

國立臺北護理健康大學資訊管理研究所

National Taipei University of Nursing and Health Sciences

Graduate Institute of Information Management

指導教授：林東正 博士

Advisor: Tung-Cheng, Lin Ph.D.

以 ArchiMate 建置碳足跡之資訊系統架構:

某線束材為例

Modeling carbon footprint system's enterprise

architecture with ArchiMate:

A case study for one of Wiring Harness's products

研究生：朱家佑 撰

Name : Chia-Yu, Chu

中華民國一一三年六月十七日

June 17,2024

國立臺北護理健康大學碩士學位考試委員會審定書

本校 資訊管理 系(所) 朱家佑 君

所提論文 以 ArchiMate 建置碳足跡之資訊系統架構:某線束材為例

經本委員會審查合格並口試通過，特此證明。

學位考試委員會委員：

賴明政

游應芳

林車正

指導教授：

林車正

系主任(所長)：

徐建業

學位考試日期：中華民國 113 年 6 月 17 日

誌謝

首先，非常感謝我的指導教授這兩年來的教導及協助，不論是課業上教導、又或是計畫書的協助，從論文的題目、個案的尋找、論文的修改，最後使我能夠完成碩士論文，真的很感謝林東正教授；感謝支持我讀研究所的父母及其他長輩，感謝有你們的支持，使我有信心且有毅力的完成我的碩士學業；在國北護待了將近人生四分之一的我，從大學一路至研究所，整整六年期間，不管是實習期間的業師、曾經幫助過我及協助我的國北護教授及班導，都真的非常感謝您們的教誨；在這邊感謝資管系的助教，都會很熱心的回答我修業上的疑問；在去年實習時，感謝臺北榮民總醫院醫學工程部主任，給我一個實習的機會，讓我有機會去醫院實習；最後，感謝兩位口試委員的指點及建議。

最後再一次感謝所有幫助過我的人，在這段學習旅程中，讓我體驗到凡事都是跨出第一步最難，只能不斷鞭策自己，使自己能夠勇敢之前，並成長茁壯，朝著自己的人生目標向前邁進！

朱家佑 謹致於

國立臺北護理健康大學 健康科技學院 資訊管理所

民國 113 年 6 月

論文名稱

研究所組別：資訊管理研究所

論文名稱：以 ArchiMate 建置碳足跡之資訊系統架構:某線束材為例

指導教授：林東正 教授

研究生：朱家佑

時間：民國 113 年 6 月 17 日

摘要

隨著全球氣候變遷日益嚴重，減碳已成為各國共同目標，尤其歐美已由道德訴求轉為法規規範。歐美是台灣重要的出口地區，為因應歐美碳邊境調整機制(Carbon Border Adjustment Mechanism, CBAM)，以及清潔競爭法案（Clean Competition Act, CCA）所需提交的碳足跡資訊，企業首先必須結合生產資訊系統方能有效蒐集碳足跡資訊，了解碳排放的來源與數量。企業架構可有效校準企業流程、資訊系統與實體設備，更有可視覺化建模語言 ArchiMate，能描述企業的業務流程、組織結構、資訊流、IT 系統和技術基礎設施的建構和運作的通用語言。本研究選擇已推行綠色供應鏈的某線束廠之某線束材為案例，說明如何建構碳足跡資訊蒐集系統，並以 ArchiMate 具體規劃出涵蓋策略、業務、應用和技術層面的具體資訊架構。本研究以某線束廠之某線束材進行碳足跡數據蒐集，研究結果表明：企業架構確實可展現整體應有業務流程(業務層面)，該層面與資訊流(應用層面)之關聯，並呈現與相關資訊流串接時之應有資訊設

施。然而完整碳足跡蒐集需視公司是否有完備的投入、產出資訊，以及能串接

各活動數據之正確的碳排係數，以利於後續開展碳足跡核算及制定減排措施。

關鍵字:企業架構、ArchiMate、工業 4.0、碳足跡、個案

Abstract

As the severity of global climate change escalates, reducing carbon emissions has emerged as a shared objective among nations worldwide. Europe and North America, significant export markets for Taiwan, are transitioning from ethical appeals to legal obligations. To comply with the carbon footprint data requirements specified by the European Union's Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM) and the Clean Competition Act (CCA), Taiwanese businesses must streamline their production information systems to efficiently gather carbon footprint data and identify the sources and quantities of their carbon emissions.

Enterprise architecture is essential for harmonizing business processes, information systems, and physical facilities. The ArchiMate modeling language offers a standardized framework for visually representing various aspects of an enterprise, including business processes, organizational structure, information flows, IT systems, and technical infrastructure.

This study focuses on a specific wire harness product from a manufacturer that has implemented a green supply chain. The research serves as a case example to demonstrate the development of a system for collecting carbon footprint information. Using ArchiMate, a detailed information architecture is designed, encompassing strategic, business, application, and technology layers.

The empirical results derived from collecting carbon footprint data on the wire harness product illustrate how enterprise architecture can effectively represent the targeted business processes (business layer) and their relationships with information flows (application layer), as well as the essential information assets required for engaging with these information flows. However, a comprehensive carbon footprint data collection process necessitates the availability of complete input and output information within the company, along with the capability to link activity data with precise carbon emission factors. This linkage is crucial for facilitating subsequent carbon footprint calculations and developing strategies for reducing emissions.

Keywords: Enterprise Architecture, ArchiMate, Industry 4.0, carbon footprint, case study

目錄

誌謝	i
摘要	ii
Abstract.....	iv
目錄	vi
圖目錄	viii
表目錄	ix
縮寫表	x
第壹章 緒論.....	1
第一節 研究背景與動機.....	1
第二節 研究目的	4
第三節 研究流程	5
第貳章 文獻探討.....	7
第一節 工業 4.0	7
第二節 企業架構介紹.....	10
第三節 ArchiMate 與 TOGAF ADM 介紹	11
第四節 組織溫室氣體盤查	14
第五節 碳足跡	18
第參章 研究方法.....	20
第一節 研究設計	20
第二節 研究對象及線束材簡介	21
第三節 資料蒐集方法.....	24
第四節 以企業架構 ArchiMate 呈現模型架構.....	24
第肆章 研究結果.....	28
第一節 系統邊界與製程地圖	28

第二節 活動數據蒐集.....	30
第三節 排放係數取得及更新.....	36
第四節 分配與計算方式及截斷規則.....	38
第五節 數據品質評估.....	41
第六節 整體視圖	44
第伍章 結論.....	46
第一節 研究發現及貢獻.....	46
第二節 研究建議.....	47
第三節 研究限制	48
第四節 未來研究方向.....	48
參考文獻	50
附錄一 研究生學位論文原創性比對檢核表.....	57
附錄二 快刀中文相似度比對報告書	58

圖目錄

圖 1- 1 近三年前十大排碳用戶	2
圖 1- 2 研究流程	6
圖 2- 1 TOGAF ADM 映射至 ArchiMate	12
圖 2- 2 溫室氣體盤查揭露資訊	15
圖 2- 3 溫室氣體盤查時程規劃	16
圖 2- 4 組織溫室氣體盤查涵蓋範疇.....	17
圖 2- 5 產品生命週期示意圖	19
圖 3- 1 個案之組織架構.....	21
圖 3- 2 網路線示意圖.....	23
圖 3- 3 需蒐集之活動數據	24
圖 3- 4 ArchiMate 核心模型	26
圖 3- 5 ArchiMate 之業務、應用、技術與實體層面元件.....	27
圖 4- 1 製程地圖	28
圖 4- 2 網路線 BOM 表	28
圖 4- 3 線材組成與業務流程相關之視圖	29
圖 4- 4 與生產/製造階段有關之業務流程與應用層面視圖	35
圖 4- 5 與產品碳足跡有關之技術與實體視圖	36
圖 4- 6 線束生產/製造流程之業務、應用、技術與實體層面視圖.....	44

表目錄

表 3- 1 網路線規格-Cat.5e	22
表 4- 1 整體需蒐集之活動數據	31
表 4- 2 製程需蒐集之活動數據	32
表 4- 3 組織相關之活動數據蒐集.....	33
表 4- 4 製程相關之排放係數	36
表 4- 5 各排放源排放量之計算公式及分配	38
表 4- 6 溫室氣體數據品質管理等級評分	41
表 4- 7 溫室氣體數據品質管理評分區間判斷	41
表 4- 8 數據品質評估表	42
表 4- 9 數據品質評分總標準	43

縮寫表

英文縮寫	英文全名
EA	Enterprise Architecture
ICT	Information and Communication Technology
IoT	Internet Of Thing
CPS	Cyber-Physical System
AI	Artificial Intelligence
ERP	Enterprise Resource Planning
AR	Augmented Reality
VR	Virtual Reality
ESG	Environment Social Government
UML	Unified Modeling Language
BMM	Business Motivation Model
BPMN	Business Process Model and Notation
MES	Manufacturing Execution System
PCR	Product Category Rules
LCA	Life Cycle Assessment

第壹章 緒論

第一節 研究背景與動機

全球氣候變遷已經成為一個迫在眉睫的問題。根據聯合國氣候變遷專門委員會 IPCC(2022)的報告，全球溫室氣體排放量持續攀升，預計最晚在 2025 年達到高峰，必須立即採取減碳行動，才有可能在 2050 年前達到淨零碳排的目標 (Pörtner et al., 2022)。

為落實企業應盡之環保責任，金管會於 2022 年要求全體上市櫃公司於 2027 年前完成溫室氣體盤查，鋼鐵、水泥業自 2023 年起揭露，未來會對其他企業進行分階段的揭露溫室氣體盤查資訊(金融監督管理委員會, 2022)，此外，金管會還規定上市櫃公司且資本額大於新台幣二十億元的企業，在 2023 年起必須製作永續報告書，詳列氣候相關資訊，在未來也擬議對企業進行 ESG 評鑑 (金融監督管理委員會, 2023)。

根據經濟部工業局表示，2019 年至 2021 年十大排碳企業，屬製造業為多，如下圖 1-1，行政院國家發展委員會 (2022)指出我國 2019 年製造部門的溫室氣體排放量占總量的 51.4%。

2019至2021年，前十大排碳大戶			
排名	2019	2020	2021
1	台電	台電	台電
2	台塑化	台塑化	台塑化
3	中鋼	中鋼	中鋼
4	麥寮汽電	麥寮汽電	台積電
5	中龍鋼鐵	台積電	中龍鋼鐵
6	台化	中龍鋼鐵	麥寮汽電
7	台塑	台塑	台化
8	台灣中油	和平電廠	台塑
9	台積電	台化	和平電廠
10	和平電廠	台灣中油	台灣石油

圖 1-1 近三年前十大排碳用戶

資料來源：行政院環境保護署事業溫室氣體登錄平台 2019-2021 盤查登入資料

製造業在我國的減碳行動中扮演了至關重要的角色，除了做組織溫室氣體盤查了解組織產生之所有排放源外，更需從中進行減碳；減碳需要製造業從設計、生產、到產品終端使用階段進行全面的改進。此外，可藉由創新對於減少碳排放有顯著影響(Zhang et al., 2017)，如鋼鐵製造業在波蘭是能源最密集的產業，Re Alloys 鋼鐵公司應用工業 4.0 技術，如雲端計算、物聯網設備、深度學習等技術來監控人員、運輸車輛及鍋爐，提升生產效率、增加人員安全性，並且能源效率也顯著提升(Miśkiewicz & Wolniak, 2020)。

雖然工業及科技進步對人們的生活帶來很多優點，但在生產過程也卻對環境

造成了影響；全球都必須加入減碳行動，才有可能在 2050 年之前達到淨零碳排放，但是企業需要先了解自身所產生的溫室氣體排放，實施溫室氣體盤查，以因應我國的法規及全球趨勢(IEA, 2021; 行政院國家發展委員會, 2022; 金融監督管理委員會, 2022)，溫室氣體盤查是一種量化和報告溫室氣體排放量和減排效果的方法，串接相關資訊系統更可幫助企業計算產品碳足跡，並制定相應的減排策略，會涉及多個業務領域、資訊系統及技術與實體，包含企業整體的生產流程。這些領域彼此相互關聯，並與資訊系統密切相關。因此，企業架構可以將這些領域整合起來，並以可視化的方式呈現。

企業架構（Enterprise Architecture, EA）是對企業當前業務流程和資訊科技系統的高層次概覽的定義和呈現，包括這些流程和系統之間的相互關係，不同部分的企業共享這些流程和系統的程度，以及未來對這些流程和系統進行增強的計劃(Tamm et al., 2022)；隨著數位化和自動化的不斷推進，公司需要有效的企業架構來保持競爭力並迅速對應變化(Atkinson & Kühne, 2020)，此外，企業架構可整合策略、業務流程、應用程式及技術與實體等不同層面之流程與作業要素(Lankhorst et al., 2005)。企業架構也有具體的建模語言，並協助企業將組織的各個層面進行建模並可視化呈現具體架構(Lankhorst, 2009)。ArchiMate 規範提供企業建模企業架構並以圖形化的方式進行呈現(Iacob et al., 2009)，也是最為通用的企業架構建模語言(Šaša & Krisper, 2011)。

隨著全球氣候變遷的加劇，碳足跡查核與認證將成為未來所有企業面臨的

重要議題。對於國內出口業者而言，溫室氣體盤查更是被課徵碳稅或碳費的基礎。產品碳足跡是計算企業產品或服務在其生命週期中所產生的溫室氣體排放量的過程；在建構碳足跡系統的過程中，企業架構能夠清晰擘劃企業的策略、流程和軟硬體結構，被視為理想的規劃基礎。此外，ArchiMate 透過可視化方式更能具體描述整體企業架構，可整合企業架構之業務層面、應用層面及技術層面(Lankhorst, 2009)。

第二節 研究目的

減少碳排放目前是一個相當重要的環保和生產議題。碳足跡涵蓋整個產品生命週期，需自業務流程和生產流程中蒐集相關活動數據。由於自動化在這過程中的關鍵作用，整合生產機械、統整生產資訊，以及確保整體業務流程的無縫連接變得至關重要。企業架構非常適合整合業務、應用和技術層面，因此是規劃碳足跡資訊系統的理想框架，特別是可透過 ArchiMate 將 EA 有效的視覺化(Lankhorst, 2009)。目前的研究主要集中在企業架構的理論建設和應用於業務流程中的各種方法，對於在實際碳足跡數據蒐集與管理中的具體應用研究較少。具體來說，如何將企業架構與碳足跡資訊系統有效整合，並在製造業中實現具體的碳排放量化和減排措施的研究仍然存在不足。此外，針對使用 ArchiMate 等建模工具來實現這一整合的個案研究也較為稀缺。因此，本研究探索企業架構在碳足跡數據蒐集系統建構中的應用，並以實際案例進行驗證，以期為未來相關研究和實踐提供參考，製造業進行碳足跡之資訊系統架構規劃如

下:

1. 利用 ArchiMate 企業架構建模語言，視覺化呈現碳足跡資訊蒐集所需的企業架構之業務流程、應用系統，及技術與實體層面架構。
2. 架構中整合工業 4.0 相關技術(如 ERP、MES 等系統)，有效蒐集組織運作、製程投入產出等與碳足跡計算相關的活動數據。
3. 以網路線為例，呈現完整的碳足跡資訊系統架構規劃流程，為製造業的低碳轉型提供參考。
4. 探討企業架構在製造業碳足跡資訊蒐集中的應用價值，為相關領域的研究實踐提供經驗借鑑。

