

## 出國報告（出國類別：考察）

# 考察日本職業安全衛生相關機構 及日本氫能相關發展

服務機關：勞動部職業安全衛生署

姓名職稱：萬榮富 副署長

曾博廉 技正

派赴國家/地區：日本/神戶、草津、東京

出國期間：114 年 5 月 18 日至 5 月 24 日

報告日期：114 年 7 月 25 日

## 摘 要

為因應全球能源轉型趨勢與我國積極發展氫能及再生能源產業，勞動部職業安全衛生署於 114 年 5 月 18 日至 5 月 24 日由萬榮富副署長率隊赴日本，針對氫能產業之設施管理、作業風險控制及職業安全衛生實務進行實地考察。此次行程涵蓋神戶、大阪、京都與東京等地，拜訪多個氫能相關機構與前瞻性設施，並與在地業者及法人團體進行深入交流，以汲取先進經驗、拓展合作契機，強化我國在氫能發展過程中的職業安全衛生能量。

本次考察重點聚焦於氫能設施及其運轉管理，包括拜訪神戶市環境局、神戶港前加氫站、全球首座液化氫接收站（Hy touch Kobe）、Panasonic 草津工廠之「H2 KIBOU FIELD」示範設施，以及位於東京的芝公園加氫站等。此外，亦拜會了日本水素供給利用技術協會（HySUT）及高壓氣體保安協會（KHK），了解日本於氫能推廣過程中在技術研究、災害預防、法規制定與檢查制度等方面之推動經驗；並實地參訪 Resonac 川崎工廠之廢塑膠製氫設施，掌握氫能循環利用技術之應用現況。

本次赴日考察成果豐碩，不僅促進雙邊交流，建立起穩固的溝通與合作管道，更對我國未來在推動氫能及綠能產業同時保障職業安全衛生、建構風險預防機制提供寶貴參考。藉由借鏡日本制度設計與實務操作經驗，未來將有助我國檢討與強化相關政策，提升能源轉型進程中的產業安全韌性與國際競爭力。

# 目 錄

## 頁次

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 摘 要.....               | I   |
| 目 錄.....               | II  |
| 表目錄.....               | III |
| 圖目錄.....               | IV  |
| 壹、 考察緣起與目的 .....       | 1   |
| 考察行程及說明 .....          | 3   |
| 貳、 參訪交流與心得 .....       | 4   |
| 一、 拜訪日本相關政府單位及組織 ..... | 4   |
| 二、 拜訪事業單位 .....        | 21  |
| 三、 參觀大阪萬國博覽會 .....     | 37  |
| 參、 心得與建議.....          | 45  |

## 表目錄

### 頁次

|                   |    |
|-------------------|----|
| 表 1 考察行程安排表.....  | 3  |
| 表 2 KHK 與會人員..... | 10 |

## 圖目錄

### 頁次

|                                     |    |
|-------------------------------------|----|
| 圖 1 本署拜訪神戶市環境局就神戶市氫能源政策雙方進行交流.....  | 5  |
| 圖 2 日本加氫站各設備相應採取之安全措施 .....         | 7  |
| 圖 3 加氫站安全相關法規 .....                 | 8  |
| 圖 4 拜訪 KHK 雙方交流情形 .....             | 11 |
| 圖 5 職安署萬副署長與 KHK 近藤會長及各部門專家合影 ..... | 11 |
| 圖 6 萬副署長與 KHK 近藤會長合影 .....          | 12 |
| 圖 7 日本加氫站都市型與郊外型採取之安全措施差異 .....     | 14 |
| 圖 8 日本加氫站分類及參照之技術標準 .....           | 15 |
| 圖 9 參訪團與 HySUT 及 KHK 代表合影 .....     | 18 |
| 圖 10 日本氫能研修課程內容及時數 .....            | 21 |
| 圖 11 參訪團於港前加氫站合影 .....              | 22 |
| 圖 12 神戶港前加氫站站長演示加氫填充過程 .....        | 23 |
| 圖 13 加氫站相關安全措施 .....                | 24 |
| 圖 14 氫能長途運輸的方式 .....                | 26 |
| 圖 15 運輸船容器及儲槽結構 .....               | 27 |
| 圖 16 神戶港液態氫儲槽 .....                 | 27 |
| 圖 17 液態氫裝卸臂系統 .....                 | 28 |

|                                                 |    |
|-------------------------------------------------|----|
| 圖 18 草津 RE100 實證場域配置.....                       | 29 |
| 圖 19 草津 RE100 綜合實證場域太陽能發電區域.....                | 30 |
| 圖 20 草津 RE100 綜合實證場域之液態氫儲槽、汽化器等相關設備             | 30 |
| 圖 21 PH3 純氫燃料電池發電機制 .....                       | 31 |
| 圖 22 廢塑膠回收及 RPF 製程 .....                        | 34 |
| 圖 23 燒卻爐相關製氫設備 .....                            | 34 |
| 圖 24 Resonac 廢塑膠產氫流程 .....                      | 37 |
| 圖 25 「まほろば (Mahoroba)」號氢能船 .....                | 38 |
| 圖 26 將氫氣以固態粉末 (硼氫化鈉 $\text{NaBH}_4$ ) 形式儲存..... | 39 |
| 圖 27 Suntex 太陽能紡織技術介紹.....                      | 40 |
| 圖 28 水熱能技術介紹.....                               | 41 |
| 圖 29 浮體式太陽能板介紹 .....                            | 42 |
| 圖 30 風能與氢能二元推進的創新航運模式模型.....                    | 43 |
| 圖 31 水下工程機器人.....                               | 44 |

## 壹、考察緣起與目的

隨著溫室效應導致的全球暖化與氣候變遷日益嚴重，使「碳中和」與「淨零排放」成為國際社會積極追求的重要目標。近年因俄烏戰爭導致全球能源供應不穩，各國更積極推動能源轉型，以強化能源自主與永續發展。我國亦於 2022 年公布「臺灣 2050 淨零排放路徑及策略總說明」，以「科技研發」與「氣候法制」為兩大基礎，並從「能源轉型」、「產業轉型」、「生活轉型」與「社會轉型」等四大面向，提出多項行動計畫。綠色能源產業，特別是風電、光電與氢能，成為驅動國家發展與環境永續的核心力量。

為與國際接軌及因應氢能產業快速發展所帶來的潛在作業風險與職業安全挑戰，勞動部職業安全衛生署於 114 年 5 月 18 日至 24 日，由萬榮富副署長率隊赴日本進行氢能產業安全考察，重點聚焦於氢能供應鏈建構過程中的作業安全管理、儲運風險控管及相關設施之安全設計與法規制度。

日本為亞太地區氢能技術研發及應用的領先國家，在 2017 年即發布「氢能基本戰略」，並於 2023 年更新戰略內容，提出 2050 年實現大規模氢能社會的遠景，計畫於 2030 年前將氫氣使用量擴大至每年 2,000 萬噸。日本在高壓氣體法規制度、加氫站安全規範、氢能製備與再利用、氢能交通等領域具有完整實務經驗，並積極推動官民合作及標準制定。相關機構如高壓氣體保安協會（KHK）、水素供給利用技術協會（HySUT）長期參與法規推動、風險分析及人員訓練，對於我國極具參考價值。

此次考察行程涵蓋日本氢能產業鏈各主要環節，包括神戶港全球首座液化氫接收站（Hy touch Kobe）、芝公園加氫站、Panasonic 草津工廠「H2 KIBOU FIELD」示範場域以及川崎 Resonac 工廠之廢塑膠製氫製程等，並與 HySUT 與 KHK 進行交流，深入了解日本在高壓氣體儲運、作業許可、檢查制度、安全設計與教育訓練等方面的制度與實施經驗。各站參訪過程中，亦特別關注其在高風險作業中落實風險辨識、事故預防及職場安全文化等措施。

透過本次赴日考察，不僅可強化對日本氢能設施及其職業安全衛生監督管理制

度的理解，亦有助我國未來推動氫能應用時，建構符合國際標準的安全管理架構，避免在產業擴張過程中發生重大職業災害，並提升整體產業風險管理能力。同時，本次考察亦有助我國與日本建立更穩固之國際交流合作關係，共同推動亞太區域在氫能發展下的勞動安全保護機制，落實產業永續與勞工保護並重的雙重目標。

## 考察行程及說明

本次日本考察行程自 114 年 5 月 18 日出發，並於 5 月 24 日返抵國門，為期 7 日。期間參訪神戶市環境局脫碳推進課、神戶港加氫站、全球首座液化氫接收設施 Hy touch Kobe、Panasonic 草津工廠 H2 KIBOU FIELD 示範基地、芝公園加氫站、Resonac 川崎工廠等多個氫能產業代表性機構，並拜訪日本氫能推動核心機構—水素供給利用技術協會（HySUT）與高壓氣體保安協會（KHK），深入瞭解日本氫能應用發展現況及其職業安全衛生制度。相關之考察行程安排如表 1 所示。

表 1 考察行程安排表

| 日期 星期    | 地點        | 主要行程                                                              |
|----------|-----------|-------------------------------------------------------------------|
| 5/18 星期日 | 桃園→日本（大阪） | 去程，搭乘飛機前往日本大阪；搭乘機場巴士前往神戶                                          |
| 5/19 星期一 | 日本 神戶     | 1. 拜訪神戶市環境局 脫炭素推進課<br>2. 參訪神戶港前加氫站                                |
| 5/20 星期二 | 日本 神戶     | 1. 參訪神戶港-液化氫接收站<br>2. 參訪萬國博覽會及搭乘氫能船                               |
| 5/21 星期三 | 日本 草津     | 參訪 Panasonic 松下草津工廠                                               |
| 5/22 星期四 | 日本 東京     | 1. 拜訪一般社団法人水素供給利用技術協會（HySUT）<br>2. 拜訪 KHK 高壓氣體保安協會<br>3. 參訪芝公園加氫站 |
| 5/23 星期五 | 日本 東京     | 參訪 Resonac 廢塑膠製氫（レゾナック 川崎工場）                                      |
| 5/24 星期六 | 日本 東京→松山  | 回程，搭乘飛機返台                                                         |

## 貳、參訪交流與心得

### 一. 拜訪日本相關政府單位及組織

#### (一) 拜會日本神戶市環境局

本次拜訪神戶市環境局脫碳素推進課，係針對日本地方政府之能源與脫碳策略進行實地訪談與經驗交流，特別聚焦於氢能應用與城市永續發展的結合。神戶市為日本推動氢能最積極的城市之一，其經驗對我國城市層級氢能導入及安全管理具有重要參考價值。以下就本次考察及參訪過程的幾項重點摘述：

##### 1. 神戶市環境局脫碳素推進課簡介

該單位隸屬神戶市政府環境局，負責統籌該市脫碳政策、再生能源導入、氢能基礎設施建置及零碳城市推動等相關業務。脫碳素推進課自 2015 年起便開始推動氢能實證計畫，並於神戶港設立日本首座港灣型加氫站，作為燃料電池巴士與船舶補給點。該單位主要工作內容包括：規劃神戶市氢能發展路徑與實施策略、推動地方與中央協力建構氢能供應鏈、協調市政建設與氢能安全管理措施、執行國內外能源轉型政策合作專案。

##### 2. 神戶市環境局與會代表出席情形

本次參訪神戶市環境局由水野雄介 係長及川久保雄基負責代表接待，並就神戶市氢能源政策及推廣策略進行專案簡報，簡報內容包含神戶市能源政策、氢能發展路徑、設施推廣計畫與民眾溝通策略等重點，會中就神戶市氢能源政策進行交流，雙方交流情形如圖 1。



圖 1 本署拜訪神戶市環境局就神戶市氫能源政策雙方進行交流

### 3. 神戶市環境局參訪紀要及討論重點摘錄

(1) 本次參訪由神戶市環境局水野雄介係長與川久保雄基進行接待與專案簡報，簡報重點摘錄如下：

#### A. 神戶市碳中和政策與氫能源運用：

a. 神戶市自 2013 年起就開始推動氫智慧節能城市計畫，另為呼應日本政府 2050 年達成碳中和之宣言，神戶市後於 2023 年制定了預防全球暖化行動計畫，該計畫以 2030 年碳排減少 60%，並於 2050 年達到碳中和為目標，制定了 6 點重點執行對策，執行對策分別為：無碳生活轉換、推廣氫能運用、促進電動車普及、擴大再生能源、推動工業減碳及二氧化碳的捕捉與封存。

b. 為達成碳中和之目標，神戶市將氫能源的推廣運用視為重要策略之一，並發展了一系列推動氫能源之業務，包含了：

(a) 積極培育氫能產業，神戶市政府為推動氫能源，積極培育氫能供應鏈發展，從氫氣製造、儲存、運輸網路及應用，如：加氫站、小型氫能發電站等，自氫氣製造到應用，積極打造氫能供應鏈。

