付編 自然科学分析

Ⅰ．平田遺跡出土鍛冶関連遺物の金属学的調査

大澤正己・鈴木瑞穂

斐伊川広域一般河川改修工事予定地内埋蔵文化財発掘調査報告書　抜刷

平田遺跡　第Ⅲ調査区

2000年3月

島根県木次土木建築事務所
島根県木次町教育委員会

付編 自然科学分析

Ⅰ．平田遺跡出土鍛冶関連遺物の金属学的調査

大　澤　正　己・鈴　木　瑞　穂

概　要

弥生時代後期末から古墳時代初めに属する平田遺跡の竪穴住居跡から出土した袋状鉄斧と、方形板状鉄片を調査して、次の点が明らかになった。

各鉄製品は、鉱石（磁鉄鉱）原料の鍛造品である。袋状鉄斧は、基部側の調査であったが、炭素含有量は0.8%前後の工具鋼としては最適の硬鋼の使用で、高温焼戻し（700℃前後）が施されていた。

また、方形板状鉄片らは、炭素量が0.05%以下と低めの極軟鋼の充当である。ただし、軟質材でありながら、１点は焼入焼戻組織を有した材質強化材であった。いずれにしても鏨切り常温加工には適した鉄素材といえる。

当竪穴住居跡は、鍛冶工房に想定される。鍛冶作業は、沸しを施す本格鍛冶ではなくて、鍛冶原料鉄は既に板状に成型された半製品が搬入されて、これを鏨切り成型、鍛冶炉で炙って曲げ加工、砥石での研磨といった原始鍛冶が想定された。鉄素材は大陸側（朝鮮半島）からの舶載品と考えられる。

１．いきさつ

平田遺跡は、島根県大原郡木次町大字平田地内に所在する。推定年代は弥生時代終末から古墳時代初頭で、山陰地方で最古に属する8.8～9.0mを測る大型の竪穴建物から鉄器と裁断鉄片ら40点が出土した。

これらの鉄製品を通して、当時の鉄器製作の実態と、鉄素材の産地同定を目的として金属学的調査の運びとなった。

２．調査方法

２－１．供試材

Table.１に示す。３区竪穴建物内から出土した鉄斧１点と方形板状鉄片５点及びトレンチ内出土の銑鉄片（流動滓状小塊）１点の合計７点の調査である。

２－２．調査項目

(1) 肉眼観察

遺物の外観観察を行い、それをもとに試料採取位置を決定した。

(2)　マクロ組織（Macro Structure）

顕微鏡埋込み試料の断面全体像を投影機の５倍と20倍で撮影した。低倍率の観察は、組織の分布状態、形状、大きさなど顕微鏡検査によるよりも広範囲にわたっての情報が得られる利点がある。

(3)　顕微鏡組織

実測図に明記した位置から切り出した試料をベークライト樹脂に埋込み、エメリー研磨紙の#

150.＃240.＃320.＃600.＃1.000と順を追って研磨し、最後は被研面をダイヤモンド粒子の３umと１umで仕上げて光学顕微鏡観察を行った。なお、金属鉄のパーライトとフェライト結晶粒は、ナイタル（５％硝酸アルコール溶液）で腐食（Etching）している。

（4）ビッカース断面硬度

金属鉄の組織同定を目的として、ビッカース断面硬度計（Vickers Hradness Tester）を用いて硬さの測定を行った。試験は鏡面研磨した試料に136°の頂角をもったダイヤモンドを押し込み、その時に生じた窪みの面積をもって、その荷重をを除した商を硬度値としている。試料は顕微鏡用を併用した。

（5）ＣＭＡ（Computer Aided X-ray Micro Analyzer）調査

EPMA（Electron Probe Micro Analyzer）にコンピューターを内蔵させた新鋭分析機器である。旧式装置は、別名Ｘ線マイクロアナライザーとも呼ばれる。分析の原理は、真空中で試料面（顕微鏡試料併用）に電子線を照射し、発生する特性Ｘ線を分光後に画像化し、定性的な結果を得る。更に標準試料をＸ線強度との対比から元素定量値をコンピューター処理して、データ解析を行う方法である。化学分析を行えない微量試料や鉱物組織の微小域の組織同定が可能である。

３．調査結果

（1）ＨＲＴ－１：方形板状鉄片

①肉眼観察：平面が不整六角形を呈する薄い（２㎜前後）板状の鉄片である。側面は６面ともに、ほぼ直線状で鏨などによる切断面をもつ。全面に酸化土砂が固着し、やや銹膨れが生じている。金属探知器の反応はＨ（○）で全体的に安定した反応が認められた。

②マクロ組織：photo.７の①に示す。断面は全面に金属鉄が残存せず銹化鉄となる。表層部が黒錆化して中核部は鬆（す）のようにすかすかに風化している。

③顕微鏡組織：photo.１の①～⑨に示す。

①～③は表層側の銹化鉄でゲーサイト（Goethite：α－FeO･OH）となる。③は辛うじてフェライト（Ferrite：α鉄又は純鉄の金相学上の呼称）結晶粒界が点列状で網目状に認められる。極低炭素鋼の痕跡である。

④⑤は鉄中の非金属介在物（鉄鋼中に介在する固形体の非金属性不純物、つまり鉄やマンガン、珪素及び燐などの酸化物、硫化物、珪酸塩などを総称して非金属介在物という）である。組成はガラス質スラグ中に酸化第１鉄ヴスタイト（Wüstite：FeO）が介在する痕跡を残す。該品は鉄鋼の製錬時の派生物でなくて、鍛冶作業の鍛打に際して酸化防止に塗布された粘土汁由来の介在物の可能性を残す。

⑥～⑨は、やはり銹化鉄中に網目状にフェライト痕跡を残した別視野の組織である。このフェライト結晶粒度は細かくて③⑦では８番以上の細粒鋼に属するであろう。

⑨は粗大粒が混在するのか、風化して粒界の一部の線が消滅したのか定かでない。しかし、後者の可能性が大きいであろう。

（2）ＨＲＴ－２：方形板状鉄片

①肉眼観察：平面が不整台形状を呈する薄い（４㎜前後）板状の鉄片である。側面３面は、ほぼ直角で直線状を呈しており、鏨などによる切断面と思われる。この一面に鏨の敲打痕らしきも

のも認められた。残りの側面の一面は破面であろう。これも全面に酸化土砂が固着し、両面ともに銹膨れが生じている。金属探知器で反応がなく、銹化が進行している。

②マクロ組織：Photo. 7 の②に示す。断面の中核部は銹化が激しく、既に大きく空洞化する。板厚周縁部の残存銹化鉄には、繊維状に鍛接線らしき痕跡は認められる。

③顕微鏡組織：Photo. 2 の①②に示す。組織は、銹化鉄のゲーサイトで、鉄中の非金属介在物は剥落して見当たらず、フェライト結晶粒も不鮮明であった。①のフェライト痕跡から想定して、該品も極低炭素鋼の部類に分類される。前述のＨＲＴ－１鉄片と同系材質といえよう。

(3) ＨＲＴ－３：鉄斧

①肉眼観察：袋状鉄斧とすべきか鉄鑿とすべきか迷う形状で、刃幅が基部幅より小さい。川越哲志氏の袋状鉄斧の形式分類でいうところのⅢ刃部幅が基部幅より狭いものに相当する[1]長さ4.2㎝、刃幅1.4㎝、基部幅2.2㎝、厚み２㎜を測る。柄袋の造作はいたって甘く、つの字に曲げて、折り返しの両端が大きく開く。逆長梯形の鉄板を鍛冶炉で炙って簡単な曲げ加工をした成形を感じさせる。まさしく原始加工の製品である。柄袋の片側上部の一部を欠損する。表面は銹化割れや銹膨れが激しいが、基部側は金属鉄が残留する。金属探知器の反応は、上部１/３程までがＬ（●）で他の部分はＭ（◎）であった。

②マクロ組織：Photo. 8 に示す。一度袋部の上部側５㎜で切断して試料採りしたが疑似メタルの組織であったので、再度５㎜内側（計10㎜）の位置から採取した断面金属組織である。均等で緻密な組織に一部折り返し曲げの鍛接線が細かいピッチで認められる。長時間の埋蔵で鍛接線を起点に一部腐食を受けている。清浄な鋼であり大型介在物は一切存在しない。

③顕微鏡組織：Photo. 2 の③～⑦とPhoto. 3 の①～⑧に示す。まず、前者の袋部の上部５㎜切断個所での組織である。Photo. 2 の③で白く帯状にみえる部分が金属鉄である。ナイタル腐食（Etching）で現れたフェライトは結晶粒が粗く、かつ、粒内は微細なピットが生じている。この金属組織が正常でないことは、Photo. 3 と比較すれば判ることで、これを一応疑似メタルと称した所以である。また、銹化鉄部分の結晶粒痕跡をPhoto 2 の⑥⑦に示した。フェライト結晶の粗大粒と細粒の混在した組織で③の疑似メタルの組織とも異なる状態である。

次に再度採り変えたマクロ組織に提示した個所での観察がPhoto. 3 である。①～③に鉄中の非金属介在物を示す。鍛打を受けて暗黒色ガラス質スラグが展伸して列状分布がみられる。④～⑥がナイタルエッチ後のミクロ組織である。

断面内がほぼ均一な組織分布を呈していることはマクロ組織で触れた。当組織は、高温（700℃前後）の焼戻組織で生成した塊状フェライト組織が認められる。この高温の焼戻組織は、パーライト（フェライトとセメンタイトが交互に重なり合って構成された層状組織）組織中のセメンタイトが分解して、微細な粒状のセメンタイトとして再分布されている。炭素含有量は、これらの炭化物の析出量からみて共析鋼（0.77%）組成が推定される。このような組織の鋼であれば、層状パーライトの場合よりも、柔軟性をもち、常温加工を施すのに最も適していると同時に、弾性限や強さは小となる。工具鋼として優れた性能を有する材質である。これは鉄斧としての基部側の組織であり、刃先側は当然硬質な焼入れ組織を有した可能性をもつであろう。

④ビッカース断面硬度：Photo. 2 の④⑤に疑似メタル部の硬度測定の圧痕を示す。フェライト粗大粒にもかかわらず硬度値は、156HVと200HVと異常に硬質傾向である。この数値も疑似メ

タルと表現する一つの要素である。

これに対して正常組織の厚さ方向の硬度分布をFig. 1でみると、平均値で250HV前後が示されている。通常のフェライト組織は120HV以下であり、共析鋼のパーライト組織は供試鉄器の大きさから判断して300HV前後が想定される。該品の断面硬さは、フェライト組織材よりも硬さが高く共析パーライト組織よりも低い値であった。平均値250HVの硬度は、パーライト組織が高温長時間保定された後に焼戻されたものと推定される。

Photo. 3の⑦⑧に硬度圧痕の代表例を示す。⑦は定値の代表で241HV、⑨は高値として287HVの圧痕である。

⑤　ＣＭＡ調査：Photo.11のCOMP（反射電子像）にみられる展伸ガラス質スラグの高速定性分析結果をFig. 2に示す。A－Rankで検出された元素は、鉄（Fe）とガラス質成分（Si+Al+Ca+Mg+K+Na)、燐（P）、酸化物としての酸素（O）である。B－Rankはチタン（Ti）が認められる。鉄素材は磁鉄鉱系由来の可能性をもつ。

