

# 電解產氫技術簡介及日本發展現況研析

太原麗子

## 摘要

由於二氧化碳所帶來的溫室效應日益顯著，對地球環境與人類生活造成極大威脅。現今世界各國均著手進行能源結構轉型，其中以再生能源結合氫能的結構已列入發展永續能源的核心項目之一。氫氣是一種潔淨能源也是能源載體，氫氣製造技術中零碳排放的水電解產氫技術已成為焦點發展項目。歐、美、日都已將再生能源結合電解產氫技術以提高能源效率，並藉由電解產氫技術調控再生能源電網的不穩定性。其中以日本最積極投入氫能經濟，本文著重在說明日本再生能源結合電解產氫技術之現況。

## 一、前言

大量使用石化燃料所排出的二氧化碳實為地球暖化的主因，又因石化燃料的資源有限，以及我國對進口能源的高度依賴，勢必將嚴重影響到我國能源供應甚至國家經濟。因此世界各國均著手進行能源結構轉型，其中以再生能源結合氫氣循環鏈為基礎的能源結構備受重視，如下圖 1 所示。氫氣燃燒後的產物僅有水，並不產生二氧化碳之溫室氣體，被視為一種潔淨的二次能源。將風能與太陽能等再生能源所發出的電力進行產氫，以氫氣形式儲存能量，再搭配燃料電池進行發電，可望達到減碳、環境永續及綠色經濟之願景。

目前氫能來源仍以石化原料（天然氣、煤與液化石油氣）生產為主，生產過程中會排放二氧化碳。從減碳觀點而言，以水為料源的水電解產氫被視為極具潛力的零碳排放之生產氫氣方法。因為水經過電解只會產生氫氣與氧氣。氫氣也是一種能源載體，可壓縮儲存，當再生能源電網供電或調峰能力不足時，儲存的氫氣可適時釋放以穩定的流量提供燃料電池進行發電，具有電網消峰填谷之能源儲存效益。

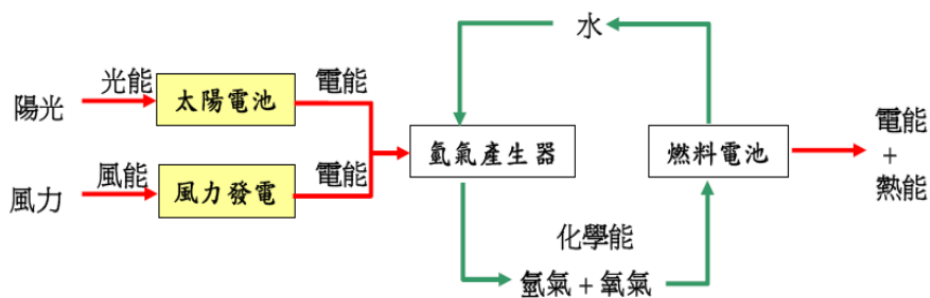


圖 1、氫氣循環鏈為基礎的能源結構

## 二、電解水技術發展研析

目前常見的水電解法包括鹼性電解法、質子交換膜電解法及固態氧化物電解法，各水電解法的效率與成本如圖 2 所示。各水電解技術原理如圖 3 所示。(1)鹼性電解法(Alkaline electrolysis, AEL)使用具有腐蝕性的氫氧化鉀做為電解液，直流電作用於電解液，電解液中的氫氧根離子(OH<sup>-</sup>)經多孔傳導膜遷移至陽極進行氧化反應釋出電子產生水與氧氣；水在陰極電解成氫離子(H<sup>+</sup>)與氫氧根離子(OH<sup>-</sup>)並接受電子而析出氫氣。此技術成熟且成本低，故為大型電解產氫系統的主要電解方法。(2)質子交換膜電解法(Polymer electrolyte membrane electrolysis, PEMEL)使用固態的酸性聚合膜做為電解質，水在陽極電解成氫離子與氧氣並放出電子；氫離子經質子交換膜遷移至陰極與外部迴路傳導而來的電子結合產生氫氣。此技術因具高電流密度特性而有高電解效率優勢。(3)固態氧化物電解法(Solid oxide electrolysis, HTEL)使用具傳導氧離子(O<sup>2-</sup>)之陶瓷材料做為電解質，水以蒸氣的形式進入電解槽，在陰極電解成氫離子與氧離子，氫離子接受外部迴路傳導而來的電子生成氫氣；氧離子經陶瓷電解質遷移至陽極生成氧氣與放出電子。此電解法必須操作於高溫環境(700~800°C)，目前仍處於研究階段。表 1 彙整了國際主要水電解廠商的技術重點與開發動向。日本的電解產氫系統的開發方向以應用於加氫站、再生能源電解製氫技術與防災用途為主，而歐美則以結合再生能源電網做為儲電用途為主。

