

電力研究簡訊

Power Research Newsletter

108 年第 3 季 (108.07 No.113)

台電綜合研究所 **TPRI**

地址：(10091) 台北市羅斯福路 4 段 198 號 電話：(02)2360-1084 傳真：(02)2364-9611

目錄

研究計畫成果

- 一、輸電級再生能源管理系統規劃研究 1
- 二、公務機關建築能源可視化與空調負載抑低管理實驗系統評估與示範 2
- 三、電業轉型第 1 階段各項電力調度相關費用計算合理性分析 3
- 四、無人載具應用於輸電設備維護技術之研究 5
- 五、高煤灰摻量應用在無加勁鋼筋混凝土技術介紹 7

台灣電力公司

使命：以合理成本及友善環境的方式，提供社會多元發展所需的穩定電力。
願景：成為卓越且值得信賴的世界級電力事業集團。
經營理念：誠信、關懷、服務、成長。

研究計畫成果

一、輸電級再生能源管理系統規劃研究

(資通訊研究室：黃國禎；義守大學：陳朝順教授)

(一) 前言：

我國未來能源轉型導入大量太陽光電與風力發電等再生能源發電系統，將對台電電力系統之運轉造成重大衝擊，甚至影響台電系統穩定運轉能力與供電品質。台電除配合區域性綠能發展作必要之電網加強外，更必須根據綠能發電系統之特性與發電佔比，審慎評估及檢討台電系統之規劃、運轉與維護作業模式，規劃綠能發電管理系統，藉由智慧變流器提供必要輔助服務之即時調控功能。進一步提升台電電網之綠能滲透率，同時確保台電系統在綠能高佔比情境下，有效維持台電系統之穩定與安全運轉。

(二) 研究方法：

為達成將再生能源發電管理功能納入輸電系統調度範疇，將探討目前台電中央調度中心及區域調度中心之輸電系統運轉調度功能與作業模式，並評估未來再生能源發電系統之管理功能運作模式，如何藉由與台電 EMS 調度系統作協調整合控制，再配合輸電系統之正常運轉與緊急情況，達成再生能源發電系統輔助服務功能之調控，為探討未來大量再生能源發電系統對台電系統之運轉可能產生之潛在

衝擊，輸電級分散式能源監控及調度系統規劃架構示意圖如圖 1 所示。

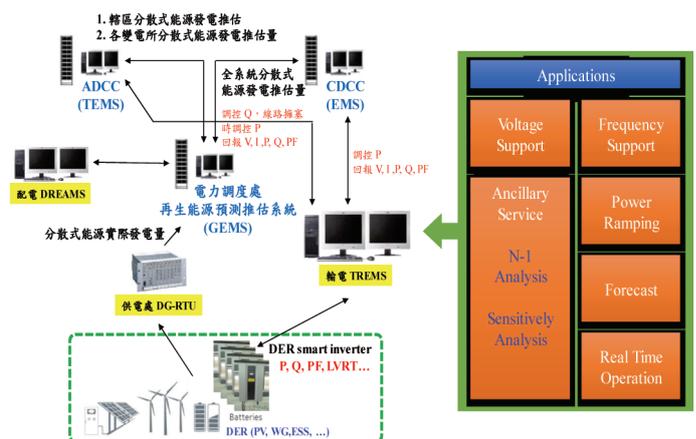


圖 1 輸電級分散式能源監控及調度系統規劃

(三) 研究成果：

針對彰光太陽光電之輔助服務功能測試驗證，將利用台中供電區處之光纖系統，從福興變電所到彰光 G/S 變電所內之通信多工機與 PV 案場開道器連接，執行整個案場發電資訊之收集，同時藉由光電轉換網路交換器，執行輔助服務控制指令給智慧

