

論文の内容の要旨

論文題目 蒸気発生器伝熱管の信頼性向上に関する研究

氏名 高松 洋

本論文は加圧水型原子力発電所(PWR)の蒸気発生器伝熱管の信頼性向上を目的として、伝熱管材料であるインコネル600の過去の損傷経験を踏まえた材料面、環境面からの腐食防止対策、伝熱管検査技術の向上及び種々の改善策が織り込まれた改良型SGへの取り替え方策を検討したものである。本論文の構成は、以下に記される通りである。

第1章では緒論として我が国の原子力発電の必要性及び原子力プラントの利用率向上にはSGの信頼性確保が大きい役割を担っていることを示した。更に過去のSG損傷経験から主要損傷である伝熱管二次側損傷対策の実施状況について述べた後本研究の特徴と構成について述べた。

第2章では高温アルカリ環境条件下でのインコネル600材のIGA発生要因の評価結果を表-1に示す。

	Alloy 600 MA	Alloy 600 FS	Alloy 600 TT
アルカリ環境	粒界への不純物偏析 →IGA発生しやすい  粒界Cr炭化物の析出がほとんどない →粒界にCr保護皮膜が形成されない →IGA発生しやすい 粒界での新生面の形成 →IGA発生しやすい	Cr炭化物中への不純物の取込み →粒界の浄化 →IGA発生しにくい 粒界Cr炭化物の溶解 →保護皮膜の形成 →IGA発生しにくい  粒界での新生面の形成 →IGA発生しやすい	Cr炭化物中への不純物の取込み →粒界の浄化 →IGA発生しにくい 粒界Cr炭化物の溶解 →保護皮膜の形成 →IGA発生しにくい  粒界での新生面が形成されにくい →IGA発生しにくい
IGA感受性	大	中	小

表-1 高温アルカリ中のインコネル600のIGA発生要因の評価

高温アルカリ環境下では600MA>600FS>600TTの順にIGA感受性が低下していることを明らかにし、またインコネル600材を使用している実機伝熱管から損傷管及び健全管(損傷の発生していない)を抜管し粒界特性を評価し、IGAはアルカリ環境下で発生し、水質の改善後もほぼ中性環境下で進展していたものと評価された。

インコネル600材の耐食性向上には特殊熱処理を加えてCr欠乏層を生成せずに粒界にCr炭化物を多く析出させたインコネル600TT材が最も良いことを明らかにした。

第3章では損傷発生箇所である管支持板クビス部等は非常に狭隘でアクセスが難しく実機SGのクビス環境を直接測定することが出来ないため、従来からプラント停止時のハイドアウトタンク現象を利用してSG器内水中に拡散排出されてくる不純物濃度を測定して、排出される不

純物は全てクレビス部からのもの及びクレビス部ではSG器内水濃度の $10^6$ 倍濃縮するとの仮定のもとでクレビス環境(pH)を評価していたが、近年水質改善が進んだこと及びBEC穴管支持板採用等設計改善の進んだSGではハイドアウトリターン量が少なく上記仮定が必ずしも適用できない状況になってきた。このためクレビス部を模擬したカップリング機構を備えたクレビス濃縮装置を開発し実機SG器内水を使用してクレビス濃縮液を採取し、各イオン種濃度に基づく化学平衡解析による高温pH値を評価する方法を確立した。

更にクレビス環境の管理手法として別途開発したクレビス濃縮解析コードを使用して、そのコードの解析精度を確認すると共に日常の測定データからクレビス環境(pH)を評価できることを確認した。これらの解析結果とSG器内水データの相関性の評価から、クレビス環境を腐食が起こりにくい範囲( $5 < \text{pH} < 10$ )に維持するには、SG器内水のイオン濃度をパラメータとして、 $\Sigma C$ (全カチオンのモル当量)/ $\text{SO}_4$ (モル当量)のモル比 $> 1$ および個別イオン濃度管理( $\text{Na, K} < 0.7 \text{ppb}$ ,  $\text{Cl} < 1.5 \text{ppb}$ )を併用することで達成できることを明らかにした(図-1参照)。

