



工業技術研究院

Industrial Technology
Research Institute

從IEA WEO2022來看 需求面如何淨零

工研院綠能所

周裕豐 研究員

chouyufeng@itri.org.tw

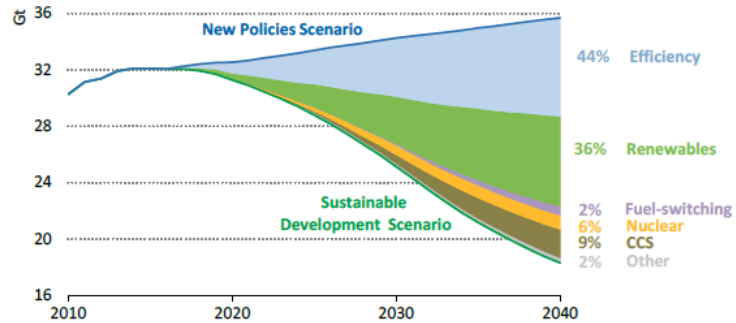
簡報大綱

- 前言
- WEO2022淨零排放情境
- 最終能源消費部門現況與淨零
 - 工業、運輸以及建築物部門
- 抑低能源需求成長
- 行為面改變
- 小結

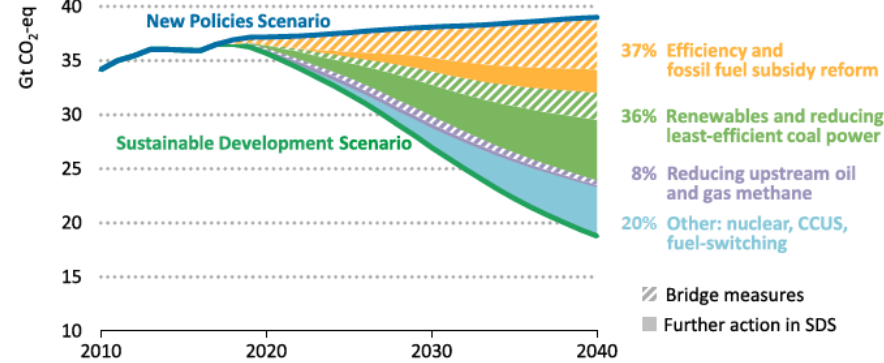
前言

- 除供給面外，淨零碳排不可或缺需求面

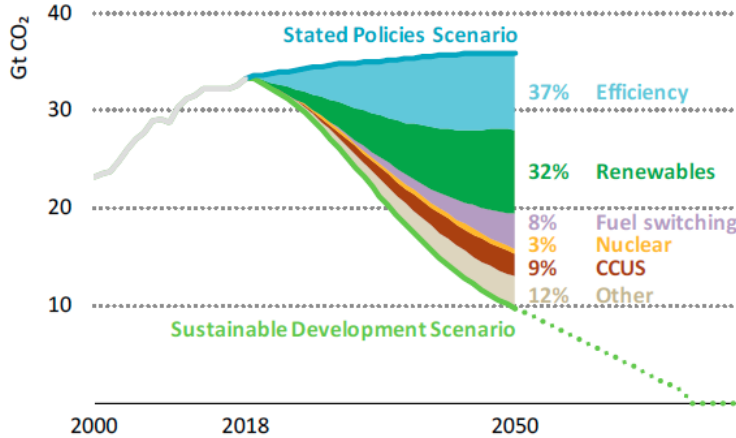
WEO 2017



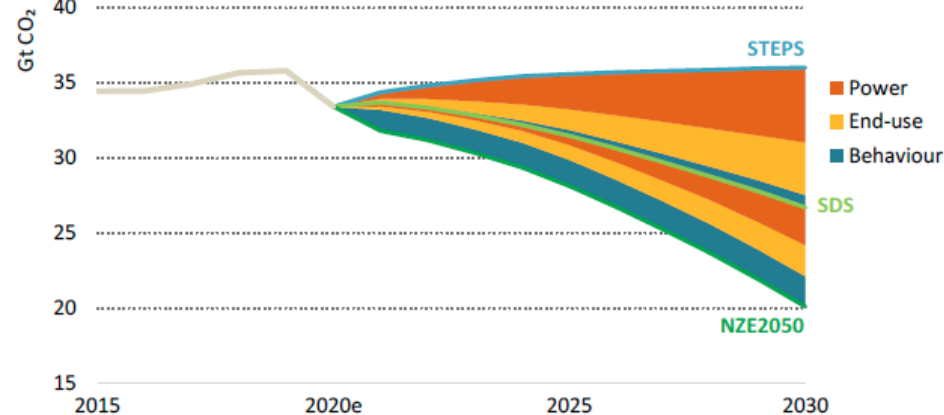
WEO 2018



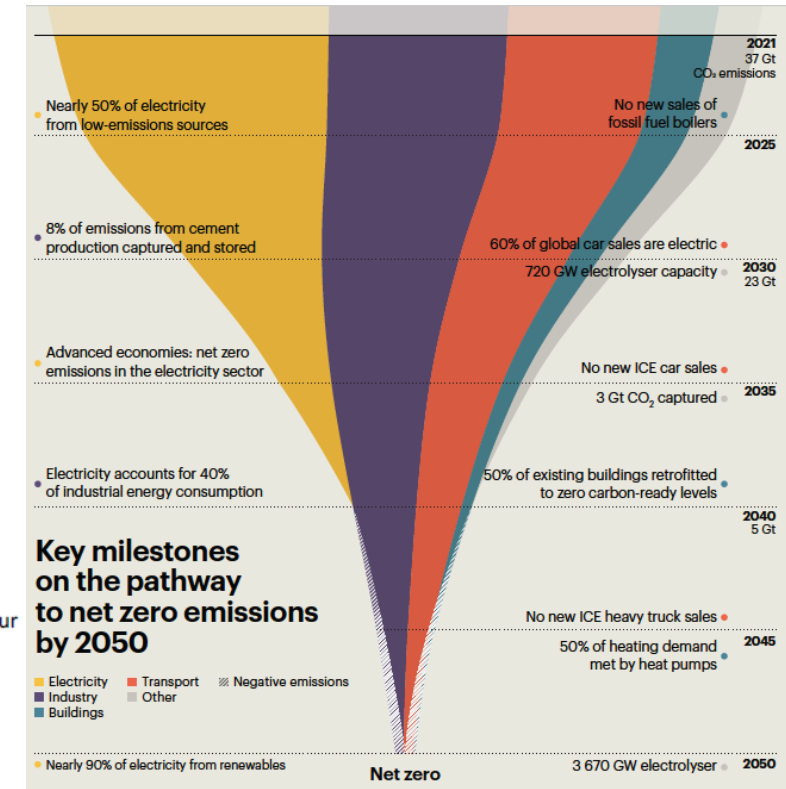
WEO 2019



WEO 2020



WEO 2022



WEO2022淨零路徑

- 這一年來的變數很多

- 2021年Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector提出淨零路徑
- COVID-19疫情後，2021年全球經濟出現反彈



- 新增的化石燃料投資，讓碳排增加250億噸(使用年限內)
- 同時，2021年的再生能源發電量也達到歷史新高，比2020年多了5,000億度電
- 烏俄戰爭
 - 兼顧能源安全與減碳目標是決策者面臨的關鍵問題
- IPCC第六次評估報告發布
 - 溫升目標1.5 °C，2030年碳排需比2019年減少43%，2050年淨零

WEO2022淨零路徑

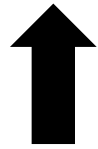
• 能源供給端

– 經濟成長下，能源總供應仍可下降

- 由於電氣化、能源效率改善及行為面改變，雖全球經濟增長三分之一，但能源總供應量將下降 10%(2021至2030年)

– 低排放燃料快速增加

- 2021-2030年所增加的量，約所有能源在過去15年所增加的數量

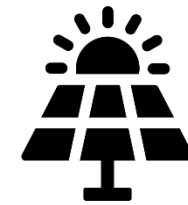


125 10^{18} Joule
(低排放燃料)



35 10^{18} Joule
