

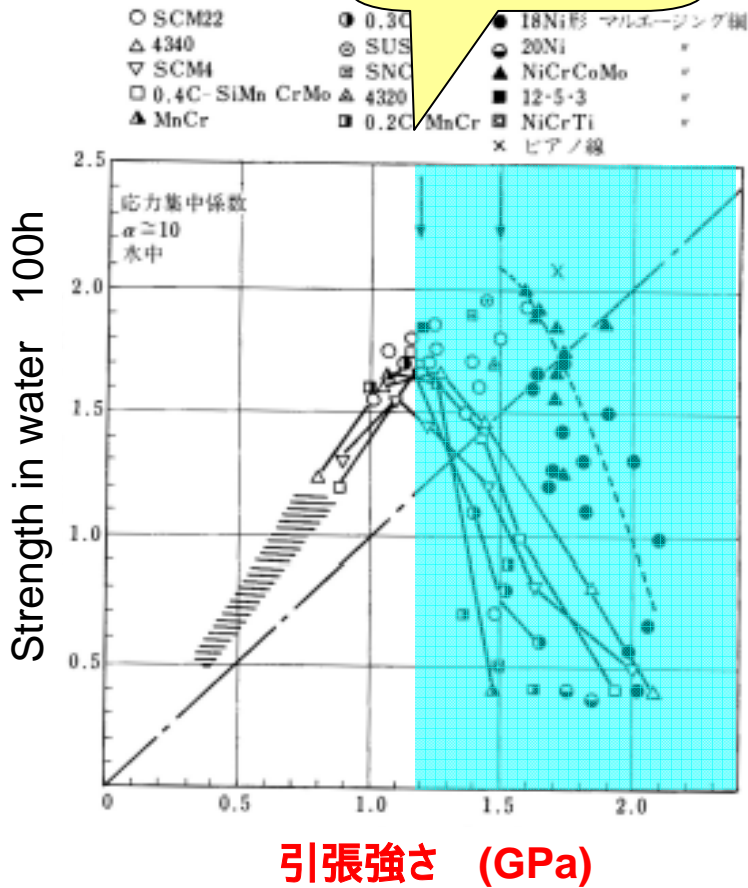
# 低合金鋼SCM440Hの長周期変動および静応力下の 水素に助長されたき裂進展挙動

近藤良之 久保田祐信 嶋田勝也

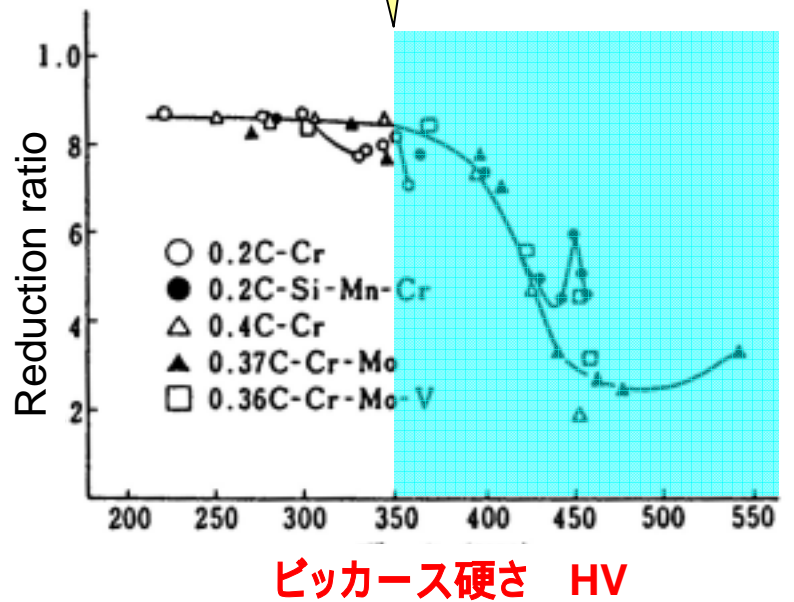
九州大学

# 水中の遅れ破壊に対する引張強さの影響

1200MPa



HV=350



## 低合金鋼

熱処理：焼入れ・焼戻し

焼戻し温度

530 ~ 630 (JIS)

よく使われるのは

570 で、引張強さ1000MPa クラス

# 供試材料：SCM440H 低合金鋼

## 化学成分 (mass%)

Material	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu
SCM440H	0.42	0.22	0.8	0.02	0.02	0.03	1.04	0.16	0.02

## 機械的性質

Temper (K)	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	$\sigma_B$ (MPa)	(%)	(%)	HV
443	1450	2033	13	38	587
803	1046	1151	17	63	368
843	917	1036	18	67	325
873	857	983	21	67	314
903	773	898	21	70	280
923	714	841	23	70	268

170

530

570

600

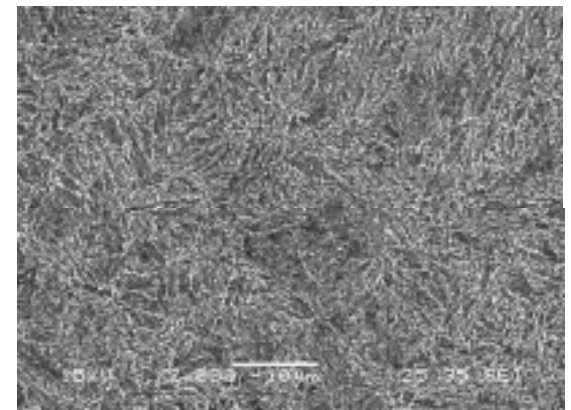
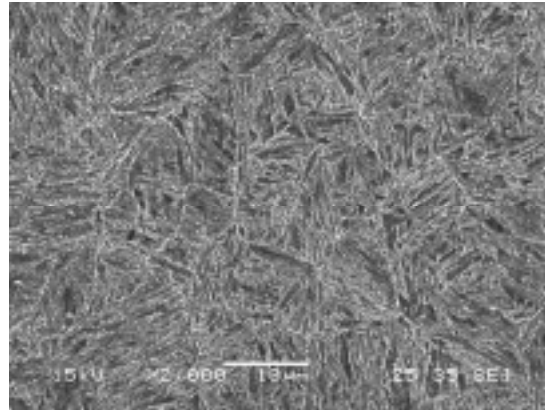
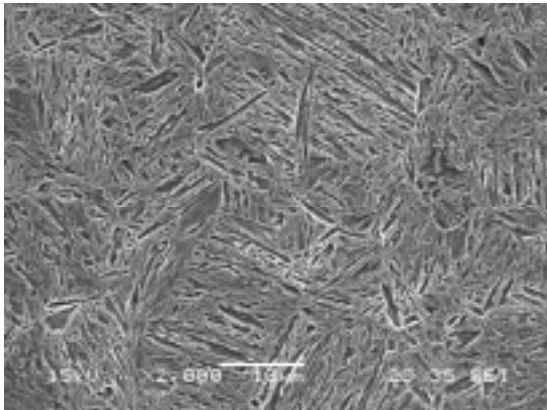
630

650

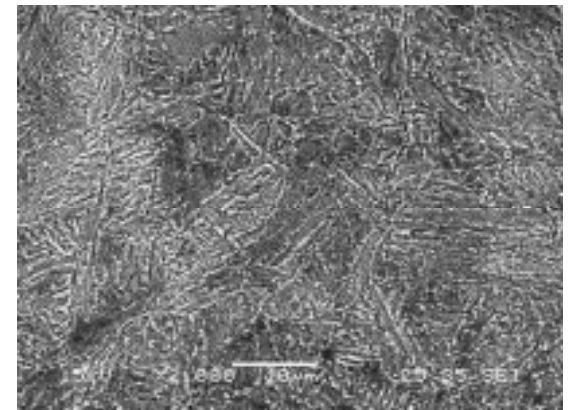
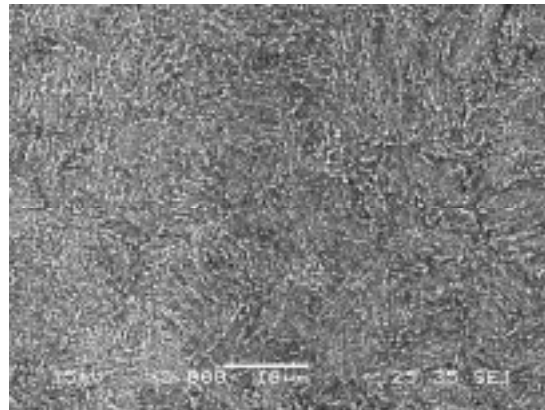
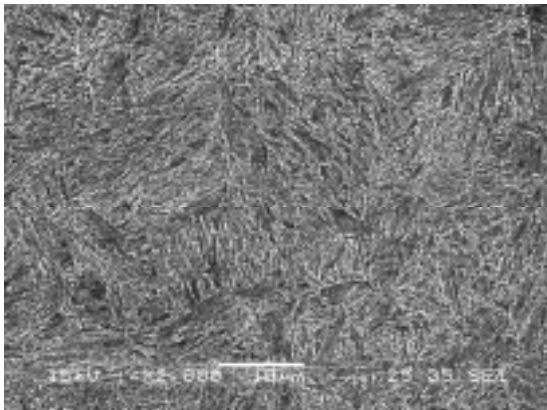
JIS

