多賀城市文化財調査報告書 第17集

宮城県多賀城市

柏木遺跡 Ⅱ

― 古代製鉄炉の発掘調査報告書 ―

平成元年3月

多賀城市埋蔵文化財調査センター

序

多賀城市は、広域仙台圏の中核的都市として、「文化のかおるうるおいのあるまち」を基本目標に長期的ビジョンにたったまちづくりを押し進めています。その一環として、当埋蔵文化財調査センターは、市内の遺跡の発掘調査や資料の収集・保存・公開、さらに文化財愛護精神の普及・啓発活動などを積極的に行っております。

本報告書は、当センターが昭和62年度国庫補助事業として調査を実施した柏木遺跡A地区の成果をまとめたものです。発掘調査の結果、約10万年前に遡るとみられる旧石器時代前・中期の石器が多量に発見され、また奈良時代に国府多賀城に鉄を供給していたと思われる製鉄遺構が発見されました。後者では製鉄炉、木炭窯、鍛冶工房跡などの遺構がセットとなって良好な保存状態で残されていました。この時期の製鉄遺跡は、東北地方ではわずかに福島県で発見例があるだけで、宮城県内では他に例をみません。さらに、国府多賀城に関連する官営的な性格を有していたとも考えられ、学術的にも大変貴重な遺跡であるといえます。

なお、柏木遺跡の発掘調査におきましては、文化庁、県文化財保護課、東北歴史資料館、多賀城跡調査研究所、東北福祉大学の芹沢長介先生、東北大学の須藤隆先生をはじめ考古学研究室の方々、多くの学生や地元のみなさんの御協力を得、特に本市文化財保護委員の鎌田俊昭氏には調査員として多大の御協力をいただきました。ここに関係者の皆様に対し厚く感謝申しあげるとともに、本報告書が広く教育の場や学術研究のために役立つことを願うものであります。

平成元年3月

多賀城市埋蔵文化財調査センター

所長　名取恒郎

例　言

1．本書は、昭和62年度の国庫補助事業として実施した柏木遺跡・Ａ地区（製鉄遺構関連分）の調査結果をまとめたものである。

2．本書の執筆・編集は、石川俊英、相沢清利が担当した。

3．本調査の概要については、現地説明会資料、概報等において一部公表されているが、本書がこれに優先するものである。

4．本書中における各遺構・遺物の略号は次の通りである。

ＳＷ－製錬炉、ＳＩ－竪穴住居跡、ＳＤ－溝跡、ＳＫ－土坑、ＳＸ－その他

Ｓ－礫、Ｂ－焼土、Ｆ－炉壁、Ｉ－鉄滓

5．本書挿図中の水糸レベルは、標高値を示している。

6．調査区の実測基準線は、国家座標の方位をとっている。

7．炉材粘土の耐火度測定は、川鉄テクノリサーチ株式会社、総括技術室に、木炭の樹種同定調査については、嶋倉巳三郎氏に、鉄滓の分析調査については鵜田勝彦氏にそれぞれ依頼し寄稿していただいた。

8．本書の土色については、『新版標準土色帖』（小山正忠、竹原秀雄：1976）を使用した。

9．調査、整理に関する諸記録および出土遺物は、多賀城市埋蔵文化財調査センターが一括保存している。

調 査 体 制

○多賀城市教育委員会　社会教育課文化財保護係（宮城県多賀城市中央２丁目27番１号）

社会教育課長　名取恒郎　　技　師　滝口　卓

文化財保護係長　高倉敏明　　主　事　柏原靖史

○多賀城市埋蔵文化財調査センター（宮城県多賀城市中央２丁目27番１号）

所　長　名取恒郎（兼務）　　技　師　石川俊英　千葉孝弥　石本　敬　相沢清利

主　査　高倉敏明（〃）　　嘱　託　鈴木久夫　滝川ちかこ

調 査 要 項

＜柏木遺跡＞

1．遺跡所在地：宮城県多賀城市大代５丁目１番１号他

2．調査期間　：昭和62年８月17日～昭和63年３月31日

3．調査面積　：4,000㎡（対象面積12,000㎡）

4．調査員：鎌田俊昭、藤村新一、横山裕平（石器文化談話会）　山田しょう、森嶋秀一、桜井美枝（東北大学大学院）

5．調査参加者：菊池豊、熊谷信一、芳賀英実　　横地剛、加藤勝仁、風間栄一、辻史郎、飯坂正弘、西山伸一（早稲田大学）、木村有紀、亀田直美（早稲田大学大学院）、下平博行、伊藤慎二（国学院大学）、野中修二、栗原伸好、酒井直樹（帝京大学）、新野一浩、千田祐美恵（東北福祉大学）　　他、多賀城市大代・笠神地区、七ケ浜町のみなさん72名

6．遺物整理：佐藤悦子、柏倉霜代、須藤美智子、熊谷純子、黒田啓子

7．調査協力：文化庁、宮城県教育庁文化財保護課、東北歴史資料館、宮城県多賀城跡調査研究所、仙台市教育委員会文化財課、東北大学文学部考古学研究室、石器文化談話会、大和団地株式会社、丸信建設株式会社

8．発掘調査から報告書作成まで下記の諸氏、諸機関から御教示、御協力いただいた。

芹沢長介（東北福祉大学教授）、須藤隆（東北大学文学部助教授）、中川久夫（東北大学理学部教授）、橋崎彰一（名古屋大学教授）、岡田廣吉（東北大学助教授）、小林達雄（国学院大学教授）、木村英明（札幌大学教授）、柳田俊雄（郡山女子短大助教授）、山田一郎（東北大学農学部）、松村恵司、佐藤信（文化庁）、葉賀七三男（日本産業技術史学会）、志村宗昭（金属材料研究室）、穴澤義功、大澤正己（たたら研究会）、石田琢二（仙台二高）、佐瀬隆（盛岡四高）、鴇田勝彦（古川工業）、渡辺泰伸（仙台育英学園）、進藤秋輝、加藤道男、斉藤吉弘、佐藤則之、千葉保、柳沢和明（宮城県教育庁文化財保護課）、桑原滋郎、白鳥良一、高野芳宏、古川雅清、丹羽茂、後藤秀一（宮城県多賀城跡調査研究所）、藤沼邦彦村山斌夫、小井川和夫、佐々木常人、吉沢幹夫、笠原信男（東北歴史資料館）、田中則和、佐々木和博（仙台市博物館）、加藤稔（山形県立博物館）、藤原妃敏（福島県立博物館）、金森安孝、平間亮輔、佐藤淳（仙台市文化財課）、寺島文隆、安田稔、飯村均、吉田秀享、新堀昭宏（福島県文化センター）、萩原恭一、小林信一（千葉県文化財センター）、舘野孝、新井真博（東京都埋文センター）、高橋一夫（埼玉県埋文事業団）、関清（富山県埋文センター）、梶原洋、会田容弘、佐久間光平、仙庭伸久（東北大学考古学研究室）、長崎潤一、橋本博文（早稲田大学文化財調査室）、窪田蔵郎

Ａ・Ｐディレビヤンコ、Ｒ・Ｓワシリェフスキー（ソビエト科学アカデミー）　（順不同）

目　　次

序　　文
例　　言
調査体制
調査要項

Ⅰ　考　　察……1

Ⅱ　分析・同定……11

(1)　炉材粘土他耐火度測定結果……11

(2)　柏木遺跡出土木炭の樹種同定調査……13

(3)　柏木遺跡出土鉄滓・砂鉄の分析調査……19

Ⅰ．考　察

製　錬　炉

今回、柏木遺跡で検出した4基の炉の形態については、基本的に円筒柱状の形をとる半地下式竪形炉と呼ばれているものに属している。この半地下式竪型炉とは、土佐氏の論文（土佐：1981）から引用すると、「先のすぼまる円筒状や丸みをおびた方柱状の炉体をもち、炉断面にべ炉高が高い。斜面の三方を掘り込んで粘土を貼りつけ、解放された炉の前部へも粘土を巻くようにして炉体を築く。こうして炉底部の径50～80cm、高さ1m以上の比較的高い炉高を確保する。炉体を斜面に組みこむところから半地下式のものが多い」と説明されている。

3基の製錬炉は、炉を構築する際に凝灰岩の地山を隅丸方形状に浅く削り、それより下を円筒柱状に掘り込んでいる。この掘り方内面は2～10cmの厚さで酸化しており、空焚きを行ったものと考えられる。上部の方形状掘り方には黄橙色シルトが埋めこまれ、その内側にスサ入粘土を貼り炉壁としている。開放されている炉前部は、良く残っているSW03でみると、炉の両側に細長い礫を立て、その周囲を横位にすえた礫で囲んでいる。さらにその上位は円礫で囲んでいたようである。礫下位については炉操業時の堆積層が炉壁面となっている。

次に、炉背の構造についてみてみる。SW03では、径20cmの楕円形のスサ入り粘土で作られた貫通孔が炉内下向き約30度に残存していた。他の炉についても炉背がくぼむ特徴を有することから同様の構造を持っていたと推察される。また、この貫通孔については、SW03の炉内から検出された送風管を装着した孔と考えられ、今回出土している大部分の送風管は、炉背からの送風に関係するものと思われる。これは、ほとんどの送風管にみられるノロが角度をもって付着していることとも符合する。

炉内の奥壁面状況については、SW03の掘り方底画から、何んら火熱の影響を受けない面→黒褐色にすすけた面→環元し青味を帯びた面→炉壁にノロが付着した面の順序が良く観察できる。

次に、炉背および炉前の付属施設についてみてみる。まず、炉背付属施設の構成についてであるが、炉の中軸延長線上に横穴状ピットを設け、その両側に左右対称の方形状土拡と柱穴を配置している。さらにその上部には一段高くテラスを造り出して、これらを囲む溝をめぐらせている。このような遺構の構成は基本的にSW01～03に共通したものである。

炉前付属施設は、作業場・廃滓場からなる構造を基本的にはとる。作業場は炉前面に取り付き長方形の壁穴状を呈する。その規模は各炉によって一様ではないが、炉前の中央が丸底状に

くぼむ特徴を合わせもつ。廃滓場は作業場から連続し扇状に開くＳＷ01のタイプと、作業場南辺中央付近に溝が取り付くＳＷ02・03のタイプの二者がみられる。作業場・廃滓場は、旧表土層の上に整地を行い作業面をつくった後、操業を開始し廃滓したことが判明している。また、操業時の堆積層は鉄滓層と黄色粘土が互層になる状況が認められた。これは廃滓→整地がくり返し行なわれ、その都度作業面を作り直していたものと考えられる。

以上のように柏木遺跡で検出したＳＷ01～03は付属施設を含めて、構造的にほぼ同じタイプとして認められうるものである。しかし、ＳＷ04については、位置・規模・方位とも異なっており、ＳＷ 01～03のタイプとは区別して考えねばならない性格のものである。さらに、ＳＷ04を含めた遺構の変遷は４号→１号（２号）→２号（１号）→３号となり、ＳＷ04が本格的操業に入る前段階のものとされることも注意しておかなければならない。

木　炭　窯

木炭窯は、４基の製鉄炉を挟み込むように、舌状に張り出した丘陵部の尾根に沿って東側に５基、西側に１基発見された。これらの木炭窯は、いずれも地下式の登窯であり、煙道、炭化室、焚口部、前庭部から構成されている。操業について見ると１号・２号木炭窯では、前庭部に堆積した木炭層より２号 → １号 → ２号 → １号木炭窯の順に交互に、しかも２回以上操業した様子が観察された。さらに３号・４号・５号木炭窯では付属施設を持たない４号木炭窯が１番新しいことが判明したが、３号と５号木炭窯の関係については摑むことができなかった。６号木炭窯は底面の状況より２回以上の操業が認められた。

次に木炭窯の形態を整理すると以下のようになる。

Ⅰ　前庭部を共有するもの
- １号・２号木炭窯　（２基共有）
- ３号・４号・５号木炭窯　（３基共有）

単独で存在するもの――６号木炭窯

Ⅱ　付属施設の取り付くもの――１号・２号・３号・５号木炭窯

付属施設の付かないもの――４号・６号木炭窯

Ⅲ　煙道の位置関係

(1) 炭化室から連結部がトンネル状になるもの―
- 中軸線上にあるもの―― 1号木炭窯
- 中軸線上にないもの―― 5号木炭窯

(2) 炭化室の奥壁上部に取り付くもの―
- 奥壁直上―― 4号木炭窯
- 奥壁天井部―― 2号・3号・6号木炭窯

Ⅳ 炭化室の形態

A 炭化室の横幅が狭く、奥行きの長いもの―― 1号・2号・3号・5号木炭窯

B 炭化室の横幅が比較的広く、奥行きが短く、長方形もしくは、羽子板状を呈するもの
―― 4号・6号木炭窯

以上のことから、形態及び新旧関係より、付属施設の取り付く木炭窯群→取り付かない木炭窯群へといった変遷がうかがえる。さらには炭化室の形態差よりもA→Bといった同様な変遷がうかがえる。尚、6号木炭窯については、他の木炭窯と位置及び形態的な差が認められ主体となる木炭窯とは異なる様相を呈している。次に前庭部を共有する木炭窯について見ると、東北地方では主として福島県内にその類例を見い出すことができる。つまり向田C・D遺跡3号・6号・10号・12号・ 3号木炭窯がこれに相当し、現在調査が進んでいる相馬開発関連遺跡内でも同様な類例があるという。(註) 年代的に見ても向田C・D遺跡内で調査された木炭窯はいずれも8世紀前半～中頃のもので本遺跡の木炭窯と年代的に大きく矛盾しないものである。一般に木炭窯は、炭化室の脇に作業場が取り付きその部分が複数の孔で連結される横口式木炭窯と登窯式木炭窯の二形態が知られている。前者の形態は県内では未発見ではあるが、前述した福島県内で類例を見い出すことができ、この両者については横口式木炭窯→登窯式木炭窯といった変遷が判明しているという。このような変遷から考えれば、付属施設の取り付く木炭窯は、横口式木炭窯に続く、登窯式木炭窯の古い段階のものと理解できる。次に付属施設についてみると、この付属施設については類似に乏しく性格については言及はできないが、溝状の作業場内底面上には木炭層が互層になる状況も認められたことから、かき出し口的な用途が考えられる。もちろんこの他に、通風、窯内の温度調節等の利用のされかたも考慮されるであろう。
さて、これら6基の木炭窯の年代については、製鉄炉とセットで機能したものであり、必然的に製鉄炉の年代つまり8世紀前半代ー奈良時代ーに位置付けられるものである。尚、6号木炭

窯は前述の通り、形態的特徴から見て他の木炭窯群より新しい時期に置かれるものと考えている。

(註) 福島県文化センター遺跡調査課　寺島文隆、安田稔、飯村均氏らの御教示による。

竪穴住居跡

竪穴住居跡は4軒検出しており、すべて方形を基調としている。位置関係については、1号木炭窯の西側に隣接して1軒（S I01）、中央平場の西半部に3軒（S I02~04）となる。前者は東西に方位をとるが、後者らは北西に方位をとる。この4軒の住居跡のうち鍛冶遺構と考えられるのはS I02~04竪穴住居跡である。以下、各住居跡について説明を行うことにする。

S I01竪穴住居跡は、長辺4.4m、短辺3.5mを計る。カマドは東壁のやや東側に付設されており、その前面には焼土の分布が認められた。遺物は埋土中から鉄滓が出土しているが、本住居に伴うものではない。また、鍛冶に関連する施設・遺物は検出されていない。この竪穴住居については、1・2号木炭窯との方位・位置関係より木炭の生産・管理に関係したものととらえておきたい。

S I02竪穴住居跡は、北東辺ともに2.6mまで検出したが、南西辺が削平されており全体の規模は不明である。住居内には、鍛冶炉1、ピット3、竪穴状の窪みとこれに取り付く溝各1が設置されている。竪穴状の窪みの埋土（鉄滓層）およびピット3埋土中からは多量の鍛造剝片（437.4g）、粒状滓（36.1g）が検出されている。鍛冶炉は残存状況が悪く還元面と酸化面のみが検出された。鍛冶に関連する遺物としては椀形滓、羽口が出土している。

S I03竪穴住居跡は、長辺3.5m、短辺2.5mを計る。南辺には2本の溝状張り出しが取り付く。住居内のほぼ中央には鉄滓層と焼土層が分布しており、これを掘り込んだところ床面上で壁面の酸化した浅い窪みが2基検出された。その東側には溝がつくられており、溝の中央には、直径30cm、深さ20cmのピットが設けられている。酸化面を伴うピットは鍛冶炉の底面の可能性があり、溝跡は作業施設と考えられる。本住居の鉄滓層出土の鉄滓については、別編の分析結果のとおり精錬鍛冶滓とのデータが出されている。なお、鍛造剝片は1.8gとわずかである。

S I04竪穴住居跡は、新旧のカマドが2基、周溝が2列あり、改築を行い拡張したものである。規模はA期（古）が長辺3.5m、短辺2.5m、B期（新）が長辺約5m、短辺約3.8mを計る。A期の床面上には円形状の鉄滓集中地点が2ケ所認められた。この鉄滓層を掘り込んだところ、直径20cmの椀形滓が検出された。椀形滓の掘り方は深さ2cmほどの浅い窪みで、壁面は若干酸化している程度である。鍛造剝片は1.7gと少ない。

以上各住居跡の鍛冶炉、作業施設、出土遺物等について記述してきた。鍛冶炉底面のあり方

についてはＳＩ02竪穴住居跡とＳＩ03・04竪穴住居跡において相違がみられた。また、鍛造剝片の量についても前者が多量に検出されているのに対し、後者は非常に少ないというデータが得られている。このことについては、炉自体の操業回数によるものなのか、あるいは鍛冶の作業工程における差異として生じるのか今後の検討課題である。また、注目しておきたいのは、各鍛冶炉周辺に認められた鉄滓層中には製錬滓が含まれていることであり、前記の製錬炉から鉄素材の製錬滓を工房に持ち込んで精錬鍛冶を行っていたと推察される。

土　　坑

土坑は３基検出しており、このうち、ＳＫ01・02について説明する。両者は、不整形の土坑が四ないし五基複合する特徴をもつ。壁は底面よりゆるやかに立ち上がりする鉢状を呈し、地山の黄色粘土層まで掘り込んでいる。ＳＫ02底面からは、鉄滓、炉壁、木炭が、ＳＫ03では、底面より砂鉄が出土している。以上のことを考え合わせてみると、二つの土坑は粘土採掘のため掘られ、その後、廃棄場として使用されたものと思われる。

特 殊 遺 構

特殊遺構は、壁面および底面が焼けている土坑をとりまとめて総称した。３基検出しており形態的には方形のものと不整楕円形のものとがある。ＳＸ01・02はＳＩ02竪穴住居跡の東側の中央部平場に位置している。両者は底面上に木炭層が堆積し、壁面が赤く焼けているのが特徴である。ＳＸ03はＳＩ01竪穴住居跡の南側に隣接する。焼面は、土坑東端部の底面から壁面に見られる。遺物は土師器甕の破片が出土している。これらは焼成遺構と考えられ、ＳＸ01・02に関しては、木炭を焼成したものと思われる。

鉄滓について

鉄滓の分類および磁着度測定結果についてまとめてみる。まず、製錬炉での構成比をみるとＳＷ01・02では炉内滓が約６割を占めるのに対し、ＳＷ03で約８割と多い。流出滓は各炉とも１割未満の数値が出ておりほぼ共通している。炉底滓はＳＷ01が18.7%、ＳＷ02が31.3%、ＳＷ03が３%とバラつきが出ている。炉壁は各炉とも約１割前後の数値が出ている。これらの構成を総体的にみると、ＳＷ03の炉内滓がやや多いようであるが、ほぼ同様な傾向を示しているといえよう。竪穴住居跡では、炉内滓が約６割から８割占める傾向がある。この鉄滓の外観は製錬炉出土のものとさほど変わらないものであるが、磁着度測定では磁性の強い数値を示している。一方、磁着度の方からみると、各製錬炉では１および２の低磁性の数値が約６割を占めているが、竪穴住居跡では逆に３～６の数値が６割以上を占めている。ただしＳＩ01のみは製

錬炉とほぼ同じ構成をとっており、これは、S101から鍛冶炉が検出されていないこととも符合する。他の住居跡は鍛冶工房の性格を有するものであり、製錬炉から高磁性の鉄滓が選択されて持ち込まれたものとみることができる。
測定のデータは、竪穴住居跡はすべてものを対象としたが、製錬炉はある任意の層を抽出している。したがって、製錬炉に関しては今後すべてのデータ処理を行うことにより、若干の変動が出てくるものと思われる。

