



國立臺灣大學管理學院商學研究所

碩士論文

Graduate Institute of Business Administration

College of Management

National Taiwan University

Master's Thesis

區塊鏈之應用於半導體尖端企業跨國設廠下
永續經營與競爭策略

Application of Blockchain Technology for Sustainable
Operations and Competitive Strategies for Transnational
Semiconductor Industry Investments

陳騁之

Cheng-Chih Chen

指導教授：許鉅秉博士

Advisor: Jiuh-Biing Sheu, Ph.D.

中華民國 113 年 6 月

June 2024

國立臺灣大學碩士學位論文
口試委員會審定書

區塊鏈之應用於半導體尖端企業跨國設廠下
永續經營與競爭策略

Application of Blockchain Technology for Sustainable
Operations and Competitive Strategies for Transnational
Semiconductor Industry Investments

本論文係陳騁之君（學號：R11741057）在國立臺灣大學
商學研究所完成之碩士學位論文，於民國 113 年 6 月 18 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：

游都華

(指導教授)

游 都 華

唐 彰 謂

系所所長：

管理學院商學
研究所所長 陸洛

致謝



進入研究所之前，我便決定將自己的未來職涯定位於物流和供應鏈管理領域。在準備面試過程中，我從商研所網頁上了解到許鉅秉教授有開設「綠色供應鏈」課程，並立志若能進入商研所後要鑽研此領域。面試當天，當我踏入面試室，首先映入眼簾的便是那位我經常在網頁上見到的許鉅秉教授，這讓我倍感親切。在面試的最後一刻，當被詢問若能進入商研所，我希望專注於哪個方向時，我毫不猶豫地回答了「綠色供應鏈」。

如願以償地，我進入了商研所，有幸成為鉅秉教授的指導學生，這兩年的時間，我從數學領域轉向了新的學科，學習了以往不擅長的程式設計，並結識了許多寶貴的朋友，這些都是我人生中不可多得的寶貴經驗。

在論文的撰寫過程中，我遇到了不少挑戰，也在許多人的幫助下才能有今天的成果，因此我想在這裡表達我的感謝。首先感謝我的指導教授許鉅秉教授，每當我有疑問時，教授總是迅速給予回應並安排討論時間。在學習過程中，教授給予的指點與人生經歷分享讓我受益良多，更重要的是，教授總能看見學生所付出的努力，這讓我備受鼓勵，並充滿動力完成論文。希望在未來的人生路上，我也能成為像教授一樣，成為幫助他人而且用心生活的人。再來，我也要感謝我的父母，他們在我決定回歸學業時，全力支持我的決定，提供了我安定的生活後盾，使我能全心投入學業。此外，非常感謝我的研究所同伴筱淇和登山社的朋友們，你們豐富了我的碩士生活，帶給我許多歡樂時光。最後，感謝我的男友鉑凱，在這兩年的遠距戀愛中，他不僅是我的情感支柱，還在我學業、實習、論文及比賽各面向給予了許多寶貴的建議和支持。

轉瞬即將告別學生生活，我希望在步入社會後能不忘初心，繼續追求我所熱愛的事物。愛其所選，選其所愛，對於未來的每一步，我將無怨無悔地向前進，希望能在專業領域內做出我的貢獻，並成為一位能啟發與幫助他人的人。

摘要

在全球半導體產業中，台灣晶片製造的占比超過半數，然而在 Covid-19 疫情下，供應鏈斷裂的風險突顯，美國為確保晶片自主供應，大幅增加對半導體產業的投資，甚至邀請台灣晶片龍頭企業 T 公司前往美國設廠，以提升晶片的自主供應能力。同時，隨著淨零碳排成為企業永續經營的重要指標之一，企業將減碳議題置於重要位置。此外，區塊鏈技術的應用也在逐漸興起，尤其是在整合上下游資訊流通方面，有助於促進共同減碳。

然而目前採用區塊鏈技術的企業仍寥寥可數。因此，本研究旨在證實區塊鏈對企業減碳的有效性，並探討其對企業整體永續價值的影響，為其他企業考慮投資區塊鏈技術提供參考。

本研究以台灣晶片製造商 T 公司為主體，探討至美國投資設廠後與主要對手美國晶片製造商 I 公司的競爭關係，以兩公司的永續價值作為競爭力的衡量。透過模型建構，量化永續價值內的三個面向，包含經濟價值、綠色價值與社會價值，以最佳產量作為變數，並考慮導入區塊鏈與否作為變因，利用賽局理論分析了在各自導入或未導入區塊鏈的四種情況下，這兩家公司如何實現永續價值的最大化。

研究結果顯示，區塊鏈的導入對於企業採用方的永續價值有正向影響，而賽局理論的納許均衡為兩公司皆導入區塊鏈技術，與兩公司皆未導入區塊鏈時比較，兩方的永續價值皆上升。同時發現 T 公司無論在何種情況下，在社會價值的部分較為落後，故建議 T 公司導入區塊鏈之外，同時檢視其公司架構中不同環節的組成和內容，並針對社會價值進行優化。

關鍵字：區塊鏈、淨零碳排、晶片製造、賽局理論



Abstract

In the global semiconductor industry, Taiwan's chip manufacturing accounts for over half. However, the Covid-19 pandemic highlighted supply chain risks. To ensure chip autonomy, the US significantly increased investment in semiconductor industry, even inviting Taiwan's leading chip company, T Corp, to establish factories in the US. Meanwhile, with net-zero carbon becoming a key sustainability indicator, companies prioritize carbon reduction. Additionally, blockchain technology is emerging, particularly in integrating upstream and downstream information flow, aiding carbon reduction efforts. Yet, blockchain adoption remains limited. Thus, this study aims to validate blockchain's effectiveness in carbon reduction and its impact on overall sustainability value, providing insights for other companies considering blockchain investment.

Focusing on T Corp, the study examines its competitive relationship with major US chip manufacturer, I Corp, post investment in the US, using sustainability value as a measure. Through model construction, three aspects of sustainability value are quantified: economic, green, and social. Considering blockchain implementation as a variable, game theory analyzes how both companies maximize sustainability value under four scenarios. Results show blockchain implementation positively impacts sustainability value for adopting companies. Nash equilibrium suggests both companies adopting blockchain leads to increased sustainability value compared to both not adopting. However, T Corp lags in social value, suggesting optimization alongside blockchain implementation.

Keywords: Blockchain, Net Zero Carbon Emissions, Chip Manufacturing, Game Theory

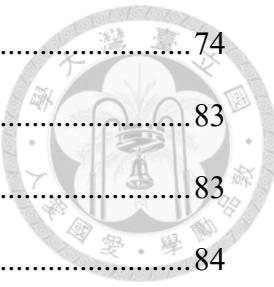
目次



致謝.....	I.
摘要.....	II
Abstract.....	III
目次.....	IV
圖次.....	VII
表次.....	IX
第一章 緒論.....	1
1.1 研究背景、動機與目的.....	3
1.1.1 研究背景與動機.....	3
1.1.2 研究目的.....	3
1.2 研究範圍、對象與限制.....	5
1.3 研究內容與架構.....	6
第二章 文獻回顧.....	7
2.1 賽局理論.....	7
2.1.1 賽局理論簡介.....	8
2.1.2 寡占非合作賽局.....	10
2.2 碳排淨零.....	13
2.2.1 碳排淨零定義進程.....	15
2.2.2 碳排淨零手段.....	17
2.3 區塊鏈簡介與應用.....	20
2.3.1 區塊鏈技術簡介.....	20
2.3.2 區塊鏈技術在碳排淨零之應用與實例.....	23
2.4 T 公司背景介紹與 I 公司碳排淨零策略比較.....	25
2.4.1 T 公司簡介與海外投資策略	25



2.4.2 T 公司永續策略主軸	31
2.4.3 T 公司與 I 公司對碳排淨零之因應策略.....	33
第三章 數學模型建構.....	37
3.1 模型定義.....	37
3.2 模型基本假設.....	37
3.3 數學模型建構.....	39
3.3.1 經濟價值.....	39
3.3.2 綠色價值.....	40
3.3.3 社會價值.....	41
3.4 模型最佳解.....	45
3.4.1 情境一.....	46
3.4.2 情境二.....	47
3.4.3 情境三.....	48
3.4.4 情境四.....	49
第四章 實證資料數值分析.....	51
4.1 參數之參考值設定.....	51
4.1.1 經濟價值參數.....	51
4.1.2 綠色價值參數.....	53
4.1.3 社會價值參數.....	54
4.2 數值分析與模型驗證.....	56
4.2.1 情境一.....	59
4.2.2 情境二.....	60
4.2.3 情境三.....	63
4.2.4 情境四.....	67
4.3 敏感度分析.....	70
4.3.1 α 參數	70



4.3.2 t 參數	74
4.4 情境分析	83
4.4.1 參數變化	83
4.4.2 永續價值變化	84
4.4.3 T 公司因應措施	90
第五章 結論與建議	95
5.1 結論	95
5.2 研究限制	96
5.3 研究建議	97
參考文獻	98
附錄	104
1. 模型參數對照表	104

圖次



圖 2-1 假日內容選擇的序列賽局樹狀圖	11
圖 2-2 隨著時間升溫幅度控制在 1.5°C 以內	16
圖 2-3 超出 1.5°C 一段時間後，再將上升溫度降為 1.5°C 內	16
圖 2-4 區塊內的訊息與雜式函數運用	22
圖 4-1 各情境下 Q_T 和 Q_I 比較	56
圖 4-2 各情境下，T 公司與 I 公司永續價值	57
圖 4-3 T 公司和 I 公司賽局示意圖	58
圖 4-4 情境一兩公司產量與各價值比較	59
圖 4-5 情境二兩公司產量與各價值比較	60
圖 4-6 T 公司情境一和二的各數值相比	61
圖 4-7 T 公司情境一和二的綠色價值	61
圖 4-8 兩公司情境一和二時，最佳產品數量及其總和	62
圖 4-9 情境三兩公司產量與各價值比較	64
圖 4-10 相對情境一，情境二和三各自導入區塊鏈後，對於永續價值之變化	64
圖 4-11 I 公司情境一和三的各數值相比	65
圖 4-12 I 公司情境一和三的綠色價值	65
圖 4-13 兩公司情境一和三時，最佳產品數量及其總和	66
圖 4-14 情境四兩公司產量與各價值比較	67
圖 4-15 相對情境一，兩公司在情境四經濟與社會價值變動幅度	68
圖 4-16 相對情境一，兩公司在情境四綠色價值變動幅度	68
圖 4-17 隨 t 值變化，T 司在四種情境下的永續價值	77
圖 4-18 隨 t 值變化，I 公司在四種情境下的永續價值	78
圖 4-19 t 值為 0.00218602 時的賽局	79
圖 4-20 t 值為 0.00218603 時的賽局	79

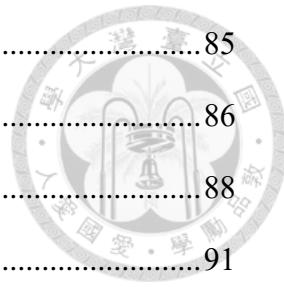


圖 4-21 W_T 值變動，情境四兩公司的永續價值	85
圖 4-22 W_T 值變動，情境四 Q_T 、 Q_I 變化	86
圖 4-23 W_T 值 = 1 和 1.25 時， Q_T 和 Q_I 的變動	88
圖 4-24 T 公司的 MC 降至 0.6，兩公司的永續價值變化.....	91

表次



表 2-1 寡占模型分類圖	10
表 2-2 囚犯困境靜態賽局	10
表 2-3 T 公司 SWOT 分析	27
表 2-4 T 公司與 I 公司再生電力使用情況與各範疇之碳排量	34
表 2-5 T 公司與 I 公司達成碳排淨零目標年以及針對再生能源的短期目標 ...	35
表 2-6 兩公司各自是否導入區塊鏈的四種情境	45
表 4-1 T 公司 2023 與 2022 年產品、數量及市占率及 12 吋晶圓市場數量	51
表 4-2 T 公司 2023 年及 2022 年 Q4 標準化後的 P 值與 Q 值.....	52
表 4-3 I 公司十年間營業收入(單位 Billion)	52
表 4-4 I 公司十年間相對營業收入的營業淨利百分比.....	52
表 4-5 經濟價值參數值	53
表 4-6 綠色價值參數值	54
表 4-7 社會價值參數值	55
表 4-8 情境一到四， Q_T 、 π_T 、 Q_I 、 π_I 及 Q_T/Q_I 之數值	56
表 4-9 情境一到四，兩公司的永續、經濟、綠色與社會價值之數值	57
表 4-10 情境一下，兩公司各價值數值	59
表 4-11 情境一和二下，兩公司各價值數值	60
表 4-12 導入區塊鏈時，包括與不包括區塊鏈成本的經濟價值	63
表 4-13 情境一和三下，兩公司各價值數值	63
表 4-14 情境四下，兩公司各價值數值	67
表 4-15 α 下降比例對 T 公司永續價值影響	71
表 4-16 α 下降比例對 I 公司永續價值影響	71
表 4-17 情境四，T 公司與 I 公司永續價值變化	72
表 4-18 情境四 α 值為 1 和 0 時 T 公司各細項數值.....	72

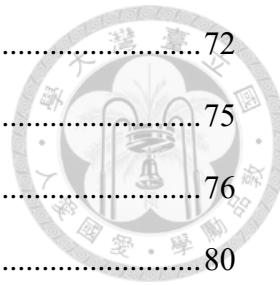


表 4-19 情境四 α 值為 1 和 0 時 I 公司各細項數值.....	72
表 4-20 t 值比例對 T 公司永續價值影響.....	75
表 4-21 t 值上升對 I 公司永續價值影響.....	76
表 4-22 α 與 t 值變動下，賽局的均衡解.....	80
表 4-23 情境四 t 值為 0、1 與臨界點時 T 公司各細項數值.....	80
表 4-24 情境四 t 值為 0、1 與臨界點時 I 公司各細項數值.....	81
表 4-25 人才短缺比例影響 W_T 值	84
表 4-26 W_T 值變動與各情境下兩公司永續價值之變動關係	85
表 4-27 W_T 值變動，情境四 Q_T 、 Q_I 與其比值之改變	86
表 4-28 W_T 值變動，情境四 T 公司的 Q_T 、經濟綠色與社會價值之變化	87
表 4-29 W_T 值變動，情境四 I 公司的 Q_T 、經濟綠色與社會價值之變化	87
表 4-30 W_T 值變化，情境四 T 公司社會價值之變化與幅度.....	89
表 4-31 W_T 值變化，情境四 I 公司社會價值之變化與幅度.....	89
表 4-32 T 公司 EC_T 降低至 0.002 時，兩公司永續價值變化	92
表 4-33 T 公司 S_T 升高至 1.4 時，兩公司永續價值變化	93
表 4-34 T 公司更動 MC_T 、 EC_T 及 S_T 參數後對於兩公司之影響	94

第一章 緒論



2005 年起，台灣製造晶片龍頭 T 公司就開始尋找在美國生產製造據點，然而收購美國晶圓廠過程中四處碰壁，收購美國晶圓廠的計畫也就此停擺。2017 年川普政府上台後，美國政府對於中國與台灣的看法發生變化。川普的「美國製造」政策希望吸引國際製造業公司至美國投資，增加美國製造業工作崗位，並於此期間開始積極接觸台灣晶片製造業龍頭 T 公司，邀請 T 公司至美國設廠。

2020 年初，Covid-19 疫情蔓延後造成許多地區封城以控制疫情擴散，多數製造商評估疫情期間需求會呈現下降趨勢，未料封城後興起的宅經濟，使市場對手機與 PC 的晶片需求上升，排擠其他產品的晶片供給量，加上疫情封城使得產線生產受到延宕，導致市場上晶片供不應求。此外，台海關係由於政治事件導致雙邊關係日趨緊張，使得市場將全球晶片最大製造地台灣視為風險漸增的地區。

為分散晶片製造風險並預防晶片斷鏈危機再次發生，川普政府補助 T 公司到美國設廠的決策拍板定案，後任的拜登政府也決定延續其政策，在 2022 年 8 月通過《美國晶片法案》(Chips and Science Act)，大力推動國內外半導體供應鏈業者到美國投資，以振興美國本土半導體產業並強調在地化製造策略，其中 T 公司也因此再度擴大在美國亞利桑那州 (Arizona) 的投資，為美國史上最大的外國直接投資案之一。

從 T 公司的角度來看，這項投資策略的主要優勢在於滿足客戶多元化的需要。除了能夠滿足客戶對供應鏈多元化和風險分散的考量外，這項策略還確保了美國本土製造晶片的供應充足，同時滿足了客戶對綠色製造的需求。相較於台灣供應鏈體系中綠色能源供應不足的情況，美國擁有充足的綠色電力資源，這使得在美國設廠更有利於實現碳排放零的目標。以 T 公司的主要客戶之一美國手機廠商 A 公司為例，他們要求在 2030 年前實現整體供應鏈的碳中和。然

而，根據 T 公司的永續報告書顯示，雖然 T 公司的海外廠在 2018 年已達成 100% 使用再生能源，但截至 2021 年，T 公司整體再生能源使用量僅占總量的 9.2% (台灣積體電路製造股份有限公司, 2021a)，這說明了台灣綠電不足的現況導致對綠能製造的掣肘，也凸顯企業投資在再生能源充足的美國設廠的優勢。

然而，實現零碳排放的永續經營不僅僅依賴於再生能源的使用，還需要採用其他輔助方式來實現減碳效果。例如，借助先進技術或改良設備，減少製造產品時的碳排放量，以及降低利用空運運送產品的次數，進而共同減少上下游供應鏈的碳排放。此外，提高產品效能，以降低消費者使用產品時的碳排放量也是有效的減碳方式之一。目前，實現碳排放零的目標面臨的最大挑戰之一是碳排放盤查管理的精確性。雖然各國法規幾乎沒有針對所有中小企業的碳排查證賦予強制性，但在全球碳排放零的目標已經明確，且產業趨勢朝向此方向發展的背景下，揭露碳排放數據已成為所有企業必須進行的進程。如何快速、有效且確實地盤查上下游供應鏈的碳排放量，是當今企業所面臨的一大挑戰。

另一方面，區塊鏈技術 (Blockchain) 自 2009 年中本聰 (Satoshi Nakamoto) 發布比特幣軟體以來便廣為人知。隨著技術的進步和普及，市場上涌現了許多將區塊鏈的核心特點——「去中心化」和「不可篡改性」應用於各種場景需求的服務技術。例如，能源或碳權的點對點交易系統，以及為藝術品打造防偽性的 NFT (非同質化代幣) 等。隨著全球碳排淨零的趨勢發展，區塊鏈技術也進一步應用於碳權交易領域。這種應用可能有助於解決當今碳排淨零趨勢所面臨的困境，例如在商業保密與碳數據精確揭露之間取得平衡，以及資料交換系統的不相容性等問題。這樣一來，碳排淨零便可以在兼顧各方考量的實際場景中得以實現。



1.1 研究背景、動機與目的

1.1.1 研究背景與動機

半導體科技業向來有群聚效應，此次 T 公司在美投資的地點亞利桑那州，已具備較完整的上下游產業鏈，原因是競爭對手美國本土半導體龍頭 I 公司，在 1980 年代就已開啟在亞利桑那州的投資。T 公司在 2022 年 6 月 T 公司的亞利桑那廠房動工三個月後，I 公司亦開始興建在亞利桑那州最新投資的兩個晶圓廠，包括新建的兩個廠房，因此在雙方工程竣工後，I 公司將在亞利桑那州擁有六個晶圓廠的產能，而 T 公司則是兩個晶圓廠，半導體製造的兩強勢必會在技術與市場上有一番交鋒。然而在現今企業追求永續經營的情況下，決策變數勢必除了利潤成本之外，亦有許多考量之處。

在 2015 年時，聯合國開發計劃署發表了 17 項永續發展目標（SDGs）（? are the Sustainable Development Goals?, 2015），作為企業永續經營的指標跟指引，包含貧窮、飢餓、合適的工作機會及經濟成長、氣候行動、和平與多元夥伴關係等廣泛議題。其中的 SGS 13 氣候行動（Climate Action）涵蓋 T 公司在台灣發展時面臨再生能源缺乏等限制，故此論文將碳排淨零視為 T 公司在美國設廠時的重要考慮因素之一，同時考慮 SDGs 的其餘面向，研究如何最大化公司的永續價值。

T 公司和 I 公司在應對氣候行動方面採取的策略雖然不同，但都可預期導入區塊鏈技術將帶來正向影響。因此，本研究以碳排淨零為前提，探討導入區塊鏈的潛在效益。並根據目前兩公司在尖端製程技術的領先差異，判斷誰是市場領導者，誰是追隨者，或者雙方是否具有相同的競爭力，利用賽局理論探討各自導入區塊鏈技術與否的情況下，T 公司和 I 公司如何最大化各自的永續價值，作為未來半導體公司跨國投資策略的參考。

1.1.2 研究目的

雖然一項投資決策前的評估涵蓋許多面向，如投資當下的全球經濟表現、

財務面的投資回收期與資金來源等風險評估等，而本研究限縮範圍至已知投資美國設廠為可行的情況，在投資地點有一經營許久的企業前提下，考量碳排淨零為現今刻不容緩的議題，研究焦點著重在評估引進區塊鏈技術後，減碳方面的成效與利弊，建立一綜合利潤賺取的經濟價值、生態永續的綠色價值、企業營運對社會之影響社會價值三者的衡量指標，進一步深入探討在此三面向，跨國投資決策企業該如何因應與行動，故本研究主要有以下三個研究目的：

1. 評估區塊鏈技術引進後在減碳方面的成效與利弊：分析區塊鏈技術在減碳成效和供應鏈夥伴信任提升等方面的潛在效益。
2. 建立衡量綜合經濟價值、綠色價值和社會營運價值的指標：結合多個面向的評估指標，包括財務績效、環境效益、社會影響等，建立一套綜合衡量模型，以協助企業在跨國投資決策中更全面地評估與衡量不同因素的價值和影響。
3. 在此個案下，找尋適合 T 公司的跨國投資策略，在考慮與 I 公司的競爭下，決定 T 公司自身最佳產量以及是否引進區塊鏈技術。

以上研究目的的達成將有助於企業在投資決策時，能夠更好地考量永續發展的因素，並提供一個模型作為跨國投資決策的參考依據，特別是在考慮引進區塊鏈技術的情境下。



1.2 研究範圍、對象與限制

主要探討範圍為以碳排淨零為目的之跨國投資策略，如何在永續與環境中取得平衡，達到永續價值最大化為此研究。其中根據聯合國開發計劃署提出的永續發展目標，內容雖有 17 項，但本研究並未就各細項做不同面向的討論，故本研究的永續價值一詞，將側重在永續發展目標當中的氣候行動（Climate Action），以及導入區塊鏈對氣候行動與供應鏈夥伴社群的正向價值。

聯合國貿易和發展會議的報告書(World Investment Report 2022, 2022)指出，在 2021 年間針對 SDGs 的跨國投資中，多數為再生能源與能源效率的投資，故認為半導體尖端企業 T 公司選擇到再生能源充足的美國的投資案，加之上其與在亞利桑那州當地已深耕許久的在地龍頭 I 公司的競爭關係，為代表性的永續價值與跨國投資範例，應為適當的研究主體，亦為本研究之調查探討對象。而產品研究範圍，則為 T 公司與 I 公司在亞利桑那州的晶圓廠所生產的 5 奈米以內尖端製程晶片。雖無法考量所有變因，但 T 公司及 I 公司皆為半導體中頂尖企業，在產品製程、市占率與永續策略皆為領頭羊，應有足夠代表性。



1.3 研究內容與架構

本研究共分成五個章節，各章節分別為

第一章：緒論

說明研究動機、意義、主題與限制。

第二章：文獻回顧

分為四大部分：賽局理論、碳排淨零、區塊鏈簡介，以及 T 公司及半

導體產業碳排淨零發展現況。針對這四大部分，進行相關文獻回顧。

第三章：數學模型建構

研究的方法與假設，對永續價值參數定義，並建構策略模型。

第四章：實證資料數值分析

資料參數設定與模型驗證，並進行敏感度分析，最後針對可能發生的

特定狀況進行情境分析。

第五章：結論與展望

說明此研究得到之結果與建議。

第二章 文獻回顧



本研究主要探討以最大化永續價值為目標的跨國投資策略，基於賽局理論中的寡占競爭作為基礎，研究將考慮導入區塊鏈技術後對永續價值的影響，進而建立永續價值模型，以便分析不同的投資及營運策略。

本章分為四節，首先於 2.1 節中先簡介賽局理論，再回顧寡佔市場中的賽局模型，以利後續競爭模型建構。2.2 節中則會介紹碳排淨零的起源及必要性，再針對碳排淨零方法深入討論，同時說明現在碳排淨零面臨的瓶頸。接下來的 2.3 節為區塊鏈的介紹，以及區塊鏈現今在碳排淨零的應用，該小節同時將闡述區塊鏈技術作為現今碳排淨零困境的解決之道。最後在 2.4 節將簡介 T 公司背景、海外投資策以及針對永續指標的措施，並比較 T 公司與 I 公司的減碳進程與發展現況。

2.1 賽局理論

賽局理論起源最早可以追溯到 1838 年，Augustin Cournot 在研究市場供給模型，模型中將企業設定為利潤最大化者，並將博奕論的概念(Game-theoretic Analysis)導入到經濟學中，但後來數十年的科學家大多將這些模型應用於分析市場的供需情況。

直到 1921 年，當時的法國數學家 Emile Borel 認為戰爭、經濟或金融投機的情境等，跟一場博奕 (Game) 的問題有高度的相似，因此他投入研究有關於「博奕中，參賽者 (Player) 的報酬 (Payoff) 同時取決於機率和參賽者的技巧」的問題與模型(Fréchet, 1953)，並提出三個對現代賽局理論極為重要的觀點。

第一個觀點是策略規範化 (Strategic normalization)，此論點將單階段同時移動的戰略博奕型態理解為所有競爭互動的一般性模型，在此博奕模型中，參賽者可以選擇的方案稱為遊戲方法，即為現代賽局理論的策略概念。第二個觀

點是隨機策略，也就是在一個遊戲中，理性的參賽者不應該以其他參賽者可預測的策略進行遊戲，這個觀點常被應用於參賽者如何製造其行為不確定性以應對其他參賽者的模型當中。第三個觀點是參賽者運用預期報酬最大化來分析每個參賽者對於其他參賽者策略的最佳回應 (Response)。假設玩家對任何策略的報酬是以玩家贏得機率作為前提來衡量，那麼隨機策略的最佳回應將代表著參賽者在遊戲開始前贏得遊戲的機率 (Myerson, 2021)。

後來 John von Neumann 在 1928 年的論文裡繼續延續 Borel 提出的概念，並在 1944 年與 Oskar Morgenstern 共同出版《賽局理論與經濟行為》，為賽局理論賽局理論奠定系統框架，並將賽局理論應用於經濟行為的分析上。但 John von Neumann 和 Oskar Morgenstern 對非合作的均衡定義侷限於兩個參賽者零和賽局的情況，直到 John Nash 在 1950 年代提出具 n 個參賽者的博奕行為的均衡概念 (Charles A. Holt & Alvin E. Roth, 2004)，即為 Nash 均衡 (Nash equilibrium)，此方法解決了賽局裡「你認為他認為我認為...」這種無止境的推論，從此賽局理論正式成為經濟學理的重要分支之一。

現代賽局理論已經成為現代經濟學、政治學、心理學、社會學等領域中不可或缺的理論工具，它不僅可以幫助人們更好地理解社會互動的本質，還可以幫助人們在各種競爭性情境中做出更好的決策。

2.1.1 賽局理論簡介

生活中當一個參賽者（個人、團隊、公司、政府）與另一個參賽者互動，兩者間的互動會影響彼此的行動帶來交叉效果 (Cross effect)，而根據每位參賽者的互動與策略 (Strategy) 選擇，最後會產生不同的結果。研究參賽者在的認知、行為及策略，如何選取最有利的策略，力圖達到利益最大化的過程即為賽局理論。而賽局理論可應用在現有已知的資訊下，計算與預測對手行動，在一個賽局中，有三項基本組成要素：

1. 參賽者 (Player)：在一場賽局中做決策的角色。因賽局理論考慮參賽者

之間的互動，故在賽局理論裡一場賽局的必為兩個參賽者以上，當只有一位參賽者時則，該情境則為決策理論(Decision Theory)的一環。

2. 策略(Strategy)：即為參賽者可採取的選擇，在只能行動一次的靜態賽局中，參賽者們為同時選擇策略；但在序列賽局中，後行動的參賽者會視先行動的參賽者所採取的策略，並作為策略選擇的資訊並分析後做決策。
3. 報酬(Payoff)：在每一場賽局中，根據不同策略下的每個結果，給予一個可量化的數值，即為報酬。而賽局前提為參賽者是理性的，故對參賽者而言，報酬越高代表結果越好，每場賽局中參賽者的目標皆為最大化自己的報酬。

具備以上三種要素，即為一個賽局的成立基礎。

在賽局理論中，每位參賽者都可以選擇不同的策略，以最大化自己的報酬。一次性賽局的情況會在第一次決定各自策略後得到結果，多次賽局則是會根據上一次的結果再次重新決定自己的策略。在多次賽局中，一些賽局最終會達到一個共識，使參賽者們不再更換自己的策略，因為在其他參賽者的策略選擇下，自己已經達到了報酬最大化。這些賽局被稱為存在 Nash 均衡解 (Nash Equilibrium)。Nash 均衡的定義是指「有 N 個參賽者，給定 N-1 個參賽者的策略，每一個參賽者皆選擇最佳反應(Best Response)的策略，對每位參賽者皆成立，此策略組合即為 Nash 均衡點。(C. A. Holt & A. E. Roth, 2004)」換句話，亦即「任何一個參賽者無法靠自己改變策略，提升自己的報酬。」

由於本研究調查對象為 T 公司與 I 公司的競爭，研究主體只有兩家公司，故將會著重在寡占市場的賽局理論。賽局理論中主要分成合作賽局與非合作賽局，區別為與參賽者之間是否產生協作追求更大利潤。在非合作賽局中，參賽者之間沒有協作追求更大的利潤，少數主要參賽者之間的互動會影響到市場的狀態。因此，晶片寡占市場內，當 T 公司與 I 公司不合作的情況下，在彼此競爭中非合作賽局的觀念非常重要，以下將繼續針對寡占市場的非合作賽局做延

伸探討。

2.1.2 寡占非合作賽局

寡占非合作賽局可分成靜態賽局與序列賽局，而其中又可細分成數量競爭與價格競爭兩種類型，如下表 2-1 所示。



	靜態賽局	序列賽局
數量競爭	Cournot Model	Stackelberg Model
價格競爭	Bertrand Model	Price Leadership Model

表 2-1 寡占模型分類圖

在同一市場中的競爭，通常可以分為價格競爭模型和數量競爭模型兩種。換句話說，公司可以選擇調整自家產品的數量或價格來制定競爭策略。當市場上的售價主要受供應量的大小影響時，通常使用 Cournot 模型來決定產品數量。而當公司有權制定售價時，則通常選擇 Bertrand 模型來制定價格策略。

另一方面，靜態賽局的前提為參賽者們在未知對手決策時，與對手同時決定己方的策略，而靜態賽局的結果通常用表格方式呈現，稱為報酬表 (Payoff Table)，如下表 2-2，有名的囚犯困境即為一例。兩位參賽者可同時在承認或背叛的策略中擇一，並獲得在不同選擇下的利益。

		嫌疑犯 2	
		承認(背叛)	否認(合作)
嫌疑犯 1	承認(背叛)	10 年，10 年	1 年，25 年
	否認(合作)	25 年，1 年	3 年，3 年

表 2-2 囚犯困境靜態賽局

而序列賽局是指參與者在決定策略時有先後順序的賽局。先做決策的參賽者被稱為領導者 (Leader)，後做決策的則被稱為追隨者 (Follower)。整個賽局的決策過程可以用賽局樹狀圖 (Game Trees) 來表示，其中包含節點 (Nodes) 和分支

