



航空產業淨零碳排 永續發展研討會



新世代低碳航空器技術發展

New Aircraft Development by Low-Carbon
Technology

-內燃機引擎熱效率提升發展計畫
(Thermal Efficiency Enhancement of New ICE)

賴維祥 博士

國家新能源創電技術發展協會 理事長

成功大學航太系 退休教授

2026.03.24



內容

- 一. 背景-二十一世紀類面臨之十大問題
- 二. 200年來的汽車發展
- 三. 氫能的導入與低碳航空發展
- 四. 先進空中運輸(AAM)
- 五. 內燃機熱效率提升發展計畫
- 六. 什麼是Super Engine?
- 七. 先進熱交換器結構與超級引擎
- 八. 結語



一、背景：二十一世紀類面臨之十大問題

1. 能源 ENERGY
2. 水資源 WATER
3. 食物 FOOD
4. 環境 ENVIRONMENT
5. 貧窮 POVERTY
6. 戰爭 TERRORISM & WAR
7. 疾病 DISEASE
8. 教育 EDUCATION
9. 民主 DEMOCRACY
10. 人口 POPULATION



2003

6.5 Billion People

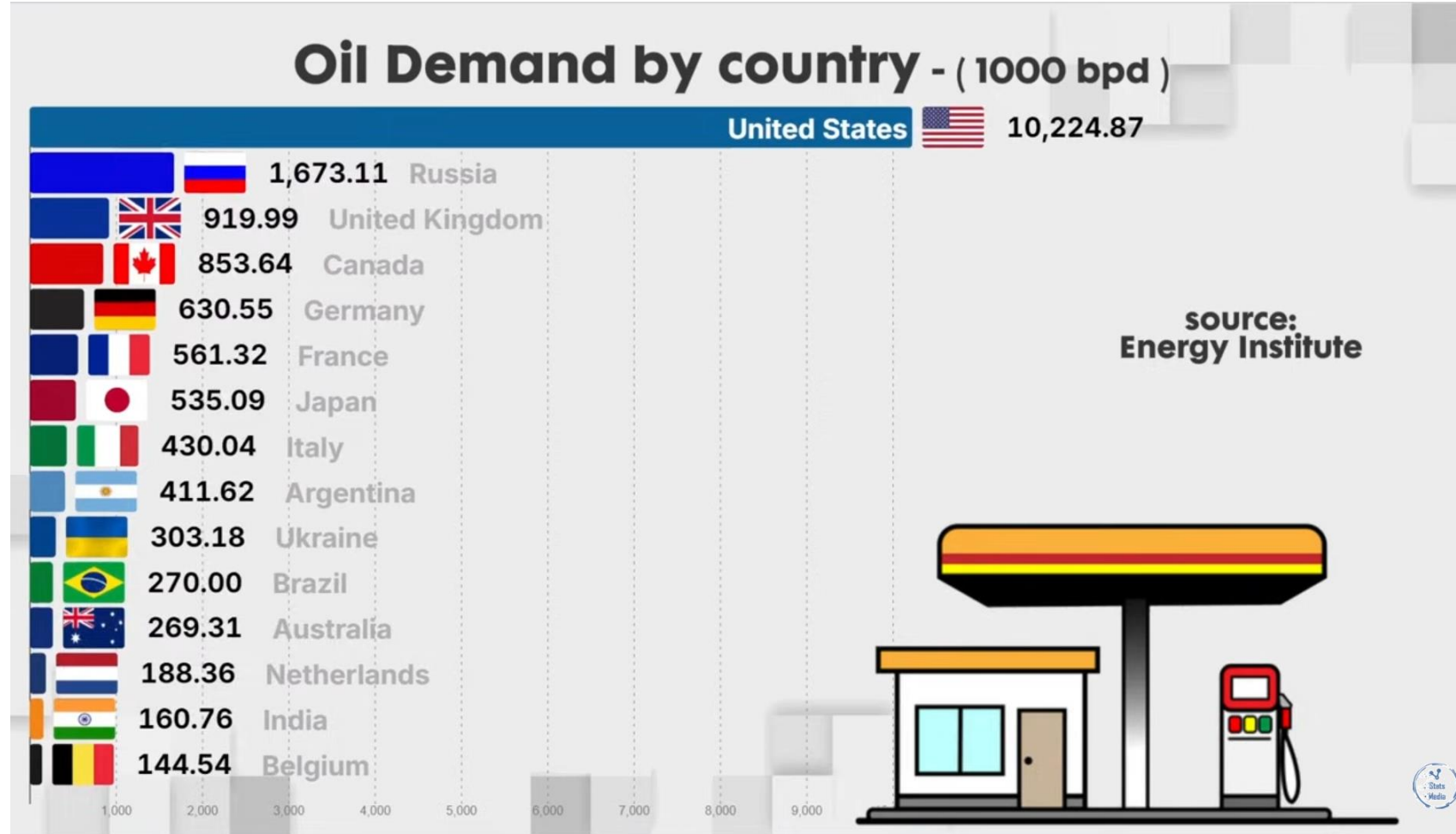
2050

8-10 Billion People

Ref. R.E. Smalley, Energy & Nano Technology
Conference, Rice University, May 3, 2003



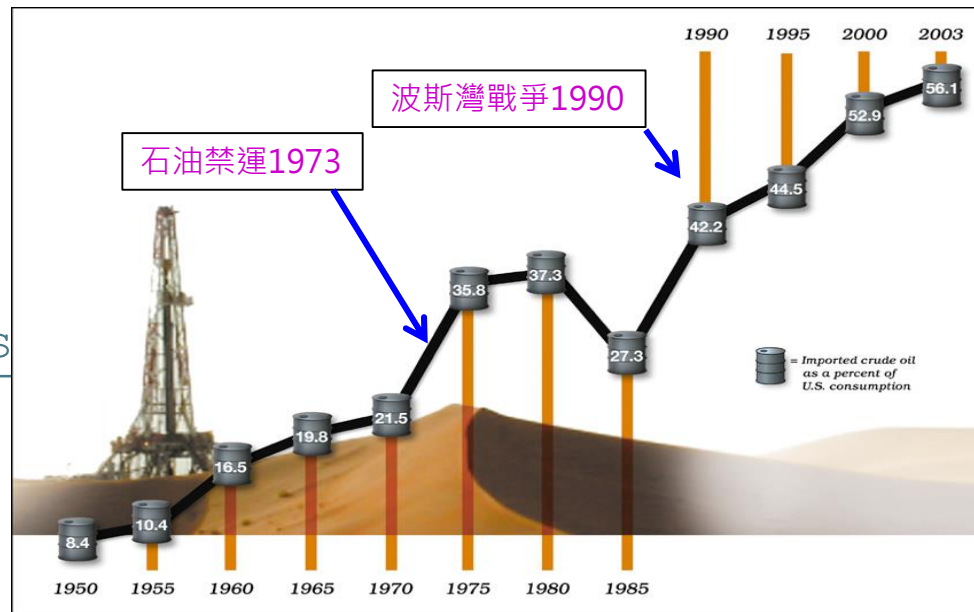
各國原油需要量1960-2025



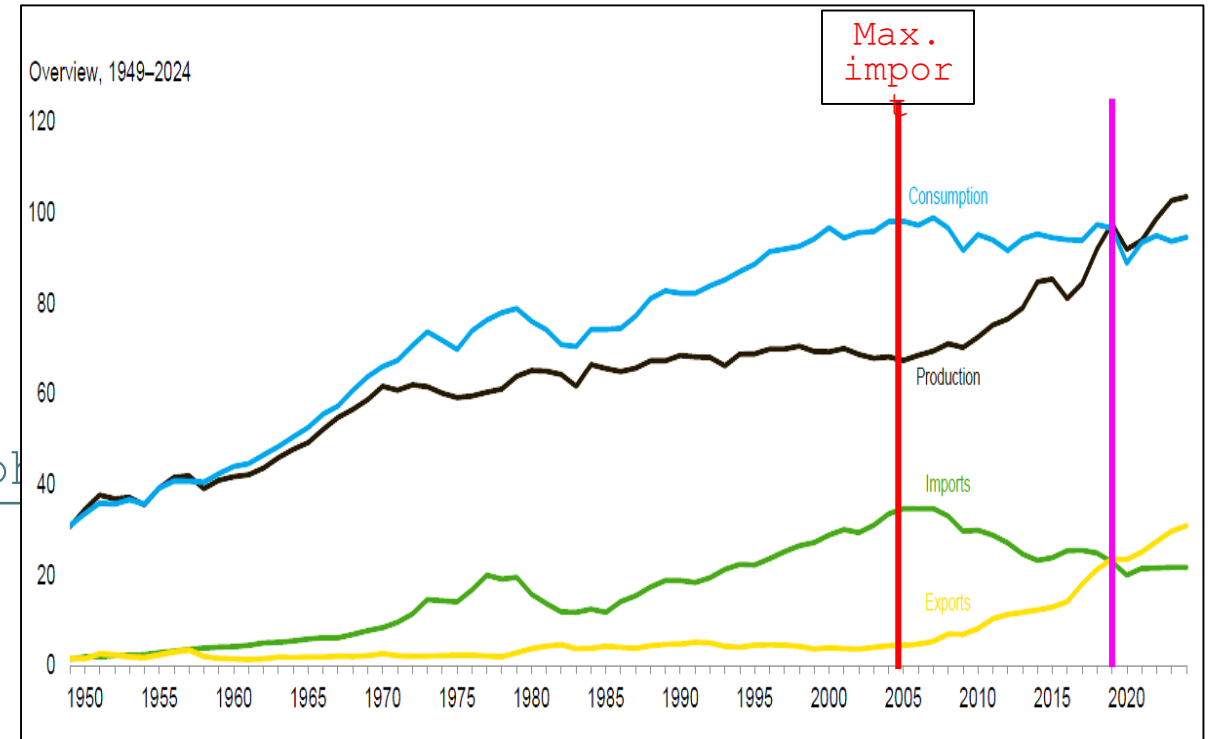
- https://www.youtube.com/watch?v=_3jbU79XpRA

美國石化能源使用情況

美國進口原油占總消耗量百分比 (1950-2003)



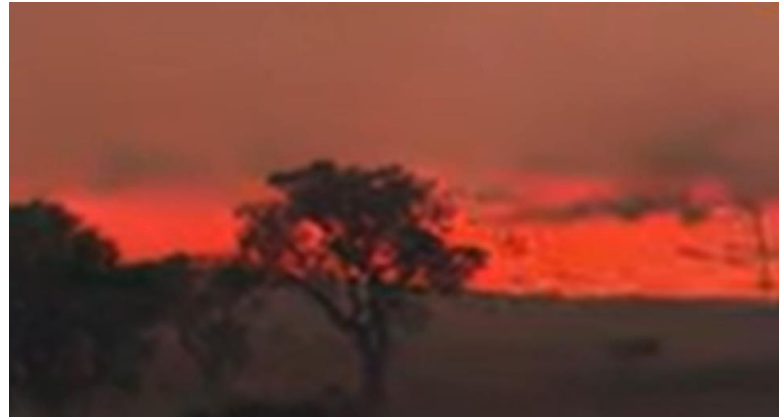
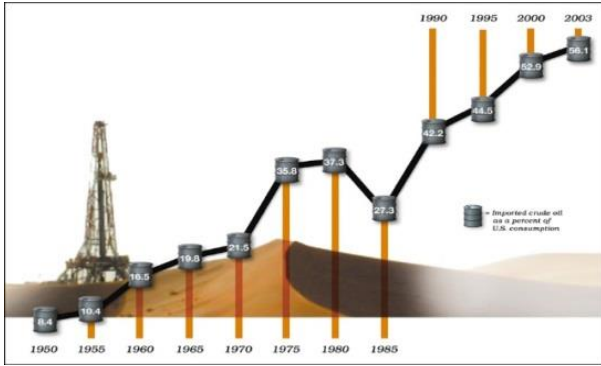
Primary Energy Overview(1950-2024)



