

出國報告（出國類別：實習）

研習生質物混燒技術及煤灰再利用

服務機關：台灣電力公司綜合研究所

姓名職稱：曾志富化學專員

派赴國家：日本

出國期間：104年11月3～11月7日

報告日期：105年1月

QP-08-00 F04

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：研習生質物混燒技術及煤灰再利用

頁數 20 含附件：是 否

出國計畫主辦機關：台電公司 聯絡人曾志富 電話：(02)80782336

出國人員姓名：曾志富

服務機關：台灣電力公司 單位：綜合研究所

職稱：化學專員 電話：(02)80782336

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 其他

出國期間：104 年 11 月 3 日～11 月 7 日 出國地區：日本

報告日期：105 年 1 月 4 日

分類號/目

關鍵詞：生質燃料、混燒、煤灰

內容摘要：(二百至三百字)

本次參訪的地區為日本電力中央研究所(CRIEPI)橫須賀所區及我孫子所區，參訪過程包含：生質能混燒技術經驗交流、煤灰再利用經驗交流、參觀測試燃燒爐及生質能碳化機等設備、參觀橫須賀所區及我孫子所區。生質能混燒技術方面，互相分享現階段研究近況及遭遇瓶頸，從中學習到日本推動生質能混燒的策略，也了解到生質燃料

研磨困難性、儲放安全性、料源取得問題、碳化後的優勢等。煤灰再利用方面，了解到目前日本煤灰再利用的處境，如何突破環保法規，發展煤灰大量去化措施。對於生質混燒灰的去化，日本也將效仿歐洲做法，進行 JIS 規範修改。

本文電子檔已傳至出國報告資訊網 (<http://report.nat.gov.tw>)

摘要

本次參訪的地區為日本電力中央研究所(CRIEPI)橫須賀所區及我孫子所區，參訪過程包含:生質能混燒技術經驗交流、煤灰再利用經驗交流、參觀測試燃燒爐及生質能碳化機等設備、參觀橫須賀所區及我孫子所區。生質能混燒技術方面，互相分享現階段研究近況及遭遇瓶頸，從中學習到日本推動生質能混燒的策略，也了解到生質燃料研磨困難性、儲放安全性、料源取得問題、碳化後的優勢等。煤灰再利用方面，了解到目前日本煤灰再利用的處境，如何突破環保法規，發展煤灰大量去化措施。對於生質混燒灰的去化，日本也將效仿歐洲做法，進行 JIS 規範修改。

目次

摘要.....	4
一、出國目的.....	6
二、出國行程.....	7
三、行程介紹.....	8
3-1 生質物混燒技術.....	9
3-2 日本煤灰再利用概況.....	13
四、心得.....	19
五、建議事項.....	20

一、出國目的

為因應節能減碳與降低二氧化碳排放，本公司將規劃於燃煤電廠進行木質顆粒燃料與煤混燒，由於木質生質燃料與煤炭熱值與化學成分不盡相同，研磨性也有差異，為吸取國外燃燒生質料技術及經驗，因此前往日本電力中央研究所(CRIEPI)研習生質能混燒技術，現場參觀實驗型燃燒爐，了解生質燃料燃燒特性、運轉條件、生質料研磨技術及生質燃料前處理(焙燒)等，另外也會針對生質混燒所產生之煤灰性質進行研討，可作為本公司生質燃料加入燃煤機組運轉之參考。此外，也參觀 CRIEPI 環境科學實驗室，了解日本對於煤灰再利用推廣方式、經營政策措施以及目前對於石膏、煤灰研究概況，日本對於電廠副產物處理方式，可作為本公司煤灰去化策略之參考。

二、出國行程

104年11月3日~11月3日	往程(台北—東京)
104年11月4日~11月5日	觀摩生質能混燒技術 (參訪電力中央研究所(CRIEPI) 橫須賀所 區)
104年11月6日~11月6日	觀摩煤灰再利用實驗室 (參訪電力中央研究所(CRIEPI) 我孫子所 區)
104年11月7日~11月7日	返程(東京---台北)