第三節 研究流程

由研究背景得知我國製造業為溫室氣體排放的主要行業，溫室氣體盤查能使企業盤點自家產品或服務所產生的溫室氣體排放來源，然而要清楚計算產品碳足跡，需要涉及企業業務流程、資訊系統等。藉由第二章文獻探討工業 4.0、企業架構、溫室氣體盤查與產品碳足跡等文獻，為某線束材進行碳足跡資訊蒐集，打造業務層面、應用層面、實體層面等視圖，利用 Archi 工具進行建置某線束材之碳足跡資訊系統架構，並做出結果及分析，最後進行結論與建議，下圖 1-2 為研究流程。

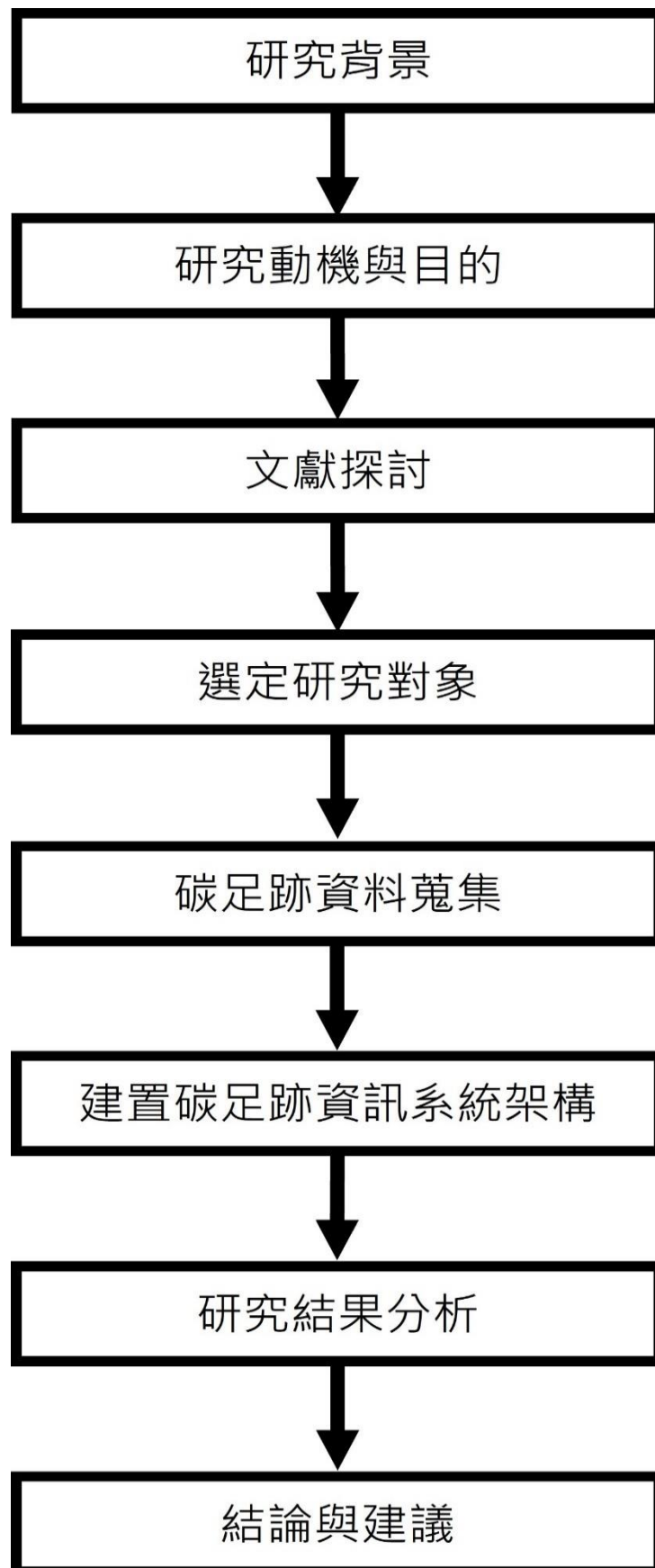


圖 1-2 研究流程

第貳章 文獻探討

第一節 工業 4.0

工業 4.0 是在 2011 年漢諾威工業博覽會上被提出的概念，核心理念是將業務流程與工程流程深度整合，使生產以靈活、高效、環保的方式運作，同時保持不斷的高品質和低成本(Wang et al., 2016)；第四次工業革命正在進行中，這是一個工業整合過程，新的資訊與通信科技(Information and Communication Technology, ICT)能夠整合創新與傳統的工業生產製程(Xu, 2011)，資訊科技是製造業實施工業 4.0 最主要的基礎，代表著製造業中自動化技術的當前趨勢，主要包括致能技術(Enabling Technology)，如物聯網(Internet Of Thing, IoT)、虛實整合系統(Cyber-Physical System, CPS)和雲端運算等(Henning, 2013; Lu, 2017)。

工業 4.0 的技術像是物聯網、無線射頻辨識(Radio-frequency identification, RFID)、大數據(Big Data)、雲端計算(Cloud Computing)、虛實整合系統、人工智慧(Artificial Intelligence, AI)、企業資源規劃(Enterprise Resource Planning, ERP)、積層製造(Additive Manufacturing)、擴增實境(Augmented Reality, AR)、虛擬實境(Virtual Reality, VR)等被引入製造環境中，開啟第四次工業革命(Ferreira et al., 2023; Henning, 2013; Lu, 2017; Wang et al., 2016)。

工業 4.0 提議產品生命週期中對整個工業價值鏈進行規劃和控制(Bitkom e.V. et al., 2016)，工業 4.0 技術可以提高產品生產率、減少資源消耗、提高品質(Satyro et al., 2022)，引進工業 4.0 技術後，生產數量和速度、產能、品質和獲

利能力等重要的組織績效指標均將有效提高、並降低成本(Zizic et al., 2022)，像是針對生產工廠管理固有的流程問題進行改善，利用工業 4.0 技術，包括精實生產、智慧製造、持續改善法、六個西格瑪(Σ)、全面品質管理和智慧運算(Tripathi V, 2022)；可持續製造可以在產品生命週期管理中實現更低的成本、更高的生產率和靈活性、更好的品質和可持續性(Ma et al., 2022)；Chen and Lin (2017)研究工業 4.0 中基於 3D 列印的智慧製造系統，如何在製造環境中確保 3D 列印的可行性，同時解決管理挑戰，以促進和最佳化 3D 列印應用，以實現最大化利潤。

雖然工業化提高了生活水平，但也因持續的消耗和生產模式對環境造成了不利影響(Tseng et al., 2018)；在技術進步之餘，製造業需要在滿足消費者不斷增長的需求的同時，保護生產所需的自然資源，並生產更節能、環保的家庭電器設備(Wang et al., 2021)；經由工業4.0的協助可提高資源和能源效率，以促進減緩氣候變化(Fritzsche et al., 2018)；再者，科技創新有助於中小企業對永續發展目標的落實(Jayashree et al., 2021)。Mishra et al. (2023)分析印度鋼鐵業採用工業4.0技術，以相關的基礎建設建置能夠實時監控的系統，以改善生產過程，提高能源效率，並最大的減少浪費，從而減少碳排放。

除了鋼鐵業以外，紡織業也是對環境污染嚴重的行業之一；Tsai (2023)針對紡織業提出一種創新綠色生產規劃方法，結合企業資源規劃ERP、工業4.0、ABC作業成本制(Activity Based Costing)及TOC限制理論(Theory of Constraints)，

藉由工業4.0的自動監控系統來管理生產過程、記錄生產數據並在企業資源規劃系統中進行分析，以優化產品組合和利潤，同時最小化對環境影響。

Yu et al. (2023)利用工業4.0推動的技術(例如物聯網、感測器、地理資訊系統)來建立一個自動化、智慧化且及時的環境報告系統，以檢討環保、社會責任和公司治理（Environment Social Government, ESG）的報告流程，並找出現有程序中的問題，以及時並可更便利的獲取到企業環境資訊，並經由獨立資料來源，進行交叉驗證，以提高報告的可信度。Stavropoulos et al. (2022)應用工業4.0技術為煉鋼產業開發數位孿生，並在生產環節添加智慧感測器、同時使用人工智慧來分類廢鋼材，能顯著減少碳排放。

此外，工業 4.0 也可與綠色創新作結合，如運用在綠色技術及工業 4.0 在糧食生產，以達成持續發展目標(Hassoun et al., 2022)；De Giovanni and Cariola (2021) 探討工業 4.0 技術與精實生產、綠色供應鏈管理以及績效之間的關係；(Ogiemwonyi et al., 2023) 探討工業 4.0、開放式創新和綠色創新績效對綠色創新行為的影響。

所以工業 4.0 技術有助於減少資源消耗和排放，促進永續製造，為製造業綠色轉型提供有力支撐。相關技術可廣泛應用於不同傳統產業領域，像是結合綠色創新理念，協助企業因應氣候變遷，達成永續發展目標以外，還能兼顧經濟、社會等全面發展。

第二節 企業架構介紹

企業架構概念最早是由 Zachman (1987) 所提出，包括所有的業務活動和能力、資訊以及構成企業整個基礎設施和治理的技術(Josey, 2018)。企業架構是業務流程和 IT 基礎架構的組織邏輯，反映了公司營運模型的整合和標準化要求(Wakabayashi et al., 2006)。

企業架構(Enterprise Architecture, EA)是一種管理組織結構、業務環境、資訊系統複雜性的一種方法，並促進策略、人員、業務、資料和資訊系統(Information Technology, IT)的整合(Dang & Pekkola, 2016)；企業架構描述了企業的結構，包括主要的企業組件，如企業目標、組織結構、業務流程，資訊系統、基礎設施等等；企業架構通常被認為是理解和設計企業的重要工具，概念涵蓋公司資產、關係、利益相關者和過程等方面，從創建到設計再到營運和停止營運的整個生命週期(Atkinson & Kühne, 2020)；企業架構需對企業業務流程和 IT 系統進行定義與呈現，並說明流程，以及彼此間的相互關係。Iacob et al. (2012)認為可經由企業架構(EA)協調企業策略與投資組合管理，以加速企業目標之達成。

企業架構大致可分為幾個層面，如 Hoogervorst (2004)認為企業架構主要有四個層面:業務、組織、資訊、技術；Boucharas et al. (2010)將常見的企業架構層面分為三類:業務、資訊、技術。

第三節 ArchiMate 與 TOGAF ADM 介紹

常見的企業架構建模語言有 ArchiMate、UML(Unified Modeling Language) 及 BMM(Business Motivation Model)，其中 ArchiMate 是最全面及最明確定義的語言之一，同時也是最常見的企業架構建模語言(Aldea et al., 2015; Atkinson & Kühne, 2020; Kitsios & Kamariotou, 2019; Zhou et al., 2020)。

ArchiMate 標準是企業架構建模的語言，使企業架構能夠視覺化，而 The Open Group (2018)提供的方法論:TOGAF ADM(The Open Group Architecture Framework Architecture Development Method)，詳細說明如何建立、管理及實施企業架構和資訊系統的方法(Josey, 2018)，主要有八個階段:A 階段為願景、B 階段為業務架構、C 階段為資訊系統架構、D 階段為技術架構、E 階段為機會和解決方案、F 階段為遷移規劃、G 階段為實施治理、H 階段為架構變更管理，途中清楚陳述 TOGAF ADM 與建模語言 ArchiMate 兩者間關聯如下圖 2-1。可以看見在 TOGAF ADM 的 B 階段對應至 ArchiMate 的業務層面、C 階段對應至 ArchiMate 的應用層面、D 階段對應至 ArchiMate 的技術層面。

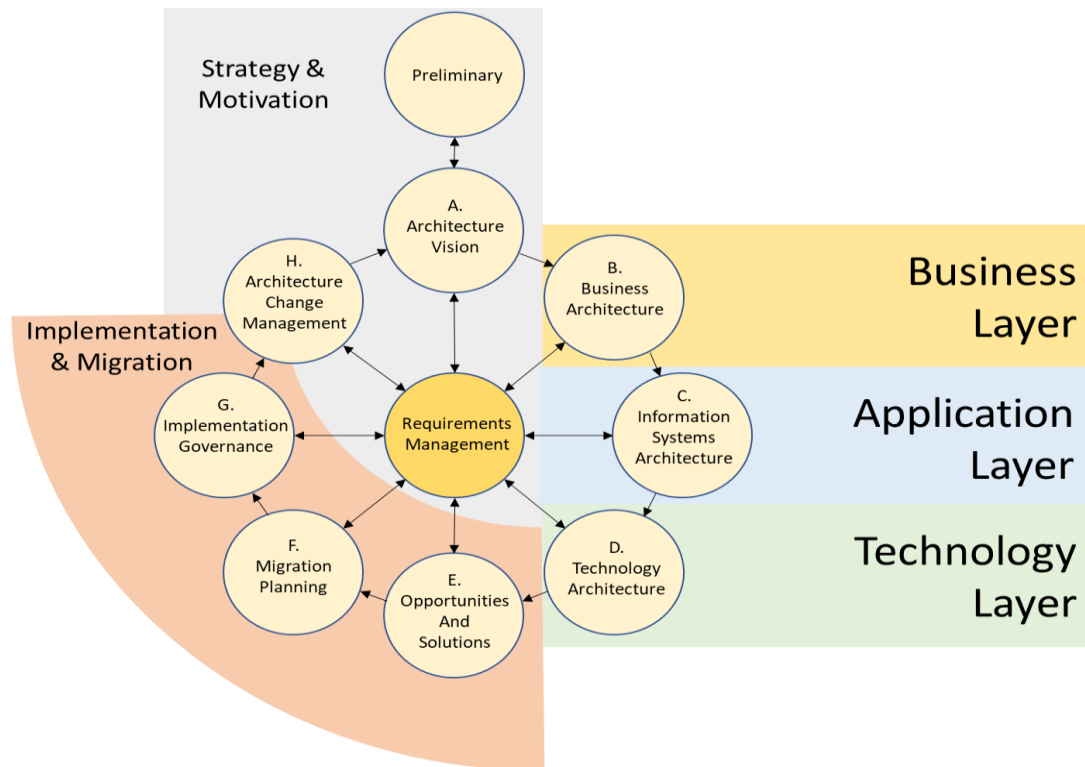


圖 2- 1 TOGAF ADM 映射至 ArchiMate

資料來源:The Open Group (2018). ArchiMate® 3.0.1 Specification.

