

展開X線写真撮影法・半正射X線写真撮影法の開発

西山 要 一*

Study of In Motion Radiography for Cultural Assets

Yoichi NISHIYAMA

1. はじめに

文化財の構造や製作技法を研究する有効な手段の1つとしてX線透過写真を撮影することは、今日広く行われている。とりわけ文化財の保存処理や修復を行うにあたってX線透過写真を撮影することは、文化財の構造や技法の解明ばかりでなく、腐蝕や損壊の状況をも適確に把握し、誤りのない保存処理・修復を行い、正しい姿を後世に伝えていく上で、欠くことの出来ない重要な調査の1つとなっている。

X線発生器から照射されるX線は、焦点を頂点として円錐形に広がりつつ文化財に照射されるために、フィルム上の照射円の中心ではX線は垂直に進行し文化財のこの部分は正確な形が投影されるのに対して、照射円の周辺では、X線は斜めに進行してくるために、文化財の周辺部は拡大されてフィルム上に投影される。

こうしたX線の特性を利用して立体X線写真（ステレオ写真）が撮影されるが、その反面、銅鏡や刀剣のように平面的な文化財であっても、X線の照射円の中心から離れる周辺部は投影像が拡大され歪み、さらに経筒や甬のように立体的で、フィルムから浮き上っていけばいるほど、像の歪みは大きくなる。

本研究は、このようなX線写真の短所を解消し、立体的文化財の姿を正確にX線フィルムに映し出すための展開X線写真撮影装置および半正射X線写真撮影装置の開発をめざしたものである。

なお、本研究は財団法人福武学術文化振興財団より昭和62年度研究助成を受け行ったものである。

2. 装置の設計製作

文化財の姿を歪みなくX線写真に撮影するには、次の条件を満たせばよいと考えた。すなわち、像の歪みの原因である照射円の周辺のX線を極力排除し、有用な中心に近いX線のみを使用することである。このために照射X線を線状に絞り、さらに可能な限りその中心部に近いX線のみを使うこととして、スリット照射筒を製作し、撮影にあたってはX線焦点とフィルムの距離を可能な限り長くとることにした。

また、経筒・甬など円筒形・半球形の文化財の場合、全体像を正確にX線写真撮影する

*文化財研究室（平成元年9月30日受理）

と同時に、湾曲している細部をも歪みなく撮影する必要がある。このために、文化財を回転させつつX線を照射して展開写真を撮影することを考え、回転資料台を製作した。

また立体的文化財のみならず刀剣などの平面的かつ長大な文化財についても、周辺部の歪みをなくすために、文化財を水平移動させつつX線を照射して撮影することを考え、水平移動資料台を製作した。

(1) スリット照射筒の製作 (写真1・2)

X線は光学的に絞ったり屈折させたりできないため、X線を線状に絞る照射筒は扇形に鉛板で作成し鉄板を貼った。照射筒の絞り幅は0~10mmの可変式とし、照射角は45度とした。すなわち、照射筒を通ったX線は、扇状に進み文化財には幅のせまい線状となって照射されることになる。照射筒絞りを1.9mm、文化財までの距離を1mとすると、文化財表面に照射されるX線の幅は5mmとなる。文化財の材質・厚さ・回転又は水平移動の速度・文化財までの距離などに応じて絞り幅を調整する。

(2) 回転資料台の製作 (写真1)

回転資料台はコントローラーと回転台からなる。回転台は毎分0~1760回転の速度可変モーターにギヤーを組みあわせ25000分の1に回転を落した。モーターの回転数はダイヤルで調整しデジタル表示される。電源は100V、重量30kgの文化財まで積載可能である。直径30cmの文化財を毎分1760回転すると、文化財の表面速度は毎分約6.6cm、直径10cmの文化財を毎分1760回転させると表面速度は毎分約2.2cmとなる。文化財の材質・厚さ等によって回転数(表面速度)を調整する。

(3) 水平移動資料台の製作 (写真2)

水平移動資料台は、コントローラーと資料台よりなる。速度可変モーターにギヤーと回転軸をもうけ、ダイヤルゲージにより0~10の無段階速度表示とし、毎分0~6.6cmの水平移動ができるようにした。電源は200V、重量50kgの文化財まで積載可能である。文化財の材質・厚さによって速度を調整する。

以上の3装置を設計・製作し、スリット照射筒と回転資料台を組みあわせて展開X線写真の撮影を行い、スリット照射筒と水平移動資料台を組みあわせて、半正射X線写真の撮影を行うことになる。

3. 展開X線写真・半正射X線写真の撮影

上記の二通りのX線写真撮影を行い、従来のX線写真との比較、本装置の長所・短所の検討を行った。なお撮影に使ったX線発生装置は、本学設置の理学電機製ラジオフレックス250EG-S2(管電圧110KV~250KV、管電流5mA)と同社製ラジオフレックス100GSB(管電圧20KV~100KV、管電流5mA)、フィルムはフジフィルム社製IX-80を使用した。

