軽水炉保全最適化のための統合型シミュレータ Dr. Mainte による ヒューマンエラーの影響とその低減効果の検討 2

Effects of Human Error and its Reduction Analyzed by Dr. Mainte, Integrated Simulator of Maintenance Optimization of LWRs 2

原子燃料工業株式会社	礒部　仁博	Yoshihiro ISOBE	Member
原子燃料工業株式会社	匂坂　充行	Mitsuyuki SAGISAKA	Member
原子燃料工業株式会社	小川　良太	Ryota OGAWA	Member
原子燃料工業株式会社	松永　嵩	Takashi Matsunaga	Member
株式会社アトリー	高坂　徹	Toru Kosaka	
株式会社アトリー	松本　聡司	Satoshi Matsumoto	
東京大学	吉村　忍	Shinobu YOSHIMURA	

Dr. Mainte, an integrated simulator for maintenance optimization of LWRs (Light Water Reactors) has been developed based on PFM (Probabilistic Fracture Mechanics) analyses in terms of safety, availability and economic efficiency, environmental impact and social acceptance. For the further improvement of maintenance activities, the importance of reducing human errors is often pointed out. Human errors are well recognized to be affected by mental stress conditions. Due to the amendment of Industrial Safety and Health Law by MHLW (Ministry of Health, Labour and Welfare), it is required to conduct stress check surveys every year for companies with more than 50 employees every year. Here an approach of reducing human errors has been studied using Dr. Mainte through the stress check surveys.

Keywords: Dr. Mainte, maintenance activities, human error, stress check

1. はじめに

著者らは軽水炉の主要機器・配管等を対象として、各種保全戦略（検査頻度、検査精度、抜取検査率、修理／取替の選択、維持規格の適用、長期サイクル運転等）が、①安全性、②信頼性、③経済合理性、④環境性、⑤社会的受容性に及ぼす影響を定量評価し、それら多角的な視点から保全戦略を総合的に最適化するための PFM(確率論的破壊力学)に基づく軽水炉保全最適化のための統合型シミュレータ **Dr. Mainte** を開発してきた（**Fig. 1**）[1-3]。

一方で、軽水炉保全作業のさらなる信頼性向上には、ヒューマンエラー低減の重要性が指摘されている。そのため、軽水炉配管を対象とした PFM 解析ベースの保全最適化評価において、ヒューマンエラーの影響とその低減効果について検討してきた。具体的にはヒューマンエラーとして「検査時のき裂深さに依存しないき裂の見逃し」、「検査によって検出されたき裂の修理失敗」、「検査 skip」を仮定して、BWR 再循環系配管を対象に配管漏洩／破断確率、経済的／社会的コストへの影響評価を行った[4]。

ヒューマンエラーはストレスにも強く影響を受けるが、労働安全衛生法の改正により労働者が 50 人以上の事業所では 2015 年 12 月から毎年 1 回、全ての労働者に対してストレスチェックを実施することが義務付けられた[5]。そこで軽水炉保全最適化のための統合型シミュレータ **Dr. Mainte** を用いて、ストレスチェック制度を活用したヒューマンエラー低減方策について検討した。

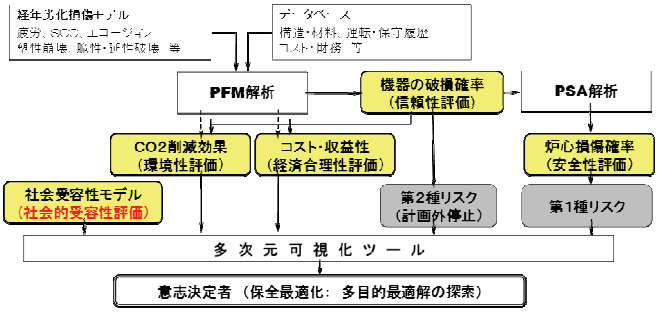

Fig. 1　Maintenance optimization by Dr. Mainte [3].

