

論文

2019年度アク・ベシム遺跡出土の金属製品の
保存修復処置と使用された銅合金種藤澤 明^{*1}・三浦麻衣子^{*2}^{*1,2} 帝京大学文化財研究所

はじめに

I. 対象資料

II. 処置前記録の作成

III. 保存修復に伴う科学的調査

IV. 保存修復処置

V. 処置後記録の作成

VI. 梱包

VII. 銅合金資料の特徴

はじめに

キルギス共和国国立科学アカデミーと帝京大学文化財研究所は2016年より、アク・ベシム遺跡の共同調査を実施している（帝京大学文化財研究所、2017・2019）。この共同調査において2018年度および2019年度に発掘された金属資料の一部について、日本に持ち帰り、保存修復処置を行った。また、この保存修復処置の機会を利用して、非破壊による材質調査を行い、使用された銅合金種について検討を行った。これらの結果について報告する。対象となる資料は、日本人専門家が日本へ運搬し、作業はすべて帝京大学文化財研究所の施設を使用して行った。2020年度中にキルギス共和国国立科学アカデミーへ返還予定である。

I. 対象資料

アク・ベシム遺跡から出土した金属資料27点あり、遺構に含まれる炭化物の放射性炭素年代測定より、7～11世紀の資料と考えられる。腐食の状態および腐食生成物の色から、このうち9点が鉄製資料であり、15点は銅合金製資料である。また、材質が不明なものが3点ある。鉄製資料は釘や刀子などの道具が4点であり、その他は用途不明品である。銅合金製資料については、指輪やピンなどの装飾品が4点と馬具の一部とみられる器具がある。対象資料のリストを表1に示す。

II. 処置前記録の作成

資料の現状を記録することは、保存修復を行う上で非常に重要である。それは、資料がどのような材質から構成されていて、劣化の状態が現状でどの程度進んでいるのかなど、保存修復処置を行うにあたり、資料それぞれの保存処置方針を決めるためである。今回は、対象資料に対して、写真撮影、目視観察、状態調査記録票の作成と記入を行った。

1. 処置前写真

処置前写真については、デジタルカメラ（Nikon D750 AF-S MICRO NIKKOR 105mm）を使用し、2段階での撮影を行った。1段階目では、資料の搬入状況を記録しておくために、資料を梱包していた袋や資料と同じ袋に入っていた土塊等、資料以外の搬入に関わる資材も含めすべてを記録した。この記録写真は、保存修復や分析の工程で万が一、紛失や番号の入れ違い等が起こった場合の確認に利用するためである。ここでの撮影はあくまでも全体の搬入状況を把握するためのものであり、簡易的な撮影である。

2段階目での撮影は基本的に資料の表面・裏面の2カットを撮影し、立体的な資料については、資料の寸法や形状が把握できるように複数カットの撮影を行った。

2. 状態調査記録票の作成

状態調査記録票は保存修復前の資料の現状を記録するものである。状態調査記録票については、帝京大学文化財研究所が行っている保存修復内容に合わ

表 1. 保存修復処置対象資料一覧

報告書番号 ^{*1}	保存処置番号	製品名	推定材質	調査区	遺構 ^{*2}	Context No.	推定年代(AD)	出土年月日
(AKB-M6)	TK32	不明金属製品 (棒状)	非鉄	AKB13	MS1-1	表採	10C-11C?	20180429
(AKB-M7)	TK33	不明金属製品 (棒状)	非鉄	AKB13	R4	163	8C後半-9C後半	20180507
(AKB-M8)	TK34-1	不明金属製品	非鉄	AKB13	MS1-T	65	10C-11C?	20180428
(AKB-M9)	TK34-2	不明金属製品	非鉄	AKB13	MS1-T	65	10C-11C?	20180428
(AKB-M11)	TK35-1	指輪	非鉄	AKB13	R-2	5	10C-11C?	20180422
(AKB-M11)	TK35-2	破片	非鉄	AKB13	R-2	5	10C-11C?	20180422
(AKB-M11)	TK35-3	滓	不明	AKB13	R-2	5	10C-11C?	20180422
(AKB-M11)	TK35-4	滓	不明	AKB13	R-2	5	10C-11C?	20180422
(AKB-M35)	TK36	釘	鉄	AKB13	—	76	10C-11C?	—
(AKB-M3)	TK37	ポウル	非鉄	AKB15	—	R011	10C-11C?	20180504
(AKB-M4)	TK38	不明金属製品 (板状)	非鉄	AKB15	—	R011	10C-11C?	20180510
13-19-022	TK39	不明金属製品	鉄	AKB13	南西拡張区	54	10C後半-11C前半	20190428
13-19-031	TK40-1	不明金属製品	非鉄	AKB13	P13	147	10C後半-11C前半	20190511
13-19-031	TK40-2	滓	不明	AKB13	P13	147	10C後半-11C前半	20190511
13-19-043	TK41	ピンか	非鉄	AKB13	MS1	104	10C後半-11C前半	20190506
13-19-044	TK42	刀子	鉄	AKB13	MS1	53	不明	20190428
13-19-045	TK43	刀子	鉄	AKB13	MS1	114	10C後半-11C前半	20190506
13-19-046	TK44	不明金属製品	鉄	AKB13	MS1	105	不明	20190506
15-19-169	TK45	鋏具 (馬具か)	非鉄	AKB15	P7	145	11C前半	20190511
15-19-172	TK46	不明金属製品	非鉄	AKB15	P7	130	11C前半	20190510
15-19-173	TK47	鋏片か	非鉄	AKB15	P7	136 (130内)	11C前半	20190510
15-19-176	TK48	刀子	鉄	AKB15	P7	134 (130内)	11C前半	20190510
15-19-177	TK49	不明金属製品	鉄	AKB15	P7	135	11C前半	20190510
15-19-197	TK50	把手	非鉄	AKB15	瓦帯	131 (126内)	10C-11C	20190508
15-19-198	TK51	不明金属製品	鉄	AKB15	瓦帯西側	132	8C-9C?	20190507
15-19-199	TK52	鉄鍋片か	鉄	AKB15	Tr13	一括	10C-11C	20190429
19-19-004	TK53	容器片か	非鉄	AKB19	—	1	10C後半-11C前半	20190503

※1 帝京大学文化財研究所 2019 ※2 MS:メインストリート(大通り), R:Room (部屋), P:Pit (穴), Tr:トレンチ

せて作成した。

状態調査記録票の項目としては、資料名、保存処置番号、処置前後写真撮影の有無、X線透過撮影の有無、科学分析の有無と分析結果、保存修復の開始・終了日、処置前写真と状態の記述などがある。

3. 目視観察と状態調査記録票の記入

状態調査記録票の「処置前写真と状態の記述」の欄に目視観察で得られた情報の記入を行った。資料の状態を記録するにあたり、処置前写真を状態調査記録票に貼り付け、処置前写真上に特筆すべき情報を記入した。

記入の内容は、欠損、破断、亀裂の箇所のほか、錆や付着物の状況を記載した。

Ⅲ. 保存修復に伴う科学的調査

保存修復に必要な目視観察だけでは得られない資料の情報を得るために、X線透過撮影、蛍光X線分析を実施した。

1. X線透過撮影

X線透過撮影は資料の内部構造および腐食層の厚さやオリジナルの形状を把握することができる。使用装置は日立製X線発生装置(MBR-1505TV-3L)である。撮影条件は①管電圧 80-90kV・管電流 2mA・時間90秒、②管電圧 100-120kV・管電流 2mA・時間90秒の2条件であり、管電圧を変えて、1資料に対して2カットの撮影を行った。1カット目は低電圧で資料の平面形状を、2カット目は1カット目の撮影時から資料を90°回転させ、資料の