宮城県内で発掘調査の結果、確認された古代の製鉄炉は、嶺山C遺跡、山下遺跡(平安時代)、深谷鍛冶遺跡の三遺跡のみであるが、鉄生産の実態については ほとんど不明な状況であった。今回の柏木遺跡の発見は、県内だけではなく古代東北の鉄生産を考える上で重要な遺跡であり、さらに操業に係わる重大な資料を提示するものと思われる。

柏木遺跡の炉型は前述のとおり典型的な半地下式竪型炉に属し、穴沢氏分類のⅡ型a 類に比定することができる。このタイプの炉型は奈良時代初頭に認められ、平安時代まで継続することが知られている。福島県向田A・B遺跡、群馬県菅ノ沢遺跡等に類例を求めることができ、両者とも炉上部に方形状の土坑が付属する特徴をもつ。これらは柏木遺跡と極めてよく似た構造をもち、基本的にこのタイプの炉型に付属する規格性をもった施設としてとらえることができる。この施設については、原料、燃料置場あるいは送風施設などの性格が考えられていたが、柏木遺跡の調査によってSW03炉背に見られる楕円形の貫通孔、炉内にずり落ちていた送風管の状況より、炉背から送風を行っていたものと考えられる。炉中軸延長線上に位置する横穴状ピットや、左右対称の方形状土坑については、一対のセットで機能していたものと考えられ、人工(吹子)送風施設と見ることができよう。吹子そのものについては検出していないが、送風施設の形態や位置関係から踏吹子と推察される。以上のように、炉背後から人工送風が想定されたが、炉が立地するこの丘陵は、海岸からの南風が斜面を駆け登るように吹いてきており、自然通風が副次的に行われていた可能性も考えられる。
古代の鉄生産の作業工程には、採鉱→製錬→精練→鍛造・鋳造の段階がこれまでの研究によって明らかにされている。柏木遺跡発見の鍛冶工房跡は、精練段階のものか、あるいは鍛造・鋳造段階のものかは考古学的には確証を得られなかった。しかし、別稿の鴇田氏の分析調査によれば精錬滓が検出されており、精錬段階の可能性は高いと考えられる。

さて、柏木遺跡では南北50メートル、東西40メートルの範囲にわたる丘陵南斜面を段築状に造成して、製鉄炉、木炭窯、鍛冶工房跡などの遺構をコンパクトに配置している。これは地形地質、風向き、原料と燃料の入手しやすい場所、供給地が周辺にあることを考慮して、計画的に造られたものと見ることができる。

本遺跡の製錬炉の年代については、前項の出土遺物の特徴から8世紀前半代を中心にした年代を与えることができ、これは製錬炉および木炭窯の構造的特徴とも一致していると考えられる。このように古代の鉄生産作業は、原料の採集から生産まで、大量の労働力と製鉄技術集団を必要とし、これらを掌握して運営するには、当時の国家的力を要したものと考えられる。

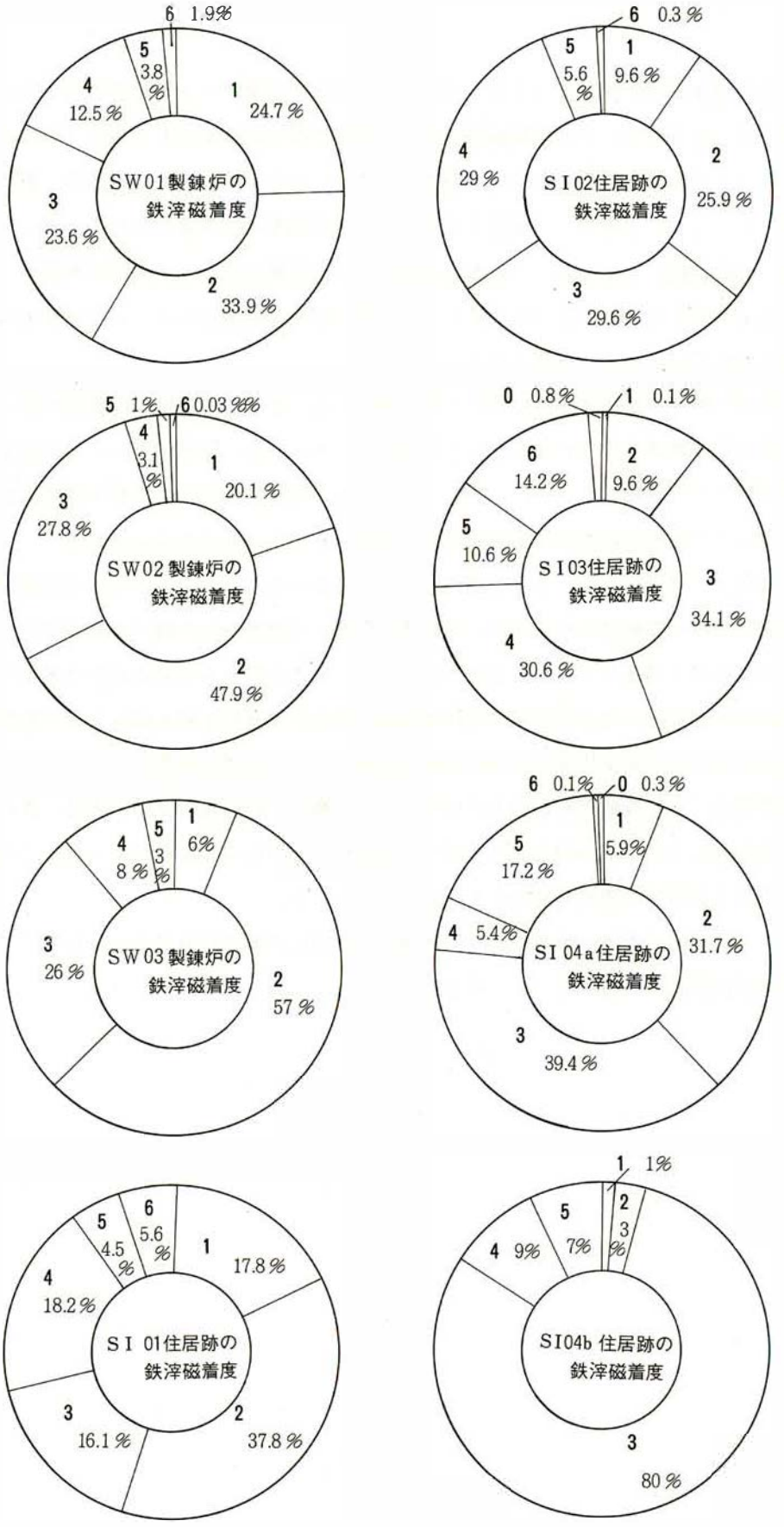
一方、文献資料から見ると、『常陸風土記』、『日本靈異記』などに国司が専門工人に鉄を採らせる記事が見える。このような文献から、当時の鉄生産は国司などによる国家主導型の生産体制が敷かれていたものと推察される。

柏木遺跡の製錬炉が操業された時代ー奈良時代ーは、まさに多賀城が陸奥国の律令支配の強化と、地方行政機構の確立を目的として創建され、それ以降、陸奥国府として政治文化の中心的役割を果たした時期であった。このような政治的、社会的背景の中で柏木遺跡の製鉄遺構が営まれ、ここで生産された鉄が多賀城などに供給されていたものと考えられる。

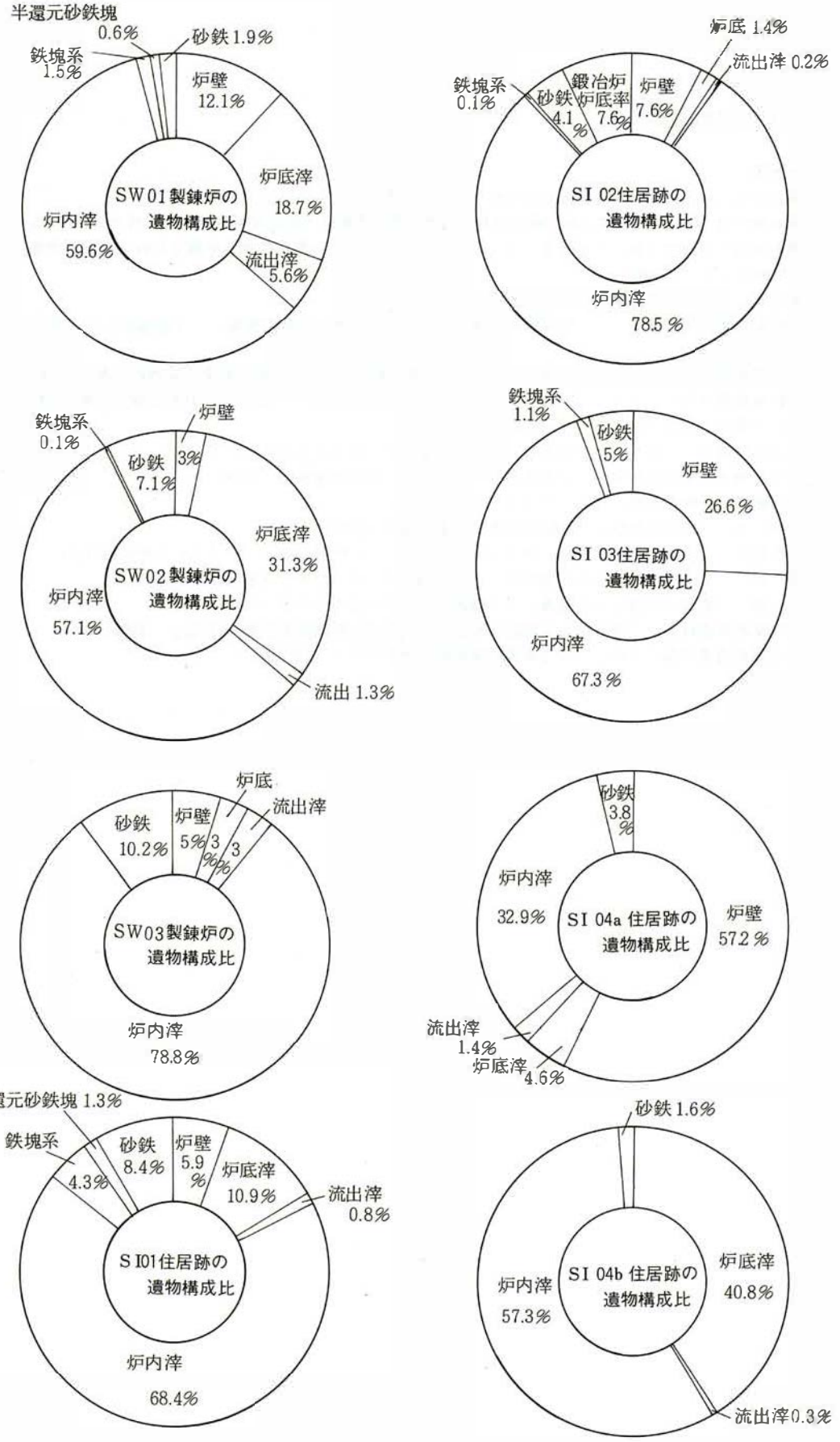
製鉄技術は、須恵器、瓦の窯業と同様に大陸から導入されたものである。須恵器窯跡と製鉄関連遺構は共存して発見される例や、木炭窯の構造が須恵器や瓦を焼いた窯と似ていることなどから窯業集団と関連していたことが推定される。柏木遺跡から発見された送風管の内面には布目痕が認められた。この送風管は円柱状の型に布をかぶせ粘土紐を積み上げて製作したものと考えられる。この製作技法は古代の丸瓦に共通するものと思われる。

柏木遺跡は、多賀城跡の東方約4キロメートルと極めて近い位置関係にある。さらに多賀城跡西門の前を南下して市の中央部を貫流する砂押川の河口近くに位置している。この位置関係も、本遺跡と多賀城の関連を示唆しているものといえる。

このように、柏木遺跡は多賀城との位置関係、8世紀の歴史的背景などを総合して考えると、陸奥国府多賀城直営の製鉄所であったといえよう。



第１図　製錬炉・竪穴住居跡出土鉄滓等磁着度比



第２図　製錬炉・竪穴住居跡出土鉄滓等種類別構成比

<参考・引用文献>

(A地区)

飯島武治・穴沢義功　「群馬県太田市菅ノ沢製鉄遺構」考古学雑誌55－2 (1969)

菅原俊行他「坂ノ上E遺跡」『秋田臨空港新都市開発関係埋蔵文化財発掘調査報告書』秋田市教育委員会(1984)

郷掘英司・田井知二他　「花前Ⅱ－1・花前Ⅱ－2・矢船」『常磐自動車道埋蔵文化財調査報告書Ⅲ』千葉県文化財センター (1985)

雄山閣　「古代日本の鉄を科学する」『季刊考古学第8号』 (1984)

(財)福島県文化センター　「相馬開発と遺跡ー相馬開発関連遺跡調査概報一」『福島県文化財調査報告書第151集』 (1985)

(財)福島県文化センター　「国道113号バイパス遺跡調査報告Ⅱ」『福島県文化調査報告書第166集』(1986)

(財)福島県文化センター　「国道113号バイパス遺跡調査報告Ⅲ」『福島文化財調査報告書第179集』(1987)

(財)千葉県文化財センター　「研究紀要7」 (1983)

たたら研究会　「日本古代の鉄生産」『1987年度たたら研究会大会資料』 (1987)

東京工業大学製鉄史研究会　「古代日本の鉄と社会」平凡社選書78 (1983)

窪田蔵郎　「製鉄遺跡」ニューサイエンス社 (1983)

高橋　夫　「古代の製鉄」『採鉱と冶金』日本評論社 (1983)

土佐雅彦　「日本古代製鉄遺跡に関する研究序説ーとくに炉形を中心に」『たたら研究第24号』 (1981)

関　清　「富山県における古代製鉄炉」『大境第8号』富山県考古学会 (1984)

関　清　「製鉄用炭窪とその意義」『大境第9号』富山県考古学会 (1985)

宮城県教育委員会　「硯沢・大沢窯跡ほか」『宮城県文化財調査報告書第116集』 (1987)

埼玉県教育委員会「大山」『埼玉県遺跡調査報告書第23集』 (1979年)

Ⅱ．分析・同定

炉材粘土 他 耐火度測定

川鉄テクノリサーチ株式会社
総合検査・分析センター
総 括 技 術 室

1. 試　料

試料No	遺　構　・　層　位	遺　物
1	ＳＩ02竪穴住居跡	羽　口
2	基本層位第Ⅲ層	土　壌
3	ＳＷ02製錬炉・廃滓場	送風管
4	〃	炉材粘土
5	ＳＷ03製錬炉・廃滓場	〃

2. 試験方法

ＪＩＳ Ｒ2204「耐火れんがの耐火度の試験方法」による。

3. 試験結果

試料No	耐火度（ＳＫ）	色	試験錐の状態
1	5a－	茶黄	膨張、―――
2	16＋	黄灰	膨張、錐面アバタ状
3	8	茶黄	膨張、錐面アバタ状
4	05a＋	茶	膨張、―――
5	05a	茶	膨張、錐面アバタ状

注）耐火度と温度との関係は別紙の「ゼーゲル及びオルトンコーン温度比較表」をご参照下さい。

ゼーゲル及びオルトンコーン温度比較表

ゼーゲル、コーン		コーン番号	オルトン、コーン		ゼーゲル、コーン		コーン番号	オルトン、コーン	
華氏	摂氏		摂氏	華氏	華氏	摂氏		摂氏	華氏
1112	600	022	605	1121			3	1170	2138
1202	650	021	615	1139	2120	1160	4a		
1238	670	020	650	1202			4	1190	2174
1274	690	019	660	1220	2156	1180	5a		
1310	710	018	720	1328			5	1205	2201
1346	730	017	770	1418	2196	1200	6a		
1382	750	016	796	1463			6	1230	2246
1454	790	015a			2246	1230	7	1250	2282
		015	805	1481	2282	1250	8	1260	2300
1490	815	014a			2336	1280	9	1285	2345
		014	830	1526	2372	1300	10	1305	2381
1535	835	013a			2408	1320	11	1325	2417
		013	860	1580	2462	1350	12	1337	2439
1571	855	012a			2516	1380	13	1349	2460
		012	875	1607	2570	1410	14	1398	2548
1616	880	011a			2615	1435	15	1430	2606
		011	895	1643	2660	1460	16	1491	2716
1652	900	010a			2696	1480	17	1512	2754
		010	905	1661	2732	1500	18	1522	2772
1688	920	09a			2768	1520	19	1541	2806
		09	930	1706	2786	1530	20	1564	2847
1724	940	08a					23	1605	2921
		08	950	1742	2876	1580	26	1621	2950
1760	960	07a			2930	1610	27	1640	2984
		07	990	1814	2966	1630	28	1646	2995
1796	980	06a			3002	1650	29	1659	3018
		06	1015	1859	3038	1670	30	1665	3029
1832	1000	05a			3074	1690	31	1683	3061
		05	1040	1904			31½	1699	3090
1868	1020	04a			3110	1710	32	1717	3123
		04	1060	1940			32½	1724	3135
1904	1040	03a			3146	1730	33	1743	3169
		03	1115	2039	3182	1750	34	1763	3205
1940	1060	02a			3218	1770	35	1785	3245
		02	1125	2057	3254	1790	36	1804	3279
1976	1080	01a			3317	1825	37	1820	3308
		01	1145	2093	3362	1850	38	1835	3335
2012	1100	1a			3416	1880	39	1865	3389
		1	1160	2120	3488	1920	40	1885	3425
2048	1120	2a			3560	1960	41	1970	3578
		2	1165	2129	3632	2000	42	2015	3659
2084	1140	3a							

注；コーンでは正確な温度の測定はできない。耐火度の数値を概略の温度で示す場合にのみ上表の温度が使われる。

オルトンコーンはA.S.T.M.によって認定されており、J. Amer. Cer. Soc. 9. 701—43, 1926に記載せられている Fairchild と Peters の試験を基としている。

本表の温度は一般の焼成および耐火材料の使用の際におけるような緩かな加熱速度には適用できない。

柏木遺跡出土木炭の樹種同定調査

嶋　倉　巳三郎

宮城県多賀城市大代五丁目に所在する、奈良ー平安時代の柏木遺跡にある製鉄所跡から出土した木炭の樹種を調査した。

試料は数cmから数mm程度の大きさの木炭で、材組織は保存状態のよいものが多く、径1－2cm有髄の丸茎状のものもいくらかあった。これらの破断面を反射顕微鏡で観察した。その結果は次のようになった。

試料番号	遺構名		層位	樹種名
1	SW01製錬炉	作業場	ℓ—21層	コナラ
2	〃	〃	ℓ—20層	コナラ
3	〃	〃	ℓ—16層	クヌギ
4	〃	廃滓場	ℓ—2	クヌギ
5	SW02製錬炉	作業場	ℓ－3	シデ類
6	〃	〃	〃	カエデ類
7	〃	〃	〃	コナラ
8	〃	〃	〃	コナラ
9	〃	廃滓場溝	埋土	コナラ
10	〃	〃	〃	カエデ類
11	SW03製錬炉	作業場	ℓ—31	ケヤキ
12	〃	溝部	〃	コナラ
13	〃	廃滓場	ℓ—16	コナラ
14	〃	付属2号土坑	ℓ－1	コナラ
15	SW04製錬炉		ℓ－6	コナラ
16	1号木炭窯		床面	クヌギ
17	〃		〃	クヌギ
18	〃		床面下層	コナラ
19	〃		〃	クヌギ
20	1．2号木炭窯前庭部		埋土	クヌギ
21	2号木炭窯		〃	クヌギ
22	〃		〃	クヌギ
23	3号木炭窯		〃	クヌギ
24	〃		〃	クヌギ
25	〃		〃	(樹皮)
26	〃		〃	クヌギ
27	〃		掘り方埋土	クヌギ
28	〃		〃	クヌギ
29	3．4．5号木炭窯前庭部		埋土	クヌギ

30	〃		埋土	クヌギ
31	6号木炭窯		床面	コナラ
32	6号木炭窯		床面	クヌギ
33	〃		〃	コナラ
34	〃		〃	コナラ
35	SI03住居跡	D－1溝	―	コナラ
36	〃	〃	埋土	コナラ
37	〃	〃	〃	コナラ
38	〃	〃	〃	コナラ
39	〃	〃	ℓ－3	コナラ
40	〃		〃	クヌギ
41	SK02		―	クヌギ
42	SX02		ℓ－3	クヌギ
43	〃		〃	クヌギ
44	〃		〃	クヌギ

