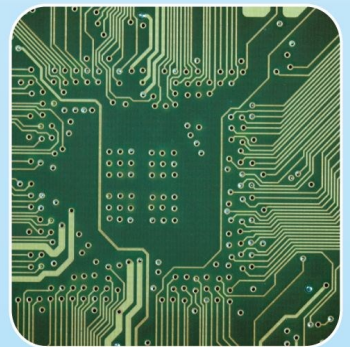


財團
法人

中技社

產品生命週期之永續性評估

CTCI FOUNDATION



財團法人中技社(CTCI Foundation) 於 1959 年 10 月 12 日創設，以「引進科技新知，培育科技人才，協助國內外經濟建設及增進我國生產事業之生產能力為宗旨」。初期著力於石化廠之設計與監建，1979 年轉投資成立中鼎工程，承續工程業務；本社則回歸公益法人機制，朝向裨益產業發展之觸媒研究、污染防治與清潔生產、節能、及環保技術服務與專業諮詢。2006 年本社因應社會環境變遷的需求，在環境與能源業務方面轉型為智庫的型態，藉由專題研究、研討會、論壇、座談會等，以及發行相關推廣刊物與科技新知叢書，朝知識創新服務的里程碑邁進，建構資訊交流與政策研議的平台；協助公共政策之規劃研擬，間接促成產業之升級，達成環保節能與經濟繁榮兼籌並顧之目標。

本著創社初衷，為求對我們所處的環境能有更深的貢獻以及協助產業發展，對國內前瞻性與急迫性的能源、環境及經濟議題邀集國內外專家進行研究探討，為廣為周知，提供讀者參考，特發行此專題報告。

發行人：潘文炎

主編：胡憲倫

總編輯：余騰耀

執行編輯：鄧倫、陳潔儀、潘惠萍、楊智凱

發行者：財團法人中技社

地址 / 106 台北市敦化南路二段 97 號 8 樓

電話 / 886-2-2704-9805

傳真 / 886-2-2705-5044

網址 / www.ctci.org.tw

本社專題報告內容已同步發行於網站中，歡迎下載參考

ISBN:978-986-90284-7-9

序言

在後工業社會環境與全球氣候劇烈變遷下，「節能減碳」已不再只是官方天邊雲彩的省思口號，而是現代產業經營管理與永續發展不可或缺的行動策略，因為未來參考碳標章、選擇低排碳量社會責任產品的消費行為將蔚為主流。而「生命週期評估(life cycle assessment, LCA)」是估計產品或服務在可用期間內對環境(例如溫室氣體、廢氣與固態廢料產生)影響的重要工具，可協助產業了解自身排碳量，進而可以針對主要耗損能源的製程或使用方法加以改良，透過價值分析、資源回收、重新使用等方式減少潛在成本與環境污染，既能減少排碳量，亦能邁向綠色經濟。

本社近年持續關注跨環保、經濟及社會範疇、且新興非傳統的能源環境議題，相關的研究出版包括「永續資源管理政策白皮書」(專題報告 2012-06)、「永續資源管理技術手冊」(專題報告 2013-05)，2012 年完成「再生能源產品之永續性評估計畫」，提供物質流分析、生命週期永續性評估等方法及案例分享，期與產業共同努力提升本領域研發水準及應用範圍，作為引領地球公民永續發展的行動基礎。

本專書由台北科技大學胡憲倫教授主編，歷時 2 年有餘，編撰過程承蒙相關單位及人員協助，包括友達光電股份有限公司牛銘光前處長及魏憶琳副理的協助案例資料提供及分析，台北科技大學顏哲揚、黃慶耀先生的協助資料蒐集彙整及撰寫，使得本專題報告得以順利完成；同時參考聯合國環境規劃署(UNEP)2011 年出版之「*Towards a Life Cycle Sustainability Assessment – making informed choices on products*」報告，謹誌文表達感謝之意。

目錄

第一章	前言	1
1.1	生命週期永續性評估之重要性	1
1.2	生命週期永續性評估之優點	4
第二章	生命週期永續性評估介紹	5
2.1	生命週期永續性評估緣起	5
2.2	生命週期永續性評估(LCSA)方法學介紹	6
2.3	生命週期永續性評估推廣與實施	12
2.4	結語	14
第三章	案例介紹—以友達光電之太陽能產品為例	17
3.1	文獻回顧	17
3.2	生命週期永續性評估架構研擬	21
3.3	生命週期永續性評估整合法	24
3.4	案例評估	26
3.5	本案例進行生命週期永續性評估之不足	38
3.6	效益分析及建議	41
第四章	結論與建議	45
	參考文獻	47

表目錄

表 1-1 各產品評估工具之比較	2
表 1-2 生命週期永續性評估運用之層面	3
表 3-1 不同再生能源之永續總分表	19
表 3-2 太陽光電與建築結合應用(BIPV)之生命週期分析表	21
表 3-3 生命週期永續性評估整合法	25
表 3-4 社會給分依據	32
表 3-5 多晶矽太陽能模組之環境面數據	33
表 3-6 多晶矽太陽能模組之經濟面數據	34
表 3-7 多晶矽太陽能模組之社會面數據	34
表 3-8 多晶矽太陽能模組之三面向比較	35
表 3-9 多晶矽太陽能模組之三面向熱點分析	37
表 3-10 多晶矽太陽能模組之永續熱點分析	37

圖目錄

圖 2-1 生命週期永續性評估(LCSA)的系統邊界	8
圖 2-2 LCSA 案例中的單元流程與組織層級的盤查分析資料	9
圖 2-3 開始使用生命週期永續性評估時建議框架	11
圖 3-1 生命週期永續性評估指標框架	22
圖 3-2 多晶矽太陽能模組	26
圖 3-3 多晶矽太陽能模組織系統邊界圖	29
圖 3-4 多晶矽太陽能模組之永續熱點分析	38
圖 3-5 生命週期永續性評估指標框架 (本次案例有進行之部分)	39
圖 3-6 生命週期永續性評估指標框架(簡化版)	44

第一章 前言

隨著世界人口持續增加與經濟活動迅速發展，資源分配的問題亦日趨嚴重，因此如何有效的運用資源，邁向永續發展將成為一重要課題，而永續即是注重世代內與世代間的均衡發展，其主要評估為運用生命週期觀點，整合與評估該活動或產品於環境面、經濟面和社會面三大面向之衝擊，也就是生命週期永續性評估。目前國外已有眾多組織及學者針對生命週期永續性評估進行研究與運用，但相較於國外之重視，我國對於該方法之研究著墨甚少；除此之外，台灣地區天然資源稀少，以能源為例，根據經濟部能源局的統計資料，台灣在 2013 年能源供給量有 97.90% 來自進口，僅 2.10% 為自產，說明台灣對於進口能源的依賴以及未來將面臨有限能源枯竭的問題；由此可見，未來國內能源使用應以具有再生性之再生能源為主要發展趨勢。緣此，本報告將運用生命週期永續性評估方法，對於再生能源—太陽能進行評估，針對環境、經濟及社會三面向進行整合性評估，以瞭解太陽能之永續效益。目前已透過文獻蒐集和生命週期階段來制定計算環境、經濟和社會面向之評估指標，並以國內某企業之太陽能產品為案例研究，未來可參考本報告結果制訂適合太陽能之生命週期永續性評估架構，期望可作為企業評估與分析產品永續性之參考依據。

1.1 生命週期永續性評估之重要性

一、生命週期永續性評估之運用

(一)國際之產品評估工具與生命週期永續性評估之比較

目前國際對於產品評估之工具種類甚多，因此本報告針對各產品評估工具進行一個簡易比較，如表 1-1 所示，產品評估工具的發展歷程大都是先提出一套量化衝擊程度的理論，再依據對象與用途逐步發展成具特定目的的評估方法。

表 1-1 各產品評估工具之比較

比較項目 評估工具	評估面向			評估方式	結果辨別
	環境	經濟	社會		
(環境)生命週期評估 (Environmental) life cycle assessment, ELCA)	●			複雜	一般
生命週期成本(Life cycle costing, LCC)		●		複雜	一般
社會生命週期評估 (Social life cycle assessment, SLCA)			●	複雜	一般
每服務單元的物質輸入(The material input per service-unit, MIPS)	●			複雜	難
永續製程指標(The sustainable process index, SPI)	●			複雜	簡單
清潔生產(Cleaner Production, CP)	●			複雜	簡單
生命週期永續性評估 (Life Cycle Sustainability Assessment, LCSA)	●	●	●	複雜	簡單

資料來源：張添竣(2008)；本報告彙整。

表 1-1 為目前國際上對於產品評估之工具使用情形，但對於產品而言，這些評估工具，除生命週期永續性評估之方法考慮面向較廣以外，其餘工具多考慮單一面向，容易導致決策者在進行產品決策時發生偏頗(只注重經濟成本效益或是環境汙染等)。舉例來說，若是決策者只注重產品之經濟效益，而不去瞭解產品可能造成之相關環境衝擊，進而導致產品引發不可避免之環境汙染，造成社會觀感不佳，甚至影響產品銷售和產生額外成本(例如：罰款等)，如此一來，不論對於環境、社會、甚至企業經濟績效皆可能造成負面影響。

以現今世界或是企業經營型態而言，環境、經濟和社會已是密不

可分，甚至有「牽一髮動全身」之情形出現；是故，不論是基於企業績效或是目前世界之潮流—永續而言，三面向(環境、經濟和社會)之綜效評估已是不可避免之趨勢，面對日益複雜之產品特性，進行多面向之評估是有其必要。生命週期永續性評估是依據環境面、經濟面和社會面進行完整評估之工具，且是基於 ISO14040 生命週期評估架構進行評估。

(二)生命週期永續性評估運用之案例

本報告彙整相關生命週期永續性評估運用案例如表 1-2，不難看出生命週期永續性評估使用之廣泛程度，以及使用之難度，但可確定的是，目前世界上對於生命週期永續性評估之重視與應用已日益重要。

表 1-2 生命週期永續性評估運用之層面

運用層面	作者	年份	內容簡述
國家	Ugwu et al.	2007	提供永續性評估的權重和方法。
	Wood et al.	2012	擴大三重底線(永續性)評估方法，幫助偏遠地區政策導引。
議題 (溫室氣體 減排)	Michlik et al.	2011	研究表明對於每個地區生質能源型態或政策，皆會對當地或其他地方造成影響，因此對於生質能源而言，生命週期永續性評估格外重要。
物種 (紅樹林)	Moriizumi et al.	2010	研究發展簡易生命週期永續性評估來探討紅樹林之永續管理。其結果顯示，嚴格保護系統對於紅樹林而言是最為永續之管理辦法。
行業	Sydorovych et al.	2008	研究以農業為案例，使用了聯合分析法進行了較為靈活之框架設置，顯現出不同利益關係人之間的比較。
	Huang et al.	2012	研究透過文獻探討並搭配多屬性評估進行分析，並以中國建築行業為對象，分析 11 個主要的建築節能技術，範圍建議涵蓋整個中國大陸之建築。

資料來源：本報告彙整。

1.2 生命週期永續性評估之優點

UNEP(2011)認為，潛在和未來的決策者、利害關係人、企業和消費者能從生命週期永續性評估(LCSA)中獲益：

- 一、生命週期永續性評估讓執行者能夠使用一個架構清楚的方法，組織複雜的環境、經濟和社會資訊和數據。
- 二、生命週期永續性評估透過提供產品生命週期中，更全面的正面負面衝擊概況，有助於釐清三項永續性要素、生命週期各階段及影響、產品和新一代產品之間的權衡關係。
- 三、生命週期永續性評估透過將和企業產品、服務相關的所有影響納入考量，能讓企業知道，如何成為對其業務更具責任感的企業。
- 四、生命週期永續性評估促進價值鏈中各參與者對永續發展議題的認識。
- 五、生命週期永續性評估協助企業和價值鏈中的各參與者辨識缺點，使其能進一步改善一項產品的生命週期。例如，生命週期永續性評估幫助企業決策者，找到更具永續性的生產方法、設計出更具永續性的產品。
- 六、生命週期永續性評估協助決策者排定各種資源的優先順序，將資源投資在較可能產生正面影響、較不會產生負面衝擊的項目上。
- 七、生命週期永續性評估決策者選擇具永續性的技術和產品。
- 八、生命週期永續性評估能協助消費者判斷哪些產品不僅更具成本效益、生態效力、更具社會責任，同時也更具永續性。
- 九、生命週期永續性評估刺激企業和價值鏈各參與者的創新作為。
- 十、生命週期永續性評估有主動標示資訊之潛力。
- 十一、具透明、溝通之生命週期永續性評估資訊，能幫助企業提升信譽。
- 十二、生命週期永續性評估提供可達到永續消費與生產的指導方針。

第二章 生命週期永續性評估介紹

生命週期計畫(Life Cycle Initiative, LCI)為聯合國環境規劃署(UNEP)及美國環境毒理及化學學會(SETAC)於 2002 年共同推動的國際生命週期夥伴計畫，目的在於推動生命週期思維的有效實踐。

LCI 於 2011 年發行『邁向生命週期永續性評估(Towards a Life Cycle Sustainability Assessment)』專題報告，是目前對於生命週期永續性評估有完整描述之報告，考慮到該報告對生命週期永續性評估描述的完整性，以及發行單位之公信力，本研究參考並建置生命週期永續性評估之框架，並摘譯該報告內容如下，以完整描述生命週期永續性評估之內容能有完整之描述。

