特種設備安全
SAFETY OF SPECIAL EQUIPMENT

1991–5 創刊 2023–10 出刊

雙 月 刊 第 86 期

發 行 所 台灣省鍋爐協會
發 行 人 陳清松
總 編 輯 賴桂堂
發行地址 台中市 40452 北區崇德路一段 631 號 10F-2
電 話 （04）2235-1628
傳 真 （04）2238-0960
E-mail tw.boiler@msa.hinet.net
網 址 www.tbva.org.tw
台中職訓中心 台中市 40452 北區崇德路一段 629 號 4F-3
電 話 （04）2236-2977
傳 真 （04）2236-2997
E-mail boiler.tw@msa.hinet.net
彰化職訓中心 彰化市 50056 中央路 184 號 3 樓之 3
南投職訓中心 南投縣 54048 南投市文昌街 45 號 4 樓之 2
印 刷 廠 洪記印刷有限公司
電 話 （04）2314-0788
E-mail hg2527@ms32.hinet.net

行政院新聞局局版字第 11469 號
中華郵政台中雜字第 2056 號登記證
台中郵局許可證台中字第 1321 號登記為雜誌交寄 發行數：3000 本

廣告索引

崴鼎企業有限公司
大震企業股份有限公司
三浦鍋爐股份有限公司
岱洋股份有限公司
大華高科股份有限公司
台灣紳藝實業有限公司
利峰機械有限公司
興志五金企業有限公司
申昌機械股份有限公司
天鴻興業股份有限公司
東庚實業股份有限公司
潔康企業有限公司
浤大企業有限公司
吾豐機電廠股份有限公司
蔚鈦峰工業有限公司
東立鐵工廠有限公司
宏榮鋼瓶股份有限公司
辰鼎企業有限公司
鴻羽有限公司
鉅鑫天車有限公司
正熊機械股份有限公司
志豪工業有限公司
增大股份有限公司
霖興機械工業股份有限公司

目錄
CONTENTS

會務訊息

★112 年鍋爐及壓力容器觀摩會 …… 2
★高空工作車操作人員特殊安全衛生教育訓練班 …… 32

技術報導

★工業廢水減碳與廢水優化新解方-植種污泥技術 …… 3
★CN 燃氫蒸汽鍋爐介紹 …… 17
★水位控制裝置電擊棒結垢引起的鍋爐嚴重缺水事故 …… 27

訓練訊息

★本會舉辦各項訓練日程表
台中職業訓練中心 …… 30
彰化職業訓練中心 …… 31
南投職業訓練中心 …… 31

本刊內容已刊載於本會網頁，請進
台灣鍋爐協會網站（www.tbva.org.tw）：
點進“刊物報導”進入覽閱

112年度
鍋爐及壓力容器觀摩會

112
8.30

主辦單位：職安署中區職業安全衛生中心
協辦單位：潔康企業有限公司
台灣省鍋爐協會

工業廢水減碳與廢水優化新解方-植種污泥技術

工業技術研究院中分院
林彥伶、李志杰、徐瑄鎧、蔡承翰、林君霈、石丞均

一、前言

根據行政院主計總處的統計各行業別對於台灣每年國內生產毛額（Gross domestic product, GDP）的貢獻，從 110 年第一季截至至 112 年第二季統計結果可知工業約占整體 GDP 的 38%（行政院主計總處，2023），可知工業對於台灣經濟發展的重要性不可小覷。在工業追求經濟發展的同時，需在維護環境資源與環境永續中達到平衡，而為減輕地面水體的負荷並達到永續環境的目標，台灣正在如火如荼的推動廢污水減量、廢棄物資源化等相關政策。工業廢水組成由於製程不同而有所差異，致使廢水處理效能不穩定，統計 110 年全台工業廢污水產生量約 158,220 公噸 BOD_5，其削減率達 89%，然工業廢污水年排放量仍有約 15,951 公噸 BOD_5 會排放至地面水體（環境部，2023）；如處理不完善就直接排至海洋或是地面水體，廢水中污染物與營養物質流入水生生態系統中致使水體優養化，還會增加異營與潛在有害的微生物數量。大多工業為了符合放流水標準並減輕廢污水對於生物系統的破壞，除了在廢水系統的硬體設備與其維護費用投入大量成本外，在化學藥劑等相關耗材亦花費許多費用。為了解決工業廢水系統效能不穩定與高成本廢水處理費用，可透過「植種污泥」來解決工業廢水系統面臨到的困境，同時創造工業廢水綠能減碳的效益，在工業與畜牧業形成跨領域循環，達到永續環境。

二、植種污泥簡介

污泥為廢水處理系統過程中其微生物代謝與固形物沉澱所生成之產物，而養豬場廢水富含高濃度有機質及營養源含量，當廢水系統操作良好、廢水處理效能佳使各槽體能夠保持有效容積與水力停留時間、槽體內微生物有足夠時間及養分生長之狀況下，定期排出之污泥將富含微生物體與有機質及營養源含量，具有再利用的價值，可植種於同業或異業廢水處理系統，幫助提升自場與它場生物處理效率，此污泥即稱為「植種污泥」。

根據統計全國工業年用水量為 16.7 億噸，其中石化業為 5.5 億噸用水量、光電業為 1.5 億噸（經濟部水利署用水工業統計資料，2018），其用水量大易導致後端排放廢

水處理需求與成本提高，而現約 6,500 場養豬場分布全台各地，顯示養豬產業植種污泥產量豐富且穩定（121 萬噸 / 年），且經筆者團隊輔導至 112 年 7 月底已有 5.3 萬公噸以上污泥進行工業廢水效能優化，其養豬場植種污泥可配合全國工業廢水所在地就近取用，則工業端之廢水處理系統得以利用養豬場有機廢水經生物處理單元（厭氧 / 好氧）後所產生豐富且高濃度之植種污泥進行自廠廢水整處理（降解）效能提升。

綜前所述如可藉由「植種污泥」提升廢水生物效能，則可解決工業廢水因組成複雜易導致生物變動性大、廢水處理系統不穩定導致整體耗費能源成本高、廢水處理效能不佳等瓶頸，並透過植種污泥有機質與菌群豐富之特性，將可提供足夠營養源供工業廢水微生物生長利用，及有助於提升工業生物系統降解廢水之效能。同時植種污泥具即時應變性，可視工業需求即時補充所需污泥，迅速提升工業廢水降解功能微生物量並穩定提升廢水效能，其水質提升除可降低後端廢水設備操作、藥劑添加等處理成本外，亦有助於提升沼氣產量創造額外綠能效益。

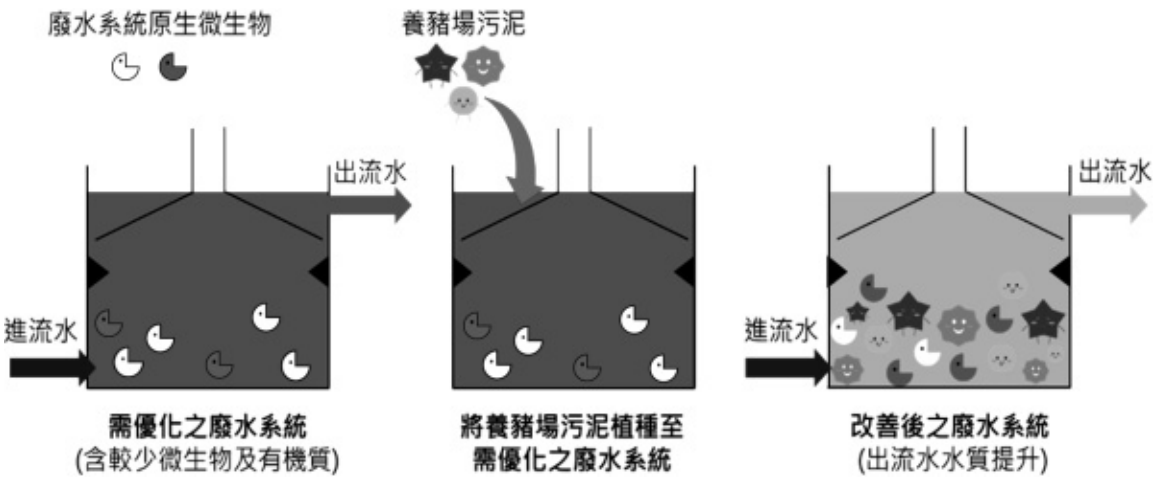


圖 1　工業廢水處理系統植種污泥植種原理示意圖

三、植種污泥應用成效

㈠植種污泥優化工業廢水

1. 工業厭氧效能提升

根據上述關於植種污泥相關簡介可得知其具提升工業廢水整體處理及降解效能，關於植種污泥應用於工業促使其厭氧效能提升列舉筆者輔導團隊輔導實例：

⑴石化業

筆者團隊輔導養豬場供應植種污泥應用於石化廠厭氣廢水優化，結果顯示植種後有助於提升厭氧廢水 COD 降解，其 COD 去除率最高可提升達 12%（平均可提高約 3-7%），如下圖 2。另經由數據顯示其污泥植種後除提升廢水處理

效能外，另有穩定廢水處理效能並優化工業廢水污泥特性等效益，根據下圖 2 可發現於植種過程之第 17 天由於實場製程變動導致進流水 COD 大幅提升，但其COD去除率未減反而穩定提升，顯示植種污泥應用後可避免實場製程變動導致生物處理系統受衝擊之情形，提升廢水處理效能穩定及耐受性。

而該石化業廢水處理系統中之沼氣累積產量，根據實測結果可發現進行植種之沼氣累積產量相較於原本未植種之沼氣累積產量可從原本 9,859 m^3 / day 提升至 10,555 m^3 / day，沼氣累積產率可提升約 700 m^3 / day，沼氣中甲烷濃度也可從原始未植種 70.8%提升至 73.8%，約提升 3%，顯示植種污泥除提升廢水系統效能以外，更具備綠能應用衍生效益。

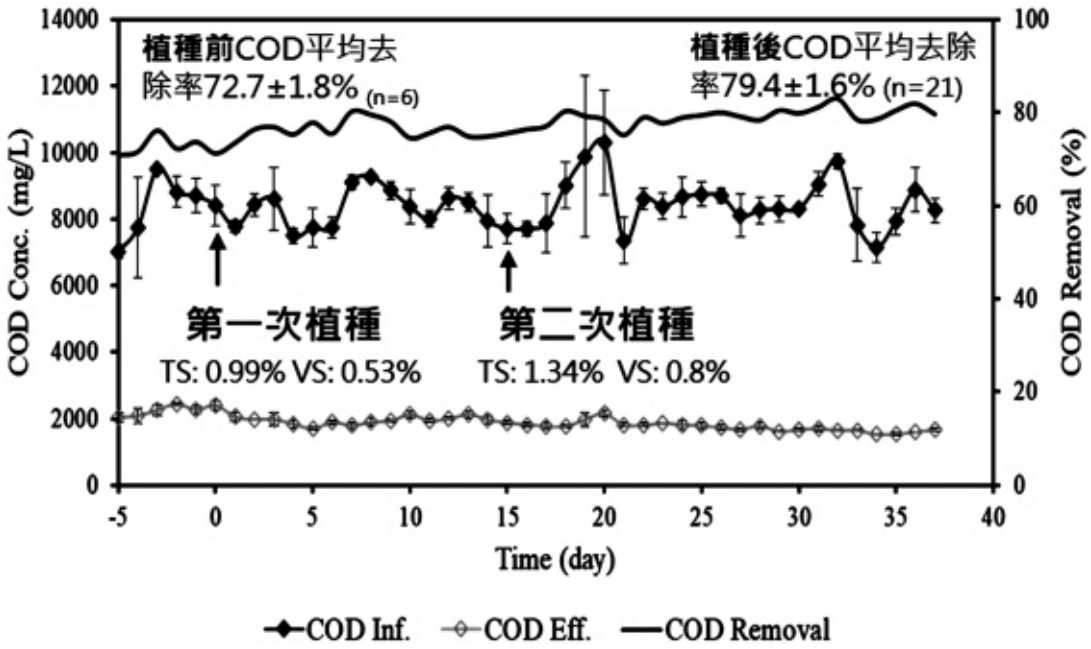


圖 2　石化業植種污泥後 COD 平均去除率

表 1　石化業植種前後沼氣產量與甲烷濃度變化

沼氣特性	未植種	植種後
沼氣產量（m^3 / day）	9,859	10,555
沼氣甲烷濃度（%）	70.8	73.8

⑵光電業

另以筆者團隊實測光電廠廢水系統其經養豬場污泥植種後，其COD去除率最高可提升 21%（如下圖 3），顯示應用養豬場污泥植種後除可快速提升 COD 降解效能並穩定整體廢水處理系統外，亦可提升每日沼氣產率，從原始未植種