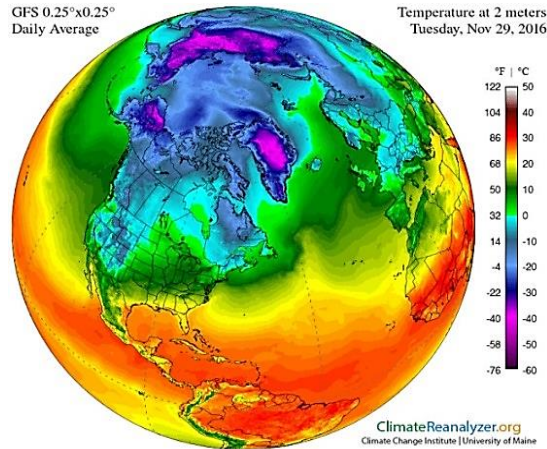
<https://www.eia.gov/totalenergy/data/monthly/pdf/me>

美國的原油進口依賴度在過去 75 年間經歷了巨大的轉變。從 1950 年代的低度依賴，到 2005 年達到高峰，再到近年因「頁岩油革命」大幅回升的產量，目前美國已轉變為石油產品的淨出口國。

一、背景：能源危機與地球暖化、氣候變遷



澳洲2019-20年野火事件造成的死亡人數達33人，焚燒面積超過1100萬公頃，推估動物死亡數為10億，是澳洲近年來最嚴重的野火事件。2020年初的大雨緩和了野火的趨勢，但又造成多處淹水。



北極氣溫比以往平均溫度高出攝氏20度！

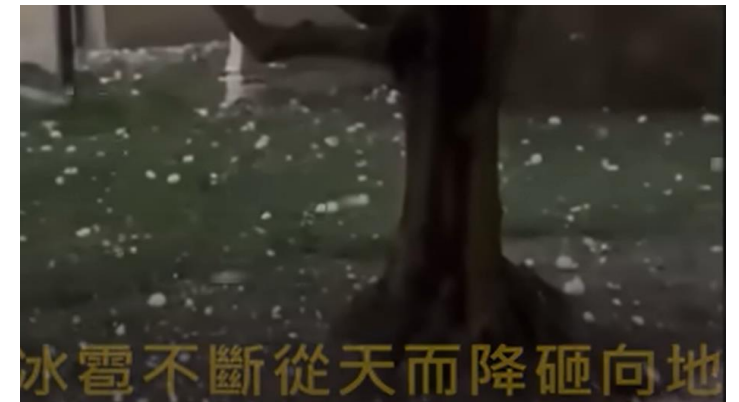
(圖取自cci-reanalyzer)

網址：地球暖化程度看的到 北極氣溫高出攝氏20度！ |

ETtoday3C家電新聞 | ETtoday新聞雲

[https://www.ettoday.net/news/20161130/820788.h](https://www.ettoday.net/news/20161130/820788.htm#ixzz7RWd6aZKw)

tm#ixzz7RWd6aZKw



阿聯暴雨大淹水至少4死 杜拜機場上千航班取消2024.4.20Yahoo新聞



禁售燃油車時程

國家 ◆	頒布年份 ◆	預計執行年份 ◆	禁售運具別 ◆	適用範圍 ◆
英國	2017	2040 ^{[1][2]}	汽油車、柴油車	所有新售運具
中國	2017	2040 ^[3]	汽油車、柴油車	生產及所有新售運具
法國	2017	2040 ^{[1][4]}	汽油車、柴油車	所有新售運具
德國	-	2030 ^{[1][5]}	燃油引擎	所有新售運具
印度	2017	2030 ^[1]	汽油、柴油	所有新售運具
愛爾蘭	2018	2030 ^[6]	汽油車、柴油車	所有新售運具
以色列	2018	2030 ^[7]	汽油車、柴油車	所有新售運具
荷蘭	2017	2030 ^[8]	全面零排放	所有新售運具
挪威	2016	<u>2025</u> ^[1]	汽油車、柴油車	所有新售運具
臺灣	2018	2040 ^[9]	汽油車、柴油車	所有新售運具
哥斯大黎加	2018	<u>2021</u> ^[10]	汽油車、柴油車	所有新售運具
丹麥	2018	2030 ^[a] 2035 ^{[b][11]}	汽油車、柴油車	所有新售運具
西班牙	2017	2040 ^[10]	汽油車、柴油車	所有新售運具

200年汽車發展史

早期的動力發明

汽車萌芽期

汽車量產化

汽車綠能化

未來汽車 (AI飛行汽車)

1st 工業革命

2nd 工業革命

3rd 工業革命

引擎技術

電動技術



1680 英國 牛頓 蒸氣汽車

1766 英國 Watt 改良 蒸氣機

1885 德國 Carl Benz 發明汽車 單缸3/4HP

1886 德國 G. Daimler 發明四輪汽車 1.5HP



1879 義 Reeves 無段變速 (CVT)

1883 英國 Lanchester 用化油器

1832 英國 Sturgeon 1st DC 馬達設計

1834 美國 Thomas Davenport 1st DC 馬達電動車

1888 美國 N. Tesla 交流馬達

1900 Porsche "Semper Vivus" Hybrid

1908 Ford Model T

1925 Turbocharger

1967 德國 VW Fuel Injection

1941 美國 Atanasoff-Berry Computer

1958 美國 Jack Kilby IC Design

1990 美國 通用 Impact 電動車

1997 Toyota PRIUS, Hybrid

2008 Tesla Roadster 電動車

2015 Toyota FCV

2023 Aero Mobil

2021 德國 Mahle Magnet-Free Elec. Motor

2014 Tesla Model S AI 自駕車 (商業化)

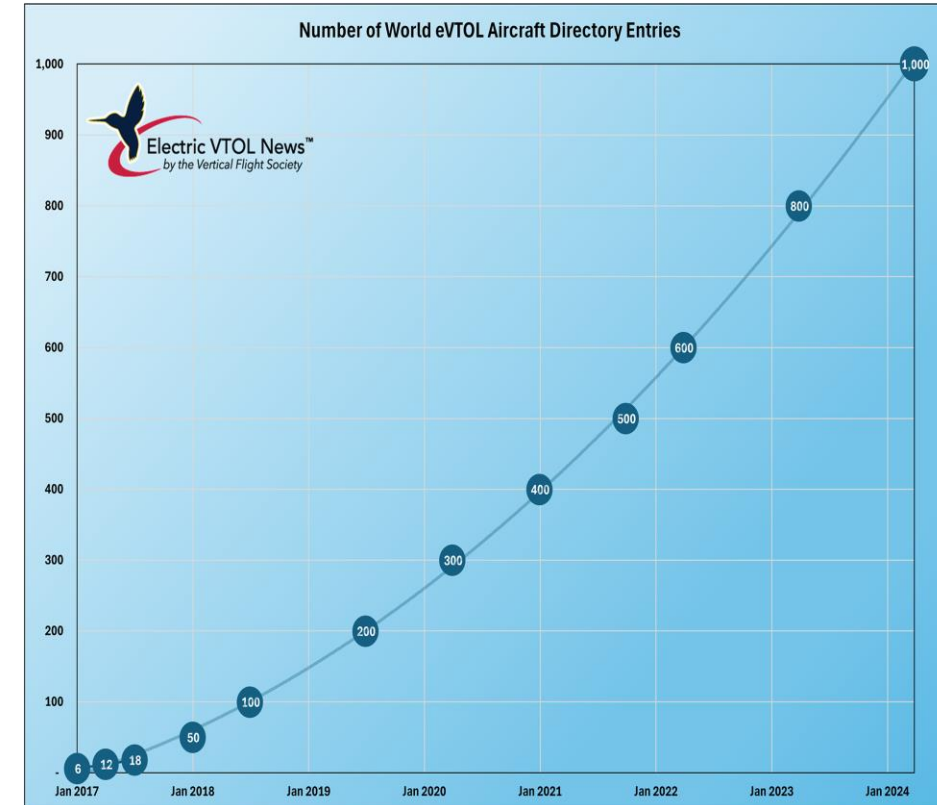


<https://kknews.cc/car/2q3lqmz.html>



先進空中運輸(Advanced Air Mobility, AAM) 創新eVTOL設計

美國垂直飛行協會公布
全球eVTOL飛行器
累計超過1000項新設計



<https://iknow.stpi.niar.org.tw/post/Read.aspx?PostID=18785>

Uber企圖心:建造飛行器運輸藍圖



★最大的阻礙因素是監管部門能否接受小型飛機在住宅與城市中心的天空中穿梭著。

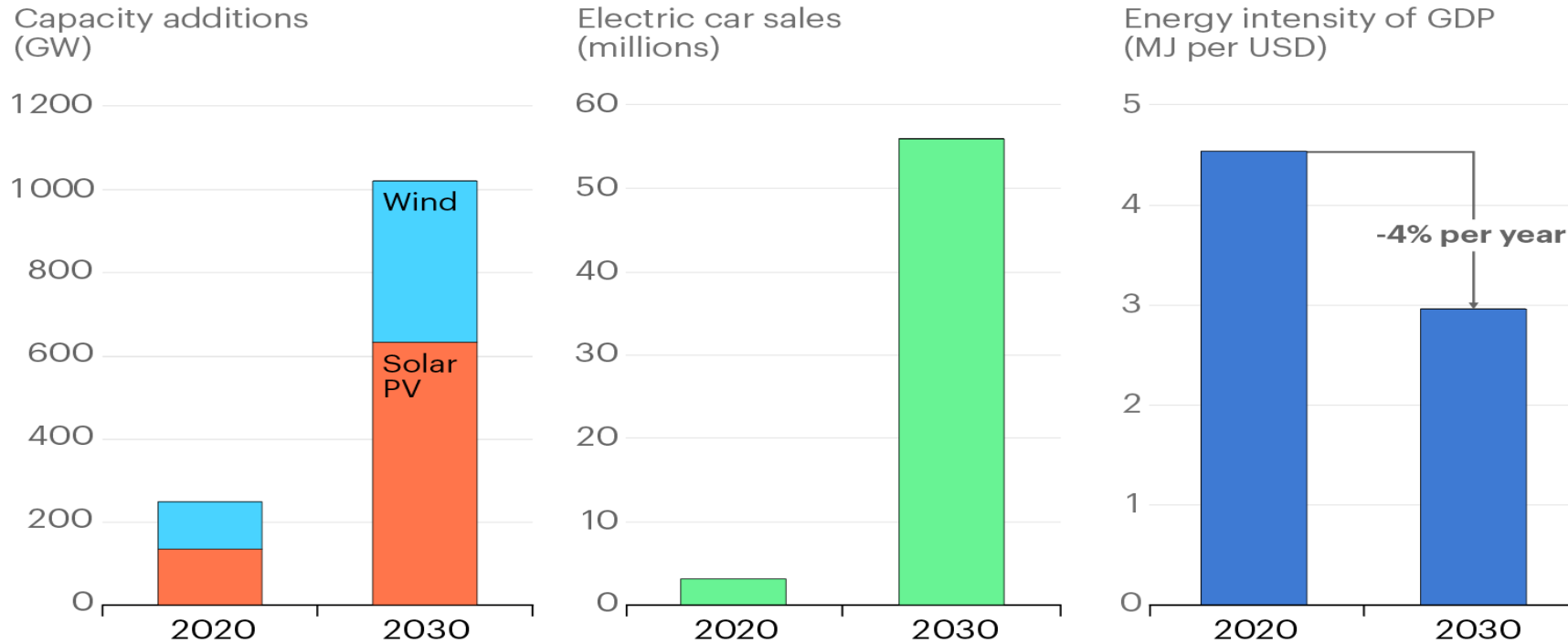
<https://iknow.stpi.niar.org.tw/post/Read.aspx?PostID=12924>



