

出國報告(出國類別：其他（開會）)

# 綠色產業用金屬材料應用研究發展計畫-節能及再生金屬材料技術出國報告

服務機關：國防部軍備局中山科學研究院  
姓名職稱：聘用技士 陳彥仲  
派赴國家：日本  
出國時間：101.05.20 至 101.05.24  
報告日期：101.06.22

報 告 資 料 頁			
1.報告編號： CSIPT-101Z-M0001	2.出國類別： 其他(開會)	3.完成日期： 101.6.22	4.總頁數： 35
5.報告名稱：綠色產業用金屬材料應用研究發展計畫-節能及再生金屬材料技術出國報告			
6.核准 文號	人令文號 部令文號	101.05.07 國人管理字第 1010005852 號 101.05.01 國備科產字第 1010006364 號	
7.經 費		新台幣： 63,969 元	
8.出(返)國日期		101 年 5 月 20 日至 101 年 5 月 24 日	
9.公 差 地 點		日本東京	
10.公 差 機 構		日本東京日鑛公司及東京環保展	
11.附 記			

## 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：綠色產業用金屬材料應用研究發展計畫-節能及再生金屬材料技術出國報告

頁數 35 含附件：是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

國防部軍備局中山科學研究院/陳彥仲/03-4712201 轉 357248

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

陳彥仲/國防部軍備局中山科學研究院/第五研究所材料加工及測試組/聘用技士/03-4712201 轉 357248

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 其他(開會)

出國期間：101.05.20~101.05.24 出國地區：日本

報告日期：101.6.22

分類號/目

關鍵詞：廢棄物、資源回收、火法冶金、濕法冶金、置換法

內容摘要：(二百至三百字)

配合經濟部科技專案『綠色金屬材料應用研究發展計畫』之需求，前往日本參訪日本日鑛公司及東京環保展，了解事業廢棄物處理發展情形，蒐集包含事業廢棄物處理技術、貴金屬回收及資源再利用、環保政策等相關技術。藉由此次參訪，瞭解日鑛公司的各種回收製程技術，以及日鑛公司的各種再生金屬產品；另外從 2012 年東京環保展，了解電子廢棄物回收的處理技術，包括破碎、分選、火法冶金、濕法冶金、置換法、離子交換法、吸著劑等不同領域，使本單位可瞭解各項技術的最新發展趨勢，此行程對本院在再生金屬材料研發技術的提昇，將有極大之助益，可做為科專計畫未來建案規劃及技術發展之參考。

# 目 次

壹、目的.....	10
貳、過程.....	10
參、心得.....	25
肆、建議事項.....	35

# 綠色產業用金屬材料應用研究發展計畫-節能及再生金屬材料 技術出國報告

## 壹、目的

本次 2012 東京環保展是由日本日鑛公司(JX Nippon)主辦，本展覽於 1992 年~1999 年名稱爲事業廢棄物處理展，2000 年以後變更爲東京 NEW 環保展，主辦單位爲引導企業承擔起社會責任，建立永續、資源循環再利用的環保社會。了解對資源回收的貢獻，而且從環保展提供展示區，解決各種廢棄物之問題技術，啓發人們對環境保護的思考，進一步來發展環保相關的重要產業。

爲執行經濟部科技專案之「綠色產業用金屬材料應用研究發展計畫-節能及再生金屬材料技術分項」，由陳員派赴日本參訪日鑛公司及 2012 年東京環保展，瞭解事業廢棄物、貴金屬吸附劑、金屬冶煉、有機溶劑回收等回收業者之最新技術發展及市場趨勢資料，從參訪日本日鑛公司，瞭解該公司在再生金屬產品發展情形，以及環境改善設施足供我方借鏡，亦學習其最新回收政策、管理措施等，做爲科技專案後續規劃建案，以及技術發展目標訂定之參考。

## 貳、過程

日鑛公司是世界領先的再生金屬公司，是一家集合能源、資源和材料之資源再生公司，主要包括銅礦資源開發的上游，中游冶煉，到下游廣泛的各式再生產品開發，除了在金屬礦床開發外，該公司正努力促進在資源回收開發各種產品。圖一爲日鑛公司在全世界各地的生產基地，進行各種金屬礦物的開採。日鑛公司從事業廢棄物回收及礦山開發，在高爐冶煉中致力於下一代冶煉，該公司嘗試使用最新的採礦方法，具有獨創的開發能力。

關於日鑛公司在事業廢棄物資源回收，包括銅及貴金屬資源循環系統，主要是先將回收來的材料分類，經過分類、篩選及檢測後，其他國家無法處理的有害物質或電子廢棄物，送往日本日鑛公司進行回收處理，實現資源循環回收利用，如圖二所示。日鑛公司針對電子廢棄物處理的基本流程，涵蓋了目前機械處理的基本方法，包括拆卸、破碎、分選、火法冶金、

濕法冶金等過程，回收的貴金屬包括金、鉑、銻、銀及鈮等元素，經過後續的電解及其他處理，可得到極高純度的貴金屬或其他金屬。

## 2.1 電子廢棄物的前處理

日鑛公司的事業廢棄物包含各種廢棄電子零件，電子廢棄物又稱電子垃圾，包括各種日常生活中使用後廢棄的電腦、手機、通信設備、電視機、電冰箱、洗衣機等家用電器，以及事業單位中淘汰的電子儀錶等，數量相當龐大。隨著電子產品更新換代速度的加快，和電子廢棄物數量不斷增加，大量含有貴金屬的電子廢棄物，若未能得到有效回收利用，不僅浪費了大量寶貴資源，還嚴重污染環境。因此，日鑛公司回收電子廢棄物中的貴金屬，既可以節約資源、降低生產成本，又能有效減少廢棄物排放，達到保護環境的目的。圖三係日鑛公司蒐集全世界各種事業廢棄物進行回收，其中廢印刷電路板是回收最大宗，實際上，廢印刷電路板是一種再生資源之標的物，它的電子產品中最重要零件，被廣泛應用於大型電腦、電腦、各種電器等電子設備。廢印刷電路板中含有大量塑膠、鐵磁體和金屬銅、鉛、鋅等，重點是普遍含有貴金屬金、銀、鈮等，其中廢印刷電路板中金的含量，遠高於一般金礦石的含金量，其他非金屬成分主要有環氧樹脂和玻璃纖維。根據日本研究機構指出，針對個人電腦中廢印刷電路板(PCB)成分的分析，其組成份及含量，如表一所示，發現除了塑料以外，以銅的比例最高，然後為鐵、鉛、錫、鎳等...，其他貴金屬含量約 0.1wt%以下。而且根據日本官方統計，1 噸收集的廢印刷電路板(PCB)可分離出塑膠 272 kg、銅 130 kg、鐵 41 kg、鉛 29 kg、錫 20 kg、鎳 18 kg、銻 10 kg 和銀 9 kg、金 0.45 kg 等貴金屬，僅其中的金、銀、鈮價值就高達數萬美元，具有很高的回收價值。圖四為日鑛公司為貴金屬回收過程示意圖，經過該公司的再生工廠，利用各種複雜的回收處理技術，例如熱裂解、溶媒萃取、電解及樹脂吸附等方法提純，所生產的各式元素，包括從 Zn、Bi、Sn、In、Sb、Pb、Ni、Cd 等元素，再經過不同的分離技術形成 PGM 鉑族(Pt、Pd、Rh、Ru、Ir)等不同元素。

