## 文化財と技術 第9号

2019 年 2 月28日 印刷 2019 年 3 月 1 日 発行

編 集 鈴木 勉

発 行 特定非営利活動法人 工芸文化研究所

所長 鈴木 勉

発行所 特定非営利活動法人 工芸文化研究所

所長 鈴木 勉

東京都台東区根岸5-9-19 (〒110-0003)

印 刷 千葉刑務所

千葉県千葉市若葉区貝塚町192 (〒264-8585)

# 『文化財と技術』

## 第9号

第一部 古代日本列島のものづくり

<環頭大刀>

上栫 武 岡山県総社市こうもり塚古墳出土の単鳳環頭大刀

金 宇 大 旋回式単龍環頭大刀の新例とその評価

<三角縁神獣鏡>

鈴木 勉 三角縁神獣鏡の系譜論と製作地論から型式学を検証する 鈴木 勉 岡村・光武氏らによる金石学的三角縁神獣鏡論について

<鉄の加工技術>

黒木英憲 弥生時代の日本に特有で表面に長い溝 (=樋) のある

戈 (=鉾) すなわち「有樋鉄戈」の製法について

瀧瀬芳之 日本列島内出土象嵌遺物集成(刀剣・鉾・刀子編)

鈴木 勉 線刻鉄刀と象嵌技術

- 移動型渡来系工人ネットワークの手掛かり-

第二部 古代朝鮮半島のものづくり

李鮮明・南宮丞 扶餘陵山里寺址出土鏤金細工遺物の製作技術研究

鈴木 勉 たがねの切れ味から見える百済王興寺金銅舎利銘の製作背景

鈴木勉・金跳咏 新たに発見した三国時代の彫金技術と

「はがねの熱処理技術」の関係

第三部 古文化財学

河野一隆 装飾古墳からみた平福装飾陶棺の図像学的検討

塩屋公寛 考古資料のデジタル化と課題について

鈴木 勉 流通古文化財の闇

- 金印・誕生時空論と福岡市博購入印章の調査-

黒木英憲 提言:考古学研究者と金属に関わる

多くの科学技術者の協力を目指して

第四部 復元研究

比佐 陽一郎 藤ノ木古墳出土耳環の復元製作について

### 扶餘陵山里寺址出土鏤金細工遺物の製作技術研究

李鮮明(国立文化財研究所)·南宮丞(前 国立扶餘博物館)

#### 1. はじめに

金は、変わらない特有の色合いや光沢、希少性のため、古代から愛されてきた。特に、加工性<sup>1</sup>が豊かであるため、装身具、装飾品、工芸品の製作に用いられ、かつ支配階層の権威と福の象徴としてもよく使われた。金製品の加工技法は、大きく板金技法、打ち出し技法、鏤金細工技法、鍍金技法に分けられる。このうち鏤金細工技法は金細線、金粒子で文様を形成し、表面を飾る技法で、装飾効果とともに技術的にも高度な細金細工術である<sup>2</sup>。さらに、東・西洋の金属工芸にも使用された細工技法で、古代文化の技術伝播を考える上で、重要な考察の対象となる。

鏤金細工技法に関する研究は、用語に関する解釈と概念確立、製作工程、起源と伝来過程などに分かれる。特に、新羅における鏤金細工遺物に関する造形的な特徴研究が進んでいる<sup>3</sup>。最近では、 先端科学的な機材を利用することで鏤金細工遺物を調査し、これに基づいた再現実験を行い、細線 と細粒の固着技術を研究するなど、研究の領域が広まっている<sup>4</sup>。

本稿では、扶餘陵山里寺址から出土した鏤金細工遺物を対象として非破壊分析を行い、金の材料的な特性を明らかにした。そして、精密顕微鏡調査を実施することで、細かい形と加工痕跡および肉眼では確認できない物質について検討を行なった。今回の研究資料は、百済における金属細工技術を理解し、従来の新羅の金工品とともに、古代技術の交流においても、基礎資料として活用できよう。

#### 2. 研究対象と方法

#### 1) 研究対象

扶餘陵山里寺址から出土した金製遺物は、すべてが小型の金工品である。金製遺物のうち、鏤金細工技法の4点を分析対象として選んだ(表1・図1)。これは百済泗沘期には、多くない鏤金細工遺物であり、金製の円錐形鏤金装飾(NS-G1)と鏤金玉(NS-G2・NS-G3)は、寺址内で金

<sup>1</sup> 金 (Au) は、原子番号 79 番であり、科学的にもっとも安定した金属である。銀 (Ag)、銅 (Cu) とともにメンデレーエフ周期律の 11 属に当たる (coinage metal)。重金の比重は 19.32、融点は 1063.43°C、ブリネルかたさ 18、引っ張り強さ 12kg/mi、延伸率 68-73% である。展延性は、金属の中で最も優れ、1g の金で 3000m の金線を作ることができ、厚さが 0.07 μm程度の金箔の製作も可能である。純金は柔軟なので、細工材料としては適しない。従って、硬さを高めるため、他の金属(銀、銅、白金)と合金して使用する(김경아 외 2005)。

