

讓學習更輕鬆

PTC 特別版

產品永續性

for
dummies[®]
A Wiley Brand



專為較低足跡而設計

—
高效率生產

—
以獲利的方式來
提供服務和促進流通

贈品



ptc[®]

Dave Duncan

關於 PTC

從飛機到醫療裝置、風力渦輪機和電腦，PTC 獨特的軟體解決方案產品組合，使公司能夠改變其設計、製造和維護產品的方式。

身為產品生命週期管理的全球領導者，PTC 軟體支援整個產品生命週期的資料管理，以協助簡化產品複雜性，並推動工程和設計的卓越發展、製造和供應鏈的效率，以及營運和服務的最佳化。

各種規模的公司都依賴 PTC，因為 PTC 擁有數位技術產品組合、廣泛的合作夥伴網路和產業專業知識。同時，其軟體支援產品生命週期的每個階段，並包括市場領先的產品生命週期管理 (PLM)、應用程式生命週期管理 (ALM)、電腦輔助設計 (CAD) 和服務生命週期管理 (SLM)。

在 PTC 的客戶中，有 3 萬多家客戶為橫跨主要製造業垂直領域的領導者和顛覆者，例如：汽車業、航太和國防、工業機械、醫療技術和電子與高科技。PTC 致力於客戶的成功，並與其密切合作，以支援其數位轉型。

PTC 的目的不僅僅是想像更美好的世界；而是要創造更美好的世界。此目的體現在其價值、永續性方案、社會影響力行動和軟體解決方案。



產品永續性

PTC 特別版

作者： Dave Duncan

for
dummies[®]
A Wiley Brand

產品永續性 For Dummies®, PTC 特別版

出版社：

John Wiley & Sons, Inc.

111 River St.

Hoboken, NJ 07030-5774

www.wiley.com

著作權 © 2025 by John Wiley & Sons, Inc., 新澤西州荷波肯 (Hoboken)。版權所有，包括文字和資料採礦、AI訓練，以及類似技術。

未經發行商事先書面許可，本出版物的任何部分均不得複製、儲存在檢索系統，或以任何形式或任何方式（如電子、機械、影印、記錄、掃描或其他方式）傳輸，除非依據 1976 年《美國著作權法》第 107 或 108 條的規定，則不需經發行商事先書面許可。若要請求發行商許可，請寫信至 Permissions Department, John Wiley & Sons, Inc., 111 River Street, Hoboken, NJ 07030, 電話：(201) 748-6011, 傳真：(201) 748-6008, 或請造訪 <http://www.wiley.com/go/permissions>。

商標：Wiley、For Dummies、the Dummies Man 標誌、The Dummies Way、Dummies.com、Making Everything Easier 和相關商業外觀，是 John Wiley & Sons, Inc. 和/或其關係企業在美國和其他國家的高標或註冊商標，未經書面許可不得使用。PTC 和 PTC 標誌為 PTC 的註冊商標。所有其他商標均為其個別所有者的財產。John Wiley & Sons, Inc. 與本書中所提到的任何產品或廠商無關。

責任限制/擔保免責聲明：出版社和作者對本書內容的準確性或完整性不做任何陳述或擔保，並特此聲明放棄所有擔保，包括但不限於對特定用途的適用性。任何擔保皆無法藉由銷售或促銷資料產生或延長。在此所包含的建議和策略可能不適用於所有情況。所提供的資訊僅作為一般指導，並無意傳達任何稅務、優惠或法律建議。本書是在出版社不參與提供法律、會計或其他專業服務的條件下出售。如需專業協助，應尋求合法專業人員的服務。出版社或作者均不對由此產生的損害負責。在本書所提及並加以引用和/或作為進一步資訊的可能來源之組織或網站，不表示作者或出版社為該組織或網站可能提供的資訊或建議背書。此外，讀者應瞭解本書所列網站可能在撰寫和閱讀本書時改變或移除。

如需瞭解其他產品和服務的一般資訊，或想瞭解如何為貴企業或組織創作客製化 *For Dummies* 書籍，請連絡我們位於美國的業務開發部，電話：877-409-4177，連絡人：info@dummies.biz，或造訪：www.wiley.com/go/custompub。如需瞭解為產品或服務取得 *For Dummies* 品牌授權的資訊，請連絡 BrandedRights&Licenses@Wiley.com。

ISBN: 978-1-394-36831-0 (pbk); ISBN: 978-1-394-36832-7 (ebk); ISBN: 978-1-394-36834-1 (ePub)。印刷版中的某些空白頁面，可能不會包含於 ePDF 版本中。

出版社鳴謝啟事

協助本書上市的人士包括：

專案經理兼開發編輯：

Carrie Burchfield-Leighton

資深管理編輯： Rev Mengle

組稿編輯： Traci Martin

資深客戶經理： Matt Cox

PTC 撰稿人：

Elena Angst, Sean McGrath,
Ashley Pruitt, Nicole Dwyer,
James Norman,
Kristen Wells Griffith,
Brad Donegan

製作編輯： Magesh Elangovan

目錄

簡介	1
關於本書	2
愚蠢的假設	2
本書所使用的圖示	3
除了本書以外	4
第 1 章 層級設定產品永續性	5
定義永續性	5
把我們的產品搞亂	7
合規性 — 棒子	8
獲利性 — 胡蘿蔔	9
以生命週期思維來減少足跡	10
第 2 章 解決生態和合規性問題	11
找出問題	11
九個地球界限	12
脫碳	13
有限資源保留	14
規範問題	16
環保產品聲明	17
危險物質規範	17
脫碳規範	18
循環性規範	21
第 3 章 協調永續性和商業價值	23
脫碳值	24
減少零件設計中的材料	25
利用嵌入式軟體實現去物質化	26
改善供應商資料和選取	27
平衡材料選取標準	27
分散製造	28
模擬可製造性	29
將 EPD 自動化	29
循環性價值	30
設計模組化	31
派遣技術人員為最後手段	32
訂購維修零件為最後手段	33
足跡的產品差異化	34

第 4 章	永續性設計原則	35
	看見生命週期中的 DfS 價值.....	35
	獲取 DfS 智慧.....	36
	離散製造商的 DfS 架構.....	37
	元件層級.....	37
	產品層級.....	39
	產品服務系統層級.....	40
	管理 DfS 真實世界定序.....	40
第 5 章	以完整的生命週期思維來管理足跡	41
	生命週期思維方針.....	42
	生命週期庫存優先順序.....	43
	營運足跡.....	44
	上游足跡.....	45
	下游足跡.....	46
	循環性.....	47
	生命週期數位線程.....	48
	工程中心.....	49
	資產中心.....	50
	整合 PLM BOM 和資產中心.....	51
	配置特定的工作指示.....	51
	以設備為基礎的預測.....	51
	資料驅動的設計與服務.....	52
	提升 AI 價值.....	52
第 6 章	減少足跡創造獲利的十個生命週期提示	53
	思考完整的生命週期.....	53
	以模組化硬體和軟體來追求循環性.....	54
	別忘記前線工作人員.....	54
	根據已填寫完整的 BOM 功能來處理您的 EPD.....	55
	考慮 DPP 的優點.....	55
	針對減少足跡立即採取行動，讓您的財務長滿意.....	56
	考慮在品牌關鍵主題上取得領先地位.....	56
	取得碳值直觀.....	57
	取得循環性直觀.....	58
	使用永續性指令來建立您的數位線程.....	59

簡介

更 更好、更環保和更具獲利性的產品——現在是將產品永續性從空洞的策略訊息，傳遞到像您設計、製造、服務和淘汰產品的領導者手中了。除非您採取行動，否則產品足跡不會改善。大約有 80% 的產品足跡由設計決策（包括製造和服務規劃）決定，您是以獲利方式實現此目標的生態和企業英雄。

對大多數人來說，永續性是新興且快速發展的主題。因此，如果您缺乏豐富的知識，別擔心；如果您閱讀本書，您將很快就能夠與最優秀的專家合作。永續性執業者是熱情友善的群組。

想想大學院校的校內體育運動。如果您想重新學習足球，可能會很難，因為大多數球員都是從小就開始的。但幾乎所有人都是極限飛盤新手，所以您能夠很快上場，並對團隊有所貢獻。

產品永續性就像極限飛盤。您只需要掌握基本概念即可開始玩。在本書中，我強調我認為真實的三個主要重點：

- » **當產品足跡減少可獲利時，它具永續性。** 您可能會在未來五到十年減少一半或更多的產品足跡，為了獲得經濟利益，無論如何您都應該採取行動。其他技巧和技術正在不斷擴大規模，讓您在 2030 年代以獲利方式解決其餘的大部分問題。
- » **讓政治遠離討論內容。** 政治情緒來來去去。科技向成本更低、足跡更小的更好產品邁進而無法逆轉，而且因其耐用性、能源費用節省和供應鏈韌性而受到普遍讚譽——無論您站在哪一邊或保持中立。

- » **您不需要徹底檢查目前的工作方式。**已退休的系統設計工程總監 David Genter 指出，產品生命週期執業者已在數個品質維度（效能、特性、可靠性、一致性、耐用性、可服務性、美學和感知品質）平衡成本取捨。您只需加入第九個維度：永續性。

所以，拿起您的二手、無 PFAS、100% 可回收的聚乙烯飛盤，讓我們開始吧！

關於本書

本書共六章，將探討下列內容：

- » 層級設定產品永續性，以框定主題和您應該關注之處
- » 由我們的產品和推動減少足跡的法律環境所造成之問題
- » 商業案例——協調減少足跡與財務優先順序
- » 永續性設計 (DfS) 原則
- » 以完整的生命週期思維來管理足跡
- » 以獲利方式減少產品足跡的十個生命週期提示

每一章皆為獨立撰寫。因此，如果您看到讓您感興趣的主題，那就直接跳至那一章。您可以按照適合您的任何順序閱讀本書。

愚蠢的假設

永續性是廣泛的主題，但產品永續性更加受到關注。因此，我對您（讀者）進行較為寬鬆的假設：

- » 首先，您想要瞭解離散製造產品的永續性。其中包括飛機、火車、汽車、鞋類、X 光機、烤箱、智慧型手機、電梯、推土機、閥門等設備，以及如果掉在腳上會造成傷害的幾乎所有其他固

2 產品永續性 For Dummies, PTC 特別版

體。我未將流程製造包含於本書，其中可能包括石油、天然氣、化學品、食品、啤酒、物質商品和其他配方型產品。

- » 其次，您符合以下兩個背景之一：**產品生命週期執業者或企業永續性**（或這些職能的主管）。在產品生命週期方面，您可以概括或專門研究廣泛的職能，例如：工程、製造規劃、服務管理、IT、產品管理、採購、合規性等。
- » 如果您並非產品的離散製造業或永續性角色，那麼本書仍然值得一讀，您可以瞭解該產業如何應對減少足跡。

本書所使用的圖示

我偶爾會使用特殊圖示來吸引對整本書中重要項目的注意力。以下是您將會發現的內容：



謹記

此圖示會提醒您值得回憶的資訊。



提示

希望透過這裡的建議、意見或觀察，找到某些實用或有幫助的內容，以幫助您利用來自其他實施過程的經驗。



警告

警告圖示旨在吸引您的注意，以讓您避開坑洞、錢坑和其他危害。特別注意書中的這些部分，可以幫助您避免不必要的障礙。



技術性內容

此圖示可以透過下列兩種方式之一取得：技術人員會專注於接下來有趣且重要的細節；其他人會樂於跳至下一段。

除了本書以外

這本書是很好的入門書，但某些主題的深度受限於這 64 頁內。如果您想知道哪裡可以深入瞭解，請查看：PTC.com/beyond-the-book。我也在整本書中引用此連結，因此，您可以透過單一便利的連結來取得所有資源。

本章重點

- » 瞭解永續性
- » 見證我們產品的影響
- » 處理合規性問題
- » 追求獲利
- » 利用生命週期思維來減少足跡

第 1 章

層級設定產品永續性

永

續性具有許多層面，因此，弄清楚您適合旅程的哪個階段可能會令人困惑。本章探討產品永續性的原則，以及產品生命週期執業者對離散產品影響最大之處。後續章節將進一步深入探討這些主題。

定義永續性

1987 年，聯合國布倫特蘭委員會為永續性下定義，該定義至今仍然適用。永續性既滿足當今需求，又不會損害未來世代滿足其自身需求。我們都喜愛設備齊全的住房、便利的交通、刺激的假期和營養豐富的餐點。您會希望曾曾曾曾曾曾曾孫輩在享受繁榮的自然棲息地時，也擁有類似或更佳的機會。永續性的精神是要在美好生活與環境保護之間取得平衡，所以您需要以永續的方式來享受您的產品和服務。

