



FQA小委員会

Q&A方式による疲労知識の体系化 に関する調査研究

この資料を引用するにあたっては、下記を明記してください。

(一社)日本溶接協会原子力研究委員会の50周年以降10年間のまとめ資料

(2019年): **FQA小委員会「Q&A方式による疲労知識の体系化に関する調査研究」**

1. 小委員会の活動期間と構成員

■FQA小委員会

【研究題目】Q&A方式による疲労知識の体系化に関する調査研究

【研究期間】2012年4月～2015年3月

【研究体制】(所属・役職は研究期間当時)

- － 主 査: 小林 英男 (東京工業大学名誉教授)
- － 副主査: 小川 武史 (青山学院大学理工学部教授)
- － 副主査: 小茂鳥 潤 (慶應義塾大学理工学部教授)
- － 幹 事: 3機関4名
- － 委 員: 国内電力各社を含む15機関, 48名

【委託元】北海道電力(株)、東北電力(株)、中部電力(株)、関西電力(株)、中国電力(株)、四国電力(株)、九州電力(株)、日本原子力発電(株)、電源開発(株)、(一財)電力中央研究所、(株)原子力安全システム研究所、三菱重工業(株)、(株)日立製作所、日立GEニュークリア・エナジー(株)、(株)IHI、三菱日立パワーシステムズ(株)

1. 小委員会の活動期間と構成員

■FQA2小委員会

【研究題目】Q&A方式による疲労知識の体系化に関する調査研究(その2)

【研究期間】2015年4月～2017年3月

【研究体制】(所属・役職は研究期間当時)

- 主 査: 小林 英男 (東京工業大学名誉教授)
- 副主査: 小川 武史 (青山学院大学理工学部教授)
- 副主査: 小茂鳥 潤 (慶應義塾大学理工学部教授)
- 幹 事: 4機関5名
- 委 員: 国内電力各社を含む31機関, 59名

【委託元】

1. 小委員会の活動期間と構成員

■FQA3小委員会

【研究題目】Q&A方式による疲労知識の体系化に関する調査研究(その3)

【研究期間】2017年4月～2019年3月

【研究体制】(所属・役職は研究期間当時)

- － 主 査:小川 武史(青山学院大学理工学部教授)
- － 副主査:菅田 淳(広島大学大学院工学研究科教授)
- － 副主査:小茂鳥 潤(慶應義塾大学理工学部教授)
- － 幹 事:4機関5名
- － 委 員:国内電力各社を含む27機関, 58名
- － 顧 問:小林 英男(東京工業大学名誉教授)

【委託元】北海道電力(株)、東北電力(株)、東京電力ホールディングス(株)、北陸電力(株)、関西電力(株)、中国電力(株)、四国電力(株)、九州電力(株)、電源開発(株)、(株)原子力安全システム研究所、(株)神戸工業試験場、三菱重工業(株)、日立GEニュークリア・エナジー(株)、(株)IHI、東芝エネルギーシステムズ(株)

2. 背景と目的

背景

- ・原子力構造機器のトラブル事例の1/3を占める疲労に関わる問題は早急に解決すべき極めて重要な課題
- ・JWES原子力研究委員会の疲労研究小委員会では、長年にわたり、原子力機器材料を対象に広範な研究を行い、貴重な成果を蓄積
- ・電力会社、プラントメーカーの若い技術者においては、疲労に関する知識と経験を得る場が減少

目的

- ・疲労研究小委員会の成果を集約 → 疲労研究小委員会の成果の纏め
- ・疲労に関する質問を募りその解答を作成 → 疲労に関するQ&A集の作成
- ・有識者による講演会の開催 → 疲労に関する重量知識の共有化



- これらの情報を「疲労ナレッジプラットフォーム」としてWEB掲載し、広く社会に提供して活用いただくことを目的とする
- これらの活動を通して、疲労に関する知見と経験を知識化して伝承し、若手技術者の育成を行うことも意図している

