

Oral presentation | III. Fission Energy Engineering : 303-3 Human-Machine Systems, Advanced Information Processing

📅 Wed. Sep 11, 2024 2:45 PM - 4:25 PM JST | Wed. Sep 11, 2024 5:45 AM - 7:25 AM UTC 🏠 Room B(Recture RoomsA 1FA102)

## [1B04-09] Human Performance and Safety-II

Chair:Diesuke Karikawa(Tohoku Univ.)

2:45 PM - 3:00 PM JST | 5:45 AM - 6:00 AM UTC

[1B04]

Study on Evaluation metrics for Maximizing the Team Performance of the Main Control Room Operation

\*KOUJI IWATARE<sup>1</sup>, TAKUMI HIROSE<sup>2</sup>, YUTAKA IWAKI<sup>2</sup>, HARU ANDO<sup>2</sup> (1. BTC, 2. Hitachi)

3:00 PM - 3:15 PM JST | 6:00 AM - 6:15 AM UTC

[1B05]

Practical Safety-II-based Initiatives for Voluntary Safety Improvement at Tohoku Electric Power Company.

(1) Continuous Safety-II-based Practical Initiatives

\*Makoto Takahashi<sup>1</sup>, Takumi Kurakane<sup>3</sup>, Masaharu Kitamura<sup>2</sup> (1. Tohoku Univ., 2. Research Institute for Technology Management Strategy, 3. Tohoku-EPCO)

3:15 PM - 3:30 PM JST | 6:15 AM - 6:30 AM UTC

[1B06]

Practical Safety-II-based Initiatives for Voluntary Safety Improvement at Tohoku Electric Power Company.

(2) Examples of Initiatives at the Higashidori NPP

\*Fuminao Matsumiya<sup>1</sup>, Yasuhiro Kimura<sup>1</sup>, Takumi Kurakane<sup>1</sup>, Makoto Takahashi<sup>2</sup>, Masaharu Kitamura<sup>3</sup> (1. Tohoku-EPCO, 2. Tohoku Univ., 3. Research Institute for Technology Management Strategy)

3:30 PM - 3:45 PM JST | 6:30 AM - 6:45 AM UTC

[1B07]

Enhancement of Resilience Potentials for Operation of Nuclear Power Plants

(3) Extended Enhancement of Potential to Learn

\*Hiroshi Sakuda<sup>1</sup>, Makoto Takahashi<sup>2</sup>, Masaharu Kitamura<sup>3</sup> (1. INSS, 2. Tohoku Univ., 3. Research Institute for Technology Management Strategy)

3:45 PM - 4:00 PM JST | 6:45 AM - 7:00 AM UTC

[1B08]

Enhancement of Resilience Potentials for Operation of Nuclear Power Plants

(4) Enhancement of Potential to Anticipate

\*Masaharu Kitamura<sup>1</sup>, Makoto Takahashi<sup>3</sup>, Hiroshi Sakuda<sup>2</sup> (1. Research Institute for Technology Management Strategy, 2. Institute of Nuclear Safety Systems, 3. Tohoku University)

4:00 PM - 4:15 PM JST | 7:00 AM - 7:15 AM UTC

[1B09]

Study on Potential to Learn Concerning Responses to Off-Normal Events

\*Yuto Horiuchi<sup>1</sup>, Masaharu Kitamura<sup>2</sup>, Makoto Takahashi<sup>1</sup> (1. Tohoku Univ., 2. Research Institute for Technology Management Strategy)

4:15 PM - 4:25 PM JST | 7:15 AM - 7:25 AM UTC

Time reserved for Chair

---

## 中央制御室運転チームのパフォーマンス最大化に向けた評価指標の検討

Study on Evaluation metrics for Maximizing the Team Performance of the Main Control Room Operation

\*岩垂功二<sup>1</sup>, 広瀬拓海<sup>2</sup>, 岩木穰<sup>2</sup>, 安藤ハル<sup>2</sup>

<sup>1</sup>BTC, <sup>2</sup>日立製作所

BTC では、中央制御室でのチームパフォーマンス最大化に向けて、運転訓練の中でチームパフォーマンスの評価を行っている。本発表では、評価結果をより客観的、具体的に示すべく、チームパフォーマンスや運転員個人のスキルに関わる指標や、指標を構成する要素について検討した結果を報告する。今後これら検討結果の効果検証を進める予定である。