遅れ破壊に  
敏感でないと  
みなされる

# 供試材のミクロ組織

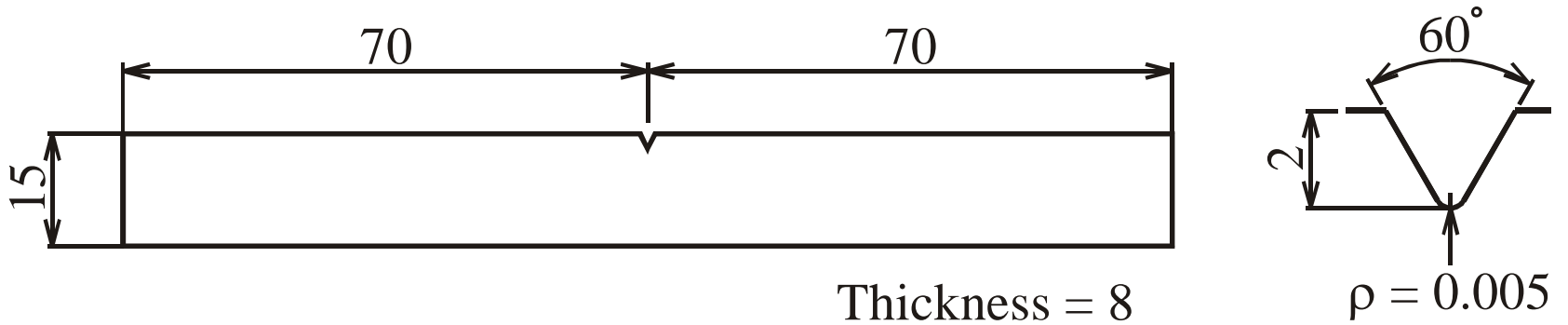


(a) Tempered at 443K(170 ) (b) Tempered at 803K(530 ) (c) Tempered at 843K (570 )  
焼戻しマルテンサイト



(d) Tempered at 873K (600 ) (e) Tempered at 903K (630 ) (f) Tempered at 923K (170 )

# 試験片



0.15mm 深さの 2次元疲労予き裂を導入した

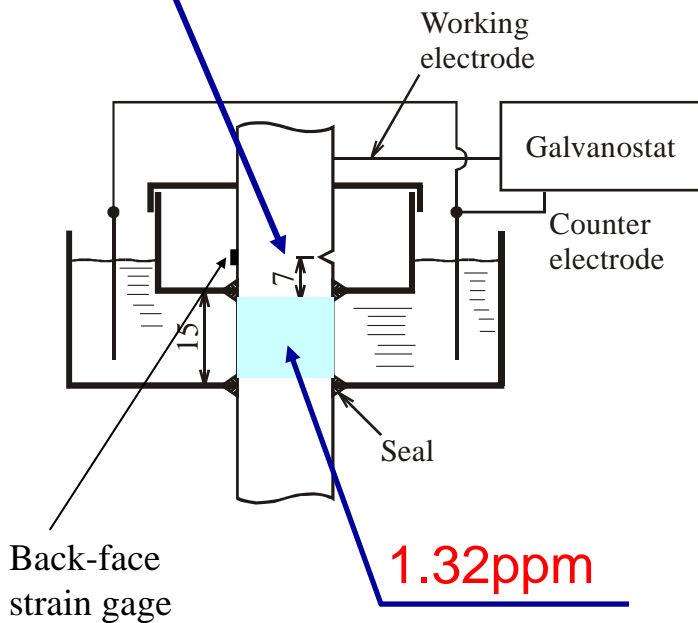
# 疲労試験装置

溶液に触れない乾燥環境で2週間にわたって連続的にカソードチャージする方法

## 拡散性水素濃度の測定例

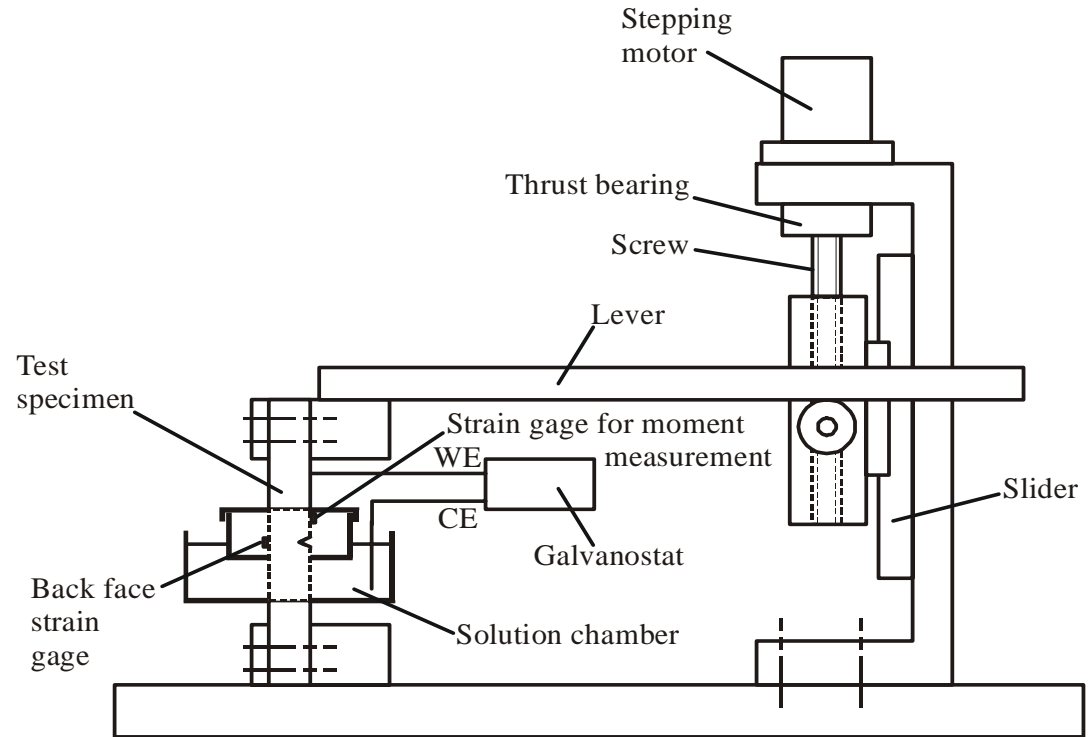
未チャージの材料: 0.016ppm

0.21ppm



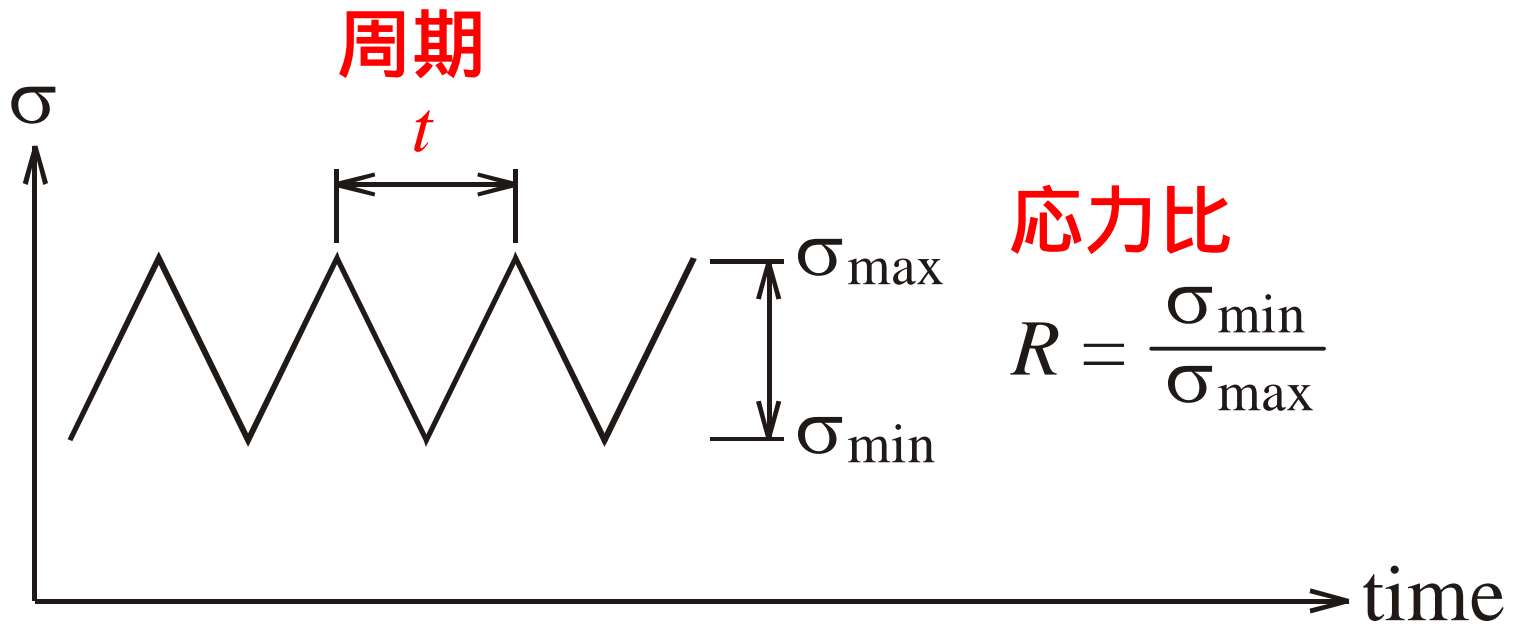
1.32ppm

(Electrolyte:pH2 Sulfuric acid, 174A/m<sup>2</sup>, 40 days charge)



