
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

原子力エネルギー協議会
(ATENA)

2022年 6月 10日

本資料には、経済産業省「令和3年度原子力発電所の安全性向上に資する技術開発事業（原子力発電所の長期運転に向けた高経年化対策に関する研究開発）」の成果が含まれています。

1. 振り返り

2. 2021年度検討内容

2.1 発生メカニズム・亀裂有り健全性評価

2.2 検査技術の向上

3. まとめ

1. 振り返り

2. 2021年度検討内容

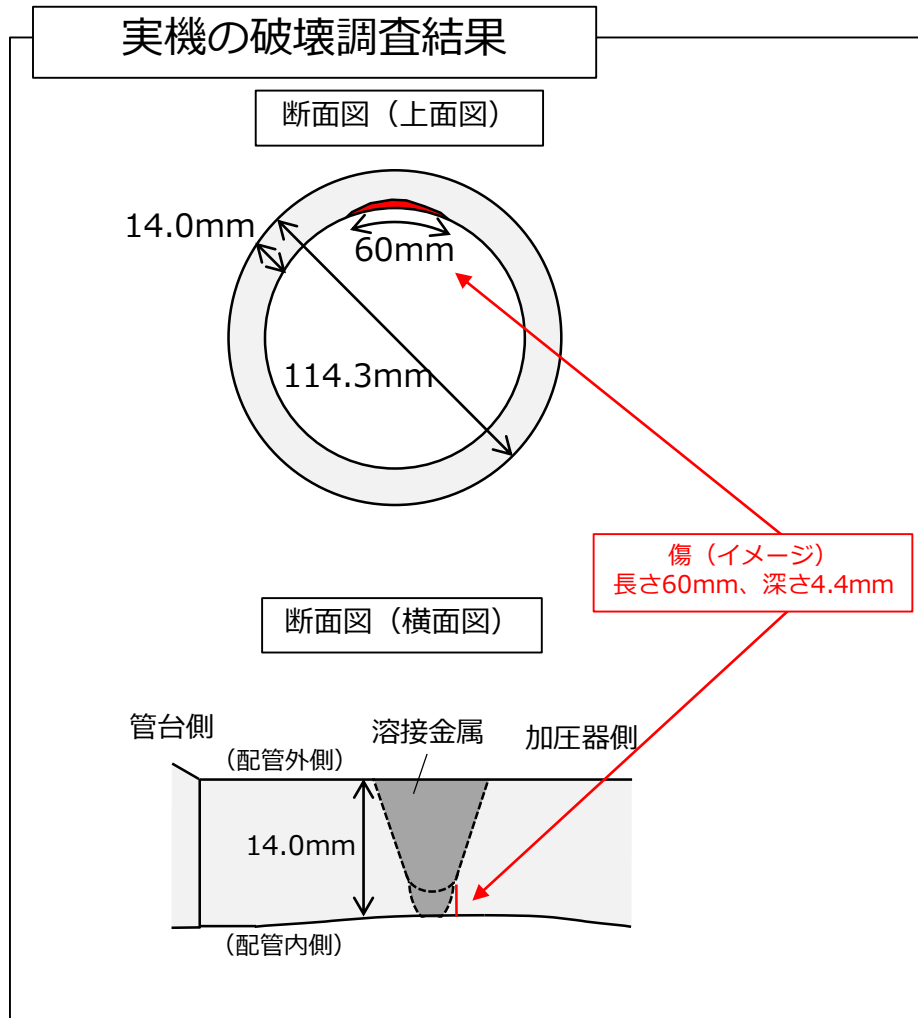
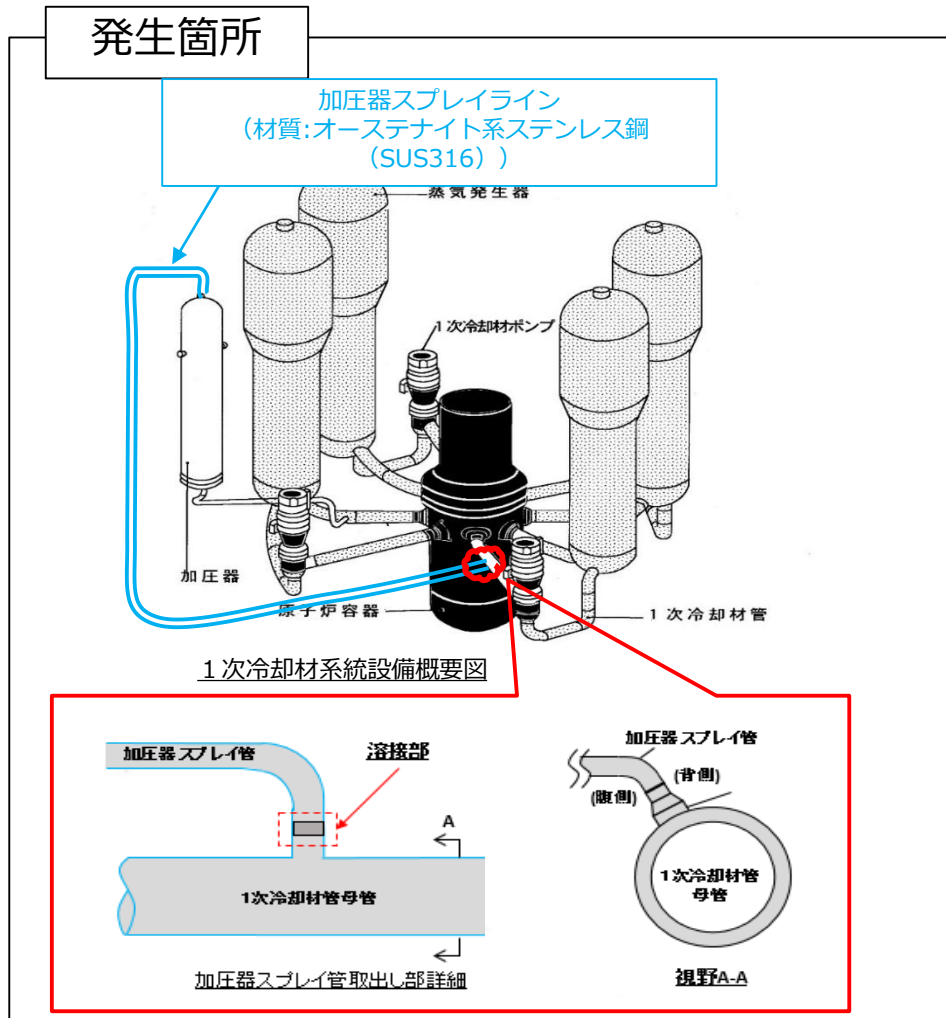
2.1 発生メカニズム・亀裂有り健全性評価