**キーワード：中央制御室，チームパフォーマンス，評価，訓練，人財育成**

### 1. 序論

BTC では、運転訓練シミュレータを利用し、運転員の技能向上・維持を図るため訓練を実施している。本研究では、運転員のふるまいを評価する上で、どのような部分がデータ化する価値が高いのか、データ化するとしたらどのような方法が考えられるかについて検討を行った。

### 2. 方法

#### 2-1. 調査

運転員の作業や、チームワークに影響すると想定される要因やその要因を測定するための指標を特定するため文献調査およびBTCのインストラクタへのインタビューを実施した。

#### 2-2. 分析

インタビューの分析から得られた「チームワークに影響する要素」に、文献調査から得られた結果を加え図式化し、現時点で考えられる運転員のタスク・チームワークに影響する要素の洗い出しを行い、15個の要素を抽出した。

### 3. 考察

インタビューから得られた15個の要素は、現場目線で運転員のタスクを評価する上で重要な観点である。そのため、これらは評価における「データ化」を優先的に進めていく価値が高いと考えられる。そこで、15の要素について、「背景」「今後の人財育成への活用」「既存指標との関連」「考えられる今後のアクション」に焦点をあて、「考えて、手順書の意図を読み、先を予測すること」「メンバー間で共通したメンタルモデルを持ち、同じベクトルを向くこと」「作業をうまく伝え行動を促すこと」など5つが優先度が高い項目として考えられた。

### 4. 結論

インタビューから示された観点を15の要素としてまとめた。また、その中でも特にインパクトが大きく、難易度の面でも実現可能性があると考えられる5つの要素を抽出した。現段階においては、あくまで仮説であることから、今後、概念検証を行い、指標の選定を実施していく。

---

\*Kouji Iwatare<sup>1</sup>, Yutaka Iwaki<sup>2</sup>, Takumi Hirose<sup>2</sup> and Haru Ando<sup>2</sup>

<sup>1</sup>BTC, <sup>2</sup>Hitachi

# 東北電力における自主的安全性向上に向けた Safety-II ベースの実践的取り組み

## (1) 継続的 Safety-II ベースの実践的取り組み

Practical Safety-II-based Initiatives for Voluntary Safety Improvement at Tohoku Electric Power Company.

### (1) Continuous Safety-II-based Practical Initiatives

\*高橋 信<sup>1</sup>, 倉兼 卓己<sup>2</sup>, 北村 正晴<sup>3</sup>

<sup>1</sup>東北大学, <sup>2</sup>東北電力, <sup>3</sup>テムス研究所

東北大学と東北電力が Safety-II の概念に基づき継続的に行ってきた原子力発電所における自主的安全性向上の取り組みについて、実践的な取り組みを中心に報告する。

**キーワード** : Safety-II、安全性向上、レジリエンス、対話、気づき

### 1. 緒言

東北大学と東北電力は原子力発電所における自主的安全性向上活動の一環として、Safety-II の概念に基づく実践的な取り組みを継続的に行ってきた。初期の段階では人間の安全へのポジティブな寄与に着目し、グッドプラクティスを共有することの重要性に重点を置く Safety-II の概念を社内へ広めることに重点を置いた活動を行った。その後、発電所で安全性を担う中核的な社員との対話を実施して、Safety-II に基づく安全性向上に関しての理解を深める取り組みへと発展させてきた。本報告ではこの対話の内容を中心に継続的に実施してきた内容について述べる。

### 2. 取り組みの内容

本取り組みでは、発電所における安全の中核を担う各分野の中間管理職を対象にして、レジリエンスエンジニアリングにおける対処・監視方策の改善に結びつく学習に基づく潜在的リスク事象の想起能力の向上を目的とした対話を実施し、対話の前後における想起の広がりや評価することで、安全文化の根幹となる組織の事故・災害対応レジリエンス向上の可能性を検討した。対話においては、実施の前に事前送付資料を送り本対話の趣旨を説明し、思考実験的に事前に次のような設問への回答を依頼した。

