

出國報告(出國類別：開會)

核二廠用過核子燃料乾式貯存設施
採購帶安裝案-中子吸收板出貨前品
質查核會議

服務機關：台灣電力公司

核能後端營運處

姓名職稱：林義興 乾式貯存技術分析專員

派赴國家：日本

出國期間：105年7月25日~105年7月29日

報告日期：105年9月2日

摘要

行政院原子能委員會(以下簡稱原能會)於「核二廠用過核子燃料乾式貯存設施安全分析報告」(以下簡稱安全分析報告)審查期間，要求台灣電力公司(以下簡稱本公司)應執行中子吸收板廠家的製造品質查核。為符合原能會要求事項及確保核二廠用過核子燃料乾式貯存設施之製造品質，本公司即派員查核泰興工程顧問股份有限公司(以下簡稱泰興公司)執行第二批次中子吸收板出貨前品質巡查作業及俊鼎機械廠股份有限公司(以下簡稱俊鼎公司)辦理核二廠用過核子燃料乾式貯存設施採購帶安裝案(以下簡稱本案)之第二批次中子吸收板出貨前之停留查證點作業，以確認符合安全分析報告相關規定及本案之專案品質保證計畫規定，並觀察日輕金 ACT 公司各項製造品質管制工作，以確認是否符合本案契約與品質保證規定。

本報告內容包括本次查核目的、行程規劃工作內容、心得及建議等。工作內容主要分為兩部分，第一部分為介紹日輕金 ACT 公司之中子吸收板的製程介紹，日輕金 ACT 公司所提供之中子吸收板材料為 Borated Metal Matrix Composites(MMC)係安全分析報告中所規定之中子吸收板材料類型之一，產品名稱為 MAXUS，此產品截至目前為止已生產超過 290 組用過核子燃料護箱所需之中子吸收板組件，實際使用過的國家有美國、日本及韓國等地區，係屬國際上供應中子吸收板主要廠家之一。第二部分為查核第二批次中子吸收板之品質成套文件過程，查核目標為確認所提供之文件符合相關品質保證規定及檢測結果符合安全分析報告相關規定。本批次提供數量為 12 組密封鋼筒所需之 1872 片中子吸收板及 288 片鋁板。

經本次查核後，於總結會議中總結本次品質查核結果，日輕金 ACT 公司所提供之文件符合相關品質保證規定及檢測結果符合安全分析報告規定。泰興公司

品質巡查作業與俊鼎公司執行停留查證點作業，作業內容各別符合品質巡查計畫及專案品質保證計畫規定。

目錄

摘要.....	i
目錄.....	iii
圖目錄.....	iv
表目錄.....	v
目的.....	1
壹、 過程.....	2
貳、 工作內容	2
一、 日輕金 ACT 公司之中子吸收板的製程介紹.....	3
(一)名古屋廠(Nagoya Plant).....	4
(二)大阪廠(Osaka Plant).....	4
(三)日野廠(Hino Plant).....	4
(四)新瀉廠(Niigata Plant).....	4
二、 中子吸收板出貨前品質查核	7
(一)品質查核項目	7
(二)依據文件.....	7
(三)品質查核過程.....	7
參、 心得.....	16
肆、 建議.....	17
伍、 參考資料	18

圖目錄

圖一 日輕金集團在日本工廠相對位置.....	3
圖二 中子吸收板製作流程圖.....	5
圖三 MAXUS 成品側面圖及所含材料成份分析.....	6
圖四 鋁板標識牌編號由 G001-04 至 G001-15 及裝箱前裝箱後狀況....	13
圖五 進行本次品質查核之總結會議.....	14
圖六 製造 MAXUS 製造現場狀況.....	17

表目錄

表一 查核行程及工作內容.....	2
表二 安全分析報告與本批次實際測試數據之比較.....	15

目的

原能會於安全分析報告審查期間，要求本公司應執行中子吸收板廠家的製造品質查核。為符合原能會要求事項及確保核二廠用過核子燃料乾式貯存設施之製作品質，本公司即派員查核泰興公司執行第二批次中子吸收板出貨前品質巡查作業及俊鼎公司辦理本案之第二批次中子吸收板出貨前之停留查證點作業，以確認符合安全分析報告相關規定及本案之專案品質保證計畫規定，並觀察日輕金 ACT 公司各項製造品質管制工作，以確認是否符合本案契約與品質保證規定。