この高速定性分析を視覚化した面分析の特性X線像と定量分析結果がPhoto.11である。特性X線像では、分析元素の存在を白色輝点の集中度によって読み取れる。展伸状介在物には白色輝点がガラス質成分（Si+Al+Ca+Mg+K）に集中し、定量分析値は71.1%SiO_2－7.8%Al_2O_3－13.6%CaO－2.2%MgO－3.1%K_2O組成が得られて珪酸塩が同定される。

該品の非金属介在物は、繰返し曲げ鍛接時の酸化防止に塗布された粘土汁由来のガラス分主体であって、他に塊煉鉄特有の酸化第１鉄（FeO）とファイヤライト（2FeO･SiO_2）の大型の共晶夾雑物は含まれていない。鋼種は塊煉鉄か炒鋼製品か決めかねる。

（4）ＨＲＴ－４：銑鉄片

①肉眼観察：調査前の呼称は不整形鉄片（流動滓状の半球）とも鉄滓ともしていたが供試材を半裁し断面を観察すると被熱を受けた銑鉄片であった。外観は全面が酸化土砂に覆われ、あたかも流動状の小型鉄滓に見間違える形状で、表面には細かい気泡痕らしきものまで認められた。地の色調は黒灰色を呈し、銹膨れに酸化土砂が混じり合う。

②マクロ組織：Photo. 7の③に示す。断面は、銹化鉄が台形状に残存し、中核部は風化の度合いが著しい。両側面の盛り上がり部で白く縁取られた方が銹膨れで、黒く谷をもつ方が酸化土砂の付着物である。

③顕微鏡組織：Photo. 4の①～⑨に示す。①～③の左側に鉄が酸化雰囲気で加熱されて晶出したヴスタイト（Wüstite：FeO）が認められる。鍛冶滓で観察される鉱物組織であり、該品は被熱を受けた履歴が窺える。銑鉄塊の下げ脱炭の一部であったかも知れない。また、②のヴスタイト晶出部の右側は針状セメンタイトを析出した過熱組織（Over Heated Strucure）の過共析鋼（0.77%以上）であり銑鉄からの脱炭組織である。また、②③の右側は白鋳鉄の組織が銹化鉄ながら痕跡を留める。白と灰色の斑模様は、セメンタイトとオーステナイト（常温ではパーライト）の共晶のレデブライト（Ledebulite）が観察される。

更に④⑤は銹化鉄で組織痕跡は大部分が消滅するが、局部的に僅かにレデブライト組織が検出された。該品は外観は鉄滓状であったが内容は白鋳鉄と判明した。

一方、酸化土砂に取り込まれて赤熱鉄塊の鍛打作業で派生した粒状滓や鍛造剥片が発見された。⑥⑦が精錬鍛冶終末段階で発生した粒状滓、⑨はそれ以降で派生した鍛造剥片で両者はガラス質

基地中にマグネタイトとFe－Ti系化合物を析出しており、砂鉄原料鉄素材の鍛冶に絡む遺物の可能性をもつ。また、⑧も鍛造剥片であるが鍛打後発段階の派生品である。

該品の出土位置は、他の試料と同じ３Ｂ－13区であるが、但し、住居跡の壁面からの出土であり、弥生時代末～古墳時代初よりも年代は新しくなるのではなかろうか。当区から流出滓も一点出土していて、そちらの共伴遺物となろう。

(5) ＨＲＴ－５：方形板状鉄片

①肉眼観察：平面が不整台形を呈する板状の鉄片である。断面が層状になり表面の一部は銹膨れが顕著となる。側面の３面は、ほぼ直線状で鏨などによる切断面であろうか。金属探知器の反応は一部でM（◎）である。

②マクロ組織：Photo. 9 の①②に示す。

楔型の断面先端部に金属鉄が残存する。この金属鉄は、表層側でエッチングの濃い領域が生成されて、内面との異なる組織が存在することが判る。また、②の20倍のマクロ組織でみられるように、該品も繰り返し折り曲げ鍛接の痕跡を残した鍛接線が細かいピッチで認められる。介在物は少ない清浄な鉄である。

なお、前に楔型の断面と記したが、このマクロ組織の上部の開きは銹膨れにもとずくもので、本来は該品も厚みが２㎜前後の板状鉄片であろう。

③顕微鏡組織：Photo. 5 の①～⑦に示す。②③は鉄中の非金属介在物である。この介在物は、製錬時のものでなくて、鍛打作業中に鉄肌に生じた２次派生物である。これも酸化防止に粘土汁の塗布により生成されたガラス質スラグと酸化第１鉄のヴスタイト組成となる。組成についての詳細はCMAの項で述べる。

ナイタルエッチングの金属組織を④⑤に示す。マクロ組織で観察された表面側のエッチングの濃い領域は、焼入組織であるマルテンサイト（Martensite）が焼戻された組織を呈し、内部になると微細なフェライト組織が生成しており、局部的にパーライト組織が分解した微細な炭化物の析出が見られる。

以上の結果から該品は、0.05%前後の極低炭素鋼が表面焼入処理が施された後に、600～650℃で焼戻処理が施されたものと推定される。

なお、①はエッチングなしで金属鉄と黒錆部に表れた微細結晶粒の痕跡を示す。銹化鉄に残された結晶粒の痕跡が金属鉄の組織と大差ないことが判って頂けるであろう。銹化鉄であっても炭化物や結晶粒の痕跡を探し出して提示すれば貴重な情報となりうる。

④ビッカース断面硬度：Photo. 5 の⑥は表面側でエッチングの濃い領域での硬度測定の圧痕である。硬度値は278HVであった。

極低炭素鋼の焼入組織のマルテンサイトの焼戻された材質として問題のない値である。また、内部は微細フェライトにパーライトが分解した微細な炭化物の析出した個所であり、ここの硬度値は⑦にみられるように217HVであった。組織に見合った値である。

一方、Fig. 1 に板状鉄片の厚さ方向の硬度分布を示す。板厚の両端が硬く、内部が軟質でＶ字状の挙動である。表面焼入・焼戻組織の検証となる。

⑤CMA調査：鉄中の非金属介在物についての分析で２視野の調査である。まず一つは、Photo.12のCOMP（反射電子像）にみられる白色粒結晶と褐色非晶質ガラスの高速定性分析結果をFig. 3

に示す。A－Rankで検出された元素は、鉄（Fe）とガラス質成分（Si+Al+Ca+Mg+K）、燐（P）、塩素（Cl）、酸素（O）などである。砂鉄特有元素のチタン（Ti）、バナジュウム（V）は含まれない。

この高速定性分析結果を視覚化した面分析の特性X線像と定量分析結果がPhoto.12である。COMP（反射電子像）に4の番号のついた白色粒状結晶は、鉄（Fe）と酸素（O）にのみ白色輝点が集中し、100%FeOの定量分析値が得られて、酸化第1鉄（FeO）のヴスタイトが同定される。鍛打時の鉄肌に生じた酸化鉄である。

また、COMPの5の番号は、褐色非晶質ガラスである。白色輝点の集中する元素は、鉄（Fe）カルシュウム（Ca）、珪素（Si）に強く、アルミニュウム（Al）、燐（P）に弱く集中する。定量分析値は、12.5%CaO－41.7%FeO－6.4%Al_2O_3－33.9%SiO_2組成から鉄ゲーレナイト（Iron gehenite：2CaO（Fe・Al_2O_3）O_3・SiO_2系の鉱物相が同定される。これには1.3%P_2O_5を固溶する。弥生時代終末期の鉄器から鉄ゲーレナイト系介在物が検出され事例として長野県所在の根塚遺跡出土の渦巻文装飾鉄剣と共伴の鉄剣がある。②

次は白色粒状結晶のヴスタイトを共件しないガラス分主体の介在物の調査である。Photo.13のCOMP（反射電子像）にみられる介在物の高速定性分析結果をFig.4に示す。A－Rankで検出された元素は、鉄（Fe）、ガラス質成分（Si+Al+Ca+Mg+K+Na）、燐（P）、硫黄（S）、塩素（Cl）、酸素（O）などである。B-Rankでチタン（Ti）が認められた。

この高速定性分析結果をもとにした特性X線像と定量分析値がPhoto.13である。COMPの2の番号は、非晶質ガラスに灰白色の筋状の鉱物相がみえる個所の分析である。白色輝点は、鉄（Fe）と珪素（Si）に強く集中し、52.3%FeO－25.1%SiO_2組成の定量分析値が得られた。鉄かんらん石のファイヤライト（Fayalite：2FeO・SiO_2）であるが、これには7.8%CaO－4.9%Al_2O_3が固溶するので、次の3の番号の鉱物相に近い。3の番号は、29.3%FeO－4.9%CaO－7.9%Al_2O_3－42.6%SiO_2組成で、鉄ゲーレナイト系が同定される。

当介在物は、ガラス質成分珪酸塩とするには、やや展伸性に欠ける傾向にある。当介在物の生成は鍛打時の赤熱鉄素材の酸化防止に塗布された粘土汁由来によるものか、製錬時派生の介在物かの判別はつけ難い面をもつ。

（6）ＨＲＴ－６：方形板状鉄片

①肉眼観察：平面が不整台形を呈する薄い（2㎜前後）板状の鉄片である。周囲4面が直線状で鏨などによる切断面であろうか。酸化土砂の付着が著しく、粉炭の付着も一個所見られた。金属探知器の反応はなく、銹化が進行して金属鉄の残留はない。

②マクロ組織：Photo.7の④に示す。板材の中核部は空洞化し、外周縁部の残留黒錆部も少なく、銹膨れに2次付着物の結合で外形を保っている。

③顕微鏡組織：Photo.6の①～③に示す。金属組織は残存せず、銹化鉄はゲーサイト化する。銹化鉄は炭化物やフェライトの痕跡に関する情報も殆んどが消滅しており、強いて発言するなら、フェライト基地の極低炭素鋼であろう。

（7）ＨＲＴ－７：方形板状鉄片

①肉眼観察：平面は不整台形状で短片はくの字状に、長片は両端に屈曲部が認められる鉄片である。縁辺はほぼ直線状で、鏨などによる切断痕を残す。全面に酸化土砂が固着する。金属探知

器の反応は、H（○）で全体的に安定していた。

②マクロ組織：Photo.10に示す。断面の中核部に極く僅かの金属鉄を残す。該品の外周部は二次汚染の酸化土砂の付着が著しい。

③顕微鏡組織：Photo. 6 の④～⑧に示す。⑤は鉄中の非金属介在物である。酸化第１鉄のヴスタイトが単独で存在する。⑥⑦はナイタルエッチで表れたフェライト結晶粒と、粒界交点に極く微量の塊状セメタイトが析出する。0.01%以下の炭素含有量の極軟鋼である。

④ビッカース断面硬度：Photo. 6 の⑧にフェライト結晶粒組織の硬度測定の圧痕を示す。硬度値は123HVであった。フェライト結晶の粒度番号が６番前後であってやや硬質に表れている。

４．まとめ

調査結果のまとめをTable. 2 に示す。

〈1〉袋状鉄片は、鉱石系共析鋼（0.8%C）を素材として鍛造成型後、高温焼戻し（700℃前後）を施した製品である。金属組織は微細粒状セメンタイトを析出させた材質で、最適工具鋼の熱処理品となっている。

