

BWR 炉内構造物点検評価ガイドライン 炉内配管の点検困難部位の欠陥想定法

The Guideline of BWR Inspection Program Study on Flaw Characterization of Core Internals Piping for Uninspected Region

日立 GE ニュークリア・エナジー株式会社	伊東 敬	Takashi ITO	Member
日本原子力発電株式会社	堂崎 浩二	Kouji DOZAKI	Member
東京電力株式会社	黒田 光	Hikaru KURODA	Member
株式会社東芝	磯 敦夫	Atsuo ISO	Non Member
一般社団法人日本原子力技術協会	関 弘明	Hiroaki SEKI	Member

According to the past edition of “Guideline of Inspection and Evaluation for Core Internals [Core Spray Sparger & Piping ,Jet Pump]” issued by Japan Nuclear Technology Institute (JANTI), fully penetrated flaw should be assumed for uninspected region, for evaluating their integrity. This assumption was considered to be too conservative. Then, this study was performed on the better assumption of flaw existence in the uninspected region to develop more appropriate flaw modeling by using statistical evaluation.

Keywords: JANTI Guideline, SCC, BWR, Core Spray Pipe, Jet pump, Visual Inspection, Uninspected region

1. 緒言

日本原子力技術協会の BWR 炉内構造物点検評価ガイドライン (以降「ガイドライン」と称す。) では、経年変化事象として応力腐食割れ (SCC) の発生、進展を想定して、各炉内構造物の構造健全性が確保される点検周期が示されている。運開後の初回点検時期については、運開直後に SCC が発生し運転期間中継続進展するとの仮定のもとに、破壊力学評価により構造健全性が確保される期間を評価し、その結果に一定の裕度を確保して設定されている。初回点検実施後の次回点検時期については、初回点検結果 (SCC 欠陥有無、寸法性状) を踏まえて同様な破壊力学評価により設定する手法が示されている。

BWR 炉内構造物のうち、炉心スプレイ配管/スパーージャ及びジェットポンプは、原子炉圧力容器 (RPV) や炉心シュラウドの壁面近くに設置されており、目視点検 (MVT-1) 対象の周溶接部の壁面近傍部は、遠隔水中 TV カメラのアクセス性が悪く点検が困難な状況となっている (図1 参照)。これまで、炉心スプレイ配管/スパーージャ及びジェットポンプのガイドライン^[1]では、点検が実施できない範囲については貫通欠陥を想定して次回点検時期を設定する手法を適用していたが、説明性が高いものの過度に保守的であることから、確率統計的検討により工学的に合理性のある手法を立案し、海外規格との比較検討の上、それぞれのガイドラインに反映し改訂版を発行した。本稿では、その概要について報告する。

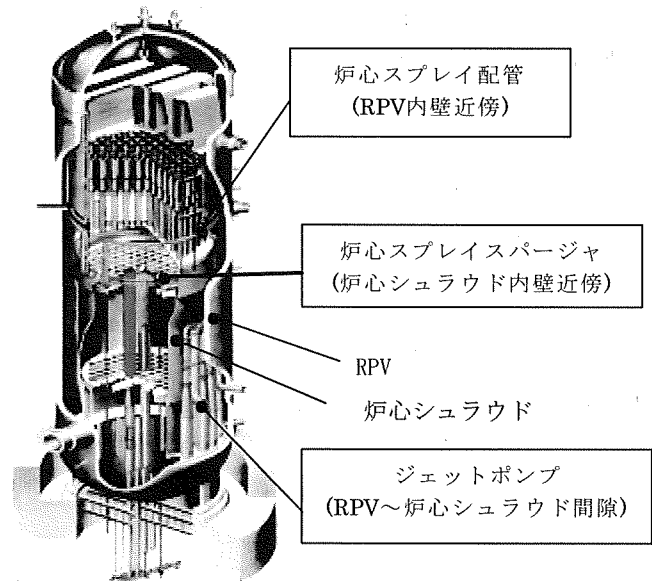


図1 炉心スプレイ配管等の炉内設置状況

2. 炉内配管の点検周期設定の考え方

ガイドラインにおいて、炉心スプレイ配管・スパーージャ及びジェットポンプ (これらを総称して以降「炉内配管」と称す。) の点検周期設定に当たって想定している SCC の発生、進展シナリオ及び評価条件を以下に示す。

