碳再利用專利趨勢分析

鄭詠文 *、陳子明 **、林峯州 ***、
鄭宇辰 ****、鍾文正 *****

壹、前言
貳、碳再利用技術相關概述
參、專利趨勢整體綜合分析
一、歷年申請量分析
二、生命週期圖分析
三、申請人國家／地區分析
四、申請人類型比例
五、前十大申請人國家／地區歷年申請案件數
六、前十大申請人歷年申請案件數
七、碳再利用 IPC 案數分布
肆、技術領域分析
一、二階技術領域申請案量分布
二、再利用前十大申請人國家／地區在二階技術申請情形
三、再利用前十大申請人在二階技術申請情形
四、再利用第一大申請人國家／地區（中國大陸）於二階技術中歷年申請案件數
五、二階技術中申請人類型案件數
六、二階技術各類型歷年申請案件數
七、二階技術各類型十大申請人
八、二階技術各類型十大申請人國家／地區
九、三階技術與二階技術對照比例分布
十、再利用轉化為甲烷之 Theme Scape 專利地圖分析
伍、全球申請流向及主要專利局分析
陸、相關案例分析
一、二階技術相關案例
二、產業相關案例
柒、結語

* 作者現為經濟部智慧財產局專利助理審查官。
** 作者現為經濟部智慧財產局專利助理審查官。
*** 作者現為經濟部智慧財產局專利審查官。
**** 作者現為經濟部智慧財產局專利助理審查官。
***** 作者現為經濟部智慧財產局專利審查官兼科長。
本文相關論述僅為一般研究探討，不代表任職單位之意見。

摘要

本專題針對「碳再利用」相關專利分析，作一統計比較，以了解目前「碳再利用」相關產業及技術的發展現況，主要參考相關文獻及美國國家可再生能源實驗室所公布常見「碳再利用」，將其依照產品產生方式的不同，將其大致分為直接利用、間接轉化及生物轉化等，其中「間接轉化」係指將二氧化碳經由化學反應而轉化為有價值的無機或有機產物，所包含物質較為多元，因此再細分為建材、化學品、聚合物及新穎碳材，主要利用 Derwent Innovation 資料庫統計截至 2021 年底全球所有公開（告）案件，經由整理、篩選分析後，針對相關技術、各年申請量、主要申請人及其國籍、主要專利局等作一整體統計分析，並從中篩選與技術及產業相關之案例，藉由探討專利趨勢及案例分析，得以了解相關技術發展概況。

關鍵字：二氧化碳、再利用、直接利用、生物轉化、間接轉化、建材、化學品、聚合物、新穎碳材、專利分析

Carbon Dioxide、Utilization、Direct Utilization、Biological Conversion、Indirect Conversion、Construction Materials、Chemicals、Polymers、Novel Carbon Materials、Patent Analysis

壹、前言

隨著減緩氣候變遷的意識逐漸提高，《格拉斯哥氣候協議》明確表述減少使用煤炭的計畫，並建立全球碳市場基本規則，淨零轉型已經不再只是單純環保課題，減碳也不再是道德良知，碳捕捉將是淨零轉型初步，規劃如何使用這些二氧化碳將是一大課題，除了大規模的將二氧化碳灌注到深層地底的岩石縫隙中，提高石化產品的產量，如何將捕捉的二氧化碳直接使用或回收取代現有原料，轉換為其他物質，變成具有經濟價值的產品或服務，將是本專題所關注「碳再利用」的目標，當企業排碳不再是免費，期能有助於相關產業轉型，協助廠商提前因應，提升產業生產效率與競爭力。

貳、碳再利用技術相關概述

將捕獲的二氧化碳再利用將為減少溫室氣體排放提供了巨大的潛力，然而其複雜多樣，涉及廣泛的應用（如：向溫室中添加二氧化碳、轉化為化學品或燃料等）、技術（如使用電化學轉化、熱催化等）、能源需求（即放熱與高度吸熱）和環境（即大型工業場所與分布式應用），廣義來說，碳再利用潛在應用範圍非常大，可包含許多不同途徑，用於描述捕獲的二氧化碳可直接使用或「回收」以生產具有經濟價值的產品或服務。

碳再利用大致可分為：直接利用、間接轉化及生物轉化等。圖 1 揭示可以由二氧化碳製成的產品示例及分類，配合美國國家再生能源實驗室（National Renewable Energy Laboratory, NREL）所公布常見「碳再利用」，本專題將碳再利用再細分為六個技術類型：一、直接利用、二、間接轉化—建材、三、間接轉化—化學品、四、間接轉化—聚合物及五、間接轉化—新穎碳材、六、生物轉化。

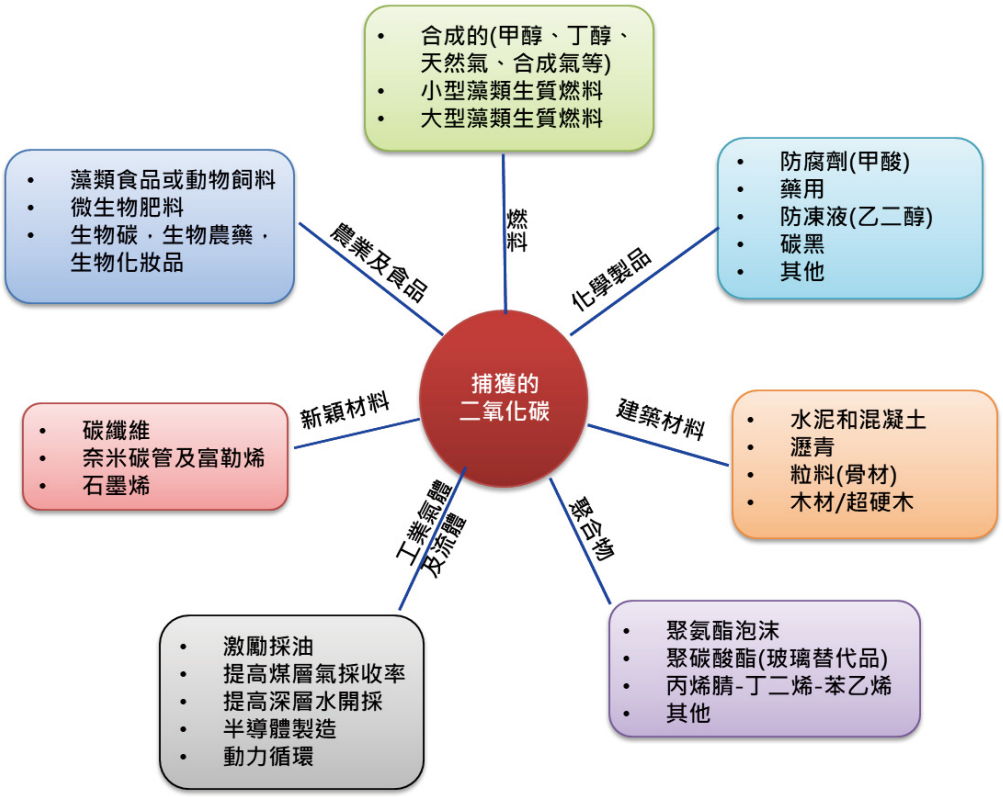

圖 1　可以由二氧化碳製成的產品示例[1]

在「間接轉化—化學品」方面，透過能量的添加，二氧化碳可以轉化為有機化學品（甲醇、甲烷、乙烯、胺基甲酸酯等），可以直接使用或是作為其他產品的原料，亦可作為碳基燃料。

在「生物轉化」方面，其係透過植物、微生物（細菌、真菌、酵母）、藻類等作為二氧化碳的過濾器，透過光合作用以進行碳固定，控制二氧化碳來發展溫室栽培，提高農作物產量，降低化肥的使用，而藻類為最有效的生物工廠，透過藻類的培養，亦可用於對後續生物燃料的生產[2]。

[1] Executive Summary, A Roadmap for the Global Implementation of Carbon Utilization Technologies, Transforming CO2 from a liability to an asset at significant market scale, page2, November, 2016.

[2] R.Gayathri, A review on biological carbon sequestration: A sustainable solution for a cleaner air environment, less pollution and lower health risks, Journal of King Saud University – Science, Volume 33, Issue 2, pages101282, March 2021.

在「間接轉化—建材」方面，無論是無機碳酸鹽、礦化物、水泥、混凝土、或骨材，皆是以礦化（碳酸化）作用進行固碳，透過鹼性材料（如氧化鈣）與二氧化碳反應生成碳酸化合物，作為建材材料之替代品[3]。

在「直接利用」方面，其係最直觀且多元的碳再利用方式，舉凡發泡劑、食品包裝、殺菌劑、冷凍氣體、乾冰、滅火劑、焊接劑、超臨界二氧化碳及製備碳酸飲料、酒、藥物等皆為其範疇[4]。超臨界二氧化碳由於具有液體及氣體之間的性質，是以其可在工業、化學提取上用以作為溶劑、萃取劑、工作流體。

在「間接轉化—聚合物」方面，可將間接轉化所生產之小分子化學品或燃料，與其他單體共聚形成聚合物，其中尤以聚氨酯、聚碳酸酯為最廣泛研究對象。

在「間接轉化—新穎碳材」方面，其為一種較新之技術，大致上來說，利用再生能源使二氧化碳轉化為奈米纖維、奈米碳管、石墨烯、奈米碳球、富勒烯等材料，然導源於碳再利用仍有待開發。

參、專利趨勢整體綜合分析

一、歷年申請量分析

圖 2 為碳再利用歷年申請量案件數變化，蒐集截至 2021 年 12 月 31 日以前全球所有公開（告）案件[5]，經由整理、篩選分析後，共計 4,399 案 DWPI 專利家族[6]，公開年及優先權年[7]兩者趨勢相似，整體而言，申請案件數在近幾年有快速增加的情況。

---

3 Z Ghouleh, Production of carbonate aggregates using steel slag and carbon dioxide for carbon-negative concrete, Journal of CO_2 Utilization, Volume 18, Pages 125-138, March 2017.

4 P Brinckerhoff, ACCELERATING THE UPTAKE OF CCS: INDUSTRIAL USE OF CAPTURED CARBON DIOXIDE, Global CCS Institute, Pages 1-279, MARCH 2011.

