

国宝 東大寺大佛殿・鴟尾漆箔銅板の 腐食状態調査報告

受託研究報告 第44報

江本義理・石川陸郎

1. はじめに

国宝・東大寺大佛殿は、昭和43年から45年にかけて行われた、屋根裏の雨漏り調査の結果により、柱、梁などの主要構造部は、健全と診断され、補修は行われず、上下両層の土居葦、野地板、野檼等の腐朽部の取替および屋根瓦葺替工事が行われることとなった。

大佛殿昭和大修理は昭和49年6月、須屋根建設工事から開始された。上層屋根瓦葺替工事に関連して、大棟両端の鴟尾の修理に関しては、破損調査で落雷その他による被害が認められ、鴟尾を取外して新調することも予想して、須屋根に取外し用施設が設けられた。

須屋根が建設されてから、鴟尾の木組の構造、腐朽に関する調査が行われ、銅板の腐食状態の調査が当研究所に依頼された。漆箔銅板が修理再用が可能であるか否かの判定の資料を得る目的を持って、51年度受託研究として実施した。

2. 大佛殿鴟尾について

現在の国宝・大仏殿は、奈良時代の創建から、治承4年(1180)、永禄10年(1560)の2回の兵火により焼失し、江戸中期、3回目の造営になるもので、宝永6年(1709)竣工の建物で、世界最大の木造建造物である。当時大棟の両端には、銅板張りの鳥龕(とりふすま)と呼ばれる、つのはのものが飾られていた。

明治修理は、明治12年に開始され、大梁を英国製鉄骨トラス架構と取替える等の、新しい工法が採り入れられた劃期的な大修理であった。その際、鳥龕は創建当初の建物を推定し、大仏殿にふさわしい、木骨・銅板張りに漆箔を施した、金色の鴟尾1対が据えられたことが銘板により明らかになっている。