(1) 銅鏡(青銅製海獣葡萄鏡・中国唐時代・写真3・4)

直径19cm、銅鏡はほとんど見られないが、一度破損したものを接合修理している。平面的な文化財の場合、通常のX線撮影法と半正射X線撮影法の両者に差が見られるものか否かを検討することとした。撮影条件は通常X線撮影では管電圧140KVp、管電流5mA

照射時間1分、距離1m、半正射X線撮影では管電圧250KV P、管電流5mA、移動速度毎分2.9cm、距離1mとした。

その結果、鏡の最大径となる縁部がフィルム面に接しているため、直径に差は見られなかったが、肉高な内区の獣形文様は通常撮影法によるものでは、実際の位置よりやや外側にずれており、半正射撮影法によるものでは、水平移動方向は実際の文様位置と一致したが、水平移動方向と直交する方向の文様はやや外側にずれていた。

(2) 経筒（銅鑄製・平安時代・写真8～11）

直径11.5cm、高さ29.5cm、器壁の厚さ0.2cmを計る銅鑄製の経筒である。筒身表面に文字らしきものが4行にわたって陽鑄されているが、緑青に覆われ判読できない。底裏には複弁蓮華文を陽鑄している。

まず、通常撮影法によるX線写真を撮影した。撮影条件は管電圧250KV P、管電流5mA、照射時間1分、距離1mである。正面からの撮影では、口縁・底はともに照射円の中心から大きく離れるためにX線が斜めに照射され、ともに情円形に写り、高さは、32mm（11%）、直径は5mm（4%）、それぞれ実寸よりも大きく写し出されている。陽刻文字は、反対側の器壁を通して映し出されているために、うすく不鮮明で、中の2行はかろうじて読みとれるが、両端の1行目と4行目は横幅の縮った文字となり読みとれない。

上方よりの撮影では、底面の蓮華文が、フィルム面よりやや浮き上がっているため、大き目に映し出されているが、経筒口縁はフィルムより約30cm浮き上がっているため、実寸より3.7mm（37%）も大きく映っている。

展開X線撮影は、経筒よりやや小さめの鉛の円柱に、遮光ポリエチレン袋に封入したフィルムを巻いて固定し、経筒を逆転位にして上よりかぶせた。これを回転資料台におき、X線発生器焦点から経筒表面までの距離を1mとした、X線発生強度は、管電圧250KV P、管電流5mA、モーター回転数毎分1760回転（経筒表面速度毎分2.2cm）。照射筒絞り幅1.9mm（経筒表面のX線照射幅5mm）、照射時間8分に調整し、経筒の半面ずつを撮影した。

その結果、経筒に陽鑄された文字は歪みなく、実寸大で、鮮明に映し出され解読することができた。また表面観察や通常X線撮影法では見えなかった腐蝕孔や鑄造ムラが鮮明に映し出され、損壊状況と鑄造技術の解明に大きな手懸りを得ることになった。

半正射X線写真撮影は、フィルム上に経筒を横位にし、管電圧250KV P 管電流5mA、照射距離1m、スリット照射筒絞り幅1.9mm（経筒表面のX線照射幅5mm）、水平移動速度毎分1.7cmに調整して行った。

その結果、通常X線撮影法に比して、口縁・底はだ円形ではなく一直線に映り、又、高さも実寸通りに映った。ただ、水平移動方向と直交する経筒の直径は実寸に比して、5mm（4%）大きく映った。

また、経筒をフィルム上に正位におき、水平移動速度毎分2.1cmで上方より、半正射X線撮影したところ、複弁蓮華文と、水平移動方向の直径は正確に映し出したものの、水平移動方向に直交する経筒の直径は37mm（37%）大きく映った。

(3) 衝角付甕（鉄製小札鋳留造り・古墳時代、写真5～7）

前後の長さ25.5cm、横幅18.5cm、高さ14.8cmを計る鉄製小札鋳留衝角付甕である。前面が鳥の嘴のように尖るのでこの名がある。側頭より後方はほぼ半球に近い。

展開X線写真撮影は垂直に近い側頭部・後頭部の下半と、ほぼ水平な頭頂部、およびそ

の間の斜めの部分に3分割して行った。垂直に近い下半の撮影は、内面に遮光ポリエチレン袋に入れたフィルムを沿わせその内側に鉛板をあてて固定し、回転資料台に設置して、焦点から1mの距離をとり、管電圧190KV P、管電流5mA、照射筒絞り幅1.9mm（胃表面のX線照射幅5mm）、モーター回転数毎分1760回転（表面速度毎分4.4cm）に設定し、横方向からX線を照射し行った。胃上半部の斜め部分は同じ条件で、斜め上方45度の角度からX線を照射し撮影した。頭頂部は通常撮影法で行った。

