

ハサミの折損調査

1. 目的

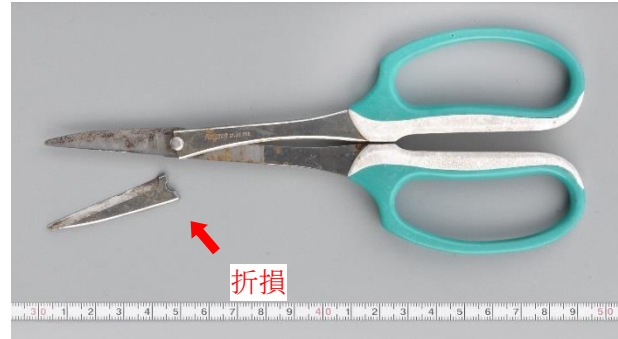
庭木の剪定中にハサミの刃が折れた為、原因究明の一環として、ハサミの損傷状況や破壊形態および材料性状を確認する為、各種観察・試験を行う。

2. 調査品の詳細

名称：ハサミ（芽切小枝切鋏）

材料：ステンレス鋼

使用年数：約 5 年



調査品

3. 実施項目および結果概要

3.1 外観観察 (図 1 参照)

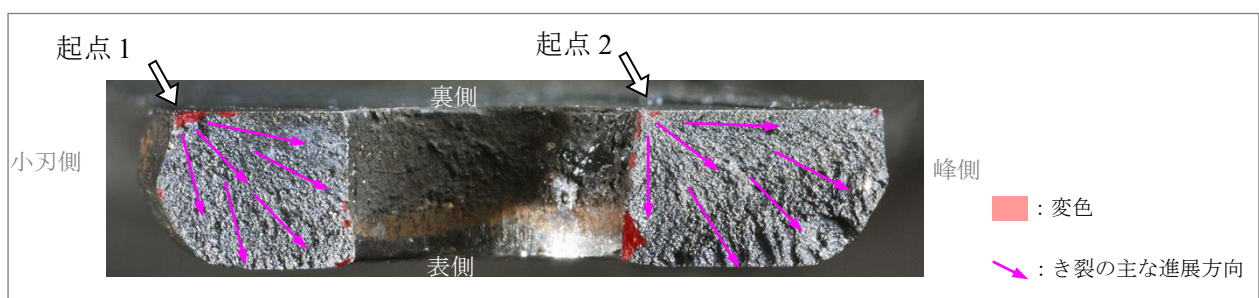
- ・ハサミは、片側の刃が支点（かしめ）の穴部で折損していた。
- ・折損部に、伸びや絞り等の顕著な塑性変形はなかった。
- ・2 枚の刃に隙間や緩み等の異常はないが、刃こぼれや錆びが散見された。
- ・刃の裏面には接触痕があり、折損部近傍や刃こぼれ部は、接触幅が他より広めであった。
- ・かしめ穴表面には、かしめとの接触によるとみられる摩耗粉が認められた。
- ・樹脂製のハンドルには、通常は接触しない部分に接触痕があり、使用時にハンドルの食い違いがあったことが窺われた。

3.2 磁粉探傷試験 (図 2 参照)

- ・健全刃について磁粉探傷試験を行った結果、細かな傷は存在するが、き裂を示す磁粉模様は認められなかった。

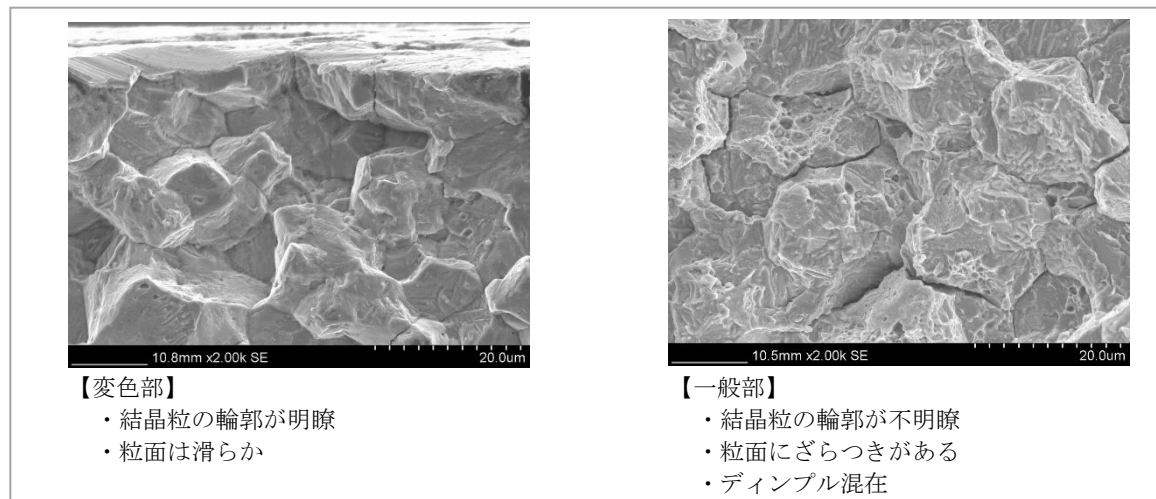
3.3 破面観察 (図 3～6 参照)

- ・折損部の破面は比較的平坦であり、放射状模様が認められ、その状況から刃 裏側の角部 2 箇所が主起点と考えられた。また、起点部は変色しており、起点以外にも表面近くに、それと同様の変色した領域が複数箇所認められた。下図は破面写真上に破損状況を描き加えた図である。



マクロ破面状況

- ・走査型電子顕微鏡（SEM）により、破面を拡大して観察したところ、起点部を含む変色部は粒界破面であり、結晶粒の輪郭は明瞭で粒面は滑らかであった。また、変色部以外の部分は、ざらついた輪郭が不明瞭な粒状破面を呈しておりディンプルも混在していた。下にそれぞれの代表的なマイクロ破面写真を示す。



マイクロ破面の代表写真

- ・一般的に硬質の鉄鋼材料では、粒界破壊が起きやすいとされており、破壊モードの判断は難しいが、粒面が滑らかな粒界破面であることから、作用応力が比較的小さめと推測される。その場合、疲労損傷、材料異常や、環境要因による脆化が考えられる。
- ・一方、不明瞭な粒状破面やディンプルは、作用応力が大きめであることを示しており、当該部については、比較的大きな力で急進的に破壊したとみられる。

3.4 成分分析 (図7参照)

- ・破面の変色原因を探る為、エネルギー分散型 X 線分光法（EDS）にて成分分析を行った。
- ・破面の分析に先立ち、材料確認の為、刃の表面を分析した結果、主成分として Fe、その他に Si, Mn, Cr, Mo, Nb が検出され、それらの半定量値（凡その成分比）から、マルテンサイト系ステンレス鋼と考えられた。
- ・破面の変色部と一般部について分析した結果、変色部では一般部にはない O の顕著なピークが認められ、わずかに腐食性元素の Cl も検出されたことから、変色は錆び（鉄の酸化物）であると推測された。

3.5 断面組織観察 (図8～9参照)

- ・折損部を含む刃の断面を観察した結果、組織観察用エッチング前の状態でも粒界割れが認められた。割れは、折損部近傍だけでなく、かしめ穴や刃こぼれがあった部分にも発生していた。
- ・刃こぼれのあった部分では、表面近傍では多方向の割れであったものが、割れ先端では斜め方向に優先的に進展しており、広範囲に発生した微細割れのうち、使用中の負荷が大きい部分が進展し、刃こぼれに至ったと推測された。
- ・マイクロ組織は、マルテンサイトに微細球状炭化物が分布した組織とみられ、焼入れされていると考えられた。また、結晶粒界が明瞭に確認できることから、粒界が腐食されやすい材料であると推測された。

3.6 ビッカース硬さ試験 (図9参照)

- ・ビッカース硬さは、651～674HV で焼入れされており、顕著な異常はなかった。

4. まとめ

折損したハサミについて観察した結果の要旨は、以下の通りである。

- ・ハサミは、片側の刃が支点（かしめ）の穴部で、塑性変形なく折損していた。
- ・刃には緩みなどの異常はないが、刃こぼれや錆びが散見された。
- ・破面様相から、起点は刃の裏側 角部 2 箇所と考えられた。
- ・起点部は変色しており、それ以外にも、破面には変色した領域が複数点在していた。
- ・SEM 観察では、起点部を含む変色部に「輪郭が明瞭で滑らかな粒界破面」、それ以外の部分に「輪郭が不明瞭な粒状破面とディンプルの混在」が認められた。
- ・EDS 成分分析の結果、ハサミの材料はマルテンサイト系ステンレス鋼と考えられた。
- ・破面の変色部からは、わずかに腐食性元素の Cl が検出された。
- ・断面観察では、折損部近傍、かしめ穴、刃こぼれした部分に微細な粒界割れが認められた。
- ・ミクロ組織は、マルテンサイトに微細炭化物が分布した組織とみられ、エッチングで結晶粒界が明瞭に現出することから、粒界が腐食されやすい材料であると推測された。
- ・ビッカース硬さは、651～674HV であり、ハサミとして顕著な異常はなかった。

これらの状況を総合的に判断すると、**ハサミの折損は、複数箇所に生じた微細割れに、使用による負荷が作用したため発生**したと考えられる。

微細割れは、粒界割れであり変色を伴っていることから、環境要因による脆化である可能性が高い。

その要因としては、粒界腐食^{※1}、応力腐食割れ^{※2}、水素脆化^{※3}などの事象が挙げられるが、いずれであるかは判断が難しい。なお、どの場合も**腐食が関与**した損傷と言える。

また、組織観察用のエッチングでは、粒界が明瞭に現出されており、**材料的に粒界腐食されやすい**ことも要因として大きいと推測される。

用語解説

※1 粒界腐食：結晶粒界には不純物や合金元素の偏析が生じやすく、選択的に腐食されやすい。

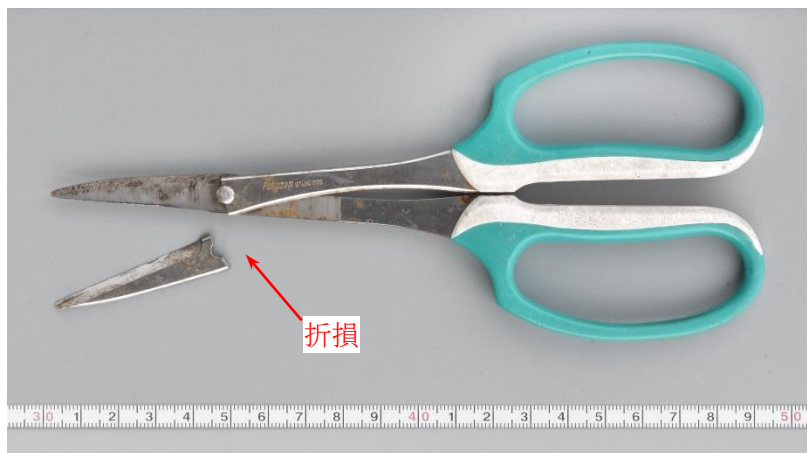
オーステナイト系ステンレス鋼では、550～800℃程度の加熱により粒界に Cr 炭化物を析出/Cr 欠乏層ができる事象（鋭敏化）がよく知られており、熱処理条件によってはマルテンサイト系ステンレス鋼も鋭敏化するとされている。

※2 応力腐食割れ：stress corrosion cracking（SCC と略される）

材料因子（純金属では起きない）、環境因子（全面腐食環境では起きない）、力学因子（引張応力下のみで起こる）の 3 つの因子が相乗的に作用して発生する現象であり、このうち一つでも除去できれば、応力腐食割れは起こらないと考えられている。

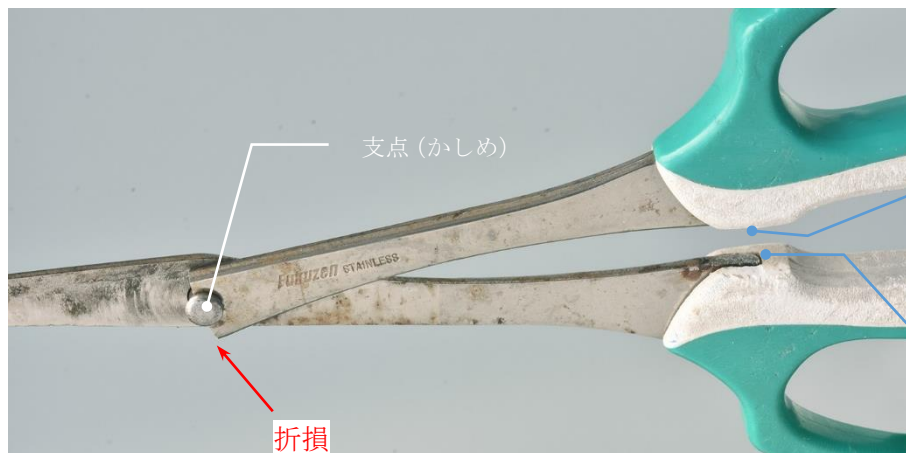
ステンレス鋼の SCC は、主に Cl⁻、S²⁻、OH⁻、溶存酸素などの存在下で生じる。