<sup>2</sup> 鏤金細工技法とは、金粒子と金細線を用いて表面をかざることで、西洋では細線 (filigree) と粒子 (granulation) と分かれる。しかし、韓国では両者を合わせて「鏤金細工」という (이난영 2000、이영희 1998)

<sup>3</sup> 이난영, 2000, 『韓國古代의 金屬工藝』, 서울대학교 출판부、이영희, 1998, 「古新羅 金屬工藝의 鏤金細工技法 研究」, 이화여자대학교 박사학위논문、이유진, 2006, 「고대 누금세공(鏤金細工)기법의 전개와 발전」, 『기초조형학연구』, 7권 1호, pp.377-383.

<sup>4</sup> 권향아, 2002, 「삼국시대 이식 (耳飾의 누금기법 (鏤金細工) 에 관한 연구」, 『한국공예논총』, 5 권 1 호, pp.7-35, 문환석, 조남철, 흥종욱, 2001, 「고대 누금 세공기법 제작기술 연구」, 『보존과학연구』, 22 집, pp.81-91、주진옥, 강대일, 2006, 「皇南大塚 南墳출토 太環耳飾의 성분분석과 그 특징」, 『보존과학연구』, 27 집, pp.130-143、허우영, 2003, 「금 제태환이식 (보물 557호) 에 사용된 누금기법」, 『호암미술관 연구논문집』, 6호, pp.113-123、허우영, 2005, 「5-6세기 금제 귀걸이 누금세공에 사용된 접합기법」, 『삼성미술관 Leeum 연구논문집』, 1호, pp.135-145.

属工芸品を生産したと思われる工房の周辺から見つかったものである。

対象遺物は、成分を分析して材質を確認し、顕微鏡調査を行うことで微細構造の確認とともに全体的な製作技術を検討した。

試料類型	試料番号	遺物名称	数量	特徴		
金製遺物	NS-G1	金製の円錐形鏤金装飾	1	直径:0.6-0.8cm, 高さ:3.1cm 重さ:2.4		
	NS-G2	鏤金玉	1	直径:0.7cm, 高さ:0.5cm 重さ:1.4g		
	NS-G3	鏤金玉	1	直径:0.7cm, 高さ:0.5cm 重さ:0.9g		
	NS-G4	小環連接球体	1	直径:約0.6cm, 重さ:0.6g		

表 1 扶餘陵山里寺址出土鏤金細工遺物の試料目録

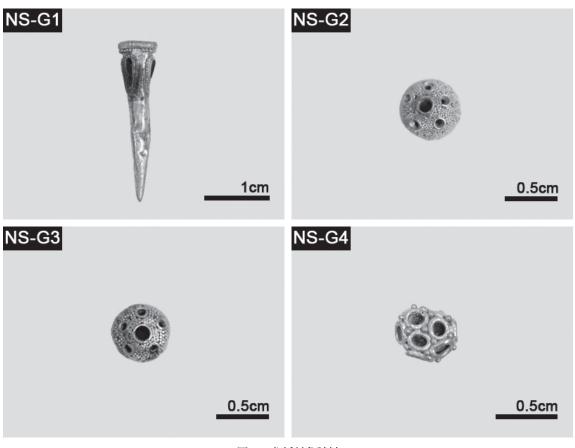


図1 分析対象試料

#### 2) 研究方法

材料の化学組成を確認するため、移動形 X-線蛍光分析器(P-XRF・ArtTAX Basic・Bruker AXS・Germany)を利用して表面非破壊分析を行なった。分析条件は、Nofilter 状態において、モリブデン(Mo)Target で電圧 50kV、電流 600 μA、分析時間は 200s であり、分析面積は直径

<sup>5</sup> 국립부여박물관, 2000, 『능사 - 부여 능산리사지 발굴조사 진전보고서』, pp.83-101. 국립부여박물관, 2006, 『백제의 공방』, pp.12-23.

0.65 mmである。分析結果の信頼性を確保するため、信頼できる金標準試料で生成した Calibration プログラムを設定し、これと同じ想定条件で分析を進めた。分析結果は、標準試料で生成した Calibration データを補整した 100%換算値であり、表面分析による分析誤差を勘案して解釈した。

鏤金細工遺物の微細な実体を確認するため、実体顕微鏡観察を行い、細部形態、表面状態、加工 痕などの微視的な特徴を調査し、製作技法を推定した。使用した機器は、LeicaMZ12で、試料を 8倍~100倍まで拡大することができ、肉眼では確認できない細工技法を観察するのに適する。し かし、実体顕微鏡は、試料の細部形態をカラー状態で観察することができるが、分解能には限界が ある。

