



國立臺灣大學管理學院資訊管理學研究所

碩士論文

Department of Information Management

College of Management

National Taiwan University

Master Thesis

再生能源交易平臺研究

An Essay on Platform of Renewable Energy Trade

鄒鎮宇

Chen-Yu Tsou

指導教授：曹承礎 博士

Advisor: Seng-Cho Chou, Ph.D.

中華民國 112 年 7 月

July 2023

國立臺灣大學碩士學位論文
口試委員會審定書

再生能源交易平臺研究

An Essay on Platform of Renewable Energy Trade

本論文係鄒鎮宇君（學號 R09725010）在國立臺灣大學資訊管理學系、所完成之碩士學位論文，於民國 112 年 7 月 17 日承下列考試委員審查通過及口試及格，特此證明

口試委員：

鄒鎮宇

周子元

陳達鈞

所長：

陳達鈞



謝辭

臺大三年，也是我深度探索人生意義的三年。

感謝曹承礎老師對迷糊的我不離不棄，總是在我研究行至山窮水盡時，指向柳暗花明的小徑。我記得您曾經說過論文只是人生的過程，說我不要執拗於一些枝節上。一開始雖然不懂，漸漸隨著論文題目與方向愈加明確，文章愈寫愈順手，才稍稍體會老師的話中哲理。在撰寫論文中，不得不查找過往不曾觸碰的資料時，才解開許多我以前誤解的觀念，意識到因為自己曾經的意識形態，而選擇性的忽略了很多知識瑰寶，因為這篇論文，我對學習有了更深刻的體悟，也應證了卡西勒所說：

「人總是傾向於把他生活的小圈子看成世界的中心，並且把他的特殊的個人生活作為宇宙的標準。但是人必須放棄這種虛幻的託辭，放下這種小心眼、鄉下佬式的思考方式和判斷方式。」

當我願意放下過去執著，下筆也就如同行舟一般，順暢的一路奔流到海。也感謝另外二位口試委員，陳建錦教授與周子元博士，在答辯過中點醒我論文的缺陷，提供補正方向，使之臻於完美。我也要感謝我的家人與朋友，是我精神上的支柱，一路相伴至今。最後我要感謝所有在臺大授業於我的人師，紅樓夢的歐麗娟老師、滿文的莊吉發老師、藏文的劉啟霖老師與廖本聖老師，不僅是智慧的傳授，更填上價值觀養成的沃土，使我人格在學習中日漸發芽。我將帶著這段緣分與養分，繼續走向人生下一階段。

我的論文雖不至滿紙荒唐言，卻也是一把辛酸淚。在這裡我想留下一段，來自陪伴我閉關寫作時的一本書中，對我而言感觸深刻的話。

「只有一點我做不到：撕裂那個暗藏在內心的目標，把自己描繪在什麼地方，就像其他人那樣。他們很清楚知道自己想成為教授、法官、醫生或藝術家，他們知道需要花多少時間來達成，也知道這將會帶給他們何種優勢。然而我辦不到。我只是嘗試著過自己要的生活而已。鳥奮力衝破蛋殼。這顆蛋是這個世界。若想出生，就得摧毀一個世界。」——《彷徨少年時》

中華民國一一二年七月卅一日

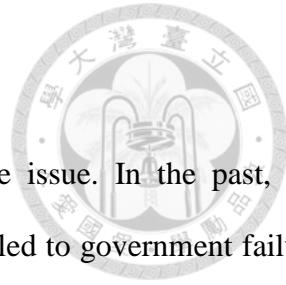
鄒 鎮 宇 識



摘要

氣候變遷是地球公民皆需嚴正面對之問題，過去以國際組織與各國政府為制度中心之應對方式最終導致政府失靈；反而從個人乃至社群，才能從底層做出改變，扭轉社會局勢。本文以臺灣再生能源供給不足且分配未公允作為研究出發點，以分散式能源作為綱領，人人皆能作生產者，也能作消費者。我們提出以去中心化自治組織整合個人與社會之間置資源，投入再生能源生產活動。以虛擬通貨作為融資工具，釐清物權劃分，試圖解決共有財的悲劇。再以分散式帳本技術建立一再生能源交易平臺，降低生產性消費者間彼此之交易成本。其平臺設計使政府、民間、企業誘因相容，使各方力量整合，一同活絡臺灣再生能源零售市場。

關鍵詞：再生能源、分散式帳本、虛擬通貨、去中心化自治組織、電力市場



ABSTRACT

Every citizen on Earth is responsible for the climate change issue. In the past, the international organizations and nations-centered practice eventually led to government failure results. On the contrary, action unit composed by individuals and even community is the way to change the society from bottom to top. This paper investigates the problem of shortage of renewable energy supply and the unfair distribution. In the distributed energy resource network, everyone could be either a producer or consumer. We use the idea of decentralized autonomous organizations to help organize the idle assets from individuals and society, and afterwards we push them into the production process of renewable energy. We try to solve the tragedy of the commons by clarifying the property rights with cryptocurrency. Then, we propose a renewable energy trade platform based on distributed ledger technology, aiming to lower the transaction costs between prosumers. While we integrate the power of the government, business and individuals through an incentive-compatibility platform design, we make a success of retail market of renewable energy in Taiwan.

Keywords: Renewable energy, Blockchain, Cryptocurrency, Decentralized autonomous organization, Electricity market



目 次

謝 辭	i
摘 要	ii
英文摘要	iii
目 次	iv
表 次	vi
圖 次	vii
第一章 緒 論	1
第一節 動機與目的	1
第二節 方法與架構	2
第二章 再生能源背景初探	4
第一節 臺灣再生能源發展	4
第二節 臺灣再生能源交易	7
一、臺電公用事業與收購	7
二、交易近況	8
第三節 臺灣再生能源困境	10
第三章 分散式帳本於再生能源交易之實現	14
第一節 融資文獻回顧	14
一、目前再生能源融資現況	14
二、資產代幣化	17
三、虛擬通貨	20
第二節 交易文獻回顧	22
第四章 去中心化自治組織	25
第一節 去中心化自治組織與公司	27
一、以交易成本理論角度研析	28



二、以代理問題角度研析	30
第二節 去中心化自治組織造成交易成本結構改變	33
第三節 交易成本之外——從公司到非營利組織	34
第四節 以自治組織整合社群成員誘因與動機	35
第五章 再生能源交易平臺提案	38
第一節 架 構	38
第二節 零售市場參與者	40
第三節 融資部分	42
一、機制設計	42
二、融資流程	44
三、自治組織內部利潤分配	45
第四節 交易部分	47
一、電力交易所設計	47
二、再生能源清算交割流程	48
三、再生能源憑證發行	50
第五節 政府的角色	51
結 語	53
第六章 結 論	55
參考文獻	56
附錄	60
附錄一 能源屬性	60
附錄二 平臺獲利模式試算	61
附錄三 再生能源交易平臺基礎建設	67

表 次

表 2 - 1 近五年風力與太陽光電總發電量	7
表 3 - 1 股權與債權在區塊鏈上角色區隔未明情形	20
表 3 - 2 代幣用途與性質比較	22
表 3 - 3 目前再生能源交易平臺文獻所提出之架構比較	24
表 4 - 1 公司與去中心化自治組織之治理結構差異	32
表 5 - 1 屋頂型太陽光電生產活動	43
表 5 - 2 再生能源交易平臺融資部分與過去文獻比較	47
表 5 - 3 再生能源交易平臺交易部分與過去文獻比較	50
表 5 - 4 平臺參與者間誘因整合	54



圖 次



圖 1 - 1 研究流程	3
圖 2 - 1 近十年臺灣風力與太陽光電裝置容量	5
圖 2 - 2 近十年臺灣風力與太陽光電發電量	6
圖 2 - 3 直轉供再生能源憑證能源別交易比例	9
圖 3 - 1 資產證券化市場結構	15
圖 3 - 2 資產代幣化類別	18
圖 4 - 1 寇斯以降交易成本理論和代理問題與組織治理關係之綜整	28
圖 5 - 1 再生能源交易平臺提案分層架構	38
圖 5 - 2 社區自治組織成立流程	45
圖 5 - 3 再生能源設備融資流程	45
圖 5 - 4 社區自治組織內部利潤分配	46
圖 5 - 5 智慧契約買賣雙方報價	48
圖 5 - 6 區域微電網內清算交割流程	49
圖 5 - 7 區域微電網外清算交割流程	49

第一章 緒論



第一節 動機與目的

氣候變遷攸關每位地球公民的日常生活，而碳所造成的溫室氣體污染，其外部性（Externality）在空間與時間上均以無量無邊的規模擴展。碳所附帶之成本由全球共同買單，也由我們的下一世代概括繼承。我們卻無法藉由市場讓溫室氣體排放者為其行為承擔完全責任（《史登報告》，2007：27）¹。近年各國依照《京都議定書》開始採取市場導向、經濟誘因式的彈性機制，「相對於以往環境問題大都以命令控制作為前導，後來才零星導入經濟誘因，氣候變遷卻是快速地擁抱經濟誘因的市場機制。（葉俊榮，2015：87）²」2023 年歐盟簽屬碳邊境調整機制³，為國際碳關稅開出頭槍。在可預測的未來，將有越來越多國家加入徵收碳關稅的行列，防堵碳洩漏（Carbon leakage）⁴，各自築起碳關稅壁壘。我國身為國際貿易出超國，又以能源密集產業作為經濟主軸，必須正視碳關稅所帶來的產業衝擊。

就算不是高碳排放的產業，其商品與服務的碳足跡也因其取得能源的類型而有不同，所以能源與氣候變遷議題可謂息息相關。為了降低能源對於碳之依賴，各國皆致力發展再生能源。如今，各國對再生能源的鼓勵政策，也同碳排放一樣，引入市場機制，以再生能源憑證揭露能源屬性，以該憑證之買賣證明企業取得低碳能源。2017 年我國引入再生能源憑證制度，迄今已發行二百八十萬張再生能源憑證（相當於生產二十八億度再生能源），直至 2023 年 4 月，再生能源佔我國總發電量的 9.3%⁵。我國政府積極尋找適宜的發電場域，大規模投資開發，以期提升再生能源發電量與可發行之憑證數量。

¹ 見 Stern, N. H. (2007). *The economics of climate change: The Stern review*. Cambridge, UK: Cambridge University Press. p. 27.

² 葉俊榮著：《氣候變遷治理與法律》（臺北：臺大出版中心，2015 年），頁 87。

³ Regulation (EU) 2023/956. Establishing a carbon border adjustment mechanism. European Parliament and Council. <http://data.europa.eu/eli/reg/2023/956/oj>

⁴ 正如基於比較利益帶來的全球化產業分工，當該國開始對其境內之碳排放做出管制而造成碳成本升高時，高碳排放的產業也會依循比較利益，出走至碳成本較低之國，再將其商品進口至該國內，此為碳洩漏。面對環境變遷問題時，其成本是全球性的，僅將高污染的產業隔絕於境外不是解決問題的方法。

⁵ 國家再生能源憑證中心、經濟部能源局能源統計月報（擷取於 2023 年 6 月）。

然我們卻發現市場上的再生能源憑證持續供不應求，再生能源被掌握在少數有議價能力之大型企業，使再生能源價格不斷上漲，同樣擁有再生能源需求的「中小企業，因為普通能源與再生能源間之價差擴大，且無大型消費者之議價能力，而無法負擔公司內部的能源轉型。（RE100，2022）⁶」

本文點出在臺灣現行的生產與交易機制下，再生能源仍為一個稀缺的資源，受到少數財團把持，無法在社會中進行合理的公平分配。我們會爬梳臺灣再生能源政策導致之結構性問題，試圖重新審視各方參與者之經濟誘因，提出分散式帳本技術之再生能源交易平臺，使各方參與者誘因相容，協助再生能源公平分配，完善臺灣能源轉型之市場機制。

第二節 方法與架構

本文以探索性研究為方法，發現臺灣再生能源發展之困境，因而預計提出一個再生能源交易平臺以健全臺灣的再生能源市場。研究流程見圖 1-1，我們所提出來的方法為由下而上整合個人成為自治組織，並參與再生能源生產活動，有別於現在由上而下主導的能源結構。首先探索可能參與者的經濟誘因，接著探索平臺經濟與設計，透過平臺串聯各角色之誘因。接續進行組織治理之文獻回顧，試圖從組織治理找出參與者的互動方式，然後回顧以分散式帳本技術實作平臺之文獻。最後將其文獻結果彙整，注入個人對於再生能源平臺之創新，進而提出一個再生能源交易平臺，在永續經營的前提下，解決臺灣再生能源發展的困境。

後續文脈如下：我們首先在第二章對臺灣再生能源現況作出報導，讓讀者對現況有初步的認識，並闡述發展困境的成因及我們預計解決問題之方向。進入第三章後，整理有關分散式帳本技術應用於再生能源平臺的文獻，主要分成融資與交易二部。至於如何將社會的個人與資源加以整合，並投入生產活動，其過程需要透由自治組織來協助完成，在第四章有詳細說明。最後我們在第五章提出再生能源交易平臺的構想，最終章則為結論。

⁶ 見 Lee, A. & Lo, S. (2022). *Taiwan Energy Market Briefing*. RE100 Annual Disclosure Report.
<https://www.there100.org/our-publications>

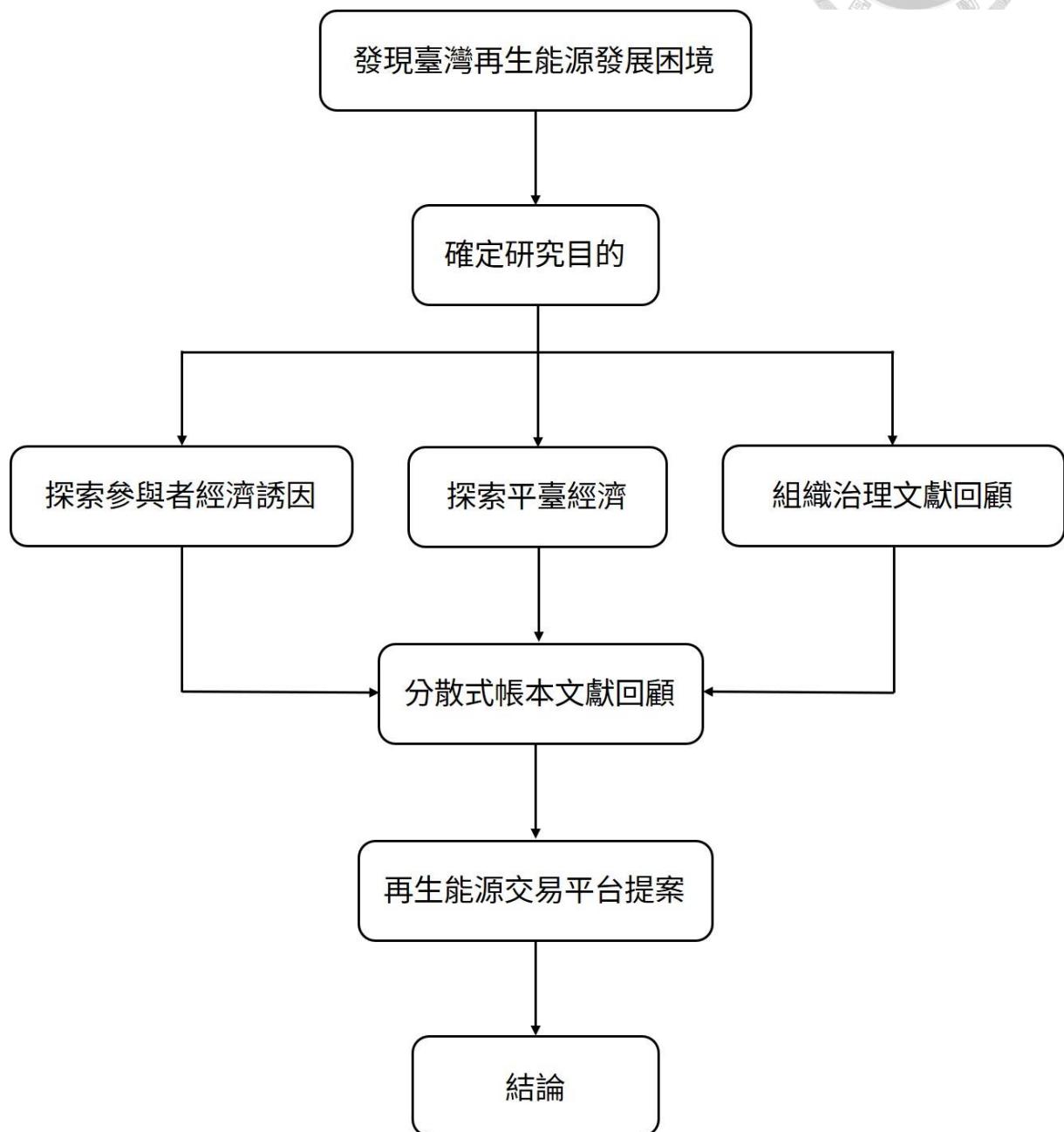


圖 1 - 1 研究流程



第二章 再生能源背景初探

第一節 臺灣再生能源發展

我國電力市場第一次鬆綁於 1995 年，開放民間設立獨立發電廠⁷，最早的民營電廠為麥寮電廠，於 1999 年開始商轉。當時這些獨立發電廠只能將其所發之電力售予固有之綜合電業——臺電公司。而再生能源方面，風力發電的開發腳步領先於太陽光電，平均規模也較大，最早商轉的民營風力發電廠可追溯至 2006 年；而民營之太陽光電業則遲至 2012 年才開始商轉，無論是傳統火力發電廠或再生能源電廠皆視為獨立發電廠，所有電力僅能售予臺電。

電業法自 2017 年修法後，採取「綠電先行」策略，一方面保守穩健改革，一方面鼓勵再生能源容量建置，有意將再生能源與傳統發電業區隔。首先開放再生能源進入自由化的交易市場，再生能源電業可以自由選擇售電對象，包括一般用戶、其他發電業與臺電等。輸送方式也有兩種，例如透過自設線路「直供」客戶；或透過輸電網路「轉供」。另外，修法後，也開放售電業，不過此階段只開放再生能源的售電業執照，提供用戶購電選擇權，是向電力批發與零售市場的一小步邁進。

重新爬梳電業法所定義的再生能源參與者，可見再生能源發電業⁸、再生能源售電業⁹兩者，皆需要向經濟部能源局申請執照。在法律上拆分再生能源的發電業與售電業，顧名思義再生能源售電業的電能來自於再生能源發電業，然再生能源發電業本身也可以直接尋找其最終用戶，不必然經過再生能源售電業。再生能源售電業角色類似於盤商概念，負責搓合發電業與最終用戶。綜觀至今已受核准的再生能源售電業一部分除盤商業務外

⁷ 獨立發電廠（Independent power producer，IPP）為第一次電業自由化下的產物，過去臺灣的電力產業由臺電所壟斷，為一集發、輸、配、售的綜合電業獨佔事業。電業自由化計畫將壟斷的綜合電業由上至下游分別拆分為發電業、輸配電業與售電業。政府首先於 1995 年開放民間進入發電業，因此由民間所經營之發電業又稱獨立發電業。

⁸ 電業法第 2 條第 3 款再生能源發電業：「指設置再生能源發展條例第三條所定再生能源發電設備，以銷售電能之發電業。」本文主要探討的太陽能屬之。

⁹ 電業法第 2 條第 7 款再生能源售電業：「指購買再生能源發電設備生產之電能，以銷售予用戶之非公用事業。」

更提供專業的顧問服務，以因應日漸嚴格的法規與企業社會責任；另外一組公司則是開發新的商業模式，將其商業模式轉向平臺，其電價走向公開透明¹⁰。

截至本年為止，已向經濟部能源局申請之民營再生能源發電業者風力 23 家，裝置容量共 623 千瓩（MW）；太陽光電 64 家，其裝置容量共 813 千瓩。由臺電經營之風力裝置容量共 406 千瓩；太陽光電裝置容量共 284 千瓩，全國總計 2,233 千瓩¹¹。本國風力與太陽光電近十年裝置容量成長可參考圖 2 - 1，與其他先進再生能源國家一致，風力發電發展較早，也表示其技術相較穩定，自 2019 年起，民間部門大量設置太陽能板，一年後商轉之太陽光電裝置容量已超越風力，近五年整體再生能源裝置容量飆升，究其因素，太陽能板的架設貢獻良多，可能與太陽能板機動性高、鄰避效應較低有關。

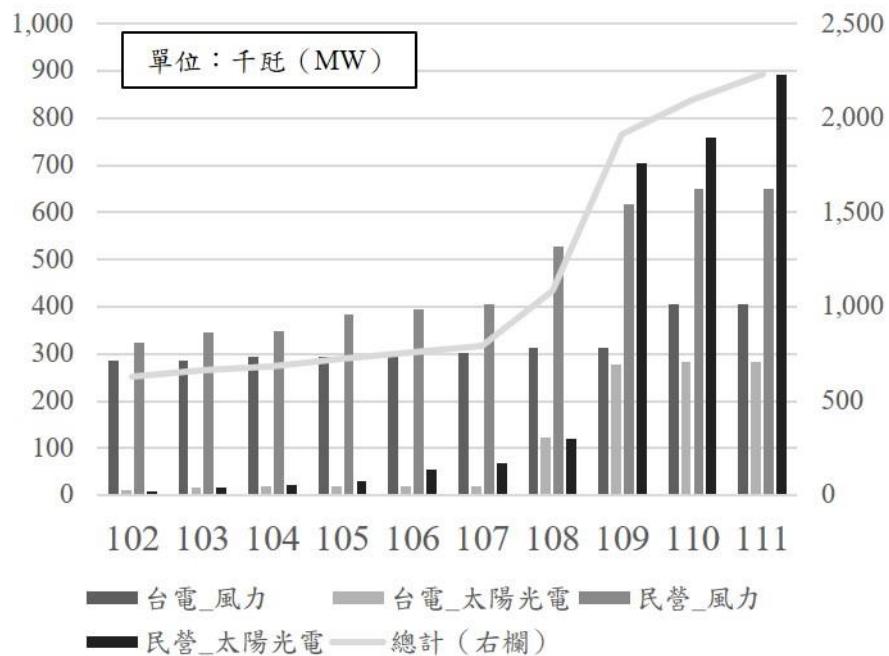


圖 2 - 1 近十年臺灣風力與太陽光電裝置容量

綜觀我國再生能源發展歷程，參考圖 2 - 2，在這十年中，風力與太陽光電之年發電量從 1,418,086 千度來到 3,825,851 千度（2021 年），如此成長主要可以歸功於近年民間

