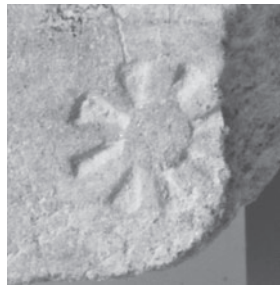




1



2



3



4



5



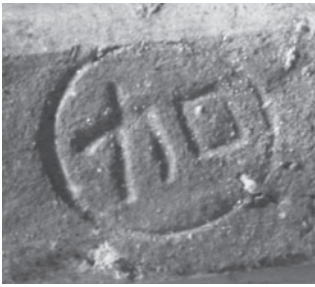
6



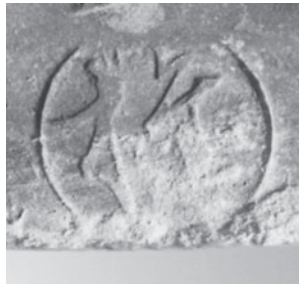
7



8



9



10



11



12



13



14



15

写真3-20 熔鋳炉跡出土瓦印銘（番号は図3-27と同じ）

6 自然科学的分析

6-1 鉄関連遺物の自然科学的分析

平井 昭 司

1. はじめに

鹿児島市吉野町磯に所在する旧集成館は、薩摩藩主・島津斉彬（1809 - 1858 年）が 1851 年（嘉永 4 年）に藩主となってから始められた、わが国の近代工業を目指した一大事業の工場群の跡地で、1959 年（昭和 34 年）に国の史跡にも指定されている。1851 年（嘉永 4 年）には佐賀藩が鉄製砲製造のため反射炉を建設したため、薩摩藩も当所において 1852 年（嘉永 5 年）反射炉の建造が行われた。それに続き、1853 年（安政元年）には現鶴嶺神社の境内に熔鋳炉が建設された。その様子が「薩州鹿児島見取絵図（1857 年；安政 4 年）」に描かれ、2003 年の地下レーダー探査の結果により推定された。このため、図 1 に示すような鶴嶺神社境内の一部を 3 回（第 1 次調査；2003 年 3 月，第 2 次調査；2004 年 3 月，第 3 次調査；2006 年 3 月）にわたり発掘調査し、鉄関連遺物や瓦，レンガ，陶磁器等多数の遺物が出土した。今回，これら出土遺物のうち，鉄関連遺物に注目して資料採取し，自然科学的分析を行い，遺物の特徴を明かすことを目的とした。本分析では，光学顕微鏡による組織観察，EPMA（電子プローブマイクロアナライザー）による元素分布の調査を行なった。

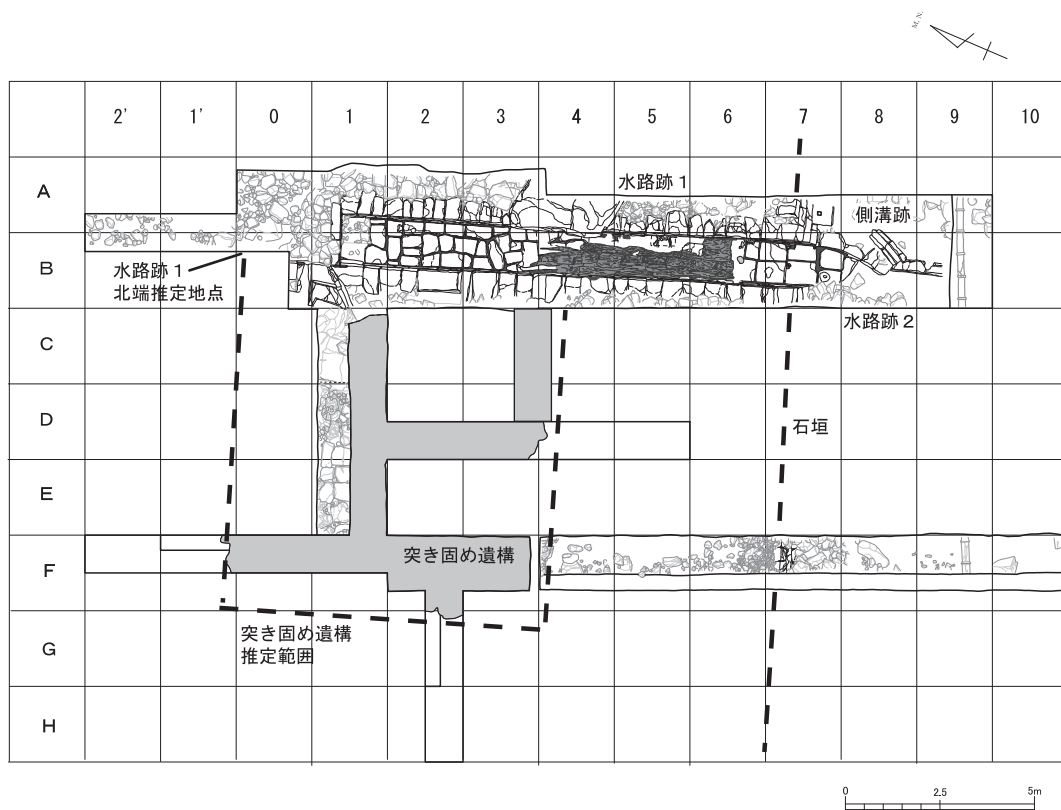


図 1 発掘遺構配置図 (S=1:200)