均一繰返し曲げモーメント方式

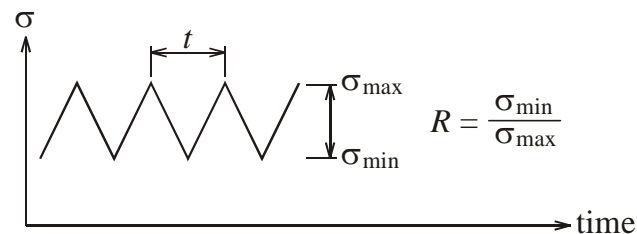
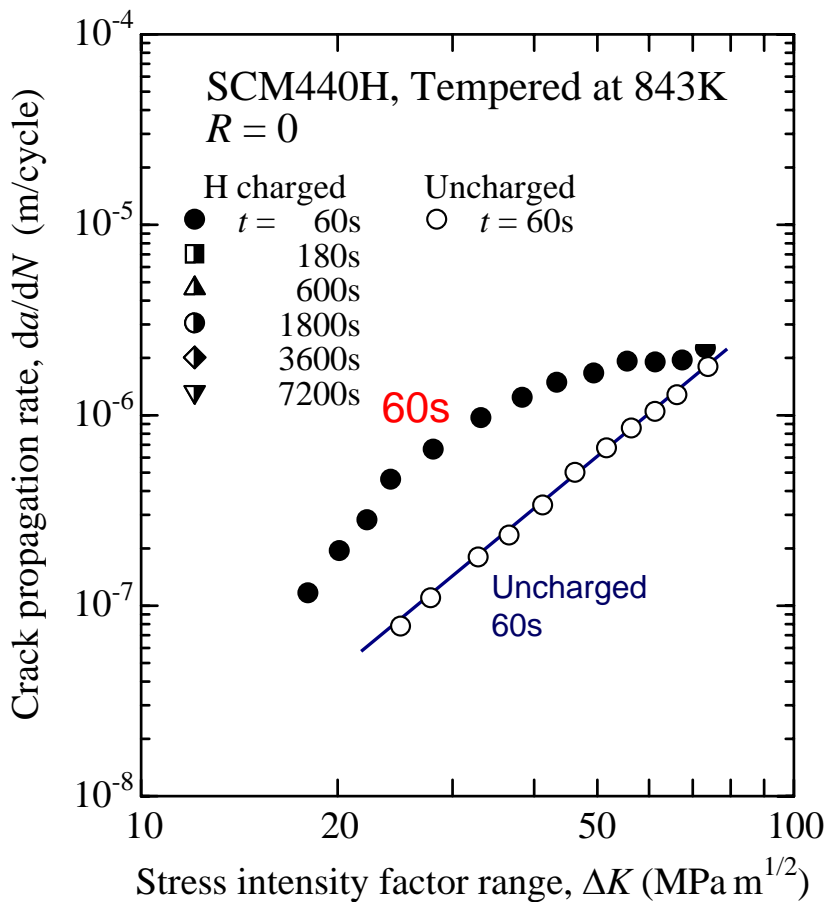
## 三角波应力波形





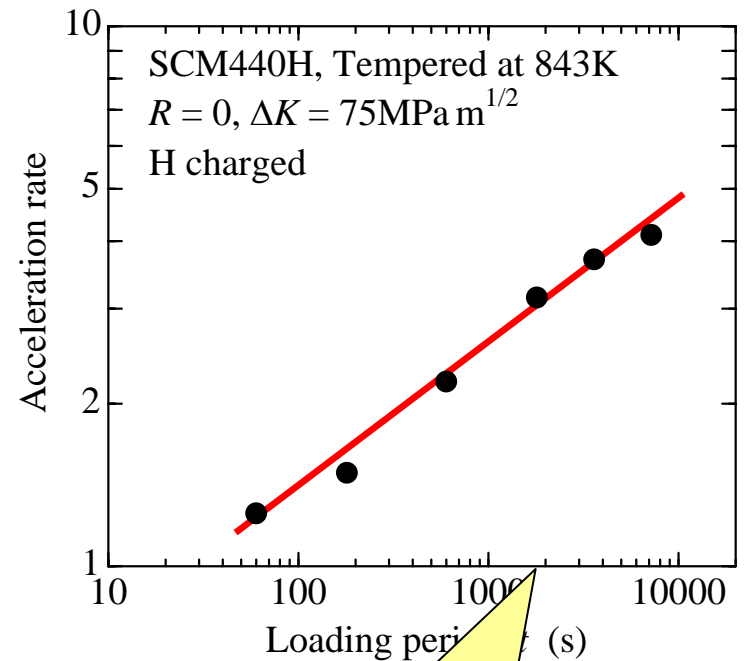
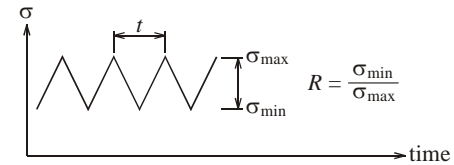
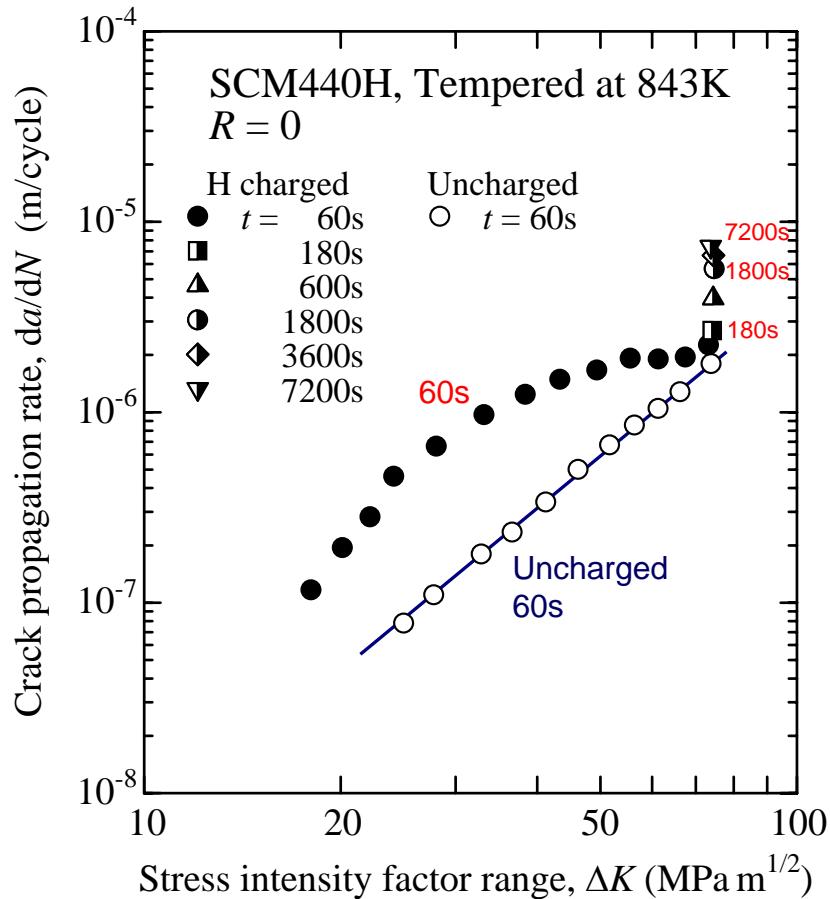
# 三角波応力下のき裂進展速度