5 Derwent Innovation 資料庫 https://www.derwentinnovation.com/login/，下載日期：2022 年 3 月 13 日。

6 為了更接近當時政治經濟產業等情況，將以優先權年（若無優先權則為申請年）來呈現，以專利家族（DWPI 定義的同族專利，優先權必須完全相同）為單位，專利家族可能有好幾「件」專利，同一專利家族算為一「案」專利。

7 「巴黎公約」明定會員國國民在某會員國申請專利後，再到其他會員國提出相同之專利申請時，得依專利權種類之差異，分別給予十二個月（發明、新型）或六個月（設計）的優先權期間，發明專利係自第一次提出專利申請的十二個月內，其中優先權即第一次提出之日期，而優先權年即為該年度，一般而言公開年皆晚於優先權年。

對優先權年來說，於 1962 年起即有研究人員投入進行布局，惟至 1987 年以前多為零星布局。

大致而言，似乎與全球相關協議有關，1987 年蒙特婁協議通過，申請案件數稍微增加，1997 年京都議定書在日本京都通過，申請案件數慢慢有升溫的情況，相關條約於 2005 年開始強制生效，更使得申請案件數成長幅度較大；2009 至 2014 年間申請案件數呈現原地踏步，然 2008 年金融海嘯所造成的油價瞬間崩跌後，雖然隨即緩步上升，在 2011 至 2014 年持續在 100 美元的高油價震盪，可見申請案件數並未完全反應油價，而京都議定書原定於 2012 年年底到期失效，2009 年在哥本哈根舉行的《聯合國氣候變化框架公約》締約方第 15 次會議（Conferences of the Parties, COP15）各國就京都議定書到期後的約束性承諾展開爭論，僅提出不具約束力的政治聲明，隨後幾年亦是如此，似乎政策上的不作為與申請案件數成長停滯關係較密切；而雖然 2015 年油價回跌，但是 2015 年 12 月巴黎協定通過，並於 2016 年生效，又開啟一波申請熱潮，可見現階段法規制度執行層面的影響似乎較大。

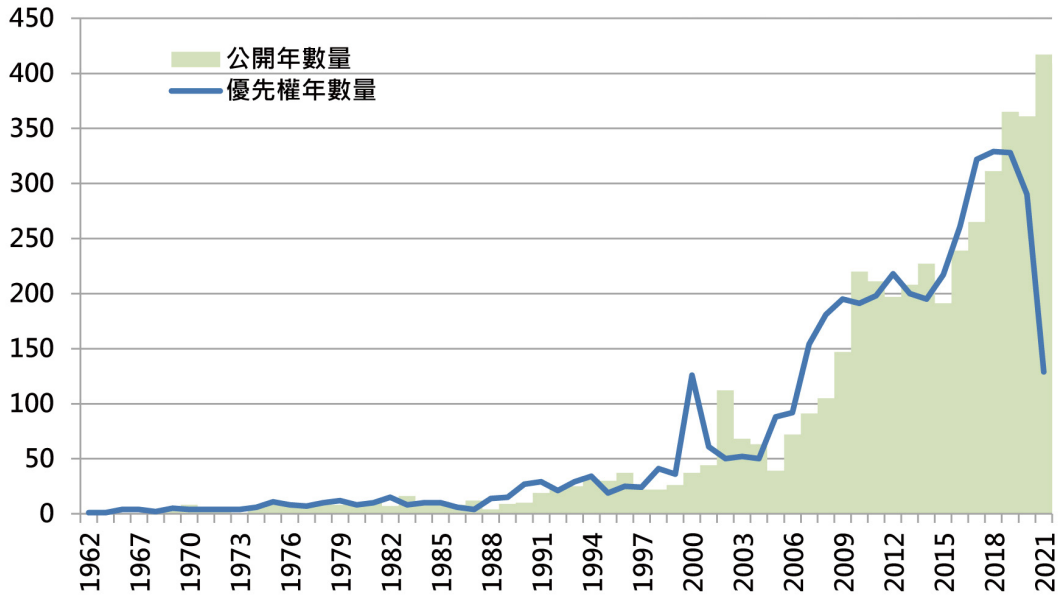

圖 2　碳再利用歷年申請案件數變化

二、生命週期圖分析

生命週期分析如圖 3 所示，除了 2000 年（荷商）殼牌石油公司，類似專利案同時申請 76 案，所造成申請案件數大幅成長，大致而言專利申請人數與專利申請量皆逐年呈現正比上升趨勢，可能為萌芽期或發展期，然 2005 年以前，分布點較密集，即每年專利申請量與專利權人數量成長較慢，推論應為技術萌芽期，而 2005 年以後，分布點較寬鬆，即每年專利申請量與專利權人數量成長相對較快，推論應為技術發展期可能性較大。

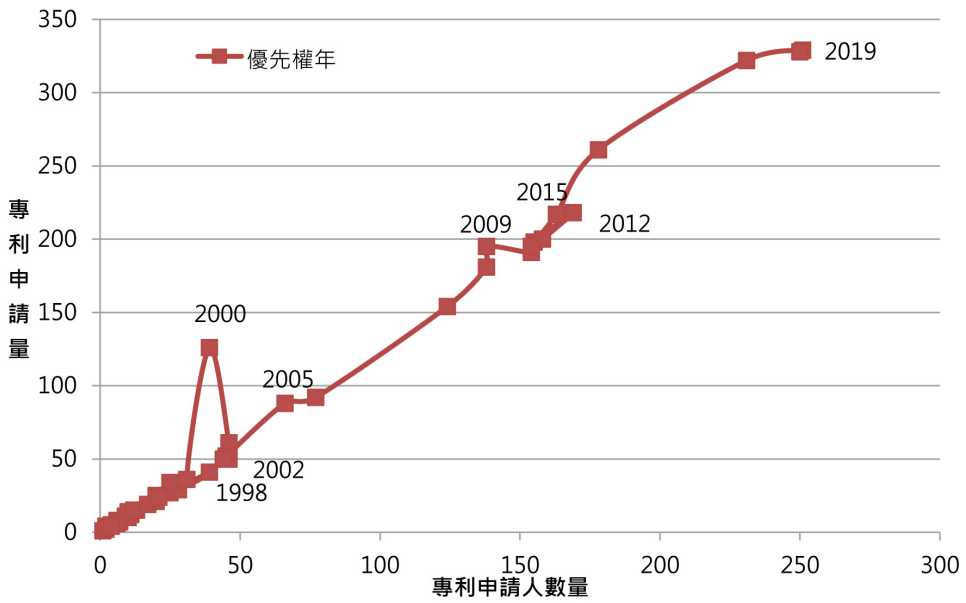

圖 3　碳再利用生命週期圖

三、申請人國家／地區分析

申請人[8]國家／地區如圖 4 所示，其中中國大陸及歐洲就占了超過 5 成。整體而言，除了世界五大專利局（IP5）所屬國家以外，大多數是有生產原油或天然氣的國家（加拿大、沙烏地阿拉伯、俄羅斯兩者皆有，澳洲則在天然氣較多）。

[8] 部分專利申請案有兩個以上的專利申請人，申請人係以專利申請書上第一順位的申請人進行分析。

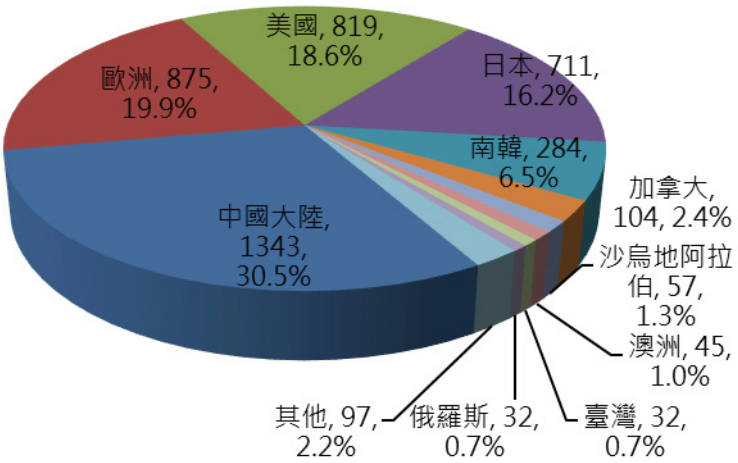

圖 4　碳再利用申請人國家／地區比例

對於歐洲而言，如圖 5 所示以德國申請 263 案（30.1%）最多，接著為荷蘭 179 案（20.5%），兩者超過 5 成。

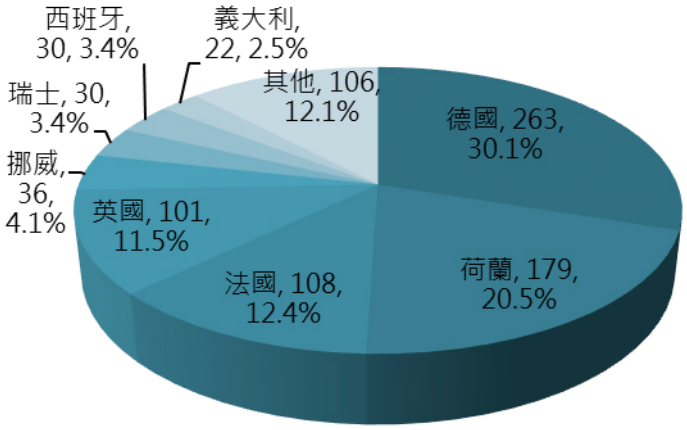

圖 5　碳再利用歐洲申請人國家比例

四、申請人類型比例

如圖 6 所示，對於碳再利用整體專利中申請人類型予以分析，其中 2,680 案（60.9%）為公司，學術及研究機構（學研機構）為 1,169 案（26.6%）、個人為 550 案（12.5%），公司申請人占了絕大多部分的比例，而個人申請人比例最低。

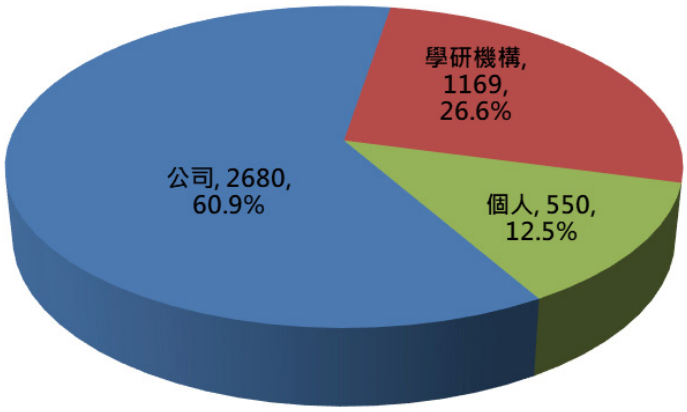

圖 6　碳再利用申請人類型比例

我國申請人類型比例依序為個人 14 案（43.7%）、學研機構 10 案（31.3%）及公司 8 案（25.0%），三者皆未過半，申請專利案件最多為學研機構工研院。

五、前十大申請人國家／地區歷年申請案件數

觀察前述圖 5 所得到碳再利用前十大申請人國家／地區歷年（優先權年）專利申請案件數，截取 1995 年至 2021 年可以得到圖 7，1997 年京都議定書在日本京都通過，條約於 2005 年開始強制生效，大致而言，可以由這兩年分成三個區間，1997 年以前僅有日本有達到兩位數，其他國家都僅有個位數，甚至未申請，而 1997 年至 2005 年間，除了美、日以外，其他國家各年的變化較大，2005 年以後相關案件申請量明顯成長，但似乎除了中國大陸持續增加以外，大多在增加至特定數量後隨即在該數量上下震動，而且在 2011 至 2015 年間都有稍微減少之情況。我國則在 2004 年才首次出現申請案，但每年都未滿 5 案。