(生質能)

Created by Vectors Point



28 10^{18} Joule
(太陽能)

Created by Alice Design
from the Noun Project

- 到2050年，低排放燃料以太陽能與風力增加最多；未減排的化石燃料只剩5%

– 與WEO2021最明顯差異是天然氣供給變化

- WEO2022考量烏俄戰爭下，預估天然氣占比會低些，維持最高占比也較短

工業部門

• 現況



Created by Vectorstall
from the Noun Project

170 10^{18} Joule
占比1/3

90億噸(碳排)
占比48%

• 持續成長的材料需求(鋼鐵、水泥)

- 在印度、東南亞及非洲朝向都市化與工業所需
- 淨零情境已納入更多有效使用材料效率的策略，仍無法減緩對於工業材料的需求

• 脫碳化挑戰

- 技術未成熟，尚處於原形或驗證階段，無法大規模部署
- 可以大幅降低排放密集度的新技術成本更高
- 產品處於競爭激烈市場，利潤微薄，無法吸收生產成本或不足以鼓勵採用新技術
- 重工業設施壽命長且資本密集

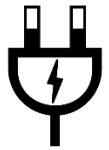
工業部門

• 鋼鐵業



75% 2021年 60% 2030年 20%(CCUS含天然氣) 2050年

未減排的煤至2050年歸零，化石燃料皆搭配CCUS
CCUS可部署於高爐多且啟用不久的地區，特別是中國或是再生能源發展受限、或天然氣與煤炭具競爭力的地區



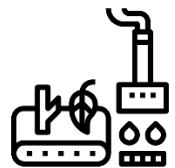
~10%^註 2021年 ~18% 2030年 <60% 2050年

因再生鋼(電弧爐)與廠內(on site)電解製氫需求增加
更高的回收率為驅動力
以氫替代碳的直接還原鐵製程會成為關鍵技術



~0% 2021年 ~3% 2030年 ~5% 2050年

指外購，非廠內產氫(not produced onsite)



~0% 2021年 ~5% 2030年 ~10% 2050年

指現代生質能，以固態生質能為主

Created by pongsakorn

註：灰色字體占比數字為自行估算，非WEO報告中直接標明之數據

工業部門

• 水泥業

- 現況煤炭 > 50% ; 未來CCUS , 占減碳量95%
- 燃料轉換為現代固態生質能、電力(旋窯)及氫能(到2050年才約5%)