大きさ

高さ：3.4m，幅：3.0m，厚さ：1.3m

3. 鴟尾の現状

大棟上の東西の鴟尾の頂部には、天板、ヒレ上板に大小の穴が数個開いているが、製作後60年の風雪に耐えて、全体金色に輝いて見える。しかし、風蝕がかなりはげしく、鱗状

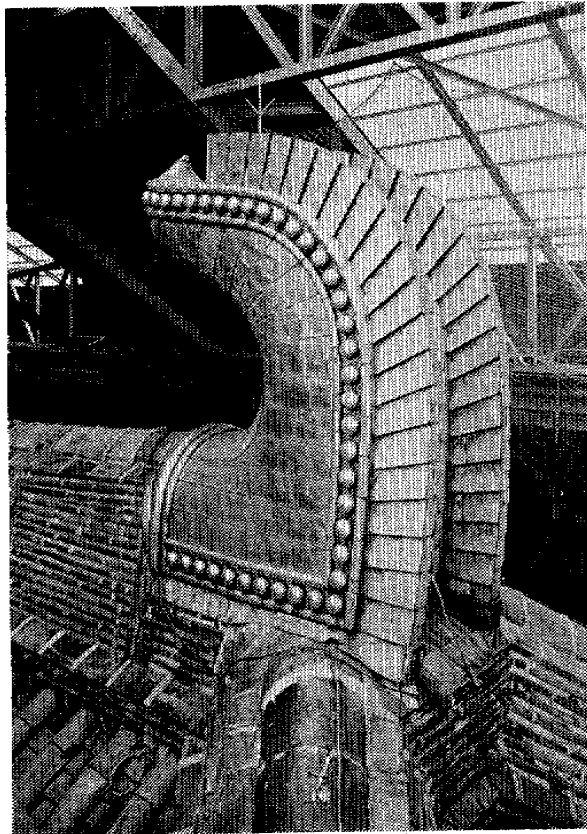


図-1

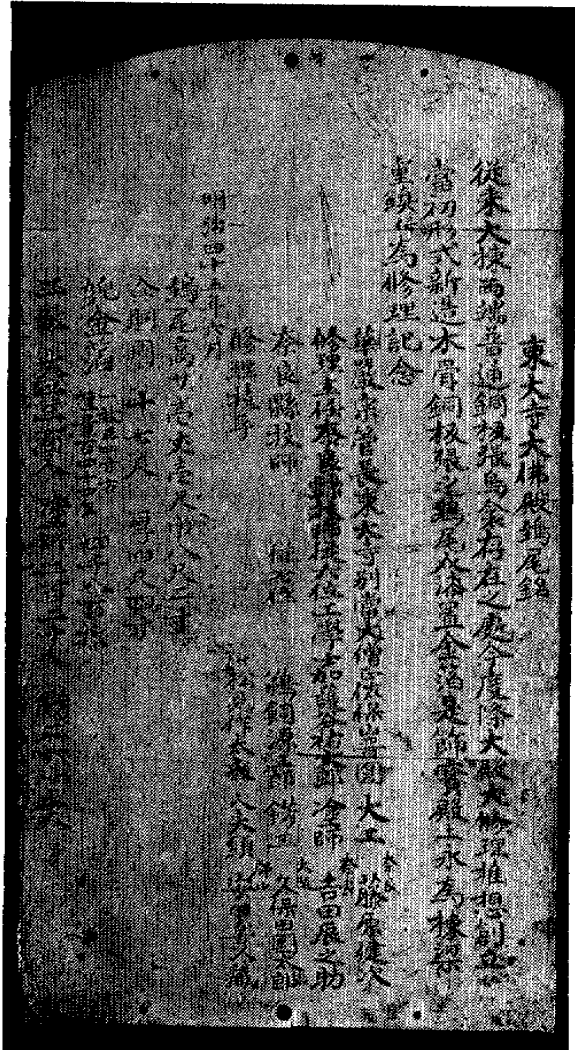


図-2 東大寺大佛殿鴉尾銘板

東大寺大佛殿鴉尾銘
 從來大棟兩端普通銅板張鳥窠存在之處今度際大殿修理推想創立當初形式
 新造木骨銅板張之鴉尾以漆置金箔是飾寶殿上永為棟梁重鎮併為修理記念
 華嚴宗管長東大寺別當大僧正佐保山普圓
 修理主任奈良県技師從六位工學士
 奈良県技師從七位 加護谷 祐太郎 大工 奈良藤 原健 次
 鴉 飼 源三郎 塗 師 奈良吉 田辰之助
 修理技手 松 見 作太夫 鋳 工 大阪久保田 国太郎
 人夫頭 郡山 安 田喜久藏
 明治四十五年六月

鴉尾高サ一丈零尺巾八尺二寸
 全胴周 十七尺 厚四尺四寸
 純金箔 一枚正四寸方 四千八百枚
 重量百四十四匁
 工数大工三百人 塗師二百二十人 鋳工六十五人

にはりつけた漆箔銅板の1枚1枚は、すり傷、折損、ハゼ掛け部分から発展した腐食が認められ、緑青色のさびが拡がりを見せている部分も見受けられた。

4. 調査内容

漆箔銅板4枚を各部より取外し、試験用に送付提供された。これらについて、銅板の折損、磨耗、腐食の程度、金箔の磨耗、剝離状態を、X線透視、顕微鏡写真、蛍光X線分析等による調査および材質研究を行った。

5. 銅板

5-1 厚さ

試料4点の厚さは下記の通り、厚手と薄手の2種類がある。厚さはダイヤル・キャリパーを用い、4~5ヶ所を測定した。

試料	厚さ (mm)
1. ヒレ横板 (25.5× 15cm)	0.25~0.3
2. ヒレ上板 (24.5× 15cm)	0.15~0.2
3. 天板 (25 ×12.5cm)	0.25~0.3
4. 側板 (25 × 21cm)	0.15~0.2

