



從能源利用 看永續發展

林大惠

國立成功大學 工學院機械工程學系
能源科技與策略研究中心

The size of the world population over the last 12.000 years



聯合國永續發展目標(SDGs)

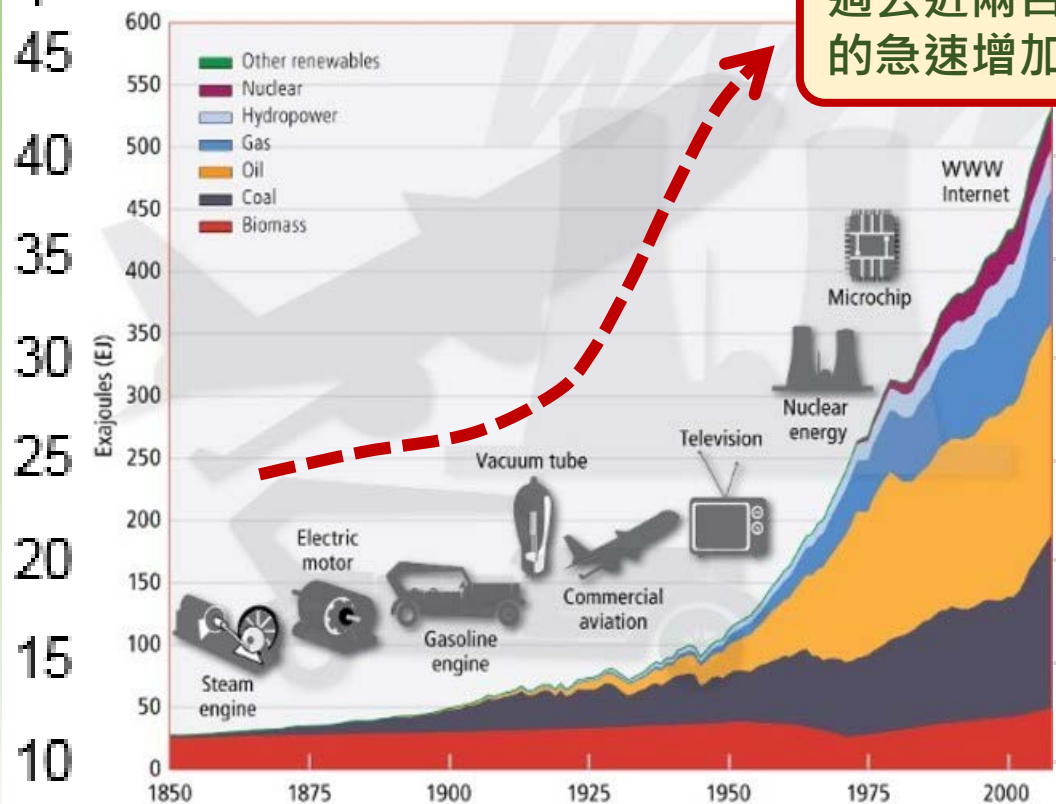


2030

全球能源發展歷史

Energy consumption in the United States (1776-2017)

quadrillion British thermal units



過去近兩百年來，全球能源消費以指數般的急速增加，其中有80%來自化石能源。

fossil fuels
化石能源

petroleum
石油

natural gas
天然氣

coal
煤炭

能源效率與化石能源匱乏
(Fossil Fuel Shortage)

空氣污染 (SO_x , NO_x , PM)

solar energy

太陽能

wind energy

風力

ocean energy

海洋能

geothermal energy

地熱

全球暖化 (CO_2)

nuclear 核能

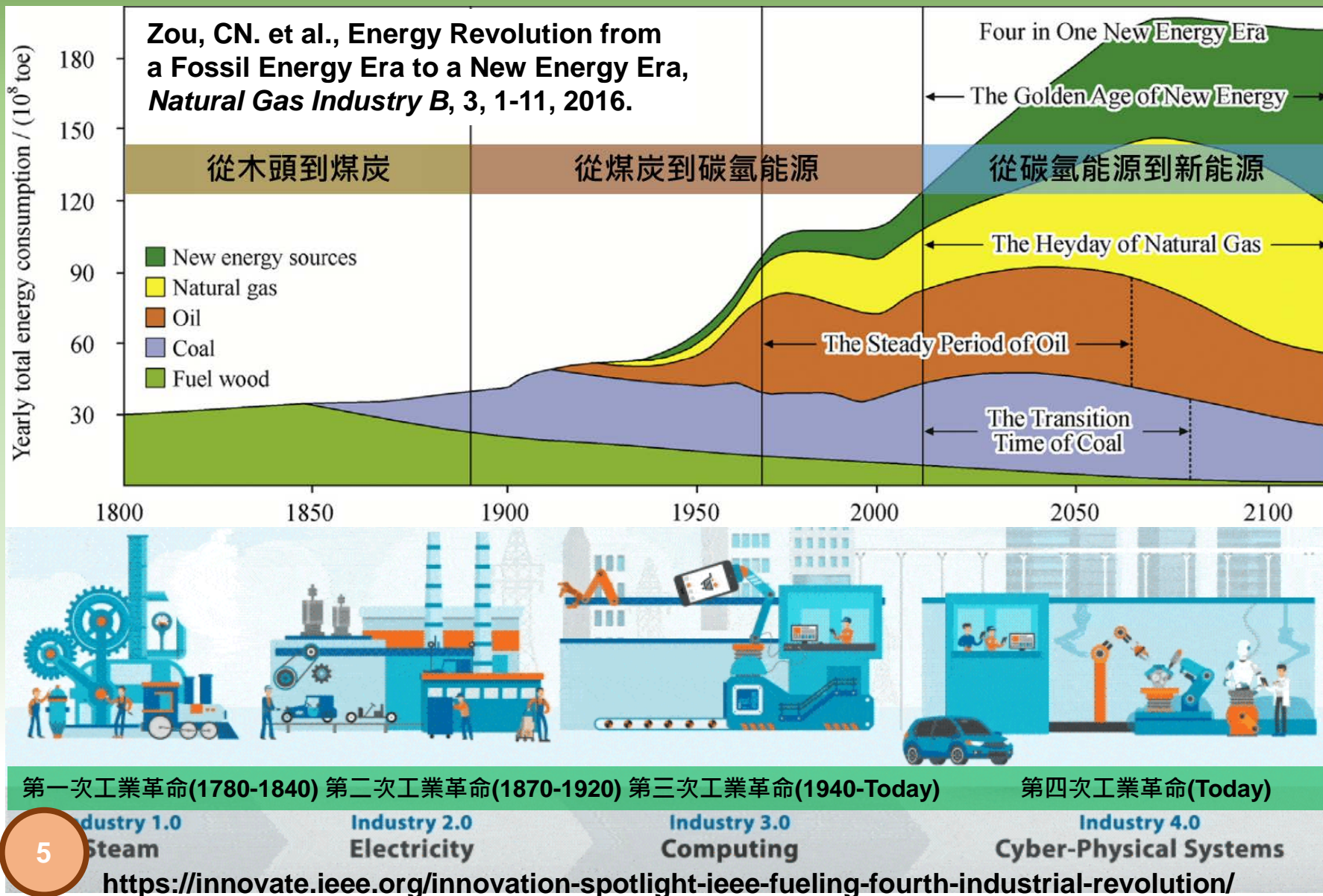
biomass 生質能

other renewables

hydroelectric 水力

2017

能源與工業發展



第一次工業革命：蒸汽時代

→ 以蒸汽為動力、以機器代替人力

- 1784年瓦特改良蒸汽機
- 1807年蒸汽動力輪船/富爾頓
- 1814年蒸汽火車頭/史蒂文生

第二次工業革命：電力時代

→ 發電輸電、內燃機；石油、化學、汽車、飛機和鋼鐵工業興起

- 1866年直流發電機/西門子
- 1882年燃煤電廠/愛迪生電燈公司
- 1885年三輪汽油動力車/賓士
- 1903年汽油動力飛機/萊特兄弟

第三次工業(科技)革命：電算時代

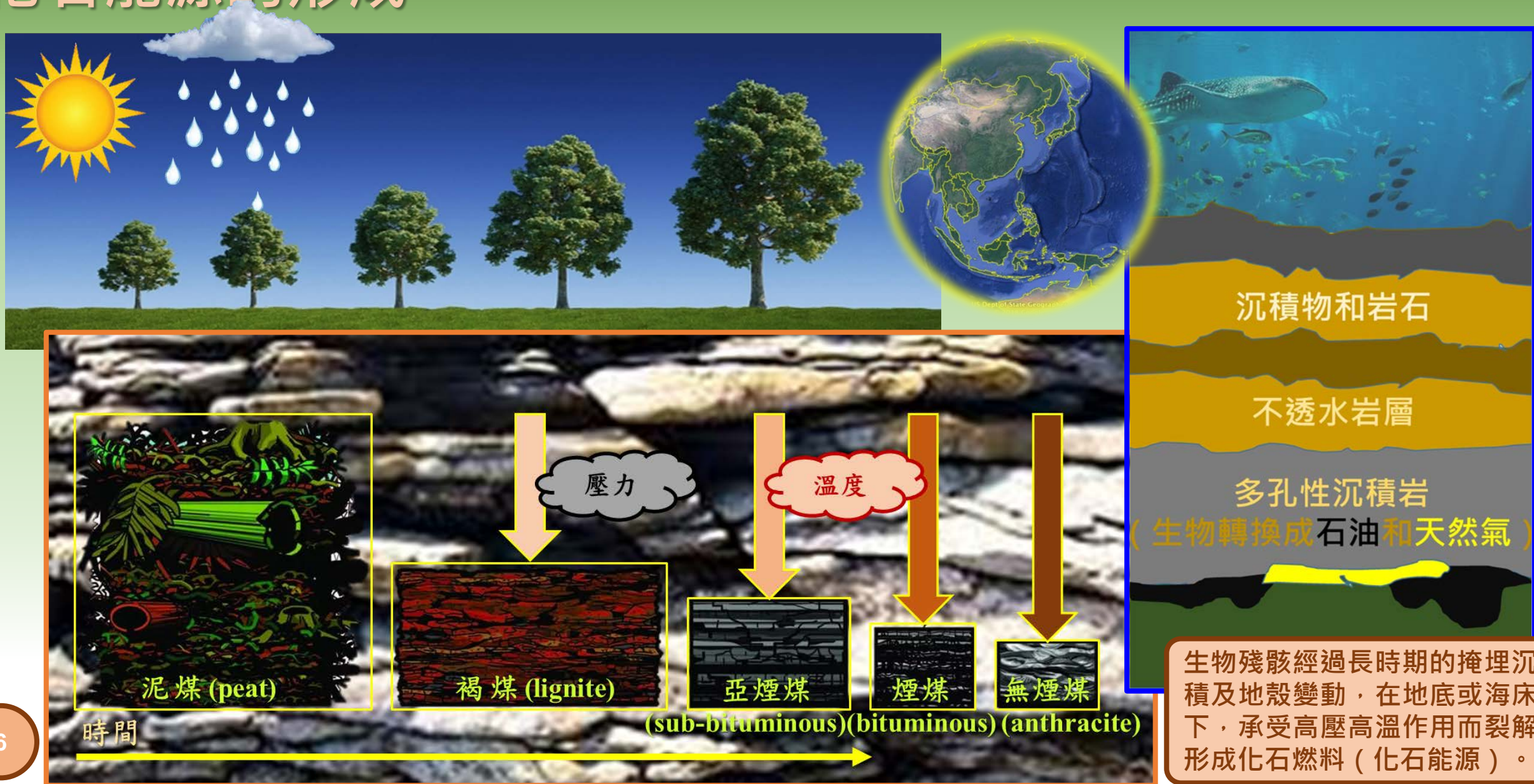
→ 原子能、電腦；航太、資訊、數位、生物科技興起

- 1942年核反應爐/芝加哥大學
- 1945年原子彈試爆成功
- 1945年電子數值積分電腦(ENIAC)
- 1957年蘇聯發射人造衛星
- 1969年人類登陸月球/阿姆斯特壯

第四次工業革命：虛實整合時代

→ 機器人、人工智慧、奈米科技、量子電腦、生物科技、物聯網、物聯網技術、新能源...

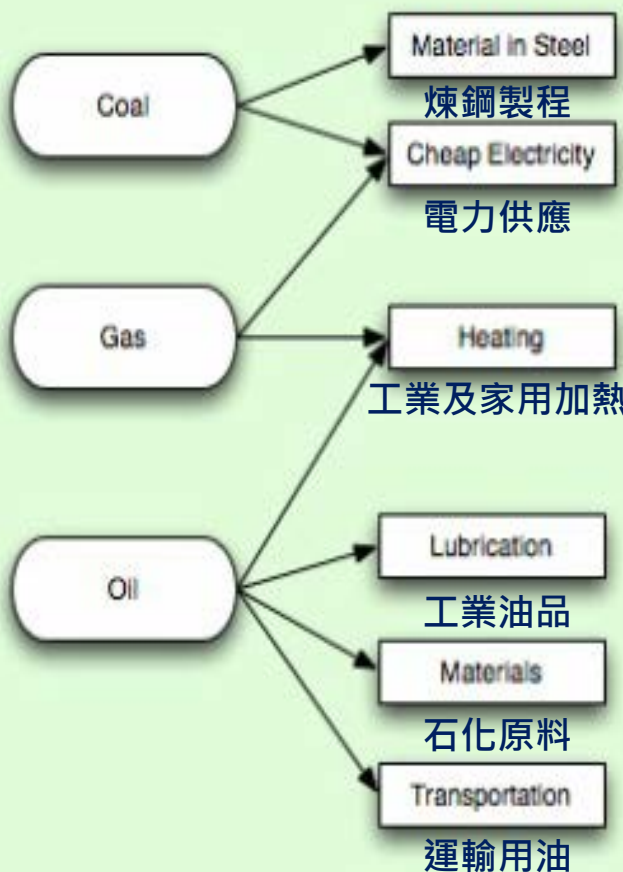
化石能源的形成



化石能源利用

多元利用

Benefits of Fossil Fuels

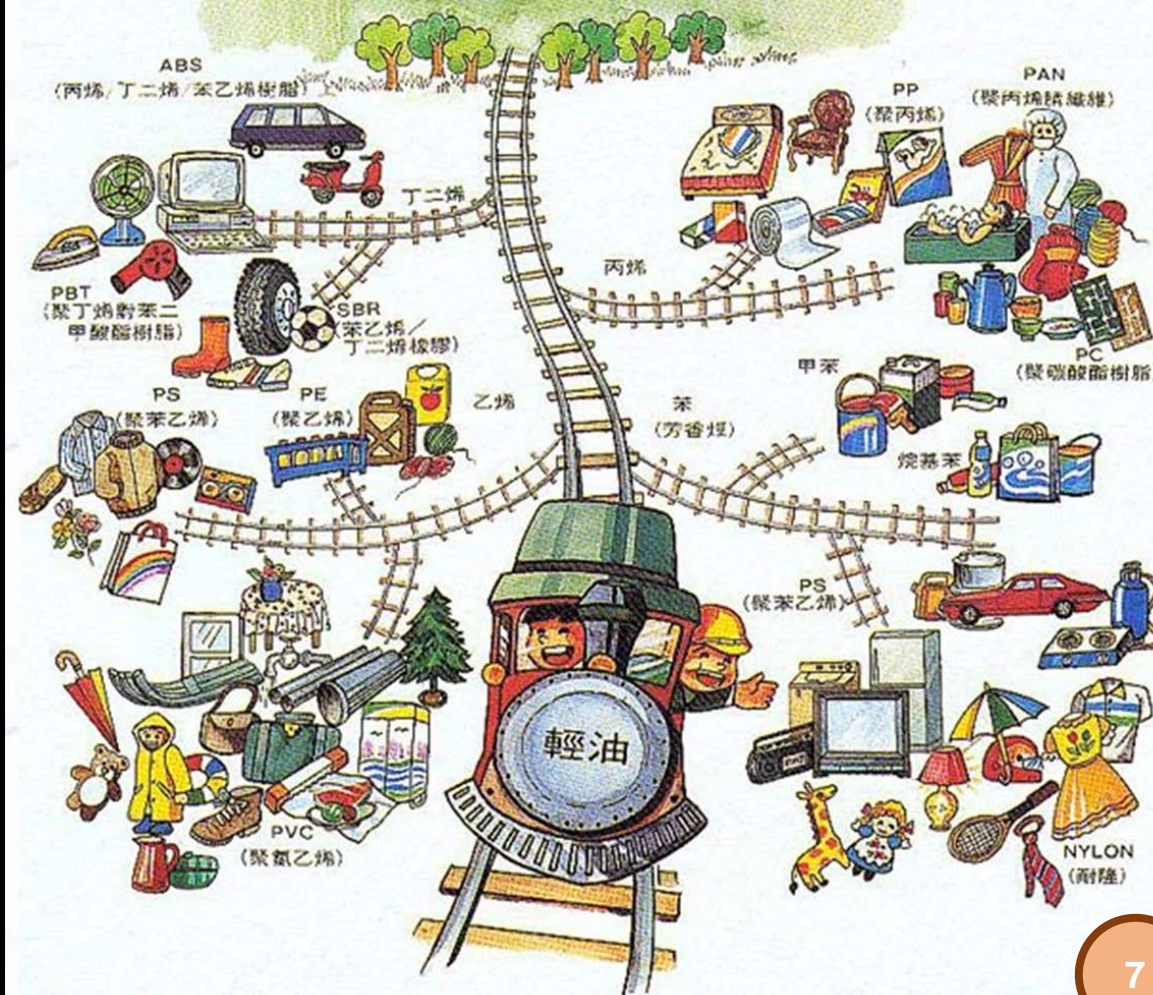


Steel is a key construction material. Electric lights, motors, appliances and other applications are indispensable to our way of life.

