

系統動力學視角下的清潔劑產業減碳策略研究

指導教授：陳育慈教授 組員：林激昭、陳人豪、謝均侑

研究動機與目的

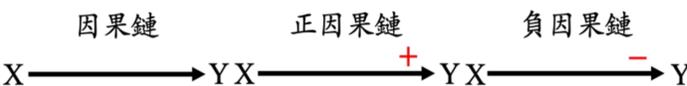
IPCC於2023年發布的報告書(IPCC AR6 Synthesis Report)指出，全球平均溫度在2011至2020年間上升1.1°C，強調須將升溫控制在1.5°C內以減少極端氣候風險。隨著氣候變遷與環保意識提升，減碳成為產業挑戰。清潔劑產業雖滿足日常衛生需求，但仍存在許多淺在碳排放因素。本研究以系統動力學為基礎，為清潔劑產業提供一套減碳決策輔助模型，作為制定減碳方案的科學工具，並滿足全球環保趨勢及企業的長期經濟需求。

研究範圍與限制

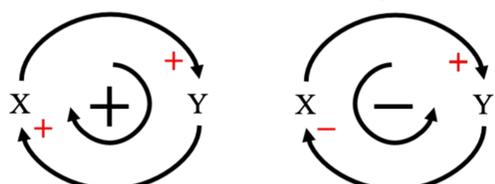
- 本研究範疇僅針對清潔劑產業進行探討。
- 以某H公司之工廠狀況為實例並提供方案評估。
- 由於地區經濟、技術成熟度及政策補助等因素影響，建置成本數據難以量化，本研將究聚焦於減碳效益及運營成本分析，未納入前期建置成本。
- 使用Silico模擬工具，依賴於原始資料的輸入，因此資料完整性可能會影響模擬結果。

研究方法

- 系統動力學透過建立模型和模擬來分析系統中各變數間的因果關係，找出關鍵因素與回饋機制，並調整策略方向。
- 因果關係以箭頭圖表示，正因果鏈用正號表示變數正向關聯；負因果鏈用負號表示負向關聯。



- 多條因果鏈形成一個封閉的環路→構成一個回饋環路 (增強、調節饋環路)



系統動力學

- Stock(存量): 存量會隨時間累積或減少，代表系統在特定時刻的狀態
- Flow(流量): 流量可以是流入 (增加存量) 或流出 (減少存量)
- 以存款為例:



碳足跡

碳足跡 = 活動數據 × 排放係數

H公司現況		
使用量	塑料	能源
	1.5 噸/年	116,440 度/年
		一週工作五天；一年工作47週；運送距離55公里

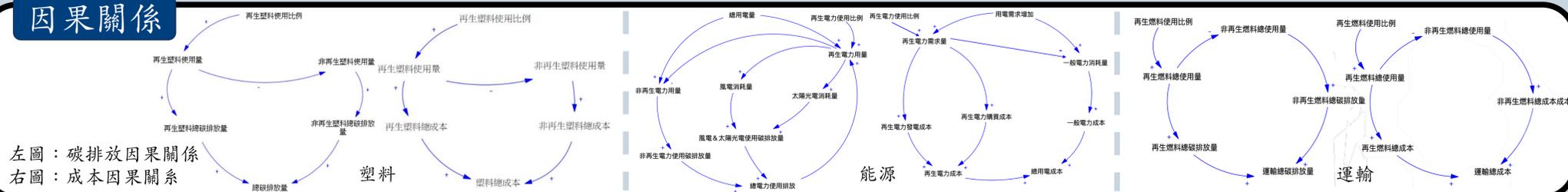
資料搜集

不同塑料碳足跡及成本		
材料	碳足跡 (tCO ₂ e)	成本 (新台幣/噸)
PET	0.00274	\$31,891.23
R-PET	0.00274*(1-67%)	\$37,913.54
HDPE	0.00221	\$40,630.73
R-HDPE	0.00221*(1-71%)	\$46,637.15
PP	0.00195	\$33,941.04
R-PP	0.00195*(1-71%)	\$41,472.9