三、行程介紹

研習生質物混燒技術及煤灰再利用

本次參訪的地區為日本電力中央研究所(CRIEPI)橫須賀所區及我孫子所區，綜合研究所與 CRIEPI 每年都會舉辦一次技術研討會，2015 年為第 27 屆 CRIEPI-TPC 技術研討會，其中一項討論主題為生質能混燒技術，從會議中得知 CRIEPI 在生質能混燒技術領域中，近幾年持續不斷研究，具有不錯的研發能量，且有建置相關測試設備。所以希望透過此次出國研習，互相交流燃燒生質料技術及經驗，現場參觀實驗型燃燒爐，了解生質燃料燃燒特性、運轉條件、生質料研磨技術及生質燃料前處理(焙燒)等。另外，也順道拜訪 CRIEPI 我孫子所區，參觀 CRIEPI 環境科學實驗室，了解日本對於煤灰再利用推廣方式、經營政策措施以及目前對於石膏、煤灰研究概況。

CRIEPI 的總部落在東京，主要有 4 個所區及 2 個測試場所，此次所參觀的兩個所區及研究領域如下，橫須賀所區共分 3 個部門，生質燃料混燒技術屬於 Energy Engineering Research Laboratory，我孫子所區共分 2 個部門，煤灰再利用研究屬於 Environmental Science Research Laboratory:

1. Yokosuka Area(橫須賀所區)

- Electric Power Engineering Research Laboratory
- Energy Engineering Research Laboratory
- Materials Science Research Laboratory

2. Abiko Area(我孫子所區)

- Civil Engineering Research Laboratory
- Environmental Science Research Laboratory

CRIEPI 研究人員共 704 人，化學、生態、環境研究人員約 147 人，約佔全體研究人員 20.9%(表一)。

表一 CRIEPI 研究領域人數

Field of Research	No. of Persons
Electrical Engineering	111

Civil Engineering & Architecture	114
Mechanical Engineering	97
Chemistry	50
Biology	41
Nuclear	55
Environment	51
Information & Communication	35
Socio-Economics	43
Research Support & Management	107
Total No. of Persons	704

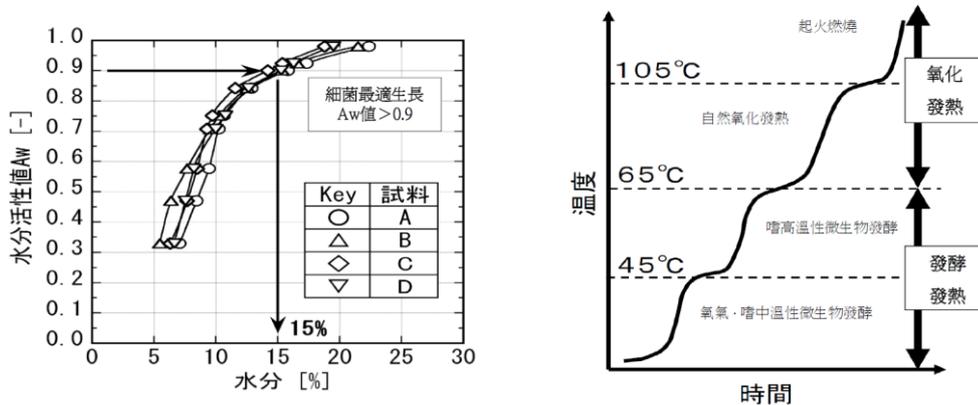
3-1 生質物混燒技術

1. 在日本發展生質燃料混燒首要碰到的困難是什麼？

燃煤機組混燒生質燃料通常會遇到的問題有：料源、運輸成本、儲存安全、燃煤共磨、進料、管路腐蝕、爐管結渣、灰再利用等問題。CRIEPI 研究人員認為，前段的部分如：料源、運輸成本、儲存安全、燃煤共磨等，是他們覺得目前最需克服的議題。

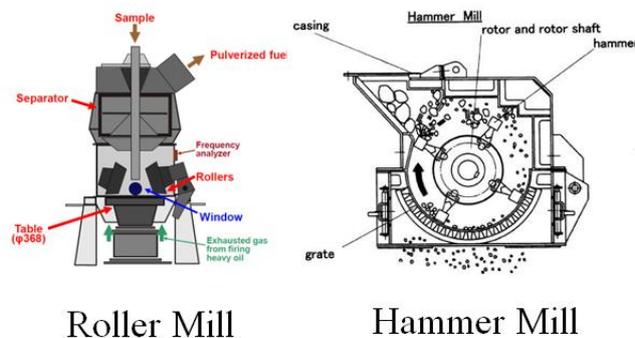
- A. 料源：生質燃料的選擇，與其產量息息相關，目前日本混燒生質燃料皆選擇木質燃料，主要有：Wood Chips、Wood Pellets、Torrefied Pellets。
- B. 運輸成本：使用生質燃料應優先考慮本土境內的來源，運輸成本往往是生質燃料的選擇最需要考量的項目之一，日本燃煤電廠有使用混燒木質燃料的地區大多使用當地木質料源，只有少部分地區引入印尼、亞來西亞、加拿大等地區之木質燃料。
- C. 儲存安全：儲存木質顆粒燃料需要嚴格的安全裝置，在儲存倉通入二氧化碳來降低木質燃料自燃。如圖一所示，當含水率達到 15%時，水分活性值 (A_w) 亦可達到 0.9 以上，如此已達到微生物生存的最適環境。如圖二所示，隨著發酵反應、氧化發熱反應的發生，將任由其溫度逐漸提高，終將達到其燃點而起火燃燒。考量安全性的問題，日本的木質顆粒燃料儲存規劃是以三天的