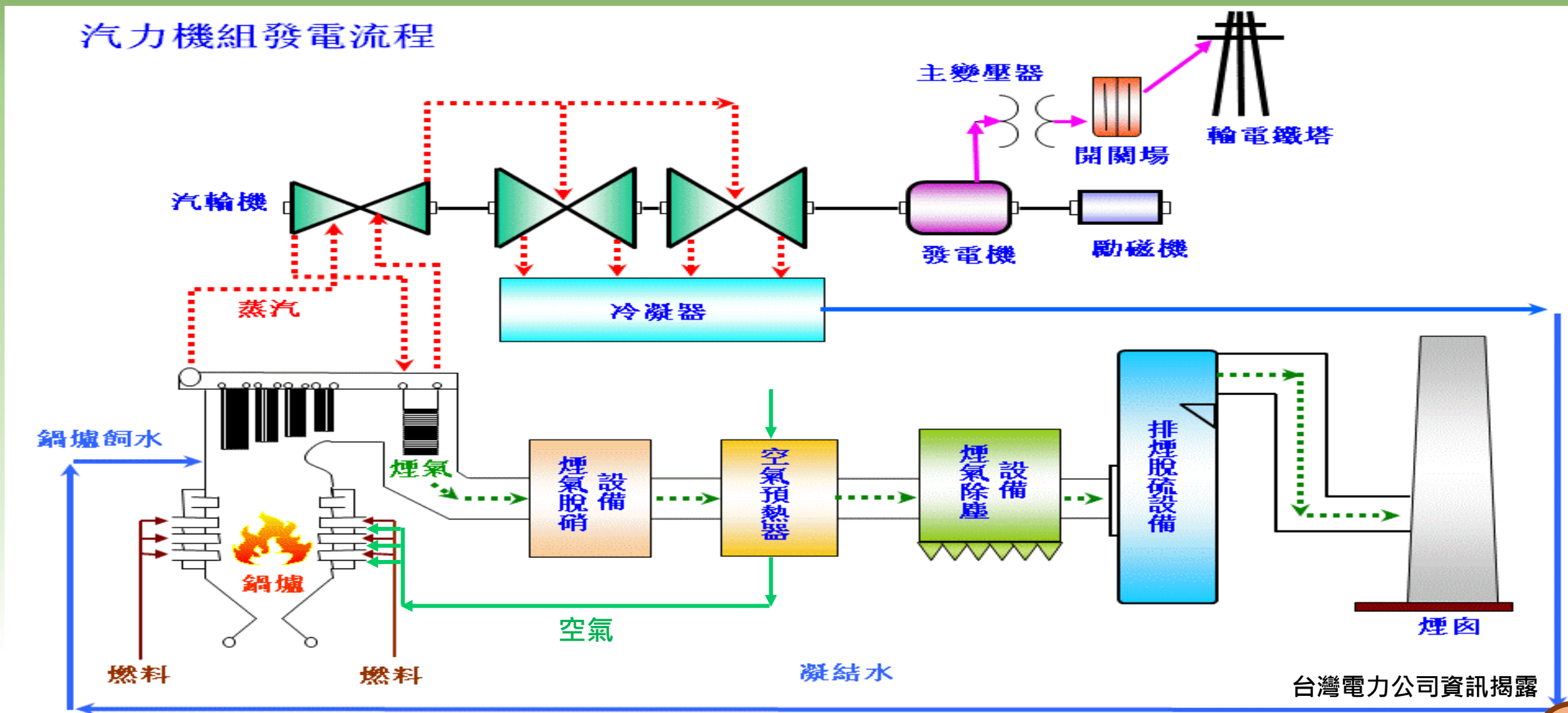
Natural gas is second to coal in generating electricity. In the USA gas is widely used for heating and cooking.

Oil is used for heating. As a lubricant it is essential to every kind of machine. Plastics and other synthetic materials are made from petroleum. Burned as a fuel, oil powers the global fleet of cars, trucks and busses.