細工技法によって立体感に富む遺物の精密な観察において、このような問題を補うため、分解能と鮮明な写真が得られ、簡単な映像の分析ができる走査電子顕微鏡(TESEM・VEGA II LMH・TESCAN・Czech)を使用した。また、これに取り付けられたエネルギー分散型の成分分析機(EDS XFlash detector・Bruker AXS・Germany)を利用して未知の物質に対して定性分析を行なった。分析した遺物は、すべてが伝導体であるが、伝導度を高めるためのコーティング作業は行わなかった。

#### 3. 研究結果および考察

#### 1) 化学組成分析

①金製の円錐形鏤金装飾 (NS-G1)

金製の円錐形鏤金装飾 (NS-G1) は、5つの部位に分け、計14箇所を分析した。詳しくは円錐形金板3箇所、上段金細線帯装飾2点、帯装飾下の金粒子3箇所、金板上の別当の金板装飾2箇所と金板を巡る金粒子4箇所である。分析結果、検出された主要構成元素は、金(Au)、銀(Ag)、銅(Cu)、鉄(Fe)であり、それぞれの元素において相対的組成比と金の含有量による純度6を換算して整理した(表2)。

元素別にみると、金 (Au) が 86.01~99.24% で、平均 94.44%、銀 (Ag) は 0.05~0.15% で、平均 0.11%、銅 (Cu) は 0.54~13.20% で、平均 5.05%、鉄 (Fe) は 0.06~1.39% で、平均 0.41% であった。銀 (Ag) と鉄 (Fe) は、ほとんど 1%以下であり、原料の不純物もしくは埋蔵された 当時の環境を表す表面異物と判断される。検出元素に基づいた金製の円錐形鏤金装飾の全体純度は 平均 22.7K で、比較的に高い純度であった。

分析位置別にみると、円錐形金板、上段金細線帯装飾、円錐形金板の区画した金板装飾は平均23.5K以上で、純金に近い。これに対し、帯装飾下の金粒子と金板装飾周辺の金粒子は銅(Cu)の含量が高く、金純度は低い。このように特定の位置から銅(Cu)の含量が高く検出される現象は、表面異物によるもののみならず、銅(Cu)成分を人為的に添加した可能性も考えられる。

<sup>6</sup> 金の純度は、カラットと表示する。金 100%を 24 カラットとして百分率に対する純度を換算する。したがって、1 カラットは 1/24 の純金が含まれている。

検出成分(%) Total Karats 遺物名 分析位置 Au Ag Cu Fe (%)(K) 23.5 98.09 0.05 1.45 0.40 100 99.24 0.11 0.54 0.11 100 23.8 97.14 0.13 2.66 0.08 100 23.3 98.63 0.13 1.18 0.07 100 23.7 В 98.07 0.14 1.30 0.49 100 23.5 金製の 96.29 0.14 2.19 1.39 100 23.1 円錐形 91.10 0.07 8.78 0.06 100 21.9 86.01 0.69 0.10 13.20 100 20.6 鏤金装飾 0.08 100 98.07 0.07 1.78 23.5 (NS-G1)D 98.90 0.09 0.93 0.08 100 23.7 86.01 0.10 13.20 0.69 100 20.6 97.02 0.15 1.49 1.34 100 23.3 Ε 90.35 0.09 9.45 0.11 100 21.7 87.26 0.10 12.49 0.15 100 20.9

表 2 金製の円錐形鏤金装飾 (NS-G1) の XRF の分析結果

#### ②鏤金玉 (NS-G2·G3)

鏤金玉 2点(NS-G2·G3)は、それぞれ 6 箇所を分析した。詳しくみると、金細線縁装飾の上・中・下の 3 箇所と金粒子 3 箇所である。分析結果、主要構成元素として金(Au)、銀(Ag)、銅(Cu)、鉄(Fe)が検出された。それぞれの元素において相対的組成比と金の含有量による純度を換算して整理した(表 3)。

元素別に見ると、NS-G2 の場合、金(Au)は 98.50-98.86% で、平均 98.61%、銀(Ag)は 0.67  $\sim 0.80\%$  で、平均 0.74%、銅(Cu)は  $0.33\sim 0.51\%$  で、平均 0.46% で、鉄(Fe)は  $0.05\sim 0.27\%$  で、平均 0.21% であった。 NS-G3 の場合、金(Au)は 96.48-98.34% で、平均 97.74%、銀(Ag)は  $0.72\sim 0.76\%$  で、平均 0.74%、銅(Cu)は  $0.66\sim 2.62\%$  で、平均 1.33% で、鉄(Fe)は  $0.12\sim 0.27\%$  で、平均 0.19% であった。

鏤金玉 2 点の全体純度を確認したところ、NS-G2 が 23.7K、NS-G3 が 23.5K であった。 2 点の平均含量は銀(Ag)と鉄(Fe)が 1 % 未満、銅(Cu)が 2 %未満であることから、不純物または表面の異物質と思われるため、ほぼ純金に近い組成である。

分析位置別に見ると、NS-G2 の金細線縁装飾および金粒子の平均純度が 23.6K で、位置による違いはなかった。NS-G3 においても金細線縁装飾および金粒子の平均純度が 23.5K で、位置による違いはなかったため、鏤金玉 2 点とも純金であることが分かる。