### 2.1.1 電子廢棄物的破碎

日鑛公司的電子廢棄物回收的前處理，主要為機械處理方法，其方法是根據材料間物理性質的差異，包括材料密度、導電性、磁性等特性，進行篩選的步驟，包括拆解、破碎、磁選等處理過程。機械處理可以使電子廢棄物中的有價元素集中，減少了後續處理的難度。一

般用於電子廢棄物之機械破碎的設備，主要包括錘式破碎機、剪切破碎機、旋轉式破碎機和錘磨式破碎機等不同機具；該公司的廢棄物前處理，相對污染小、成本低，但此步驟無法得到純度較高的貴金屬。

表一、廢印刷電路板(PCB)各種成份分析

序號	成分	百分比 (%)	序號	成分	百分比 (%)	序號	成分	百分比 (%)
1	塑料	49.799	8	銻	1.825	15	鈮	0.021
2	銅	23.728	9	鋅	0.747	16	鉍	0.015
3	鐵	7.467	10	銀	0.083	17	鈷	0.014
4	鹵素	4.646	11	金	0.083	18	銻	0.008
5	鉛	4.480	12	鎳	0.066	19	鉑	0.006
6	錫	3.650	13	鉭	0.033	20	汞	0.002
7	鎳	3.319	14	鉬	0.026			

### 2.1.2 電子廢棄物的分選

電子廢棄物分選方法，包括乾式篩分、磁選、靜電分選等；濕法分選可能包括水力分選及浮選等。乾法分選成本低、無污染，但目前只能處理粗顆粒，對細顆粒的分選效率較低。日鑛公司選用的濕法分選法，它對細微顆粒的分選，效率優於乾法分選，但成本較高，易產生二次污染。日鑛公司採用多重的破碎、重選、磁選分離等方法，是使用廢電路板中的銅、鋁及貴重金屬回收，拆卸後的電子廢棄物經過粉碎、研磨、重力分選等程序，將廢舊電腦、電纜分解成銅粒、玻璃纖維粉末及塑膠粉末，這些粉末進一步通過機械分選後的銅及錫等金屬，便可初步分離出來。

### 2.2 火法冶金

關於電子廢棄物中貴重金屬回收的後續處理，日鑛公司的火法冶金主要包括焚燒法和熱解

法。火法冶金是通過焚燒或高爐熔煉、燒結或熔融等火法處理，去除電板中塑膠及其它有機成份，而使回收金屬集中的方法。焚燒法優點是可處理所有形式的電子廢棄物，回收包含有金、銀、鈮等貴金屬及銅等金屬，回收效率不低。原理是利用冶金爐高溫加熱剝離非金屬物質，使貴金屬熔融於其他金屬熔煉物料或熔鹽中，再加以分離。廢印刷電路板材料是將破碎後的電路板加熱，使有機物氯化與金屬分離，再將金屬熔化回收，其中電子廢棄物在爐內分解成氣體、玻璃體和金屬等三種物質，然後從各自的排放渠道有效分離，排出的玻璃體可作為建材，其他金屬可以再回收使用，而貴金屬與其他金屬呈合金態流出，可再電解、化學還原精煉等處理。圖四係日鑛公司貴金屬回收過程示意圖，該火法冶金具有簡單和回收率高的特點，可以處理所有的電子廢棄物，但容易產生二次污染，如焚燒排放出大量有害氣體，以及產生固體廢棄物等。但從實地參訪日鑛公司再生工廠實地觀察，並無明顯的煙囪排出大量的煙霧，該公司在環保方面投入相當的心力，廢氣及廢水經過處理必須經過檢測才排放出去，其中的缺點是火法冶金耗能大及處理設備昂貴。

### 2.3 濕法冶金

濕法冶金是貴金屬回收利用最早的研究方法，日鑛公司是從液相中回收貴金屬和其他非貴金屬。濕法冶金是利用廢印刷電路板中絕大多數金屬能在硝酸、硫酸、王水等介質中溶解而進入液相，使之與其他物料分離，其基本原理是利用破碎後的金屬顆粒能在酸性或鹼性條件下溶解的特點，經過溶解液的溶劑萃取、沉澱、置換、離子交換等過程，將其從電子廢物中分離並從液相中予以回收。但是該法仍有缺點，無法直接處理複雜的電子廢棄物，當貴金屬溶解時，只能處理在暴露的金屬表面，當金屬被包裹在陶瓷時，其回收效率低，溶解液及殘渣具有腐蝕性和毒性，容易造成二次污染。

電解法是提取貴金屬技術是一項傳統的成熟技術，在生產中應用更為廣泛。陳員實際參訪日鑛公司之再生工廠，工廠設施主要為火法冶金法、濕法冶金之電解提煉等製程，其他生產區域，該公司基於商業機密，並不對外開放參觀，圖五為日鑛公司將事業廢棄物形成各種再生金屬之流程圖。其他製程仍包括置換、溶劑萃取、沉澱、置換、離子交換等不同步驟進行回收，吾人針對其中的濕法方法作大概的介紹。



### 2.3.1 置換法

傳統金、鈮、鉑、銻與銥的分離分法很多，可用置換方法將其分離，置換貴金屬的電動勢順序為，金 > 鈮 > 鉑 > 銻 > 銥，一般採用銅置換，將金鈮鉑轉入置換渣中，而銻、銥留到溶液中，過濾將其分離，亦可用萃取分離技術，可有效從溶液中將金、鈮及鉑分別萃取。一般廢舊電子元件中回收鈮的方法，採用硝酸溶解，鹽酸除銀，添加氧化劑，最後加氯化銻沉澱鈮，精製後可獲得純度為 99.95% 的海綿鈮；日鑛公司若是採用此法，鈮的回收率可達 95% 以上。

### 2.3.2 離子交換法

離子交換法對鐵、銅及鎳等金屬雜質的交換容量低，此法只適合用於貴金屬溶液中微量雜質的分離。目前已廣泛應用於高純度鉑及銻的製備。日鑛公司可能是採用強鹼性陽離子樹脂從氯化物溶液中提取分離貴金屬，樹脂對貴金屬的吸附率介約 85~99%，吸附率一般與樹脂本身性質及溶液組成有關，當樹脂吸附鉑族金屬容量達 100 克/公斤時，再採用焚燒樹脂回收鉑族金屬。

### 2.3.3 電解法

電子元件通常採用高純度的貴金屬原料，可用許多方法獲得，如萃取、離子交換、化學還原分離等分法，但這些方法較為繁複，有的方法投資材料設備較大，電解精製是提高金屬純度，最為實用的一種方法，不僅除雜質效果好，而且生產流程及操作較為簡便。

日鑛公司具有提煉極高純度金能力，因為電解仍是金精鍊的主要方法，一般用於金電解的原料，一般含金純度在 90% 以上，以粗金為陽極，以純金片為陰極，通常以鹽酸為電解質，通電時陽極逐漸溶解，陰極不斷有金析出，以金的電解提純，除去雜質的效果明顯，不僅能除去元素的種類繁多，這是因為雜質元素的電位比金小得多的結果，陰極經電解後可得到 4N 以上的純金。若是銅冶煉，電解是其中一道製程，97~99% 的陽極銅經電解程序可以產生純度達 4N 的電解銅產品，陰極電解銅約一個月可完成，陽極銅的更換頻率為 7~10 天。圖六為日鑛公司資源回收再生工廠之實體照片及生產流程圖，可看出該工廠的火法治金廠及濕式電解廠之照片。圖七為日鑛公司濕式製程電解槽進行提純，包含金、銀、銅及鎳等多種電解槽。