2. 分析資料

分析に供した資料は 12 点で、その一覧表を表 1 に示す。資料番号は、便宜的にわれわれが付けた記号である。また、それぞれの遺物の写真を図 2～図 13 に示す。表 1 の遺物の種類の名称で、鉄塊あるいは鉄板の区別がつかないものは、鉄塊にし、KSY-9 は鉄塊とスラグ（鉄滓）の両部分があるので、両方の名称を

表1 分析資料の一覧

資料番号	遺物の種類	資料重量 (g)	着磁性	出土場所	出土位置	調査時期	出土時期
KSY-1	鉄塊	93.6	強	熔鋳炉跡	A-1区 II外下層瓦	第1次調査	H15.3.22
KSY-2	鉄板	42.7	弱	熔鋳炉跡	A-1区 II層	第1次調査	H15.3.21
KSY-3	鉄塊	101.0	弱	熔鋳炉跡	A-1区 水路1	第2次調査	H16.3.14
KSY-4	鉄塊	22.0	強	熔鋳炉跡	A・B-0区 II層	第3次調査	H18.3.11
KSY-5	鉄塊	70.6	強	熔鋳炉跡	F-1区 I層	第3次調査	H18.3.11
KSY-6	鉄塊	124.0	強	熔鋳炉跡	A・B-0区 II層	第3次調査	H18.3.11
KSY-7	鉄板	515.0	強	熔鋳炉跡	A・B-6区 溝内中	第3次調査	H18.3.11
KSY-8	鉄塊	53.2	強	熔鋳炉跡	A・B-6区 溝内中	第3次調査	H18.3.17
KSY-9	鉄塊・鉄滓	158.0	強	熔鋳炉跡	水路1内 東壁下部 付着鉄滓	第3次調査	H18.3.17
KSY-10	鉄滓	250.0	強	集成館 反射炉跡裏	表探	第3次調査	H21.2.2
KSY-11	羽口	—	なし	熔鋳炉跡	A・B-7区 水路1	第3次調査	—
KSY-12	羽口	—	なし	熔鋳炉跡	A・B-7区 水路1	第3次調査	—

用いている。また、着磁性については、一般に事務用品として使われている磁石を利用して、着磁力を感覚で確認し、目安を示している。写真中に示されている直線は、金属組織観察のための埋め込み用試料の採取箇所、ダイヤモンド刃の自動切断器(BUEHLER社製: Isomet LOW SPEED SAW、潤滑・冷却液: エチルアルコール)とハンディー用のカッター((株)ミニター製: M25H)を用いて切断を行った。以下に、各遺物の写真と外観の様子を示す。

KSY-1の表面は、褐色で錆に覆われているが、一部青緑色のところがあり銅が付着して緑青になっているかもしれない。全体に重く、ごつごつしているが、表面には割れたひびの跡がある。切断した面は、黒褐色で密なる錆あるいは滓のようにも思えるが、その内部には健全な金属光沢が見える。

KSY-2の表面は、褐色で小さな粒上の錆等で覆われている。L字型の板状片のものが錆化し、全体に膨らんでいるように思える。切断面の反対側は錆が付着してなく、板状の一面がうかがえる。大きさの割には軽い遺物である。切断面は黒褐色で、密であるが、層状の空洞もみられる。

KSY-3の表面には褐色の錆が付着し、層状なものが重なって固まった様子を示し、硬い状態になっている。黒い表面には炭化した木片のような様相をも示している。大きさの割には、軽い遺物である。切断面は黒色部と灰黒色部とがあり、また、層状の空洞もある。

KSY-4の表面は、褐色の部分と黒色の部分とがある。板状のものが一部溶け固まった様相を示しているが、全体は錆化している。着磁性は全体的にある。切断面は黒色で密の様相を



図2 KSY-1(鉄塊)の外観写真



図3 KSY-2(鉄板)の外観写真



図4 KSY-3(鉄塊)の外観写真

示しているが、層状の空孔も多数ある。

KSY - 5 の表面は、褐色の部分と黒色の部分の錆に覆れている。層状なものが重なり、固まり合っているようで、硬くなっている。板状の鉄片が錆化し、層状になっているようにも思える。黒色部分の着磁性は他の箇所より強い。切断面は真っ黒なところと多少灰色っぽいところがあり、密になっているが、層状の空孔も存在する。

