



## 疲労に関する重要知識 講演資料集

# 「12Crステンレス鋼の腐食疲労挙動」

福岡大学 材料技術研究所  
江原隆一郎

この資料は、(一社)日本溶接協会 原子力研究委員会 FQA2小委員会 における講演資料を掲載したものです。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):「12Crステンレス鋼の腐食疲労挙動」 福岡大学材料技術研究所 江原隆一郎

日本溶接協会 FQA2 小委員会  
2015年10月6日(火)

# 12Crステンレス鋼の腐食疲労挙動

江原隆一郎

福岡大学材料技術研究所  
〒814-0180 福岡市城南区七隈8-19-1  
[ebara@fukuoka-u.ac.jp](mailto:ebara@fukuoka-u.ac.jp)

## 蒸気タービン動翼の腐食疲労破損<sup>1)</sup>

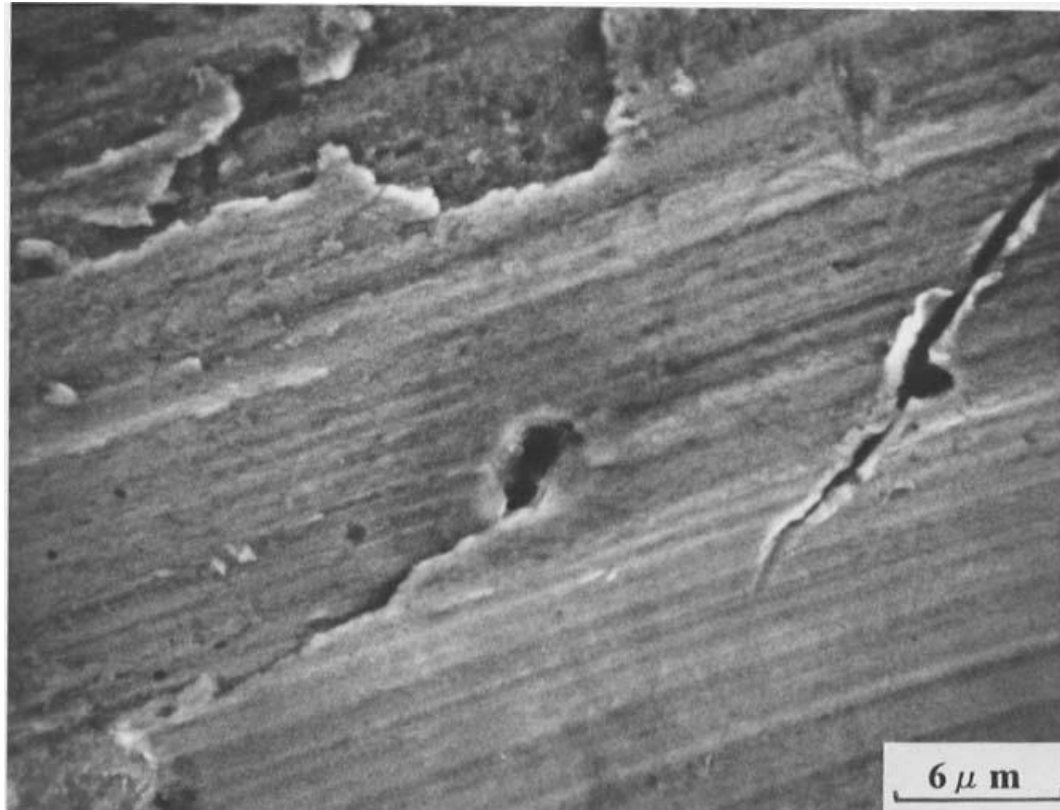
