



日本原子力研究開発機構機関リポジトリ  
Japan Atomic Energy Agency Institutional Repository

Title	大阪府八尾市大竹西遺跡出土鉄剣の非破壊分析
Author(s)	三ツ井 誠一郎
Citation	八尾市立歴史民俗資料館研究紀要. 2013, (24), p.73-80.
Text Version	Publisher
URL	<a href="http://jolissrch-inter.tokai-sc.jaea.go.jp/search/servlet/search?5040654">http://jolissrch-inter.tokai-sc.jaea.go.jp/search/servlet/search?5040654</a>
Right	©Author



Japan Atomic Energy Agency

# 八尾市立歴史民俗資料館

## 研究紀要

### 第24号

[論文]

久宝寺寺内町の成立と再編

小谷 利明 ..... 1

[研究ノート]

八尾の考古学を支えた人たち -清原得巖と岩本文一を中心に-

樋口 めぐみ ..... 17

[研究ノート]

八尾の桶作りと道具について -底抜け担桶の復原製作から-

岡田 清一 ..... 25

[研究ノート]

河内国高安郡恩智村神宮寺感應院文書の紹介

平成二十四年度近世古文書講座中級編講座生 ..... 33

[資料紹介]

高安郡の宗教施設と「高安郡図」

-「館蔵 大東家文書所収の絵図」-

小谷 利明 ..... 52

[研究ノート]

河内の機織り機に関する研究 -刀杼について-

李 熙連伊 ..... 72 (9)

[研究ノート]

大阪府八尾市大竹西遺跡出土鉄剣の非破壊分析

三ツ井 誠一郎 ..... 80 (1)

八尾市立歴史民俗資料館

# 大阪府八尾市大竹西遺跡出土鉄剣の非破壊分析

三ツ井誠一郎

## 1. はじめに

金属材料の腐食は、材料と環境との化学的相互作用により進行する現象であり、材料特性と環境条件に支配されている。考古学的調査により、様々な遺存状態の鉄製や銅製の遺物が出土しているが、これも材料特性と埋蔵環境条件の結果である（図1.1）。一般に、鉄製遺物は表面が厚い腐食生成物、すなわち「鏽」に覆われており、原形を留めていないことが多いが、稀にほぼ原形のまま出土する遺存状態が良好なものもある。このような腐食状態の違いの要因としては、遺物そのものの材料特性のほか、それぞれの遺物が埋蔵されていた環境の条件が関係しているものと考えられる。

大阪府八尾市大竹西遺跡の弥生時代後期初頭（1世紀前半）の遺構から出土した鉄剣は、直線的な鎬（しのぎ）の形状が明瞭に残存するなど、極めて良好な遺存状態で出土した非常に貴重な事例である。今回、本鉄剣の腐食状態を把握するため、エックス線コンピュータトモグラフィ（以下、X線CT）分析<sup>1)</sup>による腐食層の厚さの測定、ならびに蛍光エックス線（以下、XRF）分析<sup>2)</sup>及びエックス線回折（以下、XRD）分析<sup>3)</sup>（XRFとXRDを併せて表現する際はXRDFとする。）による腐食生成物の同定と腐食層の組成分析を実施した。

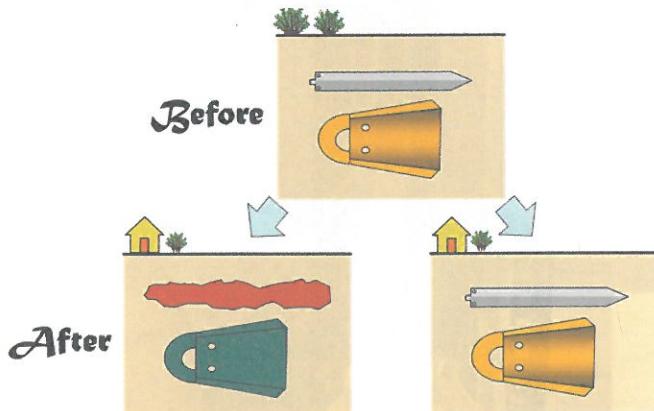


図1.1 材料特性と埋蔵環境条件による遺存状態の違い（イメージ）

## 2. 大竹西遺跡出土鉄剣（八尾市指定文化財）

この鉄剣は、1997年1月に八尾市立屋内プール建設に伴う第3次発掘調査で出土したものであり、発掘調査報告書<sup>4)</sup>に詳細が記されている。鉄剣は地表面下約4mの弥生時代後期初頭（1世紀前半）と見られる土坑状遺構から板状木製品に水平に設置された状態（図2.1）で出土し、当初表面は部分的に緑色を呈していた。保存処理に伴うクリーニング後の表面は黒色を呈し、金属光沢のある地金部は認められない。大きさ

