

點石成金
事業電子廢棄物與貴金屬回收
的市場化分析
Midas Touch
Calculating Industrial Electronic Waste Value,
and Qualifying Precious Metals

廖昱凱*

Yu-Kai Liao

Abstract

In the circular economy, electronic waste is considered as a potential resource and pollutant, and should be recycled appropriately. Seven companies in Taiwan extract precious metals from industrial e-waste, seemingly implying that circular economy has become reality. However, several questions arise: How the circular economy is constructed; how to calculate the value of e-waste, and how the material content of e-waste influences the quality of the circular economy. With the perspective of marketization studies and waste geographies, this study analyzes practical processes of precious metals recycling market with company interviews, annual financial and technology reports analysis, and field trips.

Analytical results indicate that recycling industrial e-waste depends on component analysis, recycling methods and the precious metal trading market. The relationship between calculative agencies, calculative tools, and calculable goods is established when e-waste is framed into the recycling market. The relationship of quality, value and price is identified only when industrial e-waste is transformed into manufactured goods. However, e-waste as recalcitrant material makes the framing of

* 國立臺灣大學地理環境資源學研究所碩士

Master, Department of Geography, National Taiwan University.

the relationship incomplete. Although companies attempt to internalize the overflowing of derivative waste through global recycling networks and innovation of technology, controversies of economy and environment exist.

Keywords: marketization, calculative tools, quality, circular economy, industrial electronic waste

摘要

電子產品的大量生產與消費，產生許多既是潛在資源，也是潛在汙染物的電子廢棄物。在永續發展的概念下，循環經濟被視為解決此一環境問題，且能創造經濟的良方。不過人們如何具體實踐循環經濟，而事業電子廢棄物又是如何被納入循環經濟？本研究透過廠商訪談、廠商年報、技術報告與田野訪查，藉由市場化研究與廢棄物地理學的觀點，分析貴金屬回收市場的實作過程，試圖回答循環經濟是如何被建構？事業電子廢棄物的價值是如何被計算？事業電子廢棄物的物質特徵又如何影響循環經濟的品質面向？回收實作產生的產品如何重返貴金屬原料市場？等問題。

本研究發現業者能夠將事業電子廢棄物資源化是仰賴成分分析、回收與處理技術，以及貴金屬交易市場等技術與制度，讓事業電子廢棄物能夠被框進市場中。唯有事業電子廢棄物成為平定產品，能夠透過計算工具計算廢棄物價值，回收的貴金屬符合品質標準，才得以讓品質—價值—價格的轉換關係成立，具體實踐循環經濟。然而，事業電子廢棄物作為頑抗物質，使得市場化仍存有外溢現象。即使業者亦透過全球回收網絡與技術修補嘗試將之納入市場，但經濟發展與環境保護間的爭議仍存在。

關鍵字：市場化、計算工具、品質、循環經濟、事業電子廢棄物

前言

2013 年 11 月 29 日紐約時報以 “Short on Space, Taiwan Embraces a Boom in Recycling” 為題報導臺灣資源回收產業的發展，指出臺灣電子回收產業的蓬勃發展。資源回收產業營從 2002 年新台幣 249 億元，於 2012 年成長至約新台幣 658 億元，且業者具有提煉 99.99% 純金的回收技術，甚至有業者將改變商業模式，申請加入倫敦金銀市場協會 (Nunns 2013)，顯見臺灣事業電子廢棄物貴金屬回收產業具有龐大的經濟獲利，而這篇報導認為臺灣是有潛力發展電子廢棄物循環經濟。

循環經濟 (circular economy) 於 1970 年興起，主張當代工業生產應系統地思考物質流動，當物品從原料、加工至販售後，經使用達到產品生命週期的末期成為廢棄物，又如何透過回收再利用成為新的原料，重新投入至生產系統之中，取代終端商品的概念，克服線性經濟 (linear economy) 造成的資源浪費與汙染 (Ellen Macarthur Foundation 2012)。

電子廢棄物既是潛在資源，也是潛在廢棄物，而循環經濟經常被視為是解決此一環境問題與創造

綠色經濟的手段 (Kama 2015)。若參照聯合國環境規劃署的研究報告《*Recycling-From E-waste To Resources*》，一隻行動手機包含超過 40 種化學元素，像是銅、錫、金、鈀等元素。2007 年全球銷售的手機與電腦中含有當年銀總產量的 3%、黃金總產量的 3% 與鈀總產量的 13%，顯見大量貴金屬已投入至電子產品的生產 (Schluep et al. 2009)。然而，電子產品是複合型物品，包含許多金屬、塑膠與玻璃等物質。以手機為例，手機是由 500 至 1,000 種物質構成，其中包含許多重金屬，像是鉛、汞、鎘、銻與其他有害物質，如溴化阻燃劑與聚氯乙烯等物質 (Cobbing 2008)。因此電子廢棄物若未經妥善處理將造成嚴重的環境汙染。

本文採取市場化研究取徑，認為循環經濟並非先驗存在，而是透過人與非人共同實作而成，故本研究的核心問題分析循環經濟是如何被建構，讓事業電子廢棄物能夠成為資源，並重返市場？其中廢棄物的異質性、回收技術與原料市場又如何以產品品質為核心相互纏繞，並建構市場？研究對象是以國內從事貴金屬回收的甲級處理業者為主，並以回收再利用為主要探討的經濟行為。研究方法是透過廠商訪談、廠商年報、技術報告與官方統計數據，呈現臺灣事業電子廢棄物的貴金屬回收產業的社會技術裝配，探究此一產業的發展歷程、廢棄物資源化過程，以及產品流通。

解構循環經濟－市場化研究與廢棄物地理

自 2010 年起，研究廢棄物的學者們開始關注物質性的理論面向。地理學家 Gregson and Crang (2010) 指出以往廢棄物地理學的研究，是以治理 (governance) 與治理術 (governmentality) 作為研究的課題，探討人們透過哪些廢棄物清理政策與行動來清理都市內的廢棄物，這類的研究是從廢棄物管理的角度定義廢棄物，因此廢棄物自身的意義是被管理技術所定義，探討其治理模式－處理、轉移、生態效率與資源四個模式透過何種公私合夥的關係與權力關係進行廢棄物清理 (Bulkeley and Watson 2007; Bulkeley, Askins, and Hudson 2009)。在臺灣，此一研究取徑則有黃大祐 (2013) 探討臺北市都市廢棄物的清理與回收政策與空間治理術，討論都市廢棄物政策如何從掩埋、焚化轉向回收的過程，落實到都市民眾的日常生活當中，交由不同回收主體進行廢棄物的末端回收。

由於治理與治理術的觀點並未探究廢棄物的物質性，廢棄物經處理與回收後並非消失不見，而是持續變形。近年廢棄物研究受到科技與社會研究的影響又有所展延，開始追蹤廢棄物的生命史與其不斷轉變的過程 (Crang et al. 2012; Gregson et al. 2010; Lepawsky and Billah, 2011; Furniss 2015)。廢棄物地理學從過去關注人們透過哪些政策與技術如何清理廢棄物，轉向探究廢棄物回收後的空間流動與物體轉變的過程，將物質帶回經濟地理與文化地理的學術版圖中，並重構其中的理論框架 (Kirsch 2012; Tolia-Kelly 2012)。以下陳述市場化研究如何將廢棄物的物質特徵帶入分析架構的理論工具。

(一) 經濟化與市場化研究

行動者網絡理論自 1980 年興起多關注自然與工程科學的議題，直到 1998 年 Callon 試圖將該理論的研究對象拓展至社會科學領域，將經濟與市場當作待被解開的黑盒子，開創經濟化與市場化研究領域。市場化研究的重點不在於市場 (market)－討論供給與需求兩者之間的均衡點，而在於市集 (marketplace)－探討經濟活動中交換發生的具體作為 (Callon 1998a)。在這個轉向下，市場不應被視為

先驗存在，而是透過社會技術裝配 (socio-technical agencement) 構成，並由人（專家與非專家）與非人共同展演的 (performative)，因為市場是要被行動者們做出來 (Callon 2007)。Çalışkan and Callon (2010) 曾歸納市場化研究的五個要素¹，而本文聚焦在平定物品所需的可計算性 (calculativeness)，並涉及部分價格設定的討論。

在經濟化研究的視角下，循環經濟要先指認經濟活動產生的外溢 (overflowing)，像是環境汙染，透過建立新經濟框架測量，計算外溢現象的成本與獲利，例如：清理廢棄物的成本與有價物回收的利潤，即外部性內部化。Callon (1998a) 認為經濟活動即是框架 (framing) 與外溢 (overflowing) 兩者的互動過程，一物體或活動可被稱為經濟，是因為行動者先劃出一個可以被算入「經濟的」邊界，在這邊界之外的現象就被稱為外溢。因此循環經濟是透過框架設計，將以往線性經濟視為無價值的廢棄物化為有價資源。這組框架與外溢的概念，不同於以往的經濟研究多討論經濟是什麼的發問，經濟化研究要探討什麼算是經濟的，分析經濟與市場是如何建構而成的過程 (Çalışkan and Callon 2009)。

然而，要構成完整的經濟理論，除了描述或指認經濟內外的現象，還需要一套度量衡框架 (metrological framework)，讓行動者可以透過計算工具 (calculative tools) 來計算經濟與市場內的價值。為何計算工具是經濟化研究的核心？是因為 Callon (1998b) 主張計算性並非來自於主體是利他或利己的兩種觀點，而在於市場行為本身的實踐過程就是計算的，人們仰賴計算工具的協助，才使得人們有能力去計算 (be able to calculate)，讓物品與服務能夠被測量，並建立通用的度量衡框架。

