



# 技術評価要望のあった 規格に関する改定状況について

令和2年2月7日

日本電気協会

原子力規格委員会

# 規格の改定スケジュール

事業者より技術評価要望等のある規格について、発刊および技術評価対応可能時期を以下に示す。

規格名	2019年度	2020年度	2021年度
原子炉構造材の監視試験方法 (JEAC4201-20XX)  (参考)2019年度技術評価対象 ・原子炉圧力容器に対する供用期間中の破壊靱性の確認方法(JEAC4206-2016) ・フェライト鋼の破壊靱性参照温度 $T_0$ 決定のための試験方法(JEAC 4216-2015)		2020年度発刊予定  技術評価中 技術評価中	発刊▽※1  技術評価対応
原子力安全のためのマネジメントシステム 規程 (JEAC4111-20XX)		2020年9月頃発刊予定  技術評価対応	発刊▽※1
原子力発電所耐震設計技術規程 (JEAC4601-20XX)		2021年度発刊予定	発刊▽※1  技術評価対応
原子炉格納容器の漏えい率試験規程 (JEAC4203-2017)	2018年3月発刊済み	技術評価対応 ※2	
原子力発電所用機器における渦電流探傷 試験指針(JEAG4217-2018)	2019年1月発刊済み	技術評価対応 ※2	

※1：現在改定中規格の発刊時期は予定であり、適宜見直しを行う。

※2：他の規格の技術評価と重複しない時期



# 規格の改定概要

規格名称	JEAC4201-20XX 原子炉構造材の監視試験方法
規格概要	原子炉圧力容器用鋼材の中性子照射による機械的性質の変化について調査し,評価する監視試験方法を規定
規格策定状況	2020年度 改定版発刊予定
改定概要 (既技術評価年版からの差異)	最新知見等を反映し,中性子照射脆化による関連温度移行量の予測法の高度化,その他規定の充実等,改定検討を進めている。 <ul style="list-style-type: none"><li>・関連温度移行量の予測法の見直し</li><li>・試験用カプセルの取出し時期の見直し(運転期間延長制度等反映)</li><li>・再生接合技術の追加</li><li>・試験片再生時の採取位置要求の見直し 等</li></ul> (添付-1参照)
技術評価対応 可能時期	発刊以降
既技術評価年版	2007年版/2010年追補版/2013年追補版
規則解釈等の引用	技術基準解釈(第14/22条) 実用発電用原子炉施設における高経年化対策審査ガイド

# 規格の改定概要

規格名称	JEAC4111-20XX 原子力安全のためのマネジメントシステム規程
規格概要	原子力施設の事業者が原子力施設の設計・建設段階・試運転段階・運転段階・廃止措置段階において、原子力安全の達成・維持・向上をより強固にするための活動に必要な事項について民間自主規程として定めたもの。その際、要求事項(法令・規制要求事項)に加えて、福島第一原子力発電所事故の教訓を踏まえ、GSR Part2等の国際標準を参照した。
規格策定状況	2020年9月末 改定版発刊予定
改定概要 (既技術評価年版からの差異)	<ul style="list-style-type: none"><li>・民間規格としての用語を継承しつつ、品質管理基準規則及び解釈を要求事項に反映し、その要求事項を満たす具体的活動を適用ガイドに展開</li><li>・自主的安全性向上の観点から、必要な要求事項及び適用ガイドを追加</li><li>・「是正措置活動(CAP)」及び「安全文化及びリーダーシップ」については、新たな附属書を策定。</li></ul> <p>(添付-2参照)</p>
技術評価対応 可能時期	発刊以降
既技術評価年版	2009年版
規則解釈等の引用	品質管理基準規則の解釈

# 規格の改定概要

規格名称	JEAC4601-20XX 原子力発電所耐震設計技術規程
規格概要	原子力発電所の耐震設計において適用するクラス分類,地震荷重,解析手法,許容値等について規定
規格策定状況	2021年度 改定版発刊予定
改定概要 (既規制基準への引用年版からの差異)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・耐震重要度分類の見直し(旧Aクラス、AsクラスをSクラスに統合)</li> <li>・適用する鉛直地震力について,従前の静的地震力に加えて動的地震力を要求するとともに,水平地震力と鉛直地震力の組み合わせ方法を明確化</li> <li>・平成25年施行の規制基準要求に整合させ,記載を明確化</li> <li>・試験、研究等に基づく新たな知見の反映(許容限界、設計用減衰定数など)</li> <li>・新規制基準に基づく審査実績を踏まえた記載の充実・明確化</li> </ul> <p>(添付-3参照)</p>
技術評価対応可能時期	発刊以降
既技術評価年版	—
規則解釈等の引用	耐震設計に係る工認審査ガイド <ul style="list-style-type: none"> <li>・原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987</li> <li>・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 JEAG4601-補-1984</li> <li>・原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版</li> </ul>

# 規格の改定概要

規格名称	JEAC4203-2017 原子炉格納容器の漏えい率試験規程
規格概要	原子炉格納容器の漏えい率試験に係る試験対象,試験方法等を規定
規格策定状況	2017年版を発刊済み
改定概要 (既技術評価年版 からの差異)	2017年版の主な改定内容 ・2008年版の技術評価の際に,その適用にあたって出された条件(A種試験を実施する場合の追加要件)及び要望事項(A種試験後にシール部または貫通部を開放する場合の追加試験等)他を反映。
技術評価対応 可能時期	他の規格の技術評価時期(技術評価中含む)と重複しない時期
既技術評価年版	2008年版
規則解釈等の引用	実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈 ・第二十一条(耐圧試験等) ・第四十四条(原子炉格納施設) ・別記-8(日本電気協会「原子炉格納容器の漏えい率試験規程 (JEAC 4203)」の適用にあたって)



# 規格の改定概要

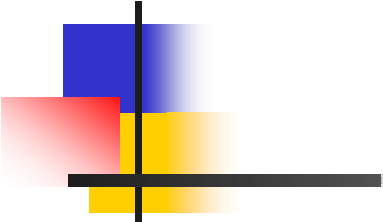
規格名称	JEAG4217-2018 原子力発電所用機器における渦電流探傷試験指針
規格概要	原子力設備の渦電流探傷試験において、探傷面開口欠陥の検出(欠陥の疑いのある指示部の抽出及び欠陥判定)及び長さ測定の要領を示したもの
規格策定状況	2018年版を発刊済み
改定概要 (既技術評価年版からの差異)	2018年版の主な改定内容 ・低合金鋼母材部の上置プローブを用いた渦電流探傷試験を適用範囲に追加 ・同上の渦電流探傷試験要領を附属書に追加
技術評価対応 可能時期	他の規格の技術評価時期(技術評価中含む)と重複しない時期
既技術評価年版	2010年版
規則解釈等の引用	維持規格2012 年版(2014 年追補までを含む)(IA-2533 渦流探傷試験)で2010年版を引用



## まとめ(技術評価対応への要望)

- 原子力規制庁殿より,技術評価への対応の要請があった場合は,日本電気協会の規約に基づき対応させていただくこととなりますが,技術評価を行うにあたって,以下の事項を考慮いただきたい。
  - 改定作業中の3規格 (JEAC4201,4111,4601)については,今後,関係検討会,分科会及び原子力規格委員会の審議の状況により,今回提示したスケジュールに変更が生じることは,ご理解いただきたい。  
また,改定スケジュールの状況については,適宜,原子力規制庁殿と情報共有を図っていきたい。
  - 技術評価を開始するにあたっては,技術評価会合への対応体制の構築,資料準備等が必要であるため,開始時期を調整させていただきたい。  
特に,耐震設計規格 (JEAC4601)のように,内容が多く,多岐に亘っている規格については,必要な準備について予め認識を共有し,それに応じた準備期間を確保できるよう協議させていただきたい。





「原子炉構造材の監視試験方法」  
(JEAC4201-20XX)  
改定検討状況について

# JEAC4201技術評価時の規制委員会要求事項

1

- JEAC4201-2007[2013年追補版]（以下，JEAC4201-2013）技術評価結果を受け，原子力規制委員会から日本電気協会に対し特定指導文書※<sup>1</sup>が発出され，以下の事項の確認がされた。

(1) 予測式改定に向けた具体的な対応及びスケジュール

⇒ 2,3

(2) 当該規格の妥当性を示す上で必要な情報の検証と公開に関する対応

(3) 中立性，透明性及び公開性の一層の確保に向けた対応

- 上記文書における確認事項のほか，JEAC4201-2013の技術評価書※<sup>2</sup>において，以下の事項が挙げられた。

(1) 監視試験データが予測値を上回った場合の影響評価結果の報告

⇒ 4,5

(2) 改定されるJEAC4201に対する技術評価の視点

① 予測式の係数最適化に関する技術的妥当性の視点

1) データの重み付けをする場合は合理的な理由が説明されていること

2) 試験炉照射データの取扱いが妥当であること

② 物理的現象を考慮したモデルとして改定する場合，関連学協会と連携

(3) プラントごとに予測値に偏りが生じることについて，より一層の研究を期待（Mc補正※<sup>3</sup>の妥当性の検討）



※1 日本電気協会「原子炉構造材の監視試験方法(JEAC4201-2007)[2013年追補版]」に関する技術評価を受けた今後の対応について(依頼)，原規技発第1510191号，平成27年10月19日