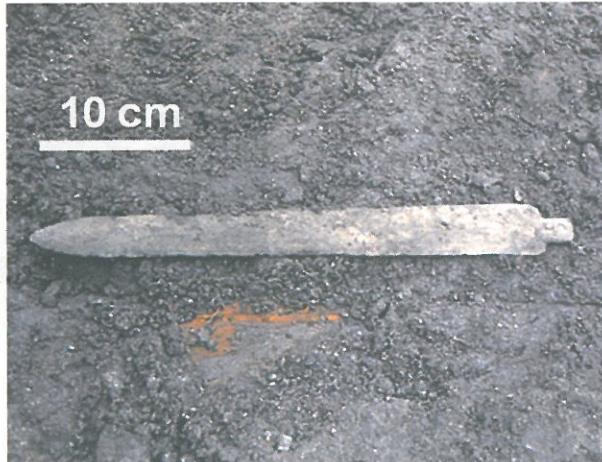


図2.1 鉄剣の出土状況

は全長35.8cm、最大幅3.6cm、厚さ0.6cm、重さは225gであり、短茎式で刃関双孔の特徴を有する。X線透過及びX線CT分析により鋤造品であることが確認されており<sup>5)</sup>、現時点では近畿地方最古の鋤造鉄剣といえる。

### 3. 分析項目

#### 3.1. X線CT分析

使用したX線CT装置は、日立製HiXCT-6Mである。X線エネルギーの最大値は6MeV、スライス厚さは0.4mm、画素サイズ0.2mmである。分析時の鉄剣の設置状況を図3.1に示す。鉄剣の断面を分析するには鉄剣を立てる必要があり、また分析時に鉄剣を装置に固定する必要があったため、この方法を採用した。この状態で鉄剣の切先は上方を向いている。図3.2に示した通り、茎の下端を基準に9mmの位置から329mmの位置まで、計12断面を分析した。なお、CT値を密度に換算する際の基準物質として炭素鋼（SS400）を同時に分析した。

腐食層の厚さを求めるため、基準物質のCT値と密度 ( $\rho = 7.85\text{g/cm}^3$ ) を基準に、得られた各断面のCT値を密度に換算し、日本ヴィジュアルサイエンス社製画像解析ソフトVGStudio MAX ver. 2.1を用いて密度分布図を作成した。後述のXRDF分析により腐食生成物として菱鉄鉱 ( $\rho = 3.96\text{g/cm}^3$ ) が検出されているため、この密度分布図において、密度が $0.5\sim 2.8\text{g/cm}^3$ 及び $2.8\sim 4\text{g/cm}^3$ の部分を腐食層、 $4\text{g/cm}^3$ 以上の部分を鉄とした<sup>6)</sup>。



図3.1 X線CT分析時の試料の設置状況

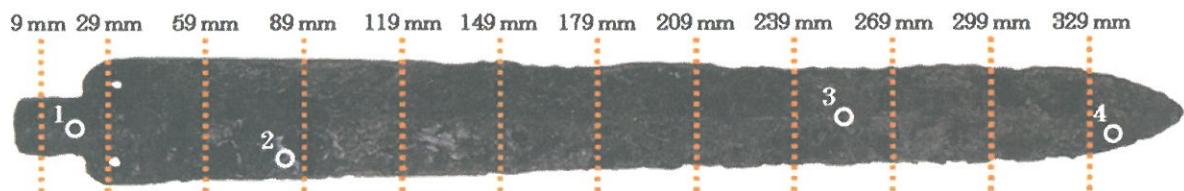


図3.2 X線CT分析及びXRDF分析箇所

(破線がX線CT分析、○がXRDF分析)。

※発掘調査報告書<sup>4)</sup>よりA面の写真を転載

### 3.2. XRDF分析

使用した分析装置は、理研計器株式会社製ポータブルX線回折・蛍光X線分析装置XRDF（DF-01）である。分析時の試料の設置状況を図3.4、測定条件を表3.1及び表3.2に示す。図3.2に示した通り、A面を対象に4箇所を分析した。

