of the prescribed procedures.

研究分野：原子力工学

キーワード：想定外事象 適応システム 安全性 人間状態推定 シミュレーション環境 ウェアラブルデバイス

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

東日本大震災での津波による東京電力福島第一原子力発電所の事故は、過酷事象への対処という意味で大きな課題を残した。未曾有の津波による甚大な被害に対峙した運転員は極めて厳しい状況において最大限の対処を行ったが、更に適切な行動をとっていれば事象の進展の様相が変わっていた可能性は否定できない。政府事故調査報告書(最終)においても委員長所感の中で「ありそうにないことも起こり得る」を前提にした安全対策の重要性が指摘されている。ここで問題となるのが、機械システムと人間との関係性が状況に応じて動的に変化するという点である。平常時は的確な判断を行うことが出来る人間も、過酷事象が発生した緊急時に高いストレスにさらされ時間的余裕がなくなると的確な判断を行うことが困難になる可能性がある。訓練を繰り返すことによりこの判断の質の低下はある程度は回避することは可能であろうが、訓練において現実の切迫感を再現することは原理的に不可能であり、実際に過酷な状況に対峙したときの人間のパフォーマンス予測は難しい。更に、このパフォーマンスの低下の度合いにも個人差があることも否定できない。時間的に余裕のある時には人間は「戦略的」判断を行うことができるが、時間的な余裕が減少してくるにつれて行為の選択の幅が狭まり、更に時間的余裕がなくなると「混乱状態」に陥り、場当たりの判断を行う傾向があることを示している。本研究では原子力プラントにおける過酷事象発生時の安全性向上を目的として、機械と人間の間の状況適応的なフレームワーク実現を目指す。

### 2. 研究の目的

本研究では、過酷事象発生時に厳しい時間制約とトレードオフに直面した人間の対応能力を最大限に発揮するための状況適応的システムの実現を目指す。革新的な技術による人間側の状態(ストレスレベル、判断能力)の推定による操作権限の制御と、人間側の状態を適正レベル維持のための支援システムの実現が二つの柱であり、これによる動的状況変化に対応した人間-機械システムの関係性を確立する。

### 3. 研究の方法

#### (1) シミュレーション環境を用いた時間制約下における制御モードの変化の実験的検証

本研究項目においては本研究室における既設の設備であるシミュレーション環境を用いて、過酷状況発生時における制御モードの変化に関して実験的検討を行う。図1にスマートグリッドシステムを対象にしたシミュレーション環境を示す。スマートグリッドシミュレーション環境は仮想的なスマートグリッドシステムの日変化と環境変化に対する対応を行うことができるシミュレーション環境であり、動的に変化する状況における人間の行動を観察することができる。更には厳しい時間制約下における対応を再現することも可能であり、本研究における「時間制約下における制御モードの変化」の検証のための機能的要件を十分に満たしている。



#### (2) 簡易型ウェアラブルデバイスを用いた制御モード変化の推定手法の確立

本研究項目では(1)の認知的制御モード変化に関する研究成果を受けて、認知的制御モード変化の推定手法の研究を行う。平成28年度の研究においては結果としてのパフォーマンスから認知的制御モードが変化していることを明らかにすることが目的であるが、現実的な状況においてはパフォーマンスの変化が出る前の段階で認知的制御モードの変化を機械システム側が認識することが必要である。本研究では個人としての認知的制御モード変化を推定する手法の確立を目指す。

#### (3) 提示情報によるリスク認知の制御に基づく制御モード変化の抑制

認知的な制御モードを決定するのは人間側の主観的リスク認知であり、このレベルは絶対的なものではなく人間がどのように状況を捉えるかという点に強く依存しており、どのように状況を人間に提示するかという問題に帰結する。本研究項目では、マニュアルの提示方法や対象システムの状況(時間的切迫度、トレードオフの状況)を運転員に分かりやすく示すことで適切なリスク認知が促進され認知的制御モードの悪化を防ぐこと可能であることを示す。

### 4. 研究成果

#### (1) シミュレーション環境を用いた時間制約下における制御モードの変化の実験的検証

本研究項目においては本研究室における既設の設備であるシミュレーション環境を用いて、過酷状況発生時における制御モードの変化に関して実験的検討を行った。本年度はスマートグリ

