

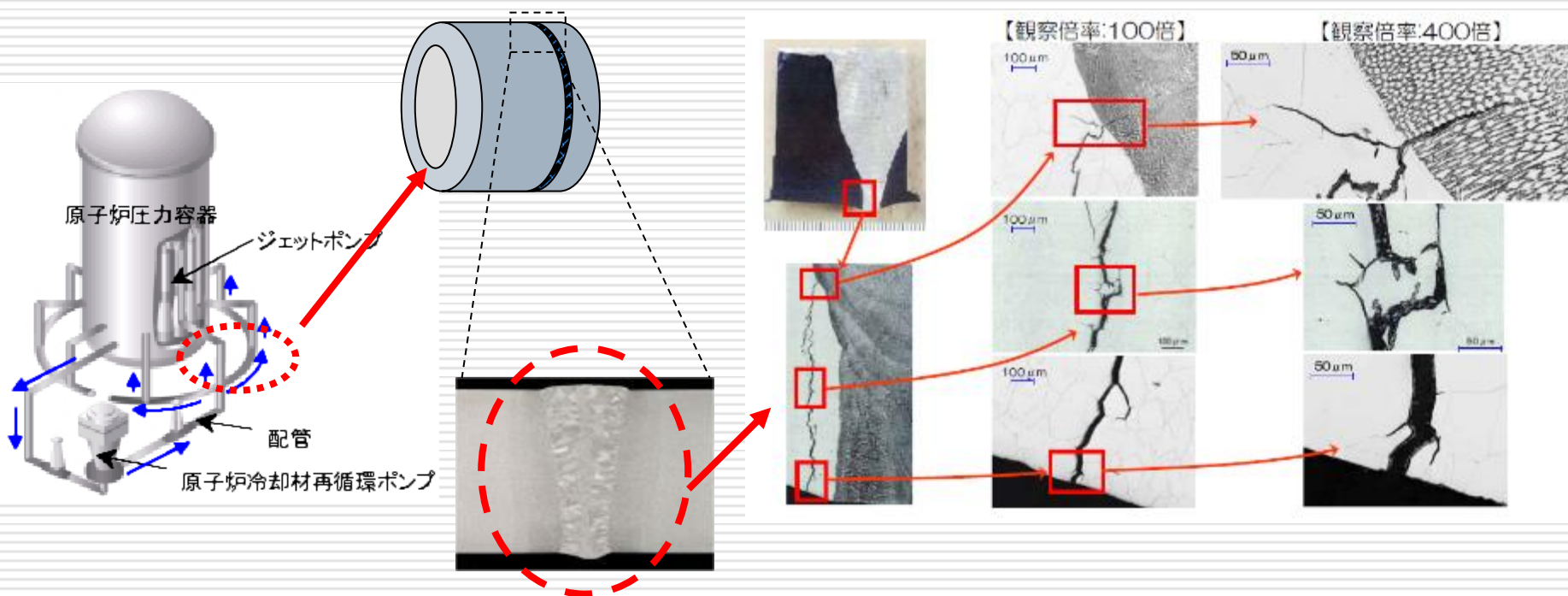
構造物の経年劣化と 耐震評価に関する検討

平成26年2月10日

新潟工科大学

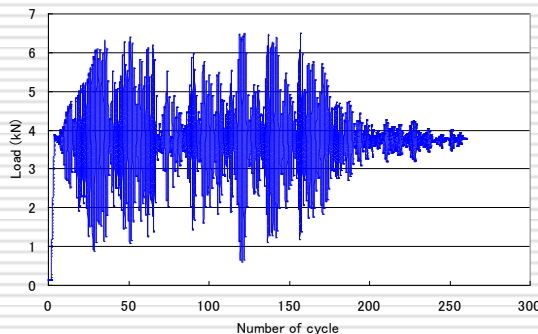
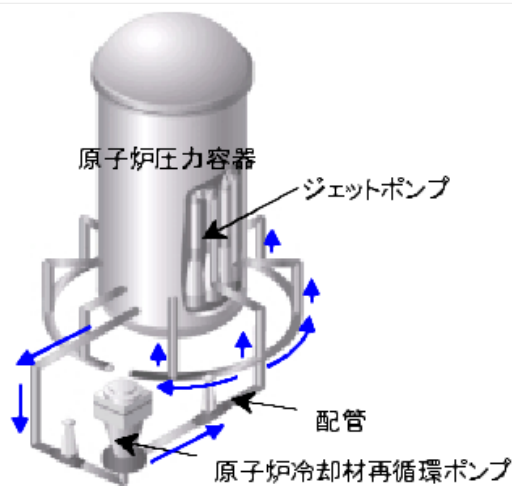
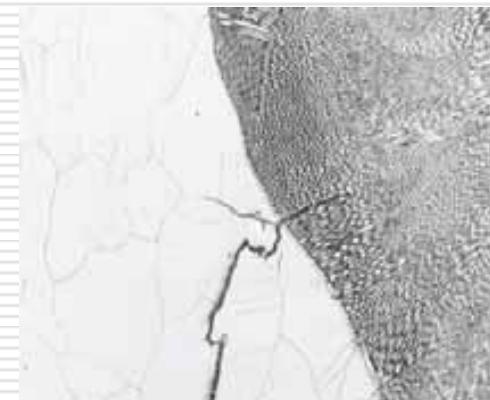
IGSCCき裂の発生