3.1 疲労研究小委員会の成果のまとめ

- (一社)日本溶接協会 原子力研究委員会の小委員会(電力会社委託研究等)では、長年にわたり、原子力構造機器に用いられる材料を対象として広範な疲労に関する研究が行われ、貴重な成果が蓄積されている。
- しかし、その成果が十分に活用されているとは言い難いことから、これらの従来知見を集約し、最新知見を含めて疲労研究小委員会の成果として纏めることとした。
- 既小委員会の中から17編の報告書を調査対象として抽出(次頁参照)し、各委託元から本委員会への開示許可を得て、成果の纏めを進めた。

3.1 疲労研究小委員会の成果のまとめ

表 成果を纏めた疲労研究小委員会の一覧

No	研究期間	委員会 略称	研究件名
1	S53年12月～S54年11月	AFC	原子炉圧力容器及び配管の疲労強度安全評価に関する試験研究
2	S53年12月～S55年5月	P・FCI	高速炉構造材料の高温低サイクル疲労試験方法に関する研究
3	S57年1月～S58年1月	FRC	原子炉構造物の強度安全性評価法の合理化に関する研究(Ⅲ)
4	S61年3月～S62年2月	TFC	軽水炉機器疲労強度の実験解析法に関する研究(Ⅳ)
5	H2年10月～H3年3月	LE	原子炉構造材料の経年変化に関する基礎試験(Ⅲ)
6	H3年6月～H6年3月	EFW	ステンレス鋼溶接継手部の疲労強度評価研究
7	H6年7月～H9年3月	EFS	原子力機器用ステンレス鋼の疲労強度評価研究
8	H9年8月～H12年3月	FDE	疲労損傷の評価技術に関する研究
9	H12年7月～H15年3月	GCF	原子力機器用構造材の高サイクル疲労評価研究
10	H14年1月～H16年3月	MF	繰り返し複合果樹に対する軽水炉機器・構造物の健全性評価に関する研究
11	H15年8月～H18年3月	GCF2	電力設備材料の疲労強度特性評価研究
12	H16年12月～H19年3月	MFⅡ	繰り返し複合荷重に対する軽水炉機器・構造物の健全性評価に関する研究(その2)
13	H19年9月～H22年3月	MFⅢ	繰り返し複合荷重に対する軽水炉機器・構造物の健全性評価に関する研究(その3)
14	H20年12月～H23年3月	GCF3	超高サイクル疲労(GCF)評価に関する研究(PhaseⅠ)
15	H20年9月～H23年3月	LCF	地震荷重を受けた原子力機器材料の疲労強度特性評価に関する研究
16	H23年8月～H25年3月	DFC	設計疲労線図の策定に係る調査
17	H25年7月～H28年3月	DFC2	設計疲労線図の策定に係る調査(PhaseⅡ)

3.1 疲労研究小委員会の成果のまとめ

- 纏めた成果のうち、14件について(一社)日本溶接協会の溶接情報センターのWEBページに掲載
- 一般に広く活用してもらうために、PPT形式で纏められた成果には、研究目的に加え、供試材、試験方法、試験結果、解析結果、評価結果など、研究の具体的(技術的)な内容を示す図表を記載

3. 2節 最適疲労寿命式の検討
Langerの疲労寿命式(炭素鋼、低合金鋼)

3. 1節 疲労試験データベースの構築

原子力研究委員会 FQA2小委員会
Subcommittee for Organizing Question and Answer of Fatigue Knowledge (Phase 2)

DFC小委員会
設計疲労線図の策定に係る調査

この資料を引用するにあたっては、下記を明記してください。
(一社)日本溶接協会原子力研究委員会FQA2小委員会ナレッジプラットフォーム公開資料(2017年):DFC小委員会「設計疲労線図の策定に係る調査(2012年度報告書)」

なお、本委員会の成果は、DFC2小委員会においてさらなる検討が加えられているので、DFC2小委員会の資料も参照されたい。例えば、スライド83の表面性状の知見の整理と設計係数の検討については、評価式が変更されている。

温度(°C)	数
25~325	180
25~400	628
25~500	268
25~450	443
25~400	1535
25~300	348
25~400	885
25~600	597
25~300	64
25~300	34
25~400	382
25	270
25	89
45~23	285
25~290	89
25~427	371
25	347
	6588

Copyright © 2017 The Japan Welding Engineering Society. All Right Reserved.