「現在備わっている対処能力では対処困難な起回事象としては、どんな事象が想定できるでしょうか。そしてその後どのような拡大シナリオが起きそうですか。」

実際の対話は各部門の実務担当者6名が参加して、東北電力女川原子力発電所会議室と東北大学をリモートで繋いで実施した。受領した事前質問への答えの内容に関しては、対話の実施の前に取りまとめを行い、対話当日に内容に関して記入者から補足説明を受け、対話がスムーズに進むように配慮した。事前レポートにおける回答内容は、今回の対話で焦点を当てている事例の汎化に基づく潜在的気づき能力の向上に関しては、まだ理解が十分でない状況で考えた内容という位置付けになる。実際の対話において本取り組みの趣旨を詳しく説明し議論を通じて理解を深め、その上で同様の潜在的リスク事象の想起の課題に再度取り組んだ上で、その前後での気づき内容の変化について分析を行った。結果として各参加者が本取り組みの意義をよく理解した上で、起回事象とその影響の波及可能性、ならびに対処、監視方策に関して、発想を広げていることが確認できた。全参加者が必ずしも発想が大きく広がっているわけではないが、大部分の参加者には明らかにその傾向が観察されており、本対話の有効性が示されたと考える。更に、対話後のアンケートにおいても、業務内におけるリスク想定に関して有効性を認められるとの前向きな意見があった。

### 3. 結論

本取り組みにおいては、レジリエンスエンジニアリングが主張する基本的な概念を事前に資料として提示した上で、自分が所掌する業務におけるリスク、懸念事象を、他の産業分野の事例から広く想起することを要請した。想定された起回事象に対してどのような未然防止対策が必要か、拡大シナリオに対してどんな緩和方策がありうるかの検討を通じて、基本的な対話の有効性を示すことができた。

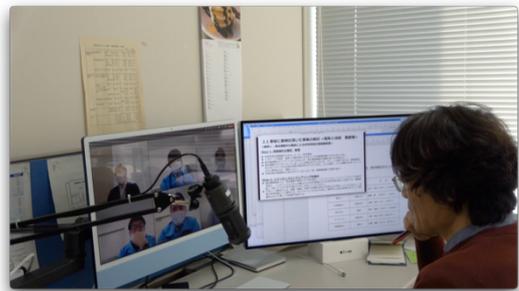


Fig.1 対話実施風景

\* Makoto Takahashi<sup>1</sup>, Takumi kurakane,<sup>2</sup> and Masaharu Kitamura<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Tohoku Univ., <sup>2</sup>Tohoku-EPCO, <sup>3</sup>Research Institute for Technology Management Strategy

## 東北電力における自主的安全性向上に向けた Safety-II ベースの実践的取り組み (2) 東通原子力発電所における取り組み事例

Practical Safety-II-based Initiatives for Voluntary Safety Improvement at Tohoku Electric Power Company.

### (2) Examples of Initiatives at the Higashidori NPP

\*松宮 史直<sup>1</sup>, 木村 康宏<sup>1</sup>, 倉兼 卓己<sup>1</sup>, 高橋 信<sup>2</sup>, 北村 正晴<sup>3</sup>

<sup>1</sup>東北電力, <sup>2</sup>東北大学, <sup>3</sup>テムス研究所

東北大学と東北電力が連携して行ってきた Safety-II の概念に基づく実践的な取り組みの一環として昨年度、東通原子力発電所にて行った取り組みの内容に関して報告する。

**キーワード : Safety-II、安全性向上、レジリエンス、良好事例**

### 1. 緒言

東北電力では、2010 年度より不適合管理を補完し、更なる安全意識向上を図ることを目的として良好事例報告システム PROGRESS を活用して、良好事例の収集とそこからの教訓の抽出に取り組んでいる。

2023 年度は、東北大学の研究者が東通発電所を訪れ、PROGRESS 情報を活用し、Safety-II の観点より、所員、構内協力会社への講演、中核的な社員との対話を実施し、Safety-II の概念に基づく取り組みを進めている。本報告では令和 5 年度に実施した取り組みの内容について述べる。