(Branches)。節點有兩種，一種是決策節點，代表參賽者的決策，另一種是終節點，代表賽局的結果，通常以數字量化對參賽者來說的價值大小。分支表示在某一節點時可選擇的決策。

以圖 2-1 為例，一對男女想一起度過假日，男方想看棒球，女方想看電影，但如果不起度過假日就沒有意義，故(電影，棒球) 與(棒球，電影)兩種選擇的終節點可看到報酬為(0,0)，表示此兩種決策對男方與女方的價值皆為零。在選擇過程中，男方讓女方先選想要進行的活動。此時，若女方選擇看電影，男方的選擇只剩下(電影，電影)和(棒球，棒球)，又因男方會從可選的選擇中抉擇報酬較大的活動，故最後男方會選擇看電影，使得 Nash 均衡點為(電影，電影)，此時報酬為(5,2)，對於女方來說也是報酬最大的結果。因此，女方只需要觀察哪種策略可以讓自己的報酬最大化，然後先做出選擇即可。由於女方先做選擇，如果女方選擇看電影，她的報酬就比男方高，由此在某些情況下，先選擇策略的參賽者比起後選擇的有較大報酬，對此稱之「先行者優勢」(First-mover advantage)。

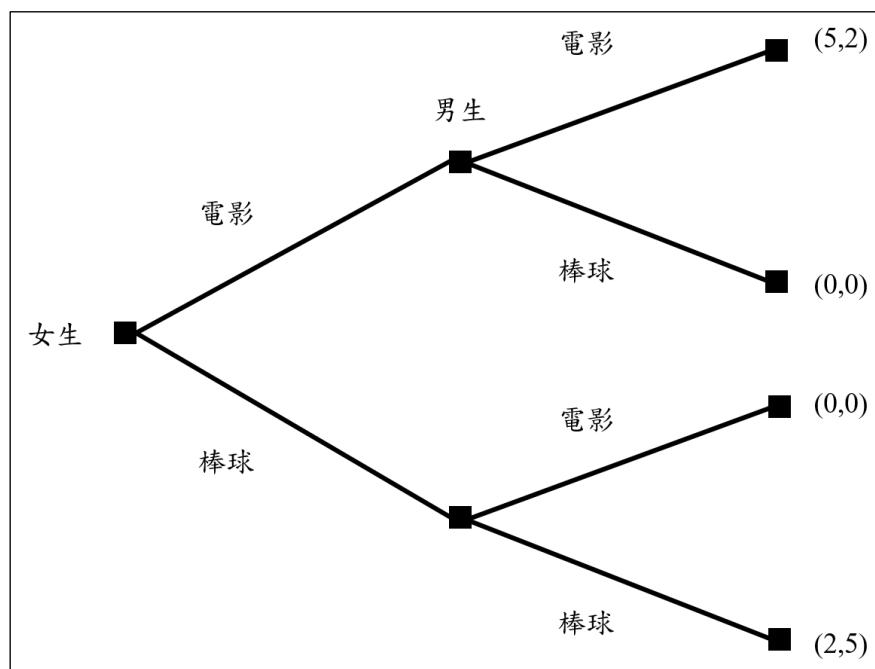


圖 2-1 假日內容選擇的序列賽局樹狀圖

可以看到，在序列賽局中，有時先做決策的參賽者會擁有一定的優勢，因



為他們可以在對手作出反應之前先佔據有利位置，而觀察有利位置與策略的方法稱為「逆向歸納法」(Backward Induction)。其邏輯為，考慮追隨著在自己的每一種策略下所有可能的最佳回應，而先行者的策略選擇就會排除不必要的威脅等，較易選擇對自己來說的最佳策略。

在介紹完價格與數量競爭、序列與靜態賽局的簡要定義後，因本研究將以基於數量競爭的序列賽局 Stackelberg 模型作為競爭模型推導的框架，因為數量競爭相較於價格競爭，廠商的產品研發投入更多，符合半導體產業模式，同時因為 T 公司的技術目前領先 I 公司，會有領導者與追隨者差異，故本研究選用 Stackelberg 模型作為模型框架，以下詳細介紹 Stackelberg 模型。

Stackelberg 模型假設市場中的所有廠商生產相同的產品，且彼此之間沒有勾結行為。通常情況下討論的是兩家廠商，但這個模型也可以擴展到多家廠商的情境。在只有兩家廠商的情況下，其中一方被視為領導者，而另一方是追隨者。它們按照一定順序確定自身的最佳產量，以實現最大化利潤，以下將舉例簡要說明其應用方式。

已知市面上有 A 與 B 公司正在研發 C 產品，C 產品的市場需求的需求曲線為 $P=120-5Q$ 。因 A 公司研發速度較快能先量產 C 產品，而當 B 公司亦量產 A 產品時，市面上已有 A 公司的 C 產品數量存在，故要在 A 公司已生產的產品數量下決定自身最佳產量，反之，A 公司已知 B 公司的產品遲早會進入市場，故亦在考慮此狀況下決定自身產量。已知 A 公司研發速度較快，故產品生產成本較高為 40，B 公司產品生產成本較低為 20，此即符合利用 Stackelberg 模型之情境，而將 Stackelberg 模型應用於此情境下的解法如下：

1. 步驟一：利用逆向歸納法，最大化 B 公司利潤，以得到 B 公司的最佳產量。

假設 Q_A 為 A 公司產量， Q_B 為 B 公司產量，已知 $Q=Q_A+Q_B$ ，而 B 公司之利潤 $\pi_B = (P-5) \cdot Q_B$ ，又可表示成 $\pi_B = (120-5Q_A-5Q_B-20) \cdot Q_B$ ，故當計算 B 的最佳產量時，先對 π_B 內的 Q_B 偏微分，可得下(0.1)，並令其為零並移

項後可得(0.2)，為 Q_B 之最佳產量。

$$\frac{\partial \pi_B}{\partial Q_B} = 100 - 5Q_A - 10Q_B \quad (0.1)$$

$$Q_B = 10 - 0.5Q_A \quad (0.2)$$



2. 步驟二：以 B 公司的最佳產量為基礎，最大化 A 公司之利潤，以計算出 A 公司之最佳產量。

A 公司利潤可表示成 $\pi_A = (120 - 5Q_A - 5Q_B - 40) \cdot Q_A$ ，並將步驟一所得之 B 公司之最佳產量代入 π_A 中，可得 $\pi_A = (120 - 5Q_A - 50 + 2.5Q_A - 40) \cdot Q_A$ ，故當計算 A 的最佳產量時，先對 π_A 內的 Q_A 偏微分，可得(0.3)，並令其為零並移項後可得(0.4)，為 Q_A 之最佳產量。

$$\frac{\partial \pi_A}{\partial Q_A} = 30 - 5Q_A \quad (0.3)$$

$$Q_A = 6 \quad (0.4)$$

3. 步驟三：將 A 公司的最佳產量為基準，計算出 B 公司的最佳產量。

將(0.4)所得到的 A 公司最佳產量代回(0.2)，可得 B 公司的最佳產量為 $Q_B = 7$ 。

藉由以上的步驟一到三，可利用 Stackelberg 模型計算出最佳產量。而在後續建完模型後，亦利用 Stackelberg 模型計算出 T 公司與 I 公司的最適產量。而因本研究為專注 T 公司與 I 公司的碳排淨零之永續價值賽局，為最佳永續價值下之產量之探討，故在下一小節將針對淨零碳排進行相關的文獻回顧。

2.2 碳排淨零

早在 1986 年，科學社群就已發現溫室氣體(GHS, Green House Gas)與全球暖化之間的關聯(陳文歲, 2015)，然而，直到 1997 年第一份具有國際法約束力的《京都議定書》才得以通過，該議定書在 2005 年生效，旨在 2008 至 2012 年期間實現體溫室氣體總量減排承諾。《京都議定書》包含兩個主要特點。第一個

特點是設立總體排放量管制目標，然而簽署國家之間的減排目標存在著差異。

《京都議定書》以基準年份 1990 年，歐盟的減排比例為基準年分排放量再減少 8%，美國為 7%。已開發國家需要承擔較多的減碳責任，而開發中國家則不需要。例如，烏克蘭負責的減排比例為 0%，而不受排放限制的國家如中國也存在。這種減碳責任差異導致簽署國家之間存在不公平性。

第二個特點是允許附件 B 的簽署國家進行碳排放量交易。因為企業在不同國家的資金和技術水平存在落差，因此可能會出現排放量低於限制值的情況。這些國家可以將其剩餘的排放量出售給超過限制值的國家，從而達到減排的目的，而碳排放許可交易制度也在此時被建立(Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change, 1998)。

由於《京都議定書》僅對附件 B 中的國家進行碳排放量約束，無法管控經濟發展中產生大量碳排的國家，且第一期的碳排放量未能達成目標，第二期的承諾也有一些國家撤簽。因此儘管《京都議定書》持續進入第二期(2012 至 2020 年)，但總體執行效果仍不彰。該議定書失敗的原因包括制定短期目標和碳排量計算方式的不當，總體而言，《京都議定書》失敗的第一個原因如下：根據政府間氣候變遷小組(IPCC)的報告，為了達到將溫度升高限制在工業化前水平以上 2°C 的目標，已開發國家需要在 2020 年前將排放量比 1990 年水平減少 10-40%，並在 2050 年減少約 40-95%。時間軸上，當時間到達 2020 年時，發展中國家的排放量需要偏離目前的趨勢，所有國家的排放量需要在 2050 年之前大幅偏離當前的趨勢。因此低於 2°C 的溫度目標需要全世界更早的減少碳排和更多的參與。然而，在原本的《京都議定書》中，目標為總體在 2008~2012 年間平均碳排量要相較 1990 年再減少 5.8%，此目標量跟 IPCC 報告書相去甚遠。同時，《京都議定書》的減碳行動期限從簽署到達成只有短短 10 年，使得多數國家政策選擇上有限，只能採取短期減排目標而非長期政策。第二個造成失敗的原因是由於《京都議定書》選擇的為淨排放量而非總排放量，許多已開發國家利用在開發中國家的減排措施，以獲得碳信用(Credits)抵銷在國內的碳排，實

際並未解決碳排放量產生的氣候暖化問題(Rosen, 2015)。在 2011 年聯合國氣候變化會議(COP17)中，決議啟動特別工作小組，在 2015 年前制定所有締約國皆適用的議定書，在 2015 年完成簽署，並在 2020 年開始實施(Summary of the Doha Climate Change Conference: 26 November - 8 December 2012, 2012)，這就是後來的《巴黎協定》的產生背景。

2015 年召開的聯合國氣候變化會議(COP21)中，各國協議通過了《巴黎協定》，該協定改善了當初《京都議定書》的系統設計的不足以及訂定更加明確目標。目標部分則是詳細闡述“把全球平均氣溫升幅控制在相當低於工業化前水準 2°C 之內，並致力將升幅控制在 1.5°C 內。”而系統部分則是將減碳責任視為全體責任，除了不再有已開發國家需承擔減碳目標與而開發中國家卻不需的差異，減碳目標也將由《京都議定書》時的上對下分配演變成各國家自行提出，每五年盤點各締約方的減碳目標與進度，同時亦納入世界多數國家，截至目前為止，共有 193 個國家與歐盟簽署此協議 (Climate Action: The Paris Agreement, 2023)。而因《巴黎協定》的目標為在 2050 年前達到溫室氣體的排放與消除平衡(UNFCCC, 2015)，許多國家與企業紛紛開始制定此進程，也是此時「碳排淨零」(Netzero Emissions)此一概念漸漸廣為人知。

2.2.1 碳排淨零定義進程

Matthews 和 Caldeira (2008)的研究指出，二氧化碳引起的氣候暖化並非短暫的影響，故必須將溫室氣體的淨排放量減少至零，才能在未來幾世紀內追求穩定的溫度。而 Fankhauser (2022)提到“碳排淨零為一個科學概念，若要將全球均溫升幅控制在一定範圍內，則進入大氣裡的二氧化碳與其他溫室氣體亦在一定的限制範圍內，超過的份額則須移入碳匯(Carbon sink)中。”亦即在一段特定時間內，人為的溫室氣體排放量減去人為移除的量需等於零。故要達成碳排淨零，除了減少碳排放量以利達成減碳所需量以外，還須將為將自己製造的碳排再利用其他方法將碳回收，使得二氧化碳在大氣中維持幾近持平的濃度。

政府間氣候變化專門委員(IPCC)在 2018 年發布的《Global Warming of 1.5°C 》(Ipcc, 2022)報告書談論到如何控制全球升溫幅度在 1.5°C 以內的規劃，其中提到實現碳排淨零有兩種路徑，第一種是將升溫幅度一直控制在 1.5°C 以內，並在達到 1.5°C 或範圍內後不再上升且持續維持升幅，如下圖 2-2；第二種則是會超出 1.5°C 一段時間後，再將其降為 1.5°C 內，如下圖 2-3。

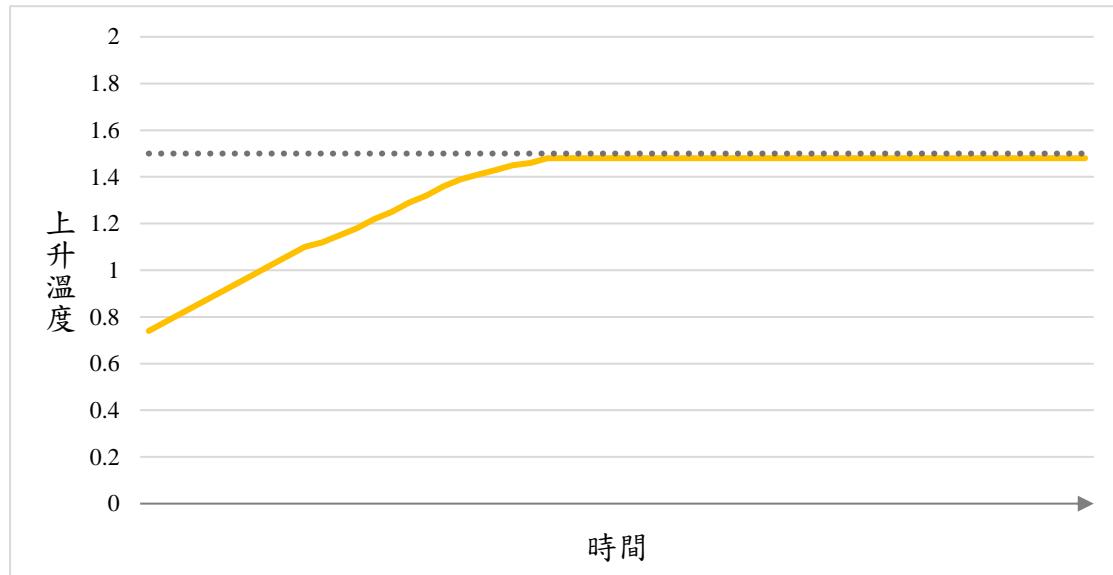


圖 2-2 隨著時間升溫幅度控制在 1.5°C 以內

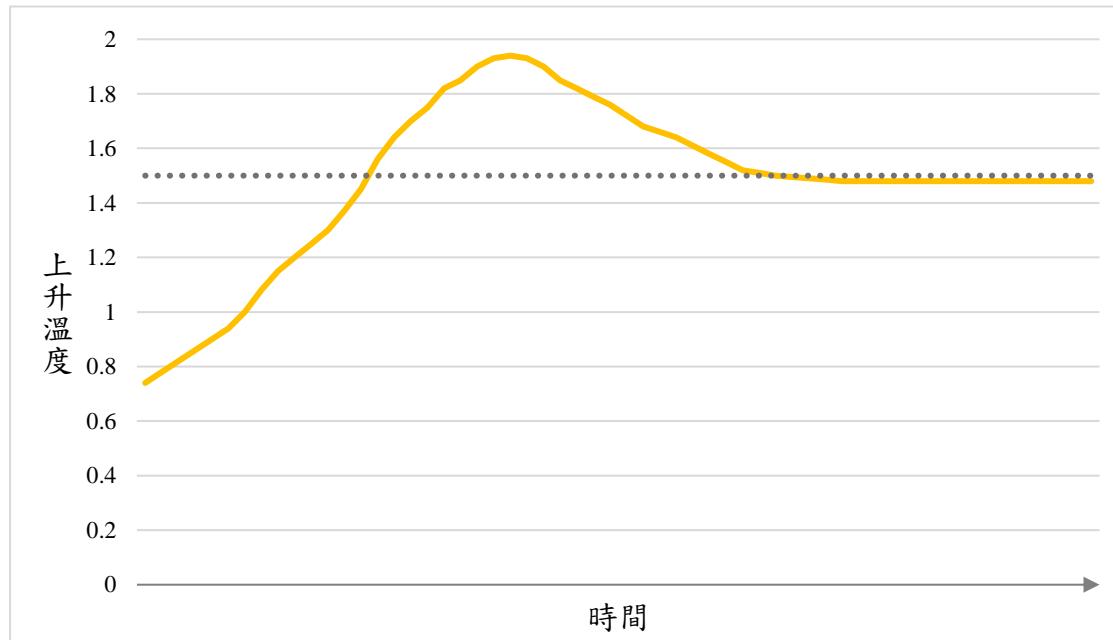


圖 2-3 超出 1.5°C 一段時間後，再將上升溫度降為 1.5°C 內

兩條升溫路徑的共通點為 2030 年全球人為的淨碳排量要在比 2010 年的排

放量減少約 45%，並在 2050 年須達到碳排淨零。差別則是在圖 2-3，升溫幅度超出 1.5°C 後又降回的路徑中，要達成碳排淨零的目的時，對於最前端碳排放源頭的減量，以及最末端移除大氣中二氧化碳的依賴性會更為加劇。而根據 IPCC 這份報告書，目前各國的減排承諾皆不符合將升溫控制在 1.5°C 內的標準，由此可見未來依賴碳移除技術的研發已是大勢所趨。

2.2.2 碳排淨零手段

為了使企業有統一規範與準則以利精確計算溫室氣體的排放，世界企業永續發展委員會(WBCSD)與世界資源研究所(WRI)在 1998 年開始制定關於溫室氣體排放的計算體系，並在 2001 年發布《溫室氣體盤查議定書企業標準》，清楚規範企業活動產生的溫室氣體需如何被歸納分類，使企業可以盡早管理碳排風險、識別碳排機會、參與溫室氣體交易市場等(Ranganathan & Bhatia, 2004)。

在議定書內，將氣體排放分成直接排放與間接排放，並設置範疇一、二、三，以界定營運邊界、辨識排放來源加以分類後，確保溫室氣體排量不會被不同公司重複計算，以下將概略敘述各範疇的定義與範圍。

1. 範疇一：範疇一的溫室氣體為公司所擁有或控制的直接溫室氣體排放源，例如公司擁有的生產器具或車輛在活動過程中的產生的氣體，皆屬範疇一的碳排放範圍。
2. 範疇二：電力的間接溫室氣體，即公司自用所消耗的電力時所產生的溫室氣體，電力來源包含自行生產與外購的電力，雖電力的實體排氣是發生在生產電力的設備上，但排放量將歸納在使用電力之企業的碳排範疇二。
3. 範疇三：其他間接溫室氣體，為公司活動作業產生的結果，包含了與公司上游購買原料服務等前置作業，以及向下游配送產品、產品生命週期、最終處理等活動所產生的氣體，皆屬於範疇三的排放範圍。雖然世界企業永續發展委員會與世界資源研究所在 2011 年發布

Standard》，針對範疇三的核算提供一套計算方式，但現階段國內外法規皆未針對範疇三施行強制性碳排量揭露，且範疇三的排放量計算繁複，導致各公司有權針對範疇三的細項決定揭露與否，故範疇三非旨在比較各公司間差異，而是比較單一公司隨著時間推移，在範疇三的溫室氣體排放量的變化，作為減碳績效評估的依據。

因不同產業在各範疇的排放量比重不盡然相同，故著重的減碳策略亦可能迥然不同，故以下將以 T 公司與 I 公司的減碳策略為主，半導體製造過程的整體減碳策略為輔，歸納半導體製造產業在三個範疇中常見的減碳方式。

1. 範疇一：因半導體製造在蝕刻(etching)的過程中及製程儀器腔室清洗中使用了全氟化合物，同時其他過程亦排放氧化亞氮(N₂O)(台灣積體電路製造股份有限公司, 2021a)，故在範疇一的部分主要著重減少製程產生的全氟化合物

- ①. 製程最適化調整：優化製程，使含氟及 N₂O 溫室氣體的所需使用量降到最低。
- ②. 替代加工化學品：評估溫室氣體的替代方案，如利用低溫室潛勢氣體八氟環丁烷(C₄F₈)，完全取代原先製程清潔時會使用，且對全球暖化潛勢值極大的氣體六氟乙烷(C₂F₆)及八氟丙烷(C₃F₈)。(台灣積體電路製造股份有限公司 15 廠含氟及 N₂O 溫室氣體破壞處理設備排放減量專案計畫書, 2020)
- ③. 捕獲/回收：技術尚未成熟，故目前未採取捕獲或回收含氟及 N₂O 溫室氣的相關措施。

- ④. 導入尾氣設備，減少排放量：半導體業在製造過程中使用危險性氣體，而氣體在製程反應後俗稱尾氣。故導入尾氣設備，可使製程中產生的溫室氣體量減少到一定水準後再排放至大氣中。

2. 範疇二：因半導體的機台設備需使用大量電力，故範疇二的溫室氣體

排放量減少為半導體業者的一大挑戰，常見的減碳方式是提高再生能源的使用占比、減少電力支出、以及與供應商共同開發節能機台等三大部分。



①. 使用再生能源(Renewable Energy)：再生能源的來源有兩種，第一種是依據當地廠房所有擁有的自然資源，發展出自身利用水力、風力、太陽能、生物能等發電方式，投資可再生電力建設。第二種則是跟具有再生能源憑證的發電業者購買綠電，獲取再生能源的來源並成為公司用電來源之一。

②. 減少電力使用：主要為減少機台或日常工廠與辦公場域的電力使用，如可利用大數據精準控制耗費大量電力機台的使用時間，減少電力浪費的情況，又或是建造消耗較少能源的綠建築，進而達到節省電力的目的。(林宏達, 2023)

③. 與設備供應商合作，共同開發節能綠色機台：在新機台內加入節能的設計與元件，使得同一種製程所需耗費的電力在引進新機台後下降。(台灣積體電路製造股份有限公司, 2021b)

3. 範疇三：在範疇三的減碳方式主要可分成對上游供應商低碳採購、對下游售出產品後的產品效能、廢棄物處理及整條價值鏈間點對點的低碳運輸與價值鏈間的合作減碳五個部分。

①. 低碳原物料採購：範疇三的排放包含購買或獲得之產品或服務在生產過程中所有的上游排放量，故在採購過程中，原物料製造所涵蓋的排放量亦是挑選所用原物料的考量之一。

②. 低碳配送：藉由改善產品交期、運輸排程優化，以海運取代空運等方式，降低運輸過程所產生的碳排放量。

③. 價值鏈夥伴共同合作減碳：藉由要求供應商設定節約能源年度目標與實際節能行動，以及符合公司內部的行為準則。

④. 提高產品效能：半導體業所產生的晶片用途廣泛，用於各種產品

後，消費者使用產品過程所產生之碳排亦須被計算於範疇三的碳排量中，故產品能源效率的提升可降低範疇三的排放量。

- ⑤. 投資分離廢棄物處理：半導體製造業產生大量的溶劑、金屬及其他化學廢棄物，而處理廢棄物的溫室氣體排放量亦被包含，故在半導體業中，如何將廢棄物回收再製成可利用資源亦為一大減碳方向。

綜合以上在各範疇的減碳方向，範疇一二主要策略在公司內部的決策即可達成，而範疇三則需要上下游的協作才能有效降低。在努力實現碳排淨零的過程中，企業面臨著許多挑戰，其中包括碳排放的盤點和交易系統等。這些挑戰需要對碳排放進行更加準確的監測和記錄，以及建立有效的交易機制來鼓勵和支持碳排放的減少和抵消。在這方面，區塊鏈技術可能提供了一個有前景的解決方案。區塊鏈的去中心化、透明、不可篡改的特性，使其能夠建立可信的碳排放監測和交易系統，進一步推動企業和社會向碳中和的目標邁進。接下來將回顧區塊鏈在這一領域的應用情況，以及其潛在的影響和挑戰。

2.3 區塊鏈簡介與應用

區塊鏈最初是為了加密貨幣比特幣(Bitcoin)而發想的技術，由 Satoshi Nakamoto 在 2008 年《Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System》此篇論文中發表關於去中心化交易的電子交易系統的技術，並解決雙重支付的問題(Double spending)。隨後許多加密貨幣跟著效仿，並延伸出許多除了在金融之外的相關應用，如保險業的自動化流程、政府端保存企業與公民資料的方式等等(Casino et al., 2019)，皆為區塊鏈技術的應用開啟了新一扇窗。

2.3.1 區塊鏈技術簡介

區塊鏈的概念是一個分散式的數據紀錄庫，裡面記載每一筆參與者之間資

料或資產的交易紀錄，以追蹤所有權及狀態變化，其核心是利用嚴謹的數學與演算法的搭配點對點(P2P)的運作模式，達到去中心化的管理。而區塊鏈的分散式數據紀錄庫又可被稱為分散式帳本，可以拆成三個部分，即是區塊(Block)、鏈(Chain) 與節點(Nodes)。



1. 區塊

區塊鏈是一種點對點的分佈式數據庫，它維護著一個不斷增長的記錄列表，而紀錄隨著時間組成一個塊，亦即每筆交易發生時，一段時間內的數筆交易資料會被放到一個區塊中，而區塊中再交給採礦節點去做運算，當驗證通過後才被認可，並將此區塊接上前一個區塊。

2. 鏈

在區塊鏈中，每個區塊都使用 SHA256 演算法的雜湊函式來保護鏈的特性，包括不可更動的順序和無法修改的內容。雜湊函式將字符串轉換成一個 256 位元的二進制數字，而在區塊鏈中應用時，最後一個區塊會將倒數第二個區塊的雜湊值，以及自身區塊的內容（包括資料內容、時間戳記和一個隨機數等資訊）轉換成字串，然後將該字串輸入雜湊函式中。這將生成一個新的雜湊值，作為最後一個區塊的雜湊值(Elisa et al., 2018)，如下圖 2-4。當有新的區塊生成時，礦工節點需要計算出最後一個區塊的雜湊值，以將新的區塊連接到鏈上。然後，礦工節點將計算結果傳送給所有節點進行驗證。這樣可以確保新的區塊的連接是有效的且無法被修改。

雜湊函式的特點就是正向帶入運算很容易，但反向運算卻很困難，同時因區塊鏈的每個區塊皆包含上一個區塊的雜湊值，所以當一條鏈中某個區塊內的資訊被竄改時，後續連結區塊間的雜湊值就得全部重新修改，大幅降低資訊被竄改的可能性(Shrestha et al., 2020)。

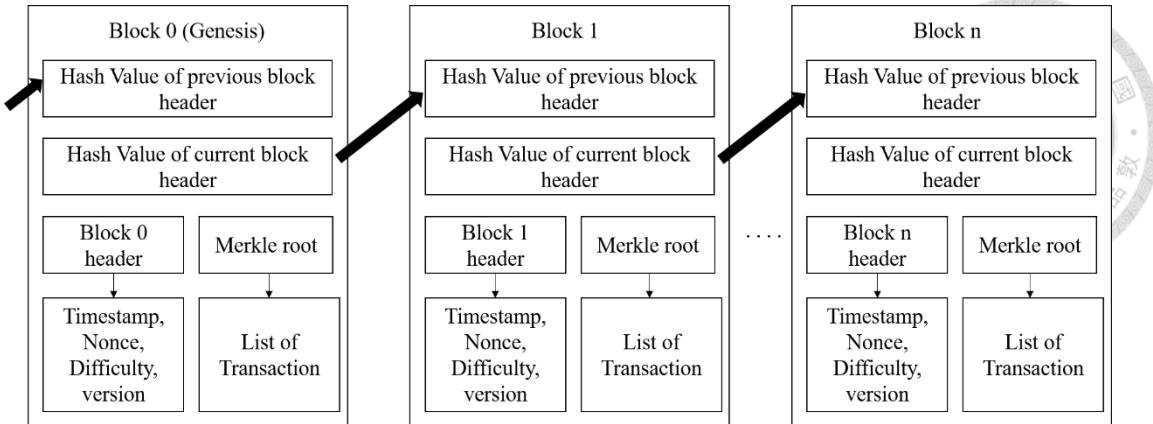


圖 2-4 區塊內的訊息與雜式函數運用

3. 節點

節點是指區塊鏈網路中的計算機，包括電腦或手機等設備，它們彼此連接並通信以維護整個網路的運作。區塊鏈的去中心化特性允許節點直接交換訊息，無需中心機構驗證，且修改資訊需要至少 51% 以上節點的同意(Gemeliarana & Sari, 2019)，這提高了安全性和穩定性，即使有節點故障或受攻擊，網路仍能運作。不同種類的節點具有不同功能，常見的有全節點和採礦節點。

全節點即為記錄與儲存所有歷史交易資料的地方，每個節點都有一個區塊鏈的副本，這個區塊鏈紀錄了整個網路的交易紀錄，而每個參與者皆可參閱紀錄資料。當一筆新的交易被採礦節點發布時，全節點會驗證它是否合法，如果合法，就會將這筆交易廣播到整個網路中的其他節點(Habib et al., 2022)。

採礦節點則是透過電腦的算力解出新區塊所產生時所需的雜湊函式，而每個採礦節點會相互競爭。當一個節點解決了雜湊函式，則將其雜湊值廣播至其他節點驗證。(Shrestha et al., 2020)。

在上述的運作基礎之下，區塊鏈可以實現一個去中心化的系統，不需要依賴額外的管理系統或硬體設施。這種去中心化的運作方式使得點對點的交易成為可能，而無需透過第三方進行驗證或管理，每一筆交易都具備有效性，形成

智慧合約（SmarTContract）所需的初始條件。

智慧合約為區塊鏈技術蓬勃發展下的一種應用技術，取代現實世界的實體合同，原先的實體合同的協議是透過第三方的實體法律機構，保障合約實施的必要性，而智能合約則是將合同內容程式化並設置條件，在達到條件下自動執行合約條款，搭配區塊鏈技術，可將執行的合約內容存放在區塊鏈中，並由節點自動傳播，可使不受信任的參與方間進行交易(Taherdoost, 2023)。

2.3.2 區塊鏈技術在碳排淨零之應用與實例

區塊鏈的發明除了可在各行各業優化現有業務流程之外，在碳排淨零層面上亦可幫助因應全球暖化的危機，如利用不可竄改的特性搭配感測器，將環境感測到的資料轉成碳排數據後直接寫入區塊鏈內，可利用感測器改善碳排量計算精準度，以及區塊鏈技術可防止數據竄改等問題(Ma et al., 2023)，故下列將探討 IBM 與 Veridium 公司區塊鏈應用實例及其應用方式，以及在供應鏈當中引進區塊鏈技術所帶來的影響。

2018 年 IBM 宣布與一家環境相關的加密貨幣公司 Veridium Labs 合作，利用區塊鏈技術使碳信用額的交易更加容易。Veridium 的企業宗旨為透過購買與生產碳抵消，使客戶能夠購買其所代表的代幣(tokens)，進而解決由於官僚問題所導致的碳抵銷市場交易效率低落問題。最初 Veridium 的“verde”代幣代表著其姊妹公司 Infinite EARTH 持有的碳信用額，這家公司擁有約 250 平方英里的印度雨林保護區，以此獲得了 REDD+ 碳信用額。REDD+ 碳信用額是一種特定類型的碳抵消，重點關注減少森林砍伐和森林退化，通過賦予森林經濟價值來減少 CO₂ 排放，讓企業相信碳信用額交易比開發大片雨林更有價值，從而避免因森林砍伐而產生的碳排放。Veridium 在 Stellar 區塊鏈平台上將這些 REDD+ 碳信用額代幣化，分工的方式為 Veridium 負責建立結構並確定價值公式，Stellar 處理交易的數字賬本，IBM 則處理購買、出售和管理代幣等交易活動的具體細節。雖初始時的碳信用額有限，但隨者參與者數量增加，代幣所得