以上をまとめると次のようになる。

遺構名＼樹種名	コナラ	クヌギ	シデ類	ケヤキ	カエデ	樹皮
SW01製錬炉	2	2				
SW02製錬炉	3		1		2	
SW03製錬炉	3			1		
SW04製錬炉	1					
1号木炭窯	1	3				
1．2号木炭窯前庭部		1				
2号木炭窯		2				
3号木炭窯		5				1
3．4．5号木炭窯前庭部		2				
6号木炭窯	3	1				
SI03住居跡	5	1				
SK02		1				
SX02		3				

少ない調査数であるが、その示すところによると、次ぎのようになる。

製鉄炉の木炭は殆どコナラであるが、炉によってクヌギも僅かみられ、またシデ、ケヤキ、カエデなどの広葉樹を含むことがある。木炭窯ではクヌギ炭のみが大部分で、一部にコナラ炭を主とするものもある。住居跡の木炭はコナラが主で、僅かにクヌギがあり、製鉄炉に似る。土坑と焼土遺構の木炭はクヌギのみで、木炭窯に似る。

この製鉄所跡で殆ど全部を占めるクヌギ・コナラ炭は、硬質で強い火力を持続し、いわゆる楢炭と呼ばれる優良炭であり、ケヤキやカエデ炭もこれに次ぐ硬質炭である。マツのような針葉樹の炭はみられなかった。

日本木炭史（樋口清之著）によると、『冶金用にはマツ・モミ・ツガなどを室内消火法で黒炭に作ったものが使用されている。』という。この遺跡では鍛冶工房跡が住居跡にみられたが、住居跡の木炭はコナラ・クヌギ炭であるから、同質のものが用いられたと推定され、上説と別である。

木炭の構造（略記）

クヌギ　Quercus acutissima Carruth

環孔材で、早材部の道管は大きく、1－2環くらいに並び、晩材部の道管は小さく、単独に放射方向に配列する。放射組織は単列のものと幅広い複合放射組織がある。これは炭化時の熱のためか、組織が融合均質になっていることがある。

コナラ　Quercus serrata Murray

早材部道管の大きな環孔材で、それは1－3環くらいに並び、晩材部へ移ると道管は急にごく小さくなり、多数集まって火炎状に配列するので、クヌギと区別できる。放射組織は単列のものと幅広い複合のものとがある。炭化による組織の融合均質化がみられる。

シデ類（クマシデ属）Carpinus sp. の1種

径2cmくらいの有髄の丸材である。道管が中位の大きさの散孔材であるが、集合放射組織があるため、いくぶん放射孔材型になる。道管は単穿孔。放射組織は1－3細胞幅で散在するか所々に数条集まっており、その年輪界は凹入することが多い。

ケヤキ　Zelkova serrata Makino

環孔材で早材部の道管は甚だ大きく、殆ど1環に並び、晩材部へ移ると、道管は急に小さくなり、断面多角形、多数集まって複合し、接線状や斜線状に並ぶ。側壁にラセン肥厚がある。放射組織は1－8細胞幅で両端の細胞はやや大きいが炭化のため収縮していることがある。

カエデ類　Acer sp. の1種

散孔材、道管は中位の大きさで、単独または2－3個連接して分布し、単穿孔、側壁にラセン肥厚がある。放射組織は同性で1－5細胞幅、カエデ類としては広い方である。広い部分を占める厚壁の木繊維組織が特有の模様を示している。

顕微鏡写真の説明

1．クヌギ（No.17、1号木炭窯）木口。晩材部小道管の単独配列、右側に広放射組織。以下のクヌギ木口面も同様。

2．同上、板目。中央に大きな広放射組織。

3．クヌギ（No.20、1、2号木炭窯前庭部）木口。

4．クヌギ（No.23、3号木炭窯）木口。

5．クヌギ（No.42）木口。

6. コナラ（№1、1号製鉄炉)。木口、晩材部小道管は集合して火炎状配列、左側に広放射組織。

7. コナラ（№31、6号木炭窯）木口。

8. 同上、板目。左側に広放射組織、右側に大きな早材部道管。

9. 同上、木口。中央部に融合均質化した放射組織。

10. シデ類（№5、2号製鉄炉）木口。中央に集合放射組織、年輪界の凹入。

11. 同上、柾目。

12. 樹皮（№25、3号木炭窯）横断面。靭皮組織中に厚壁細胞群。

13. ケヤキ（№11、3号製鉄炉）木口。晩材部小道管の集団の接線方向配列。

14. 同上、柾目。

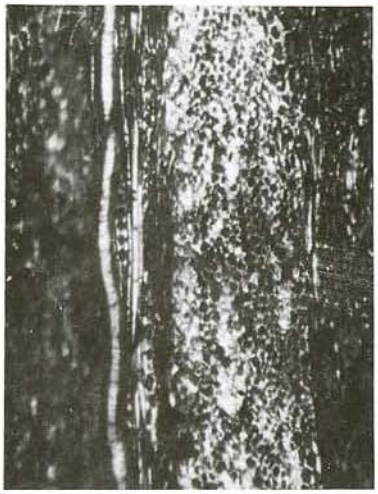
15. 同上、板目。小道管壁にラセン肥厚。

16. カエデ類（№10、2号製鉄炉）木口。木繊維組織の濃淡。

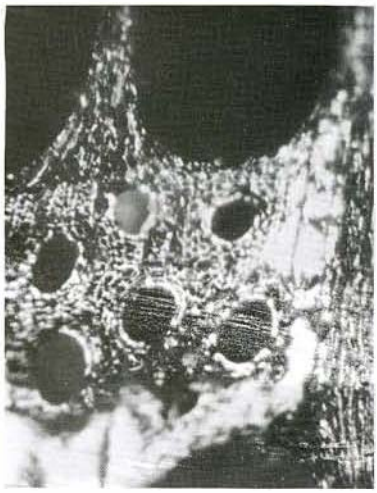
17. 同上、柾目。

18. 同上、板目。道管側壁にラセン肥厚、多細胞幅の放射組織。

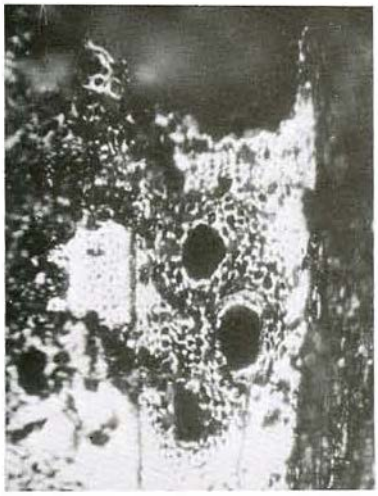
1．クヌギ(No17)木口



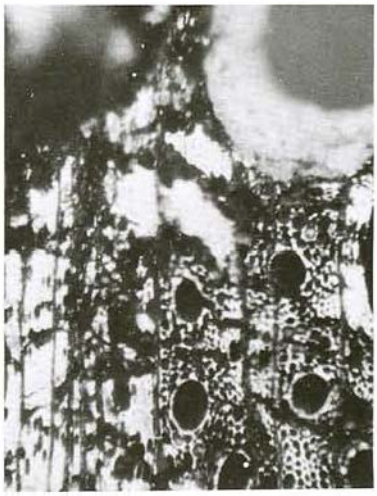
2．同左、板目



3．クヌギ(No20)木口



4．クヌギ(No29)木口

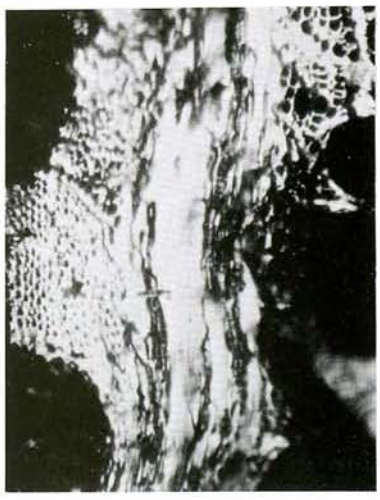


5．クヌギ(No42)木口

6．コナラ(No１)木口

7．コナラ(No31)木口

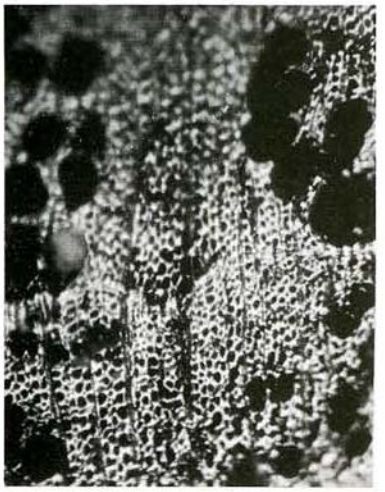
8．同左、板目



9．同左、木口

すべてX50

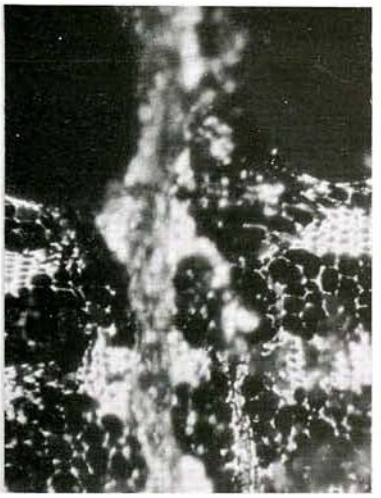
図版１　柏木遺跡出土木炭顕微鏡写真(1)



10. シデ類(No 5)木口

11.同左、柾目

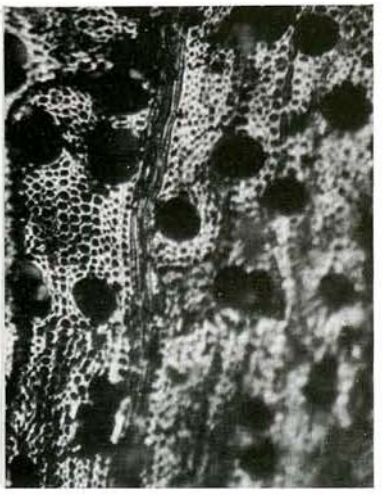
12. 樹皮(No25)横断面



13. ケヤキ(No11)木口

14. 同左、柾目

15. 同左、板目



16. カエデ類(No10)木口

17. カエデ類(No 6)柾目

18. 同左、板目

X50

図版 2　柏木遺跡出土木炭顕微鏡写真(2)

柏木遺跡出土鉄滓・砂鉄の分析調査

鴇田勝彦

Ⅰ　はじめに

宮城県多賀城市大代の柏木遺跡で古代の製鉄遺跡が発見された。これまで宮城県内で発掘調査された製錬炉跡には、白石市深谷の製鉄群(1)と松島町山下遺跡(2)仙台市茂庭嶺山C遺跡(3)の各1基がある。いずれも、製錬炉の残存部は必ずしも良好な状態で検出されなかった。また、鍛冶工房等の関連遺跡も発見されなかった。

今回調査された柏木遺跡は、起伏の小さな丘陵の斜面に立地しており、遺存状態の良い製錬炉・鍛冶工房・木炭窯がセットで検出された。製錬炉は、福島県新地町武井・向田遺跡(4)の竪形炉に類似した円筒形の半地下式竪形炉で、炉上部に方形状の土壙が付属していた。また、鍛冶工房は竪穴住居内にあり、木炭窯はいずれも地下式登り窯であった。遺構の年代は、伴出土器の編年から8世紀前半に比定されている。これは多賀城創建期にあたる。

柏木遺跡から出土した遺物には土師器、須恵器、送風管（大形羽口）、羽口の他に炉壁、砂鉄、木炭、鉄滓があった。送風管には内面に布目圧痕があった。鉄滓は製錬作業場、廃滓場から多量に出土した。鉄滓は、原鉱から製鉄を経て鍛造、鋳造して鉄器を製作する過程で発生し、工程毎に製錬滓(5)鍛冶滓(6)鋳物滓に分類されるが、製錬炉内及び周辺から出土したものは製錬滓と考えられる。ここでは、これら製錬滓に砂鉄と工房跡及び多賀城跡から出土した鉄滓を加えて、依頼された20点の供試試料について分析調査をした結果を報告する。

Ⅱ　調査方法

提供された鉄滓・砂鉄に、各々つぎの調査を行った。

① 内眼観察

② 光学顕微鏡観察

鉄滓は2分割して一方を検鏡試料とし、残りを分析用試料とした。検鏡試料は、＃320～＃2000のエメリーペーパーで研磨した後、酸化クロムを研磨剤としてバフ仕上をした。砂鉄は樹脂に埋め込んで、同様に研磨した。20試料とも、研磨のまま検鏡して構成鉱物の同定を行った。

ＭＴＫ－７で観察された金属鉄は、３％ナイタルで腐食して検鏡した。

③ 定性分光分析

試料の任意の箇所から、５g 程度の粉末試料をとって定性分光分析を行った。

④ 粉末Ｘ線回折法

鉄滓を構成している元素・酸化物がどんな形をしているかを知るため、粉末Ｘ線回折法を用いた。試料を粉末にし、Ｘ線回折計にかけて回折Ｘ線図を記録、ＡＳＴＭカードと照合して物質の同定をした。

⑤ 化学組成

酸化物のほとんどは蛍光Ｘ線分析で求め、他は湿式化学分析、原子吸光法で検出した。

第１表　供試試料と調査項目

試料		出土地	調査項目				備考
			光学顕微鏡	分光分析	Ｘ線回折	化学分析	
柏木遺跡出土鉄滓	ＭＴＫ－１	ＳＷ01製錬炉作業場	○	○	○	○	
	ＭＴＫ－２	同上　廃滓場	○	○	○	○	
	ＭＴＫ－３	同上　作業場	○				
	ＭＴＫ－４	同上　廃滓場	○	○	○	○	炉壁付着滓
	ＭＴＫ－５	同上　作業場	○				
	ＭＴＫ－６	ＳＷ03製錬炉廃滓場	○	○	○	○	
	ＭＴＫ－７	同上　廃滓場	○	○	○	○	
	ＭＴＫ－８	同上　廃滓場	○	○	○	○	炉壁付着滓
	ＭＴＫ－９	〃	○				
	ＭＴＫ－10	ＳＩ03住居跡　埋土	○				
	ＭＴＫ－11	ＳＩ02住居鉄滓地点	○	○	○	○	
	ＭＴＫ－12	同　上	○				
	ＭＴＫ－13	ＳＩ02住居跡	○	○	○	○	
	ＭＴＫ－14	ＳＩ03住居跡	○	○	○	○	
	ＭＴＫ－15	同上鉄滓層	○	○	○	○	
	ＭＴＫ－16	ＳＷ03製錬炉作業場	○	○	○	○	
	ＭＴＫ－17	ＳＷ01製錬炉作業場	○	○	○	○	
柏木遺跡出土	砂　鉄	ＳＷ03製錬炉作業場	○	○	○	○	
多賀城跡出土鉄滓	ＴＫＳ－１	ＤＴＧＲ・ＩＲ73	○	○	○	○	
	ＴＫＳ－２	ＤＴＧＲ・ＩＳ74	○	○	○	○	

Ⅲ　調査結果

第１表に示した試料の順に従って述べる。定性分光分析の結果は第２表に、Ｘ線回折による物質の同定は第３表に、そして化学組成は第４表に示す。顕微鏡組織は図版１～７に示した。

１．ＭＴＫ－１

１号製錬炉の作業場から出土した鉄滓で、表皮は全体的にくすんだ黒灰色を呈し、飴状の平滑面をもつ。破面は黒褐色を呈し、小さな気孔が多い。製錬流出滓と思われる。大きさは80×40×32mmあり、重さは125g 、比重は2.5であった。

＜鉱物組成＞白色の長柱状や針状に晶出したイルミナイト（Ilmenite：$FeO \cdot TiO_2$）と、灰白色盤状結晶のフェアライト（Fayalite：$2FeO \cdot SiO_2$）、それに黒灰色のガラス質から構成されている。ガラス質の中に糸状に白く見えるのはイルミナイトである。

Ｘ線回折法では、フェアライト（$2FeO \cdot SiO_2$）とイルミナイト（$FeO \cdot TiO_2$）の鉱物組成が強く同定された。また、少量のマグネタイト（Magnetite：Fe_3O_4）が認められた。

＜化学組成＞全鉄分（Total Fe）は23.42%と少ない。これに対して造滓成分（$SiO_2+Al_2O_3$ $CaO+MgO$）は39.79%とやや高目で、全鉄分の1.70倍あった。還元反応がかなり進行していたと思われる。二酸化チタン(TiO_2)は高目で19.45%あり、バナジウム(V)が0.60%であった。酸化カルシウム（CaO）が9.36%と高目であることも特徴的である。

チタン含有量の高い製錬滓であり、鉄収率はかなり良好であったと考えられる。

２．ＭＴＫ－２

１号製錬炉の廃滓場から出土した鉄滓で、表皮はMTK−1と同じくくすんだ黒灰色の飴状平滑面を有す。破面は黒褐色を呈し、小気孔はあるものの比較的密である。製錬流出滓と思われる。大きさは42×32×17mmあり、重さは36g 、比重は2.67であった。

＜鉱物組成＞顕微鏡組織は、鉄滓の観察面を変えるとその様相が異なることが多く、時には同一鉄滓と思われないものもある。〔2a〕では、白色多角形状のマグネタイト（Fe_3O_4）と灰白色針状のイルミナイト（$FeO \cdot TiO_2$）、淡灰色短柱状のフェアライト（$2FeO \cdot SiO_2$）それにガラス質で構成されている。〔2b〕では、白色小結晶が樹枝状に晶出したマグネタイトと灰色木ずり状のフェアライトが、ガラス質を地にしているのが観察された。

Ｘ線回折法で同定された主要鉱物組成は、フェアライト（$2FeO \cdot SiO_2$）とマグネタイト（Fe_3O_4）、それにイルミナイト（$FeO \cdot TiO_2$）であった。他にわずかに透輝石（Diopside：$CaO \cdot Mgo \cdot 2SiO_2$）が検出された。

＜化学組成＞全鉄分（Total Fe）は28.32%とやや低目である。それに比して造滓成分（$SiO_2+Al_2O_3+CaO+MgO$）は47.42%あり、炉壁スラグ付きのMTK－４、MTK−８を除くと試

第２表　供試試料の定性分光分析表

㈱トーキン分析課

試　料		Si	Mn	Cu	Cr	W	Mo	Ni	Co	V	Al	Fe	Ti	Mg	Pb	Sn	Zn	Ca	Na
柏木遺跡	MTK－1	+++	++	+	t・	−	−	t	t	++	++	++++	++++・	++	t	−	−	++	+
	MTK－2	+++	++	t	−	−	−	t	t	++・	++・	++++	++++	++	t	−	−	++・	+
	MTK－4	++++	++	t	t	−	−	t	t	++	+・	+++・	++++	+・	t	−	−	+	+・
	MTK－6	+++	++	t	t	−	−	t	t	++	++	++++	++++	++	t	t	−	+・	t
	MTK－7	+++	++	t	t	−	−	t	t	++	++	++++	++++	++	−	−	−	++	t
	MTK－8	++++	++	t	t	−	−	t	t	++	++	++++	++++	+	t	−	−	+	+・
	MTK－11	+++	++	t	t	−	−	t	t	++	++	++++	++++	++	−	−	−	++	+
	MTK－13	++++	++	t	t	−	−	t	t	++・	++++	++++	++++	+++	t	−	−	+++	+
	MTK－14	++++	++	t	t	−	−	t	t	++	++++	++++	++++	+++	t	−	−	+++	++
	MTK－15	++++	++	t	t	−	−	t	t	++・	++++	++++	++++	+++	t	−	−	+++	+・
	MTK－16	++++	++	t	t	−	−	t	t	++	++++	++++	++++	+++	t	−	−	+++	−
	MTK－17	++++	++	t	t	−	−	t	t	++	++++	++++	++++	+++	t	−	−	+++	+・
柏木遺跡出土砂　鉄		++・	++	t	t	−	−・	t	t	+	+	++++	+++	++	t	−	−	t	−
多賀城跡	TSK－1	++++	++	+・	t	−	t	t	t	++	++・	++++	+++	+	−	−	−	+	+
	TSK－2	++++	+・	+・	−	−	−	+	+	t	++	++++	++	+	t	−	−	+	−

◎ 記号　1.　＋＋＋＋＋スペクトル線最強（主体元素）
2.　＋＋＋＋　スペクトル線頗強（主体元素）
3.　＋＋＋　スペクトル線　強（少量元素）
4.　＋＋　スペクトル線鮮明（微量元素）
5.　＋　スペクトル線弱い（微量元素）
6.　Trace　スペクトル線辛うじて認め得る
7.　—　スペクトル線認め得ない
8.　・　上位記号との中間値