その結果、胃を構成する鉄小札1枚1枚の形、小札を留めている1本1本の鋸の形、そして綴を垂架するための孔列などが正確に映し出されるとともに、腐蝕状況も鮮明に把握することができた。

半正射X線撮影では上方と側方より管電圧230KV P、管電流5mA、照射筒絞り幅1.9mm、距離1m、水平移動速度毎分4.6cmでX線を照射し行った。水平移動方向である胃の前後の寸法はほぼ実寸に合致するが、移動方向に直交する方向、すなわち胃の左右と上下は、通常X線撮影の場合と同様にそれぞれ11mm、17mm（それぞれ6%、11%）大きくなっている。

半球形の文化財のX線展開写真を撮影する場合、その内面にいかにフィルムを密着させてセットするかが、成否の鍵となる。下半部はほぼ垂直であるためフィルムを密着できたが、上半部の除々に傾斜していく部分の内面にフィルムを密着するのは相当にやっかいであった。また、衝角部分についてもフィルムを密着できず正確な形を映すことは困難であった。

(4) 百万塔（木製・奈良時代、写真12～14）

三層の塔身と相輪からなる総高21.5cm、基壇の直径10.7cmのろくろ挽きの木塔で、塔身は上部より孔を穿ち、内部に世界最古の印刷物ともいわれている陀羅尼経が納められている。8世紀の半ば、称徳天皇（孝謙重祚）が、藤原仲麻呂の霊を鎮め、国家の安泰を願って5年8ヶ月の間に100万基を造立し、10大寺に10万基ずつを分置したといわれるものの1基である。

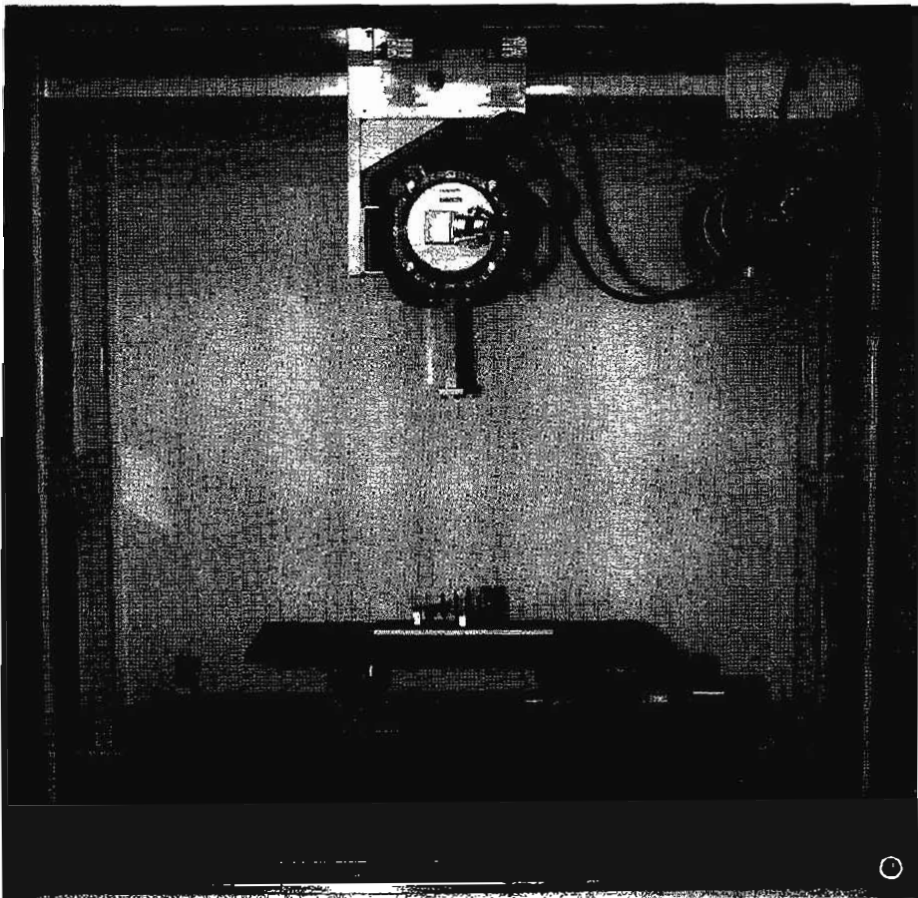
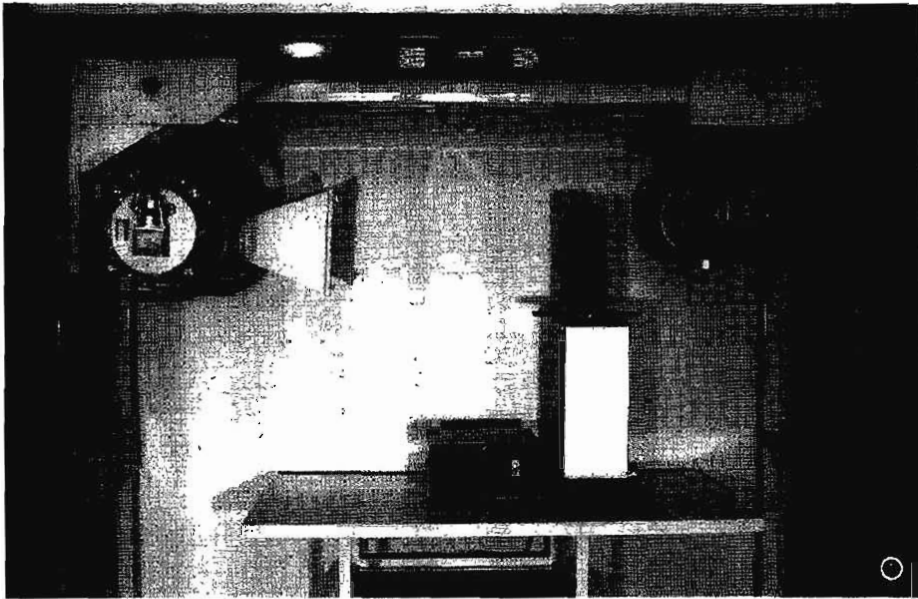
通常X線撮影は、正面と上方から、管電圧50KV P、管電流5mA、距離1m、照射時間1分で行い、半正射X線撮影は、正面より、管電圧110KV P、管電流5mA、照射筒絞り1.9mm（百万塔表面のX線照射幅5mm）、距離1mで行った。