(b) 降低氫能使用成本，日本為降低氫能使用成本，規劃自澳

洲購買低成本之氫氣，並透過海運，將氫氣進口至神戶使用，由於透過海運運輸液氫於國際間未曾有人做過，神戶市政府與川崎重工、岩谷產業等企業合作，建構了液態氫進口供應鏈技術並打造實證基地，包含設計液態氫海運相關設備及作業流程、港口之液態氫卸收設備、液態氫儲存及後續使用等，並於 2022 年完成世界首次的液態氫大規模運輸，實際驗證長途海運運送液態氫之可行性及安全性。

- (c) 推廣氫能源應用，擴大氫能使用需求，包含推廣氫燃料電池利用、促進加氫站發展、開發氫氣發電技術、建立氫能應用模組化技術、家庭相關氫能源運用、天然氣混氫供應、公共設施供能與交通工具動力（如氫能公車與垃圾車等）。

#### B. 加氫站設施與安全設計介紹：

- a. 一般加氫站設施包含了，氫氣製造裝置、氫氣儲存設備（如管束槽車、儲槽等）、氫氣壓縮機、加氫機及冷凍設備等。
- b. 加氫站依氫氣來源可區分為「Onsite 現地製氫」與「Offsite 站外供氣」2 種形式，現地製氫係指在加氫站現場，將天然氣重組或以其他方式來製造氫氣，再透過壓縮機將製造之氫氣壓縮儲存於儲槽中，供加氫設備使用，係於加氫站內製造氫氣，不需要從其他地方輸入。而站外供氣則係將工廠或其他生產設施製造之氫氣，透過槽車運輸等方式將氫運送至加氫站，再透過壓縮機將氫氣壓縮儲存於儲槽後使用，於加氫站現地製氫有助於降低運輸成本，而場外製氫因少了製氫製程，有設備相對單純之優點。
- c. 為避免加氫站發生事故，日本採取了下列安全設計原則：
  - (a) 氫氣不洩漏：為避免氫氣洩漏，相關氫氣使用之管路及容器，須選用適合氫氣且不受氫氣影響之材料，並通過壓力測試。
  - (b) 洩漏時可防止氣體蓄積：若不慎洩漏，須確保氫氣不會蓄積，

因為氫氣密度低，洩漏後會迅速向上擴散，所以屋頂須採取防止氫氣蓄積如斜屋頂等設計，另於壓縮機等設備內需有通風設計，避免氫氣蓄積造成危害。

- (c) 洩漏偵測與防止洩漏擴大措施：於可能洩漏及蓄積處裝設氫氣偵測器，當偵測到洩漏後，可連鎖切斷氫氣供應，防止洩漏擴大。
- (d) 杜絕火源：為避免洩漏之氫氣遭點燃，於加氫站應杜絕火源，且使用之電器設備須採用防爆設計，以避免氫氣發生洩漏時被點燃。
- (e) 控制燃燒範圍：若氫氣不慎遭點燃，應控制燃燒範圍，不至於造成災害擴大或波及周邊，故氫氣儲槽及各項設備與外界需考慮安全距離或設置防爆牆等防護措施，另加氫設備及氫氣儲存設備應設置火焰偵測器，當偵測到火災時會發出警報、停止相關設備運作，並關斷氣體供應，避免災害擴大，加氫站中各項設備及相應採取之安全措施如圖 2。

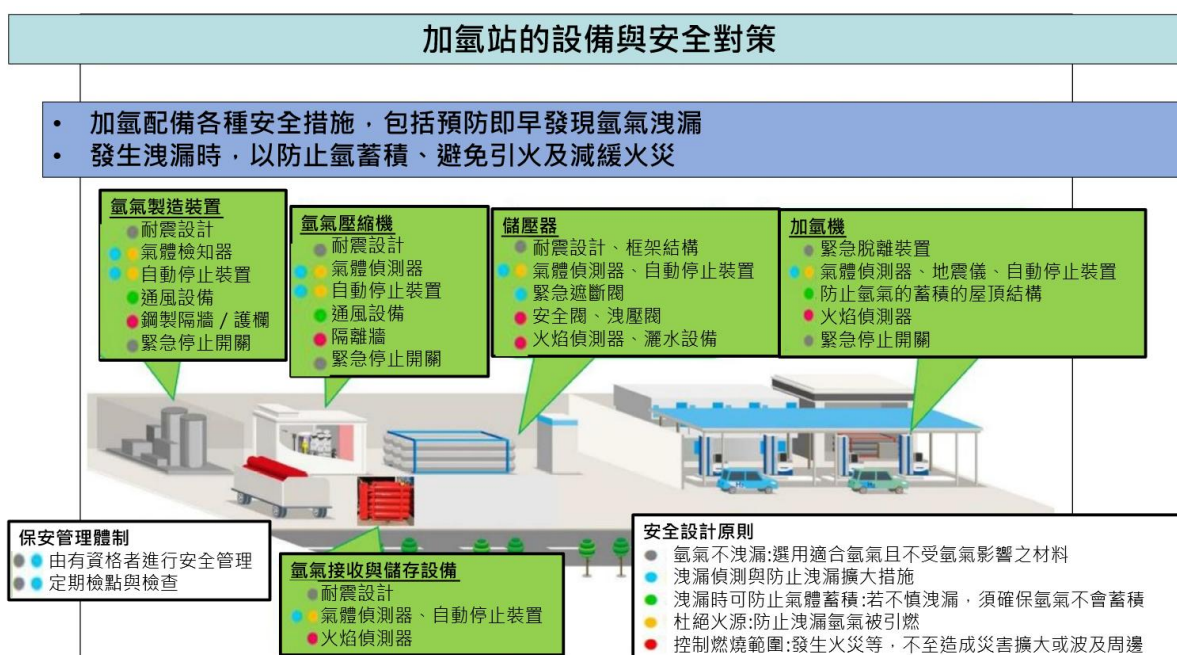


圖 2 日本加氫站各設備相應採取之安全措施（資料來源：神戶市環境局簡報）

- d. 加氫站安全相關法規主要規定於「高壓氣體保安法」及「一般高壓氣體保安規則」，包含了安全距離、防火牆、火焰偵測器、加氫槍上之緊急自動脫離裝置（Breakaway）及車輛加氫充填等規定，加氫站安全相關法規如圖 3 所示。

| 加氫站安全相關法規                       |                |                           |
|---------------------------------|----------------|---------------------------|
| 高壓氣體保安法                         |                |                           |
| 條文                              | 內容             | 說明                        |
| 第5條                             | 高壓氣體製造許可       | 每個事業所都需各縣市長取得的許可          |
| 第8條                             | 許可標準           | 若符合標準則可獲許可                |
| 第35條                            | 安全檢查           | 根據各縣市長的指示進行安全檢查，並由事業者自主檢查 |
| 《高壓氣體保安法》第7條第3項 第一型固定式壓縮氫氣站技術標準 |                |                           |
| 第1項：郊區型加氫站的安全距離技術標準             |                |                           |
| 第2號                             | 加氫機與道路之間的距離    |                           |
| 第2項：都市型加氫站與用地邊界距離的技術基準          |                |                           |
| 第2號                             | 高壓氣體設備與用地邊界的距離 |                           |
| 第4號                             | 加氫站周圍設置防火牆等設備  |                           |
| 第18號                            | 儲壓機需設置火焰偵測器    |                           |
| 第25號                            | 加氫機需設置緊急自動脫離裝置 |                           |
| 第3項：高壓氣體一般製造方法                  |                |                           |
| 第4號                             | 車輛安全充填方法       |                           |

圖 3 加氫站安全相關法規 （資料來源：神戶市環境局簡報）

- e. 另為確保加氫站安全運作，每個加氫站皆需指派 1 名高壓氣體保安監督者，該高壓氣體保安監督者須具有製造保安責任者證照，且有相關高壓氣體製造經驗，負責確保加氫站安全運作。
- f. 與居民溝通提升社會接受度策略：氫能源的使用初期推行時曾遭居民質疑氫氣之安全性以及是否真的無污染存在，針對前列質疑，神戶市政府溝通方式為，向居民說明氫能設施的基本安全設計理念（不能洩漏並隨時偵測，防止擴散、不能有氫氣蓄積、不能有引火源）以及相應的具體安全措施（設置偵測器、24 小時監控、室外設置不蓄積、自動關斷設計及採取無引火源之設備等），並

透過舉辦說明會、開放參觀、強化透明資訊等方式來逐步建立信任。

g. 未來推動方向：

- (a) 日本目前主要製氫方式為蒸氣重組法，係以天然氣與高溫水蒸氣反應，產出氫氣及二氧化碳，搭配碳捕捉技術，降低碳排放量，而電解製氫方式因日本電價較高，考量成本因素，故尚在測試階段。
- (b) 持續推動氫能產業化，透過補助的方式來吸引企業、研究單位及學校等機構，進行氫能相關產品的研發與示範，並協助相關企業進行海外擴張，藉以擴廣氫能源產業。

## (二) 拜會日本高壓氣體保安協會（KHK）

本次拜訪日本高壓氣體保安協會（KHK），主要針對高壓氣體安全管理、氫能設施檢查制度與新興氣體應用規範進行實地訪談與經驗交流。KHK 作為日本最具權威的氣體安全審查與技術標準制定機構，其制度架構與實務執行經驗對我國建立高壓氣體及氫能安全治理體系具高度參考價值。以下為本次考察與交流之重點摘述：

### 1. 日本高壓氣體保安協會簡介

日本高壓氣體保安協會（以下簡稱 KHK）為日本經濟產業省主管下之法人組織，負責高壓氣體相關法規技術標準制定、設備檢查與評估、安全教育訓練與事故調查等業務。該協會在氫能應用發展背景下，積極參與氫能製儲運設施之安全設計導引，並承擔氫氣儲槽與加氫站設備之設計審查與定期檢查工作，是日本氫能基礎設施得以安全快速擴展的重要後盾。

### 2. KHK 與會代表出席情形

本次拜訪 KHK 由近藤賢二會長接待，並由戶邊千広理事率領相關部門同仁並進行專案簡報，本次訪談出席人員橫跨水素中心、保安技術、設備檢

查、測試教育及總務企劃等多部門，交流內容涵蓋標準制定、裝置檢查、教育推進與發展協調各層面，會中雙方互動熱絡，會談氣氛融洽（如

圖 4），並拜會 KHK 高壓氣體保安協會近藤會長（如圖 5、圖 6）期許未來能持續深化雙邊合作。

表 2 KHK 與會人員

| 姓名     | 所屬部門與職稱（日文）                             | 中文對照翻譯                               |
|--------|-----------------------------------------|--------------------------------------|
| 戸邊 千広  | 理事                                      | 理事                                   |
| 小山田 賢治 | 総務・企画部門 水素センター<br>所長                    | 總務企劃部門 氫能中心 所長                       |
| 佐藤 裕文  | 総務・企画部門 水素センター<br>事業推進チーム               | 總務企劃部門 氫能中心 業務<br>推進小組               |
| 岸川 義明  | 総務・企画部門 水素センター<br>開発チームリーダー             | 總務企劃部門 氫能中心 開發<br>小組組長               |
| 志賀 優多  | 保安技術部門 保安基準グルー<br>プ 保安基準チーム             | 保安技術部門 保安基準組 保<br>安基準小組              |
| 加藤 久志  | 機器検査事業部門長 兼 容器・<br>設備検査グループマネージャー       | 機器検査事業部主管／兼任容<br>器與設備検査組 經理          |
| 村上 聡   | 機器検査事業部門 容器・設備<br>検査グループ 容器検査チーム<br>検査員 | 機器検査事業部門 容器與設<br>備検査組 容器検査小組 検査<br>員 |
| 市川 昌文  | 試験・教育事業部門長                              | 測試與教育事業部門主管                          |
| 矢吹 貴洋  | 総務・企画部門 総合企画調整<br>グループ 企画調整チームリー<br>ダー  | 總務企劃部門 綜合企劃調整<br>組 企劃調整小組組長          |



圖 4 拜訪 KHK 雙方交流情形



圖 5 職安署萬副署長與 KHK 近藤會長及各部門專家合影



圖 6 萬副署長與 KHK 近藤會長合影

### 3. KHK 參訪紀要及討論重點摘錄

本次赴日本東京之參訪行程，由日本高壓氣體保安協會（KHK）協助統籌安排，包括拜會一般社團法人水素供給利用技術協會（HySUT）、參觀芝公園加氫站及參訪 Resonac 川崎工場之廢塑膠製氫製程，過程中皆由 KHK 指派專人陪同接待與聯繫，並特別安排拜訪高壓氣體保安協會（KHK）本部，由日本高壓氣體保安協會（KHK）各單位專家進行專題簡報及交流。交流內容涵蓋日本高壓氣體相關法規架構、水電解設備檢查制度、加氫站設置類型與管理措施、氫能技術實務應用與推廣經驗等重點。相關重點摘錄如下：

