行 政 院 環 境 保 護 署
毒 物 及 化 學 物 質 局

應用綠色化學原則研議化學物質安全替代篩選系統及教育宣導計畫

期末報告

（定稿）

受 託 單 位： 國立臺灣大學

執 行 期 間： **109** 年 **06** 月 **01** 日至 **109** 年 **12** 月 **20** 日

行政院環境保護署毒物及化學物質局

中華民國 **109** 年 **12** 月

行 政 院 環 境 保 護 署
毒 物 及 化 學 物 質 局

應用綠色化學原則研議化學物質安全替代篩選系統及教育宣導計畫

期末報告

（定稿）

計畫執行單位： 國立臺灣大學環境工程學研究所

計畫執行期間： **109** 年 **06** 月 **01** 日至 **109** 年 **12** 月 **20** 日

計 畫 經 費 ： **920** 千元

計畫主持人： 蔣本基 特聘教授（國立臺灣大學環工所）

協同主持人： 王根樹 教授（國立臺灣大學公共衛生學系）

中 華 民 國 一〇九 年 十二 月

「綠色化學應用於毒性化學物質源頭管理及溝通」
期末報告基本資料表

<table>
<tr><td>委辦單位</td><td colspan="3">行政院環境保護署毒物及化學物質局</td></tr>
<tr><td>執行單位</td><td colspan="3">國立臺灣大學環境工程學研究所</td></tr>
<tr><td>參與計畫人員姓名</td><td colspan="3">蔣本基、王根樹
陳則綸、曾渤之</td></tr>
<tr><td>年　　度</td><td>109</td><td>計畫編號</td><td>109D014</td></tr>
<tr><td>研究性質</td><td colspan="3">□基礎研究　　■應用研究　　□技術發展</td></tr>
<tr><td>研究領域</td><td colspan="3">環境保護</td></tr>
<tr><td>計畫屬性</td><td colspan="3">□科技類　　■非科技類</td></tr>
<tr><td>全程期間</td><td colspan="3">109 年 06 月～109 年 12 月</td></tr>
<tr><td>本期期間</td><td colspan="3">109 年 06 月～109 年 12 月</td></tr>
<tr><td rowspan="6">本期經費</td><td colspan="3">零 億 920 千元</td></tr>
<tr><td>資本支出</td><td colspan="2">經常支出</td></tr>
<tr><td>土地建築___千元</td><td colspan="2">人事費 296.940 千元</td></tr>
<tr><td>儀器設備___千元</td><td colspan="2">業務費 483.224 千元</td></tr>
<tr><td>其　　他___千元</td><td colspan="2">差旅費 56.200 千元</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="2">管理費 83.636 千元</td></tr>
<tr><td colspan="4">摘要關鍵詞（中英文各三則）
綠色化學原則、安全替代篩選、教育宣導</td></tr>
<tr><td colspan="4">Green Chemistry Principles, Screening of Safer Alternatives, Education</td></tr>
</table>

行政院環境保護署毒物及化學物質局計畫成果中英文摘要（簡要版）

一、中文計畫名稱：

應用綠色化學原則研議化學物質安全替代篩選系統及教育宣導計畫

二、英文計畫名稱：

Implementation of Green Chemistry Principles for Developing Screeing System of Safer Chemicls Alternatives and Education

三、計畫編號：

109D014

四、執行單位：

國立臺灣大學環境工程學研究所

五、計畫主持人（包括共同主持人）:

蔣本基、王根樹

六、執行開始時間：

109/06/01

七、執行結束時間：

109/12/20

八、報告完成日期：

109/11/05

九、報告總頁數：

192 (含附錄)

十、使用語文：

中文，英文

十一、報告電子檔名稱：

期末報告.DOC

十二、報告電子檔格式：

MS WORD 2016

十三、中文摘要關鍵詞：

綠色化學原則、安全替代篩選、教育宣導

十四、英文摘要關鍵詞：

Green Chemistry Principles, Screening of Safer Alternatives, Education

十五、中文摘要（約三百至五百字）

本計畫延續前期成果，蒐研國外綠色化學指標與其推廣應用策略或可行作法，鏈結綠色化學獎項納入環保標章評量系統的與毒化物管理相關資訊，驗證化學物質安全替代評估流程之適用性，並研議可替代化學物質之清單與方案，最後建立示範教材與辦理相關教育宣導，促進國內產業投入綠色化學教育與毒化物管理的量能。目前初步成果為，完成國際常見綠色化學評估方法與指標（如綠色篩選指標與綠色化學原則指標等）之蒐研，並提供國內外相關案例分析。本計畫研析符合綠色化學指標與紐西蘭官方環保標章，提出適合我國化學品之環保標章策略與作法。同時，針對前期研究所提之我國化學物質替代評估流程，整合 PAS 原則與綠色化學指標，針對三項國際毒性化學物質替代品案例（包含：1-氨基苯並三唑、二氯甲烷以及壬基酚聚氧乙烯醚 (Nonylphenol Ethoxylates, NPEs) 進行驗證與分析，提出修正版評估流程，可供化學局未來評估安全替代化學品之參考。於民國 109 年 9 月 1 日、10 月 23 日以及 11 月 06 日分別於臺灣大學、逢甲大學與高雄科技大學，共計辦理 3 場次教育宣

導會議，邀請國內產學單位，以強化國內綠色化學教育以及毒性化學物質減量之理念。

十六、英文摘要：

In this project, the green chemistry indicators and their promotion and application strategies towards the practices was investigated. The opportunity of green chemistry principles related to toxicant management in the environmental label assessment system was studied. To verify the process of chemical substance safety alternative assessment applicability, the list and plan of alternative chemical substances was discussed. Finally, the model textbooks and relevant education announcements were conducted. The preliminary results including the completion of the international common green chemistry evaluation methods and indicators (such as GreenScreen indicators and green chemistry principle indicators), and relevant case studies were analyzed. In addition, three educating conferences for industrial and academic sectors were hold on Sep. 1, Oct. 23 and Nov. 06, 2020 to propagate the concept of green chemistry education and toxic substance reduction.

行政院環境保護署毒物及化學物質局委託研究及專案工作計畫成果報告摘要（詳細版）

計畫名稱:應用綠色化學原則研議化學物質安全替代篩選系統及教育宣導計畫
計畫編號：109D014
計畫執行單位：國立臺灣大學
計畫主持人(包括協同主持人)：蔣本基、王根樹
計畫期程： 109 年 6 月 01 日至 109 年 12 月 20 日止
計畫經費：920 千元

