

# ASTM E399 の改訂のフォロー - ASTM E399-22 の改訂内容 -

株式会社 シミズテック 技術顧問  
木内 晃 (Akira KIUCHI)

## 1. まえがき

線形平面歪破壊靱性値、 $K_{Ic}$  を求めるための試験規格である ASTM E399 は、1970 年に制定され、修正を加えながら半世紀に渡り利用されている。

この規格は、主に、航空・宇宙用の高力 Al 合金、Ti 合金、マルエージング鋼などの高強度鋼の靱性評価に適用されているが、高压容器の Al 合金製のライナー、Al 合金を用いた 3D プリンター造形品や Mg 合金の靱性評価にも適用されている。

弊社では、引張試験、疲労試験に加え、2021 年に ASTM E399 に準拠した室温  $K_{Ic}$  試験の Nadcap \*1) の認証を取得した。Nadcap では、対象となる試験規格の最新版をフォローし、自社の作業標準に織り込むべきか判断し、必要に応じて、試験作業と結び付ける必要がある。

ASTM E399 は、比較的、頻繁に改訂がなされ、最近でも 2017 年、2019 年、2020 年、2022 年に改訂された。2017 年にはノッチ幅が  $W/100$  ( $W$ : 試験片幅) より小さい Narrow notch が追記され<sup>1)</sup>、2020 年の改訂版、ASTM E399-20<sup>2)</sup> では、Appendix として、Size-insensitive Linear-elastic Plane-strain Fracture Toughness,  $K_{I_{SI}}$  を求める試験法が追加された。 $K_{I_{SI}}$  については、弊社のテクニカルレポート No.1<sup>3)</sup> や圧力技術の解説<sup>4)</sup> の中で説明した。

ASTM E399-22<sup>5)</sup> では、①疲労予き裂導入時の圧縮側の条件、②圧縮予荷重の許容限界、

③低靱性材の疲労予き裂導入条件、④板厚方向に残留応力分布が存在する試験片への疲労予き裂導入条件について、変更や追加があったので、以下、その内容を説明する。

## 2. ASTM E399-22 の改訂内容

### 2.1 疲労予き裂導入時の圧縮側条件の変更

疲労予き裂導入時の応力比、 $R$  は  $-1 \leq R \leq 0.1$  で行い、疲労予き裂導入時の最大  $K$  値、 $K_{f,max}$  は、初期は  $0.8K_Q$  ( $K_Q$  は対象材料の暫定  $K_{Ic}$  値) 以下、最終ステージでは  $0.6K_Q$  以下で行うことが以前からの取り決めである。したがって、圧縮側の  $K$  値 (以下、 $K_{cp}$  と記す) は、 $R = -1$  のとき、最終ステージでは、 $|K_{cp}| \leq 0.6K_Q$  となる。

ASTM E399-22 では、 $K_{cp}$  の許容値が以下のように変更された。

$$W \leq 0.051m \text{ の場合 } |K_{cp}| \leq 0.064\sigma_{ys} \quad (1)$$

$$W > 0.051m \text{ の場合 } |K_{cp}| \leq 0.28\sigma_{ys}W^{1/2} \quad (2)$$

$\sigma_{ys}$  は降伏応力または 0.2% 耐力であり、 $K$  値の単位が  $MPa\sqrt{m}$  の場合、 $\sigma_{ys}$  の単位は  $MPa$  となる。ASTM E 399-22 に、(1) および (2) 式の根拠は詳しく示されていない。それについては 3 章で考察する。

### 2.2 圧縮予荷重の許容限界の変更

圧縮予荷重は、疲労予き裂の発生を促進する手段<sup>6)</sup> の 1 つで、以前から規格に入っている。圧縮

\*1) National Aerospace and Defense Contractors Accreditation Program (航空宇宙産業界の国際特殊工程認証制度)