#### ③小環連接球体 (NS-G4)

小環連接球体 (NS-G4) は、金製環 3 箇所、金粒子 3 箇所の計 6 箇所の分析を行なった。その結果、主要構成元素として金 (Au)、銀 (Ag)、銅 (Cu)、鉄 (Fe) が検出され、それぞれの元素において相対的組成比と金の含有量による純度を換算して整理した (表 4)。

検出成分(%) Total Karats 分析位置 Fe (%)(K) Au Ag Cu 0.22 23.6 金細線縁装飾(上) 98.50 0.80 0.48 100 0.27 金細線縁装飾 (中) 98.54 0.720.47 100 23.6 金細線縁装飾(下) 98.86 0.67 0.33 0.15 100 23.7 金粒子 (上) 98.74 0.770.44 0.05 100 23.7 0.24 金粒子(中) 98.52 0.73 0.51 100 23.6

0.73

0.74

0.76

0.72

0.75

0.73

0.73

0.51

0.77

0.83

2.62

2.15

0.66

0.94

0.24

0.22

0.12

0.19

0.16

0.27

0.20

100

100

100

100

100

100

100

23.6

23.6

23.6

23.2

23.3

23.6

23.6

表 3 鏤金玉 (NS-G2・G3) の XRF 分析結果

98.52

98.25

98.30

96.48

96.95

98.34

98.14

元素別にみると、金(Au)が 95.63~96.82% で、平均 96.16%、銀(Ag)は 2.81~3.86% で、平均 3.45%、銅 (Cu) は 0.06~0.46% で、平均 0.27%、鉄 (Fe) は 0.04~0.17% で平均 0.09% であった。微量の銅(Cu)と鉄(Fe)を除いた金(Au)と銀(Ag)の成分比を 100%で換算して合金比を検討した。その結果、どの小環連接球体の部位でも、金と銀の合金比が 97:3 で一定していた。このような組成は前述の金製の円錐形鏤金装飾(NS-G1)および鏤金玉 2 点(NS-G2・G3)とは異なる組成であり、金の性質と色合いに影響が及ぶと思う。また、検出元素に基づいて遺物の金純度を確認したところ、23.1K の高い数値であった。

	,		,				
遺物名	分析位置		検出成	Total	Karats		
	刀彻位直	Au	Ag	Cu	Fe	(%)	(K)
小環 連接球体 (NS-G4)		95.85	3.79	0.32	0.04	100	23.0
	金製環	95.63	3.86	0.46	0.05	100	23.0
		96.69	2.81	0.06	0.17	100	23.2
		95.91	3.71	0.26	0.12	100	23.0
	金粒子	96.04	3.57	0.30	0.09	100	23.0
		96.82	2.95	0.19	0.04	100	23.2

表 4 小環連接球体 (NS-G4) の XRF の分析結果

#### 2) 微細構造の調査

遺物名

鏤金玉

(NS-G2)

鏤金玉

(NS-G3)

金粒子(下)

金細線縁装飾(上)

金細線縁装飾 (中)

金細線縁装飾(下)

金粒子(上)

金粒子(中)

金粒子(下)

#### ①金製の円錐形鏤金装飾(NS-G1)

実体顕微鏡の観察結果、金製の円錐形鏤金装飾(NS-G1)は、薄い金板を巻いて円錐形を作り、 上段の円縁部には金細線を巡らす。金線の断面は方形で、表面には△の刻みが続く。金線は、先端 と先端とが相接した状態で円錐形鏤金装飾の上段で帯装飾となっている(図 2A)。金細線帯装飾 の下には鏤金を巡らし、金粒子2つまたは3つが連接した状態で帯装飾と金板に付着されている(図 2B)。特に、円錐形金板と上部の金細線・金粒子の接合には鑞付けの痕跡が観察される。

円錐形金板は、薄い金板を直角に立てて柳葉形を作り、外側を金粒子で飾った(図 2C・2D)。4 地点の中、向かい合う 2 地点に直径約 1 mm程度の穴があり、赤色の物質を嵌装したことが見える(図

2E)。他の向かい合う 2 地点からは穴がなく、黒色の物質が嵌装されていることが確認できた(図2F)。

高い倍率と鮮明な立体映像が得られる走査電子顕微鏡で、微細形態と加工痕を確認し、映像分析および微細組織の成分を分析した。分析の結果、円錐形金板上部の金線の帯装飾は、幅 1.3 mm、柳葉形に区画した中央の金板の厚さは 0.2 mmであった。

さらに、帯装飾の下を飾る金粒子は、ほとんどが土で練ったように、表面は綺麗で完全な球体となっており、ほとんどの直径は 0.7 mmであった。これに対し、柳葉形と区画した金板を飾る金粒子は、直径 0.4 mmで、粒子の間や表面からは異物質が観察され、球体は歪んでいる。古代において直径 1 mm以下の金粒子の製作方法については、まだ不明であるが、いくつかの記録から可能な製作方法が提示されている<sup>7</sup>。