日鑛公司的電解廠房相當的整潔，並無特殊味道，製程管理堪稱相當完善。除銅回收之外，也參觀了日鑛其他金屬溶出、固液分離、電解回收處理程序，特別是鉛、鋅、錫、鎳的電解設施。

## 2.4 日鑛公司的生產能量

日鑛公司的電子廢棄物以回收銅為最大的生產比例，其生產流程是將可燃燒的電子廢棄物(含其他銅廢棄物)，根據該公司經過電子廢棄物前處理後，銅含量約 13wt%，經過 900 至 1000°C 電汽爐焚燒後，去除塑膠後形成溶渣高灰可使銅含量提升至 20wt%，再經過轉爐煅燒形成黑銅，此時銅含量已提升至 80wt%，再經過電氣爐 400°C 精煉 15 天，形成 97~98wt% 的銅，日鑛公司接著使用濕式製程電解槽進行提純(圖七)，其中電解粗銅為 40 片/槽，每片約 400 公斤，再經過多次電解精製形成高純度銅(4N 以上)，該公司銅純度最高可作到 9N，技術居於世界領先地位。除銅回收之外，也參觀了日鑛其他金屬溶出、固液分離、電解回收處理程序，特別是鉛、鋅、錫、鎳的電解回收設施。另外電解過程中，所產生的陽極泥，則可另外送至其他日鑛的貴金屬回收廠，回收其中的貴金屬，以及其他的與銅能形成固溶體的各種稀有金屬元素。該公司目前回收銅金屬共溶體中的稀有與稀貴金屬共有 21 種元素。

目前日鑛公司的再生工廠每月約可生產不同的金屬，包括金 200 公斤/月、白金 50 公斤/月，銅 500 噸/月，鉛 100 噸/月，鎳 40 噸/月，銦 1 噸/月，錫 40 噸/月，鋅 60 噸/月，銀 4 噸/月，銻 14 噸/月等，該公司回收各種金屬的產量均很大。

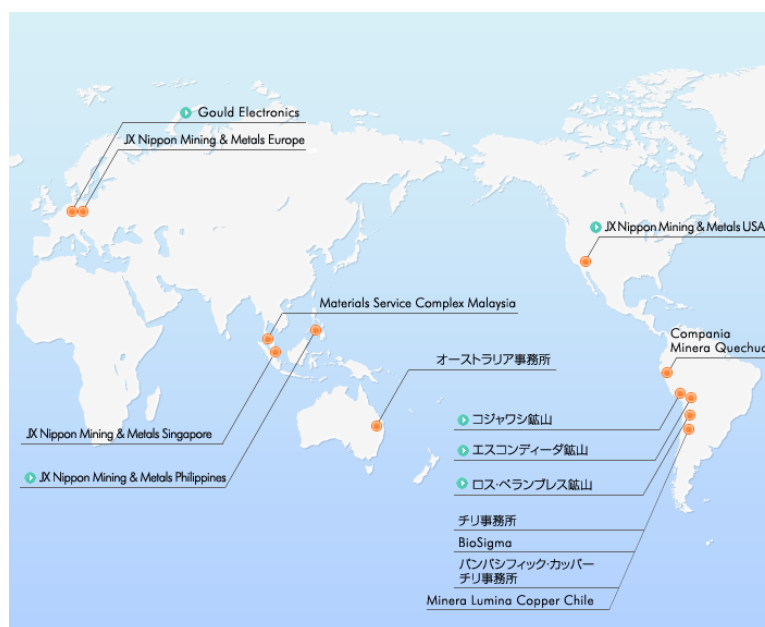
## 2.5 日鑛公司的再生金屬產品

陳員赴日鑛公司紀念館參加座談會，日方人員派代表介紹日鑛的發展歷程及生產能量，並針對日鑛公司的回收技術與對方進行討論，參觀行程包括再生工廠及環保設施，由於參訪行程之重點，包括日鑛公司從事業廢棄物及礦山開發各種產品，如圖八所示，日鑛公司產品是從金屬資源回收之各種再生產品，包括非鐵金屬產品(銅，金，銀等)，銅製品包括電解、銅軋製箔、薄膜材料、靶材，表面處理劑，化合物半導體材料、精密冷軋產品、精密加工、金屬回收和工業廢水處理、電子印刷電路板及金屬污泥回收等。從該公司紀念館的展覽區，展示產品包括高純度金屬、高密度半導體靶材、金屬加工產品等領域，包含高純度硫酸銅、

電解銅粉、鍍銅鐵粉、超薄銅箔(電解銅箔、壓延銅箔)、鋰電池正極材料、超高純度銅(9N)及銅靶材等，如圖九所示。

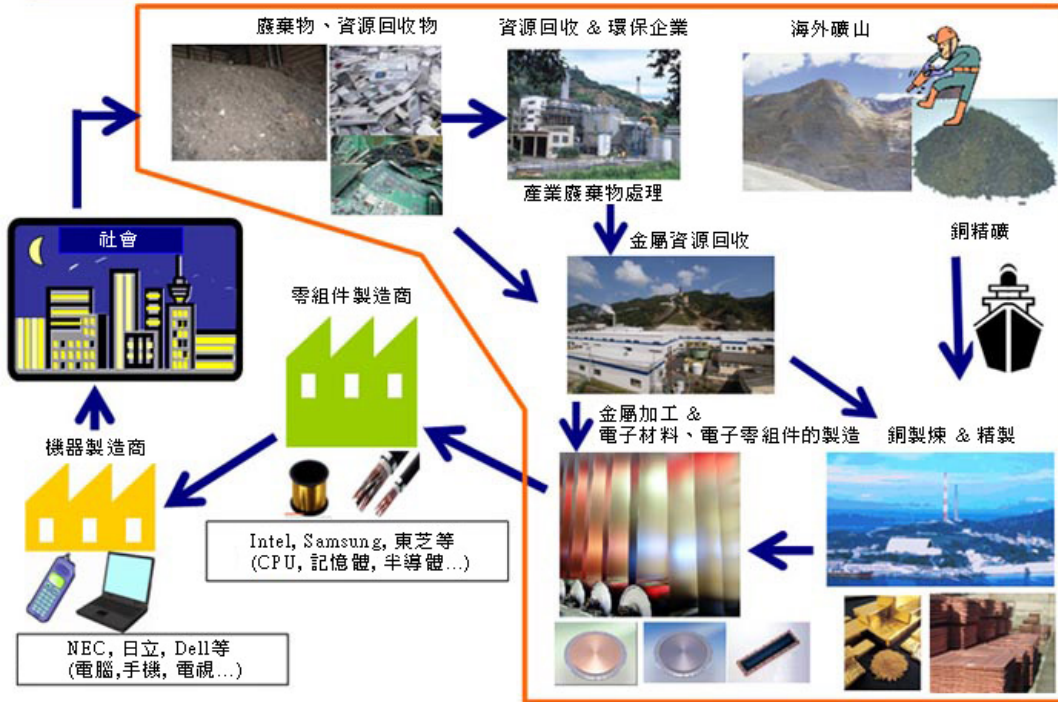
日鑛公司配合印刷電路板業界微細線路之發展趨勢，已開發成功 5 $\mu$ m 極薄銅箔，具有低粗糙度之優點；也因應大電流、高放熱之車電產品，提供厚達 400 微米( $\mu$ m)之電解厚箔。銅箔生產方式包括電解銅箔及以壓延銅箔。若是壓延銅箔，必須經過銅錠、壓延及表面處理等程序，日鑛公司可依客戶需求提供所需產品，它已成為軟性印刷電路板業界市佔率最高的壓延銅箔供應商，其耐折特性符合電子業界，設計趨於輕/薄/短/小趨勢，已可應用於鋰離子電池專用之銅箔等。