- 表面

腐食ピットを伴った微小き裂  
複数個のき裂

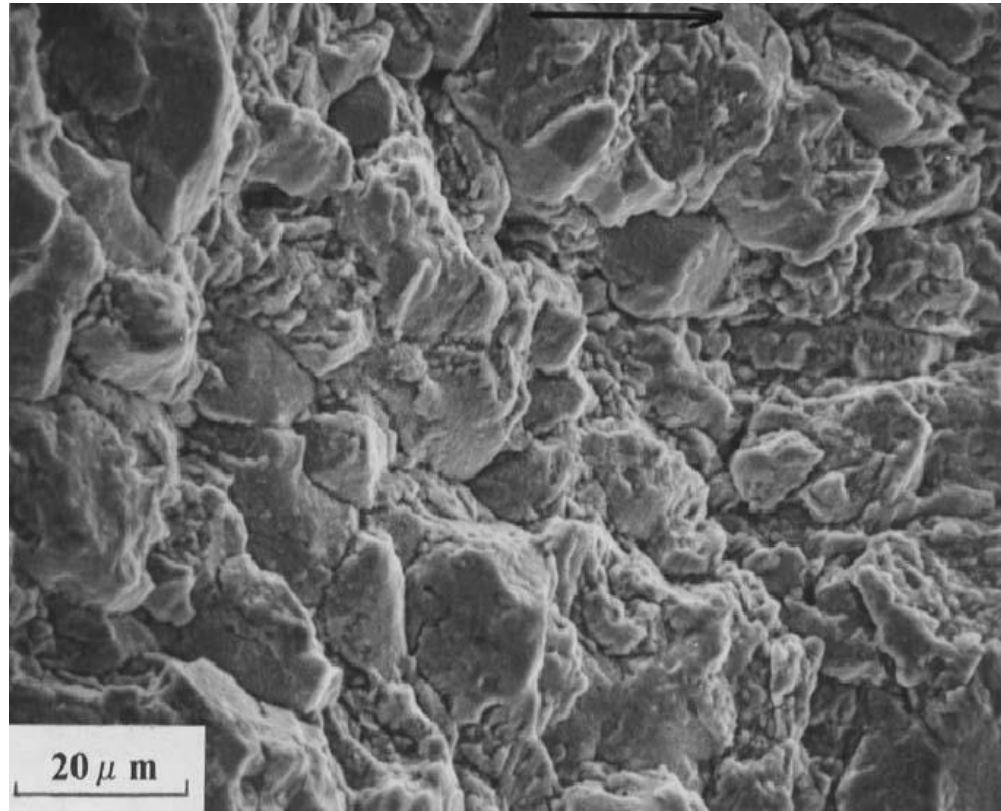
- 破面

マクロ破面：比較的滑らか  
ビーチマーク

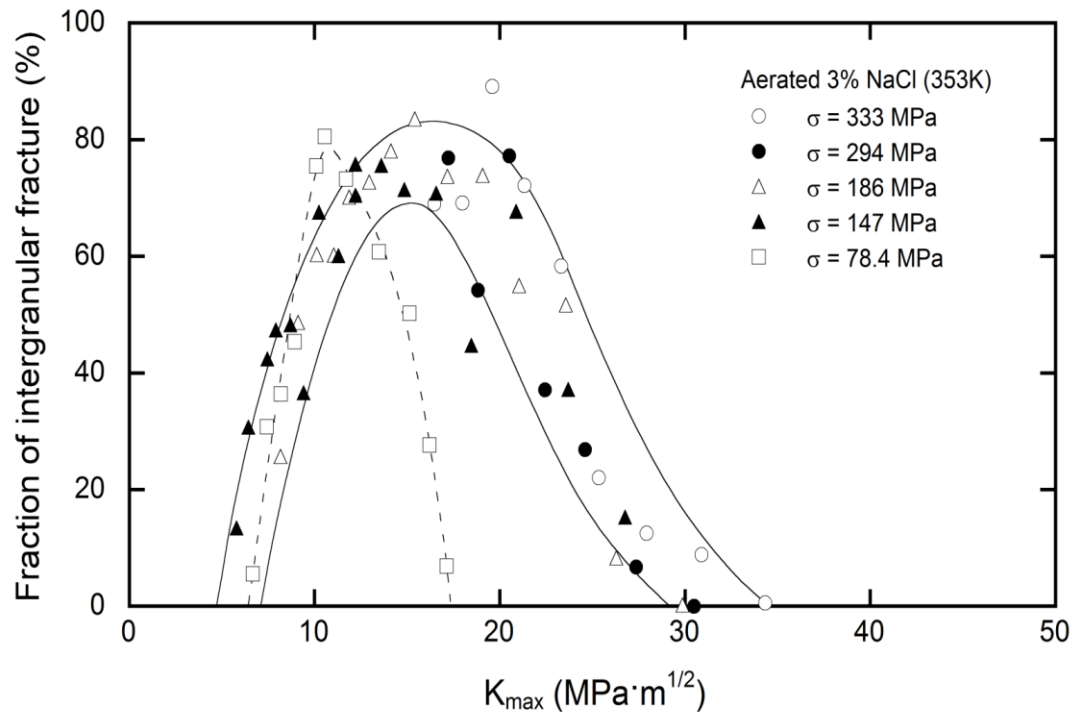
ミクロ破面：起点部の腐食ピット  
粒界破面



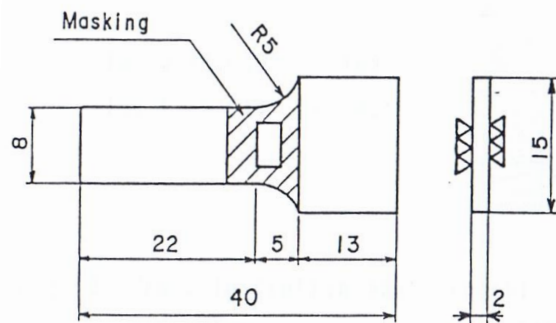
腐食ピットを伴った微小き裂<sup>1)</sup>



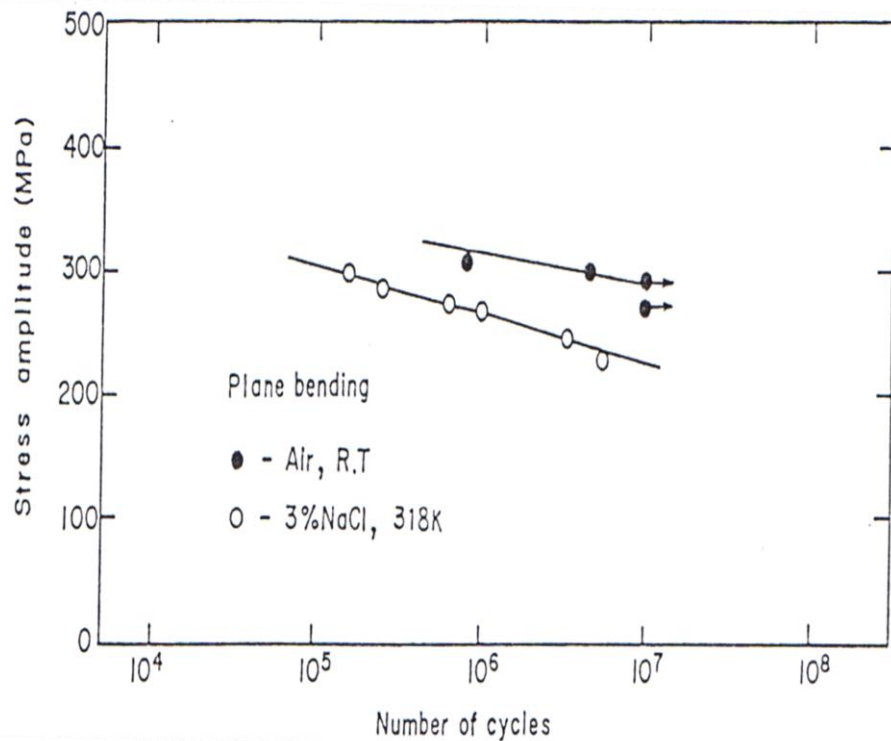
粒界破面<sup>1)</sup>  
矢印はき裂進展方向を示す



**粒界破面率と  $K_{max}$  との関係<sup>1)</sup>.**  
**12Cr ステンレス鋼,**  
**3% NaCl水溶液(大気解放, 353K)**

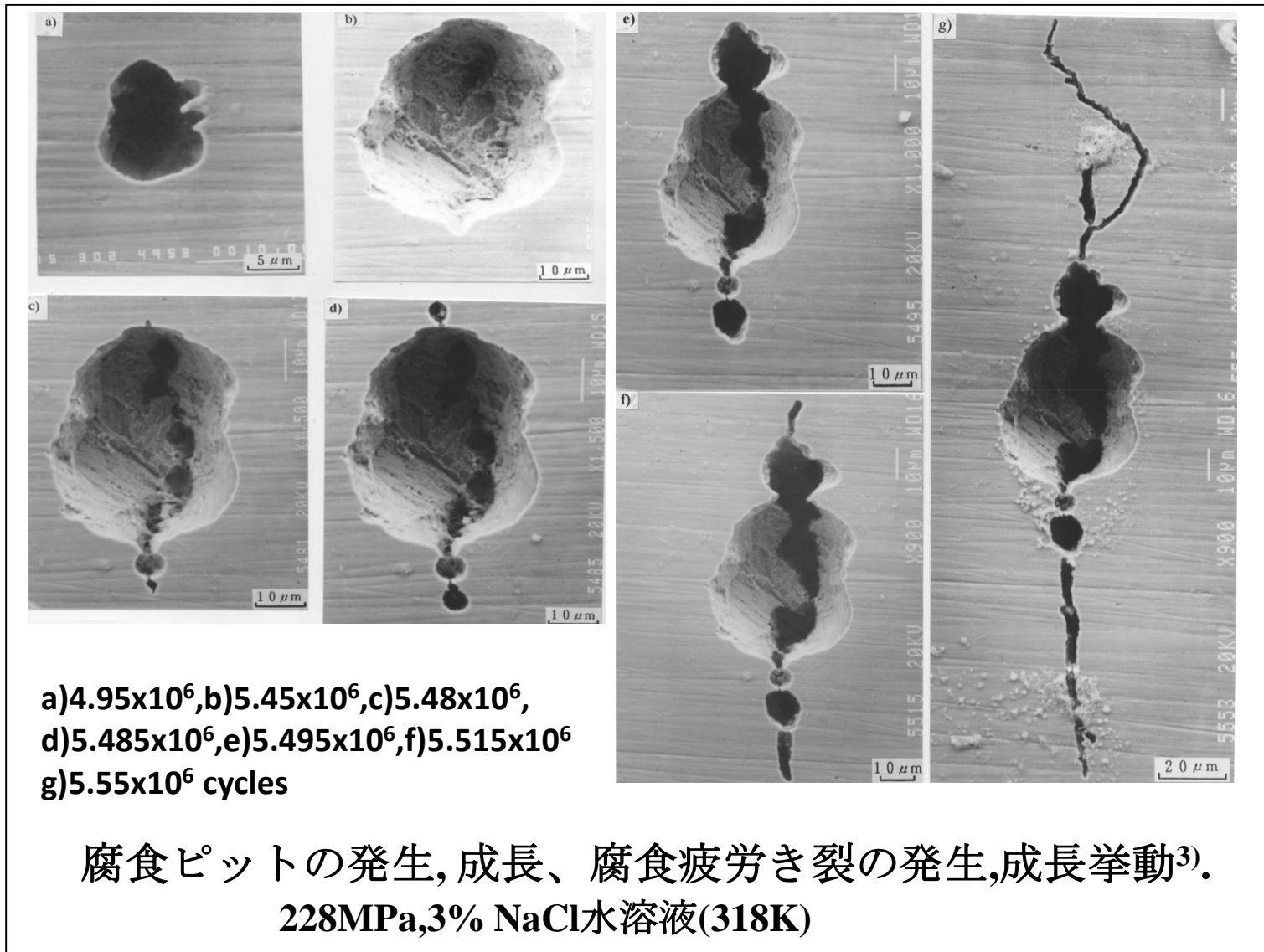