#### （1）加氫站之分類與設置規範：

- A. 日本將加氫站細分為 11 種類型，而最常見的加氫站形式為固定式、第一種製造者、都市型、傳統站，分類方式說明如下：
  - a. 依加氫設施是否可移動分類為固定式及移動式，其中固定式係指加氫機及相關壓縮等設備係固定於站體內，無法移動，而移動式則是

指壓縮機、氫氣儲槽及加氫機設置於可移動之平台上（如卡車），具移動性，所以需要另外注意運輸、裝卸和移動操作過程之安全議題。

- b. 依據是否可與保安物件（如學校、醫院、住宅等）間保持安全距離，分類為郊外型及都市型，可符合一般高壓氣體保安規則（以下簡稱「一般則」）第 7-3 條第 1 項所列各項規定距離之加氫站，屬郊外型加氫站，而都市型加氫站因考量空間較小，則要求須符合一般則第 7-3 條第 2 項規定之場地邊界距離，並需設置防火牆、氫氣洩漏偵測器、警報裝置及自動關閉設備等安全措施，因都市型係於有限之空間內安裝，所以比郊外型加氫站要求要有更完備之安全措施，而都市型與郊外型採取之安全措施差異如下（如圖 7）：

(a) 郊外型及都市型共同規定：

- I. 防止加氫機過量填充之設施。
- II. 壓縮氫氣儲槽輸出管路緊急遮斷裝置。
- III. 加氫機本體外側至公共道路邊界之距離要求。

(b) 都市型規定：

- I. 高壓氣體設備外部至場地邊界距離要求。
- II. 可燃性氣體洩漏偵測警報裝置及連鎖停機裝置。
- III. 加氫機周圍需安裝火焰偵測警報器及連鎖停機裝置。
- IV. 壓縮機與高壓氫氣儲槽及加氫機間需設置安全屏障。
- V. 高壓氫氣儲槽需設置防止儲槽溫度上升之裝置、火焰偵測警報裝置及連鎖停機裝置。
- VI. 壓縮機與高壓氫氣儲槽間需裝設洩壓閥。
- VII. 高壓氫氣儲槽與加氫機間需裝設限流閥（溢流閥）。
- VIII. 高壓氣體設備與場地邊界間需安裝 2 公尺以上之防火牆。

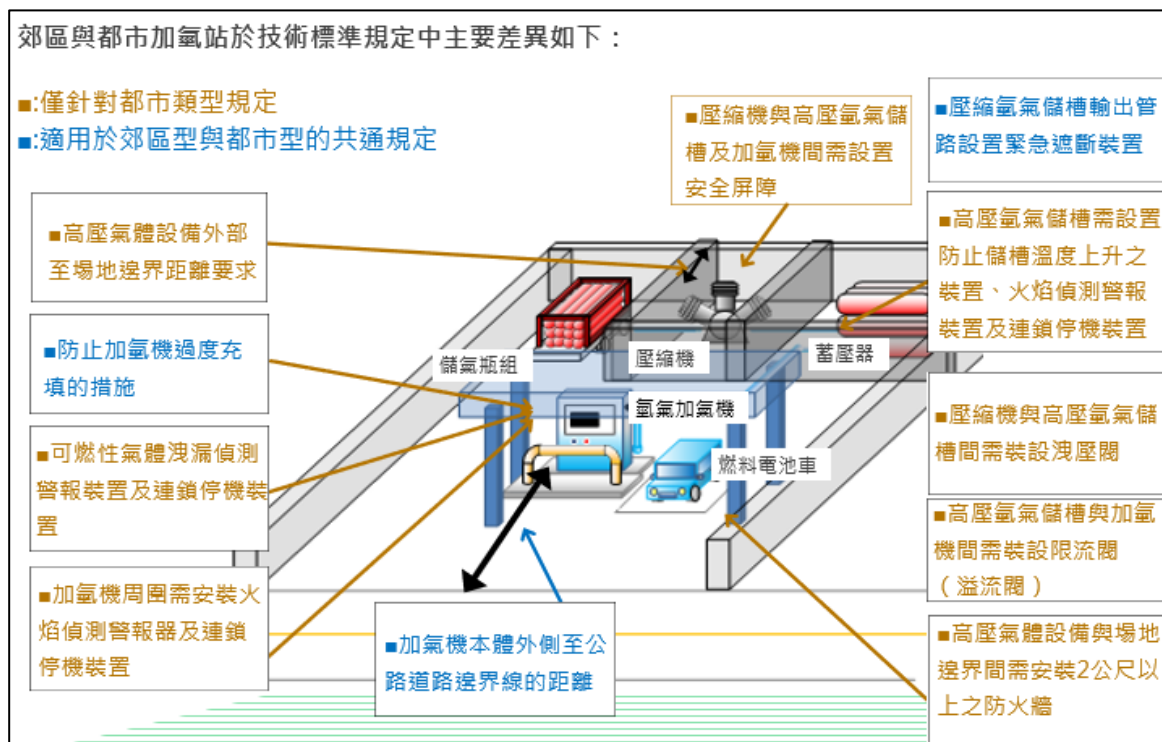


圖 7 日本加氫站都市型與郊外型採取之安全措施差異（資料來源：KHK 簡報）

c. 另外依據加氫站中有無操作人員，可分類為傳統型及遠端自助型（遠隔セルフ型），傳統型係指加氫站內有作業員常駐，充填之操作者為作業員，而外遠端自助型係透過遠端監控來實現無人操作之加氫站。

(2) 加氫站安全相關規定及安全檢查等管理機制：

A. 在日本加氫站安全相關法規主要規定於「高壓氣體保安法（高圧ガス保安法）」以及「一般高壓氣體保安規則（一般高圧ガス保安規則）」，而各類型加氫站依據其類型必須符合對應之「製造設備位置、構造與設施」及「高壓氣體製造方法」技術標準規定，相關參照之技術標準如圖 8 所示。

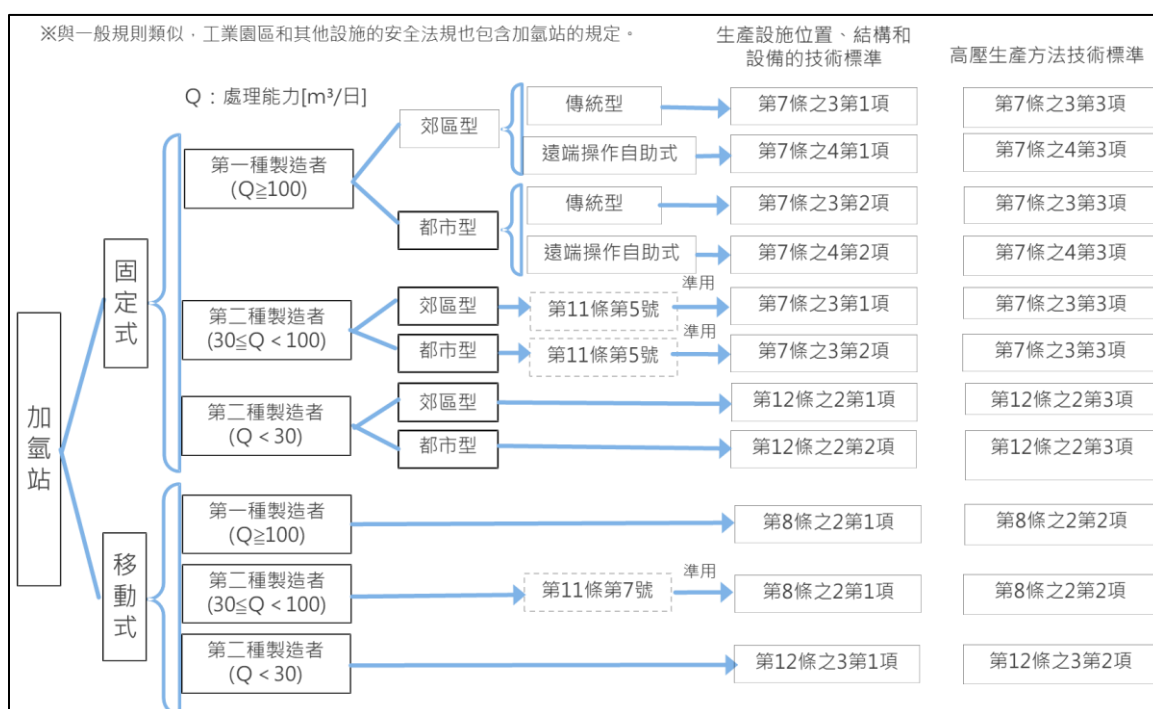


圖 8 日本加氫站分類及參照之技術標準（資料來源：KHK 簡報）

- B. 加氫站設置後，須定期實施安全檢查，確認加氫站內各項設備符合相關安全檢查標準，例如屬一般則第 7-3 條之加氫站，需參照「壓縮氫氣加氫站安全檢查基準（圧縮水素スタンド関係保安検査基準）」之規定定期實施檢查，該安全檢查基準係由 KHK 與一般財團法人碳中和燃料技術中心共同制定之民間標準，並被政府指定採用。

### (3) 高壓氣體法令與特定設備管理制度：

- A. 依據日本高壓氣體保安法第 56-3 條及特定設備檢查規則（特定設備檢查規則）第 3 條規定，當設備之設計壓力與其容積之乘積大於 0.004 時將作為高壓氣體特定設備管理，目前水電解製氫製程設備如 PEM（質子交換膜）與 AEM（陰離子交換膜）等設備，若能力達前列標準者，目前將納入特定設備管理，不過考量未來水電解製氫設備技術逐漸進步，相關管理規定的合理化是必須的，目前 KHK 參考 ISO 22734 和 ASME BPVC code case 3078 等國際標準，針對水電解相關設備訂定了水電解設備標準（KHKS0871-1）及水電解設備電池標準（KHKS0871-2），於該標準中規定了水電解裝置應採取之安全措施，若該水電解製氫裝置

之操作和管理符合前列 KHS 之標準，則可依特定設備檢查規則第 3 條規定排除，認定非屬高壓氣體特定設備，不過仍應作為高壓氣體設備來管理，水電解製氫設備需特別注意，於離子交換膜間可能有交叉洩漏，產生氫氧混合氣體之風險。

- B. 高壓氣體特定設備須經法定檢查程序取得合格證才可使用，其中法定檢查程序包括設計圖審查、材料確認、加工與熔接紀錄查驗等，以防止設備本體損壞造成高壓氣體引起災害，於各階段檢查合格後將發給合格證。

(4) 日本對於氫能混燒技術之法規框架：

- A. 現行日本法令未針對「氫能混燒」特別制定規定，惟混燒行為若屬高壓氣體消費，則須依一般則第 55 條（特定消費）或第 60 條（一般消費）規定辦理，對於其設備應依製程條件具體判定是否屬高壓氣體設備。
- B. 目前日本國內之三菱重工株式會社正在致力於氫能混燒發電之開發，開發目標為 30vol%之氫氣與天然氣混合燃燒之燃氣渦輪機，額定輸出功率為 566MW，惟該項目仍在實證階段，尚未形成全面適用之規範。

(5) 教育訓練與人員資格等制度：

- A. 日本對於高壓氣體製造、移動與消費等行為設有完整資格考試與訓練制度，並依職務屬性規範操作人員應定期回訓，另外若因人為操作失誤造成事故，將強制要求再教育，目前亦正研擬於制度面納入人為因素之預防規範。
- B. 我方亦分享臺灣現行製造安全負責人資格制度等規定，會中雙方就法規編章、審查流程設計進行交流，並就設置安全距離、防災規劃與設備設計基準等條文進行討論。

### (三) 拜會日本一般社團法人水素供給利用技術協會（HySUT）

本次拜訪一般社團法人水素供給利用技術協會（HySUT），針對日本氫能供應鏈推動機構進行技術交流，旨在了解日本民間協會於氫能加氫站建置、燃料供應、法規配合及推廣應用等面向之角色與推動策略。HySUT 為目前日本推動氫能應用之核心產官學平台之一，其技術研究與政策倡議對我國氫能產業體系建構與管理制度規劃具有高度參考價值。以下為本次交流之重點整理：

#### 1. HySUT 組織與任務簡介

HySUT（The Association of Hydrogen Supply and Utilization Technology）成立於 2009 年，係由日本經濟產業省支持，結合多家主要能源、車廠及設備業者共同參與，致力於建構涵蓋製造、儲存、運輸與使用之氫能供應鏈，協助政府擬定相關政策建議與示範計畫推進，並擔任公私部門協作平台角色，推動氫能社會落實，HySUT 主要業務包含了：

