

# 行政院原子能委員會

## 委託研究計畫研究報告

本土天然類比案例分析之種類與埋藏環境條件之探討

Exploratory and Analysis for Cases of the Domestic Natural Analog,  
Taiwan

計畫編號：1052001INER031

受委託機關(構)：行政院原子能委員會核能研究所

計畫主持人：吳銘志

聯絡電話：06-2754846-65435

E-mail address：mcwu@mail.ncku.edu.tw

協同主持人：

研究期程：中華民國 105 年 02 月至 105 年 12 月

研究經費：新臺幣陸拾肆萬元

核研所聯絡人員：蔡翠玲

報告日期：105 年 12 月 06 日

## 目 錄

|   |     |
|---|-----|
| 目 錄 .....                                   | I   |
| 圖目錄 .....                                   | II  |
| 表目錄 .....                                   | III |
| 中文摘要 .....                                  | 1   |
| 一、計畫背景 .....                                | 4   |
| 二、計畫目的 .....                                | 4   |
| 貳、研究方法與過程.....                              | 6   |
| 一、X 光螢光光譜儀(XRF) .....                       | 6   |
| 二、顯微拉曼光譜分析儀(MICRO-RAMAN SPECTROMETER) ..... | 7   |
| 參、主要發現與結論.....                              | 9   |
| 肆、參考文獻.....                                 | 21  |

## 圖目錄

|   |    |
|---|----|
| 圖一：國立臺灣博物館 X 光螢光光譜儀(a)分析儀器; (b)分析元素         | 7  |
| 圖二：國立臺灣博物館顯微拉曼光譜分析儀(a)位置圖; (b)分析儀器<br>..... | 7  |
| 圖三：國立成功大學醫工所(a)分析儀器; (b)掃描平台 .....          | 8  |
| 圖四：大龍峒遺址 (a)位置圖; (b)地質圖(五萬分之一).....         | 9  |
| 圖五：拉曼光譜儀圖譜 (a)孔雀石、(b)雲母 .....               | 16 |
| 圖六：電腦斷層掃描分析 (a) UN002、(b) UN003 .....       | 18 |
| 圖六(續)：微電腦斷層掃描分析 (a) UN002、(b) UN003 .....   | 19 |

## 表目錄

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| 表一：臺灣大龍峒遺址出土之 7 枚銅幣文物.....    | 10 |
| 表一(續)：臺灣大龍峒遺址出土之 7 枚銅幣文物..... | 11 |
| 表二：X 光螢光光譜儀分析結果.....          | 13 |
| 表二(續)：X 光螢光光譜儀分析結果.....       | 14 |
| 表三：X 光螢光光譜儀分析結果.....          | 15 |
| 表四：國際文獻之考古鐵器與青銅器腐蝕速率數據.....   | 20 |

## 中文摘要

本計畫乃為延續上(104)年度之計畫工作，持續針對臺灣相關天然類比研究文獻及本土出土古文物，進行各式不同組成元素分析及礦物鑑定技術的精進與解析。

本計畫向臺南樹谷文化基金會考古中心商借了數件臺灣大龍峒遺址出土之銅幣(7 枚)；除了進行古文物的形態描述與功能推測外，同時利用非破壞性檢測方法進行文物的檢測，包括：XRF、SEM/EDS、拉曼光譜和微電腦斷層掃描(Micro-CT)影像分析技術等，進行樣本的組成元素、礦物成分與表面腐蝕物等分析。

本計畫所使用的古文物(銅幣 7 枚)，分別出自於 100 多年前日治時期的大龍峒遺址，其地質條件均屬於全新世的沖積層，主要由礫石、砂和黏土所組成。所有樣本經過 SEM/EDS 與 XRF 檢測後，主要的成分均為銅(> 80%)；而銅幣在拉曼光譜儀的分析下可發現，其表面具有孔雀石等銅氧化後生成之產物。於微電腦斷層掃描影像分析中，藉由其影像灰階程度的辨識，就其可能代表樣品材料的低密度或具孔隙之地方，得藉以推測樣品的鏽蝕程度。經過影像之分析與推算，大龍峒遺址的銅幣樣品，其鏽蝕速率約為每年  $0.22 \sim 1.12\mu\text{m}$ 。

## Abstract

This study continues the investigation of last (2015) year's project. This study was subjected to collect primarily the investigation results on domestic natural analog as well as the historical evolution and development of geological environment for the potential radioactive waste repository site in Taiwan. The study gathered the related information of the archaeological studies particularly on the taphonomy environment and the progressive analysis of corrosion on the unearthed artifacts; namely, to evaluate the probable pros and cons of the geological environment for preservation conditions of the unearthed artifacts. Furthermore, this study was also to obtain internationally the investigation references in the aspects of analytical process and the technology development.

By permission and agreement, the artifacts (7 pieces of coins) were observed and tested by the nondestructive inspection techniques such as XRF, Raman Spectrometer, and Micro-CT image processing; for material constituent analysis including elemental and mineral compositions, and analysis for the surface corroded matters. The artifacts studied were mainly unearthed from the Dalongdong archaeological site of about 100 years ago; when was the Japanese colonial period. The area, generally covered by Holocene alluvium, is primarily composed of gravel, sand, and mud.

Tested by the SEM/EDS and XRF, the primary constituents of the coins are copper (> 80%). Inspected with the Raman Spectrometer, Malachite the products generated by the oxidation of copper has been found to be the major constituent on the surface of the artifacts. Levels of the greyish toning observed, according to the Micro-CT images, were indicating the possibility of a lower density or a hollow

area of the material. Of which, the level of corrosion as well as the corrosion rate may be calculated. The Dalongdong coins studied showing that the corrosion rate were about 0.22~1.12 $\mu\text{m}$ , annually.