收益可繼續用於造林，並擴建成一個更大的碳信用市場。此一區塊鏈網絡允許公司或其他個體買賣代幣，亦即碳信用額的所有權可快速在不同個體間轉換及結算，此一方法因利用區塊鏈去中心化交易特色，政府角色不再介入，進而解決各政府對於國家競爭力等各種面向考量，而保留排放權而無法達成自由且具效率的碳抵消市場問題(林家賢, 2015)，同時實現全球供應鏈中企業碳信用額會計和抵消流程的自動化，並使用區塊鏈來驗證碳信用額的真實性並確保其符合既定標準。

除了碳抵消應用外，後續區塊鏈技術更延伸出多種類的碳市場交易類型的應用，如結合物聯網 (IoT) 連接的森林使用傳感器數據和遠程成像來自我驗證其封存的碳，這些封存碳的資訊會在帳本上發布，並在達到公司碳抵消驗證標準的門檻後自動驗證，然後在市場上發行並被購買或轉售，又或者搭配智能合約，在第三方不存在的狀況下，當協議的條件得到滿足時自動觸發交易，上述方法可加速交易效率，故同時相比傳統國家間地域型碳交易市場，區塊鏈碳排放交易可帶來下列正向優勢。

1. 改進排放情況的追蹤：每次碳交易內容皆會在帳本上記錄，故可追蹤排放情況與減排量，使參與者更了解自身減排情況，有助於參與者制定有效減排決策，進而有效降低碳排放量。
2. 排放透明度增加供應鏈夥伴間信任：在供應鏈中，因引進區塊鏈技術可讓供應鏈夥伴檢視每個參與者的碳排放量，且具備不可竄改之特性，資訊共享提高其透明度，促進供應鏈夥伴間的信任，提升協作可能性，而協作之模式將可以減少供應鏈總體碳排放量(Wang et al., 2020)。

從上述導入區塊鏈對碳排放減量正向影響兩面向，可發現引進區塊鏈技術可有效減少碳排量，還可利用區塊鏈特性提升資訊共享之透明度、追蹤碳排情況之追溯能力，增強供應鏈夥伴之協作，降低供應鏈整體之溫室氣體排放量。



2.4 T 公司背景介紹與 I 公司碳排淨零策略比較

2.4.1 T 公司簡介與海外投資策略

半導體產業生產積體電路產品(Integrated circuit product)，又稱為晶片，為數位裝置中不可或缺的產品，廣泛地應用於國防武器、車輛、消費產品及通訊產品等等(Hung et al., 2017)。現今的半導體商業模式分成三類，包含整合元件製造廠(Integrated device manufacturer)即 IDM 模式、無晶圓廠模式(Fabless)以及晶圓代工模式(Foundry)。IDM 生產模式為包含了晶片的設計以及製造，而 Fabless 的商業模式則是專注在晶片設計，將晶片製造外包給以 Foundry 模式營運的廠商，意即 Foundry 只負責晶片製造。

半導體初期製造以 IDM 模式為主，包含本篇的 I 公司現今仍以 IDM 製造模式營運。1970 年代，Lynn Conway 與 Carver Mead 提出的將晶片設計從製程技術中抽離的概念，使得晶片設計與製造的分離變得更加容易，同時 T 公司創辦人當時亦認為「低成本的運算力，將打開許多新應用如洗碗機、手機等，然而生產這些產品的廠商缺乏半導體的相關專業知識，勢必外包晶片製造。而隨著摩爾定律電晶體縮小的進程中，晶片製造的成本將提高，是目前的半導體所無法支撐的。」他認為在商業上，只有大量生產晶片，才有成本競爭優勢，故 Foundry 的商業模式是可行的解決方案。然而，當時這個觀點並沒有得到 T 公司創辦人當時任職公司的管理層認同，直到 1980 年代初期，晶片製造的商業模式仍以 IDM 為主(Miller, 2022)。在 1985 年，台灣政府邀請 T 公司創辦人到台灣擔任工研院院長一職。當時，台灣的半導體業發展處於瓶頸階段，T 公司創辦人提出可利用台灣的優異人才與良好的工作態度，可製造高良率產品的優勢，提出 Foundry 的商業模式，於是 1987 年，在政府與民間企業出資下 T 公司成立，成為全球第一家專門從事晶圓代工製造的廠商(徐全)。從那時起，Foundry 模式的開創，使得專攻於 IC 設計的公司，可將晶片製造外包，不必支出自己建造晶圓廠的成本，促使 IC 設計廠的崛起，而 T 公司 Foundry 的商業模



式則開創了晶片製造新的局面。

根據 Trend force 的調查報告，2023 年第一季時 T 公司的市佔率已達全球代工廠的 60%(Chung, 2023)，而 T 公司創辦人曾在演講中公開 T 公司成功的策略之一為「滿足客戶需求」，包括：具備競爭力的技術、低價、可無縫溝通等要素(吳美欣, 2021)。而近年為了回應客戶需求，T 公司積極投資海外設廠，同時作為全球領先的晶片代工廠，T 公司亦致力於推動永續發展和環境保護，故以下將針對 T 公司的海外投資以及永續策略進行探討。

根據 T 公司的 111 年度永續報告書，2022 年 T 公司的最大市場位於美國，佔整體營收的 68%，第二大市場為中國市場、日本與中國大陸以外的亞太市場，占比為 11%，第三大市場為日本市場、歐洲、中東及非洲市場，占比為 5%。從過往 T 公司的海外設廠投資地點，包含美國、中國及日本，設廠地點應與客戶所在地有極強相關性，製造成本反而不是首要考量因素，此處將探討 T 公司在中國、日本及美國設廠的原因、SWOT 分析、並總結 T 公司的海外投資策略。

回顧 T 公司解釋到各國設廠原因，2015 年到中國設廠是為因應客戶強勁需求，當時中國市場在投資設廠前五年的複合成長率為 50%以上(張建中, 2015)；2020 年到美國設廠是因應客戶需求，為客戶提供更好的服務；而 2021 年到日本設廠是 T 公司最大客戶的最大供應商在日本，設廠則是為輔助其製造技術，使得 T 公司最大客戶的產品可順利生產(李孟珊, 2022)。此三項海外投資的共通點為有三，第一是 T 公司對外公告投資設廠原因皆是因應客戶需求，此因素符合 T 公司「以客戶為中心」的營運策略，第二是當地市場占一定比例，投資設廠與否可能與往後是否能繼續穩定接單有相關性，第三為投資地政府的大量資金補助；故從以上敘述可推估，穩固訂單來源以及維持與客戶的信賴互助，到海外設廠為原始初衷。

在分析設廠原因後，下表 2-3 利用 SWOT 模型分析 T 公司本身在台灣製造所具備的優勢、劣勢、市場現存機會與威脅，再總結 T 公司的海外投資策略。



優勢 (Strength)	劣勢 (Weakness)
1. 晶圓製造技術處於領先階段 2. 人力成本低廉、素質優良 3. 產業鏈完備	1. 投入半導體研究人才不足 2. 供應鏈風險 3. 內需市場小 4. 天然資源缺乏，低碳轉型不易
機會 (Opportunity)	威脅 (Threat)
1. AI、5G 技術高效能運算應用興起 2. 特殊製程與多元應用的需求增高	1. 先進製程競爭激烈 2. 供應鏈在地化趨勢及各國半導體在地化的政策補貼 3. 地緣政治風險

表 2-3 T 公司 SWOT 分析

1. 優勢 (Strength)

①. 晶圓製造技術處於領先階段：在半導體製造業者中，T 公司的技術為領導者，先進的研發與製造皆在台灣，技術處於領先階段除了獨佔先進製程的市場外，台灣晶圓廠優異的製程能力亦能快速應用研發結果，快速量產製造客戶所需先進製程的晶片產品(王怡茹, 2023)。

②. 人力成本低廉、素質優良：台灣的人力成本相較國外較低廉，同時台灣工作文化使員工具備高素質及勤奮工作態度，願意 24 小時輪班、注重細節等優勢，此為半導體業中造就高良率的不可或缺因素，而此點亦是 T 公司創辦人當初認為台灣適合發展晶圓代工的原因。

③. 產業鏈完備：台灣有完善半導體生態系，從上游的 IC 設計、生產製造與生產檢測設備、化學材料廠等，至下游的封裝測試皆有國際級的廠商營運，在專業分工的產業聚落下，能降低成本與運輸

時間以達成快速生產的目的(莊賀捷, 2022)。

2. 劣勢 (Weakness)

- ①. 多領域人才不足：台灣研究經費較短缺，導致投入半導體研究的學者不足，進而影響半導體產業人才培育與數量，同時受少子化影響，各專業領域如策略、營運技術等不同面向的人才數量銳減，故人才招募為現階段台灣營運的劣勢之一(林苑卿、林宗輝, 2019; 張建中, 2023)。
- ②. 供應鏈風險：2022 年的研究報告指出台灣製造 12 吋晶圓的比例約為 48%(喬安, 2022)，這表示若台灣的晶片無法順利運送至客戶手中，將有可能重演 COVID-19 疫情期間全球產業供應鏈斷鏈塞港的情況，引發下一波晶片荒。疫情期間國家封鎖導致跨境物流中斷，形成貨運阻塞的情況，商品無法正常配送也對全球供應鏈構成挑戰。因此 T 公司作為台灣資源集中的企業，需要思考如何建立多元供應鏈、有效的庫存管理、加強溝通協作，以形成一個具有韌性的供應鏈，確保生產資源和數量的有效分配，並降低全球供應鏈中的風險，避免類似情況再次發生
- ③. 內需市場小：在全球化的商業環境下，企業通常會依據客戶需求和市場機會，調整其策略和優先順序，這是企業為了維持與客戶的良好關係，確保持續的訂單和業務增長所需考慮的因素。因 T 公司主要客戶位於台灣及亞洲以外的地區，加上台灣內需市場無法單獨支撐公司的營運，這使得歐美客戶的訂單對於台積電極為重要，一旦失去這些客戶的訂單，可能導致公司面臨重大虧損的風險，因此，T 公司必須格外重視並可能受制於歐美客戶的意見。
- ④. 天然資源缺乏，低碳轉型不易：根據經濟部能源局資料，台灣 2021 與 2022 年的再生能源各自佔總發電量的 6.0% 及 8.3% (111 年



發電概況, 2023), 相較於美國 2022 年的再生能源佔比為 21% (Renewable generation surpassed coal and nuclear in the U. S. electric power sector in 2022, 2023), 顯示台灣低碳基礎設施尚有改善空間，台灣基礎建設的匱乏使得 T 公司目前公司再生能源使用比例只有 10.4%，而競爭對手 I 公司再生能源比例已達 90% 以上，並在美國已達成 100% 的使用率(英特爾實現溫室氣體淨零排放的最新進展, 2023)，在全球淨零排放趨勢及客戶綠色供應鏈要求下，若台灣的低碳建設無法跟上其他國家進度，則極可能面臨客戶轉單危機。

3. 機會 (Opportunity)

- ①. AI 智慧運算、5G 基礎建設等高效能運算應用興起：近期 AI 與 5G 兩大技術的興起，使得產業開始追求運算速度，故對高效能晶片的需求日漸上升。由於高效能晶片採用先進製程為主，而先進製程的價格較高，故此類應用興起所帶來的訂單增加，勢必有助於 T 公司的營收增長(Atkinson, 2023)。
- ②. 特殊製程與多元應用的需求增高：市場上存在於主流製程與特殊製程，而特殊製程除了追求更好的效率以及更小的尺寸外，其目標客群主要瞄準小眾市場，利用多樣化與客製化製程創造產品差異性，因此在技術上存在一定門檻。此外此類製程同時良率要求更高，也帶來更高毛利。而 T 公司本身的成熟製程一半以上是特殊製程，故當特殊製程的需求增高時，除了可在成熟製程的營運上獲得更高的毛利外，同時能透過在先進與成熟製程的同時布局，減少競爭對手瓜分市場的機會(財經 M 平方, 2022)。

4. 威脅 (Threat)

- ①. 先進製程競爭激烈：業界有美國 I 公司與韓國 S 公司追趕 T 公司的尖端製程，這是由於擁有最先進製程的製造業者，可擁有多

訂單的機會，相對來說，當先進製程被超越時，除了流失潛在訂單使營收與市占下降外，亦可能使投資人對公司喪失信心，對往後高資本支出的先進製程募資產生影響。

②. 供應鏈在地化趨勢及各國半導體在地化的政策補貼：在 COVID-19 疫情期間全球產業經歷供應鏈斷鏈塞港的情況後，後疫情時代下全球政府與企業重新考量供應鏈分布，使供應鏈的地化或區域化已成常態(Kapoor et al., 2021)，特別是在美國，政府已宣布製造業回流的計畫，並提供持續的補助，包括針對半導體業的投資(黃嫵, 2023)。故當美國政府宣布晶片法案補助投資並希望晶片製造回流美國時，I 公司和 S 公司也申請補助並在美國擴建廠房，以期追趕 T 公司的先進製程。對於 T 公司來說，在各國政府持續推動半導體產業在地化並提供補助的情況下，是否申請補助並在特定國家建廠需權衡各項因素，確保最佳決策符合長期戰略與效益。

③. 地緣政治風險：在中台關係緊張下，地緣政治風險可能加深客戶疑慮，客戶在分散風險的考量下，持續發聲希望 T 公司將晶圓製造移至他國生產。若 T 公司堅持持續只在台製造晶片，則需考慮客戶因地緣政治而轉單的潛在可能性。

利用 SOWT 分析 T 公司後，總結 T 公司海外投資策略，雖無可避免地造成成本增加以及須打造產業聚落等缺點，但同時亦具備海外投資帶來的優勢、可解決的問題點，而海外投資帶來的優勢主要如下：

1. 滿足客戶需求，與客戶建立更緊密的合作關係，透過加強溝通和協作，瞭解客戶的需求並提供更高品質的產品和服務。這樣的做法有助於建立長期穩固的合作夥伴關係，並緩解市場對地緣政治的疑慮，降低客戶轉單的風險。
2. 公司在擴張之際，可吸納多方人才，此做法除了彌補台灣少子化帶來



的人才不足及經費短缺的劣勢，同時能提升跨國人才的比例，帶來多元化思維與創新與技術能力，進而提升企業競爭力，這是引領公司走向更高端技術的必經之路。

3. 透過合資協作，建立海外研發中心，促進技術轉移和知識共享，吸取他國半導體技術，並將這些知識應用到自身的研發和創新活動中，進而提升技術層次與創新能力。
 4. 透過建立多點製造，可降低運輸成本，增加存貨與運送彈性，進而增加對突發事件和風險的韌性。當某個地區面臨災害、政治動盪或其他不可預見的情況時，其他地區的製造設施可以持續運作，減少對單一地區的依賴性，從而降低潛在的供應中斷風險，打造更具韌性的供應鏈。
 5. 透過選擇再生能源資源豐富的國家設廠，T 公司可以加速實現低碳製造過程，這有助於提高公司的環境可持續性和社會責任。此外，還能滿足客戶對低碳產品和綠色解決方案的需求。隨著全球對可持續發展和環境保護意識的提高，越來越多的客戶尋求使用綠色產品和服務。透過在再生能源豐富的國家設廠，T 公司能夠提供以低碳製造為基礎的產品和解決方案，滿足客戶對環境友好產品的需求。
- 總結而言，T 公司的海外投資策略雖面臨成本壓力，但可化解客戶轉單危機，並帶來了技術交流、資源取得、風險分散、和人才吸引力等優勢。這些優勢有助於提高公司的競爭力和可持續發展能力。

2.4.2 T 公司永續策略主軸

在分析 T 公司的海外投資策略後，接下來探討 T 公司的永續策略主軸。在 2021 年時，T 公司發布了聯合國永續發展目標行動報告書，根據 T 公司原先在 ESG 的五大方向，羅列出在 SDGs 17 個專項目標中，與 T 公司相關性高的 9 個

項目，在報告書中說明公司著重原因，以及所採取的專案行動、可衡量的長期目標等，而其中與本研究較相關的為下列 5 個項目。



1. SDG 7 可負擔的潔淨能源

- 以更具能源效率的方式生產：在半導體業中，機台的能源占比為 50% 以上，故提出「新世代機台節能行動專案」，與耗電量大的設備供應商共同分析耗能參數等，並宣布未來節能方針，激勵半導體供應商創新更多節能方案與機台，擴大減碳意識。
- 與供應商合作推動節電：提供輔導資源舉辦工作坊，引導供應商人員正確鑑別廠房與產品的碳排放與來源計算，進而規劃改善減量目標，同時提升能源效益；優先要求高用電量的供應商落實各項數據管理，同時訂定可實行的中長期目標。

2. SDG 8 合適的工作及經濟成長

- 投資設廠後，推動在地供應鏈升級，除了可降低運輸成本及碳排放量，更為當地創造更多就業機會，使其維持經濟成長。
- 提供優質薪酬：整體薪酬維持在業界前 25% 水準，使每位員工都擁有一份好工作。

3. SDG 9 工業、創新及基礎建設

- 使用高能源效率的科技及製程：升級基礎建設，如前述提到的新世代機台等，以達成永續目標。
- 鼓勵創新：持續保持技術領先，每年投入研發比例為營收的 8.5%，對內推出獎項激勵員工創新、對外亦開創產學合作，與學校實驗室共享製程資訊等供其研究，除了弭平產學落差，同時實現創新，加速半導體產業發展。

4. SDG 13 氣候行動

- 提升對氣候變遷的教育及能力：加強教育意識提升以及精進機構及人員能力，針對氣候變遷能降低衝擊、減緩和及早預警。教育方面如在

廠區設置環境教育設施場所，推出適合不同年齡層的導覽課程，而降低環境衝擊則是承諾減少單位產品溫室氣體排放量。



- 提升供應鏈韌性因應氣候風險：邀請供應商參與緊急應變觀摩，協助供應商應變能力，提高供應鏈整體韌性。
- 在 110 年宣布於 2040 年達到碳排淨零目標，並發布第一本氣候相關財務揭露報告 (TCFD Report)，透過「治理、策略、風險管理、指標與目標」四大方向，推動低碳轉型促進永續發展。

5. SDG 17 建立多元的夥伴關係，協力促進永續願景

- 參加多元的非營利組織，促進交流與產業發展，關注公司治理、環境永續、供應鏈管理、人權、科技創新、永續等議題：全球第一家加入再生能源倡議組織(RE100)的半導體企業，承諾於 2040 年前，公司的所有能源皆 100% 源自於再生能源，期盼領導供應鏈夥伴及全球企業發展綠電，接軌國際邁向碳排淨零。
- 設置 T 公司供應商永續學院：與供應商與一般民眾分享企業營運與永續的學習資源，奠定供應商對 ESG 的重視意識，打造低碳供應鏈以及半導體產業的永續生產模式。

以上皆為 T 公司在 SDGs 項目中著重及採取的各項措施，透過這些行動實現龍頭企業的重要角色，與企業利害關係人共同推動永續倡議，鼓舞與啟發其他企業，有助於全球實現可持續發展的永續目標(台灣積體電路製造股份有限公司, 2022a)。

2.4.3 T 公司與 I 公司對碳排淨零之因應策略

如 2.2 節所述，因巴黎協定目標在 2050 年之前達到碳排淨零，故簽署國及許多企業紛紛規劃減碳藍圖，以達減碳目標量，而在這一小節將描述 T 公司與 I 公司目前再生能源使用比例及碳排情況，延伸至其碳排淨零規劃、相對的因應策略，最後探討現階段是否已導入區塊鏈以及其應用方式。

根據兩家公司 2022 年的 ESG 報告書，可得知兩家公司再生能源的利用率（含購買再生能源、自發再生能源、再生能源憑證、再生能源所產生的碳權）以及溫室氣體在各範疇的排放量，如下表 2-4 資料所述，現階段 T 公司的再生能源使用比例只占為總電量的 10.4%，而 I 公司已達 93%，從再生能源比例，可得知再生能源取得為 T 公司再達成碳排淨零路上的一大挑戰。而根據溫室氣體排放量，T 公司的排放量大宗來源為範疇二的排放量，佔了整體排放量的 50.81%，呼應前述提到再生能源利用率太低的問題，而故認為此次海外投資設廠取得充足的再生能源為投資設廠考量之一，使其增加產量同時又能循序減量藍圖邁進。而因 I 公司本身的再生能源已高達 93%，其碳排量多數源自於範疇三的溫室氣體，故可推估與上下游供應鏈的減碳協作，應為 I 公司減排策略的重點。

	再生能源使用比例	範疇一溫室 氣體排放量	範疇二溫室 氣體排放量	範疇三溫室 氣體排放量
T 公 司	<ul style="list-style-type: none"> • 海外子公司全部使用再生能源 • 再生能源使用比例占全公司用電量 10.4% 	台灣： 1,808,427 (11.32%) 海外： 343,510	台灣： 8,116,440 (50.81%) 海外： 36,057	台灣： 6,049,257 (37.87%) 海外： 無數據
I 公 司	<ul style="list-style-type: none"> • 在美國、歐洲、以色列的可再生電力供應保持在 100% • 全球再生電力已達 93% 	2,181,000 (6.78%)	1,093,000 (3.4%)	28,863,000 (89.8%)

表 2-4 T 公司與 I 公司再生電力使用情況與各範疇之碳排量

從兩公司的 ESG 報告書裡，亦可發現如表 2-5 所示的資料，在再生能源方面，I 公司預計於 2030 年即可達成 100% 使用再生能源，但 T 公司預估在 2030

年再生能源使用比率只有 40%；在碳排淨零進程方面，I 公司設定達成在範疇一和範疇二溫室氣體淨零排放的目標年為 2040 年，雖預估比 T 公司近九年提早達成，但 T 公司的 2049 年淨零排放目標涵蓋範疇一到三。故由 CSR 報告書的目標設定，也驗證 T 公司在考量與 I 公司競爭時，對於引進再生能源資源或是減碳新技術的需求會更加急迫，而 I 公司則會專注於降低整體供應鏈排放的策略。

	碳排淨零	再生能源
T 公司	2049 年達成碳排淨零	2030 使用 40% 再生能源
I 公司	2040 年達成碳排淨零	2030 年使用 100% 再生能源

表 2-5 T 公司與 I 公司達成碳排淨零目標年以及針對再生能源的短期目標

從以上可以推論 T 公司到美國後，因為對於引進再生能源資源的急迫，可能跟美國政府要求跟 I 公司同等資源作為投資條件。此外，由於美國擁有充足的綠電供應，這意味著 T 公司在美國能夠獲得更多的綠電。因此 T 公司在設廠後應能像表 2-4 所示的其子公司一樣，實現 100% 綠電。因此在後續模型設定中，只會討論範疇一和範疇三的碳排放，而範疇二的碳排將因為 100% 綠電的使用而不存在。

綜合以上進程，T 公司在三個範疇的策略方向如下：

1. 範疇一：推動低碳製造，提高機台能源效率、替換高全球暖化潛勢的製程氣體。
2. 範疇二：持續採購再生能源外，同時推動節能，並提高生產能效。
3. 範疇三：
 - ①. 完善的供應鏈碳資訊：持續要求供應商取得產品碳足跡外部驗證，將整合供應商碳資訊後，進一步分析碳排放熱點及減碳機會點，作為後續碳排淨零的決策基礎。
 - ②. 推動在地採購，以及在地供應鏈升級，降低運輸碳排。

③. 低碳供應鏈：與上下游供應鏈合作減碳，如協助其取得綠電、協助供應商針對精餾塔打造碳捕捉設備等，透過協作方式減少碳排量。

而 I 公司的在三個範疇的策略方向如下：

1. 範疇一：主要集中在優化製程、提高機台能源效率、使用清潔能源和實施污染控制等方面。
2. 範疇二：在各大基地與工廠規模化安裝可再生電力項目，如太陽能、風力、地熱能、生質能等等，同時亦實施節能與能效措施，總共耗資 3 億美元投資再生電力的採購與建設，其投資金額為 T 公司在節能設備的投資約 7 倍(台灣積體電路製造股份有限公司, 2022b; Intel, 2022)。
3. 範疇三：
 - ①. 增進產品能效，提高產品的每瓦性能，進而降低產品在價值鏈中產生的碳排。
 - ②. 價值鏈合作：成立半導體氣候聯盟，匯聚上下游供應商與客戶，研擬減排方案。

從上述的策略方向可得知，在範疇三的部分，盤查並確切得知上下游的碳排放量皆為兩間公司減少範疇三的必要的初始手段，故藉由區塊鏈技術必然能幫助 T 公司與 I 公司快速與準確了解上下游溫室排放的詳細資訊，並更進一步有效降低在範疇三的排放量。然而根據現有的公開資訊，T 公司與 I 公司皆無導入區塊鏈技術，故認為是否導入此技術亦成為影響兩間公司永續經營的競爭力因素之一。



第三章 數學模型建構

在外部公權力的推動下，例如歐盟企業永續盡職調查指令，要求企業不僅注重經濟利潤，同時也必須兼顧環保與人權等方面，推動企業在經濟、環境與社會各層面均衡發展。當公司把永續經營作為核心目標後，其決策過程就不再單純追求短期利潤，而是著眼於確保公司的長期可持續價值。本研究以半導體行業的領先企業 T 公司在美國的建廠投資案例為例，探討其在跨國投資過程中與競爭對手 I 公司的策略互動與競爭態勢。本章特別聚焦於 T 公司和 I 公司在追求永續經營時所需考慮的關鍵要素，並將這些要素融入建立永續價值模型的過程中。最終，本研究將對這兩家公司的永續價值進行量化分析，探討在不同情境下，T 公司和 I 公司如何作出決策，以最大化其永續價值。

3.1 模型定義

本研究主題為綜合以上文獻探討，在討論 T 公司與 I 公司永續價值時，將永續價值分成經濟價值、綠色價值及社會價值三個面向，並從三個部分建構一個完整的永續價值模型。在模型中，參數將以右下角的小標 T 或小標 I 表示，以指明是 T 公司或 I 公司的相關參數，若未特別標註小標，則表示此參數為兩公司共同參數。

在進行投資執行後，其中一個關鍵的決策變數是產品數量(Q)，在確認最佳產量後，才能規劃廠房規模等其他設廠所需之決策。因此在這一模型中，產品數量 Q 將作為模型的決策變數，探討 Q 與三個永續面向之間的關係，並將三面向的永續用 Q 量化及表示。一旦建立了模型，就可以最大化永續價值，同時確定 Q 的最佳數量，構成了本研究的基本架構和模型的預期結果。

3.2 模型基本假設

本研究以寡占競爭模型中的賽局理論為基礎，分析了 T 公司在不同情境下

如何最大化其永續價值，同時決定其產品生產量以及是否引進區塊鏈技術。為了簡化模型以便進行後續的分析和探討，在此提出一些合理的前提假設。

1. 市場需求

本模型不考慮存貨成本，亦即不考慮需求大於供給的情況，其原因有二。

第一個原因是在亞利桑那州兩家公司的產品皆為尖端製程的晶片為主，其終端電子產品製造商為追求自身產品差異化的競爭力，會有對上游供應商的高端晶片有強大需求，故推斷 T 公司與 I 公司的產品在市場是勢必是需求大於供給，供給數量會全數售出。

第二個原因是晶片市場在撰寫時間點仍依持續維持是賣方市場，經歷疫情影響供應鏈，雖然目前需求相較疫情期间已放緩，但後續 AI 智慧運算、5G 基礎建設等高效能運算應用興起，使得尖端製程的晶片仍有強勁需求，推斷晶片為賣方市場，故模型中不考慮存貨成本以及需求大於供給之情況。

2. 忽略價格與成本差異

雖 T 公司在台製造成本低，但移至美國設廠製造會使成本增高 50% 以上（中村裕，2022），且亦有分析師指出 I 公司的成本架構為 T 公司的成本一倍以上（洪友芳，2022），故可合理推測，當 T 公司移至美國亞利桑那州生產時，產品的成本應與 I 公司差異不大，而成本差異不大時，推估市場價格差異亦小，故在設置模型時，假設 T 公司與 I 公司產品在市場價格一致，同時成本亦相同。

3. 市場的領導者與追隨者

T 公司最尖端製程目前領先 I 公司（Peters, 2022），且 T 公司在美國投資的製程為最尖端的製程技術，雖落後於台灣的製程一代以上，然而 I 公司尖端製程晶片生產量較少，且良率較低，T 公司仍被認為是晶片市場的領導者。因此，在後續的賽局討論中，我們將 T 公司設定為市場的領導者，而 I 公司則被視為市場的追隨者。這個設定將作為後續序列賽局時參與者的基本框架。



3.3 數學模型建構

本小節旨在詳細設定 T 公司和 I 公司的永續價值模型，同時闡述在永續價值框架下的三個方面，即經濟價值、綠色價值和社會價值，所包含的要素。

在經濟價值部分，將考慮販售利潤、處理碳排放的成本以及電力使用成本對經濟價值的影響。綠色價值方面，聚焦於 SGS 13 的氣候目標行動，主要討論碳排放對永續價值的影響。社會價值部分，則關注 SGS 8 的就業與經濟成長以及 SGS 17 的永續發展夥伴關係，考慮投資設廠後所帶來的就業機會，以及引入區塊鏈技術對供應鏈夥伴信任關係的影響對永續價值的影響。

最後，本研究將探討區塊鏈技術的導入，這是為了打造具有韌性的基礎建設，同時也是符合 SGS 9 的工業化、創新和基礎建設目標的一部分。區塊鏈技術的引入將對上述經濟、綠色和社會價值三方面產生影響。最終，將根據這些相互關聯的影響建立 T 公司和 I 公司在不同情境下的永續價值模型。

3.3.1 經濟價值

在研究中考慮經濟價值時，將販售利潤和導入區塊鏈後的成本作為主要方面來建立模型。

對於販售利潤，由於模型只考慮 T 公司與 I 公司，整個晶片市場只被 T 及 I 公司所寡占，當市場需求函數為 $P = a - b \cdot Q$ ， P 為市場價格，總產量 Q 時， Q 為 T 公司的產量 Q_T 和 I 公司的產量 Q_I 的總和，表示為 $Q = Q_T + Q_I$ ，此時市場價格亦可表示成 $P = a - b \cdot (Q_T + Q_I)$ ，並假設生產過程中，T 公司與 I 公司的每單位產品的邊際成本為 MC ，此時的邊際成本涵蓋電力成本、製造成本等。因此只考量販售利潤時，T 公司的經濟利潤可表示成(1.1)所示。

$$T\text{ 公司的經濟利潤} = (a - b \cdot Q_T - b \cdot Q_I - MC) \cdot Q_T \quad (1.1)$$

另一方面導入區塊鏈後，產生的成本包括一次性成本 BFC 以及變動成本 bvc ，假設與邊際成本為獨立互不影響的關係。其中變動成本是因區塊鏈運作與

驗證過程中的能源消耗能所造成。根據 Coutinho 等人(2022)的研究，區塊鏈成本和完成的智能合約成正比。由於完成的智能合約數應與生產的產品數量呈正比，因此假設導入區塊鏈後所產生的每單位區塊鏈變動成本為 bvc ，此時導入區塊鏈的變動成本對經濟價值的影響如(1.2)所示，而導入區塊鏈整體對經濟價值的總影響如(1.3)所示。

$$\text{導入區塊鏈的變動成本} = -bvc \cdot Q \quad (1.2)$$

$$\text{導入區塊鏈對經濟價值影響} = -bvc \cdot Q - BFC \quad (1.3)$$

總和以上，將(1.1)和(1.3)相加後，即為經濟價值的總和，其中 T 公司的經濟價值可利用(1.4)的式子表示，I 公司的經濟價值如(1.5)的式子所示。其中，未導入區塊鏈時， bvc 和 BFC 皆為 0。

$$T \text{ 公司的經濟價值} = [a - b \cdot Q_T - b \cdot Q_I - MC - bvc] \cdot Q_T - BFC \quad (1.4)$$

$$I \text{ 公司的經濟價值} = [a - b \cdot Q_T - b \cdot Q_I - MC - bvc] \cdot Q_I - BFC \quad (1.5)$$