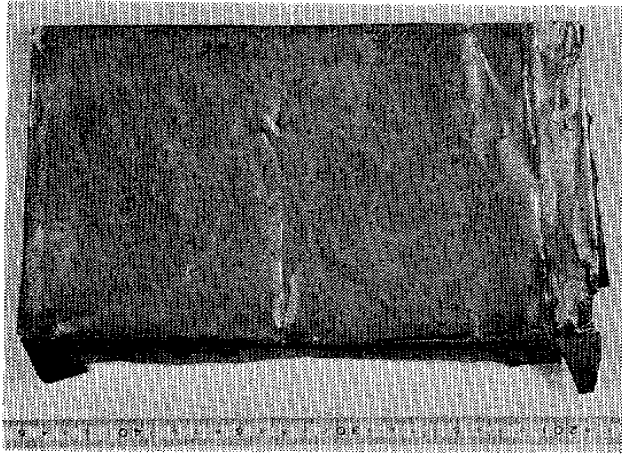


図-3 試料1

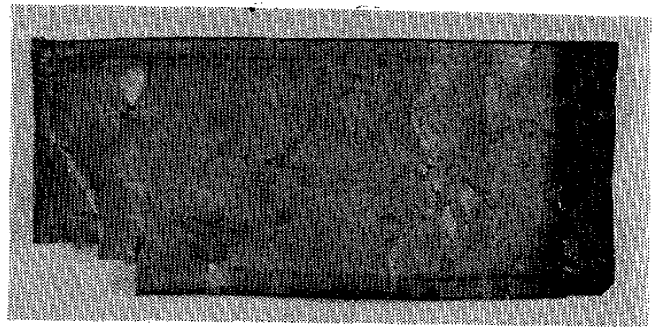


図-5 試料3

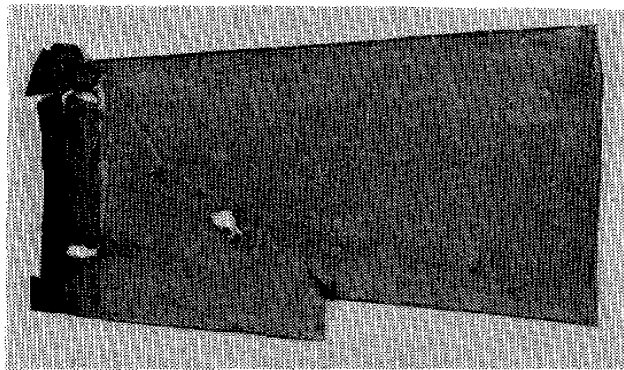


図-4 試料2

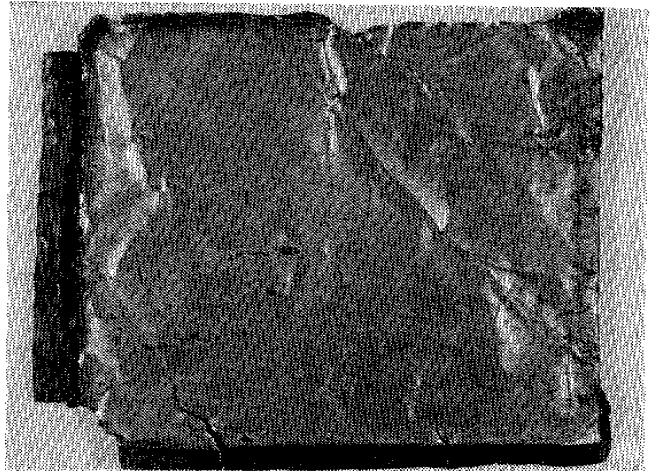


図-6 試料4

5-2 材質について

蛍光X線分析

銅板の裏面をエメリーペーパーで磨き、蛍光X線分析による定性分析を行った。検出元素は、銅、鉛、砒素、鉄、銀、ニッケルであった。これは銀、砒素、鉄等を不純物として微量含む銅で、いわゆる「山がね」であること、また、水銀が検出されなかったので、アマルガム鍍金でなく、漆による箔押しであると判断した。

化学分析

試料3、4について銅板の化学分析を別途に行った¹⁾。その結果は下記に示すとおりである。

	Au(金)	Ag(銀)	Cu(銅)	As(砒素)	Pb(鉛)	Ni(ニッケル)	Fe(鉄)	S(硫黄)
No. 3 天板	0.005	0.013	99.26	0.02	0.17	0.01	0.003	0.006
No. 4 側板	0.005	0.021	99.27	0.02	0.27	0.01	0.003	0.003

この際、参考に行われた発光分光分析の結果、上記以外の不純物として検出された元素を次に示す。

多量 (10 ppm 以上) カドミウム、珪素、錫

数 ppm のもの アルミニウム、ビスマス、アンチモン

0.4 ppm のもの セレン、テルル、亜鉛、マンガン

注 1) アグネ技術センター分析

なお、従来得られている銅屋根板の分析値を次に掲げる。

日光社寺の銅板分析結果% (古河鋳業KK分析)