両撮影法ともに、層塔・相輪の木目、塔身に穿たれた孔と納入された陀羅尼経、底から打ち込まれたろくろ瓜の痕跡、層塔笠の補修部分など構造や製作技術・修理に関する情報が鮮明に映し出された。

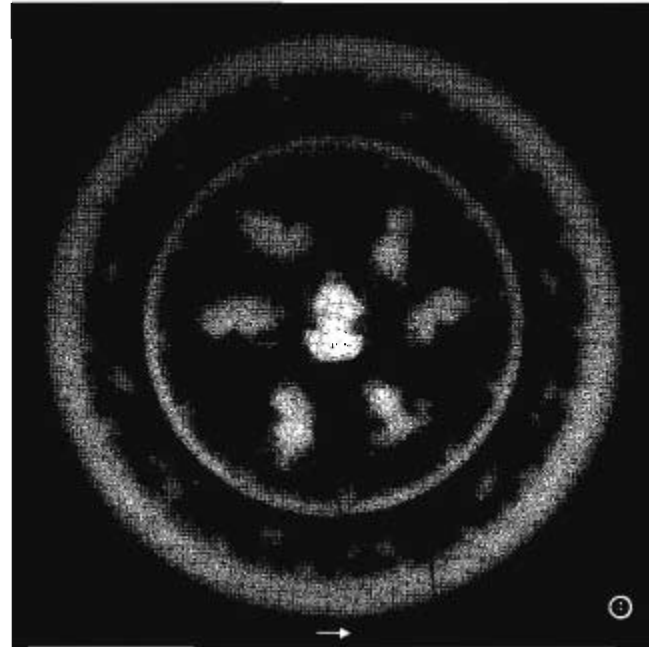
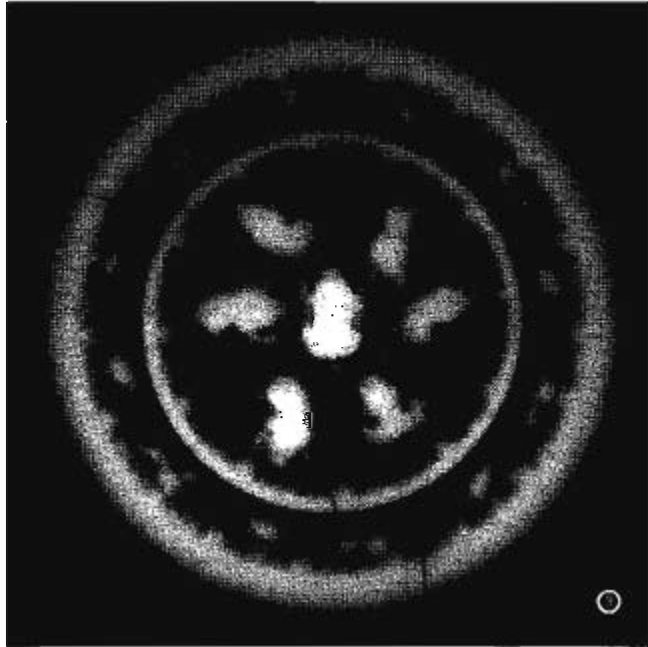
正面からの通常X線写真では、塔下部や相輪上部は、フィルム面より大きく浮き上り、照射X線を斜めに受けるため、形が歪んでだ円形に映し出されている。高さは約13mm（6%）、基壇直径は約6mm（6%）、実寸より大きく映っている。半正射X線撮影では、塔身、相輪ともに、ほぼ真正面から見た像として映し出されているが、移動方向と直交する直径は、基壇で約13mm（6%）大きくなっている。