需求量為規畫依據，碳化(焙燒)後木質顆粒燃料可避免此問題發生。



圖一 水分活性 A_w 與水分之關係 圖二 微生物在潮濕環境下之反應

D. 燃煤共磨: 考量花費最低的設備成本來執行生質燃料混燒，共磨混燒是最佳選擇，只需額外添購生質料儲倉及燃料輸送帶。日本所有燃煤混燒木質燃料機組皆採用共磨混燒，但是受限於磨煤機的形式，並不適合研磨高纖維素之木質材料，混燒比例不超過 5%，日本電廠實際混燒比例亦僅 1~3%。CRIEPI 研究人員提及，若使用專門磨煤的 Roller Mill 研磨木質燃料，當比例過高時，不但需要更高的電流，而且會產生壓降，易導致機台當機。若額外加裝專門研磨生質燃料的 Hammer Mill，混燒比例可提升至 10~15%(圖三)。若使用氣化爐間接混燒，混燒比例可超過 20%。



圖三 Roller Mill 與 Hammer Mill 之結構比較

- E. 進料:混燒比例若小於 5%，則不會有太大問題。
- F. 管路腐蝕: 混燒比例若小於 5%，則不會有太大問題。
- G. 爐管結渣: 混燒比例若小於 5%，則不會有太大問題。
- H. 灰再利用:日本煤灰多再利用於水泥生料，混燒飛灰利用於水泥生料上，並無規範限制。

2. 日本目前燃煤電廠混燒生質燃料推廣形況?

日本燃煤電廠共 38 座，已有混燒木質燃料的電廠有 11 座，約有 8 座電廠將計畫進行混燒，但是因為採共磨混燒，受限於磨煤機問題，混燒比例約 1~3%。目前主要使用生質燃料為: Wood Chips、Wood Pellets，而 Torrefied Pellets 則還在評估當中，並無實際投入電廠中燃燒。目前共 19 座燃煤電廠已經或預計執行生質燃料混燒，其機組包含:亞臨界、超臨界、超超臨界。

3. 目前 CRIEPI 研發重點及混燒比例最高到多少?

CRIEPI 目前有兩台燃燒爐及一台生質料碳化機:

A.Coal Combustion Test Facilities(100kg/h)

B.Coal Combustion Test Facilities(300kg/h)

C.Test Facility for The Carbonization of Biomass

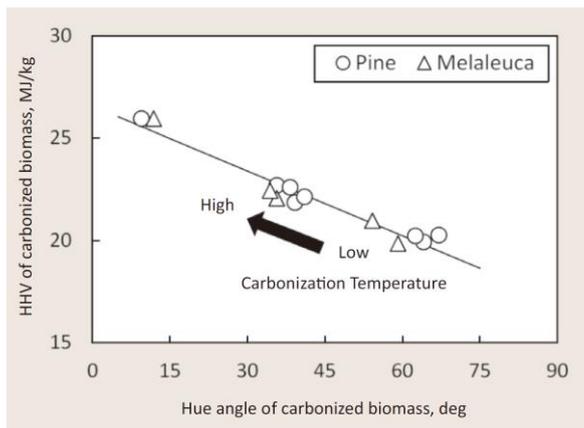
兩台燃燒爐，其中一台進料量為 100kg/h，一個燃燒器，此為水平式燃燒爐，另外一台進料量為 300kg/h，三個燃燒器，可分別同時進三種不同燃料，此為垂直式燃燒爐。目前試燒混燒比例達 30%，且重點放在焙燒(碳化)生質燃料研究上。

4. 焙燒(碳化)生質燃料的優勢為何?