ッドシステムを対象にしたシミュレーション環境を対象に検討を行った。スマートグリッドシミュレーション環境は仮想的なスマートグリッドシステムの日変化と環境変化に対する対応を行うことができるシミュレーション環境であり、動的に変化する状況における人間の行動を観察することができる。今年度研究では、このスマートグリッドシミュレータを用いた被験者実験を行った。実験では被験者にとって対応が厳しい状況となる想定外事象を模擬して、その時の被験者の状況を分析した。結果として、被験者にとって対応が厳しい状況を模擬することが可能であることを確認し、更に携帯型のデバイス(JINS-MEME)により、人間側の状況の変化を高い確率で推定できることを確認した。

PC用の原子炉シミュレータを用いて、過酷事象を模擬して認知的制御モードの変化を起こさせるような実験を計画したが、被験者のプラントに対する理解度の違い、及びシミュレーション環境の制約(スクラムの発生と安全系動作)により、厳しい状況は再現できるが対応操作が限られるために現実的な制御モードの変化を再現するには至らなかった。しかしながら、BWR運転訓練センターにおいて測定した脳活動データの共鳴の解析を行い過酷事象発生時の運転員間のコミュニケーションの質を評価することができることを確認し、制御モード変化へとつなげる可能性を見出した。

## (2) 簡易型ウェアラブルデバイスを用いた制御モード変化の推定手法の確立

メガネ型デバイスであるJINS-MEMEを用いることで運転員に負荷をかけることなく認知的状態を推定する手法を確立することを目指して研究を行った。JINS-MEMEは眼電位と加速度を測定することが可能であり、そこから得られる複数の情報に基づき制御モードの推定を行った。研究の第一段階としては低負荷のウェアラブルデバイスであるJINS MEMEを利用し、複数日にわたって実験を行うことでライフログデバイスと機械学習手法を組み合わせることのワークロード推定への応用可能性を検討し、リアルタイム推定の結果の妥当性を確認した。研究の次の段階として、スマートグリッドシミュレータ環境を利用し、制御モードの推定可能性について認知実験を行い、JINS MEMEによる生理指標の取得と機械学習手法による作業者のワークロードの識別可能性について実験的に検証した。デバイスから得られるデータは10のパラメータとして加工し、機械学習手法には、Support Vector Machine (SVM)を使用した。その結果、スマートグリッドシミュレータを用いた動的複雑タスク環境下において、被験者の制御モード状態を90%を超える精度で識別することができた。

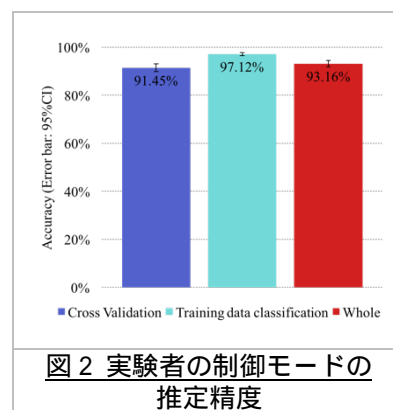


図2 実験者の制御モードの推定精度

## (3) 提示情報によるリスク認知の制御に基づく制御モード変化の抑制

本研究では過酷事象発生時に厳しい時間制約とトレードオフに直面した人間の対応能力を最大限に発揮するための状況適応的システムの実現を目指して、緊急事態発生時の人間の挙動に関してスマートグリッドシミュレータを用いて以下の二つの側面からの研究を行った。

第一に運転員への情報提示内容の違いによるパフォーマンスの違いに焦点を当て、想定外の緊急事態が発生した場合に、手順に基づく操作を強く指示した場合と基本的な理解に基づく操作を行わせた場合のパフォーマンスの違いを認知実験においてあきらかにした。結果としては、手順に基づく操作を強く指示した場合は、その指示された内容に対して強く適応してしまい、その手順がカバーする範囲を逸脱した緊急事態が発生した場合には、大きくパフォーマンスが低下することをあきらかにした。この結果はある程度は予想される内容であるが、統制された実験環境において実証できたことは大きな意義がある。