※2 日本電気協会「原子炉構造材の監視試験方法（JEAC4201-2007）[2013年追補版]」に関する技術評価書の策定について，原規技発第1510073号，平成27年10月7日

※3 予測式による計算結果を監視試験の実測値にフィットするように補正するマージン

## 電気協会の回答と対応状況 (1/2)

日本電気協会は、特定指導文書の確認事項に対し、以下の内容を原子力規制委員会に回答※し、それに基づく対応を実施中

NRA確認事項	電気協会回答	対応状況
1 予測式改定に向けた具体的な対応及びスケジュール	脆化予測法の改定検討を継続して進められるように監視試験データを入手し、予測性能の適切性を確認していく。また、今後、監視試験で予測を外れるデータが得られた場合には当該規格の改定要否検討を行い、その結果を原子力規制庁に情報提供する。	電気協会の回答以降に、大飯3号機第3回及び東海第二第4回の監視試験結果が報告されたが、いずれもJEAC4201-2013による予測の範囲内であることを確認した。
	2018年予定の次回改定に向けて最新知見に基づく中性子照射脆化に対する影響因子の検討、基本モデル式の改定要否、Mc補正の妥当性の検討、さらに別モデルの採用要否も含めて検討する予定	<ul style="list-style-type: none"> <li>・<u>基本モデル式の改定要否</u>  <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">参考-1~7</span> IET小委員会※(日本溶接協会)で専門家と議論しながら進めてきた。現在、IET小委員会の議論結果を基に、破壊靱性検討会にて見直し検討中 <small>※:参考-10参照</small></li> <li>・<u>Mc補正の妥当性の検討</u> 基本モデル式の改定と併せて検討中</li> <li>・<u>別モデルの採用要否</u>  <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">参考-8,9</span> 米国及びフランスの予測法を調査し、国内照射データに対する適用性を評価した結果、国内基本モデル式を採用することが良いと判断</li> </ul>

※日本電気協会「原子炉構造材の監視試験方法(JEAC4201-2007)[2013年追補版]」に関する技術評価を受けた  
今後の対応について(依頼)(原規技発第1510191号)への回答について、日電協27技基第342号、平成27年11月30日


## 電気協会の回答と対応状況 (2/2)

日本電気協会は、特定指導文書の確認事項に対し、以下の内容を原子力規制委員会に回答し、それに基づく対応を実施中（続き）

NRA確認事項	電気協会回答	対応状況
2 当該規格の妥当性を示す上で必要な情報の検証と公開に関する対応	脆化予測法の導出プロセスや検証プロセス、使用データについてトレーサビリティが確保されていることを引用論文等を通じて確認するとともに、必要に応じて論文著者に問い合わせるなどして、審議過程で確認していく。この確認内容については、解説に記載するなどして規格としての公開性を高めていく。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・<u>検証に係る対応</u> 検討中の基本モデル式が確定次第、破壊靱性検討会で対応予定。導出プロセスに客観性が確保できるよう特定のデータに重み付けをせずに係数設定の検討を進めている。</li> <li>・<u>公開に係る対応</u> ミクロ組織変化予測式に関する検討状況を中心に一部国際会議等で発表済。今後確定した基本モデル式の対外発表やJEAC4201の解説の記載充実等対応予定</li> </ul>
3 中立性、透明性及び公開性の一層の確保に向けた対応	電気協会として、委員構成の見直し、録音機による採録実施の取り扱いの明確化、及びシンポジウムの実施等具体的に取り組んでいる。	左記回答に基づき対応中

# 技術評価書の指摘事項対応状況 (1/2)


JEAC4201-2013の技術評価書に挙げられた確認事項の対応状況は以下の通り

NRA確認事項		対応状況
1	監視試験データがJEAC4201-2013による予測値を上回った場合、影響を評価し、その結果を報告すること	特定指導文書に対する電気協会の回答以降に、大飯3号機第3回及び東海第二第4回の監視試験結果が報告されたが、いずれもJEAC4201-2013による予測の範囲内あることを確認した。
2	改定されるJEAC4201に対する技術評価の視点	
①	予測式の係数最適化に関する技術的妥当性の視点	
1)	データの重み付けには合理的理由があること	IET小委員会における議論結果を踏まえ、重み付けをしなくても十分な予測性を示す基本モデル式を採用することとした。  <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">参考-1~7</span>
2)	試験炉照射データを用いている場合、取扱いが妥当であること	予測式の検討と並行して、破壊靱性検討会傘下の監視試験WGを中心に、第三者による最適化プロセスの検証を実施中。最適化対象データ(監視試験データ, 試験炉照射データ)の確認についても併せて実施予定

## 技術評価書の指摘事項対応状況 (2/2)

5

JEAC4201-2013の技術評価書に挙げられた確認事項の対応状況は以下の通り (続き)

NRA確認事項	対応状況
2 改定されるJEAC4201に対する技術評価の視点(続き)	
② 物理的現象を考慮したモデルとして改定する場合, 日本金属学会や日本原子力学会等の関連学協会と連携すること	<p>日本溶接協会 原子力研究委員会傘下に「原子炉压力容器の中性子照射脆化予測法検討小委員会」(略称 IET小委)を設置し, 照射脆化に係る最新知見や基本モデル式見直しについて, 日本原子力学会や日本金属学会に所属する専門家と議論し, 議論結果を踏まえて基本モデル式の見直しを進めた。その結果を踏まえ, 破壊靱性検討会で見直し案を検討中</p> <p style="text-align: right;"> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">参考-10</span></p>
3 プラントごとに予測値に偏りが生じることについて, より一層の研究を期待 (Mc補正の妥当性の検討)	<p>Mc補正の妥当性については, 基本モデル式の改定と併せて破壊靱性検討会で検討中</p>



# JEAC4201改定案検討状況

## 中性子照射脆化予測式の改定案



参考-1~7

- 照射脆化予測式の枠組みはJEAC4201-2013と同じとした。
  - ミクロ組織変化予測→遷移温度移行量予測の枠組みは変えずにそれぞれの式を改良した。
- JEAC4201-2013の予測式策定で考慮したデータの重み付けを採用しないこととした。
- 信頼性の更なる向上を考慮し、予測式の検討にアトムプローブ測定 (APT) により拡充したデータを反映し、ミクロ組織変化の予測性の向上も図ることとした。

### ミクロ組織変化予測式 APT測定で拡充したデータに基づき、ミクロ組織変化の予測性能が向上

- JEAC4201-2013 (現行式) で考慮した「クラスター体積率」と、
- 国内照射材を対象としたAPT測定の蓄積により定量的な評価が可能となってきた「クラスター平均体積」, 「溶質原子クラスターの数密度」, 「鋼材のマトリックス中に固溶しているCu濃度」の予測性を考慮した。

### 遷移温度移行量予測式 遷移温度移行量予測は現行JEAC4201-2013予測式と同等の予測性能を確保

- 国内照射材APT測定で得られた溶質原子クラスター体積率の平方根( $\sqrt{V_f}$ )と遷移温度上昇量( $\Delta T_{41J}$ )に線形の相関が見られるとの知見に着目し検討した。

