

# 吉森遺跡Ⅲ

—福岡県糸島市二丈吉井所在中世製鉄遺跡の調査—

中山間地域総合整備事業福吉地区関係埋蔵文化財調査報告・VI

糸島市文化財調査報告書

第12集

2013

糸島市教育委員会





1号鉄器埋土坑検出状況(裏から)



## 序

この報告書は、中山間地域総合整備事業「福吉地区」に関連して緊急調査した吉森遺跡の発掘調査の記録の一部であります。

本書が考古学研究の一資料となり、文化財の保護と活用に広く利用されることを願います。

平成25年3月31日

糸島市教育委員会 教育長 菊池俊秀

## 例 言

1. 本書は、福岡県糸島郡二丈町(現：糸島市)大字吉井字吉森に所在した吉森遺跡の第3次調査の記録である。
2. 発掘調査は、国庫及び県費補助を受けて実施した。
3. 発掘調査の調査主体は二丈町教育委員会(現：糸島市教育委員会)である。
4. 本書に掲載した遺構、遺物の実測図の作成は、村上 敦が行った。
5. 本書に掲載した図面の製図は内山久世、藏田和美、村上が行った。
6. 本書に掲載した写真の撮影は、空中写真を除き村上が行った。
7. 本書に掲載した空中写真は、有限会社 空中写真企画に委託した。
8. 本書で用いた座標系は昭和43年建設省告示第3059号の規定による第Ⅱ座標系に基づいており、北方位は全て座標北である。
9. 本書で用いた水準値は、T.P.値(東京湾平均海面値)である。
10. 遺物の色調については、『新版 標準土色帖 1997年度版』の表記法に従った部分があり、その場合は色記号と土色名を併記した。
11. 表に用いる陶磁器の分類については、山本信夫 2000『大宰府条坊跡XV—陶磁器分類編—』太宰府市の文化財 第49集による。
12. 図版の遺物写真に付した番号は、掲載した挿図中の番号を示す。
13. 製鉄関連遺物の金属学的調査については、畿九州テクノロジーサーチ TACセンターに委託し、大澤正己氏、井澤英二氏に玉稿を頂いた。
14. 本書の編集は、村上が行った。

# 本文目次

I. はじめに	1
1. 調査に至る経過	1
2. 調査組織	1
II. 位置と環境	1
III. 調査の記録	8
1. 調査の経過	8
2. 遺構と遺物	8
1号製鉄関連土坑	8
2号製鉄関連土坑	8
出土遺物	11
3. おわりに	19
IV-1. 吉森遺跡(3次)出土製鉄・鍛冶関連遺物の金属学的調査(大澤正己)	25
1. 概要	25
2. いきさつ	25
3. 調査方法	25
4. 調査結果	27
5. まとめ	44
IV-2. 吉森遺跡(3次)試料XRD報告(井澤英二)	47
1. 試料と分析条件	47
2. X線回折結果と所見	47
Table1 供試材の履歴と調査項目	50
Table2 供試材の組成	51
Table3 出土遺物の調査結果のまとめ	52
Photo. 1 半還元砂鉄附着炉内滓、大口径送風管の顕微鏡組織	53
Photo. 2 マグネタイト系遺物、炉内滓の顕微鏡組織	54
Photo. 3 流出孔滓、流動滓の顕微鏡組織	55
Photo. 4 炉内滓、鉄塊系遺物の顕微鏡組織	56
Photo. 5 含鉄鉄滓、鉄塊系遺物の顕微鏡組織	57
Photo. 6 鉄塊系遺物、鉄器破片の顕微鏡組織	58
Photo. 7 羽口、炉底塊の顕微鏡組織	59
Photo. 8 炉内滓の顕微鏡組織	60
Photo. 9 椀形鍛冶滓の顕微鏡組織	61
Photo.10 椀形鍛冶滓の顕微鏡組織	62
Photo.11 椀形鍛冶滓、致鉄処理滓の顕微鏡組織	63
Photo.12 大型再結合滓の顕微鏡組織	64
Photo.13 大型再結合滓の顕微鏡組織	65

Photo.14	炉内滓のEPMA調査	66
Photo.15	炉内滓のEPMA調査	67
Photo.16	炉内滓のEPMA調査	68
Photo.17	鉄塊系遺物のEPMA調査	69
Photo.18	鉄塊系遺物のEPMA調査	70
Photo.19	羽口のEPMA調査	71
Photo.20	炉底塊のEPMA調査	72
Photo.21	炉底塊のEPMA調査	73
Photo.22	椀形滓のEPMA調査	74

## 挿図目次

第1図	糸島地域製鉄関連遺跡分布図(縮尺1/125,000)	2
第2図	糸島市西部域製鉄関連遺跡分布図(縮尺1/50,000)	5
第3図	遺跡周辺地形図(縮尺1/2,500)	6
第4図	遺構配置図(縮尺1/500)	7
第5図	1号製鉄関連土坑周辺平面図(縮尺1/50)	9
第6図	1号製鉄関連土坑実測図(縮尺1/30)	10
第7図	2号製鉄関連土坑実測図(縮尺1/20)	11
第8図	製鉄関連遺物実測図・1(縮尺1/3)	12
第9図	製鉄関連遺物実測図・2(縮尺1/3)	13
第10図	製鉄関連遺物実測図・3(縮尺1/3)	14
第11図	製鉄関連遺物実測図・4(縮尺1/3)	16
第12図	製鉄関連遺物実測図・5(縮尺1/3)	15
第13図	製鉄関連遺物実測図・6(縮尺1/3)	18



# 図版目次

巻頭図版 1号製鉄関連土坑検出状況(東から)

- 図版 1 〈上段〉1号製鉄関連土坑(東から)  
〈下段〉1号製鉄関連土坑内粘土塊検出状況(東から)
- 図版 2 〈上段〉1号製鉄関連土坑内粘土塊半裁状況(北から)  
〈下段〉1号製鉄関連土坑西側における鉄滓等出土状況(南から)
- 図版 3 〈上段〉1号製鉄関連土坑内再結合滓検出状況(東から)  
〈下段〉再結合滓下部半裁状況(東から)
- 図版 4 〈上段〉2号製鉄関連土坑検出状況(北から)  
〈下段〉2号製鉄関連土坑半裁状況(北から)
- 図版 5 製鉄関連遺物・1(1~3)
- 図版 6 製鉄関連遺物・2(4~8)
- 図版 7 製鉄関連遺物・3(9~13)
- 図版 8 製鉄関連遺物・4(14~23)



# I. はじめに

## 1. はじめに

平成13年度に行った吉森遺跡3次調査については、平成23年度に糸島市文化財調査報告第8集「吉森遺跡Ⅱ」として主な遺構と遺物を報告した。調査区の外縁部には旧湿地帯と推定される黒色粘質土が堆積しており、本文中においては西側湿地帯、北側湿地帯として報告している。しかし、これらの埋土には多くの遺物が含まれていたものの、鉄滓、鞆羽口、炉壁などといった製鉄に関連する遺物については諸事情により報告できなかった。今回の報告は、それらの金属学的分析を主とするものである。

## 2. 調査組織

報告書作成	調査主体	糸島市教育委員会	教育長	菊池俊秀
	調査総括		教育部	部長 井土敏幸
			文化課	課長 池田龍司
				課長補佐 山崎しのぶ
				課長補佐 岡部裕俊
				発掘調査係長 角 浩行
調査担当			主 幹	村上 敦
	(遺物整理作業員) 阿部恵美子、木下文子、永田光恵			

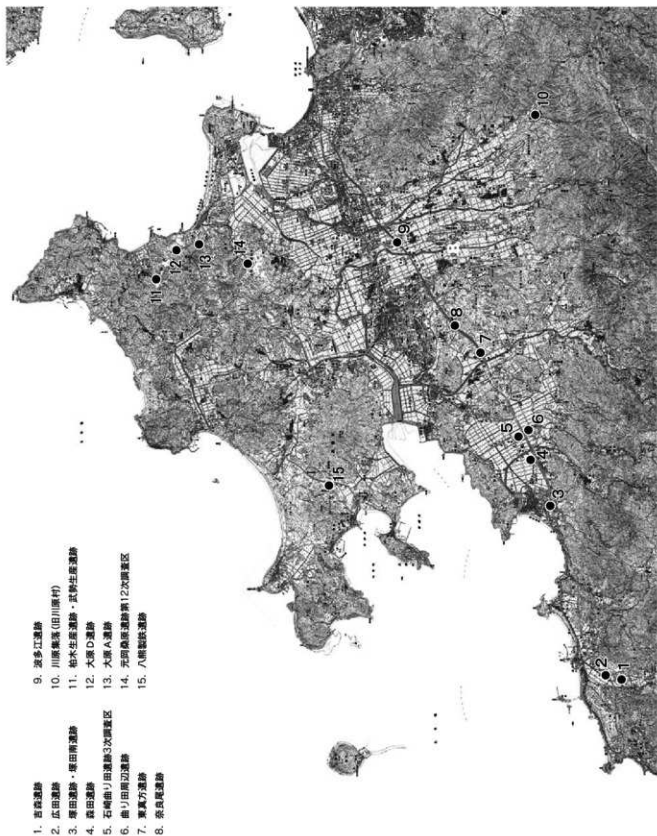
# II. 位置と環境

糸島市の南側に連なる脊振山系の山々や、志摩半島に点在する山塊の多くは糸島花崗閃緑岩、あるいは花崗岩からなり、良質の砂鉄を含有する。河口付近の砂浜には荒波に洗われて集積された砂鉄が層状に堆積している状況を日常的に観察できる場所も多く、海浜が主な砂鉄の採取場所であったであろうことは想像に難くない。

糸島地方は北部の旧志摩郡と南部の旧怡土郡により成るが、志摩郡には奈良時代から平安時代にかけての、規模の大きな製鉄関連遺跡が点在する。

最も早くから知られていた遺跡のひとつは、昭和56年に発掘調査された志摩郡西部に位置する八熊製鉄遺跡であり、ここからは8世紀後半代の製錬炉4基や、鍛冶炉、木炭窯が検出されている。製錬炉は箱形で、その片側或いは両側に排滓坑を伴うものである。周辺部から出土した炉壁には三角形の送風口が穿たれており、鞆羽口は最長で38cmと著しく長いものがある。また4号製錬炉近くで検出された砂鉄貯蔵穴から出土した砂鉄は、遺跡の北1.8kmに位置する幣の浜海岸から採取された砂鉄と近い化学組成であるとする分析結果がある。

志摩郡東部に位置する大原A遺跡、大原D遺跡、元岡桑原遺跡群においては、近年相次いで発掘調査が実施されている。大原A遺跡第1次調査においては、8世紀前半から後半にかけての製錬炉が



第1図 糸島地域製紙関連通線分布図(縮尺1/125,000)

3基検出されている。これらは両側に排滓坑を伴う箱形炉である。大原D遺跡の第1・2・3次調査においても奈良時代から平安時代にかけての製錬炉が3基検出されており、第4次調査においても9世紀代の製錬炉が検出されている。これらも両側に排滓坑を伴う箱形炉である。

また、元岡桑原遺跡第12次調査においては奈良時代の大規模な製鉄遺跡が発見されている。ここからは両側に排滓坑を伴う製錬炉が27基も検出されており、コンテナ5,000箱にも及ぶ鉄滓、炉壁等の製鉄関連遺物が出土しているなど、それまでの調査例とは比較にならない程の規模を有する遺跡である。宝永六(1709)年に完成した『筑前国統風土記』には、この遺跡の北約2.8kmに位置する小田村の項に、「村の西の山邊に、地を掘れば瓷器の鼓の筒のごとくなる物出る所有。又草場村との堺二全と云谷をほれば、鐵落多出づ。」とあり、鞆羽口或いは送風管と、鉄滓の出土を表しているものであろう。また、明治4年に編纂された『福岡縣地理全誌』にも「釜作 村ノ西三町西岳ニアリ。其地ヲ堀レバ、瓷器ノ鼓ノ筒ノ如クナル物出ツト云。」とあり、柏木生産遺跡、武勢生産遺跡付近のことを示しているものと思われ、ここにも大規模な製鉄遺跡が存在している可能性がある。また、海浜での砂鉄の状況も「此村ノ海濱ニ、源太郎濱、中田濱、川尻濱等の名アリ。此間ニ鉄砂多シ。」と記されている。

怡土郡との境界線に近い波多江遺跡(波多江)においては、9世紀末の1号堅六住居から鍛錬鍛冶滓(小鍛冶滓)の出土があるが、炉は検出されておらず、同じ志摩郡の中でも、糸島低地帯の北側と南側とは、大きく状況が異なっている。

怡土郡においては、志摩郡ほどの規模の製鉄関連遺跡は確認されていない。また製鉄関連遺跡の分布が西部に偏在する傾向があるのは、砂鉄を採取できる海浜の存在によるものであろう。

塚田遺跡(二丈深江)においては4基の鍛冶炉が検出され、古墳の周溝埋土内で検出された焼土面(4号鍛冶遺構)からは、奈良時代後半の精錬鍛冶滓(大鍛冶滓)が検出されている。金属学的分析の結果、「製錬終了後の未調整鉄素材を、鍛錬加工出来る様に、脱炭や非金属介在物を搾り出す工程で排出されたものである」と推定されている。またこの時期は、隣接する塚田南遺跡において深江駅家であると推定される官衙的な遺構が出現する頃である。

曲り田周辺遺跡(二丈石崎)Ⅲb地区においては、9世紀前半代の箱形の製錬炉1基、精錬鍛冶炉1基、小鍛冶炉1基が検出されている。製錬炉から出土した鉄滓は、低チタン含有の酸性砂鉄を原料とするものであり、化学組成の分析により、在地砂鉄が用いられたものと想定されている。

広田遺跡(二丈吉井)Ⅲ区においては、平安時代前半を下限とする鍛冶炉と砂鉄集積遺構が確認されているが、金属学的分析がなされていないので詳細は明らかでない。

石崎曲り田遺跡第3次調査(二丈石崎)においては10基の炉が報告されている。遺構の残りが悪く詳細は明らかではないが、平安時代(9世紀)の遺構であるとされている。遺物の金属学的分析の結果からは、「この遺跡に搬入された鉄素材は低チタン砂鉄を原料とする製錬系鉄塊であり、鉄塊表層に付着する製錬滓を叩いて取り除く作業を行った後、精錬鍛冶から鍛錬鍛冶作業を一貫して行ったもの」と推定されている。

森田遺跡(二丈深江)からは13世紀の精錬鍛冶炉が4基と小鍛冶炉が2基検出されている。精錬鍛冶炉は平面形が楕円形のもの3基と円形のもの1基あり、楕円形のは長軸1.7~2.0m、短軸0.6~1.2mを測り、円形のは径0.7×0.5mを測る。主に荒鉄の不純物除去や成分調整を行っ

たものと想定されている。また周辺部からは製錬滓が少量出土しているが、製錬炉があったとするには出土した鉄滓の量が著しく少ないとの指摘もあり、金属学的分析においても、チタンを多く含有する塩基性砂鉄を原料に製錬して生じた鉄塊系遺物が鍛冶原料として搬入されたことが明らかになった。なお糸島地方に産出する砂鉄は低チタン含有の酸性砂鉄として知られており、塩基性砂鉄を始発原料とする森田遺跡の精錬炉群は、現時点では異質であると言えるだろう。なお、後述するが、今回報告する吉森遺跡3次調査においても、高チタン火山岩起源砂鉄を始発原料とした製錬滓、碗形滓の出土があった。

東真方遺跡(東)からは13世紀以降と判断される径1.05×0.95mの焼土面が検出されており、製鉄関連の遺構としては明確でないものの、周辺からはスサ入りの炉壁や小鉄塊、砂鉄製錬滓が出土しているため、侵炭反応の活発でない低炉系の製錬炉であると想定されている。

奈良尾遺跡(多久)からは、奈良時代～平安時代初頭の2基の小鍛冶炉が検出されている。炉の規模は、第1号鍛冶炉が24×21cm、第2号鍛冶炉が30×21cmであり、これらの鍛冶炉はそれぞれが4×2間、又は4×3間の掘立柱建物の中に位置していた。また第2号鍛冶炉では周辺の土を水洗、磁選、ふるい掛けすることにより鍛造剥片と湯玉の飛散分布状況が確認でき、鉄床石、横座、先手の位置などといった作業空間が復元されることとなった。また金属学的調査においても、これらを裏付けるデータが得られている。なお、分析に供した鉄滓等はすべて鍛錬鍛冶作業に伴うものであり、製錬及び精錬作業に伴うものは出土していない。

また、『福岡県地理全誌』怡土郡 川原村の項には、「踏輪跡 山神山ノ中央ニアリ。東ノ踏輪、西ノ踏輪トテ、其間1町許ヲ隔テリ。其邊ノ田ヲ鋤返セバ、今モ鉄屑出ル事アリ。又荷駄ト云所モ其邊ニアリ。鉱山ノ跡ナルベシ。」とあり、分布調査等においても確認されていない未発見の遺跡がある可能性がある。

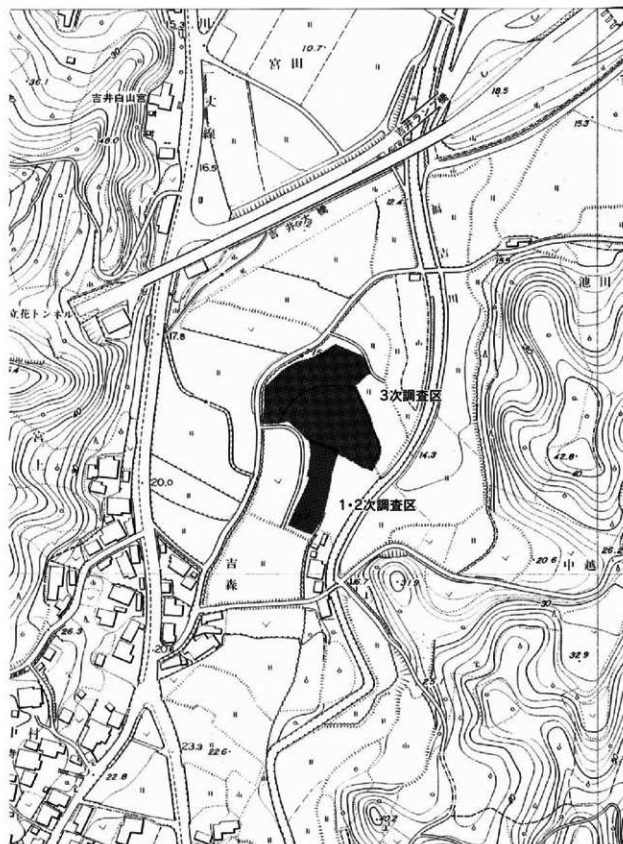
#### 参考文献

- 志摩町教育委員会 1982 『八熊製鉄遺跡 大牟田遺跡』志摩町文化財調査報告書第2集  
福岡市教育委員会 1995 『大原A遺跡1』福岡市埋蔵文化財調査報告第430集  
福岡市教育委員会 1996 『大原D遺跡群1』福岡市埋蔵文化財調査報告第481集  
福岡市教育委員会 2003 『大原D遺跡群4』福岡市埋蔵文化財調査報告第741集  
福岡市教育委員会 2009 『元岡・桑原遺跡群14』福岡市埋蔵文化財調査報告書第1063集  
福岡県教育委員会 1982 『波多江遺跡』『今宿バイパス関係埋蔵文化財調査報告 第6集』  
福岡県教育委員会 1982 『塚田遺跡』『今宿バイパス関係埋蔵文化財調査報告 第7集』  
福岡県教育委員会 1982 『広田遺跡』『二丈・浜玉道路関係埋蔵文化財調査報告Ⅱ』  
福岡県教育委員会 1991 『奈良尾遺跡』『今宿バイパス関係埋蔵文化財調査報告 第13集』  
二丈町教育委員会 2000 『森田遺跡』二丈町文化財調査報告第24集  
二丈町教育委員会 1993 『曲り田周辺遺跡Ⅲ』二丈町文化財調査報告書第6集  
二丈町教育委員会 2001 『石崎曲り田遺跡 第3次調査』二丈町文化財調査報告第27集  
前原市教育委員会 1992 『東真方遺跡』『今宿バイパス関係埋蔵文化財調査報告Ⅱ』  
前原市文化財調査報告書第42集



1. 近畿線
2. 松田線
3. 堺田南線
4. 堺田線
5. 泉陽線
6. 石崎曲り田線3次調査区
7. 藤ノ田周辺線
8. 東真方線

第2図 糸島市西部域製鉄関連交通跡分布図(縮尺1/50,000)



第3図 遺跡周辺地形図(縮尺1/2,500)





第4圖 遺構配置圖(縮尺1/500)

### Ⅲ. 調査の記録

#### 1. 調査の経過

前述したように、調査区の北側及び西側には多くの遺物を含んだ黒色の粘質土層が堆積しており、これらを湿地帯の跡であると判断し、それぞれを北側湿地帯、或いは西側湿地帯として遺物の取り上げを行った。出土遺物には、輸入陶磁器、土師器などのほか、鉄滓、轆羽口などの製鉄に関連するものも多く含まれていた。また、西側湿地帯東側の遺構検出面においても、多くの鉄滓や焼土を含んだ粘土塊が出土していたため周辺に製鉄作業に関連する炉があるものとみて精査したものの、巨大な再結合滓を含んだ土坑(1号製鉄関連土坑)を検出するに留まった。また北側湿地帯付近からは2号製鉄関連土坑状の遺構(2号製鉄関連土坑)を検出した。

#### 2. 遺構と遺物

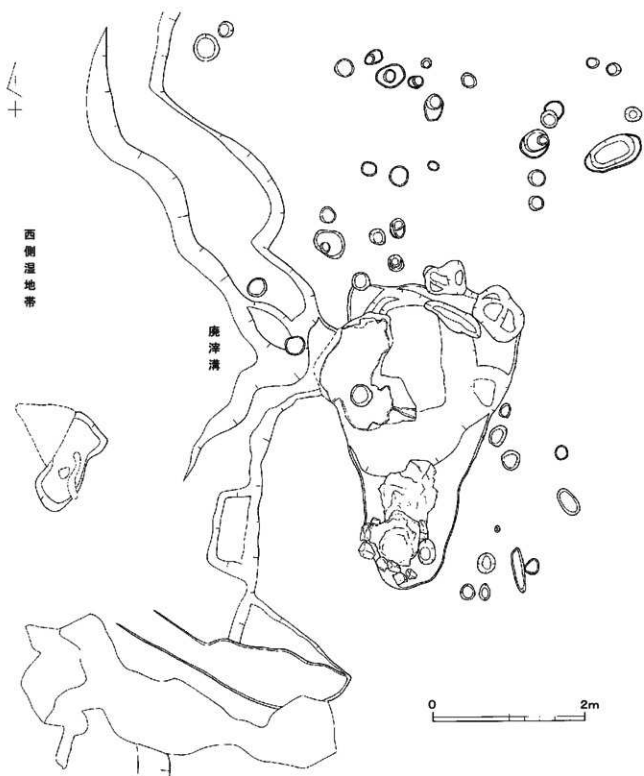
##### 1号製鉄関連土坑

調査区の西端部、西側湿地帯の南端部東側に位置する土坑である。長さ4.0m、幅2.3mの細長の不整形三角形状を呈し、埋土には鉄滓や轆羽口などを多く含む。南隅に人頭大の石に囲まれた1.40×0.75mの鉄滓の塊が検出されたため、炉の一種ではないかとも考えたが、鉄滓塊の下は地山である砂地であり鉄分等により変色する部分があるものの、炉床となり得るものは検出されなかった。この鉄滓塊は再結合滓であると思われ、北半分は粘土が混じり結合力が弱かったが、南半分は結合力が強く硬質であり、径0.74×0.7m、厚さ0.365mの塊として持ち帰ることができた。この再結合滓は今回の金属学的分析における供試材としたが、取蔵庫の中で何の補強材もない状態で10年間以上を経ても崩壊することなく形を保ち続ける程に強固な結合力であった。

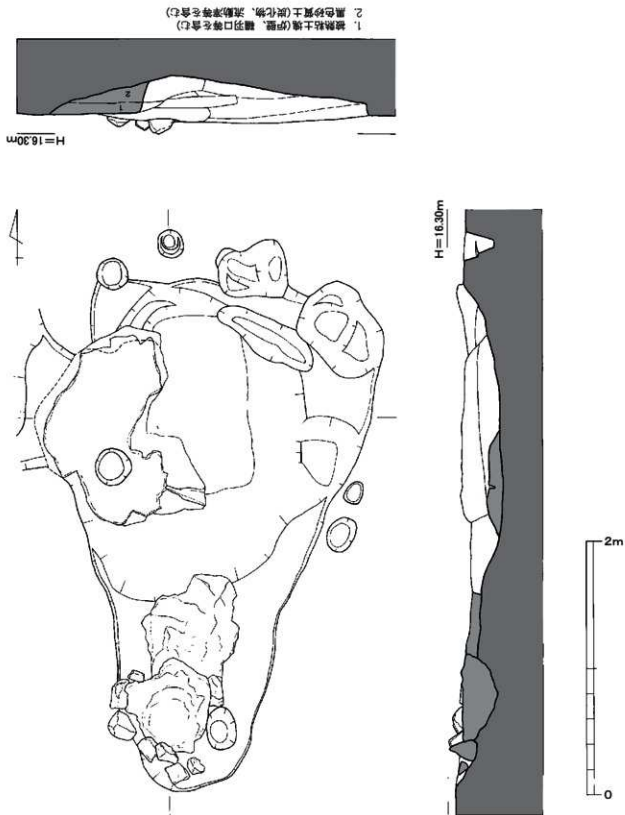
また土坑の北西隅には1.2×0.5m、厚さ0.1~0.2mの粘土塊が検出された。轆羽口片や鉄滓などを含み、炉壁ほどには硬化していない。粘土塊の下は黒色砂質土であり、炭化物や流動滓を含んでいた。さらにその下は地山である黄白色の砂質土であり、一部が鉄分等により変色する。粘土塊の西側からは鉄滓が大量に出土しており、粘土塊付近から流れ出した様な状況を呈していた。おそらく本体は削平により失われているものの、炉の本体がこの付近にあり、低地を廃滓場として利用したものと思われる。なお粘土塊上面の穴は、後世に掘られたピットであり、この遺構とは関連しない。

##### 2号製鉄関連土坑

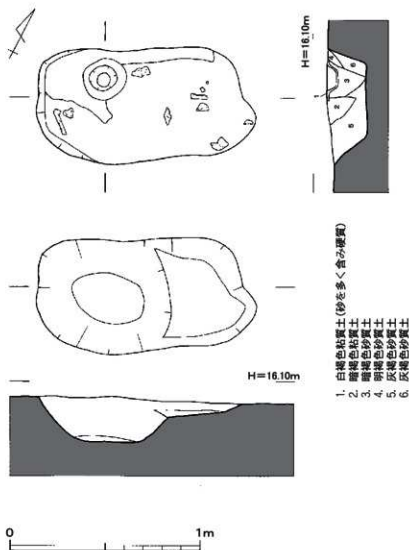
調査区の北部、北側湿地帯の西端部付近に位置する。長さ1.16m、幅0.6mの楕円形を呈する土坑である。2段掘り状を呈し、深さは南西部は0.24m、北東部は0.08mを測る。南東部には直径15cm、深さ5cmの窪みがあり、この窪みは厚さ1cmの白褐色粘質土で形成されており、椀形滓の痕跡として想定した。土坑の埋土には、炉壁、轆羽口などが含まれていた。炉床下面の防湿のため、製鉄関連作業の残滓を埋めたものと想定している。