淨零碳排關鍵技術

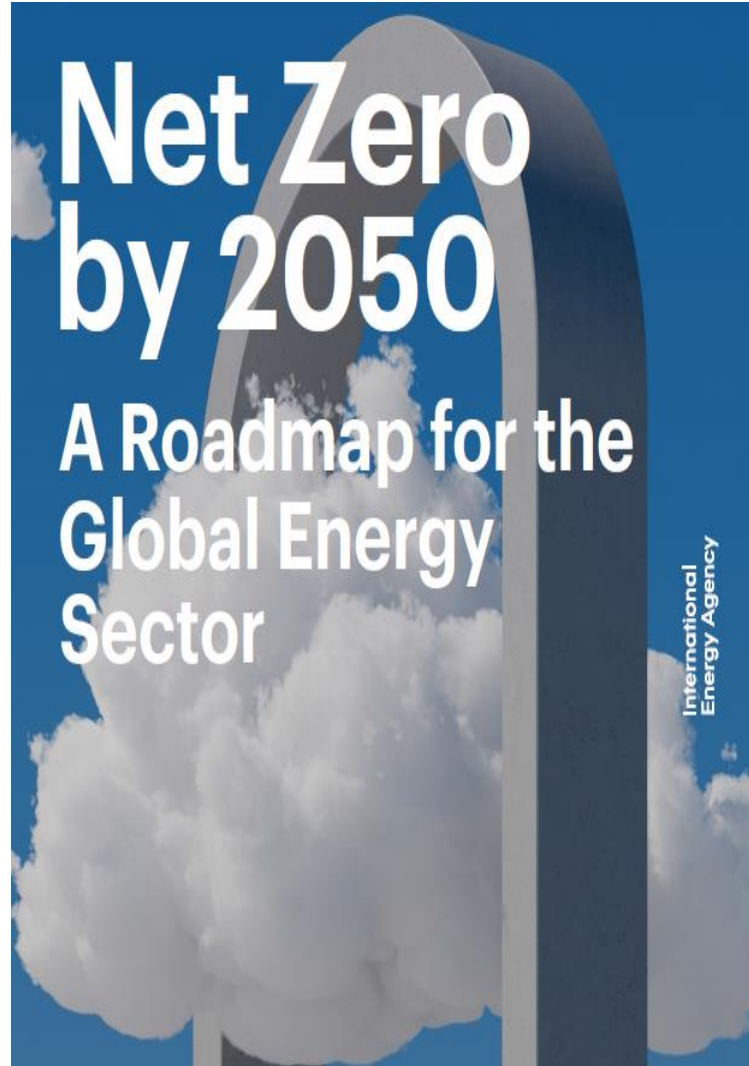
Key technologies ramp up by 2030 in the net zero pathway

Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy System





國際能源署規劃淨零碳排技術路徑圖



此次會議以守住升溫臨界值攝氏 1.5 度為目標，敦促各政府提出減碳期程與積極路徑。

- 1.減緩:促各國承諾巴黎協定目標，全球升溫 ≤ 1.5 度
- 2.調適：擬定事前預防、及時因應的調適策略。
- 3.融資：讓發展中國家有資金以進行氣候變遷減緩、調適工作。
- 4.合作：確保所有利害關係人參與。

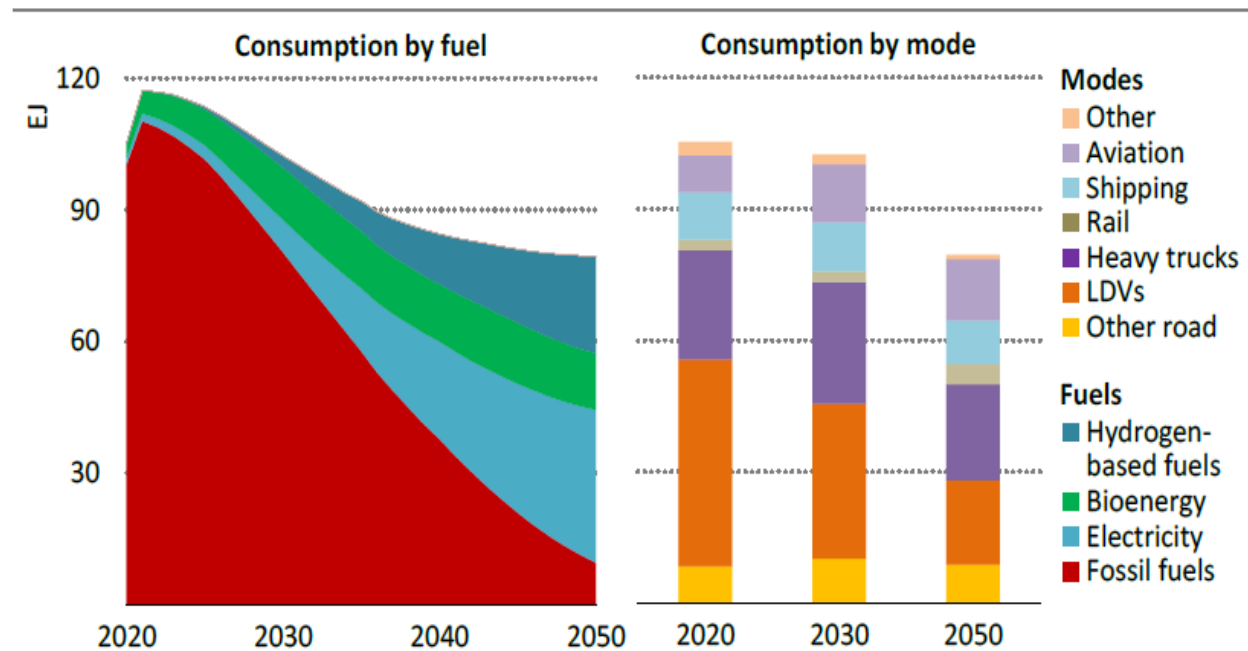
近200國承諾「進行能源系統轉型、脫離化石燃料，並以公正、有序且公平的方式，以科學為基礎，在這關鍵的10年加速行動，以利在2050年實現淨零排放。」



IEA vs 台灣規劃淨零碳排技術路徑圖

Net Zero plan by 2050,

Figure 3.22 ▶ Global transport final consumption by fuel type and mode in the NZE



IEA. All rights reserved.

Electricity and hydrogen-based fuels account for more than 70% of transport energy demand by 2050

Note: LDVs = Light-duty vehicles; Other road = two/three wheelers and buses.

2020 石化能源 90%

2050

IEA規劃

台灣規劃

電力	45%
氫能	28%
生質能	15%
石化能	12%

73%

>50%
9-12%



什麼是氫能？

- 氫能技術是許多深具潛力的永續與替代能源技術中最受注目者之一。
- 氫元素為宇宙中最豐富之物質，轉化氫氣為電能（經燃料電池）所生成的產物為水，而水並不會對環境造成負擔；並且可再從水製造出氫氣以供循環使用。
- 將初級能源轉化為氫氣（作為能源載體），並儲存及使用，是人類寄予厚望之替代能源。
- 氫氣具有相當高之能量密度，當氫氣燃燒時，每公斤的氫氣可得高達39.4 kWh的能量，約為汽油能量密度的三倍。
- 氫氣爆炸釋放的能量只有相同體積汽油(氣態)爆炸釋放能量的1/22左右。
- 氫氣相對比石化燃料安全：氫氣的火焰速度是天然氣和汽油火焰速度的7倍，顯然氫火焰發展更快，似更具有爆炸威力。氫氣的爆炸極限是13%~18%，是天然氣的兩倍、汽油的12倍。在開敞的空間，氫氣爆炸的可能性很小。
- 為減緩石化能源短缺的衝擊與其對環境的破壞與污染，氫能使用是一舉兩得的良好替代能源之一。

燃料電池是發電機！不是二次電池

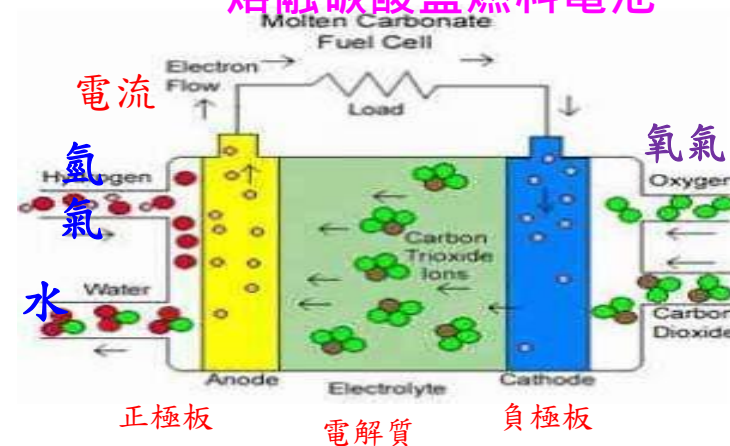
- 電化學反應的發電方式，體積比傳統的發電機小很多；
- 能量效率高(熱效率:50-70%);
- 使用壽命 長達10~15年;
- 排放物是不具污染性的純水;
- 可應用範圍十分廣泛;
- 常見有五種型式:

電池種類	AFC	PAFC	MCFC	SOFC	PEMFC	DMFC
電解質	KOH	H ₃ PO ₄	Li ₂ CO ₃ -K ₂ CO ₃	Y ₂ O ₃ -ZrO ₂	PEM	PEM
燃料	氫氣	天然氣、 甲醇、輕油	天然氣、 甲醇、汽油	天然氣、 甲醇、石油	氫氣	甲醇
導電離子	OH ⁻	H ⁺	CO ₃ ²⁻	O ²⁻	H ⁺	H ⁺
操作溫度 (°C)	65~220	180~200	650	500~1,000	室溫~80	室溫~100
質量比功 率(W/kg)	35~105	100~220	30~40	15~20	300~1000	1~10
壽命(h)	10,000	15,000	15,000	7,000	5,000	1,000