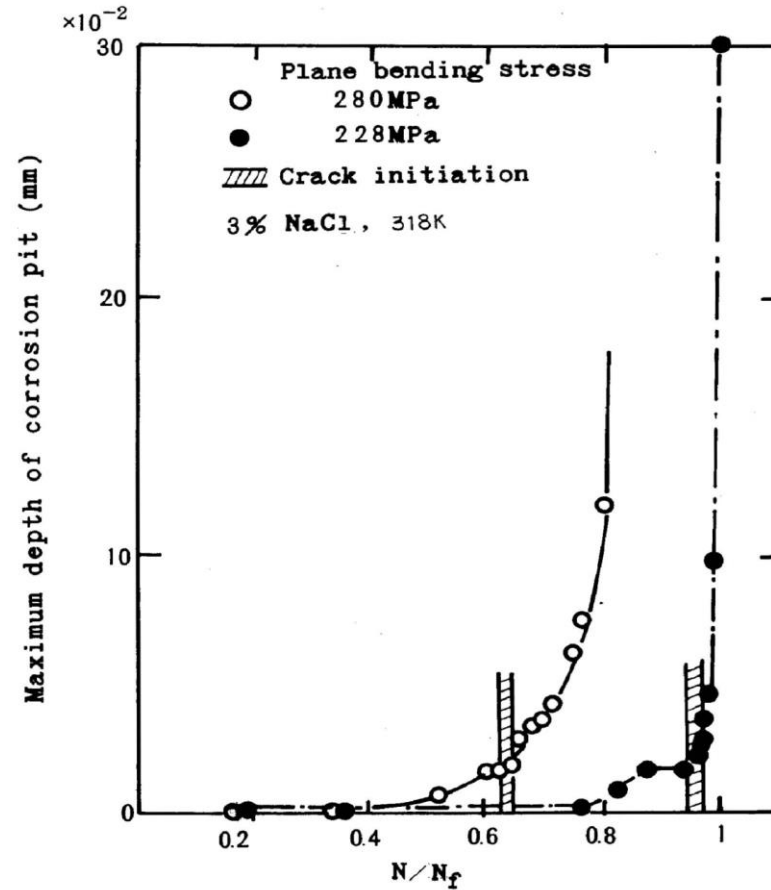
平面曲げ疲労試験片



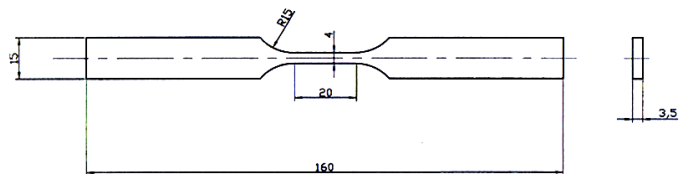
S-N 曲線

腐食ピットの発生と成長<sup>2)</sup>.

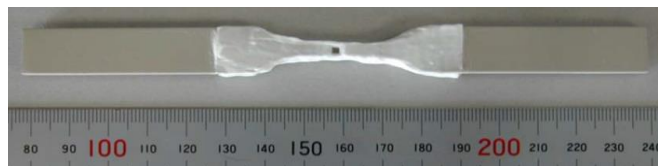




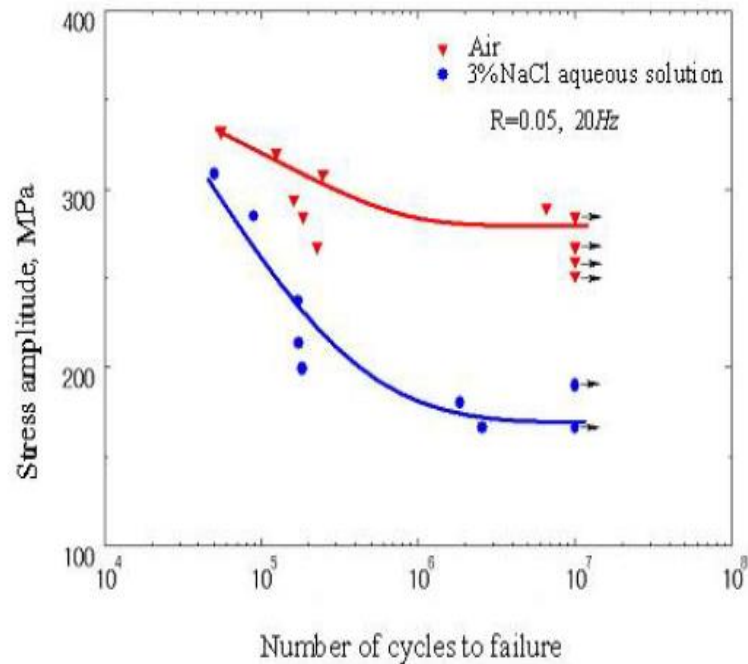
### 腐食ピットの成長<sup>3)</sup>



平板試験片

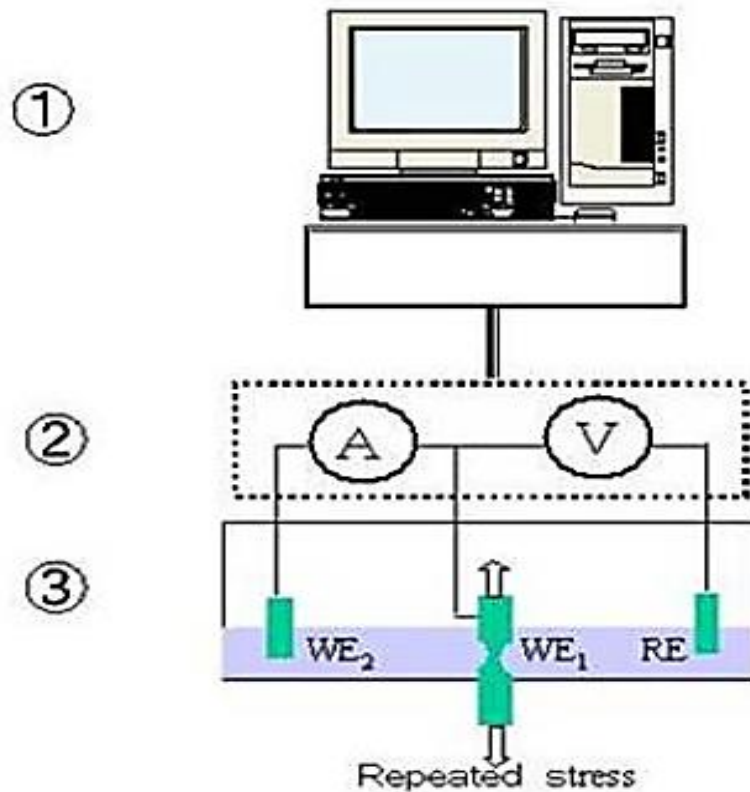


マスクング, 暴露面積: 2mmx2 mm



S-N 曲線

電気化学ノイズ測定と表面観察<sup>4)</sup>.