## 壹、計畫緣起與目的

### 一、計畫背景

我國用過核子燃料最終處置之相關研究計畫自 1986 年起，即由臺灣電力公司積極展開；其目的旨在根據過去我國執行用過核子燃料長程處置計畫經驗，按我國特有地質環境調查成果，以及國際現有最終處置技術水準，來評估目前可行之用過核子燃料處理方案，並藉以作為制定用過核子燃料近、中、長期處理策略與處置技術發展規劃之依據。

「天然類比(Natural Analog)」研究在放射性廢棄物之深地層處置場的安全評估中，為一重要的驗證方法；可彌補實驗室試驗及現地試驗在時間與空間尺度上的不足，並提高深地層處置概念技術安全評估之可信賴度。國際間針對「天然類比」的研究，在放射性廢棄物之深地層處置場址安全評估中，為一重要的驗證方法。

所謂「天然類比」係指藉觀察和利用經過長期演育的天然情境，藉以比擬及評估人為系統長期演變的可能結果；係於自然界裡的一些歷時長久的事件中，找尋與核廢料深層地質處置類似的現象或作用，並藉由對此自然事件的研究分析，揭露大尺度及長時間的自然實驗結果。

### 二、計畫目的

本計畫乃為延續上(104)年度之計畫工作，持續針對臺灣相關天然類比研究文獻與分析技術精進與解析，並向臺南樹谷文化基金會考古中心，商借於臺灣大龍峒遺址出土之古文物(7 枚銅幣)，除進行考古文物的形態描述與功能推測外，同時利用非破壞性檢測方



法，進行文物的檢測分析，包括：XRF、SEM/EDS、拉曼光譜和微電腦斷層掃描影像分析技術；進行樣本的組成元素分析、礦物分析，以及物件的表面腐蝕分析。並根據其分析結果推論，裝置放射性廢棄物的密封罐於深地層環境中，以及在長時間尺度下，其金屬材料特性之可能演變，藉以做為未來安全評估分析結果之佐證資訊，並提供為未來工程障壁設計與安全評估之參考。

## 貳、研究方法與過程

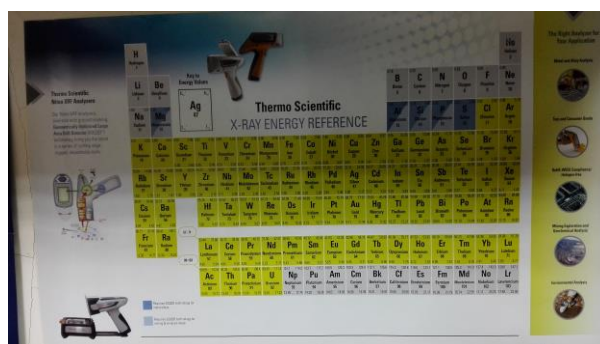
在科技考古中，有關類比分析技術，在物件的礦物成份分析方面，會利用肉眼觀察、岩相學分析、X 光繞射分析(XRD)、紅外線吸收光譜分析(IR)、拉曼光譜分析(RS)，以及熱差分析(DTA)等方式。在物件的化學元素成份分析方面，則利用 X 射線螢光分析(XRF)、原子吸收光譜分析(AA)、中子活化分析(INAA)、粒子誘發 X 射線輻射分析(PIXE)、感應耦合電漿原子發射光譜分析儀(ICP-AES)、電子微探儀(EPMA)，以及發射光譜(ES)等方式。因為考古文物之獨特性與唯一性，因此檢測方法必須以非破壞性的檢測方式為主；因此，本研究主要使用三種目前最常見用於考古研究上的非破壞性檢測分析儀器，包括：X 光螢光光譜儀、顯微拉曼光譜分析儀、微電腦斷層掃描儀等，進行本研究「本土天然類比案例分析之種類與埋藏環境條件之探討」，冀期藉由本研究計畫之進行，建立臺灣本土天然類比研究的資料庫，並針對臺灣特有的地質環境條件，進行更進一步的解析。其相關檢測技術簡述如下。

### 一、X 光螢光光譜儀(XRF)

本研究所使用的 Micro-XRF 分析儀器為國立臺灣博物館所擁有（如圖一），其儀器型號為 Energy Dispersive X-Ray Fluorescence(EDXRF), Horiba, XGT-5000。其 Micro-XRF 儀器可作為微區自動掃描分析(光束大小可至 10 $\mu$ m)，因此，可獲得樣本局部元素分佈影像圖，為非破壞性分析。實驗所用的 X 光光源為銨(Rh)靶( $\lambda=0.5437$  nm)，標本分析時儀器的條件，管電壓為 50 kV，電流為 0.1 mA。



(a)



(b)

圖一：國立臺灣博物館 X 光螢光光譜儀(a)分析儀器;(b)分析元素

## 二、顯微拉曼光譜分析儀(Micro-Raman Spectrometer)

本研究所使用的 Micro-Raman Spectrometer 分析儀器為國立臺灣博物館所擁有(如圖二)，其儀器型號為 Horiba, Jobin Yvon, UV-VIS Labram HR。本實驗利用 532 nm Nd-Yag 固態單晶雷射做為激發光源，光學導光組件為共焦(confocal)顯微系統，物鏡為 50 倍，使用 1800 條的光柵，雷射功率控制在 250 mW。因不同的礦物成分對光吸收與放射的散射效應不同，因此，實驗的時間與次數隨時調整。標靶直徑為 2  $\mu\text{m}$ ，光譜掃描範圍為 100-1200  $\text{cm}^{-1}$ (波數)，接物鏡直接放置於顯微鏡頭下進行非接觸性檢測。



(a)



(b)

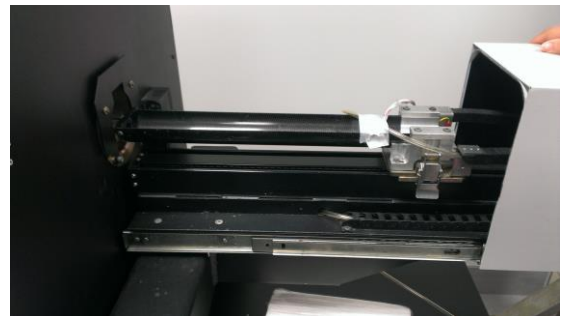
圖二：國立臺灣博物館顯微拉曼光譜分析儀(a)位置圖;(b)分析儀器

### 三、微電腦斷層掃描儀(Micro-Computed Tomography)

本研究所使用的 Micro-CT 分析儀器為國立成功大學醫學工程研究所擁有(如圖三)，其儀器型號為 Belgium Sky Scan 1076 in-vivo。Micro-CT 的 X 光電壓為 20-100kV，具有一個高解析度的電荷耦合元件(CCD; charge-coupled device)檢測器，負責收集 X 光粒子，並使用光電原理將它們轉換成可見光，最後再將這些可見光存成電子訊號。Micro-CT 一般利用錐形 X 線束(Cone Beam)來提高空間解析度(微米)、與射線利用率，其掃描速度遠高於扇形束 CT。CCD 檢測器的圖像解析度可達 1000 萬畫素，空間解析度可選擇 9，18 與 35  $\mu\text{m}$  三種規格，一個像素單元可使用 12 位元的資訊。掃描完成後，利用影像重建軟體去重組(reconstruct)影像可得到二維影像或三維影像，並可分析數據。