<https://pubs.opengroup.org/architecture/archimate301-doc/apdx.html>

Tamm et al. (2011)文獻回顧 50 篇研究，企業架構的效益包括（1）更高的應對變革和指導能力，（2）改善決策，（3）改善溝通和協作，（4）降低成本，（5）業務與資訊科技協調；企業架構 (EA) 是一種用於分析、治理和資訊技術 (IT) 協調的整合策略、業務和資訊系統方法(Abunadi, 2019)；Hinkelmann and Pasquini (2014)研究在策略層面上要協調業務及 IT 來建模企業架構。

ArchiMate 語言是由荷蘭的 Telematica Instituut 專案團隊與政府、工業和學術界多個合作夥伴共同創建的，在 2008 年，ArchiMate 語言的所有權及管理權從 ArchiMate Foundation 轉移至 The Open Group(Josey et al., 2016)。ArchiMate

是描述業務流程、組織結構、資訊流、IT 系統和技術基礎設施的建構和運作的通用語言。在 ArchiMate 3.0 版本新增的功能包括在策略層面上建模企業的元素，如能力、資源和成果，也支援對材料和設備的物理世界進行建模(Josey et al., 2016)；ArchiMate 是目前使用最廣泛的 EA 視覺化語言和框架(Zhou et al., 2020)；ArchiMate 的企業建模範圍比其他企業架構建模語言更廣泛，不僅適用於軟體或系統建模，也適用於企業架構建模，具體而言，它可用於業務流程的可視化(涵蓋了 BPMN, Business Process Model and Notation 的範圍)，並進行企業策略規劃(Zhou et al., 2020)；Toppenberg et al. (2015)利用企業架構，將併購與公司持續的業務轉型相結合，這使得整合過程更高效，減少了變革帶來的干擾；Antunes et al. (2014)提出 ArchiMate 與本體工程(Ontology Engineering)整合和分析的新途徑，使用 ArchiMate 建立了對監測大型工程基礎設施的研究模型，並驗證為不同模型和利益相關者視角之間的一致性對齊提供了一種新的方法；Bastidas et al. (2022)提出使用 ArchiMate 建模未來智慧城市策略，其目標是增加回收利用、減少垃圾掩埋對環境的影響，確定 ArchiMate 有助於資訊系統如何實現當前的城市服務和決策。

ArchiMate 作為一種全面且靈活的企業架構建模語言，不僅能夠在多種業務和應用層面上進行詳細的建模，還能支持企業減少對環境的負面影響，與 TOGAF ADM 的緊密結合，提供完整框架，助於企業有效進行架構規劃和管理，從而實現業務流程優化及資源的最佳配置。

第四節 組織溫室氣體盤查

隨著溫室效應不斷的加劇，各國對高耗能、高碳排放的產業日益重視。國際能源署在報告《Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector》中提供了全球能源行業實現 2050 年淨零排放的全面路線圖，該報告分析實現目標所需的政策、技術創新、投資、經濟效益和社會影響，並提出了相應的政策建議和行動指南(IEA, 2021)。在應對全球氣候變遷的過程中，減少溫室氣體對環境與人類健康的影響，以及提高綠色能源的使用，成為關鍵課題。制定相對應的減排策略及措施之前，必須先對溫室氣體排放進行量化和報告，並制定相應的減碳路線圖。

組織溫室氣體盤查（Carbon Footprint Verification）是指對組織或企業活動產生的溫室氣體排放進行量化和報告的過程。在過程中，需先確定組織邊界，再透過溫室氣體盤查來鑑別溫室氣體排放量，使組織或企業能夠瞭解其碳排放水平，並提供改善能源效率、降低成本、增加競爭力、提升形象的參考依據，同時為未來的減排目標提供基準。

目前我國環境部規定，製造業中全場化石燃料之直接溫室氣體年排放量及使用電力之間接溫室氣體年排放量合計達 2.5 萬公噸二氧化碳以上的企業必須實施溫室氣體盤查。再者，我國金管會於 2022 年 3 月 3 日發布「上市櫃公司永續發展路徑圖」，要求上市櫃公司分階段揭露溫室氣體盤查資訊及查證，資本額 100 億元以上及鋼鐵、水泥業公司則須在 2023 年實施溫室氣體盤查。如下圖 2-

2、圖 2-3。



圖 2-2 溫室氣體盤查揭露資訊

資料來源:金融監督管理委員會 (2022)。上市櫃公司永續發展路徑圖。

<https://www.sfb.gov.tw/uploaddowndoc?file=news/202201131418230.pdf&filedisplay=%E6%96%B0%E8%81%9E%E7%A8%BF%E9%99%84%E4%BB%B6-%E4%B8%8A%E5%B8%82%E6%AB%83%E5%85%AC%E5%8F%B8%E6%B0%B8%E7%BA%8C%E7%99%BC%E5%B1%95%E8%B7%AF%E5%BE%91%E5%9C%96%E3%80%8D%E8%A6%8F%E5%8A%83%E6%96%B9%E6%A1%88.pdf&filelag=doc>

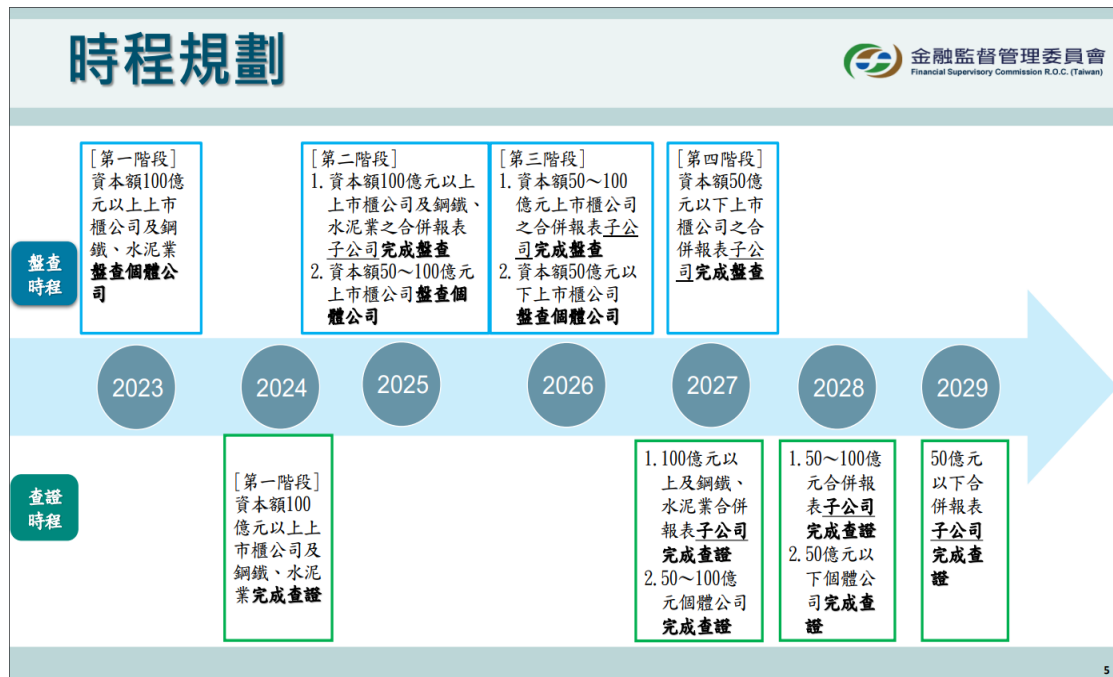


圖 2-3 溫室氣體盤查時程規劃

資料來源:金融監督管理委員會 (2022)。上市櫃公司永續發展路徑圖。

<https://www.sfb.gov.tw/uploaddowndoc?file=news/202201131418230.pdf&filedisplay=%E6%96%B0%E8%81%9E%E7%A8%BF%E9%99%84%E4%BB%B6%E4%B8%8A%E5%B8%82%E6%AB%83%E5%85%AC%E5%8F%B8%E6%B0%B8%E7%BA%8C%E7%99%BC%E5%B1%95%E8%B7%AF%E5%BE%91%E5%9C%96%E3%80%8D%E8%A6%8F%E5%8A%83%E6%96%B9%E6%A1%88.pdf&filelag=doc>

目前，國際溫室氣體盤查標準依據 ISO 14064-1，我國環境部及金管會公告的溫室氣體盤查對象必須執行類別一溫室氣體直接排放及類別二溫室氣體間接排放的盤查，詳細的排放類別可參考 ISO14064-1 提供的六大類別：

類別一：直接溫室氣體排放，e.g.製程的排放、固定燃料源、逸散源、移動源。

類別二：能源間接溫室氣體排放，e.g.能源、外購電力、蒸氣。

類別三至類別六：間接溫室氣體排放-運輸、組織所使用產品本身的間接排放、組織使用產品時產生的間接排放、其他來源的間接排放，e.g.員工通勤、上下游物流、使用產品等等(ISO, 2018a)，如下圖 2-4。

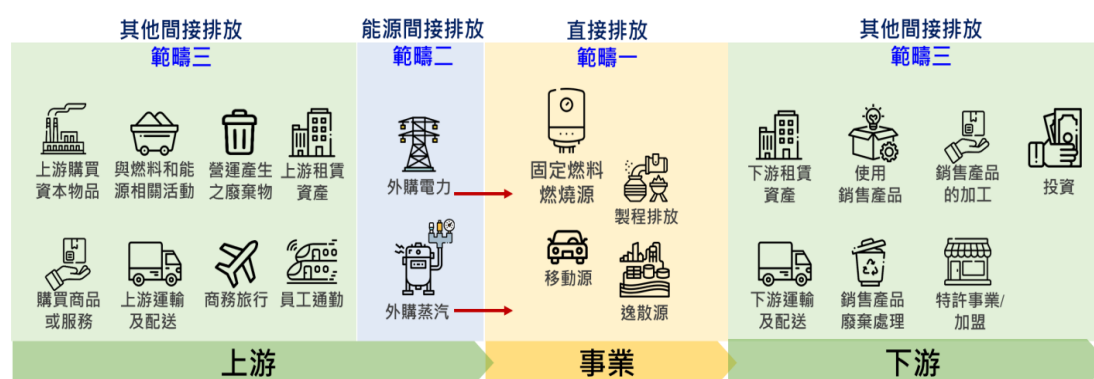


圖 2-4 組織溫室氣體盤查涵蓋範疇

資料來源：行政院環境保護署（2022），溫室氣體排放量盤查作業指引。

<https://ghgregistry.moenv.gov.tw/upload/Tools/%E6%BA%AB%E5%AE%A4%E6%B0%A3%E9%AB%94%E6%8E%92%E6%94%BE%E9%87%8F%E7%9B%A4%E6%9F%A5%E4%BD%9C%E6%A5%AD%E6%8C%87%E5%BC%95113%E5%B9%B4%E7%89%88.pdf>

第五節 碳足跡

碳足跡與溫室氣體盤查不同，碳足跡是指一個產品或是服務在其整個生命週期中(原料取得、生產/製造、運輸、使用、廢棄處理)所產生的溫室氣體排放量，如圖 2-5，目的是減少製造商及上下游廠商的溫室氣體排放量。

透過產品碳足跡之生命週期評估，組織或企業可以獲得產品或服務的碳足跡。碳足跡是產品、流程或服務生命週期中產生的溫室氣體 (Green House Gas) 量(Francesco & Pietro, 2016; ISO, 2018b)。在 ISO14067:2018 規定了產品碳足跡的量化和報告要求，符合 ISO14040 和 ISO14043 的生命週期評估 (Life Cycle Assessment, LCA) 國際標準(ISO, 2006a, 2006b, 2018b)，關注產品或服務在其生命週期內直接或間接產生的溫室氣體排放量。碳足跡可以幫助組織或企業評估產品或服務對環境的影響，並提供改善產品設計、原料選擇、物流優化的參考。Qiao et al. (2017)控制碳排放有助於提高公司的市場形象和社會責任聲譽，有助於吸引注重環保的客戶，並鼓勵製造業調整生產計劃來控制碳排放。Rahim et al. (2020)製造業開發一種潔淨生產方案，以減少生產過程和活動中的碳排放量，可以透過綠色材料替代、新技術的採用、人員培訓以及 3R(Recycle、Reuse、Reduce)等；Jian (2013)提出製造業轉型為綠色製造路徑及主要溫室氣體減量技術，強調綠色製造能減少製造週期中的材料浪費、提高生產力並節省成本、能幫助企業保持永續性等。

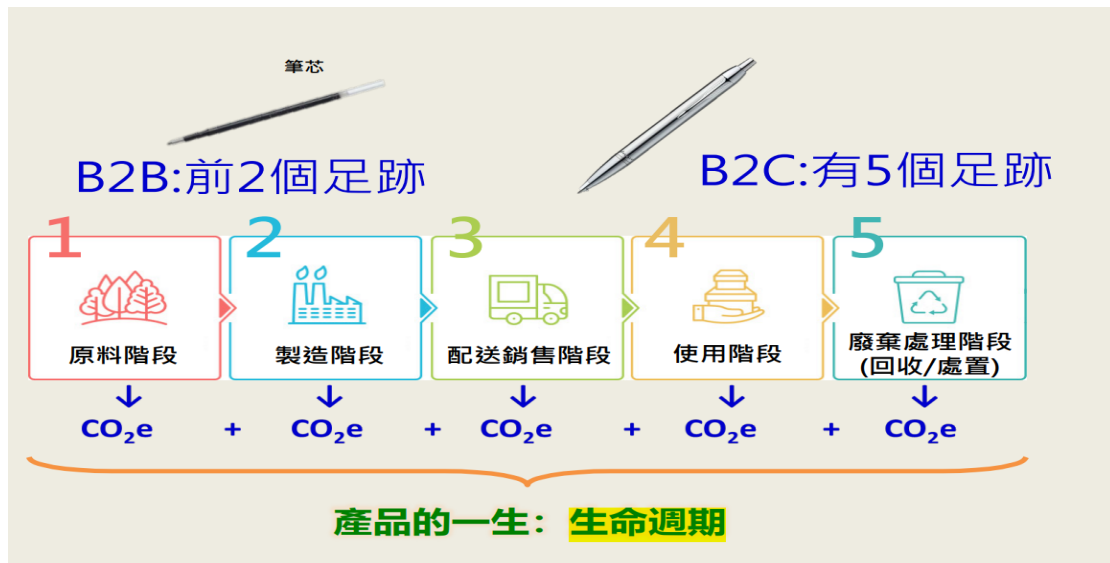


圖 2-5 產品生命週期示意圖

資料來源:經濟部產業發展署，產品碳足跡 ISO 條文說明。

<https://ghg.tgpf.org.tw/ReadFile/?p=CVData&n=6c656aa5-fc20-4534-858e-bdbafc86c895.pdf>

以上研究成果顯示，通過碳足跡的量化與評估，企業能夠更精確地掌握和控制其在生產過程中的溫室氣體排放，並制定相應的減排措施，從而促進環境保護與可持續發展。此外，這一過程還能幫助企業提高運營效率，降低成本，增強市場競爭力，並滿足全球市場對環保產品和服務的需求，進一步推動綠色經濟的發展。

