

# 2023 年全球 CCS 發展現況



施沛宏 2024 / 03 / 25

工業技術研究院 綠能與環境研究所 能源及政策推動組



# 目錄

摘要 .....	2
一、前言 .....	3
二、全球 CCS 設施與趨勢 .....	3
三、主要國家 CCS 發展推動政策.....	5
(一) 美國 .....	5
(二) 歐盟 .....	6
(三) 日本 .....	7
(四) 韓國 .....	8
四、CCS 的量化價值評估 .....	9
五、CO <sub>2</sub> 運輸與封存發展.....	10
(一) CO <sub>2</sub> 運輸發展 .....	10
(二) CO <sub>2</sub> 封存發展 .....	12
六、結論 .....	13
參考文獻 .....	14



## 摘要

國際能源總署於 2023 年發布的能源技術展望報告中指出，2030 年減碳目標可藉由目前既有技術來達成，但 2030 年後的深度減碳需依賴目前尚在研發與示範階段的創新技術。這些創新技術有水泥、鋼鐵及鋁的生產製程結合 CCUS、氫能煉鋼技術及直接碳捕捉(DAC)等技術。

因應氣候變遷之迫切性提升，CCS 在近期取得重大進展。全球碳捕捉與封存協會於 2023 年所公布之「全球 CCS 現況」表示：(1)全球 CCS 設施計畫共有 392 個計畫正在進行，相較於去年同期增加了 102%，也維持了自 2017 年起的上升趨勢；(2) 在 CCS 產業發展上，透過網絡(或群集)進行 CCS 部署已成為主要的方式；(3) 達到淨零目標所需的封存量與目前既有的計畫量仍有很大的差異，開發充裕的地質封存資源以實現淨零目標成為各國首要任務。

關鍵字：碳捕捉與封存、CCS 網絡、淨零排放



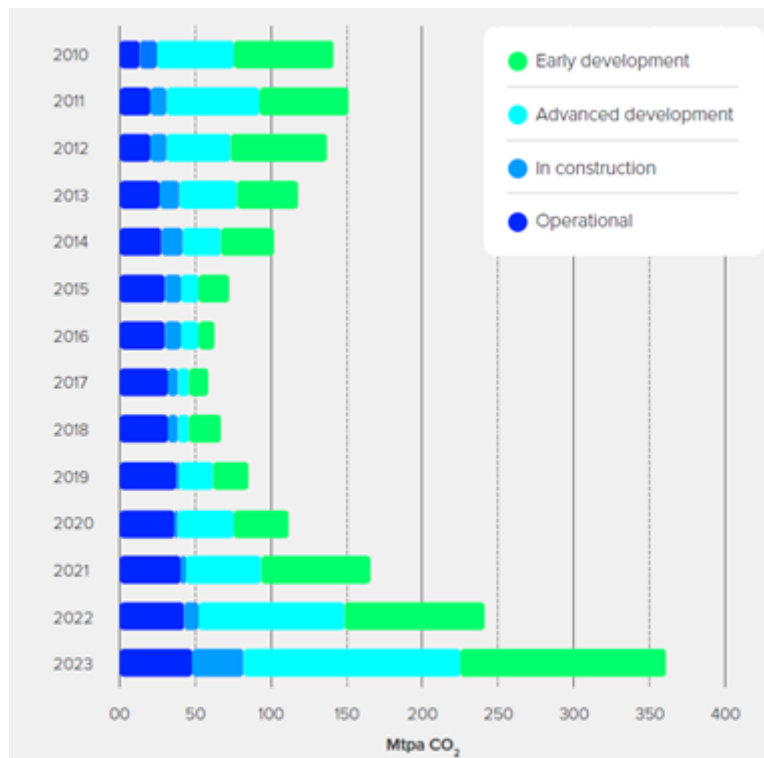
## 一、前言

國際能源總署(International Energy Agency, IEA)於 2023 年公布之能源技術展望報告(Energy Technology Perspectives 2023, ETP-2023)指出，2030 年減碳目標可藉由目前既有技術來達成，但 2030 年後的深度減碳需依賴目前尚在研發與示範階段的創新技術。這些創新技術有水泥、鋼鐵及鋁的生產製程結合 CCUS、氫煉鋼技術及直接碳捕捉(DAC)等技術。IEA 亦表示若沒有 CCUS，幾乎不可能達成淨零目標。