日鑛公司以市場需求為對象，該公司生產各種的金屬粉末，依目的在燒結性、壓縮性、導電性、導熱性、流動性等粉末冶金製品之需求，包括電解銅粉、貴金屬粉、合金粉末等相關產品，已應用在電子產品、含油軸承、電刷、摩擦材、觸媒產品及各式塗料等各方面用途使用，相關產品已應用於下一代電動汽車、太陽能發電之電子材料製造，產品種類十分豐富，而且對環境資源作出貢獻，可作為我國回收產業發展之借鏡。



圖一、日鑛公司在全世界各地的生產基地

# 銅、貴金屬的資源循環系統



圖二、日礦公司從事業廢棄物回收及鑛山開發

# 金属リサイクル原料

電源基板屑



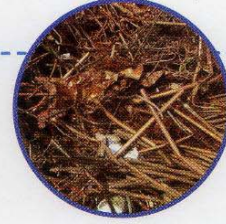
電子部品屑



メッキ屑



銅スクラップ



基板屑



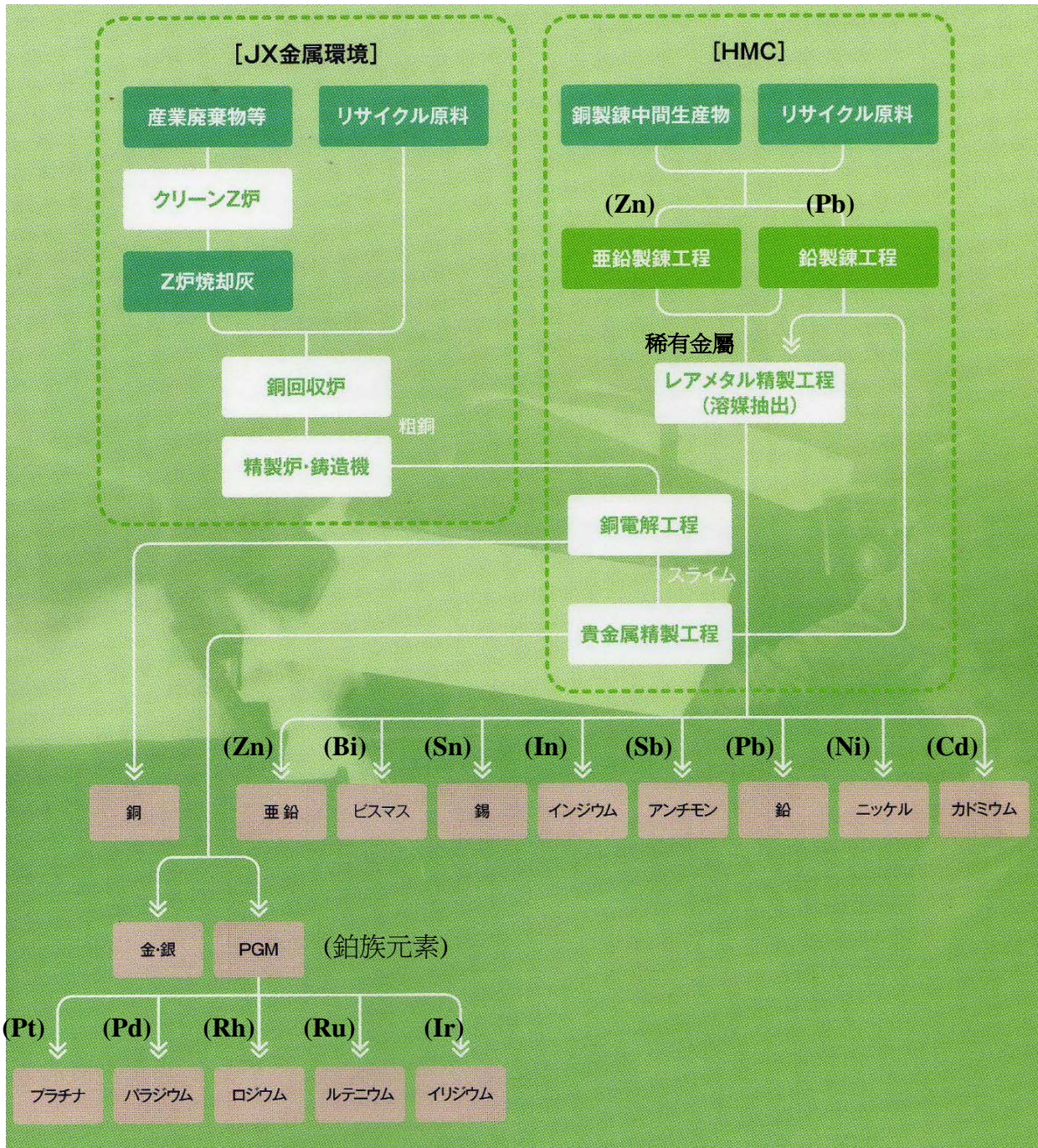
電気・電子部品屑



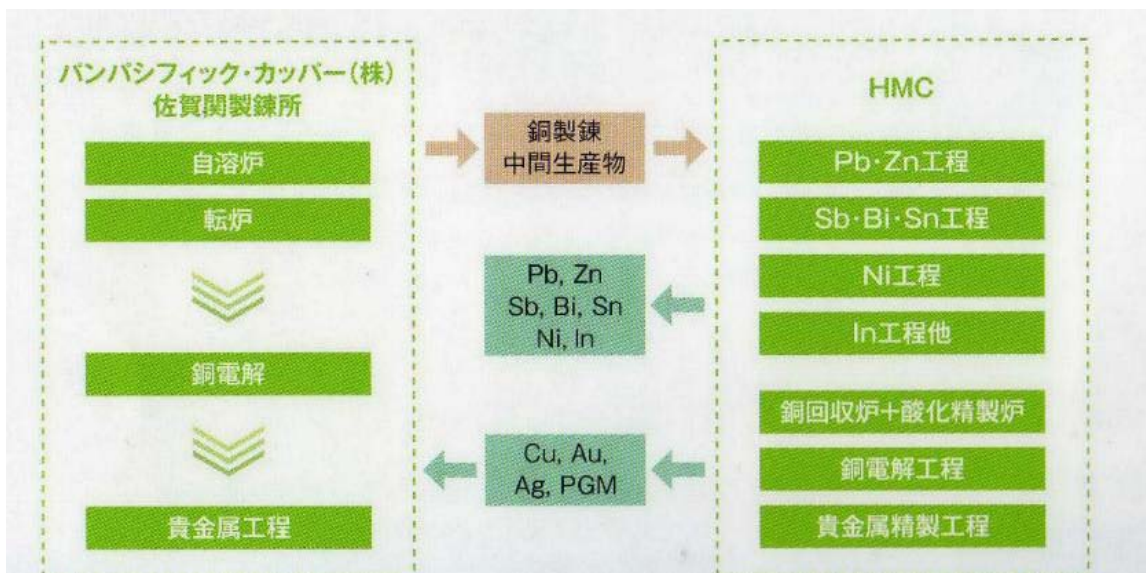
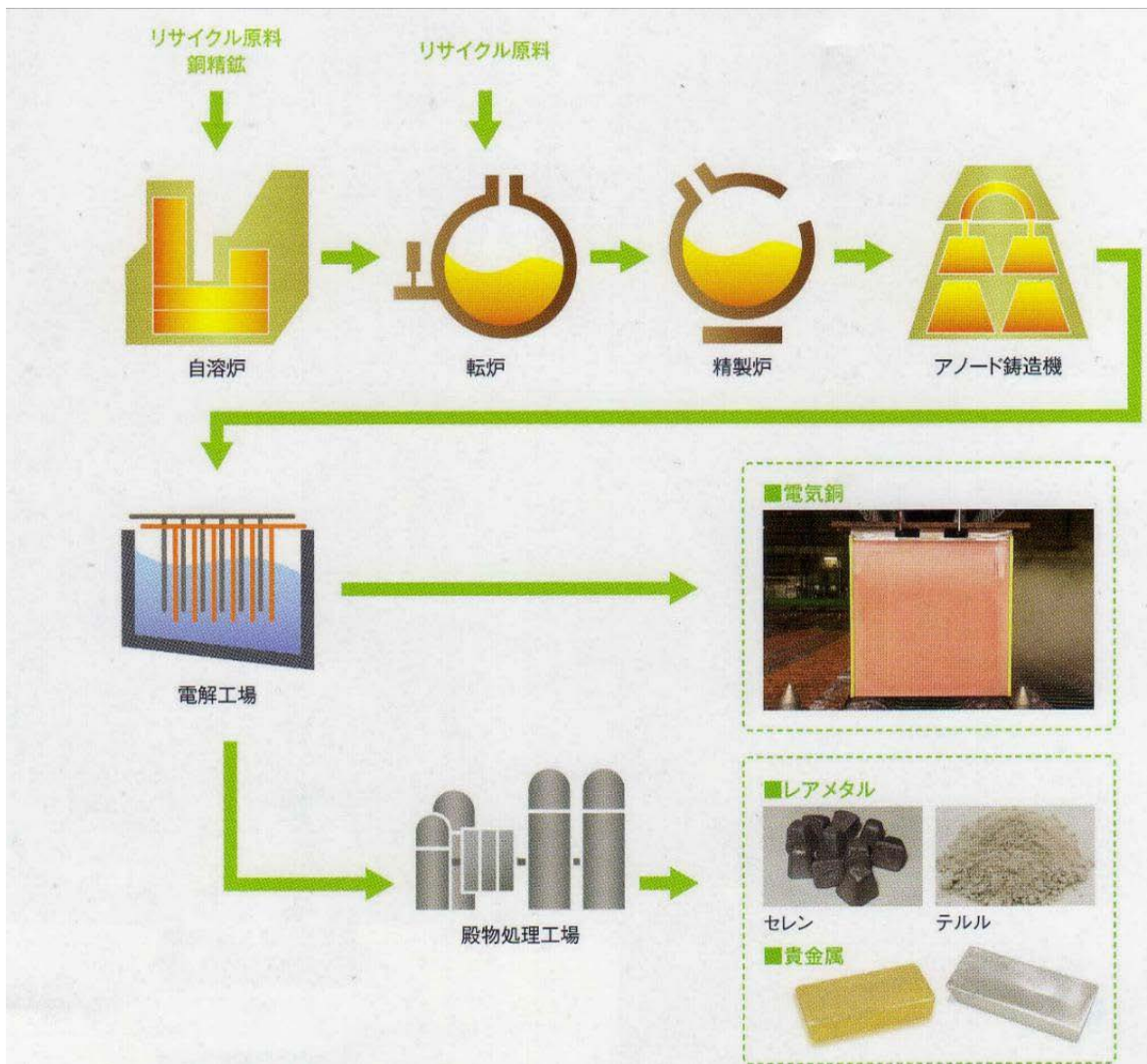
使用済み携帯電話



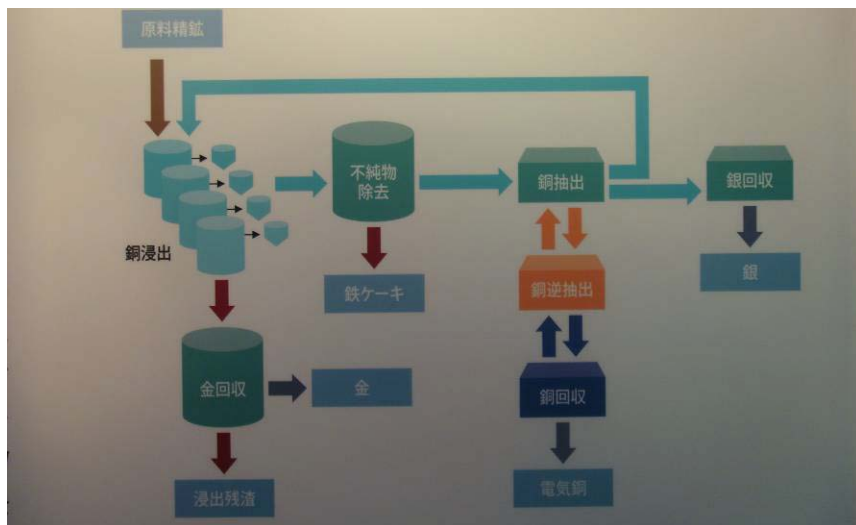
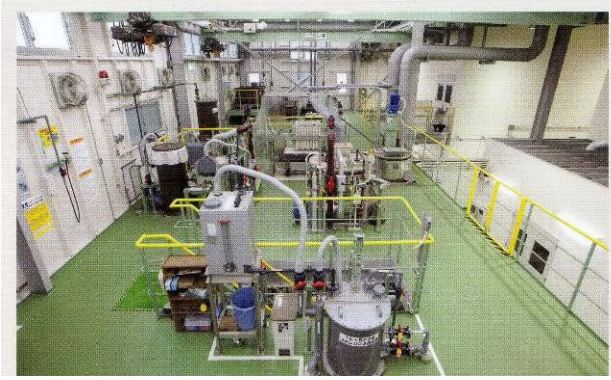
圖三、日鑛公司蒐集各種事業廢棄物進行回收