※3 水素脆化：高強度鋼などにおいて、腐食やその他要因によって発生した水素が材料内に吸蔵され、延性が低下する現象。通常の破壊に比べ、破断応力および破断延性が極端に小さくなる。多くの場合、粒界き裂が形成され、粒界破面が現れる。

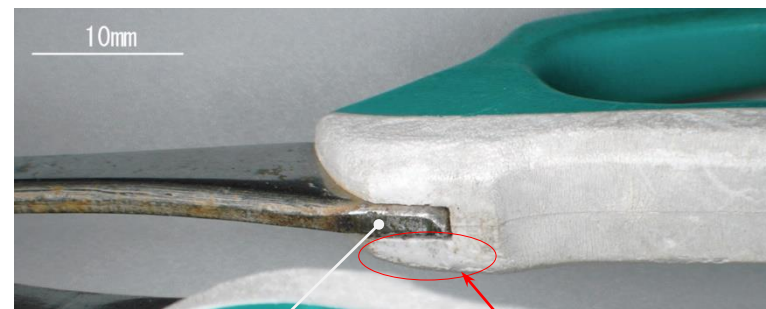


ハサミ全景

×0.5



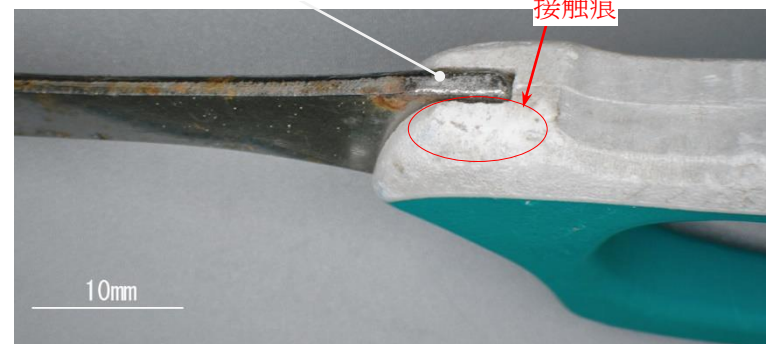
同左 支点～ハンドル部



同左拡大

本来の接触部

×2



同左拡大

×2



折損刃の表

×1.5



健全刃の表

×1.5



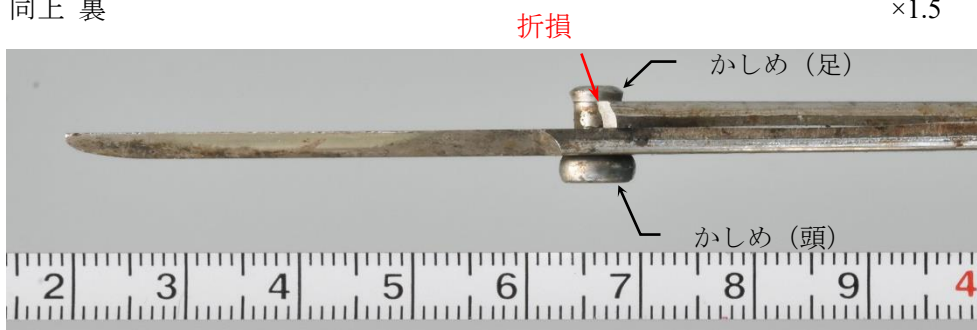
同上 裏

×1.5



同上 裏

×1.5



ハサミ側面

×1.5

- ・ハサミは、片側の刃が支点（かしめ）の穴部で折損している。折損した刃は、かしの足側である。
- ・折損部に、伸びや絞り等の顕著な塑性変形はない。
- ・2枚の刃は、どちらも同じ形状であり、刃こぼれや錆びが散見される。
- ・刃を閉じた状態で側面から観察すると、刃は裏表に隙間は殆どなく、顕著な緩みはないとみられる。

- ・ハンドル部分に歪みはないが、刃を閉じた際に樹脂の部分が接触したとみられる痕が認められる。本来、樹脂部分は接触しない構造であるが、刃を合わせるように閉じたことで食い違いがおき、接触したと考えられる。

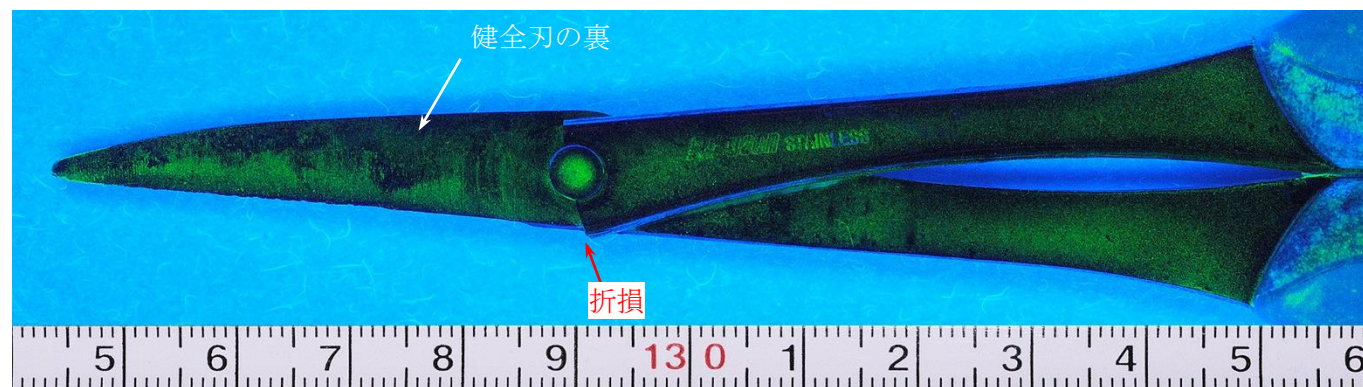
図1 外観状況



健全刃 表の MT 状況

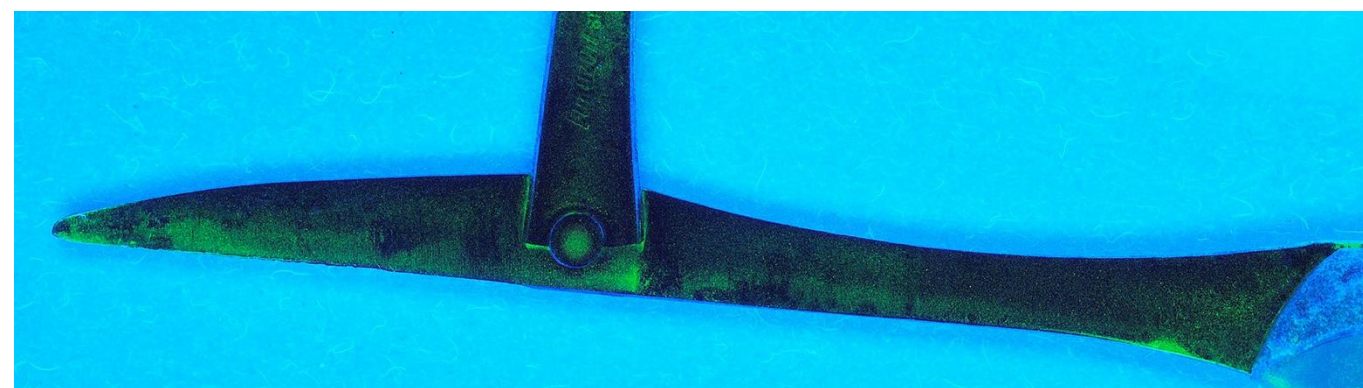
×1.5

- ・折損部以外について、き裂有無を確認する為、磁粉探傷試験を行った。
- ・健全刃の表裏とも、細かな傷は存在するが、き裂を示す磁粉模様は認められない。



上図 反対面(裏)の MT 状況

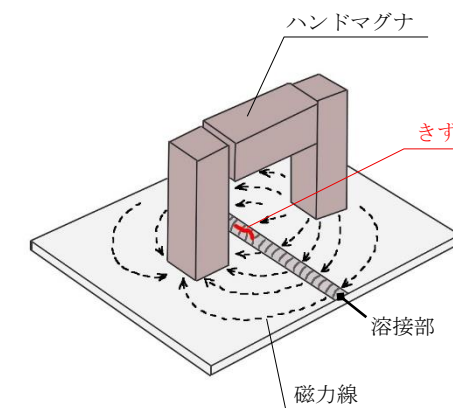
×1.5



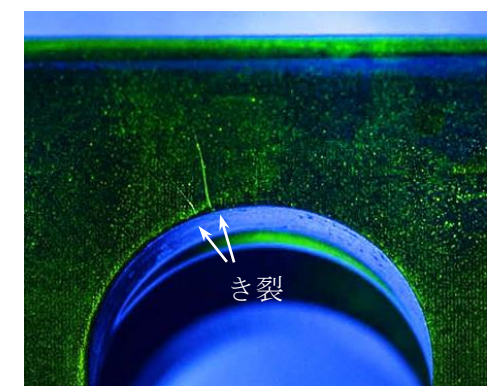
上図 刃を開いての MT 状況

×1.5

参考資料

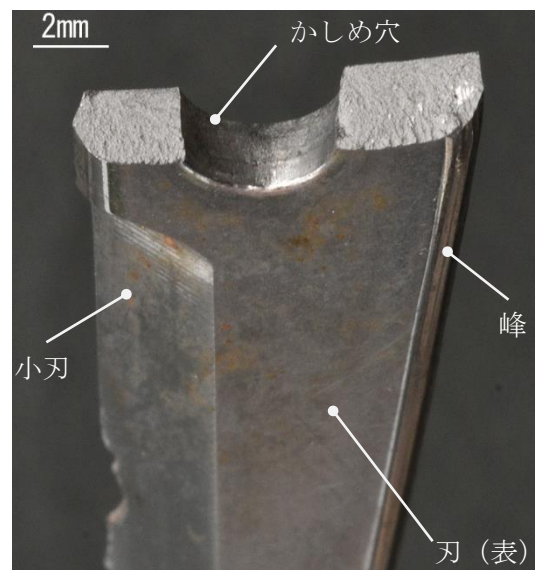


極間式 MT の模式図

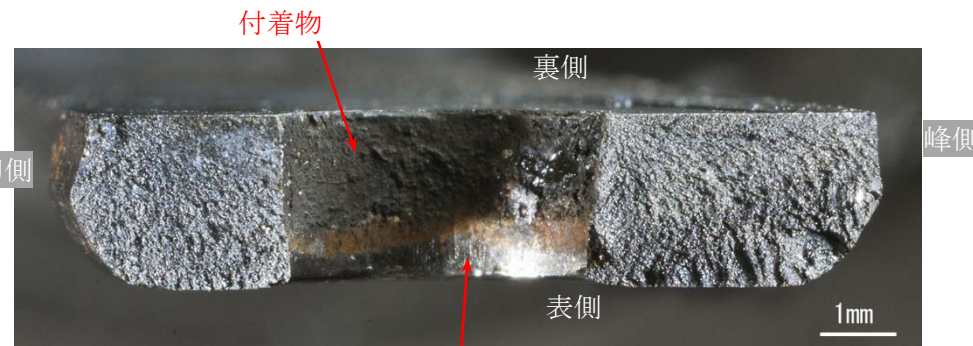


MT で検出されたき裂の例

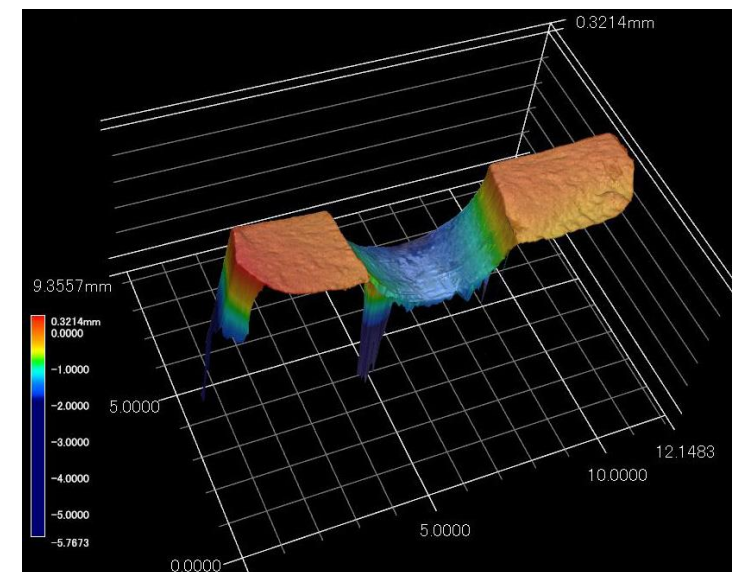
図 2 磁粉探傷試験 (MT)