第參章 研究方法

本章第一節為研究設計，第二節為研究對象及線束材簡介，第三節為資料蒐集方法，第四節為企業架構呈現概念。

第一節 研究設計

本研究採用質性研究的個案研究法(Yin, 1994)，以某單一個案公司為例，蒐集碳足跡相關之活動數據，累計整體產製歷程所排放的溫室氣體總量，並轉化為二氧化碳當量。由於活動數據必須以製程地圖為基礎，囿於個案公司的協助意願與業務考量，因此以某線束材(Cat.5e 網路線)之製程為基礎，並藉由與個案副總經理訪談，展開碳足跡數據蒐集。依據環境部的產品類別規則(Product Category Rules, PCR)及 ISO 14067 標準，經由實地探訪、訪談等方式，深入了解該線束材在進行產品碳足跡計算的步驟:包括製程地圖、系統邊界設定、活動數據蒐集、排放係數取得及更新、碳足跡計算方式及分配、截斷規則、數據品質評估等，再藉由 ArchiMate 建置碳足跡之資訊系統架構，ArchiMate 建置部分依據 TOGAF ADM 之 B、C、D 階段，分別映射至 ArchiMate 的業務層面、應用層面，及技術與實體層面，將這些層面與碳足跡之相關資訊進行建置，並可視化與碳足跡相關之業務層面、應用層面，及技術與實體層面。

第二節 研究對象及線束材簡介

本研究之線束廠成立至今已過 30 年，主要研發及生產各類線材組裝加工，包括車用、電腦、工業、軍事、醫療健康及其他特規線材等，該個案之組織架構圖入下圖 3-1。

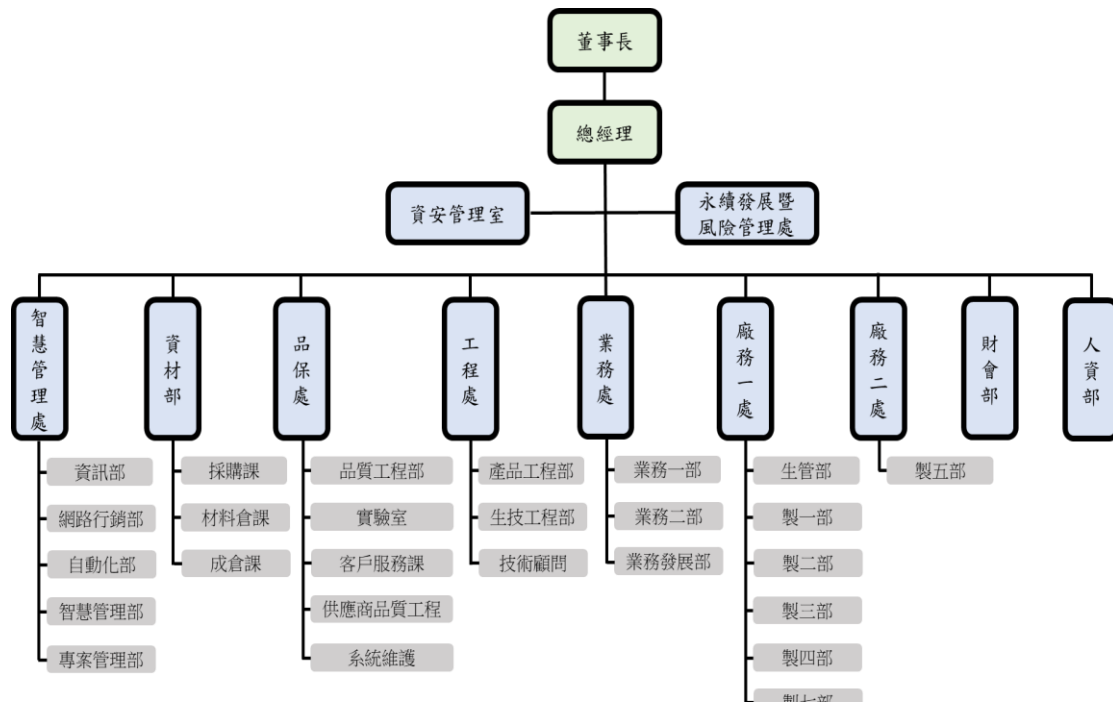


圖 3-1 個案之組織架構

該企業積累了許多客戶，訂單量大，生產的線束產品樣式多，但是大多都為少量多樣，依客戶需求，需要準備不同材質、長度、線徑等電線導體；如今人工智慧的蓬勃發展，使工業自動化、軍事、智慧醫療、資訊數據、電動車也迅速的成長，對於線束的需求不斷增長，為了滿足日益增長的客戶需求，該個案導入工業 4.0 相關技術，如企業資源規劃(Enterprise Resource Planning, ERP)、製造執行系統(Manufacturing Execution System, MES)等資訊系統，來解決不斷增長的客戶訂單及更多樣式的線束。

本研究以網路線作為特定線束進行活動數據蒐集，因網路線作為現代通訊與資訊傳輸系統中的關鍵線束，在數位通訊領域中所擔任的關鍵功能，網路線作為一種物理傳輸媒介，承擔著數據的傳輸和交換任務，是現代資訊通訊系統中不可或缺的基礎設施之一。再者，網路線能夠提供高品質的連接，確保數據的快速、可靠和安全傳輸，這對於現代社會中不斷增長的數據流量和通訊需求至關重要。此外，網路線在建立各種數據通訊網絡中具有廣泛的應用，包括但不限於家庭、企業、學術機構和政府機構等領域，且隨著科技的不斷進步和創新，網路線的性能和功能也在不斷提升，例如高速、高帶寬和抗干擾能力等特性的不斷改進，進一步擴大了其在現代數位通訊和資訊科技領域中的應用範圍和重要性。因此，可以認為網路線作為數位通訊系統中的重要組件，對於現代社會的資訊化進程和數位經濟的發展具有不可替代的作用。本研究以網路線材為例，藉由訪談了解個案公司的在製造網路線的流程，規格如下表 3-1，網路線示意圖為圖 3-2

表 3- 1 網路線規格-Cat.5e

線材	4 對多芯絞線，無屏蔽
Pin 針數量	8Pin
長度	1 公尺(m)
線徑	24AWG
外被	PVC

水晶頭	PC 材質 * 2
水晶頭保護套	PVC 材質 * 2

組成元件包括主要材料、次要材料、包裝材料:

- 主要材料:網路線材(內含 4 對多芯絞線、棉繩)
- 次要材料:水晶頭、水晶頭護套
- 包裝材料:紙箱、膠帶

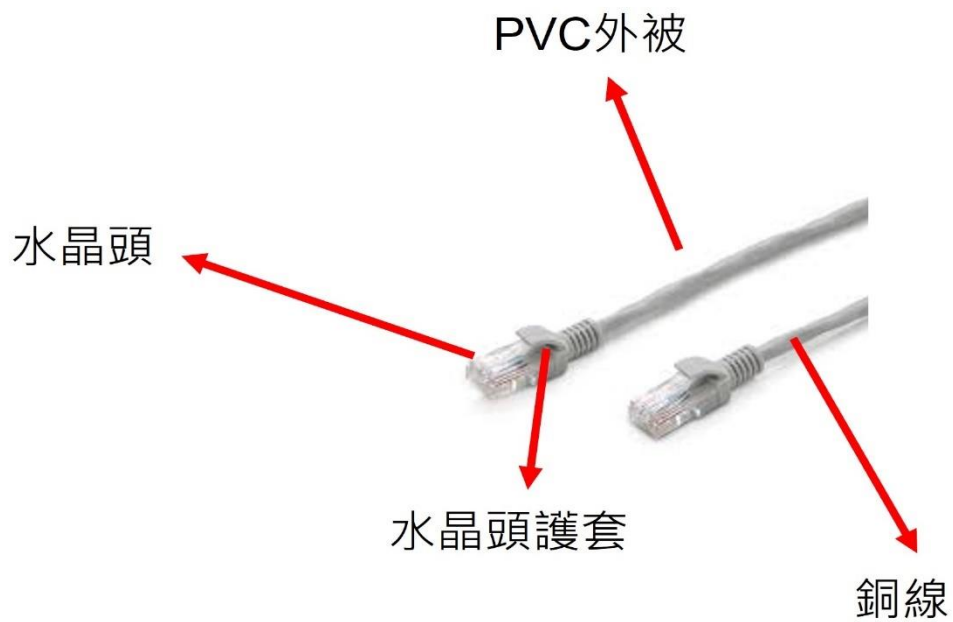


圖 3- 2 網路線示意圖

第三節 資料蒐集方法

本研究採用質性研究的個案研究法，以某單一個案公司為例，經由實地探訪、訪談等方式，蒐集相關的活動數據，包括確認產品製程地圖、系統邊界設定、活動數據蒐集、碳足跡計算與分配，以及數據品質評估。為具體規劃碳足跡系統的資訊架構，必須依據產品的製程地圖展開整體活動數據的蒐集架構，需蒐集之活動數據示意如下圖 3-3。

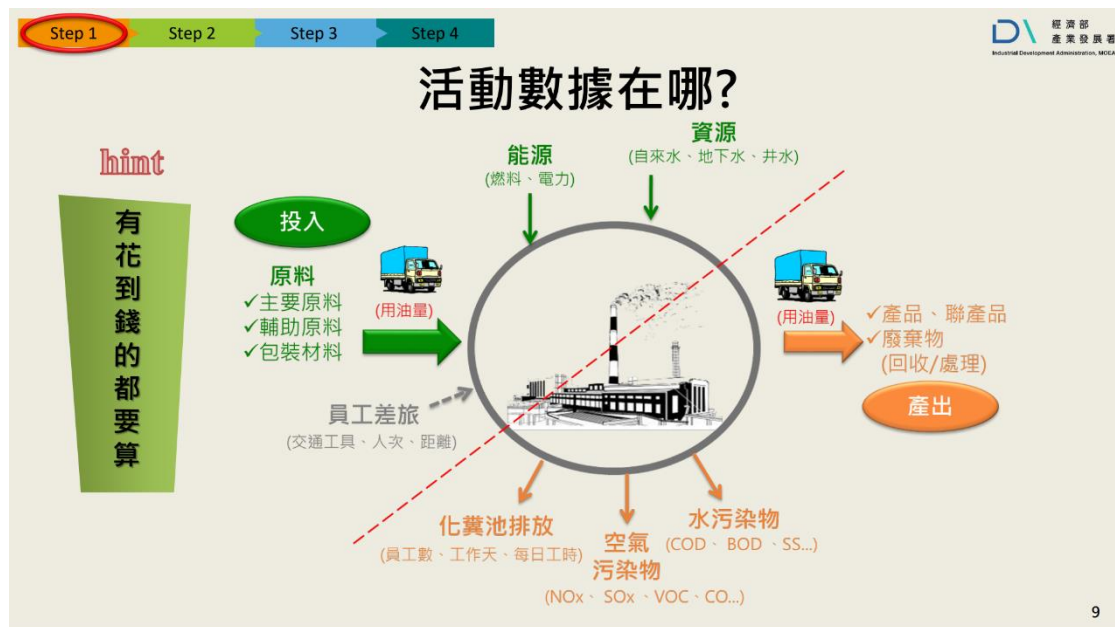


圖 3-3 需蒐集之活動數據

資料來源:經濟部產業發展署，產品碳足跡 ISO 條文說明。

<https://ghg.tgpf.org.tw/ReadFile/?p=CVData&n=6c656aa5-fc20-4534-858e-bdbafc86c895.pdf>

第四節 以企業架構 ArchiMate 呈現模型架構

本研究使用 ArchiMate 作為展示業務流程、應用系統、技術和實體設備的

工具，以 ArchiMate 呈現碳足跡之資訊系統架構，透過與個案相關人員的訪談，了解企業的組織架構、業務流程、資訊系統及基礎設施等；在建置碳足跡之資訊系統架構需要企業架構各個層面的資訊，以下為蒐集的資訊：

1. 業務層面：

- 了解與業務流程相關之業務角色。
- 了解某線束材之製程，包括原材料到成品至入庫的生產流程。
- 蒐集與碳足跡數據相關之業務流程。

2. 應用層面：

- 了解有何資訊系統、資訊流。
- 蒐集與碳足跡數據相關之系統及資料。

3. 技術與實體層面：

- 基礎設施、硬體、機臺、儀器。

除了橫軸的層面以外，需要搭配縱軸的各個方面，以下為各面向解釋：

1. 主動結構方面(Active Structure):結構元素（展現實際行為的業務參與者、應用組件和設備）。
2. 行為方面(Behavior):由參與者執行的行為（流程、功能、事件和服務）。
3. 被動結構方面(Passive Structure): 行為所作用的對象；這些通常是業務層中的資訊對象和應用層中的數據對象，但也可以用來表示實體對象。

下圖 3-4 為 ArchiMate 核心模型，包含橫軸的業務層面、應用層面、技術與實體層面；縱軸的主動結構、行為、被動結構。

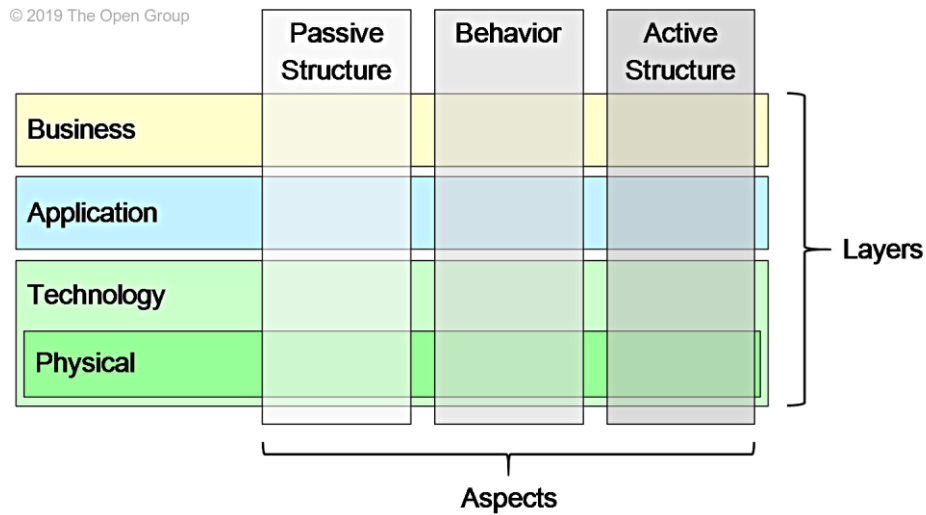


圖 3- 4 ArchiMate 核心模型

資料來源:The Open Group (2018). ArchiMate® 3.0.1 Specification.

