

土壤中の考古学的金属製品の 腐食に関する調査

(核燃料サイクル開発機構 研究委託内容報告書)

2000年2月

日立エンジニアリング株式会社

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字村松4-49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課

Inquires about copyright and reproduction should be addressed to:
Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184
Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)
2000

2000年2月

土壤中の考古学的金属製品の腐食に関する調査

本田 順* 山口新吾*

要 旨

数百年以上にわたって土壤中に埋もれていた鉄製の考古遺物は、腐食による厚い鏽層に覆われており金属鉄の残存状態や原形の推定が極めて難しい。本研究では約500~1,000年前の遺跡から発掘された釜、短刀、釘などを対象に研究を実施した。

- (1) X線CT計測により鏽層と鉄とを高精度に分離計測でき、更に鉄が残存しない場合も原形状を推定できること等を明らかにした。また、X線透過試験との比較も行った。
- (2) 密度測定、付着物の化学分析を実施し、X線CT計測により得られた鏽厚さから腐食量及び腐食速度の推定を行った。
- (3) 同年代の鉄津を評価し、古代鉄と現在の炭素鋼の性状の違いについて検討した。

本報告書は、日立エンジニアリング株式会社が核燃料サイクル開発機構の委託により実施した研究成果に関するものである。

機構担当部課室：東海事業所 環境保全・研究開発センター

処分研究部 処分バリア性能研究グループ

*：日立エンジニアリング株式会社

February, 2000

Inspection about the corrosion of metallic archaeological artifacts in ground

Takashi Honda*, and Shingo Yamaguchi*

Abstract

In general, it is very difficult to evaluate the residual state of metallic iron and the original shape of iron-base archaeological artifacts, as these are covered by thick oxide films formed in the ground during over several hundred years. The purpose of this research is to quantify the corrosion of an artifact such as base, knife, and nail, which was digged out of the relics about 500-1,000 years old.

- (1) The outer oxide film layer and the inner metallic iron can be quantitatively divided by using X-ray CT method. Furthermore, the original surfaces of artifacts can be estimated from the obtained images, even if the metallic iron has corroded completely. The X-ray CT images were also compared with those obtained by X-ray transmission inspection.
- (2) The corrosion amounts and rates were evaluated on the basis of thicknesses, densities, and iron concentrations of oxide films.
- (3) The characteristic differences between ancient iron and modern carbon steel were evaluated by analyzing the ancient iron slag.

This work was performed by Hitachi Engineering Co., Ltd under contact with Japan Nuclear Cycle Development Institute.

JNC Liaison : Barrier Performance Group, Waste Isolation Research Division,
Waste Management and Fuel Cycle Research Center, Tokai Works

* : Hitachi Engineering Co., Ltd

目 次

要 旨	i
Abstract	ii
1. 緒 言	1
2. 試験方法	
2.1 鉄器の測定	2
2.2 鉄滓の測定	2
3. 結 果	
3.1 鉄 器	
3.1.1 X線CTによる内部構造評価	6
3.1.2 見掛けの比重	29
3.1.3 錫層の形態と化学組成	31
3.1.4 腐食量の推定	34
3.2 鉄 洗	
3.2.1 上新保遺跡の鉄滓	37
3.2.2 染地遺跡の鉄滓	43
4. 考 察	
4.1 X線CTによる鉄器の内部診断	49
4.2 土壌中における腐食	49
4.3 古代鉄と腐食性	50
5. 結 言	56
6. 謝 辞	56
7. 参考文献	57
8. 付 錄	58
8.1 考古学遺物の出土に関する資料	
8.1.1 上新保遺跡	58
8.1.2 染地遺跡	80
8.2 X線CT装置に関する資料	
8.2.1 使用装置	89
8.3 測定結果	
8.3.1 X線CT像（ハイコントラスト画像）	91
8.3.2 X線CTの画像濃度と物質密度との関係	92
8.3.3 X線回折測定結果	109
8.3.4 蛍光X線分析結果	144
8.3.5 化学分析結果（原子吸光光度法）	184
8.3.6 SEM/EDX分析結果	185
8.3.7 腐食量のマスバランス	195

1. 緒言

高レベル放射性廃棄物の地層処分において、オーバーパックには数百年以上にわたる健全性が期待されている。炭素鋼はその候補材料の一つであり、これまでに室内試験を通して腐食速度と腐食形態に関する種々の評価が行われてきた。現在、その結果をもとに、埋設環境における1,000年間の最大腐食深さは15mm以下と推定されている。しかし、評価に用いられている試験は長くても数年間程度であり、長期の腐食量をより高い精度で予測するためには、他の方法で補完する必要があると思われる。

1,000年間に及ぶ長期の腐食量を直接的に求めることは不可能であるため、補完する方法としてナチュラルアナログが提案されている。これは言わば自然界による長期試験である。たとえば、炭山等^①は圧縮ベントナイトに類似した土壌に長期に埋設されていた鉄製水道管の腐食調査を行い、約70年間の最大腐食深さは2mm程度であることを明らかにしている。また、調査データを基に極値統計解析を行い、1,000年後のオーバーパックの最大腐食深さは11mm程度と推定している。また、Johnson等^②は種々の環境に置かれていた考古遺物を調査し、たとえば、通気されていない水中における鉄の腐食速度は相当に小さく、1,000年間で1mm程度と評価している。これらの結果は上述した室内試験の結果から推定される腐食量を超えるものではなく、評価の妥当性を示唆している。しかし、妥当性を保証するには、なお多くのデータの蓄積が必要と思われる。

本研究は、富山市上新保遺跡で出土した鉄器を対象に腐食評価を試みたものである。鉄器は約500~1,000年間土中に埋蔵されていたと推定されており、処分容器の想定埋設期間にほぼ匹敵する。したがって、腐食状況を適切に評価することができれば、極めて有益な情報が得られるものと期待される。原寸法が不明な鉄器の腐食量を知る一つの方法として、残存する鏽層から推定する方法が考えられる。しかし、近年、考古遺物は出土したものができるだけ原形のまま保存するとの立場から、切断して鏽層の厚さを計測するなどの破壊的方法はとることができない。考古学分野においても非破壊検査であるX線透過試験は用いられてきたが、この手法では鏽層と残存する鉄質との分離性に問題があり、鏽層の厚さを正確に求めることができない。そこで、本研究ではX線CTの適用の可能性を検討し、得られた断層像から腐食量の推定を試みた。また、同年代に出土した鉄滓を評価し、古代鉄と現在の炭素鋼の性状の違いについても言及した。

2. 試験方法

2.1 鉄器の測定

表 2-1 に試験対象とした鉄器の種類、年代等をまとめた。大半は 8 ~ 9 世紀の古代に製作されたと推定される鎌、鉄鎌等で、13~15 世紀の中世に製作されたものは小刀と釜の 2 品である。なお、試料 No. 2 と No. 10 は出土のままの状態に近く、表面に付着していた土や鏽を落としていないが、他の試料は鏽等の除去処理を多少行っている。

いずれも外観を写真撮影したのち、重量と体積を測定した。体積はアセトン溶液に浸漬して増加液量を測定することにより求めた。

鏽層厚さの測定は X 線 CT によった。X 線 CT の測定条件を表 2-2 に、各試料の測定位置を図 2-1 に示した。なお、比較のために試料 No. 1, 3, 12 及び 14 については X 線透過試験を実施した。

試料 No. 3, 7 及び 14 については、鏽層の一部をナイフで剥離採取し、X 線回折、蛍光 X 線分析に供するとともに、化学組成を原子吸光光度法により求めた。

2.2 鉄滓の測定

表 2-3 に示す上新保遺跡及び調布市染地遺跡から出土した鉄滓の評価を行った。いずれも鉄器と同じ古代のものと推定される。鉄滓は外観を写真撮影したのち、ダイヤモンドカッターで中央位置を切断した。切断した試料は断面を写真撮影し、重量と体積を測定した。次に、図 2-2 に示すように、断面から約 3 mm の位置を X 線 CT で測定した。また、試料を樹脂に埋め込み、エメリー紙 #1,000 まで湿式研磨したのち、3 μm-ダイヤモンドで鏡面仕上げを行い、光学顕微鏡により組織観察を行うとともに、SEM/EDX (走査型電顕/エネルギー分散型 X 線分析) により元素分布等を調べた。

また、鉄滓の表面及び断面素地の一部をナイフで少量剥離し、X 線回折、蛍光 X 線分析に供するとともに、化学組成を原子吸光光度法により求めた。

表 2-1 試験対象試料（鉄器）の一覧

上新保遺跡出土品

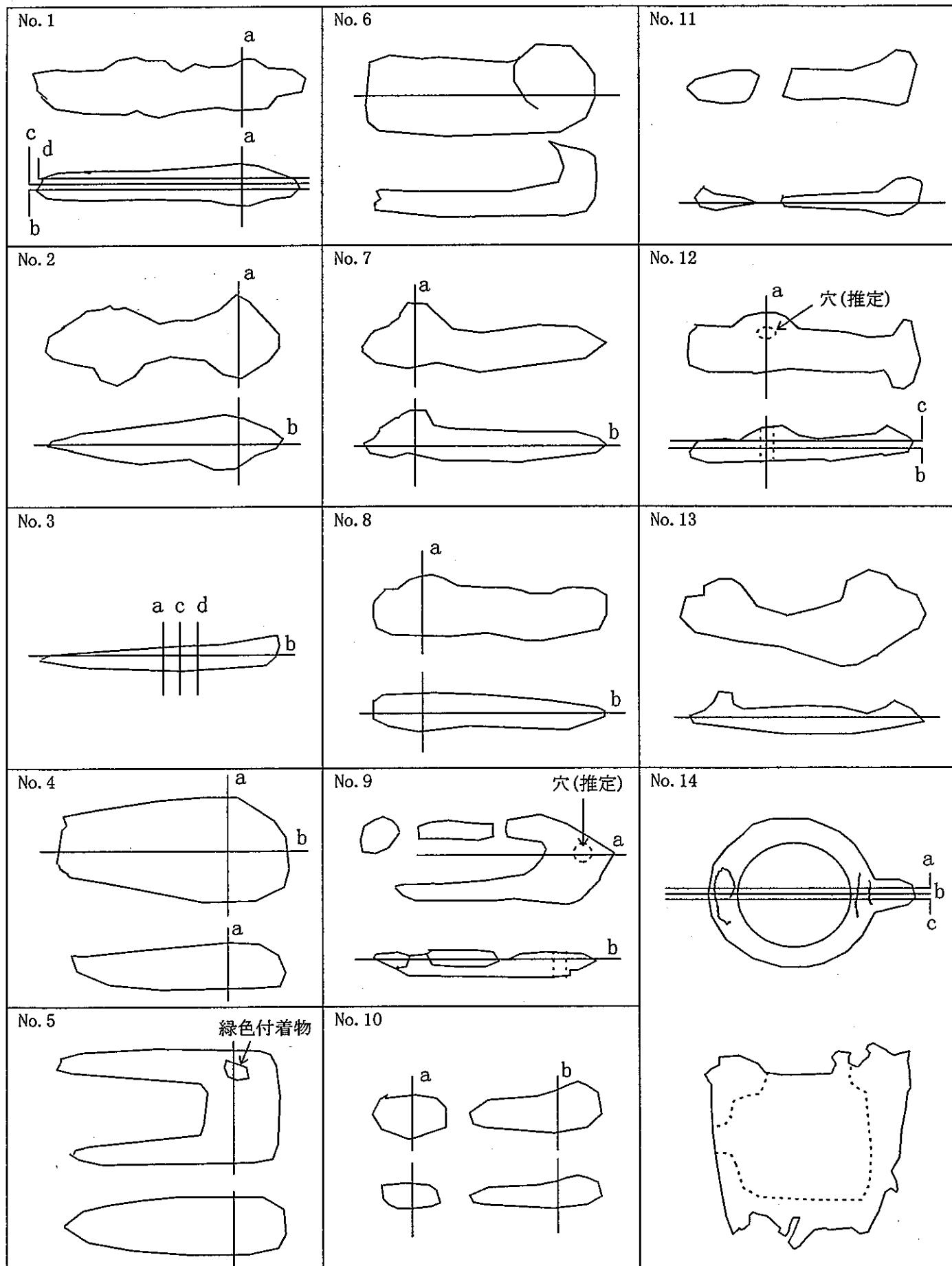
試料 No.	試 料 名	品 名	製 法	状 態	年 代
1	KSB. SK-134. 1	小刀	鍛造	少し鋸落し済	13~15 世紀
2	KSB. II. 下 SI-13	釘	鍛造	出土のまま	8~9 世紀
3	KSB. II. 下 SI-16. 14	鉄鎌	鍛造	少し鋸落し済	8~9 世紀
4	KSB. II. 下 SI-19. 12	ベルト金具	鍛造	少し鋸落し済	8~9 世紀
5	KSB. II. 下 SI-51	柄頭	鍛造	少し鋸落し済	8~9 世紀
6	KSB. II. 下 SI-54&. 24	鎌	鍛造	少し鋸落し済	8~9 世紀
7	KSB. II. 下 SI-59	刀子	鍛造	少し鋸落し済	8~9 世紀
8	KSB. II. 下 SI-80	鎌	鍛造	少し鋸落し済	8~9 世紀
9	KSB. II. 下 SI-87. 11	かんざし	鍛造	少し鋸落し済	8~9 世紀
10	KSB. II. SI-90	鉄鎌	鍛造	出土のまま	8~9 世紀
11	KSB. II. SI-92. 28	鎌	鍛造	少し鋸落し済	8~9 世紀
12	KSB. II. 下 SD-10	火打ち金	鍛造	少し鋸落し済	8~9 世紀
13	KSB. II. 下 SB-16. 1	鎌	鍛造	少し鋸落し済	8~9 世紀
14	KSB. II. 下 X-38	釜	鋳造	少し鋸落し済	13~15 世紀

表 2-2 X線CTの測定条件

X線	エネルギー	最大 6 MeV (平均 2 MeV)
	スライス厚	1 mm
画像	画素サイズ	0.2 mm×0.2 mm
	画素数	1 4 4 0 × 1 4 4 0, 1 0 0 0 × 1 0 0 0

表 2-3 試験対象試料（鉄滓）の一覧

出土場所	試 料 名	状 態	年 代
上新保遺跡	KSB. II. 下 SI-1. 184	少し鋸落し済	8~9 世紀
染地遺跡	SI01-サンプル2	出土のまま	8~9 世紀



(注) 各図の上が平面図、下が立面図

図 2-1 各試料（鉄器）のX線CT測定位置

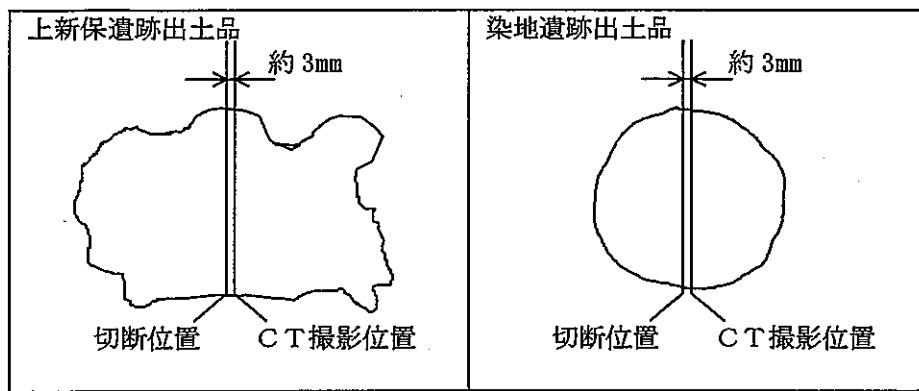


図 2-2 各試料（鉄滓）のX線CT測定位置

3. 結 果

3.1 鉄 器

3.1.1 X線CTによる内部構造評価

鉄器の外観とX線CT像を図3-1～3-14に示した。いずれの鉄器も表面は黄褐色の層に厚く覆われているが、X線CT像の解析結果から内部に鉄質が残存していると判断されるものは、古代に製作された図3-3の「鉄鎌」と図3-12の「火打ち金」のみである。X線CTでは物質密度の違いを画像濃度として表示する。たとえば、図3-12において、白色で画像濃度が高く鮮明な部分は物質の密度が高く鉄質であることを、また、灰色で低濃度の部分は低密度の鏽層であることを示している。また、図3-2において中央の黒色部分は中空であり、また、その周りの淡灰色の部分は鏽層で、最も外側の濃灰色部分は付着した土層である。画像濃度と物質密度との関係を図3-15に示した。なお、高濃度の部分が鉄質であることは、鋸びた鉄製品の計測により補償した。図3-16は腐食したボルト/ナットの切断面の写真とX線CT像で、両者の比較からX線CTにより鉄質と鏽層の分離が可能であり、画像濃度の高い部分が鉄質を示していることが分かる。なお、図3-17は上述の鉄器とボルト/ナットを例に、X線CT像における物質の密度とその画素数の関係を示したものである。「鉄鎌」とボルト/ナットでは高密度（約 8 g/cm^3 ）の鉄質が高い割合で存在しているが、「釘」では密度が $3\sim4\text{ g/cm}^3$ の鏽層と密度がさらに低い土層のみで構成されていることが分かる。なお、以下においては鉄酸化物濃度が高く画像濃度の比較的高い淡灰色部を「鏽層」、鉄酸化物濃度が低く土を主体として画像濃度が低い濃灰色部を「土層」と呼ぶ。

図3-3の「鉄鎌」の鉄質部分は中央に段差がある長さ約120mm、幅8～10mmの角棒状で、ほぼ原形を留めていると思われる。同図には残存する鉄質の異なる位置における垂直断面像（a, c, d部断面）も示した。鏽層と鉄質との間にはところどころ空隙があり、鏽層は剥離しやすい状態にある。鏽層の厚さは場所により異なるが、概ね2～10mmである。また、局部腐食の痕跡が認められ、その部分では鏽層も厚く成長している。

一方、図3-12の「火打ち金」について見ると、外観からは分からないが、X線CT像から元は中央に穴のある左右対称の平板（横幅約80mm、縦幅約20mm、厚さ約3mm）であったと推定される。中央の径約4mmの穴は紐通し用と推定され、現在は鏽で埋まっているが、周辺との密度の違いからその存在を明瞭に知ることができる。平板部分

はところどころ腐食により鏽化し消失しているが、原形状を推定できる程度に鉄質が残っている。厚さ方向の断面像から求めた鏽層の厚さは1~2mmである。

他の鉄器はいずれも完全に鏽化しており、鉄質は残っていない。しかし、図3-9の「かんざし」、図3-11の「鎌」、図3-14の「釜」等のX線CT像に見られるように、鏽層は中空構造であり、中空部分が製品の原形状を表わしているものと思われる。なお、「かんざし」と「鎌」の折損部を観察したところ、明らかに中空であることが認められた。

図3-1の「小刀」は長さが約320mmで、柄は木製であったと推定されるが、その部分は炭化して鏽と混在している。また、刃の差込部には目釘穴が存在していたことが分かる。刃であった部分は外観からも原形を覗うことができるが、鉄質は残っていない。厚さ方向の断面像から求めた鏽層の厚さは3~12mmである。

図3-2の「釘」の鏽層も中空である。原形は先端が尖った角棒状で、長さが約100mm、最も太いところで幅約10mmと推定される。この試料は出土時の状態に近いもので、表面に付着した土層が観察される。鏽層の厚さは2~10mmである。

図3-4の「ベルト金具」は中空の形状から厚さ約1mmの薄板を2枚重ねあわせたものであったと思われる。鏽層の厚さは1~3mmである。

図3-5の「柄頭」は厚さ約1mmの薄板であったと思われ、後述するように一部に銅材が用いられているが、鉄の部分は完全に鏽化している。鏽層の厚さは1~2mmである。

図3-6、3-8、3-11、3-13はいずれも「鎌」で、図3-6では柄との接続部分が屈曲していたことが中空形状から推察される。試料No.6の板厚は1~2mmであったと推定され、鏽層の厚さは1~7mmである。また、試料No.8は図3-8の厚さ方向の断面像から、刃の部分が鋭利であったことが覗われる。鏽層の厚さは1~2mmである。図3-11からは鎌が湾曲していたことが分かる。

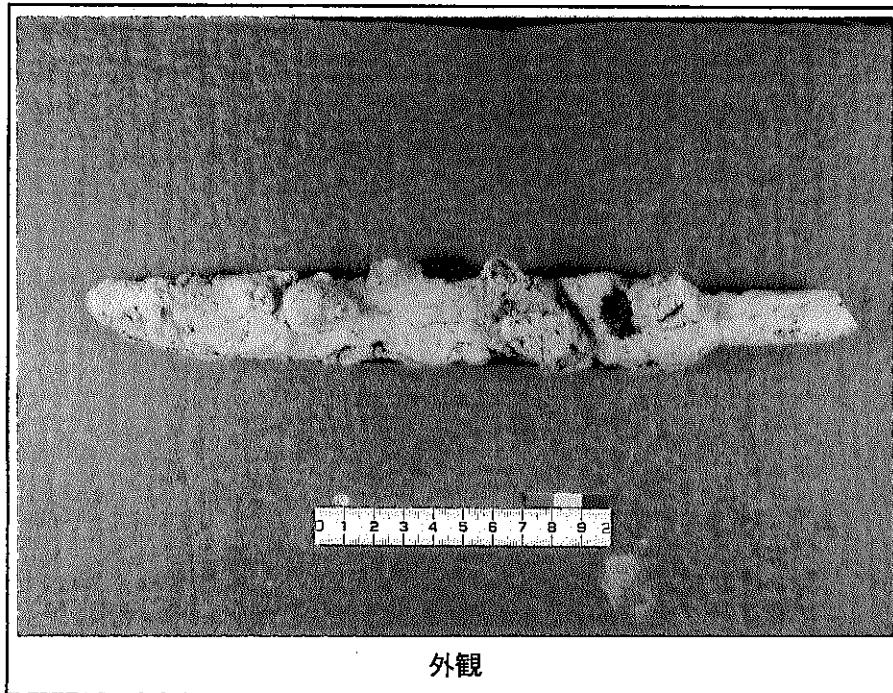
図3-7の「刀子」も鎌と同様に鏽化しており中空である。長さは約80mm、幅は約10mmで、厚さは1~2mmであったと思われる。鏽層の厚さは1~6mmである。

図3-9の「かんざし」は一端が小さなループ構造となっており、径が約1mmの細線を用いてたわみに弾力を持たせた構造となっている。長さは約70mm、幅は約10mmである。明瞭に鏽層と判断される場所の厚さは1~4mmである。

図3-10の「鉄鎌」(同図の外観写真右側とa部X線CT像が鉄鎌、外観写真左側と

b 部 X 線 C T 像のものは製品不明) も中空の鋳層のみ残っている。長さが約 110mm で、数 mm 幅の角棒状であったと思われる。この試料はほぼ出土時の状態のままであることから、表面に土層が付着している。鋳層の厚さは 3 ~ 4 mm である。

図 3-14 の「釜」は鋳造品と考えられるが、外径が約 220~250mm、高さが約 210mm であり、側面に注ぎ口と思われる径約 30 mm の穴が開いている。上部の縁には柄の取り付け用と思われる盛り上がった部分が 2 個所ある。側面と底面の板厚は数 mm であったと推定される。釜全体が土層と鋳層に覆われており、鋳層のみの厚さを分離して計測することは難しい。なお、底にあたる部分は鋳層が特に厚く形成されており、この部分を下にして土中に埋もれていたと思われる。



外観

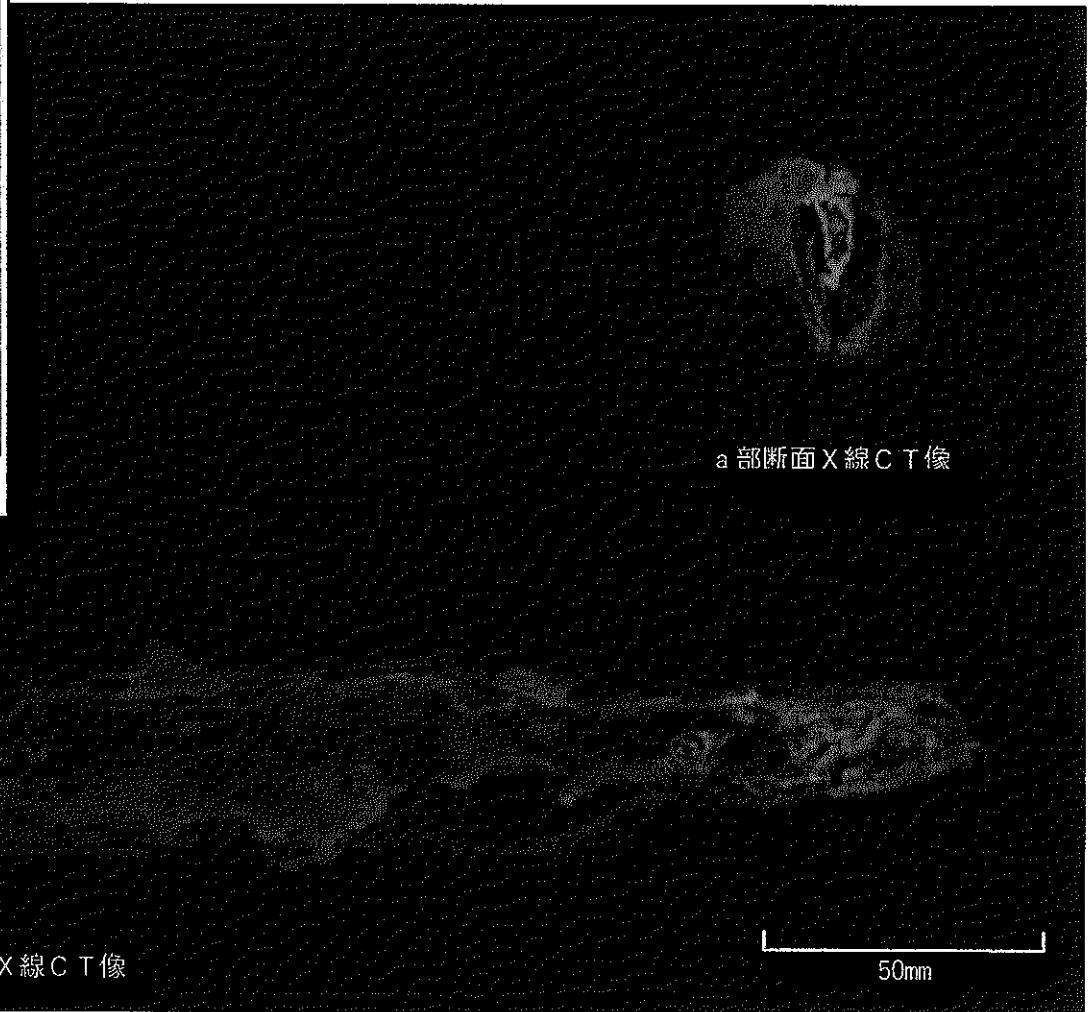


図3-1(1) 鉄器の外観およびX線CT像（表1-No.1[KSB.SK-134.1]）

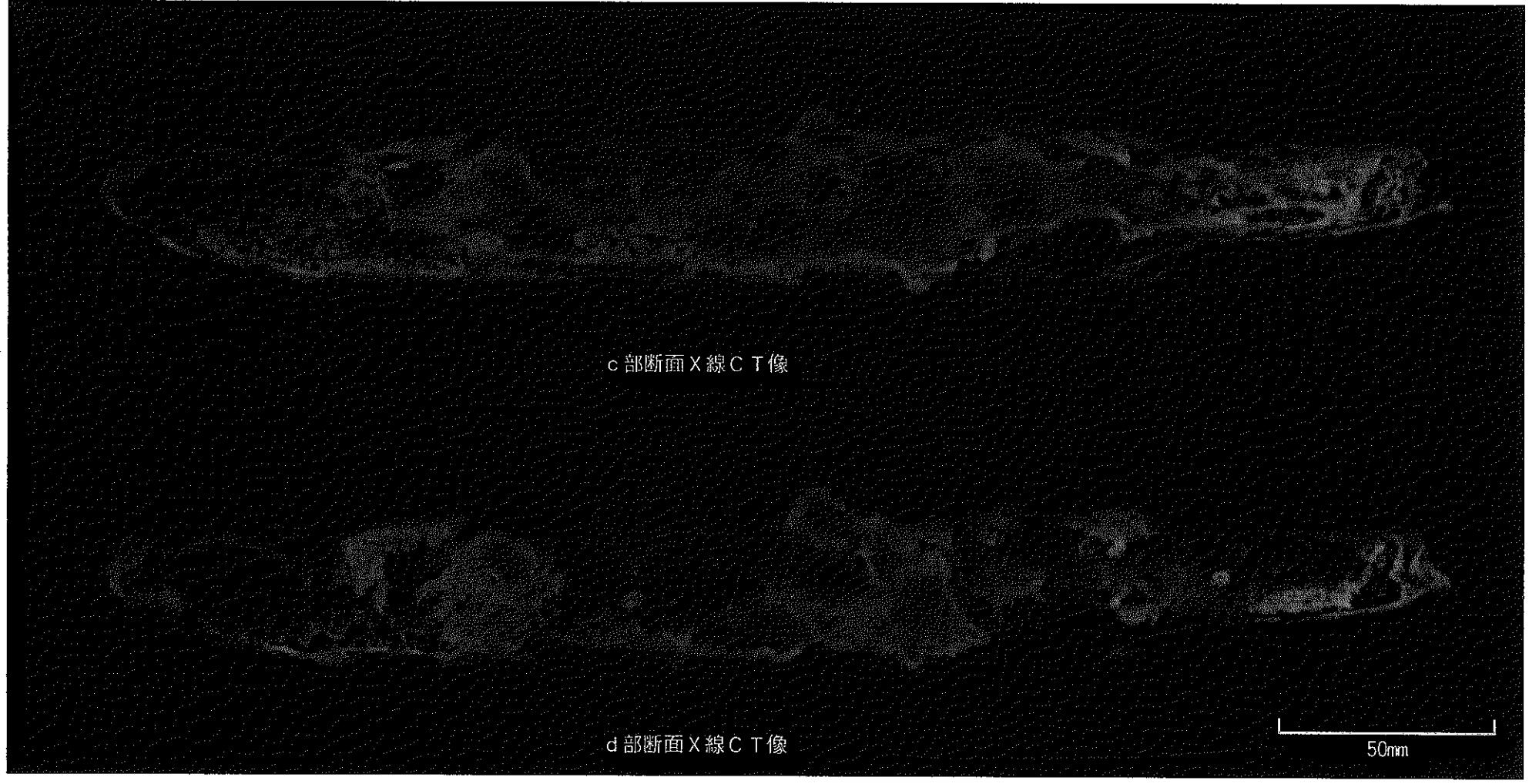


図 3-1(2) 鉄器の外観およびX線C T像 (No. 1 [KSB. SK-134. 1])

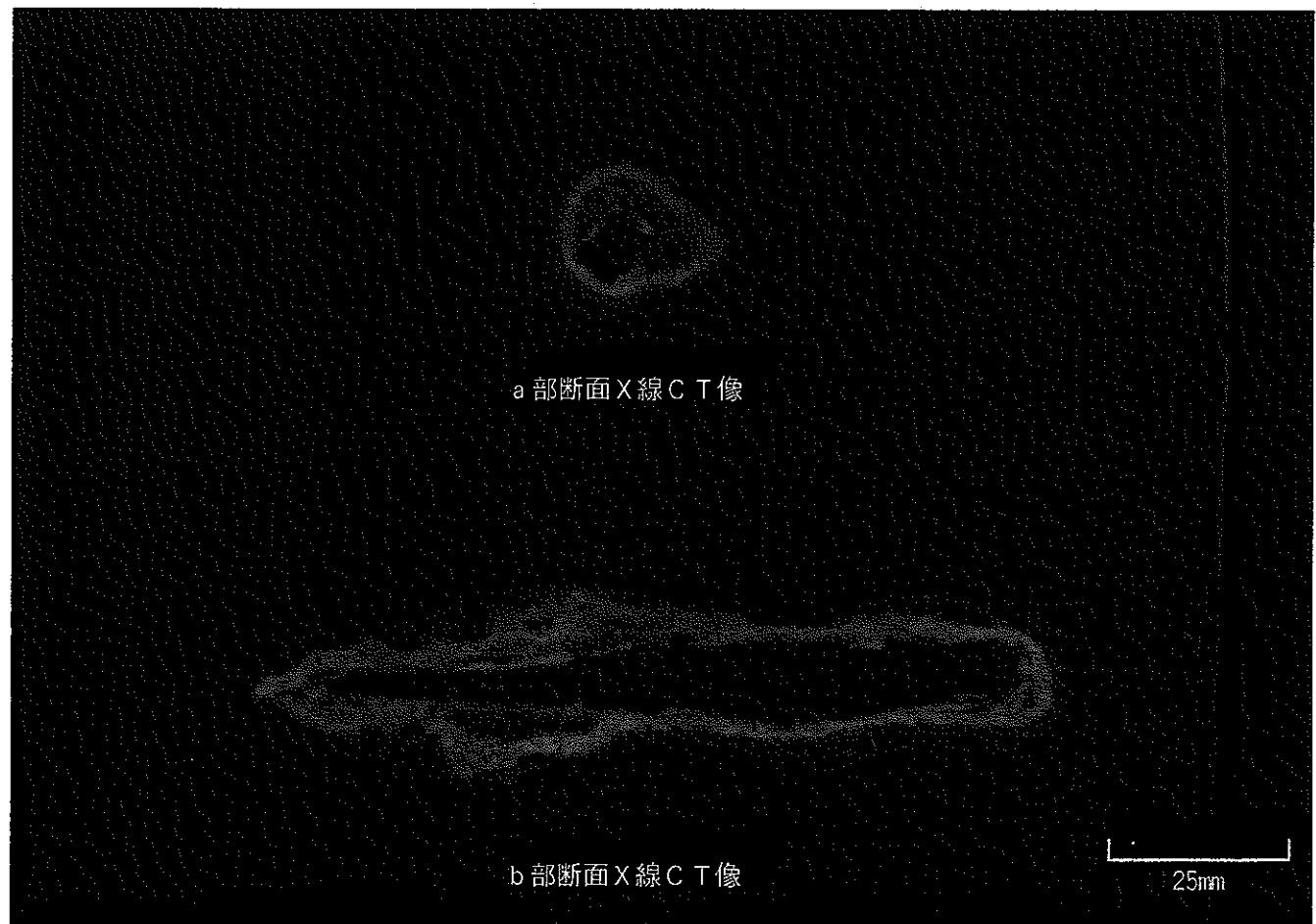
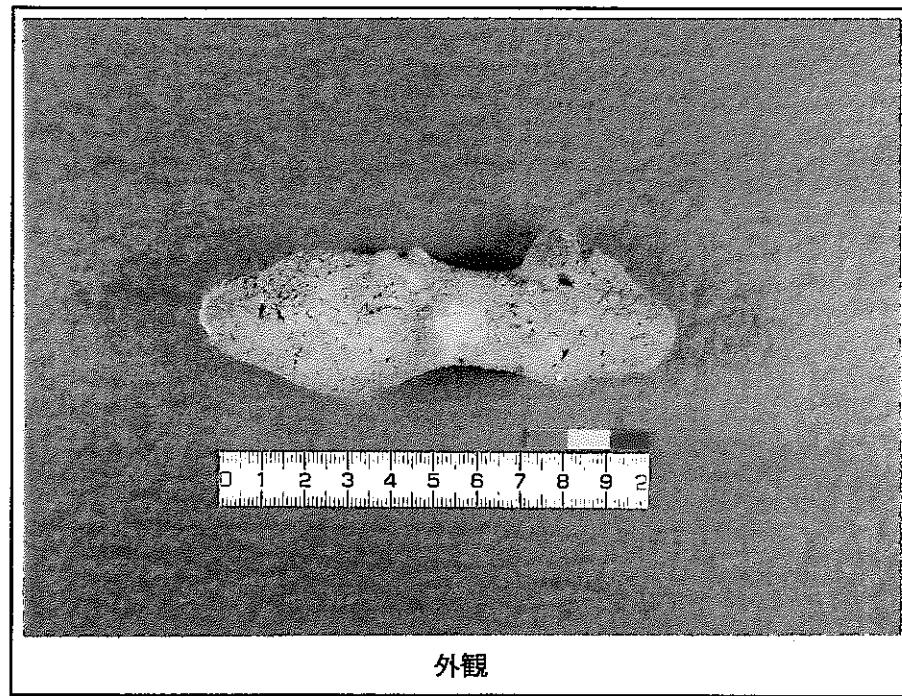
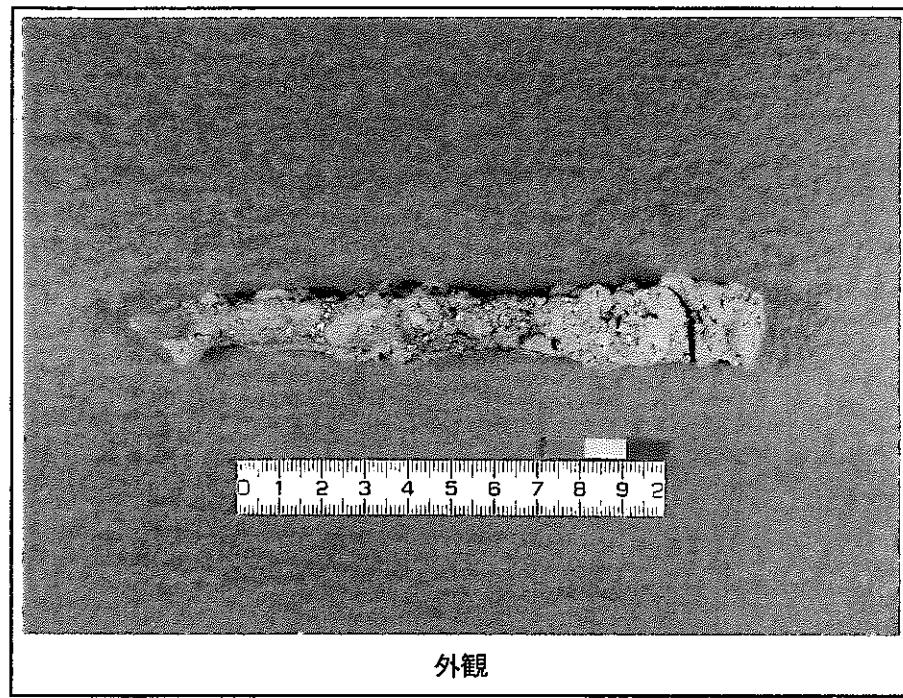


図 3-2 鉄器の外観およびX線CT像 (No. 2[KSB. II. 下 SI-13])



外観

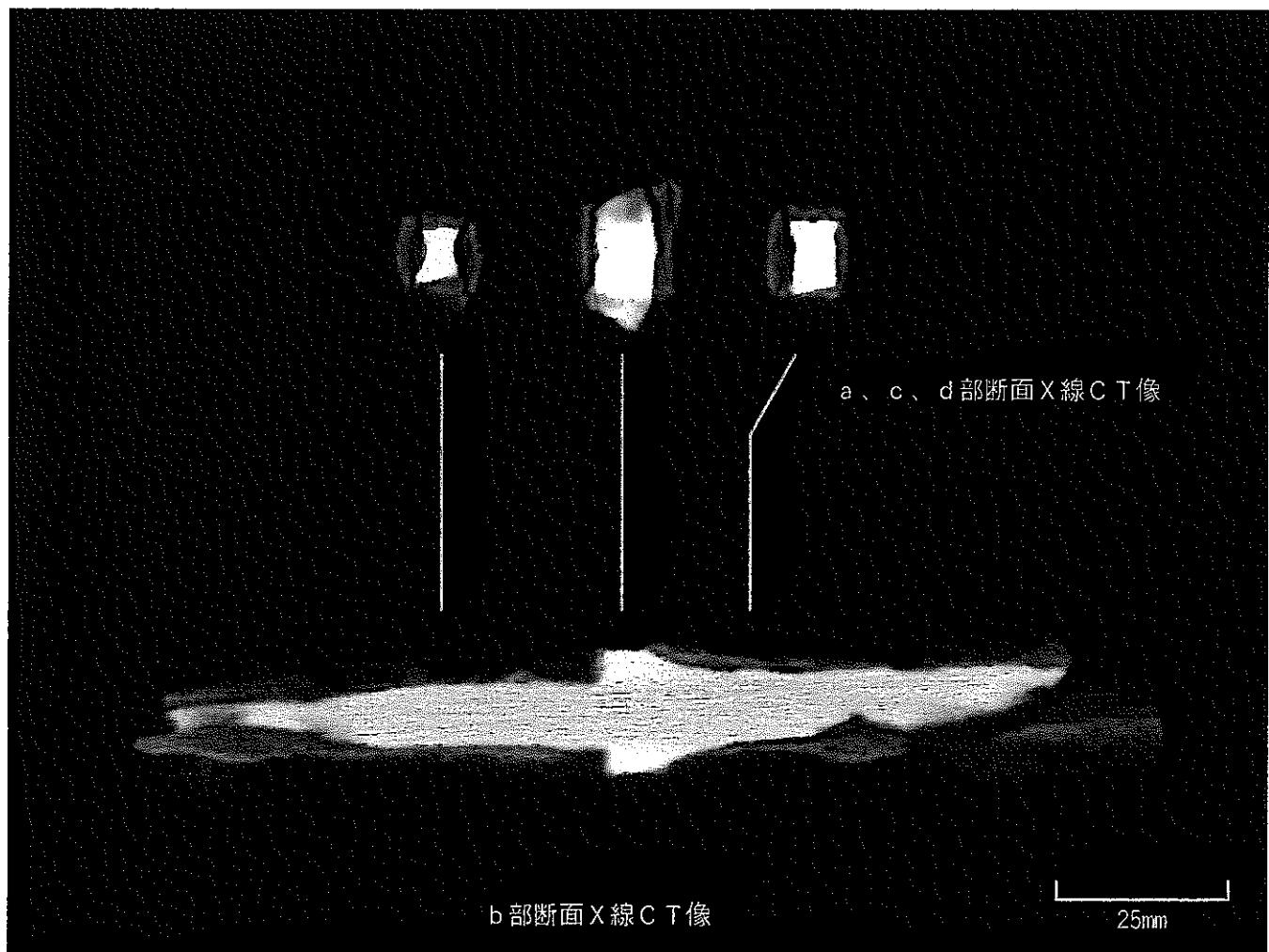
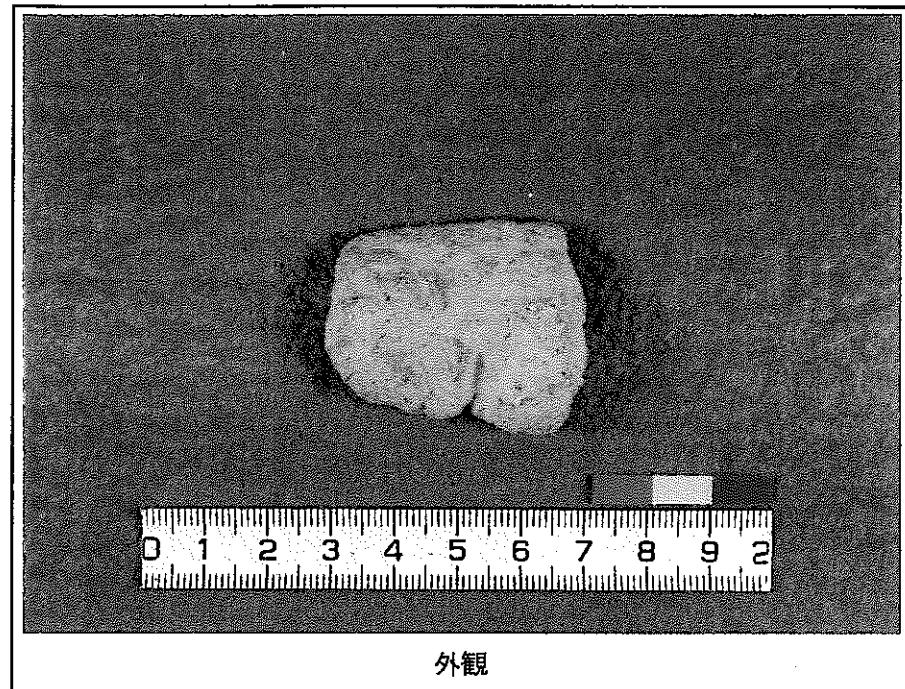


図 3-3 鉄器の外観およびX線CT像 (No. 3[KSB. II. 下 SI-16.14])



外観

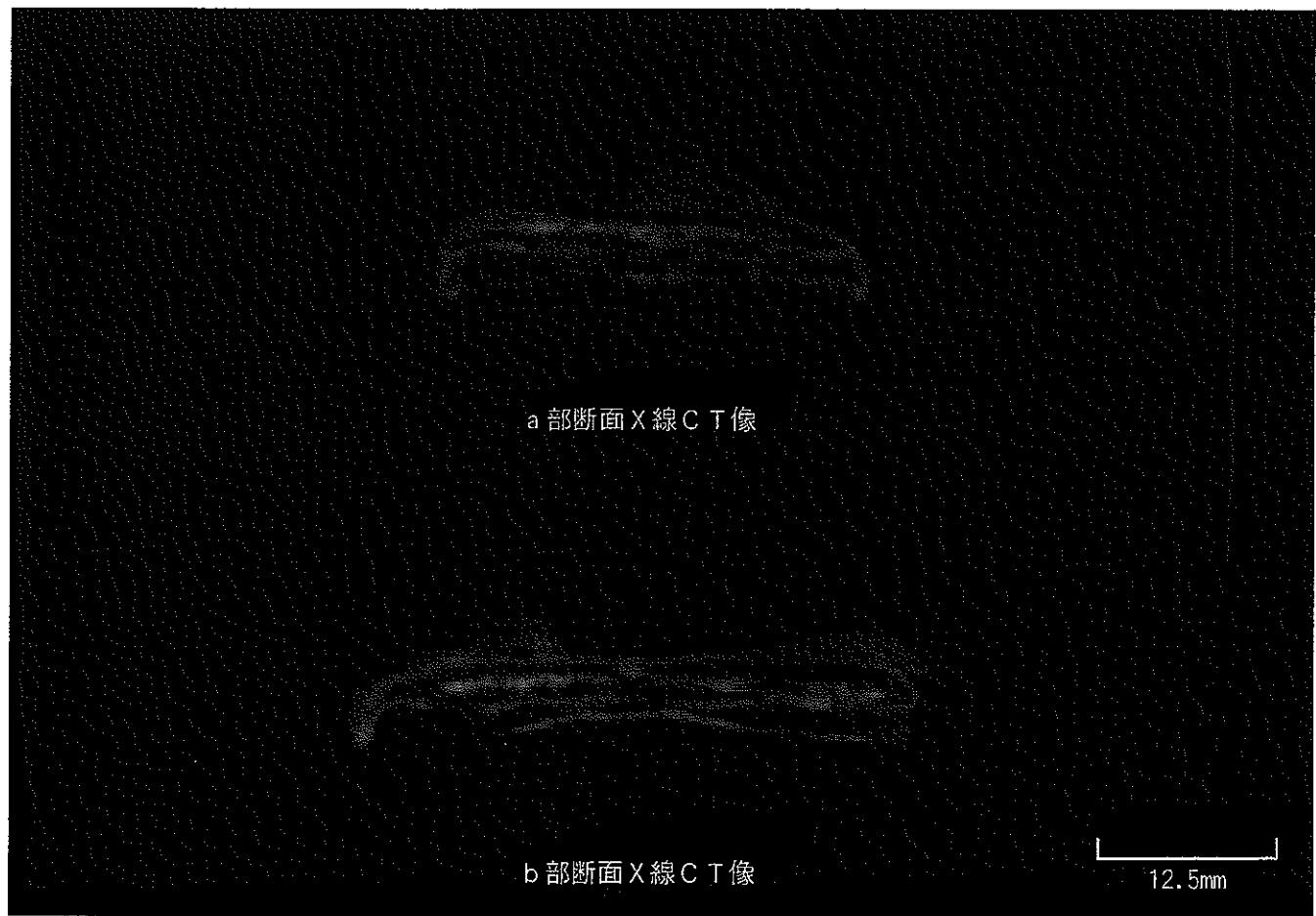
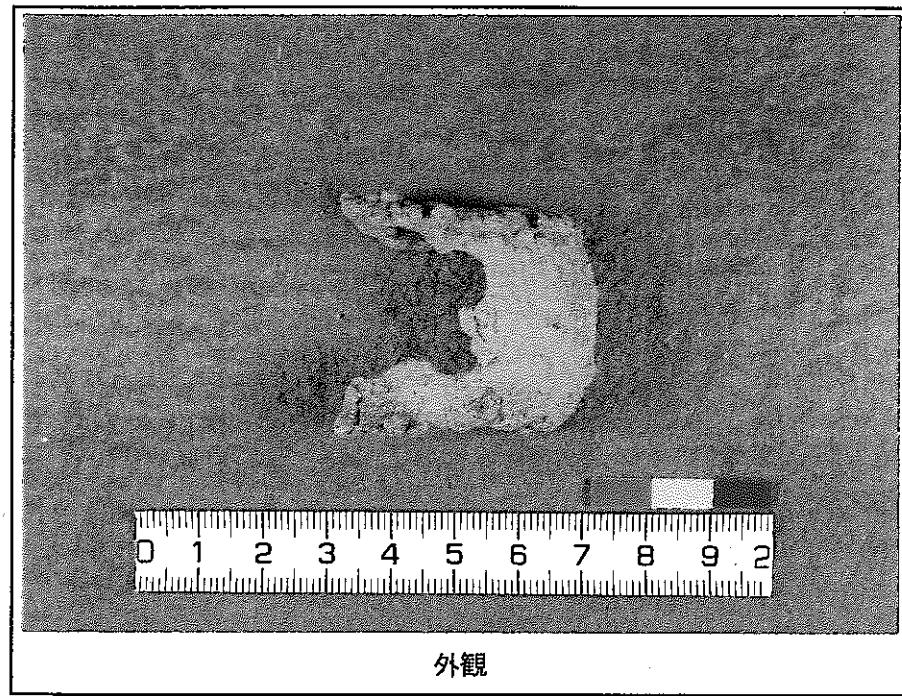


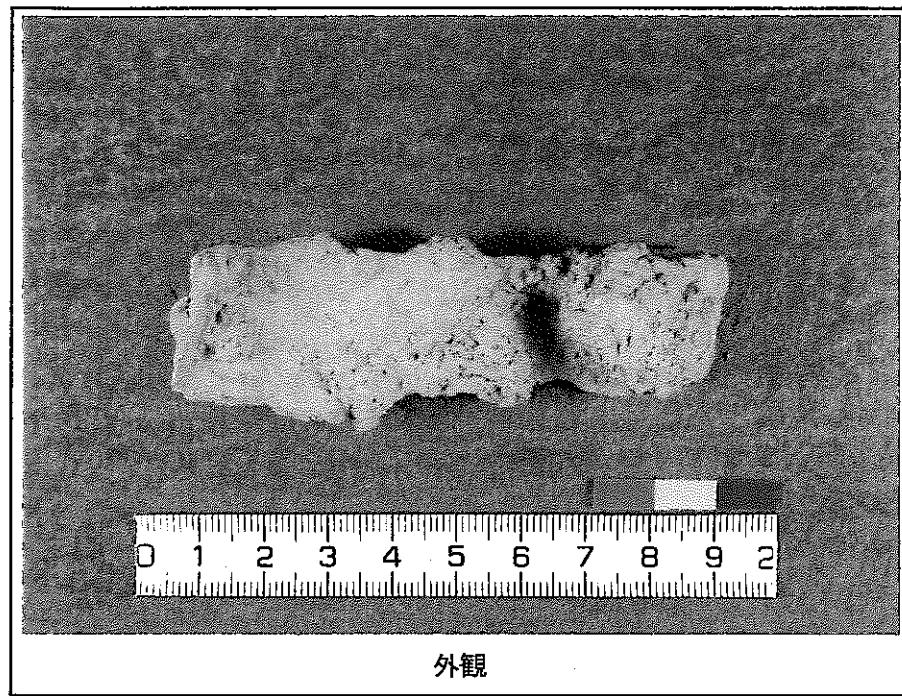
図 3-4 鉄器の外観およびX線C T像 (No. 4 [KSB. II. 下 SI-19.12])



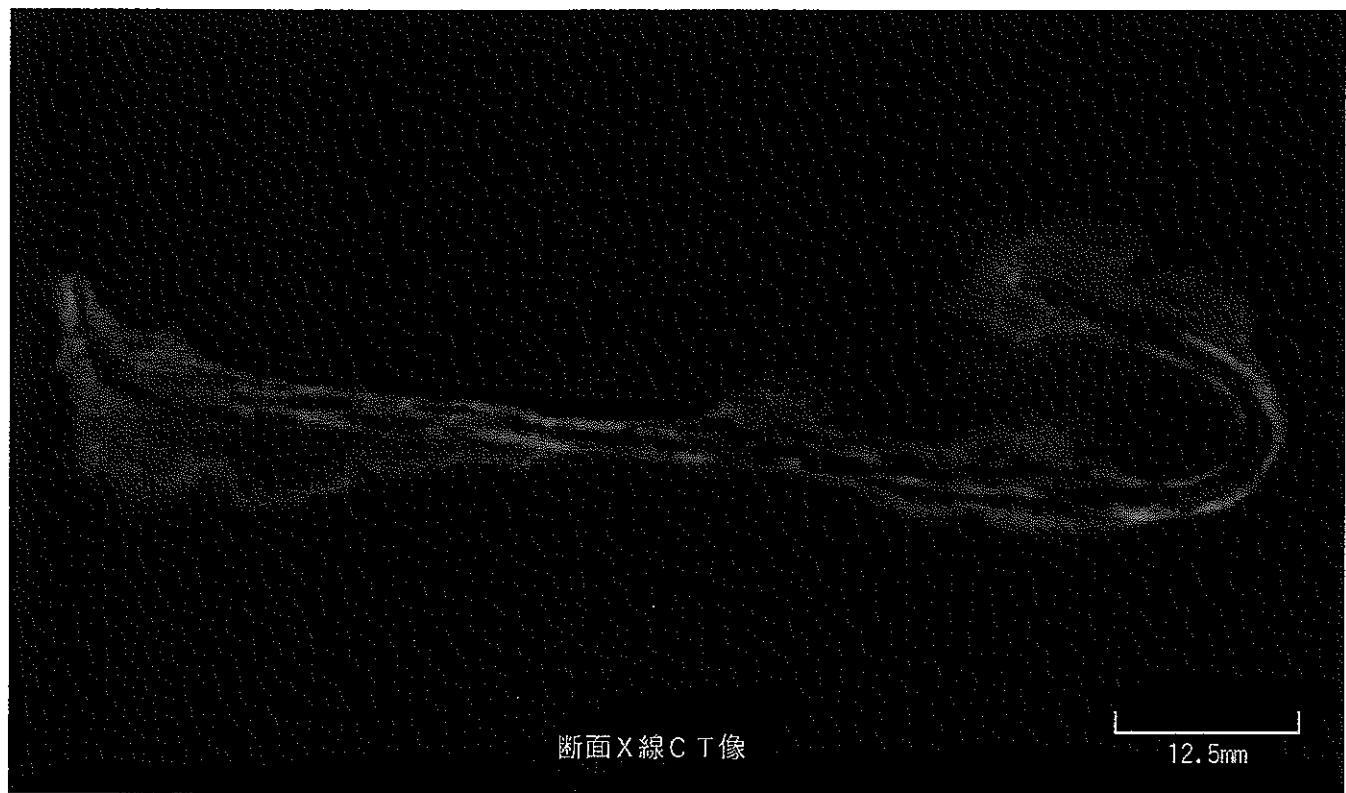
外観



図3-5 鉄器の外観およびX線CT像 (No.5[KSB. II.下 SI-51])



外観



断面X線CT像

12.5mm

図3-6 鉄器の外観およびX線CT像 (No.6[KSB. II.下 SI-54か.24])

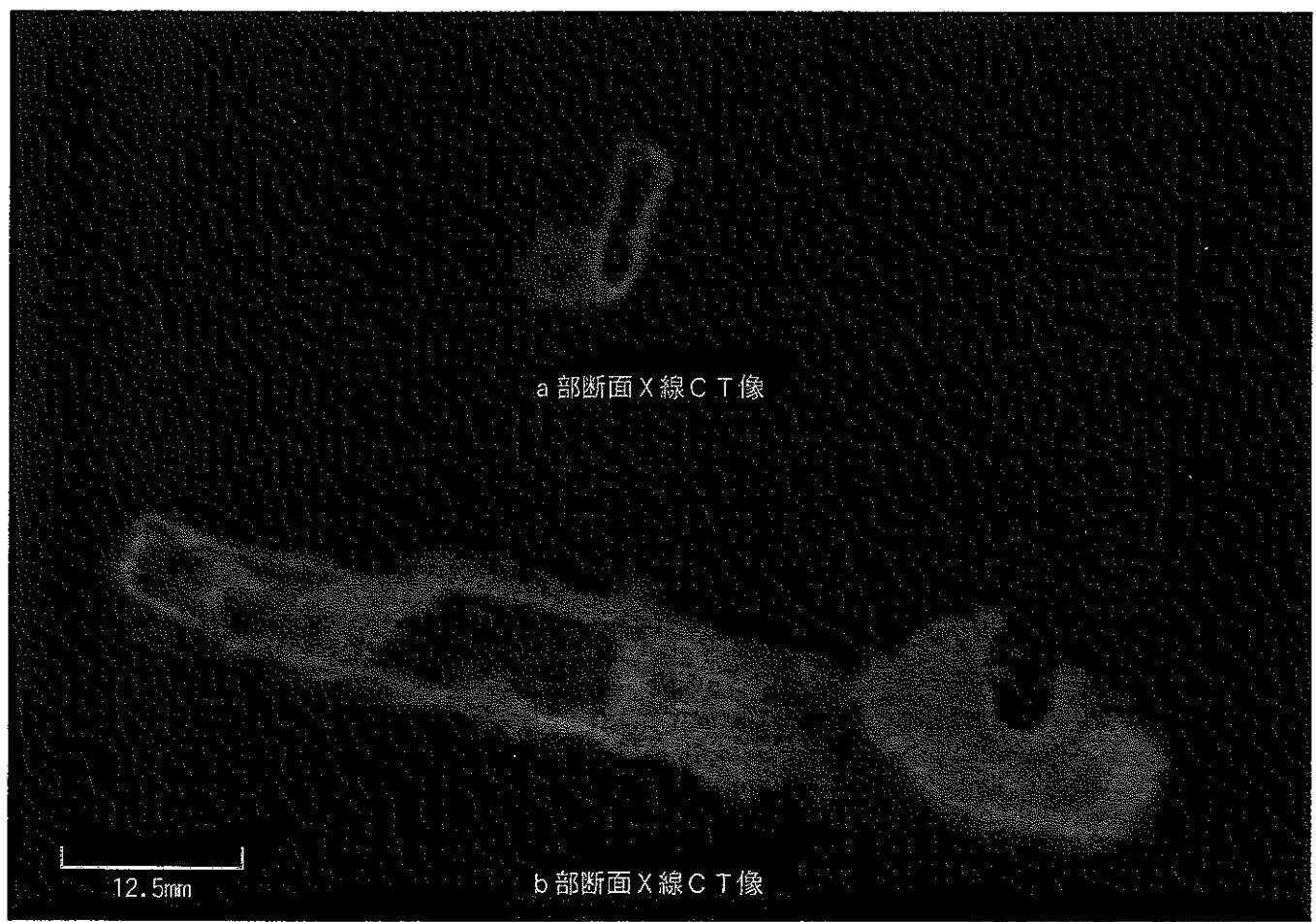


図 3-7 鉄器の外観およびX線C T像 (No. 7[KSB. II. 下 SI-59])

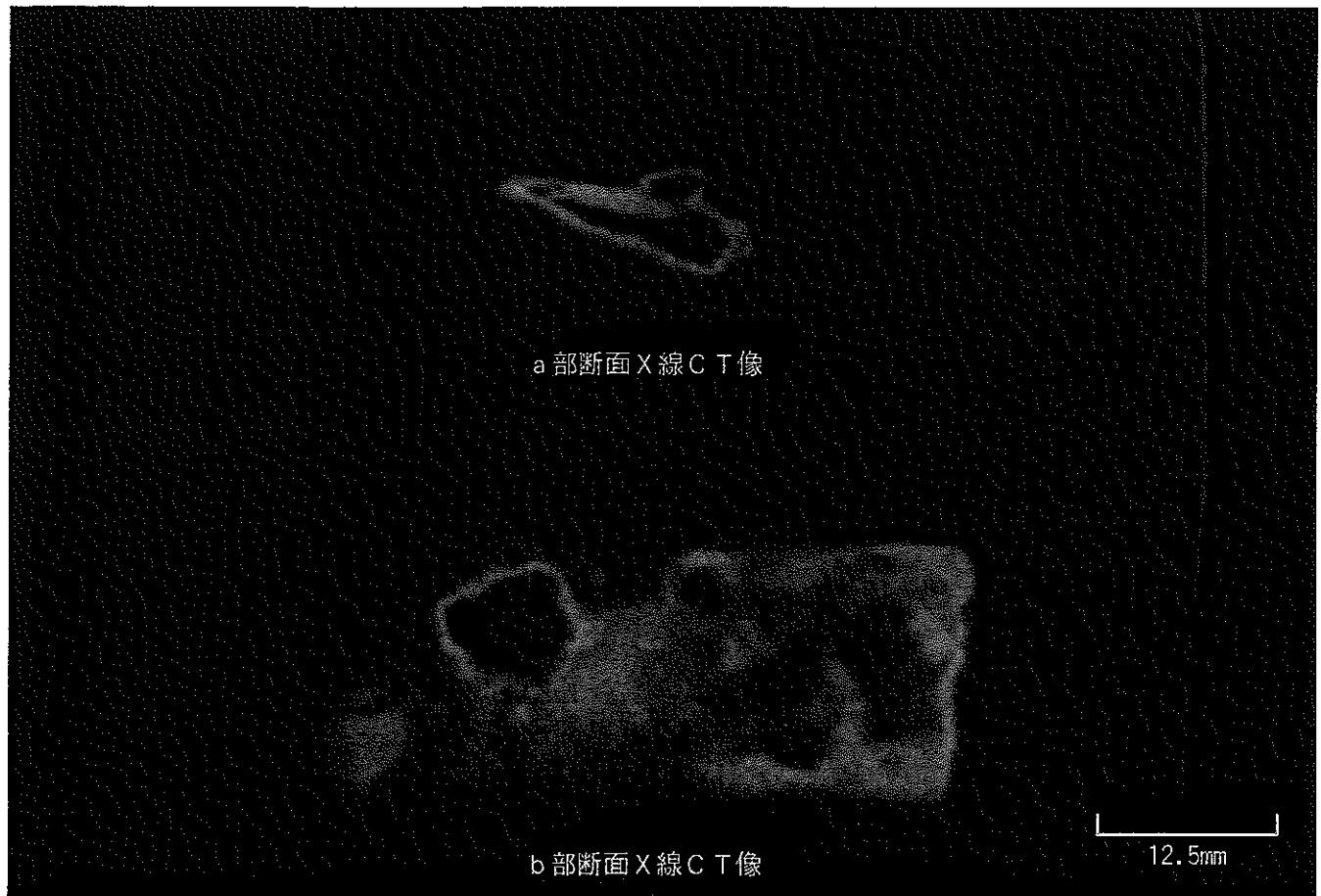
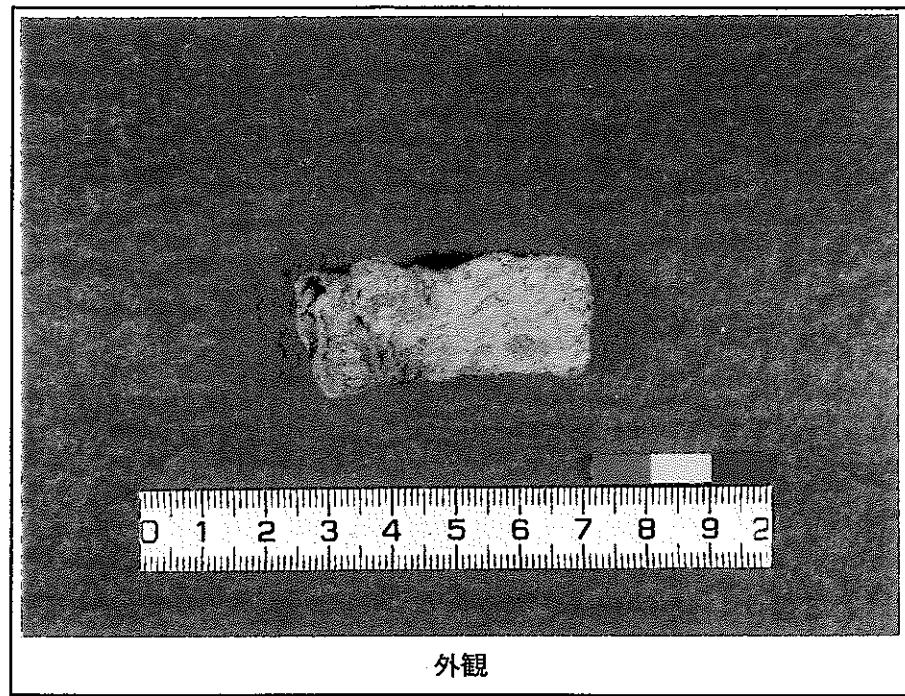
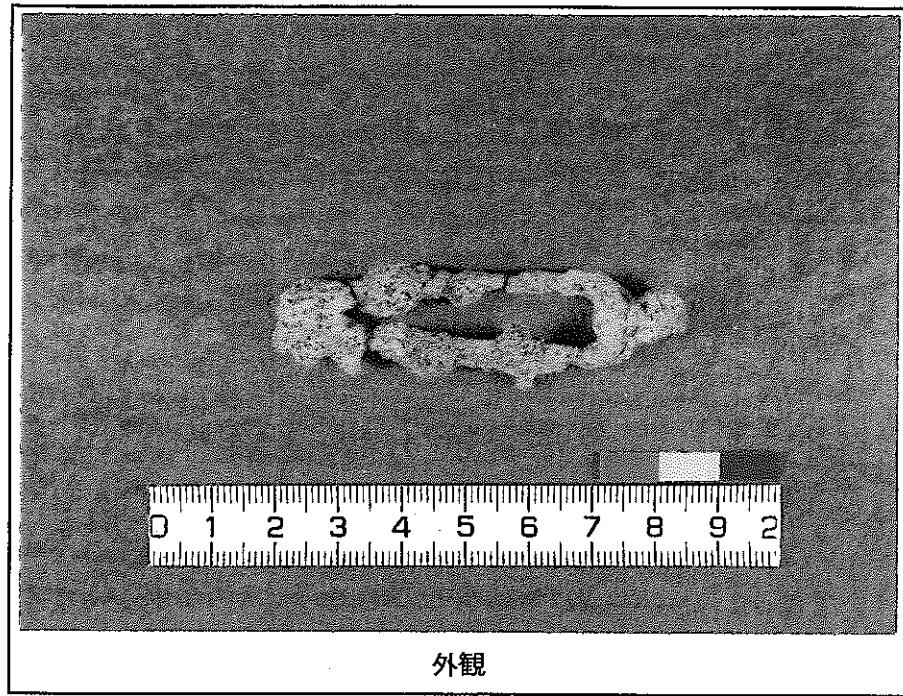


図 3-8 鉄器の外観およびX線CT像 (No. 8[KSB. II. 下 SI-80])



外観

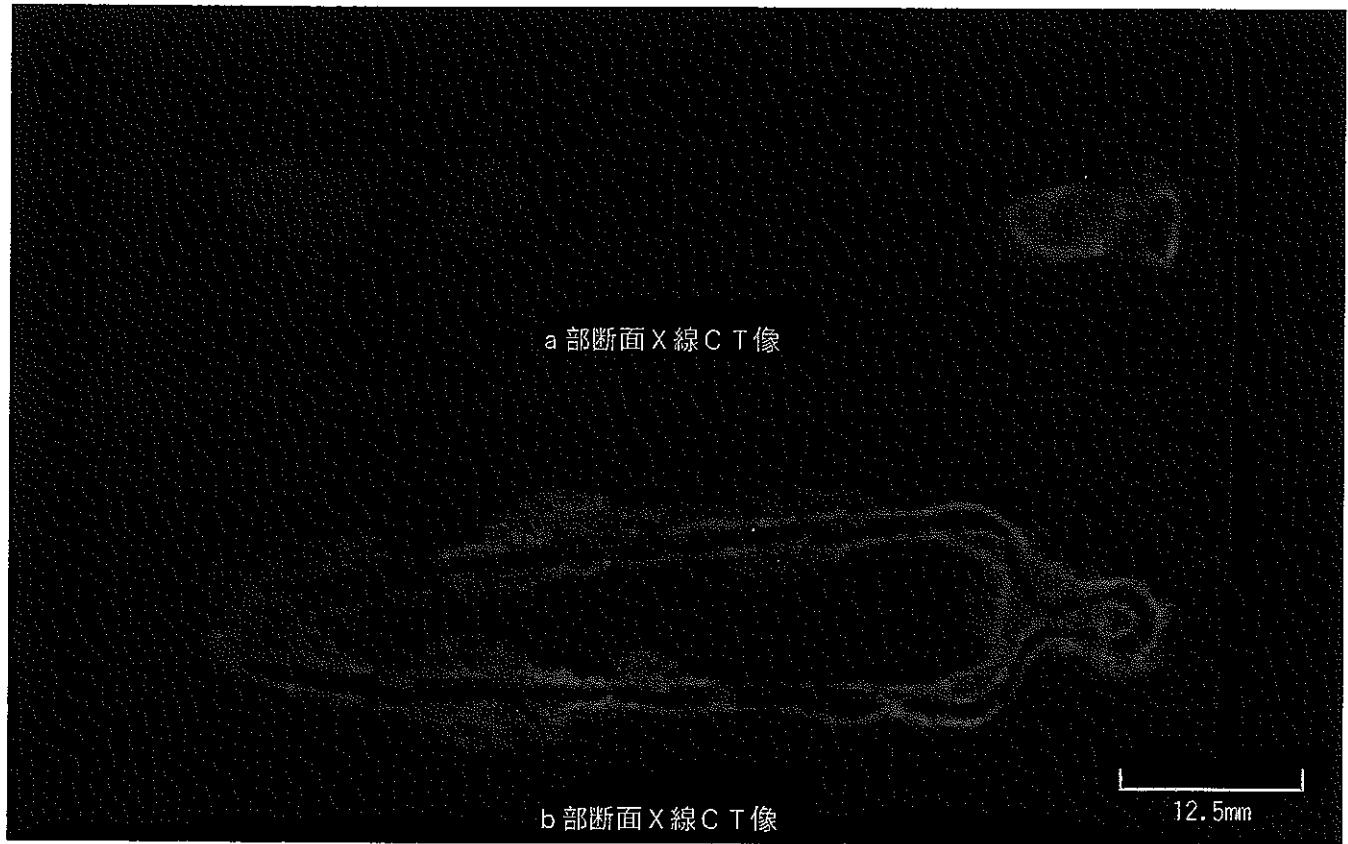


図 3-9 鉄器の外観およびX線C T像 (No.9 [KSB. II. 下 SI-87.11])

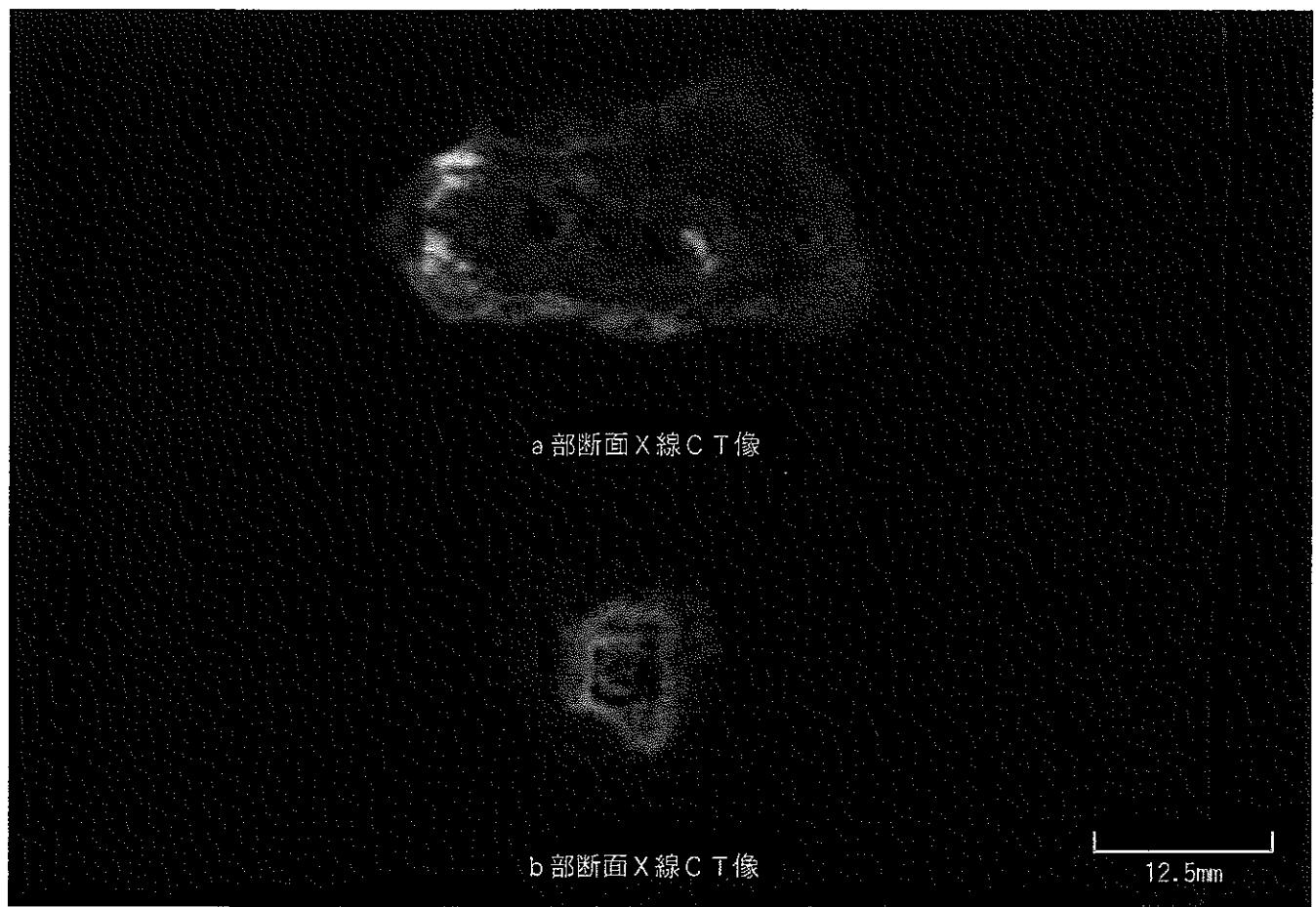
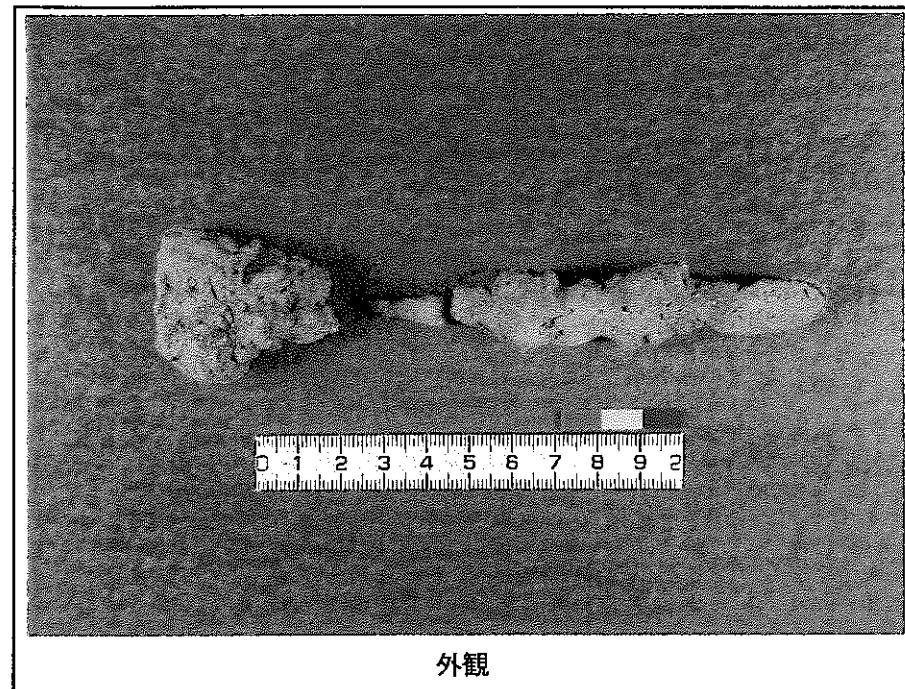
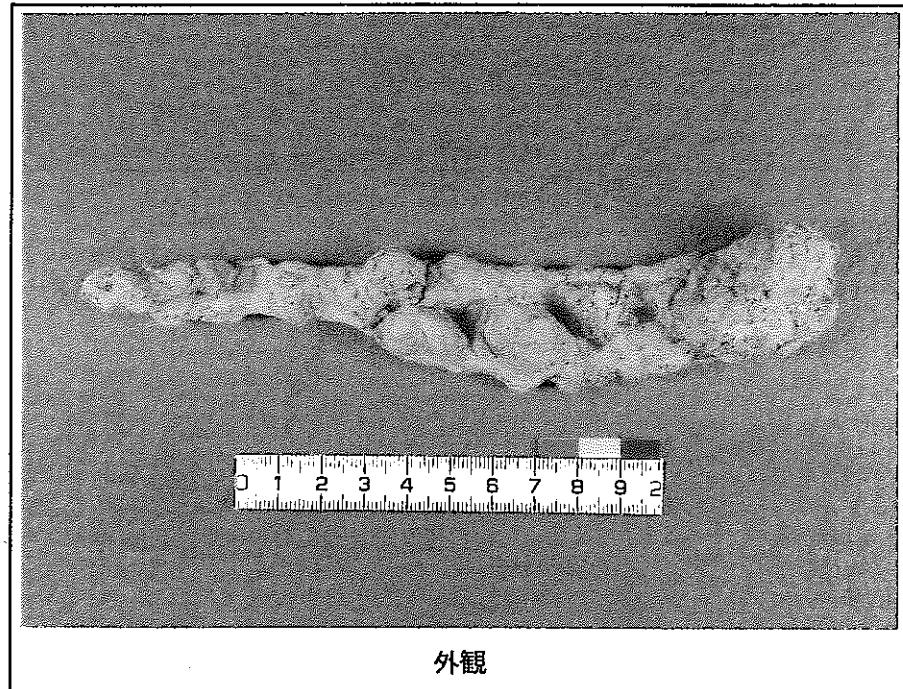