試料	Cu	Au	Ag	As	Bi	Sb	Pb	Ni	Fe	S
①	99.64	0.00061	0.0394	0.106	0.001	—	—	0.014	0.003	0.004
②	99.50	0.0002	0.089	0.25	0.001	0.0041	0.088	0.007	0.008	0.006
③	99.66	0.0001	0.065	0.31	0.0035	0.0042	0.0024	0.0035	—	0.003
④	99.52	0.029	0.080	0.37	0.0030	0.0068	0.0078	0.0052	—	0.004

試料：① 東照宮拝殿銅板，② 輪王寺大猷院西浄銅板，③ 本地堂屋根板，④ 本地堂金箔付厚板

皇居乾門降棟包用銅板 (明治21年) % (古河鋳業KK分析)

Cu	Sn	As	Bi	Sb	Pb	Ni	Fe	S
99.33	0.08	0.02	0.005	0.005	0.06	0.24	0.005	tr

これらの分析結果と比較すると、鉛が多いのが、東大寺鷗尾銅板の特色と考えられる。

6. 金 箔

漆箔金箔の厚さおよび枚数を知るために、7-2で述べるように漆箔銅板の断面を、顕微鏡で観察、写真撮影し、測定した。

1) 厚 さ 3 ~ 5 μ

研磨による金箔の折れ曲りにより実際の厚さより大きく出ていると考えられる。

2) 漆箔金箔の枚数 1枚

3) 材質について

漆箔銅板の金箔部分を小刀でなるべく銅が入らぬよう削り取り、化学分析を行い、金の材質を知ろうとした。しかし、銅の混入は避けられず、銅の数値は、金箔中の銅の含有量を示していない。従って金の数値も小さすぎる。酸により金粉試料の銅分を溶かすことも考えたが、金箔中の銅、銀等の成分も溶かしてしまうので、金箔中の銅、銀の正確な値は得られない。

何れにしても、漆箔銅板のような試料では金箔そのものの組成を知ることは、無理と考えた。

また、削り取った金箔試料の灼熱減量は大きく、かなりの有機物を含んでおり、金箔をはりつけた漆と判断された。

7. 漆箔銅板の腐食、破損状態

7-1 銅板のX線透視による損傷の判定。(図-7~10参照)