2.1 生命週期永續性評估緣起

聯合國環境規劃署(UNEP)於 2011 年發行『邁向生命週期永續性評估(Towards a Life Cycle Sustainability Assessment)』是為了給讀者明白如何使用、結合已經在使用中，且各自獨立的生命週期評估技術，開始進行整體性的生命週期永續性評估(LCSA)。環境面向的生命週期評估、生命週期成本和社會面向的生命週期評估都是以 ISO14040(2006)架構為基礎，以互補的方式處理永續性的三個要素(環境、經濟和社會)，我們有可能可以合併這些技術，產生一個包含各個面向的生命週期永續性評估方法。除此之外，生命週期永續性評估之用處尚有：(一)幫助提升現行和未來決策者，對更具永續性的產品做出知情的選擇；(二)在更完整的產品生命週期永續性評估方法當中協助尋找參與之各方利害關係人；(三)協助降低環境廢棄物、防止對社會帶來負面衝擊、在產品生命週期中提高社會和經濟利益的企業和個人。永續發展和永續性在現代全球化的世界中，愈來愈常被使用。漸漸地，除了在發展政策和策略時探討經濟問題，政府和企業也必須考慮對環境和社會產生的影響，現在也愈來愈重視永續性的三項要素：(一)環境；(二)經濟；(三)社會。重要的問題是：我們如何能確保未來會有更多具永續性的實踐方法？在永續性的要素中應用生命週期思考(Life Cycle Thinking, LCT，也稱為生命週期觀點，Life Cycle Perspective)，能提供一個在決策過程中整合永續發展的方法。以生命週期思考做為思考方式意味著，超越以往在企業製

造端上比較狹隘的傳統焦點。生命週期思考代表將一項產品在整個生命週期中(從原物料萃取到原料加工、生產、配送、使用、修理、維護和廢棄或回收)，對環境、社會和經濟產生的影響納入考量，也考慮到價值鏈。

自 1990 年代開始，聯合國環境規劃署(UNEP)和美國環境毒理及化學學會(SETAC)使用生命週期方法並透過國際「UNEP/SETAC 生命週期計畫」來解釋永續。聯合國環境規劃署(UNEP)和環境毒物學與化學協會(SETAC)的生命週期計畫也對聯合國環境規劃署的綠色經濟計畫(Green Economy)做出貢獻，該計畫旨在於催生低碳、高科技、具能源效益之全球經濟體，採用「超越國內生產毛額」(beyond-GDP)的指標。

UNEP/SETAC 生命週期計畫有三大目標：

- 一、加強全球對現行和新興生命週期之態度和方法的共識和普及率
- 二、鼓勵企業、公共權威、消費者在決策過程中採用生命週期思考，並在世界各地促進這種方法的使用。
- 三、透過應用、改善生命週期方法，擴大世界各國的潛力。

UNEP/SETAC 生命週期計畫，雖然剛開始的焦點專注在環境面向的生命週期評估(以 ISO14040)的基礎上，本計畫則持續發展，採用一個較為廣泛的永續性發展方法，目標是將現行的環境生命週期評估技術轉化為「以三項要素架構而成的永續性發展技術」。在聯合國環境規劃署/美國環境毒理及化學學會產品社會面向的生命週期評估守則(UNEP/SETAC, 2009)出版後，建議在下一個階段就是朝向生命週期永續性評估(LCSA)的方向發展。

2.2 生命週期永續性評估(LCSA)方法學介紹

為了取得可靠、健全的永續性評估結果，無可避免需要採用具全面性的原則和生命週期觀點(Life Cycle Perspective)。生命週期觀點將產品壽命中各週期的階段，組織成完整的供應鏈和價值鏈，包含從原物料的萃取和獲得、到能源材料生產和加工、使用和產品壽命終止時的處理和最後的廢棄都納入考量。透過此一系統化的檢驗，可以辨識、也可能可以避免環境負擔、經濟利益、產品或個人擁有物生命週期各階段的社會福祉在無意識中發生轉移。在單一評估計畫中，以跨媒體、多面向觀點考慮所有特性和面向，可以辨識、評估潛在的權衡。

生命週期永續性評估(LCSA)方法學框架之提供有助於解決目前全球公認日益複雜之系統。方法學之基礎—生命週期評估之說明，是依據ISO14040(2006)和 ISO14044(2006)提供標準化的程序框架評估以進行研究。

環境面向的生命週期評估方法廣泛運用於評斷永續發展的環境議題，但是以類似的方法來評估經濟(生命週期成本)、社會(社會面向的生命週期評估)的做法在各國依然有限。這兩個面向的發展非常重要，因為這能容許生命週期出現在永續性評估的基礎上，且這兩個面向具有類似的觀點和目標，因為兩者皆以 ISO14040(2006)各階段(1、2、3、4 階段)為基礎，以此可能可以整合這些技術，創造一個將各個因子包含在其中的生命週期永續性評估。Walter Klöpffer 建議在將這三項技術進行整合時，將這個概念導入一個概念性的算式中(Klöpffer, 2008; Finkbeiner et al., 2010)。Klöpffer(2008)提出的算式，強調結合其他技術產生的各項結果後，再解讀結果的重要性；這能得到以生命週期觀點為基礎的整合性決策，也將永續性的三個面向納入考量：(資料來源：Klöpffer (2008) and Finkbeiner et al. (2010))

$$LCSA = (\text{Environmental}) LCA + LCC + S-LCA$$

結合環境面向的生命週期評估、社會面向的生命週期評估和生命週期成本，能成為評估產品的一種方式，在永續性的前提下，提供更具相關性的結果。下面將介紹如何使用生命週期永續性評估(LCSA)之通用指標和建議。

ISO14040 具體說明環境面向的生命週期評估四個階段的評估架構，這能應用在生命週期成本和社會面向的生命週期評估上，同時亦適用將環境生命週期評估、生命週期成本和社會生命週期評估整合之生命週期永續性評估，這四個階段包括：定義目標和範疇、盤查分析、衝擊評估及闡釋。

一、生命週期永續性評估的目標與範疇界定

生命週期永續性評估之定義目標和範疇部分，其內容描述研究目的、界定範疇以及研究的目標讀者。環境面向的生命週期評估和生命週期成本評估，以及社會面向的生命週期評估具有不同的目標，在整合這三種方法時，必須先理解到這一點。將這些差異納入考量後，在執行整合性的生命週期永續性評估時，強烈建議界定一個共同的目標和範疇。

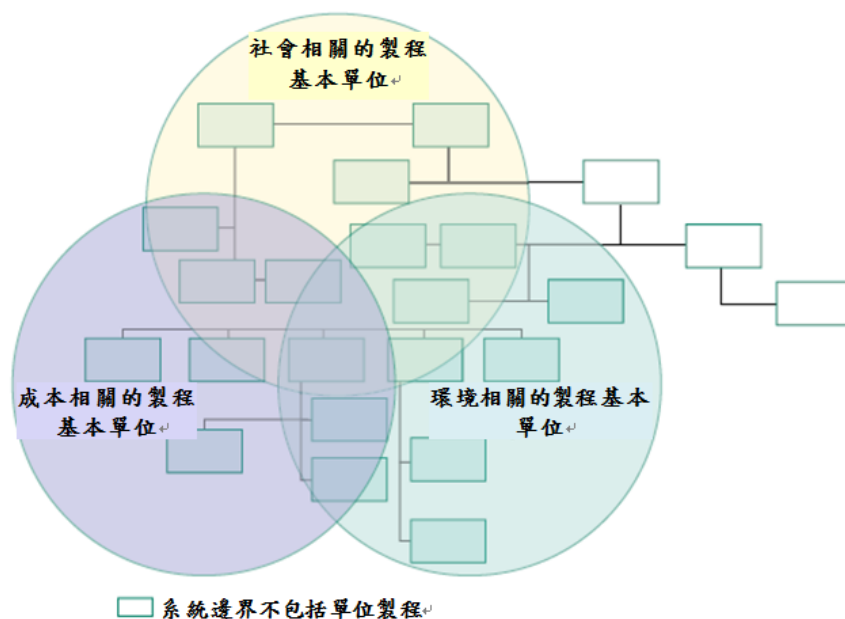
(一)功能單元(Functional Unit)

在生命週期永續性評估中，盤查和衝擊指標必須和一項普通產品的功能單位有關。一如社會面向的生命週期評估(UNEP/SETAC, 2009)，建議功能單位描述產品的技術效用以及社會效用。

(二)系統邊界(System Boundary)

當單獨應用每一項生命週期技術時，可能會因為每一種技術相對於永續性的關聯性，而產生不同的系統範疇。在實務上而言，為了定義出每一項技術的相關製程基本單位，需使用截斷準則(Cut-Off Criteria)，例如質量、能源、工時、成本、價格、環境或社會相關性。下方的圖 2-1 是製程基本單位的範例，這些製程基本單位和每一種評估技術有關，在某些案例中，工具基本單位則和一項以上的評估技術有關。例如，在生命週期成本評估中，系統邊界通常範圍會變大、納入研發部門，但是因為這項活動和環境及社會衝擊的關聯性較小，通常不會被納入環境面向的生命週期評估和社會面向的生命週期評估中。(UNEP/SETAC, 2009)

因此，建議整體的生命週期永續性評估系統界線，納入所有和至少一項評估技術有關的製程基本單位(見圖 2-1，說明圓圈內所有的製程基本單位)。在某些案例中，生命週期永續性的研究可能沒有評估一個或一個以上的生命週期階段，需要說明未加以評估的原因。



資料來源：UNEP, 2011

圖 2-1 生命週期永續性評估(LCSA)的系統邊界

(三)衝擊類別

在生命週期永續性評估研究中，建議選擇與產品整個生命週期相關的衝擊種類，這應遵照三種評估技術所提供的觀點，在定義衝擊種類時，也應考慮利害關係人的意見。

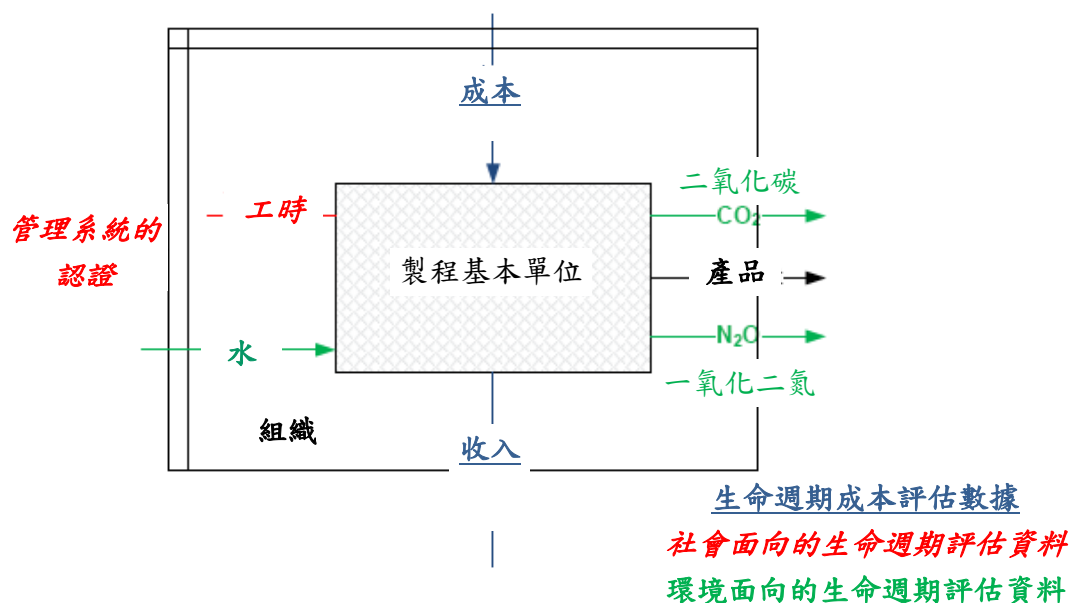
此外，以跨媒介、跨領域(社會、經濟、環境)、跨世代和地理環境的觀點思考所有相關的衝擊種類，可以辨識、評估潛在的交易作用(Trade-Off)。

(四)在多種投入、產出過程中進行分配

這項討論僅限於使用定量資料的前提下，如果製程的成果是一項以上的產出物，那麼問題就會變成，應將負擔配置在哪一項產出物上。為了做到這一點，建議使用物質比例或經濟比例，因為這是分別執行三種評估技術時所採用的配置方式。

二、生命週期永續性評估的盤查分析

在生命週期永續性評估中，生命週期盤查分析彙整製程基本單位和產品系統組織、導致環境、經濟、社會衝擊外部環境的交換。考量到維持三種評估技術一致性的重要性，建議在製程基本單位和組織層級蒐集數據(詳圖 2-2)。



資料來源：UNEP, 2011

圖 2-2 LCSA 案例中的單元流程與組織層級的盤查分析資料

數據的可取得性是另一個需要考慮的問題；在發展中國家和中小企業中進行生命週期永續性評估時，這一點可能會變得非常重要。另一項需要考慮的重要議題是需要蒐集的數據類型。社會面向的生命週期評估數據不僅以定性資訊進行特徵化，也以定量方式、半定量資訊進行特徵化。因此，建議應用生命週期永續性評估方法時，在產品的完整生命週期中，蒐集這三種數據。