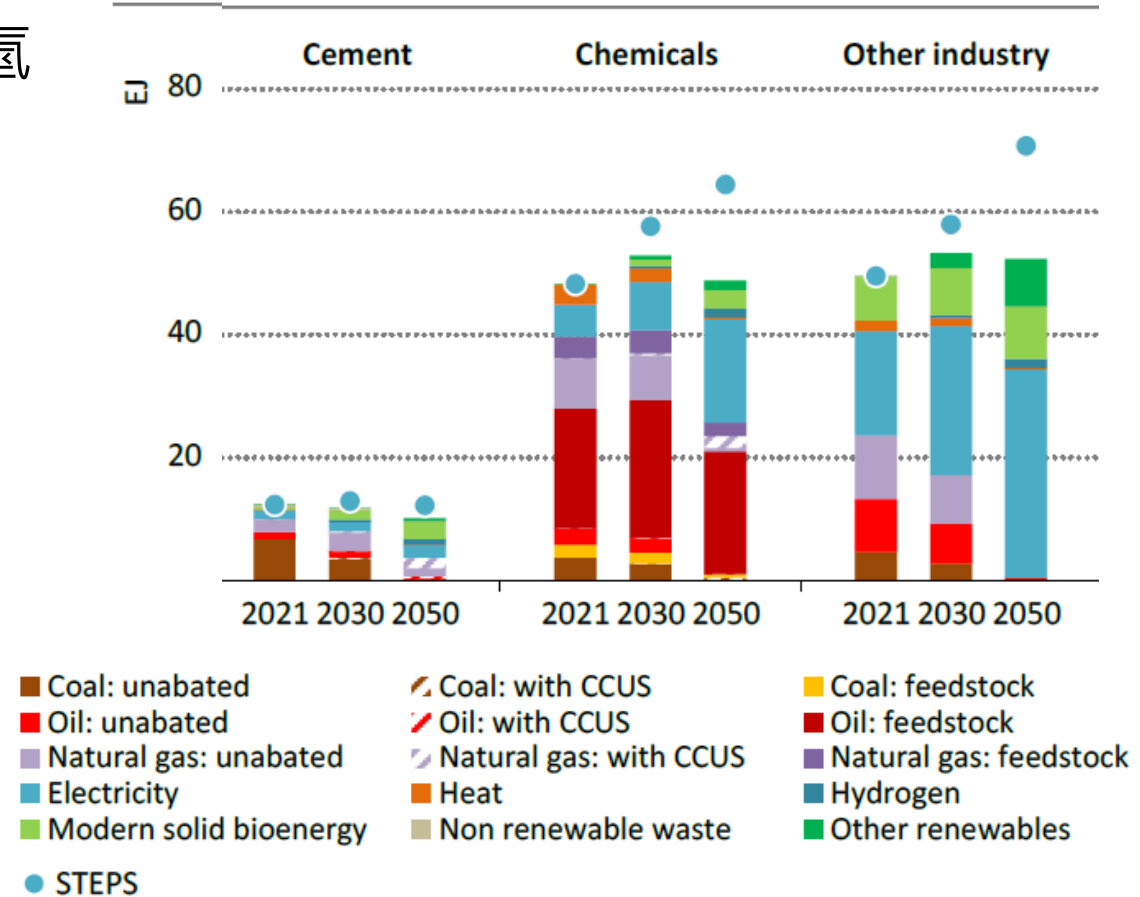
• 化學業

- 特定且嚴格的政策 , 如實施一次性塑料禁令、塑料再利用與回收等材料效率策略
- 增加電解製氫用以取代石化原料投入(但有限)
- 再生能源如生質能、太陽熱能及地熱約可達10% , 氫約5%