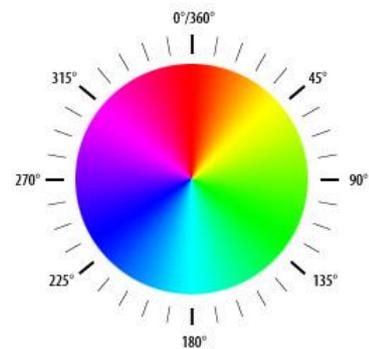
焙燒是一種利用高溫將固定碳及揮發性物質分離的熱處理方式，日本目前積極推展焙燒生質燃料的使用，預計將在印尼、加拿大設置生質料碳化機，直接將當地木質材料先行加工(碳化、造粒)處理，再海運回日本。常磐共同火力-勿來發電廠亦將計畫混燒下水道汙泥碳化物。焙燒(碳化)生質燃料的優勢可分為下列幾點:

- A. 提升能源密度及產品密度，有效降低運輸、儲存之成本。
 - B. 研磨性(HGI)提高，有利於與煤炭共磨(co-milling)及混燒(co-firing)。
 - C. 有效去除水分，具疏水性(hydrophobic)，不易腐敗，適合長期儲存。
 - D. 作為替代燃料之燃燒或氣化效率較高，產煙(smoke)率較低。
5. 目前 CRIEPI 生質料碳化機研究重點？

CRIEPI 研究一套能快速知道生質料碳化程度的測量方式，利用色差計來測量碳化生質料的 Hue angle(圖五)，再利用線性模式可快速算出其熱值，熱值與固定碳及揮發物比例正相關，進而算出生質料碳化程度(圖四)。



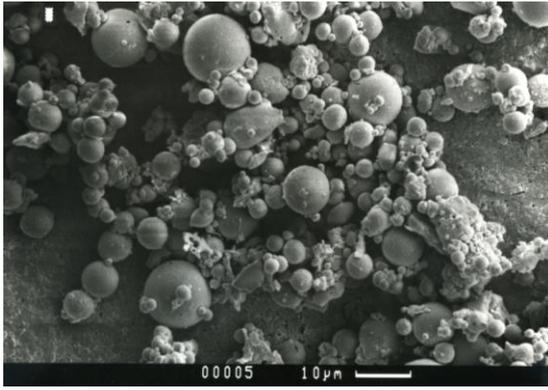
圖四 生質料 Hue angle 與熱值之關係



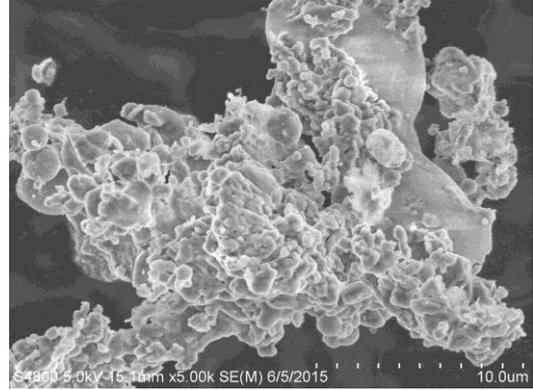
圖五 Hue angle 顏色比對

6. 燃燒條件與煤灰表面結構關係？

目前我們正以小型燃燒爐進行生質燃料試燒研究，但是試燒過程發現所燃燒出來的飛灰表面大多是團聚結構，與電廠實際產生的飛灰大多是球狀結構不太一樣(圖六、圖七)。經過與 CRIEPI 研究人員討論後一致認為是溫度太低所造成。一般電廠鍋爐燃燒溫度最高溫可達 1400~1500 度左右，若溫度低於煤灰本身的灰熔點，則不易產生非晶球狀結構。飛灰表面球狀結構與混凝土活性指數及工作性有很大關聯。