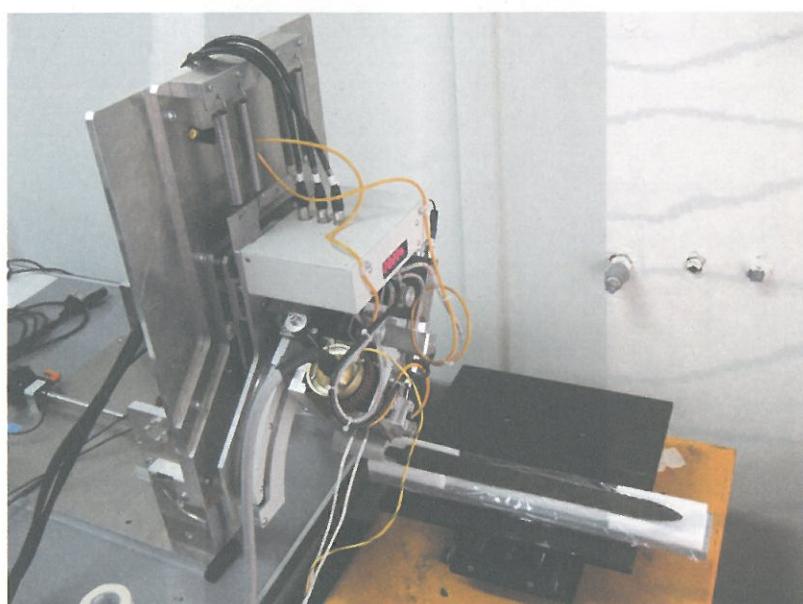


図3.3 XRDF分析時の試料の設置状況

(鉄剣は右手前に設置)

表3.1 XRF分析条件

管球ターゲット	Cr
管電圧	35 kV
管電流	1.0 mA
計数時間	100 sec
測定雰囲気	大気雰囲気 <sup>7)</sup>
測定角度	60deg ( $\theta$ )

表3.2 XRD分析条件

管球ターゲット	Cr
管電圧	35 kV
管電流	1.0 mA
ステップ	0.4 deg (2 $\theta$ ) / step
計数時間	4sec / step
測定角度範囲	16-120deg (2 $\theta$ )

#### 4. 分析結果

##### 4.1. X線CT分析

鉄剣のX線透過画像を図4.1、密度分布図を図4.2に示す。X線透過画像では、A面を手前にして撮像した配置となっている。また密度分布図では、上がA面、下がB面であり、切先側から各断面を見た配置となっている。図4.2に示される通り、今回分析した断面における腐食層の平均的な厚さについてはA面とB面、また茎側と切先側での顕著な差は認められず、全体にはば均一に腐食しているといえる。

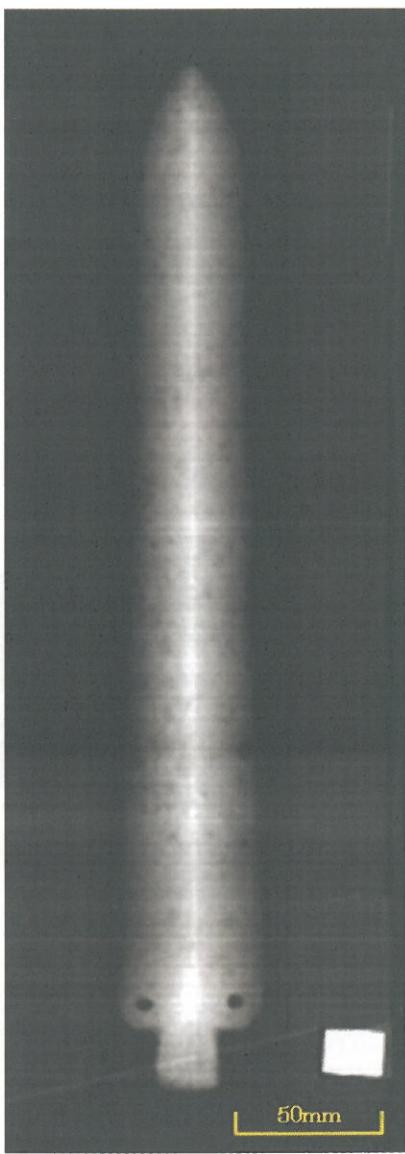


図4.1 大竹西遺跡鉄剣 X線透過画像

(手前がA面であり、右下の白色部は基準物質の炭素鋼（SS400）の円柱である。)