第5図 1号製鉄関連土坑周辺平面図(縮尺1/50)



第6図 1号製鉄関連土坑実測図(縮尺1/30)



第7図 2号製鉄関連土坑実測図(縮尺1/20)

含む。色調は橙色(7.5YR 7/6)～オリーブ灰色(5GY 5/1)を呈す。

3は西側湿地帯南部(S区)から出土した轆羽口である。残存長16.7cm、径8.5～9.5cm、内孔径3.7cmを測る。胎土にはスサを多く含むが滑らかであり、砂粒をあまり含んでいない。先端から5cmの部分は融解し、一部はガラス質を呈する。また、体部の一部には炉壁とみられるスサを含んだ粘土が付着する。

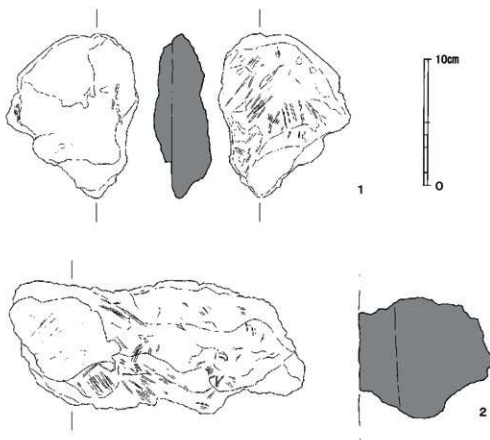
4は1号製鉄関連土坑廃滓溝出土の轆羽口である。残存長11.5cmを測る。外径は不明であるが、内孔径は5.2～6.5cmに復元される。先端から4cm程は融解し暗緑色のガラス質を呈する。胎土にはスサと、1mm未満の砂粒を多量に含む。

5(YYM3-3)は1号製鉄関連土坑から出土した轆羽口である。羽口に炉壁が融着したものかと思われたが、羽口の先端部付近が融解したものと判断した。13.7×11.2×8.2cm、重さ448gを測る。残存部位から復元すると、羽口の内孔径は7.2cm、外径は16.8cmとなり、内厚も4.9cmとなる大型

## 出土遺物

1(YYM3-1)は1号製鉄関連土坑廃滓溝から出土した炉壁の一部である。13.0×10.0×4.3cm、重さ405gを測る。全ての面が欠損し、表面は剥落している。被熱しているもののそれほど硬化はしていない。胎土にはスサを多く含むが、砂粒はあまり含まれておらず、轆羽口などの胎土とは異っている。割れ口には白色の粘質土が薄く付着する。

2は1号製鉄関連土坑内の粘土塊に含まれていた炉壁である。23.5×10.5×13.5cm、重さ1,750gを測る。全面的に被熱して硬化し、内面の一部以外は表面が剥落する。胎土にはスサを多く含み、1mm程度の砂粒を多く



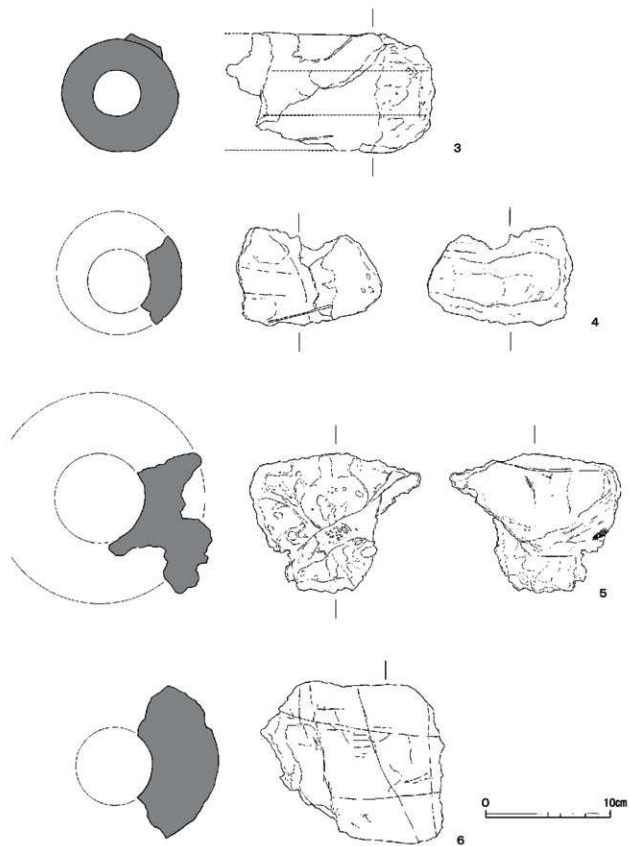
第8図 製鉄関連遺物実測図・1(縮尺1/3)

品である。胎土には1mm程度の白色砂粒とスサを多く含む。先端部は羽口の中心軸に対して約39°の角度をもって直線的に融解しており、もしこの先端部が垂直的に融解したと仮定するならば、39°の角度をもって羽口が炉内へ挿入されたものと推察できる。

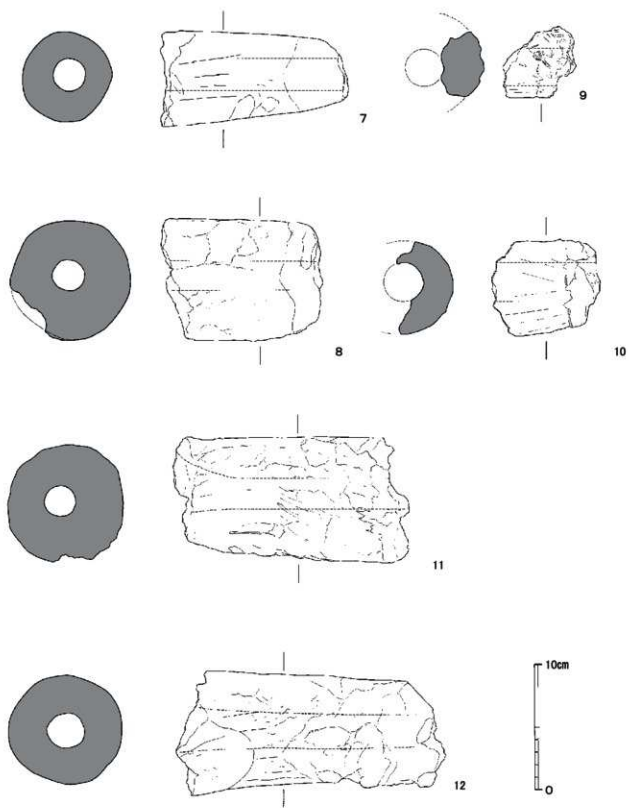
6は西側湿地帯から出土した鑪羽口である。両端部を欠損し、残存長14.7cmを測り、外径は15.0～16.8cm、内孔径は6.0cmに復元される。胎土にはスサと、径1mm前後の砂粒を多量に含む。器表の色調は、先端部側は灰色(7.5Y 5/1)、基部側は橙色(2.5YR 6/6)を呈し、色調の違いによるラインが、軸線に対し70°前後の傾きをもって観察できる。

7は西側湿地帯から出土した鑪羽口である。基部を欠損し、残存長は15.0cmを測る。外径は6.8～7.3cm、内孔径は2.1～2.5cmを測る。先端から4cm程は融解し暗緑色のガラス質を呈する部分もみられ、先端の一部は斜めに融け落ちる。器表には指による整形痕や、板状工具による調整痕が残る。器表の色調は基部側が赤褐色(5YR 4/6)、先端部との中間は紫灰色(5RP 6/1)を呈する。胎土にはスサを含むが顕著ではなく、径1mm未満の砂粒を多量に含む。

8は西側湿地帯の南部から出土した鑪羽口である。基部側を欠損し残存長12.5cm、外径9.6cm、内孔径2.5～2.6cmを測る。先端から3cm程は融解した痕跡があるが、ガラス化する部分は少ない。器表の色調は橙色(5YR 6/8)や青灰色(5PB 6/1)を呈し、孔の周辺部はより赤みが強く赤橙色(10R 6/8)を呈する。胎土にはスサと径1mm未満の砂粒を多く含む。



第9図 製鉄関連遺物実測図・2(縮尺1/3)



第10図 製鉄関連遺物実測図・3(縮尺1/3)



9は、西側湿地帯南部(S区)から出土した輪羽口の小片である。残存長5.9×5.8cm、内厚3.2cm、重さ84.0gを測る。内孔径は3.0cmに、外径は8.8~9.6cmに復元されるが、小片であるため確度は低い。胎土にはササが多く含まれるものの、砂粒の混入は少ない。

10(YYM3-14)は2号製鉄関連土坑から出土した輪羽口である。残存長8.6×7.3cm、内厚2.5cmを測る。内径は3.2cmに、外径は7.5~8.0cmに復元される。重さ195.2g。胎土には1mm以下の白色砂粒を多く含むが、スサ状のものは確認できない。

11は西側湿地帯から出土した輪羽口の基部である。先端部側を欠損し残存長は18.8cm、外径9.0~10.0cmを測り先端部側の方が太い。内孔径は2.5cmを測るが、基部側で最大5.0cm程度までラッパ状に広がる。器表の色調は青灰色(5PB 6/1)の部分と明赤褐色(5YR 5/8)の部分が、軸方向に平行して帯状に対称的位置にある。胎土にはスサと径1mm前後の砂粒を多く含む。

12は西側湿地帯南部(S区)から出土した輪羽口である。基部側を欠損、先端部の大半は融解し、残存長21.5cm、外径8.5~9.0cm、内孔径2.8~3.0cmを測り、基部側はラッパ状に広がる。器表の色調は、先端部側は赤灰色(7.5R 5/1)、基部側は橙色(5YR 6/8)を呈し、胎土にはスサと径1mm程度の砂粒を多く含む。

13は1号製鉄関連土坑から出土した輪羽口である。全周の3/4程度と先端部を欠損するが基部部分は残っている。残存長は18.2cm、外径は13.4cm、内孔径は6.3cmに復元される。孔は基部部分でラッパ状に広がっている。先端部から15cm程の部分は融解し先細りになる。そこから基部に向かって4cm幅の青灰色(5PB 5/1)の部分があり、基部側の3cm幅は橙色(5YR 7/6)を呈する。胎土にはスサを少量と、径1mm前後の砂粒を多量に含む。

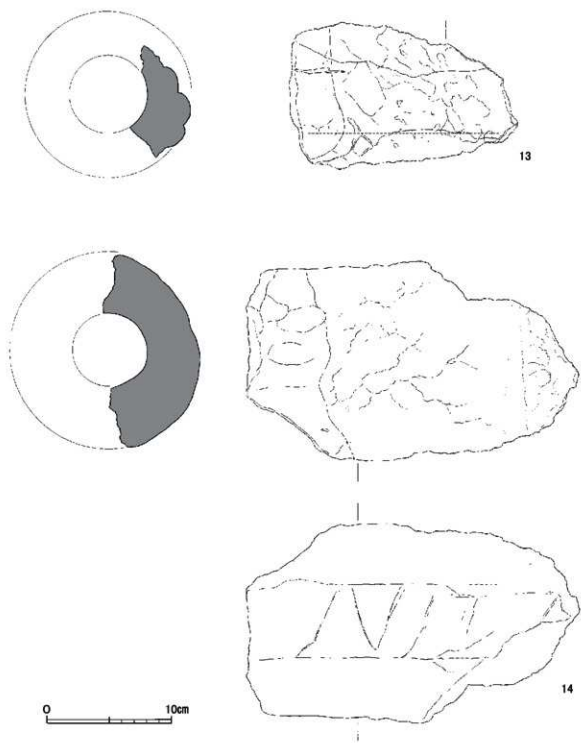
14は西側湿地帯南部(S区)から出土した輪羽口である。残存長26.5cmを測り、外径は15.0~16.0cm、内孔径は5.9cmに復元される。先端部から4cm程度の部分は融解した痕跡が見られる。器表の色調は、そこから基部に向かって約7cm幅のオリーブ灰色(2.5GY 6/1)を主体とする部分があり、同じくそこから基部に向かって約7cm幅の青灰色(5PB 6/1)の部分があり、ここまでしか強く被熱した痕跡はない。孔の外周には斜めに羽口製作時の痕跡が残る。これは棒状のものに帯状の布を巻き、成形・整形が終了した後に棒を抜き取り、最後に布を剥ぎ取った痕跡であると推定する。胎土には多量のスサと径1mm程度の砂粒を含む。

15(YYM3-16)は西側湿地帯南部(S区)から出土した炉底塊である。21.0×17.0×7.0cm、重さ1,850gを測る。椀状を呈し、上面は窪み木炭を含む。側面には3×3×2cm程度の花崗岩が喰い込む。

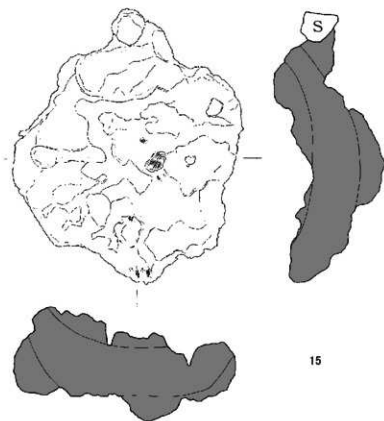
16(YYM3-17)は西側湿地帯南部(S区)から出土した椀形鍛冶滓である。12.6×9.6×4.4cmの下面に、6×5×4cmの滓が付着する。重さ550gを測る。上面は気泡がなく比較的滑らかで、椀状に僅かに窪む。スサ状の付着物があり、内面にも木炭状の木質が確認できる。下面は気泡が多い。

17(YYM3-18)は西側湿地帯南部(S区)から出土した炉内滓である。14.5×11.6×3.5cm、重さ570gを測る。上面には木炭状の炭化物を含み、白色の粘質土が付着する。下面には1~5mm程度の花崗岩の砂粒が多く付着する。

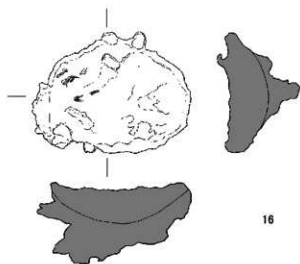
18(YYM3-19)は西側湿地帯南部(S区)から出土した12.3×7.9×2.3cmを測る扁平な椀形滓である。重さ283gを測る。2個の滓が固着したものであり、上面は窪み、木質状の炭化物が付着する。



第11圖 製鉄関連遺物実測図・4(縮尺1/3)



15



16



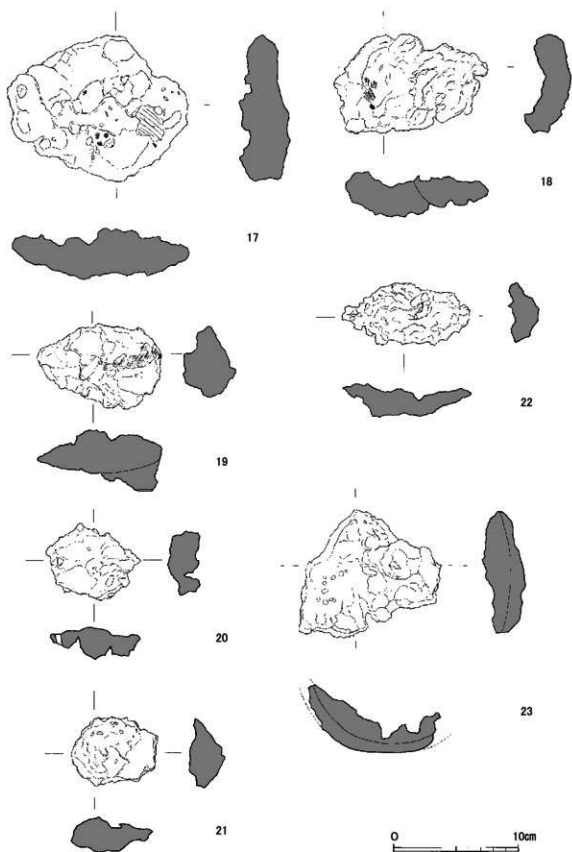
第12図 製鉄関連遺物実測図・5(縮尺1/3)

19(YYM3-20)は西側湿地帯南部(S区)から出土した椀形滓である。10.0×6.6×3.5cm、重さ276gを測る。上面は逆椀状を呈し、木炭が付着する。下面には橙色の粘土塊(2×1×0.2cm)と木炭が付着する。

20(YYM3-21)は西側湿地帯南部(S区)から出土した小形椀形滓である。7.6×5.5×2.6cm、重さ79.5gを測る。角をもち、亀甲型を呈し、直径0.5cmの孔が貫通する。

21(YYM3-22)は西側湿地帯南部(S区)から出土した小形椀形滓である。6.8×5.5×2.8cm、重さ129.9gを測る。比重が高く、見た目よりも重い。外縁には直線的な部分があり、上面は緻密で滑らかである。下面は稜をもった船底形を呈し、白色の粘質土が薄く付着する部分がある。

22(YYM3-23)は西側湿地帯南部(S区)から出土した小形椀形滓である。10.3×4.8×2.3cmを測る非常に細長い滓である。重さ91.7gを測る。上面は窪み、下面は船底形を呈する。



第13図 製鉄関連遺物実測図・6(縮尺1/3)

23(YM3-24)は2号製鉄関連土坑から出土した椀形鍛冶滓である。10.7×10.1×3.0cm、重さ231gを測る。最大厚1.0cm程度の椀形を呈する炉壁に鉄滓が溜り込んだように融着する。炉壁部分の胎土には1mm程度の白色砂粒を多く含む。スサは含まない。

### 3. おわりに

金属学的調査についての所見は、大澤正己氏、井澤英二氏の玉稿を掲載させて頂いているが、ここでは調査担当者の所見をまとめてみたい。

位置と環境の中でも述べたように、糸島地方は低チタン含有の酸性砂鉄が採集される地域であり、吉森遺跡から出土した鉄滓が火山岩起源高チタン砂鉄を原料としたものである、という分析結果は予想に反したものであった。実は筆者が以前に担当した森田遺跡の発掘調査においても、チタンを多く含有する塩基性砂鉄を原料に製錬して生じた鉄塊系遺物が鍛冶原料として搬入された、とする大澤氏の所見があったのであるが、今回の金属学的分析結果により、地元産ではない砂鉄を原料として用いた製錬炉の存在が確定的となり、内孔径6~7cmの巨大な輪羽口の出土などから糸島地方では検出例のなかった豎形炉の存在が想定されるものとなった。九州地方においては、古代から中世にかけて箱形炉から豎形炉への変移傾向が窺えるとされるが、このことと原材料の変化が関連するの否かについては今後の検討課題である。また糸島地方及びその背面に聳える春振山地の山塊の大部分は花崗岩、花崗閃緑岩といった酸性砂鉄を含有する花崗岩類の地質であるので、吉森遺跡で用いられた砂鉄の産地はこれ以外の場所ということになる。高チタン含有の砂鉄原料を用いる製鉄遺跡は、熊本県荒尾市の金山・権製鉄遺跡群などの九州中南部や、長崎県島原半島南部の今福遺跡などで知られているが、遠く離れた産出地からわざわざ砂鉄を糸島地方まで運んでまで鉄を造ることが様々な意味で可能であったのかについては疑問がある。なお、長崎県松浦市周辺の北松浦半島北岸から佐賀県唐津市西部の東松浦半島西岸にかけてはアルカリ苦鉄質火山岩類を主体とする地質である。この地域は決して製鉄が盛んな場所とは認知されていないが、精錬鍛冶滓を出土する長崎県松浦市の楼厩田遺跡などもあり、今後、この地域での砂鉄産出地が確認されるならば吉森遺跡への砂鉄供給源の有力な候補地になるであろう。

豎形炉については自立式豎形炉と半地下式豎形炉の二種類の形式分類があるが、吉森遺跡のものはその立地と、炉床までも削平により完全に失っていることから考えて、地下への掘り込みが比較的小さい自立式豎形炉であったものと思われる。遺物番号5(YM3-3)の輪羽口からは、39°の角度をもって炉内に挿入された様子が窺える。鉄滓の出土状況からは、1号製鉄関連土坑の近辺に炉があり、西側の低地に廃滓していたものと思われる。

なお鉄滓を出土するピット等は、それぞれの出土量は少量ながらも200近い数にのぼっており、遺跡全体に鉄滓が散乱していた様子が窺えるが、その中でもSB-01の西側の30㎡、1号製鉄関連土坑周辺及びその北側の20㎡、SX-1周辺及びその東側の20㎡の3ヶ所には鉄滓、輪羽口などといった製鉄関連遺物が集中して出土している。この3ヶ所で全体の半分以上を占めており、製鉄に関する何らかの行為が、ここを中心として行われたことが窺える。

また製鉄作業に欠かせない木炭については、吉森遺跡の東南250mに位置する中越遺跡からは十数基の炭窯状遺構が検出されている。吉森遺跡とは若干の時期的相違があるものの、近辺には近世から近代の炭窯が点在するように、炭作りに適した環境下であったものだと思われる。

表1 出土遺物一覧表(付図参照)

※国土地標を用いて設定した10mメッシュの北東に位置する座標交点を示す。  
 ※※遺物の出土した遺構のうち遺物の年代がある程度類推できるもののみを掲載。

NO.	※遺構の位置		遺構の種類	※※出土遺物
	X	Y		
13	54.620	-85.700	ピット	羽口
15	54.620	-85.700	ピット	白磁陶Ⅳ類
16	54.620	-85.700	ピット	白磁陶Ⅳ類
21	54.620	-85.700	ピット	土師(糸切り)
25	54.620	-85.700	ピット	白磁陶
26	54.620	-85.700	ピット	白磁陶
27	54.620	-85.700	ピット	同安楽系青磁碗
28	54.620	-85.700	ピット	鉄滓
36	54.610	-85.700	ピット	黒曜石
48	54.600	-85.700	ピット	白磁陶
50	54.610	-85.700	ピット	黒石
56	54.610	-85.700	ピット	白磁陶
57	54.610	-85.700	ピット	鉄滓
58	54.610	-85.700	ピット	白磁陶Ⅳ類、鉄滓
60	54.610	-85.700	ピット	同安楽系青磁碗
61	54.620	-85.690	ピット	鉄滓
65	54.630	-85.700	ピット	白磁陶、龍泉窯系青磁碗、鉄滓
68	54.620	-85.700	ピット	石鋪片
73	54.630	-85.690	ピット	鉄滓
74	54.620	-85.690	ピット	同安楽系青磁碗
75	54.620	-85.700	ピット	同安楽系青磁碗Ⅰ-1a、鉄滓
77	54.630	-85.690	ピット	鉄滓
80	54.630	-85.690	ピット	白磁陶Ⅳ類
81	54.630	-85.690	ピット	鉄滓
82	54.630	-85.690	ピット	白磁陶
83	54.630	-85.690	ピット	鉄滓
84	54.630	-85.690	ピット	羽口片
95	54.610	-85.690	ピット	長岡壺
97	54.610	-85.690	ピット	黒石
101	54.610	-85.690	ピット	土師器(ヘラ切り)、瓦片
108	54.610	-85.690	ピット	瓦片
109	54.610	-85.690	ピット	鉄滓
110	54.620	-85.690	ピット	鉄滓
114	54.620	-85.690	ピット	須恵器(取り有り)
115	54.620	-85.680	ピット	鉄滓
116	54.620	-85.680	ピット(SB-01)	同安楽系青磁碗、土師器杯、瓦器碗
118	54.620	-85.690	ピット(SB-01)	土師器杯(糸切り)、土師質杯蓋
119	54.620	-85.690	ピット(SB-01)	青磁碗、土師器小皿
124	54.620	-85.690	ピット	青磁碗
125	54.630	-85.690	ピット	鉄滓
127	54.620	-85.700	ピット	白磁陶
129	54.620	-85.700	ピット	鉄滓
130	54.620	-85.700	ピット	織文甕
131	54.620	-85.680	ピット(SB-01)	白磁陶、須恵器
132	54.620	-85.690	ピット(SB-01)	土師器小皿、瓦器碗
137	54.620	-85.680	ピット(SB-01)	白磁(器種不明)、瓦片、瓦器碗、須恵器杯、土師器杯
139	54.620	-85.680	ピット	鉄滓
140	54.620	-85.680	ピット(SB-01)	白磁陶、同安楽系青磁碗、土師器皿(糸切り)
142	54.620	-85.680	ピット(SB-01)	土師器
144	54.620	-85.680	ピット(SB-01)	白磁小皿、瓦器碗、土師器碗
145	54.620	-85.680	ピット(SB-01)	瓦器碗
146	54.620	-85.680	ピット	瓦片
147	54.630	-85.680	ピット	同安楽系青磁皿皿類、白磁陶Ⅳ類
148	54.630	-85.680	ピット(SB-01)	土師器小皿(糸切り)
151	54.620	-85.680	ピット(SB-01)	龍泉窯系青磁碗Ⅱb類、土師器小皿、赤生土器甕
153	54.630	-85.680	ピット(SB-01)	鉄滓、瓦、土師器、朝鮮系黒釉陶器
159	54.630	-85.690	ピット	鉄滓
161	54.630	-85.680	ピット	鉄滓、土師器杯、須恵器
164	54.630	-85.680	ピット	須恵器(取り無し)
166	54.630	-85.680	ピット(SB-01)	土師器(糸切り)
167	54.630	-85.680	ピット(SB-01)	同安楽系青磁碗Ⅰ-b類、黒色土器B類、鉄滓
170	54.630	-85.680	ピット(SB-01)	土師器小皿、土師質甕、伊壁片
171	54.630	-85.680	ピット(SB-01)	黒色土器B類、土師器、土師質甕
172	54.630	-85.680	ピット	黒磁陶
176	54.630	-85.680	ピット	黒磁陶
175	54.630	-85.680	ピット(SB-01)	土師器杯、土師器小皿、土師質杯蓋
177	54.630	-85.680	ピット(SB-01)	土師器小皿
178	54.630	-85.680	ピット(SB-01)	黄釉壺、土師器(糸切り)
180	54.630	-85.680	ピット(SB-01)	土師器小皿
181	54.630	-85.680	ピット	鉄滓
182	54.630	-85.670	ピット	鉄滓
185	54.630	-85.670	ピット	鉄滓
190	54.620	-85.680	ピット	龍泉窯系青磁碗Ⅱ類
192	54.620	-85.680	ピット	須恵器(6世紀)
197	54.620	-85.680	ピット(SB-01)	鉄滓、土師器小皿、須恵器
199	54.620	-85.680	ピット	瓦片
203	54.610	-85.680	ピット	鉄滓
204	54.610	-85.680	ピット	石鋪片
206	54.620	-85.680	ピット	黒色土器A類
220	54.620	-85.680	ピット	石礎
221	54.610	-85.680	ピット	鉄滓