図 3-10 鉄器の外観およびX線C T像 (No. 10[KSB. II . SI-90])



外観

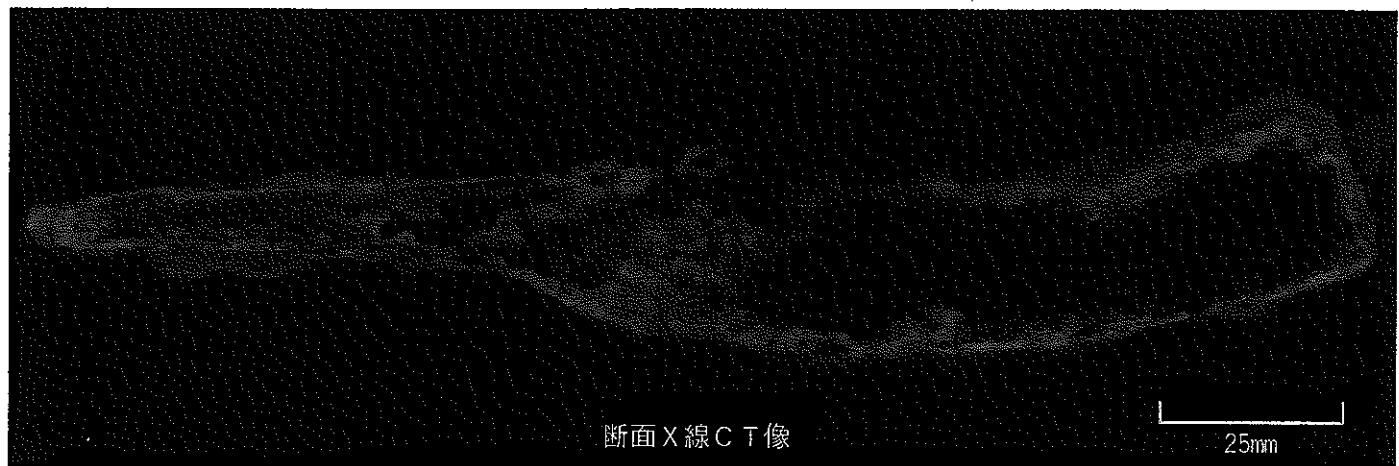


図3-11 鉄器の外観およびX線CT像 (No.11[KSB. II.SI-92.28])

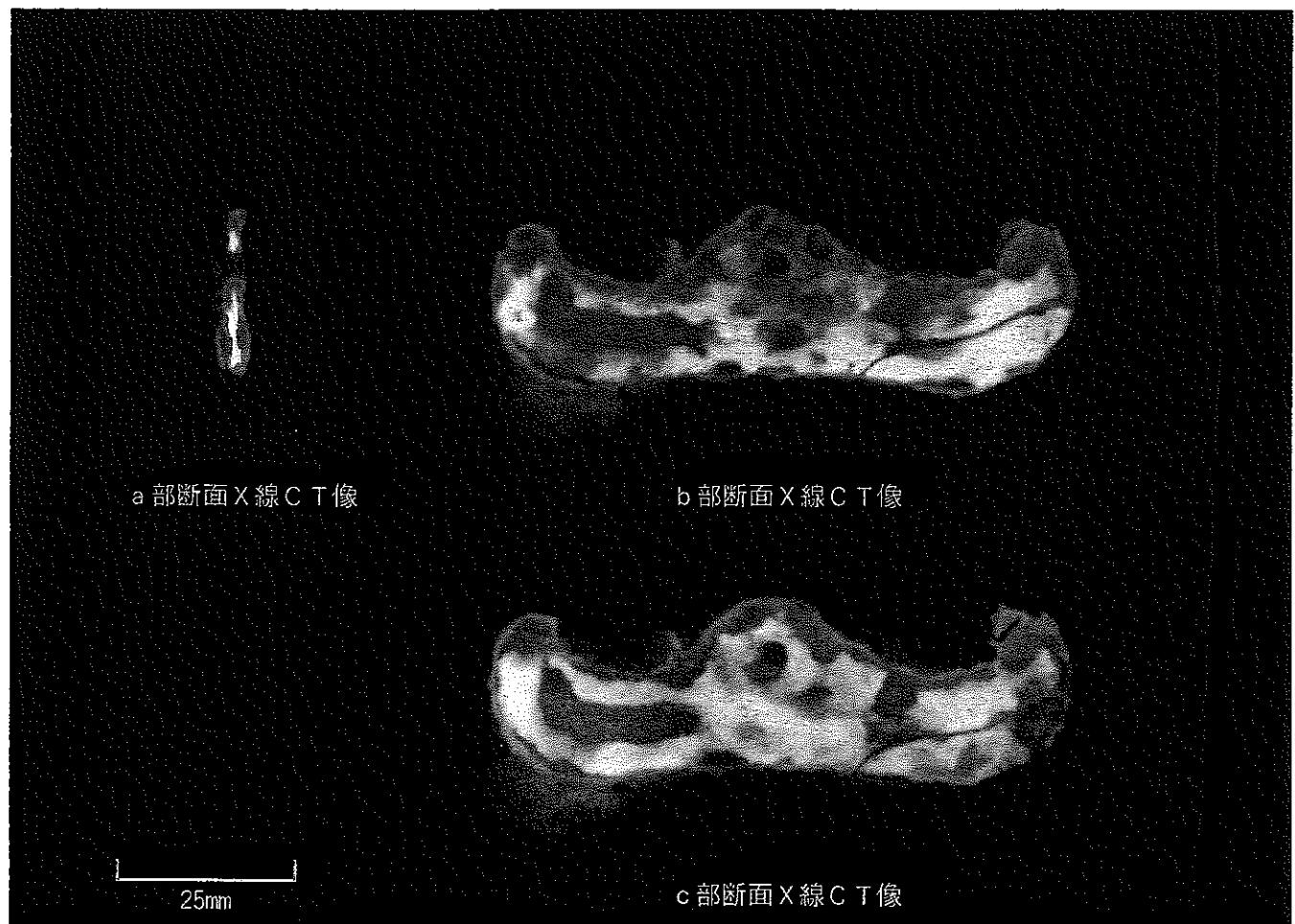
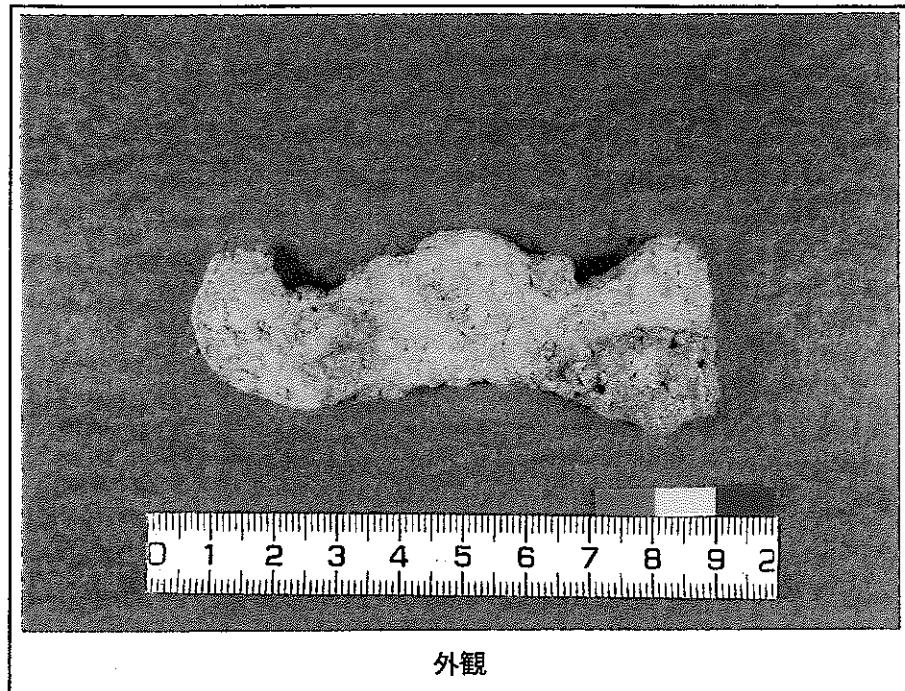
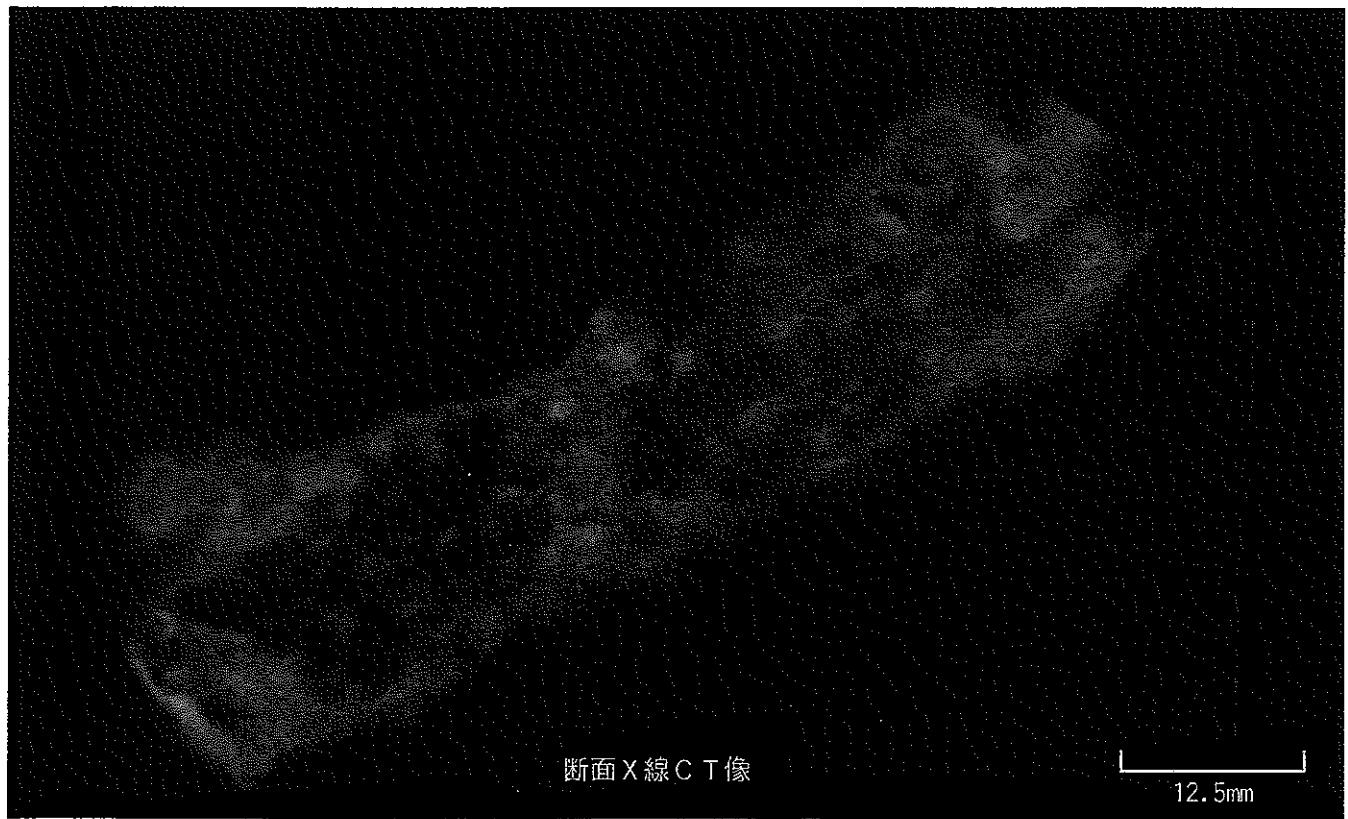


図 3-12 鉄器の外観およびX線CT像 (No.12[KSB. II. 下 SD-10])



外観



断面X線CT像

12.5mm

図 3-13 鉄器の外観およびX線CT像 (No. 13[KSB. II. 下 SB-16.1])

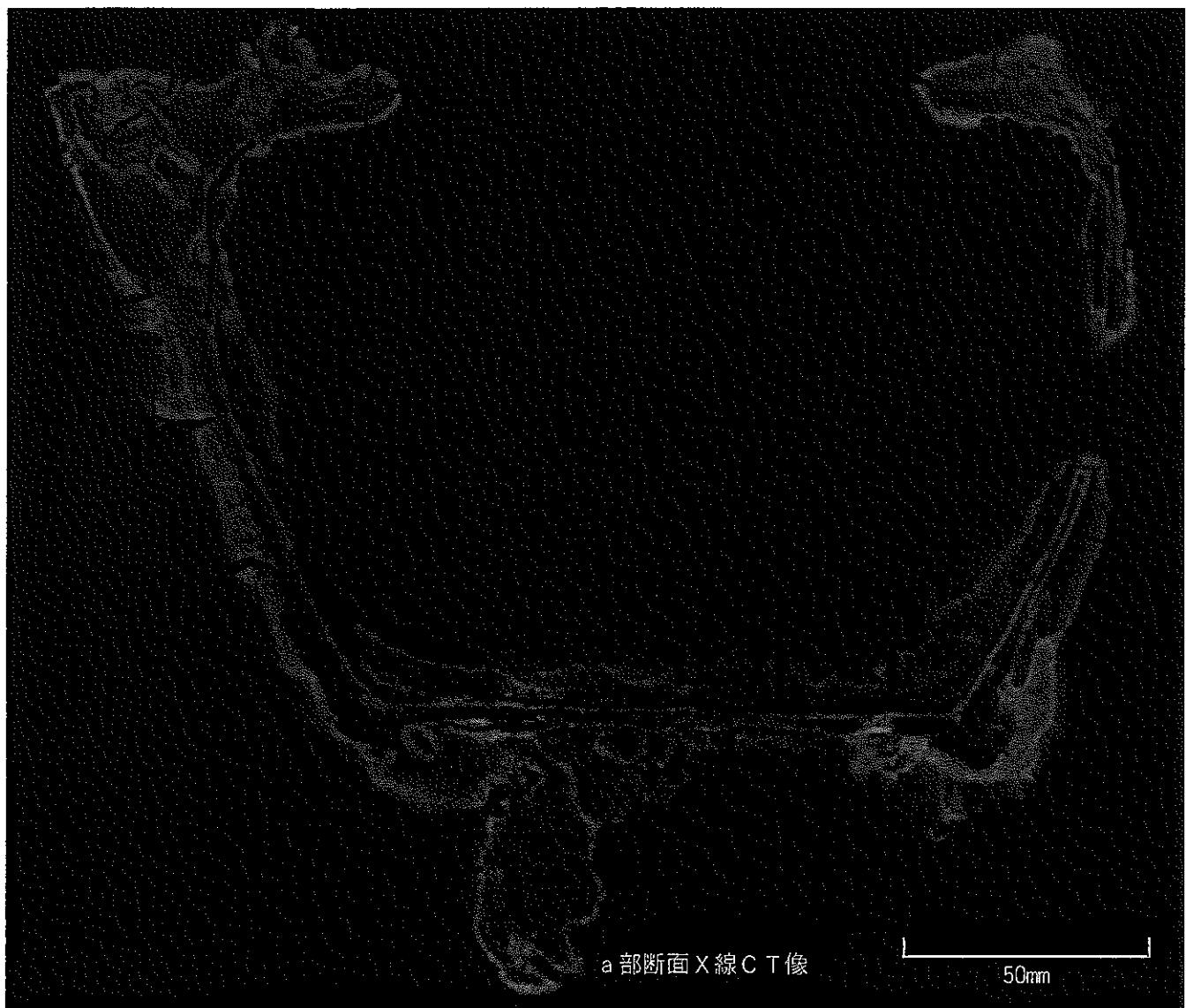
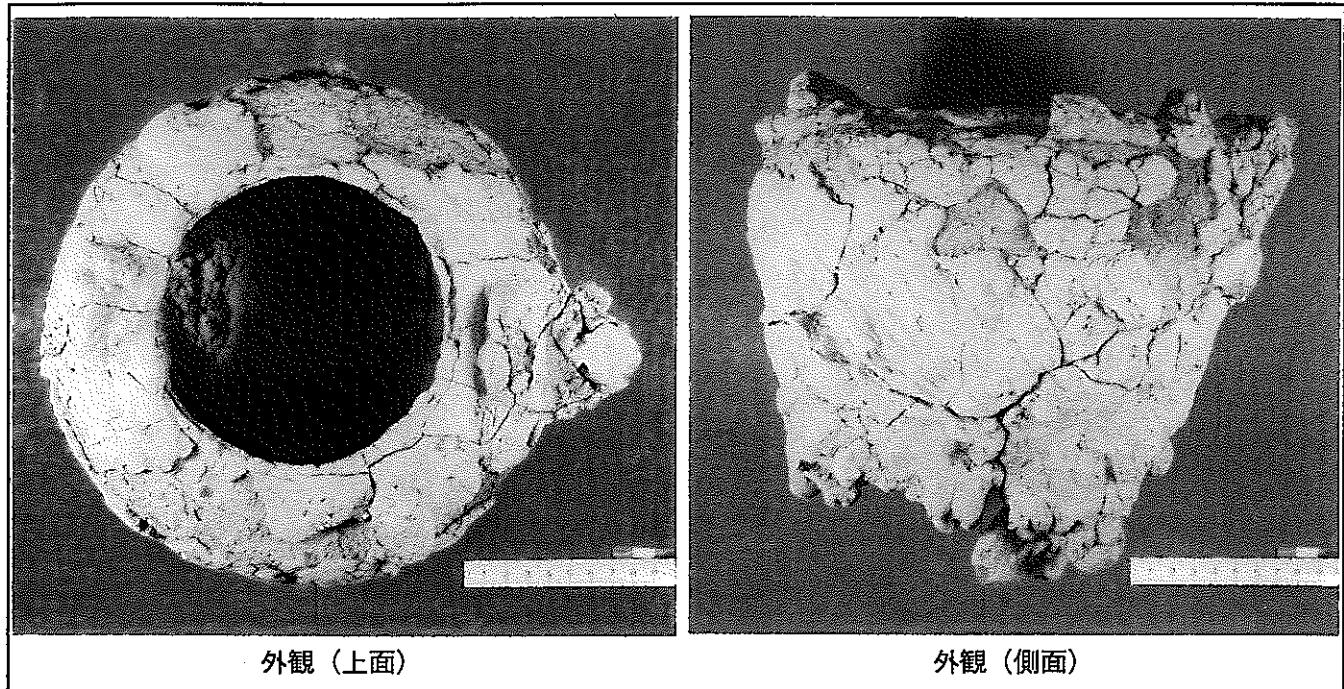


図3-14(1) 鉄器の外観およびX線CT像 (No.14[KSB. II. 下 X-38])

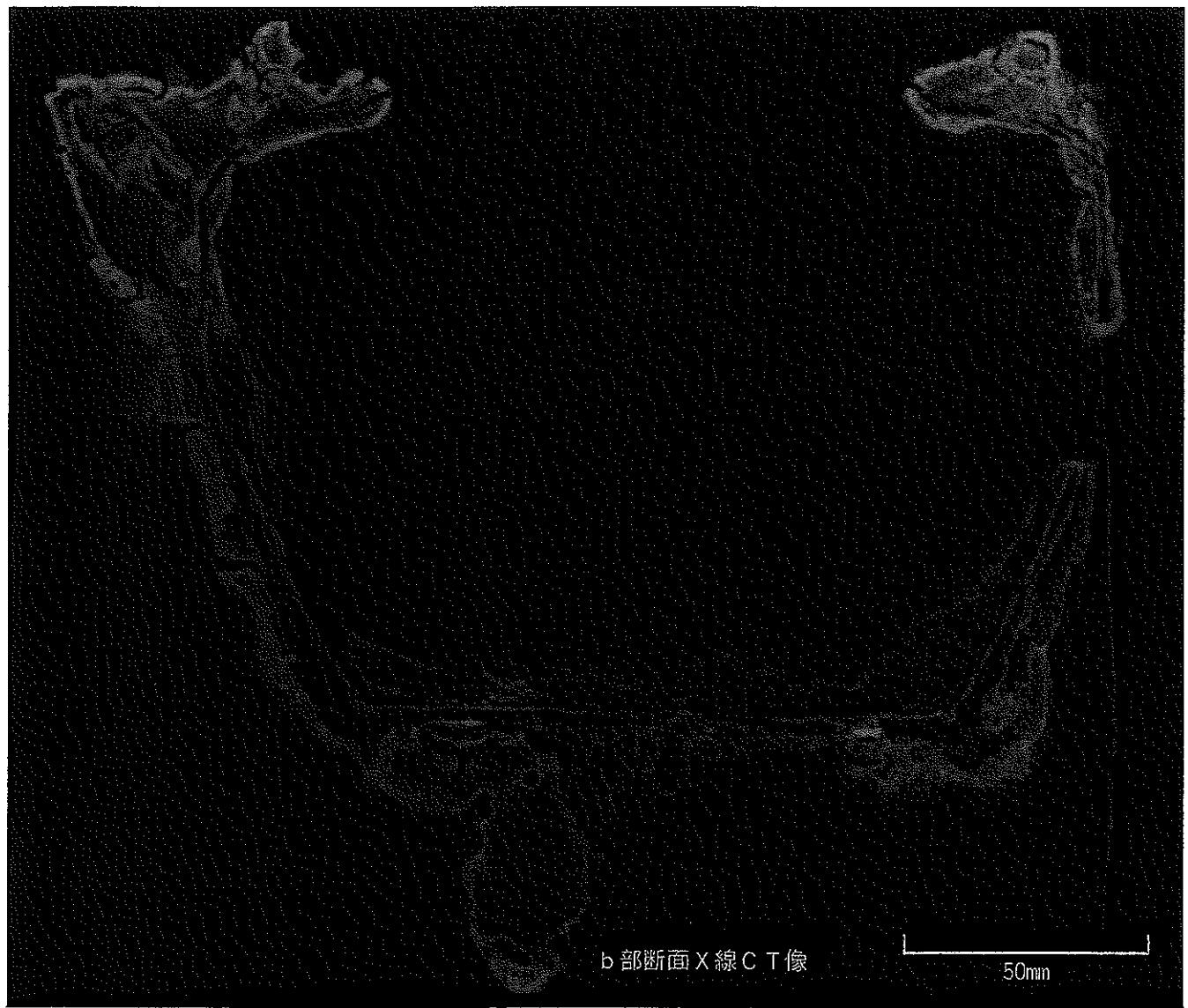


図 3-14(2) 鉄器の外観およびX線CT像 (No. 14[KSB. II. 下 X-38])

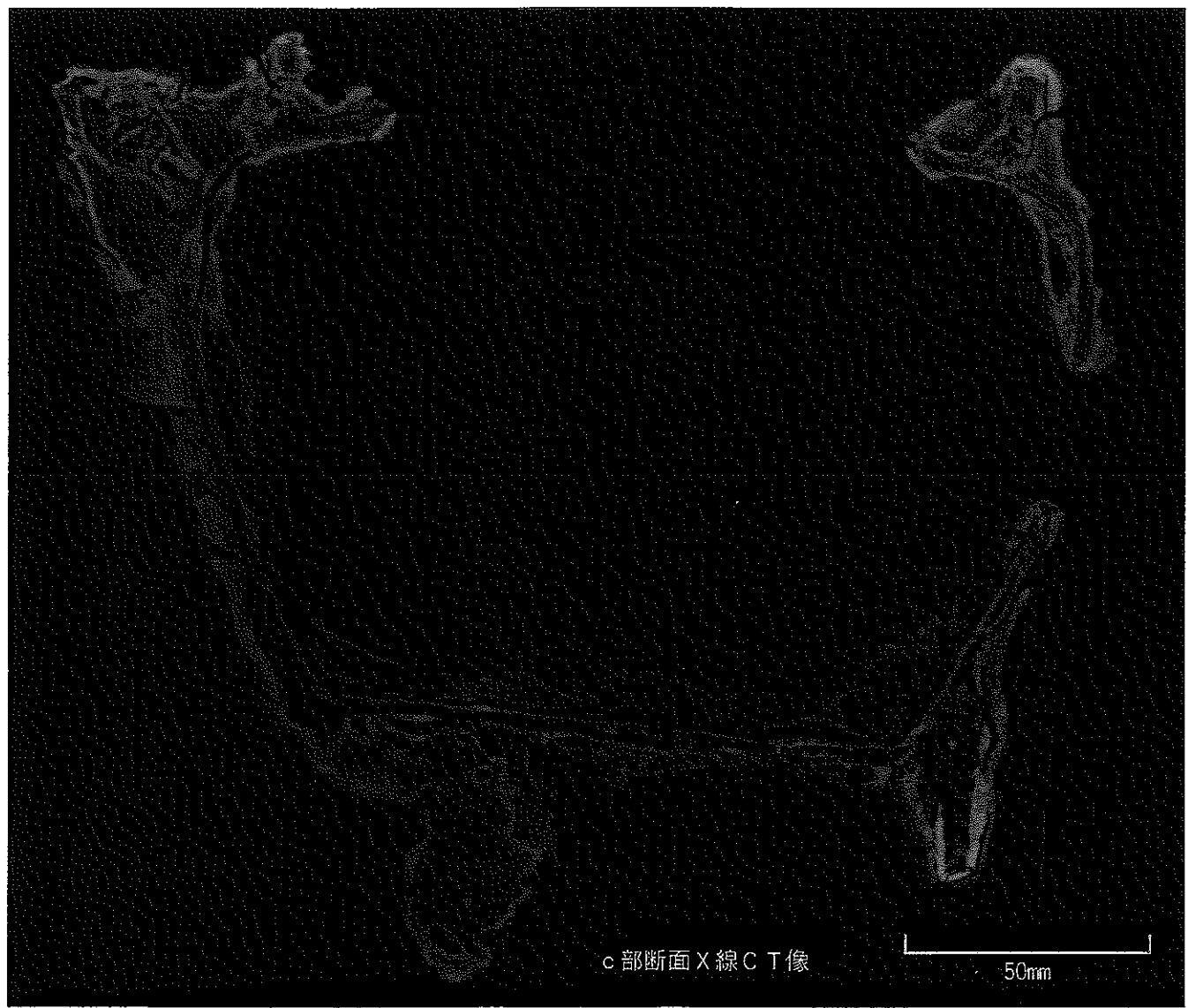


図 3-14(3) 鉄器の外観およびX線CT像 (No.14[KSB. II. 下 X-38])

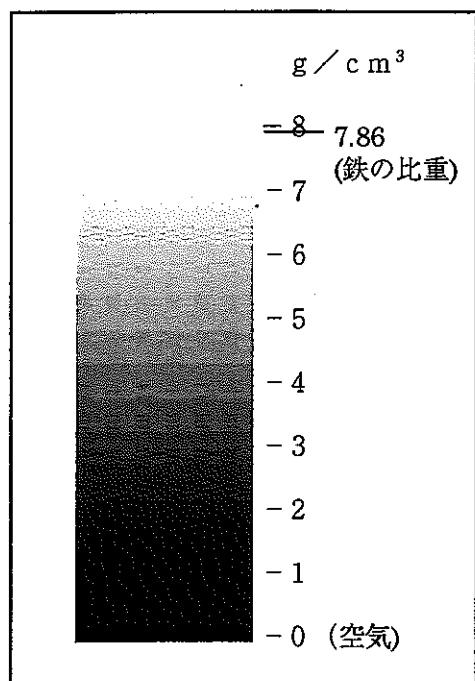


図 3-15 画像濃度と物質密度との関係

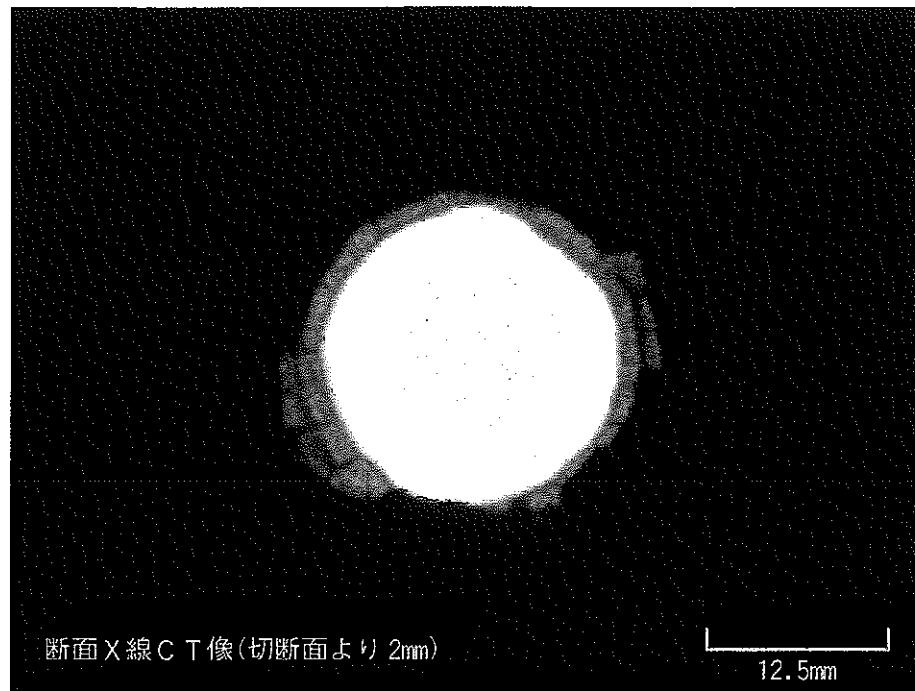
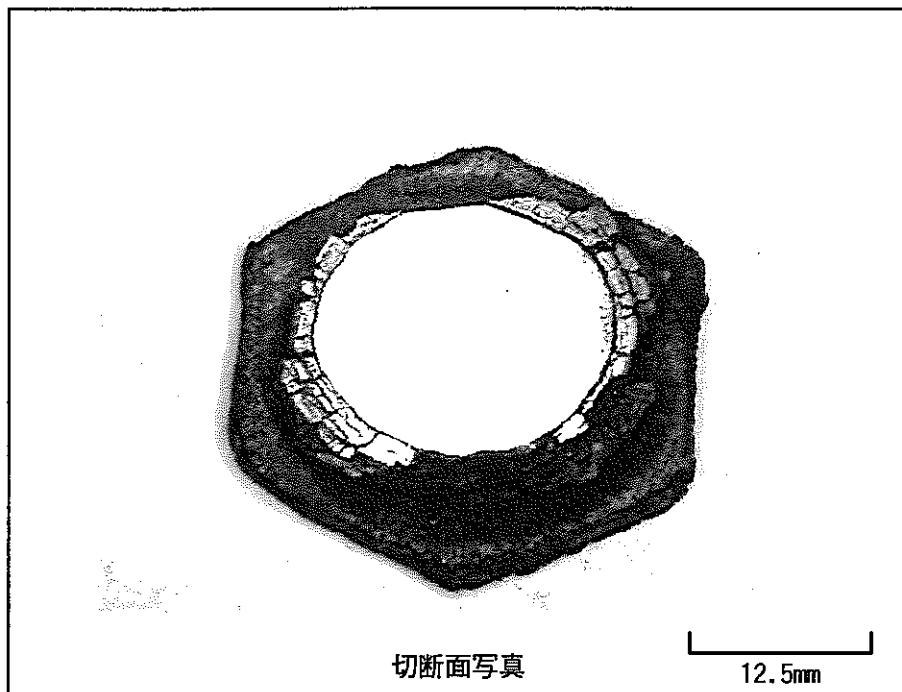


図3-16 腐食ボルト／ナット切断面写真とX線CT像

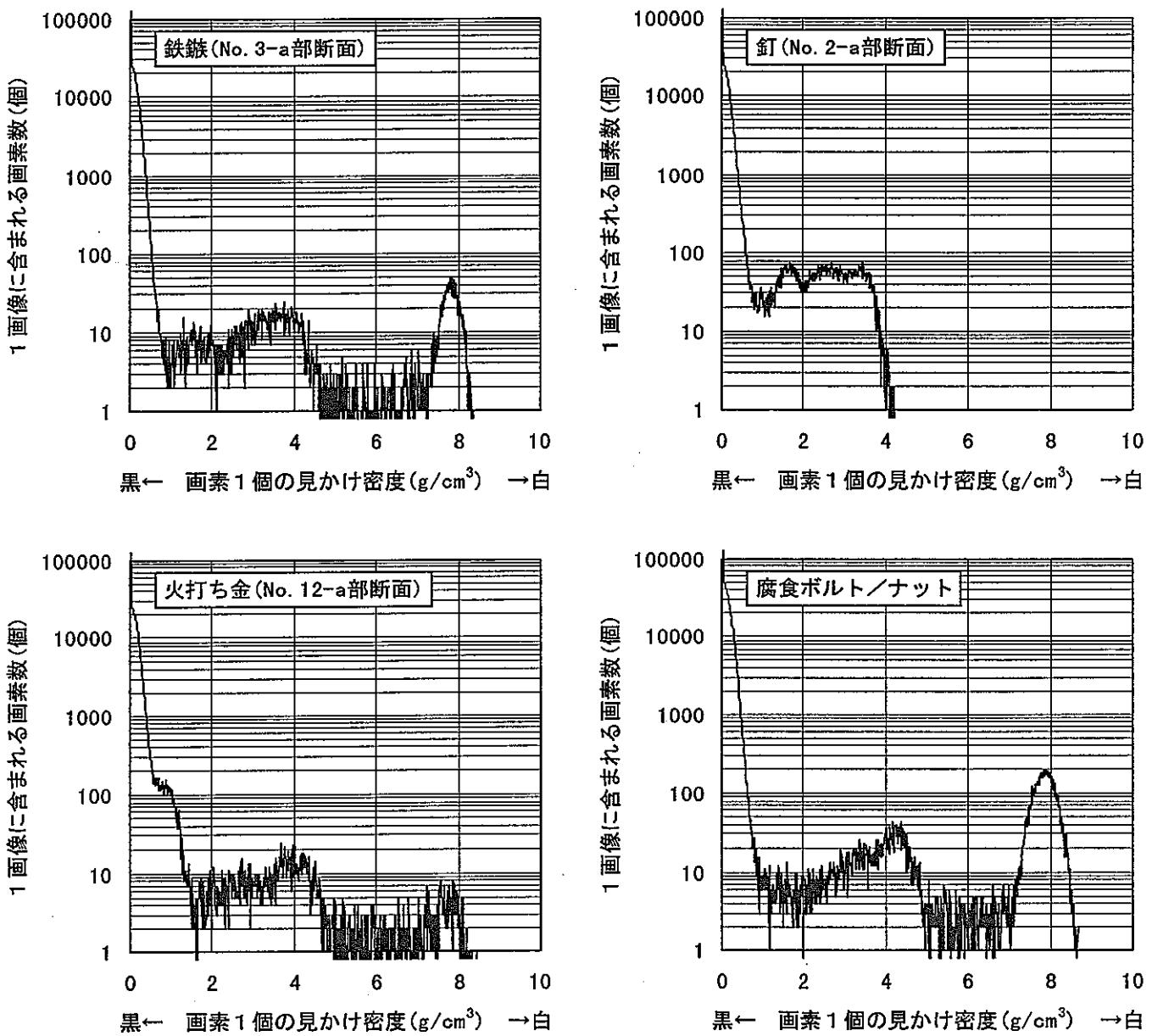


図 3-17 画像濃度と物質密度との関係

3.1.2 見掛けの比重

鉄器の重量、体積と見掛けの比重を表 3-1 に示した。X線CTの結果、鉄質の残存が確認された試料 No. 3 と No. 12 の見掛けの比重はそれぞれ 4.7 及び $3.4\text{g}/\text{cm}^3$ で、完全に鋳化している他の試料（試料 No. 5 を除く）の $2.5\sim3.1\text{g}/\text{cm}^3$ よりも大きい値を示した。酸化鉄の比重は概ね $5.1\sim5.2\text{g}/\text{cm}^3$ であるが、鋳層が中空構造であるために見掛けの比重が小さくなったものと考えられる。一方、鉄質が残存している試料では、鉄の比重が $7.9\text{g}/\text{cm}^3$ であるために見掛けの比重が比較的大きい。なお、試料 No. 5 は完全に鋳化しているにもかかわらず、見掛けの比重が $4.6\text{g}/\text{cm}^3$ と大きい。これは一部に銅材が使われているためとも考えられるが現状では明らかではない。

表 3-1 各試料（鉄器）の重量・体積・見かけの比重

上新保遺跡出土品

試料 No.	試 料 名	重 量 (g)	体 積 (cm ³)	見かけの比重 (g/cm ³)
No. 1	KSB. SK-134. 1	163. 90	—	—
No. 2	KSB. II. 下 SI-13	93. 60	37. 0	2. 5
No. 3-部分 1(鉄質)	KSB. II. 下 SI-16. 14	60. 90	13. 0	4. 7
No. 3-部分 2(鋸)	〃	6. 90	4. 0	1. 7
No. 4	KSB. II. 下 SI-19. 12	16. 30	6. 0	2. 7
No. 5	KSB. II. 下 SI-51	9. 70	2. 1	4. 6
No. 6	KSB. II. 下 SI-54	36. 20	14. 0	2. 6
No. 7	KSB. II. 下 SI-59	14. 50	5. 0	2. 9
No. 8	KSB. II. 下 SI-80	8. 20	3. 0	2. 7
No. 9-部分 1	KSB. II. 下 SI-87. 11	3. 84	1. 5	2. 6
No. 9-部分 2	〃	1. 35	0. 5	2. 7
No. 9-部分 3	〃	1. 48	0. 6	2. 5
No. 10-部分 1	KSB. II. SI-90	42. 30	13. 5	3. 1
No. 10-部分 2	〃	0. 78	0. 3	2. 6
No. 10-部分 3	〃	22. 90	8. 5	2. 7
No. 11-部分 1	KSB. II. SI-92. 28	19. 00	7. 0	2. 7
No. 11-部分 2	〃	51. 70	20. 0	2. 6
No. 12	KSB. II. 下 SD-10	34. 40	10. 0	3. 4
No. 13	KSB. II. 下 SB-16. 1	19. 40	7. 0	2. 8
No. 14	KSB. II. 下 X-38	355. 50	—	—

3.1.3 鎌層の形態と化学組成

試料 No. 3, No. 7 及び No. 14 の鎌層を、X線回折、蛍光X線分析及び化学分析に供した結果を表 3-2, 3-3 及び表 3-4 に示す。試料 No. 3 の黄褐色の外層からは鎌成分であるゲータイト ($\alpha\text{-FeOOH}$) と土層成分である SiO_2 及び $\text{Na}, \text{Ca}, \text{Al}, \text{Si}$ 複合酸化物が同定された。蛍光X線分析の結果に基づくカチオン組成比を見ると、 Fe が大半で残りは $\text{Si}, \text{K}, \text{Al}, \text{Ca}$ である。 Fe 濃度を原子吸光光度法により測定した結果、外層 0.50 g 当りの Fe 量は 0.18 g である。一方、やや黒色を帯びた内層は鎌成分としてはマグネタイト (Fe_3O_4) が主体で、ゲータイトも含まれる。土層成分の SiO_2 及び $\text{Na}, \text{Ca}, \text{Al}, \text{Si}$ 複合酸化物は比較的少ない。カチオン組成比では Fe が大半で残りは $\text{Si}, \text{K}, \text{Ca}, \text{Al}$ である。内層 0.49 g 当りの Fe 量は 0.20 g で、単位重量当たりの Fe 含有量は外層とほぼ同じである。

試料 No. 7 及び No. 14 からは表面に付着していた黄褐色の浮き鎌を少量採取したが、その形態、化学組成は試料 No. 3 の外層とほぼ同じである。また、出土時のままの状態にある試料 No. 2 及び No. 10 の最表面の付着物をX線回折で同定したところ、土層成分の SiO_2 と $\text{Na}, \text{Ca}, \text{Al}, \text{Si}$ 複合酸化物のみが検出された。

試料 No. 5 の「柄頭」については、図 2-1 に示した表面の緑色付着物の同定を実施した。図 3-18 はSEM/EDX分析の結果で、付着物が銅化合物であることが判明した。

表 3-2 試料錆層のX線回折測定結果

試料 同定成分	No. 3 外層	No. 3 内層	No. 7	No. 14	No. 2 ^{注)}	No. 10 ^{注)}
FeO(OH)	○	○	○	◎	—	—
FeO	—	—	—	—	—	—
Fe ₃ O ₄	—	◎	—	—	—	—
α Fe ₂ O ₃	—	—	—	—	—	—
SiO ₂	◎	○	○	○	◎	◎
Fe ₂ SiO ₄	—	—	—	—	—	—
Na, Ca, Al, Si 複合酸化物	○	○	◎	○	○	○

注) 最表面付着物の分析結果

◎：存在する可能性が高いもの（主成分）

○：存在する可能性が高いもの

△：存在する可能性はあるが信頼性の低いもの

—：存在する可能性の低いもの

表 3-3 試料錆層の蛍光X線分析結果

(存在率：%)

試料 ガス元素	No. 3 外層	No. 3 内層	No. 7	No. 14
N a	0.12	0.00	0.13	0.00
A l	1.47	0.87	1.84	0.79
S i	6.37	3.97	6.98	3.69
K	1.65	1.02	1.76	0.81
C a	1.43	0.90	1.46	0.64
T i	0.83	0.45	0.93	0.34
V	0.00	0.00	0.00	0.00
F e	86.6	91.3	86.1	93.5

表 3-4 試料錆層の化学分析結果(原子吸光光度法)

(含有率：%)

試料 測定元素	No. 3 外層	No. 3 内層	No. 7	No. 14
F e	35.0	41.0	35.7	46.8
A l	—	—	2.96	1.20
T i	—	—	0.09	0.03
S i	—	—	9.67	5.91

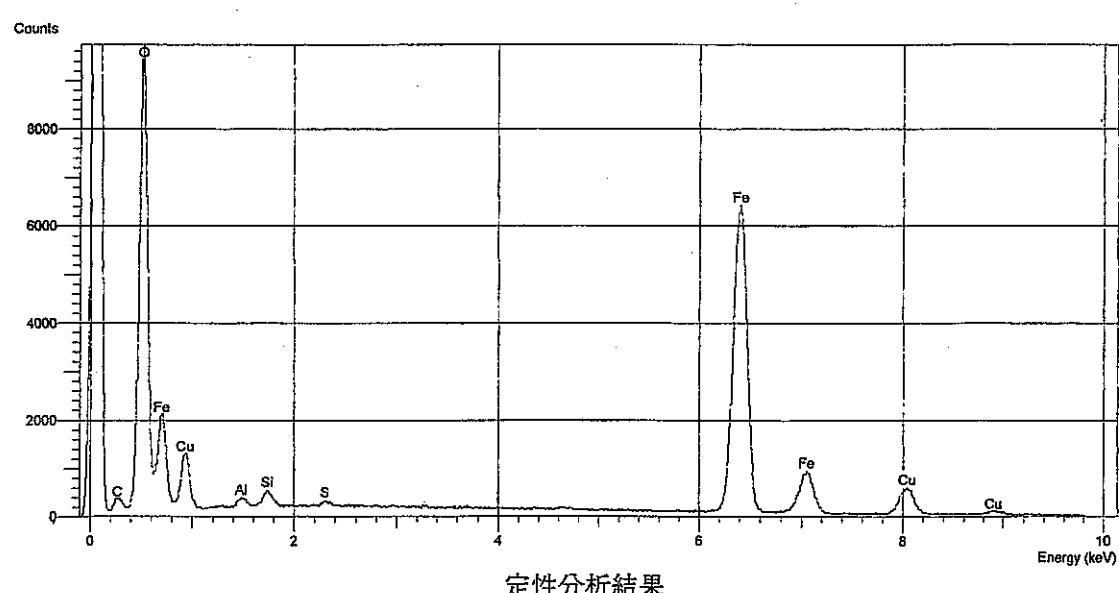
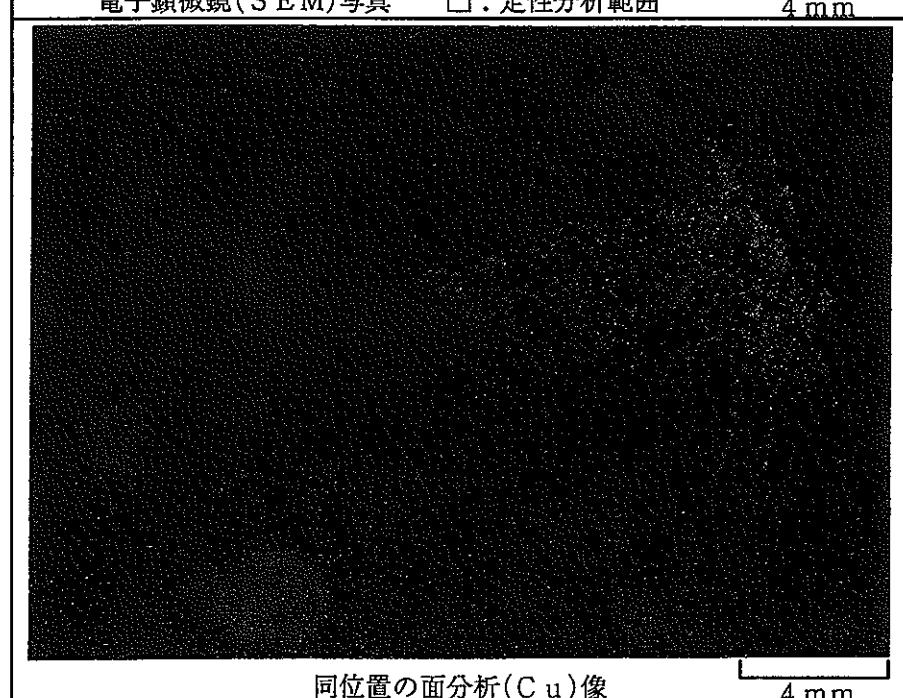
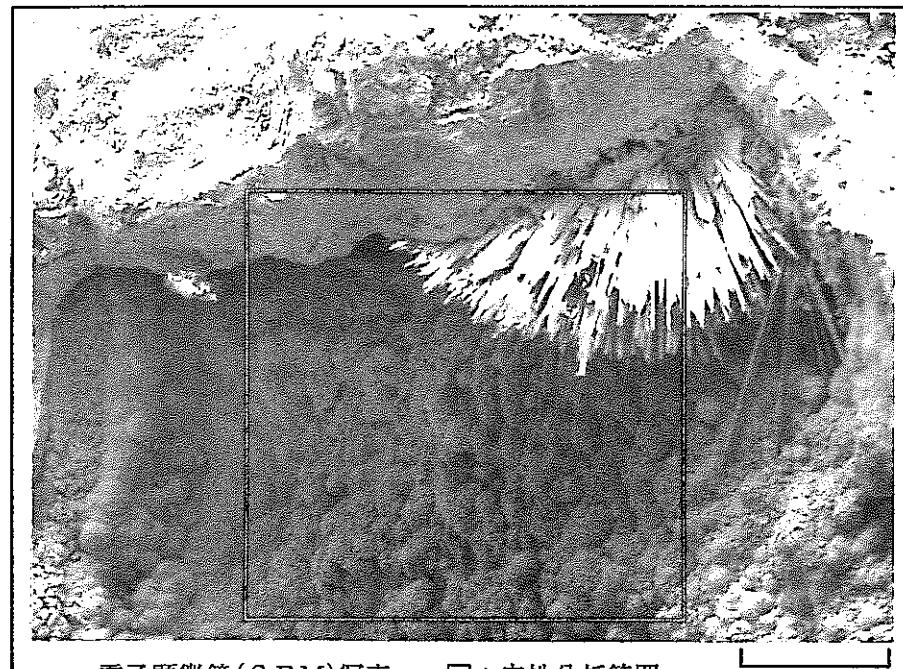
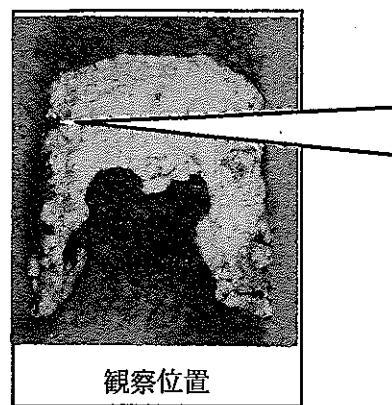


図 3-18 SEM/EDX 分析結果 (No. 5 [KSB. II. 下 SI-51])

3.1.4 腐食量の推定

腐食量は金属の単位面積当たりの酸化量である。したがって、腐食生成物の大半が酸化物（鏽層）として金属表面に残るとすれば、成長した鏽層の厚さから腐食量を推定することができると考えられる。出土時のままの状態で計測に供した試料 No. 2 と No. 10 の X 線 CT 像から、腐食生成物の大半が鏽層として金属表面に残っていることが確認された。そこで、鏽層厚さを基に腐食量と平均腐食速度の推定を試みた。

最初に、X 線 CT 像から鏽層の厚さ (d) の分布を求める。次に、鏽層の密度 (ρ) と単位重量当たりの鏽層に含まれる Fe 量 (k) から、①式により単位面積当たりの鏽化した Fe 量 (w) を求める。

$$w = d \rho k \quad \cdots \textcircled{1}$$

次に、母材の比重 (σ) を用いて、②式により腐食厚さ (l) に換算し、この値を腐食量とする。

$$l = w / \sigma \quad \cdots \textcircled{2}$$

平均腐食速度 (CR) は推定製作年代を基に③式から求める。なお、 t は土中埋蔵期間である。なお、出土時に完全に鏽化している試料では、実際の (CR) は求まる値より大きくなる。

$$CR = l / t \quad \cdots \textcircled{3}$$

なお、図 3-17 の結果から鏽層の密度 (ρ) は保守的に 4 g/cm^3 とした。また、鏽の化学分析の結果から鏽 1 g 当りの Fe 量は約 0.4 g であるので、 k として 0.4 を用いる。 σ は 7.9 g/cm^3 である。

上述の方法を用いて評価した結果を表 3-5 にまとめた。なお、平均腐食速度は腐食量の最大値を用いて求めた保守的な値を示した。出土時の状態を保っている試料 No. 2 は完全に鏽化しており、腐食量は $0.4 \sim 2 \text{ mm}$ である。古代に製作された鉄器で完全に鏽化した他の試料の腐食量は概ねこの値より小さいことから、土壤に埋蔵していた

約 1,200 年間の平均腐食速度は $2 \times 10^{-3}\text{mm/y}$ 以上であると推定される。また、中世に製作された試料 No. 1 の埋蔵期間は約 650 年間であるが、腐食量は 0.6~2 mm であり、平均腐食速度は $3 \times 10^{-3}\text{mm/y}$ 以上であると推定される。

一方、鉄質が残っている試料 No. 3 の腐食量は 0.4~2 mm であり、平均腐食速度は $2 \times 10^{-3}\text{mm/y}$ と推定された。また、試料 No. 12 の腐食量はこれよりも小さい値を示した。

以上の結果から、鉄器の平均腐食速度は保守的に評価すると $2 \times 10^{-3}\text{mm/y}$ 程度となる。しかし、試料 No. 3 では鏽層が剥離し易い状態にあり、計測時に既に多少の鏽取り処理が行われていたことを考えると、実際の腐食量は求めた値より若干大きい可能性がある。この点は試料 No. 12 についても同様である。

表 3-5 鉄器の推定腐食量

No.	鏽層厚さ (mm)	腐食量 (mm)	埋蔵期間 (y)	平均腐食速度 ^{注)} (mm/y)	状 態
1	3~12	0.6~2.0	約 650	3×10^{-3} 以上	完全鏽化
2	2~10	0.4~2.0	約 1,200	2×10^{-3} 以上	完全鏽化(出土のまま)
3	2~10	0.4~2.0	約 1,200	2×10^{-3}	鉄質残存
4	1~3	0.2~0.6	約 1,200	5×10^{-4} 以上	完全鏽化
5	1~2	0.2~0.4	約 1,200	3×10^{-4} 以上	完全鏽化
6	1~7	0.2~1.0	約 1,200	8×10^{-4} 以上	完全鏽化
7	1~6	0.2~1.0	約 1,200	8×10^{-4} 以上	完全鏽化
8	1~2	0.2~0.4	約 1,200	3×10^{-4} 以上	完全鏽化
9	1~4	0.2~0.8	約 1,200	7×10^{-4} 以上	完全鏽化
10	3~4	0.6~0.8	約 1,200	7×10^{-4} 以上	完全鏽化(出土のまま)
11	—	—	約 1,200	—	完全鏽化
12	1~2	0.2~0.4	約 1,200	3×10^{-4}	鉄質残存
13	—	—	約 1,200	—	完全鏽化
14	—	—	約 650	—	完全鏽化

注) 最大腐食量から求めた保守的な値

3.2 鉄 淬

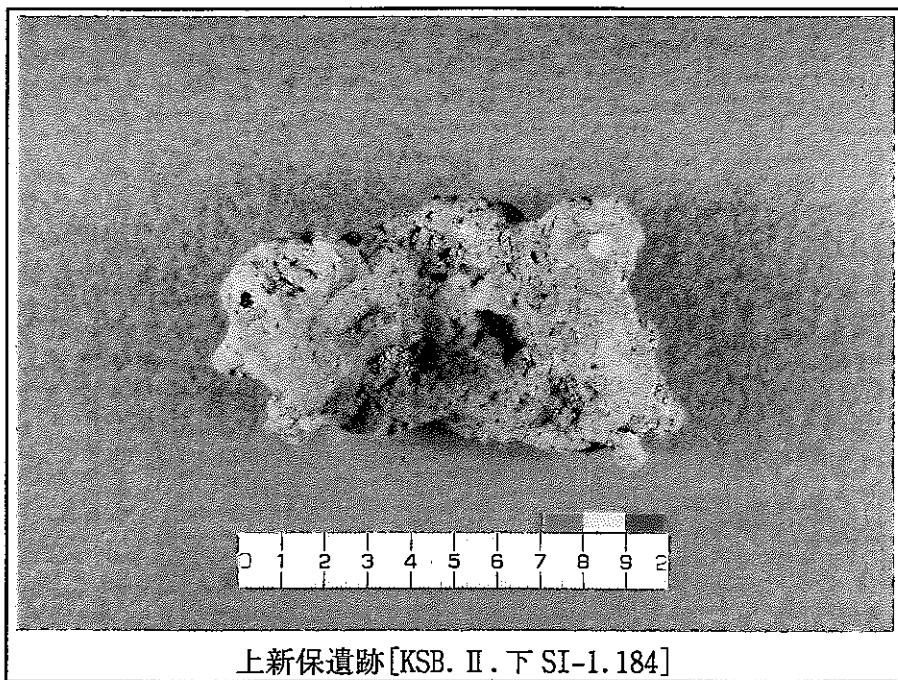
3.2.1 上新保遺跡の鉄淬

評価した鉄淬は $30 \times 50 \times 100\text{mm}$ で、外表面は茶褐色である。図 3-19 に外観を示す。

重量は 224 g、体積は 76cm^3 で、見掛けの比重は 2.9g/cm^3 である。切断面は図 3-20 に示すように黒色で多孔質である。切断面から約 3 mm 離れた位置の X 線 CT 像を図 3-21 に示す。切断面と同様の多孔質構造を示している。

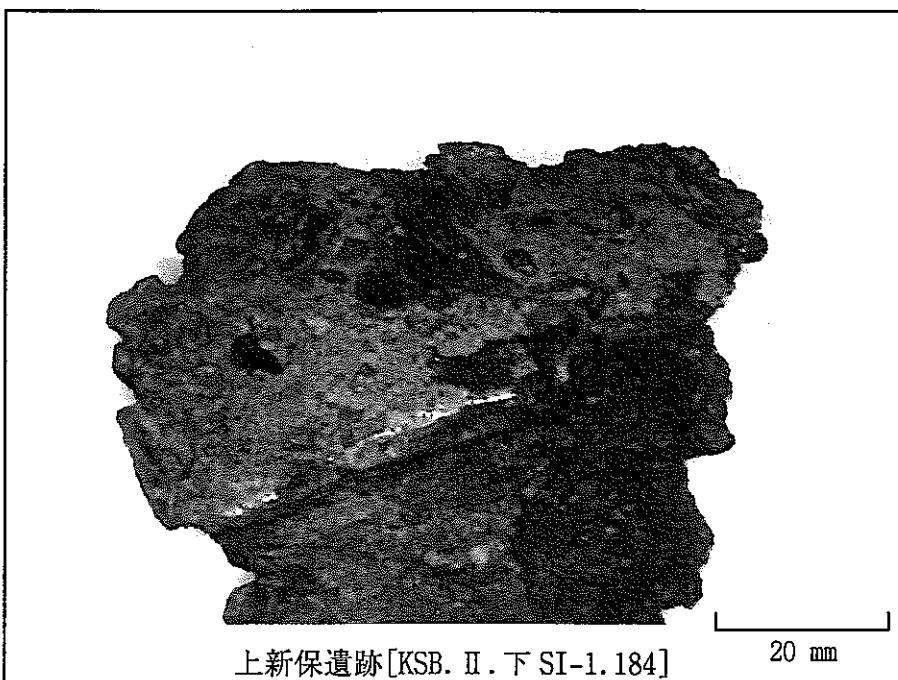
鉄淬の外表面層並びに切断面から採取した内部素地試料を、X 線回折、蛍光 X 線分析並びに化学分析に供した結果を表 3-6, 3-7 及び表 3-8 に示す。外表面層はマグネタイト (Fe_3O_4) を主体としており、その他にゲータイト ($\alpha-\text{FeOOH}$), SiO_2 及び $\text{Na}, \text{Ca}, \text{Al}, \text{Si}$ 複合酸化物が同定された。また、カチオン組成を見ると、 Fe が主体で、 Ti を 3.2%, V を 0.3% 含んでいる。内部素地はヴスタイト (FeO) が主体で、他にフェアライト ($2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$) とマグнетタイトが同定された。また、 Ti と V の濃度がそれぞれ 10%, 0.9% と高い。素地の顕微鏡組織を図 3-22 に、SEM/EDX 分析結果を図 3-23 に示した。これらの結果も、鉄淬がヴスタイト、マグネットタイト、フェアライト及びガラス質成分で構成されていることを示している。

以上の結果から、この鉄淬は中チタン含有砂鉄を原料とした製鍊済であろうと思われる。



上新保遺跡[KSB. II. 下 SI-1.184]

図 3-19 鉄滓の外観



上新保遺跡[KSB. II. 下 SI-1.184]

図 3-20 鉄滓の切断面

表 3-6 鉄滓(上新保遺跡)のX線回折測定結果

試料 同定成分	外表面層	内部素地
FeO(OH)	○	△
FeO	—	◎
Fe ₃ O ₄	◎	○
α Fe ₂ O ₃	—	—
SiO ₂	○	—
Fe ₂ SiO ₄	—	○
Na, Ca, Al, Si 複合酸化物	○	—

注) 最表面付着物の分析結果

◎: 存在する可能性が高いもの(主成分)

○: 存在する可能性が高いもの

△: 存在する可能性はあるが信頼性の低いもの

—: 存在する可能性の低いもの

表 3-7 鉄滓(上新保遺跡)の蛍光X線分析結果

(存在率: %)

試料 分析元素	外表面層	内部素地
N a	0.00	0.00
A l	1.40	0.67
S i	4.65	2.28
K	1.17	0.26
C a	1.43	0.93
T i	3.15	10.2
V	0.27	0.88
F e	86.5	83.4

表 3-8 鉄滓(上新保遺跡)の化学分析結果(原子吸光光度法)

(含有率: %)

試料 測定元素	外表面層	内部素地
F e	41.2	64.2
A l	3.73	0.86
T i	4.22	1.99
S i	4.31	1.77

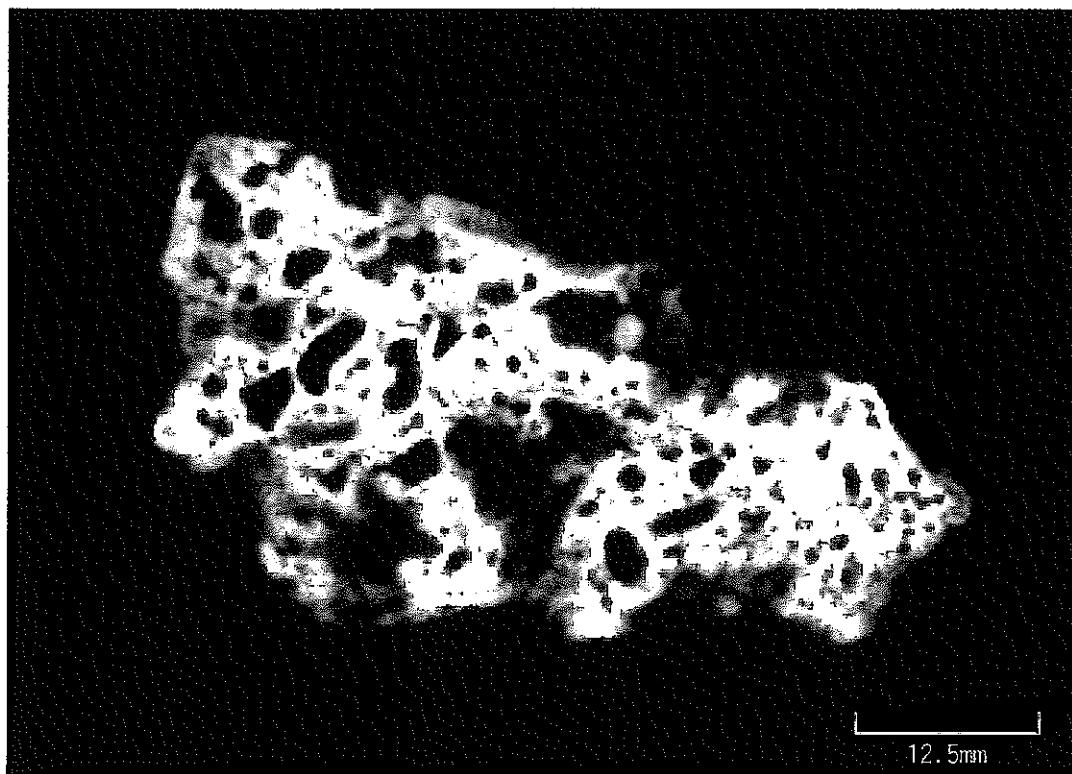


図 3-21 鉄津のX線CT像（上新保遺跡[KSB. II. 下 SI-1.184]）

注：画像のコントラストは最良に調節

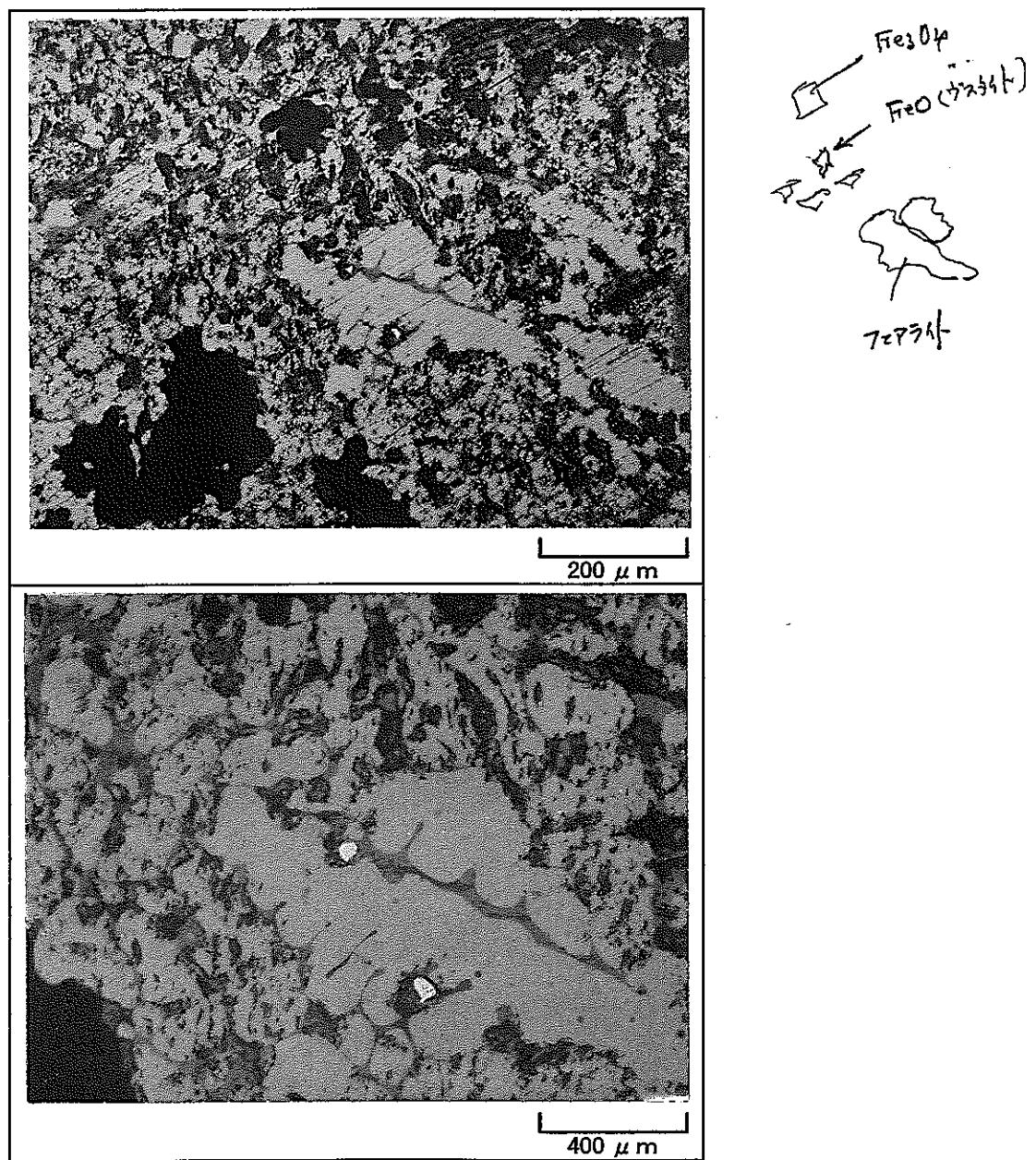


図 3-22 鉄滓素地の顕微鏡組織（上新保遺跡[KSB. II. 下 SI-1. 184]）

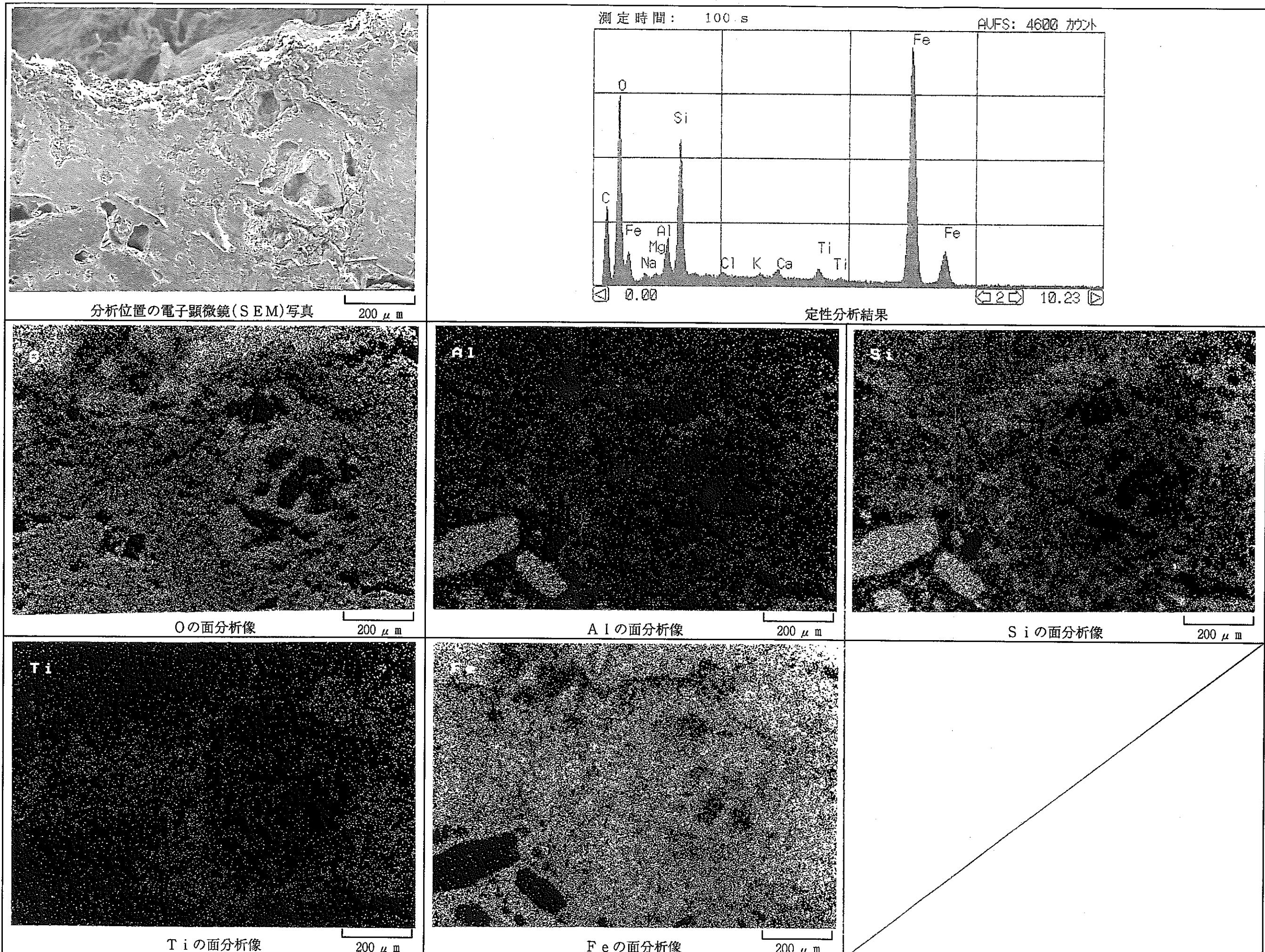


図 3-23 SEM/EDX 分析結果（上新保遺跡[KSB. II. 下 SI-1.184]）

3.2.2 染地遺跡の鉄滓

鉄滓の径は10mm程度のものから30mm程度のものまであった。一例を図3-24に示す。

外表面は上新保遺跡の鉄滓に比べるとやや黒色掛かっており、鉛状を呈している。重量は29g、体積は15cm³であり、見掛けの比重は1.9g/cm³で上新保遺跡の鉄滓に比べると小さい。切断面は図3-25に示すように黒色で多孔質である。切断面から約3mm離れた位置のX線CT像を図3-26に示す。切断面と同様に多孔質構造である。

鉄滓の外表面層並びに切断面から採取した内部素地試料を、X線回折、蛍光X線分析並びに化学分析に供した結果を表3-9、3-10及び表3-11に示す。外表面層はヴスタイトを主体としており、その他にマグネタイト、ゲータイト、SiO₂及びNa、Ca、Al、Si複合酸化物が同定された。また、カチオン組成を見ると、Feが60%程度で、TiとVの濃度がそれぞれ25%，1.9%と高い。内部素地はヴスタイトが主体で、他にフェアライトとマグネタイトが同定された。また、TiとVの濃度がそれぞれ16%，1.1%と上新保遺跡の鉄滓に比べると高い。素地の顕微鏡組織を図3-27に、SEM/EDX分析結果を図3-28に示した。これらの結果から、鉄滓はヴスタイト、フェアライト、マグネタイト、イルミナイト(FeO·TiO₂)及びガラス質成分で構成されているものと推定される。

以上の結果から、この鉄滓は高チタン含有砂鉄を原料とした製錬滓であろうと思われる。

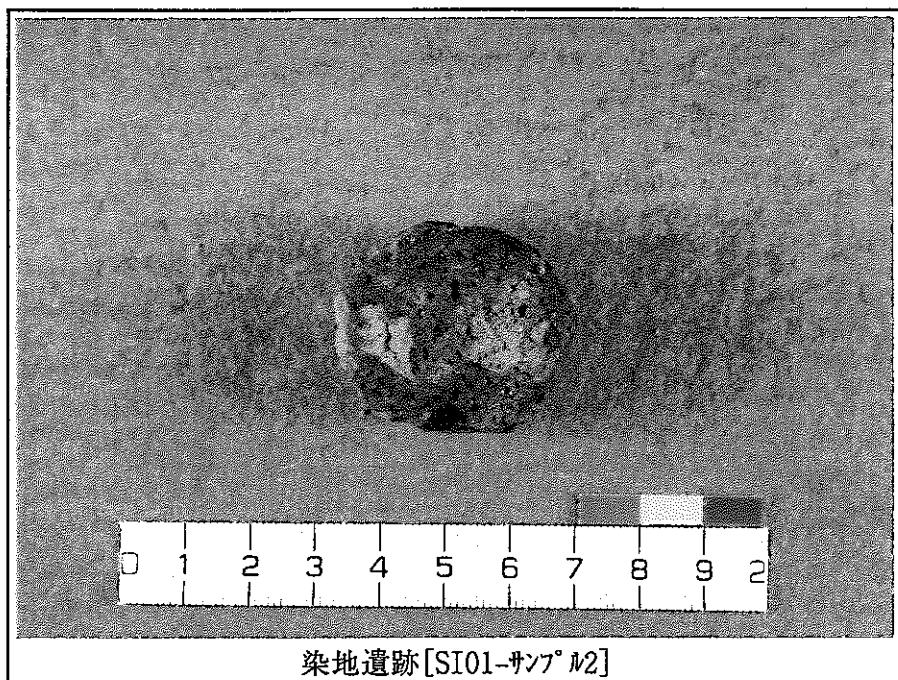


図 3-24 鉄滓の外観

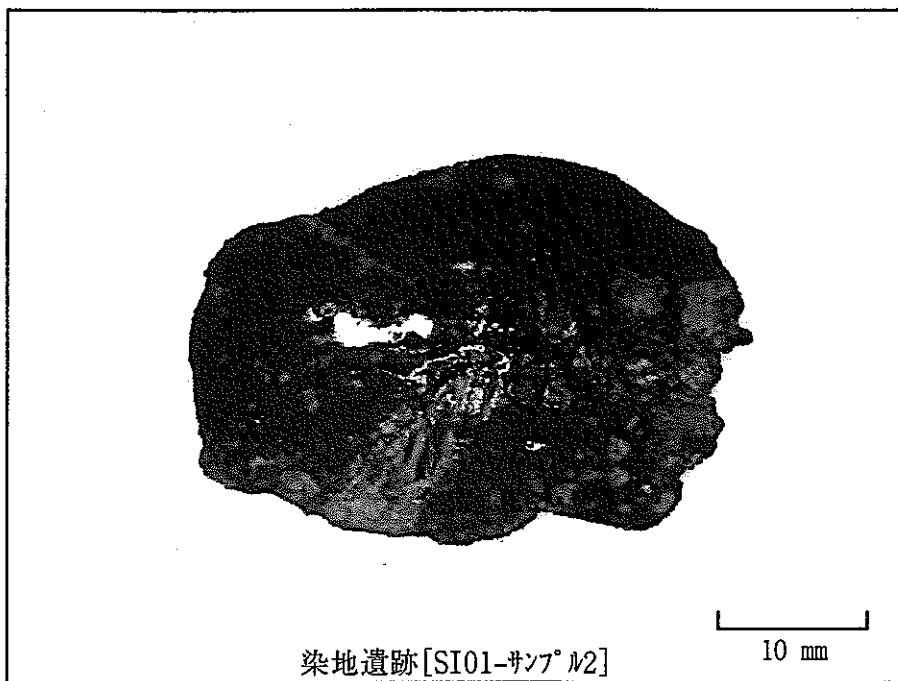


図 3-25 鉄滓の切断面

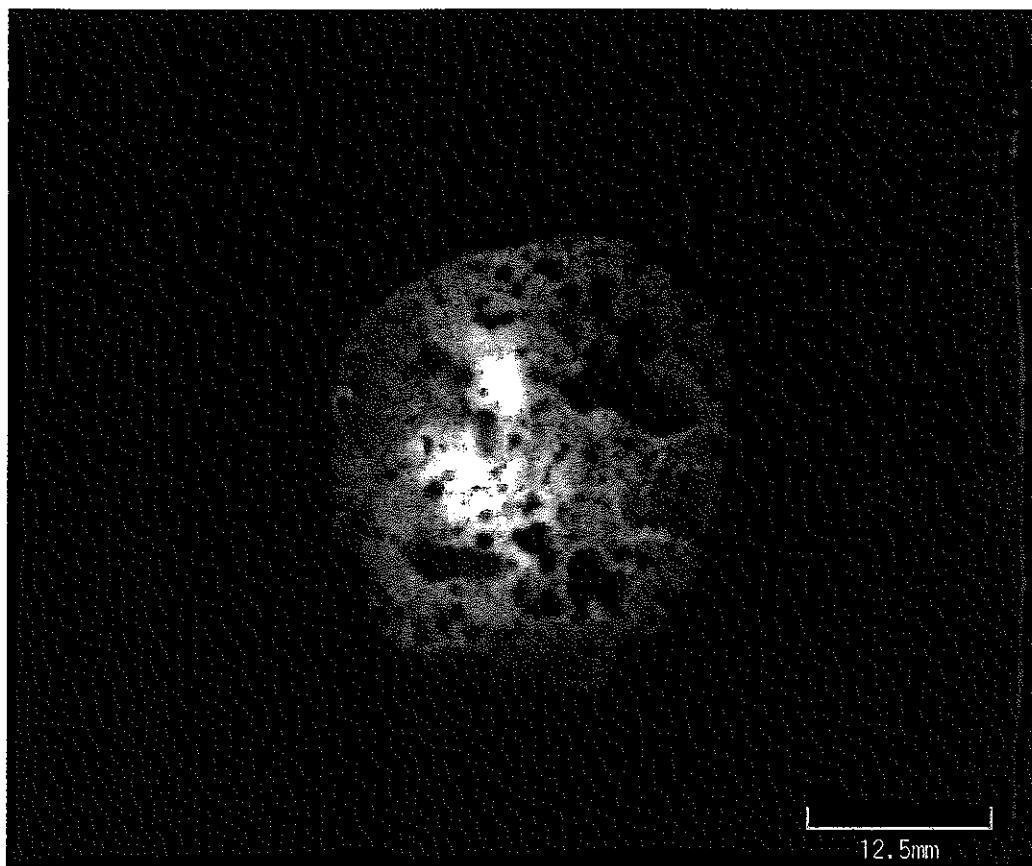


図 3-26 鉄滓のX線CT像（染地遺跡[SI01-サンプル2]）

注：画像のコントラストは最良に調節

表 3-9 鉄滓(染地遺跡)のX線回折測定結果

試料 同定成分	外表面層	内部素地
FeO(OH)	○	—
FeO	◎	◎
Fe ₃ O ₄	○	○
α Fe ₂ O ₃	△	—
SiO ₂	○	—
Fe ₂ SiO ₄	—	○
Na, Ca, Al, Si 複合酸化物	○	—