永續性包括三個支柱：環境、社會和治理。如圖 1-1 所示，每個支柱都可以進一步細分。圖 1-1 中顏色較淺的方塊，可能是您所管理產品生命週期的焦點領域（儘管火災警報器或武器等某些產品可能會產生正面或負面的社會影響）。

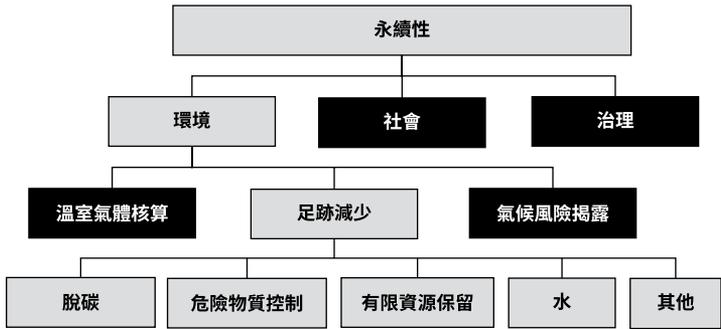


圖 1-1: 離散製造業產品生命週期執業者的共同永續性焦點。

您可能聽過術語 ESG，它與永續性一詞互換使用。ESG 代表環境、社會和治理，並以聯合國的 17 個永續性發展目標（SDG）為基礎。這 17 個目標的前提是，即使我們擁有以更佳方式保護環境的技術性手段（我們目前大部分所使用），但如果公民和國家不合作，我們將永遠無法以必要的速度和規模來實施。（別擔心；我不是在此談論政治。繼續閱讀 — 我將解釋如何讓您的貢獻在政治上保持中立。）

「無貧窮」（#1）等社會目標和「和平、正義和強大機構」（#16）等治理目標，是推動環境 E 目標所不可或缺的，而環境 E 目標也是我在本書中所關注的目標。所有產品生命週期執業者都在 E 空間中發揮作用，並以科學支援的技術和商業價值來追求此目標。在我所關注的 17 個目標中，有兩項為

- » #9 — 產業、創新與基礎架構：這些是產品生命週期的設計元素。
- » #12 — 負責任的消耗與生產：這些是產品生命週期的製造、服務和循環執行元素。



技術性內容

與供應鏈人權有關的某些 S 目標，是您設計中材料和元件選擇的重要合規性項目。不過，您不會直接評判您的供應商。反之，您的採購小組將為您執行此動作，並根據衝突礦產合規性和其他因素向您提供已核准的廠商清單。

把我們的產品搞亂

在前面的章節中，我將 E 確立為本書在聯合國永續性發展目標框架內的主要 ESG 焦點。在本節中，我將介紹貴企業內部必須改善的環境問題。第 2 章會對此進一步詳述。

我們的產品通常會對環境產生三大負面影響：

» **危險物質：**汞、鉛和銅等危險物質會對人類和其他生物造成危害。根據最近的研究，塑膠也可能造成危害。鋼和鋁等金屬在產品中大多具有惰性，但在提煉後會留下殘渣，可能會污染水和土壤。

在採礦業中，殘渣是礦物分離過程後所剩下的物質。

» **溫室氣體排放：**在產品生命週期中，溫室氣體排放可能來自燃燒化石燃料所產生或使用的任何東西。其中一個例子是燃燒汽油所行駛的汽車。其他機器會使用電力，而這種電力的上游發電可能會燃燒煤炭或天然氣等化石燃料。即使是非電力產品也具有用來製造它們的隱含碳。**注意：**某些產品的活動可能會釋放額外的暖化氣體(如冷媒)。

隱含碳是指利用採礦、材料加工、製造和運輸等活動製造產品，其所產生的溫室氣體排放之總和。

» **有限資源枯竭：**有限資源枯竭，以地球圈內可開採資源(如金屬、礦物和石油)的數量有限為考量。如果我們繼續以線性方式消耗，例如卡車燃燒柴油，或將被丟棄的破損產品焚燒和掩埋，那麼在某個時候，未來世代將不再擁有這些生產供應鏈。



技術性內容



技術性內容

企業的環境責任會緩解這些外部因素（通常是自願性），以推動商業價值。法規會不斷迫使企業承擔責任。

合規性 — 棒子

合規性就是遵守法規，我在第 2 章對此進行了詳細說明。危險物質合規性範圍的擴大，在我們的產業中已大約有 20 年。您可能已經擁有成熟的危險物質控制計劃。

與危險物質控制有所不同，脫碳和循環性是新的合規性領域。雖然有許多國家層級的規則，但全球驅動力係透過歐盟（EU）的《企業永續性報告指令》（CSRD）。CSRD 廣泛跨越 ESG 主題，也在國際間適用於出口到歐盟的出口商。因此，如果您在歐盟銷售產品，或與在歐盟銷售產品的供應商合作，您可能面臨這些合規性的壓力。

對於產品生命週期執業者而言，CSRD 及其相關規則會迫使製造商

- » 測量產品足跡
- » 致力於將足跡減少量化
- » 循環利用來自報廢零件和產品的材料



謹記

從經濟學家的角度來看，全球暖化是管理溫室氣體排放外部效應的市場失靈。法規「棒子」逐漸被用來解決此外部效應。

從純粹的商業角度來看，非合規性的代價慘痛。首先，有法律處罰，每個國家和貿易集團的處罰有所不同。對於企業對企業（B2B）製造商而言，與業務損失的風險相比，這些處罰可能很小——客戶可能會取消非合規性供應商的資格。



提示

請勿將此合規性視為一種拖累。反之，這會提高產品設計的門檻，創造公平競爭的環境，並開創可獲利的商機。

獲利性 — 胡蘿蔔

遵守合規性，您的商業案例只能是：「老闆，我們必須這麼做！」但這種經營成本方式不會帶來差異化投資，幸運的是，機會遠比此方式好得多。

核心問題是，產品永續性帶動可見度，以準確描述價值和效率優先順序。接著，永續性會將這些優先順序機會與成熟和尖端的解決方案配對。即使忽視合規性的價值，其結果也與業務優先順序一致：

- » 透過回收、輕量化、減少廢料和內嵌式軟體，以降低材料和元件成本。
- » 利用能源效率、再製造和翻新來降低生產成本。
- » 將設計焦點放在客戶價值，巧妙地避免過度設計。
- » 利用耐用性、效率和內嵌式軟體創新來提高初始銷售營收。
- » 利用高效率服務、升級和副產品市場來提高售後營收。
- » 改善供應鏈可見度和風險韌性。
- » 以品牌聲譽和綠色溢價來擴展市場。

這是毫無疑問的決定！此清單對企業和環境都有好處，也能讓老闆遠離訴訟。



謹記

當產品足跡減少有利時，該減少便具永續性，而獲利性就是您所追求的「胡蘿蔔加棒子」（請參見上一節）。首先關注較容易贏得的成功，然後再努力實現較困難的進步。可再生電氣化、去物質化、分散式製造和服務化等某些機會，在今日的一般環境中是有利的。其他機會可能尚未規模化，但可以提供今日的先發優勢，或明日的第二階段選項。您可以在第 3 章深入研究價值的細節。

以生命週期思維來減少足跡

昨日的永續性計劃關注營運足跡 — 主要是在公司內足跡可見的工廠營運：減少廢料、降低能源使用，並盡可能轉向再生能源。也在必要或有利的情况下，使用排放捕集裝置。

然而，在 CSRD 合規性新領域及投資者和客戶的期望中，製造商對其產品的整個生命週期負責，而不僅是在其工廠內。對於抵達工廠收貨台的材料和元件，製造商目前對該供應在採礦、運輸、材料加工和較低階製造的所有上游影響負責。製造商也要對下游（售後）影響負責 — 其產品的運作能源、服務和廢棄物足跡。



謹記

在離散製造業中，通常只有 1% 到 10% 的足跡來自營運。其餘 90% 到 99% 屬於上游和下游。將永續性焦點放在工廠營運已經不夠了 — 責任延伸到整個產品生命週期。因此，產品生命週期執業者是解決方案的核心。公司需要健全的流程和數位骨幹，以有利的方式反覆減少產品足跡。

前往第 4 章，以瞭解有關永續性設計原則的更多涵蓋內容，第 5 章則詳述其生命週期實施。

- » 探索產品如何傷害環境
- » 瞭解法律以減少傷害

第 2 章

解決生態和合規性問題

本章中的主題，對於瞭解產品永續性所需解決的問題至關重要。我不希望您在閱讀本章時感到厭煩。只要知道您必須好壞都接受。

在本章中，您將探索產品如何傷害我們的環境，以及哪些活動最能造成這些負面影響。您還可以看到我如何制定規範，以迫使製造商減輕這些產品外部效應。

找出問題

目前已製造的產品完全不具永續性。它們會污染和暖化地球，並消耗有限的資源。當您的行銷部門發布您的產品聲明時，應該避免使用**永續性產品**或**綠色產品**等詞語。雖然您目前可能會朝著淨零足跡的目標不斷努力，但最好堅持使用**較具永續性的產品**等詞語。



技術性內容

淨零是指大幅減少貴公司的溫室氣體排放量（由於除碳有實際限制，因此，通常是比您開始時多 90% 以上），並購買剩餘的除碳量，以實現零排放量。

九個地球界限

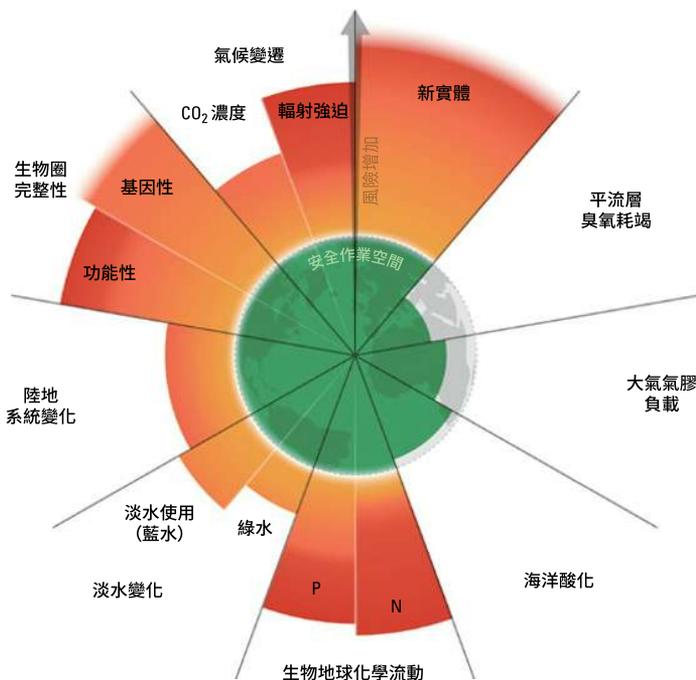
地球透過稀薄的大氣層（空氣）、稀薄的生物圈（地面和土壤）和厚實的地圈（地殼和地函），以維持我們的生命。隨著 80 多億人四處移動，並尋求富裕的世界生活標準，人類正以新的方式對這些生命維持系統增加壓力。

斯德哥爾摩應變中心使用九個地球界限來追蹤這些問題。此架構說明九個維度的惡劣狀態，如圖 2-1 所示，人類活動對地球所造成的破壞。安全作業空間內的界限，以長期來看是沒有問題的。超出此界限則否。這些界限必須被帶回到安全作業空間，而且最好是在大自然採取激烈的平衡措施之前優雅進行。

如圖 2-1 所示，由於許多安全作業空間被破壞，這張圖看起來似乎不樂觀，但還是有方法來改善每個界限。有一個成功案例是平流層臭氧耗竭界限，這是 1980 年代末期最被公認的界限失效。冷卻劑和其他化學製品正在破壞大氣的臭氧層，這可能導致人類和其他生物接受過度輻射。幸運的是，在科技上找到方法（以合理的成本取代化學製品），而且世界領導人有意願（《蒙特婁議定書》）。目前此界限的狀態最好，臭氧層正在恢復，而且您仍然可以享受負擔得起的空調和冷飲。

在離散製造中，產品可能有助於其他界限。例如：

- » 精準農業以先進的拖拉機、播種機、無人機等來避免過度施肥和過量殺蟲劑。這樣可改善生化流。
- » 水處理技術有助於使淡水更乾淨和更安全。



資料來源：斯德哥爾摩大學 Azote for Stockholm Resilience Centre。根據 Richardson 等人 (2023 年)、Steffen 等人 (2015 年) 和 Rockström 等人 (2009 年) 的研究。