第二の観点としては想定外の厳しい緊急事態に直面した場合にそれを切り抜けるために必要な能力を明らかにすることを目的にして、スマートグリッドシミュレータ実験を行い、想定外の厳しい事態のシナリオを切り抜けることができた被験者とできなかった被験者間の差異を、OODA ループに基づく解釈で評価を行った。結果としてOODA ループと内包される4要素が想定外事象対応能力である可能性を示すことができた。

以上の結果を通じて、過酷事象対応時の人間の適応的な挙動に関する理解を深めることが本年度の研究成果である。実験的な面で状況適応的なシステムを構築するには至らなかったが、過酷事象に直面した人間の挙動を分析することにより事象対応能力の向上につながる知見を得ることができた。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計8件)

澤里 玄太, 佐藤 博則, 星井 義隆, 中野渡 寛之, 高橋 信, 手順書の整備が想定外事象のパフォーマンスに与える影響に関する実験研究、ヒューマンインタフェース学会論文誌、査読有、Vol.21、2019、pp. 187-198

DOI:10.11184/his.21.2\_187

H.Yokoyama, M.Nakayama, H.Murata and K.Fujita, Development of Acoustic Nonverbal Information Estimation System for Unconstrained Long-term Monitoring of Daily Office Activity, IEICE Trans. Inf. and Syst., 査読有, Vol.E102-D, 2019, pp.331-345.

DOI:10.1587/transinf.2018EDK0005

Tulis Jojok Suryono, Akio Gofuku, Functional Information of System Components Influenced by Counteractions on Computer-Based Procedure, Journal of Nuclear Engineering and Radiation Science, 査読有, Vol.4, 2018, pp.1-4.

DOI:10.1115/1.4040366

小川 剛史, 佐藤 博則, 狩川 大輔, 高橋 信, ライフログデバイスを用いた複雑タスク環境下におけるワークロード推定に関する研究, ヒューマンインタフェース学会論文誌, 査読有, Vol.19, 2017, pp.49-59

DOI:10.11184/his.19.4\_343

Makoto Takahashi, Fumiyasu Shirai, Ryuta Kawashima, Kazukiyo Ueda, EXPERIMENTAL STUDY ON TEAM COORDINATION OF NPP PLANT OPERATORS BASED ON THE SIMULTANEOUS NIRS MEASUREMENT, Transactions of the American Nuclear Society, 査読有, Vol.116, 2017, pp.1226-1233

Yoshitake Sohma, Keito Yoshii, Makoto Takahashi, Hiroyuki Nakanowatari, Yuki Yamamoto, Keyvan Kashkoui Nejad, Takayuki Nozawa, Motoaki Sugiura and Ryuta Kawashima, The Experimental Study on the Ability to Manage Unexpected Events Using Microworld Simulation, Proc. The 13th IFAC/IFIP/IFORS/IEA Symposium on Analysis, Design, and Evaluation of Human-Machine Systems (IFAC HMS2016), 査読有, Vol.1, 2016 (CD-ROM)

Takafumi Ogawa, Makoto Takahashi, Ryuta Kawashima, Human Cognitive Control Mode Estimation Using JINS MEME, Proc. The 13th IFAC/IFIP/IFORS/IEA Symposium on Analysis, Design, and Evaluation of Human-Machine Systems (IFAC HMS2016), 査読有, Vol.1, 2016 (CD-ROM)

佐藤 博則, 狩川 大輔, 高橋 信, マイクロワールドシミュレーション環境を用いた想定外事象対応能力に関する研究, ヒューマンインタフェース学会第 138 回研究会報告集, 査読無, Vol.18, 2016, pp.55-58

[学会発表](計 20 件)

大竹和希, 計器監視作業における人間信頼性の実験的評価, 日本原子力学会 2019 年春の大会, 2019 年

野口翼, メガネ型ウェアラブルデバイスを用いた作業時の過酷さを可視化するシステムの開発, 平成31年東北地区若手研究者研究発表会, 2019年

山口航平, ウェアラブル眼電位計測デバイスを用いた眠気検出手法の開発, 平成31年東北地区若手研究者研究発表会, 2019年

大竹和希, プラント運転における人間信頼性の実験的評価, 計測自動制御学会支部 第 318 回研究集会, 2018 年

小川剛史, タイムプレッシャー下でのヒューマンエラーの発生機構に関する実験的研究, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2018, 2018 年

