

小型模組化反應爐專利分析

蕭子訓

核能研究所-綜合計畫組

2023/06

本文使用經濟部智慧財產局之專利資料庫「全球專利檢索系統」，進行小型模組化反應爐(Small Modular Reactor, SMR)初步的專利分析，由於大小是相對的概念，且使用「小型」的關鍵字檢索較可能會有遺漏，本次專利檢索聚焦於模組化的核電廠，檢索式的設計以「模組化」及「核電廠」為核心進行檢索，同時滿足「模組化」及「核電廠」的專利方會被檢索出，專利檢索式如下：

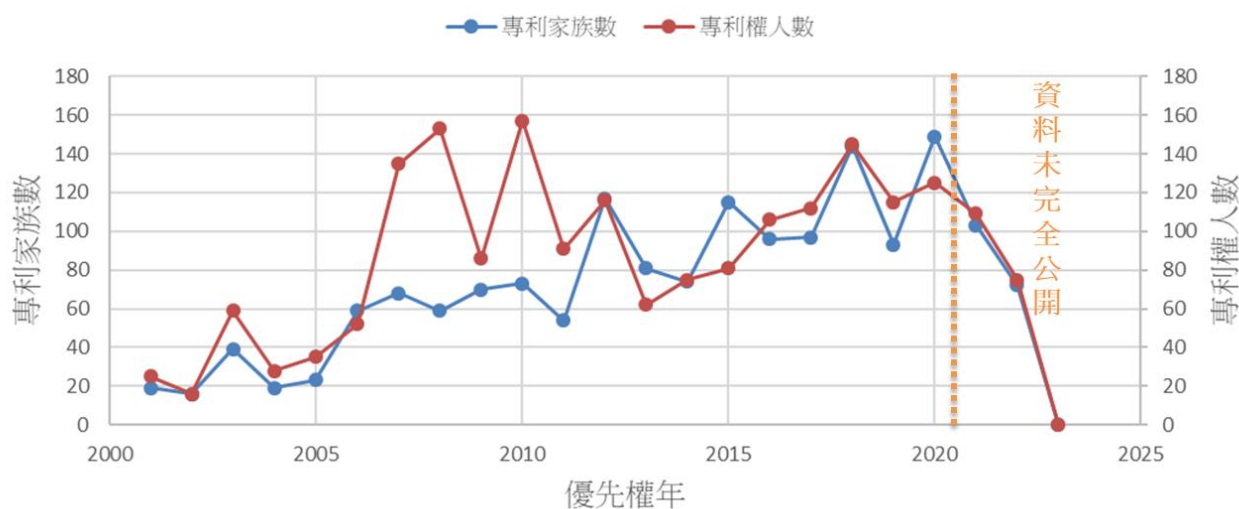
檢索式：((G21C* or G21D*)@IC or (nuclear [-5,5] reactor)@AB,TI,CL or (核能反應爐 or 核反應爐 or 核能電廠 or 核電廠 or 核能反應堆 or 核反應堆 or 核電站 or 核能發電站 or 壓水堆 or 水反應堆 or 水反應爐)@AB,TI,CL) and ((modula* or 模型化 or 模塊化 or 模組化)@AB,TI,CL or (reactor [-5,5] modul*)@AB,TI,CL or (反應 [-5,5] 模型)@AB,TI,CL or (反應 [-5,5] 模組)@AB,TI,CL or (反應 [-5,5] 模塊)@AB,TI,CL or (水堆 [-5,5] 模型)@AB,TI,CL or (水堆 [-5,5] 模組)@AB,TI,CL or (水堆 [-5,5] 模塊)@AB,TI,CL) AND ID=19000101:20231231

檢索於 2023 年 3 月 3 日

本次專利檢索結果共有 3,139 個專利申請，其可整理為 2,282 個 INPADOC (The International Patent Documentation Center) 專利家族。另由於專利的申請有權利持續時間的限制，且對於研發來說，相對近期的專利較有參考的價值，因此以下的統計僅針對 2001 年之後的專利進行統計分析。

從圖 1 可以看出，雖然 SMR 相關專利數量不少，且專利申請量從 2002 年至今均呈現成長的趨勢，專利權人的數量自 2013 年至今則有持續增長的趨勢，一般來說，技術在成長期的階段，專利數量及專利權人數量均大量成長，技術步入成熟期的特徵則是專利數量持續成長但專利權人數量下降，最後才進入專利數量及專利權人數量皆下降的衰退期；考量國際相關產品尚不完全成熟，初步判定相關技術發展應為成長的階段，未來相關專利及專利權人均可能會持續成長。

從表 1 來看，主要的專利權人包含中國企業、中國學研單位、美國企業、日本企業、韓國企業，其中又以中國企業、中國學研單位、美國企業的專利申請量較多，相較之下，雖然中國的總專利申請量大於美國的總專利申請量，但美國技術的企業化比較明顯，表示美國技術的實際應用程度可能較高。