KSY - 6 の表面は、小さな褐色の錆に覆われている。鉄が流れ出て固まったようである。切断すると内部には鉄金属光沢があるところと、灰色な粒粒の金属色のところと黒色のところが混在している。小さい遺物の割には重たい。分析は鉄金属が残存する部分の観察に重点を置いた。

KSY - 7 は、厚さ 2 cm ぐらいの鉄板片で、表面は褐色と黒色の錆に覆われている。遺物の横から見ると錆化により層状になっているのがわかる。力を加えると剥がれてしまうところもある。また、層状の一枚一枚は硬く、切断面には健全な金属光沢がみられた。

KSY - 8 の表面は褐色で、小さな粒上の錆に覆われている。鉄塊が錆化し、無数のひびが入っている。切断面は黒褐色のところと褐色のところと灰色のところと混ざり合っている。それらの間に空孔もみえる。粘土あるいはスラグをも混在しているかもしれない。大きさの割には重たい。

KSY - 9 は、スカスカのスラグ状のものに丸い鉄球が付着し、付着していた箇所には鉄が黒く錆化したところと無数の小さな穴があいたスラグになり、一部溶けた黒色のガラス質のところがあった。黒っぽいところは着磁性があるが、無数の穴が開いた褐色部分は着磁性がない。表面の一部に青緑色の緑青のようなものがあった。全体に重たい。



図 8 KSY - 7 (鉄板) の外観写真



図 5 KSY - 4 (鉄塊) の外観写真

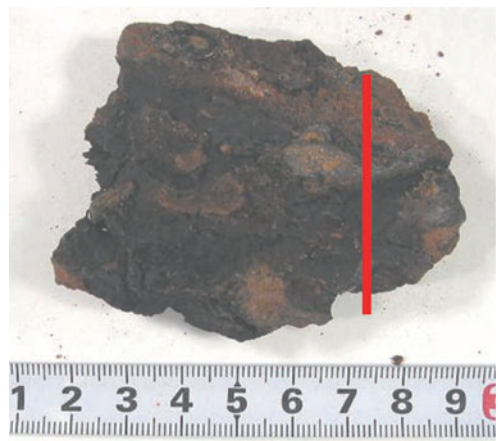


図 6 KSY - 5 (鉄塊) の外観写真



図 7 KSY - 6 (鉄塊) の外観写真



図 9 KSY - 8 (鉄塊) の外観写真

KSY - 10 は、流れ出たスラグが固まった様相を示し、表面は黒色である。切断面には大小の空孔が多数みられる。全体的に硬く、割られたものの一部である。

KSY - 11 は、羽口（外径；約 9 cm φ、内径；4 cm φ）の先が溶けて固まった状態で、先端に行くに従い、ハチの巣状になっており、硬いが脆い。この箇所は褐色になっているが、そのところどころに黒く滑らかなになっているところがある。ガラス質のところと中空の鉄皮が固まったようでもある。分析箇所はガラス質であるが、切断中に火花も飛んだ。

KSY - 12 は、羽口（外径；約 9 cm φ、内径；4 cm φ）の先が溶けて固まった状態で、羽口の全体が被熱していない様子である。溶解部分は黒く、滑らかな硬い状態になっているが、切断した内部には灰色のガラス質になっている。

3. 自然科学的分析方法

3-1 光学顕微鏡法による組織観察

切断採取した試料を直径 1 インチの大きさの型に入れ、ウッドメタル (Bi-Pb-Sn-Cd 合金) で埋め込み、硬化させた後に研磨を行い、顕微鏡観察を行った。観察には倒立型金属顕微鏡 (Nikon 製：EIPHOT300) を使用し、拡大倍率 100 倍で行った。

3-2 EPMA による元素分布調査

電子プローブマイクロアナライザ (日本電子製：JXA-8200) を使用して EPMA 分析を行った。顕微鏡観察を終えた試料を EPMA 分析のために、再度試料表面の研磨を行い、非導電体による帯電の影響を防ぐため、分析面に Au の蒸着を行った。測定は、加速電圧：15kV、照射電流： 1.3×10^{-7} A、ビーム径： $1 \mu\text{m}$ の条件で行い、計 15 元素 (C、O、Na、Al、Si、P、S、Cl、Ca、Ti、Fe、Co、Cu、As、Sb) のマッピングの画像を解析した。また、元素分析以外に反射電子組成像 (CP) の画像が出力される。マッピングの条件は、測定視野：400×400 μm 、画素サイズ： $1 \mu\text{m}$ 、画素数：16 万 pixel、計測時間：10msec/1pixel である。マッピング像の明るさは、測定視野内で最も高い強度 (count) を最高値とし、0(count) を最低値として各元素の分布と存在量を示した。