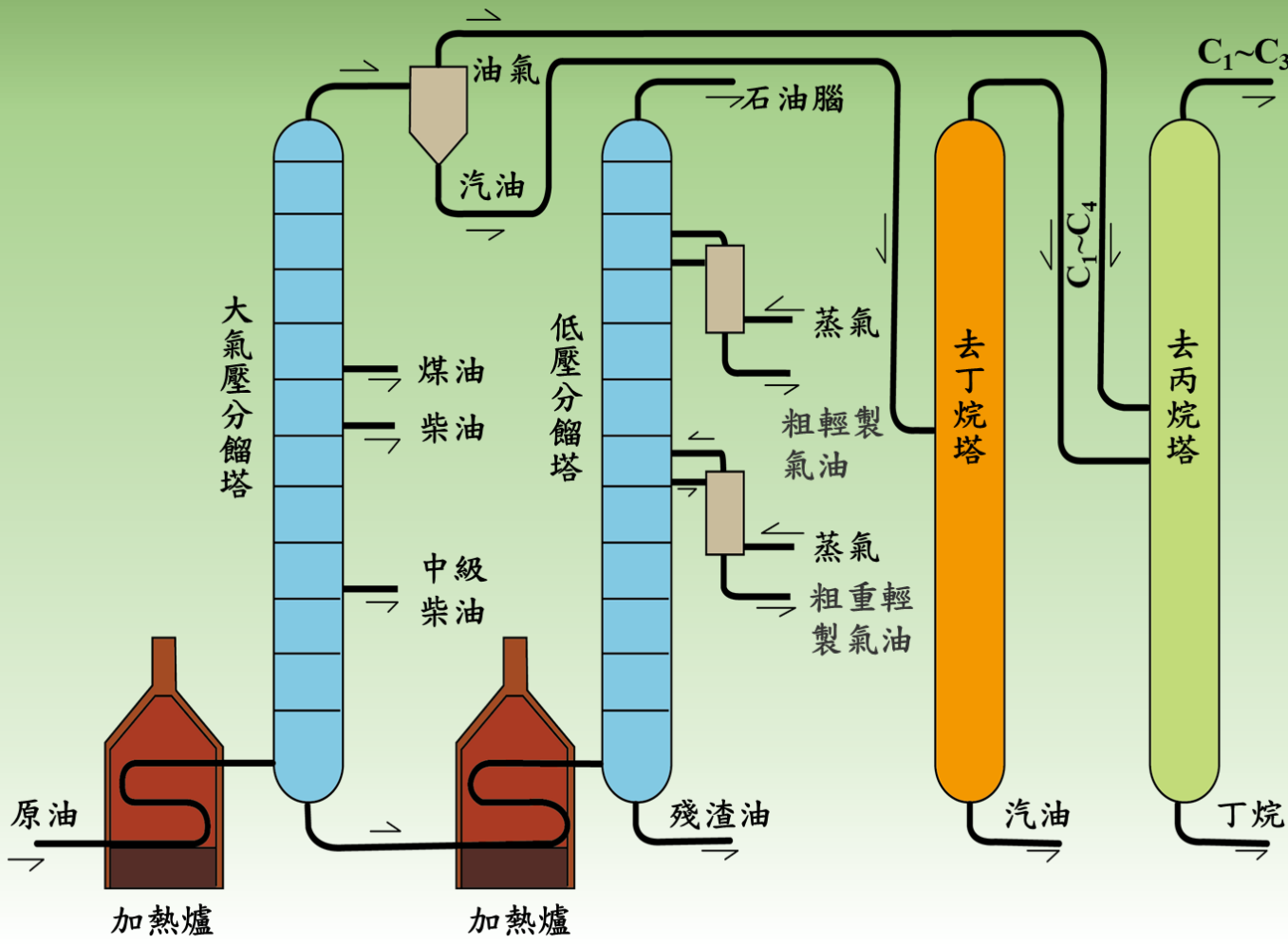
石化工業是經濟發展的火車頭



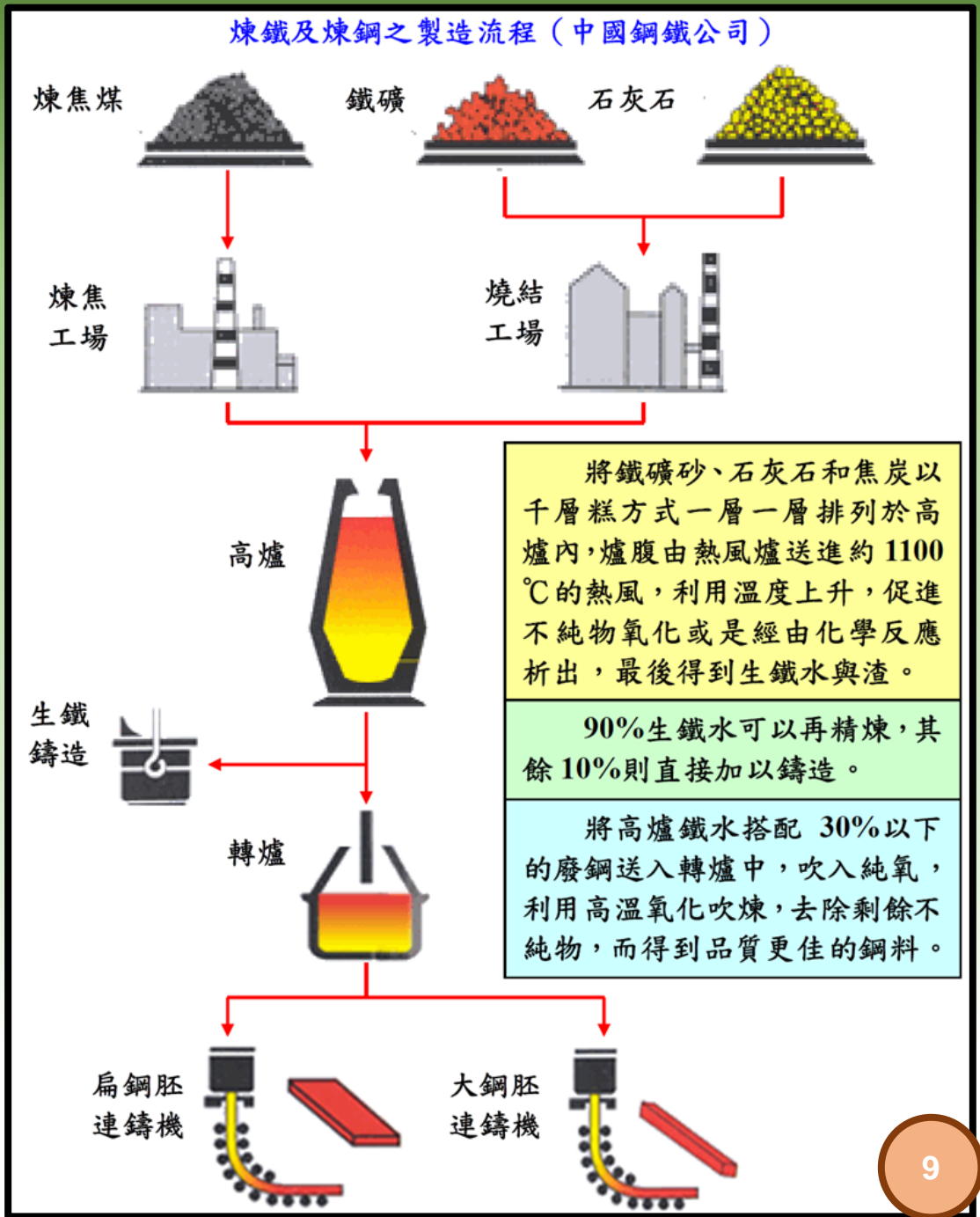
火力發電系統



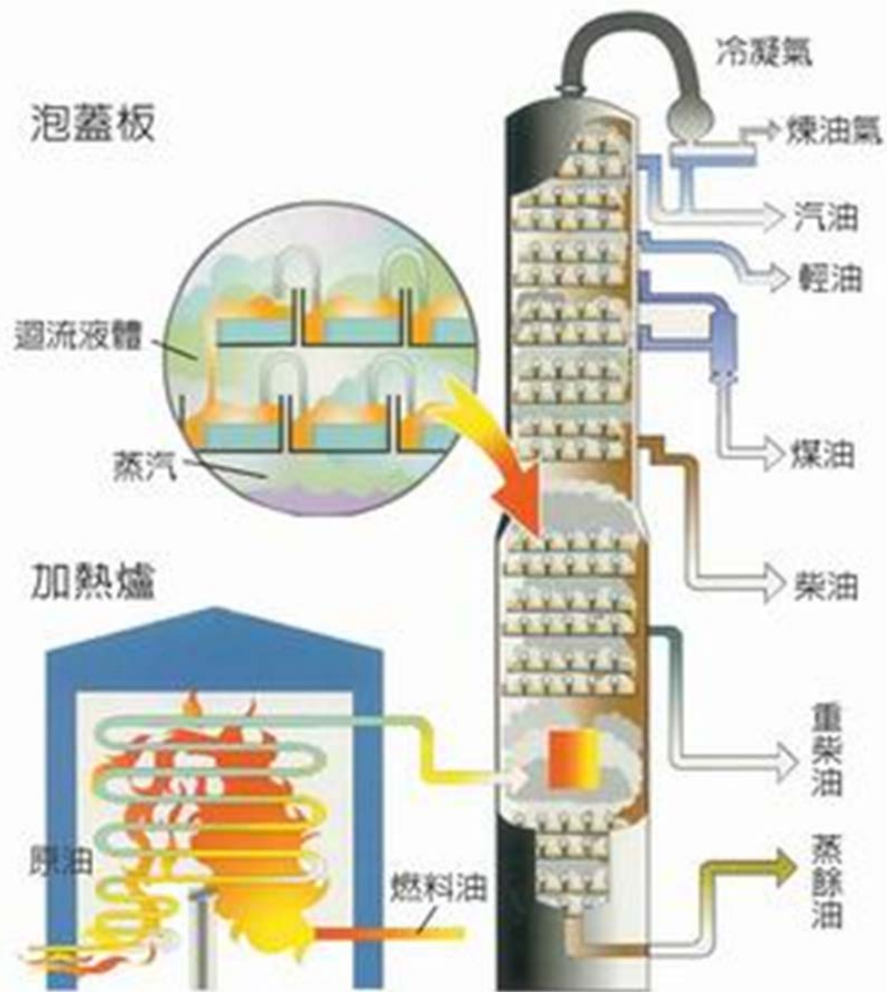
工業製程加熱應用



大氣蒸餾工場(Atmospheric Distillation Unit)
或稱直餾(Topping)工場



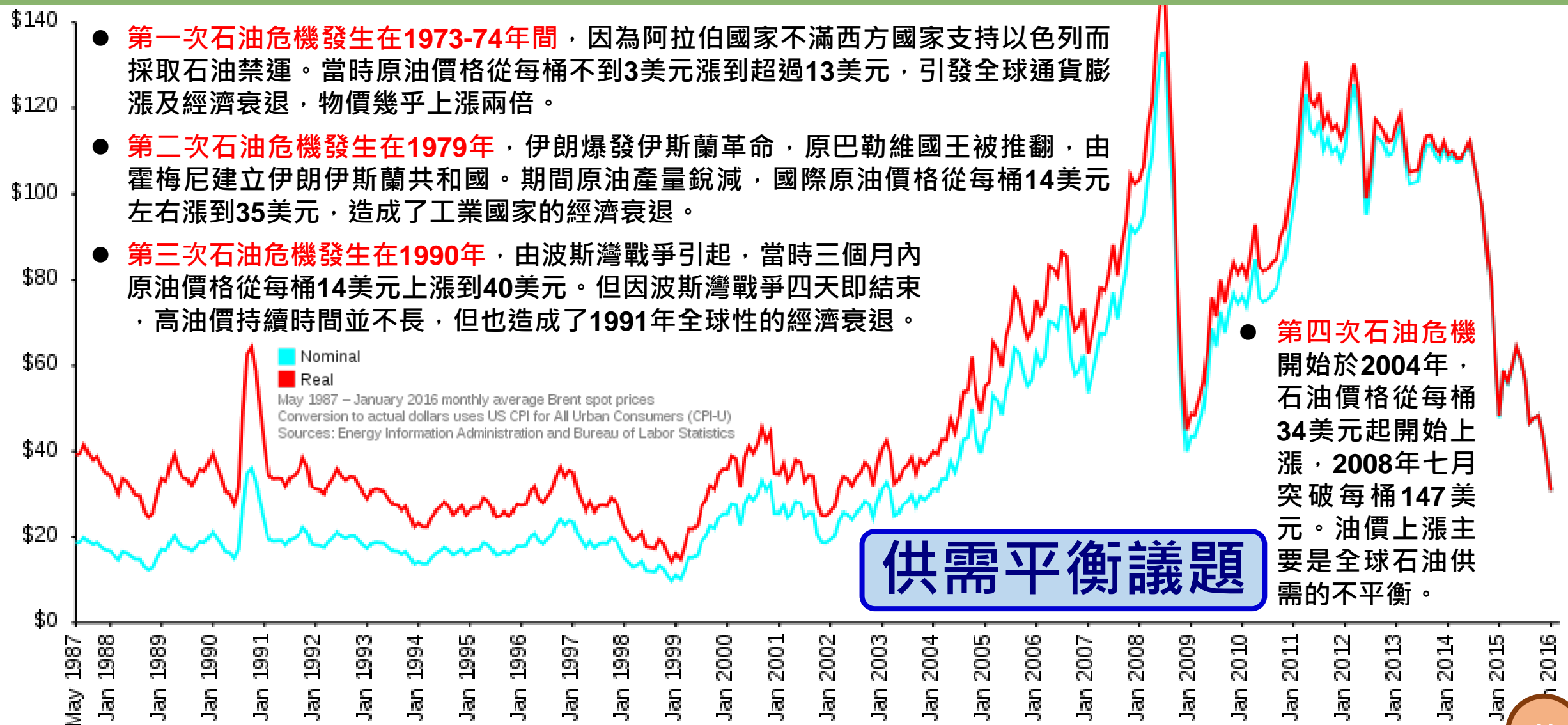
石油化學工業



大氣蒸餾工場或稱直餾工場

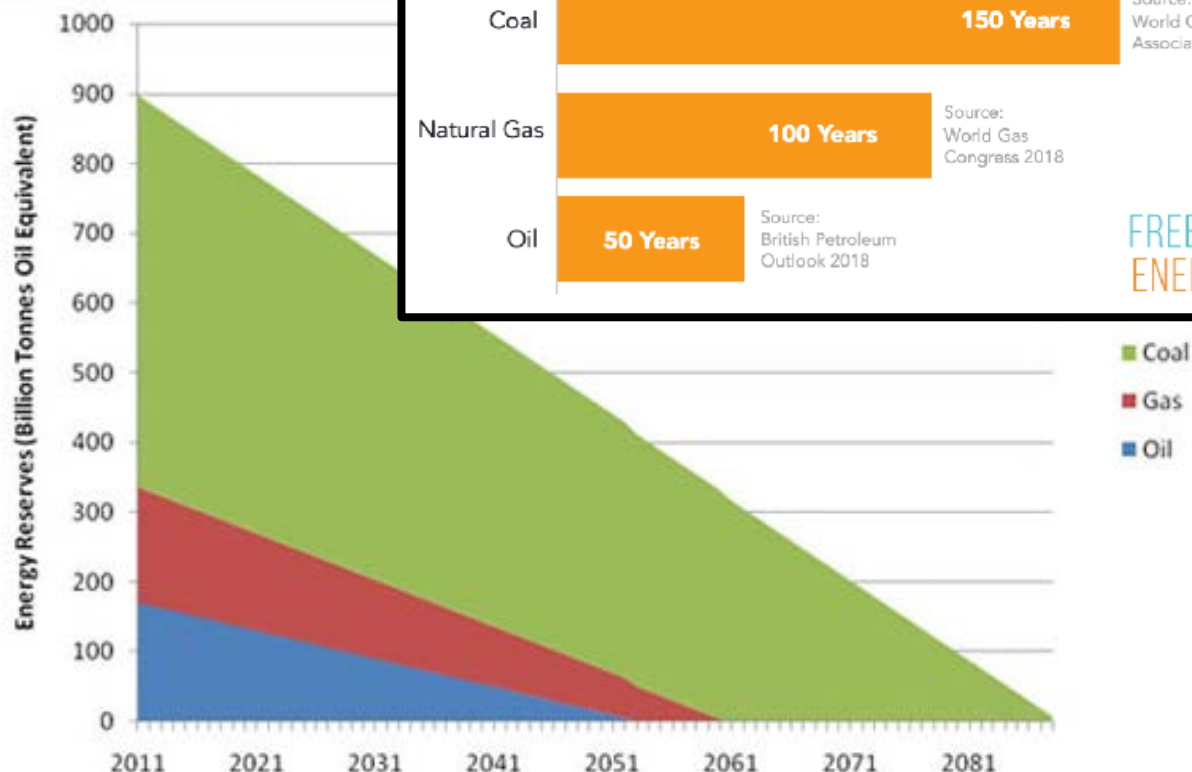


全球石油危機



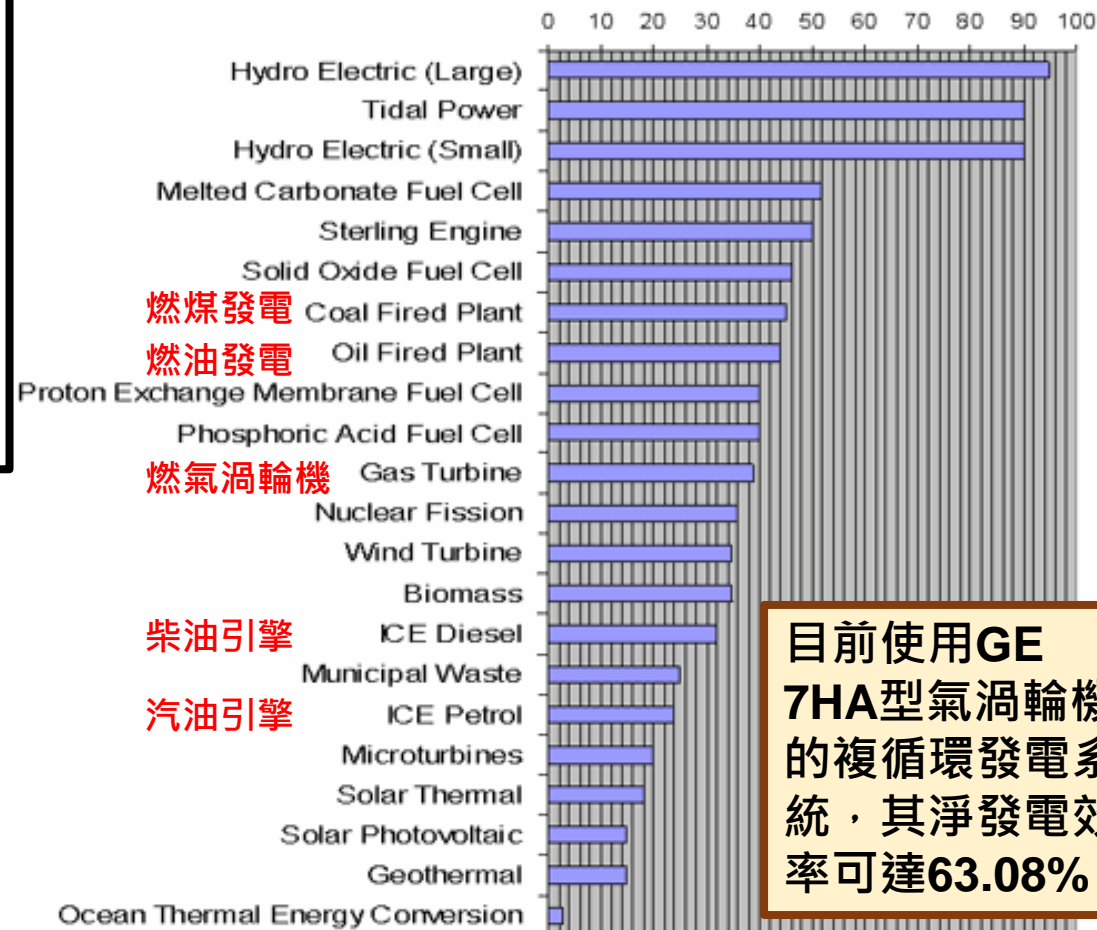
化石能源匱乏

Industry estimates of economically viable fossil fuel reserves



<https://www.ecotricity.co.uk/our-green-energy/energy-independence/the-end-of-fossil-fuels>

Electricity Generation Efficiencies (%)



燃煤發電

燃油發電

燃氣渦輪機

柴油引擎

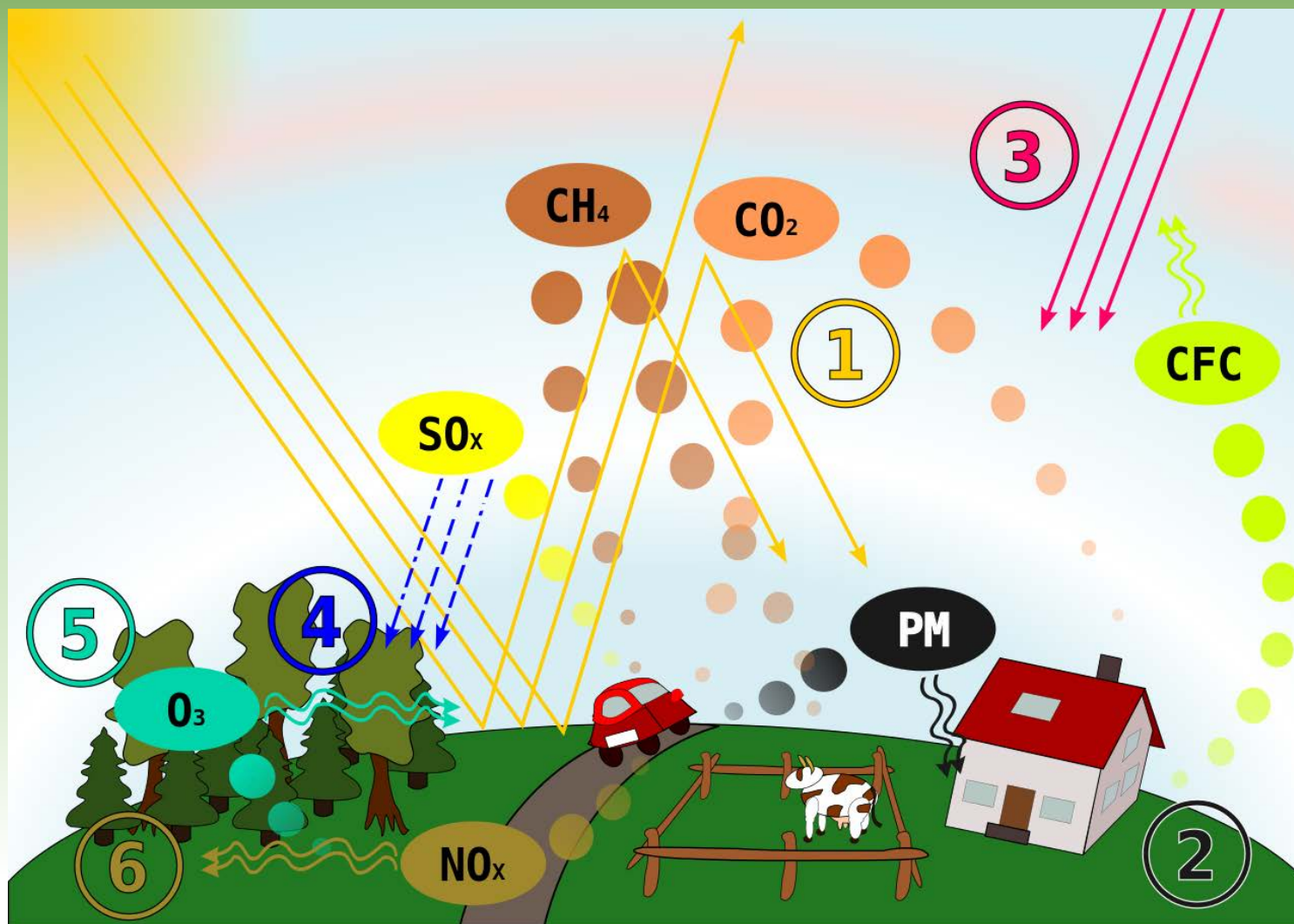
汽油引擎

目前使用GE 7HA型氣渦輪機的複循環發電系統，其淨發電效率可達63.08%。

Electropaedia, https://www.mpoweruk.com/energy_efficiency.htm

蘊藏量有限、開採量增加、使用效率低

化石能源與空污排放

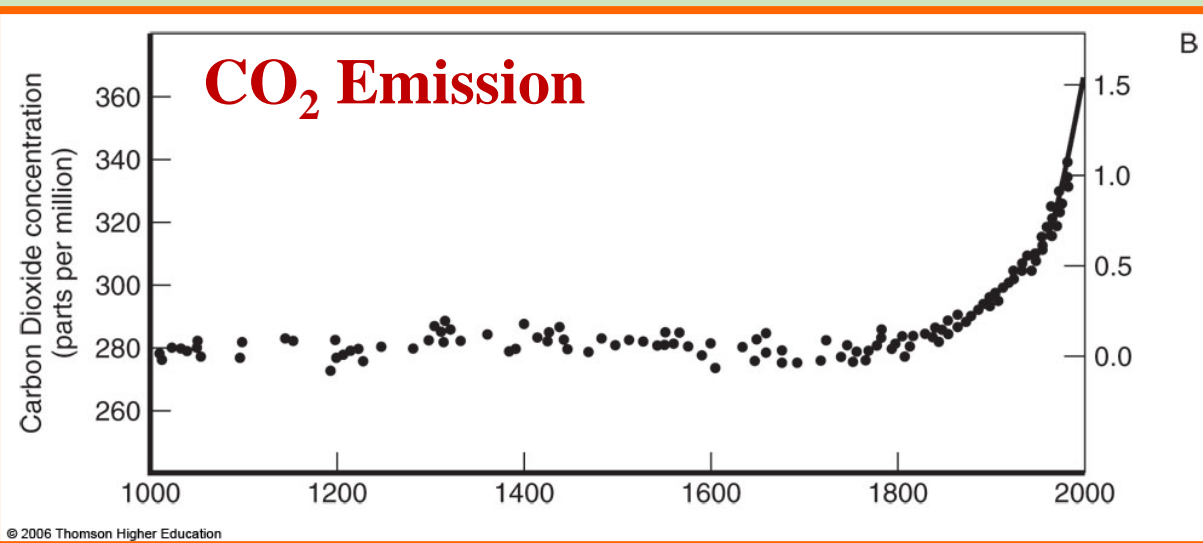
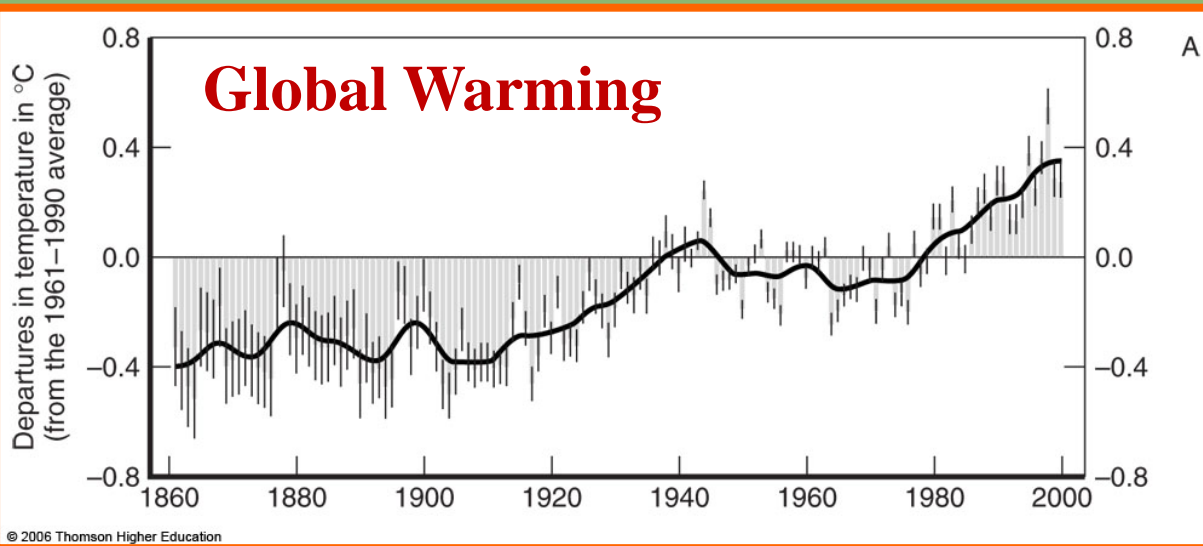