国内軽水炉プラントの約1/3の運転期間が30年を超えている。供用年数の増加に伴い、配管等においては、**粒界型応力腐食割れ(Inter granular Stress Corrosion Cracking, IGSCC)**き裂の存在が報告されている。



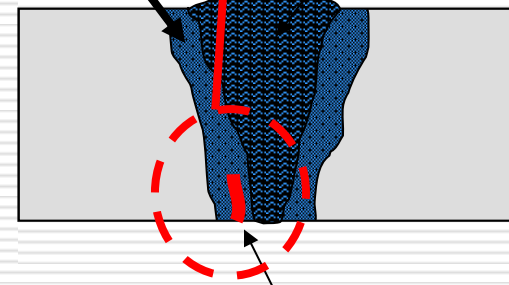
地震に対する安全性

特に東北地方太平洋沖地震・福島第一原子力発電所の事故以降、高経年化プラントの耐震安全性について国民の関心が益々高まっている。加えて、「原子力安全に関するIAEA閣僚会議に対する日本国政府の報告書」ではリスク情報活用の重要性を指摘している。



溶接熱影響部

溶接部

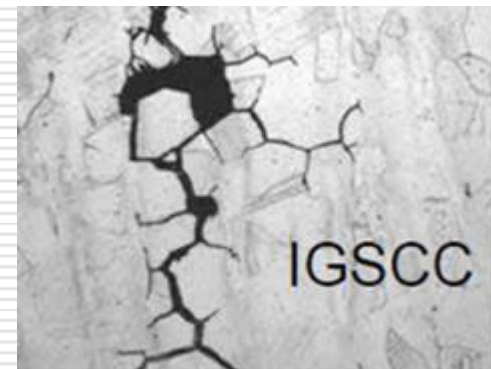


目的

このような背景から、高経年化を考慮した耐震安全評価手法及び確率論的解析評価技術の整備は非常に重要な課題である。

本研究では一部沸騰水型原子力発電所で応力腐食割れによるき裂の存在が確認された原子炉再循環系配管を念頭に、大地震による荷重条件が作用された場合のき裂進展評価手法の妥当性を確認し、その高度化を図ることを目的とする。

原子炉配管等の実機で発生するSCCによるき裂は屈曲・分岐を伴う粒界進展型SCC(**IGSCC**)き裂



Total plan of the research project

I. Experiments for **fatigue pre-cracks**

- Investigate crack growth behavior under different types of cyclic stresses
- Obtain data of crack growth rate for different cyclic seismic stresses and materials



III. Experiments for **SCC pre-cracks** and fatigue pre-cracks

- Investigate the difference of the crack growth behavior for different crack types
- Provide experimental data to improve the evaluation model obtained from fatigue pre-crack

Collaboration Research
between JNES/KSSC and NIIT



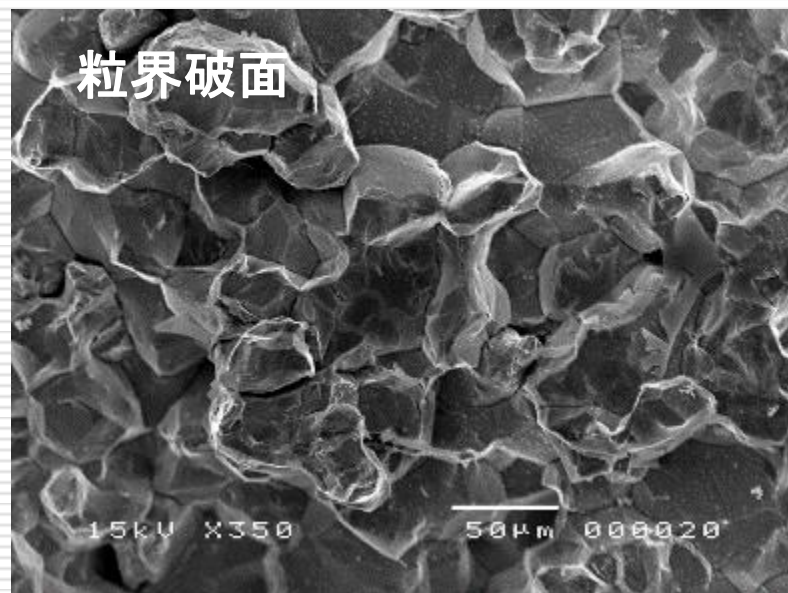
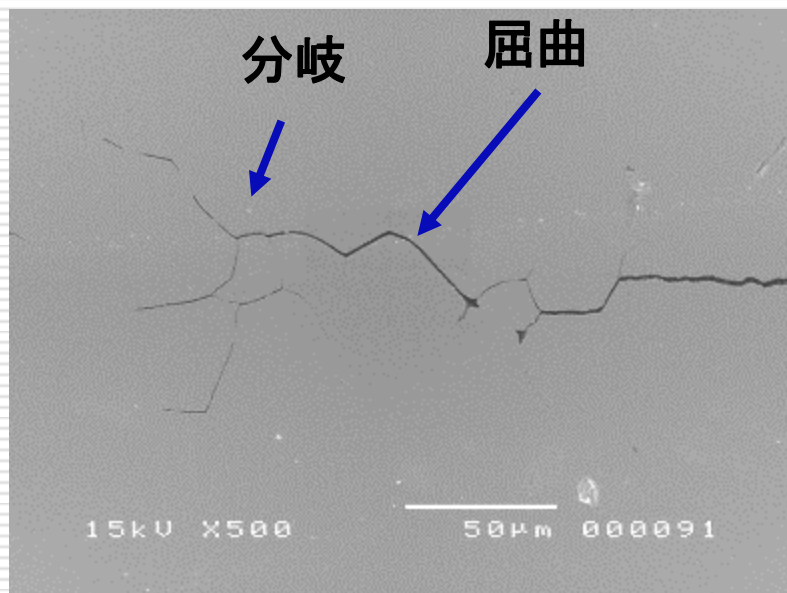
II. Propose the evaluation model for crack growth under severe cyclic seismic stress based on the experimental data and numerical analysis.