管理降低尖峰負載，強化用戶節能意識帶動節能成效提升，並參與台電公司需量反應方案，擴大導入能源管理效益。

業已完成以下建置與成果：

1. 建築能源管理系統(BEMS): 對建築內進行分樓分區細部用電量測與記錄，運用資訊可視化技術即時運算，重點式傳遞易懂資訊給用戶，設計使用者操作介面，包括：
 - (1) 單位區域電能管理 Web 網站。
 - (2) 大廳資訊看板 IBD (In-building Display)。
 - (3) 可視化行動軟體 App。
2. 空調自動需量反應(AC-ADR): 研究空調系統自動需量反應服務，以 OpenADR 2.0b 國際標準，當有供電緊澀事件，採取降低空調系統運轉的用電需量，但仍維持空調系統最低運轉量，取代現行公務部門關閉全部空調措施，同時建立(1)用戶端 VEN 與伺服器端 VTN 通訊機制。(2)設計自動需量反應派送系統管理者軟體操作介面。(3)用戶端設備降卸載量設定、需量反應事件查詢及效益分析等操作介面。
3. 抑低需量評估與後續公務部門推廣建議研究：包含導入標準作業流程研究、技術可操作性、用戶端設備規格與系統架構設計、需量抑低績效分析演算法、效益分析及未來公務機關用戶群代表 (Aggregator) 商業模式評估與建議。



圖 1 大廳資訊看板：ADR 事件準備中



圖 2 用電可視化 Web 頁面：舊大樓各區用電

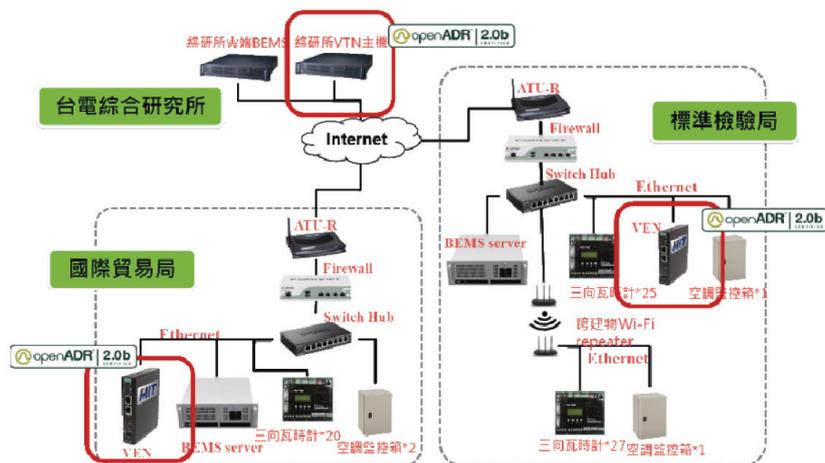


圖 3 OpenADR 資通訊傳輸系統架構

三、電業轉型第 1 階段各項電力調度相關費用計算合理性分析

(電力經濟與社會研究室：鄧勝元、卓金和、曾泓祥)

(一) 研究背景、目的、方法：

我國近 50 年來電業市場架構及管理制最大變革之「電業法修正草案」，於 106 年 1 月 11 日三讀通過，並於 1 月 26 日修正公告。修法後，第 1 階段開放發電業申設及採綠電先行，開放再生能源發電業及再生能源售電業參與市場，並透過電力網直

供或轉供電能予用戶，修法通過最慢兩年半完成開放。實施電能轉供業務後，輸配電業可向申請電能轉供或再生能源併網型直供的用戶收取相關費用。依據修正電業法第 9 與第 10 條規定，再生能源發電業或售電業所生產或購售之電能需用電力網輸送者，得請求輸配電業轉供電能，輸配電業可對提出

申請之業者收取必要的費用，其中包括輔助服務費用及電力調度費用。依據電業法第 49 條，電業必須依照中央主管機關訂定之輸配電業各項費率計算公式，提出費率計算方案，並送電價審議會審定。