〈2〉鏨切りの痕跡を残す５点の方形板状鉄片は、いずれも鉱石系で軟質な極低炭素鋼の充当である。そのうちの金属組織を残留した１点は、表層部にマルテンサイトが焼戻された組織をもち、極低炭素鋼（0.05%程度）にもかかわらず、焼入焼戻組織が施され、工具用途が想定された。後工程の鏨切り成型を配慮しての材質選定であろうか。

〈3〉袋状鉄斧と方形板状鉄片は、いずれも鍛造品であって、繰返し曲げ鍛接時の鍛接線（繊維状組織：Metal Flow）が認められる。鍛打時に赤熱鉄素材の酸化防止に塗布された粘土汁由来のガラス質スラグ組織の介在物が僅かに局所に認められた。

〈4〉鉄中の非金属介在物は、前述した如く、鉄肌に生じた微細なガラス質スラグと、その中に包蔵された小型の酸化鉄（ヴスタイト：FeO）以外は、殆んど検出されていない。そのために、各鉄製品の鋼種を決定する決め手に欠く。製鋼法として、高温還元間接製鋼法の炒鋼法（溶銑を攪拌して酸化脱炭して鍛打を加えた鋼）か、低温還元直接製鋼法による塊煉鉄なのか決めかねる。強いて発言するならば、３世紀代で非常に清浄な鋼であるが、フェライト結晶粒に不均一性を有するので後者の塊煉鉄に可能性が高いといえよう。ただし、ここで看過できぬ介在物としての鉄ゲーレナイト（Iron gehlenite：$2CaO$（$Fe \cdot Al_2O_3$）$O_3 \cdot SiO_2$）系鉱物相が方形板状鉄片（HRT－5）から検出された。同系鉱物相をもつ弥生時代終末期の渦巻文装飾が施された鉄剣と共伴鉄剣が長野県根塚遺跡から出土している。渦巻状の文様は、朝鮮半島南部の伽那地方独特のものといわれる。両者の産地は朝鮮半島側の何処かに比定できないであろうか。今後の研究課題となってくる。

〈5〉平田遺跡の３Ｂ－13区鍛冶工房跡は、鏨や砥石と共に、鏨切りの痕跡を留めた鉄片出土から原始鍛冶の様相を帯びる[3]。すなわち、当工房内で、沸かし作業の鍛錬鍛冶を証明する鉄滓や羽口が出土していない。

一方、平田遺跡の原始鍛冶は、京都府所在で奈具岡遺跡の弥生時代中期後半の鍛冶原料鉄とは大きく異なる。奈具岡遺跡は中国産と想定される鋳鉄脱炭鋼（棒、板状笵に銑鉄を流し込んで脱炭した半製品）の使用であった[4]。水晶玉造りと、操業年代の差で原料鉄の材質が変化している。

一方、袋状鉄斧と方形板状鉄片は、端正な折り返し鍛接と、適切な熱処理が施されていて、海外からの搬入品の可能性が高い。3世紀代になると朝鮮半島産を考えても矛盾はない。翻って島根県下にも弥生時代末頃の可能性が高い鍛冶炉をもって椀形鍛冶滓と粒状滓と鍛造剥片を出土した安来市所在、塩津丘陵遺跡群の中に柳遺跡がある。この遺跡出土遺物を調査しているが、椀型鍛冶滓の鉱物組成がヴスタイト（FeO）でなく、ファイヤライト（$2FeO \cdot SiO_2$）主体で、古墳時代の滓の傾向を帯びている⑤。

平田遺跡と柳遺跡の鍛冶工房が同時期に併存したか否か今後の研究課題となるであろう。

〈6〉流動滓状の小塊は、銑鉄片に酸化土砂を固着する塊であった。ただし、該品には、鍛打作業の初期段階で派生する粒状滓や鍛造剥片（ガラス質組成にウルポスピネルを晶出）を付着していた。該品は竪穴住居跡内からの出土でなくて、壁面外であった。当区から砂鉄流出滓の出土もあって、後世の混入品の可能性をもつ。

註

① 川越哲志『弥生時代の鉄器文化』雄山閣1993

② 大澤正己他「根塚遺跡出土弥生終末期鉄剣の金属学的調査」『根塚遺跡と加那』～渦巻付鉄剣と刻書文字をめぐって～2000年記念国際フォーラム長野県木島平村教育委員会提出原稿。渦巻文様の装飾は朝鮮半島南部の伽那地方独特のもので、産地同定の手掛かりとなる。

③ 大澤正己「弥生時代の中国産鉄製品」～可鋳鉄・鋳鉄脱炭鋼・炒鋼・塊煉鉄～『'98国際金属歴史会議しまねBUMAⅣ』鉄シンポジュウム補足資料　国際金属歴史会議しまね実行委員会　日本金属学会日本金属学会1998.5.27

④ 大澤正己「奈具岡遺跡出土鉄製品・鉄片（切片）の金属学的調査」『京都府遺跡調査概報76冊』～奈具岡遺跡～（財）京都府埋蔵文化財調査研究センター1997

⑤ 大澤正己「柳遺跡出土椀形鍛冶滓の金属学的調査」『塩津丘陵遺跡群』～塩津山遺跡・竹ケ崎遺跡・柳遺跡・附亀の尾古墳～一般国道9号（安来道路）建設予定地内埋蔵文化財発掘調査報告書－西地区内）建設省松江国道工事事務所・島根県教育委員会1998

Table.1　供試材の履歴と調査項目

符号	遺跡名	出土位置	遺物No.	遺物名称	推定年代	計測値		メタル度	調査項目								備考
						大きさ(mm)	重量(g)		マクロ組織	顕微鏡組織	ビッカース断面硬度	X線回折	CMA	化学分析	耐火度	カロリー	
HRT－1	平田遺跡	3B-13区-ス	⑨	方形板状鉄片	弥生時代末～古墳時代初	27×22×4	8.23	H（○）	○	○							HRT－5・7と同一試料に埋込み
HRT－2	平田遺跡	3B-13区-ア	⑩	方形板状鉄片	弥生時代末～古墳時代初	24×20×7	5.51	錆化（△）	○	○							HRT－6と同一試料に埋込み
HRT－3	平田遺跡	3B-13区-ウ	④	鉄斧	弥生時代末～古墳時代初	46×21×3	18.25	L（●）	○	○	○		○				
HRT－4	平田遺跡	3B-13区	㊲	銑鉄片	弥生時代末～古墳時代初（年代新しくなる可能性）	12×9×7	1.27	なし	○	○							
HRT－5	平田遺跡	3B-13区-フ	⑫	方形板状鉄片	弥生時代末～古墳時代初	22×20×9	5.15	M（◎）	○	○	○		○				HRT－1・7と同一試料に埋込み
HRT－6	平田遺跡	3B-13区-ネ	⑬	方形板状鉄片	弥生時代末～古墳時代初	23×13×3	2.68	錆化（△）	○	○							HRT－2と同一試料に埋込み
HRT－7	平田遺跡	3B-13区-ト	⑪	方形板状鉄片	弥生時代末～古墳時代初	23×18×5	7.2	H（○）	○	○	○						HRT－1・5と同一試料に埋込み

Table.2　出土遺物の調査結果のまとめ

符号	遺跡名	出土位置	遺物名称	推定年代	顕微鏡組織	所見
HRT－1	平田遺跡	3B－13区－ス	方形板状鉄片	弥生時代末～古墳時代初	銹化鉄、微細粒フェライト痕跡、介在物G＋W	極低炭素鋼、介在物鍛接線上の派生物
HRT－2	平田遺跡	3B－13区－ア	方形板状鉄片	弥生時代末～古墳時代初	銹化鉄、微細粒フェライト痕跡、介在物剥落	極低炭素鋼
HRT－3	平田遺跡	3B－13区－ウ	鉄斧	弥生時代末～古墳時代初	金属鉄、介在物珪酸塩、塊状フェライトと微細粒状セメンタイト	共折鋼（0.7%C）の高温焼戻、最適工具鋼
HRT－4	平田遺跡	3B－13区	銑鉄片	古代以降のもの	銹化鉄白鋳鉄痕跡、表層ヴスタイト晶出、粒状滓と鍛造剥片付着	下げ脱炭の関連遺物
HRT－5	平田遺跡	3B－13区－フ	方形板状鉄片	弥生時代末～古墳時代初	金属鉄介在物W、IG、表層マルテンサイトの焼戻組織、フェライト	亜共折鋼（0.05%C）の焼入、焼戻組織（600～650℃）
HRT－6	平田遺跡	3B－13区－ネ	方形板状鉄片	弥生時代末～古墳時代初	銹化鉄、不明瞭であるがフェライト基地か	極低炭素鋼
HRT－7	平田遺跡	3B－13区－ト	方形板状鉄片	弥生時代末～古墳時代初	金属鉄、介在物ヴスタイト、フェライト基地に塊状セメンタイト	極低炭素鋼

G:ガラス質スラグ、W:Wüstite（FeO）、IG:Iron gehlenite（$2CaO(Fe \cdot Al_2O_3)O_3 \cdot SiO_2$