(a)



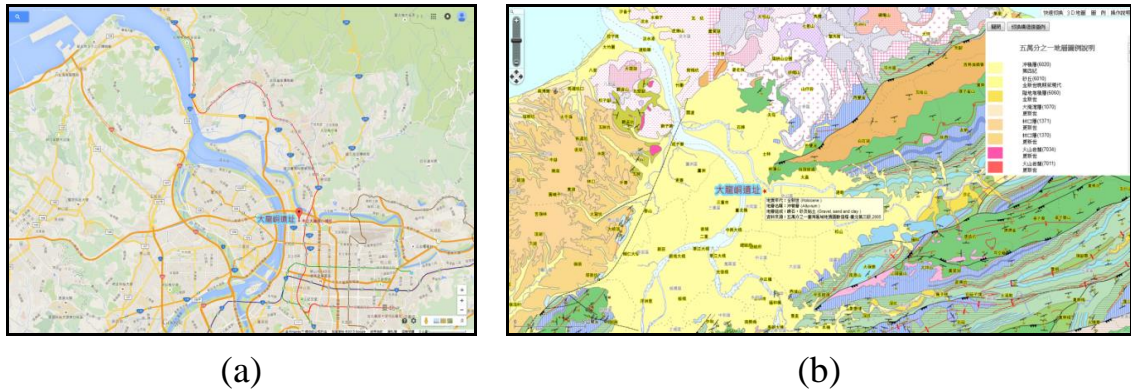
(b)

圖三：國立成功大學醫工所(a)分析儀器; (b)掃描平台

## 參、主要發現與結論

### 一、大龍峒遺址

大龍峒遺址(圖四)源自於臺北市都市更新處進行大龍峒文化園區六藝廣場工程施工時,地方文史工作者發現疑似清代「輦輪堡」遺跡,因此委託考古專家劉益昌進行考古探坑試掘計畫。此次於臺北市大同區大龍國小操場與校內周圍挖掘的探坑中,初期發現日治時期的木屐、膠鞋、生活用品、明治時期錢幣,再往下挖掘可見清代道光年間錢幣、乾隆間錢幣,再往下挖掘 1.5 公尺後,皆發現史前人類遺留的痕跡,探坑中明顯見到單一文化層堆積情形,可確認為 4500 年前的訊塘埔文化。而此次所商借的鐵器文物,主要是日治時期所掩埋的,距今約 70~100 年以上。而由(圖四)所示大龍峒遺址位於臺北盆地內沖積層,年代屬於第四紀全新世。其地層主要由礫石、砂及粘土所組成,推測應為河流的沉積物。



圖四：大龍峒遺址 (a)位置圖; (b)地質圖(五萬分之一)







### 二、銅幣建檔與成相分析

本研究乃延續上(104)年度持續針對臺灣相關天然類比研究文獻與分析技術精進與解析,並向臺南樹谷文化基金會考古中心商借











數件臺灣大龍峒遺址出土之 7 枚銅幣文物，其編號與檔案如下表  
(表一)所示：

表一：臺灣大龍峒遺址出土之 7 枚銅幣文物

| 編號     | 正面  | 反面   | 備註                       |
|--------|---|--|--------------------------|
| UN-001 |   |   | 伍角<br>重量:<br>2.0 克       |
| UN-002 |  |  | 乾隆<br>通寶<br>重量:<br>2.6 克 |
| UN-003 |  |  | 大清<br>銅幣<br>重量:<br>6.0 克 |

表一(續)：臺灣大龍峒遺址出土之 7 枚銅幣文物

| 編號     | 正面  | 反面   | 備註                 |
|--------|---|--|--------------------|
| UN-004 |    |    | 伍圓<br>重量：<br>4.0 克 |
| UN-005 |   |   | 十錢<br>重量：<br>2.3 克 |
| UN-006 |  |  | 一錢<br>重量：<br>3.2 克 |
| UN-007 |  |  | 銅錢<br>重量：<br>3.4 克 |