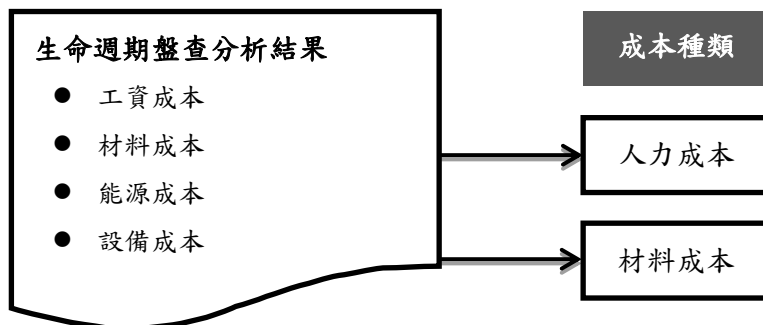
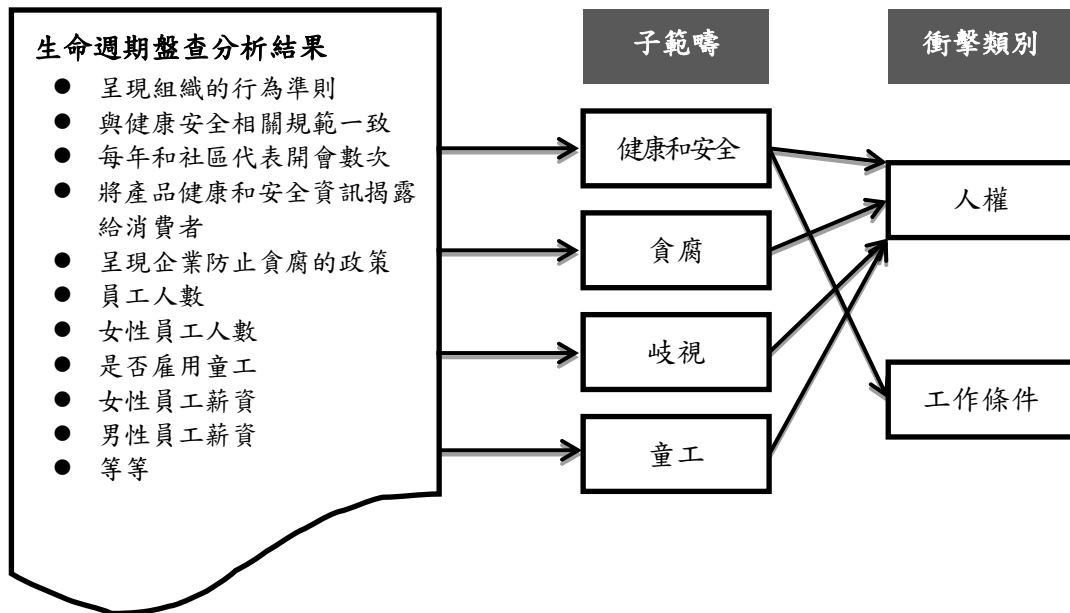
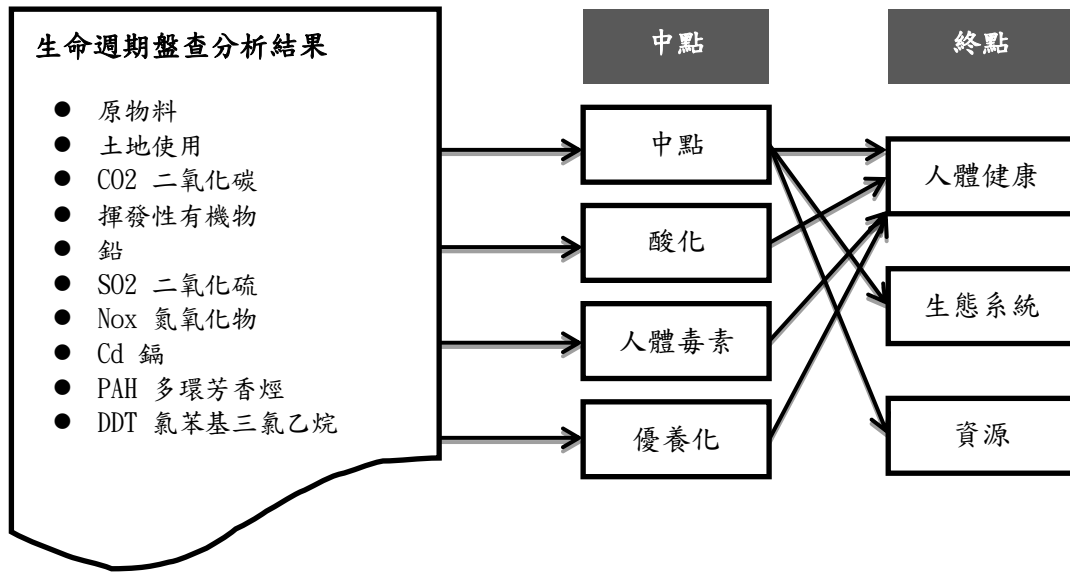
雖然在企業、組織、公共統計數據和資料庫中可以找到環境面向的生命週期評估數據、生命週期成本評估數據，社會生命週期分析資料依然付之闕如。然而，某些通用數據的資料庫正在建置當中。此外，由於三種評估技術都使用特定場址數據(Site-Specific Data)和通用數據(例如國家或區域的平均數據)，因此建議在執行生命週期永續性評估時，要同時將這兩種數據納入考量。

三、衝擊評估

按照 ISO14040(2006)和 ISO14044(2006)規範執行生命週期永續性衝擊評估時，建議執行分類和特徵化步驟，並將此視為最低限度、必要性步驟。請再次注意，生命週期成本評估並不是一項比較衝擊評估的評估方法，因此綜合成本成為直接比較衝擊的媒介。

在分類步驟中，盤查資料被分配到所選擇的衝擊類別中，這個步驟在生命週期永續性評估中是可行的。然而，考量到特徵化模組不存在於所有的衝擊類別和受影響的環境中，可能無法將所有生命週期永續性分析盤查資料轉換到共同的類別中，也無法將這些資料合併到特徵化步驟所要求的每一個衝擊類別中。建議在可行的狀態下，根據社會面向的生命週期評估、生命週期成本和環境生命週期的個別架構，建置合併架構以進行衝擊評估(圖 2-3)。

雖然根據 ISO14040(2006)的規範，標準化、整合和權重不是必要步驟，在所使用的三種技術中，不建議針對評估結果進行整合或權重分配，原因是早期的生命週期永續性研究和執行方法，也無法直接比較每一種評估技術的目標。



資料來源：UNEP, 2011

圖 2-3 開始使用生命週期永續性評估時之建議框架

四、LCSA 之闡釋

生命週期永續性評估的最終目標是針對一項產品系統，進行整合性的評估。生命週期永續性評估結果不僅能指出負面衝擊，也能指出正面效益。

建議以研究目標和範疇定義為基礎，以整合性方式解讀評估結果。評估結果能協助釐清：在經濟效益和環境、社會負擔之間是否發生折抵；哪一些生命週期階段和衝擊子範疇比較重要；透過瞭解產品帶來的衝擊和材料對社會帶來的衝擊，檢視產品是否對社會和環境友善。

Traverso et al. (2009) 試圖導入「生命週期永續性儀表板」(Life Cycle Sustainability Dashboard) 來處理這項挑戰；這改良自 Jesinghaus(2000) 的永續性儀表板(Dashboard of Sustainability) 概念，原本的設計目的是為了透過整合經濟、社會、環境因子，評估數個社區。

生命週期永續性儀表板使用微軟 Excel 的巨集編製而成，可以根據得分和顏色，來整合兩項以上的產品。各項指標透過這種做法被分組，成為數量有限的主題，因此能設置一個「指示性」儀表板，選擇適當的主題和相關的指標。為了執行生命週期永續性儀表板(Life Cycle Sustainability Dashboard)，進行環境面向的生命週期評估、生命週期成本、社會面向的生命週期評估時使用的指標群組，也能套用、植入在生命週期永續性儀表板的資料庫中。每一項評估產品的盤查數據，都能套用在每一項評估技術中(環境面向的生命週期評估、生命週期成本、社會面向的生命週期評估)。採用的工具能把從每一項評估技術(環境面向的生命週期評估、生命週期成本、社會面向的生命週期評估)中取得的總數按照高低排列，以深綠色表示最佳的表現，以紅色表示最差的表現。

2.3 生命週期永續性評估推廣與實施

為了進一步執行生命週期永續性評估工具，作者群已經辨識出一些需要進一步發展的主題：

- 一、結合環境面向的生命週期評估、生命週期成本和社會面向的生命週期評估、增加應用範圍、取得評估發現、得到經驗。舉例來說，有了更多的生命週期永續性評估案例，就能克服永續性決策輔助中的

「交易錯誤」(Trade-Off Errors)，例如不支持一種在環境上有正面影響，但是不確定對社會造成的影響為何的產品鏈，不會因為某項產品使用的資源較少、碳直接排放量較低，在沒有評估其他在永續性中需要考量的面向之前，就稱其為較具永續性的產品。

- 二、發展技術上的專業知識。這一點是必要的，尤其是在發展中國家和新興經濟體中，這些區域缺乏財務資源和區域性的處理能力。這表示，國際和跨政府組織必須和國家攜手合作，提供必要的區域性合作夥伴，例如國家生命週期網絡、示範中心、國家清潔生產中心、商會和工業組織。
- 三、取得更多資料。為每一項評估技術(LCC、S-LCA、[Environmental] LCA)打造一致的數據管理系統，有助於數據具備更廣泛的可取得性、促進數據的生成—尤其是在發展中國家和新興經濟體。這有助於三種評估技術以具有連結性、一致性的方式被執行。
- 四、討論生命週期永續性評估的原則和標準，按照三種永續性要素的「交易」(Trade-Off)分析結果，探討解讀生命週期衝擊評估的結果。這有助於利害關係人進一步執行更多的案例研究、協助決策者更能做出知情的決定。
- 五、為了避免這些評估工具的不道德使用，需要在產品效用和產品永續性方面進行更多的研究。
- 六、主動參與定義的過程。在生命週期永續性評估中，共同認知和保護(終點)領域的共識是較新的領域，需要更多的討論，而這需要利害關係人和決策者主動參與定義的程序。
- 七、在執行生命永續性評估方法時，提出未來世代在未來研究中的觀點，以防治世代間的折抵，並且將永續發展的布倫特蘭定義納入考量。
- 八、更常結合所有的規範，鼓勵不同派別的環境、成本、社會評估方法進行交換和融合。這能讓我們對上述要素之間的關聯性、潛在的升高效應有更多的認識。發展闡釋的守則，會引導出品質提升後的評估方法；但是發展這樣的守則有其難度，因為牽涉到多種要素和種類。
- 九、鼓勵發展更有效率的方法，進行完整的分析(而不是單就一個面向，

檢視顯著的細節)

十、為了提高對整合性方法的信任度、提供更多的指導方針和利害關係人參與生命週期永續性分析的範例、重新檢視流程，以強調各方(利害關係人)加強參與的重要性。

十一、討論、確認一個較清楚的溝通、向決策者宣傳生命週期永續性評估結果的形式，以支持對永續性產品做出更好的知情選擇。

十二、要發展生命週期永續性評估方法，必須針對相關事項、使用三種評估技術時重複計算風險，進行更多的研究。此外，在生命週期永續性評估方法成熟之前，建議此方法在初期不要進行任何變動，也不要採取動態方法，但需要在時間的面向上進行更多的研究，因為環境面向的生命週期評估、社會面向的生命週期評估通常不會將時間產生的效果納入考量，而生命週期成本評估通常會討論到折現率。

2.4 結語

生命週期永續性評估具有非常大的潛力，能被企業、政府、國際企業部門和社會上的其他組織使用(例如消費者組織)，以生產、消費更具永續性的產品。這意味著，減少對環境的剝削、以具有成本效益的方式使用天然資源，同時對社會福祉做出貢獻。

從前述中，可以推論出現行以生命週期為基礎，目前被獨立使用之評估技術，但是也能互相整合，進行生命永續性評估。這種方法能應用到世界各地及各種產品，為決策者提供有用的資訊。而環境面向的生命週期評估、生命週期成本、社會面向的生命週期評估方法已經被發展成各自獨立的評估技術，若能在研究中結合這些技術，將能在永續發展的三條基線上發展出更具整合性的決策，這三條基線分別是人文、地球、利益。

生命週期永續性評估所提議的，並不是重複前人的成果上，雖然在過去已經出現以不同名稱提出的類似方法，但是這是第一次，聯合國的出版品宣傳一個我們終於取得方法和資料，能邁向對產品生命週期進行永續性評估的願景。可以肯定的是，雖然我們已經在往前進，我們依然需要針對特定的領域，進行更多的應用、建置更容易取得資料的管道及進行更深入的研究。有愈來愈多的公司、政府和事件參與者和專家一同合作，取得我們所購買的產品背後，其完整的永續性藍圖，雖然這意味著需要投入大量

的員工時間和財務資源。但是，這些先驅行動，能在未來導引出資料庫的建置，這一點同樣也發生在社會面向的生命週期評估，因此我們能以更具成本效益的方法，應用生命週期永續性評估技術。我們已經看見這個情況發生在環境面向的生命週期評估技術上，其比較廣為人知的名稱是「足跡」計算(Footprinting)，使用的情況也大幅增加。

如果提出的方法，只有其中一兩項被使用在永續產品的決策過程中，就會失去改善被忽視之永續發展要素的機會，而關鍵影響之交易風險可能會發生。

為了達到永續消費、永續生產模式的綠色經濟目標，需要強而有力、可信任、以科學為基礎的技術，才能在資源效率的領域中發展知識，然後將對產品系統較好的認識，轉變成為行動。生命週期永續性評估能在這個過程中，扮演此一關鍵的角色，這不只是為了企業，也是為了科學政策、讓消費者在日常購買決策中，擁有更多的權利。

顯而易見地，在這十年中，有更多的指導方針討論各種方法學的挑戰，在實際操作上面更是需要投注大量努力，最後讓生命週期永續性評估技術成為產品開發和行銷的主流方法，以此創造一個更具永續性的未來。

第三章 案例介紹—以友達光電之 太陽能產品為例

Midilli et al. (2006)認為再生能源，如太陽能、水力、生質能、風力及地熱等，不僅生產人類所需之能源，並期望對環境之衝擊降到最低，進而達到永續發展；吳銀泉(2006)則提出各種再生能源中以太陽能電池、風力發電及燃料電池最具發展潛力，其中太陽能電池、風力發電均已商業化。但由於風力發電須設置在適當的地點，太陽能電池模組之設置則無太大限制，且太陽能電池具有無限、免費、清潔、固定一致的轉化效率、產品壽命長達 20 年以上以及可採用太陽光以外之其他光源等優點，因此本報告將運用永續性評估優先針對國內太陽光電相關產業進行研究。