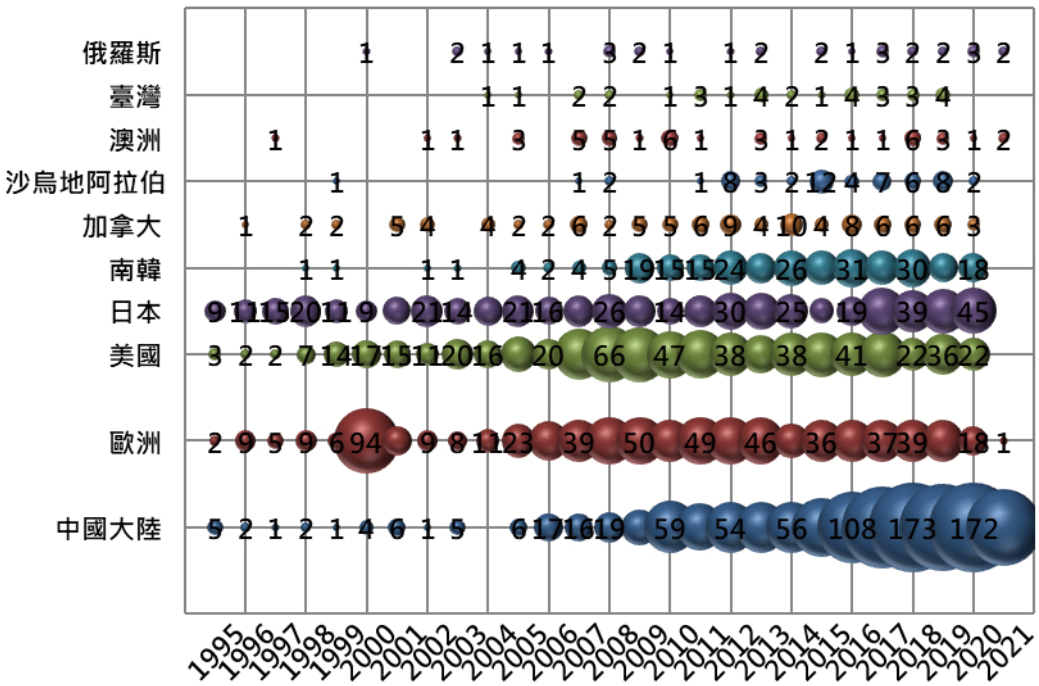

圖 7　碳再利用十大申請人國家／地區歷年申請案件數

六、前十大申請人歷年申請案件數

如圖 8 所示，碳再利用整體前十大申請人依序為：（荷商）殼牌石油公司、（中國大陸）中國科學院、（美商）卡萊拉公司、（中國大陸商）中國石油化工公司、（日商）三菱重工業股份有限公司、（法商）液化空氣集團、（沙商）沙烏地阿拉伯石油公司、（德商）林德集團、（中國大陸）中國礦業大學、（中國大陸）中國人民解放軍軍事科學院軍事醫學研究院，其中公司占 7 名、學研機構占 3 名，若就國家／地區而言，最多為中國大陸 4 家，歐洲 3 家，美、日、沙各 1 家。

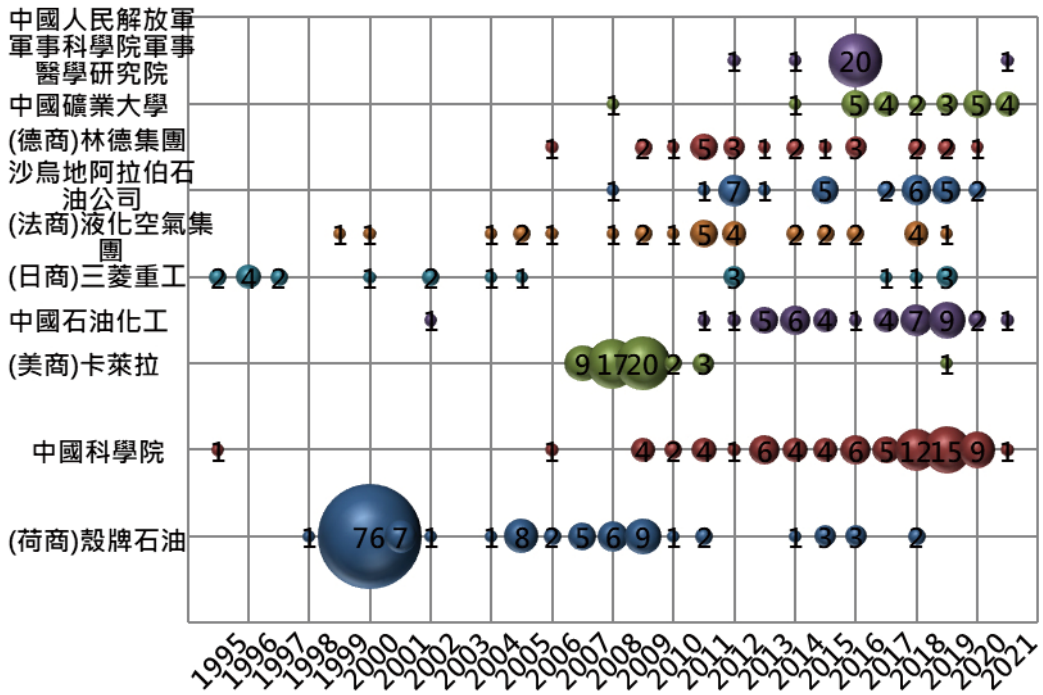

圖 8　碳再利用前十大申請人歷年申請案件數

七、碳再利用 IPC 案數分布

如圖 9 所示為碳再利用申請案件三階 IPC 占比圖，由於碳再利用的技術領域分布廣泛，是以涉及相關 IPC 也十分的多元。

最多之 IPC 類位為 B01D（於原料氣中分離／回收二氧化碳，進而再利用）有 1,585 案（36.0%），其次為 A01G（將二氧化碳利用於農業（蔬菜、花卉、水果等作物）、林業的栽培及繁殖）有 624 案（14.2%），兩者總計已超過五成。

其餘依序為 B01J（有關碳再利用涉及之觸媒或催化反應）有 541 案（12.3%）、C01B（有關碳再利用中涉及氫及碳材料（富勒烯、奈米碳管等）之使用）有 372 案（8.5%）、E21B（利用二氧化碳作為驅油劑，於井中開採油）有 251 案（5.7%）、C07C（以二氧化碳製備烴）有 183 案（4.2%）、C09K（用於鑽井之組合物）有 102 案（2.3%）、C08G（聚合物（主要為聚碳酸酯）之製造）有 58 案（1.3%）、A01C（以二氧化碳作為製造肥料之原料，進行施肥之方法）有 55 案（1.2%）、C05D（產生二氧化碳之肥料）有 47 案（1.1%），而其他尚有 581 案，所占比例為 13.2%。

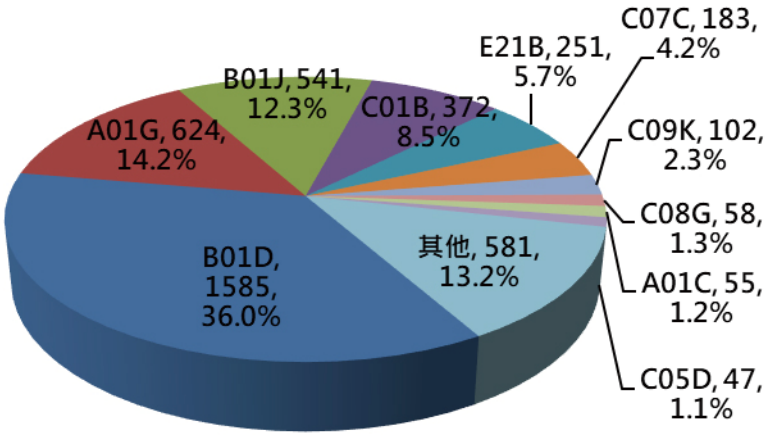

圖 9　碳再利用三階 IPC 案數分布

肆、碳再利用技術領域分析

將碳再利用進一步以技術區分，二階技術範疇包括六大技術類型，並且再將二階技術進一步細分成三階技術，其關係如圖 10 所示。

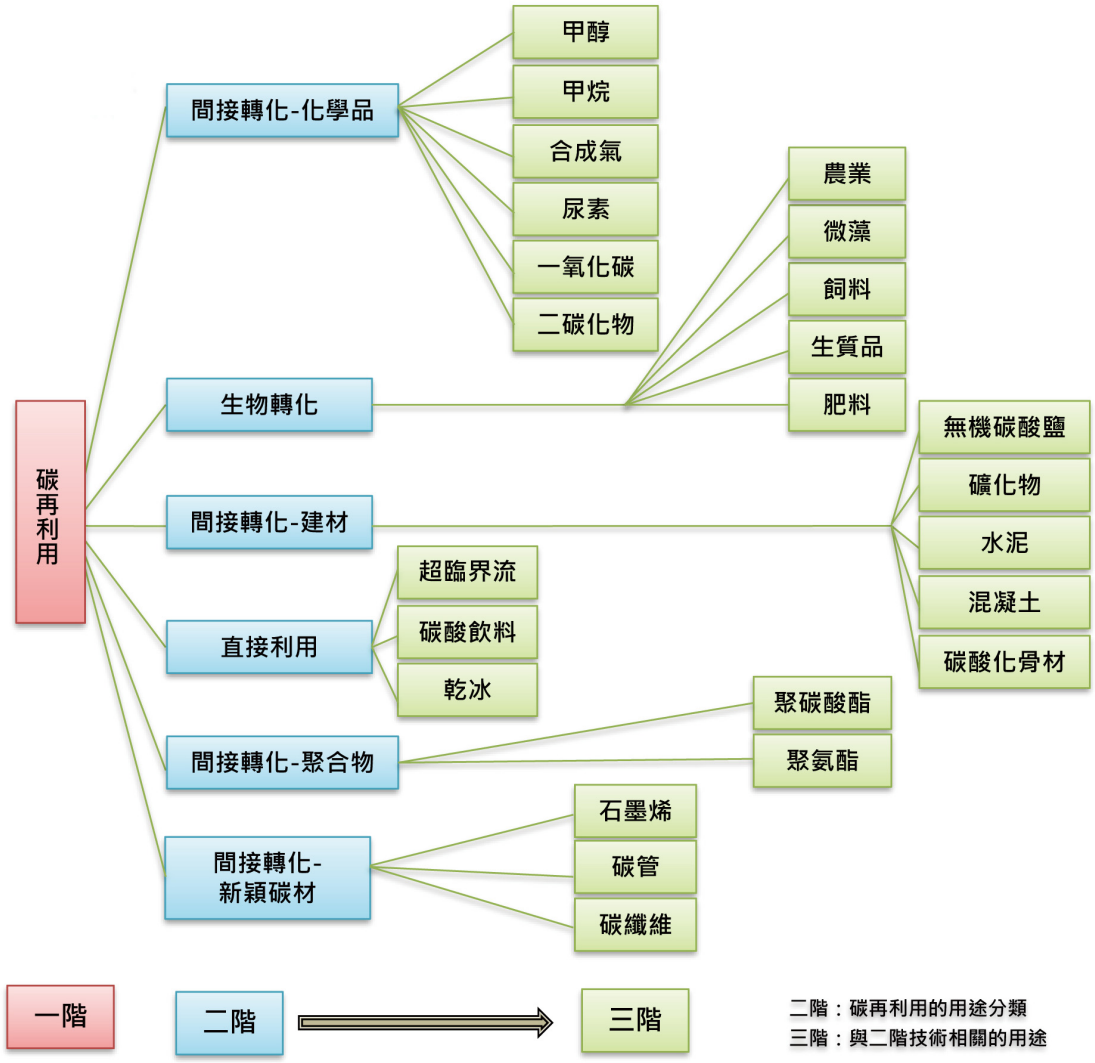

圖 10　碳再利用專利技術分析樹狀圖

一、二階技術領域申請案量分布

將碳再利用專利申請案對二階技術予以細分可以得到圖 11，可以發現二階技術領域中申請量最多為間接轉化—化學品有 1,660 案（32.2%），第二為生物轉化 1,484 案（28.8%），兩者總和超過 6 成，第三為間接轉化—建材 1,172 案（22.7%），此三者皆為超過一千案，其次依序為直接利用 709 案（13.7%）、間接轉化—聚合物 99 案（1.9%）及間接轉化—新穎碳材 34 案（0.7%），後兩者皆未滿一百案。

