

響灘風力発電所 調速装置破損事故の原因及び対策について

1. 響灘風力発電所と事故の概要

(1) サイトの概要

- 所在地 福岡県北九州市若松区向洋町10番地の12(図1参照) ・総出力 15,000kW(1,500kW×10基)
- 運転開始 2003年(平成15年)3月



図1 位置図

(2) 風力発電設備の概要

- 風車メーカー GE Wind Energy社 ・風車型式 TW1.5s(現在1.5s)
- 回転数 11~20min⁻¹(可変速)

(3) 事故の概要

- 発生日時 2014年3月14日(金) 15時00分
- 状況 風車10号機ハブ内部ブレード1用ピッチギアのピニオンギアが脱落下し風車自動停止。

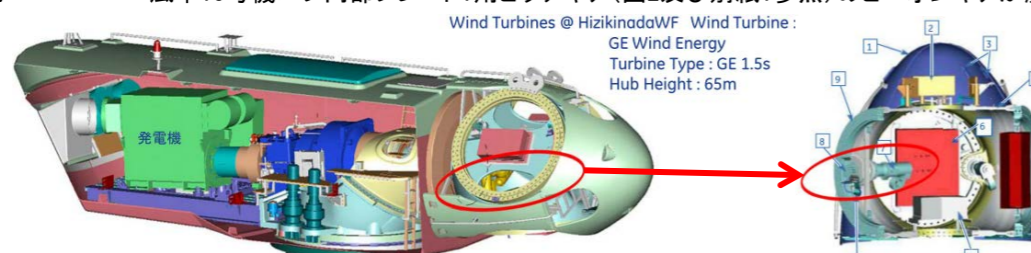


図2 ピッチギア

2. 事故時の状況

- (1) 気象/風況 晴れ/北西の風約12m/s
- (2) 風車状況
 - 15:00:42 風車10号機出力1,500kWで運転中、ブレード1の角度90° オーバーランにより停止。(ピニオンギアが脱落したためブレードがフリーの状態となり、角度90° 側に動きリミットスイッチが動作した。)
 - 15:00:55 ブレード2及びブレード3の角度が83° (フェザーリングポジション)へ動作。
 - 15:01:25 ロータブレーキ動作(通常ブレーキ)にて風車停止。

3. 事故状況調査

(1) 現場調査

- ① 脱落したピニオンギアがブレード3プラットフォームに見られた。ピニオンギア自体には異常な傷は見られなかった。(写真1)
- ② ピニオンギア脱落したことにより、漏れたギアオイルがハブ内に見られた。(写真2) その他ハブ内部に外見上の損傷なし。

(2) ピニオンギア調査

- ① 脱落したピニオンギアは長さ:420mm、幅70~210mm、重量:38kgで、ギア部に破損、異常は見られなかった。
- ② シャフトを固定しているボルト3本が折れていた。また、3本中1本。(ボルト1)が手で緩む状態であった。(写真3)
- ③ 折損したボルトは、六角穴付ボルトM12×35、ボルトに10.9の刻印(日本ではJISB1051の強度区分10.9に相当)。折損箇所は3本ともボルト頭の根元であった。(写真4)



写真1 脱落したピニオンギア



写真2 ハブ内部状況



写真3



写真4

4. ボルト分析結果

(1) ボルト化学分析結果

ボルトの化学成分は表1の通りJISB1051の強度区分10.9のボルトで規定されている範囲内であった。

表1 ボルト化学分析結果

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	B
分析結果	0.24	0.11	0.91	0.010	0.005	0.02	0.31	0.01	0.003
JISB1051	0.20~0.55			≤0.035	≤0.035		≥0.30		≤0.003

(2) ボルト引張強さについて

ボルト硬さ測定(平均375HV0.5)からの引張強さ近似値換算(JIS鉄鋼HB)は1200MPa程度であった。(JIS規定の上限に近い値)

5. ボルト破断面調査結果

破断したボルトをピッチギアから取り出し、破断面の外観調査及び電子顕微鏡による破面観察、及びボルト1 に対してボルトネジ部の断面観察を行った結果、以下が判明した。

(1) 外観調査(写真5,6<何れもボルト3>及び別紙2参照)

- ① 破壊は3本とも首下のネジ底部を起点としている。
- ② 破面の様相は3本とも同様であり、平面的でなめらかな部分と立った部分(最終破断面)からなっている。
- ③ 破壊は軸方向に対して直角ではなく、ななめ(径方向に対し20°程度)に進展している。
- ④ 破壊起点側(破面写真下側)にはラチェットマーク(複数クラックの結合部段差)が見られる。
- ⑤ 最終破断面は擦られた状態(金属光沢)となっている。



写真5 破断ボルト外観

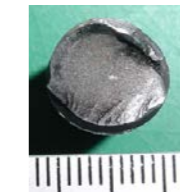


写真6 破断面外観

(2) 電子顕微鏡による破面観察(写真7<ボルト2>及び別紙3~6参照)

- ① 3本とも同様であり、粒界破壊と粒内破壊(羽毛状)が混在した破面を呈している。また、ストライエーションやリバーパターンは見られなかった。
- ② 最終破断面の立上り部も同様の破面であった。頂部は擦られているため観察不可であった。

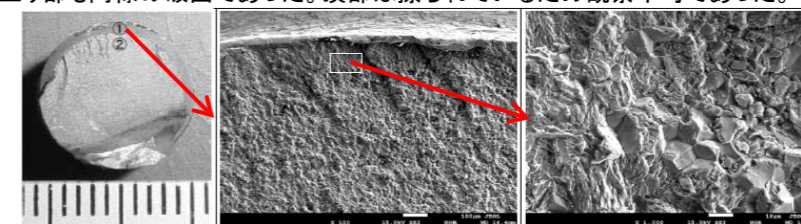


写真7 破面ミクロ(SEM)観察

(3) 光学顕微鏡によるネジ断面観察(写真8~9及び別紙7~9参照)

- ① マクロ組織の観察においてクラックが3か所発見された。
- ② クラックはボルト端から約8~10mmの範囲に発生している。
- ③ クラック1,2は両側のネジ底付近から別々に発生、進展しボルト径中央近傍で合体している。
- ④ クラック3は微細であるが、ねじ山の側面から発生している。

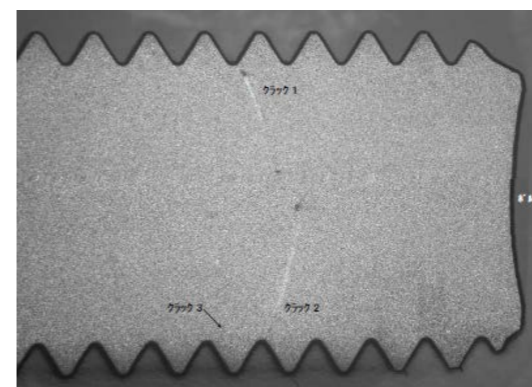


写真8 断面マクロ観察

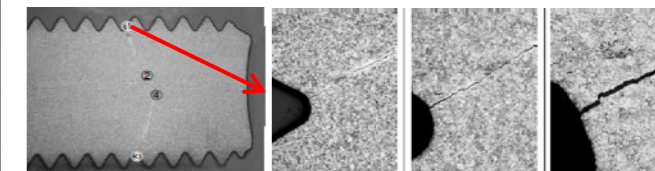


写真9 断面ミクロ観察(ネジ山底部)