| <u>Type of Electrolyzer</u>                                     | <u>Development stage</u>   | <u>Technical benchmark [1]</u>  |
|---|--|---|
| Alkaline Electrolyzer   | Conventional → commercial<br>Advanced → prototype and partial commercial | Efficiency: 62~82% (HHV)<br>Power need: 4.5~6.6 kWh/m <sup>3</sup> -H <sub>2</sub><br>Life time: 60,000~90,000 h<br>Capital cost: 1000~1200€/kW |
| PEM Electrolyzer<br>(Polymer electrolyte membrane Electrolyzer) | Small type → commercial<br>Medium type → prototype                       | Efficiency: 67~82% (HHV)<br>Power need: 4.2~6.6 kWh/m <sup>3</sup> -H <sub>2</sub><br>Life time: 20,000~60,000 h<br>Capital cost: 1860~2320€/kW |
| Solid oxide Electrolyzer  | Lab stage and prototype<br>Still under development                       | Efficiency: <110% (HHV)<br>Power need: >3.7 kWh/m <sup>3</sup> -H <sub>2</sub><br>Life time: <10,000 h<br>Capital cost: >2000€/kW               |

圖 2、目前商業電解水技術

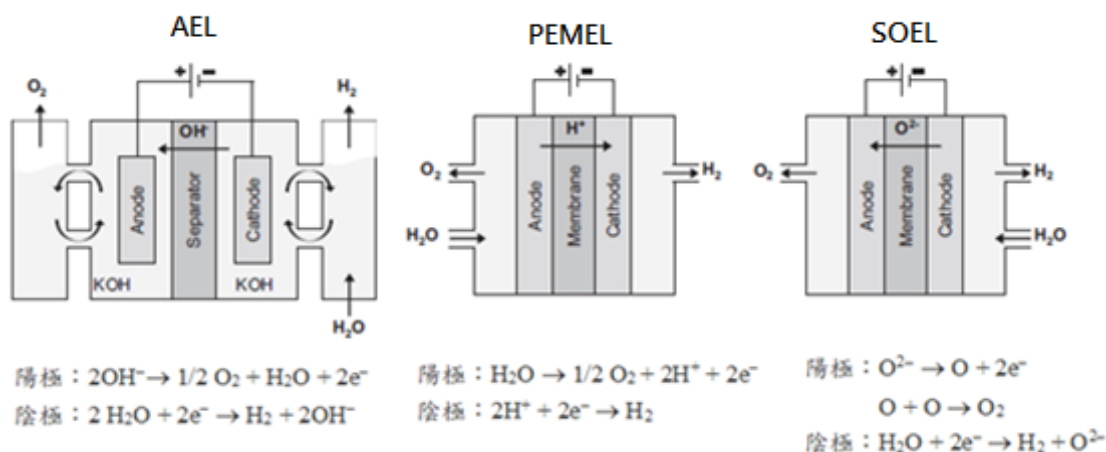


圖 3、水電解技術原理

表 1、國際電解產氫廠商的技術發展動向

| 廠商                            | 電解質種類 | 最高產量/機型                                  | 開發動向   |
|-------------------------------|-------|--|--|
| Siemens<br>德國                 | 質子交換膜 | 1200 m <sup>3</sup> /hr<br>Silyzer       | <ul style="list-style-type: none"> <li>貨櫃型與單機型</li> <li>儲能用途</li> <li>結合風力/太陽能發電</li> <li>實證中(德國)</li> </ul> |
| ITM<br>Hydrogen<br>英國         | 質子交換膜 | 36 m <sup>3</sup> /hr<br>HPac 10         | <ul style="list-style-type: none"> <li>貨櫃型與單機型</li> <li>加氫站、儲能用途</li> <li>結合潮汐發電</li> <li>實證中(英國)</li> </ul> |
| Hydrogenics<br>加拿大            | 質子交換膜 | 60 m <sup>3</sup> /hr<br>HySTAT™60       | <ul style="list-style-type: none"> <li>貨櫃型與單機型</li> <li>加氫站、儲能、分散式電源用途</li> <li>實證中(歐洲各國)</li> </ul>         |
| McPhy<br>德國                   | 鹼性    | 100 m <sup>3</sup> /hr<br>McLyzer 100-30 | <ul style="list-style-type: none"> <li>貨櫃型與單機型</li> <li>儲能、工業用途</li> <li>加氫站</li> </ul>                      |
| AREVAH <sub>2</sub> Gen<br>法國 | 質子交換膜 | 120 m <sup>3</sup> /hr<br>ELYTE 120      | <ul style="list-style-type: none"> <li>貨櫃型與單機型</li> <li>工業、儲能用途</li> </ul>                                   |
| Proton<br>美國                  | 質子交換膜 | 30 m <sup>3</sup> /hr<br>PROTON C30      | <ul style="list-style-type: none"> <li>貨櫃型與單機型</li> <li>工業、加氫站、儲電、發電廠用途</li> </ul>                           |
| 旭化成<br>日本                     | 鹼性    | 2000 m <sup>3</sup> /hr                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>結合風力發電</li> </ul>   |
| 東芝                            | 質子交換膜 | 1 m <sup>3</sup> /hr                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>貨櫃型</li> <li>結合太陽能發電</li> </ul>                                       |