備註：因專利有早期公開的制度，故左右軸資料僅有至 2021 年 7 月是完整的。

圖 1 專利家族申請數量趨勢

表 1 專利權人統計

專利權人	專利家族數量	國別
中國廣核集團	181	中國
中國核動力研究設計院	92	中國
TERRAPOWER	58	美國
NUSCALE POWER	53	美國
WESTINGHOUSE ELECTRIC COMPANY	46	美國
西安交通大學	40	中國
HITACHI	32	日本
SEARETE	30	美國
TOSHIBA	17	日本
中國核電工程有限公司	17	中國
GENERAL ELECTRIC COMPANY	16	美國
中核武漢核電運行技術股份有限公司	16	中國
KOREA HYDRO & NUCLEAR POWER	16	韓國
中國原子能科學研究院	15	中國

前幾大專利權人中，NUSCALE POWER、SEARETE、TOSHIBA、GENERAL ELECTRIC COMPANY 近年較無相關專利的申請。此外，美國的 WESTINGHOUSE ELECTRIC COMPANY、TN AMERICAS、NAC INTERNATIONAL 近年有在台灣進行專利的布局，可能是我國未來相關技術發展主要的競合對象。

國際專利分類 (International Patent Classification, IPC) 是專利審查官所給定的專利技術分類，常用於專利的技術分類，表 2 統計專利家族數量 50 個以上的 IPC 分類，以探討目前相關技術發展的趨勢。此外，考量冷卻技術對核電廠安全的重要性，特別透過專利檢索的方式，在技術分類統計時額外納入被動冷卻技術進行統計與評估。

表 2 技術分類統計

技術領域	專利家族數量	對應原始 IPC
監視或測試技術	137	G21C 17/00
緊急冷卻裝置或排除停爐餘熱，用於爐心之壓力容器內	132	G21C 15/18
整體反應爐技術 (即在功能上與反應爐結合，而對反應作用而言並非必需的，如熱交換器放置於裝有爐心之圍阻體內)	101	G21C 1/32
被動冷卻技術*	89	無
核電廠之部件	87	G21D 1/00
核電廠之控制	77	G21D 3/00
核電廠之部件用於輔助設備之安排	71	G21D 1/02
結構上與反應爐相結合的緊急保護裝置	62	G21C 9/00
壓力容器、圍阻容器或一般圍阻體的零部件	61	G21C 13/02
快中子裂變反應爐	59	G21C 1/02

(即不使用減速劑之反應爐)		
核電廠之控制的安全裝置	53	G21D 3/04
壓力容器、圍阻容器或一般圍阻體相關技術	51	G21C 13/00
反應爐相關技術	50	G21C 1/00
將熱傳至冷卻劑的管路配置或定位，如利用支撐燃料元件之冷卻劑循環	50	G21C 15/02

備註*：「被動冷卻技術」使用「被動/非主動」與「冷卻/熱」關鍵字進行專利檢索。

從技術分類近年的統計結果指出(表 3)，「監視或測試技術」、「緊急冷卻裝置或排除停爐餘熱，用於爐心之壓力容器內」、「整體反應爐技術」、「核電廠之控制的安全裝置」、「壓力容器、圍阻容器或一般圍阻體的零部件」等技術，近年發展有明顯的增長，可能是近年較為重要的技術，值得特別關注。統計結果顯示，被動冷卻技術多被歸類於 IPC：G21C 15/18 「緊急冷卻裝置或排除停爐餘熱，用於爐心之壓力容器內」，但被動冷卻技術僅為該分類的其中一種技術項目，此外，可以發現各專利權人持有被動冷卻技術的專利數量有限，但平均專利品質相較於整體 SMR 專利的品質為佳。

表 3 技術分類近年統計

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
監視或測試技術	2	7	6	4	7	14	9
緊急冷卻裝置或排除停爐餘熱，用於爐心之壓力容器內	9	3	6	8	4	11	15
整體反應爐技術 (即在功能上與反應爐結合，而對反應作用而言並非必需的，如熱交換器放置於裝有爐心之圍阻體內)	13	4	2	2	5	8	6

被動冷卻技術	6	4	2	7	0	4	9
核電廠之部件	9	2	5	12	1	8	8
核電廠之控制	5	13	4	5	5	10	4
核電廠之部件用於輔助設備之安排	9	10	6	8	5	12	6
結構上與反應爐相結合的緊急保護裝置	7	1	6	3	4	2	2
壓力容器、圍阻容器或一般圍阻體的零部件	10	2	5	12	10	3	4
快中子裂變反應爐(即不使用減速劑之反應爐)	2	0	2	4	2	4	0
核電廠之控制的安全裝置	8	7	0	4	0	6	6
壓力容器、圍阻容器或一般圍阻體相關技術	8	0	0	1	1	2	0
反應爐相關技術	0	2	2	1	0	0	1
將熱傳至冷卻劑的管路配置或定位，如利用支撐燃料元件之冷卻劑循環	7	5	5	2	1	5	5