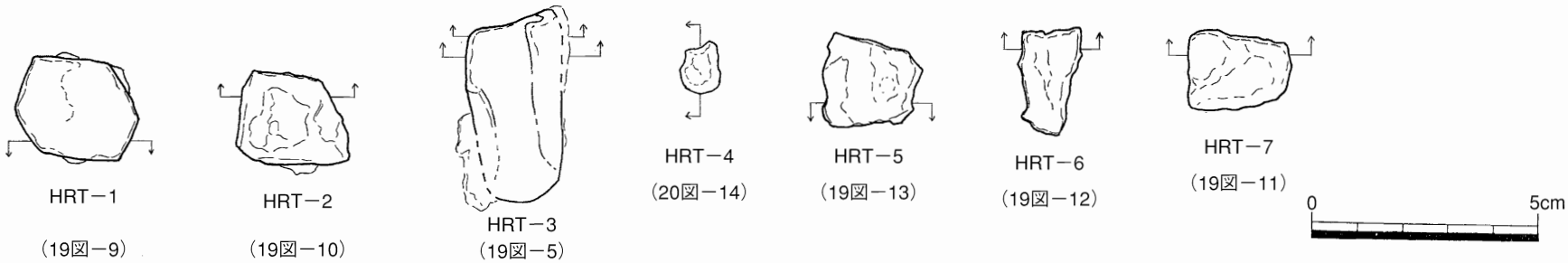


図1　分析遺物実測図（矢印は切断面を示す）

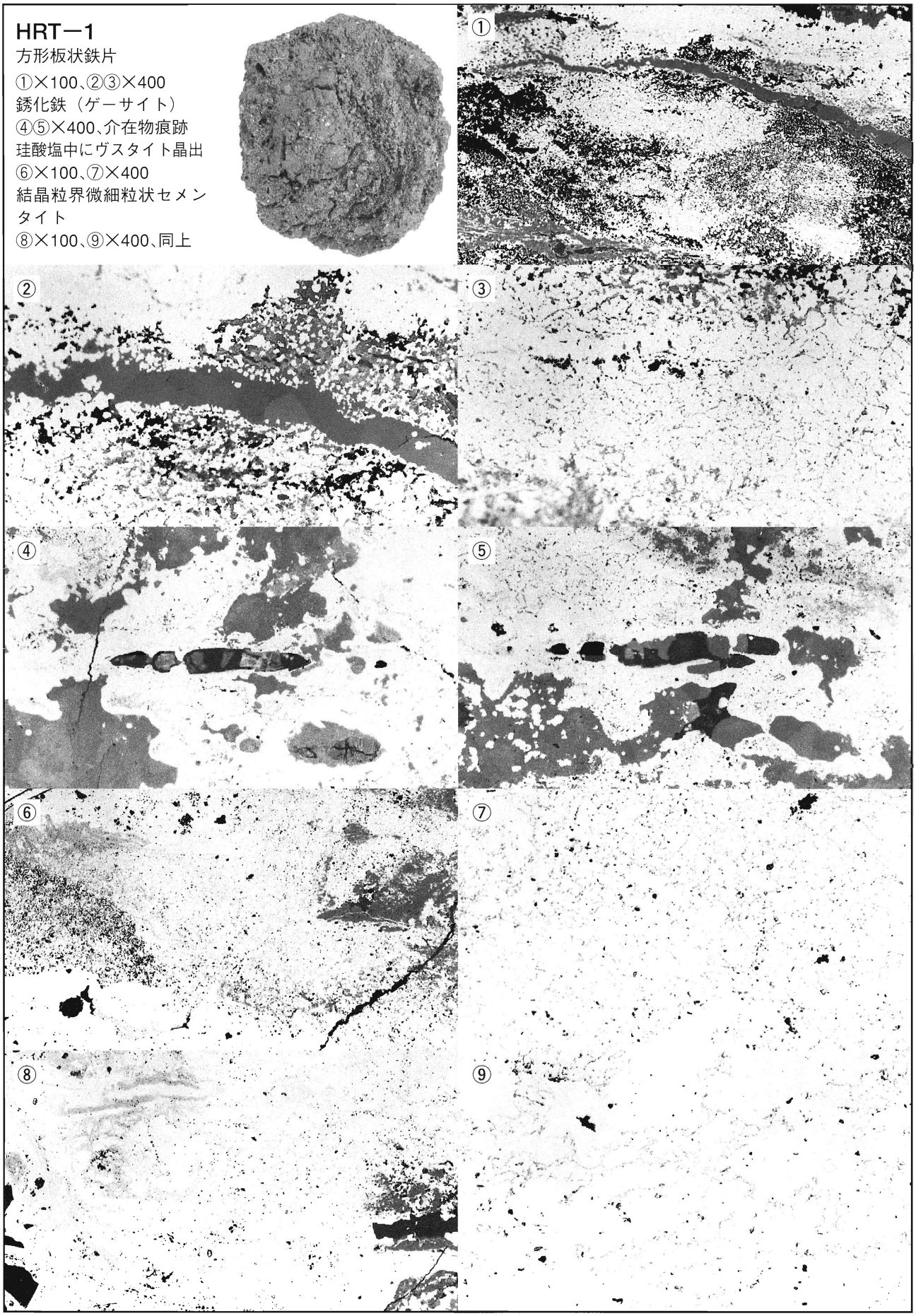


Photo.1　方形板状鉄片の顕微鏡組織

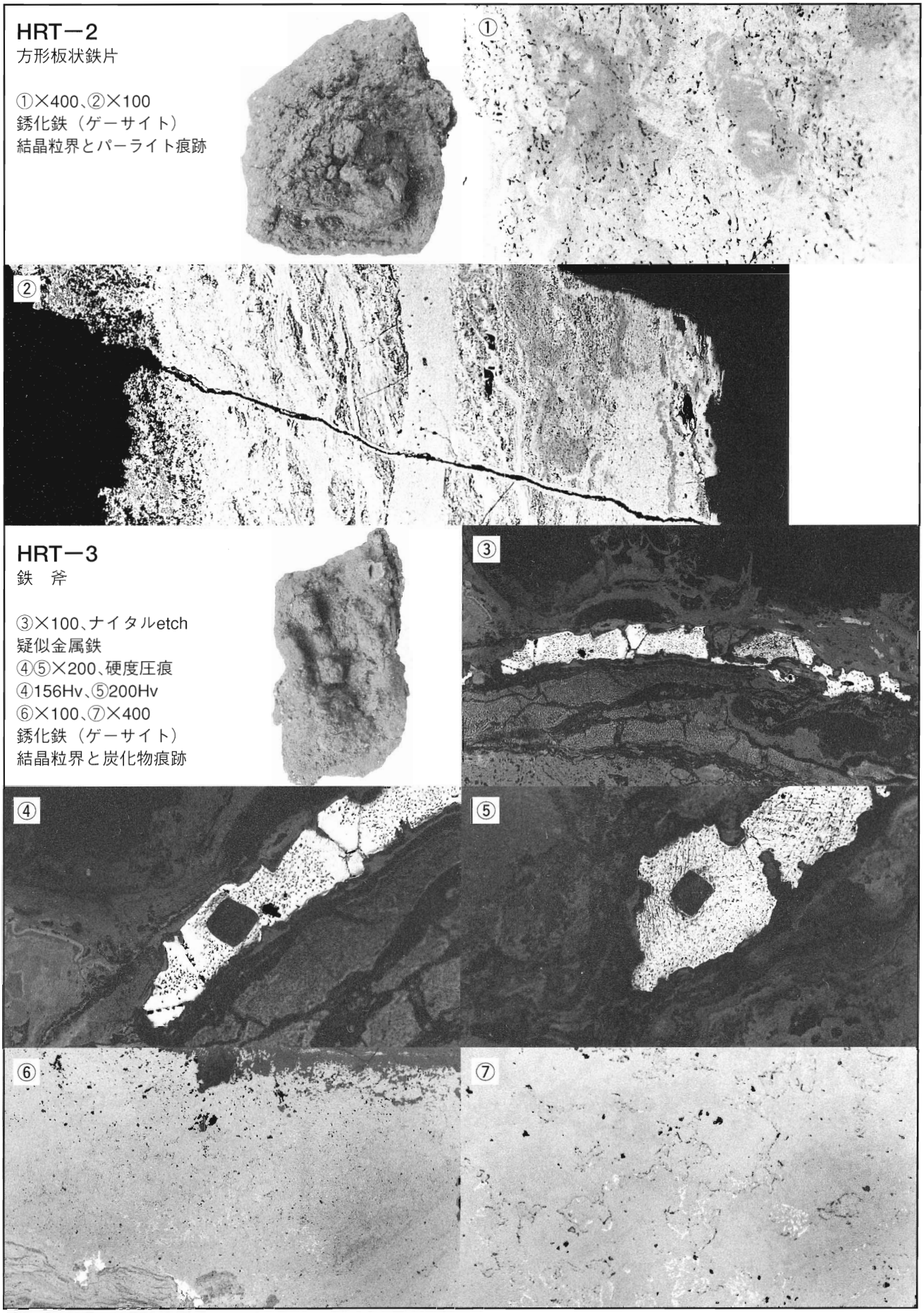


Photo.2　方形板状鉄片と鉄斧の顕微鏡組織

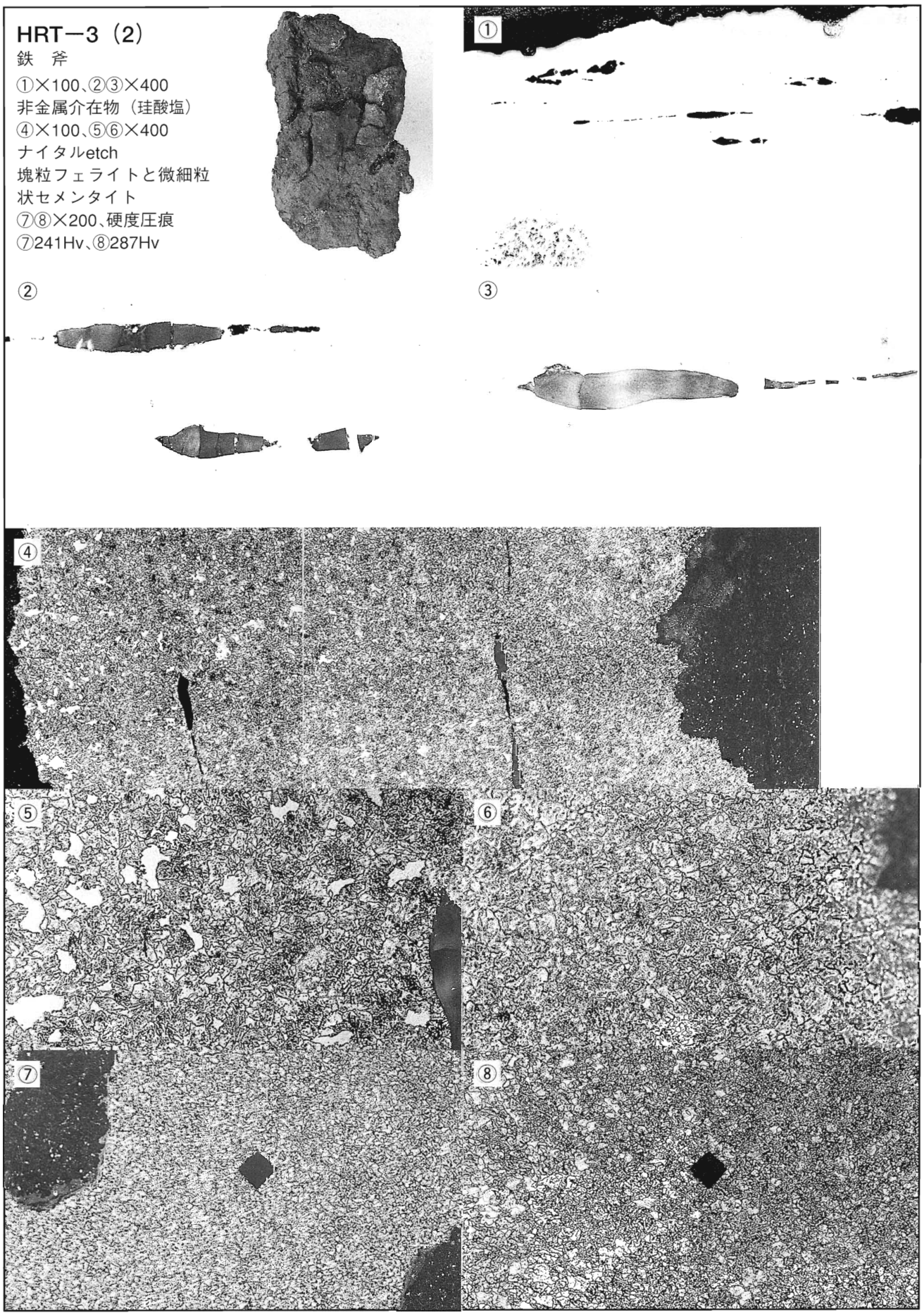


