

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 23 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25289347

研究課題名(和文) 想定外事象発生時の人間の適応行動パフォーマンス向上に関する研究

研究課題名(英文) Study on the adaptive performance when facing unexpected situations

研究代表者

高橋 信 (Takahashi, Makoto)

東北大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：00243098

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 8,300,000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想定外事象発生時の人間の適応的なパフォーマンスを向上させる方策を提案することを目的として、認知工学・心理学・脳科学という多面的な研究パラダイムによる研究を実施した。二つのシミュレーション環境を用いて、想定外事象への対応能力と想定内事象に対する対応能力間に相関があることを示し、更に訓練時の知識の与え方により想定外事象への対応能力が変化することを確認することができた。以上の結果を通じて、想定外事象時の人間行動の評価と向上に関して、今後の訓練及び評価に関して有用な知見を得ることができた。

研究成果の概要(英文)：In this study, cognitive, psychological and brain studies have performed to find the method to improve the capability to deal with unexpected situations in nuclear power plant. Two simulation environments (Micro world simulation and PC-based Nuclear power plant simulator) have been utilized to evaluate the human performance when facing unexpected situations. It has been confirmed through cognitive experiments using Micro world simulation that the task performance facing severe situation is positively correlated with the one for normal situations. It has also been confirmed that human performance for unexpected situation tends to improve when the subjects were given with the deep knowledge. Based on the above findings, it is concluded that the important insights have been obtained for the evaluation of human behavior when facing unexpected events and for the improvements of operation training.

研究分野：nuclear engineering

キーワード：unexpected events operation training simulation human performance

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、想定外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置かれた人間の行動としてはおける対応としては、必ずしも非難されるべき対処をしたとは思われないが、更に適切な行動をとって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。このような後知恵的な考え方は個別の行動に対する批判としては適切ではないが、更なる安全性の向上を目指した全般的な事象への適応的対処能力の向上という観点からは多様な観点から考慮すべき課題であると考え。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。

ここで本研究での「想定外事象」の定義を明らかにしておく必要がある。東京電力福島第一原子力発電所の事故を受けて、原子力プラントの安全性を評価するための確率的な安全評価の分野においては多様な外的ハザード事象を広範囲に考慮することで想定外事象を出来るだけ減らす方向に向けての努力が行われている。このような方向性を否定するものではないが、可能性のある事象の組み合わせを広範囲に考えた場合、その数は膨大となり網羅的な対処は原理的に不可能である。テロ等の設計想定外事象を対象に 2006 年にアメリカで規定された NE106-12 (B.5.b Phase 2 & 3 Submittal Guideline)においては、包絡的なシナリオを考えることは無意味であり、柔軟な対応能力が必要であり、その結果として極端な状況に対する潜在的な対応能力の向上が期待されると記されている。本研究では「想定外事象」を発生頻度が極めて低く、設計時には考慮されておらず、人間側の視点からはその生起が予想されていない(驚くべき)事象と定義する。

2. 研究の目的

本研究においてはその目的を以下のように定義し研究を行った。

「原子力プラントにおける想定外事象発生時の人間の適応的パフォーマンス向上のための方策を明らかにすること」

3. 研究の方法

a. 適応的能力の評価方法の構築

想定外事象への対応における適応的パフォーマンスとは、予め定められた手順だけでは対応できないような状況に遭遇した場合、お互いにトレードオフの関係にある機能目的(要求された機能の達成、最悪の事態の回避、被害の低減等)を考慮し、優先順位付けを行い、適切な対処を行う能力と規定する。本研究項目では、マイクロワールドシミュレーション

環境構築を用いた認知工学的シミュレーション実験を通じて、この適応的なパフォーマンスを規定する評価属性を明らかにすることを目的とした。特に、通常時のパフォーマンスと想定外事象発生時のパフォーマンスの相関に関して、それぞれの属性との関係を明らかにすることが課題である。言い換えれば、平常時の能力と緊急時の能力は関連しているのか、関連しているとしたら平常時にどのような能力を評価すれば、緊急時の能力を推し量ることができるのか、その点について明らかにすることが本研究項目の要点である。

b. 適応的能力の向上のための方策の提案とその評価

a. で明らかにした適応能力を構成する要素に基づき、本研究項目においてはそれをどのように向上させるかという点に着目した。適応能力には人が元来有する性格的な特徴に由来する部分もある程度は存在するが、トレーニングによって向上させる部分も多分にある。本研究項目においては、この適応能力を向上させるための方策を脳科学的な知見に基づき提案し、認知実験を通じてその評価を行うことを目的とした。

4. 研究成果

(1) 適応的能力の評価方法の構築について

研究のフェーズ1においては、適応的能力の評価手法を構築することを目的とする。想定外事象が発生した緊急時の状況を実際に模擬して、その状況に対峙した人間の挙動を評価することは困難である。本研究においては、複雑性を有するプラント環境をマイクロワールドシミュレーションとして模擬して、その限定された環境における「想定外」を生起させることで、予想していなかった事態の発生という意味での想定外を模擬することを目指し以下の成果をあげることができた。