注) 最表面付着物の分析結果

◎ : 存在する可能性が高いもの (主成分)

○ : 存在する可能性が高いもの

△ : 存在する可能性はあるが信頼性の低いもの

— : 存在する可能性の低いもの

表 3-10 鉄滓(染地遺跡)の蛍光X線分析結果
(存在率 : %)

試料 ガラス元素	外表面層	内部素地
N a	0.00	0.00
A l	3.12	2.87
S i	4.44	3.64
K	0.50	0.16
C a	1.39	1.14
T i	24.6	15.6
V	1.93	1.13
F e	63.2	74.7

表 3-11 鉄滓(染地遺跡)の化学分析結果(原子吸光光度法)
(含有率 : %)

試料 測定元素	外表面層	内部素地
F e	51.4	56.4
A l	1.76	2.65
T i	0.95	2.81
S i	6.08	2.25

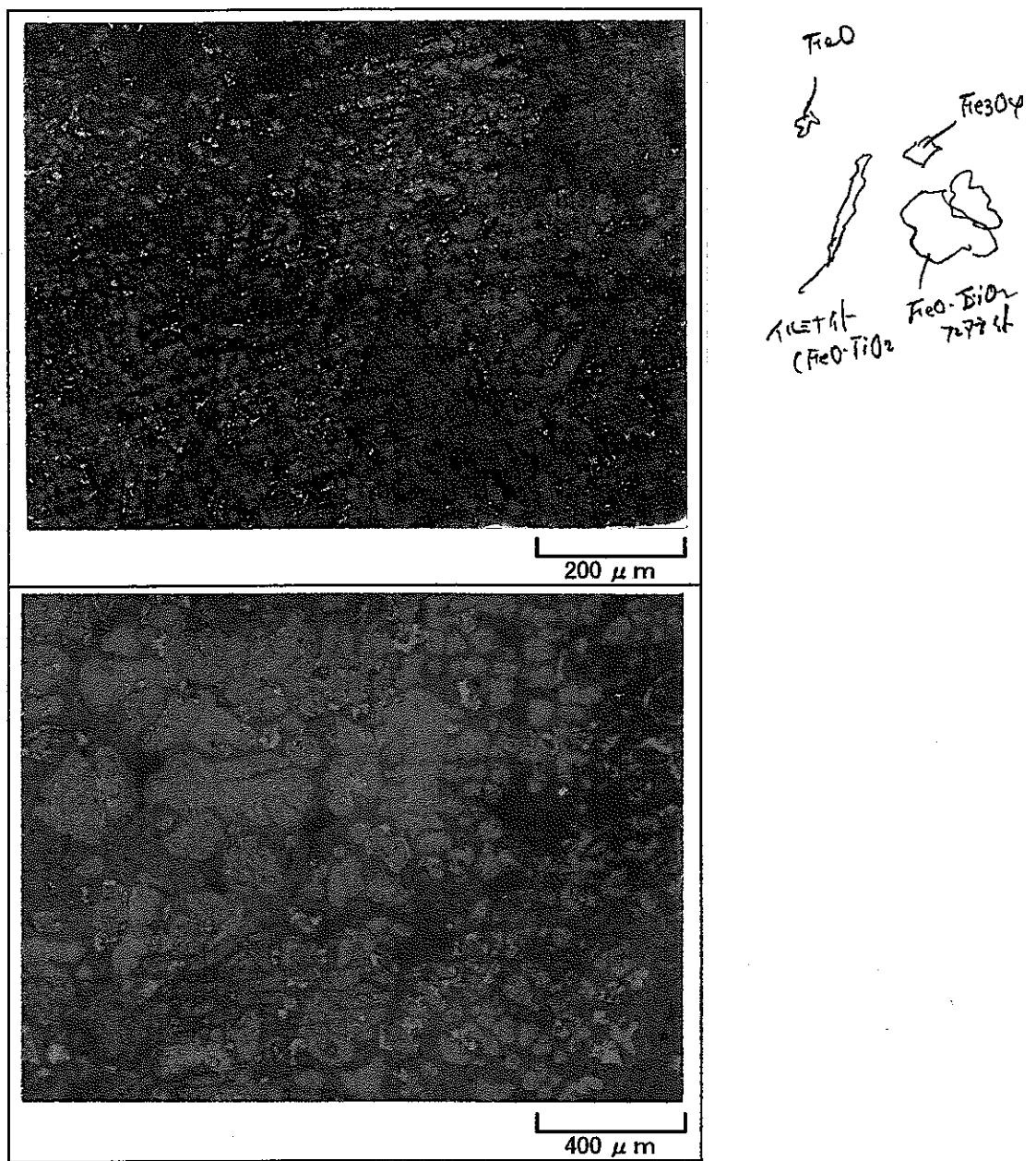


図 3-27 鉄滓素地の顕微鏡組織（染地遺跡[SI01-サンフ M2]）

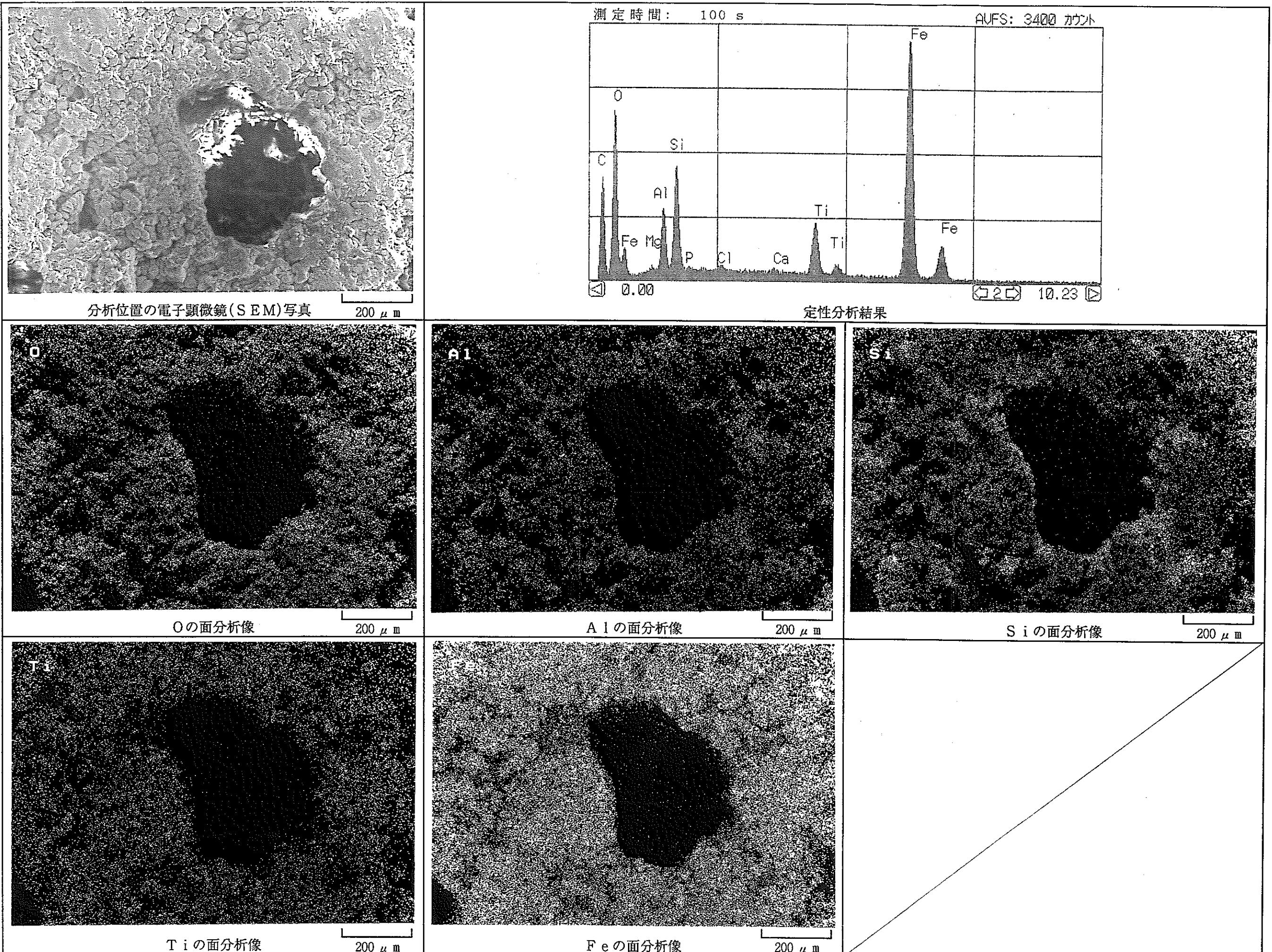


図 3-28 SEM/EDX 分析結果 (染地遺跡[SI01-サンプル2])

4. 考 察

4.1 X線CTによる鉄器の内部診断

図4-1～4-4に試料No.1, 3, 12及び14のX線透過像を示した。X線透過像では測定対象物の形状、寸法、材質等の情報が複合されて表示されるため、内部構造の推定は出来るが、錆層と鉄質の定量的な分離は難しい。一方、X線CT像では断面情報が得られるため、鉄質、錆層及び付着土層を明瞭に分離できる。また、中空等の錆層構造に関する情報も得ることができる。したがって、腐食の定量化を試みる目的であればX線CTが有効である。しかし、錆層の厚さは残存する鉄質に対して垂直面で計測する必要があり、測定位置が不適切である場合には錆層の厚さを過大に見積もる懸念がある。したがって、複数の測定結果を基に、定量化を試みることが望ましい。なお、本研究で用いたX線CT装置の測定精度は0.2mmであり、厚さ1mm以上の錆層であれば定量化が可能である。

4.2 土壤中における腐食

土壤環境における炭素鋼の腐食に関しては、NBS³⁾によって最長17年間の埋設試験データがとられている。また、田中⁴⁾は異なる土壤に鋼管を埋設し、5年毎に15年間までの腐食状況を調べている。山本ら⁵⁾は最長79年間埋設された水道用鉄管の黒鉛化腐食を調べた。また、炭山ら⁶⁾は淡水成粘土質土壤に24～66年間埋設されていた水道管を調査し、最大孔食深さと期間との関係式として④式を提案している。

$$H = 0.298Y^{0.502} \quad \cdots(4)$$

ここに、Hは最大孔食深さ(mm)、Yは期間(y)である。これらはいずれも高々100年以内の腐食状況を調べたものであるが、数百年以上前に製作された考古学遺物の腐食状況を調べた例もある。Johnsonら²⁾は博物館に保存されている遺物の写真や履歴データ等をもとに、土壤や深井戸中に埋設されていた期間の平均腐食速度を推定している。また、Arakiら⁸⁾は古代と近世に製作された刀剣の切断面の錆層厚さを直接測定し、その厚さが保守的な腐食量に相当するとして平均腐食速度を算出している。

図4-5はこれらの報告に基づいて炭山ら⁶⁾が作図した最大孔食深さと期間との関係に、本研究の評価結果をプロットしたものである。鉄質の残っているものについては、古代

の鉄器の約 1,200 年間における推定腐食量は予想される最大孔食深さよりも下回っている。3.1.4 項でも述べたように、鏽層の剥離分を加えると実際はもう少し大きな値と見込まれるが、その点を考慮しても予想値を大きく超えるとは考え難い。

ところで、④式で評価された水道管は、オーバーパックの埋設環境（ベントナイト）とほぼ同じ淡水成粘土質土壌に埋設されていたものである。この環境は還元性で相対的に腐食速度は小さいものと考えられている。本研究で評価した鉄器が埋蔵していた土壌は、参考資料（1）によると、「川に挟まれた扇状地で、周辺には多くの湧水点が存在する」場所である。腐食性の指標となる土壌抵抗、含水比、塩化物イオン濃度等に関する直接的な情報は得られていないが、含水率が高く、土壌抵抗が小さいことが推察され、腐食性が高い土壌であろうと思われる。また、酸素分圧の極めて小さい還元性雰囲気で生成される腐食生成物はマグネタイトであるが、本研究で評価した鉄器はいずれも外層がゲータイトで覆われている。このこともまた土壌の通気性がよく腐食性が高かったことを示している。これらのことから、本研究で得られた鉄器の腐食量は腐食性の高い土壌中における値と考えられ、オーバーパック材の想定埋設環境での腐食量はこの値を超えないと言えよう。

なお、水が関与する腐食反応においては、腐食した金属はイオン化し、一部は酸化物を形成するが、残りはイオンのまま溶出する。酸化物を形成する場合も、酸化皮膜（鏽層）として金属表面に残るものと、系外に移行するものとがある。本研究で腐食量推定の基として用いたのは、このうち金属表面に残った酸化皮膜のみである。したがって、過小評価の懸念がある。土壌腐食において残存皮膜量から腐食量を推定した場合に、どの程度の過小評価になるのかについてはこれまであまり検討された例はない。しかし、試料 No. 2 と No. 10 において、鏽層が内側に土層と分離された状態で残っていることや、一般的に中性近傍の土壌中では腐食生成物は移行しにくく、大半は鏽層として金属表面に堆積すると考えられることなどから、本研究で得られた結果の過小評価の懸念は小さいものと考えられる。

4.3 古代鉄と腐食性

遺物の腐食に関する評価結果を元に、オーバーパック材の長期の腐食性を論じるには、古代鉄そのものの特性に触れておく必要があると思われる。我が国で出土した鉄製品の金属学的研究は大正年間から始まり、現在もなお研究が続けられている。

我が国における独特の製鉄法である「たたら製鉄」の起源は、6世紀前後とされている⁷⁾。たたら製鉄の創始期には鉄鉱石が用いられていたが、古墳時代の後期（8世紀以降）にはほとんどが砂鉄製錬に移行している。砂鉄はチタン磁鉄鉱あるいはフェロチタン鉄鉱が風化によって粉化、集積したものであることから、製錬によって排出する鉄滓中にチタン分が多い特徴をもっている⁸⁾。上新保及び染地遺跡の鉄滓の分析結果で、チタンとバナジウムが多く検出されたことはこの状況とよく符合する。したがって、評価した古代の鉄器は砂鉄を原料として製錬され、さらに精練鍛治、鍛練鍛治工程を経たものであろう。

この製法で作られたと推定される鉄器の化学組成の一例を表4-1⁹⁾に示した。同表には現在の溶接構造用圧延鋼材のJIS規格も示した。古代鉄はC濃度が若干高いものもあるが他の成分に際立った差はなく、腐食特性に差はないものと考えられる。

なお、中世に製作された小刀は鍛造、釜は鋳造されたものであるが、製錬・精練工程が明らかになっていないため¹⁰⁾、その化学組成を推定することは難しい。

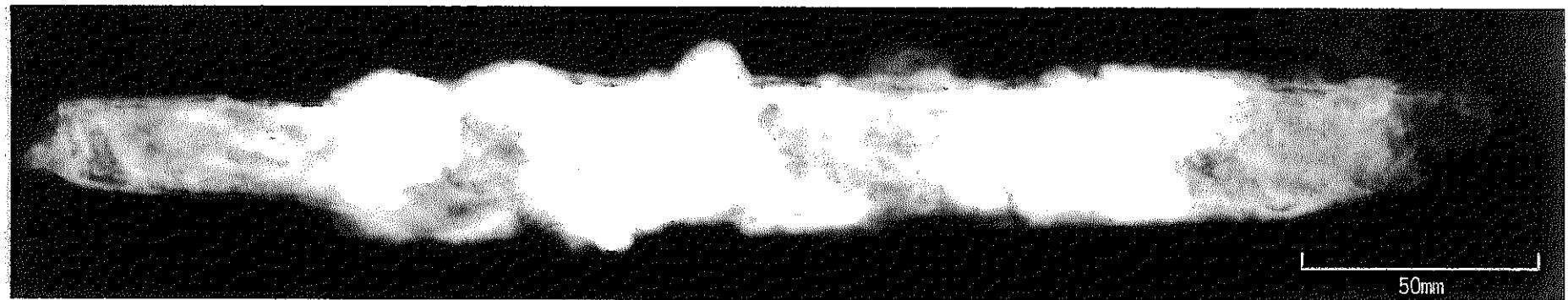


図 4-1 鉄器の X 線透過像 (No. 1[KSB. SK-134. 1])

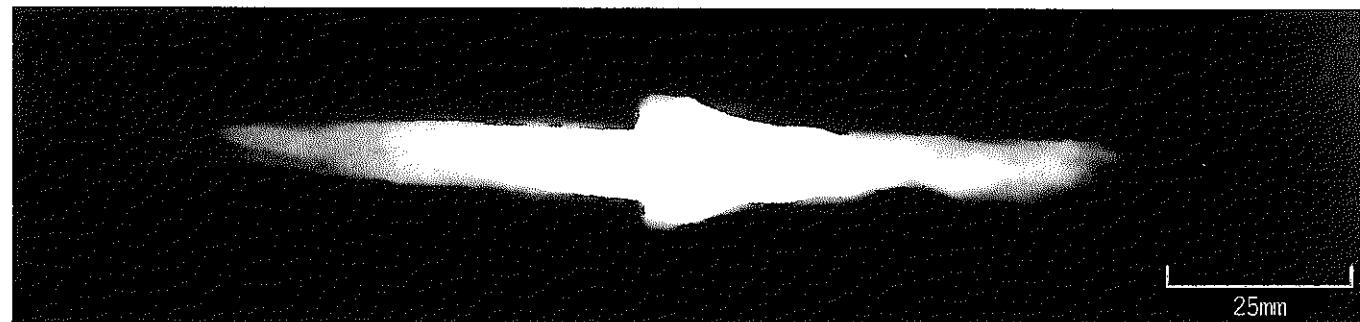


図 4-2 鉄器の X 線透過像 (No. 3[KSB. II. 下 SI-16. 14])

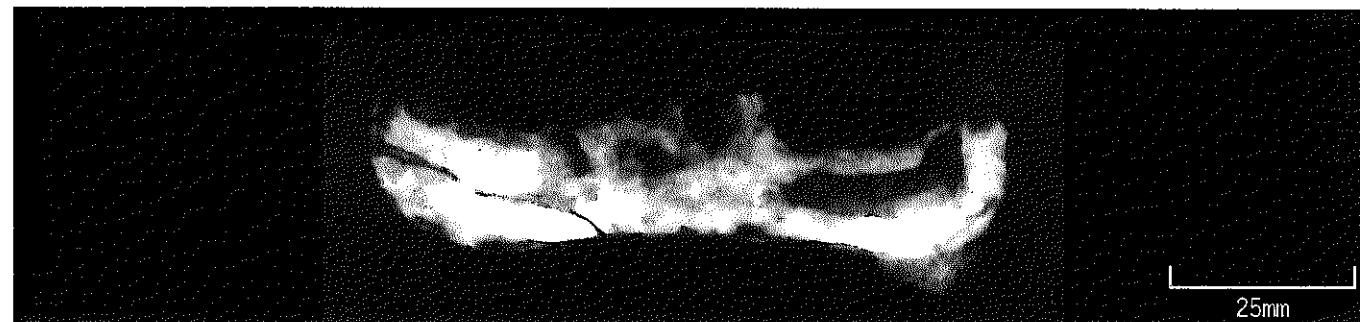


図 4-3 鉄器の X 線透過像 (No. 12[KSB. II. 下 SD-10])

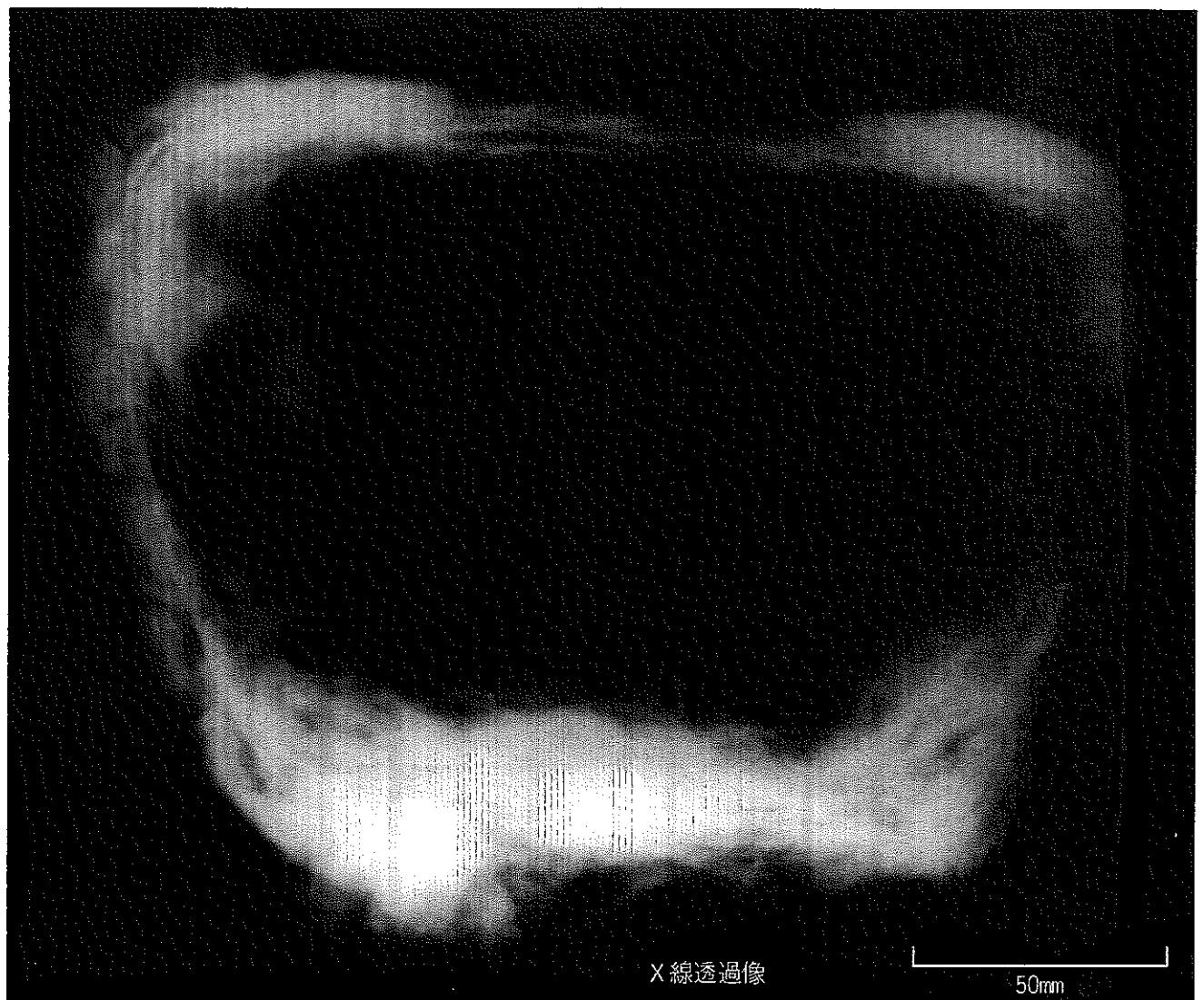


図4-4 鉄器のX線透過像 (No.14[KSB. II.下 X-38])

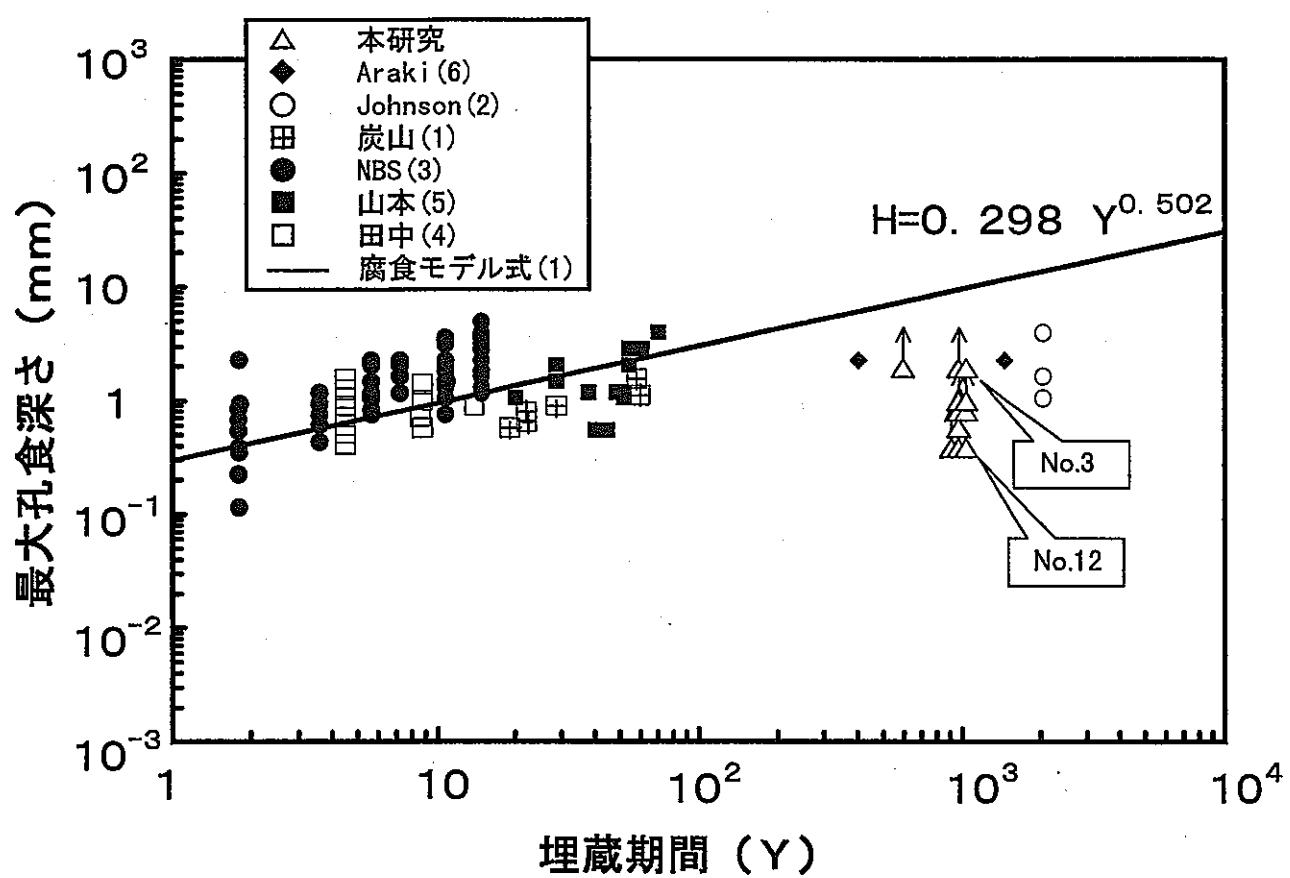


図4-5 最大孔食深さと期間との関係

表 4-1 古代鉄器の化学組成

鉄 器 試 料		鉄器の化学組成 (%)				
出土地、年代	種類	C	S i	Mn	P	S
奈良市大和6号墳、5C後半	鉄挺	0.054	0.15	0.011	0.019	—
〃	〃	0.71	0.25	0.002	0.027	0.003
奈良県石上神宮域、5C後半	直刀	0.23	<0.01	<0.01	—	0.003
群馬県安中市築瀬二子塚、〃	〃	0.46	0.04	<0.01	0.012	0.005
埼玉県児玉町金鑽神社、6C	〃	0.57	0.05	0.04	—	—
埼玉県行田市將軍塚、6C	直刀残欠	0.07	0.03	<0.01	0.021	0.004
神奈川県座間市鷹番塚、8C	刀子	0.63	0.15	0.11	—	—
宮城県名取市高館、8C	〃	—	0.11	<0.01	—	—
溶接構造用圧延鋼材 (SM400B)		<0.22	<0.35	0.60 ~1.40	<0.035	<0.035

5. 結 言

上新保遺跡から出土した古代及び中世の鉄器の腐食状況を、X線CTにより評価した結果、次の結論を得た。

- (1) 鉄器 14 個の内、古代（8～9世紀）に製作された鉄鎌と火打ち金は鉄質の残存が認められたが、中世（13～15世紀）の2個を含めた他のものはいずれも完全に鏽化していた。
- (2) X線CTを用いると鉄質、鏽層及び表面の付着土層を明瞭に分離することができる。また、鏽層は 0.2mm の精度で厚さの計測ができる、中空等の空隙状況も把握できる。
- (3) 腐食生成物の大半は鏽層として残っており、鏽層の厚さを基に腐食量を推定することが可能である。なお、腐食速度を正確に求めるには、鉄質が残っている遺物を対象に、付着した土層を除去せずに出土時のままの状態でX線CT計測に供することが望ましい。また、腐食量への換算に用いる鏽層の比重及び鏽層に含まれる鉄量は、より多くのデータを基に求めることで信頼性を高めることができる。
- (4) 鉄質が残存している鉄器の平均腐食速度は $2 \times 10^{-3} \text{ mm/y}$ 程度と推定されるが、鏽層の剥離分を考慮すると、これより多少大きい可能性がある。なお、鏽層にゲータイトが同定されたこと等から、埋蔵されていた土壤は腐食性が比較的大きい環境であったと考えられる。
- (5) 鉄滓の分析結果から、古代の鉄器は砂鉄を原料とし、製錬、鍛冶を経て製作されたものと考えられ、化学組成と腐食性は現在の炭素鋼と有意な差が無いと思われる。
- (6) 鉄器の腐食速度を議論するにあたっては、埋蔵環境の腐食性に関する指標（土壤抵抗、含水比、塩化物イオン濃度等）を明確にする必要がある。

6. 謝 辞

本研究に関し、ご協力いただいた次の方々に感謝いたします。

山武考古学研究所 松田 政基 殿

同 折原 洋一 殿

7. 参考文献

- 1) 炭山守男, 玉田明宏, 三ツ井誠一郎, 本田 明:「材料と環境 '99 講演集」, p. 224, 腐食防食協会(1999).
- 2) A. B. Johnson, Jr. and B. Francis : PNL-3198/JC-70, Battelle (1980).
- 3) NACE : Corrosion Data Survey (1974).
- 4) 田中 裕:防錆管理, [2], 47 (1990).
- 5) 山本一雄, 溝口 茂, 古光国正, 川崎淳司:防食技術, 32, 157 (1983).
- 6) K. Araki, M. Motegi, Y. Emoto, S. Ikari, T. Nada, T. Watanabe * ASME'89, p. 601 (1989).
- 7) 清永欣吾:たたら製鉄, [35], 37 (1995).
- 8) 大澤正巳:季刊 考古学, [8], 36 (1984).
- 9) 佐々木稔, 村田朋美:季刊 考古学, [8], 27 (1984).
- 10) 五十川伸矢:季刊 考古学, [57], 57 (1996).

8. 付 錄

8.1 考古学遺物の出土に関する資料

8.1.1 上新保遺跡

以降に、本研究で測定を実施した考古学遺物の出土状況及び出土場所に関する資料を示す。

富山県富山市

上新保遺跡

——発掘調査概要報告書——

平成11年1月

富山市教育委員会

例　　言

1. 本書は、富山県富山市堀168番地に所在する上新保遺跡の発掘調査概要報告書である。
2. 調査は、土地区画整理事業に伴う事前調査として実施した。
3. 調査は、富山市教育委員会の依頼を受けて、山武考古学研究所の協力を得て行った。
4. 遺跡の所在地・面積及び調査期間・調査担当者は下記の通りである。

遺跡名　　上新保遺跡
所在地　　富山県富山市堀168番地
調査面積　42, 564m²
調査期間　平成8年11月1日～平成11年1月20日
調査担当　折原洋一　常深尚　作田尚穂

5. 現地での座標・水準点の設置は、開成測量株式会社へ、遺跡の航空写真撮影はエイティックに委託して行った。
6. 発掘調査期間において、下記の諸機関に御指導・御協力を賜った。記して感謝の意を表するものである。

諸機関の名称

上新保土地区画整理組合　富山市教育委員会　大洋不動産　日本国土開発
(株)アキモト　古環境研究所　東日本重機　開成測量　新成田総合社
エイティック

I 遺跡の位置と環境

上新保遺跡は、J R 富山駅より南方へ5,5 Kmの上新保地内に所在し、周辺は住宅街及び水田が広がり、遺跡の北部は日清紡績工場敷地内となっている。また、遺跡の西方2 Kmには北陸自動車道富山インターチェンジが存在する。

遺跡は、常願寺川と神通川支流熊野川に挟まれた扇状地の扇央部中央に立地する。周辺は標高36~38mを測る南東から北西への緩傾斜面となり、遺跡の南東方向には扇央部傾斜地から平坦面に打つ傾斜変換点が近接して存在する。この傾斜変換点周辺には多くの湧水点が存在し、小河川も多く見られる。

II 調査の方法

表土除去作業は、富山市教育委員会の試掘調査成果を基に調査区を設定し、^①重機により遺物包含層上面まで表土除去を実施し、^②遺物包含層は作業員の手により掘り下げを行った。遺構調査は土層観察用ベルトを設定し、埋没状況などを検討しつつ調査を行った。

調査区は、公共座標を基準に4 m×4 mのグリッド設定し、調査の便宜を図り、グリッド呼称方法は南北軸を北よりアルファベットでA・B・C……、東西軸を東より算用数字で1・2・3……とし、北西角をグリッド名とした。

実測図は、豎穴住居跡・井戸・土坑・掘建柱建物跡を1/20、溝を1/40の縮尺として実測した。写真撮影は必要に応じて隨時行い、白黒35mm、カラースライド35mm、白黒6×7版の3種類のフィルムに記録した。また、遺跡全景は航空写真撮影を行った。

III 調査の経過（調査日誌抄）

第1地区は、平成8年11月1日~平成9年10月3日に亘り調査を実施した。第2地区は平成10年9月1日~平成11年1月20日

平成8年

11月期 25日より第1地区の表土除去作業を東側より開始する。

12月期 26日をもって年末年始のため作業を中断する。

平成9年

1月期 8日より表土除去作業を再開する。24日より天候不順のため冬期閉鎖とする。

3月期 17日より調査を再開する。29日に第1地区中央部の表土除去をわずかに残し、平成8年度調査を終了する。

4月期 3日より平成9年度調査を開始する。第1地区の表土除去作業を継続、遺物包含層を人力により掘り下げを開始する。

5月期 第1地区の遺物包含層掘り下げを継続、第2地区の表土除去作業を開始する。

6月期 第1地区の遺物包含層掘り下げを終了し、遺構調査を開始する。

7月期 第1地区の遺構調査を継続する。

8月期 第1地区の遺構調査を継続する。

9月期 第1地区の遺構調査および古代面の調査を行う。16日、古環境研究所が来訪し、

- 平安時代畠址の自然科学分析資料を採取する。
- 10月期 遺跡全景の航空写真を撮影し、第1地区の発掘調査を終了する。第2地区A小区北半部中世包含層掘り下げを開始終了し、遺構調査を開始終了する。
- 11月期 上旬は第2地区B小区中世面の調査を開始、終了する。中旬より第2地区A小区北半部古代の遺物包含層掘り下げ開始終了後、下旬より遺構調査を開始する。
- 12月期 第2地区A小区北半部古代の遺構調査を継続する。下旬は年末年始の休み。
- 平成10年
- 1月期 7日より第2地区A小区北半部古代の遺構調査を再開・継続する。下旬は天候不順のため冬期休みに入る。
- 3月期 24日より第2地区A小区北半部古代の遺構調査を再開する。
- 4月期 第2地区A小区北半部古代の遺構調査を継続する。第2地区C小区北半部古代の包含層掘り下げを開始する。第2地区B小区北半部古代の遺構調査を開始する。
- 5月期 第2地区B小区北半部古代・C小区北半部古代の遺構調査を継続する。中旬より第2地区E小区南半部中世・A小区南半部中世の調査を開始する。
- 6月期 第2地区A小区南半部古代・C小区北半部古代・E小区南半部中世の遺構調査を継続する。
- 7月期 第2地区A小区南半部古代・C小区北半部古代・E小区南半部中世の遺構調査を継続する。
- 8月期 第2地区A小区南半部古代・C小区南半部古代の遺構調査を継続するが、天候不順のため進展せずする。
- 9月期 第2地区A小区南半部古代とC小区南半部古代・中世の遺構調査を継続する
- 10月期 上旬に第2地区A小区南半部古代・B小区古代の航空写真撮影を実施、両区の調査を終了する。C小区南半部古代の遺構調査を継続する。
- 11月期 第2地区C小区南半部古代の遺構調査を継続する。第2地区D小区・E小区北半部の中世の調査を開始する。
- 12月期 第2地区C小区南半部古代、第2地区D小区・E小区北半部の中世の調査を終了をする。

IV 基本堆積土層

1層 水田耕作土	5層 黒色土
2層 黒灰色土（ <u>中世</u> 遺物包含層）	6層 黒灰色土（古代遺物包含層）
3層 黒色土（ <u>中世</u> 遺物包含層）	7層 黄色シルト質砂層（古代地山）
4層 黄色シルト質砂層（ <u>中世</u> 地山）	

V 検出された遺構と遺物

今回の調査で検出された遺構遺物は、中～近世と古代の所産のもので、第1地区では中～近世の遺構遺物が主体となり、第2地区では古代・中世～近世共に多くの遺構遺物が発見されている。

第1地区

遺構

中～近世 (15～16世紀)

確認された遺構の種類と数量は、下記の通りである。

掘建柱建物跡	10棟
ピット	多数
土坑	300基以上
溝（河川を含む）	40条以上
井戸	2基
石垣	2基
石組炉	1基
焼土址	1基

掘建柱建物跡・ピット・土坑・井戸・焼土址など村落を構成される遺構は、第1地区の西半部に集中し、水路として機能した溝は全体に分布している。

古代

確認された遺構の種類と数量は、下記の通りである。

畠址	30条
----	-----

畠址は、遺物より平安時代のものと推定される。また、畠址の北・西・南は河原石が集中する耕作不適地であり、東は古代の包含層が消失している。

遺物

第1地区では、古代・中世～近世の遺物が出土しており、中でも中世～近世初頭の遺物が主体となっている。

中世～近世の遺物の種類としては、かわらけ・青磁・白磁・染付・珠洲焼・唐津焼き・八尾焼き・越中瀬戸・鉄滓・羽口・古錢・釘・刀子・小刀・鉄瓶・煙管・砥石・台石などが出土している。その分布は第1地区全体に分布するが、特に東半部に集中する。

古代の遺物の種類としては、平安時代の須恵器・土師器が出土しているが畠址周辺より少量出土したにすぎない。

第2地区

中世～近世

確認された遺構の種類と数量は、下記の通りである。

掘建柱建物跡	9棟
ピット	多数
土坑	85基以上
溝（河川を含む）	69条以上

井戸	5基
石垣	12基
石敷	5基
畠柵址	10条

中世の遺構は、第2地区の北半部に多く、近世の遺構は東南部に集中する。石垣と石敷きは近世の建物址に関係する。

古代

確認された遺構の種類と数量は、下記のとおりである。

竪穴住居跡	118軒以上
掘建柱建物跡	22棟以上
ピット	多数
土坑	50基以上
溝（河川を含む）	12条以上
畠柵址	300条以上

竪穴住居跡は、かまどを有しており、時期により形状や規模の点で多少の変遷が見られるようである。掘建柱建物跡は竪穴住居跡とほぼ同時期と思われる。畠柵址は竪穴住居跡などを切って構築されていることか竪穴住居跡群よりも新しいと考えられる。

遺物

第2地区では、古代・中世～近世の遺物が出土しており、中でも古代の遺物が主体となっている。

中世～近世の遺物の種類としては、かわらけ・青磁・白磁・染付・珠洲焼・越中瀬戸・鉄滓・羽口・古錢・硯・砥石・鉄鍋が出土している。その出土分布には偏在性が認められ、中世の遺物は第2地区の北西部に集中しており、近世の遺物は南東部に集中している。染付は17～18世紀の吉伊万里が多く、第2地区南西部に存在する近世屋敷址の性格を究明するのに注目される。

古代の遺物の種類としては、須恵器・土師器・土錘・綠陶器・墨書き土器・刀子・鉄釘・砥石・印章状石製品が出土している。その出土分布は第2地区全域に認められるが、特に竪穴住居跡が集中する第2地区北西部に極めて濃い分布が認められる。須恵器・土師器は奈良・平安時代のものが主体となるが、少量ながら古墳時代後期の例も存在する。綠陶器は1点のみで、墨書き土器は数点出土しているにすぎない。印章状石製品は形状的に銅印に類似し、印面に相当する部位に印刻で文字が記されており、性格や存在意義に問題があり注目される。

VI まとめ

第1地区

第1地区では、中世の遺構群と平安時代の畠址の検出されたことが重要な成果と言える。

中世の遺構群は、掘建柱建物跡や井戸などが存在することより当時の村落址として捉えることができ、製鉄の炉址は未検出で問題となるが、多量に出土する鉄滓の存在より製鉄に関係していた村落であったと想像することができ、また青磁や白磁などが出土していることより比較

的裕福な階層が生活していたのかもしれない。

平安時代の畠址は、県内においても数例しか発見されておらず、貴重な資料と言え、当時の作物を明らかにするため自然科学分析を行っている。自然科学分析の結果は陸稻が主体となりこの他に麦類が少量栽培されていたことが明らかとなっている。

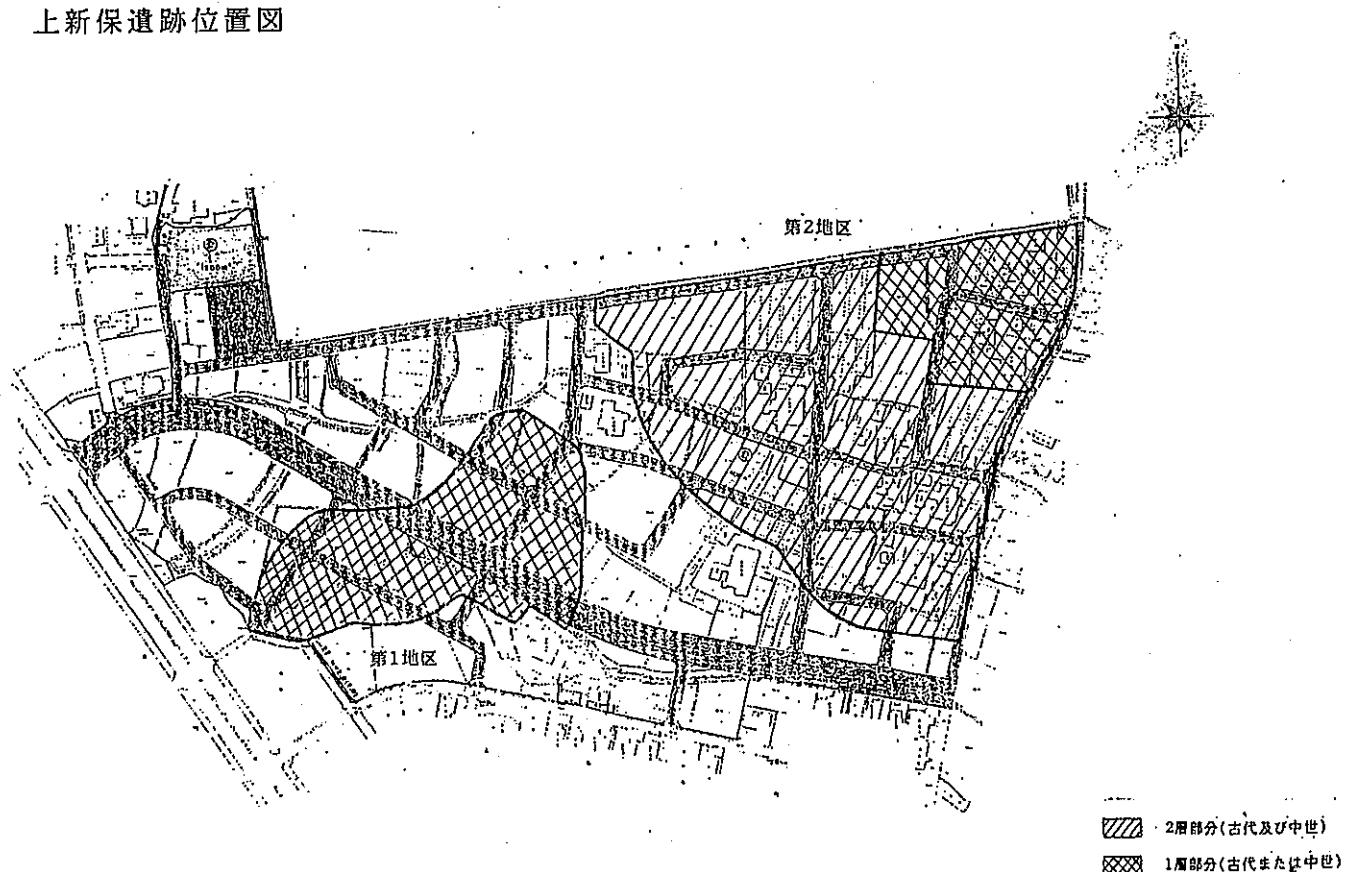
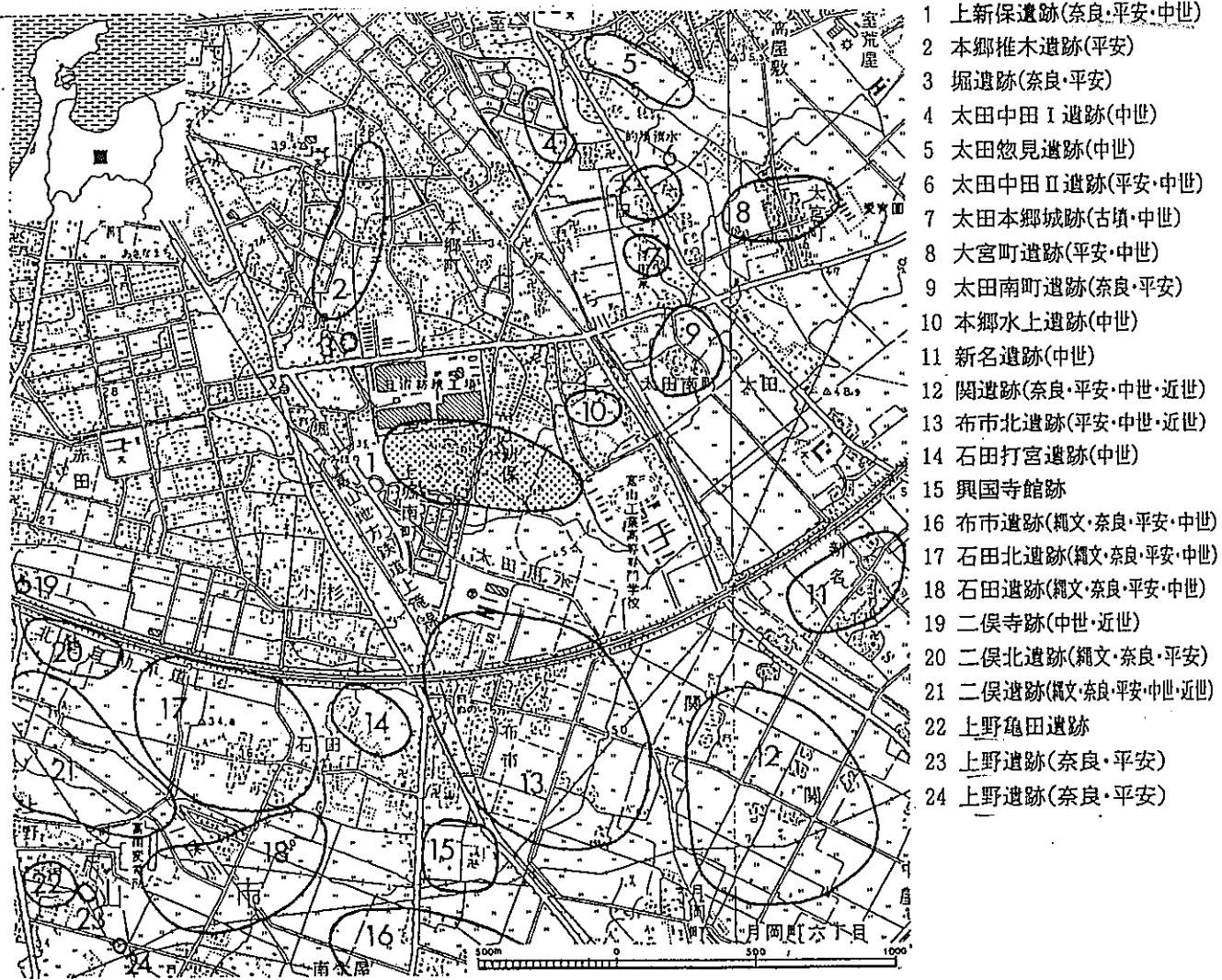
第2地区

第2地区では、中世の村落址・近世屋敷址・古代の村落址と畠址が検出され、多くの重要な成果が得られている。

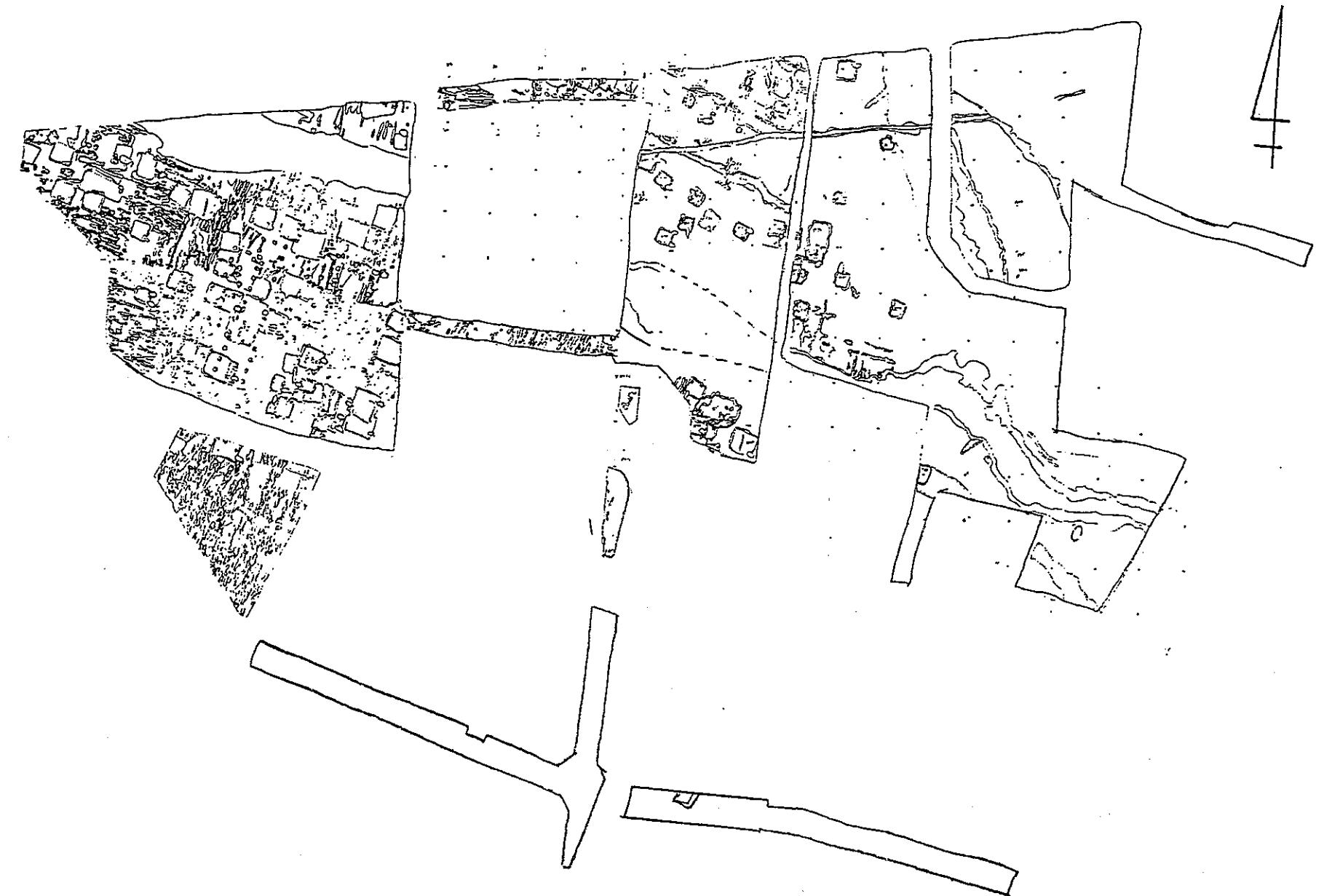
中世の村落址は、第1地区の中世村落とほぼ同時期と思われるが鉄滓の出土量が極少量で、性格は大きく異なると考えられる。また、中世の遺構は北部に集中することより中心は今回の調査区よりも北方に存在すると予想される。

近世屋敷址は、石垣や石敷きなどの遺構により構成され、これらの遺構は屋敷址の基壇や法面の石垣と思われ、かなり大規模な建物などが存在したと想像される。時期的には遺物より18世紀前半以前には存在したと思われ、桃乃井家との関係が注目される。

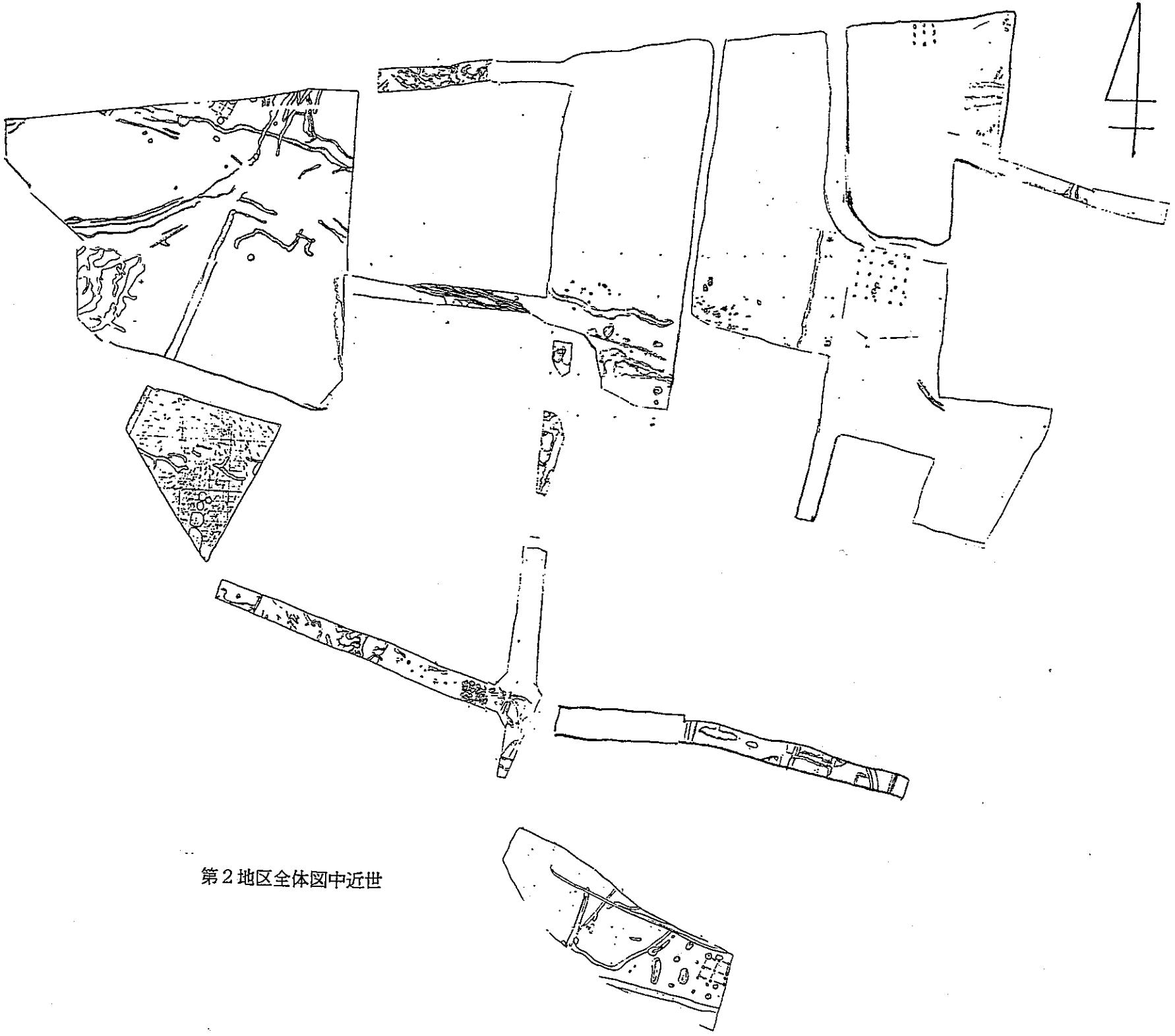
古代の村落址は、第2地区の北西部～中央部にかけて存在し、竪穴住居跡の保存状態の良好なことや100軒を越える数が発見されるなど県内で調査された同時期の遺跡の中でも稀有な存在といえ貴重な成果が得られている。村落址の初現は遺物の中に古墳時代の須恵器等が見られることより同時期に出現していた可能性が考えられ、それ以後平安時代の中葉まで存続したと推定される。村落址の性格としては竪穴住居跡群の中央部に河川が存在し、この河川の水利を利用した農村であったと想像される。畠址は村落が放棄された後に耕作されたと考えられ、これは竪穴住居跡群の中央部に流れる河川の水量がある時期より増加し居住地としてよりも耕作地として適するようになったためと思われる。