予荷重付与後に除荷するとノッチ先端に引張残留応力場が生じる<sup>7)</sup>。これにより、予き裂導入時の応力比が上昇し、疲労予き裂の発生を促進する。

ASTM E399-22 より前は、圧縮予荷重の  $K$  値の絶対値は  $0.6K_Q$  以下となっていたが、ASTM E399-22 では、圧縮予荷重の許容値も上記の(1)および(2)式に変更された。

### 2.3 低靱性材の疲労予き裂導入条件の追加

ASTM E399-22 より前は、低靱性材への疲労予き裂導入条件に関する記述は無かった。

ASTM E399-22 では、低靱性材への疲労予き裂導入条件として、 $R < -1$  または  $R > +1$  が追記された。 $R > +1$  は最大値も圧縮側となり、圧縮-圧縮での疲労となるので、 $R < -1$  より疲労予き裂導入に時間を要する。なお、疲労予き裂導入時の最小  $K$  値、 $K_{f,min}$  の絶対値は 2.1 の(1)および(2)式を満足する必要がある。いっぽう、疲労予き裂導入時の最大  $K$  値、 $K_{f,max}$  は、2.1 に示したように、最終ステージでは  $0.6K_Q$  以下で行う必要がある。

### 2.4 板厚方向に残留応力分布が存在する試験片への疲労予き裂導入条件の追加

この条件は、ASTM E399-22 より前は無かった。ASTM E399-22 では、板厚方向の残留応力分布のため疲労予き裂の直線性の要求を守れないような材料に対する疲労予き裂導入条件として、 $0.1 < R \leq 0.7$  が追記された。疲労予き裂導入時の平均応力を上げ、引張残留応力と载荷による引張応力の和が降伏応力を超えると、超えた分の残留応力が解放され、板厚方向の残留応力分布が緩和される。その結果、疲労予き裂の直線性が改善されると考えられる。ただし、 $K_{f,max}$  には 2.1 に示した上限があるので、 $R$  を大きくすると  $\Delta K$  が小さくなり、疲労予き裂導入に時間を要することになる。

疲労予き裂導入の最終ステージを  $R=0.7$  で実施する方法は、高応力比法と呼ばれ、溶接継手を対象とした ISO 15653-2018<sup>8)</sup>に含まれている。溶接継手の場合、高応力比法では、疲労予き裂が期待通りに入らないことがあるとの報告もある<sup>9),10)</sup>。

## 3. ASTM E399-22 の改訂内容の考察

### 3.1 ノッチ先端での圧縮塑性域寸法の算定

上記の 2.1、2.2、2.3 に共通するのは、圧縮側の  $K$  値の条件として、(1)および(2)式を採用したことである。以下では、両式の妥当性やその意味について考察する。

改訂前は、前述のように圧縮側の  $K$  の絶対値は対象材料の  $K_Q$  の 60%以下が条件であった。材料によって  $K_Q$  は変わるので、高力アルミ合金の 7075-T6<sup>11)</sup>と 2024-T3<sup>11)</sup>、チタン合金 Ti-6Al-4V<sup>11)</sup> および工具鋼 SKD 6<sup>12)</sup>を対象に、改訂前後での圧縮時の  $K$  値について比較、検討する。

(1)および(2)式で表される  $|K_{cpl}|/\sigma_{ys}$  と  $W$  の関係の上限を Fig. 1 に示す。さらに、文献 11)と 12)に示される 7075-T6、2024-T3、Ti-6Al-4V および SKD 6 の  $K_Q (=K_{Ic})$  と  $\sigma_{ys}$  の値 (Table 1 参照) から改定前の限界値、 $0.6K_Q/\sigma_{ys}$  を計算し、Fig. 1 に点線で示した。