PEM Fuel Cell
質子交換膜燃料電池



熔融碳酸鹽燃料電池



TOYOTA FCV

2014年6月25日宣佈，本年度內在市場推出燃料電池車(FCV)，銷售價格約為700萬日元。

2015年夏季前後在美國和歐洲上市

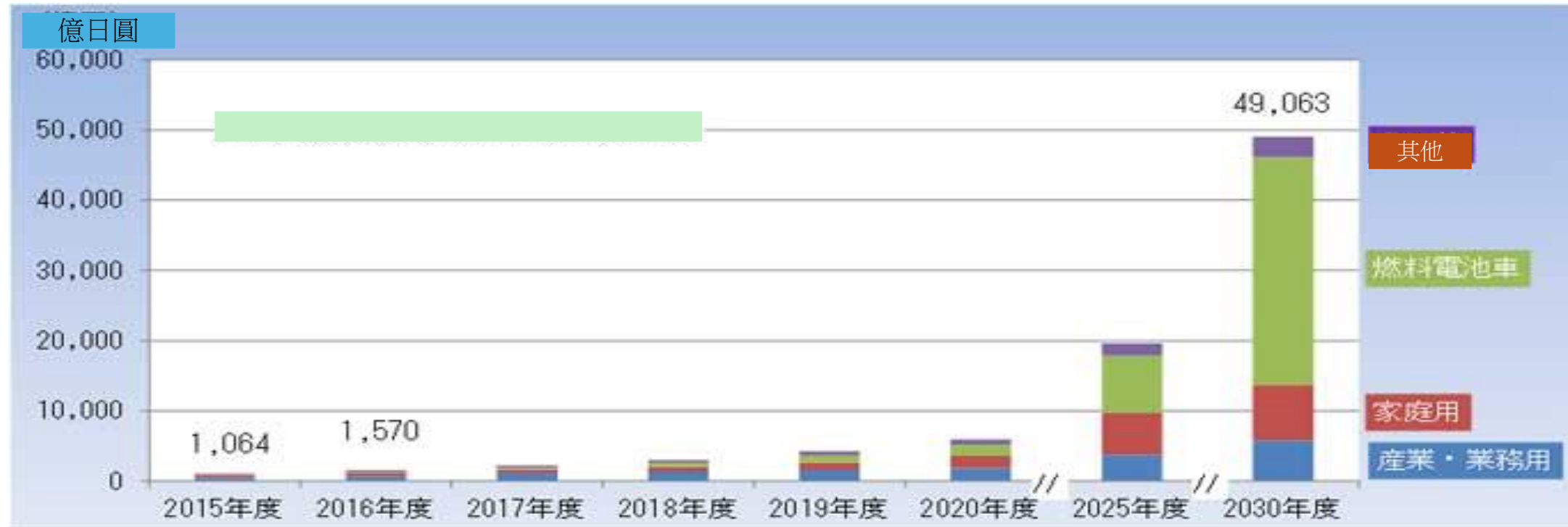


Toyota正在開發的FCV的續航里程約為700km(JC08模式)，充氫時間約為3分鐘。燃料電池組的輸出密度為3.0kW/L，配備2個氫燃料罐。

Toyota將Stack(燃料電池組)和氫燃料罐定位為FCV的核心技術，全部自行設計製造。



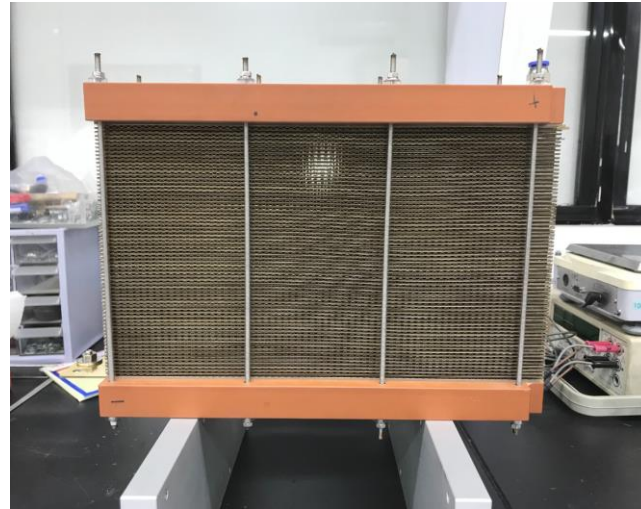
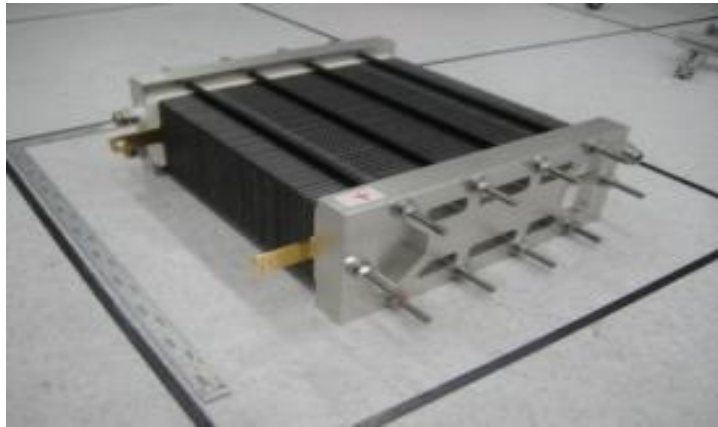
Fuel Cell Market Prediction 燃料電池市場：2030年到來



【燃料電池WW市場： 2030年≒2025年2.5倍≒2020年7倍： (2030年) 車用≒家用4倍≒產業用8倍】



氫能及燃料電池團隊研發成果





台灣首架燃料-鋰電池混合動力無人飛機

灰面鷲號首航飛行成功 (2010.05.13)

經濟部學研計畫 時程: 98/7-99/6

經費: 1200萬元台幣

計畫主持人: 賴維祥 教授



成功起飛



翱翔



試飛後合影

無人飛機性能諸元:

翼展: 3.4 M

起飛重量(TOW): 30 kgs

巡航速度: 80-100 km/hr

動力無刷馬達 : 4 kW

燃料電池: 1kW

鋰電池: Li-Po (37V/5400mAH)

儲氫瓶: 1.1L

飛行時間: 24 Min (28 Min)



聯合報(99.05.14)

燃料電池無人機 成大首航

成大研發亞洲首架 混動電力更環保 試飛順利 下半年挑戰飛航3小時

【記者修瑞瑩／台南報導】成功大學研發國內第一架使用燃料電池的無人飛機「灰面鷲號」，昨天首航成功，也是亞洲第一架具有長程飛行與載運能力的燃料電池動力無人飛機。研發團隊表示，使用燃料電池比傳統的燃油引擎動力更為環保。

研發團隊一早前往屏東港首航試飛，15分鐘航程，以時速80-100公里飛行，航程約30公里，過程順利，立刻返校由校長轉明語宣布好消息。

這項研發由航太系教授賴維祥帶領，結合材料學研究所、南台科技大學共同完成。賴維祥說，灰面鷲號採用燃料電池與鋰電池的混合動力，翼展3.4公尺，為目前小翼展無人機。

他表示，採用兩種電池混合，主要是飛機起飛時需要大的動力，如果只用鋰電池，不僅體積大、造價也高昂，灰面鷲號大約只有50萬元。起飛時運用鋰電池，後續的巡航動力則靠燃料電池。

燃料電池是新世纪的環保綠色能源，利用氫及氧的化學反應，產生電能及水，無污染也便宜，國內目前嘗試用在汽車動能上。

賴維祥表示，燃料電池用在飛機上，要克服的問題包括電源管理、燃料電池與機體設計等，團隊經過3年努力，總算讓飛機升空，相信下半年就能完成挑戰飛行3小時的紀錄，甚至搭配現有的自行產生氫氣的技術，達到完全不落地。

成大校長賴明道(右二)昨天宣布，航太系成功研發出全球第一架使用燃料電池的無人飛機。記者修瑞瑩／攝影





波音公司氫能飛機



In **2008**, The Boeing Fuel Cell Demonstrator achieved straight-level flight on a manned mission powered by a hydrogen [fuel cell](#).^[1]



Phantom Eye(2010) - H₂-fueled, HALE-UAV. A full size Phantom Eye variant is designed to stay aloft for up to **10 days** and carry a payload of **2,000 pounds**.

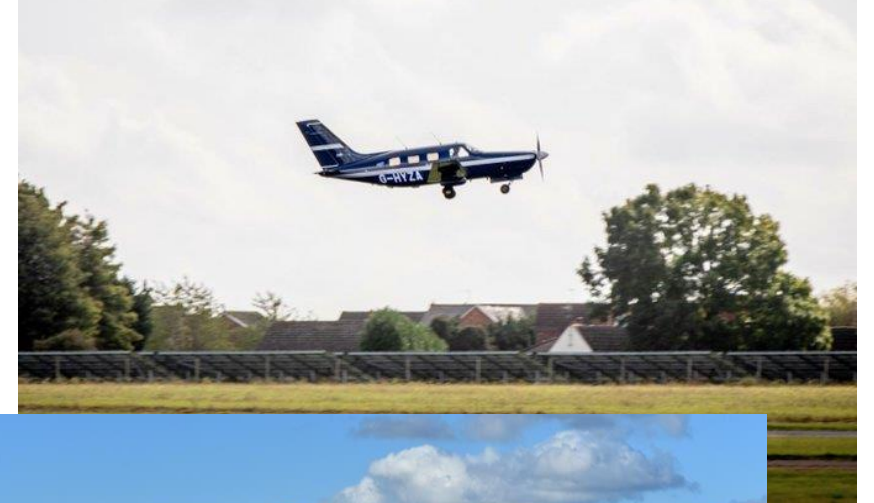


氢能動態訊息

空中巴士宣布研發氫燃料零排放飛機 | TechNews 科技新報 (2020.09.21)

World's First Hydrogen-Powered Passenger Plane Lifts Off On Maiden Zero-Emissions Flight

ZeroAvia 2020.09.27
ZeroAvia's hydrogen fuel cell power train is being tested in a Piper M350 airframe. ZeroAvia



Airbus forecasts first zero-emission jets to take flight by 2035



ZeroAvia's hydrogen fuel cell power train is being tested in a Piper M350 airframe. ZeroAvia



淨零航空飛機

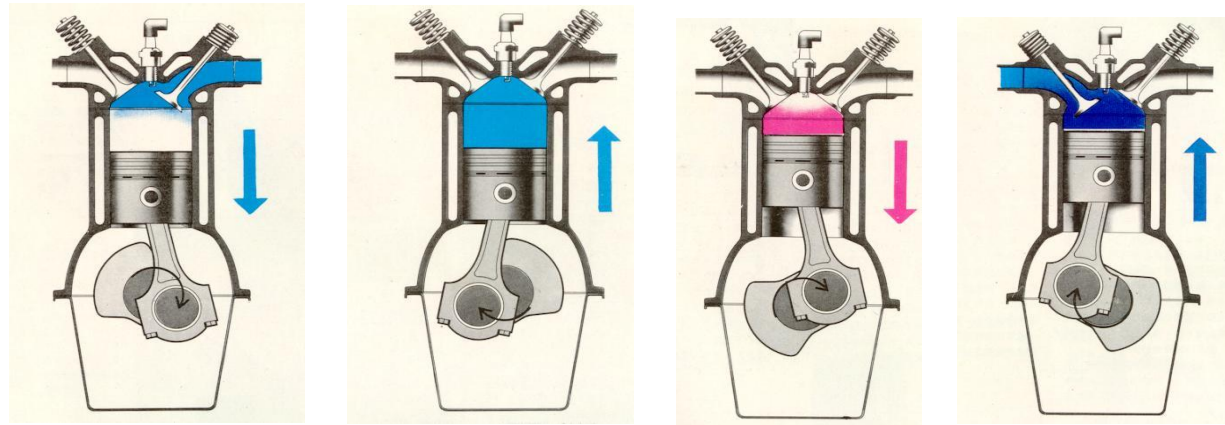
Japan Airlines and ZeroAvia to Partner on Exploring Hydrogen-Electric Flights in Japan



November 16, 2023

內燃機引擎熱效率提升發展計畫

活塞式引擎(內燃機)工作原理



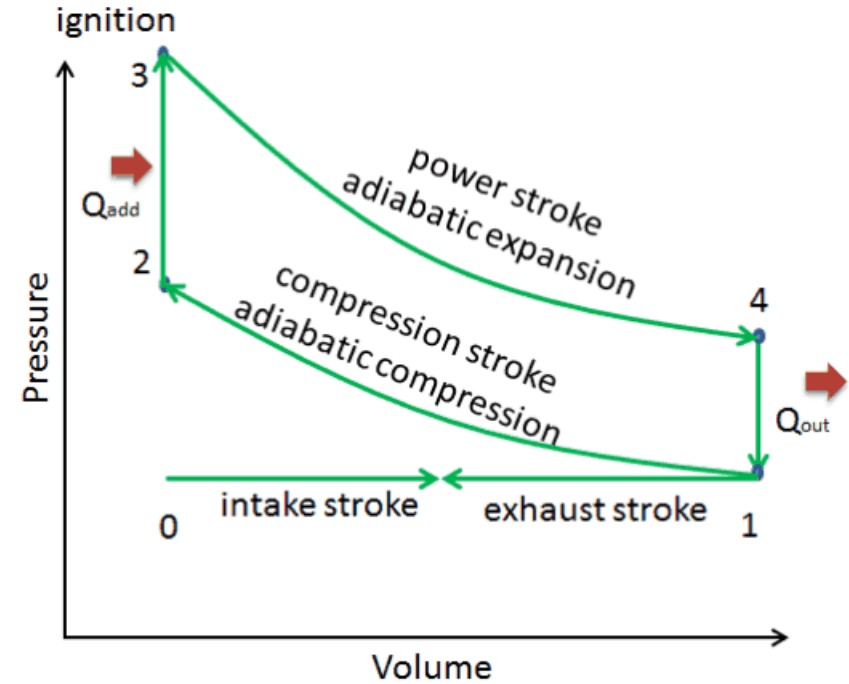
進氣

壓縮

爆炸
(燃燒)