① 想定外事象に対する人間の適応的挙動を解析可能なシミュレーション環境の構築

スマートグリッドシミュレーション環境を用いて、想定外事象に対する被験者の挙動を明らかにできるシナリオを開発し、被験者実験を通じてその妥当性を検証した。本研究においては、複雑性を有するプラント環境をマイクロワールドシミュレーションとして模擬して、その限定された環境における「想定外」を生起させることで、予想していなかった事態の発生という意味での想定外を模擬することを目指した。実験実験では「想定外」の事態を再現すること自体が困難な課題であるが、本研究では事象の独立性を考慮して四種類の想定外事象を構築した。更に、マニュアルにおいて手順のみを与えた被験者と、Whyを含む深い知識を提示した被験者間での対応能力の違いを検討し、想定外事象への対応能力の違いがあることをあきらかにした。

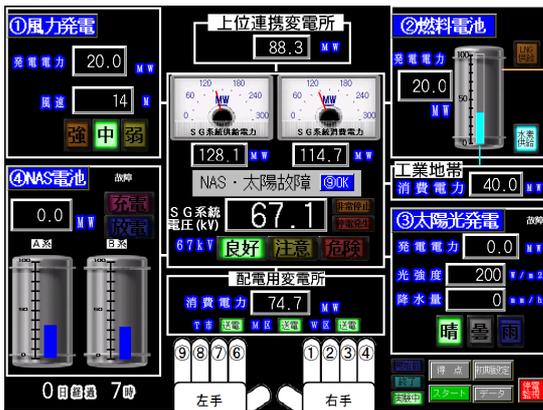


図1 構築したシミュレーション環境

②タスク実行におけるルール遵守行動の適応的挙動についてあきらかにした

人間のルール遵守行動を適応的挙動の一つとして捉え、ルール遵守に影響を与える要素について被験者実験を通じてあきらかにした。この成果は様々な状況における人間の適応的挙動の一つをあきらかにするものであり、適応的能力の評価に繋がる成果である。

③適応的能力の評価方法の構築

第一に複数の人間が関係する適応的能力の評価の一つの方法として、NIRS 信号の共鳴に基づくコミュニケーションの評価方法について検討を行った。認知実験を通じて適応能力に関するコミュニケーションの質が、NIRS 信号間の Distance Correlation で評価可能であることを示した。

次に脳科学的側面からの研究として、マイクロワールドシミュレーション環境構築を用いた認知工学的シミュレーション環境を利用して MRI 装置による脳機能評価を行い、適応的な対処能力と特定の脳機能部位の関連に関しての評価実験を行った。シミュレータでは想定内シナリオのみが発生する想定内シナリオと想定外事象が発生する想定外シナリオを発生させ、想定外事象発生中の脳活動と想定内事象発生中にシミュレータのパラメータ変化を観測している際の脳活動を比較し、高対処能力群において特に特徴的に活性化する領域を明らかにした。

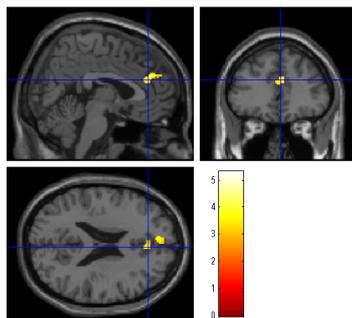


図2 高対処能力群で特徴的に活性化する領域 (前帯状皮質および内側前頭前皮質)

本研究では高対処能力群が低対処能力群と比較した状況の変化を監視している際、「状況を汎化する能力」および「状況の変化を受け取り予測する能力」が優れており、それらが高対処能力群に特有な認知過程である可能性が示唆された。

本研究においては、適応的能力の評価手法を検討することを目的に、想定外事象が発生した緊急時の状況を実際に模擬して、その状況に対峙した人間の挙動を脳科学的な側面から明らかにすることができた。本研究においては、複雑性を有するプラント環境をマイクロワールドシミュレーションとして模擬して、その限定された環境における「想定外」を生じさせることで、予想していなかった事態の発生という意味での想定外を模擬することを目指し、それを実現する事ができた。想定外事象を被験者を用いた認知実験で再現するということ自体が難易度の高い課題であったが、それを実現する事ができた。更に、被験者群を想定外事象に対する「高対処能力群」と「低対処能力群」に分けることに成功し、それぞれの群における特徴的な脳活動を明らかにできたという点で、適応的能力の評価手法がある程度実現出来たと考えられる。