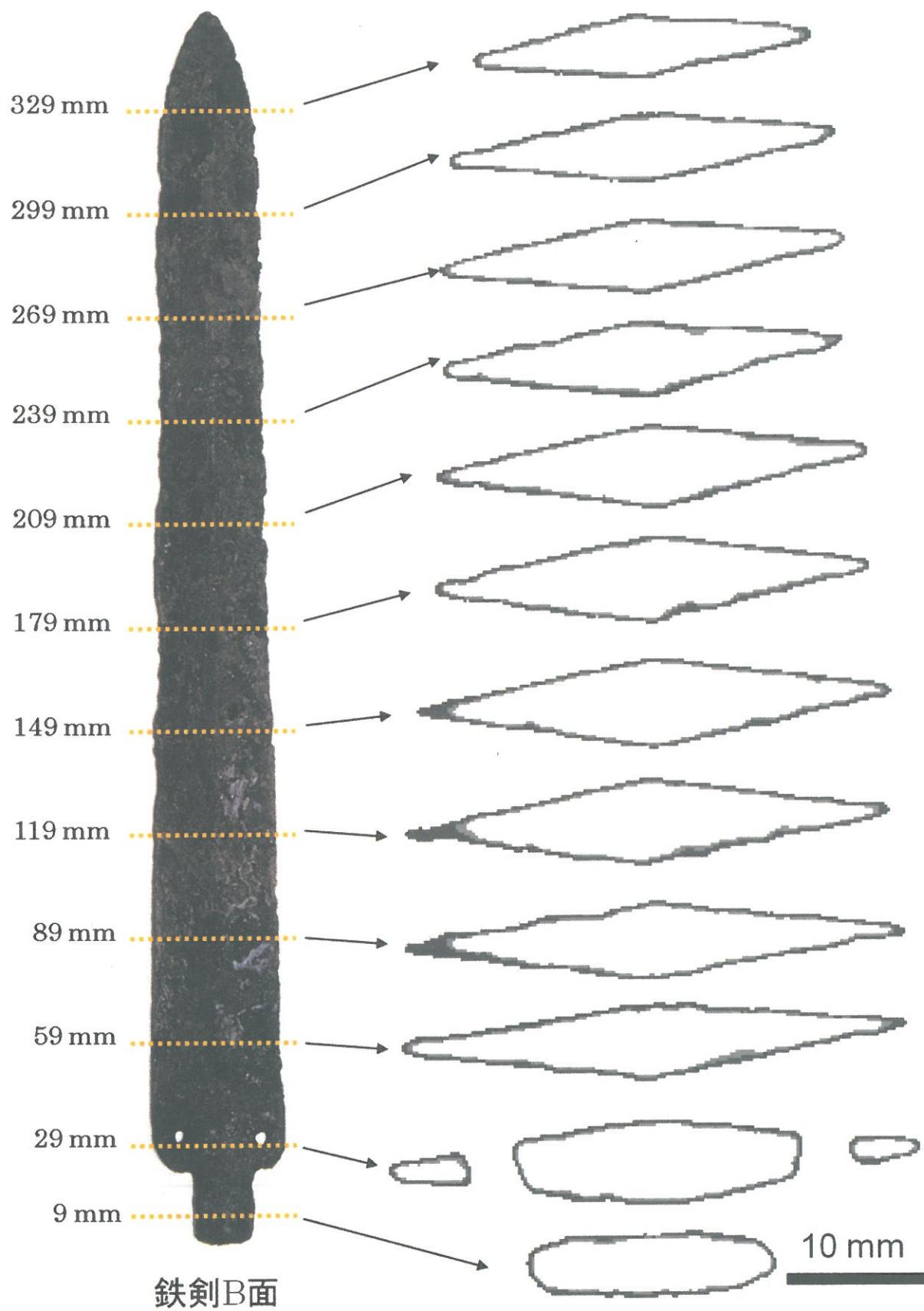


図4.2 大竹西遺跡鉄剣と各断面の密度分布図

(濃い灰色が密度 $0.5\sim2.8\text{g}/\text{cm}^3$ の腐食層、薄い灰色が密度 $2.8\sim4\text{g}/\text{cm}^3$ の腐食層、白色が金属鉄)