圖六 實際電廠飛灰 SEM

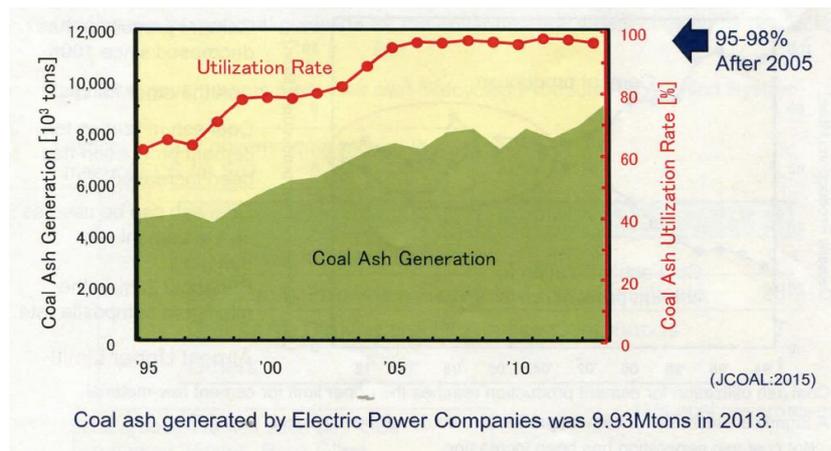


圖七 測試燃燒爐飛灰 SEM

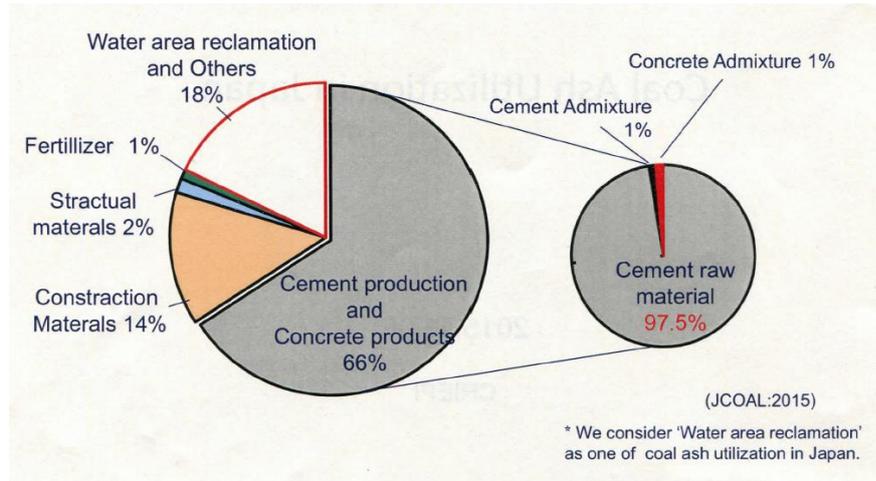
3-2 日本煤灰再利用概況

1. 日本目前煤灰產量及再利用量情況？

截至 2013 止，日本煤灰產量約 993 萬噸，再利用率自 2005 以來，一直維持在 95~98%(圖八)。煤灰再利用路徑有 66%用於水泥原料及混凝土產品，其中有 97.5%用於水泥生料、1%用於水泥熟料、1%用於混凝土摻料。有 18%用於海事工程(如:填海造陸)及其他，有 14%用於工程建設(如:道路基底、回填材料)，有 2%用於結構材料，有 1%用於肥料(圖九)。底灰則大多再用於道路基底、回填材料上。



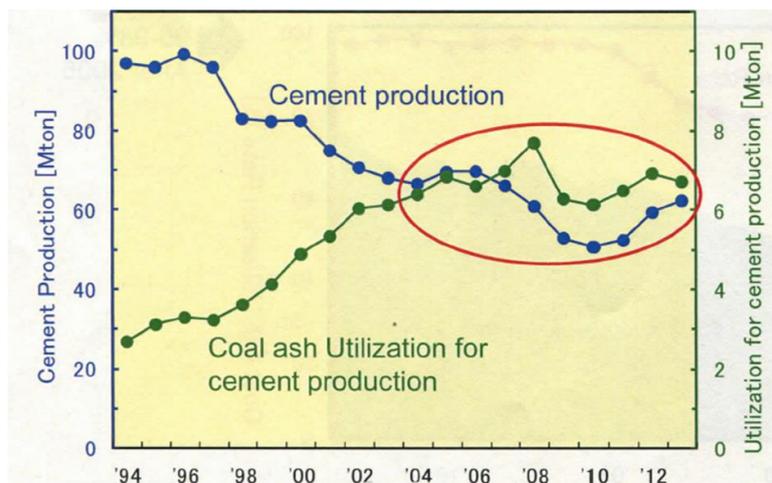
圖八 2013 日本煤灰產量



圖九 日本煤灰再利用路徑

2. 日本目前煤灰用於水泥產業情況？

由於煤灰大部分都利用於水泥相關產業，主要用於水泥摻料或是取代水泥部分，所以煤灰再利用與水泥產業有相當大的關係。自1996年以來，日本水泥產業使用量不斷下滑，但是煤灰產量卻年年增加。若以煤灰使用於水泥原料方面來估算，水泥生料最高可添加約10%煤灰，在這近幾年時間，煤灰用於水泥原料早已供過於求。所以如何尋求煤灰其他再利用管道，大量去化煤灰是目前日本迫切解決問題。