Photo.3　鉄斧の顕微鏡組織

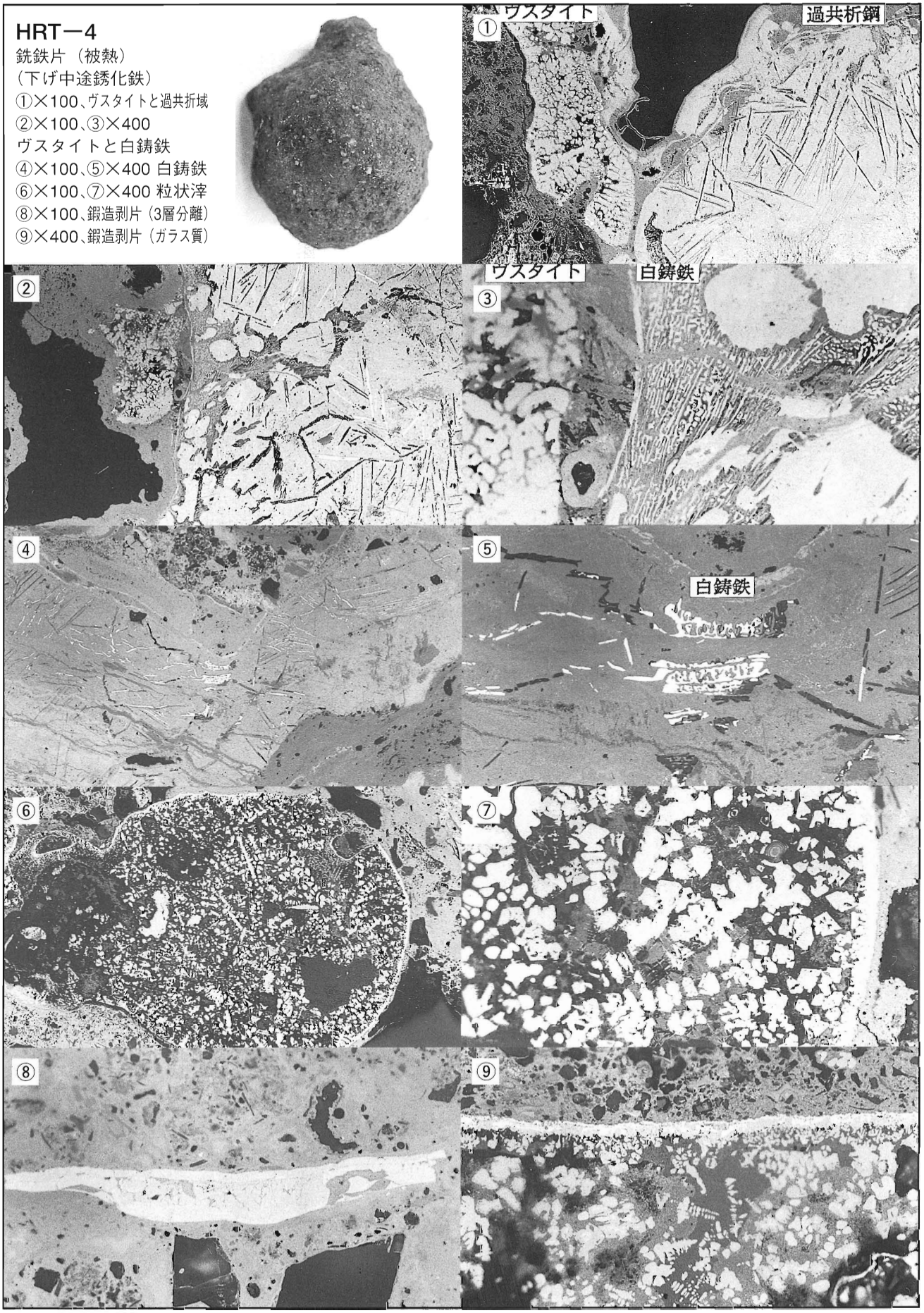


Photo.4　銑鉄片の顕微鏡組織

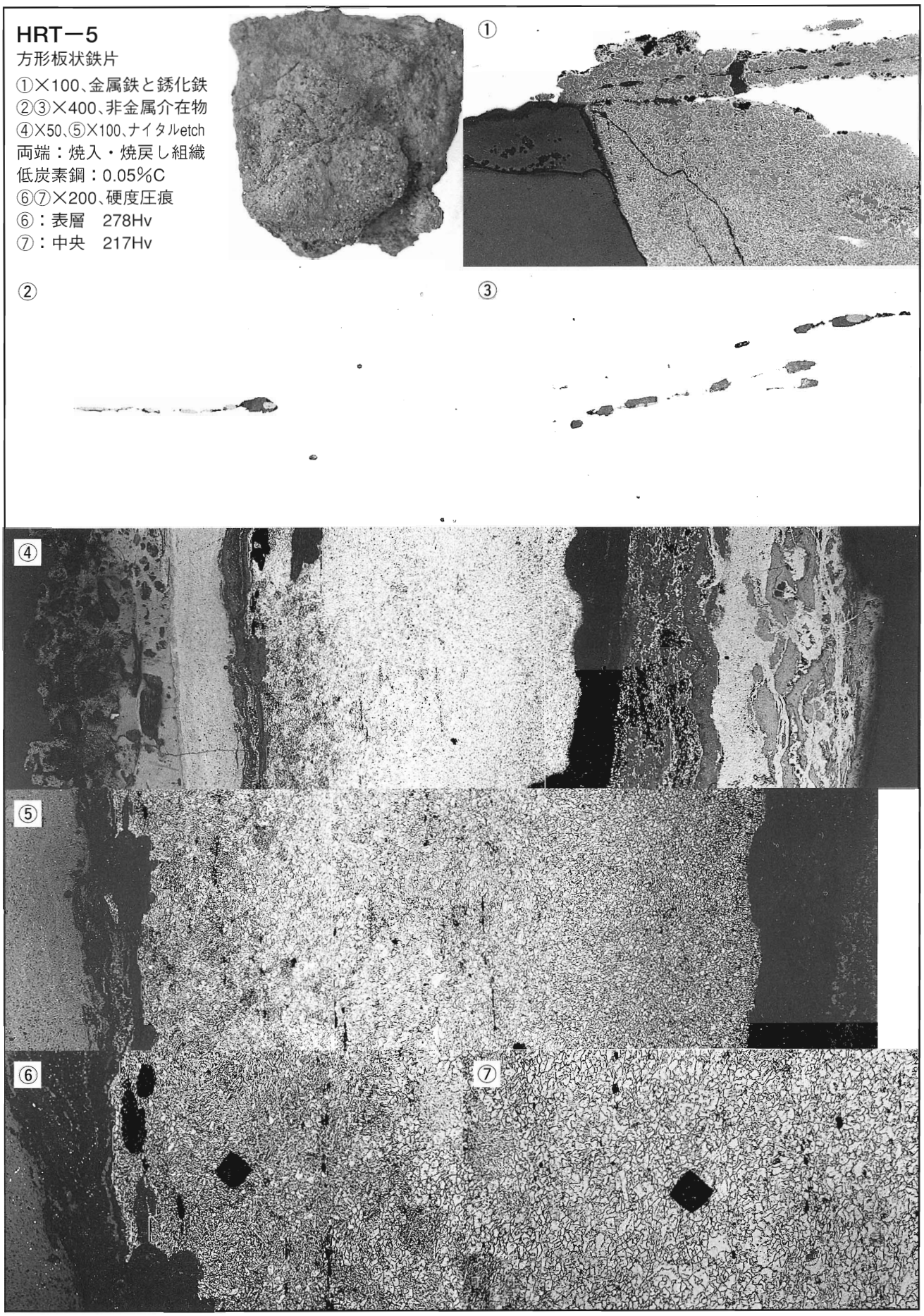


Photo.5　方形板状鉄片の顕微鏡組織

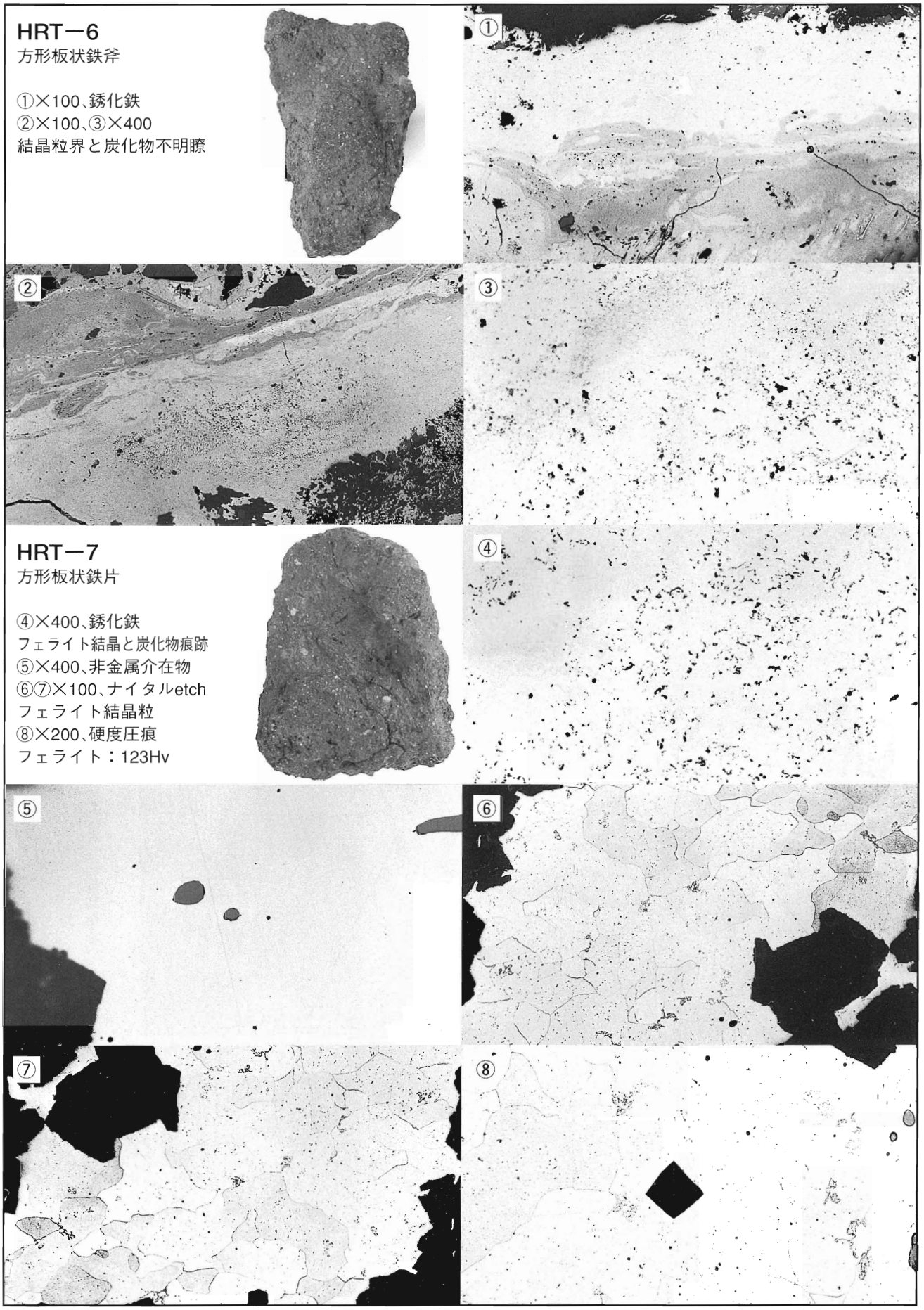
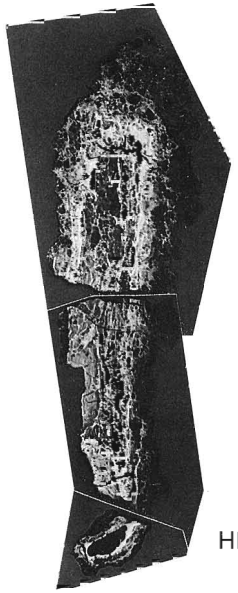


