

5. 鉄地の金属学的調査

九州テクノリサーチ・TACセンター 大澤 正己・鈴木 瑞穂

1. 調査方法

1-1. 供試材

愛知県美術館所蔵 木村定三コレクション M1027 の調査を実施した。

1-2. 調査項目

(1) マクロ組織

本来は肉眼またはルーペで観察した組織であるが、本稿では顕微鏡埋込み試料の断面全体像を、低倍率で撮影したものを指す。当調査は、顕微鏡検査によるよりも広い範囲にわたって、組織の分布状態、形状、大きさなどの観察ができる利点がある。

(2) 顕微鏡組織

金属鉄部の組織観察、鉄中非金属介在物の調査などを目的とする。

光学顕微鏡を用い観察を実施した。観察面は供試材を切り出した後、エメリー研磨紙の#150、#240、#320、#600、#1000、及びダイヤモンド粒子の 3μ と 1μ で順を追って研磨している。また腐食（Etching）液には3%ナイトル（硝酸アルコール液）を用いた。

(3) ビッカース断面硬度

ビッカース断面硬度計（Vickers Hardness Tester）を用いて、金属鉄部の硬さ測定を行った。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、その荷重を除した商を硬度値としている。試料は顕微鏡用を併用し、荷重100gfで測定した。

(4) EPMA（Electron Probe Micro Analyzer）調査

鉄中非金属介在物の組成調査を目的とする。

試料面（顕微鏡試料併用）に真空中で電子線を照射し、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。更に標準試料と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。

反射電子像（COMP）は、調査面の組成の違いを明度で表示するものである。重い元素で構成される個所ほど明るく、軽い元素で構成される個所ほど暗い色調で示される。これを利用して、各相の組成の違いを確認後、定量分析を実施している。

また元素の分布状態を把握するため、反射電子像に加え、特性X線像の撮影も適宜行った。

2. 調査結果

K-1：木村定三コレクションM1027

- (1) マクロ組織：Photo.1 ①に示す。鍛打に伴い展伸した形状の非金属介在物（黒色部）が多数分布する。また金属鉄部は3%ナイトルで腐食したところ亜共析域（ $<0.77\%C$ ）の層状の濃淡が現れた。これらは鍛造製品の特徴である。
- (2) 顕微鏡組織：Photo.1 ②～⑥に示す。②は①の右寄りの部分の拡大、さらに③④は比較的炭素含有量の高い個所の拡大である。素地はベイナイト（Bainite：微細なフェライト中に更に小さなセメントライトが分散している組織）で針状フェライト（Ferrite： α 鉄）が析出する。この金属組織と後述のビッカース断面硬度の測定結果から、比較的高炭素域での炭素含有量で0.2%前後と推定される。

一方⑤⑥は低炭素域の拡大である。ごく微細な多角形状のフェライト結晶主体の組織であった。炭素含有量は0.1%未満と推定される。この部分は細かい非金属介在物が多数分布しているので周囲が脱炭されて低炭素域となり、炭素量が少ないことで鍛打加工の影響がより強く現れて、こうした微細な組織になった可能性が考えられる。

(3) ビッカース断面硬度：Photo.1 ②の金属鉄部の硬度測定を実施した（0.5mm間隔で2列測定）。硬度値は114～178Hvであった。金属組織の層状の濃淡に対応して、低炭素域では軟質、やや炭素含有量の高い個所では若干硬質の値となっている。硬度値はペイナイトを裏付ける

(4) EPMA調査：Photo.2 ①に鉄中非金属の反射電子像（COMP）を示す。特性X線像では珪素（Si）、酸素（O）に強い反応が、アルミニウム（Al）、マンガン（Mn）にごく弱い反応がみられる。定量分析値は46.0%SiO₂-6.7%Al₂O₃-3.8%CaO-4.9%K₂O-0.9%Na₂O-5.2%MnO-29.7%FeO（分析点1）、46.9%SiO₂-7.1%Al₂O₃-3.8%CaO-5.2%K₂O-1.1%Na₂O-5.3%MnO-27.6%FeO（分析点2）であった。珪酸塩系の非金属介在物である。鉄（FeO）、マンガン（MnO）が比較的高い割合で含まれる。

もう1視野、Photo.2 ②に鉄中非金属の反射電子像（COMP）を示す。黒色素地部分は特性X線では珪素（Si）、アルミニウム（Al）、酸素（O）に反応がある。定量分析値は33.1%SiO₂-20.3%Al₂O₃-7.0%CaO-4.2%K₂O-2.3%Na₂O-1.2%P₂O₅-27.6%FeO（分析点6）であった。珪酸塩系で鉄（FeO）、磷酸（P₂O₅）が比較的高い割合で含まれる。また淡灰色結晶は特性X線像をみると鉄（Fe）、珪素（Si）、酸素（O）に反応がある。定量分析値は60.9%FeO-4.4%MnO-1.3%MgO-32.2%SiO₂であった（分析点7）。ファヤライト（Fayalite：2FeO・SiO₂）で、少量マンガン（MnO）、マグネシウム（MgO）を固溶する。白色粒状結晶は特性X線像では、鉄（Fe）酸素（O）に反応がある。定量分析値は91.7%FeO（分析点8）であった。ウスタイト（Wustite：FeO）に同定される。