NO.	※遺構の位置 X Y	遺構の種類	※※出土遺物
229	54.620 -85.670	ピット	鉄滓
231	54.620 -85.670	ピット	白磁碗
236	54.610 -85.670	ピット	須恵器(取り無し)
237	54.610 -85.670	ピット	羽口片
241	54.610 -85.670	ピット	白磁碗Ⅳ類、鉄滓
245	54.610 -85.670	ピット	同安楽系青磁碗、鉄滓
247	54.610 -85.670	ピット	鉄滓
248	54.610 -85.670	ピット	鉄滓
249	54.610 -85.670	ピット	白磁碗
250	54.610 -85.670	ピット	鉄滓
251	54.610 -85.670	ピット	土師器(糸切り)
256	54.610 -85.680	ピット	鉄滓
265	54.610 -85.680	ピット	瓦片
275	54.620 -85.670	ピット	鉄滓
276	54.620 -85.670	ピット	白磁碗
277	54.620 -85.670	ピット	鉄滓
278	54.620 -85.670	ピット	白磁碗
284	54.610 -85.670	ピット	青白磁合子、鉄滓
287	54.610 -85.670	ピット	長砂?
285	54.610 -85.670	SX-1内ピット	白磁碗Ⅳ類、鉄滓
297	54.600 -85.680	ピット	土師器(糸切り)
302	54.620 -85.670	ピット	燗壺、鉄滓
307	54.620 -85.670	ピット	羽口片
309	54.620 -85.670	ピット	羽口片
312	54.610 -85.670	ピット	羽口片
314	54.610 -85.670	ピット	須恵器(取り無し)
320	54.610 -85.660	ピット	鉄滓
322	54.610 -85.670	ピット	鉄滓
323	54.610 -85.670	ピット	燗壺
324	54.610 -85.670	ピット	鉄滓
326	54.610 -85.670	ピット	羽口片
328	54.610 -85.670	ピット	白磁碗Ⅳ類
330	54.610 -85.670	ピット	石鍋再利用品
333	54.610 -85.670	ピット	鉄滓
335	54.610 -85.670	ピット	須恵器(取り無し)
340	54.610 -85.670	ピット	白磁碗Ⅳ類、石鍋再利用品
342	54.610 -85.670	ピット	白磁碗
344	54.610 -85.670	ピット	黒色土器B類
347	54.610 -85.670	ピット	須恵器
355	54.620 -85.670	ピット	白磁碗
359	54.620 -85.660	ピット	石鍋片
362	54.620 -85.660	ピット	土師器(糸切り)、鉄滓
364	54.620 -85.660	ピット	白磁碗Ⅳ類、土師器(ヘラ切り)
384	54.620 -85.660	ピット	土師器(糸切り)
388	54.620 -85.660	ピット	土師器
392	54.620 -85.660	ピット	須恵器
393	54.620 -85.660	ピット	須恵器
394	54.620 -85.660	ピット	鉄滓
395	54.620 -85.660	ピット	瓦器碗
396	54.620 -85.660	ピット	土師器(糸切り)、鉄滓
397	54.620 -85.660	ピット	羽口片
398	54.620 -85.660	ピット	土師器(ヘラ切り)
399	54.620 -85.660	ピット	白磁碗
400	54.620 -85.660	ピット	龍泉系青磁碗Ⅰ-2類
404	54.620 -85.660	ピット	白磁碗
407	54.620 -85.660	ピット	白磁碗
411	54.620 -85.660	ピット	石鍋片
415	54.620 -85.660	ピット	鉄滓
418	54.620 -85.660	ピット	鉄滓
420	54.620 -85.660	ピット	石鍋片
422	54.630 -85.660	ピット	青磁小皿、鉄滓
428	54.620 -85.660	ピット	緑釉磁器片
433	54.620 -85.660	ピット	龍泉系青磁小碗Ⅰ-1a類
434	54.620 -85.660	ピット	土師器(糸切り)
435	54.620 -85.650	ピット	鉄滓
439	54.620 -85.660	ピット	白磁碗Ⅴ類
451	54.620 -85.660	ピット	鉄滓
456	54.620 -85.660	ピット	緑釉?
458	54.610 -85.660	ピット	白磁碗Ⅴ~Ⅶ類
460	54.610 -85.660	ピット	白磁Ⅲ-1類
461	54.610 -85.660	ピット	鉄滓
462	54.610 -85.660	ピット	土師器(糸切り)
470	54.610 -85.660	ピット	土師器(糸切り)
473	54.610 -85.660	ピット	白磁碗Ⅳ類
474	54.610 -85.660	ピット	土師器(糸切り)
475	54.610 -85.660	ピット	煮湯用土器
481	54.610 -85.660	ピット	鉄滓
491	54.600 -85.670	ピット	緑釉?
492	54.600 -85.670	ピット	土師器(糸切り)
493	54.610 -85.670	ピット	龍泉系青磁碗Ⅰ類
499	54.610 -85.660	ピット	白磁碗
500	54.600 -85.660	ピット	鉄滓
501	54.600 -85.660	ピット	鉄滓
504	54.600 -85.660	ピット	白磁碗、鉄滓
507	54.600 -85.660	ピット	羽口
508	54.600 -85.660	ピット	鉄滓
509	54.600 -85.660	ピット	同安楽系青磁碗、白磁碗Ⅴ-4類
514	54.600 -85.670	ピット	鉄滓

NO.	X	Y	遺構の種類	※※出土遺物
518	54.610	-85.660	ピット	鉄滓
523	54.600	-85.660	ピット	石鋪片
525	54.600	-85.660	ピット	鉄滓
527	54.610	-85.660	ピット	鉄釘
530	54.610	-85.660	ピット	白磁椀Ⅳ類、鉄滓
531	54.610	-85.660	ピット	鉄滓
534	54.610	-85.660	ピット	鉄滓
536	54.610	-85.670	ピット	銅
538	54.600	-85.670	ボウル	土師器(糸切り)
539	54.610	-85.670	ピット	白磁椀Ⅴ類
545	54.600	-85.670	ピット	鉄滓
547	54.620	-85.680	ピット	土師器椀(9世紀)、瓦片
551	54.610	-85.660	ピット	須恵器(取り無し)
552	54.610	-85.660	ピット	瓦片
555	54.610	-85.660	ピット	白磁椀
561	54.610	-85.660	ピット	鉄滓
563	54.610	-85.660	ピット	白磁Ⅳ類(白堆線)、鉄滓
565	54.610	-85.660	ピット	鉄滓
569	54.610	-85.660	ピット	鉄滓
570	54.610	-85.660	ピット	白磁椀Ⅳ類
572	54.610	-85.660	ピット	鉄滓
576	54.600	-85.660	ピット	白磁椀Ⅴ類
584	54.600	-85.660	ピット	石鋪片
605	54.610	-85.660	ピット	鉄滓
609	54.610	-85.650	ピット	白磁椀
610	54.610	-85.660	ピット	白磁椀、鉄滓
612	54.610	-85.650	ピット	石鋪片
616	54.610	-85.650	ピット	白磁椀Ⅳ類、Ⅴ-4類、土師器(糸切り)
618	54.610	-85.650	ピット	白磁椀Ⅴ類
622	54.610	-85.660	ピット	石鋪片
631	54.610	-85.660	ピット	鉄滓
632	54.610	-85.660	ピット	白磁椀
638	54.610	-85.660	ピット	石鋪片、鉄滓
642	54.610	-85.660	ピット	石鋪片
646	54.610	-85.660	ピット	龍泉系青磁椀Ⅰ類
649	54.610	-85.660	ピット	鉄滓
654	54.610	-85.660	ピット	石鋪片
656	54.610	-85.660	ピット	龍泉系青磁椀
659	54.610	-85.650	ピット	白磁椀Ⅳ類
661	54.610	-85.660	ピット	白磁椀Ⅳ類
665	54.600	-85.660	ピット	鉄滓
671	54.600	-85.650	鉄滓	
679	54.610	-85.650	ピット	藍色土器B類
682	54.600	-85.650	鉄滓	
683	54.600	-85.650	ピット	鉄滓
686	54.590	-85.650	ピット	明安系青磁椀
688	54.590	-85.650	ピット	白磁椀
689	54.610	-85.660	ピット	鉄滓
703	54.630	-85.660	ピット	須恵器(取り無し)
705	54.630	-85.660	ピット	鉄滓
711	54.630	-85.660	ピット	鉄滓
713	54.630	-85.660	ピット	白磁小皿
714	54.630	-85.660	ピット	鉄滓
718	54.640	-85.670	ピット	タタキ裏
721	54.640	-85.670	ピット	白磁椀
729	54.630	-85.670	ピット	鉄滓
730	54.630	-85.670	ピット	白磁椀
732	54.630	-85.670	ピット	白磁椀Ⅴ-4類
735	54.630	-85.670	ピット	土師器(糸切り)、鉄滓
737	54.630	-85.670	ピット	龍泉系青磁
739	54.630	-85.670	ピット	龍泉系青磁椀Ⅰ類
743	54.630	-85.680	ピット	鉄滓
749	54.630	-85.680	ピット	羽口
751	54.630	-85.680	ピット	鉄滓
753	54.640	-85.680	ピット	土師器椀
764	54.640	-85.680	土坑	鉄滓
765	54.630	-85.680	ピット	黒曜石
771	54.640	-85.690	ピット	石鋪片
776	54.640	-85.690	ピット	羽口
778	54.640	-85.690	ピット	鉄滓
779	54.640	-85.690	ピット	鉄滓
781	54.630	-85.690	ピット	鉄滓
784	54.630	-85.690	ピット	白磁椀Ⅳ類、鉄滓
785	54.630	-85.690	ピット	瓦片
786	54.630	-85.690	ピット	土鋪
787	54.630	-85.690	ピット	瓦割椀
788	54.630	-85.690	ピット	鉄滓
794	54.630	-85.690	ピット	鉄滓
795	54.630	-85.690	ピット	鉄滓
796	54.630	-85.690	ピット	鉄滓
800	54.630	-85.690	ピット	土師器(糸切り)
807	54.630	-85.700	ピット	白磁椀
808	54.630	-85.700	ピット	龍泉系青磁椀Ⅰ-4類
809	54.630	-85.700	ピット	鉄滓
821	54.630	-85.700	ピット	鉄滓
825	54.630	-85.700	ピット	土師器椀、鉄滓
826	54.630	-85.700	ピット	龍泉系青磁



NO.	築造種の位置		遺構の種類	※出土土遺物
	X	Y		
831	54.630	-85.700	ピット	白磁陶Ⅳ類、鉄滓、羽口
832	54.630	-85.700	ピット	流動滓
835	54.630	-85.700	ピット	鉄滓
837	54.630	-85.700	ピット	白磁陶Ⅳ類、土師器陶
839	54.630	-85.700	ピット	黒色土器B類
840	54.630	-85.700	ピット	鉄滓
841	54.630	-85.700	ピット	鉄滓
842	54.630	-85.700	ピット	龍泉窯系青磁陶Ⅰ類
845	54.630	-85.700	ピット	朝鮮系青磁陶
846	54.630	-85.700	ピット	龍泉窯系青磁陶Ⅰ類、鉄滓
847	54.630	-85.700	ピット	白磁陶
850	54.630	-85.700	土坑	白磁陶Ⅳ類、同安窯系青磁陶
853	54.630	-85.700	ピット	須恵器(返り有り)
854	54.630	-85.680	ピット	釣針、印璽
855	54.630	-85.690	ピット	越州窯系青磁陶、須恵器(返り有り)、鉄滓
856	54.630	-85.690	ピット	鉄滓
857	54.630	-85.700	ピット	白磁陶Ⅴ-4b類
859	54.620	-85.710	ピット	白磁陶Ⅳ類、鉄滓
860	54.620	-85.710	ピット	白磁陶
861	54.620	-85.710	ピット	土師器(糸切り)、石鱗片、鉄滓
864	54.610	-85.710	ピット	鉄滓
867	54.620	-85.710	ピット	鉄滓
871	54.620	-85.710	溝状遺構	龍泉窯系青磁陶
872	54.620	-85.710	ピット	鉄滓
873	54.620	-85.710	ピット	鉄滓
874	54.620	-85.710	土坑	鉄滓
886	54.620	-85.700	ピット	白磁陶
890	54.650	-85.660	ピット	白磁陶Ⅳ類
895	54.660	-85.660	ピット	瓦片
897	54.660	-85.660	ピット	瓦片
899	54.660	-85.660	ピット	鉄滓
900	54.660	-85.660	ピット	瓦片
901	54.660	-85.660	ピット	瓦片
903	54.660	-85.660	ピット	瓦片、瓦器、鉄滓、羽口
904	54.660	-85.660	ピット	瓦片
906	54.660	-85.660	ピット	土師器(ヘラ切り)、瓦片
912	54.660	-85.660	ピット	瓦片、鉄滓
914	54.660	-85.670	ピット	瓦器陶、鉄滓
915	54.660	-85.670	ピット	白磁陶Ⅳ類、土師器(ヘラ切り)
916	54.660	-85.670	ピット(SB-03)	瓦片
924	54.660	-85.670	ピット(SB-03)	瓦器陶、瓦片
923	54.660	-85.670	ピット(SB-02)	土師器
934	54.650	-85.660	ピット	鉄滓
935	54.650	-85.660	ピット	瓦器陶
938	54.650	-85.660	ピット	瓦片
942	54.660	-85.670	ピット	白磁陶Ⅴ類
948	54.660	-85.670	ピット(SB-03)	須恵器杯、土師器杯
949	54.660	-85.670	ピット	瓦片
953	54.660	-85.670	ピット(SB-02)	土師器陶
955	54.660	-85.670	ピット	黒色土器B類
957	54.660	-85.670	ピット(SB-02)	土師器陶、須恵器
958	54.660	-85.670	ピット	白磁、瓦片
959	54.660	-85.670	ピット(SB-03)	瓦片、土師器杯
964	54.660	-85.670	ピット(SB-02)	黒色土器B類、陶器、土師器
966	54.650	-85.670	ピット	瓦片
967	54.650	-85.670	ピット	瓦器陶
968	54.650	-85.670	ピット	瓦片
969	54.650	-85.670	ピット	羽口片
970	54.650	-85.670	ピット	瓦片
972	54.650	-85.670	ピット	白磁、鉄滓
974	54.650	-85.670	ピット	鉄滓
979	54.660	-85.680	ピット(SB-02)	石鱗片
978	54.660	-85.680	ピット(SB-04)	土師器杯蓋
980	54.660	-85.680	ピット	石鱗片
981	54.660	-85.680	ピット(SB-04)	土師器杯蓋、珠つまみ、土師器小皿、須恵器
982	54.660	-85.680	ピット(SB-04)	土師器杯、鉄滓
988	54.660	-85.670	ピット(SB-02)	黒色土器B類陶、瓦器陶、土師器杯
989	54.660	-85.670	ピット(SB-02)	土師器杯
990	54.660	-85.670	ピット	鉄滓
991	54.660	-85.670	ピット(SB-04)	瓦片、土師器杯
992	54.660	-85.670	ピット(SB-04)	土師器杯
993	54.660	-85.670	ピット(SB-02)	瓦器陶、土師器小皿
999	54.660	-85.680	ピット(SB-02)	鉄滓、須恵器杯蓋、土師器杯
1003	54.650	-85.670	ピット(SB-02)	須恵器、土師器
1006	54.660	-85.680	ピット(SB-02)	瓦器陶、須恵器杯、鉄滓
1011	54.650	-85.680	ピット	鉄滓
1018	54.640	-85.680	ピット	鉄滓
1021	54.630	-85.680	ピット	土師器(糸切り)
1022	54.630	-85.680	ピット	白磁陶
1025	54.630	-85.680	ピット(SB-01)	土師器甕
1027	54.660	-85.690	ピット	瓦片
1029	54.660	-85.680	ピット	瓦器陶
1036	54.640	-85.690	ピット(SB-05)	土師器杯
1039	54.650	-85.660	土坑	龍泉窯系青磁陶、白磁陶、瓦片
1041	54.650	-85.660	土坑	瓦片
1042	54.650	-85.660	土坑	瓦片
1043	54.650	-85.660	土坑	白磁陶

NO.	築造種の位置 X Y	遺構の種類	※※出土遺物
1044	54.650 -85.660	土坑	白磁、瓦片
1045	54.650 -85.660	土坑	白磁、瓦片
1046	54.650 -85.660	土坑	白磁碗Ⅴ類
1047	54.650 -85.660	土坑	瓦片、鉄滓
1049	54.650 -85.660	土坑	鉄滓
1050	54.650 -85.660	土坑	白磁碗、小皿
1051	54.650 -85.660	ピット	瓦片
1053	54.650 -85.670	土坑	白磁碗Ⅳ類、瓦片
1054	54.650 -85.670	土坑	瓦片
1055	54.660 -85.670	ピット	白磁碗Ⅳ類、土師器(糸切り)、磨石
1056	54.610 -85.700	ピット	龍泉窯系青磁碗Ⅱ類
1057	54.620 -85.700	ピット	龍泉窯系青磁碗
1058	54.620 -85.700	ピット	椎状土製品
1059	54.620 -85.700	ピット	白磁碗Ⅳ類、土師器(糸切り)
1060	54.640 -85.690	ピット	縄文土器
1062	54.650 -85.700	ピット	白磁碗Ⅳ類、鉄滓
1063	54.650 -85.700	ピット	鉄滓
1064	54.650 -85.700	ピット	龍泉窯系青磁碗、硯、鉄滓
1068	54.650 -85.700	ピット	鉄滓
1074	54.640 -85.700	ピット	鉄滓
1079	54.640 -85.700	ピット	鉄滓
1087	54.640 -85.670	ピット	白磁碗
1088	54.650 -85.700	ピット	白磁碗
1089	54.650 -85.700	ピット	鉄滓
1090	54.650 -85.700	ピット	鉄滓
1092	54.650 -85.700	ピット	羽口
1093	54.650 -85.700	ピット	白磁碗、鉄滓
1097	54.640 -85.710	ピット	土師器(糸切り)
1098	54.640 -85.710	ピット	白磁
1099	54.640 -85.710	ピット	鉄滓
1100	54.640 -85.710	ピット	鉄滓
1101	54.640 -85.710	ピット	鉄滓
1102	54.640 -85.710	ピット	須恵器(取り無し)、鉄滓
1112	54.640 -85.710	ピット	龍泉窯系青磁碗Ⅰ類
1114	54.640 -85.710	ピット	龍泉窯系青磁碗Ⅰ類
1116	54.640 -85.710	ピット	鉄滓
1121	54.640 -85.700	ピット	鉄滓
1127	54.620 -85.720	ピット	白磁ⅧⅨ類(口未け)
1128	54.620 -85.720	ピット	白磁碗、鉄滓
1129	54.620 -85.720	ピット	羽口片
1130	54.620 -85.720	ピット	鉄滓
1131	54.620 -85.720	ピット	鉄滓
1133	54.630 -85.720	ピット	鉄滓
1134	54.620 -85.720	ピット	鉄滓
1137	54.630 -85.720	ピット	須恵器(取り有り)
1138	54.630 -85.720	ピット	鉄滓
1139	54.630 -85.720	ピット	鉄滓
1143	54.630 -85.720	ピット	同安窯系青磁碗
1147	54.630 -85.720	ピット	鉄滓
1148	54.630 -85.720	ピット	鉄滓
1149	54.630 -85.720	ピット	鉄滓
1150	54.630 -85.720	ピット	鉄滓
1152	54.630 -85.720	ピット	鉄滓
1153	54.630 -85.720	ピット	鉄滓
1154	54.630 -85.720	ピット	羽口片
1155	54.630 -85.720	ピット	鉄滓
1157	54.630 -85.710	ピット	土師器(糸切り)
1161	54.630 -85.720	ピット	羽口片
1162	54.630 -85.720	ピット	鉄滓
1164	54.630 -85.720	ピット	土師器(糸切り)
1165	54.630 -85.720	ピット	瓦片、鉄滓
1166	54.620 -85.720	ピット	白磁碗Ⅳ類、瓦器碗、鉄滓
1168	54.620 -85.720	ピット	鉄滓
1170	54.620 -85.720	ピット	鉄滓
1171	54.640 -85.720	ピット	羽口片
1173	54.640 -85.710	ピット	鉄滓
1174	54.640 -85.710	ピット	煮沸甕、羽口
1177	54.630 -85.710	ピット	鉄滓
1179	54.630 -85.710	ピット	鉄滓
1180	54.620 -85.720	ピット	鉄滓
1181	54.620 -85.720	ピット	鉄滓
1182	54.620 -85.720	ピット	鉄滓
1183	54.620 -85.720	ピット	鉄滓
1184	54.620 -85.720	ピット	鉄滓
1185	54.620 -85.720	ピット	鉄滓
1187	54.620 -85.720	ピット	鉄滓
1188	54.620 -85.720	ピット	青磁碗、鉄滓
1190	54.610 -85.720	土坑	磁器多数
1192	54.610 -85.720	ピット	鉄滓
1194	54.630 -85.700	ピット	鉄滓
1197	54.630 -85.690	ピット	鉄滓
1198	54.650 -85.710	ピット	白磁碗、須恵器蓋
1199	54.630 -85.690	ピット	鉄滓
1200	54.630 -85.700	ピット	鉄滓

# IV-1. 吉森遺跡(3次)出土製鉄・鍛冶関連遺物の金属学的調査

熊本九州テクノリサーチ・TACセンター

大澤正己

## 1. 概要

平安時代後半～鎌倉時代初頭(12世紀中頃～13世紀前半)に属する吉森遺跡(3次)から出土した鉄生産関連遺物(製錬滓、マグネタイト系遺物、橢形鍛冶滓：精錬・鍛錬鍛冶滓、鉄塊系遺物、鉄器片、再結合滓、炉材：製鉄炉壁、大口徑羽口(7.2cm内径)、鍛冶羽口の金属学的調査を行った。

- (1) 低チタン花崗岩起源砂鉄産地で名を馳せた糸島半島の製鉄遺跡から、高チタン火山岩起源砂鉄を始発原料とした製錬滓(7.3%～16.8%TiO<sub>2</sub>)、橢形滓(0.8～8.6%TiO<sub>2</sub>)など出土した。
- (2) 7.2cm内径羽口(マグネタイト系遺物)の出土から糸島半島や福岡平野で数少ない整形炉操業が想定される。製鉄工程は、製錬→精錬鍛冶→鍛錬鍛冶→製品の製鉄一貫体制の辿れる遺物構成であった。
- (3) 製錬滓の鉱物組成は火山岩起源砂鉄使用で高温操業を裏付けるイルミナイ(Ilmenite：FeO・TiO<sub>2</sub>)、シュードブルーカイト(Pseudobrookite：Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>・TiO<sub>2</sub>)、ウルボスピネル(Ulvöspinel：2FeO・TiO<sub>2</sub>)などの鉱物相が確認できた。
- (4) 炉材粘土は目的に応じた採掘がなされている。製鉄炉は媒溶剤(鉄と滓の分離をよくする)効果を重んじた高塩基性成分(CaO+MgO：3.24%)で、耐火度(1087℃)は2次的に考える。大口徑羽口は溶損や孔詰まりを配慮した低塩基性成分(CaO+MgO：1.59%)で、高耐火度(1335℃)の採用で興味深い。前者の粘土は糸島花崗閃緑岩の風化真砂、後者は花崗岩風化真砂の使い分けとなる。
- (5) 鉄塊系遺物では鉄系組成はあまり残さず、再結合滓からわずみ鉄粒が検出できた。高炭素系(共析：0.77% C、過共析：>0.77% C域)の鉄の出土が少ない遺跡であった。

## 2. いきさつ

吉森遺跡は福岡県糸島市二丈吉井に所在する。中世の集落遺跡である。3次調査で鉄生産に関する遺物が大量に出土した。当遺跡の性格を極めると共に当時の生産実態を解明する目的から、金属学的調査の運びとなった。

## 3. 調査方法

### 2-1. 供試材

Table1に示す。製鉄・鍛冶関連遺物25点の分析調査である。

### 2-2. 調査項目

#### (1) 肉眼観察

遺物の肉眼観察所見。これらの所見をもとに分析試料採取位置を決定する。

#### (2) 顕微鏡組織(Microscopic Structure)

切り出した試料をベークライト樹脂に埋込み、エメリー研磨紙の#150、#240、#320、

#600、#1000と順を追って研磨し、最後は被研磨面をダイヤモンド粒子の $3\mu\text{m}$ と $1\mu\text{m}$ で仕上げた光学顕微鏡観察を行った。なお、金属鉄の炭化物は、ピクルル(ピクリン酸飽和アルコール液)で、フェライト結晶粒は5%ナイトル(硝酸アルコール液)で、腐食(Etching)している。

### (3) ビッカース断面硬度(Vickers Hardness Test)

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

### (4) EPMA(Electron Probe Micro Analyzer)調査

分析の原理は、真空中で試料面(顕微鏡試料併用)に電子線を照射し、発生する特性X線を分光後に画像化し、定性的な結果を得る。更に標準試料とX線強度との対比から元素定量値をコンピューター処理してデータ解析を行う方法である。化学分析を行えない微量試料や鉱物組織の微小域の組織同定が可能である。

### (5) 粉末X線回折法(X-Ray diffractometer)

回折スペクトルを利用する示性分析法。X線回折計(diffractometer)を使って固体試料(鍛冶滓、鑄造滓、白色鉱物)の物質同定を行った。測定は九州大学名誉教授、井澤英二先生に依頼し、九州大学地球資源工学部門のX線回折装置・理学Ultima IVを使用した。X線は $\text{Cu K}\alpha 1$ (40Kv、20mA)を用い、全自動モノクロメータ、発散スリット $2/3^\circ$ 、散乱スリット $2/3^\circ$ 、受光スリット $0.3\text{mm}$ 、データ取得幅 $0.02^\circ$ ( $2\theta$ )、走査速度 $2^\circ/\text{min}$ の条件で $2\theta=2\text{--}65^\circ$ ( $2\theta$ )を捜査範囲とした。(注：X線回折線図に認められる $2\theta=44.5^\circ$ のピークは、アルミニウム製試料保持枠に由来する混入回折線と思われる。)

### (6) 化学組成分析(Result chemical analysis)

供試材の分析は次の方法で実施した。

全鉄分(Total Fe)、金属鉄(Metallic Fe)、酸化第一鉄( $\text{FeO}$ )：容量法。

炭素(C)、硫黄(S)：燃焼容量法、燃焼赤外吸収法

二酸化硅素( $\text{SiO}_2$ )、酸化アルミニウム( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )、酸化カルシウム( $\text{CaO}$ )、酸化マグネシウム( $\text{MgO}$ )、酸化カリウム( $\text{K}_2\text{O}$ )、酸化ナトリウム( $\text{Na}_2\text{O}$ )、酸化マンガン( $\text{MnO}$ )、二酸化チタン( $\text{TiO}_2$ )、酸化クロム( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ )、五酸化磷( $\text{P}_2\text{O}_5$ )、バナジウム(V)、銅(Cu)：ICP(Inductively Coupled Plasma Emission Spectrometer)法：誘導結合プラズマ発光分光分析。

### (7) 耐火度

主に炉材の性状調査を目的とする。耐火度は、溶融現象が進行の途上で軟化変形を起こす状態の温度で表示される。胎土をゼーゲルコーンという三角錐の試験片に作り、1分間当たり $10^\circ\text{C}$ の速度で温度 $1000^\circ\text{C}$ まで上昇させ、以降は $4^\circ\text{C}$ に昇温速度を落とし、試験片が荷重なしに自重だけで軟化し崩れる温度を示している。

## 4. 調査結果

### YYM3-1 炉壁

- (1) 肉眼観察：平面が不整形形状を呈し、滓化面を剥落した炉壁片。製鉄炉の炉頂近くの破片であろう。断面は3層のサンドイッチ状で厚みは4.3cmを測る。側面の6面が破面となる。胎土はスサを多く含むが砂粒はあまり目立たない。色調は内側表層が剥落した2次面で淡灰黒色、中核部が黄褐色、外面は淡紅色を保つ。被熱度の低い炉材であり、胎土分析資料として採用した。
- (2) 化学組成分析：Table2に示す。強熱減量 (lg loss) は7.20%と殆んど熱影響を受けていない胎土分析である。結晶構造水の飛散は殆んどない。鉄分 ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) が5.78%と高めにあり、軟化性は芳しくなからう。酸化アルミニウム ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) が19.91%とやや低目に対して、塩基性成分 ( $\text{CaO} + \text{MgO}$ ) が3.24%と高い。製錬媒溶材に有利な成分系なれども、耐火性は高くは望めない。
- (3) 耐火度：1087°Cが得られた。軟化性や高耐火度を期待せずに鉄と滓の分離重視の炉材採用と考えられる。
- (4) 粉末X線回折：図1にX線回折プロフィールを示す。主要鉱物は石英 (quartz:  $\text{SiO}_2$ )、カリ長石 (K-feldspar:  $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ )、斜長石 (アルバイト: 曹長石であろう) であり、チタン石 ( $\text{CaTiSiO}_5$ )、普通角閃石 (hornblende:  $\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{Fe})_4\text{AlSi}_7\text{AlO}_{22}(\text{OH})$ ) と黒雲母を伴う。原材料は二丈地区に広く分布する糸島花崗閃緑岩の風化残積土 (真砂) である。在地の炉材粘土の充当といえる。