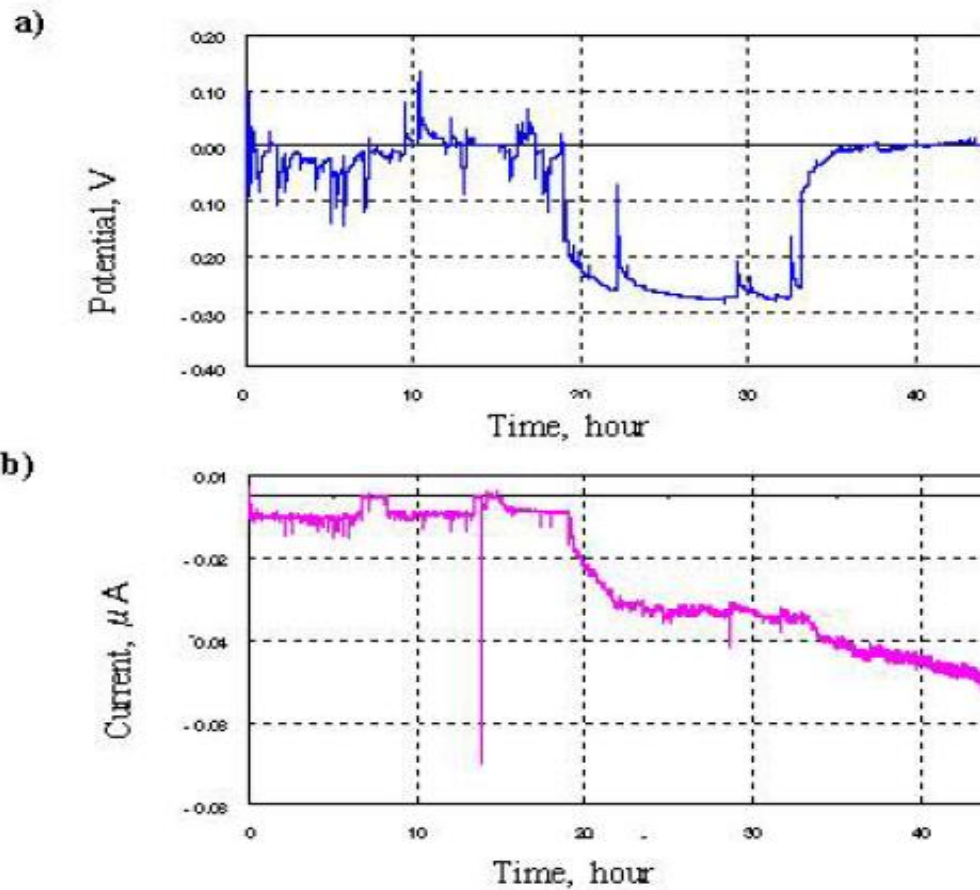


## 電気化学ノイズ測定<sup>4)</sup>

①データ解析システム

②測定システム③試験セル

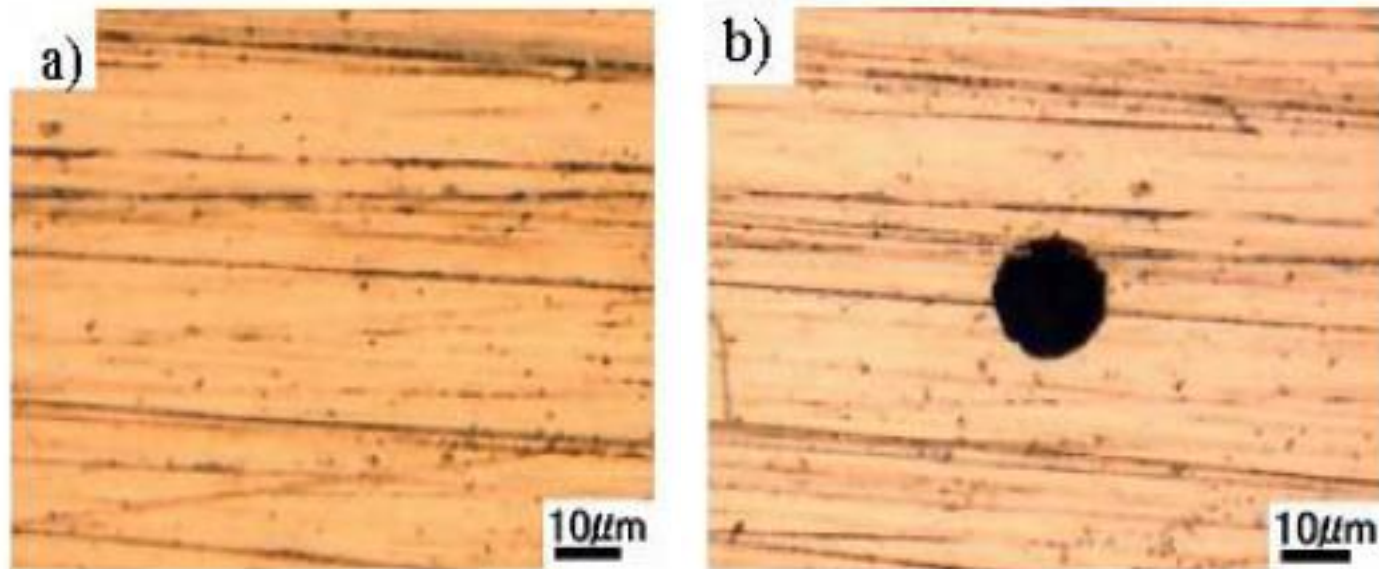
A:電流計 V:電圧計



電気化学ノイズ<sup>4)</sup>.

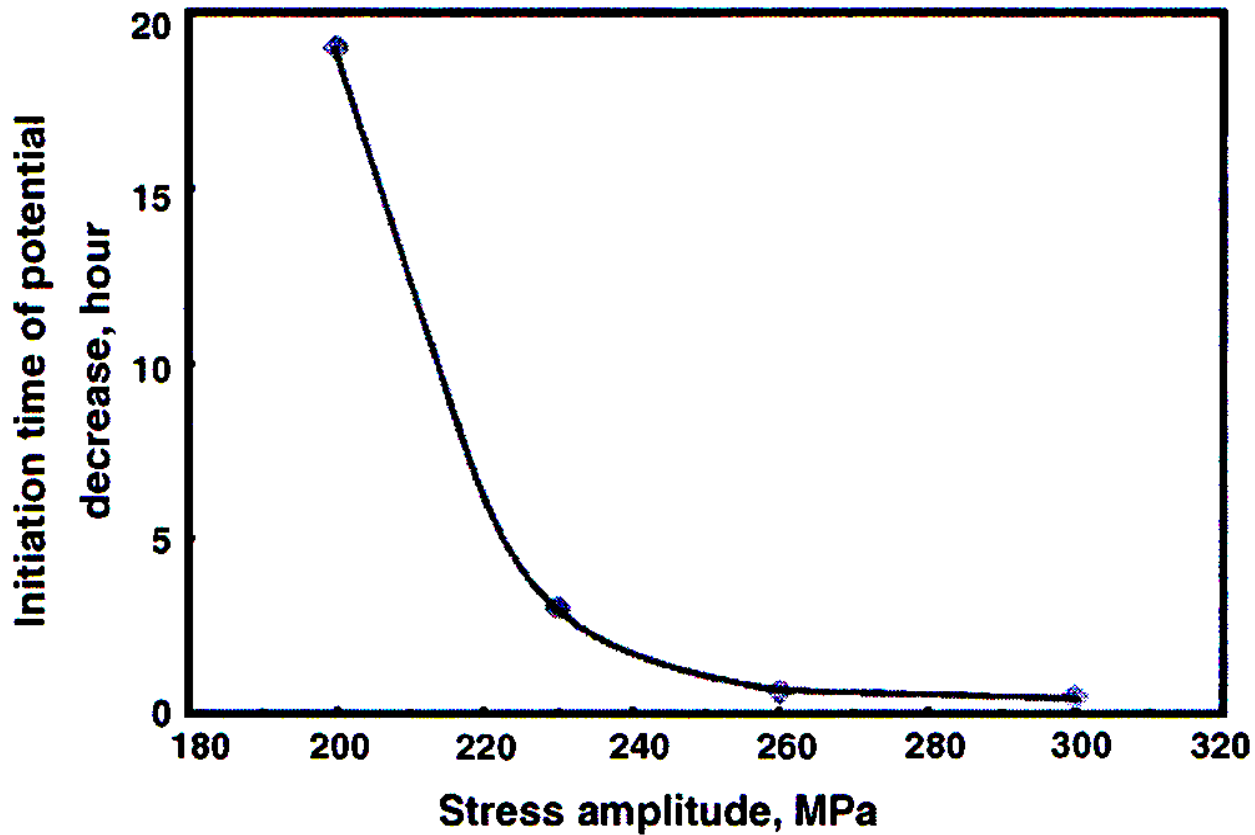
200MPa,  $2.9 \times 10^6$  cycles.