¹⁰ 前者如台汽電綠能、瓦特先生等；後者如陽光伏特家、富威電力、南方電力等。

¹¹ 此處只將商轉（公用發電業與民營發電業）之再生能源裝置容量加總。若從經濟部能源局統計資料則會看到截至 2022 年止，風力與太陽光電設備總裝置容量為 9,763 千瓩，此落差蓋為自發自用者（非商轉也非發電業）之裝置容量 7,530 千瓩。

部門努力設置機組，近五年的風力與太陽光電總發電量可參考表 2 - 1。詳細觀察臺灣的發電量比重，至 2022 年底時，再生能源發電量僅佔總發電量的 10%，與其相比，該年的火力發電比例則為 82%，甚至其中近一半為燃煤，比例相當懸殊。由此我們發現，我國若要達成 COP26¹²所標舉在 2050 年前達成淨零排放的目標仍有長足的路途要跋涉；另外一方面卻也因為各國訂定嚴格的碳排標準，側面證實未來再生能源在我國需求有增加的強大壓力，在這樣的政策背景下，是進入此領域的極佳時機。

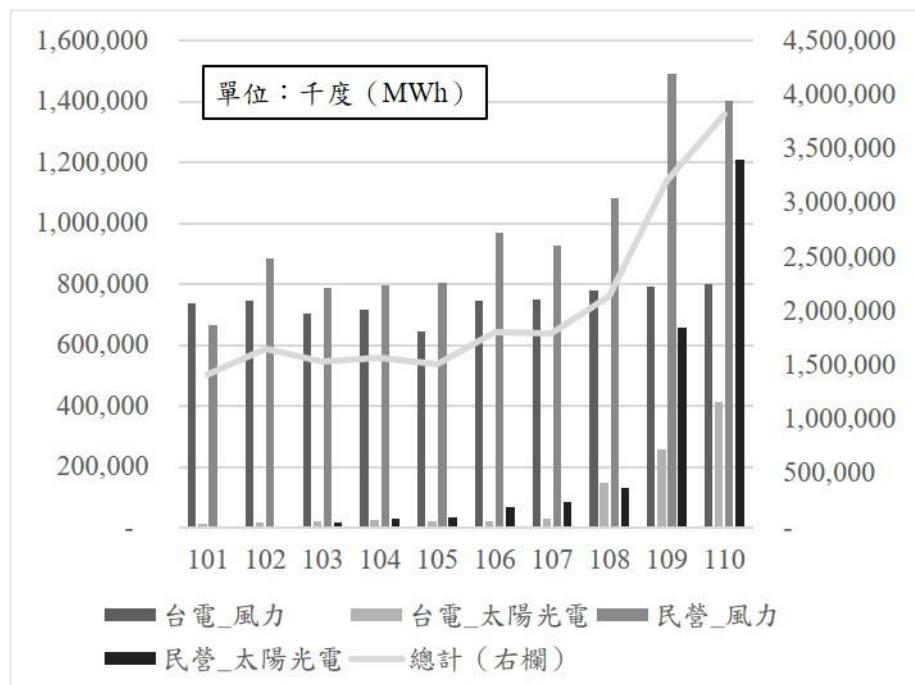


圖 2 - 2 近十年臺灣風力與太陽光電發電量

¹² COP26 即為 2021 年所舉行的第 26 屆聯合國氣候大會。

表 2-1 近五年風力與太陽光電總發電量

年度	總發電量	風力	太陽光電
106	1,807,915	1,714,003 (94.81%)	93,912 (5.19%)
107	1,793,500	1,677,230 (93.52%)	116,271 (6.48%)
108	2,145,641	1,862,941 (86.82%)	282,700 (13.18%)
109	3,204,209	2,286,922 (71.37%)	917,287 (28.63%)
110	3,825,851	2,202,095 (57.6%)	1,623,756 (42.4%)



註：單位為千度，本表資料只包含臺電與民營電廠之發電量，不含自發自用。

資料來源：經濟部能源局。

第二節 臺灣再生能源交易

一、臺電公用事業與收購

早期再生能源尚在發展階段，屬高風險之投資，政府為提供發展再生能源之誘因，開啟躉購制度。再生能源發電業可將所生產之電能，直接饋入臺電電網，發電端與臺電所簽訂之費率合約期限為 20 年，由臺電保證收購，提供穩定收入保障，也吸收了發電端之風險。

新電業法規定，臺電公司須在若干年內成立發電、輸配售電等子公司，並以控股母公司之形式持有¹³，即為俗稱之「廠網分離」。不過臺電肩負臺灣的經濟命脈 70 年，電業改革宜從穩健的角度下手，因此到目前為止臺電僅將發電部門、輸電部門與配售電部門分立事業部，進行分離會計，未見臺電實際將各部門拆分成各子公司，所以臺電的發電部門實質上應仍屬公用事業。其再生能源投資具有示範性質，所發之電力直接饋入自家電網，不授予憑證。許多再生能源民間投資所發之電力也直接饋入臺電電網，同樣不授予憑證。除了那些躲避市場風險的再生能源發電業外，尚有許多不成規模的自發自用

¹³ 電業法第 6 條第 5 項：「為達成穩定供電目標，臺灣電力股份有限公司之發電業及輸配電業專業分工後，轉型為控股母公司，其下成立發電及輸配售電公司。」

民間投資者，自發自用戶將其餘電饋入臺電電網後，也享有收購價格。這些民間投資者在發電之餘，毋需考量市場電力供需，有多少賣多少，庇蔭在臺電的公用性質下，雖然不會再有憑證的獎勵，但長久以來卻會增加電業自由化之負擔。

再生能源科技愈趨穩定，發電成本逐年下降，且各大跨國企業響應碳中和，要求其供應鏈使用清潔能源，使得再生能源需求增加，再生能源漸漸具有市場優勢。德國等先進國家已逐步退除收購機制，再加上電業自由化之遠大目標，實不宜繼續由政府保證收購綠電，否則將傷害市場公平競爭。在這樣的環境背景下，我國政府也從善如流，思考躉購制度的退場機制，在 2017 年催生了臺灣再生能源憑證制度¹⁴。該憑證將再生能源電力所帶來之環境效益憑證化，彰顯持有者之環保價值與社會責任。為了鼓勵再生能源走向市場，自由交易之再生能源可獲得憑證¹⁵。該憑證中心附設媒合競價平臺，提供再生能源發電業與憑證需求者一個交易場所。

雖然政府引進市場機制，試圖降低再生能源對補助的依賴性，但民間部門仍按兵不動，不願意主動脫離臺電。我們已經知道，再生能源民間投資已超越臺電的公用發電投資，但 2021 年資料卻顯示，臺電所收購的再生能源電力是其所發電力之七倍多¹⁶，且有逐年增加之趨勢，相差之大，足見仍有許多民營投資躲在臺電的傘蓋之下，目前臺電自營與收購的風電與太陽光電佔此兩類能源整體總發電量的九成以上，意即絕大部分再生能源都因為未進入市場，而無法為其發行憑證，加劇憑證供給不足之問題。

二、交易近況

臺灣目前採購再生能源及憑證最大宗之手段為企業購售電合約（Corporate power purchase agreement，Corporate PPA），效臺電公司收購之法，企業與大型再生能源電廠簽訂長期合約，以固定價格收購期間所有電力。企業購售電合約提供之價格高於臺電收

¹⁴ 臺灣再生能源憑證（Taiwan renewable energy certificate，T-REC），由經濟部標準檢驗局下設國家再生能源憑證中心負責檢驗審核。

¹⁵ 再生能源發電業可將所發之電能售予（一）一般用戶、（二）再生能源售電業、（三）臺電，前兩項交易型態，電力價格由雙方決定，為自由交易；若躉售予臺電則已經受到臺電以優惠價格購入之待遇，不能重複彰顯環保價值，故無憑證。

¹⁶ 2021 年臺電自營之風力與太陽光電發電量為 1,183,258 千度（MWh），所收購之風力與太陽光電電量為 8,373,006 千度。

購價格，惟因企業有強健議價能力，提供長期收入保障，又吸收發電業之生產風險，容易將價格壓低於市場均衡。

臺灣的 RE100 企業¹⁷承諾在 2050 年前達成 100% 綠電目標，所以這些企業在再生能源的需求上會有更多的壓力，此時再生能源憑證就宣告了這些企業的用電中再生能源之比例。根據國家再生能源憑證中心所提供的資料可知，暨該中心成立之初至今，已核發 2,856,136 張憑證，其中轉移憑證 2,640,068 張¹⁸，而轉移之憑證所表彰的電力來源皆為風電與太陽光電，由此可以判斷，在臺灣主要商轉的再生能源電業以風電和太陽光電為首，其中風電又佔市場的 77%，其比例可參考圖 2 - 3。

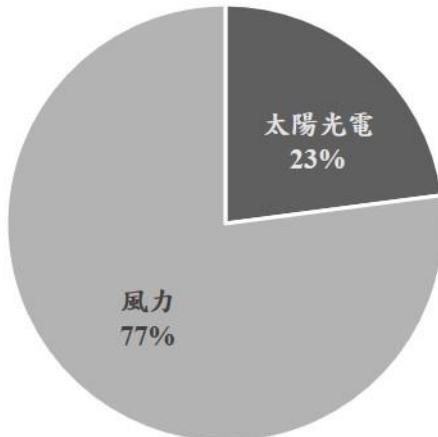


圖 2 - 3 直轉供再生能源憑證能源別交易比例

根據國家再生能源憑證中心所公開之憑證交易資料，發現再生能源發電業與售電業皆有出售憑證的活動，另外，上節提到其中有部分再生能源售電業紛紛架設自己的綠電交易平臺，期望以平臺的商業模式經營，但從現已公開之資訊來看，這些公司的平臺交易量未達經濟規模，市場占有率甚小。以綠電需求方來看，半數參與憑證交易者皆為臺

¹⁷ 成員包含製造業如台積電、台達電，金融業如國泰金控、玉山金控，與其他等 19 家公司。

¹⁸ 國家再生能源憑證中心（擷取於 2023 年 6 月）。

灣的 RE100 成員，而台積電更蒐羅市場上 95% 憑證¹⁹，其收購手段全數採用購售電合約，顯示憑證交易過度集中，雖然該公司被譽為護國神山，享受許多政治與經濟上的援助，不過這種搜刮再生能源的情況顯然不利於再生能源市場的長久發展。究其原因，台積電積極尋找再生能源發電業，直接簽訂長期購電合約，主動提供發電業對於市場風險的保障，發電業當然何樂不為。不過此種雙邊交易價格不透明，也只有台積電可挾雄厚資金以令諸再生能源發電業，其他中小企業幾乎沒有加入競爭的空間。若要建立一完善的綠能交易市場，朝向公開透明且增加效率，應積極改革目前再生能源市場生態的缺陷。

第三節 臺灣再生能源困境

結構性問題

近年我國政府積極將農田、魚塘從農業用途轉化為大型再生能源發電站場，又引入外資投入離岸風電，這樣的做法使得綠電先行的電業自由化依然是空談。因為這些大型站場是大型投資，只有握有厚實資本額之企業才有能力投資這些再生能源，而他們投資後，再簽訂一紙二十年購電合約，這些再生能源設備與再生能源憑證便順理成章成為這些巨資企業的資產，而其他企業與個體依然分不到半瓦的再生能源，設問在此如此分配不公平的情況下，電業自由化將何在？

雖然科學園區內的積體電路公司為臺灣創造不少國際籌碼、支撐臺股指數、賺取外匯，但他實為一個資本密集產業，這又能養活多少國民？真正支持國民所得的中流砥柱為中小企業（SMEs），同時也是全球趨向再生能源潮流下的苦主，既然大型站場的資源如此稀缺，我們只能另闢蹊徑，從分散式能源（Distributed energy resources，DER）下手。

再生能源——尤以太陽光電為主——本質即是一種分散式能源的形式，其體積小、低汙染、低鄰避效應，可以靈活適應各種環境，其裝置容量設置大小也較為彈性，可以分散式發電，不像傳統大型發電廠以集中式發電為主，因此其更適合用於都市之中。政

¹⁹ 自 2020 年起有再生能源直轉供憑證交易，不過目前為止只出現轉供案例，2022 年資料顯示，轉供憑證已交易 1,294,078 張（2022 年 8 月 10 日），其中台積電就購買了 1,230,702 張，佔歷史交易量中 95%。被台積電簽訂御用的供電商分別有隸屬於德能英華威旗下之中威、安威、崎威、清風、通威、鹿威公司、韋能在臺子公司艾貴與寶島陽光下之暉恆公司。

府在鄉間尋找大面積土地種電之決策，不若讓太陽光電在城市中充分發揮其彈性特質，以分散式能源構想，解決臺灣缺乏再生能源之窘境。



資源無法有效整合

臺灣都市發展人口高度密集，建築物高聳林立，人們常授之以「水泥叢林」的名號加以諷刺，這樣的都市雖有叢林之名，但它當然不會協調生態多元發展，而只能每天不斷排放溫室氣體。我們的目標是重構水泥叢林的都市意象，在公寓的屋頂等公共空間，加裝分散式再生能源發電設備，一改水泥叢林的惡名，變身為宛如亞馬遜雨林般的都市之肺，至少讓都市人在用電量上，達到一定比例的自產自用及自銷。我國經濟部對於分散式再生能源發電設備的架設，在過去十年來已有初步構思，從 102 年的經濟部推動陽光社區補助要點到 110 年修正的經濟部辦理綠能屋頂全民參與推動計畫作業要點，乃至 111 年提出的再生能源發展條例部分條文修正草案²⁰，以上可以看出政府面對再生能源從補助到未來可能以強制手段來執行，態度與決心上越來越具體。

然而這些作法真的和消費者之間達到誘因相容嗎？其實不然，仍有許多臺灣都市所特有的現實問題等待被解決。欲在都市公寓大廈中推行分散式再生能源，其中最具機動性與可行性的方法為屋頂型太陽光電。進而欲在公寓頂樓加裝太陽光電板前，首先釐清公寓屋頂之所有權歸屬。根據公寓大廈管理條例與民法規範²¹，該公寓所有住戶（法律稱呼為區分所有權人，為簡便用詞，以下皆以住戶或住民稱之）皆享有屋頂的共同所有權與使用權。比較晚近的新式公寓通常設有管理委員會，而管理委員會之職責包含管理、維護公寓之共用部分²²，因此若該公寓設有管理委員會，是比較簡單的場景，只要管理

²⁰ 該修正草案擬修法強制未來新建大樓充分利用空間，配置太陽光電板，以增加都市再生能源覆蓋率。

²¹ 公寓大廈管理條例第 7 條：「公寓大廈共用部分不得獨立使用供做專有部分。其為下列各款者，並不得為約定專用部分」，其中第 3 款：「公寓大廈基礎、主要樑柱、承重牆壁、樓地板及屋頂之構造。」所以公寓之屋頂為共用部分。同法第 3 條第 4 款「共用部分：指公寓大廈專有部分以外之其他部分及不屬專有之附屬建築物，而供共同使用者。」因為屋頂為共用部分，所以所有該公寓住戶皆有共同使用屋頂之權利。又民法第 799 條第 1 項：「稱區分所有建築物者，謂數人區分一建築物而各專有其一部，就專有部分有單獨所有權，並就該建築物及其附屬物之共同部分共有之建築物。」推論專有之部分才有單獨所有權，然屋頂屬於共用部分，在民法上為共有，即公寓住戶享共同所有權。

²² 公寓大廈管理條例第 10 條第 2 項前段：「共用部分、約定共用部分之修繕、管理、維護，由管理負責人或管理委員會為之。」

委員會同意²³，即可在公寓屋頂設置屋頂型太陽光電設備，該發電設備所賺取之利益為該公寓住戶共同分配。

若該公寓無管理委員會代執，複雜的問題與爭議就上升到另一層級。在沒有管理委員會的公寓裡，依法還是要推舉一人為管理負責人，不過這在都市中的老舊公寓基本上做不到，這種公寓大多為五到六樓，共十到十二戶左右，若要成立管理委員會成本過高，又沒有足夠誘因請其中一人出面擔任管理負責人，所以這種老舊公寓的住戶大多自掃門前雪，同棟住戶彼此之間不會有緊密互動。在這種生態環境下又要使住戶們共同決議裝設發電設備，又要公平分配收益可行性非常低。更甚者，頂樓加蓋才是一個牽扯到住房結構、產權定義與違章建築等深層複雜的社會問題。前文提及公寓屋頂應由該公寓住戶共有與共用，然則實際走訪都市中的老舊公寓，控制頂層之住戶常占用頂樓，在頂樓加蓋建築，行出租之營生。照民法而論，這個收租之生意所賺取之利益也應公平分配給提供頂樓使用權之全體住戶，若該頂樓加蓋之房東未分配租金利益予全體住戶，即構成不當得利，其他住戶則擁有請求權，讓這個利益進行分配。而就我們所觀察到的現象是，大部分公寓的非頂層住戶在他們對於頂樓所有權與使用權面前集體沉睡，似乎忘記法律所實際賦予他們民事上的權利。

我們認為若要解放再生能源憑證供給，可以從分散式能源處得到解藥，然我們卻發現在都市欲整合屋頂空間架設分散式能源設備，並共同組成一能源社群，有一定難度，究其主因為產權複雜，使利益無法順暢整合，我們會在第四章末提出解決方法。

再生能源政策問題

我國半數以上之再生能源由臺電保證收購²⁴，這是一種提供再生能源發展誘因之作法，環境經濟學者 Helm (2010) 對於政府補助再生能源方法上提到：「大規模的介入，

²³ 公寓大廈管理條例第 31 條：「區分所有權人會議之決議，除規約另有規定外，應有區分所有權人三分之二以上及其區分所有權比例合計三分之二以上出席，以出席人數四分之三以上及其區分所有權比例占出席人數區分所有權四分之三以上之同意行之。」區分所有權人指擁有公寓專有部分與共有部分之人，意即實際擁有該公寓至少一戶之人，租賃戶不算，透過此法可以選出管理委員會並代執行公寓管理事項。決議生效需有 2/3 出席，出席中 3/4 同意，所以至少半數住戶同意，即可透過管理委員在屋頂架設太陽光電設備。另同法第 33 條第 3 款前段：「公寓大廈外牆面、樓頂平臺，設置廣告物、無線電台基地台等類似強波發射設備或其他類似之行為，設置於屋頂者，應經頂層區分所有權人同意。」不過究竟太陽光電設備是否屬於該法所定義之「廣告物、無線電台基地台等類似強波發射設備」目前尚無定論。

²⁴ 2021 年臺電收購 90.8 億度再生能源，佔該年我國總再生能源生產 175 億度之 51.8%。

提供一籠筐的經濟租（Economic rents）。補助——無論是政府直接提供，抑是消費者間接提供——都會提供租。」廠商為了賺取額外之利潤——經濟學假設所有人皆是理性的——當然採取相應之決策最大化其利益，這樣的行為稱為競租。競租（Rent seeking，或譯為尋租）本身是中立的，然而 Helm 却發現，英國的再生能源補助政策卻是沒有效率的，導致政府失靈。Tullock 等（2000）則直接指明競租所致之政府失靈「把社會中大部分聰明而有精力的人吸引到沒有社會產出的活動，甚至是負的社會產出的活動中。²⁵」政府提供廠商行為改變之誘因，使廠商出現競租行為，在這條命題上，尤其是再生能源政策，政府與廠商間有複雜的委託與代理關係存在，在沒有交易成本的情況下，可能維持或增加整體社會福利，那我們所要探討的僅在如何進行一場公正的所得重分配。然而問題出在，

政府的行政機器可能耗費不貲。再者，由於行政部門也可能犯錯，而且面臨政治壓力，又沒有受到競爭者的刺激，因此我們沒有理由認定，行政部門所擬定的……規定，必然會提高經濟制度運作的效率。（寇斯，1960）²⁶

政府有各式各樣的理由，如公務員不熟悉實際業務、利益團體遊說壓力等，導致其效率不彰，最後侵蝕整體社會福利。若整體社會福利下降，所得重分配過程甚至不公正，就是競租行為帶來的政府失靈。Helm（2010）因而提出以市場工具解決競租行為導致政府失靈之方法，透過市場價格調整誘因順勢而為，而非政府主動提供經濟租，減少政府的干預，如此，便可盡力避免政府失靈之間題。

國際社會在再生能源領域中對於該市場工具的解答，就是賦予能源屬性標籤，讓能源的生產性質與其成本、外部性充分揭露，利用憑證作為市場交易標的，扭轉全球能源結構。有關能源屬性與憑證，在附錄一有更詳細的討論。

²⁵ Gordon Tullock、Arthur Seldon、Gordon L. Brady 合著，徐仁輝、陳敦源、黃光雄譯：《政府失靈——公共選擇的初探》（臺北，智勝文化，2005 年），頁 61。參 Tullock, G., Seldon, A., & Brady, G. L. (2000). *Government: Whose Obedient Servant? A Primer in Public Choice*. London: Institute of Economic Affairs.

²⁶ [美]寇斯（R. H. Coase）著，陳坤銘、李華夏譯：《廠商、市場與法律》（臺北：遠流，1995 年），頁 135。參 Coase, R. H. (1960). The Problem of Social Cost. *Journal of Law & Economics*, 3, 1-44.