工業用X線透視装置(島津製作所：ウェルス60)により透過写真を撮影した。

撮影条件

印加電圧・電流 30 kV・6 mA

露出時間 3分

その結果は、外力(風圧等)加わったり、機械的(物がぶつかった)原因と思われる大小の破損した穴、腐食によるピンホール、折損による破れが認められた。

7-2 光学顕微鏡観察および写真撮影

漆箔銅板表面の穴、すり傷、折損部、腐食部、金箔のピンホールを光学顕微鏡により観察、撮影を行った。

試料 検鏡用試料は各銅板試料から

a) 金箔のよく残っている部分。

b) 金箔が多少欠損し、さびの見える部分を選び、直径1.2 cmの円形に打抜いた。

銅板の腐食程度の観察のため、試料をそのまま表面観察し、さらにポリエステル系樹脂に埋

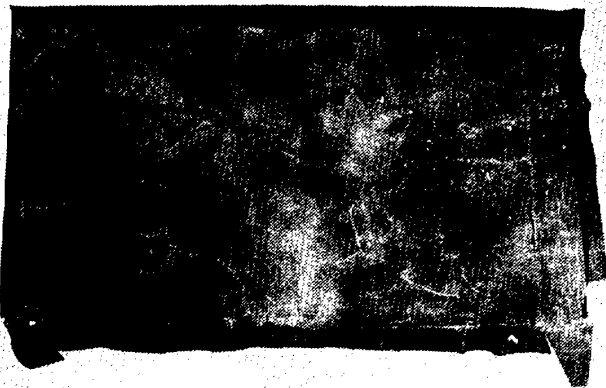


図-7



図-9

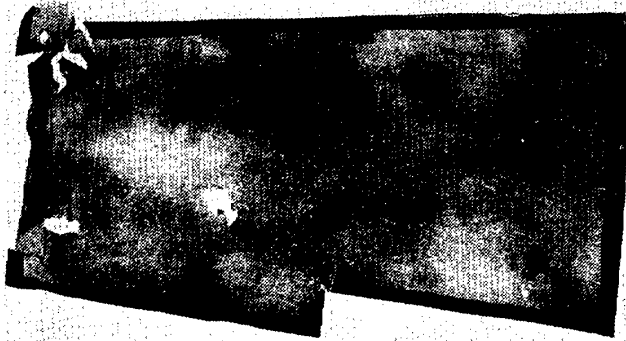


図-8

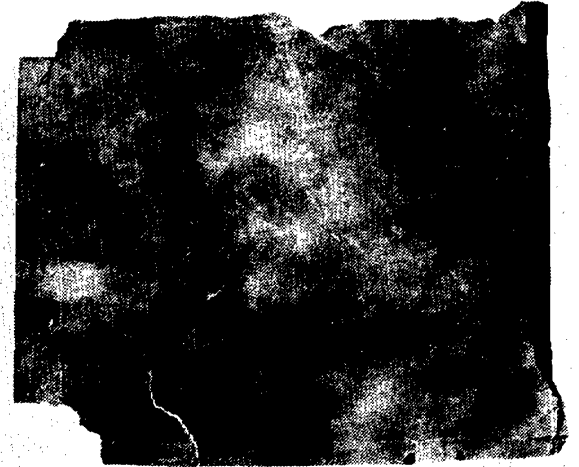


図-10

め込み、金箔、銅板部の断面を研磨し、検鏡、写真撮影を行った。

表面 (図-12. 1~4 参照)

1) 金箔のピンホール及びすり傷、打痕が多数認められた。

2) 上記のピンホール、すり傷により漆膜が損傷、劣化して、銅板の露出し、大気中の局部電池を形成し、銅板の腐食が進行している。

それらは下記の如く観察された。

a. 極めて小さい点から発展したもの

b. 金箔の下側、銅板表面にピンホールから腐食が拡大して行ったもの

c. bの現象が更に拡大して、金箔が剝離しているもの、剝脱した個所。

d. 「かしめ」の部分の表面に加工による歪のための局部腐食が認められ、また端の部分には外力による折損、破れが認められた。

3) 金箔の破損状況

表面の金箔(健全部分)と欠損して、さびや銅の部分が認められる部分の面積比を求めた。試料3, 4の打抜き部分について行った。(図-11参照)

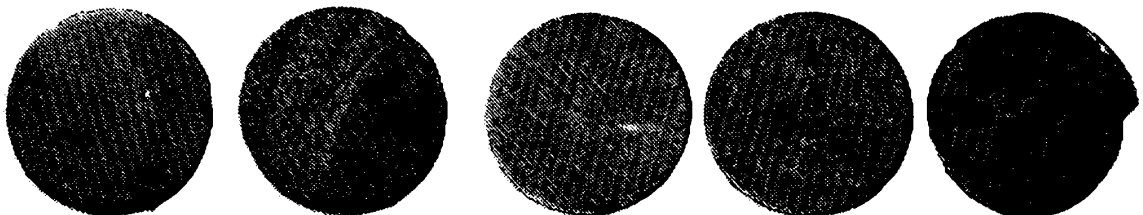
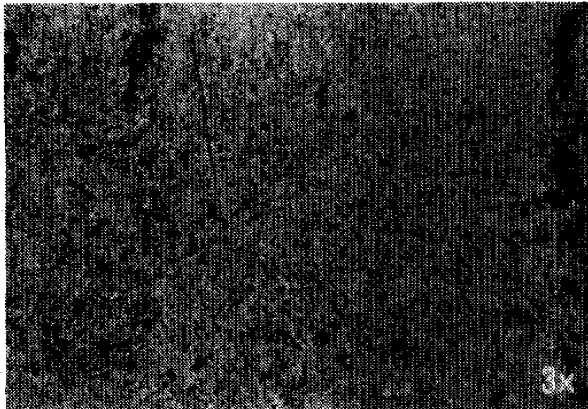