- (1) greenhouse effect
溫室效應(CO_2)
- (2) particulate contamination
懸浮微粒(PM)
- (2) increased UV radiation
- (3) acid rain 酸雨(SO_x , NO_x)
- (4) increased ground-level
ozone concentration 臭氧(O_3)
- (5) increased levels of nitrogen
oxides 氮氧化物(NO_x)

CO , CO_2 , PM, SO_x , NO_x 是燃燒化石燃料所產生的空污排放。 NO_x 與揮發性有機物(VOCs)在太陽光作用下，將進一步反應形成地面臭氧(O_3)。

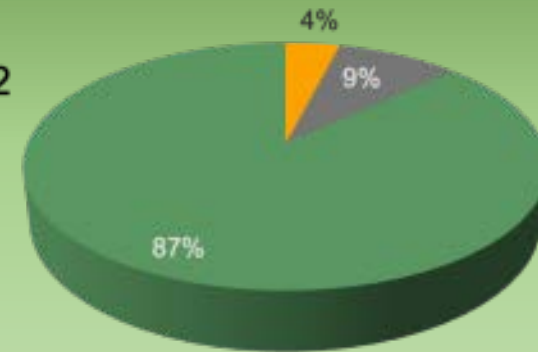
This file was derived from: Luftverschmutzung-Ursachen & Auswirkungen.svg, CC BY 3.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=12276663>

二氧化碳排放

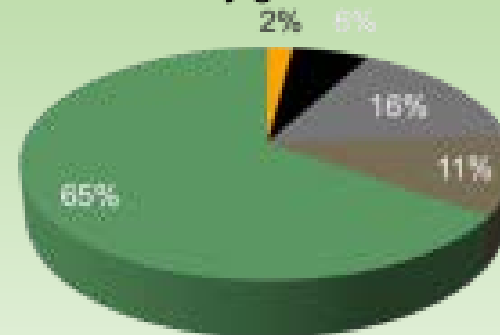


Human sources of CO₂

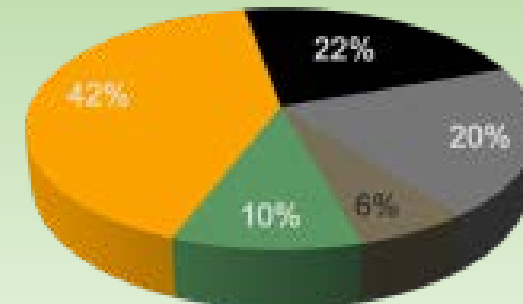
- Industrial processes
- Fossil fuel use
- Land use changes



Global greenhouse gas emissions
by gas



Sources of CO₂ emissions from
fossil fuels



Fluorinated gases

Nitrous oxide

Methane

CO₂ (from forestry and other land use)

CO₂ (from fossil fuels and industrial processes)

Electricity and heat generation

Transportation sector

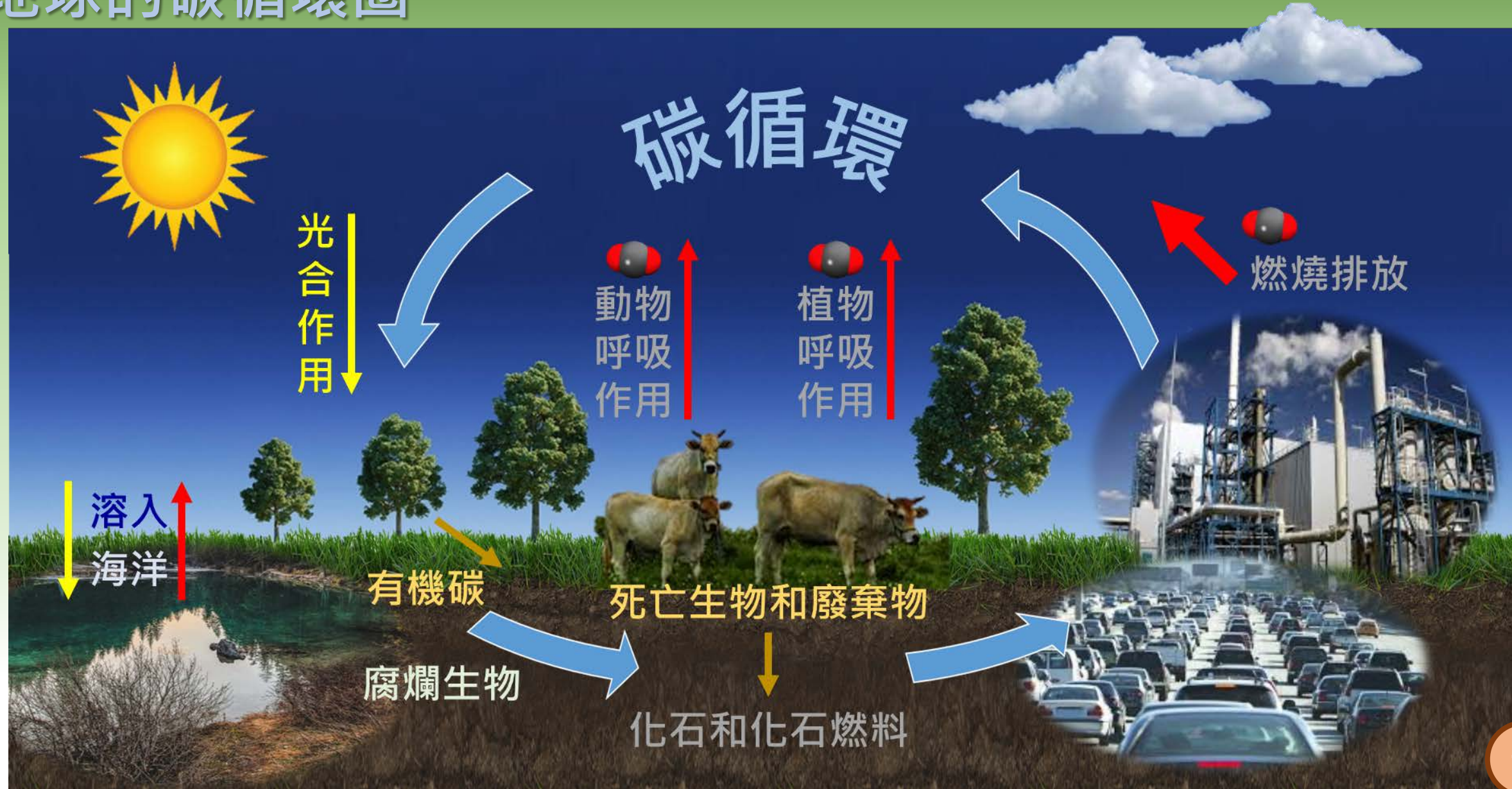
Industrial sector

Residential

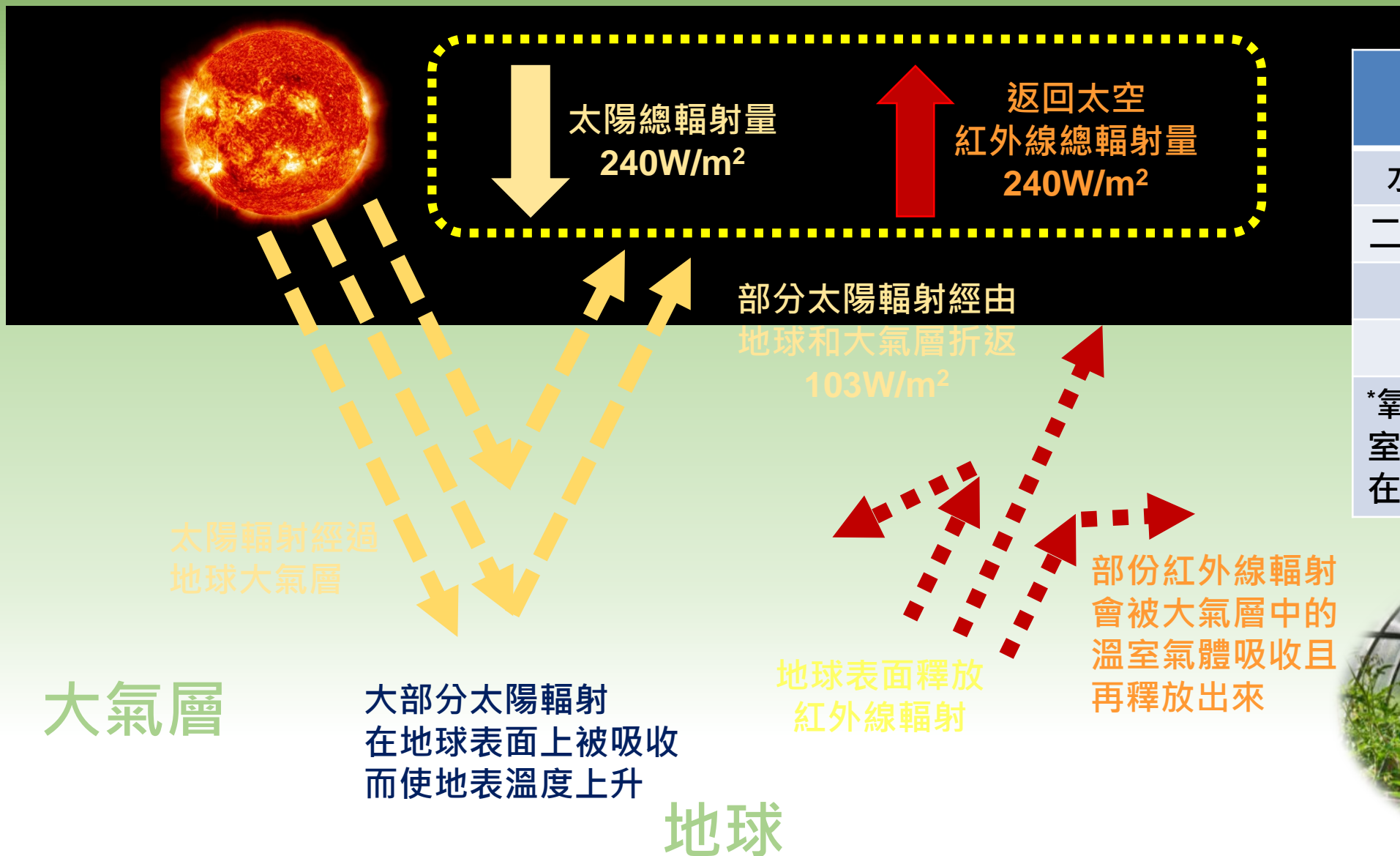
Other

<https://heatpower.com/the-power-of-heat/the-case-against-co2/top-10-sources-of-co2/>

地球的碳循環圈



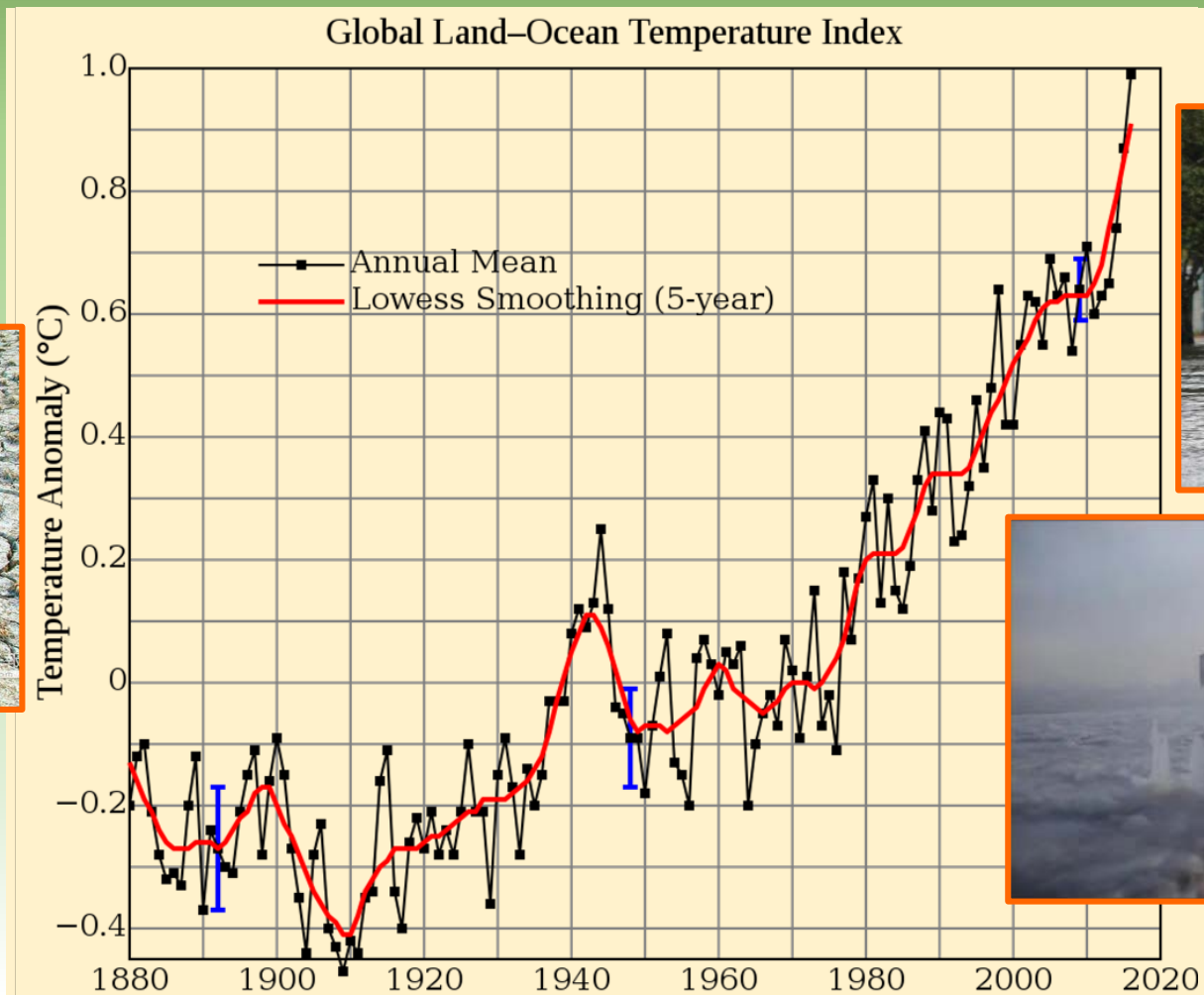
溫室效應



溫室氣體種類*	溫室效應貢獻比例(%)
水蒸氣H ₂ O	36-72
二氧化碳CO ₂	9-26
甲烷CH ₄	4-9
臭氧O ₃	3-7
*氧化亞氮和氟氯碳化物的溫室效應貢獻比例較低，不列在表中。	



全球暖化與氣候變遷

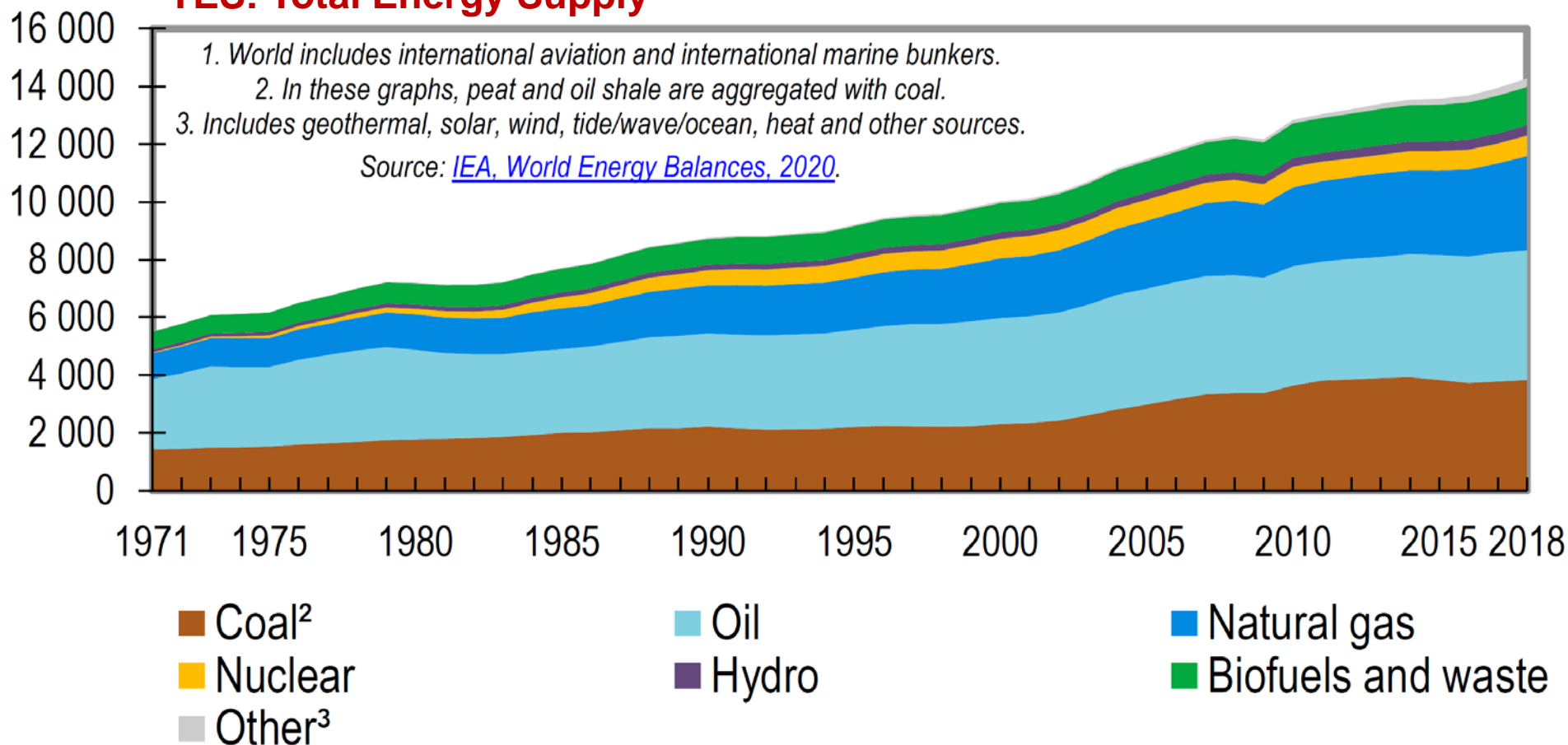


By NASA Goddard Institute for Space Studies -
<http://data.giss.nasa.gov/gistemp/graphs/>, Public Domain,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=24363898>