之 649 m^3 / day 提升至 795 m^3 / day，增加 150 m^3 / day 之沼氣產率（如下圖 4）。可見植種污泥後不僅可使 COD 降解效能提升、優化工業廢水污泥特性、精進整體廢水處理效能外，同時更能將沼氣產率提升，達成綠能永續經營及污染防治之總體目標。

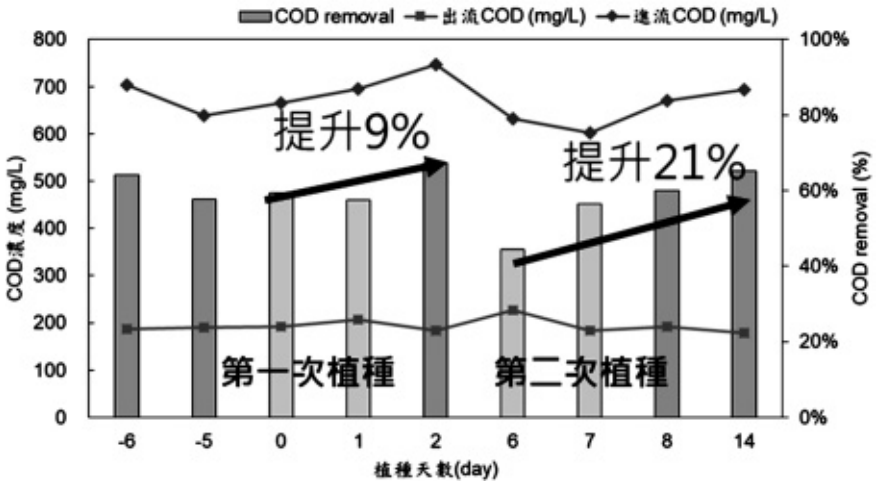


圖 3　光電業植種污泥後 COD 平均去除率

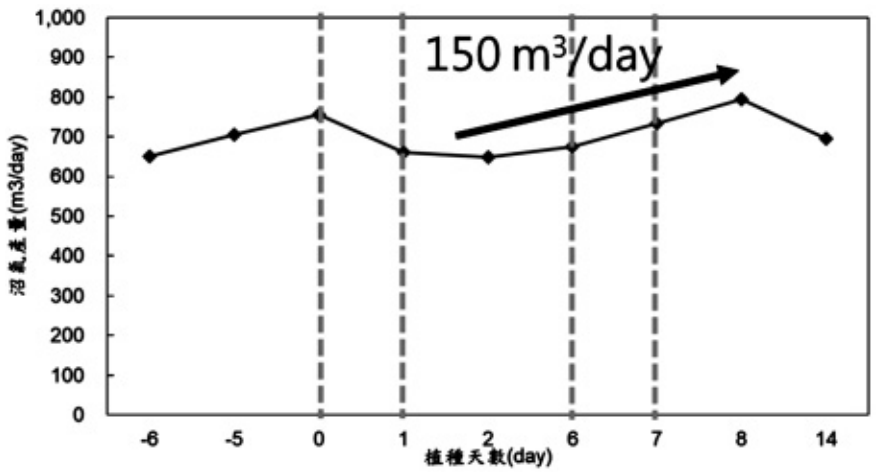


圖 4　光電業植種污泥後沼氣產量

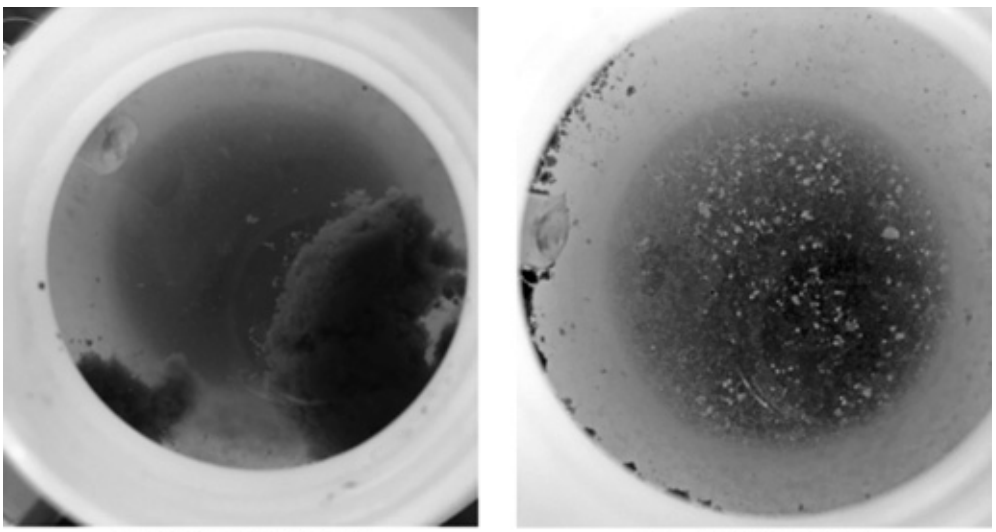
根據上述筆者團隊所輔導植種污泥應用案場，石化業與光電業皆屬於用電與排碳大戶，透過植種污泥提升廢水系統沼氣產能、減少工業端廢水處理成本外，將可為企業創造更高綠能與環保效益、協助企業於國際貿易競爭下，符合各項減碳與綠能指標，同時善盡企業責任，為企業降低污染排放有實質貢獻，進而創造符合循環經濟趨勢下之產業新模式，達到產業發展與永續經濟之目標。

2.好氧效能提升

由於厭氣池污泥為養豬場主要污泥生成來源，且其污泥特性主要適合厭氧環境，故以往皆以養豬場污泥植種工業厭氧廢水進行整體廢水效能提升，然養豬廢水因高氨氮濃度之特性，有利於培養具氨氮耐受性或利用性之微生物群，若可將其應用於工業好氧處理系統，則具提升有機質、降解氨氮微生物菌群等效能，有助工業廢水因應氨氮加嚴管制要求，提升自場廢水處理效能，以下列舉筆者團隊輔導植種污泥應用好氧單元廢水處理實例：

⑴水資源回收中心

環保署於民國 106 年修法加嚴氨氮、總氮管制限值，並於民國 113 年時放流水氨氮需達到 30 mg / L 以下及總氮需減量至 35 mg / L 以下之排放標準，因此該水資源回收中心需提升除氮效能及去化的穩定性，以因應未來的排放標準。根據筆者團隊進行水資源回收中心植種試驗結果顯示，其養豬場污泥經廠內馴化後植種於廢水處理系統中可顯著提升水質清澈度且其提升污泥絮凝狀態（圖 5），此結果有助於優化本廠後端沉降性與減少後端三級處理之成本。另外在系統效能提升方面，經植種後其 COD 依然可維持良好的降解效果，而總氮與氨氮則具有較佳去除率之表現，其總氮去除率最高提升 23%、氨氮去除率最高提升 5%，顯示植種污泥後對於廢水系統氮的降解去化及系統穩定性具有優化之效能。



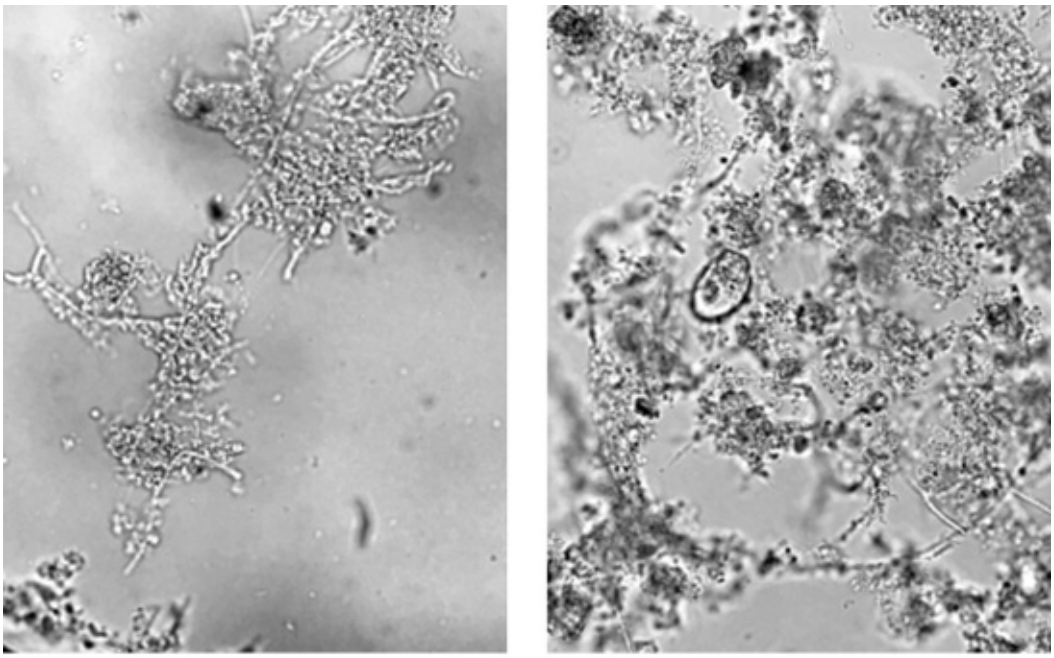
(a) 植種後沉澱槽水質　(b) 未植種沉澱槽水質

圖 5　好氧污泥植種前後水質比較

⑵印染公司

本案例之印染公司其產品製程所生產廢水主要為有機物、酸、鹼及少量來自染料之重金屬，其具水質變動大、有機污染物含量高、色度高及鹼度高等特

點，故其廢水處理需考量色度去除外，其有機污染物去除亦相當重要。根據筆者團隊試驗結果，其養豬場污泥經廠內馴化後植種於印染公司廢水處理系統，其可有效提升原廢水處理系統 COD 及 NH_3 - N 降解效能，並改善因絲狀菌種導致固形物難以沉降及污泥膨化現象（如下圖 6）。綜前所述，未來期可藉由養豬場污泥植種於好氧處理系統，避免因廢水特性差異大，進而影響廢水處理穩定性。另外，透過植種污泥，亦可提升槽體內菌相豐富度，避免因污泥菌相活性不夠，導致污泥膨化、水質不佳等問題。



(a) 未植種前微生物多為絲狀菌　(b) 植種後微生物豐富度提升

圖 6　植種前後活性污泥微生物鏡檢

⑶石化公司

石化業廢水常見污染物為與製程原料及產物相關，如油脂、酚、芳香烴、硫化物及氨氮等污染物，廠內亦設有生物處理程序進行廢水中污染物降解之處理，亟具提升生物處理程序效能、減低後端三級處理之成本之需求，故筆者團隊協助石化業者於實廠進行模槽效能驗證（如下圖 7），並依據業者需求媒合篩選適合之植種污泥。根據筆者團隊以未經馴化之植種污泥進行試驗，其結果顯示其廢水系統整體之 COD 降解率相對於未植種前 COD 降解率皆可保持在相對穩定且提升的趨勢外，好氧植種 COD 平均去除率可提升 19%。而以往可能認為使用養豬場高 NH_3 - N 之污泥會使其廢水處理受到影響，而經由團隊試驗成果其植種前後之成果顯示其污泥不會造成工業端廢水處理系統中 NH_3 - N 累積並

提升其濃度的現象發生，且原始進流水 NH_3 - N 濃度能維持於一定濃度。就整體之廢水系統處理效能有維持效果外，其好氧植種平均氨氮去除率可提升 24%，可得知植種污泥後除可提升 COD、NH_3 - N 等廢水處理效能。