鏤金細工の工程において、金属の表面に金線と金粒子を接合して文様を作ることは、作品の完成度を決める重要な過程であり、技術力を求める。一般的に細工に用いられる接合法には鑞付けがある。これは媒介剤である鑞を金属表面と装飾要素に挟み、加熱することで鑞が溶けながら両者を繋げる方法である。鑞付けに用いられる媒介剤は、鑞の融点が450℃以下の軟鑞と450℃以上の硬鑞がある。新羅鏤金細工遺物の接合方法には、硬鑞に属する金鑞が用いられたと知られている<sup>8</sup>。

金鑞は、金製品の接合に用いられるもので、金に銀、銅、亜鉛、カドミウムなどを合金することで品位を落とすと、融点も低くなって母金より早く融解される。母金より約2%くらい品位を落とすと、50~100℃の融点差ができる。鏤金細工装飾のように、素地金または他の粒子と最小限の接合断面をもつようにするためには、鑞方を細かく切ったり、微細に潰して使用するなど、繊細で精巧な鑞づけ技術が必要である。この他、化学反応による金属化合物を用いて金粒子を表面に付ける接合法がある。

金製の円錐形鏤金装飾 (NS-G1) において金粒子の接合状態を観察した結果、最小限の接合断面で綺麗に接合されていた (図 3A)。この接合部を高い倍率で観察すると、接合面に凝固状の組織が観察される (図 3B)。特に、円錐形金板と上段帯装飾および金粒子の接合面には鑞の残りが確認され、金粒子が脱落された痕跡もみえ、金鑞を使用した鑞付けの可能性を確認した (図 3C・3D)。

そして、金板および固着された金粒子とともに鑞の微細痕跡の成分を分析した(図 3C)。その結果、金板および固着された金粒子は 100%の純金であるが、鑞の微細痕跡からは金(Au) 98.17%、銅(Cu)1.83%となり、成分に違いがあった。ここからは銅(Cu)が融点を下すほど多くは検出されなかったが、EDS の分析誤差もあり、EDS より検出能力が高い XRF 分析では、金粒子部分から銅(Cu)の含量が全体的に高く検出され、約 2K 程度の品位を下すことを考慮すれば、銅(Cu)を合金した金鑞を使用した可能性が提示できるのではないかと思う。

<sup>7</sup> 金粒子は、金線や金板を切った後、墨の上で加熱したり、金細線をトーチで加熱することで製作する。または、溶かした金を水中や炭の上に落とし、表面張力と急に冷却される熱によって製作される(이영희 1998:40-46; 허우영 2003:116)。

<sup>8</sup> 문환석, 조남철, 강대일, 이명희, 2000「재질분석을 통한 제작특성 연구」, 『감은사지 동 삼층석탑 사리장엄』, 국립 무화재연구소.

<sup>9</sup> 銅化合物を用いる方法は、薄い酸化膜を媒体として用いるため、細粒の接合面に鑞の残りがないことが特徴である。完成した後には金属化され、加熱しても溶解されず、繰り返して接合製作が可能である。しかし、化合物と加熱方法において化学的な反応を引き起こすため、高次元の技術が必要である(권 すい 2002:9)。

鏤金細工技法の遺物には、細くて柔らかい多様な種類の金糸を混ぜ、配列した後、細線が互いに 交差する部分や文様の間に金粒子を取り付けることで、一層華麗にする。宝石類をはじめガラスや 顔料の装飾物質を添加することで、装飾効果を極大化するが、これを嵌玉細工という<sup>10</sup>。

実体顕微鏡の観察結果、金製の円錐形鏤金装飾(NS-G1)は、金板で金属の表面を区画し、赤色および黒色物質を嵌装したことがわかった。したがって、嵌装した赤色および黒色物質を明らかにするため、EDSで分析を行なった(図 4)。その結果、赤色物質からは多くの水銀(Hg)とともに硫黄(S)が検出され、辰砂(HgS)と解釈した。また、黒色物質からは多様な成分が検出されたが、炭素(C)が含量が高いことから、墨と推定した。

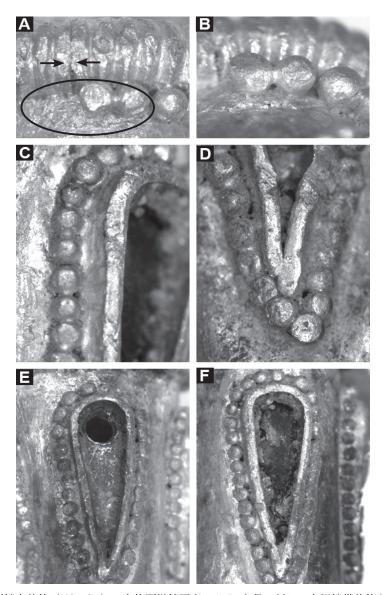


図2 金製の円錐形鏤金装飾 (NS-G1) の実体顕微鏡写真。A·B:上段の刻みの金細線帯装飾と金粒子の接合状態。 C・D:円錐形金板に柳葉形に区画し、外側に金粒子で装飾した姿。E:金板と区画された 4 箇所のうち、穴が空いており、赤色の物質が嵌装された姿。F:穴がなく、黒色物質が嵌装された姿。

<sup>10</sup> 이영희, 1998, 前揭書, pp.46-51.