<https://pubs.opengroup.org/architecture/archimate31-doc/chap03.html>

ArchiMate 框架能從不同的角度對企業進行建模，將這些抽象的層面進行定

義；下圖 3-5 包含業務、應用、技術與實體層面之元件，黃色為業務層面元

素、藍色為應用層面元素、綠色為技術及實體層面元素。

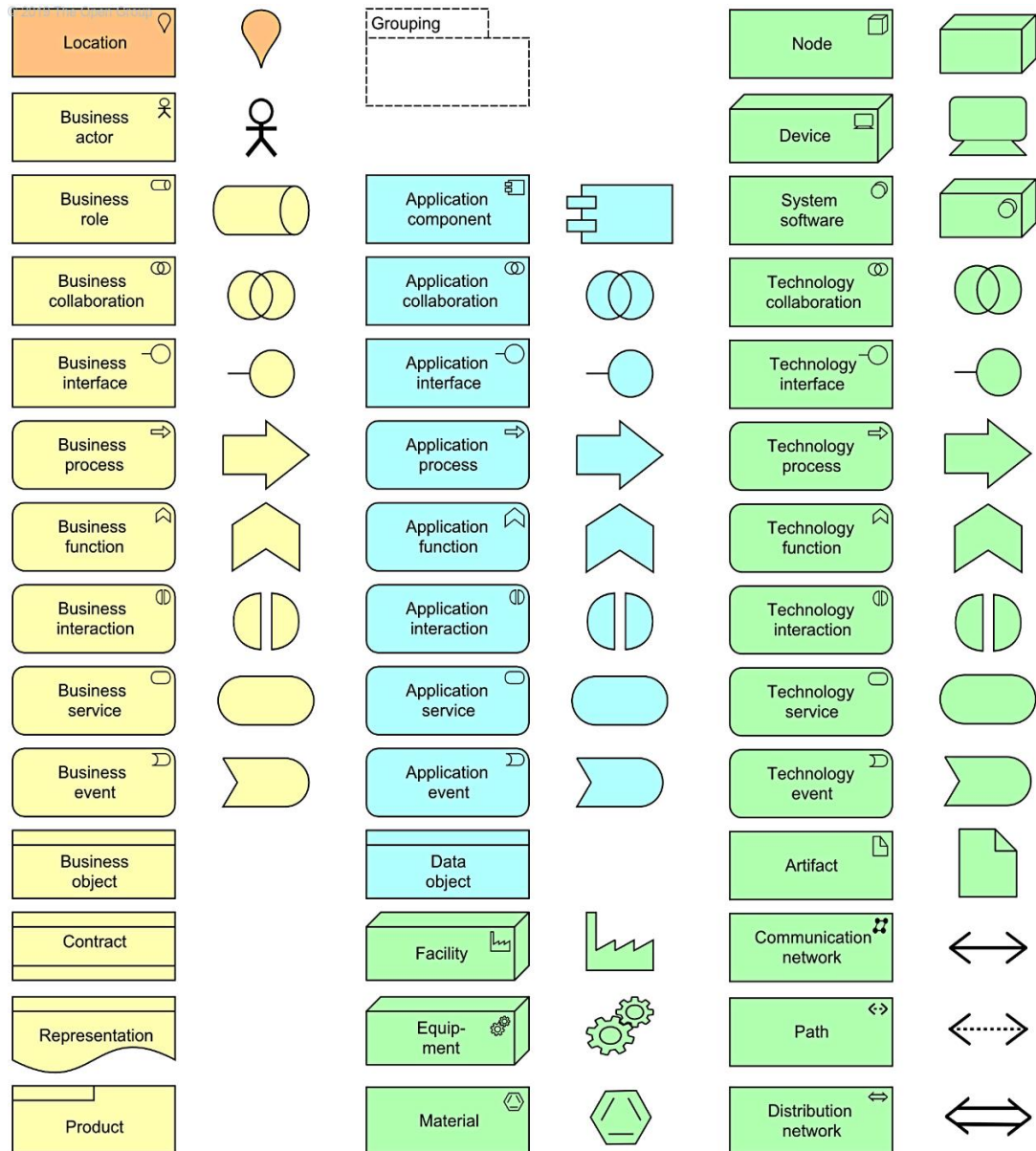


圖 3- 5 ArchiMate 之業務、應用、技術與實體層面元件

資料來源:The Open Group (2018). ArchiMate® 3.0.1 Specification.

<https://pubs.opengroup.org/architecture/archimate31-doc/apdxa.html>

第肆章 研究結果

第一節 系統邊界與製程地圖

依據 ISO14067 規範，須先進行系統邊界設定及欲計算碳足跡之產品的製程，本研究選擇之個案為單一廠址，進行碳足跡數據蒐集之線束材為 B2B，屬搖籃到大門(即原料取得至生產/製造)，如下圖 4-1。

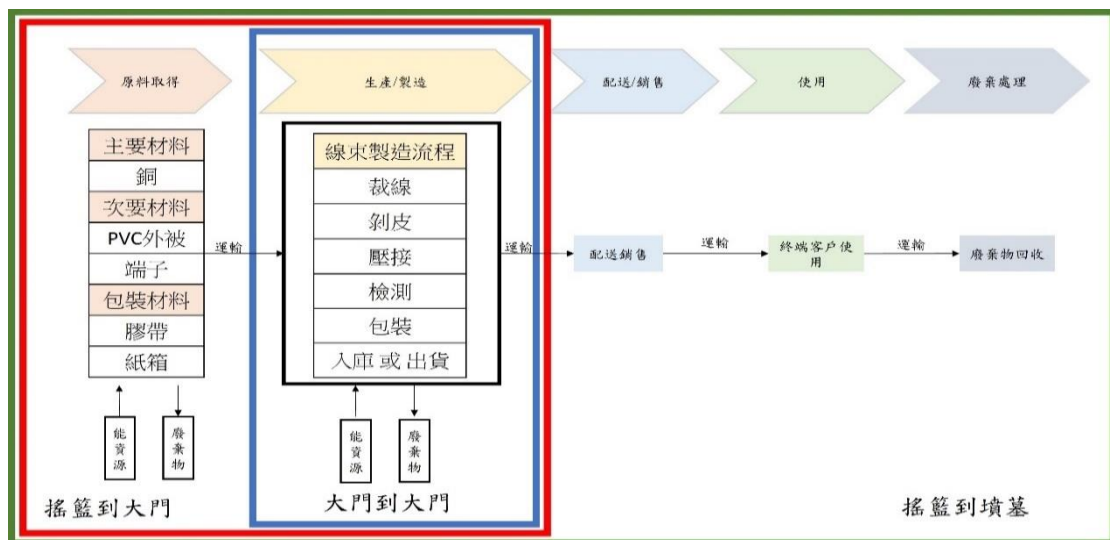


圖 4-1 製程地圖

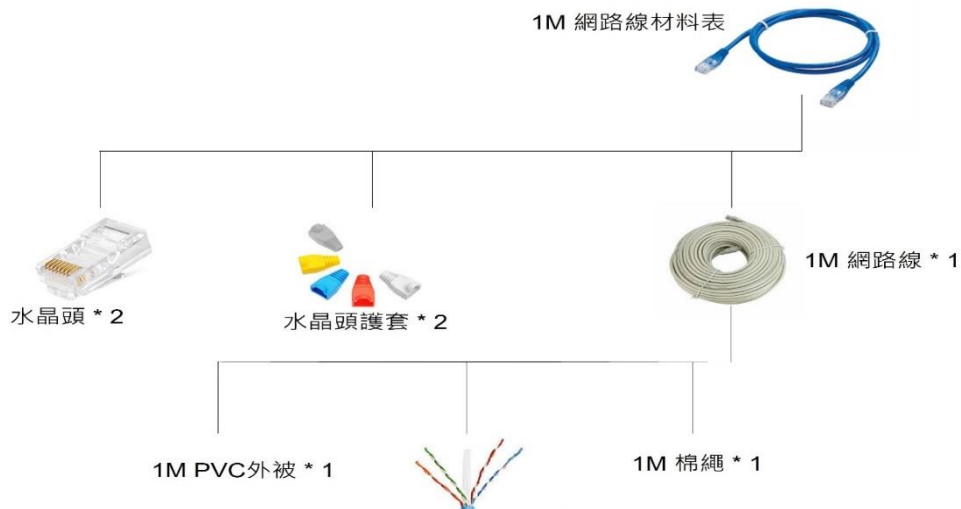


圖 4-2 網路線 BOM 表

上圖 4-2 為產品組成材料表，與下圖 4-3 為個案整體業務流程結合，客戶觸發客戶提交訂單功能，使訂單處理功能啟動，訂單處理功能包含訂單處理服務，有詢價、報價、確定訂單等業務流程，由業務部所負責；確認訂單以後，進行生管的排程，由生管人員負責；之後進行生產流程，以 1 公尺之網路線材為例，裁線-裁剪線材長度、剝皮-剝去線材 PVC 外被(包含 4 對多芯絞線及棉繩)、壓接-將芯線壓接進水晶頭、安裝保護套-安裝水晶頭保護頭、檢測-檢測網路線，由廠務人員負責；最後進到物流流程，有入庫及出貨，由倉儲課負責。

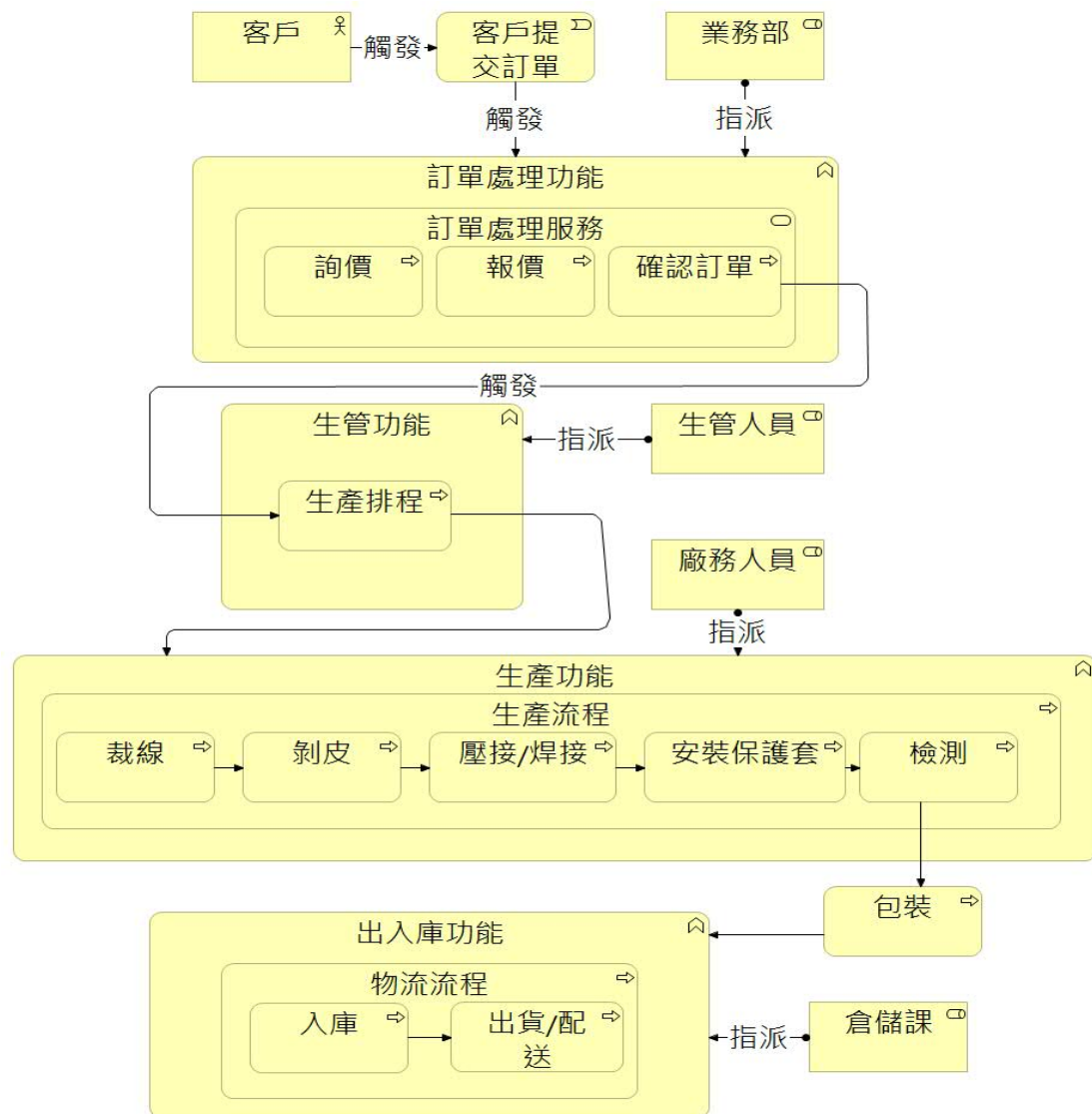


圖 4-3 線材組成與業務流程相關之視圖

第二節 活動數據蒐集

網路線之碳足跡，需蒐集如下相關活動數據，包含投入之材料、運輸、製成端之能/資源投入、產出之產品、廢棄物、逸散等數據如下：

1. 投入端

- (1) 主要材料、次要材料:網路線材(銅線、PVC 外被、棉繩)、水晶頭、水晶頭保護套之投入量
- (2) 包裝材料:紙箱、膠帶等的包裝材料之投入量
- (3) 主要材料、次要材料、包裝材料之運輸

2. 製造端能/資源投入

- (1) 機器用電-電力
- (2) 組織用水-自來水
- (3) 員工運輸-汽柴油
- (4) 廢棄物運輸-汽柴油
- (5) 員工通勤-汽柴油

3. 產出量

- (1) 線束材之產出量
- (2) 廢棄物處理。
- (3) 公務車、冷氣、飲水機等之冷媒逸散、CO₂滅火器逸散。

表 4-1 整體需蒐集之活動數據

溫室氣體排放類別	子類別	設施	排放源
類別一：直接溫室氣體排放	1.2 移動式燃燒源之直接排放	公務車	CO ₂ 、CH ₄ 、N ₂ O
	1.4 來自逸散源之直接排放	貨車	HFCS
	1.4 來自逸散源之直接排放	化糞池	CH ₄
	1.4 來自逸散源之直接排放	冷氣	HFCS
	1.4 來自逸散源之直接排放	CO ₂ 滅火器	CO ₂
	1.4 來自逸散源之直接排放	飲水機	HFCS
類別二：能源間接溫室氣體排放：	2.1 外購電力之間接排放	外購電力	CO ₂
類別三：運輸間接溫室氣體排放	3.1 上游運輸和貨物配送產生的排放	原料及包裝材料運送	CO ₂ 、CH ₄ 、N ₂ O
	3.3 員工通勤產生的排放	汽車	CO ₂ 、CH ₄ 、N ₂ O
	3.3 員工通勤產生的排放	機車	CO ₂ 、CH ₄ 、N ₂ O
	3.6 廢棄物運輸	廢棄物運輸	CO ₂ 、CH ₄ 、N ₂ O
類別四：組織購買或使用產品造成間接溫室氣體排放	4.1 採購貨物產生之排放	銅線	CO ₂
	4.1 採購貨物產生之排放	PVC 外被	CO ₂
	4.1 採購貨物產生之排放	水晶頭	CO ₂
	4.1 採購貨物產生之排放	水晶頭保護套	CO ₂
	4.1 採購貨物產生之排放	棉繩	CO ₂
	4.1 採購貨物產生之排放	膠帶	CO ₂
	4.1 採購貨物產生之排放	紙箱	CO ₂
	4.1 外購自來水產生之排放	自來水	CO ₂
	4.1 外購電力產生之間接排放	電力	CO ₂
	4.1 外購汽油產生之排放	公務車汽油	CO ₂ 、CH ₄ 、N ₂ O
	4.3 製程產生之廢棄物處理產生之排放	廢棄物處理	CO ₂