因應氣候變遷之迫切性提升，近年全球許多地區均加速 CCS 計畫之部署，而受到各國政府支持政策與氣候變遷減量行動之推動，CCS 在近期亦取得重大進展。全球碳捕捉與封存協會(Global CCS Institute, GCCSI)每年均針對目前全球 CCS 發展現況進行研析並提出報告，本報告就 2023 年所發布之報告進行摘述。

## 二、全球 CCS 設施與趨勢

根據 GCCSI 2023 年所公布之「全球 CCS 現況(Global Status of CCS 2023)」報告統計，2023 年全球發展中的 CCS 設施項目已有顯著的增加，其中有 11 個新設施已開始營運，15 個設施正在建造中。截至 2023 年 7 月，共有 392 個計畫正在進行，相較於去年同期增加了 102%，也維持了自 2017 年起的上升趨勢(如圖 1 所示)。此外，已開展計畫的設施數量與容量均為歷史新高，自 2017 年以來，捕獲容量成長率每年超過 35%，而在過去一年，此趨勢有所提升，2023 年捕獲容量較 2022 年增加了 50%，也是自 2018 年以來的最高增幅。



資料來源：GCCSI, 2023.

圖 1、2010-2023 年商業化 CCS 設施計畫捕捉能力發展趨勢

而在 CCS 產業發展上，透過網絡(或群集)進行 CCS 部署已成為主要的方式，主要是因為網絡能提供經濟規模效益以降低成本，並促成商業模式協力效應以減低風險。碳捕捉樞紐與運輸網絡的建立，可以共享用於永久儲存 CO<sub>2</sub> 的基礎設施。根據模型結果，透過在全球建立 160 個樞紐，每年可捕捉與儲存高達 42 億噸 CO<sub>2</sub>，且每噸 CO<sub>2</sub> 成本將低於 85 美元，而若要在本世紀中達成淨零排放目標，需要約每年 100 億噸的 CO<sub>2</sub> 儲存量，由此可見，CCS 樞紐與網絡的發展相當重要。



### 三、主要國家 CCS 發展推動政策

#### (一) 美國

美國仍是全球 CCS 的領頭羊，其具有大量的 CCS 設施在營運、建設與發展，許多計畫在 2022 年降低通膨法(Inflation Reduction Act, IRA)的驅動下加快發布進程。美國有紮實且廣泛的政策架構，可在 CCS 部署的每個階段提供支持，而 CCS 為達成其聯邦氣候目標之主要減量工具，其目標為 2030 年較 2005 年水準減少 50-52% 排放量，以及 2050 達成淨零排放。

2021 年的兩黨基礎設施法(Bipartisan Infrastructure Law, BIL)、2022 年的 IRA 以及晶片法(Creating Helpful Incentives to Produce Semiconductors and Science Act, CHIPS)提供財務與政策的獎勵措施以刺激 CCS 的部署。BIL 提供了 120 億美元的資金支持 2026 年前的碳管理、研究、示範與部署等相關計畫發展，其中約 85 億美元支持 2022-2026 年度的 CCS 計畫發展，包含新的碳捕捉設施與商業化的碳封存設施；另外也為直接空氣捕捉 DAC 注入約 36 億美元的資金，以支持建設 4 個區域的直接空氣捕捉中心。

IRA 提供了數十億美元，以協助既有工業設施去碳化，也藉由降低碳捕捉門檻，強化美國國稅局(Internal Revenue Service, IRS)在 Section 45Q 中對企業所得稅額抵免的規定，其中包含降低碳捕捉的門檻、增加稅額抵減的價值(從電力與工業部門捕捉並封存至指定地質條件的每噸碳可抵免 85 美元)、以及增加了直接支付和稅額抵免可轉讓性的規定。依據分析表示 IRA 的激勵，可能使得美國碳捕捉的部署至 2030 年增加 13 倍。

而晶片法 Sec. 10102 授權美國能源部(DOE)建立「碳匯研究與地質計算科學計畫」和至少兩個碳封存研究與地質學研究計算科學中心，其目的在於擴展地下地質的基本知識、資料收集、資料分析以及建立模型，以推進地質構造碳封存的進展。





## (二) 歐盟

CCS 在歐洲的發展仍持續增加中，歐盟執委會在近期提出了數個新的立法提案，並透過創新基金(Innovation Fund)與連接歐洲基金(Connecting Europe Facility, CEF)資助 CCS 計畫，使其進一步發展。許多歐洲國家在 CCS 部署上也取得重要進展，此外，歐盟排放交易系統(Emissions Trading System, ETS)的 CO<sub>2</sub> 價格於 2023 年 2 月達到每噸 100 歐元的新高，也有助於推進某些產業的 CCS 計畫。