6. 推定されるボルト破断形態

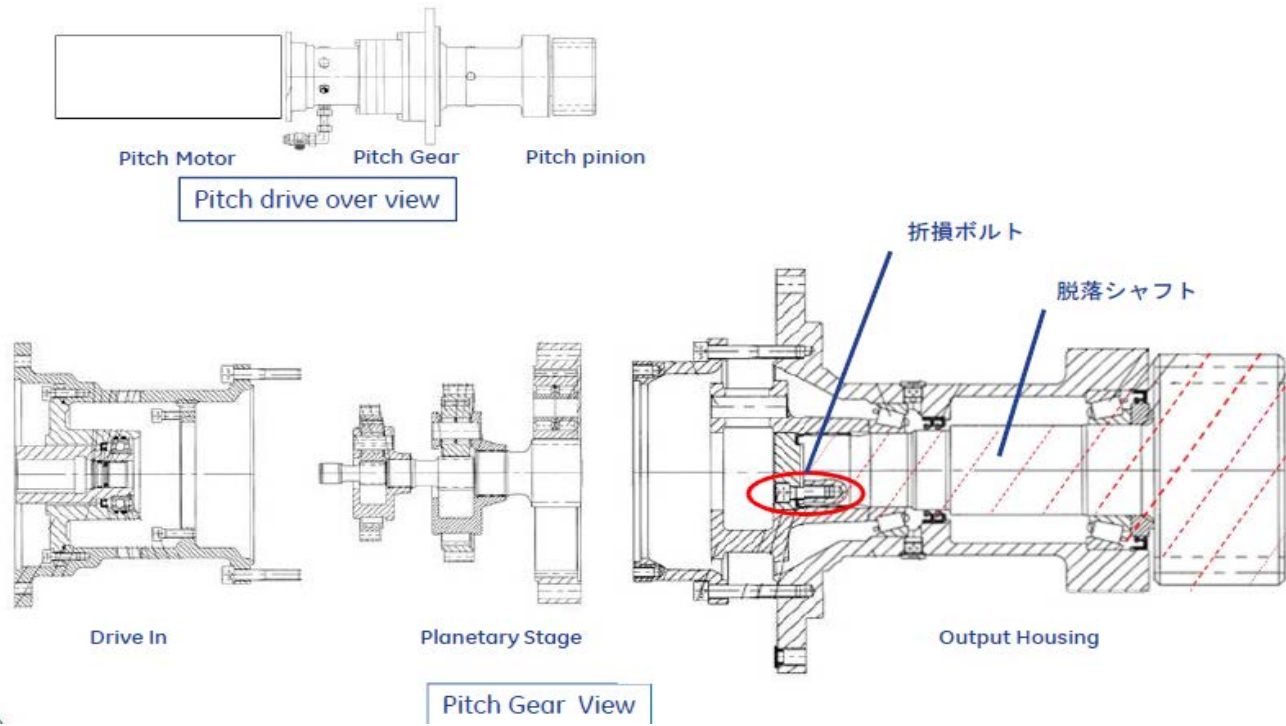
4. 項のボルト引張強さと5. 項のボルト破断面の調査結果より、今回のボルトの破断形態は水素脆化/遅れ破壊によるものと推定される。遅れ破壊は拡散性の水素原子が金属中に侵入・拡散し、結晶格子欠陥(転移)が多く存在する結晶粒界で水素分子となり、そのガス圧により粒界破壊する等メカニズムには諸説あるが、水素が何らかの形で関与し金属が脆化するものである。破面の特徴はマクロ観察(肉眼)では疲労破壊に酷似しているが(滑らか、ラチェットマーク)ミクロ観察(SEM)では、粒界破壊(遅れ破壊の特徴)及び羽毛状の粒内破壊(水素脆化の特徴)が見られた。最終破断面(立上がり部)は、遅れ破壊が進展しボルトの残存面積が小さくなり、負荷に耐えられなくなった時点で破断したものと考えられる。

7. 再発防止対策

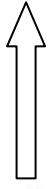
ピニオンギア部の脱落防止のため、ピッチギアメーカーが開発した脱落防止カバーを導入して調速機能の維持を図り、安全を担保する(別紙10)。また、水素脆化/遅れ破壊が発生した原因を材質及び使用環境の両面から検討し、その結果を踏まえて最終対策を検討する。

8. スケジュール(別紙10)

今後、脱落防止カバーを設置して設置が完了したのから順次試運転を開始する一方で、潤滑油分析及びNo.2, 3ピッチギアのボルトの分析を行った上で、水素脆化/遅れ破壊の発生原因と対策の検討を進める。