• 其他業別

- 可視完全脫碳 ; 低溫需求以太陽熱能與地熱 ; 電力占比從35%到50%再增至67%

水泥、化學業及其他業別最終能源消費量



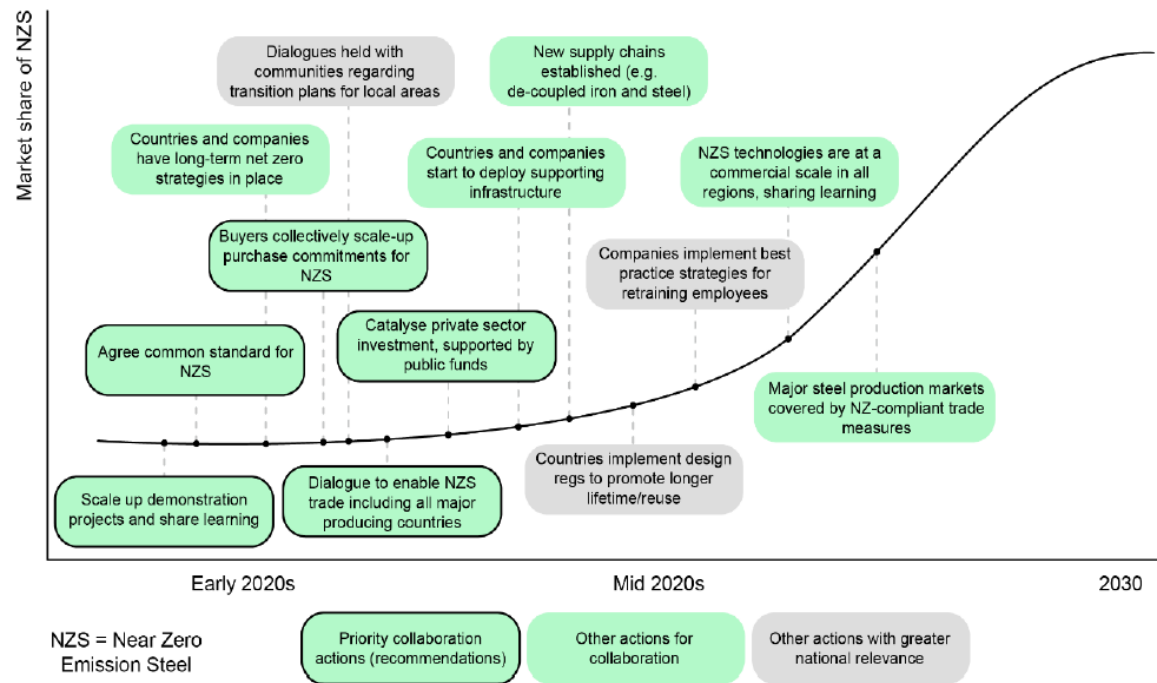
工業部門

- **近零排放材料產品(Near zero emissions material production)**
 - 鋼鐵業需要強而有力的政策，為淨零排放產品創造市場(拉需求demand pull)，以及協助對於該技術的投資(推供給supply push)
 - 簡單說便是制訂標準，公、私部門可承諾以高價採購接近零排放的鋼鐵和水泥，從而激勵產業擴大生產
 - 鋼鐵：以廢料佔總金屬投入比例作為標準
 - 若廢料投入為0，每噸粗鋼單位排碳量為400 kg CO₂-eq/t，若提高到100%，可降至50 kg CO₂-eq/t
 - 水泥：以熟料投入比例作為標準
 - 使用輔助性膠結材料(supplementary cementitious materials, SCM)取代熟料
 - 若100%熟料，單位排碳量為125 kg CO₂-eq/t，若全以SCM取代，則降至40 kg CO₂-eq/t(但必須特別說明，大多數水泥應用，熟料比例至少50%)
 - 也可以低排放產品(low emissions production)作為過渡步驟

工業部門

• 近零排放材料產品(Near zero emissions material production)

- COP26目標：『近零排放鋼鐵是全球市場的首選，到2030年，每個地區都要有而且持續成長的高能源效率與近零排放鋼鐵生產製程。』
- 成本明顯高於目前技術，大約會比高排放鋼鐵多出15-40%
- 未來幾年需要在不同國家發展條件下採取多管齊下的方法：



- 克服成本障礙，並增加對於低排放與近零排放鋼鐵的需求
- 明確定義低和近零排放標準，2020年代中規劃應用時間表
- 擴大研發投資，以確保2020年代中部署商業規模生產技術
- 創造公平競爭環境，同時要以政策支持新技術的早期部署
- 應就中長期戰略進行溝通，並為深度脫碳設定里程碑
- 密切合作建立有效的技術夥伴關係
- 2020年代後期需部署重要的基礎設施，包括電力傳輸、氫儲存與運輸
- 需分享可加快部署的早期經驗，包括法規訂定、許可發放、工廠營運計畫、如何與再生能源結合或者與鋼鐵製造過程結合的CCS設備

運輸部門

• 現況



Created by Design Circle

115 10^{18} Joule
占比1/4

77億噸(碳排)
占比40%

• 持續增加中

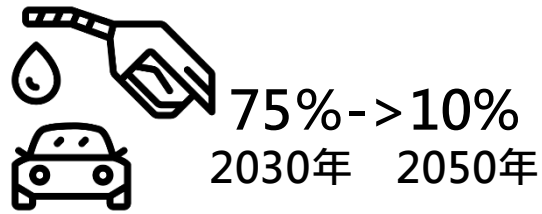
- 2010年到2019年客運與貨運需求的增加導致排放量成長最快
- 當疫情趨緩後，出遊等運輸需求增加
- 未來，隨著經濟和人口的增長以及生活水平的提高(新興市場與發展中經濟體)，對於運輸需求持續增加

• 脫碳化方式

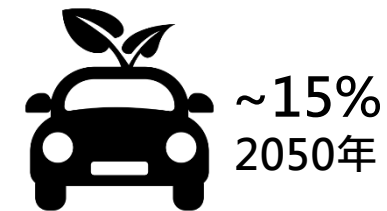
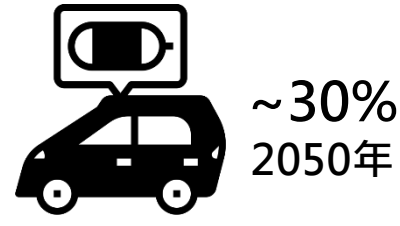
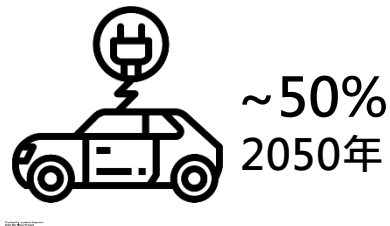
- 電力，特別是公路運輸的電動車與氫能燃料電池車
- 其次為混合或直接使用低排放燃料，如生質燃油、氫能，特別是航空與船運

運輸部門

• 淨零情境



Created by Berkah Icon



Created by Lnhi
from the Noun Project

- 電氣化迅速從汽車、貨車及機車等輕型車輛，還有軌道運輸開始
- 生質燃料以混摻方式用於公路運輸，但隨著電氣化程度越高，生質燃料到2030年以後將轉而應用於航空與船運
- 氫能也因高能源密度特性，對於降低長途運輸運具之排放具有關鍵角色

運輸部門

• 公路運輸



Created by Sergey Krivoy
from the Noun Project

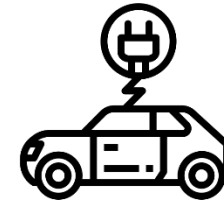
59億噸(碳排)
約與北美相若
2021年

2億噸(碳排)
幾乎脫碳(僅剩重型燃油貨車)
2050年



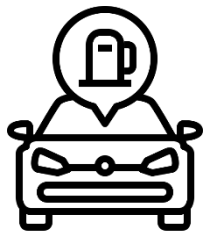
90% 75% ~0%
2021年 2030年 2050年

燃油車停售時間點
2035年-客車、貨車、都市公車
2040年-長途公車
2045年-中重型貨車
但2030年存量80%，效率改進與行為
面改變仍重要



<1% 10% >67%
2021年 2030年 2050年

2030年新售車輛中有60%是電動車
2022-30年公用電動車充電設備年均
投資額約350億美元



<9%(生、天) ~10%(生) ~8%
2021年 2030年 2050年

Created by Juraj Sedlak
from the Noun Project

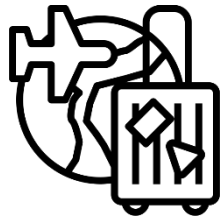


~5%(氫、天) 25%
2030年 2050年

2030年氫主要用於長途重型貨運卡車
適合地點設置加氫站，如工業區

運輸部門

• 航空



Created by ic2icon

年均成長2.5% (延人公里)
2019-2050年

行為面改變，如移轉至
高鐵或減少商務旅程



Created by Widyatmoko
from the Noun Project

7億噸(碳排)
增加20%以上
2021年

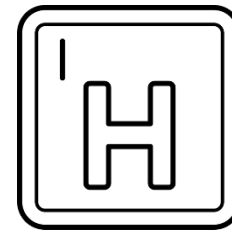
2億噸(碳排)
2050年



90% 20%
2030年 2050年
(煤油)