排氣

理想奧圖(Otto)循環



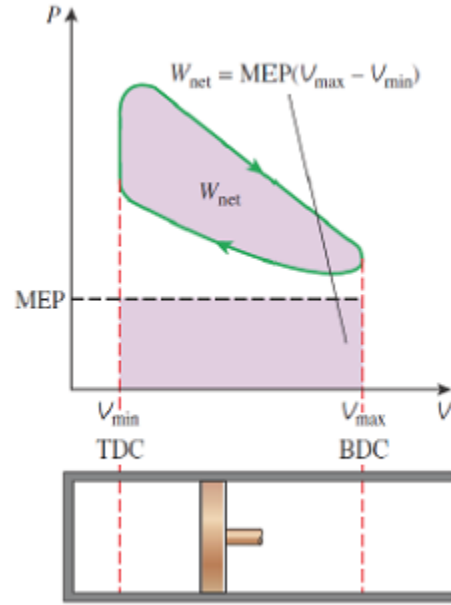
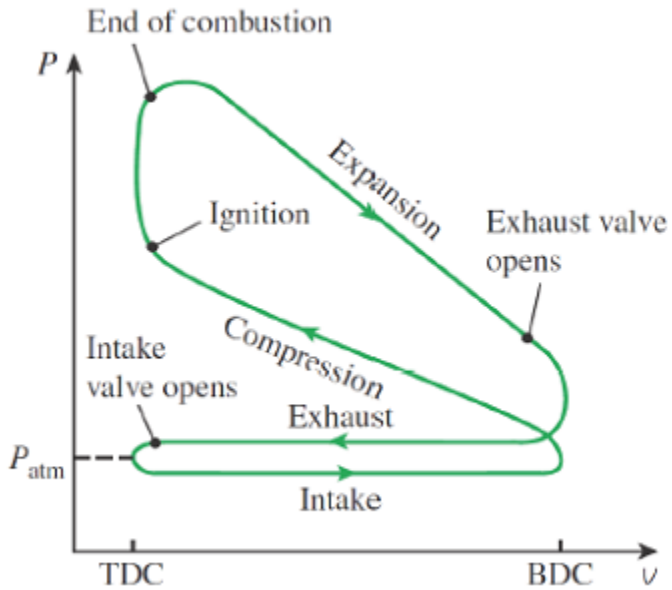
	汽油引擎	柴油引擎	渦輪引擎
壓縮比	8-12	25-40	2.5-45
效率	15-25%	25-40%	15-60*[1]%
燃料	汽油	柴油	航空油
添加生質油	OK	OK	OK

$$\text{熱效率 } \eta_{th} = 1 - \frac{1}{r^{\kappa-1}}$$

熱效率只與壓縮比有關：壓縮比越高，熱效率越高

若引擎壓縮比為9，熱效率 $\eta_{th} = 0.5847$

實際奧圖(Otto)循環效率



- 熱效率 $\eta_{th} = 1 - \frac{1}{r^{\kappa-1}}$; $\kappa \sim 1.3$

- 實際指示熱效率 (Indicated Thermal Efficiency) :

$$\eta_{ith} = \frac{W_i}{m_f \cdot Q_{LHV}}$$

W_i : 指示功; m_f : 燃料質量

Q_{LHV} : 燃料低熱值(lower heating value)

- 機械效率 (Mechanical Efficiency) :

$$\eta_m = \frac{W_b}{W_i} = \frac{\text{Brake Power}}{\text{Indicated Power}}$$

- 平均有效壓力 (MEP): $\text{IMEP} = \frac{W_i}{V_d}$ 。



實際奧圖引擎能量平衡(Energy Balance)

最終有效軸輸出 (Brake Work)	25%~30%
冷卻損失 (Coolant/Heat Loss)	30%~35%
排氣帶走熱能 (Exhaust Loss)	25%~30%
機械摩擦進排氣損失 (Friction & Pumping)	5%~10%



實際案例:

假設一個小型汽油引擎數據如下：

輸入功率(Wb): 10 kW; 油耗: 7.2 kg/h (0.002 kg/s); 排氣溫度: 750 °C (環境25°C)

進氣量: A/F=14.7; 冷卻水: 流量15 l/min, 溫差8 °C。

1. 燃料總輸入(Q_{in}): $\dot{Q}_{total} = \dot{m}_f \cdot Q_{LHV}$	88.0 kW	100%
2. 排氣損失熱能 (Exhaust Loss) $\dot{Q}_{exhaust} = (\dot{m}_a + \dot{m}_f) \cdot C_{p,a} \cdot (T_{ex} - T_{amb})$ T_{ex} : 排氣溫度, 引擎全負荷下約750°C	26.18 (31.60 @ $T_{ex} = 950^\circ\text{C}$)	29.7% (35.91% @ $T_{ex} = 950^\circ\text{C}$)
3. 冷卻水熱量損失 (Coolant Heat Loss) $\dot{Q}_{coolant} = \dot{m}_w \cdot C_{p,w} \cdot (T_{w,out} - T_{w,in})$ \dot{m}_w : 冷卻水流量; $C_{p,w}$: 4.187 kJ/kg.K; $(T_{out} - T_{in})$: 冷卻水溫差8°C	8.37	9.5%
4. 其他摩擦/輻射損失 (Friction & Radiation)	28.0	31.8%
5. 最終有效軸輸出 (Brake Work)	25.45	28.9% 22.69 @ $T_{ex} = 950^\circ\text{C}$



改善熱效率的循環

1. **阿特金森循環**是一種提升內燃機熱效率的熱力學循環。其核心概念是實現「過度膨脹」，即讓膨脹比（**Expansion Ratio**）大於壓縮比（**Compression Ratio**）。
2. **渦輪增壓(Turbocharge)**:以歐系汽車採用最多。早期以柴油車為主要改進做法，晚近福特也發表了渦輪增壓的汽油車。



阿特金森循環(Atkinson Cycle)

invented by James Atkinson in 1882.

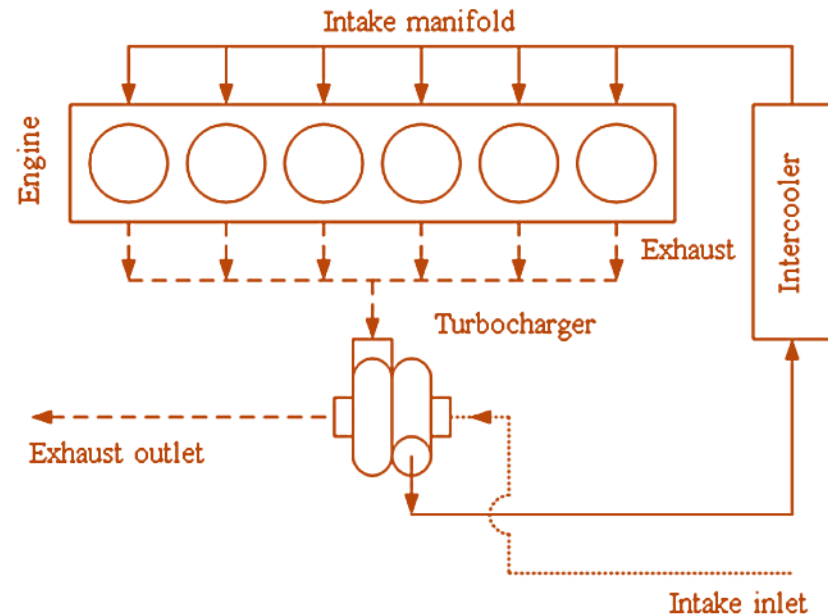
- **阿特金森循環**是一種提升內燃機熱效率的熱力學循環。其核心概念是實現「過度膨脹」，即讓**膨脹比 (Expansion Ratio) 大於壓縮比 (Compression Ratio)**。
 - **作法**：讓混合氣體燃燒後，活塞向下推動的距離比壓縮時「有效」的路徑更長。
 - **目的**：盡可能榨取燃燒後的殘餘壓力。當廢氣排出時，其壓力越接近大氣壓力，代表能量利用得越徹底，廢熱損失（排氣損失）就越少。
- **現代引擎**納入此概念（如 Toyota Prius）多採用**電子控制的連續可變氣門正時 (VVT)**來模擬此效果：
 - **進氣門晚關**：當活塞開始向上壓縮時，進氣門仍保持開啟，將部分混合氣體推回進氣歧管。
 - **效果**：實際被壓縮的氣體變少了（**有效壓縮比降低**），但點火後的膨脹行程依然是完整的。

渦輪增壓(Turbocharging)

以下三個維度提升整體效率：

1. 廢氣能量回收 (Exhaust Energy Recovery)

- **渦輪的作用**：渦輪機 (Turbine) 放置在排氣歧管後方，利用廢氣的**壓力能與動能**帶動葉片旋轉。
- **熱力學效果**：這降低了排氣管最終排出的大氣溫度，等於將原本會散失的部分轉化為機械功，用來驅動進氣壓縮機。



2. 降低進排氣損失 (Pumping Loss Reduction)

- **小排量代大排量**：藉由增壓提高單位體積的輸出 (BMEP)，讓一台 1.5L 渦輪引擎能輸出原本 2.5L 自然進氣引擎的動力。
- **機械損失減少**：小引擎的活塞面積小、軸承摩擦點少，整體機械效率 η_m 會比同動力水平的大引擎更高。



渦輪增壓器對汽油引擎與柴油引擎差異

特性	汽油引擎(Otto + Turbo)	柴油引擎(Diesel + Turbo)
主要效率提升原因	縮減排量、減少進排氣損失	完全燃燒、高過量空氣係數
壓縮比變化	通常必須 降低 (不利效率)	維持甚至 提高 (有利效率)
排氣溫度變化	極高 (750-950 °C)	極高 (500-700 °C)
典型熱效率提升	+2%~ 5%	+5%~ 10%
終端熱效率提升	約38%~ 40%	約45%~ 50%

燃燒技術進展：稀薄燃燒與低溫燃燒 (LTC)

先進點火系統（擴展稀薄燃燒極限）：

- **紊流噴射點火 (TJI)**：利用預燃室產生熱噴流，可實現極致的稀薄燃燒（ Λ 可達 2.1），是目前擴展稀薄極限最有效的技術。
- **雷射點火 (LI)**：無電極腐蝕問題，可自由選擇點火位置（中心點火），縮短燃燒持續時間。
- **射頻電暈點火 (RFCI)**：體積點火技術，點火空間大，能顯著縮短點火延遲。
- **微波輔助點火 (MASI)**：利用微波能量增強初期火焰核心，提升燃燒穩定性。

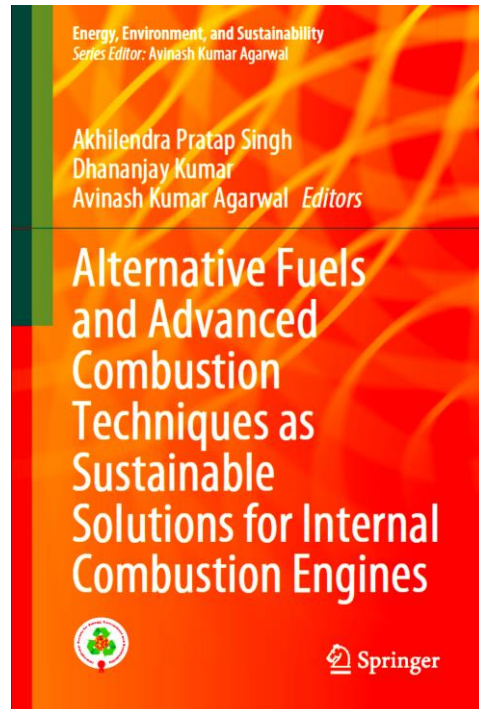
高效能燃燒策略：

汽油壓燃技術 (GCI)：結合柴油引擎的高效率與汽油燃料的揮發性，屬於低溫燃燒 (LTC) 範疇，能同時降低 PM 與 NO_x。

汽油缸內直噴 (GDI) 優化：從牆面引導轉向「噴霧引導」(Spray-guided)，利用多段噴射 (Split Injection) 穩定分層充氣，提升燃油經濟性。