※発掘調査報告書<sup>4)</sup>よりB面の写真を転載

#### 4.2. XRDF分析

図3.2に示した4つの分析箇所のXRF分析及びXRD分析の結果を、それぞれ図4.3及び図4.4に示す。XRF分析によりCa（カルシウム）、K（カリウム）等の土壤由来の成分が検出されている。村田が実施したXRF分析でもMn（マンガン）、Si（ケイ素）、Ca、Al（アルミニウム）、Ti（チタン）、K等の土壤由来成分が検出されており<sup>5)</sup>、今回の分析結果はこれを追認する結果となった。なお、今回実施したXRF分析は大気雰囲気<sup>7)</sup>で実施したため、SiやAlといった軽元素を検出することができなかった。またXRD分析により、腐食生成物として2価の鉄（Fe<sup>2+</sup>）を含有する菱鉄鉱（FeCO<sub>3</sub>）及び3価の鉄（Fe<sup>3+</sup>）を含有する針鉄鉱（ $\alpha$ -FeOOH）が検出された。菱鉄鉱は酸素の影響受けにくい埋蔵環境において鉄剣の腐食に伴って生成したと考えられるが、針鉄鉱については出土後の鉄イオンの酸化により生成した可能性がある。分析箇所3のXRD分析では土壤由来の石英（SiO<sub>2</sub>）が検出されており、XRFの結果と整合的である。