圖四、日鑛公司貴金屬回收過程示意圖



圖五、日鑛公司將事業廢棄物形成各種再生金屬之流程圖



圖六、日鑛公司再生工廠之實體照片及生產流程簡圖

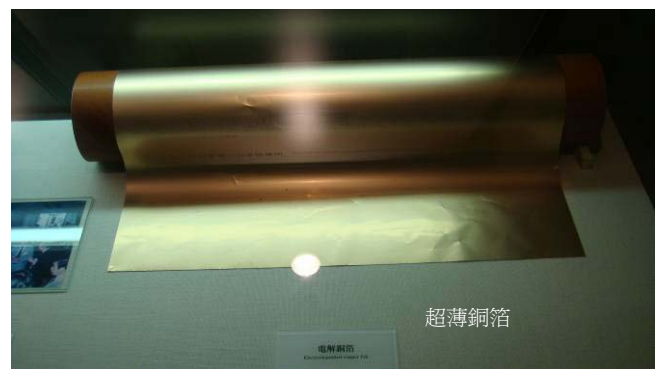




圖七、日鑛公司濕式製程電解槽進行提純



圖八、赴日鑛公司參加座談會情形



圖九、日鑛公司的各種再生產品

## 參、心得

二十世紀的地球溫暖化問題，在今天已影響世界環境及經濟的重大課題，從廢棄物和資源的回收再生利用、水、土壤環境到 IT 產業等涵蓋所有環境領域的“N-EXPO TOKYO”環保展。本展初次舉辦於 1992 年，名稱爲“廢棄物回收處理展”，從 2000 年起，更名為“NEW 環保展”。在廢棄物回收領域中，廢棄物處理、資源回收再生利用的時代變遷，從全球角度看環境問題的時代已經到來。2011 年 3 月份的日本東北大震災所引起的地震、海嘯的災害以及原子能發電站的事務，正面臨支援重建以及通過節能、新能源開發，這一環境對策的新局面。在國內外的經濟和社會變化急劇的情況下，本環保展作爲整個環境領域一大資訊溝通平台，所扮演角色將會越來越大。本次 2012 NEW 東京環保展，參觀人數達到數萬人次，展覽館外觀如圖十所示。但展覽主題還是涵蓋 1. 電子廢棄物處理及再資源化；2. 節能及新能源；3. 環保綠色產品；4. 環境解決方案；5. 大氣、水、土壤之環境淨化等五大主題。

本次參訪行程著重廢棄物處理及再資源化、綠色產品及日本環境政策，藉由直接與國外公司交流，累積相關技術知識，有助於計畫執行及後續科技專案建案規劃。經由此次參訪研討，了解再生金屬生產及回收過程，其中許多回收的新技術，瞭解日本公司在事業廢棄物發展情形，並針對東京環保展示區的廢印刷電路板資源回收情形，進行技術能量介紹，可做爲科技專案後續規劃建案，以及技術發展目標訂定之參考。



圖十、2012 NEW 東京環保展之展覽館

### 3.1 廢印刷電路板資源回收

1950年以來以電子、資訊技術為代表的工業化，帶來了大量的電子電器設備，同時也逐漸形成廢舊電子電器設備對環境的嚴重污染。電子廢棄物主要包括廢舊電腦、電子通訊設備、廢舊家電以及廢精密電子儀器儀錶等。自2003年起，家電進入了報廢高峰期，每年至少有數千萬台電視機、電冰箱、洗衣機報廢，手機則達到億台，大量電子垃圾對我們生存環境造成新的壓力。近年來，世界印刷電路板領域的平均增長率約10%，印刷電路板是電子產品中重要組成部件，被廣泛應用於大型電腦、電腦、各種電器等電子設備。本次參加2012 NEW東京環保展，會場特別在資源回收之各種物理方法，有不同的展示區，包含物理破碎、分離、富集及靜電分選等，是根據材料密度、導電性、磁性、表面潤濕性等物理特性差異進行回收。

#### 3.1.1 物理破碎、分離和集中

此次東京新環保展的展出內容，資源再生領域是以破碎、分選設備為主，各式各樣的破碎設備與廠商，均參與展示。今年比較特別的是，去年地震與海嘯災害所產生大型廢棄物的處理與資源化問題，因應而生的大型廢棄物處理與資源化設備的展示比往年多。

日本東京環保展覽會場，對廢棄電路板的資源化處理方法，大體上以物理方法、熱處理方法為主，展示會場有拆解、破碎、分選及回收貴金屬等階段。本會場介紹了最新發展的新型廢印刷線路板回收處理技術。隨著電子廢物急劇增加，對廢舊印刷線路板的回收利用，已成為當前重要的開發重點。因為印刷電路板是大部份電子系統的重要組成。由於電子元件具有連接特徵，採用機械力、切割、加熱以及化學方法，可以完成大部分拆卸過程。拆卸是將一部分有回收價值的元件，從廢棄線路板上拆除下來的過程。可將堅韌物料在低溫下脆化後粉碎，令金屬與非金屬完全解離。本會場展示機具採用二段式破碎技術，即用剪切式破碎機粗碎，然後用乾式或濕式破碎機將廢印刷電路板顆粒細碎至規定的粒度，可使金屬與非金屬的完全解離，使印刷線路板的破碎、分離和富集。為了解決廢棄印刷電路板破碎過程中產生的二次污染問題，包括廢氣和粉塵污染。濕法破碎是以水為粉碎來進行廢棄印刷電路板的破碎；分選設備方面，則以磁選、渦電流分選、顏色分選與多功能分選設備較往年多。所以會場展示區可將廢舊電路板完全物理回收設備，有效實現金屬與非金屬的分離，並對非金屬粉料進行進一步作各層面的應用。

### 3.1.2 靜電分選

日本東京環保展覽會場之靜電分選技術，是利用各種塑膠不同的靜電吸力來進行分選的方法。對於多種混雜在一起的廢舊塑膠，可以多次靜電分選，它具有效率高、能耗低的優點。因為廢舊塑膠來源複雜，常混入有金屬、橡膠及其他各種雜質，因此，在用廢舊塑膠生產製品時，不僅要將廢舊塑膠中的各類雜質清除掉，而且也要將不同種類的塑膠分開。利用靜電分選可處理粉碎的廢棄印刷電路板，該設備能對各類廢舊電路板、電腦板、電視機板、鋁塑板、銅板、印刷線路板及加工廢料，廢舊電器等進行機械粉碎回收處理，如圖十一。

本會場的靜電分選技術，可將廢印刷電路板粉碎至數百微米以下的粒徑，再以旋風機將金屬及非金屬部份分離，金屬集中部份再利用靜電分離器再分離一次，此種方法可以提升銅回收率，其生產能力增加和分離過程的穩定性也增強，證明靜電分離是一種有效的方法，回收金屬的純度高達90%以上。

### 3.1.3 熱裂解

日本東京環保展覽會場之熱處理法主要包括焚化裂解、直接冶煉等。使用熱裂解法在處理廢棄印刷電路板時具有很大優勢，原因是所需設備相對簡單，熱解過程中釋放的有毒氣體收集後可集中處理，避免二次污染，處理效率較高，作為一種新型的廢棄物處理和資源化手段，所以熱裂解技術在廢棄印刷電路板的金屬和非金屬回收利用，具有很好的發展前景。

熱裂解法通常是廢棄印刷電路板主體部分，大都是由熱固性的環氧樹脂、玻璃纖維複合材料製成的，但是這種材料含有高濃度的阻燃劑、重金屬等多種有害成份，給金屬分選利用帶來很大的困擾。目前，多數回收只限於金屬部分，所以熱裂解仍是處置廢棄印刷電路板的主要途徑。

電路板的熱裂解不但能減容減量，而且還可以通過樹脂部分的燃燒回收熱能，具有節能減碳之特性。本會場的機具採用熱裂解法的基本流程：破碎，焚燒。通過焚燒使事業廢棄物中的有機成分分解破壞，使有機氣體與固體分離。熱裂解設備操作方法是將廢電路板置於容器中，在隔絕空氣的條件下加熱，控制溫度和壓力（通常是 900℃），利用熱解將廢棄電路板熱裂解，可回收金屬物質，如圖十二。與一般電路板的焚燒處理不同，熱解過程可在無氧的條件下進行的，因此可以抑止二噁英、呔喃的產生，廢氣產量也少，對環境污染小。