IV. Improve the evaluation model for crack growth under severe cyclic seismic stress based on the experimental data considering different types of crack.

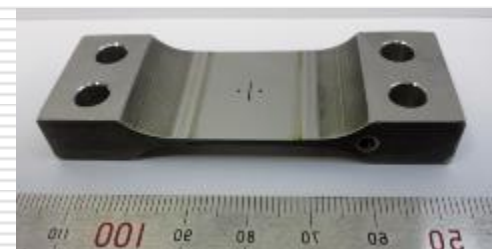


Apply the proposed model to actual problems

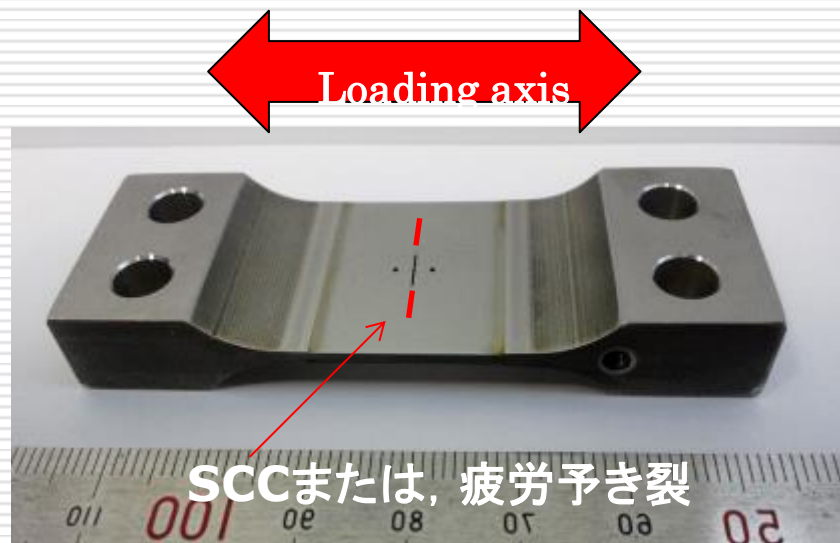
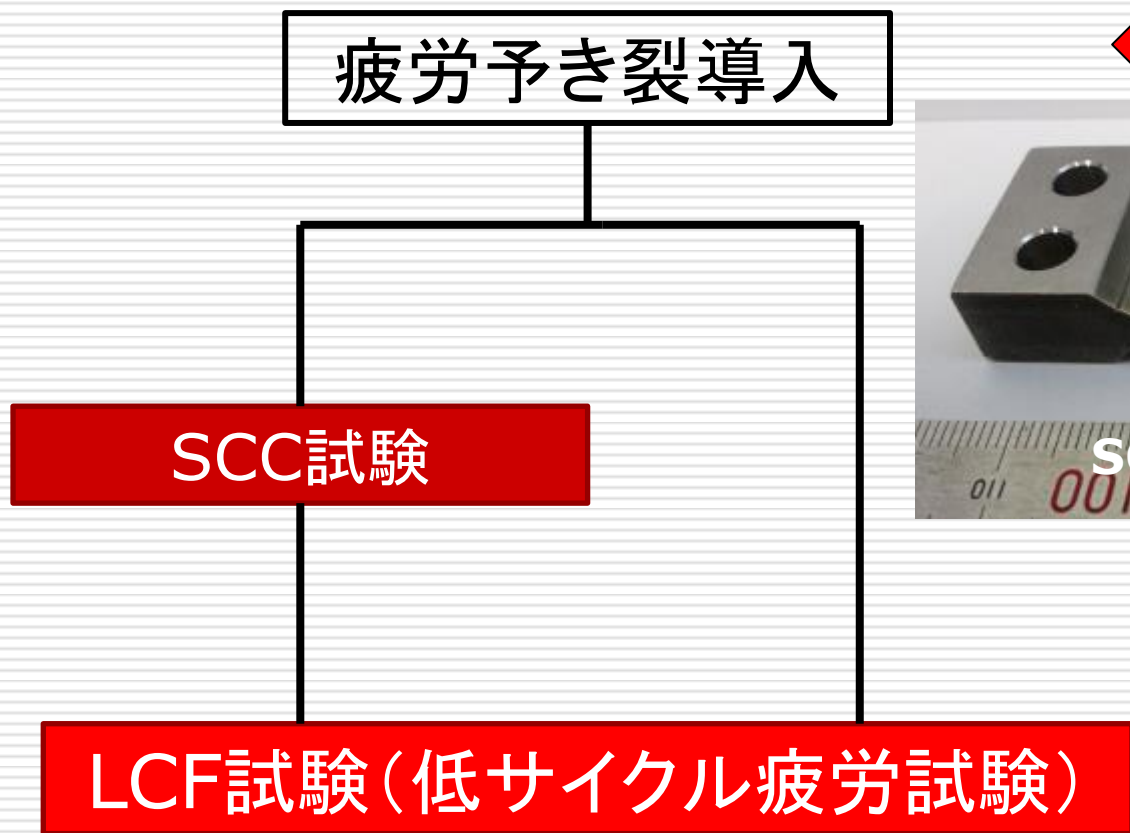
対象とするき裂