図 10 KSY - 9 (鉄塊・鉄滓) の外観写真



図 11 KSY - 10 (鉄滓) の外観写真



図 12 KSY - 11 (羽口) の外観写真



図 13 KSY - 12 (羽口) の外観写真

4. 観察結果及び考察

各資料から切り出した試料を1インチφの型枠の中に埋め込み、光学顕微鏡及びEPMA用の試料とした。これらの試料の複数個所を光学顕微鏡及びEPMAで観察したので、複数の画像を以下に示す。なお、光学顕微鏡の画像とEPMAのCP像とはほぼ同様な画像で、前者は100倍、後者は約400倍である。

また、KSY-1からKSY-5までとKSY-8の試料については、光学顕微鏡像とEPMA像により考察するが、それ以外の試料についてはEPMA像だけにより考察する。

KSY-1 (鉄塊)

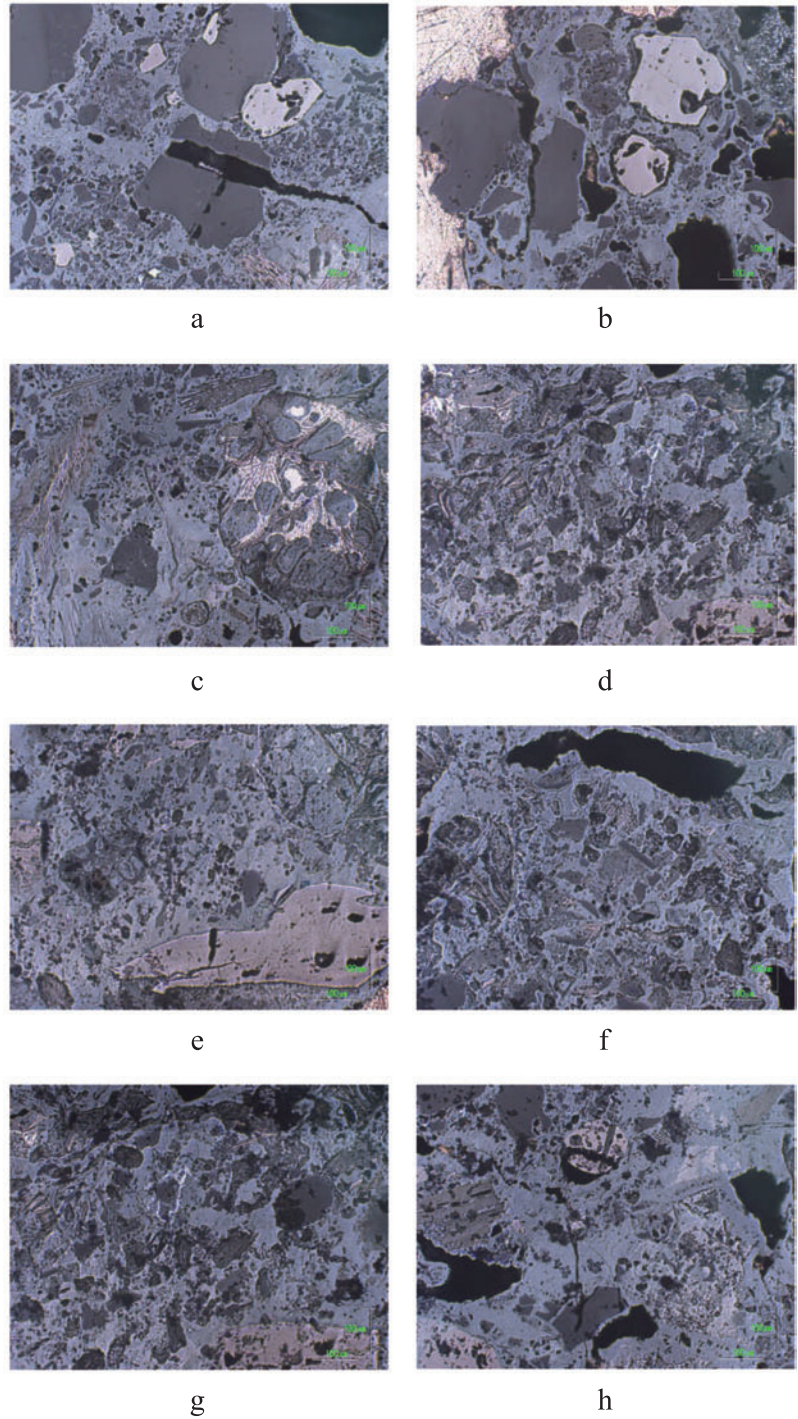
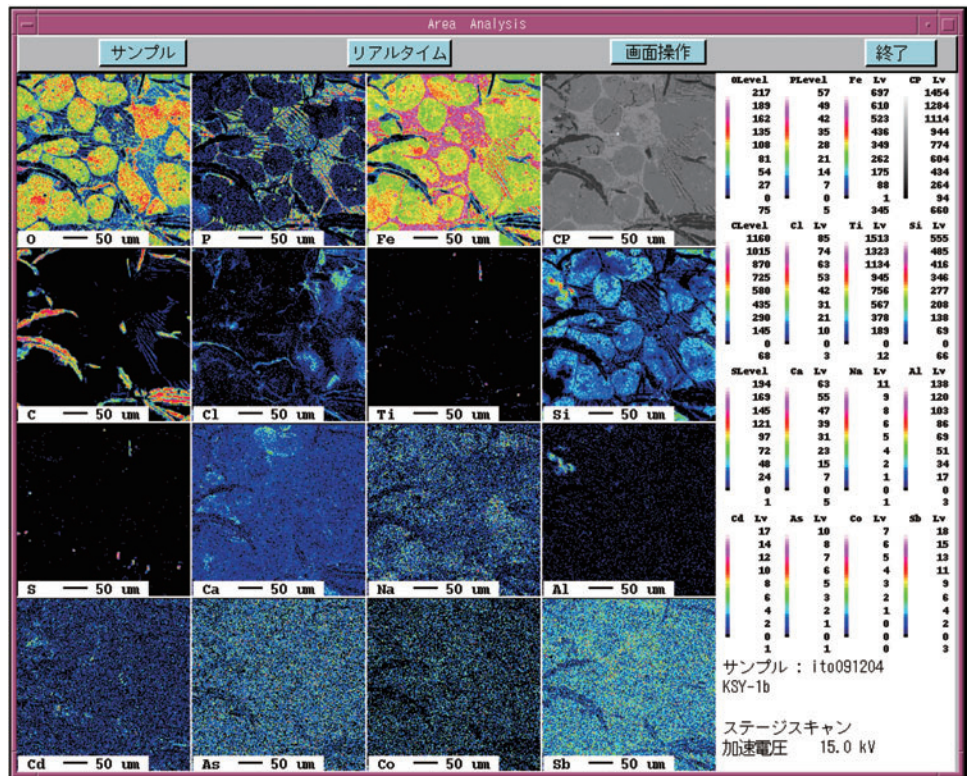