第三章 分散式帳本於再生能源交易之實現

第一節 融資文獻回顧

一、目前再生能源融資現況

目前我國面對大型再生能源案場投資時，動輒上萬瓩之裝置容量，其資金需求之龐大，非一時一地一人所能負擔，因而通常採取銀行聯貸或架構式融資(Structured finance)，

所謂架構式融資，是指藉由資產分割之方式，將原本資金需求者持有之資產，與資產持有者隔離，其目的在於將該資產和資金需求者（亦即資產持有者）之破產風險隔離，並調整當事人間債權債務關係。（王文字等，2006：2-4）²⁷

架構式融資換句話說即為資產證券化的核心概念。資金需求者必須另外成立特殊目的機構（Special purpose vehicle，SPV），作為法律主體²⁸，使債權人較之於股東擁有優先受償權，進而降低監控成本（王文字等，2006：2-16）。²⁹此種融資方式又稱為專案融資，以有限追索權的架構借款，並將專案現金流獨立於其他營運活動。以特殊目的機構向銀行借款，銀行原則上僅能向特殊目的機構追討債務，所以專案發起人沒有無條件清償全部債務之義務（左峻德等，2020）。簡單的資產證券化結構見圖 3-1。因此，再生能源專案發起人不需要承擔巨大的風險，更專心在營運上，原本龐大的風險則透過證券化，分散給更多參與者，此舉讓再生能源投資成本變小，增加再生能源未來的可行性與公民參與。

²⁷ 王文字、黃金澤、邱榮輝合著：《金融資產證券化之理論與實務》（臺北：元照，2006 年），頁 2-4。

²⁸ 金融資產證券化條例第 4 條第 4 款：「特殊目的信託：指依本條例之規定，以資產證券化為目的而成立之信託關係。」以及第 5 款：「特殊目的公司：指依本條例之規定，經主管機關許可設立，以經營資產證券化業務為目的之股份有限公司。」該法條中的特殊目的信託及公司皆屬於特殊目的機構（Special purpose vehicle）。惟前者受信託法規範（金融監督管理委員會）；後者俱法人人格，須遵守公司法更嚴格之規範（經濟部），其組織架構及管理皆有詳細規定，見謝福源：《金融資產與不動產證券化小百科》（臺北：臺灣金融研訓院，2002 年），頁 44。

²⁹ 同註 27，頁 2-16。

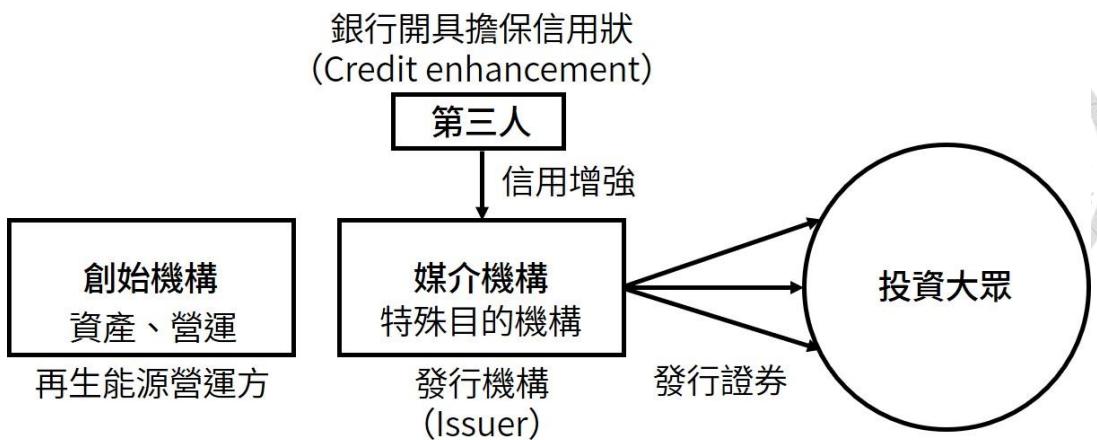


圖 3-1 資產證券化市場結構

註：改編自王文字等（2006：2-21）³⁰

證券化使資產發生質變，模糊了債權與物權之間的分野，讓二者透過證券設計自由轉換。以再生能源營運方角度而言，因為資產分割的緣故，一旦將資產的使用者與資產的物權隔離後，原本的營運方依然能夠使用該發電設備，不過應該把該發電設備視為借入之資產，而該發電設備的物權實際上應屬於出資者所有。讓整體營運模式從資本支出模式變成租賃模式。反觀以出資者角度而言，原本應為債權人而搖身一變成所有權人，且這個所有權可以在市場上自由流通，為資金募集帶來生生不息的活絡源泉。

透過特殊目的機構對大眾發行證券的確是一項偉大的金融創新，然而這項創新依然有其不完美之處。回到問題的本質，這套讓債權與物權轉換的神奇機制，是建立在成立一個中介機構來完成，這個中介機構即是特殊目的機構，作為債權與物權相互流動的導管（謝福源，2002：42）³¹。聯準會（2010）³²稱呼這類神奇導管是無銀行之名卻行銀行之實的影子銀行（Shadow banking）。

³⁰ 同註 27，頁 2-21。

³¹ 特殊目的機構在資產證券化的過程中，主要是扮演導管（Conduit）的角色。見謝福源：《金融資產與不動產證券化小百科》（臺北：臺灣金融研訓院，2002 年），頁 42。

³² 參 Pozsar, Z., Adrian, T., Ashcraft, A., & Boesky, H. (2010). *Shadow Banking* (Staff Report No. 458). Federal Reserve Bank of New York. https://www.newyorkfed.org/research/staff_reports/sr458.html 將因銀行為規避巴賽爾協議所建立之特殊目的機構冠上 Shadow banking 之名，有其貶意，因為這讓銀行遊走於無人監理之灰色地帶。無獨有偶，近年的分散式金融（Defi），處在巴賽爾協議甚至是金融法規所觸及不到的領域，同樣是無銀行之名而行銀行之實的 Shadow banking。但我們的目的並非規避法律責任，而是普及社會中的金融服務，解決社會階級遭受銀行資本歧視之問題，因此當我們在思索設計這些區塊鏈所帶來的金融應用時，必須更小心謹慎，否則很容易又落入從前銀行對於風險過度樂觀之偏誤。

〔商業銀行為了擺脫巴賽爾協議的監理束縛，〕將佔用過多〔準備金〕、風險高的貸款轉移出銀行的財務報表，即透過設立特殊目的機構……把上千筆貸款綑綁起來後放入資產池，並運用打包、評等、分層等一系列技術手段，使其變成滿足投資者不同風險偏好的證券。（辛喬利，2010：20）³³

特殊目的機構逐漸成為銀行逃脫監理規範的白手套，Acharya et al.（2013）也道無追索權的影子銀行，在系統性風險危機發生時難以生存。銀行透過精算，創造金融創新產品，然而這些創新最後透過特殊目的機構的包裝，皆以黑盒子的樣態出現在大眾面前，這樣的驚喜包一旦遇上黑天鵝事件，將醞釀一場不可收拾的大型災難。事實上，發生在2008年的金融海嘯，始作俑者即是資產證券化，所以當我們在享受資產證券化以及特殊目的機構為我們帶來的創新機會時，也不得不思索它可能帶來的負面效應。

此時，我們發現在傳統資產證券化架構下的作法，所創立之特殊目的機構其存在之意義，是可以被區塊鏈取代的。特殊目的機構作為證券的發行機構，其成立源自於監理之目的，特殊目的機構得以信託或公司之形式成立，成立後受信託法或公司法所規範。至此，特殊目的機構有了主管機關，該主管機關無論是金融監督管理委員會或經濟部，資產證券化的行為皆會納入政府的權責範圍。另外，在特殊目的機構向銀行設定擔保後，成為一個有信用基礎的單位。因此投資大眾購買證券時，是向擁有信用保證又有政府監理之機構對坐，大眾因而有誘因去信任其證券之未來價值而願意投資。當然，我們並不認同一個兼有銀行與政府背書之機構，其交易對手風險（Counterparty risk）為零，否則金融海嘯也不會作為經典案例被寫進每一本經濟學教科書中。這個制度有其不完美之處，此處的特殊目的機構甚至稱為特殊目的公司，也有和其他一般公司相同的天性——代理問題³⁴。我們試圖以區塊鏈之實作取代公司經理人之職務也取代特殊目的機構，解決組織的代理問題同時降低交易成本。

二、資產代幣化

我們仍希望發行證券使資產投資更具流動性，便利民眾，促使其參與再生能源市場，但我們限制銀行與政府的介入，因此我們需要透過區塊鏈發行類似證券功能之流通代幣，

³³ 辛喬利：《影子銀行》（臺北：梅霖文化，2010年），頁20。

³⁴ 在第四章時，我們會對公司之代理問題與區塊鏈如何解決該問題有更詳細的論述。

繞過中介機構，取代既有資產證券化之架構。瑞士金融市場監督管理局（FINMA）對市場上不同代幣類型就其監理態度作出解釋，認為資產代幣（Asset tokens）具有證券性質，持有資產代幣便得到分享公司未來利潤的保障，與股票、債券和衍生性商品相仿，納入證券交易法管理（FINMA，2018）。資產代幣又稱為證券型代幣（Security tokens），這個名字也許更符合它的本質。Lambert et al.（2022）賦予證券型代幣一個正式的定義：「證券型代幣是一種對於資產投資之數位標示，並記錄於分散式帳本，且受證交法所管制。³⁵」我們認為證券型代幣就是一個可以改變資產證券化遊戲規則的重要工具，證券在區塊鏈的世界以代幣的形式存在，因而現實中資產證券化換句話說也可以成為區塊鏈上的資產代幣化（Asset tokenization）。不同於資產證券化需要透過曖昧不明的特殊目的機構作為轉換管道，資產代幣化以分散式帳本取代中介機構，揭開黑盒子，讓交易透明化，重生在太陽的普照之下。

建築在分散式帳本技術上之，應用代幣之金融創新，而創造了原生於區塊鏈之證券型代幣。除此之外，分散式帳本甚至反過來將原本實體的證券以代幣之方式上鏈，如此則稱為證券代幣化，此二者最大之不同在於，後者在各國當然適用證券交易法，不需經過任何檢定³⁶。而有價證券是屬於眾多資產之一種，因此證券代幣化，只是資產代幣化的一個附屬領域。事實上，資產代幣化指分散式帳本及加密技術用以表示實體資產的方式（Baum，2021），不但將資產數位化，而且必須建立在區塊鏈上。因為證券代幣化的成功，讓可被證券化之資產以同樣邏輯代幣化，即為資產代幣化，其簡易分類見圖 3 - 2。

³⁵ 原文如下：“A security token is a digital representation of an investment product, recorded on a distributed ledger, subject to regulation under securities laws.”見 Lambert, T., Liebau, D., & Roosenboom, P. (2022). Security token offerings. *Small Business Economics*, 59(1), 299-325.

³⁶ 美國法律上實務上，以 Howey test 作為證券認定之標準。我國金管會採取美國證管會在判斷該虛擬通貨是否具有證券之實質的方法：「所稱具證券性質之虛擬通貨，係指運用密碼學及分散式帳本技術或其他類似技術，表徵得以數位方式儲存、交換或移轉之價值，且具流通性及下列投資性質者：(一) 出資人出資，(二) 出資於一共同事業或計畫，(三) 出資人有獲取利潤之期待，(四) 利潤主要取決於發行人或第三人之努力。」見金管證發字第 1080321164 號令。

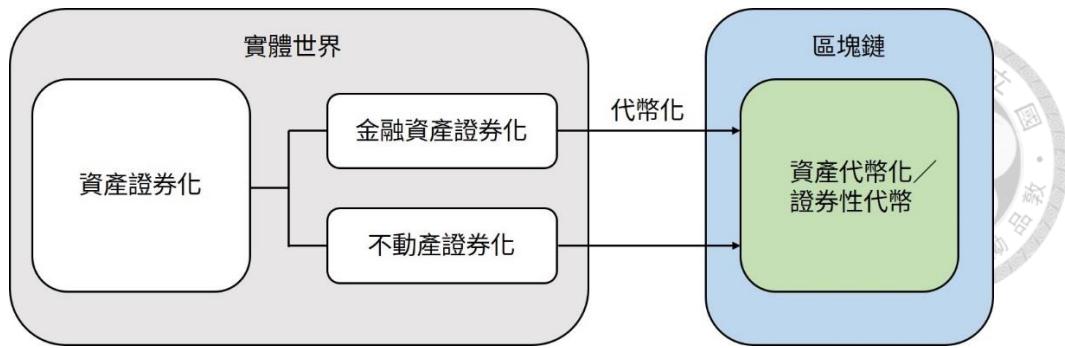


圖 3-2 資產代幣化類別

Alao & Cuffe (2022) 提出以分散式帳本技術輔助特殊目的公司進行再生能源廠之融資，以下整理他們所做之貢獻。該研究主要針對之對象為大型再生能源案場投資計畫，其所需經費不斐，需要透過資產證券化以利進行群眾募資。因為籌措金額龐大，所以設立特殊目的機構，透由該機構發行債券——即一種證券——向市場募資。而分散式帳本技術則作為輔助角色，將該債券代幣化，進入區塊鏈公開發行，讓市場之投資者經由區塊鏈購得該債券。

從法規之觀點，他們所提出之代幣化債券，上鏈 (on-chain) 後可以自由交易，在區塊鏈上將形成次級市場，該債券將具有流動性，經由美國證管會 (SEC) 所提之證券認定檢定（參註 36），具有有價證券之實質，因而被視為標準的證券代幣發行 (STO)，在區塊鏈上所發行之代幣化債券適用證交法，受美國證管會主管之。即使在區塊鏈的世界裡本不需要額外在現實社會設立特殊目的機構，設立特殊目的機構會影響到區塊鏈之主體性，然而該代幣受到證交法管理之緣故，所以為了法令遵循之目的，必需設立特殊目的機構，徒增與政府文書往返之時間與經費，讓區塊鏈強大的角色淪落為輔助效果。不過導入區塊鏈已經有效取代銀行之功用，讓參與者之間在沒有信任的基礎下，透過資訊平臺串聯起來，發行證券時也不必尋找投資銀行代為承銷，仍為整個專案融資節省不少開銷。

在 Alao & Cuffe 提出的系統中，主要參與者為計畫發起人、分散放款人與承購商³⁷。計畫發起人即為再生能源營運商，投入初始的資本額，然後負責統籌整個專案融資，成立特殊目的公司，在區塊鏈的生態圈上，進行證券代幣發行，他們也是再生能源發電設備之所有權人。分散放款人為透過區塊鏈認購證券性代幣者，其組成因為網際網路之特性而無地理限制，故名約分散，惟該計畫並非將再生能源設備（不動產）證券化，而是將債權（金融資產）證券化，所以放款人最終無法對再生能源設備主張所有權，但擁有優先受償之保障，每期賺得利息，現金流穩定，是風險較小的投資，主要的風險承擔仍在計畫發起人上。而承購商則是對再生能源有需求者，與計畫發起人簽訂實體購售電合約，另外為消弭承購商的信用風險，承購商必需以智慧合約為媒介設定擔保，在承購商違背支付義務時，由智慧合約自動拍賣其擔保品，依序償還放款人與計畫發起人。

觀察其主要參與者，我們認為該系統適合大型再生能源站場的營運模式，承購商願意簽訂購售電合約，表示其再生能源需求龐大，願意支付長期且大量的再生能源，非一般中小企業與商號所能比擬。另外，作者在文中不斷強調需要建立實體的特殊目的公司作為整個融資活動之主體，區塊鏈技術作為附屬功能，主要有智慧合約的自動執行以及取代銀行之分散式金融作用。其中承作金額勢必鉅額，所以不得不遵循證券交易法，受主管機關管理，這部分與本研究所提倡之價值稍有出入。

另外我們也發現了在 Alao & Cuffe 系統中，計畫發起人與放款人現實世界與虛擬世界角色區分不一致的問題（見表 3-1）。在法律上計畫發起人擁有股權，放款人擁有債權，本來是不同角色，在法律中其財產請求權之先後順序有所差別；然而在負責真正執行支付系統的區塊鏈上，原應將代表股權之證券與債權之債券分別代幣化成不同商品，卻將二者皆視為去中心化自治組織³⁸之成員，在該系統上所握有之代幣化證券並未作出區隔，我們認為這樣的設計嚴重影響債權人之權益，恐後續會有更多法律爭議。

³⁷ 原文如下：“Shareholders, decentralized lenders and offtakers.” 見 Alao, O., & Cuffe, P. (2022). Structuring Special Purpose Vehicles for Financing Renewable Generators on a Blockchain Marketplace. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 58(2), 1478-1489.

³⁸ 去中心化自治組織（Decentralized autonomous organization，DAO）為一建立在分散式帳本技術上之組織形式，透過持有特殊虛擬通貨來表彰其對組織實有之控制力，更多有關去中心化自治組織之詳細論述見第四章。

表 3-1 股權與債權在區塊鏈上角色區隔未明情形



	計畫發起人	放款人
法律上（現實世界）	擁有股票彰顯股權	擁有債券彰顯債權
償還順序	後	先
區塊鏈理想之金融資產 代幣化方式	股票代幣化	債券代幣化
區塊鏈上（虛擬世界）	皆握同一種證券型代幣，同為去中心化 自治組織成員	

三、虛擬通貨

不同於首次代幣發行 (Initial coin offering, ICO)³⁹，在企業草創之初先以一紙提案就發起 ICO 進行群眾募資；欲發起專案融資者可以隨時舉行證券型虛擬通貨發行 (Security token offering, STO)，並未固定在創業之時，在企業的其他生命週期也能發起 (Lambert et al., 2022)，這讓證券型代幣更方便，更能滿足資金需求者，將其作為一個彈性的融資管道。另外，ICO 所發行之代幣為效用代幣 (Utility tokens)，其「本質上是功能性或消耗性的，通常作為一種造訪和測量線上服務的手段。(De Filippi & Wright, 2018)⁴⁰」讓持有者被賦予在此以區塊鏈所組成的生態系中消費商品或服務的權利

³⁹ 該活動名承襲自股票市場的「首次公開發行 (Initial public offering)」，股份有限公司經由首次公開發行，向廣大群眾募集資本，使之成為公司股東。至此成為公開發行公司，公司股權結構將變得複雜，公司營運將牽動更多利益衝突。公開發行公司、上櫃公司、上市公司，此三者公開程度不同，其股票分別在不同市場上交易，在不同市場上可以接觸到的參與者，其多元性也不同，以上市公司最為公開，接觸到的買家最為多元。首次代幣發行就是一種比首次公開發行更為開放自由的群眾募資手段，因為網路沒有國界、沒有時差，在網際網路上進行跨國交易，其成本大幅低於購買他國股票，也使得首次代幣發行所能接觸到的群眾比起上述三種公開發行公司最為多元且複雜。

⁴⁰ Primavera De Filippi、Aaron Wright 合著，王延川譯：《區塊鏈與法律：程式碼之治》(臺北：元照，2019 年)，頁 146。參 De Filippi, P., & Wright, A. (2018). Blockchain and the Law: the True of Code. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.