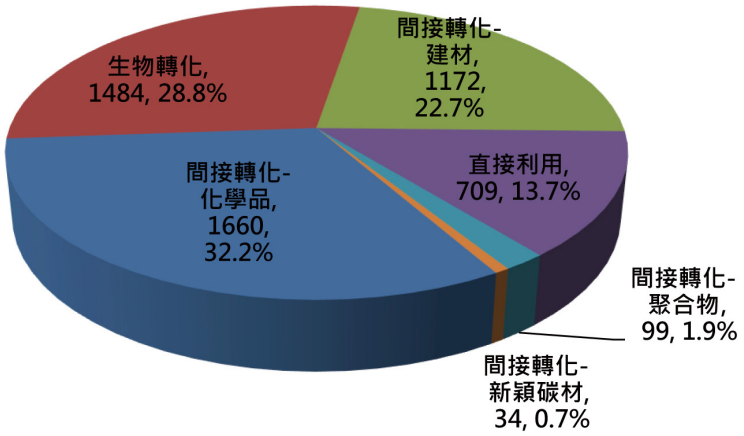

圖 11　碳再利用二階技術申請案量分布

我國申請人則以生物轉化 17 案（47.2%）及間接轉化—建材 11 案（30.6%）為主，兩者總和超過 7 成，其次才是間接轉化—化學品 6 案（16.7%）及直接利用 2 案（5.5%）。

二、碳再利用前十大申請人國家／地區在二階技術申請情形

若將圖 4 整體前十大申請人國家／地區在二階技術之申請狀況可得圖 12，其中「間接轉化—聚合物」及「間接轉化—新穎碳材」明顯少於其他四個技術類別。

「間接轉化—化學品」、「生物轉化」及「直接利用」的第一大申請人國家／地區皆為中國大陸。「間接轉化—建材」及「間接轉化—新穎碳材」則為美國。而「間接轉化—聚合物」為南韓。

「間接轉化—化學品」第一大申請人國家／地區中國大陸有 469 案及第二的歐洲有 460 案差異不大。「間接轉化—建材」第一的美國有 286 案及第二的中國大陸有 283 案差異更小。「間接轉化—聚合物」第一的南韓有 23 案、第二的日本 21 案及第三的歐洲差異也不明顯。

我國排名第九，申請案件最多的為「生物轉化」17 案，其次依序為「間接轉化—建材」有 11 案、「間接轉化—化學品」6 案與「直接利用」2 案，其餘皆沒有布局。

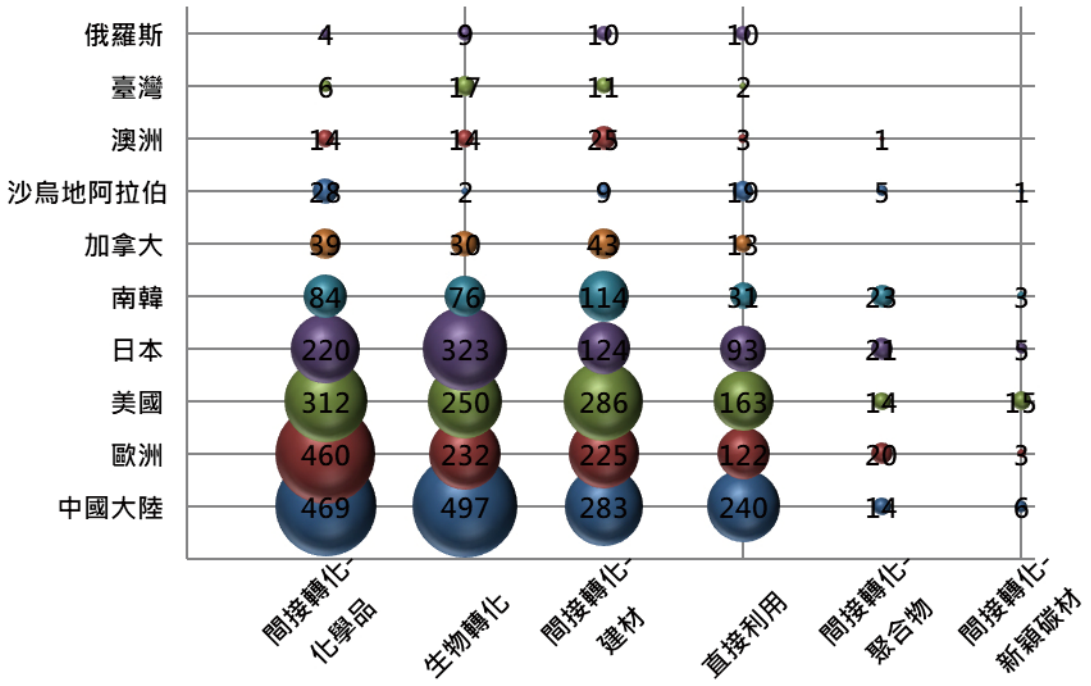

圖 12　碳再利用前十大申請人國家／地區在二階技術各自申請件數

三、碳再利用前十大申請人在二階技術申請情形

若將圖 8 再利用整體前十大申請人的專利申請案，對二階技術類別予以細分可以得到圖 13。

第 1 大申請人（荷商）殼牌石油公司，申請案件最多的為「間接轉化—化學品」106 案，其次依序為「間接轉化—建材」有 38 案、「直接利用」12 案與「生物轉化」2 案，其餘皆沒有布局。

第 2 大申請人（中國大陸）中國科學院，申請案件最多的也是為「間接轉化—化學品」58 案，其次依序為「間接轉化—建材」有 11 案、「生物轉化」9 案與「直接利用」3 案，其餘同樣皆沒有布局。

第 3 大申請人（美商）卡萊拉公司，申請案件最多的為「間接轉化—建材」47 案，其次依序為「間接轉化—化學品」10 案、「生物轉化」7 案與「直接利用」2 案，其餘同樣皆沒有布局。

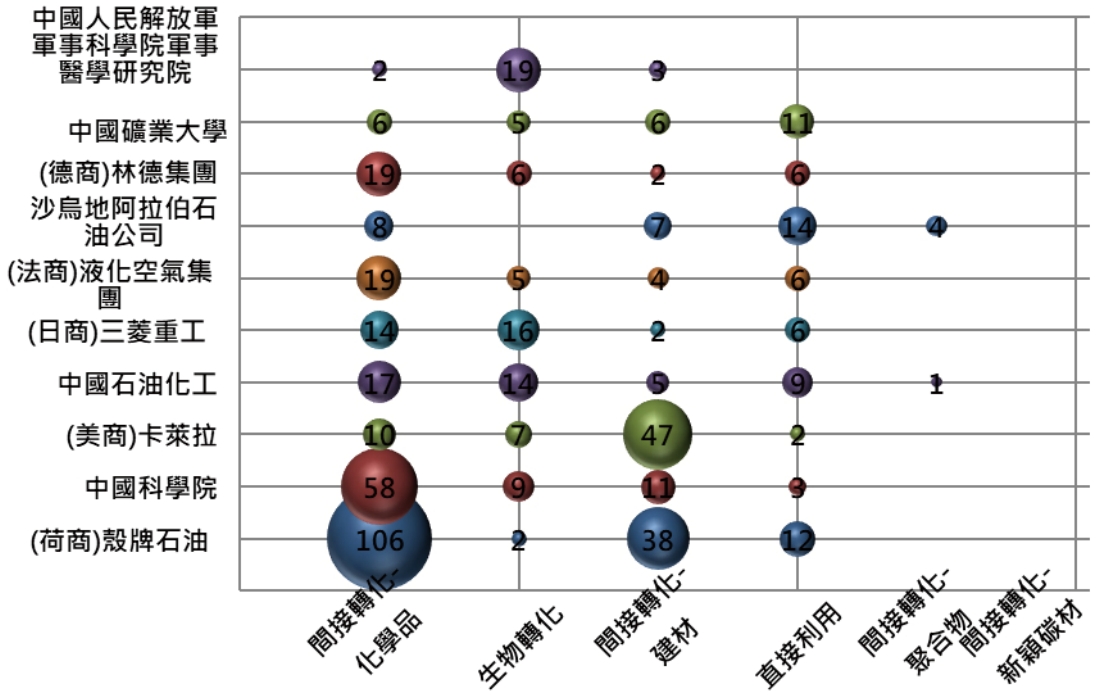

圖 13　碳再利用前十大申請人在二階技術各自申請件數

四、碳再利用第一大申請人國家／地區（中國大陸）於二階技術中歷年申請案件數

圖 14 中可看出碳再利用整體第一大申請人國家／地區中國大陸在六大技術類型皆有布局，除了「間接轉化—聚合物」及「間接轉化—新穎碳材」明顯較少布局，主要集中於「間接轉化—化學品」、「生物轉化」、「間接轉化—建材」及「直接利用」，大致上可以 2005 年為分界，2005 之後每年皆有申請，以前則零零落落，2017 以後每年的申請案件數明顯增加，「生物轉化」更是提前於 2016 年，雖然此後每年案件數變化幅度不大，並非每年逐步成長，但相較於 2016 年以前每年的申請案件數已明顯倍數增加。