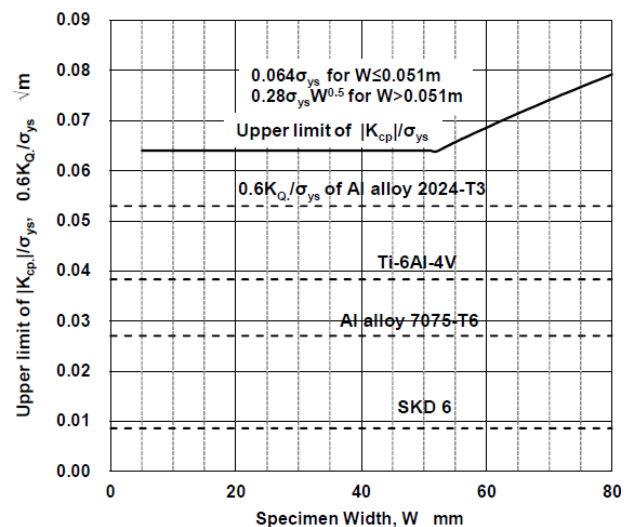


Fig.1 Comparison of  $|K_{cpl}|/\sigma_{ys}$  and  $0.6K_Q/\sigma_{ys}$  of some high strength low toughness materials

Fig. 1 では、 $|K_{cpl}|/\sigma_{ys}$  と  $W$  の関係は、いずれも  $0.6K_Q$  より上方に位置し、ASTM E399-22 では、これまでより大きな圧縮荷重を与えても良いことになる。上記材料は、高強度・低靱性材料であり、低中強度・高靱性材料では逆の傾向になると思われるが、2005 年の改訂以降、ASTM E399 は、

Table 1  $K_Q (=K_{Ic})$  and  $\sigma_{ys}$  of some high strength low toughness materials

Material		$K_Q (=K_{Ic})$ (MPa $\sqrt{m}$ )	$\sigma_{ys}$ (MPa)	$0.6K_Q/\sigma_{ys}$ ( $\sqrt{m}$ )
Al Alloy <sup>(11)</sup>	7075-T6	23	510	0.027
	2024-T3	30	340	0.053
Ti Alloy <sup>(11)</sup>	Ti-6Al-4V	60	940	0.038
Tool Steel <sup>(12)</sup>	SKD 6	20	1393	0.009

後者を試験対象にしていない。

つぎに、(1)および(2)式の物理的意味について考察する。圧縮塑性域寸法、 $\omega_{pb}$ と圧縮時のK値、 $K_{cp}$ の関係は、(3)式で近似できる<sup>13)</sup>。

$$\omega_{cp} = (\pi/8) \{ |K_{cp}| / (L\sigma_{ys}) \}^2 \quad (3)$$

$$L = 1 + \pi/2 - \theta \quad (4)$$

ここで、L：塑性拘束係数

$\theta$ ：Vノッチの開き角度の1/2

$\theta=30^\circ$ および $0^\circ$ の場合、 $L=2.05$ および $2.57$ となる。 $\theta=0^\circ$ はNarrow notchに対応する。

(3)式から $|K_{cp}|/\sigma_{ys}$ は(5)式で表される。

$$|K_{cp}|/\sigma_{ys} = L(8\omega_{cp}/\pi)^{1/2} \quad (5)$$

(1)および(2)式の左辺を $|K_{cp}|/\sigma_{ys}$ に変換し、(5)式と等値すると(6)および(7)式が得られる。

$$W \leq 0.051m \quad \omega_{cp} \leq 1.61 \times 10^{-3} / L^2 \quad (6)$$

$$W > 0.051m \quad \omega_{cp}/W \leq 0.031 / L^2 \quad (7)$$

(6)、(7)式から求められる最大塑性域寸法  $\omega_{cp,max}$  を開き角度( $2\theta$ )= $60^\circ$ のWide notchと $\theta=0^\circ$ のNarrow

notch に対して示すと **Table 2** のようになる。

$W > 0.051m$  の場合、 $2\theta=60^\circ$ では $\omega_{cp,max}/W=0.74\%$ 、 $\theta=0^\circ$ では $\omega_{cp,max}/W=0.47\%$ 、いっぽう、 $W \leq 0.051m$  の場合、 $2\theta=60^\circ$ では $\omega_{cp,max}=0.00038m(0.38mm)$ 、 $\theta=0^\circ$ では $\omega_{cp,max}=0.00024m(0.24mm)$ となる。