本案例為友達光電，友達光電公司(以下簡稱友達光電或友達)前身為 1996 年成立的達基科技，2001 年達基科技與聯友光電合併，正式更名為友達光電。2006 年再併購廣輝電子，使友達成為大型的 TFT-LCD 製造商。友達光電也是首家成功在美國紐約證交所(NYSE)掛牌上市的 TFT-LCD 面板製造公司，並自 2008 年底起進軍綠能產業，於 2010 年 10 月正式將業務分為顯示器及太陽能兩大事業。為因應全球佈局發展及光電與太陽能事業成長雙引擎，2011 年開始於新竹科學園區興建「前瞻研發中心」，以前瞻技術研發、創新技術平台、綠能科技為研發重點，並積極與國際一流的實驗室、全球頂尖大學及研究機構，以及世界級企業等研發單位共同攜手，為友達中長期先進技術打造基礎研發平台。「前瞻研發中心」將統整友達未來於顯示器及綠能科技的研發資源，放眼中長期的技術紮根，並配合公司的發展策略，引進國際基礎研發資源，以發揮最大的效益，打造國內最大的光能產業研發平台(友達光電企業社會責任報告書，2011)。儘管友達光電在太陽能產業上投入許多資源，以產業鏈而言尚屬年輕，但友達光電於太陽能產業上獲得了世界首個針對太陽能模組(太陽能板與電池)的 PAS2050 碳足跡認證。本案例將以友達光電之太陽能產品作為對象，並將對本報告研擬之生命週期永續性評估之框架進行示範說明(顏哲揚，2013)。

3.1 文獻回顧

一、再生能源產業運用生命週期永續性評估之文獻

討論環境、經濟及社會的永續發展時，能源是其中一項關鍵的因素(Dincer, 1999)。台灣天然資源稀少，使得能源取得不易，2009 年初級能源供給結構中，石油、煤炭、天然氣、核能、水力及再生能源之占比，分別為 51.82、30.45、8.62、8.72、0.26 及 0.14%。仰賴進口之數量，分別占 99.96、100、97.33、100、0 及 0%。由此可見，國內能源使用大宗之石油、煤炭、天然氣等化石能源，而具有分散能源風險特性、高自主性與淨潔性能源封號的再生能源，國內使用數量並不多，亦造成國內能源相關廠商投資意願大打折扣(施勵行與李珣琮，2010)。

傳統能源相較於再生能源而言是有較高之環境汙染，在面對目前國際環保意識高漲之時代，我國也不能屏除在外。Chen et al. (2010) 提到再生能源是有三大優勢，分別為：能源永續、經濟發展和環境保護，只可惜就目前而言，成本較傳統能源仍處劣勢，因此現階段政府的補助與宣導相對重要。

施勵行與李珣琮(2010)也提出，台灣因擁有充沛的日照與良好的風況，在發展太陽光電與風力發電具有絕對優勢，反觀生質能發電與地熱發電等，發展空間則相對趨於劣勢。Evans et al. (2009) 探討了發電成本、溫室效應、技術的侷限性與可用性、能源轉換效率、土地利用、水之耗用和社會影響等永續性指標後，認為在眾多再生能源中，以風力發電較具永續性。

Evans et al.(2009)透過許多文獻方式參考相關指標整理出再生能源之永續性，而此篇研究所探討的再生能源有風力、水力、光電發電和地熱，以七項指標作為評估：發電成本、溫室效應、技術的侷限性與可用性、能源轉換效率、土地利用、水之耗用和社會影響。透過上述七項評估指標來比較各種再生能源，以此進行多面向之探討，避免因單一面向或數據之評估而有所偏頗，內容如表 3-1 所示。

指標總分範圍為 1~4 分，1 為最好，4 分為最差，基本上是透過互相比較來得之分數高低，假設每個指標同等重要不加權重，則結果顯示風力發電是較其他再生能源永續，此研究之指標由於蒐集了大量文獻(115 篇)，因此這個排名是具有全球性之相對排名；此外，此結果對於初步欲進行永續性評估之研究者也能夠提供相關指標之參考，例如：於經濟面，發電成本為不得不考慮之指標。

表 3-1 不同再生能源之永續總分表

指標	光電發電	風能	水能	地熱能	指標所參考文獻量
發電成本	4	3	1	2	45
溫室效應	3	1	2	4	46
技術的侷限性與可用性	4	2	1	3	7
能源轉換效率	4	2	1	3	33
土地利用	1	3	4	2	6
水之耗用	2	1	3	4	7
社會影響	2	1	4	3	1
總和	20	13	16	21	115

資料來源：Evans et al., 2009。

就目前所有文獻看來，有關能源之永續性評估還是尚未完整，除了 Stamford et al.(2011)所發表之核電永續指標是最為完整之研究，以及 Evans et al.(2009)所做之再生能源永續排名外，其餘研究方式還是較偏於環境面或是經濟面之評估，且在這其中社會面之評估是最為稀少，因此本報告所擬定之永續指標將會對此有相當程度之貢獻。

二、太陽能產業運用生命週期觀點之文獻

目前太陽能生命週期永續性評估尚不成熟，以下將對文獻進行整理與解說：

(一)僅以經濟面角度探討之文獻

Qoaidar et al.(2010)探討太陽能光電發電技術，在離網地區供電之可行性，並與柴油發電相較，以生命週期成本進行評估，結果顯示，太陽能光電發電較柴油發電便宜；Marszal et al. (2012)研究結果建議，使用太陽能光電發電時，應以能源效率為優先考量因素。

(二)僅以環境面進行考量之文獻，

Turney et al. (2011)探討大型太陽能發電廠之環境生命週期評估，並假設這個電廠取代全美國之用電，其結果顯示，大型太陽能發電廠之CO₂來源，主要來自於清除森林獲得建廠土地面積，但總體而言，大型太陽能發電廠仍比燃煤發電少了約1100g-CO₂/kwh。

(三)綜合環境面與經濟面考量之文獻

Mousazadeh et al. (2011)評估對象為加入了太陽能輔件之推土機，研究發現，加入以太陽能輔助動力之推土機時，可以減少14 ton-CO₂/year，且還可以防止CO、NO_x和PM₁₀進入大氣，在經濟方面也會因為傳統燃料提高價格而提升效益；Sumper et al. (2011)對200 kw屋頂光電系統進行了評估，結果顯示屋頂光電系統具有較高的節約能源效果與溫室氣體減排潛力，唯目前回收費用年限較高，尤其是單晶矽模組；Hang et al. (2012)對於美國住宅/建築之太陽能熱水系統進行了經濟和環境生命週期評估，結果顯示不管位於哪些地區(本研究研究之地區為洛杉磯、亞特蘭大和芝加哥)平板型並搭配天然氣作為輔助系統之太陽能熱水器是較為永續的；密西根大學永續系統中心(Center for Sustainable Systems)亦針對美國底特律一座太陽光電與建築結合應用之發電系統(Building-integrated photovoltaic, BIPV)進行生命週期環境衝擊及成本之研究(表3-2)。

(四)綜合社會面與經濟面評估之文獻

Hong et al.(2012)主要探討離網型太陽能發電對於農村之影響，結果發現建立適當的電廠以提供電力生產以及合理定價機制(以家庭消費水平為管控基礎)，將有助於提高社會永續性。

(五)對太陽能進行永續性評估之文獻

Frangou et al.(2012)研究地中海中克里特島不同瓦數太陽能發電廠之永續性，結果顯示在某些情況下，獨立的太陽能發電系統是有其永續發展價值；Larraín et al. (2012) 之研究適合智利的再生能源選項(該地區有沙漠可以作為興建選址)是否為集中型太陽能發電(Concentrated Solar Power, CSP)，結果顯示，對於集中型太陽能發電而言，廠址選擇是永續之關鍵，且不能搭配化石燃料使用。

綜上所述，對於太陽能之研究，社會面之評估尚顯不足，甚至於對於永續性評估之研究也缺少或不完整。因此本報告將開發出一套適合太陽能之生命週期永續性評估，並搭配友達光電之太陽能產品進行案例試算。

表 3-2 太陽光電與建築結合應用(BIPV)之生命週期分析表

Inventory Category	LCI data
Ammonia (NH ₃), g/kWh	3.5 x10 ⁻⁷
Carbon Dioxide (CO ₂), g/kWh	62.8
Carbon Monoxide (CO), g/kWh	0.05
Hydrogen Chloride (HCl), g/kWh	2.1 x10 ⁻⁴
Hydrogen Fluoride (HF), g/kWh	2.4 x10 ⁻⁵
Methane (CH ₄), g/kWh	0.13
Nitrogen Oxides (NO _x), g/kWh	0.26
Nitrous Oxide (N ₂ O), g/kWh	1.8 x10 ⁻³
Particulate Matter, g/kWh	0.61
Sulfur Oxides (SO _x), g/kWh	0.54
Primary Energy Use, MJ	49,000
Electricity Production, kWh	53,000 ^(a)
再生能源種類	成本
BIPV, ¢/kWh	80.8 ^(a)

註：(a) for Detroit, MI

資料來源：密西根大學永續系統中心。

3.2 生命週期永續性評估架構研擬

本案例參考了許多文獻並以 UNEP 之『邁向生命週期永續性評估 (Towards a Life Cycle Sustainability Assessment)』為基礎，發展出環境面、經濟面和社會面之指標架構(如圖 3-1 所示)，目前以盤查概念進行架構研擬，指標內容主要以 ISO14040 生命週期評估作為區分，分為原料階段、生產製造階段、使用階段和最終處置。每一階段皆考量了運輸與原物料投入，並依據產品特性與適用度對指標進行刪減，因此，只要評估對象為產品，便可依照本架構進行盤查，以下就三面向進行架構設計說明。

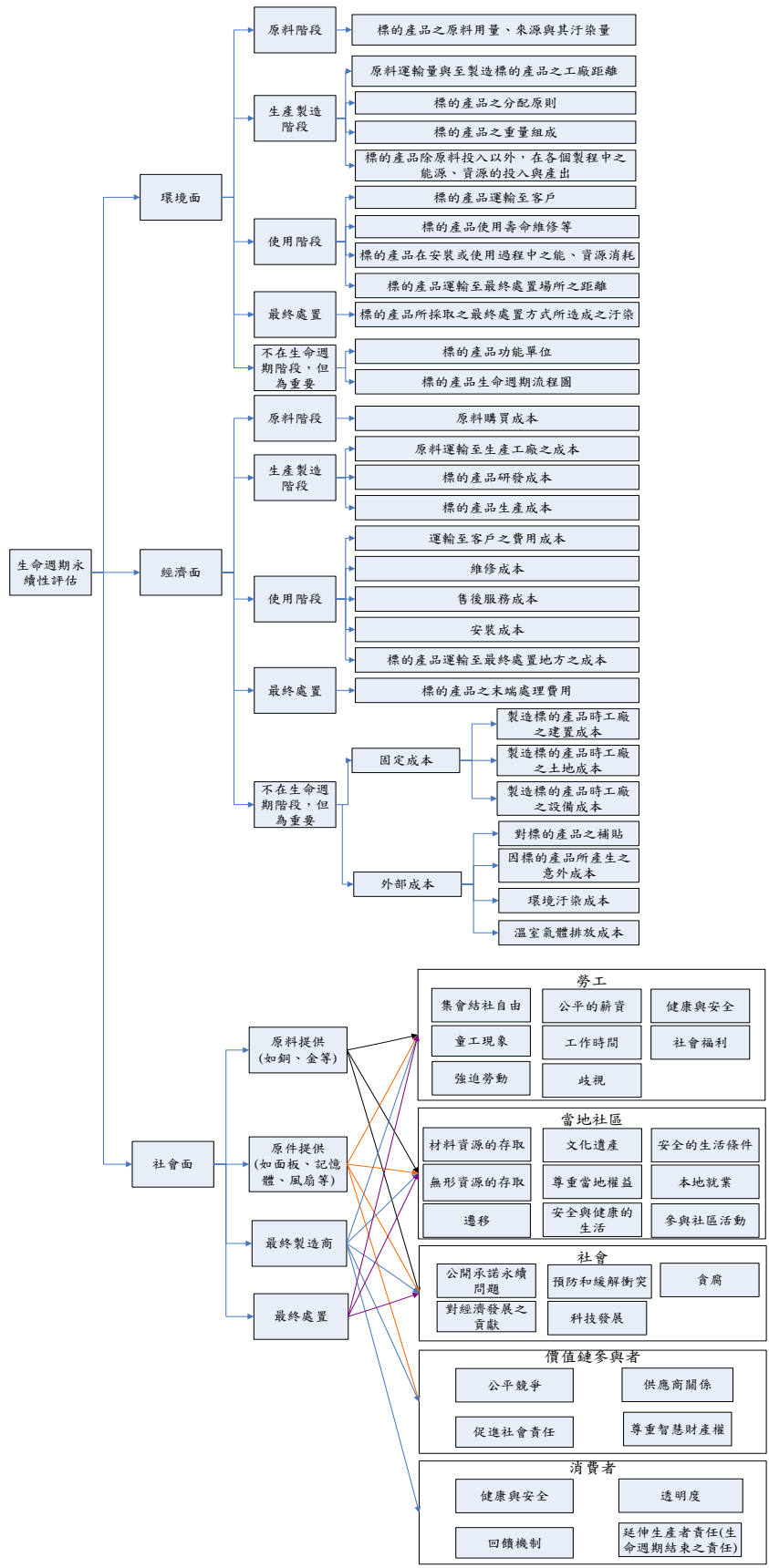


圖 3-1 生命週期永續性評估指標框架(本報告建議)