折損部 刃先側（洗浄後） ×5



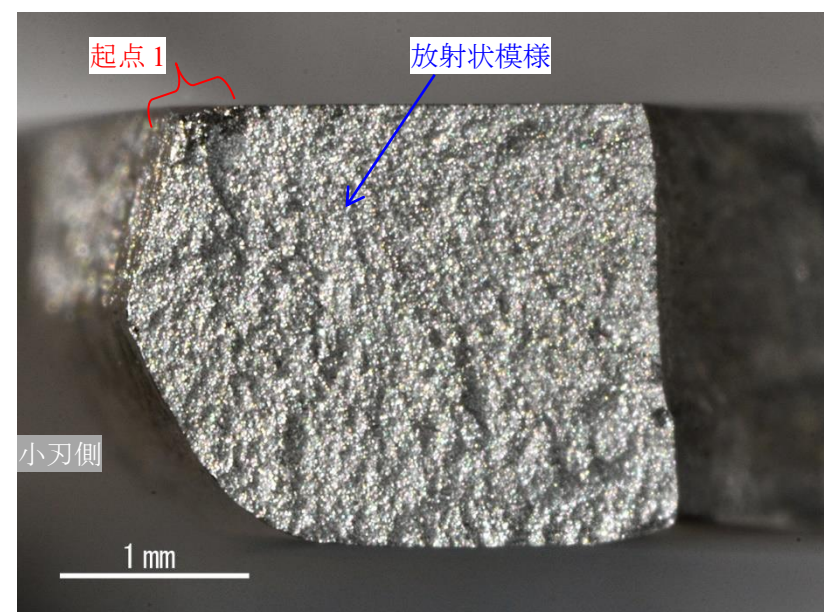
折損部 刃先側の破面（洗浄前） ×10



折損部の 3D 凹凸像



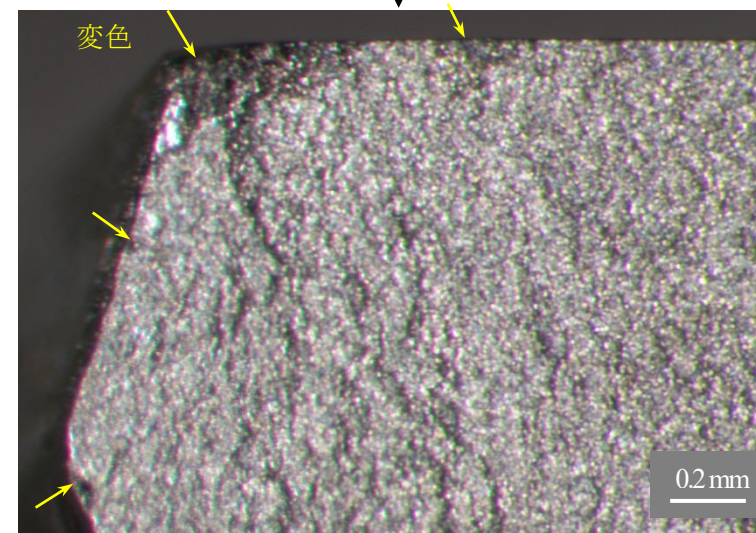
折損刃の表 ×4 同左 裏 ×4



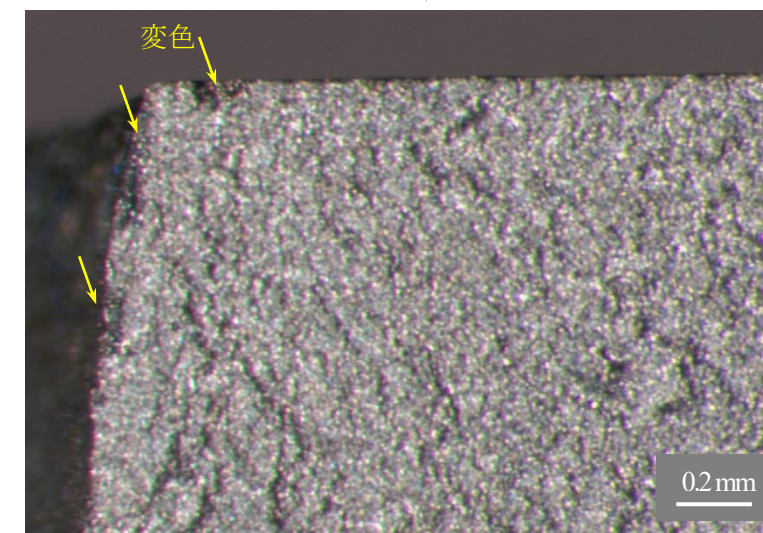
破面 小刃側拡大（洗浄後） ×25



破面 峰側拡大（洗浄後） ×25



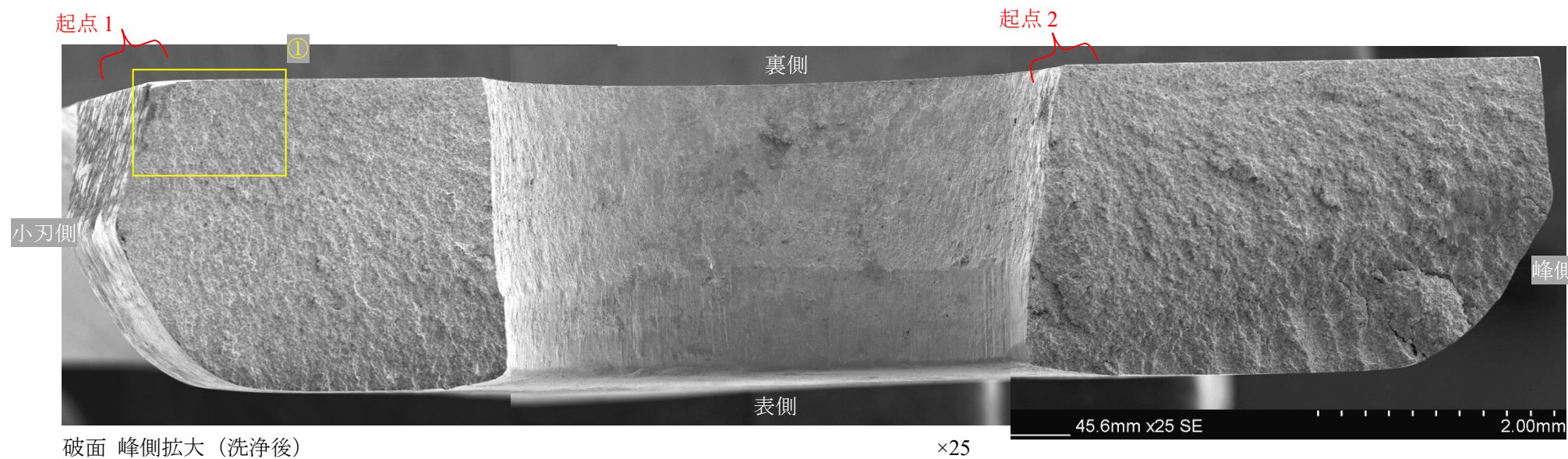
同上起点部拡大 ×50



同上起点部拡大 ×50

- ・破壊形態を確認する為、折損部について詳細に観察した。
- ・折損は、かしめ穴の中心より少し刃先側で生じている。
- ・穴内面の大部分に褐色の付着物が認められる。付着物は、汚れや、穴とかしめの接触による摩耗粉と考えられる。
- ・刃の裏面には接触痕があり、折損部近傍や刃こぼれした箇所は、接触痕の幅が他より広い。
- ・マクロ破面は比較的平坦であり、放射状模様が認められる。放射状模様が収れんする裏側の角部2箇所が主起点と考えられる。
- ・起点 1、2 部では褐色に変色した小さな領域が複数箇所認められる。また、そこから少し離れたかしめ穴表層にも同様の変色が発生している。
- ・破面凹凸は、起点から離れるにつれて徐々に大きくなり、刃 表の峰側の角部近傍には、ひだ状模様が観察され、当該部が最終破断部と考えられる。

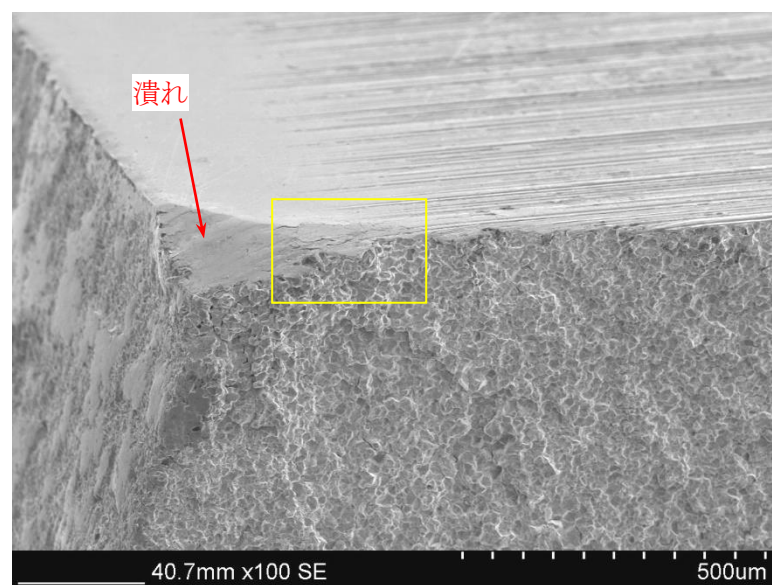
図3 折損部の拡大、マクロ破面



- ・SEMにより、破面を更に拡大して観察した。
- ・①部（起点1）は、粒界破面である。傾けて観察すると角が潰れており、表面には複数の微細な割れが認められる。
- ・破面様相は位置によってやや異なり、①-1部では粒の輪郭が明瞭で粒面は滑らかであるのに対し、①-2部では輪郭が不明瞭で粒面はざらついており、ディンプルも認められる。
- ・①-1部と①-2部の間に、破面様相が変化する境界があり、それはマクロ破面観察でみられた変色範囲の境界と一致している。