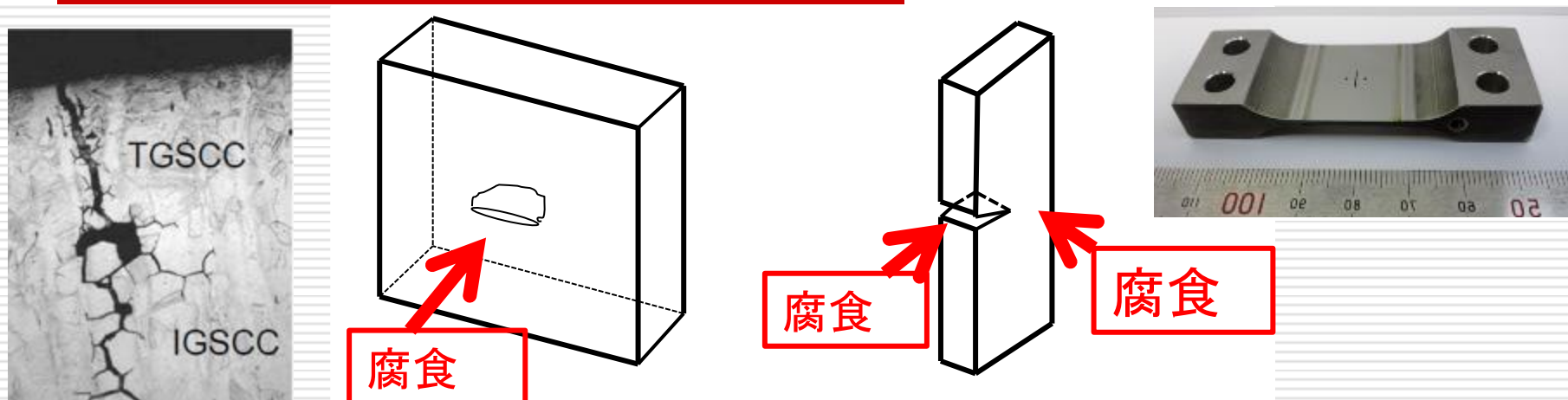
試験片レベルでIGSCCき裂を再現



き裂進展試験手順



実機と実験の腐食環境の相違



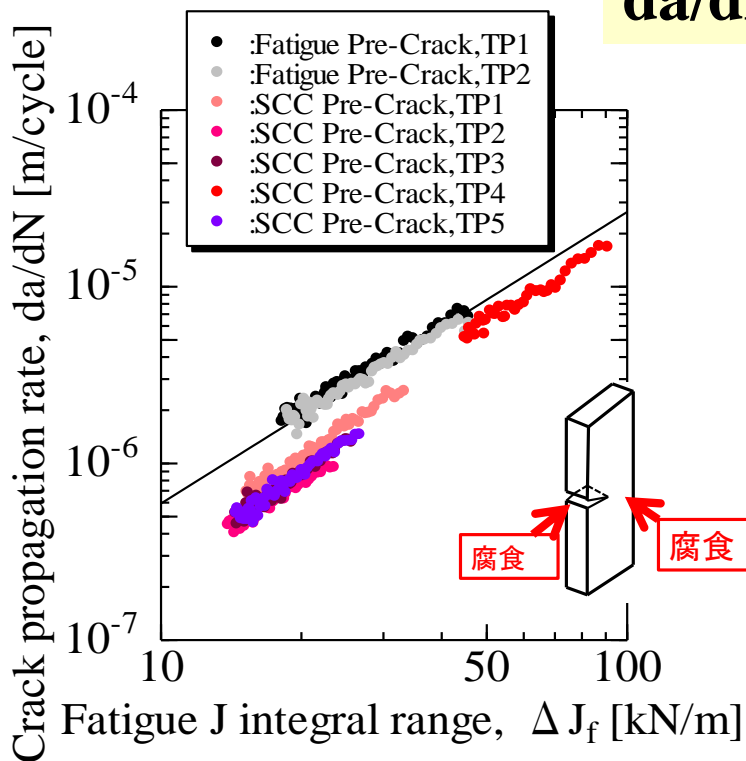
副疲労き裂の影響で、き裂進展速度を過度に低く評価している可能性

IGSCCき裂がLCF負荷を受けた際のき裂進展挙動を、より実機を模した環境で、実験的に検討した。



SCC予き裂からのき裂進展挙動