a) 電位の時間経過    b) 電流の時間経過

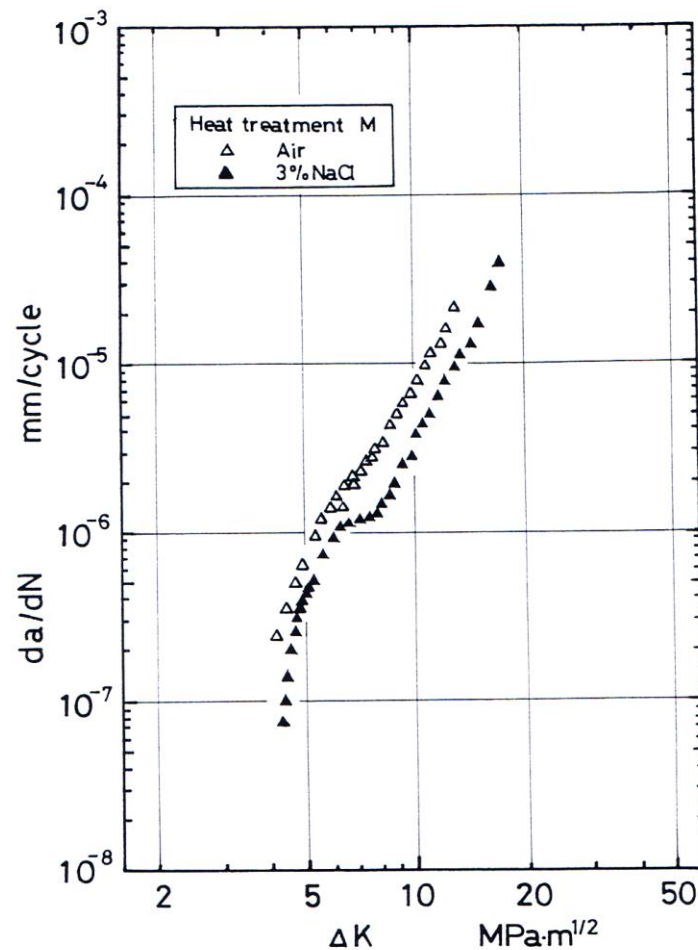


腐食ピットの観察<sup>4)</sup>.

a) 試験前 b)  $2.9 \times 10^6$  cycles



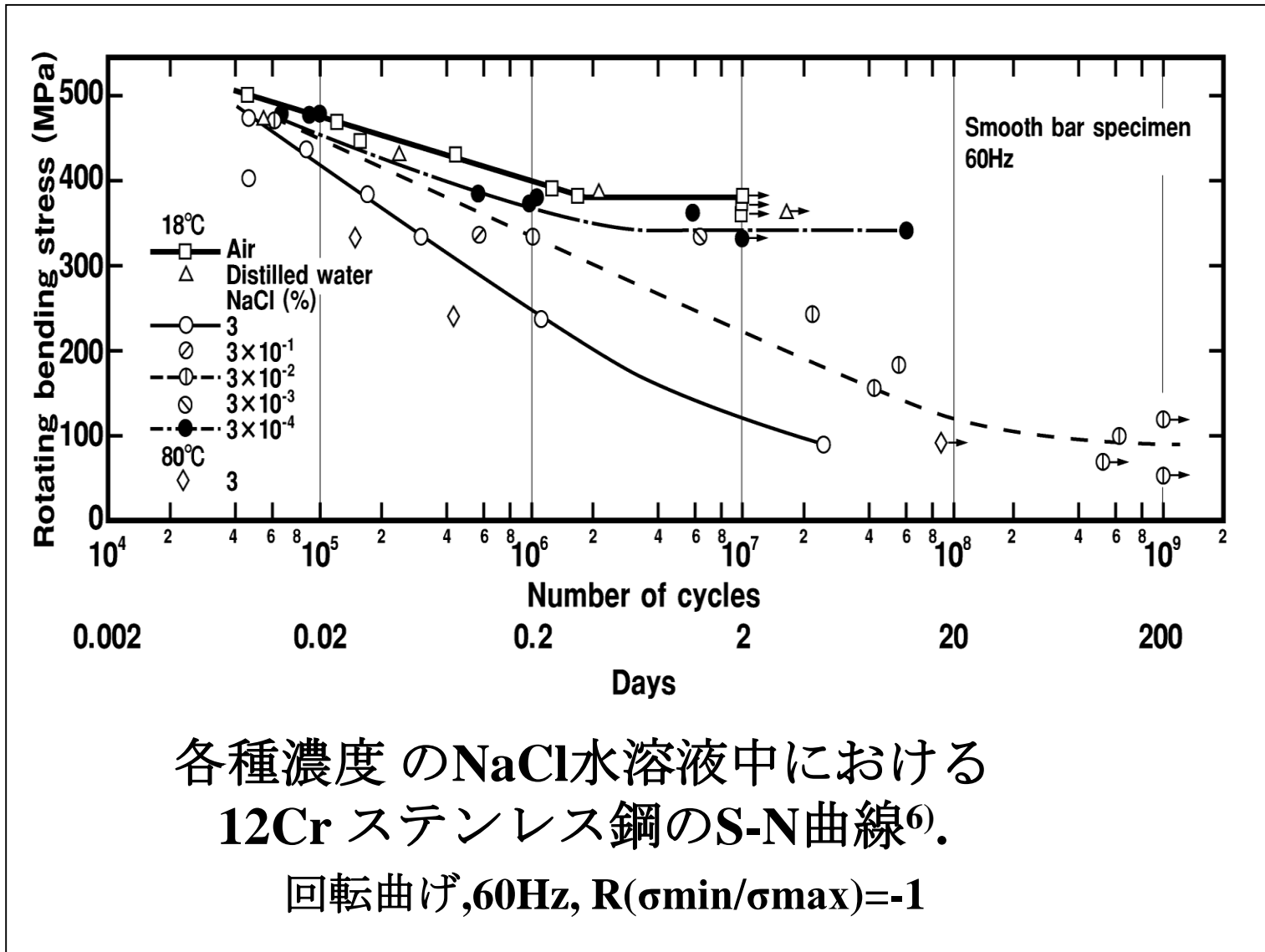
応力振幅と電位減少開始時間との関係<sup>4)</sup>.



12Cr ステンレス鋼の疲労き裂進展曲線<sup>5)</sup>.  
 油焼き入れ,空冷; 873Kx 3 hrs.

## 腐食疲労影響因子

- 材料  
12 Cr ,17-4pH,Ti-6Al-4V  
熱処理, 表面粗さ
- 応力  
平均応力, 応力集中係数, 周波数
- 環境  
不純物, 温度, 溶存酸素濃度
- 時間



各種濃度のNaCl水溶液中における  
12Cr ステンレス鋼のS-N曲線<sup>6)</sup>.