カムシンホ
上新保遺跡全体図



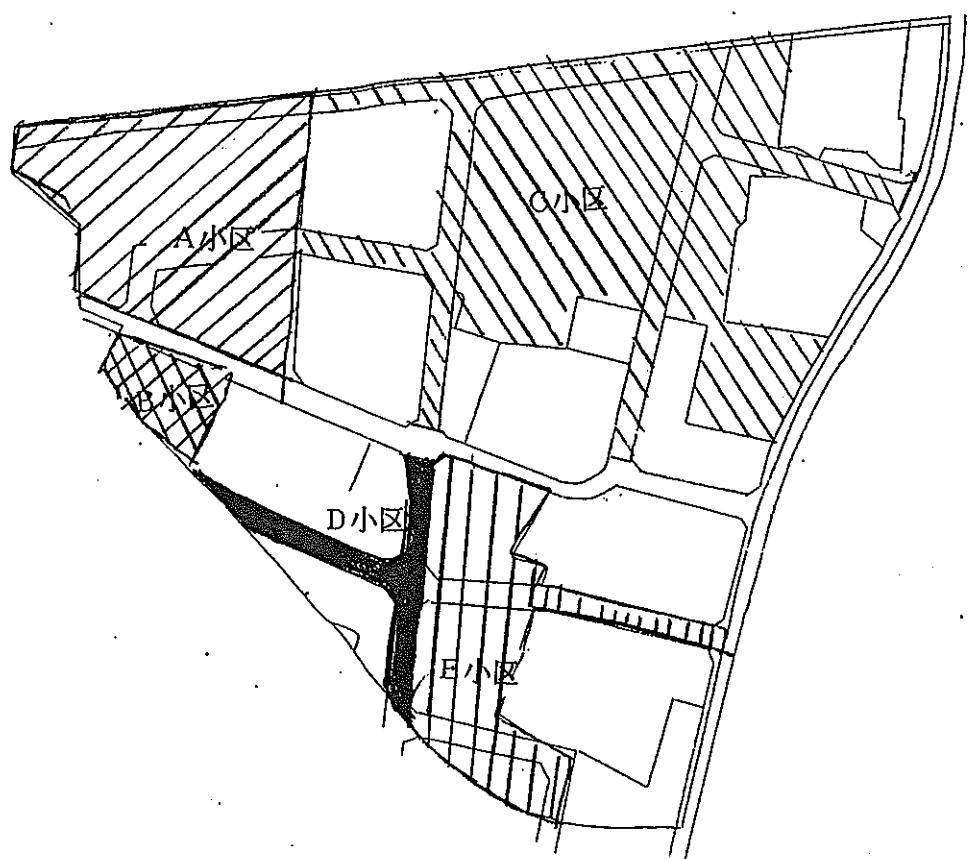
第2地区全体図古代



第2地区全体図中近世



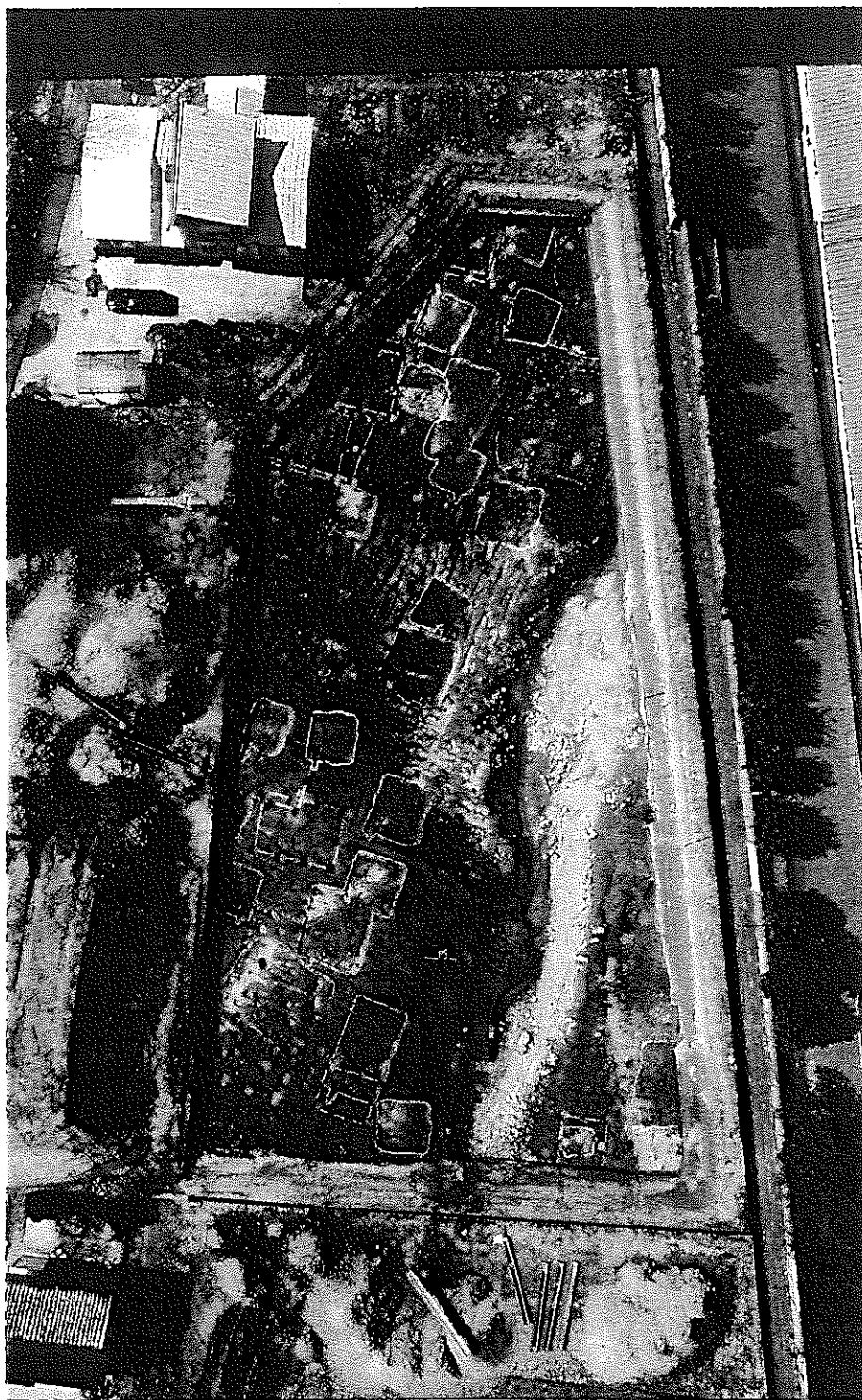
第1地区全体図



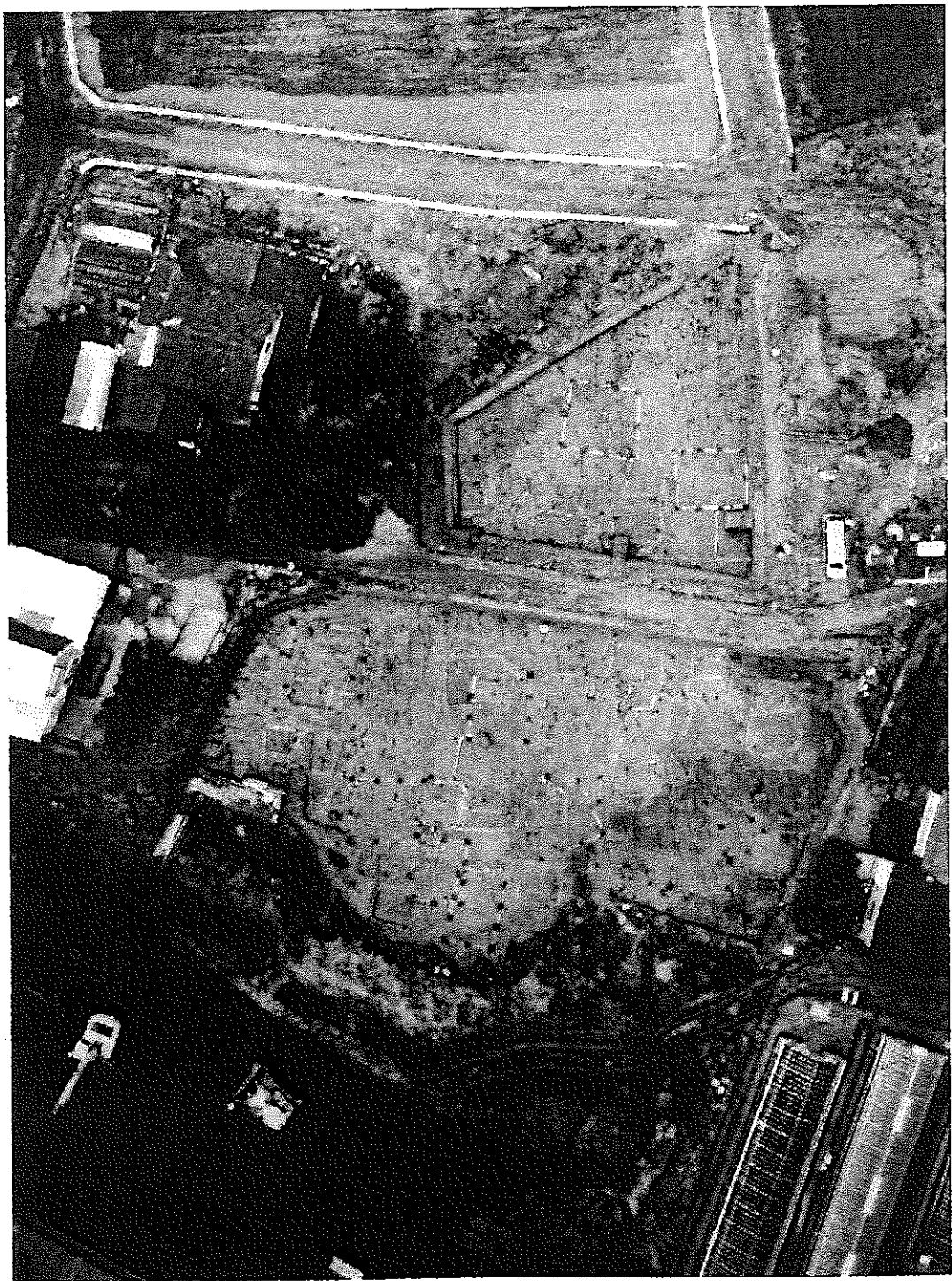
第2地区小区区分図



第1地区全景



第2地区A小区北半部古代全景



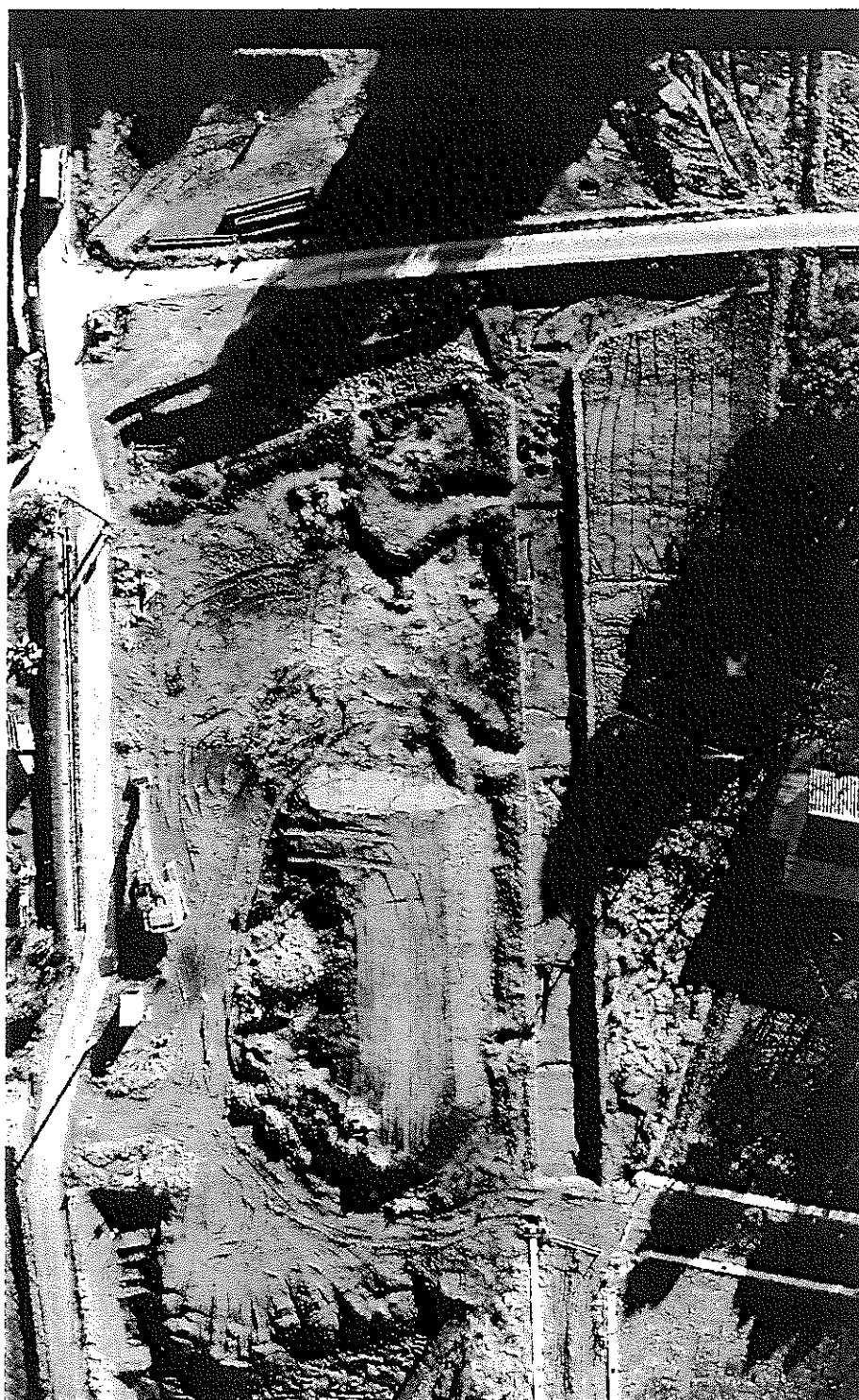
第2地区A小区南半部·B小区古代全景



第2地区C小区北西部中世航空写真



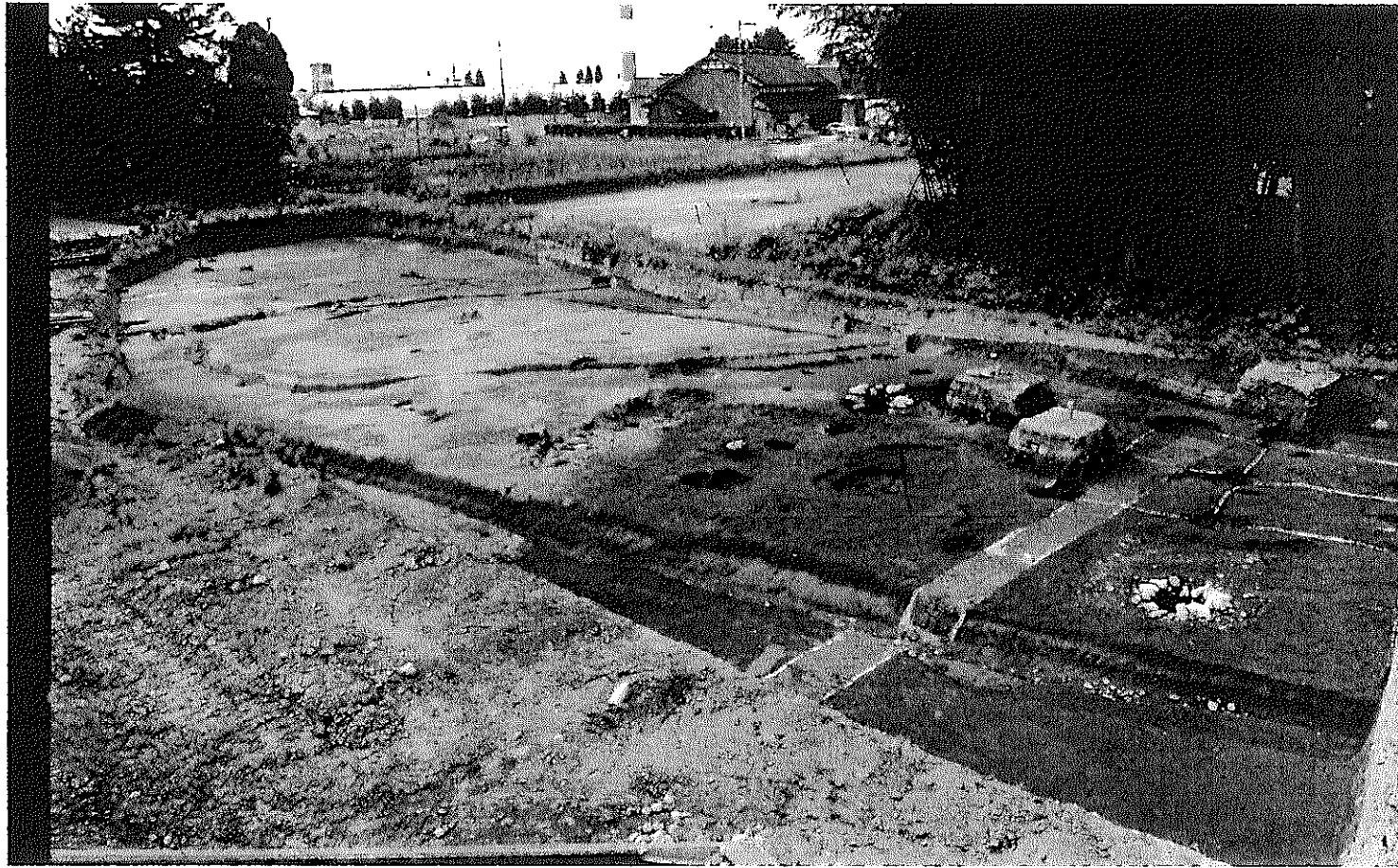
第2地区C小区北半部古代全景

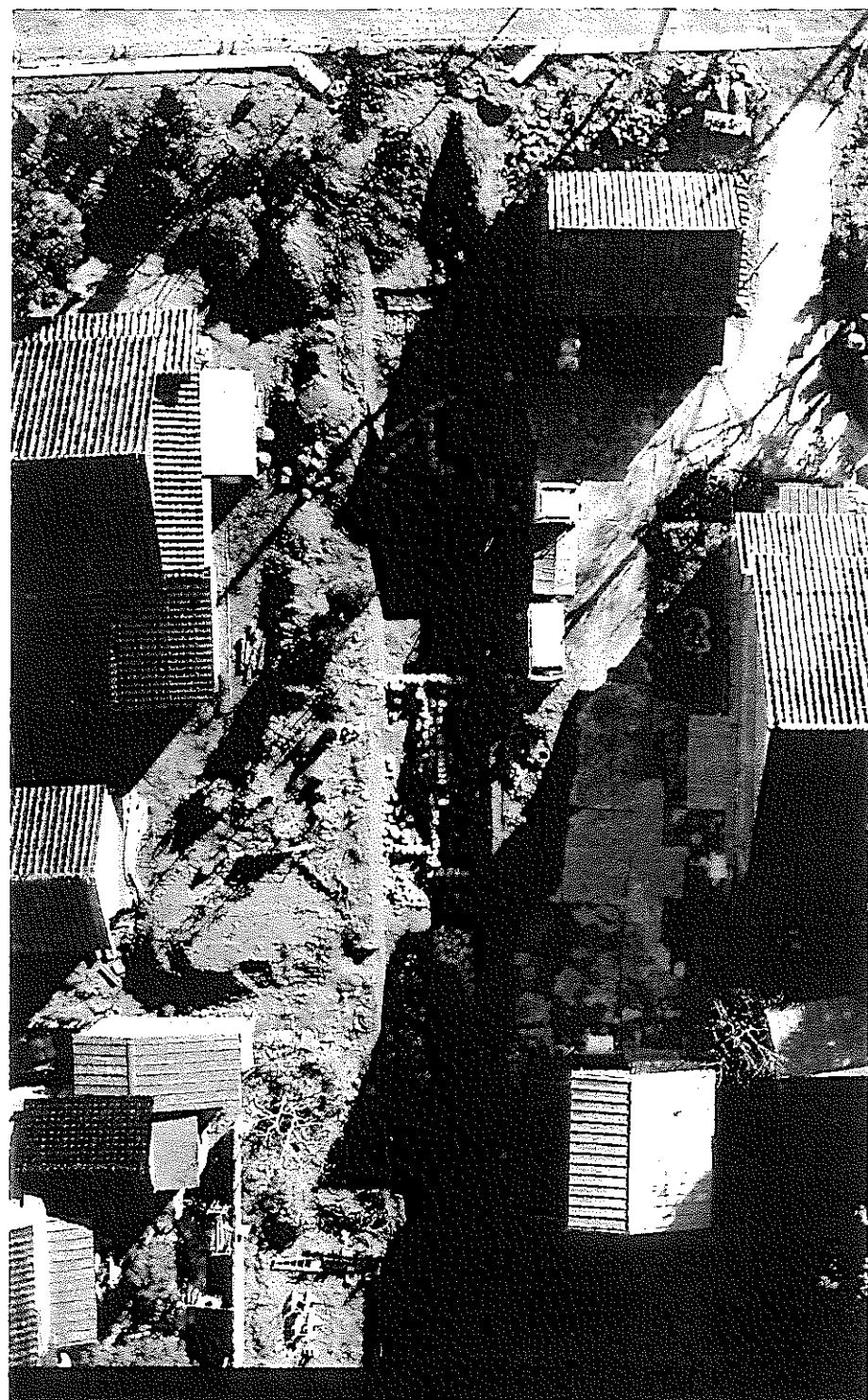


第2地区D小区中世全景

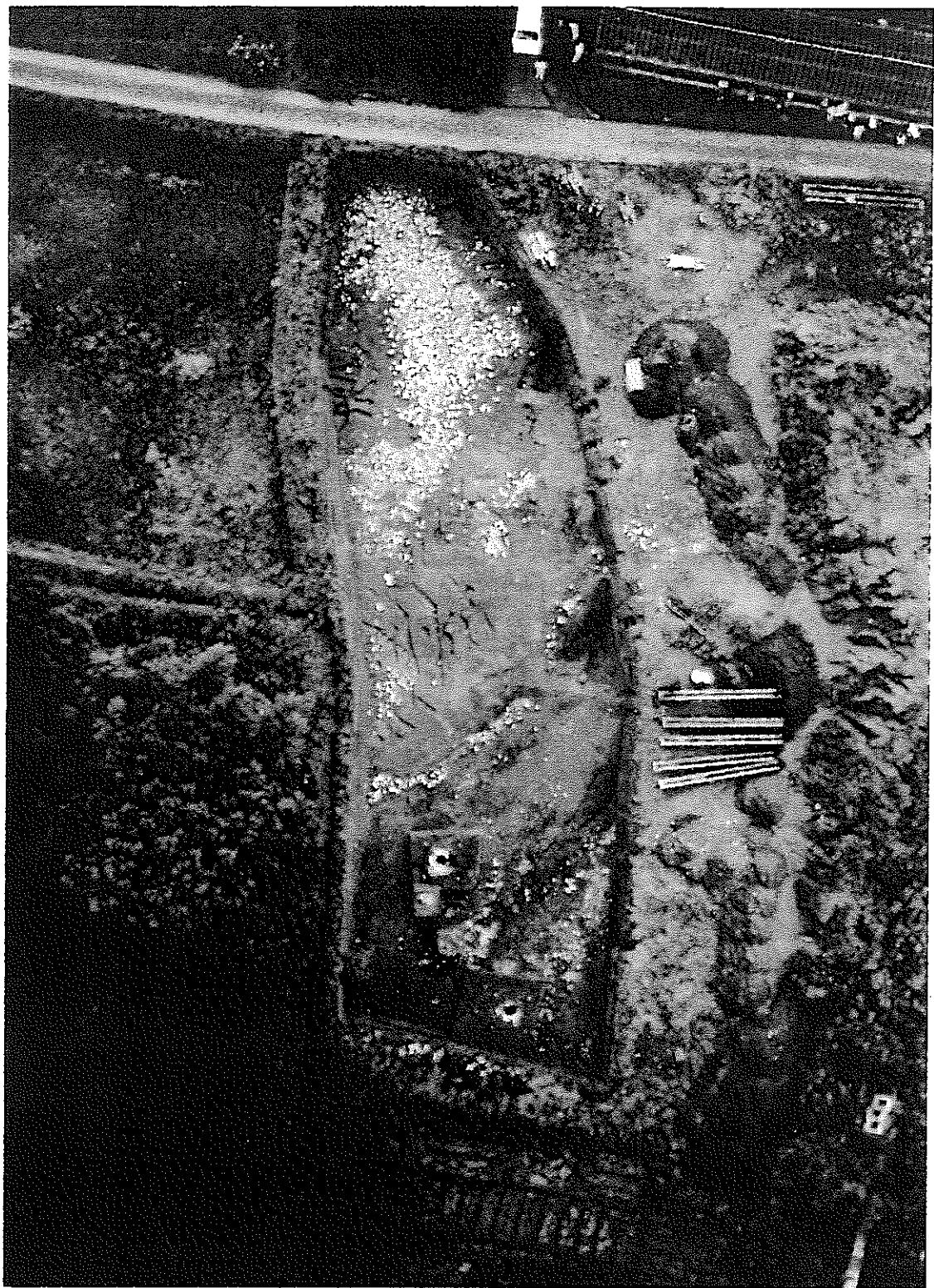
第2地区E小区南半部中世全景

-77-





第2地区E小区北半部近世全景



第2地区E小区南部古代全景

8.1.2 染地遺跡

以下に、本研究で測定を実施した鉄滓の出土状況及び出土場所に関する資料を示す。

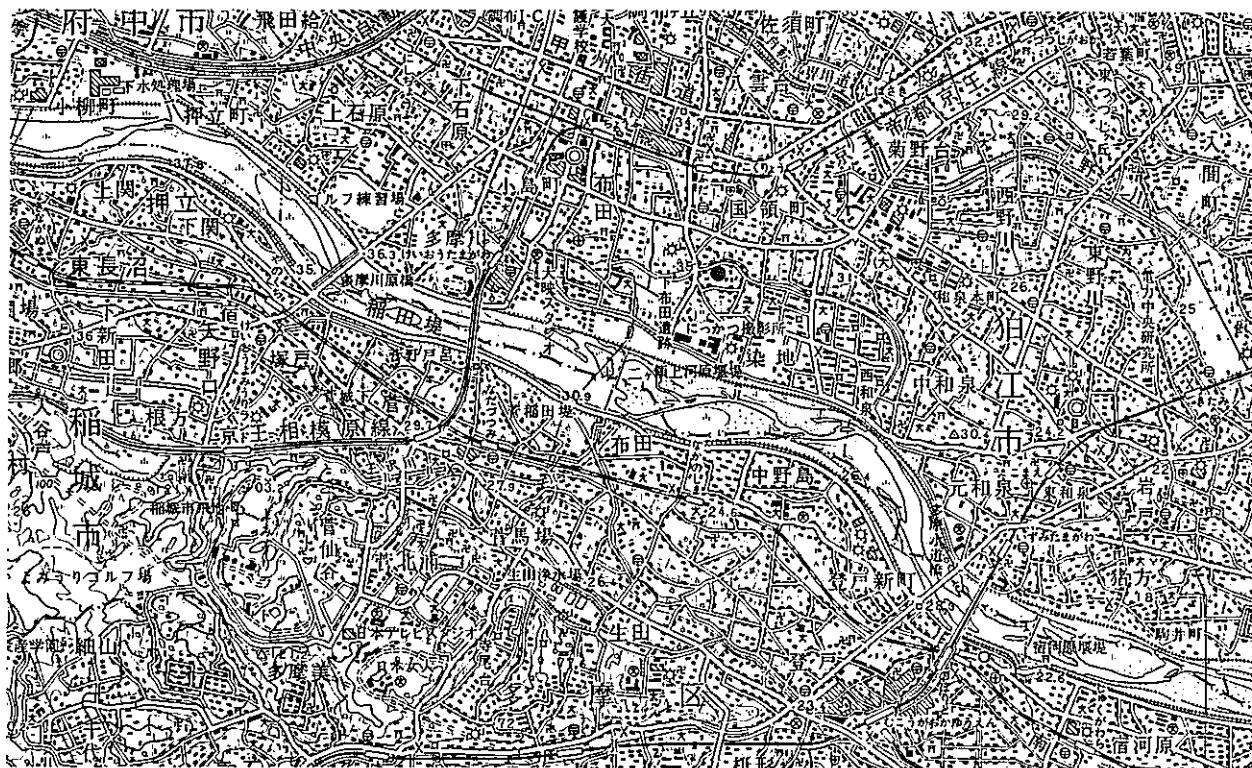


図1 遺跡の位置（国土地理院作成 5万分の1「東京西南部（東京7号）」）

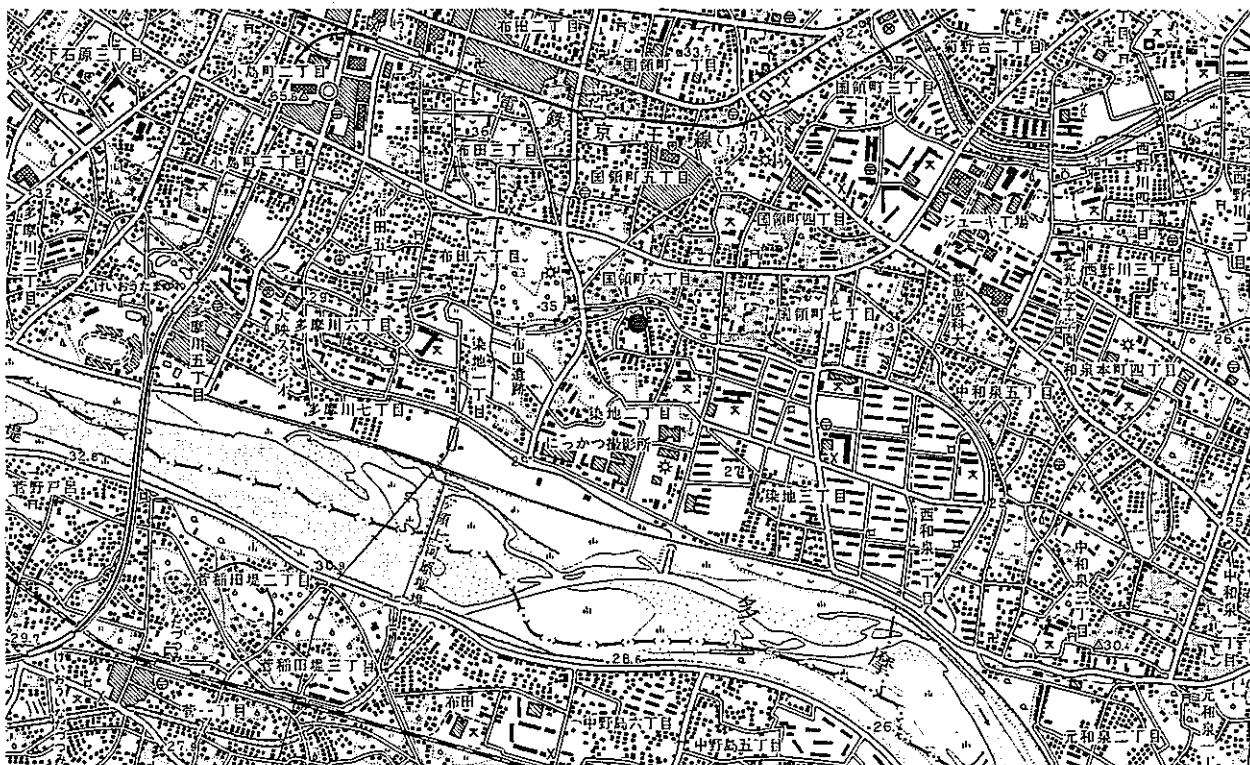


図2 遺跡の位置（国土地理院作成 2.5万分の1「溝口」）



図3 遺跡周辺の地形（明治13年 陸地測量部測量迅速図「布田駅」2.5万分の1）

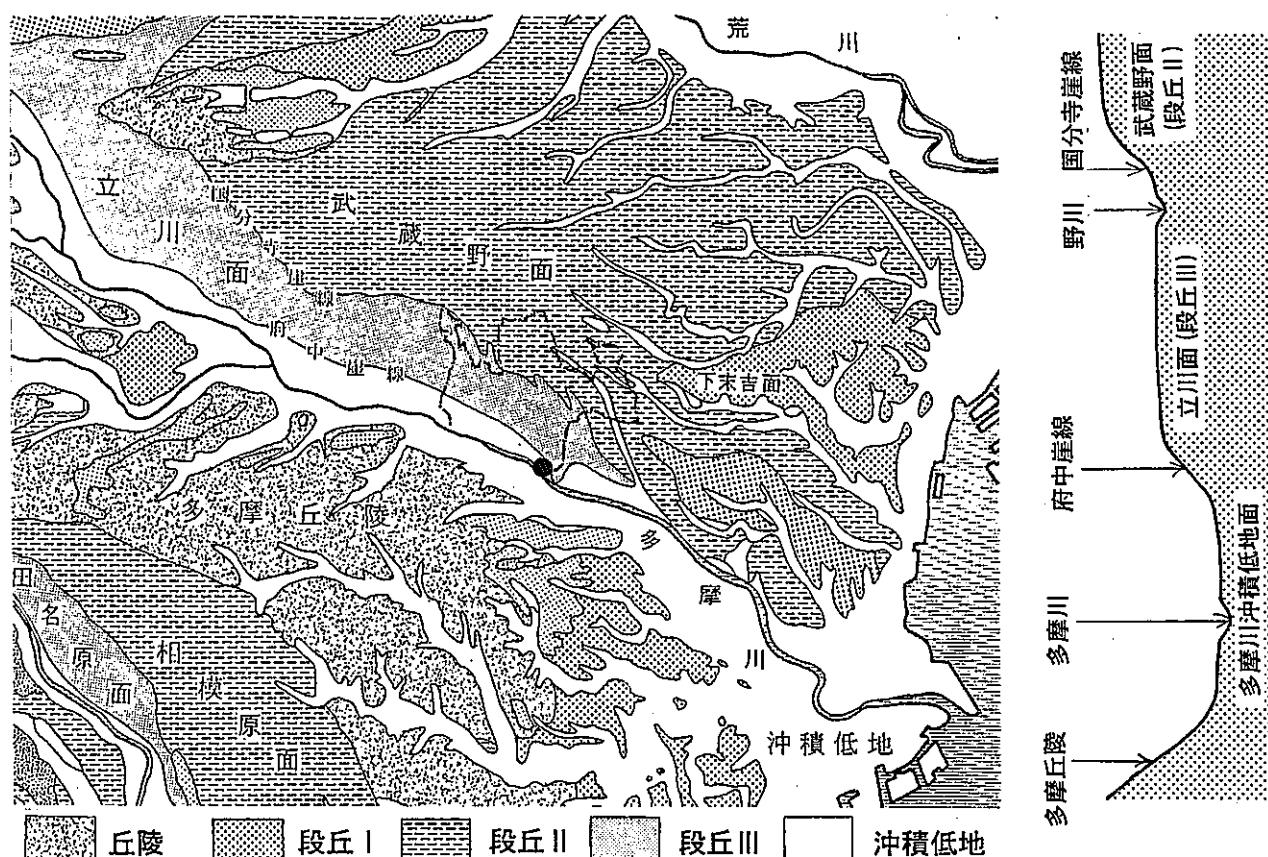


図4 武蔵野台地と遺跡周辺の地形区分（百万分の1）

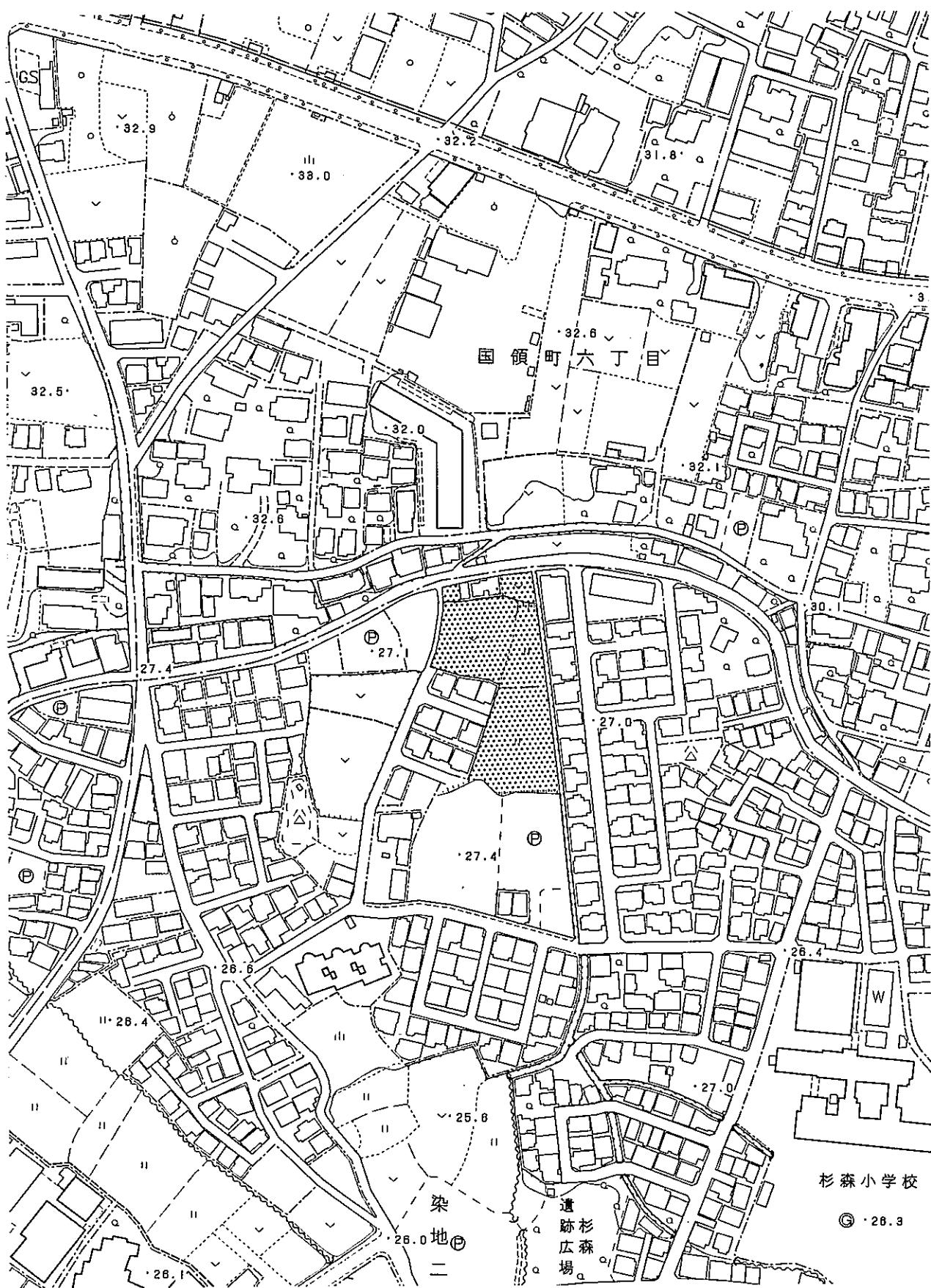


図5 遺跡の詳細位置 (2,500分の1「国領町」)

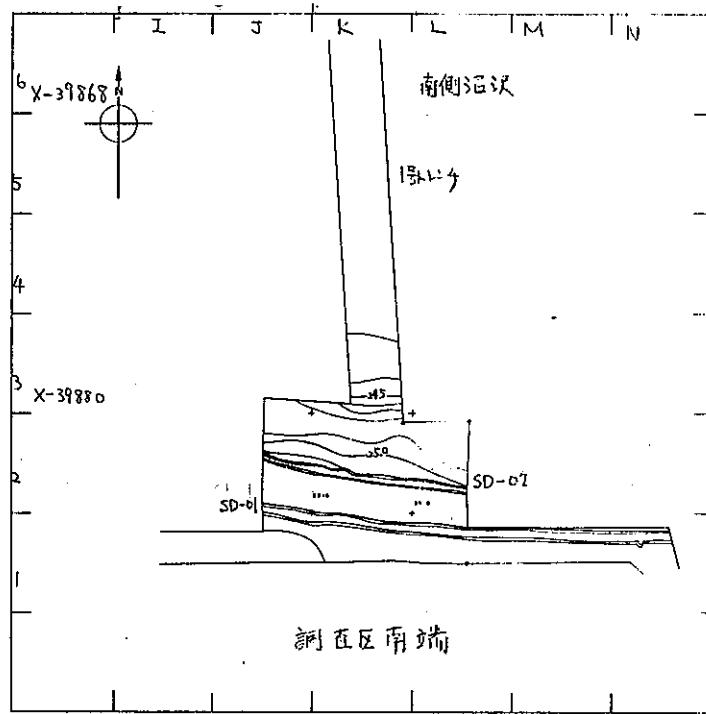
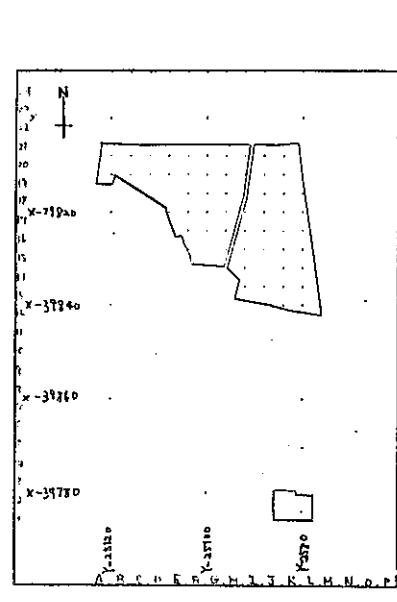
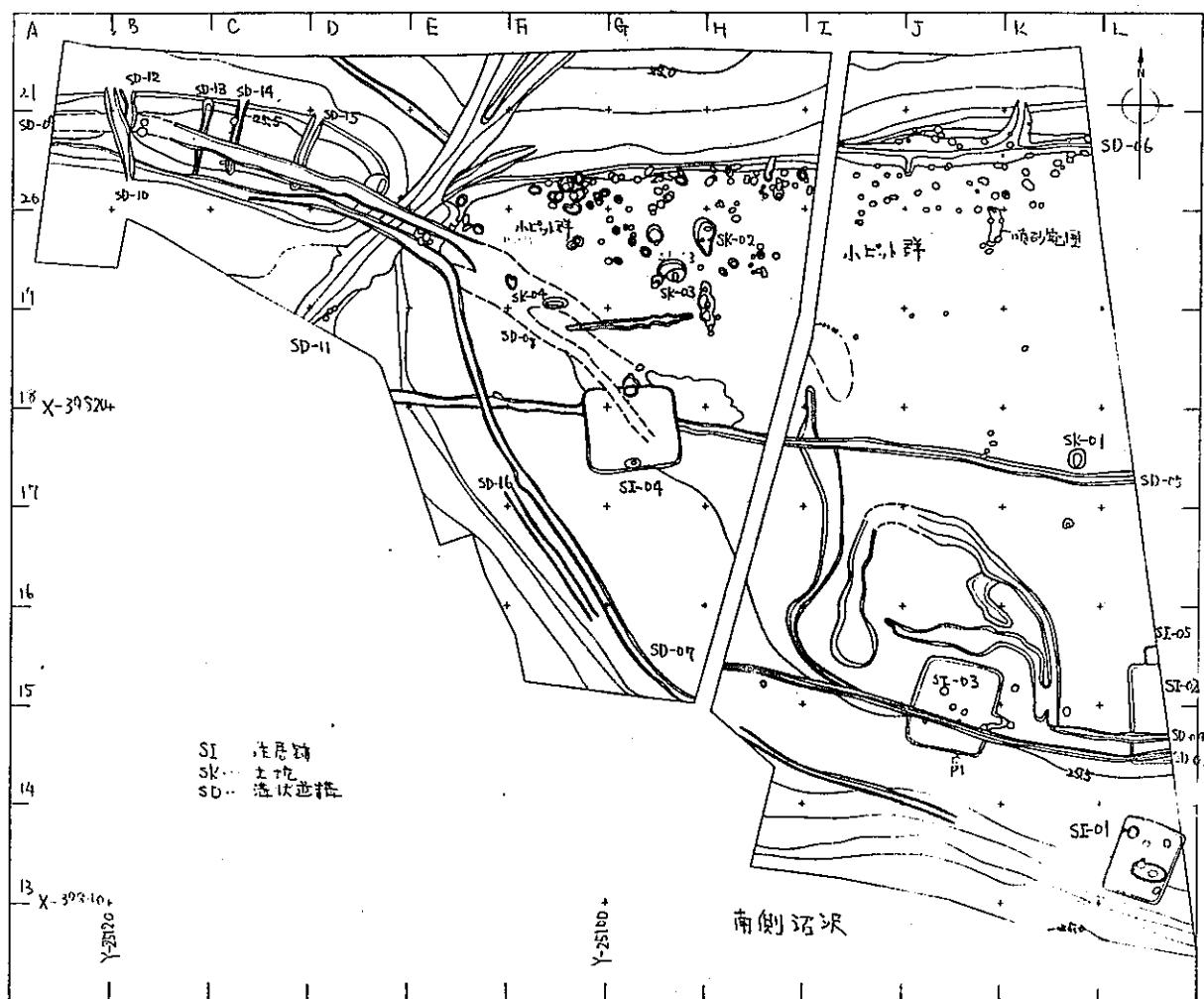


図6 発掘現場 (古代全体図 300分の1)

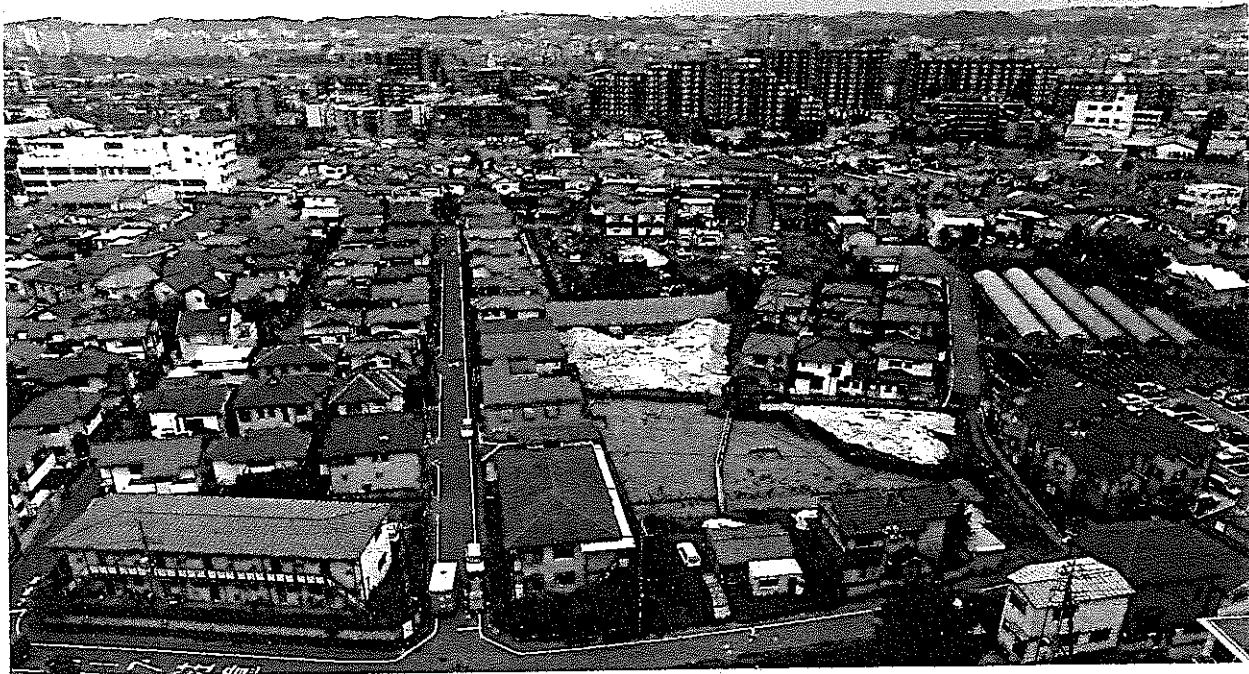


図7 遺跡と周辺の地形（多摩川を挟んで多摩丘陵を望む）



図8 調査区全景（空撮）

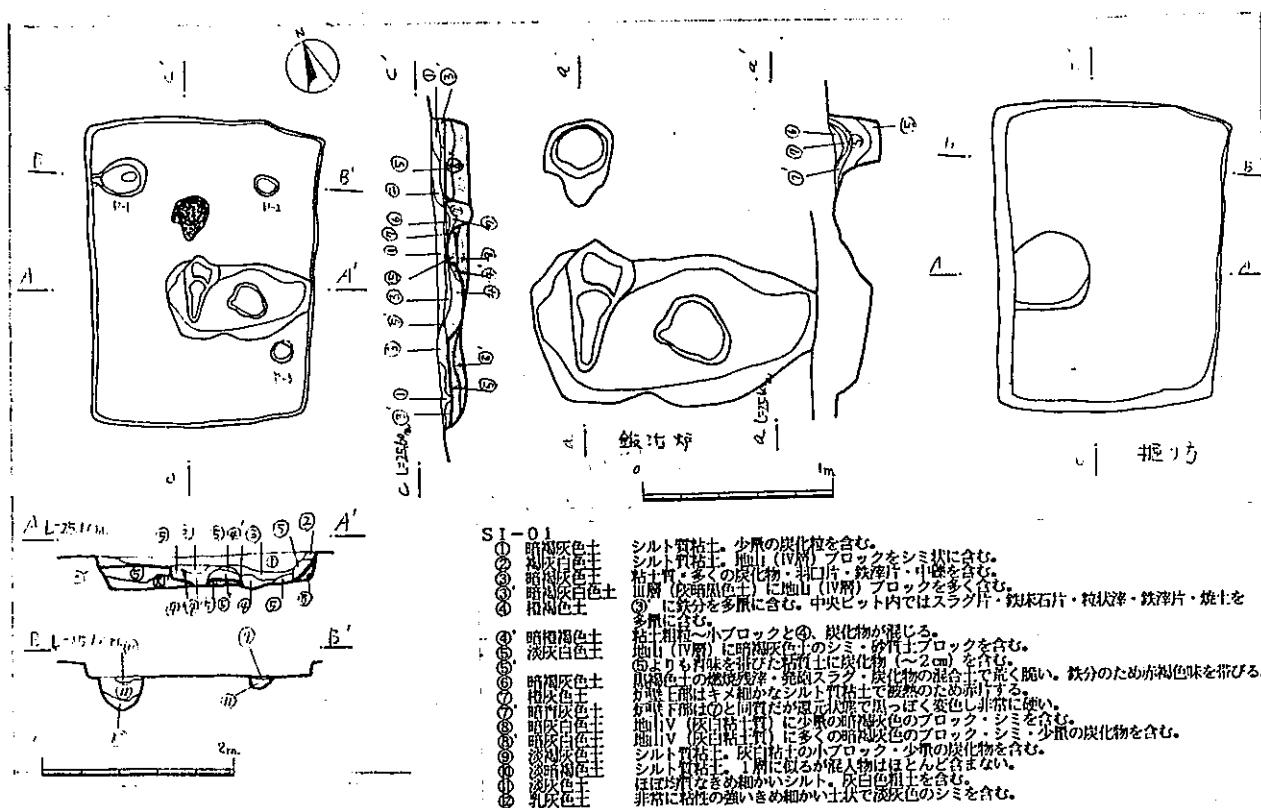


図9 SI-01 発掘状況



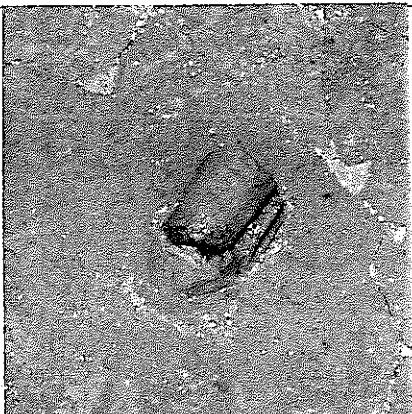
図 10 古代調査面全景（北西より）



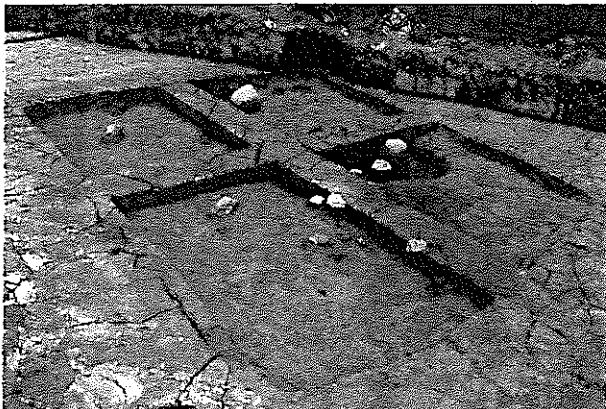
図 11 SI-01 遺物出土状況（北西より）



(1) SI-01 遺物出土近景（南より）



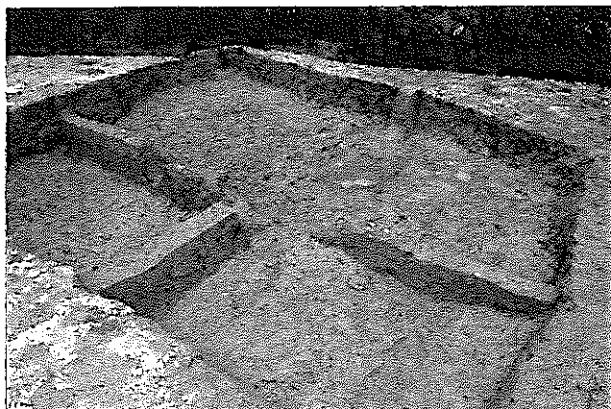
(2) 同 炉近景（西より）



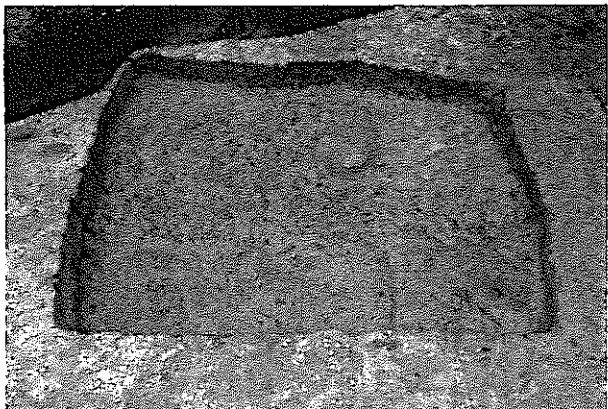
(3) 同 土層断面（南西より）



(4) 同 全景（西より）



(5) 同 挖り方土層断面（南西より）



(6) 同 挖り方全景（西より）



(7) SI-02・05 全景（西より）



(8) 同 挖り方全景（西より）

図 12 遺物出土状況詳細

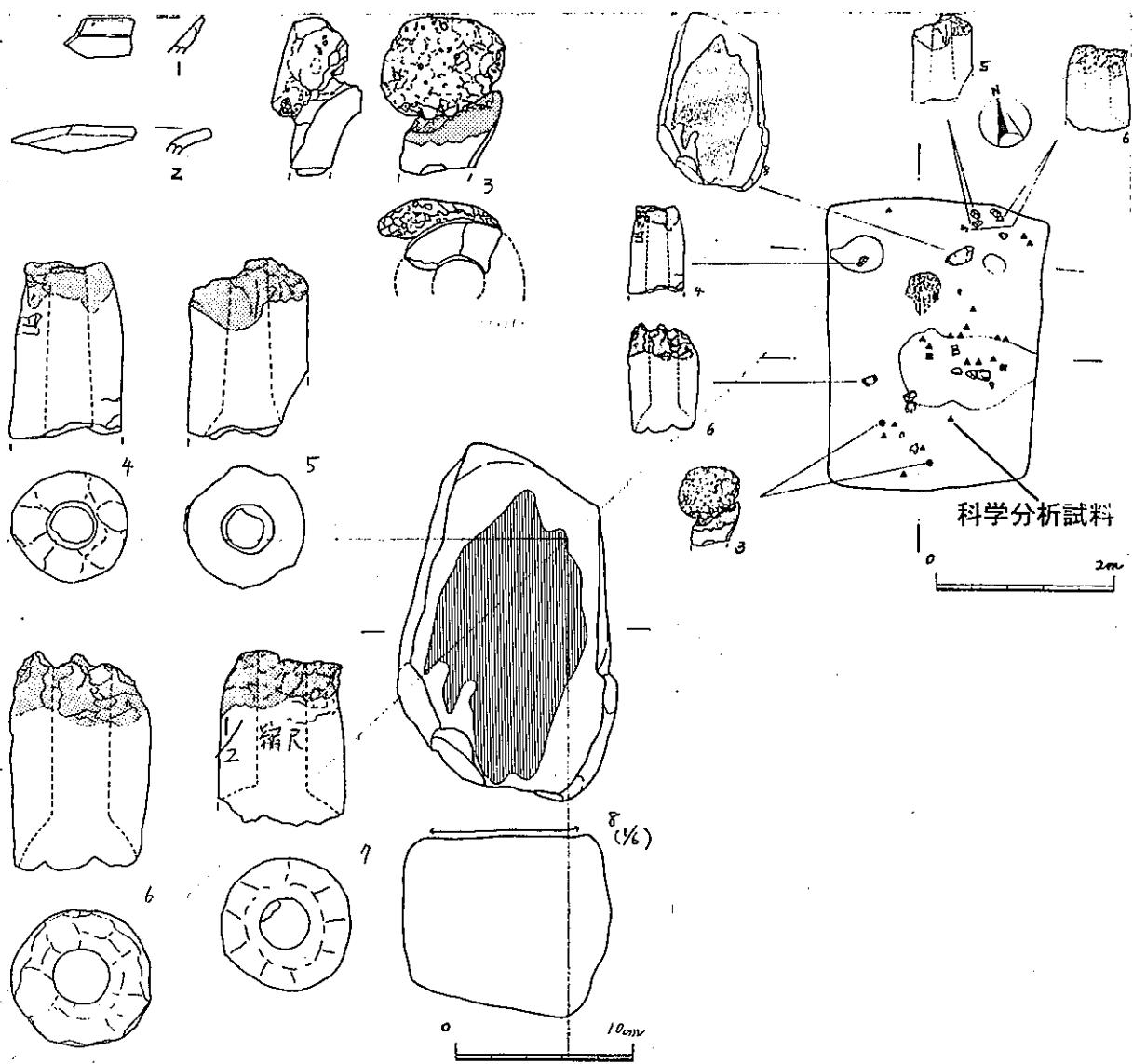


図 13 SI-01 出土遺物

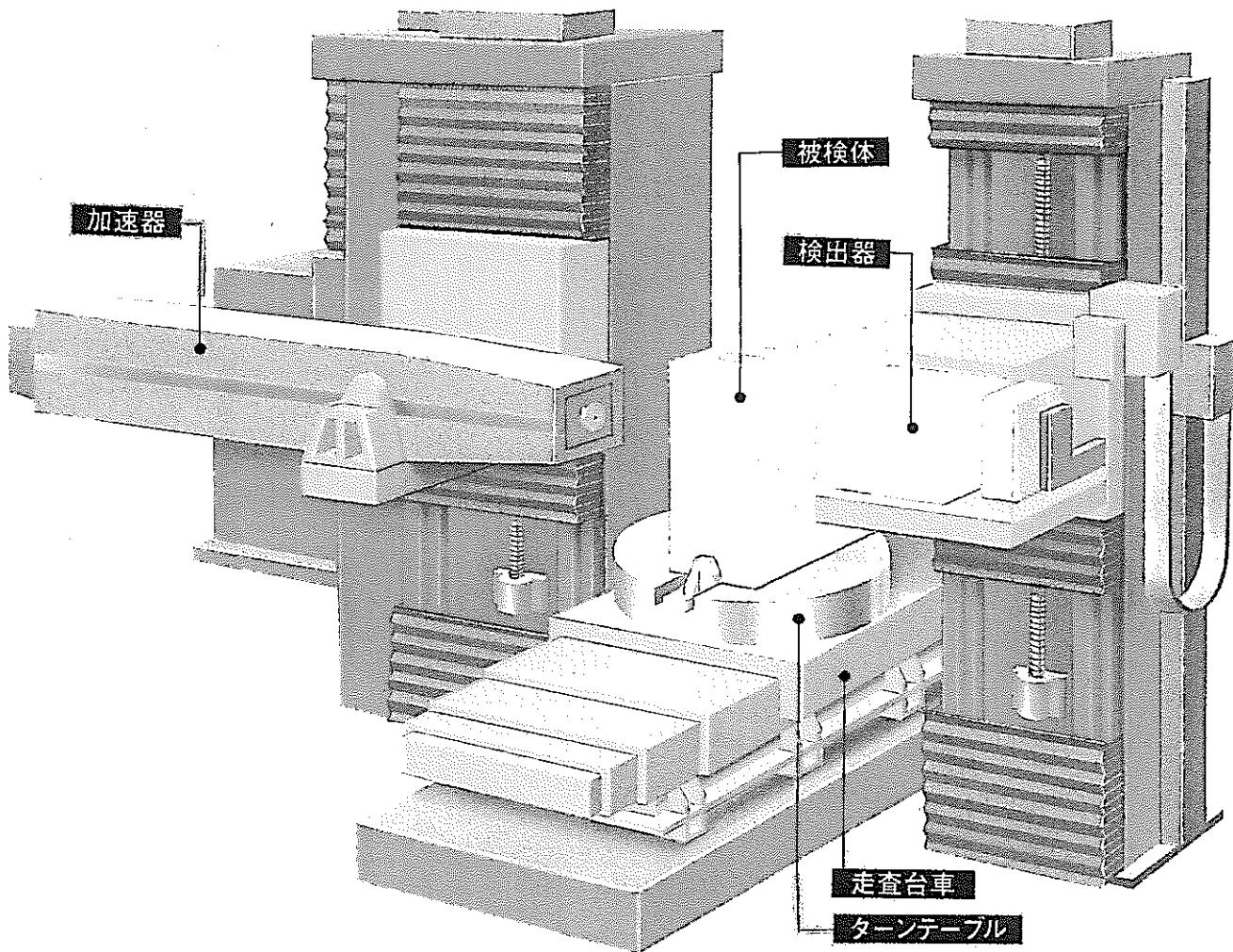
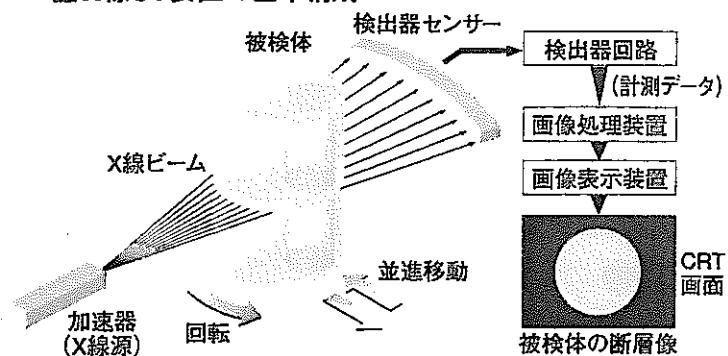
8.2 X線CT装置に関する資料

8.2.1 使用装置

以降に、本研究で使用したX線CT装置に関する資料を示す。

8.2.1 使用装置

■ X線CT装置の基本構成



日立製 X 線 CT 装置

型式:HiXCT-6M
X 線エネルギー:6eV
透過性能:280mm(鉄換算厚さ)

8.3 測定結果

8.3.1 X線CT像（ハイコントラスト画像）

以降に、本研究で測定した考古学遺物の画像コントラストをはっきりさせたX線CT像を示す。尚、通常のX線CT測定において出力される像はこの像である（本文中では金属鉄を基準にコントラストを調整した像となっている）。

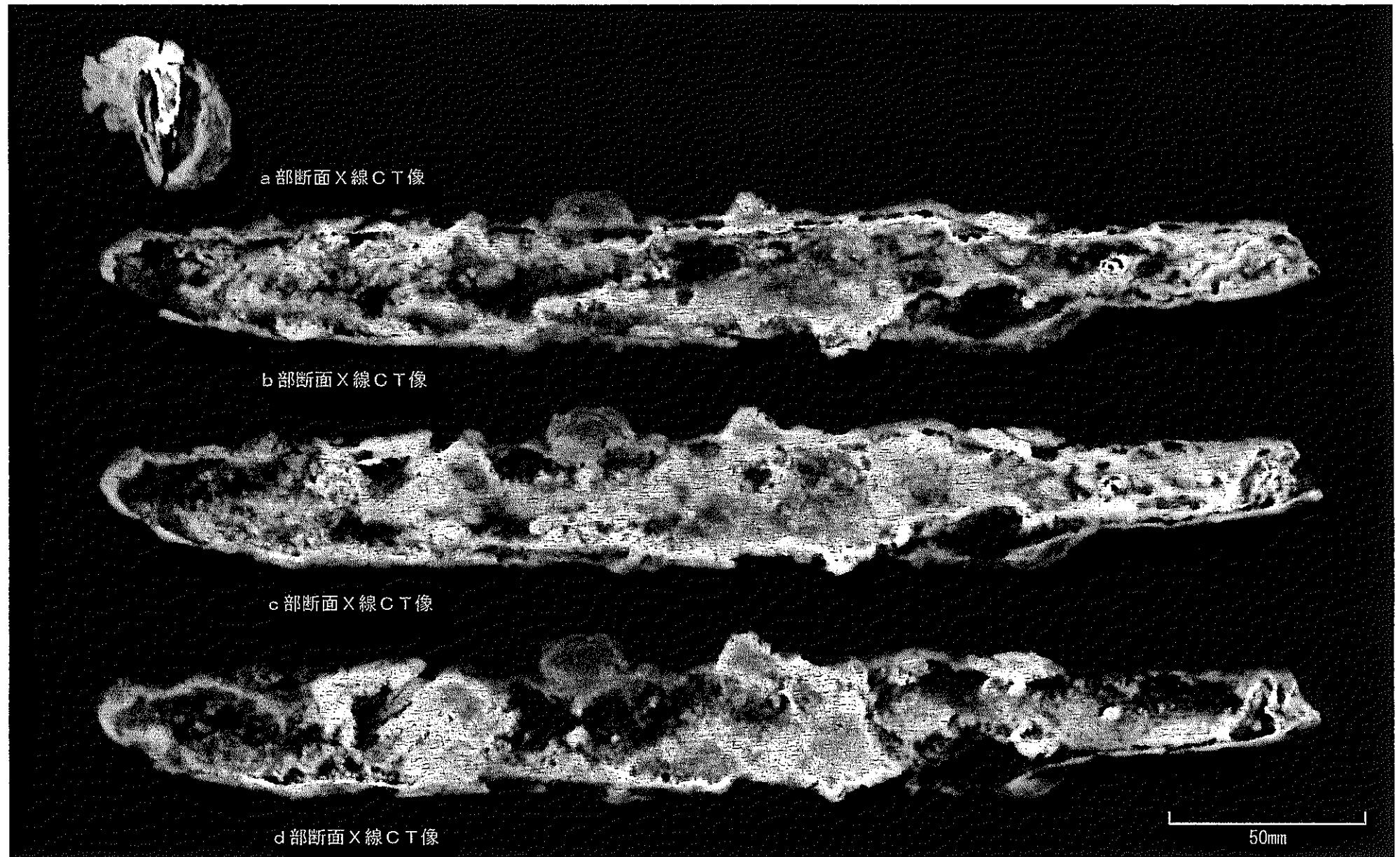


図1 鉄器のX線CT像 (No. 1 [KSB.SK-134. 1])

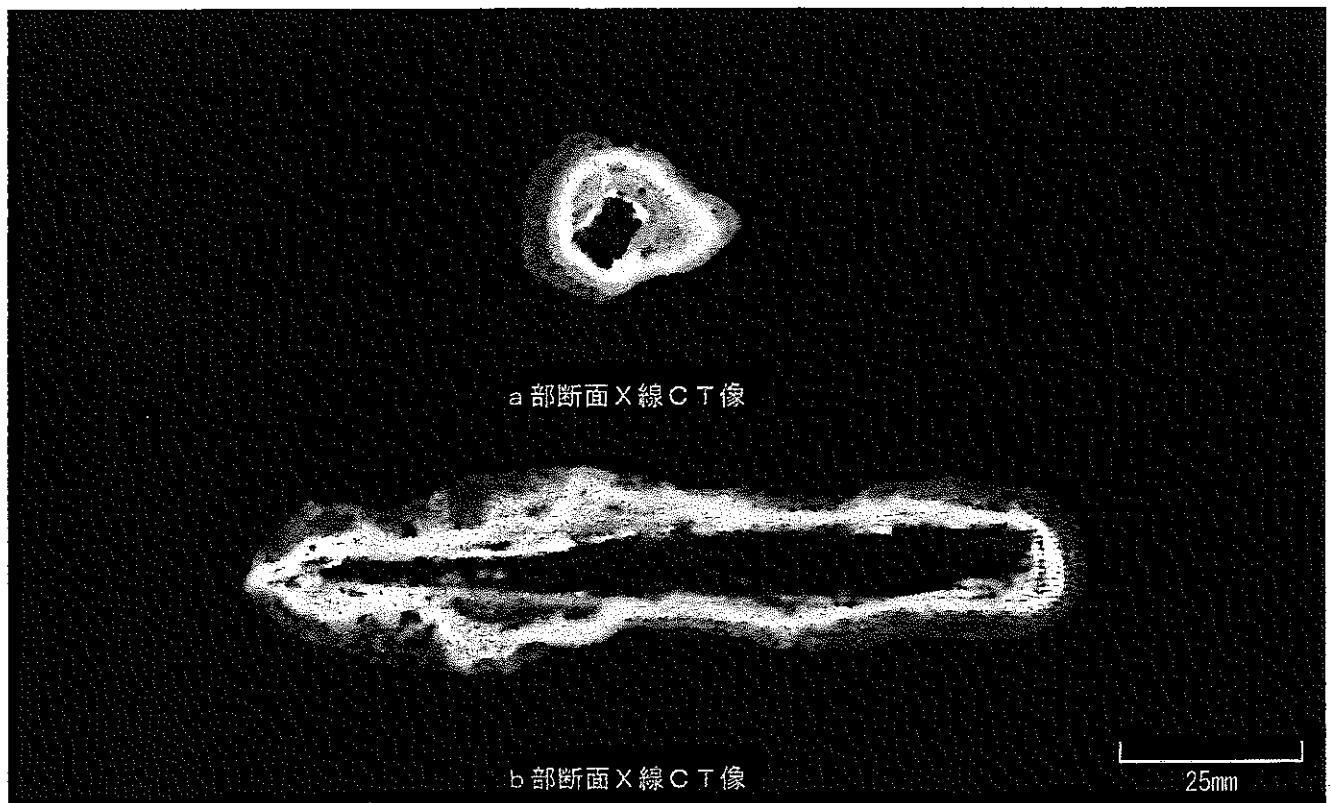


図2 鉄器のX線C T像 (No. 2[KSB. II. 下 SI-13])

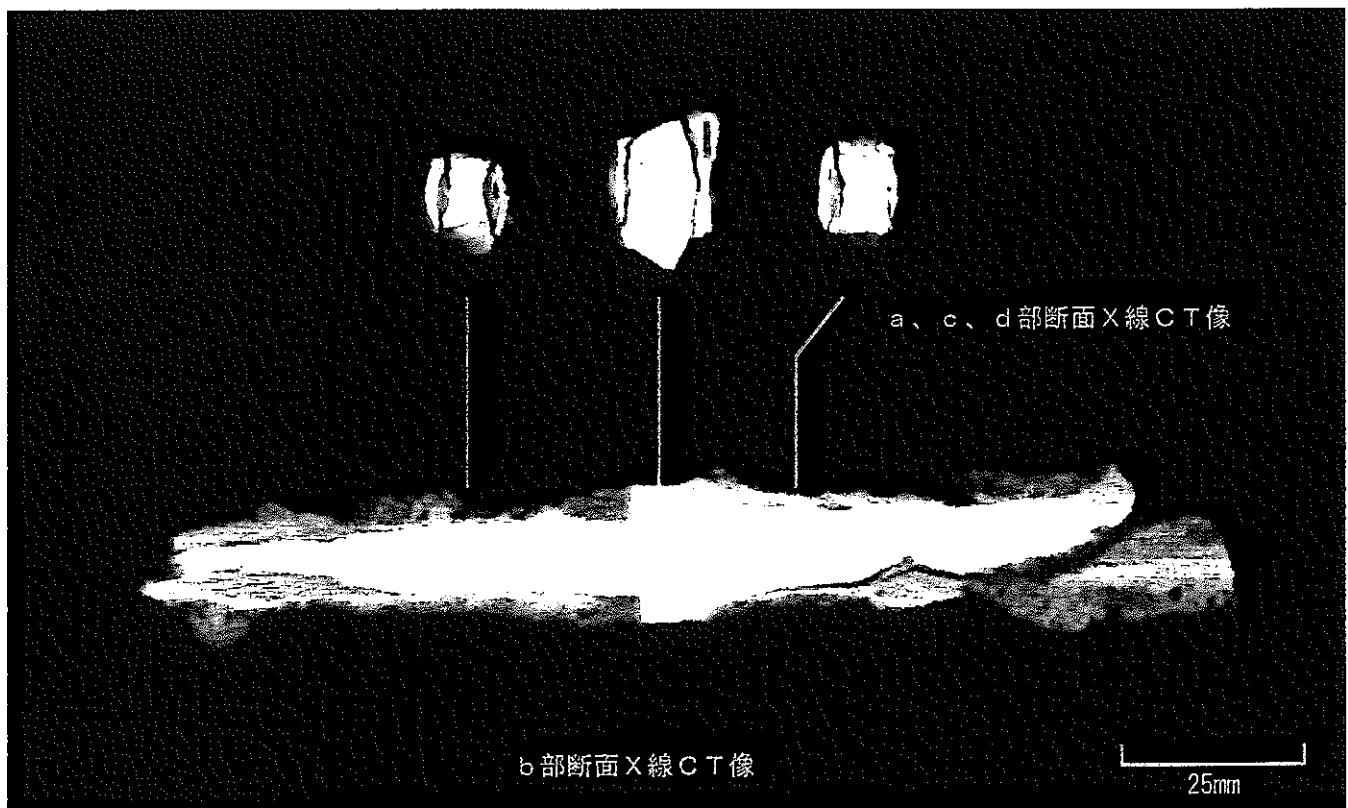


図3 鉄器のX線C T像 (No. 3[KSB. II. 下 SI-16.14])

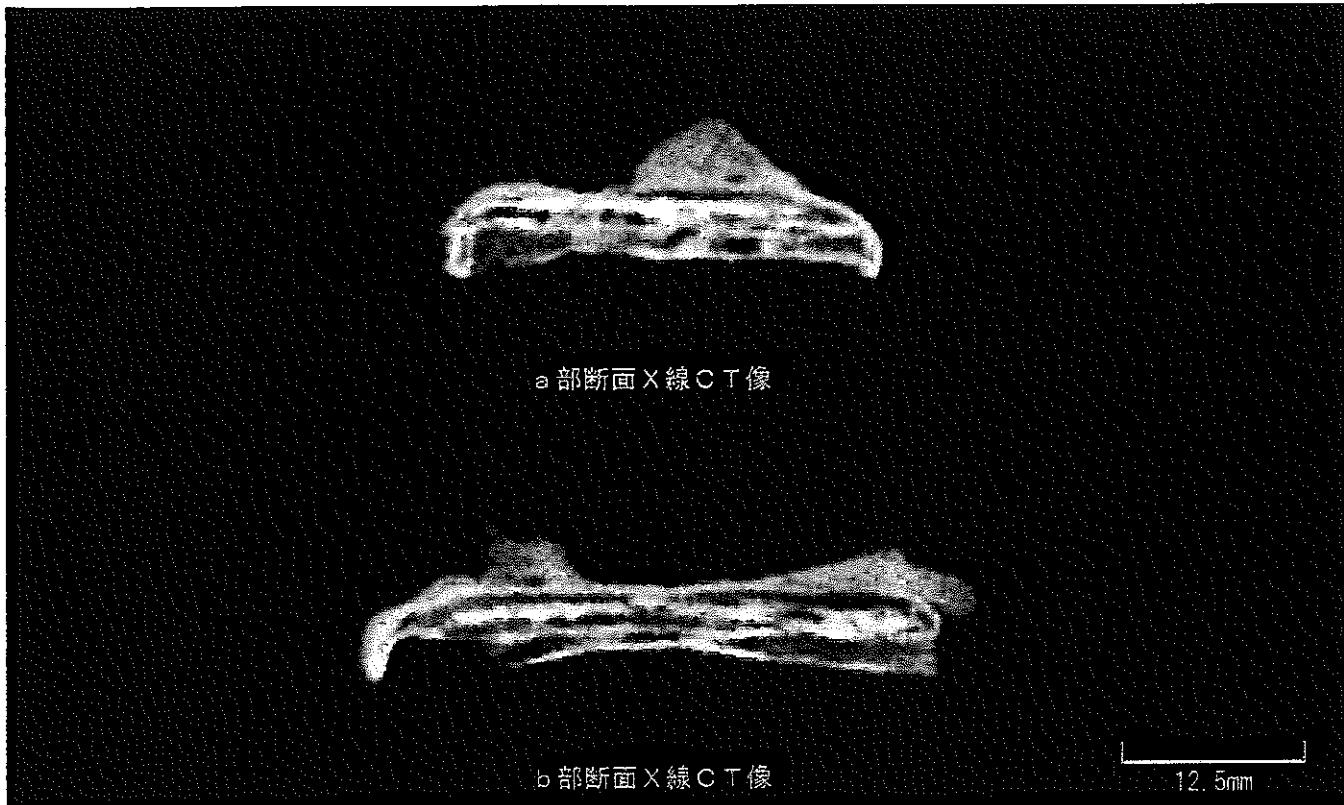


図4 鉄器のX線CT像 (No. 4[KSB. II. 下 SI-19. 12])



図5 鉄器の外観およびX線CT像 (No. 5[KSB. II. 下 SI-51])

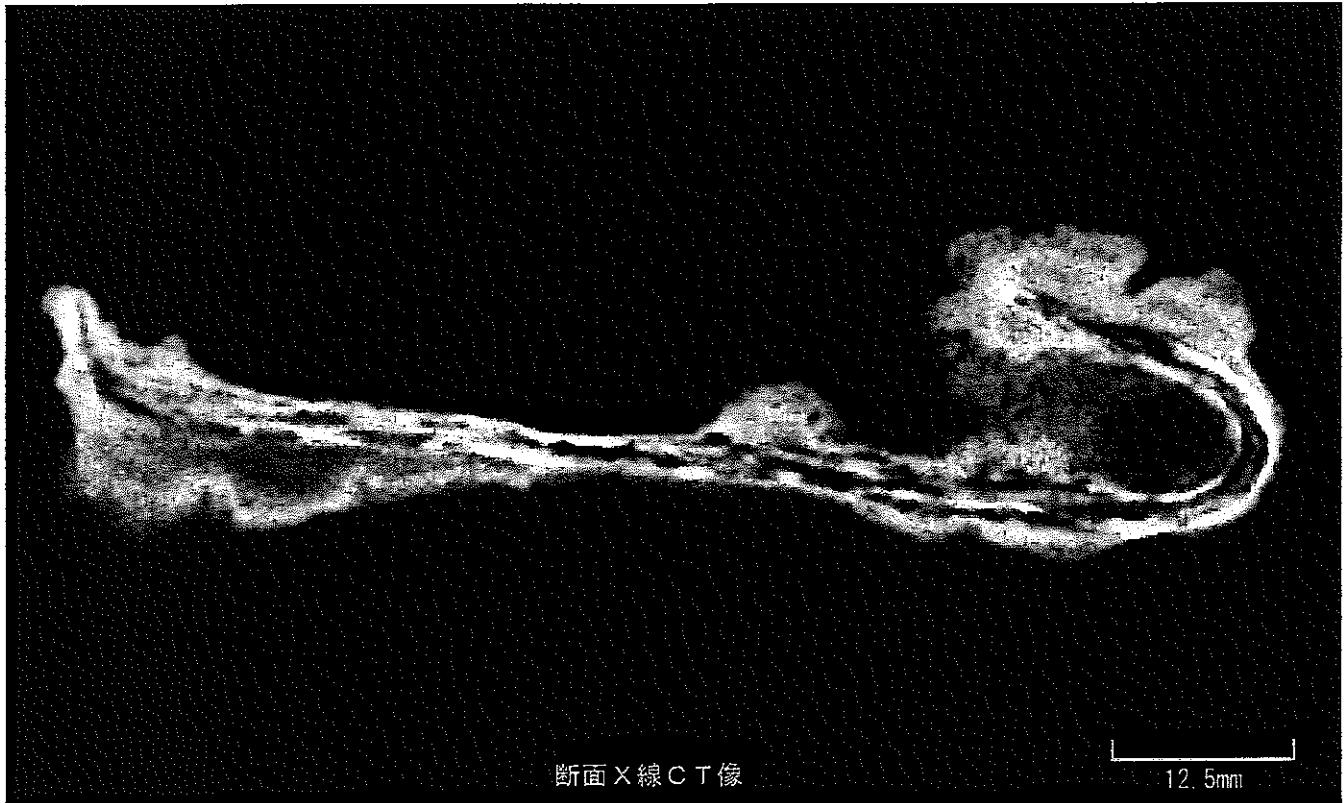


図6 鉄器のX線CT像 (No. 6[KSB. II. 下 SI-54&24])

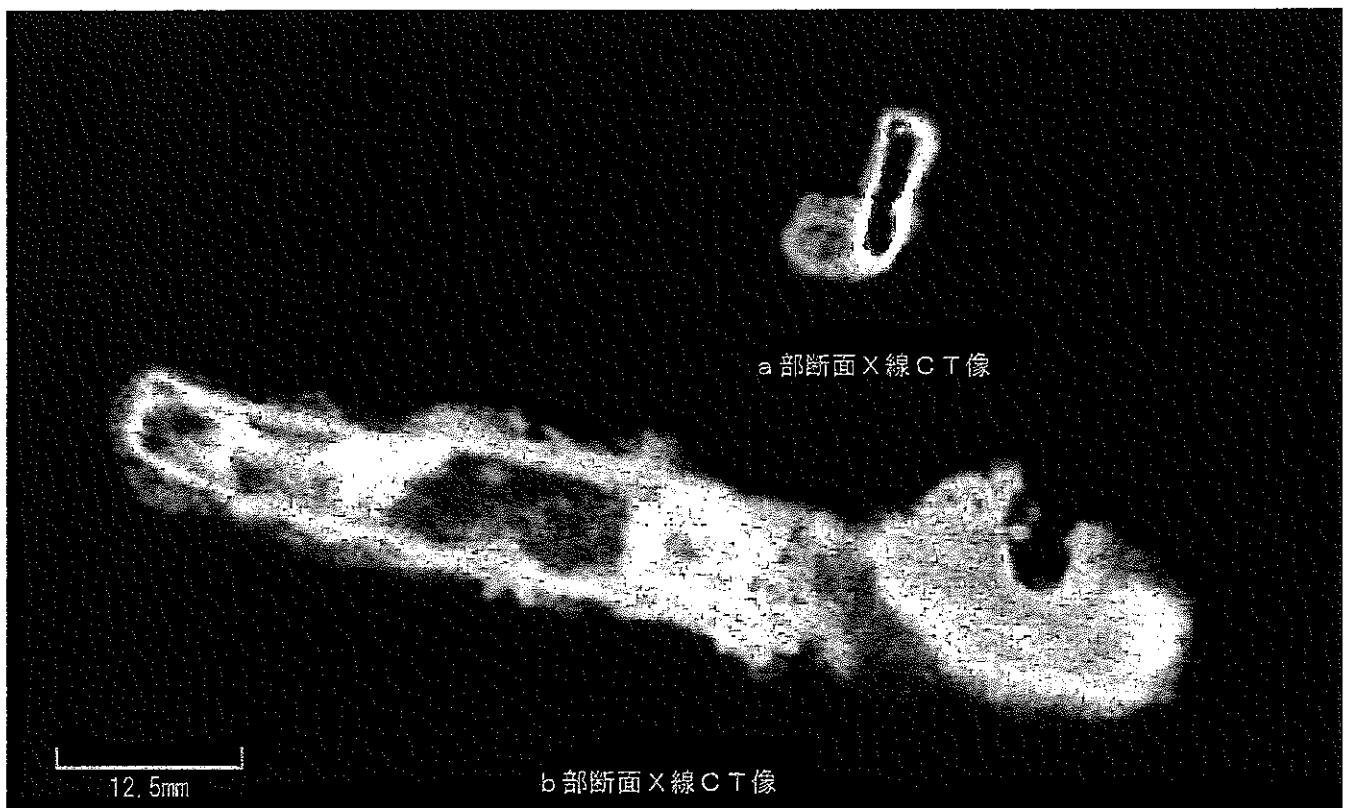


図7 鉄器のX線CT像 (No. 7[KSB. II. 下 SI-59])

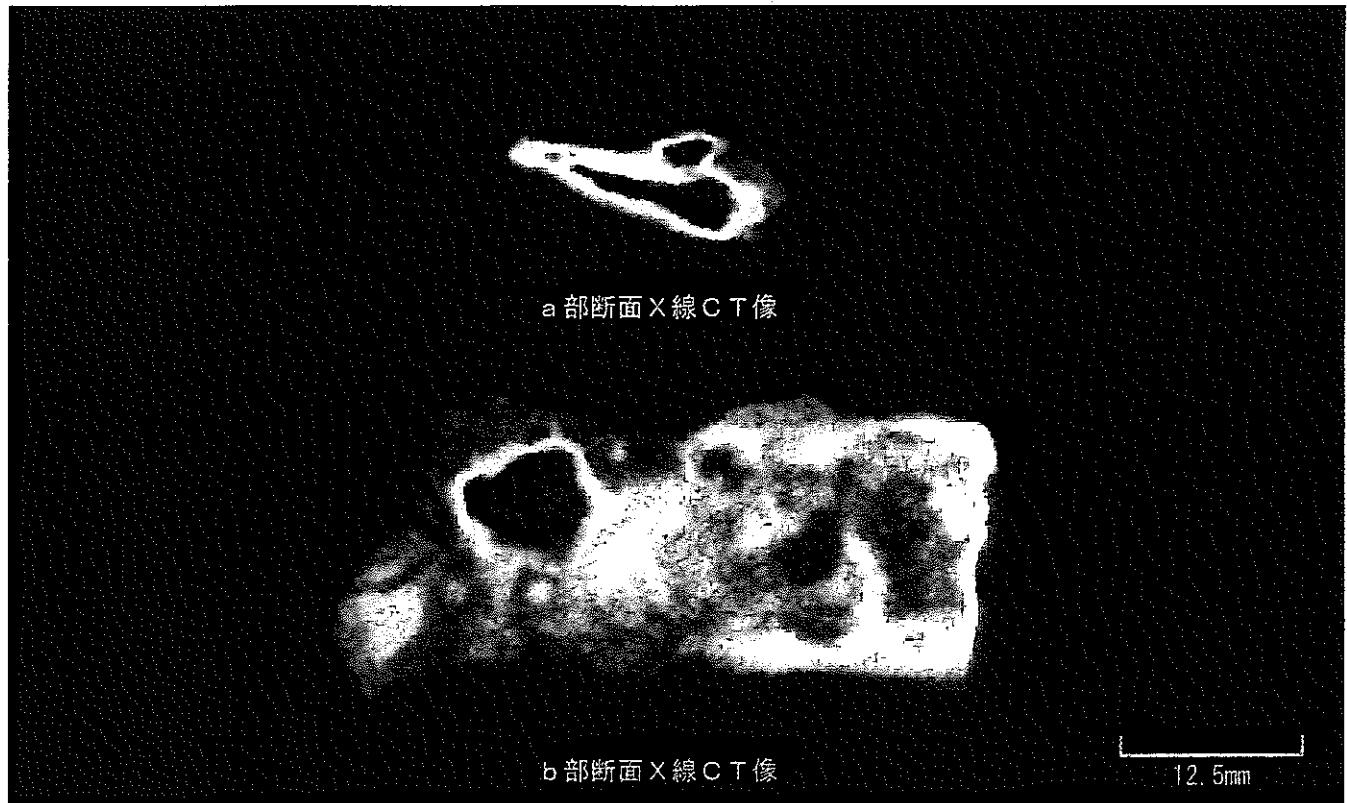


図 8 鉄器の X 線 C T 像 (No. 8 [KSB. II. 下 SI-80])

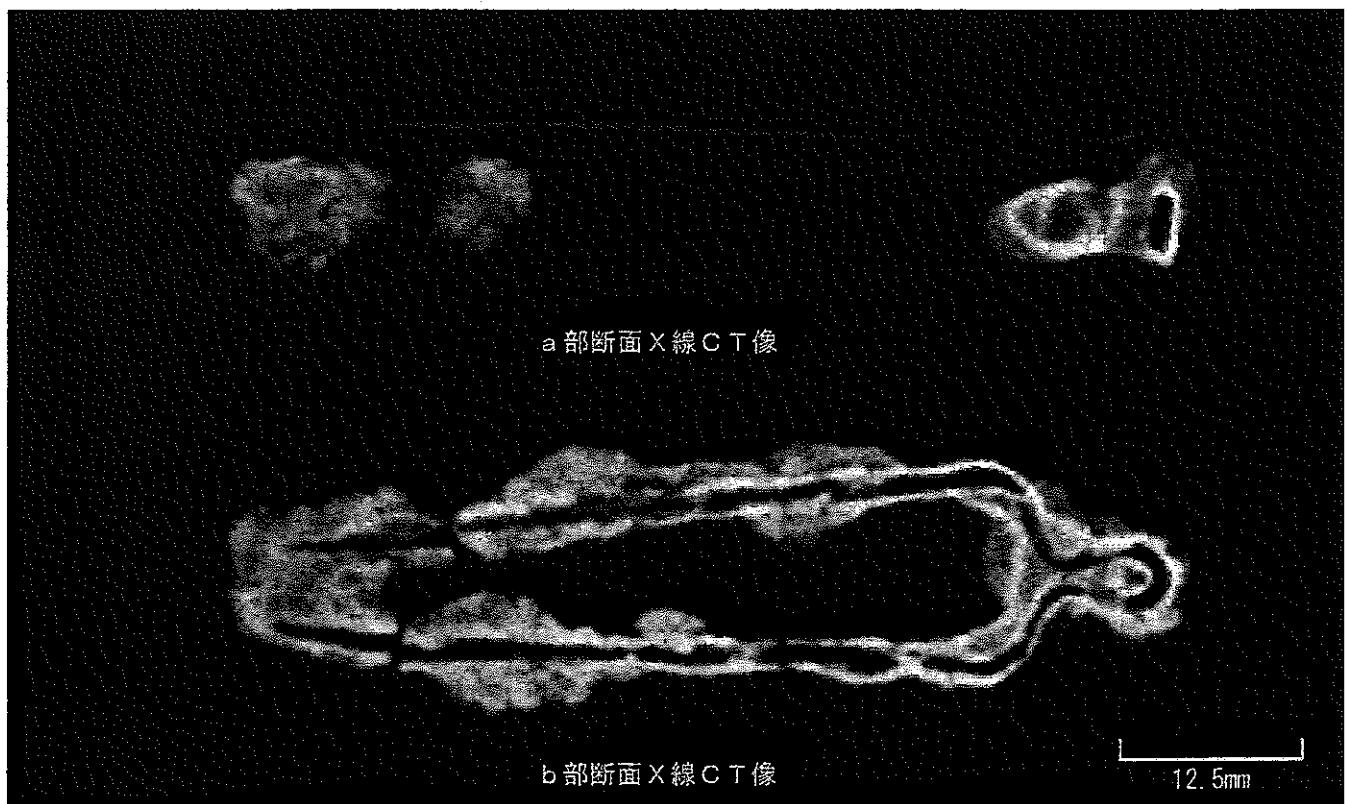


図 9 鉄器の X 線 C T 像 (No. 9 [KSB. II. 下 SI-87. 11])