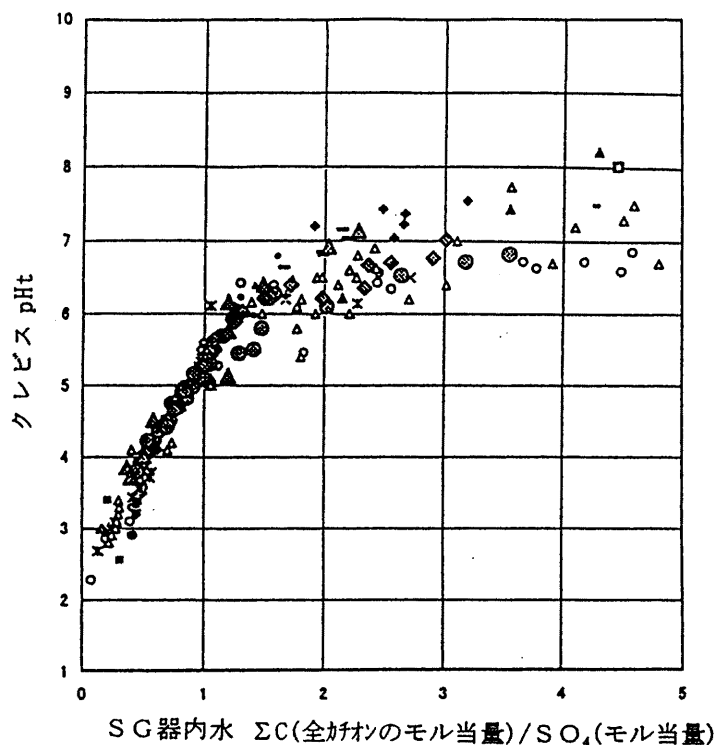


図-1 実機プラントSG器内水モル比とクレビスpHtの相関

第4章ではSG伝熱管健全性確保のための現状の検査技術を述べ、更なる検出精度の向上を狙った新高機能プローブの現状を紹介し、数値解析技術を利用してプローブの検証等数値シミュレーションが高速で可能となるA-φ法支配方程式に基づいて有限要素-境界要素併用法による離散化システム方程式を求める。次に解析の高速化をはかるためき裂領域を含む想定領域の各接点でき裂が無い状態で予め解析シデータベースとして記憶しておく、き裂有りではき裂部の節点のみで解析すれば良いことになる。この手法ではEDM欠陥の場合、

精度もよく FEM-BEM法による解析に比べて解析時間が約 1/100 と高速化がはかれた (図-2 参照).

欠陥信号から欠陥の再構成を行うため順問題解析手法のデータベース化 FEM-BEM 併用法で想定欠陥信号と実測欠陥信号の差が最小となるよう最速降下法による反復計算の行う. ここではき裂形状最適化手法として共役勾配法を用いた. これによる逆問題解析結果では EDM き裂形状と再構成された形状は良く合っており、またワークステーション(SGI, Indigo2)での解析時間も反復回数 300 を越えても約 20 分程度である. さらに人工ノイズを測定データに入れても良い再構成結果が得られている (図-3 参照).

今後は自然クラックに対しても評価できる手法の開発が必要である.

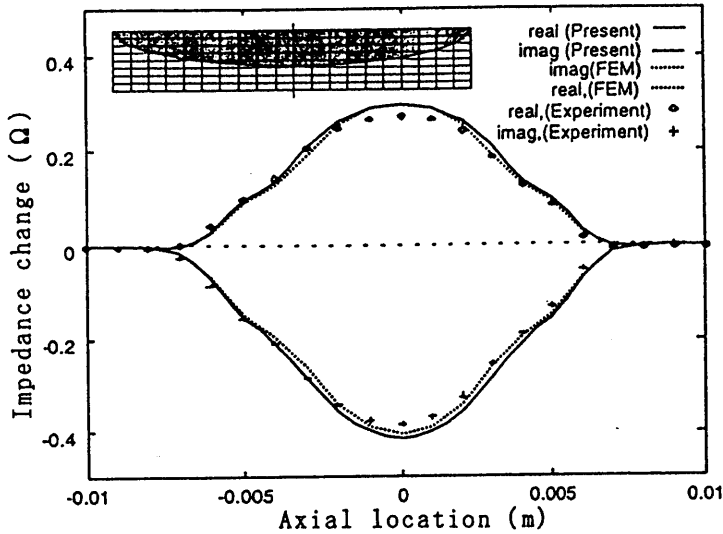
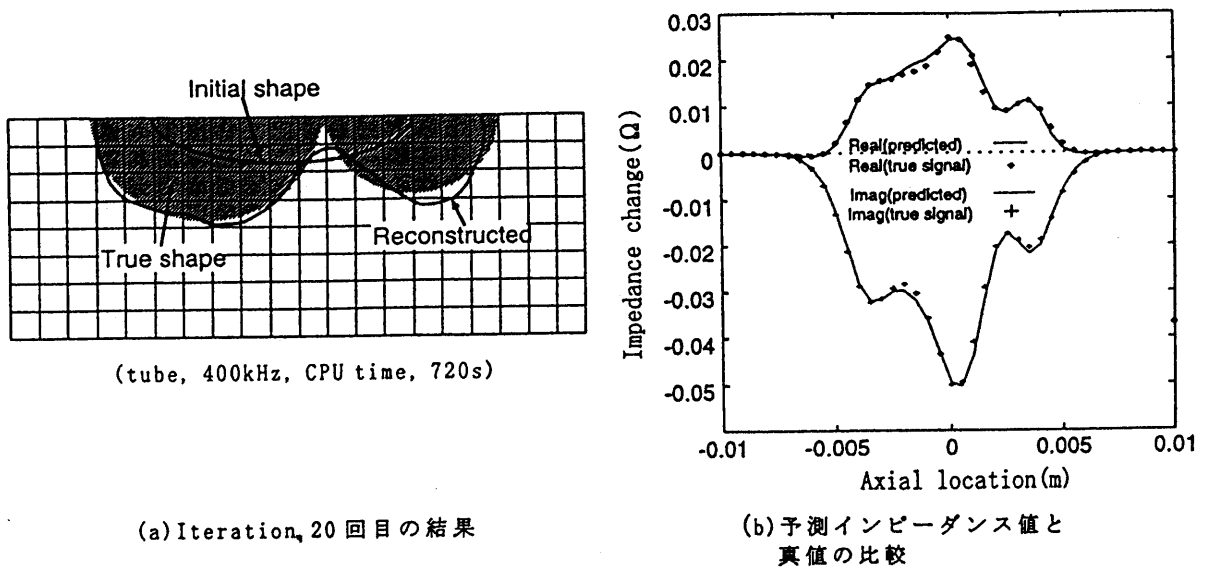