- (1) 技術研發：氫能標準相關技術開發（NEDO 專案）。
- (2) 國際標準統一：ISO/TC197 氫技術標準化審議。
- (3) 商業標準支援及可靠度改進：燃料電池相關安全、規範、教育及訓練等議題。
- (4) 產業團體活動：HySUT 指南、加氫站相關品質控制、測量控制、充填性能確認等。
- (5) 公共關係：資訊發布及參展等。

#### 2. HySUT 與會代表出席情形

本次會議由研修部部長 阿部正（Tadashi ABE）與技術部部長（工學博士）富岡秀德（Hidenori TOMIOKA, Ph.D.）接待及簡報，雙方針對加氫站建置、營運、補助制度與人才培育進行意見交流。HySUT 代表亦說明其近期參與之公共加氫站技術規劃與營運管理實務，並針對地方政府與民間機構間之協調機制提供具體案例參考，會後雙方合影留念如圖 9。



圖 9 參訪團與 HySUT 及 KHK 代表合影

### 3. HySUT 參訪紀要

本次拜訪一般社團法人水素供給利用技術協會（HySUT），係透過日本高壓氣體保安協會（KHK）協助安排會議行程，並由 KHK 總務企劃部水素中心事業推進小組的左藤裕文先生全程陪同與會。

### 4. HySUT 討論重點摘錄

本次會議日本水素供給利用技術協會（HySUT）介紹了，日本氫能產業推進經驗與實務運作模式，內容涵蓋氫能設施推廣架構、加氫站導入進程、政府補助制度、人才培育方式與社會溝通策略等，重點摘錄如下：

#### （1）氫能設施推進制度與架構：

- A. HySUT 為日本主要協調氫能設施推動之機構，該機構整合企業、地方政府與中央部會，促進橫向合作，協助氫能設施相關實證計畫與技術規範整備。
- B. 協會主導的「加氫站整備補助制度」，係透過補助廣設加氫站來推動氫能源運用，該補助計畫分為兩階段執行，初期由 NEDO（新能源產業技

術綜合開發機構）負責，後續由環境省與經濟產業省支援執行，目前已設置加氫站達 160 座。

- C. 為推廣氫能源運用，採取之主要策略為降低氫能成本、提高可靠性，並採取下列推廣措施：優化監管制度、開發新氫能技術、統一產業標準、提高社會接受度、建設安全基礎設施、協助人員教育及培訓。
- D. 推行階段曾遭遇居民對加氫站設置之疑慮，HySUT 透過舉辦社區說明會、加氫站開放參觀及社群平台宣傳，加強透明度與教育宣導，逐步取得民眾接受度。
- E. 另外為刺激氫能相關使用者增加，對於氫能源車輛採取購車補助以及加氫站之營運補貼措施，並鼓勵企業與地方政府作為氫能源車輛之示範使用者。

(2) 加氫站安全管理與人員培訓制度：

- A. 為確保加氫站（壓縮水素スタンド）安全運作，日本於高壓氣體保安法規定，每個加氫站皆需設置 1 名高壓氣體保安監督者（統稱），而要擔任高壓氣體保安監督者，須持有甲種、乙種或丙種的製造保安責任者證書，且具有 6 個月以上壓縮氫氣或液化氫製造經驗。日本政府為推動氫能源普遍運用，考量具有壓縮氫氣或液化氫製造經驗的勞工較少，故於 2020 年修訂相關規定，將保安監督者經驗要件合理化，除上述資格外，增列兩種資格認定方式，說明如下：
  - a. 持有甲種、乙種、丙種的製造保安責任者證書、具備 6 個月以上壓縮天然氣（CNG）加氣站的高壓氣體製造經驗及完成「壓縮氫氣加氫站保安講習」課程訓練。
  - b. 持有甲種或乙種的製造保安責任者證書、具備 6 個月以上可燃性氣體（不限於氫氣）製造經驗及完成「壓縮氫氣加氫站保安講習」課程訓練。

B. 為配合上列政策，HySUT 便開辦初級者研修課程及保安監督者研修課程（即壓縮氫氣加氫站保安講習），說明如下：

| 研修類型                                     | 培育目標                                                                                                        | 實務工作內容                                                                                                        |
|------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 初級者研修，2 日<br>（無資格取得）                     | 1. 具備執行所負責業務的一般性知識與技能。<br>2. 能在上級人員的指示與指導下，安全且正確地處理標準作業。<br>3. 能夠辨識現場的危險並採取適當的迴避行動。                         | 1. 日常／每月定期點檢作業<br>2. 接收氫氣的作業<br>3. 加氫設備的操作與管理<br>4. FCV（燃料電池車）加氫作業（包括車輛引導、加氫操作、POS 系統處理、監控面板監視等）<br>5. 緊急狀況應對 |
| 保安監督者研修，5 日<br>（通過測驗者可取得「壓縮氫氣加氫站保安講習」認證） | 1. 具備氫氣加注站整體業務的知識與技能，能夠確實執行日常與非常規業務。<br>2. 能夠監督氫氣加注站的整體業務，並能指導下屬人員。<br>3. 能夠預測故障或災害狀況，並可指揮與執行包含相關單位在內的應對措施。 | 1. 氫氣加注站業務（包含日常業務與非常規業務）<br>2. 緊急狀況應對<br>3. 指導與培育下屬人員<br>4. 蒐集、分析重大事故案例及設備故障案例，並於公司內部進行宣導與推廣                  |

C. 該研習課程包含了學科講習及術科實習，主題有：一般高壓氣體介紹、氫能源介紹、加氫站概述、加氫站相關設備、加氫站自主管理、氫能基礎設施相關法規、燃料電池車輛知識、安全設計及管理、安全防災設備、加氫站營運管理、加氫站設備管理、基礎工作培訓、加氫站事故及故障案例、故障應對訓練及防災培訓等，完成保安監督者研修訓練，並通過測驗即可取得「壓縮氫氣加氫站保安講習」認證。（如圖 10）

D. HySUT 自 2018 年開始辦理初級者研修課程，迄 2024 年 9 月止共有 55 個事業單位及 91 名勞工完成初級者研修訓練，另外自 2020 年開始辦理保安監督者研修課程，迄 2024 年 10 月止共有 28 個事業單位及 45 名勞工完成保安監督者研修訓練，完訓學員多數反應包含術科實習的訓練方式，較能使受訓學員快速理解加氫站實際的運作方式、透過訓練更能了解自身工作於加氫站的角色及職責以及緊急應變的實務演練

非常有幫助。

| 科目      | 內容            |                                                                                                      | 訓練時間(小時) |          |
|---------|---------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|----------|
|         | 課程            | 培訓                                                                                                   | 初級者      | 安全監督者    |
| 基礎知識    | 一般高壓氣體        | 高壓氣體的基礎、分類、定義等相關法規                                                                                   | 0.5      | 0        |
|         | 氫氣            | 氫氣概述、生產、運輸儲存及使用技術                                                                                    | 0.5      | 1        |
|         | 氫氣站概要         | 氫氣特點、安全措施及相關問題                                                                                       | 0.5      | 0.5      |
|         | 氫氣站相關設備       | 加氫站設備現況及未來發展計畫與所用之材料<br>氫氣拖車、液化氫相關設備、壓縮機、加氫機、了解加氫站壓縮機、儲壓機、加氫機、安全設備<br>預冷器、氫氣充填軟管、閥門、壓力表、溫度計、電器和通訊設備等 | 0<br>1   | 0.5<br>3 |
|         | 氫氣站自主管理指南     | 填充指南、品質指南、JPEC技術標準                                                                                   | 0.5      | 3        |
|         | 氫氣基礎建設相關法規    | 高壓氣體保安法(法律體系、目的、定義、營業場所類、製造、消費、運輸、銷售等)                                                               | 0.5      | 2        |
|         | 燃料電池汽車(FCV)知識 | FCV構造、原理、安全措施及加氫方法                                                                                   | 1        | 2        |
| 運營/安全管理 | 安全設計管理        | 安全設計、信賴管理、安全管理、法規                                                                                    | 0.5      | 1        |
|         | 安全防災設備        | 氣體洩漏偵測器、火焰偵測器、滅火和灑水功能、緊急遮斷設備、自動停止裝置等<br>地震儀、連鎖裝置、電氣設備防爆裝置、安全電源、防止擴散裝置及屏障等                            | 1        | 2        |
|         | 加氫站營運管理       | 組織與標準、安全管理專案與檢查程序、加氫作業、POS處理、每日月檢點等                                                                  | 1        | 6        |
|         | 加氫站設備管理       | 標準、設備檢驗、設備診斷<br>設備更換及維護、設備停止作業(檢查前)、作業開始(檢查後)、檢查應對、自主管理檢查                                            | 1        | 3        |
|         | 基礎工作培訓        | -                                                                                                    | 1        | 0        |
|         | 氫氣站事故 / 故障案例  | 案例分析及對策、安全資料庫                                                                                        | 1        | 3        |
|         | 故障應對訓練        | 模擬設備進行故障訓練                                                                                           | 2        | 5        |
| 緊急應變培訓  | 防災培訓          | 緊急應對方式、防災訓練、避難訓練<br>訓練內容為當發生大規模氫氣洩漏或火災，包括加氫站人員安全、與消防部門等公共機構合作                                        | 2        | 7        |
| 結業測驗與總結 |               |                                                                                                      | 1<br>15  | 1<br>40  |

圖 10 日本氫能研修課程內容及時數（資料來源：HySUT 簡報）

### (3) 未來展望與推進方向：

- A. 未來規劃朝移動式加氫站拓展（可移動、具備自行行駛能力的加氫設備），以因應不同地理條件與用戶需求。
- B. HySUT 規劃持續與 KHK、經產省合作，推動標準更新與跨國經驗交流，期望建構具國際競爭力之氫能商業模式。

## 二. 拜訪事業單位

### (一) 參觀港前加氫站

#### 1. 港前加氫站機構簡介

神戶港前加氫站為日本港灣型氫能基礎設施示範點之一，主要服務對象為氫能巴士及相關運輸工具。該站使用 80MPa 高壓氫氣進行充填作業，為目前先進標準之一，並具備多項自動控制與安全防護機制，展現高度安全與實務管理經驗。

#### 2. 港前加氫站與會代表出席情形

本次參訪神戶港前加氫站，由神戶市環境局脫碳素推進課水野雄介 係長與川久保雄基協助規劃與安排，前往途中特別安排氫能燃料電池車作為接駁交通工具，實地展示氫能在城市交通中的應用成效與便利性，提升參訪團對於氫能實務導入的直觀體驗。

在抵達加氫站後，由神戶港前加氫站站長負責現場接待，詳細介紹加氫站整體規劃架構、設施配置、日常運作流程及安全管理措施，參訪後於加氫站合影如圖 11 所示。



圖 11 參訪團於港前加氫站合影

### 3. 港前加氫站參訪紀要

#### (1) 充填流程與作業觀察：

- A. 加氫機設備包含了氫氣計量設備、軟管、加氫槍、緊急關斷閥、溫度及壓力偵測器等。
- B. 加氫機系將壓縮氫氣灌充至燃料電池車上之儲氫罐中，為避免灌充過程中氫氣溫度過高造成危險，灌充時會將充填之氫氣冷卻至攝氏 -40 度，以穩定氫氣狀態並減少壓力波動，另外充填速率會受到儲氫罐初始壓力、溫度、環境溫度、灌注之氫氣溫度等因素影響，於充填過程

中會透過加氫槍與車輛之通訊機制，取得儲氫罐大小與壓力，並於灌注過程中即時監控儲氫罐壓力上升速率及壓力，來控制充填速度。

- C. 氫燃料電池車一般充填量為 5 公斤，充填時間約需 5 分鐘（充填速度約每分鐘 1 公斤）。現場加氫站人員實際演示及說明加氫過程，如圖 12 所示。



圖 12 神戶港前加氫站站長演示加氫填充過程

- D. 充填作業前會先進行管線吹驅並確認無水氣殘留，避免因濕氣導致設備損壞或結冰風險。
- E. 加氫槍設有緊急自動脫離裝置（Breakaway），於加氫槍未拔除前，若車輛誤移動，緊急自動脫離裝置將作動，將加氫槍管線自加氫機脫離，並中斷供氣與電源，避免管線拉扯造成氫氣洩漏產生危險。
- F. 為維持氫氣溫度穩定，相關儲槽採用雙層真空保冷設計，具備高效保冷性能，另氫氣燃燒的火焰幾乎沒有顏色，無法以肉眼發現，而紅外線火焰探測器係透過偵測火焰燃燒時產生之紅外線，來判斷是否有火焰，但是氫氣燃燒之火焰產生之紅外線較弱，無法直接使用，故需選用具有紫外線偵測器之複合型火焰偵測器，較能有效的偵測氫氣燃燒