(Catalini & Gans , 2018)⁴¹，效用代幣其特色是消耗性，與證券型代幣主張利潤分享的本質是不同的，所以他們在區塊鏈上所扮演的角色也不同，許多國家甚至在法律上，將證券型代幣認作證券之變形，認定其適用證交法。在區塊鏈的實務上，證券型代幣有同質化代幣，也有非同質化代幣；而效用代幣因為其消耗性質，流動性要求相較於證券型代幣更高，所以皆為同質化代幣。

無論是證券型代幣或效用代幣，還有支付代幣（ Payment tokens ）及治理代幣（ Governance tokens ）這些名稱僅根據用途而做分別，且彼此間並非互斥（ Lambert et al. , 2022 ），有些代幣其用途廣泛，可能跨越好幾種分類。另外，我們也可以從代幣遵循的開發協議⁴²來分類，如此可以分成同質化代幣與非同質化代幣兩類，表 3 - 2 為不同代幣之功用與性質比較。

⁴¹ 我們認為更通俗的譬喻應將效用代幣視作樂園的代幣，常見於某些樂園、街機遊戲或服務，在消費之前需先將手上之現金匯兌成專屬代幣、點數或消費券，這些代幣或消費券沒有流通的功能，消費者純粹為了進行某項消費而匯兌儲值之。一個區塊鏈就是一個生態系、一個開源社群，不同開發者共用同一個平臺，發展出不同的分散式應用（ Decentralized application , Dapp ），在此我們將分散式應用比喻為樂園或遊戲，而其中每一個分散式應用在開發初期即以首次代幣發行籌措資金，開發完成後，這些被稱為效用代幣的東西，即為使用該分散式應用的入場券，一種效用代幣對應一種分散式應用。職是之故，就算同樣都長在以太坊這個生態系中，來自於不同開發者的分散式應用，所要求的效用代幣也行色各異。參 Catalini, C., & Gans, J. S. (2018). *Initial coin offerings and the value of crypto tokens* (NBER Working Paper No. 24418). <http://www.nber.org/papers/w24418>

⁴² 正如其他開源社群，為了持續改進以太坊，需要一套正式的提案流程，即以太坊改進提案（ Ethereum improvement proposals , EIPs ），被以太坊基金會所接受之提案將被寫入協議作為他人開發之標準，即以太坊意見徵求（ Ethereum request for comment , ERC ），關於代幣之標準常見者為 ERC20 與 ERC721 ，分別為代幣標準——即原始不可區分的同質化代幣——與非同質化代幣（ NFT ）標準。

表 3-2 代幣用途與性質比較



代幣類別	用途	流動性	同質性
支付代幣 Payment token	區塊鏈上的交易媒介，區塊鏈燃料 價格之貨幣單位，某些代幣甚至可以釘住真實世界中的法幣	最高	同質
效用代幣 Utility token	使用或造訪分散式應用程式所需 支付之消耗性代幣	次高	同質
證券代幣 Security token	未來利潤分享之權益保障，具有投資性，去中心化自治組織的治理代幣也是屬於這類型	中	同質或非同質
NFT Non-fungible token	數位證書、數位藝術	低	非同質

第二節 交易文獻回顧

分散式的再生能源目前都直接躉售予臺電或把持在再生能源售電業手上，然而透過適洽的平臺設計，我們可以將它轉換為一種共享經濟（Sharing economy）的商業模式。共享經濟重構了我們對信用的看法，它挑戰主流以公司為主的交易形式（Coyne & Onabolu, 2017）。將分散式再生能源躉售臺電是一種在市場機制不完備下的妥協折衷方案，然並不是社會福利最大化的方案，且臺電公司又無力調整電力排放係數⁴³，顯然臺電為一個沒有效率的中間人，無法忠實表達臺灣社會在永續經營上所付出的努力。因此本研究企圖提出以 P2P 實現再生能源零售市場之架構，設計分散式再生能源加入自由化市場之誘因，以解決中小企業乃至一般大眾無綠電可購買的窘境。

Han et al. (2020) 提出以區塊鏈與智慧合約來架構完整的電力零售系統，該系統以三個層級依次架構，分別為基礎建設層、通訊層與區塊鏈層，這樣的分層結構，使我們

⁴³ 電力排放係數為公用售電業所售出之電力，其背後生產過程中所累積之碳足跡。我國 2022 年之電力排放係數為每度電 0.614 公斤二氧化碳當量，對比東亞其他地區中國為 0.537、日本為 0.465、南韓為 0.415、新加坡為 0.408；其他地區如英國為 0.211、法國為 0.042、美國為 0.392，盡皆低於我國排放係數。部分地區如歐盟、北美另外製作殘差係數（Residual mix），將未被再生能源憑證追蹤之綠電合理反映。參 https://www.carbonfootprint.com/international_electricity_factors.html

有效的理解區塊鏈在整個電力市場中所扮演的角色。基礎建設層涵蓋了所有系統的參與者，包含生產者與消費者以及配電營運商，及所有必需基礎建設，如電網、太陽能板、負載、電表等。其次為通訊層，為具體的軟硬體設施，如網路以及作為區塊鏈窗口的介面等。在其次才是區塊鏈層，包含各節點所儲存的分散式帳本、智慧合約之執行與代幣交換等。

除了 Han et al. 所提出的三層級的架構之外，Tushar et al. (2020) 則提供另一種模型，他們只將電力零售市場分成虛擬與實體兩個層級：虛擬層為提供金流與資訊流交換的平臺，所以支付、清算、區塊鏈與智慧合約等屬之；反之實體層相當於前文所提及之基礎建設，負責電力的運輸與交換。而參與者則夾在中間，同時藉由虛擬層與實體層，和其他對象互動。

Nykyri et al. (2022) 則以共享經濟的角度成立能源社群（Energy community），能源社群也是歐盟正在努力的方向，希冀藉由能源社群的發展，家戶之間也可以電力交易，使電力零售奔向最大的自由化。他們以智慧合約實作能源社群，參與者為公寓、用戶群代表⁴⁴及配電營運商，其中公寓被視為一個生產性消費者，包含用電者——住戶，以及住戶共同擁有之發電設備。若該時段公寓之分散式發電設備超額供給，即售電予電力市場；反之若公寓之發電設備不足以供應該公寓用電需求，則從公開市場購入電力。不過 Tushar et al. 提到以社群為主體的 P2P 交易，在社群中通常仍存在一個可管制統合該社群的權力中心，因此以社群為主體的市場不能完全視為去中心化的結構。然我們並不以為然，透過區塊鏈的應用，還是可以在社群中以投票的方式來完成去中心化。以上二篇重要過去文獻比較見表 3 - 3。

⁴⁴ Aggregators 制度在國外的電力市場中已行之有年，在臺灣譯作「用戶群代表」。用戶群代表負責集合社區之散戶，是電力市場下游的主要參與者。

表 3-3 目前再生能源交易平臺文獻所提出之架構比較

文獻	參與者	活動	權利主體
Han et al. (2020)	生產者	彌封式競拍	個體 (Peer to peer)
	消費者	能源交易	
	配電業	清算與交割	
Nykyri et al. (2022)	生產性消費者	需求管理	社群 (Community)
	用戶群代表	能源共享	
	配電業	交易紀錄 利潤清算	



第四章 去中心化自治組織

為徹底實現去中心化之能源社群，本章首先探討去中心化自治組織之文獻，並在最後說明以自治組織整合社群成員誘因之方法。

去中心化自治組織（Decentralized autonomous organization，以下簡稱 DAO）仍在發展階段，目前沒有單位賦與它正式定義。以學術角度觀察，認為 DAO 是一種憑藉在區塊鏈上運作，沒有中心化的管理單位且結構扁平之組織，所有管理與作業流程皆透過智慧合約與共識機制而完成。這樣的組織架構使得組織成員可以透過區塊鏈來達到彼此信任，進而共同做出決策，因為不需要其他第三方的介入而在決策上享有自主權，是一種非常自由且民主化的組織結構（Wang et al., 2019；Santana & Albareda, 2022）。

亞里斯多德對於因利聚合之共同體有獨到之見，

所有的共同體都是政治共同體的組成部分。因為，人們結合到一起是為了某種利益，即獲得生活的某種必需物。人們認為，政治共同體最初的設立與維繫也是為了利益。而且，這也是立法者所要實現的目標。他們把共同利益就稱為公正。⁴⁵

早在人類文明發展以前，這種自治組織就已經出現，因為這是一個社會的雛型，當一群人因為合作而聚集成為一個社會團體，勢必就會推動群體內部產生一套治理方法以管理群體內部參與人之行為。「行為，尤其是社會行為，而且特別是一種社會關係，可能以參加者的一種合法制度存在的觀念為取向。這種事情真正發生的機會應該稱之為有關制度的適用。（韋伯，1922）⁴⁶」可見，研究制度即是研究共同體之組成本身。比較接近當代社會的案例如開源社群，各路人馬因為共同理想而共事所組成的組織，就是一種民主化的自治組織，而組織治理也於焉誕生，設計一套在民主且尊重各方意見之共識與有效率之領導間取得平衡的治理結構，將會是組織成敗的關鍵之一（O'Mahony & Ferraro，

⁴⁵ [古希臘]亞里斯多德 (Aristotle) 著，廖申白譯注：《尼各馬可倫理學》(北京：商務印書館，2003年)，頁 246(1160a)。

⁴⁶ [德]韋伯 (Max Weber) 著，林榮遠譯：《經濟與社會》(北京：商務印書館，1997 年)，頁 61。參 Weber, M. (1922). *Wirtschaft und Gesellschaft*. Tübingen: J.C.B. Mohr P. Siebeck.

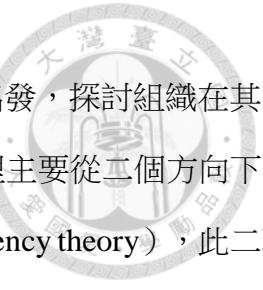
2007）。又因為各個社群目標不同，而發展出不同的治理方式，且不同的治理方式同樣反過來影響組織的成員結構。

由上可知自治組織在社會中是一個因合作而存在的自然產物，區塊鏈的發明只是改變了自治組織成員間建立信任的方式。過去我們靠面對面的情感交流或為組織付出作出實際行動來取得團員間的信任；在區塊鏈所實作的 DAO 下，成員們以透過各節點共識演算法的機制與手上所持有的虛擬通貨來取得其他人的信任。由此而論，DAO 大抵與原始社會之組成為同一個邏輯，只是組織不再受限於血緣或地緣關係，而是由持有共同理想且欲付諸實現的夥伴而組成。這樣的組織可以是非營利機構，不過更大一部分的確是以營利的目標出現，法學家王文字（2019）就認為 DAO 與合夥企業有些許相似之處。

然而 DAO 基於區塊鏈而建立，又以虛擬通貨作為組織治理之信物，從面世以來 DAO 的應用總是不脫虛擬通貨募資、借貸、數位資產投資等，世人總是將其與投機行為掛勾，吸引一窩蜂不明事理就進場的待宰羔羊，另一方面又促使不肖開發者，利用 DAO 行非法勾當。區塊鏈本身是不可篡改又帶來高度透明化的技術，結果區塊鏈的應用卻因為參與者間的資訊不對稱而造成道德風險（Moral hazard）問題。我們認為科技本身是中立的，為 DAO 建立一個符合永續經營標準的商業模式，才能真正發揮 DAO 的美好效用。

那麼 DAO 如何真正發揮其效能？彭思遠（2023）認為在 DAO 的治理架構下，所有利害關係人（即平臺參與者）都能參與討論，在生態圈中人人平等。透過虛擬通貨經濟學（Tokenomics）⁴⁷的運作，使得擁有投票權的參與者有強烈的誘因積極經營組織，以提升未來獲利，稱其機制與利害關係人資本主義（Stakeholder capitalism）不謀而合，而利害關係人資本主義正是近年永續發展目標所提倡的公司治理模式（GRI，2022），舉凡被組織之生產活動影響之人，皆為利害關係人，不只是董事與股東，員工、社會與環境皆是。充分理解利害關係人的需求，並持續與其溝通，才能為組織與社會創造更多價值。

⁴⁷ 參 Cong, L. W., Li, Y., & Wang, N. (2021). Tokenomics: Dynamic adoption and valuation. *Review of Financial Studies*, 34(3), 1105-1155.



第一節 去中心化自治組織與公司

本節將以經濟理論研析從公司到 DAO，以公司治理的角度出發，探討組織在其治理架構不同而改變成本結構與效能之情形。經濟學中探討公司治理主要從二個方向下手——交易成本理論（Transaction costs economics）與代理問題（Agency theory），此二理論雖由不同脈絡發展而成，卻恰巧建立在相近的假設之上⁴⁸，有如站在同一個頂點，卻分別看向不同之處，提供二種看待公司治理之成本的角度，可謂相輔相成。Williamson（1988）為我們做了精闢的分辨，代理問題所關注的焦點為事前的成本，換言之，為了避免某些不樂見的後果，事前就先做出預防措施而所付出的成本就是代理成本。而交易成本理論為事後成本，為組織與他方互動交易過程中的不適應所帶來的成本，此即為交易成本。交易成本理論與代理問題的關係見圖 4 - 1。

⁴⁸ 作為代理問題的研究者通常不用交易成本理論所使用的「有限理性」假設，不過卻可以在他們的理論中看到相同的假設；反之交易成本理論中的「投機主義」就等價於代理問題所用的「道德風險」，參 Williamson, O. E. (1988). Corporate Finance and Corporate Governance. *Journal of Finance*, 43(3), 567-591.

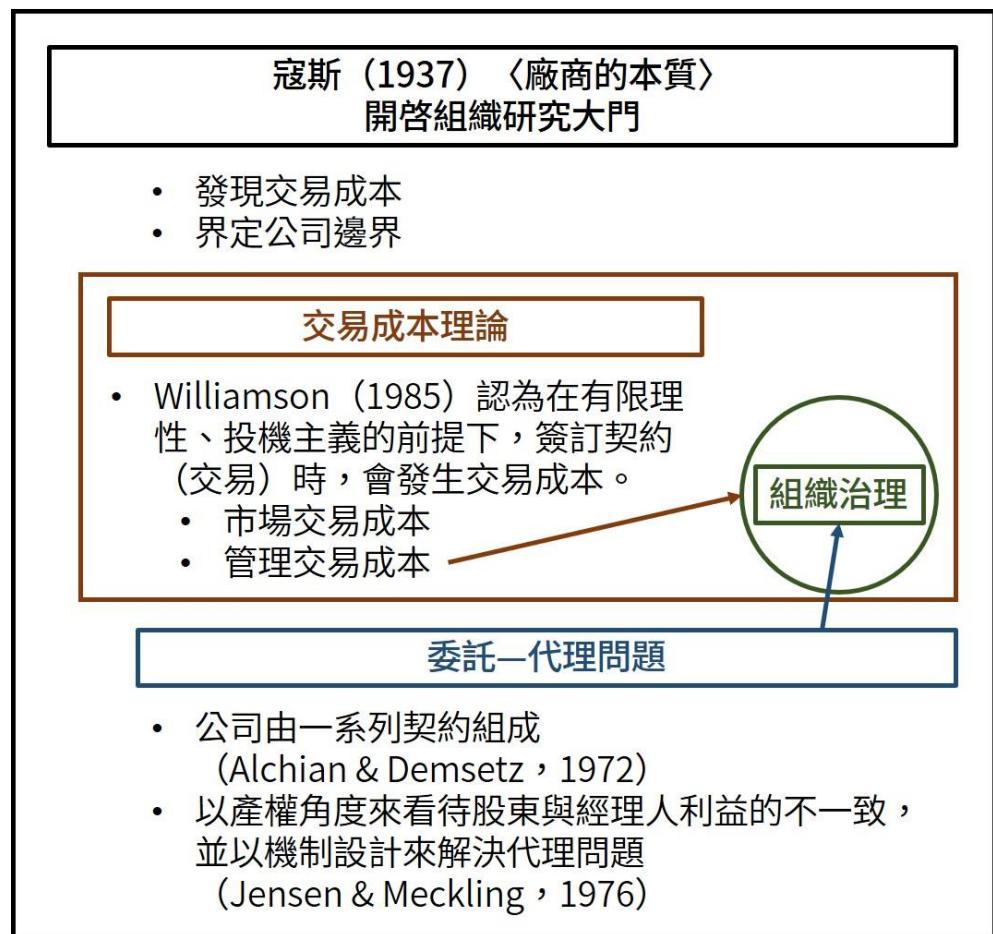


圖 4-1 寇斯以降交易成本理論和代理問題與組織治理關係之綜整

一、以交易成本理論角度研析

經濟學家寇斯（Ronald H. Coase）在 1937 年發表〈廠商的本質〉⁴⁹，發現透過市場交易往往必須付出比商品本身價值更高的代價，其代價高於商品本身價值之部分，即為交易成本，此著作正是交易成本之濫觴。廠商（公司）也可以透過內部製造滿足其需求，若其自製成本低於購買於市場，則可節省交易成本。自此，廠商與市場的邊界即可界定（Williamson, 1985），內部製造成本低廉者則行自製決策；外部市場購買便宜者則行外購決策，後來也引申為企業重要的自製外包決策分析（Walker & Weber, 1984）。 Williamson 所定義的公司邊界並非一陳不變，這條邊界會隨著成本結構的變化，而產生新的均衡，因此該邊界應視為公司與市場互動後的動態均衡。

⁴⁹ 或譯為「公司的本質」。寇斯是著名的經濟學家，其著作影響後世經濟、政治、法律、會計等各領域。參 Coase, R. H. (1937). The Nature of the Firm. *Economica*, 4(16), 386-405.

隨著時序推進到數位經濟時代，交易成本結構產生重大變革，使得企業與市場的邊界悄悄發生變化，因為數位轉型的緣故，市場的力量逐漸凌駕於企業之上(Malone et al., 1987; Brynjolfsson, 1994)。以自製外包決策分析的語言說明，意即資訊科技讓外包變得更便宜了，許多資料開始電子化，並且在企業間得以電子資料的形態交換資訊。在這波轉型浪潮下企業留下具有比較利益的流程，外包其餘不具比較利益之業務，成為更經濟的方法。更甚者，進入網際網路時代後，網路平臺商業模式如雨後春筍般遍地破土⁵⁰。平臺的商業模式打破了這條企業與市場之間的邊界，扮演買家與賣家之間的中間人角色，打造企業即市場。至此，企業邊界已經模糊，無法直觀分辨，甚至造成社會上重大的爭議，如 2019 年引發臺灣社會輿論的問題——外送平臺與外送員究竟屬於僱傭關係或承攬關係，若為僱傭關係，外送員則屬於企業邊間之內；若將外送員認定為承攬關係，則外送員屬於企業邊界之外⁵¹。不過我國民眾與政府對於責任歸屬尚未有一致的共識，由此點明了資訊科技打破企業邊界，模糊企業固有之疆域，未來我們應該更加注意、更加積極面對資訊科技為社會所帶來的衝擊。

Wigand (1997) 認為資訊科技可以讓交易成本顯著降低。我們卻認為電子商務出現的確降低搜尋成本，然搜尋成本只是眾多交易成本中的一個項目，降低搜尋成本不必然降低整個交易成本。交易成本是立體的、有結構性的，交易方式的改變將造成交易成本產生結構性改變。近年來隨著資訊發展日新又新，資料儲存成本越來越低，過量的資

⁵⁰ 一般認為網際網路元年為 1995 年，網際網路誕生而後普及，促成了劃時代的網路平臺商業模式，亞馬遜(Amazon.com)即是當時的產物，挺過後來的網路泡沫化，並茁壯至今。值得注意的是，平臺經濟並非在網際網路普及後才出現，平臺商業模式也並非專屬於網路公司。早在網際網路興盛前，Sony 等遊戲公司、Visa 等支付公司、媒體業就已經開始玩起了雙邊平臺的商業模式，作為消費者與廠商之間的中間人，同時向雙方賺取利潤，參 Rochet, J.-C., & Tirole, J. (2003). Platform Competition in Two-sided Markets. *Journal of the European Economic Association*, 1(4), 990-1029.

⁵¹ 以平臺商的角度而言，平臺提供 Marketplace，搓和賣買雙方達成交易，雙方皆不從屬於平臺，從過往的案例循跡，平臺也無須負擔損害賠償責任，如 Facebook 作為媒體平臺，若有不肖分子於其平臺刊登詐騙消息，而導致消費者利益損害，也不見平臺會因此負連帶損害賠償責任，所以在此外送平臺與外送員間的關係理應為承攬。然該案又涉及人力資源，與商品交易的主管機關不同，一般商品交易主管機關為經濟部，而人力資源主管機關為勞動部，勞動部認為外送員與平臺間為僱傭關係，由此案可以發現對於平臺的責任歸屬，經濟部與勞動部的見解有明顯差異。不僅如此，現在的共享經濟(Sharing economy)包山包海，實質上商業模式大同小異，卻因共享的資源跨越不同主管機關，各部會對他們所主管的業務做出其各自見解，造成平臺的責任歸屬沒有統一規範。如借貸平臺歸金管會、叫車平臺歸交通部、房宿平臺歸觀光局，雖然每個產業都可以對應到主管機關，但這些主管機關實質上對平臺束手無策，每每社會發生重大輿論事件或既得利益者出面施壓才逼迫主管機關訂定權宜辦法，最後導致各部會標準不一致，我們從這些事件中發現，我國政府對平臺採取被動態度，並未積極納管此一未來的經濟形態。

訊與雜訊紛呈，導致資訊爆炸，其實反而增加了篩選成本；資安與網路等不法行為在近年更儼然為社會帶來沉重成本，又為了加強資安而採取預防措施，這些舉措皆在電子商務的交易成本中計上一筆又一筆。綜上而論，雖然科技降低一部分的交易成本，卻讓它以新的面貌、新的名目重新攀附在我們身上，甩也甩不掉，所以當我們面對新的技術時，不能一味的興喜於它帶給我們的益處，同時也該審慎思考它可能為我們造成的新麻煩是否足以承擔。

二、以代理問題角度研析

同樣從寇斯（1937）作為原點

經營意味預測未來，並以簽訂新契約的方式，透過價格機能來運作；管理則僅僅表示隨著價格之變動，重新調整自己控制下的生產要素。一般企業人士通常具有上述兩種功能……⁵²

此論述稍微揭示經理人與公司之關係，Alchian & Demsetz（1972）則接續寇斯，直接點明經理人為公司代理人，認為公司以一系列契約（nexus of contracts）所組成，股東與董事會透過契約，將控制權受予經理人，並且將公司視為團隊生產的過程（Team production 或 Join input），而團隊成員基於自利主義行事，不過團隊成員明瞭組織之成敗攸關個人之成敗。Jensen & Meckling（1976）奠基於前人的努力，擴大認為契約關係就是公司的精髓，且契約關係不僅發生在員工，也發生在公司的供應商、客戶及債權人上，有契約關係之處就有代理成本存在。公司其實為一個由複雜契約關係所建構成的法律實體，而其中存在著相互不一致的個體目標互相影響達到均衡。⁵³

Jensen & Meckling 在代理成本的研究之後，如此評判公司制度，

公司制度是一項偉大的社會發明，無量的個人財富自願性的投入公司資本，為經理人所用。就算有代理成本的事實，到證券市場上一看便知，市場上的投資者用毫無疑問的信任創造如今的公司市值。……市場雖有其他替代方案，無論如何，公司制度仍打破各種阻礙存活至今。⁵⁴

⁵² 同第二章註 26，頁 63。參註 49。

⁵³ 原文如下：“It is a legal fiction which serves a focus for a complex process in which the conflicting objectives of individuals (some of whom may ‘represent’ other organizations) are bought into equilibrium within a framework of contractual relations.”參 Jensen, M. C., & Meckling, W. H. (1976). Theory of the firm: Managerial behavior, agency costs and ownership structure. *Journal of Financial Economics*, 3(4), 305-360.