連絡先: 礒部 仁博　〒590-0451 大阪府泉南郡熊取町朝代西 1-950　原子燃料工業株式会社
E-mail: isobe@nfi.co.jp

2. ストレスチェック制度

ストレスチェックとはストレスに関する質問票（選択回答）に労働者が記入し、それを集計・分析することで、自分のストレスがどのような状態にあるのかを調べる簡単な検査である。質問票には職業性ストレス簡易調査票を用いることを厚労省は推奨している[6]。ストレスチェック制度の概要と用いられるアンケートの例を **Fig. 2** に示す。

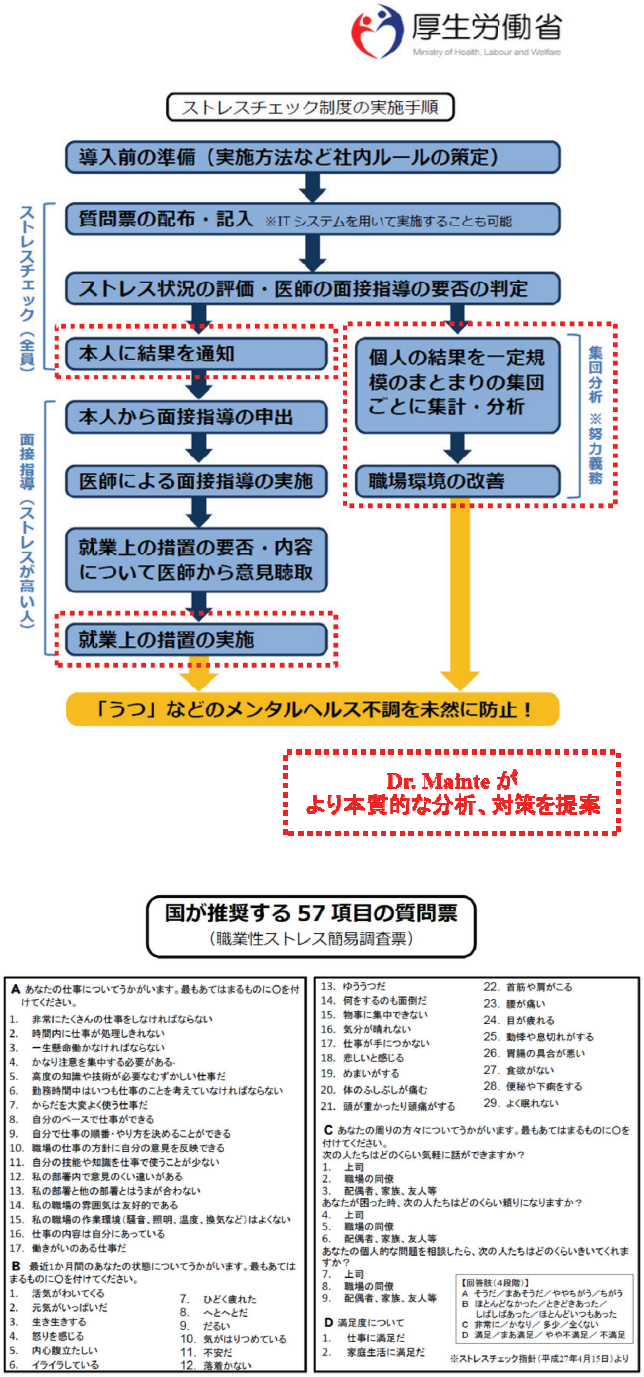

Fig. 2 Stress-check surveys and an example of questionnaire required in the amendment of Industrial Safety and Health Law by MHLW.

3. Dr. Mainte の適用

3.1 Dr. Mainte の機能

通常の「ストレスチェック」は分析結果に基づき、個人、会社として必要な対処を行うが、**Dr. Mainte** は必要に応じて質問票に新たな質問を追加して、**Dr. Mainte** の機能である「多次元可視化」（**Fig. 3**）と「ニューラルネットワーク」（**Fig. 4**）を用いて、労働者のメンタルヘルス改善に止まらず、労働者の「モチベーション向上」、「満足度向上」のための方策とその効果の定量的予測についてシミュレーションする。結果としてヒューマンエラー低減に寄与する。 **Dr. Mainte** の「多次元可視化」と「ニューラルネットワーク」機能を用い、ストレスチェック制度を活用したヒューマンエラー低減に向けて、より本質的な分析、対策が提案可能と想定されるのは、**Fig. 2** の点線で囲んだ項目である。

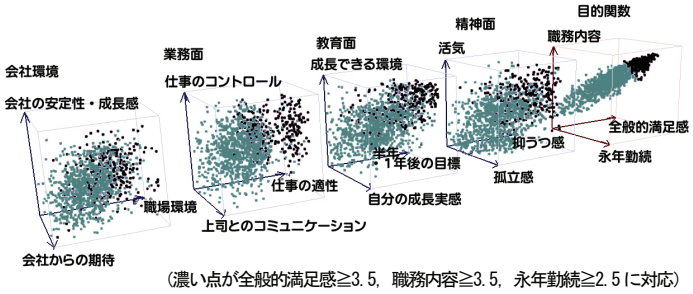

Fig. 3 Multi-dimensional visualization of questionnaire results.