◎ 記号は縦に比較すべきで横に比較しても意味がない。

第３表　供試試料の粉末X線回折結果

㈱トーキン

試　料		Ul	Il	Fa	Wu	Ma	M・Fe	Go	Qu	Mu
柏木遺跡	MTK－1		2	1		4				
	MTK－2	2	4	1		3				
	MTK－4					4			1	2
	MTK－6	1		2			4			
	MTK－7		1	3			2	4		
	MTK－8		4						1	2
	MTK－11		1	2						
	MTK－13		3	1		2				
	MTK－14			1	4		3			
	MTK－15			2		1	4			
	MTK－16		3	2		1	4			
	MTK－17	3	4	1		2				
柏木遺跡出土砂　鉄			3			1				
多賀城跡	TKS－1			2	1					
	TKS－2			1	2				4	

Ul：ウルボスピネル（Ülvöspinel：2 FeO・TiO_2）
Fa：フェアライト（Fayalite：2 FeO・SiO_2）
Ma：マグネタイト（Magnetite：Fe_3O_4）
Go：ゲーサイト（Goethite：Fe_2O_3・H_2O）
Mu：ムル石（Mullite：3 Al_2O_3・2 SiO_2）
Il：イルミナイト（Ilmenite：FeO・TiO_2）
Wu：ウスタイト（Wusrite：FeO）
M. Fe：金属鉄（Metallic Fe）
Qu：石英（Quartz：SiO_2）
1～4：推定判定順位（多～少）

料中もっとも高く、対鉄比1.67であった。二酸化チタン（TiO_2)は5.17%と予想より低目だった。MTK－1と同じく酸化カルシウム（CaO）が11.28%と高い。

比較的鉄収率の良い製錬流出滓と推定できる。

3. MTK－3

1号製錬炉の作業場から出土した鉄滓で、表皮は暗褐色を呈し、焼けただれたようなブツブツがある。スミの噛みこみが認められた。破面は黒褐色を呈し、大きさのまちまちな気孔を有す。大きさは80×68×37㎜あり、重さは255g 、比重は3.1であった。

＜鉱物組成＞灰白色多角形状の大きな結晶ウルボスピネル（Ulvöspinel：$2FeO \cdot TiO_2$)と、白色針状のイルミナイト（$FeO \cdot TiO_2$)、それにガラス質で構成されている。

これから、この鉄滓は、製錬還元過程で発生した炉内残留滓であると考えられる。

4. MTK－4

1号製錬炉の廃滓場から出土した炉壁の片面に厚さ2～6㎜の鉄滓が付着していた。鉄滓の表皮は黒灰色を呈し、所所に小孔が見られる。破面は黒灰色をして空隙が多い。スサ入り炉材粘土は熱を受けて赤色化しているが、鉄滓に近づくに従って青灰色を呈す。試料の大きさは、炉壁粘土こみで220×128×40㎜あり、重さは675g あった。

＜鉱物組成＞赤色および青灰色の炉壁部分は、全面ガラス質で、含鉄鉱物は観察できなかった。薄い鉄滓部分でも地はガラス質で、含鉄鉱物は少なかった。〔4a〕では微細な白色樹枝状のマグネタイト（Fe_3O_4）の結晶が見られ、〔4b〕では白色針状のイルミナイト（$FeO \cdot TiO_2$）と灰白色盤状のフェアライト（$2FeO \cdot SiO_2$）が観察された。

X線回折法では、試料の中に炉壁部分がかなり混入したため、鉄分が少なくガラス質が多いので、全体的にやきものに類似した鉱物組成が同定された。石英（Quartz：SiO_2）が強く、ついでムル石（$3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$）が検出された。

＜化学組成＞炉壁の成分の影響を受けて、全鉄分（Total Fe)が非常に低く7.00%であり、造滓成分($SiO_2+Al_2O_3+CaO+MgO$)は多くて84.41%あった。二酸化チタン(TiO_2)、バナジウム(V)はそれぞれ0.33%、0.08%と低かった。このことは、炉壁粘土の化学組成を示唆するものといえる。

炉壁に付着した鉄滓は、冷却過程で含鉄鉱物を晶出した製錬滓である。

5. MTK－5

1号製錬炉周辺から出土した鉄滓で、青灰色の炉壁にべったり付着していた。炉壁材にはスサが入っている。鉄滓の表皮は赤褐色を呈し、破面は、赤褐色混じりの灰黒色層と灰黒色層とに分かれ、気孔が多い。大きさは炉壁粘土こみで57×55×36㎜あり、重さは101g、比重は1.80であった。

＜鉱物組成＞赤褐色混じりの灰黒色層では、灰色のガラス質の中から、微細な白色多角形状のマグネタイト（Fe_3O_4）と小さい針状のイルミナイト($FeO \cdot TiO_2$)がわずかながら晶出している〔5a〕。炉壁の粘土に隣接している灰黒色層では、円い気孔をもつ滑らかなガラス質〔5b〕と、微細なスポンジ状のガラス質〔5c〕から構成されていた。

炉壁に付着したこの鉄滓は、高温からの冷却過程で含鉄鉱物を晶出したもので、鉄分はかなり少なかったと推定される。

6. ＭＴＫ－6

３号製錬炉の廃滓場から出土した鉄滓で、表皮は飴状の平滑面をもち、黒灰色を呈す。裏面は小気孔の多く赤褐色をしている。破面は黒褐色を呈し、比較的密である。粘土の噛みこみがあった。大きさは33×27×18mmと小さく、重さは15g 、比重は2.81であった。

＜鉱物組成＞顕微鏡観察から、この鉄滓が、淡白色スケルトン状及び、樹枝状のウルボスピネル（$2FeO \cdot TiO_2$）と灰色木ずり状のフェアライト（$2FeO \cdot SiO_2$）から構成されているのがわかる。また、一部ゲーサイト（Goethite：$Fe_2O_3 \cdot H_2O$)になっている､白色円形状の金属鉄（Metallic Fe)が観察された〔6c〕。

＜化学組成＞全鉄分（Total Fe)は、還元反応がかなり進行していて31.27%と少ない。造滓成分（$SiO_2+Al_2O_3+CaO+MgO$）は32.5%とやや高い。二酸化チタン（TiO_2）は高目で15.68%あり、バナジウム（Ｖ）は0.69%であった。

高チタン含有の製錬流出滓であり、鉄収率はかなり良好であったと推定できる。

7. ＭＴＫ－7

３号製錬炉の廃滓場から出土した鉄滓で、表皮は赤褐色を呈し、全体的に焼けただれた様相をしている。破面は、小さな気孔をもつ黒褐色面の中に、茶褐色の鉄錆様面が点在する。研磨すると、金属光沢をもつ金属鉄が現れた。大きさは70×52×50mmあり、重さは181g あった。比重は3.12あって、供試試料中もっとも大きい値だった。

＜鉱物組成＞金属鉄の多い部分では、白色に輝く不定形の金属鉄と、その周辺が酸化されてできたゲーサイト（$Fe_2O_3 \cdot H_2O$)、灰色短柱状のフェアライト（$2FeO \cdot SiO_2$)、そしてガラス質で構成されている〔7a〕。検鏡面の80%以上を占めていたのは、灰白色の長柱状結晶イルミナイト（$FeO \cdot TiO_2$）とガラス質の鉱物組織だった〔7b〕。

Ｘ線回折法で同定された主要鉱物組成は、イルミナイトと金属鉄、ゲーサイトだった。

＜化学組成＞全鉄分（Total Fe）は36.41%とやや高い。含有金属鉄の定量はしなかったが、鉱物組成から10%前後と推定できよう。造滓成分（$SiO_2+Al_2O_3+CaO+MgO$）は24.65%と低目で、対鉄比は0.639であるが、金属鉄を除いた箇所のそれはMTK－１らと類似していると思われる。二酸化チタン（TiO_2）は16.94%と高かった。

第4表　鉄滓・砂鉄の化学分析結果

㈱トーキン分析課

試　料	全鉄 T・Fe	二酸化硅素 SiO_2	酸化アルミニウム Al_2O_3	酸化カルシウム CaO	酸化マグネシウム MgO	酸化マンガン MnO	二酸化チタン TiO_2	酸化クロム Cr_2O_3	硫黄 S	炭素 C	バナジウム V	銅 Cu	造滓成分	造滓成分/全鉄	TiO/全鉄
柏木　MTK－1	23.42	21.44	6.16	9.36	2.83	1.03	19.45	0.04	0.021	0.197	0.60		39.79	1.70	0.830
MTK－2	28.32	26.34	4.93	11.28	4.87	1.00	5.17	0.03	0.022	0.063	0.67		47.42	1.67	0.183
MTK－4	7.00	61.46	16.20	5.41	1.07	0.12	0.33	0.02	0.001	0.049	0.08		84.14	12.02	0.047
MTK－6	31.27	18.67	5.59	5.75	2.49	0.94	15.68	0.04	0.011	0.497	0.69		32.50	1.04	0.501
MTK－7	36.41	11.37	2.74	7.22	3.32	0.84	16.94	0.04	0.030	0.153	0.73		24.65	0.677	0.465
MTK－8	9.84	56.41	14.42	3.75	0.73	1.94	2.67	0.04	0.002	0.215	0.43		75.31	7.65	0.271
MTK－11	29.15	14.11	3.70	7.90	4.19	0.10	22.35	0.03	0.028	0.127	0.82		29.90	1.03	0.767
MTK－13	37.41	15.26	5.52	0.91	2.21	0.39	9.29		0.028	1.41	0.39	0.004	23.90	0.639	0.248
MTK－14	30.09	22.58	7.91	1.23	1.29	0.23	4.65		0.096	1.68	0.17	0.004	33.01	1.097	0.155
MTK－15	43.93	13.72	4.54	1.55	2.44	0.50	12.34		0.012	1.29	0.39	0.004	21.73	0.495	0.281
MTK－16	35.65	15.57	5.45	1.14	1.47	0.29	7.26		0.028	4.49	0.17	0.005	23.63	0.663	0.204
MTK－17	38.25	18.92	4.82	2.28	2.03	0.36	5.92		0.025	1.13	0.11	0.004	28.05	0.733	0.136
柏木遺跡出土砂鉄	53.40	5.20	7.77	0.70	1.46	0.06	10.45	0.04	0.020	0.040	0.81		15.13	0.283	0.196
多賀城跡TKS－1	40.71	22.85	5.50	2.10	0.93	0.02	4.00	0.04	0.001	0.259	0.81		25.89	0.639	0.098
TKS－2	45.12	18.39	4.93	2.10	0.63	0.66	0.67	0.02	0.007	1.980	0.77		26.05	0.577	0.015
多賀城跡鍛冶滓(1)	50.87	23.92	3.85	1.05	0.42	0.10	0.16		0.036			0.008	29.24	0.575	0.003
峰山C (2)MCS－1	39.00	18.22	5.89	1.46	2.92	0.85	11.99	0.05	0.0193	0.0205	0.54	0.006	28.49	0.730	0.305
MCS－5	35.79	21.41	7.80	1.31	2.51	0.79	11.21	0.06	0.0096	0.0822	0.75	0.005	33.03	0.923	0.313
西館裏(2)　SN－2	20.98	26.29	7.68	3.41	4.15	1.06	11.86	0.15	0.0050	0.1754	0.86	0.005	41.53	1.98	0.565
山下C (3)　MY－3	27.21	28.28	6.44	2.76	4.60	0.76	15.64	0.025	0.020	0.32	0.032	0.035	42.08	1.546	0.575
MY－4	22.12	16.52	4.40	3.01	5.91	1.09	24.60	0.063	0.030	0.30	0.022	0.004	29.84	1.349	1.112

1）窪田蔵郎「多賀城鍛冶工房遺構と出土鉄滓」『多賀城跡調査研究所年報1976』1977

2）鴇田勝彦「仙台市峰山C 遺跡出土鉄滓の分析調査」『茂庭』1983

3）鴇田勝彦「山下遺跡C 区出土鉄滓の分析調査」『館山館跡・山下遺跡』1982

＜金属鉄の組織＞金属鉄の金属組織を知るため、３％ナイタルで腐食して検鏡した。〔7Ma〕では、網目状の細線で囲まれた粒状結晶が見られる。囲まれた一つ一つが結晶粒で、細線が結晶粒界である。結晶粒内の地はフェライト（Ferrite：α－Fe）で、純鉄に近い。〔7Mb〕では、結晶粒界が明確でなかったが、フェライトを地にして、三角形等の小さな黒灰色のパーライト（Pearlite）が観察された。パーライトの量から、この金属鉄の平均炭素量は約0.15％だったと思われる。

これらのことから、この鉄滓は、製錬過程の還元期に共存していた金属鉄とイルミナイトが分離できずに生じた炉内残留滓であったと推定できる。

8. ＭＴＫ－８

３号製錬炉の廃滓場から出土した鉄滓で、炉壁に付着していた。表皮は黒灰色飴状を呈し、破面は黒灰色をして空隙が多い。鉄滓に接触しているスサ入り粘土は青灰色をしている。試料の大きさは、炉壁こみで110×75×34mmあり、重さは205g であった。付着鉄滓の厚さは３～10mmである。

＜鉱物組成＞青灰色の炉壁部分の検鏡では、全面ガラス質で含鉄鉱物は見られなかった。薄い鉄滓部分では、ガラス質と灰白色の短柱状や針状に晶出したイルミナイト（$FeO \cdot TiO_2$）が主体鉱物として観察された。また、短柱状イルミナイトの結晶の周辺が酸化されて、白色を呈するヘマタイト（Hematite：Fe_2O_3または$\alpha-Fe_2O_3$）が生じていた。

Ｘ線回折法では、炉壁材の影響で、ＭＴＫ－４と同じように全体的にやきものに類似した鉱物組成が同定されている。石英（SiO_2）が強く、ついでムル石（$3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$）が検出された。

＜化学組成＞試料に混入した炉壁成分のため、全鉄分（Total Fe）が9.84％と低く、造滓成分（$SiO_2+Al_2O_3+CaO+MgO$）は75.31％と高目だった。二酸化チタン（TiO_2）は2.67％と低目だが、対鉄比は0.271だった。

二次ヘマタイトは、晶出したイルミナイトがある時間酸化されたときできることがある。これは、この鉄滓が製錬過程の造滓期に発生した炉内残留滓であることを裏付けている。

9. ＭＴＫ－９

廃滓集中地から出土した鉄滓で、表皮は所所に黒褐色のある褐色を呈し、片面が飴状の平滑面を有す。破面は、大きさまちまちの気孔をもち黒褐色を呈す。大きさは92×44×54mmあって重さは202g 、比重は2.97であった。

＜鉱物組成＞大きく成長した灰白色多角形状のウルボスピネル（$2FeO \cdot TiO_2$）と、ガラス質から構成されている。また、ガラス質から小さい樹枝状のマグネタイトが晶出しているのが観察された〔9b〕。前者は溶解中に粒成長した結晶で、後者は冷却過程で晶出したものである。

10．ＭＴＫ－10

SI03工房跡埋土から出土した鉄滓で、表皮は赤褐色を呈す。炭化物の噛みこみがあった。破面は黒褐色をしており、小さな気孔が多い。大きさは50×37×28mmで、重さ44g 、比重2.59であった。

＜鉱物組成＞検鏡組織で、淡白色スケルトン状のウルボスピネル（$2FeO \cdot TiO_2$）と灰色盤状のフェアライト（$2FeO \cdot SiO_2$）が主鉱物であることがわかった。また、白色針状のイルミナイト（$FeO \cdot TiO_2$）がわずかに観察された。

この鉄滓は、製錬過程の造滓期に発生したものであると推定される。

11 .ＭＴＫ－11

SI02工房跡の鉄滓集中地点から出土した鉄滓で、表皮は赤褐色を呈し、黒褐色の破面は、大きな気孔が2.3あるものの比較的密である。大きさは68×56×50mmあり、重さが245g あった。比重は3,18と試料中もっとも大きい。

＜鉱物組成＞巨大結晶となった白色長柱状のイルミナイト（$FeO \cdot TiO_2$）と灰色不整形のフェアライト（$2FeO \cdot SiO_2$）それにガラス質で構成されている。また、量は少ないが、大きく成長した灰白色多角形状のウルボスピネル（$2FeO \cdot TiO_2$）が観察された。

Ｘ線回折法では、フェアライト（$2FeO \cdot SiO_2$）とイルミナイト（$FeO \cdot TiO_2$）が強く同定された。

＜化学組成＞分析果晶を見て目につくのは、二酸化チタン(TiO_2)が試料中もっとも高い22.35％定量されたことである。全鉄分（Total Fe）は29.15％とやや低目で、造滓成分（SiO_2＋Al_2O_3＋CaO+MgO）は29.9％だった。バナジウム（Ｖ）も0.82％と高目だった。

この大きなイルミナイトは、溶解析出機構によって粒成長した結晶と考えられ、鉄滓ＭＴＫ－11が炉内残留滓であったことを示唆している。

12．ＭＴＫ－12

ＳＩ02工房跡の鉄滓集中地点から出土した鉄滓で、表皮は赤褐色を呈し、破面は気孔が少なく黒褐色と茶褐色をしている。MTK－11とよく似ている。大きさは67×40×38mmで、重さ83g、比重2.96だった。

＜鉱物組成＞検鏡した中のほとんどは、大きな長柱状のイルミナイト（$FeO \cdot TiO_2$）とガラス質で構成されている。また、部分的にではあるが、イルミナイトの他に、灰白色スケルトン状のウルボスピネル（$2FeO \cdot TiO_2$）と灰色多角形状のフェアライト（$2FeO \cdot SiO_2$）が観察された。

ＭＴＫ－11と同じような条件下で発生した、炉内残留滓であったと考えられる。

13．ＭＴＫ－13

SI 02工房跡のD－4溝埋土から出土した鉄滓で、表皮は赤褐色を呈し、黒褐色の破面は気孔が少なく比較的密である。大きさは28×24×15mmあり、重さが24g あった。

＜鉱物組成＞灰白色多角形状のウルボスピネル（$2FeO \cdot TiO_2$）と、白色をした長柱状や針状のイルミナイト（$FeO \cdot TiO_2$）が観察された。地は灰色不整形のフェアライト（$2FeO \cdot SiO_2$）である。

X線回折法：フェアライト（$2FeO \cdot SiO_2$）とマグネタイト（Fe_3O_4）が強く、次いでイルミナイト（$FeO \cdot TiO_2$）が同定された。

＜化学組成＞全鉄分（Total Fe）は37.41％とやや高目である。造滓成分（$SiO_2+Al_2O_3+CaO+MgO$）は23.9％と低目で対鉄比は0.64であった。二酸化チタン（TiO_2）は9.29％あった。

この鉄滓は鍛冶工房跡の出土であるが、顕微鏡組織のウルボスピネル、イルミナイトの晶出や、化学組成からみて製錬滓に分類できる。

14. MTK－14

SI 03工房跡の鉄滓層から出土した鉄滓で、表皮は赤褐色を呈し、褐色の色をした破面は小さな気孔を持つ。大きさは57×28×20mmあり、重さは38g だった。

＜鉱物組成＞樹脂に埋め込んだ小さな試料の検鏡部分は、他の供試鉄滓のそれと様相を異にしていた。錆びた鉄製品の顕微鏡組織に見られる組織に類似していた。横に繊維状に伸びたヘマタイト（Hematite：Fe_2O_3）があり、内部には楕円形の小さなウスタイト（Wustite：FeO）が観察された。

X線回折法：フェアライト（$2FeO \cdot SiO_2$）が強く同定され、次いでゲーサイト（$Fe_2O_3 \cdot H_2O$）とウスタイト（FeO）が僅かに検出された。

＜化学組成＞全鉄分は30.09％とやや低目である。造滓成分（$SiO_2+Al_2O_3+CaO+MgO$）は22.58％で、対鉄比は1.1と追加試料中では高目だった。二酸化チタン（TiO_2）は4.65％で、対鉄比は0.155と低目だった。

この鉄滓は、鍛冶工房跡の出土であり、鉱物組成・化学組成からみて、金属鉄と混在している製錬滓を除去する過程で発生した精錬鍛冶滓と考えられる。

15. MTK－15

SI 02工房跡の鉄滓層から出土した鉄滓で、表皮は暗褐色でやや粗鬆なを肌有す。破面は黒褐色をし、小さな気孔をもっていた。大きさは45×35×30mmで、重さは34g であった。