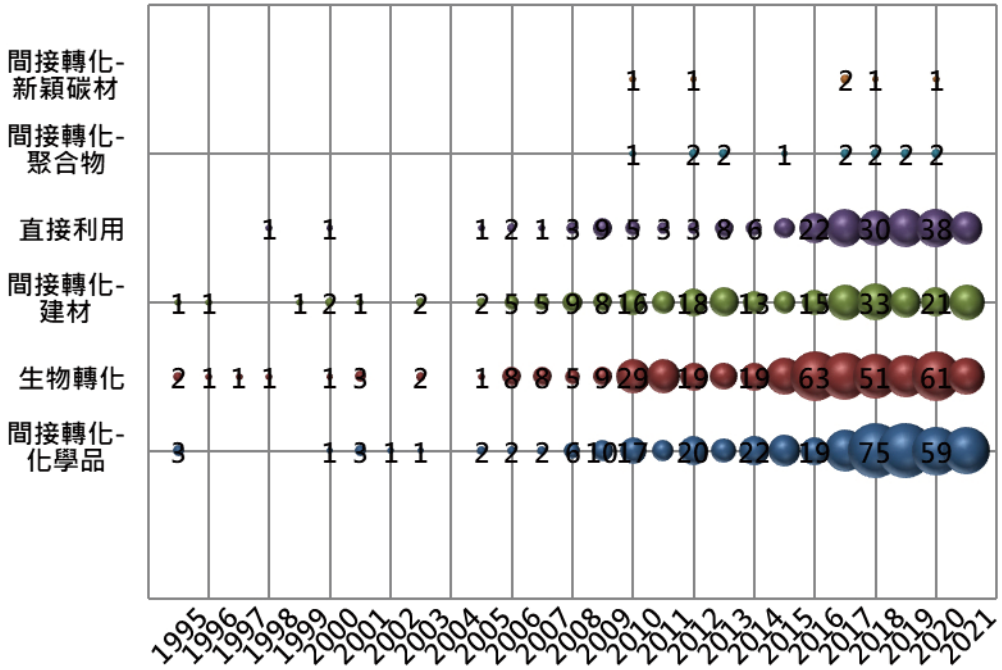

圖 14　再利用第一大申請人國家／地區（中國大陸）於二階技術中歷年申請案件數

五、二階技術中申請人類型案件數

圖 15 分別為二階技術各類型的案件數分布，以及二階技術中各類型的申請人類型比例，依序皆為公司、學研機構及個人，此一情況與碳再利用整體專利中申請人類型相同。

至於我國專利申請人，生物轉化及間接轉化—建材中申請人類型相同，依序皆為個人、學研機構及公司。

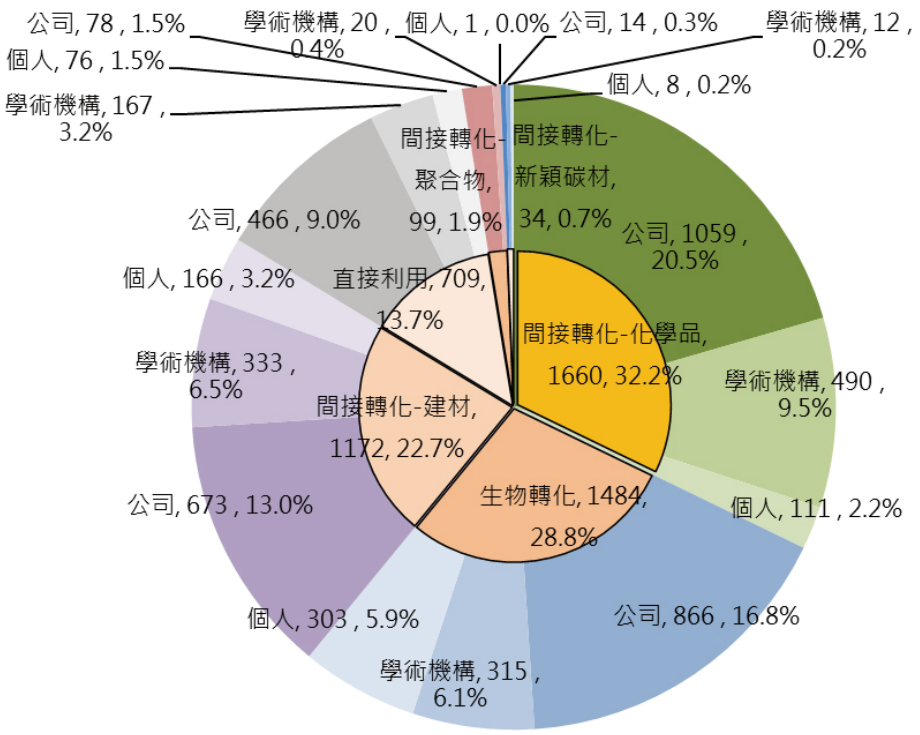

圖 15　碳再利用二階技術中申請人類型案件數

六、二階技術各類型歷年申請案件數

如圖 16 所示，細看碳再利用各二階技術歷年申請情形，大致與碳再利用整體趨勢相同，皆於近幾年有顯著增加之趨勢。申請案量以「間接轉化—化學品」尤最，而「間接轉化—新穎碳材」相對於其他技術類型明顯出現較晚且較少，且每年多為 1 或 2 案，因此，此技術成零散分布。

另經分析我國專利申請人，除了聚合物及新穎碳材皆未申請，其餘多出現在 2004 年以後（圖未示）。

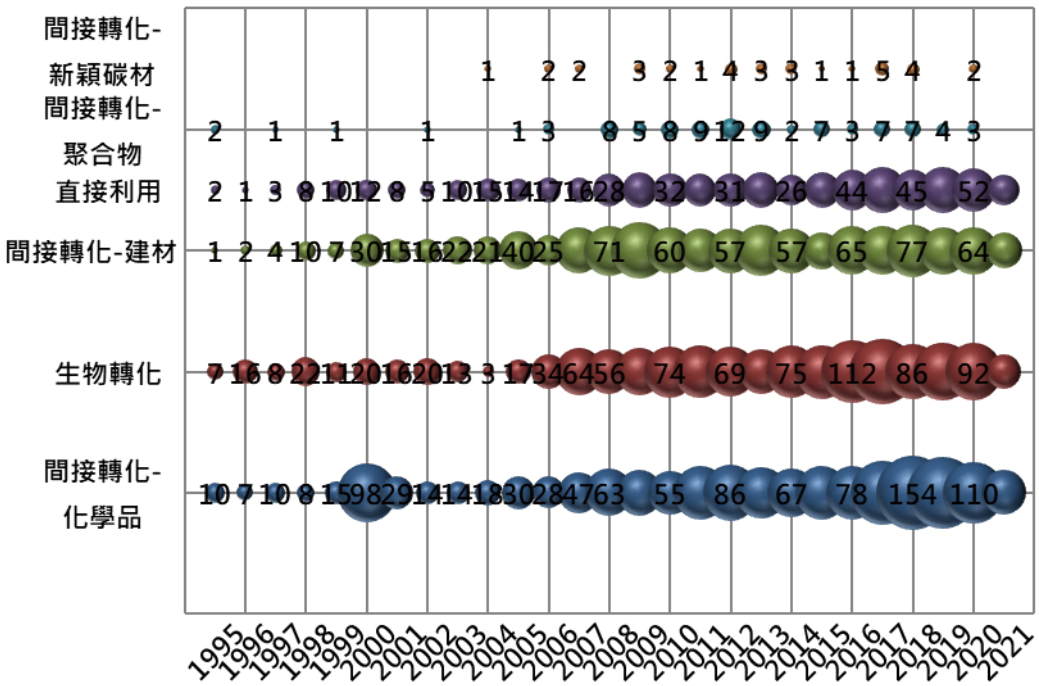

圖 16　二階技術各類型歷年申請案件數

七、二階技術各類型十大申請人

二階技術各類型十大申請人排名，如圖 17 所示，分析如下：

在「間接轉化—化學品」技術，中國大陸最多有三位申請人，德國跟日本皆有兩位居次，荷蘭、法國及沙烏地阿拉伯各有一位，中國大陸包含兩個學研機構及一家公司，其餘各國申請人多為石化業、工業等公司，就申請量而言，第一的（荷商）殼牌石油公司及第二的（中國大陸）中國科學院申請案件數明顯多於其他申請人。

在「生物轉化」技術，中國大陸及日本皆有四位申請人並列第一，德國跟美國各有一位居次，可看出申請人多集中在亞洲國家，中國大陸包含兩個學研機構之外，其餘各國申請人同樣皆為公司，相較之下，「生物轉化」各申請人申請量並沒有明顯變化。

在「間接轉化—建材」技術，南韓最多有四位申請人，美國跟中國大陸皆有兩位居次，荷蘭及日本各有一位，南韓及中國大陸以學研機構為主，第一的（美商）卡萊拉公司及第二的（荷商）殼牌石油公司申請案件數明顯多於其他申請人。

	間接轉化-化學品	生物轉化	間接轉化-建材	直接利用	間接轉化-聚合物	間接轉化-新穎碳材
第1大	(荷商)殼牌石油	(中國大陸)軍事醫學科學院	(美商)卡萊拉	沙烏地阿拉伯石油	(南韓商)SK創新	(美商)碳控股智慧財產
第1大	106	19	47	14	13	2
第2大	中國科學院	(日商)三菱重工	(荷商)殼牌石油	(荷商)殼牌石油	(德商)科思創	(美國)德雷克塞爾大學
第2大	58	16	38	12	9	2
第3大	(法商)液化空氣集團	中國石油化工	韓國地球科學與礦產資源學院	中國石油	(南韓商)LG化學	(美商)西通
第3大	19	14	17	11	8	2
第4大	(德商)林德集團	(中國大陸商)南陽東崙生物光碳	韓國大學	中國礦業大學	(日商)住友精化化學	
第4大	19	13	11	11	8	
第5大	中國石油化工	(美商)農業天然氣	中國科學院	中國石油化工	(英商)易科科技	
第5大	17	10	11	9	5	
第6大	(日商)豐田汽車	(日商)IHI公司	韓國能源研究所	(美商)普萊克斯	(美商)諾沃默	
第6大	17	9	10	8	5	
第7大	沙烏地基礎工業	(德商)西門子	(中國大陸)啟明醫療（杭州）	挪威國家石油海德羅	沙烏地阿拉伯石油	
第7大	16	9	9	8	4	
第8大	(日商)三菱重工	中國科學院	(日商)太陽水泥	(美商)陶氏全球技術	(日本)東京大學	
第8大	14	9	9	7	3	
第9大	(中國大陸)福州大學	(日商)東芝	(美商)通用電氣		(德商)拜耳智慧財產	
第9大	13	8	9		2	
第10大	(德商)西門子	(日商)雙葉	韓國電力		(中國大陸)浙江大學	
第10大	13	8	9		2	
					(日商)松下	
					2	

圖 17　二階技術各類型十大申請人

在「直接利用」技術，中國大陸有三位申請人最多，其次為美國有兩位，荷蘭、沙烏地阿拉伯及挪威各有一位，多為石油公司，此外尚有六個申請人各有 6 案，圖上並未呈現，各申請人申請量變化不大。

在「間接轉化—聚合物」技術，日本有三位申請人最多，南韓及德國各有兩位申請人居次，接著為英國、美國、沙烏地阿拉伯及中國大陸皆有一位，各國申請人數分布較為平均，且各申請人申請量變化不大。

「間接轉化—新穎碳材」申請量則較少，除了圖示三位申請人，（美商）碳控股智慧財產、（美國）德雷克賽爾大學、（美商）西通公司皆有 2 案以外，其餘申請人皆各有 1 案，各申請人申請量變化不大。

八、二階技術各類型十大申請人國家／地區

二階技術各類型各自十大申請人國家／地區排名，如圖 18 所示，二階技術各類型各自十大申請人國家／地區仍以 IP5 所屬國家為主，其他還有加拿大、澳洲、俄羅斯、沙烏地阿拉伯及臺灣，除了「間接轉化—建材」，各類型前兩名之國家合計申請量皆已超過五成，「間接轉化—聚合物」及「間接轉化—新穎碳材」申請案較少，申請案為 1 案之國家亦進入前十，而臺灣在間接轉化—化學品、生物轉化、間接轉化—建材及直接利用（案件數為 2，共有 5 國並列，圖上並未顯示）進入前十。