図A1 ピッチギア構造と折損ボルト位置



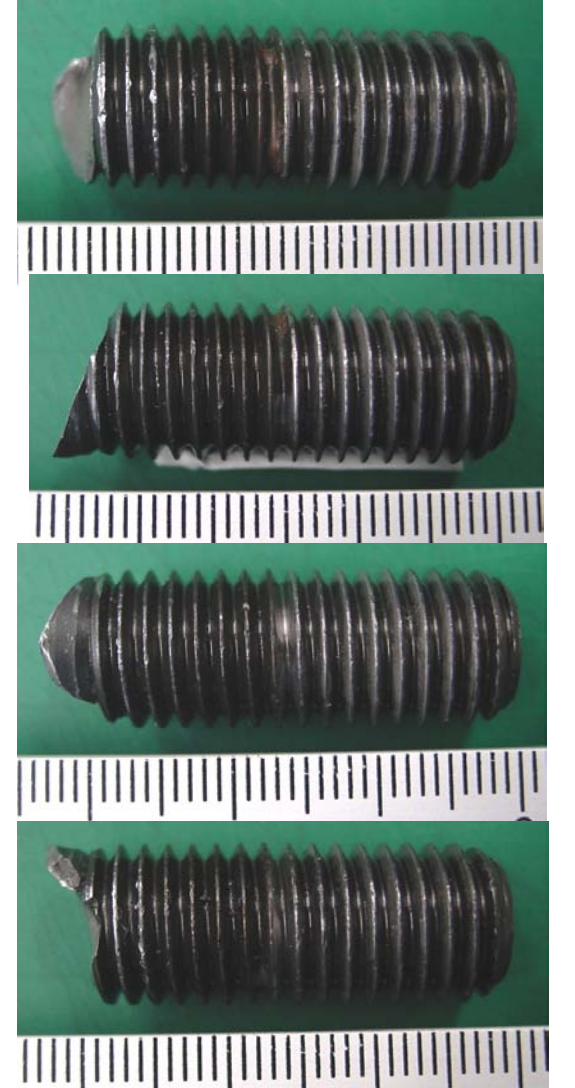
脱落シャフト&ピニオンア



ボルト 1



ボルト 2

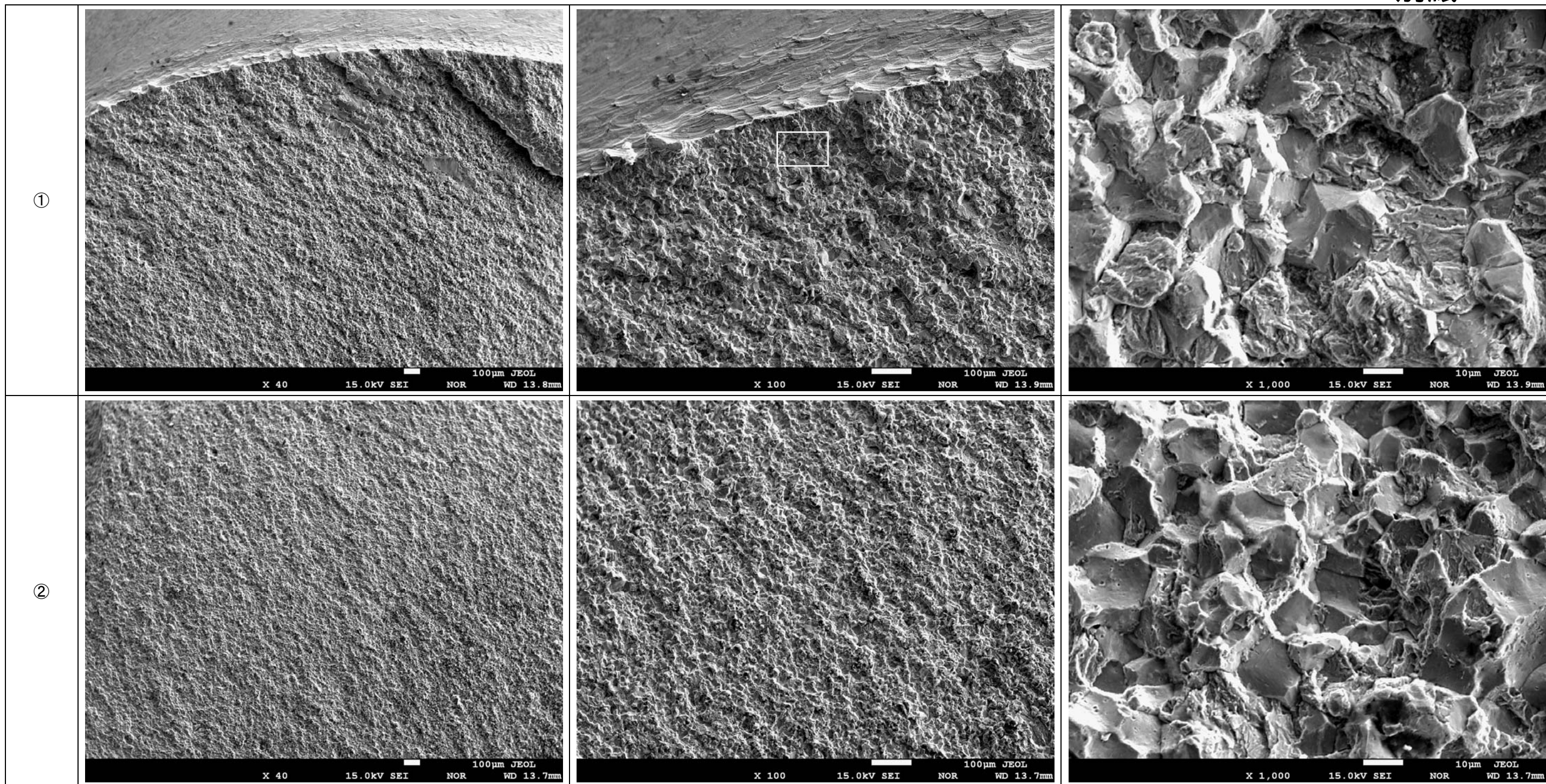


ボルト 3

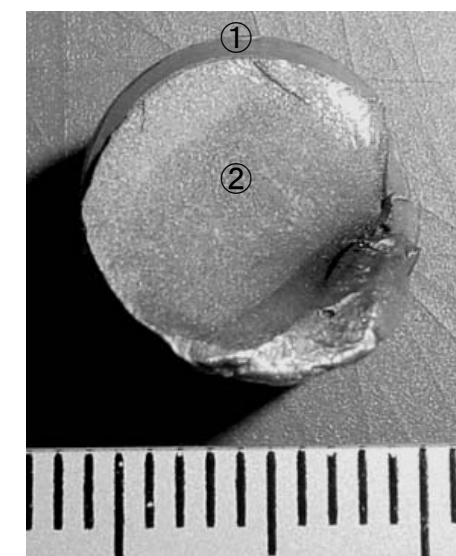
本紙写真6

本紙写真5

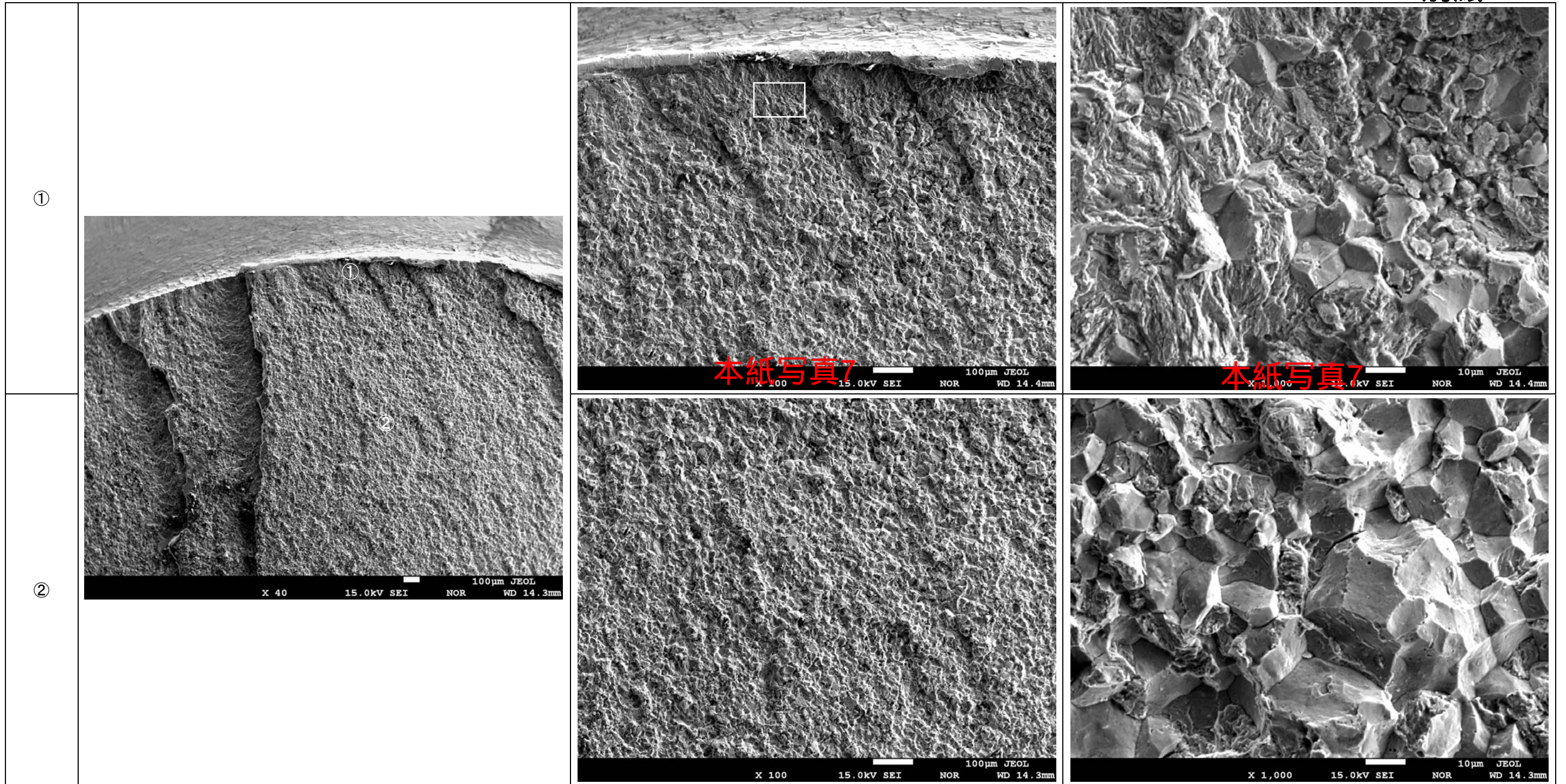
写真A1. 破断ボルト外観



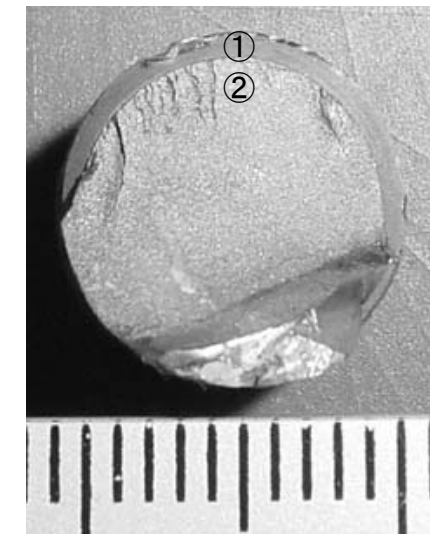
写真A2. 破面 SEM - ボルト 1



(破面洗浄後)