以下從主路徑分析做初步的探討，本次專利檢索並未包含上位的反應爐及核電廠技術，也未包含應用層面，是使用上的限制。主路徑分析圖中，右邊的專利引用了左邊的專利，其流量的大小代表乘載知識流量的強度。圖 3 乃是基於整個專利池中乘載知識流量較高的數個專利，將相關技術源點被引用的技術發展路徑關係呈現。

從主路徑分析來看，最為關鍵的專利為「中國電力科學研究院」所開發之 CN106773666A「一種針對壓水堆一回路系統模型參數獲取方法」，其專利摘要內容如下「本發明涉及一種針對壓水堆一回路系統模型參數獲取方法，該方法結合壓水堆模型結構複雜、含非線性環節、穩定過渡時間較長、模型參數多、變數多且相互耦合等特徵，採用分模組辨識模型參數，再整體模型校驗參數；選擇各模組的輸入、輸出變數進行測試；通過預處理以減少雜訊信號對辨識效果的影響；基於各模組的微分方程和程式設定方法對變數賦予初值，使模型初始化穩定；

基於參數攝動理論和智慧優化方法辨識各模組參數；結合子模組和整體模型進行多種工況下的參數與模型的校驗；獲取適用於電力系統分析的核電機組系統數學模型參數。本發明各模組結構精細、清晰，模型參數意義明確，辨識所需變數易獲取，參數獲取方法快捷、高效、精確，實用性強。」

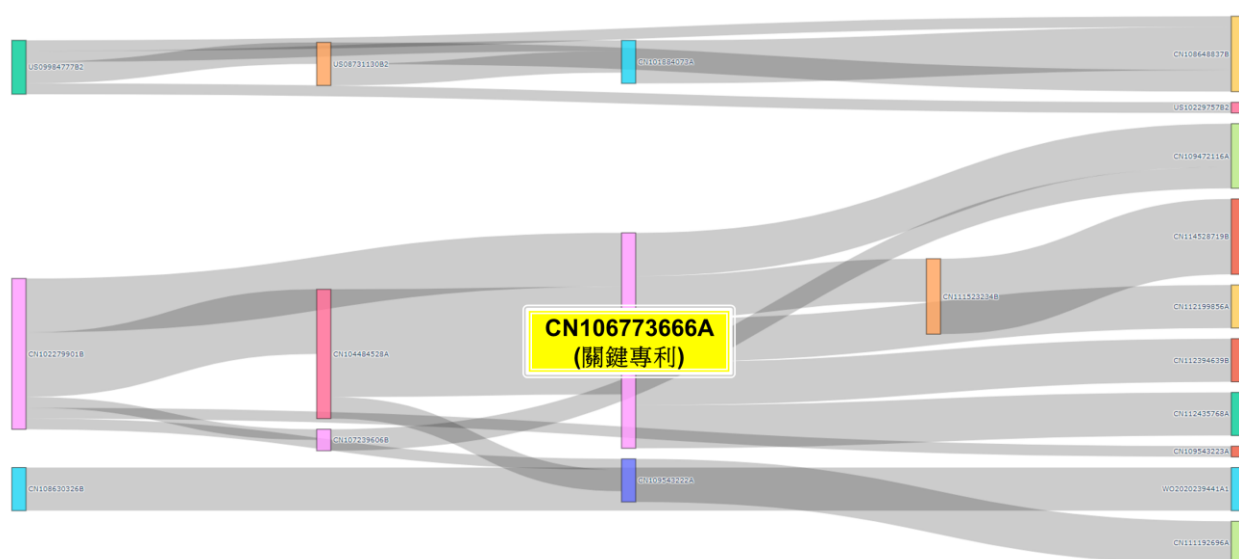


圖 3 主路徑分析圖

結論

從專利分析的結果來看，SMR 的主要專利權人包含中國企業、中國學研單位、美國企業、日本企業、韓國企業，其中又以中國企業、中國學研單位、美國企業的專利申請量較多，相較之下，雖然中國的總專利申請量大於美國的總專利申請量，但美國技術的企業化比較明顯，表示美國技術的實際應用程度可能較高。從技術分類近年的統計結果指出，「監視或測試技術」、「緊急冷卻裝置或排除停

爐餘熱，用於爐心之壓力容器內」、「整體反應爐技術」、「核電廠之控制的安全裝置」、「壓力容器、圍阻容器或一般圍阻體的零部件」等技術，近年發展有明顯的增長，可能是近年較為重要的技術，是我國相關研發可考量之技術研發切入點。