輸配電業各項費率計算公式已於 106 年 9 月公告，首次費率於同年審定並公告。在費率計算之公平性及合理性的議題上，就電力調度費而言，因所有的成本項目已存在於台電既有的會計科目上，且科目符合計算公式之要求，其成本已具有合理性，但傳輸損失併入電力調度費用計算，則牽涉費用支付對象之公平性問題；輔助服務對我國來說是一個新的收費概念，台電公司於其研究中，參考北美 ISO 輔助服務市場機制，設計火力機組競價平台，以計算輔助服務成本，並比較其計算結果與北美 ISO 之差異，但北美 ISO 採取自由市場競爭模式，通常係以得標為目的，較不易反應執行輔助服務所需之真實成本。而台電火力機組競價平台採成本方式，與北美 ISO 相比較時，可能有計算基礎不一致之問題。有鑑於此，本研究將選擇國外自由化市場新加坡及北美 CAISO 及非自由化市場日本及美國 TVA，與我國首次費率方案進行比較，以探討輸配電業提出之費率方案其公平性及合理性。

本計畫旨在協助台電公司分析電業轉型第一階段下電力調度相關費用計算之合理性，本研究將透過案例比較研究、質性研究方法，以及透過顧問諮詢及召開研討會等方式，完成底下工作項目：

1. 確認調度運轉相關收費項目：綜整考量國外電業推動廠網分離經驗及台電公司廠網分離涉及電費之合理比例，以及各項費用占其成本之比例。
2. 台電公司現行各項調度運轉費用之公平性、合理性及可行性評估：評估各項費用之公平性、合理性及可行性：透過文獻回顧、召開顧問諮詢會、參訪國外電業機關單位，藉以剖析日本、韓國、新加坡及美國電力調度相關費用之計算原則及其運算邏輯、收費對象及支付對象。同時，檢視台電公司目前所採用的各項費用估算方式，並分析其公平性、合理性及可行性；並提出適於我國電力系統所需之收費項目。此外，提出各項費用結算及收取時限建議。
3. 擬訂各項費用之收費程序及規範：擬訂各項費用收費準則及相關說明，並建立各項費用之列帳方式。此外，針對轉供/直供業者等不同需求對象與綜合電業對於各項費用之利弊分析。
4. 提出可行精進作為：綜合上開研究成果，提出台電公司因應第一階段電業轉型下，未來各項費用計算之精進作為；包括調度處組織調整建議、建立網頁相關費用之說明、針對收費項目規劃無歧

視性之資訊公開原則及網頁格式，以及其他精進項目等建議。

(二) 成果及其應用：

本研究之目的旨在蒐研國外輔助服務及電力調度成本與電價之占比，並作為我國相關費用計算公平、合理之依據。再由國外的成本計算機制中，進一步分析我國輔助服務及電力調度成本計算方式之合理性，作為未來修改相關機制之參考。在輔助服務費率及電力調度費率訂定中，我國類似日本及美國尚未自由化區域，電價公式及費率透過電價審議會或向上之管制機關審訂，但在輔助服務成本計算方式中，較似於自由競爭市場，而美國的計算方法已存在 20 年以上，日本與我國同處於起步階段。在我國尚未開放電力市場前，建議未來研議的方向以美國尚未開放電力市場情況，進行相關修正探討。

綜合整理國外與我國之相關費用占比分析，如表 1 所示，可判斷我國目前提出之費率計算方案公平及合理，且費用比例也接近國外。在輔助服務成本方面係依據電廠維護費計算，各電廠遵循相同機制報價，但因市場電源不足，需進行投標價格管制，而管制後可能導致某些電廠無法回收成本，建議未來可參考國外做法，研擬一套不影響整體成本，又可達到對虧損電廠之補償；在電力調度成本方面，雖我國目前尚未發生競標式的電力交易，應未雨綢繆，提早研議將電力調度成本合理的分攤至電力調度費與市場管理費。另外，目前電力調度費用之計算公式將傳輸損失納入電力調度費中，其因在於希望透過此機制督促輸配電業改善線損，相較國外計算機制中，並無此作法，且傳輸損失成本可能影響輸配電費率。因此，建議未來開啓第二階段修法時，或修改電價公式時，可提議將傳輸損失費用獨立於電力調度費用計算。