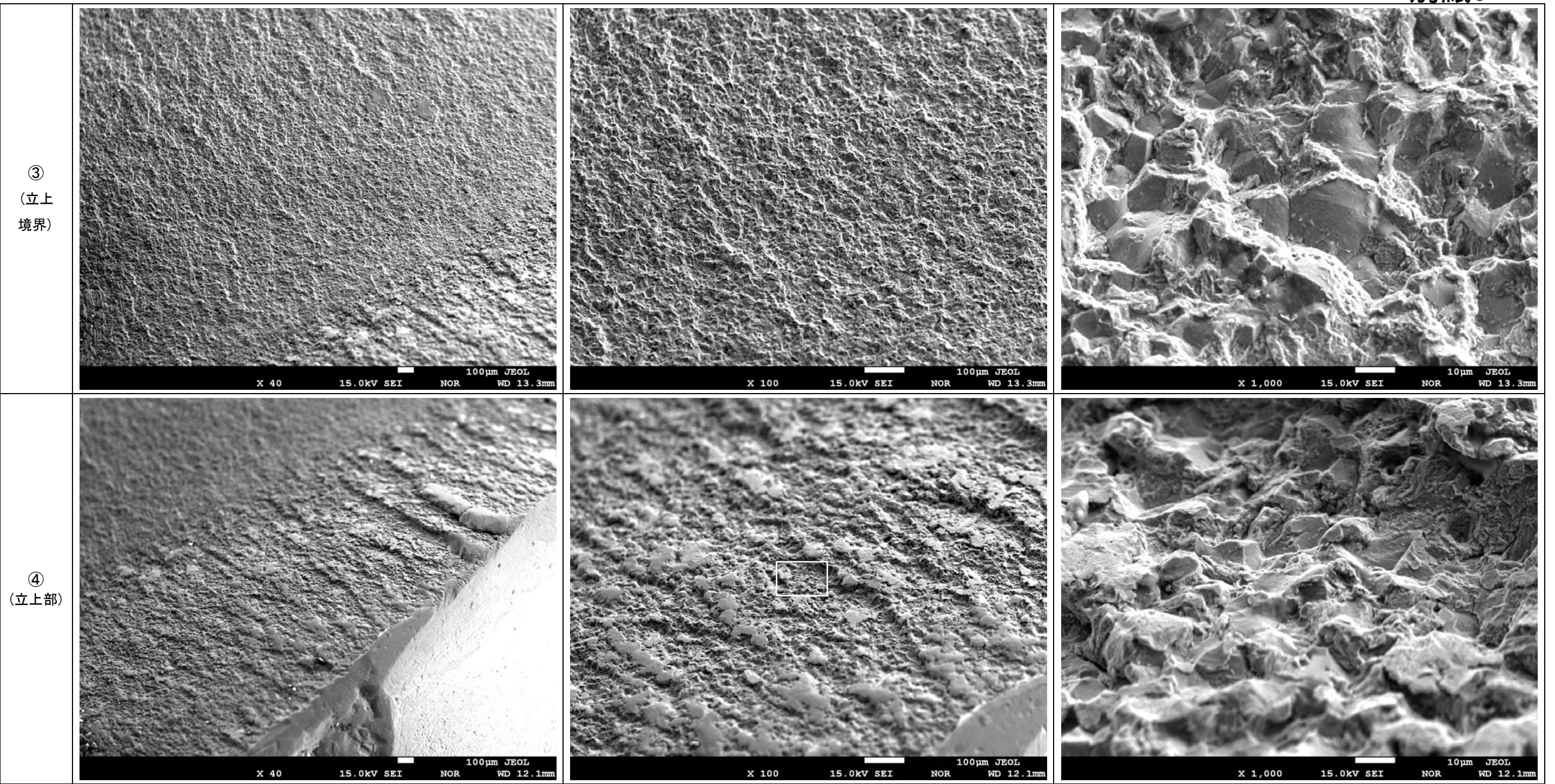


写真A3. 破面 SEM - ボルト 2-1

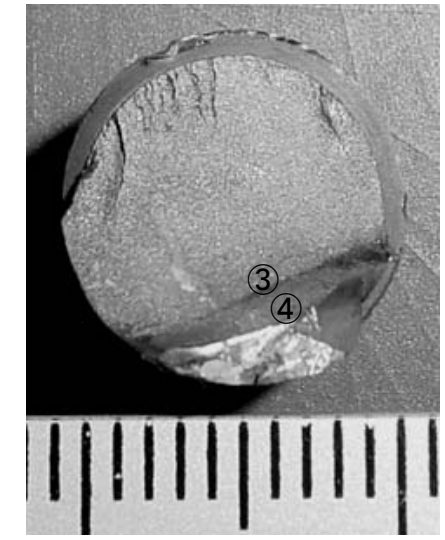


(破面洗浄後)