図-11 左より試料3 : A, B 試料4 : A, B, C 打抜き部分

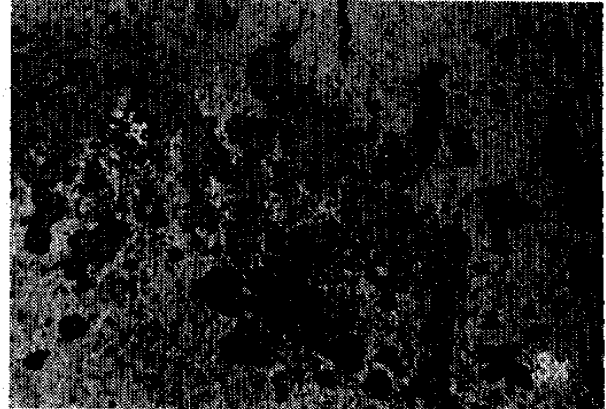
		金箔部分	欠損部分
試料 3.	A 健全部分	99%	1%
	B 損傷部分	12%	88%
試料 4.	A 健全部分	100%	0%
	B 小損傷部分	91%	9%
	C 中 "	86%	14%

断面 (図-13参照)

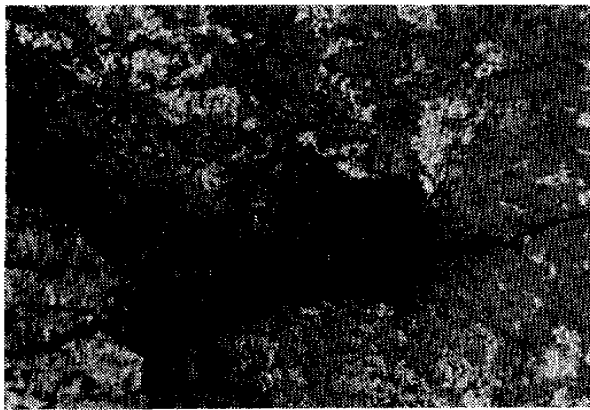
金箔のピンホール部分の腐食, 箔の下の銅板に食い込んでいる腐食部分が多く認められ, 銅板表面の健全部分は少い。



1. 健全部分 ×6



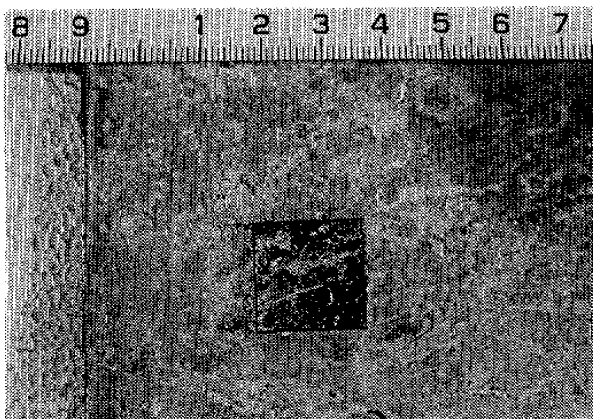
2. 金箔欠損部分 ×6



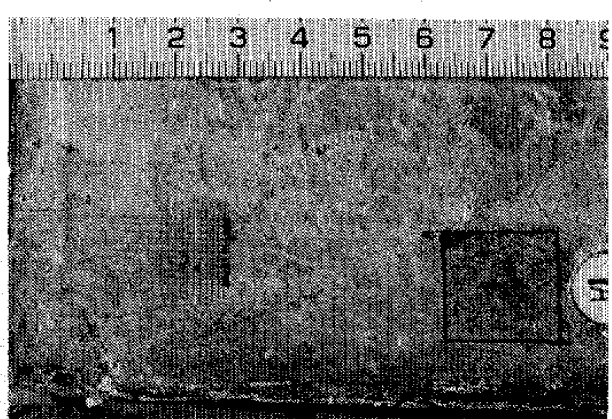
3. 折損開口部分 ×6



4. 銅板腐食による開口部分 ×6



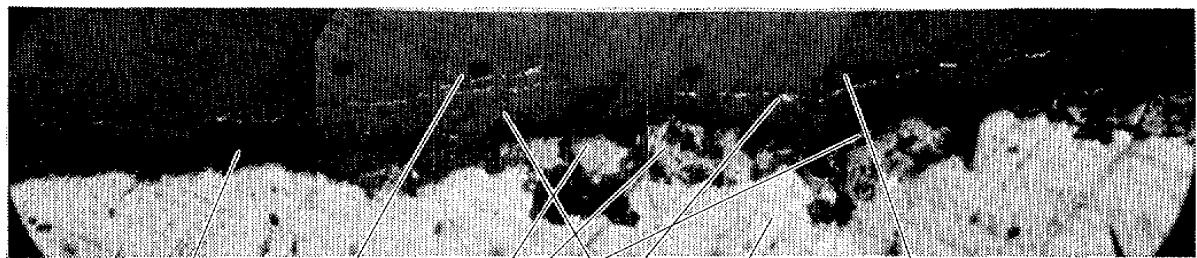
5. 金箔剝離試験 (損傷部)