⁵⁴ 同註 53。

即使股東必須面對代理成本高昂的問題、面對一個中心化的管理階層來代行其權，仍無法阻止公司制度成為主流。然而我們就應該將公司制視作大到不能倒而去忽略代理問題嗎？

我們的看法是，我們仍應嚴正面對代理問題。正如 Gompers et al. (2003) 所道「公司為共和政體，其最終權力來自於所有權人。⁵⁵」公司所有權理應歸屬所有股東，股東享有利益分享之權同時也負債務償還之責，然公司的經理人卻因職務而擁有個人資訊，進而產生代理問題 (Ross, 1973)。盡可能透過誘因設計消弭經理人與董事會和其它股東間的代理問題，可以提升公司的市值、績效，並降低資本支出 (Gompers et al., 2003)。實務上常常看到公司與經理人簽訂認股權契約，或者是公司法所規定的董事當然解任條件⁵⁶皆是稟於公司治理，讓經理人與股東、董事與股東之間的利益綑綁在一起，使得所有參與者誘因相容，不過仍舊未解決資訊不對稱問題，且這些治理機制所額外需支出之部分，皆可被視為代理成本。

智慧合約的出現打破了代理成本存在的遊戲規則，De Filippi & Wright (2018) 道：

透過區塊鏈，人們可以建構自己的規則或智慧合約系統，由基於區塊鏈的網路協議執行。這些系統在沒有法律的情況下創建秩序，並實施可以被認為是私人監管框架的東西……⁵⁷

智慧合約剛好可以作為 Alchian & Demsetz (1972) 、Jensen & Meckling (1976) 所提及之契約（合約）的替代選擇，讓公司的日常性流程透過區塊鏈與智慧合約技術達到自我重複執行，省去人事成本，甚至透過智慧合約來限制經理人之權限，「消除人為決策的需要，幫助解決委託代理問題。（Murray et al., 2021；De Filippi & Wright, 2018）⁵⁸」在區塊鏈系統中，因為存在共識機制，個人若欲行違反組織利益的行為，會被組織其他

⁵⁵ 原文如下“Corporations are republics. The ultimate authority rests with voters (shareholders).”參 Gompers, P., Ishii, J., & Metrick, A. (2003). Corporate Governance and Equity Prices. *Quarterly Journal of Economics*, 118(1), 107-155.

⁵⁶ 公司法第 197 條第 1 項：「董事經選任後，應向主管機關申報，其選任當時所持有之公司股份數額；公開發行股票之公司董事在任期中轉讓超過選任當時所持有之公司股份數額二分之一時，其董事當然解任。」

⁵⁷ 同第三章註 40，頁 6。

⁵⁸ 同第三章註 40，頁 220。

成員拒絕；又有預先制定的智慧合約執行交易，個人幾乎無法插手交易進行，無法竄改交易結果（Lumineau et al. , 2021）。

DAO 透過治理性虛擬通貨（Governance token）表彰對組織的控制權，擁有越多的虛擬通貨，則握有越大的話語權，如此設計與公司之股份並無二致。甚至，當經營者或控制者積極經營組織，讓組織的未來獲利性被市場看見，該虛擬通貨的市場價值將水漲船高。如此，虛擬通貨的未來市值又反過來提供經營者積極完成組織使命之誘因，這樣透過虛擬通貨來達成誘因相容的過程即為虛擬通貨經濟學⁵⁹，這樣的作法也與傳統公司透過認購選擇權去激勵經理人的哲學相似。公司與 DAO 的治理結構整理見表 4 - 1。

表 4 - 1 公司與去中心化自治組織之治理結構差異

	公司	去中心化自治組織
所有權彰顯	股份	虛擬通貨
治理結構	經營權與所有權分離且階層治理（股東－董事會－經理人）	組織成員皆可提案交付表決，表決通過後以程式碼執行而無管理職
行政效率	高	低
資訊不對稱	股東會與董事會間、董事會與經理人間皆有資訊不對稱問題，所以需要舉行股東大會並印製財務報表。	所有流程皆在鏈上執行而透明
誘因機制	透過股份認購與公司未來市值提供經理人誘因	透過虛擬通貨未來之市值，與組織未來獲利分配提供組織成員誘因
代理成本	高	理論上無
營利性	營利	營利與非營利

⁵⁹ 同註 47。

第二節 去中心化自治組織造成交易成本結構改變

回到 DAO 本身，前文提到 DAO 降低了代理成本，但代理成本僅只是所有交易成本的一項。Murray et al. (2021) 認為，DAO 增加了三種交易成本：不彈性成本 (Inflexibility costs)、預言機成本 (Oracle costs) 及安全成本 (Securities costs)。

無論如何，以上談到區塊鏈與智慧合約解決了部分問題，然而這樣在虛擬世界的組織架構仍與現實社會存在最後一哩路的距離，問題就發生在這套電子帳本要如何與實體資產作連結 (Arrunada, 2018)。且虛擬世界與現實世界透過介面交流資訊，而人作為介面操作的角色 (Boslego & Catalini, 2018)，依舊不會被取代。而人最大的問題就是有限理性，「基於人們的有限理性，去中心化組織成員完全參與組織治理結構的能力有限。(De Filippi & Wright, 2018)⁶⁰」最後一哩路的問題也造成現在大部分有名的 DAO，其組織與目標都是以虛擬通貨作為投資標的為主的基金，因為這些資產本就原生於網路，與基於區塊鏈的 DAO 之間，互動順暢，沒有摩擦力，無最後一哩路的問題。

因為智慧合約本質上是自主的，所以記入智慧合約中的承諾比用自然語言記入法律中協議中的承諾更難終止……一旦智慧合約的滾輪開始運轉，包含在程式碼中的條款將被執行，除非各方在智慧合約中加入停止程序執行的邏輯，否則它們無法停止……因為沒有人能夠控制支撐 DAO 的智慧合約，所以沒有任何一方能夠干預去修改程式碼或讓其停止——即使程式碼沒有如預期那樣工作。(De Filippi & Wright, 2018)⁶¹

當部署了有商業邏輯漏洞 (Business logic flaw) 的代碼上鏈後，市場上發覺到了這個套利機會必定進場套利，造成組織資產被掏空。然而除非重新表決新的修改代碼，無人可以控制並暫停組織的交易，為組織止血。The DAO 在 2016 年遭駭的事件，導致該組織所控制之三千六百萬以太幣（約美元五千萬元），遭駭客五鬼搬運，甚至撼動整個以太坊，不得不做出處治⁶²，即使後來 The DAO 的成員意識到問題並試圖改善，也無法及時

⁶⁰ 同第三章註 40，頁 202。

⁶¹ 同第三章註 40，頁 105、224。

⁶² 該事件導致以太坊決策者將被駭之後的系統改稱為以太經典 (Ethereum classic)，回復到遭駭之前的系統則繼續使用舊稱 (Ethereum)。從以太坊處理該事件的態度可以觀察到，雖然他們解決了此次駭客所造成的損失，但也讓許多支持者發現以太坊基金會的制度與去中心化的中心思想產生重大矛盾。然若以太坊不提供監理機制，那些受到其他主體迫害的受害人將無法受償。在此不評論去中心化到底是禍是福，不過我們的確發現去中心化與監理是個兩難的議題。

阻止自動執行的智慧合約繼續散財。因為組織在追求透過智慧合約以達成公平自治的路上，讓組織少了人治的特色。較諸於機器，人類對於環境有更高的認知力與適應力，組織一旦去除了人治，將削弱該組織對於環境的適應力。我們認為這些使虛擬世界與現實環境之間產生摩擦力的東西，所謂最後一哩路，其實就是 Williamson (1985)⁶³所提出的交易成本，唯有克服虛擬世界與現實世界間交易成本的問題，我們才能真正將 DAO 運用於社會。

進一步觀察代理成本的問題，雖然 DAO 不需要經理人來統轄組織，不由經理人執行合約，也不需要給付經理人福利措施，引導其誘因，從這個角度來看，代理成本的確下降。但早在 1997 年甚至是區塊鏈都尚未出世時，Szabo (1997) 就提出智慧合約的構想，且其在文中指出智慧合約仰賴「信任第三方」提供資訊，控制其執行。又提到該信任第三方越多越分散對於智慧合約的機制越完善，因為這個第三方本身也有其私有資訊、道德風險等問題，所以將信任第三方分散才能提高資訊的信任度。

當時並沒有預言機（Oracle）的概念，不過現在的預言機——作為第三方外部資訊提供者，正如 Szabo 文中所提的信任第三方有相似的作功。組織在面對選擇合適的第三方資訊提供者常常有實際上的困境，如判斷第三方所提供之資訊的真偽、提供資訊的速度（Murray et al., 2021），俱皆影響合約執行的效果，這些困境並非無法處理，然若要解決，皆須要花費額外成本。走筆至此，如何去管理預言機，不正是智慧合約所創造出的代理成本嗎？代理成本的夢魘依舊存在，只是換了一個方式重現，目前為止，我們尚無法確認既有的代理成本與預言機所造成代理成本孰輕孰重。

第三節 交易成本之外——從公司到非營利組織

在經濟組織的研究中，學者們將大量的焦點放在公司，因為公司制的創造獲得前所未有的成功並成為主流至今，然公司不是唯一組成具生產力之組織的唯一選項。近年來有越來越多的非政府組織、非營利組織 (Ferris, 1998) 以及開源社群 (O'Mahony & Ferraro, 2007)，皆非公司制，在這樣的組織架構下，其組織目的與治理結構當異於公司。舉開

⁶³ Oliver E. Williamson 著，段毅才，王偉譯：《資本主義經濟制度：論企業簽約與市場簽約》（北京：商務印書館，2004 年），頁 31。參 Williamson, O. E. (1985). *The economic institutions of capitalism*. New York: Free Press.

源社群為例，該組織目標為生產導向，同時知識分享（Knowledge sharing）是組織重要的活動，在這種組織下的管理結構傾向民主。然一味民主卻會使各參與者間的利益衝突問題升高，最後造成決策困難而組織寸步難行。O’Mahony & Ferraro (2007) 認為最有效率的治理方式為混和制⁶⁴，設立組織章程，限制管理者之權責範圍，也保障其他成員的民主權利，不為管理者因其自利動機行動而迫害。另外，管理者由對組織貢獻最大者出面擔任，即行所謂的菁英制（Meritocracy）。當交易成本理論中強調市場或官僚的二元光譜在非營利組織裡行不通時，我們可以參考 Ouchi (1980) 所提出的派閥（Clan）控制，透過社會機制消弭個體與組織之間的目標差異，讓組織成為強凝聚力的社群，「這類組織使用的技術較為先進，科技也必須與時俱進不斷更新，組織內強調團隊合作，不強調個體表現。」我們認為 DAO 所能建構的治理機制，源自於其權力分散的特性，尤其適合實作這類權力較為鬆散之社群的治理結構。

第四節 以自治組織整合社群成員誘因與動機

此處，我們將一個微電網內之公寓住戶或商號群視為一電力社群，各自擁有一部分公寓的產權，同時共同擁有公寓之公用部分的產權，如門廊、樓梯及屋頂等。若公寓成員願意將其屋頂安裝太陽光電板，無論是自發自用、售出太陽光電皆能獲得利益，以此活用大樓資產，增加資產使用效率。

只要戶民同意並合作，將可以活用公寓資產，進而獲利，達到共贏。然而我們卻要問為什麼對所有參與者皆為最大報酬的結局，並未成為目前臺灣城市的常態？答案就藏在歐斯壯（Elinor Ostrom）研究共有財的治理方法中，

共有財的悲劇、囚徒困境與集體行動的邏輯概念相似，這些模型皆強調個體在面對追求集體利益時所面臨的諸多問題，其中的最核心——搭便車問題。（Ostrom, 1990）⁶⁵

⁶⁴ 原文如下“Blending democratic and bureaucratic organizing mechanism.”參 O’Mahony, S., & Ferraro, F. (2007). The Emergence of Governance in an Open Source Community. *Academy of Management Journal*, 50(5), 1079-1106.

⁶⁵ 原文如下“The tragedy of the commons, the prisoner’s dilemma, and the logic of collective action are closely related concepts in the models that have defined the accepted way of viewing many problems that individuals face when attempting to achieve collective benefits. At the heart of each of these models is the free-rider problem.”參 Ostrom, E. (1990). *Governing the commons: the evolution of institutions for collective action*. New York: Cambridge University Press, pp. 6.

由於無法排他性，致使有人免費享受其餘大眾所提供之資源，導致沒有人願意再提供資源，最後全盤皆輸，大家都不在最佳解上；反過來思考，向現狀妥協，無能出面改革現存之不公不義，畢竟改革後也不會因此比他人分配到更多利益，因而選擇不作為，這種集體的不作為，其結果為大家終究不在最佳解上，這仍是搭便車問題。

正如我們在臺灣城市觀察到頂樓加蓋的問題，沒有人願意跳出來整合規劃資源的運用，公寓大部分住戶放任頂層住戶佔用公用資源，而不必承擔外部成本（如逃生困難），這當然就是搭便車的心態所造成的無奈現狀。

於是我們從另外的角度觀察，這些公寓住戶可能已經發現群體的最佳解，然而要到達最佳解所需進行的改革，其轉換成本過高，歐斯壯在書中說到，

規則轉換的前期成本〔會影響制度選擇〕。如果規則轉換的預期成本要高於所獲得的淨利益，就沒有必要做進一步的成本計算。佔用者將保留收益低於替代規則的現行規則，因為改變規則的成本要高於可獲得的收益。（Ostrom, 1990）⁶⁶

由此，我們推測這些住戶不願意改變無奈現狀的情況，是因為他們衡量到以現階段的技術來說，轉換成本高於轉換後可獲得之收益。職是之故，即使我們作為局外人，觀察到他們其實有更好的選擇，但賽局的均衡解始終停留在他們所能企及的區域最佳解（Local optimal）。解決住戶們的轉換成本，才能促使他們主動做出改變。

我們認為最大的轉換成本為信任，造成這項成本的終極原因為物權歸屬複雜。住戶之間沒有信任基礎，也沒有對於屋頂進行明確的物權劃分，而無法進行合理的利益分配，進而導致他們沒有誘因進行改革。有鑑於此，我們提出以 DAO 的治理方式來賦權全體住戶，增益住戶間公共利益討論之平臺；以虛擬通貨協助住戶對於屋頂主張其所有權。

如此構想並非空穴來風，Davidson et al. (2016) 視公共選擇經濟學⁶⁷——政治經濟、政府與集體行動——為區塊鏈經濟之基礎。與其把 DAO 視為創新的經濟型態，更不如把它視為制度經濟（Institutional economics）。DAO 不但可做為治理架構的選擇，還

⁶⁶ Elinor Ostrom 著，余遜達、陳旭東譯：《公共事務的治理之道》（上海：三聯書店，2000 年），頁 293-4。參註 65。

⁶⁷ 自寇斯以降，開啟了新制度經濟學（New institutional economics）研究主幹，其中在私部門中之研究稱為交易成本理論，注重廠商、合約、產權與公司治理結構等方面；在公部門的研究則稱為公共選擇理論，注重公共財、尋租、法律與政府結構等。所以此二理論同源，而運用在不同領域。

增加了幾個特徵，如章程⁶⁸、集體決策流程與貨幣私有發行。準此，DAO 與組織的概念相互競爭，但 DAO 不只是一個組織，而是緣起於自發性秩序（Spontaneous order）的共同體。比起階級森嚴的組織管理，自發性的秩序提供了兩項優點：所有參與者的知識皆可共享使用，且其組織目的為所有參與者各自多元目的之總和（海耶克，1968）⁶⁹。

Bookchin (1986: 101) 對於環境永續經營所言與 DAO 之概念極為相稱，

一個無政府的社會〔在此我們可以將公寓自治視為無政府的社會，或海耶克所提的自發性秩序組織〕，應該為一個去中心化的社會，不只要建立人與自然具有長期基礎的和諧關係，更要建立人與人之間的和諧關係。……在做集體決策時，社群中的所有成員皆有機會參與討論，並應衡量其他成員的態度、表達與動機。⁷⁰

Morstyn et al. (2018) 提出以由上而下 (Top-down) 為策略，整合分散社群各成員所有之分散式再生能源，作為聯合電廠 (Federated power plant, FPP)，以最大化社群裡生產性消費者之福利。在 Morstyn et al. 文脈中，這些分散式再生能源因為所有權人不同，所以需要向下整合，與此相反，在我們的脈絡中，社群成員自發性組成自治組織 DAO，由下而上 (Bottom-up) 整合資金，共同投資再生能源，如此作法上之差異，提供社會在不一樣的情境中，作出適當的選擇。

DAO 與其智慧合約之架構，擔任住戶之間的仲裁，就算住戶之間彼此信任不存在——這種狀況在都市裡尤其常見——也都可以透過 DAO 與智慧合約協調利益。這裡的利益專指太陽光電等分散式再生能源之利潤分配。在這個情境中，住戶之間需要相互分配的權利有再生能源所涉及的生產要素包含屋頂的產權及架設其上之發電設備的產權；另外還有自發自用時住戶之間利益請求權，以及剩餘再生能源售出之利潤分配，關於這些權利如何分配，在下章會有更多著墨。

⁶⁸ 原文為“Constitution”，指組織內之最高管理原則。參 Davidson, S., De Filippi, P., & Potts, J. (2016). *Economics of Blockchain*. Working Paper. <https://ssrn.com/abstract=2744751>

⁶⁹ 參 Hayek, F. A. (2002). Competition as a discovery procedure (S. Snow Trans.). *Quarterly Journal of Austrian Economics*, 5(3), 9-23. (Original work published 1968)

⁷⁰ Bookchin, M. (1986). *Post-scarcity anarchism*. Montréal: Black Rose Books. p. 101.

第五章 再生能源交易平臺提案



第一節 架 構

此處我們以 Han et al. (2020) 所提出之架構作為基礎，並延伸 DAO 自治特色之再生能源交易平臺，我們將整個系統以虛擬的方式分作四個層次，見圖 5-1，由上而下分別為：（一）去中心化自治組織、（二）分散式應用、（三）網路與分散式帳本技術以及（四）智慧電網與分散式再生能源，以下就各層主體詳細分說。

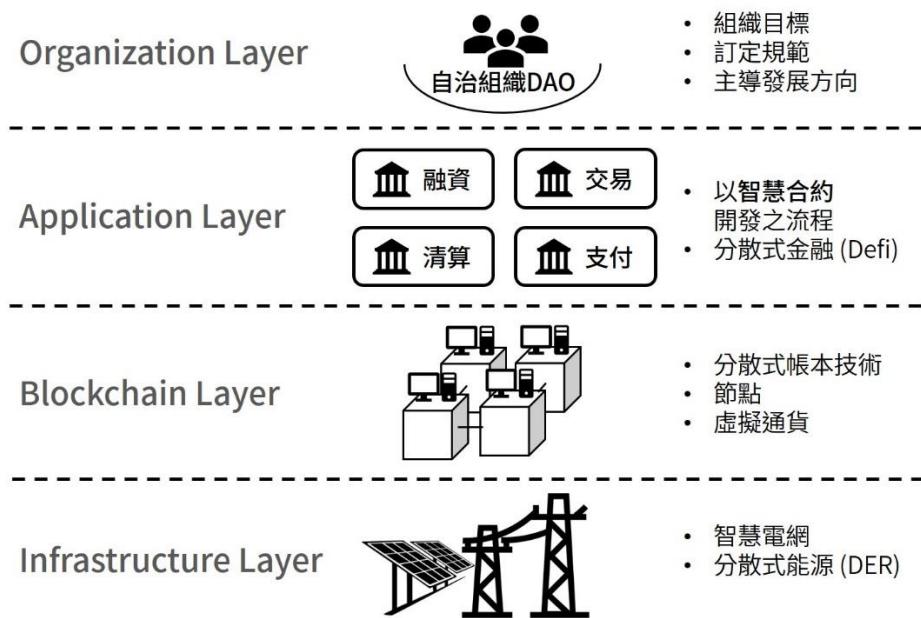


圖 5-1 再生能源交易平臺提案分層架構

自治組織

自治組織是整個系統的核心，由人組成，人才是整個系統的主體，在我們的應用中，該自治組織由一個區域微電網或一個社區的住民共同組成，他們可以透過自治組織所提供的場域進行討論與表決，對社區再生能源發展目標達成共識。有目標後而能有策略，組織成員再根據發展目標提出再生能源發展策略逕付表決，主導社區再生能源配置，並執行定價決策以及交易決策。該自治組織之治理完全由社區住民主導，不需要公權力介入，是一種由下而上的權力機制，對於電力交易完全自由，不受一方之控制。另外為降

低交易成本，提供住戶組成自發性自治組織之誘因，自治組織需要有自動化、透明化等特色，因應現代都會繁雜組成，在不同成員間，不需要透過其他金融機構即取得信用，進而達成互相合作。因此使用區塊鏈技術，以 DAO 的方式集結住民。分配基於區塊鏈所發行之虛擬通貨，使組織成員得到相應的組織治理之權利與義務，又使用智慧合約完成自動執行，如此便可達到自動化與透明化之需求。

分散式應用

自治組織之成員透過提案與投票可以決定組織流程，該流程即是運用程式碼所開發之智慧合約，透過智慧合約傳遞金流與資訊流，進而達到自動化的目標。智慧合約同時也是資產管理的工具，提升資產使用效率，達到共享經濟之效益。在我們所提出的系統中，區塊鏈取代了銀行作為中介機構的角色，如發行虛擬通貨進行融資，有別於傳統透過銀行放款，或投資銀行介入協助公司發行股票增資，區塊鏈賦予組織採用分散式金融，以更彈性、更節省成本的方法，進行融資，這在網路世界又稱作群眾募資。另外再生能源交易和後續的清算與支付皆透過智慧合約進行。以上種種流程在過去皆透過龐大的資源投入與金融機構介入才有辦法完成，因此交易成本過於高昂，然而引進區塊鏈技術後，透過適當的機制設計，卻可以將這些昂貴的流程，在鏈上以低成本、高效率方式取代，真正實現再生能源自由交易的構想。

網路與分散式帳本技術

去中心化自治組織與分散式應用其精髓在於分散式帳本技術。不過在此處，我們並非自行建立一套自己運行的私鏈，而是傾向將我們的系統建立在生態豐富的公鏈上，目前發展最迅速、功能最完善的公鏈就是以太坊（Ethereum），其上有豐富的應用可供參考，有固定的開發標準，有實用的模組可以使用，如此將大幅降低營運一個區塊鏈的成本，這樣的作法類似把區塊鏈視作是一種雲端的分散式資料庫，將最底層的資料庫與硬體設施或耗能設備等直接外包給該區塊鏈之下的節點，再支付其燃料費（Gas fee）作為租用計算能力之租金。由於租用計算能力，本系統對於硬體設備之成本結構由傳統的固定成本走向變動成本模式。

除了區塊鏈的節點外，表彰物權的虛擬通貨也在此列。虛擬通貨並非只有交易媒介或投資之功用，虛擬通貨自發明之初，就挾帶的話題性與熱度，導致市場大量熱錢進入炒作，市場投資人幾乎以賺取虛擬通貨之資本利得為目標，這也使得虛擬通貨在大眾眼中成為一種投機性的投資工具，其投資風險隨著市場風向劇烈變動，近年由於區塊鏈的匿名性，又位於法律規範的邊陲地帶，甚至讓虛擬通貨成為洗錢天堂。以上皆為大眾對於虛擬通貨的誤解，回到本質，虛擬通貨其存在意義為表彰物權，為有價證券之屬，只是各虛擬通貨皆有不同的流動性，它們可以作為交易媒介，作為資產未來現金流分享的保證，作為交易實質成立之證明。

智慧電網與分散式再生能源

整個系統之最底層為分散式能源之基礎建設，包含實體的電網與再生能源發電設備，在都市地區通常採用太陽光電板。再生能源與傳統能源生產模式不同，既有之電網無法有效服務大量的再生能源，因此需要將電網升級成智慧電網。智慧電網與既有之電網最大不同在於通訊功能，因為加入通訊功能而能精準分析控制電網上需量反應，改變傳統集中式發電結構，成為分散式發電，電網從以往高壓流向低壓的單向輸出，轉變為以需求為導向的區域電網與微電網，實現再生能源的最大效率。

第二節 零售市場參與者

零售市場的主要參與者為公寓住戶，本節將持續依次分析公寓間之住戶或商號如何互動。在區域電網中，公寓住戶所扮演的角色並不純粹只是生產者與消費者這種單一角色，因為分散式再生能源所能提供之電力有其限制，在電網上難以自由調度⁷¹。分散式再生能源因其「分散」的天性，其單一站場的裝置容量也不高，通常是該建築物屋頂的面積⁷²，其特色是機動性高，可以更有效運用空間，但如此也意味較少的裝置容量，因

⁷¹ 分散式再生能源如太陽光電或風力發電，其屬性為間歇性能源，他們的產出不可控制。參 Olivares, D. E., Mehrizi-Sani, A., Etemadi, A. H., Canizares, C. A., Iravani, R., Kazerani, M., Hajimiragha, A. H., Gomis-Bellmunt, O., Saeedifard, M., Palma-Behnke, R., Jimenez-Estevez, G. A., & Hatziargyriou, N. D. (2014). Trends in Microgrid Control. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 5(4), 1905-1919.