之火焰，另外因為氫氣燃燒時不會釋放二氧化碳，所以利用偵測二氧化碳來判斷是否燃燒之偵測方式，亦無法及時偵測氫氣燃燒之火焰。

(2) 安全防護設施：

- A. 於加氫機加氫過程中可能發生之風險有，車輛撞擊加氫機、加氫時車輛誤移動，將管線拉斷、加氫機內氫氣洩漏於機器內蓄積及設備損壞造成氫氣洩漏等，為防止災害發生，現場採取下列安全措施：於加氫機兩側設置車輛防撞柱並將加油機安裝於高度 15 公分之加氫島上、於加氫機設備內設置氫氣洩漏偵測器、於加氫機上設置緊急停止按鈕、於加氫槍管線設置緊急自動脫離裝置、屋頂採用防止氫氣滯留之斜屋頂結構、並於加氫站週界設有隔離牆，加氫站相關安全措施如圖 13 所示。

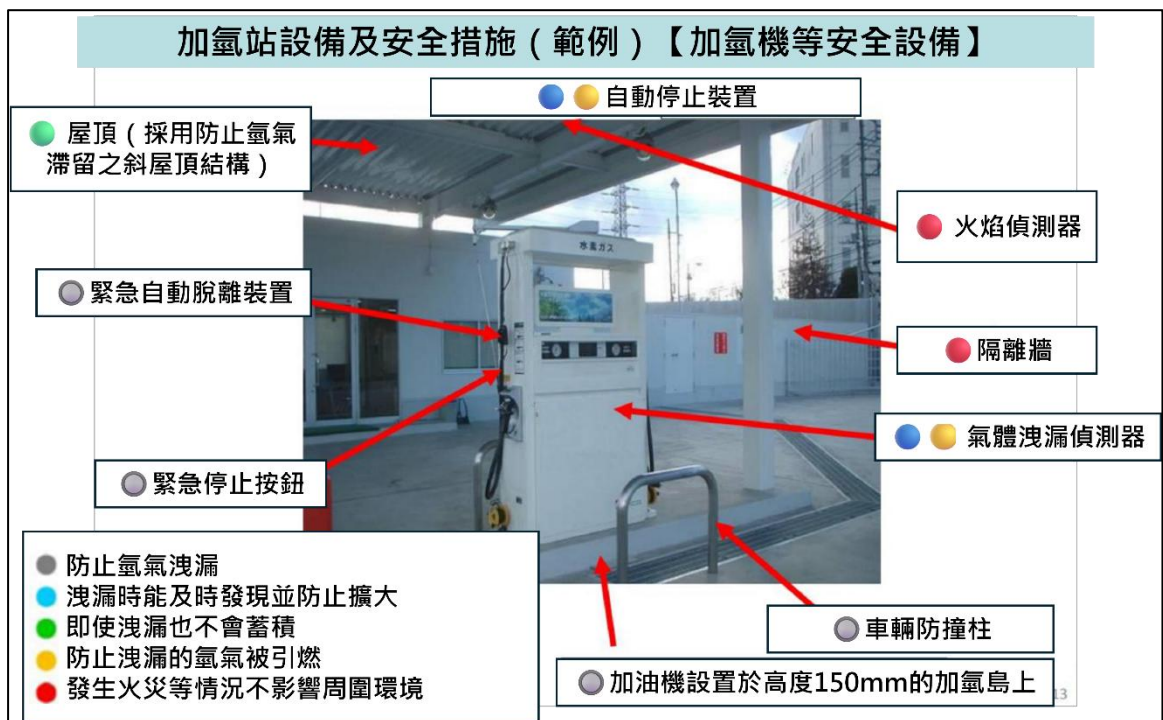


圖 13 加氫站相關安全措施（資料來源：神戶市環境局簡報）

- B. 另於加氫過程中若偵測到氫氣壓力異常下降，系統會自動中止所有運作，並切斷供電與供氣流程。
- C. 所有操作人員皆須接受專業訓練，並熟稔緊急應變程序與氫氣特性。

## (二) 參觀神戶港接收站

### 1. 神戶港接收站機構簡介

神戶港接收站為全球首座液態氫國際運輸示範基地，由川崎重工業株式會社負責設計與建造，位於神戶港臨海區，具備液態氫卸收、低溫儲存與轉運功能。該設施作為日本氫能供應鏈示範計畫之核心樞紐，規劃負責接收自國外海運來的液態氫，為日後氫能商業化鋪路。

### 2. 神戶港接收站與會代表出席情形

本次參訪行程由川崎重工水素戰略本部專責人員接待，包含總合計畫推進課課長上野貴則先生與推進部擔當部長小山優先生。由川崎重工派員詳細講解接收站設施構造、液態氫運輸流程、儲存技術與 2030 年商用驗證藍圖。接待過程中亦展示世界首艘液態氫運輸船「Suiso Frontier」的應用成果與航行測試數據。

### 3. 參訪紀要

#### (1) 液態氫接收與儲存技術：

A. 氫能有三種長途運輸方式，分別為液化氫 (Liquefied Hydrogen)、氨 (Ammonia)、甲基環己烷 (Methylcyclohexane, MCH)，而日本採用的是液化氫技術，三項方式說明如下及圖 14：

甲、液化氫：運送到目的地後只需汽化就能使用，無需再純化，且沒有毒性，安全性高、流程簡單，但液化成本較高，保存不易。

乙、氨：製造容易、運輸方便，但具有毒性，且需裂解與純化才能取得氫，安全風險較高、處理流程較複雜。

丙、甲基環己烷 (MCH)：由甲苯氫化製成，運輸穩定，但要脫氫才能取回氫，且甲苯有毒，系統複雜、潛在風險高。

## Why Liquefied hydrogen?

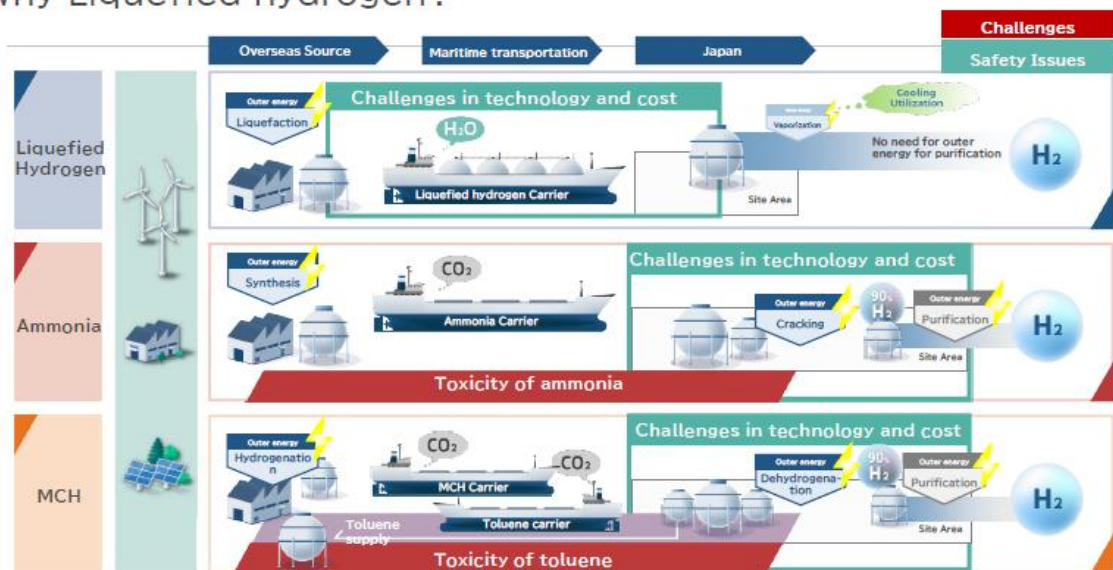


圖 14 氢能長途運輸的方式（資料來源：神戶港接收站簡報）

- B. 該液態氫運輸示範基地之氫氣來源，係於澳洲以褐煤製造之氫氣，因為褐煤熱值較低，是煤炭分類中最低階的煤，故利用褐煤製氫成本較低，於製成液態氫後，再由液態氫運輸船「Suiso Frontier」將液態氫運回神戶港，為保持海運途中液態氫大量蒸發造成浪費，於液態氫運輸船上設有雙層真空保冷之容器，該容器結構如同保溫瓶，可將容器內部溫度保持在攝氏-253 度，藉以減少液態氫氣化之損失，該容器容量為 1,250 立方公尺，結構如圖 15，另於神戶港之液態氫儲槽也採取相同之雙層真空保溫設計，並設計為球型儲槽如圖 16 所示。
- C. 該液態氫運輸船「Suiso Frontier」於 2022 年完成首次液氫海運任務，經測試船上之液態氫容器之氣化損失率（每日液態氣體氣化的比例，Boil-off Rate, BOR）為每日 0.3%，另於神戶港之球型儲槽之氣化損失率可達 0.06%，其效率已與液化天然氣儲槽相同，為商業上可行之設計。

## Result of Pilot Project Demonstration Phases

Both BORs have achieved **the same level of performance as LNG carriers** and storage tanks of the same class

\*BOR(Boil off Rate): Ratio of liquid evaporated per day by external heat

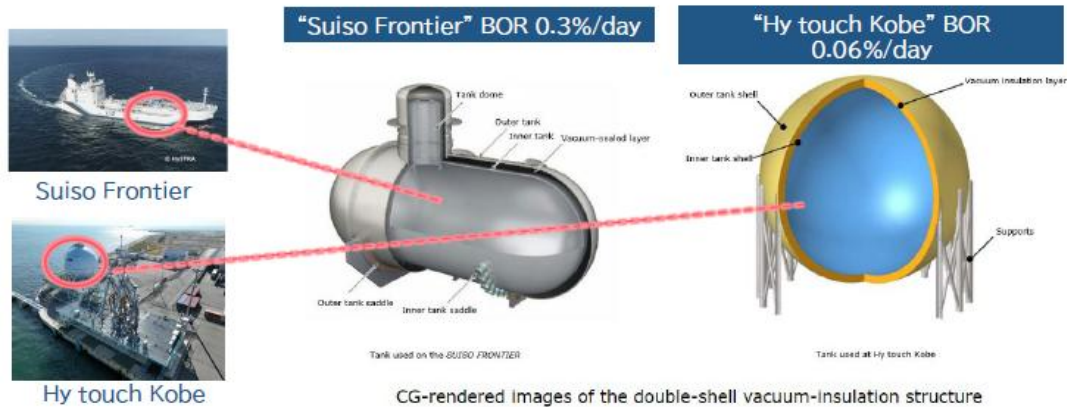


圖 15 運輸船容器及儲槽結構（資料來源：神戶港接收站簡報）



圖 16 神戶港液態氫儲槽

- D. 神戶港接收站設有液態氫裝卸臂系統（Rigid Type Loading Arm System，LAS），於液態氫運輸船航行至神戶港接收站後，會利用該裝卸系統將液態氫自船上容器，輸送至接收站內之液態氫儲槽，該裝卸系統可隨時配合船體改變角度，藉以避免裝卸時因運輸船重量變化或海浪造成船體擺動，致裝卸管線遭拉扯脫落相關事故，裝卸臂系統如圖 17。



圖 17 液態氫裝卸臂系統（照片來源：HySTRA 網站）

(2) 未來展望與推進方向：

- A. 相較氨與甲醇等載氫介質，液態氫因無毒且在運輸安全性與還原效率上更具優勢，氨與甲基環己烷（MCH）需消耗大量能量進行還原轉化，且具潛在毒性風險，在運輸安全與成本上不利長期商業推廣，而日本考量其島國地理特性不利於長距離管線建置，因此選擇以液態氫及海運來做為長程運輸之方法。
- B. 川崎重工以液態氫為發展主軸，並持續驗證相關技術之安全性與經濟性上的可行性，目前液態氫運輸船上容器容量為 1,250 立方公尺，球型儲槽容量為 2,500 立方公尺，該公司規劃後續於 2030 年達成商業化驗證階段，並將運輸船容器之容量擴增至 4 萬立方公尺，及將儲槽容量擴充至 5 萬立方公尺，另於未來以運輸船容器之容量為 16 萬立方公尺、儲槽容量為 20 萬立方公尺做為目標。

(三) 參訪日本松下（Panasonic）草津工廠

1. 日本松下草津工廠及 RE100 綜合實證場域簡介

日本松下電器位於滋賀縣草津市之草津工廠，為綜合型製造與能源技術

研發基地，致力推動氢能、再生能源與電力管理的整合應用。廠內設有日本首座企業主導的「RE100 綜合實證場域」，整合太陽光電、儲能電池、氢能儲能系統及能資源調控最佳化平台，驗證工廠於日間、夜間與斷電狀況下具備能源自主調度能力，可應對 RE100 所倡議之 100%再生能源自給目標。