3.3.2 綠色價值

考慮綠色價值的觀點，碳排放量成為一項重要的衡量指標。因此在綠色價值的部分，則考慮消弭碳排放所需成本。目前因應企業碳排淨零的目標，歐盟正在推行「碳邊境調整機制」(CBAM)，預計於 2026 年正式生效，其中進口產品的碳排量計算方式為「單位產品的碳含量」 \times 「進口產品數量」，因計算單一產品所產生的碳排量應具備可行性，故假設 EC 為每單位產品所產生的碳排放量成本，其涵蓋購買碳權消除碳排放的成本，故 T 公司溫室氣體排放量對於綠色價值所產生的影響如(2.1)所示，這表示未導入區塊鏈技術的情況下，T 公司溫室氣體排放量對經濟價值的影響。

$$T \text{ 公司溫室氣體排放量對於綠色價值所產生的影響} = -EC \cdot Q_T \quad (2.1)$$

接下來，將討論導入區塊鏈後的碳排量改變情形。根據前面的文獻探討，導入區塊鏈可使碳排放量下降。區塊鏈的導入，使上下游間的資訊更透明並進行協作，故下降的碳排量應為範疇三的碳排放量。目前從 I 公司的 CSR 報告書，已知 I 公司在美國境內已達成 100% 使用再生能源。另一方面，雖然目前沒有確切資料顯示其在美國的工廠是否也能實現 100% 使用再生能源，但根據以下兩點觀察，有理由相信 T 公司在美國的新工廠應亦可如 I 公司 100% 使用再生能源，在範疇二的部分一樣達到 0 碳排。

第一點是，此次投資為美國邀請 T 公司來設立廠房，目的在於實現美國對晶片的自主生產。因此，可以合理推測，T 公司在美國生產的產品應當主要供應給美國市場。目前，T 公司的其中一位主要客戶，A 公司，提出了截至 2030 年的供應商碳中和策略。因此，如果美國政府無法提供足夠的再生能源給 T 公司，這可能對 T 公司應對 A 公司在 2030 年碳中和目標的實現產生極大的衝擊。其次，T 公司在 1996 年建立的美國八吋晶圓廠已經實現了 100% 再生能源的使用，這表明該公司在過去已經成功實現類似的目標，因此有理由相信，未來新建廠房也將朝著相同的目標邁進，實現 100% 再生能源的效率。

故 T 公司在範疇一的碳排比例假設為 e_T ，在範疇三的碳排比例為 $(1 - e_T)$ ；而導入區塊鏈後範疇三碳排下降為 α 比例，則 T 公司的綠色價值如(2.3)所示，I 公司的綠色價值如(2.3)所示。其中，未導入區塊鏈時， $\alpha=1$ 。

$$T \text{ 公司的綠色價值} = - [e_T \cdot EC + \alpha \cdot (1 - e_T) \cdot EC] \cdot Q_T \quad (2.2)$$

$$I \text{ 公司的綠色價值} = - [e_I \cdot EC + \alpha \cdot (1 - e_I) \cdot EC] \cdot Q_I \quad (2.3)$$

3.3.3 社會價值

在社會價值面向，則考量社區及供應商此兩利害關係人，主要關注於工廠提供的就業機會和導入區塊鏈技術後對供應鏈夥伴信任關係的影響。選擇此兩要素的原因在於，工廠所提供的就業機會，可活絡當地就業市場，增進社會效

益。另一方面，研究顯示亦指出，投資者越來越關注供應鏈夥伴對於 ESG 面向的標準(Goldston, 2022)，而透明度是供應鏈信任基本的要素，而藉由導入區塊鏈技術可以提升供應鏈夥伴之間的透明度，進一步提高彼此間的信任，促進持續合作和發展(Mandal & Sarathy, 2018)，故選擇此兩面向做為社會價值衡量之指標。

在就業機會的部分，已知勞動生產力為衡量每單位勞動所獲得的產出，以「總產出 / 總勞動投入」計算，利用此一概念，假設 T 公司的勞動生產力為 W_T ，當 T 公司到美國所需生產的單位為 Q_T 時，則勞動投入則為 Q_T/W_T ，表示在生產單位 Q_T 下，當勞動生產力不變時，所需的勞動力為 Q_T/W_T ，亦即所到美國後所創造出的就業機會量。故 T 公司所創造出的就業機會可利用(3.1)表示，而 I 公司因公司文化背景不同，故勞動生產力應與 T 公司不相同，故 I 公司的勞動生產力假設為 W_I ，而原先就提供的就業機會可利用(3.2)表示，此時單位為就業機會數。

$$T \text{ 公司所創造出的就業機會} = \frac{Q_T}{W_T} \quad (3.1)$$

$$I \text{ 公司所創造出的就業機會} = \frac{Q_I}{W_I} \quad (3.2)$$

另一方面，在信任關係的部分，提升信任程度有助於更好的信息共享，進而影響購買意願(Wang et al., 2022)，並改善合作、協調、協作和溝通(Dahwa et al., 2013)，使供應鏈間關係更密切，可能進一步促進交易量的增加。根據 Jian Wang 等人的研究(2022)，信任程度對於購買意願的效果值為 0.55，而 95% 信賴區間為 [0.48, 0.62]，意即當購買者增加對賣家 1 單位的信任時，購買意願會增加 0.55 單位，故在未導入區塊鏈時信任程度可表示為(3.3)，具備區塊鏈技術後，供應鏈的信任關係將提升 t 單位，此時，T 公司供應鏈信任程度如(3.4)所示。(3.3)和(3.4)分別描述了未導入區塊鏈技術和導入區塊鏈技術後，供應鏈夥伴對 T 公司的信任程度。



$$T\text{公司未導入供應鏈時的信任程度} = 0.55 \cdot Q_T \quad (3.3)$$

$$T\text{公司導入供應鏈後的信任程度} = 0.55 \cdot (1 + t) \cdot Q_T \quad (3.4)$$

社會價值由就業機會和信任程度組合而成，但由於就業機會和信任程度的單位不同，因此需要將信任程度除以勞動生產力來將其轉化為與就業機會相同的單位。所以再次藉由前面提到的「勞動生產力=總產出 / 總勞動投入」此公式，將信任程度除以勞動生產力 W_T ，如(3.5)所示，即為此信任程度所需的勞動生產力，此時信任程度的單位跟創造出的就業機會的單位相同，皆為員工人數。

$$T\text{公司信任程度所需的勞動生產力} = \frac{0.55 \cdot (1+t)}{W_T} \cdot Q_T \quad (3.5)$$

將工作機會與信任程度相加時， T 公司的社會價值如(3.6)所示。然而因經濟價值與綠色價值的單位皆為金錢，故假設 T 公司與 I 公司提供相同的薪資 S ，將現有的社會價值再乘上薪資 S ，將單位轉化成金錢，如(3.7)所示，此時經濟價值、綠色價值及社會價值的單位皆相同，故後續可將這三者相加，形成永續價值。

$$T\text{公司社會價值(單位為就業機會數)} = \frac{[1.55 + 0.55t]}{W_T} \cdot Q_T \quad (3.6)$$

T 公司的社會價值如(3.7)所示， I 公司的社會價值如(3.8)所示。其中在未導入區塊鏈時， $t = 0$ 。

$$T\text{公司的社會價值(單位為金錢)} = \frac{S}{W_T} \cdot [1.55 + 0.55t] \cdot Q_T \quad (3.7)$$

$$I\text{公司的社會價值(單位為金錢)} = \frac{S}{W_I} \cdot [1.55 + 0.55t] \cdot Q_I \quad (3.8)$$



3.3.4 模型

在結合以上三面向的式子後，可得出兩家公司各自在是否導入區塊鏈時的永續價值，以下將列出 T 公司與 I 公司在兩種情境下的永續價值公式。

1. T 公司未導入區塊鏈的情境

- 經濟價值： $[a - b \cdot Q_T - b \cdot Q_I - MC] \cdot Q_T$
- 綠色價值： $- EC \cdot Q_T$
- 社會價值： $1.55 \cdot \frac{S}{W_T} \cdot Q_T$

此時 T 公司的永續價值(π_1)如下：

$$\pi_1 = -b \cdot Q_T^2 + \left[a - b \cdot Q_I - MC - EC + 1.55 \frac{S}{W_T} \right] \cdot Q_T \quad (4.1)$$

2. T 公司有導入區塊鏈的情境

- 經濟價值： $[a - b \cdot Q_T - b \cdot Q_I - MC - bvc] \cdot Q_T - BFC$
- 綠色價值： $- [e_T + \alpha \cdot (1 - e_T)] \cdot EC \cdot Q_T$
- 社會價值： $[1.55 + 0.55t] \cdot \frac{S}{W_T} \cdot Q_T$

此時 T 公司的永續價值(π_2)如下：

$$\pi_2 = -b \cdot Q_T^2 + \left\{ \begin{array}{c} a - b \cdot Q_I - MC - bvc \\ -[e_T + \alpha \cdot (1 - e_T)] \cdot EC + [1.55 + 0.55t] \cdot \frac{S}{W_T} \end{array} \right\} \cdot Q_T - BFC \quad (4.2)$$

3. I 公司未導入區塊鏈的情境

- 經濟價值： $[a - b \cdot Q_T - b \cdot Q_I - MC] \cdot Q_I$
- 綠色價值： $- EC \cdot Q_I$
- 社會價值： $1.55 \cdot \frac{S}{W_I} \cdot Q_I$

此時 I 公司的永續價值(π_3)如下：

$$\pi_3 = -b \cdot Q_I^2 + \left\{ a - b \cdot Q_T - MC - EC + 1.55 \cdot \frac{S}{W_I} \right\} \cdot Q_I \quad (4.3)$$



4. I 公司有導入區塊鏈的情境

- 經濟價值： $[a - b \cdot Q_T - b \cdot Q_I - MC - bvc] \cdot Q_I - BFC$
- 綠色價值： $-[e_I + \alpha \cdot (1 - e_I)] \cdot EC \cdot Q_I$
- 社會價值： $[1.55 + 0.55t] \cdot \frac{S}{W_I} \cdot Q_I$

此時 I 公司的永續價值(π_4)如下：

$$\pi_4 = -b \cdot Q_I^2 + \left\{ a - b \cdot Q_T - MC - bvc - [e_I + \alpha \cdot (1 - e_I)] \cdot EC + [1.55 + 0.55t] \cdot \frac{S}{W_I} \right\} \cdot Q_I - BFC \quad (4.4)$$

3.4 模型最佳解

在前一部分中，設定導入區塊鏈與否的永續價值模型。在本小節中，將在 T 公司是市場領先者，I 公司為追隨者的序列賽局框架下，探討兩公司是否導入區塊鏈技術，同時在下表 2-6 內的四種不同情況下決定最佳產量。

情境	T 公司導入區塊區塊鏈與否	I 公司導入區塊區塊鏈與否
一	否	否
二	是	否
三	否	是
四	是	是

表 2-6 兩公司各自是否導入區塊鏈的四種情境



3.4.1 情境一

T 公司為領導者，I 公司為追隨者，且 T 公司與 I 公司皆不導入區塊鏈的情境。

當 T 公司為領導者時，先找尋 I 公司極大化自己永續價值時的 Q_I ，從 3.3.4 節可知未導入區塊鏈時 I 公司的永續價值為 π_3 ，即下方(5.1)。

$$\pi_3 = -b \cdot Q_I^2 + \left\{ a - b \cdot Q_T - MC - EC + 1.55 \cdot \frac{S}{W_I} \right\} \cdot Q_I \quad (5.1)$$

對 π_3 一次偏微分後，可得(5.2)。

$$\frac{\partial \pi_3}{\partial Q_I} = -2b \cdot Q_I + \left\{ a - b \cdot Q_T - MC - EC + 1.55 \cdot \frac{S}{W_I} \right\} \quad (5.2)$$

令 $\frac{\partial \pi_3}{\partial Q_I} = 0$ 時，移項後可得(5.3)

$$Q_I = \frac{1}{2b} \cdot (a - b \cdot Q_T - MC - EC + 1.55 \cdot \frac{S}{W_I}) \quad (5.3)$$

此時的 Q_I 為最佳產量，將(5.3)的代入 π_1 (4.1)T 公司未導入的永續價值模型內的 Q_I 中，如(5.4)所示，整理後可得(5.5)。

$$\begin{aligned} \pi_1 &= -b \cdot Q_T^2 + \left[a - b \cdot \frac{1}{2b} \cdot \left(a - b \cdot Q_T - MC - EC + 1.55 \cdot \frac{S}{W_I} \right) - MC \right. \\ &\quad \left. - EC + 1.55 \frac{S}{W_T} \right] \cdot Q_T \end{aligned} \quad (5.4)$$

$$\pi_1 = -\frac{b}{2} \cdot Q_T^2 + \left\{ \frac{1}{2} \cdot \left[a - b \cdot Q_T - MC - EC + S \cdot \left(\frac{3.1}{W_T} - \frac{1.55}{W_I} \right) \right] \right\} \cdot Q_T \quad (5.5)$$

再將 π_1 對 Q_T 偏微分後，可得(5.6)。

$$\frac{\partial \pi_1}{\partial Q_T} = -b \cdot Q_T + \left\{ \frac{1}{2} \cdot \left[a - b \cdot Q_T - MC - EC + S \cdot \left(\frac{3.1}{W_T} - \frac{1.55}{W_I} \right) \right] \right\} \quad (5.6)$$



令 $\frac{\partial \pi_1}{\partial Q_T} = 0$ 時，移項後可得 Q_T 的最佳產量如(5.7)所示。

$$Q_T = \frac{1}{2b} \cdot \left[a - MC - EC + \left(\frac{3.1}{W_T} - \frac{1.55}{W_I} \right) \cdot S \right] \quad (5.7)$$

並進一步檢查， $\frac{\partial^2 \pi_1}{\partial Q_T^2} < 0$ 的條件，將 π_1 對 Q_T 二階微分並令其 < 0 得(5.8)，

並將移項後得(5.9)，即為 π_1 有極大值的條件。

$$\frac{\partial^2 \pi_1}{\partial Q_T^2} = -b < 0 \quad (5.8)$$

$$b > 0 \quad (5.9)$$

再將(5.7)中的 Q_T 代回(5.3)，可求出 Q_I 在此情境下的最佳產量如(5.10)所示。

$$Q_I = \frac{1}{4b} \cdot \left[a - MC - EC + \left(-\frac{3.1}{W_T} + \frac{4.65}{W_I} \right) \cdot S \right] \quad (5.10)$$

在情境一，可得 Q_T 的最佳產量如(5.7)所示， Q_I 的最佳產量如(5.10)所示。

3.4.2 情境二

T 公司為領先者，I 公司為追隨者，且 T 公司導入區塊鏈但 I 公司不導入區塊鏈的情境。

當 T 公司為領導者時，從情境一可知，當 I 公司為追隨者時，未導入區塊鏈下最佳產量為(5.3)，再將 Q_I 的最佳產量代入 T 公司有導入區塊鏈的永續價值 π_2 中，即可得(5.10)。

$$\begin{aligned} \pi_2 = -\frac{b}{2} \cdot Q_T^2 + & \left\{ \frac{1}{2} (a - MC) - bvc + \left[\frac{1}{2} - e_T - \alpha \cdot (1 - e_T) \right] \cdot EC \right. \\ & \left. + \left[\frac{(1.55+0.55t)}{W_T} - \frac{0.775}{W_I} \right] \cdot S \right\} \cdot Q_T - BFC \end{aligned} \quad (5.10)$$

再將 π_2 對 Q_T 偏微分後，再令 $\frac{\partial\pi_2}{\partial Q_T}=0$ 並移項後可得 Q_T 最佳產量如(5.11)所示。

$$Q_T = \frac{1}{2b} \left\{ a - MC - 2bvc + [1 - 2e_T - 2\alpha \cdot (1 - e_T)] \cdot EC \right. \\ \left. + \left[\frac{(3.1 + 1.1t)}{W_T} - \frac{1.55}{W_I} \right] \cdot S \right\} \quad (5.11)$$

並進一步檢查， $\frac{\partial^2\pi_2}{\partial Q_T^2} < 0$ 的條件，二階微分 π_2 並令其 < 0 ，並將常數移項後得(5.12)，即為 π_2 有極大值的條件。

$$b > 0 \quad (5.12)$$

再將(5.11)中的 Q_T 代回(5.3)，可求出 Q_I 在此情境下的最佳產量如(5.13)所示。

$$Q_I = \frac{1}{4b} \cdot \left\{ a - MC + 2bvc + [-3 + 2e_T + 2\alpha \cdot (1 - e_T)] \cdot EC \right. \\ \left. + \left[\frac{-(3.1 + 1.1t)}{W_T} + \frac{4.65}{W_I} \right] \cdot S \right\} \quad (5.13)$$

在情境2，可得 Q_T 的最佳產量如(5.11)所示， Q_I 的最佳產量如(5.13)所示。

3.4.3 情境三

T公司為領先者，I公司為追隨者，且T公司不導入區塊鏈但I公司導入區塊鏈的情境。

當T公司為領導者時，先找尋I公司極大化自己永續價值時的 Q_I ，從3.3.4節可知導入區塊鏈後I公司的永續價值為 π_4 ，將其微分再令 $\frac{\partial\pi_4}{\partial Q_I}=0$ ，可得最大化永續價值時， Q_I 的最佳產量如(5.14)所示。

$$Q_I = \frac{1}{2b} \cdot \left\{ a - b \cdot Q_T - MC - bvc - [e_I + \alpha \cdot (1 - e_I)] \cdot EC \right. \\ \left. + (1.55 + 0.55t) \cdot \frac{S}{W_I} \right\} \quad (5.14)$$

再將(5.14)中的 Q_I 代回 T 公司無導入區塊鏈的永續價值 π_1 ，再對其微分令

$\frac{\partial \pi_1}{\partial Q_T} = 0$ ，即可得 Q_T 最佳產量如(5.15)所示。

$$Q_T = \frac{1}{2b} \cdot \left\{ a - MC - bvc + \left[-2 + e_I + \alpha \cdot (1 - e_I) \right] \cdot EC \right. \\ \left. + \left[\frac{3.1}{W_T} - \frac{1.55 + 0.55t}{W_I} \right] \cdot S \right\} \quad (5.16)$$

並進一步檢查， $\frac{\partial^2 \pi_1}{\partial Q_T^2} < 0$ 的條件，二階微分 π_1 並令其 < 0 ，並將常數移項後得(5.17)，即為 π_1 有極大值的條件。

$$b > 0 \quad (5.17)$$

再將(5.16)中的 Q_T 代回(5.14)，可求出 Q_I 在此情境下的最佳產量如(5.18)所示。

$$Q_I = \frac{1}{4b} \cdot \left\{ a - MC - bvc + \left[2 - 3e_I - 3\alpha \cdot (1 - e_I) \right] \cdot EC \right. \\ \left. + \left[\frac{-3.1}{W_T} + \frac{4.65 + 1.65t}{W_I} \right] \cdot S \right\} \quad (5.18)$$

在情境 3，可得 Q_T 的最佳產量如(5.16)所示， Q_I 的最佳產量如(5.18)所示。

3.4.4 情境四

T 公司為領先者，I 公司為追隨者，且 T 公司與 I 公司皆導入區塊鏈的情境。當 T 公司為領導者時，先找尋 I 公司極大化自己永續價值時的 Q_I ，從情境三已知 Q_I 的最佳產量如(5.14)所示，再將其代回 T 公司有導入區塊鏈的永續價值式 π_2 內，再對其微分令 $\frac{\partial \pi_2}{\partial Q_T} = 0$ ，並移項後即可得 Q_T 最佳產量如(5.19)所示。

$$Q_T = \frac{1}{2b} \cdot \left\{ a - MC - bvc + \left[e_I - 2e_T - \alpha \cdot (1 + e_I - 2e_T) \right] \cdot EC \right. \\ \left. + \left[\frac{3.1 + 1.1t}{W_T} - \frac{1.55 + 0.55t}{W_I} \right] \cdot S \right\} \quad (5.19)$$

並進一步檢查， $\frac{\partial^2 \pi_2}{\partial Q_T^2} < 0$ 的條件，二階微分 π_2 並令其 < 0 ，並將常數移項後得(5.20)，即為 π_2 有極大值的條件。

$$b > 0$$



(5.20)

再將(5.19)中的 Q_T 代回(5.14)，可求出 Q_I 在此情境下的最佳產量如(5.21)所示。

$$Q_I = \frac{1}{4b} \cdot \left\{ a - MC - bvc - [(-1 + 3\alpha) \cdot e_I - 2(1 + \alpha) \cdot e_T - 3\alpha] \cdot EC + \left[\frac{-(3.1 + 1.1t)}{W_T} + \frac{4.65 + 1.55t}{W_I} \right] \cdot S \right\} \quad (5.21)$$

在情境 4，可得 Q_T 的最佳產量如(5.19)所示， Q_I 的最佳產量如(5.21)所示。

第四章 實證資料數值分析



4.1 參數之參考值設定

在上一個章節已建構好 T 公司與 I 公司在不同情境下對永續價值的數學模型，並找出在各情境下以參數表示的產品最佳數量解。此章節將以實際商業資訊，為參數賦予一組參考值，接著將各參數放入模型運算。

4.1.1 經濟價值參數

這一節將討論經濟價值參數的參考值。由於經濟價值中的正向成分僅包括販售收入，而其他成分均為營運成本，先假設販售價格為消費者願付的價格，即 $P=1$ 。此外，由於價格 P 的計算公式為 $P=a-b \cdot (Q_T+Q_I)$ ，故需對參數 a 和 b 進行適當的假設。鑑於 T 公司市占幾乎達到市場的六成，因此以 T 公司的相關資料作為設定 a 和 b 的基礎。然而由於市場價格為機密，本研究將以財金公司的新聞內容作為參考。根據新聞內容，T 公司在 2023 年 Q4 的價格為 6611 美元，2022 年 Q4 的價格為 5384 美元，並以此為依據當作市場價格；T 公司在 2023 年 Q4 的出貨量為 29.57 億片晶圓，2022 年 Q4 的出貨量為 37.02 億片(魏志豪, 2024)。而撰寫當下尚無 2023 年 Q4 的市占資料，故使用 T 公司 2023 年 Q3 的市占率，為 57.9%(Trendforce, 2023a)，2022 年 Q4 的市占率為 58.5%(Trendforce, 2023b)，並以此為基礎推估整個市場的產品數量，可得出 2023 年 Q4 的產品數約為 51.07 億片，2023 年 Q4 的產品數約為 63.28 億片，並將資訊統整在下方表 4-1。

	T 公司 產品價格	T 公司 12 吋 晶圓產品數量	T 公司 市佔率	12 吋晶圓市場 產品數量
2023 年 Q4	6611 美元	29.57 億片	57.9%	51.07 億片
2022 年 Q4	5384 美元	37.02 億片	58.5%	63.28 億片

表 4-1 T 公司 2023 與 2022 年產品、數量及市佔率及 12 吋晶圓市場數量

由上方表格可得，在 2023 年 Q4 時，市場願付價格來到 6611 美元，故可知市場願付價格現為 6611 美元，而此時當標準化後市場願付價格為 1，則 2023Q4 的價格在標準化後則為 0.8144；另一方面，數量 Q 的標準化基準則為 T 公司的市佔率。利用表 4-2 的數據，代入 $P = a - b \cdot Q$ 的方程式中，可得出 a 的數值為 18.9104，b 的數值為 30.93333。

2023 年 Q4	P_0	1	Q_0	0.579
2022 年 Q4	P_1	0.8144	Q_1	0.585

表 4-2 T 公司 2023 年及 2022 年 Q4 標準化後的 P 值與 Q 值

第二部分中，在 $P=1$ 下探討邊際成本 MC 的數值，由於假設 T 公司在亞利桑那設廠後，其成本應與 I 公司相差不大，因此假設兩家公司的邊際成本都為 MC，並以 I 公司的成本作為尋找 MC 數值的參考基準。表 4-3 是 I 公司 10 年間的營業收入，單位為 Billion，得平均營業收入為 649 億美金，而表 4-4 是 I 公司過去十年相對於營業收入的營業淨利百分比，且十年平均的營業淨利百分比為 21.61%，故當 $P=1$ 時， $MC=0.7839$ 。然而，需要注意的是，這裡的營業淨利已經扣除了電力費用，意即涵蓋了使用再生能源所需費用，故在後續綠色價值的部分，不會考量範疇二之碳排放量。

2022	2021	2020	2019	2018	2017	2016	2015	2014	2013
63.1	79.0	77.9	72.0	70.8	62.8	59.4	55.4	55.9	52.7

表 4-3 I 公司十年間營業收入(單位 Billion)

2022	2021	2020	2019	2018	2017	2016	2015	2014	2013
12.7%	25.2%	26.8%	29.2%	29.7%	15.3%	17.4%	20.6%	20.9%	18.3%

表 4-4 I 公司十年間相對營業收入的營業淨利百分比

第三部分將針對導入區塊鏈的變動成本 bvc 及固定成本 BFC 量化，根據 Coutinho 等人的研究(2022)，針對區塊鏈點對點能源交易進行調查，該案例之區塊鏈應用為提升電網能源分配的效率，透過產銷者將多餘電力輸送至電網，供其他用戶以競價的方式提高能源運用效率。該研究結果顯示區塊鏈使用成本約佔家庭電力使用成本的 11%。在本研究的案例當中，若 I 公司在生產過程中導入區塊鏈應用，而生產製造特定產品數量所需要的電量可以根據 Kevin 等人的研究推估：區塊鏈成本為總電力成本的 11%。值得注意的是家庭電力使用量與產品製造的電力使用量有一定差距，而 Coutinho 等人的研究主要聚焦在區塊鏈導入後的點對點能源交易，因此隨著電量使用程度的提高，平均區塊鏈使用成本應相應提升。由於缺乏針對區塊鏈的變動成本之相關研究，本研究以 Coutinho 等人的研究為基礎，並對導入區塊鏈的變動成本 bvc 進行量化。已知 I 公司 2020 年的電力費用為 9.7 億美元，故電費相對於營業收入的佔比為 0.0149，故 $bvc = 0.0149 * 0.11 = 0.001639$ 。

而 BFC 的部分，根據不同的區塊鏈應用，前置的諮詢、設計以及開發等項目的規模會有所不同，根據提供區塊鏈設計公司網頁的網站，投資金額可能會落在 400,000 美元至 1,500,000 美元以上的範圍內(Blockchain for Supply Chain, 2024)。考慮到這個範圍，將投資金額取中間值，約為 950,000 美元，而此金額約占營業收入的 0.001463，故 BFC 數值為 0.00001463。經濟價值相關參數整理在下表 4-5。

a	b	MC	bvc	BFC
18.9104	30.93333	0.7839	0.01369	0.00001463

表 4-5 經濟價值參數值

4.1.2 綠色價值參數

在綠色價值的部分，首先針對每單位產品所產生的碳排放量成本 EC 進行量化。從 2022 年 I 公司的 CSR 報告書可得，I 公司的總碳排量為 2432.95

萬公噸，同時從 I 公司與 T 公司的 CSR 報告書皆指出兩間公司都傾向購買再生能源的碳權，故根據世界銀行統計資料，再生能源的碳權在 2022 年的平均價格約為每公噸 7.5 塊美金(State and Trends of Carbon Pricing 2023, 2023)。故若要消除 2432.95 萬公噸的碳排量，則需花費 1.825 億美金，為相對於營業收入 0.28%，則 EC 數值取 0.0028。

再來將對 T 公司範疇一比例 e_T 和 I 公司範疇一比例 e_I 量化，從章節二的表 2-4 可得，兩公司在範疇一和範疇三的數值，可找出 $e_T = 0.23015$ ， $e_I = 0.07026$ 。

最後對導入區塊鏈後，碳排放量減少之比例 α 進行量化。因無文獻佐證確切數字，在此先暫訂 α 值為 0.5，之後將進行敏感度分析。而綠色價值相關參數整理在下表 4-6。

EC	e_T	e_I	α
0.0028	0.23015	0.07025	0.5

表 4-6 綠色價值參數值

4.1.3 社會價值參數

在綠色價值的部分，首先著手討論兩公司的勞動生產率 W_T 及 W_I ，根據已知資料，T 公司在 2022 年的年產量為一千五百萬片，而員工人數為 73,090 人(台灣積體電路製造股份有限公司, 2023a)，故 W_T 初始值約為 205.22643。然而，對於 I 公司的晶片年產量，目前尚未有具體數據可供參考。為了彌補這個不足，本研究決定採用其他計算勞動生產力的方式。國際勞工組織提供了全球勞動生產力的衡量資料，其方法是以每單位勞動力（以就業人數或工作時間衡量）所產生的總產出（以國內生產毛額衡量）。根據這些數據，美國在 2023 年每小時工作產生的 GDP 為 70 美元，而台灣則為 57 美元(Statistics on labour productivity, 2023)。然而，這些數據涵蓋了所有產

業，故通過國際勞工組織提供的計算方式，將原先的產量改成營業額，即「T 公司的營業額/T 公司就業人數」以及「I 公司的營業額 /I 公司就業人數」的方式來計算 W_T 和 W_I ，提供一個相對準確的方式評估兩公司的勞動生產力水平。

已知 T 公司 2022 年的營業額為 2 兆 2523 億新台幣(台灣積體電路製造股份有限公司, 2023b)，約為 719.8 億美金，且該年度的員工人數為 73090 人(台灣積體電路製造股份有限公司, 2023a)；另一方面，I 公司 2022 年營業額為 631 億美金(Intel, 2023)，且該年度的員工人數為 131,900 人(Statista, 2023)。利用「公司的營業額 / 公司就業人數」之計算方式，得到 W_T 約為 984813.24，且 W_I 約為 478392.72，故假設 W_T 為 1，則此時 W_I 相對 W_T 之數值為 0.48576。

第二部分， t 為導入區塊鏈後，信任的上升幅度。原先未導入區塊鏈時信任為一單位，而導入後的信任幅度，因現有文獻皆指出導入後會上升，但無衡量導入後的上升幅度的相關文獻，故在此先假設 $t=0.5$ ，

最後則探討半導體業薪資 S ，從美國美國勞工統計局網站資料顯示，2022 年美國年平均薪資為 \$61,900(May 2022 National Occupational Employment and Wage Estimates, 2022)，而美國半導體業的年平均薪資為 \$82,830(May 2022 National Industry-Specific Occupational Employment and Wage Estimates

NAICS 334400 - Semiconductor and Other Electronic Component Manufacturing, 2022)，為平均薪資的 1.33812 倍，故取 $S=1.33812$ ，而下表 4-7 為社會價值參數表。

W_T	W_I	t	S
1	0.48576	0.5	1.33812

表 4-7 社會價值參數值



4.2 數值分析與模型驗證

將 4-1 小節所得的參數帶入模型後，可得以下表 4-8 各情境兩公司最佳產量，以及表 4-9 兩公司永續價值比較的結果，在圖 4-1 和圖 4-2 視覺化後，圖 4-3 為 T 公司與 I 公司各自導入區塊鏈技術與否的賽局示意圖，可以得出在導入區塊鏈與否的賽局中，賽局的 Nash 均衡解為 T 公司與 I 公司皆導入區塊鏈。

情境	Q_T	π_T	Q_I	π_I	Q_T/Q_I
一	0.290936913	1.309979584	0.216449789	1.449848521	1.344131191
二	0.302860031	1.418652956	0.210533488	1.37109987	1.438536137
三	0.278822503	1.201150949	0.234857830	1.70524904	1.187196968
四	0.290683663	1.315518024	0.227836515	1.620158457	1.275843180