壹、過程

日輕金 ACT 公司係負責製造俊鼎公司承攬本公司核二廠用過核子燃料乾式貯存設施採購帶安裝案之中子吸收板部分，依據俊鼎公司與日輕金 ACT 公司簽定中子吸收板製造合約內容規定，於每批次中子吸收板出貨前皆需通知俊鼎公司前往日輕金 ACT 公司進行出貨前的檢查並訂定停留查證點。為確保中子吸收板之製造品質及符合原能會要求，本公司派員配合俊鼎公司前往日本日輕金 ACT 公司執行第二批次中子吸收板出貨前品質查核。

故本次自 105 年 7 月 25 日出發至日輕金 ACT 公司，並於 7 月 29 日返國(共計 5 天)，參加由日本輕金屬集團旗下的日輕金 ACT 有限公司舉辦之中子吸收板出貨前品質查核會議。詳細查核行程如表一：

表一 查核行程及工作內容

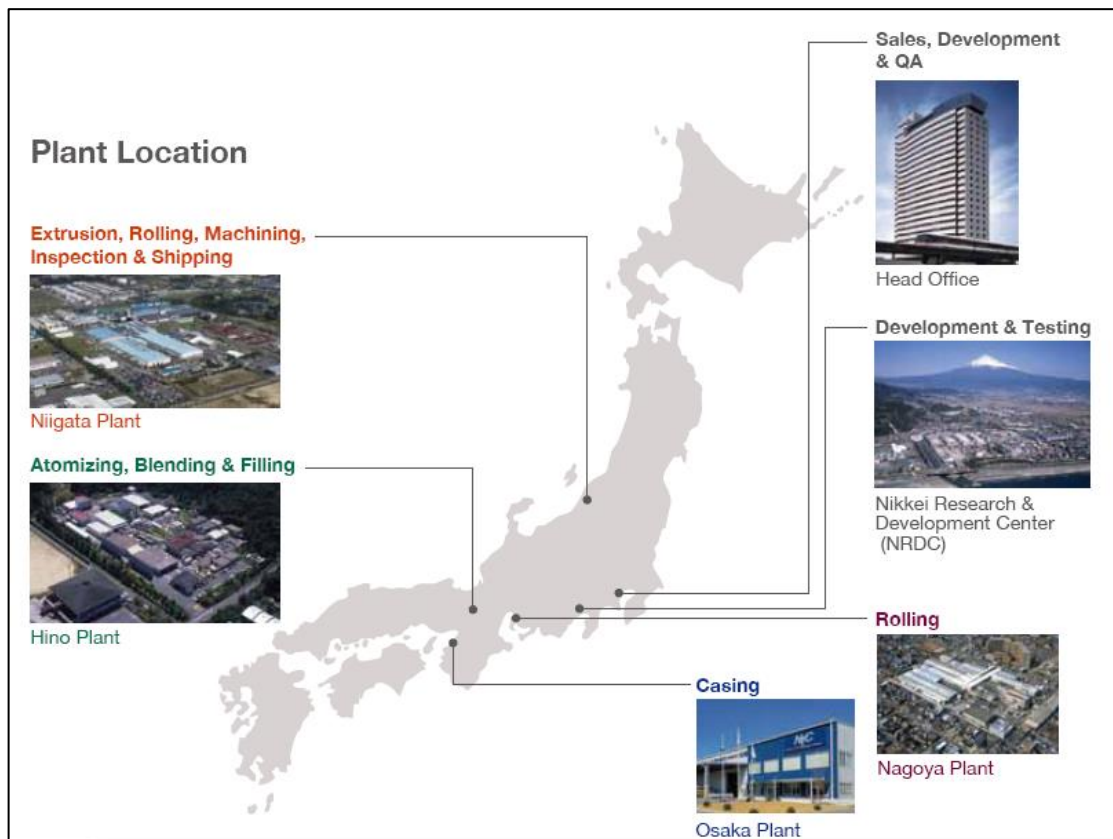
日期	地點與行程	工作內容
7 月 25 日(一)	桃園到新瀉(日本)	往程
7 月 26 日(二)	新瀉	參加品質成套文件查核、開始會議
7 月 27 日(三)	新瀉	參加品質成套文件查核、製造廠參訪
7 月 28 日(四)	新瀉到東京	參加品質成套文件查核、總結會議
7 月 29 日(五)	東京到桃園	返程