3. まとめ

今回調査を実施した木村定三コレクションM1027は、比較的炭素含有量の高い個所でも0.2%前後の軟鉄材を熱間で鍛打加工した鍛造品であった。内部には展伸状の非金属介在物が多数分布しており、鍛接性は明瞭でないが鉄素材は折返し鍛錬が施されている。優れた鍛造技術である。

また鉄中には珪酸塩系とウスタイト（Wustite：FeO）およびファヤライト（Fayalite：2FeO・SiO₂）が晶出する非金属介在物が分布する。いずれも鍛錬鍛冶作業中の鍛接剤〔粘土汁など（SiO₂、Al₂O₃主成分）由来の可能性が考えられる。ただしマンガン（MnO）の高値傾向があり、これが製鉄原料起源のものであれば、鉄素材の始発原料はマンガンを富む塊状鉄鉱石であったと推測される。なお該品は多量の酸化物系介在物を含むので、その出自は塊錬鉄もしくは錬鉄が想定される。

K-1

筒状鉄製品

- ①マクロ組織、ナイトルetch
- ②硬度測定、荷重100gf、0.5mm間隔
- ③④高炭素域拡大、素地ペイナイト、針状フェライト
- ⑤⑥低炭素域拡大、微細な多角形状のフェライト主体

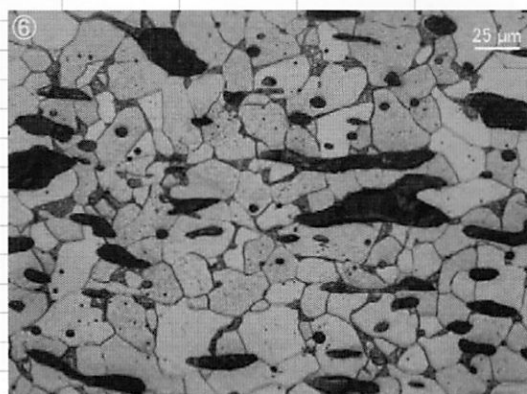
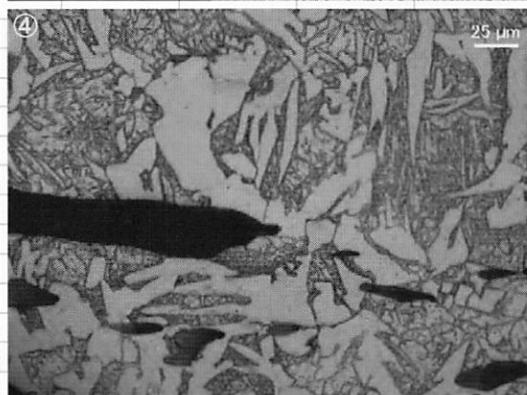
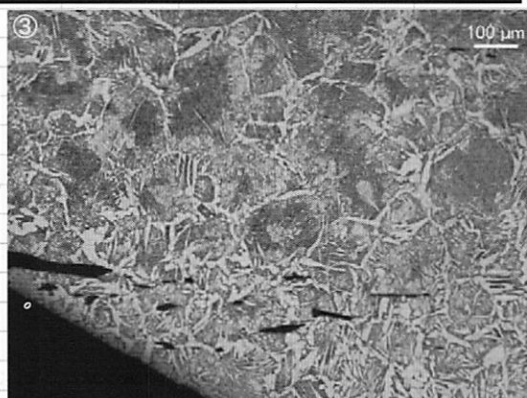
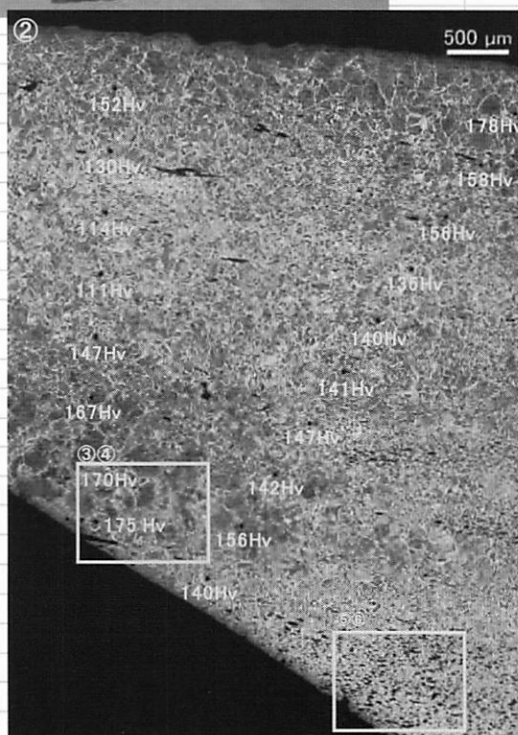
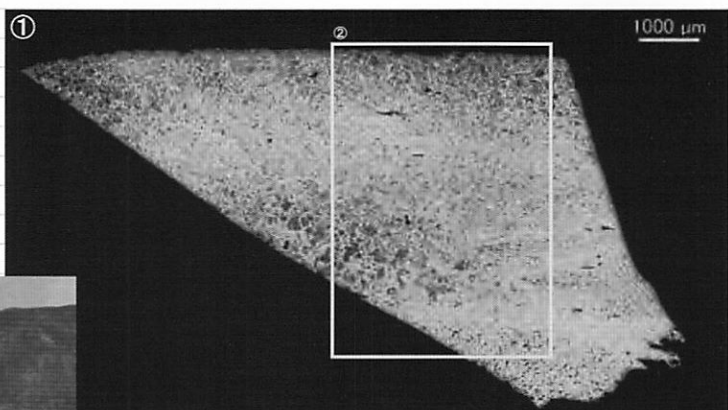
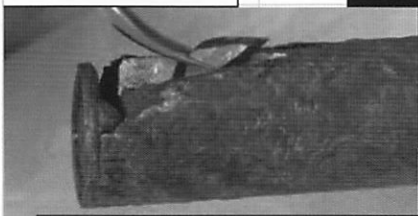