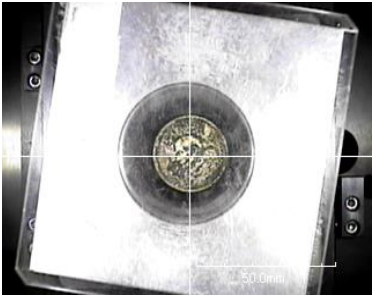
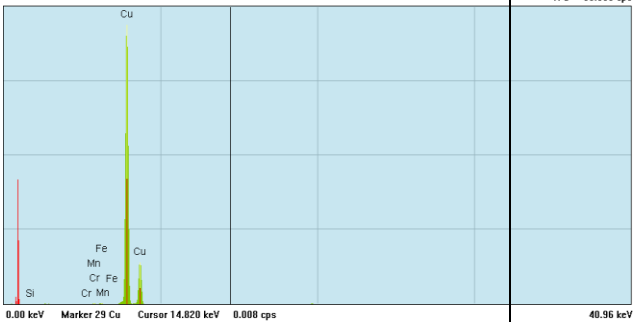
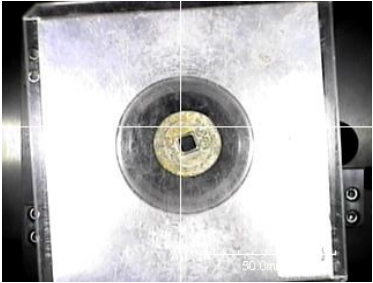
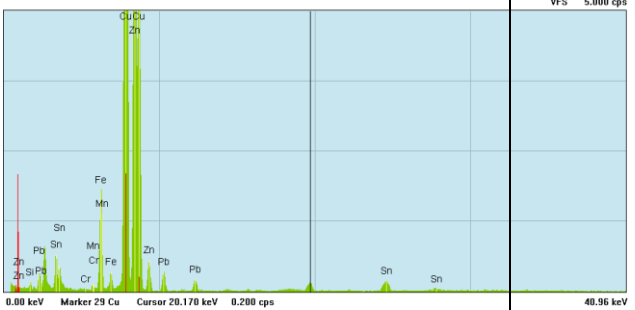
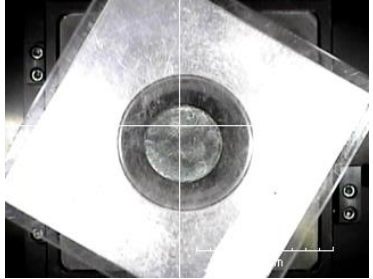
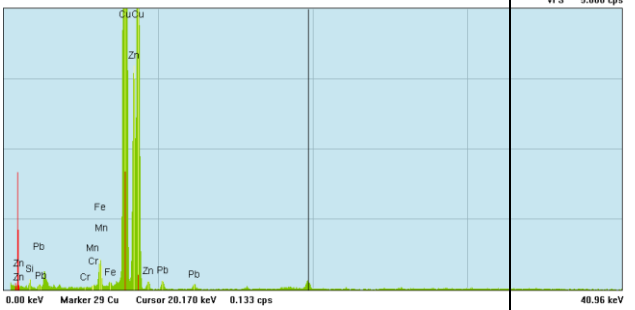
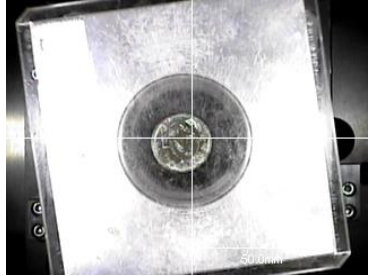
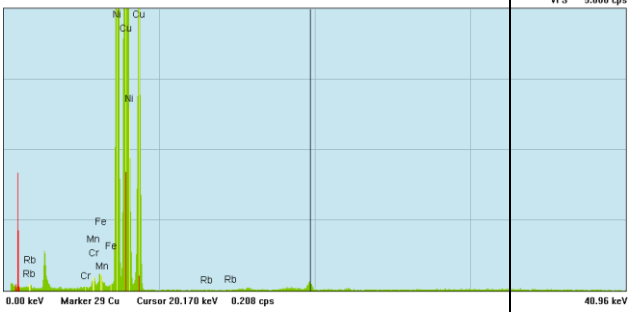
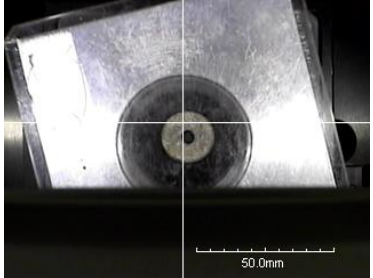
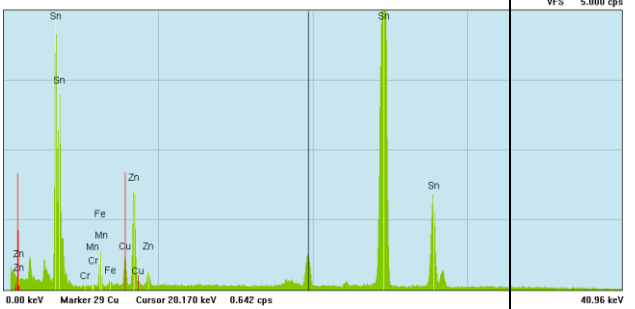
### 三、非破壞性分析技術

#### (一) X 光螢光光譜儀(XRF)

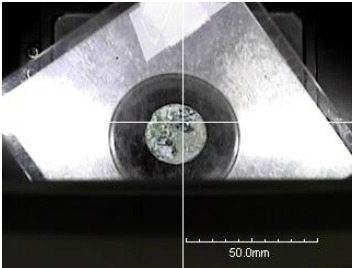
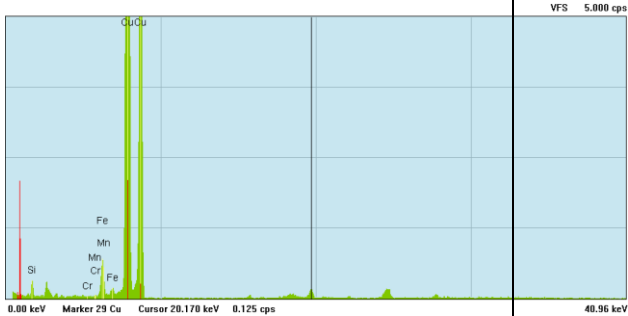
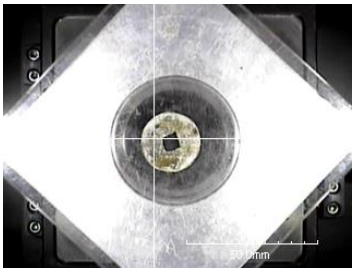
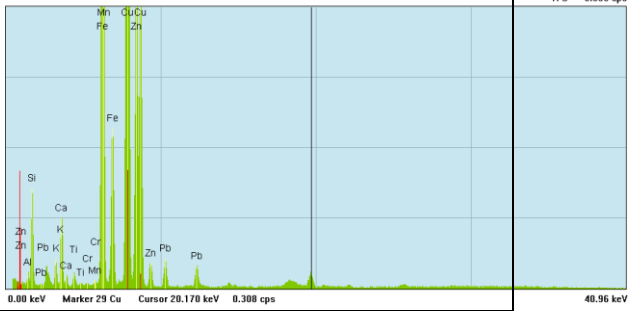
經由 XRF 分析後之結果整理如表二與表三。可根據其 X 光螢光光譜圖了解 UN001~UN007 七件文物中均含有銅(Cu)的訊號，並由元素組成分析可知其 Cu 成分均超過 80% 以上，而 UN001~UN007 銅幣表面成分還有部分錫(Sn)、鉛(Pb)、鋅(Zn)三種合金元素的訊號。此外，X 光螢光光譜圖中也顯示文物中具有微量的矽(Si)、鐵(Fe)、錳(Mn)元素，則可能來自於土壤。