圖 2-1：九個地球界限。

如果您擁有這些有益的產品，向您致敬！市場會獎勵您的治癒能力。



警告

在九個界限中，有一些因我們的產品而受到傷害。其中一個例子是新實體（微塑料等危險物質）。另外兩個是氣候變遷和海洋酸化（兩者都是由溫室氣體排放量所造成）。幸運的是，就像平流層臭氧耗竭界限一樣，您逐漸會擁有科技方法和與企業一致的手段來改善這些界限條件。

脫碳

脫碳是減少溫室氣體（GHG）排放量的行為。GHG 排放量主要是二氧化碳，但也包括甲烷等其他暖化氣體。

許多人認為氣候變遷是九個地球界限中最迫切的界限。在離散製造中，GHG 的貢獻主要來自整個價值鏈中，化石燃料的燃燒。



警告

圖 2-2 說明該問題。燃燒生物圈物質（例如森林中倒下的樹木）可以快速循環回到新的植物物質。然而，化石燃料已被封鎖在更深層的地圈中達數百萬年。將其燃燒而進入地球大氣層會造成碳不平衡，因為它們不會自行循環回到地圈。

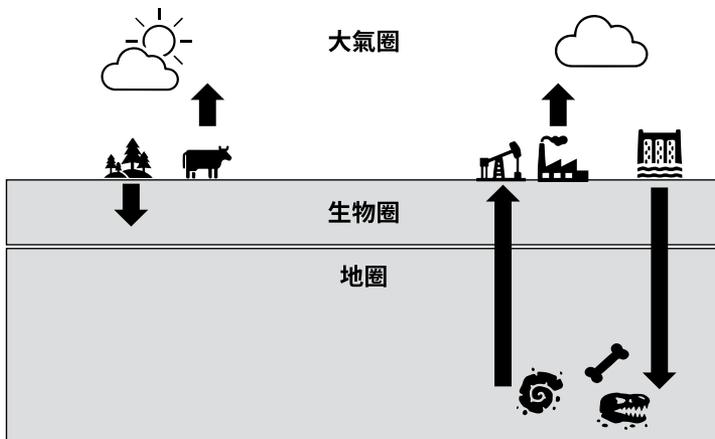


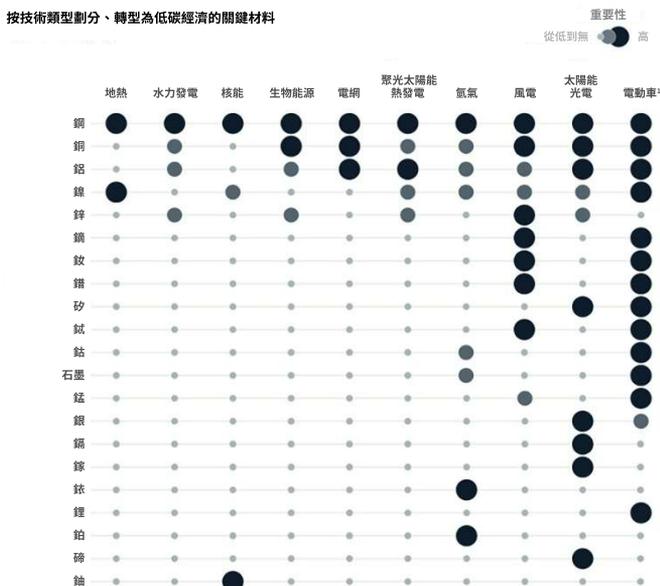
圖 2-2: 碳循環。

Climeworks 和 Charm Industrial 等供應商的除碳機器，可以將碳抽回到地圈。從樂觀的角度來看，在 2030 年代和 2040 年代，像這樣的除碳技術可以擴大規模，以可負擔的成本將目前排放率的 10% 抽回到地圈。為了利用除碳達到淨零目標，您不需要完全停止使用化石燃料，但您的確必須減少化石燃料的使用，並使用更環保的混合物（天然氣燃燒比煤乾淨 50%，石油等級則介於兩者之間）。

有限資源保留

離散製造有責任減少使用化石燃料，並控制危險物質。如果我們要將更多的煤、石油和天然氣保留在地圈（基於環境和成本理由），那麼在未來幾十年內，我們必須從地下挖掘大量的金屬和礦物，以風力渦輪機、電池、太陽能板、核電廠和智慧型電網等取代我們的能源基礎架構。

McKinsey 圖表（如圖 2-3 所示）顯示能源轉型對原料的相對需求。家用電子產品、汽車、飛機、家用電器和醫療裝置等其他產品，也需要這些相同的材料。



¹包括能源儲存體。
資料來源：歐盟委員會的前瞻性研究——歐盟策略技術和部門的關鍵原料，2020年3月9日；關鍵礦物在清潔能源轉型中所扮演的角色，IEA，2021年5月；McKinsey分析

圖 2-3：在經濟上至關重要的有限材料。

關於圖 2-3 的更多資訊，請造訪：PTC.com/beyond-the-book。

美國、歐洲、日本、南韓和其他工業經濟體所面臨的問題是，這些材料在國內往往供應量不足。因此，雖然循環性可以帶來顯著的环境效益，但目前驅動力來自國家安全強制令——要求將關鍵材料留在經濟體內使用。



謹記

由於經濟必要性，循環性在先進製造業所在國家中具有長久的影響力。生產線會因材料不足而中斷。

規範問題

為了減少離散製造的混亂，規範會強制要求對危險物質控制、脫碳和循環性採取行動。規範是必須納入您的產品計劃和設計之市場條件。

然而，永續性規範和標準的廣度可能令人望而生畏。法律和合規性負責管理這些內容，並引導您到它們需要您參與之處。幸運的是，對於生命週期執業者來說，重要規範可以歸納為，產品生命週期計劃所經常引用的預期行動之簡短清單。這些內容在表格 2-1 中被引用。

表格 2-1 推動減少足跡的規範

規範或指令	與產品生命週期的相關性
《企業永續性報告指令》 (CSRD)	要求範疇內的公司報告其環境影響。歐盟製造商及其全球供應鏈可能在範疇內（想想世界上幾乎所有的中型和大型離散製造商）。
《企業永續性盡職調查指令》 (CSDDD)	與 CSRD 有關。在 CSRD 要求揭露的情況下，CSDDD 要求採取行動。迫使公司以可稽核的方式減少其對環境的影響。特別關注脫碳和循環性。
《關於化學品註冊、 評估、許可和限制法案》 (REACH)	對任何產品進行危險物質控制，其中包括廣泛的物質清單（241 項物質且增加中）。
《危害性物質限制指令》 (RoHS)	電氣和電子設備的危險物質控制。僅適用於 10 項物質。
《廢棄電子電機設備指令》 (WEEE)	循環設計加上製造商所繳納的稅款，以資助政府回收中心所收集的電子廢棄物。



謹記

您無需成為規範專家。身為生命週期執業者，您的合規性貢獻通常可以歸納為，測量您的產品足跡和不斷減少足跡。

環保產品聲明

永續性期望的成果之一是環保產品聲明 (EPD)。EPD 就像產品的營養標籤，顯示其對環境的影響。圖 2-4 顯示樣本 EPD，衡量產品對環境的影響，其中包括已使用的能源、已排放的碳、海洋酸化、水污染、平流層臭氧耗竭和地面臭氧污染。

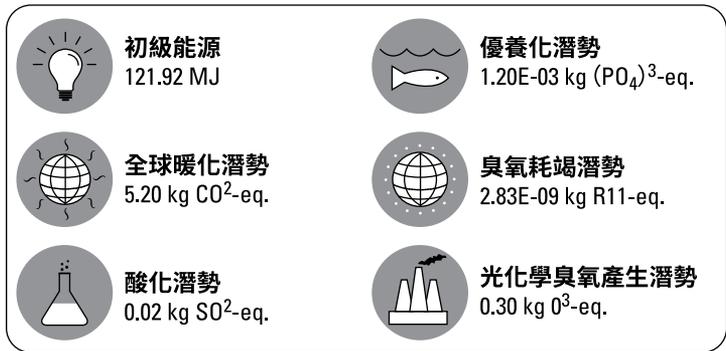


圖 2-4: EPD 樣本。

EPD 是更廣泛的生命週期評估 (LCA) 之摘要輸出資料。雖然有經驗的消費者可能會使用 EPD 來獲悉購買決策，但如今 EPD 更常用於企業對企業 (B2B) 交易。如果 EPD 以簡化、面對消費者的格式呈現，此情況可能會隨著時間而改變。



提示

您的材料清單 (BOM) 計劃可以為 LCA 和 EPD 強大的自動化助力。

危險物質規範

當提到 REACH 和 RoHS 等危險物質規範時，它們的方法類似：最好的情況是，請勿使用任何超過指定微量的危險材料。如果您這麼做，必須證明它在製造、使用和報廢過程中，不會對人類處理者和環境造成傷害。



技術性內容

PFAS（全氟和多氟烷基物質）預計將成為下一類受到類似控制的危險物質，但截至本書出版之日，它們尚未受到一致性的規範。如果您有任何耐熱、耐油或防水的產品，您可能必須減輕 PFAS 問題。

脫碳規範

CSRD 要求測量 GHG，CSDDD 則推動以科學為基礎的目標（SBT），以減少排放量至淨零目標。當然，您必須先衡量您計畫改善的內容。

《溫室氣體盤查議定書》

就像財務會計有關使用美元等計價單位來衡量交易的規則（如 GAAP）一樣，GHG 核算也有自己的規則手冊（稱為《溫室氣體盤查議定書》），以測量溫室氣體排放量（測量單位是二氧化碳當量公噸或 MTCO_{2e}）。GHG 核算有幾個類別（稱為範疇），每個類別都旨在鼓勵某些企業行為。與生命週期執業者最相關的是

- » **範疇 1—直接排放量：**自有和租賃辦公室、工廠和車輛所燃燒的燃料（而非您的供應商所燃燒之燃料）。製造商被迫以電力或其他潛在可再生能源來源，取代工廠化石燃料燃燒。此範疇也迫使公司透過避免派遣和轉換為電動卡車，以減少服務卡車排放量。
- » **範疇 2—間接排放量（發電）：**此範疇由棕色電力使用所組成，該電力由煤、天然氣或石油所產生。就技術上而言，已購買的蒸汽能源也屬於此範疇。迫使公司以綠色利用（即可再生發電）取代棕色利用。（**注意：**核能被譽為低碳能源，但不被視為可再生能源，但它仍然是減少範疇 2 的選項）。
- » **範疇 3—間接排放量（價值鏈）：**其中包括您的價值鏈所產生之排放量，包括上游（產品組裝之前）和下游（產品出售之後）活動。範疇 3 有子類別，而對您的產品通常具有重要意義之子類別如下：

- **3.1 — 已購買的商品和服務：**其中包括抵達工廠收貨台的貨物，其所產生的隱含碳。隱含碳的累積，來自採礦、運輸、材料加工和較低階層製造等供應上游排放量。這會迫使公司選擇碳密集度較低的供應商，並使用更少的材料。
- **3.4 — 運輸和分配：**其中包含供應鏈貨運排放量。它會迫使公司轉向較低足跡的運輸（地面而非空中、可再生而非化石動力）。此範疇子類別也會迫使分散製造利用當地供應鏈。
- **3.11 — 已出售產品的使用：**這是燃料燃燒或不可再生能源產生的電力，讓客戶為您的產品供電。此類別迫使公司以潛在可再生能源來源（主要是電氣化），取代化石燃料動力產品。
- **3.12 — 報廢處置：**其中包括在運輸、焚燒或分解退役零件和產品的過程中所排放之碳。這會迫使公司往循環性發展（反而有助於範疇 3.1 利用碳高效供應）。

貴公司不會要求您運算整體企業足跡，因為這些排放量包括辦公室活動、商務旅行等等。但他們會要求您計算產品碳足跡（PCF）。GHG 核算術語的 PCF 包括

- » 產品供應商材料和零件的隱含碳，包括運輸到您的工廠（範疇 3.1 和 3.4）
- » 在您自己的工廠製造產品時所產生之不可再生能源排放量（範疇 1 和 2）
- » 產品壽命預期營運不可再生能源排放量（範疇 3.11）
- » 預期報廢回收或處置排放量（範疇 3.12）

服務派遣和維修零件、營運運輸和上游燃料，是可能在範疇內但通常為較小足跡貢獻者的其他領域。

管理此領域聽起來像是艱鉅的任務，但您的產品生命週期管理 (PLM) 系統可提供協助。填寫完整的 BOM 能夠管理資料以計算 PCF。其中包括碳和在材料、零件與配置層級彙總的其他屬性。

