
PWR1次系ステンレス鋼配管粒界割れの知見拡充 亀裂性状把握時におけるUT技術の向上策 【ATENAレポートについて】

2023年1月26日

これまでの経緯

- 2020年8月に大飯3号機加圧器スプレイ配管溶接部で有意な指示が認められた事象を受け、関西電力株式会社は原子力規制庁と公開会合を実施（2020年9月～2021年2月にかけて、全11回）
- 事業者共通の課題であり、ATENAを核として検討することを決定
⇒ 2021年3月にATENAにてアドホックWGを立上げ、検討を開始
- ATENA-原子力規制庁で以下の通り会議を重ね、検討した内容について共有

日付	公開会合および面談実績
2021/4/27	粒界割れの課題に対する検討方針およびスケジュールに関する面談
2022/6/24	2021年度の検討状況説明を主とした公開会合
2022/8/18	公開会合での検査技術向上に関する質問に対する回答・説明面談
2022/10/7	公開会合での検査技術向上に関する質問に対する回答・説明面談

検査技術向上に関する原子力規制庁からの質問事項に対し回答が完了
⇒ATENAレポートを発刊し、事業者に安全対策を指示する

ATENAレポートの構成

目次	レポート頁		
1.序文			
1.1目的	- 1 -		
1.2概要	- 1 -	3	4
1.3適用範囲	- 3 -		
1.4用語の定義	- 3 -		
2.発生した事象に対する要因分析			
2.1破壊調査結果を踏まえたUT結果の問題点の確認	- 5 -	5	
2.2要因分析	- 8 -	6	
2.3UTによる亀裂性状把握の課題抽出結果	- 11 -	7	
3.検査技術の向上策			
3.1検査技術の向上策（案）	- 12 -	8	9
3.2対策の有効性確認	- 14 -	10	
4.まとめ	- 16 -		
5.添付資料	- 18 -	11	

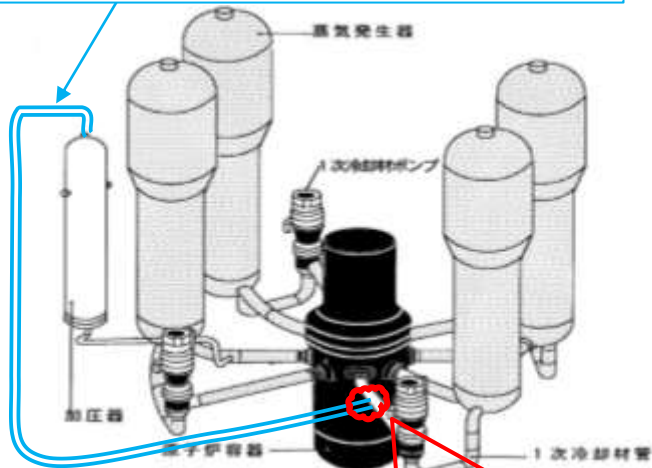
※レポートの内容についてはドラフト版であり、今後、変更する可能性があります。

1.2 事象の概要 (1/2)

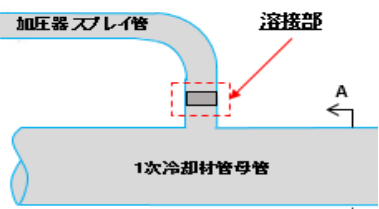
本検討の発端となった大飯発電所3号機加圧器スプレイ配管溶接部での事象の概要を以下に示す。

発生箇所

加圧器スプレイライン
(材質:オーステナイト系ステンレス鋼(SUS316))



1次冷却材系統設備概要図



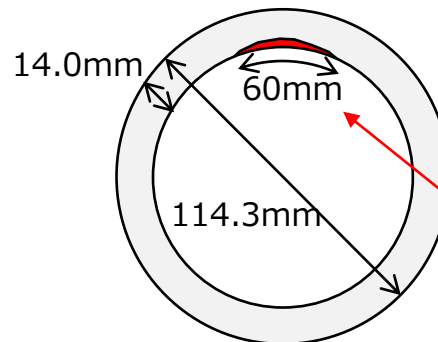
加圧器スプレイ管取出し部詳細



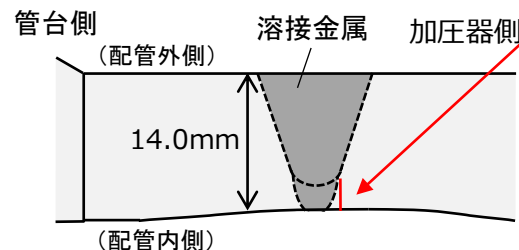
視野A-A

実機の破壊調査結果

断面図(上面図)