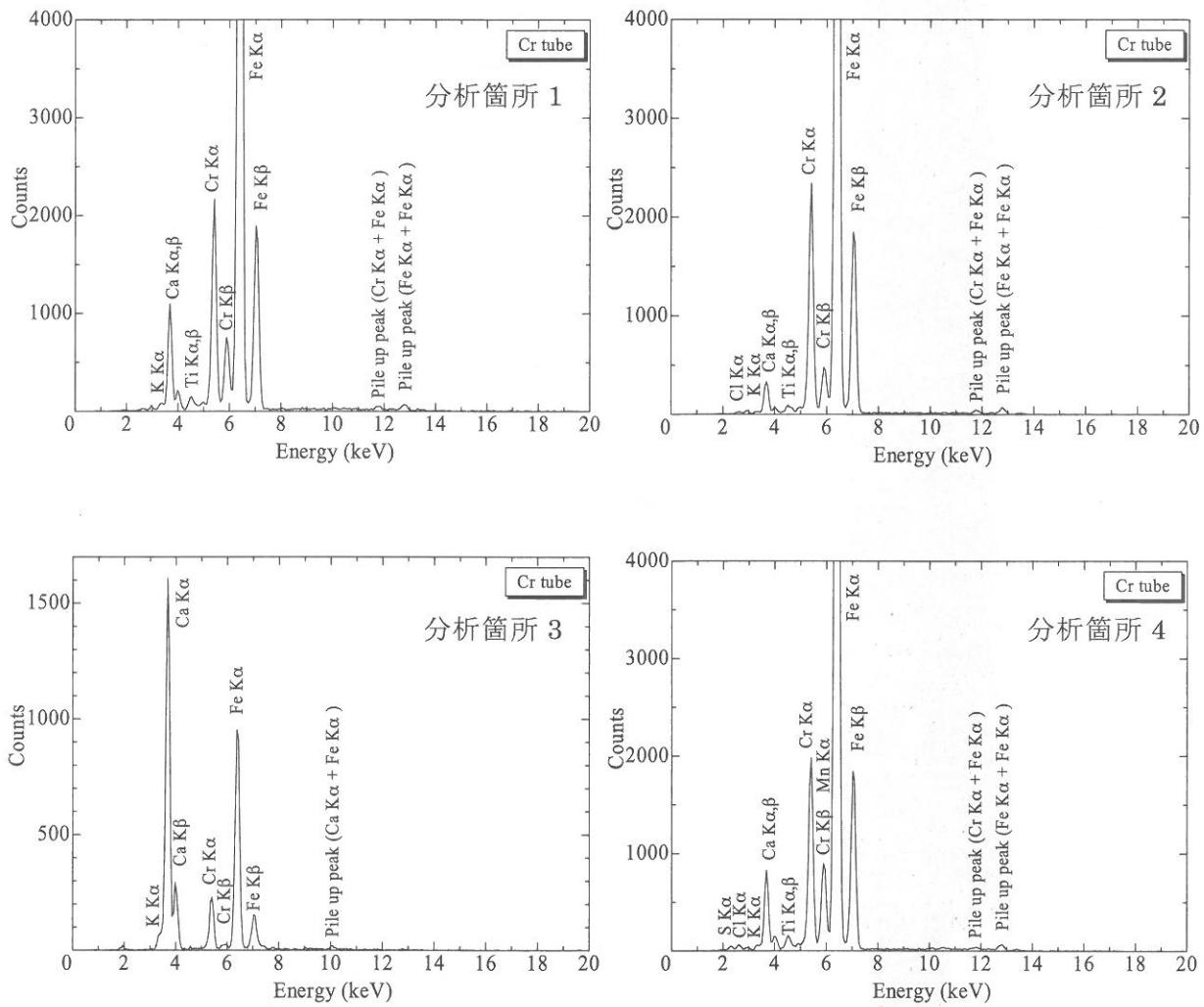


図4.3 大竹西遺跡鉄剣 XRF分析結果

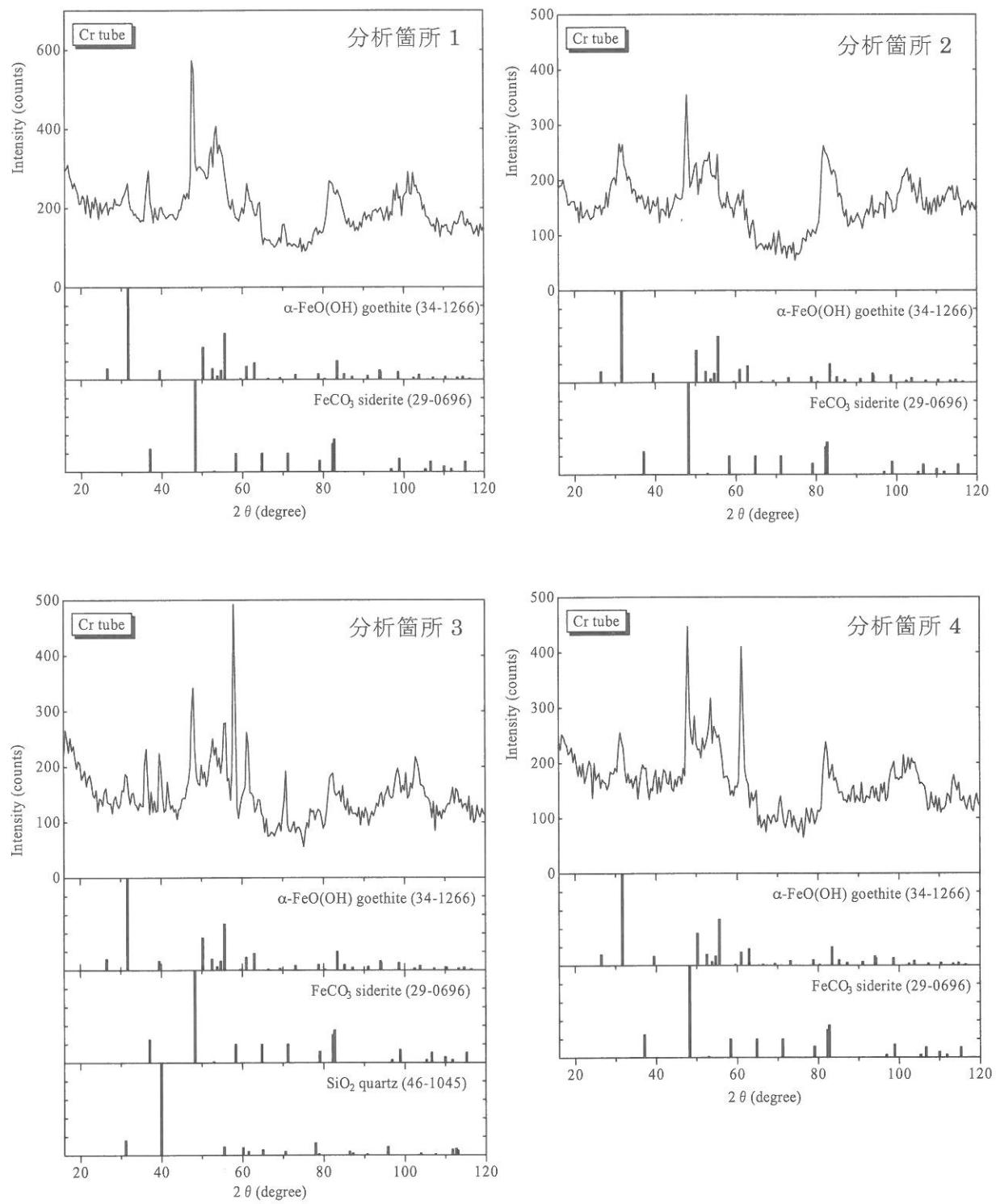


図4.4 大竹西遺跡鉄剣 XRD分析結果

## 5. まとめ

大阪府八尾市大竹西遺跡より出土した弥生時代の鉄剣の腐食状態を把握するため、X線CT分析による腐食層の厚さの測定、及びX線回折・蛍光X線（XRDF）分析による腐食生成物の同定と腐食層の組成分析を実施した。その結果、全体にほぼ均一な厚さで腐食していること、腐食生成物が菱鉄鉱（ $\text{FeCO}_3$ ）及び針鉄鉱（ $\alpha\text{-FeOOH}$ ）であることを確認した。

## 謝辞

八尾市立歴史民俗資料館には本稿を掲載頂いたことを感謝いたします。また、八尾市教育委員会 藤井淳弘氏、八尾市立歴史民俗資料館の樋口めぐみ氏、財団法人八尾市文化財調査研究会の西村公助氏には、鉄剣の分析にあたってお取り計らい頂くとともに、参考情報をご教示頂いた。以上の方々を始めとする関係の皆さまに心よりお礼申し上げます。

## 註

- 1) X線撮影（レントゲン撮影）を360度全方向から行って得たデータを、コンピュータで処理して試料の内部構造を知る方法。物質の密度によってX線の吸収のされ方が異なるので、試料がどのような密度の物質でできているかを調べることができる。