ASTM E399-22には、(1)および(2)式はWide notch に対して導出されたと記されている。Narrow notch の場合、圧縮時にノッチの上面と下面が接触しないように注意する必要がある。

### 3.2 最小疲労予き裂長さの要求

圧縮予荷重による圧縮塑性域内には、残留応力、バウシinger効果による降伏応力の低下、さらに圧縮予ひずみの影響などの破壊靱性値に影響すると思われる不確定要因が存在するので、圧縮塑性域を超えるまで疲労予き裂を進展させる必要がある。

疲労予き裂長さ  $a_f$ に関する規定に変更はなく、ASTM E399-22でも以下のように規定されている。

Wide notch の場合

$$a_f \geq \max.(0.025W \text{ or } 1.3\text{mm}) \quad (8)$$

Narrow notch の場合

$$a_f \geq \max.(0.0125W \text{ or } 0.6\text{mm}) \quad (9)$$

(8)、(9)式から得られる最小疲労予き裂長さ  $a_{f,min}$  を開き角度( $2\theta$ )= $60^\circ$ のWide notchと $\theta=0^\circ$ のNarrow notch に対して示すと **Table 3** のようになる。**Table 3**には、 $a_{f,min}/\omega_{cp,max}$ の値も併記した。

Table 2 Maximum compressive plastic size,  $\omega_{cp,max}$  obtained from Eq. (6) and (7)

Notch Type	Wide notch ( $2\theta=60^\circ$ )		Narrow notch ( $\theta=0^\circ$ )	
	$W \leq 51$	$W > 51$	$W \leq 51$	$W > 51$
$\omega_{cp,max}$ (mm)	0.38	$0.0074W$	0.24	$0.0047W$

Table 3 Minimum fatigue pre-crack length,  $a_{f,min}$  obtained from Eq. (8) and (9)

Notch Type	Wide notch ( $2\theta=60^\circ$ )		Narrow notch ( $\theta=0^\circ$ )	
	$W \leq 52$	$W > 52$	$W \leq 48$	$W > 48$
$a_{f,min}$ (mm)	1.3	$0.025W$	0.6	$0.0125W$
$a_{f,min}/\omega_{cp,max}$	3.4	3.4	2.5	2.7

Wide notch の場合、 $W \leq 52\text{mm}$ (0.052m)では  $a_{f,\min}=1.3\text{mm}$ 、 $W > 52\text{mm}$  では  $a_{f,\min}=0.025W$ 、Narrow notch の場合、 $W \leq 48\text{mm}$  (0.048m)では  $a_{f,\min}=0.6\text{mm}$ 、 $W > 48\text{mm}$  では  $a_{f,\min}=0.0125W$  となる。

つぎに、Table 2 と 3 を比較する。 $\omega_{cp,\max}$ 、 $a_{f,\min}$  一定で表される範囲と  $W$  の比で表される範囲の境界の  $W$  の値に Wide notch と Narrow notch で若干の違いがあるが、おおむね ICT 試験片の  $W(=50\text{mm})$  と一致している。いずれの範囲でも Wide notch では  $a_{f,\min}$  は  $\omega_{cp,\max}$  の 3.4 倍、Narrow notch では約 2.6 倍となり、 $a_{f,\min}$  は  $\omega_{cp,\max}$  より十分に長いと言える。

正負の繰り返し負荷を受ける場合は、バウシंगाー効果や繰り返し軟化により、 $\sigma_{ys}$  は初期の値より低下し、その結果  $\omega_{cp,\max}$  が大きくなることが予想されるが、それを考慮しても、 $a_{f,\min}$  は  $\omega_{cp,\max}$  より十分に大きいと考えられる。