疲労研究小委員会の成果のまとめ(一例)

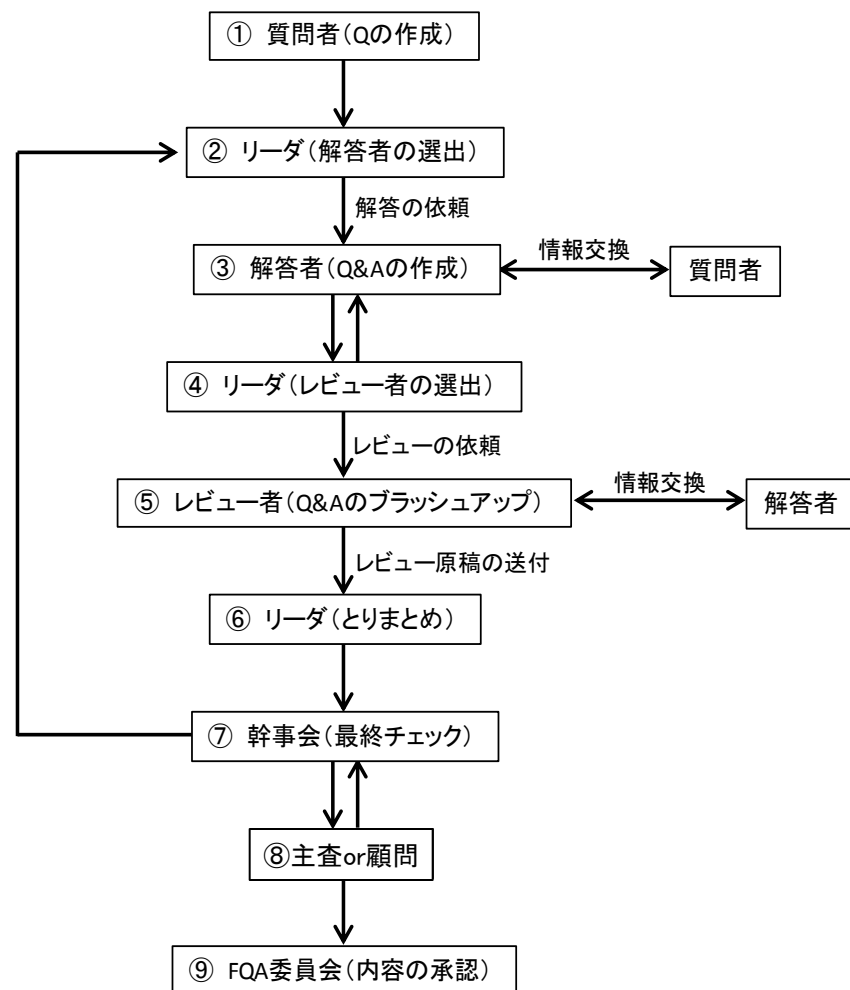
3.2 疲労に関するQ&A集の作成

目 的

- Q&Aシート完成までの議論の内容を委員会で紹介することで疲労に関する知識、知見を委員全員で共有すること
- レビュー者による指導や、幹事会コメント、主査or顧問レビューを通して、若手技術者へ疲労に関する知識と経験を伝承すること
- 知識データとしてHPから公開することで、広く社会に活用してもらうこと