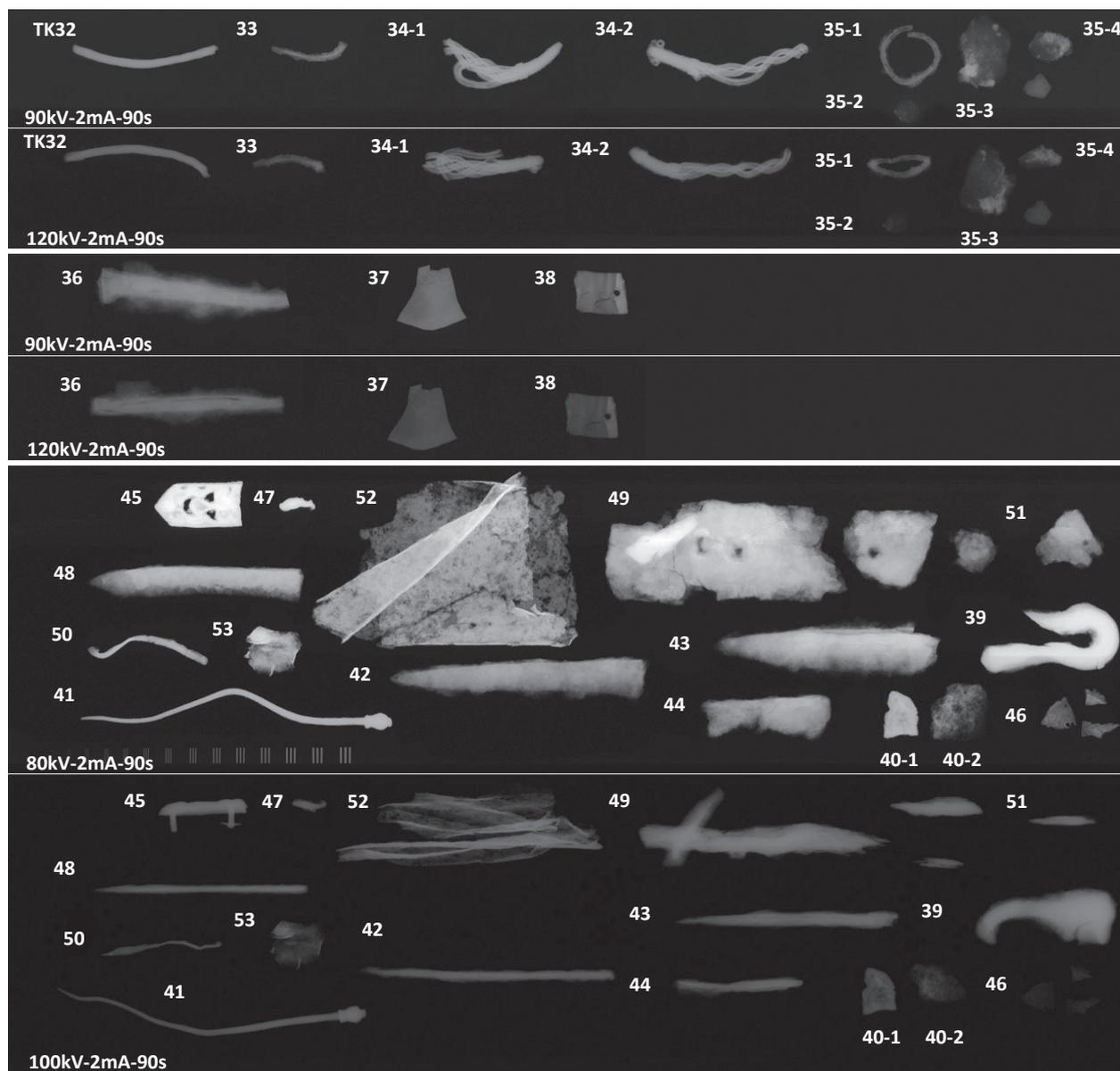


図1. X線透過像

厚みと内部構造を立体的に把握することを目的とし撮影を行った。撮影したX線透過像が図1である。

鉄製資料の状態から記述する。TK36は釘であり、X線透過率が均一であることから角釘である。TK52は板状製品であり、薄い金属鉄の残存状況は良好である。TK49は、板状製品に釘が貫通している構造であり、板部には角穴2個と丸穴1個が確認できる。木部などに釘で固定して使用した鉄部材である。TK42、43、48は刃が確認できることから利器である刀子である。この3点はいずれも外形が異なる。残存状態が不良であるがTK44も刀子の一部である可能性が高い。TK39はフック状であるが用途は不明である。

次に銅合金製資料である。TK34は全体に3～4本の棒状金属を撚った構造であり、端部近くに針金を巻き付け、最端部には2つのリング状構造が観察できる。これらは破損したブレスレットと考えられる。TK35-1は指輪と考えられるが装飾は観察できない。TK35-3、4は塊状遺物でありX線吸収率が低いため、金属製品ではなく軽元素を多く含む鉱滓(こうさい)と判断した。TK41はピンであり頭に装飾らしき外形が観察されるが、X線透過が不十分なためその詳細は不明である。TK40-2はX線吸収率が低いため金属製品ではなく軽元素を多く含む鉱滓と判断した。

表2. 保存修復処置前の蛍光 X 線分析結果 (mass%)

保存処置番号	材質	付着物由来元素											金属由来元素							
		Cl	S	P	Ca	Si	Al	K	Ti	Mg	Rb	Sr	Cu	Sn	Zn	Pb	As	Sb	Fe	
TK39	鉄	1.0	1.0	0.5	1.7	4.4	2.2	1.0	0.2	8.4	ND	1.5	0.0	ND	ND	ND	0.0	ND	46.4	
TK39	鉄	ND	0.7	0.2	6.5	4.3	1.2	1.0	0.3	2.9	0.1	6.4	0.0	ND	ND	ND	0.0	ND	18.2	
TK41	非鉄	2.3	0.3	0.3	3.8	10.6	1.5	1.0	0.3	ND	ND	1.3	40.8	2.2	0.3	2.2	0.2	0.1	0.9	
TK45	非鉄	3.1	2.3	0.5	16.6	5.0	0.8	0.7	0.3	ND	0.7	1.9	37.0	0.5	0.2	10.2	0.3	0.1	1.2	
TK45	非鉄	22.1	4.2	0.5	4.9	3.7	ND	0.5	0.3	ND	0.8	1.1	18.1	0.2	0.1	18.9	ND	ND	1.0	
TK49	鉄	ND	0.3	ND	13.5	2.2	ND	0.4	0.2	ND	ND	7.9	ND	ND	ND	0.0	0.0	ND	5.6	
TK49	鉄	ND	ND	ND	3.5	1.6	ND	0.5	0.4	ND	ND	2.2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	24.4	

※NDは不検出を示す。

2. 状態把握のための蛍光 X 線分析

蛍光 X 線分析では腐食に大きく影響する塩化物や硫黄などを検出することができ、その化学的安定性を評価することにより、資料に適した保存修復処置を選択することができる。そこで、鉄製資料および銅合金製資料各 2 点の分析を行った。分析には可搬型蛍光 X 線分析装置（Innov-X Systems DELTA PREMIUM DP-4000）を使用し、非破壊で行った。分析モードは 2 Beam Mining Plus を使用し、タンタル管球の電圧を自動で 40kV と 15kV に切り替えて測定することにより塩素、硫黄、カルシウムなどの軽元素の分析も可能である。また、ファンダメンタルパラメーター法により、簡易的ではあるが各元素の半定量値を算出することが可能である。分析時間は 90 秒とし、X 線の照射範囲は約 10mmφ である。

目視観察の結果、進行性の腐食が発生している可能性が高い 4 点の資料を測定し、ファンダメンタルパラメーター法によって計算された半定量値を表 2 に示す。検出された元素は土壤に多く含まれる元素を付着物由来元素とし、それ以外を金属由来元素に大別した。ただし鉄についてはどちらの可能性もあるが、資料に鉄製品が含まれるため金属由来元素に分類した。付着物由来元素の中でも特に腐食を促進させる可能性が高い元素が塩素、硫黄とリンである。特にこれらの元素に着目した。

特に塩素が多く検出されたのは TK45 であり、明白色の腐食生成物が確認できることからブロンズ病が進行していると考えられる。これらの資料については安定化処置が必要である。一方で、腐食がより進行している鉄資料において検出された塩素は少なかった。一般的に、鉄の腐食生成物は銅合金の場合と比べて疎であり、多くの亀裂や空孔を含む。発掘時の水洗によって表面から十分に流された可能性がある。しかし資料内部の含有元素については不明であること、保存修復処置後に資料が保管される環境は、温湿度管理がなされないことから、脱塩処置は