淨零承諾

您的另一項脫碳責任是，透過使用以科學為基礎的方法，以推動 PCF 邁向淨零目標。具有 CSDDD 的 CSRD 要求許多公司給予淨零承諾，並接受以科學為基礎的減排稽核。這即將在企業層級完成，但由於製造商大部分的排放量都來自其產品供應，因此，貴公司依賴您推動大部分的減排。

圖 2-5 說明以科學為基礎的淨零途徑，其中涉及下列內容：

- » **基準線測量：**這是貴公司的起始足跡，後續的減少將以此為承諾。
- » **2030 年近期承諾：**在 2030 年或之前，您的基準線範疇 1 + 2 必須減少至少 42%。此外，您的最高範疇 3 領域（通常是您的供應鏈範疇 3.1）必須減少至少 25%。
- » **2050 年淨零承諾：**在 2050 年或之前，您的淨排放量必須減少至基準線的 90% 以下。任何剩餘排放量（高達 10%）都需要可稽核除碳購買以達到淨零目標。

除碳會產生實際成本，但在您宣布淨零日期之前不需要除碳。例如，您可能有的材料供應商於 2051 年仍在使用化石燃料加工機器。如果他們為了您所訂購的材料而從此機器排放 1 MTCO₂e，那麼您的範疇 3.1 將被收取 1 MTCO₂e。貴公司可以向 Climeworks 等公司付費，以市場價格（例如 100 美元）永久封存 1 噸的二氧化碳。因此，您可以保留您的淨零承諾，但您的材料實際上要額外花費 100 美元。

關於圖 2-5 的更多資訊，請造訪：[PTC.com/beyond-the-book](https://www.ptc.com/beyond-the-book)。

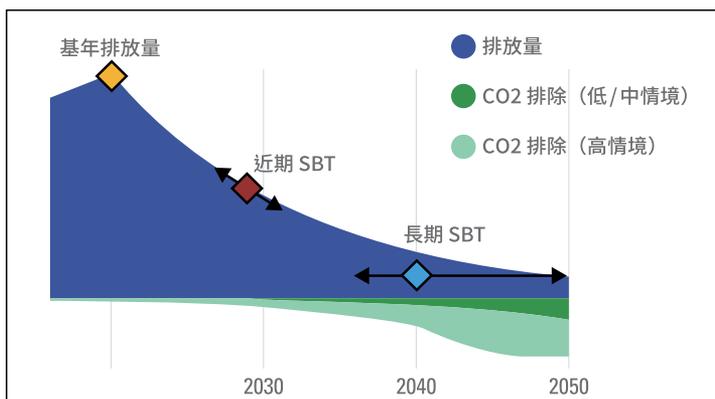


圖 2-5：脫碳途徑。

循環性規範

產品循環性涉及透過修復、重複使用、翻新、再製造和回收來減少浪費。目前，WEEE 推動電子產品的基本回收，這與 REACH 和 RoHS 對電子產品常見的有害物質之報廢控制密切相關。

對於電池製造商來說，從這 10 年開始，數位產品護照 (DPP) 會要求某些製造商對其產品材料循環返回負責。其中包括報廢零件和產品。除了電池以外，其他產品領域也將需要這些護照，但在本書出版之日時，日期尚未確定。

在圖 2-6 中，護照會追蹤實體產品的影響摘要和材料流。它概述產品的材料內容、危險物質、碳足跡、用水量和循環潛勢。此資料已眾所周知，並在售前發布。售後資料包括維修零件交易、維修零件退回證明，以及任何報廢轉移或退回證明。

關於這些護照，對哪些產品需要在售前和售後進行資料追蹤的精確程度，仍然有點像是「即將上映」的期待感。在早期階段，序列化的昂貴資產比批次型非耐用產品更有可能需要售後追蹤。

摘要

產品序號：4040425A1

產品製造商：Universal Exports

產品型號：Lightning-A.1

碳足跡：1.2 kg

用水量：14.5 升

材料成分

1.23 kg 鋁 (60% 可回收)

0.29 kg 不鏽鋼 (30% 可回收)

0.003 kg 鈷 (0% 可回收)

活動分類帳

2024-11-18：在丹佛工廠製造

2024-11-19：已由擁有者 XYZ 接收

2025-01-23：零件 123 與 RMA 456 交換

圖 2-6：簡化的 DPP 範例。

DPP 需要強大的工程和服務資料骨幹。幸運的是，除了合規性以外，護照還提供大量營收增長的機會，我也會在第 3 章介紹價值。

- » 學習以獲利方式減少足跡的技巧
- » 關注脫碳和循環性

第 3 章

協調永續性和商業價值

當

產品足跡減少可獲利時，它具永續性。宣傳「這對地球有好處」可能會招致強烈反對的風險，除非搭配「而且這是企業的優先順序。」

幸運的是，有一連串令人印象深刻的可獲利機會，而且這些機會還會隨著新科技和規模而增長。以下是既能中斷污染環境的舊產品，又能提供財務價值的一些產品範例：

- » **消費者：**在價格相近的情況下，LED 燈泡的耐用性是白熾燈泡的 30 倍，以及能源成本節省為白熾燈泡的 7 倍。
- » **汽車：**電動傳動系統大約有 20 個活動零件，而內燃機（ICE）傳動系統大約有 2,000 個活動零件。充電比加油便宜 50% 至 90%。電動車（EV）的加速速度比同等價位的 ICE 汽車快約 50%。
- » **工業：**對於公用事業規模的擴張，太陽能 and 風力發電場通常比新式化石燃料發電廠更經濟。即使規模較小，現場太陽能通常也能在 5 到 7 年內達到收支平衡。

- » **高科技：**與翻蓋手機、GPS 裝置、數位相機、MP3 播放器、計算機和手電筒等材料密集的組合相比，口袋大小的智慧型手機可以方便地完成更多事情，而且花費更少。
- » **航太：**齒輪傳動渦輪扇發動機、更輕的複合材料和已改進的空氣動力學等進階引擎技術，可使燃油效率提高 15% 至 20%。增加 8% 的座位密度和 10% 的排程最佳化，可使每位乘客的效率提高 30% 至 40%。

本章重點關注脫碳和循環性機會。與危險物質控制（我在第 2 章所介紹）相比，脫碳和循環性提供實現規範成果的彈性方法。除了合規性價值以外，這些方法通常還能帶來獲利。

脫碳值

排放碳需要花錢，而避免不必要的排放活動可以為您節省金錢。圖 3-1 顯示，McKinsey 深入研究此前提並指出，在 2030 年之前，離散製造商能夠以獲利的方式，減少 20% 至 60% 的碳排放量。大部分都在 50% 到 60% 的範圍內。

分析師對價值觀一致性的觀點

在 2024 年的報告中，Forrester 的 Paul Miller 強調減少足跡的商機：「2021 年，工業占全球能源消耗的 31% 和重新分配二氧化碳排放量的 38%，同時也是有限天然資源的重要消耗者。能源和原料成本的上漲，加上日益嚴格的環境規範，對於即使是最懷疑氣候變遷議題的主管來說，減少消耗和浪費也是合理的商業決策。」



圖 3-1：也可減少排放量的成本效益。

關於圖 3-1 的更多資訊，請造訪：PTC.com/beyond-the-book。



技術性內容

由於淘汰速度加快，電池和半導體愈來愈難以重複使用舊元件來節省新產品的碳排放量。然而，身為價值大小和速度的支持性指標人物——CIMdata 的 Mark Reisig 指出，投資於節能硬體、回收材料，並將供應鏈最佳化以減碳的高科技公司，已公布前 18 個月內的投資報酬率（ROI）達到 10% 至 30%。

身為產品生命週期執業者的您，本節為您提供脫碳機會的動作。

減少零件設計中的材料

電腦輔助設計（CAD）軟體提供生成式設計功能，並透過效能模擬進行反覆迭代，在已宣告的約束條件（幾何、散熱、強度、製程等）內將材料使用最佳化。圖 3-2 說明生成式設計如何建議符合三個約束條件的選項，以減少電動自行車轉向桿的材料。工程師會選取與成本等其他標準平衡的選項。加式選項通常具有最低的材料用量，但與減式選項相比，它們可能會增加成本或減少生產量。

擁護這些最佳化方法的資深工程師與我分享看法：新聘用的工程師所設計之零件，比他們以手動方式所想像的更有效率，即使擁有數十年的經驗。CAD 有助於減少材料，而且可按比例節省材料供應商的隱含碳（範疇 3.1）和材料成本。額外的好處是重量輕，這可以為汽車等移動應用領域帶來顯著的能源效率效益（範疇 3.11）。我在第 2 章介紹「範疇」。我在第 2 章介紹「範疇」。



圖 3-2：利用生成式設計移除零件材料的範例。

利用嵌入式軟體實現去物質化

將材料減少到極致，有一些機械零件可以被軟體取代。我的個人故事充分傳達此價值觀。我的電動車被召回。車窗安全開關無法以可靠的方式縮回，並可能會傷害手指（例如當孩子玩弄窗戶時）。我想，「哦，不行。坐在經銷商的等候室裡聽著吵鬧的肥皂劇，已經過去好幾個小時。」接著我進一步讀到，汽車製造商指出，我的汽車型號已經用軟體取代了實體車窗感應器。他們只需為我提供遠端軟體更新，即可快速又輕鬆解決安全問題。

以軟體取代此車窗感應器，節省了製造商在其材料清單（BOM）中，實體零件的成本、重量和隱含碳。這也避免了召回技術性勞工和更換零件。此外，身為日益忠實的客戶，我對這種主動且簡單的「睡夢中修復」結果感到滿意。



提示

要做好這一點，需要採用系統方法來進行產品設計，其範圍涵蓋應用程式生命週期管理（ALM）和產品生命週期管理（PLM），以便讓模組化嵌入式軟體可以補充模組化機械設計。這些軟體和硬體的混合，也需要對安全關鍵功能（例如我的電動車窗升降範例）進行需求和測試追蹤。

改善供應商資料和選取

對於商品材料和元件，成本和環境足跡可能會有很大差異。風險也有很大的可變性。將您的設計工程師（特別是 BOM 經理）與材料和供應鏈資料庫連接起來，有助於改善初始選項。隨著供應商商品的改善，他們還會精準確定廉價變更單的機會，以改善成本、足跡和風險（變更商品供應商不太會影響效能或製造流程）。

平衡材料選取標準

不同於可隨時以廉價方式變更的商品供應商選取，變更零件的材料需要巨大努力，這會影響幾何形狀、效能、工具和其他方面。

材料具有工程屬性。這些不會隨著時間或在供應商之間改變。銅的熱膨脹係數永遠是 0.000017。如果您只需要管理幾項材料，並只關心這些靜態工程屬性，您可以在無商業材料資料庫整合的情況下工作。

然而，由於永續性，您必須管理材料資料的三個動態維度。

足跡、成本和風險屬性

成本和碳強度等屬性經常變化，並且在供應商之間存在差異。材料資料庫通常與全球平均成本和足跡屬性保持同步，但不會針對特定供應商。此全球平均通常具有足夠的精確度，可以進行明智的材料選取（如鋁與鋼或 A 級鋼與 B 級鋼），以平衡成本、效能和足跡標準。供應商選取通常是後續的設計決策。

新的再生混合物

鋼鐵等常見材料具有回收成分和加工方法的新混合物（例如 80% 再生鋼）。這些混合物和加工方法不僅具有不同的成本和足跡，也具有不同的工程屬性。您不能完全使用再生鋼一對一取代原生鋼，並達到相同的強度、剛度和其他效能屬性。

新材料

得益於人工智慧和核心材料科學投資的提高，新材料正以驚人的速度提供。將材料資料庫與 CAD 和 PLM 決策者進行整合，對於選取正確的材料非常重要。材料選取是高風險的決策（考慮到成本、效能和足跡），在設計後期或生產後變更材料選取需要花費相當大的成本。此外，設計師必須追蹤在其設計中使用材料的位置，以偵測和評估材料屬性更新何時需要設計變更。



技術性內容

要瞭解新材料的可用性速度，您可以閱讀有關 Google 2023 年 GNoMe 專案，該專案發現了 38 萬種新的穩定材料。在此之前人類僅發現了 48,000 個！關於更多詳情的連結，請造訪本書的資源頁面：[PTC.com/beyond-the-book](https://ptc.com/beyond-the-book)。

分散製造

全球市場的重型和高價產品，面臨巨大的運輸和海關費用風險。擁有全球組裝工廠的汽車製造商，將兩噸的國際供給量集中運送到其工廠，然後將兩噸重的汽車運送到世界各地的客戶所在地。運輸費用可能還包括可觀的海關費用。如今，大部分運輸費用都包括化石燃料成本，除了產品供應成本以外，還會再加上隱含碳。