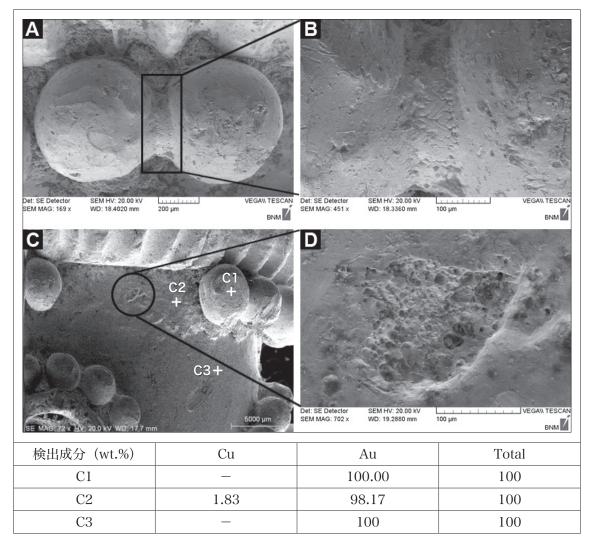


図3 金製の円錐形鏤金装飾(NS-G1)の金粒子の接合状態と鑞付けの残りの SEM-EDS 分析結果。A・B:金粒子の接合状態と接合断面の細部。C:円錐形金板、上段刻みの金細線帯装飾と金粒子の接合面から観察される鑞付けの残り。D:鑞付けの痕跡。表面から金粒子が脱落された姿。

一般的な嵌玉細工には、宝石または準宝石を嵌入するのに対し、金製の円錐形鏤金装飾(NS-G1)には、辰砂(HgS)、墨のような顔料を嵌装したことがわかった。このような結果は、武寧王陵の嵌装分析結果<sup>11</sup>とも一致しており、当時の一般的な装飾技法であったと思う。

<sup>11</sup> 유혜선, 2005, 「채색 및 감장안료 분석」, 『무령왕릉 : 출토 유물 분석 보고서 (1)』, pp.8-27.

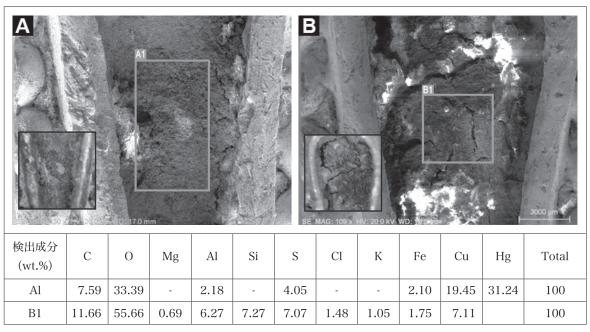


図4 金製の円錐形鏤金装飾 (NS-G1) に嵌装されている赤色および黒色物質の SEM-EDS 分析結果

#### ②鏤金玉 (NS-G2·G3)

鏤金で表面を飾った玉で、金で楕円形の球体を作った後、中央の上下を貫く孔を開けた。側面には上・中・下段にそれぞれ 5 個ずつ小さい穴をあけ、その周りに金細線を巡らし、縁を装飾した(図 $5A \cdot 5B$ )。金板表面の残り部分は、微細な金粒子が 2 つ以上ずつ繋がり、縁と縁の間に詰められ、飾られた(図 $5C \cdot 5D$ )。

走査電子顕微鏡で映像を分析した結果、(NS-G2) は、中央の上下を貫く孔の直径が、側面の孔に比べ 1.5 倍大きく、縁の金細線の厚さは 0.3 mmある。金粒子は、球形体で金属板に固定する工程のなかで凹んだり表面が乱れるようになっていた。直径は 0.3 mmで、縁の金細線の厚さと類似している。

(NS-G3) は、中央の上下を貫く孔の直径が、側面の孔に比べ 1.9 倍大きい。縁の金細線の太さは 0.4 mm、細い部分は 0.3 mmある。金粒子の直径は 0.4 mmで、(NS-G2) のように、製作工程の中で、微細加工によって凹んだり、表面が粗くなった状態である。

鏤金玉の表面から鏤金粒子が離れた状態で、実体顕微鏡で高倍率で観察したものの、接合方法を推定することはできなかった(図 5E・5F)。したがって、金粒子の接合断面を SEM で観察し、EDS で接合断面を分析した(図 6)。