### YYM3-2 半還元砂鉄付着炉内滓

- (1) 肉眼観察：製鉄炉内へ投入された原料砂鉄が製錬スラグ化しきれずに、半還元状態で炉壁 (上部) 近傍に集合固着で留め置かれた砂鉄焼結塊である。上下面は生き、側部3面が破面となる厚さ4.5cmの425gの大型品。還元鉄の一部が錆化して、黒褐色から茶褐色を呈する。砂鉄粒子の粒径は還元の弱い粒子から0.1~0.4mm径が観察される。
- (2) 顕微鏡組織：Photo.1の②~⑥に示す。②は検鏡用埋込み試料の全体像である。断面は多孔質で、半還元砂鉄の剥落や未熔融部分を不均等に残す。③の左手白色粒が磁鉄鉱 (magnetite:  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ・ $\text{FeO}$ ) である。④は拡大組織で各粒子は角が取れた浜砂鉄で0.1~0.3mm径の集合体に見受けられる。左右の0.05mm以下の細粒は滓化して、左の淡茶褐色はウルボスピネル (Ulvöspinel:  $2\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$ )、右の白色粒状結晶がウスタイト (Wüstite:  $\text{FeO}$ )、もしくはマグネタイト (Magnetite:  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) であろう。⑤は格子結晶を留めたチタン鉄鉱 (Ilmenite:  $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$ ) の粒子群を示す。被熱の影響から粒内の晶出メタルは錆化する。当砂鉄は通常糸島半島周辺に賦存する酸性砂鉄 (低チタン砂鉄) とは性状を異にする。⑥は滓化部分の鉱物相である。マグネタイト滓に変容する。

- (3) ピッカース断面硬度：Photo.1の⑥に硬度測定の際の圧痕を示す。硬度値は506Hvが得られた。マグネタイトの文献硬度値は500～600Hv<sup>(a)</sup>にあるところから、鉱物相はマグネタイト(Magnetite: Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>)に同定される。
- (4) 化学組成分析：Table2に示す。全鉄分(Total Fe)は43.9%に対して、金属鉄(Metallic Fe) 0.23%、酸化第1鉄(FeO)30.32%、酸化第2鉄(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)28.80%の割合であった。造滓成分(SiO<sub>2</sub>+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+CaO+MgO+K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O)は17.62%で、このうち塩基性成分(CaO+MgO)を5.40%含む。原料砂鉄の特有成分は、二酸化チタン(TiO<sub>2</sub>)7.78%、バナジウム(V)0.19%、ジルコン(ZrO<sub>2</sub>)は3.75%と高めとなる。脈石の酸化マンガン(MnO)は0.59%と高く、酸化クロム(Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)も0.18%が多い。砂鉄としての銅(Cu)は0.01%と通常値を呈する。本来接する糸島産酸化砂鉄(低チタン含有：1%TiO<sub>2</sub>レベル)とは、その性状を異にする。

#### YYM3-3 大口径送風管 (内径7.2cm)

- (1) 肉眼観察：大型羽口先端部の破片である。残存部位から復元すれば、外径16.8cm、内径7.2cmで肉厚4.9cmとなる。淡紅黒色ガラス化したところの内側胎土は、1mm前後の白色砂粒(石英)とササを多く含む。なお、先端熱影響部の痕跡から、羽口装着角度は39°の炉内装入と読み取れる。鍛冶羽口とは異なり、福岡平野で珍しく整形炉の後背部装着の大口径送風管(羽口)と推定される。
- (2) 顕微鏡組織：Photo.1の⑧～⑩に示す。⑧は顕微鏡埋込み試料の全体像である。羽口外面胎土は熱影響を受けて熔融し、黒色ガラス質化を呈する。⑨は熔融ガラス化部分の拡大した鉱物相である。淡灰色ガラス素地の表層に微小白色多角形結晶のマグネタイト(magnetite: Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>)の晶出をみた。左右両端には被熱石英の亀裂発生が認められる。1000℃以上の昇温が推定できる。⑩は胎土組織を示す。常温では微細な鱗片状粘土鉱物セリサイトは加熱変化を起こし、半熔融状態となる。高温化の表れである。
- (3) ピッカース断面硬度：Photo.1の⑨に2点の硬度測定の際の圧痕を示す。右上の白色多角形結晶の硬度値は593Hvが得られた。マグネタイトの文献硬度値は、500～600Hvとあり、この範囲に収まる。顕微鏡観察のマグネタイトの検証となった。同組織の左下には黒色ガラス地の硬度で648Hvが得られた。ガラス文献値は639～884Hvであり、この範囲内に入る。ガラスに同定できる。
- (4) 粉末X線回折：図2にX線回折結果を示す。主要鉱物は石英、カリ長石、斜長石などである。被熱によって生じたムライト(mullite: 3Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>・2SiO<sub>2</sub>)と少量のクリストバライト(Cristobalite: SiO<sub>2</sub>)、ガラスが認められる。少量の赤鉄鉱(hematite: α-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)は被熱によって生じたと考えられる。原材料は花崗岩類の風化残積土(真砂)である。花崗閃緑岩よりは花崗岩の性格が認められる。

- (5) 化学組成分析：Table2に示す。被熱部分をできるだけ避けた胎土分析である。強熱減量(ig loss)は、1.75%と低値である。熱影響を受けて、結晶構造水が飛散した状態にある。鉄分( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )4.36%と高めで軟化性は一抔の不安を覚えるものの、酸化アルミニウム( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )を18.40%と適度に含み、塩基性成分( $\text{CaO}+\text{MgO}$ )も1.59%と低下気味で総合すると、問題を起す成分系ではない。前述した炉壁組成に比べると、耐火性など性状は左程悪くはない炉材粘土の採用といえる。
- (6) 耐火度：1335℃であった。前述炉壁(YYM3-1)の胎土に比べると耐火度が約250℃上昇した炉材の採用で、送風管先端の溶損や穴詰まり対策が配慮されたものと考えられる。

#### YYM3-4 マグネタイト系遺物

- (1) 肉眼観察：砂鉄原料が製鉄炉内の羽口近傍高温帯に付着し、マグネタイト状態で留まった強磁性製錬滓である。先に述べた砂鉄焼結塊が時間の経過で緻密な鉱物に変容している。平面は不定形状の167gの塊で、全ての側面が破面となる。色調は内側で橙色、炉壁を付着し、外面は淡茶褐色を呈する。破面は赤褐色で気孔が一切発生しない。
- (2) 顕微鏡組織：Photo.2の②～④に示す。②は顕微鏡埋込み試料の全体像である。気孔無く、白色鉱物で全面が埋まる。③は表層の半還元砂鉄の組織を留めた組織で、0.05～0.15mm径の砂鉄粒子が被熱により亀裂を走らせて溶着する。内部になると④にみられる大きく成長したマグネタイト(magnetite:  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )結晶で占められる。
- (3) ピッカース断面硬度：Photo.2の③は半還元砂鉄の硬度測定の際の圧痕を示す。値は484Hvであった。磁鉄鉱( $\text{Fe}_3\text{O}_4 \cdot \text{FeO}$ )粒子に判別できる。磁鉄鉱の文献硬度値は530～600Hvであり、下限をわずかに切るが、誤差とみて大過なからう。④は大きく成長したマグネタイト結晶の硬度測定の際の圧痕である。マグネタイト結晶は554Hv、結晶粒界で598Hvの値が得られた。マグネタイト文献硬度値の範囲内に収まる数値である。

#### YYM3-5 含鉄鉄滓or炉内滓

- (1) 肉眼観察：平面が不定形で全ての側面が破面となる448gの炉内滓。厚み41mmがほぼ均等厚みで微かに円弧を描く。炉壁に沿って形成された製錬滓であれば、該品も砂鉄焼結塊(YYM3-2)やマグネタイト系遺物(YYM3-4)に関連した一連副産物と整理できる。上下面は生きている破面に気孔は認められない。色調は茶褐色で木炭痕を刻まず、メタル度はメタルチェックでM(●)と微量反応をもつ。
- (2) 顕微鏡組織：Photo.2の⑥～⑩に示す。⑥は顕微鏡埋込み試料である。断面の全体像が捉えられる。中・小の気孔を発するが緻密質。メタル度M(●)から外れたのか当切口からは金属鉄や錆化鉄の検出はなかった。⑦の最表層は0.1mm径前後の半還元砂鉄粒子が残留し、その下層の拡大組織⑧になると白色針状組織のヘマタイト(hematite:  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ )及び淡茶褐色多角形

結晶のキムゼイざくろ石(Kimzeyite)や素地側に不定形暗色結晶の含鉄アルミノ珪酸塩など晶出する(各組成の説明はEPMAの項で述べる)。過去の検鏡調査ではあまりみかけなかった特異な鉱物相である。内部主要滓の鉱物相は⑨⑩に示す。⑨の淡灰色不定形結晶はウルボスピネル(Ulvöspinel:  $2\text{FeO}\cdot\text{TiO}_2$ )、⑩は大きく成長・凝集したマグネタイト(magnetite:  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )もしくはウスタイト(Wüstite:  $\text{FeO}$ )の晶出であった。砂鉄製錬滓の晶癖として、あまり類例のない鉱物相の組合せといえる。

- (3) ビッカース断面硬度: Photo.2の⑨⑩に硬度測定の際の圧痕を示す。⑨の淡灰色不定形結晶の芯をなす淡茶褐色析出物を硬度の対象とした。硬度値は422Hvが得られた。Ti濃度の高い700Hv以上の鉱物と予測をたてたが見事に外れた。鉱物相の特定はできない。しかし、カルシウム(Ca)が固溶されると軟化する可能性があり、ペロブスカイトの存在も無視できない。⑩の大きく成長・凝集の淡白色結晶は558Hvで、マグネタイト(magnetite:  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )に同定できる。前述YIM3-4マグネタイト系遺物の検鏡④の硬度に準じた結果となった。鉄製錬に際して  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{FeO} \rightarrow \text{Fe}$  の反応の進展がマグネタイト( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )の段階で中断された滓と位置付けられよう。ただし強磁着度でありあるいはウスタイトまでの還元もありうる。

- (4) EPMA調査: Photo.14の左上に半還元砂鉄粒子(Photo.2⑦と同一視野)の反射電子像(Comp)を示す。分析点1は砂鉄表層からの灰褐色微小結晶の析出物である。定量分析値は15.0%  $\text{MgO}$ -5.4%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -3.8%  $\text{MnO}$ -1.2%  $\text{TiO}_2$ -65.6%  $\text{FeO}$ 組成から磁鉄鉱(magnetite:  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )が同定される。これにはMg, Al, Mn, Tiなどが固溶する。分析点2は砂鉄表層内、白色部の定量分析値である。9.5%  $\text{TiO}_2$ -1.9%  $\text{MgO}$ -1.0%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -75.2%  $\text{FeO}$ 組成が得られた。こちらも磁鉄鉱で、Ti, Mg, Alの固溶がある。分析点3は砂鉄中央部で白色鉱物相である。定量分析値は53.2%  $\text{FeO}$ -19.2%  $\text{TiO}_2$ 組成でウルボスピネル(Ulvöspinel:  $2\text{FeO}\cdot\text{TiO}_2$ )が同定される。砂鉄粒子は磁鉄鉱( $\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot\text{FeO}$ )と含チタン鉱物(Ilmenite, Ulvöspinel)とはある程度まではお互いに固溶してTitanomagnetiteを形成している。

次にもう一視野追加分析を行なった。Photo.15の左上の反射電子像(Comp)に示した白色針状結晶を中心とする鉱物相(Photo.2⑧対応)である。分析点4の白色針状結晶は、定量分析値が2.7%  $\text{MgO}$ -2.4%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -1.5%  $\text{MnO}$ -71.5%  $\text{FeO}$ 組成が得られた。赤鉄鉱(hematite:  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ )で、Mg, Al, Mnを固溶する。分析点5は明暗2層に分かれた多角形結晶(顕微鏡観察では淡茶褐色結晶とした同系結晶、倍率の関係から色調差が生じる)である。定量分析値は、29.2%  $\text{CaO}$ -14.2%  $\text{ZrO}_2$ -24.2%  $\text{FeO}$ -15.1%  $\text{TiO}_2$ -11.8%  $\text{SiO}_2$ -1.5%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 組成となり、キムゼイざくろ石(Kimzeyite:  $\text{Ca}_3(\text{Zr, Fe, Ti})_2(\text{Si, Al, Fe})_3\text{O}_{12}$ )に同定される。分析点6, 7, 8は素地に形成する暗色多角形結晶群である。3点の分析組成は近似するので、6の定量分析値で代表させると、3.7%  $\text{P}_2\text{O}_5$ -19.0%  $\text{FeO}$ -28.2%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -17.5%  $\text{SiO}_2$ 組成となる。燐を含有する鉄のアルミノ酸塩と整理できるが、鉱物名は現在のところ、帰属不明となる。

更にもう一視野追加した。Photo.16の左上に示す。反射電子像(Comp)にみられる白色成長結晶とその粒間結晶である。(Photo.2⑩対応鉱物)。分析点9の白色成長結晶は90.1%  $\text{FeO}$ 組成からウスタイト(Wüstite:  $\text{FeO}$ )が同定される。次に粒間に分布する分析点10の不定形茶



褐色析出物は、60.3%FeO-24.3%TiO<sub>2</sub>組成、これに準ずる白色成長結晶内に点在する析出物も65.8%FeO-20.0%TiO<sub>2</sub>が得られた。両者はウルボスピネルであり、分析点9は磁鉄鉱成分を20%程度、分析点10は30%程度固溶する。

同じく粒間に析出した分析点11の濃茶褐色多角形結晶は、40.6%CaO-5.3%FeO-40.4%TiO<sub>2</sub>組成からペロブスカイト[perovskite: (Ca, Fe)TiO<sub>3</sub>]となる。Photo.2②に示した422Hvを呈する析出物は、ペロブスカイトの可能性を喚起する。また粒間析出物で分析点12、13とした不定形褐色析出物は、前者で20.1%CaO-15.7%FeO-8.2%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-33.3%SiO<sub>2</sub>組成から、ざくろ石族の鉱物[garnet group: (Ca, Fe)<sub>3</sub>(Al, Fe)<sub>2</sub>(Si, Al)<sub>3</sub>O<sub>12</sub>]となる。後者もざくろ石族でほぼ同系なので記述は割愛する。

- (5) 化学組成分析: Table2に示す。前述YYM3-2半還元砂鉄の成分に近似した成分系である。全鉄分(Total Fe)は53.14%に対して、金属鉄(metallic Fe)0.11%、酸化第1鉄(FeO)39.25%、酸化第2鉄(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)32.20%の割合である。渣滓成分(SiO<sub>2</sub>+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+CaO+MgO+K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O)は14.21%と低めで、塩基性成分(CaO+MgO)は6.04%と多い。砂鉄特有元素の二酸化チタン(TiO<sub>2</sub>)は7.29%、バナジウム(V)0.18%など中チタン砂鉄レベルで二酸化ジルコニウム(ZrO<sub>2</sub>)1.89%は高い。また砂鉄にしては1.02%MnO、1.06%P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、0.34%Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>なども高値といえる。銅(Cu)は0.01%と低値で一般砂鉄本来の数値を示す。

#### YYM3-6 流出孔滓

- (1) 肉眼観察: 10mm前後の流動単位が重複した粘質質の流出孔滓である。上下面と炉壁孔嵌入部分は生きているが、炉内側の片側面と長軸両端が破面となる。下面は微細な凹凸反応痕のみで、大きな礫や炉壁片の付着はなく、炉内生成物と見做される。色調は黒褐色で破面は気孔なく緻密質。流出孔径は約30mmが想定できる。
- (2) 顕微鏡組織: Photo.3の②~④に示す。②は顕微鏡埋込み試料の全体像である。滓断面は偏析少なく、気孔も疎らで緻密質。③は鉱物相の代表的組織で、淡灰色長柱状結晶のファヤライト(Fayalite: 2FeO・SiO<sub>2</sub>)と、淡茶褐色多角形結晶のウルボスピネル(Ulvöspinel: 2FeO・TiO<sub>2</sub>)で構成される。砂鉄製錬滓の晶癖である。
- (3) ピッカース断面硬度: Photo.3の③は淡茶褐色多角形結晶の硬度測定の際の圧痕を示す。値は692Hvが得られた。マグネタイトの文献硬度値は500~600Hvで、これにチタン(Ti)を固溶する。当結晶はウルボスピネルの同定で大過なからう。④は淡灰色長柱状結晶の硬度圧痕である。硬度値は574Hvである。ファヤライトの文献硬度値は600~700Hvで、この下限値を若干割るがファヤライトの可能性が高い。
- (4) 粉末X線回折: 図3に示す。主要鉱物はファヤライトとウルボスピネル(磁鉄鉱成分を30%程度固溶)からなる。ガラス(glass)を極微量含む。後述する化学組成がジルコン(ZrO<sub>2</sub>)とチタン(TiO<sub>2</sub>)に富むことを反映して、バッドレイ石(baddelyite: ZrO<sub>2</sub>)とカルジルタイト

(calzirtite:  $\text{CaZr}_3\text{TiO}_9$ )が生成している。

- (5) 化学組成分析: Table2に示す。砂鉄製錬滓の特徴をよく表わす成分系である。全鉄分(Total Fe)は34.62%に対して、金属鉄(metallic Fe)0.24%、酸化第1鉄(FeO)を大量に含み40.68%、酸化第2鉄( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )少なく、3.95%の割合である。造滓成分( $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ )は36.34%で、このうち塩基性成分( $\text{CaO} + \text{MgO}$ )を5.71%と高値含有となる。炉壁(YYM3-1)組成の反映とみられる。砂鉄特有成分の二酸化チタン( $\text{TiO}_2$ )9.50%、バナジウム(V)0.25%、ジルコニウム( $\text{ZrO}_2$ )5.18%も頗る高い。X線回折結果ともよく対応がとれる。

#### YYM3-7 小型流動滓

- (1) 肉眼観察: 前述流出溝滓(YYM3-6)に連なる可能性をもつ、炉外流出滓である。幅10mm流動単位が重複した製錬初期の滓である。下面は微細な木炭痕や、少ないながら大粒石英や炉壁粉が付着する。上面は黒褐色を呈した3条の流動単位が読み取れる。破面に1ヶ所小気孔の発生があるが緻密質。流出先端は生き、流動元のみ破面となる38gの小型滓である。

- (2) 顕微鏡組織: Photo.3の⑥~⑩に示す。⑥は顕微鏡埋込み試料の全体像である。3条の流動単位が明瞭で、中央に気孔が集中する。⑦は流動単位が重複する境界を示す。晶出鉱物相は⑧にみられる淡茶褐色多角形結晶のウルボスピネルである。境界線を介して結晶の大きさに差異をみるのは温度差による。⑨の中央にウルボスピネルを伴う明白色の金属鉄を示す。⑩はこれをナイトル(3%硝酸アルコール液)で腐食(etch)した組織である。黒色層状組織のパーライト(pearlite)素地に白色針状の初析セメントイト(pro-eutectoid cementite)を走らせる。過共析鋼(>0.77% C)に分類できる。以上は砂鉄製錬滓の晶癖である。

- (3) ピッカース断面硬度: Photo.3の⑧に淡茶褐色多角形結晶の硬度測定の際の圧痕を示す。値は730Hvであった。ウルボスピネルに同定される。⑩は黒色層状パーライト素地の硬度であった267Hvが得られた。組織に見合った妥当な数値である。

- (4) 化学組成分析: Table2に示す。鉄分や造滓成分は前述YYM3-6流出孔滓に近似するが、二酸化チタン( $\text{TiO}_2$ )は約2倍の16.82%、二酸化ジルコニウム( $\text{ZrO}_2$ )は1/2の2.80%に変化した滓組成である。

#### YYM3-8 炉内滓

- (1) 肉眼観察: 茶褐色酸化土砂に厚く覆われた、おむすび形状の炉内滓である。完形品が破面が有るのか定かでない。503gを測り、含鉄気味でメタルチェッカーがM(◎)で反応する。
- (2) 顕微鏡組織: Photo.4の②~⑥に示す。②は顕微鏡埋込み試料の全体像である。中・小の気孔発生があるものの緻密質。③は平均的鉱物相で、淡茶褐色多角形結晶のウルボスピネル、白

色粒状結晶のウスタイトに明白色少量の金属鉄粒の晶出がある。④は拡大組織で金属鉄粒は3点が認められて、極低碳素鋼である。⑤は還元剤の木炭片の噛み込みがあった。樹種は定かではない。いずれにしろ、砂鉄製錬滓の晶癖であった。

- (3) ピッカース断面硬度：Photo.4の⑥に淡茶褐色多角形結晶の硬度測定圧痕を示す。硬度値は787Hvであった。ウルボスピネルに同定される。
- (4) 粉末X線回折：図4にX線回折プロフィールを示す。主要鉱物はウルボスピネル(Ulvöspinel： $2\text{FeO}\cdot\text{TiO}_2$ )で、磁鉄鉱を10%程度固溶している。他にウスタイト( $\text{FeO}$ )、バッドレイ石( $\text{ZrO}_2$ )、カルジルタイト( $\text{CaZr}_2\text{TiO}_7$ )を伴う。後述化学組成分析の高ジルコン(7.24% $\text{ZrO}_2$ )の結果ともよく対応している。
- (5) 化学組成分析：Table2に示す。鉄分がやや高めで造滓成分が低減気味に、チタン分の多い成分系である。全鉄分(Total Fe)は42.43%に対して、金属鉄(metallic Fe)0.09%、酸化第1鉄( $\text{FeO}$ )37.28%、酸化第2鉄( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )19.25%の割合である。錆化鉄含みで、ガラス成分は少なく、造滓成分( $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{CaO}+\text{MgO}+\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$ )は11.17%と低値に留まる。砂鉄脈石は多くて、二酸化チタン( $\text{TiO}_2$ )15.68%は前述小型流動滓(YYM3-7)に近似する。また、バナジウム(V)0.73%、二酸化ジルコニウム( $\text{ZrO}_2$ )7.24%も高めで、これに加えて酸化マンガ(MnO)1.15%、酸化クロム( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ )1.26%、五酸化燐( $\text{P}_2\text{O}_5$ )1.09%など多くて特異である。ただし銅(Cu)の0.01%の低値を含めて砂鉄組成から外れるものではない。

#### YYM3-9 鉄塊系遺物

- (1) 肉眼観察：平面が不整楕円形状で、茶褐色酸化土砂に厚く覆われた332gの鉄塊系遺物である。局部的に酸化土砂が剥落した箇所から地肌を観察すると、木炭痕や木炭噛み込み、縁部の欠けは人工的剥離面をもち、炉底塊(含鉄部分)からの打割り・小割り鉄塊が想定できる。滓の付着は認められない。メタルチェッカーで、L(●)反応を捉えた。重量(332g)から鍛冶用素材のサイズの可能性が指摘できよう。
- (2) 顕微鏡組織：Photo.4の⑧～⑩に示す。⑧は顕微鏡埋込み試料の全体像である。断面は楕円形状で左半分の明白色部に金属鉄の遺存が認められた。表皮スラグや非金属介在物は残さない。ナイトル腐食組織が⑨⑩である。黒色層状組織のパーライト(pearlite)素地に白色針状や網状にフェライト(ferrite：純鉄)が走る。亜共析(<0.77%C)鋼に分類される。鍛冶原料鉄に向けられる。
- (3) ピッカース断面硬度：Photo.4の⑩に2点の硬度測定の圧痕を示す。左側黒色層状部分は205Hv、右側の白色片状部で119Hvを呈した。前者はパーライト、後者でフェライトに同定できる。

- (4) 化学組成分析：Table2にメタル定量分析結果を示す。炭素(C)量は0.21%と軟鋼レベルに出た。顕微鏡組織では、パーライト析出量が多くあり、0.5%前後を予測したが下回った。偏析が有ったのだろう。随伴微量元素は至って低目であり、高純度鉄塊である。鉄に有害な燐(P)は0.057%、硫黄(S)0.027%など低値は優れた材質といえる。

#### YYM3-10 含鉄鉄滓(鉄塊系遺物)

- (1) 肉眼観察：平面が不整形円形状で上下面が生き、側部が破面の含鉄鉄滓(鉄塊系遺物)である。石英粒を多く含む炉壁を付着する。鉄部は滓と分離が悪く気孔の少ない緻密質滓を伴う。該品も酸化土砂に厚く覆われるが剥離面も多い。破面数は6を数える。鉄はメタルチェックでL(●)となり、92gの小塊。
- (2) 顕微鏡組織：Photo.5の②～④に示す。②は顕微鏡埋込み試料の全体像である。数点の明白色不定形島状(未凝集)の金属鉄が遺存する。③は島状金属鉄を取り囲むウルボスピネル晶出の砂鉄製錬滓組織である。当鉱物相は徐冷されて発達した炉底塊の破片の可能性をもつ。④は島状金属鉄を3%ナイトル腐食で示した。純鉄組織のフェライト(ferrite)である。まだ吸炭の進んでいない極軟鋼であった。未凝集鉄であり、これらが集合されて高炭素化して鋼鉄が生成されるのであろう。
- (3) ビッカース断面硬度：Photo.5の③は大きく成長した淡茶褐色結晶の硬度測定圧痕を示す。硬度値は668Hvでウルボスピネルが同定される。④はフェライト結晶の硬度圧痕である。値は103Hvと極軟鋼レベルで収まった。現代鉄のフェライトは70～80Hvを呈するが、前近代鉄製品では折しり見掛ける数値であり、判定に対して問題はない。

#### YYM3-11 鉄塊系遺物

- (1) 肉眼観察：平面が不整形方形で一辺に中折れをもつ53gの鉄塊系遺物である。表裏面から側面にかけて酸化土砂が剥落し、鉄錆染みの肌を表わす。局部的には小気孔発生の滓の付着も観察できた。
- (2) 顕微鏡組織：Photo.5の⑥～⑩に示す。⑥は顕微鏡埋込み試料の全体像である。緻密な滓に囲まれて、未凝集明白色金属鉄が遺存する。⑦⑧は滓の鉱物相を示す。淡茶褐色多角形結晶のウルボスピネルと、淡灰色柱状結晶のファイライトが晶出する。⑨は腐食(etch)なしの金属鉄を示す。明白色が金属鉄で上部斜めに酸化層(錆層)を伴う。その下に米粒程の明暗2層異物が目につく。鉄中の非金属介在物である。非金属介在物(non-metallic inclusion)とは、鉄鋼中に介在する固体の非金属性不純物、つまり鉄やマンガン珪素および燐などの合金元素の酸化物、硫化物、珪酸塩などの総称である。鉄の製造履歴を知る上で重要な手掛りとなりうる物質で、人間のDNAに匹敵するといっても過言ではあるまい。ここではチタン酸化物のペロブスカイト(Ca, Fe)TiO<sub>3</sub>の検出となった。詳細はEPMAの項で触れる。ともかくも砂鉄原料鉄を始発原料とする鉄の証明となりうる。⑩はナイトル腐食(etch)の拡大組織で、非金属介在

