

Abstract

I Chou/ UWin Nanotech. Co. Ltd. Assistant engineer

Ching-Hsiang Hsu/ UWin Nanotech. Co. Ltd. General manager

Due to the requirement of artificial intelligence and big data analysis for Industry 4.0, the industrial server systems are required. Recently, the rapid development of new technology such as the Cloud system, 5G network and the new server systems that have much-advanced hardware support the new technologies.

These server systems become a lot of electronic waste from 5 to 10 years when the new system publish. Research shows that the value and content of the valuable metal in e-waste is higher than natural mine. As a result, urban mining has become one of the important sources to get materials for many countries. Taiwan is an important country in the server manufacture industry, so urban mining is vital to us.

However, the traditional recycling process of urban mining lacks the concept of environmental protection, it will pollute the air, water, and land. Lots of countries in the EU forbid toxic chemicals like cyanide and aqua regia. They used the smelter to recycle e-waste. It is a very waste of time, energy, and producing numerous pollutants. In order to recycle the e-waste by using efficient and environmentally friendly methods, UWin developed many different kinds of cyanide-free metal strippers and green process of E-waste recycling.

In this article, we collected the waste server systems from four well-known companies in the world: Cisco Systems, Inc., International Business Machines Co., Hewlett-Packard Co., and Dell Inc. Using the green process of e-waste recycling, and developed the concept of Reverse Engineering to treat these server boards. The innovative and eco-friendly recycling process not only prevents pollution but also increase the recovery rate of recycled metal. It can be reached the environmental protection standard, and significantly reduced the cost of the recycling process. By this method, the e-waste recycling industry around the world can achieve a win-win situation between the economy and environmental protection. Put circular economy and corporate social responsibility into practice.

摘要

周易/優勝奈米科技有限公司 技服工程師
許景翔/優勝奈米科技有限公司 總經理

因應工業 4.0 所需的 AI 人工智慧及大數據分析，各行各業都會使用到伺服器相關服務，伺服器的發展與應用對人類科技發展有著實的影響。近年來更快速的發展出先進的雲端系統與 5G 網路服務，及功能更為強大的伺服器硬體設備，舊有大量的伺服器面臨淘汰的命運，成為大量的電子廢棄物。研究顯示電子廢棄物 (E-waste) 中所提煉出的貴金屬與工業用金屬，不論含量及價值都遠高於天然原礦，因此電子廢棄物城市礦山的回收，已成為各國積極爭取的金屬原物料來源，臺灣在全球伺服器產業扮演了重要的角色，更應注重電子廢棄物的回收。然而過去回收的製程由於缺乏防護及環保觀念，會對空氣、土壤與水源造成嚴重汙染，歐美等先進國家已禁止使用王水、氰化物等高毒性化學品，但其使用高溫焚燒法的回收製程，仍相當耗能、高汙染。為響應以環保無毒的方式進行電子廢棄物回收，優勝奈米開發出多種貴金屬的無氰剝除劑，以及安全環保電子廢棄物回收製程。

本文以四大知名伺服器品牌商思科系統公司 (Cisco)、萬國商業機器集團 (IBM)、惠普公司 (HP)、戴爾股份有限公司 (Dell) 所生產的報廢伺服器為主，研究以逆向工程的概念所開發的綠色化學環保回收技術，回收這種新型態的電子廢棄物，不但可大幅降低對環境的汙染，亦可增加電子廢棄物中金屬的回收再利用率。除了能符合相關環保法規要求，更能降低回收成本，同時詳細分析電子廢棄物的回收價值，達到經濟與環保雙贏策略，實踐循環經濟及永續經營之企業社會責任。

伺服器之綠色化學環保回收技術

周易/優勝奈米科技有限公司 技服工程師
許景翔/優勝奈米科技有限公司 總經理

一、前言

現代網際網路的快速發展使人類間的交流變得極為快速，資訊量也越來越大，舊有的網路系統已漸漸無法負荷，更快速的 5G 網路將在短時間內成為主要的網路通訊模式。因應 5G 網路的需求，全球伺服器的產量需求正快速的增加，根據 DRAMeXchange 針對 2018 年全球伺服器品牌的統計，去年全球伺服器出貨量年增 5%，達到 1242 萬台。伺服器是指具有較高運算能力，能同時提供給多個用戶使用的電腦。伺服器需要透過網際網路連線方可執行指定服務，與一般個人電腦不同，大多數伺服器會有長時間執行工作的需求，因此會有許多額外輔助運算的配件，在一般情況下還會有其他多部伺