4. おわりに

スリット照射筒と回転資料台・水平移動資料台を使った展開X線写真撮影および半正射X線写真撮影は最も簡単な原理に基づいたものである。にも拘らず、今日まで実用化されなかったのは、文化財の全体像は言うに及ばず、細部についても正確な情報を必要とする文化財の保存処理・修復と結びついた、また、保存処理・修復を目的とした開発研究が末着手であったことに起因するのではなからうか。

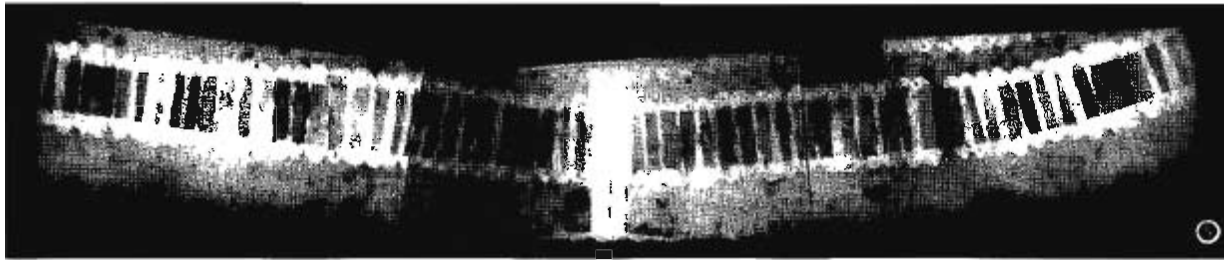


1 展開X線写真撮影装置 2 半正射X線写真撮影装置

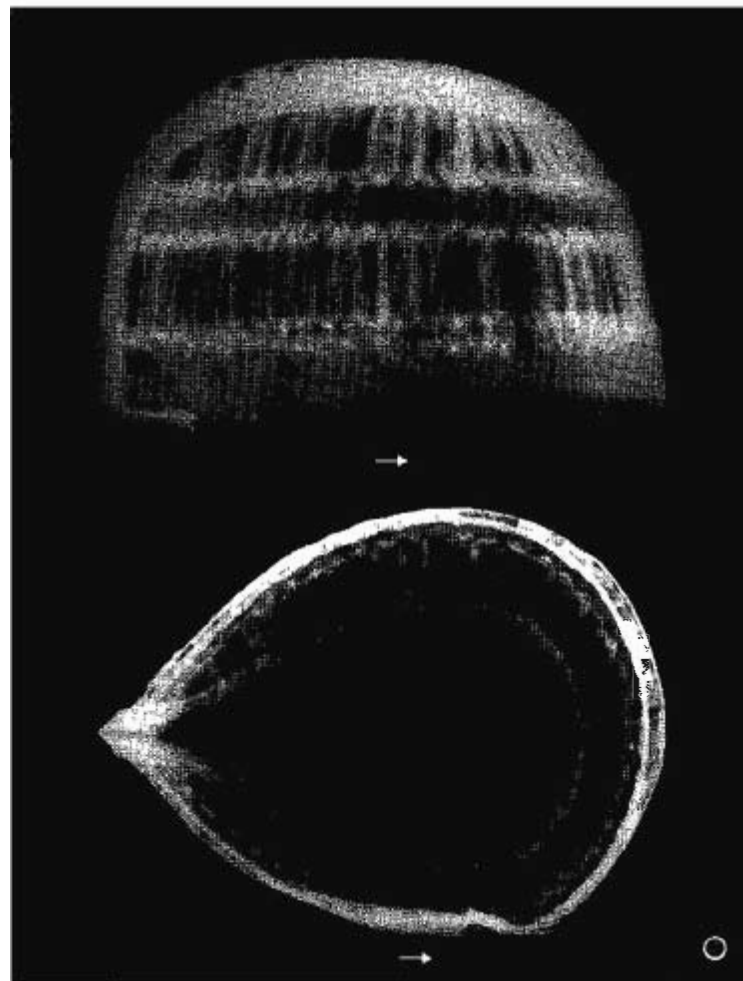
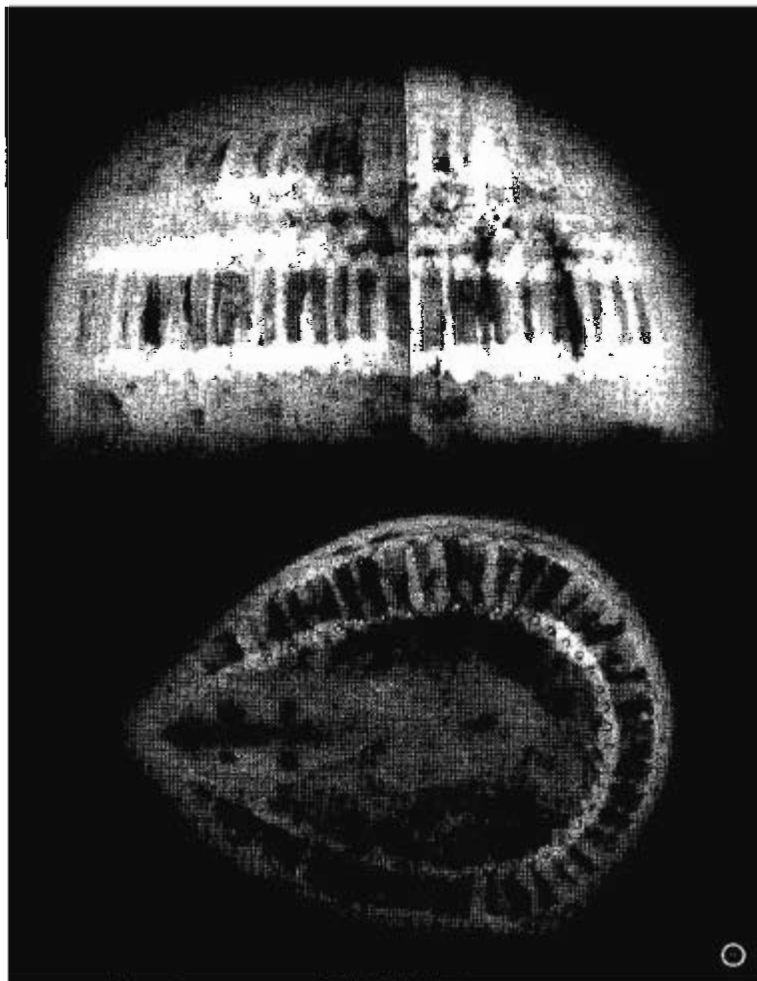