圖十 水泥產量與煤灰再利用趨勢

3. 日本目前煤灰再利用所遭遇到的問題？

日本目前推動煤灰再利用最困難的問題就是環保問題，重金屬溶出對環境破壞一直是環保團體質疑之處。與煤灰有關的環保法規有兩個(圖十一)：

A.JLT-46:EQS for Soil(煤灰再利用以土壤作標準)

B.JLT-13:Landfill Criteria for Solid Waste(煤灰掩埋以固體廢棄物作標準)

JLT-46 及 JLT-13 的重金屬溶出試驗與台灣 TCLP 或土壤標準有很大的差別，不管是溶劑的選擇(JLT-46 及 JLT-13 使用鹽酸，TCLP 使用醋酸，台灣土汙標準使用王水)、pH 值、轉速、反應時間等，所以法規溶出數值不能互相比較。但是以日本 JLT-46 標準來說，Cr(VI)、As、Se、F、B 等污染源，煤灰皆未達標準。在與 CRIEPI 研究人員討論過程中，有提到日本煤灰全量重金屬中的 As 約為 160ppm，約高於台電煤灰的 4 倍以上。為什麼台電的煤灰 As 含量較低，根據 CRIEPI 研究人員解釋，主要是電廠鍋爐設計不同所致，日本靜電集塵器溫度約 100 度，略低於台電靜電集塵器溫度(150~200 度)，故使 As 容易隨飛灰被靜電集塵器抓取下來。

			EQS for Soil	Landfill Criteria for Solid Waste	
				Sludge	Dust, Cinder
Heavy Metal Substances	Cd	Cadmium	≦ 0.01	≦ 0.3	≦ 0.3
	Pb	Lead	≦ 0.01	≦ 0.3	≦ 0.3
	Cr(VI)	Hexavalent Chromium	≦ 0.05	≦ 1.5	≦ 1.5
	As	Arsenic	≦ 0.01	≦ 0.3	≦ 0.3
	T-Hg	Total Mercury	≦ 0.0005	≦ 0.005	≦ 0.005
	Alk-Hg	Alkyl Mercury	N.D.	N.D.	N.D.
	Se	Selenium	≦ 0.01	≦ 0.3	≦ 0.3
	F	Fluorine	≦ 0.8	-	-
	B	Boron	≦ 1	-	-
		Total Cyanide	N.D.	≦ 1	-
Volatile Organic Compounds		Dichloromethane	≦ 0.02	≦ 0.2	-
		Carbon Tetrachloride	≦ 0.002	≦ 0.02	-
		1,2-Dichloroethane	≦ 0.004	≦ 0.04	-
		1,1-Dichloroethylene	≦ 0.02	≦ 0.2	-
		cis-1,2-Dichloroethylene	≦ 0.04	≦ 0.4	-
		1,1,1-Trichloroethane	≦ 1	≦ 3	-
		1,1,2-Trichloroethane	≦ 0.006	≦ 0.06	-
		Trichloroethylene	≦ 0.03	≦ 0.3	-
		Tetrachloroethylene	≦ 0.01	≦ 0.1	-
		1,3-Dichloropropene	≦ 0.002	≦ 0.02	-
		Benzene	≦ 0.01	≦ 0.1	-
Agrichemical		Thiuram	≦ 0.006	≦ 0.06	-
		Simazine	≦ 0.003	≦ 0.03	-
		Thiobencarb	≦ 0.02	≦ 0.2	-
		Organic Phosphorus	N.D.	≦ 1	-
		PCBs	N.D.	≦ 0.003	≦ 0.003
	Cu	Copper	≦ 125	-	-