在政策上，歐盟碳移除量憑證(Certification of carbon removals)為歐盟永續碳循環溝通的後續行動，歐盟執委會於 2022 年 11 月通過一項立法提案，欲建立第一個歐盟範圍內具可靠性認證碳移除量的自願性框架，該提案亦詳細介紹碳移除量的測量、監測、報告與驗證等認證規則。

此外，歐盟執委會亦於 2023 年 2 月發布綠色新政產業計畫(Green Deal Industrial Plan)，以進一步支持氣候中和目標與強化歐洲成長中的淨零產業部門，該計畫主旨為擴大歐洲綠色技術的製造能力。而作為該計畫的一部分，執委會於 2023 年 3 月提出了《淨零產業法案(Net-Zero Industrial Act)》，此法案欲擴大包含 CCS 在內的去碳技術之推動，並提出 2030 年歐盟境內每年封存 5,000 萬噸 CO<sub>2</sub> 的目標。

2023 年 5 月，歐盟官方公報公布了 ETS 的改革方案，主要為支持 2030 年溫室氣體排放量減少 55%的目標，亦將涵蓋的範圍擴大到所有會產生碳排的運輸方式。而歐盟碳邊境調整機制(Carbon Border Adjustment Mechanism, CBAM)也在此同時進入，該措施主要針對進入歐盟市場的商品生產過程中的碳排放進行公平定價，進而刺激歐盟以外國家的潔淨生產。



### (三) 日本

日本政府已確立「2030 年至 2050 年間每年增加 600~1,200 萬噸的 CO<sub>2</sub> 儲存量，以確保 2050 年每年儲存 1.2~2.4 億噸 CO<sub>2</sub>」之目標，為此已發布《CCS 長期路徑圖》，規劃於 2030 年起全面發展 CCS 的商業化。

為進一步強化相關措施，經產省於 2023 年 9 月成立「碳管理小組委員會」，從 CCS 的商業模式與支援系統之角度，討論 CCS 相關制度與措施，並於 2024 年 1 月 29 日發布《CCS 相關制度理想措施》中間報告。

此外，為實現脫碳社會，且在鋼鐵、化工、交通、發電等去碳困難的產業中推動綠色轉型(Green Transformation, GX)，日本政府在 2024 年 2 月 13 日內閣會議上，決議批准《氫能社會推動法案》以及《CCS 業務法案》，以擴大氫能使用、推動導入 CCS 並改善 CCS 相關產業環境。法案將提交給國會第 213 屆常會，目標是在 2024 年底前生效。

其中《CCS 業務法案》主要是在去碳困難，必須使用化石燃料的領域，導入 CCS 做為去碳的一種手段；為於 2030 年之前，為民間企業在日本啟動 CCS 專案創造適合之商業環境、並維護公共安全與海洋環境，CCS 法案將建立包括民間公司試鑽和碳封存的許可制度、封存權、試鑽權，將其視同物權以確保未來可穩定封存。法案亦規範碳封存業者、二氧化碳運輸管線業者的事業與安全，例如監測儲層溫度、壓力、外洩等，並訂定試鑽探過程對他人損害賠償的相關責任歸屬。





#### (四) 韓國

CCS 為韓國多項國家氣候變遷減量戰略與行動計畫的減量核心主軸，且 CCUS 亦被指定為韓國 2050 碳中和促進戰略中，碳中和技術創新的十大主要技術之一，並承諾至 2030 年會將該技術商業化。韓國政府於 2023 年 3 月發布了第一次國家碳中和綠色成長基本計畫(草案)，其制定了 2030 年國家溫室氣體減量目標，也承諾制定兩項國家政策來支持 CCUS，和因應 CCS 計畫的商業、安全及認證等相關立法。