## $R=0$ , 570    tempered



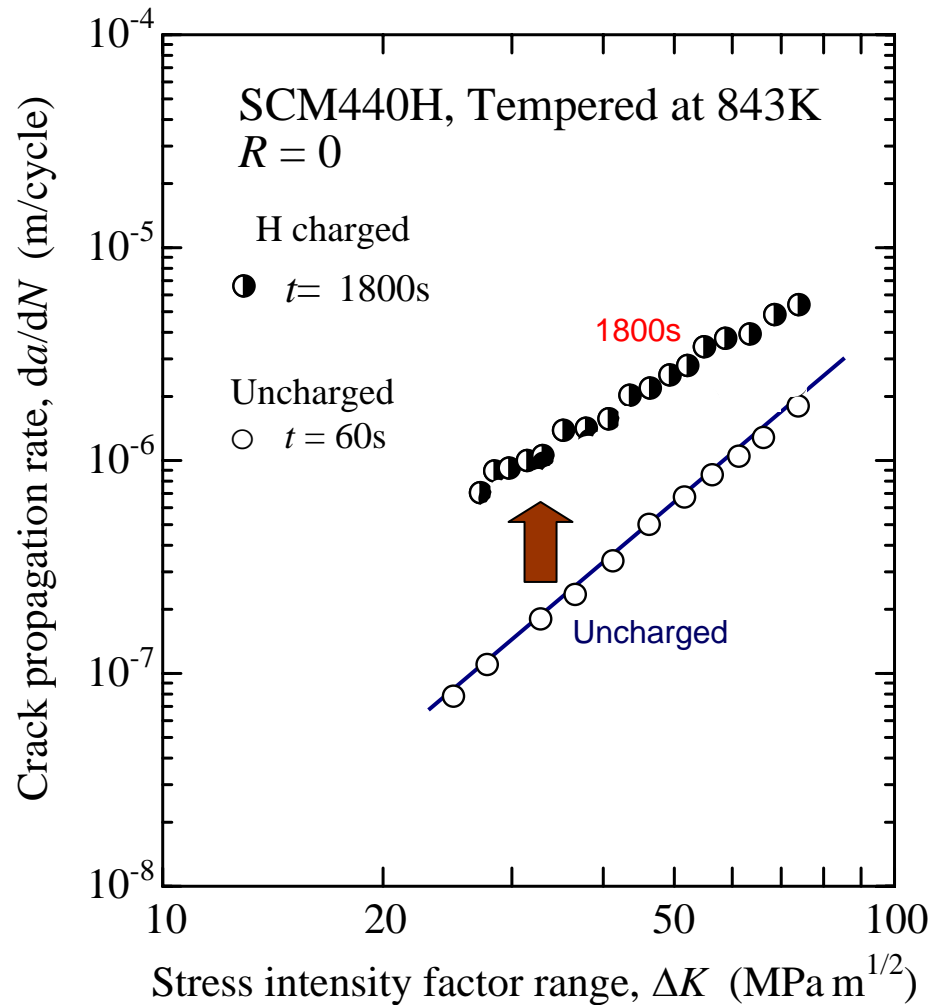
# き裂進展に及ぼす三角波の周期の影響

**$R=0, 570$  tempered**



今後基準の周期として  
1800s に決める

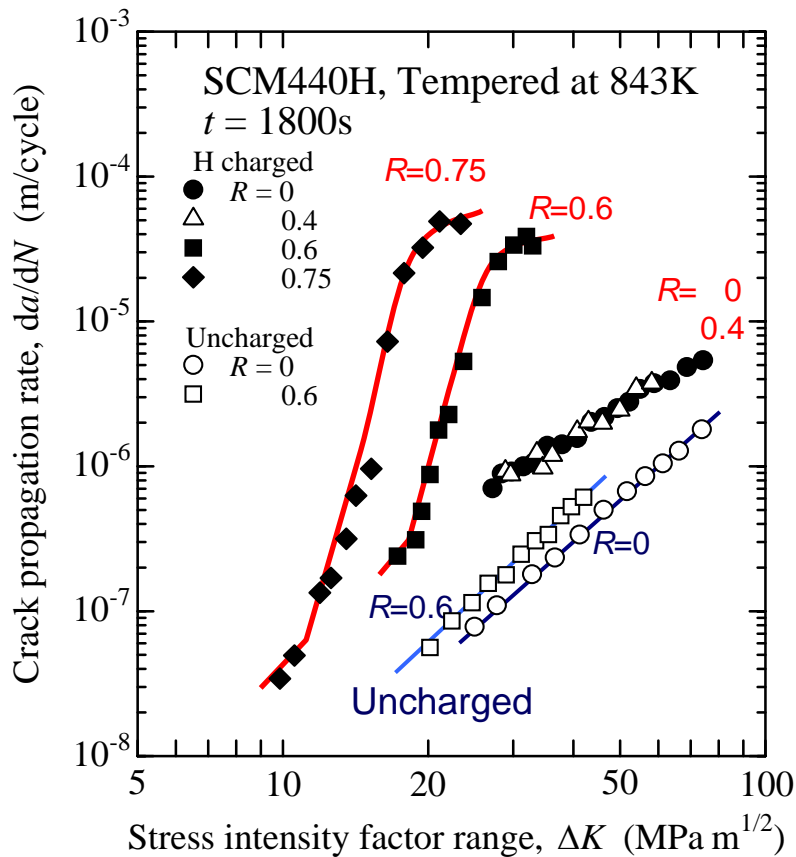
# $R=0$ , $t=0.5h$ のき裂進展速度



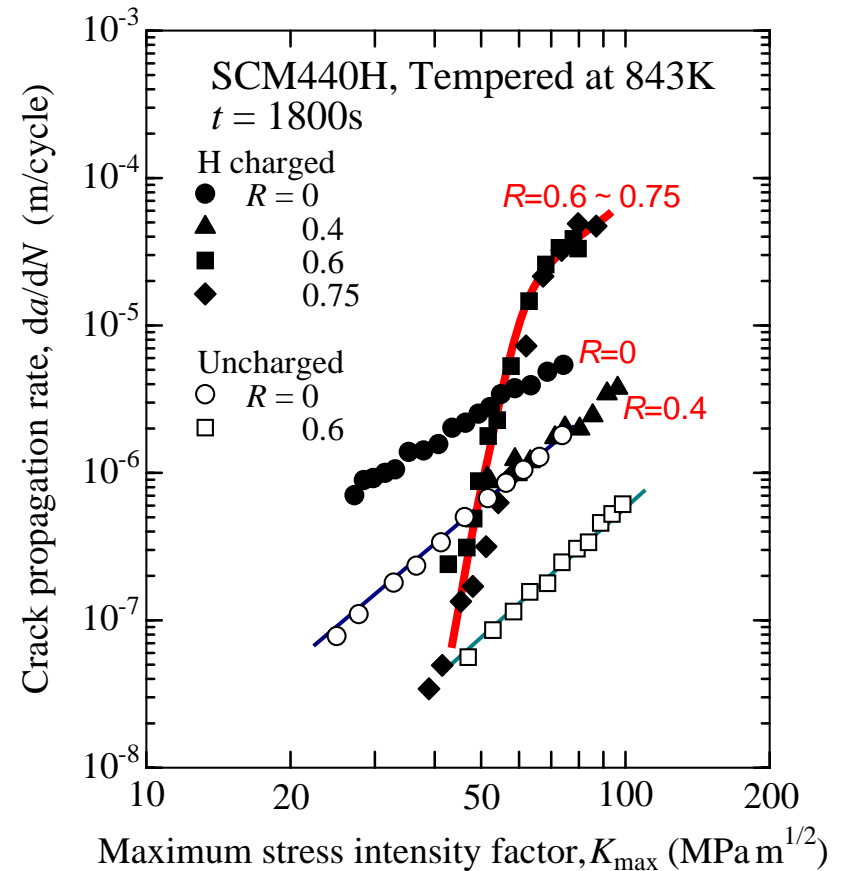
$R=0$

570  
tempered

# 570 焼戻し材のき裂進展に及ぼす応力比の効果



Low  $R$ :  $K$  dependent



High  $R$ :  $K_{max}$  dependent

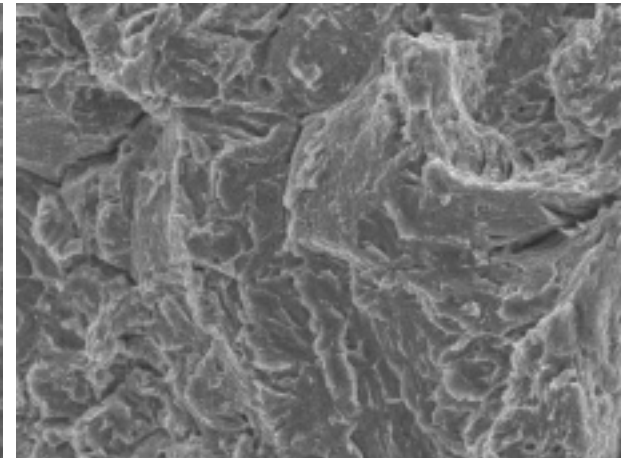
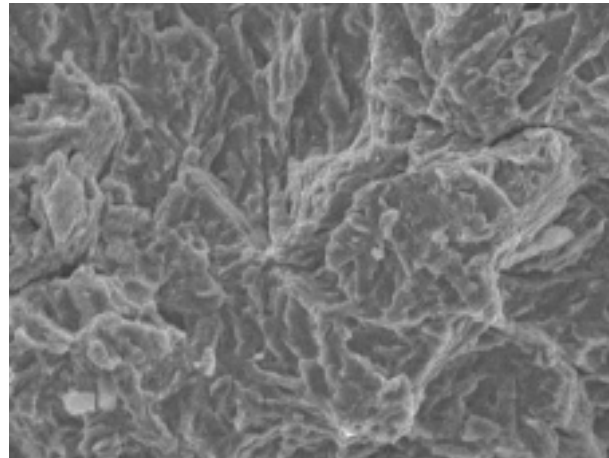
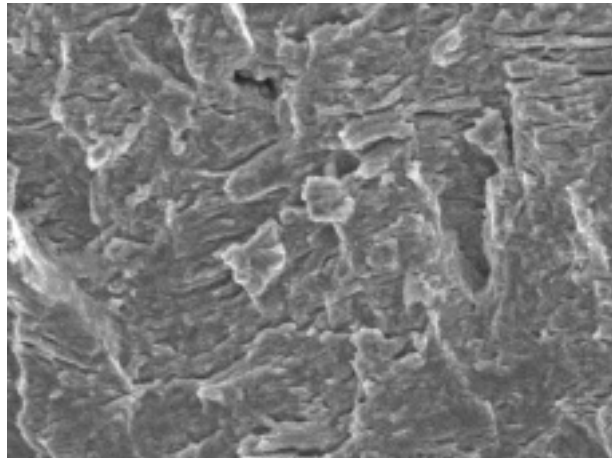
# 三角波応力の場合のき裂破面形態