2.2 検査技術の向上

3. まとめ

PWR1次系ステンレス鋼配管粒界割れの概要

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。



- 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。

配管溶接部の割れの概要

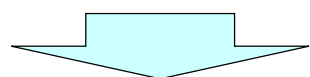
＜亀裂発生及び亀裂進展の状況整理＞

(公開会合における関西電力説明)

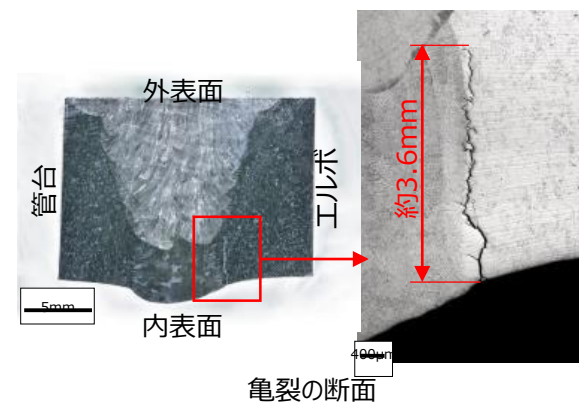
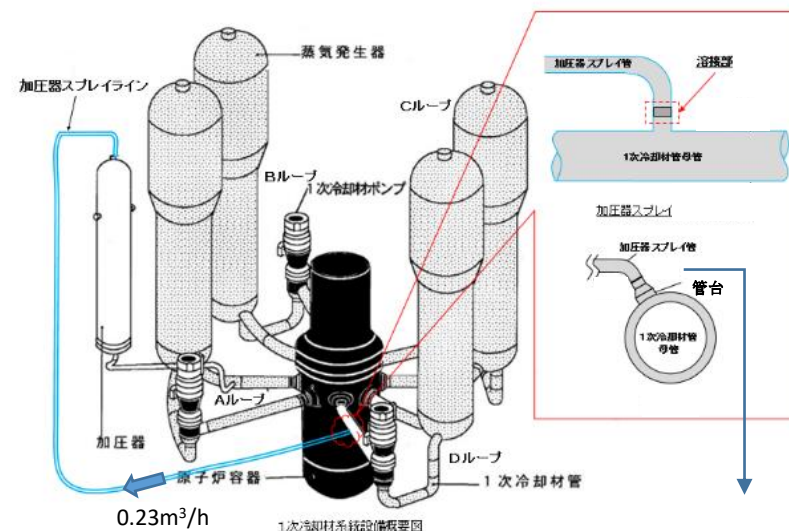
- 過大な溶接入熱と、管台-エルボ部の剛性の影響が重畳し、表層近傍において特異な硬化と応力が影響したことにより割れが発生と推定。

(現時点で、初期欠陥が認められていないが、溶接により微細な割れが発生していた可能性が否定できていない)

- また、**亀裂進展**に対しては、硬化したオーステナイト系ステンレス鋼の割れが進展する既存知見と合致しており、**粒界型SCC**と推定。



- ATENAとして、PWR1次系ステンレス鋼配管における割れについては特異な事象であり、発生メカニズムなど知見がほとんどなく、原因の特定および知見拡充の観点から、研究・調査が必要であると認識。