表 4-2 為製程需蒐集之活動數據。

表 4-2 製程需蒐集之活動數據

生命週期階段		需蒐集之活動數據	活動數據來源
原料取得		1.原料重量 2.材料資訊	ERP 系統之物料管理模組取得重量(t)及材料資訊
製程	裁線	1.材料投入量-銅線、PVC 外被、棉繩、水晶頭、水晶頭保護套之投入量(實際重量)。 2.運輸距離-主要材料、次要材料、包裝材料等資訊。 3.紙箱、膠帶等包裝材料。 4.機器消耗電力。 5.廢棄物處理。 6.廢棄物運輸。	1.ERP 系統之生產管理模組協同 MES 系統，並將投入數量使用分解秤重方式取得產品材料投入量 2.ERP 系統之供應鏈管理模組取得主要材料、次要材料、包裝材料等運輸距離 3.ERP 系統之庫存管理模組取得包裝材料投入量 4.機台消耗電力(機器工時): a. 直接由機上盒測得實際用電 b. ERP 系統之生產管理模組取得實際機器工時在乘上機器功率 5.廢棄物清運申報紀錄取得廢棄物處理 6.依一般廢棄物委外運送趟數，並依據該區之清運路線計算廢棄物運輸距離
	剝皮		
	壓接		
	檢測		
	包裝		

表 4-3 為組織相關之活動數據。

表 4-3 組織相關之活動數據蒐集

溫室氣體排放類別	排放源	數據蒐集
類別一：直接溫室氣體排放	公務車汽/柴油	ERP 系統之財務會計模組取得加油公升數資料
	CO ₂ 滅火器	ERP 系統之財務會計模組取得固定資產、設備上之銘牌、實際填充量資料
	冷氣、車輛、飲水機等冷媒逸散	
	化糞池	ERP 系統之人力資源模組取得廠內作業人數及人員工時等資料
類別二：能源間接溫室氣體排放	外購電力	ERP 系統之財務會計模組取得用電量(kWh)
類別三：運輸間接溫室氣體排放	員工通勤	ERP 系統之人力資源模組取得員工通勤(交通工具、通勤距離)資料
	廢棄物運輸	上網取得清運路線距離(km)
類別四：組織購買材料造成間接溫室氣體排放	自來水	ERP 系統之財務會計模組取得用水量(m ³)
	電力(產品)	ERP 系統之財務會計模組取得用電量(kWh)
	公務車汽/柴油	ERP 系統之財務會計模組取得加油公升數資料
	廢棄物	a. 廢棄物清運申報紀錄 b. ERP 系統之財務會計模組取得廢棄物處理發票資料

下圖 4-4 是與生產/製造階段有關之業務流程，在確認訂單以後，可以得知需要那些原料及客戶需求量，本研究以網路線為例，組成網路線之原料為網路線、水晶頭、水晶頭護套，進貨之網路線本身已有 PVC 外被、內有四對雙絞線(銅線、PVC 外被)、棉繩。

圖 4-4 中 ERP 系統有多種模組提供製程相關資訊及數據：

1. 物料管理模組:提供材料資訊，如網路線組成有 PVC 外被、雙絞線 4 對、

棉繩等。

2. 人力資源模組:提供人員工時、員工人數、員工通勤等資訊。
3. 供應鏈管理模組:供應鏈資訊，如供應商地址、物流管理。
4. 財務會計模組:電費、水費單、由費發票、固定資產等資訊，固定資產如冷氣、飲水機、滅火器等。
5. 庫存管理模組:藉由實際入庫及出貨數量，推算包裝材料用量。
6. 生產管理模組:協同 MES 系統計算主要材料、包裝材料之投入量及最後實際產量等資訊。

ERP 系統及 MES 系統能夠幫助企業蒐集製程中所投入之能源、資源等資訊，並確保資訊一致，ERP 系統還可蒐集財務、人力、物流、生產等資訊 (Shevchenko et al., 2022)，如第一節蒐集計算碳足跡相關之活動數據會與資訊系統有關，在表 4-1 中，3.1 上游運輸和貨物配送產生的排放可以透過 ERP 得知進貨量及貨物來源；在 4.1 採購貨物產生之排放，ERP 系統之生產管理模組可協同 MES 系統計算實際產品投入量、包括網路線(含銅線、PVC 外被、棉繩)、水晶頭、水晶頭護套、包裝材料等投入量，如下圖 4-4 所示。

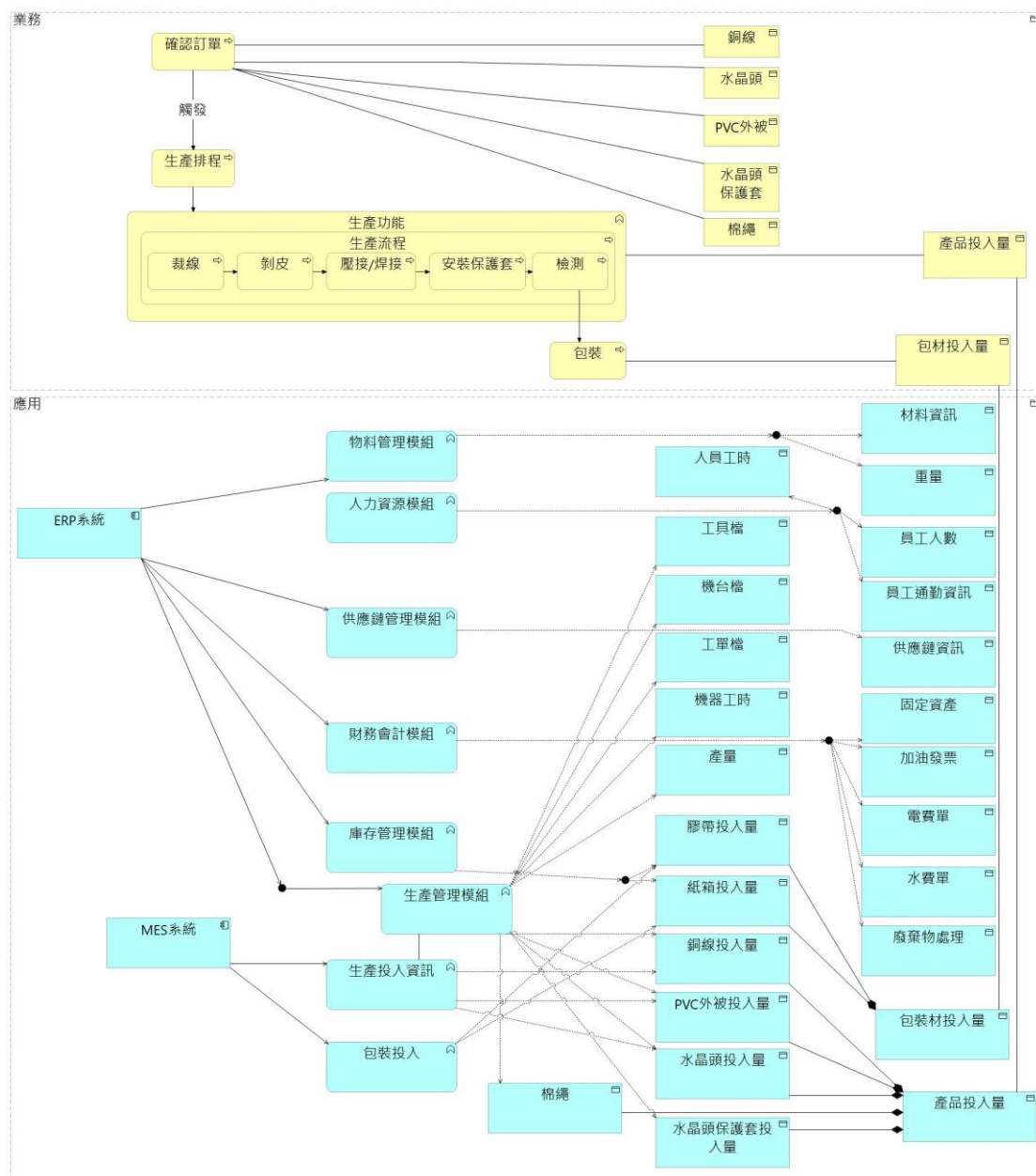


圖 4- 4 與生產/製造階段有關之業務流程與應用層面視圖

此外，技術與實體層面也有相關活動數據需進行蒐集，如 CO₂ 滅火器、飲水機、冷氣、公務車等冷媒逸散；電腦、電子看板、機台、設備、固定資產等用電；製程中的技術流程，如裁線、剝皮、壓接、安裝保護套、檢測等製程中設備之用電，呈現方式如下圖 4-5。

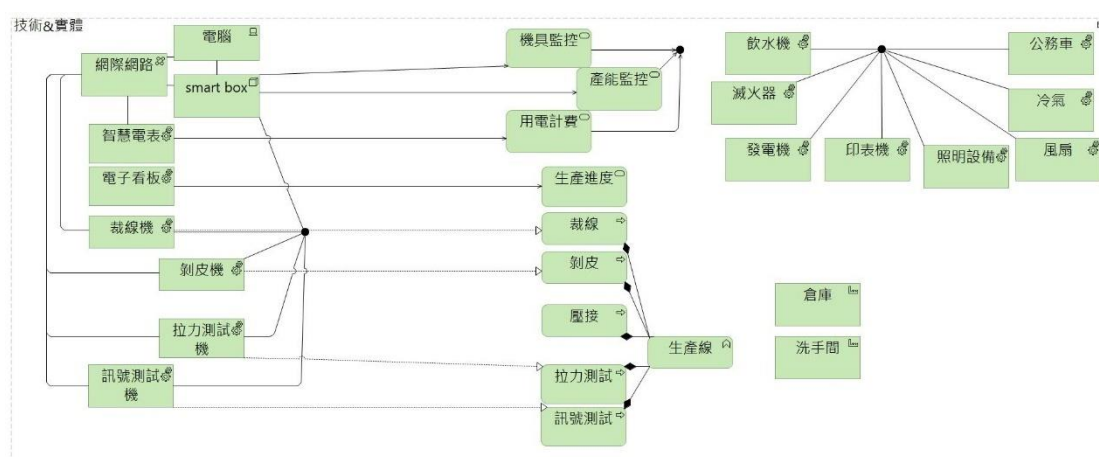


圖 4-5 與產品碳足跡有關之技術與實體視圖

第三節 排放係數取得及更新

可由生命週期評估軟體資料庫或具有公信力文獻中取得，排放係數更新可依各公司串接公開或是付費之資料庫取得，本研究所列舉之排放係數並非是個案所引用之排放係數，以下排放係數為各公開資料庫取得，如下表 4-4。

表 4-4 製程相關之排放係數

係數名稱	碳足跡數值 (kgCO ₂ e)	宣告年份及單位	資料來源
電力排放係數	0.495	2022/(kWh)	排放係數管理 表 6.0.4 版
電力間接碳足跡	0.0973	2021/度(kWh)	排放係數管理 表 6.0.4 版

自來水	0.0543	2022/立方公尺(m ³)	臺北自來水
銅線	4.39	2013/公斤(kg)	環境部碳足跡 資料庫
PVC 塑膠(電線電纜用)	2.21	2013/公斤(kg)	環境部碳足跡 資料庫
PC 塑膠(水晶頭)	9.42	2014/公斤(kg)	環境部碳足跡 資料庫
聚酯棉	4.45	2020/公斤(kg)	環境部碳足跡 資料庫
OPP 膠帶(0.043mm * 48mm * 80M)	0.97	2020/卷	環境部碳足跡 資料庫
雙層瓦楞紙箱(AB 楞， 貼箱)	1.33	2023/平方公尺(m ²)	環境部碳足跡 資料庫
車用汽油(移動源)	2.92	2023/公升(L)	環境部碳足跡 資料庫
車用汽油(未燃燒)	0.604	2023/公升(L)	環境部碳足跡 資料庫
柴油(移動源)	3.32	2023/公升(L)	環境部碳足跡 資料庫
柴油(未燃燒)	0.673	2023/公升(L)	環境部碳足跡 資料庫
營業小貨車(汽油)	0.683	2022/延噸公里(tkm)	環境部碳足跡 資料庫
自用小客車(汽油)	0.115	2014/延人公里 (pkm)	環境部碳足跡 資料庫
廢棄物處理	340	2018/公噸(mt)	環境部碳足跡 資料庫
廢棄物運輸	1.31	2018/延噸公里	環境部碳足跡 資料庫

第四節 分配與計算方式及截斷規則

分配原則，有全廠性數據時，如用電量與用水量，需分配至該產品線，再分配至該單件產品，依重量、個數、體積、耗電量、投入人力工時等進行分配，進行單位成本攤提，以上各資訊依各公司資訊系統建置情形取得。

該個案在組織、原料取得、生產/製造需蒐集之相關活動數據，包含類別一至類別四，各類別活動數據類別、排放源、計算公式、數據來源如下表 4-5。

表 4-5 各排放源排放量之計算公式及分配

溫室氣體 排放類別	排放類別	排放量計算
類別一： 直接溫室 氣體排放	公務車汽/柴油	公務車直接燃燒排放量=汽、柴油總用量(公升/年)×汽、柴油相對應之排放係數
	CO ₂ 滅火器	CO ₂ 滅火器之逸散排放量=CO ₂ 使用量或填充量
	冷氣、車輛、 飲水機冷媒逸散	冷氣、車輛、飲水機等冷媒逸散排放量=設備銘牌上之冷媒填充量×全球暖化趨勢(GWP)
	化糞池	化糞池逸散排放量=廠內作業人數×排放係數
類別二： 能源間接 溫室氣體 排放	外購電力	外購電力之能源間接排放量=能源間接排放(公噸/年)=年度總用電量(千度/年)×電力排放係數
類別三： 運輸間接 溫室氣體 排放	運輸和貨物配 送產生之排放	原料運輸之間接排放量=運輸距離(km)×貨物重量(噸)×相對應交通工具之延噸公里排放係數
	員工通勤	員工通勤之排放量=員工出勤天數×運輸距離×相對應交通工具之延人公里排放係數
	廢棄物運輸	廢棄物運輸之排放量=運輸路線×排放係數
類別四： 組織使用 產品造成 間接溫室 氣體排放	銅線	購買銅線本身之排放量=原物料的數量或重量×生命週期搖籃至大門的排放係數
	PVC 外被	購買 PVC 外被本身之排放量=原物料的數量或重量×生命週期搖籃至大門的排放係數
	水晶頭	購買水晶頭本身之排放量=原物料的數量或重量×生命週期搖籃至大門的排放係數

	水晶頭保護套	購買水晶頭保護套本身之排放量=原物料的數量或重量×生命週期搖籃至大門的排放係數
	棉繩	購買水晶頭保護套本身之排放量=原物料的數量或重量×生命週期搖籃至大門的排放係數
	膠帶	購買膠帶本身之排放量=原物料的數量或重量×生命週期搖籃至大門的排放係數
	紙箱	購買紙箱本身之排放量=原物料的數量或重量×生命週期搖籃至大門的排放係數
	自來水	外購自來水排放量=年度總用水量(m^3)×排放係數
	電力	購買電力之間接排放量=年度總用電量(千度/年)×電力間接碳足跡
	公務車汽/柴油	公務車汽、柴油購買產生之排放量=汽、柴油總用量(公升/年)×汽、柴油相對應之排放係數
	廢棄物處理	廢棄物之排放量=廢棄物申報重量×處置方式之碳排放係數