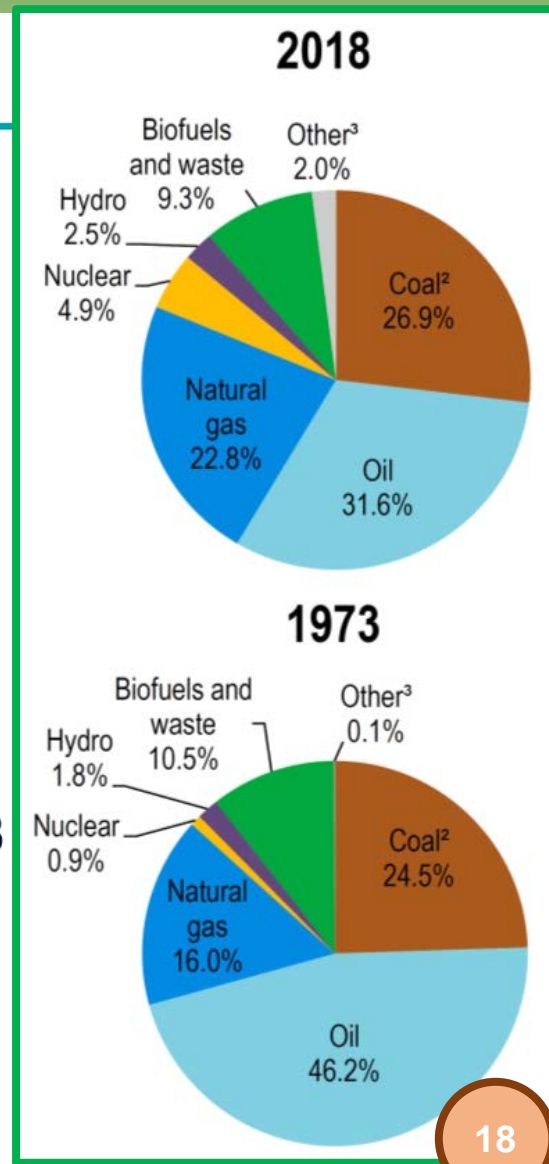
全球能源供應變化趨勢

World¹ TES from 1971 to 2018 by source (Mtoe)

TES: Total Energy Supply

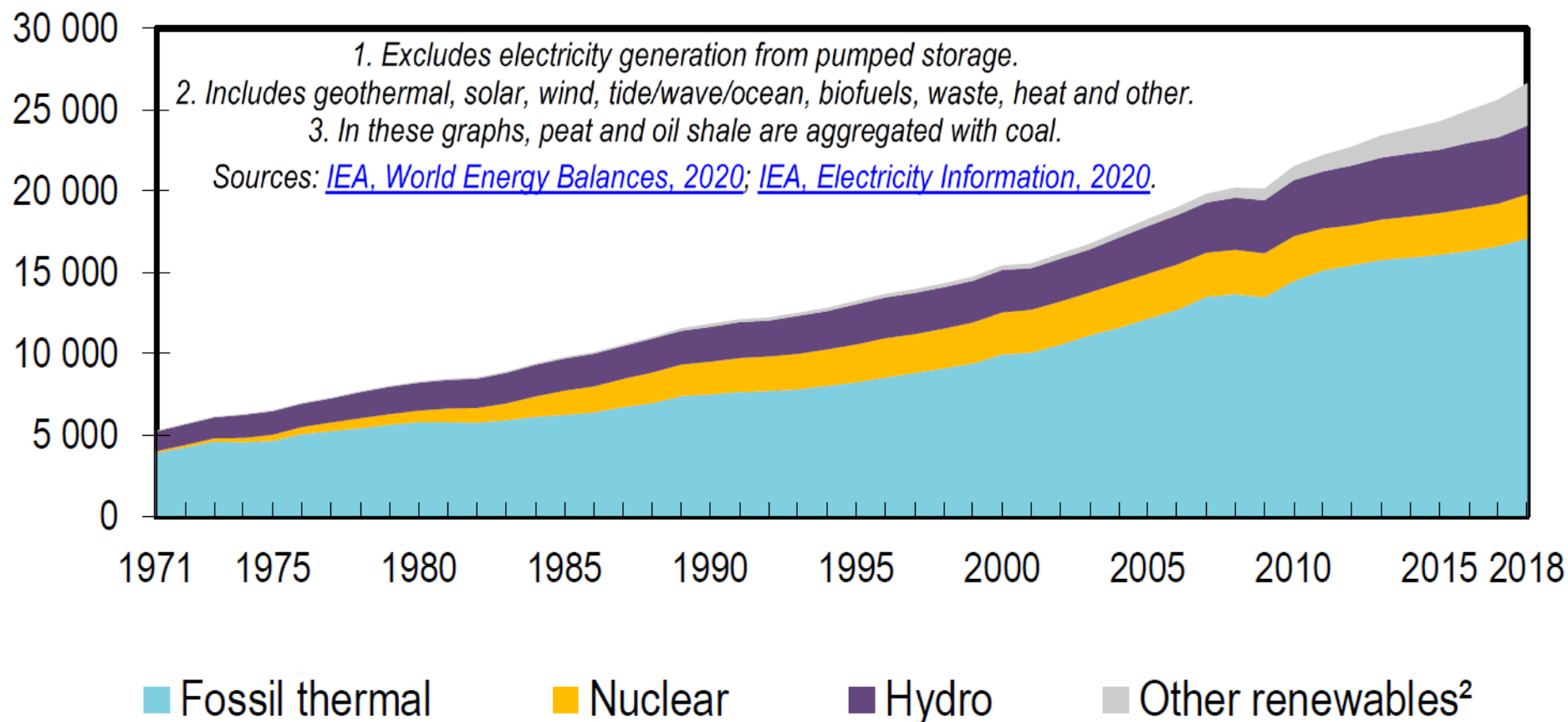


Key World Energy Statistics, IEA, 2020

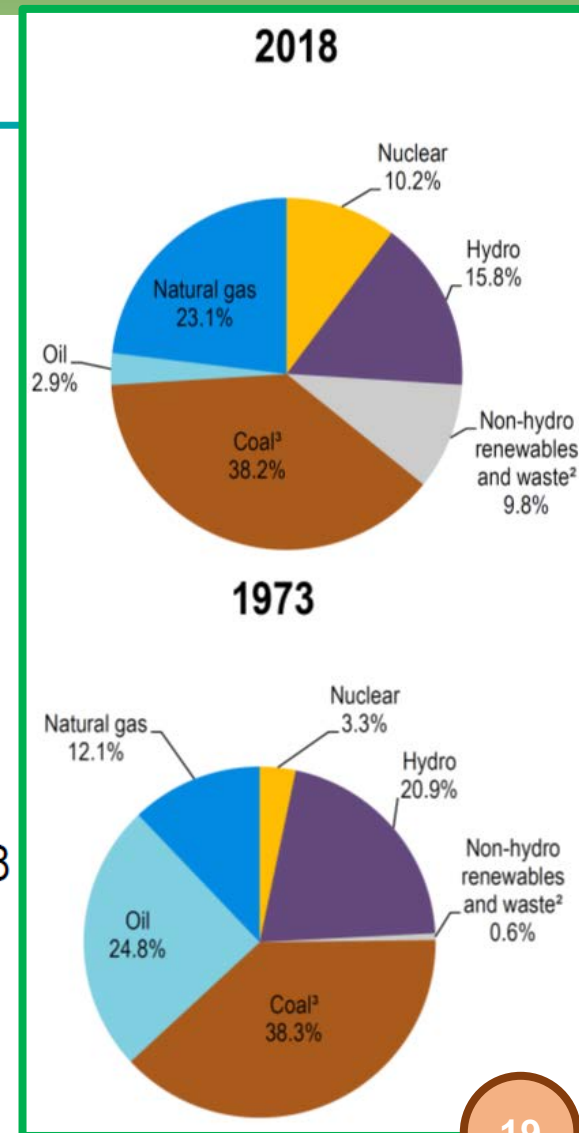


全球電力供應變化趨勢

World electricity generation¹ from 1971 to 2018 by fuel (TWh)

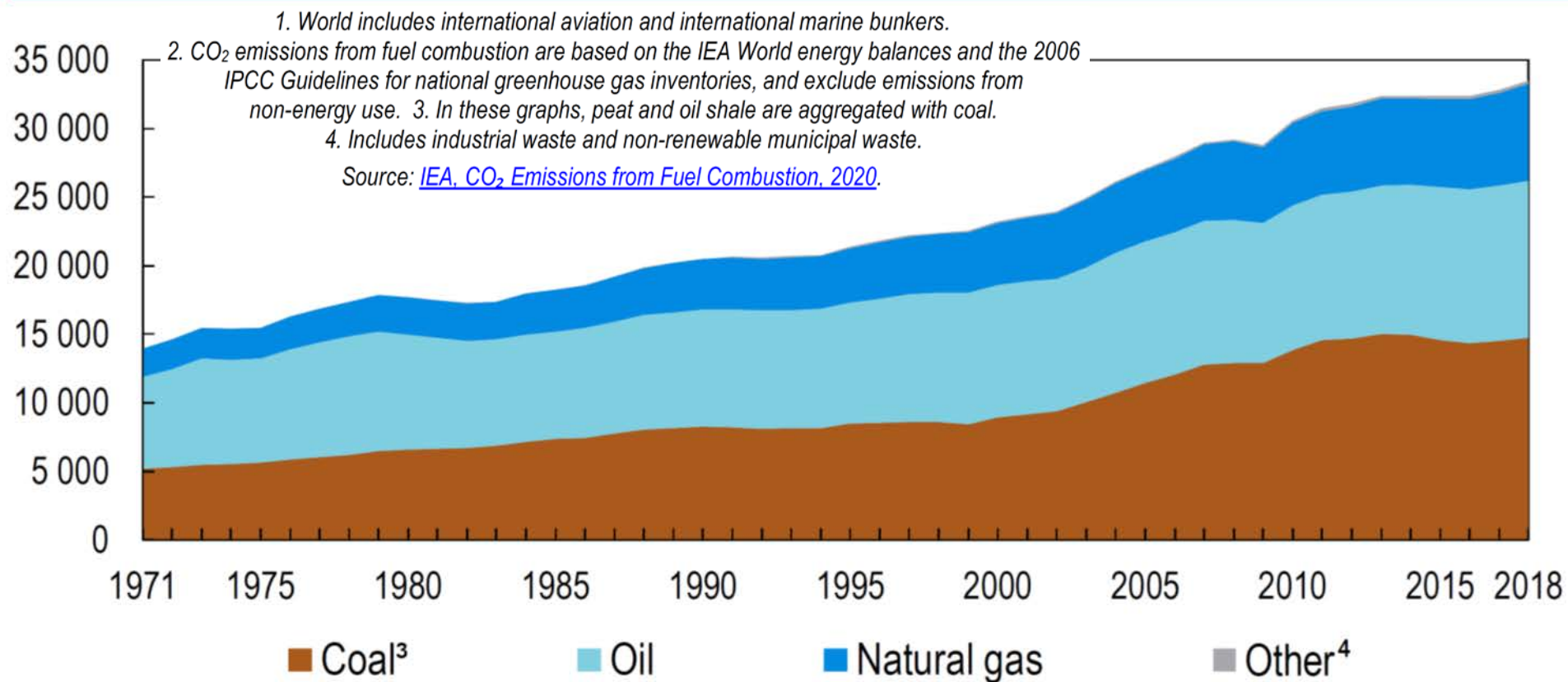


Key World Energy Statistics, IEA, 2020

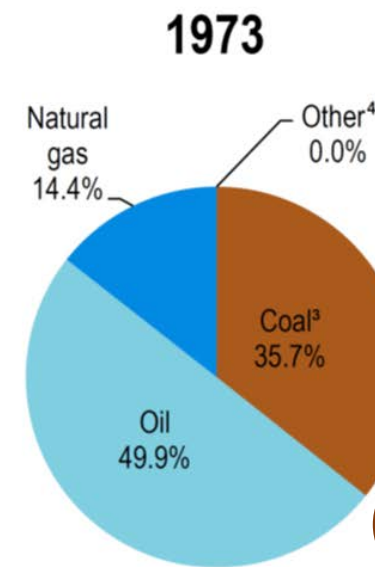
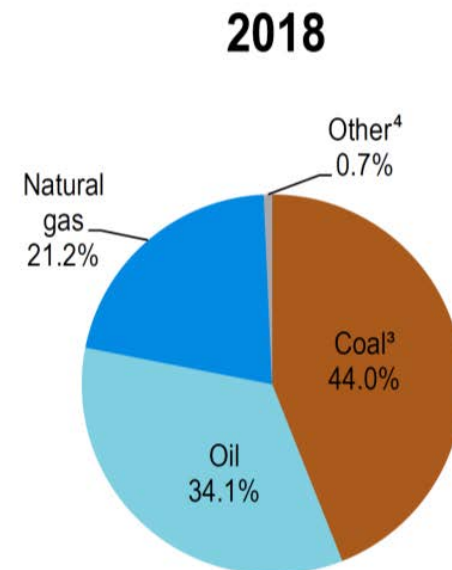


全球二氧化碳排放變化趨勢

World¹ CO₂ emissions from fuel combustion² from 1971 to 2018 by fuel (Mt of CO₂)