摘要(中英文各 300～500 字)（16 點楷書書）

本計畫延續前期成果，蒐研國外綠色化學指標與其推廣應用策略或可行作法，鏈結綠色化學獎項納入環保標章評量系統的與毒化物管理相關資訊，驗證化學物質安全替代評估流程之適用性，並研議可替代化學物質之清單與方案，最後建立示範教材與辦理相關教育宣導，促進國內產業投入綠色化學教育與毒化物管理的量能。目前初步成果為，完成國際常見綠色化學評估方法與指標（如綠色篩選指標與綠色化學原則指標等）之蒐研，並提供國內外相關案例分析。本計畫研析符合綠色化學指標與紐西蘭官方環保標章，提出適合我國化學品之環保標章策略與作法。同時，針對前期研究所提之我國化學物質替代評估流程，整合 PAS 原則與綠色化學指標，針對三項國際毒性化學物質替代品案例（包含：1-氨基苯並三唑、二氯甲烷以及壬基酚聚氧乙烯醚(Nonylphenol Ethoxylates, NPEs) 進行驗證與分析，提出修正版評估流程，可供化學局未來評估安全替代化學品之參考。於民國 109 年 9 月 1 日、10 月 23 日以及 11 月 06 日分別於臺灣大學、逢甲大學與高雄科技大學，共計辦理 3 場次教育宣導會議，邀請國內產學單位，以強化國內綠色化學教育以及毒性化學物質減量之理念。

In this project, the green chemistry indicators and their promotion and application strategies towards the practices was investigated. The opportunity of green chemistry principles related to toxicant management

in the environmental label assessment system was studied. To verify the process of chemical substance safety alternative assessment applicability, the list and plan of alternative chemical substances was discussed. Finally, the model textbooks and relevant education announcements were conducted. The preliminary results including the completion of the international common green chemistry evaluation methods and indicators (such as GreenScreen indicators and green chemistry principle indicators), and relevant case studies were analyzed. In addition, three educating conferences for industrial and academic sectors were hold on Sep. 1, Oct. 23 and Nov. 06, 2020 to propagate the concept of green chemistry education and toxic substance reduction.

前　言

「聯合國永續發展目標：更好的商業、更好的世界」報告中提到推動產業永續發展將會遇到行政，法規，技術，財務和公眾方面五大障礙，為了實踐永續發展目標的過程，必須發展綠色化學科技，推廣潛在商業市場是商業實踐永續發展目標的關鍵策略，其中綠色化學品中的合成技術與毒性化學物質的安全替代也作為其中推廣的項目，也具有潛在的商機。

綠色化學旨在於生命週期中減少或消除有害物質的使用與生成的化學產品，包含設計，製造與使用壽命。基於常規化學和工程基礎上，發展永續化學產品與技術，以符合 12 項基本原則。遵守這些原則可以防止污染和浪費，從而以更低的危險性與更有效的方式合成化學品，促進可再生原料的使用，並發展更安全的化學品的設計；毒性化學物質安全替代旨於強化毒化物的管理，並試圖透過綠色化學原則與國外先進國家管理經驗，降低毒化物使用並尋找相關安全替代品。

有鑑於此，本計畫延續前期研究成果持續精進，蒐研國外綠色化學指標與其推廣應用策略或可行作法，鏈結綠色化學獎項納入環保標章評量系統的與毒化物管理相關資訊，驗證化學物質安全替代評估流程之適用性，並研議可替代化學物質之清單與方案，最後建立示範教材與辦理相關教育宣導，促進國內產業投入綠色化學教育與毒化物管理的量能。

執行方法

本計畫透過國內外資訊蒐研，並延續前期研究的成果，辦理相關教育宣導會議，期落實我國毒性化學物質管理的能力建構，相關工作項目包含：(1) 研訂綠色化學指標，建立指標推廣應用策略可行作法；(2) 驗證我國化學物質替代評估流程之適用性，研議我國化學物質安全替代快速篩選作法及提出建議替代案例；以及 (3) 建立依替代評估流程篩選之安全替代案例示範教材，辦理產業化學物質安全替代教育宣導。

結　果

透過彙整目前國際常見綠色化學相關評估方法與指標，目前主流以綠色篩選指標 (GreenScreen)進行化學品的安全替代評估，透過清潔生產行動發展綠色篩選建立更安全的化學品公開，以及可用且透明的化學危害篩選方法，將幫助我們的社會快速有效地使用更環保和更安全的化學品。此外，，從產品生命週期的角度，綠色化學原則強調的是降低環境衝擊同時提升經濟效益，此概念可用於選擇綠色化學品和反應，綠色化學原則評估指標是依據綠色化學原則所涉及之多種評估指標，從分別為環境衝擊與經濟效益兩類，此兩類都是基於質量守恆進行量測與計算，未來預計可廣泛運用於業界。

本計畫蒐研應用綠色化學原則指標評分以及安全替代之案例，Millipore Sigma 工業化學家提出綠色化學準則 (Green Chemistry Metrics, GCM) ，其設計用途包括：（1）允許在相同用途的替代化學品之間進行直接比較，以及在相同化學品的替代合成生產過程之間進行直接比較；（2）允許與 12 條原則中的每條原則以及三個主要管理類別進行透明的比較：資源效率，人類健康和環境危害以及能源使用；（3）提供足夠的靈活性以適用於多樣化的產品組合；（4）通過利用現成的數據來減少評估成本；（5）根據公認的行業慣例；（6）容易將方法和結果揭露於客戶。考慮到這些指導要素，Kreuder 等人研究並設計了一種最佳方法，以 12 項原則中的每項對化學產品和製程進行評估和評分，最後根據根據總體量化排名，決定是否優先選擇該化學藥品。

本研究蒐研紐西蘭 ECNZ 化學品標章制度，參考國際現況及我國

環保標章審核標準，並考量我國化學產業現況，依環保署第二類環保標章規格之要求，除提供第二類環保標章申請所需之文件資料外，研擬申請化學品標章應提供相關佐證資料，並參考 PAS 原則與 GCM 評估方法，作為綠色化學環保標章之審核原則。

本計畫將針對前期研究所提之我國化學物質替代評估流程，整合三項國際毒性化學物質替代品案例（包含：1-氨基苯並三唑、二氯甲烷以及壬基酚聚氧乙烯醚 (Nonylphenol Ethoxylates, NPEs) ）進行驗證與分析，並試圖修正評估流程，以利於提供化學局未來評估安全替代化學品之參考；此外，本計畫執行期間於北中南辦理三場教育宣導會議，彙編相關簡報與文字教材，深化學界與業界對於綠色化學概念與毒性化學物質安全替代之理念。

結　論

根據前述本計畫所蒐研之資訊與辦理相關會議之結果進行綜合性彙整，本計畫執行結論如下：

（一） 盤點國際符合綠色化學相關指標應用策略及可行作法

本計畫針對綠色篩選指標 (GreenScreen)進行化學品的安全替代評估進行探討，透過清潔生產行動發展綠色篩選為更安全的化學品公開可用且透明的化學危害篩選方法，其篩選機制為建立 PBT 三個鑑定化學品之基本原則以及訂定 4 個標竿值 (Benchmark)，其中 P 指的是持久性 (Persistence)，B 指的是生物累積性 (Bioaccumulation) ，T 指的是人體毒性和生態毒性 (Human Toxicity and Ecotoxicity)，4 個標竿值則是(1)高度關注化學品；(2)使用中但須尋找安全替代品；(3)使用中但需要改善；(4)安全化學品。此外，美國環保署更明定綠色化學原則指標，分別從環境衝擊與經濟效益兩類著手，基於質量守恆進行量測與計算出化學品的效益評估。

（二） 蒐研國內現有符合綠色化學相關指標及策略作法

國內綠色化學原則以及概念目前主要推廣於教育宣導，較少用於產業實務面，因此，並無適用於國內產業之綠色化學原則指標，然而，參考化學局所舉辦的綠色化學及應用創新獎，篩選國內已有相關實務研發案例，符合綠色化學原則，可作為未來推動國內綠色化學指標訂定之參考方向，包含：微膠囊環