10% 45%
2030年 2050年
(生質航空燃油)



25%(氫合成燃料) 8%(直接使用氫能)
2050年



Created by SMDStock

3%
2050年

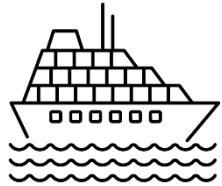
電池能量密度與重量限制
未來技術發展預期可使用
電池之區域電動飛機

永續航空燃料(sustainable aviation fuel, SAF)：
2030年代開始加速。政策如要求混摻、低排放燃
料標準、稅收抵免，鼓勵SAF投資

氫能飛機：
2035年商業化，主要
用於短中程飛行
儲罐、機載燃料輸送系
統、內燃機或燃料電池
機場儲存與輸送氫氣之
基礎設施

運輸部門

• 船運



Created by Vectors Point

8.4億噸(碳排)
2021年

1.1億噸(碳排)
2050年



Created by Azam Ishaq
from the Motion Denier

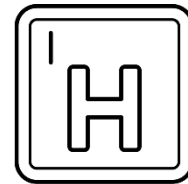
~100% 15%
2021年 2050年

使用壽命長，阻礙新技術
改以效率提昇措施，如大型
遠洋船舶之風帆wind kites
和旋轉帆rotor sail



45%
2050年

優勢易儲存
缺點燃燒效率不如柴
油，產生NO_x



20%(生、氫)
2050年

氫能主要用於特殊的短
至中程船運



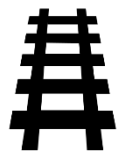
Created by SMDStock

? %
2050年

次要角色，用於短途小型船舶
與郵輪

運輸部門

• 軌道



Created by Gray
from the Noun Project

0.9億噸(碳排)
2021年

~ 0(碳排)
2050年



>50% 3%
2021年 2050年

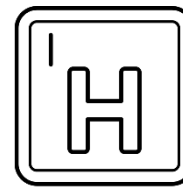


Created by SMDStock

45% 65% 90%
2021年 2030年 2050年



5%
2050年



2%
2050年

客運



Created by Laxouri Studio
from the Noun Project

淨零情境對於軌道運輸的需求明顯增加
如旅行需求從短途航空轉向軌道，高鐵活動量增加，另外還有都市捷運
在軌道電氣化下，電力占比近9成

建築物部門

• 現況



Created by Kokota
From the Noun Project

132 10^{18} Joule
占比30%

30億噸(碳排)
占比15%

• 經濟與生活水準提高

- 儘管已逐漸不使用化石燃料，但自2010年以來，排放量年均仍增加0.5%
- 未來隨著收入和人口增加，帶動了電器使用量
- 樓地板面積預計增加20%(2021~2030年)，8成是在新興市場與發展中國家
- 2030年空調數量將增加50%，電力消耗可觀

• 脫碳化方式與困擾

- 烹飪、熱水及暖氣的電氣化且同時要減緩設備增加與設備對電力需求增長
- 另建築物與基礎設施(如供熱、電網)使用年限長
- 個人消費者的決定

建築物部門

• 改善能源效率

- 技術可行與可得
- 2030年前能源效率措施對於抑制能源需求與減碳量貢獻最大，如市售電器與空調產品中至少有80%是效率最好的；熱泵、隔熱絕緣和改建，則因成本仍高，無法普及
- 為達淨零，建築物單位能源使用密集度在2030年要比2021年少45%(以每平方公尺所消耗的能源計)
- 手法：新建和既有建築物的外圍結構與材料、熱泵、節能電器及節能或材料的設計

• 電氣化或燃料移轉



Created by SMDStock

34% 50% 67%
2021年 2030年 2050年

電力成為供暖脫碳的主要手法：

高效電熱泵成為主要技術選擇

家庭用電取暖從目前的20%上升到2030年的30%，2050年超過50%

電力占烹飪能源使用為55%



6% ~30%
2021年 2050年

再生能源中有2/3是來自太陽熱能與地熱

現代化生質能占烹飪能源使用量的40%

建築物部門

- 行為面改變

- 2030年能源使用量可降低8EJ，如調整冷暖氣溫度
- 能快速且成本趨近零的降低需求，亦可在短期內對於能源危機做出應急反應，並在長期內促進淨零排放轉型

- 建築物年限問題

- 已開發國家到2050年時會有3/4建築物是使用超過30年，而新興市場與發展中國家卻相反(2050年13%建築物使用超過30年，40%則是在2030年至2040年間完工，使用最多10年)
- 新建築需在2030年前實施強制性準零碳建築(zero-carbon-ready building)規範，以避免碳排放鎖定效果
- 已開發國家既有建築改建率從目前小於1%增加至2030年前的年均2.5%
- 淨零情境下，建築外圍結構與材料改善，為最重要可降低單位面積空調需求的方式

準零碳建築(zero-carbon-ready building)其定義為『一高能效建築物，直接採用再生能源或使用到2050年能完全脫碳的能源，如電力或區域供熱。到2050年，85%建築成為準零碳建築，不需進一步改造建築或設備。』