本研究之實際成果與應用包括如下：

1. 協助台電完成二次(106 年、107 年)第三方驗證工作，且經驗證後，數據皆正確。本研究第三章之輔助服務計算合理性、公平性研究內容已作為 107 年電價審議會報告資料。
2. 協助台電完成「輔助服務採購及成本管控程序(草案)」之撰寫。
3. 協助台電公司辦理「國外電力調度機制及市場交易機制」初階與進階培訓課程。
4. 協助台電公司辦理「電力市場的應用與程式演化變革研討會」。
5. 協助安排 Nexant 公司提供儲能系統、系統慣量、快速調頻服務以及 OASIS 等相關資訊，並進行視訊會議交流。

表 1 各國費用占比綜合比較

比較項目		日本(東電)	韓國	新加坡	TVA	CAISO	我國
自由化程度	電能批發市場	開放	開放	開放	管制	開放	管制
	AS 市場	管制	管制	開放	管制	開放	管制
	零售市場	開放	管制	開放	管制	開放	管制
輔助服務	占轉供費用比例	4.30%	-	-	46%	-	6.76%
	占批發價格比例	-	0.10%	1.72%	-	2%	1.77%
	占終端電價比例	1.3%	0.057%~0.072%	0.65%	1.27%~3.16%	0.28%~0.42%	1.76%
電力調度 (無線損)	占轉供費用比例	0.40%	-	-	7.40%	-	0.27%
	占批發價格比例	-	-	0.65%	-	2%	0.06%
	占終端電價比例	0.1%	-	<1%	0.19%~0.47%	0.41%~0.64%	0.06%

四、無人載具應用於輸電設備維護技術之研究

(高壓研究室：林彥廷、陳健賢、黃明智、陳柏江)

(一) 緣起：

近年來由於多軸飛行器在遙測的應用上日益成熟，隨著電子、感測器以及檢測技術的快速發展，紅外線熱影像儀、紫外線放電檢測儀等地面觀測儀器之體積與重量逐漸減小，使得無人載具搭載檢測設備進行空中偵測之維護技術逐漸成爲可能。本研究係利用多軸飛行器搭載紅外線熱影像儀、紫外線放電檢測儀等檢測設備於空中進行設備檢測，並使用圖像傳輸系統，在載具快速移動的情況下將檢測到的畫面與資料進行穩定的圖像傳輸給地面操作者，其可讓使用者即時掌握設備狀況。

(二) 研究內容：

相較於其它形式的無人載具，小型多旋翼由於構造簡單、體積小、攜帶方便、可以垂直起降、可以於空中懸停、對於起降場地的要求較低，因此更適合用於輸電線路設備檢測，且在折斷兩翼以下的情況下依然能夠安全返航，相對安全性較高。小型

多旋翼亦可透過多軸雲台，當無人載具進行飛行或姿態變化時維持拍攝鏡頭的平衡，操作人員亦可控制雲台，隨時調整拍攝角度與焦距。目前本公司已於供電區處轄下線路，運用無人載具於局部輸電桿塔進行輸電線路巡視、點檢作業。在巡檢、落雷事故查找等作業上，成效尚稱良好，爲評估輸電線路點檢設備結合無人載具應用之成效與可行性，本研究案係針對紅外線熱顯像、紫外光檢測、鐵塔腐蝕程度診斷辨識等診斷方法，結合無人載具並實際進行現場檢測，以評估其效能。本次案使用八軸型多旋翼無人飛行器，其可乘載重量 9kg 之設備，紅外線測溫儀、紫外線放電檢測儀等設備掛載於機身下方，如圖 1 所示。無人機並配備 GPS 定位系統，空拍畫面透過數位圖傳系統，即時傳送觀測畫面到地面接收器接收，操作者可即時掌握觀測情況，如圖 2 所示。