	間接轉化-化學品	生物轉化	間接轉化-建材	直接利用	間接轉化-聚合物	間接轉化-新穎碳材
第1大	中國大陸	中國大陸	美國	中國大陸	南韓	美國
第1大	469	497	286	240	23	15
第2大	歐洲	日本	中國大陸	美國	日本	中國大陸
第2大	460	323	283	163	21	6
第3大	美國	美國	歐洲	歐洲	歐洲	日本
第3大	312	250	225	122	20	5
第4大	日本	歐洲	日本	日本	美國	歐洲
第4大	220	232	124	93	14	3
第5大	南韓	南韓	南韓	南韓	中國大陸	南韓
第5大	84	76	114	31	14	3
第6大	加拿大	加拿大	加拿大	沙烏地阿拉伯	沙烏地阿拉伯	阿曼
第6大	39	30	43	19	5	1
第7大	沙烏地阿拉伯	台灣	澳洲	加拿大	南非	沙烏地阿拉伯
第7大	28	17	25	13	1	1
第8大	澳洲	澳洲	台灣	俄羅斯	澳洲	
第8大	14	14	11	10	1	
第9大	台灣	俄羅斯	俄羅斯	澳洲		
第9大	6	9	10	3		
第10大	俄羅斯	巴西	巴西 沙烏地阿拉伯			
第10大	4	6	9			

圖 18　二階技術各類型十大申請人國家／地區

九、三階技術與二階技術對照比例分布

將再利用三階技術與二階技術對照比例可以得到圖 19[9]，就三階技術而言，申請量最多為「生物轉化」的農林業 14.7%，第二為「間接轉化—化學品」的甲醇 11.4%，僅此兩者超過 1 成，其餘依序為「間接轉化—建材」的無機碳酸鹽 8.4%、「間接轉化—化學品」的甲烷 8.3%、「生物轉化」的微藻 6.3%、「間接轉化—建材」的礦化物 5.6%、「間接轉化—建材」的水泥 5.2%，其餘皆未滿 5%。

[9] 同一件專利案可能同時包含不同二階或三階技術，因此在統計上，將在各類別中同時予以計數。

在「間接轉化—化學品」方面，其係碳再利用之最大宗應用，廣大之占比的基礎即為較大的二氧化碳吸收潛力以及技術成熟度。其中又以應用於甲醇、甲烷最為優勢，主要是其可以直接使用或是作為其他產品的原料，亦可直接作為燃料或轉化為其他碳基燃料。

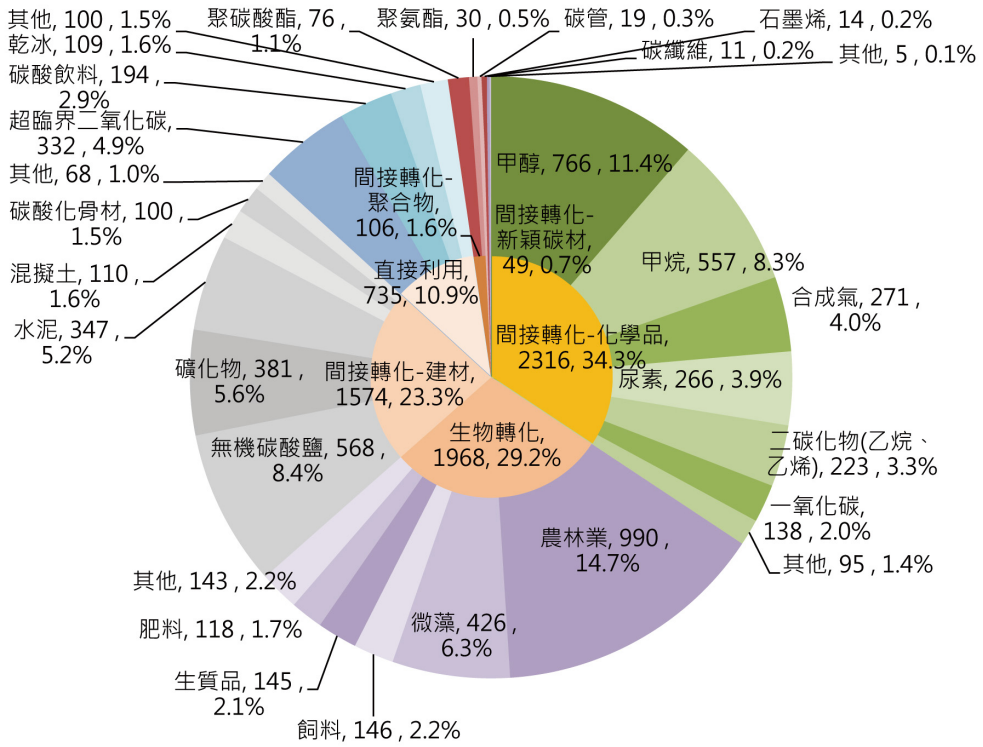

圖 19　碳再利用二階技術及三階技術申請比例分布

十、碳再利用轉化為甲烷之 Theme Scape 專利地圖分析

碳再利用間接轉化為甲烷共計 557 案，間接轉化—化學品中排行前二（占比 8.3%），可算是再利用中極具優勢的應用之一。

甲烷（CH_4）結構最簡單的烷類，其含碳量最小且含氫量最大，由一個碳原子以及四個氫原子組成，可經由碳氧化物（如二氧化碳和一氧化碳等）與氫氣轉化製備，為一種重要的化學品，而如何由廢氣製備甲烷以及將甲烷轉化成為更具經濟價值的產物，一直是此技術領域者努力的目標。

（一）整體技術分類

為了解甲烷技術研發狀況，將甲烷 557 案利用 Derwent Innovation（DI）專利資料庫圖像化功能 Theme Scape Map，進行技術發展趨勢及專利布局的分析。

碳再利用轉化為甲烷相關技術整體專利地圖，如圖 20 所示，所得到白色山峰表示較多的專利聚集於此，代表專利中「高頻率討論」的技術詞彙，相對的，平原、海洋則代表較低密度的專利聚集於此，由上述的技術詞彙大致可歸納如下主題範疇：產氫、含碳反應物、產物、原位處理、觸媒、製程、氧化偶聯及大氣。

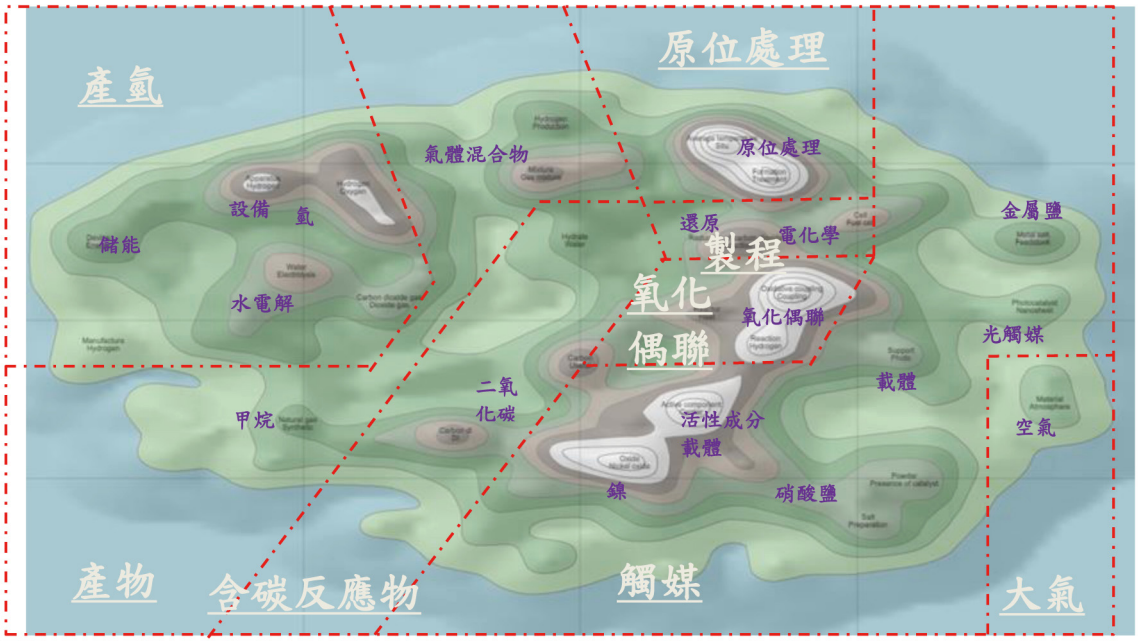

圖 20　碳再利用轉化為甲烷相關技術整體專利地圖

（二）各年分區間相關技術發展分析

若將其依照優先權年分為前期（2001 年以前）、中期（2002—2011 年）及後期（2012—2021 年），觀察專利布局中技術發展的技術詞彙變化，整理後可以得到表 1，可發現：

表 1　碳再利用間接轉化為甲烷相關技術詞彙變化

	前期 （1965-2001 年）	中期 （2002-2011 年）	後期 （2012-2021 年）
原位處理	溫度調整 原位處理含烴層 熱處理 氨	重油 流體 燃料 能量	
含碳反應物	二氧化碳 一氧化碳		
產氫	氫氣 水 蒸氣 觸媒	產氫 水	水電解 再生能源
產物	甲烷化 甲烷	氣體混合物 產物氣體	天然氣 合成氣 純化
甲烷化觸媒	甲烷化 觸媒 鎳	鎳 釤 氧化鎳 活性成分 載體 鍛燒 金屬鹽	鎳 鋁 氧化鎳 活性成分
裝置		電化學電池 分離 反應器 氣體反應器 氮移除系統 有機物燃燒 鍋爐 移除氨	反應器 反應釜 生產設備

（續下頁）

	前期（1965-2001 年）	中期（2002-2011 年）	後期（2012-2021 年）
製程		二氧化碳捕集 發酵製備甲烷	二氧化碳轉化 溫度電解 處理
甲烷氧化偶聯			氧化偶聯

前期（2001 年以前）的主題主要在於產氫、含碳反應物、產物、觸媒、原位處理，這個階段申請量較少，大多為簡單的甲烷化議題，呈現的技術辭彙也較為單調，而原位處理主要由於殼牌石油在 2000 年初期申請一系列專利。

到了中期（2002—2011 年）的主題，除了產氫、含碳反應物、產物、觸媒、原位處理以外，又新增製程與裝置相關主題類型，可以推論申請人研發重心已逐步擴展到放量生產，開始研發甲烷化相關製程及設備，這個階段申請量稍微增加，相關甲烷化主題所包含的技術也較為多樣，從早期的單純熱催化（高溫高壓）到電化學催化等。

到了後期（2012—2021 年）的主題，除了最原始的產氫、產物、觸媒，以及後來新增的製程與裝置以外，又新增氧化偶聯相關主題，可見除了放量生產相關議題，申請人也開始研發如何將甲烷轉換為其他化學品。

（三）主要申請人國家／地區整體技術分析

碳再利用轉化為甲烷專利申請人進一步予以篩選，可以得到歐、中、日、美申請人國家／地區比較，如圖 21 所示，其中歐洲為綠點、中國大陸申請人為紅點、日本為橘點、美國為黑點。