貳、工作內容

查核泰興公司執行第二批次中子吸收板出貨前品質巡查作業及俊鼎公司辦理本案之第二批次中子吸收板出貨前之停留查證點作業，其工作內容包含中子吸收板出廠前品質成套文件(Final Documentation Package, FDP)查核、中子吸收板製造流程說明及日輕金 ACT 公司製造工廠參訪，執行及配合單位有日輕金 ACT 公司、俊鼎公司、泰興公司與台電公司。

一、日輕金 ACT 公司之中子吸收板的製程介紹

日輕金 ACT 公司之中子吸收板製作包括四個製程，並分別於名古屋廠(Nagoya Plant)、大阪廠(Osaka Plant)、日野廠(Hino Plant)及新瀉廠(Niigata Plant)進行，以上四個工廠皆屬於日輕金 ACT 公司旗下之製造廠，其相對位置詳圖一所示，各廠間的原料或半成品等物件往來皆由該公司物流部門負責運送，因最終製程及品質成套文件準備係由新瀉廠所負責，故將該廠訂為本次重點查核工廠，以下分別就日輕金集團四個製造廠之業務及工作內容作說明:



圖一 日輕金集團在日本工廠相對位置

(一)名古屋廠(Nagoya Plant)

於本製造案中負責將鋁錠(驗收完成後之鋁原料)壓延成較薄之鋁片(材料:A5052)，壓延後之鋁片尺寸: 3.5x670x3100 mm。

(二)大阪廠(Osaka Plant)

負責將名古屋工廠加工後的鋁片(厚度: 3.5 mm)製作成鋁盒，鋁盒主要包括上蓋(尺寸: 483x370x60 mm)及本體(尺寸: 474x361x57.8 mm，厚度: 3.5 mm)等兩個組件。每片鋁片切割製成六個鋁盒的上蓋或六個鋁盒的本體，切割完成後置入機器內製成，每個鋁盒皆有永久編號(Case No.)，俾利於後續材料及製造過程回溯。

母片永久編號範例說明:

G001-xxxx

G001 => 本專案之編號

xxxx => 鋁盒之流水號

(三)日野廠(Hino Plant)

負責將鋁粉末(材料:A1070)與碳化硼粉末(B₄C)均勻混合(混合比例約為 68wt% Al+32wt% B₄C)，混合完成後放入鋁盒本體中，將之填滿，蓋上上蓋，鋁盒周圍以膠帶暫時包裝固定，並在鋁盒上標示混合批次編號，編號以 Yxxxx 表示，其中 xxxx 為流水號。

(四)新瀉廠(Niigata Plant)