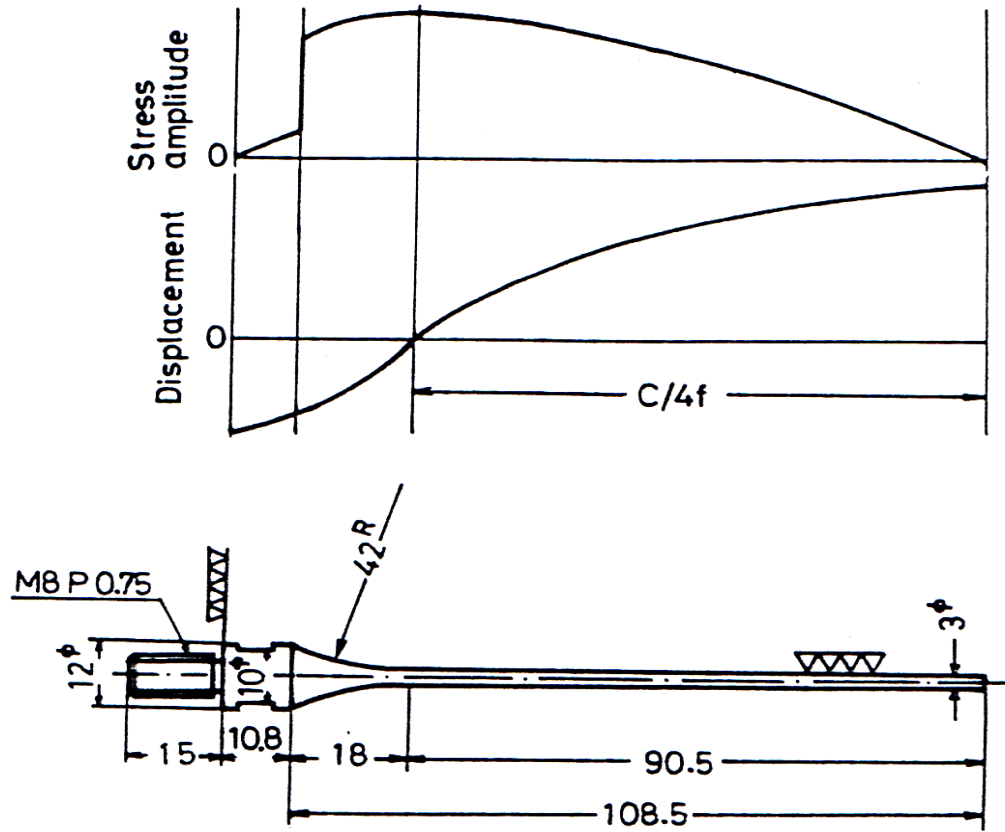
回転曲げ, 60Hz,  $R(\sigma_{\min}/\sigma_{\max})=-1$



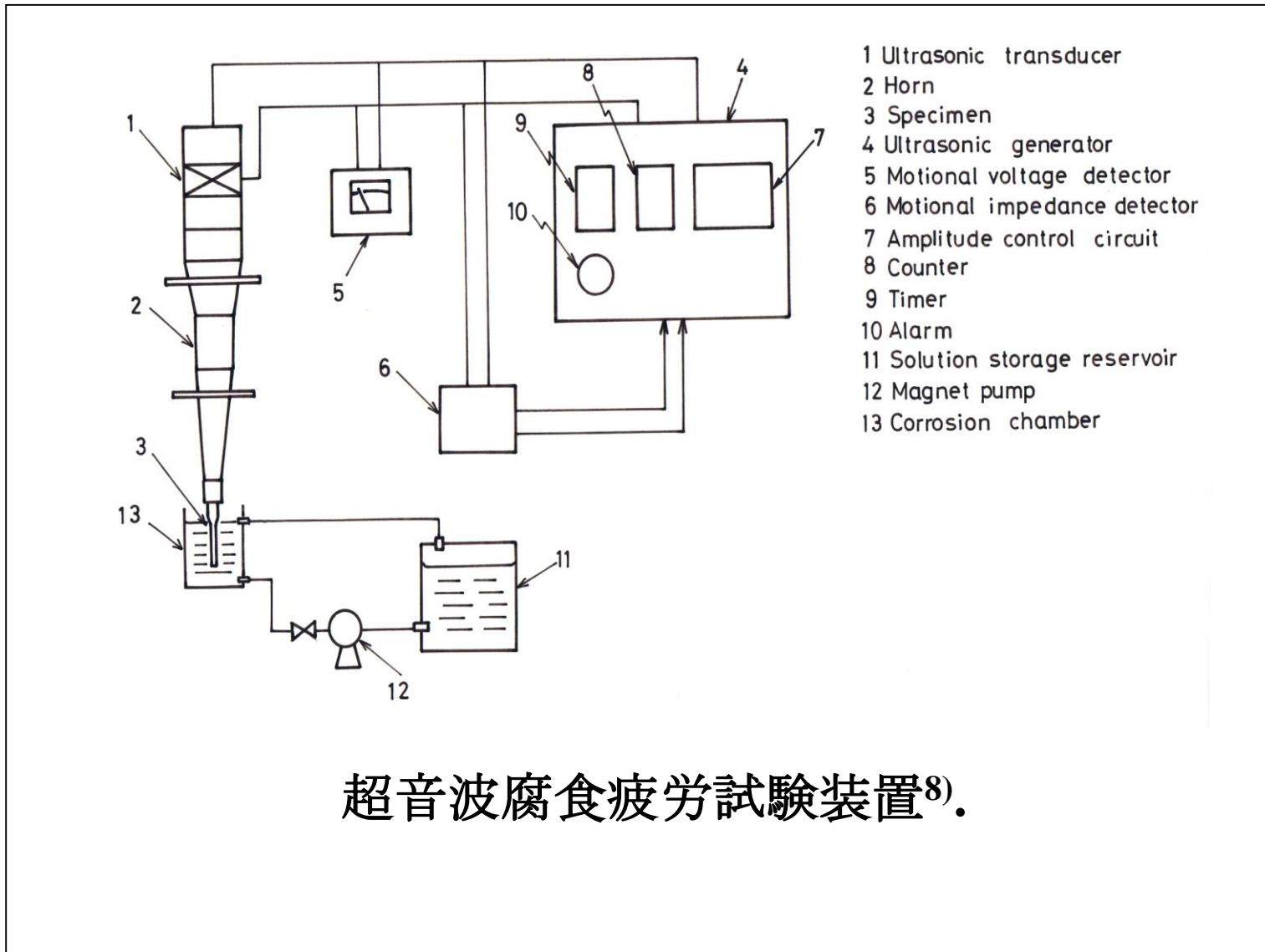
腐食ピットからの腐食疲労き裂進展<sup>7)</sup>.