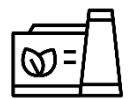
抑低能源需求成長

重要性

- 淨零情境路徑若無抑低能源需求成長的措施，供給面技術部署再多都無法達成
- 措施包括能源效率、燃料轉換(特別是電氣化)、削減需求措施及行為面改變
- 可確保在未來八年內能源密集度每年降低4%
- 能源安全與可負擔性



113 10^{18} Joule
相較於STEPS情境40%



50%(抑低需求) < 50%(能源效率) < 1%(行為面改變)
2030年

Created by SMDStock



1/4 2030年
1/2 2050年

燃料轉換：供暖改成電熱泵
行為改變：特別是供暖和空調

Created by rivercon

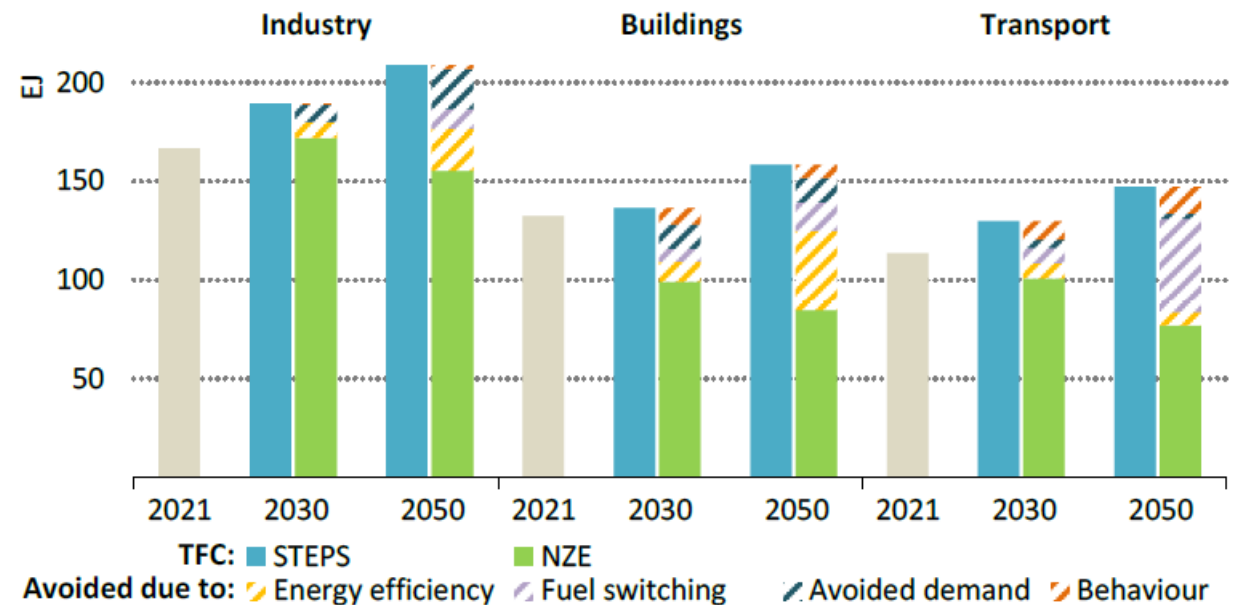


1/3(行為面改變)
2030年

行為改變：航空，因技術有限
能源效率：2030年前的公路運輸
電氣化：要到2030年後

Created by From Goals from the Net Zero Project

工業、建築物及運輸部門最終能源消費量



註：削減需求(Avoided demand)包括材料效率、循環經濟及經濟產業結構調整等，如消費者對價格上漲的反應

IEA. CC BY 4.0.

聚焦於行為面改變

- 定義
 - Behavioural changes are active changes by end-users of energy-related services that reduce excessive or wasteful energy consumption. This means, for example, that the purchase of clean energy technologies, such as an EV, is not considered as a behavioural change.
 - 淨零情境結合了消費者使用能源服務的行為面改變
 - 某種程度上是與能源效率與其他減少能源需求的技術是相同的
- 特點
 - 行為面改變可解決既有排放密集設備問題，且無需設備更新或技術進步
 - 雖 2030 年新售汽車 >60% 是電動車，但使用中仍有 80% 為燃油車；透過減少使用車輛或以更省油的方式駕駛(如速度降低)等行為面改變，可以在沒有任何過渡期的情況下減少所有車輛的排放
 - 尚無技術者，如航空
 - 減少對於負碳技術的依賴，增加能源安全等