⁷² 以一般五層公寓為例，其屋頂大約 30 坪，若拿其中三分之二作為發電場所，其餘作為逃生或其他綜合用途，總共有 20 坪可以供發電，如此一個公寓頂樓其裝置容量大約為 10 瓩 (KW)。在臺北市一個巷弄裡的街區建築約 120 坪，約可設置太陽光電板 40 到 50 瓩，按照經濟部所公布臺北市每瓩每日平均發電量為 3.31 度，如此，一個街區每日發電量預估在 130 度到 165 度左右。有關屋頂面積與可裝設之太陽光電板裝置容量關係之詳細計算，可參見附錄二。

此若該社區內有立即用電之需求，則就在社區內自用為佳；若仍有剩餘才饋入電網。職是之故，分散式再生能源的參與者角色為集生產者與消費者於一身的生產性消費者（Prosumer），有別於電力批發市場，生產者與消費者不同的市場結構。而整個社區（或整個街區、整個區域微型電網）視為一個共同體，即一個生產性消費者。在共同體內部，電力供給與需求同時發生，視為一個電力社群。

如此，在該社群中的中小企業即可優先滿足再生能源憑證的需求，換句話說，我們認為這些中小企業既然無法在大型再生能源發電廠中獲得競爭優勢，那不如轉向鄰近社區的分散式再生能源。目前分散式再生能源已經散見於都市，但分散式意味著量少，小額的交易對於生產者或消費者而言皆沒有經濟規模，因而交易並未成立。不過沒有經濟規模並不代表沒有需求，若能透過市場設計與科技整合，在社群中分享資源，將可以最大化社群內的社會福祉。

這正擊中 Alex Stephany 對於共享經濟的定義，

讓一個社群能在網路上取得未全部利用的資產所創造的價值，因此降低擁有這些資產的必要性……共享經濟就是把剩餘重分配給一個社群所得到的價值，也就是重新分配所有東西。（Stephany，2015）⁷³

接著他提到共享經濟的五大要素分別為：價值、未全部利用的資產、網路上可取得、社群以及擁有資產的必要性降低。如此，我們所提出之電力社群概念，也可以用共享經濟的模式視之。在此處，分散的再生能源即為未全部利用的資產，以資訊平臺媒合需求與供給作為網路，社區即是用實體電網所聯繫的社群，透過資源在社群內部重分配，提高資產的使用效率。

除了公寓住戶及商號彼此有內部的供給與需求外，若有剩餘電力進入自由市場交易，則需要再生能源售電業的加入，透過再生能源售電業的媒合，則可以將剩餘的再生能源售予社群之外有再生能源憑證需求的中小企業。在本文中，我們以平臺服務商稱之。為了驅動整個生態系，我們必須設立一個平臺服務商來負責一切自治組織與電力交易所之維護，考量到電力交易所需具備之專業知識，且智慧合約之編寫非一般人所能輕鬆企及，

⁷³ Alex Stephany 著，郭恬君譯：《共享經濟時代》（臺北：商周出版，2015 年），頁 23-7。



因此引入平臺服務商負責協助住戶（生產性消費者）能夠順利轉換到區塊鏈的平臺上，並負責電力交易所之營運與維護，藉此從中收取交易手續費，維繫平臺永續經營之效益。在我國法律中，因為該平臺商牽涉售電行為，因此必須向主管機關申請再生能源售電業執照。

我們提出以市場方式解決再生能源需求之模式，透過市場機制，讓供需自行得到平衡。最大可能的阻礙在於政府，因為電力在過去被定義為公用事業，政府握有能源政策、發電廠、電網等許多基礎建設，甚至掌握行政權與立法權，即使電業法修法後，持續邁向電力自由化目標，但電業仍為一個受到高度監理之事業，因此讓政府與平臺服務商之間關係和諧，是平臺存亡之關鍵。回到電業自由化的初衷，透過市場機制，讓需求與供給反應在電價上，表面上是限縮政府權力，實際上因為市場機制，民間主動投入更多再生能源，而政府不再需要提供大量補助，政府與民間最終共享永續發展帶來之甜美果實。

第三節 融資部分

一、機制設計

有鑑於我們提出分散式能源系統與電力社群之概念，本研究主要專注的範疇不在大型再生能源站場的融資，而是如何讓社區的居民合理且公平的分配利潤，讓社區成員之間之交易通順且成本下降。在第二章我們提到公寓之頂樓屬於建築物共用部分，其產權應為所有住戶所共有，依照公寓自治，只要半數住民同意，即可在頂樓安裝太陽光電板，惟並非有所住民皆有投資再生能源之意願，依照公寓自治，其他住民無法強迫其投資，因此公寓住戶將會分成兩類：具有屋頂產權及太陽光電板產權者，或者只具有屋頂產權者，但不具有太陽光電板產權者。此二者所能夠分配到的利潤理應不同，我們提出以智慧合約按照公寓自治或市場公允價值來分配最終利潤。因為屋頂為太陽光電板架設之基地，職是之故，屋頂也被劃進整個發電專案資產之一部分，不論其是否投入再生能源，其對於再生能源之生產活動皆有貢獻，故無法排除不願意投資再生能源住戶原應擁有之利潤（見表 5 - 1 第一部）。

另外，由於發電設備為多人投資，本身就涉及資產分割與證券化的議題，惟電力社群屬於分散式能源，並不需要大額資本，若透過金融機構來達成資產證券化目的，其融

資本成本過高，在第三章我們展示了分散式帳本技術取代金融機構之方法，說明分散式帳本在小規模融資中更有效率，因此我們此處重新設計融資流程，透過分散式帳本技術以及虛擬通貨之發行使再生能源資產證券化，進而滿足融資之需求。



表 5-1 屋頂型太陽光電生產活動

一、實際生產要素		
資產	屋頂	再生能源設備
資產來源（所有權人）	全體住戶	投入再生能源之住戶
生產要素類別	土地	資本
利潤形式	租金	再生能源憑證價格
二、對應虛擬通貨權利		
對應代幣	土地代幣	資本代幣
表彰之權利	屋頂產權	再生能源設備產權
投票權	皆具有社區自治 DAO 之投票權	
主要決策權限	租金定價	再生能源憑證價格定價

此處就算無再生能源投資意願之住戶，仍有參與整個生產活動之實質，有參與討論租金之權利，而且為了達成電力社群的自治理想，仍應該讓全體住戶皆加入自治組織，惟二者所肩負之責任義務不同，所以我們認為應以不同的虛擬通貨彰顯二者在專案利潤分配權益的不同。因為生產之投入包含屋頂與再生能源設備，因此二種資產皆須透過分散式帳本技術達成證券化之目的。

表彰屋頂產權之虛擬通貨依照該參與者在該公寓屋頂之持分多寡直接分配，如此，握有該表彰屋頂產權之虛擬通貨者當然成為自治組織——以 DAO 形式組成——之成員，所有住戶皆持有該虛擬通貨，皆可以在 DAO 上參與討論、提案及表決。在我們所提的案例裡，主要決策為屋頂租金之決定，住戶可以提出合理租金之提案，逕付全體住戶表決，選出一個符合最大多數人利益的選項。

表彰再生能源之虛擬通貨則為整個生產計畫真正的融資工具，將再生能源設備代幣化，並透過虛擬通貨發行，對社群成員進行募資。所購得之虛擬通貨分額相當於該再生

能源設備之持分，也代表對於再生能源交易的控制力，可以控制再生能源憑證之售價，再生能源憑證之定價決策同樣交由擁有表彰設備之虛擬通貨者共同表決。以上二種虛擬通貨皆表彰對該自治組織之控制力，皆可被視為一種治理型虛擬通貨，或稱證券型虛擬通貨，二虛擬通貨比較見表 5 - 1 第二部。不過我們認為將這種虛擬通貨賦予證券性質是一種不妥的作法，一旦我們所提出之虛擬通貨被金管會認定具有證券之實質，立時會受到證券交易法合規影響，也會受到金管會監理。然而這樣的作法也與我們創造電力社群的想法相違背，影響社群成員組成的穩定性，因此我們製造了虛擬通貨的轉讓障礙，參與者無法輕易對外交易這些虛擬通貨，除非是在社群內轉讓，否則社群外之投資人原則上禁止進入社區投資。如此一來不會有虛擬通貨之次級市場發生，虛擬通貨將不具流動性，因而不會被金管會認定有證券實質（參第三章註 36）。

二、融資流程

以下就成立 DAO 與融資細部流程進行分析。成立自治組織為先，讓社群成員有討論公共事務的平臺，繼而才進入再生能源設備融資階段。成立 DAO 流程見圖 5 - 2，住戶向平臺服務商提出欲組成自治 DAO 之申請，平臺服務商則為該社區發行適當數量之虛擬通貨，此虛擬通貨彰顯土地所有權（以下稱土地代幣），按照各住戶對於社區屋頂之持分直接分配與之相應的土地代幣數。分配後，一個以土地代幣作為投票工具之 DAO 就自然而然誕生。另外，平臺服務商有責為社區代書智慧合約，讓該社區自治 DAO 順利運行，因此分配小額土地代幣給自己，作為平臺服務商在 DAO 中擁有權利義務之證明。如此，平臺服務商可以透過提案來為 DAO 成員草擬智慧合約，但其所擁有之分額不具有對 DAO 之顯著控制力，基本上 DAO 之目標與走向還是由社群成員以民主方式決定之。

一旦成立 DAO 後，即可進行生產設備融資，見圖 5 - 3。平臺服務商再向住戶發行用於將再生能源發電設備資產代幣化之虛擬通貨，該虛擬通貨彰顯發電設備之所有權（以下稱資本代幣），平臺服務商同樣保留小分額作為平臺營運之權利義務保證，其餘皆售予有意願投資再生能源之住戶，住戶提供資金購買資本代幣，該資金即為再生能源發電設備之建設款項，由平臺服務商代為保管，待承包商完成施作並通過驗收後，支付

其建設款項。此融資過程大致符合不動產代幣化理念，然而為因應法規需要，資本代幣並沒有流通性，僅能在同一個自治組織中流通。

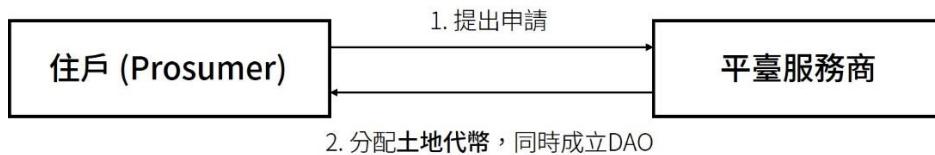


圖 5-2 社區自治組織成立流程

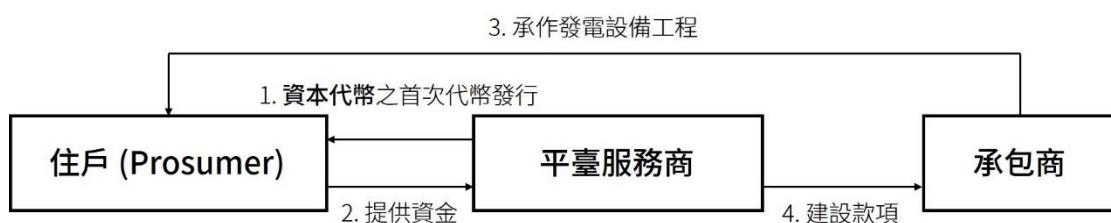


圖 5-3 再生能源設備融資流程

再生能源設備其日常維護費用皆資本化，再透過同樣的流程進行證券化以及代幣化，願意繼續投資之人得認購新發行之虛擬通貨。若發行新虛擬通貨後該參與者未購及相應分額的虛擬通貨，相當於股權稀釋之概念，該參與者對於再生能源資產的控制力將會下降。反之，原本投資較少的參與者也可以透過新虛擬通貨發行的機會，增加控制力。

三、自治組織內部利潤分配

無論社區成員是否參與投資再生能源，其皆有提供土地之事實，應先分配該土地之租金予全體提供土地之住戶。智慧合約依照持有之土地代幣數量來進行租金分配；而剩餘利潤則由投資再生能源設備者賺得，依照持有之資本代幣數量分配（見圖 5-4）。租金由持有土地代幣之 DAO 成員以民主方式決定之；再生能源電價由持有資本代幣之 DAO 成員以同樣方式決定。

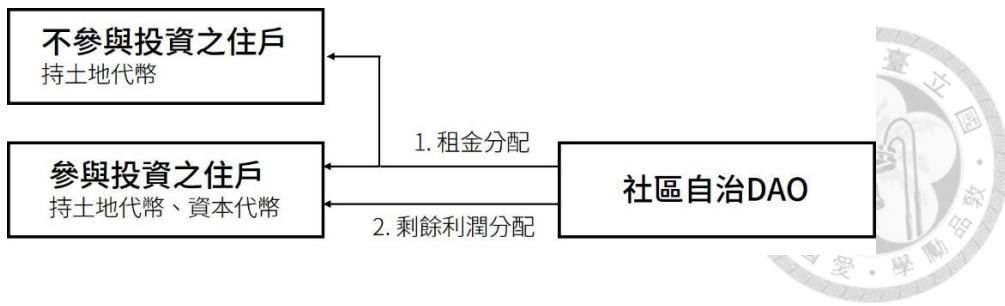


圖 5-4 社區自治組織內部利潤分配

此處明示了租金與剩餘利潤分配的順位，至於租金與剩餘利潤之間的比例權衡，還須進一步觀察該微電網（該社群）物權歸屬的集中度而論。舉例而論，當一個社群之公寓大廈產權分散，各戶持分相同，此則社群目標最分歧之情形，共識不易達成，若能建立 DAO，讓該社群成為此平臺參與者，整合動機誘因，讓住戶們因加入再生能源生產活動而獲利，則此平臺之於住戶可謂惠之良多。不過社群中有意願投資之住戶比例，對於內部利潤分配方式，有決定性的影響，詳細社群內部利潤分配情形估計參附錄二。然若該社群產權集中，有較大的能力自行整合，社群裡兼有土地代幣與資本代幣者，比例較高，對於平臺之需求低。

以下我們將本文之提案與過去以分散式帳本技術行再生能源融資之文獻作出比較，見表 5-2。我們提倡以分散式能源系統，在都市中充分活用再生能源設備資產，其產出較少，以集中市場為其主要交易場所；而 Alao & Cuffe 仍然將再生能源視作傳統集中式能源，其電廠建於都市之外，其融資金額遠大於分散式能源，產出也較多，因而以購售電合約為其主要交易方式。另外我們以分散式帳本技術完全取代金融機構之介入，不需要成立特殊目的機構，徒增人事與行政成本。最後我們改變了資產代幣化之形式，降低虛擬通貨之流通性，回應主管機關對於虛擬通貨非法用途之疑慮。

表 5 - 2 再生能源交易平臺融資部分與過去文獻比較

平臺特性	本研究	Alao & Cuffe (2022)
能源系統	分散式能源系統 (DER)	傳統集中式能源
有無中介	繞過中介機構	設立特殊目的機構
股權結構	私募股權	公開發行股權與債權
交易方式	電力集中市場交易	購售電合約 (PPA)

第四節 交易部分

接續進入再生能源交易部分，再生能源之交易主要活動為競價、支付與清算。所有活動皆透過分散式帳本與智慧合約技術自動執行，以節省再生能源之交易成本。本節就各活動之細節詳加討論。

一、電力交易所設計

本文提出以集中市場形式，交易再生能源憑證，因此需要電力交易所作為電力交易場所，在本文中，該機構由平臺服務商提供，但在實務上，此二者可視為不同機構。此電力交易所為建立在區塊鏈上之市集（Marketplace），所有交易紀錄皆保存在分散式帳本中。另外，電力交易所發行交易代幣，為一種支付型或效用型虛擬通貨（見第三章第一節，表 3 - 2）作為平臺上交易媒介，買方需要先行將法幣兌換成交易代幣，才能以交易代幣在平臺上報價，交易後，以交易代幣進行清算與支付，因此買方亦以交易代幣作為收入，若要獲利了結，才將交易代幣兌回法幣，電力交易所在提供法幣與交易代幣匯兌服務時，從中賺取價差。

該平臺以遠期契約之形式對未來再生能源進行交易，電力交易所可開發標準化或訂製化之再生能源智慧遠期契約⁷⁴，並開放 DAO（賣家）與買家以交易代幣報價。若成交（見圖 5 - 5），則產生成交價，並將成交價寫入智慧遠期契約中，視為交易完成。因為該遠期契約以智慧合約方法作成，所以後續清算交割以智慧合約之程式碼自動執行。

⁷⁴ 精譯者習慣將 Smart contract 譯作智慧合約；而將 Forward contract 譯作遠期契約。合約與契約在英文本來相當，中文譯名卻未見統一，然此處以釐清遠期契約交易為主要目的，所以以契約名之。

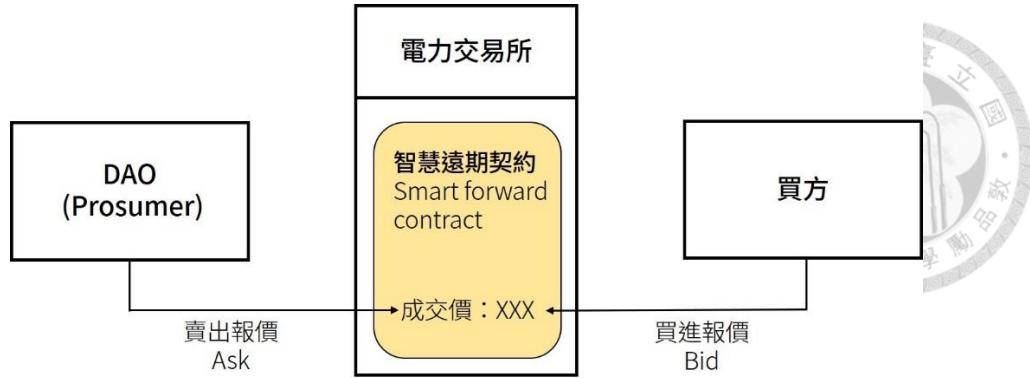


圖 5-5 智慧契約買賣雙方報價

註：買賣雙方皆以電力交易所發行之交易代幣報價，智慧遠期契約亦以交易代幣計價。

二、再生能源清算交割流程

智慧合約在執行清算交割時可以分作兩種情境，一是買賣雙方屬於同一個社區自治 DAO，無論是提供土地或發電設備，原則上買家本身也有投入再生能源之生產過程，這樣的交易行為，屬於再生能源自發自用，在這筆交易中，DAO 的角色為生產性消費者，清算過程進行內部利益分配。見圖 5-6，為避免買方之信用風險，買方需先預付款項，前文提到，智慧遠期契約以交易代幣計價，此處以交易代幣支付給智慧合約代管。DAO 所生產之再生能源時時饋入智慧電網，買方也持續用電，雙邊皆有智慧電表紀錄電力供應與消耗之即時資料，並回傳至智慧遠期契約，作為智慧遠期契約之外部參考資料。一旦雙方所提供之再生能源累計符合智慧遠期契約所載條件，即扣動扳機，將交易代幣解除代管，按比例分配給 DAO 內部成員，見圖 5-4。完成清算與交割後，整個交易流程結束，以 NFC 方式發行再生能源憑證。關於再生能源憑證所需載明項目與運作方式，請參見附錄一。

二是買賣雙方在不同的區域微電網上，見圖 5-7。在此情境中，就是典型的電力集中市場交易，並透過臺電公司之電網進行跨區域傳輸，因此需要支付臺電轉供費用，如此交易成本提高，然若區域微電網之間供需不平衡時，就會循此路徑交易。