保型防污塗料應用於船殼保護、某化學公司廢水氨氮削減與廢水處理廠的污泥減量與資源化、某化學公司核磁共振分析技術，減少廢棄溶劑產生，並發展環境特性產品，如碳酸乙烯酯以及纖維素酒精）。此外，配合第四屆環經濟綜合與創新解決方案國際研討會圓桌會議，建議推動國內綠色化學原則應用至循環經濟體系之改善策略與措施，包含訂定時宜法規、創造經濟誘因、完善資訊建置、提升技術能量與建立商業模式。。

（三） 研議納入綠色化學應用及創新獎評選作業與環保標章等評量系統鏈結

本計畫參考紐西蘭 ECNZ 及歐盟生態標章作法，並研析其對於化學品標章認證之規範與評估，其中 ECNZ 的產品規格都包括對添加到產品中或在產品生產製造過程中添加不同化學品的規範，化學品供應商獲得不同化學品的 ECNZ 許可，並強制規範化學品與永續化學的概念，將致癌物、致突變劑、對生殖有害的化學物質、過敏原和致敏劑、具生態毒性和生物累積性物質等化學品排除在標章申請範圍；此外，歐盟生態標章目的在於建立市場領先產品具實際可替代潛能的概念，以定義可行標準的目標，對產品中所含危害物質的具備實際可行替代潛力化學品，彰顯出其對於生態環境友善的價值。

（四） 評估我國化學物質安全替代評估流程適用性

本計畫參考前期計畫成果，研提我國建立列管毒性化學物質安全替代作法及清單之評估流程，配合國際相關評估報告資料庫，基於綠色化學原則、配合永續發展目標以及化學品生命週期，進行毒性化學品之安全替代評估，以促進更安全的化學品以及毒性化學品防治與替代為目標，整合 PAS 原則與 GCM 指標，以三項國際毒性化學物質替代品案例（包含：1-氨基苯並三唑、二氯甲烷以及壬基酚聚氧乙烯醚 (Nonylphenol Ethoxylates, NPEs) ）進行驗證與分析

（五） 辦理產業化學物質安全替代教育宣導

本計畫於 109 年 09 月 01 日、10 月 23 日以及 11 月 06 日，於臺灣大學、逢甲大學以及高雄科技大學辦理三場次化學物質安全替代教育宣導會議，主要受邀對象包含學生、老師、產業界以及部分政府單位，其中第二場次與第三場次更邀請相關綠

色化學或化學產業之專家學者擔任評論人，蒐集其針對化學物質安全替代教育相關建議，建立化學品安全教育與安全替代品宣導平臺，深化綠色化學原則的應用與指標評估的建置

建議事項

本計畫提出短中長程具體建議事項如下：

（一） 推動毒性化學物質安全替代評估體系（短程）

建議參考本計畫所提之化學物質替代評估流程，配合國內既有之相關化學品資料庫，建置公開資訊平臺，盤點國內適用之化學品產業，除了掌握國內毒化物整體物質流向，並提供化學品相關產業之安全替代評估做法，配合 PAS 原則與 GCM 評估指標、危害評估、技術可行性與經濟成本等面向進行綜合評估，可進一步優先篩選出化學品安全替代項目。

（二） 參考本計畫蒐研紐西蘭 ECNZ 環保標章規範與流程，並持續蒐研相關標章研訂策略作法，做為未來訂定化學品標章制度之參考（中程）

建議參酌 ECNZ 針對化學品標章認證之相關規範，其範疇包含法律要求、用途特性要求、化學安全數據、能源管理、廢棄物管理、包裝管理、使用者要求、產品管理與產品特性等，以研提國內適用綠色化學指標之化學品環保標章。

（三） 明定綠色化學原則指標建置化學局資料庫，並考量建立示範亮點計畫（長程）

建議整合國內既有毒性化學物質申報數量，掌握上中下游物質流向，配合化學雲資料庫建置，納入環工、資訊、公衛與化學相關領域之專家學者，共同發展本土化毒性化學物質安全替代數據庫。

目錄

圖目錄

表目錄

第一章　前言

1.1 研究緣起

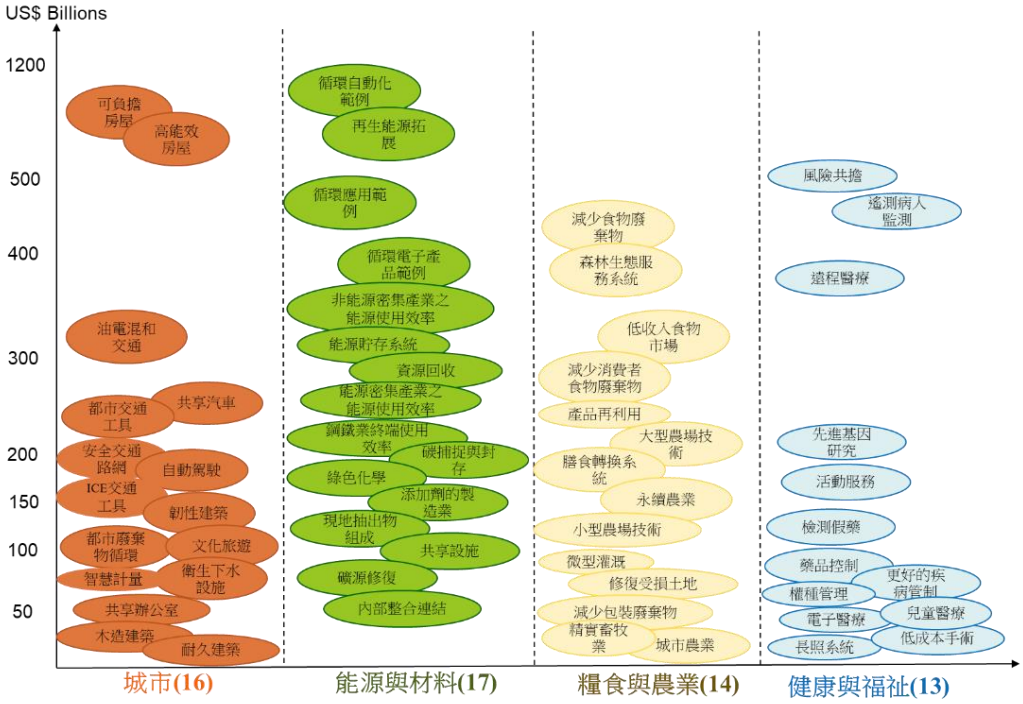
聯合國「17 項永續發展目標」可激發 60 項最大的商業市場，到 2030 年，每年可在全球四大類型經濟體系（包含：食物與農業、城市、能源與材料、健康與福祉等）中為企業節省和創收高達 12 萬億美元（如圖一所示）。為了達成此目標，「聯合國永續發展目標：更好的商業、更好的世界」報告中提到推動產業永續發展將會遇到行政，法規，技術，財務和公眾方面五大障礙，因此，該報告也針對其中有關技術和、財務方面的建議，發展綠色化學科技，推廣潛在商業市場是商業實踐永續發展目標的關鍵策略，具體措施如下：