一、環境面

主要參考 ISO14040 生命週期評估之階段，分別從原料階段、生產製造階段、使用階段和最終處置進行指標制定與假設，並搭配財團法人台灣產業服務基金會之設計表單(發表於經濟部工業局產業永續發展整合資訊網站)進行盤查。

二、經濟面

主要參考的研究方法為生命週期成本(Life Cycle Cost)，係指產品或服務從搖籃到墳墓(Cradle to Grave)各階段之有形與無形成本，包括生命週期階段之原物料投入成本、不在生命週期階段之固定成本(如建廠成本等)和外部成本。外部成本是指不在企業營運範圍內，但又因受企業營運影響所造成之成本，基本上，此成本以往皆由全民進行負擔，這是不合社會正義與公平，因此本報告研擬之架構將進行外部成本內部化，而外部成本在這將只探討政府補貼、意外成本、環境汙染成本(如：空汙費等)和溫室氣體排放成本。

三、社會面

主要參考 UNEP 之『邁向生命週期永續性評估(Towards a Life Cycle Sustainability Assessment)』文件、UNEP 於 2009 發佈之『產品社會生命週期評估指導手冊(Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products)』和德國柏林 GreenDeltaTC 有限公司以華碩一台具有生態標籤之筆記型電腦進行環境和社會評估之『生態標籤筆記型電腦之生命週期評估—考慮整個生命週期的環境和社會衝擊(LCA of an Ecolabeled Notebook—Consideration of Social and Environmental Impacts Along the Entire Life Cycle)』文件，由於目前社會評估很難進行全面量化之評估，因此將以半量化之方式進行評估，主要分為勞工、當地社區、社會、價值鏈參與者和消費者等五大面向，其中再細分為 30 項小指標進行分析，由於 UNEP 文件中指出，社會生命週期評估不適合進行產品分配，因此將把製造商與供應商各視為一個單位進行評估，最後指標之評估會因對象不同而有所區別，其區別如下：

(一)原料階段(如矽、金等)之評估：主要為勞工、當地社區和社會這三項主要指標。

(二)原件提供之供應商(如面板等)之評估：主要為勞工、當地社區、社

會和價值鏈參與者這四項主要指標。

(三)最終製造(本案例中為友達光電)之評估：除了上述指標外還有增加了“消費者”指標的評選。

(四)最終處置階段之評估：主要為勞工、當地社區和社會這三項主要指標。

3.3 生命週期永續性評估整合法

由於生命週期永續性評估之整體概念為，同時透過環境、經濟和社會面向之整合結果進行整體評估，因此本案例也進行了相關數據之整合，但以目前來說，整合方法尚未明確，但許多文獻皆以嘗試進行三面向之整合，以下為本計畫所整理出目前之主要整合方法，如表 3-3 所示。

表 3-3 生命週期永續性評估整合法

	排名法	專家問卷法	熱點法
適用對象	兩種以上評估產品	單項或兩種以上評估產品	單項或兩種以上評估產品
整合方式	透過兩種以上產品之數據進行比較後，性能最友善為 1 分、最不友善為最高分(例如：兩項產品比較時，最友善產品分數為 1，最不友善產品為 2)。	首先透過專家問卷法得到數據級距，再與標準數據比較(通常為國家數據)後進行最佳方案計算與排序(舉例來說：環境面，1~2kgCO ₂ 為 1 分，3~4 kgCO ₂ 為 2 分；經濟面，NT100~200 為 1 分；NT300~400 為 2 分；現有產品 A、B 之環境和經濟面之數據 1kgCO ₂ 、4 kgCO ₂ (環境面)、NT200、NT400(經濟面)，則經由數據級距換算之後可得 1 分和 2 分(環境面)、1 分和 2 分(經濟面)，進行加總後產品 A 得分 2 分，產品 B 得 4 分，此時產品 A 於環境和經濟面向較具永續性)。	1.尋找產品排放量最高之數字作為分母，透過生命週期階段(或製程地圖)來得知各階段之貢獻。 2.透過不同指標之重點比較來得出何種產品為最友善(例如：在氣候變遷中，產品 A 和 B 之數據分別為 1 和 10 kgCO ₂ e，透過該方法之計算，最高排放者為分母得出 0.1 和 1 之分數，此時，在氣候變遷這一塊以產品 A 為較好)。
優勢	該方法可以使用於不同產品之比較，且無需任何複雜計算公式，即可得知產品之永續性。	1.該方法由於是透過實際比較數據，因此適用於不同國家，且在進行永續性分數排名時具有一定之公信力與準確性。 2.若是透過專家問卷所得到之資訊也較為客觀。	1.該方法除了可以得知該產品之熱點以外，亦有去單位之效果，因此基準相同之情況下是可以直接進行加總，適用於無第二項產品可比較之產品。 2.可以進行比較不同指標，進而簡單得出何種產品之性能較為友善。
缺點	該方法只能得知何項產品較具永續性，但不具任何數據意義，因此對於企業使用上會較薄弱；此外該方法除了需要兩種以上產品進行比較以外，亦需要大量文獻進行數據佐證，因此在使用上較為困難，且較不精準。	1.由於標準數據並非容易取得，且取得之數據品質也會影響最後結果，因此在數據選擇上必須非常小心；另外該方法雖可以用於單項產品，但只適合用於中點法和終點法之指標(如：溫室效應或人體健康等)。 2.專家問卷儘管相對於單一研究者而言較為客觀，但由於是採用許多專家之意見，因此可能會出現意見分歧之現象，導至結果有所誤差。	1.熱點原本便屬於一專有名詞，而目前國際上亦無對此有其一套標準，因此於使用上缺乏其公信力，且方法依據亦會遭受質疑。 2.因無納入權重之概念，因此無法辨別何種環境衝擊最受重視，是故對於最終結果而言會較有所偏差。

資料來源：本報告整理

3.4 案例評估

一、範疇界定(包含功能單位與標的產品說明)

(一)標的產品

本案例評估對象為多晶矽太陽能模組(如圖 3-2 所示)。其長寬高分別為 1668×1000×40mm，產品重量為 20kg。



資料來源：友達光電提供

圖 3-2 多晶矽太陽能模組

(二)功能單位

功能單位為一片 PV 模組(含 60 個 cell)，標準發電瓦數為 240W。

(三)生命週期之界限

產品生命週期評估之系統邊界範圍為搖籃到大門，自原物料/零件之原料開採與製造、太陽能模組產品製造組裝、與產品包裝至離開組織的大門口等階段，計算階段內之運輸活動亦包含在此次盤查範圍內，但並無進一步考慮產品配送、產品使用階段和產品棄置階段之結果。

(四)評估方法學

1. 環境面

本次僅考量溫室氣體之影響，溫室氣體之計算是依循 PAS2050:2011 版，針對此次盤查所使用的計算規則以及引用的排放

係數資料庫如下：

- (1) 產品溫室氣體排放量化方式為：排放量=活動數據×排放係數×GWP 值
- (2) LCA 計算軟體：Simapro V 7.2.3
- (3) 排放係數資料庫：Ecoinvent System Process、ETH-ESU 96 System Process、IDEMAT 2001、Airborne emission。
- (4) GWP 值：IPCC 2007 4th Report

2. 經濟面

因成本資料乃屬敏感議題，故本案例係參考公開資訊，除年報資料外，尚包含網站之公開市場價格資訊及相關文獻，非真實成本資訊。

其計算方式=公開價格×適當比例

3. 社會面

主要參考 UNEP 於 2009 發佈之『產品社會生命週期評估指導手冊(Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products)』和德國柏林 GreenDeltaTC 有限公司以華碩一台具有生態標籤之筆記型電腦進行環境和社會評估之『生態標籤筆記型電腦之生命週期評估—考慮整個生命週期的環境和社會衝擊(LCA of an Ecolabeled Notebook—Consideration of Social and Environmental Impacts Along the Entire Life Cycle)』文件進行績效評估(Performance Assessment, PA)和影響評估(Impact Assessment, IA)之計算。

(五)評估限制與系統邊界

1. 環境面

本次僅考量溫室氣體之影響。另實際執行面，礙於時間、人力及供應商配合性等問題，對於無法盤查到的資料，則利用生命週期評估工具之資料或國際間通用數據取代計算之。

2. 經濟面

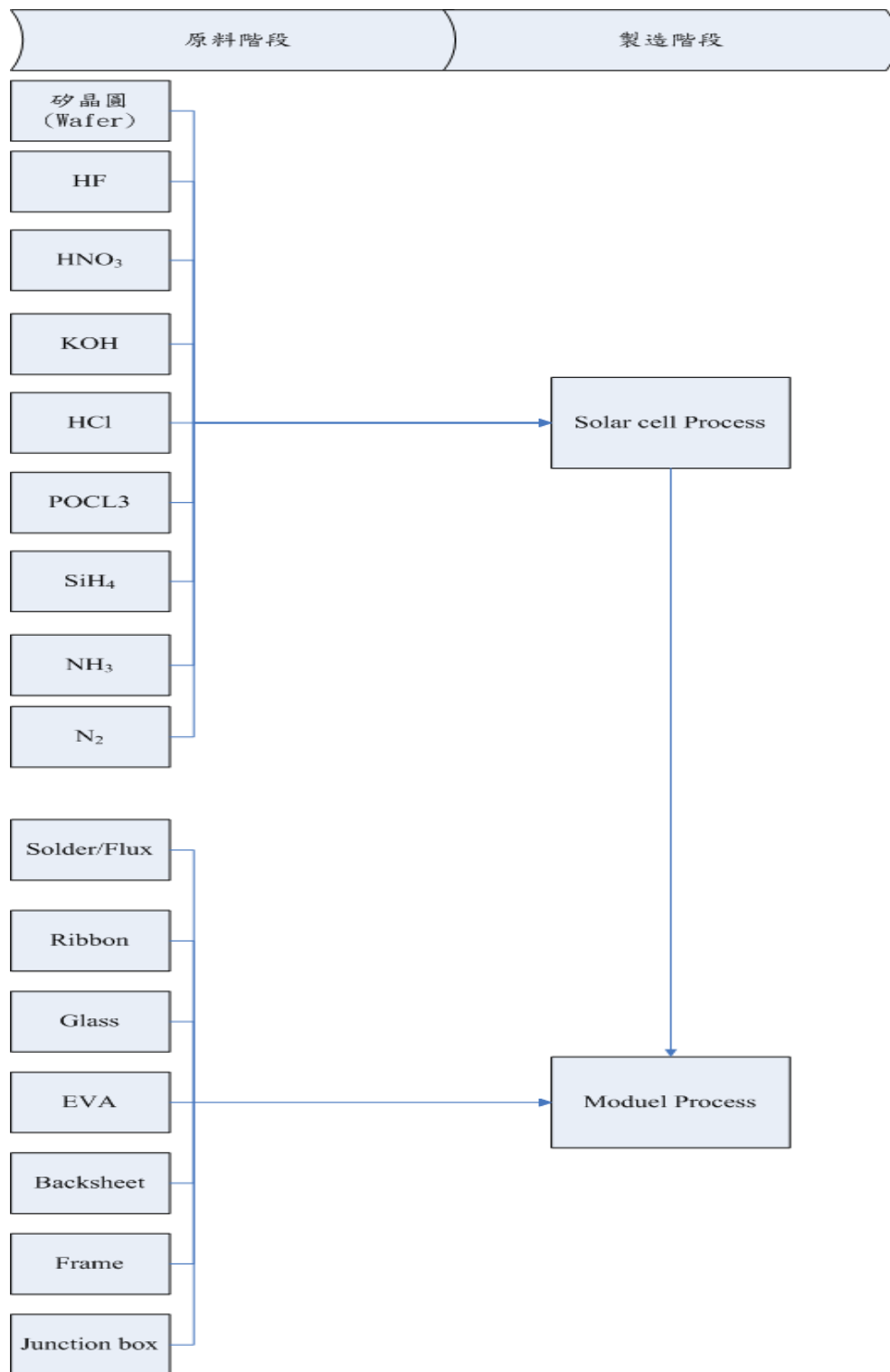
礙於成本資訊之敏感性及蒐集之困難性，本次成本資料僅含括原料階段之原料購買成本、製造階段之生產成本(僅含電力成本)及外部成本之意外成本(僅有罰單成本)。另礙於現實考量，簡化評估

方式，屬公開價格，再依產能貢獻比例作為分配依據；屬整體供應鏈資訊者，則依適當比例作為分配依據。

3. 社會面

礙於供應商社會面資料提供之時效性，本次調查是採用自主性調查法，即針對網站可搜尋到之資料進行專家評分法。另考量調查之邊際效益，未進行全面供應商社會面評比作業，而是考慮主要產品組成，依據產品重量達 50% 以上且碳排達 80% 之原則，進行供應商之選擇。

本案例之系統邊界如圖 3-3 所示。



資料來源：友達光電提供

圖 3-3 多晶矽太陽能模組組織系統邊界圖

二、研究方法

以環境、經濟和社會三面向進行方法說明：

(一)環境

本案例於環境面所使用之方法為生命週期評估(Life Cycle Assessment, LCA)，整體而言，生命週期評估為一個工具，用以評估產生在其生命週期各個階段對環境之衝擊。其標準程序為 ISO 14040 與 ISO14044。LCA 應用過程分為四大步驟，各個步驟是相互依存的：

1. 目標與範疇界定
2. 資源使用與排放的盤查分析
3. 衝擊評估
4. 闡釋結果

(二)經濟

於經濟面則是使用生命週期成本(Life Cycle Cost, LCC)。基本上，生命週期成本(LCC)是產品的整個生命週期與其直接相關之所有成本的整合—從供應鏈資源開採的使用與處置。它也考慮到外部相關的成本和效益並使其內部化。其方法學實行通常為以下四個階段：