伺服器連接輔助工作，伺服器也會因使用需求的不同，而衍生出多種不同的種類，像是家用伺服器、網頁伺服器、雲端伺服器等，伺服器還能依計算能力能分成工作群組級伺服器、部門級伺服器、企業級伺服器。不論何種伺服器都是由多種不同的電子零件組成，其中最有價值的材料之一就是用於製作 IC 中的線路以及電鍍在連接器表面用於防止接點氧化及增加導電率的貴金屬金。以品牌來說，戴爾股份有限公司 (Dell) 是全球最大伺服器出貨商，市占率達 16.7%，還有：思科系統公司 (Cisco)、萬國商業機器集團 (IBM)、惠普公司 (HP) 等，也是全球知名的伺服器供應商，供應網路伺服器、雲端系統伺服器、大數據接收及處理伺服器。

由於科技發展日新月異，電子產品時常需要汰舊換新，廣泛應用於人類生活中各個層面的伺服器也不例外。伺服器約使用五到十年就會換新，淘汰掉的伺服器部分變成二手品轉賣，大部分則是成為電子廢棄物。根據聯合國統計，2018 年全球共產出 4850 萬噸電子廢棄物，與 2016 年相比成長了 8.5% (Baldé et al., 2017)，這些電子廢棄物價值相當於中美洲國家哥斯大黎加同年國民總產值。然而當中只有 20% 循環利用，其餘的部分則下落不明，有的被當一般垃圾掩埋，也有的被送往非洲、東南亞等國，在惡劣條件下進行回收。非法回收與廢棄物拆解牽涉到百萬美元的利益，甚至有非洲軍閥以武力脅迫當地婦女與孩童在惡劣的條件下處理電子廢棄物，以獲取其中的金屬變賣成現金支持國家的內戰，對環境及當地居民造成嚴重的傷害。因此，如何以綠色環保的方式回收電子廢棄物，成為了當今迫切需要解答的問題。

二、電子廢棄物與臺灣電子產業

臺灣的 PC 大廠廣達、仁寶、緯創、神達等廠商，近年來積極轉型切入伺服器代工的領域，由臺灣廠商代工的伺服器市佔率已達到 88.2%，幾乎每 10 台伺服器就有近 9 台是臺灣製造，帶動伺服器周邊零件的產業發展，包括伺服器外殼、印刷電路板、連接器、記憶體、被動元件、IC 製造與封裝等，臺灣在伺服器產業中扮演了重要的角色。這些產業在製作電子產品時會需要使用到大量貴金屬 (金、銀、鈀) 與有價金屬 (銅、鋁、錫)，然而臺灣本身並沒有相關的礦產，根據行政院環保署永續物料管理的資料顯示，臺灣物料約有七成來自進口，包含生物質、金屬、非金屬與化石燃料，其中金屬進口占比最高為 100%。資料顯示臺灣強烈的需求金屬的再利用與回收金屬，而全球每年產出大量包含報廢伺服器模組在內的電子廢棄物，正是這些可回收金屬的來源，可用於支持臺灣電子產品相關產業。

三、傳統電子廢棄物回收製程的隱憂

傳統的電子廢棄物回收製程，會使用到氰化物、王水、高溫焚燒等方式回收貴金屬，每種方式都有其缺點：

1. 氰化物

氰化物是傳統製程中以氰化法溶解黃金所使用化學藥品，於 1880 年代末應大量應用於金礦黃金提取，目前全球約有 13% 的氰化物被用於提取金屬，包含電子廢棄物貴金屬回收。同時氰化物也是推理小說中常出現的殺人手法。以常見氰化物氰化鉀為例，其半致死劑量約為 5mg/kg，以台灣人平均體重 60 公斤來說，攝入不到 0.5 公克的氰化物就有一半的致死率。其致命的原因在於氰化物溶於水中會釋出氰根(CN⁻)，氰根有著容易與重金屬離子結合的化學特性，進入人體後會使細胞因缺少重金屬離子而停止呼吸作用，造成細胞組織缺氧死亡，累積在體內會造成甲狀腺異常及皮膚病變等不良影響。(勞動部職業安全衛生署，2016)