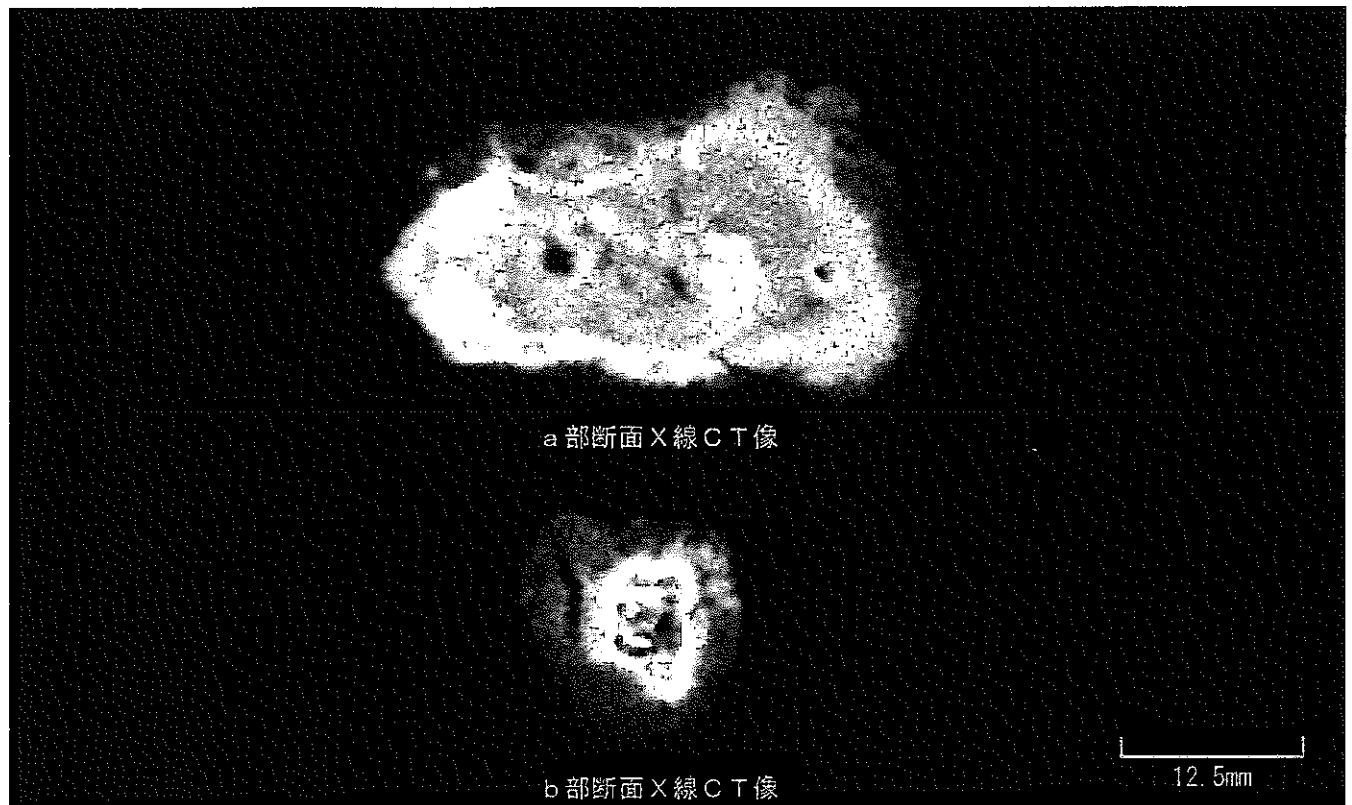


図10 鉄器のX線C T像 (No. 10[KSB. II. SI-90])

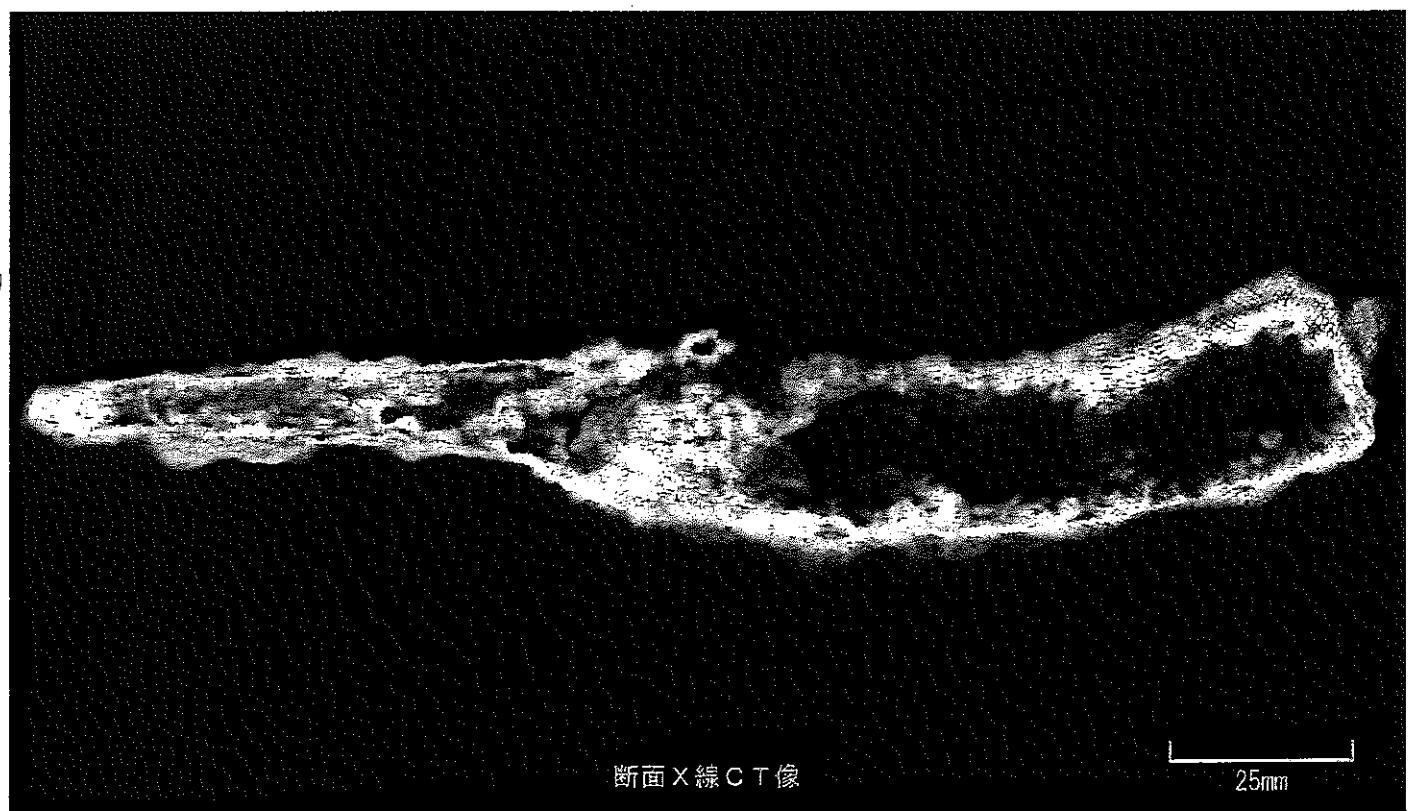


図11 鉄器のX線C T像 (No. 11[KSB. II. SI-92. 28])

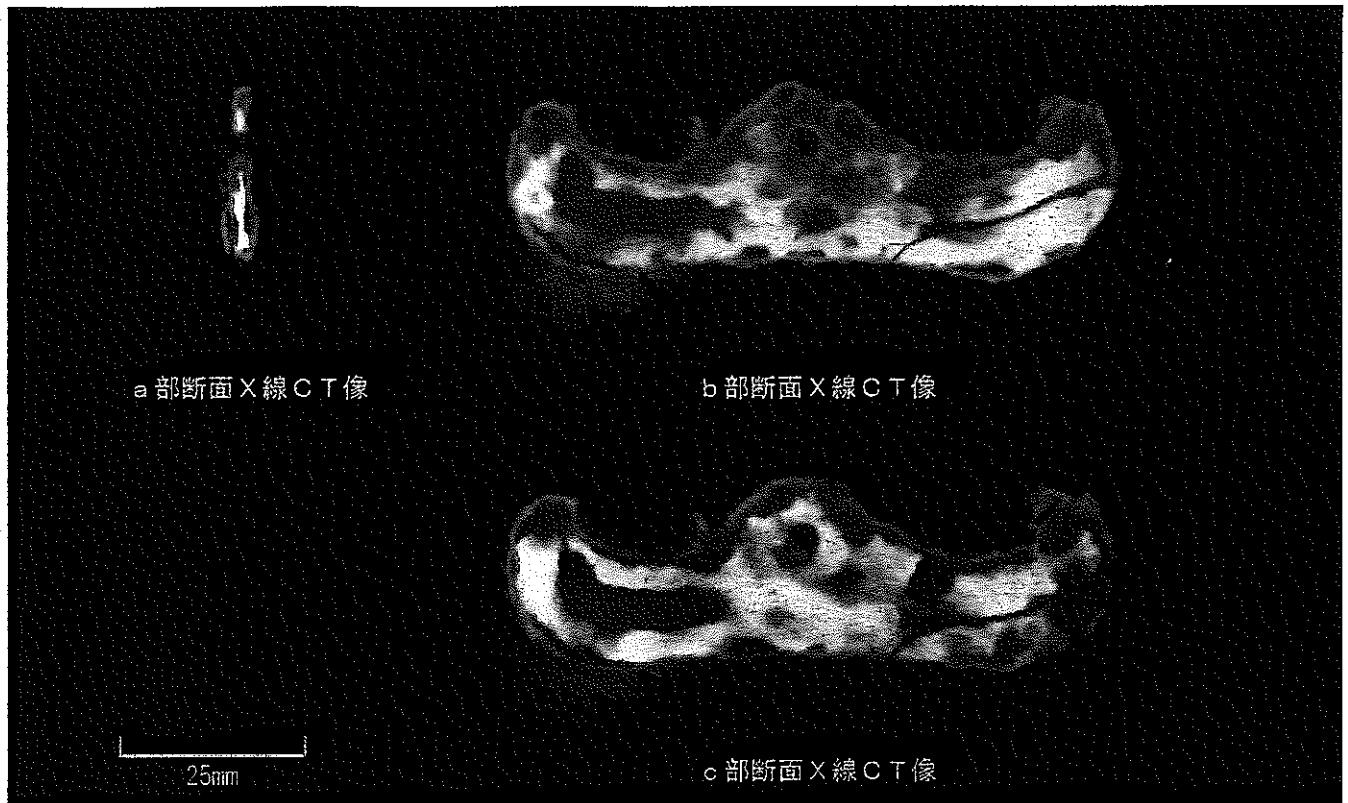


図12 鉄器のX線CT像 (No. 12[KSB. II. 下 SD-10])

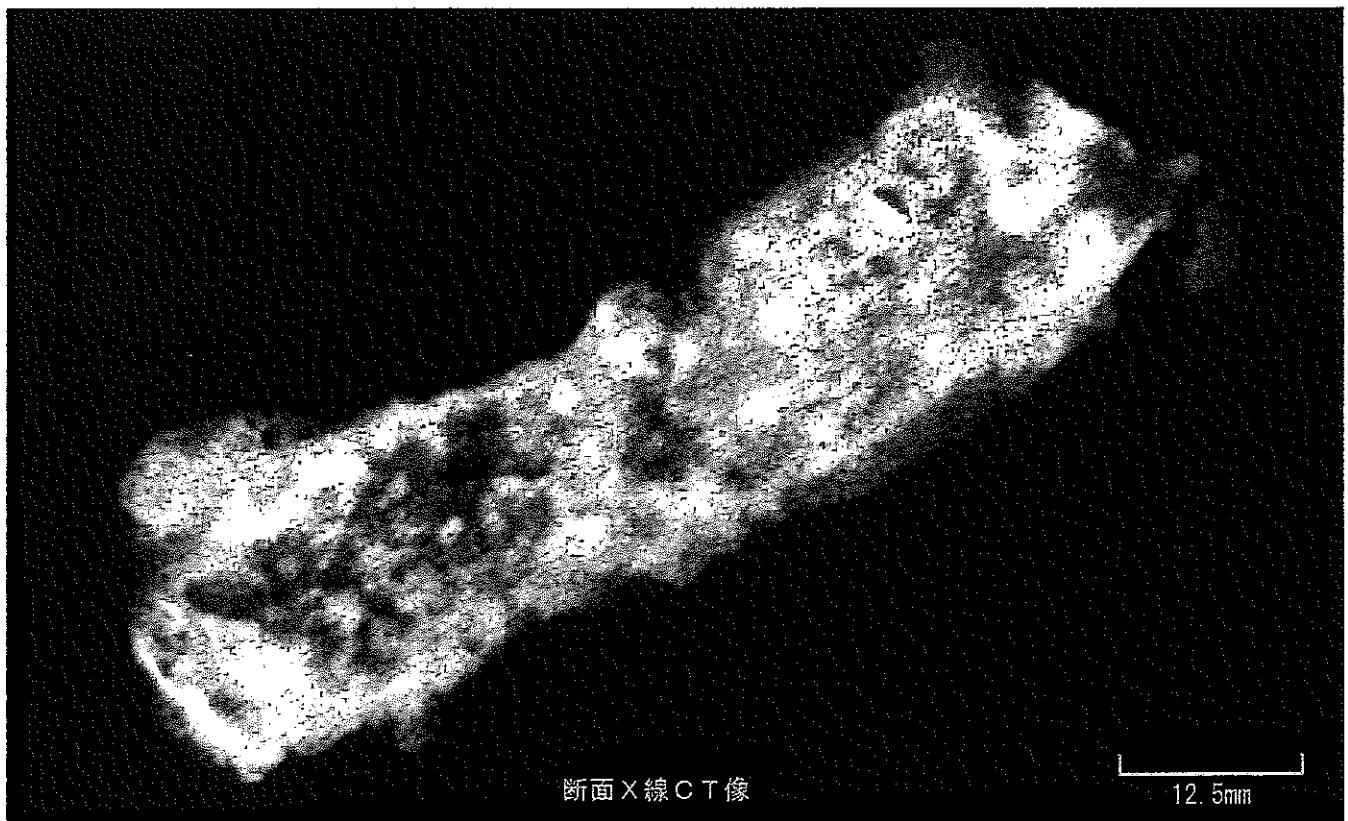


図13 鉄器のX線CT像 (No. 13[KSB. II. 下 SB-16. 1])

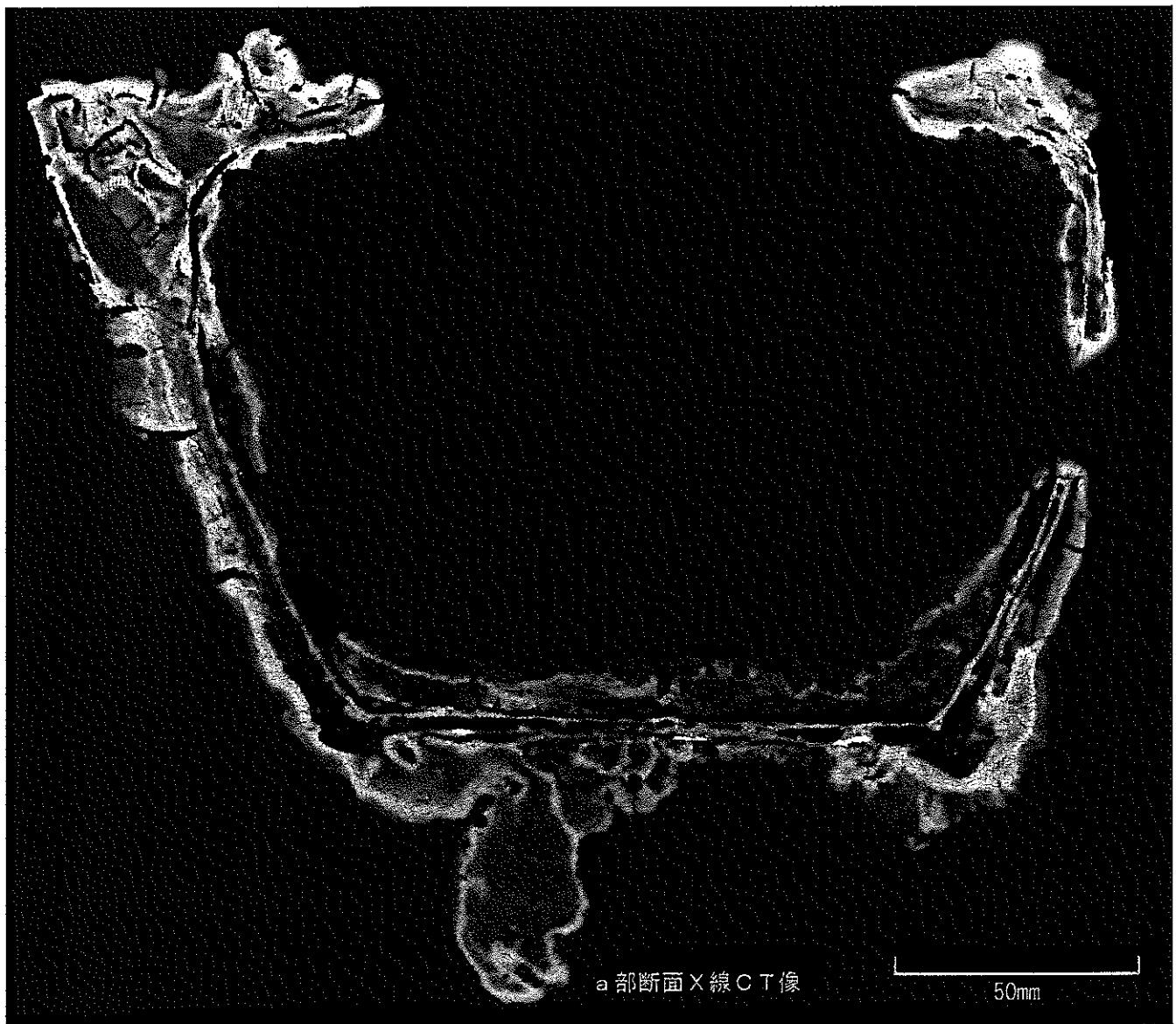


図14(1) 鉄器のX線CT像 (No.14[KSB. II. 下 X-38])

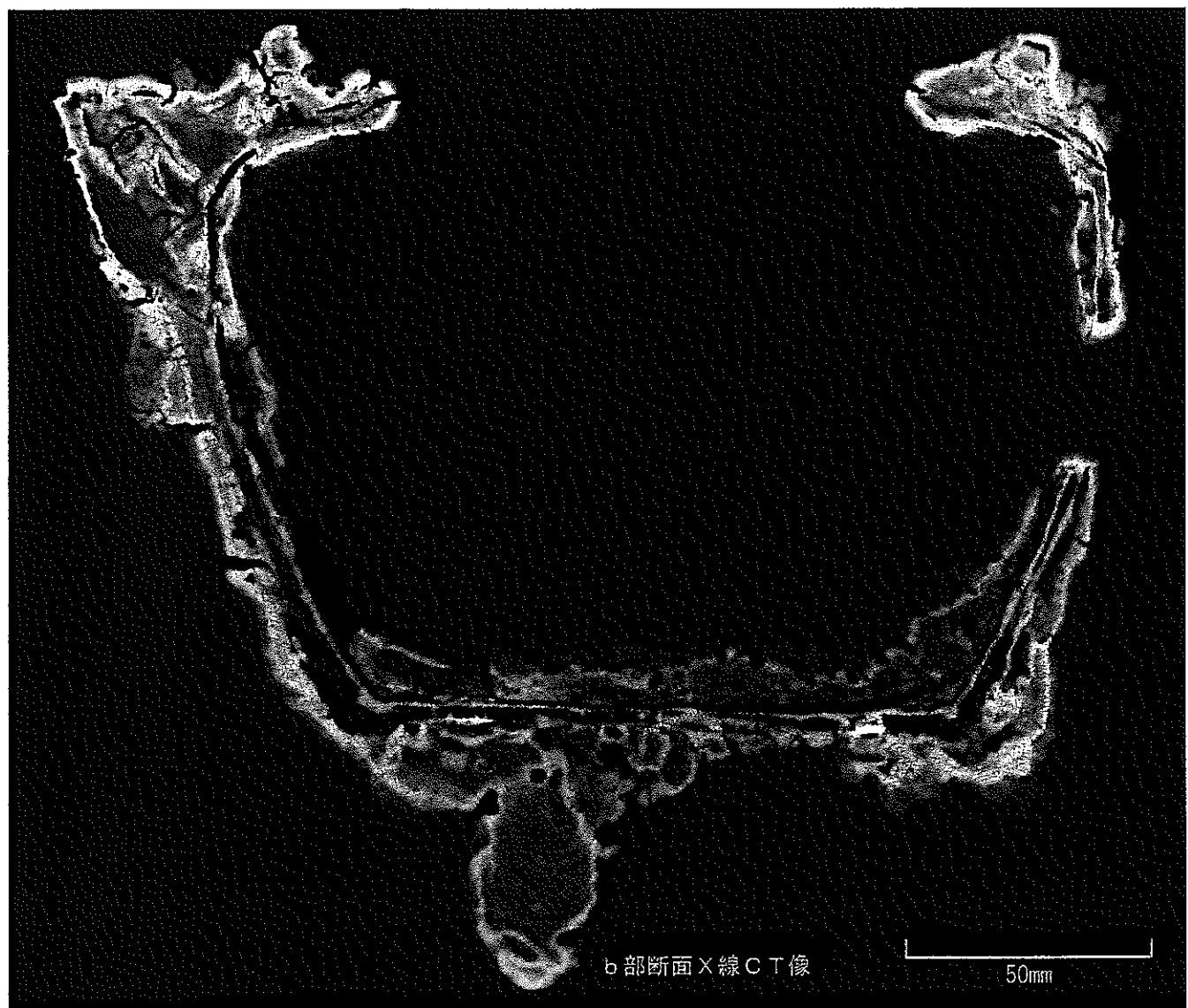


図14(2) 鉄器のX線CT像 (No.14[KSB. II.下 X-38])

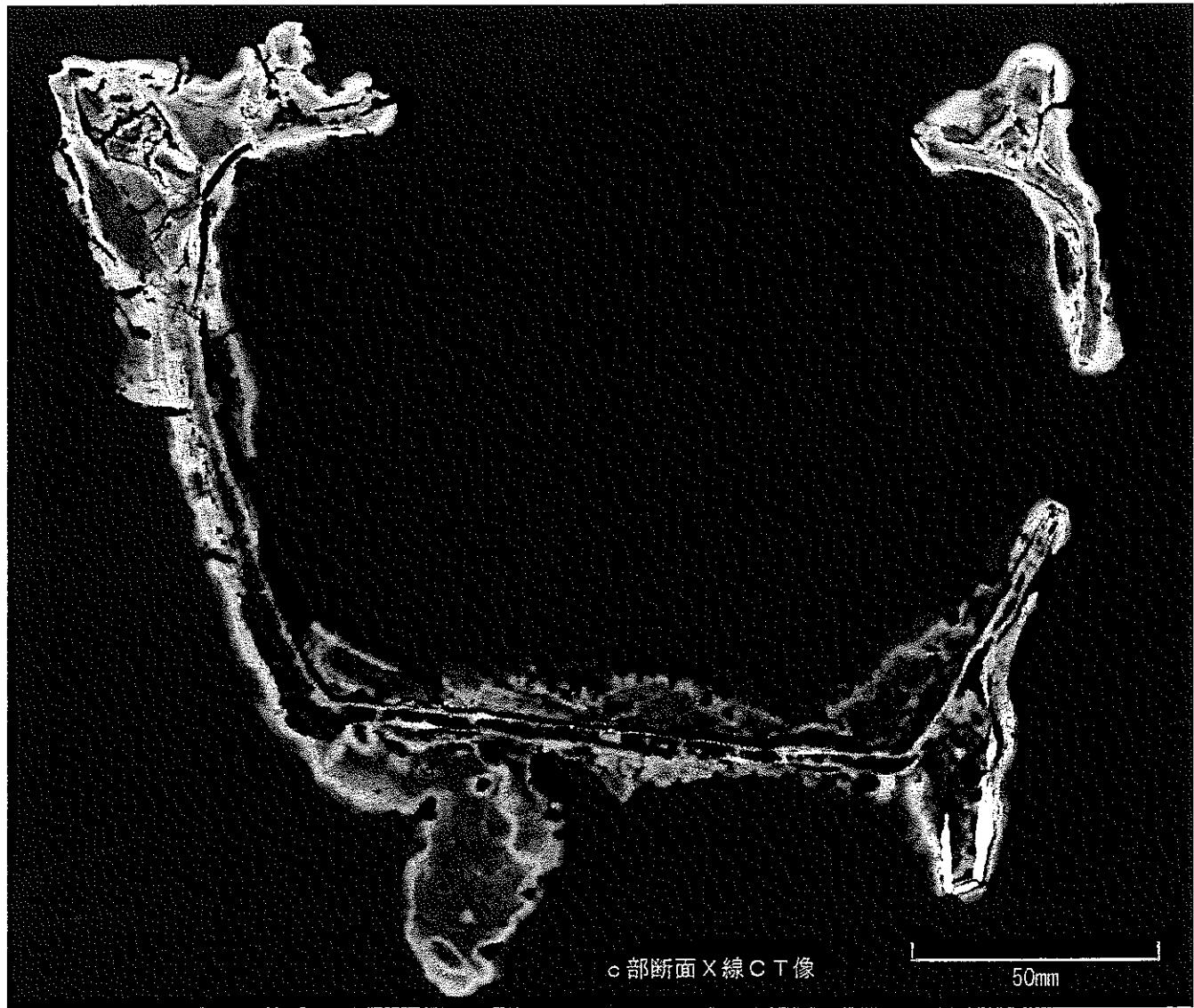
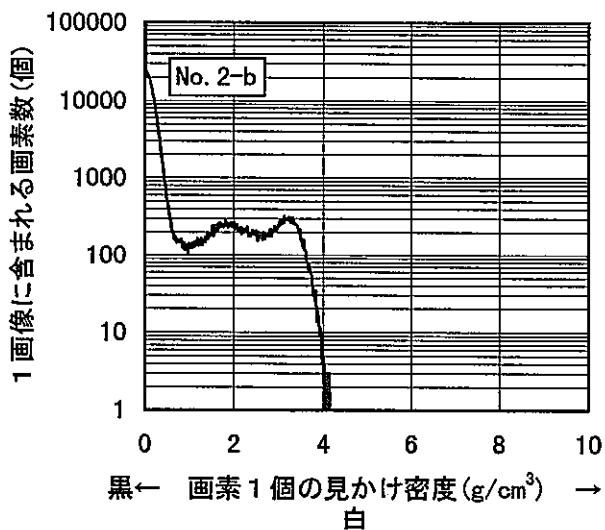
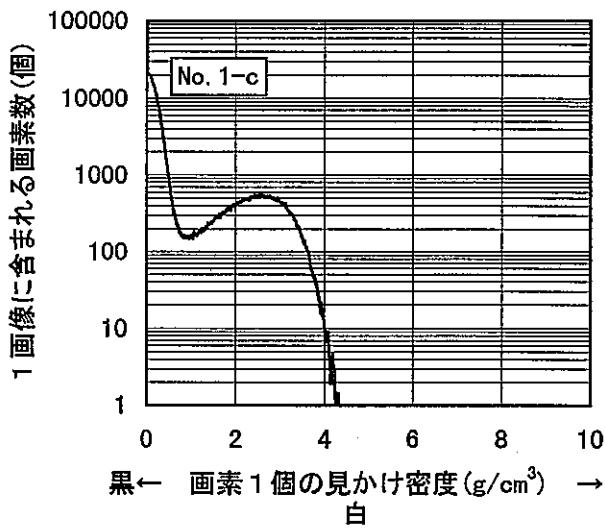
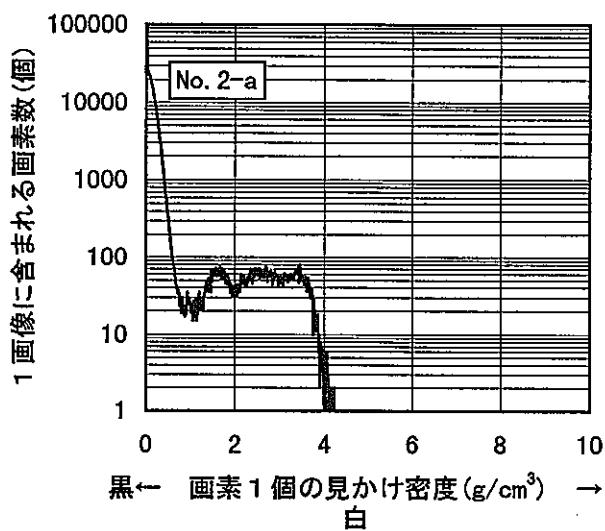
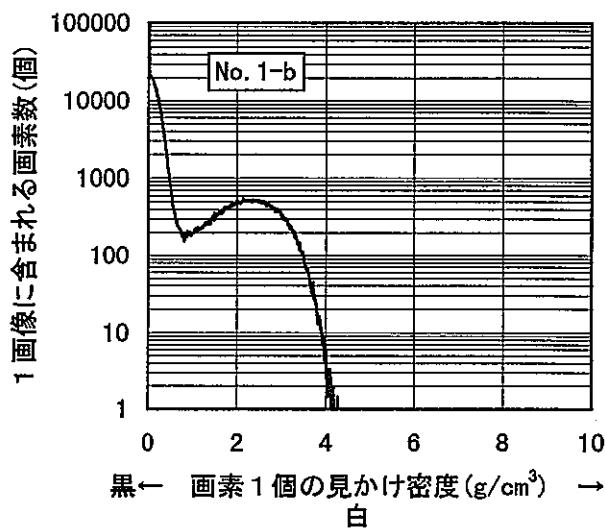
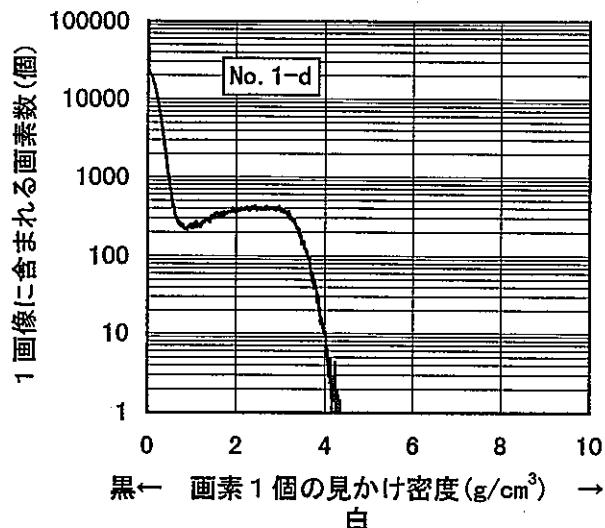
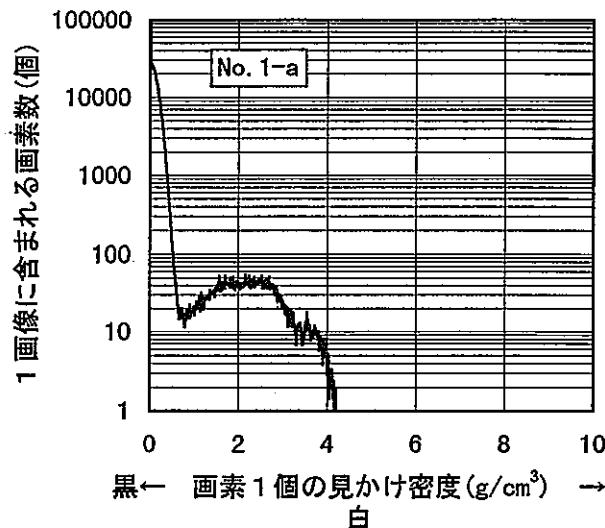
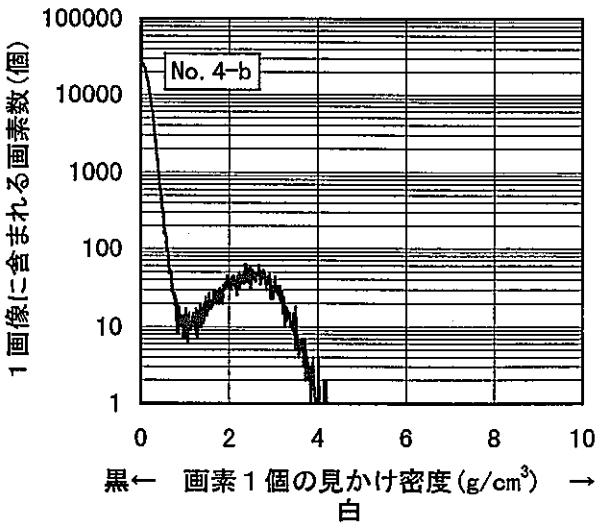
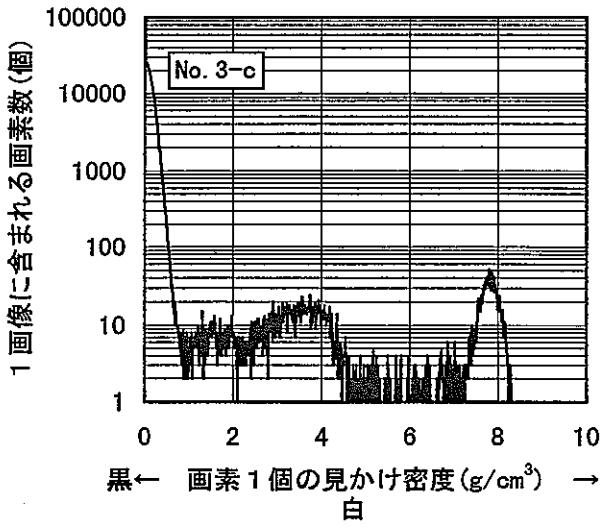
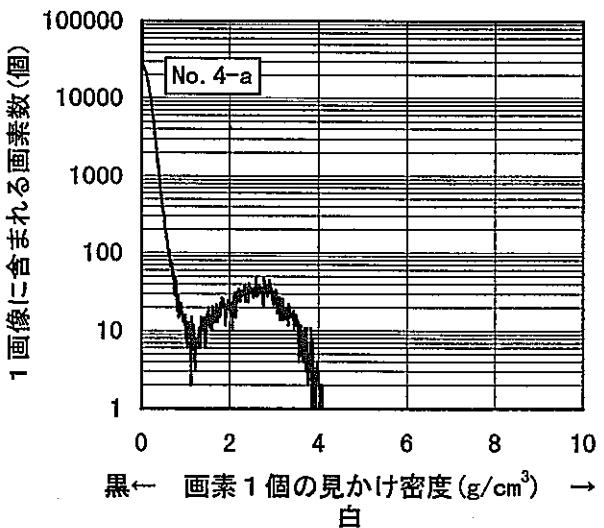
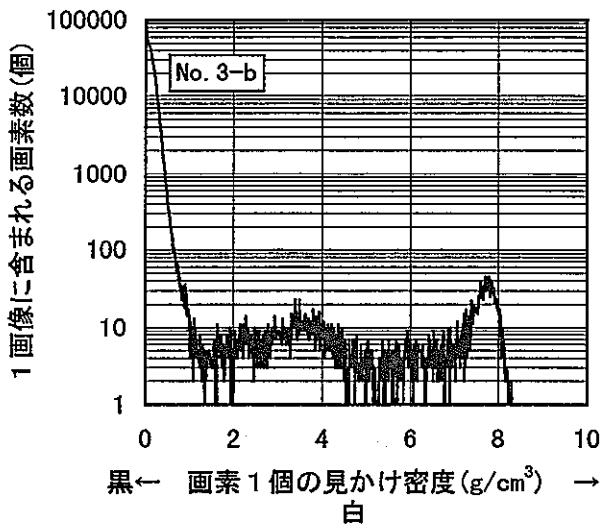
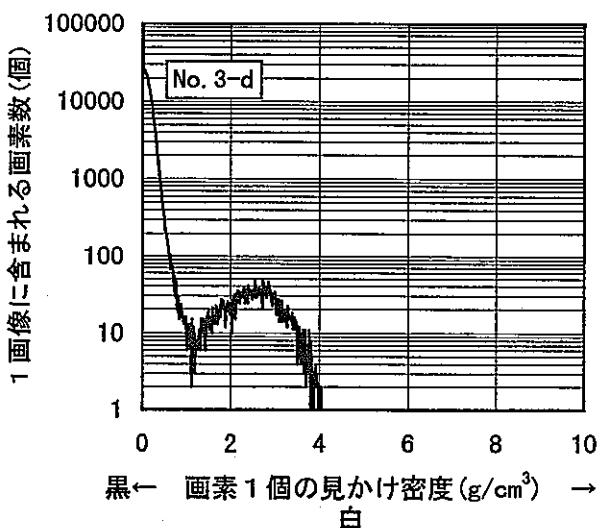
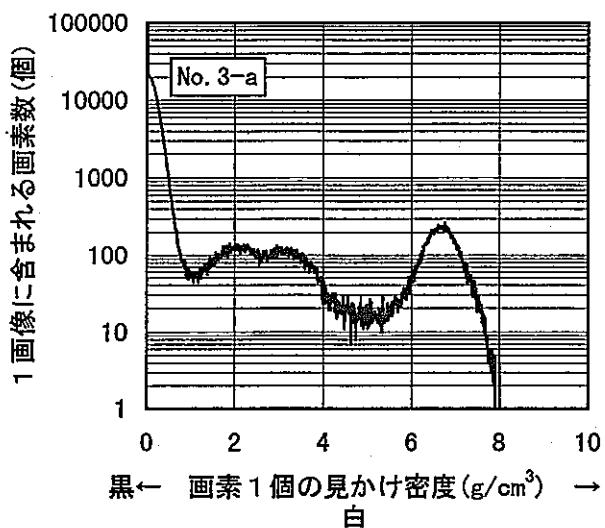


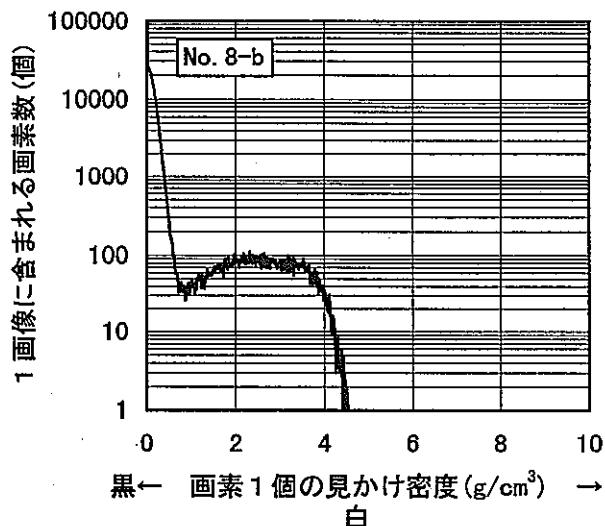
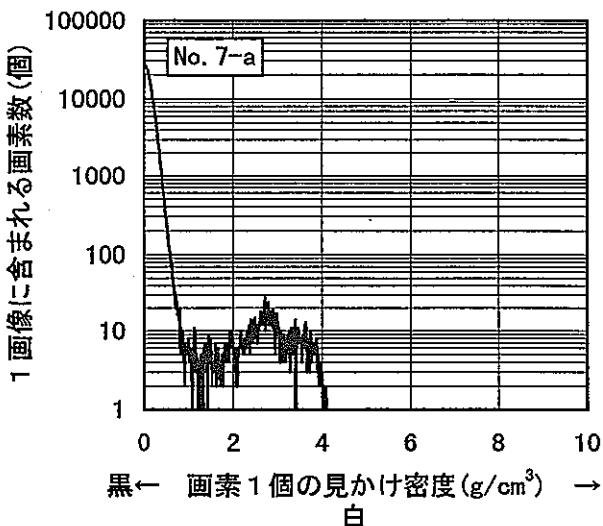
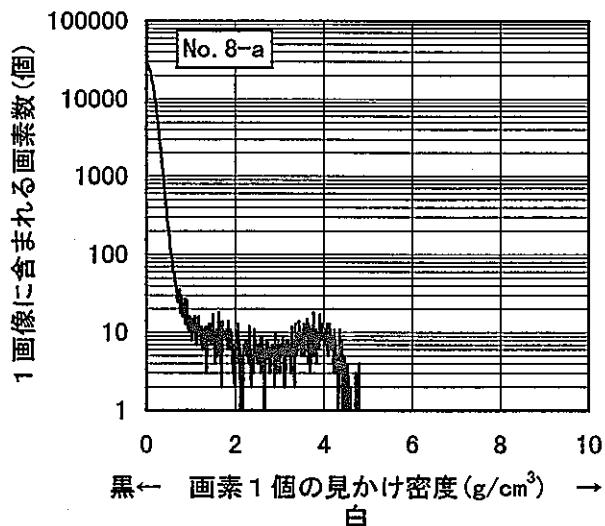
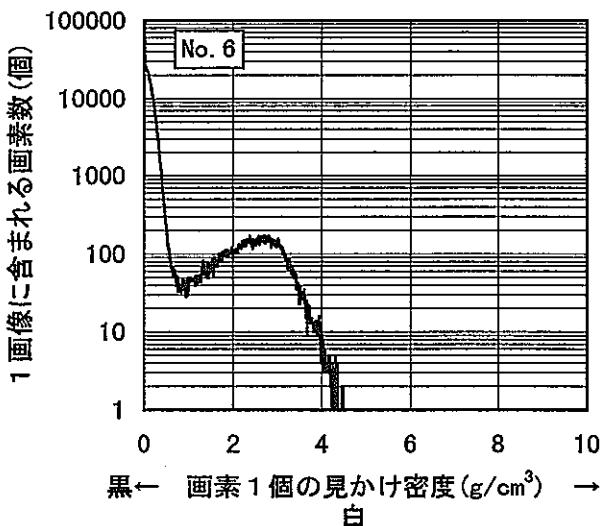
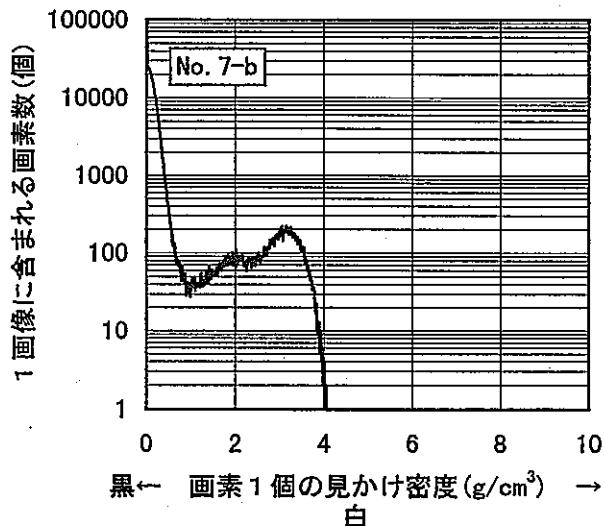
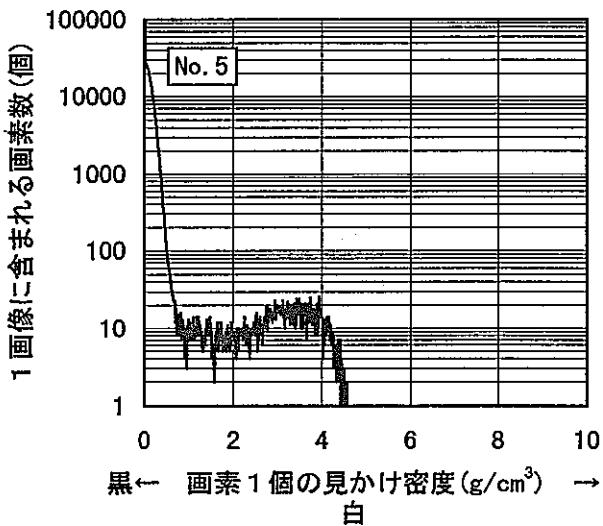
図14(3) 鉄器のX線CT像 (No.14[KSB. II. 下 X-38])

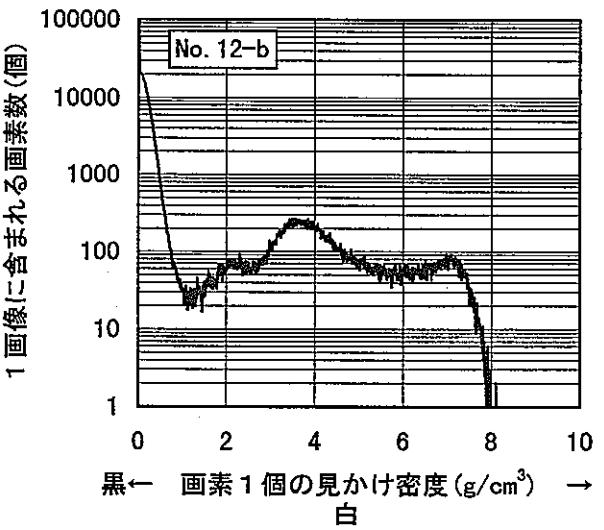
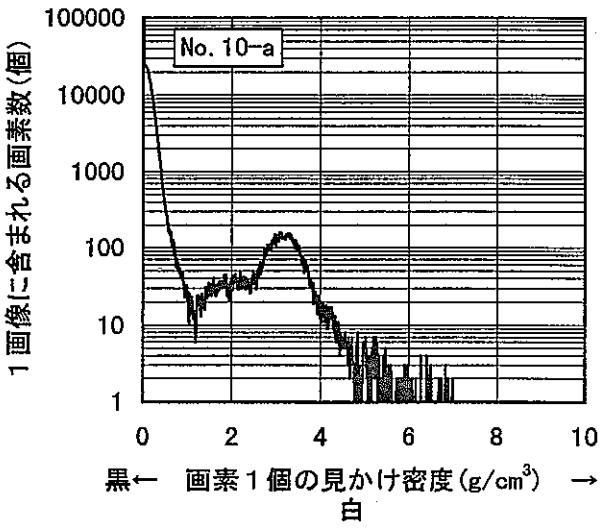
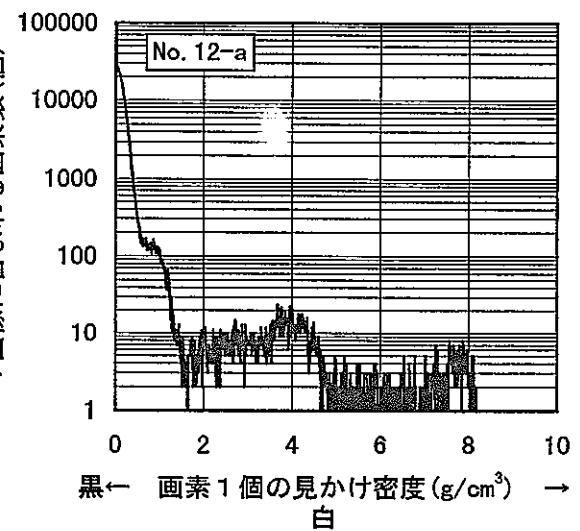
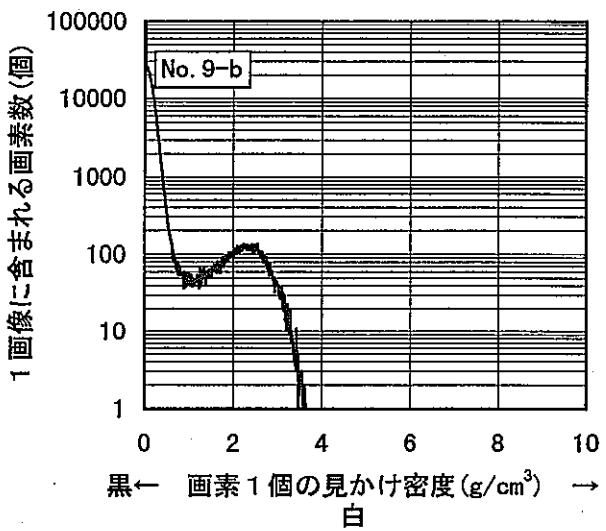
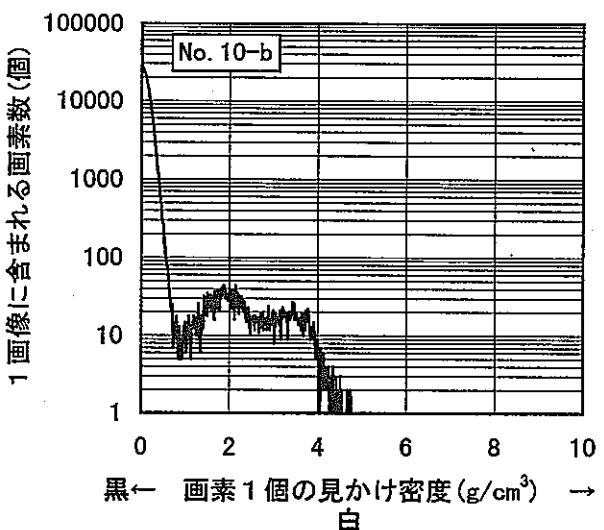
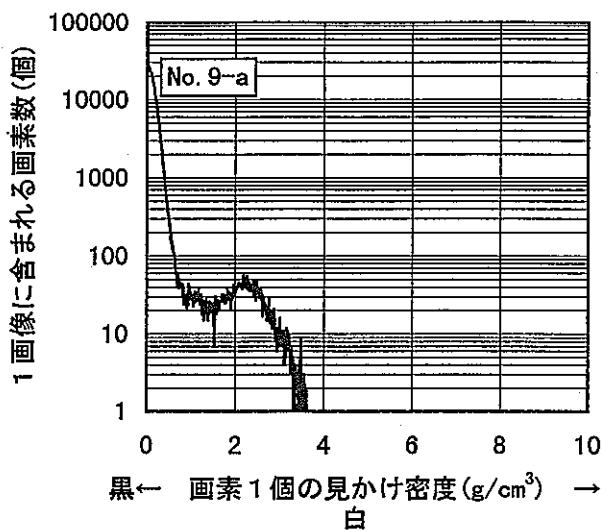
8.3.2 X線CTの画像濃度と物質密度との関係

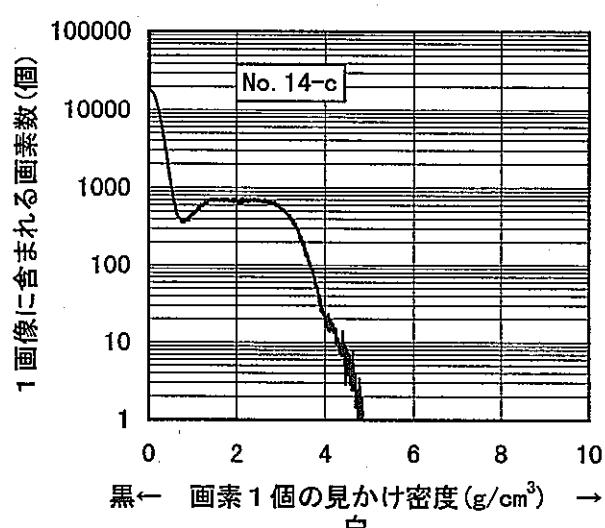
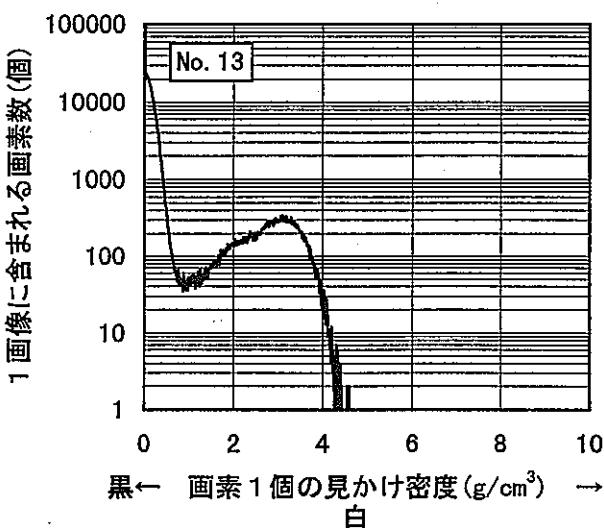
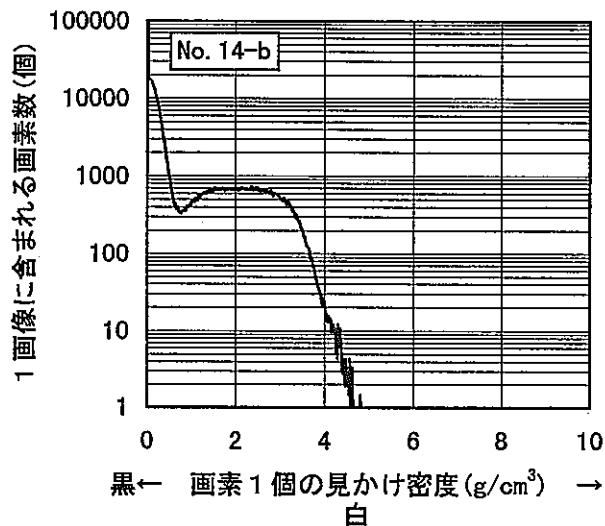
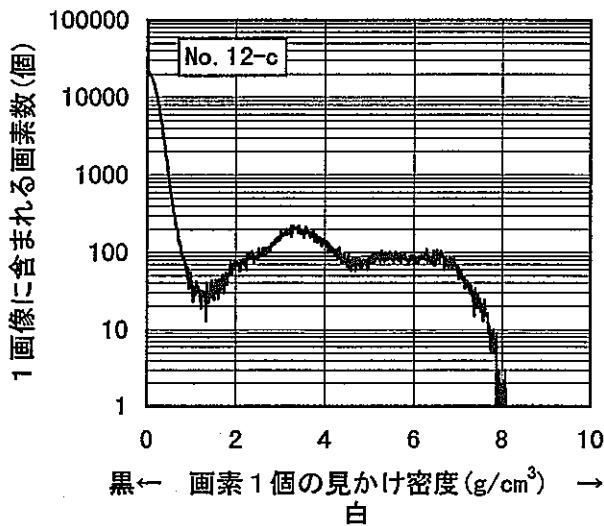
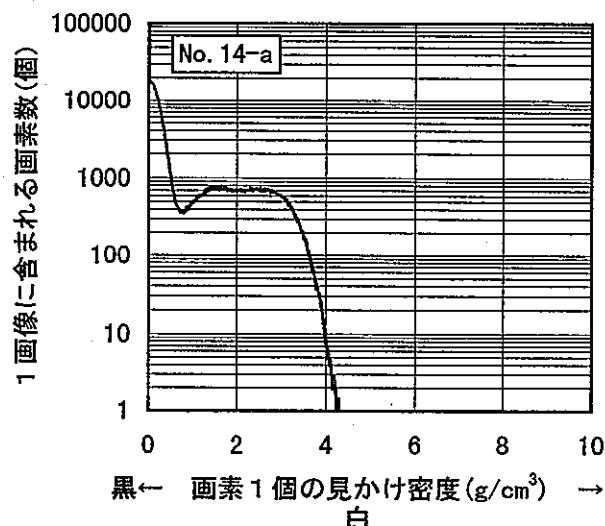
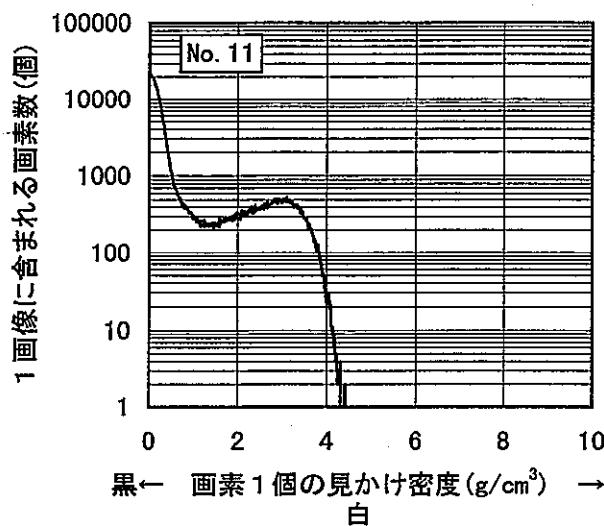
以降に、本研究で調査した全ての考古学遺物のX線CTにおける画像濃度と物質密度との関係を示す。

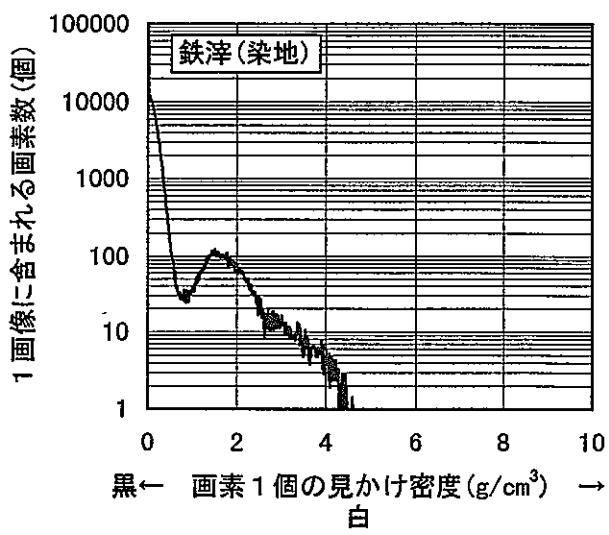
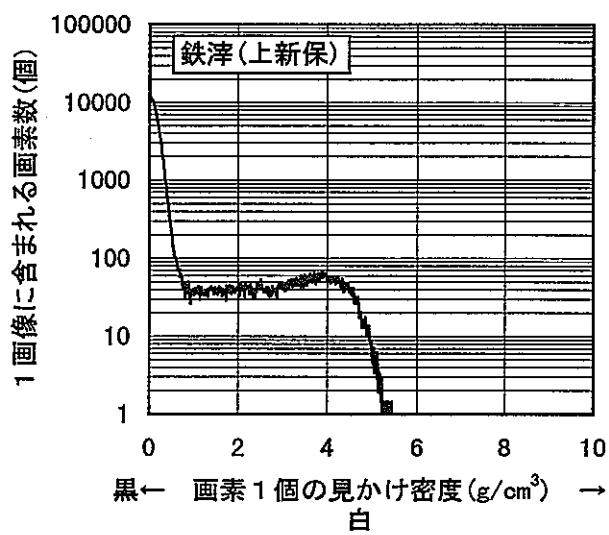
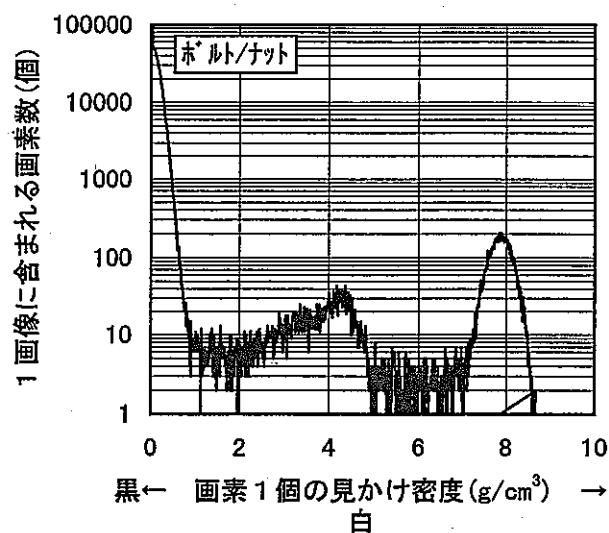












8.3.3 X線回折測定結果

以降に、本研究で実施した考古学遺物のX線回折測定の全データを示す。

分析(1)

1. 試験方法

各試料を広角X線回折装置にて測定し、得られたピークの回折角度と元素情報を基に、JCPDSデータ(X線回折標準データ集)による検索、照合を実施し、各回折ピークに該当する同定物質の選択を実施。

2. 結 果

検出された回折ピークより同定される物質を表1に示す。

表中の◎と○印については、存在する可能性が高いものを示し、中でも◎印は、該当ピークの検出強度が各々の試料内において、最も高いことから、試料中の主成分と考えられる。また、△印については、存在する可能性はあるものの、該当ピークの検出状況から判断して信頼性に欠けるものを示す。

尚、表中の「複合酸化物」については、近似な組成で同様の回折パターンを持つ標準データが複数存在し特定が困難なため、同定物質の総称として示したものである。

同定物質のピーク強度及びピーク強度比を表2、表3に示す。

X線回折におけるピーク強度については、各物質毎に検出感度が異なることに加え、結晶性等の影響も含まれるため、検出強度比が直接定量値に結びつくものではないため、ここでは、参考値として示している。

表4~11は、各々の試料の分析データを示す。

表12~18は、試料1~8(本文中No.7)について、Ti及びTi酸化物の標準データと比較したものである。

表1 同定物質一覧

本文中の 試料番号	試料 番号	Fe O (OH)	Fe O	Fe_3O_4 $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$	Si O_2	Na, Ca, Al, Si 複合酸化物
No. 7	1-8	○				○	○
No. 14	1-15	◎				○	○
No. 2	1-3					○	○
No. 10	1-11					○	○
鉄滓(上新保)	1-2a	○		◎		○	○
鉄滓(染地)	2-1a	○	◎	○	△	○	○

表2 ピーク強度

本文中の 試料番号	試料 番号	Fe O (OH)	Fe O	Fe_3O_4 $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$	Si O_2	Na, Ca, Al, Si 複合酸化物
No. 7	1-8	2981				2676	12722
No. 14	1-15	4566				1016	1411
No. 2	1-3					21925	8726
No. 10	1-11					8463	5206
鉄滓(上新保)	1-2a	429		6748		1594	395
鉄滓(染地)	2-1a	636	4780	1929		657	1220

表3 ピーク強度比

本文中の 試料番号	試料 番号	Fe O (OH)	Fe O	Fe_3O_4 $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$	Si O_2	Na, Ca, Al, Si 複合酸化物
No. 7	1-8	16				15	69
No. 14	1-15	65				15	20
No. 2	1-3					72	28
No. 10	1-11					62	38
鉄滓(上新保)	1-2a	5		74		17	4
鉄滓(染地)	2-1a	7	52	21		7	13

表4

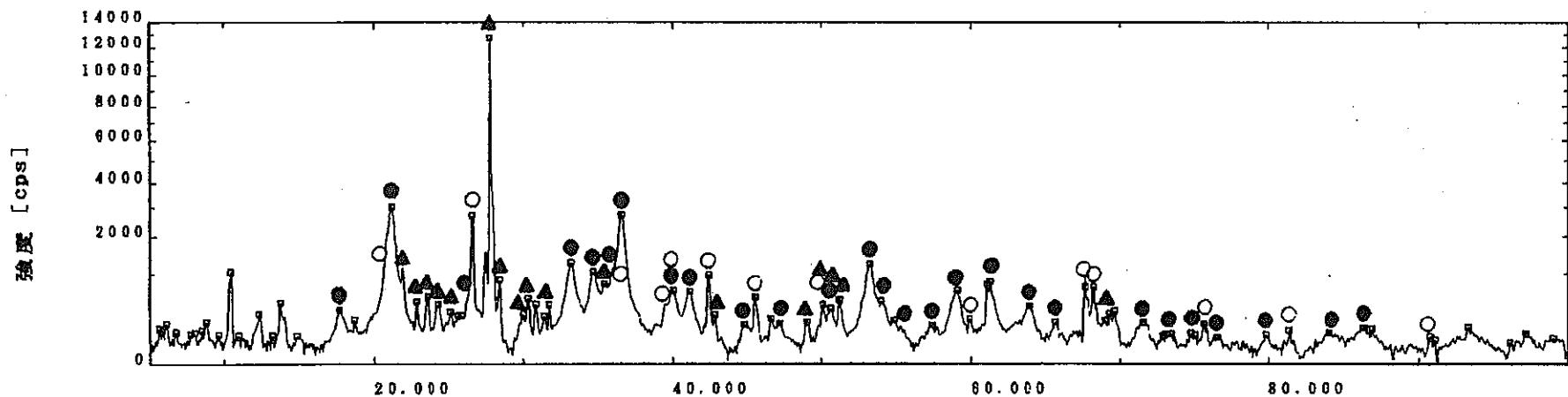
ID:

TEL NO:

#001 P02

二次検索

サンプル名 : I-8 ファイル : BDA001.1122 測定日 : 09-Aug-99 10:31 測定者 : 横田
 コメント : 広角 XRD/xfs メモ :



ヒークデータ

29-0713

● Fe O (OH)
Goethite

I

93-1161

○ Si O₂
Quartz, syn

*

41-1480

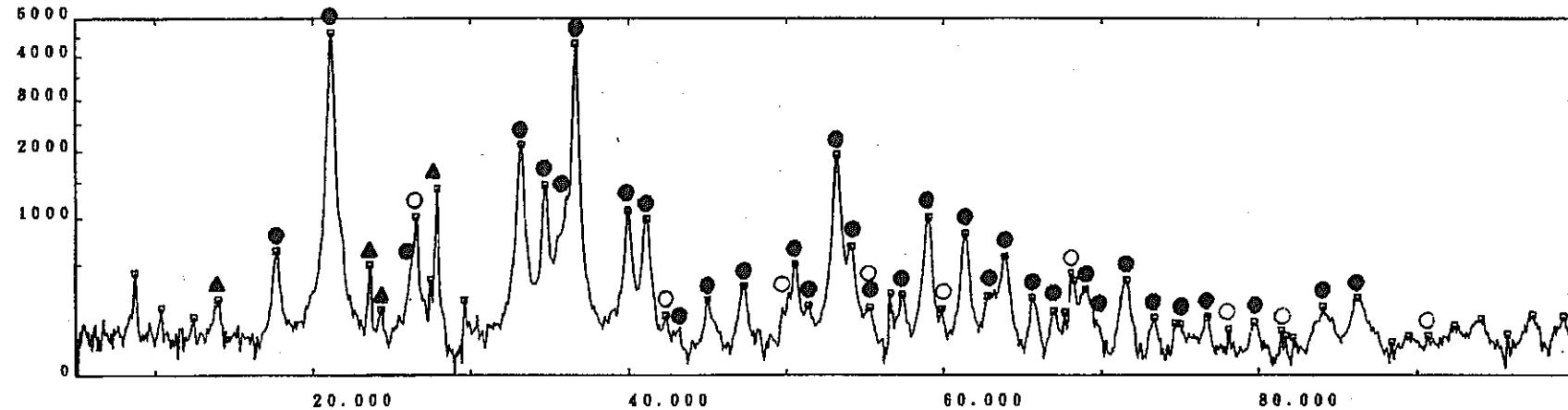
▲(Na , Ca) Al (Si , Al)₃O₈
Albite, calcian, ordered

I

表5

二次検索

サンプル名 : 1-15 ファイル : BDA002.1123 測定日 : 09-Aug-98 11:11 測定者 : 横田
 コメント : 広角 XRD/xfs モド :



-112-

t'-クテーラ

41-1480

▲(Na, Ca)Al(Si, Al)3O8
 Albite, calcian, ordered

29-0713

●FeO(OH)
 Goethite

38-1161

○SiO2
 Quartz, syn

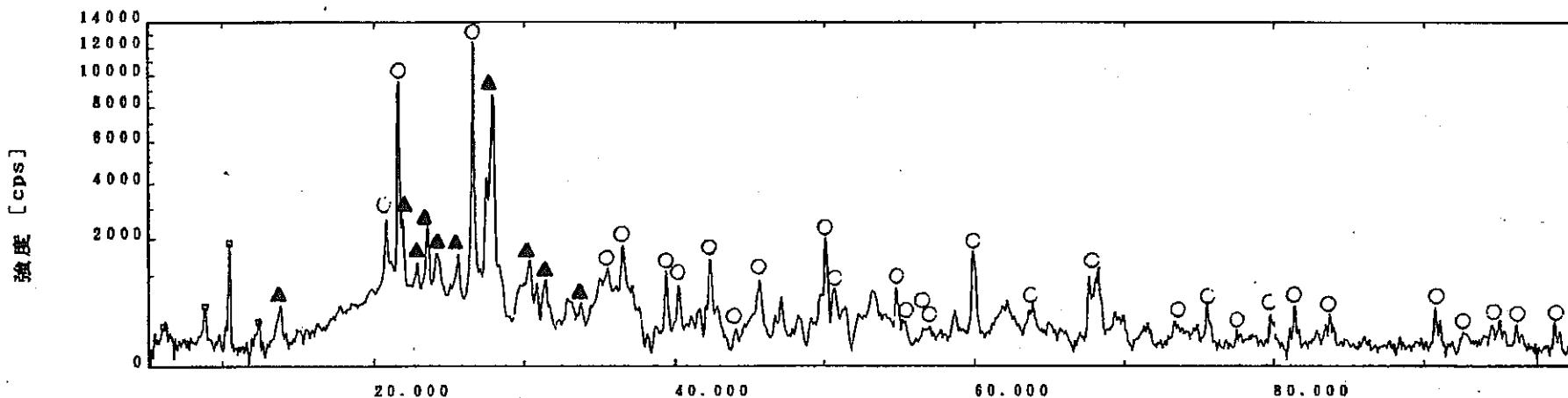
ID:

TEL NO.:

#001 P03

二次検索

サンプル名 : 1-3 ファイル : BDA003.1124 測定日 : 09-Aug-99 11:51 測定者 : 横田
 コメント : 広角 XRD/xfs メモ :



ピーカーテータ

-113-

41-1480

▲(Na, Ca)Al(Si, Al)3O8
Albite, calcian, ordered

I

27-0605

○SiO₂

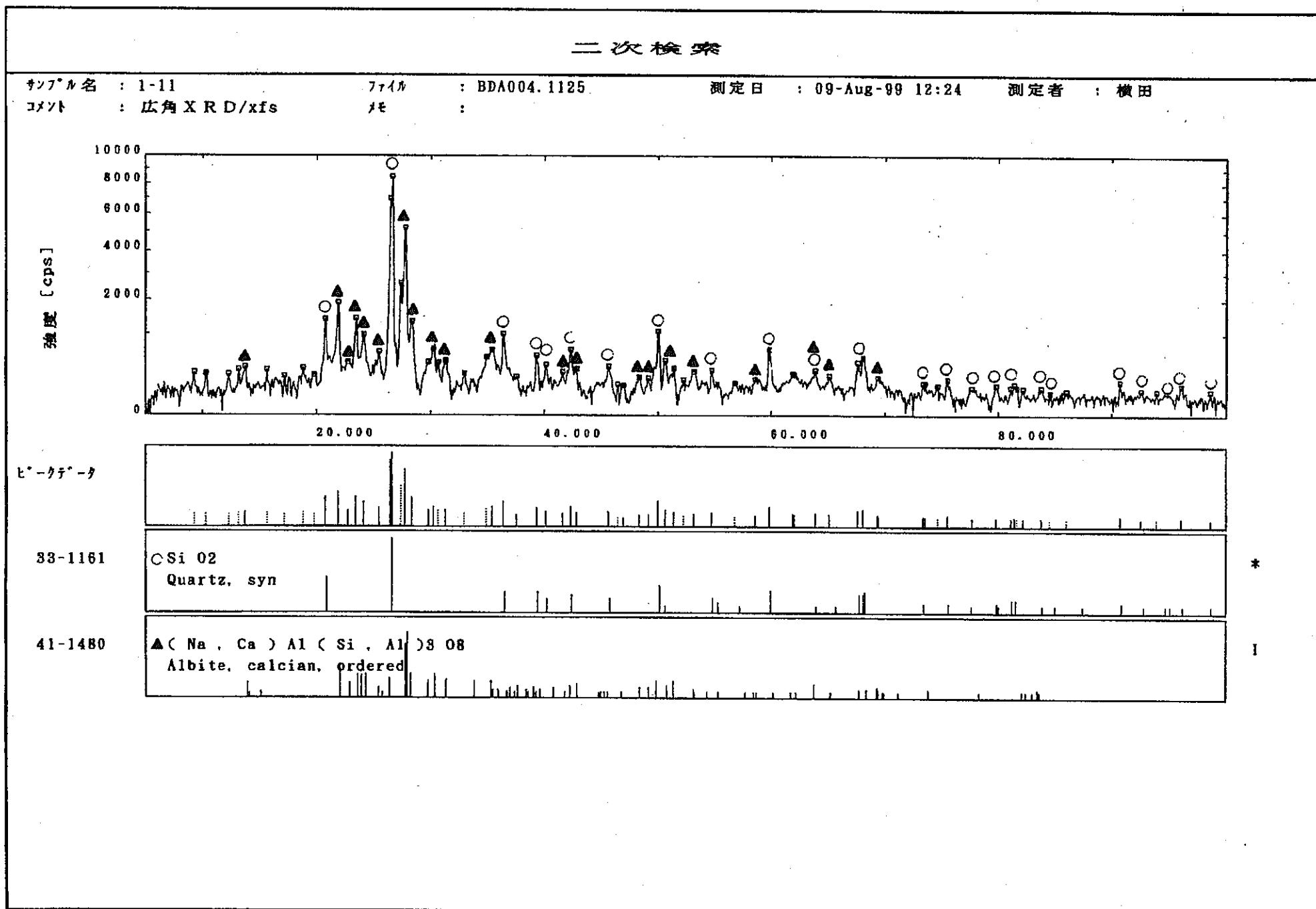
I

33-1161

○SiO₂
Quartz, syn

*

表7



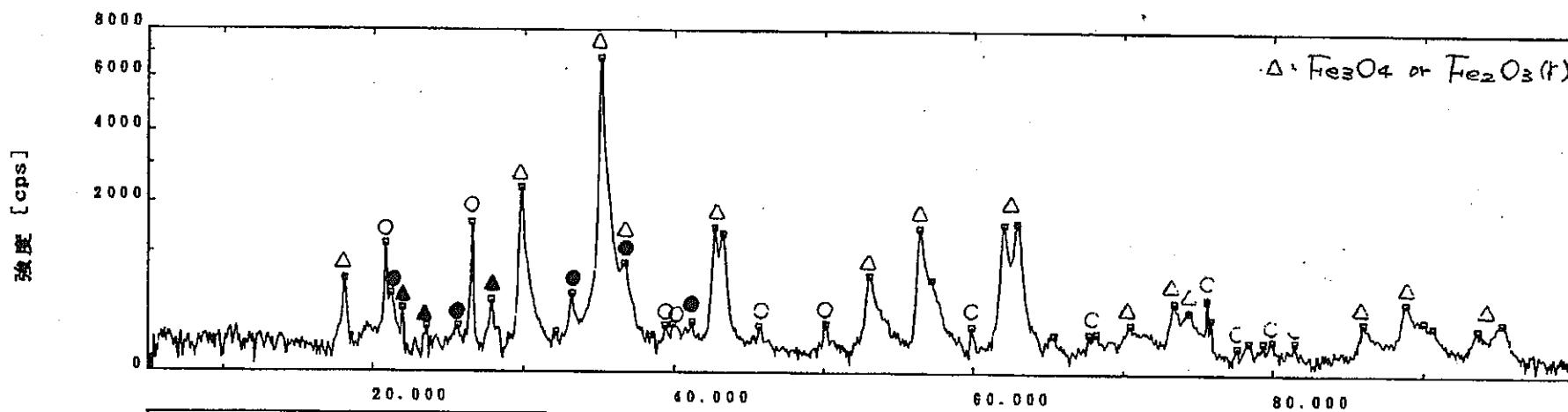
二次検索

サンプル名 : 1-2a
コメント : 広角XRD/xfs

ファイル : BDA005.1126
メモ :

測定日 : 09-Aug-99 13:41

測定者 : 横田



ヒークデータ

33-1161

○ Si O₂
Quartz, syn

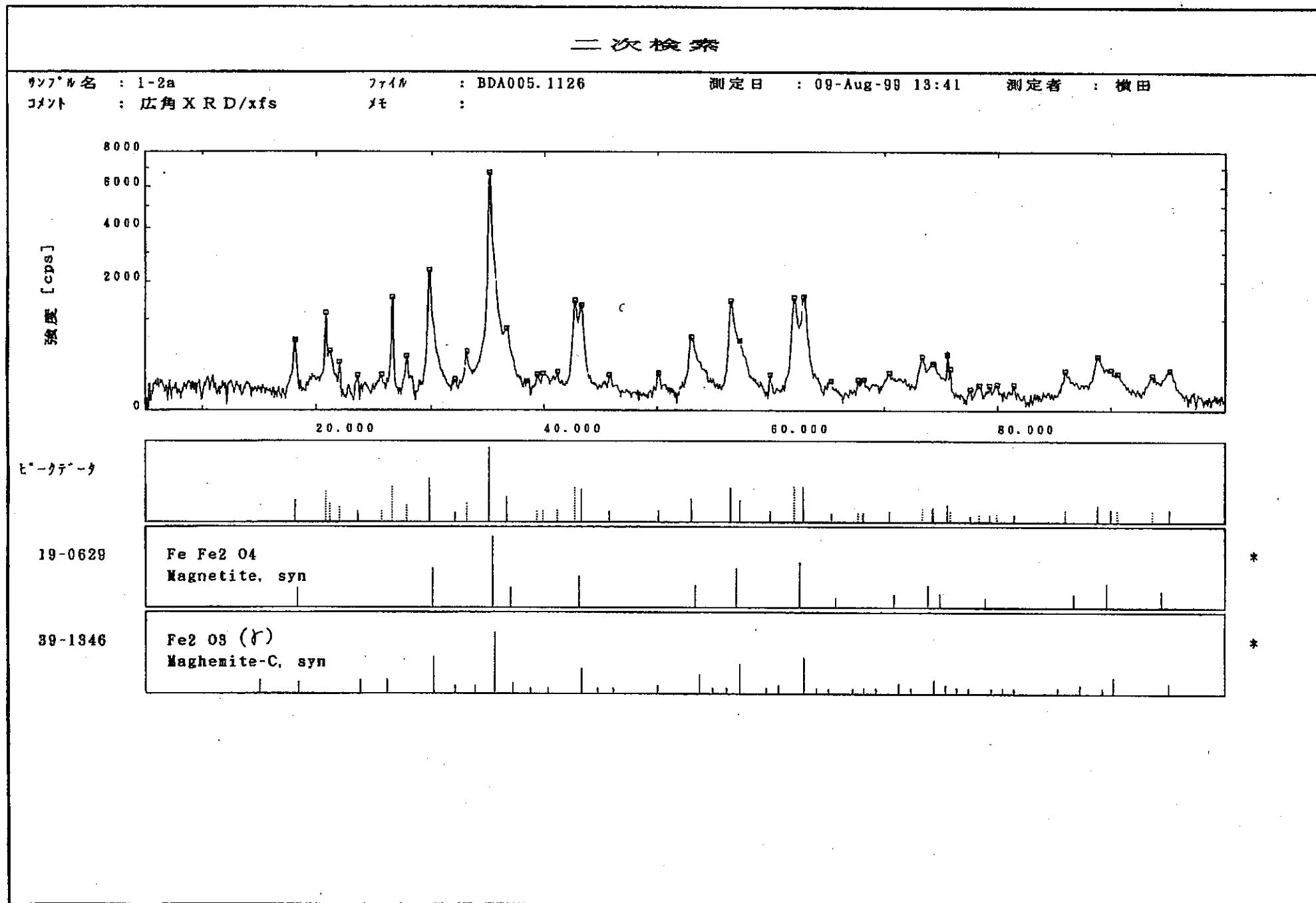
29-0713

● Fe O (OH)
Goethite

41-1480

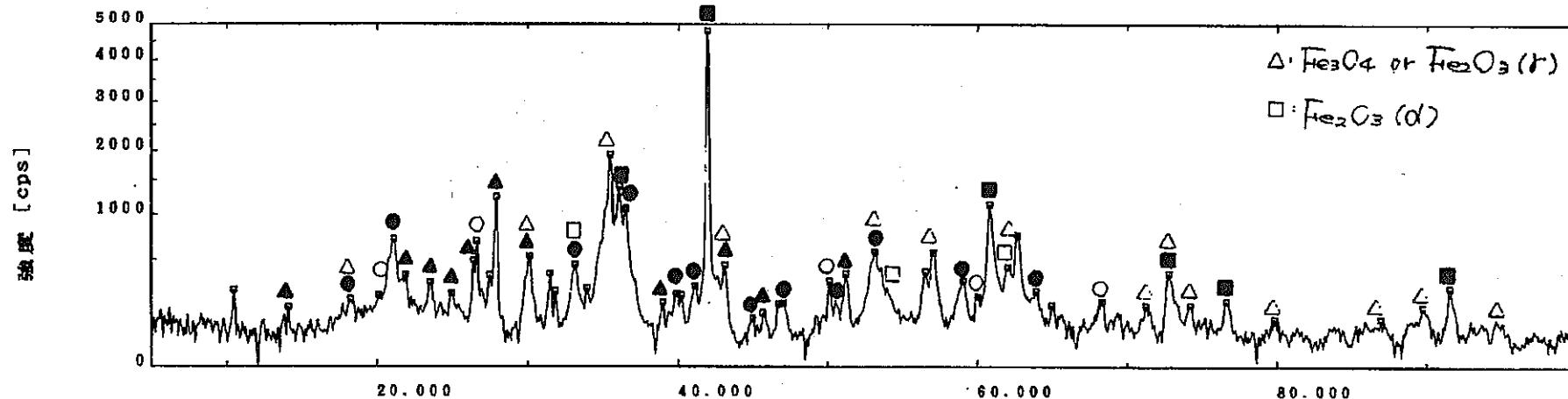
▲ (Na, Ca) Al (Si, Al)₃ O₈
Albite, calcian, ordered