断面図(横断面図)



傷(イメージ)
長さ60mm、深さ4.4mm

- 供用期間中検査 (ISI) にて、加圧器スプレイラインの1次冷却材管台と管継手 (エルボ部) の配管溶接部に有意な指示が認められた。その後の破壊調査により、**溶接熱影響部にて長さ60mm、深さ4.4mmの亀裂**があることが明らかとなった。

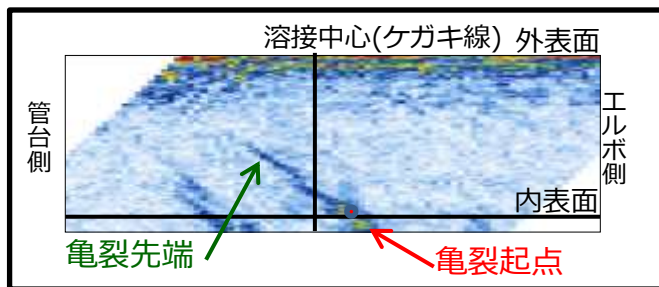
<超音波探傷検査による亀裂性状把握状況> (公開会合における関西電力説明)

- 超音波探傷検査による非破壊試験で、亀裂の深さについては適切に評価。
- 亀裂はエルボ側から管台側の方向に溶接部を進展していると推定したが、破壊調査の結果、亀裂はエルボ側母材の溶接部境界で板厚方向に進展していた