圖十一、展覽會場之電子廢棄物回收方法，包括破碎、分離和集中及靜電展示區

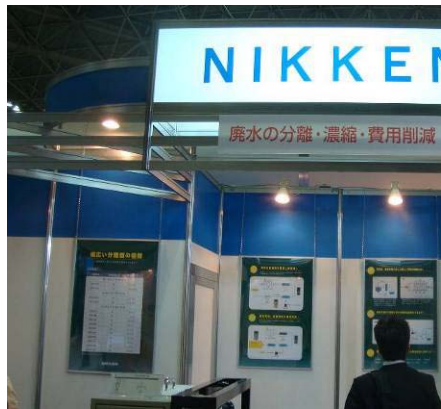


圖十二、展覽會場之電子廢棄物回收方法之熱裂解法展示區

#### 3.1.4 廢水處理

日本東京環保展覽會場之廢水處理設備方面，除了著重在油水分離設備與重金屬離子的吸附技術外，廢氣處理設備則是以臭味去除與味道抑制為主，但參展廠商的家數並不是很多。展示區的廢液處理裝置，它對水分比例高的廢液的處理，主要是藥劑處理和活性污泥處理裝置，剩餘的殘渣通過壓濾機等設備處理含水率在 60~80%，剩餘污泥作為產業廢棄物排出，可將殘留的含水率乾燥到 10%左右，達到國家標準後排放；而且從原液中提取出的水分，因經冷凝器凝縮，液化處理而不會產生有害氣體。若是採取溶劑減壓蒸餾法處理系統，處理後污泥的含水率在 10%以下，和現有的脫水濃縮方法相比，處理水可回收再利用，此減量化廢水處理系統，可以從回收液體（水和低沸點溶劑的混合物）中除去水分，能夠把濃縮的溶劑再次回收，方法簡單而且成本低，如圖十三。至於有機廢棄物，特別是廚餘、農業廢棄物與有機污泥，日本也開發許多設備將這些有機物質予以回收資源化為肥料，或厭氧消化產氣，或再製成垃圾衍生燃料，各式各樣的資源化設備與技術可供業者選擇。





圖十三、展覽會場之廢水及廢溶劑展示區

### 3.1.5 廢日光燈處理

日光燈、各式燈泡等照明光源是民生必需品。依據經濟部工業局的統計，我國日光燈管年銷售量達一億五千支以上。螢光燈管內含有汞及螢光粉，屬於有害物質，針對該類的廢照明光源處理，必須先將汞及螢光粉先分離回收並作妥善處理，以避免造成環境危害。國內目前以日光燈管為主，無論是哪一種照明光源，終將成為必須處理的廢棄物。以目前最普遍使用的日光燈管為例，玻璃管內壁塗有螢光粉，燈管內封存有汞。當電極通過電流加熱，汞受熱成為汞蒸氣，電子被激發而放出紫外光。紫外光被塗抹於管壁之螢光粉吸收，轉換成可見光射出，達到照明的功效。由於汞是有害物質，若照明燈管未妥善處理，棄置破損致汞蒸氣逸出，會對人體健康及環境造成相當程度之危害，因此回收處理有必要性及重要性。

目前全球在廢照明光源處理技術上，可分為乾式及濕式兩種。以直管日光燈管為例，若採乾式處理技術，先以真空抽離方式將燈管內之物質去除，並將玻璃燈管破碎。再利用過濾、

分離、篩選等處理過程，將破碎後物質分類，作進一步資源化處理。另一種濕式處理技術，作法是破碎方式處理後，進入液體中洗滌玻璃，將有價金屬分離，並進一步將分離出物質再作資源化處理。由於濕式處理技術，會產生含汞廢水及污泥，後續處理較為複雜。乾式處理技術包括破碎分離及汞回收兩大部份，適用破碎分離技術，必須先將廢燈管經由破碎設備粉碎後，再使用震動篩選分離方式，將玻璃、金屬與螢光粉等物質分離。

本會場展示區是利用真空蒸餾方式回收汞後，倘再經多重蒸餾後純度可達 99.999%，可回到原料端再利用，而玻璃、廢照明光源之回收處理之技術，除了可以防止汞、螢光粉等之危害外，還可回收金屬、玻璃等再生利用，如圖十四所示。

### 3.1.6 廢 LED 回收

螢光材料的發展由早期較不安定的硫化物，到後來化學穩定性佳的矽酸鹽螢光材料，近期則以氮化物及氮氧化物最為熱門。在綠色節能趨勢的影響下，LED 漸漸取代傳統日光燈管，製備 LED 螢光粉使用到的鈮（Yttrium, Y）、銻（Europium, Eu）等稀土元素的需求也開始成長，改用稀土元素的 LED 照明是綠色節能的趨勢，但是將消耗大量的稀土元素，估計未來五年，稀土元素的用量會成長一倍以上，因此稀土元素的回收，也成為未來的趨勢，目前至少要有 15% 的稀土元素來自回收材料，才能有效平衡與抑制價格的遽升。

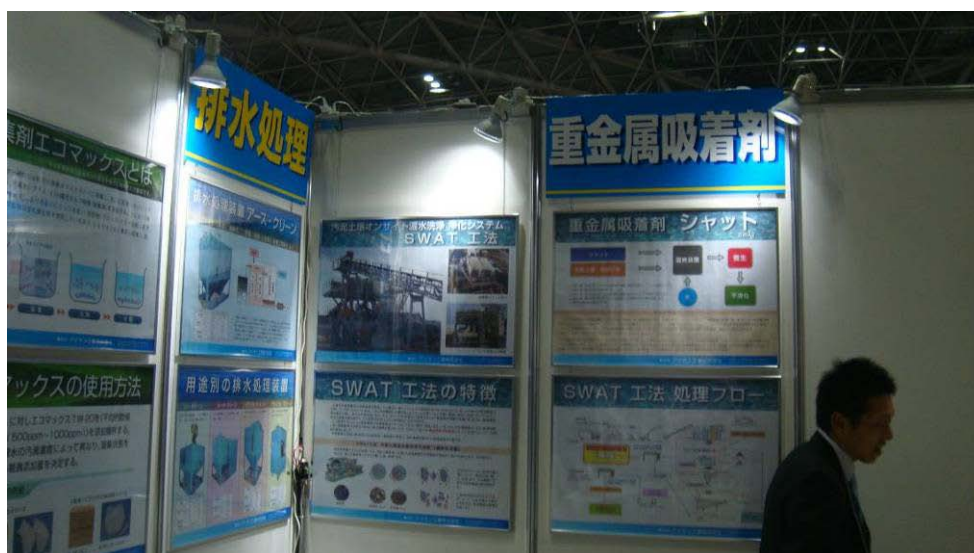


圖十四、展覽會場之廢 LED 破碎機展示區

### 3.1.7 吸附劑回收

吸附劑是能有效地從氣體或液體中吸附其中某些成分的固體物質。吸附劑具有以下特點，大的比表面，適宜的孔結構及表面結構；對吸附質有強烈的吸附能力；一般不與吸附質和介質發生化學反應，製造方便，容易再生。有良好的機械強度等。吸附劑可按孔徑大小、顆粒形狀、化學成分、表面極性等分類，如粗孔和細孔吸附劑，不同比表面積吸附劑，碳質和氧化物吸附劑，極性和非極性吸附劑等。