利用分散製造，目前大型汽車公司通常會將組裝工廠分布在當地市場（如美國、德國和中國）附近，並具有當地供應鏈。這樣可節省成本和足跡。當供應鏈衝擊（如颱風、關稅和衝突）發生時，還可以規避風險。



提示

分散製造不僅僅是汽車業的機會。在全球範圍內擁有重型或高價產品的任何製造商，都可以從中受益。但您必須管理來自不同工廠產品線和不同供應鏈的新增變化。具有製造規劃的模組化設計，能夠有助於管理這些複雜性。針對循環性機會未雨尚繆，當重加工比初始完整製造更簡單時，再製造具有更大的分散潛力。

模擬可製造性

對於內部製造的零件（也稱為製造零件），成本最佳化通常與節省足跡相關。減少廢料可以節省材料的隱含碳和成本。能源效率可以節省公用事業成本（當能源來源並非 100% 環保時，還可以節省足跡）。

對於規定的製造流程，模擬可以建議幾何形狀、控制特性、處理和其他調整，以減少廢料和能源。模擬可以進一步建議材料和製造流程替代方案，以減少成本和足跡。

此外，可製造性模擬可以預測生產對產品足跡的貢獻，而且必須在環保產品聲明（EPD）中彙總。這樣可節省手動分析的工作量。

將 EPD 自動化

具有產品碳足跡（PCF）報告的 EPD，其人工生產成本很高。估值有所不同，但通常在 1 萬到 5 萬美元以上的範圍內。對於提供許多產品變體的製造商而言，這不僅成本高昂，而且由於環境工程師的數量有限，要因應新一波的 PCF/EPD 需求，將產生人員瓶頸。



技術性內容

幸運的是，PCF 資料多半可以被彙總在高品質的 PLM BOM 內，而且這些相同的 BOM 可以使用生命週期評估（LCA）工具，幾乎可以將全部的 EPD 自動化。在永續性術語中，PLM BOM 管理生命週期庫存（LCI）資料，而 LCA 軟體據此計算出在 EPD 上所輸出的生命週期影響評估（LCIA）。此自動化的關鍵，是強大的 PLM BOM，其中包含隱含和活動足跡貢獻的

材料、零件、供應商和配置層級屬性。接下來是 LCA 工具，它可以接收此 BOM 承載、進行計算，並將環境影響結果返回 PLM。

循環性價值

循環性所關注的成果，是要保存有限資源。最被認可的全球循環性架構，是 Ellen MacArthur 基金會的蝴蝶圖表，該圖表因過於詳細而無法在本書中翻印，但絕對值得在線上查看。查看 PTC.com/beyond-the-book 以取得更多資訊。

循環性具有有機物質流（包括堆肥和再生）和有限物質流。在離散製造中，我們主要在金屬、礦物、陶瓷、塑膠等有限材料方面發揮作用。隨著時間的推移，業界會納入更多的生物材料，並協助可再生材料的安全堆肥，特別是對於一次性使用或高磨損零件。



謹記

有限材料循環性的中心論點是，回收對我們來說遠非最佳成果。修復、重複使用、翻新和再製造，都是回收之前必須考慮的較好成果。以經濟學術語來說，請看圖 3-3 中來自循環經濟的價值山丘。它展示循環性與商業價值的一致性。

線性生命週期產品需要為原料、材料加工和較低階層加工、最終組裝、零售運輸而進行採礦，並將每項產品運送到客戶所在地。如果產品損壞或客戶不再使用該產品，則將其丟棄會破壞所有五個價值層級。最好是透過修復、重複使用、翻新、再製造和回收（以該偏好順序）來復原和維持較高層級的產品價值。

聽起來像是常識，但訣竅是讓它可獲利，而且這只有透過適當的設計意圖和服務執行才能實現。

關於價值山丘的更多資訊，請造訪：PTC.com/beyond-the-book。

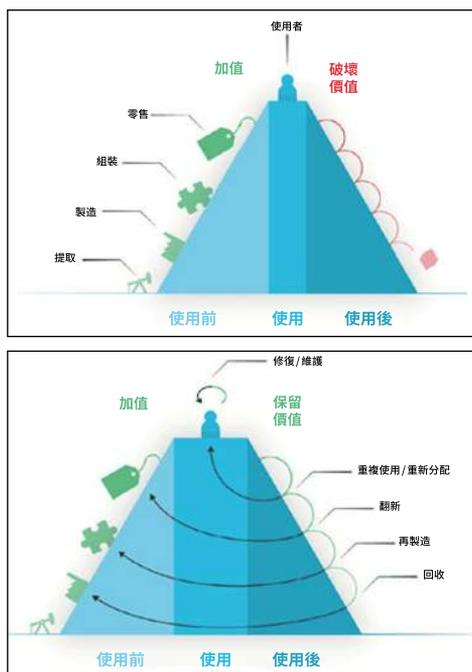


圖 3-3：價值山丘展示循環性與商業價值的一致性。

設計模組化



謹記

模組化創造零件重複使用、翻新和再製造的供給和需求。它還促進經典設計，也就是使用者希望更長時間使用產品、維護產品，並在多代產品中循環。

一些知名的玩具品牌，因其模組化價值而在數十年來始終保持市場冠軍。我在童年時玩過兩個玩具平台，我的孩子們也很喜歡，並要求我們留給他們的孩子（因此，我們的閣樓堆滿玩具）：樂高和摩比人。兩者都是卓越的模組化設計，在此情況下，元件可以根據使用者需求的變化，被重新配置成新產品。玩膩海盜了嗎？將積木重建成太空站。消費者不太會丟掉樂高玩具或摩比人。

汽車是模組化設計的另一個早期採用者。前往任何汽車網站，您也可以根據自己的喜好配置汽車——引擎、顏色、車輪大小、天窗、霧燈、運動座椅、十個喇叭等等。您不僅可以獲得您所尋求的多樣性，由於滿足所有配置所需的零件種類有限，汽車製造商還可以管理有效的維修零件網路。模組化汽車抓住更廣闊的買家市場，並推動高利潤的備用零件業務。即使退役汽車也具有商業價值，因為它們專為可拆卸而設計，以重新利用可回收零件，並有效回收許多剩餘的分解材料。

如果沒有模組化設計，基本回收以外的循環價值很難獲利。身為生命週期執業者，模組化設計橫跨軟體、硬體和電子產品，並讓它們之間具有模組化相關性。模組化電池需要配套的模組化軟體，才能在其不同產品中發揮作用。PLM 的統一工程 BOM 有助於管理這些模組化系統，其中模組化 ALM 軟體物件也帶來貢獻。需要模組化智慧的下游衍生產品，包括製造 BOM、服務 BOM、拆卸 BOM 和前線工作人員的指示。

派遣技術人員為最後手段

為了停留在價值山丘之頂（請參見較早的章節「循環性價值」），產品必須被設計為可修復。不僅產品的使用壽命更長，而且您的服務業務還可以為增長和利潤帶來巨大貢獻。

如今，所有製造商都至少擁有基本保固，以及許多迭代層級的產品服務系統（服務合約、租賃、以效能為基礎的合約等等）。隨著製造的服務成本風險不斷增加，提高利潤的目標，是要透過成本最低的管道來服務客戶。更具便利性的是，如表 3-1 所示，較低成本服務提供選項與減少足跡的目標直接保持一致。



謹記

對於所有層級，配置特定的指示都是必要的。模組化設計會以其他方式讓前線工作人員的工作變得複雜，因為他們很少在連續任務中看到相同產品。將零件清單和作業與服務流程篩選為精確配置，可以節省時間和零件。循環性的關鍵是，這些服務程序需要延伸至拆卸和零件與材料退回。

表 3-1

服務提供選項

服務管道	製造商成本	足跡
自助服務	\$ 無或連絡人中心	微不足道
遠端修復	\$\$ 空中軟體更新	微不足道
首次造訪修復	\$\$\$ 技術人員派遣、零件	卡車里程、零件隱含碳
重複造訪次數	\$\$\$\$\$ 新增派遣和零件	倍增的卡車里程、零件隱含碳

嵌入式軟體是自助服務和技術人員服務（精確警示和通知）的驅動程式。這也是進行遠端修復的唯一方法，因為技術人員無法遠端更換實體零件。

對於現場服務來說，以資產為中心的方法，遠比以預約為基礎的派遣最佳化效果更好。以資產為中心的方法會使用產品智慧，利用自助服務或遠端服務先嘗試避免派遣。如果需要派遣，它會遠端鑑別分類，並協調小型貨車零件庫存，以準備可能的修復（避免重複造訪）。它還會計算何時可以將反應式造訪與定期維護相結合。

訂購維修零件為最後手段



謹記

維修零件網路值得特別關注，因為這些零件鎖定大量金錢和隱含碳。如果您價值數十億美元的耐久財製造商，您可能持有數千萬或數億美元的維修零件庫存，以滿足您的服務層級目標。

利用對歷史需求進行預測來部署多階最佳化（從中央倉庫到卡車庫存，以及兩者之間的區域），可以顯著降低零件庫存成本，同時提高服務水準。但利用 PLM 資料和智慧型連線產品，您可以節省額外的成本和足跡。您的零件規劃人員對特定資產位置、合約層級、配置和條件瞭解得愈多，就愈能夠降低您的庫存和特快貨運成本。

此外，您還可以追蹤循環模組化零件的退回迴路。例如，如果您的煞車碟盤退回再製造，補貨的前置時間為十天，那麼您可以避免向供應商購買預測十天後所需的新煞車碟盤。您還可以在重複使用、翻新和再製造作業中，衡量避免購買所節省的金錢和足跡。這是財務上可稽核的循環性價值。

足跡的產品差異化

某些市場區隔將為足跡較低的產品支付更高價格。此營收被稱為綠色溢價。子市場包括在具有淨零承諾的企業對消費者（B2C）和企業對企業（B2B）公司中，擁有環保意識的消費者。ABI Research 的 Alex McQueen 指出，「今日的消費者持續傾向永續性產品，在購買決策中逐漸考慮永續性產品的屬性。LCA 已成為消費性產品公司的寶貴工具，因為它們希望回應消費者對永續性的期望。」



提示

此外，政府偶爾也會對更環保的方法或產品提供補貼。利用綠色溢價和政府補貼，但要將其視為商業案例的動態貢獻者來進行管理。

- » 將 Dfs 價值置入生命週期
- » 學習 Dfs 智慧
- » 為生命週期執業者量身訂做 Dfs 架構
- » 看看現實世界的定序

第 4 章

永續性設計原則

在 本章中，我將向您簡述永續性設計（Dfs）的基本概念，亦即創造對環境和社會影響最小的產品之實踐。我也會深入研究該學科，並為您提供離散製造商的摘要性 Dfs 架構。

看見生命週期中的 Dfs 價值

由於大約 80% 的產品足跡在設計階段便已確定，因此，產生了預先制定正確決策的價值。變更材料、扣件、幾何形狀、製造流程、軟體、服務計劃或業務模式，會隨著時間而愈來愈昂貴。

擁有前期 Dfs 知識和需求系統參考資料的工程師，可以在早期設計階段制定更好的決策。

獲取 DfS 智慧

目前還沒有綜合劇本，能夠以更具永續性的方式來設計離散產品（這也是編寫此書的原因之一）。幸運的是，由於 DfS 是發展中且目前得到充分資助的主題，因此，可以取得不錯的資訊。在本節中，我將分享我的秘訣。

ISO14000 系列涵蓋 DfS 主題，但目前這些主題多半處於較高層級。ISO14001（環境管理系統）是為數千家參與公司提供規模化認證的系統。它在程式層級方面非常出色，但沒有提供離散產品的詳細設計方針。

對於早期產品設計方針，生命週期設計策略（LiDS）評分輪可以作為有效的快速參考卡。您可在第 5 章深入研究有關 LiDS 的更多詳情。

網際網路上可用的設計方針，其更深層的結構位於「Design for X」架構中，該架構具有許多公開和可購買內容的貢獻者。相關學科包括表格 4-1 所顯示的學科。

表格 4-1 永續的設計方法

DfX 方法	永續性相關目標
組裝 (DfA)	簡化製造和修復。
循環性 (DfC)	調整業務模式和人為因素，以支援材料復原。
拆卸 (DfD)	易於修復和報廢退回，可鼓勵產品壽命。
能源效率 (DfEE)	減少產品運作能源和消耗品。
物流 (DfL)	控制維修零件採購，以及貨運成本和足跡。
壽命 (DfLG)	管理高磨損和低磨損零件，以延長產品壽命、減少浪費。
製造 (DfM)	減少浪費和能源。
回收 (DfR)	實現材料分離和高價值二次/循環使用。
再製造和翻新 (DfRM-DfRF)	為耐用模組和零件實現多重產品生命週期。
修復和維護 (DfR-DfM)	延長產品的可服務壽命。

