

# 高温高純水環境における応力腐食割れ挙動の評価とモンテカルロシミュレーション

工学領域 機械工学系列 准教授 藤井 朋之

## 背景・目的

- 腐食環境中で引張負荷を受ける材料に生じる応力腐食割れに関して、マイクロからマクロにわたるき裂挙動を検討。
- 実験結果に基づいたモンテカルロシミュレーションを実施し、提案しているシミュレーション法の妥当性を評価。

### 応力腐食割れ(SCC):

材料・環境・応力の相互作用によりき裂が発生・進展する材料劣化現象。

発生事例: 石油化学プラント(塩化物・硫化物SCC)  
原子炉(高温純水中SCC, 照射誘起SCC)

### 当研究室では,

1. **き裂発生過程**: 乱数を用いた**確率過程**
  2. **き裂合体・進展過程**: 破壊力学による**決定論的過程**に基づいたモンテカルロシミュレーションを開発\*し寿命予測。  
→ シミュレーションを行うには、**材料のSCC挙動を正確に記述する入力データ**が必要。
1. BWR冷却水模擬環境下におけるSCC試験を実施し、き裂発生過程を評価し、入力データを算出。
  2. 実験結果に基づきモンテカルロシミュレーションを実施。

\* 特許第4774515号, 実構造物の応力腐蝕割れ挙動予測方法及び寿命予測方法, 東郷, 小粥

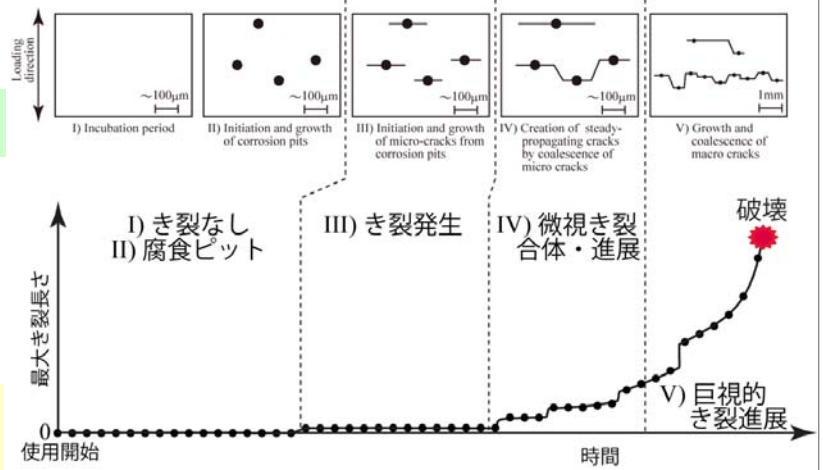


図. 階層構造を有する応力腐食割れ挙動

## 沸騰水型原子炉(BWR)一次冷却水模擬環境下におけるSCC試験

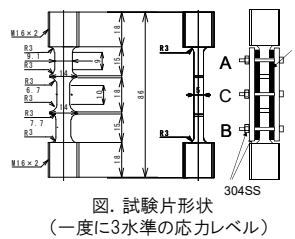


図. 試験片形状 (一度に3水準の応力レベル)

表. 実験環境

Temperature	288°C
Pressure	8MPa
Dissolved oxygen	8ppm
Conductivity	0.1mS

図. 定荷重試験機 (沸騰水型原子炉一次冷却水の環境模擬)

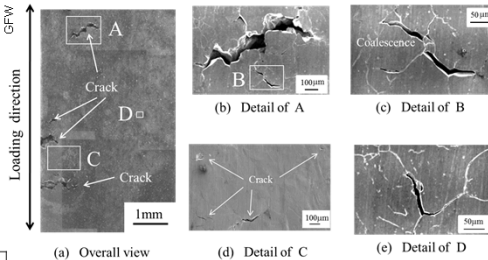


図. き裂発生挙動(250MPa, 120時間)

- ・ 荷重方向に垂直な面において、き裂が発生
- ・ すべて結晶粒界でき裂が発生(IGSCC)

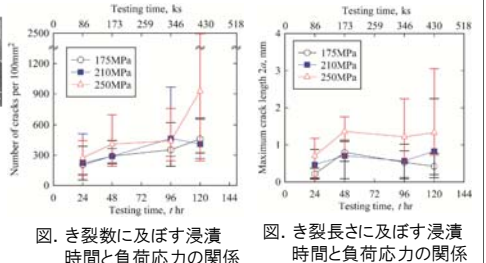


図. き裂数に及ぼす浸漬時間と荷重応力の関係

図. き裂長さに及ぼす浸漬時間と荷重応力の関係

- ・ き裂発生数は、応力/浸漬時間の増加により多くなる。
- ・ 最大き裂長さは、応力/浸漬時間の増加により長くなる。
- ・ き裂発生数・長さは、非常にばらつきが大きい。

## モンテカルロシミュレーションによるSCCき裂発生挙動の評価

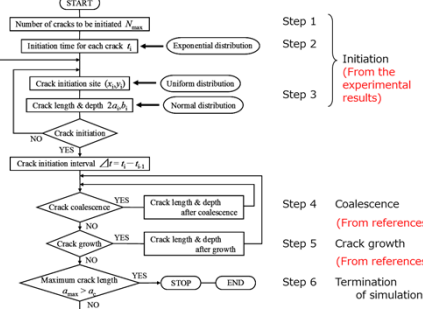


図. モンテカルロシミュレーションのフローチャート

### 解析条件:

- ・ 解析領域: 3 × 3 mmの正方形領域
- ・ き裂発生過程(実験結果に基づく):
  - ✓ き裂発生位置: 一様乱数 (解析領域には、一様に発生と仮定)
  - ✓ き裂長さ: 正規乱数 (結晶粒径: 平均60μm, 標準偏差16μm)
  - ✓ き裂発生時間: 指数乱数 (き裂発生数と時間の関係に基づく)
- ・ き裂合体過程 (From references)
  - ✓ 破壊力学に基づく(文献より導出)
- ・ き裂進展過程 (From references)
  - ✓ da/dt - K 関係に基づく(文献より導出)
- ・ シミュレーション回数:
  - ✓ 一条条件に対し乱数を変化させ10回実施し、統計的に処理

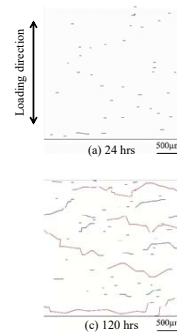


図. き裂発生挙動 (シミュレーション結果)

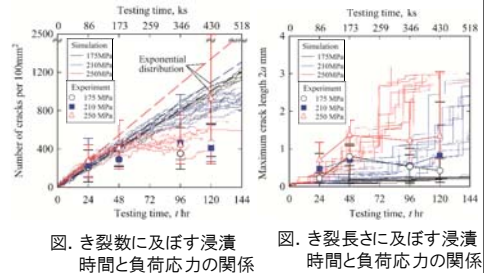


図. き裂数に及ぼす浸漬時間と荷重応力の関係

図. き裂長さに及ぼす浸漬時間と荷重応力の関係

- ・ き裂発生挙動(き裂数, 最大き裂長さ)は、シミュレーション結果と実験結果はよく一致している。
- ・ 最適な入力データによるモンテカルロシミュレーションで、高精度なSCC寿命評価・予測が可能となる。

keyword: ステンレス鋼, 応力腐食割れ, モンテカルロシミュレーション, き裂発生・合体・進展