歐洲申請人主要集中在原位處理相關主題，由於原位處理主要提供一流體（如二氧化碳）與地層內的碳和／或烴接觸產生合成氣，可透過改變壓力、熱量、加熱速率等控制產品的種類及品質，殼牌石油於 2000 年左右申請一系列相似的專利案，此外，歐洲申請人對於利用大氣中的二氧化碳轉化成甲烷也有著墨。

中國大陸申請人主要集中在含碳反應物及觸媒相關主題，又以活性成分及載體占大多數，主要與中國大陸申請人多為學研機構，研發目標多與材料特性與改質有關。

日本申請人主要集中在產氫相關主題，其他在產物、含碳反應物及觸媒也多有布局，日本對於氫能研發一向十分熱中，尤其是豐田汽車，申請人主要研發重心在產氫相關主題並不令人意外。

美國申請人主要集中在氧化偶聯相關主題，可見美國申請人主要研發重心在於如何將甲烷轉換為其他化學品，且美國申請人對於利用大氣中的二氧化碳轉化成甲烷也有著墨。

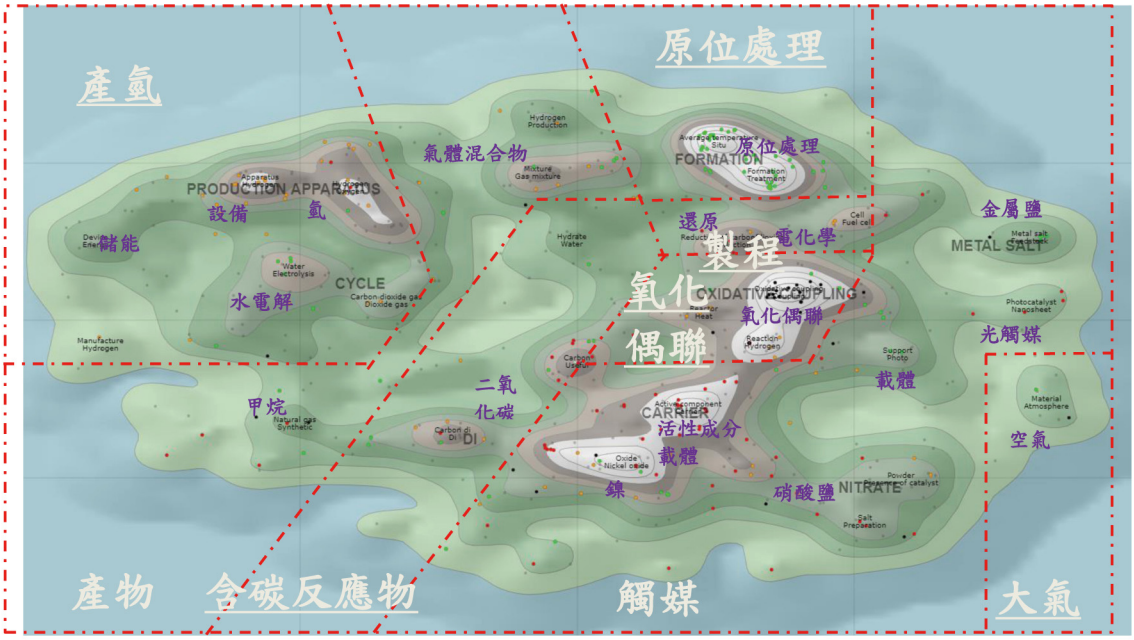

圖 21　碳再利用轉化為甲烷，歐、中、日、美申請人比較

伍、全球申請流向及主要專利局分析

為了了解於全球專利布局之概況，將前述專利家族 4,399 案展開，於全球布局已公開的專利數量共計有 11,916 件，若將 IP5 所屬國家及臺灣的申請人到 IP5

及臺灣申請專利數作一比較可得圖 22，大致上可發現各國申請人主要還是在該國專利局申請居多，中國大陸此一現象更是明顯，中國大陸雖然申請量最多，但是集中在境內，於海外除了在美國為 28 件以外，在其餘各國皆未滿 10 件，可見中國大陸並未進入競爭較為激烈的全球市場，在高階技術的全球布局較為弱勢。

各國申請人除了在本身國家的專利局申請外，向其他國家申請專利主要首選並不相同。中國大陸、歐洲及南韓申請人首選為美國專利商標局，美國及日本申請人首選為歐洲專利局，而臺灣申請人首選為中國大陸知識產權局。

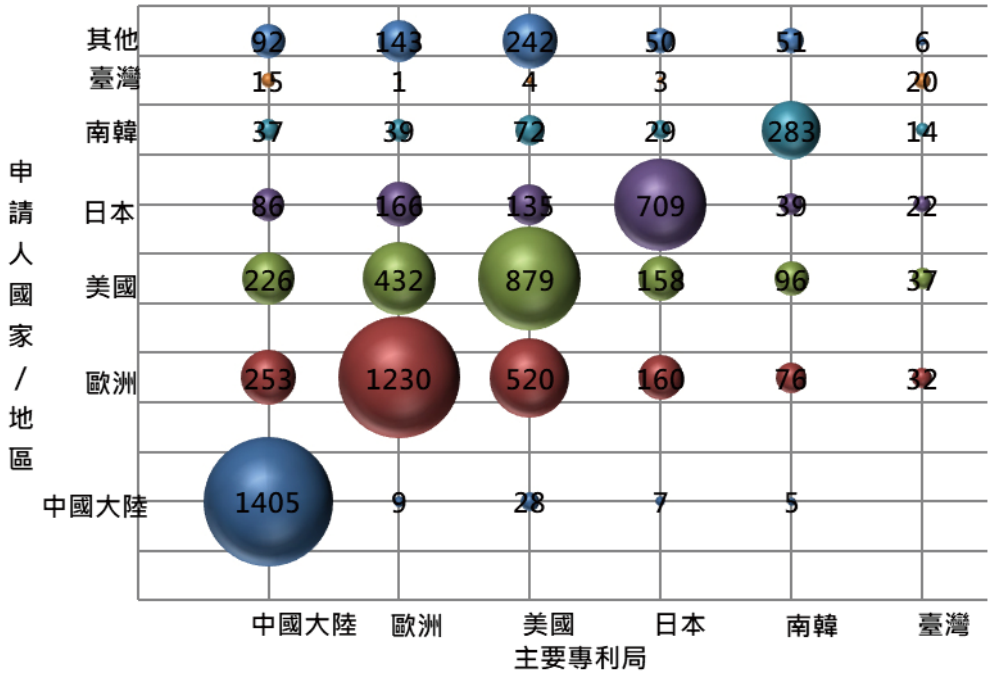

圖 22　碳再利用主要申請人國家／地區與主要專利局矩陣分析

若將 IP5 所屬國家及臺灣的申請人到 IP5 及臺灣申請專利之申請流向予以作圖可得圖 23，圓餅大小數字表示在該國公開的件數，依序為中國大陸（2,114 件）、歐洲（2,020 件）、美國（1,880 件）、日本（1,116 件）、南韓（550 件）及臺灣（131 件）。

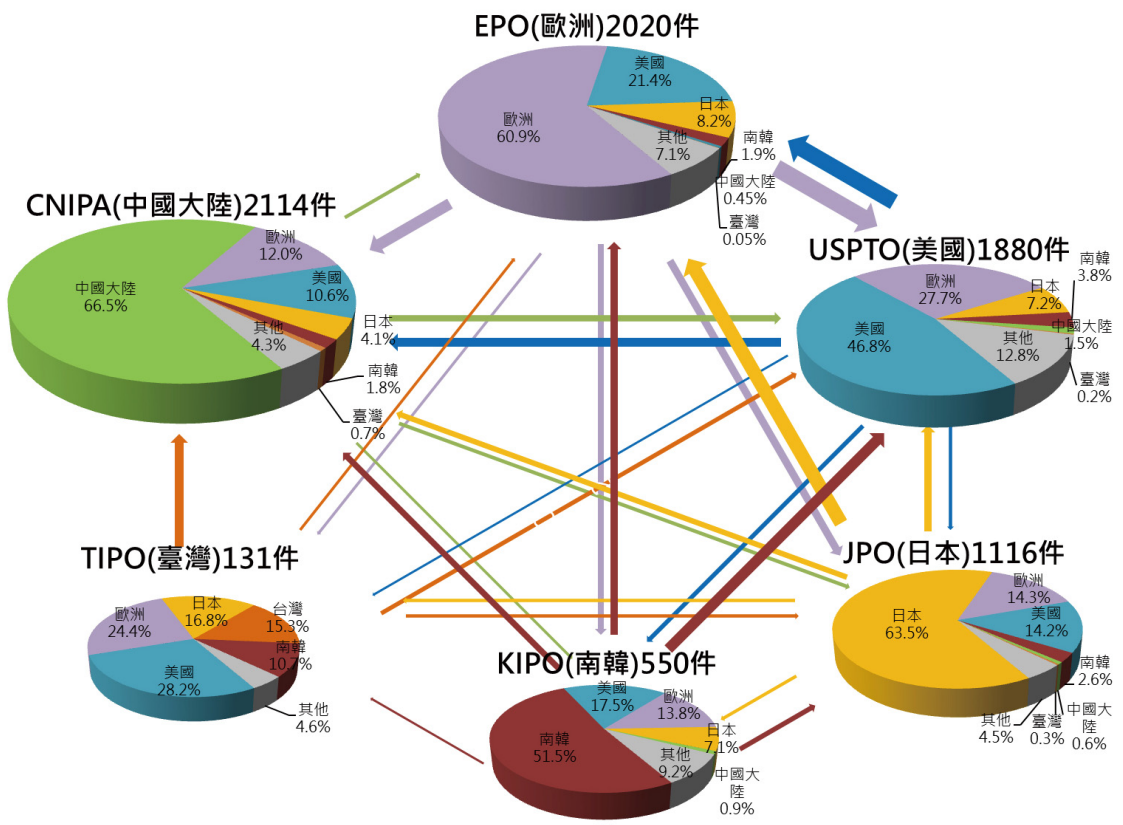

圖 23　碳再利用申請流向圖

由圖 23 可以發現中國大陸、歐洲、日本、南韓公開的專利案中，本地申請人申請量超過一半，美國雖未過半但也有 46.8%，而臺灣本地申請人申請量占比僅有 15.3%，臺灣公開的申請案中，絕大部分是國外申請人，而中國大陸申請人並未來臺灣申請相關案件，臺灣申請人也未到南韓申請。

陸、相關案例分析

一、二階技術相關案例

DI 中所列被引用數較（最）高且切合碳再利用二階技術「間接轉化—化學品」、「生物轉化」、「間接轉化—建材」、「直接利用」、「間接轉化—聚合物」及「間接轉化—新穎碳材」之案例，如表 2 及表 3 所示，專利被引用數愈高