DfX 方法	永續性相關目標
重複使用和變更用途 (DfRR)	計畫二次使用 (例如：將磨損的輪胎作為船塢繫泊設備)。
永續行為 (DfSB)	鼓勵使用者以負責任的態度操作、處置和退回產品。
使用 (DfU)	平衡能源使用和消耗品及產品壽命。

除了這些 ISO14,000 系列、LiDS 評分輪和 DfX 研究領域以外，您還可以在 PTC.com/beyond-the-book 找到其他推薦的書籍、部落格、群組和資源。

離散製造商的 DfS 架構

此 DfS 架構將大量 DfS 研究 (請參見上一節) 濃縮成產品生命週期執業者的中級成熟度矩陣。此矩陣由三個層級所組成。本節會將每個層級細分。

圖 4-1 以視覺化方式呈現此三個層級，以及其協同的方式。

元件層級



謹記

對於您自己所設計的零件，請牢記下列考量因素以減少足跡：

- 選取最佳材料。**除了強度等工程屬性以外，需要考慮的材料特性為碳排放強度、耗水強度、*已回收*內容百分比、*可回收*內容百分比、毒性、供應商合規性和成本。商業材料資料庫整合不僅有助於選取，而且有助於在公司已核准的材料內強制執行選取。太多的材料種類，可能會讓回收流的報廢分離變得複雜，但對於再製造週期來說可能沒問題。

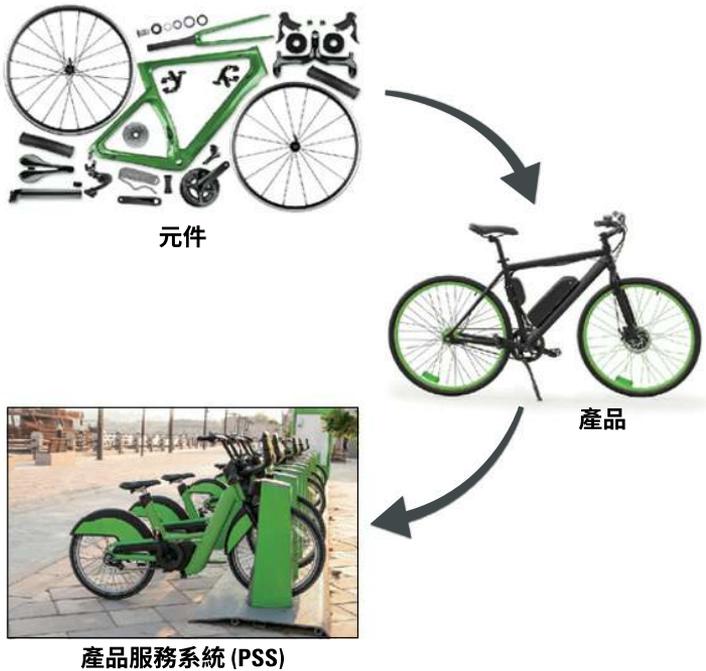


圖 4-1: 離散製造的 DFS 成熟度層級。

- » 盡可能少用已選取的材料。在效能、幾何形狀和外觀限制的範圍內，減少使用多餘的材料。生成式設計和積層製造，是有助於實現此目標的兩項工具。
- » 選取最佳製造流程。這一點聽起來很簡單，但良好評估可能會回到重新考慮材料、幾何形狀和控制特性的選取。可製造性和成本模擬有助於這些預測和改進。

在此層級上，電腦輔助設計（CAD）是數位成熟度最佳化的主系統，具有供應鏈資料（材料資料庫）和模擬（生成式設計、效能和可製造性）標註。

產品層級

此層級將產品最佳化，特別關注從搖籃到大門的部分，即從材料提取和購得到產品組裝的產品生命週期。此層級的首要考量因素包括

- ▶▶ **熱點分析：**環境熱點分析會辨識和測量產品生命週期活動產生最高永續性影響之處（以碳當量、用水量、毒性等來測量）。產品層級分析的優勢是，根據您可以擁有最大節能潛勢之處，優先處理值得努力減少足跡的零件。
- ▶▶ **低影響供應商：**選擇低影響材料和零件供應商，可減少範疇 3.1 排放量。對於產品生命週期管理（PLM）使用者來說，這主要適用於購買零件，因為製造零件材料的供應商選取，通常由採購部門完成。要評估的足跡屬性與材料相同，但供應商通常在零件層級（而非材料層級）提供價值。
- ▶▶ **分散製造：**對於擁有全球規模客戶的重型產品，本土化生產可以節省金錢和足跡。但本土化生產可能會導致複雜的可變性，例如模組化產品和站點特定的供應鏈與生產線。為了簡化設計師和工作人員的工作，PLM 工程材料清單（BOM）可能會衍生出站點和配置特定的製造 BOM、流程計劃和工作指示。
- ▶▶ **高效營運：**輕量化、電氣化和熱調節是改善產品能源效率的方法。PLM BOM 會辨識在 CAD 生成式設計功能中，實現輕量化的機會。其他能源效率分析，通常是以 PLM 工作流程所整合的模擬來完成。

PLM 是產品層級 DfS 的數位成熟度主系統，整合了生命週期評估（LCA）、供應鏈資料庫和 CAD 迴路，以實現元件層級改善。

產品服務系統層級

產品服務系統會結合產品和服務，以滿足客戶需求。產品服務系統涵蓋完整的搖籃到搖籃生命週期。此層級包括產品和風險分擔的業務模式，它需要考慮下列因素：

- » **延長初始產品壽命。** 在使用者將相對於服務成本的價值最大化，並轉售上漲的資產時，產品應該能夠持續足夠長的時間。這需要具有故障模式和影響分析（FMEA）、備用零件網路、零件型錄、服務程序和技術人員服務範圍的服務規劃。
- » **將報廢系統最佳化。** 規劃完善的報廢零件和產品，應按照下列優先順序保留價值：重複使用、翻新、再製造和回收。

應用程式生命週期管理（ALM）、服務生命週期管理（SLM）和物聯網（IoT），是公司邁向產品服務系統層級的重要補充技術。SLM 推動服務程序，並可合理延伸，以促進材料退回迴路。ALM 會使用 IoT 支援的嵌入式軟體，推動服務效率和材料復原。IoT 連線的產品，提供地理追蹤、空中更新、遠端鑑別、警示、操作員方針、退回追蹤等功能。

管理 DfS 真實世界定序

雖然架構成熟度途徑為元件、產品，然後是產品服務系統層級，但公司通常以不同的順序來實施 DfS。老字號公司偏愛從產品層級開始，採用 PLM BOM。由於新的環境規範，公司必須先測量其眾多產品的足跡，每項產品都包含數百或數千個零件。接下來，為了推動減排，他們可以針對元件層級迴路優先考慮前 X 百分比（根據您的需求選擇百分比）的零件，以實現可獲利的足跡減少。

成熟製造業的新創企業和新平台，通常從產品服務系統層級開始。從零開始的障礙很小，其成果與現有競爭者相比，也能帶來差異性。

- » 檢閱生命週期思維方針
- » 確定優先排序
- » 探索生命週期數位線程
- » 整合 PLM BOM 和資產中心

第 5 章

以完整的生命週期思維來管理足跡

最

終，循環性將拯救離散製造。目前我們的產業循環率平均低於 10%，因此，還有很多工作要努力。

循環性會透過重複使用相同材料，以直接解決我們的有限資源問題。它還可以避免不必要的高能源供應鏈重加工，並確保材料安全使用。因此，循環性能夠有助於解決我們其他兩個常見的挑戰：脫碳和危險物質控制。

從材料購得到產品組裝中，將產品足跡最佳化（在永續性術語中被稱為從搖籃到大門）已經不夠了。生命週期執業者必須評估其產品和供應的多世代價值，考慮營運、服務、重複使用和材料復原等因素（稱為從搖籃到搖籃）。



謹記

如果我們期望客戶持續回流，就需要提供搭配產品的服務。

在本章中，您將探索橫跨完整生命週期的管理流程和數位架構。好消息是這並非全面改造；反之，它是您今日如何以數位化方式管理產品的延伸。永續性只是附加的價值維度。

生命週期思維方針

設計早期的高水準永續性直觀和方針，具有顯著的價值。如圖 5-1 所示，生命週期設計策略（LIDS）評分輪是生命週期思維的有效指南。LIDS 架構可為設計師提供順時針生命週期的一般規則，在八個區域中，對每一個設計採用進行評分（距離靶心愈遠，採用率愈高）。每個建議看似顯而易見，但在早期設計決策中，全面考慮該系統非常重要。

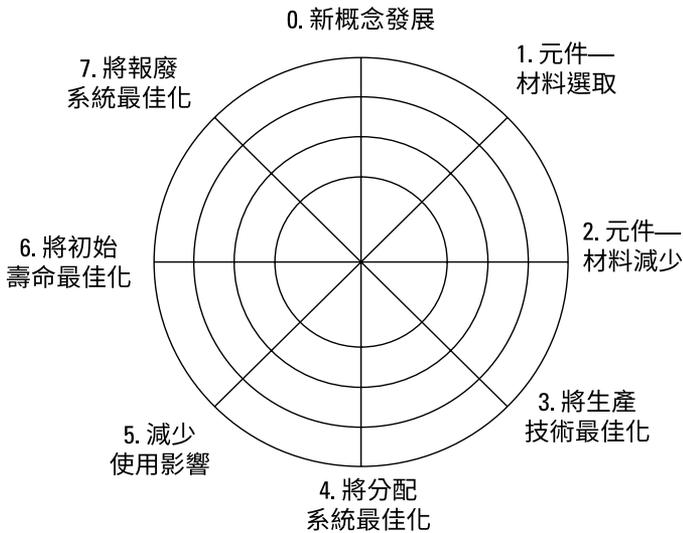


圖 5-1: LIDS 評分輪。

關於 LIDS 評分輪的更多資訊，請造訪：PTC.com/beyond-the-book。

為了進一步將此生命週期思維制度化，您可以將永續性設計（DfS）方針直接新增至您的需求管理系統（「做正確的事」）。這些需求範本可以被一般化，然後根據產品特定的需求衍生出來。利用測試、設計和系統功能來追蹤需求，以進一步驗證設計師是否將 DfS 最佳做法納入其產品服務系統（「做正確的事！」）。

對於使用以模型為基礎的系統工程（MBSE）之組織，隱含碳、水和能源用量、重量（適用於行動產品）和毒性等可量化的足跡目標，可能在設計早期被歸因於系統模型。這為設計團隊設定了子系統目標，以根據需要在系統層級執行或重新協商。隨後，產品生命週期管理（PLM）、應用程式生命週期管理（ALM）、電子電腦輔助設計（ECAD）和其他支援系統可以彙總價值，以驗證整個系統是否達到足跡目標。

生命週期庫存優先順序

圖 5-2 建立產品生命週期專家和永續性專家之間的相互瞭解。

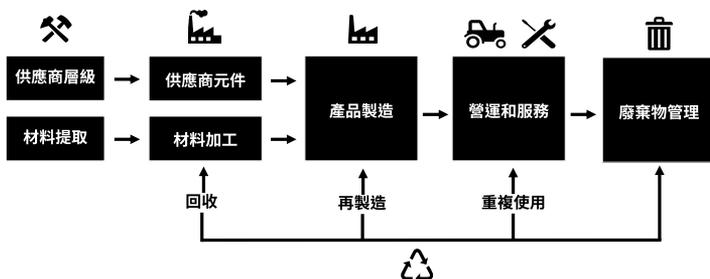


圖 5-2：生命週期庫存。

產品生命週期專家辨識製造零件，並購買流入工廠組裝產品組態的零件，然後流向售後服務和報廢階段。

永續性專家辨識足跡累積活動的生命週期庫存 (LCI) 圖解，最終將輸入生命週期評估 (LCA) 工具，以計算產品的生命週期影響評估 (LCIA)。

本節詳述圖 5-2 中的四個生命週期類別。

營運足跡

圖 5-2 要分析的第一部分是製造，如圖 5-3 所示。



圖 5-3：營運生命週期階段：製造

將營運足跡視為您的工廠。就直觀而言，您可能會認為工廠具有最高的足跡和優先順序。它會排放廢氣、熱、廢金屬和危險物質廢棄物，對嗎？但實際上，令人驚訝的是，工廠的足跡貢獻較小，而且基於兩個理由，它對我們的角色而言，優先順序較低。