(a) 於石化廠實廠架設小型連續進流式模槽系統之實景圖

(b) 團隊於現場進行模槽好氧桶槽參數調控與監測之作業實景

圖 7　於石化廠實廠架設模槽系統之試驗圖

㈡植種污泥應用減碳效益-以石化業厭氧廢水為例

養豬場植種污泥應植種污泥應用於厭氧廢水處理系統中，除可提升廢水處理效能外，亦有助於提升沼氣產量及甲烷濃度，其中沼氣為可燃氣體，其熱值約 4,941 kcal（經濟部能源局，2023），可用於發電或鍋爐燃燒等能源應用。以沼氣作為發電應用為例，採併網售電予台電可獲得每度 7.0089 之售電收益，如採以發電自用則可取得憑證，並售予綠電需求業者，創造衍生綠能應用效益；如應用沼氣於能源設施（如：鍋爐）則可減少石化燃料之使用，以減少企業碳排放量，提升企業碳權形象，亦可進一步向環保署申請碳抵換等效益。

以團隊輔導石化業者進行植種污泥應用厭氧廢水處理實測，植種後其沼氣產量可提升 696 m^3 / day；沼氣中甲烷濃度自可提升 3%，如將沼氣進行燃燒應用，其減碳效益可分為兩階段，分別為：⑴甲烷燃燒破壞及⑵應用取代天然氣，其後將以此兩階段進行減碳效益計算：

表 2　石化業植種前後沼氣產量與甲烷濃度變化

沼氣特性	未植種	植種後
沼氣產量（m^3 / day）	9,859	10,555
沼氣甲烷濃度（%）	70.8	73.8

1. 以甲烷燃燒階段減碳量

植種前沼氣產量為 9,859 m^3 / day，以 70.8%甲烷、29.2%二氧化碳進行減碳量計算，其沼氣減碳係量約 40,560.4 tCO_2e / year；植種後沼氣產量為 10,555 m^3 / day，以 73.8 %甲烷、26.2 %二氧化碳進行減碳量計算，其沼氣減碳量約 45,263.7 tCO_2e / year，相當於每年可減少 40,560.4 tCO_2e，可進行碳企業碳權或碳抵換之申請。

表 3　植種前甲烷燃燒階段減碳係數與減碳量

沼氣成分		原碳排係數	燃燒後碳排係數	減碳係數	沼氣量	減碳量
甲烷	二氧化碳	$kgCO_2e$	$kgCO_2e$	$kgCO_2e$	m^3 / day	$kgCO_2e$ / day
70.80%	29.20%	13.25136	1.98	11.27136	9,859	40560.38346

表 4　植種後甲烷燃燒階段減碳係數與減碳量

沼氣成分		原碳排係數	燃燒後碳排係數	減碳係數	沼氣量	減碳量
甲烷	二氧化碳	$kgCO_2e$	$kgCO_2e$	$kgCO_2e$	m^3 / day	$kgCO_2e$ / day
73.8%	26.2%	13.72896	1.98	11.74896	10,555	45263.74957

2. 以沼氣應用取代天然氣減碳量

根據經濟部能源局統計之能源產品單位熱值表，其每 m^3 沼氣熱值約為 4,941 kcal、每 m^3 天然氣熱值為 8,000 kcal，其植種前如以沼氣量 9,859 m^3 全量取代天然氣燃燒應用，相當於可減少 6,089.17 m^3 / day 天然氣使用量；植種後以沼氣量 10,555 m^3 全量取代天然氣燃燒應用，則可減少 6519.03 m^3 / day 天然氣使用量。進一步以環境部氣候變遷署之事業溫室氣體排放量資訊平台，可換算植種前以沼氣取代天然氣使用可減少碳排放量約 4180.3073 tCO_2e / year；植種後則可減少碳排放量約 4,475.4419 tCO_2e / year，相當於植種後有助提升每年 295 tCO_2e / year 減碳量，以以 9 元 / m^3 天然氣價格估算，植種後相當於省下 141 萬元 / 年。

表 5　沼氣應用取代天然氣量評估

	沼氣量 m^3（A）	沼氣熱值 kcal / m^3（B）	天然氣熱值 kcal / m^3（C）	可取代天然氣量 m^3（D=A×B/C）
植種前	9,859	4,941	8,000	6089.165
植種後	10,555			6519.03

綜整前述，養豬場植種污泥應用於工業廢水，除具提升廢水處理效能外，亦有助於提升沼氣產量及甲烷濃度，因應現今減碳等國際趨勢，善盡企業責任並為企業創造兼具環保與綠能之效益。

㈢植種污泥前處理操作與成效-以石化業好氧廢水實測

養豬場的廢水系統培養出具有高度多樣性的污泥菌群，豐富且多元的菌群能夠加強工業端廢水生物處理單元的效能與穩定性。而不同產業別因為製程、廢水特性有著本質上的不同，其廢水處理系統孕育的菌群具備之降解功能性亦不相同，其可透過適當的前處理進行植種污泥效能提升，達到低成本高效益的產業目標。

以下將以石化業好氧廢水試驗成果為例進行講解，圖 8 與圖 9 為以不同前處理模式（馴化污泥進行植種及未馴化污泥進行植種）之菌群相對豐富度的變化量。圖 8 結果顯示添加未經馴化處理污泥提高了部分石化業廢水原有的現地菌群相對豐富度，此組的養豬場污泥作為營養源，其富含較高濃度的氨氮與有機質，強化工業端原有的現地菌群，若產業的廢水生物處理單元的現地菌群已是處理廢水的最佳解，則可透過植種未馴化污泥來增加有益於廢水降解菌群的豐富度以期提高整理廢水效能。而添加經馴化處理污泥則提高了部分養豬場污泥菌群的相對豐富度（圖 9），經馴化後的污泥菌群能適應產業的水質條件，此舉能視為替工業端廢水處理系統補充有效菌群、提高菌相的多樣性。若產業廢水水質難以培養出符合廢水降解效能預期的菌群，可選擇此一前處理方式，透過植種馴化污泥提升自廠廢水系統中更適合降解廢水的菌群。另外，筆者團隊進一步比較兩組別中菌群的氮代謝功能基因量（圖 10），結果經過前處理的污泥提升氮代謝功能相關菌群於現地廢水系統，大幅增加氮代謝功能基因量，此能彌補原有現地菌群的不足，並因應工業加嚴管制規定，提升廢水氮代謝功能菌群。綜整前述，植種污泥可因應工業廢水處理需求進行

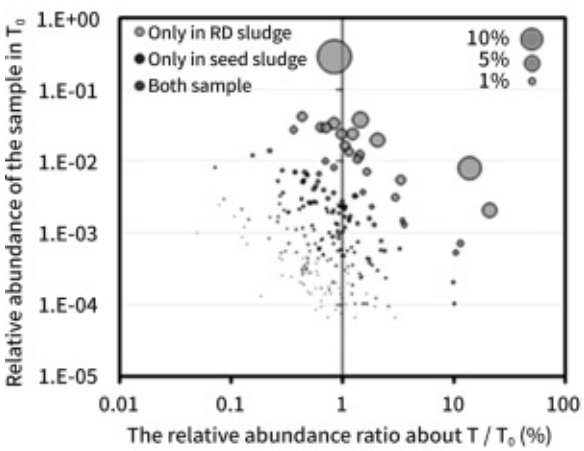


圖 8　石化好氧廢水植種未馴化污泥

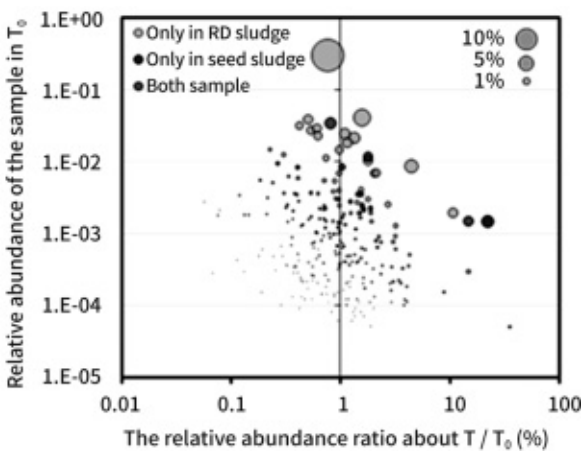


圖 9　石化好氧廢水植種已馴化污泥

前處理，若產業有植種污泥的需求，團隊可協助了解廠內的廢水處理系統需求及其所適合植種污泥應用之前處理方式，以最佳化植種污泥的增益效果。

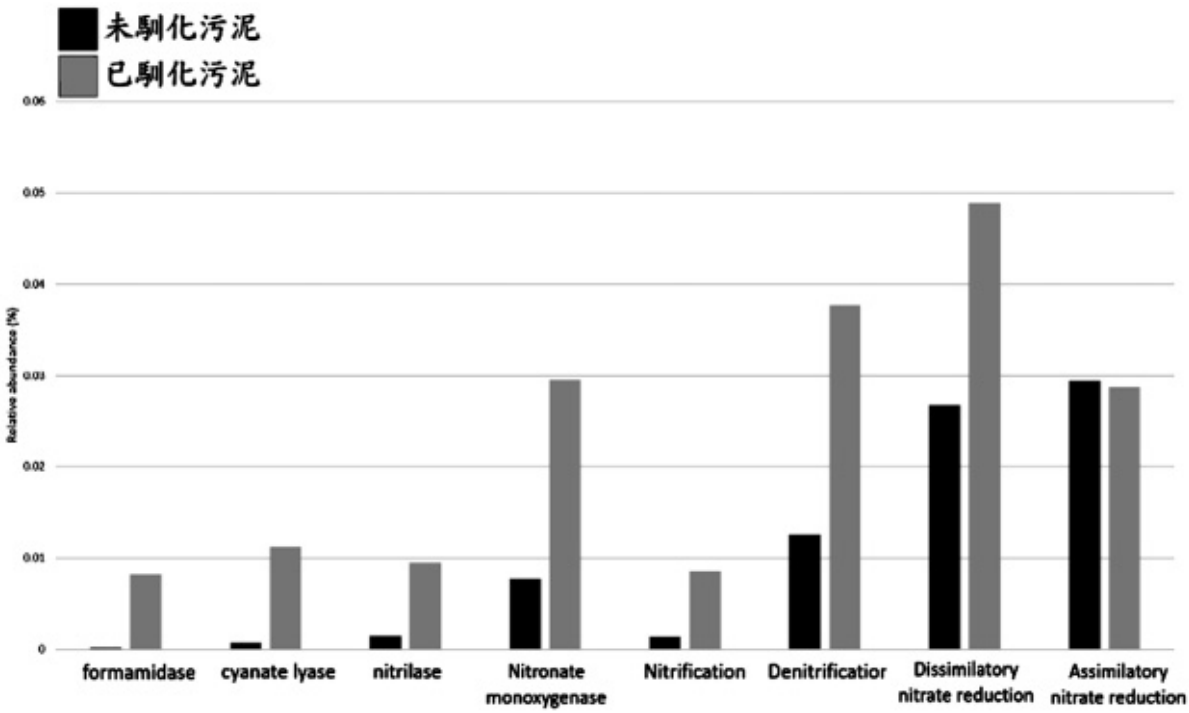


圖 10　氮代謝功能基因分析

四、植種污泥流程與法規

㈠植種污泥適用工業場域

將養豬場污泥植種於工業端廢水系統具有很大的循環經濟效益，不僅能為農業端降低廢棄物產生量，同時也為工業端提升廢水處理系統效能，達到農工雙贏之目標。而除了污泥來源之養豬場須妥善管理與挑選外，欲植種之工業端也需審慎評估植種污泥之需求與規劃。一般來說，工業廢水系統由於排放標準較為嚴格，其管理與規劃使得處理效能更好且更加穩定。如案場具備二級生物處理系統，同時有意願提升廢水系統之污染物降解效率（如：COD、總氮與氨氮），或是廢水系統例行歲修後想更快速恢復廢水既有處理效能，該案場即非常適合考慮植種污泥，且由於畜牧場型態多元，不同的養豬方式、廢水系統形式以及操作頻率，會導致污泥中微生物功能菌群有所差異，植種後可帶來不同方面的效能提升。因此工業端可針對自廠廢水處理需求，選擇污泥來源以及預植種之目標槽體，透過較低之成本來達到預期改善效果。