疲労に関するQ&A集作成の流れ

- 電力会社、プラントメーカーの若手技術者が日ごろ現場で感じている疲労に関する初歩的な質問から専門的な質問を提出(右図①)
- 提出された質問は(a)疲労強度・寿命、(b)疲労き裂進展、(c)規格関連に分類し、大学やメーカーの若手技術者が解答を作成(右図③)
- レビュー者(専門家)の指導やサポートを得ながら若手技術者が解答をブラッシュアップ(右図⑤)
- 幹事会、主査or顧問レビューおよび小委員会で審議し完成(右図⑦～⑨)



疲労に関するQ&Aシート作成のフロー

3.2 疲労に関するQ&A集の作成

Q&Aシートの特徴

- ・ 一件一様で作成(目標)
- ・ 質問(Q)には、関連Qのナンバーも記載
- ・ 解答(A)では初めに解答の結論を記載

完成したQ&Aシート

(a)疲労強度・寿命 :
37件

(b)疲労き裂進展 :
22件

合計で70件のQ&Aシート
を完成させ、WEBで公開

■No.:FB-07

■分類:疲労き裂進展

Q

破面のストライエーション模様からき裂の進展方向が判断できますか。

参照 QNo.: FB-02, FB-10, FB-14

A

き裂の進展方向は破面のストライエーション模様から判断できる。

ストライエーション模様の例を図1に示す。ストライエーション模様は、段などの境界で囲まれた平面状のパッチ(プラトーともいう)の表面に存在する相互に平行な細かい縞状の模様である。

ストライエーションは、負荷過程におけるき裂先端の塑性純化と、その後の除荷過程におけるき裂先端の再鋭化によって形成され、応力の繰返しごとのき裂先端の位置を示す。したがって、ストライエーションが存在するパッチでは、き裂の進展方向はストライエーションに垂直である。隣接するパッチは同一平面ではなく、き裂進展方向(ストライエーションの向き)が若干異なり、その差がパッチの境界となる。すなわち、き裂の進展方向は局所的に異なる。き裂を破面に垂直な切断面で見た場合、巨視的き裂の進展方向は引張応力方向に垂直であるが、微視的にはジグザグに進展する。このジグザグの単位が破面のパッチに対応している。これは、き裂の進展方向が材料の微視組織に影響されるためである。したがって、巨視的なき裂の進展方向をストライエーション模様から判断するには、広範囲にわたりストライエーション模様を観察する必要がある。また、ストライエーションの間隔は、1サイクル当たりのき裂進展量に対応するため、応力振幅の大きさにより間隔が変化する。したがって、ストライエーションの間隔から、巨視的なき裂進展速度と応力振幅が評価できる。

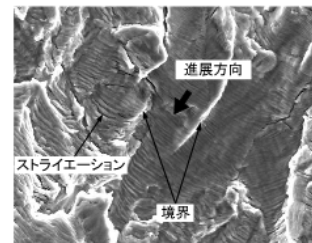


図1 疲労破面(ストライエーション模様の例)

Copyright © 2017 The Japan Welding Engineering Society, All Right Reserved.

疲労に関するQ&Aシートの例

目的

疲労に関する知識と経験を伝承して、若手技術者を育成すること

活動内容

各分野の疲労の専門家を招いて講演会開催し、疲労に関する重要知識の共有化を図った

- ・ 講師内容は、原子力分野に加え、生体材料や高圧ガス機器、火力や鉄道、疲労の歴史など多岐
- ・ 累計22件の講演会を開催し、うち20件(次ページ以降参照)の講演内容をWEBに掲載

3.3 疲労に関する重要知識の共有化

表 疲労に関する重要知識の共有化の講演一覧(1/2)