物と共に、白色素地に黒く細い網状のフェライト結晶粒が表れて、その交点には極く微量の黒色層状パーライト(pearlite)が認められる。パーライト析出量から炭素含有量を推定できて、ここでは0.1% C以下と発言できる。極軟鋼である。硬度値の値はないが、前述含鉄鉄滓(YM3-10)のフェライト素地が103Hvであった。これに大差ない値が想定できる。

(3) ピッカース断面硬度：Photo.5の⑧に淡茶褐色多角形結晶の硬度測定の際の圧痕を示す。硬度値は635Hvを呈した。ウルボスピネルに同定される。

(4) E P M A調査：Photo.17の左上に半還元砂鉄粒子の反射電子像(COMP)を示す。分析点1の粒子は特性X線像でチタン(Ti)にのみ白色輝点が集中する。定量分析値は68.2%TiO<sub>2</sub>-16.6%FeO-4.3%MgO-4.7%ZrO<sub>2</sub>-2.6%V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-1.7%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>組成から大まかには金紅石のルチル(rutile:TiO<sub>2</sub>)に同定される。正確には[(Ti, Fe, Mg, Zr, V, Al)O<sub>2</sub>]なる化学式が必要となろう。分析対象としたこの半還元砂鉄粒子は明暗2層に分かれる。分析点1としたのは暗部の中核部であり、その外周を明るい層が取り囲み、反応痕を残す。この部分を分析点2として定量分析値を採った。53.2%TiO<sub>2</sub>-33.8%FeO-3.8%MgO-3.9%ZrO<sub>2</sub>-1.6%V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>組成から、やはりルチル[(Ti, Fe, Mg, Zr, V)O<sub>2</sub>]となる。

次に鉄中非金属介在物の調査を行った。Photo.18の左上の反射電子像(COMP)に示す。2連の精円形状異物である。分析点6の特性X線像はチタン(Ti)に白色輝点が強く集中する。定量分析値は5.0%CaO-24.3%FeO-49.5%TiO<sub>2</sub>組成からペロブスカイト[Perovskite:(Ca, Fe)TiO<sub>3</sub>]が同定される。このペロブスカイトを取り囲む黒色鉱物に分析点5をつけての分析は、40.3%SiO<sub>2</sub>-18.6%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-10.0%CaO-1.4%MgO-7.6%K<sub>2</sub>O-1.2%Na<sub>2</sub>O-11.8%FeO組成が得られた。FeOの固溶が大きいガラス(glass)の可能性が大きいと考える。

#### YYM3-12 鉄塊系遺物 (含鉄鉄滓)

(1) 肉眼観察：厚く赤褐色酸化土砂に覆われた不整形形状で26gと小型の鉄塊系遺物である。付着物は石英粒のみで、木炭片や外部からの情報は全て遮断される。ただし丸味を帯びた外観は高炭素系鉄塊を連想させる。メタルチェッカーのメタル度はL(●)であり、完形品の可能性が高い。

(2) 顕微鏡組織：Photo.6の②～⑥に示す。②は顕微鏡埋込み試料の全体像である。緻密質鉄滓に取り囲まれた明白色金属鉄は多孔質である。③は左側に製錬滓組成の淡茶褐色多角形結晶のウルボスピネルが、白色粒状結晶のウスタイトを共存し、左側の明白色部にナイタル腐食(etch)前の金属鉄を示す。④⑤はウルボスピネルの拡大組織であり、⑥はナイタル腐食後の金属鉄組織である。組織の左側にフェライト・パーライトの亜共析域(<0.77% C)、右側は共析域(0.77% C)の全面パーライトである。鉄中の炭素含有量は大きくバラツキをもつ鉄塊である。

(3) ピッカース断面硬度：Photo.6の⑤に淡茶褐色多角形状結晶の硬度測定の際の圧痕を示す。硬度値は630Hvでウルボスピネルに同定される。⑥は金属鉄ナイタル腐食後の硬度圧痕である。

左側は亜共析域で236Hv、右側は共析域で278Hvが得られた。両者は若干高め傾向にあるが、両者間に矛盾はない。

### YYM3-13 鉄器破片

- (1) 肉眼観察：平面が不整形形状で、全側面が破面となる9mm厚みの鉄器片である。上下面は赤褐色酸化土砂に覆われる。磁性を残すがメタルチェッカーでメタル度はH(O)反応に留まり、金属鉄の残存は厳しい状況の資料である。
- (2) 顕微鏡組織：Photo.6の⑧～⑩に示す。⑧は顕微鏡埋込み試料の全体像である。銹化した鍛造鉄器片である。酸化断面の中央部は、折り返し鍛接線に沿って大きく口を開く。⑨⑩は銹化鉄のゲーサイト(goethite： $\alpha$ -FeO(OH))で、鉄中の非金属介在物は剥落し、金属鉄組織の痕跡も察知できなかった。

### YYM3-14 羽口

- (1) 肉眼観察：内径3.2cmを測る。鍛冶羽口の先端が熔融黒色ガラス化した半割れ品。胎土は1mm以下の石英を多く含み、モミヤスサ状混和物は認められない。羽口の現存長さは7.3～8.6cm、外径は7.5～8.0cmに復元される。
- (2) 顕微鏡組織：Photo.7の②～⑥に示す。②は顕微鏡埋込み試料の全体像である。左側が熔融黒色ガラス部分、右側に被熱影響の少ない胎土部分を示す。③⑤は熔融ガラス地に淡灰白色多角形結晶のマグネタイト( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )、④は白色粒状結晶のウスタイト( $\text{FeO}$ )とマグネタイト共存組織である。⑥は非晶質ガラス素地を示しておく。
- (3) ピッカース断面硬度：Photo.7の⑤は淡灰白色多角形結晶の硬度測定印痕を示す。硬度値は560Hvが得られた。マグネタイトの文献硬度値は500～600Hvにあり、該品はこの範囲に収まる。マグネタイトに同定できる。⑥は黒色ガラス素地の硬度測定印痕である。値は697Hvである。因にガラスの文献硬度値は639～884Hvの範囲にある。非晶質ガラスとしては妥当な数値といえる。
- (4) EPMA調査：Photo.19の左上に羽口先端熔融ガラス中に晶出した淡灰白色多角形結晶及び白色粒状結晶の反射電子像(COMP)を示す。両結晶は特性X線像でみると、白色輝点が鉄(Fe)に強く集中し、チタン(Ti)に弱く反応する。分析点7(多角形結晶)の定量分析値は、84.8%FeO-2.4%MgO-3.2%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>組成から磁鉄鉱のマグネタイト( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )に同定される。僅かにMg、Alなどを固溶する。次に分析点8(白色粒状結晶)の定量分析値は83.9%FeO-2.7%TiO<sub>2</sub>-1.4%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>組成となる。前述分析点7と同類のマグネタイトに同定できる。分析点9は黒色ガラス素地である。定量分析値は50.0%SiO<sub>2</sub>-16.1%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-11.0%CaO-3.9%K<sub>2</sub>O組成である。非晶質珪酸塩に同定される。

- (5) 粉末X線回折：図5にX線回折プロフィールを示す。石英が主鉱物であり、少量のカリ長石を伴う。花崗岩類が強度の風化作用を受けて生じた残積土(真砂)である。被熱によって粘土鉱物はムライトとガラスに変化している。
- (6) 化学組成分析：Table2に示す。強熱減量(ig loss)は4.19%と若干熱影響は受けているが、左程実害のないところでの胎土分析である。鉄分( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )は4.97%を含み、軟化性は少々気掛りであるが、問題視するまでもない。該品は酸化アルミニウム( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )を23.65%の高値に加えて、塩基性成分( $\text{CaO}+\text{MgO}$ )が1.07%と低値で、耐火性確保に好ましい成分系である。羽口に対して真砂粘土の採用は先端溶融や孔つまりに対して有利となりうる。
- (7) 耐火度：1460℃の耐火度が得られた。精錬鍛冶に向けても十分に機能する羽口胎土であった。

#### YYM3-16 炉底塊

- (1) 肉眼観察：平面が不整形形状を呈する1850gの炉底塊である。上下面は生きており、側面の一部が破面となる。多孔質ながら緻密な滓である。上面は窪み、木炭を噛み込む。側面には2~3mm程度の花崗岩粒を付着し、下面は碗形状を呈する。色調は茶褐色。
- (2) 顕微鏡組織：Photo.7の⑧~⑩に示す。⑧は顕微鏡埋込み試料の全体像である。外観で観察した結果に準じて、内部も多孔質で緻密質を受け継ぐ。⑨⑩に鉱物相を示す。淡茶褐色多角形結晶のウルボスピネルと白色粒状結晶ウスタイト(粒内淡茶褐色析出物含み)の共伴で構成される。鉄濃度の高い砂鉄製錬滓の晶癖と判定しておく。
- (3) ビッカース断面硬度：Photo.7の⑩に白色粒状結晶(粒内析出物含有)の硬度測定の際の圧痕を示す。硬度値は467Hvでウスタイト( $\text{FeO}$ )に同定される。
- (4) EPMA調査：Photo.20の左上に炉底塊を構成する鉱物の反射電子像(COMP)を示す。まず分析点10は淡茶褐色多角形結晶の定量分析結果である。63.4% $\text{FeO}$ -26.0% $\text{TiO}_2$ 組成はウルボスピネル( $2\text{FeO}\cdot\text{TiO}_2$ )に同定される。磁鉄鉱成分を20%程度固溶する。次に分析点13は淡灰色不定形結晶は色調がファヤライトに近似した結晶である。定量分析値は27.7% $\text{CaO}$ -34.8% $\text{FeO}$ -30.2% $\text{SiO}_2$ 組成となりキルシュスタイナイト(kirschsteinite:  $\text{CaFeSiO}_3$ )に同定される。最後は分析点14の黒色ガラスに近い色調の不定形結晶の定量分析値である。20.0% $\text{K}_2\text{O}$ -24.6% $\text{Al}_2\text{O}_3$ -46.8% $\text{SiO}_2$ 組成が得られた。リューサイト[leucite:  $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ]に類似した組成であるが、 $\text{SiO}_2$ が不足しているため、確定できない。
- 他にもう一視野分析調査を行った。Photo.21の反射電子像(COMP)に示す。半還元砂鉄粒子が対象となる。分析点11は砂鉄粒子の素地で、定量分析値は94.8% $\text{FeO}$ 組成はウスタイト( $\text{FeO}$ )、その粒内に析出した分析点12の淡褐色微小結晶は63.3% $\text{FeO}$ -22.8% $\text{TiO}_2$ 組成からウルボスピネル( $2\text{FeO}\cdot\text{TiO}_2$ )が同定される。これには磁鉄鉱成分を20%程度固溶する。

- (5) 粉末X線回折：図6のX線回折パルフィールを示す。主要鉱物はウスタイト(Wüstite: FeO)とウルボスピネル( $2\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$ 、磁鉄鉱成分を30%程度固溶している)からなり、バッダレイ石( $\text{ZrO}_2$ )、カルジルタイト( $\text{CaZr}_3 \cdot \text{TiO}_9$ )を伴う。また微量の石英と針鉄鉱(needle:  $\alpha\text{-FeO(OH)}$ )が認められる。針鉄鉱はPhoto.21の反射電子像(COMP)で提示した半還元砂鉄の外縁に晶出した初期フェライトの錆化物の可能性をもつ。
- (6) 化学組成分析：Table2に示す。鉄分が多く、造滓成分が低めで砂鉄派石の高めを特徴とする滓である。全鉄分(Total Fe)は51.68%に対して、金属鉄(Metallic Fe)0.08%、酸化第1鉄( $\text{FeO}$ )41.03%、酸化第2鉄( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )28.18%の割合である。造滓成分( $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ )は12.82%で、このうち塩基性成分( $\text{CaO} + \text{MgO}$ )を2.67%を含む。砂鉄特有元素は二酸化チタン( $\text{TiO}_2$ )が4.54%と中程で、バナジウム(V)の0.34%、二酸化ジルコニウム( $\text{ZrO}_2$ )2.87%は高めとなる。酸化マンガン( $\text{MnO}$ )の0.54%は中程に位置付けられる。酸化クロム( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ )の0.39%、五酸化磷( $\text{P}_2\text{O}_5$ )の0.91%も低くはない。塩基性砂鉄の製錬滓に分類できる。

#### YYM3-17 椀形鍛冶滓

- (1) 肉眼観察：平面が楕円形状で長軸側面に突起をもつ椀形鍛冶滓の完形品。上面は気泡なく滑らか肌で、中窪みに木炭痕を残し、スサ状付着物をもつ。下面は多孔質。色調は茶褐色を呈する。側面に青灰色の鍛造剥片の付着がみられた。
- (2) 顕微鏡組織：Photo.8の②～④に示す。②は顕微鏡埋込み試料の全体像である。ガス抜け気孔が多発する断面が特徴的である。③は表層に付着した鍛造剥片<sup>(82)</sup>が検出できた。赤熱鉄素材を鍛打加工の時点で剥落した表面酸化膜である。微細遺物ながら鍛打作業を実証する貴重品の発見となった。④は鉄滓の鉱物相を代表する組織で、白色粒状結晶のウスタイト( $\text{FeO}$ )と粒間のファヤライト( $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$ )、これに明白色の金属鉄が晶出する。ウスタイトの粒内には微細なウルボスピネルの析出がある。砂鉄起源の徐滓を目的とした精錬鍛冶滓の晶癖である。
- (3) ピッカース断面硬度：Photo.8の④に白色粒状結晶の硬度測定の圧痕を示す。硬度値は502 Hvが得られた。ウスタイトの文献硬度値は450～500Hvで、その上限を僅かに越えるがウスタイトに同定できる。
- (4) 化学組成分析：Table2に示す。前述してきた砂鉄製錬滓に比べて、該品は派石成分(Ti, V, Zr, Mn)が低減する特徴を留めて、鍛冶滓成分傾向が顕著である。すなわち、全鉄分(Total Fe)52.08%に対して、金属鉄(Metallic Fe)0.10%、酸化第1鉄( $\text{FeO}$ )26.74%、酸化第2鉄( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )44.60%の割合である。造滓成分( $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ )は16.39%と低値をとり、そのうちの塩基性成分( $\text{CaO} + \text{MgO}$ )も1.93%に留まる。砂鉄特有元素の低減は著しく、二酸化チタン( $\text{TiO}_2$ )1.08%、バナジウム(V)0.05%、二酸化ジルコニウム( $\text{ZrO}_2$ )0.38%となる。また、酸化マンガン( $\text{MnO}$ )も0.12%まで下り、酸化クロム( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ )も



0.08%と0.1%を割る結果となった。鍛冶滓は製錬滓のもつ脈石成分低減が明瞭に現われる。

#### YYM3-18 炉内滓

- (1) 肉眼観察：平面が不整平行四辺形状を呈する570gの炉内滓破片。3ヶ所は欠けており、本来は楕円形状平面の可能性も想定できる。上面は木炭を噛み込み、白色の粘土質が固着する。下面は1~5mmの花崗岩が貼り付く。炉内滓としては些か奇異な点である。
- (2) 顕微鏡組織：Photo.8の⑥~⑩に示す。⑥は顕微鏡埋込み試料の全体像である。1点の大径孔を除くと、気孔少なく緻密な鉱物断面である。⑦~⑩は厚み方向上中下での組織バラツキをみている。偏析はなく、淡茶褐色多角形結晶のウルボスピネル( $2\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$ )と、ウスタイト( $\text{FeO}$ 、粒内 $\text{Fe}-\text{Ti}$ 析出物含み)、その粒間を淡灰色不定形結晶のファヤライト( $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$ )などで構成される。
- (3) ピッカース断面硬度：Photo.8の⑩左下は淡茶褐色多角形結晶の硬度測定の際の圧痕を示す。値は733Hvでウルボスピネル( $2\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$ )、右上の白色粒状結晶は493Hvからウスタイトが同定される。⑩の白色樹枝状結晶は604Hvの高値が得られた。この白色樹枝状結晶の粒内には $\text{Fe}-\text{Ti}$ 析出物が大量に晶出する。高値原因は $\text{Fe}-\text{Ti}$ 固溶に求められよう。
- (4) EPMA調査：Photo.22の左上の反射電子像(COMP)は、半還元砂鉄粒子の分析結果を示す。分析点15は砂鉄素地であり、定量分析値は94.6% $\text{FeO}$ である。ウスタイト( $\text{FeO}$ )に同定される。粒内微細析出物は分析点16において、65.6% $\text{FeO}-20.5\% \text{TiO}_2$ 組成が得られた。ウルボスピネル( $2\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$ )であり、磁鉄鉱成分を30%程度固溶している。半還元砂鉄粒子と銘打った根拠には、砂鉄外縁を褐色帯が取り囲む。この部分を分析点17とした。定量分析値は71.5% $\text{FeO}$ から、針鉄鉱のゲーサイト(goethite： $\alpha-\text{FeO}(\text{OH})$ )が同定される。ゲーサイトは製鉄原料砂鉄が還元反応により晶出し始めた還元鉄のフェライト(ferrite： $\alpha$ 鉄、純鉄)の錆化物である。製鉄起源となる被熱砂鉄の実態に迫った。
- (5) 化学組成分析：Table2に示す。鉄分(Total Fe)が40%台で、中チタン含有の砂鉄製錬滓の成分系である。全鉄分(Total Fe)は39.99%に対して、金属鉄(Metallic Fe)0.15%、酸化第1鉄( $\text{FeO}$ )22.50%、酸化第2鉄( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )31.96%の割合である。造滓成分( $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ )20.05%のうち、塩基性成分( $\text{CaO} + \text{MgO}$ )を3.97%とやや多めを含む。砂鉄特有元素はやや濃厚で、二酸化チタン( $\text{TiO}_2$ )6.49%、バナジウム(V)0.38%、二酸化ジルコニウム( $\text{ZrO}_2$ )4.70%等あり、酸化マンガン( $\text{MnO}$ )も0.73%は低目とは言えない。同様に酸化クロム( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ )の0.34%も砂鉄製錬滓で整理できる数値である。

#### YYM3-19 梔形鍛冶滓

- (1) 肉眼観察：2個の滓が黒色ガラスで溶着された特異なほぼ完形梔形鍛冶滓である。上面は窪み、5~10mmの木炭痕を残す偏平な滓で283gを測る。色調は茶褐色を呈する。

- (2) 顕微鏡組織：Photo.9の②～⑥に示す。②は顕微鏡埋込み試料の全体像である。2個の淬の鉱物相には差異が認められない。⑤⑥の組織写真で示す様に、両者は白色粒状結晶が晶出する。組成は結晶形態が粒状を呈し、ウスタイトに判定できる。しかし後述ピッカース断面硬度値を勘案すると、マグネタイト結晶の混在を記しておくべきと考える。2個の淬を溶着したガラスは④に示す。非晶質珪酸塩であった。③は錆化鉄に残された金属鉄組織の痕跡である。フェライト (ferrite) と層状組織のパーライト (pearlite) からなる亜共析鋼 (<0.77% C) と判定がつく。鍛冶素材の一端を窺い知ることができた。
- (3) ピッカース断面硬度：Photo.9の⑤の白色粒状結晶の硬度値は500Hvで、ウスタイト文献硬度値の範囲内に収まる。⑥のやや崩れ気味の白色粒状結晶は、556Hvからマグネタイト (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) 結晶と判定がつく。顕微鏡組織で触れたように、ウスタイト (FeO) とマグネタイト (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) の混在組成とみておきたい。鍛錬鍛冶淬の晶癖とする。
- (4) 化学組成分析：Table2に示す。鉄が多く脈石成分の低減した鍛冶淬を如実に表わす成分系である。すなわち、全鉄分 (Total Fe) 60.62% に対して、金属鉄 (Metallic Fe) 0.12%、酸化第1鉄 (FeO) 48.09%、酸化第2鉄 (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 33.06% の割合であった。造滓成分 (SiO<sub>2</sub>+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+CaO+MgO+K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O) は10.41% と低値になり、塩基性成分 (CaO+MgO) も1.39% に留まる。砂鉄特有元素も著しく低下し、二酸化チタン (TiO<sub>2</sub>) 0.81%、バナジウム (V) 0.05%、二酸化ジルコニウム (ZrO<sub>2</sub>) 0.49% と製錬淬や精錬鍛冶淬に比べると大差がつく。当然他の随伴微量元素も濃度はうすまり、酸化マンガン (MnO) 0.18%、酸化クロム (Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 0.08%、など最たる例である。銅 (Cu) の <0.01% は砂鉄原料の証となる。

#### YYM3-20 楕円形

- (1) 肉眼観察：平面は不整楕円形状で片側先端が尖り、上下面が膨らむ形状は楕円鍛冶淬にしては、異形に思えて抵抗を覚える。酸化土砂の付着はなく、上下面から側面は生きた完形品の276gだった。色調は濃茶褐色で木炭痕を残し、下面に橙色の粘土塊 (2×1×0.2cm) を付着する。
- (2) 顕微鏡組織：Photo.9の⑧～⑩に示す。⑧は顕微鏡埋込み試料の全体像である。多孔質ガス抜け断面は、鍛冶淬傾向として十分に納得がいく。⑩が代表鉱物相である。全面白色粒状結晶はウスタイト (FeO) の凝集晶出にみえる。(但し、ここでも後述ピッカース断面硬度値はマグネタイトの領域に属した)。粒状内には大量の微細なFe-Ti析出物がみられる。これに僅かなファヤライト (fayalite) から構成される。⑨は錆化鉄のゲーサイト (goethite) で、局部に二次被熱によるウスタイトが認められる。
- (3) ピッカース断面硬度：Photo.9⑩に白色粒状結晶の硬度測定圧痕を示す。値は556Hvで、マグネタイト文献硬度値の額分に収まる。

- (4) 化学組成分析：Table2に示す。全鉄分(Total Fe)は56.34%に対して金属鉄(Metallic Fe)0.24%、酸化第1鉄(FeO)41.74%、酸化第2鉄(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)33.82%の割合であった。渣滓成分は8.14%で、このうち塩基性成分(CaO+MgO)1.54%を含む。砂鉄特有元素の二酸化チタン(TiO<sub>2</sub>)6.26%、バナジウム(V)0.17%、二酸化ジルコニウム(ZrO<sub>2</sub>)1.33%と高めである。酸化マンガン(MnO)0.52%、酸化クロム(Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)0.32%なども多い。前述した炉内滓(YYM3-16)に近似した成分傾向とみる。形状や鉱物相は精錬鍛冶滓らしく、化学組成は砂鉄製錬滓でもおかしくない結果となった。製錬滓を多く伴う鉄素材の精錬排滓だろうか。精錬鍛冶滓に分類すべきか迷いの生じる滓であった。

#### YYM3-21 小形楕形滓

- (1) 肉眼観察：平面が角ばって亀甲状を呈する79.5gの小形楕形滓である。上下面は生きて側面すべてが欠け、破面は多孔質。色調は茶褐色で木炭痕を刻む。左端に0.5cm径の孔が貫通。
- (2) 顕微鏡組織：Photo.10の②~④に示す。②は顕微鏡埋込み試料の全体像である。滓断面は大小の孔をもち多孔質。④に代表鉱物相を示す。白色粒状結晶のウスタイトもしくはマグネタイトに淡茶褐色多角形結晶のウルボスピネルが混在する。③の剥片は一見鍛造剥片を連想させる。表面は平坦で裏面の不規則厚みから鍛造剥片とはいいい切れぬ。凝集ウスタイトで形成される被膜は鉄滓の皮と見るべきだろう。外層は白色微厚のヘマタイト(hematite; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)の生成が認められる。
- (3) ピッカース断面硬度：Photo.10の④の左側に白色粒状結晶の硬度圧痕を示す。硬度値は516 Hvでマグネタイトの領域に属する。④右側は淡茶褐色不定形結晶で、硬度値は731Hvを呈する。ウルボスピネルに同定される。
- (4) 化学組成分析：Table2に示す。鉄分多く、ガラス分は少なく、脈石は高めの成分系である。全鉄分(Total Fe)は48.71%に対して、金属鉄(Metallic Fe)0.14%、酸化第1鉄(FeO)33.68%、酸化第2鉄(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)32.01%の割合となる。渣滓成分は15.95%と低下して、塩基性成分(CaO+MgO)を5.87%と高めを含む。砂鉄特有元素は二酸化チタン(TiO<sub>2</sub>)は5.30%、バナジウム(V)0.37%、二酸化ジルコニウム(ZrO<sub>2</sub>)3.37%など高値となる。また、酸化マンガン(MnO)0.60%、酸化クロム(Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)0.21%など脈石成分は多い。砂鉄製錬滓の成分なれど、滓の外観形状や酸化雰囲気で生じた鉱物相のウスタイトやマグネタイトの存在から、精錬鍛冶滓に分類すべきであろう。鍛冶原料鉄とした製錬系鉄塊は高純度品でなかった事を告げる精錬鍛冶滓といえる。

#### YYM3-22 小形楕形滓

- (1) 肉眼観察：平面が不整楕円形状で、130g未満の小形楕形滓である。上下面は生きるが側面の大部分が破面となる。上面は緻密で滑らか肌を有し、下面は稜をもつ船底形を呈して白色粘土質を薄く付着する。色調は茶褐色で木炭痕や酸化土砂など付着物は一切見られぬ。比重が大

きく緻密な滓である。

- (2) 顕微鏡組織：Photo.10の⑥～⑩に示す。⑥は顕微鏡埋込み試料の全体像である。気孔のない緻密な滓で埋まる。⑦⑧に代表的鉱物相を示す。茶褐色多角形結晶のウルボスピネルや白色粒状結晶のウスタイトもしくはマグネタイト、これらの粒間に析出した淡灰色盤状結晶のファヤライトで構成される。
- (3) ピッカース断面硬度：Photo.10の⑨に淡茶褐色多角形結晶の硬度測定の際の圧痕を示す。硬度値は653Hvであった。ウルボスピネルに同定される。⑩は淡灰色盤状結晶の硬度圧痕である。値は522Hvであった。ファヤライトの文献硬度値は600～700Hvの範囲であって、これから下限を外す。恐らくカルシウム(Ca)あたりの固溶の影響と考えられる。X線回折でみてきたカルジルタイト( $\text{CaZr}_2\text{TiO}_6$ )の存在を無視できない。
- (4) 化学組成分析：Table2に示す。該品も前述小形碗形滓(YYM3-21)に準じた成分系である。全鉄分(Total Fe)43.13%に対して、金属鉄(Metallic Fe)0.13%、酸化第1鉄( $\text{FeO}$ )43.87%、酸化第2鉄( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )12.73%の割合である。造滓成分は23.44%のうち、塩基性成分( $\text{CaO} + \text{MgO}$ )を6.5%と高値を含む。カルシウム固溶ファヤライトの起因も示唆しよう。砂鉄特有元素の二酸化チタン( $\text{TiO}_2$ )8.64%、バナジウム(V)0.31%、二酸化ジルコニウム( $\text{ZrO}_2$ )6.45%など砂鉄製錬滓なみの高濃度である。酸化マンガン( $\text{MnO}$ )0.88%、酸化クロム( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ )0.10%なども高めにある。銅(Cu)の<0.01%は砂鉄一般含有量を維持する。成分的には製錬滓なれども、鉄滓形状や酸化雰囲気で生じるウスタイト、マグネタイトの存在から、やはり精錬級冷滓で整理しておく。使用製錬系鉄塊の品質からの異常成分としておきたい。