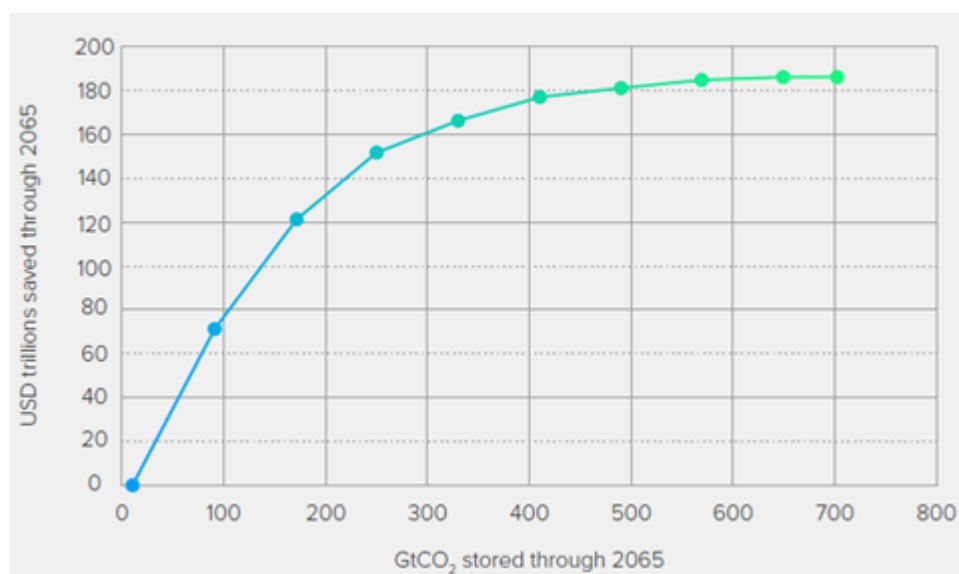
2024 年 1 月 9 日，韓國國會全體會議通過了《二氧化碳捕集、運輸、儲存和利用法 ( 以下簡稱 CCUS 法 )》的制定。CCUS 法案的提出旨在為應對氣候危機和培育 CCUS 產業奠定必要的法律基礎。CCUS 法案系統地規定了對於減少溫室氣體排放至關重要的二氧化碳封存的不斷確保和運營流程，例如選擇和公布封存候選者以及允許封存業務。此外，為了為 CCUS 產業創造增長基礎，亦制定了相關技術認證等，還包含旨在支援企業研發 ( R&D )、新創公司和新產業發現的各項規定。



## 四、CCS 的量化價值評估

有鑑於討論 CCS 成本的文章很多，然而實際量化 CCS 在實現氣候目標的量化價值相關文獻卻很有限，GCCSI 開發了全球經濟淨零最適化(Global Economic Net Zero Optimisation, GENZO)模型，GENZO 擁有 23 個地區的資料，並納入全套零碳與低碳技術選項，以詳細呈現全球能源系統。

GCCSI 根據 GENZO 分析，提供全球 CCS 所貢獻的量化價值見解，根據模型分析，2065 年最佳封存量為累計 7,030 億噸 CO<sub>2</sub>，其中包含化石燃料搭配 CCS、直接空氣捕捉封存(Direct air carbon capture and storage, DECCS)以及生質能與碳捕捉封存(Bioenergy with carbon capture and storage, BECCS)的組合；透過模型分析，同時也發現達成淨零目標的最小累計絕對封存量為 100 億噸 CO<sub>2</sub>，而其中有額外透過 DACCS 與 BECCS 所捕捉的 280 億噸 CO<sub>2</sub> 則用來製作零碳合成燃料。而根據模型分析，在最小封存量(100 億噸 CO<sub>2</sub>)與最佳封存量(7,030 億噸 CO<sub>2</sub>)區間，捕捉並封存越多二氧化碳，達成氣候目標的總體成本就越低，其中若封存量達約 4,100 億噸 CO<sub>2</sub>，約已可實現 95%的潛在節省成本，價值約 180 兆美元。



資料來源：GCCSI, 2023.

圖 1、2065 年累計封存量對應之能源系統節省成本



## 五、CO<sub>2</sub> 運輸與封存發展

### (一) CO<sub>2</sub> 運輸發展

捕捉之 CO<sub>2</sub> 可透過管線、鐵路、卡車或船舶進行運輸，不同的運輸模式有其不同的操作條件與既有容量(如下表 1 所示)，亦會影響其適用性。

表 1、CO<sub>2</sub> 運輸方式比較

方式	條件	CO <sub>2</sub> 型態	目前容量	說明
管線	48-200 barg, 10 to 34°C	氣態; 濃相	每年 1.1 億噸 CO <sub>2</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 相較其他方式，資本成本較高，營運成本較低</li> <li>• 低壓管線運輸通常較濃相運輸來的貴</li> <li>• 超過 50 年的商業經驗</li> </ul>
船舶	7-45 barg, -52 to 10°C.	液態	每年大於 300 萬噸 CO <sub>2</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 相較管線運輸，營運成本高、資本成本低。</li> <li>• 目前主要應用在小量的食物與啤酒產業</li> <li>• 具有數量與路線彈性。</li> </ul>
卡車	17-20 barg, -30 to -20°C	液態	每年大於 100 萬噸 CO <sub>2</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 每批 2-30 噸</li> <li>• 對大型 CCS 計畫無經濟效益</li> <li>• 蒸發逸散率約為負載的 10%</li> </ul>
鐵路	7-26 barg, -50 to -20°C	液態	每年大於 100 萬噸 CO <sub>2</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 尚無大型系統就位</li> <li>• 需要裝載/卸載與儲存基礎設施</li> </ul>