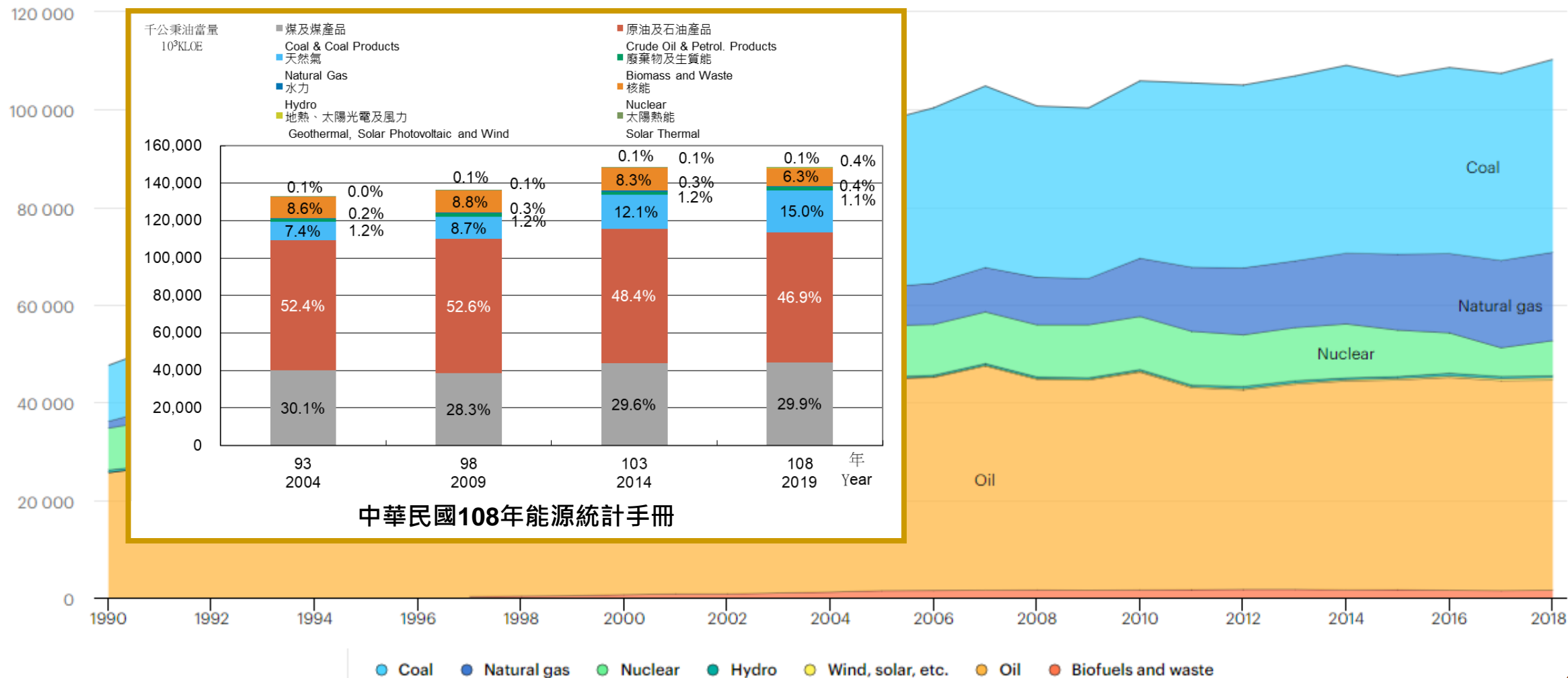
Key World Energy Statistics, IEA, 2020



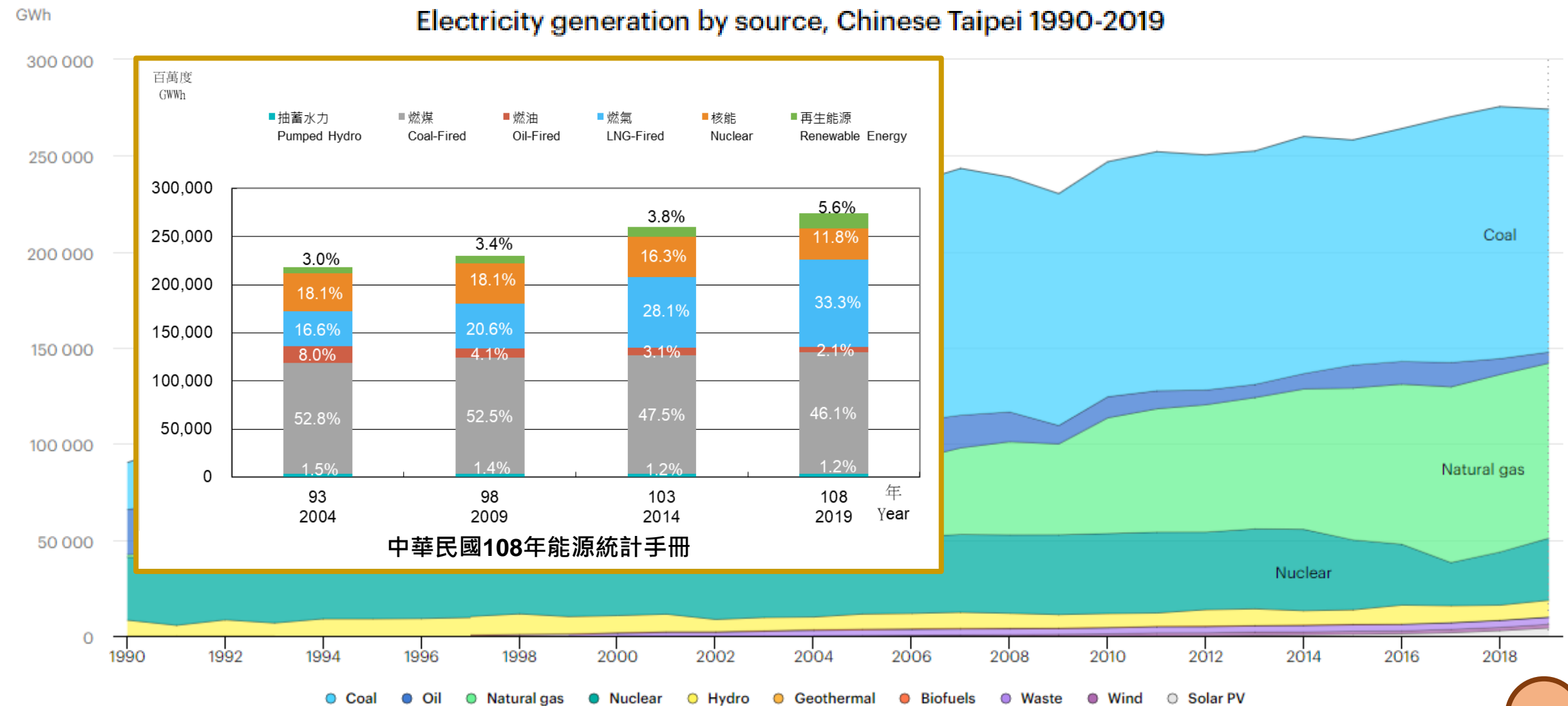
臺灣能源供應變化趨勢

ktoe

Total energy supply (TES) by source, Chinese Taipei 1990-2018



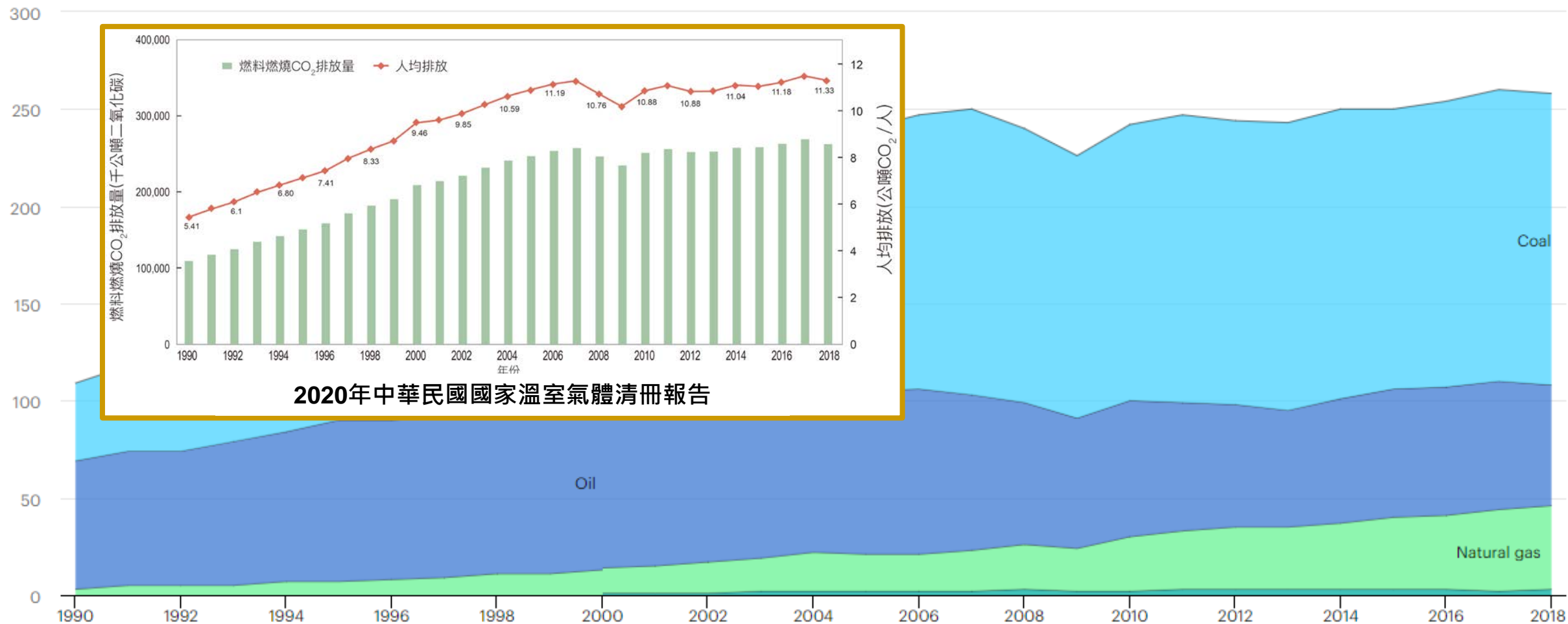
臺灣電力供應變化趨勢



臺灣二氧化碳排放變化趨勢

Mt CO₂

CO₂ emissions by energy source, Chinese Taipei 1990-2018



臺灣能源分析

能源安全

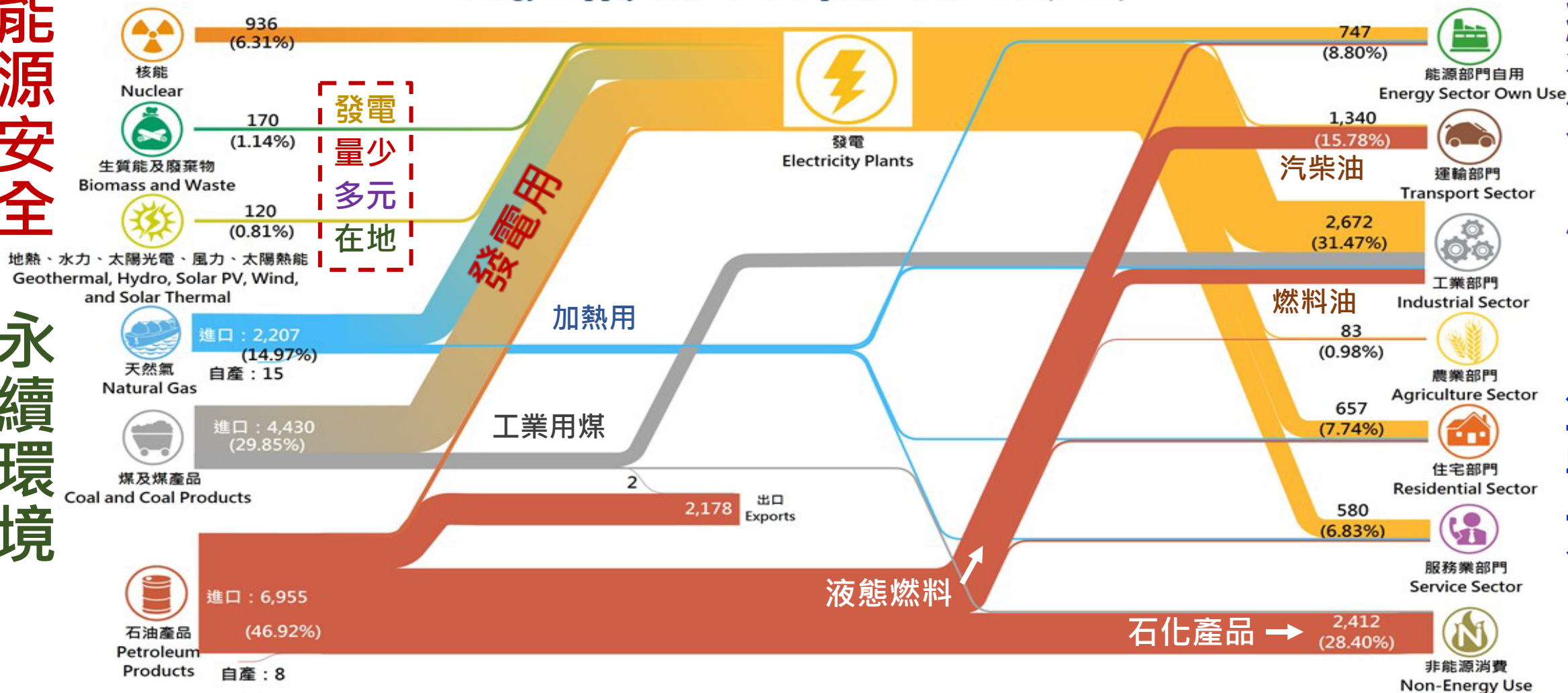
永續環境

經濟發展

民生需求

1.能源供給與消費流程圖(民國108年)
Energy Supply and Consumption Flowchart (2019)

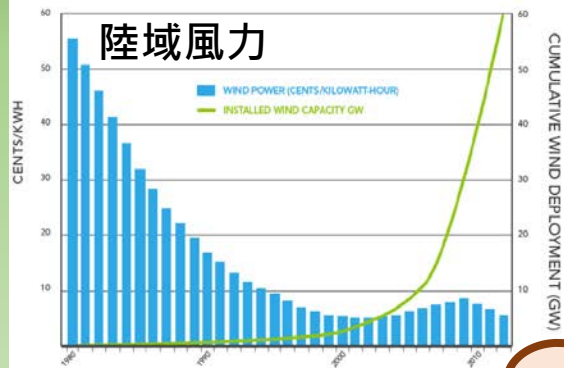
單位：萬公秉油當量
Unit: 10⁴KLOE



多元能源利用趨勢

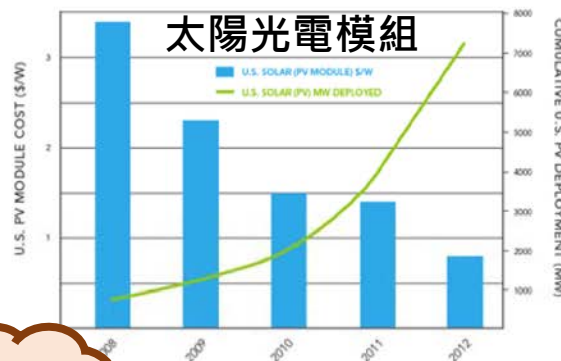
Deployment and Cost for U.S. Land-Based Wind
1980-2012

陸域風力



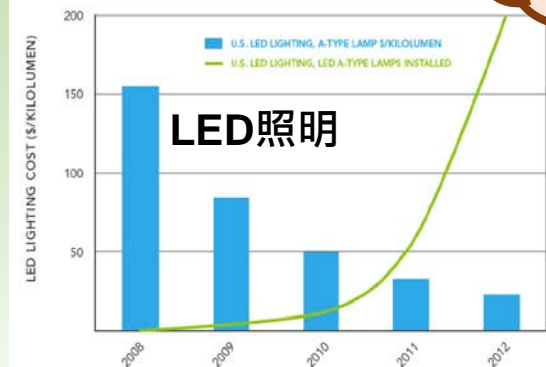
U.S. Deployment and Cost for Solar PV Modules
2008-2012

太陽光電模組



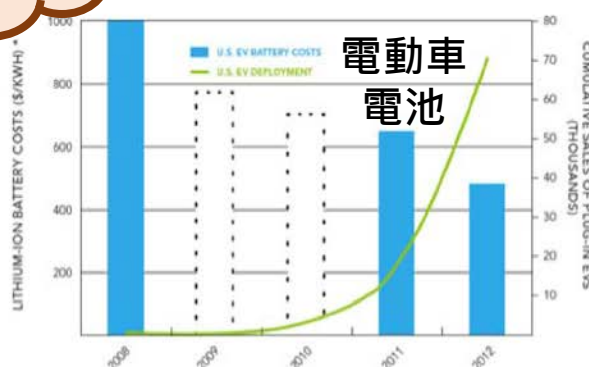
Deployment and Cost for A-Type LED
2008-2012

LED照明



Deployment and Cost for Electric Vehicles and Batteries*
2008-2012

電動車
電池



發展

Existing energy systems have served us well... but a clean energy
future needs a modernized and integrated infrastructure.