(1) 想定初期欠陥

初期欠陥として溶接部内面に周方向き裂 (深さ 50 μm , 長さ 500 μm の半楕円) 1 個を想定する。

(2) 応力分布

溶接残留応力及び差圧による応力を考慮する。当該溶接部では溶接残留応力が支配的で、溶接残留応力は内表面側が高いことから、(1)に示すとおり初期欠陥は内面に想定する。

(3) き裂進展速度式

板厚方向のき裂進展速度は、SCC き裂進展試験データから設定されたき裂進展速度式(応力拡大係数 vs 進展速度)を適用する。板厚貫通き裂の周方向への進展は、貫通時の内面側き裂長さを保守的に貫通き裂長さとして仮定し、前記き裂進展速度式の上限值を適用する。

このシナリオに基づいて周溶接線の健全部の長さが減少し、炉内配管の機能維持、構造健全性確保に必要な限界長さに達する時期に裕度を考慮して初回点検時期を定めている。

炉内配管の点検は、吊り下げ式水中 TV カメラを用いて炉内配管の周溶接部の外面目視点検を実施するが、RPV 内壁や炉心シュラウド壁面とカメラが干渉することから周溶接線の壁面側の一部(周溶接線全周のうち 10~25%程度)は目視点検ができない状況となっている。

従来のガイドラインでは、初回点検で目視点検実施範囲に欠陥が確認されない場合、以下の欠陥想定のもとに次回点検時期を決定していた。図 2 に模式図を示す。

- ① 目視点検実施範囲には、内面に発生した SCC き裂が板厚を貫通する直前にまで進展している(外面からの点検では確認できない最大の欠陥を想定する)ものとし、初回点検後、前記(3)に示すとおり貫通き裂は周方向に進展する。
- ② 目視点検が実施できなかった範囲は全て貫通欠陥とみなし荷重負担ができないものとする。

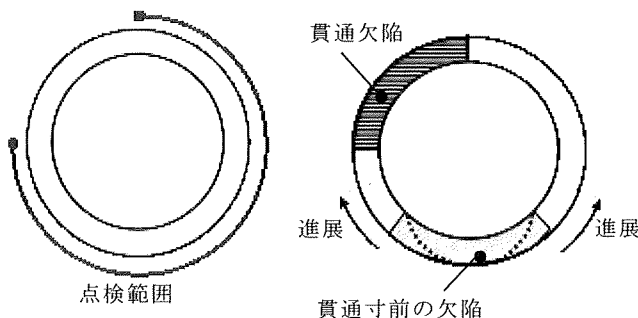


図 2 欠陥が発見されない場合の想定欠陥と進展(従来)

3. 未点検範囲の欠陥想定法の見直し

前項の①, ②に示す欠陥想定は説明性が非常に高いものの、過度に保守的であることから、既に炉心シュラウドのガイドライン^[2]で適用され、その妥当性が国内実機炉心シュラウド SCC 事例データで検証されている、未点検範囲の欠陥想定法^[3]を適用して、合理的な見直しを行うことを検討した。

3.1 炉心シュラウドの欠陥想定法

当該欠陥想定法は、周溶接全長を短い弧が集まった母集団と仮定し、点検実施範囲で確認された欠陥比率から、確率統計的推定により未点検範囲を含めた全周の欠陥比率の信頼上限を評価した結果から定められたものである。

図 3 に炉心シュラウドのガイドラインでの規定を示す。点検割合が 50%を超えていれば、点検範囲で確認された欠陥比率をそのまま全周の欠陥比率として適用するものとしている。

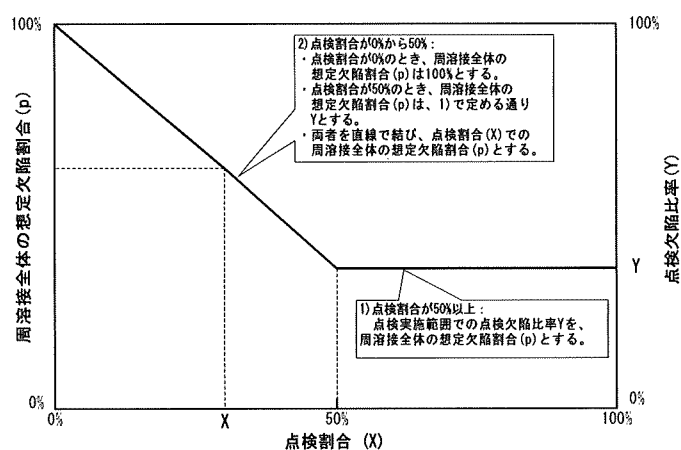


図 3 未点検範囲の欠陥想定(炉心シュラウドガイドライン)