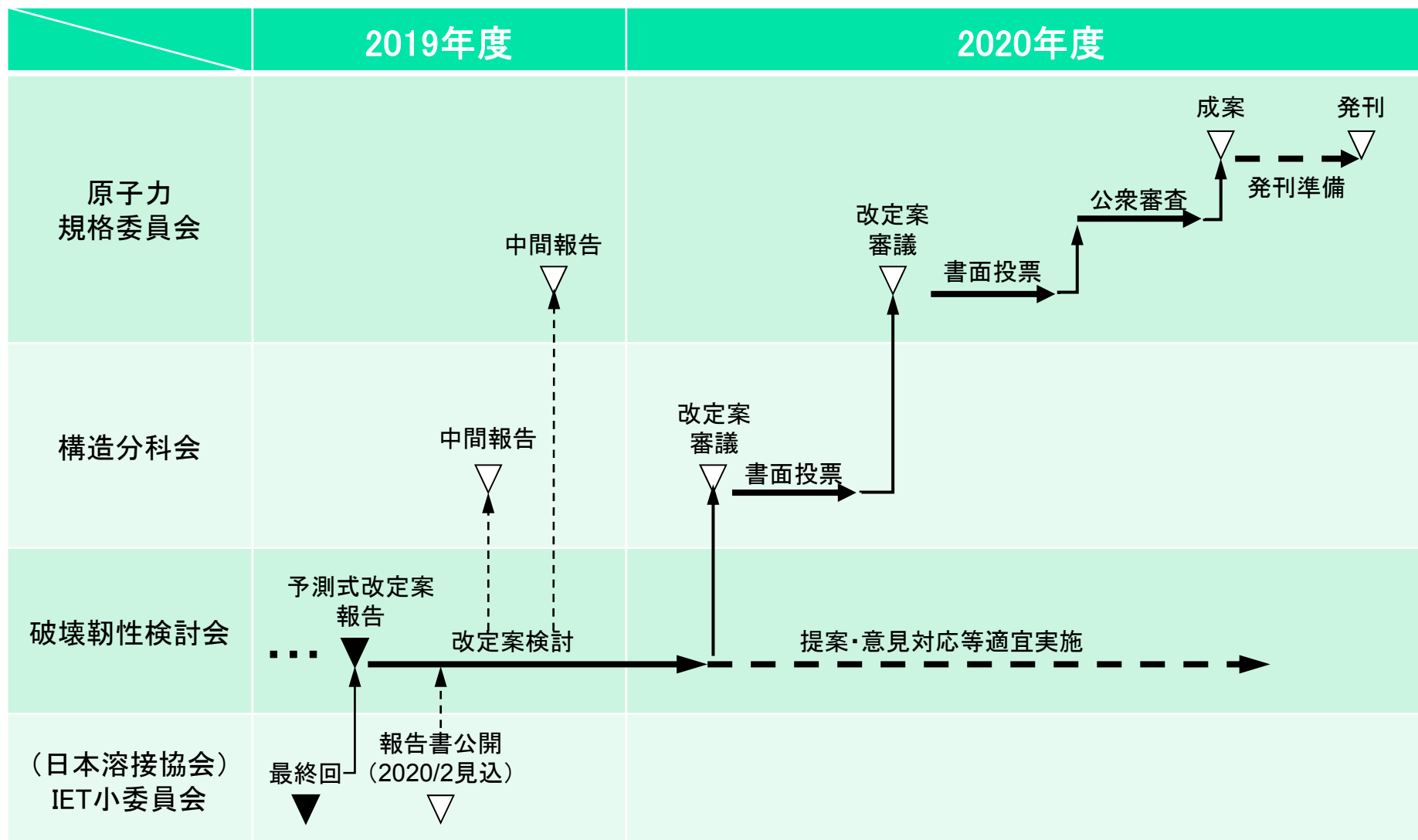
- 破壊靱性検討会において、改定式の更なる最適化 (係数削減等) を検討中

## その他規定の改定案

- JEAC4201改定に向けて、取出し計画、試験片再生接合技術、試験片採取位置に関する規定等の見直し案について検討中

# JEAC4201改定に向けたスケジュール(案)

IET小委員会の議論は終了。2020年度上期に構造分科会，原子力規格委員会に改定案を上程すべく，破壊靱性検討会にて検討を進めている。





# 照射脆化予測式の改定方針 (1/2)

## ■ JEAC4201-2013以降の状況

- ✓ JEAC4201-2013の予測式開発以降、新たな照射脆化要因は認められていない。
- ✓ 国内照射材を対象としたアトムプローブ(APT)データが蓄積され、溶質原子クラスター形成をより定量的に評価できるようになってきた。

## ■ 予測式の改定方針

- ✓ 信頼性の更なる向上を考慮し、マイクロ組織変化の予測性能を向上しつつ、遷移温度移行量の予測性能を確保する。
- ✓ 予測式の枠組みは変更しない。  
(マイクロ組織変化予測→遷移温度移行量予測)

JEAC4201-2013 脆化予測式【現行式】



JEAC4201-2013 脆化予測式の改定

マイクロ組織変化予測式の検討

微分方程式の形式で見直し

- ✓ クラスタ平均体積の式
- ✓ 数密度の式
- ✓ マトリックスCu濃度の式



マイクロ組織変化予測式【見直した微分式】

- ✓ 見直した微分式に対する近似の妥当性
- ✓ 微分方程式の形式から、近似式へ定式化



マイクロ組織変化予測式【近似式】

- ✓ 微分式に対する近似式の妥当性



遷移温度移行量予測式の検討

- ✓ 線形モデルの採用
- ✓ 目的関数による係数の最適化



遷移温度移行量予測式【改定提案式】

- ✓ 改定提案式と現行式の予測結果比較

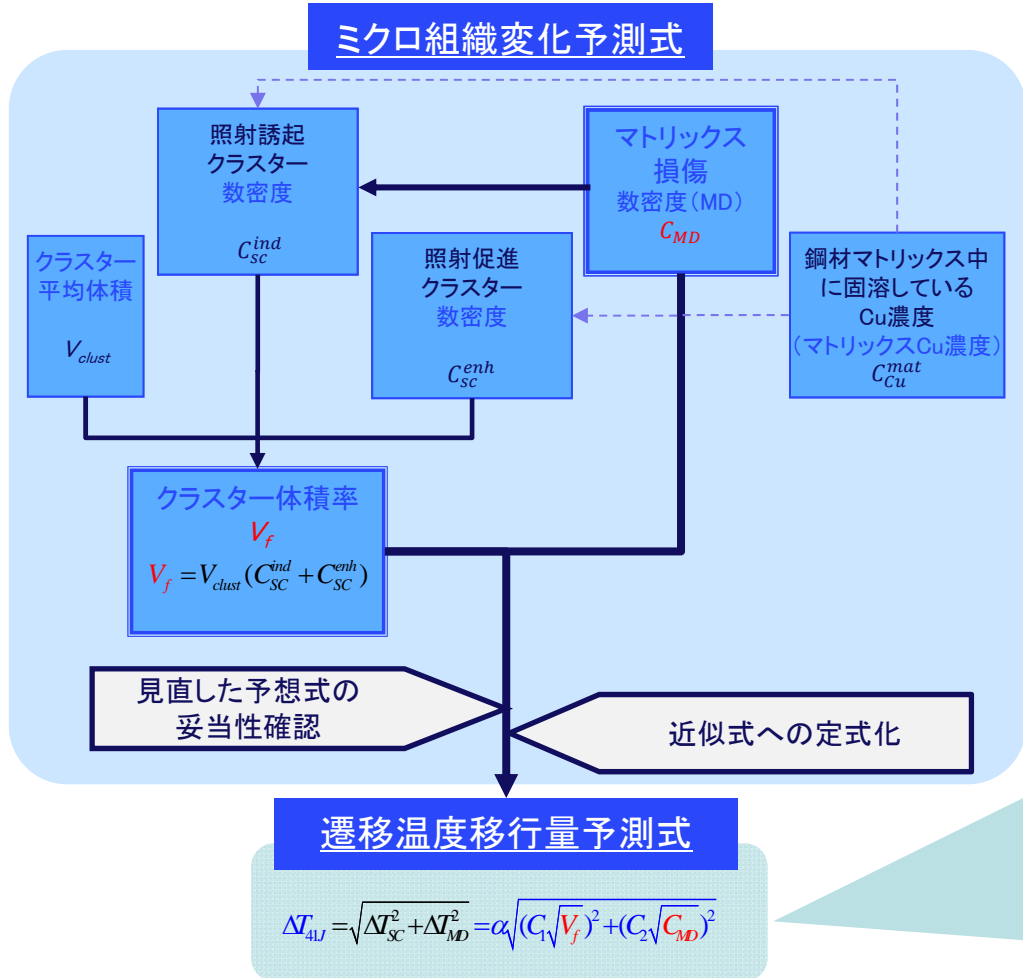
# 照射脆化予測式の改定方針 (2/2)