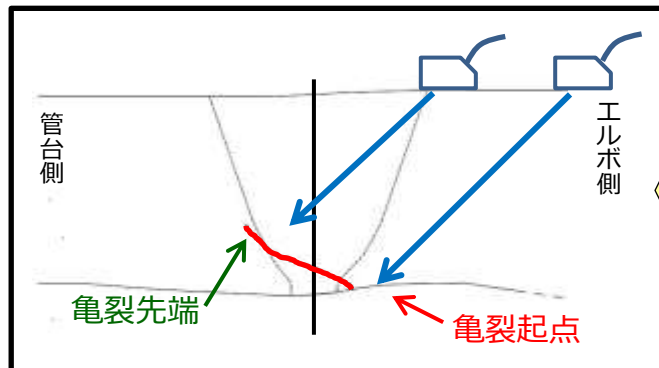
⇒ ATENAは、亀裂性状の誤認に対する改善策を整理した

現地フェーズドアレイUT結果より推定した亀裂性状

現地フェーズドアレイUTでは、亀裂はエルボ側から管台側の方向に進展していると推定



現地フェーズドアレイUT結果



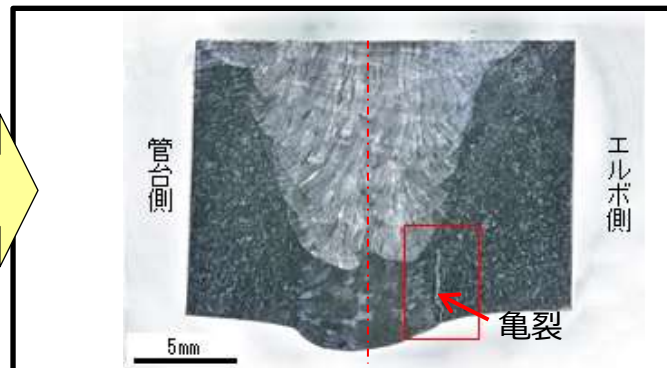
現地フェーズドアレイUT結果より推定した亀裂性状

亀裂の調査結果

亀裂プロフィール	現地UT結果	破壊調査結果
亀裂深さ	4.6mm	4.4mm

破壊調査結果

破壊調査の結果、亀裂は板厚方向に進展していた



断面マクロ組織観察結果

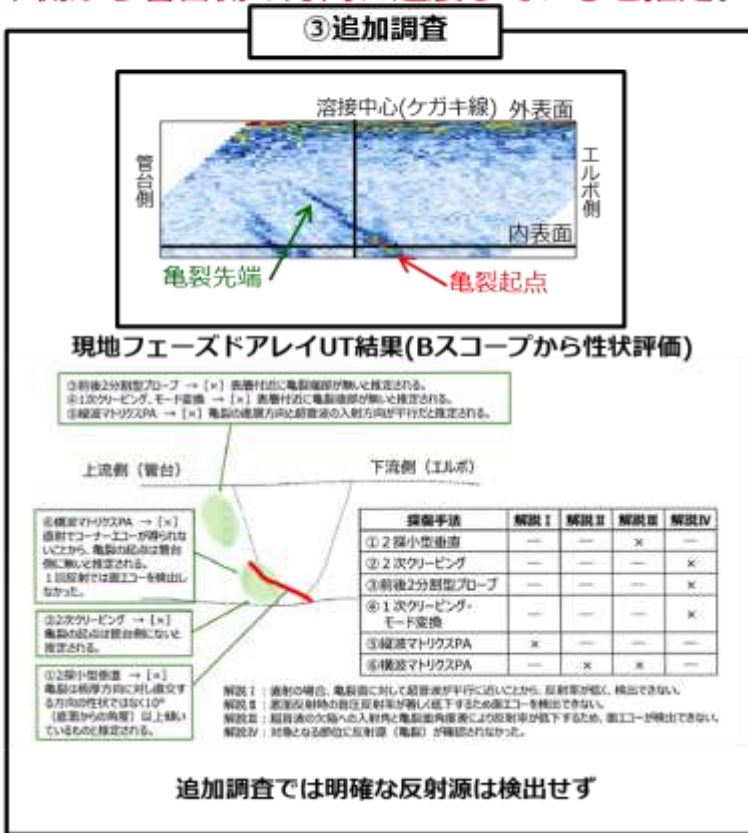
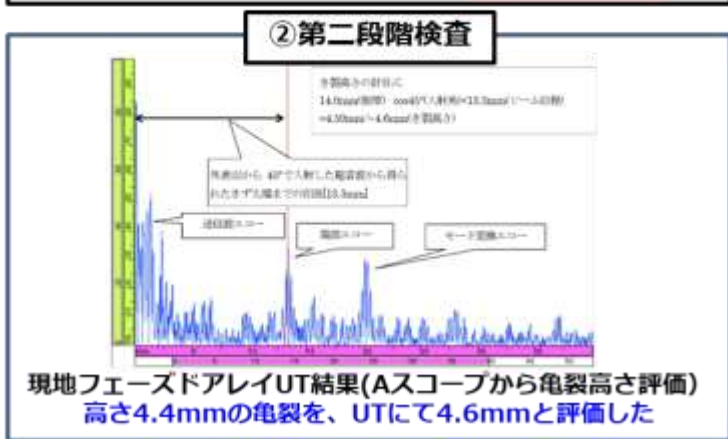
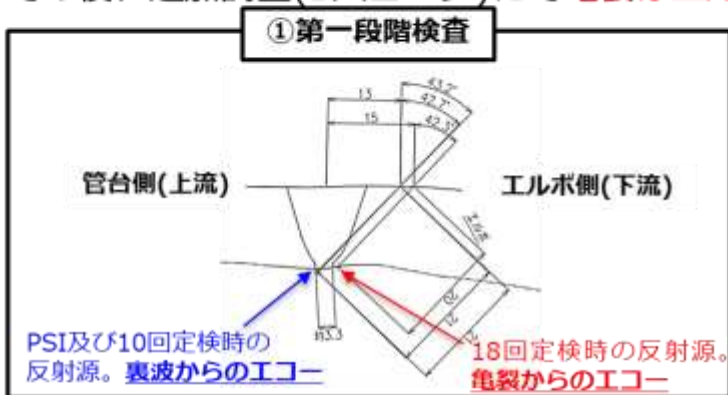
亀裂性状の差異

2.1 破壊調査結果を踏まえたUT結果の問題点の確認

公開会合資料抜粋(2022年6月24日)

検査技術の向上 課題認識

- 第一段階検査にて、亀裂からのエコーを検出。
- 第二段階検査（現地フェーズドアレイUT）にて、亀裂高さ4.6mmと評価。なおこの段階ではAスコープによる亀裂高さのみ報告し、亀裂は板厚方向に進展しているとしていた。
- その後、追加調査(Bスコープ)にて亀裂はエルボ側から管台側の方向に進展していると推定。



2.2 要因分析

公開会合資料抜粋(2022年6月24日)