Photo.6　方形板状鉄片の顕微鏡組織

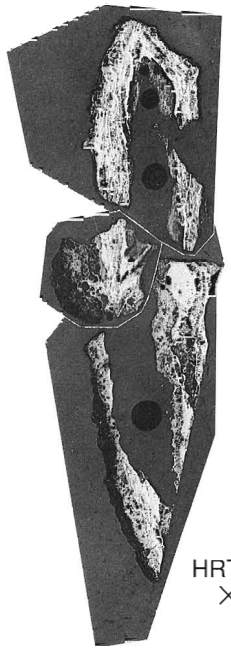
①



HRT－1
×5

方形板状鉄片（×0.77）

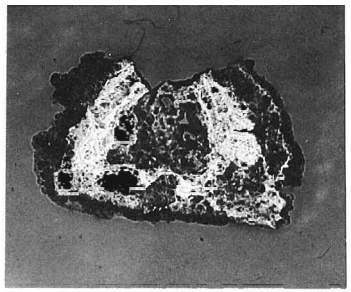
②



HRT－2
×5

方形板状鉄片（×0.71）

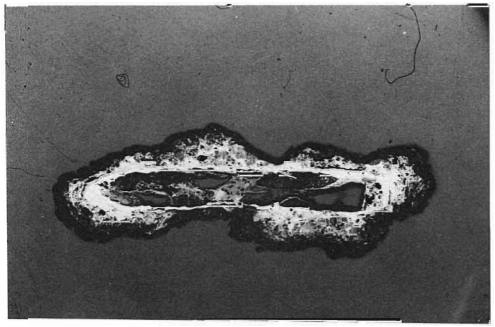
③



HRT－4　×5

銑鉄片（×0.74）

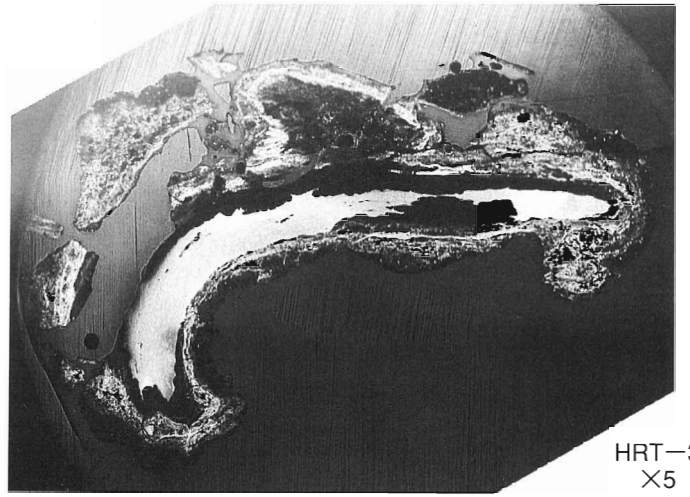
④



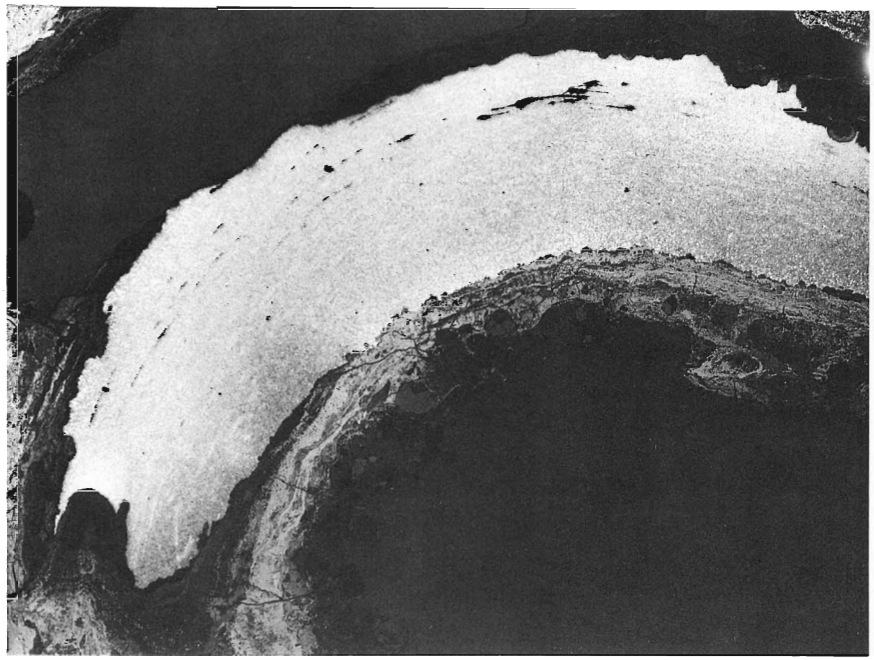
HRT－6　×5

方形板状鉄片（×0.75）

Photo.7　方形板状鉄片と銑鉄片のマクロ組織



HRT－3（×0.74）
×5

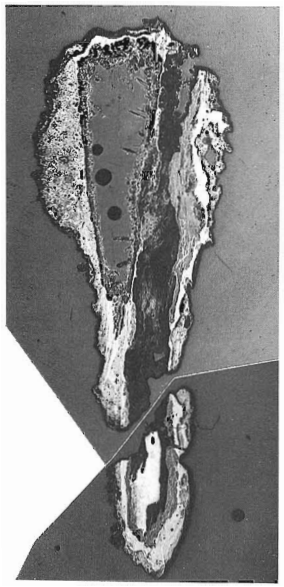


HRT－2 ×5

HRT－3　×20
（×0.75）

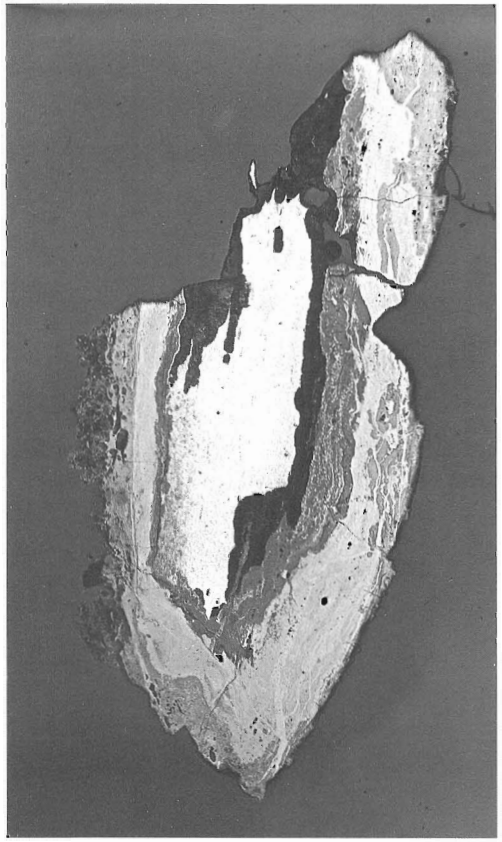
Photo.8　鉄斧のマクロ組織

①



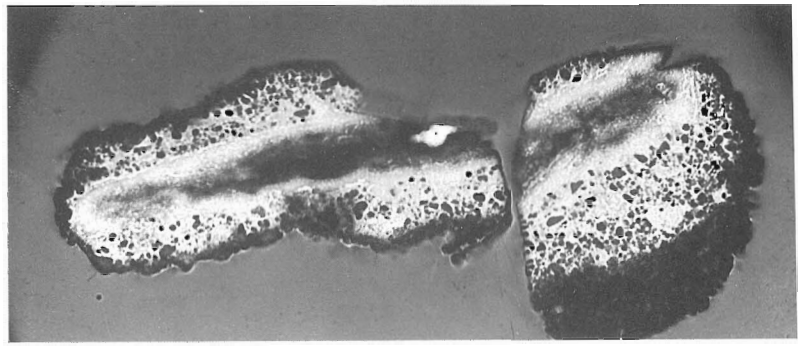
HRT−5　×5
（×0.75）

②

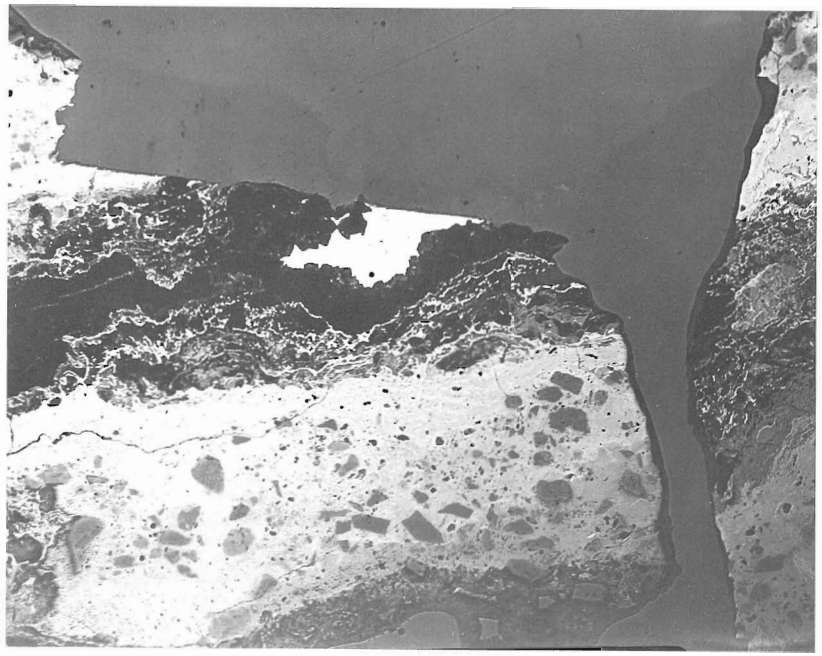


HRT−5　×20
（×0.75）

Photo.9　方形板状鉄片のマクロ組織

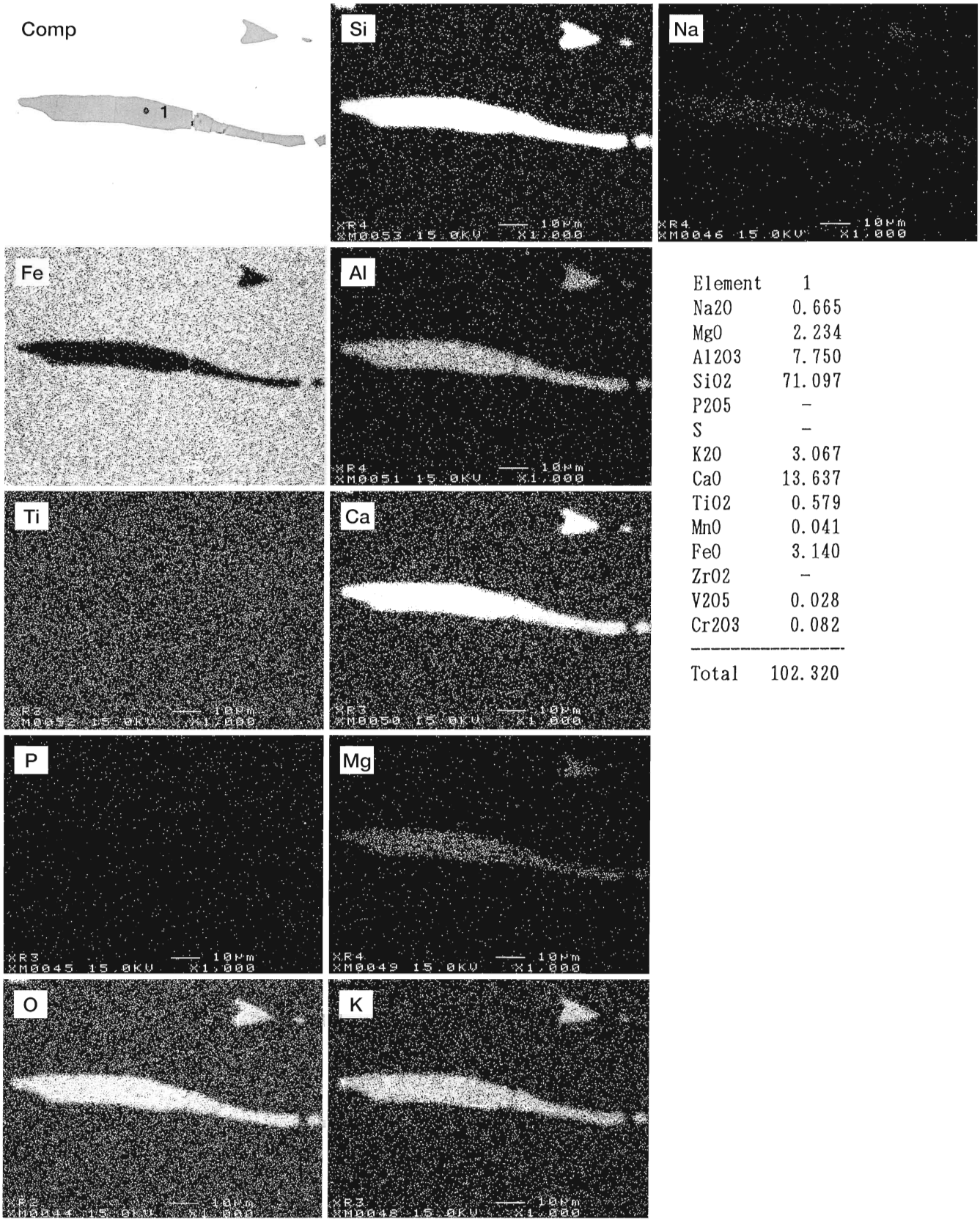


HRT−7　×5
（×0.75）



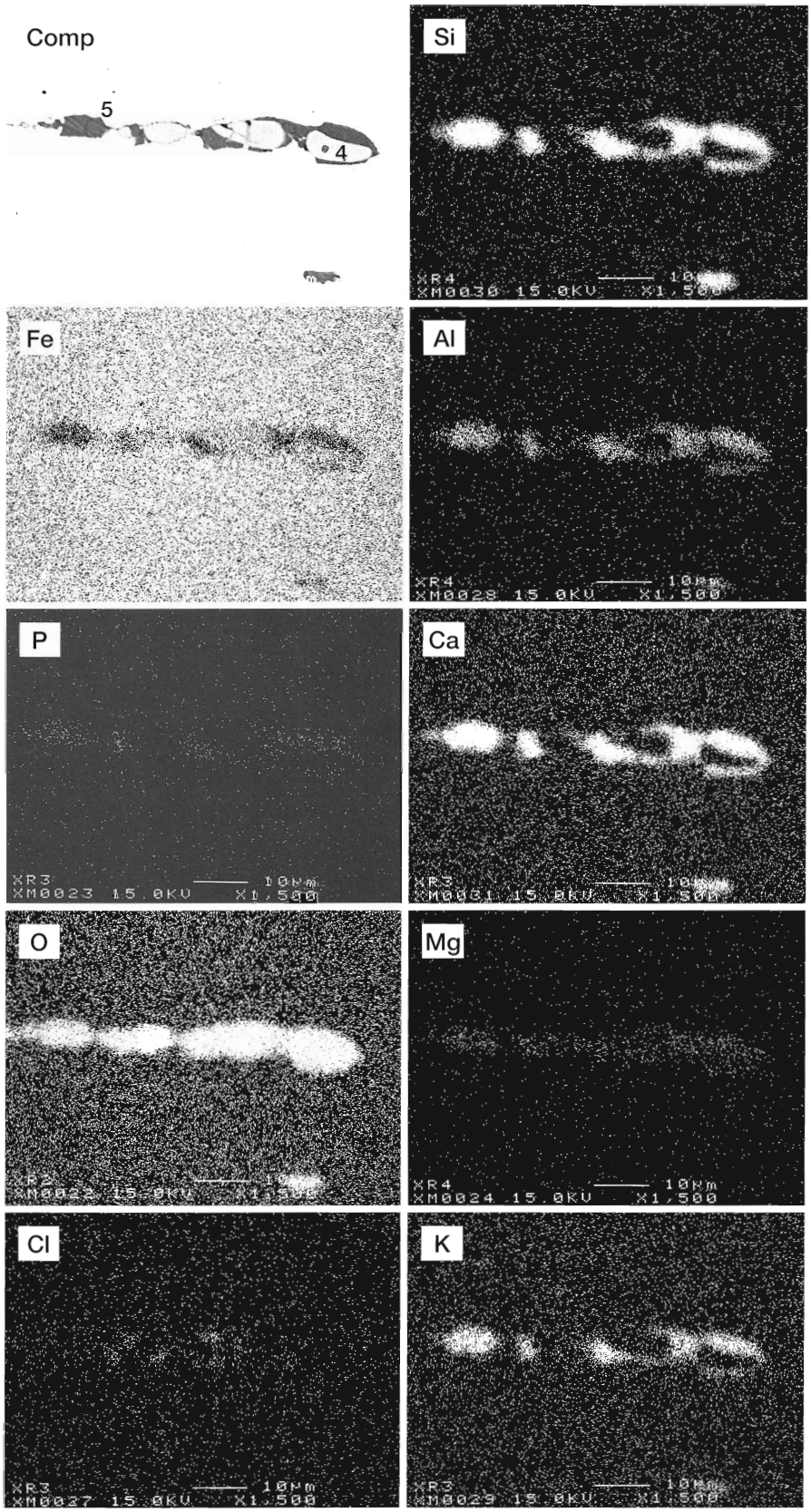
HRT−7　×20
（×0.75）

Photo.10　方形板状鉄片のマクロ組織