超音波探傷検査の概要

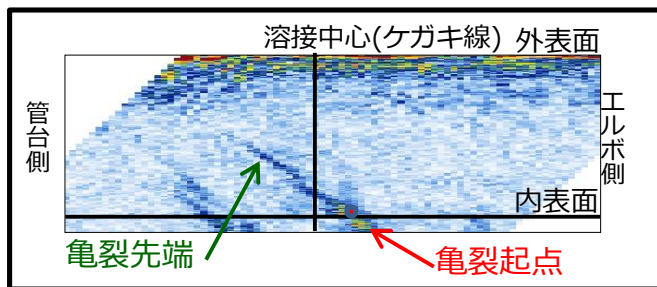
＜超音波探傷検査による亀裂性状把握状況＞（公開会合における関西電力説明）

- 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

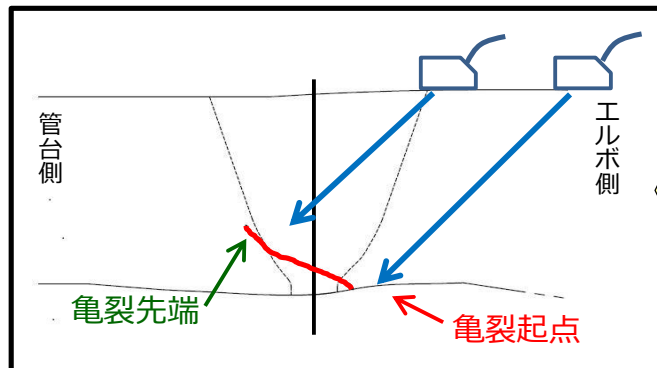
⇒ **ATENAとして、亀裂性状の誤認に対する検討が必要であると認識。**

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



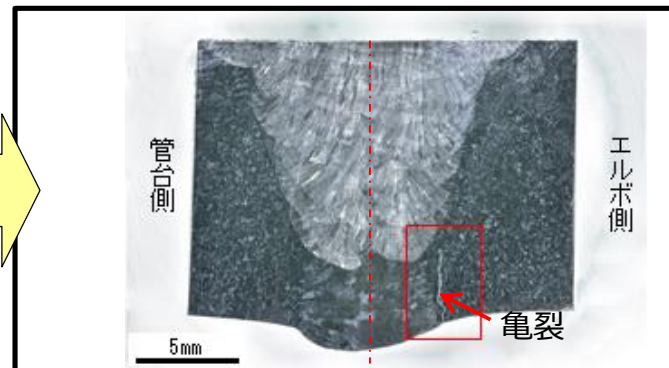
現地フェーズドアレイUT結果より推定した亀裂性状

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

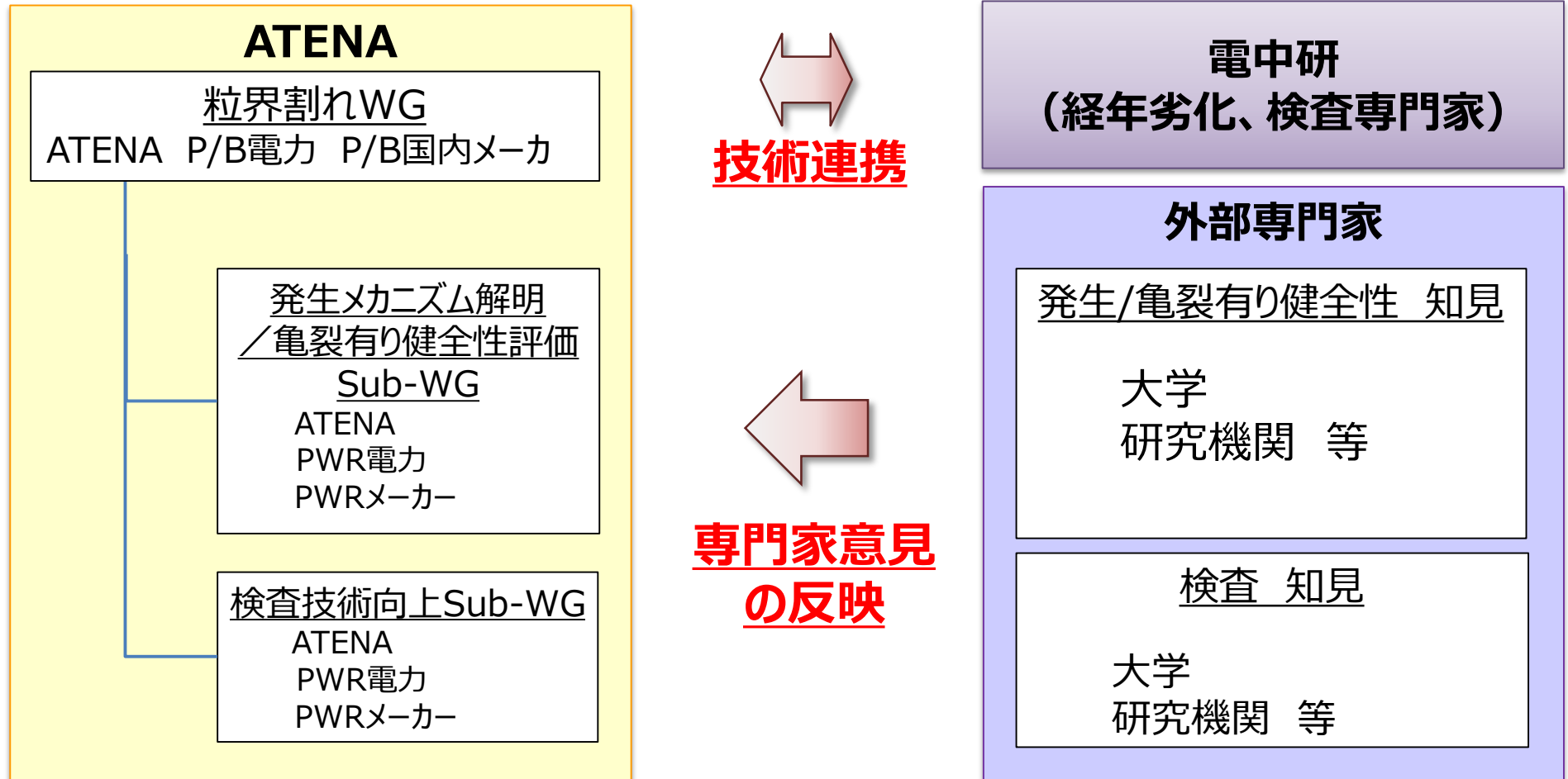
PWR1次系ステンレス鋼配管粒界割れに対するATENAの取り組み

- 大飯3号機において発生した亀裂の更なる調査を含め、PWRの1次冷却材環境下における亀裂の発生及び進展のメカニズムについて研究を行い、亀裂進展評価に用いる基礎データ拡充、フェーズドアレイUTにより亀裂進展方向を誤って評価したことに対する原因調査のため、ATENAはWGを立ち上げ、課題検討の取り組みを実施。
- 検討を進めるにあたり、技術課題は大きく分けて「①発生メカニズムの解明」、「②亀裂有り健全性評価」、「③検査技術の向上」の3分類あると整理。
- 課題検討にあたっては、外部専門家と意見交換を実施した上で、研究計画を策定するとともに、実施状況を踏まえて、計画を見直していく予定。

	①発生メカニズムの解明	②亀裂有り健全性評価	③検査技術の向上
主な課題認識	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 「硬さ」「硬さ以外」各々で割れの要因の再整理 ➤ 「硬くなる要因」は何か (機械加工,溶接,形状,...) ➤ 発生メカニズム自体の探求 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 亀裂有り健全性評価に用いるデータの拡充 <ul style="list-style-type: none"> ・亀裂進展速度 ・亀裂進展評価/亀裂有り健全性評価に用いる応力 ➤ 亀裂進展後の亀裂有り健全性評価手法の確立 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 亀裂性状把握技術 及びその関連検査技術の向上