圖 1 八軸型多旋翼無人飛行器



圖 2 地面操控與觀測畫面

多軸飛行器於現場設備實際觀測之功能驗證：

本案赴供電區處輸電線路與變電所現場進行實際量測，透過本案了解使用多軸飛行器於電力設備維護之效益及可行性。利用無人機結合高倍數鏡頭進行空中觀測方式判斷鐵塔鋼材與鐵配件外觀與設備是否有接觸不良情況、判斷導體表面鏽蝕與劣化狀況與導線斷股情況。圖 3 爲可見光進行鐵塔配件設備外觀檢查案例，圖 4 爲可見光進行輸電線外觀

檢查案例。

由於陶瓷礙子絕緣極佳，通常只要稍有污染就會發生惱人放電聲，因此易在都會區引起民眾反感，此通常在觀測現場利用聽聞放電聲即可察覺其嚴重程度，利用紫外光儀可偵測放電大小及發生放電礙子之位置，再進行必要的處理，圖 5 係利用紫外光儀檢測陶瓷礙子發生表面放電案例。電力設備導線和接頭裸露部份，在長時間的運轉中，受環境

溫度變化、環境污染、風雨鹽霧害等自然力的作用，加上人為設計、施工不當等因素，均會造成設備逐漸老化與損壞，進而導致損耗增大，洩漏電流增大和接觸電阻的增大，引起局部發熱而溫度升高，最終導致設備損壞。本案利用無人機結合紅外線測溫

鏡頭進行空中觀測以判斷設備之發熱情況。圖 6 為無人載具進行變電所紅外線測溫觀測案例，現場經紅外線熱像儀分析，其各串礙子的最高溫差約 1~2℃；由空中檢測 6 組變壓器，各變壓器的最高溫度差約 1~2℃，屬正常範圍。



圖 3 可見光進行鐵塔配件設備外觀檢查



圖 4 可見光進行輸電線外觀檢查



圖 5 紫外光儀檢測礙子發生表面放電案例

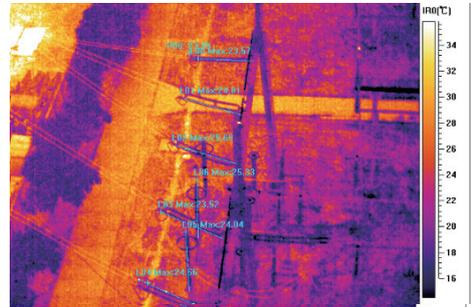


圖 6 變電所紅外線測溫觀測案例

傳統觀測方式與無人載具應用於輸電設備維護之效益分析：

本案赴供電區處觀測案例進行實際量測，由實際量測成果可以得知以無人載具應用於輸電線線路設備維護之可行性，無人載具可以從不同的角度檢

測設備的狀態，提供維護人員對設備更全方面的檢測方式。尤其以變電所為例，從空中的視角可以大範圍地檢測地面上的設備，大幅減少檢測作業時間，提升檢測效率。傳統人力巡檢與無人載具巡檢的檢測效益比較如表 1 及表 2 所示。

表 1 導線狀況的檢測效益

導線狀況巡檢	傳統人力巡檢	UAV 巡檢
作業方式	手持望遠鏡 人工目視巡檢	無人機搭載高倍數鏡頭
花費時間	4 小時	2 小時
作業人數	2 人	2 人
作業效益	只能檢測出嚴重斷股	檢測效益良好

表 2 變電所巡檢的檢測效益

X 變電所	傳統人力巡檢	UAV 巡檢
作業方式	手持紅外儀，人工目視巡檢	無人機搭載紅外線儀
花費時間	3 小時	20-30 分鐘
作業人數	2 人	2 人
作業時間效益	減少檢測作業時間，提升檢測效率	

五、高煤灰摻量應用在無加勁鋼筋混凝土技術介紹

(化學與環境研究室：林茂容)