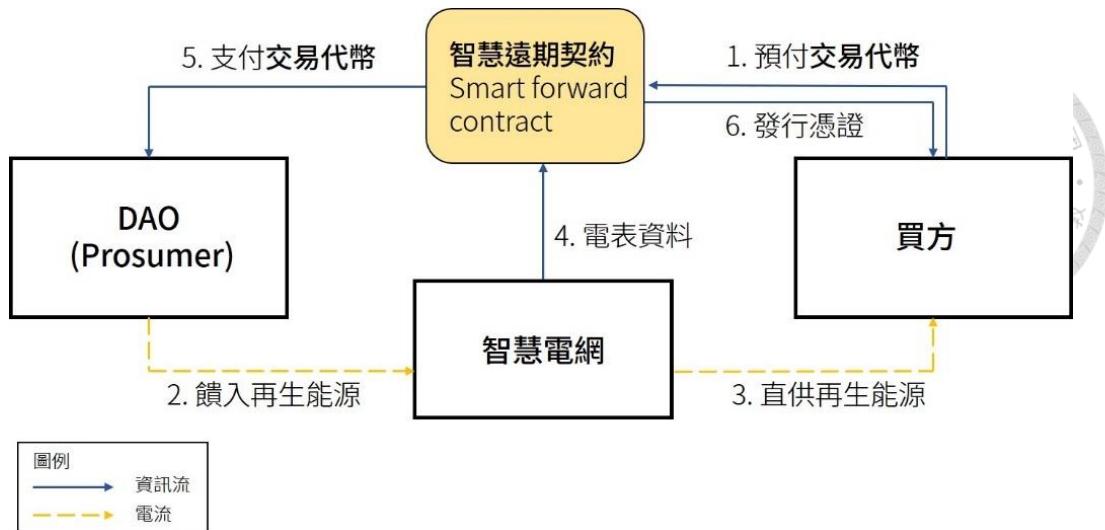


圖 5-6 區域微電網內清算交割流程

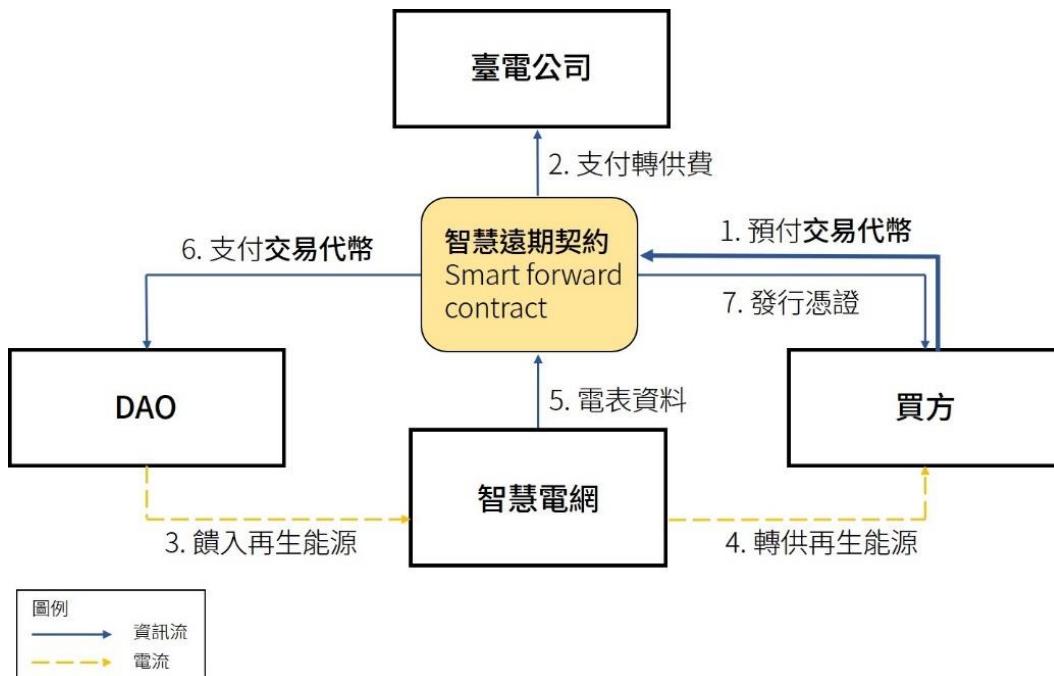


圖 5-7 區域微電網外清算交割流程

值得注意的是，平臺服務商有維護整個系統順暢運作之責任，包括智慧合約代書服務等，因此該平臺商擁有少量的土地代幣與資本代幣，在 DAO 內部分潤的階段，也會分配到一部分的利益，作為平臺服務商之抽成。

以下我們將本研究所提出的平臺架構與上二篇著重在交易之文獻作出比較，見表 5 - 3。本文旨在解決臺灣社會中小企業無再生能源憑證可得之困境，因此採用社群模式，

讓鄰里加入再生能源生產過程，提高再生能源憑證之供給。同樣以社群為主體，Nykyri et al. (2022) 則是將再生能源優先用於社區之公共設施，然我們以為，直接將再生能源賣至憑證需求者，其獲利將大於從臺電省下之電費，因此將再生能源投入市場交易對於住戶是最好的選擇。過去文獻中主要出現兩種整合需求與供給之中間人，比較傳統且適用於批發市場的為配電業者，而比較適用於新型態零售形式則為用戶群代表。而本文則主要以平臺服務商作為買賣雙方之中間人，最大的不同是，平臺服務商所需要投資之硬體設備為三者中最少者，提供資訊服務為其主要收入項目，為這個社會所帶來的轉變成本最低。另外，我們希望在整個計畫初期，以節省成本為目的，將區塊鏈底層架構外包，將應用建置在已經擁有完整生態系之區塊鏈上，如此將初期轉變成本降至最低，才能最大化轉變之誘因，帶動社會再生能源結構的翻轉。

表 5-3 再生能源交易平臺交易部分與過去文獻比較

平臺特性	優先用電者	中間人	交易模式
本研究	有憑證之需求，且出價高者	電力交易所、平臺服務商	綜合能源社群與 peer-to-peer 交易
Nykyri et al. (2022)	社區公共設施	用戶群代表 (Aggregator)	只有能源社群
Han et al. (2020)	價高者得	配電業者 (DSO)	只有 peer-to-peer 交易

三、再生能源憑證發行

避免碳關稅、永續發展目標 (SDGs)、企業社會責任 (CSR) 等皆為公司購買再生能源之理由，而為了證明再生能源交易實質進行，以及揭露其碳減量之努力，需要開出再生能源憑證以茲證明，由此而論，再生能源憑證類似一種商業發票 (Commercial invoice)。現行國際社會認可之再生能源憑證，大多為國家所發行，其主權意義濃厚，並且設置再生能源憑證之交易媒合平臺，對於這樣的安排，我們認為是倒果為因。既然再生能源是民間交易的結果，憑證是商業發票之性質，又何以政府為主體，以政府發行

之憑證為大宗？並且，交易標的當為再生能源而非其憑證，然而我們卻觀察到各國政府皆嘗試以憑證市場來推動再生能源交易之市場機制，這種迂迴作法令我們深以為不妥。

所以在我們所提出的交易平臺中，憑證是由智慧遠期契約直接發行（見圖 5-6 與 5-7），不需透過政府審核。智慧電網具有通訊功能，對於交易之能源能夠即時掌握，並將資料回傳至智慧遠期契約，引發契約在後續清算過程中，比對交易與實際電力交割之情形，將正確的交易與交割資訊，鑄成非同質化代幣（NFT），並移轉至買方帳戶，提供其他審計機構⁷⁵查核，完成再生能源使用比例之宣告。其他對於能源屬性標籤與再生能源憑證之詳細說明請參見附錄一。

第五節 政府的角色

當各國為了釐清能源對於環境的影響，所以採用能源屬性標籤，進而分離出清淨能源與傳統能源，藉由不同的公式，來計算最終之碳排放，而碳排放對於未來碳權的稅率與交易，有其前後相應關係。有鑑於此，對於能源來源之精準把握，是各過政府積極面對與處理之首要發展任務。在這樣的背景下，才會有再生能源憑證的誕生，其意義為證明該瓦電力之能源屬性，確實來自於某種清淨能源。惟有將所有資訊揭露，才能將不同能源之間的外部效果內部化，提供再生能源發展之誘因。

我國目前仍有許多制度不及再生能源先進國家，相較於歐盟與美國數州已經使用殘差係數（Residual mix）⁷⁶，企圖分離再生能源與傳統能源之碳排放，向市場揭露真實的排放係數，讓永續經營之企業受到獎賞，而反之則須承擔其所帶來之環境成本；反觀我國卻還再單純使用電力排放係數，將所有具永續經營之決心者與無心於永續經營之企業混為一談，共同承受一樣的碳稅，對於有理想的企業而言，這樣的作法並未公正。如同第一章所說，地球是人類共同生存的空間，其何嘗不異於一種共有財，若無管理機制而任人取用，其悲劇也將展現於我們生活的舞臺上，作為地球公民的一分子，我們只能被

⁷⁵ 審計機構如 RE100，企業加入該非營利組織，響應使用再生能源之號召，提供再生能源憑證於該機構，並由該機構審計後，為企業背書其再生能源使用比例。

⁷⁶ 原文為 Residual energy mix，常簡稱為 Residual mix，為歐盟電力指令所規範。指總銷售電量減去受追蹤平臺追蹤之再生能源電量，可以用來計算 Residual mix 排放係數，意圖區隔傳統將所有能源別統一計算的電力排放係數，臺灣並未引入 Residual mix。國家再生能源憑證中心之官方網站上翻譯為殘差係數，這種翻譯常使人誤導，因為 Residual mix 並非係數，而是電量。參第三章註 43。

迫參演這齣自導自演的悲劇，而孕育我們的大地母親，也將坐在舞臺下陰暗的角落，冷漠、不帶任何同情的看著她曾經引以為傲的創造，任其在舞臺上自生自滅。若政府未能確實做到資訊公開透明，這將是民間成立自治組織的機會，以**自發性的秩序**來有效揭露企業用電資訊，讓市場資訊透明化、環境效益有所歸屬，這樣才能解決共有財之困境。

有鑑於此，我們認為發行再生能源憑證並非政府之專屬業務。雖然大部分再生能源憑證目前皆由各國之主管機關訂定辦法，掌握審核、發行之權利。不過仍有以民間非營利組織所發起之憑證系統，如國際再生能源憑證（I-REC）⁷⁷，就由民間發起，流通於全球各地。支持憑證使其具有價值的東西名為信用，因為承認對發行機構之信用，所以憑證才能在市場上交易。然而能夠提供信用之組織並非只有政府而已，前文已經展示使用分散式帳本技術建立信用，過程中不需要公權力介入。因此使用區塊鏈之技術紀錄憑證之發行與移轉是我們提出的手段，如此將可達成自動化、去中心化、增加效率等目標。

Ostrom (2009) 研究全球氣候變遷時提到，一紙全球性的公約——如京都議定書——無法整合公民與企業的力量，公民之集體行動才是完整且透明之方法，並有效減緩氣候變遷。再者，因為搭便車的問題，我們無法期待區區一個政府就要解決全球性的議題。

即使我們無法將市場經濟上之研究結論直接照搬進公共部門，但我們還是可以從經濟學中認知到將所有權力集中在一個單位上是危險的……雖然沒有一個制度可以真正消除對於共有財的投機行為，但多中心的都會型態⁷⁸傾向減少機會主義行為，允許市民自行組成小規模的集體消費單位（Collective consumption unit），增進面對面的溝通以及達成共識。（Ostrom, 2009）⁷⁹

職是之故，既然民間透過分散式帳本就能夠在彼此之間取得信用，政府實不需再以公權力介入，在全球氣候變遷的面前，政府主權不是我們首要考慮的目標。政府也能夠透過權力的下放，節省資源專注在其他公共事務上。

⁷⁷ 國際再生能源憑證（I-REC）由國際再生能源憑證標準基金會（I-REC standard fundation）發行。另一個有名的案例則為 TIGR（Tradable Instrument for Global Renewables），自成其系統。二者皆通行於全球各地，只要在其系統內皆使用同一標準，不同於主權意味濃厚的地區性再生能源憑證（歐盟之 GO、美國各州之 REC 與臺灣 T-REC 皆屬之）。

⁷⁸ 原文為“Polycentric metropolitan regions”，在此處指並非由一個中央集權式的機構來處理所有事情，許多事情上，尤其是公共財或公共事務（在該文中公共事務主要指全球氣候變遷），最終仍必須透過公民組成自治組織來進行自我管理，所以權力分散。

參 Ostrom, E. (2009). *A Polycentric Approach for Coping with Climate Change.* (World Bank Policy Research Working Paper No. 5095). <https://doi.org/10.1596/1813-9450-5095>

⁷⁹ 同註 78。

政府可以建立公平的法治社會，讓市場機制得以順利開展，如海耶克所說：

當有效的自由競爭可能發揮出來的時候，自由競爭較之任何其他方法，更能誘發個人底創導能力。為了使自由競爭得以順利展開，我們必須有一個細心釐訂的法治機構。自由主義者從不反對法治。他們不僅不反對法治，而且甚至於著重法治。不過，我們知道，無論是現存的法治機構，或是過去的法治機構，就便於自由競爭這方面而言，都有嚴重的缺陷（海耶克，1944）⁸⁰

而寇斯對政府的評語則是：

政府可以透過行政手段，影響生產要素的使用，因此就某層意義而言，政府可以說是一家超級廠商（但性質非常特殊）……政府若想完全避開市場交易，事實上是辦得到的，但一般廠商卻永遠無法辦到。廠商必須與他所使用之生產要素的所有人進行市場交易。正如同政府可以徵用或占有人民的財產，政府也可以規定，生產要素只能以何種方式加以使用。這種強制方式省下一大堆麻煩（對那些處理問題的人而言）。此外政府可以動用警察以及其他執法部門，起確保管制規定徹底執行。

明顯地，由於政府擁有權力，使他有可能以較私人機構（或其他未擁有特別之政府權力的組織）為低的成本完成某些事情。（寇斯，1960）⁸¹

政府因為擁有權力，其在基礎建設中所扮演的關鍵角色是無法被市場機制所取代的，而在我們的研究中，再生能源的基礎建設包含智慧電網與區域微電網之建設，這正是政府應積極推動之事項。關於智慧電網與為電網基礎建設內容，請參見附錄三。

結 語

我們所提出的再生能源交易平臺框架，提供平臺服務商、社區成員、憑證需求者以及政府不同的利益，不只使臺灣再生能源各方角色誘因相容，平臺也有自己的獲利模式，可以永續經營。我們將此平臺整合各方之誘因情形，簡明列於表 5 - 4。

⁸⁰ [英]海耶克 (F. A. Hayek) 著，殷海光譯：《到奴役之路》(臺北：文星書店，1965 年)，頁 46-7。

參 Hayek, F. A. (1944). *The road to serfdom*. London: George Routledge.

⁸¹ 同第二章註 26，頁 134-5。

表 5-4 平臺參與者間誘因整合

參與者	平臺提供誘因
住戶（公民）	賦予共有財明確物權劃分，協助管理共有財；降低交易成本；組成自治組織，主導再生能源生產
中小企業或服務業	以共享經濟方式參與社群，加入再生能源生產活動；
平臺服務商與電力交易所	提高憑證供給，解決憑證不足且成本高昂問題 扮演供給與需求方之中間人； 收取手續費與服務費，為永續經營之商業模式
政府與公用事業	降低政府補助預算； 解決政府失靈與尋租問題； 公民參與加速達成國際公約對於溫室氣體之減量目標

第六章 結 論



氣候是一公共財，因人類未正確衡量生產活動所夾帶而來的外部性，導致過量生產，最終耗盡公共資源。Ostrom (2009) 認為以自發性的秩序組成社群，作為行動單位，由下而上帶動社會轉變，才能落實地球公民對抗氣候變遷之決心。同理，本文從臺灣再生能源供給不足與市場機制不成熟作為出發點，提出以分散式帳本技術實踐之交易平臺，使自發性組織能夠順利集結，整合社會閒置資源，徹底改變再生能源的產業生態。

本文尚有諸多無法解決的研究限制。首先是基礎建設仍在轉型階段，其完成率仍無法支持本文所提出之構想。其次，本研究提出之平臺確實能夠降低交易成本，增加投資誘因，但增加之誘因是否就創造足夠的能量翻轉結構，仍須持續觀察。最後，平臺之利益，與都市中物權分散度及住民的投資意願高度攸關，目前我們沒有足夠的資料證明平臺能夠在這樣的社會中永續經營。除卻這些落實上的困難限制，本文最大之貢獻為透過資訊科技落實經濟學者企圖解決氣候變遷的方法，讓經濟有實踐的工具，讓資訊有理論的依靠。

回到本文開卷處，Ostrom (1990) 提到，在處理公有財之事務上，物權必須劃分清楚。著名的寇斯定理（Coase theorem），提供了我們以虛擬通貨表彰物權的理由。寇斯（1960）在批評庇古（A. C. Pigou）與當代經濟學家的福利經濟學時提到：

當代經濟學家往往只考慮到租稅手段，而且他們的構想非常精細。租稅的課徵，應該恰好等於損害的額度，因而必須隨損害程度調整。由於他們不主張將租稅收入支付給受害者，因此與賠償受害者之損失的作法有別。但經濟學家通常似乎都未曾注意及此，而常將此二種解決辦法混為一談。⁸²

現在歐盟即將徵收碳邊境稅，正企圖以租稅方式解決碳所帶來的外部性問題；寇斯則認為將物權確實歸屬才是解決外部性問題的最佳解答。本文以去中心化自治組織與虛擬通貨之方式使物權歸屬清晰、利益分配妥當，與碳稅之租稅作法，皆意於處理外部性之間題，彼此並無優劣之分，僅提供讀者不同的思維，遙指通往永續發展之路。

⁸² 同第二章註 26，頁 167。



參考文獻

一、中文部分

- 王文字：〈區塊鏈衍生商業模式的管制——以 DAO 與 ICO 為例〉，《會計研究月刊》第 398 期，2019 年，頁 70-75。
- 王文字、黃金澤、邱榮輝：《金融資產證券化之理論與實務》，臺北：元照，2006 年。
- 左峻德、劉大溶：〈臺灣離岸風電專案融資之授信風險與風險減輕對策〉，《臺灣銀行季刊》第 71 卷第 2 期，2020 年，頁 1-26。
- 辛喬利：《影子銀行》，臺北：梅霖文化，2010 年。
- 彭思遠：〈從 FTX 破產看區塊鏈的前景〉，《臺灣經濟研究月刊》第 46 卷第 1 期，2023 年，頁 90-96。
- 葉俊榮：《氣候變遷治理與法律》，臺北：臺大出版中心，2015 年。
- 謝福源：《金融資產與不動產證券化小百科》，臺北：臺灣金融研訓院，2002 年。
- 〔德〕韋伯（Max Weber）著，林榮遠譯：《經濟與社會》，北京：商務印書館，1997 年。
- 〔英〕海耶克（F. A. Hayek）著，殷海光譯：《到奴役之路》，臺北：文星書店，1965 年。
- 〔美〕寇斯（R. H. Coase）著，陳坤銘、李華夏譯：《廠商、市場與法律》，臺北：遠流，1995 年。
- 〔古希臘〕亞里斯多德（Aristotle）著，廖申白譯注：《尼各馬可倫理學》，北京：商務印書館，2003 年。
- Primavera De Filippi、Aaron Wright 合著，王延川譯：《區塊鏈與法律：程式碼之治》，臺北：元照，2019 年。
- Elinor Ostrom 著，余遜達、陳旭東譯：《公共事務的治理之道》，上海：三聯書店，2000 年。
- Alex Stephany 著，郭恬君譯：《共享經濟時代》，臺北：商周出版，2015 年。
- Gordon Tullock、Arthur Seldon、Gordon L. Brady 合著，徐仁輝、陳敦源、黃光雄譯：《政府失靈——公共選擇的初探》，臺北：智勝文化，2005 年。
- Oliver E. Williamson 著，段毅才、王偉譯：《資本主義經濟制度：論企業簽約與市場簽約》，北京：商務印書館，2004 年。

二、外文部分

- Acharya, V. V., Schnabl, P., & Suarez, G. (2013). Securitization without risk transfer. *Journal of Financial Economics*, 107(3), 515-536.
- Alao, O., & Cuffe, P. (2022). Structuring Special Purpose Vehicles for Financing Renewable Generators on a Blockchain Marketplace. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 58(2), 1478-1489.
- Alchian, A. A., & Demsetz, H. (1972). Production, Information Costs, and Economic Organization. *American Economic Review*, 62(5), 777-795.
- Arrunada, B. (2018). Blockchain's Struggle to Deliver Impersonal Exchange. *Minnesota Journal of Law, Science & Technology*, 19(1), 55-105.
- Baum, A. (2021). Tokenization—The Future of Real Estate Investment? *Journal of Portfolio Management*, 47(10), 41-61.
- Bookchin, M. (1986). *Post-scarcity anarchism*. Montréal: Black Rose Books.
- Boslego, J., & Catalini, C. (2018). *Blockchain Technology and Organization Science: Decentralization Theatre or Novel Organizational Form?* (MIT Sloan Working Paper 5836-18).
- Brynjolfsson, E. (1994). Information Assets, Technology, and Organization. *Management Science*, 40(12), 1645-1662.
- Catalini, C., & Gans, J. S. (2018). *Initial coin offerings and the value of crypto tokens* (NBER Working Paper No. 24418). <http://www.nber.org/papers/w24418>
- Coase, R. H. (1937). The Nature of the Firm. *Economica*, 4(16), 386-405.
- Coase, R. H. (1960). The Problem of Social Cost. *Journal of Law & Economics*, 3, 1-44.
- Cong, L. W., Li, Y., & Wang, N. (2021). Tokenomics: Dynamic adoption and valuation. *Review of Financial Studies*, 34(3), 1105-1155.
- Coyne, R., & Onabolu, T. (2017). Blockchain for architects: challenges from the sharing economy. *Arq*, 21(4), 369-374.
- Davidson, S., De Filippi, P., & Potts, J. (2016). *Economics of Blockchain*. Working Paper. <https://ssrn.com/abstract=2744751>
- Ferris, J. M. (1998). The Role of the Nonprofit Sector in a Self-Governing Society: A View from the United States. *Voluntas: International Journal of Voluntary and Nonprofit Organizations*, 9(2), 137-151.
- FINMA. (2018). *ICO Guidelines*. <https://www.finma.ch/en/documents/>
- Gompers, P., Ishii, J., & Metrick, A. (2003). Corporate Governance and Equity Prices. *Quarterly Journal of Economics*, 118(1), 107-155.
- GRI. (2022). *Towards stakeholder capitalism: how we can get there* (The GRI Perspective 2). <https://www.globalreporting.org/search/?query=GRI+perspective>
- Han, D., Zhang, C., Ping, J., & Yan, Z. (2020). Smart contract architecture for decentralized energy trading and management based on blockchains. *Energy*, 199.
- Hayek, F. A. (1944). The road to serfdom. London: George Routledge.