JEAC4201-2013 脆化予測式【現行式】

脆化予測式の改定

## ■ 改定方針

- ✓ ミクロ組織変化の予測性能を向上しつつ、遷移温度移行量の予測性能を確保する。



### ミクロ組織変化予測

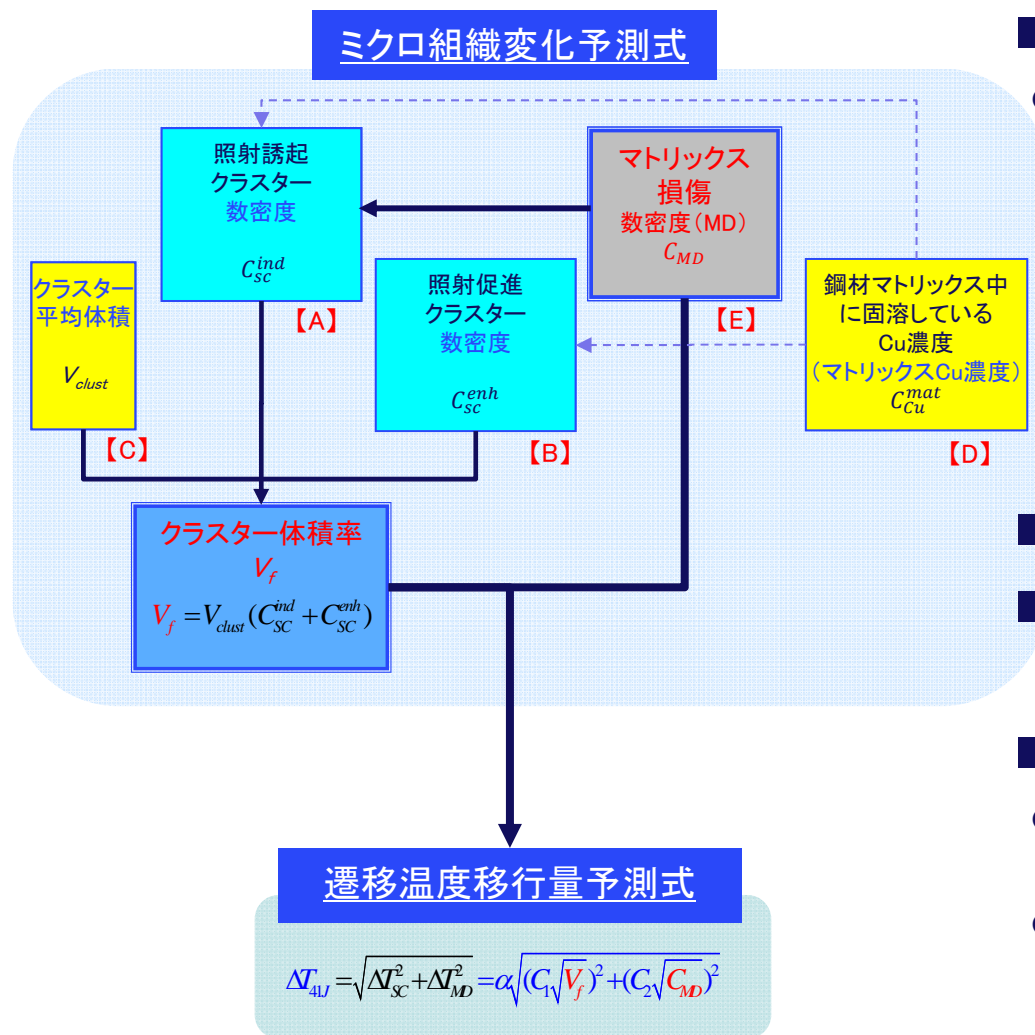
- ✓ 蓄積されたAPTデータを用いて、クラスター形成の傾向を再現する相関式とする。
- ✓ 残差分析を踏まえてマトリックス損傷に対する化学組成の影響等を見直す。
- ✓ 微分方程式形式を近似式に定式化する。

### 遷移温度移行量予測

- ✓ APTで測定されるクラスター体積率の平方根と遷移温度移行量の間に関係があることを再現する。
- ✓ 予測式は線形モデルとする。
- ✓ 最適化に用いるデータへ重みづけしない。
- ✓ 初期降伏応力の考慮について要否検討する。

# ミクロ組織変化予測式の検討

## 脆化予測式の枠組み (ミクロ組織変化予測)



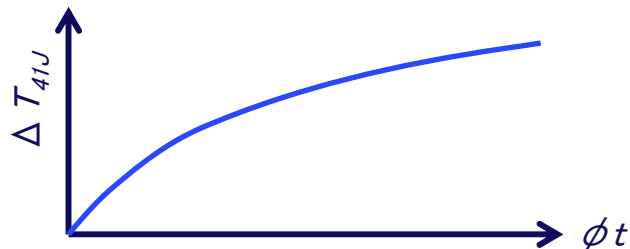
- **溶質原子クラスター** [A,B]
  - APTで測定される溶質原子クラスターを指す。これを単に「溶質原子クラスター」と呼ぶ。2種類の溶質原子クラスターを考える。
    - ✓ **照射促進クラスター** (照射促進クラスターの式)  
中性子照射により形成が促進される均一核生成によるクラスター [B]
    - ✓ **照射誘起クラスター** (照射誘起クラスターの式)  
中性子照射により形成される「マトリックス損傷」を核として形成されるクラスター [A]
- **クラスター平均体積** [C]
- **マトリックスCu濃度** [D]
  - ⇒ APT測定データを再現する。
- **マトリックス損傷** [E]
  - APTで測定されない照射損傷を「マトリックス損傷」と総称し脆化の第2要因として考慮
  - マトリックス損傷 [E] は、照射とともに形成され続けるが、同時に照射誘起クラスター [A] の形成により消費されると想定してモデル化

# 遷移温度移行量予測式の検討 (1/2)

## 遷移温度移行量予測式 (線形モデル)

$$\Delta T_{41J} = \alpha \Delta \sigma_y$$

$\Delta \sigma_y$  : 照射欠陥による降伏応力上昇分  
 $\alpha$  : 比例係数 ( $\alpha = 0.6$ )

$$\Delta \sigma_y = \sqrt{(C_1 \sqrt{V_f})^2 + (C_2 \sqrt{C_{MD}})^2}$$


### ミクロ組織変化予測式(近似式)\*

マトリックス損傷数密度 :  $C_{MD} = \frac{\gamma_1}{\alpha_1} (1 - \exp(-\alpha_1 t))$

クラスター体積率 :  $V_f = V_{clust} (C_{SC}^{ind} + C_{SC}^{enh})$

クラスター平均体積 :  $V_{clust} = A + Bt$

照射誘起クラスター数密度 :  $C_{SC}^{ind} = \gamma_1 t - \frac{\gamma_1}{\alpha_1} (1 - \exp(-\alpha_1 t))$

照射促進クラスター数密度 :  $C_{SC}^{enh} = \beta_4 \left( 1 - \frac{1}{\beta_3 \beta_4 t + 1} \right)$

\*: 参考文献: Y.Hashimoto et al, "Revision of the microstructure model of the embrittlement trend curve for Japanese RPV surveillance data", FONTEVRAUD 9, Contribution of Materials Investigations and Operating Experience to Light Water NPPs' Safety, Performance and Reliability, (17 - 20 September 2018), Avignon, France

## 目的関数による予測式係数の最適化

目的関数  $Obj = \underbrace{\bar{A} \cdot Obj_{\Delta T_{41J}}}_{\text{①}} + \underbrace{\bar{B} \cdot Obj_{V_f}}_{\text{②}} + \underbrace{\bar{C} \cdot Obj_{C_{Cu}^{mat}}}_{\text{③}} + \underbrace{\bar{D} \cdot Obj_{C_{SC}}}_{\text{④}} + \underbrace{\bar{E} \cdot Obj_{V_{clust}}}_{\text{⑤}} \rightarrow \min$

$$\bar{A} + \bar{B} + \bar{C} + \bar{D} + \bar{E} = 1$$

- ① 遷移温度移行量の寄与分
- ② クラスター体積率の寄与分
- ③ マトリックスCu濃度の寄与分
- ④ クラスター数密度の寄与分
- ⑤ クラスター体積の寄与分

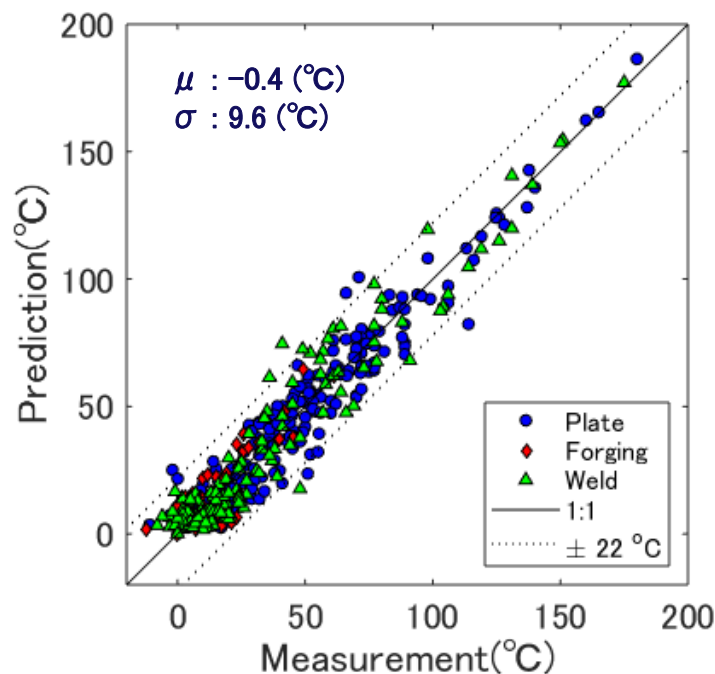
### 目的関数による予測式係数の最適化 (続き)

- 遷移温度移行量だけでなく、ミクロ組織変化に関する物理量も予測することとした。
  - 遷移温度移行量およびミクロ組織変化に関する物理量の目的関数が設定されることになる。
- 最も重要な遷移温度移行量の予測精度が高くなるように目的関数の遷移温度移行量 ( $\bar{A}$ ) の寄与を大きくした。
  - 目的関数の寄与  $\bar{A} + \bar{B} + \bar{C} + \bar{D} + \bar{E} = 1$  (参考-4参照) の配分は、どの予測量を重要視するかという方針に依存するため、今回の改定では遷移温度移行量を重視した。
- 特定の最適化対象データに対する重み付けはしないこととした。
  - 全データに対して均一に最適化するため
- 遷移温度移行量予測式の係数の最適化とともに、ミクロ組織変化予測式の係数も最適化した。