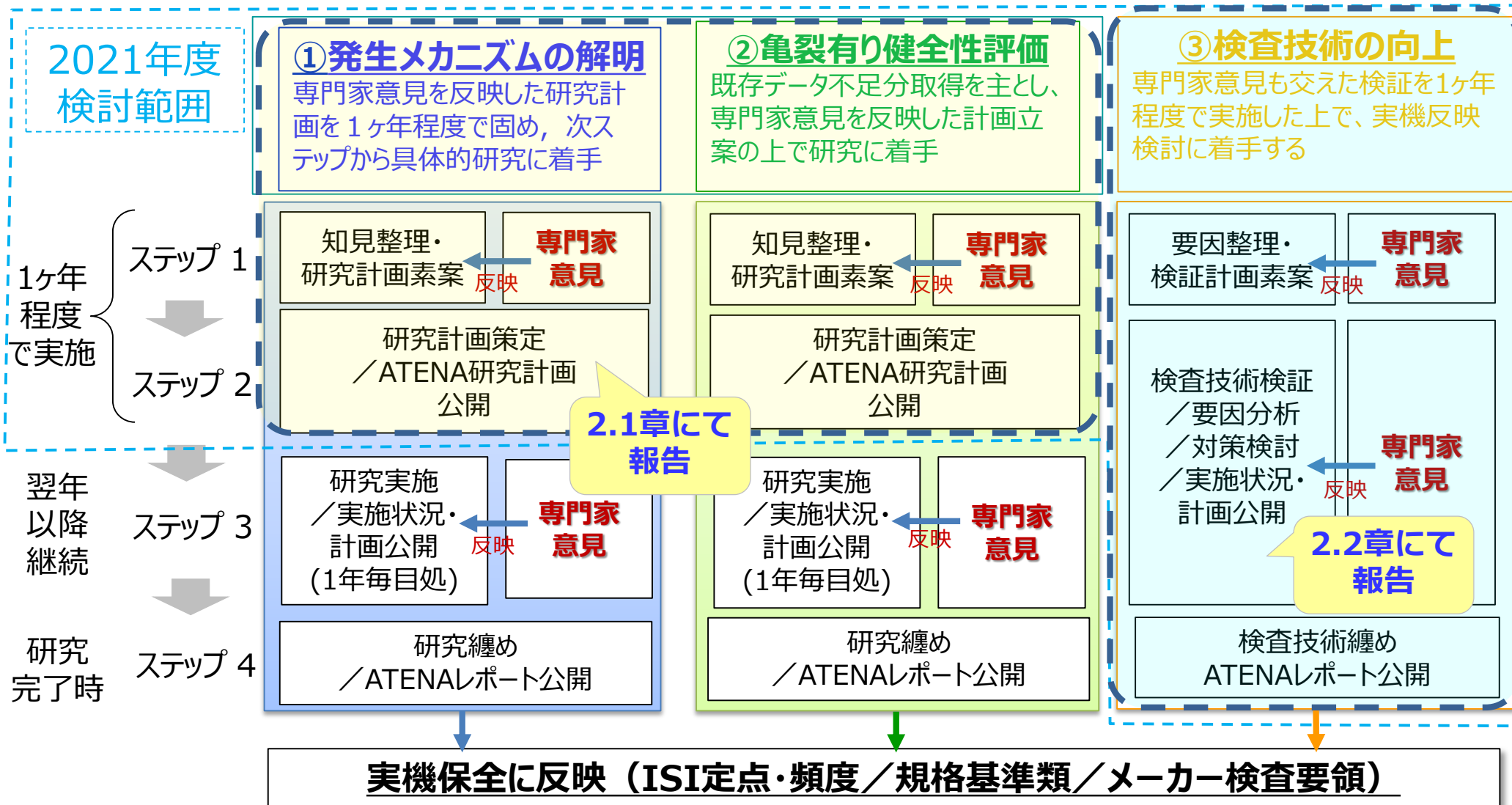
PWR1次系ステンレス鋼配管粒界割れ検討の体制

- 活動にあたっては、ATENA体制下にWG及びSub-WGを立ち上げ、その検討に当たっては、外部専門家の意見含め、考えられ得る検討項目を全て洗い出し、知見拡充に取り組むこととした。



PWR1次系ステンレス鋼配管粒界割れに関する検討方針

- 2021年度は専門家意見を反映した①②の研究計画を策定、③は技術向上策の取りまとめを実施。



目次

1. 検討背景と課題認識／検討方針
2. 2021年度検討内容
 - 2.1 発生メカニズム・亀裂有り健全性評価
 - 2.2 検査技術の向上
3. まとめ

2021年度に実施した課題検討プロセスは以下のとおり。

<発生メカニズム>

- i) 規制委員会との公開会合で議論されたFT図を含め、事象概要を外部専門家に説明し、考えられる要因をゼロベースで洗い出し → 11
- ii) 事業者の調査結果等、既知見を踏まえて、原因となり得る要因の絞込みを実施 → 11
- iii) 絞込んだ結果を踏まえて、対応方針を検討 → 12
- iv) 対応方針に基づき、具体的な実施項目を検討し、研究計画として取りまとめ → 13 ~ 17

<亀裂有り健全性評価>

技術課題の整理（亀裂進展速度線図が規格化されていない等）および、技術課題を踏まえた実施項目を検討し、研究計画としてとりまとめ → 12 ・ 17

事業者調査時の推定因子			事業者調査時の結果と今回得られた専門家意見	
事象	要因	因子	事業者調査結果と今回得られた専門家意見	判定※
加圧器 スプレイライン 配管溶接部の傷	機械的疲労	振動による疲労	・マクロ・ミクロ観察により、破面からビーチマークやストライエーションは確認されなかった。	×
	熱疲労	高サイクル熱疲労	・マクロ・ミクロ観察により、破面からビーチマークやストライエーションは確認されなかった。 ・単一の亀裂であり、熱疲労のような亀甲状の亀裂は確認されなかった。	×
		熱過渡による疲労		×
	SCC	粒界型SCC	・破面ミクロ観察の結果、粒界割れが主に認められた。 ・硬さ計測の結果、表層で350HV、内部で200HV～240HVが認められた。 <外部専門家意見> 有力な因子と考えらえるが、粒界型SCCによる亀裂発生機構・原因と断定する（他の因子を排除するには、事業者調査では実施していないEBSD等も用いて当該部の特異性を追加調査すべき。	○
		粒内型SCC	・破面ミクロ観察の結果、粒内割れは殆ど認められなかった。 ・付着物EDS分析の結果、塩素等の有害な元素は認められなかった。	×
	溶接欠陥/ 溶接不良	溶接欠陥	・破面観察の結果、ブローホール、スラグ巻き込み、融合不良、高温割れ等は認められなかった。 ・PT及び断面観察の結果、アンダーカットは認められなかった。 ・付着物EDS分析の結果、高温割れの原因となるP(リン)は認められなかった。 ・その他、溶接手順は通常手順で実施されていた。	△
		溶接不良		・破面観察の結果、補修溶接の痕跡は認められなかった。 ・裏波部の外観、周方向断面観察の結果、明瞭な溶接欠陥は確認されず、補修溶接の痕跡も認められなかった <外部専門家意見> 明確な溶接欠陥／溶接不良が存在した可能性は低いものの、微細な欠陥／特異な溶接箇所が存在した可能性を完全に否定はできず、破面SEMでの拡大観察や、EDS分析での元素同定他により確認すべき。

※：局所的な特異性による粒界型SCCや、微細な溶接欠陥／溶接不良等を念頭に置いた詳細調査の結果により、他の因子の判定に影響無きかも併せて検討

亀裂発生メカニズムの解明／亀裂有り健全性評価 ～対応概要

	得られた課題	対応方針	実施項目
亀裂発生メカニズム	[粒界型SCC] 過大な溶接入熱と、管台-エルボ部の剛性の影響が重畳し、表層近傍において特異な硬化と応力が影響した可能性	特異な硬化、応力により割れが発生するメカニズムについて深掘りが必要	<ul style="list-style-type: none"> ○実機詳細調査（損傷部位、比較部位） <ul style="list-style-type: none"> ・局所ひずみ測定（SEM/EBSD） ・断面マクロ硬さ測定 ・溶接欠陥の調査(SEM/EDS) ・潜在き裂の調査(SEM/EDS) ・被膜分析、亀裂先端ミクロ組織分析（TEM） ○発生特性に関する調査
	[溶接欠陥/不良] 溶接により微細な割れが発生していた可能性	高倍率の観察など詳細調査が必要	
亀裂有り健全性	進展予測評価式について、規格化されていない（検証が不十分）	進展予測評価に関する知見の拡充が必要	<ul style="list-style-type: none"> ○SCC進展特性知見の調査 ○SCC進展特性データの取得 ○SCC進展速度線図案の策定 ○溶接残留応力評価 ○構造健全性評価 ○LBB成立性の検討

参考資料：研究計画における必要な対応と実施項目(案) [1/4]

外部専門家コメントを踏まえつつ、現状認識に対し必要な対応と実施項目を検討した。後続検討に影響を与える亀裂の発生メカニズム・原因をまず確定すべく、実施項目のうち優先度の高いものを2022年度より着手し、その結果に応じて適宜計画を見直していくこととした。

<最新知見の調査>

項目	概要
必要な対応	<ul style="list-style-type: none"> 仏国PWRの安全注入系配管のSCC事例等、継続的に最新知見を調査し、研究計画に反映する。
実施項目	1. 最新知見の調査