㈡植種污泥挑選條件

工業端如何篩選適合做為長期合作植種污泥之畜牧場是非常重要的，其會影響植種效能與穩定性，而適合做為植種污泥之畜牧場首先應具備良好的廢水處理效能且長期穩定，這代表該牧場廢水系統內微生物狀態良好且變動小；再者須具備完善的排泥系統，能自行將廢水池體中的污泥定期集中處理以供後續植種使用；最後，該牧場需設置 25 噸以上的污泥濃縮槽，以重力濃縮等方式減少污泥中的含水量，提高植種污泥單位體積中之微生物濃度，同時該污泥濃縮槽之設置位置需符合槽車便於載運等需求。綜整前述三條件，其所提供的植種污泥才能提升或改善植種之工業端的廢水系統，且牧場狀態越穩定，工業端才能更加放心的長期合作與使用植種污泥。

經污泥濃縮池處理後之污泥，需達一定的品質，才可將其提供給工業端使用，團隊依據以往實測養豬場污泥綜整四項規格數據之標準：pH（酸鹼度）、ORP（氧化還原電位）、TS（總固體量）、VS（揮發性固體量），其建議值如圖 11。規範 pH 主要是因污泥存有不同種類菌群，其不同功能菌群有其適合生長的 pH 範圍，若能穩定將 pH 控制在此範圍中，可使污泥狀態與活性較佳，那麼對於後續植種於工業端時，污泥能更加適應新環境並發揮其功能。ORP 則是用於初步判斷污泥性質之指標，其正值代表污泥環境偏向氧化狀態，有利於好氧反應發生；反之，數值為負值則偏向還原狀態，更利於厭氧反應發生。TS 及 VS 主要是用於把關植種污泥濃度，污泥濃度低則需提供更大量的污泥才可達到一定的微生物總量，但植種過量體積對於工業端廢水系統之穩定度影響更大，因此能將污泥經濃縮處理提高污泥濃度，亦可達到預期之植種效益並減少運輸過程中之成本。除了前述基本四項標準外，污泥中的菌群種類也需特別注意，例如：工業端預提升沼氣產量，則可挑選含有豐富甲烷菌群之植種污泥，因此團隊將協助掌握工業自場廢水處理需求，並針對不同需求選擇合適之植種污泥來源，以更加快速達到預期之目標。

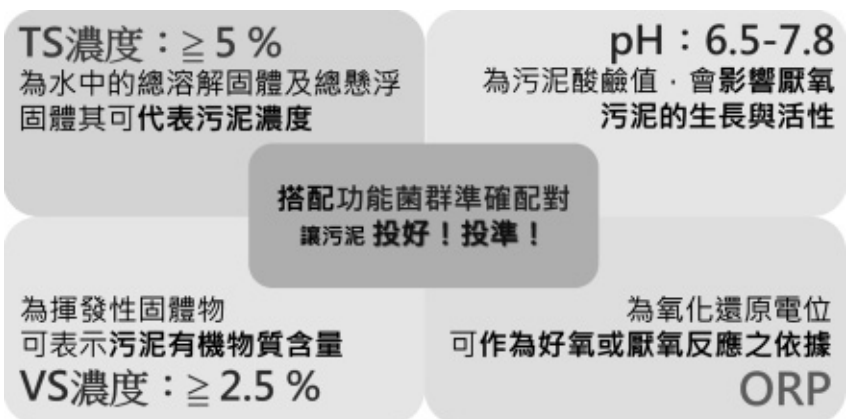


圖 11　植種污泥品質規格標準

㈢植種污泥再利用流程

植種污泥再利用流程需仰賴農業端及工業端之緊密配合，從農業端開始，其需透過定期排泥及濃縮處理，為工業端提供長期且穩定之污泥品質與總量，並於植種污泥運送至工業端 24 小時前以電話或傳真通知直轄市、縣（市）主管機關，植種污泥載運回廠內後，可將污泥進一步馴化備用，最終植種於自廠之廢水系統中，詳細流程如圖 12。植種再利用的每一個步驟皆環環相扣，需完善植種流程才可提高植種污泥再利用整體之穩定性。

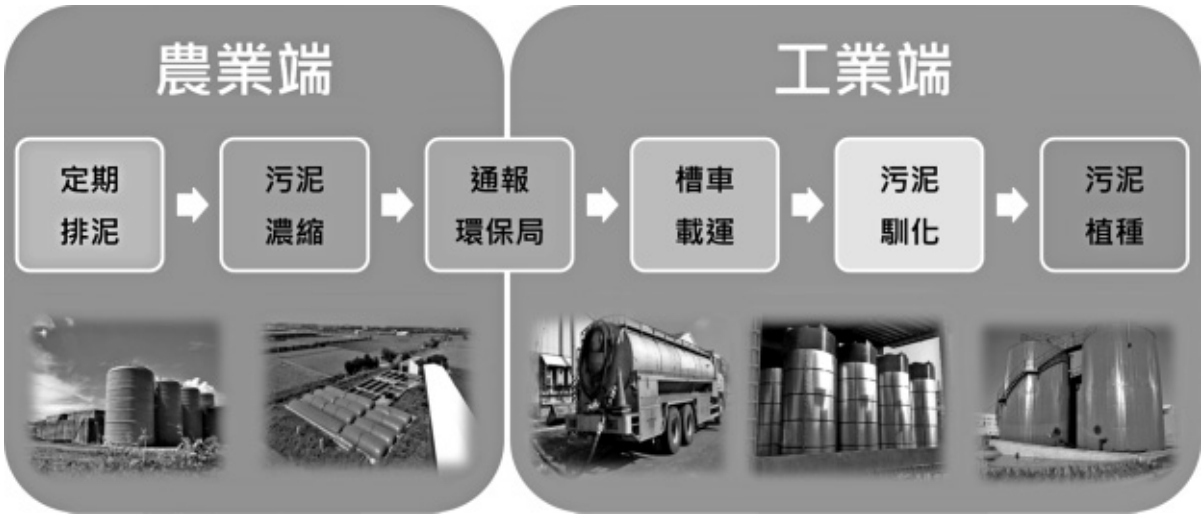


圖 12　植種污泥再利用流程

㈣植種污泥應用法規與辦法

植種污泥再利用實施過程須遵守「農業事業廢棄物再利用管理辦法第三條附表一-修正規定」以及「水污染防治措施及檢測申報管理辦法-第 110 條」。前者規範其植種污泥僅能做為供應其他同業或異業廢水處理系統提升生物處理效率所需，無產品產出，同時非經常性之使用不適用此規定。後者則針對植種污泥實施規範流程，畜牧場所產生之污泥於 2016 年經環保署修法開放可作為植種污泥再利用，其可免辦理水污染防治措施計畫、許可證（文件）之登記及變更，只需於運送及收受行為二十四小時前，以電話或傳真通知直轄市、縣（市）主管機關即可。通報表單內容須註明：⑴植種污泥運送車號；⑵植種污泥運送量；⑶預運送地點，每次運送前皆須確實通報，也為農業端及工業端雙方加一層保障。

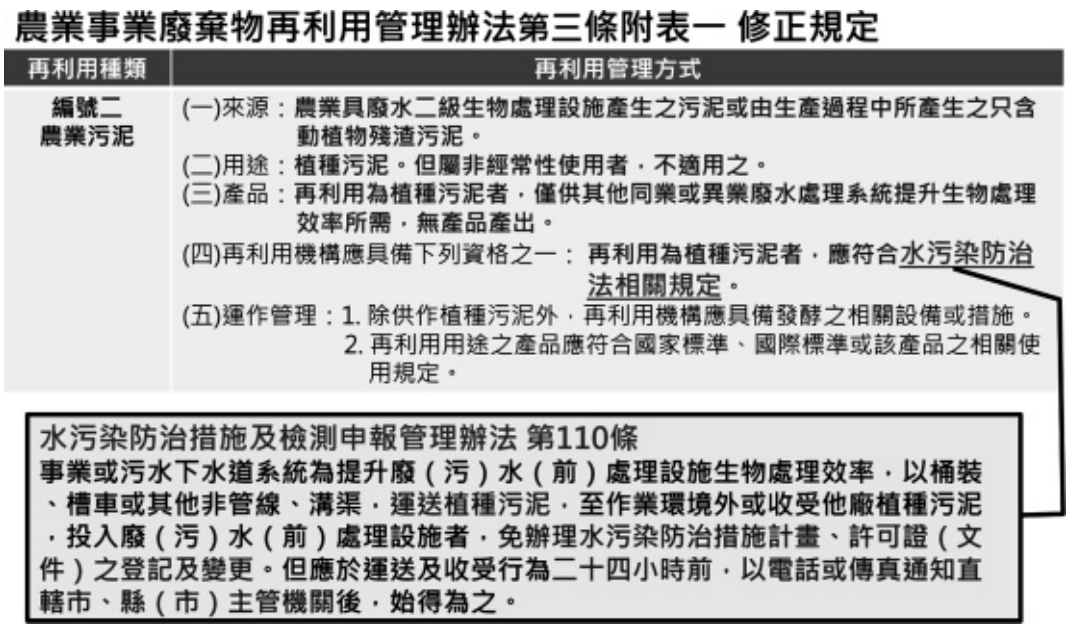


圖 13　植種污泥再利用之相關法規

五、工研院植種污泥媒合輔導策略

工研院團隊針對工業端植種污泥再利用制訂完善之輔導流程，如圖 14。團隊具備廢水技術之同仁先至工業案場進行現場訪視，瞭解其廢水整體流程以及改善需求，針對預改善之單元制定完整實驗室模槽測試，依據現場廢水系統配置與操作參數規劃實驗流程，並挑選數場養豬場污泥進行植種測試，優先挑選鄰近工業案場且具備植種污泥潛力之養豬場，以降低運輸成本以及確保未來合作時可定期提供穩定污泥量及品質。透過初步的養豬場污泥篩選與實驗室模槽測試挑選出適合之養豬場污泥以及植種過程中的相關參數，則可進一步於工業案場進行小量的實場模擬測試，於現場架設小型模槽搭配實場進出流水體與前階段所測試出之最適操作參數，來確認優化效能以及無負向影響產生。待確認確實有效能提升後，即可進行實場測試，藉由逐漸擴大規模之測試方式，使評估之結果能更貼近實際植種後可能發生的各種情況，將植種污泥的效益最大化。待測試完成後，團隊則會協助媒合合適養豬場與工業案場建立長期合作供應鏈，並於後續持續追蹤兩端之現況，確認植種成效，若有任何狀況團隊亦會第一時間給於協助與調整建議。成功媒合植種污泥後，團隊也會深入輔導工業案場於植種污泥之相關操作，包含植種污泥是否馴化、馴化參數、植種量、植種次數、植種作法、植種頻率……等，工研院團隊皆會針對不同工業案場之現況給予客製化輔導與協助。

綜前所述，從源頭污泥篩選、植種過程以及後續植種效能追蹤，團隊建立工業端植種污泥再利用之完整流程，如圖 14，每一個步驟工研院都會給工業端案場最完善且即時的協助，期望協助工業端業者以較低成本之方式，達到效能提升之目標。