#### YYM3-23 小形碗形滓

- (1) 肉眼観察：平面が不整楕円形状ながら細長く伸びた92g弱の小形碗形滓である。2ヶ所に破面をもち、多孔質。上下面は生きて、上面は窪み、下面は船底形を呈して僅かに還元色粘土を付着する。色調は褐色で木炭痕を多く残す。
- (2) 顕微鏡組織：Photo.11の②～④に示す。②は顕微鏡埋込み試料の全体像である。滓断面は多孔質。鉱物相のバラツキは少ない。③④は主要鉱物相である。淡茶褐色多角形結晶のウルボスピネル、白色粒状結晶のウスタイトもしくはマグネタイト、これに淡灰色柱状結晶のファヤライトで構成される。③の明白色は金属鉄粒(フェライト)である。ウスタイトもしくはマグネタイト粒内にはFe-Ti析出物を伴う。
- (3) ピッカース断面硬度：Photo.11の④右側に淡茶褐色多角形結晶の硬度測定の際の圧痕を示す。硬度値は572Hvが得られた。ウルボスピネルのやや軟化気味の値である。④の左側には淡灰色柱状結晶の硬度圧痕である。硬度値は617Hvでファヤライトに同定できる。

- (4) 化学組成成分：Table2に示す。該品も前述小形梘形滓(YYM3-21, 22)に準じた成分系である。全鉄分(Total Fe)46.27%に対して、金属鉄(Metallic Fe)0.11%、酸化第1鉄(FeO)48.70%、酸化第2鉄(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)11.88%の割合だった。造滓成分26.23%で、このうち塩基性成分(CaO+MgO)2.87%を含む。砂鉄特有元素は高値で、二酸化チタン(TiO<sub>2</sub>)7.50%、バナジウム(V)0.16%、二酸化ジルコニウム(ZrO<sub>2</sub>)1.16%だった。脈石成分の酸化マンガン(MnO)0.53%、酸化クロム(Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)0.22%と高めをとる。該品も精錬鍛冶滓に分類しておく。

#### YYM3-24 梘形鍛冶滓

- (1) 肉眼観察：鍛冶炉の炉床に鉄滓が溜まりこみ、溶着した梘形鍛冶滓である。最大厚みは1.0 cm程度で、重量は231 gを測る。上面は滓とガラス、下面は粘土のガラス化。側面は全て破面となる。滓は緻密で気孔は少ない。
- (2) 顕微鏡組織：Photo.11の⑥~⑩に示す。⑥は顕微鏡埋込み試料の全体像である。上層に錆化鉄、中間は鉄滓、下層が炉床粘土で胎土に1mm程度の石英粒を多く含み、モミヤサスの類は含まない。⑦の白色湾曲部が上層の錆化鉄の拡大組織である。ゲーサイト(goethite： $\alpha$ -FeO(OH)の空洞化で、金属鉄組織の痕跡を探る手立ては皆無。⑧は同じ上層側の低温溶融滓である。淡灰色短柱状結晶のファヤライト、白色多角形結晶のマグネタイト(Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>)を晶出する。当梘形滓の代表組織は⑨の淡茶褐色結晶のウルボスピネル、白色粒状結晶のウスタイト、或いはマグネタイトの共伴組織である。精錬鍛冶の晶癖となる。⑩は炉床粘土の溶融物で石英や長石類は亀裂を生じ、胎土の粘土鉱物のセリサイトは加熱変化を起こし、非晶質化からガラス化している。上層の錆化鉄の遺存から故鉄処理の排滓を想定したが、鉱物相にウスタイトがない限りこの説は成立しない。

#### YY3-25 大型再結合滓

厚さ約36.5cmで100kgを越える再結合滓である。製鉄や鍛冶の操業に際して廃棄された微細遺物が、作業場床面に酸化土砂を介して2次堆積した遺物を指す。遺構消滅遺跡においても操業当時の情報がとれる遺跡の貴重な遺留品ともいえる。再結合滓の厚さ方向上中下の3ヶ所から調査試料を切り出した。

#### YYM3-25-① 再結合滓上部

- (1) 顕微鏡組織：Photo.12の②~④に示す。②は顕微鏡埋込み試料の全体像である。断面は酸化土砂に結合されて鉄滓層や鍛冶剥片、木炭片など多様なものがパックされている。③は砂鉄製錬滓の高温操業を証明する鉱物相である。濃淡2層の片状結晶をもつシュードブルーカイト(Pseudobrookite： $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{TiO}_2$ )がガラス地に晶出する。<sup>(4)</sup> ④は3層分離型の鍛冶剥片を示した。外層ヘマタイト(hematite： $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )、中間層マグネタイト(magnetite： $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )、内層ウスタイト(Wüstite： $\text{FeO}$ )からなる。当遺跡内では製鉄と鍛冶の2本立てで操業の可能性を示唆する遺物の検出となった。

#### YYM3-25-② 再結合滓中間

- (1) 顕微鏡組織：Photo.12の⑥～⑩に示す。⑥は顕微鏡埋込み試料の全体像である。褐色酸化土砂の中に淡緑灰色の大小の鉄滓を噛み込む。⑦は白色粒状結晶のウスタイもしくはマグネタイトで鍛冶滓の存在を知らせる。⑧は白色針状、棒状結晶のイルミナイト (Ilmenite:  $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$ ) で、高温操業砂鉄製錬滓である。⑨はガラス地に濃淡2層の片状結晶をもつシュードブルーカイト、⑩は淡茶褐色多角形結晶のウルボスピネルと変化に富んだ砂鉄製錬滓の発見となった。
- (2) ピッカース断面硬度：Photo.12の⑩に淡茶褐色多角形結晶の硬度測定の際の圧痕を示す。硬度値は605Hvであった。ウルボスピネルに同定される。

#### YYM3-25-③ 再結合滓下部

- (1) 顕微鏡組織：Photo.13の②～⑩に示す。②は顕微鏡埋込み試料の全体像である。このエリアは酸化土砂が少なく、多孔質な滓が集中する。③④はシュードブルーカイト ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{TiO}_2$ )、⑤は鍛冶滓、⑥は製鉄還元剤の木炭片、⑦は約3mm径のねずみ銃粒の錆化物である。⑧⑨は拡大組織で、パーライト素地に析出した片状黒鉛 (flake graphite) の痕跡を提示できた。⑩はこのねずみ銃粒に共存するシュードブルーカイトである。

今回調査のYYM3-1～12までの製錬系遺物からは、高温操業を具体的に証明できる鉱物相のイルミナイトやシュードブルーカイト組織は確認できなかった。しかし、再結合滓からは頻りに抽出できた。検討資料の片寄りを修正できる遺物としての再結合滓は、それなりに評価してよからう。

## 5. まとめ

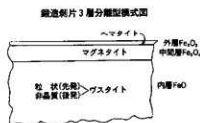
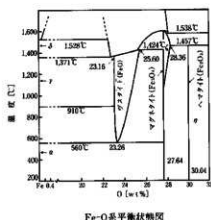
中世に属する吉森遺跡(第3次)から抽出した鉄生産関連遺物についての金属学的調査を行った。製鉄や鍛冶操業の実態が捉えられた。個々のまとめをTable3に示す。

- (1) 糸島半島・福岡平野の古代製鉄原料は花崗岩起源の低チタン砂鉄が常用される。これに対して糸島半島に立地する吉森遺跡では、珍しくも火山岩起源高チタン砂鉄の充当だった。砂鉄の分析値はないが製錬滓で7.3～16.8%  $\text{TiO}_2$ の実績値である。地場産でない高チタン砂鉄の産地同定が今後の検討課題として残る。
- (2) 吉森遺跡では7.5cm径の大口径羽口と、マグネタイト系遺物が出土した。北部九州では数少ない豎形炉操業が想定される。「豎形炉は鍛冶遺構を伴うものが多い」<sup>10)</sup>とも捉えられて、吉森遺跡の鍛冶滓の存在は、豎形炉の操業を援用する。因に中・南九州の中世以降の製鉄原料は、火山岩起源砂鉄で豎形炉からの鉄生産である。吉森遺跡の鉄生産は、この潮流に乗っている。
- (3) 製鉄炉壁は耐火度が1087℃と低くても、溶剤成分(3.24%)の多い糸島花崗岩真砂を採用。一方、羽口は溶損や孔詰りを配慮して耐火度が1335℃と高く、溶剤成分(1.59%)の低い一般花崗岩真砂が使われる。炉材に対する認識度は頗る高い。

- (4) 吉森遺跡の鍛冶は、除滓を目的とした精錬鍛冶が主体となり、鉄器製作の鍛錬鍛冶は従として操業される。鍛造剥片が滓に附着して赤熱素材の鍛打作業の裏付けはとれている。再結合滓中にも鍛造剥片は検出できた。
- (5) 再結合滓は貴重な情報源であった。調査製錬滓は、ウルボスピネルのみの晶出で高温操業（鉄生産）を心配したが、再結合滓中にはシュードブルーカイトやイルミナイトの鉱物相をもつ滓が豊富にバックされ、こちらからの整形炉の機能を察知できた。更にわずい鉄粒の存在まで確認できた。

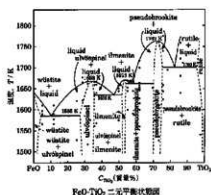
## 注

- (1) 日本学術振興会製鉄第54委員会(1968)『焼結鉱組織写真および識別法』日本工業新聞社  
 ウスタイトは450~500Hv、マグネタイトは500~600Hv、ファイヤライトは600~700Hvの範囲が提示されている。また、ウルボスピネルの硬度値範囲の明記がないが、マグネタイトにチタン(Ti)を固溶するので、600Hv以上であればウルボスピネルと同一している。それにアルミナ(Al)が加わり、ウルボスピネルとヘーシナイトを端成分とする固溶体となると更に硬度値は上昇する。このため700Hvを超える値では、ウルボスピネルとヘーシナイトの固溶体の可能性が考えられる。
- (2) 鍛造剥片とは鉄素材を大気中で加熱、鍛打したとき、表面酸化膜が剥離、飛散したものを指す。俗に鉄肌(金肌)やスケールとも呼ばれる。  
 鍛造剥片の酸化膜相は、外層は微厚のヘマタイト(Hematite:  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )、中間層マグネタイト(Magnetite:  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )、大部分は内層グスタイト(Wüstite:  $\text{FeO}$ )の3層から構成される。このうちのヘマタイト相は1450℃を越えると存在しなく、グスタイト相は570℃以上で生成されるのはFe-O系平衡状態図から説明される<sup>(28,31)</sup>。
- (3) 森岡進ら『鉄鋼腐食科学』『鉄鋼工学講座』11 朝倉書店 1975



- (4) J,B,Mac chesney and A,Murau : American Mineralogist,46(1961),572 イルミナイト (Ilmenite)、シュードブルーカイト (Pseudobrookite)、ルチル (Rutile) の晶出はFeO-

TiO<sub>2</sub>二元平衡状態図から高温化操作が推定される。



- (5) 長家伸2001「九州の鉄生産について」『九州鉄文化のはじまりとその展開』(我国初の一貫製鉄所操業開始100年記念シンポジウム)2001年度秋季シンポジウム論文集

社団法人日本鉄鋼協会 社会鉄鋼工学部会

福岡県内整形炉操業

- ① 湯ヶ浦原田遺跡 福岡市東区 9世紀前半?
- ② 内野原田遺跡第1号炉 福岡市早良区 11c後半~12世紀前半
- ③ 東入部遺跡4次SK059 福岡市早良区 9世紀? 大型建物

9世紀以降には九州地方のほぼ全域で整形炉の採用、箱形炉の衰退

穴澤分類・II-d 『炉床が前後に長く時には袖石を持つ。やや幅が狭く炉内容量が小さめである。いずれも鍛冶遺構を伴うものが大半である』

追記

糸島半島の花崗岩に起源をもつ低チタン砂鉄鉱床に対して、福岡海岸から東の海岸は後背地に花崗岩と同時代の火山岩が広く分布して高チタン砂鉄地域となるとの文献(井澤2008)を忘れていた。更に鍛冶関連遺物からの高チタン砂鉄を裏付ける拙稿(大澤2009)も存在する。それは、高チタン・ジルコニウム・クロム傾向をもち、有力な候補地の条件を満たす。先ずは今後の検討課題として提示しておく。

井澤 英二 2008「九州の製鉄原料について -古代から現代まで-」『九州地域の古代から近代の製鉄技術発達史』2008年度秋季講演大会シンポジウム論文集 日本鉄鋼協会

大澤 正己 2009「坂堤遺跡第1次調査出土鍛冶関連遺物の金属学的調査」『坂堤Ⅰ』福岡市埋蔵文化財調査報告書1030集 福岡市教育委員会



## IV-2. 吉森遺跡(3次)試料XRD報告

九州大学名誉教授 井澤英二

### 1. 試料と分析条件

吉森遺跡(3次)出土の試料についてX線回折(XRD)で鉱物組成を調査した。以下の粉末試料6点である。

YYM3-1：炉壁、粉末は淡褐色で磁性は極微弱である

YYM3-3：羽口(大口径)、粉末は淡赤褐色で磁性は微弱である

YYM3-6：流出孔滓、粉末は暗灰色で磁性は微弱である

YYM3-8：炉内滓、粉末は暗灰褐色で磁性は弱い

YYM3-14：羽口、粉末は淡赤褐色で磁性は極微弱である

YYM3-16：炉底塊、粉末は灰褐色で磁性は弱い

X線回折(XRD)には、九州大学地球資源工学部門のX線回折装置)理学Ultima IV)を使用した。X線はCu K $\alpha$ 1(40 kV、20mA)を用い、全自動モノクロメータ、発散スリット2/3<sup>o</sup>、散乱スリット2/3<sup>o</sup>、受光スリット0.3mm、データ取得幅0.02<sup>o</sup>(2 $\theta$ )、走査速度2<sup>o</sup>/minの条件で2-65<sup>o</sup>(2 $\theta$ )を走査範囲とした。(注：X線回折線図に認められる2 $\theta$ =44.5<sup>o</sup>のピーク[図中で\*を付す]は、アルミニウム製試料保持枠に由来する混入回折線と思われる。)

### 2. X線回折結果と所見

YYM3-1(炉壁)：石英、カリ長石、斜長石(曹長石albite)を主とし、チタン石(CaTiSiO<sub>6</sub>)、普通角閃石と黒雲母を伴う。被熱によって生じた少量のガラス(回折線図で2 $\theta$ =20-30<sup>o</sup>のバンド)が認められる。原材料は二丈地域に広く分布する糸島花崗閃緑岩の風化残積土(真砂)であろう。

YYM3-3(羽口、大口径)：石英、カリ長石、斜長石(曹長石albite)を主とする。ムライトと少量のクリストバライト、赤鉄鉱、ガラスは、被熱によって生じたと考えられる。原材料は、花崗岩類(早良花崗岩など)の風化残積土(真砂)であろう。

YYM3-6(流出口滓)：主にファヤライトとウルボスピネル(磁鉄鉱成分を30%程度固溶している)からなる。ガラスは極少量である。ジルコンとチタンに富む特異な化学組成を反映して、バッデレイ石(baddeleyite; ZrO<sub>2</sub>)とカルジルタイト(calzirtite; CaZr<sub>2</sub>TiO<sub>7</sub>)が生成している。

YYM3-8(炉内滓)：主にウルボスピネル(磁鉄鉱成分を10%程度固溶している)からなり、ウスタイト、バッデレイ石、カルジルタイトを伴う。ウルボスピネルの主回折線の一部重複する小ピーク2 $\theta$ =35.42<sup>o</sup>(d=2.532Å)は、クロム鉄鉱あるいは磁鉄鉱の主回折線に相当するが、確定はできない。X線回折からはガラスの存在は確認できない。少量の針鉄鉱は埋没後の風化生成であろう。

YYM3-14(羽口)：石英を主とする。長石としては、少量のカリ長石があるだけで、花崗岩類が強度の風化作用を受けて生じた残積土(真砂)である。被熱によって粘土鉱物はムライトとガラスに変化している。少量の針鉄鉱も認められる。

YYM3-16(炉底塊)：主にウスタイトとウルボスピネル(磁鉄鉱成分を30%程度固溶している)からなり、カルジルタイトを伴う。微量の石英と針鉄鉱が認められる。このほか、帰属不明の回折線2 $\theta$ =27.98<sup>o</sup>(d=3.186Å)、2 $\theta$ =32.98<sup>o</sup>(d=2.714Å)がある。X線回折からはガラスの存在は確認できない。

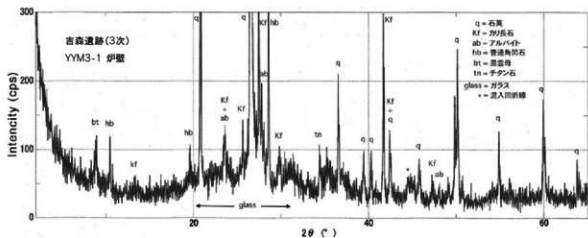


図1 YYM3-1：炉壁のX線回折図。

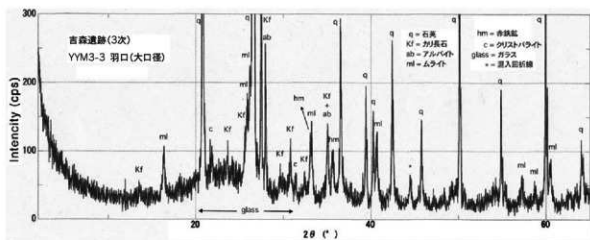


図2 YYM3-3：羽口(大口径)のX線回折図。

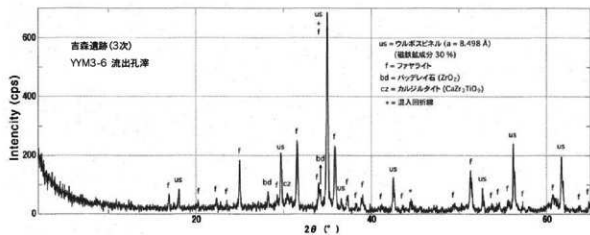


図3 YYM3-6：流出孔のX線回折図。

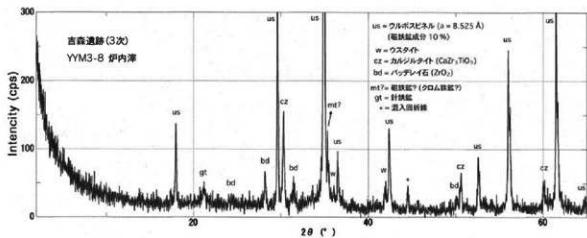


図4 YYM3-8：炉内洋のX線回折図。

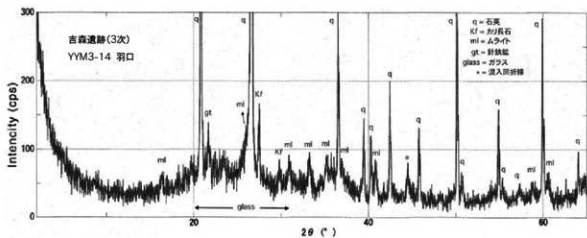


図5 YYM3-14：羽口のX線回折図。

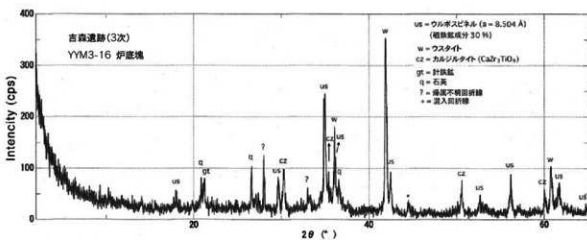


図6 YYM3-16：炉底塊のX線回折図

Table 1 供試材の履歴と調査項目

符号	遺跡名	出土位置	遺物No.	遺物名称	推定年代	計測値		磁着度	メタ/成	調査項目				備考		
						大きさ(mm)	重量(g)			マクロ組織	ミクロ組織	ビーカー試験	X線分析		EPMA	化学分析
YMS-1		1号製鉄炉遺土坑 崩落層	1	炉内 伊内澤 (半量50g取付量)		130×100×43	408.0									
YMS-2		西側遺地第S区	5	1号製鉄炉遺土坑 珪石(大口8号)		107×75×52	425.0		M(○)							
YMS-3		西側遺地第S区		珪石(大口8号)		137×112×82	565.0									
YMS-4		西側遺地第S区		マグネサイト系 遺物		63×50×32	167.0									
YMS-5		西側遺地第S区		會鉄脱澤		97×84×41	448.0		H(☆)							
YMS-6		1号製鉄炉遺土坑		流出孔澤		73×34×38	113.0									
YMS-7		1号製鉄炉遺土坑		小型流動澤		75×31×10	38.0									
YMS-8		1号製鉄炉遺土坑 崩落層		伊内澤		88×78×64	503.0		M(○)							
YMS-9		西側遺地第S区		鉄塊系遺物		85×54×50	332.0		L(●)							
YMS-10		西側遺地第S区		會鉄脱澤		46×42×26	92.0		L(●)							
YMS-11		西側遺地第S区		鉄塊系遺物		45×40×31	53.0		L(●)							
YMS-12		西側遺地第S区		鉄塊系遺物		32×30×20	26.0		L(●)							
YMS-13		西側遺地第S区		鉄塊碎片		42×33×9	20.0		H(☆)							
YMS-14	高森遺跡3次	2号製鉄炉遺土坑	10	珪石	平安～鎌倉 13C中頃～ 15C前半	86×73×25	195.2									
YMS-16		西側遺地第S区	15	炉壁塊		210×170×70	1850.0									
YMS-17		西側遺地第S区	16	輪形製鉄澤		128×96×44	550.0									
YMS-18		西側遺地第S区	17	炉内澤		145×116×35	570.0									
YMS-19		西側遺地第S区	18	輪形澤		123×79×23	283.0									
YMS-20		西側遺地第S区	19	輪形澤		100×66×35	276.0									
YMS-21		西側遺地第S区	20	小形輪形澤		76×55×26	79.5									
YMS-22		西側遺地第S区	21	小形輪形澤		68×55×28	129.9									
YMS-23		西側遺地第S区	22	小形輪形澤		103×48×23	91.7									
YMS-24		2号製鉄炉遺土坑	23	輪形製鉄澤		107×101×30	231.0									
YMS-25-1		1号製鉄炉遺土坑		再結合澤		740×700×365										
YMS-25-2				再結合澤												
YMS-25-3				再結合澤												

Table2 供試材の組成

符号	通称名	出土位置	通称名称	推定年代	全成分組成値 (ppm)		酸化二酸化ケイ素 (SiO <sub>2</sub> )		酸化二酸化アルミニウム (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )		酸化二酸化鉄 (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )		酸化二酸化カルシウム (CaO)		酸化二酸化マグネシウム (MgO)		酸化二酸化チタン (TiO <sub>2</sub> )	酸化二酸化マンガン (MnO)	酸化二酸化銅 (CuO)	酸化二酸化亜鉛 (ZnO)	耐火度 (°C)	揮発成分						
					Fe	Si	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	CaO	MgO	MgO	TiO <sub>2</sub>	MnO						MnO	CuO	ZnO	揮発成分	揮発成分		
YYMG-1	1号製錬用土塊	製錬所	炉壁		5.28	0.01	1.58	57.8	19.54	1.30	1.94	2.55	0.84	1.04	0.03	0.014	1.00	19.68	7.20	0.01	<0.01	-	1007	81.60	15.495	0.197		
YYMG-2	2号製錬用土塊	製錬所	炉内窯 (半蓋, 左側付蓋)		43.94	0.23	30.32	28.80	8.08	2.34	4.26	1.14	1.45	0.35	0.59	0.78	0.18	0.022	1.16	0.27	0.19	0.01	3.75	-	17.82	0.401	0.177	
YYMG-3	1号製錬用土塊	製錬所	炉内窯 (大口)		3.64	0.03	0.72	4.36	67.67	18.40	0.90	2.61	0.95	0.03	0.85	0.04	0.009	0.17	19.68	1.76	0.01	<0.01	-	1335	90.82	24.951	0.234	
YYMG-5	1号製錬用土塊	製錬所	炉内窯		53.14	0.11	39.25	32.20	4.11	2.85	3.49	2.55	1.07	0.14	1.02	0.34	0.016	1.06	0.08	0.18	0.01	1.89	-	14.21	0.267	0.137		
YYMG-6	1号製錬用土塊	製錬所	炉内窯		34.62	0.24	40.68	3.95	22.86	6.06	4.18	1.53	1.36	0.36	0.88	0.19	0.037	0.36	0.07	0.25	0.01	5.18	-	36.34	1.050	0.274		
YYMG-7	1号製錬用土塊	製錬所	炉内窯		32.46	0.18	37.08	4.94	20.53	5.62	4.54	2.35	1.56	0.39	1.18	0.29	0.027	0.28	0.09	0.30	0.01	2.80	-	34.99	1.078	0.518		
YYMG-8	1号製錬用土塊	製錬所	炉内窯		42.43	0.09	37.28	19.25	5.78	1.65	1.74	1.69	0.27	0.04	1.15	0.68	0.037	1.09	0.07	0.73	0.01	7.24	-	11.17	0.283	0.370		
YYMG-14	1号製錬用土塊	製錬所	炉内窯	平安～鎌倉	4.79	0.03	1.65	4.97	59.45	23.65	0.25	0.82	1.81	0.18	0.06	1.02	0.05	0.011	0.50	19.68	4.18	0.01	0.01	-	1460	86.16	17.967	0.213
YYMG-16	1号製錬用土塊	製錬所	炉内窯	12c中層～13c中層	51.68	0.08	41.03	28.18	8.00	1.71	1.23	1.44	0.27	0.17	0.54	0.39	0.041	0.91	1.67	0.34	<0.01	2.87	-	12.82	0.248	0.088		
YYMG-17	1号製錬用土塊	製錬所	炉内窯		52.08	0.10	26.74	44.60	10.16	3.79	1.39	0.95	0.39	0.12	0.12	0.08	0.08	0.038	0.44	0.80	0.05	0.01	0.38	-	16.39	0.315	0.021	
YYMG-18	1号製錬用土塊	製錬所	炉内窯		39.99	0.15	22.50	31.96	12.03	3.32	2.67	1.30	0.41	0.32	0.73	0.49	0.34	0.021	1.13	0.95	0.38	0.01	4.70	-	20.05	0.501	0.162	
YYMG-19	1号製錬用土塊	製錬所	炉内窯		60.62	0.12	46.09	33.06	6.83	1.82	0.96	0.43	0.23	0.14	0.81	0.08	0.027	0.32	0.35	0.05	<0.01	0.49	-	10.41	0.172	0.013		
YYMG-20	1号製錬用土塊	製錬所	炉内窯		56.34	0.24	41.74	33.82	4.63	1.79	0.67	0.85	0.13	0.07	0.52	0.26	0.32	0.030	0.36	0.59	0.17	<0.01	1.33	-	8.14	0.144	0.111	
YYMG-21	1号製錬用土塊	製錬所	炉内窯		46.71	0.14	33.68	32.01	7.43	2.11	4.93	0.94	0.41	0.13	0.60	0.39	0.21	0.042	0.81	0.37	<0.01	3.37	-	15.96	0.327	0.111		
YYMG-22	1号製錬用土塊	製錬所	炉内窯		43.13	0.13	43.87	12.73	12.23	3.26	5.07	1.43	1.16	0.29	0.88	0.64	0.10	0.079	0.92	0.04	0.31	<0.01	6.45	-	23.44	0.543	0.200	
YYMG-23	1号製錬用土塊	製錬所	炉内窯		46.27	0.11	46.70	11.88	17.53	4.93	1.68	1.19	0.62	0.28	0.53	0.70	0.22	0.036	0.32	0.17	0.16	<0.01	1.16	-	26.23	0.567	0.162	
YYMG-9	1号製錬用土塊	製錬所	炉内窯		0.21	0.02	<0.01	0.657	0.027	0.004	0.010	0.003	0.005	<0.001	0.009													