<亀裂発生メカニズム・原因>

項目	概要
現状認識	<ul style="list-style-type: none"> 溶接熱収縮による硬化が亀裂発生の原因と考えているが、硬化により粒界割れに至る知見が不足。 亀裂発生形態（単一or 複数亀裂の発生）に関する知見が不足。 亀裂発生機構はSCCが有力との認識だが、微小な潜在亀裂が存在した可能性を否定できていない。
必要な対応	<ul style="list-style-type: none"> 実機損傷部位や健全部（含むモックアップ）に対する下記の調査を行い、既往知見の調査結果と併せて、亀裂発生メカニズム・原因の特定を行う。 具体的には、亀裂が生じた粒界近傍での局所的な歪や硬さ、特異な残留応力等が生じた可能性について、事業者調査では実施しなかったEBSD等も用いて実機（含むモックアップ）に対する詳細調査を実施し、硬さ、もしくは硬さ以外の粒界割れ発生要因を調査する。 併せて、SEM、EDS等を用い、微小な潜在亀裂等の初期欠陥の有無を調査する。
実施項目	2. 実機詳細調査（損傷部位、比較部位） (1)-①局所ひずみ測定（SEM/EBSD） (1)-②断面マクロ硬さ測定 (2)-①溶接欠陥の調査(SEM/EDS) (2)-②潜在き裂の調査(SEM/EDS) (3)被膜分析、亀裂先端マイクロ組織分析（TEM）

<亀裂発生条件>

項目	概要
現状認識	<ul style="list-style-type: none"> 亀裂発生機構がSCCであったとしても、その発生条件の明確化が必要。
必要な対応	<ul style="list-style-type: none"> 前項に示す実機詳細調査により亀裂発生メカニズム・原因を特定しつつ、その発生条件を明確化する。
実施項目	2. 実機詳細調査（損傷部位、比較部位）（前表記載内容を通じて明確化）

<亀裂発生特性>

項目	概要
現状認識	<ul style="list-style-type: none"> SCC発生特性（発生時間と作用応力の関係）に関する知見が不足している。
必要な対応	<ul style="list-style-type: none"> 電力共通研究等、SCC発生特性に関する知見に関し、調査を実施する。 本項は、実機詳細調査による亀裂発生メカニズム・原因を見極めた上で、実施する。
実施項目	3. 発生特性に関する調査（2023年度以降実施）

<SCC進展特性>

項目	概要
現状認識	<ul style="list-style-type: none"> PWR1次系環境下のSCCの進展特性は、硬化度（加工度）・応力・高温条件が加速因子である事等、一定の知見は取得されている。
必要な対応	<ul style="list-style-type: none"> SCC進展特性に関し得られている既往知見が、本事象の条件（進展速度・進展経路）を十分に網羅できているか調査する。 その進展特性知見の調査結果を踏まえ、必要に応じ本事象の条件に合致するSCC進展データの取得を行う。
実施項目	5.(1)SCC進展特性知見の調査 5.(2)SCC進展特性データの取得（2023年度以降実施）

<SCC進展評価>

項目	概要
現状認識	<ul style="list-style-type: none"> SCCに対する基本的な亀裂進展評価手法は確立されている一方、維持規格にPWR1次系環境中のSCCに対する亀裂進展速度線図は整備されていない。
必要な対応	<ul style="list-style-type: none"> SCC進展特性の項目で整理したSCC進展データを基に、SCC亀裂進展速度線図案を策定する。
実施項目	5.(3)SCC進展速度線図案の策定 (2023年度以降実施)

<残留応力評価>

項目	概要
現状認識	<ul style="list-style-type: none"> 溶接残留応力の基本的なFEM解析手法は国プロIAFで整備されている一方、詳細な当該部位の条件を押さえた残留応力分布は得られていない。
必要な対応	<ul style="list-style-type: none"> 本検討で得た実機詳細調査結果を考慮に入れつつ、当該部位の条件を当てはめ、溶接残留応力分布を解析的に得る。
実施項目	6.溶接残留応力評価 (2023年度以降実施)

<健全性評価>

項目	概要
現状認識	<ul style="list-style-type: none"> 当該部位に関する暫定的な健全性評価は事業者調査時に実施されているが、本検討で得られた知見を反映した健全性評価を実施する必要がある。
必要な対応	<ul style="list-style-type: none"> 本検討で得た実機詳細調査結果とそれを基にした残留応力評価、SCC進展特性知見等を用い、亀裂進展評価と破壊評価による健全性評価を実施する。
実施項目	7.(1)構造健全性評価 (2023年度以降実施)

<破断前漏えい (LBB) の成立性>

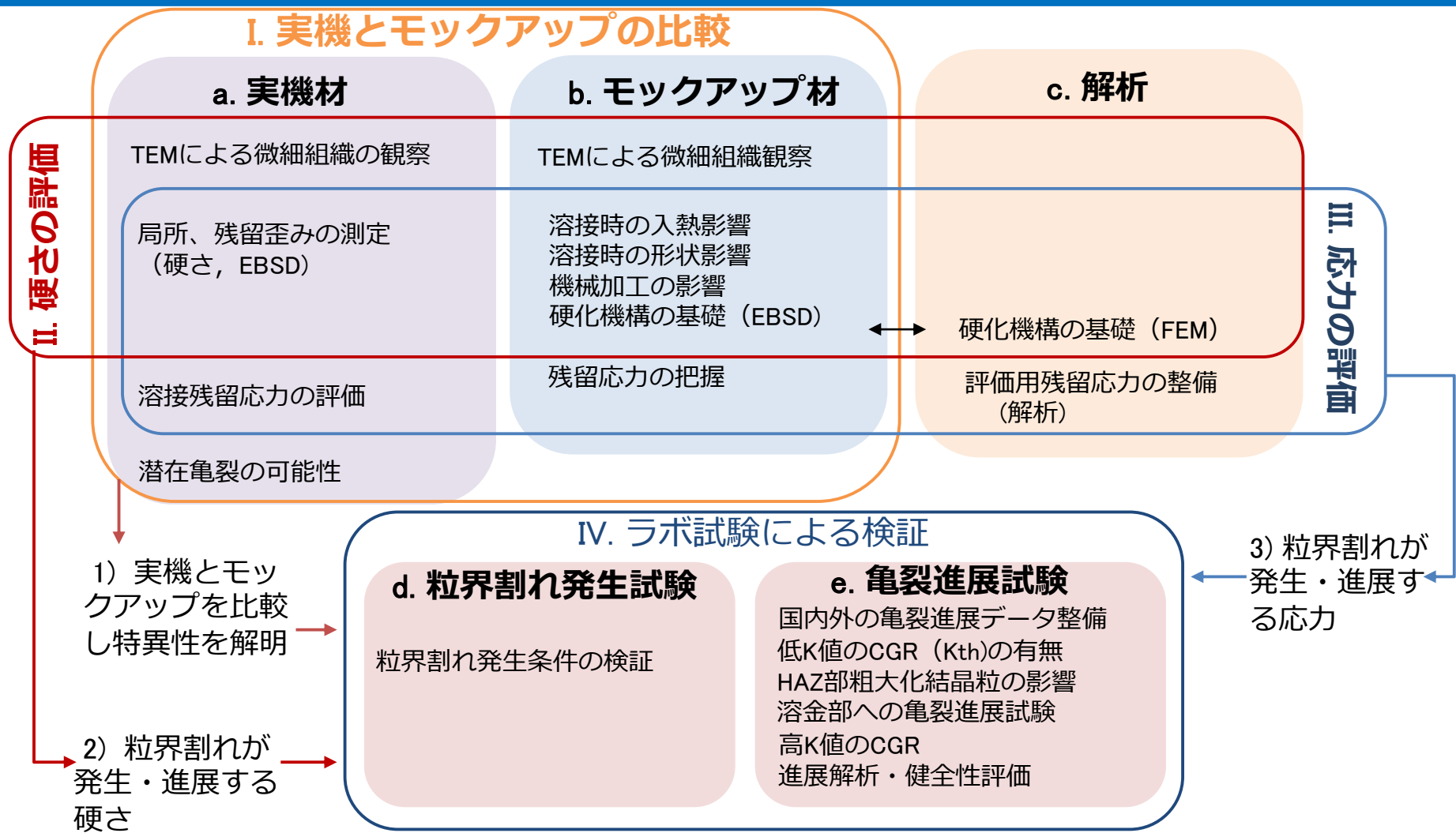
項目	概要
現状認識	<ul style="list-style-type: none"> LBBの成立性に関して更なる知見拡充を進める必要がある。
必要な対応	<ul style="list-style-type: none"> 本検討で得た実機詳細調査結果、SCC進展評価、破壊評価結果を基に、LBBに対する裕度を明らかにする。
実施項目	7.(2)LBB成立性の検討 (2023年度以降実施)