者，表示專利技術品質愈高，具有較高的參考價值，除了「間接轉化—新穎碳材」以外，被引用數都有 100 次以上，甚至到 250 次。

表 2　碳再利用二階技術相關案例

案例	1	2	3
案號	US2002/0033253A1	US2008/0178739A1	US2004/0219090A1
引用[10]	66	270	10
被引用[11]	254	114	161
優先權年	2000	2006	2003
碳再利用技術	間接轉化—化學品	生物轉化	間接轉化—建材
特徵	在含烴地層中鑽井，在地層一部分中提供熱源加熱來熱解地層中的烴，熱源可以為沿著加熱器長度上選定的部分，並且提供一合成氣生成流體（水、蒸氣和／或二氧化碳），藉由合成氣生成流體與地層內的碳和／或烴接觸產生合成氣，產生合成氣之後，合成氣生成流體可於降溫後封存於地層中。此工藝可以分批或連續式進行，透過改變壓力、熱量、加熱速率等可以控制產品的種類及品質。	一種光生物反應器，使液體介質和氣體流流過多個可互連的光生物反應器單元，液體介質包含光養生物（如藻類），連接到高濃度二氧化碳廢氣源，藻類利用二氧化碳和光來生長，從而產生生物質，乾燥的藻類生物質可以直接用作燃燒裝置的固體燃料和／或轉化為燃料油（如生物柴油）和／或其他燃料（如乙醇、甲烷、氫氣），藻類也可用作人類和動物的食物補充劑，光生物反應器可作為燃料產生系統或氣體處理系統的一部分，從氣體流中去除部分污染物。	富有二氧化碳的空氣通過氣體擴散膜進入至流體介質，使流體介質通過包含有具二氧化碳特異性之催化劑（如碳酸酐酶）的基質以進行加速碳酸化，其中可藉由指示劑來評斷碳酸化的進程，當碳酸形成後，系統會自發地以碳酸氫根、碳酸根離子平衡狀態下存在，最後添加礦物離子（如鈣離子、或鎂離子）改變平衡以有利於碳酸鹽方向反應進行，從而形成碳酸鹽沉澱。

[10] 此處「引用」係指經 DI 統計之數值，該專利引用前案的計數。
[11] 此處「被引用」係指經 DI 統計之數值，該專利被後案引用的計數。

表 3　碳再利用二階技術相關案例（續）

案例	4	5	6
案號	US6668554B1	WO2010/028362A1	US2006/0021510A1
引用	14	3	23
被引用	146	253	50
優先權年	1999	2008	2004
碳再利用技術	直接利用	間接轉化—聚合物	間接轉化—新穎碳材
特徵	使用超臨界流體（如二氧化碳）產生地熱能的方法，用於建造地下儲層、產生地熱能和熱能傳輸，其中，地下儲層是利用超臨界流體泵入地層以使岩石破裂而形成，一旦儲層形成，相同的超臨界流體將會被加熱和膨脹，然後被泵出儲層並將熱能傳遞到地面發電廠或作為其他應用（如作為熱源直接加熱使用），可產生清潔、無污染的地熱能取代石化燃料，甚至在深層岩層中隔離二氧化碳，提供了長期的封存。	聚碳酸酯多元醇、聚氨酯的製造方法。聚碳酸酯多元醇製備方法為在二氧化碳存在下使包含一種或多種環氧化物的反應混合物與聚合體系接觸，透過聚合反應形成聚碳酸酯多元醇，其中聚合體系包含金屬複合物，該金屬複合物具有配體、聚合起始劑以及鏈轉移劑。此外，通過一種或多種異氰酸酯與一種或多種聚碳酸酯多元醇反應可形成聚氨酯。	一種在奈米碳管基質內捕獲及儲存碳氫化合物和溫室氣體的裝置和方法，該碳氫化合物或溫室氣體包括二氧化碳等，可以在沒有產生大量二氧化碳的情況下生產氫氣，還可利用初始量的奈米碳管作為基底來捕獲碳氫化合物氣體和／或溫室氣體，形成充滿飽和碳氫化合物、溫室氣體或兩者的奈米碳管，將充滿飽和碳氫化合物或溫室氣體的奈米管置於真空下並暴露在微波能量下，從而產生：（a）將氫氣釋放到儲存容器中，（b）從碳氫化合物或溫室氣體的循環碳元素中從頭合成奈米碳管，新合成的奈米碳管會被碳氫化合物或溫室氣體飽和，並暴露在微波輻射下，產生更多新合成的奈米碳管。

二、產業相關案例

針對石化、電力、冶金（鋼鐵、煉鋁）、水泥四個高排碳產業，篩選出碳再利用中於近十年被引用次數較（最）多且與上述產業關聯性較大之案件，如表 4 所示。

表 4　碳再利用近十年高排碳產業相關案例

案例	1	2	3	4
案號	WO 2015/105911 A1	WO 2014/001917 A2	WO 2013/158158 A1	US 2017/0218404 A1
引用	106	9	4	7
被引用	48	19	20	19
優先權年	2014	2012	2012	2016
主要被引用申請人	（美商）魯瑪斯技術公司（20）[12]，（美商）希路瑞亞技術公司（19），（德商）林德集團（6）	（瑞士商）卡薩萊公司（7），（美商）格蘭納斯有限責任公司（2）	（美商）西通有限責任公司（17）	（美商）藍瑟科技公司（13），（加拿大商）埃歐金能源公司（3），（德商）馬丁環境和能源技術有限公司（2）
主要相關產業	石化	電力	鋼鐵	水泥
其他相關產業		石化、水泥	水泥、電力	電力、鋼鐵
碳再利用技術	甲烷、甲醇、二（多）碳化物	尿素、甲烷、合成氣	奈米碳管、石墨烯、富勒烯	微藻、生質品

（續下頁）

[12] 括號（）內之數字表示被引用之次數。

案例	1	2	3	4
特徵	利用甲烷（天然氣）取代原油利用甲烷氧化偶合（OCM）生產乙烯及其他高級烴產物，並將過程中所產生的一氧化碳、二氧化碳及氫氣等，利用甲烷化器轉化成甲烷回收使用。	將燃燒燃料過程的煙道氣流出物，予以生產氨氮和尿素，具有同時多聯產電力和化肥，在過程中產生的蒸汽和冷凝物，可用於提供加熱或冷卻，也可用於提供加壓的目的。	將廢氣經過多階段轉化成固體碳（奈米碳管、石墨烯、富勒烯等），可再循環至產線作為強化添加物或收集作為其他使用。	利用再生能源電解水或二氧化碳產生氧氣作為生產原料，並產生氫或一氧化碳，而氫與二氧化碳經由反向水煤氣變換成一氧化碳，一氧化碳利用厭氧固定微生物得到發酵產物。

從上述各種不同「碳再利用」技術之案例或是與高排碳產業結合之案例可以發現除了單純技術層面的提升，如何配合工廠特性選擇適合的碳再利用方式，於現有廠區增加碳再利用轉換及回收設備，如上述高排碳產業案例WO2015/105911A1（從甲烷生產高級烴組合物的集成系統）、WO2014/001917A2（從煙道氣生產氨和／或氮基肥料以及同時產生的能量的多聯產方法）、WO2013/158158A1（將廢氣經過多階段轉化成奈米碳管、石墨烯、富勒烯等固體碳）、US2017/0218404A1（整合電解和發酵工藝將廢氣發酵）等所示，建立一貫作業工廠或多聯產系統，減少廢棄物及廢熱、降低浪費，使資源再利用最大化，也是減少碳排重要之考量。

工廠所產生之高溫二氧化碳，可直接利用作為工業流體，用於熱量供應及產品乾燥，熱能的循環利用減少額外能源投入，冷凝物可用於冷卻及提供加壓目的。

溫度降低之二氧化碳，與再生能源生產所得之綠氫選擇生產適合的化學品、建材、聚合物或是新穎碳材，再循環至產線用作替代燃料或原料，或是經過多階段轉化成其他高價化學品，再循環至產線作為強化添加物或收集作為其他使用。或是經由生物轉化得到生質品，若生產時需要純氧，可利用再生能源電解水或二氧化碳產生氧氣作為生產原料，並可得氫或一氧化碳副產物，而氫與二氧化碳經由反向水煤氣變換成一氧化碳，一氧化碳利用厭氧固定微生物得到有用之發酵產物，而中間所得之水或二氧化碳亦可回收再利用。

鑒於臺灣地狹人稠及多為中小企業，如要進行碳再利用，建立一貫作業工廠或多聯產系統，可能並非易事，對於大型廠區，或許可以於廠區內搭配建立利用再生能源產生氫氣工廠，降低儲存成本，以及減少跨廠區管線輸送的運輸成本及外洩風險；而小型工廠聚集之園區，可以於園區內工廠間資源整合應用，或是統一建立利用再生能源產生氫氣工廠，利用所得到之綠氫與各工廠所回收利用管線匯集之二氧化碳，統一生產；獨立的小型工廠，或許可以將二氧化碳捕獲，經過適當處理予以直接利用。

柒、結語

一、就整體趨勢，碳再利用專利的申請量近年來有逐步升高的趨勢，專利申請權人數與專利申請量皆逐年呈現正比上升趨勢，或許這與近年來各國政府對於氣候變遷與淨零排放議題的重視有關。

二、就整體申請人國家／地區，依序為中國大陸、歐洲、美國、日本及韓國，臺灣則排行第 9，各國在相關技術進行研發之情形中，中國大陸由於政策影響，有逐漸增加申請案件的趨勢外，其餘國家／地區則未有明顯增加的趨勢。

三、專利第一大申請人類型以公司最多，整體而言占 60.9%。

四、對 IPC 分析，依序為 B01D（屬分離技術，進一步研究係與有關在原料氣中分離回收二氧化碳，進而再利用）、A01G（將二氧化碳利用於農業（蔬菜、花卉、水果等作物）、林業的栽培及繁殖）、B01J（有關碳再利用涉及之催化劑或催化反應）。

五、碳再利用二階技術申請量，依序為「間接轉化—化學品」、「生物轉化」、「間接轉化—建材」、「直接利用」、「間接轉化—聚合物」及「間接轉化—新穎碳材」。再進一步分析，農林業、甲醇、無機碳酸鹽、甲烷及微藻相關技術均屬於較多專利申請案件，申請趨勢大致與文獻所述技術成熟度及碳再利用潛力高度相關，就可行性、市場規模與減碳潛力而言，具有投入之價值。

六、由全球申請流向及主要專利局分析結果，各國申請人多在自己國內布局，但在臺灣，我國的申請人申請案件量皆不多，因此，我國在進行有關碳再利用的技術，仍有可能會掌握在其他國家，仍很大進步的空間。

七、從相關技術案例或產業相關案例可以發現除了技術層面的提升，如何配合工廠特性選擇碳再利用之方式，減少廢棄物、降低浪費，使資源再利用最大化，也是減少碳排重要之考量。

八、碳再利用係對於無可避免之碳排放作出因應方式之一，一般除了考量生產成本，還需對於產品進行生命週期評估（Life cycle assessment, LCA），雖難以達到完全零碳排，但在導入氣候友善製程，以期達到「減量、回收及資源循環」之循環低碳生產的目標，使用再生能源，取代石化燃料，回收副產品或廢棄物再利用，避免環境中二氧化碳增加，當各國紛紛對碳排放收費，固有高排碳製程將導致成本上升，並影響企業形象，價格將不再是企業決策唯一關鍵，如何達到「製程改善、能源轉換和循環經濟」產業轉型，達到永續發展，將是臺灣業者切入的契機及商機。