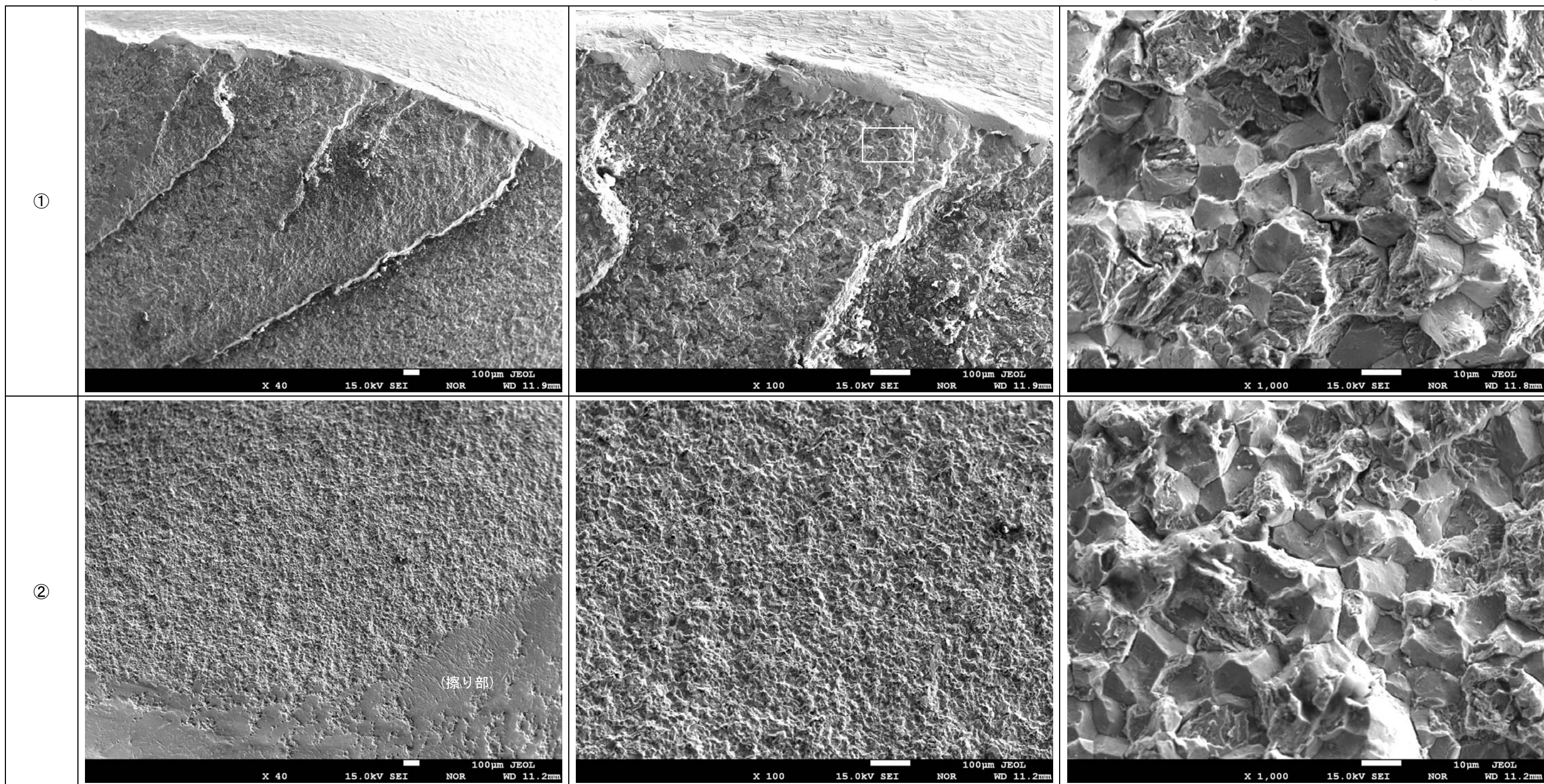
本紙写真7



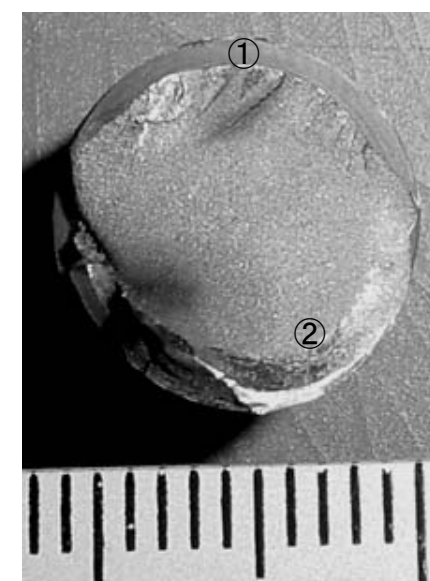
写真A4. 破面 SEM - ボルト 2-2



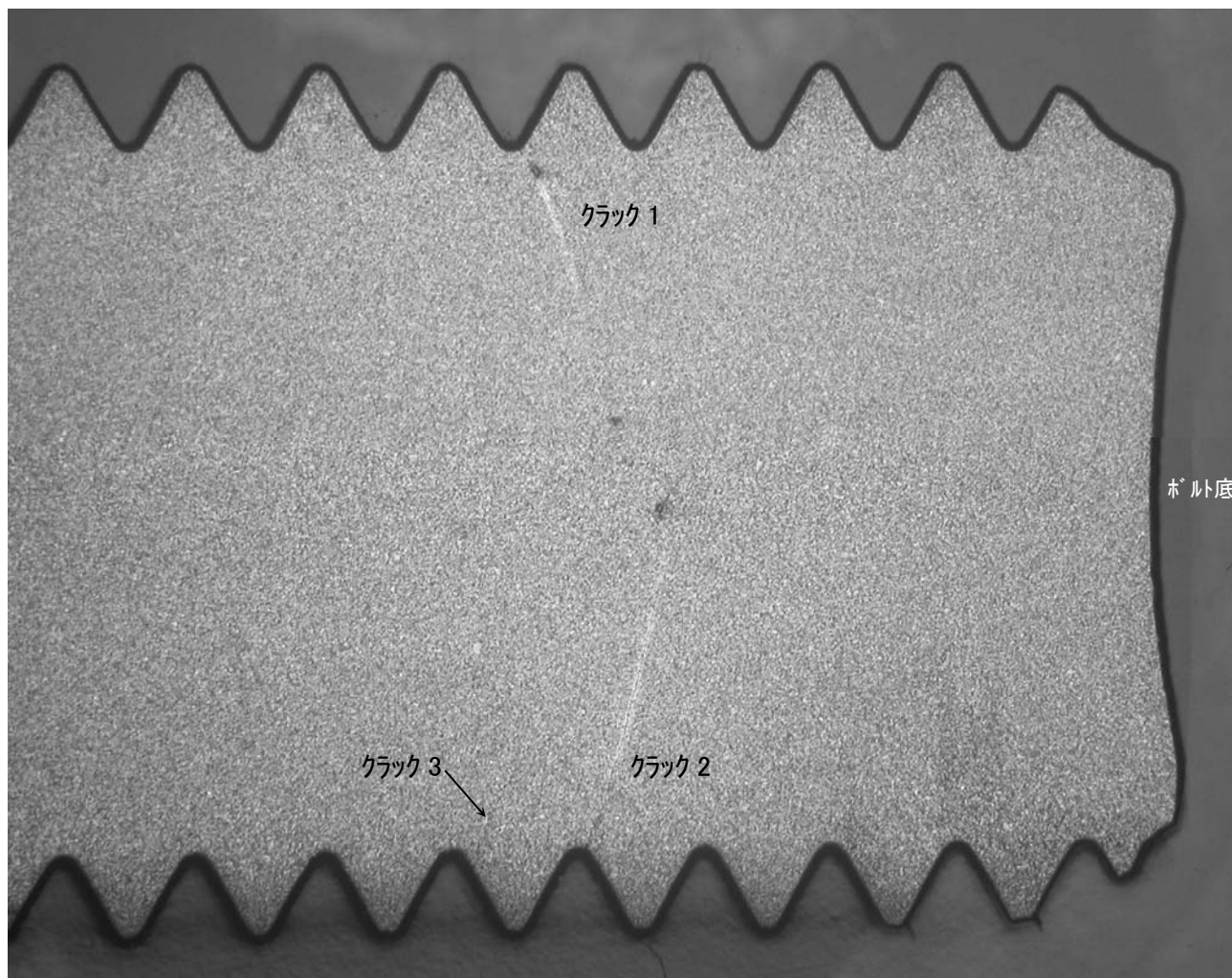
(破面洗浄後)



写真A5. 破面 SEM - ボルト 3



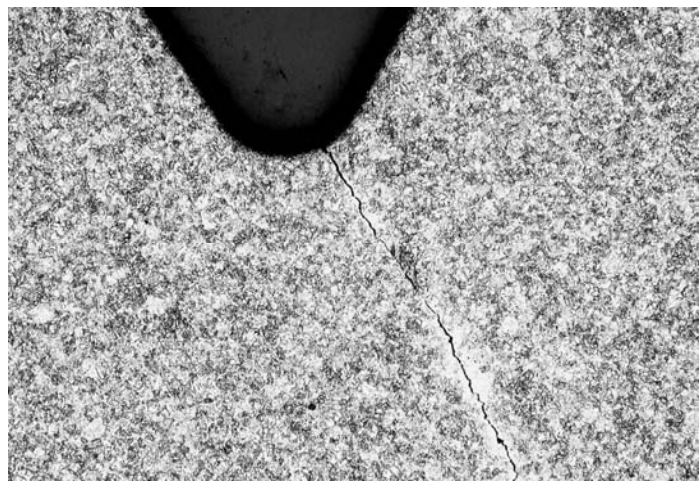
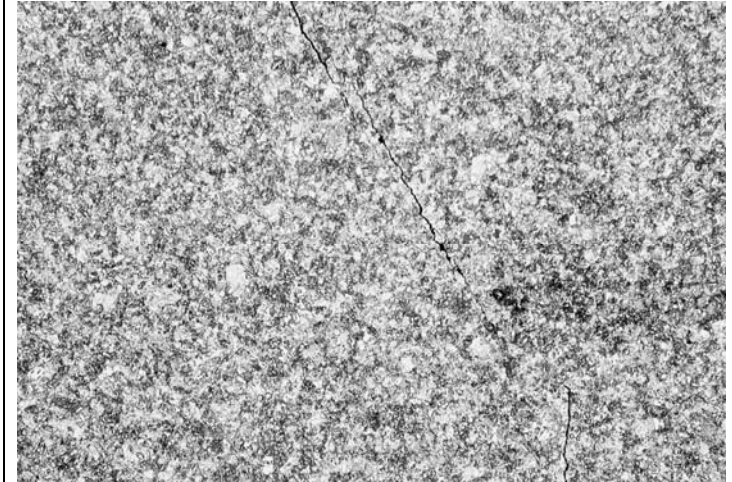

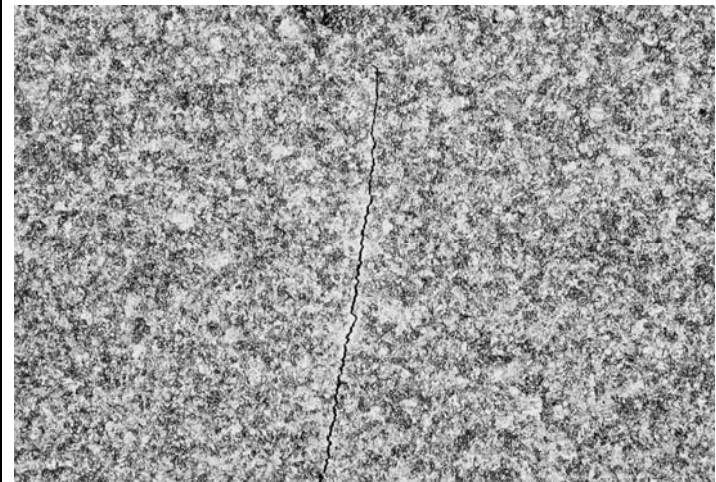
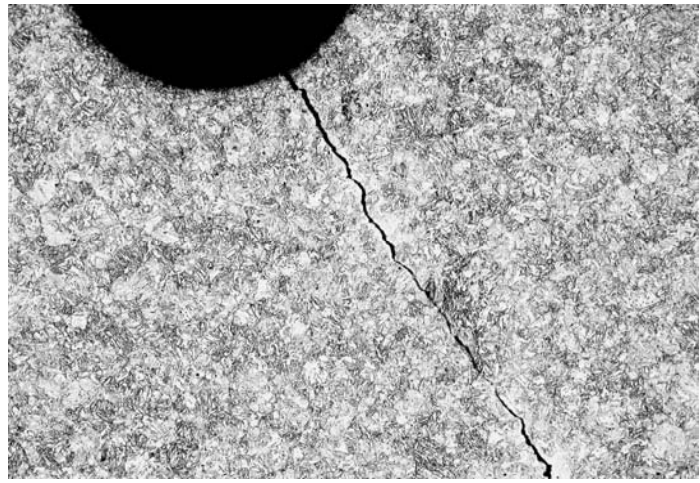