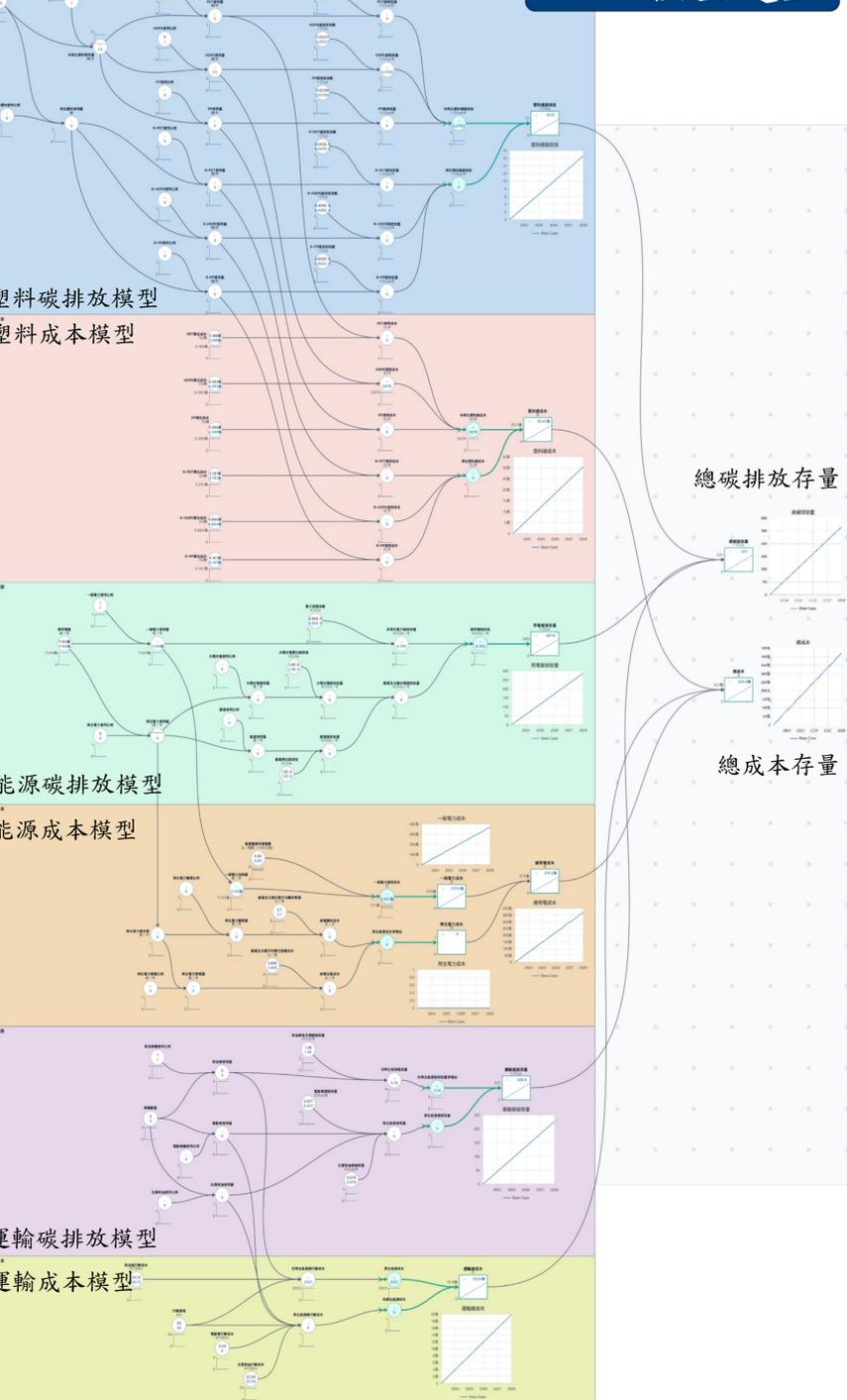
一般&再生電力碳足跡及成本			
名稱	碳足跡 (tCO ₂ e)	電費(每月>3000度)	
台灣電力排碳係數	0.000494	非夏季營業用電電費:5.83(元/度) 夏季營業用電電費:7.43(元/度)	
發電種類	碳足跡(tCO ₂ e / kWh)	發電成本 (元/度)	轉供成本 (元/度)
風力發電	0.000012	3.935	5.7
太陽光電	0.000028		