2. 王水

單純以硝酸或是鹽酸皆無法溶解黃金，而硝酸與鹽酸以 1：3 的比例配製成的王水，其中硝酸能將金屬氧化成離子態，高濃度的氯離子與金屬離子形成配合物，此化學特性使王水成為少數能溶解黃金與白金的物質，因為容易取得而大量使用在傳統回收製程中。王水的腐蝕性極高，可腐蝕大多數的金屬，因此除了溶解黃金速度慢以外，還會破壞電子廢棄物中其他的有價金屬及零件，無法進行完整有效的回收。王水穩定度低極易變質分解，使用過程會產生大量的硝煙更容易對操作人員造成危害。

3. 高溫焚燒

高溫焚燒顧名思義就是先將電子廢棄物以焚燒的方式，分離出電子廢棄物中的貴金屬。燒掉塑膠等雜零件，留下熔點較高的金屬形成合金磚，再使用王水或氰化物溶出其中的貴金屬，過程繁瑣且高汙染，除了會使用到有毒、危險的管制化學品進行貴金屬提煉外，焚燒塑膠產生大量的戴奧辛、懸浮微粒、廢熱、碳排等空氣汙染，近日還在極地的冰層與世界各地的雨水中發現塑膠微粒，這些塑膠有的來自被分解成小塊的塑膠垃圾，還有塗在電路板表面因焚化不完全隨廢氣排出煙囪的樹脂塗層(Epoxy)，汙染範圍遍布全球。

這些傳統製程都需要高成本的廢水、廢氣處理管控，才不會造成環境汙染，而民間回收處理體系是在利益的驅動下，作業技術落後。以拆解一台電腦為例，金屬和外殼以高溫製程焚燒、融化電線包括顯像管頸上的偏轉圈都被集中燃燒以獲取銅，積體電路投入王水中，提取微量金。由於民間回收體系缺乏專業的處理設施，在處理過程中排放出大量懸浮微粒與戴奧辛、VOCs(揮發性有機化學物質)等劇毒氣體，嚴重的汙染了環境，處理後的廢酸液也不經過任何適當處理就直接排入當地河流，導致當地土壤無法種植農作物。同時，大量有害物質進入土壤和地下水，嚴重影響了人們的身體健康且造成環境汙染(C. H. HSu, 2014; H. K Ma, 2015)。

四、國外電子廢棄物回收

1. 日本同和集團(DOWA)

日本同和集團已整合建立成日本最大的冶煉及廢物回收業務，利用冶

煉技術處理廢棄物。廢物處理包括電子設備，移動電話，丟棄消費電子電器和報廢汽車。最初是在長期開採和提煉作業中提取貴重金屬，如含量偏低的金、銀礦石。目前從事各種報廢品從個人電腦電路板、移動電話，消費電子產品和家電等設備有價金屬的回收。同和集團從電子廢物利用冶金技術回收不同的金屬元素，採用先進的冶金技術回收多達 22 種不同的金屬元素，將回收的金屬資源帶回社會作為新生的產品，如電子零件，電路基底、膜、電線等。同和集團的「金屬和蒸汽回收焚燒爐」，可將貴重金屬從被處理廢棄物中提煉出來。此外，日本三菱直島精煉所採用之破碎焚燒法，通常其投資規劃與金額需要超過 40 億美金以上才有可能達成。

2. 比利時優美科 (Umicore)