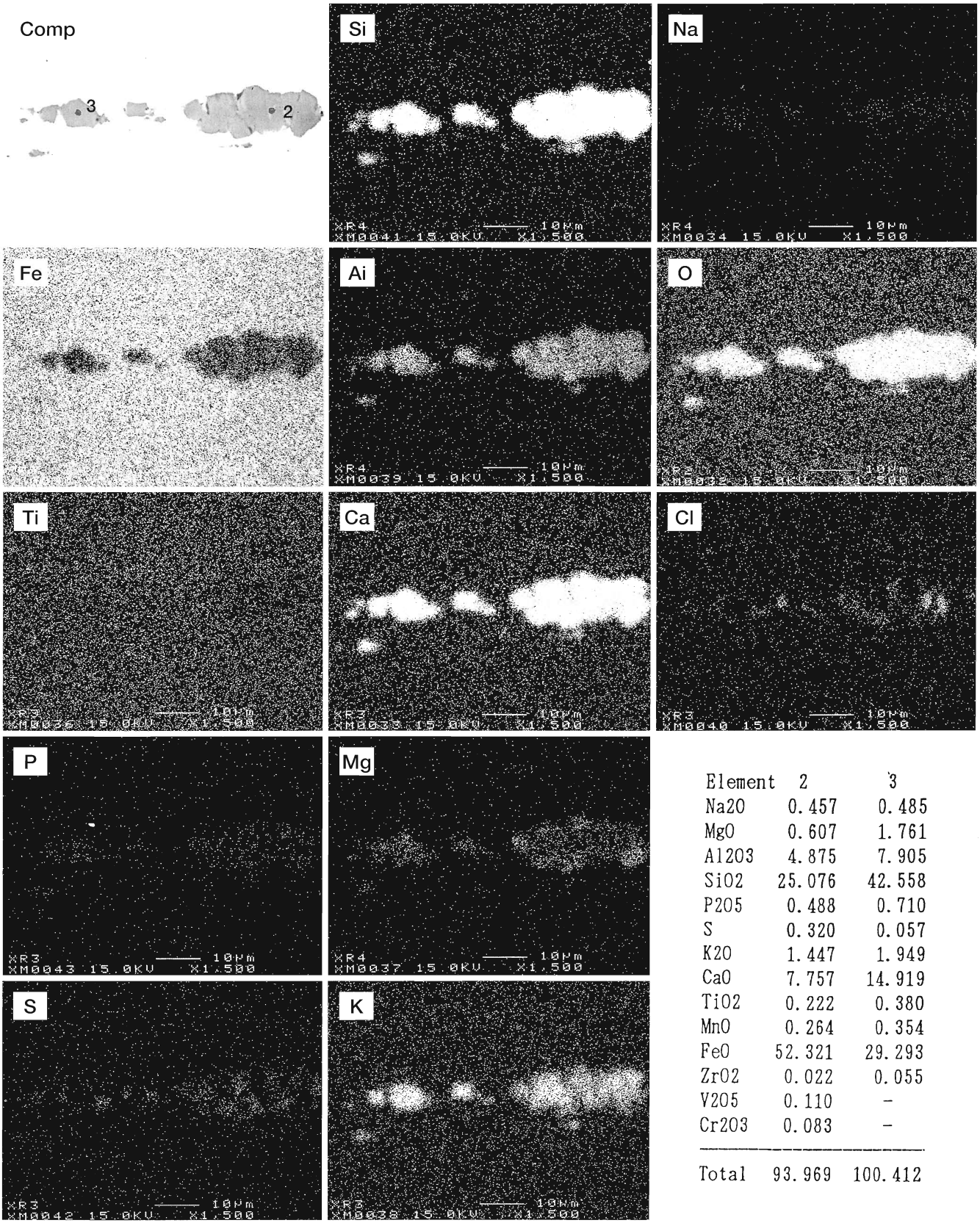
Element	1
Na2O	0.665
MgO	2.234
Al2O3	7.750
SiO2	71.097
P2O5	-
S	-
K2O	3.067
CaO	13.637
TiO2	0.579
MnO	0.041
FeO	3.140
ZrO2	-
V2O5	0.028
Cr2O3	0.082
Total	102.320

Photo.11　鉄斧（HRT−3）鉄中非金属介在物の特性X線像と定量分析値（×1000・縮小0.6）



Element	4	5
Na2O	0.044	0.506
MgO	0.592	1.528
Al2O3	0.334	6.364
SiO2	0.199	33.884
P2O5	-	1.303
S	0.011	0.096
K2O	-	2.645
CaO	-	12.478
TiO2	0.198	0.100
MnO	0.025	0.184
FeO	100.451	41.747
ZrO2	-	-
V2O5	-	0.099
Cr2O3	0.004	0.039
Total	101.855	100.949

Photo.12　方形板状鉄片（HRT―5、その1）鉄中非金属介在物の特性X線像と定量分析値（×1500・縮小0.6）



Element	2	3
Na2O	0.457	0.485
MgO	0.607	1.761
Al2O3	4.875	7.905
SiO2	25.076	42.558
P2O5	0.488	0.710
S	0.320	0.057
K2O	1.447	1.949
CaO	7.757	14.919
TiO2	0.222	0.380
MnO	0.264	0.354
FeO	52.321	29.293
ZrO2	0.022	0.055
V2O5	0.110	-
Cr2O3	0.083	-
Total	93.969	100.412