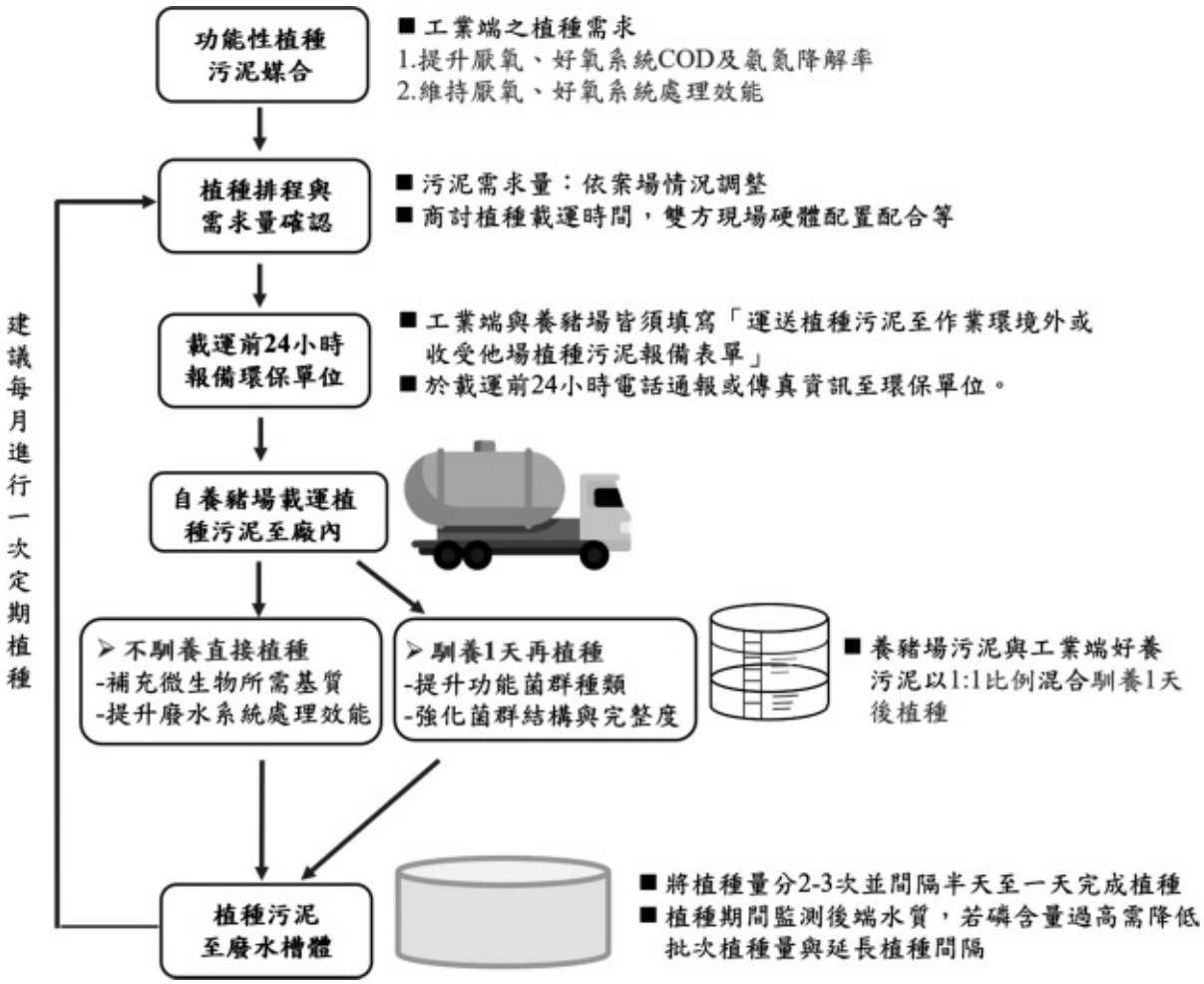


圖 14　工業端植種污泥再利用流程

六、結論

「植種污泥」富含豐富營養源及功能性微生物，可用以解決工業廢水處理過程面臨到的環保壓力與困境，筆者團隊至今已輔導國內植種污泥再利用量達 5.3 萬公噸以上，協助企業解決廢水系統效能不穩定與高成本廢水處理費用，同時於處理過程提升沼氣產率、進而創造工業廢水綠能減碳的效益，惟植種污泥富含功能菌群不盡相同，須依據企業廢水處理需求（如：沼氣產量提升、有機物 / 氨氮污染物降解等）進行植種污泥之篩選，對此團隊可自高品質植種污泥篩選、植種作法、植種成效確認與長期媒合模式建立，提供企業完整技術輔導與協助，期透過農業「植種污泥」建構農、工跨領域循環，達到永續環境願景。

CN 燃氫蒸汽鍋爐介紹

三浦工業股份有限公司／佐佐木務
摘錄自日本ボイラ研究　NO.438 ／台灣三浦工業股份有限公司　譯

氫氣因燃燒時僅生成水，被視為 CO_2 零排放的潔淨能源而受到關注。然而，迄今為止氫氣幾乎未曾被用作鍋爐的燃料。這是由於氫氣具有「快速燃燒速度」、「高絕熱火焰溫度」和「廣泛的可燃範圍」等特性所致。為了應對未來潔淨能源利用的需求，本公司積極推動開發以氫氣為燃料的貫流式鍋爐，根據氣體的特性建立安全裝置（防止逆火），並降低 NOx 排放量。以下將介紹相關措施以及 CN 燃氫鍋爐的交付案例。

一、前言

日本於 2020 年 10 月宣佈以「2050 年碳中和」為目標，同時於 2021 年 4 月制定 2030 年度新的溫室氣體減排目標，旨從 2013 年度起減少 46%溫室氣體排放。並更進一步提出追求更高 50%減排目標的新方針。

蒸汽鍋爐被廣泛應用於各種產業，但目前 CO_2 排放量為何呢？圖 1 顯示日本各部門的 CO_2 排放量比例。排放量最多的部門是發電部門，佔總排放量的 40%；其次是產業部門，佔 24.3%。實際上，其中約 60%被認為是熱能利用，而熱能利用中約 21%推估為蒸汽鍋爐的排放。經計算其年間排放量為 4,370 萬噸，約佔日本 CO_2 年間排放量的 4%。

我們將實現碳中和視為本公司的使命，著手開發氫氣燃料的貫流式鍋爐。

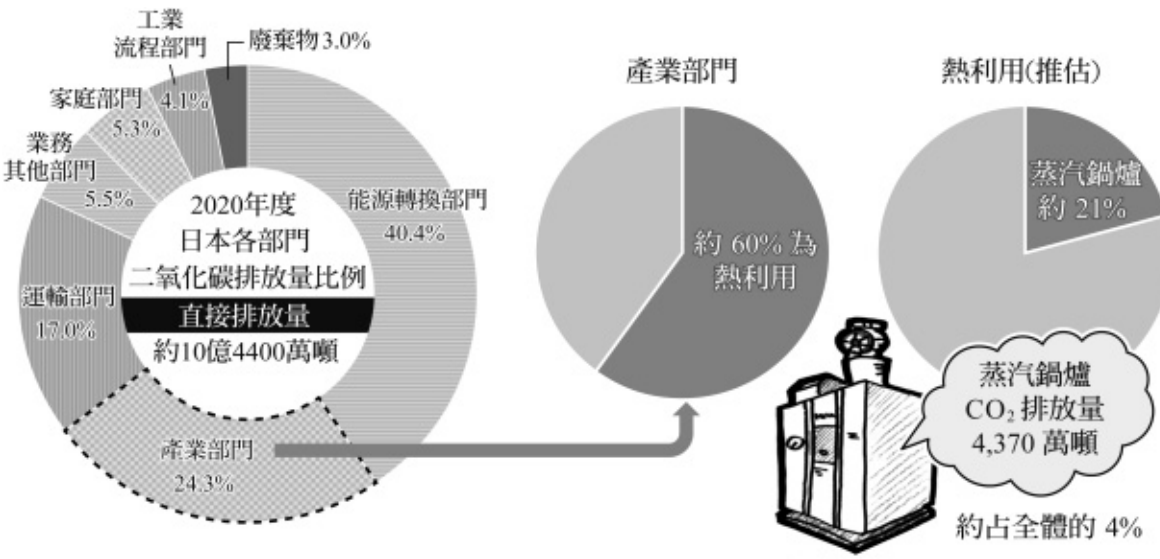


圖 1　產業用蒸氣鍋爐的 CO_2 排放量

二、爐的 CO_2 減排

首先，我們來確認一下在燃料種類和燃燒過程中的 CO_2 排放量。

圖 2 顯示製造 1 噸蒸汽時所產生的 CO_2 排放量。如果進行燃料轉換，每個數字之間的相差就代表了 CO_2 的減排量。

迄今為止，我們透過將燃料從 A 重油轉換為天然氣來促進 CO_2 減排，其每噸蒸汽的減排量約為 82 公斤。

若將天然氣轉換成氫氣則為 161 公斤，約是原本的兩倍；若從 A 重油改為氫氣，其 CO_2 減排成效為 243 公斤，約是原本的三倍。由此顯示燃氫鍋爐對於 CO_2 減排能成為很大的助益。此外，根據經濟產業省制定 2050 年碳中和的綠色成長戰略，產業部門將朝著 2030 年的目標追求更加節能的成效。面對 2050 年碳中和時代，加速將氫氣定位為新能源並向社會實施。從國家的角度來看，對於透過氫氣實現碳中和則是抱持高度的期望。

圖 2　經燃料轉換所帶來 CO_2 減排量

三、邁向碳中和（本公司的進展）

圖 3 為經濟產業省所發布未來氫氣生產量的預測及本公司氫氣燃料鍋爐的開發進程。本公司自 2015 年起正式開始氫氣燃料鍋爐的基礎開發，並於 2017 年建立安全燃燒氫氣技術，推出日本首款專門燃氫鍋爐。

隨後，針對都會區開發低 NOx 燃燒器，讓都會區也能導入。

從圖表也可發現，未來藍氫和綠氫的產量預計將大幅增長，推測未來以減少 CO_2 為目的，燃氫鍋爐的需求將持續增加。

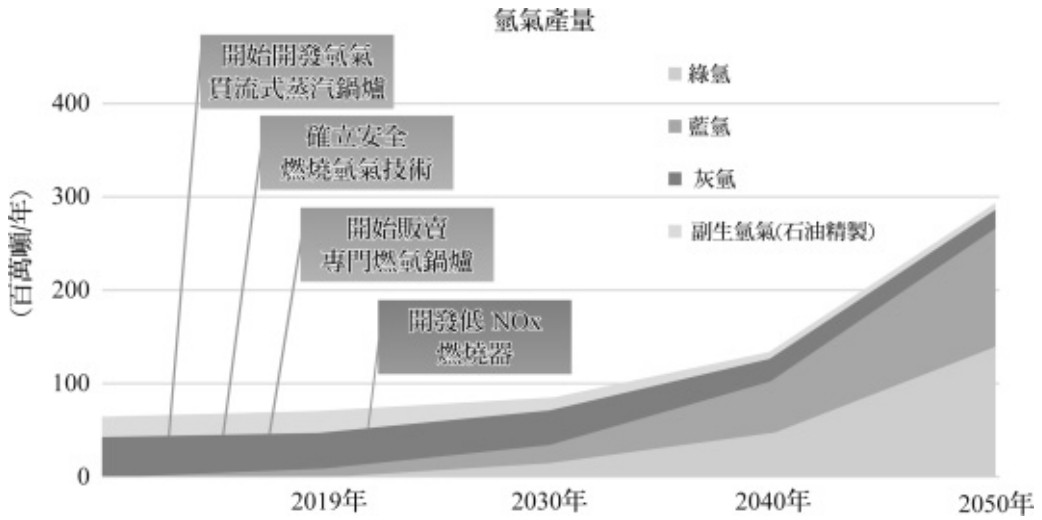


圖 3　氫氣生產量預測與本公司的開發進程

四、氫氣作為燃料的挑戰

雖然過去氫氣已被用於工業氣體，但作為燃料使用卻相對有限。關於氫氣作為燃料則存有三個挑戰。

第一挑戰是與安全性相關，由於氫氣是非常小的分子，容易外洩；氫氣火焰在可見光下不發光，並且因為燃燒速度快，容易引發逆火等物理特性。

第二挑戰是與環境性相關，燃燒溫度較現有甲烷等燃料高，容易生成熱 NOx。

最後第三挑戰是經濟性。清潔氫的製造方法包含從化石燃料中提取氫氣並將 CO_2 儲存在地下，以 CCS 生成藍氫，以及利用可再生能源發電，電解水產出綠氫。然而這兩種方法所製成的燃料都較為昂貴。