### 2. 東通原子力発電所での取り組み

#### 2-1. PROGRESS

2010 年度より、不適合管理を補完し更なる安全意識向上を図ることを目的として、社内報告システム PROGRESS を活用し、組織に所属する全員が、現場での小さなレベルの異状等の「気づき」や「改善」等をシステムに登録し、組織全体で共有するとともに、良好事例を褒め、良い取り組みを増やしていくことに取り組んでいる。

#### 2-2. 啓発活動

2023 年度は、Safety-II の活動の理解と推進を図るために、東北大学の研究者が東通原子力発電所を訪れ、PROGRESS の良好事例のうち、Safety-II の観点から優れた気づきと評価できる事例を取り入れた講演を所員および構内協力会社に対し実施した。さらに、中核的な社員に対して、PROGRESS の事例をベースにして前報と同様の対話を実施し、自分の所掌業務への展開の可能性に関して検討・評価を行った。

#### 2-3. 成功した活動の確認

Safety-II 講演会以降、東通原子力発電所内にて、日々の活動の中で、成功した活動、作業等をピックアップし、関係者への聞き取りまたは良好事例に関する議論を行い、工夫、心掛けたこと、良かったことなど良好な結果へ繋がった行動を確認しまとめ、発電所内で共有する取り組みをおこなっている。

### 3. 結論

東通原子力発電所では、以前より PROGRESS を使い、良好事例の収集と共有を実施してきたが、更に Safety-II の概念を取り入れて、良好事例を「我が事」化して学習し、良好事例をさらに増やしていくことを通じて更なる安全向上を目指している。

---

\*Fuminao Matsumiya<sup>1</sup>, Yasuhiro Kimura<sup>1</sup>, Takumi kurakane<sup>1</sup>, Makoto Takahashi<sup>2</sup> and Masaharu Kitamura<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Tohoku-EPCO, <sup>2</sup>Tohoku Univ., <sup>3</sup>Research Institute for Technology Management Strategy

# 原子力発電所運用におけるレジリエンス・ポテンシャルの強化 (3) 学習するポテンシャル強化方策の拡充

Enhancement of Resilience Potentials for Operation of Nuclear Power Plants

(3) Extended Enhancement of Potential to Learn

\*作田 博<sup>1</sup>, 高橋 信<sup>2</sup>, 北村 正晴<sup>3</sup>

<sup>1</sup>INSS, <sup>2</sup>東北大学, <sup>3</sup>テムス研究所

原子力発電所の運用に関わるレジリエンス向上を図るために Safety-II ベース安全探求方法論応用の一環として、学習するポテンシャルの強化方策に関する調査と考察を継続し、より効果的な方策を策定した。

**キーワード** : Safety-II, レジリエンスエンジニアリング, 学習するポテンシャル, 弱い信号, 学習の枠組み

## 1. 緒言

安全性の向上が最重視されている原子力発電所においては、対処するポテンシャルと監視するポテンシャルはある程度高いレベルに達している。それらをさらに向上させるためには、学習するポテンシャルを強化する効果的な方策が望まれる。前報告<sup>1)</sup>では、弱い信号概念に注目して、それに基づく学習ポテンシャルの向上方策を提案した。本研究では、より体系的な視点から学習対象とすべき知見の整理を試みる。

## 2. 学習の枠組み拡充

Safety-II ベース安全向上の立場からは、「うまく行ったこと：成功」から学習することが中心課題となる。一方、従来の Safety-I ベース安全向上の立場においては、「うまく行かなかったこと：失敗」から学習することが中心課題とされてきた。しかし現実には、成功と失敗という二分法は必ずしも現実を反映しないことに注意したい。それゆえ、成功と失敗にこだわることなく、学ぶ価値のある教訓は全ての事例から学ぶという方針を改良学習方策として採用する<sup>2)</sup>。さらに、前報で導入した「弱い信号」に着目し、その内容を汎化した上で自社原子力発電所に適用する方式を併用することとした。この拡充学習方式の導入により、自社や同業他社の経験だけでなく他産業の経験からも学べる可能性が得られ、学習の機会は格段に増大することが期待される。