マイクロワールドシミュレーション環境における実験は脳科学的側面からの評価を目的としていたが、得られた実験データのパフォーマンスの面からの更なる解析を行うことで、平常時のタスクパフォーマンスと想定外事象時の対応能力に一定の相関があることを見出した。この結果は、想定外事象の対応能力が想定内事象訓練の結果から評価できる可能性を示すものであり重要な成果である

当初の予定にはなかった成果として、想定外事象に対峙したときの人間の状態をシステム側が知るための手段として、メガネ型デバイス JINS-MEME の利用可能性を検討し、基礎的な有効性を確認することができた。被験者にかかるストレスによる制御モードの変化を、JINS-MEME により測定可能な複数の指標(眼電位の変化、頭部加速度等)から推定可能であることを確認した。本成果は適応的能力の評価手段として活用の可能性を示すものである。

(2) 適応的能力の向上のための方策の提案とその評価

スマートグリッドをシミュレーションする環境において、操作に関する知識を手順のみで与える群と、汎化した知識を与える群のパフォーマンスの比較を通じて、想定外事象への対処能力の違いをあきらかにした。この研究では想定外事象への対処能力が汎化知識を与えた群の方が高いこと、事象毎の独立性が高いにもかかわらず、繰り返し想定外事象を経験していくと対処能力が向上する可能性を示した。

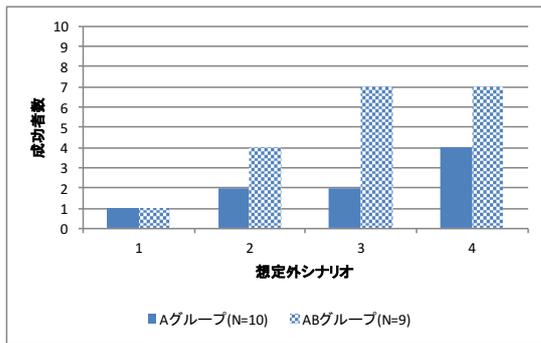


図3 スマートグリッドシミュレータ実験における想定外事象に対する対応成功者数

次に原子力プラントシミュレータを利用した認知実験を通じて、訓練時の知識の与え方により、想定外事象時の対応能力が変化することをあきらかにした。本研究ではPCで動作するBWRプラントのシミュレータを用い、原子力プラントにおける物理現象や、事故対応に関する深い知識の提示の有無が、原子力プラント事故対応のパフォーマンスに与える影響を認知実験により検証した。本研究では深い知識を原子力プラントで起こる物理的現象の原理原則やプラント運転で経験的に得られる方策など、様々な機器や操作方法に適用可能な知識と定義し、深い知識の存在が対処能力へどのように影響を与えるかを検証した。結果として、深い知識を与えた被験者群の方が主要なパラメータの変化に関しての認識が強く、手順書に頼らずその時の状況で判断するという傾向を確認できた。

本研究成果は、より現実的な状況に近い原子炉プラントにおける対応操作に関して知識の与え方は対応能力に影響を与えることを明らかにできたということが大きな成果である。以上の結果を通じて、想定外事象時の人間行動の評価と向上に関して有用な知見を得ることができたと考える。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

①堀内友翔, 中野渡寛之, 高橋 信, 作業の提示方法がパフォーマンスに与える影響に関する実験研究、日本原子力学会和文論文誌、査読有、13巻、2014、145-154

[学会発表] (計5件)

①高橋 信, 吉井慶人, 相馬由健、認知実験による想定外事象の模擬に関する検討、日本原子力学会2016春の年会、2016年03月26日、宮城県仙台市 東北大学川内キャンパス

②Makoto Takahashi, Naoki Miura, Ryuta Kawashima、Evaluation of Quality of Communication based Multi-person NIRS

Measurement、OHBM2015、2015年06月14日～2015年06月18日、U.S.A., Honolulu, Hawaii Convention Center

③野口茂明, 三浦直樹, 高橋信, 川島隆太、コミュニケーション手段の違いが脳活動に与える影響の評価、平成27年東北地区若手研究者研究発表会、2015年02月28日、郡山市 日本大学工学部70号館

④千葉幹, 増山直幸, 三浦直樹, 高橋信, 川島隆太、近赤外線分光法を用いた想定外事象に対峙したときの人間の脳活動解析、平成27年東北地区若手研究者研究発表会、2015年02月28日、郡山市 日本大学工学部70号館

⑤堀内友翔, 中野渡寛之, 高橋信、マニュアルの提示方法がパフォーマンスに与える影響に関する実験研究、日本原子力学会東北支部 研究交流会、2013年11月27日、仙台市 東北大学

[図書] (計0件)

[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

(2) 研究分担者

三浦 直樹 (MIURA, Naoki)
東北工業大学・工学部・准教授
研究者番号：70400463

川島 隆太 (KAWASHIMA, Ryuta)
東北大学・加齢医学研究所・教授
研究者番号：90250828

(3) 連携研究者

なし