570 tempered,  $R=0.6$

ストラレーション

擬へき開破面

擬へき開破面



(a) 未チャージ材  
 $t=60s, K_{max}=79MPam^{1/2}$

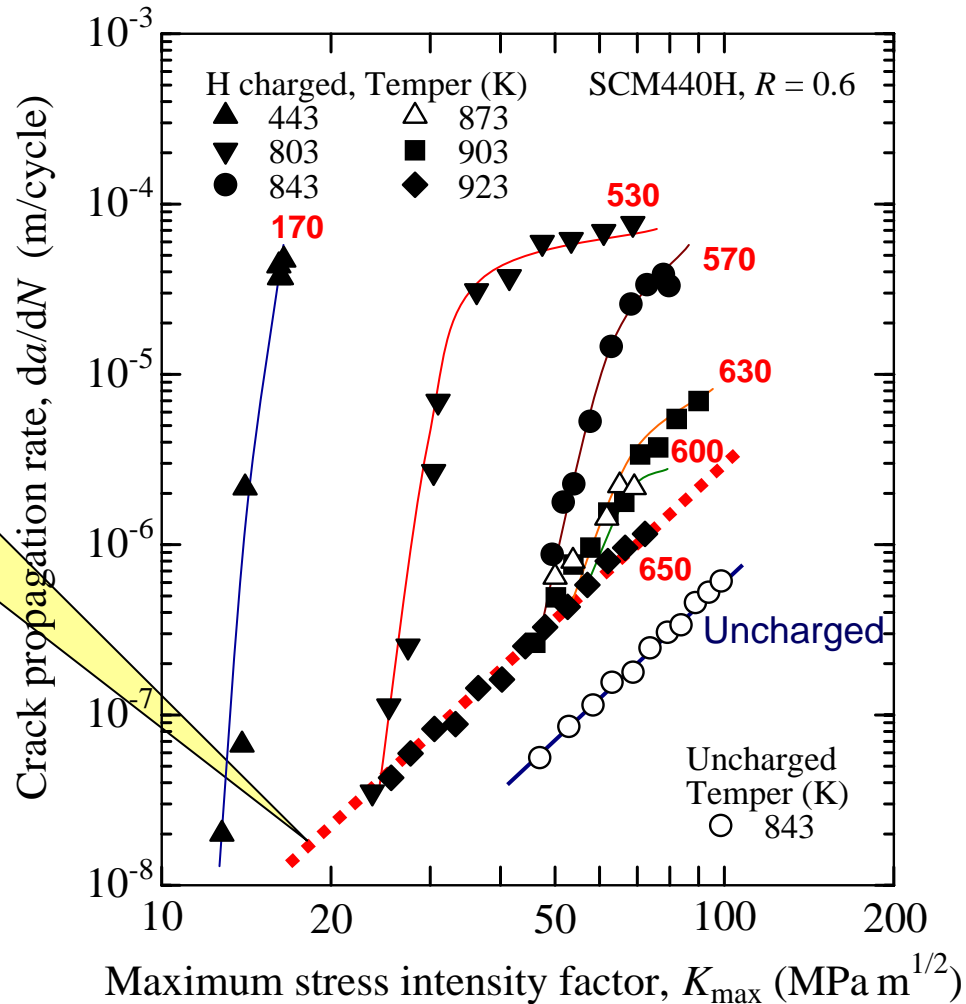
(b) 水素チャージ材  
 $t=0.5h, K_{max}=50MPam^{1/2}$

(c) 水素チャージ材  
 $t=0.5h, K_{max}=73MPam^{1/2}$

10  $\mu$ m

# 焼戻し温度が異なる材料の三角波応力下のき裂進展

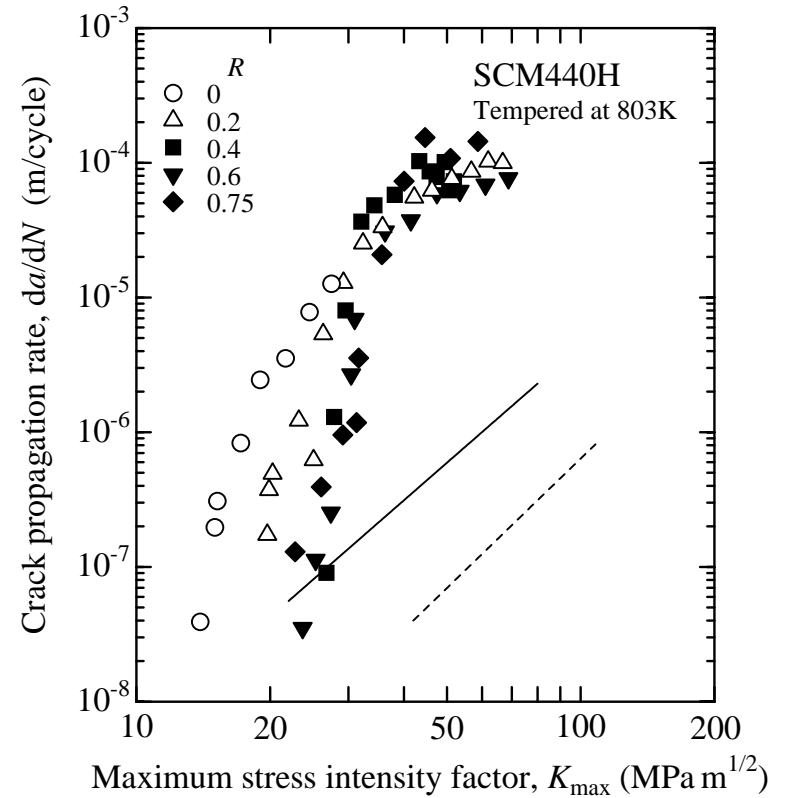
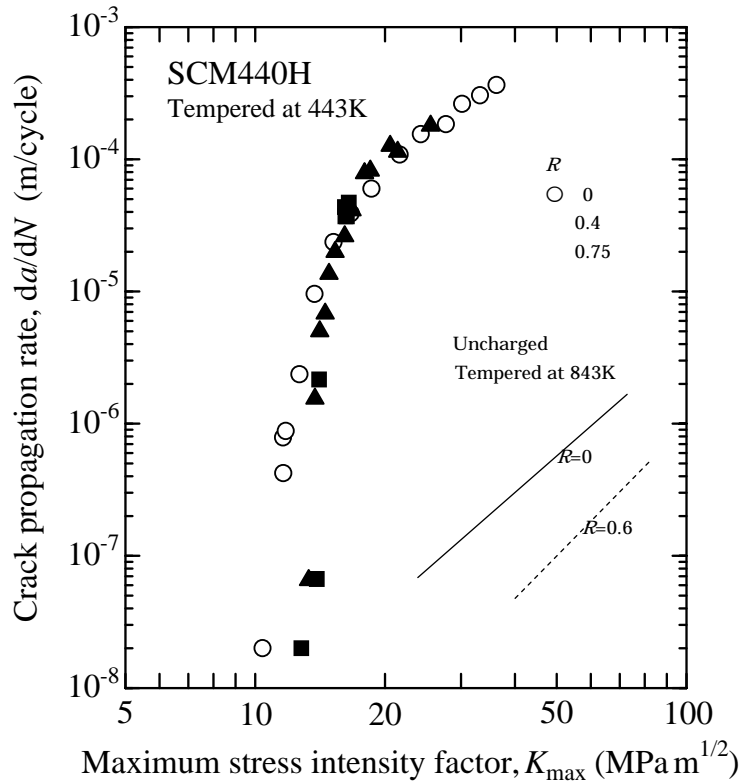
$R=0.6, t=0.5h$



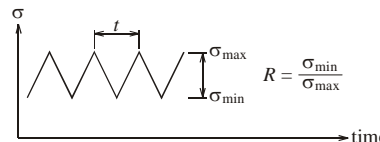
水素チャージ  
繰返し依存進展のライン

$R=0.6$

# 比較的硬い材料のいろいろな応力比での 三角波応力下のき裂進展 $t=0.5h$

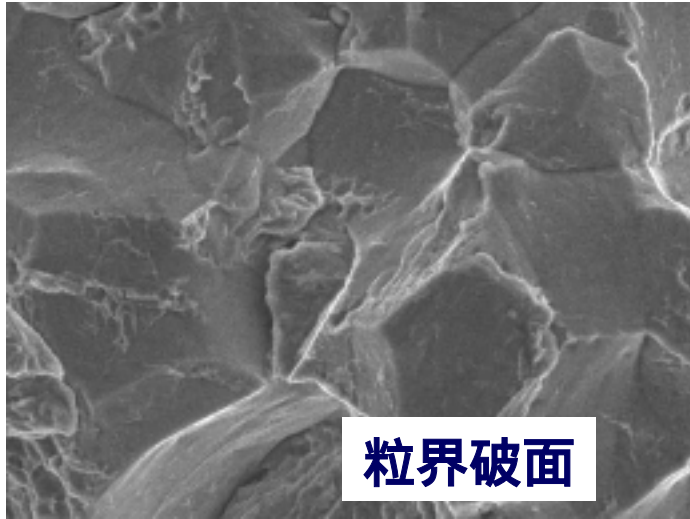


170 tempered

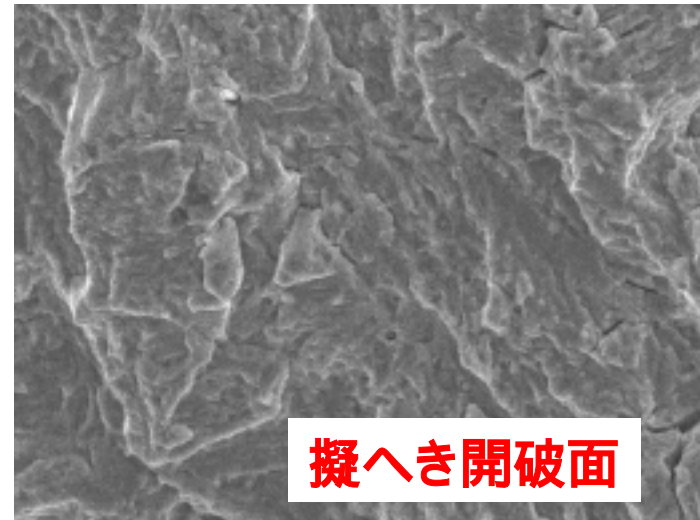


530 tempered

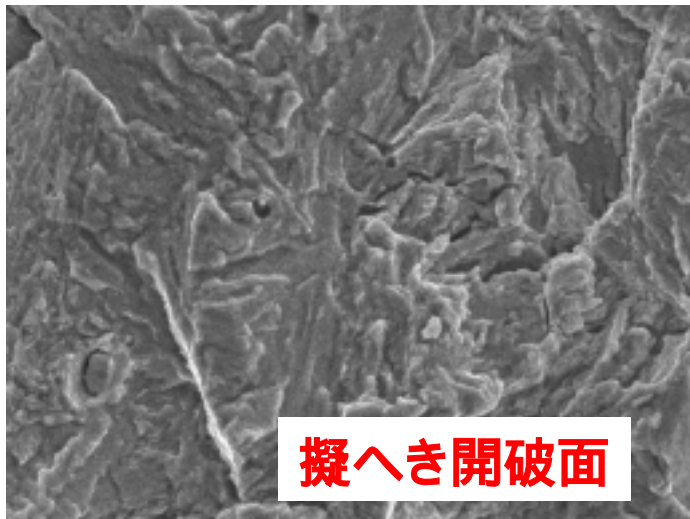
# 急激な加速を起こす領域の破面形態



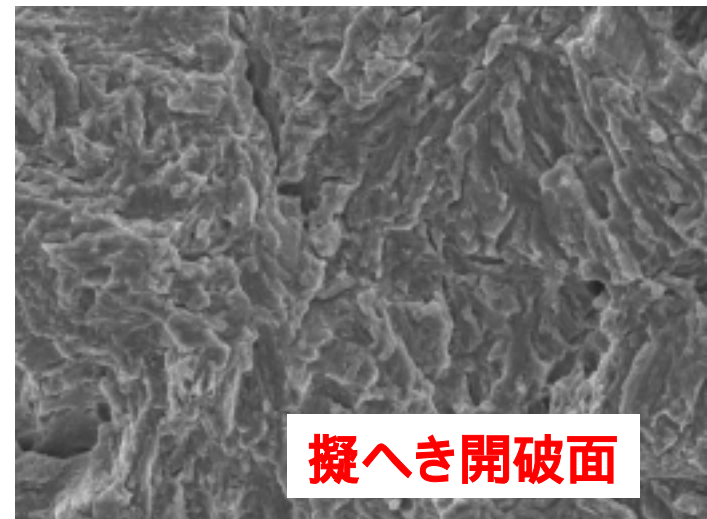
(a) 170 ,  $K_{\max}=16\text{MPam}^{1/2}$