1. 永續農業中的綠色技術：研發高利用率無污染的生態肥料和高效低毒性之農藥，以及農副產品高附加價值的綠色轉化技術，促進農業綠色產業化。
2. 生態城市中的綠色技術：推廣耐用與區塊化建築結構，開發無毒害建築塗料，創造潔淨室內環境；城市車輛降噪降污，建構生態城市。
3. 綠色化學品中的合成技術：研發高選擇性，高原子經濟性的綠色合成技術，使用高效的催化技術，選擇無毒無害試劑及溶液，製備精細綠色化學品，實踐綠色化學。
4. 再生能源中的潔淨技術：探索開發可再生能源，應用能源效率技術，發展低碳產業及碳捕捉存儲技術，發展淨煤技術，減少環境污染，發展綠色能源產業。
5. 另一方面，從財務面角度，必須從高層進行領導，激勵企業的每個人都專注於永續發展目標，推進永續發展的五大行動如下：
   (1). 將「全球目標」納入公司戰略：著力於永續發展解決方案的戰略規劃和創新，推廣可激勵消費者選擇永續發展事業的產品和服務。
   (2). 推動行業轉向永續發展市場：將行業轉變為支持全球目標的永續發展方向，創造更多的商業機會。

(3). 支付自然和人力資源的真實成本：與監管機構，企業和民眾公開合作，制定財政和監管政策，創造公平競爭環境。

(4). 推動長期永續投資的金融體系：加強資本流入永續投資：公開透明的永續發展績效表;廣泛有效地利用融資工具。

(5). 重新構建社會契約：通過與政府、消費者、和民間團體合作來實現負責任的開放政策主張，重新獲得社會的信任和確保其經營許可。



圖一 、聯合國十七項永續發展目標與全球四大產業聚落之 60 個商業市場關聯圖

（資料來源：綠色化學應用於毒性化學物質源頭管理及溝通，2019）

綠色化學 (Green Chemistry, GC) 發展是由 Paul Anastas 與 John C. Warner 於 1998 年制定了「綠色化學 12 原則」（如表一所示），促使學術與工業科學家實現環境永續發展的目標，主要內容是指利用化學的技術和方法去消減那些對人類健康、社區安全、生態環境有危害的原料、觸媒和溶劑在生產過程中的使用，同時也要儘量不產生有危害的副產物、廢棄物和產品。從科學研發來看，綠色化學為在生產化學物質時減少或避免危害物質的產生，利用新技術改良傳統製造程式，將原先只要求之生產效率及生產品質改為減少廢棄物的產生，亦即降低生產過程

中對地球所造成的負擔，減少甚至不排放對人體及環境造成的危害物質如溫室氣體、水污染、重金屬等。

表一 、綠色化學 12 原則及定義說明

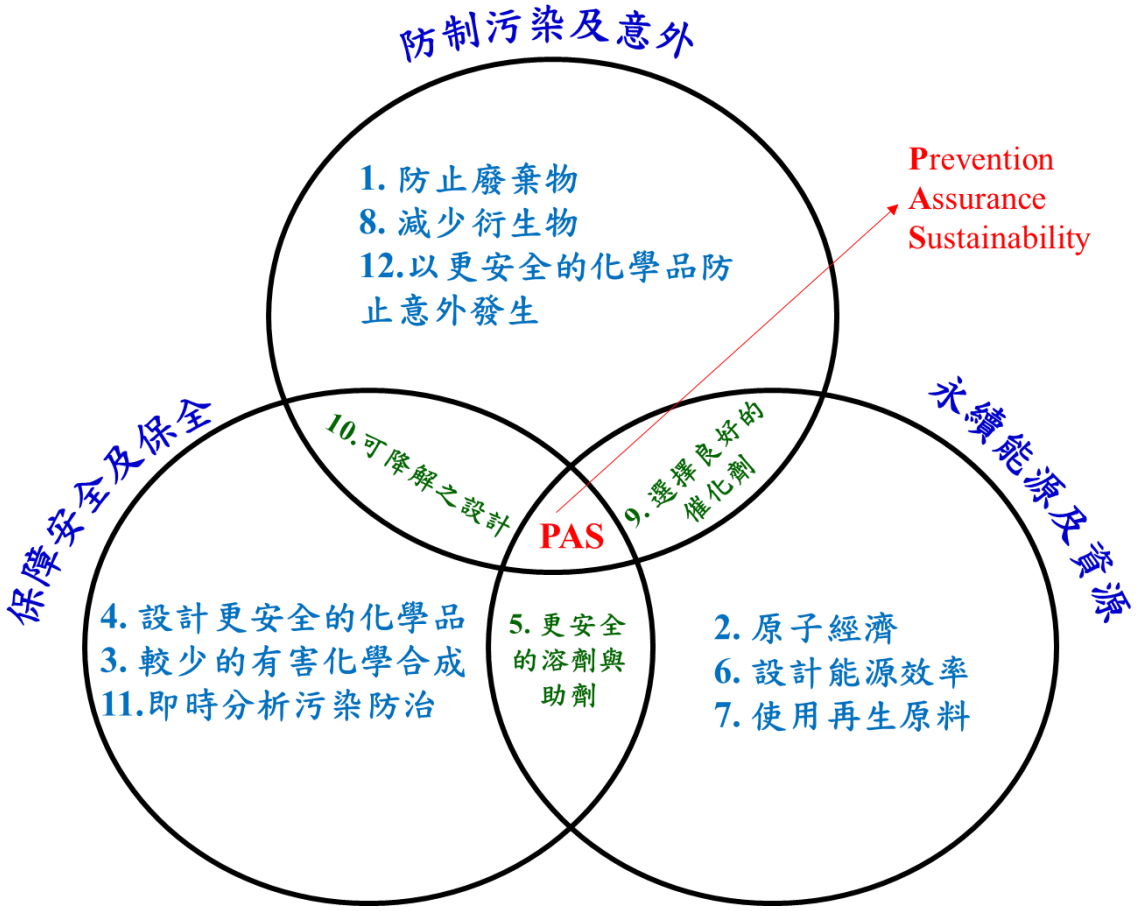
	綠色化學原則	定義說明
1	防止廢棄物(Prevention)	從化學合成或產品生產過程中，避免廢棄物的生成，從源頭防治污染。
2	原子經濟 (Atom Economy)	設計合成方法最佳化，使得製程中所採用的所有原料進入最終產品之中。
3	較少的有害化學合成 (Less Hazardous Chemical Synthesis)	使得所使用與產生的化學物質對人體健康和環境無毒無害。
4	設計更安全的化學品 (Design Safer Chemicals)	設計化學產品具有高效的功能與最低的毒性。
5	更安全的溶劑與助劑 (Safer Solvents and Auxiliaries)	避免使用溶劑、分離試劑等助劑，如不可避免時，也要選用無毒無害的助劑。
6	設計能源效率 (Design for Energy Efficiency)	選擇常溫與常壓下進行化學合成以降低製程的能耗。
7	使用再生原料 (Use of Renewable Feedstocks)	在技術可行和經濟合理的前提下，儘量採用再生資源代替消耗性資源。
8	減少衍生物 (Reduce Derivatives)	避免使用與產生不必要的衍生物。
9	催化應用(Catalysis)	採用高選擇性的催化劑，這比使用化學計量助劑更加優越，並可提升合成反應之轉化效率以降低能耗。
10	可降解之設計 (Design for Degradation)	設計化學產品在其功能終結後不會永存於環境中，要能分解成無害的物質。
11	即時分析污染防治 (Real-time Analysis for Pollution Prevention)	於製程中即時線上監控有可能產生的有害物質並儘量避免產生這些有害物質。
12	以更安全的化學品防止意外發生 (Inherently Safer Chemistry for Accident Prevention)	使用與生產可降低意外事故如洩漏、爆炸、火災等的化學品。