打開市場的黑盒子，可發現市場是由行動者、公式、物品、技術、制度一系列人與非人所構成，又可稱為社會技術裝配 (socio-technical agencement)。裝配 (agencement) 源自德勒茲與瓜達希的觀點，其詞源來自法文，由施為 (agency) 與安排 (arrangement) 構成，是指所有人與非人都早已組裝在關係之中。人們可以在市場中有行動能力 (the capacity to act) 是仰賴計算工具、技術與制度的協助，所以行動者採用哪種計算工具或處理技術會影響其在市場中的能動性，並決定行動者在市場的位置與安排 (Deleuze and Guattari 1987; Deleuze 1988; Callon 2007; MacKenzie 2009)。

經濟化的過程不僅只是仰賴經濟專長者，還需要仰賴不同專業領域的專家或素人，甚至是被其他領域者借用經濟概念。Latour 在《*Science in Action*》一書中，從愛迪生的筆記本中重建他在 1878 年代設計燈泡的策略。當時愛迪生從最基礎的會計與計算著手，發現若電燈要以相近的成本取代瓦斯燈，就必須處理零件中較為昂貴的銅。愛迪生列下一系列公式，參照會計、焦耳定律與歐姆定律，計算所需的銅量、電流、電阻與電壓之間的關聯。此時，經濟學、物理學與技術三者已經交織在一起，經過多次嘗試，白熱高電阻的燈泡是上述計算後最終的產物 (Latour 1988)。愛迪生筆記本上的數個公式的參數等同於真實世界的事物，而公式中的參數關係等同於事物之間的關係。此時，愛迪生筆記本可被稱為計算中心 (centres of calculation)，將眾多事物匯聚並產生關聯。不過要讓公式與真實世界相互指涉，仍需要科學工具協助行動者對照到度量衡鍊 (metrological chain)，才能讓兩者關係穩定 (Latour 1988)，而此一說法正呼應 Callon 對於計算工具的討論。

Latour 是以科技物為研究對象，來說明科技與經濟之間的關聯，而 MacKenzie (2007) 的衍生性金融市場研究則是以從經濟理論出發，分析經濟與科技的關聯，以及經濟公式如何形塑經濟實踐。以 1970 年代兩位金融經濟學者 Fischer Black 與 Myron Scholes 設計的 Black-Scholes 期權價格公式為例，說明金融市場的實際運作。該公式原先只是抽象的經濟理論，對於金融交易活動有許多假設，但在電子計

算機的協助下，突破人類手動計算龐大數據的障礙，加上計算後的數據簡化成一張未來期權報表，供投資者攜帶至交易室內作為投資參考。Black-Scholes 公式的影響力不在於對於過去價格波動的掌握有多精準，而是在於預估尚未被觀察到的未來價格波動的能力，甚至成為投資者進行金融交易的重要參考文件。行動者透過一系列的實作與設計，讓經濟活動更趨近於經濟學描述的現象，此一過程可稱為展演性² (performativity)。

(二) 品質經濟：平定物品

市場化研究的計算不只關心價格與利潤，還包含產品與品質。從新古典經濟學與個體經濟學的角度來看，當人們在討論商品的價格與市場時，是指供給與需求兩條線相交之點，而這個點只反應價格與數量之間的關係。在經濟學的供給需求圖之外，未被再現的物品品質也會影響價格設定 (Çalışkan 2010)。品質的經濟 (the economy of qualities) 認為唯有市場中的物品品質先被界定與建構，物品的價值才得以成立。Callon, Méadel, and Rabeharisoa (2002) 指出物品需要由一系列的特徵描述來定義，形成單一性 (singularity)，而這單一性讓物品既特異，但又與其他物品存有可比較連結的分類位置。因為物品的特徵並不是先驗存在，而是需要經過試驗檢測 (衡量物自身特徵)，以及對照品質的度量架構 (物與物之間的特徵比較)。當多樣歧異的物品特徵被標準化後，全球商品市場的品質才得以被統一，像是全球棉花交易設有六級美棉等級，並以公噸作為計量單位，又或者是農產品中盤商會透過甜度計來替水果分級。這些做法都試圖將商品標準化，讓物品特徵與標準連結，行動者才能夠計算物品的價值。

Callon, Méadel, and Rabeharisoa (2002) 指出即使物品在某一時刻受到一套度量標準界定特徵，但生產與回收技術變遷與物品的交換流通，都會改寫物品本身的組成與度量衡標準的設定，故物品的定義是品質不斷賦格—再賦格過程 (qualification-requalification)。不過有時因為物質的組成複雜，使得行動者難以完全釐清物質組成，或難以將異質物品純化成同質物品，以符合度量衡標準，因此有些物品的物質特性並不會完全配合市場機制，這類物品可稱為頑抗物質 (recalcitrant material)，這個現象也具體反映在循環經濟的實作過程。

(三) 市場化廢棄物

市場化研究討論物品交換流通對於品質賦予的變動，看似與全球商品鍊、全球生產網絡相似，但存有根本上的差異。全球商品鍊分析太快將市場與商品當作是先驗存在的實體，而未能細察商品的品質與價值估算 (valuation) 對商品鍊建構的影響 (Çalışkan 2010; Ouma 2015)。為補足上述研究落差，廢棄物地理學在此提供兩種研究取徑，一是跨界的全球回收網絡，另一則是廢棄物市場化。

首先，全球回收網絡 (global recycling network) 重新概念化全球商品鍊 / 全球生產網絡，指出以往的討論都僅止於商品生產至銷售的過程，並將商品銷售作為分析的終點，忽略商品銷售之後的社會與經濟價值賦予，以及商品作為物品如何從穩定狀態透過拆卸回收的過程，呈現不穩定、多元與變質的過程。因廢棄物的異質來源，使得平定廢棄物成為必要作業，而商品價值是隨著加工而遞減等現象 (Gregson et al. 2010; Lepawsky and Billah 2011; Lepawsky and Mather 2011; Crang et al. 2012)。Lepawsky and Mather (2011) 雖企圖將全球回收網絡與市場化研究結合，透過電子廢棄物在加拿大與印度資源化

過程，說明全球回收網絡並沒有明確的起終點，而是循環迴路，但該研究並沒有提供充分的經驗資料說明循環經濟是如何被實作出來，而本研究將能補足這部分的討論。

Gregson, Watkins, and Calestani (2013) 對於廢棄物市場化的研究則提供較多補充，以往英國廢船多賣至南亞拆解，但在巴塞爾公約的規範下，廢船被迫駛回英國拆解。回收業者如何在政府環境管制與高成本的地方脈絡下進行廢船拆卸與金屬回收獲取利潤？為符合要求，業者透過檢測儀器 (assay devices) 判斷異質組成的船隻有哪些有價與有害物質，並估算物質數量，計算價值，而此一檢測數據是回收業者決定採取哪種拆卸方式的參考依據。其中廢棄物作為商品並不如同 Çalışkan and Callon (2010) 所言是被動物品，而是積極地影響廢棄物回收的成本效益評估。然而，該文忽略檢測並不止於回收前的價值評斷，也會發生回收後，產品重返市場的過程。

在上述兩個觀點的影響下，廢棄物地理學開始討論跨國廢棄物與封閉地域內的循環經濟的運作與其限制 (Gregson et al. 2015; Kama 2015; Furniss 2015)。像是 Furniss (2015) 聚焦在跨國流通的廢棄物市場化研究，指出全球石油價格與廢塑膠的純淨品質是會影響廢塑膠在埃及－中國之間市場化的歷程，外觀看起來較為純淨的塑膠會被送至上海，而雜質較多的塑膠會留在埃及當地回收。封閉地域的廢棄物市場化研究則以歐盟為界的循環經濟政策為例，歐盟以先進環保國家自詡，且基於國際物質戰略的立場思考，欲將全球回收網絡限縮成歐盟區域回收網絡，但又因歐盟的回收政策、分類實作尚未成熟，以及回收技術未能讓廢棄物轉換符合品質要求的產品，使得以封閉地域為想像的循環經濟難以被落實 (Gregson et al. 2015; Kama 2015)。這些研究反映廢棄物的回收實作與廢棄物的劃界是會相互影響。

基於上述概念，本研究認為建立回收市場的關鍵在於如何將電子廢棄物劃入市場，一是回收前的價值計算，透過成分分析計算事業電子廢棄物的質與量，計算潛在的資源與汙染物。二是回收過程中採取合適的回收技術，平定多元異質的廢棄物，將之純化與標準化。三是回收後的產品再賦格，純化後的產品仍需進一步被檢測，確保產品的品質能夠符合既有的市場規格。另外，回收業者向製造業者購買電廢棄物，以及回收業者的產品販售至原料市場的過程，皆必須參照全球貴金屬市場的公告價格，才能夠決定買賣價格，以及計算獲利與處理成本。當品質－價值－價格的關係成立後，循環經濟廢棄物資源化的市場實作才穩定下來。此外，臺灣事業電子廢棄物的回收實作無論是廢棄物處理或重返市場的過程都仰賴跨國回收網絡的建立。然而，循環經濟並非完全封閉，在回收過程中總有衍生廢棄物，這也反映經濟框架的過程仍會製造外溢現象 (Callon 1998a)。

臺灣貴金屬回收產業的興起

擁有科技矽島之稱的臺灣，因高科技產業的蓬勃發展，生產許多電子零組件，但在製程過程中，也產生大量生產線的下腳料，這些電子零組件含有許多貴金屬，像是金、銀、鉑、銠等有價金屬，也有其他有害物質。為解決製造業的有害廢棄物，電子廢棄物回收業者會向電子製造業收購下腳料，一方面提供電子製造業者廢棄物的清理服務，另一方面回收販售其中的貴金屬。由於事業電子廢棄物的貴金屬含量稀少，但價值高，且需高門檻的回收純化技術，所以如何精確地計算貴金屬含量，掌握事業電子廢棄物價值，並且確實回收高純度的貴金屬是事業電子廢棄物重返貴金屬回收市場的關鍵。