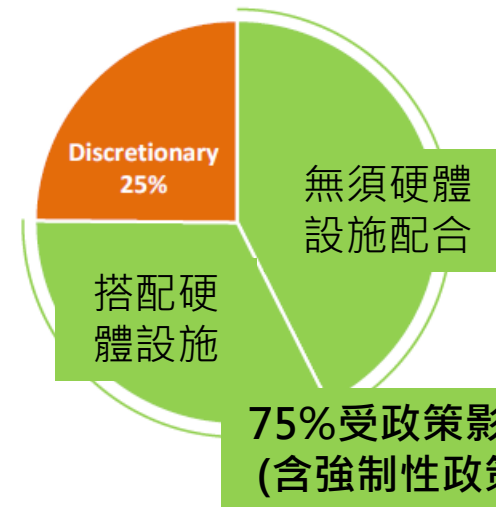
聚焦於行為面改變

• 減碳貢獻

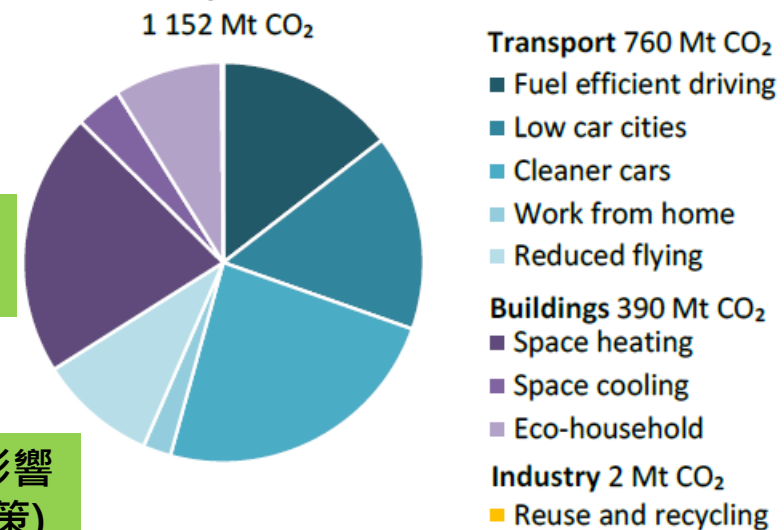
- 2021~2050 年行為面改變所累計減碳量約有75%來自政策或強制執行措施
 - 如收取塞車費或降低限速；其中大約一半需要基礎設施的支持，如高鐵
- 其餘為自發性的行為面改變，可透過資訊揭露或自我意識活動
 - 如產品節能標籤、家庭能源消耗報告
- 相較於STEPS情境，2030 年淨零情境的行為面改變約可減碳11.5億噸(或總減排量的 9%)
 - 建築物減量貢獻略高於1/3，主要為冷暖氣溫度控制，約3億噸(其他應為Eco-household)

行為面改變減碳貢獻

Reductions by measure type, 2021-50



Reductions by measure, 2030



聚焦於行為面改變

• 減碳貢獻

— 運輸部門

- 公路運輸措施為促進省油駕駛行為，包括高速公路限速與ECO駕駛
- 市中心逐步禁止燃油車進入或將限速降低至20km/h，希望引導降低汽車使用率，另應讓騎自行車或步行更輕鬆、更愉快
- 營業車隊如Uber不再使用燃油車，且鼓勵轉移至潔淨車輛；透過政策減少民眾購買SUV，如禁止在市中心行駛等
- 其他措施如每週在家工作三天或增加共乘
- 航空藉由對經常長途飛行的旅客課稅、透過電話會議取代50%的長途飛行、區域航空以高鐵取代等

行為面改變減碳貢獻

Reductions by measure, 2030

1 152 Mt CO₂



Transport 760 Mt CO₂

■ Fuel efficient driving

■ Low car cities

■ Cleaner cars

■ Work from home

■ Reduced flying

Buildings 390 Mt CO₂

■ Space heating

■ Space cooling

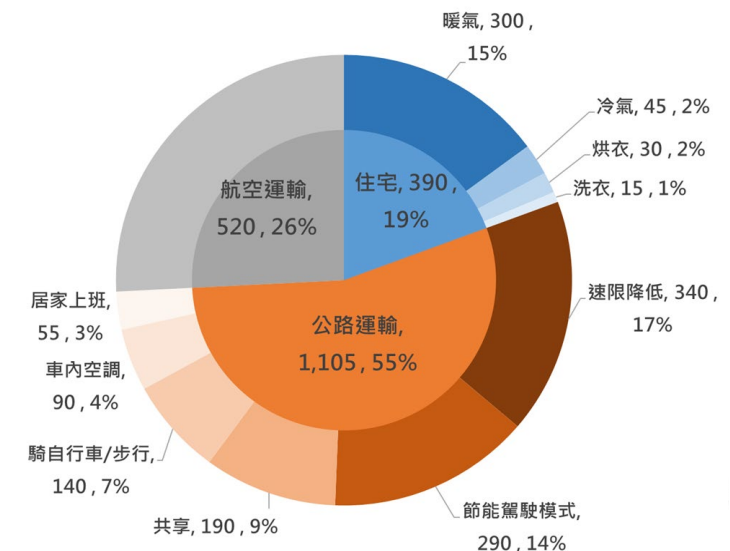
■ Eco-household

Industry 2 Mt CO₂

■ Reuse and recycling

WEO2020行為面改變減碳貢獻

IEA. CC BY 4.0.