● 類別一：

1. 車輛、冷氣、飲水機等冷媒逸散，根據銘牌之冷媒種類分類，並依該年度冷媒實際填充量進行計算，排放量=設備銘牌上之冷媒填充量×全球暖化趨勢(GWP)。
2. CO₂ 滅火器之逸散排放量=CO₂ 使用量或填充量。
3. 化糞池逸散量排放量=廠內作業人數×CH₄ 排放係數。

● 類別二：

1. 外購電力之間接排放藉由各月電費單取得活動數據，乘上排放係數，即可得能源間接溫室氣體排放，排放量=能源間接排放(公噸/年)=年度總用電量(千度/年)×電力排放係數。

● 類別三：

1. 運輸間接溫室氣體排放之計算，量化方法採運輸距離方式，排放量=運輸距離(km)×貨物重量(噸)×相對應交通工具之延噸公里排放係數。

2. 員工通勤依各組織可蒐集到的資料形式，選擇適合的量化模式，排放量=員工出勤天數×運輸距離×相對應交通工具之延人公里排放係數。

● 類別四：

1. 組織使用產品造成間接溫室氣體排放，包括網路線(含銅線、PVC 外被、棉繩)、水晶頭、水晶頭保護套、包裝材料等等，量化方式採平均數據方法，計算方式如下:蒐集產品或服務之購買數量或重量，乘上相對應之二級數據；排放量=原物料的數量或重量×生命週期搖籃至大門的排放係數；以銅線來說，假設購買 100kg 銅線，乘上銅線之排放係數，即可計算出銅線所造成之間接溫室氣體排放。

2. 購買電力之間接排放量=年度總用電量(千度/年)×電力間接碳足跡。

3. 公務車汽、柴油購買產生之排放量=汽、柴油總用量(公升/年)×汽、柴油相對應之排放係數。

4. 廢棄物之排放量=廢棄物申報重量×處置方式之碳排放係數。

5. 廢棄物運輸之排放量=運輸路線×排放係數。

根據環境部的產品類別規則(Product Category Rules, PCR)，生產此線材中的切斷規則如下:在生命週期評估中，對於任何環境影響類別，如果某個特定程序或活動的各項環境影響總和不超過該類別當量的 1%，則可以忽略對該程序或

活動的評估。但是，所有被忽略的程序或活動必須在 LCA 報告中進行記錄，累計被忽略的影響貢獻不得超過 5%。

第五節 數據品質評估

依據環境部溫室氣體排放量盤查作業指引，計算排放源之數據品質等級評分標準，如下表 4-6。排放源之數據誤差等級(A) = $A1 \times A2 \times A3$ ，如表 4-7，數據品質評估表如表 4-8，合計之欄位為 $A1 \times A2 \times A3$ ，所有類別數據之品質總評分標準如下表 4-9，屬第一級之數據品質的排放源有 6 個，屬第二級之數據品質的排放源有 15 個，以合計分數加總之平均分數為 10.04，表所有排放類別數據品質平均為第二級($10 \leq x \leq 18$)。

表 4-6 溫室氣體數據品質管理等級評分

等級評分 項目	1 分	2 分	3 分
活動數據種類等級(A1)	自動連續量測	定期採樣或財務會計、資訊系統之數據	自行估算
活動數據可信等級(A2)	有進行外部校正或有多組數據佐證者之數據	有進行內部校正或經過會計簽證等證明者之數據	未進行儀器校正或進行紀錄彙整者之數據
排放係數之數據等級(A3)	量測、質量平衡所得數據、或同製程/設備經驗數據	製造商提供數據或區域公告數據	國家排放係數或國際排放係數

表 4-7 溫室氣體數據品質管理評分區間判斷

數據誤差等級($A1 \times A2 \times A3$)	$x < 10$	$10 \leq x \leq 18$	$19 \leq x \leq 27$
評分區間範圍	1	2	3

表 4-8 數據品質評估表

子類別	排放源	活動數據種類等級 (A1)	活動數據可信等級 (A2)	排放係數之數據等級(A3)	合計	等級
1.2 移動式燃燒源之直接排放	公務車	2	1	2	4	第一級
1.4 來自逸散源之直接排放	貨車	2	2	1	4	第一級
1.4 來自逸散源之直接排放	化糞池	2	2	2	8	第一級
1.4 來自逸散源之直接排放	冷氣	2	2	3	12	第二級
1.4 來自逸散源之直接排放	CO ₂ 滅火器	2	2	3	12	第二級
1.4 來自逸散源之直接排放	飲水機	2	2	3	12	第二級
2.1 外購電力之間接排放	外購電力	1	1	3	3	第一級
3.1 上游運輸和貨物配送產生的排放	原料及包裝材料運送	2	2	3	12	第二級
3.3 員工通勤產生的排放	汽車	2	2	3	12	第二級
3.3 員工通勤產生的排放	機車	2	2	3	12	第二級
4.1 採購貨物產生之排放	銅線	2	2	3	12	第二級
4.1 採購貨物產生之排放	PVC外被	2	2	3	12	第二級
4.1 採購貨物產生之排放	水晶頭	2	2	3	12	第二級

4.1 採購貨物產生之排放	水晶頭保護套	2	2	3	12	第二級
4.1 採購貨物產生之排放	棉繩	2	2	3	12	第二級
4.1 採購貨物產生之排放	膠帶	2	2	3	12	第二級
4.1 採購貨物產生之排放	紙箱	2	2	3	12	第二級
4.1 外購自來水產生之排放	自來水	2	1	3	6	第二級
4.1 外購電力產生之間接排放	電力	2	1	3	6	第二級
4.1 外購汽油產生之排放	公務車汽油	2	2	3	12	第二級
4.3 製程產生之廢棄物處理產生之排放	廢棄物處理	2	2	3	12	第二級

表 4-9 數據品質評分總標準

等級	第一級($x < 10$)	第二級($10 \leq x \leq 18$)	第三級($19 \leq x \leq 27$)
個數	6	15	0
總平均分數	10.04	排放類別數據品質平均為第二級	

第六節 整體視圖

線束生產/製造流程之業務、應用，及技術與實體層面視圖如下圖 4-6。



圖 4-6 線束生產/製造流程之業務、應用、技術與實體層面視圖

網路線生產的業務流程，需透過 ERP 系統與 MES 等系統之資訊流，支援廠務人員進行生產，並串連包含裁線、剝皮、壓接、安裝保護套、檢測、包裝等技術與實體層面的具體生產活動。生產流程中，會用到的材料包含網路線(內含銅線、PVC 外被、棉繩)、水晶頭、水晶頭保護套、包裝材料等相關活動數據，可由 ERP 系統及 MES 系統取得產品投入量及包裝材投入量。應用層面可結合 ERP 系統的物料管理模組、人力資源模組、供應鏈管理模組、財務會計模組、庫存管理模組，及生產管理模組等，以蒐集到人員工時、員工人數、機器工時、材料資訊、產量、材料投入量、包裝投入量、固定資產資訊、水費、電費、油費、廢棄物處理等活動數據，並結合 MES 系統取得生產投入與包材投入等活動數據；技術與實體層面的實體設備，透過機上盒(smart box)等設施，傳遞機台的真實活動數據，並串接 ERP 系統之生產管理模組。廠務相關的需攤提的固定資產及實體設備活動數據，可由 ERP 系統之財務會計模組取得如飲水機、滅火器、發電機、印表機、照明設備、風扇、冷氣、公務車等相關活動數據。

第伍章 結論

第一節 研究發現及貢獻

隨著全球氣候變遷不斷加劇，各國政府和國際組織紛紛制定了碳中和目標及相關政策，對於高碳排放產業提出了重大的減排壓力和轉型挑戰。同時，第四次工業革命正在進行中，新興的工業 4.0 技術，例如物聯網、人工智慧和大數據，被視為實現節能減排、提高能源利用效率的重要手段。在這樣的背景下，製造業迫切需要優化產業結構，尋求低碳永續發展之道。

本研究以某線束材為例，利用 ArchiMate 企業架構建模語言，建立與碳足跡相關之業務流程、應用系統和技術與實體等全面視圖，清晰勾勒出企業的總體架構。說明了如何進行碳足跡資訊蒐集，涵蓋從原料取得、生產/製造、包裝等各個環節。透過建置企業架構，包括組織產生之溫室氣體排放、製程的能源消耗造成之排放、材料本身造成之排放、採購材料之運輸排放等，完整碳足跡蒐集需視公司是否有完備的投入產出資訊，以及能串接各活動數據之正確的碳排放係數，以利於後續開展碳足跡核算和制定減排措施。

企業引入工業 4.0 技術有助於提高生產效率、優化物流，減少浪費。ERP、MES 等系統的應用可以得知實際材料的投入量，使蒐集碳足跡相關活動數據變得更加精確、容易。

本研究的主要發現及貢獻如下：

1. 企業架構可有效展現網路線生產過程整體應有的業務流程(業務層面)，並展現支援的應用層 (資訊流，如 ERP、MES 等系統)之關聯，並串接時實際生產所需的生產設施(技術與實體層面，如撥皮機、裁線機等)。
2. 蒐集完整的碳足跡資訊需要公司具備完備的投入產出資料如 BOM 表，以及明確的製程地圖，方能準確地展開業務流程，進而串接各製程的活動數據，並獲得正確的排放係數。
3. 利用 ArchiMate 企業架構建模語言，可視覺化呈現碳足跡資訊蒐集系統在業務、應用和技術與實體層面的架構規劃。
4. 藉由與現有 ERP 系統及 MES 系統整合，有助於蒐集與碳足跡相關的組織、製程投入、產出等活動數據。
5. 本研究詳細列出了一公尺之網路線需要蒐集的活動數據類別、來源、排放係數獲取方式、計算公式等，並評估了數據品質。

第二節 研究建議

對於製造業者我提出下列建議:

1. 企業應建置完整的生產資訊系統(如 ERP、MES 等)，以有效蒐集碳足跡所需的活動數據，包括原物料投入、能資源耗用、廢棄物產出等。
2. 企業應整合不同層面的資訊系統和實體設施，協調業務流程、應用系統和技術基礎設施，利用企業架構(如 ArchiMate)等建模工具可視化呈現，以更好管理碳足跡資訊。

3. 企業需具備完備的產品製程投入產出資料，並取得正確的碳排放係數，才得以準確計算產品碳足跡，為後續制定減排措施奠定基礎。

對於政策我提出以下建議：

1. 鼓勵和支持企業導入數位化資訊系統，提高企業蒐集碳足跡數據的效率和準確性。
2. 建立統一的碳排放係數資料庫，提供企業可靠的排放係數參考。
3. 制定相關法規和激勵措施，推動企業進行碳足跡計算和資訊揭露義務，促進綠色低碳轉型。

第三節 研究限制

1. 個案研究的局限性:本研究僅以一線束材作為個案進行研究，不同行業和企業在業務模式、生產流程等存在差異，影響結論外推性。未來可選取更多製造企業作為研究對象。
2. 數據獲取的困難:由於涉及企業敏感資訊，如實際排放數據、投資金額、效益測算等，數據獲取存在障礙，影響結果準確性和完整性。需加強與企業溝通合作。
3. 跨領域研究的複雜性:研究涉及製造業、碳盤查、碳足跡、企業架構等多領域，難免在某些領域認知不足。需要跨領域專家合作。

第四節 未來研究方向

1. 選取其他製造業領域的典型企業開展案例研究，如電子業、汽車業、化工

業等，探索不同行業的最佳實踐和經驗。

2. 基於產業現狀和趨勢，研究製造業企業的低碳轉型路徑，明確短中長期轉型策略，為企業提供清晰的永續發展路線圖。
3. 從實務、政策、業者等不同角度，分析企業進行碳足跡核算和低碳轉型所面臨的機遇與挑戰，提出相應的建議和對策。

參考文獻

1. 行政院國家發展委員會. (2022). 臺灣 2050 淨零排放路徑及策略總說明.
https://ncsd.ndc.gov.tw/_ofu/download/about0/2050Path/%E8%87%BA%E7%81%A32050%E6%B7%A8%E9%9B%B6%E6%8E%92%E6%94%BE%E8%B7%AF%E5%BE%91%E5%8F%8A%E7%AD%96%E7%95%A5%E7%B8%BD%E8%AA%AA%E6%98%8E.pdf
2. 行政院環境保護署. (2022). 溫室氣體排放量盤查作業指引.
[https://ghgregistry.moenv.gov.tw/upload/Tools/%E6%BA%AB%E5%AE%A4%E6%B0%A3%E9%AB%94%E6%8E%92%E6%94%BE%E9%87%8F%E7%9B%A4%E6%9F%A5%E4%BD%9C%E6%A5%AD%E6%8C%87%E5%BC%95\(2022.05\)-final.pdf](https://ghgregistry.moenv.gov.tw/upload/Tools/%E6%BA%AB%E5%AE%A4%E6%B0%A3%E9%AB%94%E6%8E%92%E6%94%BE%E9%87%8F%E7%9B%A4%E6%9F%A5%E4%BD%9C%E6%A5%AD%E6%8C%87%E5%BC%95(2022.05)-final.pdf)
3. 金融監督管理委員會. (2022). 上市櫃公司永續發展路徑圖.
https://www.sfb.gov.tw/ch/home.jsp?id=95&parentpath=0,2&mcustomize=news_view.jsp&dataserno=202203030001&dtable=News
4. 金融監督管理委員會. (2023). 上市櫃公司永續發展行動方案.
<https://www.fsc.gov.tw/uploaddowndoc?file=news/202303290815110.pdf&filedisplay=%E4%B8%8A%E5%B8%82%E6%AB%83%E5%85%AC%E5%8F%B8%E6%B0%B8%E7%BA%8C%E7%99%BC%E5%B1%95%E8%A1%8C%E5%8B%95%E6%96%B9%E6%A1%88.pdf&flag=doc>
5. Abunadi, I. (2019). Enterprise architecture best practices in large corporations. *Information*, 10(10), 293. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/info10100293>
6. Aldea, A., Iacob, M.-E., Hillegersberg, J. v., Quartel, D., Bodenstaff, L., & Franken, H. (2015). *Modelling strategy with ArchiMate* Proceedings of the 30th Annual ACM Symposium on Applied Computing, Salamanca, Spain. <https://doi.org.search.lib.ntut.edu.tw/10.1145/2695664.2699489>
7. Antunes, G., Bakhshandeh, M., Mayer, R., Borbinha, J., & Caetano, A. (2014). Using Ontologies for Enterprise Architecture Integration and Analysis. *Complex Systems Informatics and Modeling Quarterly*, 1. <https://doi.org/10.7250/csimq.2014-1.01>
8. Atkinson, C., & Kühne, T. (2020). A Deep Perspective on the ArchiMate Modeling Language and Standard [Article]. *Enterprise Modelling & Information Systems Architectures*, 15(2), 1-25. <https://doi.org/10.18417/emisa.15.2>
9. Bastidas, V., Reyhach, I., Ofir, A., Bezbradica, M., & Helfert, M. (2022). Concepts for Modeling Smart Cities. *Business & Information Systems Engineering*, 64(3), 359-373. <https://doi.org/10.1007/s12599-021-00724-w>
10. Bitkom e.V., VDMA e.V., & e.V., Z. (2016). Implementation strategy Industrie 4.0: Report on the results of the Industrie 4.0 Platform.