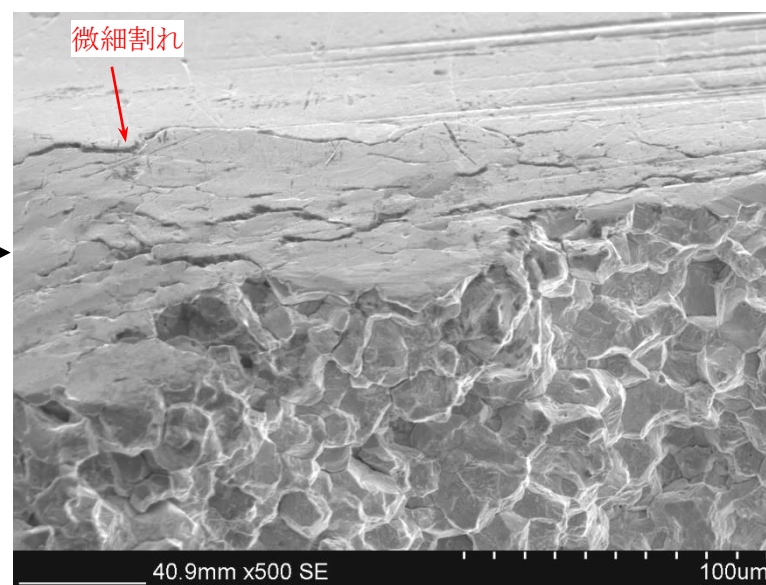
破面 峰側拡大（洗浄後）

×25



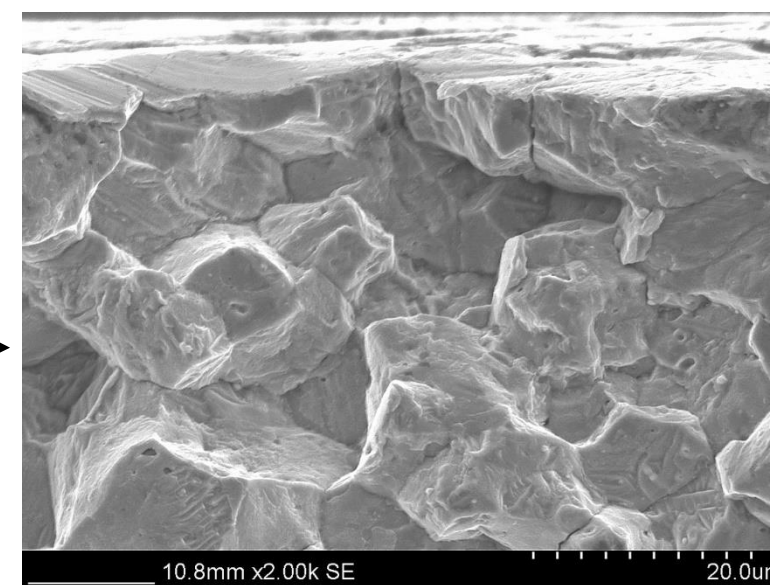
同下 刃裏面側から観察

×80



同左拡大

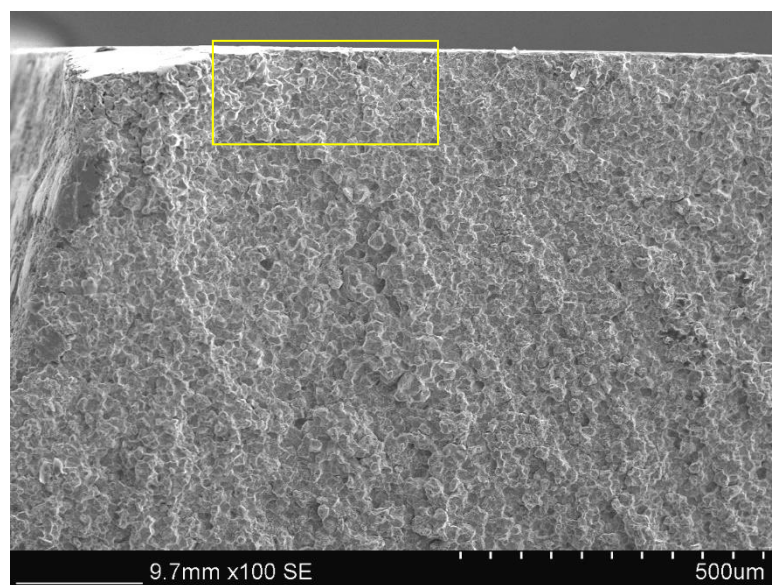
×400



①-1部拡大

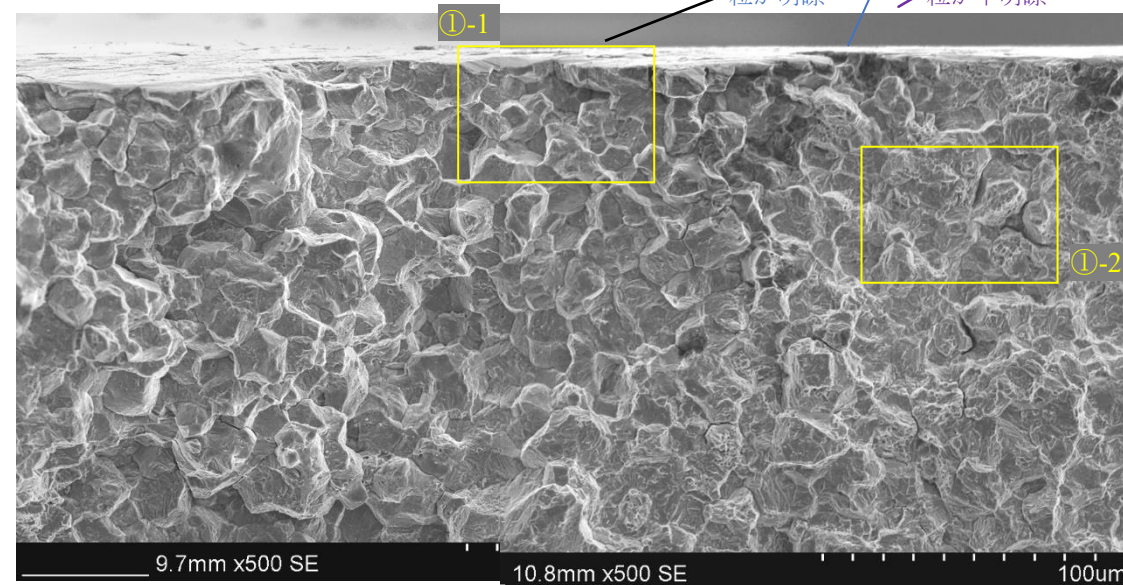
×1600

変色部
粒が明瞭 ← 粒が不明瞭



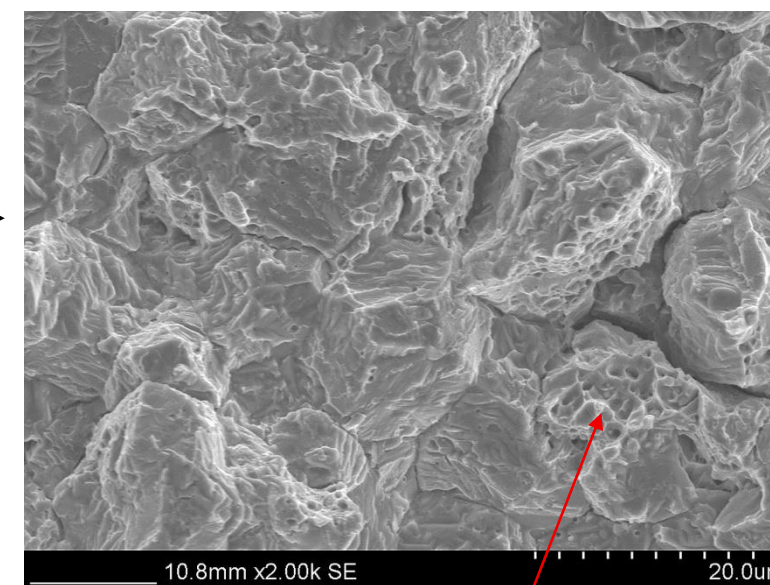
①部（起点1）拡大

×80



同左拡大

×400

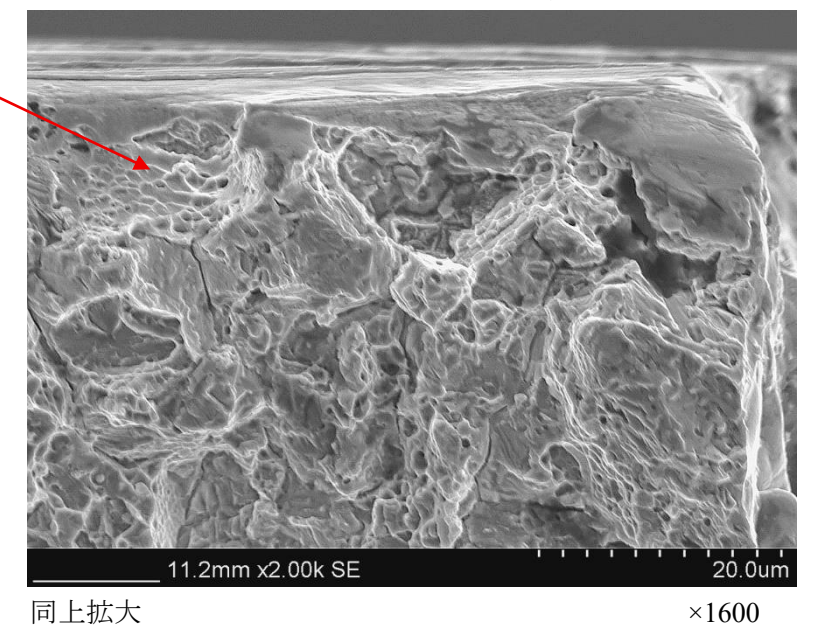
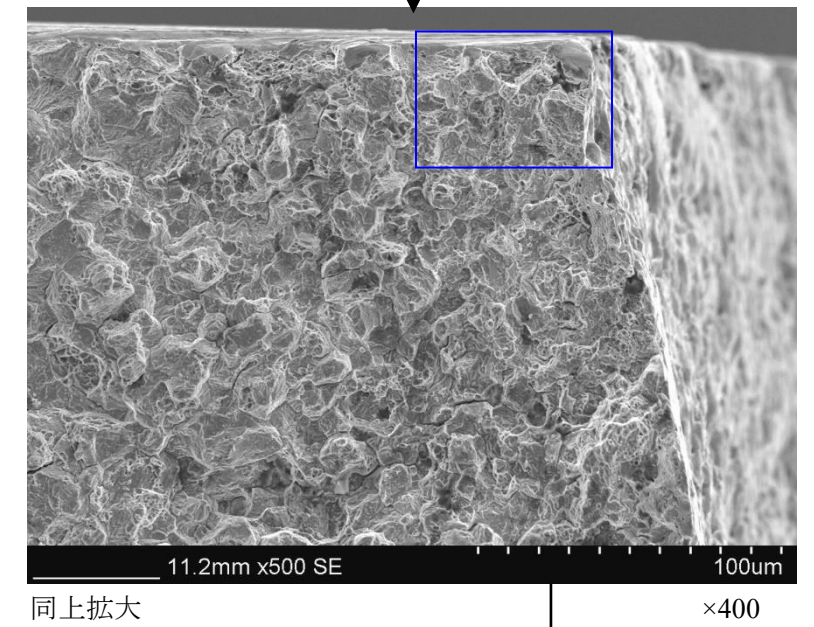
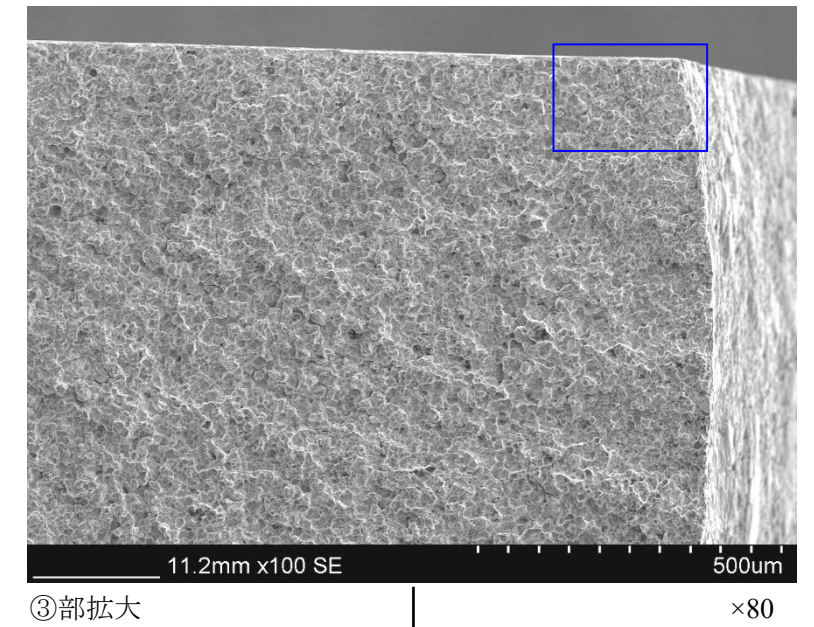
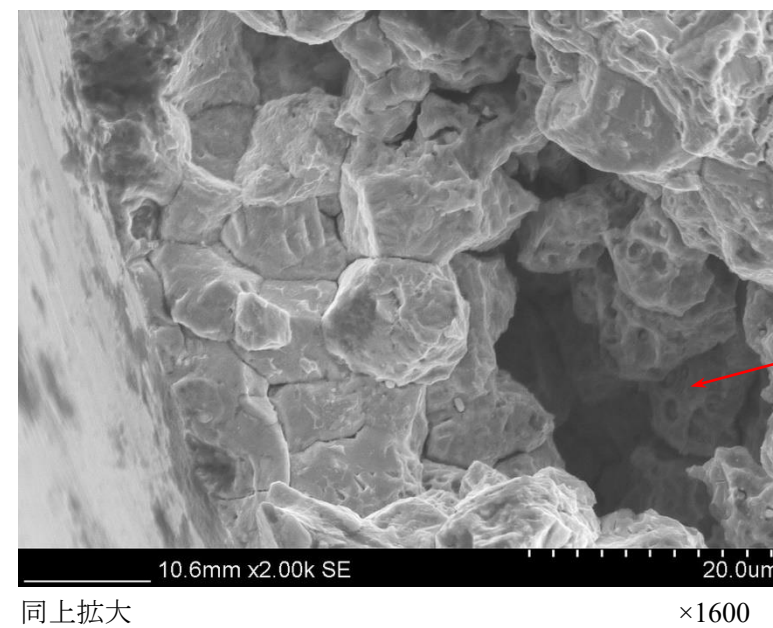
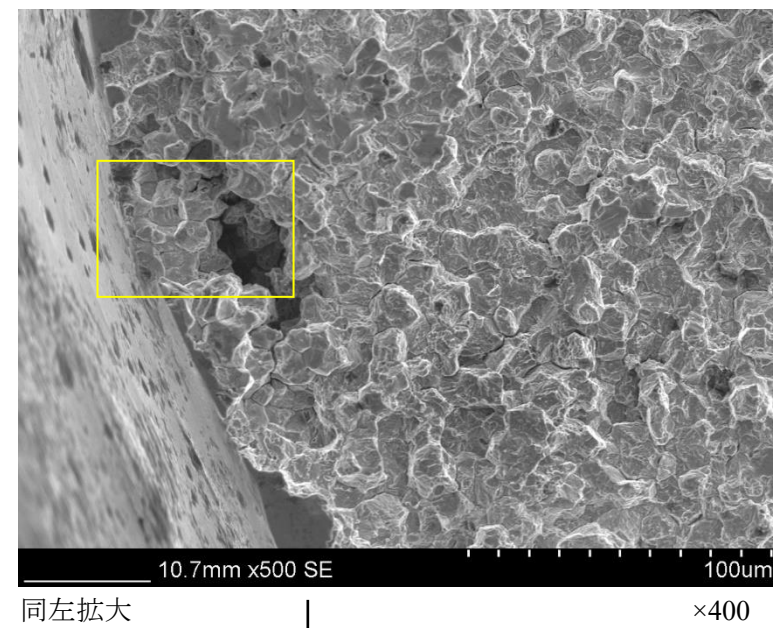
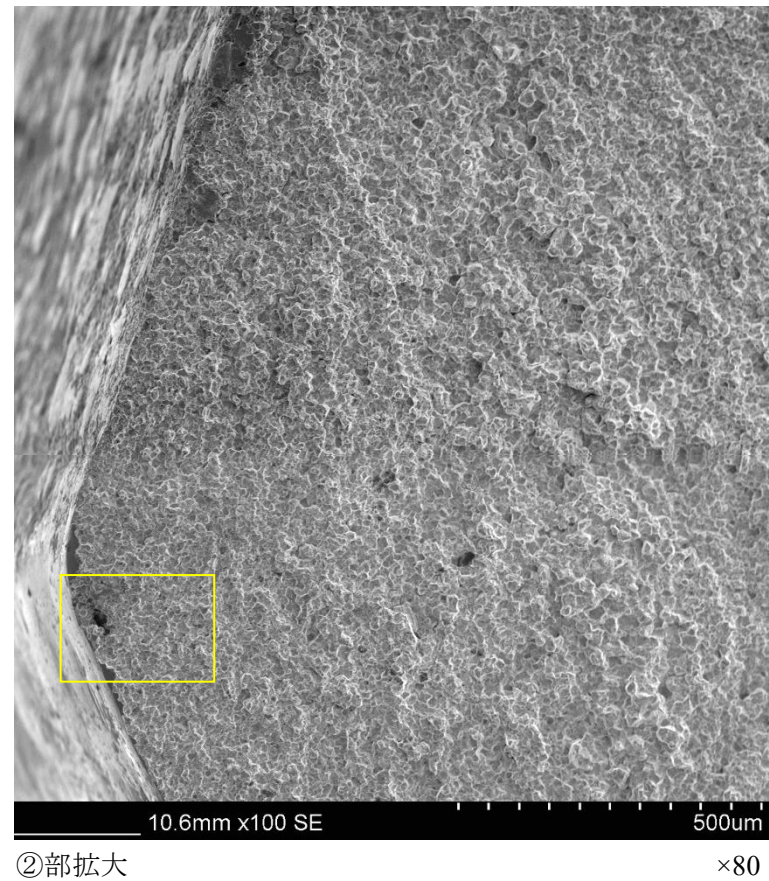
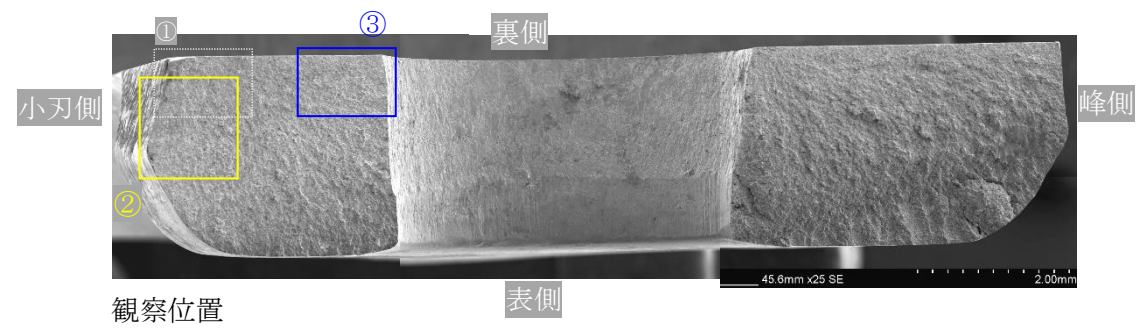