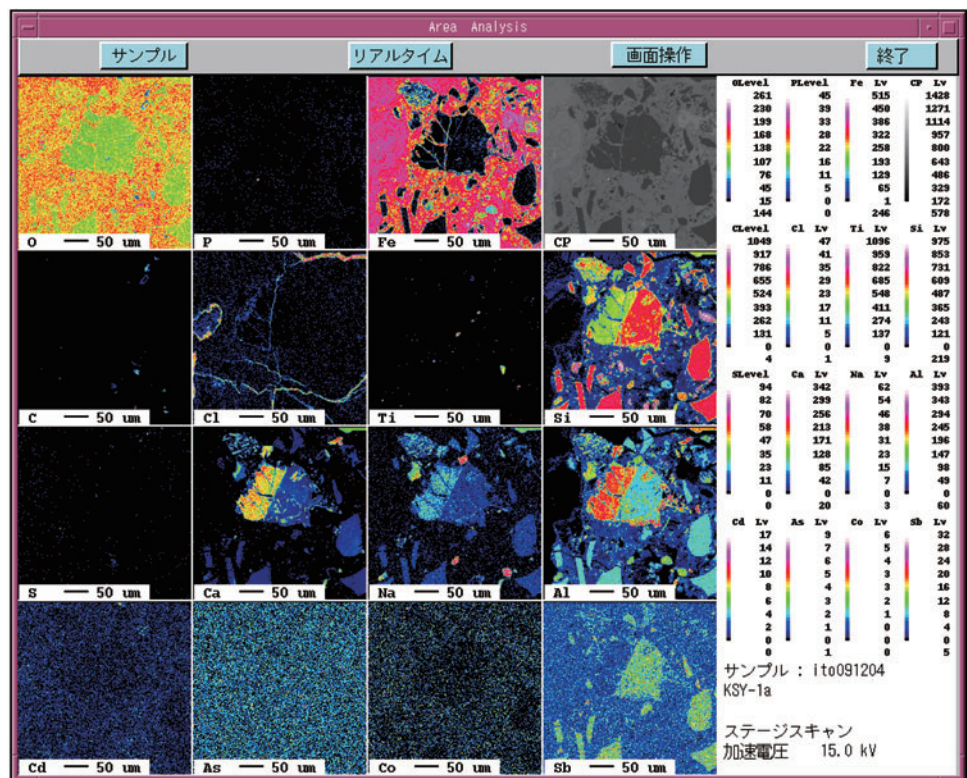
図 14 KSY-1 の光学顕微鏡観察像 (a ~ h)

* KSY - 1 (鉄塊)

光学顕微鏡像をみると複雑な形状をしているのがわかる。真黒なところは空孔であり、灰色の素地に大小の角ばったものや、多少丸みの帯びたものが観察される。EPMA像の(a)と(b)とは異なる。(a)は鉄が酸化しているところを観察しているが、酸化した鉄の中に炭素すなわち黒鉛の析出がみられる。おそらく鑄鉄が錆化したか、あるいは酸化鉄が金属鉄に移り変わっていく途中かとも推察できる。また、鉄中にはPの存在が確認できることから鉄鉱石由来であったようにも思える。さらに、SiとOとからなる滓成分も観察できることから、鉄と滓とがあまりよく分離されていなかったものと思われる。EPMA像の(b)での錆化した鉄中に角ばったところは、Si、Al、Na、O、Caが多くみられることから造滓成分のガラス質(SiO_2 , Al_2O_3 , Na_2O , CaO)であると推察できる。



a



b

図 15 KSY-1 の EPMA 解析像 (a, b)