挑戰

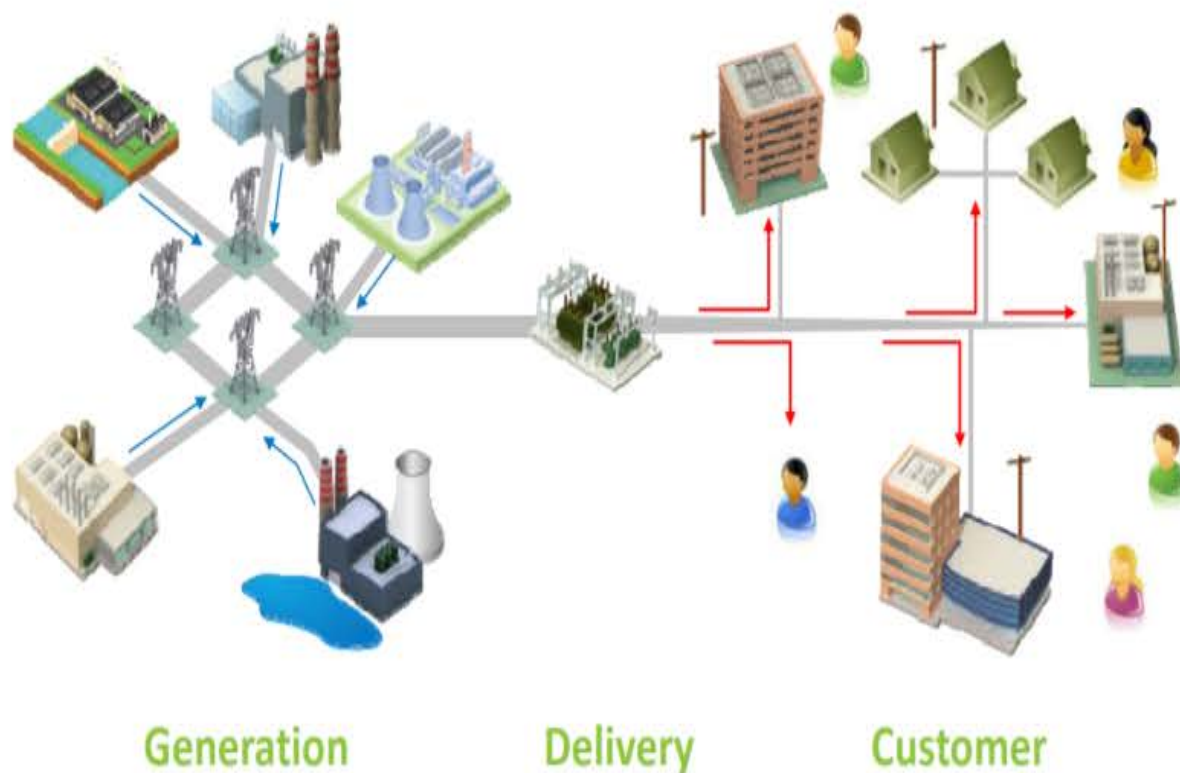


Bryann Hanneggan, Energy Systems Integration, National Renewable Energy Laboratory, USA, June 2015.

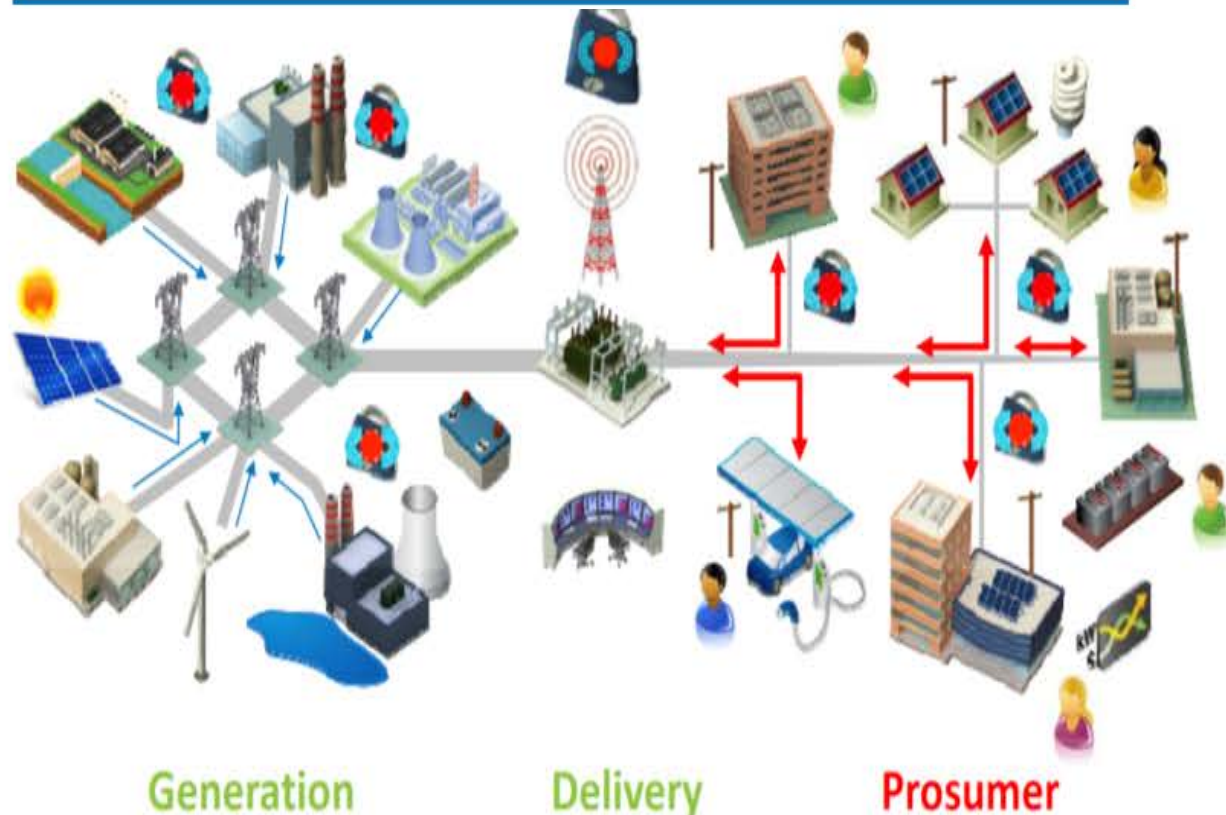
多元化、低碳化、分散化、智能化

電力多元供需趨勢

Today's Electricity Grid



Tomorrow's Power System



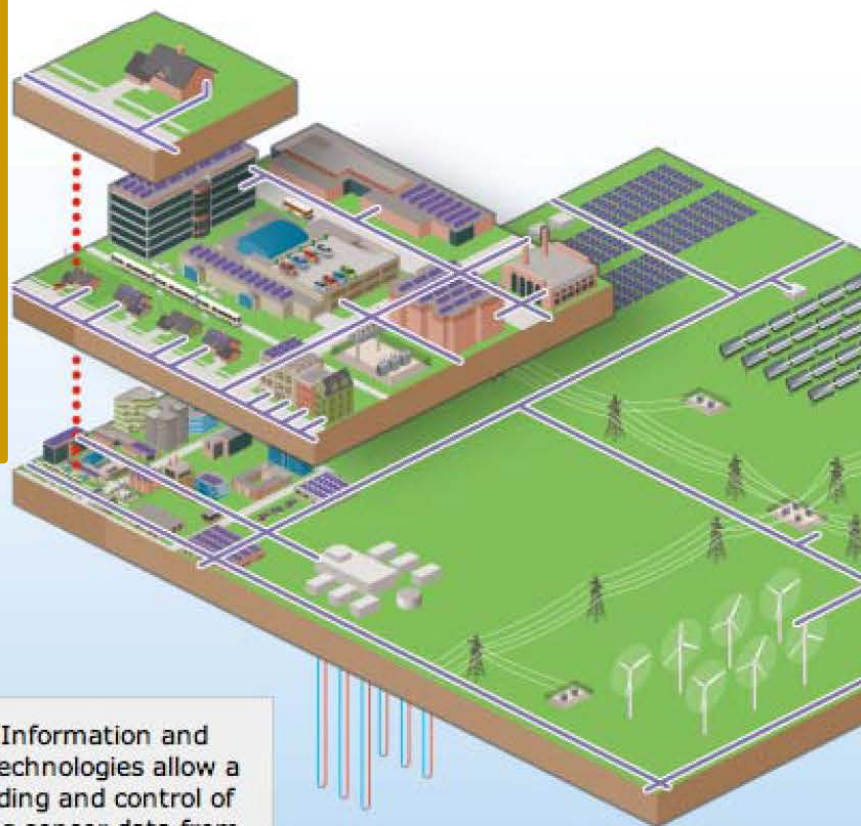
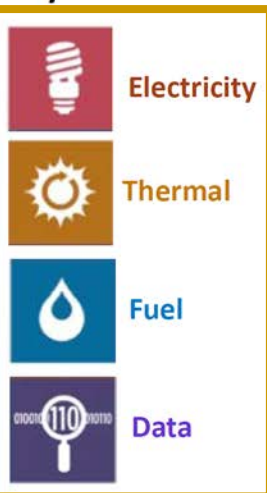
Bryan Hanneggan, Energy Systems Integration, National Renewable Energy Laboratory, USA, June 2015.

產消（合一）者

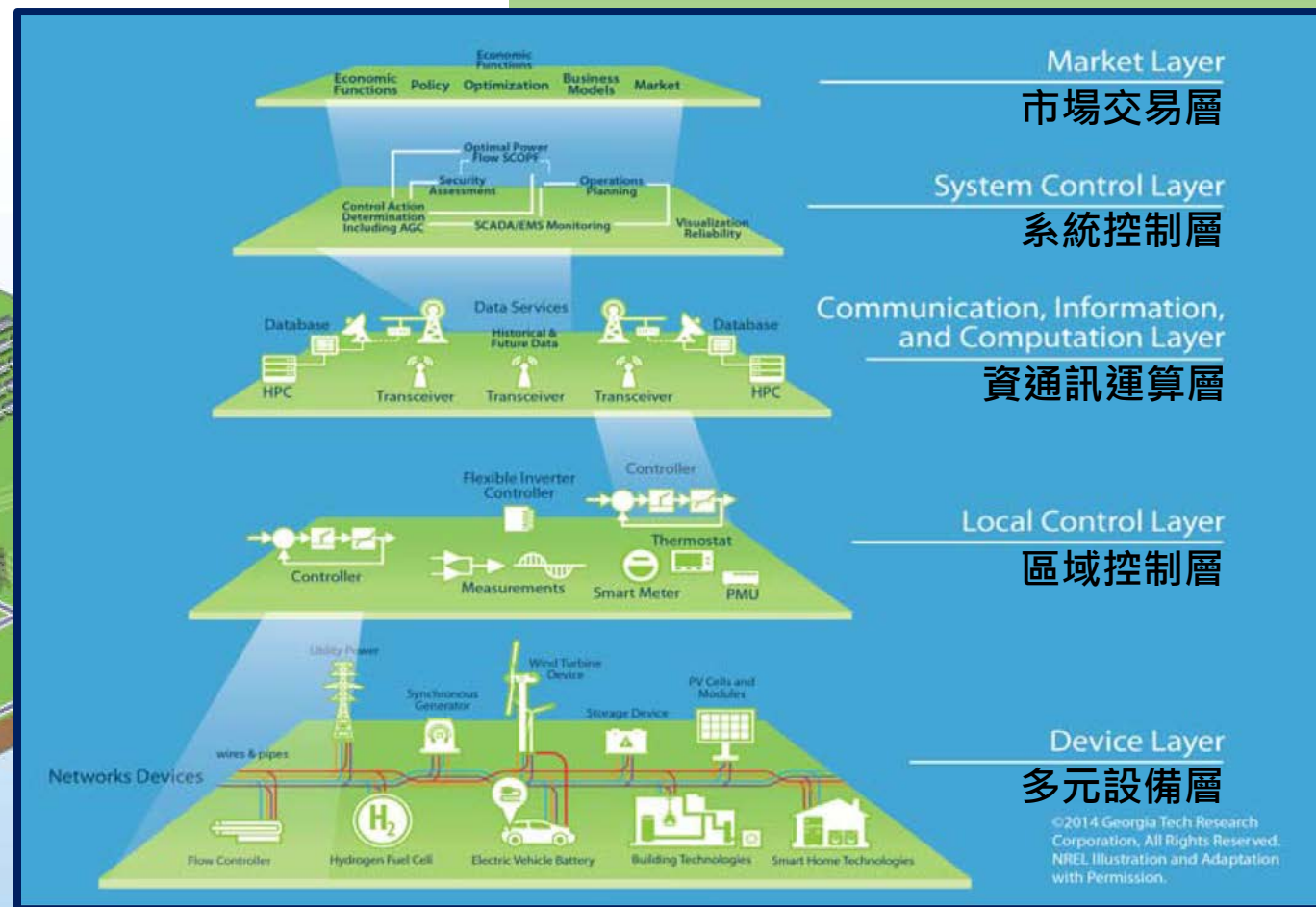
多元化、低碳化、分散化、智能化

能源系統多元整合

Energy system integration (ESI) = the process of optimizing energy systems across multiple pathways and scales



Data Pathway: Information and communication technologies allow a better understanding and control of systems by linking sensor data from multiple locations to control centers.



綠色生活在住家

友善戶外環境

林木植栽
休憩區劃
友善交通
淨潔車輛



節能建築

建材
構造
構法
家電



再生能源利用

太陽能
風力
生質能
地熱(冷)



資材循環利用

廢棄物
建材
水循環利用
廚餘回收



智慧管理系統

微電網
家庭電能管理
安全防災監控
智慧環境管理



安全防災

居家安全
防盜
防災
安全監控



室內環境品質

空氣品質
通風換氣
冷熱空調
音環境
光環境
室內建材裝修



永續能環在產業

綠色生產

製程效能提升
空氣污染管理
能資源整合與減量
水資源管理
廢棄物管理

區域電網

再生能源發電
儲能設備
輔助電力系統
智慧電能管理



永續能環 在產業



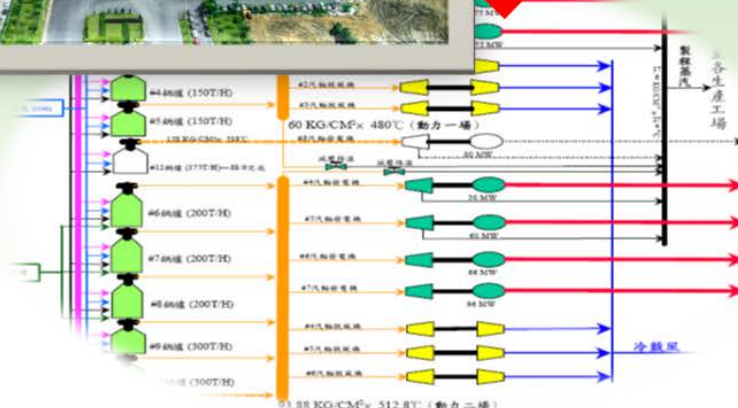
能資整合

區域工業共生
汽電共生
廢棄物資源化
循環經濟效益



能源資通訊

燃料供應與分配
汽電產製與分配
廢能回收再利用
製程節能與效率
污染防治監控
最佳化分析管理



能源系統智慧調控

臺灣能

智慧調控

系統整合

區域能源

多元能源

能環一體

Artificial
Intelligence

Machine
Learning

A system's ability to correctly interpret external data, to learn from such data, and to use those learnings to achieve specific goals and tasks through flexible adaptation.

Data
Science

Big
Data

Deep
Learning

MATH
AND STATISTICS

MACHINE
LEARNING

APPLIED
RESEARCH

DATA
SCIENCE

COMPUTER
SCIENCE/IT

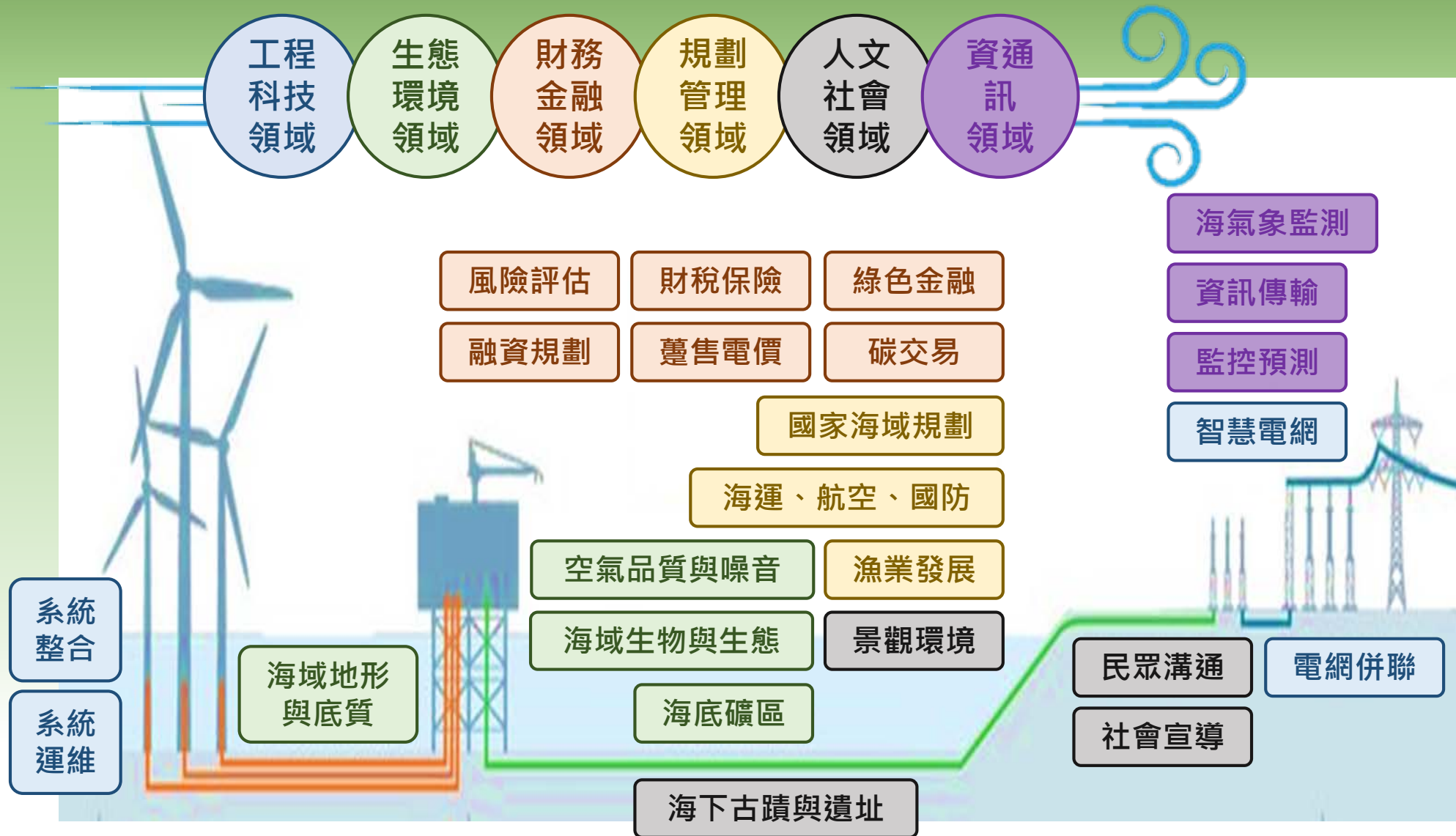
DOMAIN/BUSINESS
KNOWLEDGE

AD HOC
TECHNICAL
SOLUTION

Data Science
Applications



跨領域多元思維與應用



十九世紀...