(一) 前言：

本公司燃煤電廠生產煤灰的最大工程用途，目前仍以飛灰摻用於混凝土工程為主，而且飛灰取代混凝土水泥用量最高比率目前被建議置換重量為25%，本研究介紹以一定規格的底灰替代細砂應用於無加勁鋼筋的混凝土結構，同時配合採用更高置換比率的F級飛灰，提高整體煤灰應用的比例，以消波塊設計需求為例，採用144kg/m³飛灰用量取代水泥量36%比率，整體可提高1立方混凝土的煤灰(飛灰+底灰)用量約700kg/m³以上。試驗證明此種組合材料做為無結構鋼筋的混凝土塊體結構具有實際的可行性，結果表明適量與一定規格的底灰礦物摻入混凝土是屬可行的應用。

(二) 研發方法：

研發方向如圖1所示，主要利用底灰以體積法取代混凝土組成中的砂細粒料20%、40%、60%、100%之比例，配合採用高比例的飛灰(即大於25%取代水泥用量比例)，再分別就各種高摻底灰礦物的組合材料測試1.混凝土硬固性質、2.混凝土工作性、3.混凝土耐久性。測試顯示高摻煤灰混凝土的硬固強度發展、工作性與耐久性均可符合結構設計需求，既在膠結料用量、水膠比不變的條件下，分別以不同比重的底灰替代混凝土的砂細粒料，並比較不含底灰的混凝土抗壓強度、耐硫酸鹽能力均能符

合需求。

(三) 試驗結果：

高摻量煤灰混凝土的組合成分與其各齡期的標準試體抗壓強度如表1，本研發實際製作高煤灰摻量混凝土消波塊5顆，置放在台中電廠海水導流堤進行實際海域環境的測試如圖2，測試結果明確顯示本研發成果具可行性。消波塊表面附著藤壺、管蟲與少量螺類，表面無混凝土脹裂、粒料脫落或具明顯孔洞的現象。消波塊鑽心試樣表面無膨脹裂紋現象或混凝土膨脹粒料鬆脫現象如圖3，顯示抗硫酸鹽能力良好，既高煤灰摻量無鋼筋混凝土的硬固性質、工作性質、耐久性質均能符合標準。

