

タスク教示内容とパフォーマンスとの関連に関する実験研究

Experimental study of the effect of rule instruction on the task performance

○庄子裕之, 中野渡寛之, 高橋信

SHOJI Hiroyuki, NAKANOWATARI Hiroyuki, TAKAHASHI Makoto

東北大学

Tohoku University

キーワード: 規定(regulation), 認知実験(cognitive experiment), リスク認知(risk perception)

連絡先: 〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-11 東北大学大学院 工学研究科
技術社会システム専攻 高橋(信)研究室 庄子裕之

Tel./Fax. : (022)-795-7921, E-mail: hiroyuki.shoji@most.tohoku.ac.jp

1. 序論

原子力発電所に代表される大規模システムは、社会に多大な利益をもたらす可能性がある一方で、事故が起きた場合の社会的影響が甚大であるために非常に高い安全性が要求される。機器の信頼性向上や安全装置の設置等の機械系の対策だけでなく、それを扱う人間系の対策が必要不可欠である。原子力分野においては長年にわたってヒューマンファクターに関する研究が行われており、本研究グループでも、原子力発電所に関わる規制体系に関する潜在的リスクに着目して研究を行っている¹⁾。原子力分野における規制体系は、1999年のJCO臨界事故²⁾、2002年の東電問題³⁾を契機に、各原子力発電所における最上位ルールである保安規定の大幅な改定が行われ、保安規定の量が大幅に増加し、それに伴い現場で使用する作業マニュアルの量も大幅に増加している⁴⁾。加えて、こういった現状においてもトラブルが発生する度に、その対策として新たなルールが逐次追加されるために、ルールがさらに肥大化し、更なるトラブル発生の原因となるという悪循環に陥る可能性が指摘されている。

以上の問題意識に基づき、本研究グループでは、原子力発電所における保安規定やマニ

ュアルを対象とした、ルールの適正化に関連する研究を行っている。

先行研究⁵⁾では全てのルールを同時に遵守することができない状況に着目し、「ルール間でトレードオフ状況下にある場合、重要度の差別化をした方が重大事故を防止できる」という仮説に基づいた認知実験を実施した。実験環境としてスマートグリッド(SG)シミュレータを採用し、「停電回避」と「点検実施」の間のトレードオフ状況を模擬した。実際の状況を考慮すると、停電回避の方が点検と比較して重要度が高いため、ルールの優先度は停電回避の方が高くなる。そこで被験者をルールの優先度を与えられるAグループと優先度を与えられないBグループに分け、2グループのパフォーマンスを比較した。

結果として、停電回避と点検のトレードオフ状況においては、重要度の差別化をしたAグループの方が停電を回避できる傾向が見られた。この結果から、トレードオフ状況では重要度の差別化をした方が重要度の高いルールを遵守できる可能性が示唆された。

先行研究において、ルールの重要度の差別化を行わないBグループの被験者にもトレードオフ状況において停電を回避できた被験者が存在した。口頭アンケートの結果から

停電を回避した理由として、「現実世界の事を考えると停電の方が重大であると判断し停電回避を行った」ということを挙げていた。このことから被験者のリスクに対する認識がパフォーマンスに影響を及ぼす可能性があると考えられる。以上の点から、本研究では以下の仮説を立て研究を行うこととした。

「適切なリスク情報を与えるような教示を行った方が重大事故を防ぐことができる。」

作業内容に対する認識・理解を高めることで安全性の向上に寄与する可能性があると一般的に言われているものの、その仮説を現実的な環境下で立証する知見はこれまでにほとんどなく、認知実験を通じて仮説の検証を行う必要がある。そのため本研究では上記の仮説の検証・評価をすることを通じて、ルール遵守に関する新たな知見を得ることを目的とする。

2. 手法

前述の仮説に基づき、先行研究で用いた SG シミュレータを改良して認知実験を実施した。本研究では、実験環境における重大事故として停電を、リスク情報として電圧品質表示ランプを採用した。電圧品質表示ランプは、停電に対する電圧の状況に応じて「良好」、「注意」、「危険」の3段階のリスク情報を与える。電圧品質表示ランプがある A グループと電圧品質表示ランプがない B グループに被験者を分け、リスク情報の有無がパフォーマンスに与える影響を検証した。Fig.1 と Fig.2 に各グループが用いる仮想 SG シミュレータの課題提示画面の例を示す。本研究で用いるルールは、原子力発電所において用いられる保安規定を参考に作成した。

3. 実験

3.1 実験環境

SG シミュレータ画面中央には SG 系統供給電力、SG 系統消費電力、SG 系統電圧の3つの数値が表示される。周囲には被験者が操作する6つのユニット(燃料電池, 風力発電, 太陽光発電, NAS 電池, 工業地帯, 配電用変電所)と被験者が操作することのできない