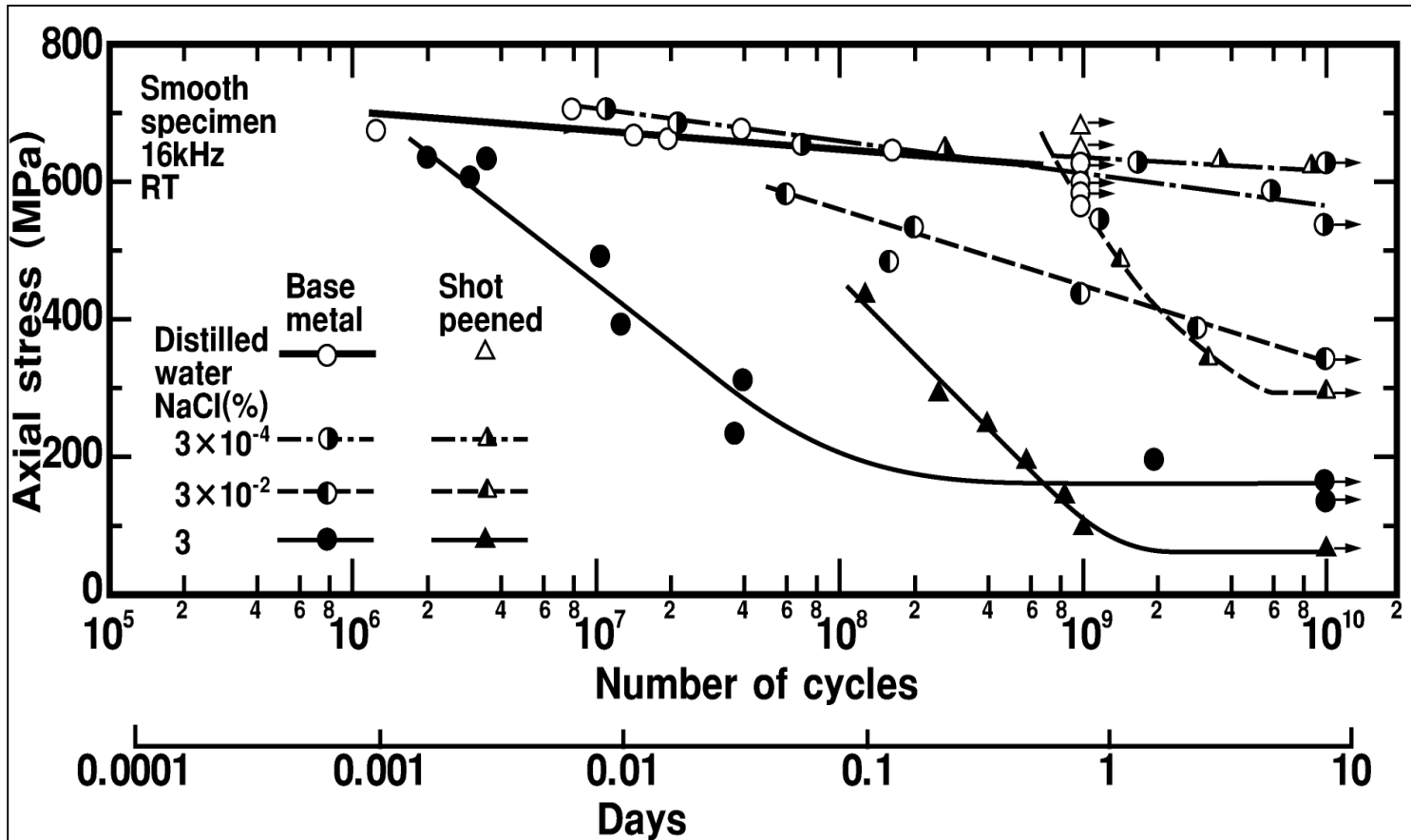
12Crステンレス鋼,0.03% NaCl 水溶液

10<sup>9</sup>回未破断試験片,回転曲げ応力 118MPa

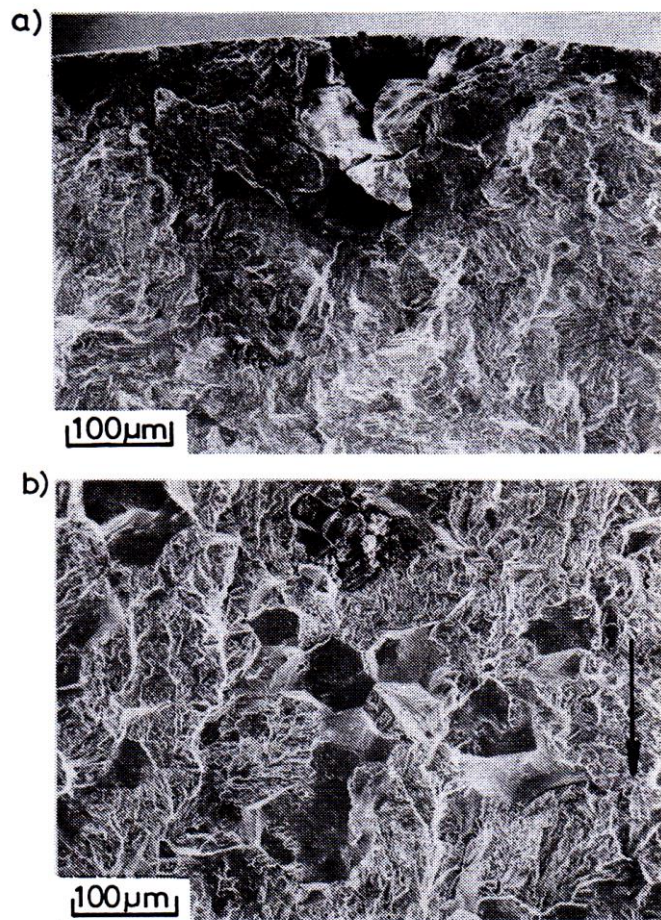


疲労試験片<sup>8)</sup>.





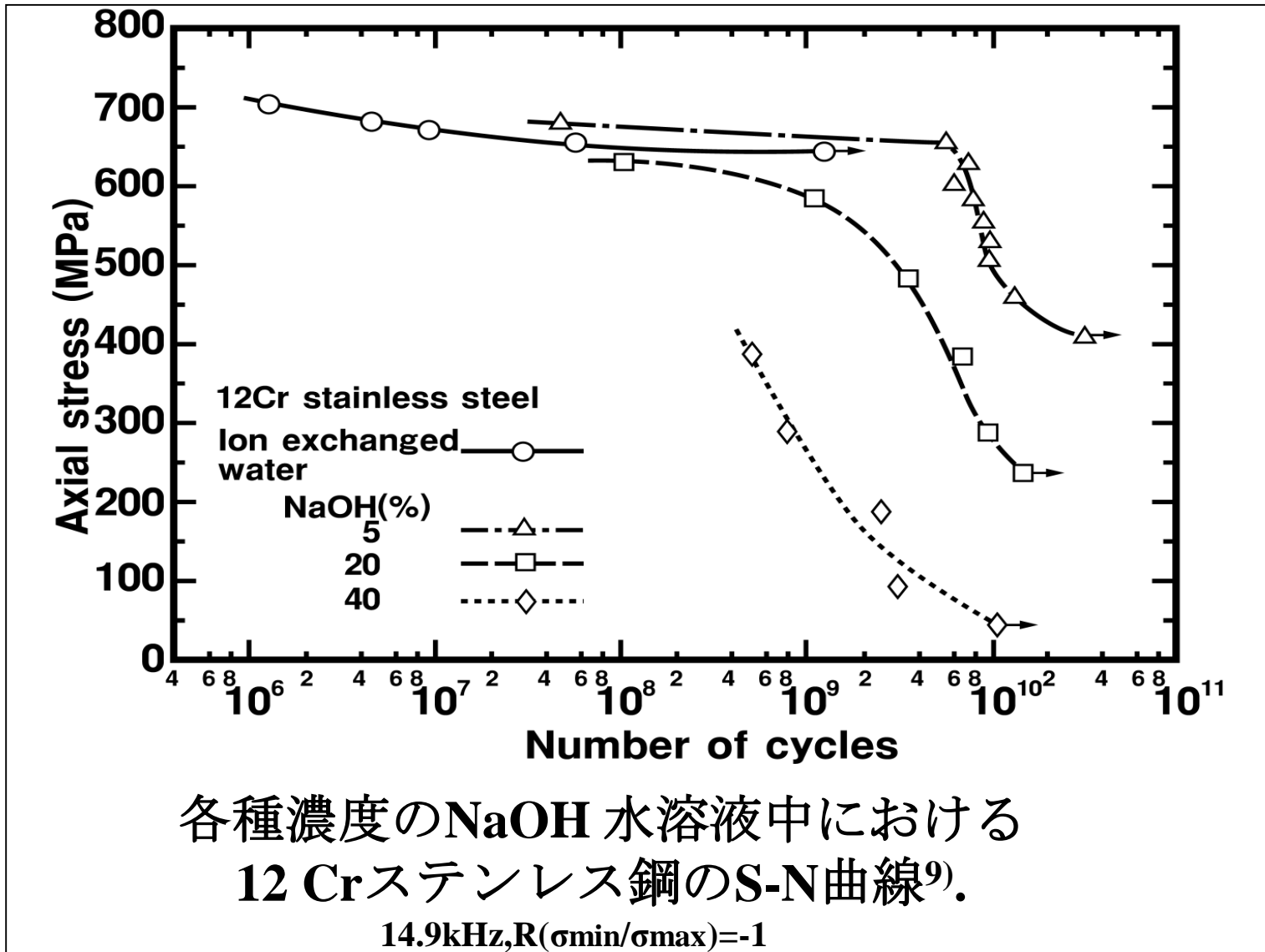
各種濃度のNaCl水溶液中における  
 12 Crステンレス鋼のS-N曲線<sup>8)</sup>.  
 14.9kHz,  $R(\sigma_{min}/\sigma_{max})=-1$