負責將裝滿碳化硼之鋁盒製成中子吸收板，其過程包括銲接、加熱、滾壓、鍛鍊、整平及切割。新瀉廠製成之中子吸收板母片，經由高壓水刀機器切割，可分成三片中子吸收板

(4186.17x134.62x2.54 mm³)，完成切割後將針對每片中子吸收板進行編號打印、檢查及包裝。

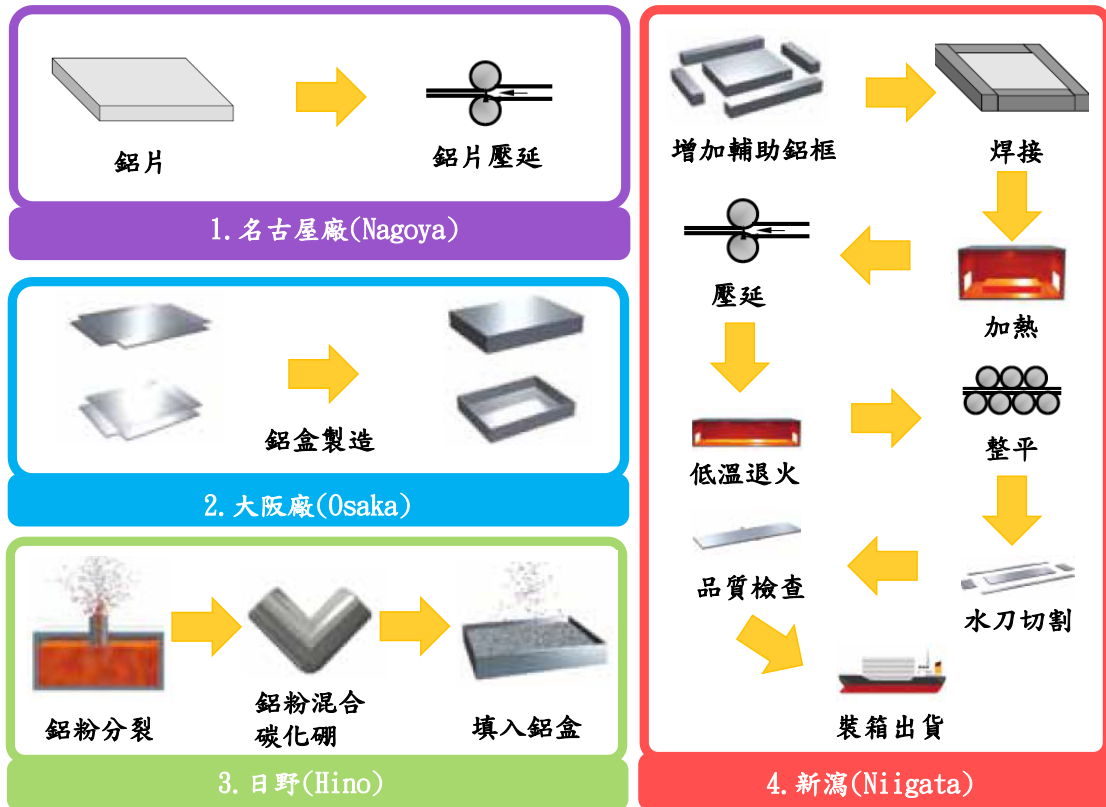
母片永久編號打印範例說明：

G001-xxxx-00

G001-xxxx => 母片編號

00 => 母片切割三片之編號(01~03)

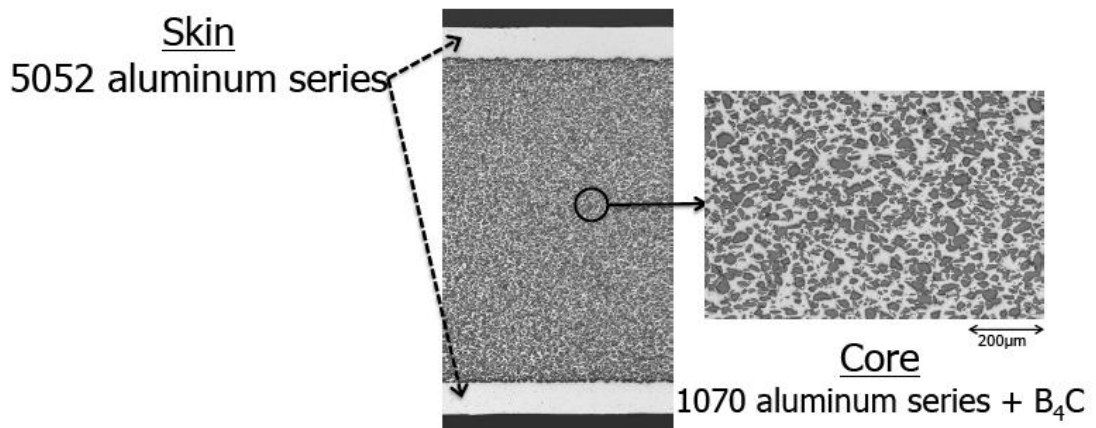
上述(一)~(四)項中子吸收板製作程序如下圖二流程圖所示。



圖二 中子吸收板製作流程圖

日輕金 ACT 公司所提供之中子吸收板材料為 Borated Metal Matrix Composites(MMC)，係核二廠用過核子燃料乾式貯存設施之安全分析報告(以下簡稱安全分析報告)中所規定之中子吸收板材料類型，其產品名為 MAXUS(Maximum Neutron Absorber)。MAXUS 是一種高密度的中子吸收板，主要使用於用過核子燃料池格架、用過核子燃料乾式貯存設施及傳送護箱內部組件。日輕金 ACT 公司生產之 MAXUS 產品截至目前為止已使用於美國、日本及韓國等地區，共已生產超過 290 組用過核子燃料護箱所需之中子吸收板組件。