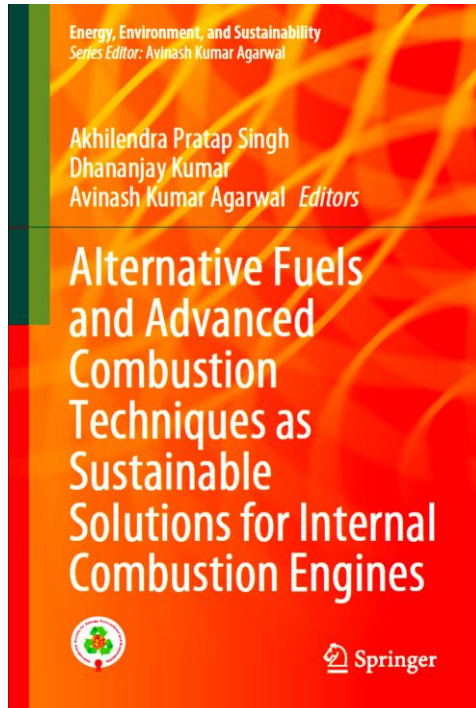
多段/分次噴射 (Pilot Injection)：透過調整預噴射的時間 (Dwell) 與量，解決「煙度-油耗」的折衷關係，並控制燃燒噪音。

計算流體力學 (CFD) 優化：利用 3D 模擬優化活塞頂部形狀 (Piston Bowl) 與進氣管路，增強氣流湍流 (Tumble/Swirl)，提升燃燒效率。



A. P. Singh, D. Kumar,
A.K. Agarwal. (2021)

稀薄燃燒與低溫燃燒 (LTC) 提升效率



A. P. Singh, D. Kumar,
A.K. Agarwal. (2021)

技術種類	熱效率 (BTE/Indicated)	具體提升或指標
汽油壓燃 (GCI)	47% - 57%	文件中紀錄最高的熱效率數據
湍流噴射點火 (TJI)	45%	較傳統 HCCI (43%) 更高
射頻電暈點火 (RFCI)	+2% 至 5%	相較於傳統點火系統的淨提升
1,4-Dioxane 乳化燃料	32.7%	較基準柴油 (30.06%) 提升約 8%
活塞頂部設計優化	+1% 至 3.5%	透過改善氣流混合達成的效率提升



什麼是Super Engine?



日本所謂超級引擎「Super Engine」：

- 在日本通常指代由 **Japan Engine Corporation (J-ENG)** 主導開發的次世代低碳燃料引擎，特別是在**海運與航空**領域有顯著進展。

- 1 海運領域：氫氣與氨氣引擎氫燃料引擎
- 2 航空領域：次世代氫能飛機
- 3 能源與發電領域
- 4 汽車領域：氫燃料內燃機



日本super engine 發展進度

應用領域	先進技術	關鍵里程碑	預計時間
海運	氫氣與氨氣引擎 氫燃料引擎	氫氣二行程引擎實際運轉測試	2026年春季
		氨燃料運輸船完工	2026年11月
航空	次世代氫能飛機	氫能客機核心技術地面驗證	2030年
		次世代航空機(氫能/混合動力)投入市場	2035年後
發電	氫氣混燒天燃氣	30%氫混燒引擎正式商用化	2025-2026年



日本super engine 發展進度

1.海運領域：氫氣與氨氣引擎氫燃料引擎：

- 2025 年 10 月，由 J-ENG 等組成的財團已成功完成世界首次陸上液氫燃料供應系統測試。預計在 2026 年春季開始進行全球首款低速二行程氫氣引擎的實際運轉測試。
- 氨燃料引擎：J-ENG 已於 2024 年底前完成首款國產氨燃料引擎的測試運轉。目標是在 2026 年 11 月前完成全球首艘配備此引擎的氨氣運輸船。

2.航空領域：次世代氫能飛機

- 日本經濟產業省 (METI) 與 JAXA 正推動「次世代航空機」計畫，目標是開發比現有引擎更高效、環保的動力系統。
- 技術研發期：核心技術 (如氫燃燒器、超低溫油箱) 的研發週期定為 2021 年至 2030 年。
- 商業化目標：預計在 2030 年進行整機系統的地面驗證測試，並目標在 2035 年之後將氫能或混合動力飛機投入商業運營。
- 最新成果：川崎重工 (KHI) 已於 2024 年 10 月成功完成小型氫燃料飛機引擎的地面測試。

3.能源與發電領域

- 氫氣混燒發電：川崎重工已於 2025 年 9 月開始接受世界首款 30% 氫氣混燒商業化氣體引擎 (KG 系列) 的訂單。

4.汽車領域：氫燃料內燃機

- 耐力賽測試：Toyota 研發的液氫動力 Corolla 賽車已穩定參加日本 24 小時耐力賽，這被視為氫引擎走向大規模生產的重要實驗。

Toyota Developing Hydrogen Engine Technologies Through Motorsports

By FuelCellsWorks | April 22, 2021 | 3 min read (409 words)

<https://fuelcellsworks.com/news/toyota-developing-hydrogen-engine-technologies-through-motorsports/>

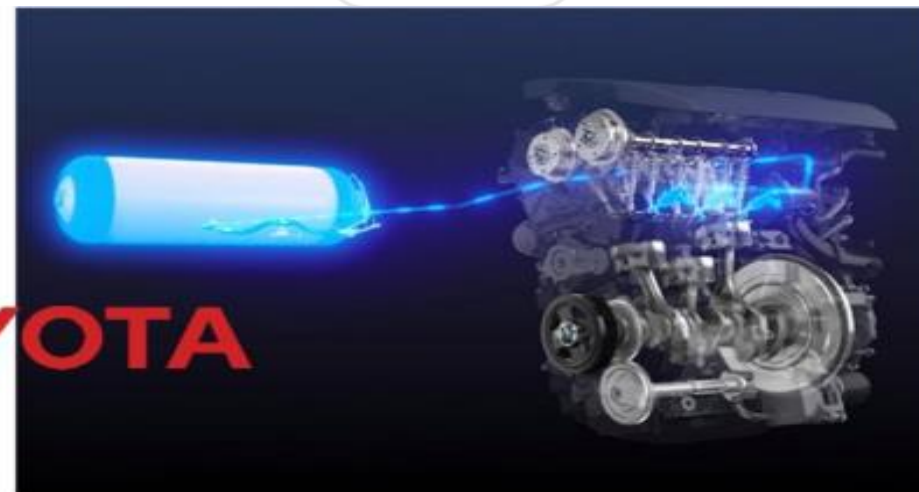


Super Taikyu (スーパー耐久, *Super Endurance*)
May 21-24, 2021



A Super Taikyu Series race

0 Comments



Toyota Hydrogen Engine

<https://www.youtube.com/watch?v=00yM5R1D7Zo>

GR Yaris engine	
Displacement	1618 cc
Type	In-line 3 cylinder turbo with intercooler
Fuel used	Compressed hydrogen

日本super engine 技術發展內容(2)

3. 航空領域：超高旁通比與氫燃燒 (JAXA/IHI/KHI)

日本的「次世代航空機」引擎技術重點在於**熱效率與極限輕量化**。

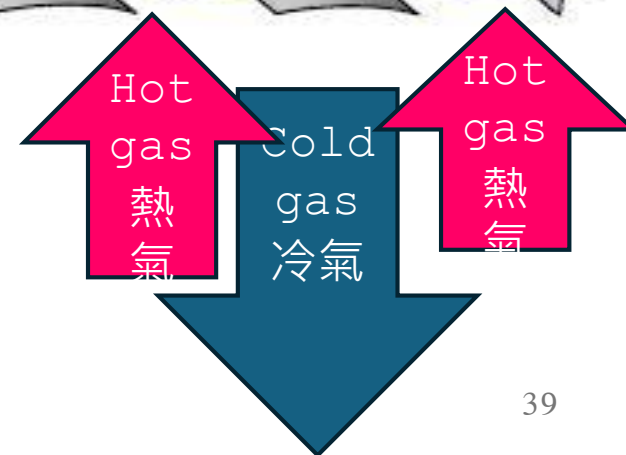
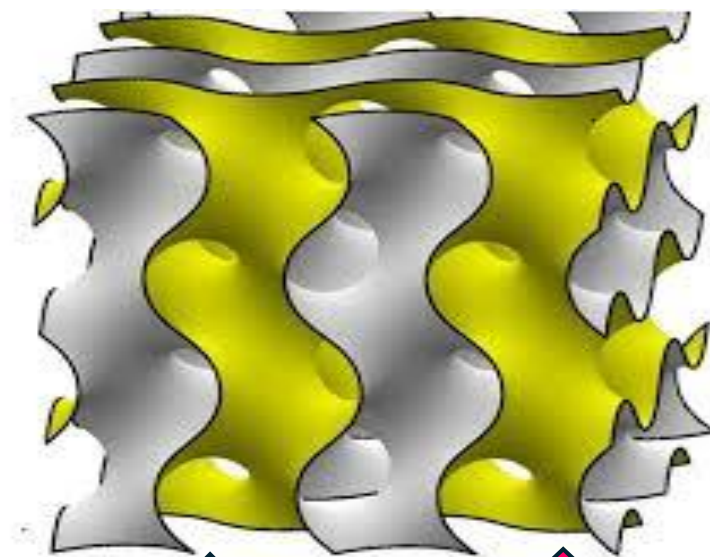
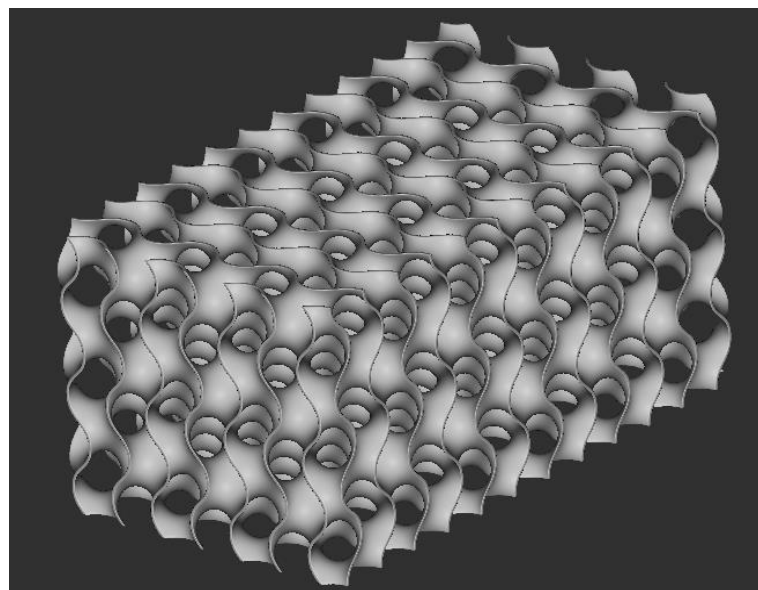
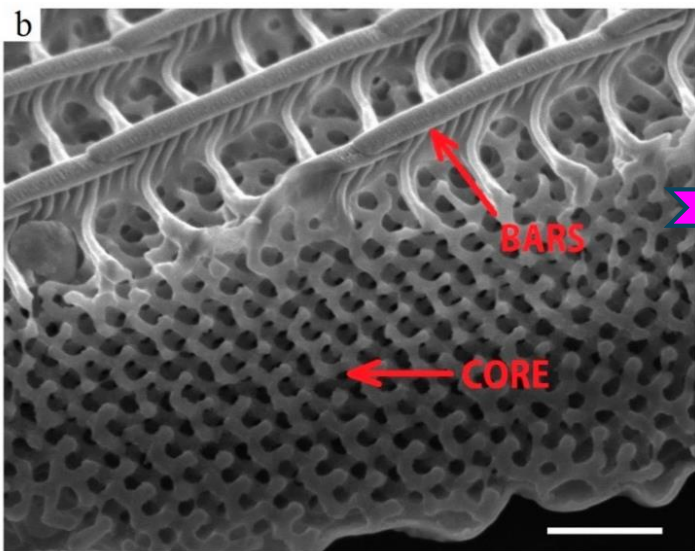
- **氫燃燒器技術 (Hydrogen Combustor)**：川崎重工開發了「微火花燃燒技術 (Micromix)」，將氫氣燃料切分成數千個細小噴流進行燃燒，這種噴嘴結構能大幅降低局部燃燒溫度，成功減少 80% 以上 NO_x 排放。
- **超導馬達混合動力**：JAXA 研發的超導傳動系統，利用低溫氫氣作為冷卻劑，讓馬達在極小體積下輸出數兆瓦的功率。這解決了傳統電機轉換效率不足以驅動大型客機的瓶頸。
- **陶瓷基複合材料 (CMC)**：IHI 公司在引擎渦輪葉片中大規模應用 CMC 技術。這種材料比傳統鎳合金輕 1/3，但耐熱溫度高出 200°C 以上。引擎可以在不增加冷卻負荷的情況下提高運作溫度，進而提升熱效率。