3.2 炉内配管への適用検討

炉心シュラウドと同じ手法を炉内配管に適用した場合について試算し、確率統計的推定による全周の欠陥比率の信頼上限を点検範囲での欠陥比率とを比較検討した結果、以下が明らかになった。炉内配管の試算の一例を図 4 に示す。

- ① 点検範囲における欠陥比率が高い、あるいは点検割合(X)が小さい場合には、全周の想定欠陥割合(p)の95%信頼上限は点検範囲での欠陥比率に比べ有意に高くなる。
- ② しかし、点検割合(X)が0.5に至ると、点検範

囲での欠陥比率が 0.01 程度に小さい場合には、点検範囲での欠陥比率と同等とみなせる。

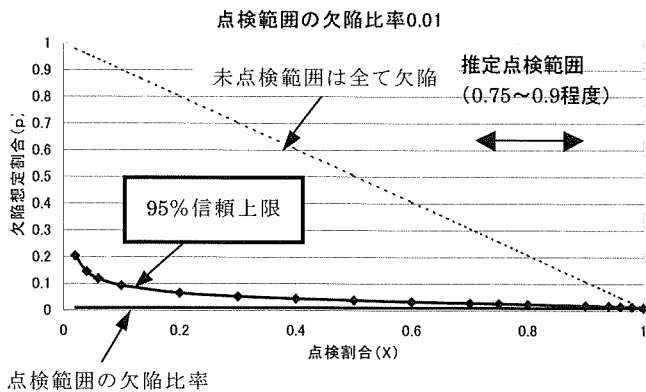


図4 炉内配管の試算結果の例 (点検範囲欠陥比率 0.01 の場合)

以上の検討結果から、炉内配管（炉心スプレイ配管／スパーージャ及びジェットポンプ）の周溶接線の点検で、アクセス可能な全域の点検を実施し、点検実施範囲で欠陥が発見されなかった場合には、未点検範囲には欠陥を想定しないこととした。（図5参照）

なお、米国における炉内配管の点検規定を調査した結果、上記欠陥想定と同等な規定となっていることを併せて確認した。

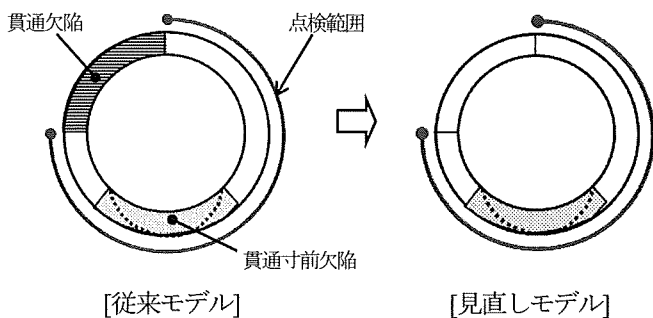


図5 点検範囲で欠陥が確認されない場合の欠陥想定比較

4. 結言

炉心スプレイ配管／スパーージャ及びジェットポンプの点検評価ガイドラインにおいて、初回点検実施後の次回定検時期を設定するための欠陥想定法を、確率統計的推定に基づく検討により合理的に見直した。

謝辞

本報告は、日本原子力技術協会の「炉内構造物等点検評価ガイドライン検討会」で検討、審議した内容を紹介したものです。ガイドラインの策定にあたり、ご協力いただきましたガイドライン検討会委員、BWR 電力各社、メーカー各社、日本原子力技術協会、関係各位に深く感謝いたします。

参考文献

- [1] 炉内構造物点検評価ガイドライン[炉心スプレイスパーージャ/配管]第2版及び[ジェットポンプ]第2版，一般社団法人日本原子力技術協会
- [2] 炉内構造物点検評価ガイドライン[炉心シュラウド]第4版，一般社団法人日本原子力技術協会
- [3] 堂崎他「円筒形炉内構造物の欠陥評価における未点検範囲に対する欠陥想定手法の検討」，日本機械学会 M&M2007 材料力学カンファレンス