(一) 貴金屬回收業者之興起背景

2014 年在臺灣從事貴金屬回收之業者共有七家，其中四家願意接受本研究訪談。這七家業者興起的背景可以分為兩種類型，一是產業升級，從廢五金中盤回收商轉型為貴金屬回收業者，像是 F1 廠商早年是在高雄港做拆船業，後來改從事廢五金進口。有一次邀請加拿大礦業公司來臺灣參訪煉銅產業，經過交流後 F1 廠商才知道臺灣對於金屬回收的環境管制能力與設備仍有改善空間，所以在 1987 年轉行做符合環保管制的回收業者。F2 廠商早年是在西門町的銀樓當學徒，熟知煉黃金的技術。後來投入廢資訊品的回收產業，發現大多數的貴金屬因臺灣技術有限，較具有價值的廢料須轉移至日本，所以 F2 廠商董事長便到日本學習回收技術，進口德國設備。同樣的情況也發生在 F3 廠商上，因 F3 廠商早年回收國內電子廢棄物，但未具有處理貴金屬廢料的能力，所以將大多數貴金屬廢料輸出至日本。為了獲得更多利潤，F3 廠商與日本貴金屬回收業者合作，形成穩定的技術同盟。

另外一種貴金屬處理業者則是母公司從事電子產業，但為解決生產線上的電子廢料，故創立子公司，進行廢料回收，並且具有製造工業用貴金屬物品的能力，可提供母公司的製造部門使用，形成垂直整合的產業鍊。

(二) 廢料來源—制度規範與產業發展

這些貴金屬回收業者分別向國內電子工業、半導體工業、電腦零組件工業、材料工業、印刷電路板業與石化業等廠商購買其生產的事業電子廢棄物，例如：晶圓、晶片、印刷電路板、廢銅線，與其他可資源化的廢料，像是石化觸媒。若參照廢棄物的分類項目，環保署允許貴金屬回收業者回收的項目多屬於一般事業廢棄物與混合五金廢料等兩個類別。以 F2 廠商的廢料來源為例（表 1），供應商提供的物料分成三大類別，一是製造業者的電子廢棄物，主要來自於國內電子製造業者；二是消費者電子廢棄物，像是公告應回收的廢資訊品與廢手機，主要來自環保署資源回收管理基金管理委員會（簡稱基管會）；三是純度較高的貴金屬供應，作為貴金屬回收業者生產工業型金屬物品的原料，主要來自於斐商南非標準銀行、臺灣銀行與貴金屬公司。F2 廠商是貴金屬回收業者中少數會收一般電子廢棄物的業者，F2 廠商則表示貴金屬回收的料源多來自於製造業者，消費者電子廢棄物獲利並不高，雖然廢手機內有廢 IC 板，但由於 IC 板上含有許多零件，不易回收，2014 年時仍未回收處理，貯存於工廠之中。此外，F1 廠商的電子廢料來源則有台積電、聯電、飛利浦與其他跨國公司之協力廠，顯見大多數貴金屬回收業者的廢料來源以來自製造業者的廢料為主。貴金屬回收業者的營運與利潤來源是受到物料來源、處理成本與產品販售價格影響，而業者是在考量上述多個因素下，以製造業者的生產廢料為主要的廢料來源，而非消費者產生的一般電子廢棄物。

(三) 市場運作成效—回收量與產值

臺灣貴金屬回收產業的處理量與銷售量正逐漸成長中，而且獲利較處理消費者電子廢棄物來得多。F2 廠商同時回收消費者產生的一般廢棄物與製造業者的事業廢棄物，但前者並非主要的營運項目，而且在產值上亦較貴金屬回收銷售來得低很多（表 2、圖 1）。至於貴金屬回收產業的銷售產品項目與銷售流向相當多元，但產品能否被市場接受則取決於產品品質與特質。

表1 F2 廠商 2006-2012 年廢棄物供應商

Table 1. Electronic waste suppliers of company F2 in 2006-2012.

廢棄物供應商	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
環保署資源回收管理基金管理委員會 (基管會)	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
昌蒲實業股份有限公司	○	○					
大祥科技股份有限公司	○						
太平洋電線電纜股份有限公司	○	○	○	○	○	○	
旺宏電子股份有限公司			○	○			
弘捷電路股份有限公司			○	○			
旭德科技股份有限公司	○	●	●	●	●	●	
全懋精密科技股份有限公司	○	●	○●	○	○●	○●	●
景碩科技股份有限公司	●	●	○●	○●	○●	○●	○
欣興電子股份有限公司	●	○	●	●	●	●	
港口王貴金屬有限公司	●	●	●	●	●	●	
穩懋半導體股份有限公司	●	●	●	●	●	●	●
昌勳企業有限公司		●					
米輯科技股份有限公司		●					
斐商南非標準銀行		●		●	●		
臺灣銀行				●	●	●	●
永豐貴金屬有限公司				●			

圖例說明：◎廢資訊品 ○混合五金原料 ●貴金屬原料。

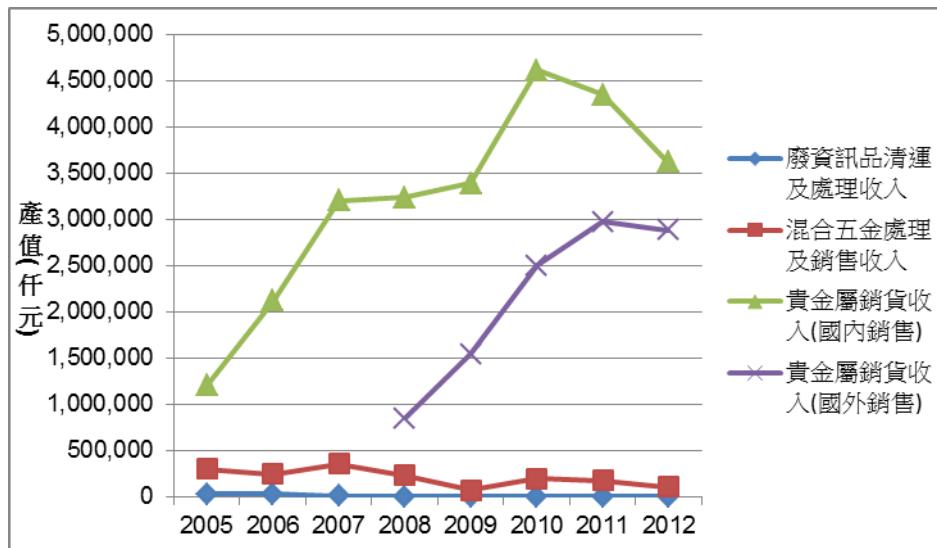
資料來源：本研究整理自 F2 廠商 2006-2012 年年報。

表2 F2 廠商 2005-2012 年營運處理量

Table 2. Production of company F2 in 2005-2012.

年度	廢資訊品清運及 處理收入 (千台)	混合五金處理及 銷售收入 (公噸)	貴金屬銷貨收入 (內銷) (公斤)	貴金屬銷貨收入 (外銷) (公斤)
2005	586	7,813	3,477	
2006	1,180	5,512	8,010	
2007	454	3,247	28,500	
2008	65	2,173	44,291	2,353
2009	72	1,414	94,365	2,137
2010	79	983	90,317	2,305
2011	12	1,149	70,446	3,641
2012	23	785	61,994	2,040

資料來源：F2 廠商 2005-2012 年報。



資料來源：F2 廠商 2005-2012 年報。

圖1 F2 廠商 2005-2012 年營運銷售產值

Fig. 1. Output value of company F2 in 2005-2012.

管制回收市場

電子廢棄物回收市場是一受法律管制市場，因為環保署以《廢棄物清理法》設計一系列的管控技術，對於事業單位產生的事業廢棄物的品項、再利用業者的處理技術，以及衍生性廢棄物的流向都有法規與相對應的技術規範。業者若欲從事電子廢棄物的回收處理產業則必須向環保署申請許可證，提供事業廢棄物清理計畫書，包含廢棄物清理流程、設備與操作，以及汙染防治計畫等說明。業者經審查後，可獲得營運許可證，執行特定廢棄物項目的回收處理事業。以下將從電子廢棄物的類別出發，區分不同類別電子廢棄物的市場設計、管制規範，以及空間流動範圍。

依據廢棄物清理法，電子廢棄物可以依據來源分成一般廢棄物與事業廢棄物兩種類別，前者是由家戶或其他非事業（例如：學校機構、企業單位）所產生的垃圾；後者來自事業單位，多為工廠。家戶或非事業單位產生的一般電子廢棄物是使用壽命已到的電子產品，多為消費者產生的電子廢棄物；事業單位的事業電子廢棄物，多是生產線下腳料，不符標準的零組件。

不同類型的電子廢棄物有不同的回收製程與市場設計。一般電子廢棄物包含許多零組件構成的成品，物質組成較為複雜，因此回收業者必須花費較多人力拆解物品，而回收物料多為一般金屬（銅、鐵、鋁），價格較低，利潤較少。為避免一般電子廢棄物因市場價值較低，而未獲得妥善處理，環保署延續既有寶特瓶資源回收基金的制度，將部分一般電子廢棄物納入補貼項目。事業電子廢棄物則因物質組成較為簡單，含有較多貴金屬（金、銀、鈀），雖然回收技術門檻較高，但容易回收純度較高的金屬，故市場利潤較高，無須回收基金的補貼。基於上述分類，電子廢棄物被框架成兩個相互獨立的回收市場－有補貼的一般電子廢棄物³ 與無補貼的事業電子廢棄物，而本研究著重在後者，事業電子廢

廢棄物的貴金屬回收市場。雖然環保署提出資源回收基金制度並非本文主題，但以回收基金補貼一般電子廢棄物的回收產業，正是 MacKenzie (2007) 提及經濟理論的實作展演，環保署藉由推估電子產品當年整體銷售量與回收量，設定徵收與補貼費率，以創造經濟價值，並維持回收市場的運作。這兩類市場無論在無回收的廢料類型、回收技術、資源化產品皆不盡相同，故其市場化過程與運作邏輯並不相同。即使一般電子廢棄物經業者拆解後，其零組件以事業電子廢棄物的類別重返事業廢棄物的回收市場，仍因物質組成複雜，回收技術仍難以達到經濟效益。