## 2. 日本松下草津工廠與會代表出席情形

本次參訪由日本松下株式會社由電工事業部「智慧&能源事業統括部」的和泉誠先生、山田剛室長負責接待與簡報，並由台灣松下電器股份有限公司製造強化中心經理張建華先生，特地自台灣前往日本全程陪同並熱情接待，展現對本次交流之高度重視。

## 3. 參訪紀要

參訪當日由日本松下的山田剛室長進行 RE100 綜合實證場域相關介紹報告，並安排現場實地參觀及討論，參訪紀要及討論重點摘錄如下，RE100 實證場域配置如圖 18、現場設備如圖 19 及圖 20 所示。



圖 18 草津 RE100 實證場域配置（資料來源：Panasonic 簡報）



圖 19 草津 RE100 綜合實證場域太陽能發電區域



圖 20 草津 RE100 綜合實證場域之液態氫儲槽、汽化器等相關設備

(1) 草津 RE100 綜合實證場域介紹：

Panasonic 公司於草津工廠設置 RE100 綜合實證場域，用於示範及驗證

該公司研發之再生能源解決方案，該場域中設置了純氫燃料電池發電系統、太陽能發電系統以及儲能電池系統，利用可再生能源為其生產燃料電池之工廠供電，並結合 EMS 能源管理系統來驗證及優化電力供需管理，另設置之太陽能發電系統亦參考一般大樓或工廠之屋頂大小設計，以利後續推廣運用。

(2) 純氫燃料電池發電設備介紹：

Panasonic 公司目前推出三款純氫燃料電池產品，該產品可藉由輸入氫氣及吸收空氣中之氧氣，透過氫燃料電池化學反應來產出電力，目前該公司 PH3 純水素型燃料電池發電功率最高為 9.9kW，發電效率達 56%，該產品除產出電能外，亦會產出熱能（熱功率約為 8.4kW），可搭配熱回收或吸收式製冷系統將熱能再利用，實現能源的全面回收與利用，相關發電流程機制如圖 21。

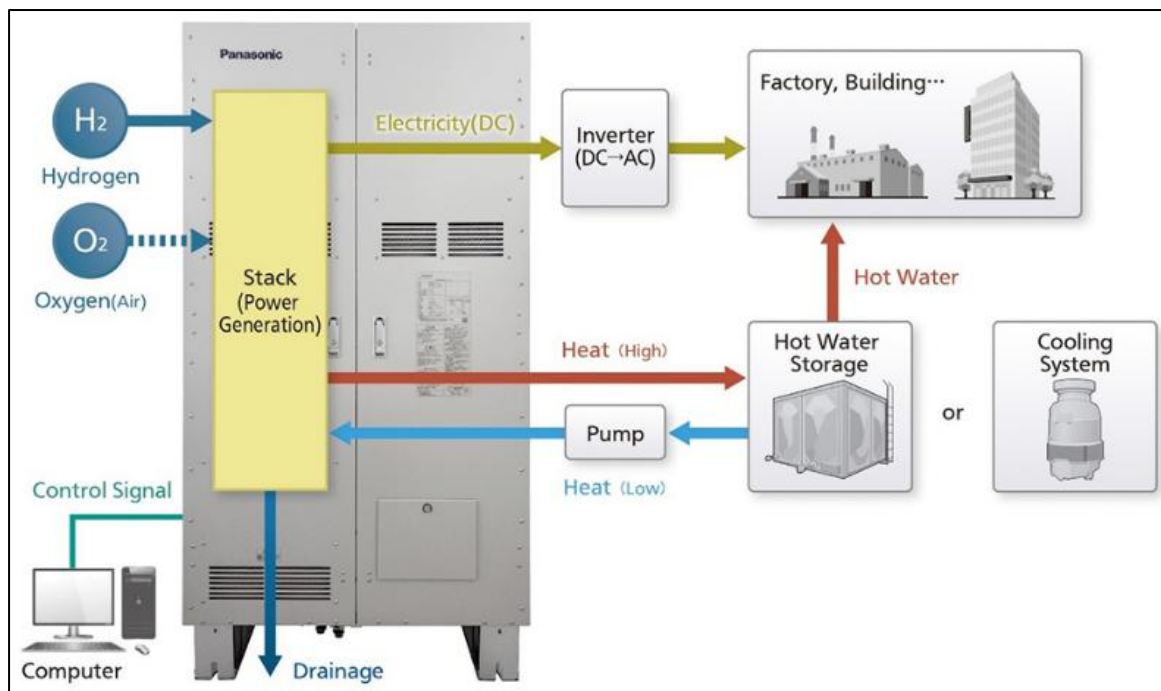


圖 21 PH3 純氫燃料電池發電機制（資料來源：Panasonic 網站）

(3) EMS 能源管理系統與應用展示：

- A. 為管理及調配各種能源，Panasonic 建置 EMS（Energy Management System）能源管理系統，透過即時監控功率消耗情形，動態調配 RE100

綜合實證場域中之太陽能、純氫燃料電池及儲能電池之能源，即時依工廠負載需求進行能源最佳化配置，例如在用電量較少時，將剩餘之電力儲存於儲能電池中，在太陽能發電量較少時調配氫燃料電池或儲能電池來供應電力。

- B. 另該 EMS 能源管理系統具有 AI 學習能力，能根據歷史用電數據並連結天氣預報等資訊，預知太陽能未來發電量之變化，即時調整燃料電池或儲能電池之輸出，使場域內用電與供電量達到平衡，強化能源調度及應對能力。

(4) 參觀 RE100 綜合實證場域交流：

- A. 液態氫儲槽會因環境溫度上升造成液氫蒸發，為保持儲槽壓力穩定，蒸發之氫氣會透過儲槽排氣口排放，於管理中心設有監測系統，能即時監控各設備溫度、壓力等狀態，另外因氫氣排氣口容易發生火災，會特別監測氫氣排氣口狀況，於偵測到異常時，系統會發出警報聲，並將設備資訊傳送給管理人員及氣體供應商，以利人員即時處理。
- B. 由於氫氣密度較空氣低，洩漏時容易迅速擴散，安全考量下氫氣相關設備建議設置於室外通風良好處，且屋頂須採取防止氫氣蓄積之設計，例如斜屋頂等。
- C. 現場設有氫氣儲槽以利吹驅使用，於設備啟動引入氫氣前，為避免設備內氫氣與空氣混和，產生可燃性環境，會先用氫氣將相關設備及管線惰化，使系統內氧氣濃度小於最小氧濃度(可燃燒的最小氧氣濃度)，另於停機維修時，在開啟設備、管線，引入空氣前，也需要使用氫氣吹驅，將系統內之氫氣清除，避免引起火災。
- D. Panasonic 之純氫型燃料電池相關產品特點在於模組化應用，可隨需求調整擴充，並具有高發電效率及使用壽命長（15 年或 10 萬小時）之特點，未來該公司在台灣也規畫建立燃料電池設備之產線，投入氫燃料電池之生產。

#### (四) 參訪 Resonac 川崎工場（レゾナック川崎工場）

##### 1. Resonac 川崎工場簡介

Resonac 川崎工場位於日本神奈川縣川崎市臨海工業區，是 Resonac Holdings Corporation（前身為昭和電工）旗下的重要氢能實證據點，該公司近期配合日本政府政策，致力推動氢能源與循環經濟的結合，故規劃設計廢塑膠製氢製程，並完成實際生產驗證。該製程係透過廢塑膠化學回收技術，將廢塑膠熱分解後提取氢氣，實現「塑膠製氢(Plastic to Hydrogen, P2H)」的再生能源利用模式。該工廠生產的氢氣除提供食品廠使用外，亦提供附近 JR 電車使用，是日本政府推動川崎氢能供應鏈示範計畫的核心設施之一。

##### 2. Resonac 川崎工場與會代表出席情形

本次參訪 Resonac 川崎工場係由該公司基礎化學品事業部企劃部塑膠化學回收推進室三位代表接待，分別為安部勝好先生、安藤直人先生及伊東浩史先生，過程中針對廢塑膠回收、廢塑膠製氢之流程、設備構造、安全管理與商業應用進行簡報與導覽說明。此外，日本高壓氣體保安協會（KHK）戶邊千広理事亦全程陪同出席，協助雙方溝通交流並針對法規制度與產業應用提出補充說明，現場參訪廢塑膠回收及 RPF 製程如圖 22 所示；現場參訪燒卻爐相關設備如圖 23 所示。



圖 22 廢塑膠回收及 RPF 製程



圖 23 燒卻爐相關製氫設備

### 3. 參訪紀要

#### (1) 集團架構與化學產品應用：

- A. Resonac 集團年營業額約 1.4 兆日圓，化學事業占整體營收 44%，川崎工廠為其主要生產基地之一，員工約 1,000 人，協力廠及關係企業人數約 1,600 人。
- B. 該工廠主要產品包括氨( $\text{NH}_3$ )、各類化學品、半導體專用氣體(如 HBR)、食品添加劑及工業氣體等，應用涵蓋火力發電、毛衣製造、飛機零組件與電子產業。

#### (2) 日本廢棄物再利用與氫氣製造技術：

- A. 日本於 2023 年產生了約 769 萬噸之塑膠廢棄物，來源大致可分為家庭塑膠廢棄物(387 萬噸)與工業塑膠廢棄物(382 萬噸)兩大類，而因日本對於環境保護的重視，對於垃圾分類執行得相當徹底，於塑膠廢棄物中有高達 89%得以再利用(約 688 萬噸)，其主要方式再利用方式包括化學回收、機械回收、工業用塑膠材料回收以及能源回收，其中占比最高是能源回收，回收量高達 492 萬噸，顯示將塑膠燃燒回收熱能，仍是日本目前最主要的回收再利用處理方式，另外化學回收約有 30 萬噸，主要係用於生產焦炭(22 萬噸)與製造合成氣(6 萬噸)為主，本次參訪之廢塑膠製氫製程即屬化學回收，製造合成氣的一種。
- B. 川崎工廠以化學回收法處理塑膠廢棄物，年處理量約 6 萬噸，其中 5 萬噸來自家庭及 1 萬噸之工業廢棄物，該製程處理流程為，先將廢塑膠粉碎，經過磁選機去除金屬雜物後，再透過成型機將廢塑膠碎片塑型為大小均一之 RPF (Refuse Plastic Feedstock)，藉由製成 RPF，可將廢塑膠性質均質化，並統一其大小及體積，以利後續製程控制反應時間，後續再將 RPF 送至氣化處理廠進行熱分解氣化，熱分解氣化係透過 2 段式加壓氣化爐 (Pressurized two-stage gasification furnace) 將 RPF 分解製成氫氣及一氧化碳，該熱分解氣化之程序，係

將 RPF、蒸氣及少量的氧氣飼入低溫汽化爐中，該汽化爐係採流體化床 (fluidized-bed) 設計，運作壓力為 1MPa，爐內流體化床爐內及沙子溫度約 600°C，汽化後之氣體會由爐頂導入高溫汽化爐內，而 RPF 中之金屬雜質會由爐底排出，高溫氣化爐內溫度達 1,400°C，高溫會將 RPF 汽化之氣體、蒸氣及少量之氧氣再次氧化，產出氫氣及一氧化碳之合成氣體，再將合成氣導入爐底冷卻室中將氣體快速冷卻，冷卻時產生之雜質（熔渣）將由爐底排出，而產生之合成氣體，後續再搭配氣體淨化、CO 轉換與脫硫系統，最終將產出氫氣與二氧化碳，製程流程如圖 24 所示。

- C. 熱分解氣化製程為放熱反應，於達到運作溫度後塑膠分解放出的熱量可維持反應發生，所以除了起爐時須要能源加熱到運作溫度外，於製程中是不需要其他能源來保持運作溫度的。
- D. 該製程生產之氫氣可送至製氨工廠中將氫氣合成氨 ( $\text{NH}_3$ )，產出之二氧化碳可製成乾冰或液態二氧化碳，用於飲料等產品中，而製程中的副產品金屬雜質與熔渣也可再利用，金屬雜質可作為有價料回收，而熔渣則可做為道路基底材料，整個製程的產物都可利用，而無廢棄物，達到「零廢棄」全資源利用之目標。
- E. 該汽化爐為生產高壓氣體之設備，於日本法規規定應納入特定設備管理，另外因製程中會產生氫氣及一氧化碳等易燃氣體，故相關設備應具有防爆性能，並進行預防高溫、高壓及腐蝕等安全管理。