星井義隆, プラント制御室におけるコミュニケーションに関する実験研究, 第 156 回ヒューマンインタフェース学会研究会, 2018 年

Yumi Hamamoto, The Effect of Action Contingency on Social Perception of Faces and Objects, Organization for Human Brain Mapping Annual Meeting (2018 OHBM), 2018 年

Sugiura M., Life-Long Roles of the Bodily Cognition in Social Adaptation, The 41st Annual Meeting of the Japan Neuroscience Society, 2018年

Okamoto K, Neural correlates of semantic ambiguity in second language learners, The 10th Annual Meeting of Society for the Neurobiology of Language, 2018年

杉浦元亮, 「ヒトにおいて他者とは何か? : 自己認知において想定される階層的構造」, 日本心理学会第82回大会公募シンポジウム, 2018年

杉浦元亮, 正常性バイアスのジレンマを検証する: 東日本大震災津波避難データと感情制御脳科学の視点, 日本災害情報学会20周年記念大会, 2018年

菅真由子, 瞬目と眼球運動に基づく集中度判定手法の開発, 平成30年東北地区若手研究者研究発表会, 2018年

三浦大輝, ウェアラブルデバイスを用いた VDT 作業時の疲労状態推定に関する研究, 平成30年東北地区若手研究者研究発表会, 2018年

野口翼, メガネ型ウェアラブルデバイスを用いた二重課題時の認知負荷推定に関する研究, ヒューマンインタフェースシンポジウム2018, 2018年

遠藤輝人, メガネ型ウェアラブルデバイスによる作業記憶課題時の集中状態の推定, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2018, 2018 年

Ayumi Takashima, An Investigation of Explanation Display of Counter Operation Procedure in an Emergency Situation of Plants, Third International Workshop on Functional Modelling for Design and Operation of Engineering Systems, 2018 年

小川剛史, ライフログデバイスによるリアルタイムワークロード推定の基礎的検討, ヒュー

マンインタフェースシンポジウム 2017、2017 年

北岡朋展、プラント運転における繰返しタスクと移動距離が面倒さと手順書の不遵守に及ぼす影響、第 145 回ヒューマンインタフェース学会研究会、2017 年

Yoshitake Sohma、The Experimental Study on the Ability to Manage Unexpected Events Using Microworld Simulation、The 13th IFAC /IFIP/ IFORS/IEA Symposium on Analysis, Design, and Evaluation of Human-Machine Systems (IFAC HMS2016)、Kyoto, Japan,2016年

Takafumi Ogawa、Human Cognitive Control Mode Estimation Using JINS MEME、The 13th IFAC /IFIP/ IFORS/IEA Symposium on Analysis, Design, and Evaluation of Human-Machine Systems (IFAC HMS2016)、Kyoto, Japan,2016年

〔図書〕(計 1 件)

Sulfikar Amir(Ed)、THE SOCIOTECHNICAL CONSTITUTION OF RESILIENCE (Part IV Chapter 10 "Saving Onagawa:Sociotechnical Resilience in the 3/11 Disaster", pp.225-241)、palgrave macmillan、2018年

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

なし

## 6 . 研究組織

### (1)研究分担者

研究分担者氏名：五福 明夫

ローマ字氏名：GOFUKU, Akio

所属研究機関名：岡山大学

部局名：自然科学研究科

職名：教授

研究者番号(8桁): 20170475

研究分担者氏名：藤田 欣也

ローマ字氏名：FUJITA, Kinya

所属研究機関名：東京農工大学

部局名：工学(系)研究科(研究院)

職名：教授

研究者番号(8桁): 30209051

研究分担者氏名：杉浦 元亮

ローマ字氏名：SUGIURA, Motoaki

所属研究機関名：東北大学

部局名：加齢医学研究所

職名：教授

研究者番号(8桁): 60396546

研究分担者氏名：三浦 直樹

ローマ字氏名：MIURA, Naoki

所属研究機関名：東北工業大学

部局名：工学部

職名：教授

研究者番号(8桁): 70400463

(2)研究協力者

なし

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。