### 3.3 高強度・低靱性鋼の疲労予き裂導入

工具鋼や軸受鋼のような高強度・低靱性鋼では、疲労予き裂の進展限界である  $\Delta K_{th}$  と  $K_{Ic}$  の値が近いので、疲労予き裂の発生後、すぐに脆性破壊が生じる危険性がある。脆性破壊を起こさないように、 $-1 \leq R \leq 0.1$  の条件で  $K_{f,\max}$  を下げると、疲労予き裂の発生に長時間を要することになる。その対策として、ASTM E399-22 では、 $R < -1$  で疲労予き裂を導入する条件が追加されたと思われる。

2.2 に示したように、圧縮荷重を与えたのち除荷するとノッチ先端に引張残留応力場が残るので、圧縮側でも、その荷重を大きくすることはノッチ先端での引張残留応力場を大きくすることになり、疲労予き裂の発生及び進展を促進することになる。

2.1 に示したように、疲労予き裂の導入の初期は、 $K_{f,\max} \leq 0.8K_Q$ 、 $K_{f,\min}$  は(1)又は(2)式を満足する必要がある。上記の高強度・低靱性材では、疲労予き裂導入の  $K_{f,\max}$  と  $K_{f,\min}$  の絶対値は、 $|K_{f,\min}| > |K_{f,\max}|$  となる場合が多く、応力比  $R (=K_{f,\min}/K_{f,\max})$  は、 $R < -1$  となる。疲労予き裂導入時の脆性破壊を防ぐため、 $K_{f,\max}$  を下げれば下げるほど  $R$  は  $-1$  より小さくなる。上述のように、 $K_{f,\max}$  が同じなら、

$R = -1$  より  $R < -1$  の方が、疲労予き裂の発生および進展を促進することになる。

ASTM E399-22 には記されていないが、工具鋼や軸受け鋼のような高強度・低靱性鋼の場合、疲労予き裂導入前に圧縮予荷重を与え、除荷するとノッチ先端の引張残留応力場に自然き裂が発生することがある。阪野は<sup>7)</sup>、低中強度鋼を用いた破壊靱性試験片に低温で適切な圧縮予荷重を与えると、除荷時に微小なへき開き裂がノッチ先端に発生する現象を見つけ、これを圧縮予荷重き裂と名付けた。

ASTM E399-22 には、圧縮予荷重き裂についての記述はないが、圧縮予荷重き裂発生後に所定の疲労予き裂を導入して  $K_{Ic}$  試験を実施すれば、規格に反することはないと思われる。圧縮予荷重き裂が発生した後は、 $R=0.1$  の条件でも疲労予き裂を導入することは可能と思われる。

なお、圧縮予荷重き裂は、除荷後の引張残留応力場に発生する。その寸法は、3.1 に示した圧縮塑性域寸法  $\omega_{cp}$  の約 1/4 と見做せる<sup>7)</sup>。

### 3.4 高強度・低靱性鋼は ASTM E399 の対象か？

AISI 4340 鋼、工具鋼、軸受鋼などの高強度・低靱性鋼は、試験片厚 25mm の ICT より小さい試験片を用いて室温の  $K_{Ic}$  が求められ、その値は公表されている<sup>11), 12), 14)</sup>。したがって、3.3 では、高強度・低靱性鋼は、ASTM E399 による  $K_{Ic}$  試験の対象であるとして考察したが、それらの  $K_{Ic}$  値が報告されたのは、2005 年より前である。

ASTM E399 は 2005 年の改訂版、ASTM E399-05<sup>15)</sup>で、へき開破壊を呈する材料、例えば、脆性 - 延性遷移域およびその低温域でへき開破壊を生じるフェライト鋼はこの規格の対象外とした。参考までに、該当する規格の文面(5.1.2)を巻末に示す。

高強度・低靱性鋼の脆性破面は、へき開破面の特徴であるリバーパターンが不鮮明な擬へき開を呈することが多い。擬へき開を呈する高強度・低靱性鋼は、ASTM E399 の対象か、対象外と考えるべきかを検討する。

巻末の英文(5.1.2)に記されているように、へき開破壊を ASTM E399 の適用外にした理由は、その破壊靱性値がき裂前縁の最弱部位に依存、すなわち確率的要因によって決まることである。また、ASTM E399 の適用外になった場合、ASTM E1921<sup>16)</sup>又は ASTM E1820<sup>17)</sup>を適用することを推奨している。