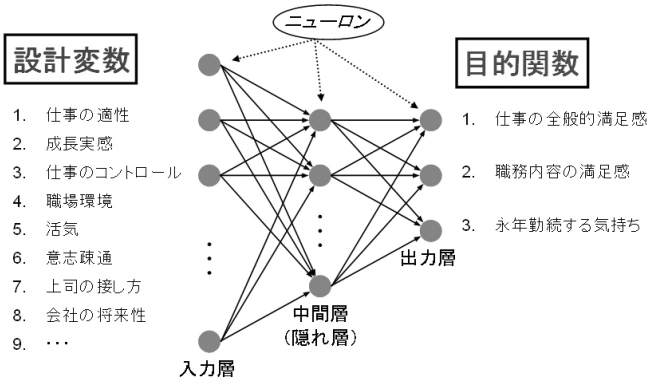

Fig. 4 Learning questionnaire results by neural network.

3.2 ヒューマンエラー低減のアプローチ

ストレスチェック制度のアンケートによるヒューマンエラー低減方策のアプローチの例は以下の通りである。

Step ①：作業者の満足内容（『目的関数』）と、それを左右すると考えられる作業環境（『設計変数』）を設問に含

むアンケート調査（５段階評価）を実施。(『職業性ストレス簡易調査』 に追加アンケート項目として含める)

Step ②:「ニューラルネットワーク」を応用した非線形解析によって、『設計変数』と『目的関数』の因果関係を定量分析。

Step ③:「多次元可視化」により、『設計変数』と『目的関数』の因果関係を視覚的に俯瞰しながら、インタラクティヴな操作で作業環境の最適化について検討。

Step ④: さらに、『設計変数』と『目的関数』の因果関係を学習した「学習済ニューラルネットワーク」により、作業環境の改善効果（『設計変数』の改善による『目的関数』への影響）を定量予測。

3.3 Dr. Mainte の適用例

調査では，首都圏に立地する IT 企業の役員を除く全従業員を対象とし, 660 名から回答を得た. 回答率は 78.5%, その内訳は男性 550 名(83.3%)，女性 110 名(16.7%)で，平均年齢は 33.4 歳である.

アンケートは、モチベーションに着目した実態調査を目的とし，質問項目は仕事のやり方や評価，人間関係，職場の環境，健康状態や職務の満足度等について多角的視点に及ぶ。内容は標準的に用いられる職業性ストレス簡易調査票及び簡易職務満足度チェックリストに加え，今回新たに設計した独自アンケート 15 質問項目の 3 種類から構成されている.

Fig. 3 では多次元可視化空間において、永年勤続≧2.5、職務内容≧3.5、全般的満足≧3.5 となる点を濃い色で表示させ、対応する設計変数も同様に変化させた。設定範囲を変化させ、対話的・視覚的に比較することにより、設計変数をどの様に変化させれば目的関数がどの様に向上するかを考察する。多次元空間上で提示される多様な方策の中から、実現の可能性が高い方策を選択すればよい。更に、ニューラルネットワークで学習済みの **Dr. Mainte** に設計変数を向上させたデータを入力し、方策の効果を確認することも可能である。

Fig. 5 では多次元可視化空間において、目的関数である「永年勤続する気持ち」、「職務内容の満足度」、「仕事の全般的満足感」が高い点の回答が、設計変数である「会社の安定性・成長感」、「仕事の適正」、「成長できる環境」も高い点であることに着目し、これらの設計変数を 20%