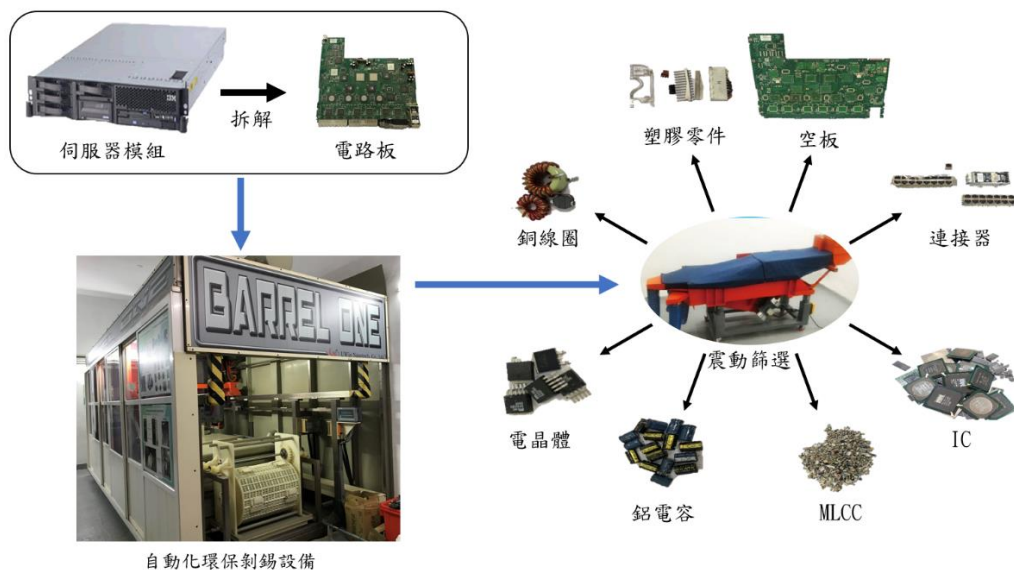
優美科是歐洲最大的貴重金屬回收商之一，前身為聯盟礦業公司，是一家跨國材料技術公司，總部設在布魯塞爾。優美科一直以來專注於回收貴重金屬和含有貴重金屬、銅、鈷、鋅和其他金屬的產品。自 1991 年成立以來，公司一直是比利時的基準 BEL20 股票市場指數的一份子。其核心業務是回收和各種貴重金屬和其它有價金屬，以及某些非金屬如硒的精煉。優美科回收含有貴重金屬和其它有價金屬複雜的廢物流。回收和銷售貴重金屬（銀、金、鉑、鈾、銻、銻、鈦、鈦），稀有特殊元素（鈾、硒、碲）和有價金屬（鉛、銅、鎳）等。其 WEEE 熔煉回收技術，用於從電子廢料如印刷電路板 PCB 中回收有價金屬，應用頂吹旋轉爐 TBRC 可將 PCB 熔煉成富含貴重金屬的粗銅，然後採用橢圓形爐或反射爐進一步精煉。

以上提到的兩國擁有系統性的回收技術，但仍使用高耗能、高碳排的焚燒法，且投資成本都是以數十億美金，除非有足夠的資金以及土地，否則難以進行建廠量產。然而並不是所有回收商皆使用傳統的回收方式，例如：美國緯創公司，緯創積極進行多角化經營，緯創於 2010 年設立 100% 投資子公司 Wiston Green Tech，以 2,100 萬美元，於美國德州北部 McKinney 市設立電子廢料回收與精煉廠，這也是緯創在回收事業布局中，繼昆山之後第二個布局點，塑料、印刷電路板與電池都被鎖定為回收標的。緯創的回收業務以大陸昆山為起點，當地以塑料回收為主要業務，美國則是以 PCB 回收為主力，有別於焚燒印刷電路板的方式，緯創採用臺灣優勝奈米科技的綠色環保回收製程來回收舊電腦或是電子裝置，有別於傳統回收商所使用的氰化物、王水及焚燒法，緯創採用優勝奈米科技提供的環保提煉貴重金屬製程如金、銀、錫等，已獲得美國 Dell 公司公開支持其回收計畫及處理方式。

五、逆向工程思維的電子廢棄物回收

有別於傳統製程，綠色環保的回收製程是以逆向工程思維所設計的回收技術。逆向工程最早被大量應用於軍事產品上，像是第二次世界大戰時著名的 V-2 火箭，在戰爭結束後受到美國、蘇聯兩個超級大國的重視，分別對這項跨世代的發明進行逆向工程研究，為長達 24 年的太空競賽定下基