UTによる推定と破壊調査結果の亀裂性状乖離に関する要因分析

事象	要因	因子	要因分析と見解	判定	
UTによる推定と破壊調査結果の亀裂性状乖離	試験対象	幾何学的形状	・エルボ曲率を含む外表面形状による超音波屈折角の変化と、亀裂位置・高さ・板厚の相対的位置関係により、亀裂先端からのエコー検出位置が変化する可能性がある	○	UT手法に関する課題
		材料	・オーステナイト系ステンレス鋼溶接金属部へのUTは、柱状晶組織による超音波の音速変化や超音波ビームの屈曲が起き得るため、エコーの検出位置が変化する可能性がある	○	
		亀裂	・亀裂先端性状の枝分かれ等、開口幅により端部エコーの検出性に影響した可能性がある。	○	
	機材	探触子	・超音波の収束位置と亀裂先端部の差異による超音波の広がり等、探触子の要素がUTにおける反射源位置特定に影響を与える可能性がある。	○	
		探傷ソフト／端末	・異なる端末の画面でも亀裂性状乖離が再現しており、探傷ソフト／端末の影響は無い。	×	
		罫書き	・ISI-UTで用いていた溶接中心を示すケガキは、破壊調査結果から得られた溶接中心より約3mmエルボ側にずれていた。この結果はコーナーエコーと端部エコーの位置関係には影響しないが、端部エコーがエルボ側ではなく管台側で得られたと考え、亀裂がエルボ側から管台側方向に溶接金属部を跨ぐように進展したとの判断に影響を与えた可能性がある。	○	⇒溶接線中心位置把握技術に関する課題
	要領	検査要領	・要領はサイジング要領を適用している。他方、適用範囲の観点では、適用口径の観点で実機と差があるものの、配管と探触子の隙間は0.2mm程度であり、接触媒質の通常の充てん範疇であるため、幾何学形状による超音波の伝ば性は問題無い。	×	
	試験環境	作業環境	・通常実施しているISIの環境条件から大きく逸脱する要素は無く、特異な影響は無い。	×	
	体制・試験員	資格	・有資格者であり、工事経験等も十分に積んでおり影響は無い。	×	
		評価体制	・サイジングは亀裂の高さを測定する事が目的であり、試験関係者に亀裂性状を評価する意識が薄かったこと、また、評価関係者がデータに疑義を感じた為再探傷したものの、同等の結果が得られたこと等より、亀裂端部位置の誤認を見抜けなかった。	○	⇒評価体制に関する課題

※本図は要因分析結果のうち、商業機密事項を含む箇所は省略して記載

2.3 UTによる亀裂性状把握の課題抽出結果

公開会合資料抜粋(2022年6月24日)

検査技術の向上 課題整理

検討の結果、本事象の主たる要因は、以下の3点と整理した。

①評価体制に関する課題

亀裂のサイジングに傾注していてBスコープの結果を過信し、溶接金属を横切って進展する亀裂であるという判断をしてしまった。

②溶接線中心位置把握技術に関する課題

溶接中心位置の想定が実機とずれていたことにより、亀裂の位置にずれが生じ、溶接金属部を跨ぐように進展した亀裂であると判断してしまった。

③UT手法に関する課題

Bスコープ上で亀裂が管台方向に進展しているように端部エコーが表示された事象は、配管外表面の幾何学的形状の影響、超音波の拡がりの影響、溶接金属部による超音波の屈曲の影響などが複合したことにより発生した。

この課題を解決するために必要な向上策について整理した結果を次頁に示す。

3.1 検査技術の向上策（案）

公開会合資料抜粋(2022年6月24日)

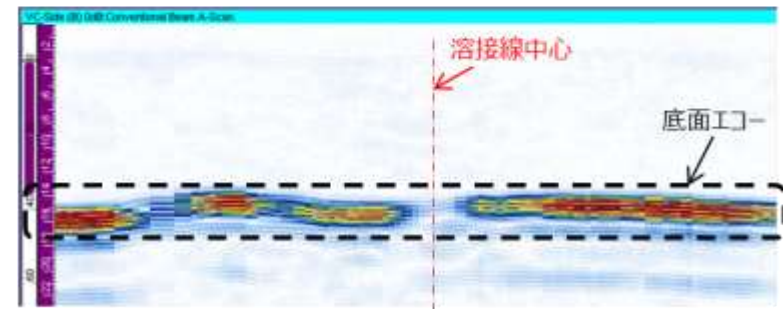
原因調査結果に対する①～③の対策案について、以下に示す。

①評価体制への対策

- 関係者に対し、本事象のようにBスコープ表示と実際の亀裂性状には乖離があり得ることを認識できるように教育する。
- さらに検査員に対しては、Bスコープ表示と実際の亀裂性状に乖離を生む外表面形状等の因子について理解させる。