（資料來源：ACS website, https://www.acs.org/content/acs/en/greenchemistry.html）

由於綠色化學旨在於生命週期中減少或消除有害物質的使用與生成的化學產品，包含設計，製造與使用壽命。基於常規化學和工程基礎上，發展永續化學產

品與技術，以符合 12 項基本原則。遵守這些原則可以防止污染和浪費，從而以更低的危險性與更有效的方式合成化學品，促進可再生原料的使用，並發展更安全的化學品的設計，前述原則皆與毒性化學物質管理息息相關，因此，綠色化學是解決企業與個人對更安全之化學品替代的解決方案。前期研究已針對綠色化學 12 項原則進行分類，發展防制 (Prevention) － 保障 (Assurance) － 永續 (Sustainability) 三面項策略，稱為 P-A-S 策略，即包含：防制污染及意外 (Pollution and Accident Prevention)、保障安全及保全 (Safety and Security Assurance)，以及永續能源及資源 (Energy and Resource Sustainability)。

一般而言，PAS 概念由三個圓形結構而成，圖二表明 12 項綠色化學原則之間於 PAS 之間的關聯性，其中 PAS 互相有交集的是 5、9 和 10，意味著這三項原則涉及至少兩種領域，儘管每項原則都不會位於 PAS 概念的特定位置，但通過整合綠色化學和其他基本要素以及循環經濟與永續發展等問題，並試圖整合此概念於毒化物管理。



圖二 、綠色化學 12 項原則與 PAS 之關聯性

(資料來源：永續綠色化學與循環經濟之政策研析，2018)

針對毒化物管理的部分，美國於 1976 年開始正式實施毒性物質管理法(Toxic Substance Control Act, TSCA)，開啟了境內毒性化學物質污染管制，規定化學物質必須經過優先化 (prioritization) 、風險評估 (risk evaluation) 及風險管理 (risk management) 等三步驟，以確保既有化學物質安全性，亦保障評估或管理是在實務可行的範圍下進行。1991 年美國環保署污染與毒化物管制部門設立了第一項綠色化學研究項目-替代合成路徑研究；1992 年國家科學委員會 (National Science Foundation’s Program) 與美國環保署共同聯手著重於開發對環境友善的製程；1993 年美國環保署正式推出美國綠色化學計畫，補助綠色化學領域的相關研究發展，使得推陳出新之研究將綠色化學帶領至一個新的里程碑。加拿大於 1999 年頒布環境保護法案 (Canadian Environmental Protection Act, CEPA 1999) ，是對於污染預防和人體健康環境保護最重要的法案。主張「預防策略」是對於減輕有毒物質的

基石，並於 2006 年正式修訂 CEPA1999，發展化學物管理計畫，將各個聯邦政策統整為整合式策略，化學物管理計畫是以科學的方法來達成健康和環境保護；加拿大政府也頒佈了毒性物質管理法 (Toxic Substances Management Policy) ，致力於從環境中徹底消除由此產生的有毒物質，主要包含具有持久性和生物累積性 (Track 1 物質) ，以及從生命週期角度管理其他有毒物質和有關物質，以防止其釋放到環境中 (Track 2 物質)。

歐盟於 2007 年實施新化學品政策 (Registration, Evaluation and Authorization and Restriction of Chemicals, REACH) ，鼓勵以較不危險的化學物質取代現有危險化學物質並提供研發安全化學物質的誘因以及整合生態、經濟與社會等方面的發展，達成永續發展的目標。此全面性改革之歐盟化學品管制系統之架構及流程系統，預告了歐盟新化學品政策正式執行的開始，也宣告歐盟境內或是輸歐的廠商，都必須重新開始省思化學品對人類和生態環境的影響，以及企業應擔負的責任。德國毒性化學物質之立法是根據環境保護觀念，包括管制使用有害性環境化學品為目的。於危害性化學物質立法，透過整合所有相關單位，包含環境署、職業安全與健康、經濟與勞工、食品與農業部等等，詳細記錄每一反應條件，要求申請者提出之暴露情境、暴露評估及風險特性資料，包含所有涉及的環境媒介等，以確認物質危險性與危害性，並建立資料庫作為風險評估程序之環境化學物質毒理特性依據。

日本經濟產業省 (Ministry of Economy, Trade and Industry, METI) 所制定的化學物質審查規制法 (Chemical Substances Control Law, CSCL)，於 2011 年 4 月 1 日起，要求境內的製造商與進口商，進行所謂的年度通報作業，若無依法進行通報，則將會面臨可能無法順利製造或進口。CSCL 的主管機關包含日本經濟產業省、勞動省以及環境部，分別對既有化學品與新化學品進行毒性化學物質管理。對於新的化學品，日本的生產商或進口商應遵守相關法規要求，適用通報之物質依據 CSCL 之規定，須進行通報物質的種類為一般化學物質 (General Substances) 或優

先評估化學物質 (Priority Assessment Chemical Substances, PACSs) 。南韓有毒化學品管理法 (Toxic Chemicals Control Act, TCCA) 於 1991 年針對在韓國對工業化學品進行全面管理和控制，由環境部為主管機關，國家環境研究所負責根據該法案通知新的化學品，教育部韓國化學品管理協會負責接受詳細化學品申報和申請確認書。韓國環境部 (Ministry of Environment, MOE) 公告韓國化學物質註冊與評估法 (Act on the Registration and Evaluation of Chemical Substances, ARECs) 或化學品控制法 (Chemicals Control Act, CCA)，亦通稱之 K-REACH，於 2018 年 3 月 20 日正式通過修法程式，將於 2019 年 1 月 1 日正式實施。整體架構分別先鑑定化學品分別是否受 TCCA 管制、是否為毒性化學物質、是否為受關注或受管制之化學品、是否認定為新化學品等等的鑑定程序，進一步於 TCCA 的架構下進行管制。毒性化學物質在中國稱為危險化學品，中國政府針對毒性化學物質管理體系由中國全國人民代表大會以及國務院為主管機關，整合不同部會包含：應急管理部、海關署、衛生與健康委員會、工業和信息部、農業部、商務部、生態環境部以及交通運輸部等，分別針對危險化學品目錄、分類、標籤分裝、進出口登記、農藥管制、新化學品進口登記以及相關國際公約履行情況等等進行整合式的管理。

我國針對化學物質管理係依據「國家化學物質管理政策綱領」，參考聯合國「國際化學品管理策略方針」 (UN Strategic Approach to International Chemicals Management, SAICM)，整合我國各部會職掌中化學物質掌管法規與政策，並配合國情及本土之環境條件調和後，建構我國化學物質管理五大目標及相關策略，包含：國家治理、降低風險、管理量能、知識建立與跨境管理：