ユニット(上位連携変電所)が配置され、画面左下には時刻、天候、風速が表示されている。また画面右下には一般需要家電圧が表示されている。被験者は、マイクロワールド時間に従って SG シミュレータを操作する。マイクロワールド時間の1時間は実時間の10秒に設定してあり、マイクロワールド時間での1日は実時間で4分に相当する。実験タスクの所要時間はマイクロワールド時間上で3日間であるため、実時間では10秒×24時間×3日=720秒=12分である。需要電力と天候は1秒毎に変化し続けるため、被験者は継続して状態を監視する必要がある。被験者のパフォーマンスは以下の4項目によって評価した。

(i) SG 系統電圧変動度

被験者は SG 系統電圧を 67.0kV に近づけるように教示される。さらに A グループの被験者には、停電に対する電圧の状況に応じて「良好」、「注意」、「危険」の3段階のリスク情報として電圧品質表示ランプに関する

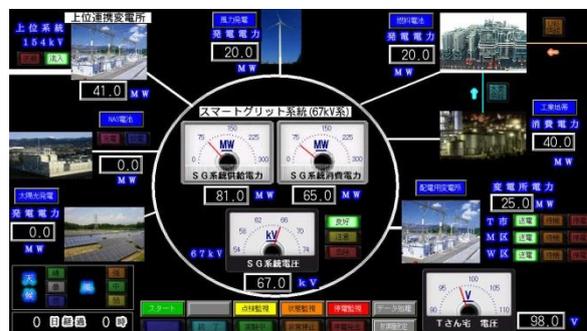


Fig.1 A グループの課題提示画面の例

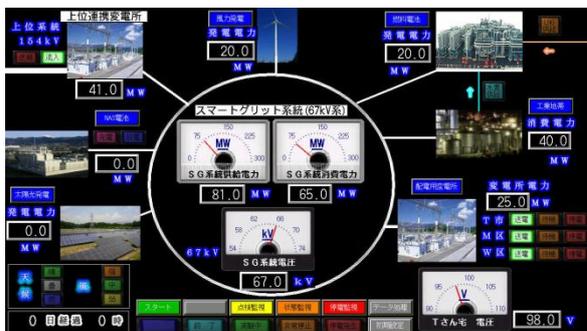


Fig.2 B グループの課題提示画面の例

る教示(Table.1)も加えている。したがって A グループの被験者は電圧品質表示ランプにより停電に対してどの程度安全を保っているかを把握することが容易となる。

SG 系統電圧変動度は、標準電圧である 67.0 kV を基準とし、その値からのずれを積算した指標である。従って、67.0kV に近い時間帯が長く維持できるほどスコアは低く、67.0kV から離れてしまうほどスコアが高くなる。そのためスコアが低い被験者ほど系統電圧を安定に保つことができ、高いパフォーマンスを示したことになる。

(ii) 停電回数

停電の発生条件は一般需要家電圧が規定電圧(AC96.0~106.0kV)から外れ、8 秒以内に規定電圧値へ回復できなかった場合である。被験者は絶対に停電を起こしてはならないと教示される。

(iii) 非常停止回数

保安規定を遵守できない場合、電気工作物の非常停止が発生する。例として、風力発電は風速 25m 以上の強風の時に運転すると非常停止が発生する。被験者は非常停止を回避するよう教示される。

(iv) 点検違反回数

被験者は、点検指定時刻の時間内に電気工作物の点検を行うよう教示されている。必要な点検が1日の指定された時間に正確に行われていない場合、点検違反となる。例として、燃料電池の点検は3時~5時(マイクロワールド時間)の間に行わなければ点検違反となる。

3.2 被験者

東北大学に所属する学部生及び大学院生 6 名を被験者として A グループと B グループ各 3 名ずつ被験者を割り当て、実験を行った。

4. 結果と考察

4.1 系統電圧変動度評価

本実験タスクにおける 1 日目、2 日目、3 日目の SG 系統電圧変動度の合計を被験者毎に算出し、グループ別に平均をとった結果を Fig.3 に示す。A グループの平均スコアが低いことから、A グループのパフォーマンスが

B グループに比べ高いことがわかる。この理由として電力貯蔵システムである NAS 電池の利用法の違いがあると考えられる。グループごとの NAS 電池の利用状況に関して Fig.4 に示した。