[https://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Presse_und_Medien/Publikationen/2016/januar/Implementation_Strategy_Industrie_4.0 -
_Report_on_the_results_of_Industrie_4.0_Platform/Implementation-Strategy-Industrie-40-ENG.pdf](https://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Presse_und_Medien/Publikationen/2016/januar/Implementation_Strategy_Industrie_4.0_-_Report_on_the_results_of_Industrie_4.0_Platform/Implementation-Strategy-Industrie-40-ENG.pdf)

11. Boucharas, V., van Steenbergen, M., Jansen, S., & Brinkkemper, S. (2010). The Contribution of Enterprise Architecture to the Achievement of Organizational Goals: A Review of the Evidence. *Trends in Enterprise Architecture Research*, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-16819-2_1.
12. Chen, T., & Lin, Y.-C. (2017). Feasibility Evaluation and Optimization of a Smart Manufacturing System Based on 3D Printing: A Review. *International Journal of Intelligent Systems*, 32(4), 394-413. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/int.21866>
13. Dang, D. D., & Pekkola, S. (2016). Systematic Literature Review on Enterprise Architecture in the Public Sector. *Electronic Journal of e-Government*,. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:tti-201712142365>
14. De Giovanni, P., & Cariola, A. (2021). Process innovation through industry 4.0 technologies, lean practices and green supply chains. *Research in Transportation Economics*, 90, 100869. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.retrec.2020.100869>
15. Ferreira, J. J., Lopes, J. M., Gomes, S., & Rammal, H. G. (2023). Industry 4.0 implementation: Environmental and social sustainability in manufacturing multinational enterprises. *Journal of Cleaner Production*, 136841. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136841>
16. Francesco, F., & Pietro, B. (2016). Carbon Footprint as a Tool to Limit Greenhouse Gas Emissions. In M. Bernardo Llamas & P. Juan (Eds.), *Greenhouse Gases* (pp. Ch. 13). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/62281>
17. Fritzsche, K., Niehoff, S., & Beier, G. (2018). Industry 4.0 and Climate Change—Exploring the Science-Policy Gap. *Sustainability*, 10(12). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su10124511>
18. Hassoun, A., Prieto, M. A., Carpena, M., Bouzemrak, Y., Marvin, H. J. P., Pallarés, N., Barba, F. J., Punia Bangar, S., Chaudhary, V., Ibrahim, S., & Bono, G. (2022). Exploring the role of green and Industry 4.0 technologies in achieving sustainable development goals in food sectors. *Food Research International*, 162, 112068. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.112068>
19. Henning, K. (2013). *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0*. <https://www.din.de/resource/blob/76902/e8cac883f42bf28536e7e8165993f1fd/recommendations-for-implementing-industry-4-0-data.pdf>

20. Hinkelmann, K., & Pasquini, A. (2014, 2-3 Aug. 2014). Supporting Business and IT Alignment by Modeling Business and IT Strategy and Its Relations to Enterprise Architecture. 2014 Enterprise Systems Conference, <https://doi.org/10.1109/ES.2014.65>.
21. Hoogervorst, J. (2004). Enterprise Architecture: Enabling Integration, Agility And Change. *Int. J. Cooperative Inf. Syst.*, 13, 213-233. <https://doi.org/10.1142/S021884300400095X>
22. Iacob, M., Jonkers, H. M., Lankhorst, M. M., & Proper, H. A. (2009). ArchiMate 1.0 Specification.
23. Iacob, M. E., Quartel, D., & Jonkers, H. (2012, 10-14 Sept. 2012). Capturing Business Strategy and Value in Enterprise Architecture to Support Portfolio Valuation. 2012 IEEE 16th International Enterprise Distributed Object Computing Conference, <https://doi.org/10.1109/EDOC.2012.12>.
24. IEA. (2021). *Net Zero by 2050*. <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>
25. ISO. (2006a). ISO 14040: Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework. In. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization.
26. ISO. (2006b). ISO 14044: Environmental Management - Life Cycle Assessment - Requirements and Guidelines. In. Geneva, Switzerland,: International Organization for Standardization.
27. ISO. (2018a). ISO 14064-1:2018 Greenhouse gases — Part 1: Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals. <https://www.iso.org/standard/66453.html>
28. ISO. (2018b). ISO 14067:2018 Greenhouse gases — Carbon footprint of products — Requirements and guidelines for quantification. <https://www.iso.org/standard/71206.html>
29. Jayashree, S., Hassan Reza, M. N., Malarvizhi, C. A. N., Maheswari, H., Hosseini, Z., & Kasim, A. (2021). The Impact of Technological Innovation on Industry 4.0 Implementation and Sustainability: An Empirical Study on Malaysian Small and Medium Sized Enterprises. *Sustainability*, 13(18). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su131810115>
30. Jian, C. Y. (2013, 16-17 Jan. 2013). The Role of Green Manufacturing in Reducing Carbon Dioxide Emissions. 2013 Fifth International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation, <https://doi.org/10.1109/ICMTMA.2013.300>.
31. Josey, A. (2018). The TOGAF Standard Version 9.2. <https://pubs.opengroup.org/architecture/togaf92-doc/arch/>
32. Josey, A., Lankhorst, M., Band, I., Jonkers, H., & Quartel, D. (2016). An

- introduction to the ArchiMate 3.0 Specification.
33. Kitsios, F., & Kamariotou, M. (2019). Business strategy modelling based on enterprise architecture: a state of the art review. *Business Process Management Journal*, 25(4), 606-624. <https://doi.org/10.1108/BPMJ-05-2017-0122>
 34. Lankhorst, M. (2009). *Enterprise Architecture at Work: Modelling, Communication and Analysis*. Springer Berlin Heidelberg. <https://books.google.com.tw/books?id=HYABYKlCeYgC>
 35. Lankhorst, M., Iacob, M.-E., Jonkers, H., van der Torre, L., Proper, H., Arbab, F., Boer, F. S., Bonsangue, M., Hoppenbrouwers, S., Veldhuijzen van Zanten, G., Groenewegen, L., Buuren, R., Slagter, R. J., Campschroer, J., Steen, M., Stam, A. W., Wieringa, R., Eck, P. A. T., Krukkert, D., & Janssen, W. (2005). *Enterprise architecture at work: Modelling, communication, and analysis*. <https://doi.org/10.1007/3-540-27505-3>
 36. Lu, Y. (2017). Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of Industrial Information Integration*, 6, 1-10. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jii.2017.04.005>
 37. Ma, S., Ding, W., Liu, Y., Ren, S., & Yang, H. (2022). Digital twin and big data-driven sustainable smart manufacturing based on information management systems for energy-intensive industries. *Applied Energy*, 326, 119986. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.119986>
 38. Mishra, R., Singh, R. K., & Gunasekaran, A. (2023). Adoption of industry 4.0 technologies for decarbonisation in the steel industry: self-assessment framework with case illustration. *Annals of Operations Research*. <https://doi.org/10.1007/s10479-023-05440-0>
 39. Miśkiewicz, R., & Wolniak, R. (2020). Practical Application of the Industry 4.0 Concept in a Steel Company. *Sustainability*, 12(14). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su12145776>
 40. Ogiemwonyi, O., Alam, M. N., Hago, I. E., Azizan, N. A., Hashim, F., & Hossain, M. S. (2023). Green innovation behaviour: Impact of industry 4.0 and open innovation. *Heliyon*, 9(6). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16524>
 41. Pörtner, H. O., Roberts, D. C., Adams, H., Adler, C., Aldunce, P., Ali, E., Begum, R. A., Betts, R., Kerr, R. B., & Biesbroek, R. (2022). Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability. <http://doi.org/10.1017/9781009325844>.
 42. Qiao, A., Choi, S., Wang, X. J., & Zhao, Y. C. (2017). Stochastic Lot-Sizing under Carbon Emission Control for Profit Optimisation in MTO Manufacturing. *MATEC Web of Conferences*, 95, 18003. <https://doi.org/10.1051/mateconf/20179518003>
 43. Rahim, R., Abdul Raman, A. A., Raja Ehsan Shah, R. S. S., & Chiong, K.

- (2020). A methodology for identifying cleaner production options to reduce carbon emission in the manufacturing industry. *Research Communication in Engineering Science & Technology*, 4, 24-37.
<https://doi.org/10.22597/rcest.v4.81>
44. Šaša, A., & Krisper, M. (2011). Enterprise architecture patterns for business process support analysis. *Journal of Systems and Software*, 84(9), 1480-1506.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jss.2011.02.043>
 45. Satyro, W. C., de Almeida, C. M. V. B., Pinto Jr, M. J. A., Contador, J. C., Giannetti, B. F., de Lima, A. F., & Fragomeni, M. A. (2022). Industry 4.0 implementation: The relevance of sustainability and the potential social impact in a developing country. *Journal of Cleaner Production*, 337, 130456.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130456>
 46. Shevchenko, N., Moiseienko, K., & Latysheva, O. (2022). Project Implementation of Corporate Information Systems (ERP and MES) as a Guarantee for Increasing the Operational Efficiency of the Enterprise. *Economic Herald of the Donbas*, 87-92. [https://doi.org/10.12958/1817-3772-2022-4\(70\)-87-92](https://doi.org/10.12958/1817-3772-2022-4(70)-87-92)
 47. Stavropoulos, P., Panagiotopoulou, V.-C., Papacharalampopoulos, A., Aivaliotis, P., Kaliakatsos Georgopoulos, D., & Smyrniotakis, K. (2022). A Framework for CO2 Emission Reduction in Manufacturing Industries: A Steel Industry Case. *Designs*, 6, 22. <https://doi.org/10.3390/designs6020022>
 48. Tamm, T., Seddon, P. B., & Shanks, G. (2022). How enterprise architecture leads to organizational benefits. *International Journal of Information Management*, 67, 102554. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2022.102554>
 49. Tamm, T., Seddon, P. B., Shanks, G., & Reynolds, P. (2011). How Does Enterprise Architecture Add Value to Organisations? *Communications of the Association for Information Systems*, 28, 10.
<https://doi.org/https://doi.org/10.17705/1CAIS.02810>
 50. The Open Group. (2018). The TOGAF Standard Version 9.2.
<https://pubs.opengroup.org/architecture/togaf92-doc/arch/>
 51. Toppenberg, G., Shanks, G., & Henningsson, S. (2015). How cisco systems used enterprise architecture capability to sustain acquisition-based growth. *14*, 151-168. <http://misqe.org/ojs2/index.php/misqe/article/view/666/406>
 52. Tripathi V, C. S., Mukhopadhyay AK, Sharma S, Li C, Singh S, Saleem W, Salah B, Mohamed A. (2022). Recent Progression Developments on Process Optimization Approach for Inherent Issues in Production Shop Floor Management for Industry 4.0. *Processes*, 10(8).
<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/pr10081587>

53. Tsai, W.-H. (2023). Balancing Profit and Environmental Sustainability with Carbon Emissions Management and Industry 4.0 Technologies [Article]. *Energies (19961073)*, 16(17), 6175. <https://doi.org/10.3390/en16176175>
54. Tseng, M.-L., Tan, R. R., Chiu, A. S. F., Chien, C.-F., & Kuo, T. C. (2018). Circular economy meets industry 4.0: Can big data drive industrial symbiosis? *Resources, Conservation and Recycling*, 131, 146-147. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.12.028>
55. Wang, B., Deng, N., Liu, X., Sun, Q., & Wang, Z. (2021). Effect of energy efficiency labels on household appliance choice in China: Sustainable consumption or irrational intertemporal choice? *Resources, Conservation and Recycling*, 169, 105458. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105458>
56. Wang, S., Wan, J., Li, D., & Zhang, C. (2016). Implementing Smart Factory of Industrie 4.0: An Outlook. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 12(1), 3159805. <https://doi.org/10.1155/2016/3159805>
57. Xu, L. D. (2011). Enterprise Systems: State-of-the-Art and Future Trends. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 7(4), 630-640. <https://doi.org/10.1109/TII.2011.2167156>
58. Yin, R. K. (1994). *Case study research: Design and methods* (Vol. 5). sage. https://books.google.com.tw/books?hl=zh-TW&lr=&id=FzawIAdilHkC&oi=fnd&pg=PR1&dq=Case+study+research:+Design+and+methods+&ots=l-W6gmV1s&sig=t6Dr8TT2_ntEAgdQ69pZYpZlJYg&redir_esc=y#v=onepage&q=Case%20study%20research%3A%20Design%20and%20methods&f=false
59. Yu, W., Gu, Y., & Dai, J. (2023). Industry 4.0-Enabled Environment, Social, and Governance Reporting: A Case from a Chinese Energy Company. *Journal of Emerging Technologies in Accounting*, 20(1), 245-258. <https://doi.org/10.2308/JETA-2022-014>
60. Zachman, J. A. (1987). A Framework for Information Systems Architecture. *IBM Systems Journal* 26, 276-292. *IBM Systems Journal*, 38, 276-292. <https://doi.org/10.1147/sj.263.0276>
61. Zhang, Y.-J., Peng, Y.-L., Ma, C.-Q., & Shen, B. (2017). Can environmental innovation facilitate carbon emissions reduction? Evidence from China. *Energy Policy*, 100, 18-28. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.10.005>
62. Zhou, Z., Zhi, Q., Morisaki, S., & Yamamoto, S. (2020). A Systematic Literature Review on Enterprise Architecture Visualization Methodologies. *IEEE Access*, 8, 96404-96427. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2995850>
63. Zizic, M. C., Mladineo, M., Gjeldum, N., & Celent, L. (2022). From Industry 4.0

towards Industry 5.0: A Review and Analysis of Paradigm Shift for the People, Organization and Technology. *Energies*, 15(14).

<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/en15145221>

附錄一 研究生學位論文原創性比對檢核表

20221102

國立臺北護理健康大學研究生學位論文原創性比對檢核表

研究生姓名	朱家佑	學號	112216013
就讀系所	資訊管理所	考試日期	113/6/17
論文中文題目	以ArchiMate建置碳足跡之資訊系統架構:某線東材為例		
論文英文題目	Modeling carbon footprint system's enterprise architecture with ArchiMate: A case study for one of Wiring Harness's products		
論文比對結果			
提交日期	2024-06-19 22:02:29	提交物件代碼	EECB8A956F51D0E99BB2A183BA108FDA
<p>1. 經使用本校原創性論文比對系統檢核論文內容，比對結果之相似度指標為 <u>8.32</u> % (請填寫百分比)，並經指導(共同)教授檢視原創性比對報告內容確認沒有抄襲。檢附原創性比對報告書第一頁及最後一頁比對結果。</p> <p>2. 比對結果相似度雖高於百分之三十，但經指導(共同)教授確認沒有抄襲，相似度高於百分之三十之主要原因：_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p>			
研究生簽名：朱家佑		日期：113年6月20日	
指導教授簽名：林東延		日期：113年6月20日	
共同指導教授簽名：		日期： 年 月 日	

備註：若使用快刀中文相似度比對系統，僅需附上第一頁比對結果即可。

附錄二 快刀中文相似度比對報告書