表二： X 光螢光光譜儀分析結果

| 編號     | XRF 分析  | X 光螢光光譜圖譜   |
|--------|---|---|
| UN-001 |    |  <p>VFS 60.000 cps</p> <p>0.00 keV Marker 29 Cu Cursor 14.820 keV 0.000 cps</p> <p>40.96 keV</p>  |
| UN-002 |   |  <p>VFS 5.000 cps</p> <p>0.00 keV Marker 29 Cu Cursor 20.170 keV 0.200 cps</p> <p>40.96 keV</p>  |
| UN-003 |  |  <p>VFS 5.000 cps</p> <p>0.00 keV Marker 29 Cu Cursor 20.170 keV 0.133 cps</p> <p>40.96 keV</p> |
| UN-004 |  |  <p>VFS 5.000 cps</p> <p>0.00 keV Marker 29 Cu Cursor 20.170 keV 0.200 cps</p> <p>40.96 keV</p> |
| UN-005 |  |  <p>VFS 5.000 cps</p> <p>0.00 keV Marker 29 Cu Cursor 20.170 keV 0.642 cps</p> <p>40.96 keV</p> |

表二(續)： X 光螢光光譜儀分析結果

| 編號     | XRF 分析  | X 光螢光光譜圖譜   |
|--------|---|---|
| UN-006 |  |   |
| UN-007 |  |  |

表三： X 光螢光光譜儀分析結果

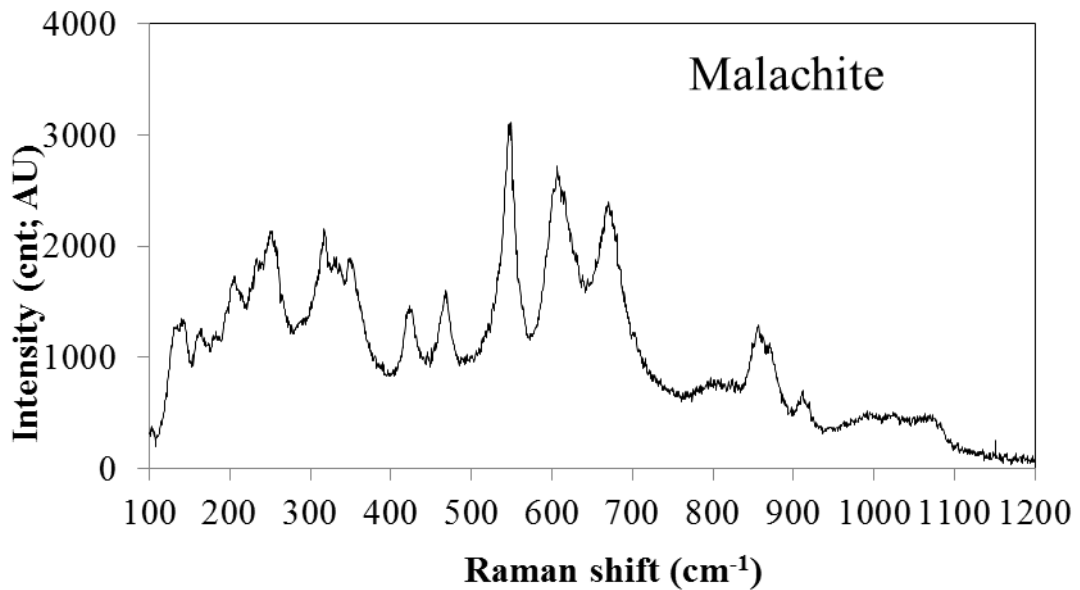
| 編號<br>Elem. | 質量百分比 Mass [%] |             |             |             |             |             |             |             |
|-------------|----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|             | UN001-Test1    | UN001-Test2 | UN002-Test1 | UN002-Test2 | UN003-Test1 | UN003-Test2 | UN004-Test1 | UN004-Test2 |
| Si          | 1.84           | 2.84        | 3.59        | -           | 4.48        | -           | -           | 3.19        |
| S           | -              | 6.26        | 0.00        | -           | -           | -           | -           | -           |
| Cr          | 0.00           | 0.00        | -           | 0.01        | 0.00        | 0.00        | 0.05        | 0.01        |
| Mn          | 0.21           | 0.13        | 0.14        | 0.04        | 0.02        | 0.04        | 0.17        | 0.03        |
| Fe          | 0.11           | 1.38        | 1.74        | 1.83        | 0.43        | 0.09        | 0.12        | 0.16        |
| Ni          | -              | -           | -           | -           | -           | -           | 19.50       | 4.77        |
| Cu          | 97.84          | 89.38       | 71.65       | 77.29       | 87.40       | 89.83       | 80.17       | 91.84       |
| Zn          | -              | -           | 15.30       | 12.38       | 5.53        | 9.92        | -           | -           |
| As          | -              | -           | -           | -           | -           | 0.82        | -           | -           |
| Sn          | -              | -           | 3.14        | 3.72        | -           | -           | -           | -           |
| Pb          | -              | -           | 4.45        | 4.73        | 2.13        | -           | -           | -           |