実施することとした。

付着物由来成分ではカルシウムが多く、埋蔵環境に石灰岩が多く含まれていたことが推測できる。よって表面生成物はカルシウムと結合して硬化していると考えられ、付着物除去を目的とした物理的クリーニング実施時に、意図せず鏽を除去しないよう注意を要する。

IV. 保存修復処置

1. 保存修復方針

目視観察、X 線透過撮影、蛍光 X 線分析から得られた情報を考慮し、保存修復処置の方針を決定した。今回の保存修復では、今後、研究・展示等に活用できるように資料のオリジナルの形状を明らかにするとともに、劣化が進行しないように資料の状態を安定化させることを目的とした。

資料には製作技法、使用痕、埋蔵環境など多くの情報が含まれており、保存修復を行うことで少なからず情報が失われる。例えば資料表面に形成された鏽は資料由来の鏽であり、除去することで、資料の一部が失われるという考え方もある。よって、資料の情報を極力失わないよう、保存修復処置は資料に対して最小限の介入に抑え、使用する材料も将来の再処置の妨げになりにくいものを選択した。

2. 保存修復処置記録票の作成

保存修復処置記録票は保存修復処置の内容、使用した道具、材料、薬品等の他、作業した日にちを記入する票である。

この票は資料 1 点 1 点に対して作成し、保存修復処置作業を行った際に随時記入していくこととした。

3. クリーニング

鉄製資料 ドリル（ナカニシ Emax EVolution）

とアルミナ粉末を使用したサンドブラスター (S.S.White industrial products AIRBRASIVE[®]6500 SYSTEM2, 昭和電工 モランダム[™]A#280J) を用いて、X線透過像を参照しながら、オリジナルの形状を明らかにするように、石や土等の付着物と錆を除去した。脆弱な箇所については、パラロイド[®]B72 アセトン溶液 (濃度 10wt%) を適時アセトンで薄めながら浸み込ませ、強化しながら作業を進めた。TK49 は破断面同士が密接に接合できる状態であったため、クリーニングの前に接合を行った。接合しないで作業を進めると、ドリルを使用することによる振動により劣化が進行している破断面の崩壊が見込まれる。TK35-2 と TK40-2 の黒色塊状資料については銹滓と考えられるため、表面に付着した石や土などの付着物を除去するのみのクリーニングで処置を終了し、安定化や強化処置は行わないことにした。

銅合金製資料 実体顕微鏡下で X線透過像に基づき、石や土等の付着物と一部の錆の除去を行った。資料に傷をつけないよう、使用する道具を段階的にかえ、作業を行った。

第一段階としてはポリアミド製筆を用いて表面に付着した土を払って除去した。第二段階として、エタノールをしみこませた綿棒で筆では取り切れなかった土を除去した。第三段階として、竹串を用い、ブラシ・綿棒では除去できなかった錆を含む固い石や土を取り除いた。竹串でも取り切れない土や石、錆については替え刃式ナイフを用いて、除去した。第四段階として、ダイヤモンドビットを装着したドリルを使用した。このように柔らかい素材の道

具から段階的に使用することで、資料に対してのダメージを最小限に抑えることができる。また、脆弱な資料は、パラロイド[®]B72 アセトン溶液 (濃度 10wt%) を適時アセトンで薄めながら浸み込ませ塗布し、強化しながらクリーニングを進めた。

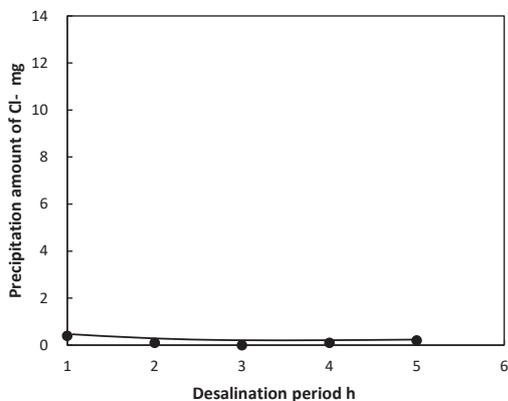
TK34 は状態調査によって細かい装飾の存在が確認できたが、クリーニングを進めるにつれ、装飾の詳細構造が明らかになった。そこで、本資料については、できる限り装飾を露出させ資料の情報を得ることとした。

4. 安定化処置

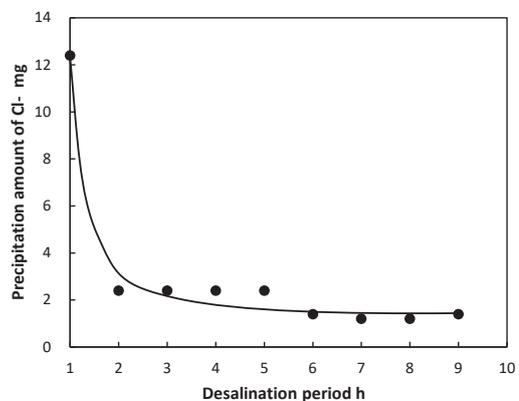
鉄製資料 資料内部の塩化物イオンを積極的に溶出させる高温高压脱酸素水法で脱塩を行った。脱塩には高温蒸気滅菌器 (島津理化 KY-23 型) を使用した。資料を 1 点ずつレーヨンとポリエステル混合不織布 (日本バイリーン CX-4-420) に包み、ホットキスのステンレス製芯で閉じた。これを純水で満たしたステンレスバット内に資料を浸漬し、装置のなかに 127℃・1.6kgf/cm² で 1 時間保持した。浸漬に使用した純水の塩化物イオン濃度を塩素イオン計 (笠原理化学工業 CL-10Z) で測定し、脱塩量が一定値で安定することを確認して脱塩の終了とした。脱塩回数と脱塩量の関係を図 2 に示す。2018 年出土品は純水を 5 回、2019 年出土品は純水を 9 回交換した時点で、終了とした。

脱塩終了後は恒温槽において 105℃ で高温乾燥を 2 日間行った。高温乾燥後は、50℃ の乾燥機内で約 30 日間保管しながらさらに十分な乾燥を行った。

乾燥後は、再度 X線透過像との照合を行い、最



(a) 2018 年出土資料



(b) 2019 年出土資料

図 2. 鉄製品の脱塩回数と脱塩量

最終的な形状確認を行った。必要であれば追加で錆の除去を実施した。

銅合金製資料 ベンゾトリアゾールエタノール溶液（濃度 3wt%）に資料を浸漬し、デシケーター内で真空ポンプを使用して減圧した。この状態で7日間保持し、資料に薬液を浸透させた。ベンゾトリアゾールは銅と反応し、資料表面にベンゾトリアゾール第二銅の皮膜を形成することで、腐食要因から資料を保護する効果がある。

5. 強化処置

鉄製資料 表面腐食層が厚く樹脂が内部まで浸透しにくいため、低い粘度の非水系アクリルエマルジョン樹脂であるパラロイド[®]NAD-10V ソルベントナフサ溶液（濃度 35wt%）を1日間減圧含浸した。1回目の終了後、2回目を実施した。樹脂含浸後、ドラフトチャンバー内で資料を十分に乾燥させた。

銅合金製資料 パラロイド[®]B72 ベンゾトリアゾールアセトン溶液を1日間減圧含浸した。溶液の濃度はパラロイド[®]B72が5wt%、ベンゾトリアゾールが1wt%である。樹脂含浸後、ドラフトチャンバー内で資料を十分に乾燥させた。

6. 仕上げ処置

樹脂含浸により資料表面に生じた過度な光沢は、毛足を短くカットした筆やステンシルブラシにアセトンをしみこませ、こすることで除去した。筆やブラシの届かない溝等に生じている光沢についてはパラロイド[®]B72アセトン溶液で拡散させたマイクロクリスタリンワックス（RENAISSANCE[®]）を塗布した。マイクロクリスタリンワックスは細かな粒子であり、資料表面に塗布することで入射光を拡散させ光沢を消すことができる。

光沢を除去した後、破断がある資料の接合を行った。接合にはエポキシ系接着剤（アラルダイト[®]ラピッド）を使用した。

充填は資料の補強と接合箇所の補強を目的として行った。保存処置後、キルギス共和国へ輸送するため、輸送中の振動で破損しないよう、脆弱箇所には全て充填を行った。充填した部分が、オリジナルの資料と区別がつくように充填材の表面は凹凸の無い平面に仕上げた。充填にはエポキシ系充填剤（XNR・XNH6105）を使用した。