図-2 楕円形状き裂の解析と測定と比較



(a) Iteration, 20 回目の結果

(b) 予測インピーダンス値と真値の比較

図-3 FEM-BEMコードにより模擬したインピーダンス値を用いた複雑形状のき裂の再構成

第5章では、今までの伝熱管損傷経験を踏まえ、腐食感受性を有する伝熱管損傷防止対策として二次系水質管理の改善の実施、及び材料面からもっとも耐食性に優れたインコル690TT 材の採用、環境面の改善として局部濃縮が抑えられるブローチ型管支持板の採用、製作面から残留応力を低減した液圧拡張法の採用等研究成果、改善策を集大成した改良型SGを纏めてきた(図-4参照)。更に、海外でも実績のあるSG取り替え技術も参考に国内プラントに適した手法で、損傷が発生しているSGを改良型SGに交換する事により信頼性の向上を図った。

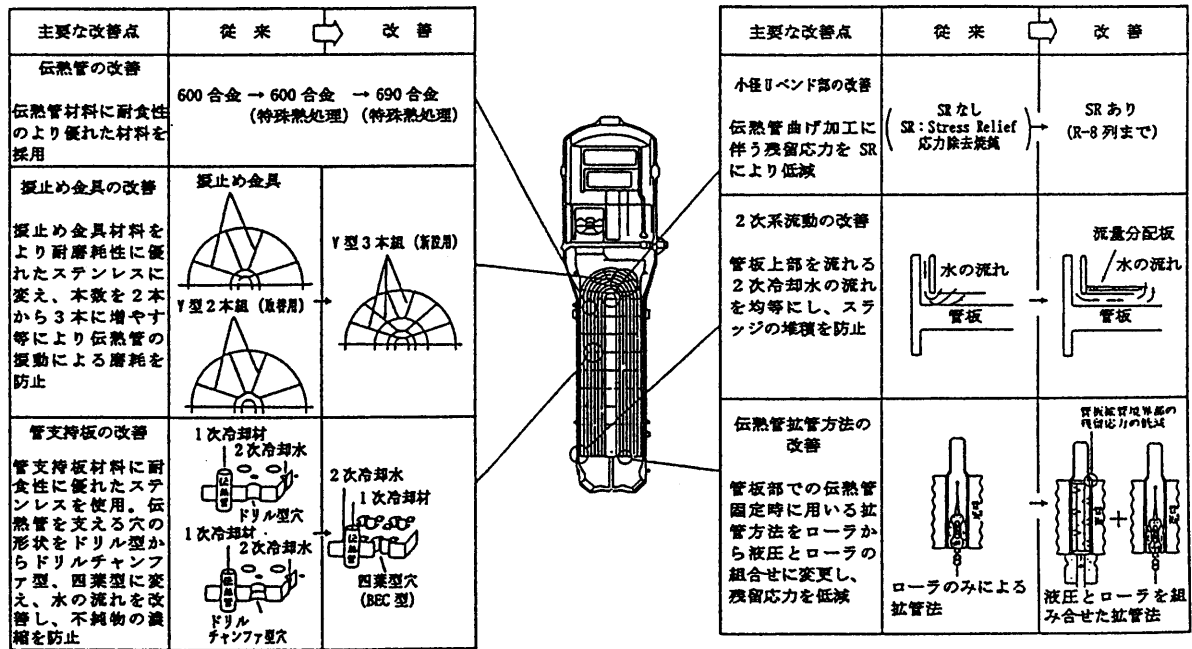


図-4 改良型SGの設計改善点