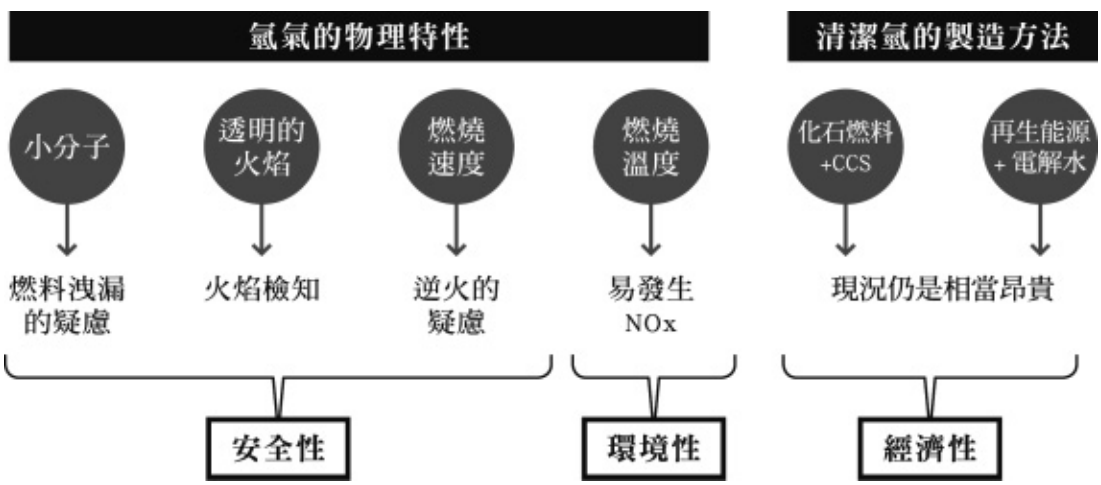


圖 4　氫氣作為燃料的挑戰

五、安全設計（1）

以下將說明本公司燃氫鍋爐的安全設計進行說明。由於氫氣非常易燃且為燃燒快速的氣體，在燃燒過程中需要針對其特性採取安全措施。然而，至今尚未明確制定有關氫氣燃燒的業界安全標準。

因此，我們參考了各個業界處理氫氣的準則，研究出本公司自行安裝的安全裝置。

第 1 個安全設計是對於燃料洩漏的對策。考慮到從法蘭墊片等連接部位意外洩漏氫氣的情況，因此在氫氣燃料管路之電磁閥等電氣器具採用氫氣防爆設備。

氣體壓力開關由齊納防爆柵作為基本安全保護。此外，將戶外規格設為標準型，並將氫氣燃料管路配置在容器的上方，以確保萬一發生燃料洩漏時，該結構也能安全地將其擴散到大氣中。

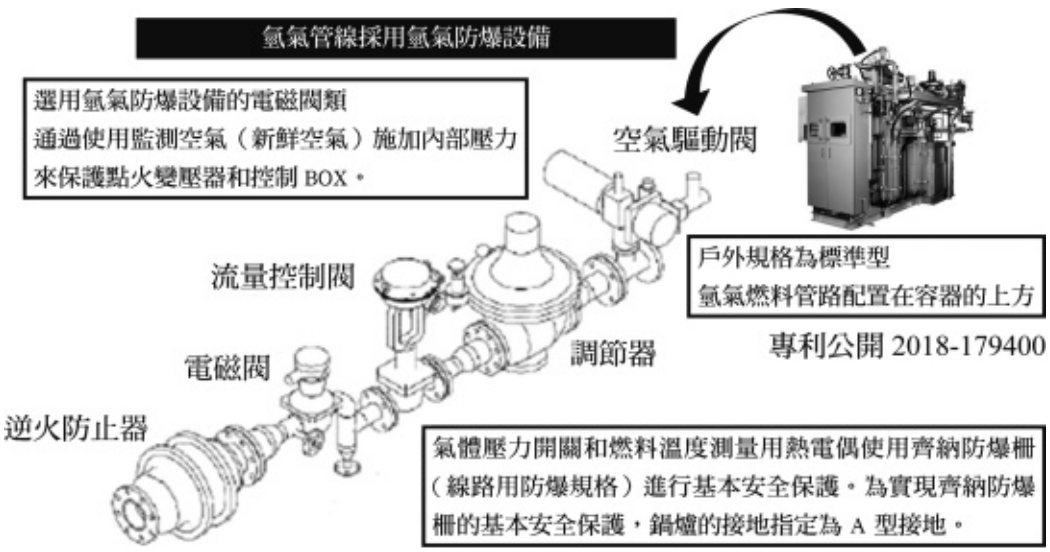


圖 5　燃料洩漏對策

六、安全設計（2）

第 2 個安全設計是在燃料管道的逆火防止對策。在燃料管線中標準裝配稱之為逆火防止器的逆火防止裝置。採用的防逆火器如圖 6 所示。

褶皺條構造是由波紋板條和平面板條所組成的滅火要件，其截面近似由多個三角形的間隙所構成的蜂巢狀結構。當火焰通過時，藉由材料的熱容降低火焰溫度，從而停止燃燒反應。

七、安全設計（3）

第 3 個安全設計是殘留氫氣的對策。氫氣與都市天然氣主要成分的甲烷相比，氫氣在空氣中具備從非常低濃度到非常高濃度皆能燃燒的特性。

因此，圖 7 所示燃燒停止時，為了防止在燃料管道中滯留氫氣的燃燒，而設置氮氣淨化的功能。

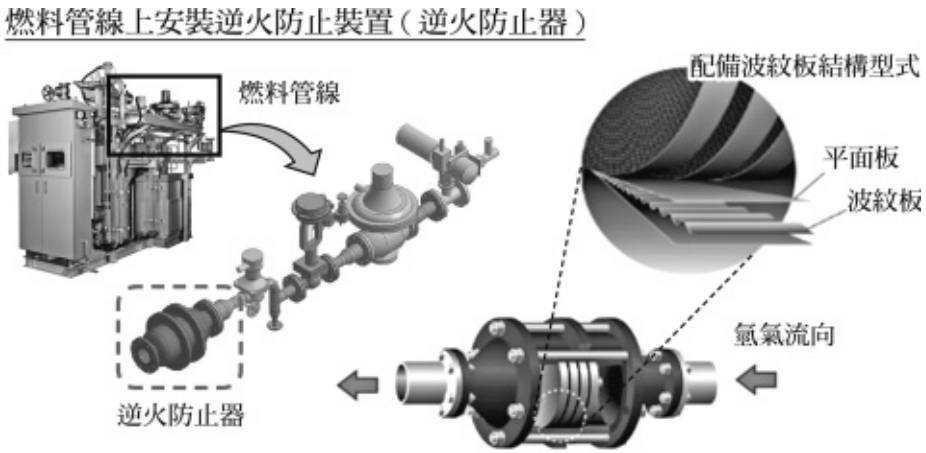


圖 6　逆火防止對策

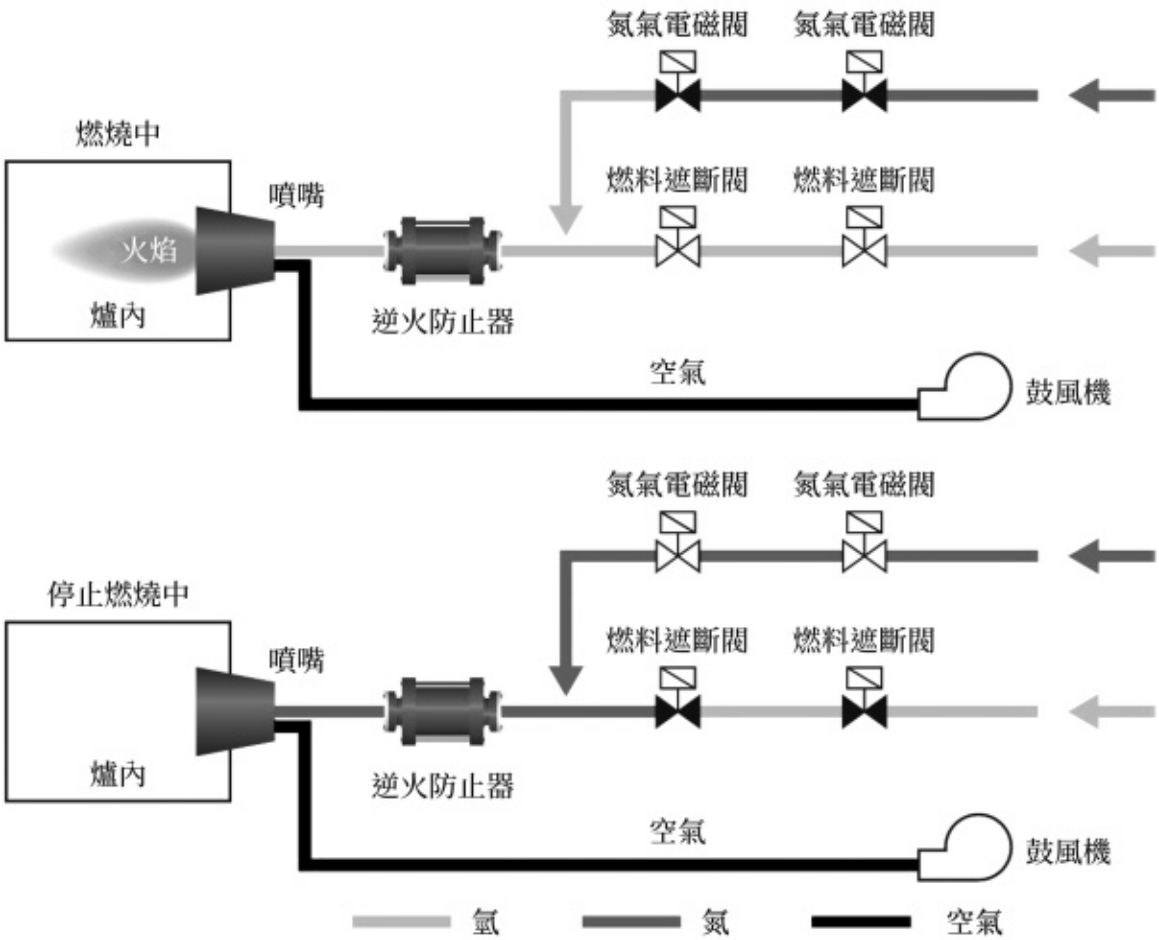


圖 7　透過氮氣淨化的逆火防範

八、氫用低 NOx 燃燒器的開發

接下來將說明與環境相關降低 NOx 的技術。已知氫氣的絕熱火焰溫度較高，與都市天然氣或 LPG 等氣體燃料相比，燃燒過程中所生成的 NOx 約為 2 倍左右。

通常 NOx 降低方法之一是採取外部再循環的方式，透過煙道通過送風機將排氣氣體再次引到燃燒用的空氣中。而在本公司試驗中發現，此方式在氫氣燃燒時僅能達到 40% NOx 降低效果。

由於外部再循環方式無法滿足都市等嚴格管制區域的標準，因此本公司決定自主開發燃氫低 NOx 燃燒器。在開發過程中，以低逆火風險的擴散燃燒方式為基礎，採用內部 EGR 作為 NOx 的降低方法。

該燃燒器的構造為通過高速噴出燃燒用空氣，並在其下游設置氫氣噴嘴，將氫氣均勻地沿著周圍噴射。透過利用噴出高速空氣的文丘裡效應，使燃燒一次後氧濃度降低的氣體再循環回火焰區域，從而大幅抑制 NOx 的排放。成功地在整個負載範圍內，以 O_2 = 0%換算值，將 NOx 降至 45 ppm 以下。

此外，透過本公司自製的使用紫外線光電管的火焰檢測器，也能穩定地在氫氣火焰檢測檢測出火焰。

九、台數控制

目前通常將燃氫鍋爐交付至能夠生產較便宜的副產物氫氣的工廠。在這種情況下，產生的氫氣量將隨著工廠運作狀況而變動。燃氫鍋爐需要能對應廣泛不同的氫氣量，同時需要快速適應氫氣量的變化。