①-2部拡大

×1600

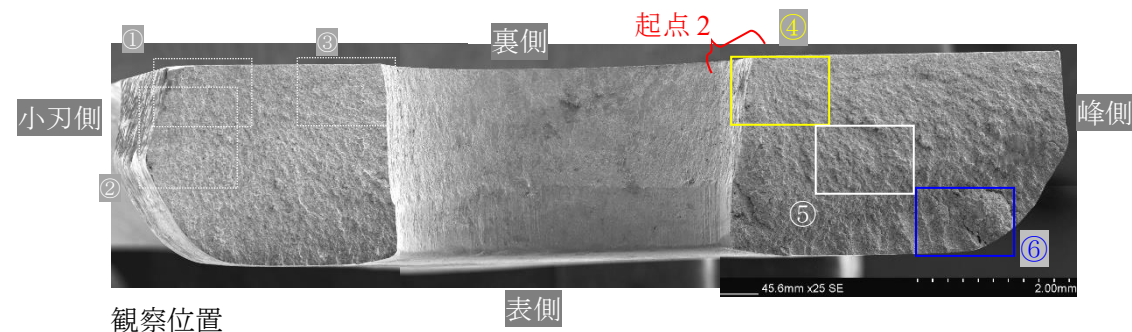
ディンプル

図4 ミクロ破面観察（その1）

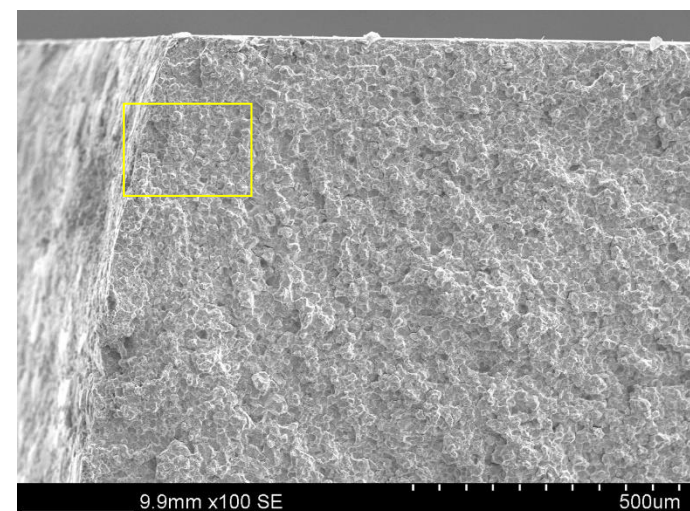


- ・②部は起点 1 から離れているが変色している部分であり、結晶粒の輪郭が明瞭な粒界破面である。一部には結晶粒が脱落したような部分も認められる。
- ・かしめ穴近傍の③部は変色しておらず、破面は粒状であるが、輪郭が不明瞭であり、ディンプルも認められる。
- ・これらの状況から、変色部は粒界割れが発生しやすい状態であることが窺われる。

図 5 ミクロ破面観察 (その 2)