表9



二次検索

サンプル名 : 2-1a ファイル : BDA006.1127 測定日 : 09-Aug-99 14:20 測定者 : 横田
 コメント : 広角 XRD/xfs メモ :



117

ヒークテーブル

06-0615

● Fe O
Wustite, syn

29-0713

● Fe O (OH)
Goethite

39-1161

○ Si O₂
Quartz, syn

41-1480

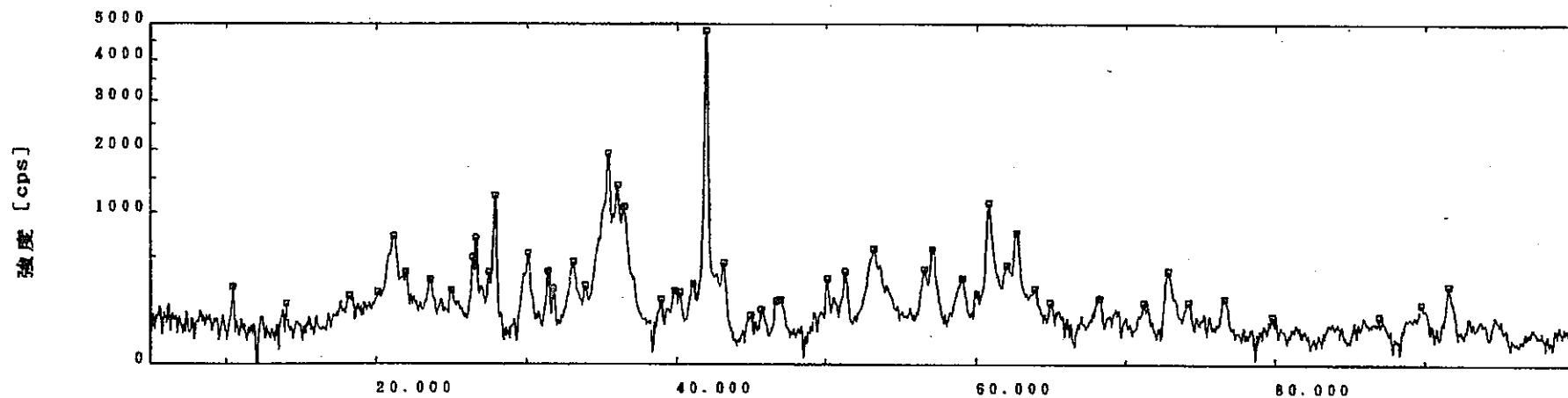
▲ (Na, Ca) Al (Si, Al) O₈
Albite, calcian, ordered

▶

表11

二次検索

サンプル名 : 2-1a ファイル : BDA006.1127 測定日 : 09-Aug-99 14:20 測定者 : 横田
 コメント : 広角 XRD/xfs モード :



-81-

ヒークデータ

19-0629

Fe Fe₂O₄
Magnetite, syn

*

99-1346

Fe₂O₃ (γ)
Maghemite-C, syn

*

99-0664

Fe₂O₃ (δ)
Hematite, syn

*

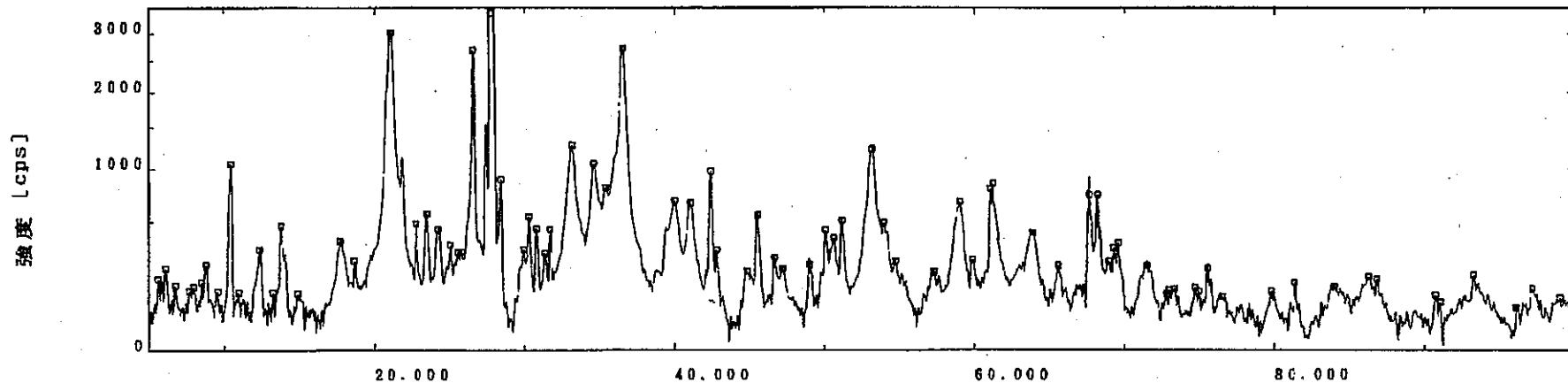
ID:

TEL NO.:

#001 P09

二次検索

サンプル名 : 1-8 ファイル : BDA001.1122 測定日 : 09-Aug-99 10:31 測定者 : 横田
 コメント : 広角 XRD/xfs メモ :



ヒークデータ

21-1276

Ti O₂
Rutile, syn

21-1272

Ti O₂
Anatase, syn

表 13

二次検索

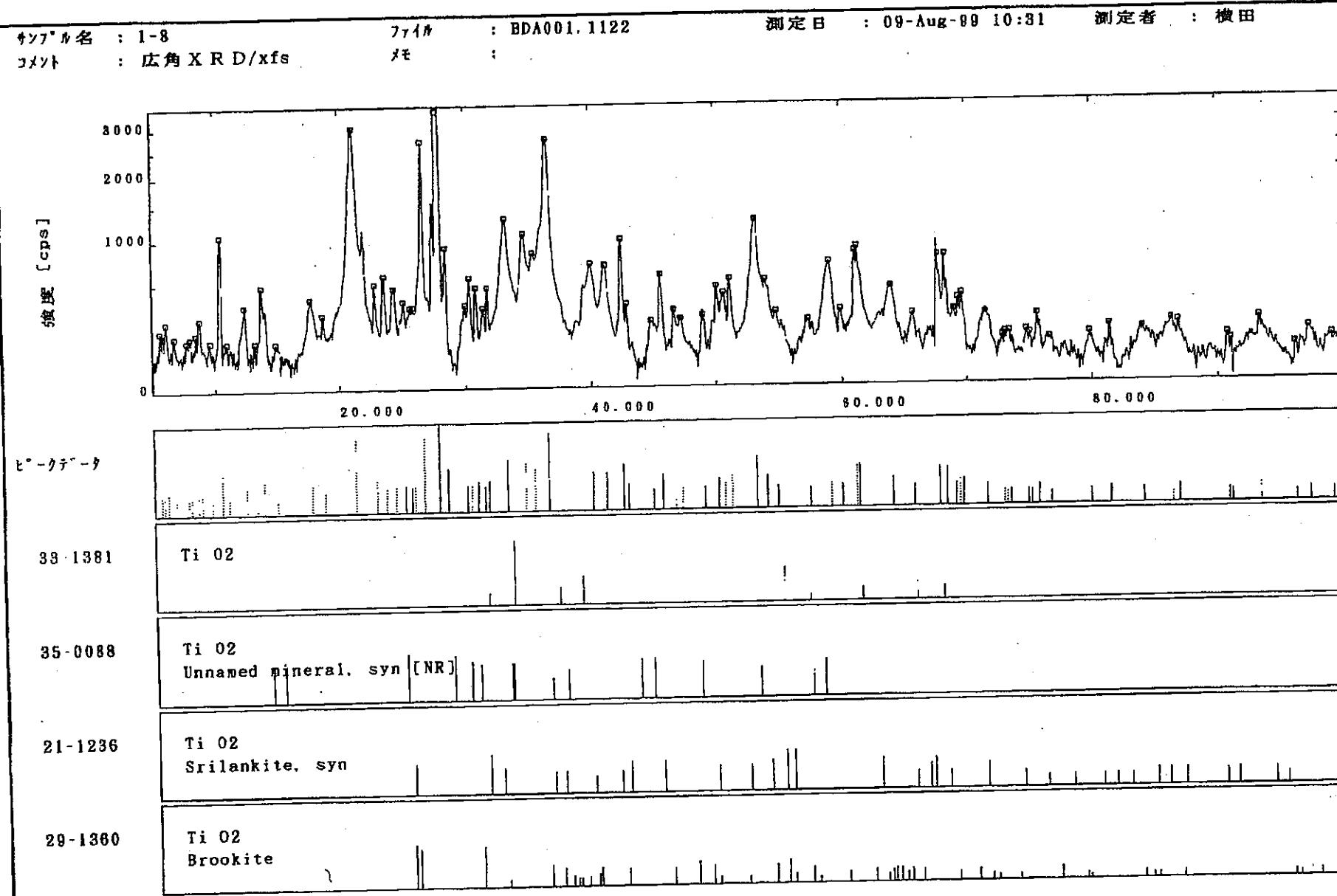
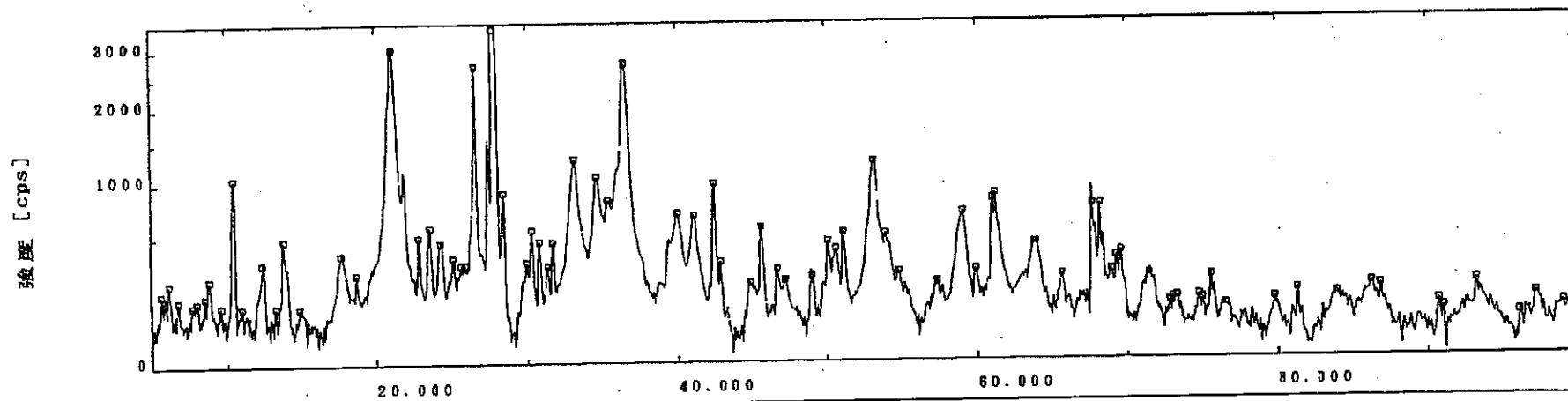


表 14

二次検索

サンプル名 : 1-B ファイル : BDA001.1122 測定日 : 09-Aug-99 10:31 測定者 : 横田
 コメント : 広角 XRD/xfs モード :



-121-

E°-データ

05-0682

Ti
Titanium, syn

09-0240

Ti O

23-1078

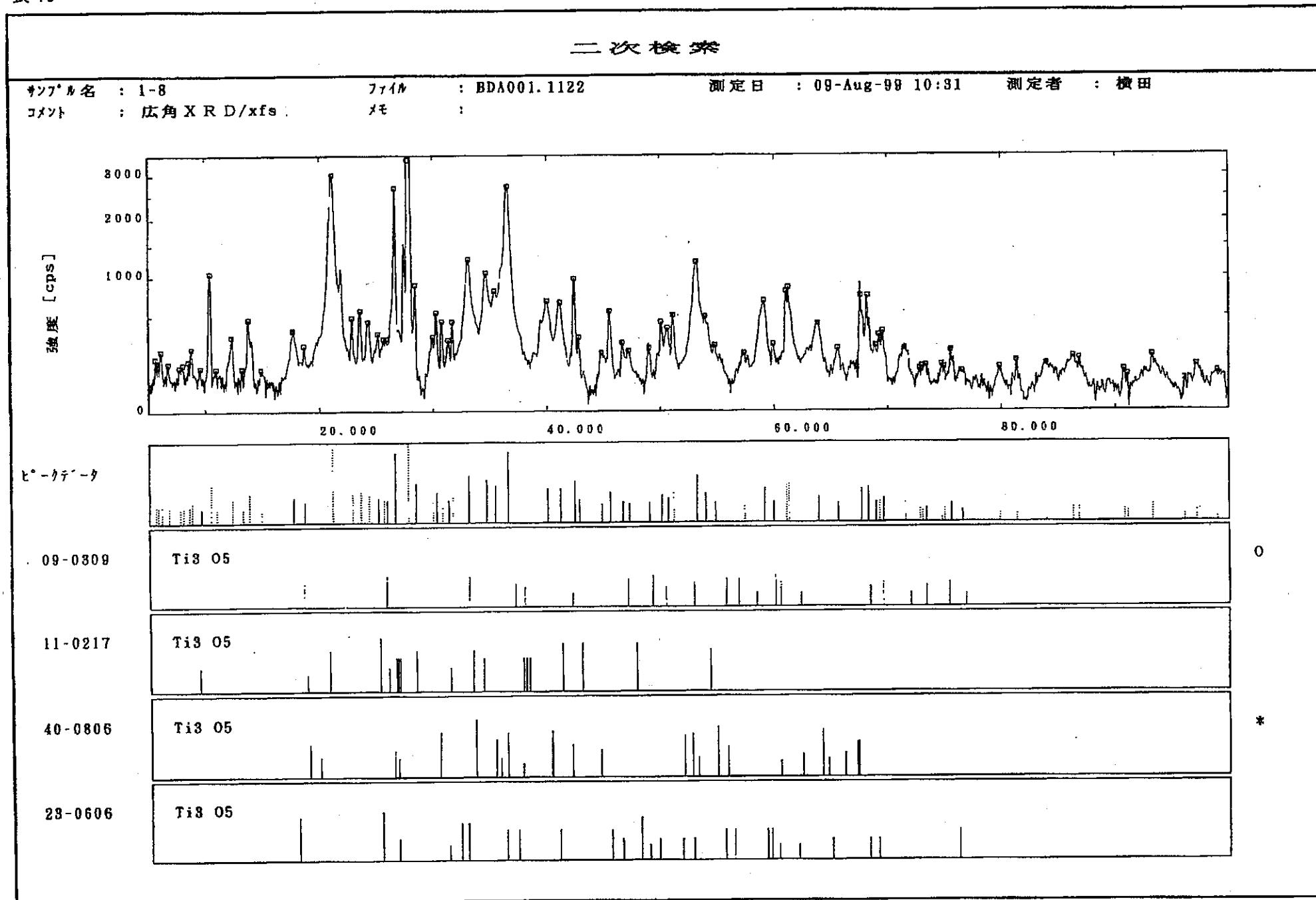
Ti O

ID:

TEL NO:

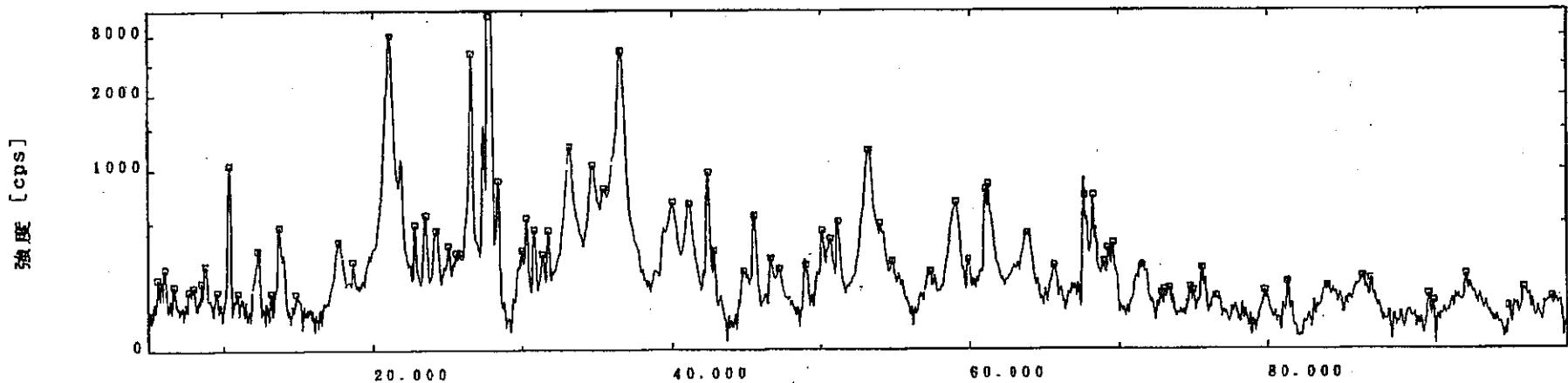
#001 P04

表 15



二次検索

サンプル名 : 1-8 ファイル : BDA001.1122 測定日 : 09-Aug-99 10:31 測定者 : 横田
 コメント : 広角 XRD/xfs メモ :



-123-

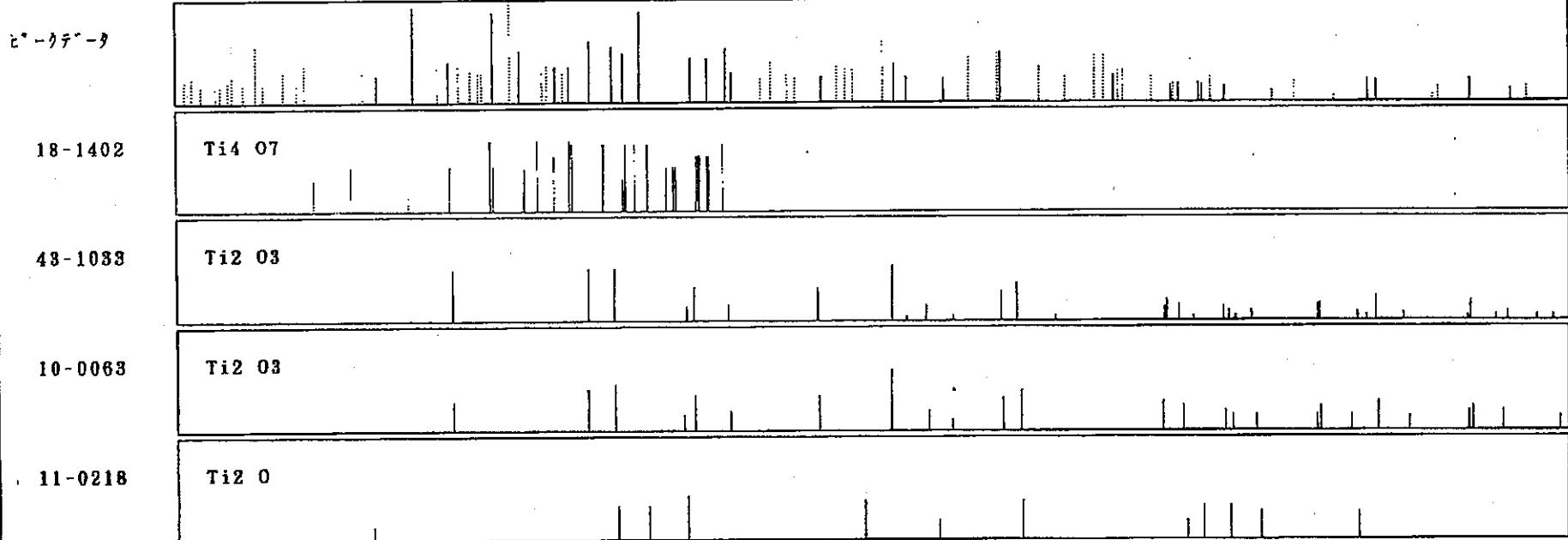


表17

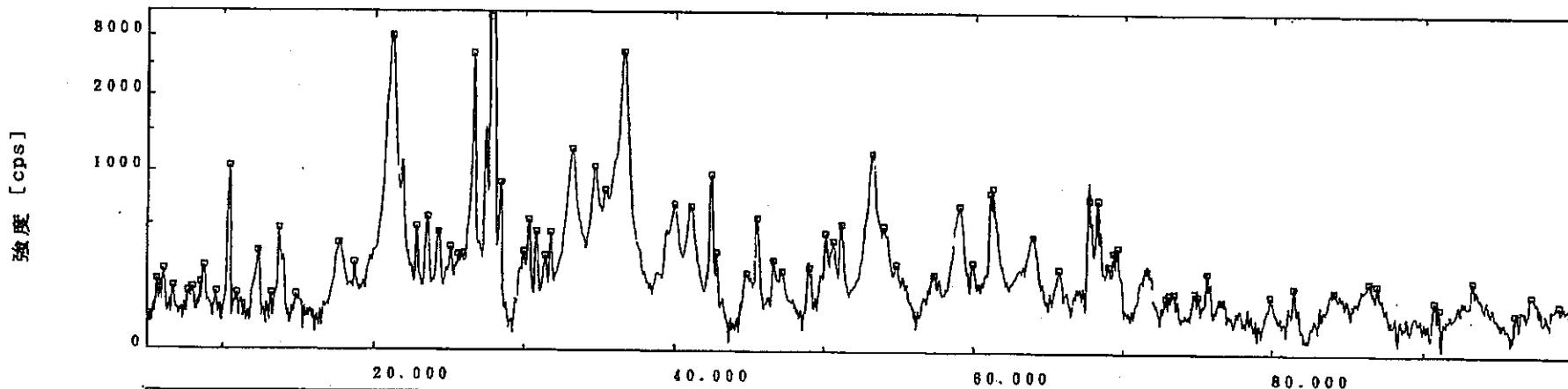
ID:

TEL NO:

#001 P07

二次検索

サンプル名 : 1-8
 ファイル : BDA001.1122
 コメント : 広角 XRD/xfs メモ :
 測定日 : 09-Aug-99 10:31 測定者 : 横田



-124-

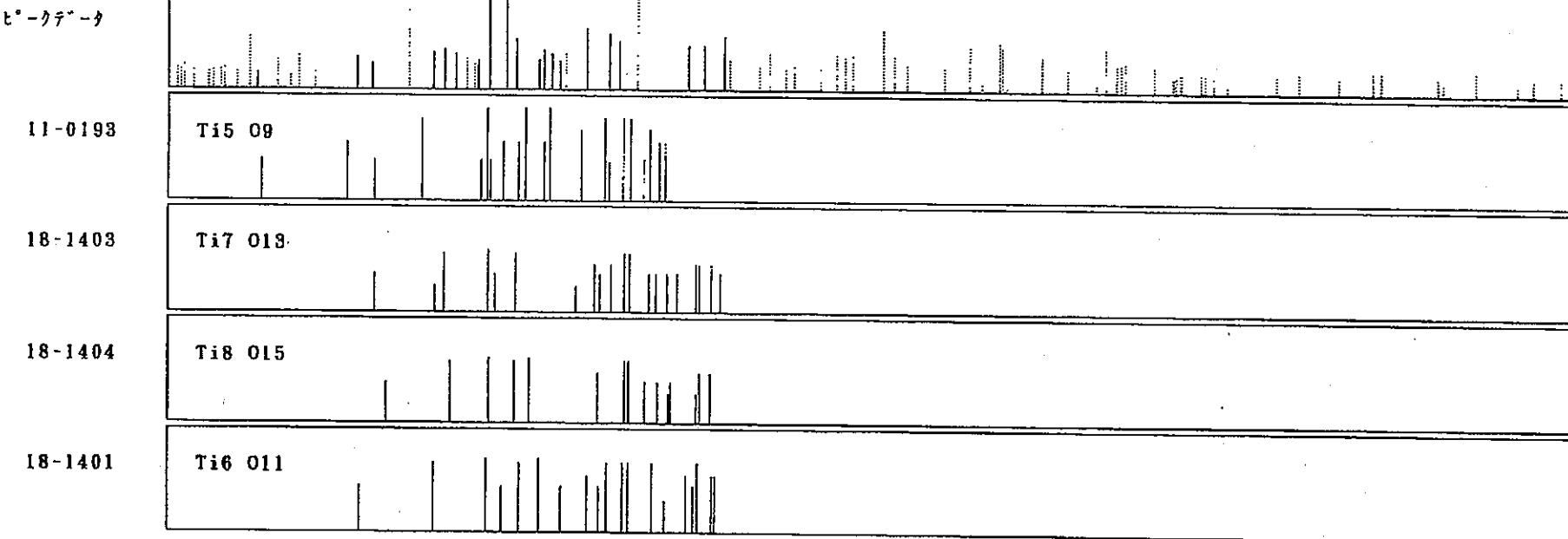
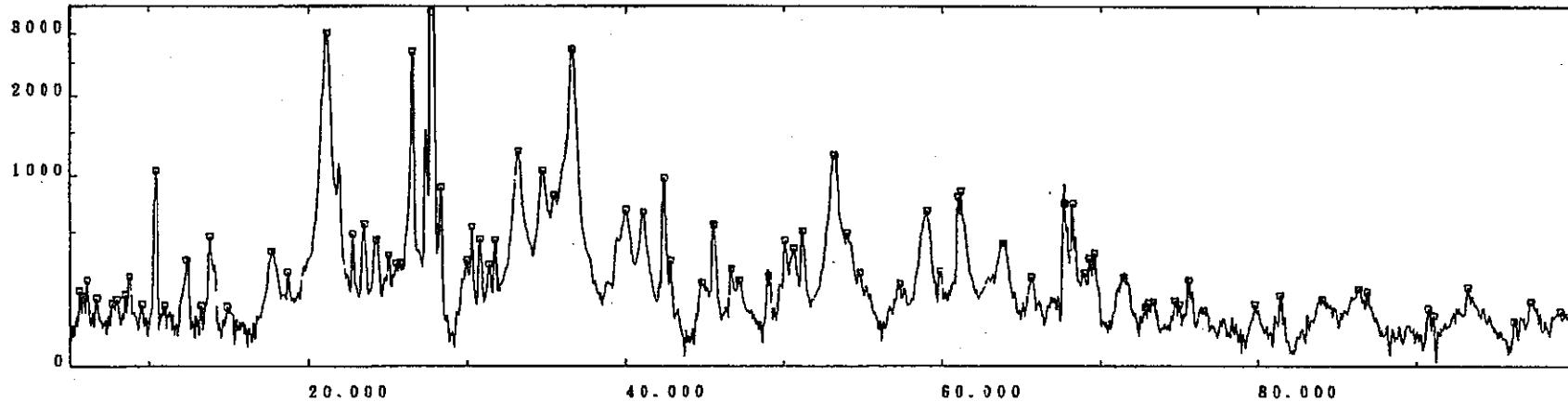


表18

二次検索

サンプル名 : 1-8 ファイル : BDA001.1122 測定日 : 08-Aug-99 10:31 測定者 : 横田
 コメント : 広角 XRD/xfs メモ :

強度 [cps]



—125—

ピーカデータ

11-0474

Ti10 019

18-1405

Ti9 017

ID:

TEL NO:

#001 P08

分析（2）

対象試料：

本文中の 試料番号	試料番号	備 考
No. 3	1-4a	表層
	1-4b	鉄質近傍
鉄滓(上新保)	1-2	素地
鉄滓(染地)	2-1	素地

1. 目的 : 考古学的金属製品の定性分析。
2. 試料 : 形状評価対象品／表面 ; 1-4 a
形状評価対象品／素地近傍 ; 1-4 c
鉄滓／素地 ; 1-2, 2-1
3. 装置 : リガク製 広角X線回折装置 RU-200
4. 測定条件

* X線源 : Cu	* 走査法 : 連続走査
* X線出力 : 50kV-150mA	* 走査範囲 : 5~100 deg
* 光学系 : モノクロメータ付集中ビーム	* 走査速度 : 4.0 deg/min
* 走査軸 : $\theta/2\theta$ 連動	* サンプリング : 0.05 deg/step
* スリット DS : 1.0 deg	
RS : 0.3 mm	
SS : 1.0 deg	

5. 結果

- (1) Fig. 1-4 ~ 1-4
; 先に示した条件下での測定により得られた回折プロファイルを示す。
- (2) Fig. 2-4 ~ 2-4
; 平滑化処理, バックグラウンド減算処理実行後の回折プロファイル および 各番号ピークのピークデータを示す。
- (3) Fig. 3-4 ~ 3-4
; 検出ピーク同定結果 および 同定された物質の標準ピークパターンを示す。
- (4) 表. 1
; 同定物質一覧を示す。
- (5) 表. 2, 3
; 同定物質メインピークの回折強度 および 強度比を示す。

6. 考察

各試料を上記条件下の広角X線回折装置にて測定し、得られたピークの回折角度と元素情報を基に、JCPDSデータ(X線回折標準データ集)による検索、照合を実行し、各回折ピークに該当する同定物質を選択した。その結果、検出された回折ピークには、表中に示すような物質が各々の試料において同定された。尚、表中の○印については、試料中に存在すると思われるものを示し、中でも◎印は該当ピークの検出強度が最も高いことから、主成分と思われるものを示す。また、△印については、該当ピークの検出状況が不明瞭なため信頼性に欠けるものを示す。その他、表. 2, 3に示す各同定物質毎のメインピーク回折強度とその強度比については、物質毎に検出感度が異なることに加えて結晶性や配向性等の影響も含まれることから、各々の値が直接定量値に結び付くものではない。

表.1 同定物質一覧

試料	SiO ₂	FeO(OH) (Goethite)	Fe ₃ O ₄	FeO	Fe ₂ SiO ₄	Na,Ca,Al,Si 複合酸化物
1-4a	◎	○				○
1-4b	○	○	◎			○
1-2		△	○	◎	○	
2-1			○	◎	○	

表.2 ピーク強度

試料	SiO ₂	FeO(OH) (Goethite)	Fe ₃ O ₄	FeO	Fe ₂ SiO ₄	Na,Ca,Al,Si 複合酸化物
1-4a	3981	3313				2525
1-4b	2625	1304	6485			1699
1-2			1942	14354	1913	
2-1			2696	16146	428	

表.3 ピーク強度比

試料	SiO ₂	FeO(OH) (Goethite)	Fe ₃ O ₄	FeO	Fe ₂ SiO ₄	Na,Ca,Al,Si 複合酸化物
1-4a	40	34				26
1-4b	22	11	53			14
1-2			11	79	10	
2-1			14	84	2	

生データ

サンプル名	: 1-4a	X線	: Cu K-ALPHA1 / 50 KV / 150 mA	カウンタ	: シンチレーションカウンタ
ファイル	: BDX001.1210	コニオメータ	: 広角コニオメータ		
コメント	: 広角XRD/xfs	アッチャメント	: 標準試料ホルダー		
測定日	: 11-Sep-99 14:51	フィルタ	: 使用しない	走査モード	: 連続
測定者	: 横田	インシデントモノクロ:		スキャンスピード	: 4.000 °/min.
		カウンタモノクロメータ: 溝曲結晶モノクロメータ		スキャンステップ	: 0.050 °
		発散スリット: "1deg."		走査軸	: 2θ / θ
		散乱スリット: "1deg."		走査範囲	: 5.000 ~ 100.000 °
		受光スリット: "0.3mm"		θオフセット	: 0.000 °
				固定角	: 0.000 °

メモ :

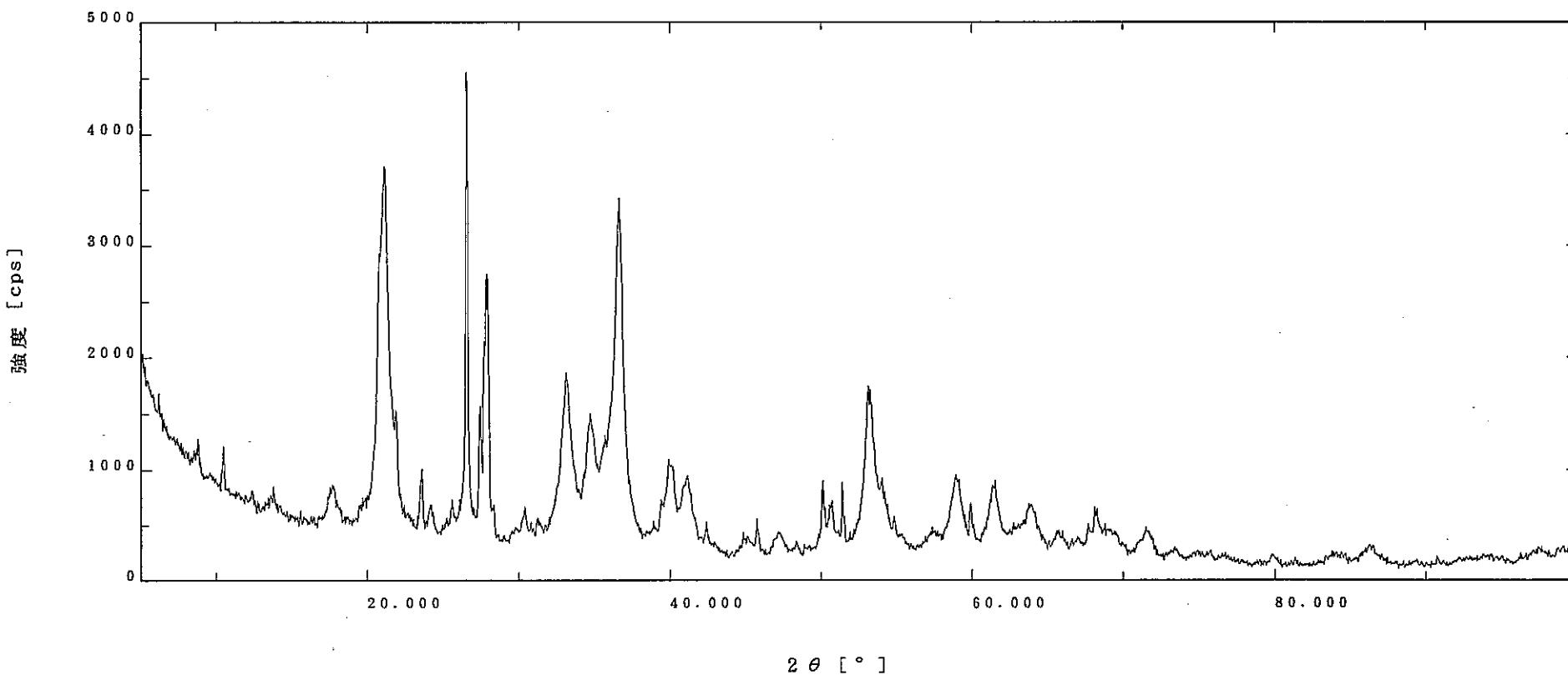


Fig 1-1

1999-Sep-13 13:57:49 Page-1

生データ

サンプル名	: 1-4c	X線	: Cu K-ALPHA1 / 50 kV / 150 mA	カウント	: シンチレーションカウンタ
ファイル	: BDX002.1211	コニオメータ	: 広角コニオメータ		
コメント	: 広角XRD/xfs	アタッチメント	: 標準試料ホルダー		
測定日	: 11-Sep-99 15:17	フィルタ	: 使用しない	走査モード	: 連続
測定者	: 横田	インシテシメントモノクロ:		スキャンスピード	: 4.000 °/min.
		カウントモノクロメータ	: 湾曲結晶モノクロメータ	スキャンステップ	: 0.050 °
		発散スリット	: "1deg."	走査軸	: 2θ / θ
		散乱スリット	: "1deg."	走査範囲	: 5.000 ~ 100.000 °
		受光スリット	: "0.3mm"	θオフセット	: 0.000 °
				固定角	: 0.000 °

メモ :

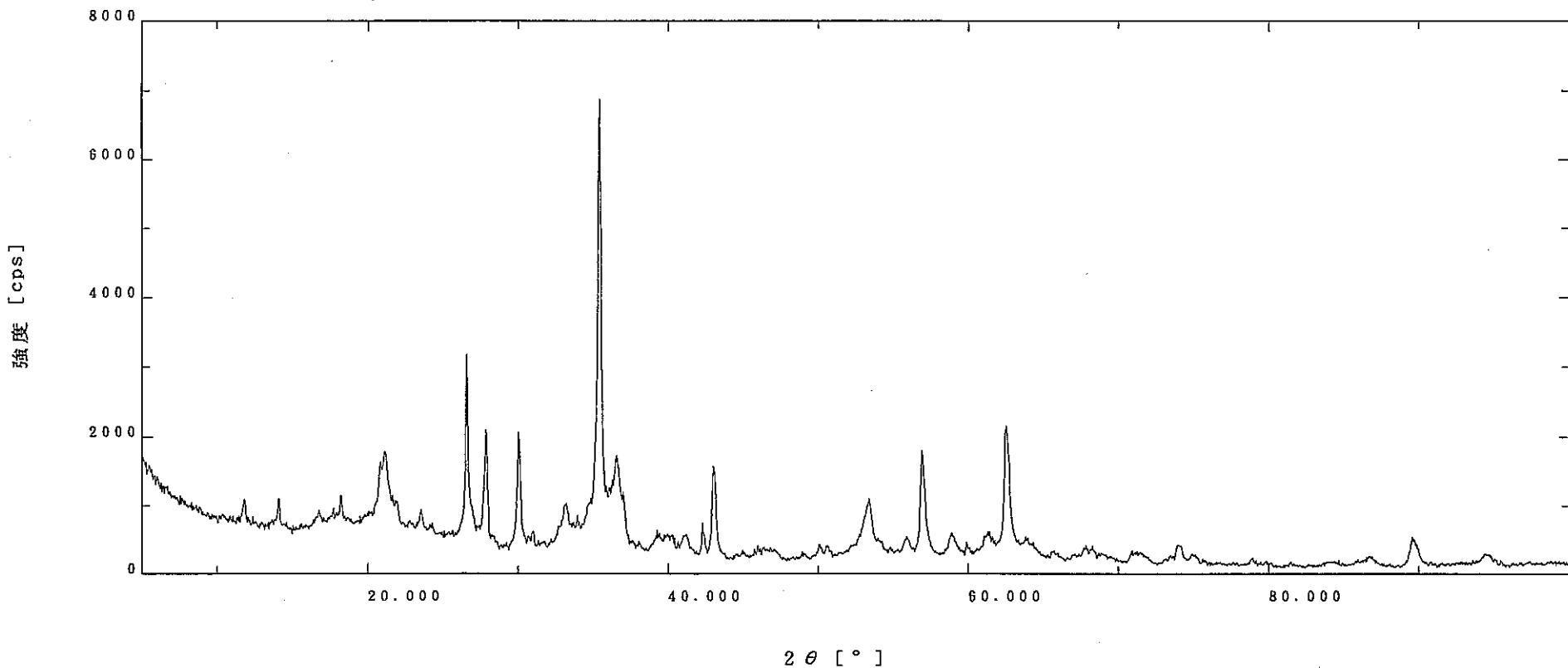


Fig 1-2

生データ

サンプル名	: 1-2	X線	: Cu K-ALPHA1 / 50 kV / 150 mA	カウンタ	: シンチレーションカウンタ
ファイル	: BDX003.1212	コニオメータ	: 広角コニオメータ		
コメント	: 広角 XRD/xfs	アタッチメント	: 標準試料ホルダー		
測定日	: 11-Sep-99 15:44	フィルタ	: 使用しない	走査モード	: 連続
測定者	: 横田	インシデントモノクロ:		スキャンスピード	: 4.000 °/min.
		カウンタモノクロメータ: 濃曲結晶モノクロメータ		スキャンステップ	: 0.050 °
		発散スリット: "1deg."		走査軸	: 2θ / θ
		散乱スリット: "1deg."		走査範囲	: 5.000 ~ 100.000 °
		受光スリット: "0.3mm"		θオフセット	: 0.000 °
メモ	:			固定角	: 0.000 °

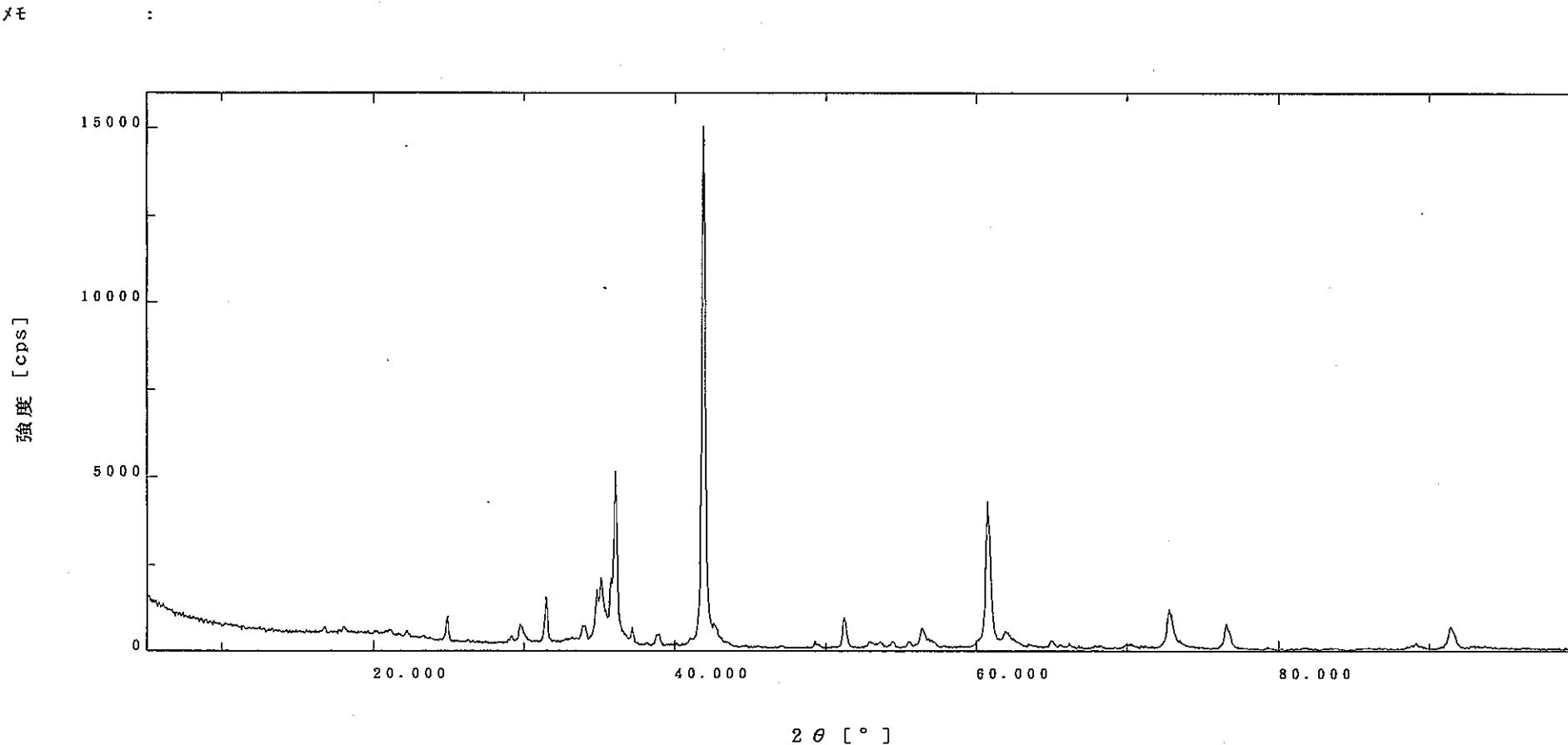


Fig 1-3

生データ

サンプル名	: 2-1	X線	: Cu K-ALPHA1 / 50 kV / 150 mA	カウント	: シンチレーションカウンタ
ファイル	: BDX004.1213	コニオメータ	: 広角コニオメータ		
コメント	: 広角XRD/xfs	アタッチメント	: 標準試料ホルダー		
測定日	: 11-Sep-99 16:11	フィルタ	: 使用しない	走査モード	: 連続
測定者	: 横田	インシテシットモノクロ:		スキャンスピード	: 4.000 °/min.
		カウンタモノクロメータ: 湾曲結晶モノクロメータ		スキャンステップ	: 0.050 °
		発散スリット: "1deg."		走査軸	: 2θ / θ
		散乱スリット: "1deg."		走査範囲	: 5.000 ~ 100.000 °
		受光スリット: "0.3mm"		θオフセット	: 0.000 °
メモ	:			固定角	: 0.000 °

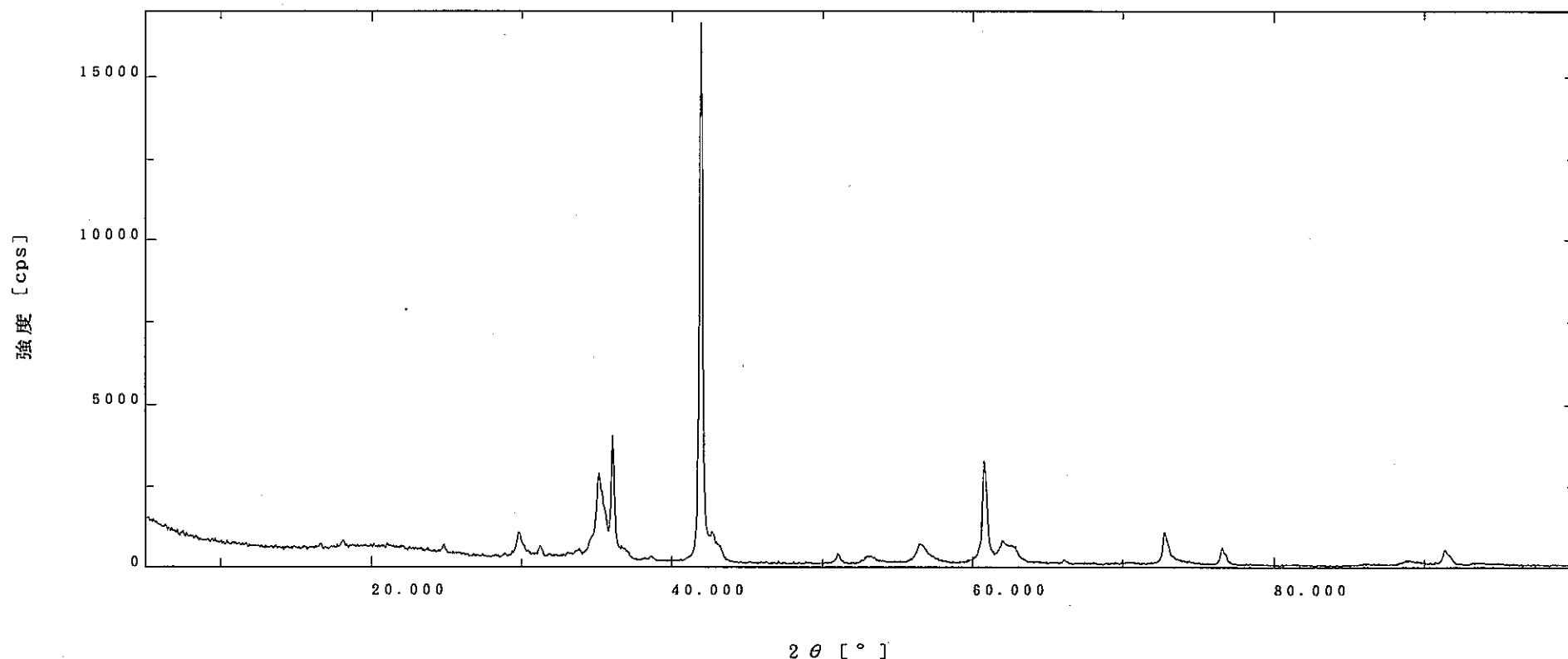
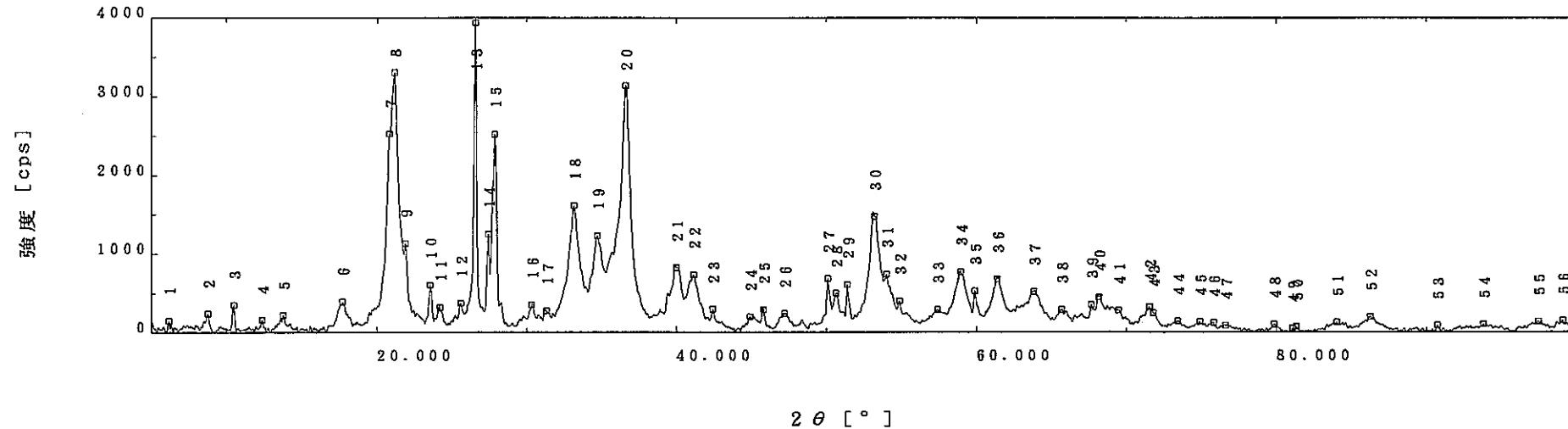


Fig 1-4

ピーカサーチ

サンプル名 : 1-4a [平滑化] 平滑化点数 : 5
 ファイル : BDX001.1210 [バックグラウント除去]
 コメント : 広角 XRD/xfs [K α 2 除去]
 測定日 : 11-Sep-99 14:51 [ピークサーチ] ピーク幅しきい値 : 0.50 ピーク強度しきい値 : 100.000
 測定者 : 横田
 メモ :



-881-

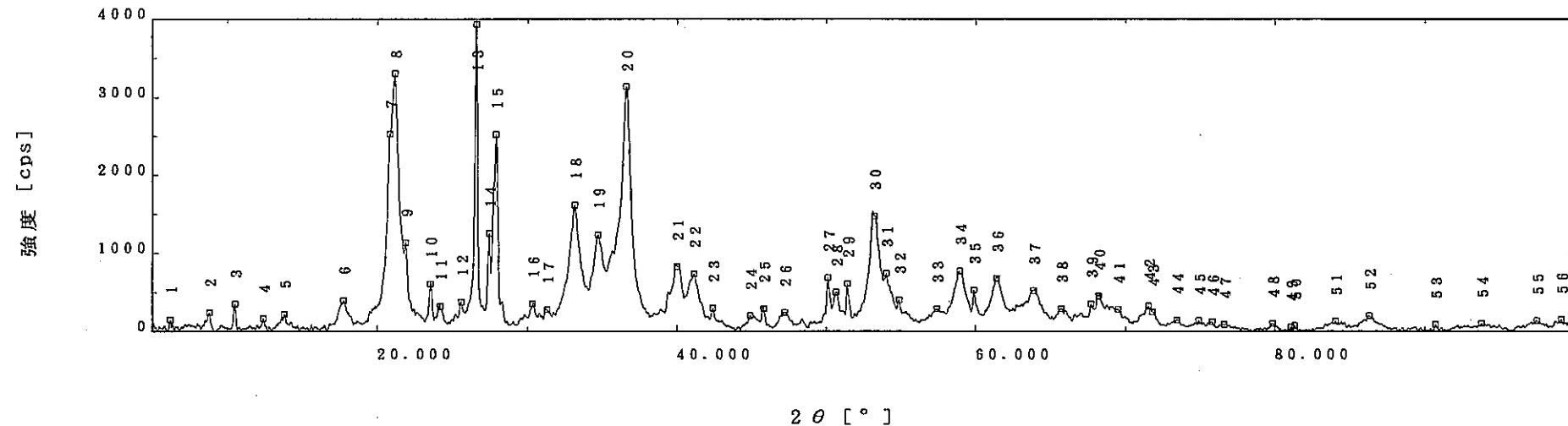
ピーカ番号	2θ	半価幅	d 値	強度	相対強度	ピーカ番号	2θ	半価幅	d 値	強度	相対強度
1	6.200	*****	14.2437	155	4	16	30.350	0.353	2.9426	355	10
2	8.800	0.353	10.0403	246	8	17	31.300	*****	2.8554	280	8
3	10.500	*****	8.4182	360	10	18	33.150	0.706	2.7002	1614	42
4	12.400	0.294	7.1323	170	6	19	34.700	0.529	2.5830	1234	32
5	13.800	*****	6.4117	225	6	20	36.600	0.471	2.4532	3145	80
6	17.750	*****	4.9928	397	10	21	40.000	0.588	2.2522	829	22
7	20.850	*****	4.2569	2533	64	22	41.150	0.706	2.1918	742	20
8	21.150	0.412	4.1972	3313	84	23	42.400	0.294	2.1301	300	8
9	21.900	*****	4.0551	1139	30	24	44.900	0.294	2.0171	207	6
10	23.550	0.294	3.7746	605	16	25	45.800	0.294	1.9795	297	8
11	24.200	0.412	3.6747	323	10	26	47.200	0.824	1.9240	250	8
12	25.600	0.294	3.4768	376	10	27	50.100	*****	1.8192	693	18
13	26.600	*****	3.3483	3981	100	28	50.650	0.353	1.8008	502	14
14	27.450	*****	3.2465	1253	32	29	51.400	*****	1.7762	614	16
15	27.900	*****	3.1952	2525	64	30	53.200	0.529	1.7203	1474	38

Fig 2-1

1999-Sep-13 14:06:09 Page-1

ピークサーチ

サンプル名 : 1-4a [平滑化] 平滑化点数 : 5
 ファイル : BDX001.1210 [バックグラウンド除去]
 コメント : 広角 XRD/xfs [K α 2除去]
 測定日 : 11-Sep-99 14:51 [ピークサーチ]
 測定者 : 横田 [ピーク幅しきい値 : 0.50]
 メモ : ピーク強度しきい値 : 100.000

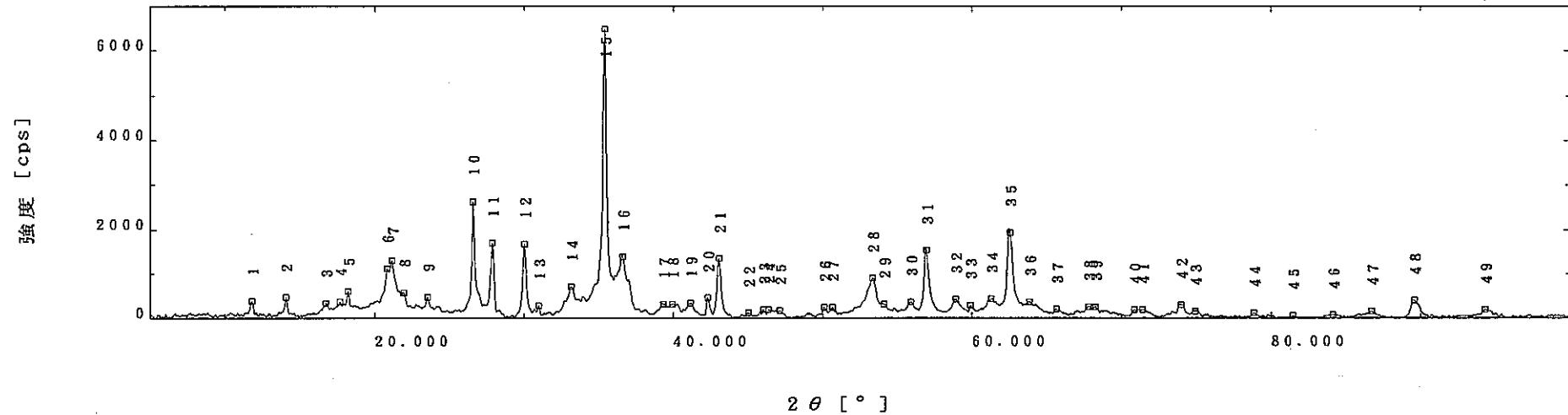


ピーク番号	2θ	半価幅	d 値	強度	相対強度	ピーク番号	2θ	半価幅	d 値	強度	相対強度
31	54.000	0.294	1.6967	746	20	46	75.800	*****	1.2539	127	4
32	54.850	0.294	1.6724	406	12	47	76.600	*****	1.2428	96	4
33	57.400	0.412	1.6040	295	8	48	79.850	*****	1.2002	108	4
34	58.950	0.588	1.5655	773	20	49	81.100	*****	1.1848	58	2
35	59.900	0.294	1.5429	581	14	50	81.350	*****	1.1818	78	2
36	61.400	0.529	1.5087	687	18	51	84.050	*****	1.1506	135	4
37	63.850	0.647	1.4566	523	14	52	86.300	0.588	1.1263	205	6
38	65.700	*****	1.4200	298	8	53	90.750	*****	1.0823	92	4
39	67.700	0.294	1.3829	355	10	54	93.800	*****	1.0549	106	4
40	68.200	0.412	1.3739	458	12	55	97.500	0.353	1.0245	142	4
41	69.500	0.294	1.3514	285	8	56	99.100	*****	1.0122	154	4
42	71.550	0.412	1.3176	328	10						
43	71.800	0.294	1.3136	251	8						
44	73.450	*****	1.2881	151	4						
45	74.900	*****	1.2668	141	4						

Fig 2-1'

ヒークサーチ

サンプル名 : 1-4c [平滑化] 平滑化点数 : 5
 ファイル : BDX002.1211 [ハックグラウンド除去]
 コメント : 広角 XRD/xfs [K α 2 除去]
 測定日 : 11-Sep-99 15:17 [ピークサーチ] ピーク幅しきい値 : 0.50 ピーク強度しきい値 : 100.000
 測定者 : 横田
 メモ :

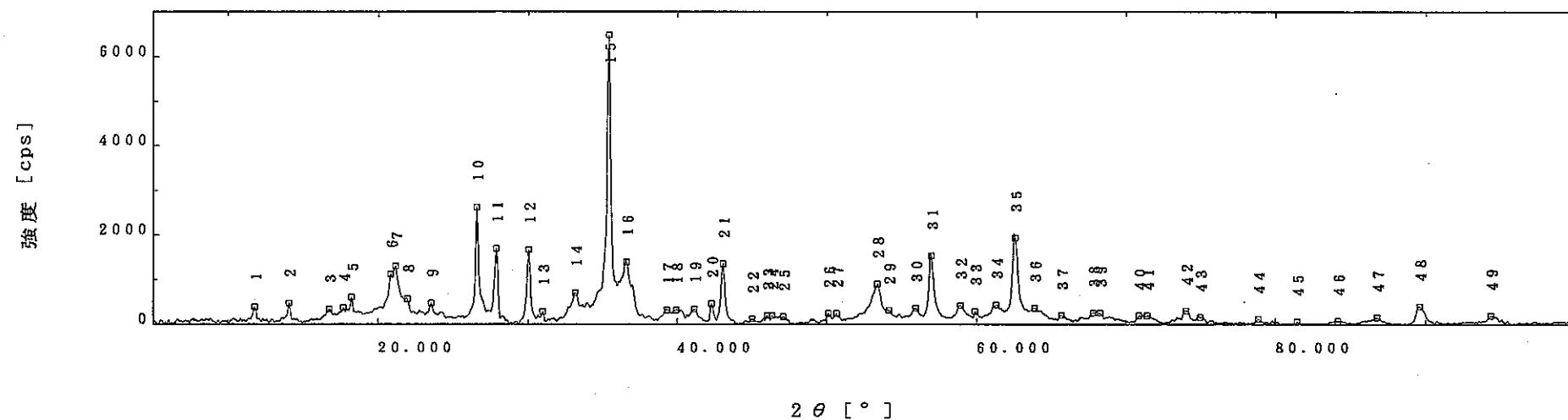


ヒーク番号	2θ	半価幅	d 値	強度	相対強度	ヒーク番号	2θ	半価幅	d 値	強度	相対強度
1	11.800	0.294	7.4935	401	8	16	36.600	0.353	2.4532	1394	22
2	14.100	0.294	6.2759	482	8	17	39.300	0.412	2.2906	319	6
3	16.750	0.353	5.2885	342	6	18	39.900	0.294	2.2576	328	6
4	17.700	0.353	5.0068	378	6	19	41.150	0.471	2.1918	341	6
5	18.250	0.294	4.8571	608	10	20	42.800	0.294	2.1349	473	8
6	20.850	****	4.2569	1125	18	21	43.050	0.353	2.0994	1351	22
7	21.150	0.353	4.1972	1304	22	22	45.000	****	2.0128	123	2
8	21.950	0.294	4.0460	575	10	23	46.000	****	1.9714	204	4
9	23.550	0.294	3.7746	479	8	24	46.350	****	1.9573	201	4
10	26.600	0.294	3.3483	2625	42	25	47.100	****	1.9279	174	4
11	27.900	0.353	3.1952	1699	28	26	50.100	****	1.8192	255	4
12	30.050	0.294	2.9713	1676	26	27	50.650	****	1.8008	244	4
13	31.000	****	2.8824	287	6	28	53.350	0.706	1.7158	903	14
14	33.150	0.412	2.7002	710	12	29	54.100	0.412	1.6938	322	6
15	35.400	0.294	2.5385	6485	100	30	55.900	0.471	1.6434	369	6

Fig 2-2

ピークサーチ

サンプル名 : 1-4c [平滑化] 平滑化点数 : 5
 ファイル : BDX002.1211 [バックグラウント除去]
 コメント : 広角 XRD/xfs [K α 2 除去]
 測定日 : 11-Sep-99 15:17 [ピークサーチ] ピーク幅しきい値 : 0.50 ピーク強度しきい値 : 100.000
 測定者 : 横田
 メモ :



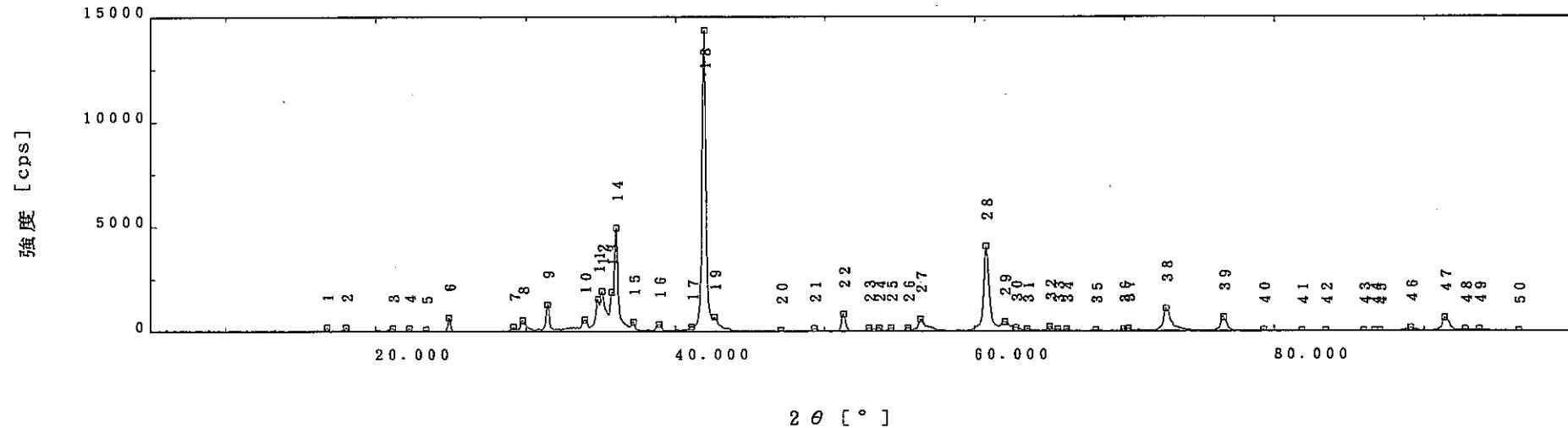
ピーカ番号	2θ	半価幅	d 値	強度	相対強度
31	56.950	0.353	1.6156	1536	24
32	58.900	0.471	1.5667	437	8
33	59.900	*****	1.5429	295	6
34	61.300	0.529	1.5110	440	8
35	62.550	0.412	1.4837	1943	30
36	63.850	0.294	1.4566	374	6
37	65.650	*****	1.4210	207	4
38	67.800	0.353	1.3811	265	6
39	68.250	0.353	1.3730	262	6
40	70.850	0.353	1.3289	200	4
41	71.400	*****	1.3200	206	4
42	74.000	0.471	1.2799	314	6
43	74.950	0.647	1.2660	168	4
44	78.850	*****	1.2129	126	2
45	81.450	*****	1.1806	73	2

ピーカ番号	2θ	半価幅	d 値	強度	相対強度
46	84.150	*****	1.1495	75	2
47	86.750	0.471	1.1216	162	4
48	89.600	0.706	1.0932	407	8
49	94.350	0.412	1.0502	197	4

Fig 2-2'

ヒークサーチ

サンプル名 : 1-2 [平滑化] 平滑化点数 : 5
 ファイル : BDX003.1212 [バックグラウンド除去]
 コメント : 広角 XRD/xfs [K α 2 除去]
 測定日 : 11-Sep-99 15:44 [ピークサーチ] ピーク幅しきい値 : 0.50 ピーク強度しきい値 : 100.000
 測定者 : 横田
 メモ :



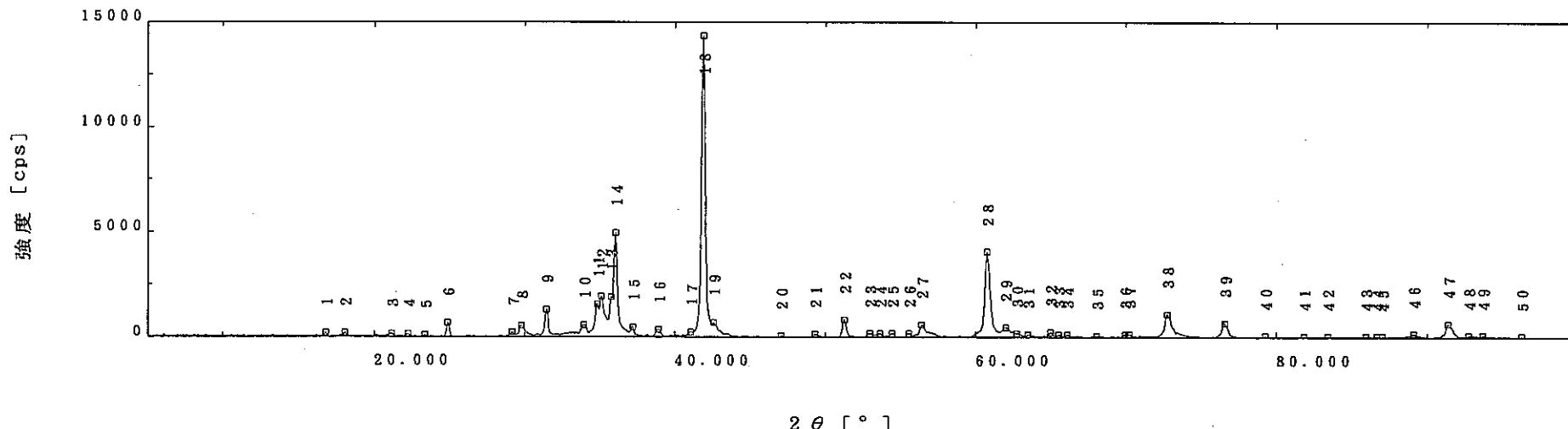
ヒーク番号	2θ	半価幅	d 値	強度	相対強度	ヒーク番号	2θ	半価幅	d 値	強度	相対強度
1	16.800	0.294	5.2729	211	2	16	38.900	0.412	2.3133	375	4
2	18.050	*****	4.9105	226	2	17	41.050	0.294	2.1969	259	2
3	21.150	0.353	4.1972	159	2	18	41.900	0.353	2.1543	14354	100
4	22.250	0.294	3.9921	178	2	19	42.600	*****	2.1205	706	6
5	23.350	*****	3.8065	108	2	20	47.050	*****	1.9298	84	2
6	24.900	0.294	3.5729	702	6	21	49.300	*****	1.8469	176	2
7	29.200	*****	3.0558	254	2	22	51.250	0.353	1.7811	852	6
8	29.800	0.412	2.9957	571	4	23	52.950	0.412	1.7278	196	2
9	31.450	0.353	2.8422	1321	10	24	53.650	0.353	1.7069	191	2
10	33.950	0.412	2.6384	587	6	25	54.450	0.353	1.6837	201	2
11	34.850	0.294	2.5723	1573	12	26	55.550	0.353	1.6530	206	2
12	35.100	*****	2.5545	1942	14	27	56.400	0.353	1.6300	603	6
13	35.750	*****	2.5095	1913	14	28	60.750	0.353	1.5233	4079	30
14	36.050	0.294	2.4893	4970	36	29	62.000	0.529	1.4956	481	4
15	37.200	0.294	2.4150	482	4	30	62.750	0.294	1.4795	204	2

Fig 2-3

1999-Sep-13 15:04:33 Page-1

ピークサーチ

サンプル名 : 1-2 [平滑化] 平滑化点数 : 5
 ファイル : BDX003.1212 [ハックグラウンド除去]
 コメント : 広角 XRD/xfs [$K\alpha$ 2 除去]
 測定日 : 11-Sep-99 15:44 [ピークサーチ] ピーク幅しきい値 : 0.50 ピーク強度しきい値 : 100.000
 測定者 : 横田
 メモ :



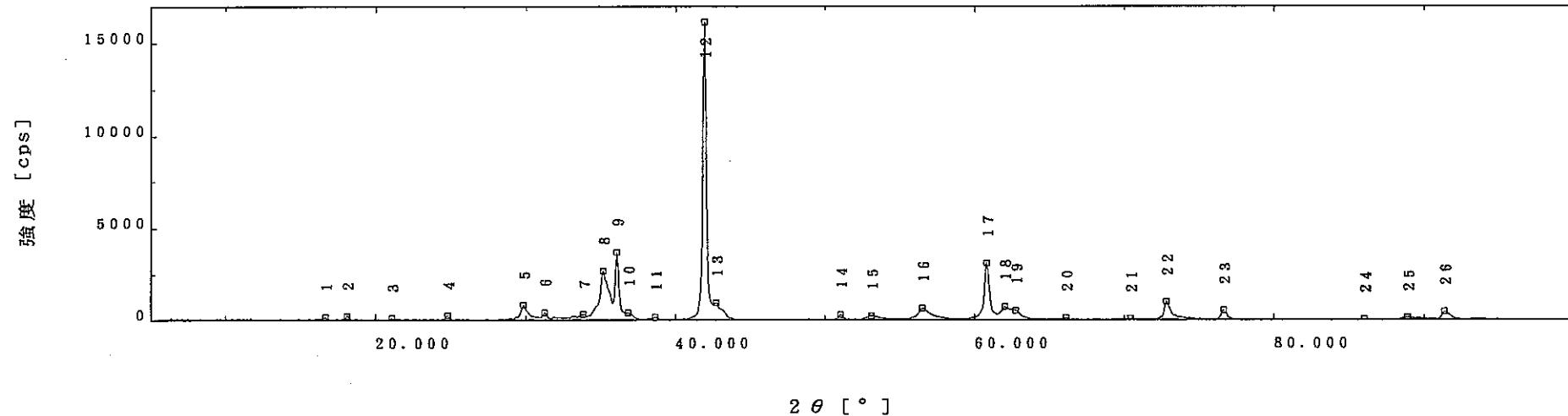
ピーク番号	2θ	半価幅	d 値	強度	相対強度	ピーク番号	2θ	半価幅	d 値	強度	相対強度
31	63.500	*****	1.4638	137	2	46	89.100	*****	1.0980	191	2
32	65.000	0.353	1.4336	249	2	47	91.400	0.588	1.0763	655	6
33	65.550	*****	1.4229	133	2	48	92.750	*****	1.0641	113	2
34	66.150	*****	1.4115	147	2	49	93.700	*****	1.0558	110	2
35	68.100	*****	1.3757	103	2	50	96.300	*****	1.0341	63	2
36	69.950	*****	1.3438	154	2						
37	70.250	0.294	1.3388	158	2						
38	72.800	0.471	1.2980	1105	8						
39	76.600	0.471	1.2428	701	6						
40	79.300	*****	1.2072	80	2						
41	81.850	*****	1.1759	73	2						
42	83.450	*****	1.1573	59	2						
43	85.950	*****	1.1300	55	2						
44	86.700	*****	1.1221	54	2						
45	87.050	*****	1.1185	53	2						

Fig 2-3'

1999-Sep-13 15:04:34 Page-2

ヒークサーチ

サンプル名 : 2-1 [平滑化] 平滑化点数 : 5
 ファイル : BDX004.1213 [バックグラウンド除去]
 コメント : 広角 XRD/xfs [K α 2 除去]
 測定日 : 11-Sep-99 16:11 [ピークサーチ] ピーク幅しきい値 : 0.50 ピーク強度しきい値 : 100.000
 測定者 : 横田
 メモ :



ヒーク番号	2θ	半価幅	d 値	強度	相対強度	ヒーク番号	2θ	半価幅	d 値	強度	相対強度
1	16.650	*****	5.3201	193	2	16	56.500	0.706	1.6274	655	6
2	18.100	0.353	4.8970	239	2	17	60.800	0.412	1.5222	3111	20
3	21.100	*****	4.2070	126	2	18	62.000	0.412	1.4956	750	6
4	24.800	0.353	3.5871	285	2	19	62.750	0.588	1.4795	538	4
5	29.850	0.412	2.9908	849	6	20	66.100	*****	1.4124	159	2
6	31.250	0.353	2.8599	428	4	21	70.400	*****	1.3363	104	2
7	33.800	0.529	2.6497	333	4	22	72.800	0.471	1.2980	1019	8
8	35.150	0.412	2.5510	2696	18	23	76.600	0.529	1.2428	538	4
9	36.050	0.353	2.4893	3707	24	24	86.000	*****	1.1294	69	2
10	36.800	0.588	2.4403	420	4	25	88.900	0.647	1.1000	168	2
11	38.600	*****	2.3306	184	2	26	91.350	0.353	1.0767	492	4
12	41.900	0.294	2.1543	16146	100						
13	42.700	0.294	2.1158	973	8						
14	51.050	0.294	1.7876	320	2						
15	53.100	0.882	1.7233	240	2						

Fig 2-4

1999-Sep-13 16:38:06 Page-1

二次検索

サンプル名 : 1-4a ファイル : BDX001.1210 測定日 : 11-Sep-99 14:51 測定者 : 横田
 コメント : 広角 XRD/xfs メモ :