表二 、國家化學物質管理政策綱領

推動目標	推動策略
國家治理	・制定化學物質管理行動方案 ・完備化學物質管理相關法規 ・建立化學物質管理相關制度，包括管制、賠償與保護機制等 ・成立國家化學物質管理會報，建立跨部會管考機制 ・健全化學物質管理相關財源
降低風險	・訂定化學物質對於勞工作業安全，食品與民生用品健康風險、公共安全之管控措施 ・推動綠色化學，鼓勵業界研發低化學風險製程 ・配合循環經濟，提高化學物質使用效率，強化國家廢棄物處理管理方法，減少化學物質之排放及對民眾健康及環境的化學衝擊 ・建立化學物質風險及危害評估機制與工具，防範與緩解化學物質之危害 ・訂定受化學物質危害及污染事故之通報應變機制與復原補救措施
管理量能	・強化化學物質資訊整合平臺 ・健全化學物質登錄制度，落實化學物質流向與追蹤查核管制 ・建置國家及檢驗單位與檢驗標準，強化檢驗勾稽能力 ・推動國際關注之新興污染物質環境調查
知識建立	・強化企業社會責任，導正媒體與利害相關者對危害化學物質之認知 ・強化社區知情權，促進資訊交流與協調合作，建立培訓與基礎設施 ・落實社區與學校之全民教育，建立對化學物質之正確知識 ・提升民間社會與公眾利益，促進非政府組織參與
跨境管理	・配合國際化學物質管理相關公約，執行國際協定 ・訂定防制、偵查及控制有害與高風險化學物質之非法販運措施 ・管理化學物質跨境運輸 ・確保貿易與環境政策之協調 ・積極參與國際性化學物質管理相關組織與會議

（資料來源：環保署化學局網站）

我國針對毒化物管理制度係依據「毒性及關注化學物質管理法」，於民國 108 年 1 月 16 日公布，分別針對毒化物評估、預防及管理，關注化學物質評估、預防及管理，化學物質登錄及申報，事故預防及緊急應變，查核檢驗及財務等項目進

行規定，建立國家化學物質管理，另外針對毒性化學物質管理，則分為四類（圖三）：第一類為難分解物質，在環境中不易分解或因生物蓄積、生物濃縮、生物轉化等作用，致污染環境或危害人體健康者；第二類為慢毒性物質，有致腫瘤、生育能力受損、畸胎、遺傳因子突變或其他慢性疾病等作用者；第三類為急毒性物質，化學物質經暴露，將立即危害人體健康或生物生命者；第四類為，非前三類為有污染環境或危害人體健康之虞者，另外也定義關注化學物質為毒性化學物質以外的化學物質，基於其物質特性或國內外關注之民生消費議題，經中央主管機關認定有污染環境或危害人體健康之虞，並公告者。目前。目前國內受管制毒化物截止統計至民國 109 年 10 月共有 341 種，未來如何強化毒化物的管理，並試圖透過綠色化學原則與國外先進國家管理經驗，降低毒化物使用並尋找相關安全替代品，為我國化學物質管理之努力方向。

圖三 、我國毒性化學物質分類定義

(參考來源：行政院環境保護署毒物及化學物質局網站)

此外，環保署化學局為了從源頭管理國內毒物及化學物質，建構永續安全的化學環境，同時兼顧食安五環的源頭管制，應納入有食安疑慮的化學品，因此將原「毒性化學物質管理法」修正為「毒性及關注化學物質管理法」，將現有受管制 341 種毒化物與關注化學物質納入查核與檢驗對象，關注化學物質之特性包含食品添加物、藥品、化妝品、毒品管制藥物、食安疑慮物質、毒品前驅物、危害性化學品、爆炸性物質、環境用藥、農藥、肥料與飼料、動物性用藥等，將關注化學物質作為專章規定，依據公告行為進行紀錄申報（包含運送、販賣或使用），並配合全球化學品調和制度建立標章規範，最後推動相關業者針對關注化學物質，建立應變計畫、組織管理與預警制度等。

1.2 計畫目的與工作項目

為了實踐綠色化學原則應用於化學產業推廣，同時建構綠色化學與毒化物管理知識，本計畫延續前期研究成果持續精進，蒐研國外綠色化學指標與其推廣應用策略或可行作法，鏈結綠色化學獎項納入環保標章評量系統的與毒化物管理相關資訊，驗證化學物質安全替代評估流程之適用性，並研議可替代化學物質之清單與方案，最後建立示範教材與辦理相關教育宣導，促進國內產業投入綠色化學教育與毒化物管理的量能，本案工作目標如下，相關計畫工作內容與執行結果對照表請參考表三。

1. 研訂綠色化學指標，建立指標推廣應用策略可行作法。
2. 驗證我國化學物質替代評估流程之適用性，研議我國化學物質安全替代快速篩選作法及提出建議替代案例。
3. 建立依替代評估流程篩選之安全替代案例示範教材，辦理產業化學物質安全替代教育宣導。

表三 、計畫工作內容與執行結果對照表

契約書之預定進度累積百分比（%）	100	實際執行進度（%）	100	
工作內容項目	實際執行情形	差異分析（打√）		
		符合	落後	超前
1. 研訂綠色化學指標，建立指標推廣應用策略及可行作法	• 已蒐研國內外現有符合綠色化學相關指標及策略作法，請參考 3.1.1 與 3.1.2 節。 • 研提我國納入綠色化學原則於環保標章制度，請參考 3.3.1 與 3.3.2 節。	√		
2.進度報告	• 進度報告（初稿）於七月底之前繳交	√		
3. 研議我國化學物質安全替代篩選作法及提出建議替代案例至少 3 項	• 已選定 1-氨基苯並三唑、二氯甲烷以及壬基酚聚氧乙烯醚等 3 項毒性化學物質之安全替代化學品評估報告進行研析，並同時驗證本研究所提之替代評估流程之適用性，請參考 4.2.1 與 4.2.2 節。	√		
4. 辦理第一場綠色化學與毒化物替代相關會議	• 已於 9 月 1 日於臺灣大學辦理應用綠色化學源頭管理策略推廣安全替代系統研習會議，請參考 4.3 節，教育宣導教材與簡報請參考附錄四與附錄五。	√		
5. 辦理第二場綠色化學與毒化物替代相關會議	• 已於 10 月 23 日於逢甲大學辦理應用綠色化學源頭管理策略推廣安全替代系統研習會議，請參考 4.3 節，教育宣導教材二式與簡報二式請參考附錄四與附錄五。	√		

6. 辦理第三場綠色化學與毒化物替代相關會議	・已於 11 月 6 日於高雄科技大學辦理應用綠色化學源頭管理策略推廣安全替代系統研習會議，請參考 4.3 節，教育宣導教材與簡報請參考附錄四與附錄五。	√		
7. 期中報告	・期中報告（初稿）於九月初繳交	√		
8. 期末報告	・期末報告（初稿）於十一月初繳交	√		