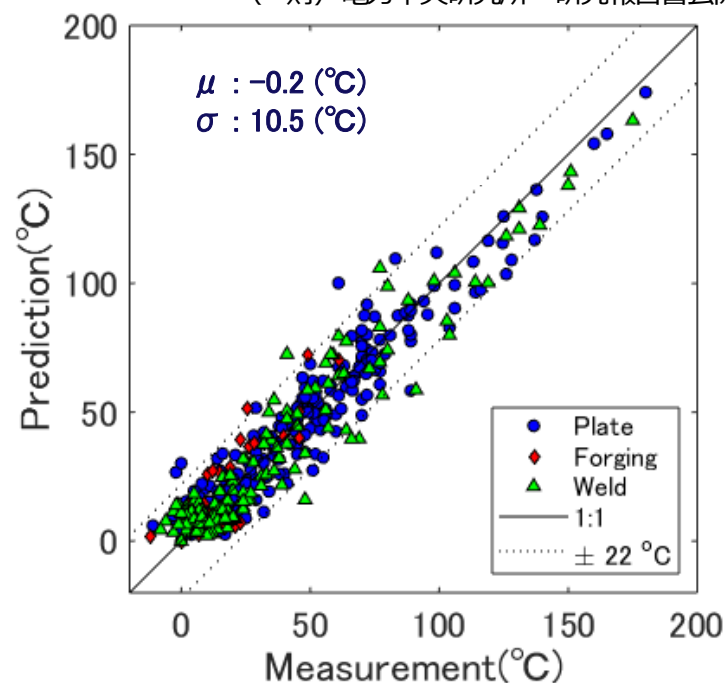
最適化した係数に基づき照射脆化予測式の改定案を検討

## 遷移温度移行量の予測：JEAC4201-2013現行式と改定案の比較 （遷移温度移行量,鋼種別）

（一財）電力中央研究所 研究報告書公開手続中



JEAC4201-2013現行式



遷移温度移行量予測式改定案

- ✓ 現行式は「クラスター体積率 (Vf)」を再現する式として開発した。
- ✓ 改定案は「クラスター体積率 (Vf)」を再現しつつ、拡充したAPT測定データ「クラスター平均体積」, 「クラスター体積率の数密度」及び「マトリックスCu濃度」のマイクロ組織変化の予測性も向上させた。

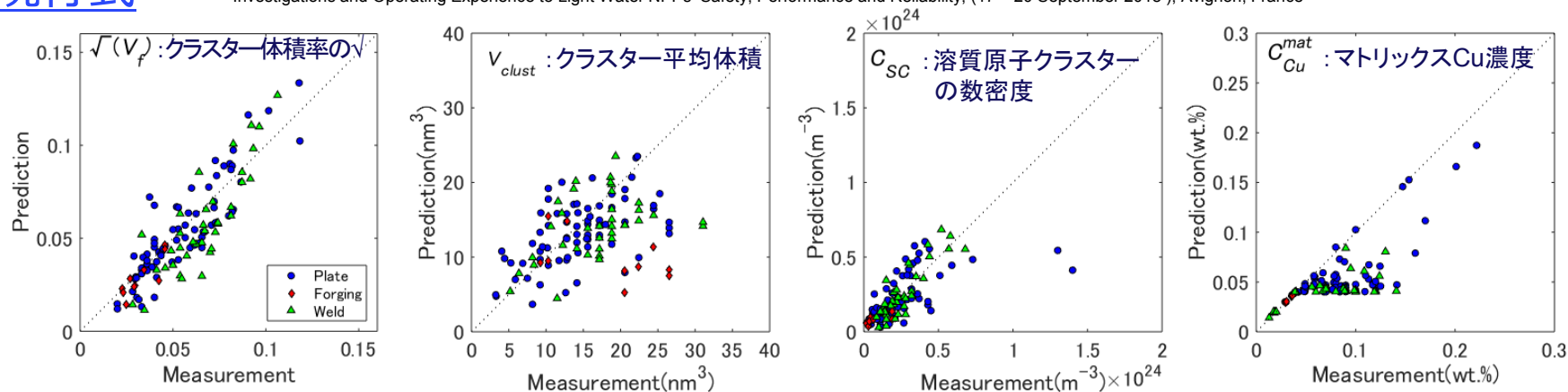
遷移温度移行量は現行式とほぼ同等の予測が可能



## ミクロ組織変化の予測：JEAC4201-2013現行式と改定案の比較

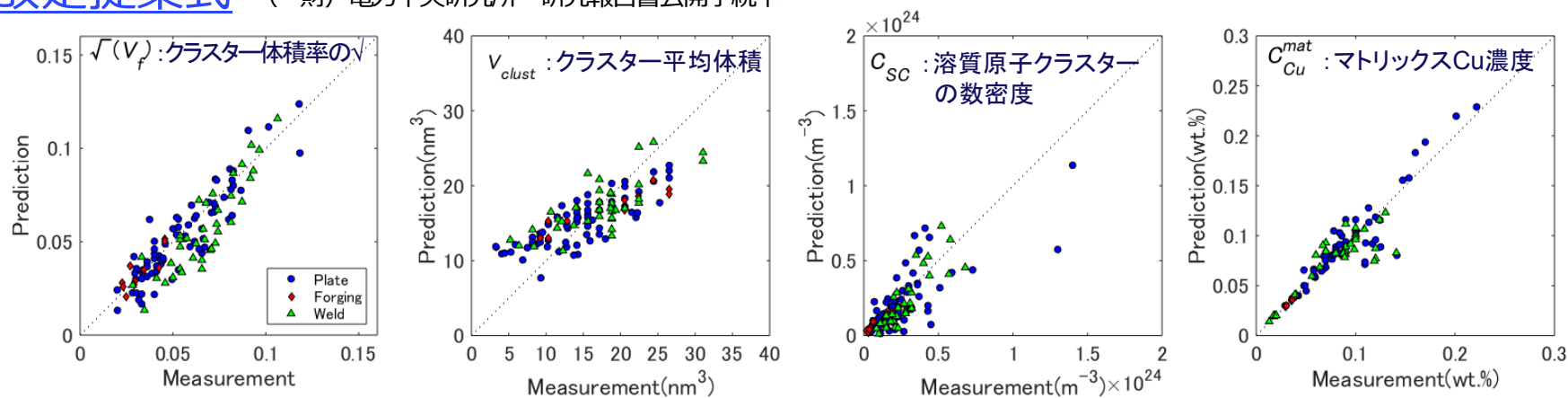
### 現行式

参考文献: Y.Hashimoto et al, "Revision of the microstructure model of the embrittlement trend curve for Japanese RPV surveillance data", FONTEVRAUD 9, Contribution of Materials Investigations and Operating Experience to Light Water NPPs' Safety, Performance and Reliability, (17 – 20 September 2018 ), Avignon, France



### 改定提案式

(一財) 電力中央研究所 研究報告書公開手続中



ミクロ組織変化に関する物理量の予測性能も向上

# 国内外の照射脆化予測法の考え方の比較

- それぞれ対象とするデータベースに応じて、考慮するメカニズム、パラメータ等に若干の違いはあるが、考え方に大きな相違はない。

	JEAC4201-2013	EONY (10CFR50.61a)	ASTM E900-15	NRC Reg. Guide 1.99 Rev.2	EDF2010※2
想定するメカニズム	・溶質原子クラスター ・マトリックス損傷	・銅リッチ析出物 (照射促進クラスターに相当) ・マトリックス損傷	— (関数フィット式)	— (関数フィット式)	・溶質原子クラスター
加算方法	2乗和平方根	線形和			—
化学成分	Cu, Ni	Cu, Ni, P, Mn	Cu, Ni, P, Mn	Cu, Ni	Cu, Ni, P
中性子束	○	○	×	×	×
照射温度	○	○	○	×	×
鋼種※1	— (区分なし)	P, F, W (PはCE製, WはLinde80のみ別式)	P, F, W	B, W	B, W

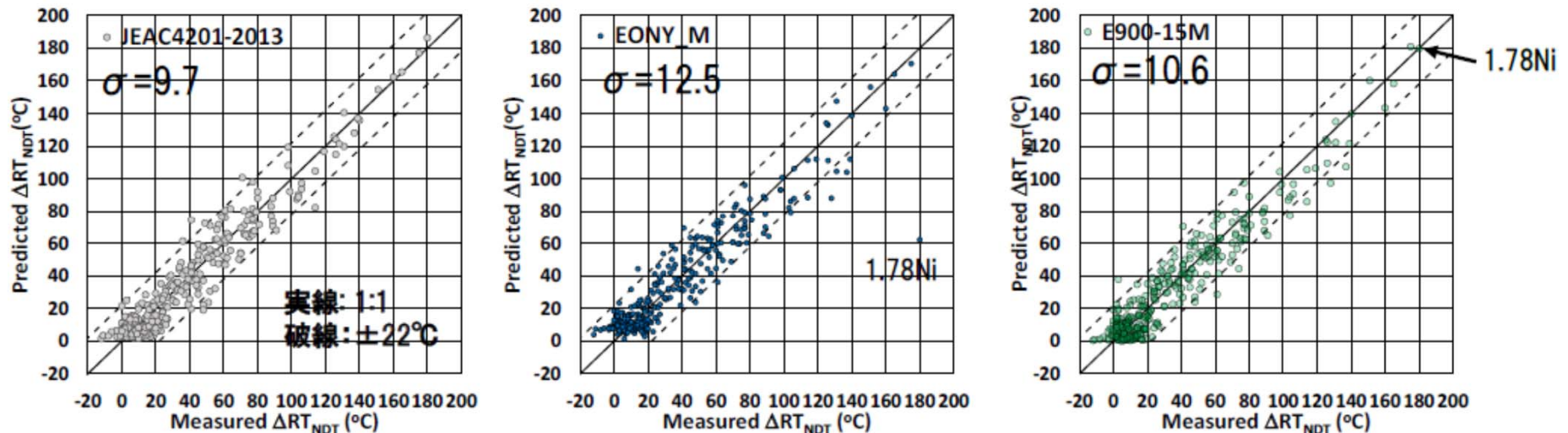
※1 B:母材 (P:鋼板, F:鍛造鋼), W:溶接金属

※2 P.Todeschini, et al., "Revision of the irradiation embrittlement correlation used for the EDF RPV fleet", Fontevraud 7, SFEN, Paris, 2010, paper #A084-T01.