圖十一 日本重金屬溶出環保標準

4. 日本可再利用物與廢棄物如何界定？

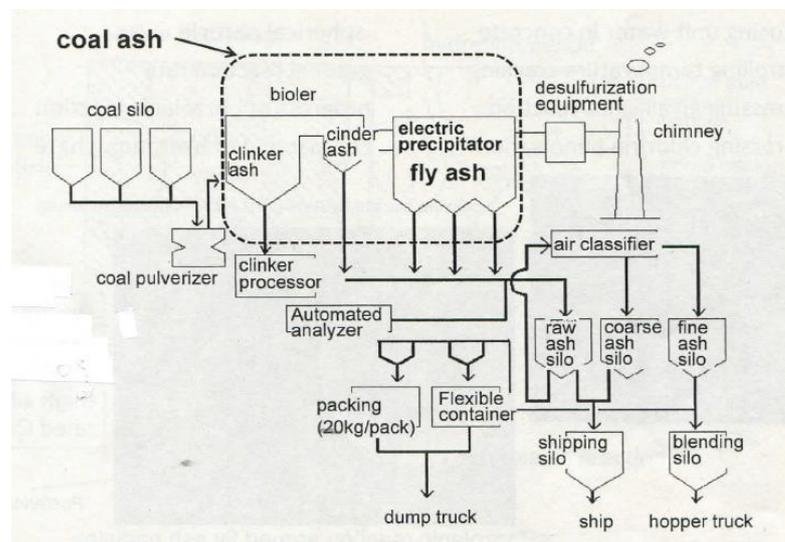
若符合 JLT-46 試驗中所有汙染物標準規定之材料則被認定為可再利用物(Available as Soil)。不符合之材料需再進行 JLT-13 試驗，若符合所有汙染物標準規定之材料則被認定為管控型廢棄物(Leachate Control Type)，不符合其中一項者，則被列為隔離型廢棄物(Isolated Type)(圖十二)。目前日本煤灰被認定為管控型廢棄物，對於煤灰再利用無疑是一道關卡。



圖十二 可再利用物與廢棄物之界定

5. 日本燃煤電廠煤灰品質如何管理？

日本燃煤火力電廠共 38 座，約有 5~6 座採煤灰分級裝置，於 raw ash silo 設置品質管理裝置，包含：成分計、未燃碳計及粒度計。利用 air classifier 進行粒徑分級，較細飛灰進入 blending silo，較粗飛灰進入 shipping silo。有價灰(blending silo)使用於混凝土摻料或工程材料，廢棄物(shipping silo)船運至水泥廠當作水泥生料或出口至韓國水泥公司，最糟的情況則是投入灰塘(圖十三)。



圖十三 煤灰分級裝置

6. 混燒飛灰可否使用於日本混凝土材料中？

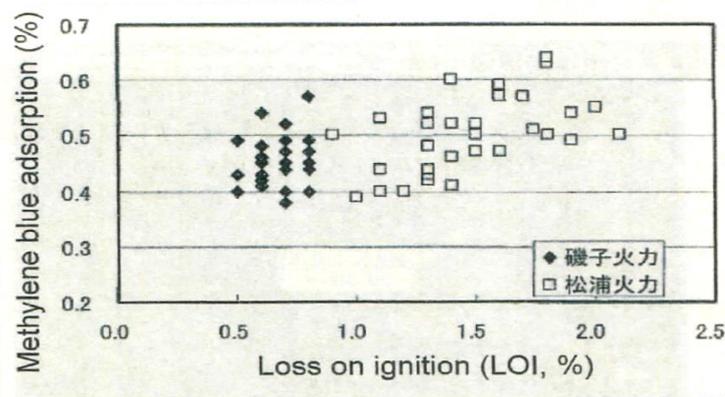
根據 JIS A 6201 規範中並無說明混燒飛灰不可使用，飛灰混凝土規範大致分為四類，其中第二類為飛灰較普遍種類。與 CNS3036 差別在於：1. 成分僅限制 SiO_2 的含量，而 CNS3036 則限制 $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ 的總量。2. 細度要求上，JIS A 6201 多增加比表面積的選項(表二)。根據 CRIEPI 研究人員的說法，未來日本也要效仿歐洲，針對生質混燒灰進行 JIS 改版，將生質混燒灰加以管制分類。

表二 JIS 飛灰使用於混凝土規範

Fly ash type		Type I	Type II	Type III	Type IV
Item					
Silicon dioxide (%)		≥45.0			
Moisture content (%)		≤1.0			
Ignition loss ¹⁾ (%)		≤3.0	≤5.0	≤8.0	≤5.0
Density (g/cm ³)		≥1.95			
Fineness ²⁾	Part retained on a 45 μm sieve (mesh sieve method ³⁾ , %)	≤10	≤40	≤40	≤70
	Specific surface area (Blaine method, cm ² /g)	≥5,000	≥2,500	≥2,500	≥1,500
Flow value ratio (%)		≥105	≥95	≥85	≥75
Activity index (%)	28 days	≥90	≥80	≥80	≥60
	91 days	≥100	≥90	≥90	≥70

Notes: 1) The ignition loss values specified for the unburned carbon content measured in accordance with JIS M 8819 or JIS R 1603 may be adopted instead of the ignition loss measurements.
 2) The fineness should be measured by the mesh sieve method or Blaine method.
 3) When measuring the fineness by the mesh sieve method, the specific surface test results by the Blaine method should be indicated as a reference.