＜鉱物組成＞灰白色多角形状の大きなマグネタイト（Fe_3O_4）と灰色盤状のフェアライト（$2FeO \cdot SiO_2$）、暗灰色のガラス質から構成されている。また、白色不整形の金属鉄（Metallic Fe）が観察された。

X線回折法：マグネタイト（Fe_3O_4）が強く同定され、次いでフェアライト（$2FeO \cdot SiO_2$）、金属鉄（Meiallic Fe）が検出された。

＜化学組成＞全鉄分（Total Fe）は43.93%と供試試料中最も高かった。造滓成分（$SiO_2 + Al_2O_3 + CaO + MgO$）は21.73%で、対鉄比が0.5と低目だった。二酸化チタン（TiO_2）は12.34%とやや高目で、バナジウム（V）は0.39%であった。

この鉄滓は、化学組成の二酸化チタンやバナジウム等の含有量からは製錬滓に区分されるべきだが、鍛冶工房跡から出土したことや顕微鏡組織からみて、精錬鍛冶滓の可能性が高い。

16.　MTK－16

3号製錬炉の作業場ℓ－12層から出土した鉄滓。供試された22ケの小さな試料の中の一つで表皮は黒褐色で小さなブツブツがみられる。破面は黒褐色を呈し、細かい気孔があるものの密である。大きさは12×15×8mmあり、重さは12g であった。

＜鉱物組成＞白色多角形状及び、樹枝状のマグネタイト（Magnetite：Fe_3O_4）と灰色多角形状のフェアライト（$2FeO \cdot SiO_2$）から構成されている部分（16－a）と、白色格子組織のイルミナイト（Ilmenite：$FeO \cdot TiO_2$）の大きな結晶のある部分（16－b）が観察された。

X線回折法：同定された主要鉱物組成は、マグネタイト（Fe_3O_4）とフェアライト（$2FeO \cdot SiO_2$）であった。また、イルミナイト（$FeO \cdot TiO_2$）も検出された。

＜化学組成＞全鉄分（Total Fe）は35.65%とやや高目だった。造滓成分（$SiO_2 + Al_2O_3 + CaO + MgO$）は23.63%で、対鉄比が0.66だった。二酸化チタン（TiO_2）は7.26%、対鉄比で0.2含有されていた。

製錬滓の炉内残留滓と推定できる。

17.　MTK－17

1号製錬炉の廃滓場から出土した鉄滓で、表皮はやや青みがかった暗褐色を呈し、一部に褐色の粗鬆な肌をもっている。破面は黒褐色で小さな気孔がみられる。大きさは30×21×10mmあり、重さは25g であった。

＜鉱物組成＞白色針状に晶出したイルミナイト（Ilmenite：$FeO \cdot TiO_2$）と、白色多角形状のウルボスピネル（Ulvospinel：$2FeO \cdot TiO_2$）、それに灰色木ずり状のフェアライト（Fayalite：$2FeO \cdot SiO_2$）から構成されている。他に僅かながら金属鉄（Metallic Fe）も観察された。

X線回折法：鉱物組成の主体はフェアライト（$2FeO \cdot SiO_2$）であり、次いでウルボスピネル（$2FeO \cdot TiO_2$）が同定された。

＜化学組成＞全鉄分（Total Fe）は38.25%とやや高目であった。造滓成分（$SiO_2 + Al_2O_3 + CaO + MgO$）は28.05%あり、対鉄比0.73だった。鉱物組成でイルミナイト、ウルボスピネ

ルが検出されたが、二酸化チタン（TiO_2）は、5.92%と予想より低目だった。

製錬滓に分類できる。

18.　柏木遺跡出土砂鉄

3号製錬炉作業場内に堆積残留していた砂鉄は、粒子が微細で黒色粒の量が多かったが、赤褐色粒を混じていた。磁石を使ったところ、着磁率は60%前後だった。思ったより着磁率が高く、磁鉄鉱（マグネタイト：Fe_3O_4）が主体鉱物であることを予想させる。

＜鉱物組成＞白色粒子のマグネタイト（Fe_3O_4）が主体〔13a〕で、これに格子組織のチタン鉄鉱（イルミナイト：$FeO \cdot TiO_2$）がわずかに混在〔13b〕していた。また、灰色の砂粒子も混じっており〔13c〕、砂鉄との分離が厳密にはできなかったことを示している。砂鉄粒子の大きさは、0.1～0.2mmと小さかった。

X線回折法では、マグネタイト（Fe_3O_4）が強く同定された。イルミナイト（$FeO \cdot TiO_2$）もわずかながら検出された。

＜化学組成＞全鉄分（Total Fe）が53.40%あり、二酸化チタン（TiO_2）は10.45%、酸化カルシウム（CaO）0.70%、酸化マグネシウム（MgO）1.46%、酸化マンガン（MnO）0.06%であった。

以上から、出土砂鉄は塩基性砂鉄に区分されよう。

19. 多賀城跡出土鍛冶滓　ＴＳＫ－1

多賀城跡DTGR・IR73・164埋土[7]から出土した鉄滓で、表皮は赤褐色を呈し円みがある。破面は、気孔が多く黒褐色をし、一部鉄錆が認められた。大きさは48×30×34㎜あり、重さ57g、比重2.59であった。

＜鉱物組成＞円みを帯びた灰色盤状結晶のフェアライト（$2FeO \cdot SiO_2$）を地にして、白色粒状のウスタイト（Wustite：FeO）が全体的に分布している。また、金属鉄が酸化してできたゲーサイト（$Fe_2O_3 \cdot H_2O$）も観察された。

X線回折法で同定された主要鉱物組成は、フェアライト（$2FeO \cdot SiO_2$）とウスタイト（FeO）であった。一般的な鍛冶滓の組成といってよい。

＜化学組成＞全鉄分（Total Fe）が40.71%と高目である。造滓成分（$SiO_2+Al_2O_3+CaO+MgO$）は25.89%あり、二酸化チタン（TiO_2）も4.00%と、共にやや高目だったが、対鉄比がそれぞれ0.639と0.0983で、県内他遺跡出土の鍛冶滓と類似した値を示している。

含有チタンのやや高い鍛冶滓と推定される。

20.　多賀城跡出土鍛冶滓　ＴＳＫ－2

多賀城跡ＤＴＧＲ・IS74・3B層[8]から出土した鉄滓で、ブツブツのある表皮は紫がかった赤褐色をしている。破面は黒褐色を呈しているが、一部に粘土の噛みこみが見られた。大きさ

62×41×38㎜、重さ73g で比重は2.28であった。

＜鉱物組成＞白色粒状のウスタイト（FeO）のみが密集している面があった〔15a〕。大部分は粒状のウスタイトと灰色長柱状のフェアライト（2FeO・SiO_2）が主要鉱物組成である〔15b〕。

X線回折法では、フェアライト（2FeO・SiO_2）とウスタイト（FeO）が強く同定された。わずかだが、石英（SiO_2）が検出された。

＜化学組成＞全鉄分(Total Fe)は45.12%と、供試鉄滓中もっとも高かった。造滓成分(SiO_2＋Al_2O_3＋CaO＋MgO）は26.05％とやや高目だったが、二酸化チタン(TiO_2)は0.67％と低目だった。対鉄比はそれぞれ0.577、0.015であって、典型的な鍛冶滓の化学組成を示している。

この鉄滓は、質のよい還元鉄を素材にして発生した鍛冶滓と考えれる。

Ⅳ 考　察

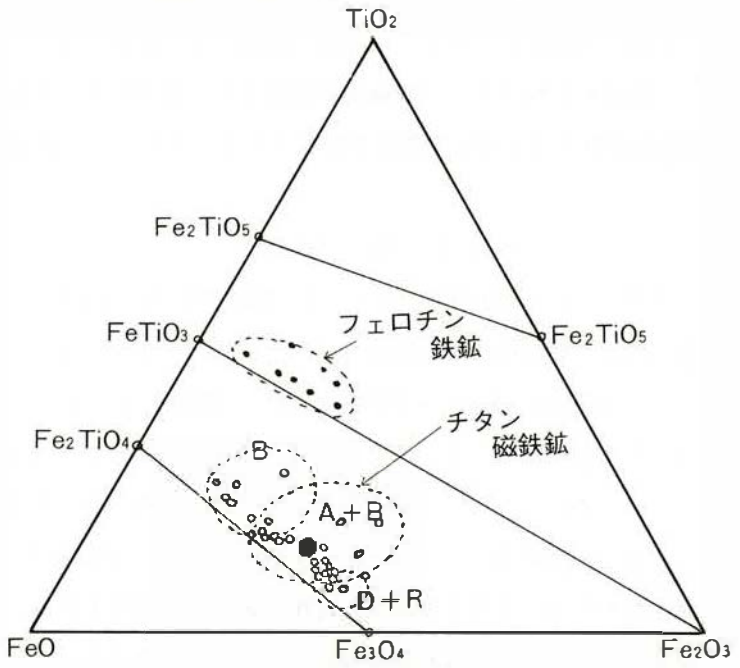
1. 原料砂鉄と鉄収率

遺跡内から砂鉄が出土した。3号製錬炉上部の方形状土坑（壙）の堆積土中、および3号炉作業場内の炉壁近くからまとまって出土している。この製鉄遺跡で使用された原料砂鉄とみていいだろう。成分分析の結果、出土砂鉄はチタンの含有量が多い塩基性砂鉄であった。赤褐色粒を混じ、粒の大きさは微細（0.1～0.2㎜）であった。これは、チタン含有量の少ない真砂砂鉄に対して赤目砂鉄とも呼ばれ、東北地方の砂鉄はほぼこれに属するといわれている[9]。

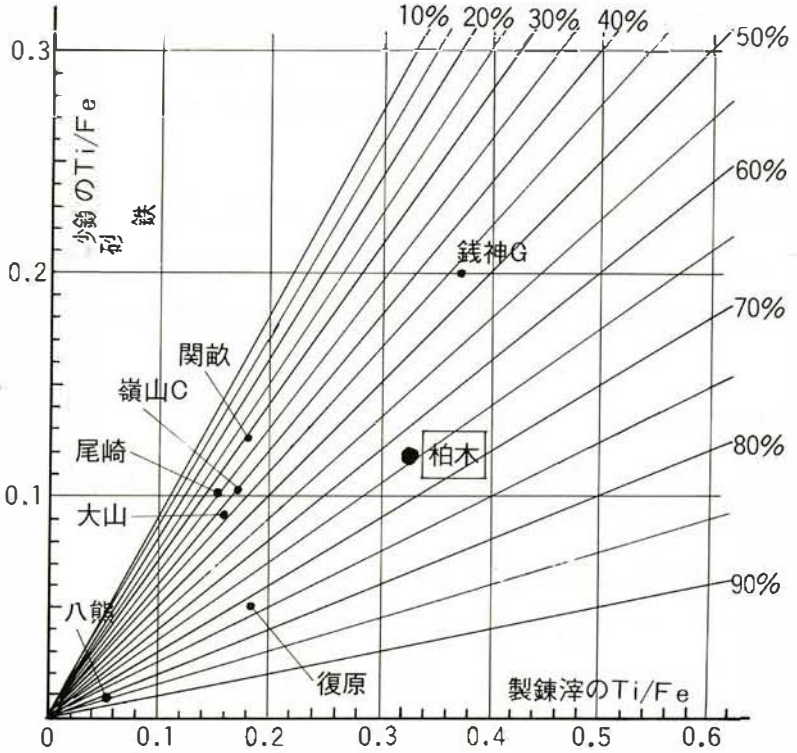
X線回折法による主要鉱物組成はマグネタイト（磁鉄鉱Magnetite：Fe_3O_4）であったが、マグネタイトはスピネル構造の結晶で、同じ結晶構造のウルボスピネル(Ulvöspinel：2FeO・TiO) と固溶体をつくりやすい。ここで同定されたマグネタイトも、ウルボスピネルを固溶したもので、「チタン磁鉄鉱」[10]という学名が付けられている。この2鉱物の他に、顕微鏡組織ではイルミナイト（Ilmenite チタン鉄鉱：FeO・TiO_2）粒が観察されたが、ごく微量であった。

そこで、出土砂鉄に含まれていた二酸化チタン（TiO_2)が、すべてウルボスピネル(2FeO・TiO_2)を形成したと仮定して、マグネタイトへの固溶度を考えてみる。TiO_2 10.45%がウルボスピネル（2FeO・TiO_2）をつくるには、FeOを18.81%（Fe 14.67%）要する。全鉄分の残り38.70%がマグネタイト（Fe_3O_4）を形成していることになり、その量は53.49%となる。従って、出土砂鉄は、マグネタイト65%にウルボスピネル35%が固溶したチタン磁鉄鉱であると推定できる。これをもとにイルミナイト等を考慮して、「FeO－Fe_2O_3－TiO_2の三成分系の組成三角図」[11]（第1図）にプロットすると、●点に位置づけられる。母岩は、火成岩の1種

B ：玄武岩中のものD＋R：石英安山岩及び花崗岩中のもの
A＋B：玄武岩及び安山岩中のもの



第1図　火成岩中のFeO－Fe_2O_3－TiO_2系の酸化物



第2図　製錬滓のTi/Fe－砂鉄のTi/Feと鉄収率

である玄武岩と推定される。これは塩基性に属する。

つぎに鉄収率がいくらだったか考えてみる。製錬炉内の還元反応でチタン磁鉄鉱から金属鉄を取り出すことは、同時に砂鉄中のチタンを鉄滓中に濃縮させて除去することでもある。考察を単純化するために、砂鉄中のTiがすべて製錬滓に濃縮されて除かれたと仮定する。つまり、砂鉄中のTi/Feが製錬滓中のTi/Feに濃縮されたとする。このとき、鉄収率は次の式で表すことができる。

$$\eta = 1 - (G/S) \quad (2)$$

ただし、G：砂鉄のTi/Fe　S：製錬滓のTi/Fe

炉壁粘土成分の多い鉄滓と精錬鍛冶滓を除いたMTK－1・2・6・7・11の5試料のTi/Feの平均値は0.329である。砂鉄中のTi/Feが0.117だから、鉄収率は64.4%となる。実際には、鉄滓と分離できなかった金属が残ったり、試料と異なる多様が成分をもつ鉄滓があり、さらにはフェアライト（$2FeO \cdot SiO_2$）のような鉄化合物もあるので、真の鉄収率は計算した値より小さくなるだろう。しかし、鉄滓中にイルミナイト（$FeO \cdot TiO_2$）が形成されていることからも、かなり高い値が予想される。少なくとも55%前後であったと推定される。これは、原料砂鉄中のTi/Feが極端に小さい福岡県八熊遺跡[13]を除けば、埼玉県大山遺跡[14]や福島県銭神C遺跡[15]や宮城県峰山C遺跡[16]の鉄収率より高い（第2図）。

2. 鉄滓の形成温度と炉内雰囲気

調査で明らかになった製錬炉は半地下式竪形炉であった。柏木遺跡に特徴的な事は、炉を据えた上部に方形の掘り込みがあり、前面には半楕円形の作業場があることである。福島県新地町向田・武井遺跡や群馬県太田市菅ノ沢遺跡[17]の竪形製錬炉に類似していることに注意しておきたい。

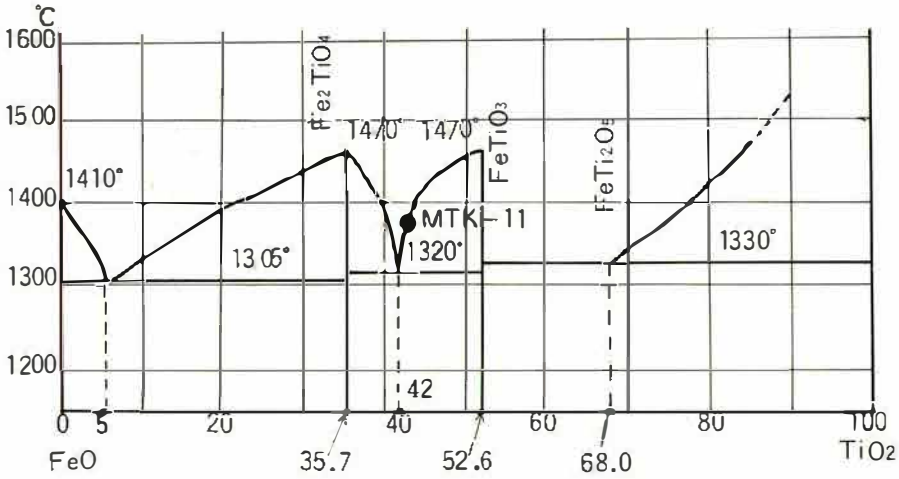
柏木遺跡製錬炉の残存炉内寸法（内径×高さ）はおおよそ、1号炉で0.7×1.0m、3号炉で0.5×1.0mであった。上部構造が破損しているから、実際の炉高はもっと高かったはずである。このように、竪形炉は炉断面に比して炉高が高いので、還元性雰囲気をもつ区間が長いといえる。

＜鉄滓構成鉱物の形成温度からみた製錬温度＞

供試試料のうち製錬滓の主要鉱物組成は、フェアライト（Fayalite：$2FeO \cdot SiO_2$）とイルミナイト（Ilmenite：$FeO \cdot TiO_2$）、ウルボスピネル（Ulvöspinel：$2FeO \cdot TiO_2$）だったので、これらの形成温度から製錬温度を推定する。

鉄硅化物であるフェアライト（$2FeO \cdot SiO_2$）の融点1205℃である。従って、鉄滓の冷却過程でフェアライトの結晶が晶出したなら、製錬温度の下限は約1200℃と見なすことができる。

鉄－チタンの酸化物であるイルミナイト（$FeO \cdot TiO_2$）、ウルボスピネル（$2FeO \cdot TiO_2$）



第3図　FeO－TiO_2系状態図

の融点は、FeO－TiO_2系状態図[18]から1470℃と高温である。しかし、この状態図は共晶型なので、融点は1305～1470℃、1320～1470℃の範囲にある。例として、MTK－11の場合を試算してみた。成分組成をみて、FeO－SiO_2－TiO_2の3元系として単純化してすすめた。T・TeをFeOとすると、3元系の含有割合は37.6－14.11－22.35%となる。顕微鏡組織を考慮して、FeOの70%がチタン除去に使われたものと仮定すると、FeO：TiO_2＝54：46になり、状態図にプロットすると●点になる。融点は1350℃前後に下がる。

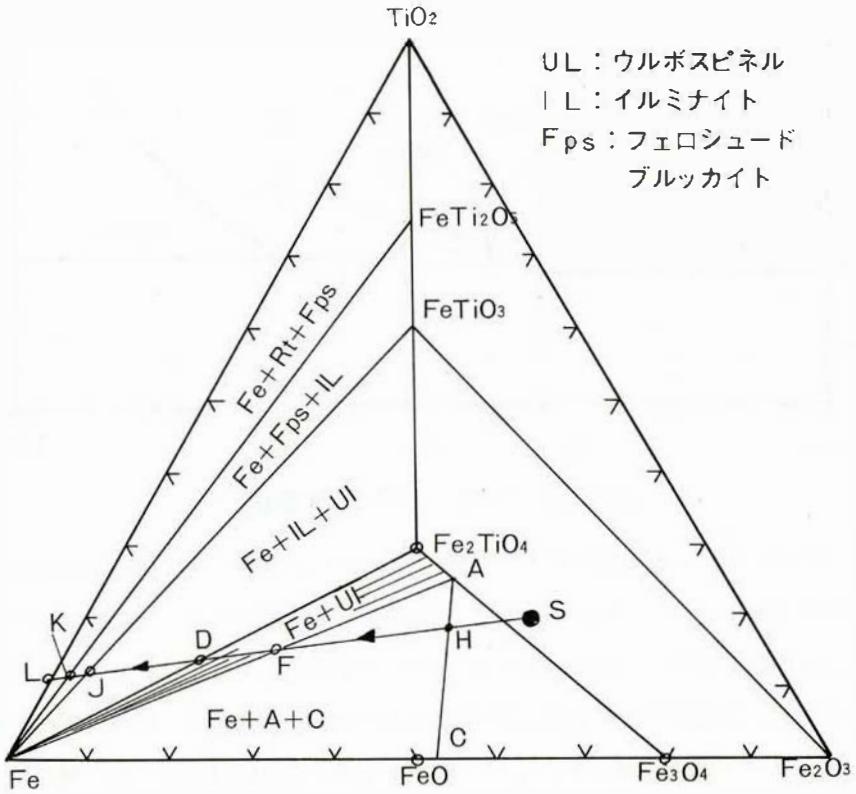
以上、鉄滓を構成している鉱物の形成温度から製錬温度を推定すれば、1350℃前後になろう。このことは、炉内全体がこの温度以上であることを意味しているわけではない。装入された砂鉄が還元されながら落下していく過程のある範囲で、この温度が保持されていればいいのである。