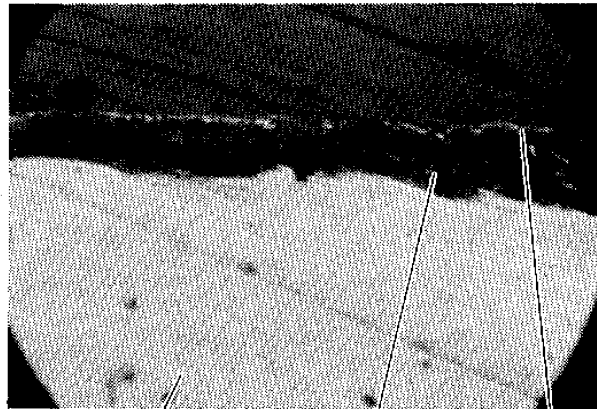
6. 金箔剝離試験 (健全部)

図-12

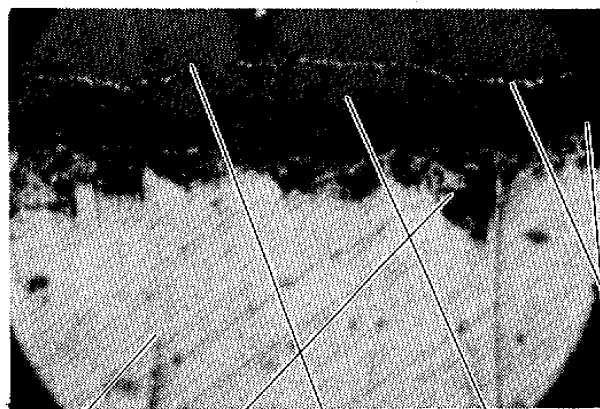
金箔は、表面の輝いた線で、欠損、ピンホールにより断続している。その下の黒い太目の線は漆の部分、銅の部分は淡橙色に見え、侵食部分は灰緑色に落込んで観察された。



漆層 金箔の継ぎ目 腐食層 剝離層 銅板 金箔



銅板 漆層 金箔



銅板 腐食(緑青)層 金箔の欠損部(開口部) 剝離層 漆層 金箔

図-13 金箔漆箔銅板の断面の顕微鏡写真 ×75

7-5 金箔の付着性 (図-12 5.6参照)

金箔の銅板への接着性の良否を判断する方法として、セロテープによる金箔の剝離テストを行った。

幅18mmのセロテープを、a. 健全部分と思われる部分と、b. 金箔の損傷部分にはりつけ、それを剥ぎ取り金箔のはがれ易さおよびはがれた状態を観察した。

試料 1

1. 健全部 剥れにくく、金箔が残っている。
2. 損傷部 剥れ易い

試料 2

1. 健全部
 2. 損傷部
- 何れもはがれにくい

試料 3

1. 健全部 剥れにくい。
2. 損傷部 剥れ易い、はがれた後に銅板上淡緑色さびが殆んど全面に認めれる。

試料 4

1. 健全部 損傷部よりは、はがれにくい程度で、微細な腐食が金箔の下に及んでいる。
2. 損傷部 はがれ易い、腐食が金箔の下に及んでいる。

また、塗膜の付着性試験として行われている、ゴバン目試験を参考迄に行ったが、切込みだけでは、良好な結果を示した。セロテープによる剝離テストは上記と同様であった。

8. 銅板の腐食生成物

銅板の腐食生成物は、X線回折分析の結果、塩基性硫酸銅と判定された。

このさびは、一般的に大気中の銅板、銅製品に生成するさびで、 $\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2$ の化学式に示される組成を持つ。曝露後40年位で、化学式に示される組成の安定なさびで蔽われると言われていたが、近年は大気中の硫黄酸化物の含有量の増加に伴い、加速されている。