相較於一般電子廢棄物的回收市場，事業電子廢棄物的貴金屬回收市場因其經濟行為不受政府設計的回收基金公式影響，較似自由競爭市場，但其在回收技術上的管制則較為嚴格。依據《廢棄物清理法》，事業電子廢棄物屬於有害事業廢棄物，所以貴金屬回收業者在設廠前，必須先向環保署提出申請環境影響評估，其回收設備與技術經審查通過後，才能夠取得甲級執照執業。

廢棄物清理法亦針對廢棄物的空間流動有所規範。當電子製造業者產生電子廢棄物時，必須定期回報廢棄物生產量、處理方式與流向，以利環保署掌握廢棄物流向。目前事業電子廢棄物的回收市場多在國內完成，較少跨國流通。臺灣雖然不是巴塞爾公約的會員國，但仍遵守公約規範，依法要求國內產生的廢棄物必須在國內處理，除非臺灣與其他國家政府雙方許可他國廢棄物輸出入，廢棄物才得以跨國流通。因此貴金屬回收市場被限縮為國內市場為主，少數業者會向政府申請許可證，合法輸出(衍生)廢棄物，並建立電子廢棄物的跨國回收網絡。在國內，事業電子廢棄物的回收產業並沒有形成產業共生⁴ (*industrial symbiosis*) 的現象，回收業者分散於數個工業區，例如：桃園環保科技園區、觀音工業區與南部科學園區等地，且未與電子製造業者群聚，顯然聚集經濟並非業者的主要考量。國內僅臨海工業區與林園工業區兩處形成以重工業為主的產業共生現象，其他產業的廢棄物回收業者認為地理鄰近並不是回收市場形成的關鍵，且跨縣市運費並非影響獲利的主因 (廖昱凱 2012)。

標準化廢棄物：價值計算與品質純化

電子廢棄物要能夠成為可交易的物品，必須要掌握物品特徵與其價值，故貴金屬回收業者必須對廢棄物進行成分分析，了解事業電子廢棄物包含哪些物質成分，例如：有價金屬項目與含量，以及有害物質的成分。因此成分分析是事業電子廢棄物回收市場的計算工具，協助業者成為計算行動者 (*calculative agency*) 有能力計算事業電子廢棄物含有的微量貴金屬，同時事業電子廢棄物也被轉換為可計算的物品 (*calculable goods*) (Muniesa, Millo, and Callon 2007)。當廢棄物的價值被掌握後，業者會透過一系列的回收實作，將廢棄物資源化，並處理產生的衍生性廢棄物 (Gregson, Watkins, and Calestani 2013)。

(一) 成分分析

在 2014 年 4 月筆者曾進入廠商進行成分分析的實驗室，解說的員工手上拿著一塊比小拇指還要小且薄的晶片，這是要量測的廢棄物。員工另一手拿著掌上型 X 射線螢光分析儀，用來大略測量物質組成，但因晶片是多層結構，還需要更精密的測量。接著我們走到另一間實驗室，裡面是一台原子吸收光譜儀 (*atomic absorption*)。這台儀器是基於量子化學的原理，藉由量測原子獨特的吸收光，判斷事

業電子廢棄物含有的金屬元素。不過原子吸收光譜儀只能量測 70 種元素，而且只能做定性分析，所以還會透過電解與滴定等濕式古典化學方式，用導電率、沉澱物生成與顏色變化等特徵，再次解析元素，進行定量分析，才能知道一克事業電子廢棄物含有哪些元素，含量多少。這些成分分析的方法都是奠在分析化學的學理概念。

回收業者透過實驗室裡操作的成分分析，了解廢棄物的物質組成，而成分分析的精確取決於回收過程中採樣的精確度，以及數種化學實驗的交叉檢核。執行成分分析的目的在於計算廢棄物的價值，貴金屬回收業者在進行買賣之前，必須先計算廢棄物內的物質組成，並推估有價物質與有害物質的含量，接著計算回收處理成本與其回收後的經濟獲利，故成分分析是將廢棄物轉換為可計算的物品的實作過程：

「血糖測試機的回收，機器的部分就是 PCB 板，但同時會產生有含銀的廢料。這部分我要粗估成分有多少，我才知道 PCB 板有多少的量，我要花多少錢去買。如果不做成分分析的話，我不可能閉著眼睛說這台是多少錢。」(受訪者 F4)

然而，為何貴金屬回收業者一定要做成分分析，而非製造業者直接提供回收業者其廢料內的成分？若就生產鍊管理的角度思考，製造業者應該會知道廢棄物的物質組成，但從回收業者的角度來看則有兩種不同說法，一是製造業者根本就不知道廢棄物的物質成分，回收業者其實反過來協助製造業者建立生產鍊管理；另一則是製造業者知道廢棄物的物質組成，但不願公開其物組成分：

「製造業者根本就不知道他們的產品裡面所有物質的成分有哪些，因為他們都是跟不同業者買零件來做，而這些零件裡面的金屬物很多元，所以我們必須要協助製造業者了解他們的產品裡面有哪些金屬物，然後告訴他們在製造的過程中，哪些物質應該要怎麼處理？如果特定物質兩者相混雜在一起，我們就會很難回收。同樣地，有些物質在收回回來的過程中，不能混在一起，所以我們是在協助生產者進行產線的管理。」(受訪者 F1)

「他們當然知道成分，今天一罐電鍍用的金鹽，他買下來大概裡面含金量 68 公克，那是固定的，他知道今天用一罐，100 克的金鹽有 68 克的黃金在裡面。日月光從空板開始下去先鍍一層，用鋁板開始鍍，一層一層鍍出來，才開始蝕刻，蝕刻完後，壓扁，封裝做電鍍。他每一個階段都知道每一個東西，但他不會告訴我們。」(受訪者 F2)

因為製造業者不願公開物質組成，再加上製造業者的製程會隨著科技發展而持續變動，使得每家回收業者必須自行進行成分分析，評估廢棄物的潛在價值，而能否精確估算成分含量是影響獲利的關鍵。F2 廠商表示：「成分分析當然會影響很大，以黃金來講，差百分之一就差一萬塊。不過很難避免測不準，要看實驗取樣。」當製造業者的廢棄物買賣是透過招標，會因為每間回收業者對於廢料進行成分分析後估算的價值不同與市場策略考量，進一步造成市場競價的現象發生，F4 廠商提到：「像 PCB 板大家在標的過程，有些人寫 22%，但明明就是 20%，這就是勢在必得，我就是想要，所以大家角度不一樣。假設我估到 17%，但我會報 18%，因為我要賺 1%。」

此外，電子產品的技術或管制標準的改變是會影響製造業者的製程，因此成分分析的分析結果也將不同，像是貴金屬含量與潛在有毒汙染物的含量，會影響貴金屬回收業者的獲利方式：

「市場會逼著製造業者去做一定的改進，以前我們做回收 63%錫、37%鉛。為什麼會有這些東西？因為以前大量製造主機板的時候，為了讓主機板跟零件可以附著，就要用錫去固定住，但怎麼樣可以減少錫的使用量，省下成本，但又可以固定住（主機板與零件）？所以調了一個 6337 的配方。大概十年前，一定會收到這個東西。但後來歐盟限定，禁止含鉛，而含汞要在一定比例之下，所以大家趕快去找替代方案，現在的錫會帶 3% 的銀，是因為要改善附著性。很多是歐盟法規改變，導致廠商改變，而我們收的料也會改變。如果我不去做分析，我也不知道裡面有什麼東西，以前的板子鍍金鍍得很厚， $5\text{--}10 \mu\text{m}$ ，但現在板子一直替代 $1\text{--}3 \mu\text{m}$ ，甚至出現水金，但其實回收不到金的材料，現在技術多好。日月光也是我們的客戶，做 IC 封測，以前 IC 裡面要拉金線，但現在改銅製程。黃金一克一千兩百塊，如果有一公斤金製程的廢料，可以回收一兩克黃金，這些廢棄物我可以幫你處理，我還可以賺一點，回饋給你們公司，跟你們買八百塊，我賺一百塊，剩下是我處理費用，但現在是銅製程，一公斤才兩百塊，我處理這些垃圾，就不划算，沒有辦法去分擔我的處理費用。」（受訪者 F4）

因此對於回收業者利潤一部份取決於製造業者的成分設計，一旦製造業者調整製程，將直接衝擊業者能夠回收哪些物料，以及有價物質的含量，進而影響回收業者可獲得多少利潤。

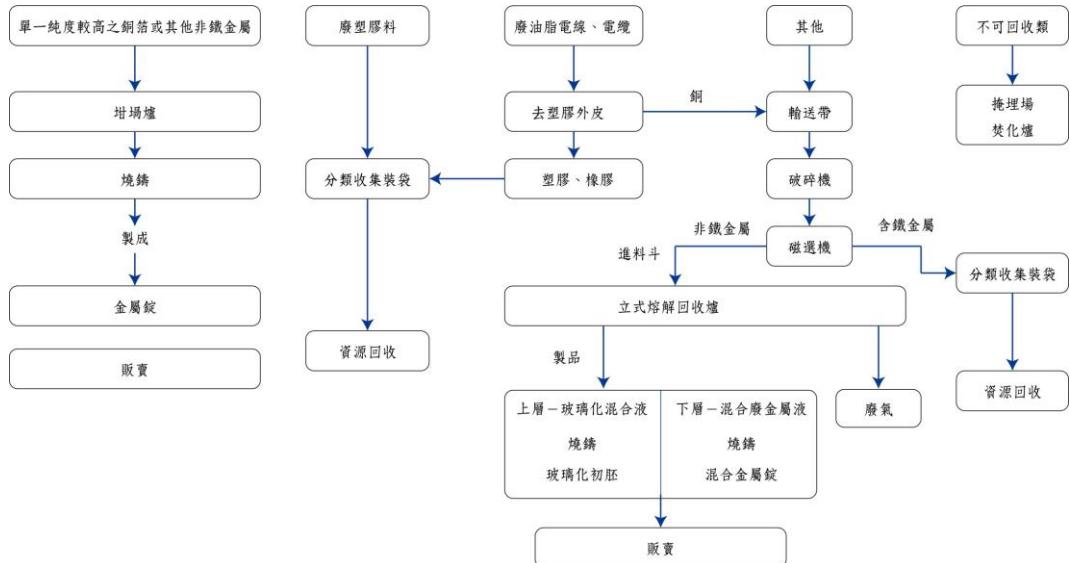
成分分析除了作為回收業者估算有價物含量的手段之外，同時也作為有害廢棄物成分的檢測方式，讓回收業者評估是否具有處理廢棄物的能力。F3 業者表示：「汙染物通常不多，但有時候還是會有，最怕含砷，因為沒辦法處理。如果有含砷物料通常會出口委外。」