表 4-8 情境一到四， Q_T 、 π_T 、 Q_I 、 π_I 及 Q_T/Q_I 之數值

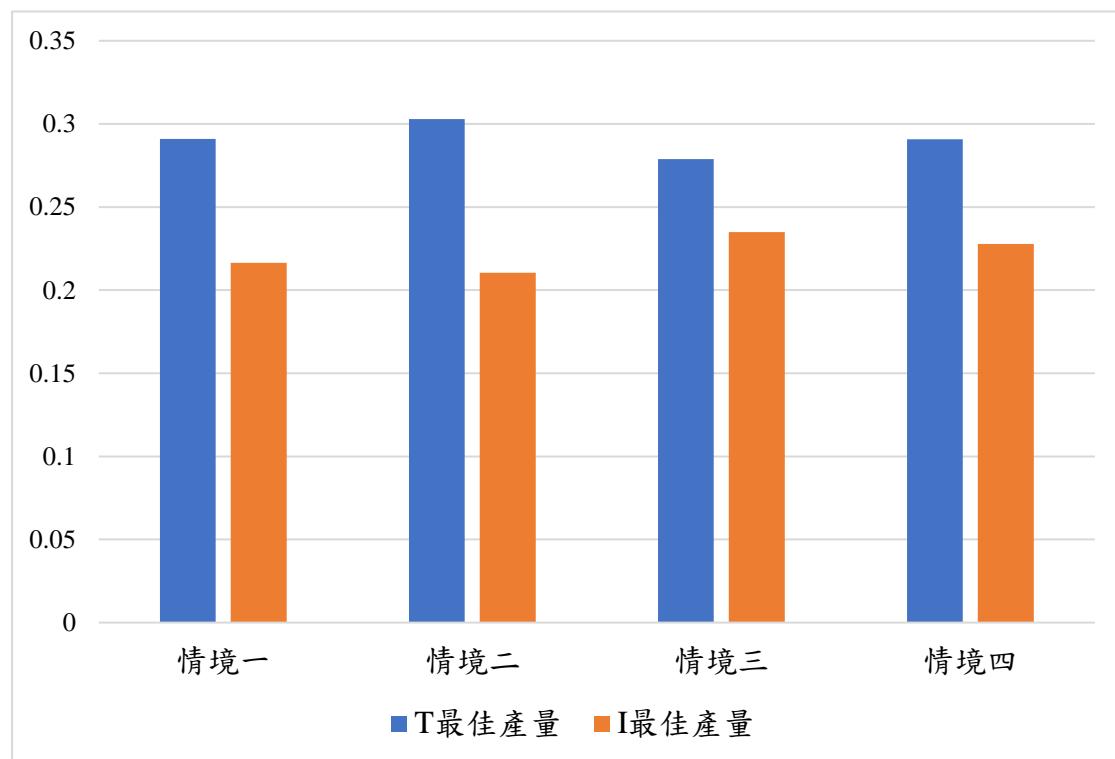


圖 4-1 各情境下 Q_T 和 Q_I 比較

情境	公司	永續價值	經濟價值	綠色價值	社會價值
一	T	1.309979584	0.707366030	-0.000814623	0.603428177
	I	1.449848521	0.526262640	-0.000606059	0.924191940
二	T	1.418652956	0.679569452	-0.000521589	0.739605093
	I	1.371099870	0.472758697	-0.000589494	0.898930667
三	T	1.201150949	0.623629802	-0.000780703	0.578301851
	I	1.705249040	0.524896424	-0.000351899	1.180704516
四	T	1.315518024	0.606149080	-0.000500618	0.709869563
	I	1.620158457	0.475093690	-0.000341379	1.145406146

表 4-9 情境一到四，兩公司的永續、經濟與社會價值之數值

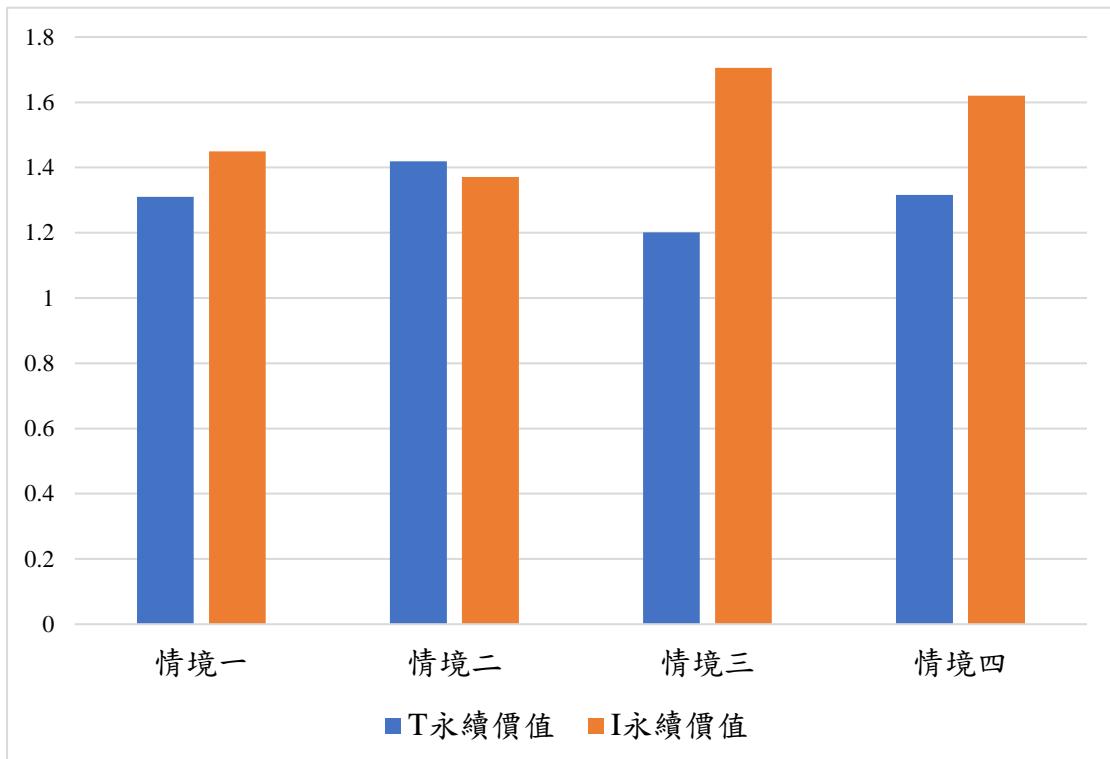


圖 4-2 各情境下，T 公司與 I 公司永續價值

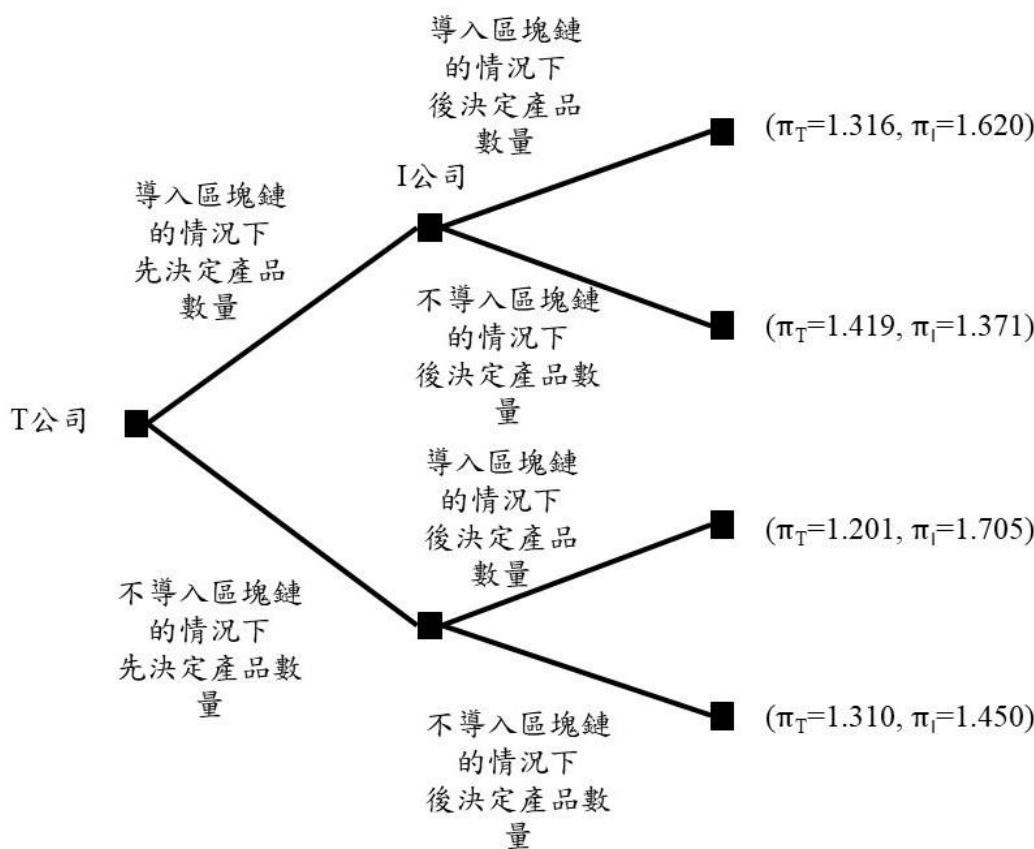


圖 4-3 T 公司和 I 公司賽局示意圖

根據以上數據，簡單總結導入區塊鏈對 T 公司和 I 公司的影響。導入區塊鏈對於導入方的永續價值有明顯增益，未導入方的永續價值則會有明顯下降。當兩公司都選擇導入區塊鏈時，T 公司的增長較少，而 I 公司的增幅則較多。以下將情境一至四的各項價值數值解析，分析在各情境下，兩公司的優劣勢。



4.2.1 情境一

情境	公司	永續價值	經濟價值	綠色價值	社會價值
一	T	1.309979584	0.707366030	-0.000814623	0.603428177
	I	1.449848521	0.526262640	-0.000606059	0.924191940

表 4-10 情境一下，兩公司各價值數值

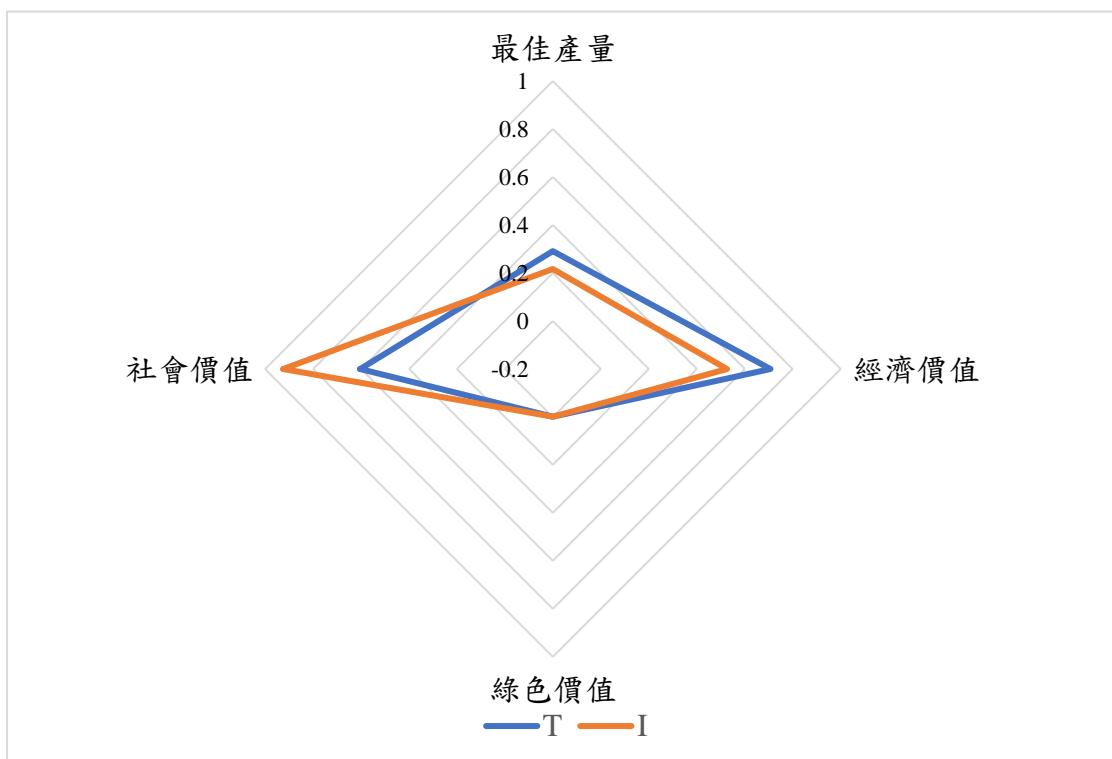


圖 4-4 情境一兩公司產量與各價值比較

在情境一中，兩家公司都未導入區塊鏈技術。T 公司的最佳生產量約為 I 公司的 1.3 倍，但 I 公司的永續價值高於 T 公司 0.14 個單位。

在整體的永續價值中，T 公司的經濟價值較高，而 I 公司的綠色價值和社會價值均高於 T 公司。推測 T 公司最佳生產量較高的原因是其在製程端具有領先優勢，進而在經濟價值方面領先 I 公司。綠色價值受生產數量影響，因此當 T 公司製造的產品數量較多時，其綠色價值較低。至於社會價值，由於 I 公司的勞動生產力較低，生產相同數量的產品需要更多的員工，進而創造較多的就業機會，這是 I 公司社會價值高於 T 公司的原因。



4.2.2 情境二

情境	公司	永續價值	經濟價值	綠色價值	社會價值
一	T	1.309979584	0.707366030	-0.000814623	0.603428177
	I	1.449848521	0.526262640	-0.000606059	0.924191940
二	T	1.418652956	0.679569452	-0.000521589	0.739605093
	I	1.371099870	0.472758697	-0.000589494	0.898930667

表 4-11 情境一和二下，兩公司各價值數值

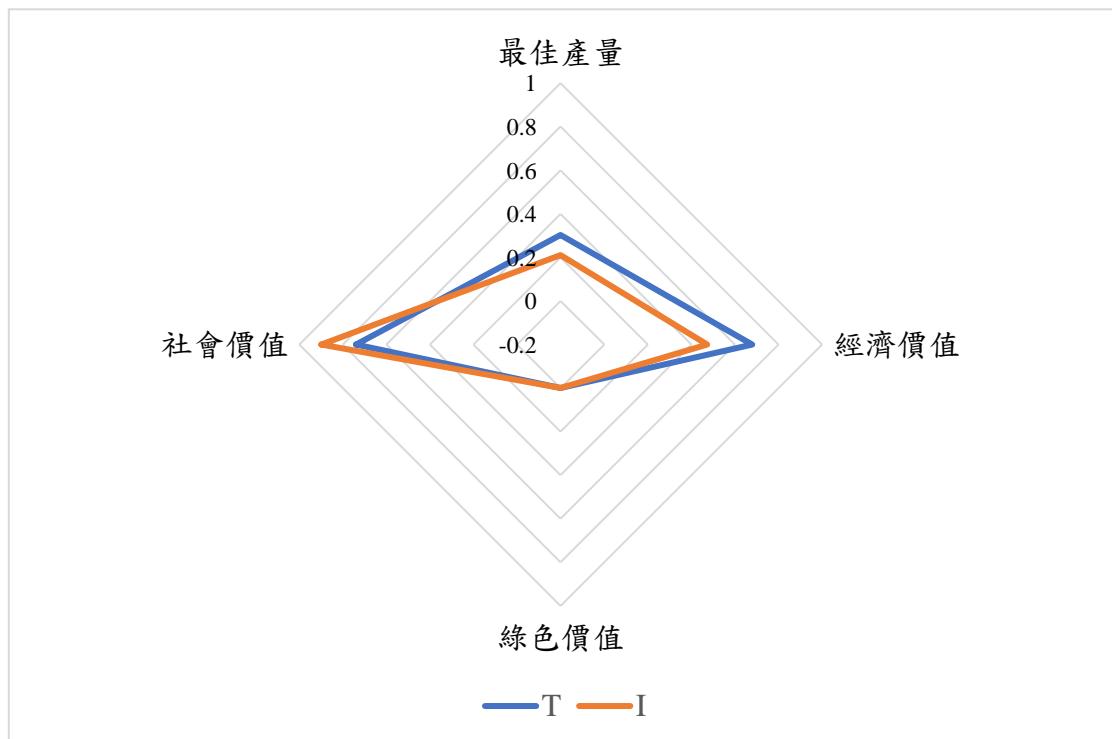


圖 4-5 情境二兩公司產量與各價值比較

在情境二中，當 T 公司導入區塊鏈但 I 公司未導入時，從表 4-8 可得，相比於情境一，T 公司的最佳生產量上升至 I 公司的 1.43 倍，從表 4-11 可得永續價值上升 0.1 單位，此時 T 公司的永續價值高於 I 公司 0.04 個單位，而從圖 4-5 可看出此 0.04 單位的差距主要來自於經濟價值的大幅貢獻。

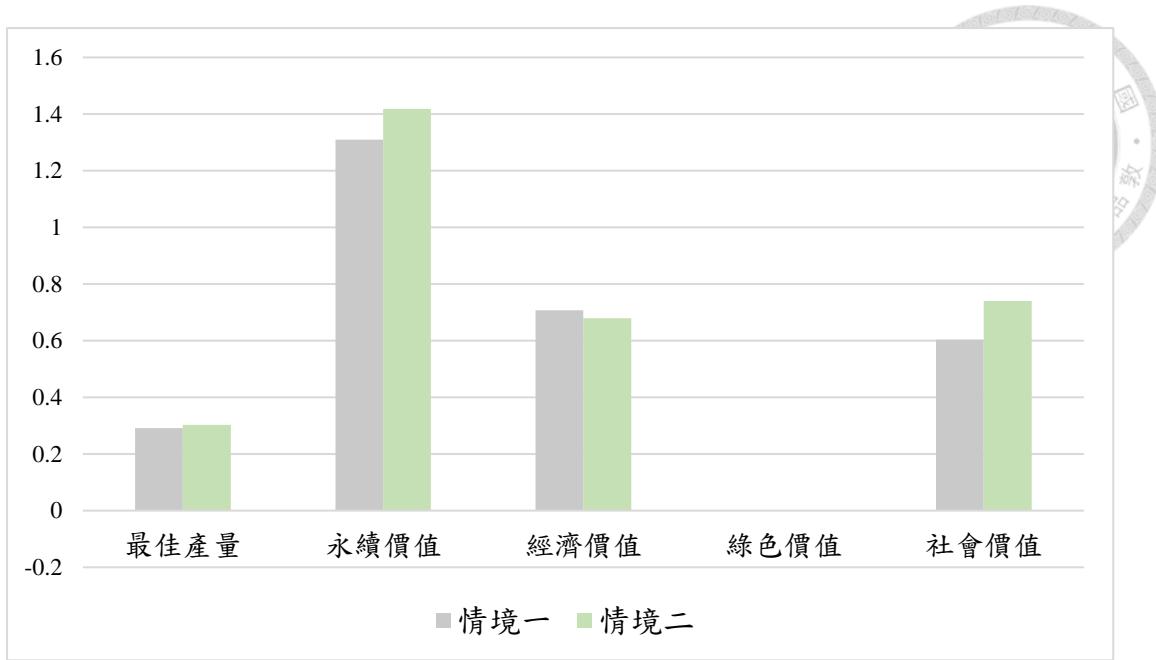


圖 4-6 T 公司情境一和二的各數值相比

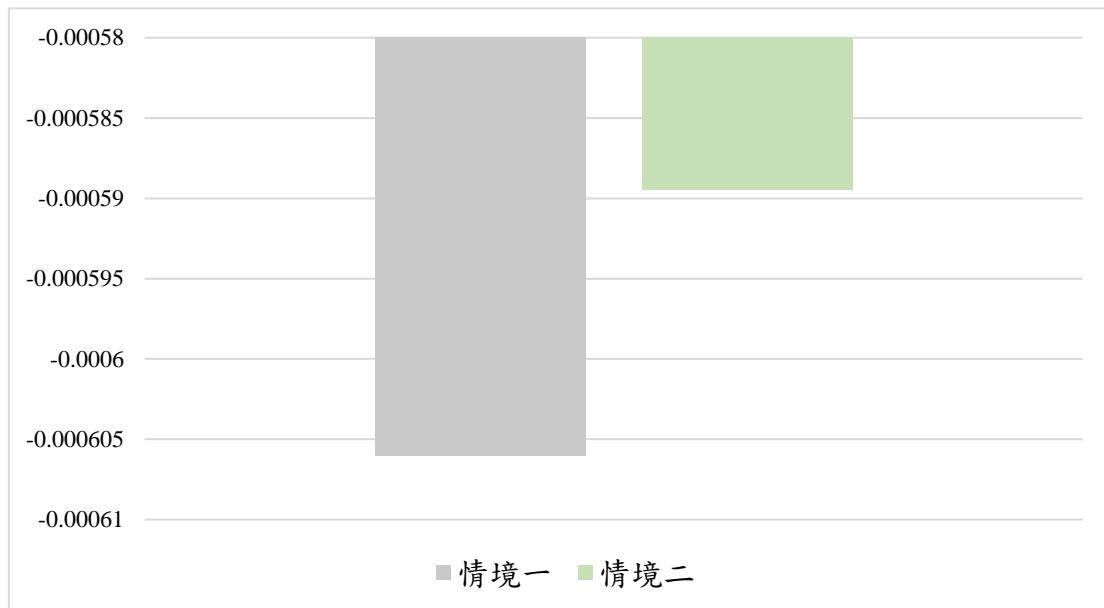


圖 4-7 T 公司情境一和二的綠色價值

從上方圖 4-6 和圖 4-7 表，可看出相較情境一，T 公司的各項數值相對變化。T 公司最佳生產量上升了 0.01 個單位，然而經濟價值略降低了 0.02 個單位，但綠色價值上升了 0.0003 個單位，社會價值上升了 0.13 個單位。

在經濟價值部分，從表 4-11 得知，引入區塊鏈後兩家公司的經濟價值皆下降。從第三章設立的 T 公司的經濟價值公式(6.1)可得知，可能導致 T 公司經濟

價值下降因素的有兩個。首先，第一個是兩家公司的最佳生產量，因為最佳生產量的變動會導致市場價格變動，從而影響經濟價值。其次，是導入區塊鏈的成本。



$$T\text{公司經濟價值} = [a - b \cdot Q_T - b \cdot Q_I - MC - bvc] \cdot Q_T - BFC \quad (6.1)$$

然而，無法從上圖 4-6 中的變化得知經濟價值下降的確切原因。因此，在下圖 4-8 中整理了情境一和情境二的市場產品總和，同時在下表 4-12 中整理了不包含引入區塊鏈成本的經濟價值。從下方圖 4-8 中可以看出，與情境一相比，情境二中兩家公司的最佳產量總和增加，即市場供給量增加，導致市場價格下跌。另一方面，從下表 4-12 中可以看出，區塊鏈成本對經濟價值的影響微乎其微。因此，導致兩家公司經濟價值下降的原因在於情境二中 T 公司生產數量增加的量大於 I 公司減少的量，導致市場價格降低，進而使得兩家公司的經濟價值降低。

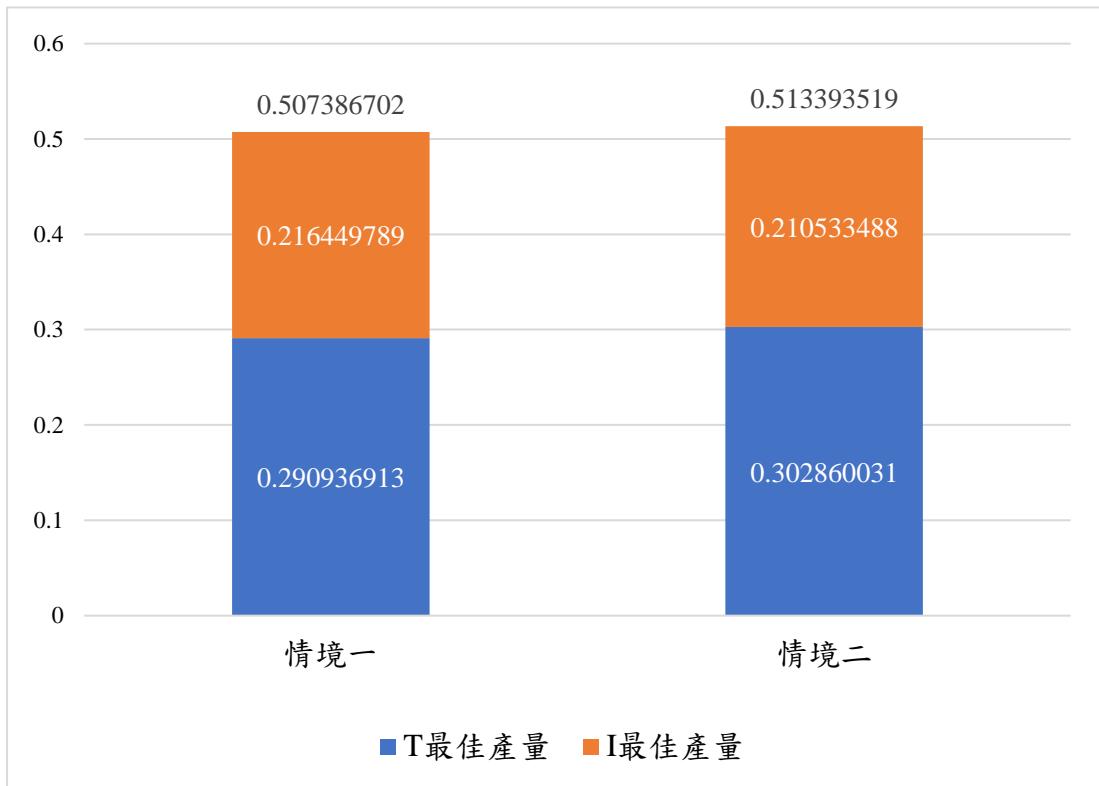


圖 4-8 兩公司情境一和二時，最佳產品數量及其總和

情況	公司	經濟價值(不含導入區塊鏈的變動與固定成本)	經濟價值
二	T	0.68016542	0.67965446
三	I	0.525607475	0.52520797
四	T	0.60621421	0.60572312
	I	0.47520201	0.47481390

表 4-12 導入區塊鏈時，包括與不包括區塊鏈成本的經濟價值

在綠色價值方面，在情境二下，T 公司的最佳生產量增加，而 I 公司的最佳生產量減少。如果沒有引入區塊鏈技術，預計 T 公司的碳排放量應該會增加。然而，從圖 4-7 可以看出，相反的情況發生了：在情境二下，T 公司在增加生產量的同時，其碳排放量卻相對減少了，故可以歸納原因為區塊鏈技術的導入。因此可以得知，相比未引入區塊鏈技術的 I 公司，區塊鏈技術的應用有效地幫助 T 公司減少了碳排放量。

最後在社會價值，情境二下 T 公司的最佳生產量上升，進而增加了供應鏈夥伴之間的信任，以及提供的就業機會，使得 T 公司的社會價值提高。

導入區塊鏈的影響有效地提高了綠色價值和社會價值，這也是 T 公司在情境二中整體永續價值上升的主要原因，顯示區塊鏈的導入提高了 T 公司的競爭力。

4.2.3 情境三

情境	公司	永續價值	經濟價值	綠色價值	社會價值
一	T	1.309979584	0.707366030	-0.000814623	0.603428177
	I	1.449848521	0.526262640	-0.000606059	0.924191940
三	T	1.201150949	0.623629802	-0.000780703	0.578301851
	I	1.705249040	0.524896424	-0.000351899	1.180704516

表 4-13 情境一和三下，兩公司各價值數值

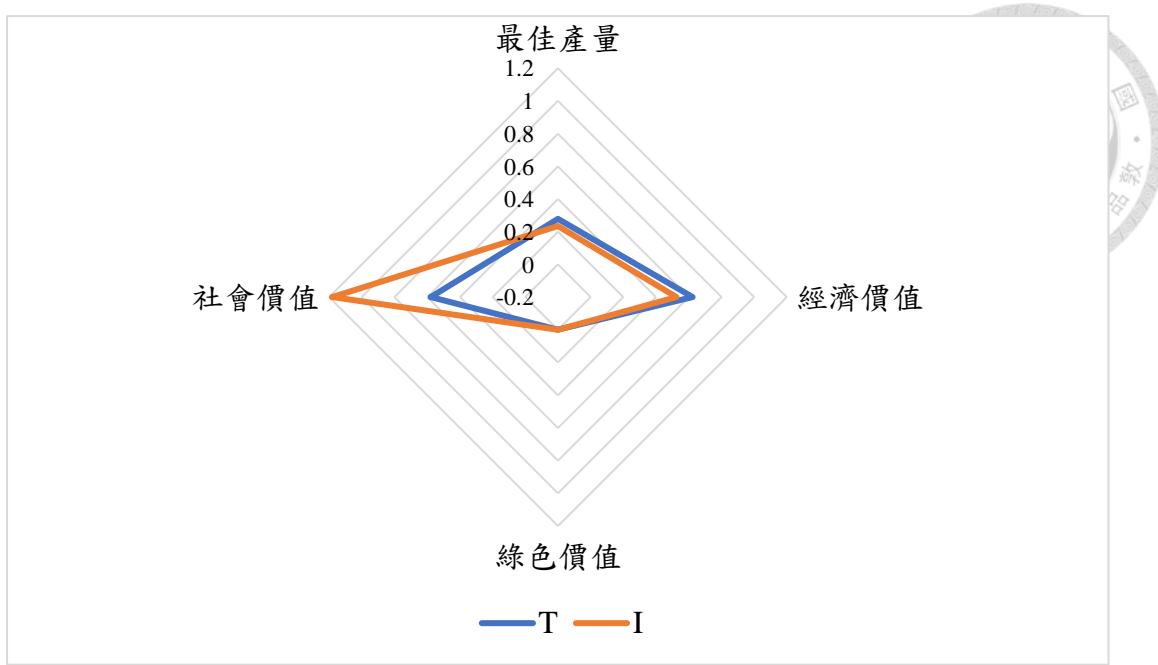


圖 4-9 情境三兩公司產量與各價值比較

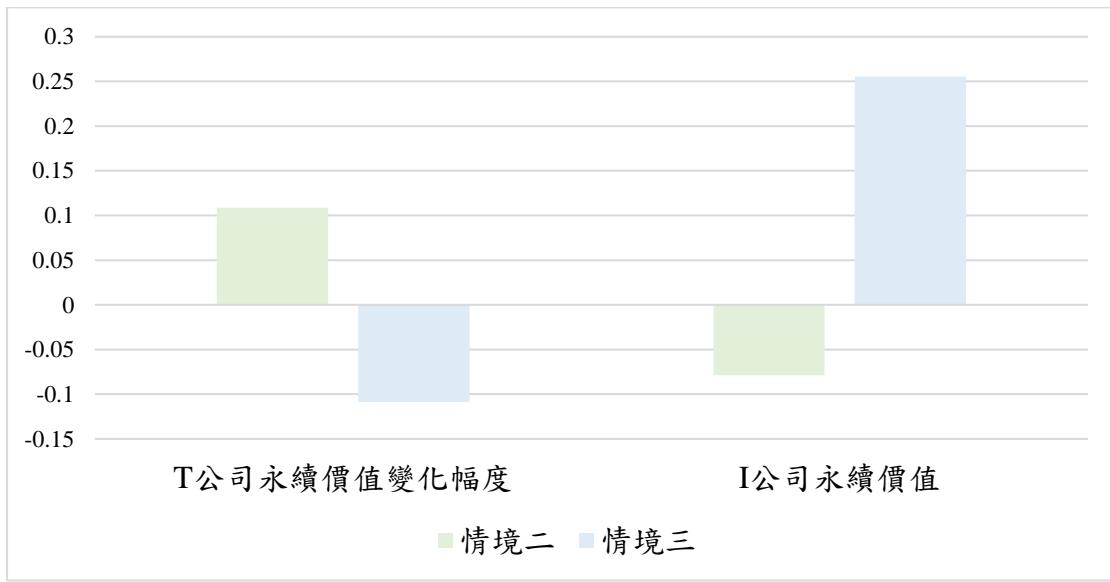


圖 4-10 相對情境一，情境二和三各自導入區塊鏈後，對於永續價值之變化

在情境三中，當 T 公司不導入區塊鏈，而 I 公司導入時，從表 4-8 可知，T 公司的最佳生產量下降至 I 公司的 1.187 倍。同時，從上方表 4-13 得知，I 公司的永續價值相較情境一上升 0.25 單位，而從上方圖 4-10 可得知，相比於 T 公司導入區塊鏈只上升 0.1 單位，導入區塊鏈對於 I 公司的永續價值受益較多，從上方圖 4-9 可看出，該增益主要來自於 I 公司社會價值的提升。