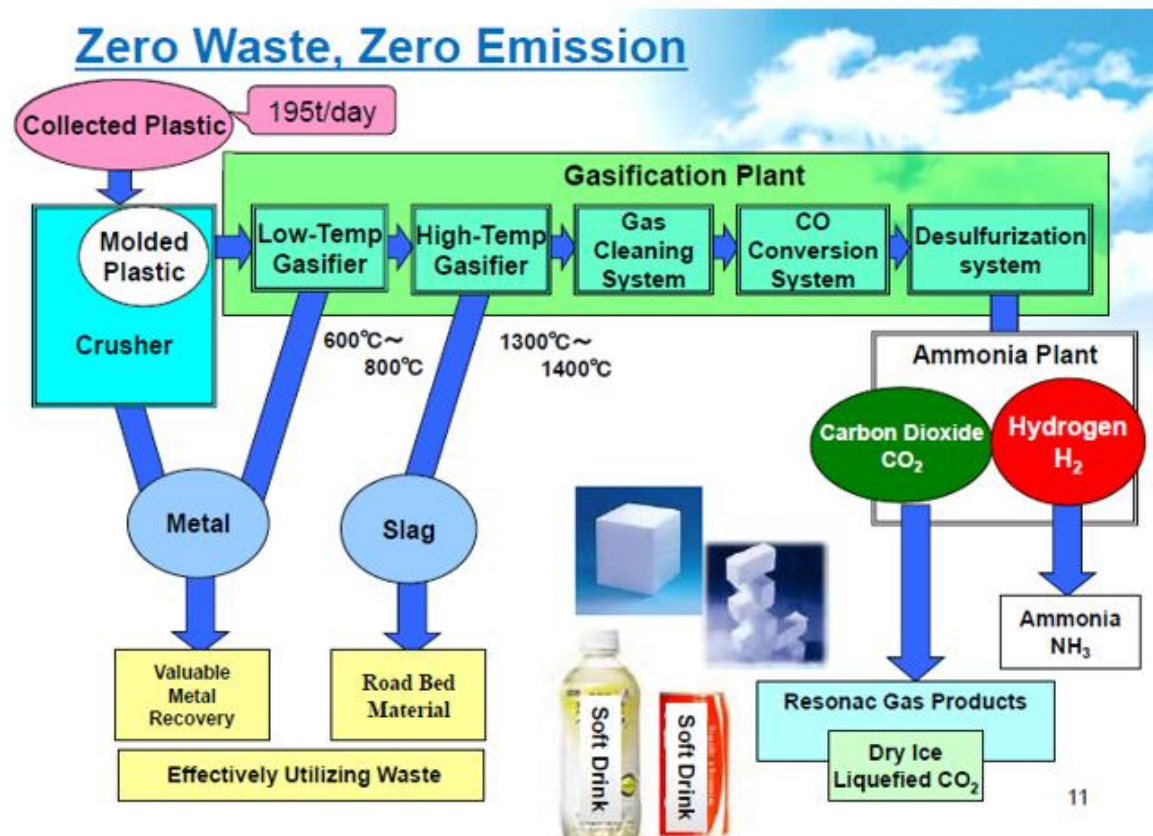


圖 24 Resonac 廢塑膠產氫流程 （資料來源：Resonac 簡報）

### (3) 未來展望與推進方向：

目前氫氣產量主要係供應燃料電池與部分外部需求使用，未來將視政府政策方向，持續擴大產能，待氫能源相關應用普及化後，該公司規劃透過管線，將氫氣自工廠供應至周邊之飯店、商業設施及未來羽田機場，形成區域性之供應網絡。

## 三. 參觀大阪萬國博覽會

### 1. 萬國博覽會簡介

2025 年大阪關西萬國博覽會（Expo 2025 Osaka, Kansai, Japan）是日本繼 1970 年大阪與 2005 年愛知之後第三次舉辦的世界博覽會，主題為「為生命設計未來社會」（Designing Future Society for Our Lives）。展覽於 2025 年 4 月 13 日至 10 月 13 日在大阪夢洲人工島舉行，旨在匯聚全球科技與創新，探索健康、永續、福祉與智慧社會等議題的未來解方。

本屆萬博與綠能產業的結合，會場將實踐碳中和願景，全面導入可再生能源如太陽能與氢能，並應用能源管理系統（EMS）、微電網與建築低碳設計。博覽會場內有設置氢能示範設施，提供氢能燃料船運行，並設有加氫站提供氢能船加氫使用。

此外，該博覽會為日本「綠色轉型（GX）」政策的重要推進平台，促進碳捕捉（CCUS）、廢棄物再利用與創新低碳技術的展示與國際合作。透過國際論壇、產學研合作活動與企業參展，預期對全球綠能轉型及智慧城市建設帶來實質影響，為未來永續社會提供具體藍圖。

## 2. 萬國博覽會參訪紀要

### (1) 搭乘氢能船體驗：

在參訪 2025 年大阪萬國博覽會期間，特別搭乘由川崎重工打造的氢能燃料電池船「まほろば（Mahoroba）」號，該艘船舶為日本國內首艘商用化氢能船，採用燃料電池系統作為主要動力來源，每次航行可搭載約 50 名乘客，行駛路線為大阪中之島至夢洲萬博會場，來回一趟約 20 分鐘，於航行過程中全程零碳排放，亦無廢氣與引擎噪音，展現出實務上氢能在水上運輸應用的可行性。「まほろば（Mahoroba）」號氢能船如圖 25 所示。

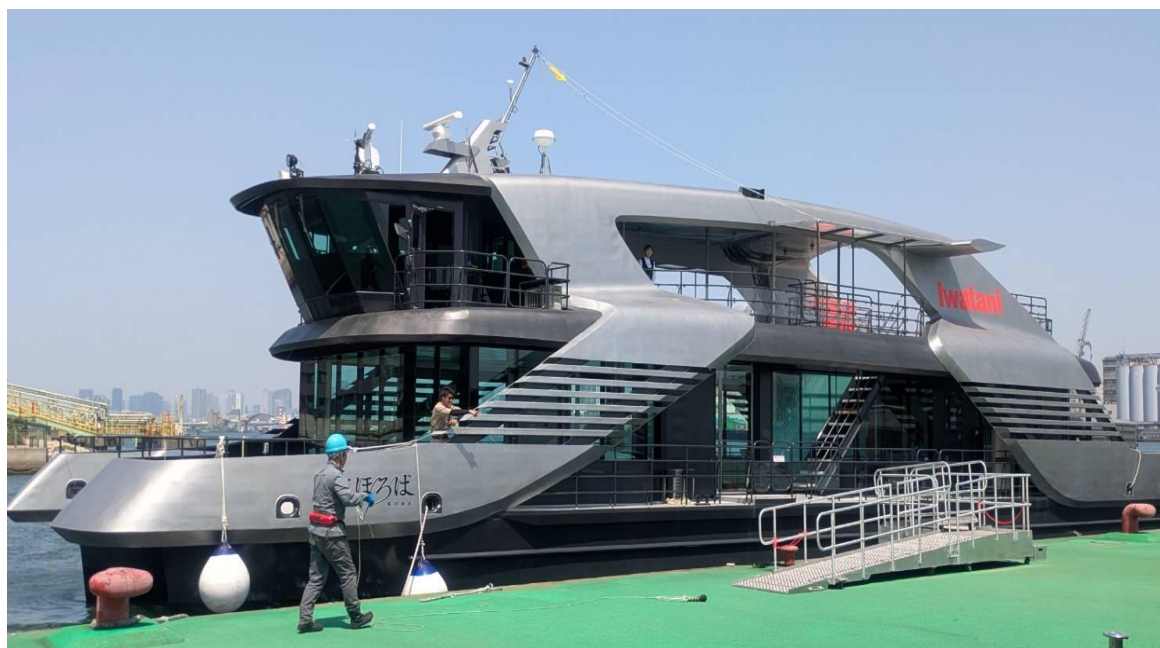


圖 25 「まほろば（Mahoroba）」號氢能船

(2) 萬國博覽會參觀荷蘭館紀要：

- A. 荷蘭館是 2025 年大阪萬國博覽會中極具創新精神的展館之一，以自然能量 (Natural Energy) 為主題，展示荷蘭如何透過創新科技與永續設計回應氣候變遷與能源轉型挑戰。展館整體採用循環建築設計理念，所有建材皆可回收再利用，館內亦設置太陽能發電與雨水循環系統，呼應展覽主題「未來能源與永續生活」。
- B. H2Fuel 固態儲氫技術：H2Fuel 將氫氣以固態粉末（硼氫化鈉  $\text{NaBH}_4$ ）形式儲存如圖 26 所示，該粉末可透過添加超純水與催化劑即可釋放出氫氣，此反應除可提取硼氫化鈉中之氫氣並可自添加之超純水中分解出氫氣，提升氫氣產量，另外因為反應時僅加入超純水，沒有任何雜質，所以於反應後之物質可經加工，再次製成硼氫化鈉，此技術將硼氫化鈉作為氫氣的載體，且無廢棄物產生，達到完全再利用，亦可避免氫氣以高壓或液態狀態儲存時之風險，提升安全性，可作為未來氫能儲存之方式之一。



圖 26 將氫氣以固態粉末（硼氫化鈉  $\text{NaBH}_4$ ）形式儲存

- C. Suntex 太陽能紡織技術：由 Pauline van Dongen 與 Tentech 共同合作開發了一種包含太陽能發電功能的紡織品 Suntex，使太陽能不再是一塊塊固定形狀的板子，因為該太陽能紡織品可隨意彎折、變形，且具有重量輕的特性，可突破傳統太陽能板需要基座固定的特性，於任何日常生活中的表面都可透過覆蓋該材料來進行發電，且可同時達到遮陽冷卻的效果，有助於推廣太陽能運用，相關介紹如圖 27。



圖 27 Suntex 太陽能紡織技術介紹

- D. 水熱能技術 (Aquathermal Energy)：本技術係將地底含水層做為儲能系統使用，於夏天時將地下含水層中之冷水抽取出來，透過熱交換器將環境溫度冷卻，並將熱交換後之熱水打回地底儲存，另於冬天時將地底中之熱水抽出，用來加熱環境，再將冷水打回地底儲存，是一種

利用地底含水層作為能量儲存媒介之技術，本技術可運用於溫室農業，作為穩定季節間溫度變化之溫度控制系統，並可取代傳統化石燃料，進而達到減碳之目的，相關介紹如圖 28。



圖 28 水熱能技術介紹

- E. 浮體式太陽能板 (Floating Solar Panels)：由 SolarDuck 公司開發的浮體式太陽能，係將太陽能板架設於水面上不佔用土地，且可承受極端氣候，適合日本與荷蘭等沿海國家的能源轉型需求。此技術目前已在東京灣進行實證，結合再生能源與智慧海事工程，有助於提升能源自主性與災害韌性，相關介紹如圖 29。

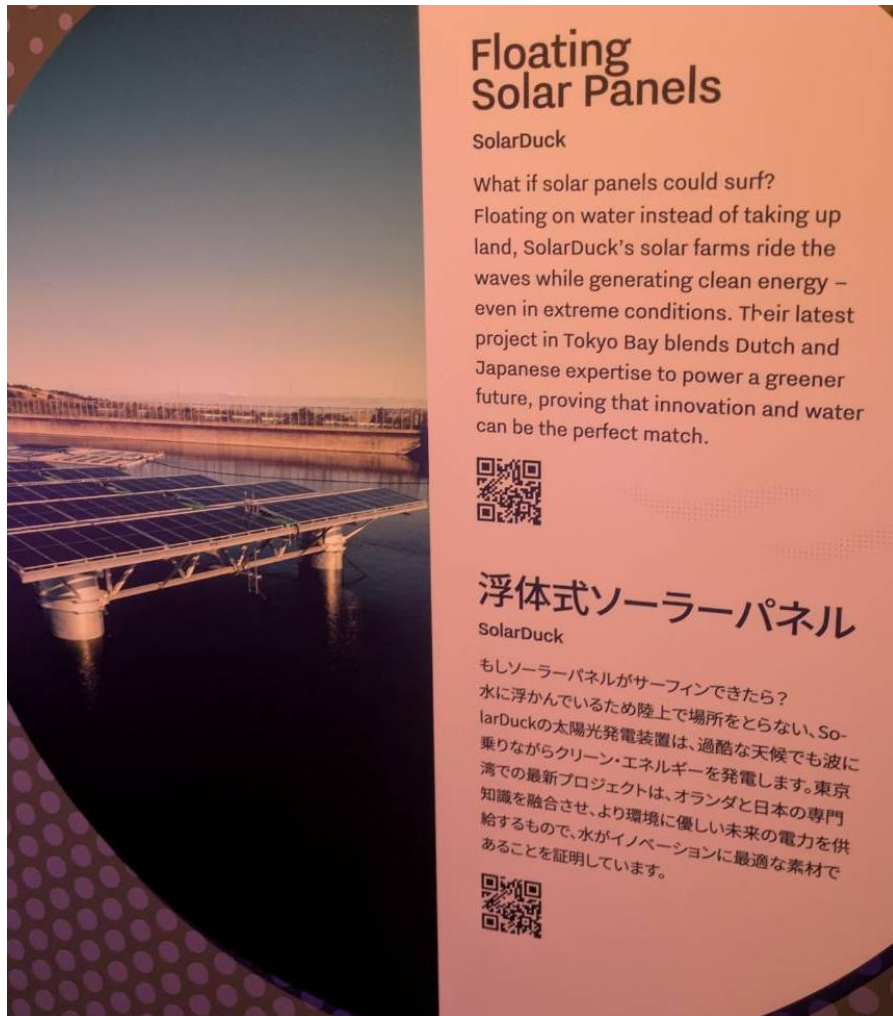


圖 29 浮體式太陽能板介紹

### (3) 參觀未來城市館紀要

- A. 「未來城市館（Future City Pavilion）」主題聚焦於 2050 年城市生活的永續構想與實踐技術，涵蓋智慧能源、交通轉型、環境治理與社會共融等多元面向。以「人與地球共生」為主題，模擬未來城市中的生活場景與基礎設施運作模式，透過沉浸式環繞影像與互動裝置，讓參觀者從能源取得到日常交通、食物供應與災害應對等，體驗一座零碳排放的未來都市。
- B. 三井商船於萬博未來城市館中展示其 Wind Hunter 船隻之風與氫能（Wind and Hydrogen）計畫，強調風能與氫能二元推進的創新航運模式，並以沉浸式展示與多媒體說明向參觀者介紹其技術理念，示範模型如圖 30 所示。