- » 它通常只占離散產品足跡的 1% 到 10%。相對於採礦、材料加工和其他上下游活動，離散製造大多是較低能量的轉換和組裝。
- » 工廠為脫碳所採取的最重要行動之一，是將生產機器電氣化（透過資本收購來做到這一點）。此外，工廠能夠以無汙染的方式取得電力（您的財務部門透過太陽能、VPPA 或其他投資方法來做到這一點）。**注意：**對於工業加熱，以氫氣取代天然氣也是常見的機械研發努力目標，因為氫氣可以再生產生。雙燃燒器機器可以使用天然氣，然後在可用時切換到氫氣。

然而，產品生命週期執業者會真正關注某些工廠足跡活動，主要與可製造性設計有關，以減少廢料和能源使用。這不僅包括加工，還包括前線工作人員的配置特定指示。分散製造也可以成為減少供應鏈距離的設計優先順序。

上游足跡

圖 5-2 要分析的第二部分是上游足跡階段，即該圖的前兩個區段，如圖 5-4 所示。

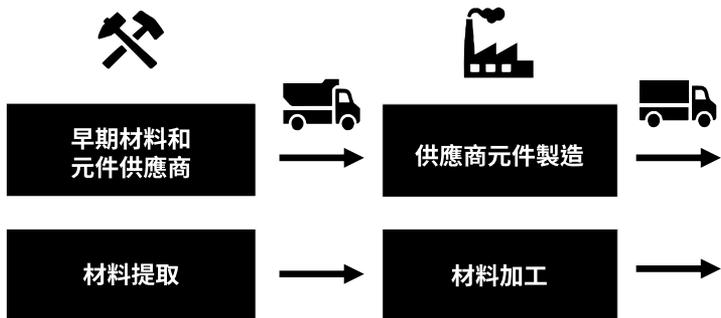


圖 5-4：上游足跡階段。

對於大部分離散製造商而言，到達工廠收貨台的材料和零件，占產品足跡的 75% 至 90%。以鋼條元件為例。鐵礦是在偏遠地區所開採，沉重的岩石透過卡車長途運送到鋼鐵鑄造廠，並在此加工成鋼條，然後透過卡車運送到更遠的工廠。這耗用大量能源，而且在當今的經濟中，大部分都是化石燃料。那麼，您在工廠裡如何處理這根鋼條呢？也許您可以將其彎曲並擰成一個組件——相對來說耗能較低。

造成上游足跡的不僅是重金屬和元件。看起來更輕、更無害的電子產品可能更糟。在膝上型電腦中，處理器可能比更大和更重的膝上型電腦外殼，或甚至電池產生更多的碳和廢棄物。電子產品包含稀土金屬，其精礦通常僅占已提煉礦石重量的 5% 至 10%，然後需要進行額外加工，才能提煉精礦中 50% 至 70% 的稀土金屬。

您的永續性領導者將您的上游範疇 3.1 稱為已購買的商品和服務。這不僅是您產品的巨大足跡，而且規範架構也可能要求您減少足跡——一般以科學為基礎的方法預計在 2030 年之前會減少至少 25%。身為產品生命週期執業者，您減少足跡的首要努力將集中在上游。這也是貴公司永續性領導階層經常會向您施加最大壓力，以迅速採取行動的領域。

下游足跡

圖 5-2 要分析的第三部分是下游生命週期階段。這些是線性流程，也是該圖的最後兩個部分，如圖 5-5 所示。



圖 5-5：下游生命週期階段—線性流程。

製造商也要對下游（售後）的影響負責——其產品的營運能源、服務和廢棄物足跡。如果您所製造的產品需要大量電力，則可能擁有大範疇 3.11 客戶使用已出售產品的足跡。它甚至可能高於您的上游（目前它通常占汽車和機器製造商總足跡貢獻的 95% 以上）。視您的燃料來源而定，您可能必須採取積極行動。

如果您的產品燃料來源是電力或其他不斷可再生來源，那麼您的狀況會更好。雖然由於您的客戶接入煤和天然氣發電電網，您目前的範疇 3.11 足跡可能很高，但在 2050 年之前，這些電網應該會變得更環保。因此，您可以搭上電網清潔的順風車，以減少範疇 3.11 排放量。



警告

然而，如果您的產品採用化石燃料驅動，如果不轉向可再生來源，您將無法給予淨零承諾。化石燃料效率改善的機會有限。您的目標是電氣化，或轉向其他可再生電力來源（如氫氣技術）。長途航太等少數行業尚未擁有取代化石燃料的擴展技術，但大部分行業已擁有。

如果您擁有服務密集型產品，其他重要的足跡貢獻者包括：卡車派遣、維修零件、消耗品和零件運輸（特別是特快空運與標準地面運輸方法）。然而，這裡的整體足跡比例仍然比您的上游少得多。注意：您的上游包括維修零件庫存的隱含碳，因此，請盡可能減少此龐大的持有成本。

循環性

圖 5-2 要分析的最後部分是循環下游生命週期階段，這是圖 5-2 的合併階段，如圖 5-6 所示。

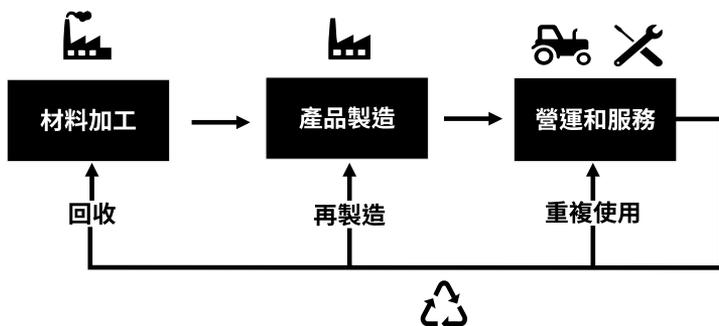


圖 5-6：下游生命週期階段（循環流程）。



謹記

雖然上游足跡可能是您的減少重點，但以獲利方式達到目標的唯一方法，是提高循環性。以膝上型電腦為例。再製造膝上型電腦具有與新產品一樣的功能和保固，其碳效率比原生來源的膝上型電腦高出 90%，原因如下：

- » **重複使用：**膝上型電腦的鋁製外殼，在首次生產時會耗費大量能源。但它耐用，而且具有經典設計。您可能不會注意到全新膝上型電腦外殼和 5 年前膝上型電腦外殼之間的差異。因此，外殼可以按原樣重複使用。無需重新開採鋁土礦、將其重新加工成鋁，或將鋁重新製成膝上型電腦外殼。

- » **再製造：**膝上型電腦的鍵盤再使用 5 年基本上都沒問題。Q 鍵使用不多，但母音字母已磨損且需要稍微再製造，或許還需要新彈簧。塑膠不需要再經過採礦、材料加工或成型。鍵盤只需進行一些小調整即可修復，並像新的一樣執行。
- » **回收：**主機板不再具有競爭速度。我們所能做的最好事情，就是將其碎掉、分解材料，然後製造新的主機板。因此，我們可避免重新進行稀土金屬開採的高足跡成本。

將重複利用、再製造和回收這三個流程加在一起，再製造膝上型電腦的碳效率可產生 90%，更不用說稀土金屬保存和避免危險電子廢棄物風險的好處。對於其他垂直產業而言，再製造足跡的優勢也很大——根據我已合作的製造商資料，總計達 60% 至 95% 的範圍。

生命週期數位線程

瞭解生命週期思維的原則是一回事，但真正大規模地實踐又是另一回事。為了順利實現此目標，這需要強大的數位骨幹。您的產品數位線程有兩個連接中心，每個中心都符合新的規範要求（這樣可以協助您的資金取得這些中心）。

圖 5-7 顯示工程系統的產品資料與設計方法（也稱為**配置規格**）之間的關係。作業系統的產品資料與資產序號相關。

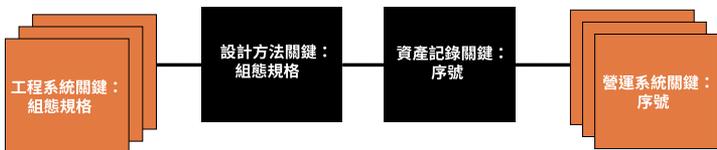


圖 5-7：生命週期數位線程。

工程中心

第一個中心是 PLM 系統的模組化 BOM。圖 5-8 顯示您的足跡資料（或生命週期庫存）如何掛在此結構上。材料資料庫透過 CAD 以材料層級連結到 PLM，以「製造零件」層級彙總生產活動足跡。供應商元件資料庫以「購買零件」層級連結。在配置層級，您的 PLM BOM 子程式將傳送至 LCA 工具，以模擬設計期間的環境影響，然後在設計結束時輸出 EPD。

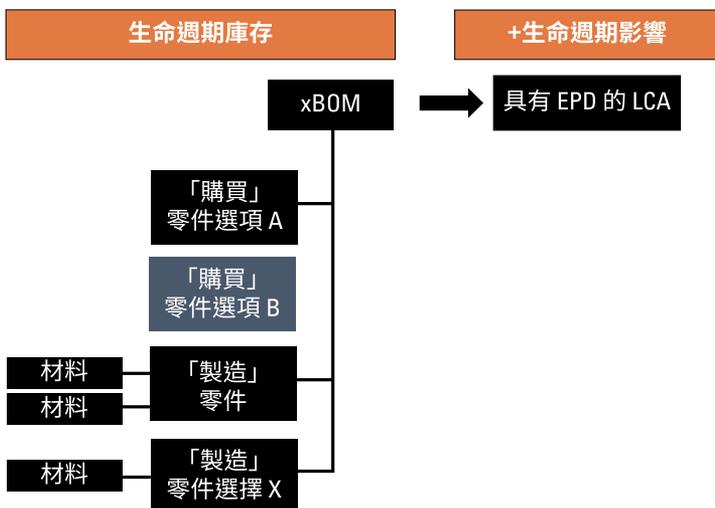


圖 5-8：模組化 BOM 彙總產品的生命週期庫存。



提示

對於工程資料，永續性強調三個領域：模組化、供應鏈整合和新模擬。LCA 是從工程角度所進行的「環境模擬」。

除了模組化 BOM 的足跡彙總以外，ALM 還以兩種方式整合至 BOM。圖 5-9 說明該整合。首先，模組化軟體零件與統一的 BOM 相連結，以補充實體零件。其次，ALM 的受管理需求會追溯到 ALM 測試和 PLM 設計物件，以確保滿足永續性需求，並具有測試涵蓋範圍。

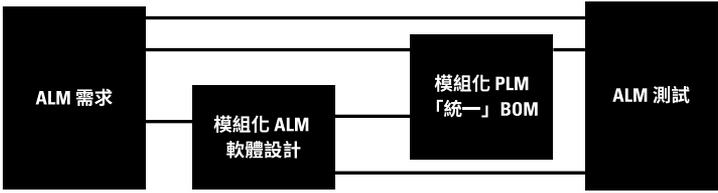


圖 5-9：詳述 ALM 整合。

資產中心

第二個中心是實體資產記錄系統，如圖 5-10 所示。在資產誕生時，它首先從 PLM 取得其 BOM 方法的複本（如果可用的話，也能夠以生產訂單細節來補充）。

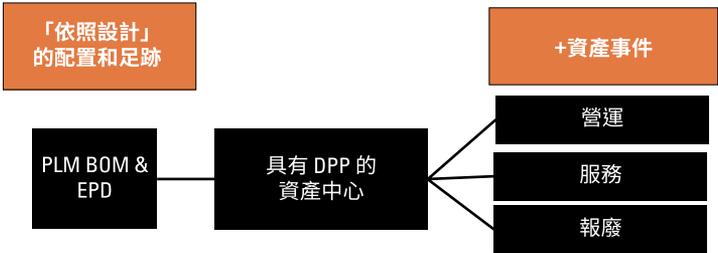


圖 5-10：數位產品護照（DPP）是資產中心的子集。

接下來，此資產中心管理有趣活動的分類帳，可供擁有者、服務提供者、設計師、保固裁決員等角色利用。對於數位產品護照（DPP）工作流程，此分類帳的一部分包括位置、所有權和退貨資訊，以證明已使用材料和零件（以及最終退役產品）的循環退貨。



技術性內容

永續性對資產資料的供應鏈和售後整合需求更多。幸運的是，有一些聰明且樂於合作的產業領導者正在制定交換標準。工業數位孿生協會（IDTA）已開發一套資產管理外殼（AAS）服務，用於公司間和公司內部的資產資料交換。IDTA 總經理 Meik Billmann 表示，AAS 會在資產的完整生命週期中，提供標準化的資產資訊。此一致性讓 AAS 成為循環業務模式的理想基礎。