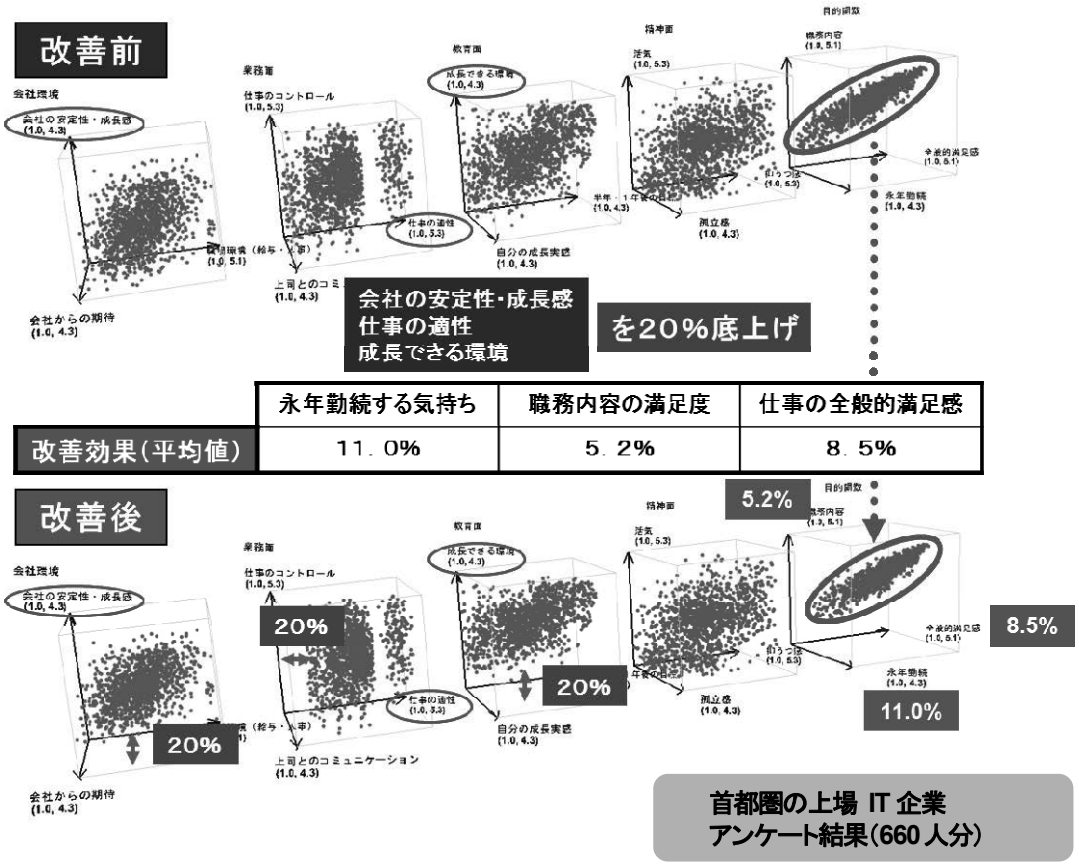

Fig. 5 An example regarding the prediction of the effect of changing the designing parameters on the objective functions both contained in the questionnaire by Dr. Mainte..

向上させた場合、アンケート回答者全体として目的関数にどの程度影響するかを予測するシミュレーションを行った。その結果、「永年勤続する気持ち」は 11.0%、「職務内容の満足度」は 5.2%、「仕事の全般的満足感」は 8.5% 向上する予測結果が得られた。

以上のように、ストレスチェック制度のアンケートに必要に応じて質問項目を追加して、**Dr. Mainte** を用いてより本質的な分析、対策が提案可能となり、結果としてストレスに強く影響を受けるヒューマンエラーの低減に寄与することが期待される。

4. まとめ

Dr. Mainte の機能である「多次元可視化」と「ニューラルネットワーク」を用いて、ストレスチェックのアンケート調査と結果の分析により、ストレスの要因、環境の改善効果を定量的に予測する手法を確立した。

また、実際に職業性ストレス簡易調査票をベースに、首都圏の上場 IT 企業で実施したアンケート調査結果（660 人分）を **Dr. Mainte** でシミュレーションした。

参考文献

[1] 匂坂充行, 礒部仁博, 吉村 忍, 矢川元基, "確率論的破壊力学に基づく蒸気発生器伝熱管メンテナンス戦略の定量評価, " 日本原子力学会誌, 42[12], 1325-1333 (2000).

[2] 匂坂充行, 礒部仁博, 吉村 忍, 矢川元基, "確率論的破壊力学と財務的手法を用いた SG 伝熱管メンテナンス戦略の経済性評価," 日本原子力学会和文論文誌, 3[2], 151-164 (2004).

[3] 吉村 忍, 古田一雄, 礒部仁博, 匂坂充行, 野田満靖, 秋葉博, "軽水炉保全最適化のための総合型シミュレータ Dr. Mainte の開発," 日本原子力学会和文論文誌, 9[2], 125-138 (2010).

[4] 礒部仁博, 匂坂充行, 小川良太, 松永嵩, 高坂徹, 松本聡司, 吉村 忍, "軽水炉保全最適化のための統合型シミュレータ Dr. Mainte によるヒューマンエラーの影響とその低減効果の検討," 日本保全学会第 12 回学術講演会要旨集, pp.9-12, (2015) 日立シビックセンター.

[5] "厚労省ストレスチェック制度導入マニュアル," http://www.mhlw.go.jp/bunya/roudoukijun/anzeneisei12/pdf/150709-1.pdf.

[6] "厚労省職業性ストレス簡易調査票," http://www.mhlw.go.jp/bunya/roudoukijun/anzeneisei12/dl/150803-1.doc