<技術基盤の整備>

項目	概要
現状認識	<ul style="list-style-type: none"> 粒界割れの水平展開部位に対し、向こう3年間を目途に超音波探傷検査を毎年実施している。 本検討成果を反映した健全性評価手法を確立する必要がある。
必要な対応	<ul style="list-style-type: none"> 本検討の成果を基に、検査範囲の明確化を図り、検査・健全性評価手法の技術基盤を整備する。
実施項目	8. 技術基盤の整備 (2023年度以降実施)

検討時期について、後戻りが発生しないよう、以下にて実施することとした。

目標	実施項目	2022年度	2023年度	2024年度	2025年度
全般	1. 最新知見の調査	[Blue bar spanning 2022-2025]			
発生メカニズム解明	2. 実機詳細調査（損傷部位、比較部位）	実機損傷/健全部位	モックアップ		
	(1)-①局所ひずみ測定（SEM/EBSD）	[Blue bar]	[Blue bar]		
	(1)-②断面マクロ硬さ測定	[Blue bar]	[Blue bar]		
	(2)-①溶接欠陥の調査(SEM/EDS)	[Blue bar]	[Blue bar]		
	(2)-②潜在き裂の調査(SEM/EDS)	[Blue bar]	[Blue bar]		
	(3)被膜分析、亀裂先端マイクロ組織分析（TEM）	[Blue bar]			
	3. 発生特性に関する調査		[Blue bar]	[Blue bar]	[Blue bar]
検査技術向上	4. 検査技術向上策検討（2021年度）				
構造健全性評価の確立	5. (1) SCC進展特性知見の調査	[Blue bar]			
	5.(2)SCC進展特性データの取得		[Blue bar]	[Blue bar]	[Blue bar]
	5.(3)SCC進展速度線図案の策定			[Blue bar]	[Blue bar]
	6.溶接残留応力評価			[Blue bar]	[Blue bar]
	7.(1) 構造健全性評価			[Blue bar]	[Blue bar]
	7.(2) LBB成立性の検討			[Blue bar]	[Blue bar]
技術基盤の整備	8. 技術基盤の整備			[Blue bar]	[Blue bar]



実施項目の相関について整理し、専門家の意見含め、考えられ得るものは全て洗い出した。
 ⇒取組項目が多いこと等から、優先度を明確にし、効率的に検討を進めることとした。

1. 検討背景と課題認識／検討方針

2. 2021年度検討内容

2.1 発生メカニズム・亀裂有り健全性評価

2.2 検査技術の向上

3. まとめ

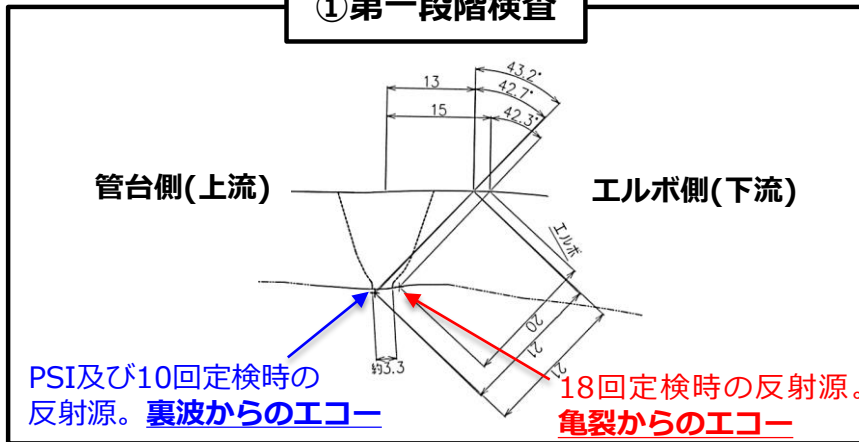
2021年度に実施した課題検討プロセスは以下のとおり。

- i) 規制委員会との公開会合で議論された点を含め、事象概要を外部専門家に説明 → 5 ・ 21
- ii) FT図を用いて考えられる要因をゼロベースで洗い出しの上で、事業者の調査結果等の既知見を踏まえ、原因となり得る課題を絞込み・整理 → 22 ~ 23
- iii) 絞込んだ課題を踏まえ、検査技術の向上策を検討し取りまとめ → 24 ~ 27