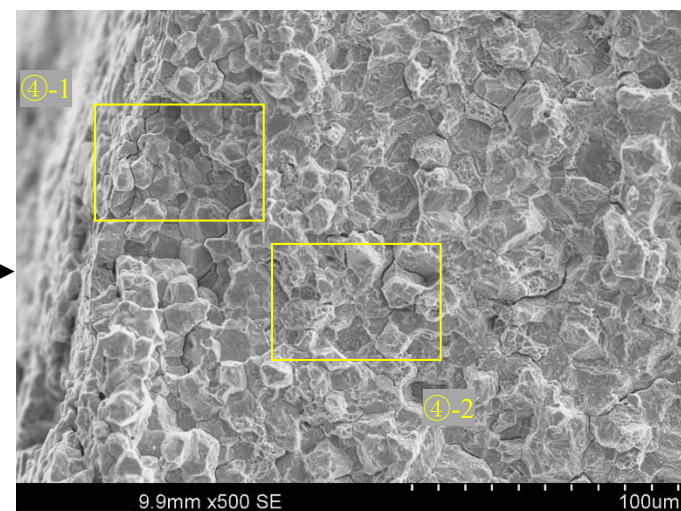


き裂進展方向の模式図



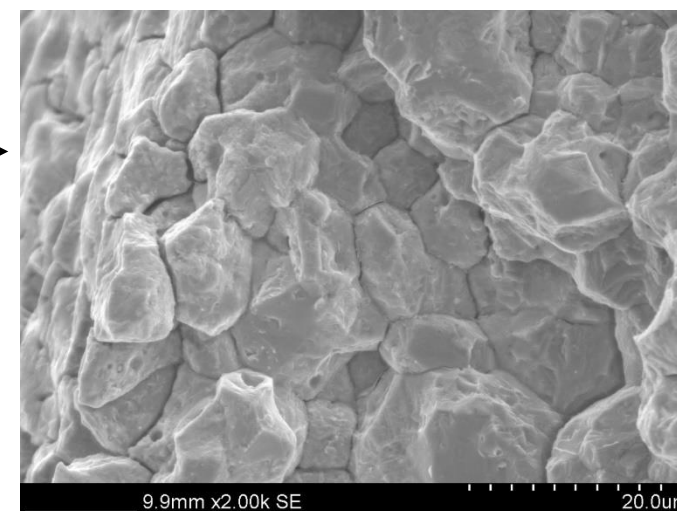
④部（起点 2）拡大

×70



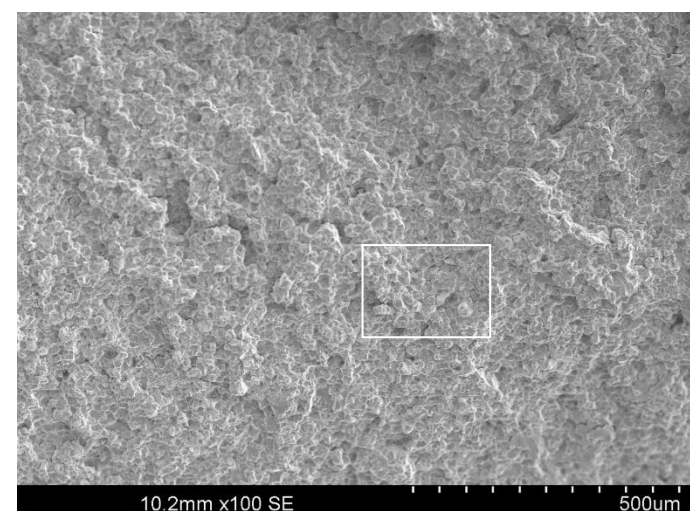
同左拡大

×350



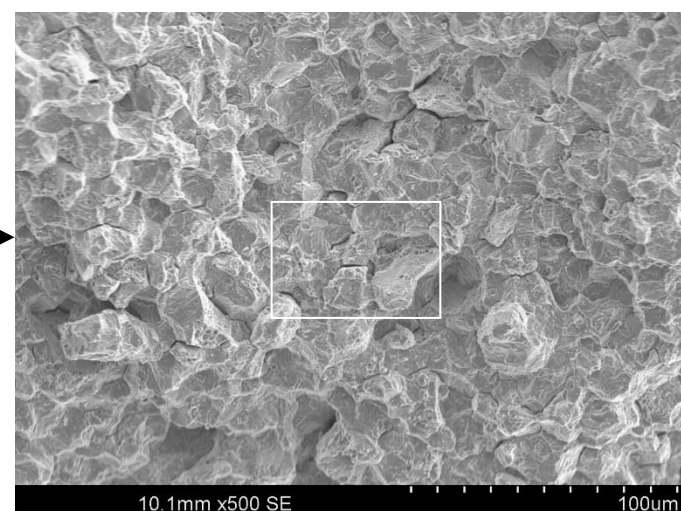
④-1 部拡大

×1400



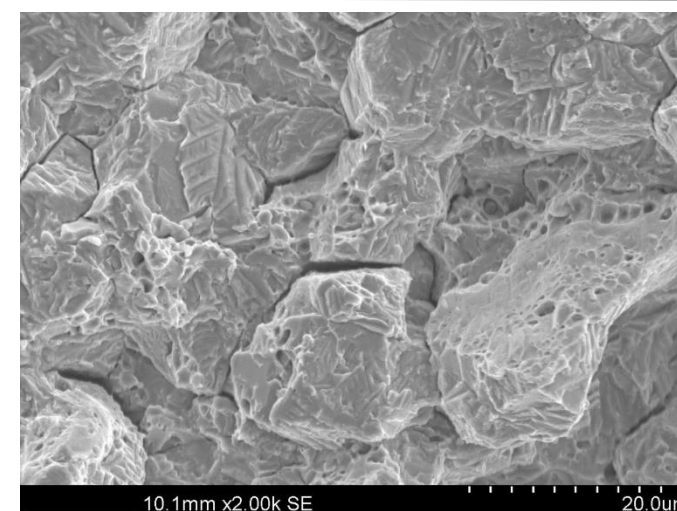
⑤部拡大

×70



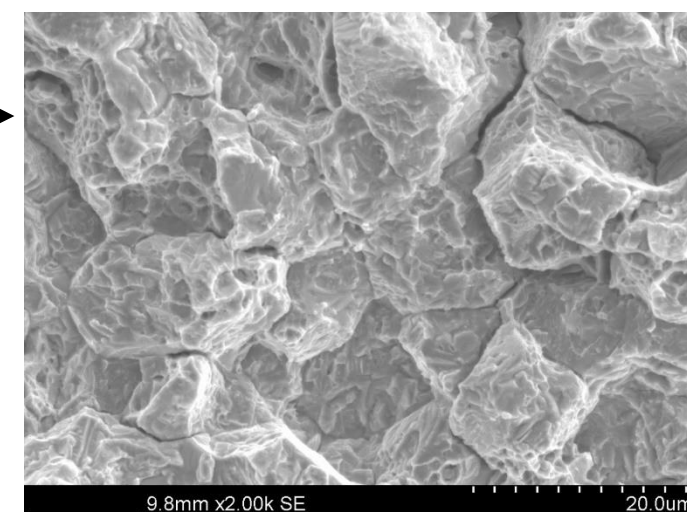
同左拡大

×350



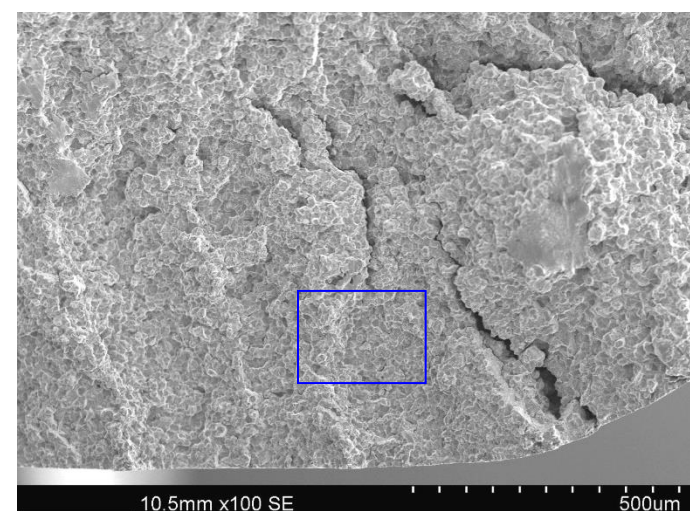
同左拡大

×1400



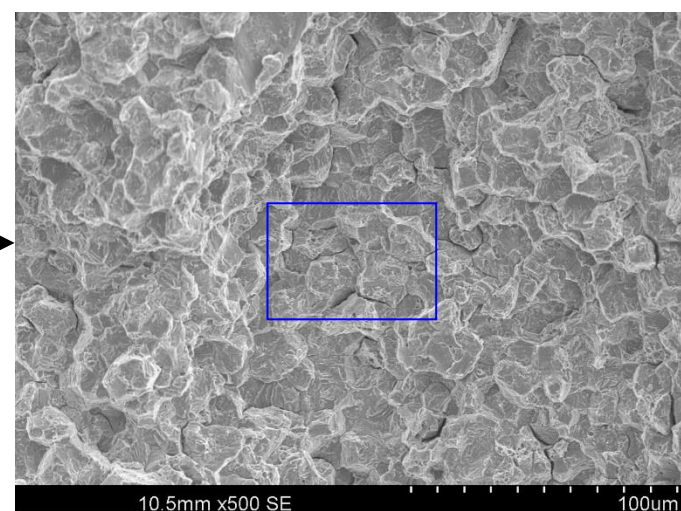
④-2 部拡大

×1400



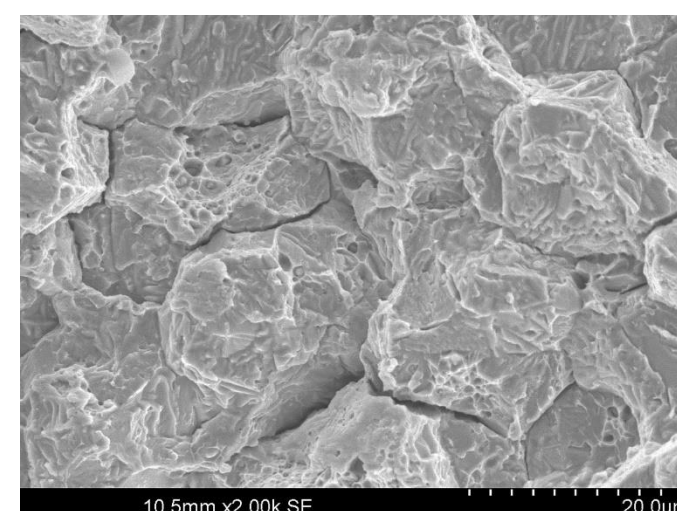
⑥部拡大

×70



同左拡大

×350



同左拡大

×1400

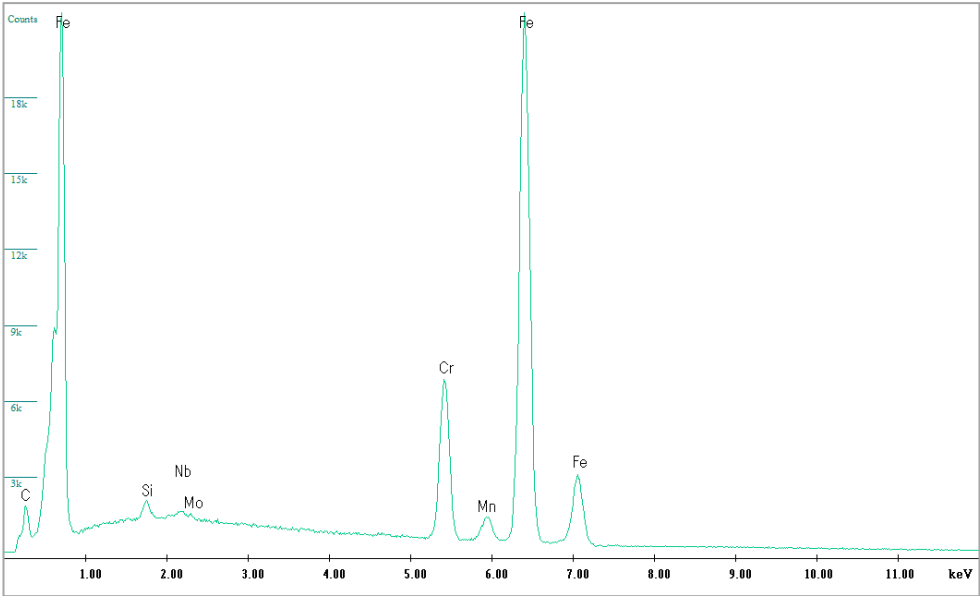
図 6 ミクロ破面観察（その 3）

- ・ 起点 2 から峰側の破面様相も、起点 1 の小刃側破面と同様に粒界または粒状の破面である。
- ・ 変色のあった④部（起点 2）では結晶粒の形が明瞭で粒面は滑らか、変色のない⑤部や⑥部では輪郭が不明瞭でディンプルが散見される。
- ・ また、⑥部は他に比べて破面凹凸が大きく、破面上に開口した割れが生じている。

- ・ 以上のことから、ハサミは、刃の裏側角部の 2 箇所を主起点として、その対角方向へと、き裂が進展し折損したと考えられる。



刃 表面の分析位置



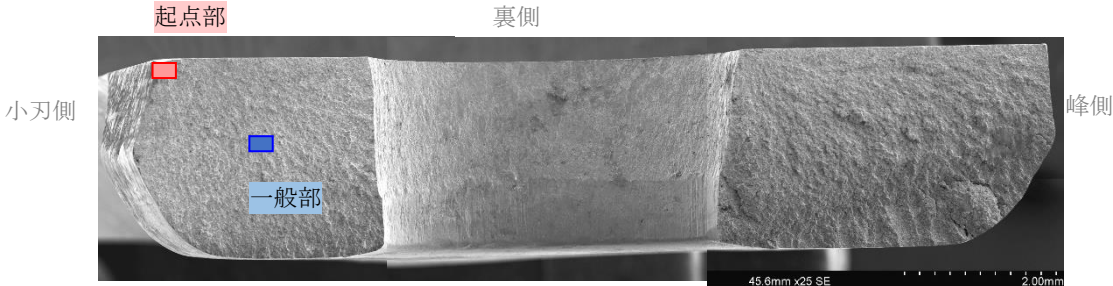
刃表面の定性スペクトル

半定量値								(wt%)
元素	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Nb
刃 表面	*	0.5	0.7	-	-	13.8	0.1	0.6
SUS420J2 JIS 規格値	0.26 ～0.40	≦ 1.00	≦ 1.00	≦ 0.040	≦ 0.015	12.00 ～14.00	-	-

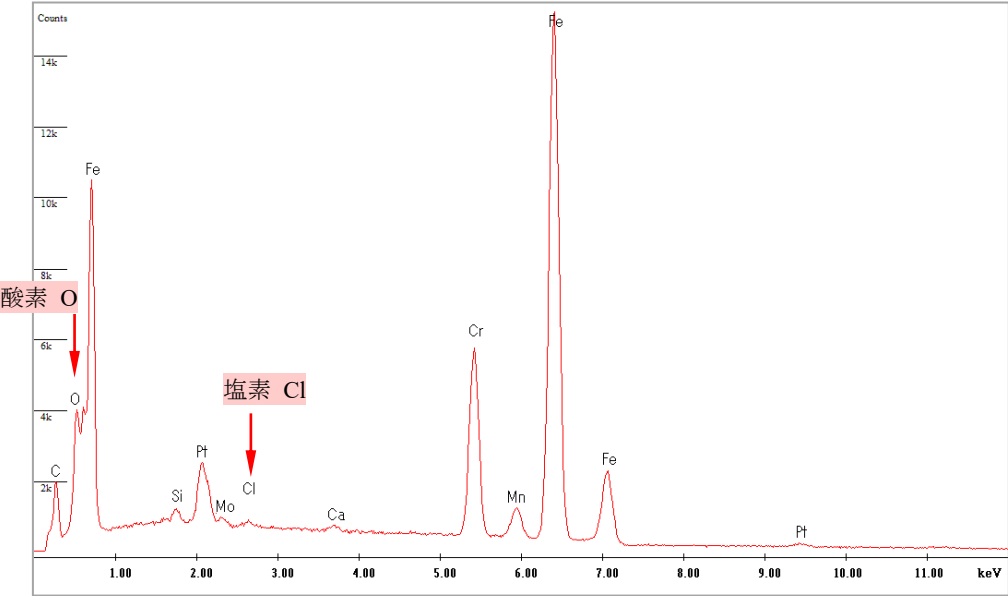
*軽元素のため精度が低く、半定量分析の対象外

- ・破面の変色原因を探る為、破面についてエネルギー分散型 X 線分光法（EDS）にて成分分析を行った。
- ・破面の分析に先立って、材料確認の為、刃の表面について分析した結果、主成分として Fe のピーク、その他に Si,Mn,Cr,Mo,Nb が認められる。
- ・これら検出元素の半定量値（およその含有比率）は上表の通りであり、ハサミの材料は、マルテンサイト系ステンレス鋼とみられる。なお、マルテンサイト系ステンレス鋼は、焼入れ性があり、低合金鋼に比べると耐食性が高く、刃物の材料としては一般的な鋼種の一つである。
- ・破面の変色部と一般部について分析・比較した結果、変色部では一般部がない O が認められ、変色は錆び（鉄の酸化物）であると推測される。
- ・また、極わずかに Cl, Ca が検出されている。Cl は腐食性元素であり、変色に関与した可能性が考えられる。