1. 定義目標、範疇和功能單位
2. 盤查成本
3. 總成本費用類別
4. 闡釋結果

(三)社會

社會面之方法學以目前來說尚無統一之標準，也因此，該方法之評估一直是各界所討論之議題，而本案例基於方法之完整性，因此參考了 UNEP 於 2009 發佈之『產品社會生命週期評估指導手冊(Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products)』和德國柏林 GreenDeltaTC 有限公司以華碩一台具有生態標籤之筆記型電腦進行環境和社會評估之『生態標籤筆記型電腦之生命週期評估—考慮整個生命週期的環境和社會衝擊(LCA of an Ecolabeled Notebook—Consideration of Social and Environmental Impacts Along the Entire Life Cycle)』文件。整理兩篇文獻所得出之社會面評估方法，依然可用生命週期概念進行說明：

1. 研究的目標和範疇
2. 盤查
3. 影響評估
4. 闡釋結果

本案例依照上述步驟進行評估，於影響評估部分主要進行了績效評估(Performance Assessment, PA)和影響評估(Impact Assessment, IA)，首先，由企業本身進行績效評估之部分(透過 30 項小指標相對應之級距給分以此降低評分之主觀性)，最後由本計畫進行影響評估給分部分(透過對於工作條件(Working Conditions, WC)、健康安全(Health and Safety, HS)、人權(Human Rights, HR)、社會經濟的影響(Socio-Economic Repercussions, SER)、當地人權利包含文化遺產(Indigenous Rights Including Cultural Heritage, IR)和治理(Governance, G)這六大項是否對社會有顯著影響來進行給分)，如表 3-4 所示。

表 3-4 社會給分依據

社會評分類別	分數級距	分數意義	給分依據
績效評估 (Performance Assessment, PA)	1~6 分	1 分：表現非常良好 2 分：表現良好 3 分：表現可 4 分：表現尚可 5 分：表現不佳 6 分：表現非常不佳	1. 國家數據或資訊(對於無法判斷原料來自哪個供應商或是無供應商數據時使用)。 2. 企業/供應商公開數據或資訊。 3. 企業/供應商內部數據或資訊。
影響評估 (Impact Assessment, IA)	1~6 分	1 分：正面的影響 2 分：輕的正面影響 3 分：無影響 4 分：低的負面影響 5 分：負面影響 6 分：非常負面的影響	社會影響是有正、負面，而這可從三個面向來對前述之六項類別(工作條件、健康安全、人權、社會經濟的影響、當地人權利包含文化遺產和治理)進行判斷： 1. 行為(Behaviors)：一個特定的行為(決策)所造成的社會影響。 2. 社會經濟過程(Socio-Economic Processes)：社會影響是社會經濟決策的下游影響。 3. 資本(Capitals)：(人力，社會，文化的)：社會影響改變原來的內容(一個人，一個團體，一個社會)。

資料來源：本研究整理

三、評估結果(含盤查結果)

本次示範案例係由友達光電依循本次研擬之生命週期永續性評估架構進行，經由相關數據提供、參數假設及討論，完成本次案例之分析結果，奠定一個試算雛形，以下將就三面向(環境、經濟和社會)進行說明：

(一)環境面

環境面所探討之主要議題為碳足跡，結果如表 3-5 所示，其結果顯示，多晶矽太陽能模組之主要碳排放來源為晶圓(Wafer)，131.41kgCO₂eq 約占碳足跡總量之 46.46%，對於環境面之碳足跡而言，晶圓(Wafer)是其減量之優先考慮對象。

表 3-5 多晶矽太陽能模組之環境面數據

		環境面	比例
NO.	Parts	Total Emission(kgCO ₂ eq)	%
1	導電膠 (Conductive Adhesive)	1.15	0.41%
2	氣體(Gas)	4.34	1.53%
3	化學品(含 HNO ₃ 等)	1.23	0.43%
4	晶圓(Wafer)	131.41	46.46%
5	鋁框(Aluminum Frame)	47.3	16.73%
6	直流接線箱 (Junction Box)	0.19	0.07%
7	無鉛錒帶(Ribbon)	0.1	0.04%
8	乙烯-醋酸乙烯共聚體 (EVA)	4.14	1.46%
9	玻璃(Glass)	14.45	5.11%
10	其他(Other)	1.09	0.39%
11	太陽能電池製程(Solar cell Process) (AUO)	51.76	18.30%
12	模組製程(Module Process) (AUO)	25.67	9.08%

資料來源：友達盤查示範資料，2012。(單一 CO₂ 排放當量不超過總 CO₂ 排放當量 1% 者，可於盤查分析時忽略，但總排除量仍符合小於 5% CO₂ 排放當量之原則)

(二)經濟面

由於盤查資料涉及企業機密，因此本案例之經濟面所呈現之數據，係參考公開網站資料進行模擬及相關分配，舉例來說：原料之購買成本是參考市面上該原料之公開價格，不考慮實際購買成本。此外，除環境汙染罰款有進行相關計算以外，其總體結果並無納入其它外部成本，結果如表 3-6 所示，多晶矽太陽能模組之成本最高來源為晶圓 (Wafer)，NTD 4,680 元約占總成本之 29.83%。

(三)社會面

除製造商友達外，依本次案例定義之篩選原則進行 6 家供應商之社會面評估，其計算結果如表 3-7 所示，提供玻璃(Glass)之供應商對於社會面之評比結果較不理想。

表 3-6 多晶矽太陽能模組之經濟面數據

		經濟面	比例
NO.	Parts	Cost (NTD)	%
1	銀膠(Silver Paste)	853	5.44%
2	導電膠(Conductive Adhesive)	3,128	19.93%
3	氣體(Gas)	3,285	20.94%
4	化學品(含 HNO ₃ 等)	61	0.39%
5	晶圓(Wafer)	4,680	29.83%
6	鋁框(Aluminum Frame)	453	2.89%
7	直流接線箱(Junction Box)	37	0.23%
8	無鉛鐳帶(Ribbon)	244	1.56%
9	乙烯-醋酸乙烯共聚體(EVA)	466	2.97%
10	玻璃(Glass)	2,353	15.00%
11	其他(Other)	25	0.16%
12	太陽能電池製程(Solar cell Process) (AUO)	105	0.67%
13	模組製程(Module Process) (AUO)		

資料來源：本報告估算

表 3-7 多晶矽太陽能模組之社會面數據

		社會面
NO.	Parts	1~6 分(1 分對社會最具社會效益、6 分對於社會具有負面影響)
1	晶圓(Wafer)	4.67
2	鋁框(Aluminum Frame)	4
3	直流接線箱(Junction Box)	4.87
4	無鉛鐳帶(Ribbon)	4.67
5	乙烯-醋酸乙烯共聚體(EVA)	5
6	玻璃(Glass)	6
7	太陽能電池製程(Solar cell Process)	3.2
8	模組製程(Module Process)	

資料來源：友達盤查示範資料，2012。

(四) 綜效評估

傳統結果只能考慮單一面向，無法綜效判定決策，舉例來說：一間企業在購買原料 A 或原料 B 時，若僅以經濟面考量而選擇成本較低之產品 A，但後續因其環境汙染所造成之環境衝擊，導致原料 A 所必須付出之總成本，遠大於初期之購置成本。藉由上述描述可以得知對於產品而言，同時考量環境、經濟和社會之綜效評估是重要的，但若要進行三面向之綜效比較，有其困難性，原因在於環境、經濟和社會的評量尺度與單位各自不同，因此如何以多目標決策的方式提供綜效分析便顯得相當重要，如表 3-8 所示，分別有不同的盤查評估結果，但難看出之間權衡後之影響，例如：晶圓(Wafer)有較高之環境衝擊與經濟衝擊，但對於社會影響而言卻是以玻璃(Glass)為最高，若決策者考量之重點不同，則選擇改善方案之對象亦會有所差異，故綜效評估之重點在於整合三個面向之指標。

表 3-8 多晶矽太陽能模組之三面向比較

NO	Parts	環境面 Total Emission(kgCO ₂ eq)	經濟面 Cost (NTD)	社會面 1~6分(1分對社會最具社會效益、6分對於社會具有負面影響)
1	銀膠(Silver Paste)	—	853	—
2	導電膠(Conductive Adhesive)	1.15	3,128	—
3	氣體(Gas)	4.34	3,285	—
4	化學品(含 HNO ₃ 等)	1.23	61	—
5	晶圓(Wafer)	131.41	4,680	4.67
6	鋁框(Aluminum Frame)	47.3	453	4
7	直流接線箱(Junction Box)	0.19	37	4.87
8	無鉛鐳帶(Ribbon)	0.1	244	4.67
9	乙烯-醋酸乙烯共聚體(EVA)	4.14	466	5
10	玻璃(Glass)	14.45	2,353	6
11	其他(Other)	1.09	25	—
12	太陽能電池製程(Solar cell Process) (AUO)	51.76	105	3.20
13	模組製程(Module Process) (AUO)	25.67		

資料來源：友達盤查示範資料，2012；本研究估算。

本案例所選用之整合方法為熱點法，所謂熱點為生命週期評估概念中一專有名詞，主要使用方式為，透過熱點來看出生命週期哪一階段所造成之衝擊最大。由於本次生命週期永續性評估所擬定之框架，沒有特別強調哪各面向之重要性，故沒有導入所謂權重之概念，即三面向之權重各為：1:1:1。為使數據能同時考量三面向之熱點效應，將各面向之數據進行標準化作業，即讓每個面向之結果會呈現於 0~1 之間數值(如表 3-9 所示)，再採用相加模式，代表綜效之結果，亦稱為「永續熱點」。結果如表 3-10 與圖 3-4 所示。本案例僅討論晶圓(Wafer)、鋁框(Aluminum Frame)、直流接線箱(Junction Box)、無鉛鐳帶(Ribbon)、乙烯-醋酸乙烯共聚體(EVA)、玻璃(Glass)和友達製程(太陽能電池製程(Solar cell Process) + 模組製程(Module Process))。

透過結果可以發現永續熱點，對於多晶矽太陽能模組而言，優先改善晶圓(Wafer)將可使環境、經濟和社會三方面獲得最大效益，意即對於該產品之永續性應首將焦點放置晶圓(Wafer)、其次依序為玻璃(Glass)、友達製程(太陽能電池製程(Solar cell Process) + 模組製程(Module Process))、鋁框(Aluminum Frame)、乙烯-醋酸乙烯共聚體(EVA)、無鉛鐳帶(Ribbon)和直流接線箱(Junction Box)；不過，由於該結果只探討了七個原料生產對象，因此，對於產品永續性的評估不能算是完備，但此結果對於未來企業想要進行 Stand alone 時將可以提供相當程度之幫助；舉例來說，如果單就環境面取決影響，可能的策略是原物料的替換，若納入經濟面的考量，可能替換的幅度跟順序就會有所調整，若再納入社會面的考量，可能會慎選適合的供應商合作，故這套模型係訓練業者能綜效考量所謂永續產品的開發。

表 3-9 多晶矽太陽能模組之三面向熱點分析

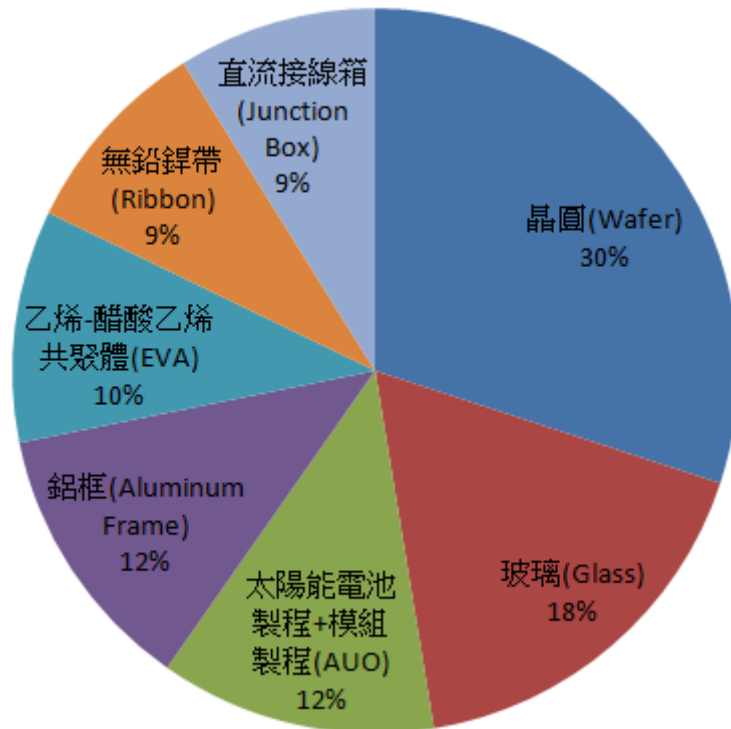
NO.	Parts	環境面 無單位	經濟面 無單位	社會面 無單位
1	銀膠(Silver Paste)	—	0.1823	—
2	導電膠(Conductive Adhesive)	0.0088	0.6683	—
3	氣體(Gas)	0.0330	0.7019	—
4	化學品(含 HNO ₃ 等)	0.0094	0.0130	—
5	晶圓(Wafer)	1.0000	1.0000	0.78
6	鋁框(Aluminum Frame)	0.3599	0.0968	0.67
7	直流接線箱(Junction Box)	0.0014	0.0078	0.81
8	無鉛鐳帶(Ribbon)	0.0008	0.0522	0.78
9	乙烯-醋酸乙烯共聚體(EVA)	0.0315	0.0995	0.83
10	玻璃(Glass)	0.1100	0.5027	1.00
11	其他(Other)	0.0083	0.0054	—
12	太陽能電池製程+模組製程 (AUO)	0.5892	0.0224	0.5333