聚焦於行為面改變

• 淨零情境下的未來航空相貌

- 技術面有燃料替代(永續航空燃料)與飛機能源效率
- 但對於航空需求(延人公里計)快速增加，可能會抵銷技術面努力



Created by Eucalyp

新興經濟體
3.5% VS 4.1%
淨零 STEPS

已開發國家
1.1% VS 2.2%
淨零 STEPS

- 飛航常客稅

- 需求不同



<1次 2次 >5次
90% 6% 1%

Created by Shocho

- 已開發國家 2050 年減少約 17%，新興經濟體可減少 6%，減碳0.9億噸

- 商務旅行

- 商務比重



已開發 新興經濟體
20% 30%

- 因疫情，遠端業務執行普遍化
- 2050 年電話會議將替代一半長途商務旅行，減碳 1.0億噸

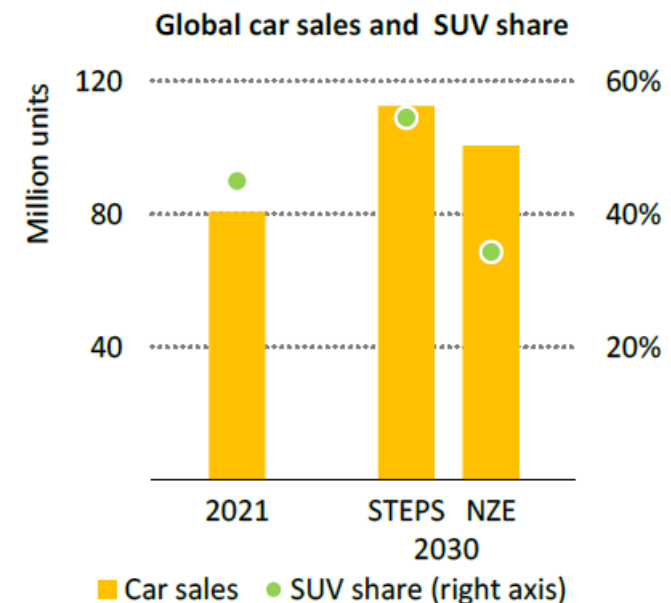
- 高速鐵路

- 到 2050 年可讓短於 800 公里的飛行航班(約 17%)轉移至高鐵，減碳0.3億噸
- 因地區而異，如旅行時間、地形問題、搭乘人數與經濟可行等
- 持續投資對於取代區域航班的潛力至關重要

聚焦於行為面改變

• 附帶好處-公平轉型

- 行為面改變企圖減少浪費或過度的能源消耗，主要目的雖是降低碳排，但也可降低全球人均能源消耗與二氧化碳排放量的不平等，使潔淨能源轉型更加公平
- 像是不鼓勵在市區行駛汽車的政策，將對人均車輛持有台數產生影響
 - 有些研究指出提供良好的大眾交通運輸系統、網路叫車服務及共乘車輛可將自有車輛持有數降低35%，而對於擁有多輛汽車的家庭影響最大
 - 淨零情境 2030 年汽車銷量比 2021 年高出約1/4，但比STEPS情境低 10% 左右
- 不鼓勵SUV休旅車
 - 已開發國家人均 SUV 銷量幾乎是新興經濟體的5倍
 - 目前銷售比近50%，2030年STEPS情境增至55%，淨零可降至35%
 - 可降低碳排0.6億噸，其中部分因鋼鐵需求下降導致的工業排放減少
 - 另一個好處在於車輛小而輕，降低對電池關鍵礦物的需求，減輕電池供應鏈的負擔



聚焦於行為面改變

• 不確定性更高

- 行為面改變比潔淨能源轉型更具不確定性(如發展風光趨勢明確)
- 消費者的選擇難以預測，並且可能受到銷售業者藉由各種方式(廣告)來影響
- 藉由政策鼓勵消費者轉向採用永續與低排放能源的商業模式，如要求逐步取消對於累積飛行旅程的優惠，並促進消費者選擇改搭鐵路
- 政策也應解決排放不公平，如私人飛機(私人飛機單位碳排比普通商業航班多 20 倍)

• 飲食



3.4億噸
較1961年成長兩倍多

每克蛋白質
溫室氣體釋放量



<17倍



Created by Loritas Medina from the House Project

<110倍



Created by monkik

- 目前生產的食物約有三分之一被浪費，減少食物浪費可顯著減少農業生產的排放
- IEA與IIASA合作，探討減少食物浪費與轉移部分蛋白質攝入量的影響
- 可減7億噸CO₂-eq，其中是90%是農業N₂O和甲烷排放量的減少，其餘為因不在需要那麼多耕地與生產牲畜飼料，可減少森林砍伐與造林而來

小結

- 需求面四大淨零方向：
 - 能源效率為建築物與工業部門、燃料轉換(電氣化)為運輸部門、抑制需求措施為工業部門、行為面改變為建築物部門為主要方向
- 電力無庸置疑的成為最重要的能源(>50%)，氫與氫能相關用於工業與長途運輸(10%)，生質能基於永續性考量越來越重要(15%)
- 化石燃料必搭配**CCUS**，碳捕獲主要在工業部門
- 行為面改變所提及內容相較於WEO2022，並無特別增加篇幅去描述
 - 減量貢獻有所差異，尤其是運輸中的航空與公路運輸下修不少
- 迅速因應情勢變化調整情境設定

簡報結束 感謝聆聽

簡報結束 感謝聆聽

參考文獻

1. IEA(2022), World Energy Outlook 2022.
2. IEA Global Energy and Climate Model, <https://www.iea.org/reports/global-energy-and-climate-model>
3. IEA(2022), THE BREAKTHROUGH AGENDA REPORT 2022 Accelerating Sector Transitions Through Stronger International Collaboration
4. 古老風力技術捲土重來，旋轉帆為貨輪注入綠色動力，
<https://www.re.org.tw/news/more.aspx?cid=199&id=2255>
5. 劉仕瑀(2021)，IEA 觀點:建築部門逐步達到 2050 近零方法，
https://km.twenergy.org.tw/Knowledge/knowledge_more?id=8736
6. 航運業減碳新招 看上阿摩尼亞，<https://csrone.com/news/6003>
7. 邱雅暄(2022.10.27)，IEA 世界能源展望(WEO 2022)通報內容
8. 簡報中圖示(Icons)下載自<https://thenounproject.com/>

WEO2022 三種情境

(1)氣候承諾情境 (Announced Pledges Scenario, APS) :

- 納入各國最新的氣候承諾，包括國家自主貢獻及長期淨零目標。假設這些承諾如期達成，2100 年全球平均溫升將較工業化前高約 1.7°C。

(2)既定政策情境 (Stated Policies Scenario, STEPS) :

- 探討既定政策下的發展及可能面臨的挑戰，2100 年全球平均溫升將較工業化前高約 2.5°C。

(3)2050淨零排放情境 (Net Zero Emissions by 2050 Scenario, NZE) :

- 全球實現溫升1.5°C目標、且2030年普遍使用現代能源的路徑。

摘自邱雅暄(2022.10.27) · IEA 世界能源展望(WEO 2022)通報內容