MAXUS 外殼係使用抗腐蝕鋁金屬之 5000 系列，其含鋁成份超過 99.7%，另 MAXUS 中間夾心部分為粉狀鋁金屬(1070 系列)與碳化硼之混合物，MAXUS 成品側面示意圖及材料成份分析結果如圖三表示。



	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Others		Al
									Each	Total	
5052	≦0.25	≦0.40	≦0.10	≦0.10	2.2-2.8	0.15-0.35	≦0.10	-	≦0.05	≦0.15	Re.
1070	≦0.20	≦0.25	≦0.04	≦0.03	≦0.03	-	≦0.04	≦0.05	≦0.03		≧99.7

圖三 MAXUS 成品側面圖及所含材料成份分析

二、中子吸收板出貨前品質查核

第二批次中子吸收板係為提供 12 組密封鋼筒所需之 1872 片中子吸收板及 288 片鋁板，已於民國 105 年 8 月 24 日運送至俊鼎公司。

(一)品質查核項目

本次品質查核主要是進行第二批次中子吸收板之出廠前文件審查，並檢視文件之相關數據及數據回溯性，以確認符合安全分析報告第五章附錄 A 第 1.1.6 節之中子吸收板相關規定，並進行數量清點及包裝檢查。

(二)依據文件

- 1.台灣電力公司第二核能發電廠用過核子燃料乾式貯存設施案採購規範(第 1 版) (TPC Kuosheng Nuclear Power Station Independent Spent Fuel Storage Installation (Dry) Project Specification (Revision 1), May 14, 2010)。
- 2.核二廠用過核子燃料乾式貯存設施安全分析報告。
- 3.俊鼎公司核二廠用過核子燃料乾式貯存設施專案品保手冊。
- 4.台灣電力公司核二廠用過核子燃料乾式貯存設施興建專案品質保證計畫。

(三)品質查核過程

1.最後品質成套文件審查

第二批次是供應 12 組護箱所需之中子吸收板及鋁板，每組護箱需要 156 片中子吸收板及 24 片鋁板，因此共計有 1,872 片中子吸收板及 288 片鋁板。ACT 所準備此批次中子吸收板及鋁板之品質成套文件包含下列內容：

(1)Documents for MAXUS Neutron Absorber Material

- Certified Material Test Report (CMTR)
- Summary of Lot No's
- Certificate of Conformance
- Material Inspection Certificate
- Inspection Results
- Statistical Analysis of the Minimum B-10 Areal Density
- Packing Lists

(2) Documents for Aluminum Sheets

- Certified Material Test Report (CMTR)
- Summary of Lot No's
- Certificate of Conformance
- Material Inspection Certificate
- Packing Lists
- Inspection Results

(3) Documents for Commons

- Calibrated M&TE Table
- CTCI Machinery/Approved Nonconformance
- Appendix A – Neutron Transmission Data (Testing Report)
- Appendix B – Production Records
- Appendix C – Qualification Report of MAXUS Neutron Absorber Material with 32wt% B₄C Loading (R-WN-MS-1209A008-03)
- Appendix D – Thermal Conductivity Report (R-WN-MS-1609A, 023-00)

2. 檢視品質成套文件之相關數據

安全分析報告第 5 章附錄 A 第 1.1.6 節所要求之中子吸收材料特性數據與本批次中子吸收板實際測試數之比較如表二所示。由表二可看出本批次中子吸收板之實際測試數據包括 B₄C 粉末粒徑、有效熱傳導係數、降服強度、¹⁰B 有效面積密度及表面孔隙大小均符合安全分析報告之要求。