（二）回收與處理技術

在掌握事業電子廢棄物的精確物質成分之後，業者必須設計適當的回收技術，將貴金屬提煉、純化回收，並同時處理衍生性廢棄物。目前甲級處理業者的回收技術共可以分成三大類別—物理處理、化學處理與熱處理，大多數的業者多採以物理與化學處理，而少數業者則採用熱處理。物理處理的操作方式是透過拆解、壓縮、篩分乾燥、切割、剝（分）離、粉破碎等，以同質分類等方式進行非金屬與一般金屬（銅、鐵、鋁）的分類回收。化學處理則是透過電解、氧化還原、離子交換等方式進行貴金屬的回收，而熱處理則是碳化乾燥，或是熔解爐分層回收。業者會考量廢棄物的特性，相互搭配三種處理技術，回收貴金屬。

大多數的貴金屬回收業者是採以物理與化學處理方式，先將電子廢料破碎後，再以化學藥劑溶解金屬，過濾液體，電析出貴金屬物質。回收後的貴金屬仍含有雜質，必須經過純化處理，精煉至 99.99% 的純度，其販售價格才會較高。F4 業者則是採用熱處理的方式，先透過物理處理，將特定類型的物質分離分類，進行前處理。若金屬物質單一，就直接熔煉，產出銅錠，但若物質組成複雜，則會將廢料送入立式熔爐，透過控制熔爐溫度，讓物質的物態改變，將固態物質熔成液態，而液態物質會因密度不同，而有分層，再逐層回收物質，但在加溫過程中，部分金屬會因溫度過高轉變為氣態，故業者必須處理廢氣（圖 2）。

然而，回收技術從創新到實際商業運作是經過多次測試且必須經過環保署的檢驗，確認汙染物處理能力無問題，才得以運行：



資料來源：F4 廠商網站。

圖2 F4 廠商廢棄物回收處理流程

Fig. 2. The electronic waste recycling procedure of company F4.

「處理廠設置申請歷經五年的時間，是因為我們的處理方式跟業界不一樣，花了很多時間試我們的處理方式。業界的處理方式大致上是物理與化學處理，在臺灣以前是土法煉鋼，像是二仁溪，但焚燒會產生空氣汙染。後來我們董事長就一直改燒的方式，而委員有意見就會修改製程，花了五年的時間，比一般申請物理處理的時間還要久。委員有疑慮的部分是燒出來的空污跟水汙問題，還有燒得乾不乾淨的問題，所以製程上從爐子自動進料變成手動進料，並且改良到沒有水汙問題，不用水去冷卻金屬。就只剩空汙問題，如何將一千四百度降到一百五十度排出去，技術層面要提升，排出去的空氣有沒有符合標準，但因為只有我們一家在燒，也讓環保署訂新的標準。」(受訪者 F4)

由於貴金屬回收技術相當多元，每家業者的製程設計上亦會有差異。不同處理技術會產生不同產品與衍生性廢棄物，業者採取哪一種處理技術必須要考量廢棄物的物質特性、獲利與處理成本等面向。在實務操作上，因為製造業的廢棄物物質組成異質多元，且持續變動，造成回收處理過程難以完全被標準化，所以每次回收都必須按照貨料的成分設計回收流程，即客製化。業者是在綜合成本、效率，以及純化技術等面向後，才決定處理事業電子廢棄物的流程設計：

「基本上，我們這個產業就是客製化的回收技術，我們公司的定位是位於生產業者與礦業公司之間，我們協助生產公司進行成分分析，知道這個廢料或產品裡面有哪些元素。每一批貨的成分都不同，都要做分析，我們會取樣，看批次的成分，再決定要做哪些製

程，配到哪一個配方。看哪家廠商會做，就是同質分類的概念，然後看是要做電解，或是廢溶劑要給誰。冶金技術一直以來都不是秘密，從很久以前人類都在做，重點在於回收過程中能否環保，而且成本與效率是否可以兼顧這才是關鍵。」(受訪者 F1)

然而，並非所有電子廢棄物都能夠順利被市場化。有業者表示從廢電子電器與廢資訊物品收回回來的印刷電路板與半導體，因為經過多次加工，物質組成較複雜，相較於從製造廠取得的廢料而言，是比較難被回收的廢棄物：

「他們那個面板是插件板，對我們來講很難處理，不好做，要拆插槽，而且旁邊鉀錫，錫要焊住才會牢。如果有錫爐的話，可以烤一烤。如果插槽不拿掉，黃金會被蓋住，就洗不到，那種插件板就很麻煩，像 PCB 出來的，上面都是空白，那就好處理。遇到後端的東西，就很難處理，…」(受訪者 F2)

「大多數的甲級處理業者是以事業製造單位的廢料為主要的回收項目是因為製造端的廢料比消費者的廢料還要同質，而成分變異也比較少，所以純度也比較高，比較好處理。」
(受訪者 F1)

消費者產生的電子廢棄物可被視為頑抗物質，因其物質性使之難以被框入市場 (Mitchell 2002; Ouma 2015; Gregson et al. 2015)。當廢棄物的物質成分較混雜時，既有的回收技術不一定能夠處理，或即使具有回收技術，但不符合處理成本，業者則不會進行回收。這也是為什麼當前貴金屬回收業者多回收電子製造業者的下腳料，而非消費者廢棄物。

(三) 衍生性廢棄物處理

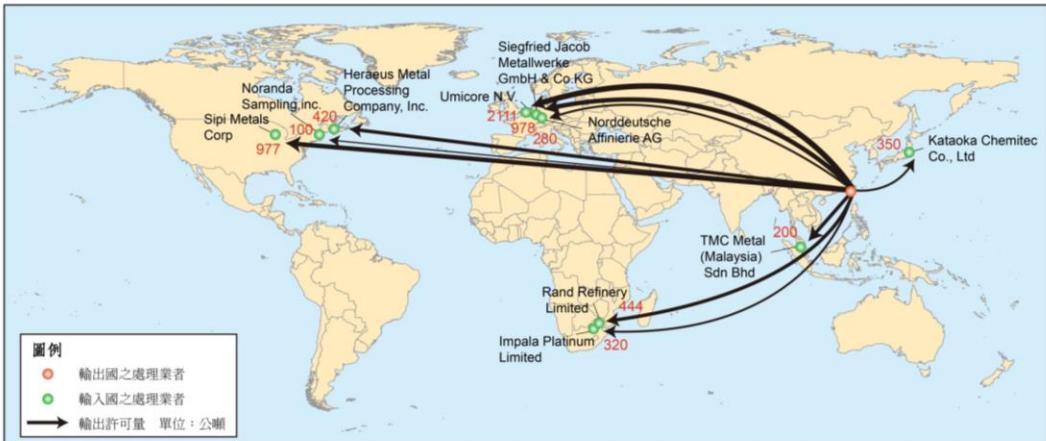
資源化電子廢棄物的過程仍會製造許多價值較低或無價值的衍生廢棄物，形成其他外溢現象。因為各家的製程設計不同，產生的衍生性廢棄物也不同，業者採取的處理方式也不同。目前解決衍生廢棄物問題的方式有兩種，一是跨國分工，另一是技術修補。

少數業者是透過全球回收網絡的方式，找尋合作夥伴：

「我是思考我們公司在整個全球回收產業的位置，整個回收產業就是以同質分類作為運作的方式，應該要是國家與國家之間的合作，我們擅長做哪一類的金屬回收，就專門做那一類的金屬，其他類別的金屬可能國外特定公司的專業是在那個元素，那我們就會將廢料運過去給他們處理，畢竟這是他們的專業。」(受訪者 F1)

F1 廠商對於全球回收網絡的概念，具體地反映在公司的物質流上。參照環保署許可核發證照查詢系統，該公司廢棄物的中間處理或最終處理地點，是與國外礦業公司或精煉公司合作。進一步檢視 2004-2013 年環保署事業廢棄物輸出許可同意，可知 F1 廠商分別與哪些國外業者合作，以及可輸出給該業者之最大允許輸出量 (圖 3)。接受臺灣事業廢棄物之國外業者多數為貴金屬精煉公司，例如：南非 RAND 精煉公司與 IMPALA 精煉公司、比利時聯合礦業 UMICORE 公司等業者。合作業者中大多數業者是以貴金屬精煉為主要收入，並將精煉後的貴金屬作為投資用產品、工業用產品或奢侈品，但

從廢棄物精煉貴金屬僅佔國外公司之服務項目的一部分。另外一部分業者，例如：德國 Siegfried Jacob Metallwerke 精煉公司專門回收一般金屬，像是鐵、鎳、銅、鋁金屬，並製成工業用品。



資料來源：環保署（2014）。

圖3 F1 廠商 2004-2013 年輸出之事業廢棄物流向

Fig. 3. Exportation of industrial electronic waste of company F1 in 2004-2013.