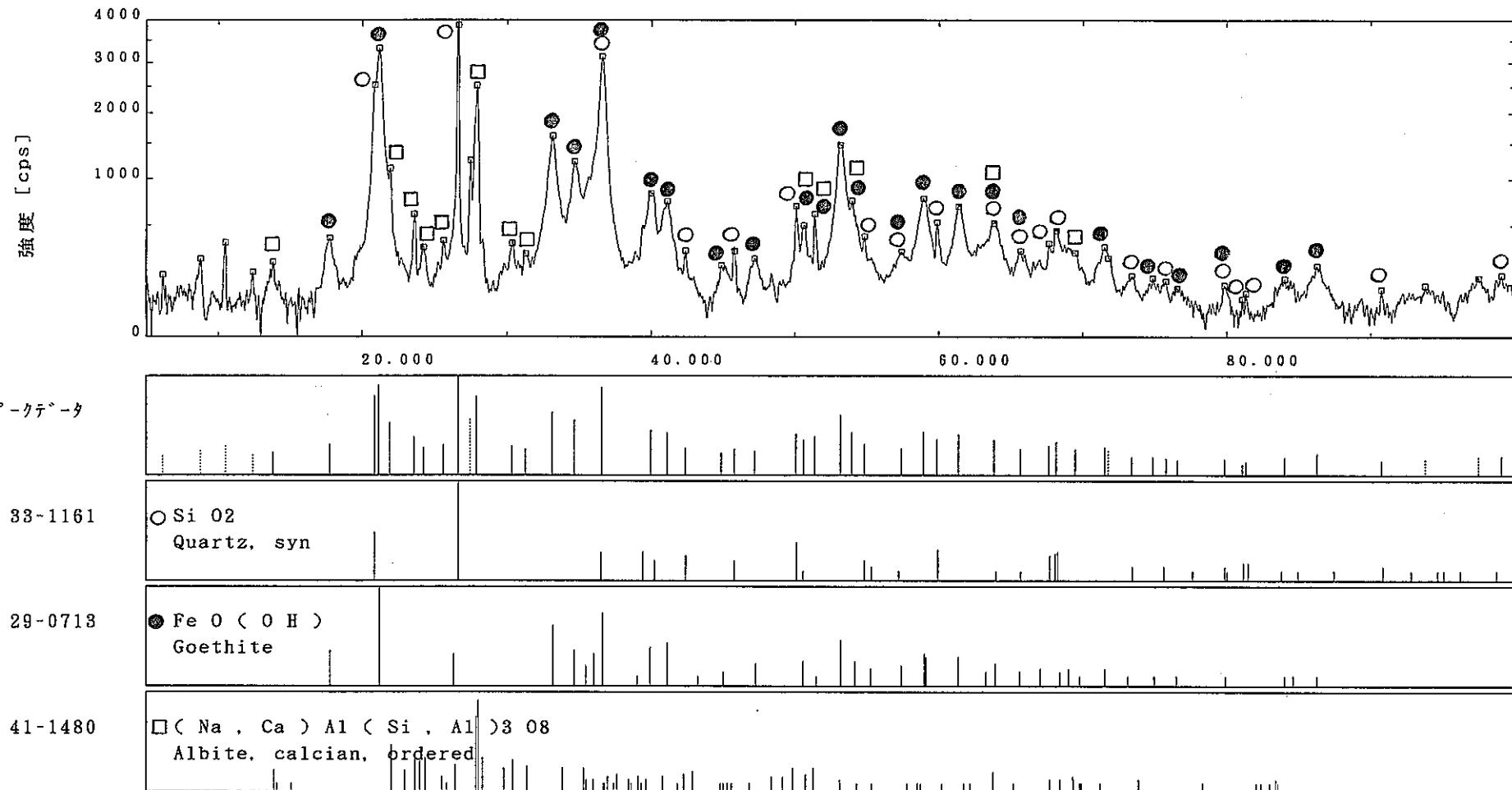
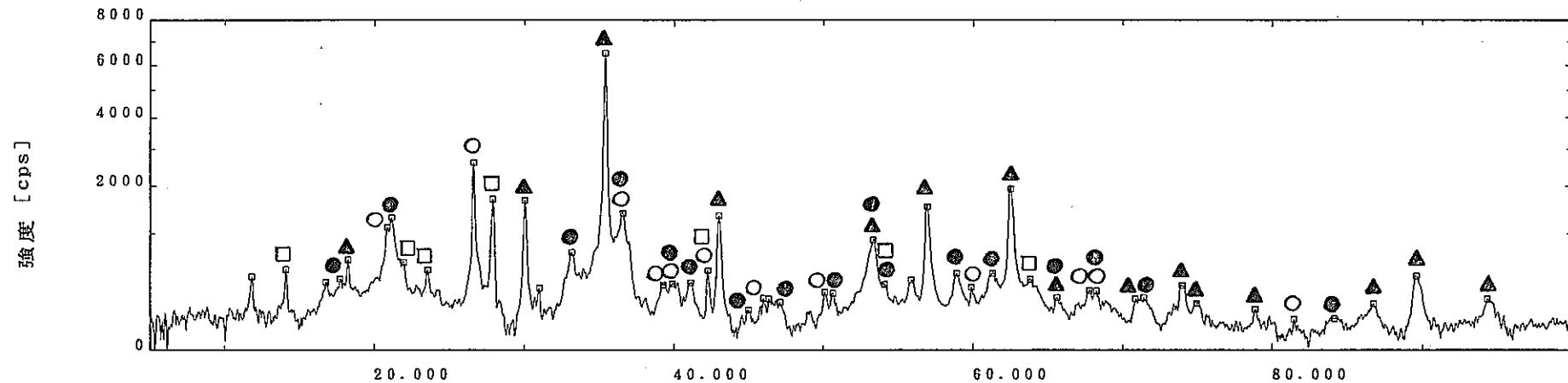


Fig 3-1

1999-Sep-13 14:21:51 Page-1

二次検索

サンプル名 : 1-4c ファイル : BDX002.1211 測定日 : 11-Sep-99 15:17 測定者 : 横田
 コメント : 広角 XRD/xfs メモ :



ピーカデータ

19-0629

▲ Fe Fe₂O₄
Magnetite, syn

*

33-1161

○ Si O₂
Quartz, syn

*

29-0713

● FeO(OH)
Goethite

I

41-1480

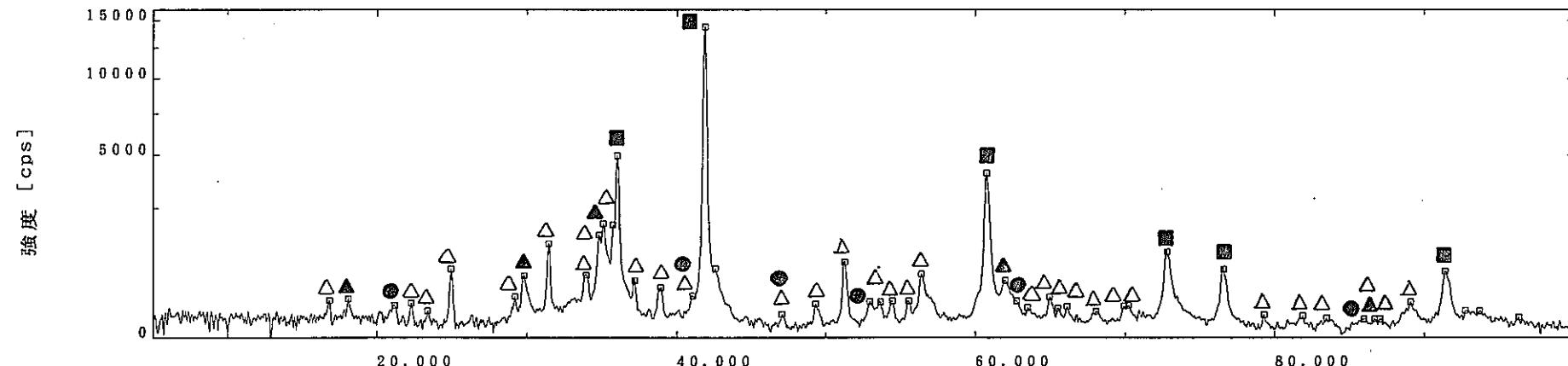
□ (Na, Ca)Al(Si, Al)O₈
Albite, calcian, ordered

I

Fig.3-2

二次検索

サンプル名 : 1-2 ファイル : BDX003.1212 測定日 : 11-Sep-99 15:44 測定者 : 横田
 コメント : 広角 XRD/xfs メモ :



-142-

ヒークデータ

06-0615

■ Fe O
Wüstite, syn

I

19-0629

▲ Fe Fe₂O₄
Magnetite, syn

*

34-0178

△ Fe₂SiO₄
Fayalite, syn

*

29-0713

● Fe O (OH)
Goethite

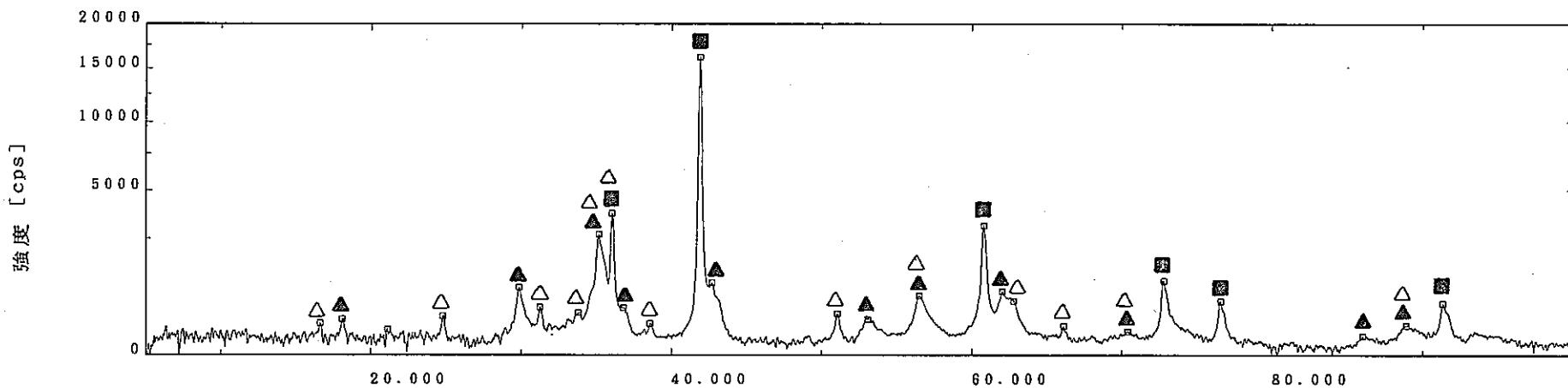
I

Fig.3-3

1999-Sep-14 15:29:49 Page-1

二次検索

サンプル名 : 2-1 ファイル : BDX004.1213 測定日 : 11-Sep-99 16:11 測定者 : 横田
 コメント : 広角 XRD/xfs メモ :



ヒークデータ

19-0629

▲ Fe Fe₂O₄
Magnetite, syn

*

06-0615

■ FeO
Wüstite, syn

I

34-0178

△ Fe₂SiO₄
Fayalite, syn

*

Fig.3-4

1999-Sep-14 15:18:41 Page-1

8.3.4 蛍光X線分析結果

以降に、本研究で実施した考古学遺物の蛍光X線分析の全データを示す。

分析(1)

対象試料：

本文中の 試料番号	試料番号	備 考
No. 7	1-8	
No. 14	1-15	
鉄滓 (上新保)	1-2a	表層
	1-2b	素地
鉄滓 (染地)	2-1a	表層
	2-1b	素地

1. 分析目的：定性分析（組成分析）

2. 分析試料：出土品：6件

3. 分析機器：理学電機 螢光X線分析装置 Sys 3270 E

4. 測定条件

X 線 管：端窓型 R h ターゲット 波高分析条件：微分法
印加電圧 電流：50 kV - 50 mA スリット条件：コース（粗）スリット
X 線 通 路：真空 分析径：20 mm 径
(視野制限スリット)

元 素	軽元素(F ~ Ca)	重元素(Ti ~ U)
分光結晶	TAP PET	LiF
検出器	F-PC	SC
走査範囲	42 ~ 146°	5 ~ 90°
走査ステップ	0.05°	0.05°
計測時間	0.4 sec	0.2 sec

5. 結果および考察

(1) 前記の条件で測定した螢光X線スペクトルのうち、軽元素類(A1~Ca)のスペクトルを図1-1~6に、軽元素(Na)のスペクトルを図2-1に、軽元素(Mg)のスペクトルを図3-1~6に、重元素類(Ti~U)のスペクトルを図4-1~6に示した。

各スペクトルの横軸は、分光結晶とX線との為す入射角(θ)の2倍(2 θ)を示し、縦軸は強度を示している。

各ピークの横軸の位置から帰属できる元素の種類と、螢光X線の種類をピークの頭に示した。

(2) 図1~4におけるピーク強度と帰属結果をまとめて表1~6に示した。

検出された元素のうち、R h は螢光X線装置自体から検出されたものである。

(3) 表7は検出元素と比率(Ratio:存在比)を示したもので、比率は表7の下式より算出した値である。比率を計算するための感度係数(Master Sensitivity)は、共存元素の影響、ピークの重なり等を考慮しない、生の強度比から求めめておいたものである。従って、そこから求めた比率(存在比)は、本螢光X線装置で検出された元素間の割合値を示したものである。

(4) 検出元素、比率は図表に示したとおりである。

以上

表7. Detected Element and Intensity

	No.1-8	No.1-15	No.1-2a	No.1-2a	No.2-1a	1-2b	2-1b		
	Peak I. Ratio								
Mg	0.037	0.0018	0.018	0.0007	0.033	0.0016	0.062	0.0022	
Na	0.010	0.0013							
Al	1.719	0.0184	0.859	0.0079	1.265	0.0140	3.906	0.0312	
Si	7.521	0.0698	4.617	0.0369	4.843	0.0465	6.410	0.0444	
P	0.214	0.0023	0.067	0.0006	0.632	0.0070	0.382	0.0031	
S	0.230	0.0009	0.085	0.0003	0.082	0.0003	0.106	0.0003	
K	2.214	0.0176	1.182	0.0081	1.419	0.0117	0.835	0.0050	
Ca	3.072	0.0146	1.580	0.0064	2.929	0.0143	3.931	0.0139	
Ti	0.241	0.0093	0.104	0.0034	0.792	0.0315	8.571	0.2458	
V					0.152	0.0027	1.510	0.0193	
Cr					0.082	0.0008		0.354	0.0025
Mn	0.285	0.0017	0.100	0.0005	0.551	0.0034	0.372	0.0017	
Fe	314.060	0.8613	395.910	0.9350	304.957	0.8646	308.467	0.6315	
Ni							0.082	0.0001	
Cu							0.085	0.0001	
Sr	0.600	0.0003			0.441	0.0002			
Zr	0.431	0.0008			0.747	0.0014	1.036	0.0014	
(Ratio) =									
							SUM (Relative Int.)		
								(Relative Int.)	
								SUM (Relative Int.)	

(Relative Int.) = (Peak Int.)_i / (Master Sensitivity)_i

表1. スペクトルピークの強度と帰属

** 同定解析結果 **

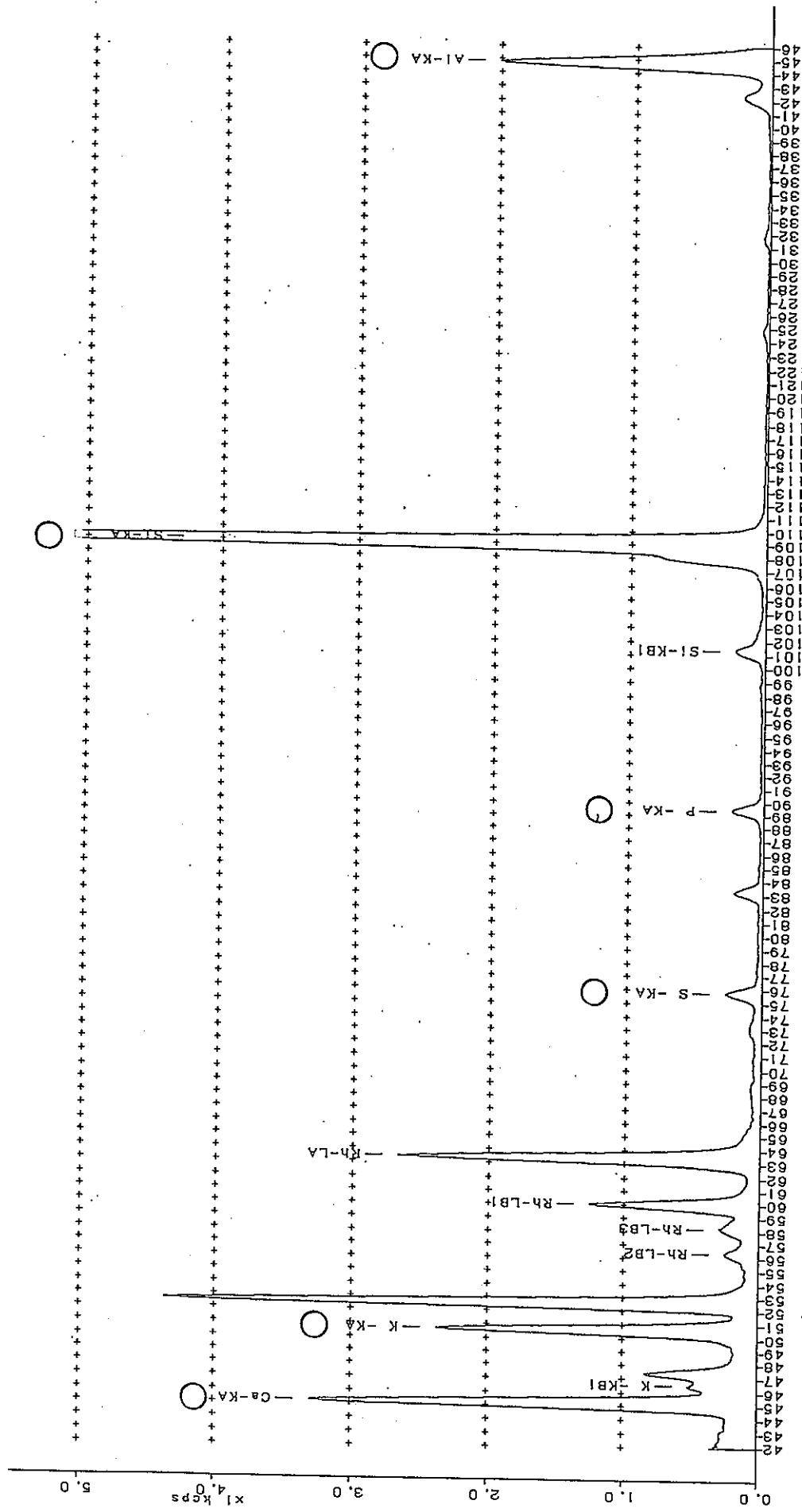
サンプル名: No. 1-8

T# ショットコート 試料名 B#
 1 STP GP31 No.1-8 37

元素コード	No.	ピーク角度(deg)	X線強度(kcps)	スペクトル
Hv01 (重元素類)	1	15.61	2.652	Rh-KB1
	2	16.46	4.468	Rh-KB1 -COMPTON
	3	17.58	13.366	Rh-KA
	4	18.46	13.340	Rh-KA -COMPTON
	5	22.51	0.431	Zr-KA
	6	25.15	0.600	Sr-KA
	7	51.78	57.408	Fe-KB1
	8	57.53	314.060	Fe-KA
	9	62.98	0.285	Mn-KA
	10	86.15	0.241	Ti-KA -*
Lt01 (軽元素類)	1	45.17	3.072	○ Ca-KA
	2	46.48	0.306	K -KB1
	3	47.36	0.639	
	4	50.66	2.214	○ K -KA
	5	52.57	4.245	
	6	56.36	0.160	Rh-LB2
	7	58.22	0.202	Rh-LB3
	8	60.02	1.164	Rh-LB1
	9	63.41	2.556	Rh-LA
	10	72.96	0.039	
	11	75.75	0.230	○ S -KA
	12	83.27	0.186	
	13	89.42	0.214	○ P -KA
	14	101.32	0.196	Si-KB1
	15	109.06	7.521	○ Si-KA
	16	124.80	0.035	
	17	131.70	0.028	
	18	142.27	0.144	
	19	144.79	1.719	○ Al-KA
Na01	1	55.20	0.010	○ Na-Ka
Mg01	1	45.28	0.037	○ Mg-Ka

但し、○印：試料からの検出元素
 その他：装置自体からの検出元素

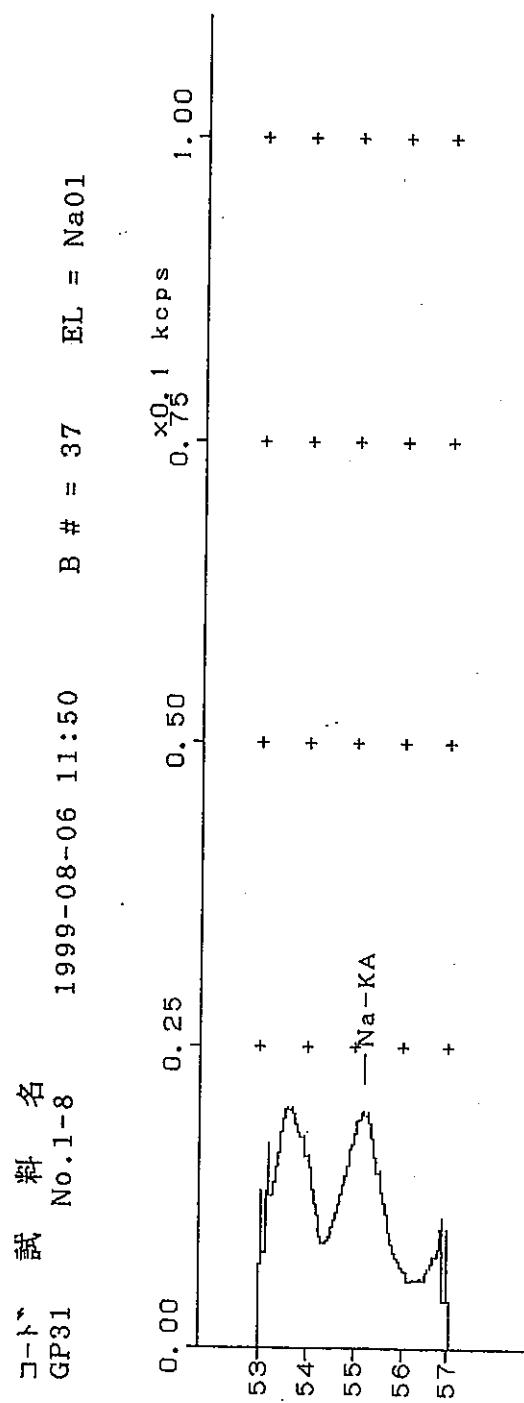
サンプル名：No. 1-8



ピーク角度 (deg)

図1-1. 軽元素類 (Al~Ca) の当光X線スペクトル (O印: 試料からの検出元素、その他: 装置からの検出元素)

サンプル名：No. 1 - 8



ピーク角度 (deg)

図 2-1. 軽元素 (Na) の蛍光X線スペクトル
-149-

コート 試 料 名
GP31 No.1-8 1999-08-06 11:50
B # = 37 EL = Mg01

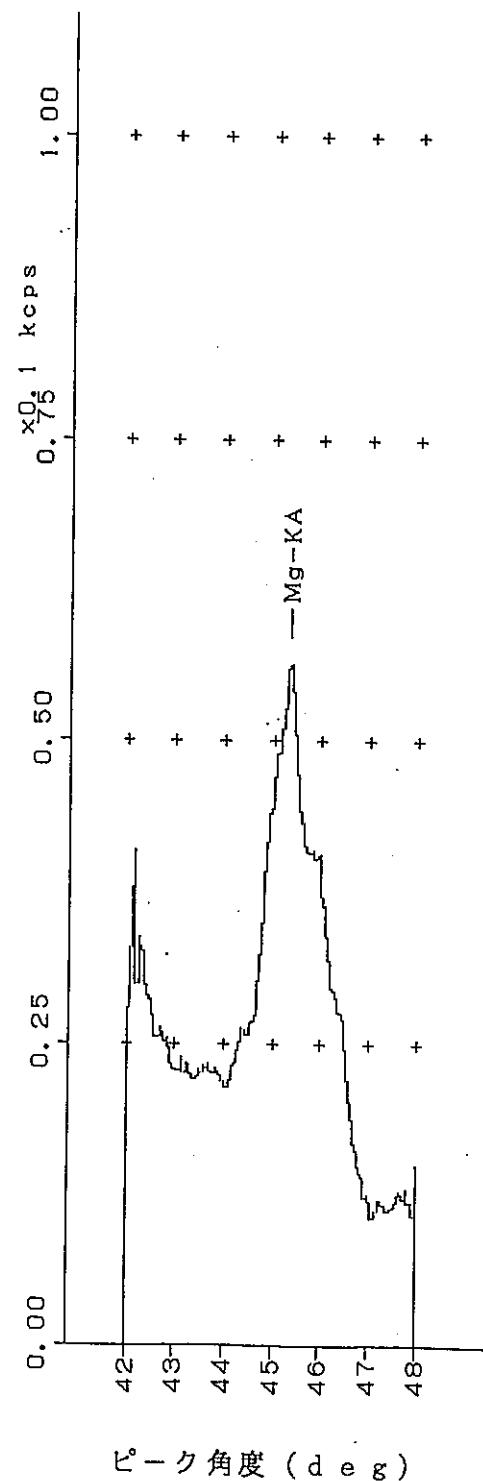


図 3 - 1. 軽元素 (Mg) の蛍光X線スペクトル

サンプル名：No. 1 — 8

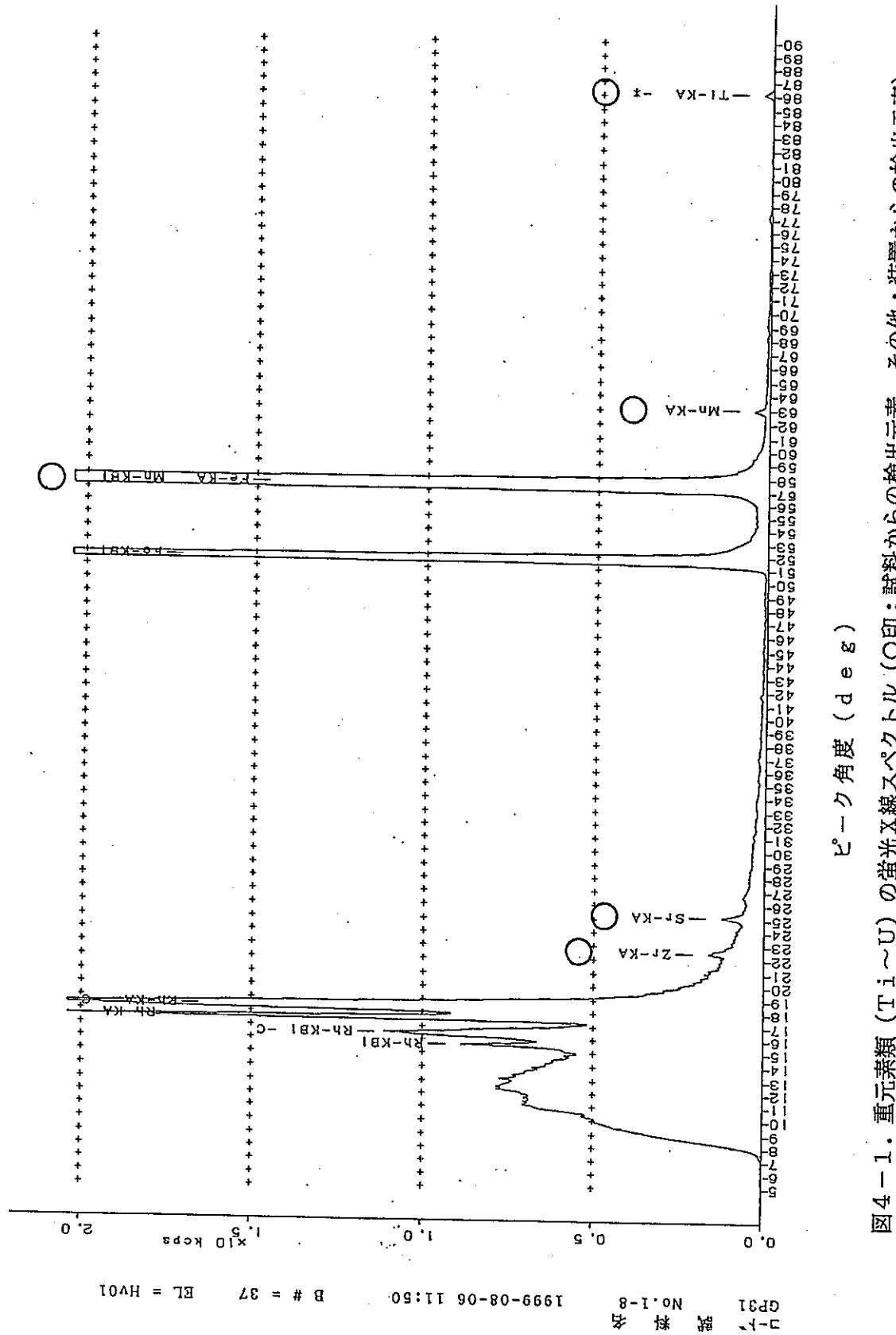


図4-1. 重元素類 (Ti-U) の蛍光X線スペクトル (○印: 試料からの検出元素、その他: 装置からの検出元素)

*** 分析 ***

表2. スペクトルピークの強度と帰属

** 同定解析結果 **

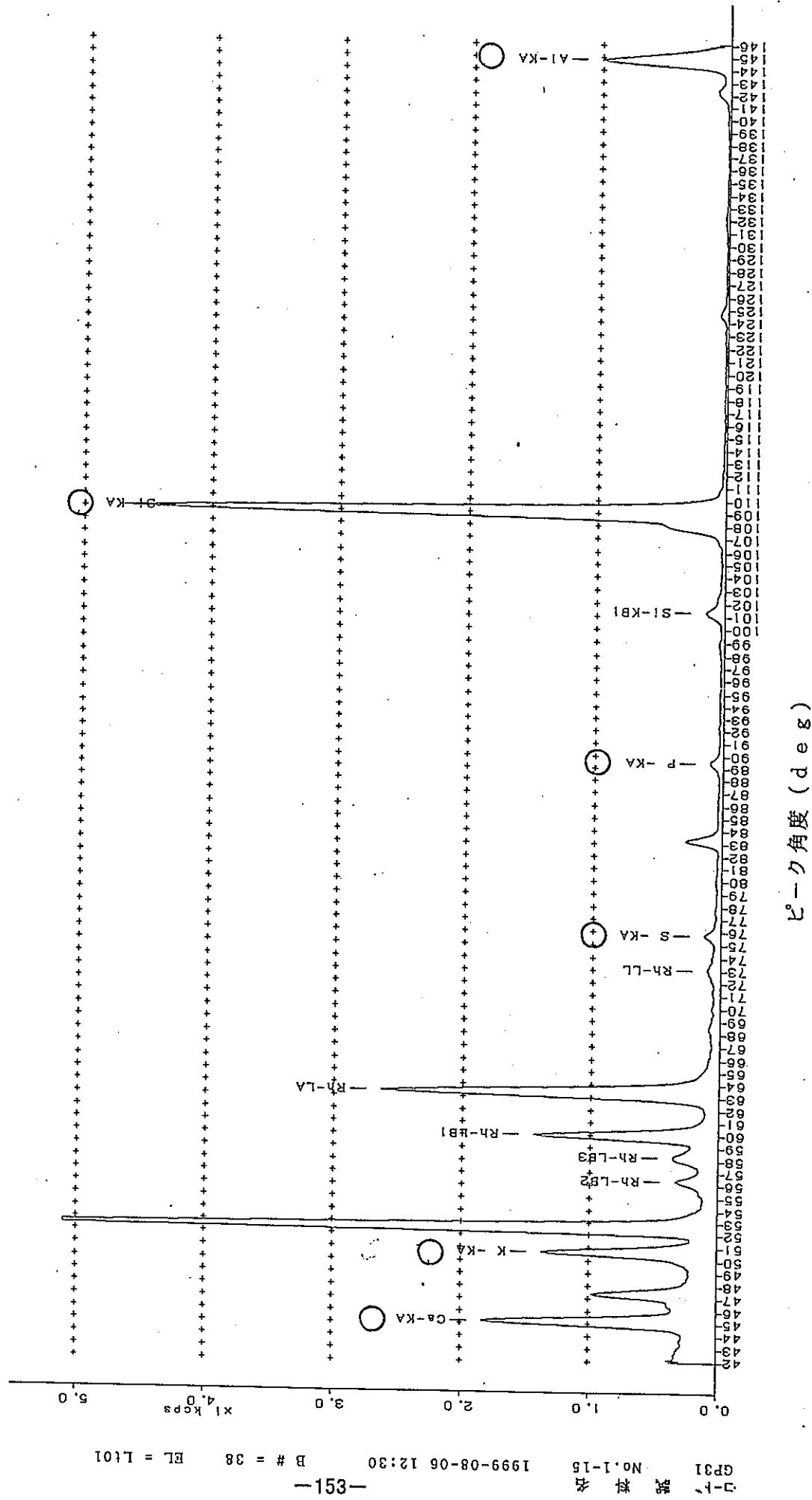
サンプル名: N o. 1 - 1 5

T# ショフコート 試料名 B#
 2 STP GP31 No.1-15 38

元素コード	No.	ピーク角度(deg)	X線強度(kcps)	スペクトル
Hv01 (重元素類)	1	15.59	2.261	Rh-KB1
	2	16.43	2.098	Rh-KB1 -COMPTON
	3	17.58	10.400	Rh-KA
	4	18.46	5.479	Rh-KA -COMPTON
	5	51.77	77.385	Fe-KB1
	6	57.53	395.910	○ Fe-KA
	7	62.98	0.100	○ Mn-KA
	8	86.17	0.104	○ Ti-KA -*
Lt01 (軽元素類)	1	45.17	1.580	○ Ca-KA
	2	47.37	0.753	
	3	50.66	1.182	○ K -KA
	4	52.57	5.405	
	5	56.37	0.216	Rh-LB2
	6	58.23	0.244	Rh-LB3
	7	60.00	1.331	Rh-LB1
	8	63.40	2.520	Rh-LA
	9	73.03	0.055	Rh-LL
	10	75.75	0.085	○ S -KA
	11	83.27	0.248	
	12	89.45	0.067	○ P -KA
	13	101.29	0.121	Si-KB1
	14	108.20	0.486	
	15	109.06	4.617	○ Si-KA
	16	124.62	0.045	
	17	142.29	0.060	
	18	144.79	0.859	○ Al-KA
Mg01	1	45.18	0.018	○ Mg-Ka

但し、○印：試料からの検出元素
 その他：装置自体からの検出元素

サンプル名：No. 1-15

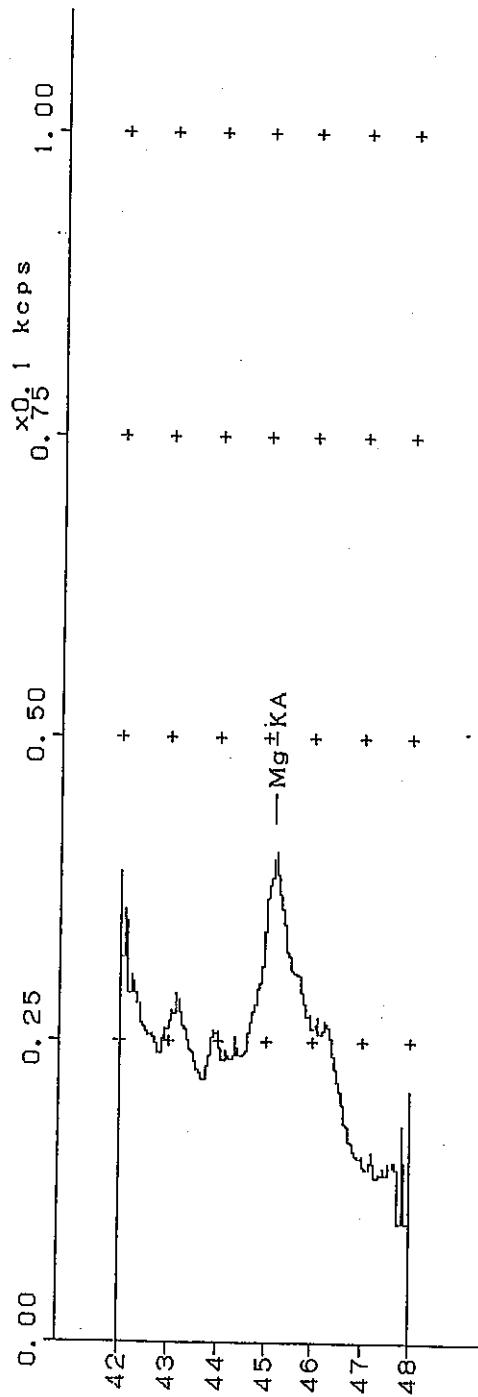


ピーカー角度 (deg)

図1-2. 軽元素類 (Al~Ca) の蛍光X線スペクトル (○印: 試料からの検出元素、その他: 装置からの検出元素)

サンプル名：No. 1-15

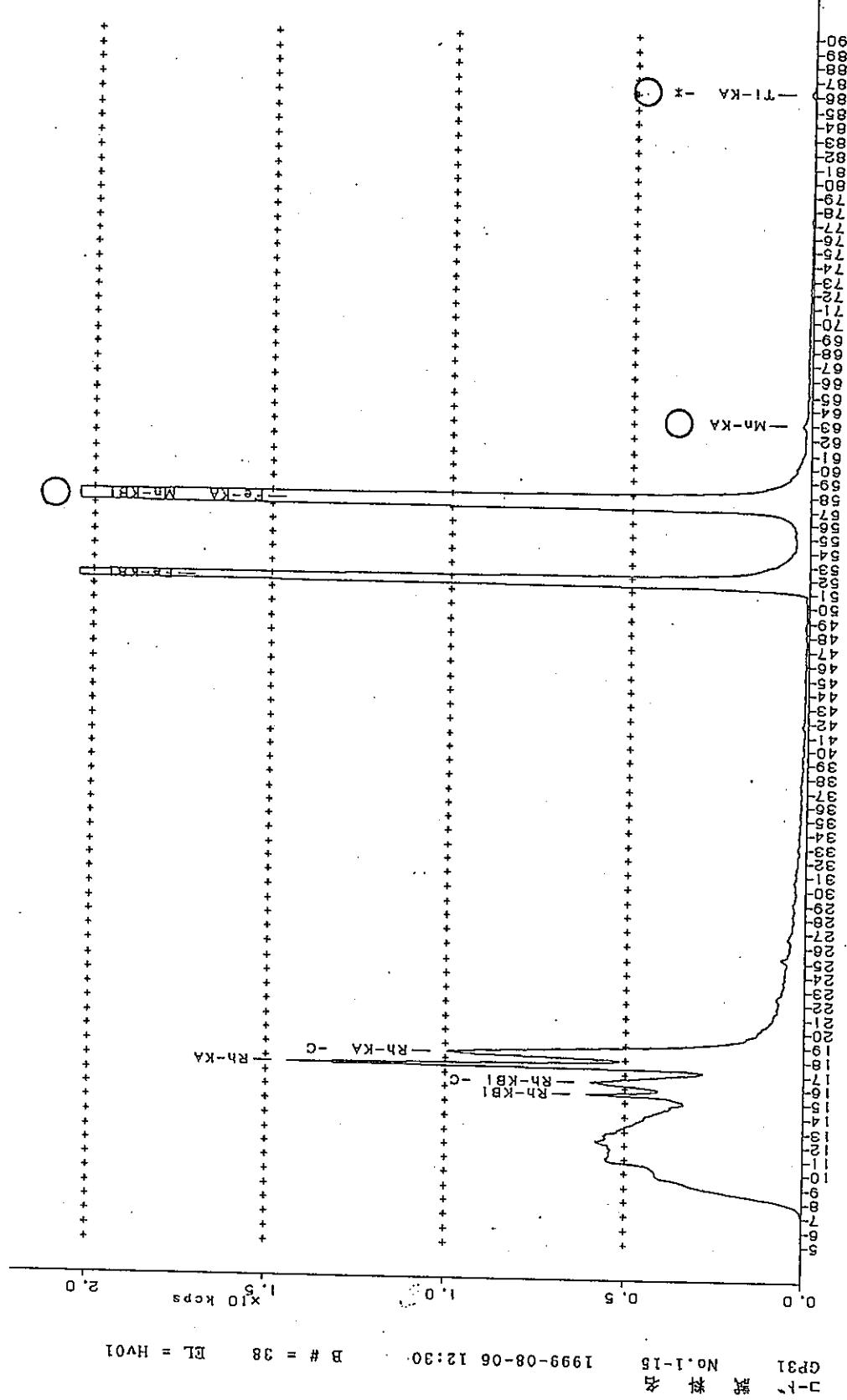
コード 試料名 No.1-15 1999-08-06 12:30
GP31



ピーク角度 (deg)

図 3-2. 軽元素 (Mg) の蛍光X線スペクトル

サンプル名：No. 1-15



ビーグ角度 (deg)

図4-2. 重元素類 (Ti~U) の蛍光X線スペクトル (○印: 試料からの検出元素、その他: 装置からの検出元素)

*** 分析 *** 表3. スペクトルピークの強度と帰属

** 同定解析結果 **

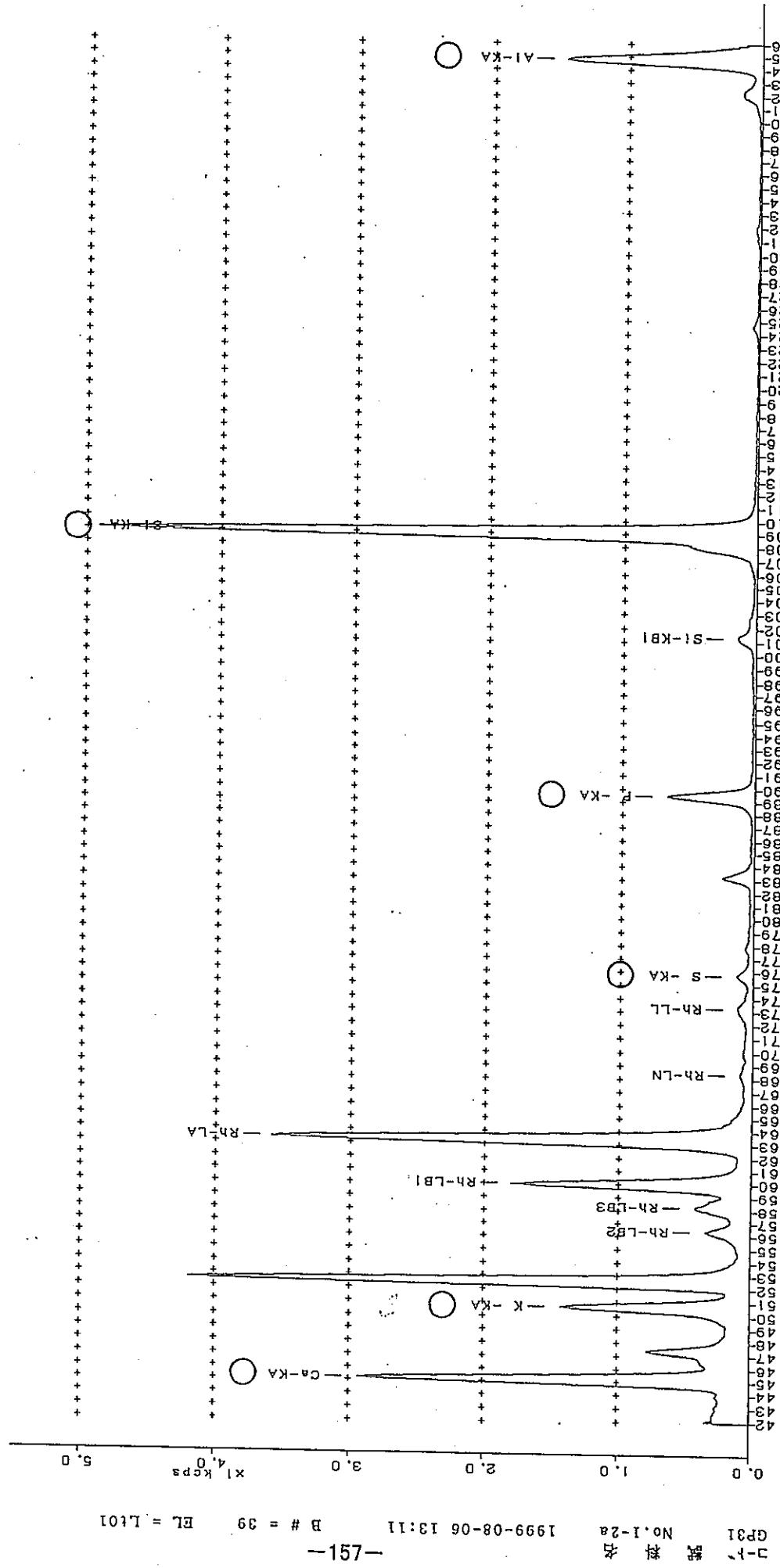
サンプル名: No. 1 - 2 a

T# ショフコート 試料名 B#
3 STP GP31 No.1-2a 39

元素コード	No.	ピーク角度(deg)	X線強度(kcps)	スペクトル
Hv01 (重元素類)	1	15.58	3.107	Rh-KB1
	2	16.44	6.172	Rh-KB1 -COMPTON
	3	17.58	14.151	Rh-KA
	4	18.49	20.688	Rh-KA -COMPTON
	5	21.14	0.287	
	6	22.54	0.747	○ Zr-KA
	7	23.70	0.237	
	8	23.98	0.224	
	9	25.12	0.441	○ Sr-KA
	10	26.79	0.233	
	11	51.77	57.381	Fe-KB1
	12	57.53	304.957	○ Fe-KA
	13	62.97	0.551	○ Mn-KA
	14	69.30	0.082	○ Cr-KA
	15	76.97	0.152	○ V -KA
	16	77.23	0.183	○ Ti-KB1
	17	86.15	0.792	○ Ti-KA
Lt01 (軽元素類)	1	45.17	2.929	○ Ca-KA
	2	47.38	0.775	
	3	50.67	1.419	○ K -KA
	4	52.58	4.111	
	5	56.38	0.340	Rh-LB2
	6	58.23	0.426	Rh-LB3
	7	59.98	1.748	Rh-LB1
	8	63.41	3.451	Rh-LA
	9	68.34	0.039	Rh-LN
	10	73.25	0.065	Rh-LL
	11	75.76	0.082	○ S -KA
	12	83.22	0.211	
	13	89.46	0.632	○ P -KA
	14	101.31	0.122	Si-KB1
	15	102.53	0.036	
	16	109.06	4.843	○ Si-KA
	17	124.63	0.039	
	18	131.90	0.021	
	19	142.17	0.092	
	20	144.78	1.265	○ Al-KA
Mg01	1	45.28	0.033	○ Mg-Ka

但し、○印：試料からの検出元素
その他：装置自体からの検出元素

サンプル名：No. 1-2a



ピーグ角度 (deg)

図1-3. 軽元素類 (Al~Ca) の蛍光X線スペクトル (○印: 試料からの検出元素、その他: 装置からの検出元素)

コート
GP31 試料名 No.1-2a 1999-08-06 13:11 B # = 39 EL = Mg01

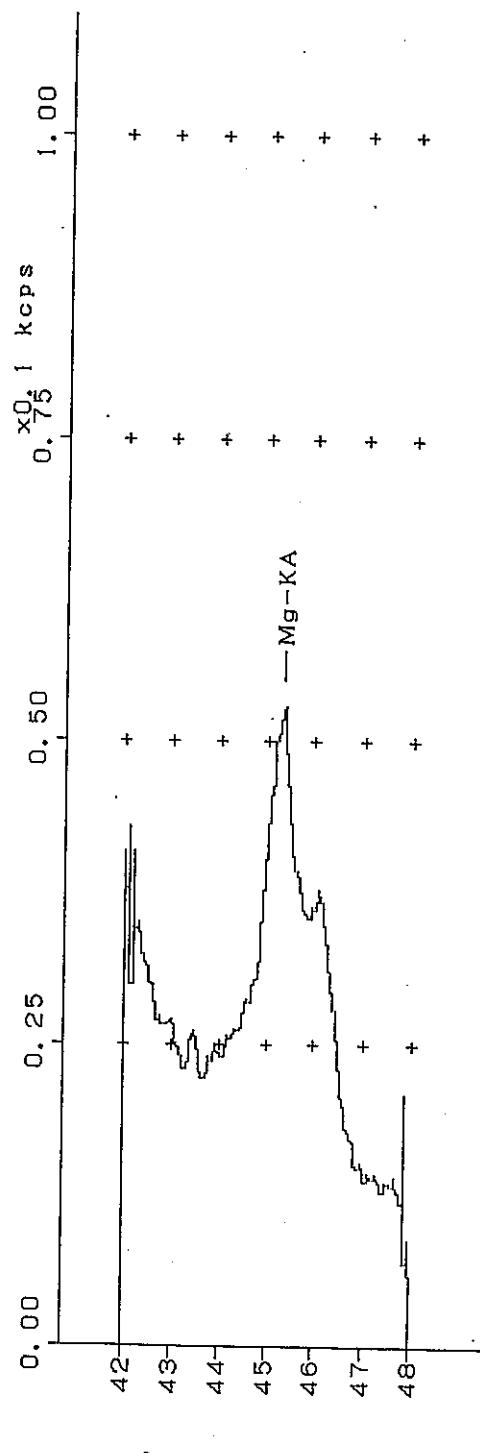
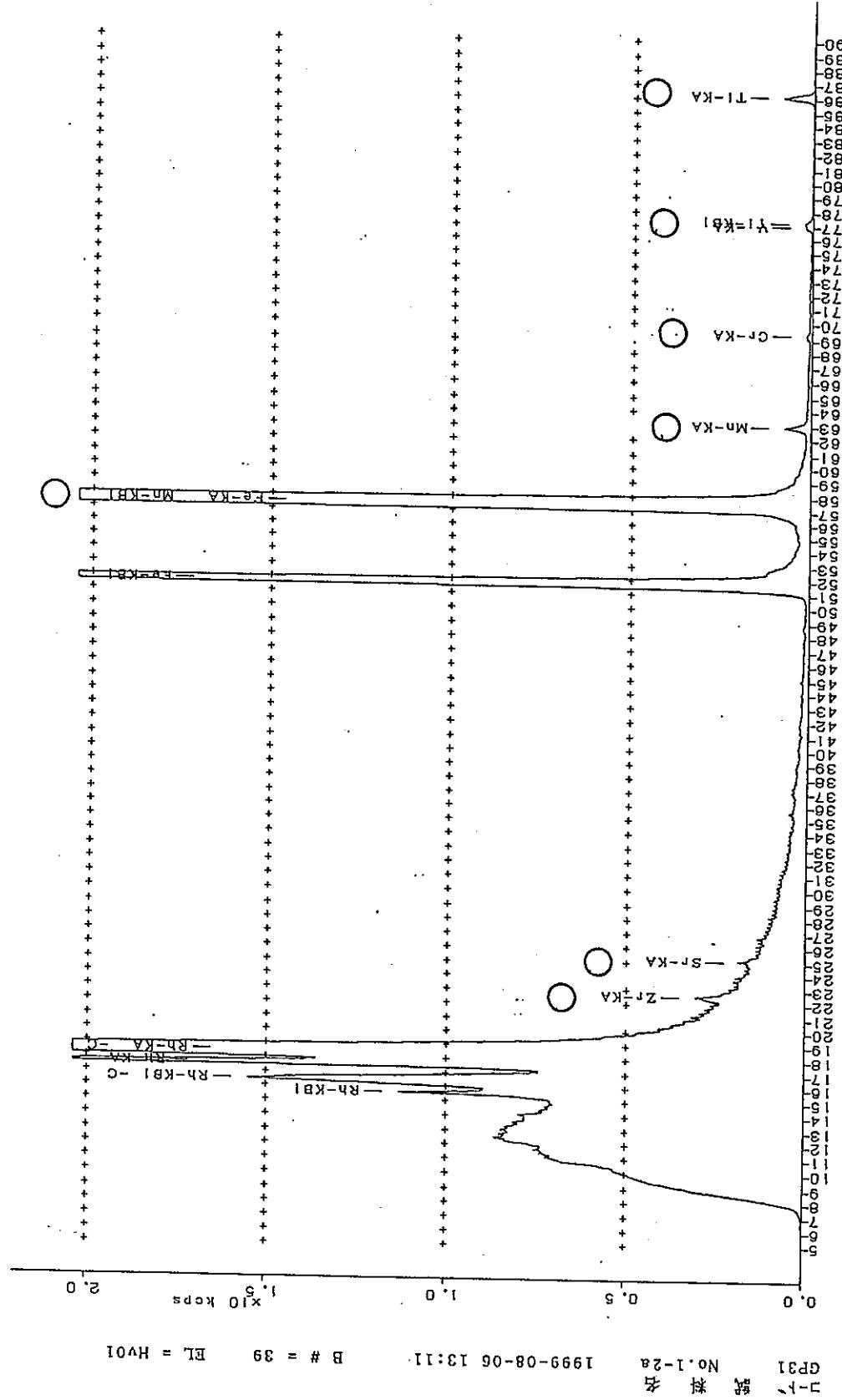


図3-3. 軽元素(Mg)の蛍光X線スペクトル
-158-

サンプル名：No. 1-2a



ピーケ角度 (deg)

図4-3. 重元素類 (Ti~U) の蛍光X線スペクトル (○印: 試料からの検出元素、その他: 装置からの検出元素)

*** 分析 ***

表4. スペクトルピークの強度と帰属

** 同定解析結果 **

サンプル名: No. 2-1a

T# ショフコート 試料名 B#
4 STP GP31 No.2-1a 40

元素コード	No.	ピーク角度(deg)	X線強度(kcps)	スペクトル
Hv01 (重元素類)	1	15.59	3.086	Rh-KB1
	2	16.48	6.179	Rh-KB1 -COMPTON
	3	17.58	14.711	Rh-KA
	4	18.47	18.795	Rh-KA -COMPTON
	5	22.56	1.036	Zr-KA
	6	45.02	0.085	Cu-KA -*
	7	48.68	0.082	Ni-KA -*
	8	51.77	59.926	Fe-KB1
	9	57.53	308.467	Fe-KA
	10	62.98	0.372	Mn-KA
	11	69.26	0.305	V -KB1
	12	77.26	1.510	Ti-KB1 VKA
	13	86.15	8.571	Ti-KA
Lt01 (軽元素類)	1	45.17	3.931	○ Ca-KA
	2	47.37	0.822	
	3	50.67	0.835	○ K -KA
	4	52.57	4.343	
	5	56.34	0.376	Rh-LB2
	6	58.24	0.467	Rh-LB3
	7	59.99	1.957	Rh-LB1
	8	63.42	3.401	Rh-LA
	9	70.09	0.074	
	10	73.18	0.053	Rh-LL
	11	75.74	0.106	○ S -KA
	12	77.93	0.268	
	13	83.28	0.201	
	14	89.45	0.382	○ P -KA
	15	101.29	0.172	Si-KB1
	16	108.18	0.672	
	17	109.06	6.410	○ Si-KA
	18	118.99	0.021	
	19	124.71	0.026	
	20	131.74	0.070	Al-KB1
	21	141.29	0.144	
	22	142.23	0.308	
	23	144.77	3.906	○ Al-KA
Mg01	1	45.21	0.062	○ Mg-Ka

但し、○印: 試料からの検出元素

その他: 装置自体からの検出元素

サンプル名：No. 2-1-a

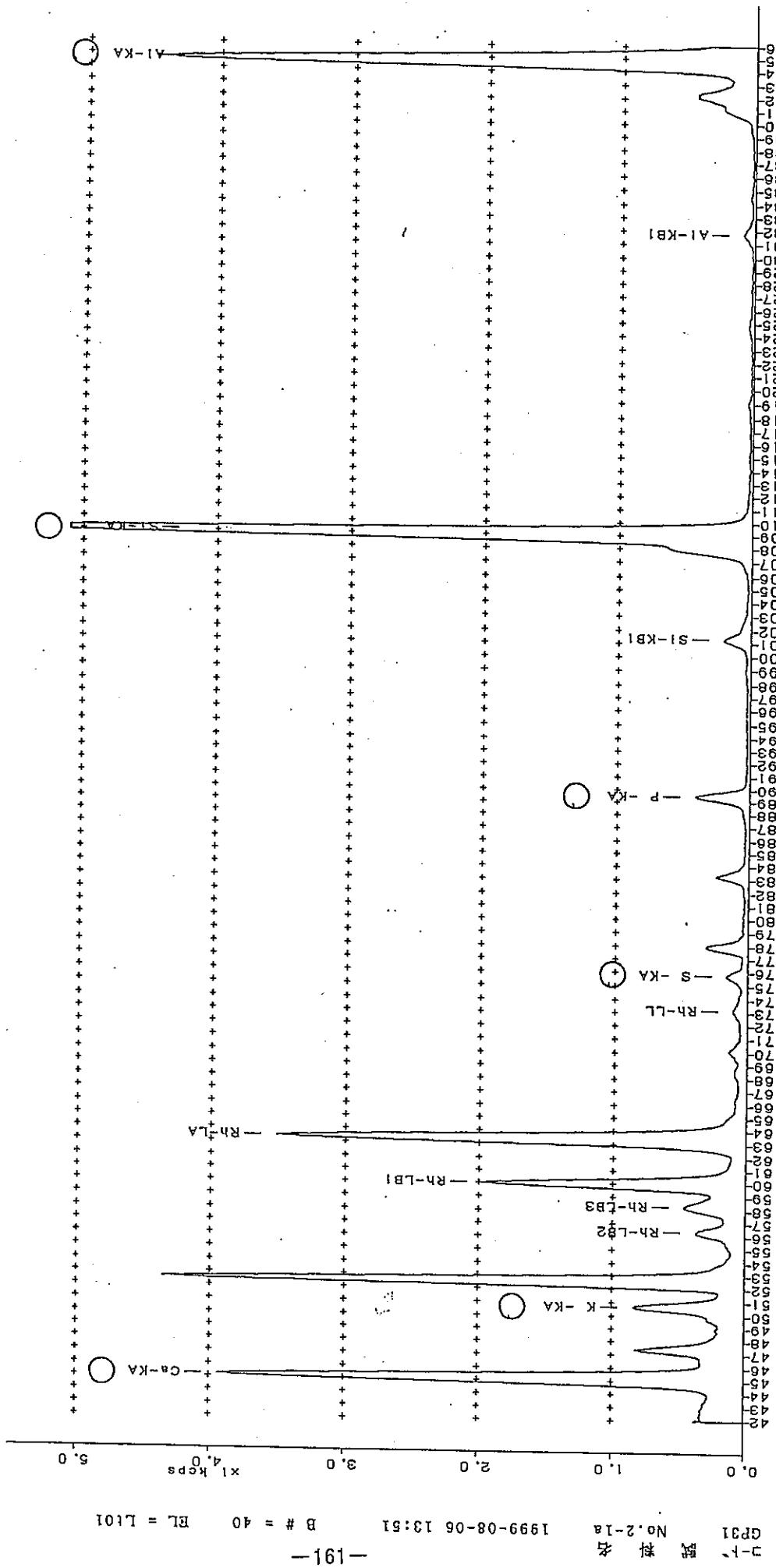


図1-4. 軽元素類 (Al～Ca) の蛍光X線スペクトル (○印: 試料からの検出元素、その他: 装置からの検出元素)
ピーグ角度 (deg)

サンプル名：No. 2-1a

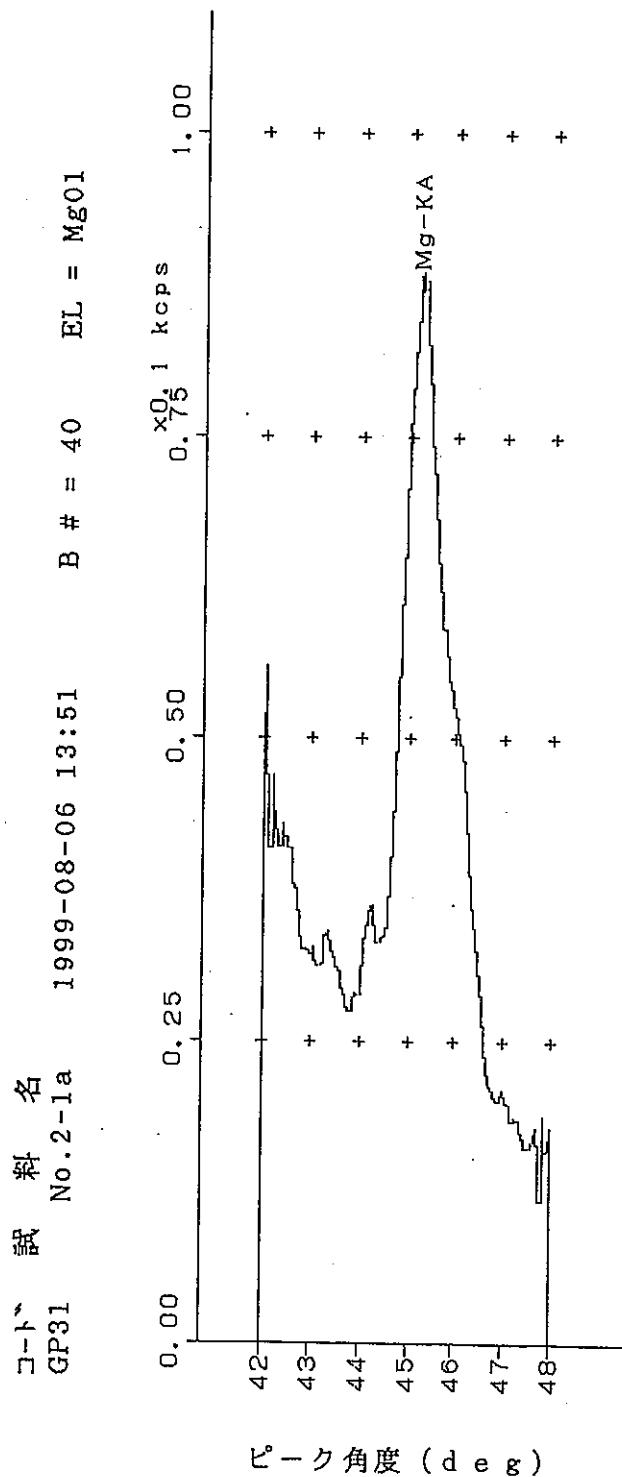


図 3-4. 軽元素 (Mg) の蛍光X線スペクトル

サンプル名：N^o. 2-1-a

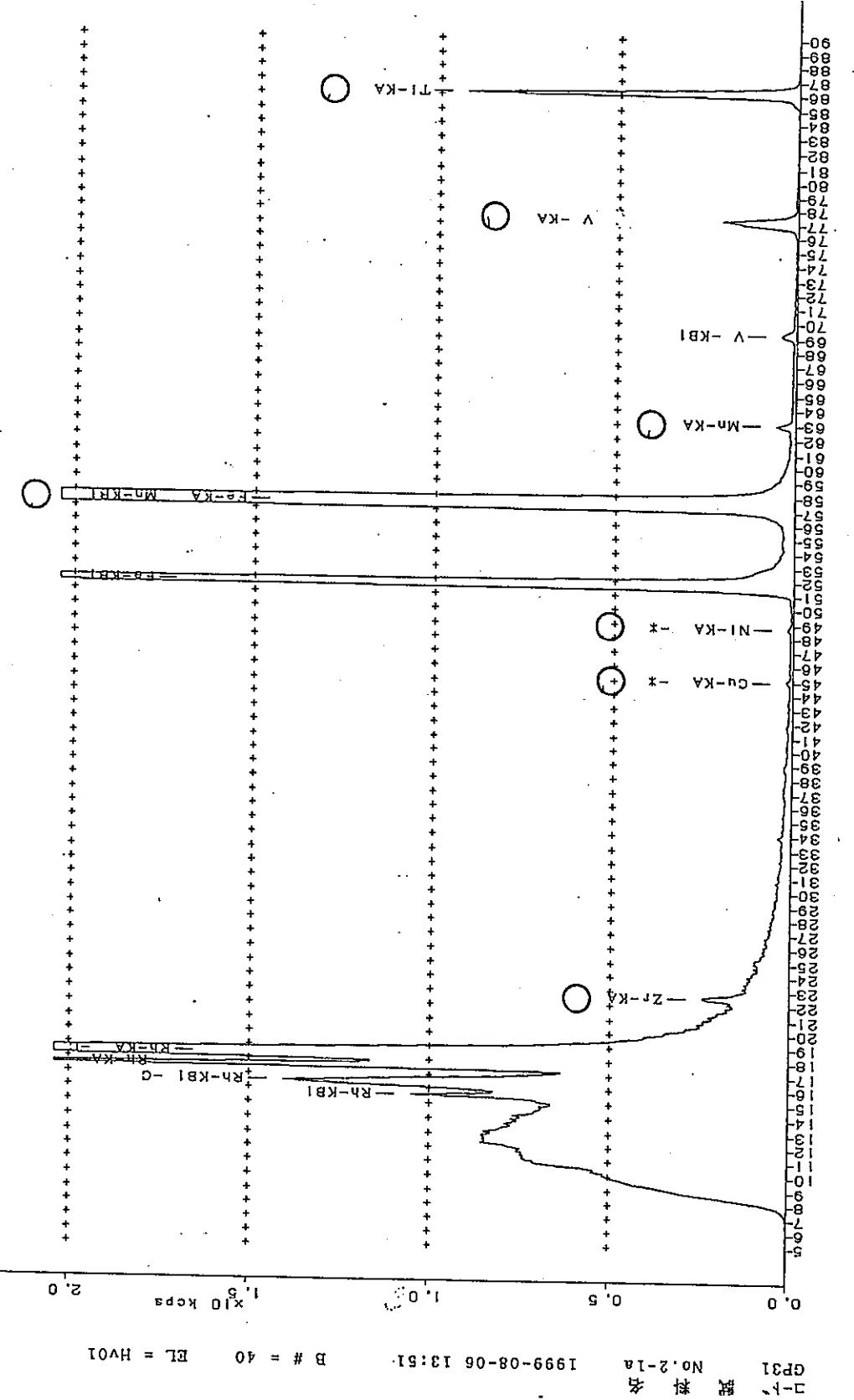


図4-4. 重元素類 (Ti~U) の蛍光X線スペクトル (○印: 試料からの検出元素、その他: 装置からの検出元素)

*** 分析 ***

表5. スペクトルピークの強度と帰属

** 同定解析結果 **

サンプル名: N o. 1 - 2 b

T# ショフコート 試料名 B#
5 STP GP31 No.1-2b 41

元素コード	No.	ピーク角度(deg)	X線強度(kcps)	スペクトル
Hv01 (重元素類)	1	15.58	2.058	Rh-KB1
	2	16.37	0.952	
	3	16.59	0.829	Rh-KB1 -COMPTON
	4	17.57	9.859	Rh-KA
	5	18.38	2.121	Rh-KA -COMPTON
	6	20.05	0.216	Zr-KB1
	7	22.56	1.395	○ Zr-KA
	8	51.77	76.073	Fe-KB1
	9	57.53	391.618	○ Fe-KA
	10	62.98	0.716	○ Mn-KA
	11	69.32	0.354	○ Cr-KA
	12	77.00	0.665	○ V -KA
	13	86.16	3.403	○ Ti-KA -*
Lt01 (軽元素類)	1	45.17	2.524	○ Ca-KA
	2	47.38	0.761	
	3	50.68	0.424	○ K -KA
	4	52.57	5.347	
	5	56.39	0.213	Rh-LB2
	6	58.19	0.250	Rh-LB3
	7	59.99	1.314	Rh-LB1
	8	63.42	2.386	Rh-LA
	9	69.92	0.039	
	10	73.16	0.049	Rh-LL
	11	75.71	0.054	○ S -KA
	12	77.88	0.120	
	13	83.25	0.262	○ P -KA
	14	89.46	0.437	
	15	98.93	0.036	
	16	101.27	0.113	Si-KB1
	17	104.55	0.036	
	18	108.20	0.333	
	19	109.07	3.172	○ Si-KA
	20	124.67	0.038	
	21	141.10	0.064	
	22	142.31	0.056	
	23	144.78	0.809	○ Al-KA
Mg01	1	45.27	0.075	○ Mg-Ka

但し、○印：試料からの検出元素

その他：装置自体からの検出元素

サンプル名：No. 1-2b

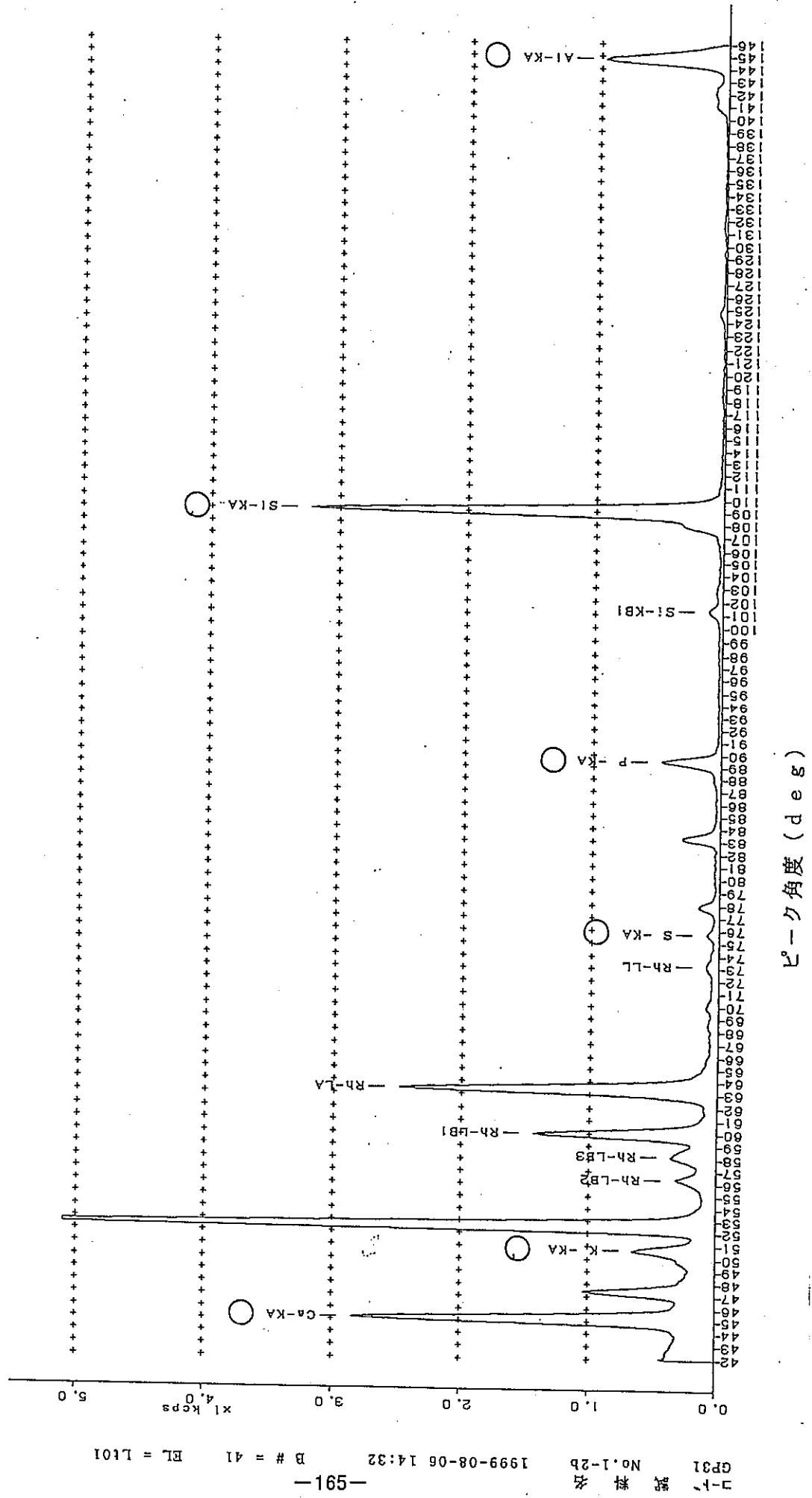
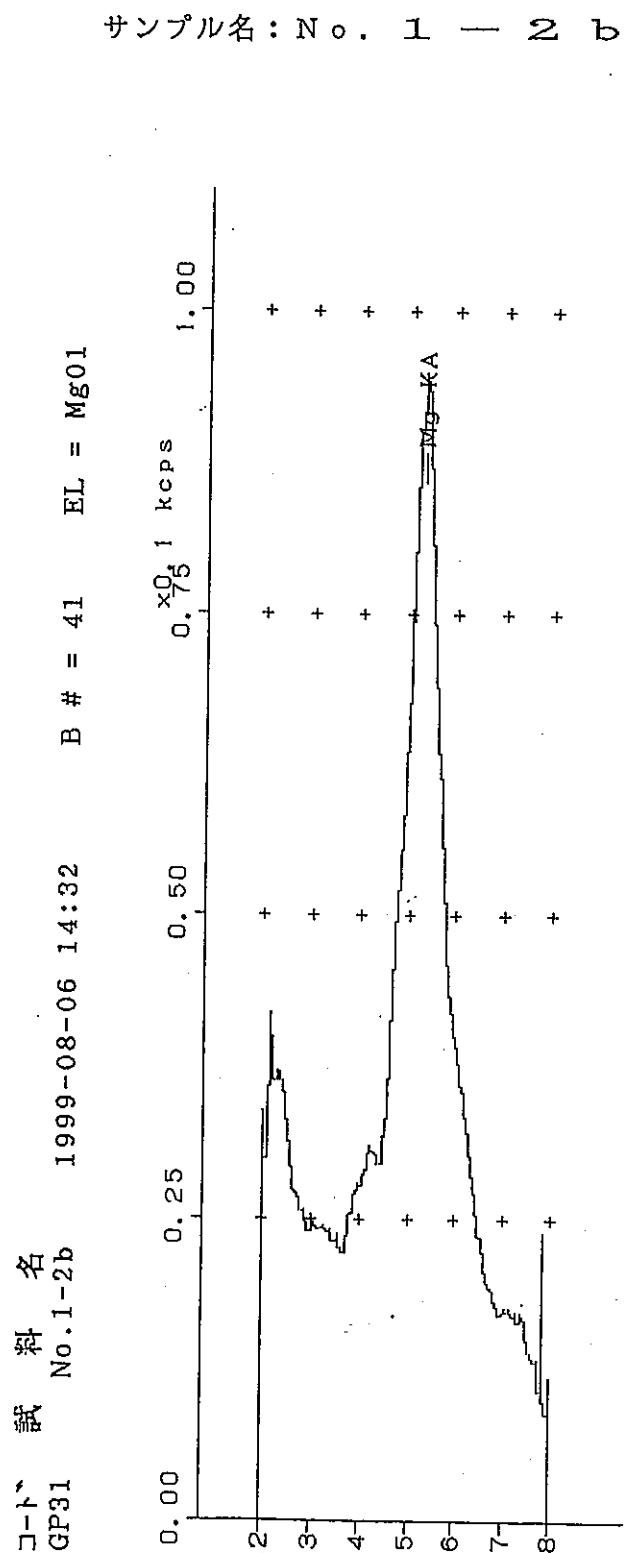