- : 未檢出

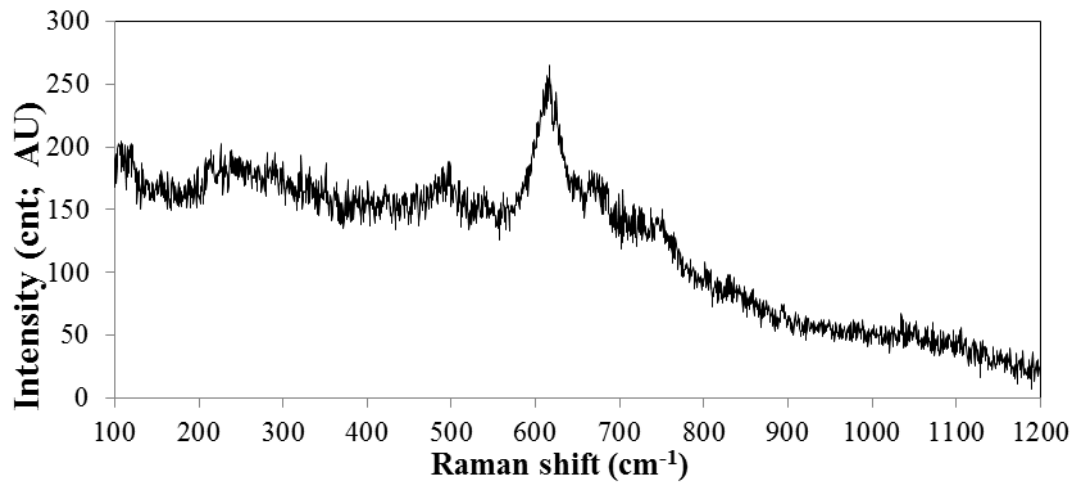
## (二) 顯微拉曼光譜分析

由顯微拉曼光譜分析結果得知，UN001~UN007 銅幣表面在 100 附近、150、180、210、677、836、1050  $\text{cm}^{-1}$  處存在次生結晶礦物為孔雀石 (Malachite) 之特徵峰與一些黏土礦物 (如：雲母)，如圖五所示。

(a) Malachite(孔雀石)



(b) Mica (雲母)



圖五：拉曼光譜儀圖譜 (a)孔雀石、(b)雲母

### (三) 微電腦斷層掃描儀

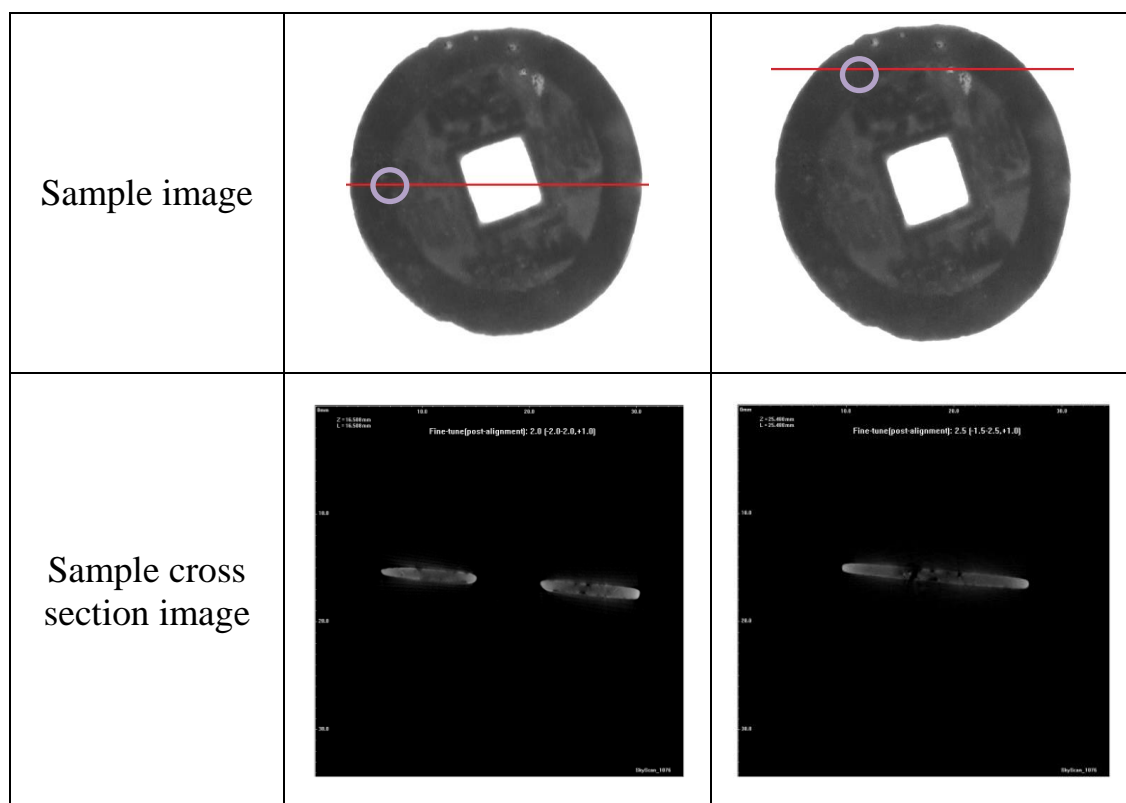
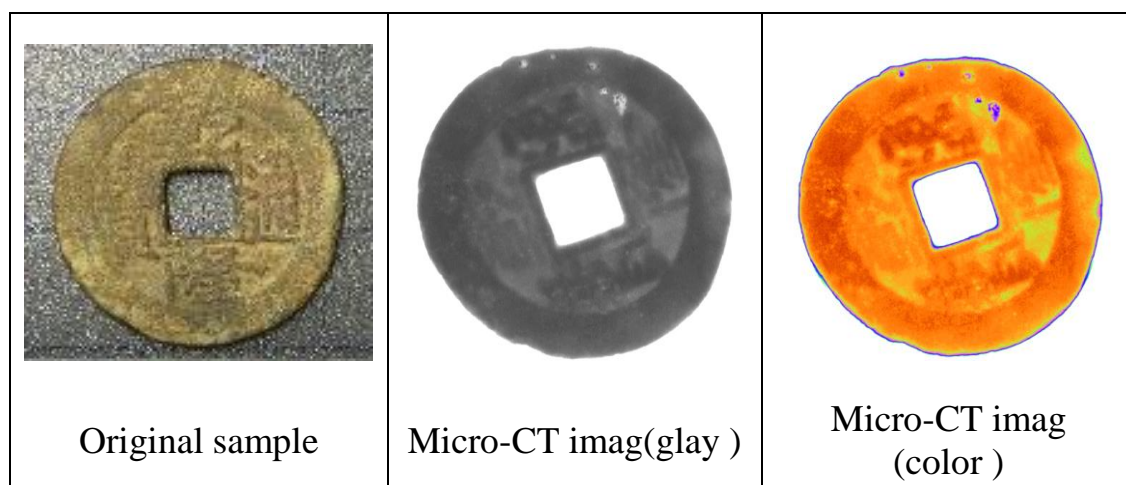
本計畫乃利用該儀器提供的幾何 (如尺寸、體積、空間座標) 和結構(如樣本的衰減值、密度和多孔性)等訊息，了解金屬內部構造。加速電壓選擇 100kV，曝光時間為 316 ms，影像解析度為 34  $\mu\text{m}$ 。由圖六中掃描結果顯示(以樣品 UN002 和 UN003 為例)，觀察