- 2) X線を試料に照射した時に発生する蛍光X線のエネルギーや強度から、物質の成分元素や構成比率を調べることができる。
- 3) 結晶を含む試料にX線を照射すると、X線が回折され、結晶構造を反映した回折パターンが得られる。この回折パターンから、試料に含まれる結晶の推定に役立つ情報が得られる。
- 4) (財) 八尾市文化財調査研究会：大竹西遺跡第3次調査—八尾市立屋内プール建設に伴う発掘調査報告一、(財) 八尾市文化財調査研究会報告106 (2008) .
- 5) 村田忠繁：大竹西遺跡出土の鋳造鉄剣の保存処理、大竹西遺跡第3次調査—八尾市立屋内プール建設に伴う発掘調査報告一、(財) 八尾市文化財調査研究会報告106 pp. 103-107 (2008) .
- 6) X線CTで得られる密度は「かさ密度」（空隙などを含めた体積で物質の質量を除したものであり、真密度よりも小さくなる。）に相当する値となる。鉄剣内部には鋳造時に発生する空隙「鬆（す）」が確認されていることから<sup>5)</sup>、金属鉄が残存する領域の密度はある程度低下していると考えられる。
- 7) 大気雰囲気、すなわちHe（ヘリウム）ガスを用いずに分析を実施する場合、大気によってX線が減衰するため、P（リン）よりも原子量の小さいSiやAlなどの元素の検出は困難となる。今回用いた装置DF-01の場合、Heガスを用いることでAlの原子量以上の元素の検出が可能となる。

(独立行政法人日本原子力研究開発機構)