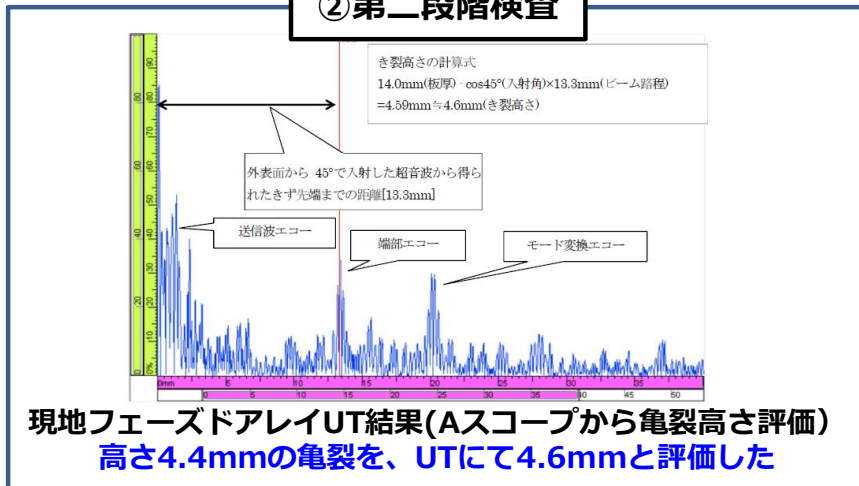
検査技術の向上 課題認識

- 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。

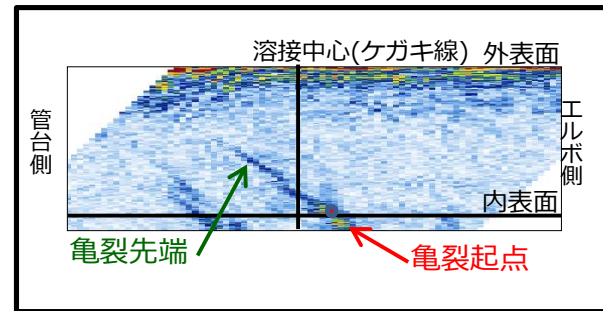
① 第一段階検査



② 第二段階検査



③ 追加調査



現地フェーズドアレイUT結果(Bスコープから性状評価)

- ①前後2分割型プローブ → [×] 表層付近に亀裂端部が無いと推定される。
- ④1次クレーピング、モード変換 → [×] 表層付近に亀裂端部が無いと推定される。
- ⑤縦波マトリクスPA → [×] 亀裂の進展方向と超音波の入射方向が平行だと推定される。

上流側(管台) 下流側(エルボ)

探傷手法	解説Ⅰ	解説Ⅱ	解説Ⅲ	解説Ⅳ
① 2探小型垂直	—	—	×	—
② 2次クレーピング	—	—	—	×
③ 前後2分割型プローブ	—	—	—	×
④ 1次クレーピング・モード変換	—	—	—	×
⑤ 縦波マトリクスPA	×	—	—	—
⑥ 横波マトリクスPA	—	×	×	—

⑥横波マトリクスPA → [×] 直射でコーナーエコーが得られないことから、亀裂の起点は管台側になり、亀裂の進展方向は管台側になり、亀裂の進展方向と超音波の入射方向が平行だと推定される。

②2次クレーピング → [×] 亀裂の起点は管台側になり、亀裂の進展方向は管台側になり、亀裂の進展方向と超音波の入射方向が平行だと推定される。

①2探小型垂直 → [×] 亀裂は板厚方向に対し直交する方向の性状ではなく10°(底面からの角度)以上傾いているものと推定される。

解説Ⅰ：直射の場合、亀裂面に対して超音波が平行に近いことから、反射率が低く、検出できない。
 解説Ⅱ：底面反射時の音圧反射率が著しく低下するため面エコーを検出できない。
 解説Ⅲ：超音波の欠陥への入射角と亀裂面角度差により反射率が低下するため、面エコーが検出できない。
 解説Ⅳ：対象となる部位に反射源(亀裂)が確認されなかった。

追加調査では明確な反射源は検出せず

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。	×	
		野書き	・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

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。

検査技術の向上策（案）（1/4）

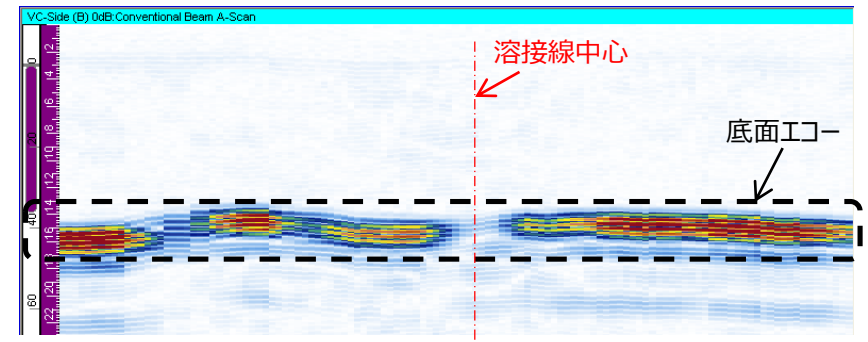
原因調査結果に対する①～③の対策案について、以下に示す。

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

検査技術の向上策（案）（2/4）

③UT手法による対策

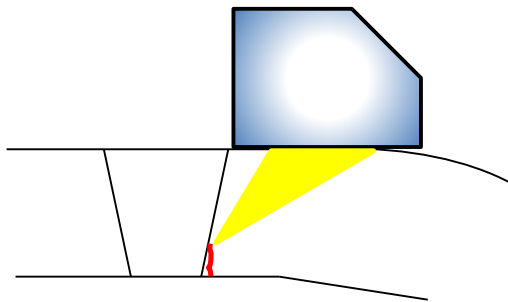
- シミュレーション解析およびモックアップ試験による妥当性検証の結果、以下の対策により亀裂性状を把握できることを確認した。

(1) 探触子設置位置に応じた超音波入射条件の設定

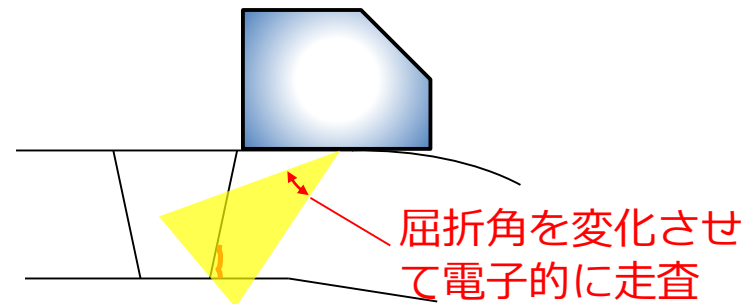
- 超音波集束条件（管軸方向、板厚方向）を複数準備することにより、外表面形状の影響を受けない位置で探傷可能とする（図③(1)参照）。

(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

検査技術の向上策（案）（3/4） ～UT手法による対策の有効性確認結果～

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)。

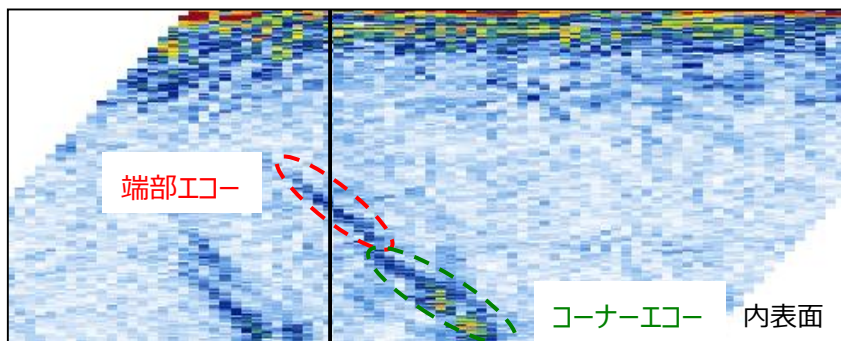


図1：実機SCC検出時の波形(現地波形)