＜CO_2/COから想定される炉内雰囲気＞

炉内における製錬反応のいかんは、炉内の各種固体物質を取り巻く気体中のCO_2/COにかかっているといわれている[19]。

CO_2/COが小さくなってある値に達すると、金属鉄と共存する酸化物のチタンは多くなりウルボスピネル（2FeO・TiO_2）➡イルミナイト（FeO・TiO_2）➡フェロシュードブルッカイト（Ferropseudobrookite：Fe_2O_3・TiO_2と移行する。それに伴って、Fe/Tiが2から1、1/2と小さくなりチタンを除去するに必要な鉄の量は減少する。つまり、CO_2/COが小さい（COが多い）方が、鉄収率がよいことになる。チタンの多い原料砂鉄ではなおさらCO_2/CO を下げねばならない。

第4図のFe－Fe_2O_3－TiO_2平衡図[20]を使って柏木遺跡出土砂鉄Sが還元される過程を考えてみる。炉内のCO_2/COの値が低くなると、Sの組成は矢印に従って順次移動していく。CO_2/CO が0.285を過ぎると、点Fなる組成になり、Aというウルボスピネル及び金属鉄Fe が生



第4図　Fe−Fe2O3−TiO2系平衡図

成される。CO2/COが約0.2になると点Dなる組成になり、純粋なウルボスピネルと鉄が得られるが、0.2をわずかでも越えて低くなるとイルミナイトと鉄が生成される。この点Dが点Jに急変するのはCO2/CO値が0.199であるという。

柏木遺跡出土鉄滓のうち流出滓はウルボスピネルとイルミナイトが共存していたので、炉内はCO2/CO値が0.2前後だったと推定できる。このことは、炉内がかなり高い還元性雰囲気をもっていたことを意味している。そのためには、炉の形態と送風方法を工夫しなければならなかったと思われる。採用された竪形炉は炉断面積に比して炉高が高く、炉内の還元性雰囲気を保つのに大いに良かったろう。また、炉の背後から送風管（大形羽口）を使って人工的に送風したと推定されている[21]が、内径12～15cmの大形羽口では風量はともあれ風圧が小さかったと思われる。これでは、炉内は完全燃焼の状態にならず、これも高い還元性雰囲気をつくった要因であったろう。炉形の送風の工夫はかなり意識的に行われたとみたい。調査団が遺構を詳細に検討して想定した踏吹子（鞴）を使用して操業したとする「製鉄炉操業復元想定図」[22]は、古代の製鉄技術を考えていくとき一つの重要な仮説となるだろう。

3. 多賀城跡との関連

柏木遺跡の地理的位置と比定年代から、史跡多賀城跡との関連をみるのは自然である。しかし、鉄滓の成分分析の結果からは、柏木遺跡で生産された鉄素材の多賀城で使用の可否は判断出来なかった。分析資料の積み重ねがさらに必要であるが、製錬滓—鍛冶滓—鉄製品それぞれの成分組成から、それらの関連性を証拠付けるのはかなり困難である。ここでは、多賀城跡との関連を考える場合の視点を述べておきたい。

a）柏木遺跡の立地する松島丘陵は、七ケ浜半島へと張り出している。地質は中新生の凝灰岩、砂岩であるが、その丘陵沿いの鬼ノ神山貝塚、丑谷部遺跡、下田堤遺跡で鉄滓が出土、あるいは採集されている。鬼ノ神山貝塚出土鉄滓は、赤目系砂鉄が原料の鍛冶滓、製錬滓で、奈良～平安時代に比定されている[23]。他の2遺跡の鉄滓についての詳細は不明だが、見た限りは製錬滓と思われた。今後の調査を待ちつつ、これら製鉄関連遺跡を一つのまとまりとしてとらえて、多賀城との関係を考える視点が必要であろう。

b）鉄滓以外の遺物（土師器、須恵器、羽口等）についても比較調査をして、多賀城との係わりを考える視点も大切である。特に、内面に布目圧痕のある送風管（大形羽口）については、同種羽口の分布状態や瓦製作との関係を調査し、さらに成分分析による材料粘土の割り出しをすべきである。

c）古代における製鉄技術集団と官衙との関係を、生産活動を中心とした交易等、広い視野で考えていく必要もあろう。柏木遺跡の製錬炉の形態は、向田・武井遺跡に似た前述のような特徴をもつ半地下式竪型炉であり、一つの完成された様式をもっているといってよい。つまり、洗練されたプロの技術集団が、ある規格に基づいて築いたものと思われるのである。生産性もそんなに変わらなかったろう。敢えていうなら、彼らの存在を官衙の役人が知らなかったということはなかったに違いない。そういう技術社会史的視的から見ていくなら、新しい展望が開けるかもしれない。

いずれにしても、柏木遺跡の製鉄関係遺構の存在は、史跡多賀城を全体的にとらえるのに必要不可欠となったといえる。

V まとめ

1. 柏木遺跡で発見された製錬炉は、上部に方形の平場があり、前面に半楕円形の作業場をもつ半地下式竪形炉であった。
2. 柏木遺跡出土砂鉄は、全鉄53.4%に二酸化チタン10.45%を含む微細な粒子の塩基性チタン磁鉄鉱（マグネタイトとウルボスピネルの固溶体）であった。

3. 供試試料の柏木遺跡出土鉄滓は、砂鉄製錬滓と精錬鍛冶滓であった。製錬滓は流出滓、炉内残留滓に分けられた。構成鉱物にイルミナイトが確認されており、チタンがかなり濃縮されたことを示している。

4. 鉄滓の鉱物組成および流動性が比較的よいことから、古代の製鉄技術としては中の上程度の操業レベルで、鉄収率は55%前後であったと推定される。

5. 鉄滓の鉱物組成としてイルミナイト、ウルボスピネルの存在が確認されたことから、炉内のCO_2/COが0.2前後と考えられる。このことは、縦に長い炉内の雰囲気が還元性を維持していたことを示している。また、炉背から送風管（大形羽口）を使用した風圧の小さい人工送風をしたものと推定される。

6. 鍛冶工房跡はカマドを伴う竪穴住居跡にあり、残存状態は悪いものの、鍛冶炉が検出された。工房跡から出土した鉄滓は精錬鍛冶滓であった。

7. 製錬滓や鍛冶滓の成分分析からは、柏木遺跡と史跡多賀城との関係を結びつけることは、難かしかった。しかしながら、官衙跡と生産遺跡との関係を、近傍の製鉄関連遺跡とのまとまりを睨みながら、広く生産技術の問題や交易の問題等を通して詰めていくとき、柏木遺跡の製鉄遺構の存在意義は大きくなるだろう。

謝辞　本稿作成に当たり、成分分析やX線回折を行って下さいました㈱トーキンのご厚意と同社部長遠藤貞氏はじめスタッフの方々、及び写真撮影にご協力いただいた古川工業高校桜井幸喜氏に感謝の意を表します。

註

(1) 和島誠一「製鉄技術の展開」『日本の考古学』Ⅵ 河出書房1968、『白石市史』別巻等。

(2) 菊地逸夫「山下遺跡」『館山館跡・山下遺跡』宮城県文化財調査報告書第87集1982。

(3) 佐藤甲二「嶺山C遺跡」『茂庭』仙台市文化財調査報告書第45集1983。

(4) (財)福島県文化センター「国道113号バイパス遺跡調査報告Ⅱ・Ⅲ」1986・1987等。

(5) 丸山益輝は「鉄滓による〈たたら〉炉内反応の解析」『たたら研究22』1978で、製錬滓を流出滓、炉内残留滓（還元期滓、分離期滓、造滓期滓）、柄実に分類している。

(6) 近世にいわれた大鍛冶・小鍛冶に相当する鍛冶滓をそれぞれ精錬鍛冶滓・鍛冶滓と呼ぶことが多い。

(7) 多賀城跡第45次調査ＳＩ1432竪穴住居跡埋土出土の鉄滓で、住居の年代については養老神亀年間～８世紀中頃と考えられている。

(8) 多賀城跡第45次調査、調査区東半部に堆積していた自然堆積土で、年代については９世紀前半頃と考えられている。

(9) 竹内常彦、南部松夫「砂鉄粒子の顕微鏡組織」『東北のチタン砂鉄資源』東北地方含チタン砂鉄調査委員会1953。

(10) 桂 敬「砂鉄製鉄の原理について」『古代日本の鉄と社会』1982。

(11) 前掲(8)図１

(12) 鴇田勝彦「仙台市嶺山C遺跡出土鉄滓の分析調査」『茂庭』仙台市文化財調査報告書第45集1983。第２図も同報告書から引用。

(13) 後藤忠俊、高塚秀治「製鉄滓と鍛冶滓の区別についての試論」『古代日本の鉄と社会』1982。

(14) 大澤正巳「大山遺跡を中心とした埼玉県下出土の製鉄関係遺物分析調査」『大山』1979。

(15) 前掲(11)

(16) 前掲(10)

(17) 飯島武治・穴沢義功「群馬県太田市菅ノ沢製鉄遺構」『考古学雑誌』55－2 1969。

(18) 大澤正巳「千葉県下遺跡出土の製鉄関係遺物の分析調査」『千葉県文化財センター研究紀要７』1982。

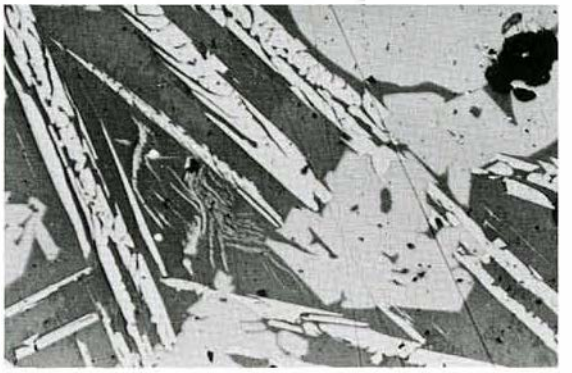
(19) 桂 敬「製鉄遺跡で採取される鉄滓の組成」『季刊考古学８』1984・同「たたら製鉄炉内の化学反応と製鉄」『月刊百科No218』1980及び前掲(8)

(20) 前掲(8)図３

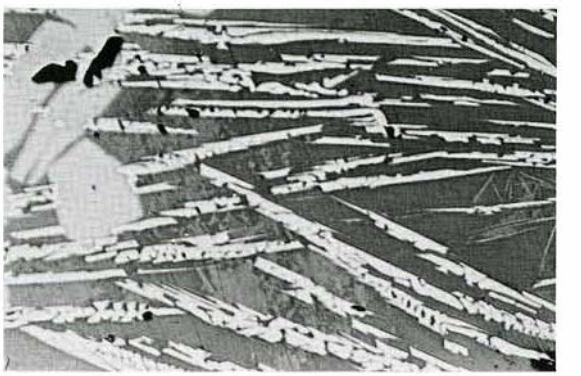
(21) 石川俊英・相沢清利「宮城県柏木遺跡」『月刊文化財』306号文化庁文化財保護課監修1989.3等。

(22) 前掲(19)図９

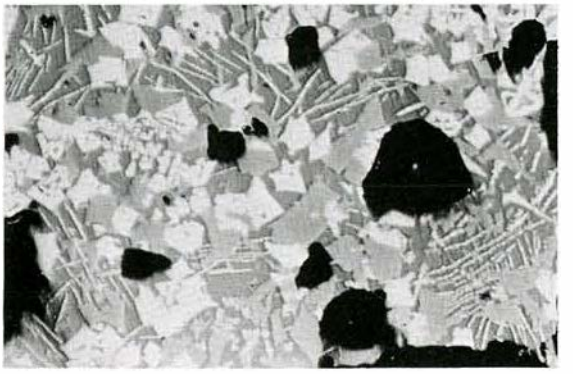
(23) 鴇田勝彦「鉄滓について」『鬼ノ神山貝塚・野山遺跡』七ケ浜教育委員会1982。



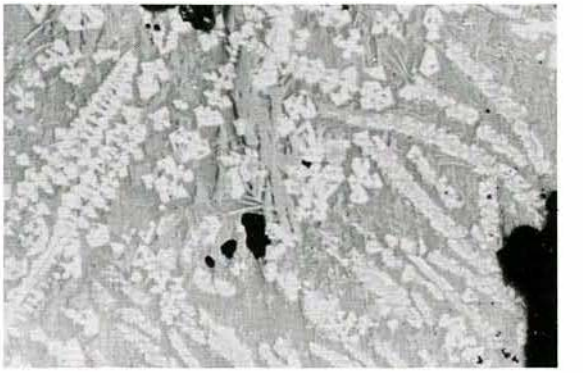
MTK－1・a



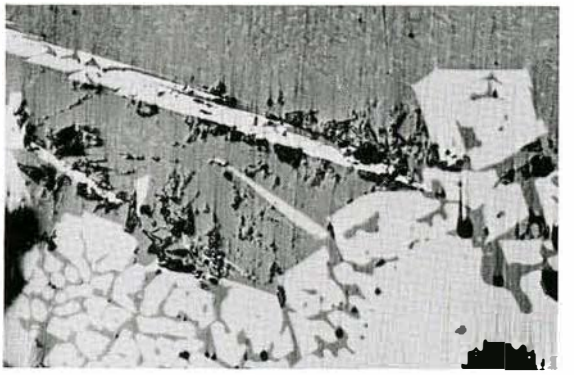
MTK－1・b



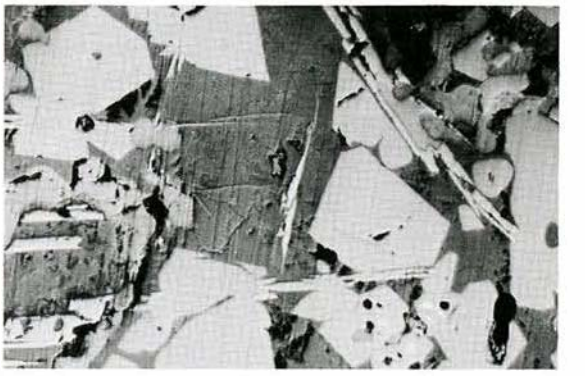
MTK－2・a



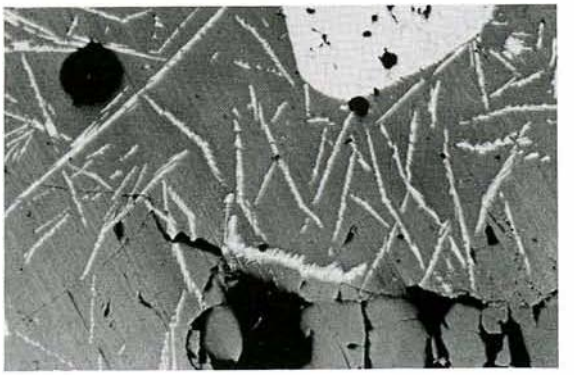
MTK－2・b



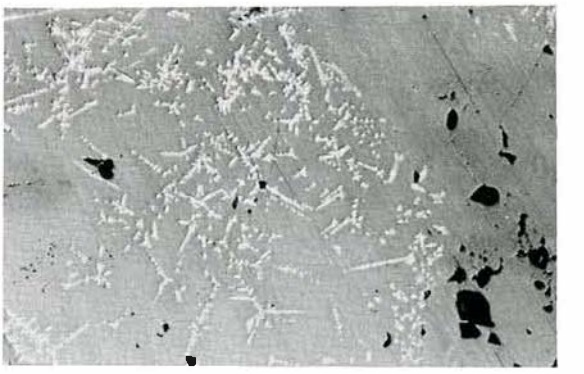
MTK－3・a



MTK－3・b



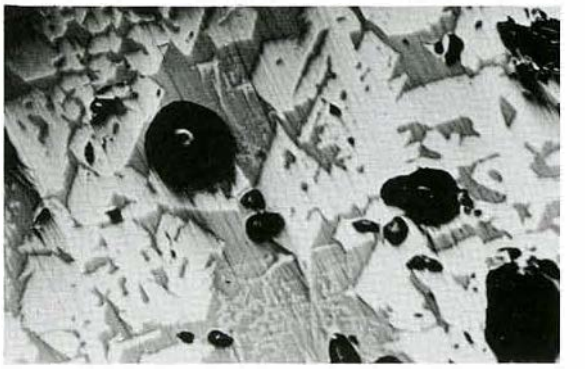
MTK－4・a



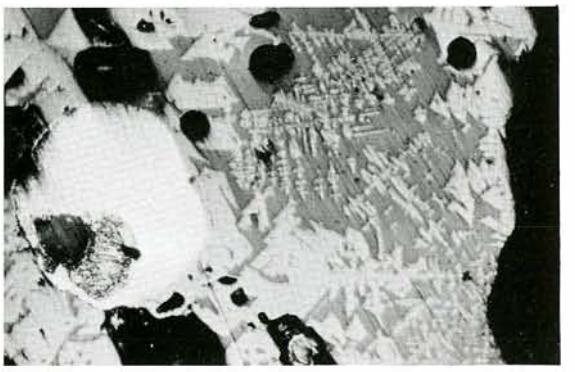
MTK－4・b

図版1　鉄滓の顕微鏡組織　(1)

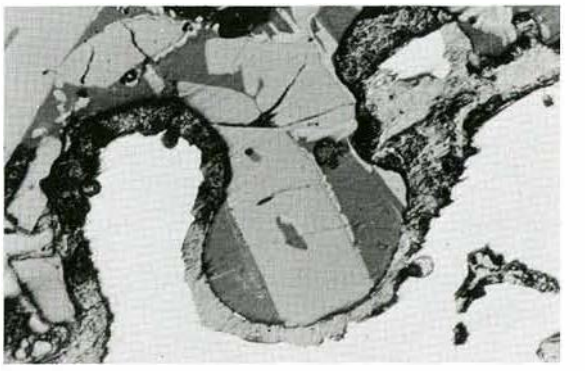
MTK－5・a



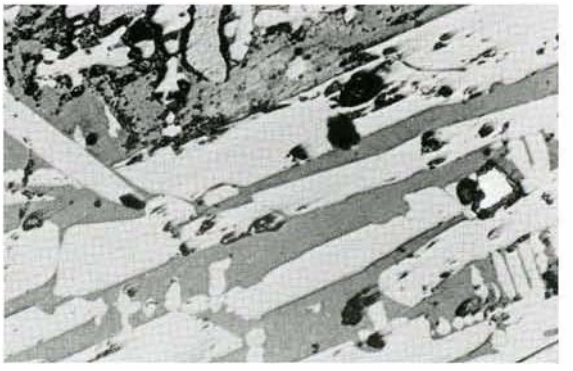
MTK－6・a



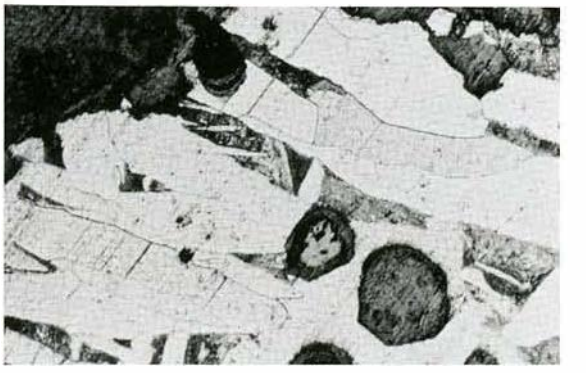
MTK－6・b



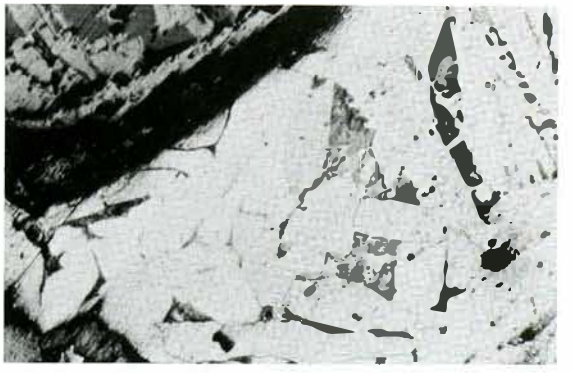
MTK－7・a



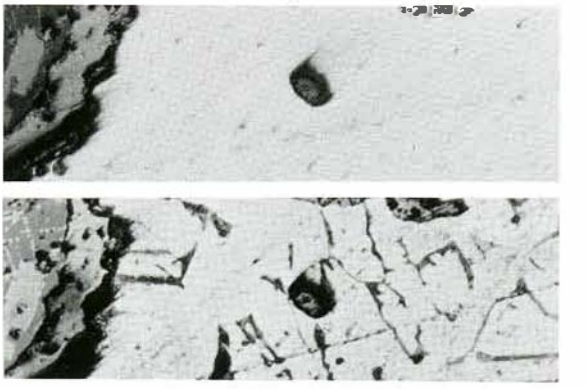
MTK－7・b



M・a



M・b

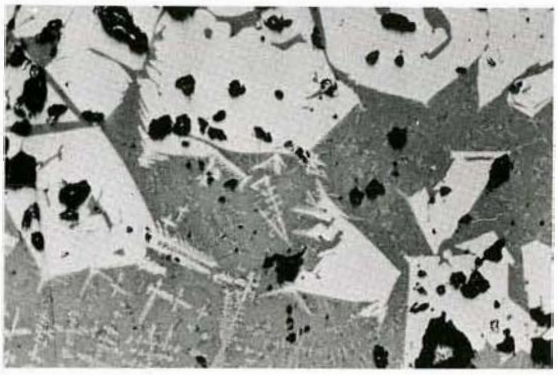


MTK－7・c

図版２　鉄滓の顕微鏡組織　(2)