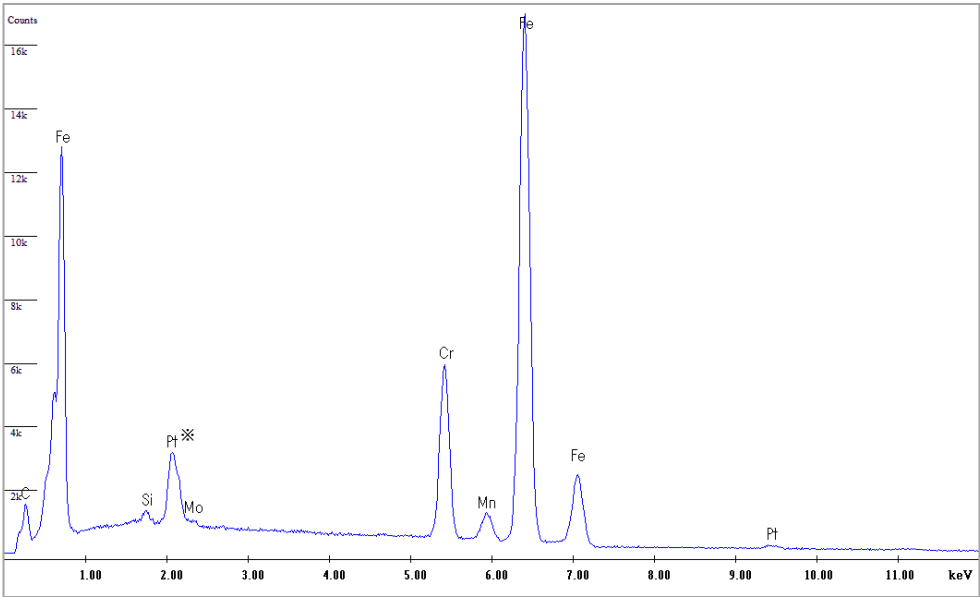
図 7 破面および表面の EDS 定性分析



破面の分析位置

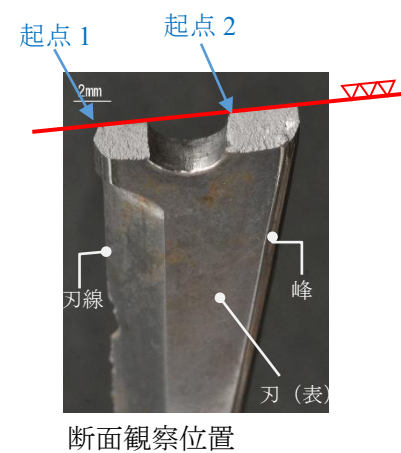


破面 起点部（変色部）の定性スペクトル

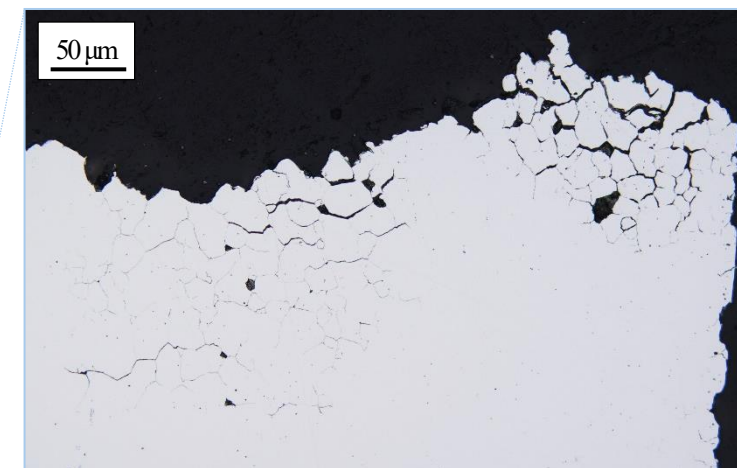


破面 一般部の定性スペクトル

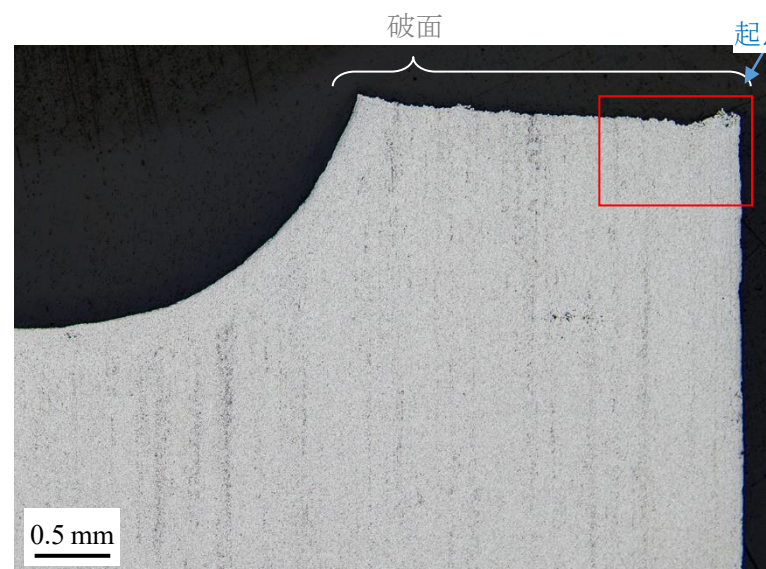
※Pt は破面 SEM 観察時に通電をとる為の蒸着元素



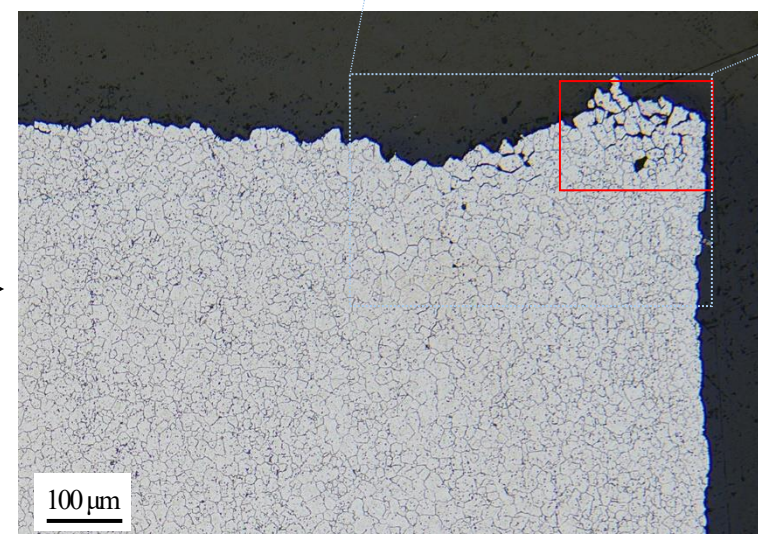
- ・組織性状を確認する為、折損部の断面を観察した。
- ・折損部には顕著な変形はなく、刃や穴の表面と、ほぼ垂直方向に折損している。
- ・起点 1 を拡大すると、エッチング前の状態でも粒界割れが認められる。割れは、破面に沿った方向のみでなく、多方向に発生している。
- ・ミクロ組織観察のためエッチングを行うと、粒界が明瞭に現出し、粒内には薄っすらと針状組織が認められ、極微細な球状の化合物も散見される。焼入れによるマルテンサイト組織と微細炭化物と推測される。
- ・通常の組織が不明の為、良否の判断はできないが、粒界の現出状況からすると、結晶粒界が腐食されやすい材料と推測される。
- ・起点 2 の近傍でも、起点 1 と同様に多方向の粒界割れが認められる。割れは、折損部直近だけでなく、かしめ穴表層に沿って発生している。