人類發明機器，結合能源開發利用，開啟了工業革命...

兩個世紀來...

它帶來好處/工業發展、交通發達、經濟繁榮、舒適生活...

它也衍生環境難題/能源枯竭、環境污染、溫室效應、氣候變遷...

機器取代人類的勞力，一部工業革命史也許是一部人類的懶惰史，人類享受它帶來的好處，也艱難的面對它所衍生的環境難題。

廿一世紀...

人類訓練機器，結合資訊整合應用，開啟了資訊革命...

未來的世紀...

它帶來好處/全球化發展、資訊發達、數位經濟、智慧生活...

它將衍生社會難題/生活壓力、資訊安全、貧富兩極、人際疏離...

機器取代人類的腦力，一部資訊革命史也許是一部人類的愚笨史，人類將享受它帶來的好處，但誰知道如何去面對它將衍生的社會難題。

當機器完全取代人類的勞力和腦力，人類所擁有的將只是懶惰和愚笨！




M to M

M to M

M to M

Where is the M?



要生養眾多，遍滿地面，治理這地，也要管理海裡的魚、空中的鳥，和地上各樣行動的活物。
(創世記一章28節)

永續發展：在不損害後代子孫滿足其自身需求的情況下，滿足當代需求的發展模式。
(我們共同的未來，聯合國，1987年)

在不損害後代子孫享有 (被賦予) 其自身基本需求的情況下，降低當代需求的發展模式。

臺灣能-能源教育資源

能源教育資源總中心<https://learnenergy.tw/>

臺灣能-能源教育單元影片<https://learnenergy.tw/index.php?inter=teachers&id=73>

【中文字幕/中英字幕】前導片、宣傳片、能源的基礎知識(CH1)、能源的轉換與應用(CH2)、能源與經濟民生(CH3)、能源及環境永續(CH4)、能源轉型與永續(CH5)

臺灣能源通識影片

<https://learnenergy.tw/index.php?inter=digital&tag%5B238%5D=238>

全球能源發展歷史(CH1)、化石能源利用及其衍生議題(CH2)、全球能源利用發展趨勢(CH3)、臺灣能源利用發展趨勢(CH4)、化石能源利用概述(CH5)、再生能源利用概述(CH6)、儲能與系統整合(CH7)

影片主簡報

https://drive.google.com/file/d/1uhNjXMVv3x1_kldAKtJgWhs2kpvefiMy/view

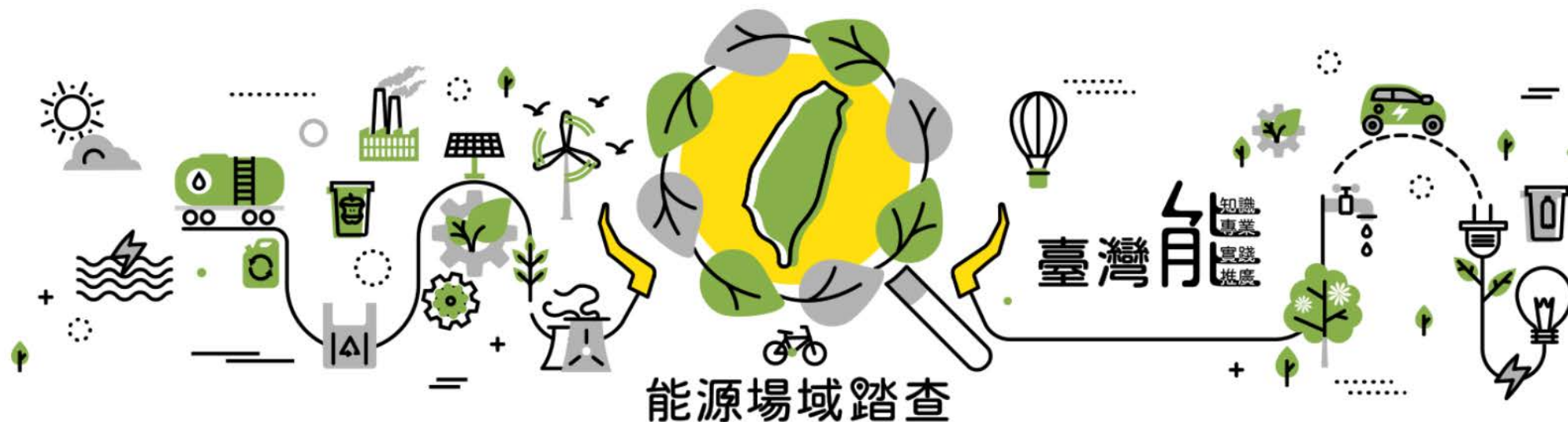
參考用簡報

<https://drive.google.com/file/d/1WY-rvTkNpCsLLpS0eAWsuCW-jdU6-6aH/view>



能源場域踏查

<http://www.energyedu.tw/map/>

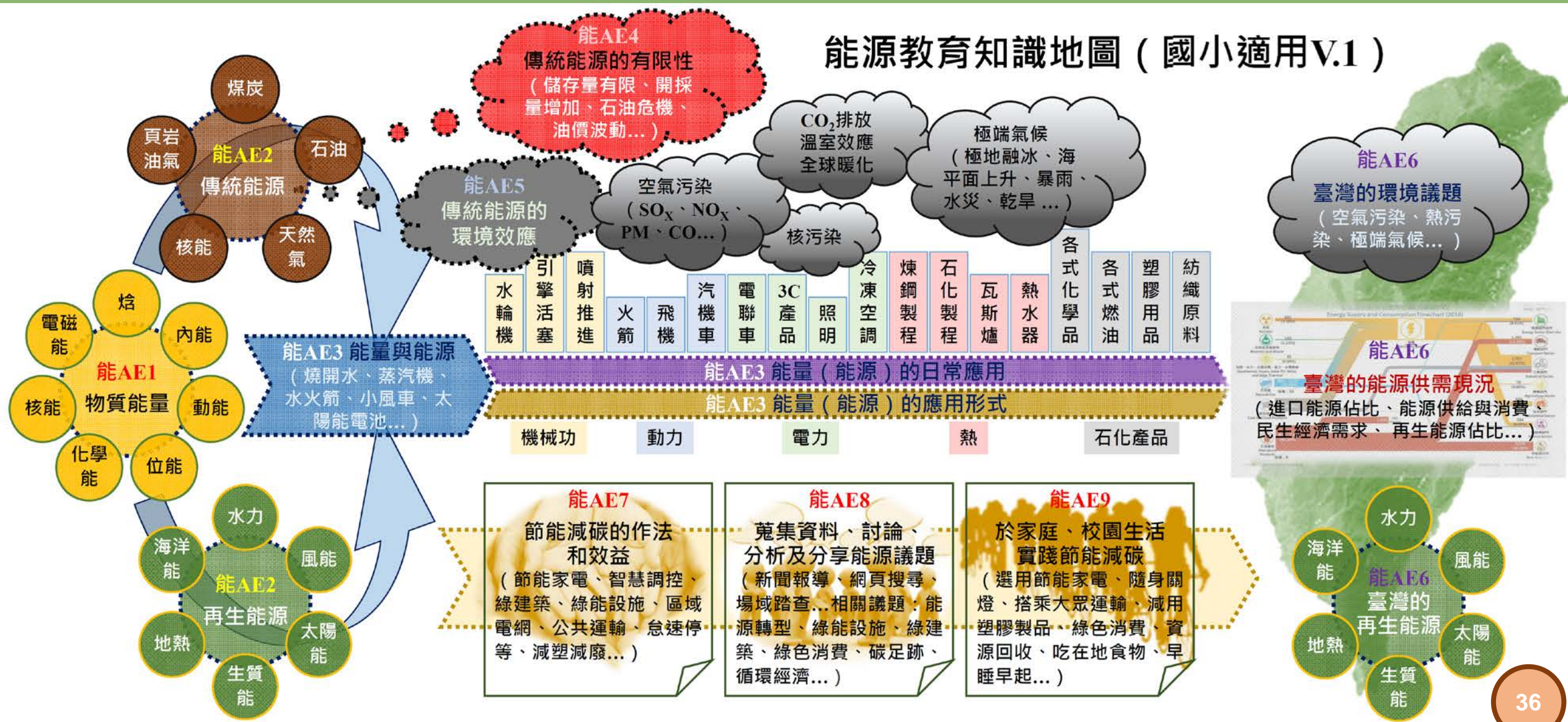


此網站串連計畫項下建置的實踐基地，台電公司開放參觀的電廠、展示館，中油及各公民營機構開設的能源教育相關場域，結合**Google map**定位，可依據不同區域（北北基、桃竹苗、中彰投、雲嘉南、澎高屏、宜花東、金門）及場域屬性（火力發電、水力發電、風力發電、太陽光電、地熱、生質能、海洋能、能源教育、綠建築、綠色生態等等）進行檢索。

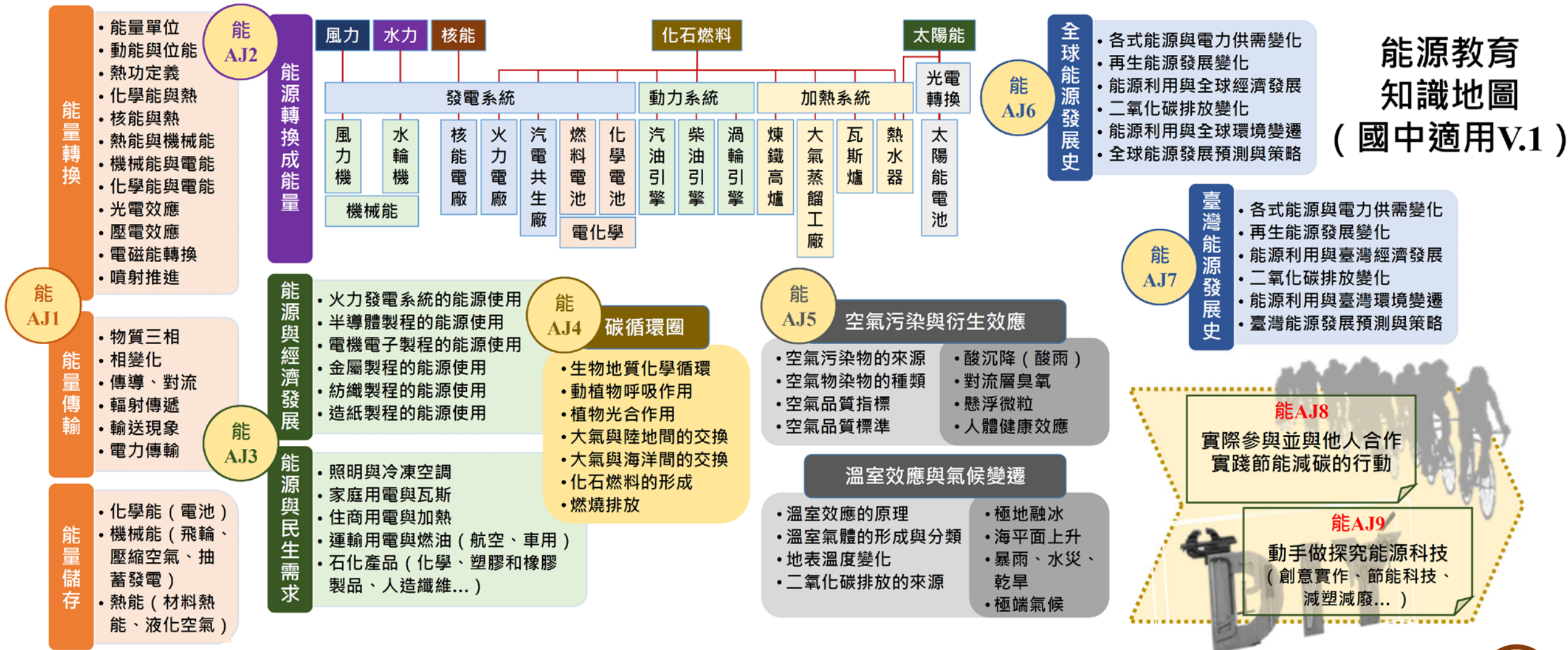
每個場域均有介紹說明、開放時間與聯絡方式等資訊提供。將推廣至各級學校與相關社團，作為學校與親子戶外踏查學習地點，寓教於樂讓能源知識落地生根。

能源教育知識地圖(國小適用)

能源教育知識地圖 (國小適用V.1)



能源教育知識地圖(國中適用)



能源教育知識地圖(高中適用)

能源轉換成能量

原理

卡諾循環

朗肯循環

鄂圖循環

迪賽爾循環

布萊登循環

冷凍循環

太陽光電原理

機械能發電

電化學原理

電磁感應

能AU1
能量守恆
能量逸散

能AU2
能源
轉換效率

應用

火力電廠

核能電廠

汽電共生廠

汽油引擎

柴油引擎

渦輪引擎

冷氣機

電冰箱

熱泵

太陽能電池

風力機

水輪機

蓄電池

燃料電池

化學電池

發電機

變壓器

能源的消費與需求

- 電力需求與分配
- 動力需求與分配
- 加熱需求與分配
- 能源部門自用
- 工業部門能源消費
- 運輸部門能源消費
- 農業部門能源消費
- 住宅部門能源消費
- 服務業部門能源消費
- 非能源消費

能
AU3

石化產品與能源

- 原油來源
- 煉油製程
- 石化產業（石化原料、合成樹脂與塑膠、合成橡膠、基本化學材料）
- 加工製品（化學製品、塑膠製品、橡膠製品、人造纖維）
- 液態燃料（航空用油、車輛用油、工業用油）

能
AU4

能源永續利用與環境保護

- 能資源永續利用（節約使用、高效能使用、循環利用）
- 降低空氣污染、水污染及土壤污染
- 溫室氣體排放減量
- 二氧化碳補獲、封存及再利用
- 污染物與廢棄物處理
- 廢棄物循環利用
- 綠色生產、綠色消費、綠色運輸、綠建築、綠色經濟

能
AU5

國際能源發展趨勢

- 各式能源與電力供需未來趨勢與預測
- 再生能源未來發展與預測
- 能源利用與全球經濟發展變化趨勢
- 二氧化碳排放未來趨勢與預測
- 二氧化碳補獲、封存及再利用
- 二氧化碳減量技術與策略
- 能源利用與全球環境變遷變化趨勢
- 能源轉型、節能減碳減廢及再生能源開發的政策與策略

能
AU6

臺灣能源政策與未來願景

- 各式能源與電力供需未來趨勢與預測
- 再生能源未來發展與預測
- 能源利用與臺灣經濟發展變化趨勢
- 二氧化碳排放未來趨勢與預測
- 二氧化碳補獲、封存及再利用
- 二氧化碳減量技術與策略
- 能源利用與臺灣環境變遷變化趨勢
- 能源轉型、節能減碳減廢及再生能源開發的政策與策略

能
AU7

能AU8

運用知識，蒐集資料，並發揮創意，動手製作節能相關之實物作品。

能AU9

議題實作，製作探討國內外能源相關議題及政策分析。

能源教育知識地圖 (高中適用V.0)