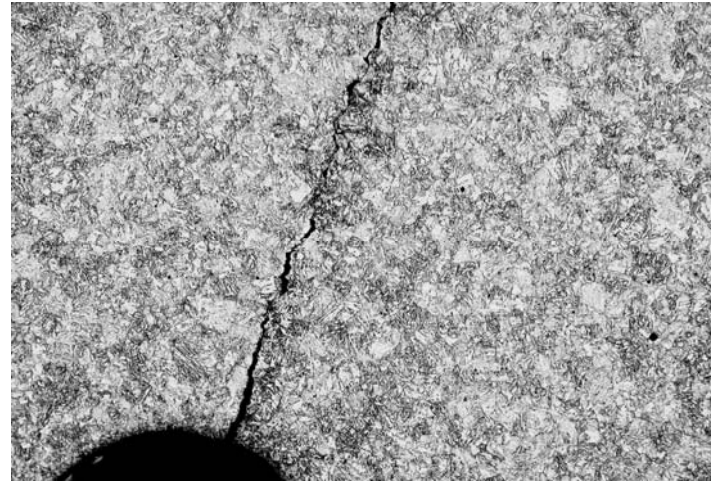
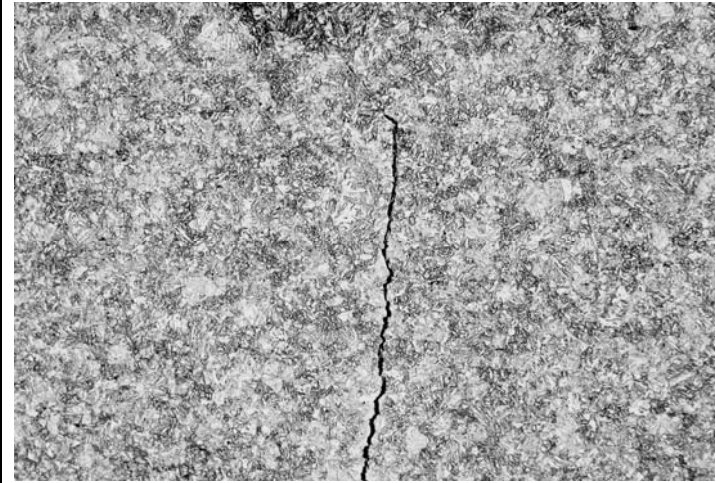
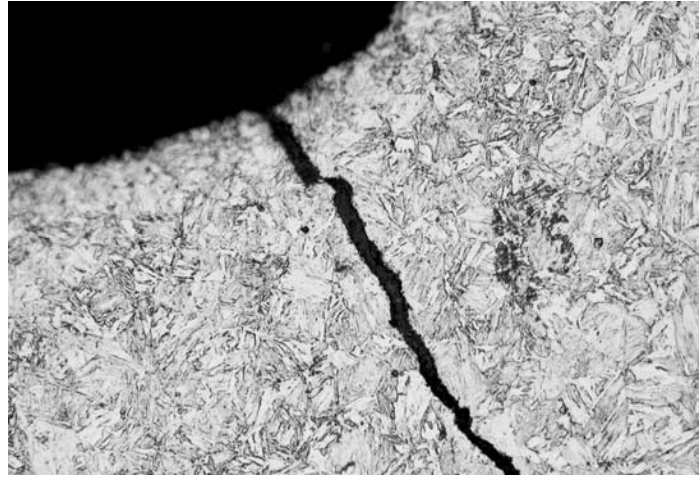
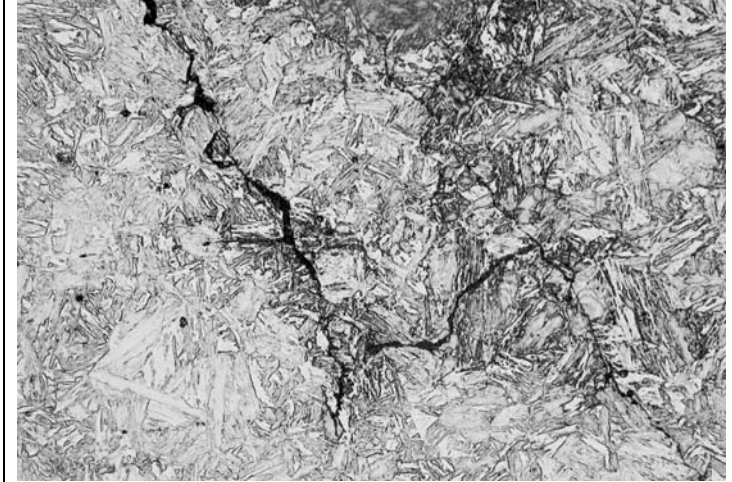
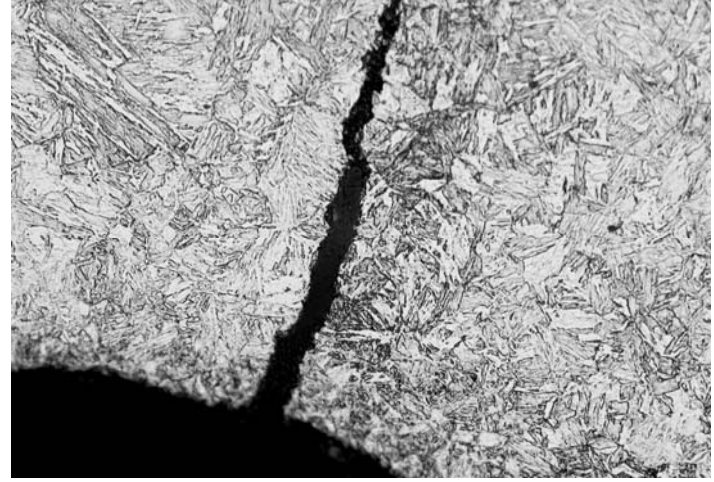
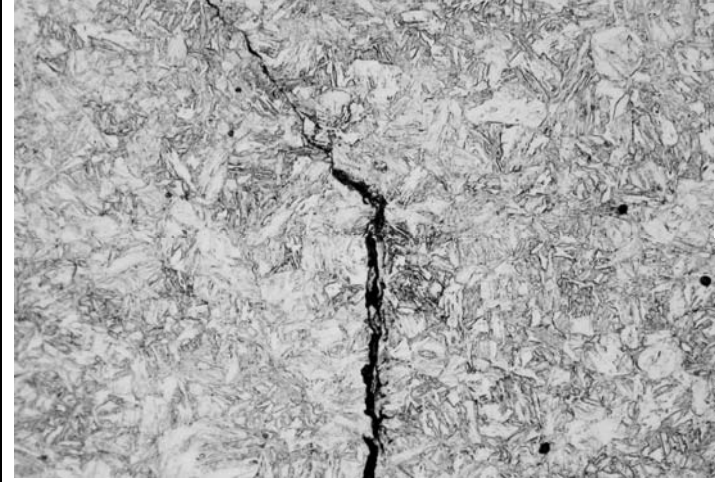
(破面洗浄後)