安全分析報告第 5 章附錄 A 第 1.1.6 節對各項測試之抽樣次數及測試之溫度亦有規定，因此亦檢視相關測試之抽樣次數及溫度，並說明如下：

(1) 抽樣次數

A. 中子衰減測試

為了推算中子吸收板的 ¹⁰B 有效面積密度所進行之中子衰減測試，安全分析報告之抽樣計畫要求測試前每批中子吸收板的最初 50 片，此後每 50 片隨機抽 10 片測試直到原料或製程有所改變為止。若上述 5 取 1 的抽樣中有任何的結果不滿足規格時，該片及該批未測試的中子吸收板皆判定不合格。之後生產的 50 片中子吸收板需 100% 全檢。第二批交貨之中子吸收片總共使用 15 批次之鋁及 B₄C 混合粉末，各批次混合粉末製造出來的中子吸收板其取樣數目，委託美國賓州大學(PSU)進行中子衰減測試。第二批中子吸收板共有 1872 片，由於每一母板可分割成 3 片中子吸收板，因此共需 624 片母板。日輕金 ACT 公司是對每一母板均截取一試片進行中子衰減測試，若每一母片所分割之 3 片中子吸收板均可使用，則只需截取 624 片試片。

日輕金 ACT 公司之取樣數目較安全分析報告第 5 章附錄 A 第 1.1.6 節所承諾之中子衰減測試取樣要求嚴格，而符合安全分析報告之要求。

B.熱傳導性及降服強度測試

根據安全分析報告第 5 章附錄 A 第 1.1.6.4.4 節，熱傳導性的測試抽樣至少需為每批一次，當前五次的抽樣結果皆滿足規格要求後，可適當的減少該抽樣頻率。安全分析報告第 5 章附錄 A 第 1.1.6.4.4 節又有另一替代方案：當某一類型(組成)中子吸收板完成 25 次的測試後，如其熱傳導性的測試結果平均值減去該測試的 2 個標準差仍優於本規格要求，則該抽樣可以停止。

根據本次日輕金 ACT 公司品質成套文件所檢附的 Appendix D, Thermal Conductivity Report，日輕金 ACT 公司在第一批次交貨的 Y0084、Y0086、Y0088 批中子吸收材料中各選取 5 片試片，並在第一與第二批次交貨共用的 Y0089 及 Y0095 批中子吸收材料中各選取 5 片試片，也就是總共有 25 片試片進行熱傳導性測試，其測試結果平均值減去該測試的 2 個標準差仍遠大於規格要求，因此停止抽樣測試。也就是第一批中子吸收材料之熱傳導測試，日輕金 ACT 公司是採取每批中子吸收材料均至少抽樣一次進行測試。第二批中子吸收材料則採取安全分析報告第 5 章附錄 A 第 1.1.6.4.4 節之替代方案，總共測試 25 次，並證明其測試結果減去該測試的 2 個標準差後仍優於規格要求，則可停止抽樣測試。

降服強度測試則根據安全分析報告第 5 章附錄 A 第 1.1.6.4.4 節之下列規定進行：在降服強度測試中，如該生產商為合格供應商且其品質控制測試結果滿足認可的標準並顯現在參考文件中，則已接受的產品組成或產品則不需另行測試。

(2) 測試溫度及降服強度

根據安全分析報告第 5 章第 1.1.6.4.4 節，中子吸收板於 100°F 時有效熱傳導係數須不小於 1.51(徑向)與 3.30(軸向)BTU/(hr-in-°F)，於 500°F 時有效熱傳導係數須不小於 1.98(徑向)與 3.67(軸向)BTU/(hr-in-°F)，品質成套文件已提供在 100°F 及 500°F 之徑向及軸向有效熱傳導係數，且其數值均大於前述各項數值，而符合要求。

根據安全分析報告第 5 章 1.1.6.4.4 節，降服強度之測試溫度為 371°C。但日輕金 ACT 公司對本批次中子吸收板提供室溫 25°C 時之降服強度作為參考用，而在此品質成套文件 Appendix C 檢附 Qualification Report of MAXUS Neutron Absorber Material with 32wt% B₄C Loading (R-WN-MS-1209A008-03)，進行由-40°C 至 371°C 各種溫度之降服強度，在 371°C 之降服強度為 40 MPa (4.0 ×10⁷ N/m²)，符合安全分析報告所要求在 371°C 之降服強度須大於或等於 1.10 ×10⁷ N/m²)。

根據安全分析報告第 5 章第 1.1.6.4.4 節，在熱傳導性與降服強度測試中，如該生產商為合格供應商且其品質控制測試結果滿足認可的標準並顯現在參考文件中，則已