②溶接線中心位置把握技術の高度化

- 溶接中心位置のずれについては、外表面ポンチからのトレースにより溶接線中心位置を把握する場合、現場の作業環境、マーキング、開先部の公差等により2mm程度の誤差発生は回避できない。
- このため、亀裂性状を評価する際には、前述の誤差の影響を受けないようなデータ採取（例：垂直探傷のBスコープ画像）により、UTデータ側で可能な限り詳細な、溶接線中心位置の評価を行う。



例：垂直探傷のBスコープ画像

3.1 検査技術の向上策（案）

公開会合資料抜粋(2022年6月24日)

③UT手法による対策

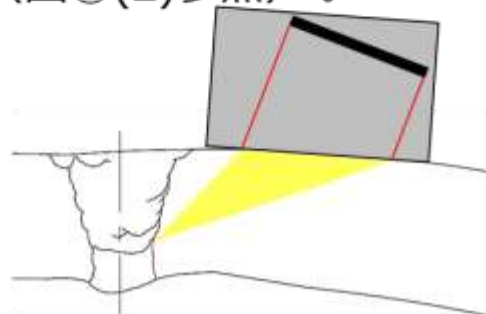
- シミュレーション解析およびモックアップ試験による妥当性検証の結果、以下の対策により亀裂性状を把握できることを確認した。

(1)探触子設置位置に応じた超音波入射条件の設定

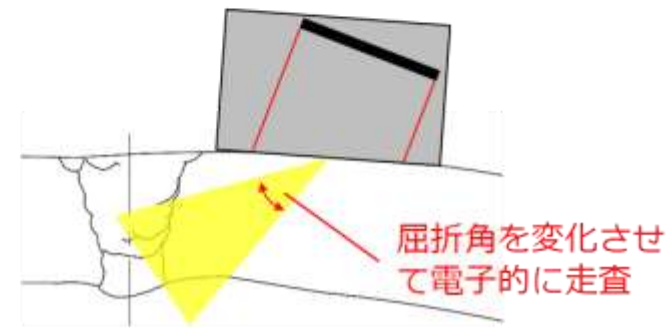
- 超音波集束条件（管軸方向、板厚方向）を複数準備することにより、外表面形状の影響を受けない位置で探傷可能とする（図③(1)参照）。

(2) セクタ走査による探傷

- 外表面形状の影響を受けない位置で、電子的に超音波ビームの屈折角を変化させるセクタ走査を利用し、任意の屈折角でのBスコープ画像とセクタ画像を組み合わせ、総合的に亀裂性状の評価を行う（図③(2)参照）。



図③(1) 外表面形状の影響を受けない位置からの探傷



図③(2) セクタ走査による探傷

3.2 対策の有効性確認

公開会合資料抜粋(2022年6月24日)

SCCを付与したモックアップによる対策の有効性確認結果

SCC付与モックアップにて、今回の事象の現地波形を再現(図1,2)。その上で、超音波入射条件の見直しを行い、外表面形状の影響が無い探触子位置でセクタ走査によりデータを採取。端部・コーナーエコーの性状を正しく把握できた(図3,4)。

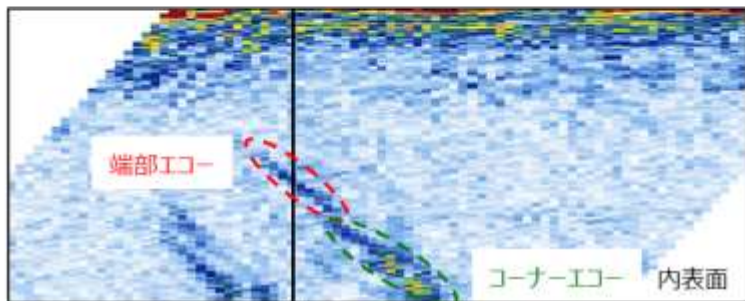


図1：実機SCC検出時の波形(現地波形)