本紙写真8

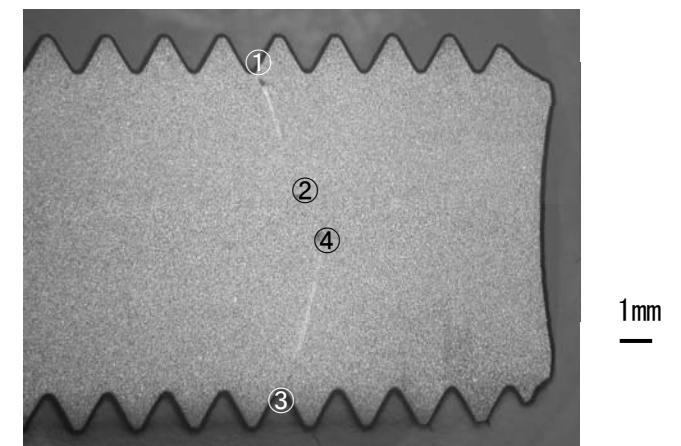
1mm

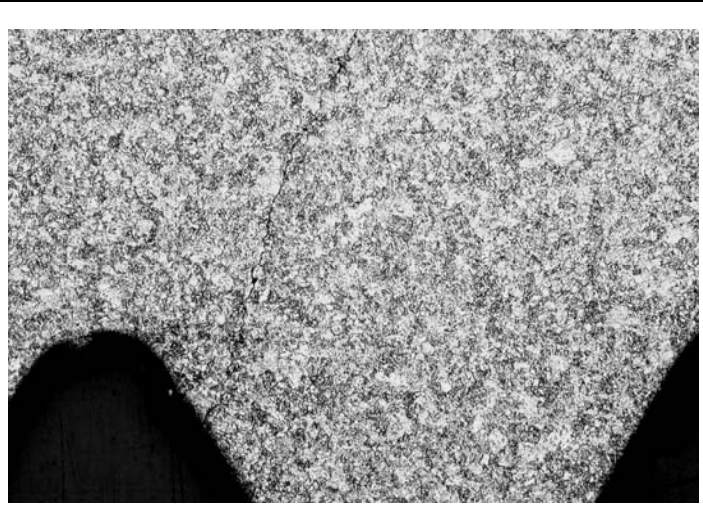
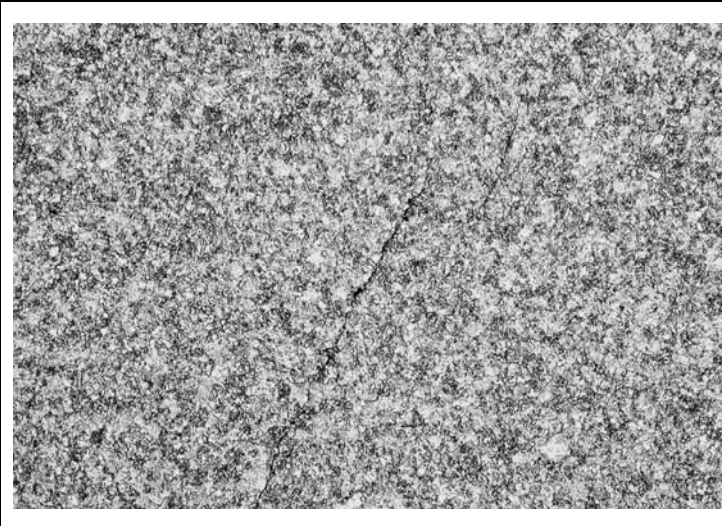
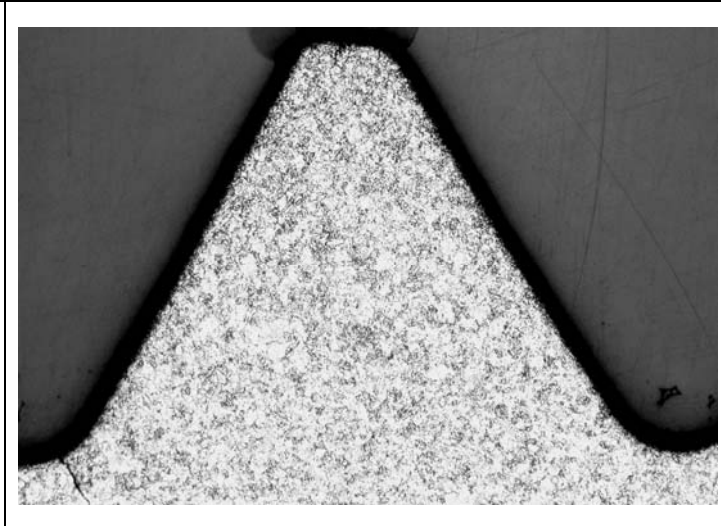
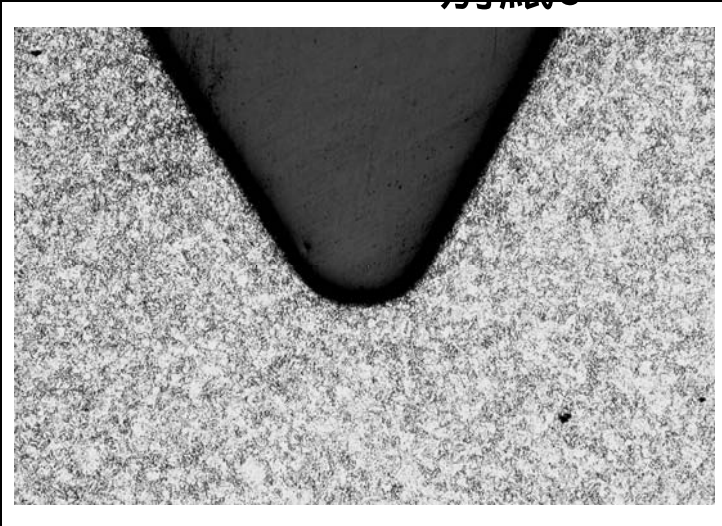
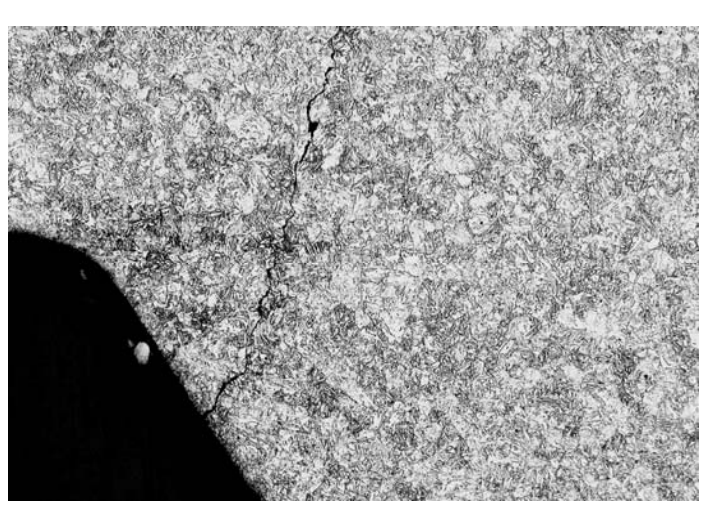
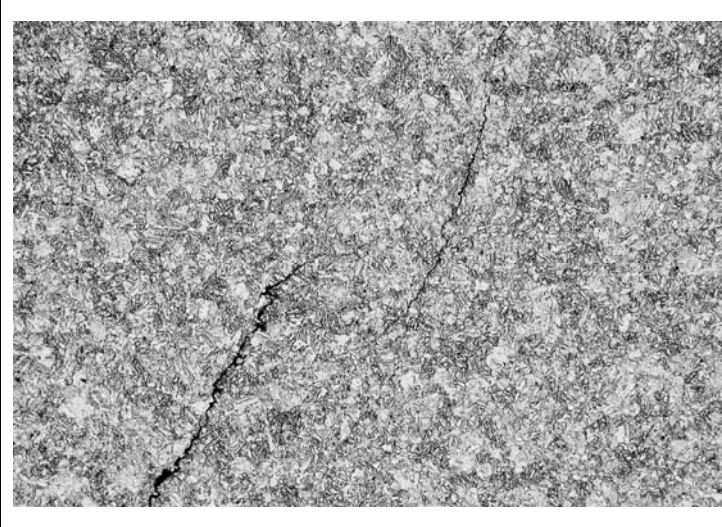
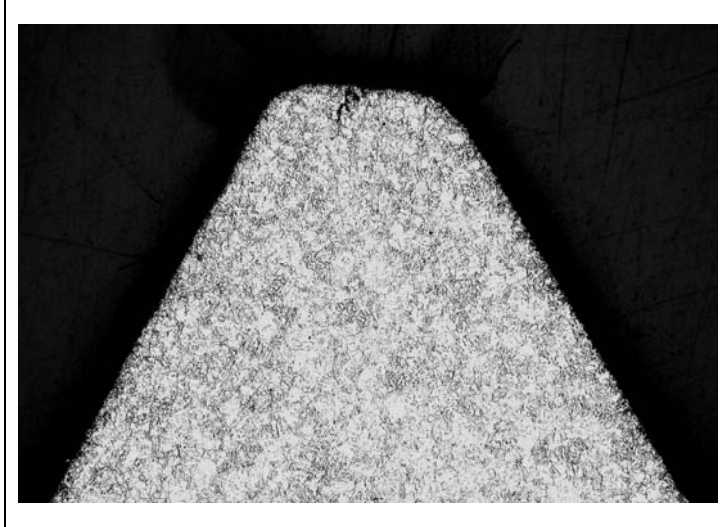
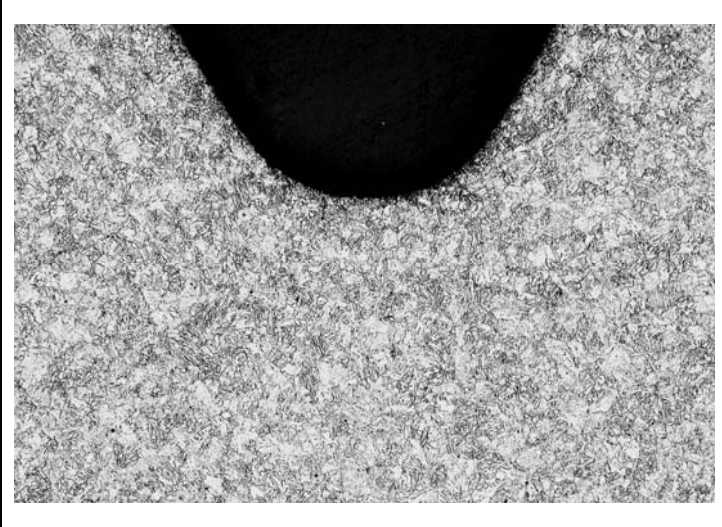
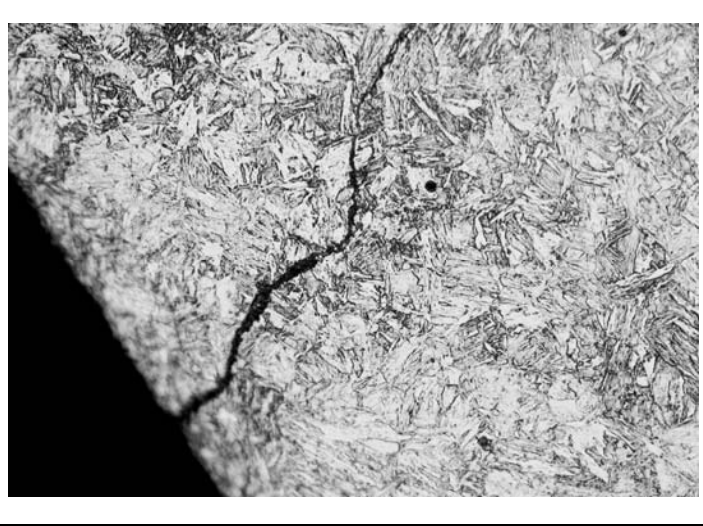
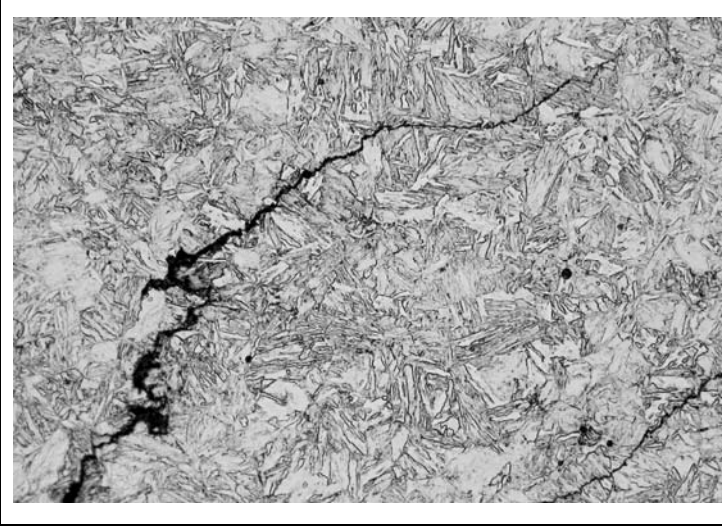
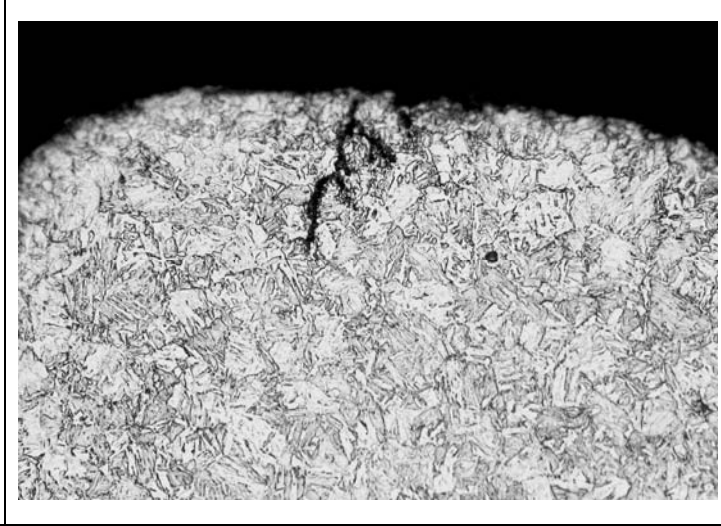