その結果、金粒子の接合境界面が明確に観察され、接合部の成分も金粒子間に詰められた土壌成分と推定されるアルミニウム (AI) が1.21%が検出されたものの、純金に近い金粒子と成分差はあまりないことが確認できた。鏤金粒子の接合方法を明らかにすることは出来なかったが、鏤金玉の金粒子の接合強度が金製の円錐形鏤金装飾に比べ弱いことが確認できた。

#### ③小環連接球体(NS-G4)

小環連接球体 (NS-G4) は、金製の円錐形鏤金装飾 (NS-G1) と鏤金玉 (NS-G2・G3) に比べ、全体的に明るい色合いを表す。実体顕微鏡の観察結果、小さい金製環は、円形の金細線の両端を斜めに切断した後、連結断面の接合力を高めたことが分かった (図7A)。このように製作した12個の環を繋げ、球体を作り、環の間には金粒子を接合したが、現在は上下に歪んでいる状態である (図7B)。

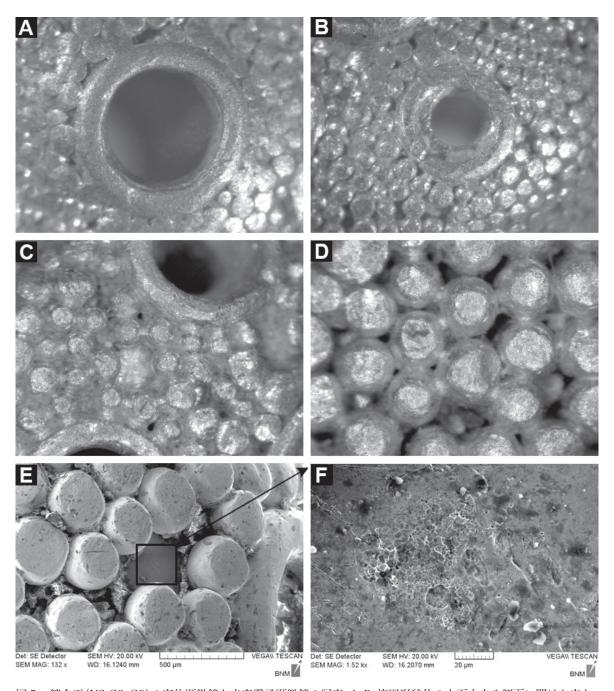


図5 鏤金玉(NS-G2・G3)の実体顕微鏡と走査電子顕微鏡の写真。A・B: 楕円形球体の上下中央や側面に開けた穴と、その周りを装飾した姿。C・D: 金粒子の接合姿。E・F: 表面から金粒子が脱落された接合部の細部状態。

走査電子顕微鏡の観察と映像を分析した結果、金製環と金粒子は、表面がすべすべした状態で、金製環は大きさが一定しており、厚さは 0.7 mmある。環に接合された金粒子は、ほぼ完璧な球体となり、直径は 0.8 mmある。環と金粒子は、接合部の面が広く、強い接合強度を見せる。金製環の切り目から鑞付けの痕跡が観察され、その可能性が確認できた(図 7C・D)。

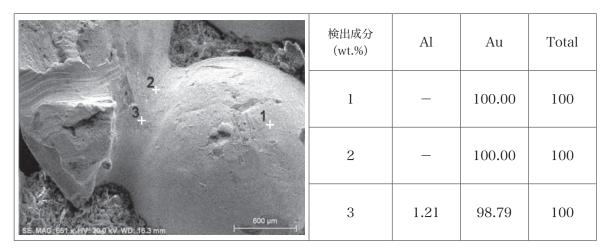


図 6 鏤金玉 (NS-G2) の金粒子の接合状態と接合部 SEM-EDS 分析結果

したがって、鑞付けが観察される接合部の成分を金製環の素地とともに SEM-EDS で比較分析し、小環連接球体の接合方法を検討した。その結果、金製環の素地2地点は金(Au)が約97%、銀(Au)が約3%であった。接合部からは、詰められた土壌成分のため、アルミニウム (AI) が微量検出されたが、金(Au) が約96%、銀(Au) が約4%で、金製環の素地と類似した成分比であった。

金製品の接合のため用いられる金鑞は、素地金属である金の融点より少なくとも 50-100℃くらい低く金合金の組成比を調節して使用するのが一般的である。しかし、金製環の素地と環の接合部の金鑞の成分違いからみて、材料間の温度差よりは、粉末にした金鑞を用いて表面積を広げることで、短い時間のうち、金鑞が溶融するように、接合したと考えられる。このような研究結果は、対 ♀ ઉ (2003) がすでに触れたことがある。