整合 PLM BOM 和資產中心

永續性規範——尤其是支援 DPP 的規範——是完整生命週期資料骨幹的強制功能。您可以在四個可能較不明顯，但卻能顯著提高利潤、減少足跡的領域利用此骨幹。

配置特定的工作指示

產品組裝線、檢驗台、作業站點、維護設施、現場服務卡車和再製造中心的前線工作人員，需要更新和配置特定指示。利用模組化設計（可獲利的循環性所要求），他們所看到的每項產品，可能都與之前的產品不同。

幸運的是，資產中心儲存他們正在作業中的設備之配置參數，讓 PLM 可以用來篩選指示和零件清單。您的數位線程可以移除前線工作人員的多變性和複雜性。

以設備為基礎的預測

如果貴公司銷售維修零件，那麼有兩個數字可能會讓您感到震驚。首先是維修零件的獲利性——通常是初始產品銷售利潤的四到五倍。第二是您所持有的庫存大小。對於規模達數十億美元的製造商而言，通常會擁有價值數千萬或數億美元的零件，存放在世界各地的貨架和卡車上（這些零件中含有大量的隱含碳）。

循環性需要數位成熟度

根據 IDC 的全球永續性研究暨實踐領導人 Bjoern Stengel 表示：「永續性執業者認為，缺乏能夠有助於管理其營運和供應鏈循環性的軟體，是在其企業中實施循環性的最大營運挑戰。與瞭解產業和業務特定需求的提供者合作，對於 IT 支援的永續性方法，以及遵循循環經濟原則的業務模式至關重要。」

因此，維修零件最佳化軟體可幫助製造商存放正確的零件位置數量，以滿足服務層級目標。此軟體至少可以使用歷史資料來預測未來需求。但如果它還瞭解耐用性、產品配置、資產位置和資產情況等零件屬性，便可以進一步移除數百萬美元的庫存，同時也節省了隱含碳。

資料驅動的設計與服務

幾十年來，工程領導者和分析師一直在談論資料驅動設計。在理想情況下，設計工程師會持續從現場資產中取得健全的資料。利用此資料，他們可以對工程設計過度和不足的問題快速反應。服務可以擴大客製化商品的規模。

聽起來很棒吧？是的，但通常只出現在大學黑板上，因為製造商很難擷取健全的現場資料。然而，由於護照的採用，您的資產中心將會有快速機會，以收集貴公司可以利用的產品生命週期資料。

提升 AI 價值

AI 是新的熱門話題。它與永續性有何關係？答案簡潔有力。永續性是取得豐富產品資料（AI 產生見解所需）的催化劑。EPD 和 DPP 需要在生命週期中，連結結構化和全面的資料。AI 可以利用此資料做什麼？很多，而且不只是為了減少足跡！

本章重點

- » 追求循環性
- » 考慮 DPP
- » 讓您的財務長滿意
- » 建立您的數位線程

第 6 章

減少足跡創造獲利的十個生命週期提示

產

品永續性是具有深度的主題，而且隨著心占率和投資的增加，該主題也變得更具有深度。無論您是先跳至本章以快速瞭解重點概要，或在最後才閱讀本章以獲得某些強調指標，本章都會為您提供減少足跡創造獲利的十個提示。

思考完整的生命週期

在離散製造中，您的工廠營運可能僅占產品足跡的 1% 到 10%。其餘 90% 到 99% 屬於上游和下游生命週期階段：

- » 上游需要更加注意材料選取和使用，以及供應商元件選取。更好的資料和決策工具，可以改善供應鏈成本、韌性和足跡。

- » 下游需要材料和能源的循環性計劃，例如模組化系統、零件復原、電氣化和軟體支援服務。諷刺的是，下游循環性是上游價值的最佳槓桿，因為它提供高效率的零件重複使用、再製造和回收。

關於此生命週期思維的更多資訊，請參見第 5 章。

以模組化硬體和軟體來追求循環性

可獲利的循環性需要模組化——這是同時滿足再製造零件需求和供給的唯方法。現代產品要求軟體和硬體都模組化。例如，如果沒有配合軟體更新，從產品 A 再製造的控制單元，就無法重新部署到產品 B。軟體還可以協助永續使用者行為、設備維修和退貨追蹤。

別忘記前線工作人員

循環性產品需要模組化，但模組化也提供高度可變性。可變性透過為買家提供更多選項而有助於銷售，但如果您沒有妥善管理，則會為前線工作人員增加複雜性。別忘了將這些工作人員納入您的模組化設計。

前線工作人員在組裝線、檢驗區或客戶現場所看到的每個模組化產品，都與他們之前所看到的不同。因此，一定要以數位化方式來消除這些工作人員的變化複雜性。



提示

為有助於任務，請利用產品生命週期管理（PLM）配置邏輯，以篩選工作人員對其所製造或服務的精確產品之指示。

根據已填寫完整的 BOM 功能來處理您的 EPD

環保產品聲明 (EPD) 看起來像是複雜的產品生態標籤而令人害怕。您如何找到並資助環境專家，為您所銷售的每項產品手動計算 EPD？

利用優良的材料清單 (BOM) 管理，您應該能夠將大部分或全部的 EPD 自動化。從永續性的角度來看，您的 BOM 可以從碳強度、水強度、危害性物質合規性旗標、回收內容百分比和可回收性等屬性中，彙總產品的生命週期庫存 (LCI)。從 LCI 中，您可以使用生命週期評估 (LCA) 工具來計算 EPD 的生命週期影響評估 (LCIA)，以計算產品的特定環境影響 (如 CO₂ 排放量)。



謹記

如果雜亂無章的縮寫詞彙難以消化，以下是幸運的簡化版本：「滋養的 BOM 為自動化 EPD 播下種子。」有關 EPD 的更多資訊，請查看第 2 章。

考慮 DPP 的優點

對悲觀主義者來說，數位產品護照 (DPP) 會擴大生產者延伸責任，以確保材料退回。對樂觀主義者來說，DPP 會印鈔票。對您的下游服務計劃而言，DPP 會鞏固您與客戶的售後關係。這有助於高利潤服務、新業務模式、循環性回收價值，以及後續銷售的忠誠度。對於您的上游工程計劃，您的供應商 DPP 提供豐富的連結元件和材料資料，以引導選取並填寫 BOM 內容。



謹記

對於您的產品資料骨幹，這些護照提供強制功能來擴充您的資產記錄系統。連接服務生命週期管理 (SLM) 和 PLM，有助於資料驅動設計和配置感知的前線決策支援。關於這些資料連結的詳情，請參見第 5 章。

針對減少足跡立即採取行動，讓您的財務長滿意

透過減少足跡來獲取利潤，以贏得早期的街頭信譽。您應該基於與永續性目標無關的理由來進行這些活動。這對企業和環境都有好處。最直接的財務長（CFO）手段就是降低成本。從產品和服務中去掉不必要的材料和能源，通常可以節省成本。減少足跡的其他商業價值槓桿，包括綠色溢價的客戶區隔化、合規性和供應鏈風險緩解，以及利用區域補貼。



技術性內容

分析師和顧問一致同意，目前您可以採用經濟上有利的技術，以減少一半或更多的足跡。在 2020 年代，您能夠在可獲利的永續性專案取得佳績，而新方法將在 2030 年代擴大規模，以幫助您獲得接下來的勝利。我在第 3 章對此進行了詳述。

考慮在品牌關鍵主題上取得領先地位

在永續性方面，成為先行者的成本可能比等待採用商業規模化方法的成本更高。但成為先行者也可以帶來與您的品牌高度契合之優勢。

在應該大膽的時候要大膽，但在這些永續性措施方面要做好功課。有許多公開基準詳情可供您從中獲得啟發。以關於 Interface 模組化地毯的記錄片《超越零》為例，這是很好的案例研究（如需深入瞭解，請造訪：beyondzerofilm.com）。閱讀永續性報告，以瞭解 Patagonia、Schneider Electric、IKEA 和 Vestas 等其他品牌領導者的業務一致性。

創新領域廣泛，但可能包括

- » 為「綠色溢價」客戶區隔提供尖端材料和能源採購
- » 使用積層製造，以實現更輕量化和/或維修零件韌性
- » 具有租賃/可升級商業計劃的多世代循環平台

取得碳值直觀

為了脫碳，您必須體驗最佳機會。從本質上講，人類必須將地圈碳留在深層地圈中（當我們取出一些時，要將相同數量的碳埋入）。在離散製造中，這意味著在完整的生命週期價值鏈，減少化石能源的使用。

以長期來看（2050 年以後），如果您仍然需要燃燒某些化石燃料，該怎麼辦？您可以燃燒它，但要為您的未來成本建立模型，以透過直接空氣捕捉（DAC）或其他方式將可比較的碳數量注入地圈（關於碳循環的詳情，請參見第 2 章）。

表格 6-1 為簡單圖表，以幫助您掌握減少化石燃料的目前和未來價值（並請記住貴公司的價值，取決於未來的獲利潛力）。表格 6-1 比較駕駛使用化石燃料汽車、以化石燃料發電的電動車和使用太陽能充電的電動車之差異。

表格 6-1 比較在美國行駛 4,000 公里（約 2,500 英里）的差別

汽車選項	能源成本	Kg CO ₂ e	DAC 成本
石油汽車	\$300	1,000	\$100
以電網充電的電動車	\$140	500	\$50
以家用太陽能充電的電動車	接近 \$0	接近 0	接近 \$0

此表格顯示當日駕駛人的能源成本和汽車的排放量，以及透過直接空氣捕捉將二氧化碳重新捕捉到地圈的未來淨零責任——預計 2050 年每公噸二氧化碳當量 (MTCO₂e) 的成本為 100 美元。您可以在採礦、材料加工、運輸、製造、營運、服務、發電和其他潛在化石燃燒活動的生命週期直觀中，更廣泛地運用這種理解。

取得循環性直觀



警告

透過應用循環性原理，盡可能避免重複能源密集型活動來交付產品：

- » **良好：**回收可避免開採。
- » **較佳：**再製造可避免材料加工和開採。
- » **最佳：**重複使用或修復可避免所有活動。

但請記住，減少足跡僅達到需求的一半。另一半是要讓循環性可獲利：

- » **良好：**材料選取和專為拆卸而設計的遠見可擴大回收規模。
- » **較佳：**模組化為再製造零件同時提供供給和需求。
- » **最佳：**產品維修系統可提高利用率、服務和復原效率，具有直接的利潤貢獻。

循環性是重點業務成果。它不僅可以提供最佳獲利，還可以解決產品永續性的所有三個足跡領域：

- » 有限材料保留（低或無廢棄物）
- » 脫碳（再製造產品的碳效率可以比線性產品高 60% 至 95%）
- » 危險物質控制（避免焚燒、水污染和垃圾掩埋場淋洗）

使用永續性指令來建立您的數位線程

在理想情況下，模組化 PLM BOM 是您的配置記錄系統，並連接資產中心，以作為您的實體設備記錄系統。參與系統會貫穿這兩個中心。關於生命週期數位線程的更多資訊，請參見第 5 章。

隨著規範擴大對 EPD 和護照的採用，您需要快速建立這些核心。PLM BOM 會為 EPD 自動化提供資料輸入。資產中心充當護照的角色。除了永續性以外，此健全的產品資料骨幹還帶來其他大量價值（包括 AI）。但這值得再寫一本書來說明。希望您喜歡這本書！



倚靠 PTC

ptc.com



我們的客戶製造全世界所依賴的產品，也倚靠 PTC 支援從設計、製造、服務到報廢的產品生命週期。憑藉在工業公司和流程方面的廣泛專業知識以及市場領先的技術，我們可以協助您實現業務轉型。

以更好、更環保的產品來驅動利潤

解鎖減少產品足跡同時提高利潤的秘密。以適用於離散製造商的實用秘訣和專家見解，來深入探討產品永續性的領域。無論您是經驗豐富的專業人士或該領域的新手，本書提供新穎、易於理解的指南，以發揮正面的影響力。瞭解產品永續性的廣度、重點關注領域，以及在整個產品生命週期中所採取的優先行動。準備好改造您的產品，並引領我們走向更綠色的未來！

內容包含.....

- 定義產品永續性
- 瞭解合規性需求
- 以獲利的方式來減少產品足跡
- 探索永續性的設計
- 採用完整的生命週期思維
- 轉型至循環經濟
- 將產品供應差異化



Dave Duncan 為 PTC 的永續性主管。他開發 PTC 產品組合中的永續性功能，幫助客戶以更具永續性的方式設計、製造和維護產品。Dave 也領導 PTC 的企業環境和社會影響力計劃。

請前往 **Dummies.com™**

以取得影片、逐步照片、操作指南
文章或直接購買！

ISBN : 978-1-394-36831-0

禁止轉售



WILEY END USER LICENSE AGREEMENT

Go to www.wiley.com/go/eula to access Wiley's ebook EULA.