資料來源：友達盤查示範資料，2012；本研究估算。

表 3-10 多晶矽太陽能模組之永續熱點分析

NO.	Parts	永續熱點
1	晶圓(Wafer)	2.78
2	玻璃(Glass)	1.61
3	太陽能電池製程+模組製程(AUO)	1.14
4	鋁框(Aluminum Frame)	1.12
5	乙烯-醋酸乙烯共聚體(EVA)	0.96
6	無鉛鐳帶(Ribbon)	0.83
7	直流接線箱(Junction Box)	0.82

資料來源：友達盤查示範資料，2012；本研究估算。



資料來源：友達盤查示範資料，2012；本研究估算。

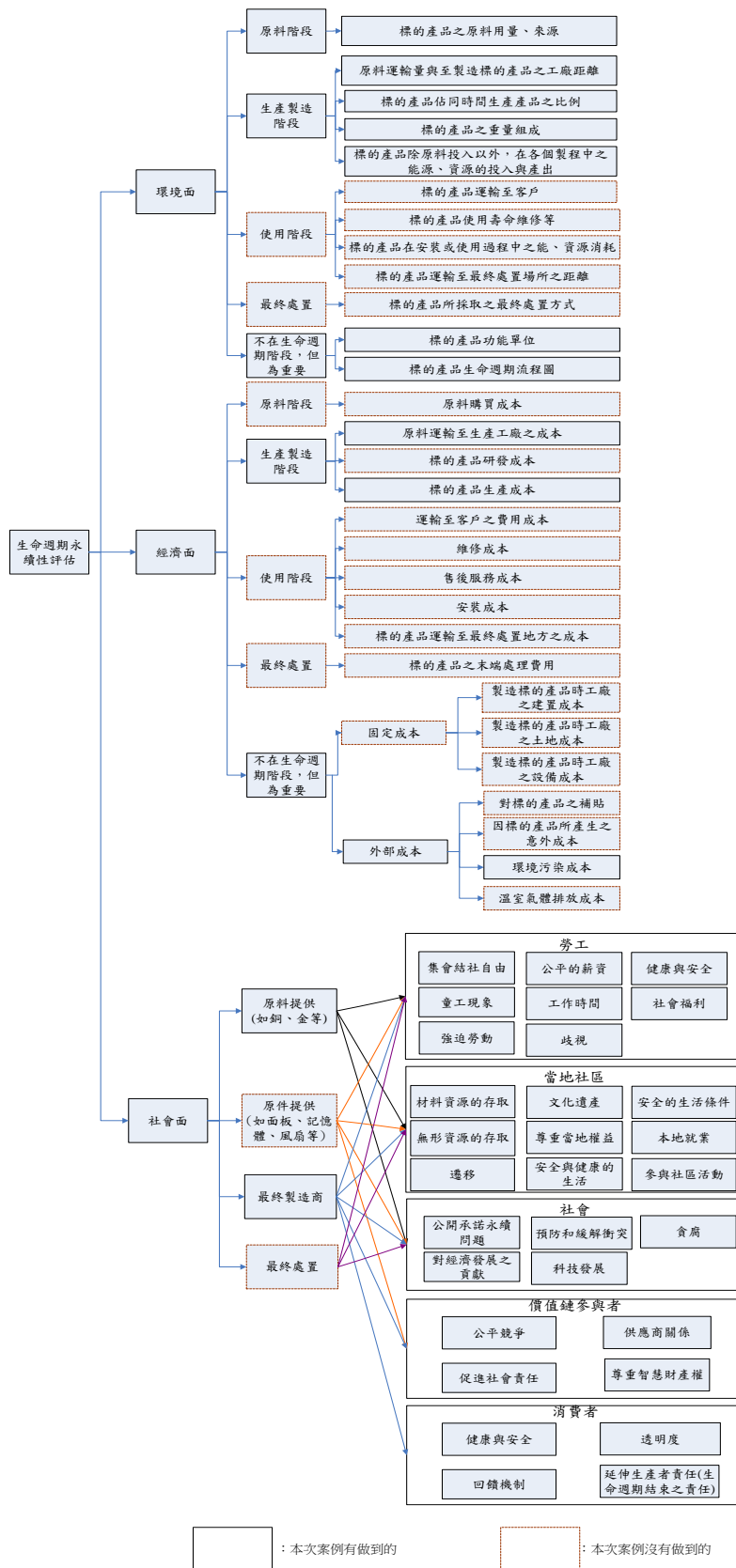
圖 3-4 多晶矽太陽能模組之永續熱點分析

3.5 本案例進行生命週期永續性評估之不足

一、完整性不足

圖 3-5 說明目前案例有執行及未執行之部分。由於本案例之範疇為 B2B，因此，使用階段和最終處置階段皆無考慮，除此之外，三面向不足之處說明如下：

- (一)環境面：儘管本次環境面架構皆有進行使用，但使用後呈現之環境議題只有碳足跡，因此，以完整性而言尚顯不足。
- (二)經濟面：本案例所探討之經濟指標只有「原料成本」、「原料運輸至生產工廠之成本」、「標的產品生產成本」和「環境汙染成本」，原料成本部分以推估方式取得，因此在本案例中經濟面部分假設。
- (三)社會面：由於本案例之社會面並無做到全供應商之盤查(本案例所選擇之供應商為對於多晶矽太陽能模組佔產品重量達 50% 以上且碳排達 80% 才進行評估)，因此，就構面上來說有不足之處。



資料來源：本計畫團隊彙整

圖 3-5 生命週期永續性評估指標框架(本次案例有進行之部分)

二、評估之困難點

透過上述案例研究，歸納出目前使用生命週期永續性評估之困難點，此結果將供後續欲進行生命週期永續性評估之業界或學界做為參考，主要分為三面向進行說明：

(一)環境面

盤查資料之廣度與深度常常會是評估時間長短之關鍵，如進行完整性評估，必須蒐集溫室效應、酸化、優養化等環境問題之數據，但如此作法會導致時程之增加，例如：召開供應商大會來說明蒐集數據之用意與其協助；但若是只考慮單一面向(如溫室效應)又會造成資訊之不完整性，而這是在使用生命週期永續性評估—環境面時會遇到之重要問題。

(二)經濟面

由於經濟面之成本蒐集往往涉及到企業機密以及同業競爭等相關因素，因此該面向通常為生命週期永續性評估中最為困難的一門科學，如何在避免企業機密洩漏的情況下，發展出適合經濟面計算之指標是在生命週期永續性評估—經濟面中最重要也無法規避之問題，同時也是在未來整合生命週期永續性評估能否成功之關鍵因素。

(三)社會面

相較於環境生命週期以及生命週期成本來說，社會生命週期評估是較為新興的一門科學，因此在國際上尚未出現一個標準方法。但整體上來說，可以分為量化、半量化和定性等三種評估方法，而如何運用這三種評估方法便是生命週期永續性評估—社會面中重要之課題，根據調查結果給予軟體開發者設計之建議。

三、友達光電本身於評估過程遇到之困難

(一)環境面

由於碳議題目前仍為國際或客戶之關注焦點，故在資料建置上，相較於其他環境負荷資訊完備。空水汙染管制法規亦愈趨嚴格，多數亦有排放資料之建置，唯在目前並沒有以生命週期之概念應用管理這類數據，故若需採多方評估環境負荷時，會有資訊不足之窘境。另有有關環境特徵化之過程，多數企業並沒有應對之技術，在分析模擬過

程亦是須面對的瓶頸。

(二)經濟面

成本資訊有先天之敏感性，其涉及到企業機密，不易完整蒐集，對 LCSA 模式之研究會有限制，但若應用於內部評估，成本是重要的決策因子。這個面向一直是產品開發、原物料採買的關鍵因子，但若是以生命週期概念來看待成本管理，在企業上仍嫌不足，尤其是外部成本內部化，這樣的觀念及轉化過程的機制，多數公司是沒有這種思維及運作的。

(三)社會面

社會面是採半量化的評估方法，容易因評估者不同或資訊揭露程度，造成評估結果落差；另對於供應鏈龐大者，更是一項艱鉅的任務。

3.6 效益分析及建議

一、效益分析

(一)生命週期永續性評估結果帶來之效益

本案例雖然就評估構面來說尚顯不足，但從目前評估之結果來看，仍具有下列效益：

1. 提供決策者進行產品永續性之判斷(作為內部管理工具)

本案例所呈現之結果，以經濟面指標最為不足，但若是回到企業內部自行評估使用，將不會有因涉及敏感性而有數據取得困難之問題，如此一來，也可提高評估結果之可信度。舉例來說：如蒐集之數據是業者實際狀況，以本案例評估之結果可以發現，若單就以碳足跡來看，晶圓(Wafer)之改善空間最大，但若回到社會面之問題又以玻璃(Glass)為最高，因此，企業依據評估結果，可以很輕易辨認出，受評估之產品，面對環境、經濟或是社會之衝擊時，哪個供應商會有較高之風險，評估結果也可以讓企業判斷是否可以生產或販售該產品(企業對該產品之生產或販售之考量將以環境為主、經濟為主、社會為主或是以永續發展為主)。

2. 良好之社會形象(對外溝通工具)

評估結果也可以讓社會大眾明白，企業並不只是關注於產品之

經濟績效，而是將產品所會引發之環境和社會問題也一併納入考量，藉此打破傳統社會大眾對於企業之負面印象(如唯利是圖等)。

(二)對於廠商本身之效益

僅就單面向之熱點分析即可作為決策之用，如分析環境面之產品碳足跡結果，可得知碳排之最大貢獻來源，可進一步研定減碳策略(包括對供應鏈之減碳要求)，但因涉及資料假設，故本案例之結果僅供參考。

而發展到 LCSA 概念，與多目標決策雷同，其導入可以影響產品開發方案之選擇，舉例說明，如果單就環境面取決影響，可能的策略是原物料的替換，若納入經濟面的考量，可能替換的幅度跟順序就會有所調整，若再納入社會面的考量，可能會慎選適合的供應商合作，故這套模型係提供業者能多方考量所謂永續產品的開發。LCSA 概念可以看出整體的演變趨勢，由成本第一，調整為考量環境衝擊下的成本最佳化，到納入社會責任因子下的妥協方案，但不容置疑，這樣的演變在企業是需要觀念的轉化及歷經系統建置的陣痛期。

二、建議

(一)對於未來欲使用生命週期永續性評估之建議

1. 在環境面資訊，除溫室氣體外，建議可量化不同的環境問題，較全面探討衝擊性，可針對空水排放先行著手，除自身管理外，並針對供應鏈排放較顯著者一起作為。
2. 在成本資訊管理上，依 LCA 概念增加環境成本之計算，並可嘗試將外部成本內部化，更宏觀看待成本的影響。
3. 為落實社會面之評估，可透過供應商管理蒐集相關資訊，要求供應商自評並對外揭露，並可進一步將某些因子納入公司採購政策，以落實責任生產鏈之概念
4. 在導入 LCSA 初期，建議針對所要應用之目標，建立評估流程，以簡化 UNEP 的架構，較具事半功倍之效，以免曠日費時，失去決策之時效性，目標重點舉例如下：
 - (1) 企業社會責任供應鏈之選擇
 - (2) 低環境負荷(物料選用、生產廠址....)下之生產配置

- (3) 產品改善目標
- (4) 基線建立
- (5) 研究行銷

5. 由於 LCSA 尚在發展初期，不確定是否有碳標籤概念的走向，由於碳標籤正遇到資訊揭露所代表意義的困擾，目前也尚未有統一的計算方法，故若 LCSA 未來隱含者引領消費者選擇產品之驅動力，會成為產品標籤的一環，則相關單位應要建立更多的公開、透明一致的資訊及準則，才能發揮綜效。
6. 在外界仍未關注的現在，企業還是可以自我建立小的雛型機制，針對前後代之產品建立改善目標，也算是善盡產品開發之企業社會責任的一環。

(二)簡化生命週期永續性評估架構

本案例中可發現，目前生命週期永續性評估之運用尚屬困難，主要原因是過於複雜，但從國際趨勢來看，永續是不容忽視之議題。一個方法學的發展，應兼顧理論與實用，架構如過於繁複，實用性將大打折扣，甚至難以推廣，是故，發展一個精簡之方法學架構是有其必要。

本報告所研擬之架構(圖 3-1)是依據生命週期盤查概念所提出，每項指標皆有其重要性，但考量推廣初期，應讓使用者願意使用，因此本架構將以目前業者最熟悉之碳標籤概念並保留較重要指標進行修改及簡化，如圖 3-6 所示；簡單來說，依照大門到大門之概念，將目前對於業者而言最難掌握之使用階段與最終處置階段予以去除，期望透過此架構可以使業者在運用上更為便利。