Table.1 電圧品質

表示	電圧品質 ランク	SG 系統電圧 V(t)
良好 (緑)	A	$66.7 \leq V(t) \leq 67.3 \text{ kV}$
	B	$66.4 \leq V(t) < 66.7 \text{ kV}$ $67.3 < V(t) \leq 67.6 \text{ kV}$
注意 (黄)	C	$66.0 \leq V(t) < 66.4 \text{ kV}$ $67.6 < V(t) \leq 68.0 \text{ kV}$
	D	$65.5 \leq V(t) < 66.0 \text{ kV}$ $68.0 < V(t) \leq 68.5 \text{ kV}$
危険 (赤)	E	$65.0 \leq V(t) < 65.5 \text{ kV}$ $68.5 < V(t) \leq 69.0 \text{ kV}$
	F	$V(t) < 65.0 \text{ kV}$ $69.0 \text{ kV} < V(t)$

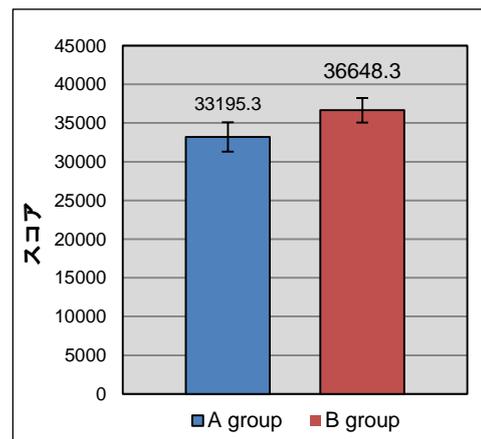


Fig.3 系統電圧変動度評価

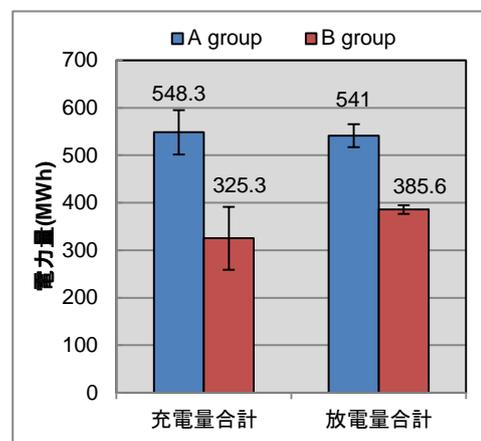


Fig.4 NAS 電池利用状況

Aグループの被験者はSG系統電圧を67.0kVに近づける教示に加え、電圧品質表示ランプが表示されているため、系統電圧が良好状態にあるときはNAS電池を充電し、注意・危険状態に陥ったときにNAS電池を放電する戦略をとっていた。一方で、Bグループの被験者はSG系統電圧を67.0kVにできるだけ近づけるという教示のみが与えられているため、NAS電池を頻繁に放電する戦略をとっており、途中で電力残量がなくなってしまう系統電圧が低下したときに対応できなくなってしまったと考えられる。つまり、Aグループは長期的な戦略を構築している一方でBグループは目先の状況に対処することに認知資源が費やされている。この結果はリスク情報の有無によって戦略の違いが生じ、危険な状況に陥ったときに対応の違いが生じることを示唆している。

4.2 保安規定違反回数評価

(a) 停電回数

Fig.5 に停電回数評価の結果を示す。停電回数ではAグループの方が停電を発生させる回数が低いことがわかる。これは、系統電圧変動度評価の考察で述べたようにNAS電池を使用する際の戦略の違いが影響していると考えられる。またAグループは電圧品質表示ランプにより現状の電圧状態を把握できるため、系統電圧が注意・危険状態に陥ったときに素早く対応できたことも停電を回避することができた要因の一つと考えられる。

(b) 非常停止回数

Fig.6 に非常停止回数評価の結果を示す。非常停止回数では両グループ間のパフォーマンスの差はほとんど見られない。非常停止の違反は、風速や天候を監視できているかどうかで決まる違反であり、この結果は計器の監視においてグループ間で有意な差はなかったことを示唆している。したがってAグループとBグループの間で基本的な操作に関する習熟に差異はなく、前述のSG系統電圧変動度のパフォーマンスの差異は被験者の