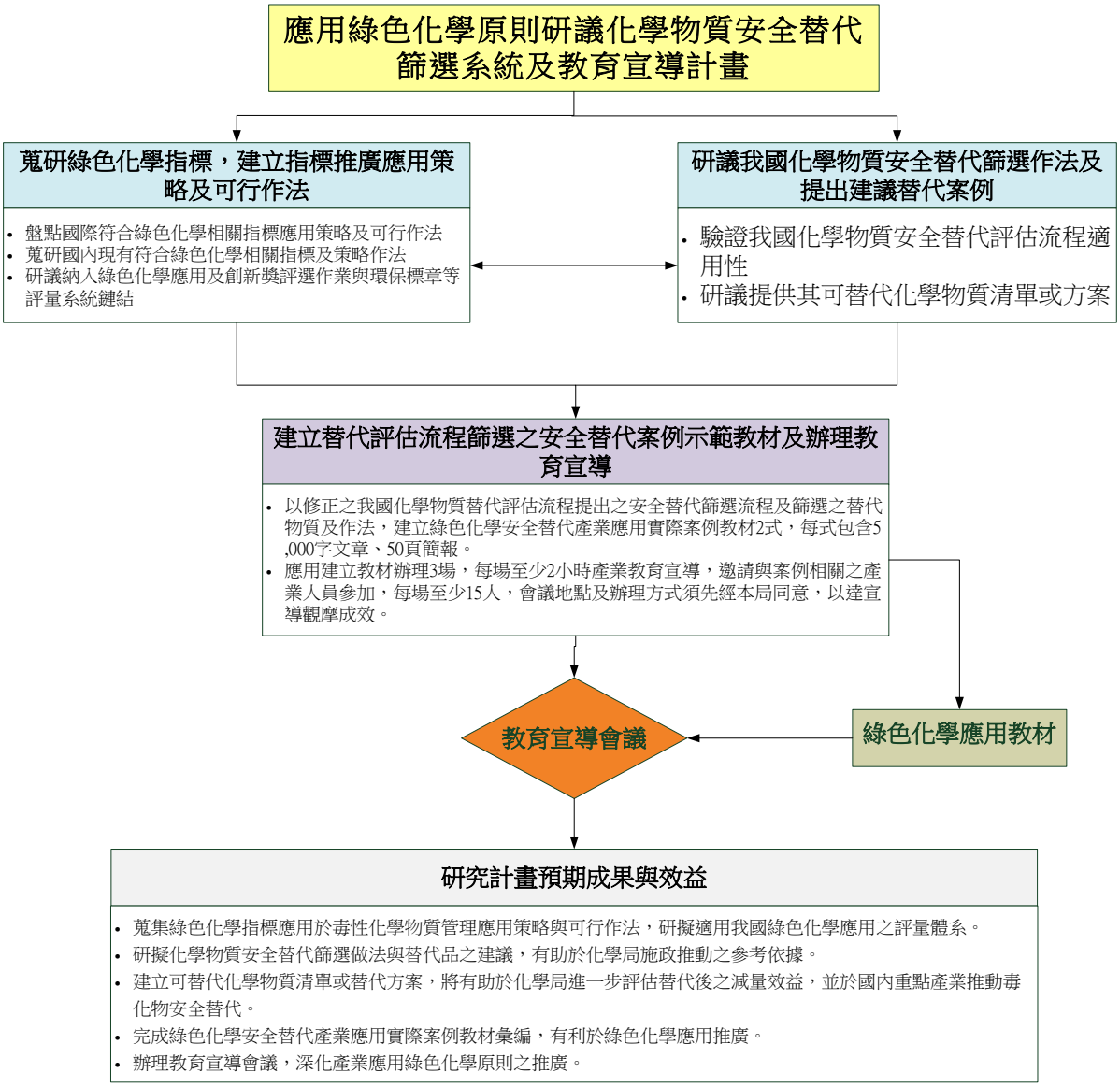
查核點	實際完成時間	查核點內容說明
建立綠色化學指標推廣應用策略及可行作法	109 年 6 月	蒐研國內現有符合綠色化學相關指標及策略作法，並研議納入綠色化學應用及創新獎評選作業與環保標章等評量系統鏈結
研議我國化學物質安全替代篩選作法及提出建議替代案例至少 3 項	109 年 8 月	提出毒性及關注化學物質管理清單中優先建議替代名單至少 3 項，並依據驗證之我國化學物質安全替代評估流程及快篩技術，研議提供其可替代化學物質清單或方案
建立依替代評估流程篩選之安全替代案例示範教材	109 年 9 月	建立綠色化學安全替代產業應用實際案例教材 2 式，每式包含 5,000 字文章、50 頁簡報
辦理第一場綠色化學與毒化物替代相關會議	109 年 9 月	應用建立教材辦理教育宣導會，每場至少 2 小時產業教育宣導，邀請與案例相關之產業人員參加，每場至少 15 人
辦理第二場綠色化學與毒化物替代相關會議	109 年 10 月	應用建立教材辦理教育宣導會，每場至少 2 小時產業教育宣導，邀請與案例相關之產業人員參加，每場至少 15 人
辦理第三場綠色化學與毒化物替代相關會議	109 年 11 月	應用建立教材辦理教育宣導會，每場至少 2 小時產業教育宣導，邀請與案例相關之產業人員參加，每場至少 15 人
進度報告繳交	109 年 7 月	完成契約書工作內容項目。
期末報告繳交	109 年 11 月	完成契約書工作內容項目。

表四 、參與計畫人力資料

參與計畫人員姓名	工作要項或撰稿章節	現職與簡要學經歷	參與時間(人月)	專長
蔣本基	進度掌控；召開會議	臺灣大學環境工程學研究所特聘教授	6	綠色科技與技術、環境工程、碳捕獲技術
王根樹	協助進度掌控；召開會議；工作規劃	臺灣大學公共衛生學系教授	6	飲用水水質安全
陳則綸	協助庶務作業；會議辦理；資料整理及報告撰稿	臺灣大學環境工程學研究所博士生、兼任助理	6	環境工程、溫室氣體減量、碳捕獲技術
曾渤之	協助庶務作業；會議辦理；資料整理及報告撰稿	臺灣大學環境工程學研究所博士生、兼任助理	6	環境工程、電化學