擬へき開もへき開と同様、確率論的に評価すべき破壊対象か分からないが、ASTM E1921 又は ASTM E1820 は、室温の  $K_{Ic}$  値が  $100\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$  よりはるかに小さい高強度・低靱性鋼に適用する規格でないことは明白である。本報では、上記の高強度・低靱性鋼は、ASTM E399 の試験対象であるとの立場で記述した。

また、ASTM E399 では、低靱性材に関して、巻末に示す A2.1.1 の下線付きのコメントがある。すなわち、疲労予き裂の発生と同時に破壊する非常に脆い材料は本試験の対象外となる。ASTM E399 の制定時から記されていたか分からないが、ASTM E399-90<sup>18)</sup>には記載されている。

該当する材料としてセラミックが思い浮かぶが、ASTM E399 は、金属材料が対象の規格なのでセラミックは含まれない。どのような金属材料が対象になるのか、この文面からは分からないが、工具鋼や軸受鋼は、2.3 に示した、ASTM E399-22 に追記された低靱性材に対する疲労予き裂導入条件を適用すれば、問題なく疲労予き裂を導入できると考えられる。したがって、工具鋼や軸受鋼等の高強度・低靱性鋼は、A2.1.1 の下線付きの文面に該当しないと判断した。

#### 4. むすび

線形平面歪破壊靱性値、 $K_{Ic}$  を求めるための試験規格である ASTM E399 は、1970 年に制定され、修正を加えながら半世紀に渡り利用されている。

この規格は、主に、航空・宇宙用の高力 Al 合金、Ti 合金、マルエージング鋼などの高強度鋼の靱性評価に適用されているが、高压容器の Al 合金製のライナー、Al 合金を用いた 3D プリンター造形品

や Mg 合金の靱性評価にも適用されている。

弊社では、引張試験、疲労試験に加え、ASTM E399 に準拠した室温  $K_{Ic}$  試験の Nadcap 認証を取得した。Nadcap では、対象となる試験規格の最新版をフォローし、自社の作業標準に織り込むべきか判断し、必要に応じて、試験作業と結び付ける必要がある。

ASTM E399 は、比較的、頻繁に改訂がなされ、最近でも 2017 年、2019 年、2020 年、2022 年に改訂された。2022 年の改訂版、ASTM E399-22<sup>5)</sup> では、①疲労予き裂導入時の圧縮側の条件、②圧縮予荷重の許容限界、③低靱性材の疲労予き裂導入条件、④板厚方向に残留応力分布が存在する試験片への疲労予き裂導入条件について、変更や追加があった。本報告では、その内容を説明するとともに、変更された圧縮条件(本文の(1)および(2)式)の物理的意味について考察した。

ASTM E399 は 2005 年の改訂版<sup>15)</sup>で、へき開破壊を呈する材料、例えば、脆性 - 延性遷移域およびその低温域でへき開破壊を生じるフェライト鋼はこの規格の対象外となった。また、疲労予き裂の発生と同時に破壊する非常に脆い材料は ASTM E399 の対象外である(巻末の英文を参照)。

この文面に照らし、脆性破面が擬へき開を呈する高強度・低靱性鋼を ASTM E399 の対象としてよいか検討し、試験対象であると判断した。

#### 参考文献

- 1) ASTM E399-17; “Standard Test Method for Linear-Elastic Plane-Strain Fracture Toughness  $K_{Ic}$  of Metallic Materials”, (2017).
- 2) ASTM E399-20; “Standard Test Method for Linear-Elastic Plane-Strain Fracture Toughness of Metallic Materials”, (2020).
- 3) 木内晃; “ASTM E399 による  $K_{Ic}$  試験の合否判定基準の意義と必要性”, Shimizu-tech Technical Report No.1, pp.1-10, (2021).
- 4) 木内晃; “ASTM E399「線形平面歪破壊靱性の標準試験法」に関する最近の動向”, 圧力技術, 第 59 巻, 第 3 号, pp.140-148, (2021).
- 5) ASTM E399-22; “Standard Test Method for Linear-Elastic Plane-Strain Fracture Toughness of