其他業者透過不同技術修補循環經濟的外溢現象，試圖讓衍生廢棄物成為可再被利用的資源。以印刷電路板為例，F2 廠商透過物理處理，將印刷電路板研磨成粉末之後，回收其中的銅，並將非金屬物製作成人造建材與人造藝術品（圖 4）。F4 廠商則是以獨家的熱處理回收技術，將非金屬物熔解成玻璃初坯，並製成人造建材。雖然 F2 與 F4 廠商都將印刷電路板非貴金屬部分製造成人造建材，但因處理技術不同，所以人造建材有不同特徵：

「熱處理的時候，會產生銅錠，上層是玻璃渣。因為 PCB 板含有玻璃纖維，玻璃纖維在高溫下會融化，最後會產生玻璃渣，就算玻璃渣是有害的，可是毛細孔收縮起來，就像陶瓷碗，你放水，經過十年二十年，水是不會露出來的，因為毛細孔密閉，所以整個燒的過程中，會把有害物質收在裡面。我如果把手機當作一公斤來看，有可能燒出來的銅錠只有三百克，部分汽化，剩下是玻璃渣。可是物理方式不一樣，它的體積會膨脹，物理方式把東西吃進去破碎，不會改變成分，只是變成粉狀。可是在粉狀的過程中，並不是百分之百的銅，可能百分之八、九十是銅，其他是粉層，沒有辦法把玻璃纖維分得很完整，其他玻璃纖維會集中。一公斤的 PCB 板打過後其實是膨脹的，除非經過壓和，只會擷取掉銅的部分，剩下的粉層大家就很頭痛。」（受訪者 F4）

即使業者能夠將印刷電路板的廢料再資源化成人造建材或人造藝術品，但兩種產品在進入市場之前，都需要透過政府的實驗認證，確認無汙染環境之虞，才能成為再利用。然而，產品的認證是會變動的，像是 2014 年有評估委員對於 F4 廠商產出的玻璃初胚仍提出有汙染之疑慮，所以不允許業者將玻璃初胚製成其他產品，業者因此採用安定掩埋的方式處理。評估委員的疑慮來自理論與實作之間的

落差，雖然在理論上高溫熔解的狀態下，可以將有害物質包覆，但委員擔心實際應用上，人造建材會因外在環境變化而產生反應，使有害物質流出。這個疑慮指出新技術物在田野的表現並不一定會像在實驗室一樣穩定 (Barry 2013)。



資料來源：作者拍攝 (2014.04.24，F2 廠商處理廠)。

圖4 廢印刷電路板製成之人造藝術品

Fig. 4. Sculptures made of printed circuit board.

重返金屬原料市場：品質－價值－價格的轉換

廢棄物要轉換成資源，並且重返原物料市場，仍需經歷廢棄物資源化與市場化的過程。在這過程中，經處理的廢棄物必須再次進行成分分析、評估品質，並對照國際標準，才能夠替產品的價值定位，像是業者會尋求國際代理人，協助品質認證與價值定位，而在地的產品交易必須參照全球貴金屬交易價格，才完成回收市場的經濟活動，並且形成「品質－價值－價格」的轉換關係。不過並非所有產品都能夠框入循環經濟中，並順利重返原料市場，像是業者將部分衍生廢棄物製成建材，但在市場銷售上並不如預期。

(一) 品質的再評估－貴金屬的再利用

貴金屬回收公司將製造業電子廢棄物資源化後，製成的產品多為貴金屬與一般金屬產品，少部分業者會將副產品製成人造建材或藝術品。其中貴金屬（金、銀、鉑、鉑、銠等元素）的產品通路則相當多元，且用途廣泛，包含電子製造業、汽車、化學、石化工業等。其中貴金屬產品可分為投資用與工業用兩種類型。工業用產品大多數是作為電子產業的生產材料，例如：氰化金鉀、薄膜濺鍍靶材。

從事業電子廢棄物回收取得而來的貴金屬產品仍要評估產品品質，確保品質符合市場規格，才能重返貴金屬原料市場。不同類型的產品對於金屬的純度有不同需求，投資型金屬是受到倫敦金屬交易中心的公告價格影響，其公告價格是以 4N 的金錠為標準（即純度達到 99.99% 的貴金屬），但在工業用金屬則會要求純度達到 9N 的標準。不同純度的金屬會有不同的市場通路，因此業者從製造業者的電子廢棄物回收的貴金屬，要先經檢驗是否符合國際金屬認證標準，確保其貴金屬純度。

品質評定的標準是有認證制度配合，即使業者具有精煉技術，但未取得認證就必須尋找代理人，通常是國際銀行。F2 廠商提到：「倫敦金屬中心 (London Metal Exchange, LME) 有六家會員銀行，會員可以把黃金丟進去。因為會員能夠在黃金上標記商標，所以會員必須替貴金屬的品質擔保，像我們賣給香港的美泰樂或 UBS 都是會交給他們下游的代工廠熔掉重做，要確保品質沒有問題。」因此 F2 廠商會將部分貴金屬銷售國外，售予香港銀樓與貴金屬公司，像是 Metalor、UBS、Johnson Matthey，或是賀利氏進行貴金屬精煉與買賣操作，因為這些公司是專業貴金屬精煉公司，能夠提煉符合國際貴金屬標準之要求。

另一方面，回收技術的設計會影響金屬純度，進而形塑產品重返市場的路徑。像是 F4 廠商是以熔爐加熱，使金屬與玻璃纖維液化，讓異質組成的廢棄物，能透過物質的密度差異，趨近於同層分類，接著分層抽取。不過因金屬液化後，仍難以讓貴金屬與一般金屬有明確的分層，所以取得的產品是品質混雜的混合金屬錠。因此 F4 廠商會將混合金屬錠販售給國外貴金屬精煉公司進行純化，才能取得純度較高的貴金屬。在與國外貴金屬精煉公司進行交易的過程，又必須仰賴成分分析，掌握混合金屬錠內的金屬含量，計算成分比例，鎖定價值，設定價格。

顯見即使臺灣貴金屬回收業者能夠回收並精煉貴金屬，但因為大多數業者未具有國際貴金屬交易中心的認證，所以金屬會重新再被精煉，符合國際標準之貴金屬錠。在這過程中成分分析與處理技術是產品市場化的重要實作，以平定收回來的貴金屬。

(二) 價格設定－貴金屬交易與金屬交易中心的操作

當貴金屬產品的價值被計算後，其價格設定則會受到全球金屬交易價格影響，無論是回收業者向製造業者購買電子廢棄物時，或者是投資型或工業型的金屬交易，都受到倫敦金屬中心 (LME) 的運作與價格設定影響。LME 正是 Latour (1988) 指涉的計算中心，協調全球貴金屬交易價格。回收業者在進行買賣時，需要成分分析的報告協助他們掌握眼前地方廢棄物的貴金屬含量，診斷廢料的價值，但也需要 LME 的全球貴金屬價格作為比價的基準。LME 的價格並非實際的交易價格，而是讓所有業者可在買賣時可參考的市場指標 (index)，又可稱為假體價格 (prosthetic price)，協助實際交易價格的定位 (Çalışkan 2010)。顯見金融系統再現的價格已獨立自成，甚至透過統一價格作為指標來重塑現實的經濟活動 (Mitchell 2002)。

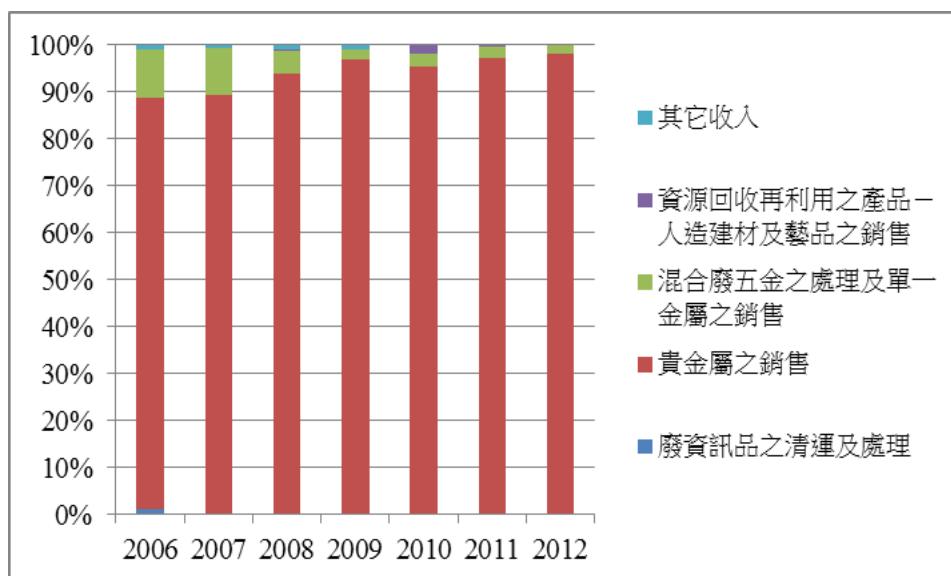
直到回收業者之間的競價結束，得標業者向上游廠商購買電子廢棄物時，實際交易價格 (actual price) 才浮現，此一購買價格是全球－在地相互接合的價格。然而，回收處理過程需耗費數個月的時間，當業者將回收後的貴金屬販售至市場時，其販售價格又受到未來的公告價格影響。因此在回收業者在購買事業電子廢棄物時，勢必要思考處理時間帶來的投資風險。因此在購買時，不同業者會採取不同的避險方式。F2 業者是以現貨交易的方式直接買賣，F2 廠商提到：「我們是現貨交易，我今天收回來的廢料裡面有十公斤的黃金，製程要十天，那我在這個時間點把十天的價格鎖住，我今天就先敲十公斤去成交。」F1 廠商是以期貨市場進行操作：「像是一個貨進來要花三到四個月的時間進行冶金，因此每次進貨都是透過賣期貨的方式來避險，以當天或當月的平均來看。LME 就是一個避險的交易平台。」LME 提供的服務不僅只是統一全球貴金屬交易價格，也是以假體價格讓未來的價格可預期，在實體貴金屬交換發生前，讓價格先形成，鎖住價值與價格的換算關係。