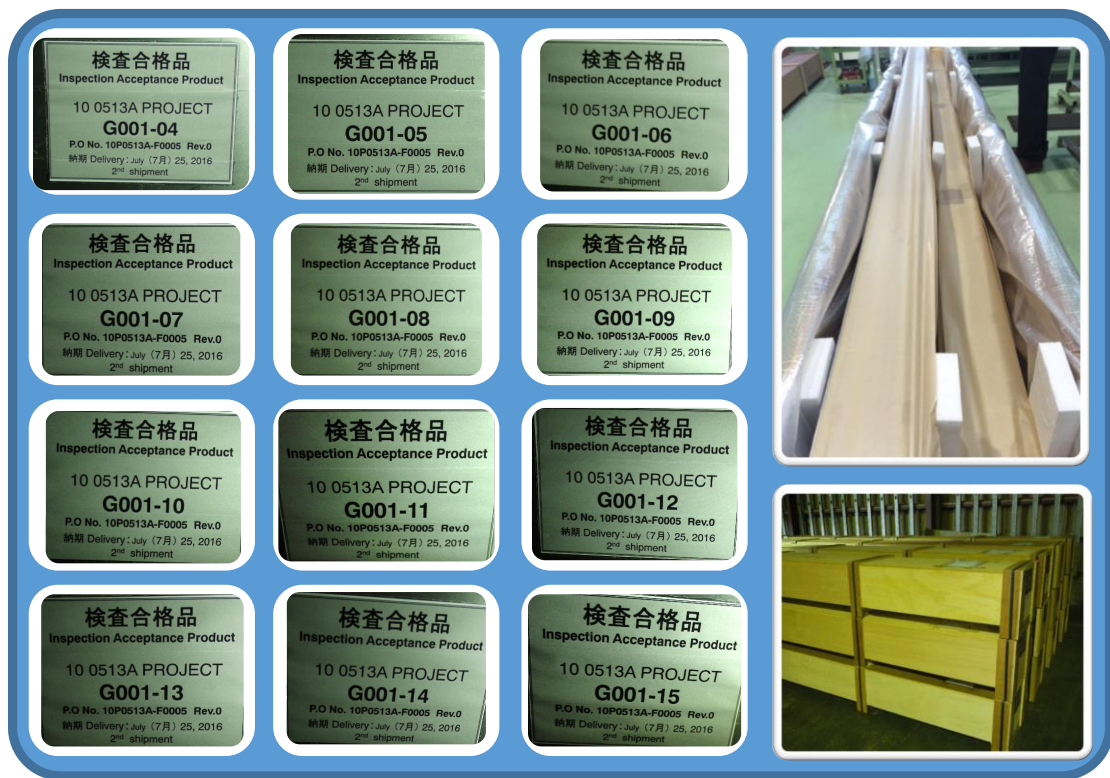
接受的產品組成或產品不需另行測試。由於日輕金 ACT 公司已提供相關的 Qualification Report，符合安全分析報告之要求。

(3)進行數量清點

本批次交貨是提供 12 組護箱所需之中子吸收板及鉛板，每一護箱需要 156 片中子吸收板及 24 片鉛板，因此總共有 1872 片中子吸收板及 288 片鉛板。但由於日輕金 ACT 公司已完成包裝，只能清點其裝箱數。日輕金 ACT 公司是將每一組護箱所使用之中子吸收板及鉛板裝成一箱，因此共有 12 箱，編號由 G001-04 至 G001-15。

(4)檢查包裝

在本次品質查核前，日輕金 ACT 公司即已完成本批次中子吸收板之包裝，總共 12 箱，並已送至運輸倉庫貯存，裝好的木箱最前面貼有鉛板標識牌，如圖四所示，沿續第一批次之編號，編號由 G001-04 至 G001-15。標識牌顯示此箱為檢查合格品、護箱編號、運輸日期，及運輸批次。



圖四 鋁板標識牌編號由 G001-04 至 G001-15 及裝箱前裝箱後狀況

(5) 本次品質查核總結會議

105 年 7 月 28 日中午在日輕金新瀉縣工廠舉行本次品質查核之總結會議如圖五，出席成員與開始會議之成員相同。日輕金 ACT 公司所提供之文件符合相關品質保證規定及檢測結果，符合核二廠用過核子燃料乾式貯存設施安全分析報告相關規定。