撮影条件

3. 140KVP,
5mA,1min,
1m.
4. 250KVP,
5mA,2.9cm/min,
1m.
5. 190KVP,5mA,
4.5cm/min,1m.
6. 100KVP,5mA,
1min,1m.
7. 230KVP,
5mA,4.6cm/min,
1m.



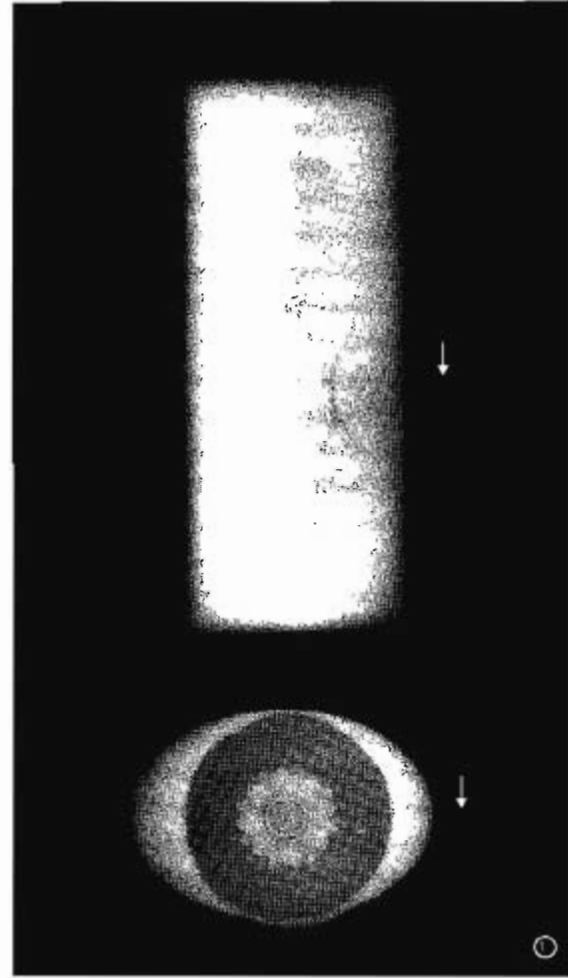
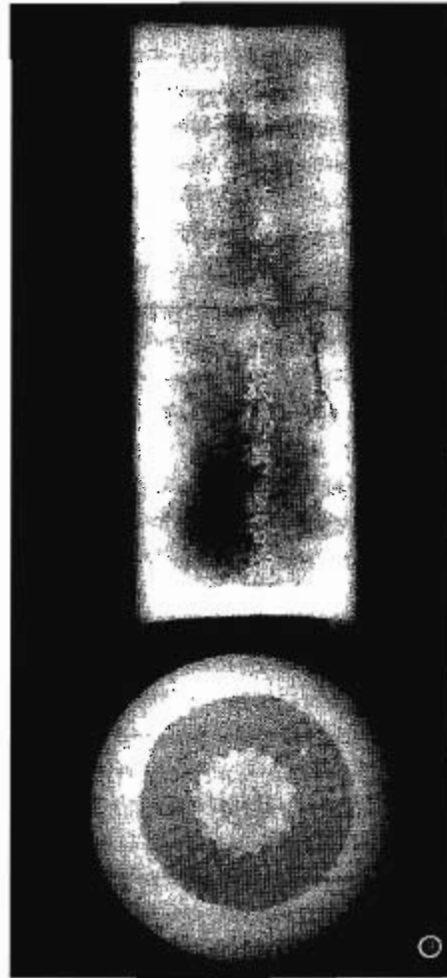
3. 海獣葡萄鏡の通常X線写真 4. 海獣葡萄鏡の半正射X線写真 (→は移動方向を示す) 5. 衝角付背下半部の展開X線写真