Ouma (2015) 提及以往市場化研究都強調市場如何趨於穩定的過程，但鮮少討論市場從穩定到危機的過程。2008–2009 年全球金融海嘯的經濟危機，貴金屬價格上漲，使得電子製造業需以更高價格購買貴金屬原料，同時也使得回收業者持有的貴金屬價格上漲，獲得更多利潤，反而更鞏固貴金屬回收市場。另外，像是埃及塑膠回收業者趁著金融海嘯造成塑膠價格大跌的情況下，大量購買與庫存塑膠廢棄物，並等待價格再次上漲後，再販售給中國買家，賺取價差 (Furniss 2015)。這也顯示地方回收市場是與全球原物料市場相互連動。

(三) 銷售副產品

部分貴金屬處理業者會將衍生廢棄物作成副產品銷售，像是藝術品或人造建材等物質。然而，若參照業者年報 (圖 5)，人造建材與藝術品的銷售並沒有顯著成長，只有在 2010 年有顯著的銷售量，但自 2010 年以後便逐年下降。銷售量之所以不顯著是因為以廢印刷電路板粉末製成的人造建材難以與市場上既有的建材競爭，該產品的比重較一般建材來得重，價格也比較貴，不符合當前建材需求的趨勢，難以拓展市場。

即使貴金屬處理業者試圖將衍生廢棄物製成其他新產品，但其在產品特性、價格設定到消費客群上，無法與既有的原料市場競爭，仍難以解決循環經濟的衍生廢棄物問題。



資料來源：本研究整理自 F2 廠商 2006-2012 年年報。

圖5 F2 廠商 2006-2012 年營利項目與比例

Fig. 5. Proportion of service items of company F2 in 2006-2012.

結論：組裝循環經濟

本文透過臺灣事業電子廢棄物貴金屬回收產業的實作過程，描繪循環經濟，並進一步指出事業電子廢棄物能夠被納入回收市場的關鍵在於成分分析與資源化技術等計算工具的協助。唯有事業電子廢棄物成為可被計算的物品，事業電子廢棄物的質量可被掌握時，價值才得以被計算。接著透過資源化技術，依據同質分類的原理，將多元異質的廢棄物精煉成符合市場規格的貴金屬。不過因各業者採取不同回收技術，所以貴金屬與衍生廢棄也透過不同路徑重返貴金屬與其他產品市場 (Gregson et al. 2015)。

事業電子廢棄物中的貴金屬含量少，但價值高，貴金屬回收業者唯有透過成分分析才能掌握物料的價值與成本。成分分析可被比擬為補體術 (prosthesis)，賦予 (enable) 業者原先不能達到的計算精度，得以精確計算 (Callon 2007; Gregson, Watkins, and Calestani 2013; Ouma 2015)，建立計算行動者—計算工具—可計算物的關係。當業者掌握廢棄物的物質成分後，會決定採取適合的處理技術與配方。回收過程中，一方面透過同質分類資源化廢棄物，將廢棄物轉換成可用資源，並框進市場內；另一方面也會產生其他衍生廢棄物，像是廢溶劑或玻璃纖維等，因複雜、有毒的物質特性或價值較低，成為循環經濟的外溢現象。如同 Callon (1998a) 所言，框架的過程總會存有許多無法被框架的外溢現象。不過業者仍透過建立全球回收網絡與技術修補兩種方式試圖資源化衍生廢棄物，填補循環經濟的缺口。即使事業電子廢棄物的循環經濟運作雖被法規限縮在國內，但業者仍會申請跨國許可，藉由跨國分工機制完成循環迴路。

循環經濟本身就是持續對產品品質賦格—再賦格過程。即使廢棄物被精煉為貴金屬，仍須經過品質經濟的試煉才能重返市場，這也是當前廢棄物地理學者尚未關注到的面向。因為臺灣大多數業者未獲得國際貴金屬認證標準，又或因產出產品為混合金屬錠，故多需與國外貴金屬精煉公司合作，才能符合市場對於貴金屬純度的要求。當業者與國外貴金屬精煉公司進行交易時，仍仰賴成分分析，協商買賣價格。不過貴金屬原料市場早已被整併為全球市場，所以貴金屬的實際交易價格是在地的成分分析與全球貴金屬公告價格之間的接合。因此成分分析只能協助回收業者掌握在地電子廢棄物品質—價值的關係。當回收業者要與上游業者、下游買家進行交易時，還必須要參照全球貴金屬公告價格，才完整建立起品質—價值—價格的轉換關係。

本文並不認為只要有回收技術，回收市場就一定會形成。一是回收市場是因為《廢棄物清理法》的規範，迫使業者必須將環境外部成本內部化，也檢驗業者的回收技術是否不會產生更多環境成本。二是事業電子廢棄物的回收市場是與貴金屬原料市場相互連結，回收市場的產品仍需符合貴金屬原料市場的品質標準，且受到原料的價格設定，影響其利潤。像是近年國內學者提倡應積極從電子廢棄物中回收稀土金屬，但稀土金屬的物質特性使得業者難以從電子廢棄物精煉出來，再加上回收技術成本高與稀土金屬的價格波動大，造成品質—價值—價格的關係難以穩定，難以市場化稀土元素。此外，循環經濟的經濟實作會因為不同廢棄物的產品特徵、計算工具的設計等因素，建構出不同的社會技術裝配，呈現不同的市場化機制，例如：由專家提出的資源回收基金制度，設計一套徵收與補貼費率的計算公式，形塑一般電子廢棄物的回收產業過程，與 Donald MacKenzie 對於金融市場的建構有較為相似。在貴金屬回收市場的運作中仰賴的專業並非經濟理論，而是具有化學技術相關專業來掌握事業電

子廢棄物的質與量，這與 Bruno Latour 在《*Science in Action*》中提及愛迪生發明電燈炮的過程較為相似，回收實作的設計也會考量其經濟效益。因此市場並非總是從經濟模型直接展演出來，有時仰賴獨特技術與知識特質的品質機制發展而成（陳宗文 2014）。至於回收業者透過金融投資專業進行價值與價格的轉換與避險，反映未來貴金屬浮動價格對於地方回收產業獲利之影響，亦呼應 MacKenzie 提及經濟公式對於經濟實踐之影響。

循環經濟是一理想的經濟狀態，而支持循環經濟的基礎是以生態現代化與技術中心主義的政治運作，但在實際運作上仍存有落差，循環經濟無法完全框住外溢現象（Gregson et al. 2015）。相較於近年國內曾發生多次廢爐渣棄置等議題，電子廢棄物的環境爭議較不頻繁，但這並不意味電子廢棄物的是反政治經濟（the anti-political economy）的狀態（Barry 2002）。2013年10月29日環保團體舉辦記者會，憂心環保署將修改《有害事業廢棄物認定標準》，會開放國外混合五金廢料進口至臺灣，將危害國內環境，並指出要進口多少台電腦才能夠提煉一條黃金，而回收過程使用的衍生廢棄物又該如何處理？等問題，環保團體的質疑正是挑戰循環經濟未能框住的外溢現象，以及廢棄物跨地域流通管制的問題（Kama 2015）。國內電子廢棄物的回收市場處於爭議沸騰與冷卻共存的狀態，環保團體不定期地對於循環經濟的運作與其標準提出異議（Callon 1998a; Barry 2002; Ouma 2015）。

本研究的貢獻在於開拓國內廢棄物研究與科技與社會研究領域之間的對話，透過檢視臺灣事業電子廢棄物的回收實作充實 Lepawsky and Mather (2011) 全球回收網絡的概念，具體指出制度設計與不同資源化技術形塑出循環經濟的多種迴路。透過計算工具評估產品的品質與價值不只發生在回收之前（Gregson, Watkins, and Calestani 2013），也發生在回收實作之後，持續建立品質—價值—價格之間的關係。然而，本研究因田野限制未能進一步深入探究電子廢棄物回收網絡在他國的運作過程，當電子廢棄物經過初步處理或已成為產品，並在香港、日本、非洲與歐洲等多地流通時，其在品質—價值的轉換過程又呈現什麼樣的地理差異？另外，全球貴金屬品質標準與交易價格如何被建構，其又如何與在地回收實作產生關聯？這些問題仍待後續研究透過深入的田野調查進一步探討。

註　解

1. Çalışkan and Callon (2010) 指出市場化研究可探討的五個要素，分別為平定物品、市場化代理人、市場遭逢、價格設定、市場設計與維持。平定物品是指行動者透過哪些計算工具，才具有評價能力，賦予物品價值，使得物品能夠被轉換為財產。市場化代理人探討不同行動者相互競爭價值賦予的過程，如何透過物質、論述或制度於市場中佔有一席之地。市場遭逢是分析行動者如何透過儀器架構來安排物品的流通，使行動者與物品相互遭遇。價格設定則是指行動者將價值轉換為價格的過程，其中行動者可透過計算方式連結更多價格，擴大影響力。最後，市場設計與維持是檢視概念提出、設計到落實的系列過程。
2. MacKenzie (2007) 對於展演性的探討是從 J. L. Austin 的語言行動理論（speech-act theory）出發，認為有些語言本身就是行動。不過語言行動理論還是在語言系統裡進行分析，因此 MacKenzie 將展演性界定為概念與實作，即經濟概念、理論與模型如何描述經濟現象，並進一步影響經濟活動的實作過程。其中又可分為巴尼斯展演（Barnesian performativity）與反展演（counterperformativity），