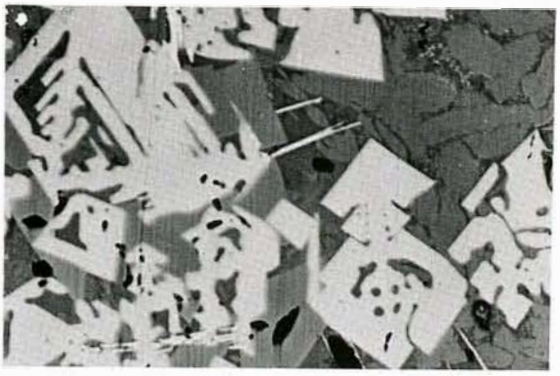
MTK—8・a

MTK—8・b

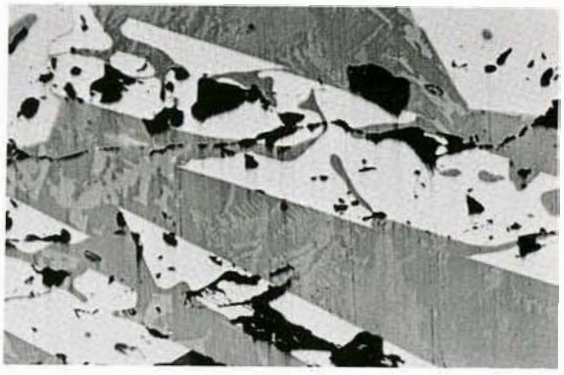


MTK—9・a

MTK—9・b

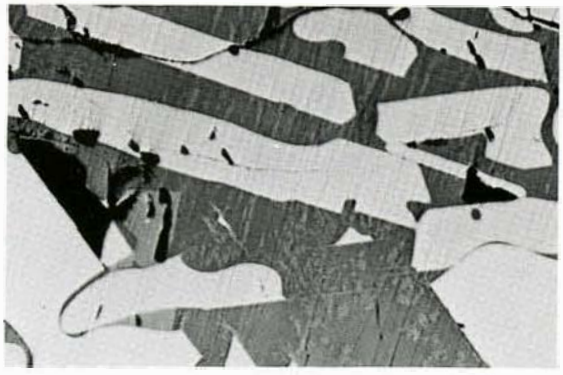


MTK—10・a



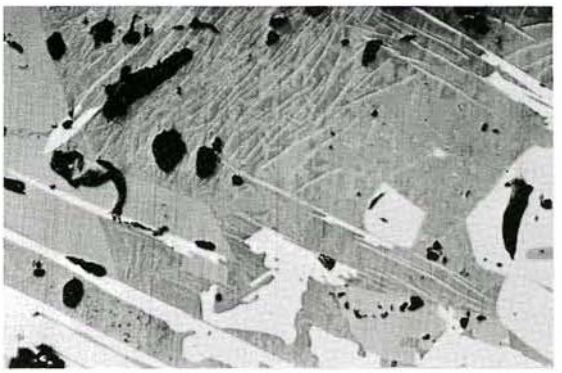
MTK—11・a

MTK—11・b

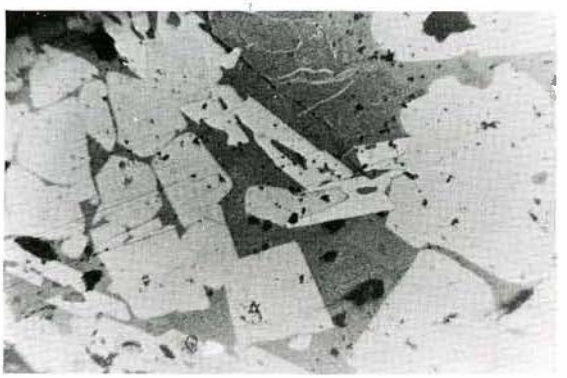


MTK—12・a

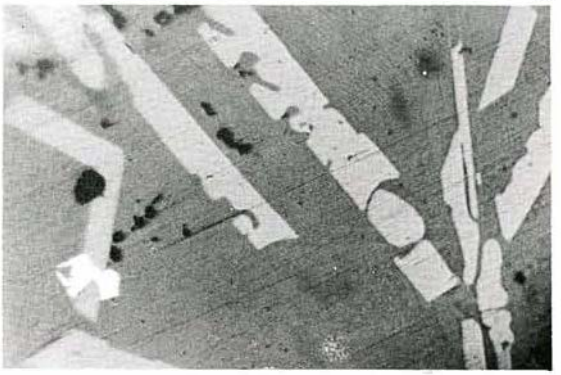
図版3　鉄滓の顕微鏡組織　(3)



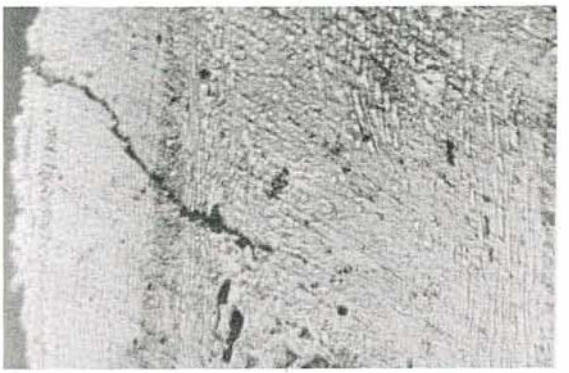
MTK−12・b



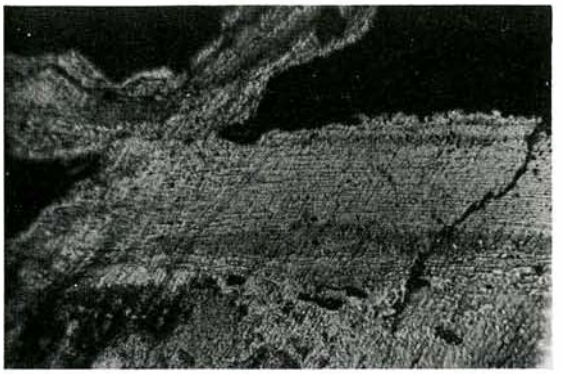
MTK−13



MTK−13・b



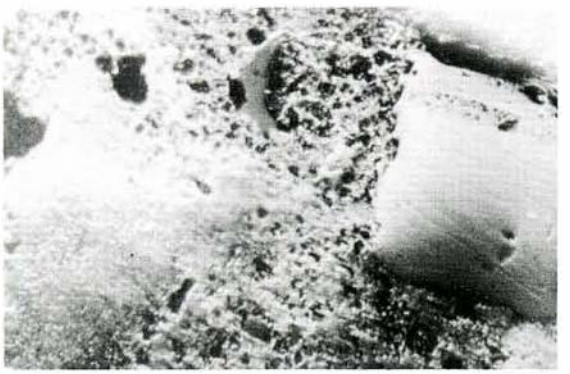
MTK−14



MTK−14・a

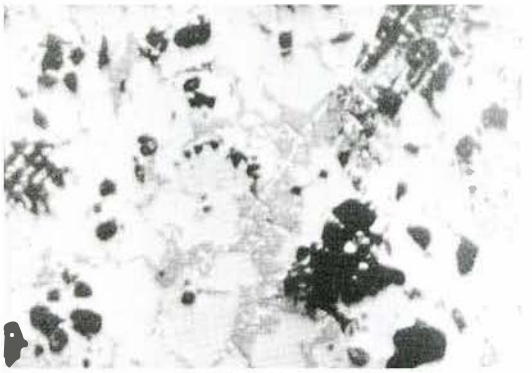
MTK−15・a

MTK−15・b

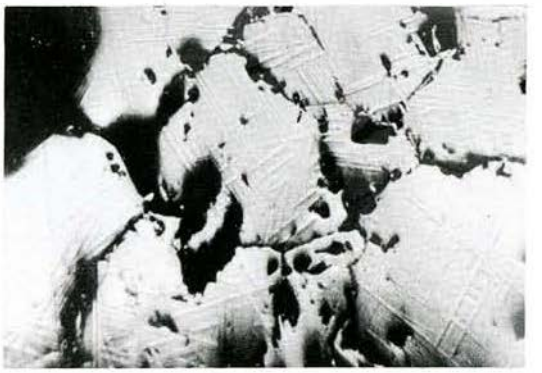


MTK−15・c

図版4　鉄滓の顕微鏡組織　(4)

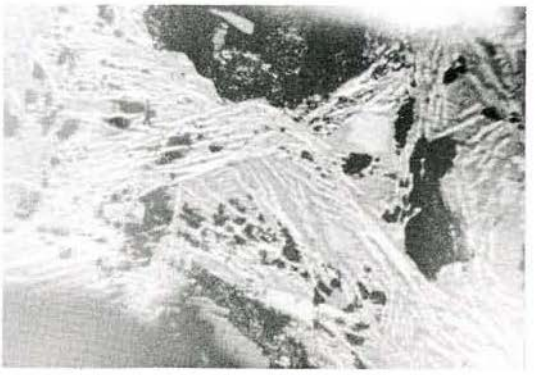


MTK−16・a

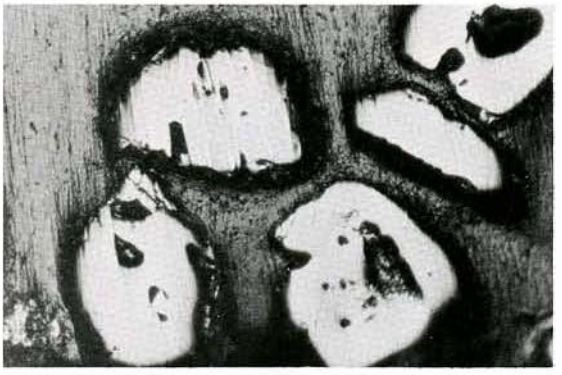


MTK−16・b

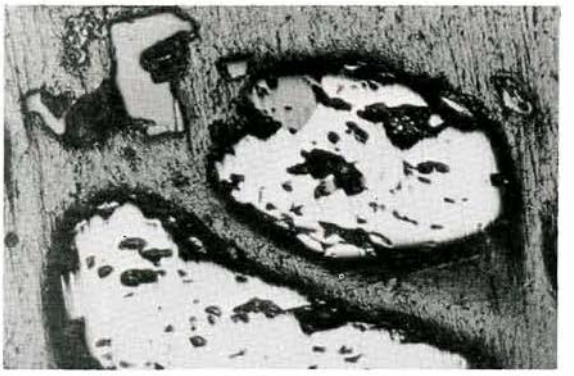
MTK−17・a



MTK−17・b



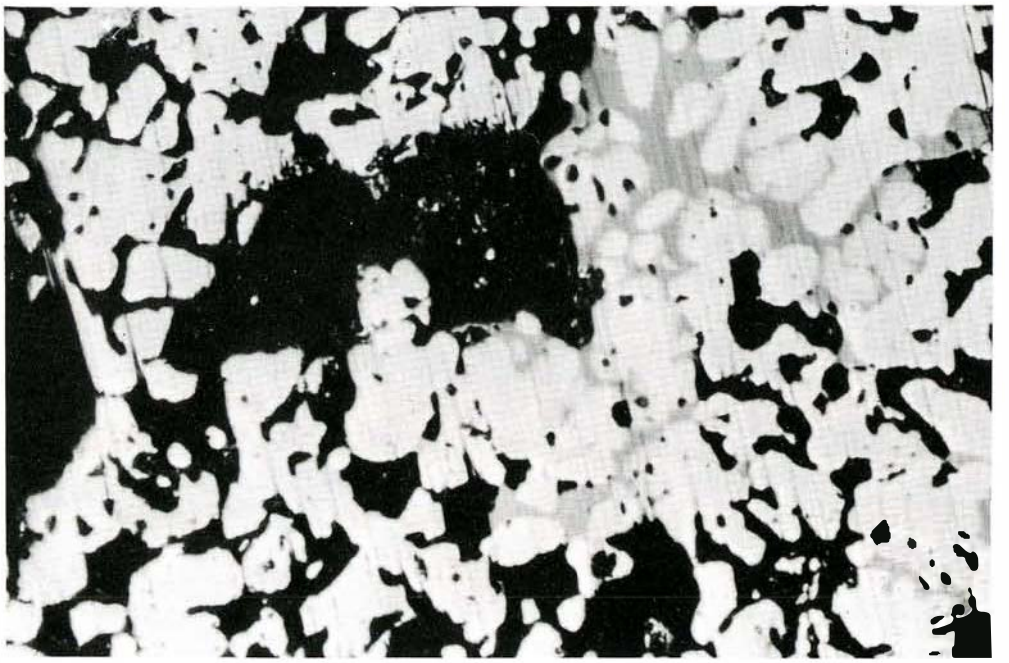
砂鉄a



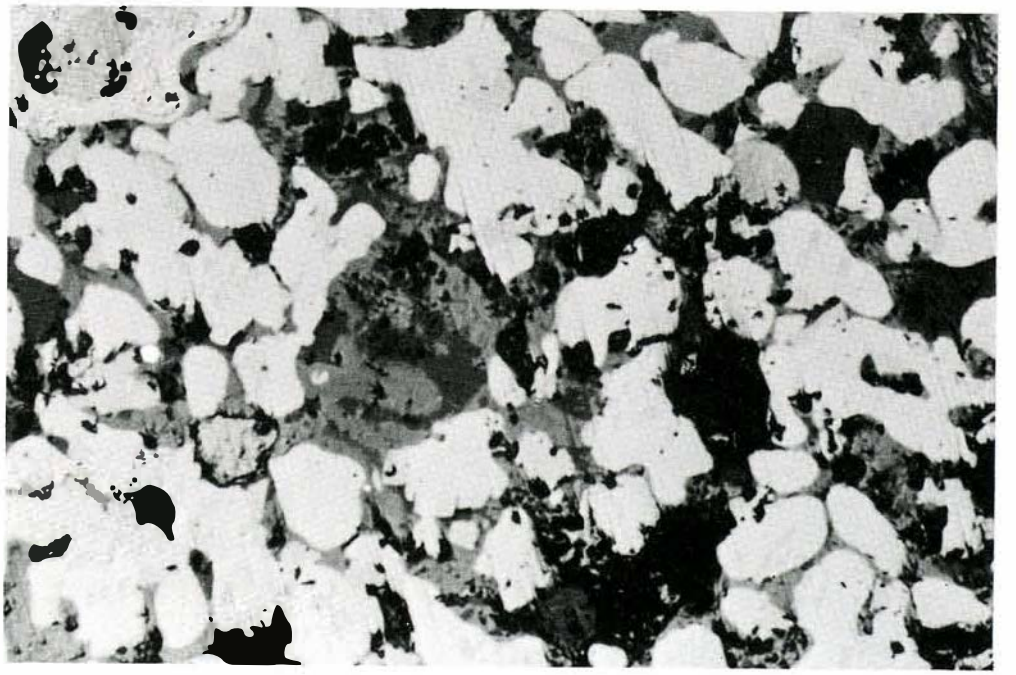
砂鉄b

aX960

図版 5　鉄滓の顕微鏡組織　(5)



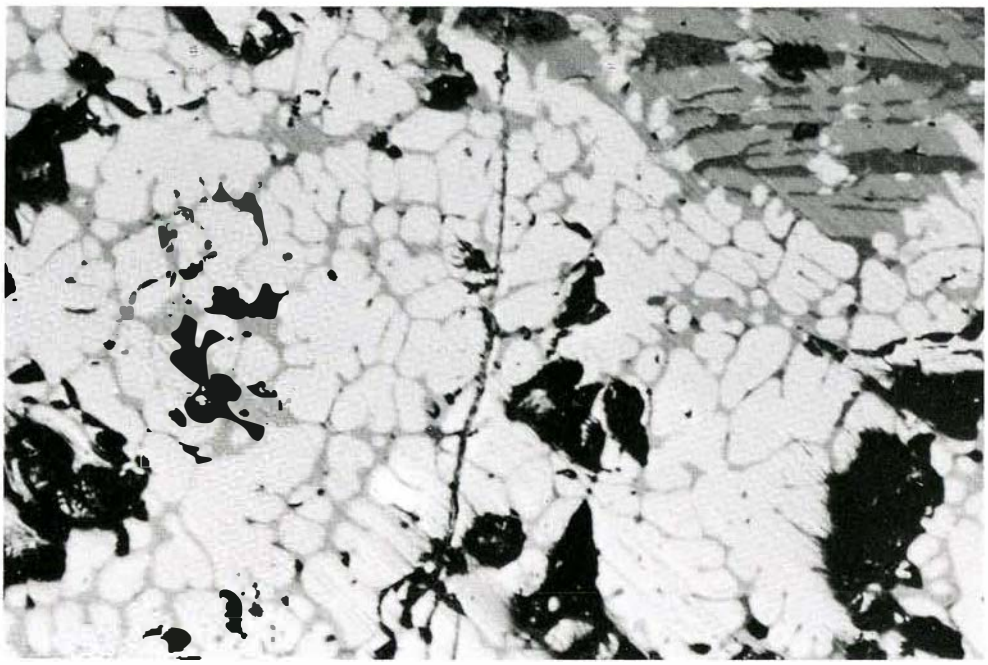
TKS－1・a



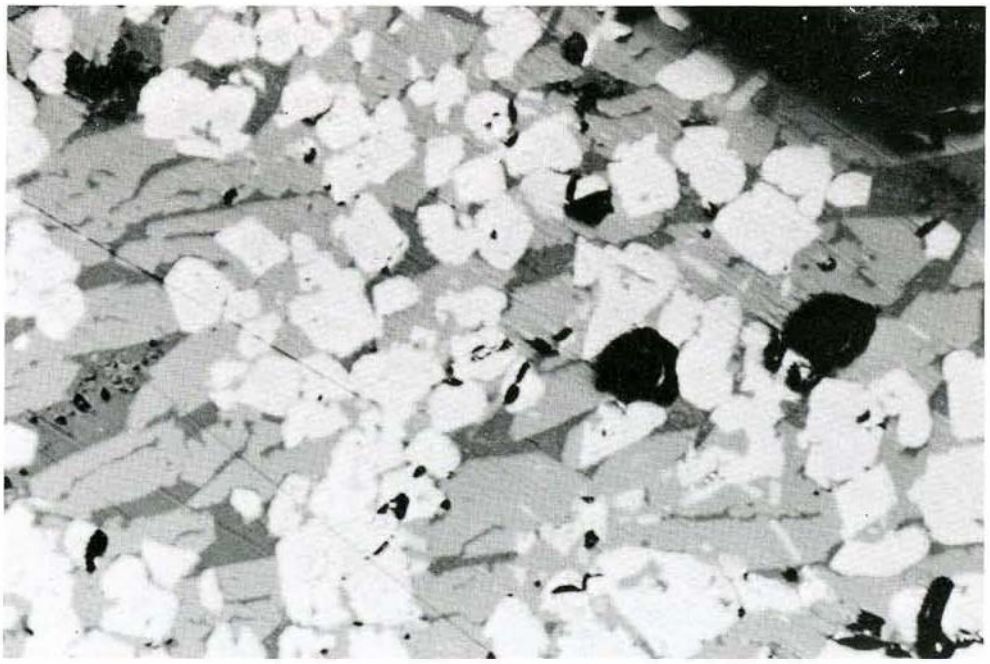
TKS－1・b

図版6　鉄滓の顕微鏡組織　(6)