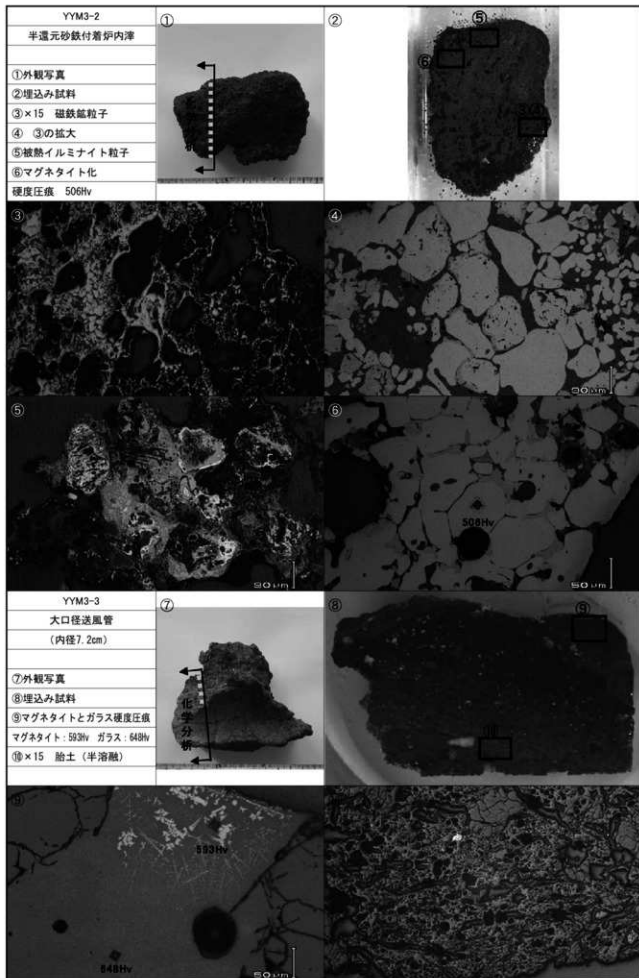


Photo. 1 半還元鉄附着炉内滓、大口径送風管の顕微鏡組織

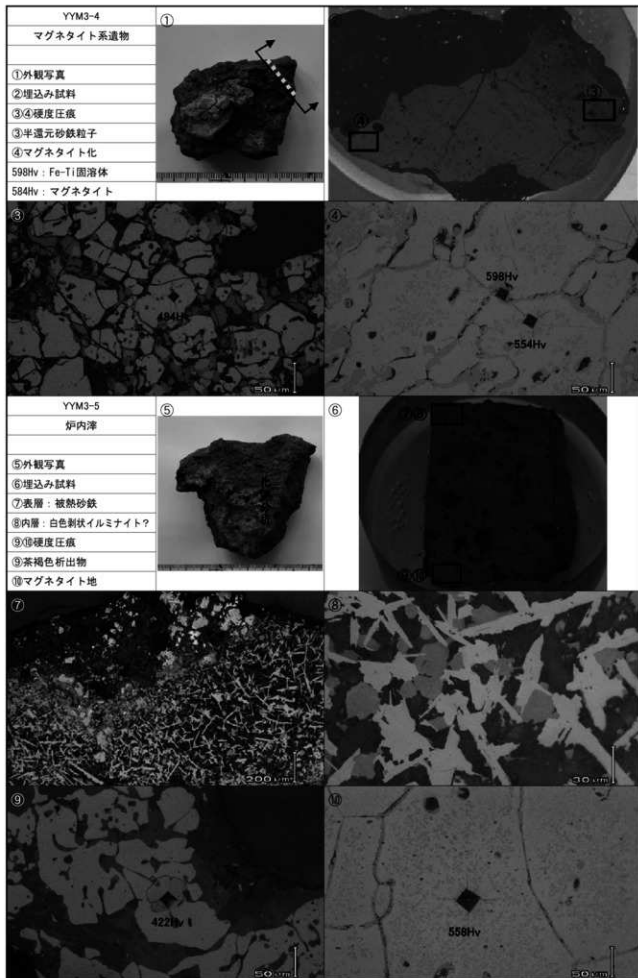


Photo. 2 マグネタイト系遺物、炉内滓の顕微鏡組織



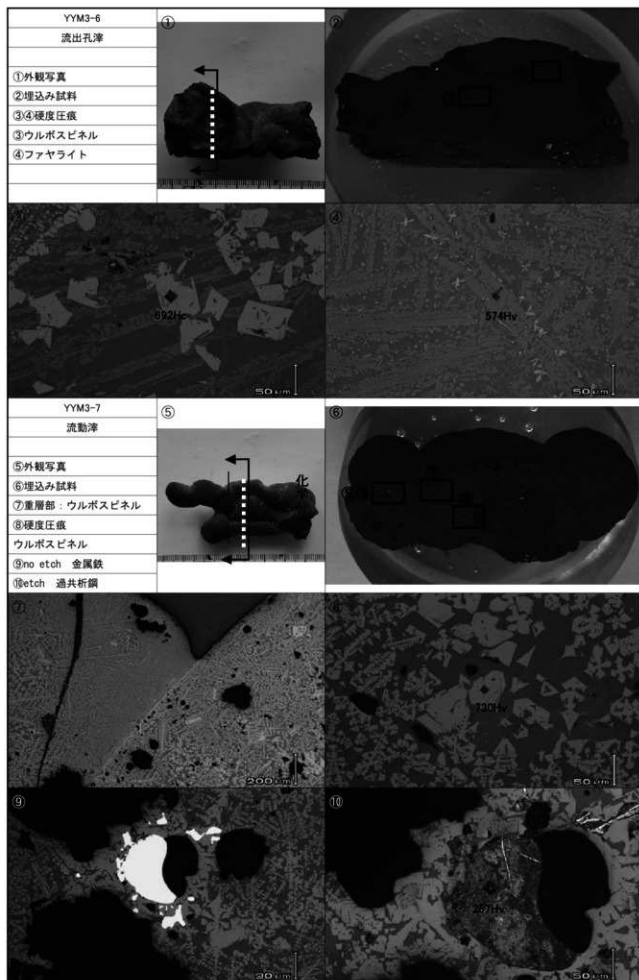


Photo. 3 流出孔滓、流動滓の顕微鏡組織

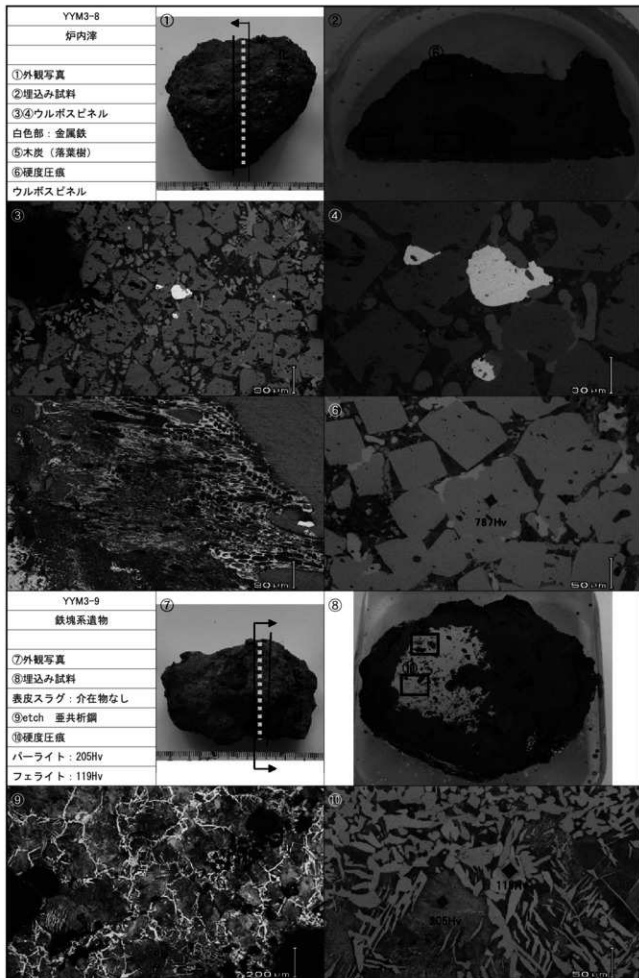


Photo. 4 炉内滓、鉄塊系遺物の顕微鏡組織

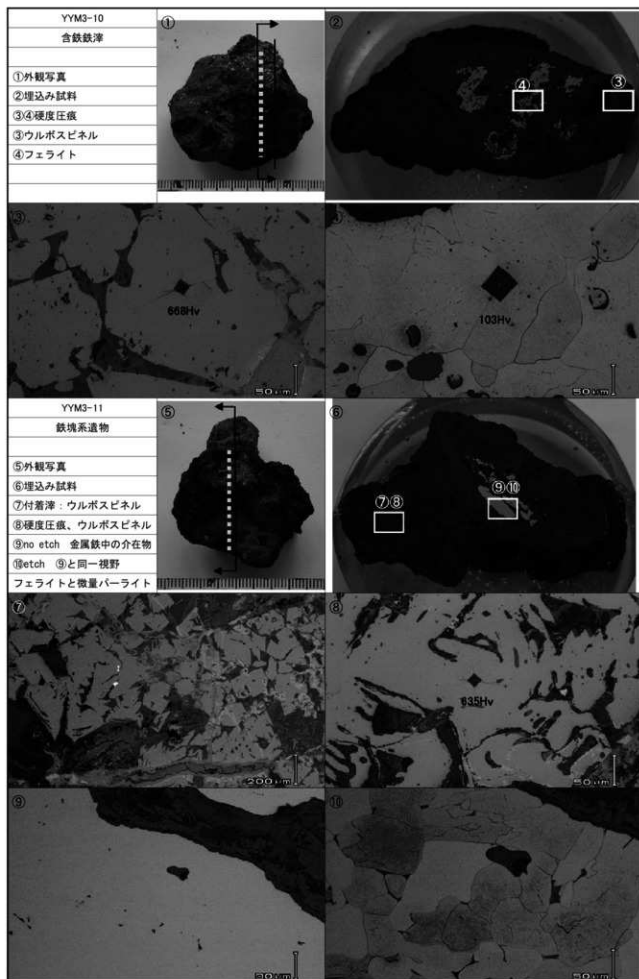


Photo. 5 含鉄鉄滓、鉄塊系遺物の顕微鏡組織

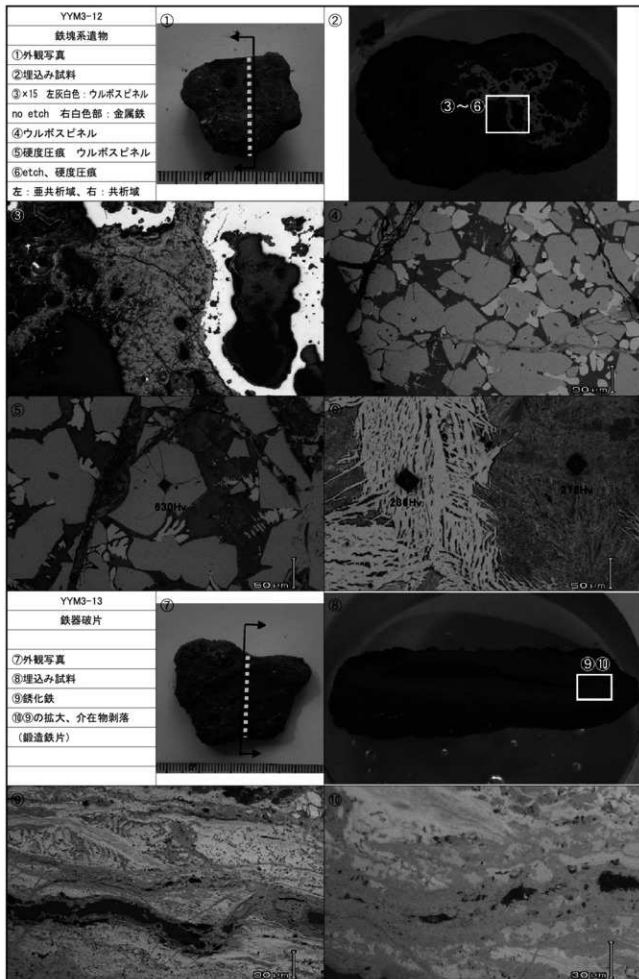


Photo. 6 鉄塊系遺物、鉄器破片の顕微鏡組織

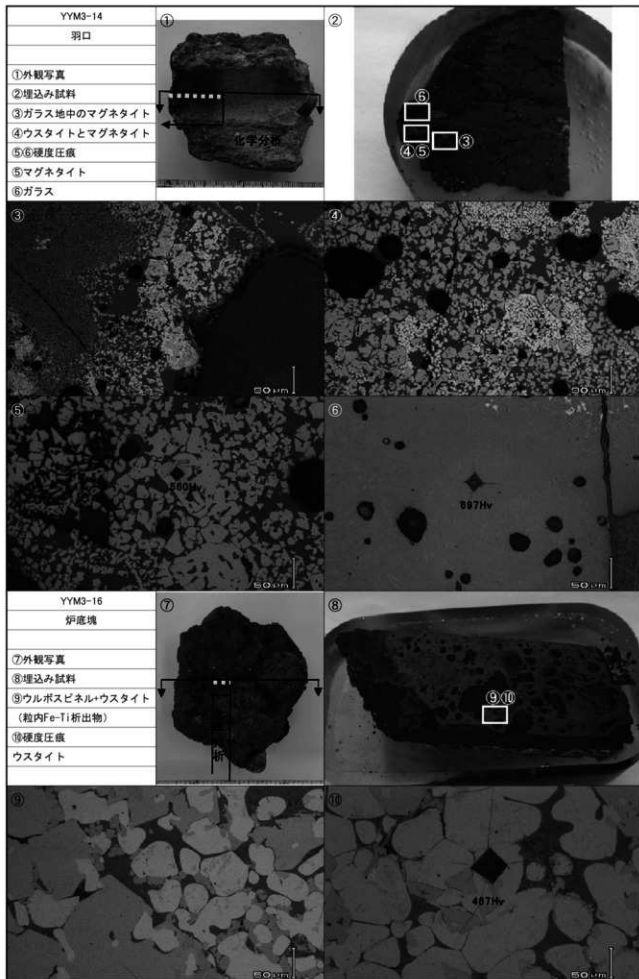


Photo. 7 羽口、炉底塊の顕微鏡組織

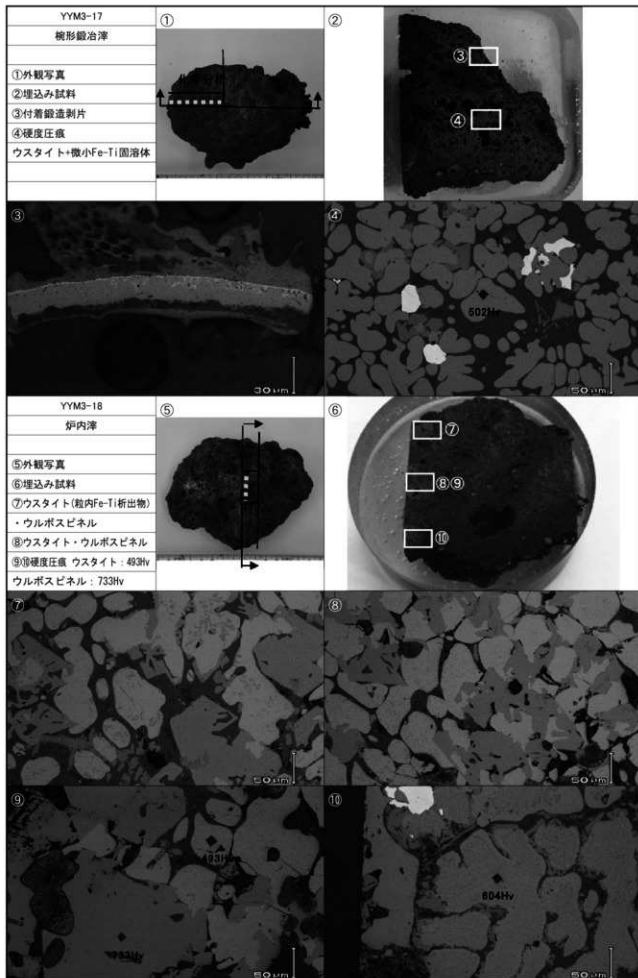


Photo. 8 炉内滓の顕微鏡組織

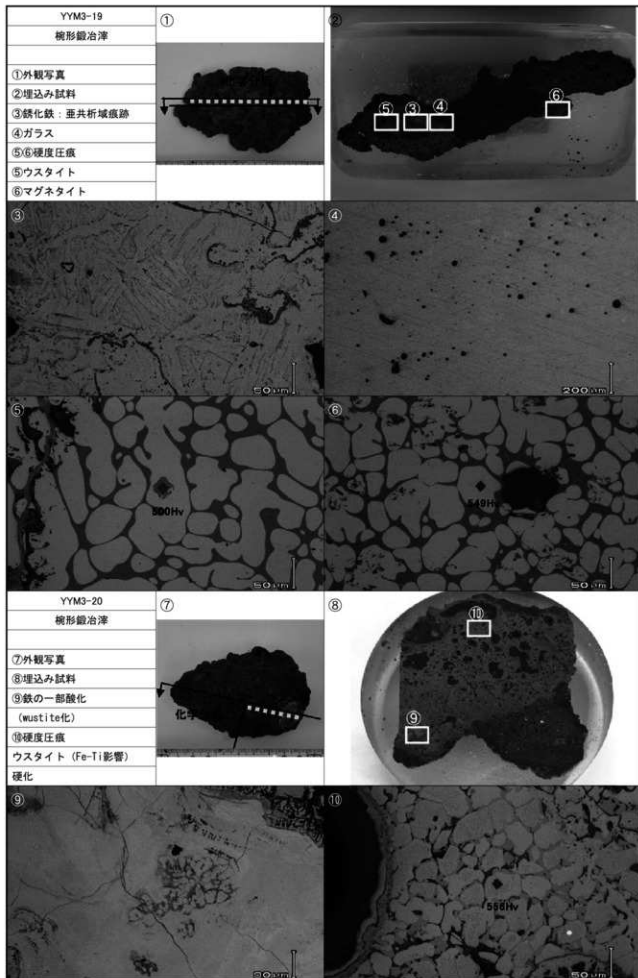


Photo. 9 梶形鋳治滓の顕微鏡組織

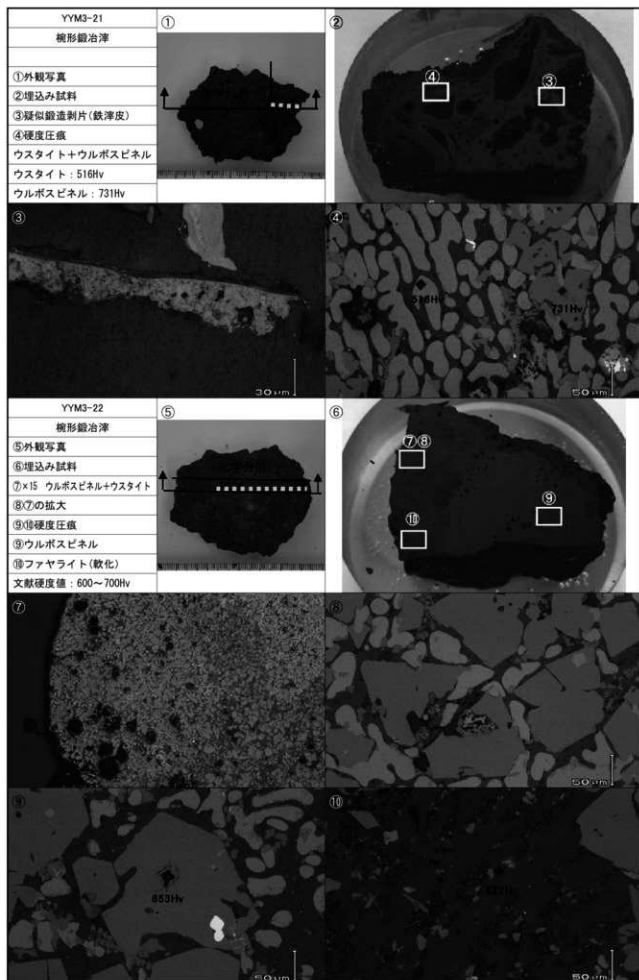


Photo. 10 梘形鍛冶滓の顕微鏡組織



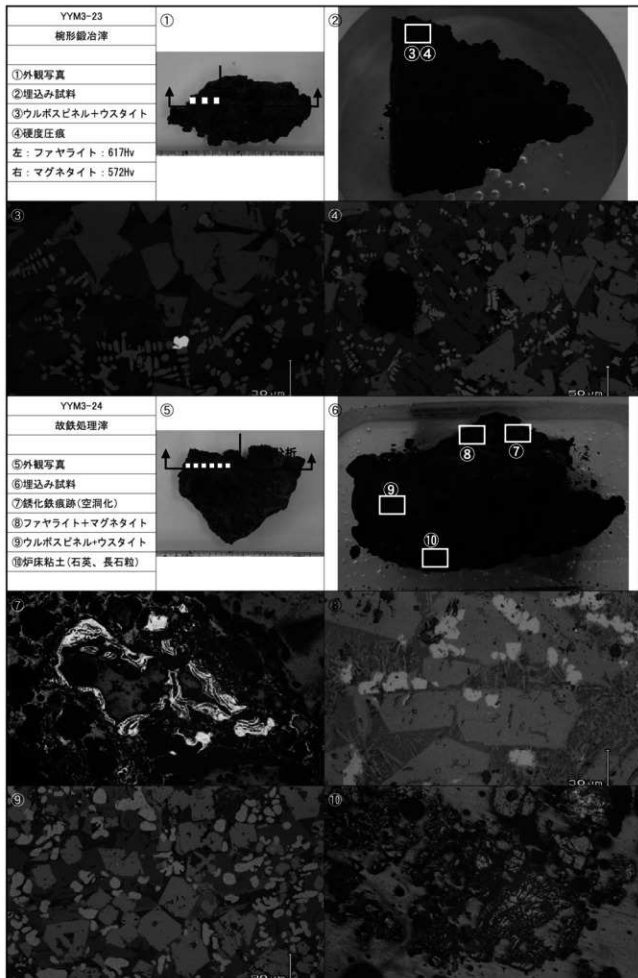


Photo. 11 梘形鍛冶滓、故鉄処理滓の顕微鏡組織

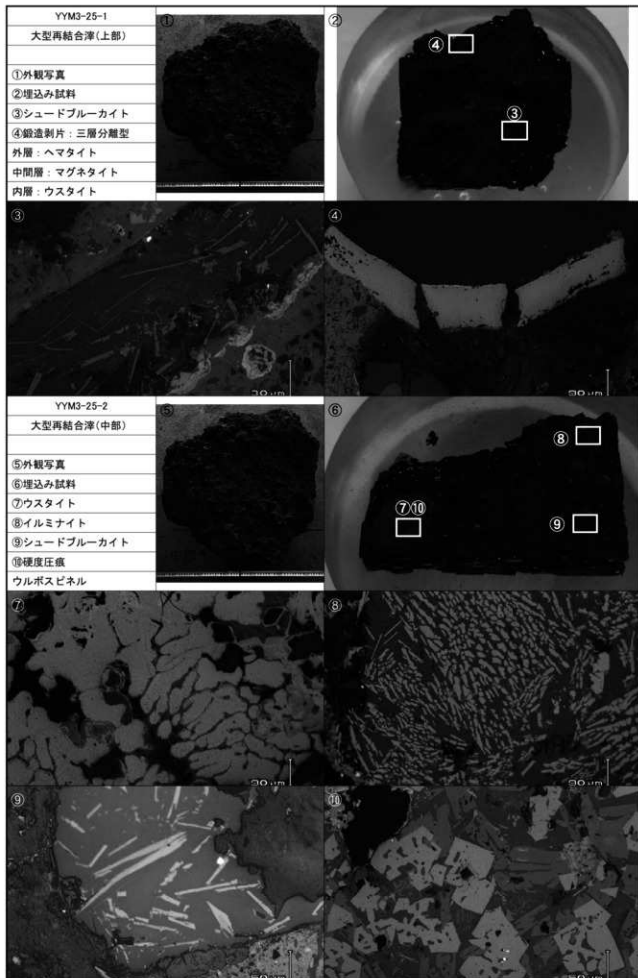


Photo. 12 大型再結合帯の顕微鏡組織

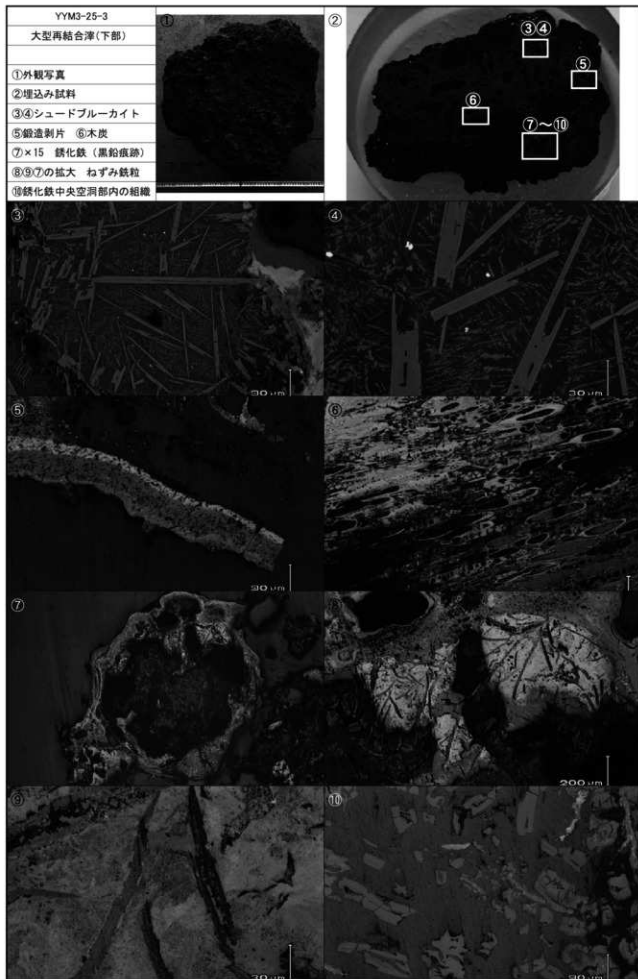
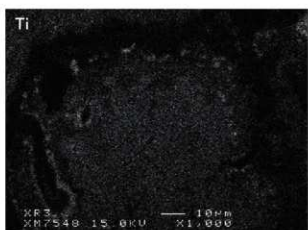
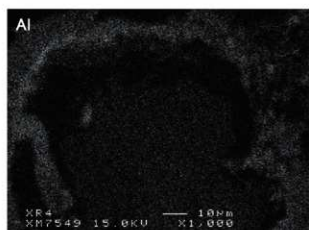
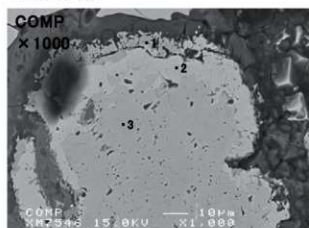