|      |       |  |                        |
|------|-------|--|------------------------|
|      |       | H <sub>2</sub> One™                      | • 防災用途                 |
| 神戶製鋼 | 質子交換膜 | 60 m <sup>3</sup> /hr<br>HHOG®-SL600     | • 貨櫃型與單機型<br>• 加氫站用途   |
| 本田   | 質子交換膜 | 0.7 m <sup>3</sup> /hr<br>SHS2           | • 加氫站用途<br>• 實證中(崎市)   |
| 日立造船 | 質子交換膜 | 60 m <sup>3</sup> /hr<br>Hydrospring®-60 | • 貨櫃型與單機型<br>• 結合太陽能發電 |

目前世界各國均積極擴大再生能源發電占比，使得電能儲存需求日益倍增。除了儲電系統之外，以化學能儲存的電轉氣(power to gas, P2G)技術為一種兼具調節再生能源電力效益以及二氧化碳循環再利用效益的儲能方式。電轉氣技術是一種將電力轉換為氫氣或者甲烷的技術，如圖 4 所示。藉由水電解法有效利用過剩的再生能源電力產生氫氣，所產生的氫氣可注入天然氣網，或用於運輸或工業中。此外所產生的氫氣可與捕捉的二氧化碳結合轉化為甲烷，可送入天然氣網或用於發電廠發電，因而形成二氧化碳的循環利用。相較於蓄電池，電轉氣技術具有(1) 可調節儲氫槽容量進行長期儲氫使得放電時間單位可達月或季、(2) 結合燃氣渦輪發動機發電量可達數 GW 規模、(3) 不需要精密充放電循環規劃等優勢。其缺點為轉換效率低且成本高，如表 2 所示。由於 P2G 技術的發電可達 10MW 以上並且放電時間可長達數小時以上，因此適合發電廠傳輸電力到配電系統之間的系統應用。關於 P2G 技術的未來研發方向，日本主要往提升電解水裝置的能源轉換效率、降低電轉氣技術成本以及提升 PEM 水電解技術的耐久性等三方面進行研發。在電解水產生氫氣的應用部分，以氫燃料電動車及定置型純氫燃料電池發電為主；未來電轉氣技術更普及後，將在石油、化學及半導體等工業中應用氫能的方式[3]。

### PtG technology

the (missing) link between electricity and gas grid

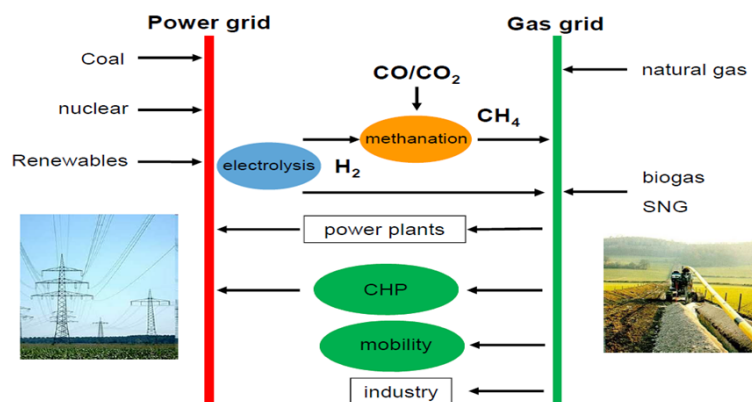


圖 4、電轉氣技術示意圖

表 2、蓄電池技術與電轉氣技術比較[2]

|     | 容量                | 設備成本<br>千日圓/ kWh | 能量密度<br>Wh/L       | 循環效率<br>% | 放電時<br>間單位 |
|-----|-------------------|------------------|--------------------|-----------|------------|
| 蓄電池 | 100kWh~<br>100MWh | 32~682           | 20~400             | 75~95     | 分~日        |
| PtG | 10MWh~<br>GWh     | 48~96<br>(電解)    | 600<br>(200bar 壓縮) | 22~50     | 小時~月       |