泰興公司品質巡查作業與俊鼎公司執行停留查證點作業，作業內容各別符合品質巡查計畫及專案品質保證計畫規定。



圖五 進行本次品質查核之總結會議

表二 安全分析報告與本批次實際測試數據之比較

項目	安全分析報告	備註
1. B ₄ C 粉末之粒徑	平均尺寸為 10-40 μ m，且不超過 10% 的粉末顆粒大於 60 μ m	符合要求
2. 有效熱傳導係數 (100 $^{\circ}$ F)，徑向	≥ 1.51 BTU/hr-in- $^{\circ}$ F	符合要求
3. 有效熱傳導係數 (100 $^{\circ}$ F)，軸向	≥ 3.30 BTU/hr-in- $^{\circ}$ F	符合要求
4. 有效熱傳導係數 (500 $^{\circ}$ F)，徑向	≥ 1.98 BTU/hr-in- $^{\circ}$ F	符合要求
5. 有效熱傳導係數 (500 $^{\circ}$ F)，軸向	≥ 3.67 BTU/hr-in- $^{\circ}$ F	符合要求
6. 降服強度(700 $^{\circ}$ F)	$\geq 1.10 \times 10^7$ N/m ² (1.6 ksi)	符合要求
7. ¹⁰ B 有效面積密度	> 0.02 g/cm ²	符合要求
8. 表面孔隙	不可大於其表面積的 0.5%	符合要求

參、心得

非常感謝公司及各位長官，給予本人這次機會到國外查核。此外最重要的是可以與製造廠商工作人員互相交流瞭解的機會，讓我在核二乾貯設備之中子吸收板的製程有更進一步的熟習。最後期望能在未來的日子裡，可以將此經驗善加運用，為公司盡微薄之力。

出國前雖已有耳聞日本工業製造是有相當優良的工業文化，親自至日本參訪日輕金 ACT 公司之工廠內部，發現工作環境相當的乾淨且整齊(圖六)，地上已有明確標示訪客參觀路線且路線通暢無其他物品，並在參訪前除提供訪客之個人安全防護護具，並且告知須要求遵守現場相關規定及親自示範，使訪客更能了解，例如行走於工廠區內，只允許行走於規劃之人行道上，如遇須過馬路口時必須停下且確認左、右或前方是否有車輛通行(並以指認呼喚加強確認)，實際觀察廠內員工皆有確實執行，可從此小地方見得該公司對工業安全的注重與員工的教育訓練要求是相當成功，養成良好的工業安全文化，並已深植每位員工的生活中。

另外，於參訪時本想多收集一些工廠內部情形之照片，但因該公司當時正在生產其他公司的訂單有產品保密協定被制止，此舉讓我感受到該公司對於客戶資料相當重視，絕不會輕易洩漏客戶資料或相關產品訂單。



圖六 製造 MAXUS 製造現場狀況

肆、建議

- 一、本次查核中子吸收板之第二批次出廠前的品質成套文件，資料內容相當繁瑣且緊湊，須要事先將查核的資料先閱讀並瞭解，才能於查核過程中儘快進入狀況與廠商建立良好的溝通管道。
- 二、鼓勵年輕同仁積極爭取出國機會，藉此拓展國際視野，建議公司長官多鼓勵同仁，並安排同仁出國看看累積同仁的個人經驗及建立國際人脈，此經驗定能成為同仁在未來處理工作之基石。
- 三、將參訪日輕金 ACT 公司之工廠所見所聞，回饋給國內製造廠並與其分享，期能為提升國內工廠製造之品質、技術和國際接軌盡一份心力。

伍、參考資料

- 一、核二廠用過核子燃料乾式貯存設施安全分析報告(2015 年 2 月)。
- 二、俊鼎公司核二廠用過核子燃料乾式貯存設施-專案品保手冊(2016 年 6 月)。
- 三、台灣電力公司核二廠用過核子燃料乾式貯存設施興建專案品質保證計畫(2015 年 12 月)。
- 四、Documentation Package for CTCI Machinery Corporation(10P0513A-F0005-FDP-02)。