

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	原子炉再循環系配管の保全優先度評価手法とリスク・コミュニケーション手法の開発に関する研究
Title(English)	
著者(和文)	小嶋正義
Author(English)	Masayoshi Kojima
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11514号, 授与年月日:2020年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:木倉 宏成,小林 能直,赤塚 洋,相樂 洋,筒井 広明
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11514号, Conferred date:2020/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

# 論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	機械 原子核工学	系 コース	申請学位 (専攻分野)： 博士 Academic Degree Requested Doctor of	( 工学 )
学生氏名： Student's Name	小嶋 正義		指導教員 (主)： Academic Supervisor(main)	木倉 宏成
			指導教員 (副)： Academic Supervisor(sub)	

## 要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx. 2000 Japanese Characters )

本論文は「原子炉再循環系配管の保全優先度評価手法とリスク・コミュニケーション手法の開発に関する研究」と題し、全 5 章より構成した。本論文の各章における要旨を以下に示す。

第 1 章「緒言」では、近年、原子力規制機関への報告の多い事象のなかで、特に、沸騰水型軽水炉の圧力バウンダリを構成する原子炉再循環系配管溶接部に発生する応力腐食割れの発生原因及び保全対策の変遷について概観した上で、同事象に伴う配管破損を回避するためには、リスク情報を活用して保全対策を決定することが重要であることを指摘した。また、その決定の過程を可視化してステークホルダー間でリスク・コミュニケーションすることが重要であることを指摘した。これらを踏まえ、配管破損リスクの低減に資するために、複数の候補からなる保全対策に対する優先順位を定量的に示して評価する手法及び定量化の過程で得られるリスク指標を可視化して優先順位を視覚的に評価する手法を開発するという本研究の意義と目的を述べた。

第 2 章「超音波探傷試験員の力量を考慮した原子炉再循環系配管の破損リスクの評価」では、原子炉再循環系配管の応力腐食割れに対する保全対策の優先順位を評価するためには、力量が異なる超音波探傷試験員による応力腐食割れの欠陥検出確率が配管破損確率 (運転期間中に配管が破損する確率) に及ぼす影響を評価する必要があること示した上で、有資格者と無資格者による実験データを基に、それぞれの力量を複数の回帰関数式でモデル化した。また、配管破損確率を算出するために、破壊力学理論にモンテカルロ法を組み合わせた確率論的破壊力学の解析コードを開発した。そして、モデル化した回帰関数式における回帰係数の中央値及び 95% 上下信頼区間による条件並びに超音波探傷試験の検査間隔を変化させた条件で配管破損確率を求める解析を実施した。その結果、確率論的破壊力学の解析結果を用いて保全対策の優先順位を定量的に評価するための信頼性の高い欠陥検出確率モデルを明らかにした。さらに、検査間隔が短くなるに従い配管破損確率が力量に依存することを示し、また、検査間隔が長くなるに従って力量によらず配管破損確率が有資格者と無資格者で同等となるリスクを明らかにした。

第 3 章「原子炉再循環系配管の保守管理における保全優先度の評価手法の開発」では、まず、配管破損の回避と保全対策を関連付けるために、肉盛溶接工法による補修が可能な応力腐食割れの深さの目標基準を超えた場合を故障モードに設定し、その発生頻度、影響度及び検出性の 3 指標を評点で示すリスク指標として定義した。次に、確率論的破壊力学で算出される累積確率を用いて 3 指標の評点を指数方程式により機械的かつ定量的に決定する方法を構築した。また、発生頻度及び影響度から得られる配管破損の潜在的リスクと、3 指標から得られる保全対策の優先順位を定量的に示して評価する手法 (保全優先度評価手法) を開発した。その際、故障モード・影響解析と呼ばれる品質管理手法の考えを利用した。最後に、超音波探傷試験員の力量、検査間隔、応力腐食割れ発生後の運転期間、配管材質及び配管呼び径を変化させた解析条件で 3 指標の評点を解析し、配管破損の潜在的リスク及び保全対策の優先順位を散布図で示して分析した。その結果、潜在的リスクが高い配管材質や配管呼び径であっても、超音波探傷試験員の力量や検査間隔の条件によって優先順位の改善が見込めること示すことで、保全優先度評価手法が配管破損リスクの低減に有用な手段となることを明らかにした。