充填後、充填箇所について、アクリル絵の具で補

彩を行った。補彩についてもオリジナルの表面と区別がつくように、グラデーション等はつけず、充填1か所につき単色で補彩を行った。区別がつくように補彩はしているが、資料を見た際に補彩箇所が目立たないような色で仕上げた。目安として、充填・補彩した部分が1m以上離れた位置から見た場合には気が付かない程度、かつ間近で見た場合には区別がつく程度とした。

V. 処置後記録の作成

デジタルカメラを使用して処置後写真を撮影した。処置前と比較できるように、資料の向き角度を処置前写真と揃え、撮影を行った。図3に保存処置前後の写真を示す。

また、寸法と重量を計測し、保存修復処置記録票に記入した。さらに保存修復処置記録票の内容について、記入漏れがないか等の確認を行った。

VI. 梱包

資料を安全に運ぶための梱包を行った。梱包はポリスチレン製ケース（アズワン スチロール角形ケース 5-066-15）、無架橋発泡ポリエチレン（酒井化学工業 ミナフォーム[®]）、気泡緩衝材（プチプチ）を使用して作製した。無架橋発泡ポリエチレンは金属資料に有害なガスを含まず、柔軟性があり緩衝性に優れた材料である。

標本箱を土台として、その内部の大きさに合わせて切断した無架橋発泡ポリエチレンを両面テープで固定し、その上に同じサイズの無架橋発泡ポリエチレンに資料の大きさに合わせてスチロールカッター

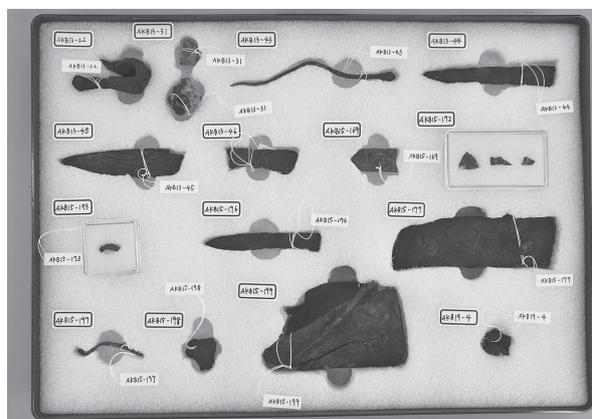


図4. 梱包の状態

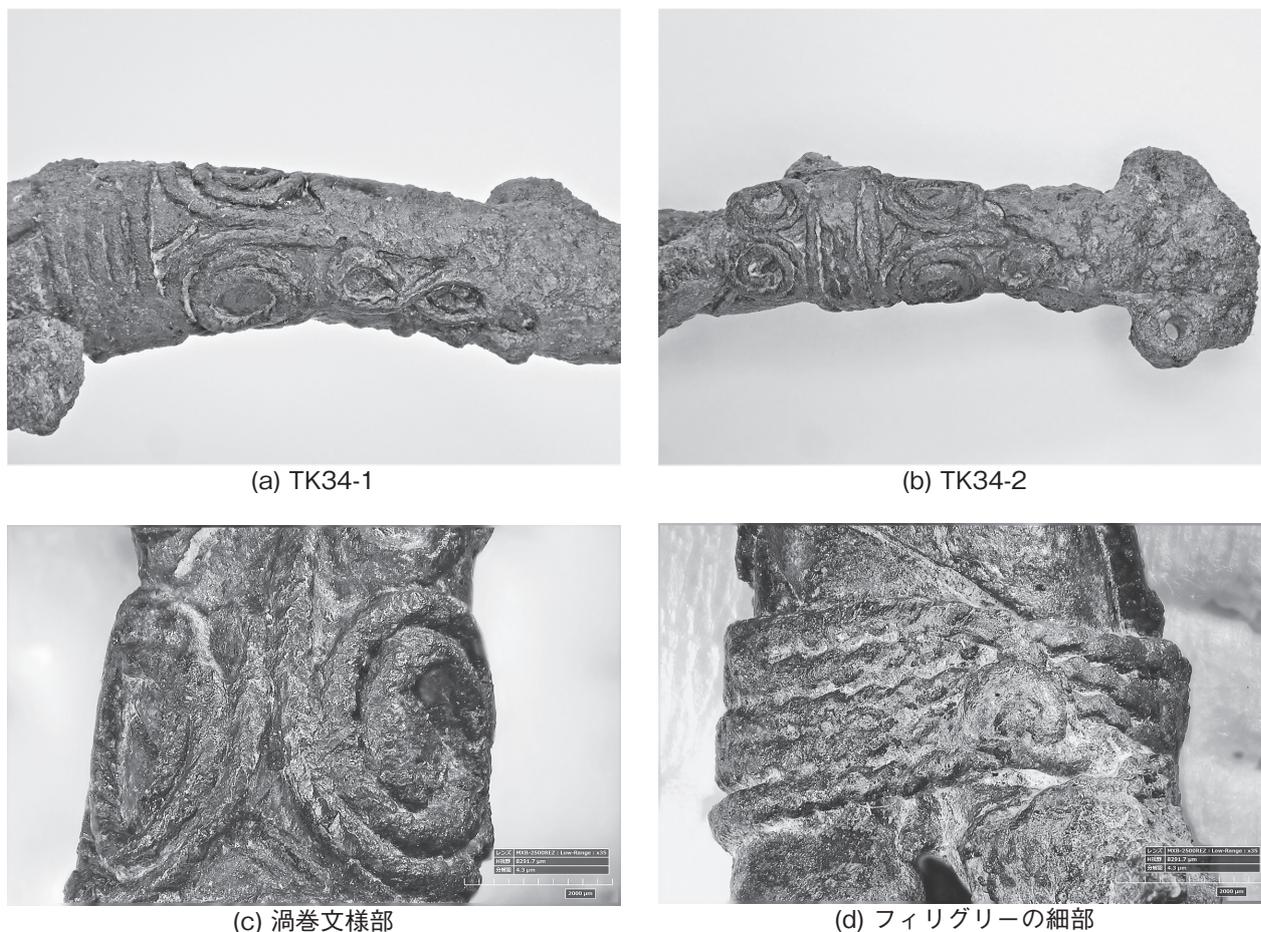


図5. TK34の装飾部

で穴を開けたものを固定する。さらにその上に薄葉紙を載せ、ケースの蓋の高さまで気泡緩衝材で満たした。

輸送中の揺れを最小限に抑えられるよう、無架橋発泡ポリエチレンに資料に合わせた穴を開ける際は大きくなりすぎないようにした。しかし、穴が小さすぎると取り出す際に摩擦によって資料が崩壊する可能性があるため、資料に合わせた確な大きさになるようにした。さらに取り出しやすいように指の入る空間を設けた。図4に梱包状態を示す。

Ⅶ. 銅合金製資料の合金種

金属文化財から当時の冶金技術を復元するためには、使用された材料の産地や種類、加工方法を明らかにする必要がある。しかしこれらを明らかにするには非破壊分析だけではなく、破壊分析を併用する必要がある。そこで、本報告ではまず非破壊的手法で材料を検討し、今後の調査分析方針を決定する

ための基礎資料を得ることを目的とする。

本報告で保存修復の対象とした資料には鉄製資料を含むが、鉄鋼材料は非破壊での合金種の同定が難しいため、ここでは銅合金製資料について、使用された材料の特徴を検討した。観察と蛍光X線分析を保存修復処置後に再度行った。これは付着物を除去したため処置前よりも正確な結果が得られるためである。保存修復処置において樹脂やワックスを使用しているが、軽元素を主とし銅合金に含まれる合金成分金属を含まないため、影響は少ない。分析方法は上述のⅢと同様である。

TK34では、クリーニングにより精緻な装飾が明らかとなった。これを図5に示す。腐食生成物の固着により装飾の全体像は明らかではないが、その加工方法は推定することができる。装飾の全体構造は直径約2.5mmの線材を4本まとめて捻り、その両端は鍛造し1本の円柱形としている。この円柱部に約0.5mmの捻り線を5重に巻き付け背面で固定している。その両側に2個ずつ渦巻文様を配し、さらに端