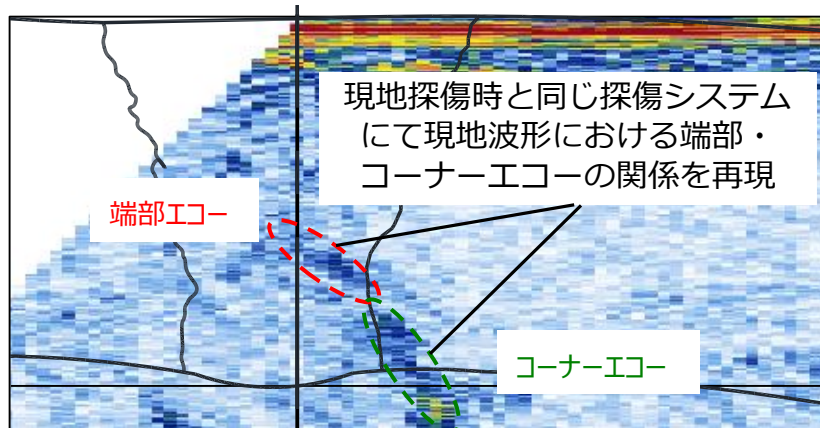


図2：SCC付与モックアップによる現地波形の再現

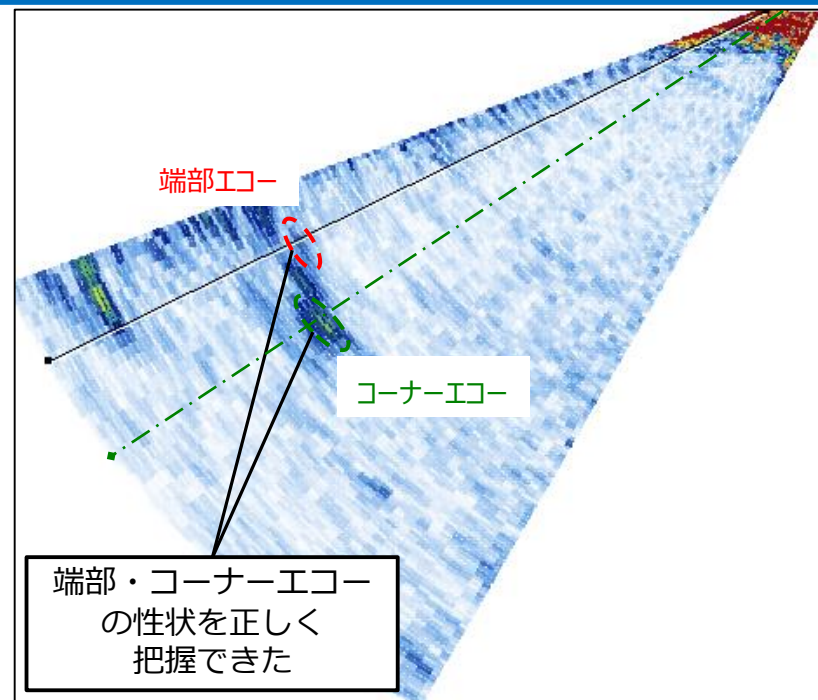
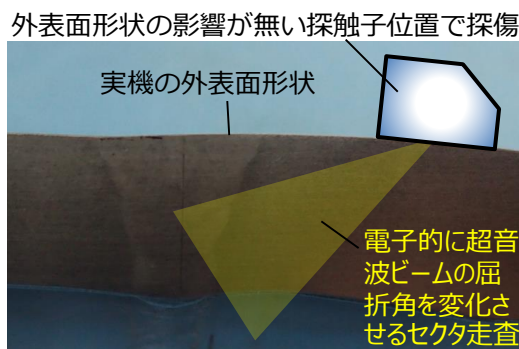


図3：セクタ走査による探傷(SCC付与モックアップ)



SCC付与モックアップでの探傷イメージ

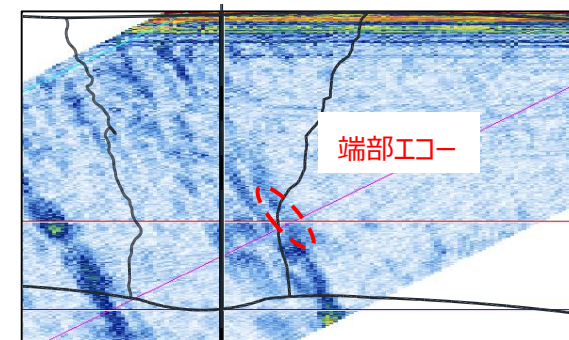


図4：外表面形状の影響を受けない位置からの探傷(SCC付与モックアップ)

検査技術の向上策（案）（4/4）

亀裂性状把握に関する改善方針

向上策①：UT結果の評価者に対する教育

- 検査員に対し、外表面形状等Bスコープ表示と実際の亀裂性状に乖離を生む因子について理解させる。

向上策②：裏波性状把握による溶接線中心位置推測の高度化

- 亀裂性状を評価する際には、開先部の形状公差や、溶接中心を公差等の積み上げによる誤差の影響を受けないようなデータ採取(例えば垂直探傷のBスコープ画像)により、UTデータ側で可能な限り詳細な評価を行う。

向上策③：UT手法による亀裂性状把握高度化

(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。

(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。

目次

1. 検討背景と課題認識

2. 検討内容

2.1 発生メカニズム・亀裂有り健全性評価

2.2 検査技術の向上

3. まとめ

まとめ

○発生メカニズム解明／亀裂有り健全性評価

- 詳細調査／技術検討が必要な項目について、外部専門家の意見を基に研究計画を策定した。
- 本計画に基づき、2022年度以降も継続して知見拡充を進める。

○検査技術の向上

- UTによる推定と破壊調査後の亀裂性状に関する差異について検討した結果、①：評価体制への対策、②：溶接線中心位置把握技術の高度化、③：UT手法による対策、により、亀裂性状を正しく評価可能となることが、外部専門家に了解された。
- 実機保全に反映するアクションとしては、以下の通り。
 - 今回検討した対策について、検査主業者の亀裂検出時の検査業務活動へ反映が行われるよう、ATENAから事業者へ要求事項を提示する（ATENAステアリング会議の決議を経て進める予定）。
 - 規格・基準を扱う学協会へ、情報を提供する。