為使燃氫鍋爐能在 100%～25%範圍內進行無級別的燃燒，並能適應廣泛不同的氫氣量，我們開發了適用於多台燃氫鍋爐的控制裝置。

這幾乎能讓變動的氫氣量全數作為燃料利用。

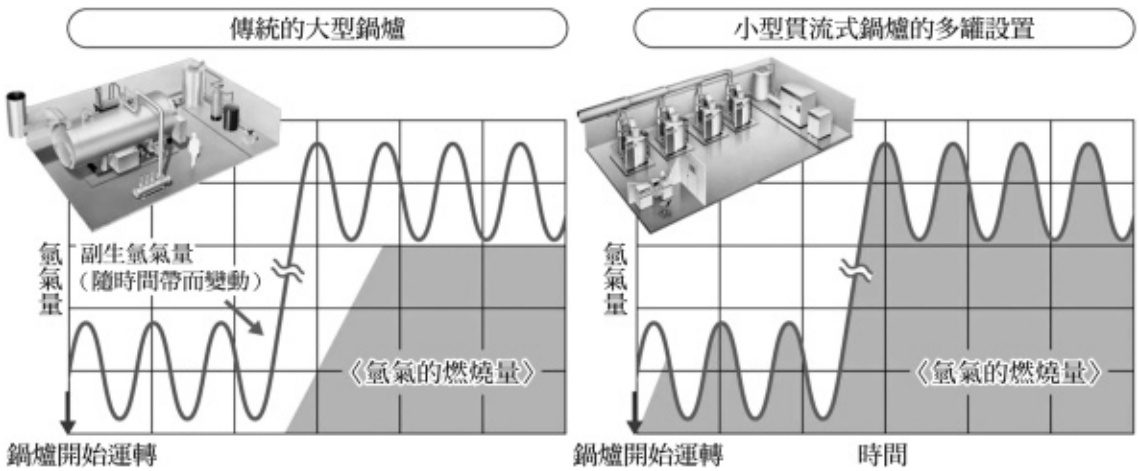


圖 8　數量控制的示意圖

十、燃氫鍋爐產品系列

本工現有的氫氣燃料蒸汽貫流式鍋爐產品系列如表 1 所示。在最高使用蒸汽壓力 0.98 MPa 下，所對應的蒸發量有 250 kg / h 和 2 t / h 兩種型號；在最高使用蒸汽壓力 1.57 MPa 和 1.96 MPa，對應的蒸發量為 2.5 t / h 的機型。

表中的紅色部分顯示相同容量的都市天然氣鍋爐，在 24 小時 365 天全負荷運轉時的 CO_2 排放量。

由都市天然氣鍋爐轉更換為氫氣燃料鍋爐，例如 2 t / h 鍋爐，最大可達成每年 2,200 噸的 CO_2 減排。

表 1　燃氫鍋爐產品系列一覽

產品系列	SU - 250H	SI - 2000AS	AI - 2500 16S / 20S
對應蒸發量	250 kg / h	2,000 kg / h	2,500 kg / h
熱輸出	157 kW	1,254 kW	1,568 kW
鍋爐種類	簡易鍋爐	小型鍋爐	鍋爐
操作人員資格	不需要	由雇主進行「特別教育」	完成鍋爐操作技能培訓人員
最高使用壓力	0.98 MPa	0.98 MPa	1.57 / 1.96 MPa
氫氣使用量	59.6 Nm^3 / h	451.7 Nm^3 / h	576.7 Nm^3 / h
CO_2 減排潛力	約 300 噸 / 年，台	約 2,200 噸 / 年，台	約 2,900 噸 / 年，台

相同容量都市天然氣鍋爐 100% 負載率運行情況的 CO_2 排放量

十一、交付案例

㈠案例（1）

以下將介紹以再生能源為來源電解氫氣的活用案例。

山梨縣獲得國立研究開發法人 NEDO 資助的實證計畫在山梨縣的米倉山上設置太陽能發電設施，利用所獲得的不穩定電力來生成氫氣，將其存儲於儲氫槽中並運送到需要供熱的地區，以作為燃氫鍋爐的燃料進行利用。鍋爐是採用本公司的貫流式鍋爐（對應的蒸發量為 250 kg / h）。2021 年 2 月交付，目前正順利運行且未出現故障。

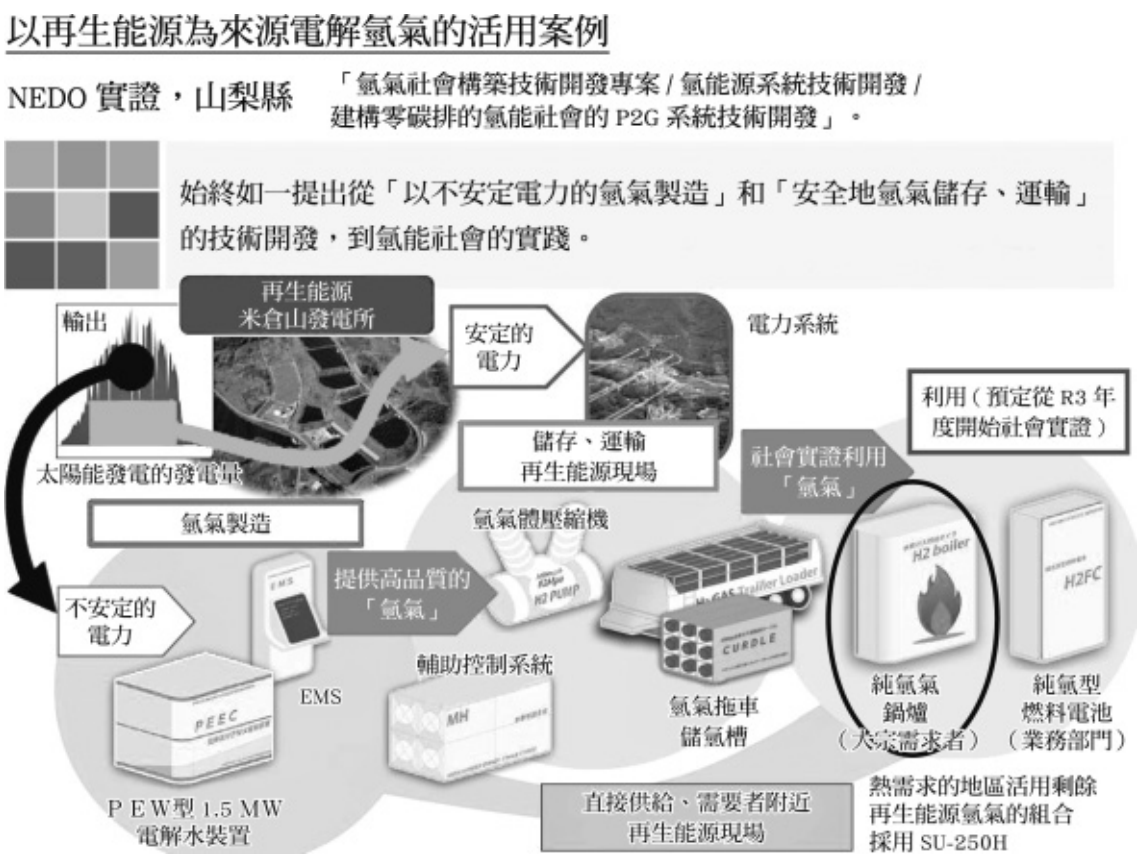


圖 9　以再生能源為來源電解氫氣的活用

㈡案例（2）

接下來是正在進行中的 NEDO 綠色創新基金事業，該項目是活用以再生能源電力製氫的開發實證。在 2021 年度至 2025 年度的五年間，進行水電解裝置的大型化和模組化的設計與各種試驗，利用固體高分子型水電解安全、安心轉換成氫氣能源。

這計畫導入 16 兆瓦規模的模組化電力至氣體系統，並將大規模需求者所使用化石燃料轉換為氫氣能源。本公司負責燃氫鍋爐的部分，正致力開發更高機能、高效率的燃氫鍋爐。

㈢案例（3）

截至目前最新的交付案例是住友橡膠工業株式會社白河工廠。這同樣是 NEDO 的實證計畫，透過氫氣能源的地產地消和工業熱利用，以證實溫室氣體綜合減量的效果。

燃氫鍋爐供應輪胎製造所需的高壓蒸汽的計畫，本公司新設計是搭載低 NOx 燃燒器，調解比 1:5，鍋爐效率 98%的高壓鍋爐。預定明年開始進行實證試驗。

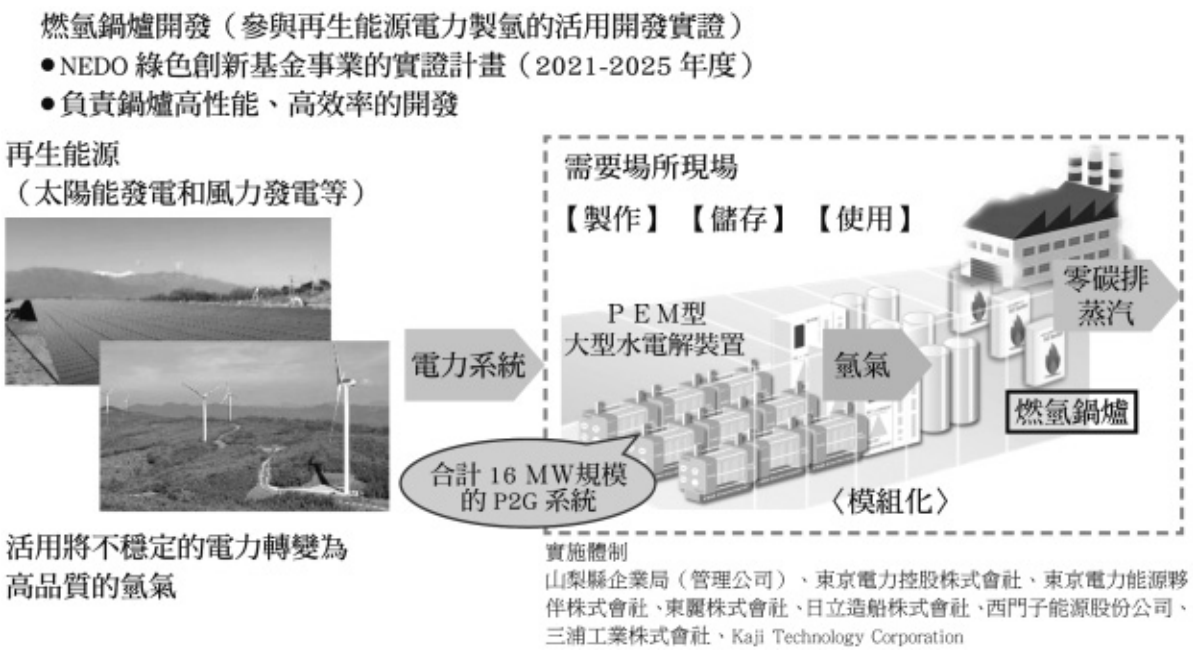


圖 10　利用大型 P2G 系統能源需求轉換與利用技術的開發

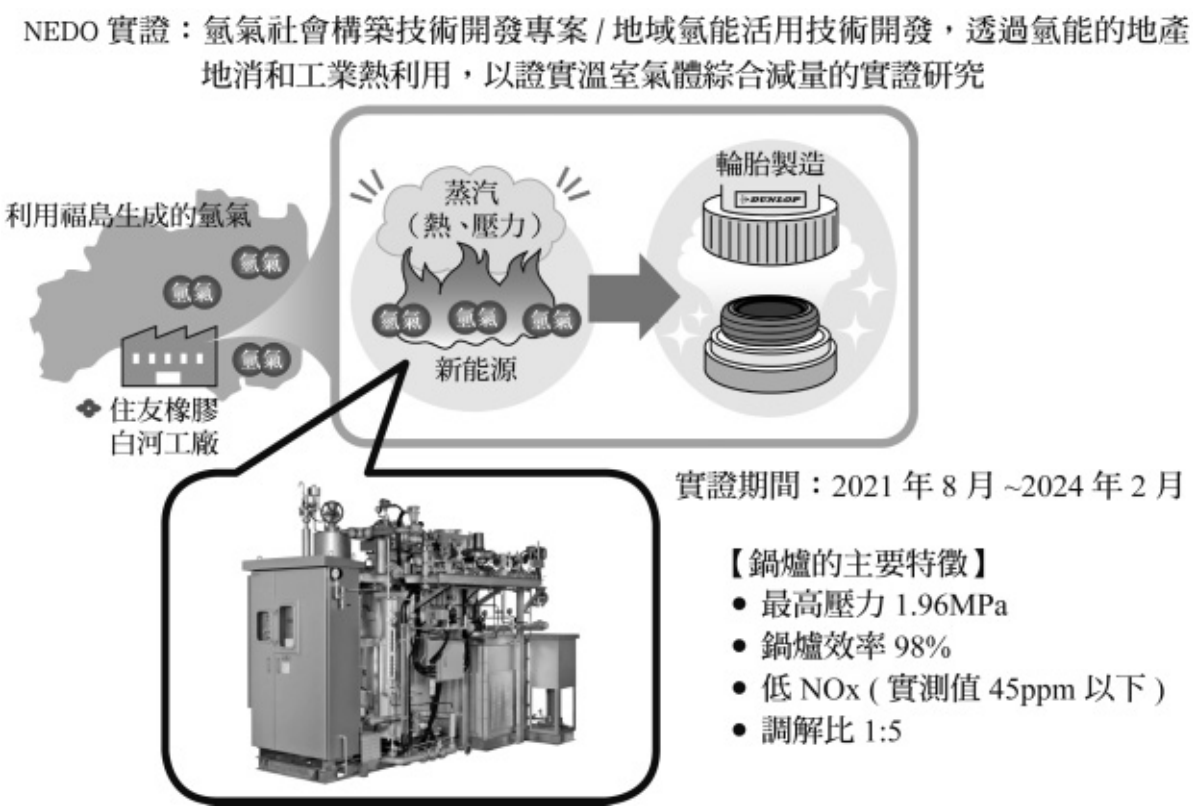


圖 11　氫氣能源的地產地消與工業熱利用實證

十二、結論

關於氫氣燃料的利用，目前業界尚未制定安全標準。因此本公司與長期大量使用氫氣的蘇打工業會社合作，建立關於氫氣燃料利用的安全技術。

基於該安全技術所設計的貫流式鍋爐，目前已有約 20 台被安全管理嚴格的化學機械設備工廠採用。

針對氫氣燃燒中 NOx 排放的問題，本公司開發排氣自行再循環式低 NOx 燃燒器，可獲得相當於都市天然氣的燃燒性能。

隨著更進一步降低 NOx 排放以及推出搭載低 NOx 燃燒器的機型發展，今後將致力於開發更加節約地使用目前昂貴的藍氫和綠氫燃料，以及降低機器本體成本和提高整體系統的效率。