7. 日本燃煤電廠除了採煤灰分級管理外，還有什麼其他管理制度？
 在某些燃煤電廠，除了遵行 JIS 規範外，有額外執行內部管理，包括：MB 吸附量、容積密度、灰顏色等規範。MB 吸附量即利用甲基藍(Methylene Blue)測量煤灰的未燃碳含量，未燃碳含量與混凝土使用化學藥劑量成正相關。與 LOI 不同地方在於 MB 吸附量是測量材料表面上含碳量，LOI 則是測量材料總含碳量。如圖十四所示，MB 吸附量與 LOI 沒有絕對關係，相較來說，MB 吸附量更能反應出與化學藥劑添加量的正相關性，因為只有材料表面的殘碳才會與化學藥劑作用。



圖十四 MB 吸附量與 LOI 之關係

四、心得

1. 此次出國研習是我第一次公務出國，也是第一次去日本，第一次參訪日本讓我印象最深的就是日本人做事的態度，從被接待的過程、聽取他們講解設備及技術、討論的過程等，皆能體會到日本人特有的風格，那就是敬業的態度，這是我除了專業領域外學習到最多的地方。
2. 日本燃煤火力電廠共 38 座，約一半左右電廠混燒生質燃料，但是混燒比例皆為 1~3%，主要受限於磨煤機不適用於生質燃料。日本目前對於混燒生質燃料策略主要為廣泛推行於燃煤電廠，但是混燒比例不超過 3%。由於混燒比例不高，所需添購設備成本最低，也無需考慮管路腐蝕、爐管結渣、灰再利用等問題。
3. 日本煤灰主要再利用於水泥生料上，由於水泥生料並無規範限制原料的使用，所以混燒灰去化不是問題。根據 JIS A 6201 規範並無說明混燒飛灰不可使用於混凝土摻料中，雖然日本煤灰再利用於混凝土摻料不到 1%，考量未來生質燃料將當作石化燃料替代能源，日本也計畫要效仿歐洲，針對生質混燒灰進行 JIS 改版，將生質混燒灰加以管制分類。
4. 台灣推動煤灰再利用比日本成功，日本主要受限於環保法規，將煤灰列為管控型廢棄物，除了少部分高品質煤灰可以賣錢外，其餘煤灰需要花費一筆處理費送至國內、國外(韓國)水泥廠商當作水泥原料使用，最終剩下的煤灰則需要花一筆更高的處理費投入灰塘中。

五、建議事項

1. 目前我們正進行小型燃燒爐混燒生質燃料之試驗，經過與 CRIEPI 研究人員討論結果認為，燃燒溫度過低會導致煤灰表面結構非球形化，建議未來試燒時，可適度提高燃燒溫度。
2. 生質燃料的選擇，應以產量大、料源穩定優先，考量運輸成本，先評估國內生質料源潛能，而後評估東南亞地區木質燃料市場。另外發展碳化(焙燒)生質燃料技術及氯化爐技術，以因應未來提高混燒生質燃料比例，或專燒生質燃料。
3. 歐洲部分國家混燒比例可達 30~50%，甚至 100%燃燒生質燃料，主要是歐洲多使用 BFB、CFB，混凝土使用混燒飛灰之國家標準(EN 450-1)發展相對成熟，往後修訂 CNS3036 可參考歐洲經驗。
4. 日本 5~6 座燃煤電廠裝設煤灰分級設備，煤灰品質管理制度值得我們效仿。以往台電所產出煤灰常常有浮黑、浮油及異味等問題，如果能建議一套煤灰品質管理制度，除了可增加灰商購買意願外，更可提高煤灰本身價值。
5. 未來林口、大林新機組陸續商轉，預計 5 年內煤灰產量增加近 100 萬噸，煤灰去化壓力不小。比對日本煤灰去化大多用於水泥生料，實質來看應是下下策，台灣水泥市場 2000~2200 元/噸，最好的做法是取代水泥使用，如果是取代水泥生料中的黏土，可能賣到不多少錢，甚至須花一筆處理費(如:日本)。所以未來應該多朝向其他去化管道，如:巨積混凝土、CLSM、建築材料等優先使用。