4. 關鍵技術瓶頸與日本的解決方案

- **爆震控制**：由於氫氣極不穩定，日本利用 **AI 預測燃燒控制**（透過感測器實時監控缸內壓力），在爆震發生前的毫秒級時間內調整點火正時。
- **氮氧化物 (NO_x) 控制**：利用 **EGR (廢氣再循環)** 技術的變體，精準控制進氣中的氧濃度，在不降低動力輸出前提下，抑制高溫造成的 NO_x 產生。

先進最小曲面結構熱交換器設計及應用 (螺旋曲面結構, Gyroid Heat exchanger)

- 三維週期性最小曲面結構(Triply Periodic Minimum Surface, TPMS)
- 受大自然啟發的超輕結構

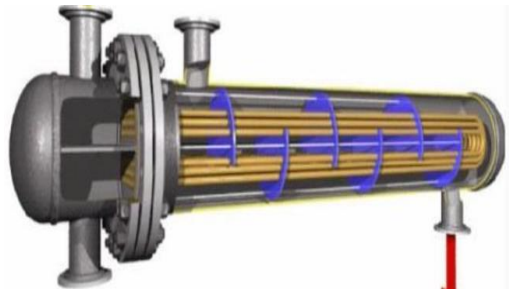
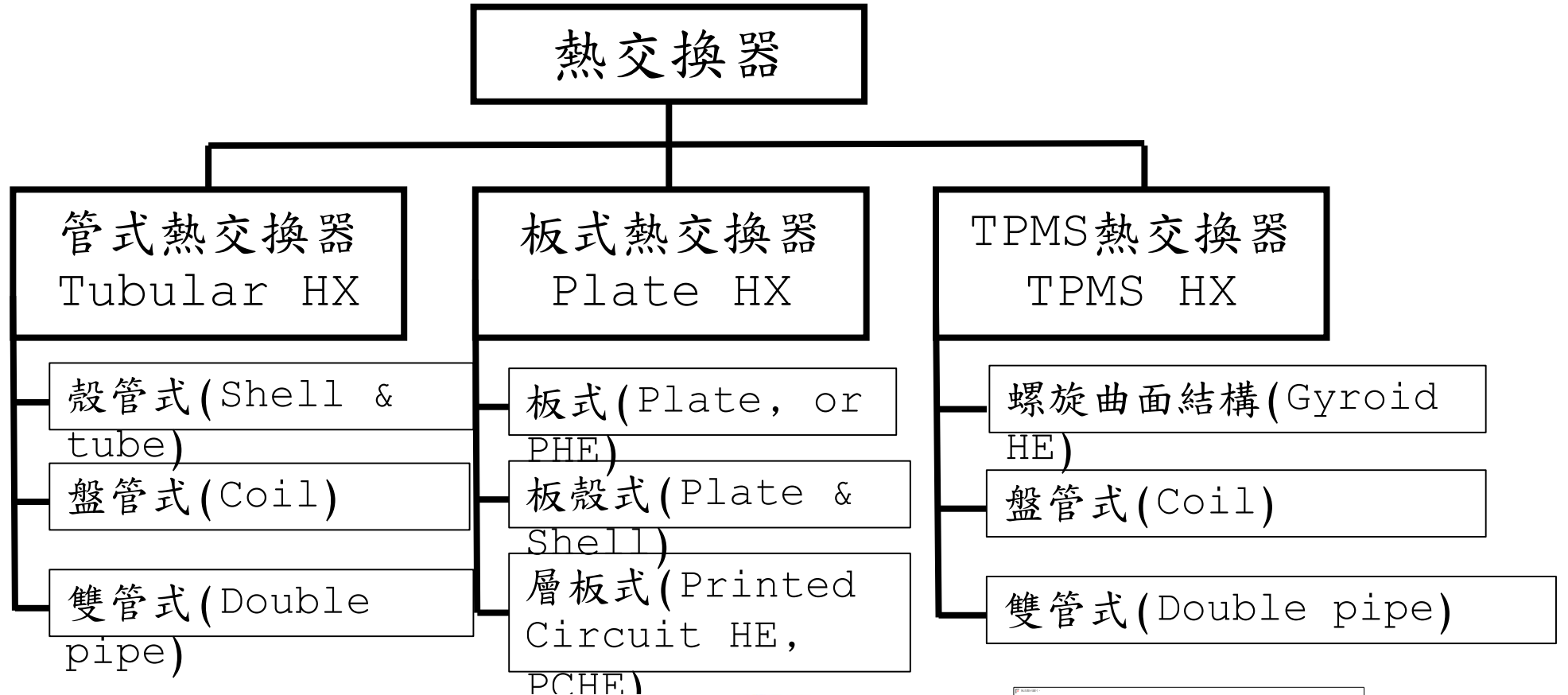


蝴蝶翅鱗橫切面的掃描電子顯微鏡 (SEM) 顯微照片

由數學式導出螺旋曲面結構
製成之3D列印實體

<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6947257/>

熱交換器的種類





三維最小曲面熱交換器設計 (Gyroid 熱交換器之設計)

已經註冊專利的五種TPMS

結構：



Diamond

鑽石結構



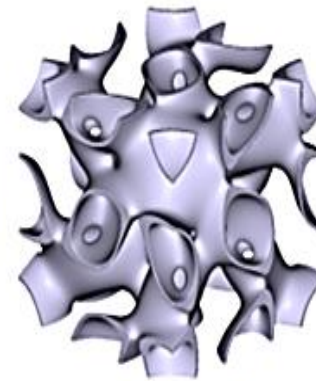
Gyroid

多孔螺旋曲面結構



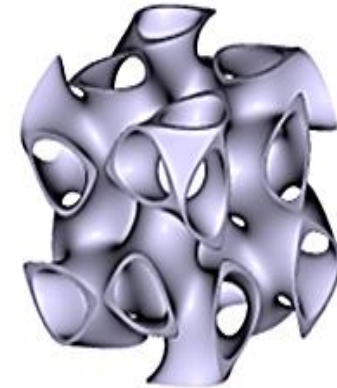
Schwarz P

施瓦茨原始結構



Lidinoid

莉汀結構



SplitP

分劈曲面結構



三維最小曲面熱交換器設計

- 特性：**
1. TPMS比剛度 (specific stiffness) 和軸對稱剛度的良好組合：故此結構在薄壁下仍有不可思議的剛性以承載壓縮應力。
 2. 高表面體積比 (surface-to-volume ratio)：使單位體積的熱交換量更大 (+60-100%)；或使相同熱交換能力的熱交換器更小體積。
 3. 更高的紊流動能 (turbulent kinetic energy) 產生：使內部流體可以更高混合均勻性或更高熱傳係數。
 4. 可以依客戶需求訂製：根據使用者要求，**非常容易改變形狀和尺寸，並且易於透過 3D 列印製造。**
 5. 可在核能系統高效率運作：在熱推進及核分裂反應爐中操作，傳遞核分裂能量製氫而得高推力／重量比的推進器。



積層製造 Gyroid 熱交換器之設計

已獲專利
M-651356
I-839736



中華民國專利證書

新型第 M651356 號

新型名稱：三維最小曲面 (TPMS) 結構熱交換器

專利權人：賴維祥、度山曼

新型創作人：賴維祥、度山曼

專利權期間：自2024年2月11日至2032年5月18日止

上開新型業依專利法規定通過形式審查取得專利權
行使專利權如未提示新型專利技術報告不得進行警告

經濟部智慧財產局局長

廖承威

中華民國 113 年 2 月 11 日



注意：專利權人未依法繳納年費者，其專利權自原繳費期限屆滿後消滅。



中華民國專利證書

發明第 I839736 號

發明名稱：三維最小曲面結構熱交換器設計

專利權人：賴維祥、度山曼

發明人：賴維祥、度山曼

專利權期間：自2024年4月21日至2042年5月18日止

上開發明業經專利權人依專利法之規定取得專利權

經濟部智慧財產局局長

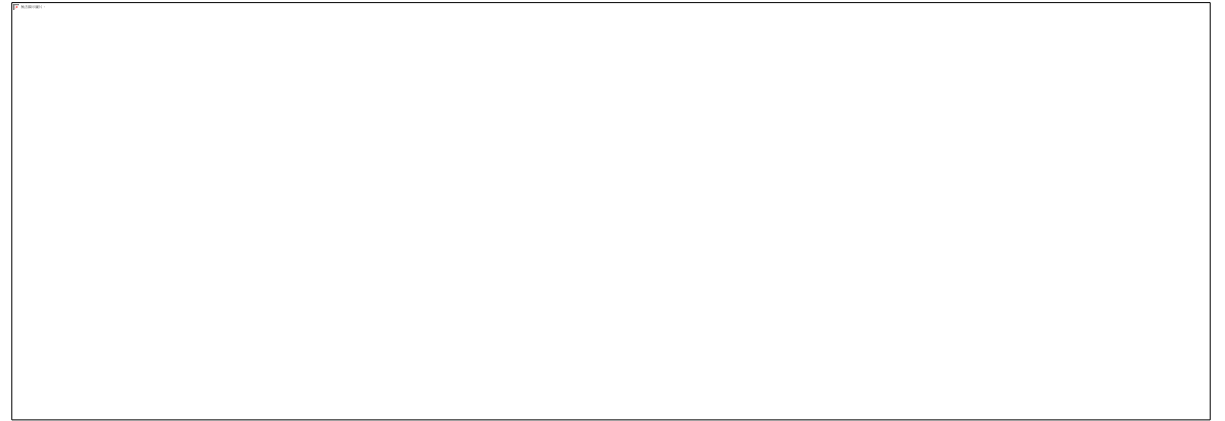
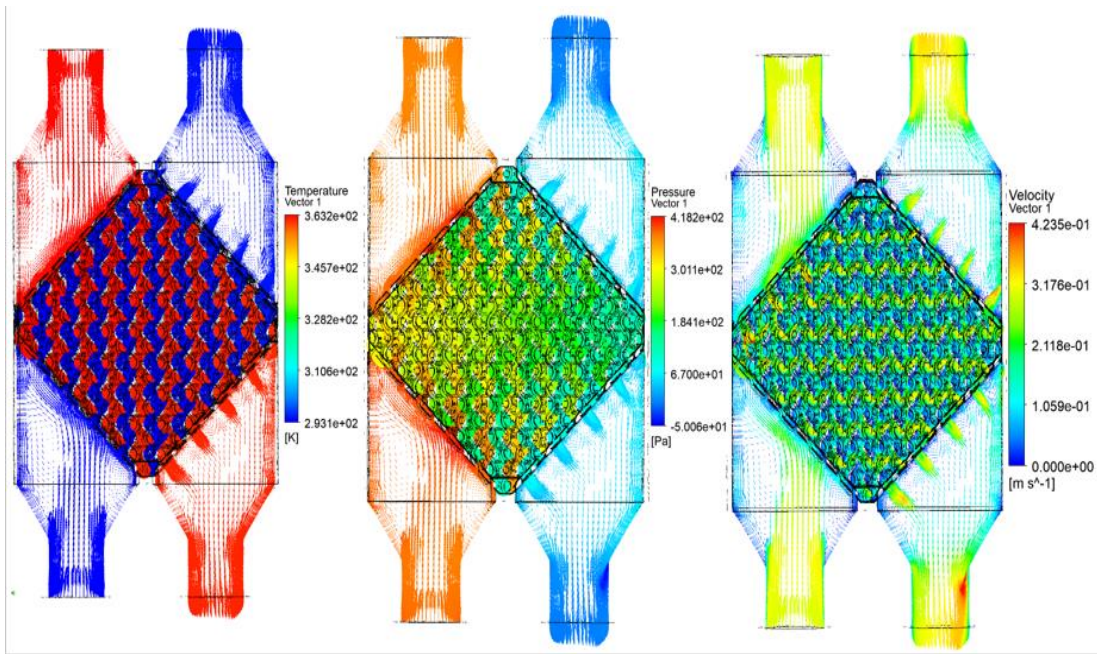
廖承威