				<ul style="list-style-type: none"><li>• 僅適用於既有鐵道路線</li><li>• 中長距離具有優勢</li></ul>
--	--	--	--	---

註：barg 為壓力單位，1barg 約等同於 1 大氣壓  
資料來源：GCCSI, 2023.

管線為成熟及首選的運輸方式，目前已有 41 個建造中或營運中的計畫採用管線運輸，另外，發展中的 325 個 CCS 計畫中，亦有 195 個已規劃使用管線運輸。然而，近期各方對透過船舶或綜合運輸(如管線搭配船運)等方式日益感興趣，目前有 11 個船舶運輸計畫與 28 個綜合運輸計畫正在開發中，也有 3 個綜合運輸計畫建設中。在 CO<sub>2</sub> 來源、需求和封存地點存在變化，以及某些情況下，船舶運輸在離岸儲存與海外運輸上，較管線來的更有彈性及顯著優勢：

1. 因應市場需求增加，船舶可藉由提供大型船或增加船隻數量因應，然管線須在計畫一開始就做好設計規劃，且難以擴展。
2. 船舶運輸可透過單一船隻或短程運輸方式，從不同來源運往同一個儲存地點，增加了多用戶使用的經濟性。
3. 船舶的運輸路線可依儲存地點更動隨時更改或增加。
4. 若 CCS 設施關閉後，船舶可以改道、出售或再利用，然管線須付出一定成本才能退役。

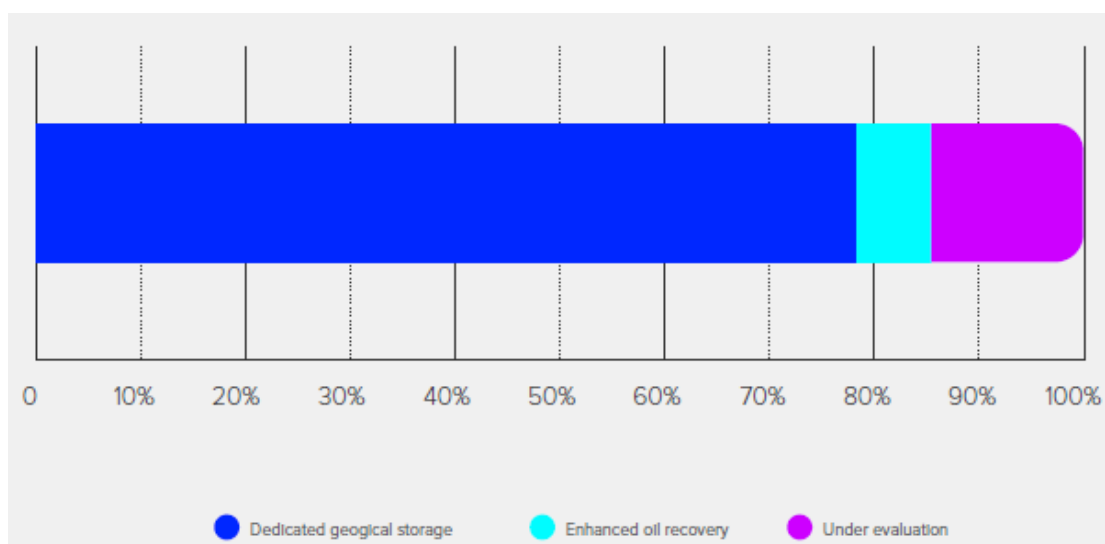
最佳的運輸方式仍取決於各個區域合適的儲存資源與排放源的相對位置，如在美國，管線仍為最常見的運輸方式，其擁有 50 多年的商業經驗與超過 8,000 公里的管線可運用。而在歐洲，考量跨區域的排放源與有限的合適儲存地點，目前考慮管線與船運結合的運輸方式正在增加中。