表3. 金属資料の蛍光X線分析によって得られた半定量結果 (mass%)

保存処置番号	資料形態	推定年代	検出された合金および不純物元素						推定された合金種
			Cu	Sn	Zn	Pb	As	Sb	
TK33	不明金属製品 (棒状)	8C後半-9C後半	99.7	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	A
TK47	鋳片か	11C前半	99.6	0.0	0.3	0.1	0.0	0.0	
TK53	容器片か	不明	98.4	0.3	0.5	0.9	0.0	0.0	
TK13*	不明金属製品	?	99.6	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	
TK15*	不明金属製品	10C-11C?	99.6	0.0	0.3	0.1	0.0	0.0	B
TK50	把手	7C末-8C初?	98.3	0.5	0.0	1.2	0.0	0.0	
TK46	不明金属製品	11C前半	97.1	0.0	0.5	1.9	0.4	0.1	
TK45	鋳具馬具か	11C前半	72.5	0.7	0.5	25.9	0.3	0.1	
TK40-1	不明金属製品	10C-11C	87.8	0.0	0.4	11.8	0.0	0.0	C
TK07*	溶融滓	10C-11C?	69.2	0.1	0.3	30.3	0.0	0.1	
TK12*	コイン (ソグド)	9C?	61.9	0.9	0.2	36.8	0.0	0.2	
TK16*	コイン	10C-11C?	53.2	0.0	0.1	46.6	0.0	0.1	
TK18*	コイン (ソグド)	10C-11C?	62.9	0.9	0.2	35.8	0.0	0.3	D
TK20*	コイン	10C-11C?	71.3	0.1	0.2	28.1	0.0	0.3	
TK26*	コイン (ソグド)	8C-9C?	86.8	0.7	0.0	12.5	0.0	0.0	
TK31*	コイン	8C-9C?	56.4	0.0	0.2	43.5	0.0	0.0	
TK35-2	破片	10C-11C?	89.9	9.3	0.7	0.0	0.1	0.0	E
TK37	パウル	10C-11C?	85.9	13.0	0.7	0.2	0.2	0.0	
TK23*	不明金属製品	?	98.4	1.3	0.1	0.2	0.0	0.0	
TK25*	溶融滓	?	98.6	1.1	0.3	0.0	0.0	0.0	
TK41	ピンか	8C-9C?	92.1	3.4	0.6	3.6	0.2	0.1	F
TK01*	ピンか	10C-11C?	86.3	5.5	0.6	7.3	0.0	0.2	
TK06*	ピース	10C-11C?	96.4	1.4	0.0	2.2	0.0	0.0	
TK27*	不明金属製品	8C-9C?	89.7	1.1	0.1	9.1	0.0	0.0	
TK09*	コイン (ソグド)	10C-11C?	55.0	2.2	0.1	42.6	0.0	0.1	G
TK10*	コイン	10C-11C?	61.4	1.3	0.0	37.2	0.0	0.0	
TK17*	コイン (ソグド)	10C-11C?	56.5	1.3	0.0	42.1	0.0	0.1	
TK21*	コイン	10C-11C?	52.4	1.8	0.0	45.7	0.0	0.1	
TK34-1	プレスレット	10C-11C?	88.7	0.4	10.3	0.6	0.0	0.0	H
TK34-2	プレスレット	10C-11C?	88.4	0.8	10.2	0.5	0.0	0.0	
TK32	不明金属製品 (棒状)	10C-11C?	87.5	0.9	8.5	2.8	0.2	0.0	
TK35-1	指輪	10C-11C?	82.6	0.0	13.3	4.1	0.0	0.0	
TK38	不明金属製品 (板状)	10C-11C?	81.1	0.2	12.5	5.6	0.6	0.0	H+金属
TK19*	環状製品	10C-11C?	85.2	0.1	13.6	1.0	0.0	0.0	
TK05*	コイン (ソグド)	10C-11C?	37.8	0.6	0.0	61.5	0.0	0.1	
TK08*	コイン (ソグド)	10C-11C?	48.0	0.3	0.0	51.6	0.0	0.0	
TK14*	コイン	10C-11C?	35.2	0.0	0.1	64.3	0.0	0.5	I
TK02*	コイン (ソグド)	10C-11C?	22.7	3.1	0.1	74.1	0.0	0.0	
TK11*	不明金属製品	10C-11C?	86.7	1.5	7.0	4.7	0.0	0.0	
TK30*	コイン (開元通宝)	9C-10C?	70.6	1.5	1.3	26.6	0.0	0.0	

合金種：A純度の高い銅、B鉛を含む銅、C鉛が多い銅（鉛含有量が10%以上）、D青銅、E鉛を含む青銅、F鉛が多い青銅（鉛含有量が10%以上）、G真鍮、H鉛を含む真鍮、I銅を含む鉛、J銅と錫を含む鉛、K銅-鉛-錫-亜鉛

※三浦 2019の分析結果より再計算

部側には∞模様が観察される。この接合方法は蠟付けか溶着だと考えられる。この技法は主に金や銀細工に用いられるフィリグリー（線状細工）と呼ばれるものであり、その起源は古い。本資料の類例は、タシケントなどウズベキスタン北部において銀製のものが報告され、両端の装飾は蛇を表しているとされる（Фахретдинова, 1988）。

次に、使用された合金種についてその金属器種と

の関係を検討した。本報告にある15点だけでなく前報（三浦, 2019）に含まれる25点の測定結果も併せて、40資料について使用された材料の検討を行った。蛍光X線分析より得られた半定量結果から合金成分を抽出し、合金成分の合計が100%になるよう再計算した。これを表3に示す。検出された特徴的な元素を太字にしているが、錫（Sn）については他資料からの付着が考えられるため、1%以

表 4. 鉍滓の蛍光 X 線分析によって得られた半定量結果 (mass%)

保存処置番号	検出された元素																			
	Cu	Sn	Zn	Pb	As	Sb	Fe	Ca	Mg	Al	Si	P	S	Cl	K	Ti	Mn	Rb	Sr	LE
TK40-2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.3	4.0	0.0	2.3	11.0	0.2	0.1	0.0	1.9	0.7	0.1	0.6	4.5	66.2
TK35-3	4.7	0.2	0.0	1.3	0.0	0.0	1.3	4.0	0.0	0.0	7.4	1.4	0.4	2.7	2.6	0.4	0.1	0.8	3.2	69.5
TK35-4	11.4	0.5	0.1	0.8	0.0	0.0	1.6	3.8	0.0	0.5	8.4	1.5	0.2	7.9	2.2	0.4	0.0	0.8	2.9	56.8

上の場合に合金成分と判断した。亜鉛(Zn)と鉛(Pb)については銅鉍石に不純物として含まれることが多いため、同様に1%以上の場合に合金成分とした。同定された合金種は、A 純度の高い銅、B 鉛を含む銅、C鉛が多い銅（鉛含有量が10%以上）、D 青銅、E 鉛を含む青銅、F 鉛が多い青銅（鉛含有量が10%以上）、G 真鍮、H 鉛を含む真鍮、I 銅を含む鉛、J 銅と錫を含む鉛、K 銅 - 鉛 - 錫 - 亜鉛の11種に大別できる。

Aに分類された資料は、塊状もしくは薄片であり、製品ではなく素材の一部である可能性が高い。合金化する前の銅素材であると考えられる。

Bに分類された資料は、TK46とTK50であり、どちらも薄い板状である。銅に鉛を足していることから製品の一部であると考えられるが、薄く加工するため展性を優先した合金設計と考えられる。鉛を多く含むC、F、I、Jに分類された資料の多くはコインである。そのほかに鋳具(TK45)を含む。これらは鋳造品であり、湯流れ性の向上を目的として多くの鉛が足されたと考えられる。また溶融滓(TK07)が含まれることから、これらの製品は本遺跡で製作された、もしくはこれらの製品を再利用して別の製品を製作していたことが分かる。

Dに分類された資料は、薄片および溶融滓(TK25)である。錫を足すことによって薄いがある程度の強度を必要とする容器のような製品であった可能性が高い。溶融滓が含まれることから青銅製品も本遺跡内で加工されていた可能性が高い。