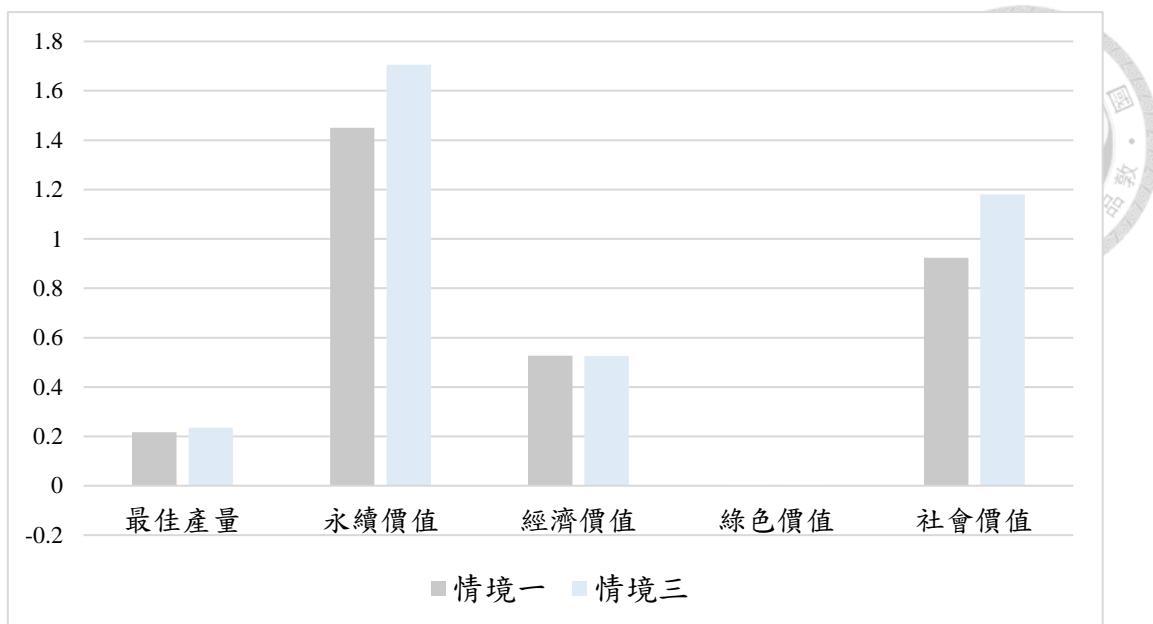


圖 4-11 I 公司情境一和三的各數值相比

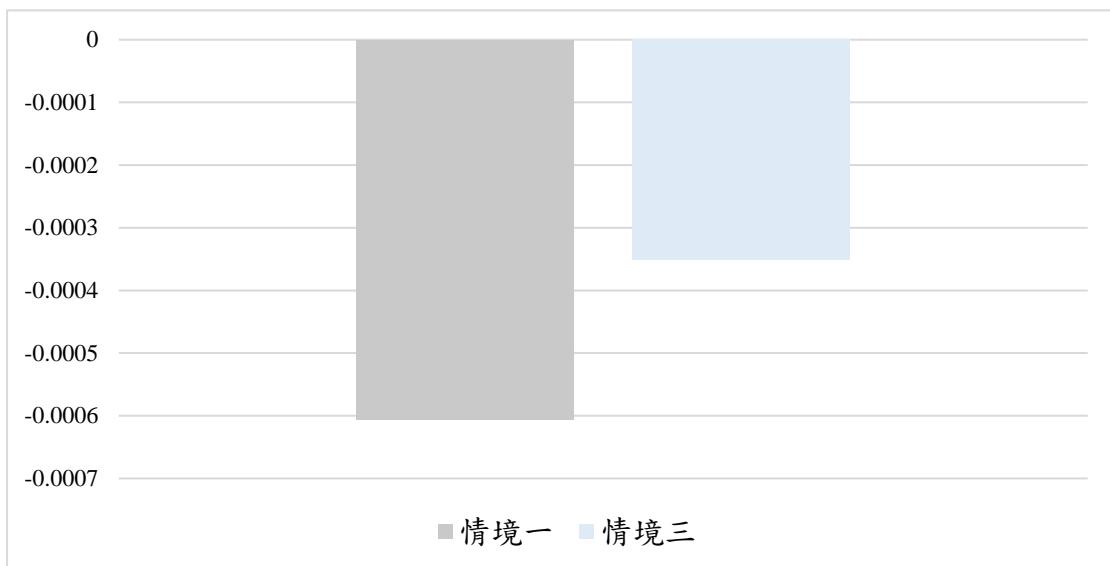


圖 4-12 I 公司情境一和三的綠色價值

從上方圖 4-11 和圖 4-12 表，可看出相較情境一，I 公司的各項數值相對變化。I 公司的最佳生產量上升了 0.02 單位，而永續價值中的經濟價值下降了 0.002 單位，綠色價值上升了 0.00025 單位，而社會價值上升了 0.257 單位。

在經濟價值部分，從表 4-13 可得，導入區塊鏈後兩家公司的經濟價值皆下降。從第三章設立的 T 公司的經濟價值公式下(6.2)可得知，可能導致 I 公司經

濟價值下降因素的有兩個。首先，第一個是兩家公司的最佳生產量，因為最佳生產量的變動會導致市場價格變動，從而影響經濟價值。其次，是導入區塊鏈的成本。



$$T\text{公司經濟價值} = [a - b \cdot Q_T - b \cdot Q_I - MC - bvc] \cdot Q_I - BFC \quad (6.2)$$

然而，在情境二中的表 4-12 已得知區塊鏈成本對於經濟價值的影響微乎其微，故影響的可能原因只有產能變動。從下方圖 4-13 中可以看出，與情境一相比，情境三中兩家公司的最佳產量總和增加，即市場供給量增加，導致市場價格下跌。因此，導致兩家公司經濟價值下降的原因在於情境二中 I 公司生產數量增加的量大於 T 公司減少的量，導致市場價格降低，進而使得兩家公司的經濟價值降低。

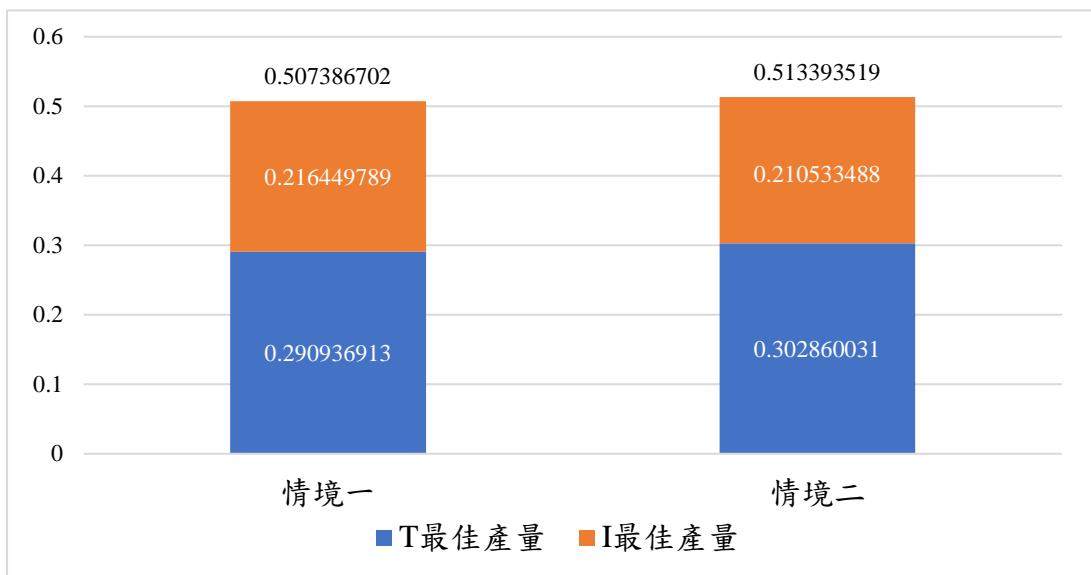


圖 4-13 兩公司情境一和三時，最佳產品數量及其總和

在綠色價值方面，情境三下，T 公司的最佳生產量減少，而 I 公司的最佳生產量增加。如果沒有引入區塊鏈技術，預計 I 公司的碳排放量應該會增加。然而，從圖 4-12 可以看出，相反的情況發生了：情境三 I 公司在增加生產量的同時，其碳排放量卻相對減少了，故可以歸納原因為區塊鏈技術的導入。因此可以得知，相比未引入區塊鏈技術的 T 公司，區塊鏈技術的應用有效地幫助 T



公司減少了碳排放量。

最後在社會價值，情境三 I 公司的最佳生產量上升，進而增加了供應鏈夥伴之間的信任，以及提供的就業機會，使得 I 公司的社會價值提高。

導入區塊鏈的影響有效地提高了綠色價值和社會價值，這也是 I 公司在情境三中整體永續價值上升的主要原因，顯示區塊鏈的導入提高了 I 公司的競爭力。

4.2.4 情境四

情境	公司	永續價值	經濟價值	綠色價值	社會價值
一	T	1.309979584	0.707366030	-0.000814623	0.603428177
	I	1.449848521	0.526262640	-0.000606059	0.924191940
四	T	1.315518024	0.606149080	-0.000500618	0.709869563
	I	1.620158457	0.475093690	-0.000341379	1.145406146

表 4-14 情境四下，兩公司各價值數值

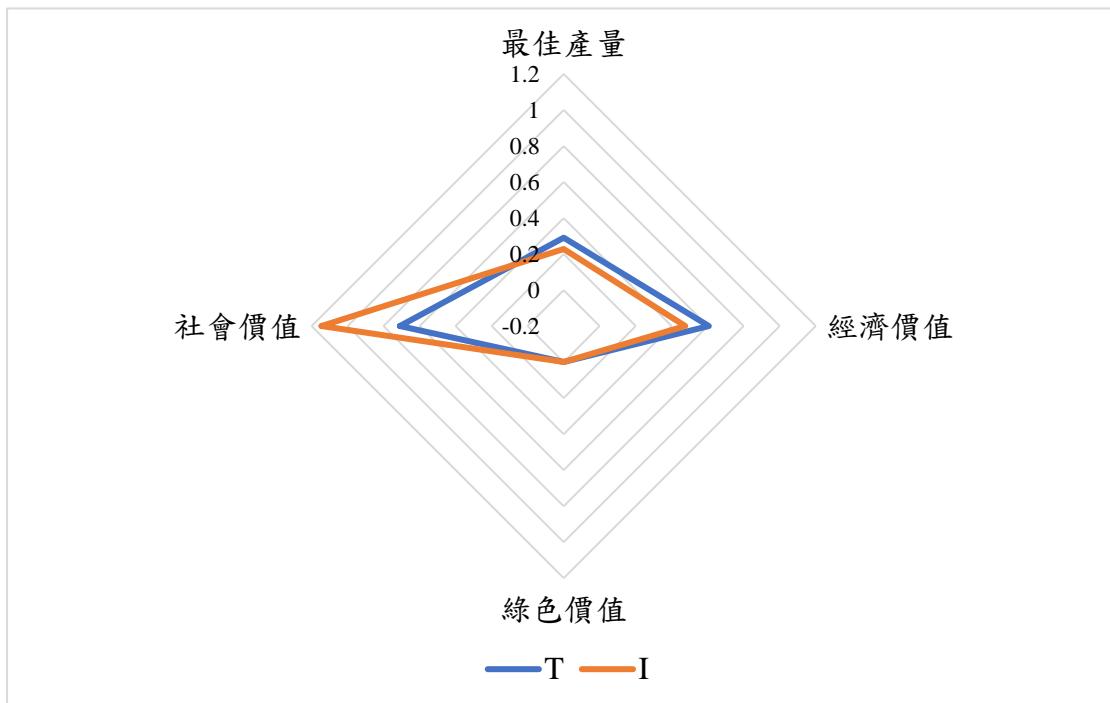


圖 4-14 情境四兩公司產量與各價值比較

在情境四中，當兩家公司都導入區塊鏈時，相較於情境一，T 公司的最佳生產量下降了 0.0003 單位，I 公司最佳生產量則上升了 0.011 單位，即 T 公司的最佳生產量下降至 I 公司的 1.27 倍。然而永續價值方面，相較情境一，T 公司的永續價值上升 0.005 個單位，而 I 公司的永續價值上升 0.171 個單位，顯示導入區塊鏈對於 I 公司的影響更為正向。

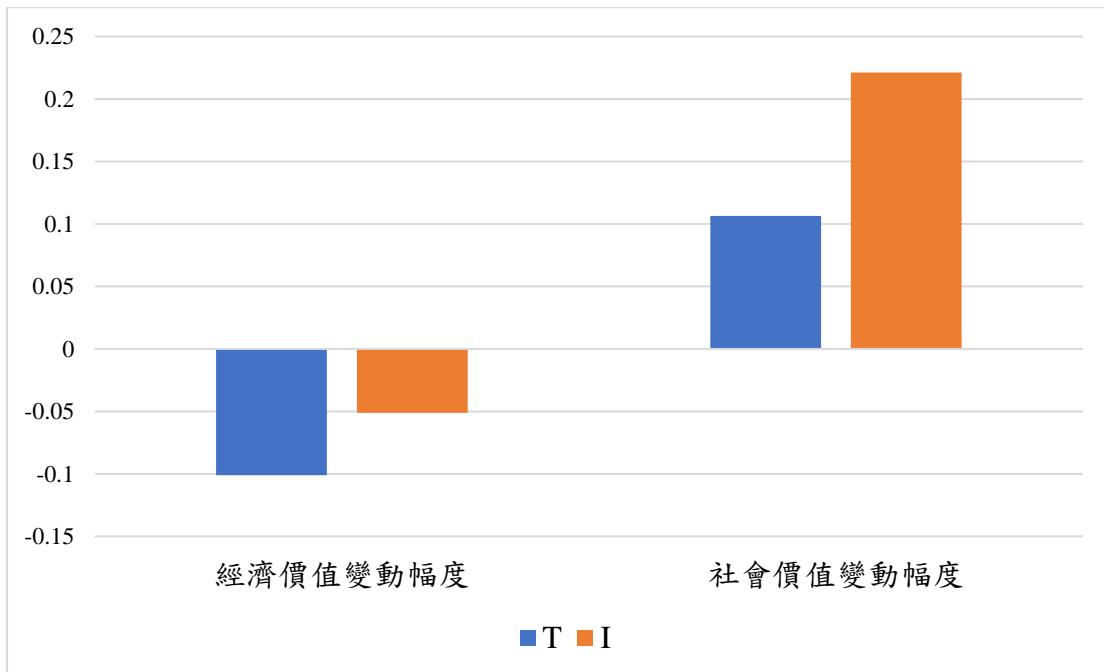


圖 4-15 相對情境一，兩公司在情境四經濟與社會價值變動幅度

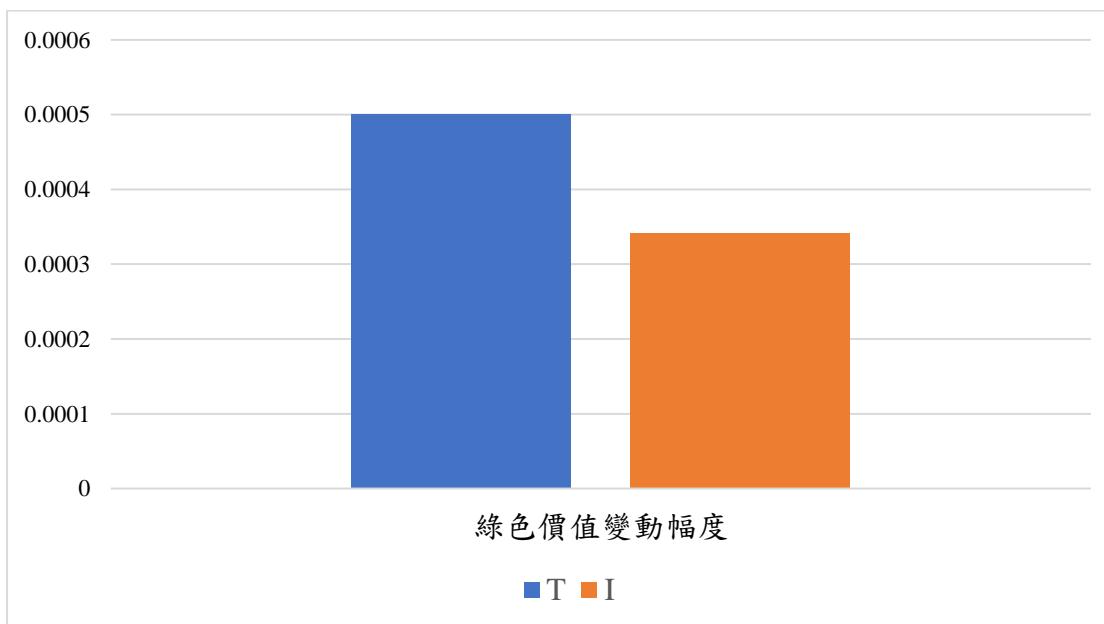


圖 4-16 相對情境一，兩公司在情境四綠色價值變動幅度

從圖 4-15 和圖 4-16 可看出，當 T 公司和 I 公司同時引入區塊鏈技術時，相對於情境一，就經濟價值而言，兩家公司都有所下降。T 公司的減少量為 0.1 單位，而 I 公司下降了 0.051 單位。然而，在綠色價值方面，兩家公司均出現增長，T 公司的增長為 0.00031 單位，而 I 公司則增長了 0.00026 單位。至於社會價值，同樣地，兩家公司均有所提升。T 公司的提升為 0.1064 單位，而 I 公司的提升則為 0.2212 單位。

在導入區塊鏈與否的賽局中，兩公司雖然都會選擇導入區塊鏈，但從經濟層面來看，兩公司的預期財務收益會下降，主要是 I 公司最佳生產量上升，使得兩公司的產品數量上升，進而使市場價格下降，造成收益減少。然而，在綠色價值方面，隨著區塊鏈的導入，減少範疇三的碳排放，使得兩公司的碳排成本下降，綠色價值上升。最後是社會層面，從圖 4-15 可看出 T 公司上升幅度小於 I 公司上升幅度。對於 T 公司來說，情境四的生產數量下降會減少就業機會，然而導入區塊鏈會增加供應鏈夥伴間的信任，在消長之間使得 T 公司情境四的社會價值跟情境一相比仍呈現正成長。而對於 I 公司來說，社會價值成長因素包括隨著產量增加而帶來的就業機會增加，以及與供應鏈夥伴之間信任的提升等正面影響。綜合而言，區塊鏈對於 T 公司和 I 公司的整體永續價值仍然呈現正向影響。

儘管在是否導入區塊鏈的策略遊戲中，Nash 均衡解為情境四，即兩家公司均採用區塊鏈技術。然而，通過比較圖 4-2 內情境一和情境四的值，可以觀察到導入區塊鏈對於 I 公司的永續價值增長較為顯著，而 T 公司僅略有增長 0.006 單位，對於 T 公司來說導入區塊鏈的吸引力較小。因此，當 T 公司在美國設廠開始生產製造後，相對於 T 公司，I 公司對於導入區塊鏈會感到更為迫切。可以推測未來將是由 I 公司率先採用區塊鏈技術，而 T 公司將會迅速跟進。



4.3 敏感度分析

在第 4-1 節的參數設定中，由於現有的資料和文獻尚未針對某些參數進行量化，因此在這一節中，將對這些參數進行敏感度分析，以探索參數與永續價值之間的關係。

4.3.1 α 參數

首先，對導入區塊鏈後的範疇三碳排放下降比例 α 進行敏感度分析。當 α 值為 1 時，表示區塊鏈的導入對第三範疇的碳排放沒有任何影響，即與未導入區塊鏈時相同。在其他參數保持不變的情況下，將以 0.05 的間隔持續降低 α 值，直至降至 0，這意味著引入區塊鏈可以將範疇三的碳排放降至零。將 T 公司與 I 公司在不同情境下，隨著 α 值變化的永續價值，整理在表 4-15 及表 4-16。需要注意的是，情境一中兩公司皆未導入區塊鏈，因此情境一的永續價值不會隨著 α 值的變化而有所變動

α	情況一 π_T	情況二 π_T	情境三 π_T	情境四 π_T
1	1.30997958	1.41832656	1.20151394	1.31481244
0.95	1.30997958	1.41835919	1.20147764	1.31488300
0.9	1.30997958	1.41839183	1.20144135	1.31495356
0.85	1.30997958	1.41842447	1.20140505	1.31502412
0.8	1.30997958	1.41845711	1.20136875	1.31509468
0.75	1.30997958	1.41848975	1.20133245	1.31516524
0.7	1.30997958	1.41852239	1.20129615	1.31523580
0.65	1.30997958	1.41855503	1.20125985	1.31530636
0.6	1.30997958	1.41858767	1.20122355	1.31537691
0.55	1.30997958	1.41862031	1.20118725	1.31544747
0.5	1.30997958	1.41865296	1.20115095	1.31551802
0.45	1.30997958	1.41868560	1.20111465	1.31558858
0.4	1.30997958	1.41871824	1.20107834	1.31565913
0.35	1.30997958	1.41875088	1.20104204	1.31572969
0.3	1.30997958	1.41878353	1.20100573	1.31580024

α	情況一 π_T	情況二 π_T	情境三 π_T	情境四 π_T
0.25	1.30997958	1.41881617	1.20096943	1.31587079
0.2	1.30997958	1.41884881	1.20093312	1.31594134
0.15	1.30997958	1.41888146	1.20089682	1.31601189
0.1	1.30997958	1.41891410	1.20086051	1.31608244
0.05	1.30997958	1.41894675	1.20082420	1.31615299
0	1.30997958	1.41897939	1.20078789	1.31622354

表 4-15 α 下降比例對 T 公司永續價值影響

α	情況一 π_I	情況二 π_I	情境三 π_I	情境四 π_I
1	1.44984852	1.37132679	1.70509631	1.61976684
0.95	1.44984852	1.37130410	1.70511158	1.61980601
0.9	1.44984852	1.37128140	1.70512686	1.61984518
0.85	1.44984852	1.37125871	1.70514213	1.61988435
0.8	1.44984852	1.37123602	1.70515740	1.61992351
0.75	1.44984852	1.37121333	1.70517268	1.61996267
0.7	1.44984852	1.37119064	1.70518795	1.62000184
0.65	1.44984852	1.37116794	1.70520322	1.62004099
0.6	1.44984852	1.37114525	1.70521850	1.62008015
0.55	1.44984852	1.37112256	1.70523377	1.62011930
0.5	1.44984852	1.37109987	1.70524904	1.62015846
0.45	1.44984852	1.37107718	1.70526431	1.62019761
0.4	1.44984852	1.37105449	1.70527958	1.62023675
0.35	1.44984852	1.37103180	1.70529486	1.62027590
0.3	1.44984852	1.37100911	1.70531013	1.62031504
0.25	1.44984852	1.37098642	1.70532540	1.62035419
0.2	1.44984852	1.37096373	1.70534067	1.62039333
0.15	1.44984852	1.37094104	1.70535594	1.62043246
0.1	1.44984852	1.37091835	1.70537121	1.62047160
0.05	1.44984852	1.37089566	1.70538648	1.62051073
0	1.44984852	1.37087297	1.70540175	1.62054986

表 4-16 α 下降比例對 I 公司永續價值影響

根據表 4-15 及表 4-16 的數據， α 的變動對於 T 公司及 I 公司在四種情境下永續價值影響的變動並不大，且並不會造成特定情境的永續價值排序改變，因此兩公司仍會皆選擇導入區塊鏈技術。

進一步觀察情境四下兩公司的永續價值，在表 4-17 中使用折線圖來呈現。從表中可以看出，T 公司的斜率較大，亦即隨著 α 值變化時，T 公司的永續價值增加量大於 I 公司。因此將兩公司在 α 為 1 和 0 時的三種價值、其相差的數值以及更迭幅度整理在表 4-18 和表 4-19 中。

	T 公司	I 公司
當斜率 α 從 1 降至 0， 永續價值斜率	0.00107323	0.0004834

表 4-17 情境四，T 公司與 I 公司永續價值變化

α	Q_T	經濟價值	綠色價值	社會價值	π_T
1	0.29069747	0.60572312	-0.00081395	0.70990327	1.31481244
0	0.290669861	0.606574994	-0.000187313	0.709835856	1.316223536
差	-0.00002761	0.00085187	0.00062664	-0.00006741	0.00141110
幅度	-0.000094%	0.001406%	0.769875%	-0.000094%	0.001073%

表 4-18 情境四 α 值為 1 和 0 時 T 公司各細項數值

α	Q_I	經濟價值	綠色價值	社會價值	π_I
1	0.22787328	0.47481390	-0.00063805	1.14559099	1.61976684
0	0.227799747	0.475373367	-0.00004481	1.145221304	1.620549863
差	-0.00007354	0.00055947	0.00059324	-0.00036968	0.00078302
幅度	-0.000323%	0.001178%	0.929770%	-0.000323%	0.000483%

表 4-19 情境四 α 值為 1 和 0 時 I 公司各細項數值

透過以上兩張表，首先觀察 α 值與經濟價值之間關係，可以看到當 α 值越

小時，兩家公司的最佳生產量卻呈現下降趨勢，且 I 公司的生產量下降幅度更為明顯。當兩家公司的生產量都下降時，市場價格會上升，這解釋了在 α 值降低的情況下，雖然最佳生產量減少，但經濟價值卻提高的原因。由於 I 公司的最佳生產量下降得更多，所以其經濟價值提升的幅度較公司 T 少。

再來則觀察 α 值與綠色價值之間關係，當 α 值越小時，可以觀察到 I 公司在綠色價值上升的幅度更大。這是因為 I 公司在範疇三的碳排放比例高達 92.975%，而公司 T 的範疇三碳排放比例僅為 76.985%。因此，當 α 值為 0 時，表示兩家公司的碳排放只剩下範疇一的部分，意味著 I 公司碳排有較大幅度的減少，這就解釋了為何 I 公司的綠色價值上升幅度大於 T 公司的原因。至於 T 公司綠色價值上升的差異大於 I 公司的原因，主要是因為 T 公司的最佳產量大於 I 公司。因此，當 α 值為 0 時，範疇三的碳排放量減少幅度較大，導致隨著 α 值下降，T 公司綠色價值下降的差異會大於 I 公司。

最後，觀察 α 值與社會價值之間的關係。因為當 α 值下降時，兩間公司的最佳生產數量 Q 會隨之下降，其中 Q_I 下降幅度較大，即可提供的工作機會也跟著減少，使得最佳產量 Q 下降幅度等於公司的社會價值下降幅度，同時 I 公司的社會價值下降幅度會比 T 公司更多。

綜合以上 α 值與經濟、綠色及社會價值的關係，可以得出以下的小結，作為未來當市場或其他公司借用此模型的參考之處。

1. α 值在 1 到 0 的變動下，賽局的均衡解仍會維持在情境四不變。
2. 當 α 值越小時，T 公司的永續價值增加量大於 I 公司，原因主要來自於經濟價值增加量。
3. 在此模型中， α 值與兩公司的生產數量呈現正相關，亦即當 α 值越小時，兩公司的生產量皆越小。而 Q_T 又會影響三個面向的價值，當 α 值下降時，兩家公司的生產量都下降，進而使得經濟與綠色價值上升，但社會價值下降。
4. 範疇三碳排比例越高的企業，導入區塊鏈技術能使其綠色價值上升的

幅度更大。

4.3.2 t 參數

在參數 t 的部分，首先同樣對區塊鏈導入後供應鏈的信任關係提升單位的參數 t ，進行敏感度分析。當 t 為 0 時，表示區塊鏈的導入對供應鏈夥伴對導入區塊鏈公司的信任關係沒有任何影響，即與未導入區塊鏈時相同。在其他參數保持不變的情況下，將持續以 0.05 的間隔提升 t 值直至 1，意味著導入區塊鏈可以將信任關係提升為原先的 2 倍。並將 T 公司與 I 公司在不同情境下，隨著 t 值變化的永續價值，整理在表 4-20 及表 4-21，其中兩公司在情境一皆未導入區塊鏈，故情境一的永續價值皆不會隨著 t 值更變而有所變動。

(請見下頁表 4-20 及表 4-21)



t	情況一 π_T	情況二 π_T	情境三 π_T	情境四 π_T
0	1.30997958	1.30939438	1.30902436	1.30864468
0.05	1.30997958	1.32012325	1.29802831	1.30933293
0.1	1.30997958	1.33089589	1.28707864	1.31002097
0.15	1.30997958	1.34171231	1.27617535	1.31070881
0.2	1.30997958	1.35257251	1.26531844	1.31139645
0.25	1.30997958	1.36347648	1.25450791	1.31208388
0.3	1.30997958	1.37442422	1.24374376	1.31277112
0.35	1.30997958	1.38541574	1.23302599	1.31345815
0.4	1.30997958	1.39645104	1.22235460	1.31414498
0.45	1.30997958	1.40753011	1.21172958	1.31483160
0.5	1.30997958	1.41865296	1.20115095	1.31551802
0.55	1.30997958	1.42981958	1.19061870	1.31620424
0.6	1.30997958	1.44102998	1.18013282	1.31689026
0.65	1.30997958	1.452284148	1.16969332	1.31757608
0.7	1.30997958	1.46358210	1.15930021	1.31826169
0.75	1.30997958	1.47492382	1.14895347	1.31894710
0.8	1.30997958	1.48630932	1.13865312	1.31963231
0.85	1.30997958	1.49773859	1.12839914	1.32031731
0.9	1.30997958	1.50921164	1.11819154	1.32100212
0.95	1.30997958	1.52072846	1.10803032	1.32168672
1	1.30997958	1.53228906	1.09791548	1.32237112

表 4-20 t 值比例對 T 公司永續價值影響

t	情況一 π_I	情況二 π_I	情境三 π_I	情境四 π_I
0	1.44984852	1.44966700	1.44888818	1.44912134
0.05	1.44984852	1.44171179	1.47358508	1.46579911
0.1	1.44984852	1.43377847	1.49849069	1.48257154
0.15	1.44984852	1.42586704	1.52360501	1.49943862
0.2	1.44984852	1.41797749	1.54892803	1.51640035
0.25	1.44984852	1.41010984	1.57445977	1.53345674
0.3	1.44984852	1.40226407	1.60020021	1.55060778
0.35	1.44984852	1.39444019	1.62614935	1.56785347
0.4	1.44984852	1.38663819	1.65230721	1.58519381
0.45	1.44984852	1.37885809	1.67867377	1.60262881
0.5	1.44984852	1.37109987	1.70524904	1.62015846
0.55	1.44984852	1.36336354	1.73203302	1.63778276
0.6	1.44984852	1.35564910	1.75902570	1.65550171
0.65	1.44984852	1.34795654	1.78622709	1.67331532
0.7	1.44984852	1.34028587	1.81363719	1.69122358
0.75	1.44984852	1.33263709	1.84125600	1.70922650
0.8	1.44984852	1.32501020	1.86908351	1.72732406
0.85	1.44984852	1.31740520	1.89711973	1.74551628
0.9	1.44984852	1.30982208	1.92536466	1.76380315
0.95	1.44984852	1.30226085	1.95381830	1.78218468
1	1.44984852	1.29472151	1.98248064	1.80066086