* KSY - 2 (鉄板)

光学顕微鏡像では大きな空孔が多数黒く映っている。EPMA の CP 像でも同様な画像を確認できる。光学顕微鏡像 (h) のようにほぼ灰色の箇所は EPMA 像にはないが、この画像中にも無数の小さな空孔がみられる。おそらく、固まる途中に多量のガス成分が放出してできたものと思われる。EPMA 像では主に Fe と O とが同一の箇所を表れていることから、鉄が酸化しているものと思われる。その周辺部には炭素すなわち黒鉛の存在がかなりみられる。鉄が固まる途中に周辺の炭素成分を取り込んだものと推察できる。また、一部分ではあるが、Si の存在が確認できるので、ガラス質のスラグが鉄中に介在しているものと思われる。形状が鉄板状であることから、この板に溶けた鉄あるいはスラグが一部付着したと思われる。

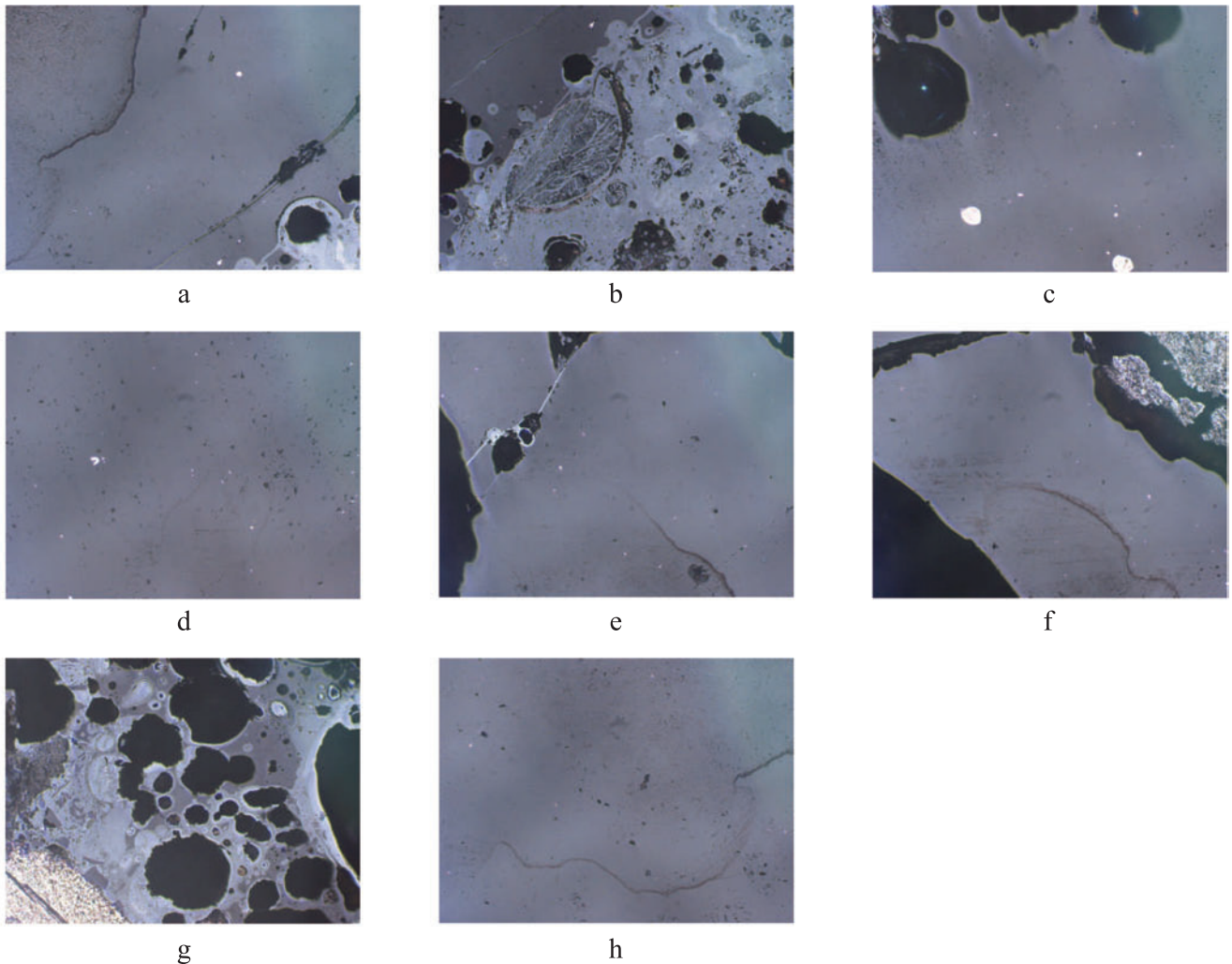
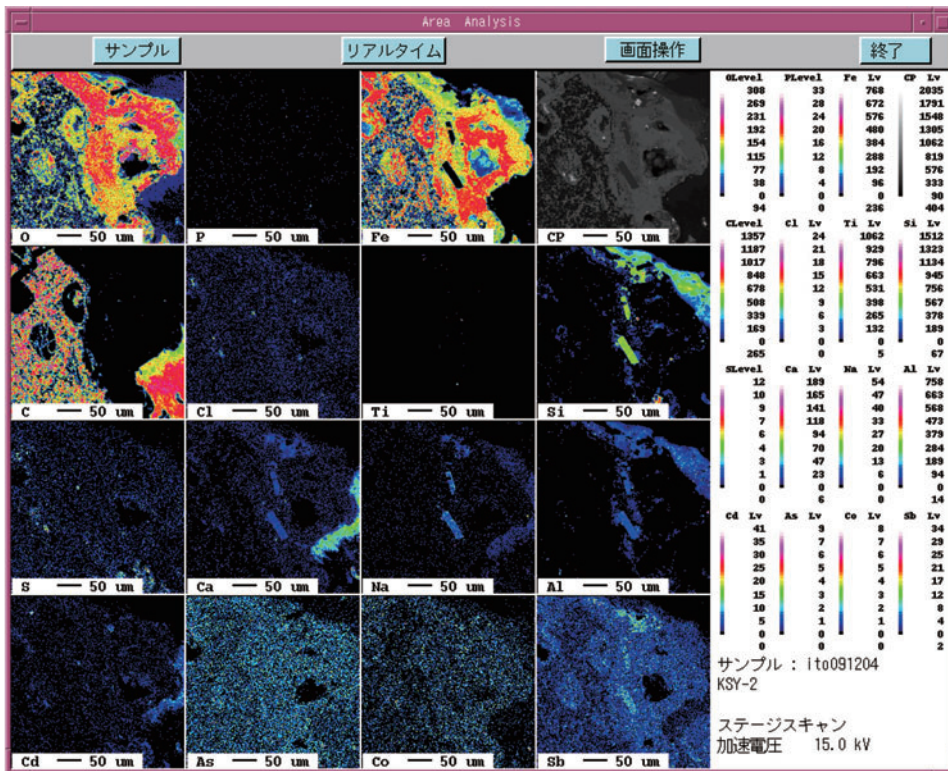
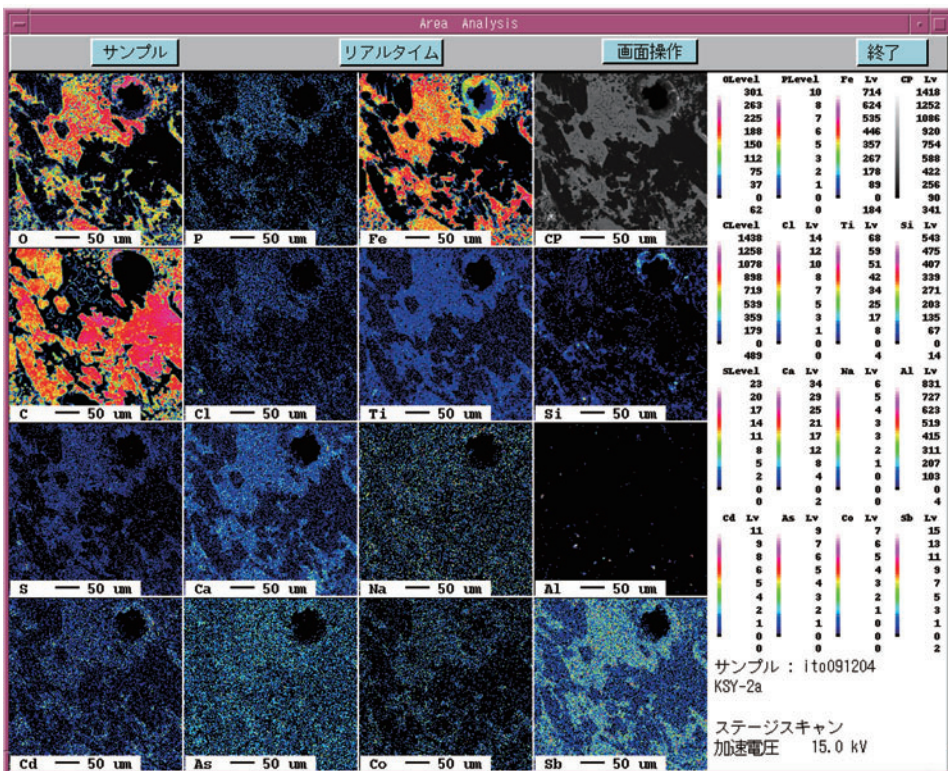