Photo.13　方形板状鉄片（HRT−5、その2）鉄中非金属介在物の特性X線像と定量分析値（×1500・縮小0.6）

Fig.1　鉄斧と方形板状鉄片の厚さ方向硬度分布

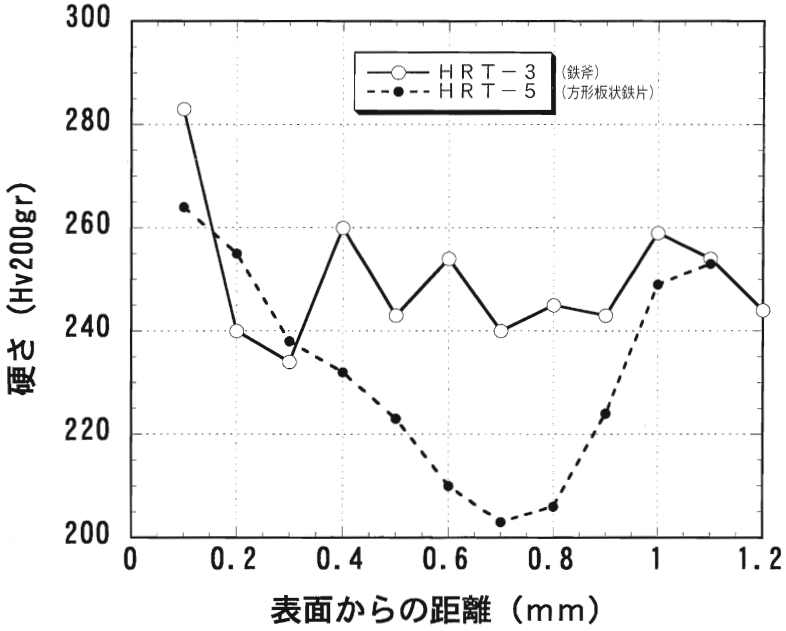


Fig.2　鉄斧（HRT−3）鉄中非金属介在物のコンピュータープログラムによる高速定性分析結果（photo.11に対応）

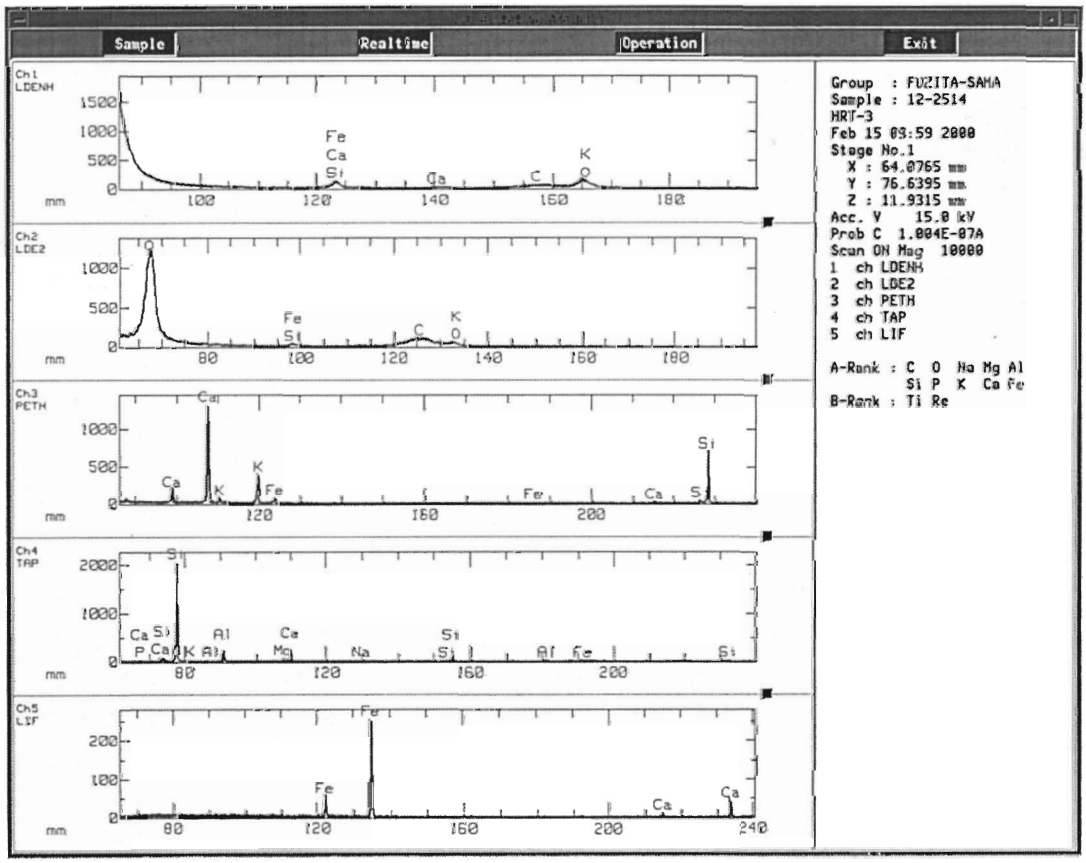


Fig.3　方形板状鉄片（HRT−5 その1）鉄中非金属介在物のコンピュータープログラムによる高速定性分析結果（photo.12と対応）

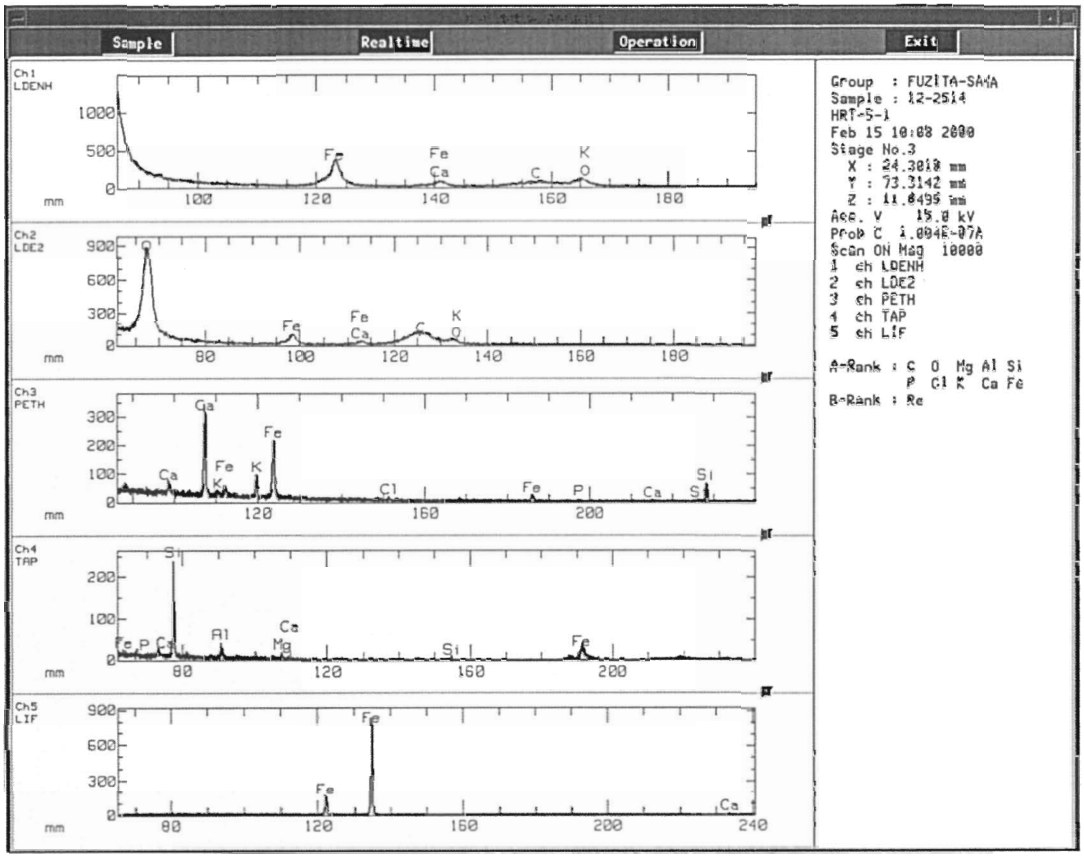
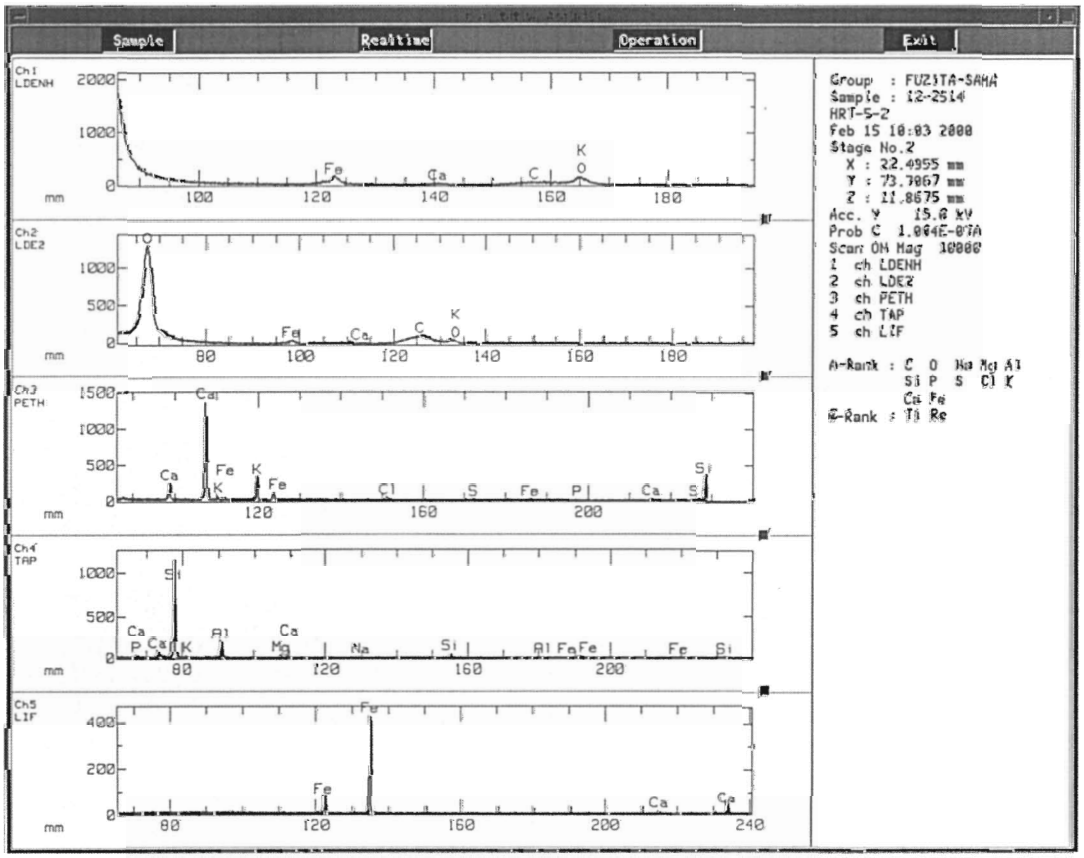



Fig.4　方形板状鉄片（HRT−5、その2）鉄中非金属介在物のコンピュータープログラムによる高速定性分析結果（photo.13と対応）