No	講 師(敬称略)	ご講演タイトル
1	慶應義塾大学 小茂鳥 潤	生体材料の疲労
2	橋内 良雄	事故例から見た疲労破面形態
3	独立行政法人 物質・材料研究機構 疲労研究グループ 長島 伸夫	最新のNIMSにおける疲労研究の動向について
4	日立製作所 日立研究所 岩松史則 西川嗣彬	原子力に関する疲労と原子力発電プラントの維持規格の概要
5	東京工業大学 名誉教授 小林 英男	金属疲労の歴史と今
6	東京工業大学 名誉教授 小林 英男	高圧ガス事故の統計と解析(疲労に関して)
7	東京工業大学 名誉教授 小林 英男	材料力学がいかに役立つか
8	東京工業大学 名誉教授 小林 英男	有機、無機、複合材料の疲労
9	物質・材料研究機構 元素戦略材料センター 構造材料ユニット 澤口 孝宏	従来比10倍の低サイクル疲労寿命を有するFe-Mn-Si系新合金の開発と実用
10	福岡大学 材料技術研究所 江原 隆一郎	12Crステンレス鋼の腐食疲労挙動

3.3 疲労に関する重要知識の共有化

表 疲労に関する重要知識の共有化の講演一覧(2/2)

No	講 師(敬称略)	ご講演タイトル
11	茨城県 企画部 林 眞琴	原子力機器・構造物の疲労強度信頼性
12	(株)日立製作所 日立事業所 宇佐美 三郎	実機で疲労破壊起点となる鋭い切欠きや微小欠陥の取扱いについて
13	九州大学 水素エネルギー 国際研究センター 山辺 純一郎	高圧水素ガス中で使用される部材の水素脆化と強度設計
14	三菱重工業株式会社 総合研究所 高越 大輝	ソケット溶接継手の疲労に関する既存の知見について
15	三菱重工業株式会社 北条 公伸	国内軽水炉での疲労モニタリングの取組みについて
16	株式会社 東芝 原子力事業統括部 原子 力機械システム設計部 材料・化学担当 齋藤 利之	今後の維持規格のあり方の検討ー時間基準保全と状態基準保全ー
17	(一社)火力原子力発電技術協会 高木 愛夫	火力高温部材の疲労モニタリング
18	電力中央研究所 材料科学研究所 主任研究員 西ノ入 聡	電力中央研究所における火力発電設備の状態監視高度化に向けた 最近の取組
19	元 日本原子力研究開発機構 渡士 克己	クリープ疲労モニターの整備と周辺技術
20	(公財)鉄道総合技術研究所 車両構造技術研究部 石塚 弘道	鉄道車両の車載モニタリング装置

①疲労研究小委員会の成果のまとめ、②疲労に関するQ&A集
および③疲労に関する重要知識、について、小委員会内での情
報共有と、広く社会に提供、活用してもらうため、これらを疲労
ナレッジプラットフォームとしてWEBで一般公開した

■データベースの管轄方法

- ・ 著作権、表示責任：(一社)日本溶接協会 原子力研究委員会FQA小委員会
- ・ 管理、運営：(一社)日本溶接協会 溶接情報センター

■一般公開WEBの選定

- ・ (一社)日本溶接協会 原子力研究委員会HPに設置
- ・ 名称は『疲労ナレッジプラットホーム』
- ・ 入口を原子力研究委員会のHPに設置。実体は情報センターとして、
情報センターのメニューにも追加
- ・ 『疲労ナレッジプラットホーム』の掲示項目は以下
 - はじめに
 - 疲労研究小委員会の成果
 - 疲労に関するQ&A集
 - 疲労に関する重要知識

3.4 WEBでの一般公開化



図 疲労ナレッジプラットフォームのWEB画面

まとめ

本小委員会では、疲労に関する重要知識のデータベース化と、若手技術者に対し疲労に関する知見と経験を知識化して伝承することを目的として、下記の調査研究を行った。

- 疲労研究小委員会の成果のまとめ（小委員会17件）
- 疲労ナレッジQ&A集の作成（Q&Aシート70件）
- 疲労に関する重要知識の共有化（講演会22件）

また、ここで得た疲労に関する知識を疲労ナレッジプラットフォームに集約してWEBで一般公開した。

今後の展望

- WEBで一般公開した内容のメンテナンス方法の検討