Photo.1 筒状鉄製品の断面顕微鏡組織

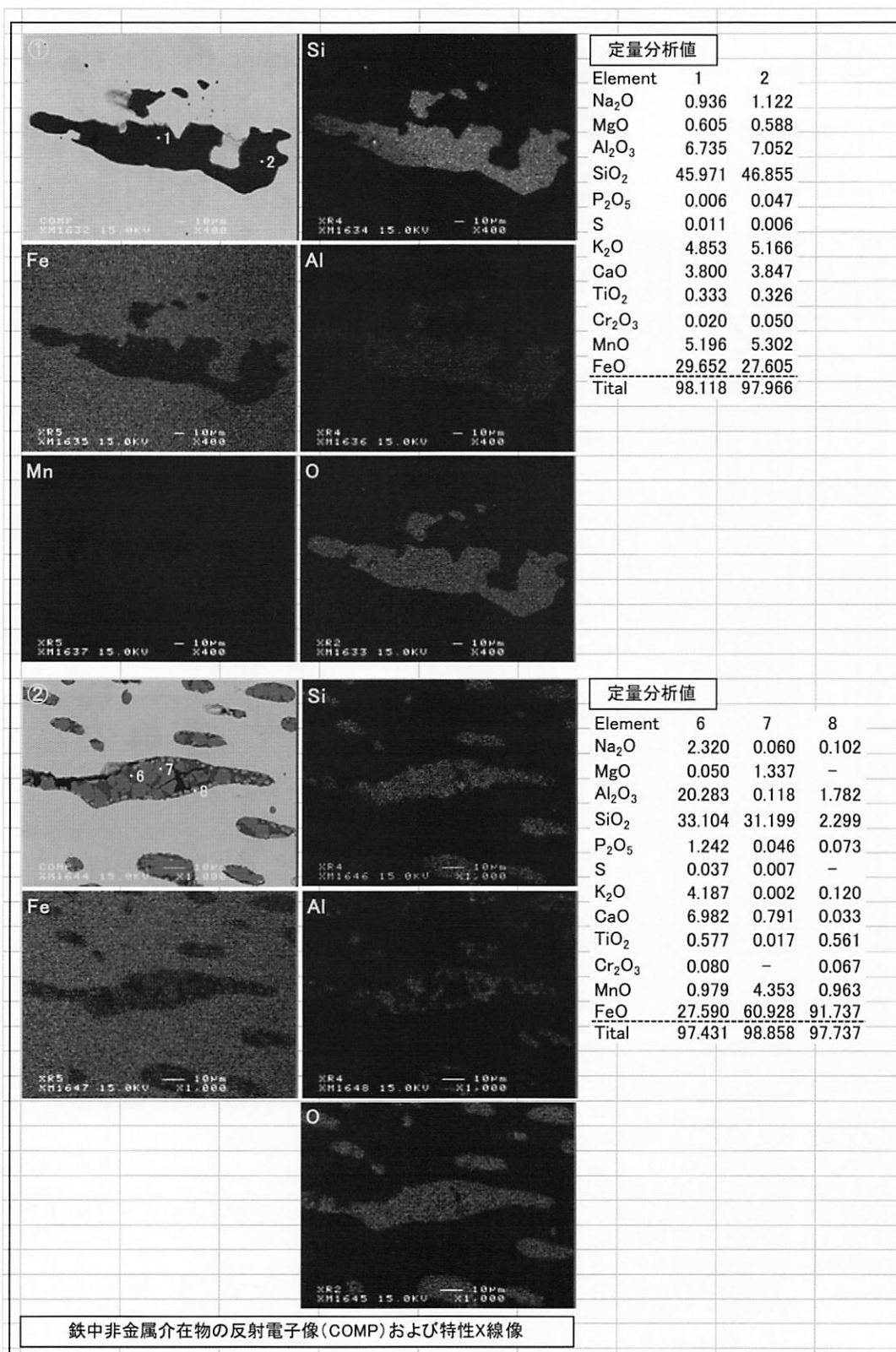


Photo.2 筒状鉄製品のEPMA調査結果