#### 4. おわりに

本研究では、扶餘陵山里寺址から出土した鏤金細工遺物の材質特性と微細構造を分析し、それぞれの製作方法を明らかにした。整理すると以下となる。

- 1. 金製の円錐形鏤金装飾 (NS-G1) は、全体の純度が 22.7K で、比較的高い。薄い金板の円錐形を作り、上段に幅 1.3 mmの刻みを入れた帯装飾を作り、その下に直径 0.7 mmの金粒子を巡らした。その下に厚さ 0.2 mmの金製帯を母体と直角になるように立て、細長い柳葉形の区画を作り、その中に辰砂 (HgS)、墨のような顔料を嵌装した。外郭には直径 0.4 mmの金粒子を巡らして飾った。円錐形金板と上段の帯装飾および金粒子の接合面から、鑞の残りが確認でき、金鑞を使用した可能性が確認できた。SEM-EDS の分析結果と金粒子の XRF 分析から、銅を合金した金鑞を用いて金粒子を接合したと推定できた。
- 2. 鏤金玉(NS-G2・G3)2点とも純金に近い組成である。微細の金粒子は直径 0.3-0.4 mm であり、表面との接合部位は狭い。拡大した映像を見た結果、接合の強度が弱いことが分かった。このことは、鏤金玉の表面の粒子が、脱落されたところからも再確認できた。金粒子の接合痕跡が観察されるが、接合方法に関する手がかりは得られなかった。

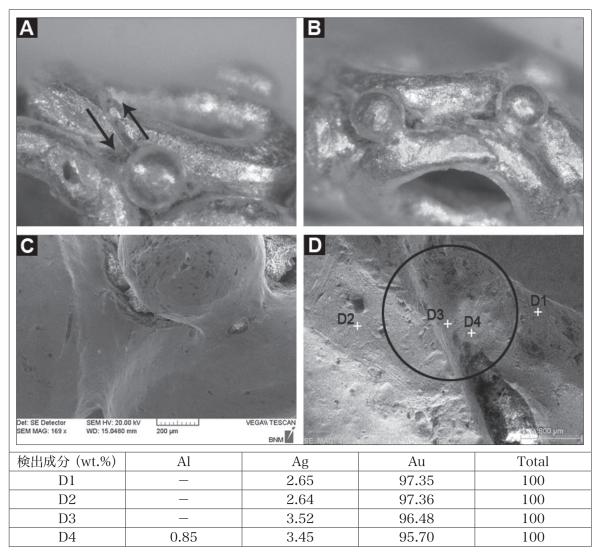


図7 小環連接球体 (NS-G4) の実体顕微鏡と走査電子顕微鏡の写真および SEM-EDS の分析結果。A:斜めに接合された金製環の連結部。B:環と金粒子の接合状態。C:接合部の細部。D:環の斜線部から観察される微細な鑞の姿

3. 小環連接球体 (NS-G4) は金と銀が97:3の比率で合金され、全体の金純度が23.1Kである。金製環は、太さ0.7 mmの断面円形の金糸を製作した後、斜めに切断した金糸の両端を接合することで、連結部位の接合力を高めたことが確認できる。金製環に強く接合された金粒子の直径は、0.8 mmである。電子顕微鏡から金製環の切り目から鑞付けが観察され、金鑞を使用したと推測したが、分析した結果、接合部位の成分が金製環と同じであった。したがって、溶融点による接合より、微量の粉末状に金鑞を付けた後、短く加熱することで、接合したと推定した。

【参考文献】

- 국립부여박물관, 2000, 『능사 부여 능산리사지 발굴조사 진전보고서』.
- 국립부여박물관, 2006, 『백제의 공방』.
- 권향아, 2002, 「삼국시대 이식 (耳飾의 누금기법 (鏤金細工) 에 관한 연구」, 『한국공예논총』, 5권 1호, pp. 7-35,
- 김경아, 이정임, 2005, 『공예가를 위한 귀금속공예기법』, 쥬얼테크.
- 이난영, 2000, 『韓國古代의 金屬工藝』, 서울대학교 출판부.
- 이영희, 1998,「古新羅 金屬工藝의 鏤金細工技法 研究」이화여자대학교 박사학위논문.
- 이유진, 2006, 「고대 누금세공 (鏤金細工) 기법의 전개와 발전」, 기초조형학연구 7 권 1 호, pp. 377-383.
- 문환석, 조남철, 홍종욱, 2001, 「고대 누금 세공기법 제작기술 연구」, 『보존과학연구』, 22 집, pp. 81-91.
- 주진옥, 강대일, 2006, 「皇南大塚 南墳출토 太環耳飾의 성분분석과 그 특징」, 『보존과학연구』, 27집, pp. 130-143.
- 허우영, 2003, 「금제태환이식 (보물 557호) 에 사용된 누금기법」, 『호암미술관 연구논문집』, 6호, pp. 113-123.
- 허우영, 2005, 「5-6세기 금제 귀걸이 누금세공에 사용된 접합기법」, 『삼성미술관 Leeum 연구논문집』, 1호, pp. 135-145.
- 유혜선, 2005, 「채색 및 감장안료 분석」, 『무령왕릉: 출토 유물 분석 보고서 (1)』, pp. 8-27.
- 문환석, 조남철, 강대일, 이명희, 2000, 「재질분석을 통한 제작특성 연구」, 『감은사지 동 삼층석탑 사리장엄』, 국립 문화재연구소.