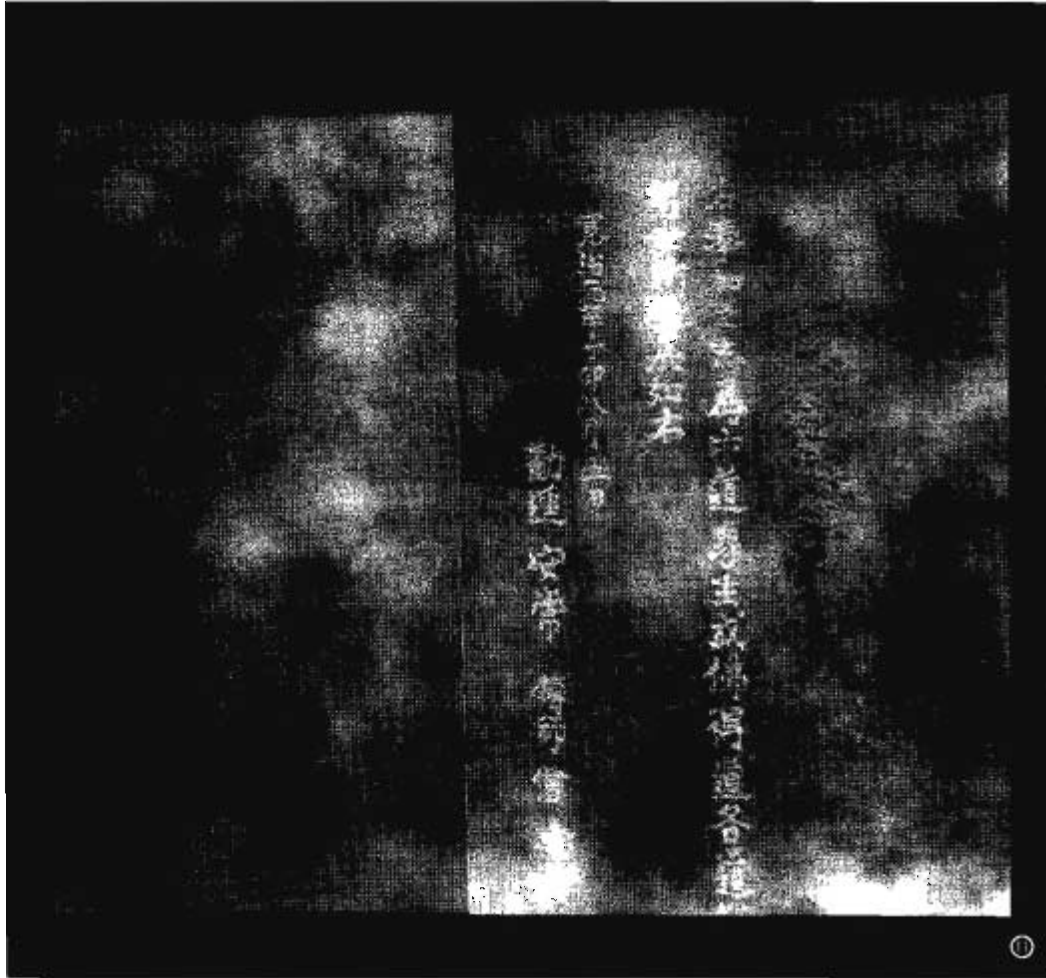
6. 衝角付実の通常X線写真 7. 衝角付実の半正射X線写真 (→は移動方向を示す)