礎。逆向工程中重要的一個概念，就是對產品進行完整的拆解、分類以利後續的研究計畫，綠色環保回收製程即是以此概念為重點的回收技術，因此此技術能有效的回收電子廢棄物所有的金屬增加回收價值。例如：由礦場產出的有價金屬及貴金屬製作電子零件，像是鐵製的連接器外殼、鋁製的鋁電容與散熱片、銅製的銅線圈與印刷電路、含有貴金屬的 IC 等，這些零件是以熔點較低的金屬錫銲接在一起，最後再與鐵殼、散熱器組裝在一起成為功能齊全的伺服器。使用過後報廢的伺服器模組透過綠色環保回收製程，先將報廢伺服器模組中的電路板拆分出來，以環保剝錫技術將錫溶解，使電路板上零件完整的與電路板分離，再依材料組成分類電子元件，分門別類進行完整的回收。如此一來，包含貴金屬在內的金屬及塑膠都能完整分出回收再利用（圖一）。避免高溫焚燒法回收，電子廢棄物可以保持完整，在過程中不產生粉塵及戴奧辛等空汙問題，電路板上的錫也能保留再製成錫磚，不會因焚燒被氣化無法回收。後段製程純化提煉的過程簡單，不需耗費大量人力、藥水與時間成本。除此之外，綠色環保回收製程還能避免使用氰化物、王水所需的人員訓練及安全防護成本，也不會因為廢酸液不當排放或意外洩漏，造成對環境及人體的危害。因此本研究使用綠色環保回收製程對伺服器進行回收，分析伺服器的回收價值，在不傷害環境的前提下，有效的解決城市礦山的問題，符合永續經營的精神。

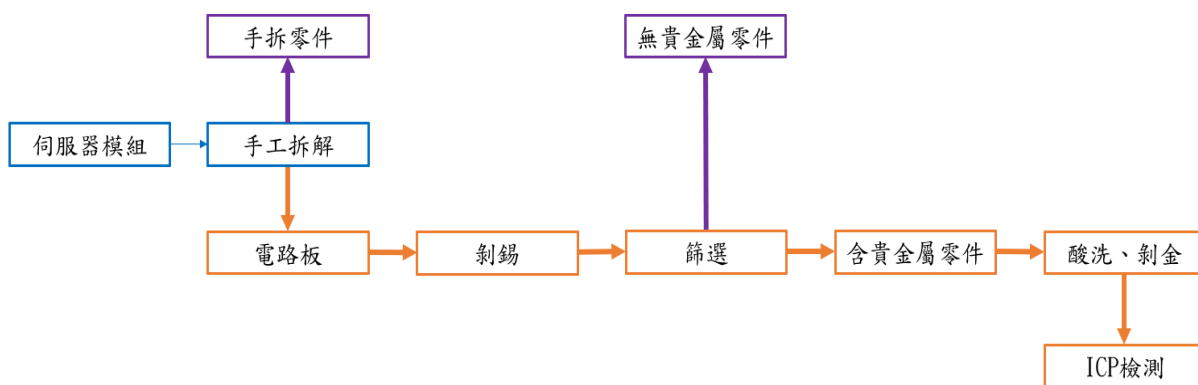


圖一、伺服器模組以手工拆解取出電路板，經剝錫篩選後可分出各種零件。

六、報廢伺服器模組全流程回收

本研究使用思科系統公司（Cisco）、萬國商業機器集團（IBM）、惠普公司（HP）、戴爾股份有限公司（Dell）四家知名伺服器生產供應商，經汰換的伺服器模組，以綠色環保技術全回收流程（圖二），針對伺服器中價值最高的金含量分析，測試出不同廠商伺服器的貴金屬含量與價值。

伺服器模組經手工拆解後，可分出不含貴金屬的鐵殼及散熱模組等手拆零件，而電路板則進行剝錫，可進一步分出含貴金屬零件與無貴金屬零件。無貴金屬零件如銅線圈、鋁電容、散熱器等所含有大量的銅、鐵、鋁、塑膠等材料，可分類交由專業的處理廠商回收再利用，提升回收價值。含貴金屬零件進行酸洗、剝金流程，最後以感應耦合電漿光譜儀（ICP）檢測貴金屬含量。