## 別モデルの採用要否

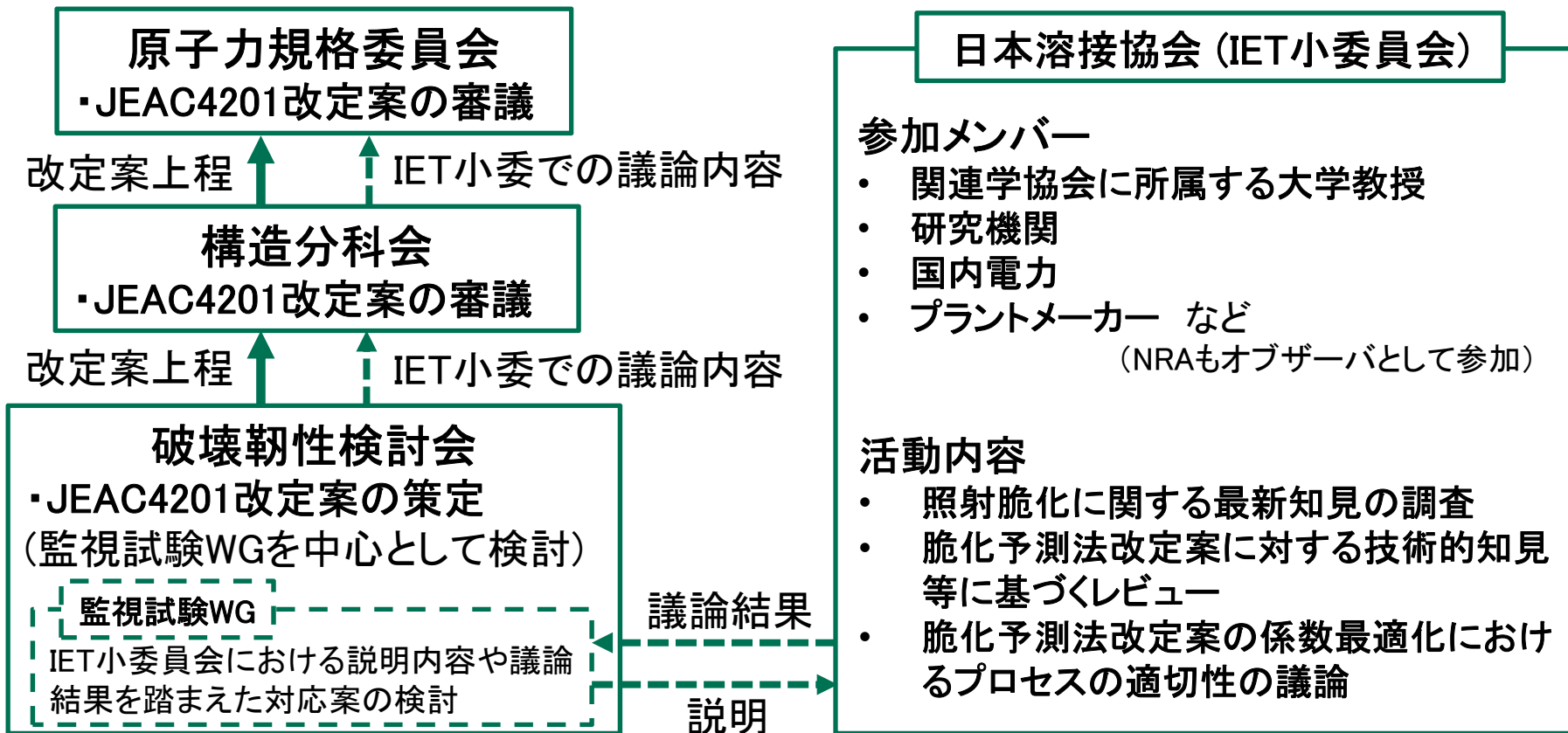
- 海外の予測法について調査し、このうち、EONY(10CFR50.61aに採用)、ASTM E900-15について、基本モデル式の係数を国内照射データに対して最適化し、国内鋼材への適用性を評価した。



- 国内照射データに対して係数を最適化することにより、残差の標準偏差は小さくなるが、依然としてJEAC4201-2013の標準偏差が最も小さい。
- ➡ APTデータの蓄積状況等も勘案し、JEAC4201-2013基本モデル式の改定検討を進めている。海外別モデルも評価した結果、国内鋼材への適用を考慮すると検討中の国内基本モデル式を採用することが良いと判断した。25

# JEAC4201改定に向けた検討体制

- JEAC4201改定に向けた検討のうち、特に基本モデル式の見直しについては、日本溶接協会のIET小委員会※において専門家と議論しながら検討した。
- JEAC4201改定案上程時には、IET小委員会での議論内容についても今後公開予定の活動報告書により説明予定



※ 原子炉圧力容器の中性子照射脆化予測法検討小委員会

“Subcommittee on Validation of Irradiation Embrittlement Trend Curve for Reactor Pressure Vessel Steels”の略

## (参考) 用語の説明

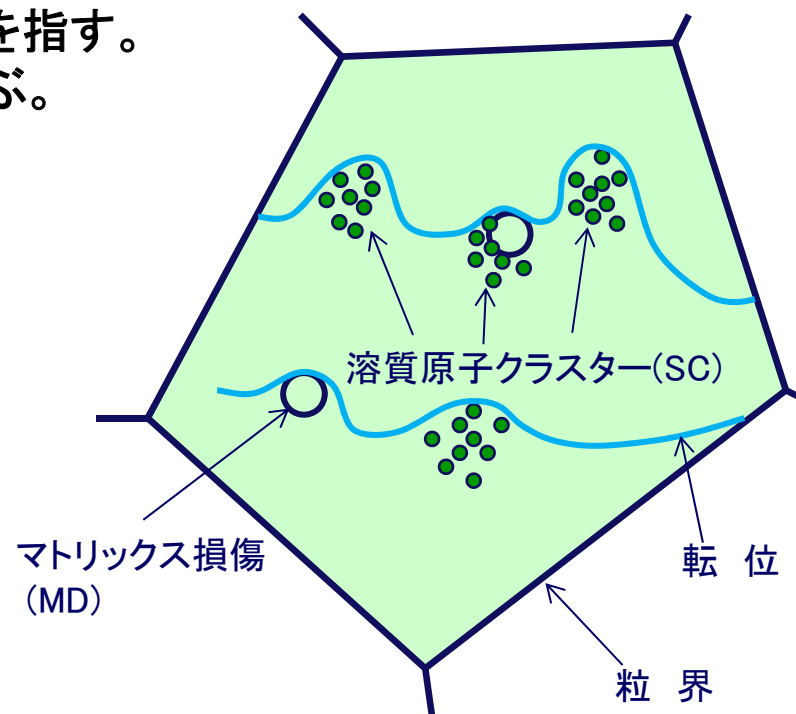
### ■ 溶質原子クラスター

- APTで測定される溶質原子クラスターを指す。  
これを単に「溶質原子クラスター」と呼ぶ。
- 2種類の溶質原子クラスターを考える。
  - ✓ 照射促進クラスター(照射促進クラスターの式)  
中性子照射により形成が促進される均一核生成によるクラスター
  - ✓ 照射誘起クラスター(照射誘起クラスターの式)  
中性子照射により形成される「マトリックス損傷」を核として形成されるクラスター

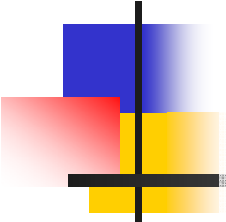
### ■ マトリックス損傷(MDの式)

- APTで測定されない照射損傷を「マトリックス損傷」と総称し、脆化の第2要因として考慮する。
- マトリックス損傷は、照射とともに形成され続けるが、同時に照射誘起クラスターの形成により消費されると想定してモデル化する。

### 【線形モデル】



照射により形成されるSCとMDが転位の運動の障害物となる。



「原子力安全のためのマネジメントシステム規程」  
(JEAC4111-20XX)