da/dN from SCC pre-crack < da/dN from fatigue pre-crack



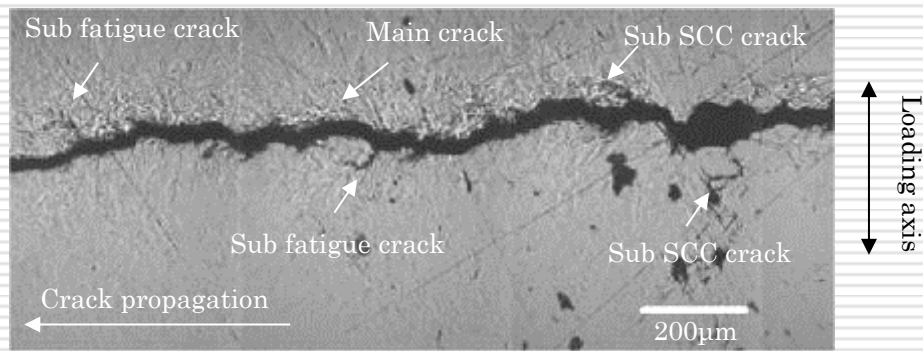
SCC予き裂からのき裂進展速度

試験片毎でき裂進展速度の相違

→き裂の**屈曲・分岐**の相違に影響

き裂が十分進展した後(高 ΔJ_f 領域)

SCC予き裂からのき裂進展速度が低い

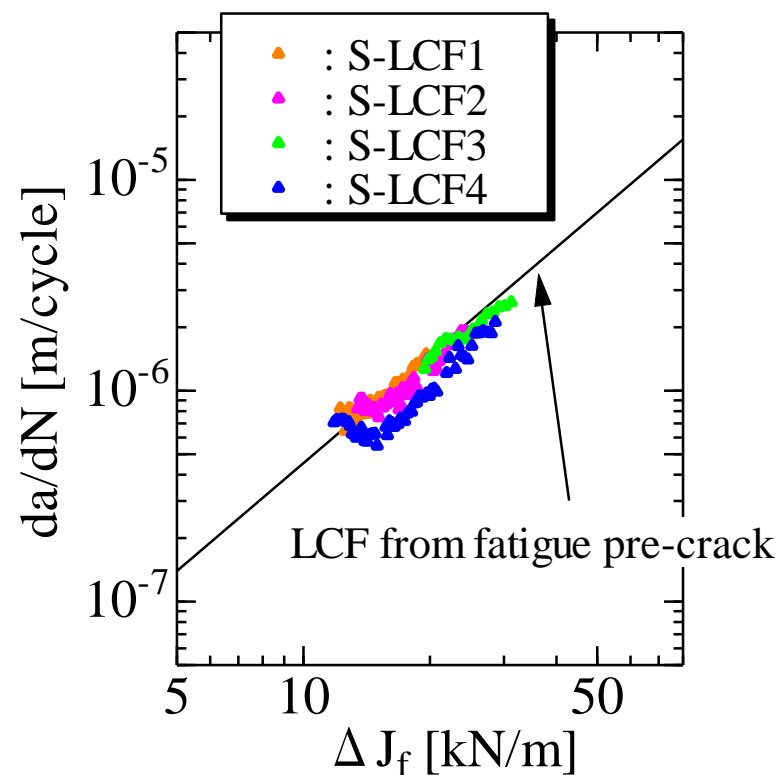
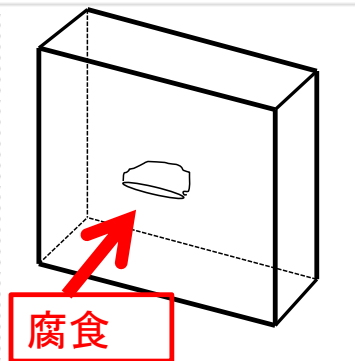