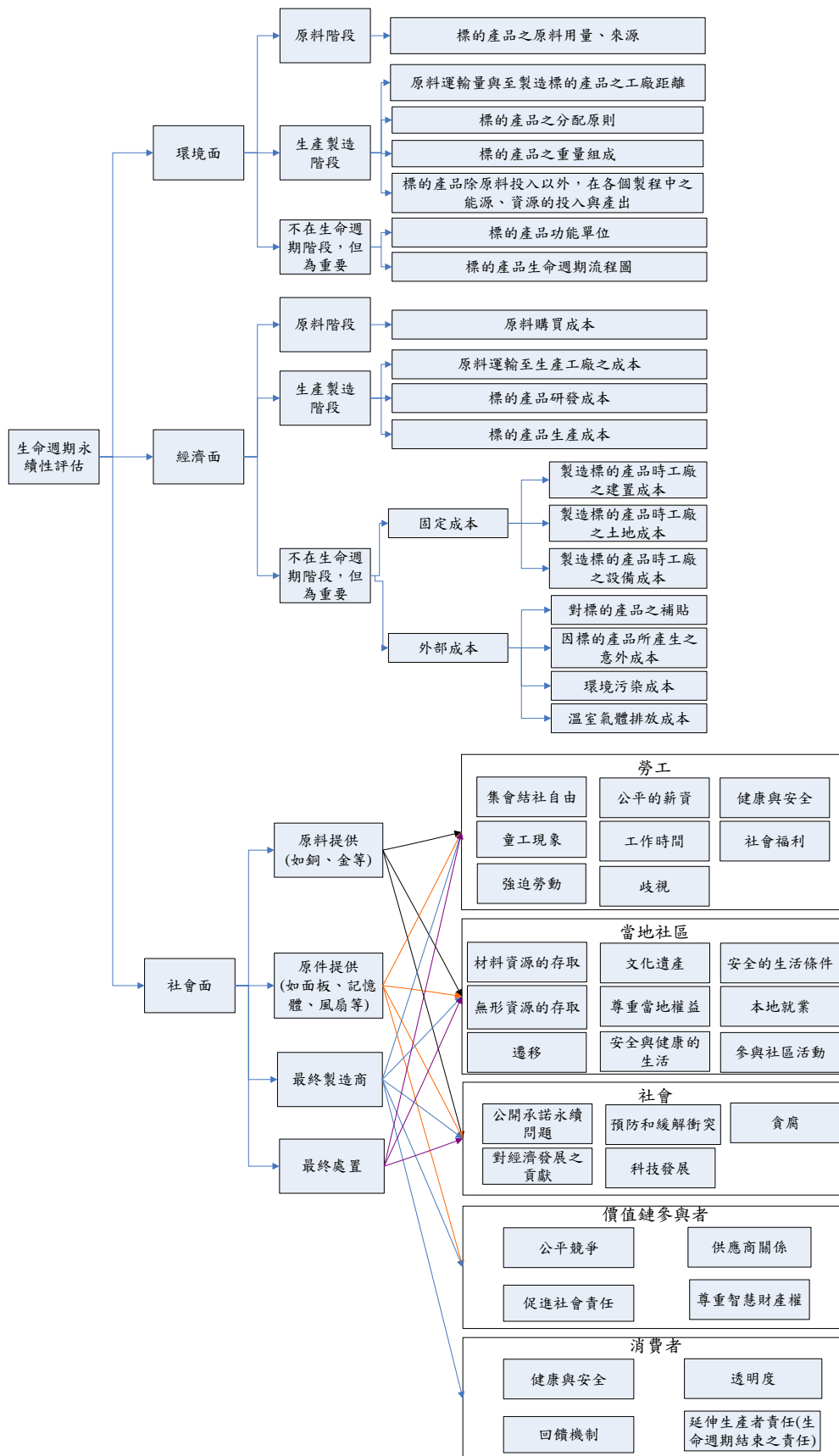


圖 3-6 生命週期永續性評估指標框架(簡化版)

第四章 結論與建議

生命週期永續性評估雖然是屬於新穎的方法學，但它並不是新觀念，它在過去是依據不同名稱和類似方法被使用著，但它是首次由聯合國以願景方式被提出公佈和推廣，最終我們所得到的方法和數據是一同朝產品的生命週期永續性評估邁進。但無疑地在使用上，仍然需要有更多的運用、更好的數據和相關具體領域的進一步研究。

目前再生能源使用生命週期永續性評估之方法學來說仍不成熟，對於欲使用生命週期永續性評估之企業、政府或民眾而言有其困難度，因此，要推廣此方法學，提出相關結論與建議如下。

一、再生能源使用生命週期永續性評估，架構是一關鍵

對於再生能源而言，生命週期永續性評估架構是極為重要，但是可惜就目前所有文獻看來，有關能源之永續性評估還是尚未完整，除了 Stamford et al.(2011)所發表之核電永續指標是最為完整之研究，以及 Evans et al.(2009)所做之再生能源永續排名外，其餘研究方式還是較偏重於環境面或是經濟面之評估，對社會面之評估甚為稀少。

二、生命週期永續性評估之架構，具有因評估對象不同而有不同指標之特性

生命週期永續性評估會因為不同再生能源產品或對象而有不同之評估指標，但整體面來說架構上依舊是屬於一樣的，因此本報告將建議使用 UNEP 於 2011 年提出之『邁向生命週期永續性評估(Towards a Life Cycle Sustainability Assessment)』架構，以建立國內產品生命週期評估與永續管理架構。

三、透過『永續熱點』來得知產品之改善處

以友達光電之太陽能產品—多晶矽太陽能模組為示範案例，透過生命週期永續性評估採熱點法所得出之「永續熱點」顯示，晶圓(Wafer)之整合數據為 2.78，其次為玻璃(Glass)之 1.61、太陽能電池製程+模組製程(AUO)為 1.14、鋁框(Aluminum Frame)為 1.12、乙烯-醋酸乙烯共聚體(EVA)為 0.96、無鉛鐳帶(Ribbon)為 0.83 和直流接線箱(Junction Box)為 0.82，因此優先改善晶圓(Wafer)將可以使環境、經濟和社會三方面獲得最大之

效益，意即對於該產品之永續性具有多目標之綜效。

四、生命週期永續性評估之短中期建議

進行再生能源生命週期永續性評估架構之建置有短、中期之建議，若以推廣為目的，短期建議以可通用之盤查架構進行說明，原因在於，若是直接以衝擊指標(例如：環境面之溫室效應等指標)為推廣方式，會使一般沒有做過生命週期盤查之中小企業難以著手，儘管目前架構看似複雜，但卻是在進行生命週期評估時所必須進行之步驟，因此適合拿來進行初期教育；而中期建議，待盤查概念建立後，便依不同再生能源產品，以不同衝擊評估指標簡化其評估架構，並針對不同目的進行分數整合(例如：只探討自身產品之環保性能，或是為了與同業進行產品永續性比較等)。

五、簡化生命週期永續性評估之建議框架

目前架構普遍被認為過於複雜，但本報告之主要目的為推廣生命週期永續性評估之方法學，而目前所研擬之架構是以生命週期評估中盤查之概念所建構，因此該架構依目前來說是有其存在之必要。未來可透過，以衝擊評估為對象發展指標以簡化其架構，或者以圖 3-6 進行使用。

六、未來需要增加評估面向與評分參考基準

由於本次案例採用示範之方式，因此許多數據提供上較為單一，未來若是欲進行更進一步之生命週期永續性評估時，多面向之評估是需要的。此外，對於永續性評估而言，一個比較基準是有其必要，不但可以增加數據比較之可信度，亦可使數據在呈現上較為客觀，因此建議未來應發展再生能源之永續分數之參考基準。

參考文獻

1. Acosta-Michlik, L., Lucht, W., Bondeau, A., & Beringer, T. (2011). Integrated assessment of sustainability trade-offs and pathways for global bioenergy production: Framing a novel hybrid approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(6), 2791-2809.
2. Chen, F., Lu, S. M., Wang, E., & Tseng, K. T. (2010). Renewable energy in Taiwan. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(7), 2029-2038.
3. Dincer, I. (1999). Environmental impacts of energy. *Energy policy*, 27(14), 845-854.
4. Evans, A., Strezov, V., & Evans, T. J. (2009). Assessment of sustainability indicators for renewable energy technologies. *Renewable and sustainable energy reviews*, 13(5), 1082-1088.
5. Finkbeiner, M., Schau, E. M., Lehmann, A., & Traverso, M. (2010). Towards life cycle sustainability assessment. *Sustainability*, 2(10), 3309-3322.
6. Frangou, M., Tsoutsos, T., & Sakellariou, N. (2012). Sustainability assessment of a solar thermal power project in Mediterranean application in the island of Crete. *Ecological Indicators*, 18, 379-386.
7. Hang, Y., Qu, M., & Zhao, F. (2012). Economic and environmental life cycle analysis of solar hot water systems in the United States. *Energy and Buildings*, 45, 181-188.
8. Hong, G. W., & Abe, N. (2012). Sustainability assessment of renewable energy projects for off-grid rural electrification: The Pangan-an Island case in the Philippines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1), 54-64.
9. Huang, B., Yang, H., Mauerhofer, V., & Guo, R. (2012). Sustainability assessment of low carbon technologies—case study of the building sector in China. *Journal of Cleaner Production*, 32, 244-250.
10. ISO (2006). 14040: Environmental Management—Life Cycle Assessment—Principles and Framework. London: British Standards Institution.
11. ISO (2006). 14044: environmental management—life cycle assessment—requirements and guidelines. International Organization for Standardization.

12. Jesinghaus, J. (2000). On the art of aggregating apples & oranges. Milan: Fondazione Eni Enrico Mattei.
13. Kloepffer, W. (2008). Life cycle sustainability assessment of products. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 13(2), 89-95.
14. Larraín, T., & Escobar, R. (2012). Net energy analysis for concentrated solar power plants in northern Chile. *Renewable Energy*, 41, 123-133.
15. Marszal, A. J., Heiselberg, P., Lund Jensen, R., & Nørgaard, J. (2012). On-site or off-site renewable energy supply options? Life cycle cost analysis of a Net Zero Energy Building in Denmark. *Renewable Energy*, 44, 154-165.
16. Midilli, A., Dincer, I., & Ay, M. (2006). Green energy strategies for sustainable development. *Energy Policy*, 34(18), 3623-3633.
17. Moriizumi, Y., Matsui, N., & Hondo, H. (2010). Simplified life cycle sustainability assessment of mangrove management: a case of plantation on wastelands in Thailand. *Journal of Cleaner Production*, 18(16), 1629-1638.
18. Mousazadeh, H., Keyhani, A., Javadi, A., Mobli, H., Abrinia, K., & Sharifi, A. (2011). Life-cycle assessment of a Solar Assist Plug-in Hybrid electric Tractor (SAPHT) in comparison with a conventional tractor. *Energy Conversion and Management*, 52(3), 1700-1710.
19. Qoaider, L., & Steinbrecht, D. (2010). Photovoltaic systems: A cost competitive option to supply energy to off-grid agricultural communities in arid regions. *Applied Energy*, 87(2), 427-435.
20. Stamford, L., & Azapagic, A. (2011). Sustainability indicators for the assessment of nuclear power. *Energy*, 36(10), 6037-6057.
21. Sumper, A., Robledo-García, M., Villafáfila-Robles, R., Bergas-Jané, J., & Andrés-Peiró, J. (2011). Life-cycle assessment of a photovoltaic system in Catalonia (Spain). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(8), 3888-3896.
22. Sydorovych, O., & Wossink, A. (2008). The meaning of agricultural sustainability: evidence from a conjoint choice survey. *Agricultural Systems*, 98(1), 10-20.
23. Traverso, M., & Finkbeiner, M. (2009). Life Cycle Sustainability Dashboard. In *Proceedings of the 4th International Conference on Life Cycle Management*, Cape Town, South Africa, 6–9 September 2009.
24. Turney, D., & Fthenakis, V. (2011). Environmental impacts from the installation and

- operation of large-scale solar power plants. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(6), 3261-3270.
25. Ugwu, O. O., & Haupt, T. C. (2007). Key performance indicators and assessment methods for infrastructure sustainability—a South African construction industry perspective. *Building and Environment*, 42(2), 665-680.
 26. UNEP (2011). *Towards a Life Cycle Sustainability Assessment*.
 27. UNEP/SETAC (2009). *Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products*.
 28. Wood, R., & Garnett, S. (2010). Regional sustainability in Northern Australia—A quantitative assessment of social, economic and environmental impacts. *Ecological Economics*, 69(9), 1877-1882.
 29. 友達光電股份有限公司(2011)，友達光電企業社會責任報告書。
 30. 吳銀泉(2006)，太陽能電池產業發展模式與競爭策略-兩岸發展模式比較分析，東海大學管理碩士在職專班碩士論文。
 31. 施勵行與李珣琮(2010)，論述我國再生能源發展政策之效益評估模型架構，*碳經濟季刊*，第 19 期，第 91~105 頁。
 32. 張添竣(2008)，SEE balance®應用於台灣產品之永續性評估研究，國立臺北科技大學環境工程與管理研究所碩士論文。
 33. 顏哲揚(2013)，生命週期永續性評估之應用研究-以太陽能產品為例，國立臺北科技大學環境工程與管理研究所碩士論文。

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

產品生命週期之永續性評估 / 胡憲倫 主編.

-- 初版. -- 臺北市: 中技社, 民 103.12

49 面 ; 21×29.7 公分-- (專題報告 ; 2014-03)

ISBN (平裝) 978-986-90284-7-9

1. 環境保護 2. 自然資源 3. 永續性

445.99

103009830

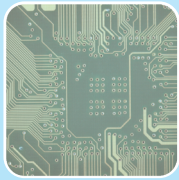
版權聲明©財團法人中技社

本手冊用於教育或非營利目的時，得在未取得原版權所有人允許下複製全部或部分內容，唯須註明出處。財團法人中技社感謝您提供給我們任何以本手冊做為資料來源出版的相關出版品。

未取得財團法人中技社書面同意，禁止使用或轉售本手冊於其他商業用途。

免責聲明

本出版品所提及的實體名稱和資料之表示，並不代表財團法人中技社的觀點：包括不同國家、領土、城市或區域的法律地位及其地位的權威性，以及國與國之間邊界和臨界的界定。此外，文中觀點與所提及的貿易名稱或商業程序，並不代表財團法人中技社的觀點或政策。



財團法人 **中技社**

CTCI FOUNDATION

106 台北市敦化南路2段97號8樓

Tel : 02-2704-9805~7 Fax : 02-2705-5044

<http://www.ctci.org.tw>



ISBN 978-986-90284-7-9



使用再生紙印製