Photo. 13 大型再結合滓の顕微鏡組織

YYM3-5-①



Element	1	2	3
Na <sub>2</sub> O	0.128	0.432	0.965
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.072	-	-
F	-	-	-
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	0.150	0.730
S	0.002	0.002	0.002
MgO	14.981	1.923	3.212
K <sub>2</sub> O	-	-	-
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.349	1.008	7.752
CaO	0.025	0.265	0.460
SiO <sub>2</sub>	0.200	-	0.449
TiO <sub>2</sub>	1.195	9.539	19.145
MnO	3.754	0.279	0.864
FeO	65.623	75.173	53.236
ZrO <sub>2</sub>	-	0.324	1.365
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.042	-	0.086
PbO	0.027	0.037	-
CuO	-	0.025	0.004
Total	91.398	89.157	88.270

分析点1:磁鉄鉱(Mg, Al, Mn, Ti含有)

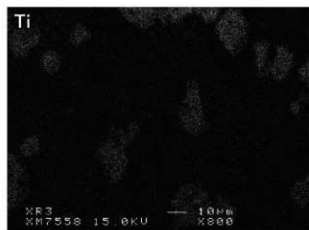
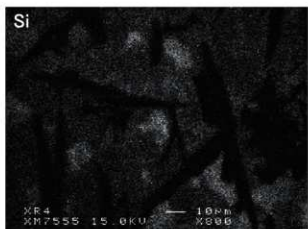
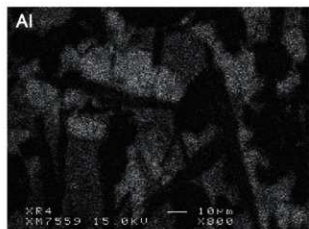
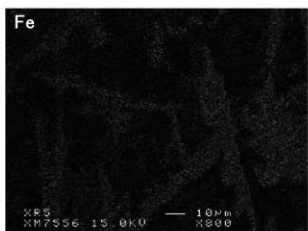
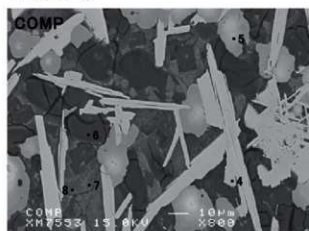
分析点2:磁鉄鉱(Ti, Mg, Al含有)

分析点3:Ulvsphenel(2FeO・TiO<sub>2</sub>)

磁鉄鉱成分を30%程度固溶している。

Photo. 14 炉内滓のE PMA調査

YYM3-5-②



Element	4	5	6	7	8
Na <sub>2</sub> O	0.331	0.014	0.005	-	0.056
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.015	0.030	3.688	5.325	5.165
F	-	0.125	0.402	-	0.184
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.067	-	-	0.015	0.010
S	0.006	0.011	0.136	0.016	0.054
MgO	2.749	-	0.012	0.030	0.030
K <sub>2</sub> O	-	-	-	-	-
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.412	1.541	28.158	11.775	20.453
CaO	0.458	29.145	0.552	0.656	0.456
SiO <sub>2</sub>	0.527	11.766	17.525	22.224	20.053
TiO <sub>2</sub>	0.725	15.065	0.452	1.889	0.667
MnO	1.495	0.064	0.025	0.034	0.022
FeO	71.462	24.198	19.021	44.046	35.441
ZrO <sub>2</sub>	0.059	14.150	-	0.012	0.028
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.023	0.096	0.074	0.664	0.162
PbO	0.009	-	-	0.044	0.026
CuO	-	0.025	-	-	-
Total	80.338	96.177	69.881	86.730	82.776

分析点4:赤鉄鉱 hematite  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(Mg, Al, Mn含有)

分析点5:キムゼイざくろ石[Kimzeyite:Ca<sub>3</sub>(Zr, Fe, Ti)<sub>2</sub>(Si, Al, Fe)<sub>3</sub>O<sub>12</sub>

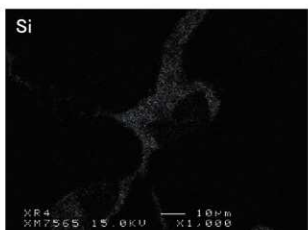
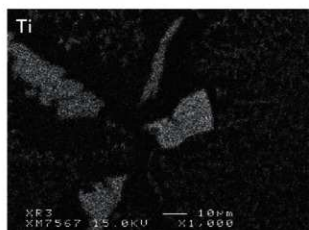
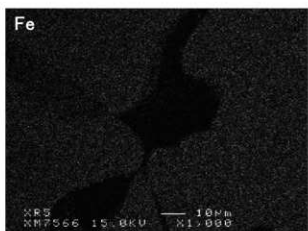
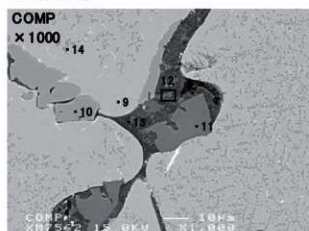
分析点6:燐を含有する鉄のアルミノ珪酸塩、鉱物名は不明

分析点7:燐を含有する鉄のアルミノ珪酸塩、鉱物名は不明

分析点8:燐を含有する鉄のアルミノ珪酸塩、鉱物名は不明

Photo. 15 炉内滓のE P M A調査

YYM3-5-③



Element	9	10	11	12	13	14
Na <sub>2</sub> O	0.054	-	0.201	1.296	0.929	-
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.014	-	0.742	4.059	1.648	-
F	-	0.740	-	-	-	0.524
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.347	0.938	0.084	-	-	0.898
S	0.003	0.014	-	0.598	0.198	0.004
MgO	3.839	3.173	0.351	1.842	2.743	2.903
K <sub>2</sub> O	-	-	-	0.315	0.372	-
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.149	3.054	0.728	8.236	15.936	2.093
CaO	0.046	0.234	40.595	20.065	19.630	0.170
SiO <sub>2</sub>	0.087	0.017	3.870	33.322	34.931	0.084
TiO <sub>2</sub>	1.104	24.291	40.345	1.489	0.498	19.974
MnO	1.074	1.388	0.115	0.559	0.208	1.408
FeO	90.067	60.271	5.261	15.645	10.698	65.813
ZrO <sub>2</sub>	0.439	3.015	7.331	3.203	1.970	3.049
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.137	0.705	0.182	0.014	-	0.747
PbO	-	0.028	0.026	-	-	0.004
CuO	0.074	-	0.091	0.063	-	0.025
Total	97.436	97.556	99.922	90.706	89.761	97.471

分析点9: Wüstite(FeO)

分析点10: Ulvöspinel(2FeO·TiO<sub>2</sub>)、磁鉄鉱成分を20%程度固溶

分析点11: ペロブスカイト[Perovskite: (Ca, Fe)TiO<sub>3</sub>]

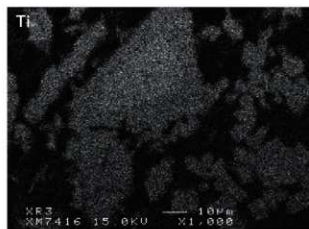
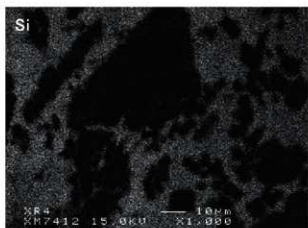
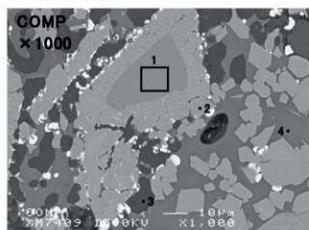
分析点12: ざくろ石族の鉱物[garnet group: (Ca, Fe)<sub>3</sub>(Al, Fe)<sub>2</sub>(Si, Al)<sub>3</sub>O<sub>12</sub>]

分析点13: ざくろ石族の鉱物

分析点14: Ulvöspinel(2FeO·TiO<sub>2</sub>)、磁鉄鉱成分を20%程度固溶

Photo. 16 炉内滓のE PMA調査

YYM3-11-①

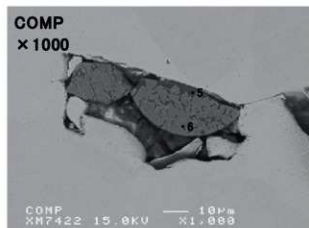


分析点1: rutile:  $(\text{TiO}_2)[(\text{Ti}, \text{Fe}, \text{Mg}, \text{Zr}, \text{V}, \text{Al})\text{O}_2]$   
 分析点2: rutile:  $(\text{TiO}_2)[(\text{Ti}, \text{Fe}, \text{Mg}, \text{Zr}, \text{V}, )\text{O}_2]$   
 分析点3: 不明  
 分析点4: 不明

Element	1	2	3	4
Na <sub>2</sub> O	-	0.319	0.891	1.169
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-	-	-	0.348
F	0.079	-	-	-
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.818	0.539	0.093	0.054
S	0.002	0.008	0.008	0.260
MgO	4.326	3.789	0.036	2.839
K <sub>2</sub> O	0.023	0.114	7.480	1.533
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.649	0.504	22.479	7.124
CaO	0.086	0.515	0.212	15.536
SiO <sub>2</sub>	0.020	0.417	62.437	39.788
TiO <sub>2</sub>	68.123	53.157	0.825	6.294
MnO	0.029	0.033	-	0.009
FeO	16.579	33.760	0.826	17.204
ZrO <sub>2</sub>	4.657	3.856	0.141	4.065
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2.563	1.602	0.051	0.195
As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	0.100	-	-
Sb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-	0.021	0.319	0.021
PbO	-	0.006	0.007	-
CuO	0.048	-	0.016	-
Total	98.969	98.740	95.821	96.439

Photo. 17 鉄塊系遺物のEPMA調査

YYM3-11-②



Element	5	6
Na <sub>2</sub> O	1.202	-
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.272	0.054
F	0.127	0.349
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	0.159
S	0.066	-
MgO	1.398	4.788
K <sub>2</sub> O	7.557	0.926
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.612	2.254
CaO	10.036	5.005
SiO <sub>2</sub>	40.314	3.246
TiO <sub>2</sub>	4.742	49.483
MnO	0.026	0.021
FeO	11.796	24.292
ZrO <sub>2</sub>	0.920	6.164
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.035	0.270
As <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-	-
Sb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.267	-
PbO	-	-
CuO	0.135	-
Total	97.452	96.864

分析点5:ガラス?

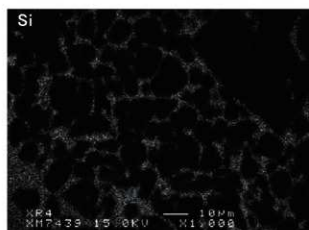
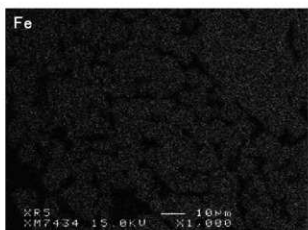
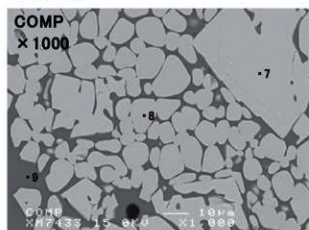
分析点6:ペロブスカイト[Perovskite: (Ca, Fe)TiO<sub>3</sub>]

化学組成[(Ca, Fe, Mg)(Ti, Zr)O<sub>3</sub>]はペロブスカイトの  
CaをFeで、TiをZrで置き換えたものと思われる。

Photo. 18 鉄塊系遺物のEPMA調査



YYM3-14



Element	7	8	9
Na <sub>2</sub> O	0.272	-	0.952
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.017	0.018	0.643
F	-	-	0.318
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.149	0.141	-
S	-	-	0.004
MgO	2.423	0.414	0.915
K <sub>2</sub> O	-	-	3.867
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.224	1.393	16.068
CaO	-	-	11.010
SiO <sub>2</sub>	0.069	0.044	49.999
TiO <sub>2</sub>	0.602	2.701	1.515
MnO	0.392	0.128	0.097
FeO	84.793	83.871	10.014
ZrO <sub>2</sub>	0.003	0.294	0.259
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.034	0.006	0.078
As <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.023	-	-
Sb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-	0.039	0.185
PbO	0.031	0.013	-
CuO	0.040	-	-
Total	92.072	89.062	95.790

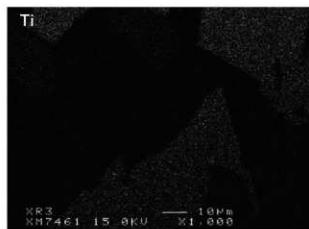
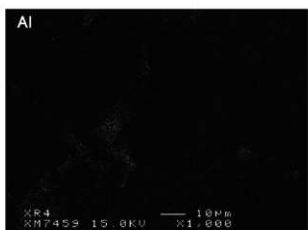
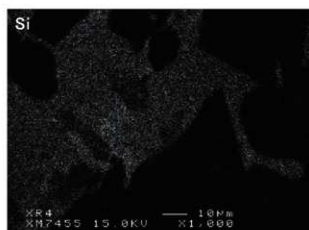
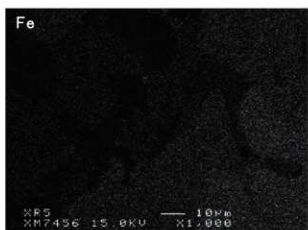
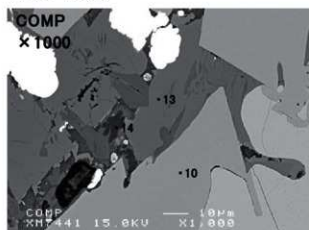
分析点7:磁鉄鉱(Mg, Al, Cr含有)

分析点8:磁鉄鉱(Ti, Al, Cr含有)

分析点9:ガラス

Photo. 19 羽口のE PMA調査

YYM3-16-①

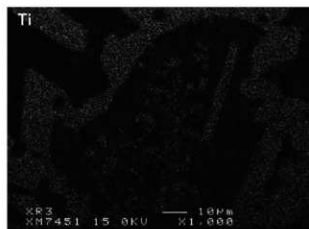
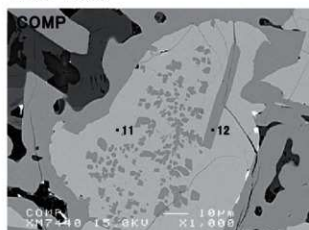


分析点10: Ulvöspinel( $2\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$ ) 磁鉄鉱成分を20%程度固溶  
 分析点13: キルシュスタインイト[Kirschsteinite:  $\text{CaFeSiO}_4$ ]  
 分析点14: リューサイト[leucite:  $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ]に類似した組成であるが、  
 $\text{SiO}_2$ が不足しているので確定できない。

Element	10	13	14
$\text{Na}_2\text{O}$	0.049	-	0.997
$\text{P}_2\text{O}_5$	-	0.607	0.088
F	-	0.115	-
$\text{Cr}_2\text{O}_3$	0.315	-	0.068
S	0.013	0.018	0.024
$\text{MgO}$	1.335	2.683	0.209
$\text{K}_2\text{O}$	-	0.050	20.021
$\text{Al}_2\text{O}_3$	2.009	0.019	24.580
$\text{CaO}$	0.126	27.720	0.213
$\text{SiO}_2$	0.053	30.244	46.816
$\text{TiO}_2$	26.014	0.304	0.193
$\text{MnO}$	0.906	1.044	0.067
$\text{FeO}$	63.387	34.785	4.620
$\text{ZrO}_2$	2.939	0.003	0.170
$\text{V}_2\text{O}_5$	1.269	0.048	-
$\text{As}_2\text{O}_5$	-	-	-
$\text{Sb}_2\text{O}_5$	-	-	0.880
$\text{PbO}$	-	0.043	-
$\text{CuO}$	-	0.011	-
Total	98.415	97.646	98.946

Photo. 20 炉底塊のE PMA調査

YYM3-16-②



分析点11:Wüstite(FeO)

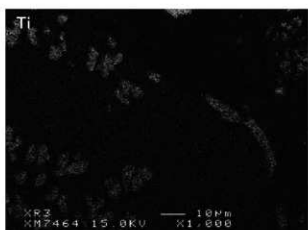
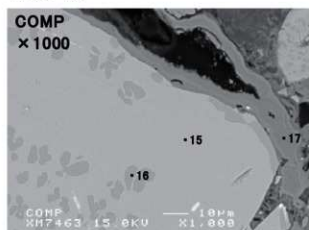
分析点12:Ulvöspinel(2FeO·TiO<sub>2</sub>)

磁鉄鉱成分を20%程度固溶している。

Element	11	12
Na <sub>2</sub> O	-	0.198
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.021	0.016
F	-	-
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.264	1.399
S	0.004	0.010
MgO	1.599	1.328
K <sub>2</sub> O	-	0.002
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.120	2.002
CaO	-	-
SiO <sub>2</sub>	0.223	0.055
TiO <sub>2</sub>	1.241	22.834
MnO	0.645	0.960
FeO	94.787	63.308
ZrO <sub>2</sub>	0.347	3.058
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.226	2.220
As <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-	0.034
Sb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-	0.017
PbO	-	0.102
CuO	0.054	-
Total	99.531	97.543

Photo. 21 炉底塊のE PMA調査

YYM3-18



分析点15:Wüstite(FeO)

分析点16:Ulvöspinel(2FeO·TiO<sub>2</sub>)

磁鉄鉱成分を30%程度固溶している。

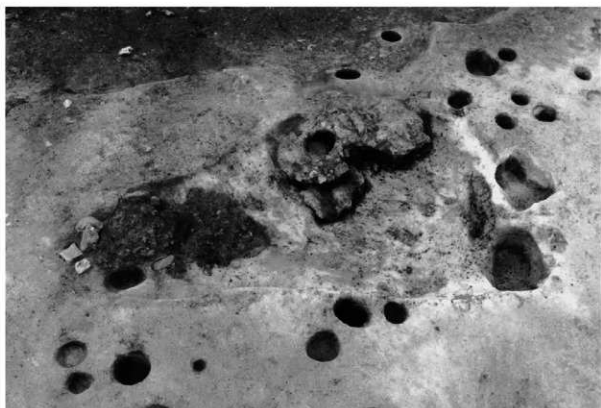
分析点17:針鉄鉱[(goethite、 $\alpha$ -FeO(OH))]

Element	15	16	17
Na <sub>2</sub> O	-	0.149	-
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-	0.031	0.693
F	-	-	-
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.366	3.483	0.018
S	-	0.005	0.036
MgO	1.786	1.424	0.019
K <sub>2</sub> O	-	-	-
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.265	2.549	0.138
CaO	0.026	0.087	0.086
SiO <sub>2</sub>	0.060	-	8.919
TiO <sub>2</sub>	1.409	20.466	0.167
MnO	0.634	0.700	0.049
FeO	94.576	65.666	71.522
ZrO <sub>2</sub>	0.572	2.209	-
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.353	2.487	0.070
As <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.037	-	0.004
Sb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-	0.017	-
PbO	-	0.004	0.071
CuO	0.015	0.120	-
Total	100.099	99.397	81.792

Photo. 22 梔形滓のE P M A調査

## 图 版





1号製鉄関連土坑(東から)



1号製鉄関連土坑内粘土塊検出状況(北から)



1号製鉄関連土坑内粘土塊半截状況(北から)



1号製鉄関連土坑西側における鉄滓等出土状況(南から)





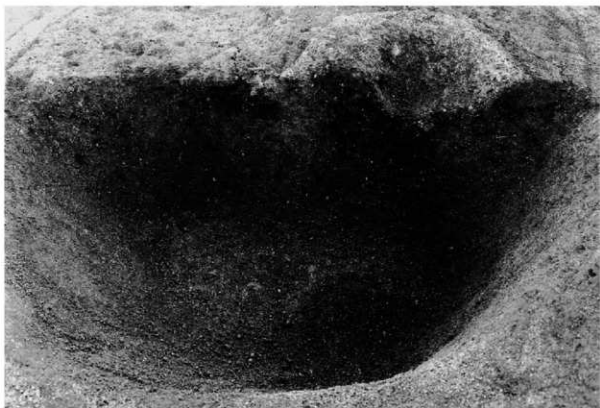
1号製鉄関連土坑内再結合滓検出状況(東から)



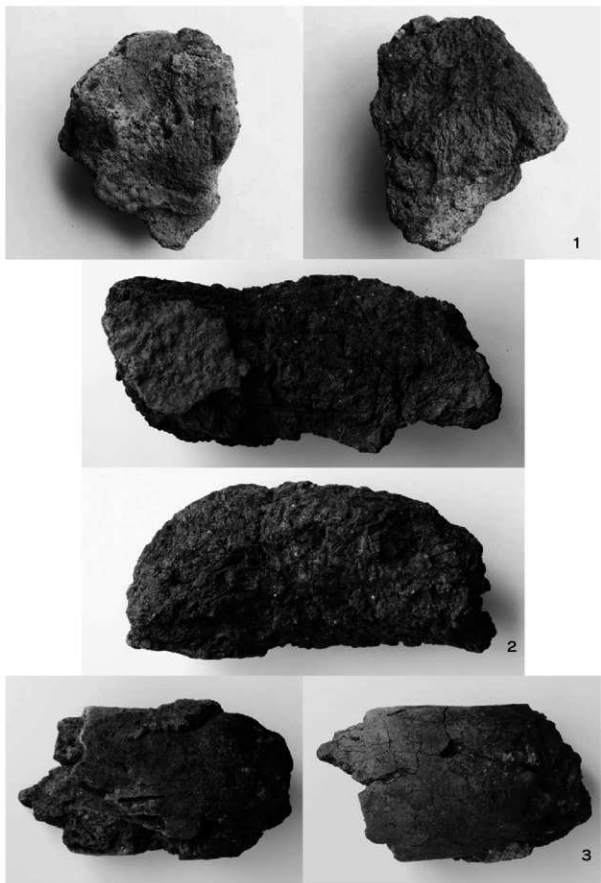
再結合滓下半截状況(東から)



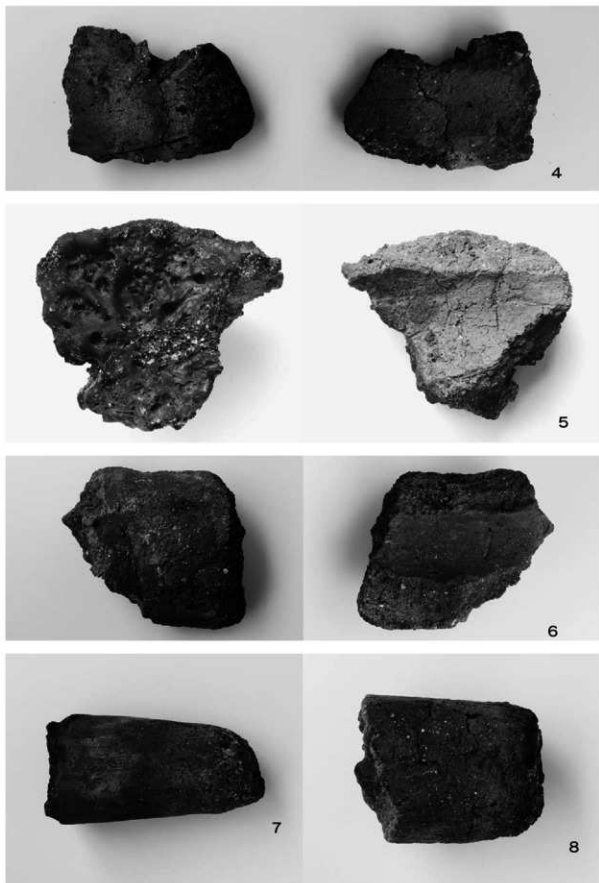
2号製鉄関連土坑検出状況(北から)



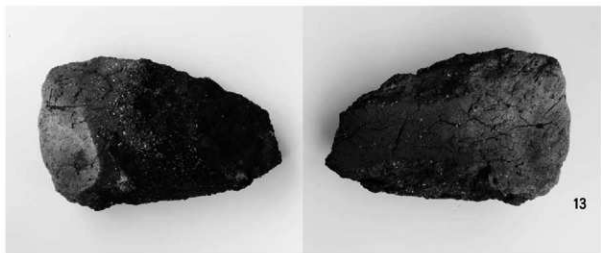
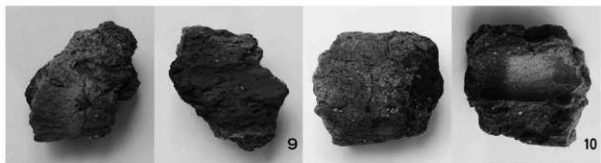
2号製鉄関連土坑半截状況(北から)

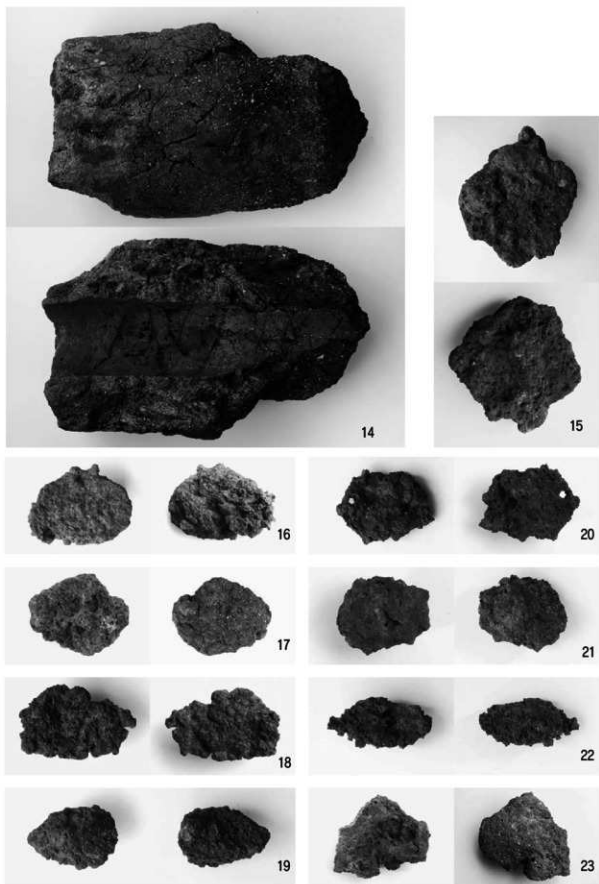


製鉄関連遺物・1 (1~3)



製鉄関連遺物・2 (4~8)





製鉄関連遺物・4 (14~23)

## 報 告 書 抄 録

ふりがな	よしもりいせき3
書名	吉森遺跡Ⅲ
副書名	中山間地域総合整備事業福吉地区関係埋蔵文化財調査報告
巻次	Ⅵ
シリーズ名	糸島市文化財調査報告書
シリーズ番号	第12集
編著者名	井澤英二、大澤正己、村上 敦
編集機関	糸島市教育委員会
所在地	〒819-1392 福岡県糸島市志摩初30番地
発行年月日	2013年3月31日

所収遺跡名	所在地	コ ー ド		北緯	東経	調査期間	調査面積	調査原因
		市町村	遺跡番号					
吉森遺跡	福岡県糸島市 二丈吉井字吉森	40230		33° 29' 19.5"	130° 4' 41"	20011001 と 20020329	4,200㎡	県営ほ場整備事業

所収遺跡名	種別	主な時代	主な遺構	主な遺物	特記事項
吉森遺跡	製鉄関連	平安時代～ 鎌倉時代	製鉄関連遺構	鉄滓 輪羽口 炉壁	火山岩起源高子タン砂鉄を使用した整形炉の存在が想定される。

### 吉森遺跡Ⅲ

糸島市文化財調査報告書  
第12集

2013年3月31日発行

発行 糸島市教育委員会  
〒819-1392 糸島市志摩初30番地  
TEL 092-332-2093

印刷 山口印刷株式会社  
〒848-0035 伊万里市二里町3617-5  
TEL 0955-22-5188