SCC予き裂からのき裂進展挙動2

分岐き裂の影響はあまり認められなかった。

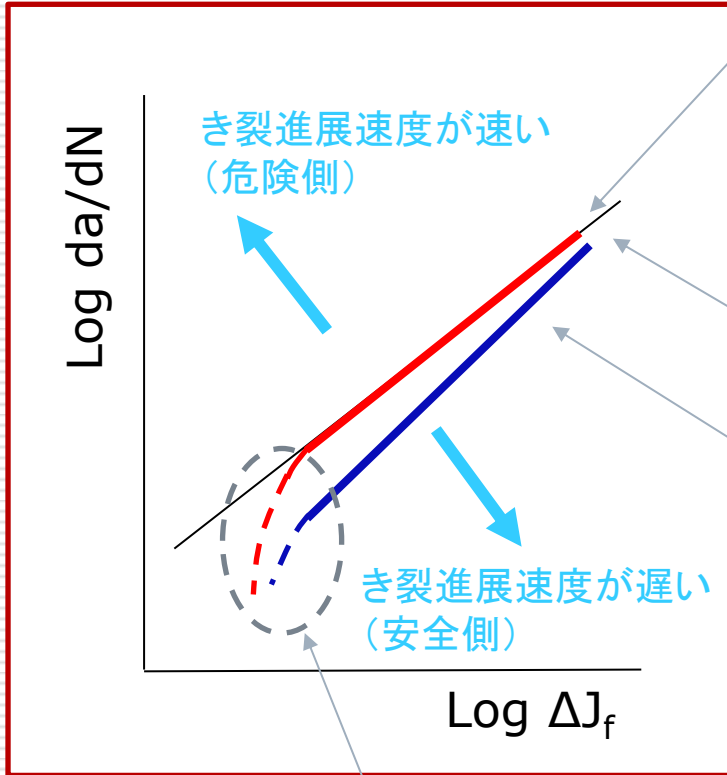
進展試験開始直後の200cycleは評価できていない。

→ 遅延はすぐに消失

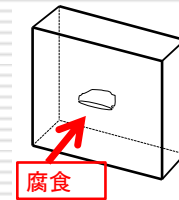


LCF条件下のき裂進展挙動

実験結果のまとめ

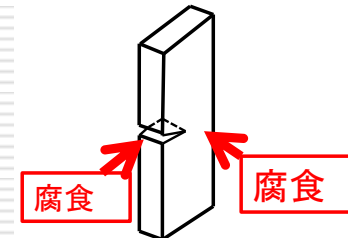


IG-SCC予き裂からのき裂進展データ



疲労予き裂からのき裂進展データ

IG-SCC予き裂からのき裂進展データ

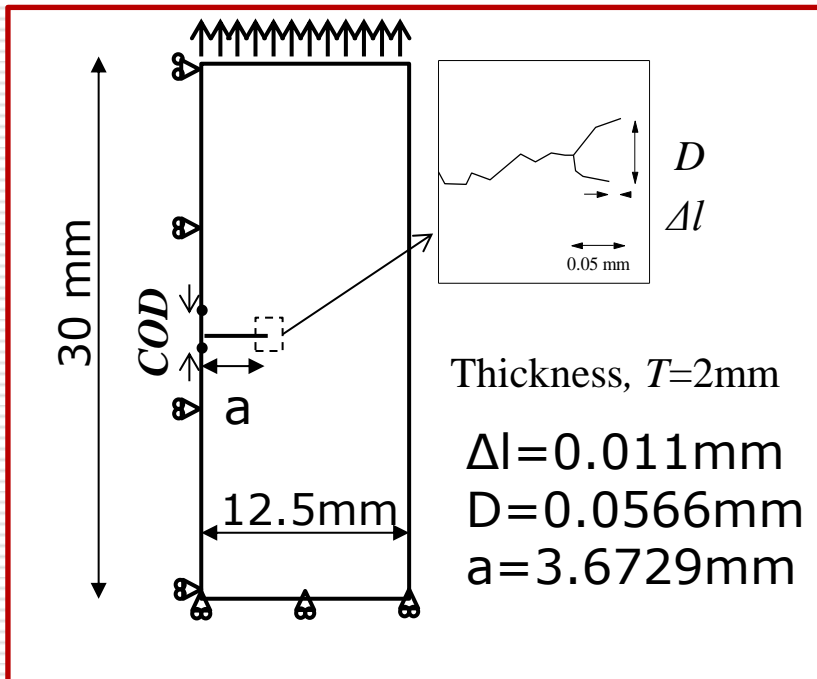


IG-SCCによる遅延効果は疲労き裂進展開始直後のみに限定されることが予想される。

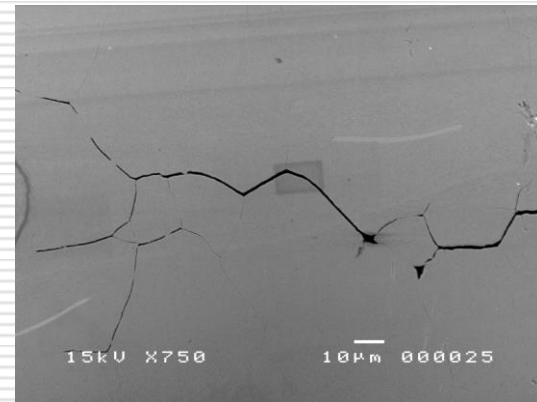
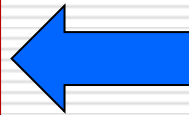
FEMによるき裂進展シミュレーション

- FEMにより, 分岐き裂を有する試験片をコンピュータ上にモデル化し, 負荷を受けた場合の応力分布, ひずみ分布を計算
- き裂先端のJ積分を計算し, 疲労き裂進速度を計算
- 実験で計測される ΔJ_f を, 実験と同一の条件(き裂の開口量と負荷荷重の関係)から計算
- 分岐き裂を有する場合のき裂進展挙動を調査
 - 負荷荷重依存性
 - 繰返し硬化の考慮の必要性 を検討