- Metallic Materials”, (2022).
- 6) O. L. Towers and M. G. Dawes; “Welding Institute Research on the Fatigue Pre-cracking of Fracture Toughness Specimens”, ASTM STP 856, pp.23-46, (1985).
  - 7) 阪野賢治; “圧縮予荷重により発生する亀裂を用いた破壊靱性評価法に関する研究”, 日本造船学会論文集, 第 141 号, pp.282-289, (1977).
  - 8) ISO 15653-2018; “Metallic materials—Method of test for determination of quasistatic fracture toughness of welds”, (2018).
  - 9) H.S. Reemsnyder, H.G. Pisarski and M.G. Dawes; “Residual Stress and Fatigue Pre-cracking Techniques for Weldment Fracture Toughness Specimens”, Journal of Testing and Evaluation, Vol.20, No.6, pp416-423, (1992).
  - 10) S. Machida, T. Miyata, M. Toyosada and Y. Hagiwara; “Study of Methods for CTOD Testing of Weldments”, ASTM STP 1058, pp142-156, (1990).
  - 11) 小林英男 著, “破壊力学”, 共立出版(株), (1993).
  - 12) 中佐啓次郎、武井英雄; “高強度鋼における破壊靱性値の板厚依存性”, 鉄と鋼, 第 62 年, 第 12 号, pp.1523-1531, (1976).
  - 13) 阪野賢治; “圧縮予荷重により発生する亀裂を用いた破壊靱性評価法に関する研究 (第 2 報)”, 日本造船学会論文集, 第 144 号, pp.352-361, (1978).
  - 14) 坪田一一; “軸受鋼”, Sanyo Technical Report Vol.5, No.1, pp105-112, (1998).
  - 15) ASTM E399-05; “Standard Test Method for Linear-Elastic Plane-Strain Fracture Toughness  $K_{Ic}$  of Metallic Materials”, (2005).
  - 16) ASTM E1921-05; “Standard Test Method for Determination of Reference Temperature,  $T_0$ , for Ferritic Materials in the Transition Range”, (2005).
  - 17) ASTM E1820-01; “Standard Test Method for Measurement of Fracture Toughness”, (2001).
  - 18) ASTM E399-90; “Standard Test Method for Plane-Strain Fracture Toughness of Metallic Materials”, (Reapproved 1997).

#### 5.1.2 of ASTM E 399-05の文面

Lower values of  $K_{Ic}$  can be obtained for materials that fail by cleavage fracture; for example, ferritic steels in the ductile-to-brittle transition region or below, where the crack front length affects the measurement in a stochastic manner independent of crack front constraint. The present test method does not apply to such materials and the user is referred to Test Method E1921 and E1820. Likewise this test method does not apply to high toughness or high tearing-resistance materials whose failure is accompanied by appreciable amounts of plasticity. Guidance on testing elastic-plastic materials is given in Test Method E1820.

#### A2.1.1 of ASTM E 399-90の文面

Experience has shown that it is impractical to obtain a reproducibly sharp, narrow machined notch that will simulate a natural crack well enough to provide a satisfactory  $K_{Ic}$  test result. The most effective artifice for this purpose is a narrow notch from which extends a comparatively short fatigue crack, called the precrack. The dimensions of the notch and the precrack, and the sharpness of the precrack, must meet certain conditions which can be readily met with most engineering materials since the fatigue cracking process can be closely controlled when careful attention is given to the known contributory factors. However, there are some materials that are too brittle to be fatigue cracked since they fracture as soon as the fatigue crack initiates; these are outside the scope of the present test method. The purpose of this annex is to provide guidance on the production of satisfactory fatigue precracks, and to state the associated requirements for a valid  $K_{Ic}$  test.