習熟によるパフォーマンスの差異ではなく、戦略の違いによるパフォーマンスの差異であると考えられる。

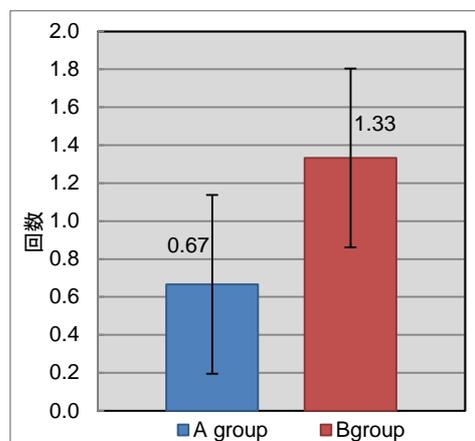


Fig.5 停電回数評価

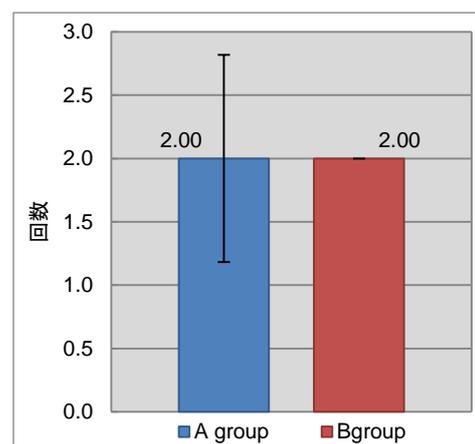


Fig.6 非常停止回数評価

6.3 主観的メンタルワークロード測定

NASA-TLX⁶⁾を用いた主観的メンタルワークロード測定の結果と NASA-TLX の各パラメータに重みを付け足し合わせたWWL得点結果を Fig.8 と Fig.9 に示す。

両グループを比較すると「知的・知覚的負荷」「フラストレーション」に大きな違いが見られる。

「知的・知覚的負荷」は A グループの方が高い値を示した。これは電圧品質表示ランプが与えられ、監視する内容が増加したことに伴って負荷が大きくなったと思われる。

一方「フラストレーション」の項目は B グループの方が高い値を示した。これは B グループの被験者が 67.0kV に合わせようとするものの思い通りに維持できなかったためフラストレーションを強く感じてしまったと考えられる。

WWL 得点については、A グループの方が低い値を示した。これは、リスク情報を教示することによって相対的に A グループの被験者が感じる負荷が低減している傾向があるといえることができる。

7. 結論

本研究では「適切なリスク情報を与えるような教示を行った方が重大事故を防ぐことができる」という仮説を立て、この仮説の検証を目的として認知実験環境を構築し実験を実施した。その結果、リスク情報を与えた被験者の方が高いパフォーマンスを示す傾向が示唆された。今後は、被験者を増やし更に詳細な妥当性検証を行っていく予定である。最終的な目標としては、原子力発電所における現場で利用されるマニュアルや教示方法に本研究で得られた知見を反映させ、現実的に起こりうるトレードオフ状況下で安全側の状況判断が出来るような訓練や教育の実現に貢献したいと考えている。

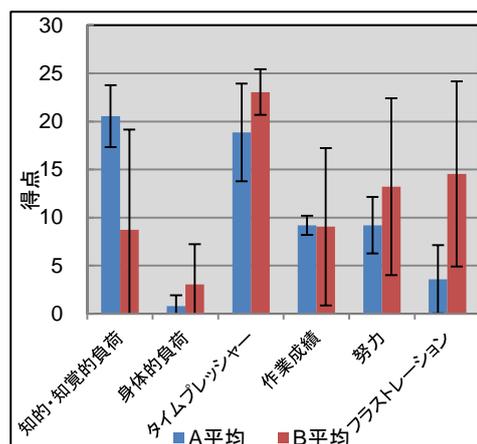


Fig.8 NASA-TLX

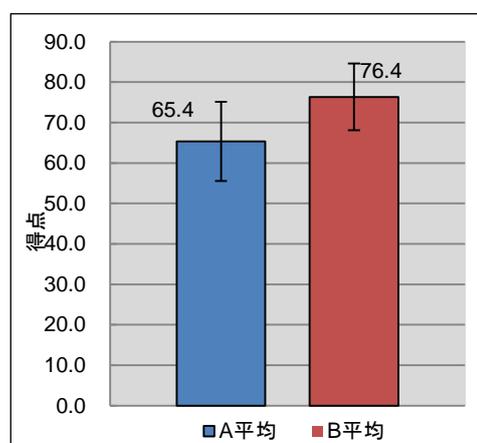


Fig.9 Weighted Work Load

参考文献

- 1)宮田浩紀,「規制方策と人間の認知特性のの関連に関する基礎研究」, 東北大学修士論文, 2009
- 2)F.Tanabe, Y.Yamaguchi“Analysis of Nature of Production System and Process Related with the JCO Criticality Accident,” Journal of the Atomic energy Society of Japan Vol.43,No.1,pp.48-51,2001
- 3)中尾政之:「失敗百選」森北出版, 2005
- 4)菅谷 淳子, 原山 優子, 「原子力発電所の規制手法の分類と選択方法」, 日本原子力学会和文論文誌, Vol.8, No.2, p110-121, 2009
- 5)瀬川尚平:「マニュアル教示内容とパフォーマンスとの関連に関する実験研究」, 東北大学修士論文, 2012
- 6)芳賀繁, 「NASA タスクロードインデックス日本語版の作成と試行」, 鉄道総研報告, 8(1), 15-20, 1994