圖二、伺服器回收全流程。

七、報廢伺服器模組貴金屬含量結果與討論

1. 伺服器零件分類

表一為伺服器模組經過手工拆分、剝錫篩選分類後的結果。各家伺服器重量佔比最多的部分皆為鐵殼與風扇組，佔 70%以上。含有貴金屬零件的電路板(圖三)經剝錫後，可再分出佔伺服器總重約 20%不含貴金屬的零件，最後剩餘佔伺服器總重約 10%以下的含貴金屬零件，進行後續的貴金屬提煉製程。對電路板進行剝錫可進一步細分零件，除了能達到更完整的零件回收外，還能減少後續貴金屬提煉製程的成本。以 Dell 伺服器為例，伺服器模組經手拆後的電路板含有佔總重 22.70%的無貴金屬零件，以及 4.30%的含貴金屬零件，經過剝錫篩選可將兩種零件分開，以 Dell 伺服器為例，伺服器模組經手拆後的電路板含有佔總重 22.70%的無貴金屬零件，以及 4.30%的含貴金屬零件，經過剝錫篩選可將兩種零件分開，僅需處理 4.3%的零件重量，在後續的貴金屬提煉製程可減少一半以上藥水使用與廢水處理量。

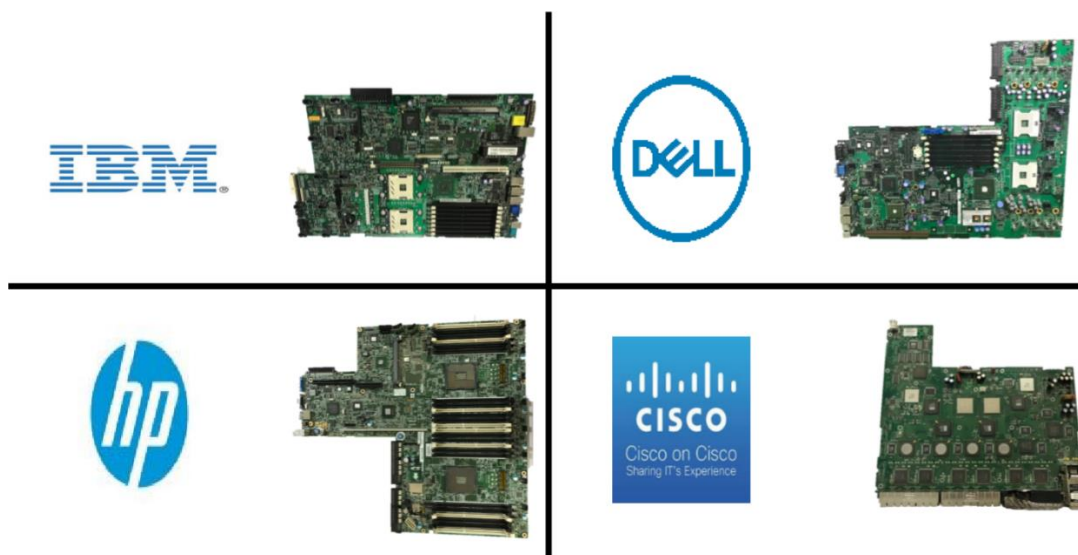
表一、伺服器經拆分後的零件重量百分比

| 品牌 | 項目 | 手拆零件 | 無貴金屬零件 | 含貴金屬零件 |
|-------|-------|--------|--------|--------|
| IBM | 重量百分比 | 76.55% | 18.24% | 5.21% |
| hp | | 74.91% | 19.03% | 6.06% |
| Dell | | 73.00% | 22.70% | 4.30% |
| CISCO | | 73.23% | 17.68% | 9.09% |