## (二) CO<sub>2</sub> 封存發展

過去來說，CCS 設施主要為垂直整合，從單一設施捕捉 CO<sub>2</sub>，並進行一條龍式的運輸與封存。然而近年來分散式的 CCS 價值鏈已漸漸成為趨勢，越來越多營運商正專注於開發 CO<sub>2</sub> 的運輸與封存設施，截至 2023 年 7 月底，共有 101 個 CO<sub>2</sub> 運輸與封存設施在營運或發展中，而這些設施幾乎都規劃連接或建立 CCS 網絡，欲尋求從多個來源接收 CO<sub>2</sub> 並收取運輸或封存費用。

除了 CCS 網絡的興起，另一個明顯的趨勢為近期開始朝向開發專用地質封存資源，而不再是注入 CO<sub>2</sub> 提升石油開採率(CO<sub>2</sub>-EOR)，目前 CCS 設施總容量的封存型態中，有 78%表示將使用專用地質封存(如圖 2 所示)。這有兩個至關重要的理由，首先是其顯示來自提升石油開採的收益，相較於 CCS 投資的商業可行性已不那麼重要；其次是專用地質封存的開發商會最大化其容量，使得其經濟價值增加。



資料來源：GCCSI, 2023.

**圖 2、發展、建設與營運中的 CCS 設施總容量(依封存型態)**

雖然近年 CCS 計畫與封存資源的開發快速成長，然而根據各種情境與模型預測，達到淨零目標所需的封存量與目前既有的計畫量仍有很大的差異，爰此，開發充裕的地質封存資源以實現淨零目標成為各國首要任務，而為了確保封存資源滿足所需，則必須加強對封存資源的鑑別與評估的激勵與資源投入。



## 六、結論

本報告顯示 **CCS** 技術被視為達成淨零的重要工具之一，對實現全球氣候目標至關重要，在全球範圍內持續發展，例如：美國與歐盟均透過法案與補助措施來鼓勵產業投入以及相關科學研究，且歐盟亦透過 **CBAM** 機制來刺激其他國家投入清潔生產；日本與韓國則是將 **CCS** 納入能源戰略或碳中和戰略，並透過法律法案的支持，逐步建立適合 **CCS** 發展的環境。

研究方面，國際間關注直接空氣捕存和生質能碳捕存等新興領域，以及這些領域的量化價值評估、運輸模式等，均有助於推動 **CCS** 的應用與發展。此外，也提到了長期責任管理、全球政策、法律和監管、封存資源開發的鑑別與評估等，會是未來 **CCS** 技術發展的重要挑戰。





## 参考文献

- [1]International Energy Agency (IEA), 2023. Energy Technology Perspectives 2023.  
<https://iea.blob.core.windows.net/assets/a86b480e-2b03-4e25-bae1-da1395e0b620/EnergyTechnologyPerspectives2023.pdf>
- [2]Global CCS Institute (GCCSI), 2023. Global Status of CCS 2023.  
[https://res.cloudinary.com/dbtfcnfij/images/v1700717007/Global-Status-of-CCS-Report-Update-23-Nov/Global-Status-of-CCS-Report-Update-23-Nov.pdf?\\_i=AA](https://res.cloudinary.com/dbtfcnfij/images/v1700717007/Global-Status-of-CCS-Report-Update-23-Nov/Global-Status-of-CCS-Report-Update-23-Nov.pdf?_i=AA)
- [3]経済産業省・2023。CCS に係る制度的措置の在り方について中間取りまとめ（案） 概要資料。  
[https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shigen\\_nenryo/pdf/039\\_04\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shigen_nenryo/pdf/039_04_00.pdf)
- [4]経済産業省・2024。中間取りまとめ CCS に係る制度的措置の在り方について。  
[https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shigen\\_nenryo/carbon\\_management/pdf/20240129\\_1.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shigen_nenryo/carbon_management/pdf/20240129_1.pdf)
- [5]経済産業省・2024。「脱炭素成長型経済構造への円滑な移行のための低炭素水素等の供給及び利用の促進に関する法律案」及び「二酸化炭素の貯留事業に関する法律案」が閣議決定されました。  
<https://www.meti.go.jp/press/2023/02/20240213002/20240213002.html>
- [6]산업통상자원부・2024。「이산화탄소 포집·수송·저장 및 활용에 관한 법률안」 국회 통과。  
<https://www.motie.go.kr/attach/down/095a2dda9c864e1d90d751f7668a1117/5f17671b867ee325c6afedea6c87705c>



懂能源



工業技術研究院  
Industrial Technology  
Research Institute