各燃料&運具碳足跡及成本		
燃料	碳足跡(tCO ₂ e/年)	成本\$(台幣/公里)
柴油	15.11	20.13
電動車	0.089	3.54
CNG	30.65	20.53
生質柴油	6.957	22.03

因果關係

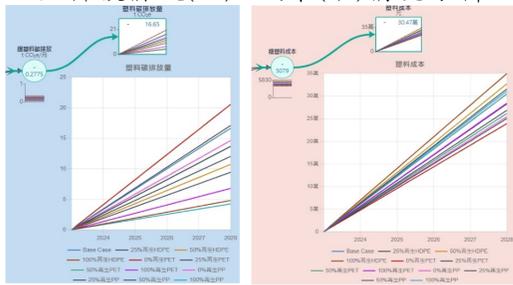


Silico模型建置



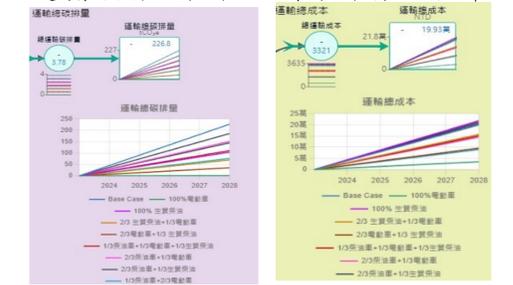
情境模擬&分析

• 塑料碳排放(左)&成本(右)情境分析



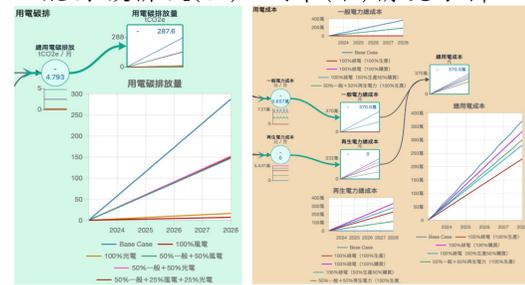
再生材料	情境	碳排放 (噸)	成本(萬元)	碳排放 增減百分比	成本 增減百分比
HDPE	Base: 0%再生 HDPE	16.65	\$30.47	-	-
	情境一: 25%再生 HDPE	13.69	\$31.6	-17.77%	+3.71%
	情境二: 50%再生 HDPE	10.73	\$32.73	-35.49%	+7.42%
	情境三: 100%再生 HDPE	4.807	\$34.98	-71.13%	+14.81%
	情境四: 0%再生 PET	20.55	\$23.92	+23.39%	-21.48%
PET	情境五: 25%再生 PET	17.11	\$25.05	+2.76%	-17.79%
	情境六: 50%再生 PET	13.67	\$26.18	-17.91%	-14.09%
	情境七: 100%再生 PET	6.782	\$28.44	-59.25%	-6.67%
	情境八: 0%再生 PP	14.63	\$25.46	-12.13%	-16.43%
	情境九: 25%再生 PP	12.03	\$26.87	-27.74%	-11.83%
	情境十: 50%再生 PP	9.433	\$28.28	-43.37%	-7.91%
	情境十一: 100%再生 PP	4.241	\$31.1	-74.52%	+2.07%