前者是指經濟學的實際運用讓經濟活動更像經濟描述的過程；後者則是指經濟學的實際運用讓經濟活動更不像經濟描述的過程。

3. 在國內並不是所有的一般電子廢棄物都有被列入公告應回收項目，像是電話機、抽油煙機、遊戲機等一般電子廢棄物，係屬於公告應回收項目之外的一般電子廢棄物，因處理成本較高、組成複雜與貴金屬含量較少，而且無法配合既有的回收基金公式，所以屬於無補貼的一般電子廢棄物，也造成這些電子廢棄物處於市場之外的物品。
4. 產業共生一詞來自工業生態學，係指經濟活動應該從製造廢棄物的線性模式，轉向資源回收的循環模式，一業者生產的廢棄物與廢熱可成為其他業者的原料與能源，形成類似生態系的共生狀態。其中又以丹麥可倫堡工業區為經典案例，工業區內的業者因其產業特性互補，且有地理鄰近的聚集經濟效益，形成回收網絡 (Chertow 2000)。

謝辭

本研究得以完成有賴於受訪者的協助，並感謝周素卿老師的指導與鼓勵、夏豪廷在回收技術上的提點，以及洪廣冀老師、蕭玉欣、PE2 Writing Group 與兩位匿名審查人對於文章內容的修正建議。本文為作者之國立臺灣大學地理環境資源學系碩士論文部分研究成果。

引用文獻

黃大祐 [Huang, D. Y.] 2013。垃圾的倫理化？臺北都會區垃圾治理與資源回收體制的轉型 [*Le se de lun li hua? Tai bei du hui qu le se zhi li yu zi yuan hui shou ti zhi de zhuan xing*]。國立臺灣大學工學院建築與城鄉研究所碩士論文 [Master thesis, Institute of Building and Planning, National Taiwan University, Taipei]。

陳宗文 [Chen, T. W.] 2014。展演健康、建構市場：法國肺炎鏈球菌疫苗市場的展演性分析 [*Jan yan jian kang,jian gou shi chang: Fa guo fei yan lian qiu jun yi miao shi chang de zhan yan xing fen xi; Performing Health, Constructing Market: A Performativity Analysis of Pneumococcal Vaccine Markets in France*]。臺灣社會研究季刊 [*Tai wan she hui yan jiu ji kan; Taiwan: A Radical Quarterly in Social Studies*] 95: 1-55。

廖昱凱 [Liao, Y. K.] 2012。網絡化與生態化工業園區：南區環保科技園區的產業共生 [*Wang luo hua yu sheng tai hua gong ye yuan qu: Nan qu huan bao ke ji yuan qu de chan ye gong sheng*; Networking and Ecologializing Industrial Park: The Industrial Symbiosis of the Benzhou Environmental Science and Technology Park in Taiwan]。國立臺灣大學地理環境資源學系學士論文 [Bachelor Thesis, Department of Geography, National Taiwan University, Taipei]。

環保署 [Environmental Protection Administration] 2014。事業廢棄物申報及管理系統 [*Shi ye fei qi wu shen bao ji guan li xi tong*]。<http://waste.epa.gov.tw/prog/IndexFrame.asp?Func=4> (擷取日期: 2016.05.16)。

- Barry, A. 2002. The anti-political economy. *Economy and Society* 31 (2): 268-84.
- _____. 2013. *Material politics: Disputes along the pipeline*. New York, United States: John Wiley and Sons Inc.
- Bulkeley, H., and M. Watson. 2007. Modes of governing municipal waste. *Environment and Planning A* 39: 2733-53, doi: 10.1068/a38269.
- Bulkeley, H., K. Askins, and R. Hudson. 2009. Waste interfaces: Biodegradable waste, municipal policy and everyday practice. *The Geographical Journal* 175 (4): 251-60.
- Çalışkan, K. 2010. *Market threads: How cotton farmers and traders create a global commodity*. New Jersey, United States: Princeton University Press.
- Çalışkan, K., and M. Callon. 2009. Economization, part1: Shifting attention from the economy towards processes of economization. *Economy and Society* 38 (3): 369-98.
- _____. 2010. Economization, part 2: A research programme for the study of markets. *Economy and Society* 39 (1): 1-32.
- Callon, M. 1998a. An essay on framing and overflowing: Economic externalities revisited y sociology. In *The Laws of the Markets*, ed. M. Callon, 244-69. Oxford: Blackwell.
- _____. ed. 1998b. *The laws of the markets*. Oxford: Blackwell.
- _____. 2007. What does it mean to say that economics is performative? In *How economists make markets: The performativity of economics*, eds. D. Mackenzie, F. Muniesa, and L. Siu, 311-57. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Callon, M., C. Méadel, and V. Rabeharisoa. 2002. The economy of qualities. *Economy and Society* 31 (2) 194-217.
- Chertow, M. R. 2000. Industrial symbiosis: Literature and taxonomy. *Annual Review of Energy and the Environment* 25: 313-37.
- Cobbing, M. 2008. *Toxic tech: Not in our backyard: Uncovering the hidden flows of e-waste*. Amsterdam: Greenpeace.
- Crang, M., A. Hughes, N. Gregson, L. Norris, and F. Ahamed. 2012. Rethinking governance and value in commodity chains through global recycling networks. *Transactions of the institution of British geographers* 38: 12-24, doi: 10.1111/j.1475-5661.2012.00515.x.
- Deleuze, G. 1988. *Spinoza: Practical philosophy*. Monroe, OR, United States: City Lights Books.
- Deleuze, G., and F. Guattari. 1987. *A thousand plateaus: Capitalism and Schizophrenia*. Minneapolis, United States: University of Minnesota Press.
- Ellen MacArthur Foundation. 2012. *Towards the circular economy: Economic and business rationale for an accelerated transition*. United Kingdom: Ellen MacArthur Foundation Press.
- Furniss, J. 2015. Alternative framings of transnational waste flows: Reflections based on the Egypt-China PET plastic trade. *Area* 47 (1): 24-30, doi: 10.1111/area.12160.
- Gregson, N., and M. Crang. 2010. Materiality and waste: Inorganic vitality in a networked world.

- Environmental and Planning A* 42 (5): 1026-32, doi: 10.1068/a43176.
- Gregson, N., M. Crang, F. Ahmed, and R. Ferdous. 2010. Following things of rubbish value: End-of-life ships, “chock-chocky” furniture and the Bangladeshi middle class consumer. *Geoforum* 41: 846-54, doi: 10.1016/j.geoforum.2010.05.007.
- Gregson, N., M. Crang, S. Fuller, and H. Holmes. 2015. Interrogating the circular economy: The moral economy of resource recovery in the EU. *Economy and Society* 44 (2): 218-43, doi: 10.1080/03085147.2015.1013353.
- Gregson, N., H. Watkins, and M. Calestani. 2013. Political markets: Recycling, economization and marketization. *Economy and Society* 42 (1): 1-25, doi: 10.1080/03085147.2012.661625.
- Kama, K. 2015. Circling the economy: Resource-making and marketization in EU electronic waste policy. *Area* 47 (1): 16-23, doi: 10.1111/area.12143.
- Kirsch, S. 2012. Cutlural geography I: Materialist turns. *Progress in Human Geography* 37 (3): 433-41, doi: 10.1177/0309132512459479.
- Latour, B. 1988. *Science in action: How to follow scientists and engineers through society*. Cambridge, Mass, United States: Harvard University Press.
- Lepawsky, J. and C. Mather. 2011. From beginnings and endings to boundaries and edges: Rthinking circulation and exchange through electronic waste. *Area* 43 (3): 242-9, doi: 10.1111/j.1475-4762.2011.01018.x.
- Lepawsky, J. and M. Billah. 2011. Making chains that (un) make things: Waste-value relations and the Bangladeshi rubbish electronics industry. *Geografiska Annaler Series B, Human Geography* 93 (2): 121-39, doi: 10.1111/j.1468-0467.2011.00365.x.
- MacKenzie, D. 2007. Is economics performative? Option Theory and the construction of derivatives market. In *How economists make markets: The performativity of economics*, eds. D. Mackenzie, F. Muniesa and L. Siu 54-86. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- _____. 2009. *Material markets: How economic agents are constructed*. Oxford, United Kingdom: Oxford University Press.
- Mitchell, T. 2002. *Rule of experts: Egypt, techno-politics, modernity*. Berkerley, United States: University of California Press.
- Muniesa, F., Y. Millo, and M. Callon. 2007. An introduction to market devices. In *Market devices*, eds. M. Callon, Y. Millo, and F. Muniesa, 1-12. Chichester, United Kingdom: John Wiley and Sons Ltd.
- Nunns, C. 2013. Short on space, Taiwan embraces a boom in recycling. *The New York Times* 29 Nouember. http://www.nytimes.com/2013/11/30/business/international/short-on-space-taiwan-embraces-a-boom-in-recycling.html?_r=0 (last accessed 5 December 2013)
- Ouma, S. 2015. *Assembling export markets: The making and unmaking of global food connections in West Africa*. New York, United States: John Wiley and Sons Inc.
- Schluep, M., C. Hagelueken, R. Kuehr, F. Maurer, C. Meskers, E. Mueller, and F. Wang. 2009. *Recycling –*

- From E-waste to resource.* United States: United Nations Environment Programme Pressed.
- Tolia-Kelly, D. P. 2012. The geographies of cultural geography III: Material geographies, vibrant matters and risking surface geographies. *Progress in Human Geography* 37 (1): 153-60, doi: 10.1177/0309132512439154.

2016年5月27日 收稿

2016年10月21日 修正

2017年3月6日 接受

附 錄

訪談列表

受訪者類型	代號	受訪者身分	訪談日期
研究機構	R1	臺北科技大學教授	2014.06.04
廠商	F1	貴金屬廢料與邊料回收處理業 甲級處理機構董事長	2014.04.16
廠商	F2	貴金屬廢料與邊料回收處理業 甲級處理機構財務副理	2014.04.24
廠商	F3	貴金屬廢料與邊料回收處理業甲級處理機構業務祕書	2014.05.15
廠商	F4	貴金屬廢料與邊料回收處理業 業務部經理	2014.05.28