改定検討状況について

# JEAC4111-20XX改定の背景

## I. 事業者の一義的責任を明確にするともに規制検査を一本化する法改正

- 横断領域で、新制度の前提となる事業者の自主的安全性向上を支援する必要性

## II. 設計及び工事に係る品質管理基準規則は、設置許可の許可基準に格上げ

- 対象期間が工事計画認可・設工認の認可から、設置許可～廃止措置までに拡大、対象施設は原子力施設（8施設）をカバーする
- 以下の4カテゴリーが追加された
  - ①GSR Part2との整合,②JIS Q 9001:2015からの反映,③米国の規制制度から学ぶべき事項,④新検査制度運用にあたり必要な事項

## III. 最新知見の反映

- 品質管理基準規則に追加された4カテゴリーの他にも、IAEAのGSR Part2,JIS Q 9001:2015及びこれらに係るガイド等の最新知見を反映
- 事業者の自主的安全性向上に繋がる要求事項・適用ガイドを検討し追加



# JEAC4111の今回改定の概要(1/2)

## 1. 新検査制度への対応

(1)品質管理基準規則の法令上の位置付け変化

⇒設置許可までカバーすることを確認

⇒JEAC4111の適用範囲を再確認し明確化

発電用原子炉施設等 5 施設（現行と同じ）

(2)品質管理基準規則（追加21項目）の反映と具体化（仕様化）

⇒規則に追加された21項目の要求事項をJEAC4111に

反映するとともに、規範性のある取組み方を適用ガイド

として記載



## JEAC4111の今回改定の概要(2/2)

2. 自主的安全性向上を推進する事業者の活動を支援できるよう,品質保証・安全文化に係る具体的規格を提供する。

⇒規則への適合性には直接関わらないものの,QMS構築にあたり,新検査制度の前提である自主的安全性向上の観点から必要な要求事項,適用ガイドを追加する。

⇒その際、

- ・ JEAG4121の【解説】 【例示】 の内容をJEAC4111へ移行し規格化
- ・ 最新知見としてGSR Part2,JIS Q 9001及びこれらのガイドからも必要な事項を抽出
- ・ 記載内容のうち,関連する事項については,保守管理規程との整合調和を図る。



## JEAC4111-20XXの構成

---

第1部 序論

第2部 要求事項

第3部 適用ガイド,解説

附属書-1 根本原因分析に関する要求事項

-2 安全文化及び安全のためのリーダーシップに関する適用ガイド

-3 改善措置活動に関する適用ガイド

-4 (参考) QMSに関する標準品質保証仕様書



# JEAC4111-20XXの構成コンセプト

新検査制度に対応し,品質管理基準規則を満たすと共に,事業者の自主的安全性向上を推進する規格とする。

基本要項事項 追加要項事項 (shall)	適用ガイド 今回新たに追加 (should,may,can)	解説
JEAC4111 : 2013の構造、要求事項をベースとして ①品質管理基準規則として追加された要求事項を含めた基本要項事項	以下から抽出した,要求事項に対する取組み方を下記を参照して構成 ①JEAG4121の【解説】【例示】を選択し規格化 ②IAEAのガイドライン等から必要な情報を反映 ③JIS Q 9002 (9001のガイド) から必要な情報を反映	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 要求事項の必要性,背景,言葉の解釈など</li> <li>・ 品質管理基準規則との関係</li> <li>・ 推奨事項の背景</li> <li>・ 参考文献など</li> </ul>
②民間自主規格として追加する要求事項 (GSR Part2, JIS Q 9001,JEAG4121等から)		



# 品質保証分科会における審議の経緯

## 1. 品質保証分科会

第43回(2017.3.9)から7回にわたりJEAC4111の審議

第49回(2019.2.4): 中間報告案を審議

第50回(2019.8.7): 提案時期延期の審議

第51回(2019.11.14): **規格提案の審議(否決)**

## 2. JEAC4111改定基本方針検討タスク(公開)

NRA職員のおブザー参加を得て、10回開催(2017.1.26～2018.11.15)。品質管理基準規則の改定趣旨を確認

## 3. 品質保証検討会

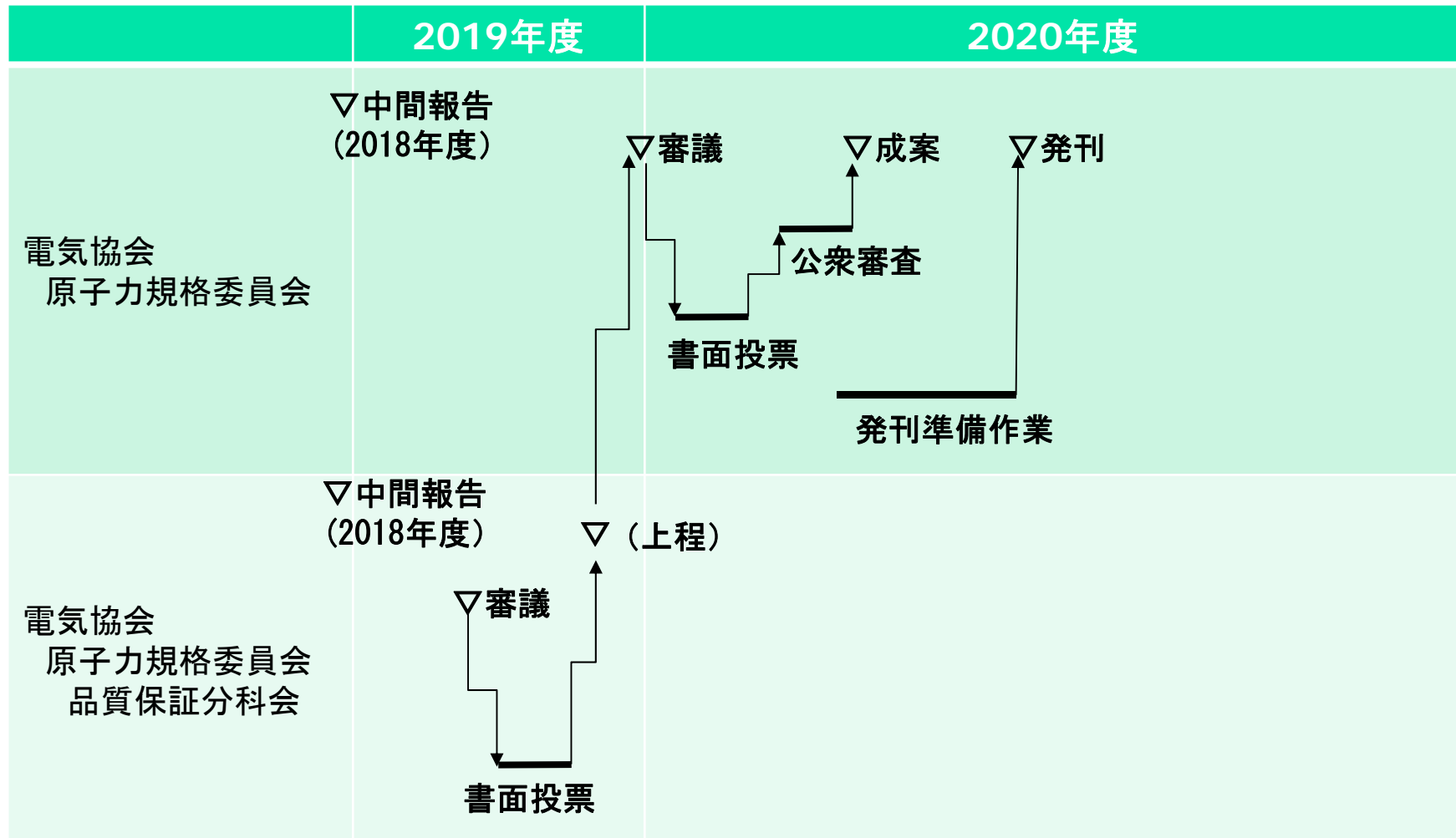
第46回(2016.9.14): JEAC4111の改定について議論開始

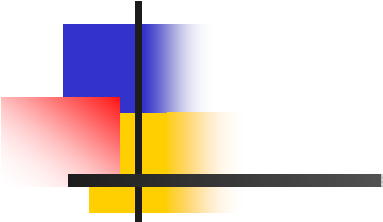
第54回(2019.1.23): 中間報告案を審議

第55回(2019.7.29): 提案時期延期の審議

第56回(2019.10.28): **規格提案の審議**

【改定スケジュール】





「原子力発電所耐震設計技術規程」  
(JEAC4601-20XX)  
改定検討状況について

---

# JEAC4601-2015の概要

原子力発電所における建物・構築物,機器・配管系,屋外重要土木重要構造物他の耐震設計において適用するクラス分類,地震荷重,解析手法,許容値等について規定

## JEAC4601-2015 目次

<b>第1章 基本事項</b>	
第1章 目次	3
1.1 適用	5
1.2 耐震設計の基本方針	9
1.3 用語と略称	12
1.4 単位系	17
<b>第2章 耐震重要度分類</b>	
第2章 目次	21
2.1 機能上の分類	23
2.2 耐震クラス別施設	24
2.3 耐震重要度分類の適用	25
2.4 耐震重要度と地震力	29
附属書2.1 各設備の具体的な耐震重要度分類	31
附属書2.2 地震時又は地震後に動的機能が要求される設備	44
<b>第3章 建物・構築物の耐震設計</b>	
第3章 目次	51
3.1 基本事項	53
3.2 材料, 材料定数及び材料の許容応力度	74
3.3 荷重, 荷重の組合せ及び許容限界	77
3.4 応力解析と断面設計	82
3.5 地震応答解析	86
3.6 耐震安全性の確認	117
参考文献	138
附属書3.1 地下壁に作用する土圧の評価法	145
附属書3.2 ブールの動水圧の評価法	155
附属書3.3 静的地震力の評価法	158
附属書3.4 地盤ばねモデル	166
附属書3.5 離散系モデル	176
附属書3.6 基礎浮き上がりの評価法	181
附属書3.7 鉄筋コンクリート造耐震壁の復元力特性の評価法	187
附属書3.8 鉄骨架構の復元力特性の評価法	199
参考資料	219