9. 結 論

上記の諸調査を総合して考察を行った。

1. 現在の漆箔銅板を再用する場合

金箔のピンホール、すり傷等が多く、それらによる銅板表面の腐食が、金箔の下側に食い込んでいる部分が多いので、今後も更に進行し、長期間には金箔の剝脱が広範囲に及び、金色が損われることが予想される。

2. 漆箔のやり直しを行う場合

銅板の破損部のあるものを除き、再使用する際、さびの部分を取除かないと漆箔の接着不良を起すので、銅板の腐食部分を削り取り、銅素地の清掃を行う必要がある。それには銅板の厚みが余りないので、素地銅板が薄くなり、耐久性がかなり低下することが考慮され、再用に耐える銅板がどれだけあるか、問題がある。

従って上記の考察から結論としては、銅板を新規に取り替え、新たに金箔押しを施すことが良策と考える。その際

- 1) 銅板は0.3mmより厚いものとする
- 2) 金箔はピンホールの少い、厚めのものと用いる。
- 3) 箔押し後その上に銅の防蝕用塗料を塗布することが腐食防止に有効と考える。

後 記

実際の鷗尾工事，東側鷗尾は現状のまま腐朽芯木の一部を取替え，銅板を張替えて金箔押し，西側は足元東部分を切断しておろし，別途保存。新たに原型に倣って製作された。

使用銅板 厚：0.4mm

〃 金箔 純金1号（金：97.65，銀：1.67，銅：0.6%）

127mm角100枚に付2匁。箔押し漆による直押しを2回施した。

防蝕用塗料は施工上のテストを重ね，裏面にのみ施された。

註 銅防蝕用塗料—例えばインクララック (INCRALAC) 国際銅研究会 (International Copper Research Association) が建材用銅材の赤銅色を長期保持するように保護用塗料を1964年に完成させた。ベンゾトリアゾールを配合したアクリル系塗料で，国内生産品もある。昭和42年日御碕神社，社殿の飾金具に施工した例があり，10年後の52年末，直接潮風を受ける個所は，鍍金の剥脱が見られるが，他の面では鍍金の剥離もなく，良好の状態を保っている。しかし，他の報告例によれば，漆箔を施した対象については，良い状態でない例もあり漆箔の技法の不適や，塗料の塗布の時期，方法等注意すべき点がある。

Report of Investigation Concerning the State of Corrosion
of Gold-leafed Copper Plates Used for the *Shibi* on the
Main Hall, Todai-ji

Yoshimichi EMOTO and Rikuo ISHIKAWA

Taking the opportunity of reroofing of the Main Hall (Great Buddha Hall) of the Tōdai-ji Temple in Nara, we investigated the state of corrosion of lacquered and gold-leafed copper plates used for the *shibi* (fishtail-shaped ornaments) placed at both ends of the roof ridge, for the purpose of judging the possibility of re-using them and of finding data for choice of replacement materials.

The *shibi* were made in 1912. They are made of wooden frameworks covered with copper plates, over which gold leaf is applied with lacquer as the adhesive to show golden glitter all over.

As investigated, the plates were of two different thicknesses, one 0.3mm. and the other 0.2mm. The surface of the gold-leafed plates showed many pinholes and scratches due to weathering and other reasons. Holes and breakages were seen in the plates themselves. These were checked by X-ray radiography.

Microscopic observation of the surface and cross section of the gold-leafed copper plates, and test on the adhesive quality of the gold leaf, revealed that the thickness of the gold leaf was $3\mu\sim 5\mu$ and that the plates were covered with one layer of gold leaf.

The corrosion of the plates was seen to have spread from the pinholes and scratches of the gold leaf. The gold leaf had blistered or floded, so that it would easily come off to expose rust surface, but in some part it was found firmly adhering.

Partial corrosion due to warping was noted in caulked parts of the copper plates. The corrosion product of the copper plates was identified through X-ray diffraction analysis to be basic copper sulphate.

The above-mentioned results of investigation has led to the conclusion that the gold-leafed copper plates cannot be re-used, and that the material for their replacement should be copper plates thicker than them, to be lacquered and covered with gold leaf.