解析モデル



モデル化



SCC試験で得られたSCC予き裂

FEM code: Abaqus/CAE 6.12

Modeling soft: Solid works 2011

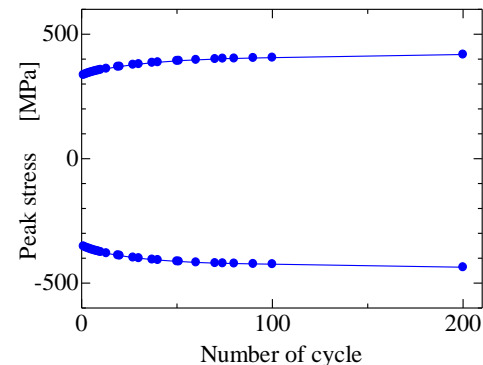
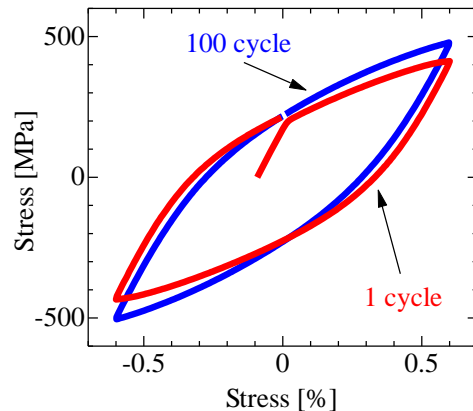
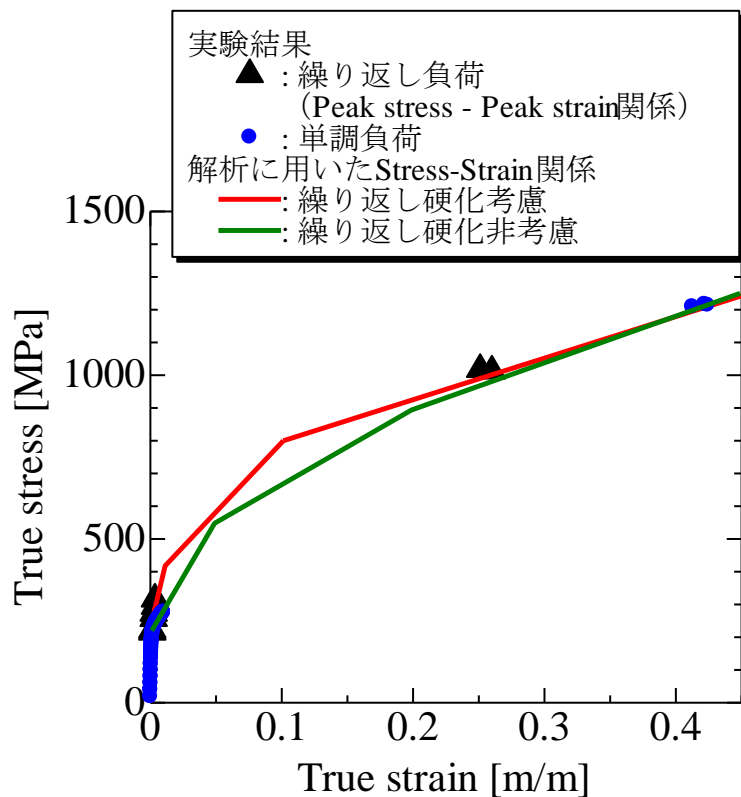
材料定数:

実験により取得

単調負荷(繰り返し硬化非考慮)

繰り返し負荷(繰り返し硬化考慮)