Eに分類された資料は、ピンやビーズといった装飾品であり、同様に強度が必要な製品であり、錫が含まれている。錫を添加とすることで装飾品としての色味調整も意図されたと考えられる。

Gに分類された資料は、TK34-1とTK34-2であり、その化学組成がほぼ同一であることから元々は一体であった可能性が高い。これは真鍮製であり、装飾品であることを鑑みると、金色を呈し金の代用品として選択されたと考えられる。

Hである鉛を含む真鍮としては、棒状製品、指輪、板状製品、環状製品がある。これらも真鍮製であることから装飾品もしくはその一部であると考えられる。真鍮の起源は古く、紀元前2千年紀にはその存在が知られている(Craddock, 1998)。中国では隋代にはササーン朝ペルシャの産物として知られており、唐代には腰帯に使用されたとされている(Laufer, 1919)。よって唐代には西から合金法が伝わり、唐の最西に位置する軍事拠点であったアク・ベシム遺跡を含む中央アジアを経由して真鍮もしくは亜鉛を得ていた可能性がある。実際に718年にマイマゲル(サマルカンドの北西)から鍮石を輸入した記録が738年に完成した大唐六典に記されている。しかし646年の大唐西域記には真鍮の材料である鍮石は北インドで発見された金属であるとも記載があり(Laufer, 1919)、いまだその流通経路が同定されるには至っていない。今後、真鍮のインゴットを調査対象として、鉛同位体比から産地を推定していきたい。

Kに分類された資料は、錫と亜鉛を含む材料であり、TK11については青銅と真鍮を素材として利用したと考えられる。コイン(開元通宝)については亜鉛の含有量が少なく、銅鉍石由来である可能性もある。

本調査の中で鉍滓が複数点見ついている。その半定量結果を表4に示す。TK40-2は銅合金に含まれる金属元素を含まないことから鉄滓であると考えられ、TK35-3とTK35-4については含有量は低いものの銅を含むため、銅滓である。これらは鉍石から還元して金属を得る際に得られる滓であり、鉄および銅製錬を行っていた証拠である。

以上から合金種とその金属器種は明確な相関関係が多く見出された。これはすなわち加工方法および用途に即した合理的な合金設計が行われていることを示している。これまでの結果と合わせると、多くの不定形の不明品は純度の高い銅であり、素材もしくは製錬や加工時の溶融滓である。鉛を多く含む合

金は、コイン類に代表される鑄造品に使用されている。また、同成分の溶融滓が検出されていることから、鉛の多い銅を鑄造していた証拠である。容器のような薄く強度が必要なものは青銅製であり、装飾品には青銅製と真鍮製がある。このような明確な合金の使い分けが行われていることが明らかとなった。また、溶融滓だけでなく鉍滓も検出されていることから、鉍石からの製錬よび製品への加工まで一貫して行われていた製品があると考えられる。

さらに特筆すべきは、当該地方では比較的新しい合金である真鍮が検出されたことである。上述のように真鍮の起源はいまだ不明な点が多く、西から東に伝わった技術である可能性を、アク・ベシム遺跡の交易都市としての性格と併せながら検討していきたい。

謝辞

今回の保存修復および科学的調査にあたってはキルギス共和国国立科学アカデミーのバキット・アマンバエヴァ氏と帝京大学文化財研究所の山内和也教授のご協力の上、実現することができました。このような機会をいただいたことに、心より感謝いたします。

引用文献

- 帝京大学文化財研究所，キルギス共和国国立科学アカデミー歴史遺産研究所，2019，アク・ベシム（スイヤブ）2017，帝京大学シルクロード学術調査団調査研究報告
- 帝京大学文化財研究所，キルギス共和国国立科学アカデミー歴史遺産研究所，2020，アク・ベシム（スイヤブ）2019，帝京大学シルクロード学術調査団調査研究報告書3
- Фахретдинова Д. А., 1988, Ювелирное искусство Узбекистана, Ташкент: Изд-во лит. и искусства, 59-61
- 三浦麻衣子，藤澤明，2019，アク・ベシム遺跡出土の金属製品の保存修復，帝京大学文化財研究所研究報告第18集，99-116
- Craddock P. T., 1998(revised edition), 2000 Years of Zinc and Brass, British Museum Press, Occasional paper No.50, 7-26
- Laufer, B., 1919, Sino-Iranica, Field Museum of National History, 630

参考文献

- 独立行政法人国立文化財機構東京文化財研究所・アルメニア共和国文化省 2013 『アルメニア歴史博物館所蔵 考古金属資料の保存修復と自然科学的調査 2011・2012年度（第1次～第4次ミッション）』
- 京都造形芸術大学編 2002 『文化財のための保存科学入門』 角川学芸出版