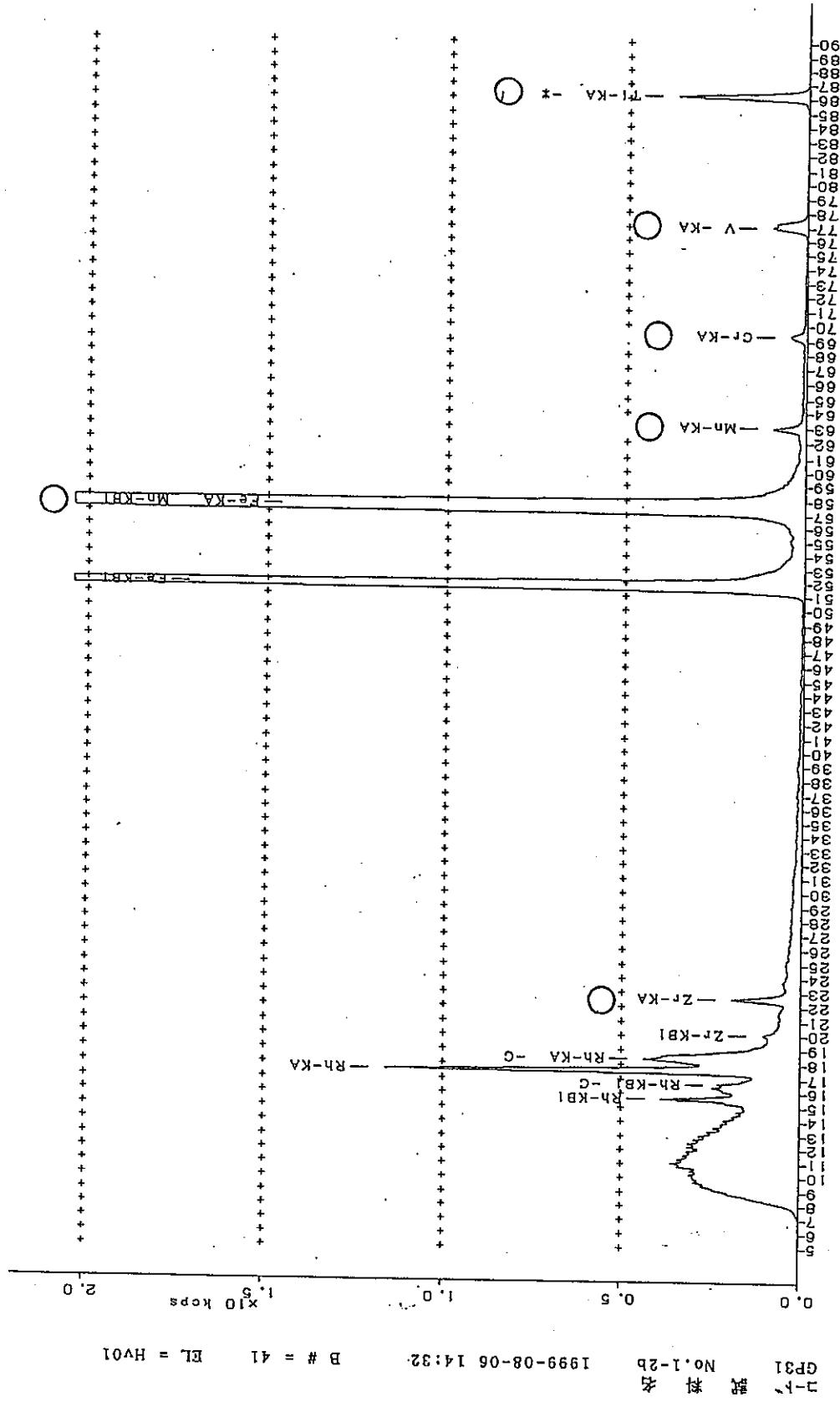
図1-5. 軽元素類 (Al~Ca) の蛍光X線スペクトル (○印: 試料からの検出元素、その他: 装置からの検出元素)



ピーク角度 (deg)

図3-5. 軽元素(Mg)の蛍光X線スペクトル

サンプル名：No. 1-2b



ピーカー角度 (deg)

図4-5. 重元素類 (Ti~U) の蛍光X線スペクトル (○印: 試料からの検出元素、その他: 装置からの検出元素)

*** 分析 ***

表6. スペクトルピークの強度と帰属

** 同定解析結果 **

サンプル名: No. 2-1b

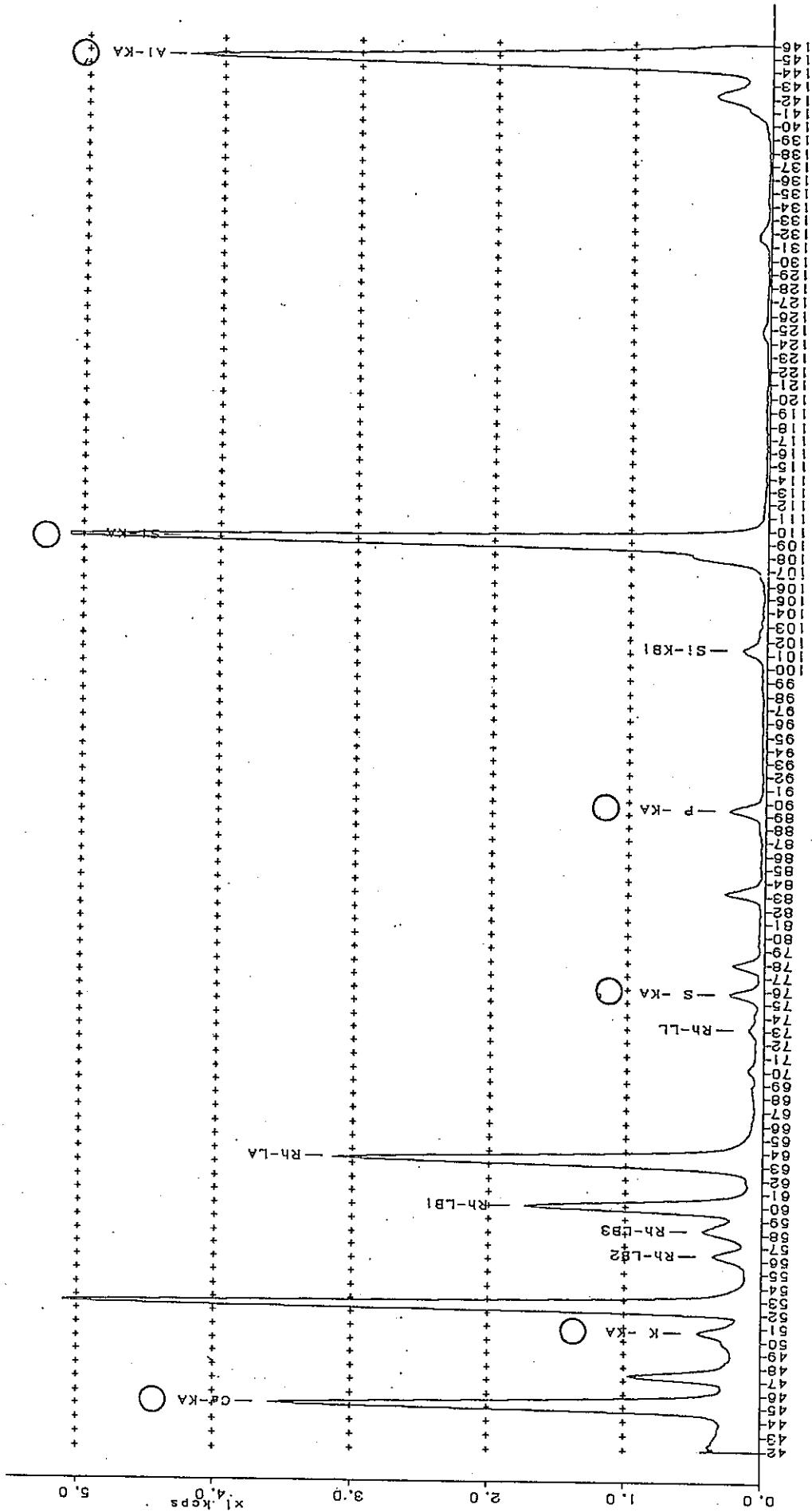
T# ショブコード 試料名 B#
6 STP GP31 No.2-1b 42

元素コード	No.	ピーク角度(deg)	X線強度(kcps)	スペクトル
Hv01 (重元素類)	1	15.58	2.292	Rh-KB1
	2	16.42	1.755	Rh-KB1 -COMPTON
	3	17.57	11.008	Rh-KA
	4	18.40	4.117	Rh-KA -COMPTON
	5	22.55	0.653	○ Zr-KA
	6	51.78	67.474	Fe-KB1
	7	57.53	372.537	○ Fe-KA
	8	62.97	0.420	○ Mn-KA
	9	69.26	0.206	V -KB1
	10	77.04	0.900	○ V -KA
	11	77.28	1.126	Ti-KB1
	12	86.16	5.543	○ Ti-KA
Lt01 (軽元素類)	1	45.17	3.297	○ Ca-KA
	2	47.37	0.721	
	3	50.65	0.269	○ K -KA
	4	52.58	4.977	
	5	56.37	0.232	Rh-LB2
	6	58.22	0.317	Rh-LB3
	7	60.00	1.610	Rh-LB1
	8	63.43	2.963	Rh-LA
	9	70.11	0.057	
	10	73.10	0.059	Rh-LL
	11	75.77	0.204	○ S -KA
	12	77.92	0.191	
	13	83.23	0.252	
	14	89.43	0.227	○ P -KA
	15	101.30	0.143	Si-KB1
	16	102.51	0.025	
	17	108.14	0.543	
	18	109.06	5.367	○ Si-KA
	19	124.79	0.038	
	20	131.66	0.060	
	21	142.17	0.230	
	22	144.77	3.670	○ Al-KA
Mg01	1	45.22	0.071	○ Mg-Ka

但し、○印：試料からの検出元素

その他：装置自体からの検出元素

サンプル名：No. 2-1a



ピーグ角度 (deg)

図1-6. 軽元素類 (A1~Ca) の蛍光X線スペクトル (○印: 試料からの検出元素、その他: 装置からの検出元素)

サンプル名：No. 2-1 b

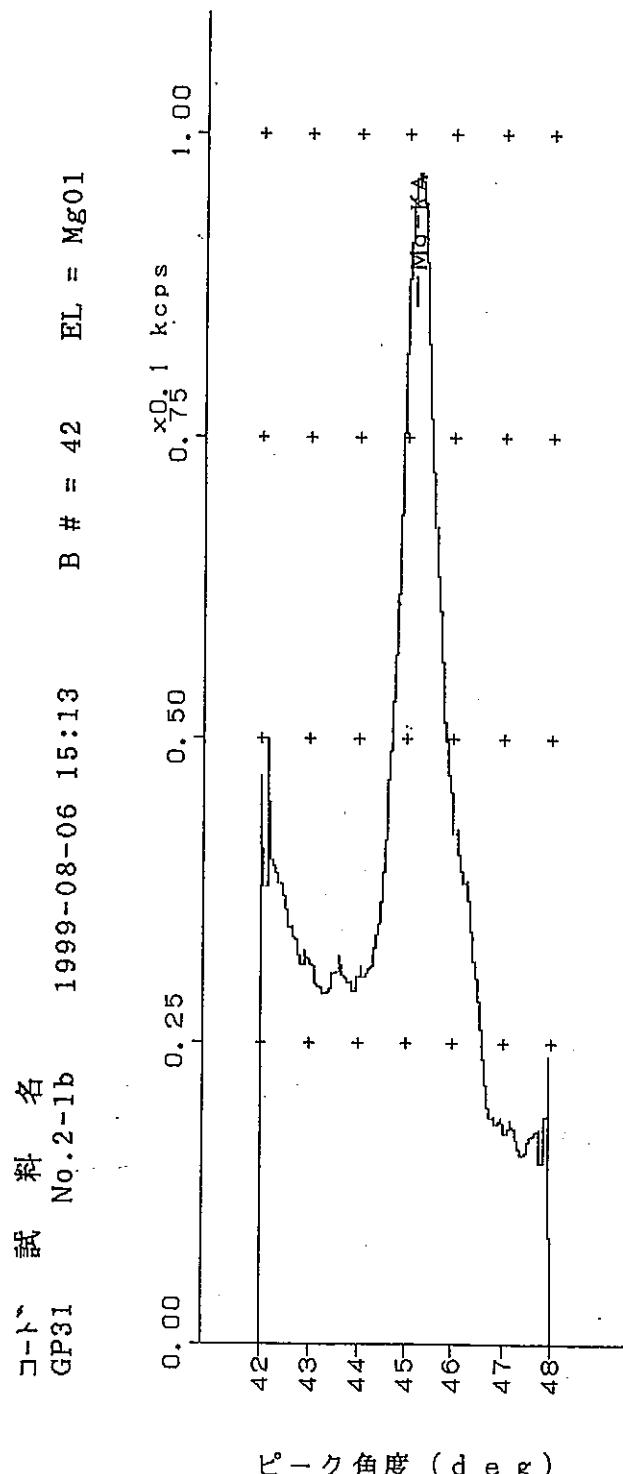
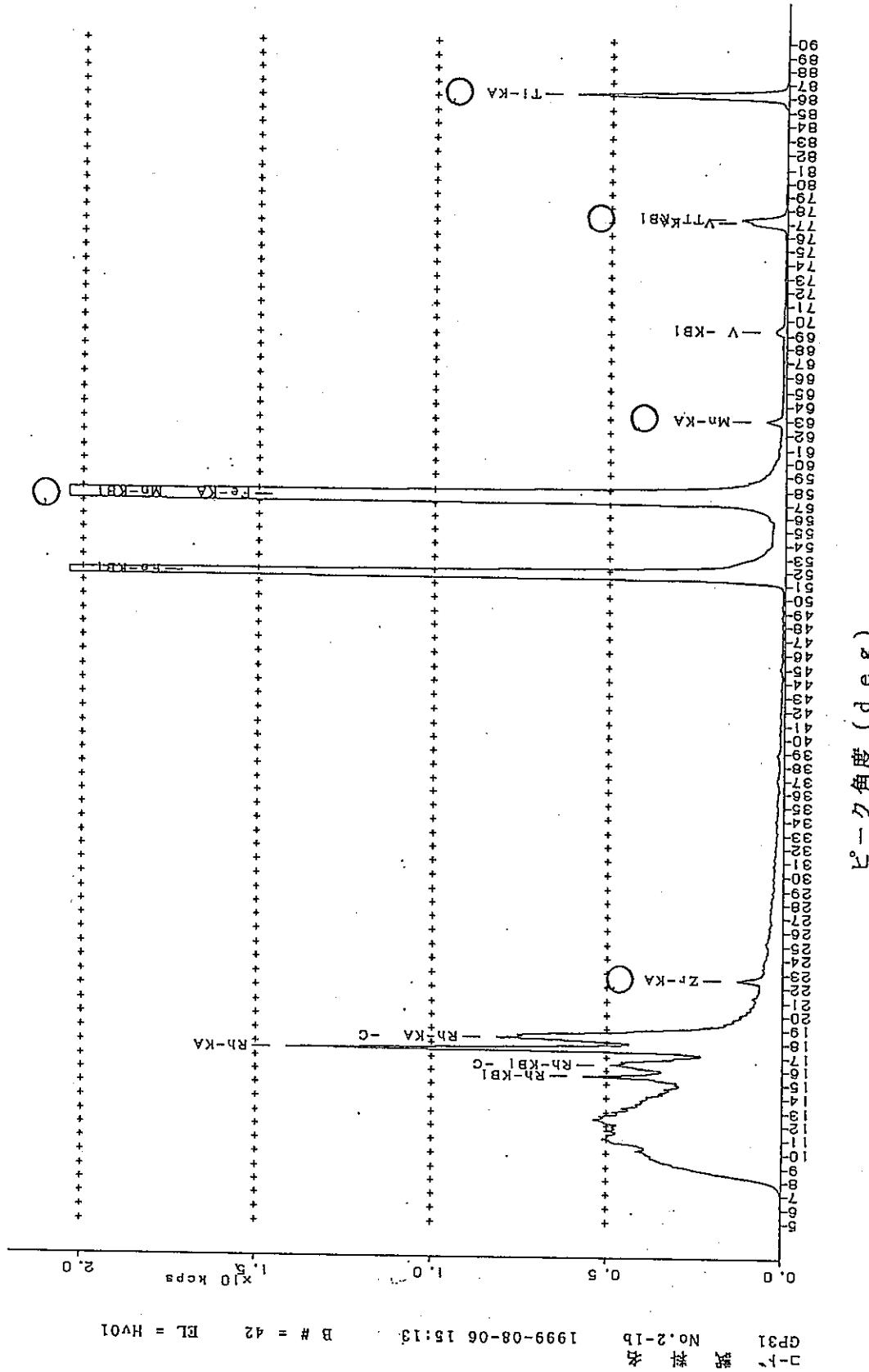


図 3-6. 軽元素 (Mg) の蛍光X線スペクトル

サンプル名：No. 2-1b



ピーク角度 (deg)

図4-6. 重元素類 (Ti~U) の蛍光X線スペクトル (○印: 試料からの検出元素、その他: 装置からの検出元素)

分析(2)

対象試料:

本文中の 試料番号	試料番号	備 考
No. 3	1-4a	表層
	1-4c	鉄質近傍

1. 分析目的：定性分析（組成分析）

2. 分析試料：形状評価対象品：2件

3. 分析機器：理学電機 螢光X線分析装置 Sys 3270 E

4. 測定条件

X 線 管：端窓型R h ターゲット 波高分析条件：微分法
印加電圧 電流：50 kV - 50 mA スリット条件：コース（粗）スリット
X 線 通 路：真空 分析径：20 mm径
(視野制限スリット)

元 素	軽元素(F ~ Ca)	重元素(Ti ~ U)
分光結晶	TAP PET	LiF
検出器	F-PC	SC
走査範囲	42 ~ 146°	5 ~ 90°
走査ステップ	0.05°	0.05°
計測時間	0.4 sec	0.2 sec

5. 結果および考察

(1) 前記の条件で測定した螢光X線スペクトルのうち、軽元素類(A1 ~ Ca)のスペクトルを図1-1~2に、軽元素(Na)のスペクトルを図2-1に、軽元素(Mg)のスペクトルを図3-1~2に、重元素類(Ti~U)のスペクトルを図4-1~2に示した。

各スペクトルの横軸は、分光結晶とX線との緒す入射角(θ)の2倍(2 θ)を示し、縦軸は強度を示している。

各ピークの横軸の位置から帰属できる元素の種類と、螢光X線の種類をピークの頭に示した。

(2) 図1~4におけるピーク強度と帰属結果をまとめて表1~2に示した。

検出された元素のうち、R hは螢光X線装置自体から検出されたものである。

(3) 表3は検出元素と比率(Ratio:存在比)を示したもので、比率は表3の下式より算出した値である。比率を計算するための感度係数(Master Sensitivity)は、共存元素の影響、ピークの重なり等を考慮しない、生の強度比から求めめておいたものである。従って、そこから求めた比率(存在比)は、本螢光X線装置で検出された元素間の割合値を示したものである。

(4) 検出元素、比率は図表に示したとおりである。

以 上

表3. Detected Element and Ratio

	1-4a		1-4c	
	Peak I.	Ratio	Peak I.	Ratio
Mg	0.036	0.0015	0.023	0.0010
Na	0.010	0.0012		
Al	1.558	0.0147	0.915	0.0087
Si	7.781	0.0637	4.802	0.0397
P	0.940	0.0089	0.164	0.0016
S	0.118	0.0004	0.383	0.0013
Cl			3.162	0.0103
K	2.348	0.0165	1.441	0.0102
Ca	3.431	0.0143	2.128	0.0090
Ti	0.245	0.0083	0.131	0.0045
Mn	0.609	0.0033	0.133	0.0007
Fe	358.134	0.8664	373.638	0.9130
Zn	0.111	0.0002		
Sr	0.335	0.0001		
Zr	0.302	0.0005		

(Relative Int.)

$$(Ratio) = \frac{\text{Peak Int.}_i}{\text{SUM (Relative Int.)}}$$

$$(\text{Relative Int.}) = (\text{Peak Int.})_i / (\text{Master Sensitivity})_i$$

*** 分析 ***

表1. スペクトルピークの強度と帰属

** 同定解析結果 **

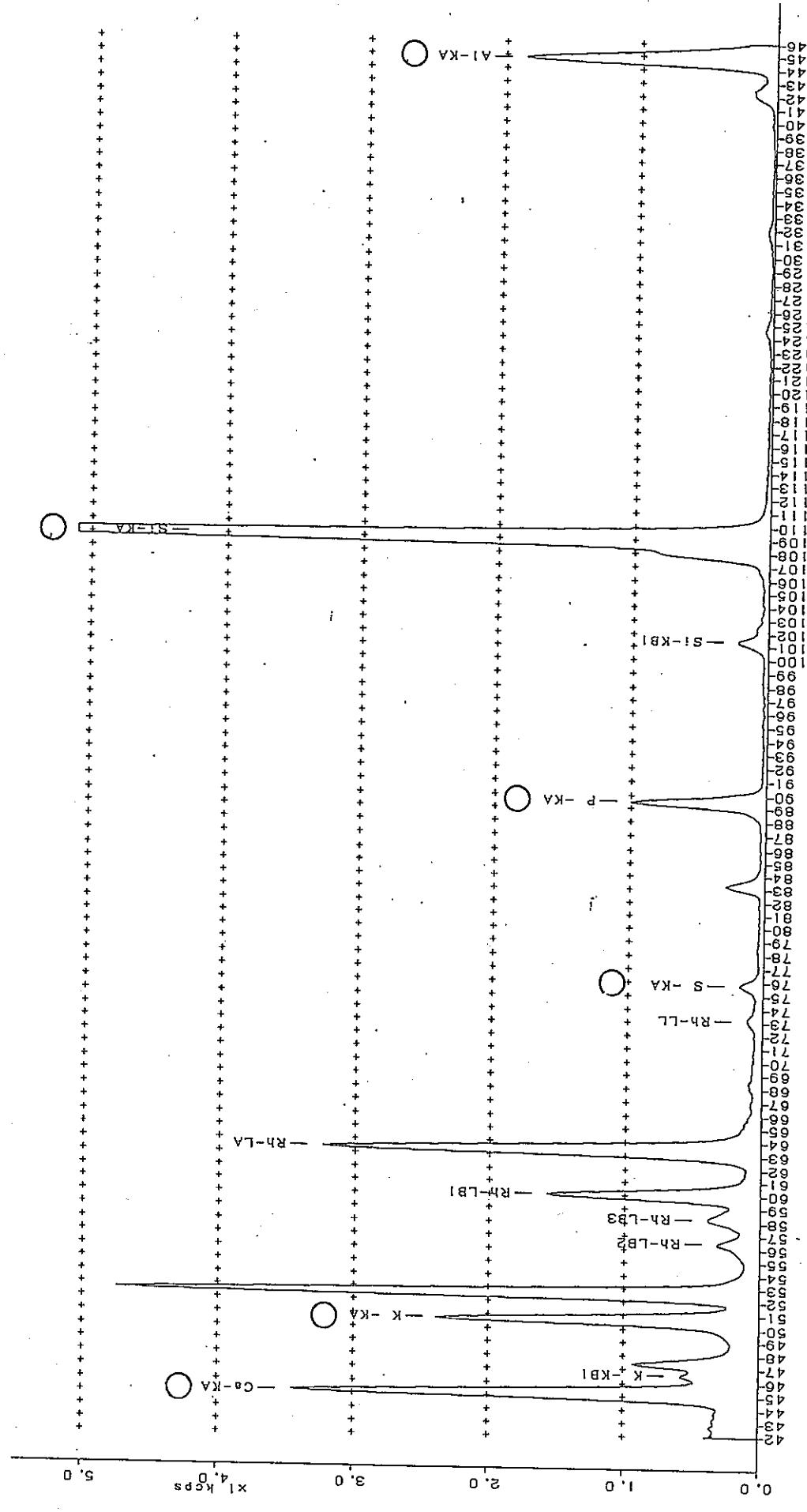
T# ショフコート 試料名 B#
2 STP GP31 1-4a 12

サンプル名: No. 1 - 4 a

元素コード	No.	ピーク角度(deg)	X線強度(kcps)	スペクトル
Hv01 (重元素類)	1	15.58	2.477	Rh-KB1
	2	16.47	4.648	Rh-KB1 -COMPTON
	3	17.58	13.150	Rh-KA
	4	18.48	15.099	Rh-KA -COMPTON
	5	22.48	0.302	Zr-KA
	6	25.11	0.335	Sr-KA
	7	41.82	0.111	Zn-KA -*
	8	51.77	68.611	Fe-KB1
	9	57.53	358.134	Fe-KA
	10	62.97	0.609	Mn-KA
	11	86.13	0.245	Ti-KA -*
Lt01 (軽元素類)	1	42.72	0.368	
	2	45.20	3.431	○ Ca-KA
	3	46.53	0.579	K -KB1
	4	47.38	0.921	
	5	50.68	2.348	○ K -KA
	6	52.60	4.706	
	7	56.43	0.203	Rh-LB2
	8	58.26	0.285	Rh-LB3
	9	60.04	1.459	Rh-LB1
	10	63.43	3.119	Rh-LA
	11	73.18	0.052	Rh-LL
	12	75.78	0.118	○ S -KA
	13	83.25	0.249	
	14	89.48	0.940	○ P -KA
	15	101.38	0.184	Si-KB1
	16	102.30	0.050	
	17	109.09	7.781	○ Si-KA
	18	124.64	0.039	
	19	142.22	0.098	
	20	144.82	1.558	○ Al-KA
Na01	1	55.16	0.010	○ Na-Ka
Mg01	1	45.27	0.036	○ Mg-Ka

但し、○印：試料からの検出元素
 その他：装置自体からの検出元素

サンプル名: No. 1-4a



ピーク角度 (deg)

図1-1. 軽元素類 (A1～Ca) の蛍光X線スペクトル (○印: 試料からの検出元素、その他: 装置からの検出元素)

サンプル名：No. 1-4a

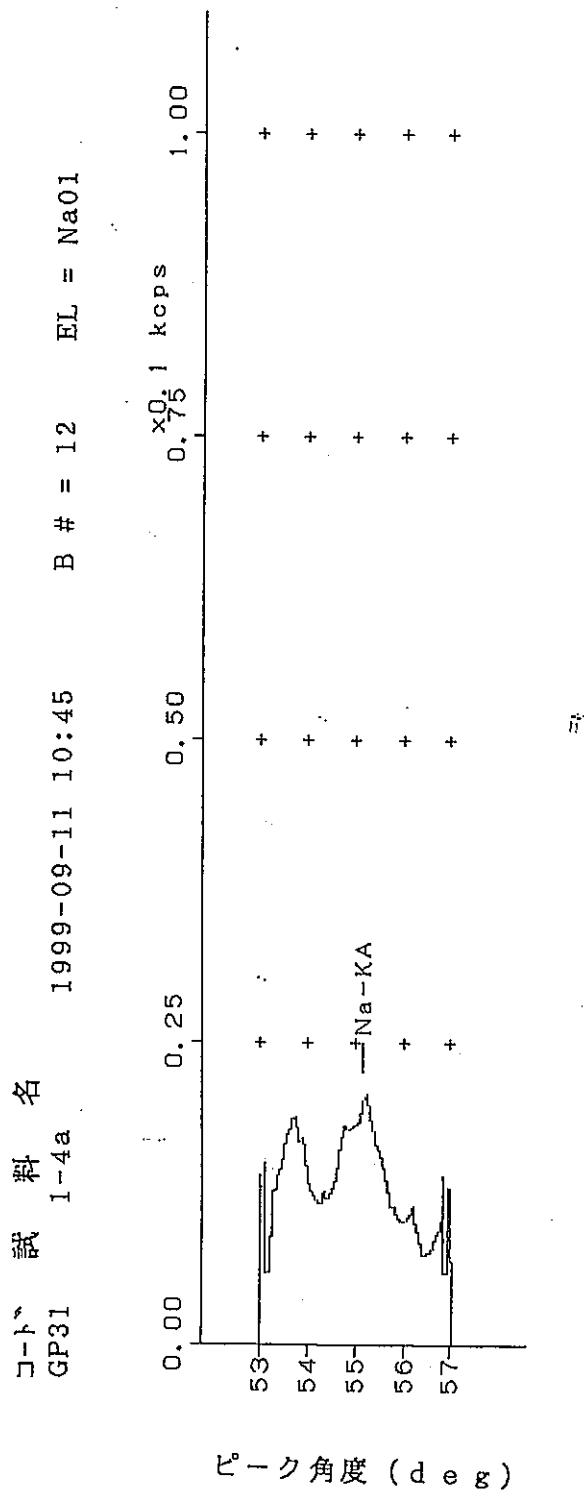


図2-1. 軽元素(Na)の蛍光X線スペクトル

サンプル名：No. 1 - 4 a

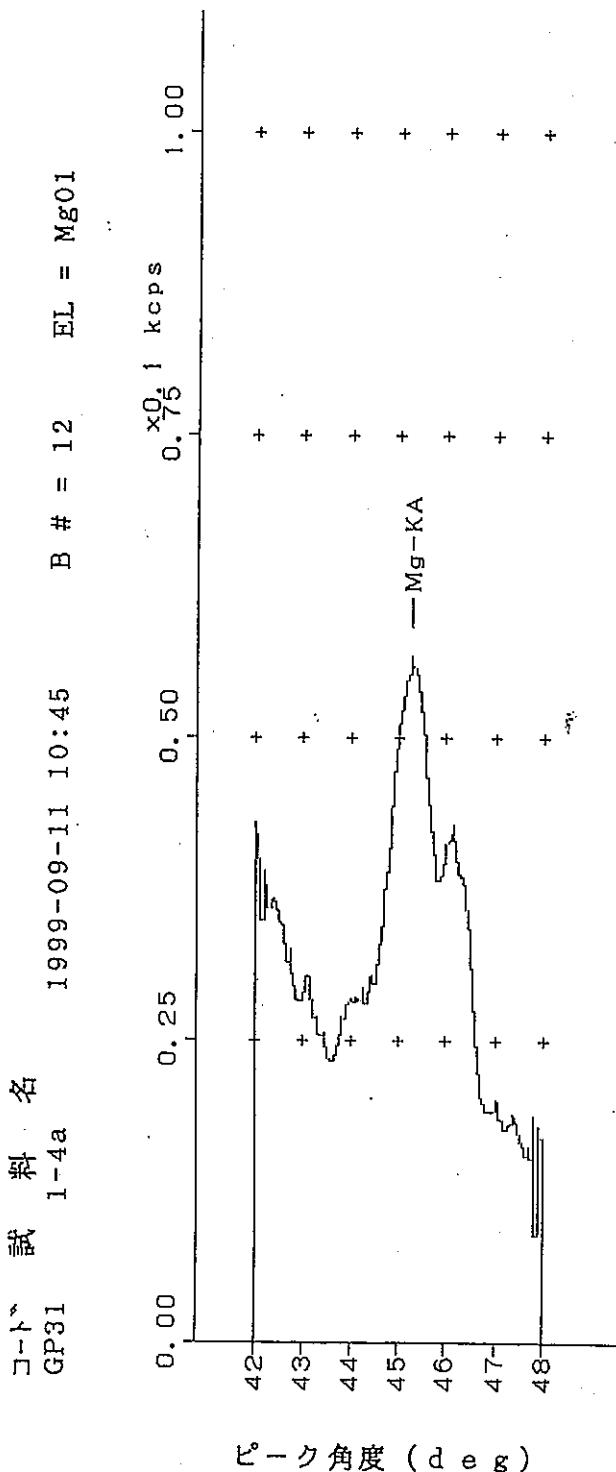


図 3-1. 軽元素 (Mg) の蛍光X線スペクトル

サンプル名: No. 1-4a

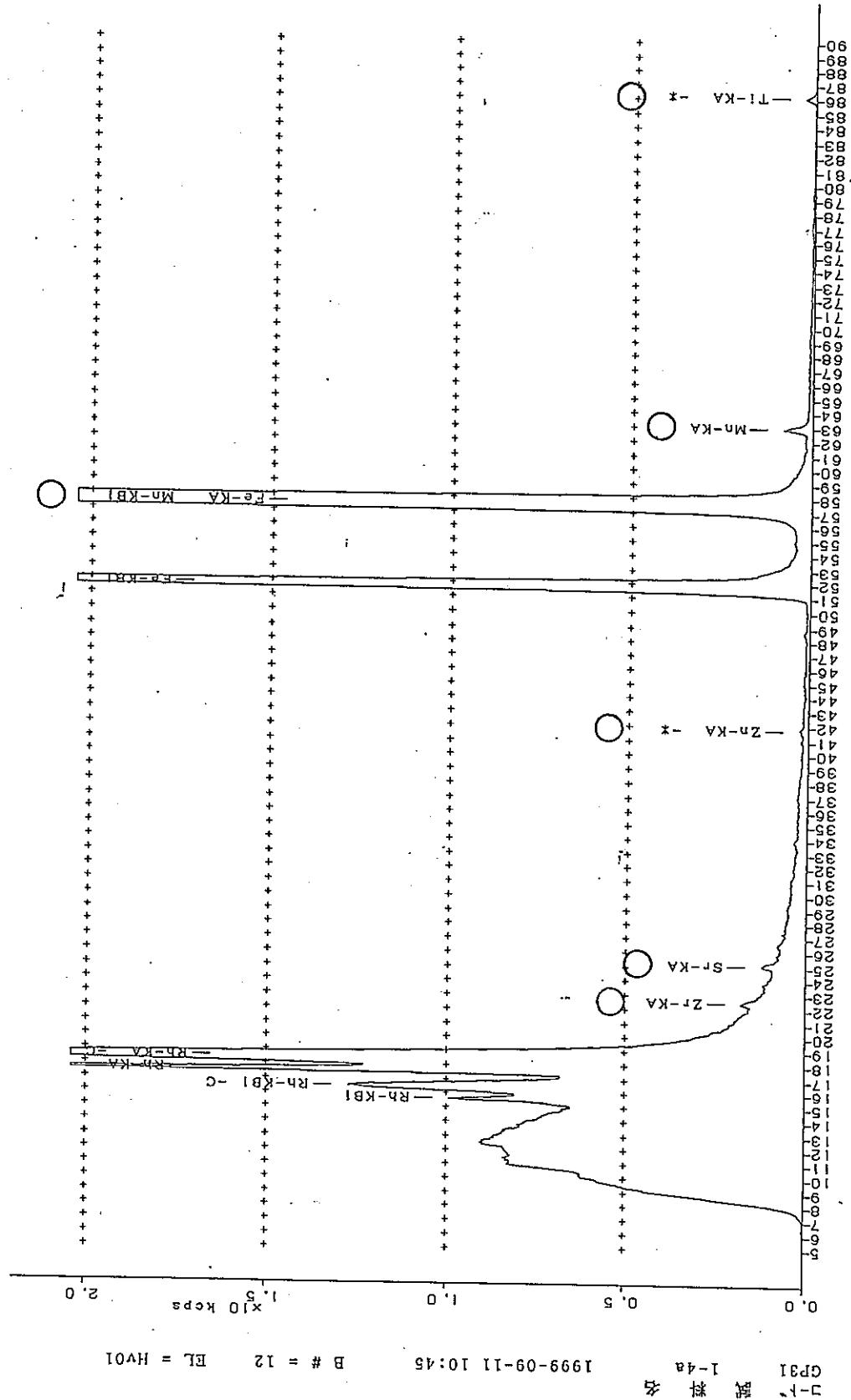


図2-1. 重元素類 (Ti-U) の蛍光X線スペクトル (○印: 試料からの検出元素、その他: 装置からの検出元素)

ピーコ角度 (deg)

*** 分析 ***

表2. スペクトルピークの強度と帰属

** 同定解析結果 **

サンプル名: N o. 1 - 4 c

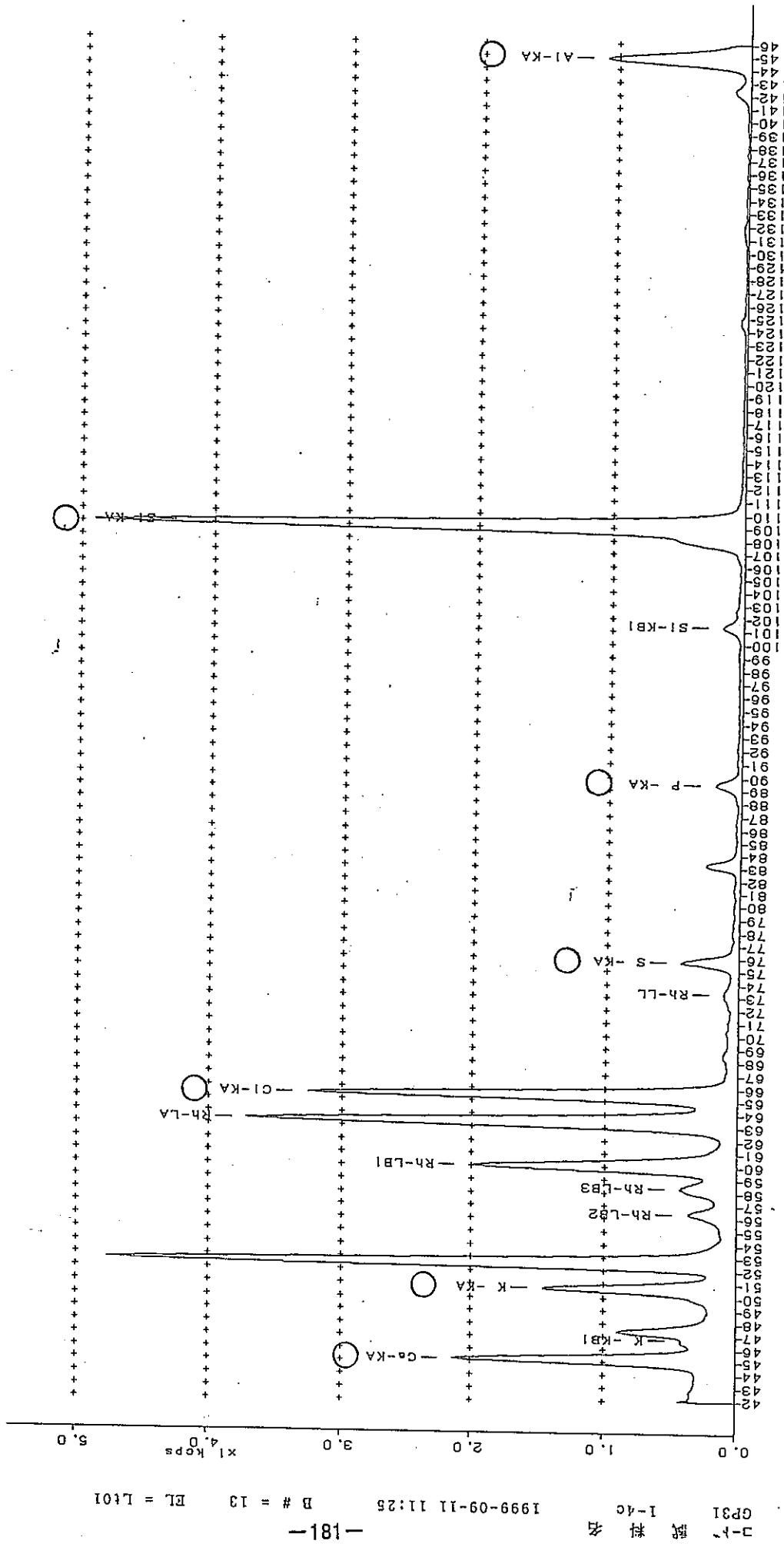
T# ショフコート 試料名 B#
3 STP GP31 1-4c 13

元素コード	No.	ピーク角度(deg)	X線強度(kcps)	スペクトル
(重元素類)	1	15.61	2.427	Rh-KB1
	2	16.48	6.408	Rh-KB1 -COMPTON
	3	17.59	14.909	Rh-KA
	4	18.47	24.434	Rh-KA -COMPTON
	5	20.98	0.346	
	6	21.55	0.304	
	7	21.83	0.358	
	8	22.14	0.264	
	9	22.41	0.372	
	10	23.24	0.271	
	11	24.96	0.296	
	12	25.21	0.240	
	13	25.49	0.204	
	14	26.38	0.203	
	15	51.77	68.244	Fe-KB1
	16	57.53	373.638	Fe-KA
	17	62.98	0.133	Mn-KA
	18	86.18	0.131	Ti-KA -*
(軽元素類)	1	45.20	2.128	Ca-KA
	2	46.73	0.429	K-KB1
	3	47.37	0.902	
	4	50.68	1.441	○ K-KA
	5	52.60	4.748	
	6	56.40	0.253	Rh-LB2
	7	58.33	0.318	Rh-LB3
	8	60.07	1.891	Rh-LB1
	9	63.42	3.619	Rh-LA
	10	65.47	3.162	○ Cl-KA
	11	73.31	0.048	Rh-LL
	12	75.77	0.383	○ S-KA
	13	83.27	0.224	
	14	89.47	0.164	○ P-KA
	15	101.34	0.124	Si-KB1
	16	102.53	0.029	
	17	109.08	4.802	○ Si-KA
	18	124.66	0.032	
	19	142.33	0.083	
	20	144.84	0.915	○ Al-KA
Mg01	1	45.25	0.023	○ Mg-Ka

但し、○印：試料からの検出元素

その他：装置自体からの検出元素

サンプル名：No. 1-4c



ピーカー角度 (deg)

図1-2. 軽元素類 (Al～Ca) の蛍光X線スペクトル (○印: 試料からの検出元素、その他: 装置からの検出元素)

サンプル名：No. 1 - 4c

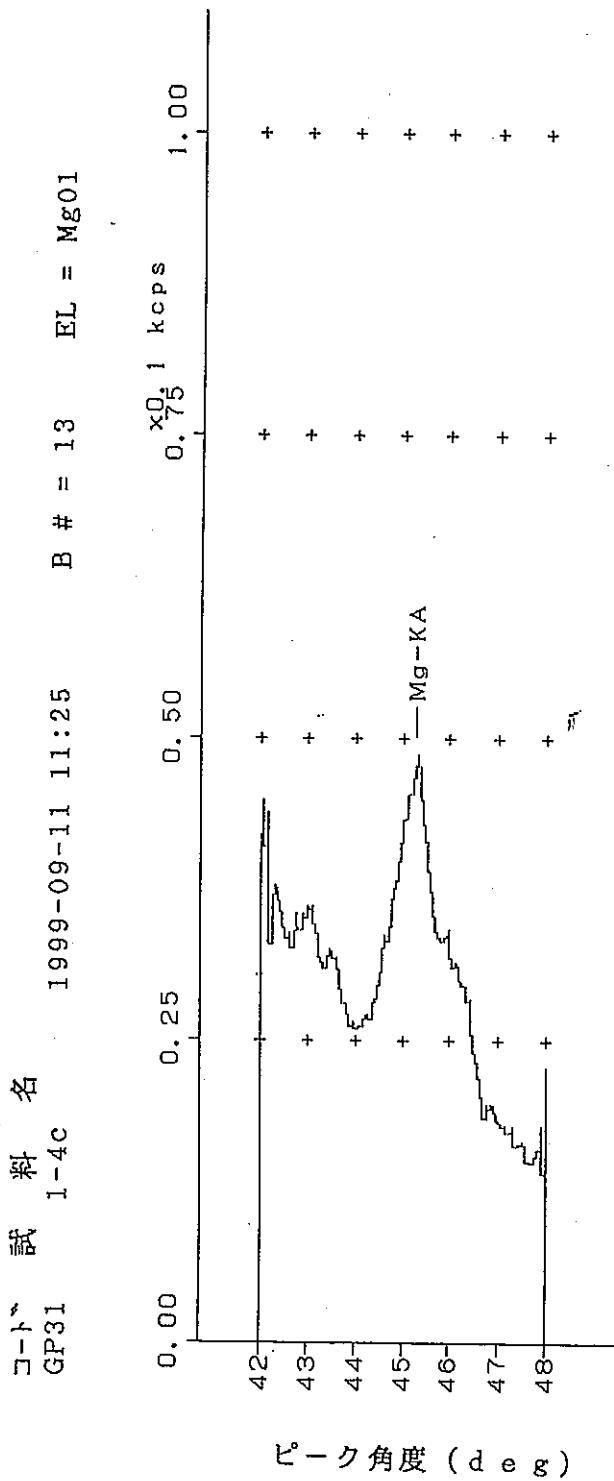
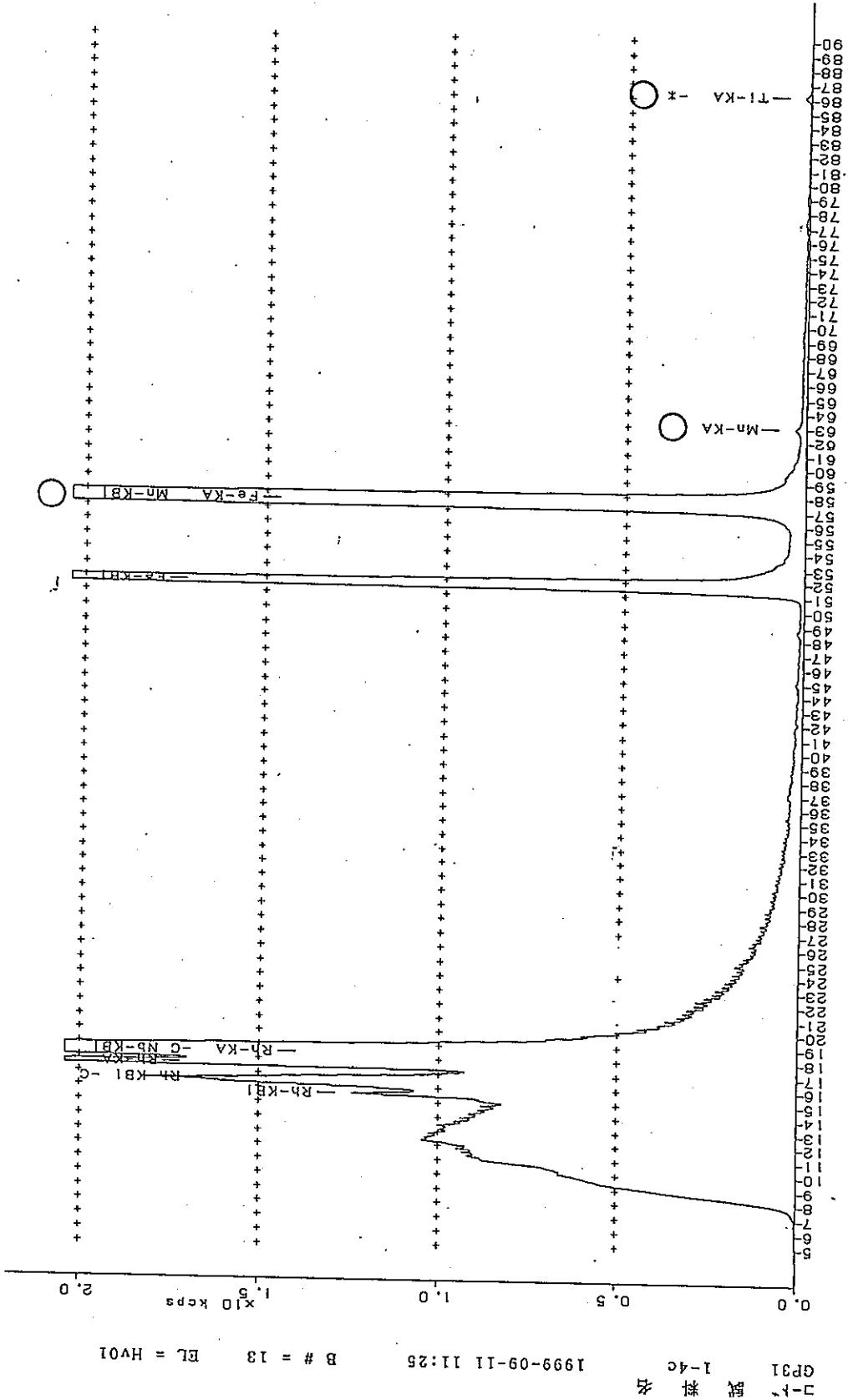


図3-2. 軽元素(Mg)の蛍光X線スペクトル

サンプル名：No. 1-4c



ピーカー角度 (deg)

図2-2. 重元素類 (Ti-U) の蛍光X線スペクトル (○印: 試料からの検出元素、その他: 装置からの検出元素)

8.3.5 化学分析結果（原子吸光光度法）

以降に、本研究で実施した考古学遺物の原子吸光光度法による化学分析の全データを示す。

表1 化学分析結果（原子吸光光度法） (w t. %)

本文中の 試料番号	試料番号	Fe	Al	Ti	Si
No. 7	1-8	35.7	2.96	0.09	9.67
No. 15	1-15	46.8	1.20	0.03	5.91
鉄滓 (上新保)	1-2 表層	41.2	3.73	4.22	4.31
	1-2 素地	64.2	0.86	1.99	1.77
鉄滓 鉄滓(染地)	2-1 表層	51.4	1.76	0.95	6.08
	2-1 素地	56.4	2.65	2.81	2.25

表2 鉄の含有量（原子吸光光度法）

本文中の 試料番号	試料番号	Fe (g)	試料 (g)	体積 (g/cm ³)
No. 3 (錫層)	1-4a	0.175	0.50	0.19
	1-4b	0.202	0.49	0.18

8.3.6 SEM/EDX分析結果

以降に、本研究で実施した考古学遺物のSEM/EDX分析の全データを示す。

対象試料：1-2b（上新保鉄滓の素地）

2-1b（染地鉄滓の素地）

1. 分析目的

材料の組成分析および面分析

2. 分析試料

鉄滓 (1-2 b, 2-1 b) 2件

3. 分析装置

日立製走査型電子顕微鏡 S-4200

エネルギー分散型X線分析装置 EMAX-5770 (検出範囲; C~U)

4. 試料前処理

n-ヘキサンで洗浄後, C蒸着

5. 分析条件

* 加速電圧 : 20 kV

* 紋 り : 1

* Cond Lends : 9

6. 分析結果

試料の中央付近を SEM 観察し, 写真撮影および定性分析をした。同視野で O, Al, Si, Ti, Fe について面分析をした。図番と試料名は以下のように対応する。

図 1 No. 1-2 b 定性分析結果

図 2 No. 1-2 b 面分析結果

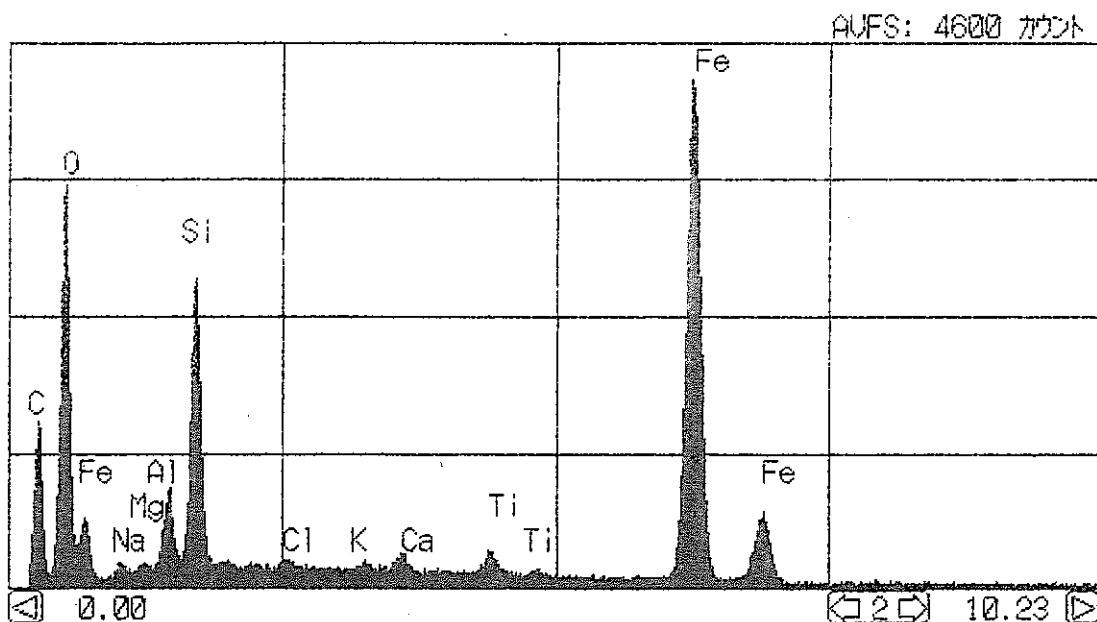
図 3 No. 2-1 b 定性分析結果

図 4 No. 2-1 b 面分析結果

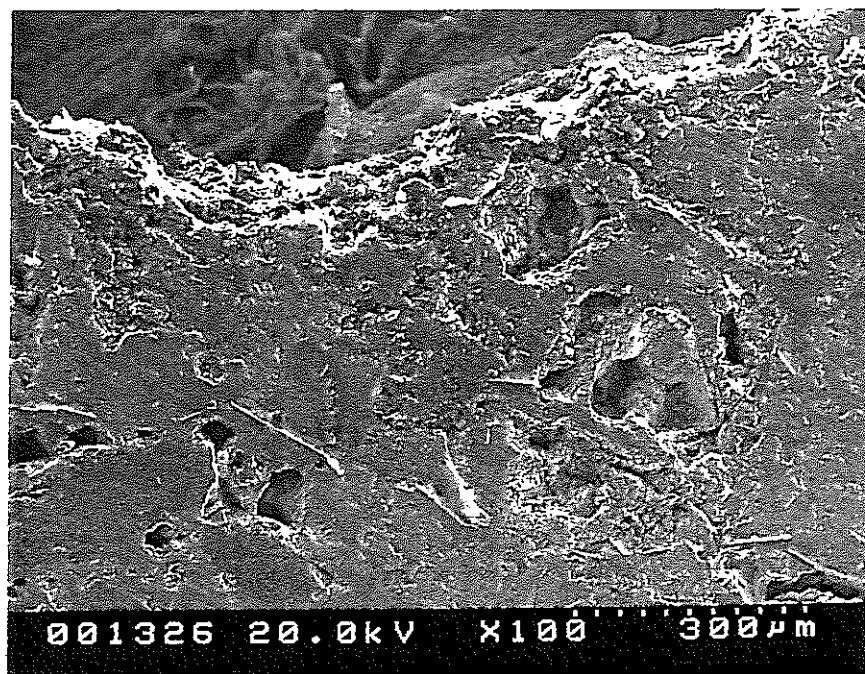
分析の結果, No. 1-2 b, No. 2-1 b 共に O, Si, Fe が強く検出されている。その他, C, Mg, Al, Ca, Ti 等も認められた。面分析の結果, 部分的に O が強く分布している場所が観察された。以上の結果より, 酸化物が存在すると思われる。

1:1-2b

測定時間： 100.s

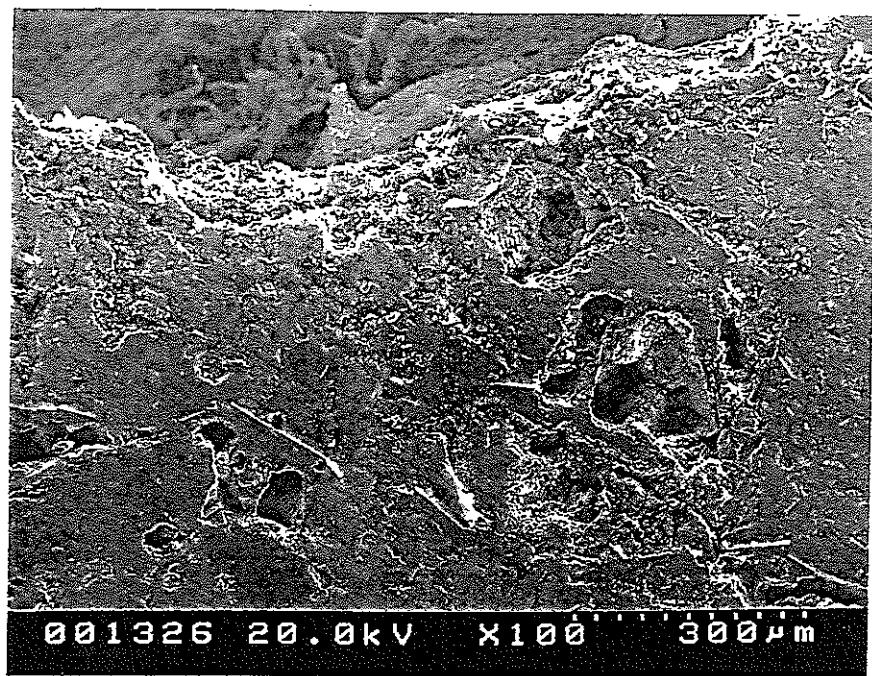


元素分析結果

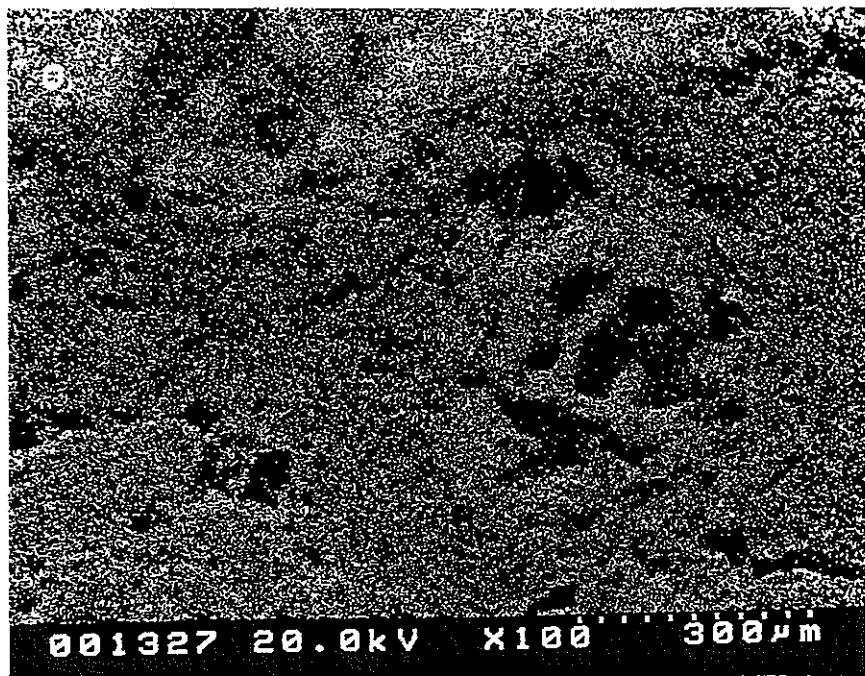


(倍率：100倍)

図1. No. 1-2b の定性分析結果

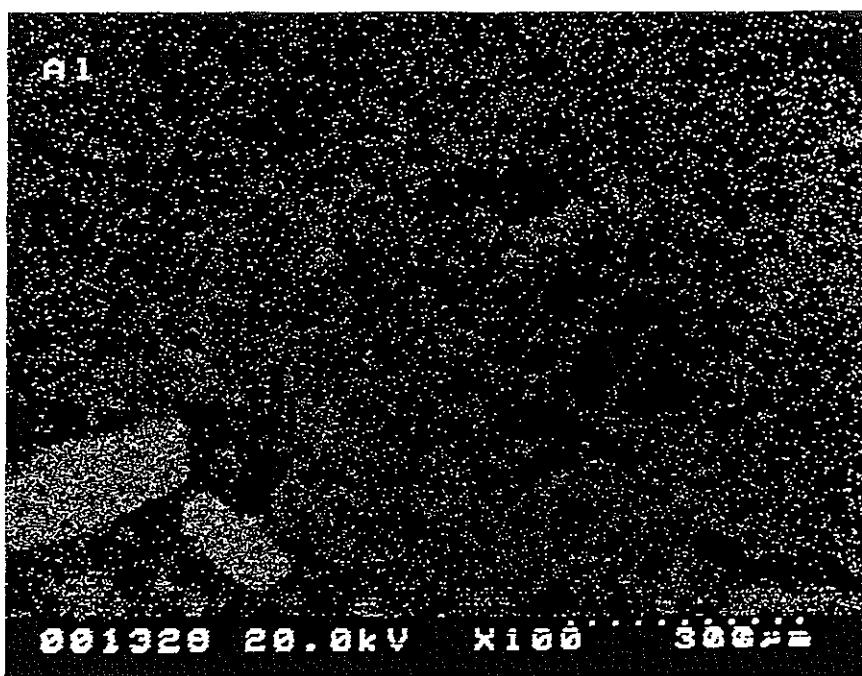


(倍率：100倍)
二次電子像

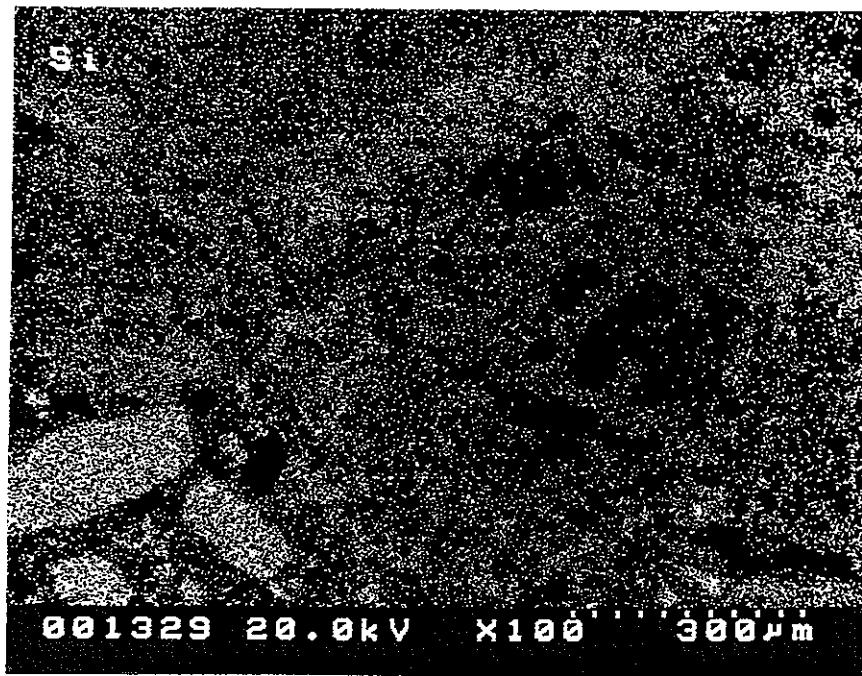


(倍率：100倍)
○の面分析像

図2-1. No. 1-2 b の面分析結果



(倍率：100倍)
A1の面分析像



(倍率：100倍)
Siの面分析像

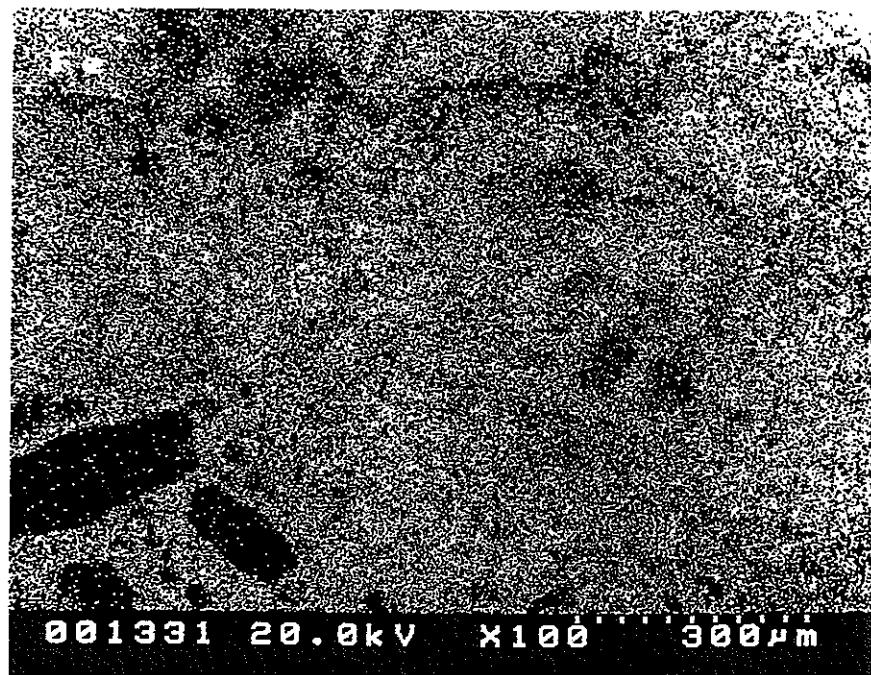
図2-2. No. 1-2 bの面分析結果



001330 20.0kV ×100 300μm

(倍率：100倍)

Tiの面分析像



001331 20.0kV ×100 300μm

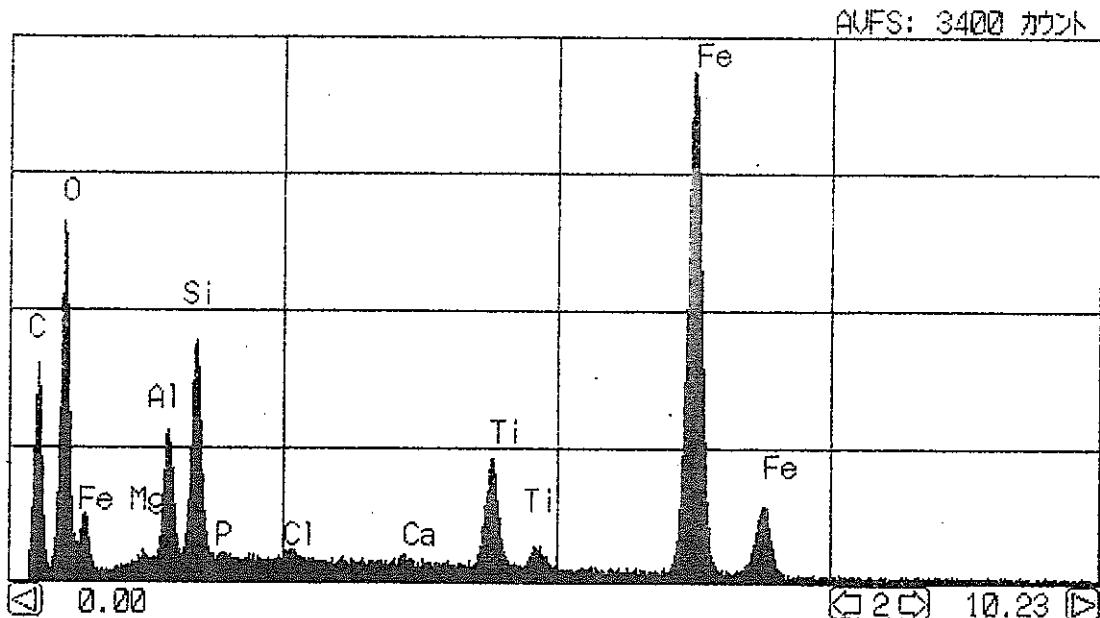
(倍率：100倍)

Feの面分析像

図2-3. No. 1-2 b の面分析結果

1:2-1b

測定時間： 100 s



元素分析結果

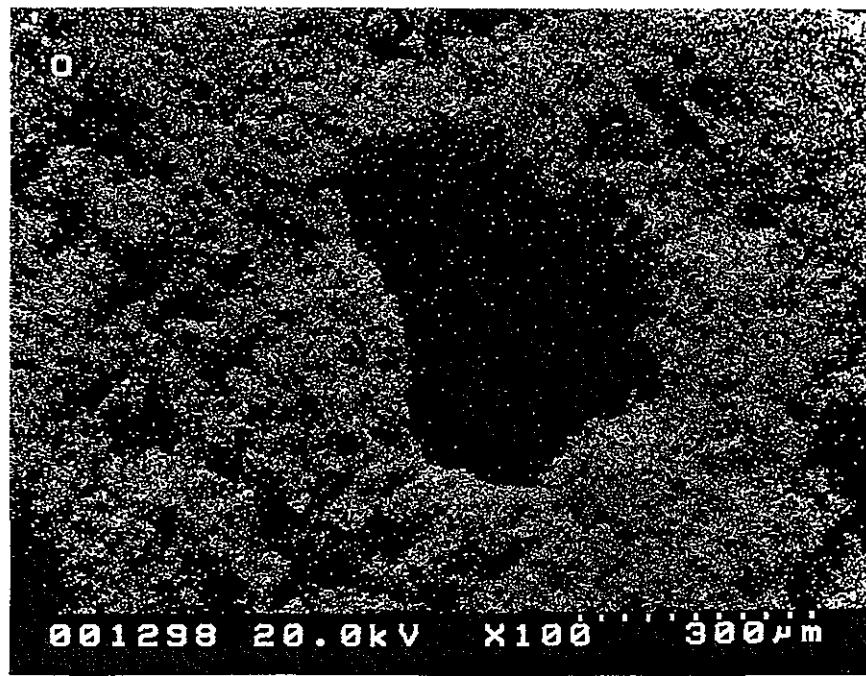


(倍率；100倍)

図3. No. 2-1 b の定性分析結果

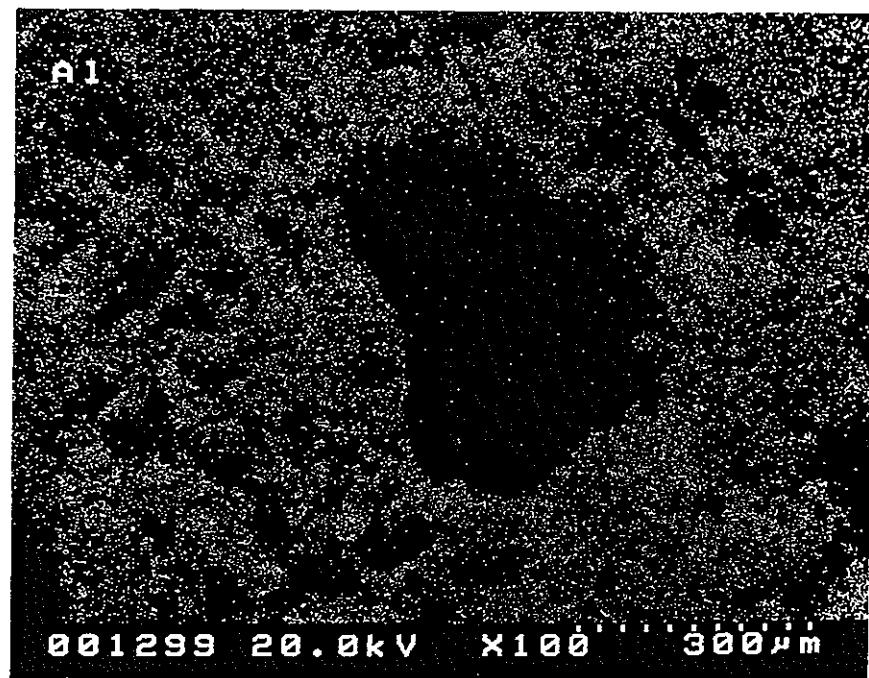


(倍率：100倍)
二次電子像



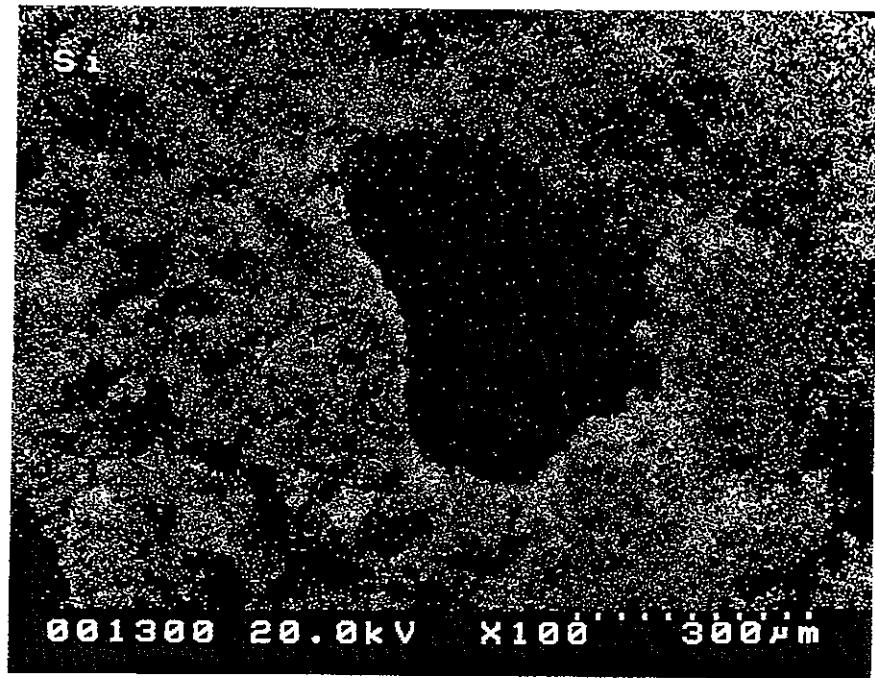
(倍率：100倍)
○の面分析像

図4-1. No. 2-1 b の面分析結果



(倍率：100倍)

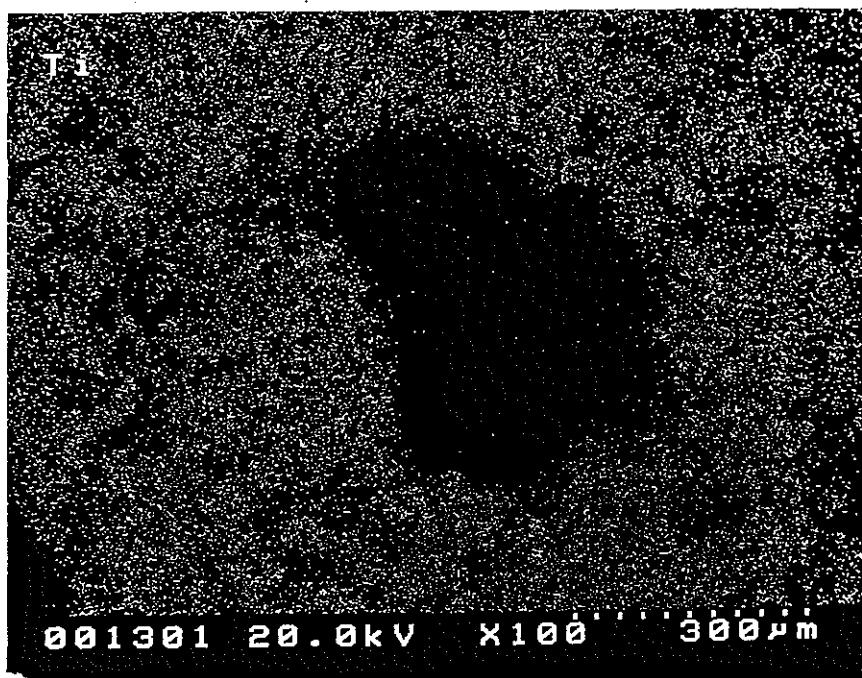
A1の面分析像



(倍率：100倍)

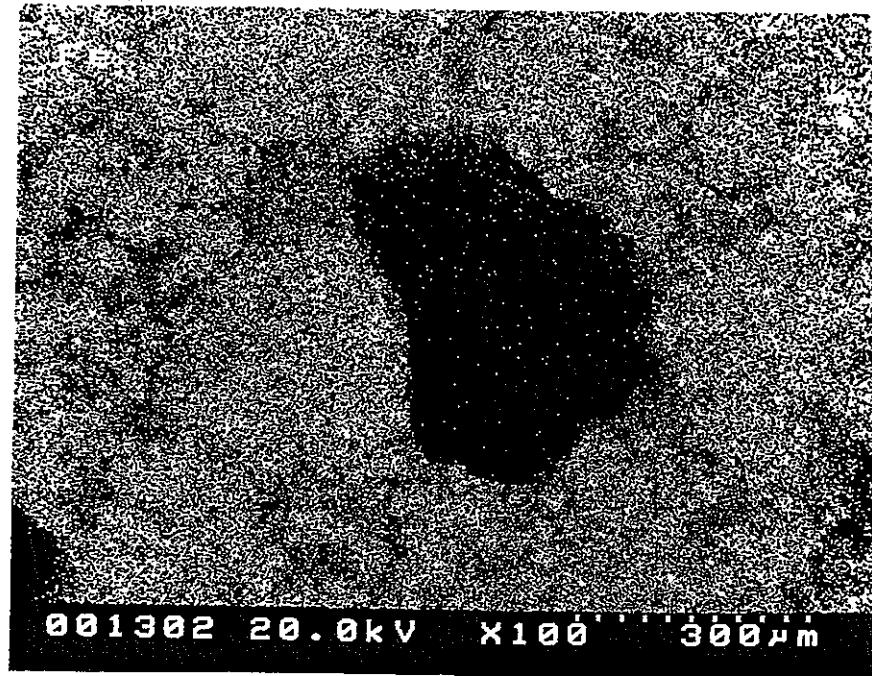
Siの面分析像

図4-2. No. 2-1 b の面分析結果



(倍率；100倍)

Tiの面分析像

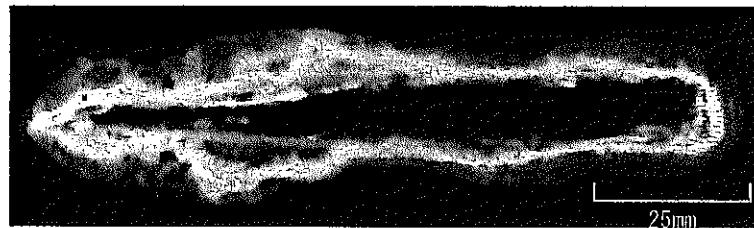


(倍率；100倍)

Feの面分析像

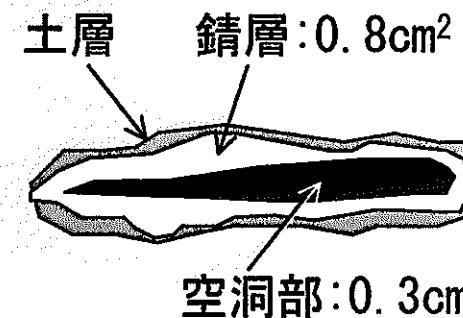
図4-3. No. 2-1 b の面分析結果

腐食量のマスバランスについて (計測方法)



鉄器のX線CT像 (No. 2 [KSB. II. 下SI-13])

画像解析



・鋆層及び空洞部の単位厚さ δ 当たりの鉄換算重量

$$\text{鋆層} : 0.8(\text{cm}^2) \times 4(\text{g/cm}^3) \times 0.4 = 13\delta(\text{g})$$

面積 鋆層比重 鋆層中の鉄含有率

$$\text{空洞部} : 0.3(\text{cm}^2) \times 7.8(\text{g/cm}^3) = 23\delta(\text{g})$$

面積 鉄比重

	面積 (cm ²)	鉄換算 重量(g)	備考
鋆層	0.8	13δ	全腐食量に相当
空洞部	0.3	23δ	空洞は元の金属鉄の体積に比べ 約2倍膨張していると推定される