＜參考文獻＞

1. 全国地球環境温暖化防止活動推進 センター HP 「 日本の部門別二酸化炭素排出量（ 2020 年度）」
2. 經濟產業省「水素社会實現に向けた經濟產業省の取組」水素生產量
3. NEDO 燃料電池・水素プロジェクトレビュー 2021 CO_2 フリーの水素社会構築を目指した Power to Gas システム技術開發
4. 住友ゴム工業 2021 年 7 月 28 日 IR ニュース

水位控制裝置電擊棒結垢引起的鍋爐嚴重缺水事故

查建國、孫成金／南京軍區鍋爐檢驗所
摘自中國特種設備安全　第 24 卷　第 4 期

鍋爐電極式水位控制裝置使用日久，電極棒端頭因附著水垢，電阻增大而使水位控制裝置失靈，可能導致鍋爐缺水事故。下面分析 1 起電極棒結垢引起的鍋爐嚴重缺水乾燒事故。

一、事故概況

筆者對某單位 1 台 WNS3-1.0-Y（Q）型燃氣鍋爐進行內部檢驗時，發現鍋爐曾發生嚴重缺水事故，部分受壓元件出現嚴重過熱變形。

1. 鍋筒前管板從頂部向下約 400 mm 處鼓包，面積約為 150 mm × 700 mm，鼓包高度為 11 mm，如圖 l 所示。
2. 回燃室前管板頂部向下約 550 mm 處鼓包，面積約為 520 mm × 630 mm，鼓包高度為 27 mm，如圖 1 所示。
3. 回燃室筒節二處凹陷，一處中心距頂部約 200 mm，面積約為 430 mm × 450 mm，凹陷深度為 43 mm；另一處中心距頂部約 40 mm，面積約為 20 mm × 34 mm，凹陷深度為 10 mm，如圖 l 所示。
4. 第一回程煙管有 53 根和第二回程煙管有 36 根下彎變形，彎曲度超過其直徑，如圖 2 所示。

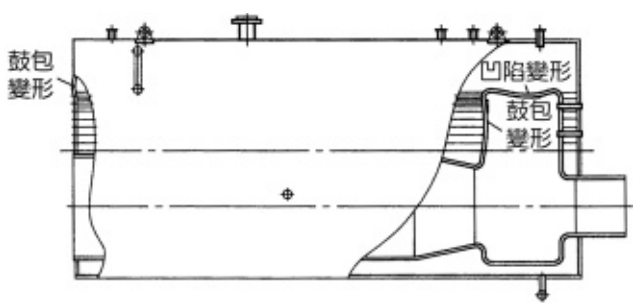


圖 1　前管板、回燃室前管板、筒節變形部位示意

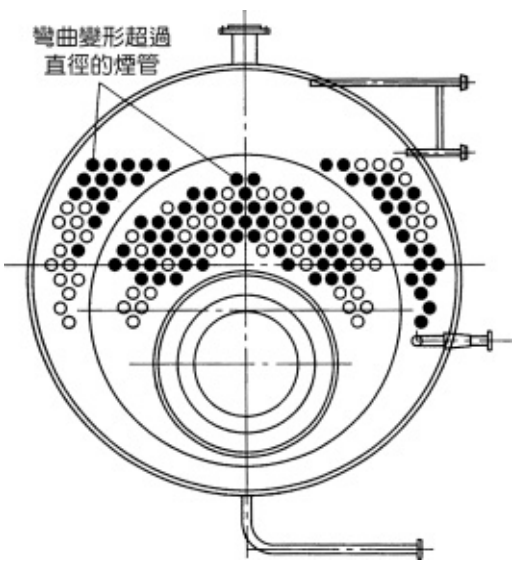


圖 2　彎曲變形超過直徑的煙管示意

二、原因分析

經詢問當班司爐人員得知，該爐於 2007 年 l 月 3 日 22 : 00 和 10 日 5 : 00，分別 2 次突然發生主蒸汽閥、分汽缸進出蒸汽閥門的法蘭密封墊片彈開泄汽事故，當時鍋爐房充滿“白汽”並伴有刺耳聲音，還有一股焦糊氣味，2 次被迫緊急停爐。

筆者會同用戶方、生產方人員，在現場一同調閱了鍋爐電腦操作盤存儲的運行數據電子記錄，發現僅存在 1 月 9 日以後的運行記錄信息（原設置記錄滿 1000 條時自動刪除），有一條記錄反映鍋爐 10 日 4:55“緊急停爐”，該條記錄前面未見有反映鍋爐“低水位自動進水”和“極低水位停火保護”的信息記錄。一開始懷疑電路系統有故障，但通電後試驗，低水位自動進水、極低水位停火保護功能都正常。

經了解，司爐班長在發生第二次事故後曾檢查過水位控制系統，發現銅質電極棒表面結了一層紅色的水垢，已用砂紙打磨掉了引發事故的直接“罪魁禍首”——銅質電極棒上的水垢。

根據以上情況可以述原故事發生過程：鍋爐運行至低水位時自動進水失靈、繼續運行至極低水位時停火保護也失靈，直至缺水乾燒產生過熱蒸汽，隨著水位下降、乾燒加劇，過熱蒸汽溫度繼續升高，直至足以致使閥門密封墊片軟化撕裂的程度，隨即主蒸汽閥、分汽缸進出蒸汽閥門的法蘭密封墊片軟化撕裂彈開，蒸汽嚴重泄漏致使鍋爐房充滿“白汽”並伴有刺耳聲音，這才引起遠在 20 m 外值班室司爐人員注意，跑過來立即手動緊急停爐。如果當時錯誤進行手動進水操作，勢必還會發生嚴重鍋爐爆炸事故。

綜合以上過程分析，得出該爐事故原因：水位控制系統銅質電極棒結垢致使電阻增大，不能傳遞電信號，導致爐內水位達到低水位時不能自動進水、進而達到極低水位時也不能停火保護，從而鍋爐缺水乾燒，最高火界以下至緊急停爐時的水位線以上元部件嚴重過熱，部分變形，其中回燃室前管板鼓包處鋼材已經過燒脆化變性。

三、教訓和建議

1. 使用單位應加強水質處理工作，定期檢查清理電極棒。以上鍋爐缺水乾燒事故直接原因是水位報警控制系統電極棒結垢，致使電阻增大，不能傳遞電信號，導致低水位時自動進水、極低水位時停火保護失靈，因此鍋爐使用單位應加強鍋爐水質處理工作，定期清理水位報警控制系統電極棒端頭。
2. 使用單位應保證鍋爐運行時司爐操作人員在崗在位。該單位管理人員認為鍋爐可自動運行，所以安排司爐人員在 20 m 外的配電室值班休息，每隔 15 min 巡視鍋爐運行情況。至於當班司爐人員是否按規定巡視或注意觀察運行情況就不得而知，水位掉下去也沒能及時發現，直至發生嚴重事故。按規定，鍋爐運行時當班司爐操作人員必須在崗在位監控作業。

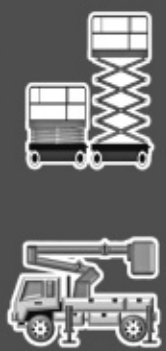
3.檢驗機構在內部檢驗中增加對水位控制裝置電板棒解列檢驗項目。檢驗機構對鍋爐檢驗時，一般只是按《鍋爐定期檢驗規則》有關要求在內部檢驗時檢查“水位控制裝置外部是否有裂紋、泄露等缺陷”；在外部檢驗時“檢驗鍋爐水位控制裝置的設置是否符合《規程》的要求，其功能是否齊全；在檢驗員的指導下，由司爐工進行模擬功能試驗，檢驗其是否靈敏、可靠”，沒有在內部檢驗時對水位控制裝置電極棒解列檢查的項目。這樣，外部檢驗時即使功能確認合格了，也有可能在檢驗有效期內電極棒因附垢而失靈，所以檢驗機構在內部檢驗時增加對電極棒解列檢查項目，可及時對電極棒附垢失靈問題有效預防和處理，消除檢驗盲點。必要時在檢驗細則、指導書或方案中明確規定該檢驗項目。

4.作業人員培訓機構在培訓大綱中明確司爐人員定期對水位控制裝置電極棒解列檢查要求。作業培訓中關於安全附件一般提到水位控制裝置電極棒可能附垢失靈，但司爐人員定期對水位控制裝置電極棒解列檢查要求未明確。水位控制裝置無論內置述是外置電極棒處於水位線上下，而鍋爐水位線附近水質較差所以大綱中應明確要求，定期列解檢查以引起司爐作業人員注意。

台灣省鍋爐協會附設職業訓練中心

高空工作車操作人員 特殊安全衛生教育訓練班

課程依據	職業安全衛生教育訓練規則第 14 條規定，雇主對於高空工作車操作人員，應使其接受特殊作業安全衛生教育訓練。 **訓練時數：16 小時**	
開課日期	112.10.14 ～ 112.10.17 白天班 （10/14 學科上課，10/15、16 術科分組實習，10/17 術科考試）	台中班
	112.11.06 ～ 112.11.09 白天班 （11/6 學科上課，11/7、8 術科分組實習，11/9 術科考試）	南投班
	112.11.20 ～ 112.11.23 白天班 （11/20 學科上課，11/21、22 術科分組實習，11/23 術科考試）	台中班
	112.12.04 ～ 112.12.07 白天班 （12/4 學科上課，12/5、6 術科分組實習，12/7 術科考試）	台中班
	112.12.11 ～ 112.12.14 白天班 （12/11 學科上課，12/12、13 術科分組實習，12/14 術科考試）	南投班
	112.12.18 ～ 112.12.21 白天班 （12/18 學科上課，12/19、20 術科分組實習，12/21 術科考試）	台中班
上課地點	學科：台中市北區崇德路一段 629 號 4 樓之 3【台中職訓中心】 南投市文昌街 45 號 4 樓之 2【南投職訓中心】	
	術科：台中市烏日區溪南路三段 418 巷 251 號（浤大企業有限公司）	
結業證書	訓練期滿經學術科測驗合格，呈報主管機關核發高空工作車結業證書	



台灣省鍋爐協會附設台中職業訓練中心報名表

報名日期：

課程名稱		高空工作車操作人員訓練		上課日期		□ 台中班 □ 南投班
編號	姓 名	身分證字號	出生年月日	畢業學校		手機號碼
1						
2						
3						
4						
公司名稱				統一編號		
地　址				電 話 (O)		
電子信箱				手 機		
聯 絡 人				傳 真		

※ 備註　電話：04 - 2236 - 2977　　傳真：04 - 2236 - 2997

☆依現行之職業安全衛生設施規則第 128 條之 9 條文，要求雇主自 113 年 1 月 1 日起，對於高空工作車，應指派經特殊作業安全衛生教育訓練人員操作。☆