繰り返し硬化と材料定数



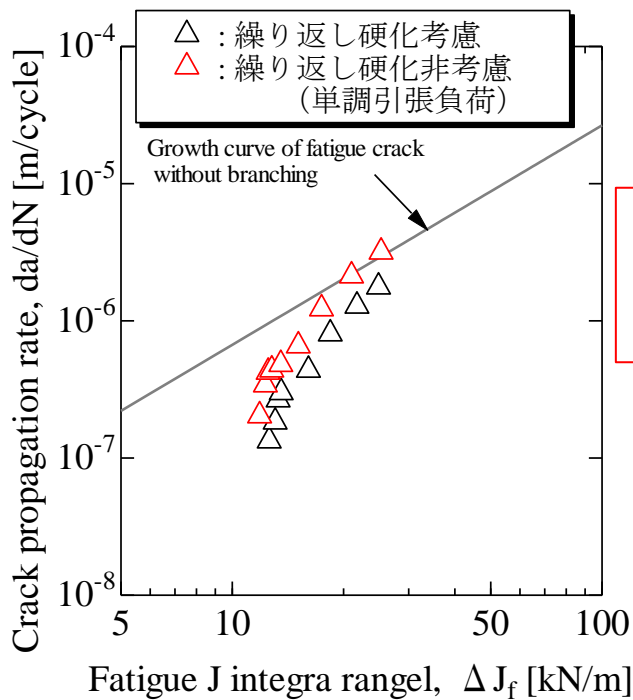
SUS304

繰り返し硬化材料

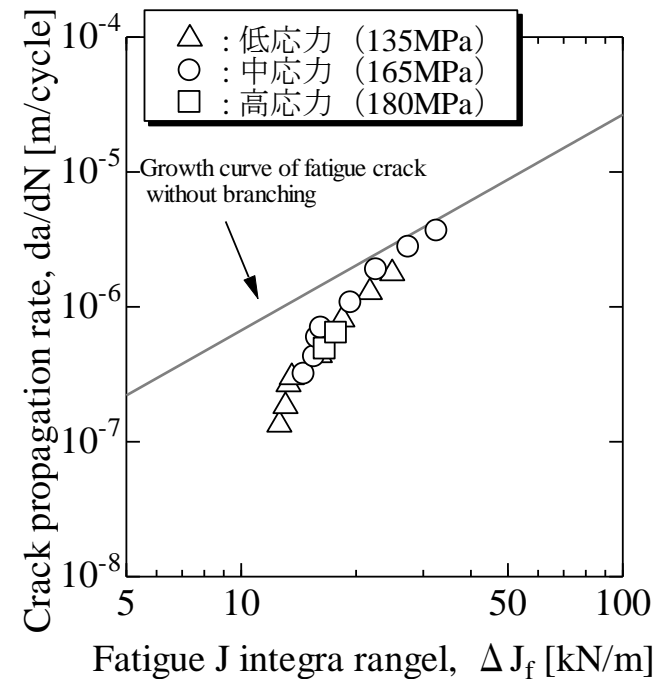
非弾性応力-ひずみ関係は繰り返し硬化により大きく変化

→ き裂進展解析結果に影響

FEMによるき裂進展解析結果



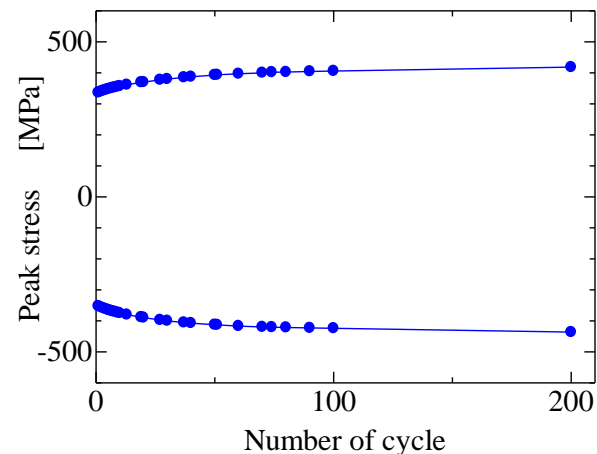
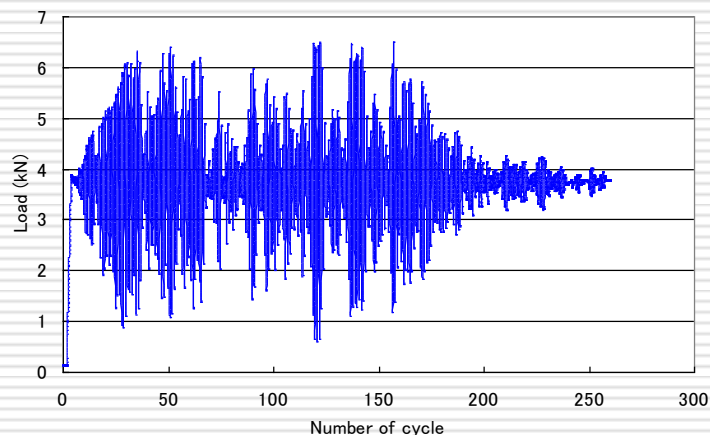
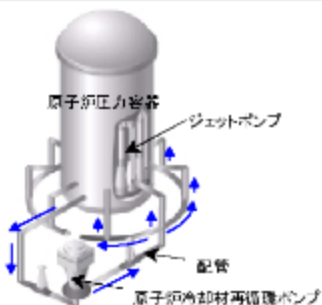
分岐き裂による
主き裂遅延



繰り返し硬化を考慮する・しない
 → 分岐き裂の影響が異なる

負荷応力レベル
 → 分岐き裂の影響に無関係

実機のき裂進展解析



地震動： 数十サイクルの極低サイクル疲労

➔ 負荷中に材料の応力-ひずみ応答が逐次変化

実機のき裂進展解析の高度化に対しては

繰り返し硬化の影響を考慮した分岐き裂を有するき裂の進展解析

まとめ

- 分岐・屈曲を伴うIGSCCき裂を試験片レベルで再現
低サイクルき裂進展に及ぼす
分岐き裂の影響を明らかにした
※低サイクルき裂進展開始直後のデータや
分岐形状の影響についてデータの拡充
- FEM解析によるき裂進展に及ぼす分岐き裂の影響
分岐き裂による主き裂遅延を確認
繰返し硬化の影響
(負荷応力レベルの影響は無)

実機き裂進展解析の高度化