No.TK32 処置前



No.TK32 処置後

図3. 保存処置前後の写真



No.TK33 処置前



No.TK33 処置後



No.TK34-1 処置前



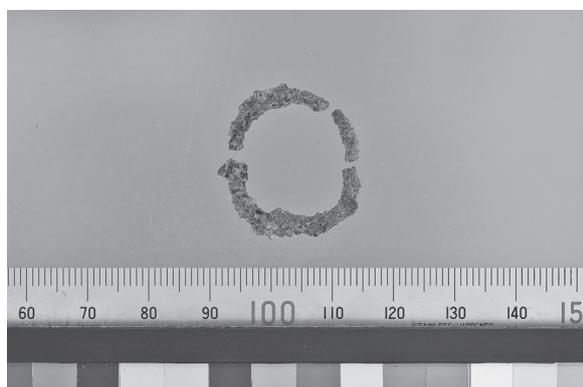
No.TK34-1 処置後



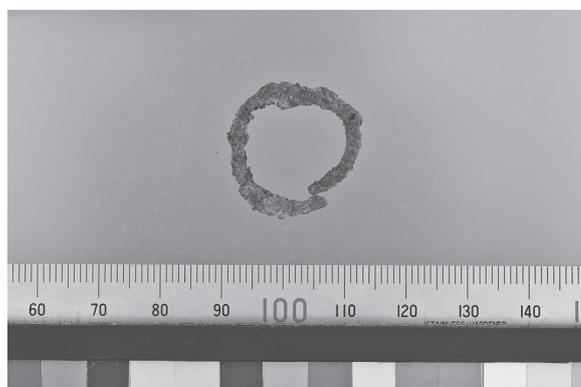
No.TK34-2 処置前



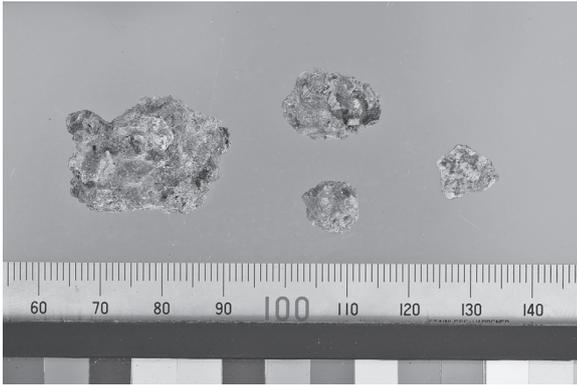
No.TK34-2 処置後



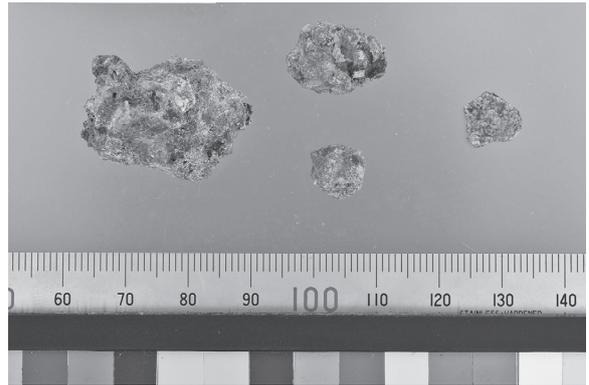
No.TK35-1 処置前



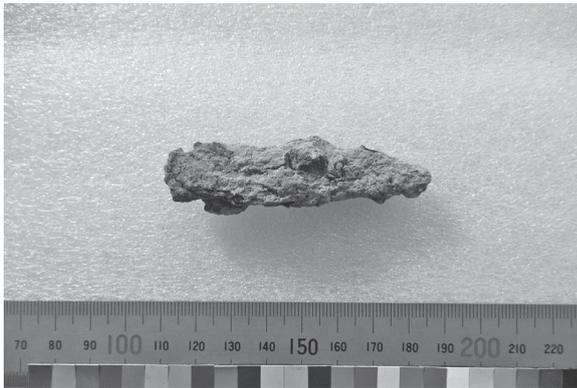
No.TK35-1 処置後



No.TK35-2~4 処置前



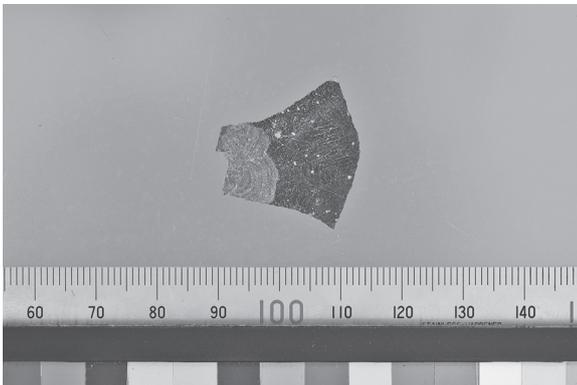
No.TK35-2~4 処置後



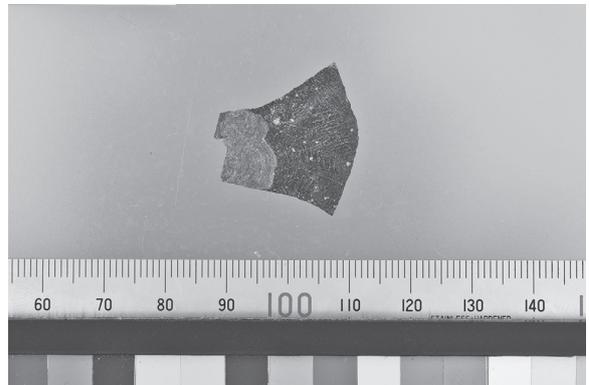
No.TK36 処置前



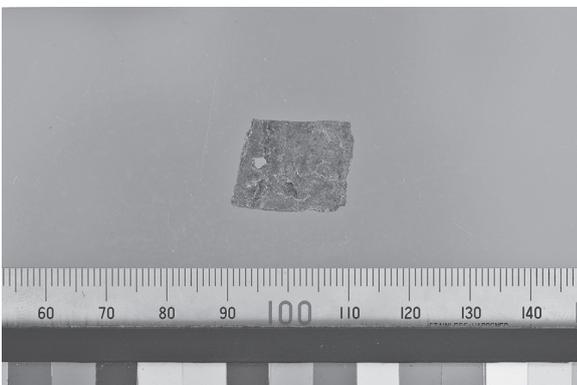
No.TK36 処置後



No.TK37 処置前



No.TK37 処置後



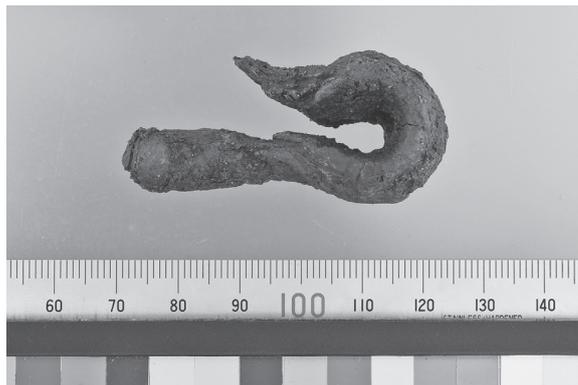
No.TK38 処置前



No.TK38 処置後



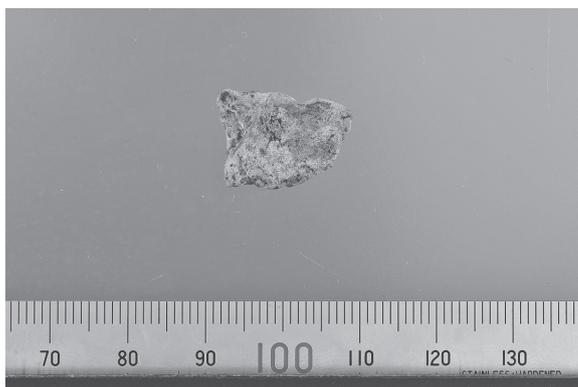
No.TK39 処置前



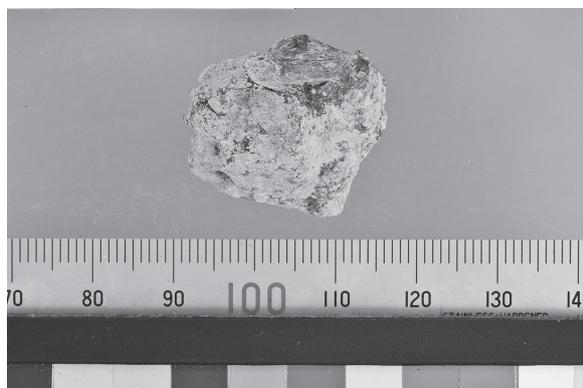
No.TK39 処置後



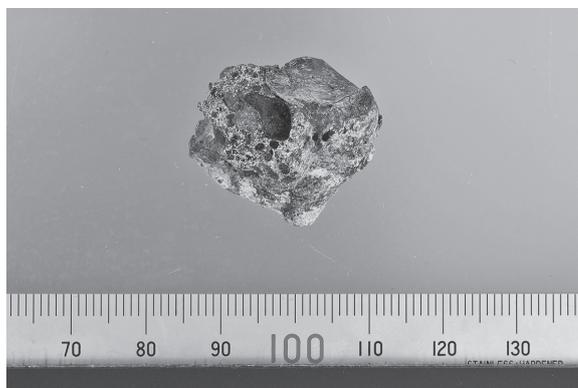
No.TK40-1 処置前



No.TK40-1 処置後



No.TK40-2 処置前



No.TK40-2 処置後



No.TK41 処置前