### 三、日本發展與推動現況建置案例研析

日本與台灣同屬高度仰賴進口能源的國家，311 大地震已促使日本更積極加速實現氫能社會。目前日本已有家用型燃料電池與燃料電池汽車上市銷售，但政府仍持續每年投入 100 億日元研發預算用於氫能、燃料電池、氫能社會建構等技術研發與示範驗證，以加速技術研發時程，縮短市場導入時間，確保全球領先地位。本文針對日本電解產氫技術之推動現況加以說明：

- (1) 東芝、東北電力等公司於福島縣設置世界最大規模 10,000 kW 級的水電解產氫設備，結合再生能源電網進行電解產氫示範驗證。預定 2020 年開始運轉產氫。氫氣除了地產地消之外，將輸送到東京，提供東京奧林匹克運動會、殘障奧林匹克運動會使用。
- (2) 東麗(Toray)、東京電力、東光高岳與山梨縣政府合作進行利用山梨縣的米倉山太陽能發電廠 (1,200 萬 kWh/年)電網進行電解產氫，預定產氫 45 萬立方米(2017~2020)。
- (3) 豐田通商結合川崎重工業、室蘭工業大學等機構於北海道的溫浴泡湯中心設置電解產氫設備，利用風力發電(375 萬 kWh/年)進行電解產氫(每小時產氫 5 公斤)示範驗證，並研發如何克服風力發電供電不穩定性的問題，最終提供溫浴泡湯中心做為鍋爐燃料或緊急電源之用(2014~2018)。
- (4) 東芝於川崎市設置自製貨櫃型再生能源的獨立能源供應系統 H<sub>2</sub>One™，該系統利用太陽能進行電解產氫、儲氫並搭配蓄電池與燃料電池熱電共生系統進行儲電/發電/熱水供應。該公司亦已完成災害避難所且無電力供應情境下 300 人用電規模之場域驗證，結果顯示可提供至少一週的電力與熱水，亦可做為季節性電力調節之用(2015)。
- (5) 豐田汽車、東芝、岩谷產業等公司於神奈川縣設置結合橫濱市風力發電廠電網(220 萬 kWh/年)進行電解產氫(每小時產氫 10 立方米)之示範驗證場域，最終提供給廠區燃料電池堆高機使用(2015~2018)。

- (6) 長崎縣政府結合九州大學、日立製作所、岩谷產業、海洋工程公司、山葉發動機(YAMAHA)等公司利用海上風力發電進行離島的再生能源地產地消示範驗證，並利用餘電進行電解產氫來提供燃料電池船使用(2015)。

#### 四、結論

目前電解產氫技術瓶頸受限於電力來源與電解產氫效率等條件，若搭配再生能源使用，如太陽能與風力發電，可解決其電力來源問題。我國能源政策目標規劃於 2025 年，再生能源發電量將佔總體發電量的 20%。由於再生能源的電力供應不穩定，對電網衝擊風險高，透過電解產氫技術可調控再生能源電網的不穩定性以減少配電損失。對於進口能源佔比達 96% 以上的台灣而言，發展水電解產氫技術將是提升自主能源的重要可行方案之一。同時，藉由氫氣壓縮儲存並結合燃料電池的分散式發電應用，可做為長時間消峰填谷之電力調節。基於有效提升再生能源利用率、零碳排放、環境友善等因素，我國可以參考國際案例，積極建構再生能源產氫、儲氫、供氫之示範驗證場域，提供國內相關廠商進行整合系統之長時間運轉，以彰顯系統耐久性、可靠性及性能等技術特色，進而帶動下游應用端之儲氫與燃料電池產業之發展。

#### 參考文獻：

1. O. Schmidt, A. Gambhir, I. Staffell, A. Hawkes, J. Nelson, S.Few. Future cost and performance of water electrolysis: An expert elicitation study. Int J Hydrogen Energy 2017;42:30470–30492.
2. “電力貯蔵分野の技術戦略策定に向けて“, NEDO 技術戦略研究センター (TSC), 2017.
3. “CO<sub>2</sub> フリー水素ワーキンググループ報告書“,水素燃料電池協議會, 2017.