図 16 KSY-2 の光学顕微鏡観察像 (a ~ h)



a



b

図 17 KSY-2 の EPMA 解析像 (a, b)

* KSY - 3 (鉄塊)

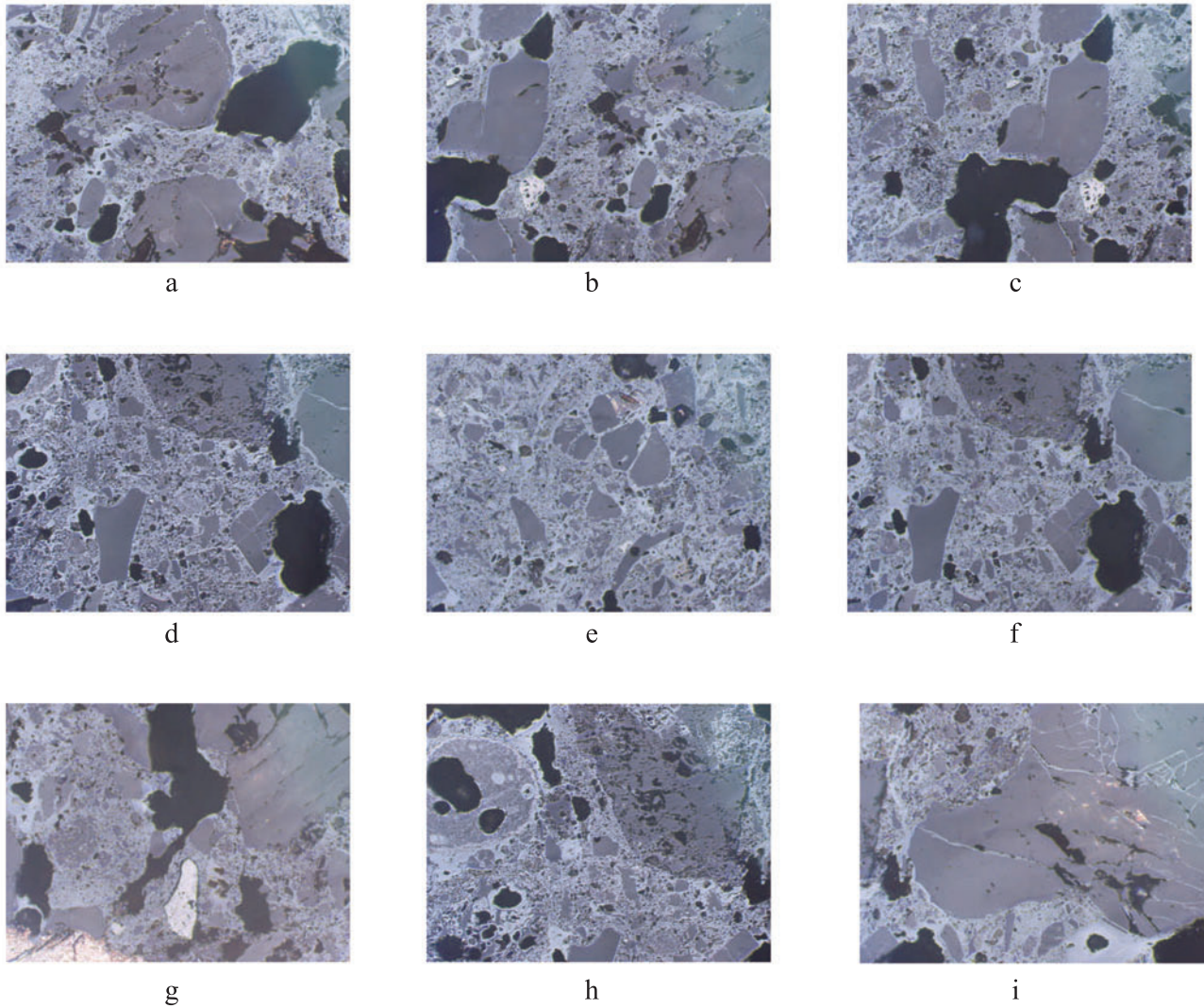


図 18 KSY-3 の光学顕微鏡観察像 (a ~ i)

光学顕微鏡像をみると、薄灰色の素地の中に大きな角ばったものや角の取れた大きなものがみられる。これらのものは、EPMA 像をみると、これらは酸化が進んでいない鉄と酸化した鉄片の集まりかと推察できる。その鉄片の中には、 SiO_2 としてガラス質の高いところとガラス質 SiO_2 に Al_2O_3 、 Na_2O や CaO が固溶したスラグがみられ、介在物として混入したものと推察できる。さらに、これらの周辺にも炭素の存在が確認でき、固まる際に周辺から取り込まれたものと思われる。