(b) 530 ,  $K_{\max}=53\text{MPam}^{1/2}$



(c) 630  $K_{\max}=62\text{MPam}^{1/2}$

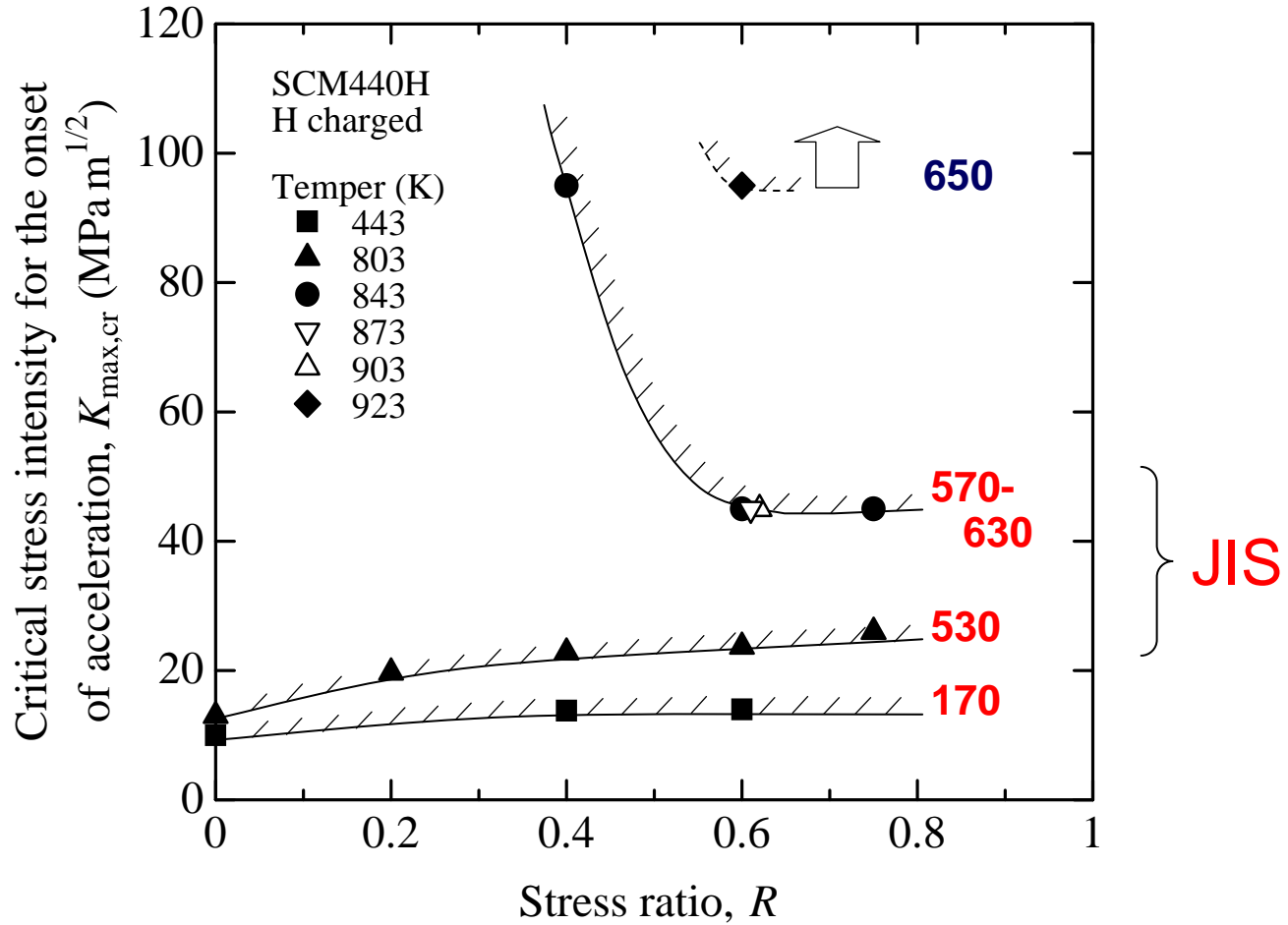


(d) 650 ,  $K_{\max}=60\text{MPam}^{1/2}$

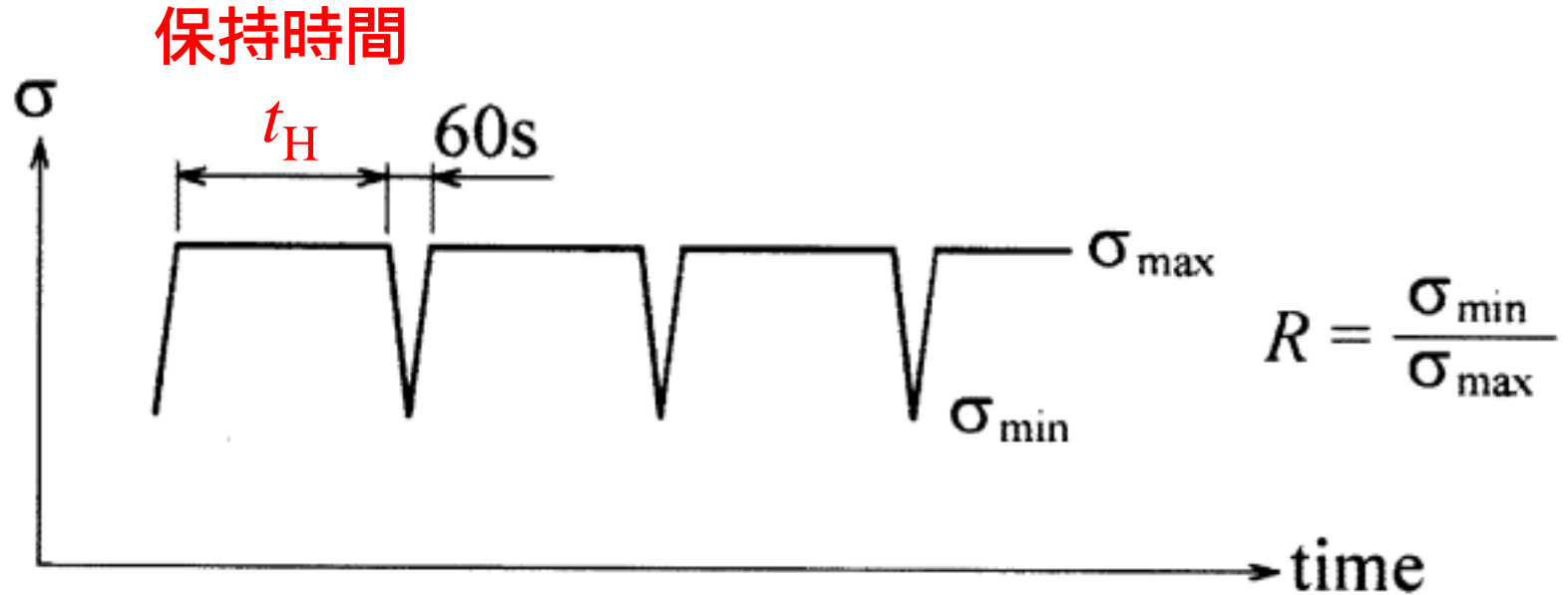
10  $\mu\text{m}$



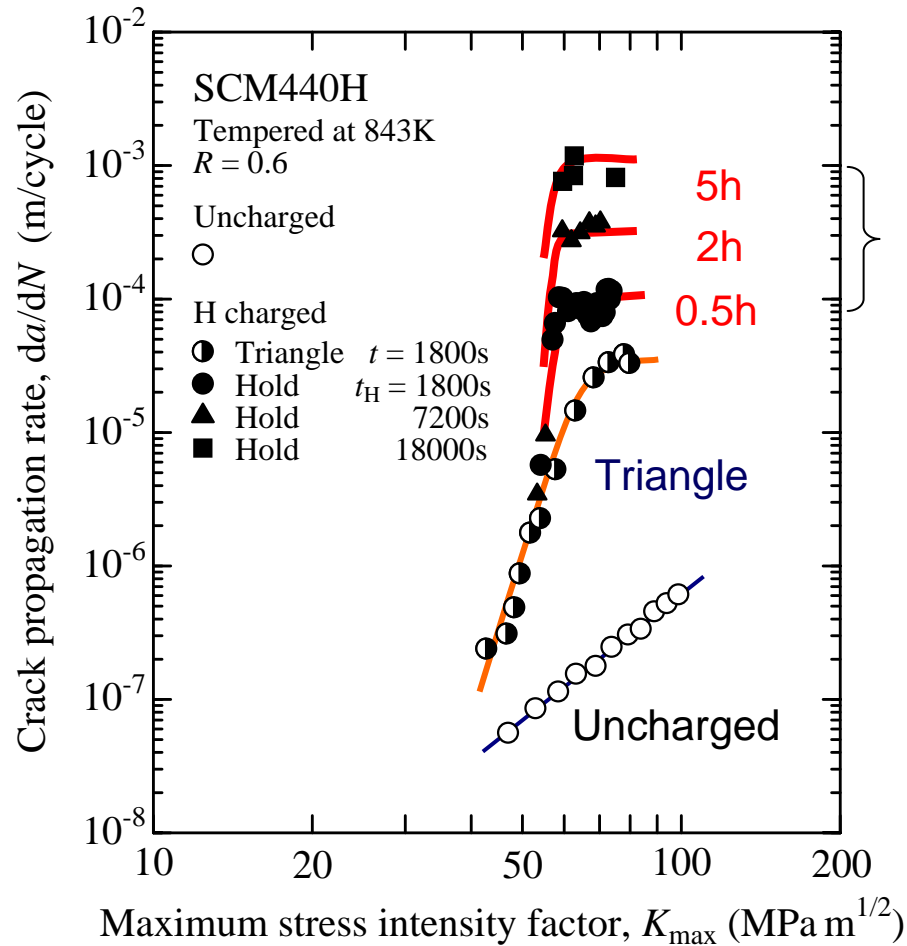
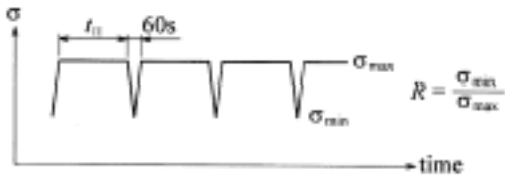