## 3. 応用

上に述べた手法を、他産業で経験されている事例に適用して教訓を導出した。次いで、その教訓を実際に国内の原子力発電所で経験されたトラブル事例の進捗シナリオに適用し、当該事例の防止または影響緩和に効果的に活用できることを確認している。

## 4. 結言

提案する学習ポテンシャル強化方策の基本的有用性は確認できたと考える。ただ事故・トラブル事例の報告システムは広い分野で導入されているが、良好実践の報告・共有システムは限られた分野だけで導入されている。今後、この範囲の拡大とそこからの教訓導出、異分野協働が進展することを期待する。

## 参考文献

[1] 作田、北村、原子力発電所運用におけるレジリエンス・ポテンシャルの強化 (2)学習するポテンシャルの強化, AESJ2023 秋の大会講演、1M02, 2023

[2] 北村、良好実践ベース安全の探求、安全工学、Vol.62, No.6, pp.411-418, 2023

\*Hiroshi Sakuda<sup>1</sup>, Makoto Takahashi<sup>2</sup>, Masaharu Kitamura<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Institute of Nuclear Safety System (INSS), <sup>2</sup> Tohoku University, <sup>3</sup> Research Institute for Technology Management Strategy

# 原子力発電所運用におけるレジリエンス・ポテンシャルの強化

## (4) 予見するポテンシャルの強化

Enhancement of Resilience Potentials for Operation of Nuclear Power Plants

### (4) Enhancement of Potential to Anticipate

\*北村 正晴<sup>1</sup>, 高橋 信<sup>2</sup>, 作田 博<sup>3</sup>

<sup>1</sup>テムス研究所, <sup>2</sup>東北大学, <sup>3</sup>INSS

原子力発電所の運用に関わるレジリエンス向上を図るために Safety-II ベース安全探求方法論応用の一環として、予見するポテンシャルの強化方策に関する調査と考察を実施し、効果的な方策を策定した。

**キーワード** : Safety-II, レジリエンスエンジニアリング, 予見するポテンシャル, 弱い信号, 認知バイアス

### 1. 緒言

原子力発電所の安全性を継続的に向上させるためには、学習するポテンシャルに加えて予見するポテンシャルも強化することが望ましい。原子力産業においても、他産業の多くにおいても、予見するポテンシャルの向上に関してアクティブな活動がなされている例は多くないが、VUCA の時代とも形容される現代において、予見の役割は無視できないと考えるべきである。本報告では、学習からの知見を汎化した学習ベースの予見方策を基本とする予見ポテンシャル向上方策について検討する

### 2. 予見の枠組み

Safety-II の枠組みでは、予見するポテンシャルも重要とされるが、この枠組みの提唱者 E. Hollnagel は、予見するポテンシャルは最も未開発で、最も重要視されていないと指摘している<sup>1)</sup>。そしてこのポテンシャルに関して最も重要な要件は、未来について時間や労力を割いて考える必要性を受容する組織（企業）のビジョンの存在だとも指摘している<sup>1)</sup>。ただ本報告では、原子力発電所の安全に関する課題に視野を限定して予見するポテンシャルの強化方策を検討する。強化方策を策定する指針の一つとして、重要情報が提示されながら予見に失敗する事例の背景要因が視点の多様性欠如であるとの指摘<sup>2)</sup>は貴重な示唆を含んでおり、その意味で他産業における経験的知見を原子力に「我が事化」する視点は重要と考える。

### 3. 予見機能の実装

学習するポテンシャルに関して導入した他産業で経験され、かつ過小評価された「弱い信号」の内容を汎化して原子力発電所に適用する方式は、多様な産業分野における固有の認知・行動様式を異分野から追跡体験できるという意味で、多様性の維持に相当する効果を持つ。また正常性バイアスなど認知バイアスの回避にも貢献できる。原子力以外の分野で経験された事例を対象としてこの方式の適用を試み、原子力分野における予見するポテンシャルの強化方策としての有効性を確認した。

### 4. 結言

予見するポテンシャルの強化に関して、弱い信号の汎化を活用する方策の実用性を確認できた。

### 参考文献

[1] Hollnagel, E., Safety-II in Practice, 2018; 北村/小松原(監訳), Safety-II の実践, 海文堂, 2019