表 4-21 t 值上升對 I 公司永續價值影響

利用折線圖呈現表 4-20 及表 4-21 的數據，在同樣間距下繪製了下圖 4-17 及圖 4-18。從圖表中資訊可以得知，在 T 公司的部分，當 t 值為 0 和 0.05 時，情境一的永續價值大於情境四的永續價值，而當 t 為大於等於 0.1 的數值時，情境四的永續價值大於情境一的永續價值；另一方面，對於 I 公司，當 t 值為 0 時，情境一的永續價值大於情境四的永續價值，而當 t 為大於等於 0.05 的數值時，情境四的永續價值大於情境一的永續價值。此時情境二跟情境三均不可能是賽局結果，因為從圖 4-17 和圖 4-18 可以看出，當只有對方導入區塊鏈而自己沒導入時，此時己方的永續價值會在四種情境中敬陪末座，唯有己方也導入區塊鏈，才能使己方的永續價值與上升，故在此賽局可得，可能的 Nash 均衡結果只有情境一和四。當 t 值不同時，賽局理論的均衡結果也可能不同。

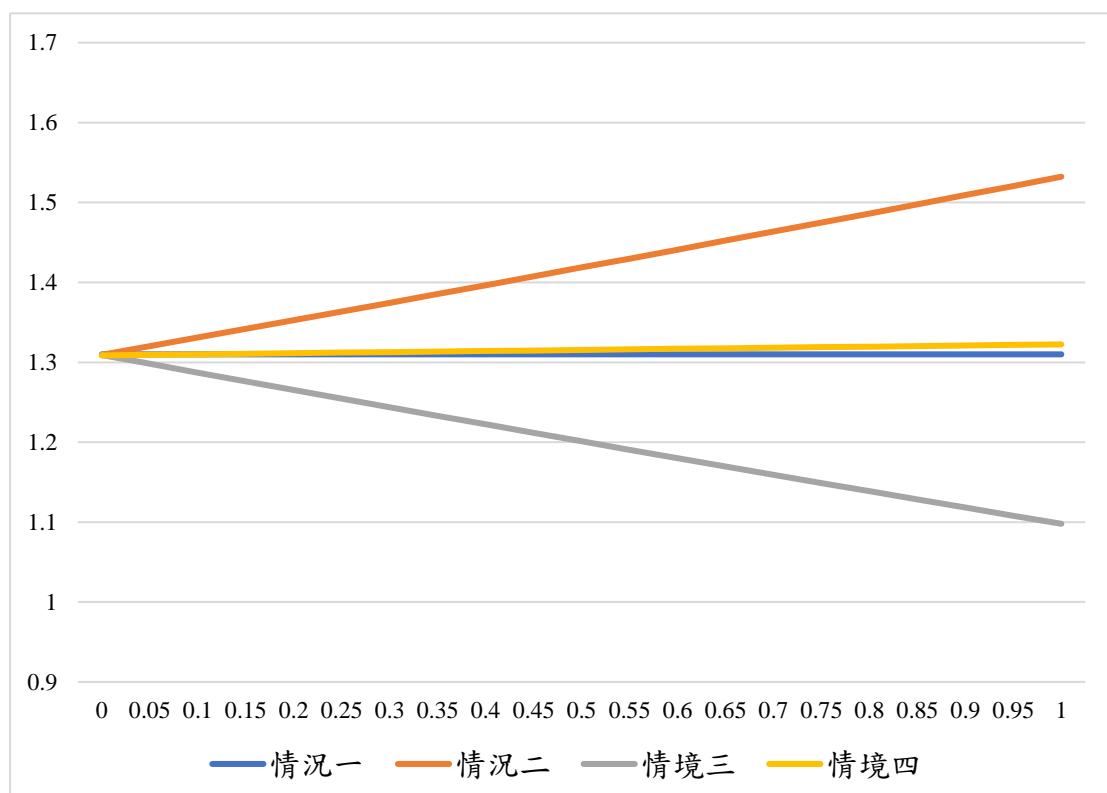


圖 4-17 隨 t 值變化，T 司在四種情境下的永續價值

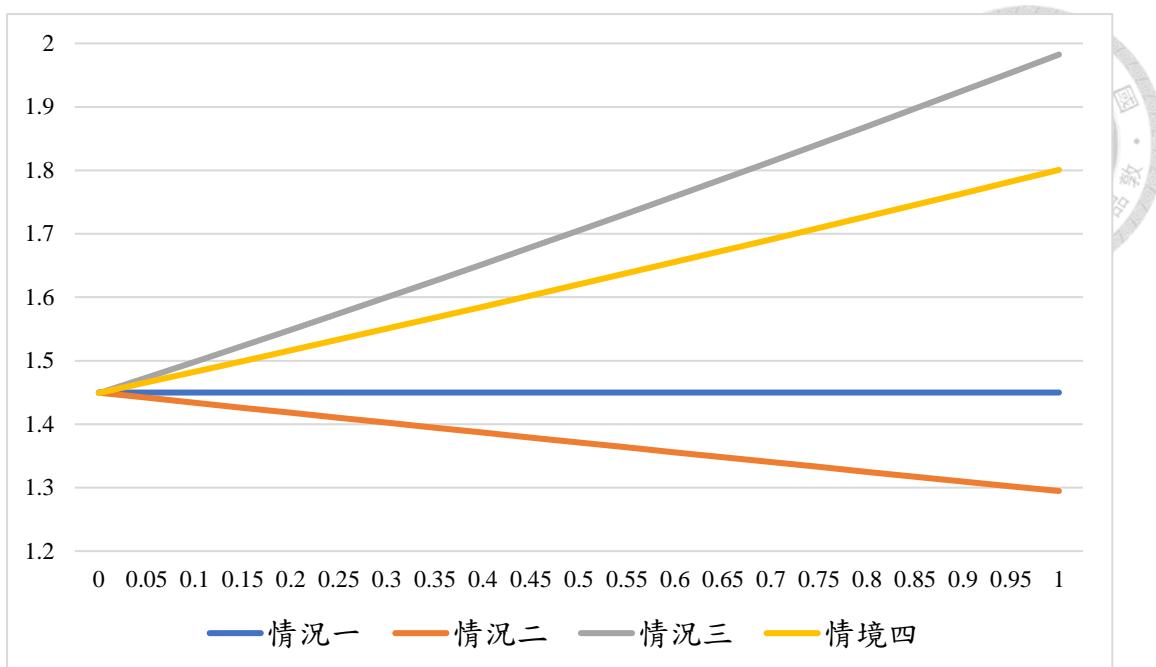


圖 4-18 隨 t 值變化，I 公司在四種情境下的永續價值

進一步測試臨界值後，發現對於 T 公司， t 值為 0.09699215 時，情境一永續價值大於情境四， t 值為 0.09699216 時，情境四永續價值則大於情境一；另一方面對於 I 公司， t 值為 0.00218602 時，情境一永續價值大於情境四， t 值為 0.00218603 時，情境四永續價值則大於情境一。有鑑於 T 公司臨界點的值大於 I 公司的值，因此取臨界值較小的 I 公司做為參考點，因為 I 公司會 t 值上升過程中較早情境四的永續價值大於情境一的永續價值，進而促使 I 公司較早導入區塊鏈。於此同時，T 公司就會被迫採取導入區塊鏈以防止永續價值的大幅下降，因此以 I 公司的臨界值作為臨界點。下方圖 4-19 以及圖 4-20 是以 I 公司情境一和四排序的臨界 t 值，當 t 值為 0.00218602 和 0.00218603 時的賽局結果。

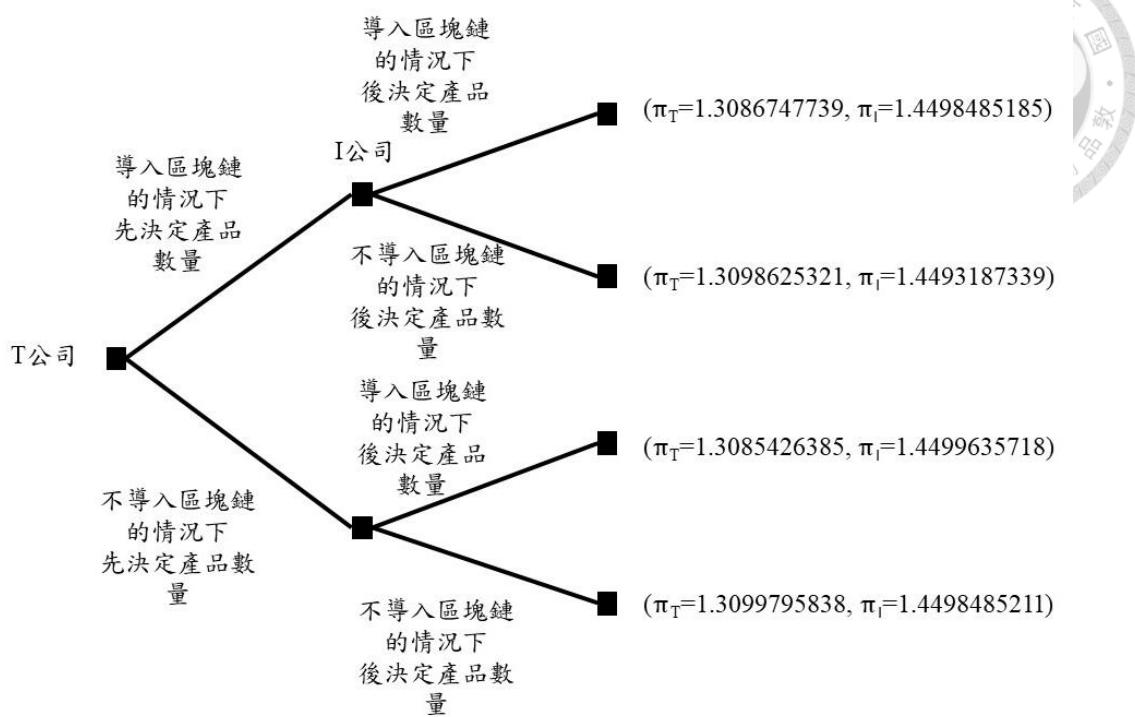


圖 4-19 t 值為 0.00218602 時的賽局

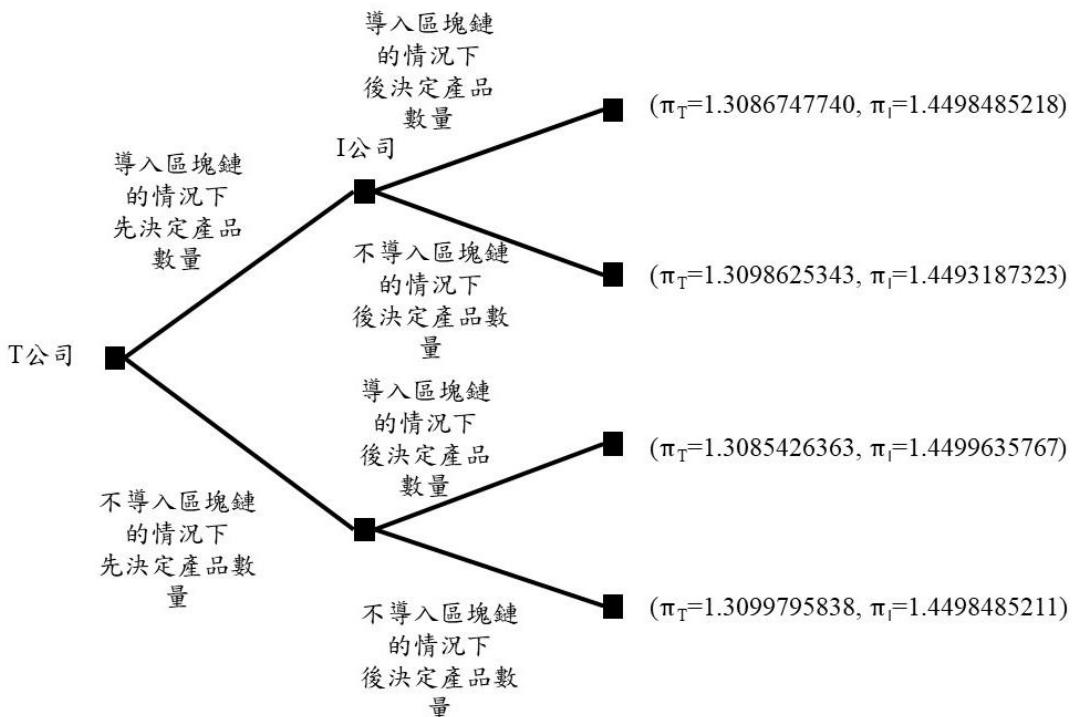


圖 4-20 t 值為 0.00218603 時的賽局

由上方兩圖，可以看出圖 4-19 的 Nash 均衡解為情境一，圖 4-20 的 Nash 均衡解皆為情境四，亦即 t 值為 0.00218602 到 0.00218603 間為一個臨界點。當 t 值達 0.00218603 時，雖 T 公司情境一的永續價值會大於情境四的永續價值，但因對於 I 公司，此時情境四的永續價值大於情境一，故逆向歸納法下，I 公司會選擇導入區塊鏈，而 T 公司只能被迫選擇導入區塊鏈。並且納入 α 變數的可量，可看到此兩變數的變化下，僅有 t 值的改變對於賽局結果有影響。

$\alpha \backslash t$	1	0.8	0.6	0.4	0.2	0
1	情境四	情境四	情境四	情境四	情境四	情境一
0.8	情境四	情境四	情境四	情境四	情境四	情境一
0.6	情境四	情境四	情境四	情境四	情境四	情境一
0.4	情境四	情境四	情境四	情境四	情境四	情境一
0.2	情境四	情境四	情境四	情境四	情境四	情境一

表 4-22 α 與 t 值變動下，賽局的均衡解

在下方表 4-23 表 4-24 列出 t 值在 0 和 1 的時候，在數量、各價值及整體永續價值的變化。從此兩表可以看出，隨著供應鏈夥伴信任程度 t 值上升，對於 T 公司來說，最佳產品數量下降、經濟價值下降、綠色價值會上升，而最終永續價值呈現上升趨勢。另一方面，對於 I 公司，則是最佳產品數量上升，經濟價值下降、綠色價值下降；社會價值上升，而最終永續價值呈現上升趨勢。

t	Q_T	經濟	綠色	社會	π_T
0	0.29103239	0.70551968	-0.00050121	0.60362621	1.30864467
1	0.29033493	0.50701487	-0.00050001	0.81585626	1.32237111
0~1 差	-0.00069745	-0.19850481	0.00000120	0.21223004	0.01372643
幅度	-0.2396%	-28.1359%	0.2396%	35.1591%	1.0489%

表 4-23 情境四 t 值為 0、1 與臨界點時 T 公司各細項數值

t	Q_I	經濟	綠色	社會	π_I
0	0.21653057	0.52490889	-0.00032443	0.92453687	1.44912133
1	0.23914245	0.417614341	-0.00035831	1.38340483	1.80066085
0~1 差	0.02261187	-0.10729455	-0.00003388	0.45886795	0.35153951
幅度	10.4428%	-20.4406%	-10.4428%	49.6321%	24.2588%

表 4-24 情境四 t 值為 0、1 與臨界點時 I 公司各細項數值

首先觀察 t 值與經濟價值之間關係，從上兩表看到隨著 t 值越高，T 公司最佳生產量時呈現微下降趨勢，然而 I 公司最佳生產量的上升速度大於 T 公司最佳生產量的下降趨勢，故整個市場的最佳生產量會隨著 t 值上升而增加，使得市場價格會呈現下降趨勢。故當 T 公司經濟最佳生產量幾乎沒有變化，但市場價格下降時，T 公司的經濟價值就會下降。另一方面，I 公司雖然最佳生產量會隨著 t 值增加而上升，然而亦因為市場價格下降的關係，最終 I 公司的經濟價值也隨著 t 值增加而下降。

再來則觀察 α 值與綠色價值之間關係，T 公司的部分，可以看到 T 公司綠色價值上升幅度和最佳生產量下降幅度一模一樣；而 I 公司的部分，可以看到 I 公司綠色價值下降幅度和最佳生產量上升幅度一模一樣，故可以推斷此時影響綠色價值的更迭幅度為最佳生產量的更迭幅度。

最後觀察 t 值與社會價值之間的關係，可以發現隨著 t 值上升，無論是 T 公司或 I 公司的社會價值都會隨之上升。在社會價值內部，可分為就業機會數和供應鏈信任關係兩部分。對於 T 公司而言，由於最佳生產量下降，提供的就業機會數減少，應對社會價值產生負面影響。然而，隨著 T 值的增加，信任關係對社會價值的正面影響超過了就業機會數減少的負面影響，因此隨著 t 值上升，T 公司的社會價值仍然上升。另一方面，對於 I 公司而言，隨著 t 值的上升，最佳生產量增加，就業機會數也增加，同時 t 值的上升意味著信任程度提

高。因此，對於 I 公司而言，社會價值的兩個方面都是正面影響的，這也與表 4-23 和表 4-24 所示一致，即 I 公司的社會價值上升幅度將大於 T 公司。

綜合以上 t 值與經濟、綠色及社會價值的關係，可以得出以下的小結，作為未來當市場或其他公司借用此模型的參考之處。

1. t 值在 0 到 1 的變動下，賽局的 Nash 均衡解會受到臨界點影響，臨界值約為 0.00218603，當 t 值小於等於 0.00218602 時，均衡解為情境一，而當 t 值大於等於 0.00218603 時，均衡解為情境四。
2. 隨著 t 值上升，I 公司永續價值上升幅度較 T 公司大，其原因來自於隨著 t 值上升，T 公司最佳產量減少 0.0006，但 I 公司最佳產量增加 0.0226 左右，進而影響兩公司在三價值面向的數值。
3. 在這個模型中， t 值與 T 公司的最佳生產數量呈負相關，但與 I 公司的最佳生產數量呈正相關，亦即當 t 值上升時，T 公司的最佳生產數量會下降，I 公司最佳生產數量會上升，且 I 公司上升幅度會大於 T 公司下降幅度，故隨著 t 值上升，市場產品總數會增加，市場價值會下降，使得兩公司的經濟價值減少。
4. t 值的變化對最佳生產量的影響等同於對綠色價值的影響。在當今注重永續價值的情況下，需要關注綠色價值的變化是否符合公司的預期和標準。
5. 隨著 t 值的上升，對兩家公司的社會價值都將呈現正向影響，主因為供應鏈信任關係增加。

綜合以上五點，當 t 值上升時，T 公司的最佳生產量和經濟價值會下降，而綠色價值、社會價值和永續價值會上升。另一方面，當 t 值上升時，I 公司的經濟價值會下降，而最佳生產量、綠色價值、社會價值和永續價值會上升。因此，如果在導入之前能夠得知 t 值，則能夠預先了解 t 值對產量和價值的正負影響，進而對負面影響的價值制定相應的策略。



4.4 情境分析

在 T 公司宣布於 2020 年在美國設立工廠後，至今面臨著許多挑戰。首先在建廠初期遭遇了疫情的衝擊，隨後原物料和工人價格的飆升也給公司帶來了不小的困擾。此外，T 公司試圖從台灣引進技術人才，卻與當地工會發生了衝突。另一方面，T 公司在招募人才方面也遇到一系列困難，包括較長的工作時間、嚴格的管理以及薪資水平不具競爭力等文化差異(Yu Y., 2022)，導致相對於同為高科技產業的公司，T 公司在美國面臨著勞動力短缺的問題。針對勞動力短缺問題，此小節將進行情境模擬，觀察可能的影響並提出相應建議。

4.4.1 參數變化

在勞動力短缺的情況下，除了短期調整招募條件以吸引更多人才外，長期打造幸福的工作環境、與當地大學合作培育人才，甚至思考如何降低員工流失率，都是值得著手的方向。但若要解決勞動力短缺的問題，還可以提高勞動生產力達到相同目標(Nathalie E. & Brossard, 2023)。在前述衡量勞動生產力的過程中，使用了「公司的營業額/公司就業人數」的方式計算 W_T 和 W_I 。因此，若要在勞動力短缺的情況下仍達到相同的營業額，即營業額持平但就業人數下降，勞動生產力將會提高。基於這一點，可以預測當 T 公司面臨勞動力短缺和招募困難時，為了實現營業額的目標，T 公司將會提高勞動生產力以因應人力不足的挑戰。

將人才短缺比例如何影響 W_T 值，整理在表 4-25。可以看到原先 W_T 值為 1，而當 T 公司人才招募不足時，人才短缺比例會使得就業人數比例下降，此時 W_T 值會逐漸上升。

人才短缺比例	人才短缺時營業額與 原先營業額之比值	人才短缺時就業人數與 原先就業人數之比值	W_T
0%	1	1	1
5%	1	0.95	1.05263158
10%	1	0.9	1.11111111
15%	1	0.85	1.17647059
20%	1	0.8	1.25

表 4-25 人才短缺比例影響 W_T 值

4.4.2 永續價值變化

前一段討論了在不同的人才短缺比例下， W_T 值的變動情況。接下來下表 4-26 W_T 值變動與各情境下兩公司永續價值之變動關係整理了 W_T 值的變動，對兩公司在不同情境下永續價值的影響。以往當只有一方導入區塊鏈時，永續價值都會超越另一方。然而觀察到在情境二中(只有 T 公司導入區塊鏈)，當 W_T 值減少 5%時，I 公司的永續價值就超越 T 公司了，顯示 W_T 值的變化對於雙方的影響極為重大。儘管如此，同張表可以看出在 W_T 值的此變動幅度下，賽局 Nash 均衡仍都會在情境四，即雙方都導入區塊鏈技術。(請見下頁表 4-26)

W_T	公司	情境一 永續價值	情境二 永續價值	情境三 永續價值	情境四 永續價值
1	T	1.309979584	1.418652956	1.201150949	1.315518024
	I	1.449848521	1.37109987	1.70524904	1.620158457
1.05263158	T	1.279972622	1.381913691	1.172424823	1.28014813
	I	1.472386906	1.396927231	1.72968485	1.648223664
1.11111111	T	1.250313332	1.345656408	1.144046367	1.245260218
	I	1.495099125	1.42299558	1.754294492	1.67652986
1.17647059	T	1.221001709	1.309881102	1.116015579	1.210854283
	I	1.517985181	1.449304922	1.779077972	1.705077048
1.25	T	1.192037758	1.274587779	1.088332462	1.176930331
	I	1.541045069	1.475855252	1.804035285	1.733865224

表 4-26 W_T 值變動與各情境下兩公司永續價值之變動關係

當 W_T 值在有限幅度的變動下，因賽局的均衡點不會改變，故以下只討論情境四的狀況。下圖 4-21 為情境四下兩公司永續價值變動，以及下表 4-27 為 W_T 值變動下，兩公司的最佳生產數量以及其比值，並在圖 4-22 視覺化。

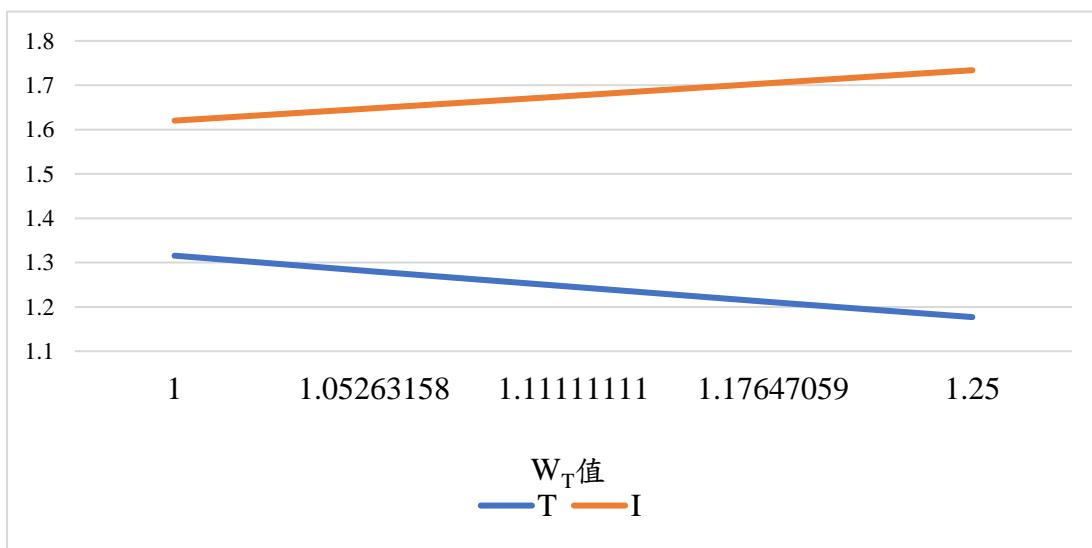


圖 4-21 W_T 值變動，情境四兩公司的永續價值

W_T	情境四 Q_T	情境四 Q_I	情境四 Q_T/Q_I
1	0.29068366	0.22783651	1.27584318
1.05263158	0.28673635	0.22981017	1.247709594
1.11111111	0.28278904	0.23178382	1.220055129
1.17647059	0.27884173	0.23375748	1.192867644
1.25	0.27489442	0.23573113	1.166135414

表 4-27 W_T 值變動，情境四 Q_T 、 Q_I 與其比值之改變

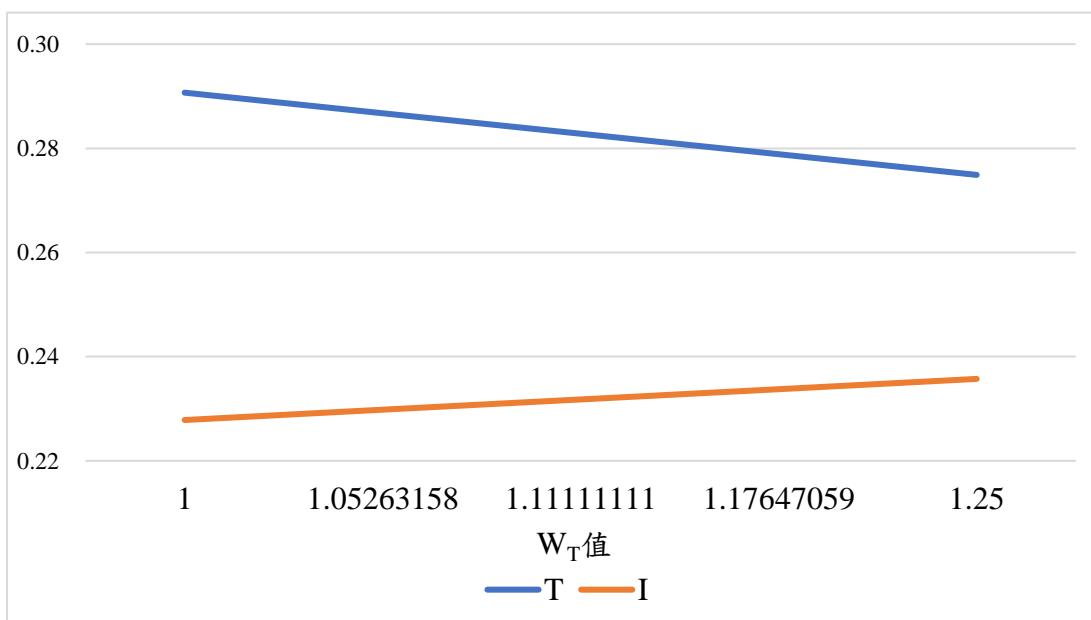


圖 4-22 W_T 值變動，情境四 Q_T 、 Q_I 變化

從上圖 4-21 可得，隨著 W_T 值升高，T 公司永續價值愈下降，而 I 公司的永續價值愈上升。同時也從圖 4-22 看出隨著 W_T 值升高，T 公司最佳產品數量愈下降，而 I 公司的最佳產品數量愈上升。從下方(7.1)和(7.2)情境四的最佳產品數量，亦可獲得驗證。

$$Q_T = \frac{1}{2b} \cdot \left\{ a - MC - bvc + [e_I - 2e_T - \alpha \cdot (1 + e_I - 2e_T)] \cdot EC + \left[\frac{3.1+1.1t}{W_T} - \frac{1.55+0.55t}{W_I} \right] \cdot S \right\} \quad (7.1)$$

$$Q_I = \frac{1}{4b} \cdot \left\{ a - MC - bvc - [(-1 + 3\alpha) \cdot e_I - 2(1 + \alpha) \cdot e_T - 3\alpha] \cdot EC + \left[\frac{-(3.1+1.1t)}{W_T} + \frac{4.65+1.55t}{W_I} \right] \cdot S \right\} \quad (7.2)$$

而從前面小節的分析參數，已得知產品數量對於經濟、綠色與社會價值都有著密切的影響，因此當 W_T 值升高，T 公司最佳產品數量與永續價值皆呈現下降趨勢，而 I 公司的最佳產品數量與永續價值呈現上升趨勢，可預期，是最佳產品數量的變動帶動這三方面價值的變動，進而影響了永續價值的變動。

接下來則深入探討當 W_T 值變動時，與數量及價值之間的關係。下表 4-28 和表 4-29，整理了在不同 W_T 值下，兩公司的最佳生產量及各價值變動，並在末列整理變動之幅度。

W_T	情境四 Q_T	經濟價值	綠色價值	社會價值
1	0.29068366	0.60614908	-0.00050062	0.70986956
1.05263158	0.28673635	0.61542349	-0.00049382	0.66521846
1.11111111	0.28278904	0.62421592	-0.00048702	0.62153132
1.17647059	0.27884173	0.63252637	-0.00048022	0.57880814
1.25	0.27489442	0.64035484	-0.00047343	0.53704892
1 到 1.25 變化幅度	-5.4317%	5.6431%	5.4317%	-24.3454%

表 4-28 W_T 值變動，情境四 T 公司的 Q_T 、經濟綠色與社會價值之變化

W_T	情境四 Q_I	經濟價值	綠色價值	社會價值
1	0.227836515	0.47509369	-0.000341379	1.145406146
1.05263158	0.22981017	0.49323967	-0.00034434	1.15532833
1.11111111	0.231783824	0.51162663	-0.00034729	1.16525052
1.17647059	0.233757479	0.53025459	-0.00035025	1.17517271
1.25	0.235731134	0.54912354	-0.00035321	1.18509489
1 到 1.25 變化幅度	3.4650%	15.5821%	-3.4650%	3.4650%

表 4-29 W_T 值變動，情境四 I 公司的 Q_T 、經濟綠色與社會價值之變化

可以由上方表 4-27、表 4-28 和表 4-29，可以觀察到隨著 W_T 值的上升，會使得 T 公司最佳產量下降，而 I 公司最佳產量上升，進而影響到兩公司在經濟、綠色與社會價值三面向之數值。

首先討論經濟價值，從上表 4-28 及表 4-29 可觀察到，隨著 W_T 值上升，T 公司最佳產量下降，而 I 公司最佳產量上升。再從下方圖 4-23 可看出，當 W_T 值為 1 時，兩公司產品數量總和約 0.5185；當 W_T 值為 1.25 時，總和下降至 0.5106，這表明隨著 W_T 值上升時，市場的產品數的總量是下降的，因此市場產品價格升高。故當 W_T 值上升時，市場產品價格上升是兩公司的經濟價值皆升高的原因。