# 急激な加速を生じる焼戻し温度と応力比の条件



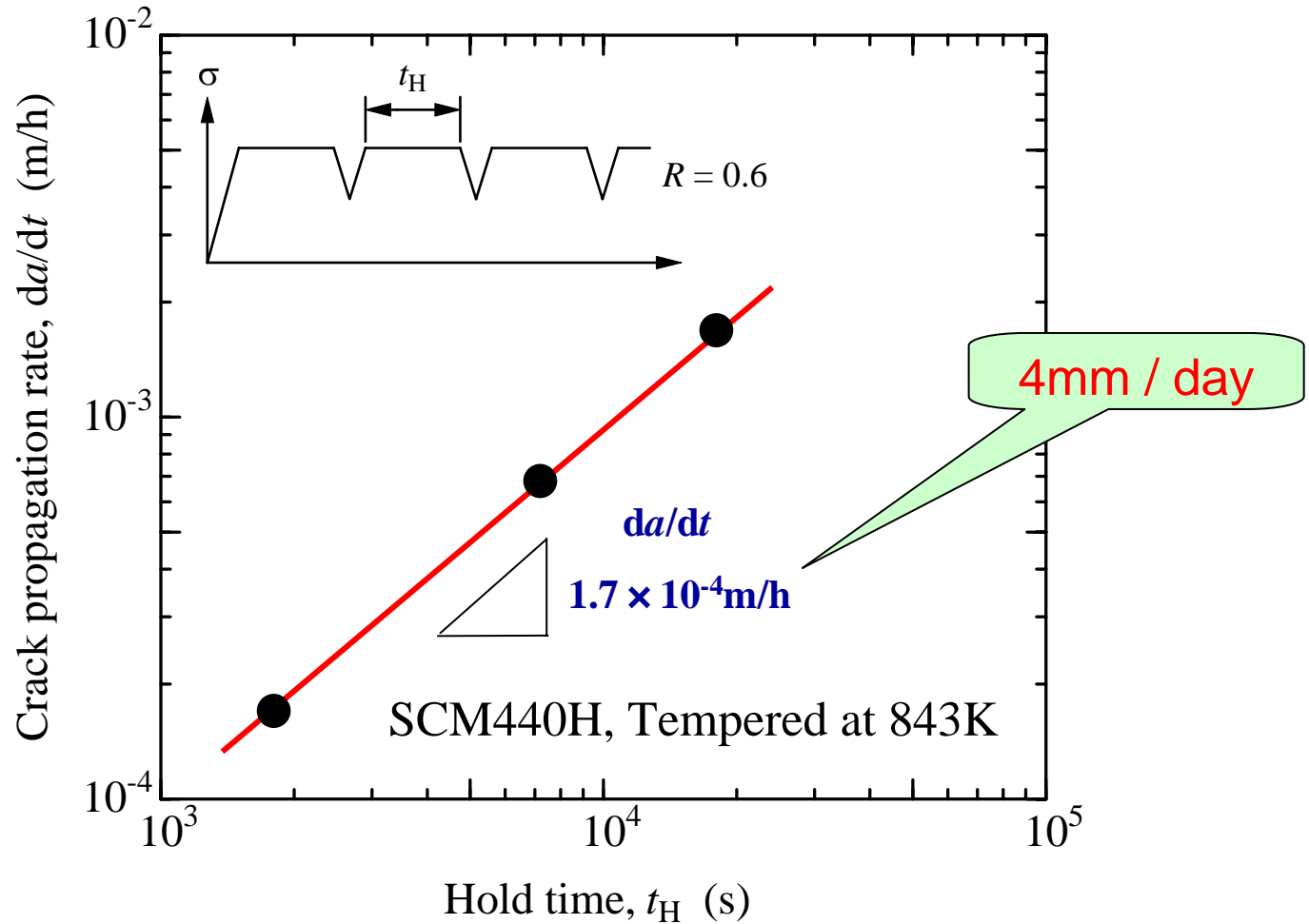
## 応力保持を伴う台形波応力



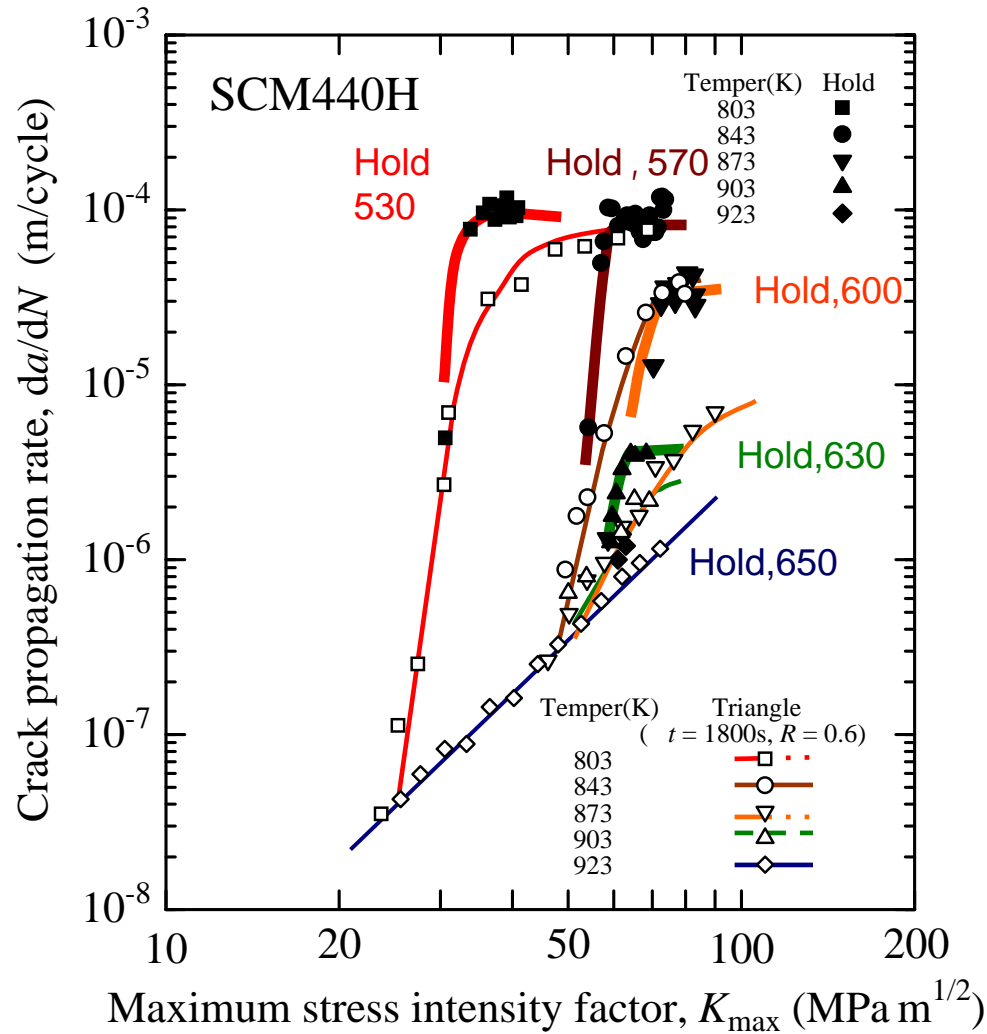
# 基準材料である570 Tempered材のき裂進展に及ぼす保持時間の効果



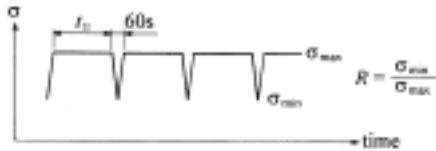
# 570 Tempered 材の時間依存型き裂進展



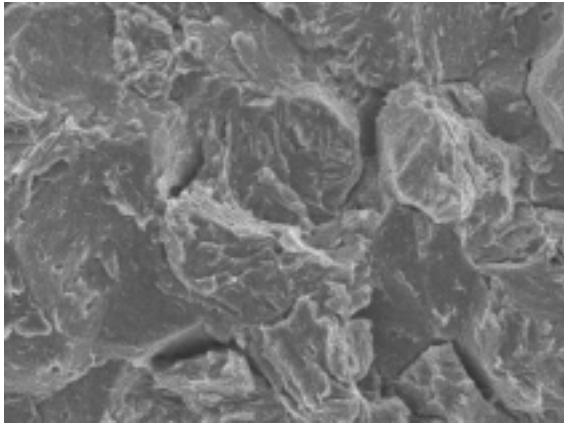
# いろいろな焼戻し温度材料の時間依存型き裂進展 0.5h Stress Hold