[2] Syed, M., Concerning: Rebel Ideas, Hodder and Stoughton Ltd., London, 2019

\*Masaharu Kitamura<sup>1</sup>, Makoto Takahashi<sup>2</sup>, Hiroshi Sakuda<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Research Institute for Technology Management Strategy, <sup>2</sup>Tohoku University, <sup>3</sup>Institute of Nuclear Safety System (INSS)

# 非正常時対応における学習するポテンシャルの寄与に関する研究

## Study on Potential to Learn Concerning Responses to Off-Normal Events

\*堀内 友翔<sup>1</sup>, 北村 正晴<sup>2</sup>, 高橋 信<sup>1</sup>

<sup>1</sup>東北大学, <sup>2</sup>テムス研究所

本研究では、原子力発電所の運転における人間の非正常時対応行為に着目し、これらの行為の駆動源や学習するポテンシャルとの関連について分析することで、Safety-IIの観点での教訓反映の重要性を明確化した。

**キーワード:** 事例分析, ヒューマンファクターズ, Safety-II, 学習するポテンシャル

### 1. 緒言

原子力発電所を含む社会技術システムの安全を「できるだけ多くのことが正しい方向へ向かうこと」と捉える考え方 (Safety-II) が注目されており[1][2], 安全にはレジリエンスポテンシャル (監視する, 予見する, 対処する, 学習する) が重要であるとされている。トラブルなどの非正常時には、運転員らは学習した内容に基づいて監視・予見・対処していると考えられる。本研究では事例を用いて原子力発電所の運転における学習するポテンシャルの寄与について整理し、Safety-IIの観点からの効果的な学習方策を検討した。

### 2. 手法

事例として関西電力株式会社美浜発電所 2 号炉で発生した蒸気発生器伝熱管破損事故を選定した。同社による報告書[3]から非正常時対応行為を体系的に抽出し、警報やプラント計算機からの発信を駆動源とする「①プラント駆動の行為」、手順書を駆動源とする「②手順書駆動の行為」、その他個人や組織が有する知識を駆動源とする「③知識駆動の行為」に分類することを通じて、学習するポテンシャルとの関連を分析した。

### 3. 結果

①プラント駆動の行為は 10 個該当した。学習するポテンシャルは設備の設置・改造に寄与すると考えられる。②手順書駆動の行為は 56 個該当した。同ポテンシャルは手順書の作成・改訂に寄与すると考えられる。③知識駆動の行為は 31 個該当した。本事象において③の行為には、手順書導入前の初動対応の行為、手順書の内容を理解して手順を応用 (先行, 省略等) する行為、手順を再確認する行為、想定を超えた非正常に対応する行為があった。同ポテンシャルはこれら非正常時対応行為の実行に直接寄与すると考えられる。

### 4. 結論

設備や手順書の改善のような再発防止対策は、ある③知識駆動の行為を①プラント駆動又は②手順書駆動の行為にするもので、「WAI (Work-as-imagined) の高度化」であると整理できる。一方、全ての事象を事前に想定できないため、非正常時に③知識駆動の行為を行えるようにする「WAI ≠ WAD (Work-as-done) 時のレジリエンス向上」も重要であると考えられる。新規制基準適合及び事業者自主の安全性向上により WAI は高度化されていると考えられるが、WAI ≠ WAD 時のレジリエンス向上には、日常業務やトラブル対応、技術伝承、事例分析などを通じた Safety-II の観点でのポジティブな教訓反映が重要であると考えられる。

### 参考文献

[1] E. Hollnagel, "Safety-I and Safety-II The Past and Future of Safety Management," Ashgate (2014).

[2] E. Hollnagel, "Safety-II in Practice Developing the Resilience Potentials," Routledge (2017).

[3] 関西電力株式会社, "原子炉施設故障等報告書 美浜発電所 2 号機蒸気発生器伝熱管損傷事象について" (1991).

\*Yuto Horiuchi<sup>1</sup>, Masaharu Kitamura<sup>2</sup> and Makoto Takahashi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Tohoku Univ., <sup>2</sup>Research Institute for Technology Management Strategy