• 運輸碳排放(左)&成本(右)情境分析



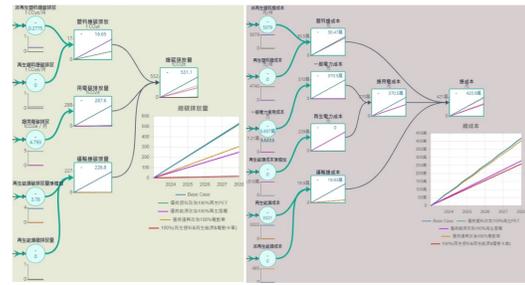
情境	碳排放 (噸)	成本(萬元)	碳排放 增減百分比	成本 增減百分比
Base:100%柴油	226.8	\$19.93	-	-
情境一:100%電動車	1.26	\$3.505	-99.44%	-81.86%
情境二:100%生質柴油	104.2	\$21.81	-54.05%	+9.05%
情境三:2/3生質柴油+1/3電動車	69.9	\$15.71	-69.17%	-18.72%
情境四:2/3電動車+1/3生質柴油	35.58	\$9.606	-84.31%	-50.3%
情境五:1/3生質柴油+1/3電動車+1/3生質柴油	110.8	\$15.08	-51.14%	-21.98%
情境六:2/3生質柴油+1/3電動車	151.6	\$14.45	-33.15%	-27.31%
情境七:2/3柴油車+1/3生質柴油	185.9	\$20.56	-18.03%	+6.82%
情境八:1/3柴油車+2/3電動車	76.44	\$8.979	-66.29%	-53.54%
情境九:1/3柴油車+2/3生質柴油	145.1	\$21.18	-36.02%	+9.05%

• 能源碳排放(左)&成本(右)情境分析



組合情境名稱	碳排放(噸/月)	成本(元/月)	碳排放 增減百分比	成本 增減百分比
100%風電 (100%生產)	0.1164	\$38,182	-97.57%	非夏季: -32.51% 夏季: -47.05%
100%風電 (100%購買)	0.1164	\$55,309	-97.57%	非夏季: -2.23% 夏季: -23.28%
100%風電 (50%生產 50%購買)	0.1164	\$46,745	-97.57%	非夏季: -17.37% 夏季: -36.16%
100%光電 (100%生產)	0.2717	\$38,182	-94.33	非夏季: -32.51% 夏季: -47.05%
100%光電 (100%購買)	0.2717	\$55,309	-94.33	非夏季: -17.37% 夏季: -23.28%
100%光電 (50%生產 50%購買)	0.2717	\$46,745	-94.33	非夏季: -16.25% 夏季: -36.16%
50%一般+50%風電 (100%綠電生產)	2.455	非夏季: \$47,376 夏季: \$55,499	-48.78%	非夏季: -16.25% 夏季: -23.28%
50%一般+50%光電 (100%綠電生產)	2.553	非夏季: \$47,376 夏季: \$55,499	-53.27%	非夏季: -16.25% 夏季: -23.28%
50%一般+25%風電+25%光電 (100%綠電生產)	2.494	非夏季: \$47,376 夏季: \$55,499	-47.97%	非夏季: -16.25% 夏季: -23.28%

• 綜合情境碳排放(左)&成本(右)分析



情境	碳排放(噸)	成本(萬元)	碳排放 增減百分比	成本 增減百分比
Base	531.1	420.9	-	-
僅用包裝方案	521.2	418.8	-1.92%	-18.57%
僅用能源方案	250.4	279.5	-54.49%	-52.85%
僅用運輸方案	305.5	403.9	-42.47%	-21.48%
三種方案皆用	15.03	260.5	-97.17%	-49.3%

結論與未來建議

• 系統動力學與減碳策略

研究結果顯示：在部分假設成立下，減碳策略具經濟可行性；再生能源、再生包裝及電動車輛應用於減碳之效果明顯。策略可助力清潔劑產業實現減碳，提升永續競爭力；系統動力學模型揭示多因素間交互影響及反饋循環，可為決策提供更全面支持。

• 未來發展與建議

拓展多樣化市場策略模擬與其他消費性產品，並支持不同產業的綠色轉型與成本優化；**情境分析**中，考量設置成本，模擬完全補助、部分補助及無補助情境，以驗證策略的經濟效益與可行性；**數據優化與更新**方面，透過收集更精確的歷史數據（如成本波動、能源結構、配送狀況等）並定期更新模型，提升準確性，適應技術進步與市場需求變化。