本會場的重金屬吸附劑產品是一種新型複合材料，具有離子交換功能，原理在於物理吸附作用，提供一種由無機材料和奈米材料的複合材料，使其同時具有物理吸附濃縮功能，同時具有離子交換功能，因此，廢水中存在低濃度離子的物理吸附作用，吸附到複合材料的孔結構內部和表面，並形成物理吸附平衡，從而使廢水中的離子濃度進一步降低。在此過程中，物理吸附作用和離子交換作用同時發揮，並且產生了吸附效應，可克服傳統活性碳的缺點，該重金屬吸附劑可去除溶液中的重金屬離子，例如  $\text{Au}^{2+}$ 、 $\text{Ni}^{2+}$ 、 $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Cr}^{3+}$ 、 $\text{Fe}^{2+}$  等金屬陽離子。如圖十五所示。



圖十五、展覽會場之重金屬吸附劑展示區

### 3.2 日本環境政策之綜合論述

電子垃圾雖然名為“垃圾”，但從資源回收的角度來看，電子垃圾裡絕大部分的成分，都可以回收利用，其中的貴重金屬，如金、銀、銅、鈮等都可進行回收。根據日本物質材料研究機構在 2011 年 1 月公佈的估算統計，日本國內的事業廢棄物中蘊藏的可循環再利用之黃金有 6800 噸佔全球儲量 16%；銀有 6 萬噸佔全球儲量 23%；銻有 1700 噸佔全球儲量 38%，統計日本國內就擁有多種佔全全球儲量 10%以上的金屬。相較之下，從廢棄物回收及循環再利用出發，把事業廢棄物比喻成爲一座儲有優良礦產資源的礦山加以開發，確實爲社會及經濟之持續發展提供貢獻。

關於日本事業廢棄物處理概況，爲了保護環境不受重金屬傷害，促進資源循環再利用，從 1950 年開始，日本爲了處理電子垃圾，首先針對電子垃圾的回收和處理進行法律規範。2001 年 4 月起開始在日本正式實施《家電循環利用法》，明確規定電視機、洗衣機、空調和冰箱這 4 類產品的廢舊物處理方式，產業鏈各方應承擔的責任。但是，由於電腦、手機等新興電子產品的廣泛應用，電子垃圾開始不僅局限於傳統家電的範圍。因而日本又於 2003 年 10 月修訂了《資源有效利用促進法》，將電腦主機、顯示器、筆記本電腦及手機等電子產品都列入對象，並規定生產企業在銷售新機器設備時，應先將回收費用納入售價。

以日本豐田汽車的全自動化回收工廠爲例，回收工廠依據重力、磁力、離心力等各種物理及化學方法，設計了一套幾乎全自動化的分類回收系統，使得一輛汽車的 90%以上零件都可以循環利用，剩下的廢棄物被焚燒，可用於熱能發電，最後殘渣被運往日本海邊作填海造陸。

顯然，日本企業扮演著資源循環利用的重要角色，生產企業不僅負責生產產品，而且將垃圾變成黃金。在電子垃圾問題上，日本規定了生產者的責任延伸制度。日本法律規定：生產者在其產品使用和產品廢棄後，應對產品的循環利用和最終處置負責；生產者有責任改進產品的設計和材質，提供環保產品的相關資訊，以便對使用過的產品進行回收利用。

### 3.3 效益分析

本次赴日本參加 2012 參訪日鑛公司及日本東京環保展，並與國外廢棄物回收及再利用方面專家討論，獲得許多實務面技術開發知識，對本院在資源回收及再利用技術開發有相當助益，說明如下：

1. 在東京新環保展中，瞭解到相當多資源化產業所使用的破碎設備與分選設備；金屬廢料方面，許多廠商已開發渦電流分選，對於金屬的分選能有很好的結果。此外，廢棄物形狀分選機的展示也特別多，未來其相關應用將會相對增多。
2. 本單位科專建案之貴金屬吸附劑，本次參訪行程，發現此議題相當受重視，更確信本院規劃方向正確，但需加快開發腳步，此次與相關專家亦有互動，回國後將繼續聯繫，有助日後技術討論。
3. 在諸多回收純化技術中，本單位較缺乏廢棄物之材料密度、導電性、磁性、表面潤濕性等差異之回收經驗，經由此次參訪，發現物理特性差異在貴金屬回收之重要角色，且從日鑛公司學到因應不同廢棄物，不同金屬之回收技術，資訊可貴。
4. 從日鑛公司參訪中，瞭解銅冶煉與稀有金屬回收的資源再生技術，未來 LED 之市場及趨勢，將面對廢日燈管回收的相同問題，製備 LED 螢光粉使用到的鈮（Yttrium, Y）、鎔（Europium, Eu）等稀土元素的需求也開始成長，後續本院可以針對 LED 廢棄物回收稀有金屬開發回收及再利用技術，以利提早進行建案規劃。
5. 本次參訪日鑛公司及環保展，議題涵蓋面廣，且資訊豐富，包括國內外資源回收再利用領域之專家學者，使得沿途參訪收獲豐盛，建立與參訪廠商之溝道管道，建立了一個寶貴的技術交流資料庫。
6. 瞭解日本政府如何透過環保政策，引導廠商建立回收制度，增加資源回收量，雖然資源化技術難度甚高，考量回收成本因素，推展起來不太容易，未來本院可透過法人科專及業界科專，配合業界需求共同合作，才有成功機會。

## 肆、建議事項

1. LED 廢棄物回收的問題，製備螢光粉使用到的鈮（Yttrium, Y）、銻（Europium, Eu）等稀土元素的需求也開始成長，後續本院可以針對 LED 廢棄物回收等稀有金屬開發回收及再利用技術，以利提早進行建案規劃。。
2. 稀土元素具有獨特物質特性，有各種軍事用途，例如鐳用於成像系統，鈔的磁性用於火箭穩定器，鈹用於固態雷射。而且稀土元素不易找到替代品，即使添加量很少，亦具有強化產品之功能。根據美國地質調查，2011 年稀土元素總值約 6.96 億美元。2011 年稀土產量中國約占全世界 98%，成為其國防產業不可或缺之一環，已掌控全世界生產鏈，其他缺乏礦藏的工業國家被迫尋求國外資源，從事業廢棄物回收產品中的稀土元素獲得，本院可以針對稀土金屬進行回收技術開發，使成為現代工業及國防建設的重要材料。
3. 廢棄物回收及再利用技術開發，因各類廢棄物需要不同回收製程處理，處理起來相當複雜，大部份的台灣回收業者，僅代工較低純度的材料，再轉賣至國外，只在其間獲取微薄之價差，高純度材料仍依賴國外製造，我們必須停止如此思維，轉而開發高附加價值的回收產品。
4. 許多回收的新技術，雖由少數幾個先進國家掌握，未來之發展，就在研發與整合，除了自我提昇技術外，尋求合作夥伴為可行方法，但一定要建立自主的再資源化技術，才能促成資源循環再利用。故建議積極投入發展高純度有價及稀有金屬回收及再資源化技術，一方面可抒解資源缺乏的問題，另一方面又可提昇國內資源回收業的技術水準，除避免受國外原料商的箝制，進而促進國內產業之自主競爭力提昇。