<b>第4章 機器・配管系の耐震設計</b>	
第4章 目次	289
4.1 基本事項	293
4.2 荷重の組合せと許容限界	308
4.3 設計用地震力	388
4.4 地震応答解析	392
4.5 強度評価	412
4.6 動的機器の地震時機能維持評価	415
4.7 電気計装機器の耐震設計	425
4.8 機器・配管系支持構造物のエネルギー吸収を利用した耐震設計	429
附属書4.1 機器・配管系の耐震設計に適用する許容応力度	461
附属書4.2 機器・配管系の静的地震力	465
附属書4.3 機器・配管系の耐震強度評価法	469
附属書4.4 動的機器の地震時機能維持評価法	685
附属書4.5 電気計装機器の地震時機能維持評価法	832
附属書4.6 架構レストレイントの弾塑性を利用した配管系設計法	838
附属書4.7 配管に制振サポートを用いた場合の機器・配管系設計法	847
附属書4.8 機器に制振サポートを用いた場合の機器・配管系設計法	857
参考文献	861
参考資料	863

<b>第5章 屋外重要土木構造物他の耐震設計</b>	
第5章 目次	1055
5.1 基本事項	1057
5.2 屋外重要土木構造物の耐震設計の手順	1059
5.3 屋外重要土木構造物の設計条件	1061
5.4 屋外重要土木構造物基礎地盤及び周辺地盤の検討	1064
5.5 屋外重要土木構造物の詳細設計に用いる解析手法	1067
5.6 屋外重要土木構造物の安全性評価	1072
5.7 津波防護施設の耐震設計	1076
附属書5.1 地盤の流動影響の検討	1078
附属書5.2 曲げ耐力の評価式	1080
附属書5.3 せん断耐力の評価式	1084
附属書5.4 限界層間変形角の評価式	1088
参考文献	1090
参考資料	1091

# JEAC4601 改定の経緯

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 JEAG4601・補-1984
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版

## ・原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008

- ・耐震重要度分類の見直し(旧Aクラス,AsクラスをSクラスに統合)
- ・適用する鉛直地震力について,従前の静的地震力に加えて動的地震力を要求するとともに,水平地震力と鉛直地震力の組み合わせ方法を明確化
- ・設計用減衰定数の見直し(鉛直動的地震力への対応,および新たな知見の反映)
- ・許容限界の見直し(鉛直動的地震力への対応,他規格との整合,および新たな知見の反映)
- ・許容限界等について,他規格との整合を図った見直し

等

## ・原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2015

- ・平成25年施行の規制基準に整合させた記載の明確化(波及的影響の記載等)
- ・動的機器の機能維持加速度の見直し(鉛直方向について試験等を反映した値を反映)
- ・フリースタANDING方式使用済燃料ラックの耐震設計法

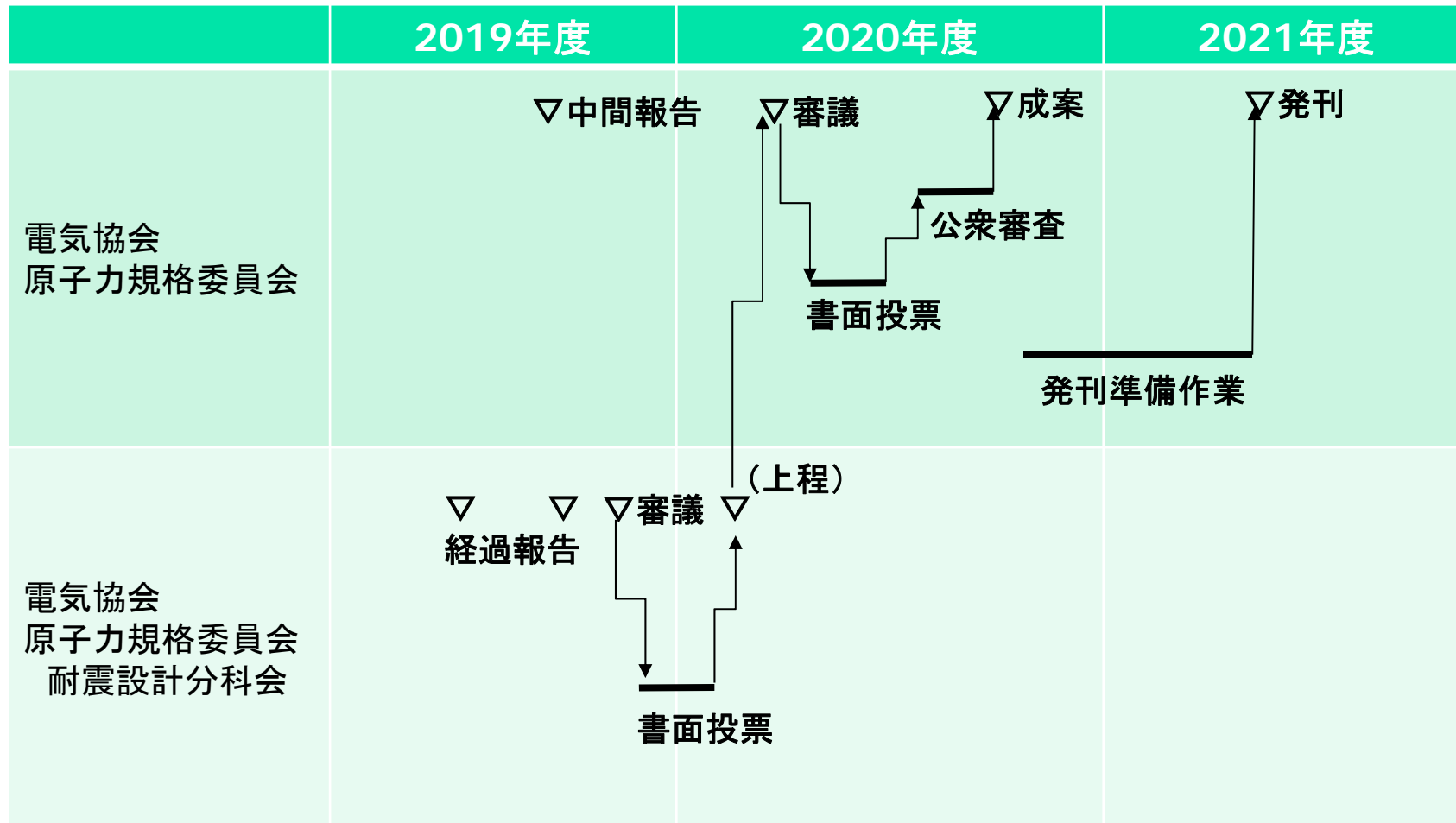
等

## ・原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-20XX

- ・動的機器の機能維持加速度の見直し(弁駆動部に対する研究の反映)
- ・設計用減衰定数の見直し(BWR使用済み燃料ラックなどに対する研究の反映)
- ・JSME 設計・建設規格と整合をとった配管許容基準の一部見直し
- ・規制基準に基づく審査実績を反映した記載の充実・明確化(定ピッチスパン法における設計上の配慮事項の明確化等)

等

# JEAC4601-20XX 改定スケジュール





## JEAC4601-20XX 技術評価にむけた要望事項

- ・ JEAC4601-20XXは現在改定案の審議中の段階にあり、最速の工程では2020年末改定/2021年発刊の予定となる。電気協会 耐震設計分科会としては、改定にあたって十分な審議を尽くすことが最優先事項であり、議論に時間を要する場合、また議論の結果として改定案の修正が必要となる場合など、結果として改定時期がさらに遅い時期となる可能性があることを留意いただきたい。
- ・ JEAG4601-1987, JEAG4601・補-1984, JEAG4601-1991 追補版は「耐震設計に係る工認審査ガイド」で既に引用・活用されていると認識している。新たにJEAC4601-20XXの技術評価が行われる際には、これら既に引用・活用されている版からの変更点について重点的に評価いただくのが適切ではないかと考える。