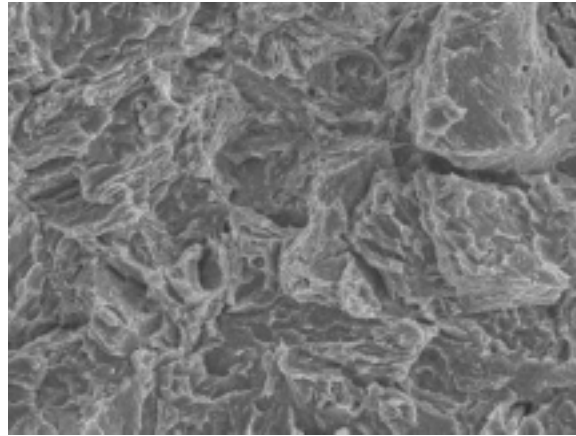
プラトー



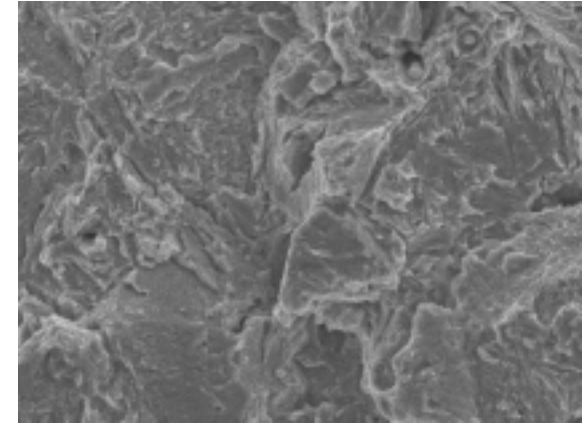
# いろいろな焼戻し温度材料の時間依存型き裂進展破面



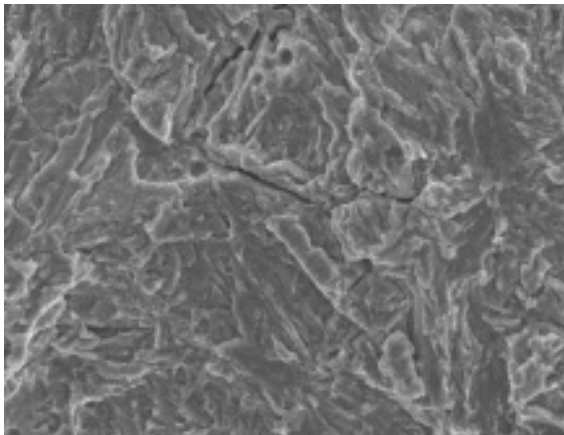
(a) 530 ,  $K_{\max}=41\text{MPam}^{1/2}$



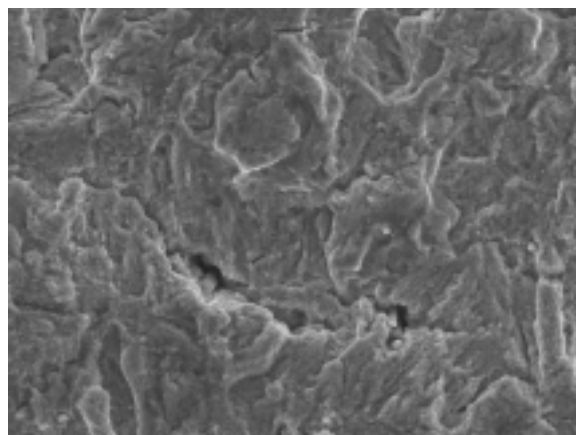
(b) 570 ,  $K_{\max}=73\text{MPam}^{1/2}$



(c) 600 ,  $K_{\max}=83\text{MPam}^{1/2}$



(d) 630 ,  $K_{\max}=65\text{MPam}^{1/2}$



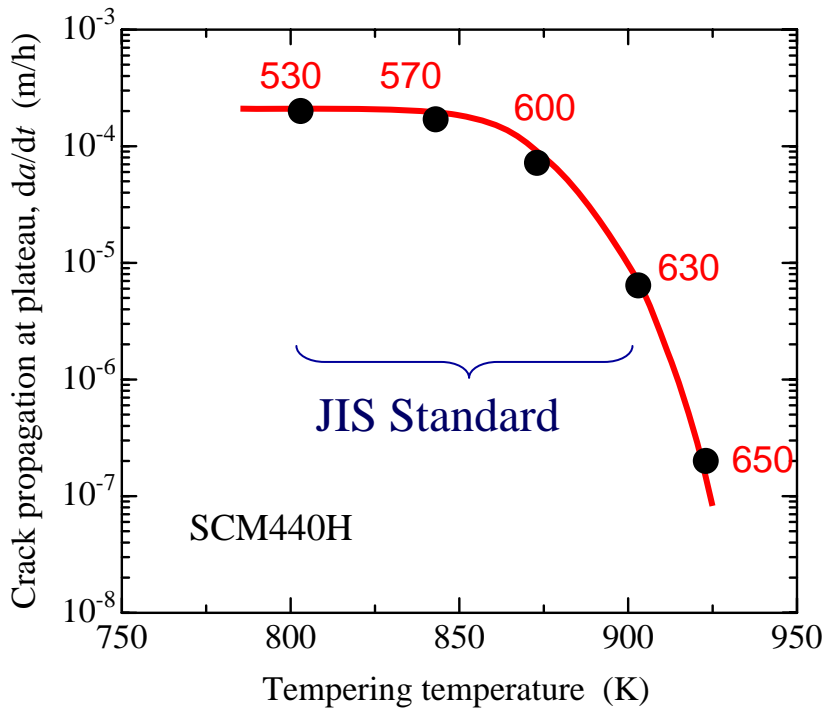
(e) 650 ,  $K_{\max}=60\text{MPam}^{1/2}$

擬へき開破面

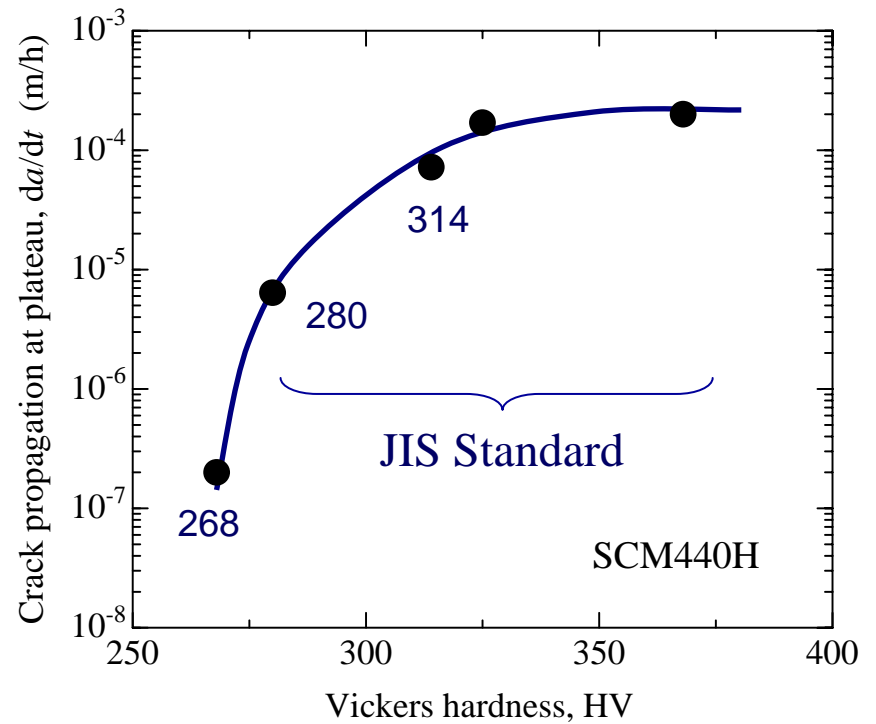
10  $\mu\text{m}$

# 低合金鋼の時間依存型き裂進展に及ぼす 焼戻し温度と材料硬さの効果

## プラトーのき裂進展速度



焼戻し温度



ビッカース硬さ

# 結 言

SCM440H の水素に助長されたき裂進展挙動について検討した。

- (1) き裂を電解質に触れさせないで長時間カソードチャージする方法を考案した。
- (2) 応力比, 応力周期, 保持時間, 材料の硬さがき裂進展に及ぼす効果を調べた。  
水素チャージ材では10倍程度の加速はどの材料でも生じる。  
これに加えて, ある条件下では1000倍に及ぶ急激な加速が生じる。
- (3) 水素チャージ下ではき裂の破面形態は擬へき開であった。
- (4) 急激な加速はビッカース硬さが280以上の材料で生じた。  
ビッカース硬さ280は通常遅れ割れの限界硬さとして受け入れられている350より低い結果である。  
ビッカース硬さが268以下の材料ではこのような急激な加速は認められない。
- (5) 水素に助長されたき裂進展の加速を防止するためには, 低強度の材料使用が望ましい。