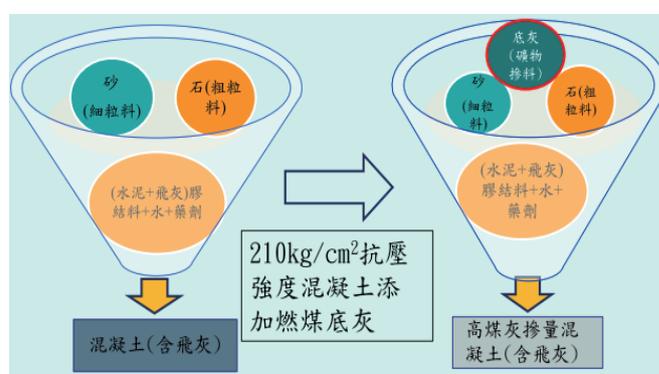


圖1 底灰礦物摻料替代一般混凝土的細砂粒料

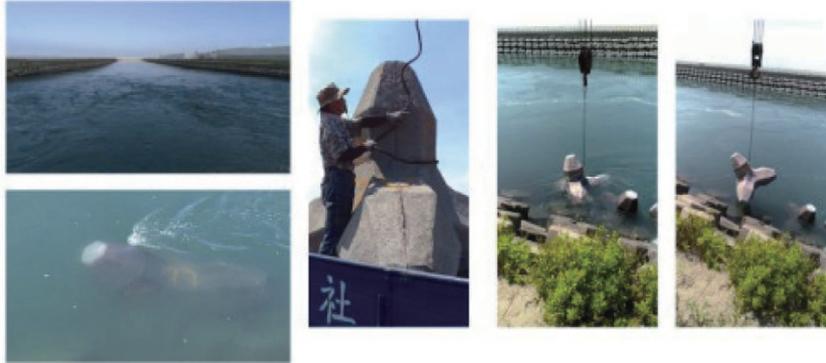
表1 高煤灰摻量混凝土配比與其各齡期抗壓強度

編號	水泥 kg/m ³	卜作嵐材料(飛灰)kg/m ³	水 kg/m ³	底灰礦物 kg/m ³	細粒料 (砂)kg/m ³	粗粒料 (石)kg/m ³	化學摻料 (羧酸劑)%	坍度(cm)	空氣含量 (%)	單位重 kg/m ³	7天 (kgf/cm ²)	28天 (kgf/cm ²)	56天 (kgf/cm ²)	91天 (kgf/cm ²)
400C36-0%045	254	143	179	0	828	927	0.7%	22.0	1.0%	2.330	260	368	413	392
400C36-20%045	256	144	180	105	663	935	0.7%	21.0	0.3%	2.291	309	455	521	527
400C36-40%045	261	147	187	216	511	953	0.7%	16.5	1.4%	2.279	304	439	494	483
400C36-60%045	260	146	188	323	339	948	0.9%	18.0	0.8%	2.204	246	360	421	428
400C36-100%045	268	151	188	555	0	979	0.9%	15.0	1.6%	2.141	253	398	461	449
400C36-0%050	254	143	198	0	827	876	0.0%	8.5	1.4%	2.298	242	348	418	444
400C36-60%050	262	147	204	325	341	903	0.3%	8.5	1.7%	2.183	227	319	406	434
400C36-100%050	263	148	206	545	0	908	0.7%	7.8	2.2%	2.073	211	310	367	407
400C36-0%055	254	143	218	0	827	825	0.0%	18.0	1.1%	2.266	171	265	318	357
400C36-60%055	261	147	224	324	341	847	0.1%	12.0	1.5%	2.144	178	270	335	360
400C36-100%055	268	151	230	555	0	868	0.5%	19.0	2.3%	2.074	162	252	288	373
350C27-0%045	252	93	155	0	876	986	1.4%	19.0	0.5%	2.367	242	325	365	416
350C27-60%045	249	92	155	309	325	1087	1.4%	17.0	1.9%	2.222	301	399	464	495
350C27-100%045	246	91	155	539	0	1077	1.8%	10.5	2.1%	2.114	226	310	359	393
350C27-0%050	255	94	174.5	0	835	1008	0.1%	9.8	0.8%	2.368	245	326	360	405
350C27-60%050	252	93	175	313	329	1056	1.7%	7.5	1.7%	2.221	242	325	382	390
350C27-100%050	249	92	176	545	0	1043	2.1%	11.5	2.1%	2.110	214	296	352	354
350C27-0%055	258	96	195	0	844	976	0.0%	7.8	1.1%	2.368	252	306	400	430
350C27-60%055	255	94	194	318	333	1024	0.8%	8.0	1.3%	2.221	210	271	315	339
350C27-100%055	252	93	194	553	0	1013	1.0%	11.5	2.0%	2.110	188	257	293	315

高煤灰摻量(無砂)混凝土消波塊吊放台中電廠出水渠道測試

台中電廠循環冷卻海水出水渠道

8/21吊放消波塊(5顆)作業紀錄



浸泡海水與乾濕循環後消波塊表面附著藤壺與管蟲與螺類圖



圖 2 高煤灰摻量混凝土製消波塊海域實測情況

108.01.22消波塊鑽心取樣並於108.01.29抗壓試驗作業



消波塊鑽心取樣試體顯示混凝土內無任何裂紋或異常脹裂情形，表明雖採用I型卜作嵐水泥，但在採用高飛灰(35%替代水泥量)配比量條件下，抗硫酸塩能力足夠。

182天齡期消波塊鑽心取樣



消波塊鑽心試體抗壓測試破裂面大致上均在細粒料膠結材或膠結材與礫石膠結面。鑽心試樣表面無膨脹裂紋現象或混凝土膨脹粒料鬆脫現象，表示抗硫酸塩能力良好。

圖 3 消波塊置放海域 6 個月後鑽心取樣試體