其鏽蝕的狀況，推測青銅器標本的鏽蝕速率。Micro-CT 掃描時自動將樣本分成三段區域進行掃描；每一區域以 1 度作為掃描時的旋轉角度，一共掃描 197 度後，會得到一連串的掃描圖檔。掃描完畢得到圖檔後，利用 NRecon 影像重組軟體進行掃描圖檔重組，可得到 3D 立體影像，再藉由各種角度剖面切片影像分析，利用密度差異造成影像黑白明暗深淺(Grey)或顏色不同(Color)判斷分析材料腐蝕情況，並藉由比例尺確認腐蝕深度。

#### 四、結論

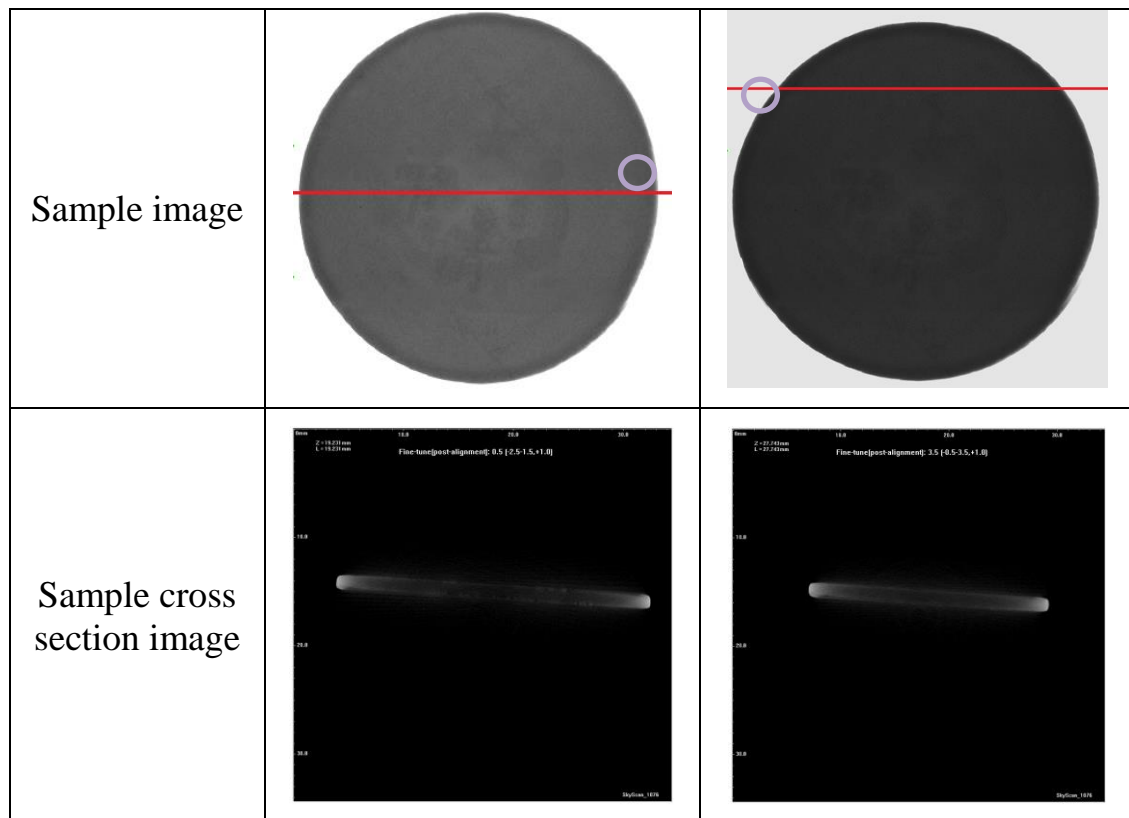
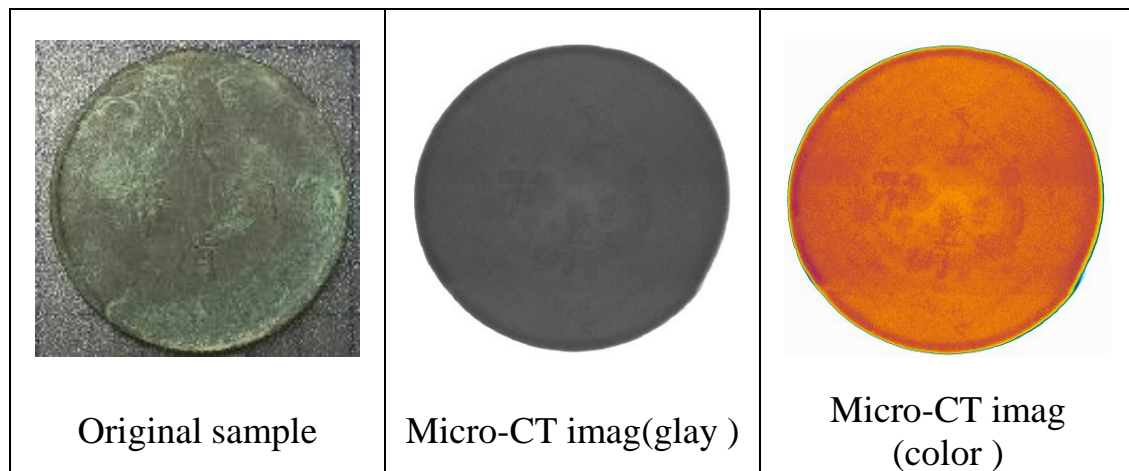
本次研究乃利用 X 光螢光光譜儀，檢測出青銅器表面主要成分為銅、鉛、錫三種合金元素。其中，UN001~UN007 銅幣重量百分比比例達 80% 以上，其次為鉛、錫。顯微拉曼光譜分析儀檢測出 UN001~UN007 銅幣含有白鉛礦的次生結晶礦物，並有些微量雲母和黏土礦物圖譜訊號。由微電腦斷層掃描儀之腐蝕深度檢測結果，UN001~UN007 銅幣腐蝕速率分別為 0.22~1.12  $\mu\text{m}/\text{年}$ ，與國際文獻之青銅器腐蝕速率數據吻合(如表四)。而藉由上述非破壞性分析技術的建立，並根據量測結果，討論銅腐蝕產物可能發生的機制，對我國用過核子燃料最終處置之未來研究工作提供重要的資料庫與數據。