- Hayek, F. A. (2002). Competition as a discovery procedure (S. Snow Trans.). *Quarterly Journal of Austrian Economics*, 5(3), 9-23. (Original work published 1968)
- Helm, D. (2010). Government failure, rent-seeking, and capture: the design of climate change policy. *Oxford Review of Economic Policy*, 26(2), 182-196.
- Jensen, M. C., & Meckling, W. H. (1976). Theory of the firm: Managerial behavior, agency costs and ownership structure. *Journal of Financial Economics*, 3(4), 305-360.
- Lambert, T., Liebau, D., & Roosenboom, P. (2022). Security token offerings. *Small Business Economics*, 59(1), 299-325.
- Lee, A. & Lo, S. (2022). *Taiwan Energy Market Briefing*. RE100 Annual Disclosure Report.
<https://www.there100.org/our-publications>
- Lumineau, F., Wang, W., & Schilke, O. (2021). Blockchain Governance—A New Way of Organizing Collaborations? *Organization Science*, 32(2), 500-521.
- Malone, T. W., Yates, J., & Benjamin, R. I. (1987). Electronic markets and electronic hierarchies. *Communications of the ACM*, 30(6), 484-497.
- Morstyn, T., Farrell, N., Darby, S. J., & McCulloch, M. D. (2018). Using peer-to-peer energy-trading platforms to incentivize prosumers to form federated power plants. *Nature energy*, 3(2), 94-101.
- Murray, A., Kuban, S., Josefy, M., & Anderson, J. (2021). Contracting in the Smart Era: The Implications of Blockchain and Decentralized Autonomous Organizations for Contracting and Corporate Governance. *Academy of Management Perspectives*, 35(4), 622–641.
- Nykyri, M., Kärkkäinen, T. J., Levikari, S., Honkapuro, S., Annala, S., & Silventoinen, P. (2022). Blockchain-based balance settlement ledger for energy communities in open electricity markets. *Energy*, 253.
- Olivares, D. E., Mehrizi-Sani, A., Etemadi, A. H., Canizares, C. A., Iravani, R., Kazerani, M., Hajimiragha, A. H., Gomis-Bellmunt, O., Saeedifard, M., Palma-Behnke, R., Jimenez-Estevez, G. A., & Hatziargyriou, N. D. (2014). Trends in Microgrid Control. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 5(4), 1905-1919.
- O'Mahony, S., & Ferraro, F. (2007). The Emergence of Governance in an Open Source Community. *Academy of Management Journal*, 50(5), 1079-1106.
- Ostrom, E. (1990). *Governing the commons: the evolution of institutions for collective action*. New York: Cambridge University Press.
- Ostrom, E. (2009). *A Polycentric Approach for Coping with Climate Change*. (World Bank Policy Research Working Paper No. 5095). <https://doi.org/10.1596/1813-9450-5095>
- Ouchi, W. G. (1980). Markets, Bureaucracies, and Clans. *Administrative Science Quarterly*, 25(1), 129-141.
- Pozsar, Z., Adrian, T., Ashcraft, A., & Boesky, H. (2010). *Shadow Banking* (Staff Report No. 458). Federal Reserve Bank of New York.
https://www.newyorkfed.org/research/staff_reports/sr458.html

- Rochet, J.-C., & Tirole, J. (2003). Platform Competition in Two-sided Markets. *Journal of the European Economic Association*, 1(4), 990-1029.
- Ross, S. A. (1973). The Economic Theory of Agency: The Principal's Problem. *American Economic Review*, 63(2), 134-139.
- Santana, C., & Albareda, L. (2022). Blockchain and the emergence of Decentralized Autonomous Organizations (DAOs): An integrative model and research agenda. *Technological Forecasting & Social Change*, 182.
- Stern, N. H. (2007). *The economics of climate change: The Stern review*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Szabo, N. (1997). Formalizing and Securing Relationships on Public Networks. *First Monday*, 2(9).
- Tushar, W., Saha, T. K., Yuen, C., Smith, D., & Poor, H. V. (2020). Peer-to-Peer Trading in Electricity Networks: An Overview. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 11(4), 3185-3200.
- Walker, G., & Weber, D. (1984). A Transaction Cost Approach to Make-or-Buy Decisions. *Administrative Science Quarterly*, 29(3), 373-391.
- Wang, S., Ding, W., Li, J., Yuan, Y., Ouyang, L., & Wang, F. (2019). Decentralized Autonomous Organizations: Concept, Model, and Applications. *IEEE Transactions on Computational Social Systems*, 6(5), 870-878.
- Wigand, R. T. (1997). Electronic commerce: Definition, theory, and context. *The information society*, 13(1), 1-16.
- Williamson, O. E. (1985). *The economic institutions of capitalism*. New York: Free Press.
- Williamson, O. E. (1988). Corporate Finance and Corporate Governance. *Journal of Finance*, 43(3), 567-591.





附錄

附錄一 能源屬性

當交易主體為能源，不管用來發電之資源為何，一旦能源離開電廠進入饋線時，在能源的市場中，我們就已經無法辨識每一度電背後所涵蓋的任何資訊，如發電成本、環境成本、資源型態、發電廠房等。一度電基本可以讓家用冰箱運轉一天，不管是來自再生能源的一度電，還是來自化石燃料的一度電，皆可以讓冰箱運轉一日，對於購電端而言這兩度電是無異的。然而在生產這兩度電時，所帶來的環境影響，以至於對社會造成之外部成本，可以是非常不同的。這一度電若來自於化石燃料，則其碳足跡勢必遠高於另一度來自太陽能之電力。然而在電力市場的運作下，這些訊息是被隱藏的。當這個市場無法揭露化石能源的真正成本，又無法彰顯再生能源的附加價值，此市場儼然成為一個檸檬市場，最終導致全盤皆輸的局面。

有鑑於此，能源屬性（Energy attributes）憑證的市場有其必要性。所謂能源屬性直指實際發電來源的生產情況，包括廠房位址，發電時間，能源種類，以及能源種類所能帶來的環境效益等。引入能源屬性憑證進入市場中交易，才能彰顯再生能源的真正價值，為健全電力市場之必要手段。

特別需要注意的一點是，能源屬性憑證並沒有局限於某種特定形式，可以為紙本，也可以為一筆電子紀錄，任何能源屬性憑證的價值皆有賴於背後主管機關之背書。若憑證的發行機關信譽良好，所發行之憑證符合國際對於能源來源揭露之標準，就算憑證形式為紙本，其憑證價值與其所揭露之資訊也同樣受國際承認。然而紙本作業並不是一個最佳作法，各憑證發行機關為避免綠色能源被重複計算的問題，需要更全面的追蹤憑證狀態，若為紙本憑證只徒增作業上之困難與成本。因此各先進的憑證發行機關都會建立良好的憑證追蹤系統，以此可以方便地發行、管理，以及汰除市場上的憑證。

此處以歐盟之再生能源憑證為例，歐洲各國把能源屬性憑證稱作 GO (Guarantee of Origin)，其名為擔保來源為再生能源之義。根據歐盟 2009 年發布的再生能源指令，GO 至少需要記載以下資料，



- 用以發電之資源與發電的起終日期；
- 註明該發電廠之產物為電力、暖氣或二合一⁸³；
- 發電廠的基本資料，如地點、類型與裝置容量；
- 如有接受裝置建置的投資補貼或單位電力售出補貼，皆須註明清楚；
- 裝置的併聯日期；
- 發行日期、國家與編號。(Directive 2009/28/EC)⁸⁴

由此，若我們欲以 NFT 及私人方式發行再生能源憑證，至少需包含以上資訊。

附錄二 平臺獲利模式試算

一、決定區域微電網大致範圍

我國目前僅成功發展離島型與防災型微電網，尚無社區型微電網之資料可供參考，因此必須先估算未來社區型微電網大致的範圍。假設一個社區型微電網之負載為 100 瓩 (KW) 以上。

以臺北市為例，我們估算一戶之負載大約為 719 瓦 (W)，估算過程見表 1。

表 1 臺北平均單戶之負載估算

電燈用電量 (2022)	7,457,279,837 度
用電戶	1,199,212 戶
單戶月用電量	518 度
單戶之負載	719 瓦

資料來源：臺電公司。

⁸³ 位處亞熱帶的臺灣不分辨，但在歐洲的發電單位可生產二種產物——電力與熱。歐洲的發電單位依產物不同就有了分別，如單純生產電力 (Electricity unit)、單純生產熱能 (Heat unit) 或二者皆是 (Combined heat and power, CHP)，因此 GO 才需要註明該單位用何再生能源生產何物，臺灣的 T-REC 並不會標註此項。

⁸⁴ Directive 2009/28/EC. Guarantees of origin of electricity, heating and cooling produced from renewable energy sources. European Parliament and Council. <http://data.europa.eu/eli/dir/2009/28/oj>

接續以臺北市大安區為例，我們估算一個鄰之負載平均為 83 眇（見表 2），若要符合社區型微電網 100 眇之假設，則大約二鄰為一個區域微電網。



表 2 臺北市大安區平均一鄰之負載估算

大安區總戶數	119,094 戶
大安區總鄰數	1030 鄰
平均一鄰戶數	115.5 戶
平均一鄰負載	$115.5 \times .719 = 83\text{ 眇}$

資料來源：臺北市民政局。

經過粗略估算後（見表 3），臺北市大安區一個區域微電網平均約有 1,108 坪屋頂面積可供架設太陽光電板。

表 3 微電網所涵蓋之屋頂面積估算

大安區住宅區、商業區與工業區土地面積加總	377.87 公頃 (1,143,056 坪)
以建蔽率為 50% 估算大安區屋頂面積	$1,143,056 \times 50\% = 571,528\text{ 坪}$
平均一個微電網（二鄰）所涵蓋之屋頂面積	$571,528 \div (1030 \div 2) = 1,108\text{ 坪}$

資料來源：臺北市都發局。

假設一坪屋頂可裝設 500 瓦之太陽光電板，則一個微電網可架設之裝置容量為 554 眇，根據經濟部所公布臺北市每矇每日平均發電量為 3.31 度，如此，一個微電網每日發電量為 1,833 度。按照我們的平臺交易設計，一個月交易一次，則該微電網一個月可供交易之再生能源為 55,000 度，為 55 張再生能源憑證。

二、微電網內部報酬率

情境一：躉售臺電公司

若微電網之社區 DAO 決議將再生能源躉售予臺電公司，則臺電公司所提供之保證收購價為其利潤基礎。根據經濟部公告，500 眇以上之屋頂型再生能源收購費率約為每度 4.0425 元，此收購價未來可能調降。

太陽光電板投資之初期成本平均為每瓩 60,000 元，則一個微電網之期初太陽光電板投資之固定成本為 33,240,000 元。最終估計整個計畫內部報酬率為 5.16%，第 17 年達到損益平衡（見表 4）。



表 4 舉售臺電公司之損益平衡點

期初成本	$554 \times 60,000 = 33,240,000$
每期現金流（年）	$1,833 \times 365 \times 4.0425 = 2,704,614$
期數	20
內部報酬率	5.16%
基準利率	3.119%
損益平衡點	第 17 年

情境二：市場交易

根據中央社的報導，再生能源在市場上的價格約為 5 至 6 元。若大量再生能源釋出，假設其價格降至 5 元，根據我們的估算，對於生產者而言，整個內部報酬率可提高至 7.84%，損益平衡點縮短三年，為第 14 年（見表 5）。

表 5 市場交易之損益平衡點

期初成本	33,240,000
每期現金流（年）	$1,833 \times 365 \times 5 = 3,345,225$
期數	20
內部報酬率	7.84%
基準利率	3.119%
損益平衡點	第 14 年

社群內部利益分配

該社群中需要有超過半數住戶有意願投資才有明顯效益，因此假設四分之三的住戶與商號有投資再生能源設備意願，且將租金與剩餘再生能源收益對半分配，則後續的 DAO 利潤分配計算見表 6，估計一戶每年收到 16,906 元作為利潤。

表 6 DAO 內部利潤分配估算

可受 DAO 分配之利潤（平臺抽成後）	$3,345,225 - 6,690 = 3,338,535$
租金部分	1,669,267
一個 DAO 之參與戶數（大安區）	230 戶
一戶所受之租金	7,257 元
剩餘利潤部分	1,669,268
參與再生能源投資之戶數	$230 \times 75\% = 173$ 戶
一戶所受之剩餘利潤	9,649 元
不參與投資者（僅持土地代幣）收益	7,257 元
參與投資者（兼有土地與資本代幣）收益	$7,257 + 9,649 = 16,906$ 元

三、平臺商與電力交易所之效益分析

收入

若以 DAO 作為生產性消費者投入再生能源市場，增加憑證之供給，其社會福利改變見圖 1，陰影部分為原社會福利，透過增加供給後，市場價格下降，斜線部分為整體社會福利之增加，該增加之社會福利由生產性消費者（即社區 DAO）、憑證需求者與平臺服務商、電力交易所一同分配。

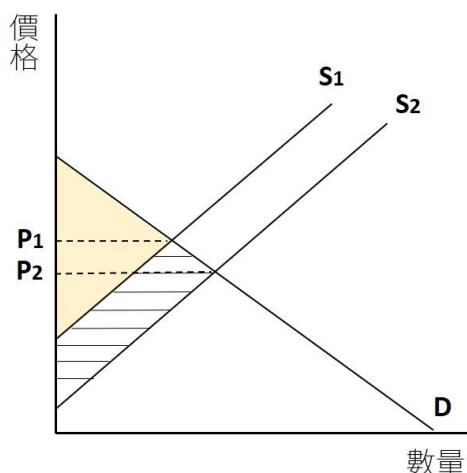


圖 1 社會福利改變情形

社會福利變動

在本文中平臺服務商與電力交易所為同機構，但因其負責業務不同，按照各自業務單獨討論。電力交易所主要提供交易代幣作為效用代幣，電力智慧期貨契約及各項分散式金融的智慧合約均以交易代幣計價，因此買方必須先以入金至其交易代幣帳戶，始得進行交易，在匯兌過程中，收取 0.5% 價差作為利潤（見表 7）。而平臺商指負責協助社區建立 DAO 社群，代書智慧合約，發行土地代幣與資本代幣，在一開始發行代幣時，即分配一小部分資產代幣，作為未來分潤之證明，假設平臺服務商在發行代幣時，保留 0.2% 在自己的帳戶，則每次在結算租金與再生能源憑證價格時，皆能透過代幣收取佣金。

表 7 電力交易所與平臺服務商收入

電力交易所		平臺服務商
佣金基礎		3,345,225
抽成比例	0.2%	0.5%
抽成對象	賣方	買方
收入	$3,345,225 \times 0.2\% = 6,690$	$3,345,225 \times 0.5\% = 16,726$
總收入		23,416

成本

平臺服務商與電力交易所其業務均建立在區塊鏈上，其運算之成本及帳本皆外包於區塊鏈之礦工，因此為了維持平臺營運，必須按交易支付礦工燃料費（Gas fee）。假設平臺建置於以太坊，則其燃料費以以太幣（ETH）計價，計算過程見表 8，若該交易所與平臺服務商客戶涵蓋整個大安區，預計一年之毛利約為 2,325,740 元，值得注意的是，以太坊之燃料費用與以太幣之價格波動程度大，為風險較高之區塊鏈。

表 8 電力交易所與平臺服務商毛利



單筆交易之 Gas limit	21,000
以太坊之 Gas price	25 Gwei
單筆燃料費	$21,000 \times 25 = 525,000$ Gwei
年交易量	600 次
年燃料費	$525,000 \times 600 = 315,000,000$ Gwei (相當於 0.315 ETH)
ETH/TWD	NT\$ 60,000
總成本	$60,000 \times .315 = \text{NT\$ } 18,900$
大安區毛利	$(23,416 - 18,900) \times (1030 \div 2) = \text{NT\$ } 2,325,740$

前後對照

以上平臺抽成比例均為舉例，事實上，將市場交易可獲之每期現金流，減去躉售臺電可獲之現金流，為參與平臺交易後之增益部分，該增益部分為生產者（DAO）與平臺商可共同分配之利益。若分配得當，不僅平臺商可以永續經營、生產者剩餘增加外，市場供給提高，解決資源短缺問題而使消費者剩餘增加。其利潤分配示意見圖 2，此處假設再生能源需求彈性低，並僅以價格作為行為準則；若考慮嚴謹，仍需加入數量作全盤計算。

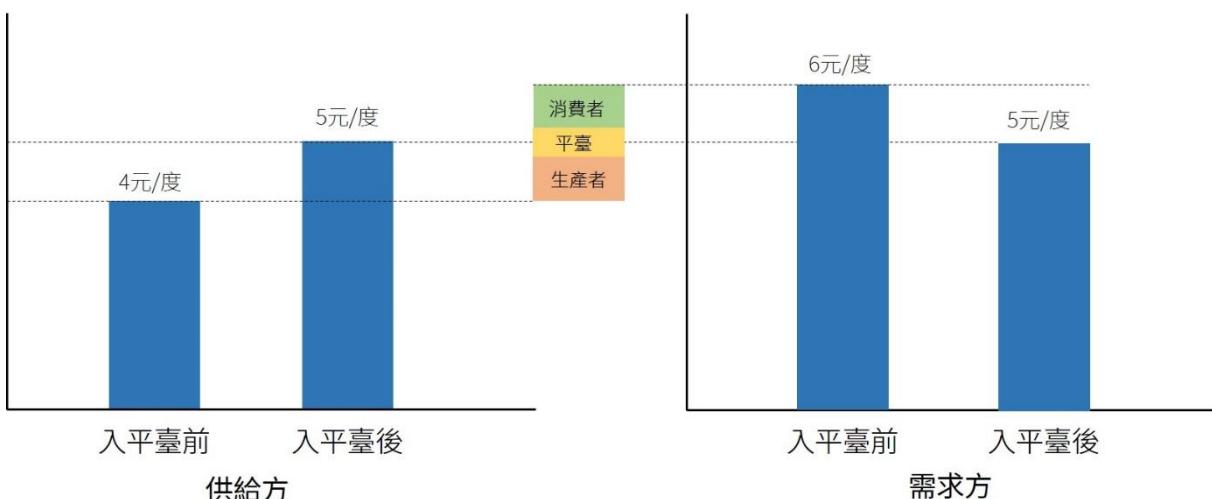


圖 2 三方利潤分配示意圖

附錄三 再生能源交易平臺基礎建設

智慧電網（smart grid）主要源自於工業 4.0 之概念，在既有之電網上加入資訊通訊設備，使電網能即時紀錄精確的供應與需求，使發電及運輸更有效率（Kabalci, 2016）⁸⁵。不僅如此，我們可以透過智慧電網的通訊設備了解每一瓦電力之來龍去脈，正好滿足世界各國近年對於電力來源保證之重視。

分散式能源系統因為其眾所周知的間歇性發電，電網需要具備精準的測量方式，再加上儲能系統與電動車之發展，改變傳統單純的負載及集中式發電形式，智慧電網更需要具備雙向運輸之功能。也因此，如何精準測量並有效調度電力，穩定整個電網供電，成為智慧電網的發展主軸。

以用戶端而言，測量工具為電表，只是既有之電表無法完成近年大量的資訊交換需求，為了加速邁向智慧電網的時代，臺電公司推行 AMI(Advanced metering infrastructure) 智慧電網基礎建設，將電表加上通訊系統，將用戶用電情形資料化（Datafication），使臺電公司在配電上擁有多項資料進行分析，精準分析用戶端之需量反應（Demand response），將大幅提升電網供電之可靠度（臺灣電力公司，2021）⁸⁶。

同樣因應再生能源與分散式發電系統而生的還有區域微電網之建置，微電網原本構想來自於基礎建設不足之偏鄉地區或離島地區，該地區使用再生能源之成本原就低於傳統能源，且無法和本島電網併聯，或是因應防災需求，該地區必須有自主運轉一段時間之能力。後來配合再生能源發展後才逐漸朝向社區微電網目標邁進，未來建置社區型微電網後，「社區自建可併聯市電提供輔助服務，亦可短暫自主運轉，特色在於將來可以普遍的融入經濟社會。（臺灣電力公司，2018）⁸⁷」以上電網改革之舉措，其主要共通點在於將傳統服務於集中式發電的單向電網，重新塑造成為更有彈性、更具有管理性的雙向電網，服務未來新型分散式發電的社會經濟型態。

⁸⁵ Kabalci, Y. (2016). A survey on smart metering and smart grid communication. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, 302-318.

⁸⁶ 臺灣電力公司：〈智慧配電迎接綠能新時代〉，《臺電月刊》第 697 期（2021 年），頁 6-10。

⁸⁷ 臺灣電力公司：〈以小見大的電網未來〉，《臺電月刊》第 672 期（2018 年），頁 16-21。