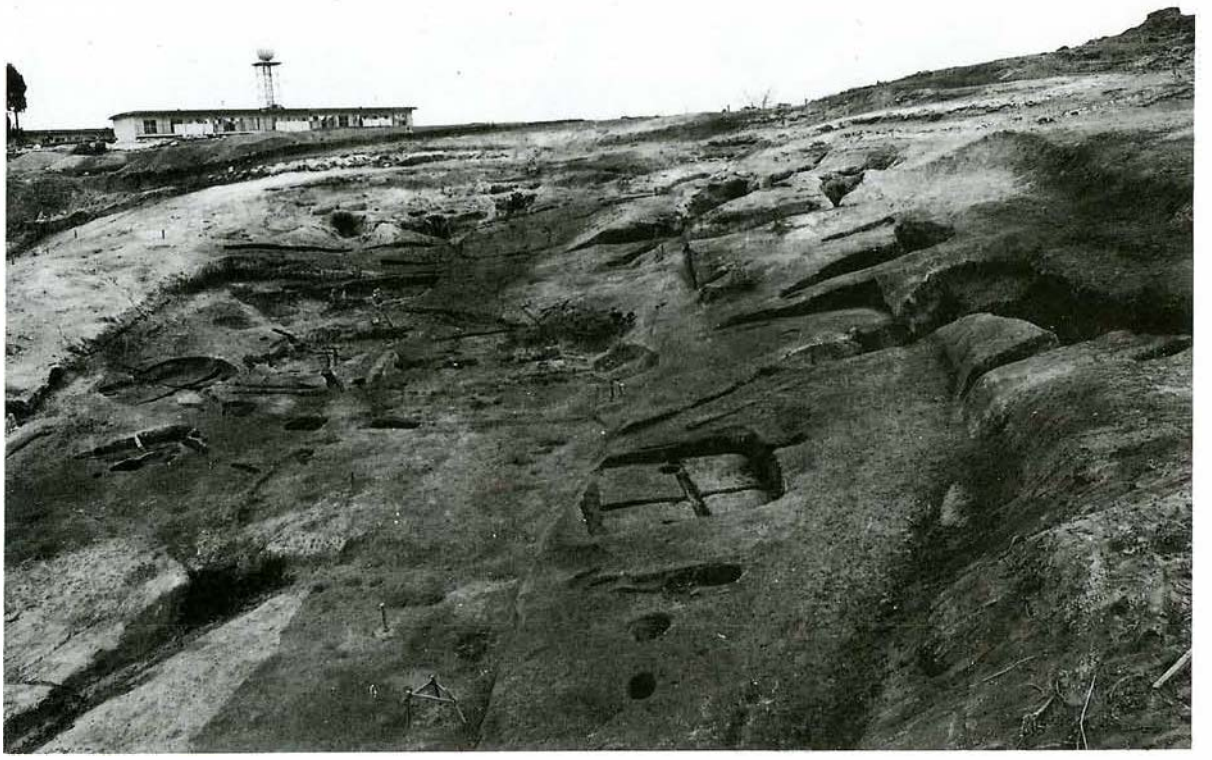
TKS－2・a



TKS－2・b



図版7　鉄滓の顕微鏡組織 (7)



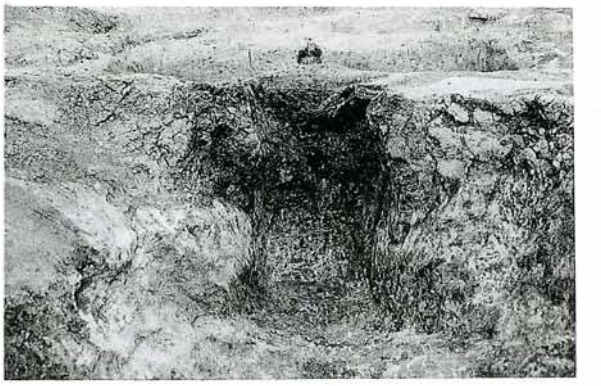
図版1　A地区　調査区全景（南より）

図版2　A地区　調査区全景（西より）

図版３　Ａ地区　調査区航空写真（南より）

図版４　Ａ地区　ＳＷ01・02・03製錬炉全景（南より）

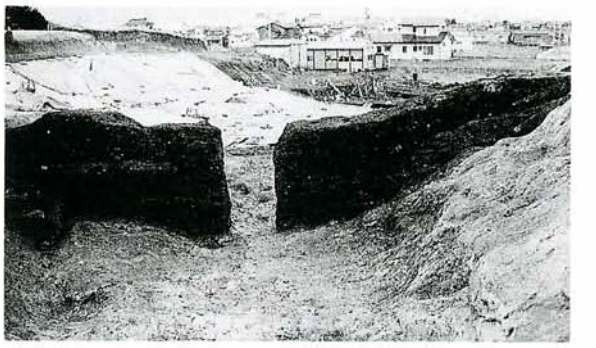
図版5　SW01 製錬炉全景（南より）



図版6　SW01 製錬炉本体（南より）

図版8 SW01 製錬炉作業場土層堆積状況（北より）

図版7　SW02 製錬炉本体検出状況（南より）

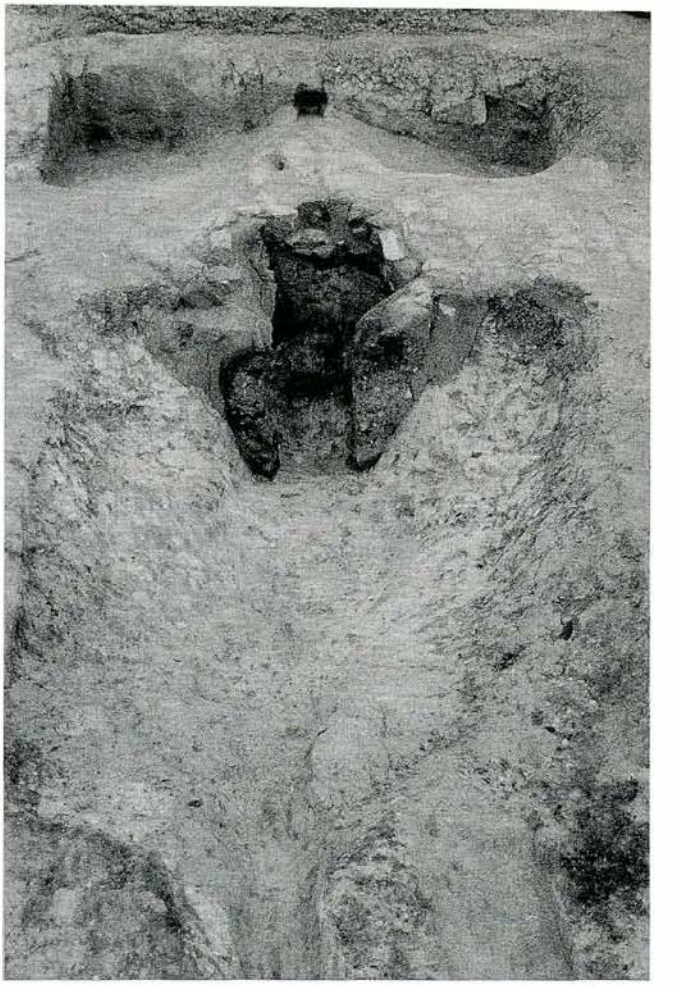


図版9　SW03 製錬炉全景（南より）

図版10　SW03 製錬炉内送風管検出状況

図版11　SW02製錬炉炉背送風施設完掘状況（右側）

図版12　SW02製錬炉前礫検出状況（南より）

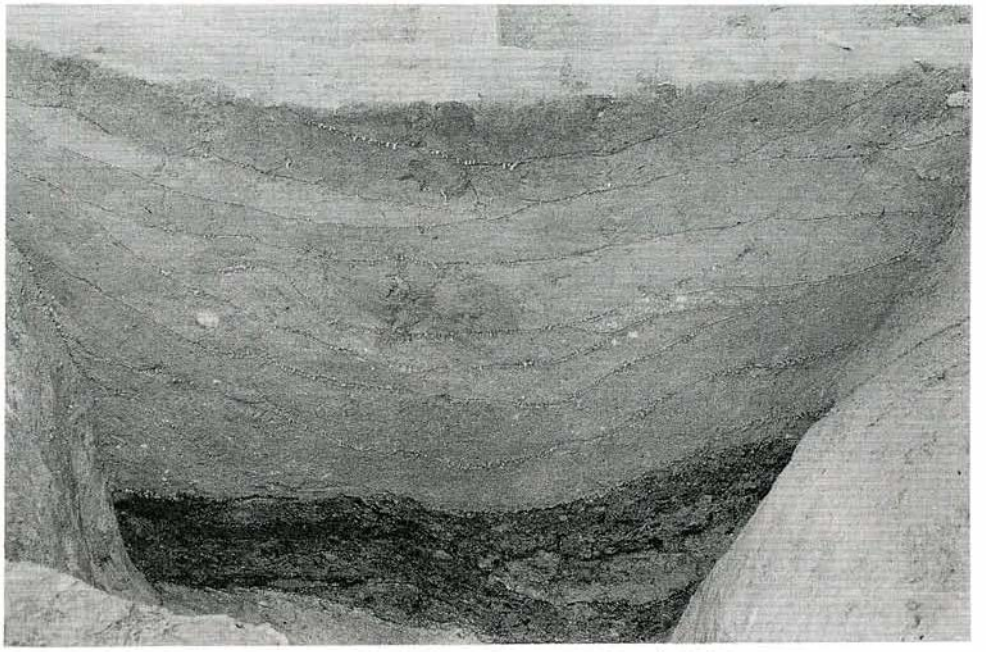


図版13　SW02製錬炉完掘状況（南より）

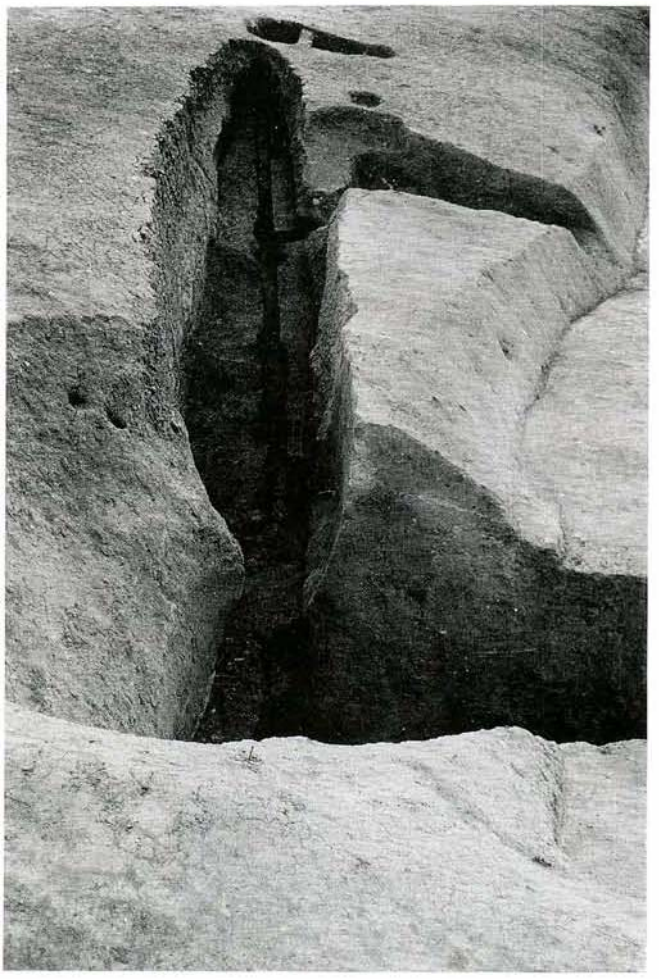
図版14
SW02製錬炉本体（北より）

図版15
SW02 製錬炉本体（南 より）

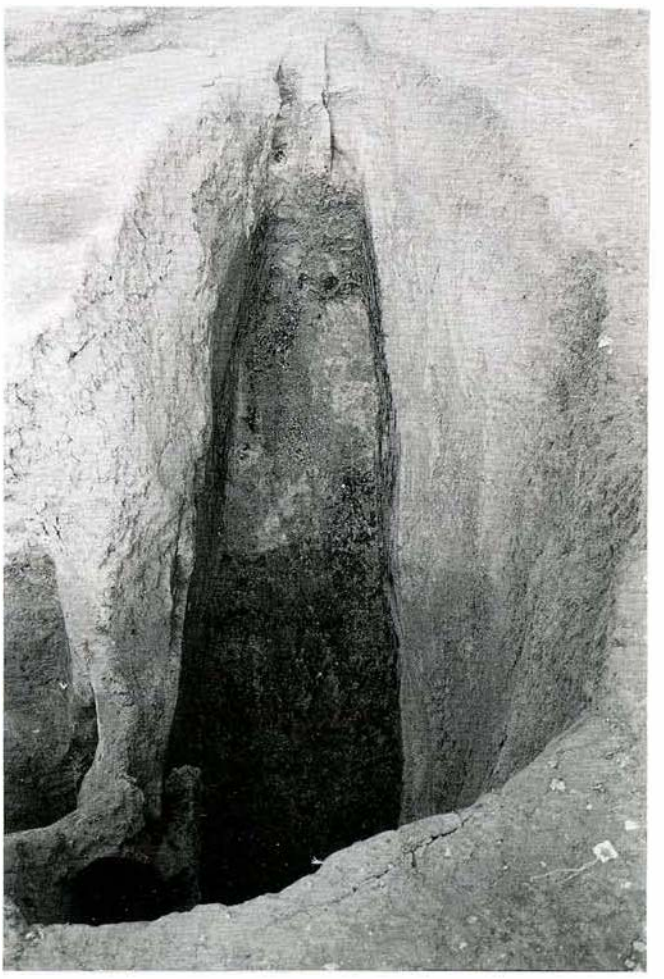
図版16
SW02製錬炉廃滓場・
整地層・溝断面
（南より）



図版17　1号・2号木炭窯前庭部土層堆積状況（西より）



図版18　1号木炭窯炭化室（北より）



図版19　2号木炭窯炭化室（南より）

図版20　３・４・５号木炭窯（西より）

図版21　５号木炭窯炭化室（南より）

図版22　５号木炭窯煙出し孔（北西より）

図版23　SX01特殊遺構（南より）

図版24　６号木炭窯（南より）

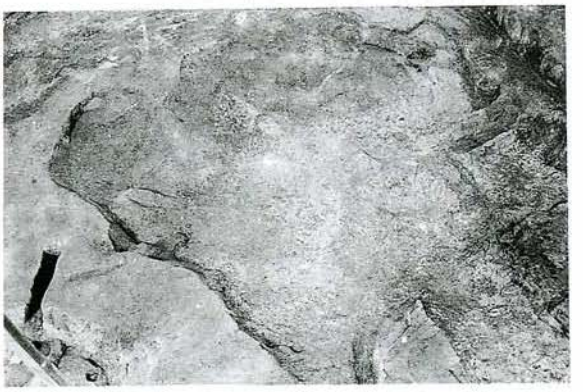
図版25　６号木炭窯炭化材検出状況（南より）

図版26　SX02特殊遺構（西より）

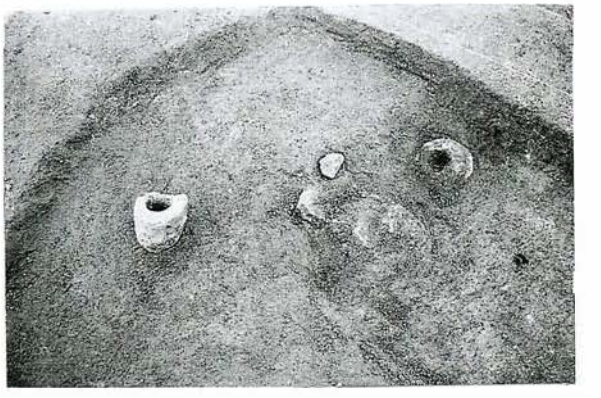
図版27　調査区平場全景（北より）

図版28　SI04竪穴住宅跡（南東より）

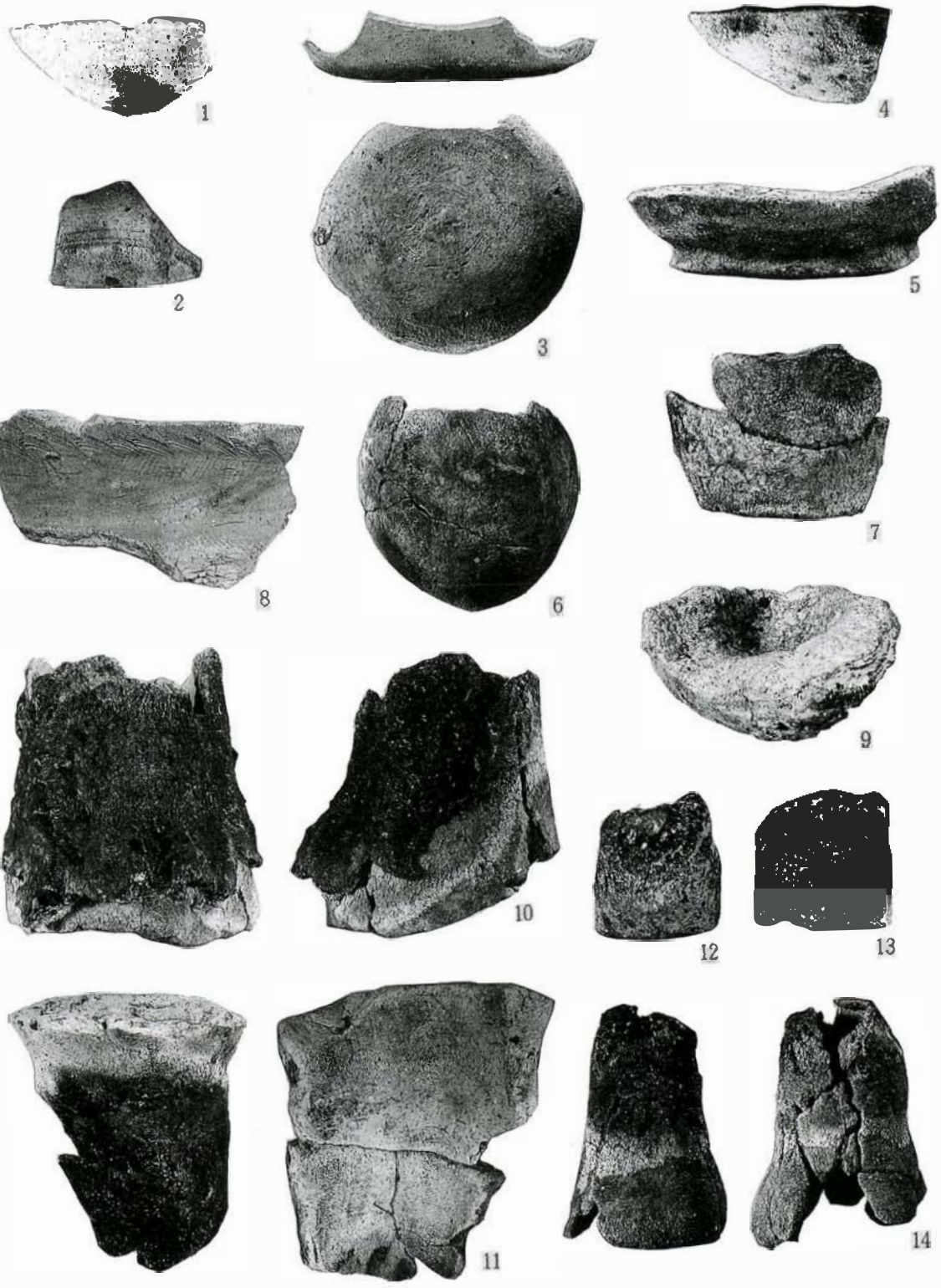
図版30　SK03土坑（西より）



図版29　SK02土坑（北東より）



図版31　SI02竪穴住居跡羽口出土状況



1. 土師器杯
2. 土師器杯
3. 須恵器杯
4. 須恵器杯
5. 土師器甕
6. 土師器甕
7. 土師器甕
8. 須恵器甕
9. 桃形津
10. 送風管
11. 送風管
12. 羽口
13. 羽口
14. 羽口

図版32　出土遺物

多賀城市文化財調査報告書第17集

柏 木 遺 跡 Ⅱ

平成元年3月31日　発行

編　集　多賀城市埋蔵文化財調査センター
発　行　多賀城市中央二丁目27番1号
電　話（022）368－0131～4

印　刷　渡　辺　印　刷
塩釜市旭町17番13号
電　話（022）364－3161