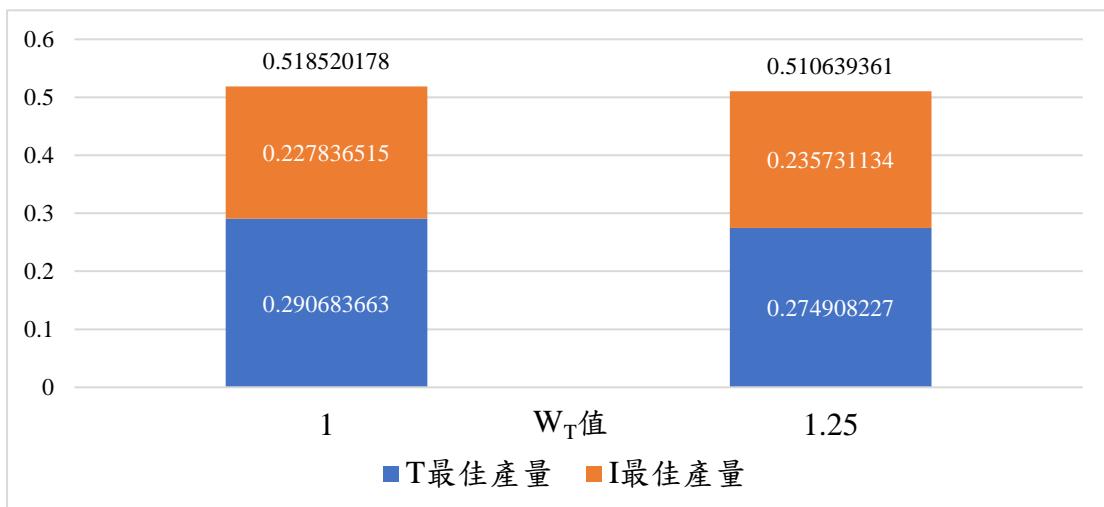


圖 4-23 W_T 值 = 1 和 1.25 時， Q_T 和 Q_I 的變動

再來探討綠色價值，從前方表 4-28 和表 4-29，可以觀察到兩公司的最佳生產數量與綠色價值變化幅度相同僅差一負號，亦即 W_T 值改變所造成最佳生產數量變化，直接影響了綠色價值的改變。

最後討論社會價值，從表 4-28 可以看出 T 公司的 W_T 值和社會價值呈現負相關；另一方面，從表 4-29 可以看出 I 公司的部分， W_T 值和社會價值呈現正相關，故在下表 4-30 和表 4-31 整理了兩公司 W_T 值和社會價值變化幅度。

W_T	W_T 變化幅度	T 公司社會價值	社會價值變化幅度
1	0%	0.70986956	0%
1.05263158	5%	0.66521846	-6.290043%
1.11111111	10%	0.62153132	-12.444292%
1.17647059	15%	0.57880814	-18.462747%
1.25	20%	0.53704892	-24.345408%

表 4-30 W_T 值變化，情境四 T 公司社會價值之變化與幅度

W_T	W_T 變化幅度	I 公司社會價值	社會價值變化幅度
1	0%	1.145590988	0%
1.05263158	5%	1.155513175	0.866259%
1.11111111	10%	1.165435361	1.732519%
1.17647059	15%	1.175357549	2.598778%
1.25	20%	1.185279735	3.465037%

表 4-31 W_T 值變化，情境四 I 公司社會價值之變化與幅度

可以從上表看出當 W_T 值和 T 公司社會價值的關係可由(7.3)關係式表示，而 W_T 值和 I 公司社會價值的關係可由(7.4)關係式表示。

$$W_T \text{ 變化幅度} = -6.290043 \times T \text{ 公司社會價值變化幅度} \quad (7.3)$$

$$W_I \text{ 變化幅度} = 0.866259 \times I \text{ 公司社會價值變化幅度} \quad (7.4)$$

綜上所述，在情境四下，兩公司社會價值的計算方式為下方(7.5)，可得 T 公司社會價值變化來源為 W_T 值和 Q_T 之變化。另一方面 I 公司的部分，因 W_I 值未改變，且可從上表 4-29 最下方一欄得知，I 公司社會價值變化幅度和 Q_I 變化幅度一致，故 I 公司社會價值變化原因為 Q_I 的變化。

$$\text{兩公司社會價值} = [1.55 + 0.55t] \cdot \frac{S}{W} \cdot Q$$

(7.5)

綜合以上 W_T 值變化時與產品數量、經濟、綠色及社會價值的關係，可以得出以下的小結。

1. W_T 值和 T 公司永續價值呈負相關，而 I 公司的永續價值呈正相關，亦即 W_T 值上升時，T 公司的永續價值下降，而 I 公司的永續價值上升。T 公司永續價值下降主因為社會價值的下降；另一方面，I 公司永續價值的上升主要來自經濟價值的上升。
2. W_T 值與 T 公司的最佳生產數量呈負相關，但與 I 公司的最佳生產數量呈正相關，亦即當 W_T 值上升時，T 公司最佳生產數量下降，I 公司最佳生產數量上升，但市場整體數量下降，導致市場價格上升。現實面的情況，缺工後導致 T 公司的生產數量下降，雖然 I 公司生產數量會微升，但整體產品數量仍下降，導致市場的價格上升。
3. W_T 值上升會導致市場的價格上升，使得兩公司的經濟價值皆上升。
4. 兩公司的綠色價值變動幅度與兩公司的最佳產品數量變動幅度一致。
5. W_T 值和 T 公司社會價值呈負相關，而 I 公司的社會價值呈正相關，亦即 W_T 值上升時，T 公司的社會價值下降，而 I 公司的社會價值上升。T 公司社會價值下降原因為最佳產量減少以及工作機會減少；而 I 公司社會價值上升原因為最佳產量的增加。

綜合以上五點，缺工帶來的影響，會使得 T 公司生產產品數下降、經濟價值上升、綠色價值上升，社會價值下降。

4.4.3 T 公司因應措施

對於 T 公司，為了因應缺工的問題，會暫時提升 W_T 值以確保產能維持在一定水平。然而會伴隨而來帶來對永續價值的負面影響，故必須從三個價值層面找出各別提升的方式並比較後，尋找 T 公司提升永續價值的最佳對策。

在經濟層面，T 公司情境四的經濟價值如下方(7.6)所示，可控制的因素只有邊際價值 MC。原先 T 公司的 MC 參考 I 公司的邊際成本，設定成兩公司邊際成本相同，為 0.7839，但若 T 公司能做到降低己方的邊際成本，假設降至 0.6，但 I 公司的邊際成本 MC 仍維持在 0.7839，從下圖 4-24 可看出，能夠使得 T 公司的永續價值有效上升外，亦可使 I 公司的永續價值下降。

$$T \text{ 公司情境四經濟價值} = [a - b \cdot Q_T - b \cdot Q_I - MC - bvc] \cdot Q_T - BFC \quad (7.6)$$

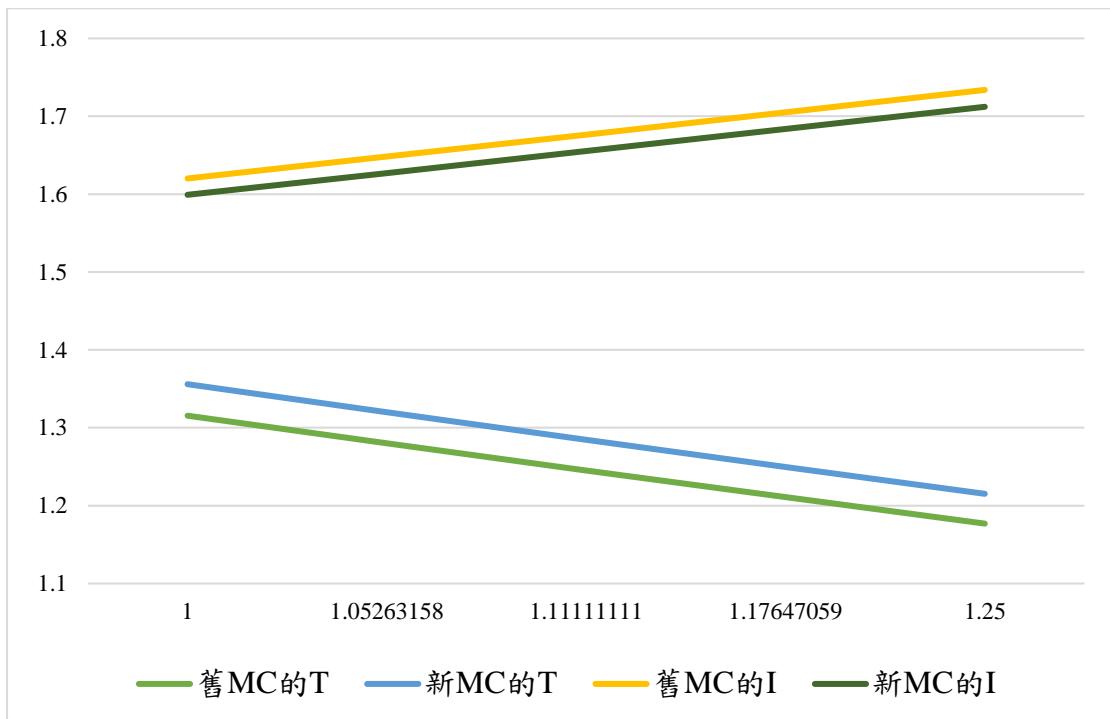
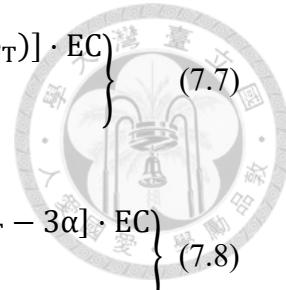


圖 4-24 T 公司的 MC 降至 0.6，兩公司的永續價值變化

從前面分析已知，當參數變動時，產品數量對於經濟、綠色與社會價值都有著密切的影響，故當 T 公司 MC 下降至 0.6，使得 T 公司的永續價值上升，而 I 公司永續價值下降的原因必然和兩公司最佳產品數量有關。下(7.7)和(7.8)為情境四，兩公司的最佳產品數量的解。從(7.7)可以看到當 MC_T 下降時，會使得 T 公司的最佳產品數量上升，然而 MC_T 下降並不會影響 I 公司最佳產品數量，此時市場的產品總數因為 T 公司的增產，使得市場價格下降。故 T 公司的最佳產量變動為 T 公司永續價值上升、I 公司永續價值下降的原因。



$$Q_T = \frac{1}{2b} \cdot \left\{ a - MC - bvc + [e_I - 2e_T - \alpha \cdot (1 + e_I - 2e_T)] \cdot EC \right. \\ \left. + \left[\frac{3.1+1.1t}{W_T} - \frac{1.55+0.55t}{W_I} \right] \cdot S \right\} \quad (7.7)$$

$$Q_I = \frac{1}{4b} \cdot \left\{ a - MC - bvc - [(-1 + 3\alpha) \cdot e_I - 2(1 + \alpha) \cdot e_T - 3\alpha] \cdot EC \right. \\ \left. + \left[\frac{-(3.1+1.1t)}{W_T} + \frac{4.65+1.55t}{W_I} \right] \cdot S \right\} \quad (7.8)$$

在綠色價值層面，T 公司情境四的綠色價值如下方(7.9)所示，因為 Q_T 為應變數，在不改變範疇一和範疇三碳排的狀況下，使綠色價值上升的方式，只有降低每單位產品所產生的碳排放量成本 EC。而下表 4-32 可看出，當只有 T 公司的 EC 降至 0.002，但 I 公司的 EC 仍維持在 0.0028 時，會使得兩公司的永續價值都微幅上升。

$$T \text{ 公司情境四綠色價值} = - [e_T + \alpha \cdot (1 - e_T)] \cdot EC \cdot Q_T \quad (7.9)$$

W_T	舊 EC_T 的 T 公司永續價值	新 EC_T 的 T 公司永續價值	舊 EC_T 的 I 公司永續價值	新 EC_T 的 I 公司永續價值
1	1.31551802	1.31555816	1.62015846	1.6202218
1.05263158	1.28014813	1.28018772	1.64822366	1.64828755
1.11111111	1.24526022	1.24529926	1.67652986	1.6765943
1.17647059	1.21085428	1.21089277	1.70507705	1.70514203
1.25	1.17693033	1.17696827	1.73386522	1.73393076

表 4-32 T 公司 EC_T 降低至 0.002 時，兩公司永續價值變化

其中兩公司永續價值皆上漲的因素可參照上(7.8)情境四的最佳產量解 Q_T ，因為 T 公司的情況會使得 $[e_I - 2e_T - \alpha \cdot (1 + e_I - 2e_T)]$ 為正，而當 EC_T 下降，會使得(7.7)的情境四 Q_T 最佳產量下降，然而(7.8)情境四的最佳產量解 Q_I 沒有變動，使得市場總數量下降，市場價格上升，才會導致 I 公司的永續價值連帶上升。

最後是社會價值層面，T 公司情境四的社會價值如下方(7.10)所示，因為 Q_T 為應變數，使社會價值上升的方式，只有提高 T 公司的薪資 S。假設 I 公司的 S 仍維持在原先的參數值 1.33812，而 T 公司的 S_T 提高至 1.4 時，則會使兩公司的永續價值皆提高。

$$T \text{ 公司情境四社會價值} = [1.55 + 0.55t] \cdot \frac{S}{W_T} \cdot Q_T \quad (7.10)$$

W_T	舊 S_T 的 T 公司永續價值	新 S_T 的 T 公司永續價值	舊 S_T 的 I 公司永續價值	新 S_T 的 I 公司永續價值
1	1.31551802	1.31599565	1.62015846	1.62091272
1.05263158	1.28014813	1.28142109	1.64822366	1.65028210
1.11111111	1.24526022	1.24730416	1.67652986	1.67991475
1.17647059	1.21085428	1.21364486	1.70507705	1.70981069
1.25	1.17693033	1.18044319	1.73386522	1.73996990

表 4-33 T 公司 S_T 升高至 1.4 時，兩公司永續價值變化

其中兩公司永續價值皆上漲的因素可參照上方(7.8)情境四的 Q_T 最佳產量解，因為 T 公司的情況為 $\left[\frac{3.1+1.1t}{W_T} - \frac{1.55+0.55t}{W_I} \right]$ 此值為負數，而當 S_T 上升時，會使得(7.7)的情境四 Q_T 最佳產量下降，然而(7.8)的 Q_I 不會因 S_T 變化而有所變動，使得市場總數量下降，市場價格上升，才會導致 I 公司的永續價值連帶上升。

總結來說，從下表 4-34 可看出，在這三個變動中，邊際成本 MC_T 會比每單位產品所產生的碳排放量成本 EC_T 有更多減少的空間，且 EC_T 減少，勢必會增加 MC_T 投入研發等進而減少 EC_T 。使另一方面，若要增加薪資 S_T 的話，同樣也會增加 MC_T 的數值。

變動 參數	原先 T 公司 的各項數值	T 公司參數變動後， T 公司永續價值	T 公司參數變動後， I 公司永續價值
MC_T	0.7839	上升	下降
EC_T	0.0028	上升	上升
S_T	1.33812	上升	上升

表 4-34 T 公司更動 MC_T 、 EC_T 及 S_T 參數後對於兩公司之影響

綜合以上觀點，減少邊際成本 MC_T 應該是 T 公司因應人力短缺時，搭配提高人員生產力的輔助措施。雖然本研究未確切定義邊際成本的內部細項，但可能的細項包括原料費用、租金成本等。透過有效降低 MC_T 的措施，可以應對短期人力缺乏等問題，從而微幅提高 T 公司的永續價值，並減少與 I 公司之間的差距。

第五章 結論與建議



5.1 結論

本研究探討 T 公司在其進入美國設立工廠的情境下，與 I 公司之間的競爭關係。透過三個面向—經濟、環境和社會的永續價值，來分析區塊鏈技術在這一競爭環境下的影響，並提出四種不同的情境，分別為兩公司各自採取或不採取區塊鏈技術，以探討在不同的策略下可能出現的利弊。本研究構建了各種情境的數學模型，並應用賽局理論以獲得 Nash 均衡點，以此分析出兩公司在不同策略下如何獲得最大的永續價值。本研究得出以下結論：

1. 當區塊鏈的兩個參數—碳排放量減少之比例 α 與供應鏈彼此信任上的幅度 t 設置為預設值 0.5 時，本研究觀察到導入區塊鏈對於採用方在綠色價值與社會價值面向上有顯著的正向影響，使得區塊鏈採用方的永續價值能有效提升，導致未採用方在永續價值上的落後。同時根據賽局理論，Nash 均衡點落在情境四，即兩公司均採用區塊鏈技術，這將使得兩公司相比於未採用區塊鏈的情況下，永續價值更高。
2. 透過對導入區塊鏈後的第三範疇碳排放下降比例 α 進行敏感度分析後，發現 Nash 均衡點仍然位於情境四。在情境四下，當 α 值越小時，即導入區塊鏈技術後能減少的碳排放量越多，T 公司的永續價值上升增加量大於 I 公司。換言之，當 α 值越小時，對於 T 公司導入區塊鏈的吸引力就越大。
3. 透過對導入區塊鏈後供應鏈的信任關係提升單位 t 行敏感度分析後，發現有一臨界值約為 0.00218603，當 t 值小於等於 0.00218602 時，均衡解為情境一，而當 t 值大於等於 0.00218603 時，均衡解為情境四。故導入區塊鏈時，需考慮區塊鏈對信任關係之影響，若無影響或影響在小於臨界點時，會選擇不導入區塊鏈。

4. 當 T 公司面臨缺工時，則會選擇提高人員的生產力以因應此問題，使得 W_T 值上升。然而伴隨而來的是 T 公司最佳產品數以及永續價值的下降，以及 I 公司最佳產品數量以及永續價值的上升，對 T 公司帶來負面影響，同時也增加對手 I 公司各面向價值的增益。



5.2 研究限制

本研究之內容主要專注於評估引入區塊鏈對晶片製造公司於經濟、環境和社會價值三面向的影響，以調查是否應該採用區塊鏈技術。然而可能影響此三種價值的元素多如繁星，有鑑於模型的複雜性和區塊鏈的主要影響範圍，本研究選擇了有限的研究參數進行建模與評估，未能考慮到所有可能受到區塊鏈影響的範圍，以及此三種價值面向的所有組成要素。本文為相關領域首先調查區塊鏈於三種價值面向之研究，受限於缺乏相關文獻的支持下，對於經濟、環境和社會價值的各種構成要素及其對於三種價值的影響程度仍需要研究社群進一步的投入與調查方能有更深入且清晰的理解。

另一方面，本研究僅考慮 I 公司作為 T 公司前往美國設廠的唯一競爭對手，然而在現實層面，亦有其他具有先進製程的晶片製造商在美國設廠，故美國先進製程晶片並不會是寡占市場，必定要考量其他廠商的產能。本研究提供了兩家晶圓製造廠在三種價值面向的單獨比較，在未來的研究中建議進行更多重對象的各式賽局比較方能得出對於導入區塊鏈對產業中不同公司的三種價值影響。



5.3 研究建議

本研究綜合以上 5-1 小節的結論，針對 T 公司在跨國設廠情境一提出以下三點建議，以具備更多競爭力。

1. 在本研究中，除了那些只有 t 值在臨界點以下的情況外，在參數範圍內，導入區塊鏈對企業的永續價值有著顯著的提升。因此，本研究建議 T 公司應該導入區塊鏈技術。儘管在雙方都導入區塊鏈的情況下，T 公司的永續價值增幅並不顯著，但 I 公司是否會採用區塊鏈技術不屬於 T 公司可控範圍內。同時，若僅有 I 公司導入區塊鏈，而 T 公司不導入，將會導致 T 公司的永續價值大幅下降。因此，建議 T 公司儘早導入區塊鏈技術。這不僅增加公司的永續價值，還可以降低在未導入區塊鏈技術的情況下公司永續價值下降的風險。
2. I 公司相對於 T 公司在導入區塊鏈方面的增益顯著大，主要原因在於 I 公司本身在社會價值上具有優勢。這使得即使 T 公司在技術方面有領先者優勢，在兩者都未導入區塊鏈的情況下，T 公司的永續價值仍然落後於 I 公司。基於這一觀察，建議 T 公司應該檢視其公司架構中不同環節的組成和內容，針對社會價值進行優化。例如，增加就業機會以提高員工數量，進而降低生產一定數量所需的勞動生產力。這樣做可以提升 T 公司在本質上的價值，從而實現導入區塊鏈所帶來的高效增益。
3. 當 T 公司缺工情境下，區塊鏈的導入並不足以使 T 公司的永續價值在任何情境超越 I 公司，同時一味提升 W_T 值以因應產能的維持只會造成 T 公司的永續假值下降，故建議 T 公司在提升 W_T 值以維持一定產能的同時，輔以其他方法如降低 MC 以達到永續價值的最大提升。



參考文獻

- [1] 111 年發電概況. (2023). 經濟部能源局.
- [2] Atkinson. (2023). 台積電主宰 AI 晶片代工市場，推動營運發展. 科技新報.
- [3] 中村裕. (2022). 「我們當時太天真」張忠謀對美國口頭施壓 真正的不滿是什麼?. 經濟日報.
- [4] 王怡茹. (2023). 台積電今年成長寄望下半場，底氣從何來？ MoneyDJ 理財網.
- [5] 台灣積體電路製造股份有限公司 15 廠含氟及 N₂O 溫室氣體破壞處理設備排放減量專案計畫書. (2020).
- [6] 台灣積體電路製造股份有限公司. (2021a). 台積公司 110 年度永續報告書.
- [7] 台灣積體電路製造股份有限公司. (2022a). 台積公司 110 年度聯合國永續發展目標行動報告書.
- [8] 台灣積體電路製造股份有限公司. (2023a). 台積公司 111 年度永續報告書.
- [9] 台灣積體電路製造股份有限公司. (2022b). 台積公司 111 年度氣候相關財務揭露報告.
- [10] 台灣積體電路製造股份有限公司. (2021b). 台積公司率業界之先，攜手供應商開發世界級半導體綠色機台.
- [11] 台灣積體電路製造股份有限公司. (2023b). 台灣積體電路製造股份有限公司及子公司合併財務報告暨會計師查核報告民國 111 及 110 年度.
- [12] 吳美欣. (2021). 張忠謀藏 20 年的手稿，揭密台積電致勝的商業模式！50 分鐘的演講精華實錄.
- [13] 李孟珊. (2022). 台積電赴日設廠原因？魏哲家透露主因是這點. 聯合新聞網.
- [14] 林宏達. (2023). 一年就省 1.3 億度電！台積電用大數據減碳 連供應商也不放過. 經濟日報.



- [15] 林苑卿、林宗輝. (2019). 除了技術還有更具威脅的挑戰！台積電下一步須跨越這 4 座大山. 財訊.
- [16] 林家賢. (2015). 全球主要碳市場發展之經驗及對臺灣碳交易之啟示. 國立政治大學.
- [17] 洪友芳. (2022). 英特爾拚晶圓代工 陸行之：成本比台積電高近 1 倍. 自由財經.
- [18] 英特爾實現溫室氣體淨零排放的最新進展. (2023). Intel.
- [19] 徐全. 張忠謀：締造專業晶圓代工產業 建立台灣半導體產業體系.
- [20] 財經 M 平方. (2022). 地緣政治角力下 台灣半導體產業的優勢與隱憂. 經濟日報.
- [21] 張建中. (2015). 台積電赴陸設 12 吋晶圓廠 12 個關鍵問答. 中央通訊社.
- [22] 張建中. (2023). 護國神山示警 台積電：台灣半導體面臨 3 大挑戰. 經濟日報.
- [23] 莊貿捷. (2022). 【台積電的內部實力】優秀敬業的人才十上下游完整供應鏈，成就半導體霸業. 關鍵評論網.
- [24] 陳文歲. (2015). 政府間氣候變遷小組的建構、組織與功能演變：以跨國法制歷程觀點分析. 國立臺灣大學.
- [25] 喬安. (2022). 各國晶片製造在地化趨勢抬頭，2022 年台灣掌握全球晶圓代工 48% 產能. Trandforce.
- [26] 黃嬿. (2023). 工廠建設支出創史上新高，「美國製造」榮景來了. 財經新報.
- [27] 魏志豪. (2024). 台積電 3 奈米製程發威 拉升去年 Q4 整體 ASP 年增 22%. 鉅亨網.
- [28] Blockchain for Supply Chain. (2024). ScienceSoft.
- [29] Casino, F., Dasaklis, T. K., & Patsakis, C. (2019). A systematic literature review of blockchain-based applications: Current status, classification and open



- issues. *Telematics and Informatics*, 36, 55-81.
- [30] Chung, J. C. a. E. (2023). Top 10 Foundries Report Nearly 20% QoQ Revenue Decline in 1Q23, Continued Slide Expected in Q2, Says TrendForce.
- [31] Climate Action: The Paris Agreement. (2023). United Nations.
- [32] Coutinho, K., Wongthongtham, P., Abu-Salih, B., Abu Saleh, M. A., & Khairwal, N. K. (2022). Carbon emission and cost of blockchain mining in a case of peer-to-peer energy trading. *Frontiers in Built Environment*, 8.
- [33] Dahwa, M. P., Al-Hakim, L., & Ng, E. (2013). The Importance of Trust in Procurement Practices and Its Impact on Business Performance: An Empirical Investigation From the Perspective of the Buyer–Supplier Dyad. *Journal of Relationship Marketing*, 12(4), 280-300.
- [34] Elisa, N., Yang, L., Chao, F., & Cao, Y. (2018). A framework of blockchain-based secure and privacy-preserving E-government system. *Wireless Networks*, 29, 1005–1015.
- [35] Fankhauser, S., Smith, S. M., Allen, M., Axelsson, K., Hale, T., Hepburn, C., Kendall, J. M., Khosla, R., Lezaun, J., Mitchell-Larson, E., Obersteiner, M., Rajamani, L., Rickaby, R., Seddon, N., & Wetzer, T. (2022). The meaning of net zero and how to get it right. *Nature Climate Change*, 12(1), 15-21.
- [36] Fréchet, M. (1953). Commentary on the Three Notes of Emile Borel. *Econometrica*, 21(1), 118-124.
- [37] Gemeliarana, I., & Sari, R. (2019). Evaluation of Proof of Work (POW) Blockchains Security Network on Selfish Mining.
- [38] Goldston, J. (2022). WHY TRUST MATTERS IN SUPPLY CHAINS.
- [39] Habib, G., Sharma, S., Ibrahim, S., Ahmad, I., Qureshi, S., & Ishfaq, M. (2022). Blockchain Technology: Benefits, Challenges, Applications, and Integration of Blockchain Technology with Cloud Computing. *Future Internet*, 14(11).

[40] Holt, C. A., & Roth, A. E. (2004). The Nash equilibrium: A perspective.

Proceedings of the National Academy of Sciences, 101(12), 3999-4002.

[41] Hung, H. C., Chiu, Y. C., & Wu, M. C. (2017). Analysis of Competition

Between IDM and Fabless–Foundry Business Models in the Semiconductor Industry. IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing, 30(3), 254-260.

[42] Intel. (2022). Intel Commits to Net-Zero Greenhouse Gas Emissions in its Global Operations by 2040.

[43] Intel. (2023). Intel Reports Fourth-Quarter and Full-Year 2022 Financial Results.

[44] Ipcc. (2022). Global Warming of 1.5°C: IPCC Special Report on Impacts of Global Warming of 1.5°C above Pre-industrial Levels in Context of Strengthening Response to Climate Change, Sustainable Development, and Efforts to Eradicate Poverty. Cambridge University Press.

[45] Kapoor, K., Bigdeli, A. Z., Dwivedi, Y. K., & Raman, R. (2021). How is COVID-19 altering the manufacturing landscape? A literature review of imminent challenges and management interventions. Annals of Operations Research, 1-33.

[46] Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change. (1998). United Nations.

[47] Ma, N., Waegel, A., Hakkarainen, M., Braham, W. W., Glass, L., & Aviv, D. (2023). Blockchain + IoT sensor network to measure, evaluate and incentivize personal environmental accounting and efficient energy use in indoor spaces. Applied Energy, 332, 120443.

[48] Mandal, S., & Sarathy, R. (2018). The Effect of Supply Chain Relationships on Resilience: Empirical Evidence from India. Global Business Review,

19(3_suppl), S196-S217.

[49] Matthews, H. D., & Caldeira, K. (2008). Stabilizing climate requires near-zero emissions. *Geophysical Research Letters*, 35(4).

[50] May 2022 National Industry-Specific Occupational Employment and Wage Estimates NAICS 334400 - Semiconductor and Other Electronic Component Manufacturing. (2022). U.S. Bureau of Labor Statistics.

[51] Miller, C. (2022). *Chip War: The Fight for the World's Most Critical Technology*. Scribner.

[52] Myerson, R. (2021). Emile Borel and the Foundations of Game Theory

[53] Nathalie E., & Brossard, R. (2023). Increase Productivity to Respond to the Labour Shortage. Montreal Economic Institute.

[54] Peters, M. A. (2022). Semiconductors, geopolitics and technological rivalry: the US CHIPS & Science Act, 2022. *Educational Philosophy and Theory*, 1-5.

[55] Ranganathan, J., & Bhatia, P. (2004). *The Greenhouse Gas Protocol: a Corporate Accounting and Reporting Standard, Revised Edition*.

[56] Renewable generation surpassed coal and nuclear in the U.S. electric power sector in 2022. (2023). U.S. Energy Information Administration.

[57] Rosen, A. M. (2015). The Wrong Solution at the Right Time: The Failure of the Kyoto Protocol on Climate Change. *Politics & Policy*, 43(1), 30-58.

[58] Shrestha, A. K., Vassileva, J., & Deters, R. (2020). A Blockchain Platform for User Data Sharing Ensuring User Control and Incentives. *Frontiers in Blockchain*, 3.

[59] State and Trends of Carbon Pricing 2023. (2023). Word Bank Group.

[60] Statista. (2023). Intel number of employees worldwide from 2004 to 2022.

[61] Statistics on labour productivity. (2023). International Labour Organization.

[62] Summary of the Doha Climate Change Conference: 26 November – 8



December 2012. (2012). International Institute for Sustainable Development.

[63] Taherdoost, H. (2023). Smart Contracts in Blockchain Technology: A Critical Review. *Information*, 14(2), 117.

[64] Trendforce. (2023a). Top 10 Foundries Experience 7.9% QoQ Growth in 3Q23, with a Continued Upward Trend Predicted for Q4, Says TrendForce. Trendforce.

[65] Trendforce. (2023b). Total Revenue of Top 10 Foundries Fell by 4.7% QoQ for 4Q22 and Will Slide Further for 1Q23, Says TrendForce. Trendforce.

[66] UNFCCC. (2015). Paris Agreement. United Nations.

[67] Wang, J., Shahzad, F., Ahmad, Z., Abdullah, M., & Hassan, N. M. (2022). Trust and Consumers' Purchase Intention in a Social Commerce Platform: A Meta-Analytic Approach. *SAGE Open*, 12(2), 21582440221091262.

[69] Wang, M., Wang, B., & Abareshi, A. (2020). Blockchain Technology and Its Role in Enhancing Supply Chain Integration Capability and Reducing Carbon Emission: A Conceptual Framework. *Sustainability*, 12(24), 10550.

[70] What are the Sustainable Development Goals? (2015). United Nations Development Programme.

[71] World Investment Report 2022. (2022). United Nations Conference on Trade and Development.

[72] Yu Y., Cheng. T. F., & Li L. (2022). From somebody to nobody: TSMC faces uphill battle in U.S. talent war. *Nikkei Asia*.

附錄

1. 模型參數對照表



- a —— 市場需求式之係數
- BFC —— 導入區塊鏈技術的一次性成本
- b —— 市場需求式之係數
- bvc —— 導入區塊鏈後，每單位產品的使用區塊鏈技術之變動成本
- EC —— 每單位產品所產生的碳排放量成本
- EC_T —— 情境分析下，假設 T 公司每單位產品所產生的碳排放量成本
- e_T —— T 公司在範疇一的碳排比例
- e_I —— I 公司在範疇一的碳排比例
- MC —— T 公司每單位產品製造之邊際成本， $MC \leq a$
- MC_T —— 情境分析下，假設 T 公司每單位產品製造之邊際成本， $MC_T \leq a$
- P —— 市場上晶片產品每單位價格
- Q_T —— T 公司產品生產量
- Q_I —— I 公司產品生產量
- S —— 相對於美國整體薪資，美國半導體業年平均薪資， $0 \leq S$
- S_T —— 情境分析下，相對於美國整體薪資，T 公司的年平均薪資， $0 \leq S_T$
- t —— 導入區塊鏈後，供應鏈彼此信任上幅度， $0 \leq t$
- W_T —— T 公司的勞動生產率， $0 \leq W_T$
- W_I —— I 公司的勞動生產率， $0 \leq W_I$
- α —— 導入區塊鏈後，碳排放量減少之比例， $0 \leq \alpha \leq 1$