●



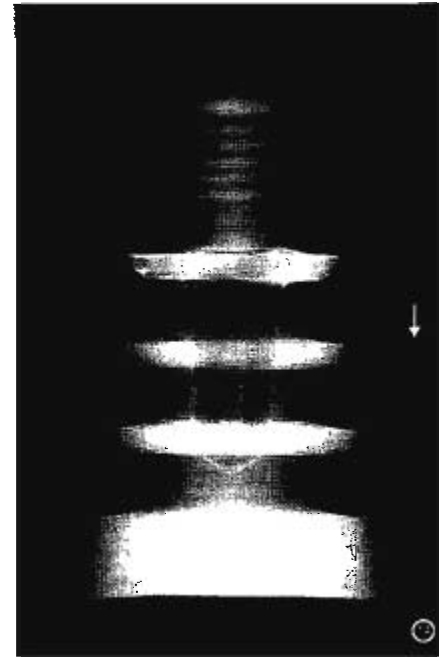
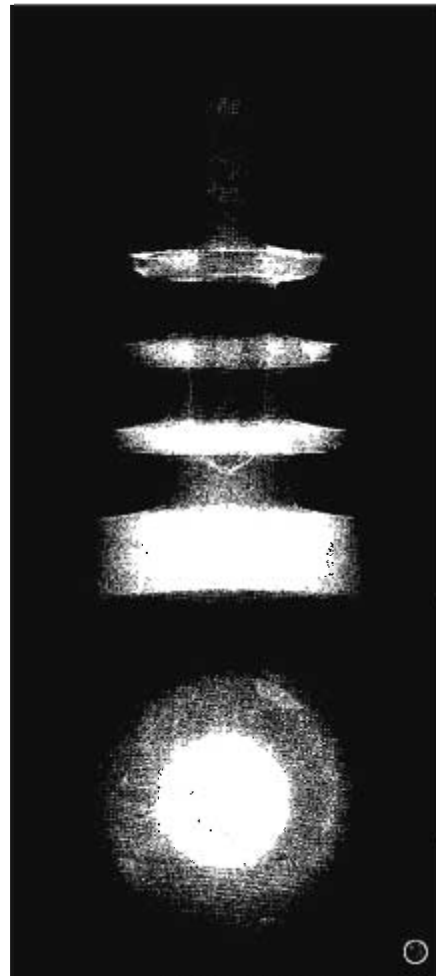
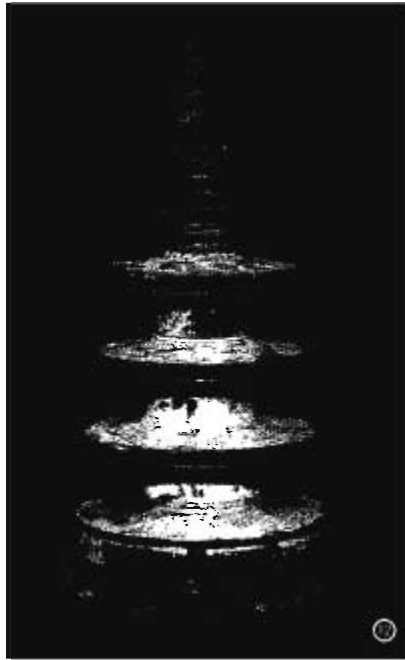
8. 経筒写真 9. 経筒の通常X線写真 10. 経筒の半正射X線写真 (→は移動方向を示す)



11. 経筒の展開X線写真

撮影条件

- 9. 250KVP,5mA,1min,1m
- 10. 250KVP,5mA,1.7cm/min,1m
- 11. 250KVP,5mA,2.2cm/min,1m



撮影条件

13. 50KVP,5mA,1min,1m

14. 110KVP,5mA,4.6cm/min,1m

12. 百万塔写真 13. 百万塔通常X線写真 14. 百万塔半正射X線写真 (→は移動方向を示す)

その事始めとしての本研究の数例を記したが、既述のように研究計画段階に予測した成果の半ばは成功し、半ばは今後の課題として残すことになった。既設のX線撮影装置との連動や、普及のための小型軽量化なども課題として山積している。

なお、本研究を行うにあたって、財団法人福武学術文化振興財団理事長福武總一郎氏をはじめ同財団の方々、銅鏡の所有者である本学客員教授堀池春峰先生、経筒の所有者である本学図書館次長矢野有氏、衝角付冑の所有者である森川瀧一氏、百万塔の所有者である阿形邦三氏には本研究推進のために御援助・御協力をいただき、また、元興寺住職辻村泰善氏、理学電機サービス株式会社伊藤健二氏、有限会社大硝理化学小川謙氏にも格別の御援助をいただきました。末筆ではありますが記して感謝申し上げます。

Summary

With traditional X-ray radiography, the three-dimensional objects distort their verges. Therefore, contrive new method for solve the point at issue. As follow : Make a slit, a turn table, and a leveling motion table.

1. With the slit and the turn table, take the spread X-ray photograph.
2. With the slit and the leveling motion table, take the undistorted X-ray photograph.