**(a) UN002**



圖六：電腦斷層掃描分析 (a) UN002、(b) UN003

**(b) UN003**



圖六(續)：微電腦斷層掃描分析 (a) UN002、(b) UN003

表四： 國際文獻之考古鐵器與青銅器腐蝕速率數據

| Form of data                           |        | Corrosion depth<br>(per 1000a) | Reference                                    | Comments                                  |
|--|--------|--------------------------------|--|---|
| Archaeological<br>analogue<br>(TAIWAN) | Iron   | 1.0~1.6mm                      | INER 1052001INER031<br>(2015)                | Iron arrow (artefacts)<br>in soils        |
|  | Copper | 0.2~1.12mm                     | INER 1042001INER039<br>(2016)                | Copper artefacts in<br>soils              |
| Short-term lab                         |        | 13 mm                          | JNC (2000a)                                  | Uniform corrosion of<br>copper            |
| Archaeological analogue                |        | <3 mm                          | Range of studies cited in<br>JNC (2000a)     | Uniform corrosion of<br>copper and bronze |
| Archaeological analogue                |        | 0.26–39 mm                     | Bresle et al. (1983)                         | Pitting corrosion of<br>copper            |
| Archaeological analogue                |        | 0.025–1.27 mm                  | Tylecote (1979), Johnson &<br>Francis (1980) | Uniform corrosion of<br>mixed artefacts   |
| Archaeological analogue                |        | 0.15 mm                        | Hallberg et al. (1987)                       | Kronan cannon                             |
| Archaeological analogue                |        | 0.13–1.13 mm                   | Appendix D in IAEA<br>(2005)                 | Bronze artefacts from<br>a river          |
| Archaeological analogue                |        | <0.27 mm                       | Appendix D in IAEA<br>(2005)                 | Bronze artefacts in<br>soils              |
| Archaeological analogue                |        | 0.4–1.2 mm                     | Appendix D in IAEA<br>(2005)                 | Copper artefacts in<br>flood plain soil   |
| Archaeological analogue                |        | 0.01–1.91 mm                   | Appendix D in IAEA<br>(2005)                 | Bronze artefacts in<br>flood plain soil   |

文獻出處：Table 8-1. Comparison of copper corrosion depths cited in H12 with existing and new archaeological analogue data for copper/bronze artefacts (POSIVA 2012-11, Safety Case for the Disposal of Spent Nuclear Fuel at Olkiluoto – Complementary Considerations 2012)



## 肆、參考文獻

### 1.XRF 分析元素的原理為何？

<http://www.acttr.com/tw/tw-faq/tw-faq-xrf/43-tw-faq-principle-xrf.html>。

### 2.X 光繞射 X-ray Diffraction XRD

<http://terms.naer.edu.tw/detail/1321017/>。

### 3.拉曼光譜儀 Raman

<http://product.acttr.com/zh/spectrometer-c-13/raman-c-2/>

### 4.王嶽(2015)。山西博物院藏部分青銅器銹蝕的拉曼檢測文物世界。77-80 頁。

### 5.金普軍、秦穎、胡雅麗(2009)。九連墩墓地 1、2 號墓出土青銅器上鏽蝕產物分析。江漢考古。112-119 頁。

### 6.吳銘志、李傳斌、許家禎、楊孟學、潘春花、蔡翠玲(2015)。臺灣本土天然類比案例之探討與分析。核能研究所委託計畫報告。6-7 頁。(計畫編號：1042001INER039)。

### 7.施宇鴻等、陳亮丞(2016)。利用微電腦斷層掃描分析台灣鐵銅器古文物鏽蝕現象的初步研究。核能研究所所內報告。8-9 頁(報告號碼：INER report-12616)。

### 8.賈臘江、金普軍(2015)。拉曼光譜分析青銅器本體中銹蝕產物。光

譜學與光譜分析。35 (1): 128-131 頁。

9.鐵付德。2005。青銅器腐蝕特徵與土壤腐蝕性的關係。中原文物。

2: 108-110 頁。

10.Frost, R.L. 2003. Raman spectroscopy of selected copper minerals of significance in corrosion. *Spectrochimica Acta. Part A : molecular and biomolecular spectroscopy*, 59 (6): pp.1195-1204.

11.Fu Q.L., Jin P.J., Ling X., Zhang S.X., Sun W.G., and Xia Y. (2012), Preliminary study of corrosion status on bonzes excavated from Qin Dynasty tombs at Xinfeng town in China. *International Journal of Corrosion*, pp.1-6.

12.Ghoniem M. (2011), The characterization of a corroded Egyptian bronze statue and a study of the degradation phenomena. *International Journal of Conservation Science*, 2 (2): pp.95-108.

13.JNC( 2000). H12: Project to establish the scientific and technical basis for HLW disposal in Japan. Project overview report, Japan Nuclear Cycle Development Institute, JNC-T21410-2000-001.

14.Nord, A.G., Mattsson, E., and Tronner K. (2005), Factors influencing the long-term corrosion of bronze artefacts in soil. *Protection of Metals*, 41 (4): pp.30-316.

15.POSIVA (2012) 2012-11, Safety Case for the Disposal of Spent

Nuclear Fuel at Olkiluoto – Complementary Considerations, pp.92.