圖 30 風能與氢能二元推進的創新航運模式模型

- C. Wind Hunter 船隻係利用風力輔助船隻推進，達到節能的目的，並行駛於風力充足之區域時，除透過風力推動船隻前進外，於船隻前進時同時帶動水下渦輪機發電，除將電力儲存於儲能系統外，對於多餘之電力，會利用船上之水電解系統製造氫氣，並以甲基環己烷（MCH）型式儲存，而當風力不足時，會使用儲能系統中之電力作為能量來源，本技術已於長崎大村灣完成小型帆船實驗，預定 2024 年至 2030 年間建造 60 至 70 公尺級之氢能生產船，並規劃 2030 年前實現大型零排放貨輪與氢能生產船之建造。
- D. 水下工程機器人：水下工程機器人係利用具有資訊與通訊技術（Information and Communication Technology，ICT）的自動化與遠端操控技術，來控制「水中構造工程機器人」進行水下工程作業，減少勞工進行高風險的水下作業機會，據以保護勞工的安全，水下工程機器人如圖 31 所示。

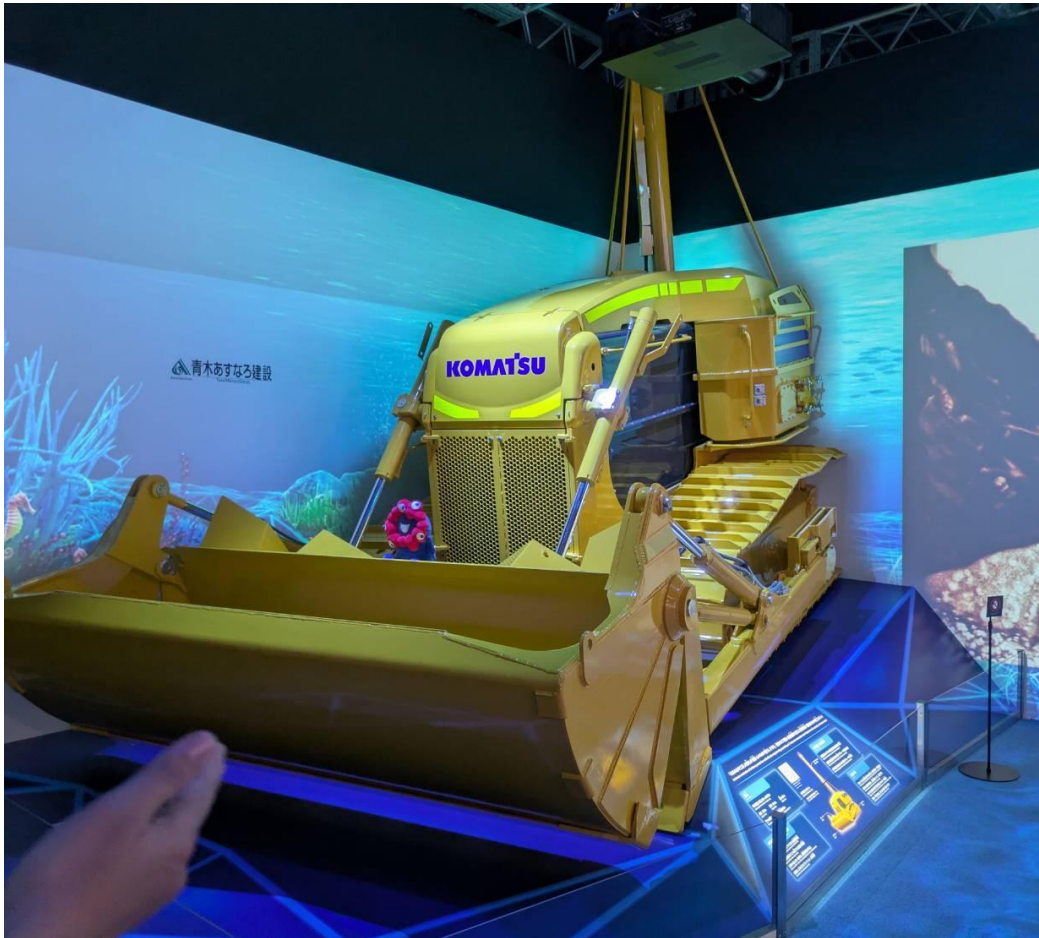


圖 31 水下工程機器人

E. 未來城市館中神戶製鋼所（KOBELCO）的展區顯示「KOBELCO 的製造與城市建設」，以一條虛擬的製造流程軌道呈現從原料進港、氫氣壓縮儲存、再到高爐製鐵、壓延、鍛造與建材成型等一系列工業製程。展示 KOBELCO 如何導入氫能技術於鋼鐵產線中，透過高效氫氧氣（HHOG）系統、氫氣還原製程與智慧遠端操作實現減碳與自動化，強調其在城市建設、能源轉型及綠色製造方面的實踐與技術整合能力。

### 3. 參觀 Tech World（台灣館）紀事

A. Tech World 是台灣參與萬博的重要展館之一，由外貿協會設立的玉山數位科技股份有限公司籌劃，雖非由台灣政府出展，但以「TW」為識別傳遞台灣(Taiwan)之意。館名寓意「共好」(To be better together)，主打科技與人文融合的永續發展理念。

B. 展館內部依循「生命（Life）」、「自然（Nature）」、「未來（Future）」

三大主軸進行規劃：

- a. 生命區(Life) 透過東方膠彩畫與 AI 藝術結合，展出台灣名家作品。參觀者於參觀過程會配戴感應手環，並於參觀結束後分析參觀者於各展區之心跳數據，依據個人的喜好推薦參訪台灣之行程規劃，展現台灣文化科技融合的創新應用。
- b. 自然區(Nature) 展示再生能源、智慧水資源與氢能技術應用。包含浮動式太陽能板、雨水回收再利用系統，強調科技對自然環境的共存與修復潛能。
- c. 未來區(Future) 配置沉浸式劇院與互動模擬裝置，呈現智慧城市、綠電管理、循環資源處理等未來生活場景。此區強調台灣在能源轉型與淨零碳排進程中的技術能力與政策布局。

## 參、心得與建議

本次日本參訪行程獲得許多寶貴經驗，參訪行程涵蓋氢能供應鏈推動、高壓氣體安全規範、企業實證場域應用、氫氣運輸與儲存等主題，歸納參訪心得與建議如下：

### 一、參訪心得：

- (一) 日本對於氢能法規管理係以現有的法規為基礎，並隨技術發展滾動修正，在日本氢能設施及管理主要受「高壓氣體保安法」、「一般高壓氣體保安規則」及相關法規管轄，然而，為促進產業發展，日本政府並非僵化執法，而是適時調整，例如，為解決人才短缺問題，放寬了加氫站保安監督者的經驗要求，允許以專業課程認證替代部分實務經驗；為提升製氫量能，由 KHK 協會參考國際標準制定了水電解製氫設備的民間標準，若符合該標準安全規定，則可認定非屬高壓氣體特定設備，調整水電解製氫設備管理認定方式，這種彈性作法，在確保安全的前提下，有效降低了新技術導入的門檻。

(二) 在日本民間企業是推動氫能社會的核心力量，自政策制定後，民間企業隨即投入研發及實驗，從上游的氫氣供應鏈建構，到終端的商業應用，皆可見各個民間企業積極投入的身影。例如，川崎重工投入開發全球首座液態氫接收站及運輸船，目標是建立國際氫氣供應鏈的商業模式；Panasonic 建置「RE100 綜合實證場域」，將工廠本身作為技術應用的示範場域，提供未來拓展氫能源運用的模組化解方；Resonac 公司則結合循環經濟，將廢塑膠轉化為高附加價值的氫氣，並實現「零廢棄」的成果。這些企業的行動，顯示企業配合政府政策積極投入技術研發，找出商業上可行之解方，並為未來多元化商業應用進行佈局。

(三) 日本對氫能產業的人才培育有著系統化的規劃，並與民間機構合作建立了完整的培訓體系，將理論結合實務進行訓練，其課程內容涵蓋氫氣基礎知識、法規、設備操作、緊急應變等，且訓練課程強調「術科實習」的重要性，讓學員能在模擬與實際的場景中操作，確保受訓學員具備應對現場狀況的能力。受訓學員普遍反應，包含實務操作的訓練方式，對於理解工作職責與提升應變能力極有幫助，此訓練模式成功為產業快速擴張儲備了合格且可靠的人力。

(四) 在推動氫能初期，日本地方政府與企業同樣面臨民眾對安全性的質疑。對此，他們採取了積極且透明的溝通策略。以神戶市政府為例，其應對方式並非僅是單向宣導，而是主動向居民詳盡解釋氫能設施的「五大安全原則」，包含防止氫氣洩漏、洩漏氫氣不蓄積、氫氣洩漏即時偵測與連動防止洩漏擴大措施、杜絕火源及控制可能燃燒範圍等。此外，透過舉辦社區說明會、開放加氫站供民眾參觀，並公開展示 24 小時監控系統與應變措施，將原本令人不安的設施轉化為可觸摸、可理解的對象，逐步建立社區信任感與社會接受度。

## 二、未來建議：

- (一) 我國經濟部於 112 年公布了「加氫站銷售氫燃料經營許可管理辦法」，明定加氫站之經營、設備、用地等規範，提供設置加氫站的法源依據，另對於加氫站中相關設備、作業等職業安全衛生議題，可依「高壓氣體勞工安全規則」、「危險性機械及設備安全檢查規則」、「職業安全衛生設施規則」等規定進行管理，惟氫能源推動除職業安全衛生議題外，更涉及公共安全、消防、環保及車輛管理等多重面向，為避免法規競合、政策扞格，未來建議各部會透過協調溝通，共同合作，建立產業管理機制。
- (二) 氫能發展為各國推動「2050 淨零排放」的重要選項之一，亦為「臺灣 2050 淨零排放路徑」之關鍵戰略發展項目，對於國際發展趨勢，仍需持續關注先進國家相關發展及其危害預防做法，學習先進國家作法。
- (三) 對於日新月異的新技術發展，除持續追蹤、學習國外最新技術及管理做法，並適時修訂法令規定外，亦應由管理制度面著手，協助及督促事業單位，於作業前實施風險評估，經由控制風險來防止災害發生，建構自主管理制度是面對高速發展且多樣化的新技術，保障勞工安全的基礎。而目前我國於「職業安全衛生法」、「職業安全衛生管理辦法」及「危險性場工作場所審查及檢查辦法」等相關法規，已有相關風險管理之制度，建議於未來可與相關產業合作，結合事業單位實務經驗，建構氫能安全管理制度相關技術規範或作業指引，將優良之安全管理制度及防災措施推廣至產業。
- (四) 對於加氫站日本採取五大安全原則，包括：防止氫氣洩漏、洩漏氫氣不蓄積、氫氣洩漏即時偵測與連動防止洩漏擴大措施、杜絕火源及控制可能燃燒範圍，可作為我國未來對於加氫站安全管理上，原則性要求之參考。