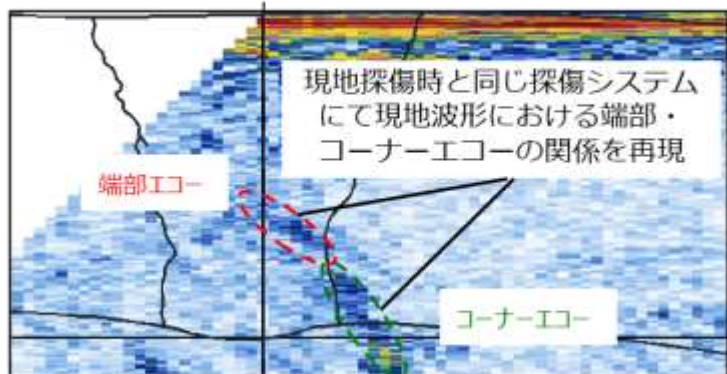


図2：SCC付与モックアップによる現地波形の再現

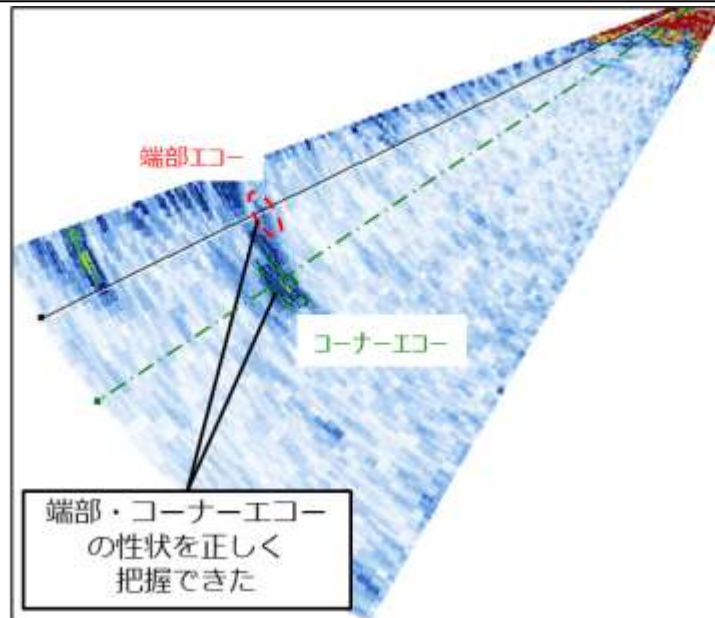


図3：セクタ走査による探傷(SCC付与モックアップ)



SCC付与モックアップでの探傷イメージ

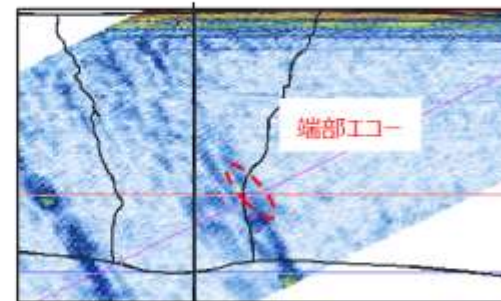


図4：外表面形状の影響を受けない位置からの探傷(SCC付与モックアップ)

5. 添付資料

- (1) 関西電力株式会社 公開会合(2020年9月8日)資料1-2 p1~p.23
「大飯発電所3号機加圧器スプレイライン配管溶接部における有意な指示について」
- (2) 関西電力株式会社 公開会合(2020年9月18日)資料1-1 p1~p.22
「大飯発電所3号機加圧器スプレイライン配管溶接部における有意な指示について」
(9月11日公開会合における指摘事項の回答)
- (3) 関西電力株式会社 公開会合(2020年12月4日)資料1-2
「大飯発電所3号機加圧器スプレイライン配管溶接部の超音波探傷試験による亀裂の形状想定と実機調査結果に関する考察について」
- (4) 原子力エネルギー協議会、原子力規制庁 公開会合資料(2022年6月24日)
「PWR1次系ステンレス鋼配管粒界割れの知見拡充に関する検討状況について」
- (5) 原子力エネルギー協議会、有識者会議 議事録抄録(第1回～第4回)
- (6) 原子力エネルギー協議会、原子力規制庁 面談資料(2022年8月18日)
- (7) 原子力エネルギー協議会、原子力規制庁 面談資料(2022年10月7日)
- (8) 原子力エネルギー協議会、UT関係者向け 周知教育テキスト(2023年3月)