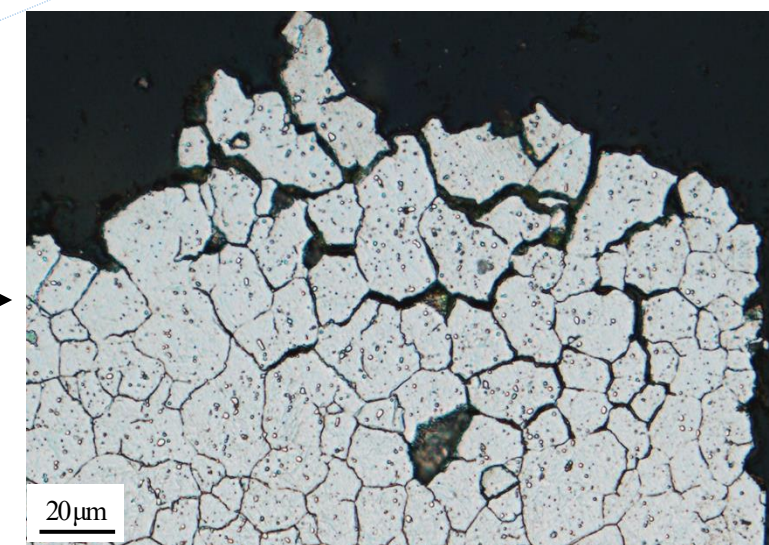
×200



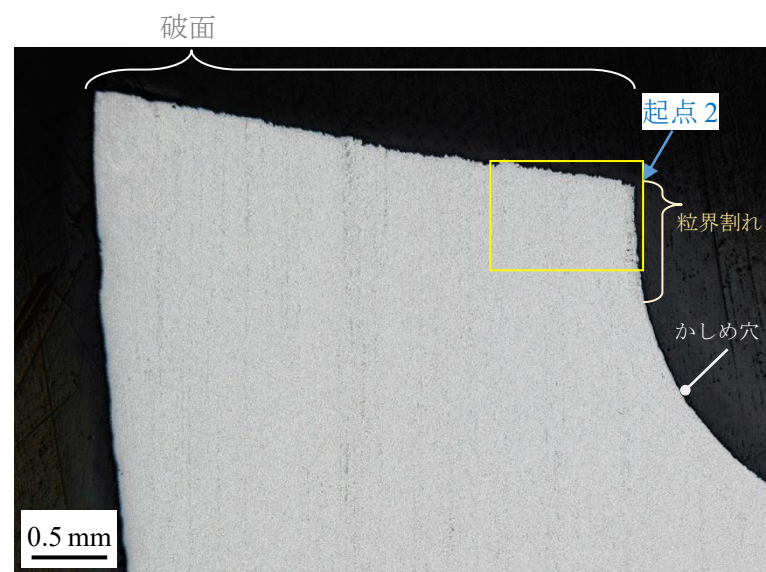
×20



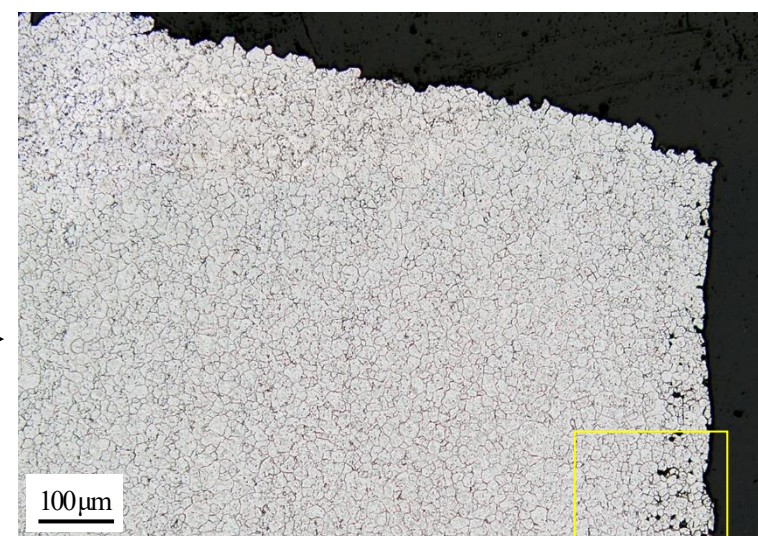
×100



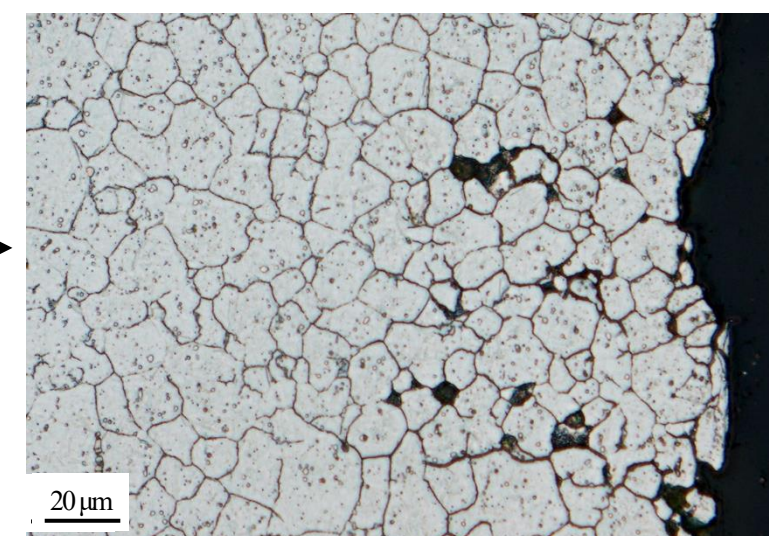
×500



×20

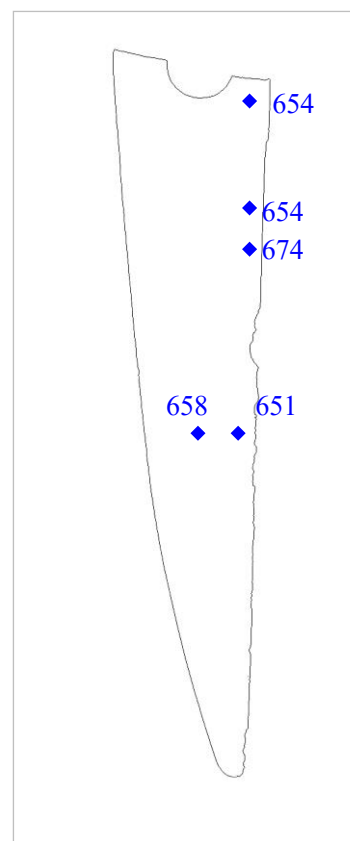
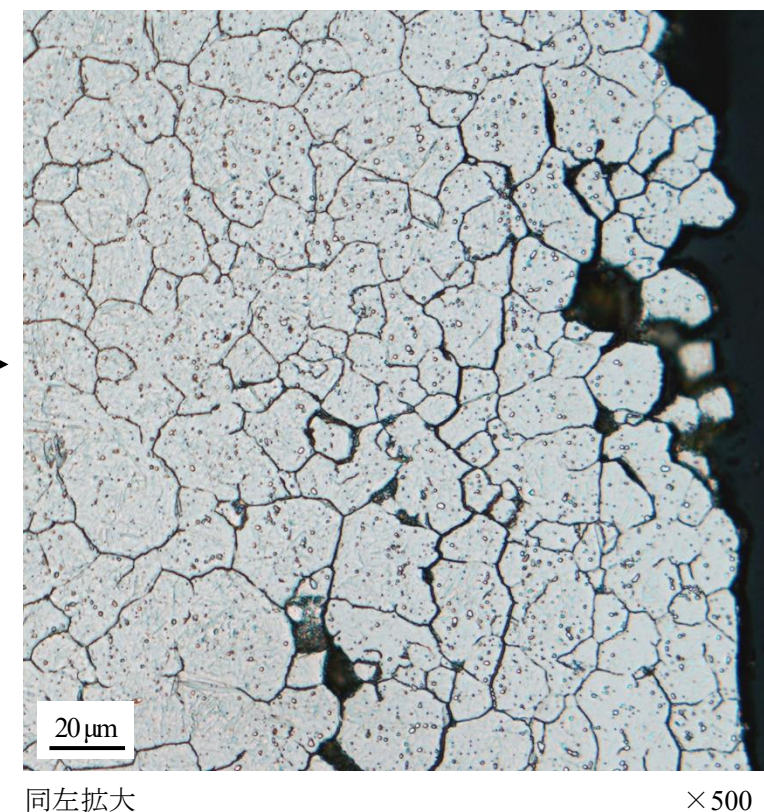
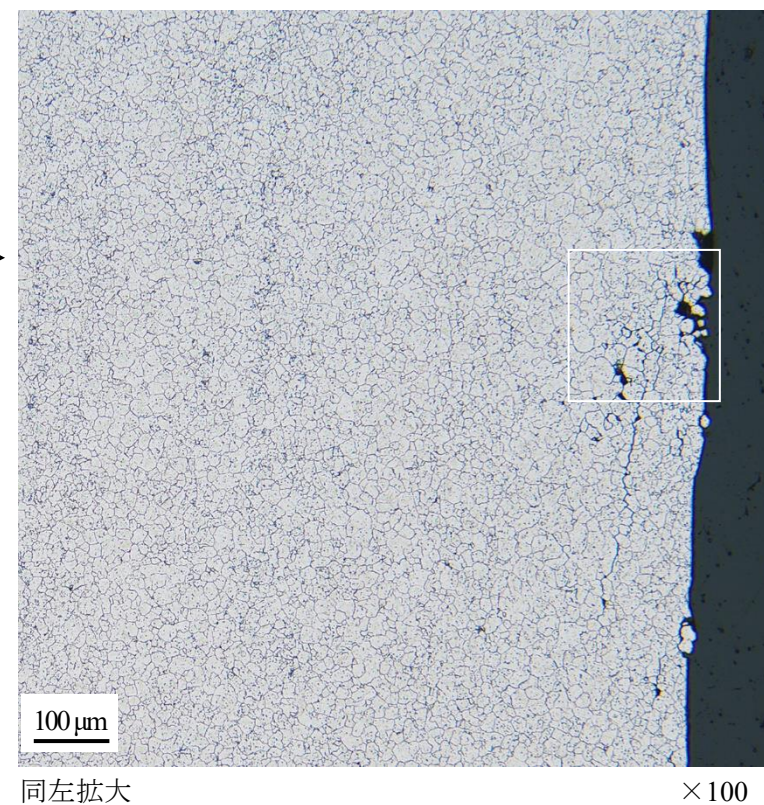
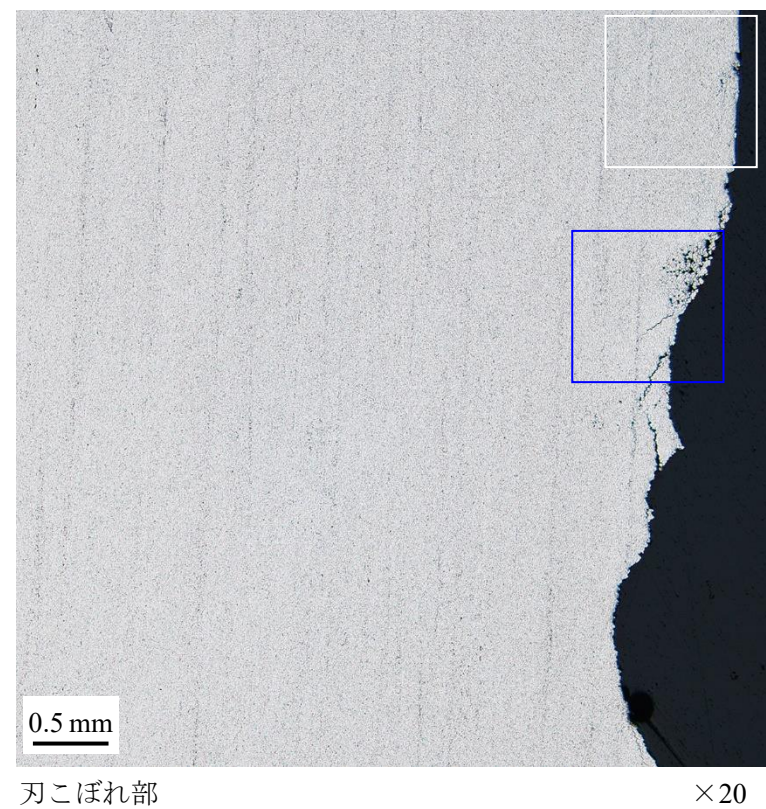
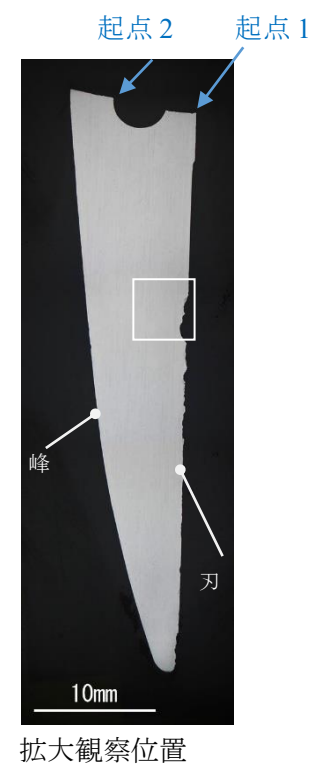


×100



×500

図 8 断面組織観察（起点部）



ビッカース硬さ試験結果
[硬さ記号 HV0.5 試験力 4.903 N]

- ・刃こぼれのあった部分についても観察すると、起点と同様に粒界割れが認められる。
- ・割れは表面近傍では多方向であるが、深く進展した部分では斜め方向へと優先的に進んでいる。
- ・ミクロ組織は、刃元である折損部と同様であり、焼入れ処理は全体になされているとみられる。

- ・これらの断面状況からすると、ハサミの表面には、微細な粒界割れが多数発生しており、それらのうち使用による負荷が大きい部分では、割れが深くまで進展したと推測される。

- ・ビッカース硬さは、651～674HV であり、折損部と他の部分はほぼ同等である。
- ・基準値が不明であるが、一般的なハサミの硬さはロックウェル硬さ 60HRC 前後（ビッカースに換算して約 700HV）とされており、異常ない範囲と考えられる。

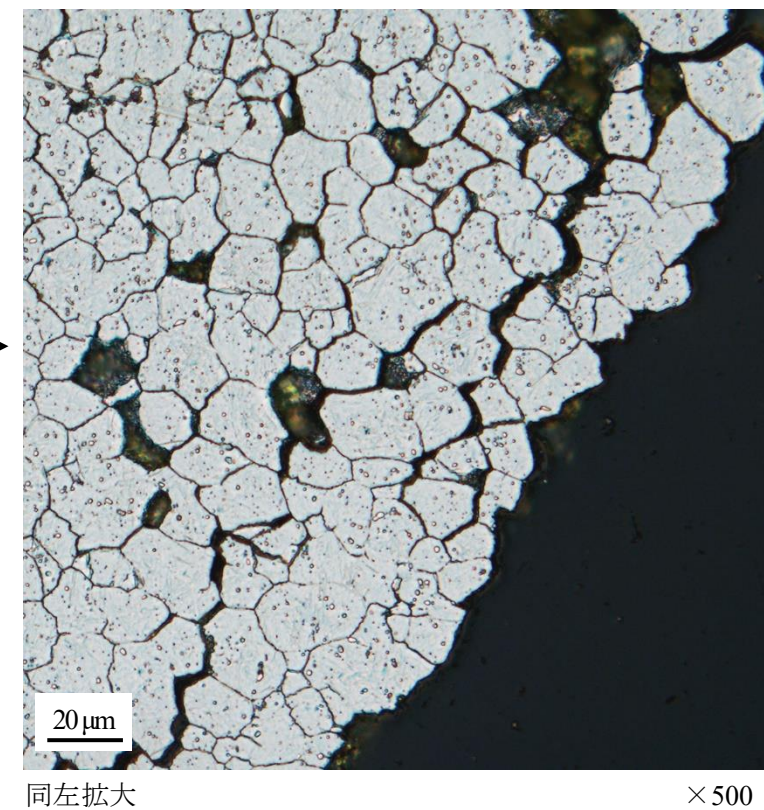
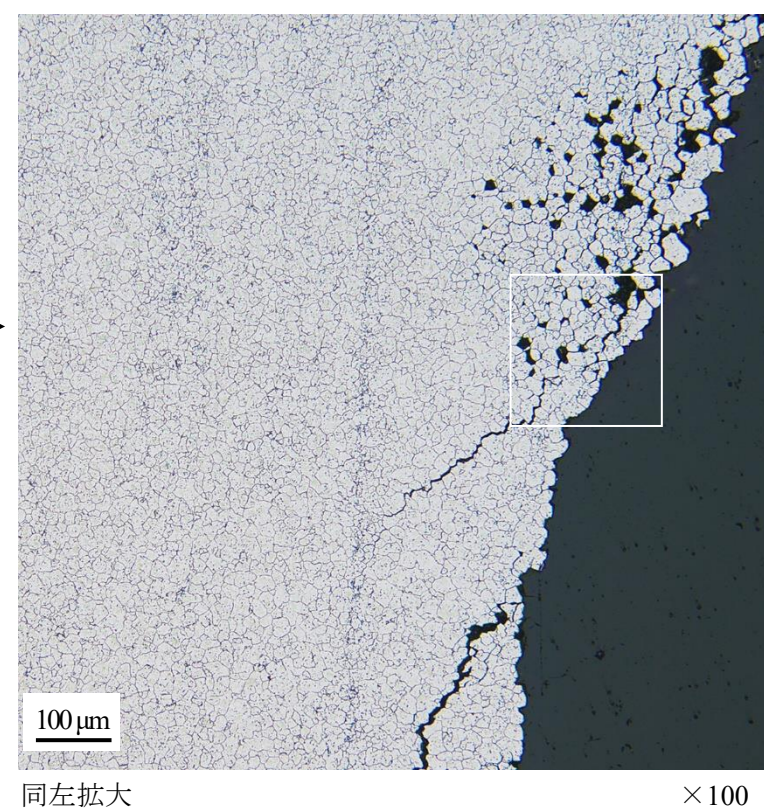


図 9 断面組織観察（刃部）およびビッカース硬さ