写真A6. 断面マクロ組織(ボルト1)

<p>× 50 200 μm</p>				
<p>× 100 100 μm</p>				
<p>× 400 25 μm</p>				
	<p>①クラック 1 (歯底起点)</p>	<p>②クラック 1 (終端近傍)</p>	<p>③クラック 2 (歯底起点)</p>	<p>④クラック 2 (終端近傍)</p>

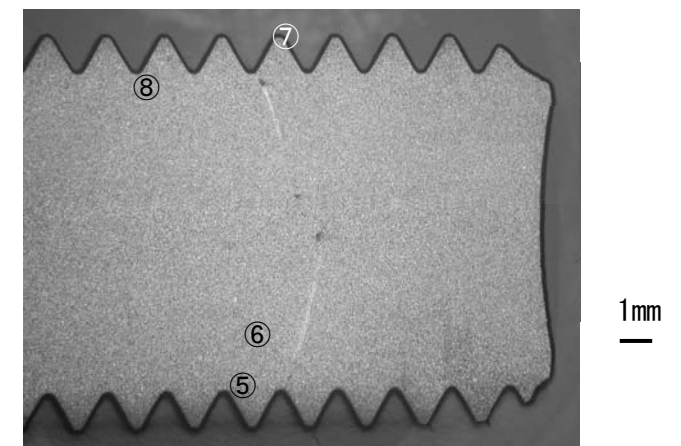
本紙写真9

写真A7. 断面ミクロ組織 (ボルト 1)-1



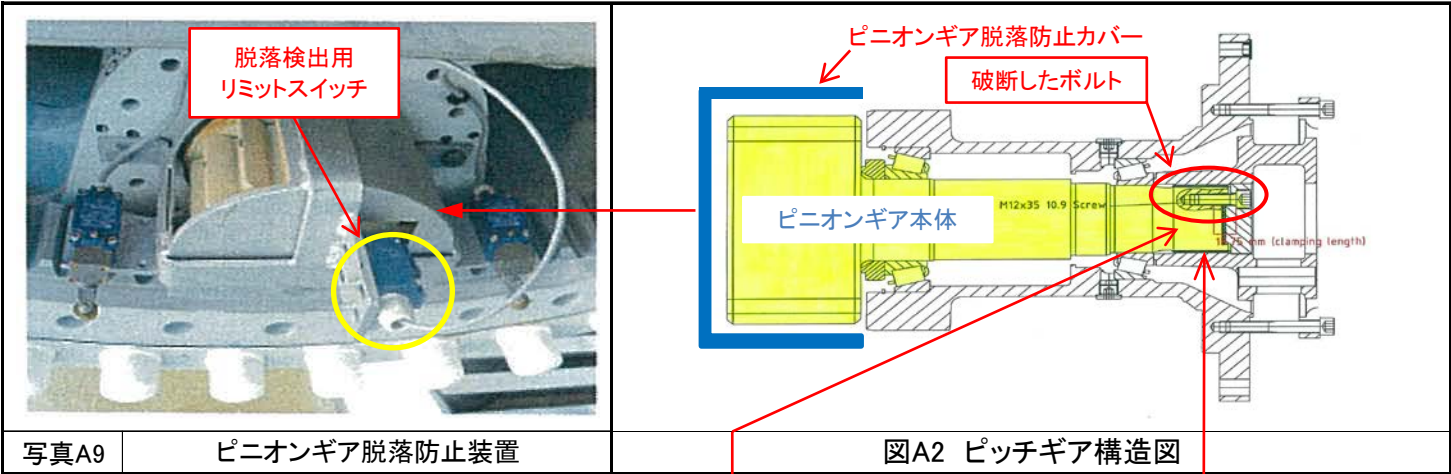
<p>× 50 200 μm</p>				
<p>× 100 100 μm</p>				
<p>× 400 25 μm</p>				
	<p>⑤クラック 3 (歯底起点)</p>	<p>⑥クラック 3 (終端近傍)</p>	<p>⑦歯先部 (微細クラック)</p>	<p>⑧歯底健全部</p>

写真A8. 断面ミクロ組織 (ボルト 1)-2



ピニオンギア脱落防止装置

- 写真A9にピニオンギア脱落防止装置の外観、図A2にピッチギア構造図を示す。
- ・ピニオンギア取付ボルトが破断してもピニオンギアが脱落しないよう脱落防止カバーを取付ける。
 - ・さらに、脱落検出用のリミットスイッチも付け、脱落検出と速やかな風車の自動停止（フェザリング状態及びディスクブレーキ）を行う。
 - ・たとえ、ボルト破断が生じても完全にピニオンギアが抜け落ちることは無いので、ピッチ駆動は可能であり風車は安全に停止できる。



原因・対策検討及び対策実施工程

内容	3月	4月	5月	6月
メーカー現地調査	←→			
ピッチギア回収(No.1)	←→			
破断ボルト分析(No.1)		←→		
潤滑油分析・評価		← 分析	← 評価・再分析	
No.2, 3ボルト分析			←→	
原因・対策の検討			←→	←→
脱落防止カバー設置 (公園内風車より順次実施)			←→	←→

表1 原因・対策検討及び対策実施工程