2. 伺服器貴金屬含量分析

表二為伺服器剝錫篩選後各種含貴金屬零件的金含量。IC 中含有的金來自零件內部的線路，連接器的金則來自接點表面的金鍍層。依據伺服器功能需求不同，貴金屬含量佔比會有所不同，一般而言，伺服器功能需求較高，除了主電路板外，還會有許多輔助主電路板工作的零件或是小電路板，這些零件都是以鍍金的連接器進行連接，因此伺服器中連接器的金含量佔了 50% 以上。Cisco 的伺服器型態較特殊，其功能偏向網路交換器，連接器數量較少，因此連接器的含金量僅有 9%，但其伺服器整體體積較小，相較於其他伺服器含貴金屬零件的重量佔比較高，使 Cisco 的伺服器含金量為其他伺服器平均含金量的 2.7 倍，因此伺服器的含金量與其功能有很高的關聯性。

伺服器與臺灣常見的大型電子廢棄物相比，貴金屬的含量高出許多，依據伺服器功能的不同，每噸含有 58 公克到 266 公克的含金量。依據環保署公布的資料，大型電子廢棄物如：洗衣機、冷氣機，每公噸大型電子廢棄物中含有的黃金不超過 20 公克，即使與含金量較低的伺服器模組相比，含金量仍不及伺服器的 30%，僅回收黃金，伺服器就有極高的回收價值。



圖三、各大廠牌伺服器主電路板

表二、含貴金屬零件金含量

| 品牌 | 項目 | IC (g/set) | 連接器 (g/set) | 合計 (g/set) | 含金量 (g/ton) |
|-------|----|---------------|----------------|---------------|----------------|
| IBM | Au | 0.236 | 0.315 | 0.551 | 133.0 |
| hp | | 0.067 | 0.124 | 0.191 | 58.1 |
| DELL | | 0.185 | 0.247 | 0.432 | 105.0 |
| CISCO | | 0.295 | 0.028 | 0.323 | 266.0 |

伺服器電路板上分出的多層陶瓷電容(MLCC)，大多以銀做為電容極板材料，IC 中也會有部分線路以銀製作，因此伺服器中也有高含量的銀(表三)。

八、結 論

自 1971 年第一部個人電腦問世以來，越來越多人依賴電子產品處理生活中的事物，而隨著科技進步產生了網際網路，更是資訊時代的重要里程碑。在訊息數位化、人工智慧興起的現代，能處理大量資訊的伺服器扮演了重要的角色，同時也產生新型態的廢棄物。

電子廢棄物中的貴金屬含量高於天然礦產，尤其是較高階的電子產品，例如：手機、硬碟、伺服器等。傳統製程以王水、氰化物進行電子廢棄物回收，不只耗費大量時間、成本進行廢水處理，還容易發生工安意外對環境及操作人員造成嚴重的傷害。

綠色環保的電子廢棄物回收技術，能大幅減少對環境的衝擊，還能節省許多成本與時間，需要進行大量量產時，也能擴大規模為貨櫃型模組化自動化機台裝置達到量產需求。

本研究藉由綠色環保的全流程回收技術，有效的將不同品牌的報廢的報廢伺服器模組中所有零組件剝錫、分類，並將含貴金屬的 IC、MLCC、連接器進行貴金屬提取與純化。讓回收伺服器的貴金屬時不會破壞到其他零件，使回收效果更完整，操作過程安全環保，有效解決城市礦山的問題。

九、參考文獻

Baldé, C.P., Forti V., Gray, V., Kuehr, R., Stegmann,P., 2017. The Global E-waste Monitor – 2017, United Nations University (UNU). International Telecommunication Union (ITU) &International Solid Waste Association (ISWA), Bonn/Geneva/Vienna.

C. H. HSu, 2014. Eco-recycling of previous metal from e-waste. Electronics Recycling Asia, Singapore.

H. K. Ma, 2015. Eco-recycling of precious metal from e-waste, 14th International Electronics Recycling Congress IERC 2015, Salzburg, Austria.

Tse-Lun Chen, Tzu-Hao Huang, C. H. Hsu, Yi-Hung Chen, Shu-Yuan Pan, Pen-Chi Chiang, 2020. Removal of fine particles from IC chip carbonization process in a rotating packed bed: Modeling and assessment, Chemosphere Volume 238, January 2020, 124600

職業性氰化物中毒認定參考指引，勞動部職業安全衛生署，2016 年 11 月