第 4 章「原子炉再循環系配管の保守管理におけるリスク・コミュニケーション手法の開発」では、3 指標の可視化によって保全対策の優先順位を視覚的に評価する手法を開発するために、複数のグラフツールを分析して視覚的評価の適切性を考察した上で、レーダーチャートを使用し 3 頂点の位置と面積によって保全対策の優先順位を評価する手法がリスク評価において最適であることを示した。そして、第 3 章の解析結果をレーダーチャートで描画し、第 3 章で作成した散布図との比較を行った。その結果、レーダーチャートによるリスクの可視化は 3 指標及び優先順位の視覚的かつ俯瞰的な評価が可能で、複数の解析条件から得られた結果を短時間で読み解くための特別なスキルを要さないことを利点として示した。さらに、保全対策によるリスク低減と安全性向上との関係を数式化することで安全性に関する新たな 3 指標を定義した上で、安全性評価には面グラフによる可視化手法が最適であることを示した。そして、第 3 章と同条件で解析し、面グラフによる描画は配管破損の潜在的リスクと保全対策の優先順位を同時に分析できることを利点として示した。これらの利点から、本章で開発したリスクをレーダーチャートで可視化する手法と安全性を面グラフで可視化する手法 (リスク・コミュニケーション手法) が、原子炉再循環系配管の保全対策において許容不可能なリスクのない状態に近づけるためのステークホルダー間によるリスク・コミュニケーションにおいて有用な手段となることを明らかにした。

第 5 章「結言」では、各章で得られた成果を要約するとともに、開発した手法の運用定着と幅広い分野への活用に向けた今後の展望を示し、本論文の総括とした。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

(博士課程)  
Doctoral Program

## 論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： 機械 系  
Department of, Graduate major in 原子核工学 コース  
学生氏名： 小嶋 正義  
Student's Name

申請学位(専攻分野)： 博士 (工学)  
Academic Degree Requested Doctor of  
指導教員(主)： 木倉 宏成  
Academic Supervisor(main)  
指導教員(副)：  
Academic Supervisor(sub)

要旨(英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx. 300 English Words)

Stakeholders of nuclear power plant are aiming to strengthen risk communication through visualization of safety improvements of their equipments. The nuclear regulation authority incorporates risk-informed and performance-based ideas into their regulatory inspections. In this paper, an advanced failure mode effect analysis method was developed that evaluates the priority of maintenance management for the risk of equipment reparability by combining failure mode effect analysis and probabilistic fracture mechanics in order to contribute to improving the safety of nuclear power plant equipments. An trial analysis was performed for a failure mode of stress corrosion cracking in primary loop recirculation piping welds which was frequently reported to regulatory authority in Japan. The conditions of ultrasonic testing examiners capability, piping material, piping nominal diameter, operation period after stress corrosion cracking occurrence, and inspection interval were changed in the analysis. The effectiveness and usefulness of the advanced failure mode effect analysis method was demonstrated in the trial analysis. The evaluation results shown that the maintenance risk can be reduced by improving the capability of ultrasonic testing examiners and the inspection interval even when the potential risks related to piping reparability are high. Moreover, an evaluation method based on visualization of safety and risk of equipments was developed in order to promote risk communication among stakeholders. It was shown that an area graph for safety and a radar chart for risk are the best visualization method. The results of the developed visualization method were compared with the results of the advanced failure mode effect analysis method. In conclusion, the developed visualization method enabled evaluation based on a comprehensive observation of safety and risk. In addition, it was clarified that the newly developed visualization method facilitates risk communication for improving safety and reducing risk of equipments.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note: Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).