中華民國 113 年 4 月 21 日

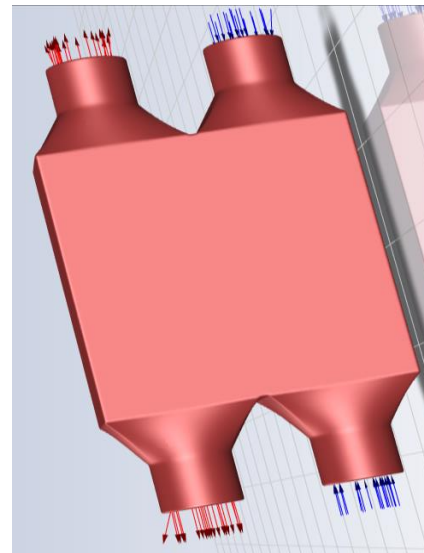


注意：專利權人未依法繳納年費者，其專利權自原繳費期限屆滿後消滅。

案例:積層製造 Gyroid 熱交換器之設計

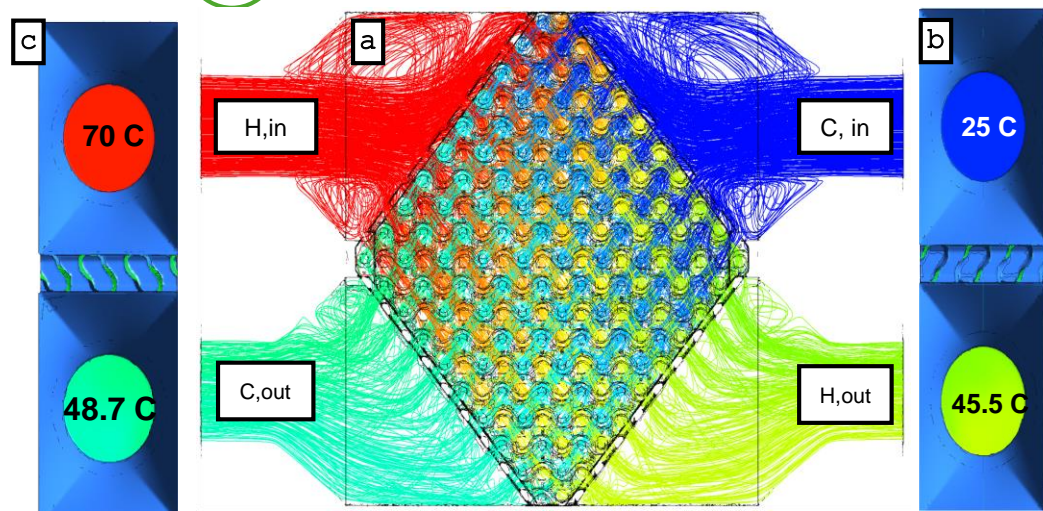
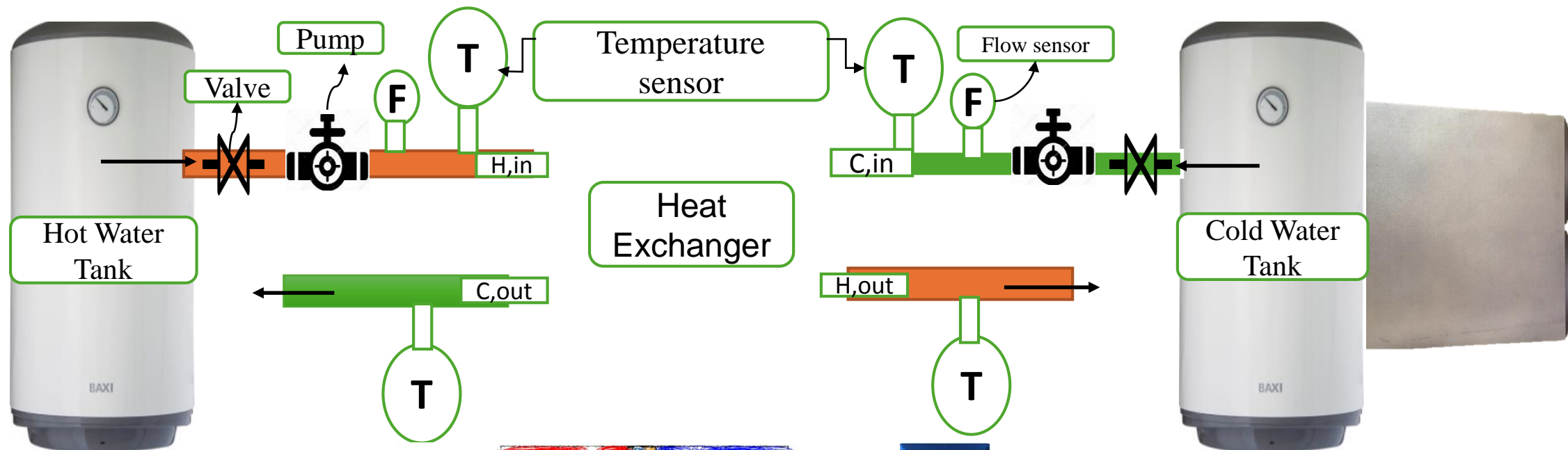


Vector representations of temperature(left), Pressure(middle), and velocity(right)





熱交換器實驗測試台示意圖

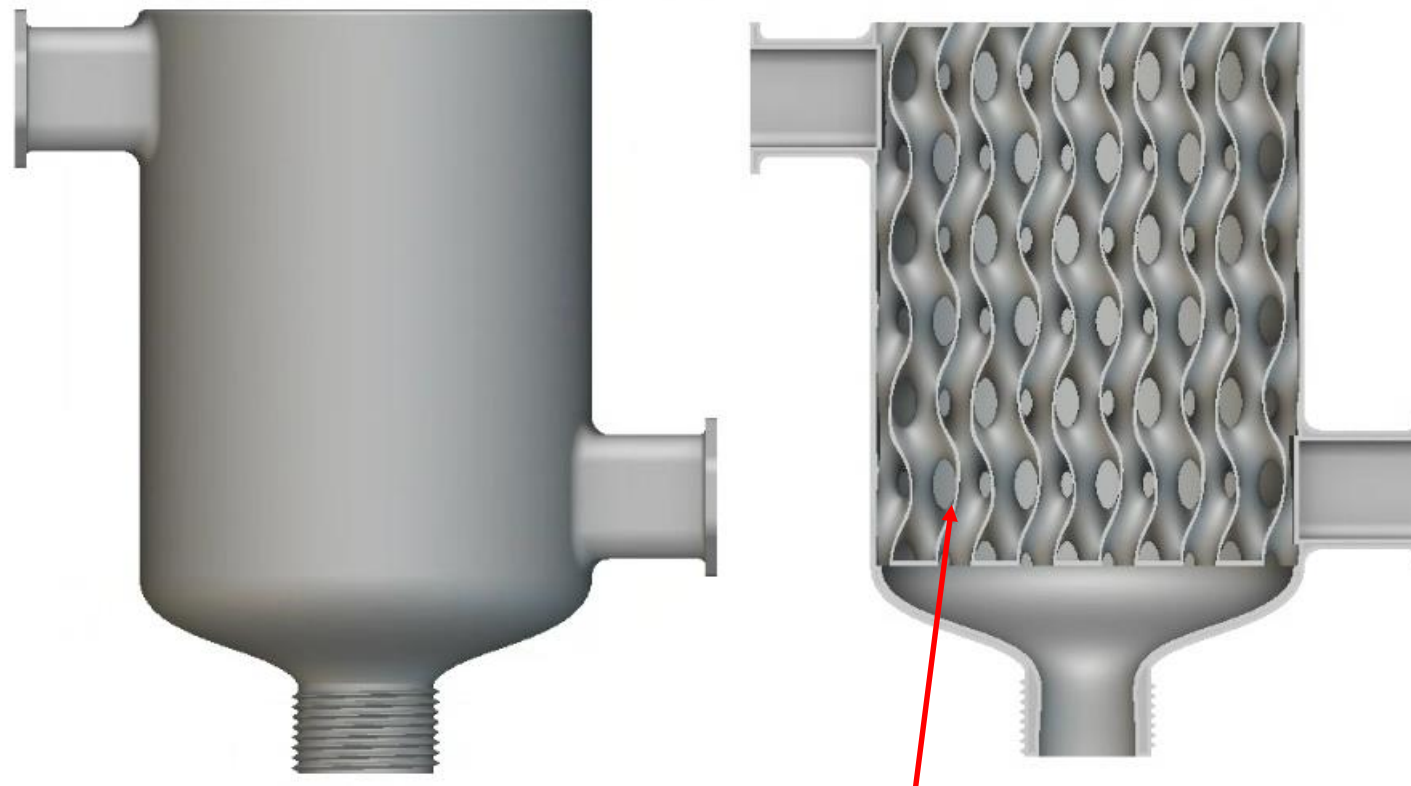


$\Delta T = +23.7$
°C

$\Delta T = -24.5$
°C

新熱交換器應用於創新引擎研發

小引擎排氣管設計



Gyroid wall thickness = 0.5 mm

● 專利申請中



結 語

1. **淨零碳排**議題嚴肅，人類必須積極面對處理；
2. **氫能**應用目前台灣規劃不足，宜加緊趕上國際步調；
3. **先進三維最小曲面熱交換器**概念可應用更寬廣領域，歡迎授權展開應用。

1990年2月，NASA 發射的旅行者一號拍攝於 64 億公里外，是目前人類曾經為地球拍下距離最遙遠的一張照片。Carl Sagan 深受照片啟發，他寫下一段話至今流傳：

一片黑暗裡面，那個小小藍點，就是地球。
看看這個小點。
就是這裡，這是我們的家，就是我們。

在這個小點上，每個你愛的人、每個你認識的人、每個你曾經聽過的人，以及每個曾經存在的人，都在那裡過完一生。

這裡集合了一切歡喜與苦難，數千個自信的宗教、意識形態以及經濟學說，每個獵人和搜索者、每個英雄和懦夫、每個文明的創造者與毀滅者、每個國王與農夫、每對熱戀的情侶、每個充滿希望的孩子、每對父親與母親、每個發明家和探險家，每個傳授道德的老師、每個貪污的政客、每個超級巨星、每個至高無上的領袖、每個人類歷史上的聖人與罪人，都住在這裡——

一粒懸浮在陽光下的微塵。

(Carl Sagan, Pale Blue Dot, 1994)

敬請指導