No.TK41 処置後



No.TK42 処置前



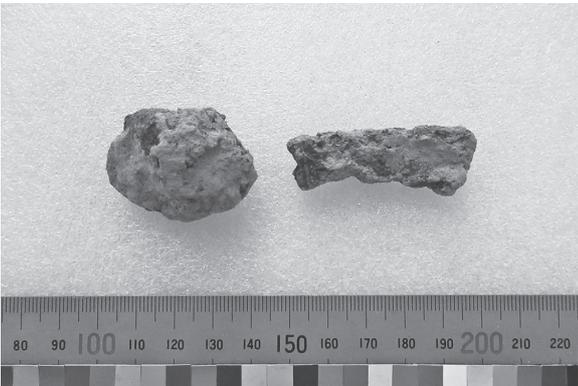
No.TK42 処置後



No.TK43 処置前



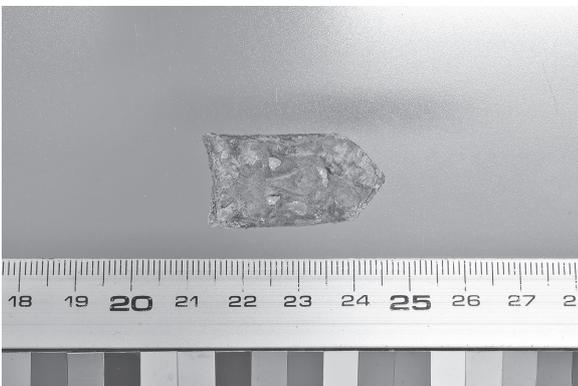
No.TK43 処置後



No.TK44 処置前



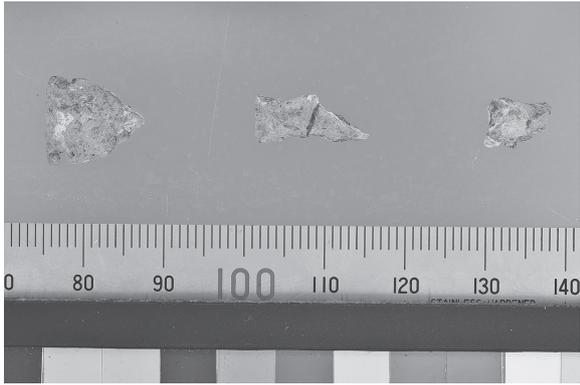
No.TK44 処置後



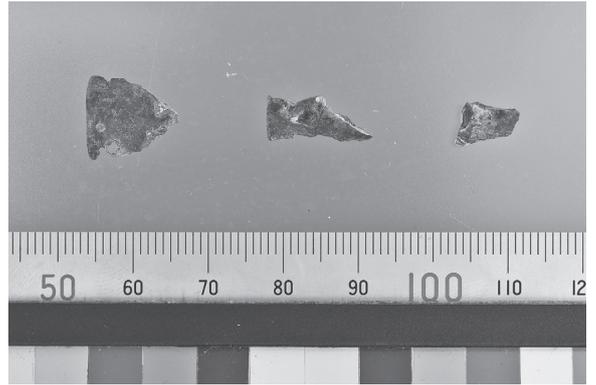
No.TK45 処置前



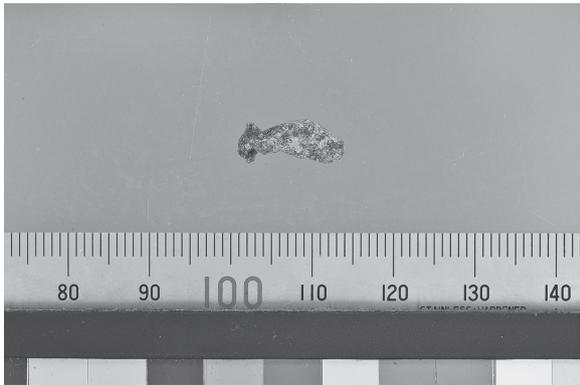
No.TK45 処置後



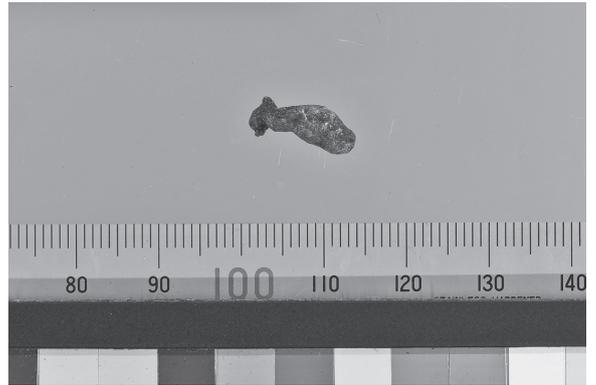
No.TK46 処置前



No.TK46 処置後



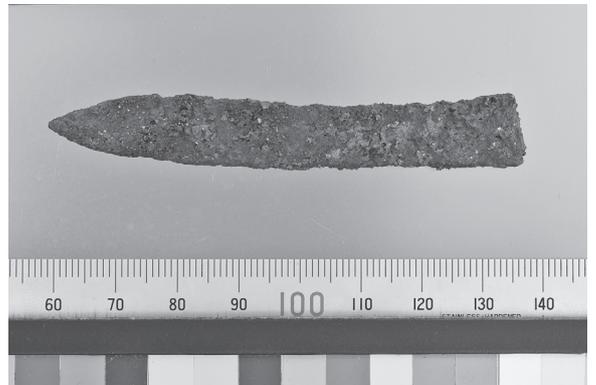
No.TK47 処置前



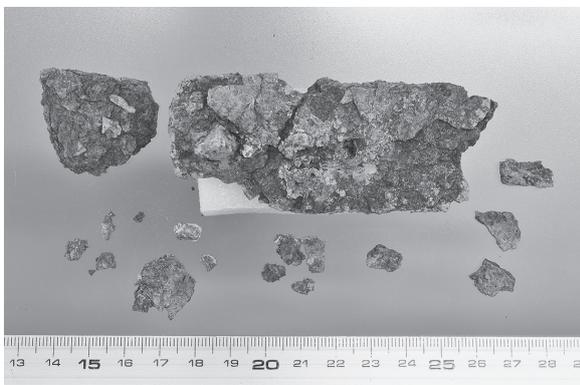
No.TK47 処置後



No.TK48 処置前



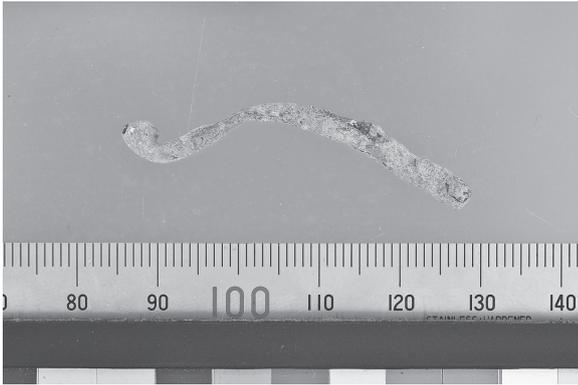
No.TK48 処置後



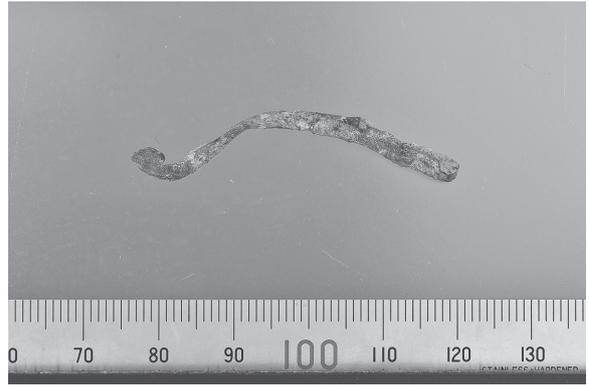
No.TK49 処置前



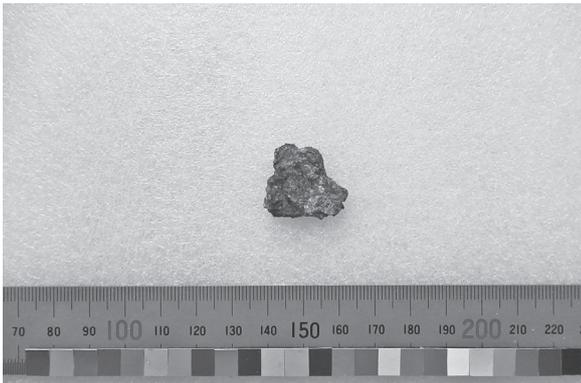
No.TK49 処置後



No.TK50 処置前



No.TK50 処置後



No.TK51 処置前



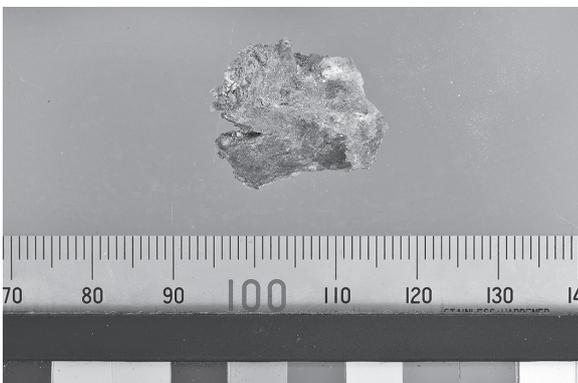
No.TK51 処置後



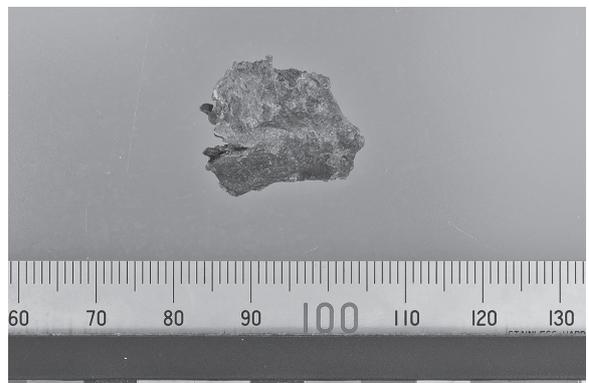
No.TK52 処置前



No.TK52 処置後



No.TK53 処置前



No.TK53 処置後