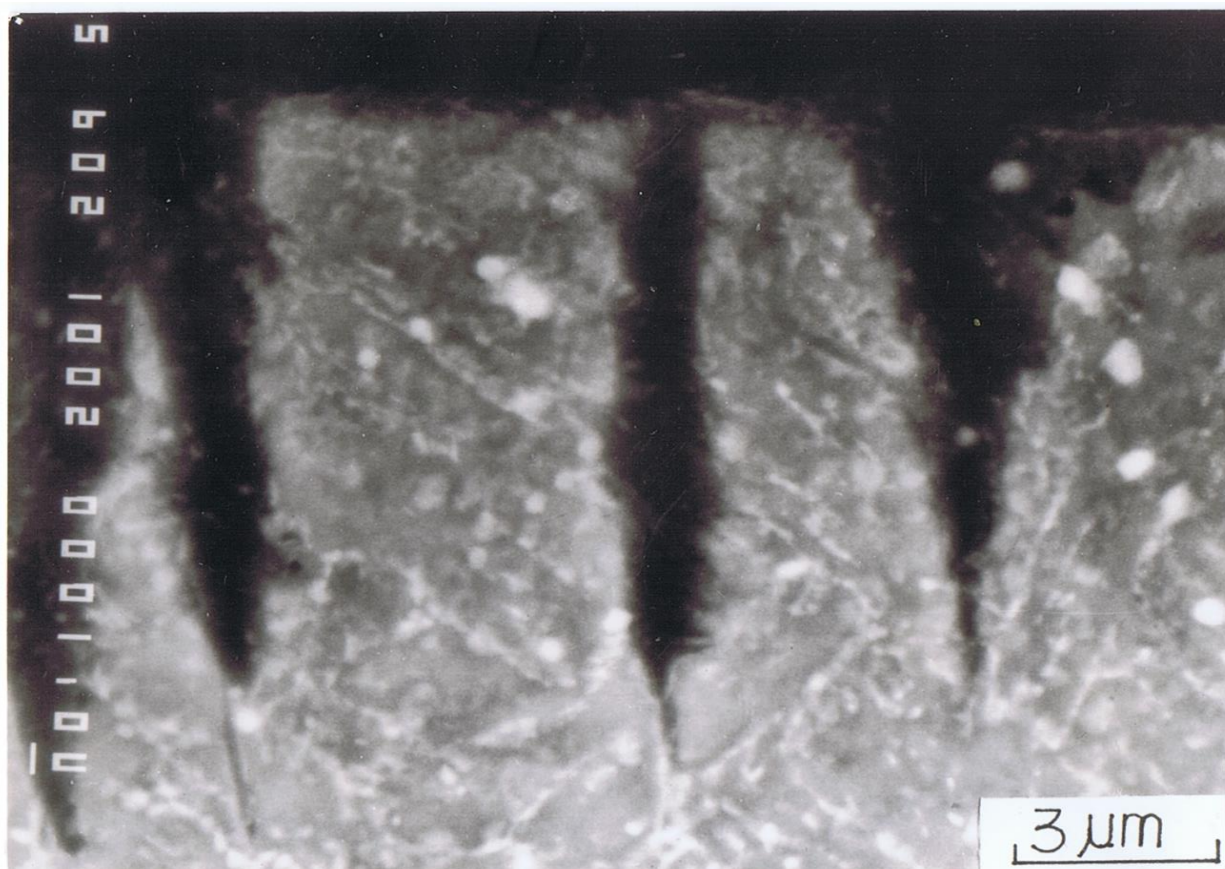


**3%NaCl水溶液中における12Crステンレス鋼の腐食疲労破面<sup>8)</sup>.**

a)腐食疲労き裂発生部の腐食ピット b)腐食疲労き裂進展部の粒界破面

16kHz,313.8MPa,4x10<sup>7</sup> cycles 矢印：き裂進展方向を示す





**12Crステンレス鋼未破断試験片断面の腐食疲労き裂<sup>9)</sup>**  
**420MPa,  $3 \times 10^{10}$  cycles. 14.9kHz, 5%NaOH水溶液**  
 **$R(\sigma_{\min}/\sigma_{\max}) = -1$**

## 結言

12Crステンレス鋼の腐食疲労強度は腐食疲労き裂起点部に形成される腐食ピットの発生と成長に支配される。

## 今後必要な研究

- 1) 腐食疲労き裂発生時期の定量評価
- 2) タービン動翼における不純物濃縮メカニズムの解明
- 3) 腐食疲労加速試験法の開発
- 4) 腐食疲労破損防止法の開発

## 引用文献

- 1) R.Ebara, The Role of Microfractography in Failure Analysis of Machine Components and Structures, Handbook of Materials Failure Analysis with Case Studies from the Oil and Gas Industries, Chapter 20,pp411-422,A.S. H. Makhlouf and M. Aliofkhazraei Eds., Butterworth-Heinemann, Elsevier, 2015.
- 2) R.Ebara,T.Yamada,T.Kobayashi and H.Kawano,Corrosion Fatigue Crack Initiation and Propagation Behavior of 12Cr Stainless Steel, Proc.of the 6<sup>th</sup> Intern. Conf. on Mechanical Behavior of Materials,Vol.2(1991)799-804.
- 3) R.Ebara,Corrosion Fatigue Phenomena Learned from Failure Analysis, Engineering Failure Analysis,13(2006)516-525.
- 4) Kim,M.Miyazawa,R.Ebara and T.Ohtsu, Analysis of Corrosion Fatigue Crack Initiation Process of 12Cr Stainless Steel in 3% NaCl Aqueous Solution by Electrochemical Noise Measurement Method(in Japanese),Journal of the Japanese Soc. for Strength and Fracture of Materials,40(2006)35-45.
- 5) H.Ishii,Y.Sakakibara and R.Ebara,The Effect of Heat Treatments on the Corrosion Fatigue Properties of 13 Pct Chromium Stainless Steel in 3Pct NaCl Aqueous Solution, Metallurgical Transactions, 13A(1982)1521-1529.

- 6) R.Ebara, T.Kai and K.Inoue, Corrosion-Fatigue Behavior of 13Cr Stainless Steel in Sodium-Chloride Aqueous Solution and Steam Environment, Corrosion-Fatigue Technology, ASTM STP642, H.L.Craig, Jr., T.W Crooker and D.W.Hoepper, Eds., American Society for Testing and Materials, 1978, 155-168.**
- 7) R.Ebara, T.Kai and K.Inoue, Long Life Corrosion fatigue Behavior of 13Cr Stainless Steel in NaCl Aqueous Solution, Proc. of the 21<sup>st</sup> Japan Congress on Materials Research, 89-92, 1978.**
- 8) R.Ebara, Y.Yamada and A.Goto, Corrosion Fatigue Behaviour of 13Cr Stainless Steel and Ti-6Al-4V at Ultrasonic frequency, Ultrasonic Fatigue, Proc. of the first Intern. Conf. on Fatigue and Corrosion Fatigue up to Ultrasonic Frequencies, 349-364, J.M.Wells, L.D.Roth, O.Buck and J.K.Tien Eds., The Metallurgical Society of AIME, 1982.**
- 9) R.Ebara and Y.Yamada, Availability of Ultrasonic Fatigue Testing for Evaluation of Corrosion Fatigue Behavior of Structural Materials, Proc. of the Fatigue99, X-R Wu and Z-G Wang Eds., Vol.4, 2323-2328, 1999.**