第二章　研究方法

本計畫之研究流程詳如圖四所示。



圖四 、本計畫研究架構流程圖

本目標之工作內容研究步驟包括：

1. 蒐研綠色化學指標，建立指標推廣應用策略及可行作法

(1) 盤點國際符合綠色化學相關指標應用策略及可行作法。

(2) 蒐研國內現有符合綠色化學相關指標及策略作法。

(3) 研議納入綠色化學應用及創新獎評選作業與環保標章等評量系統鏈結。

2. 研議我國化學物質安全替代篩選作法及提出建議替代案例

(1) 驗證我國化學物質安全替代評估流程適用性

(2) 研議提供其可替代化學物質清單或方案

3. 建立替代評估流程篩選之安全替代案例示範教材及辦理教育宣導

(1) 修正之我國化學物質替代評估流程提出之安全替代篩選流程及篩選之替代物質及作法

(2) 建立綠色化學安全替代產業應用實際案例教材 2 式，每式包含 5,000 字文章、50 頁簡報

(3) 用於後續推廣產業應用綠色化學發展並與利害關係人溝通

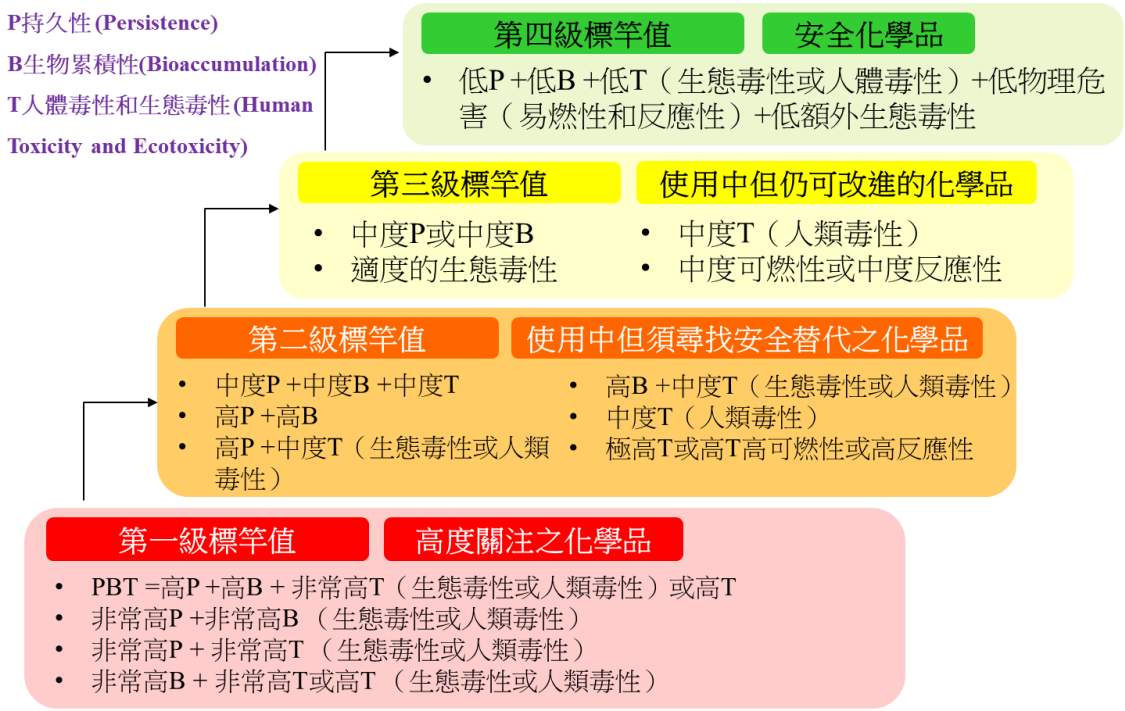
第三章　研析國外綠色化學與毒性化學物質政策與管理制度

3.1 盤點國際符合綠色化學相關指標應用策略及可行作法

3.1.1 國際常見綠色化學相關評估方法與指標

國際上運用綠色化學原則評量指標,主要用於整合可用數據化學品的固有特性，包括人體健康效果，環境歸宿和毒性，以及安全危害性，提供相關評估結果使企業可以對化學品進行排名並瞭解優先可替代之化學品，將有助於企業做出更明智的決策，降低業務風險並促進創新開發。化學物質通常用於消費品和工作場所，隨著環境保護意識的增強，各個利害關係人對於如何識別和使用更安全的化學品抱有一定程度的期待；而國際上目前主流以綠色篩選指標 (GreenScreen)進行化學品的安全替代評估，透過清潔生產行動發展綠色篩選建立更安全的化學品公開，以及可用且透明的化學危害篩選方法，將幫助我們的社會快速有效地使用更環保和更安全的化學品。

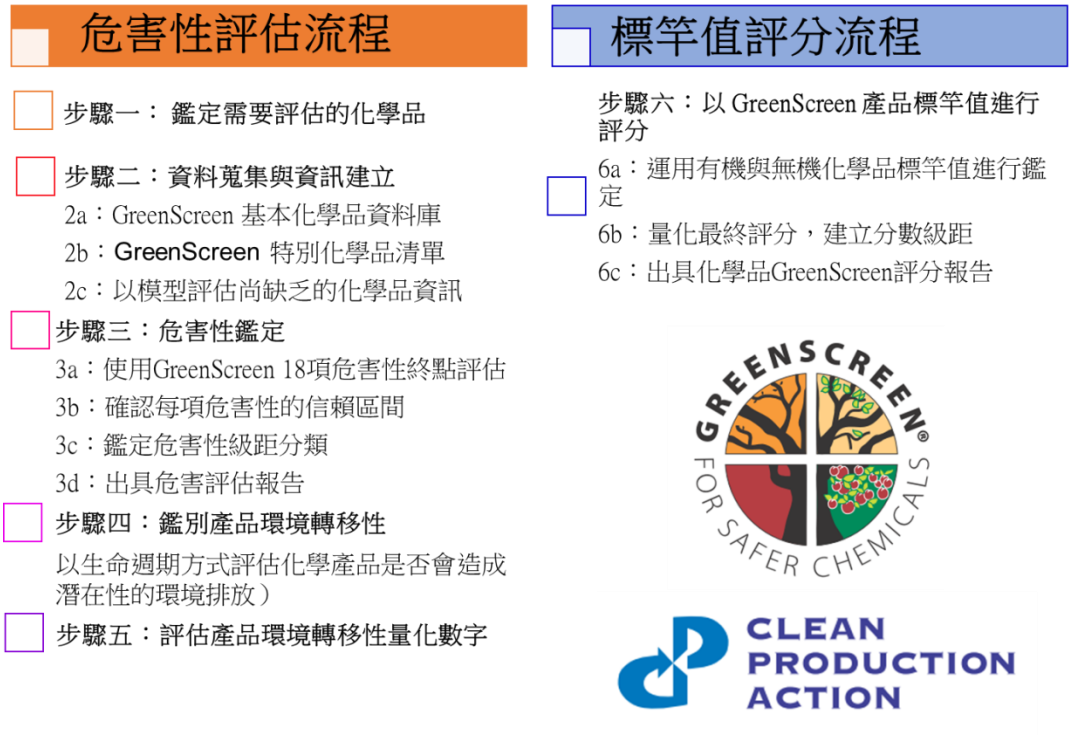
GreenScreen 的篩選方法是透過 PBT 三個鑑定化學品之基本原則進而建立 4 個標竿值 (Benchmark)，其中 P 指的是持久性 (Persistence)，B 指的是生物累積性 (Bioaccumulation) ，T 指的是人體毒性和生態毒性 (Human Toxicity and Ecotoxicity)，4 個標竿值則是 (1) 高度關注化學品；(2) 使用中但須尋找安全替代品；(3) 使用中但需要改善；(4)安全化學品，如圖五所示。



圖五 、綠色篩選指標四類標竿值定義

(資料來源：Greenscreen ® for safer Chemicals Hazard assessment Guidance, V1.4, 2018)

GreenScreen 評估方式包含三個主要步驟（步驟細部流程如圖六）： 1.評估危害性分類，2.依照 GreenScreen Benchmark 評分，3.進行化學品使用之決策分析：1.評估危害性分類：評估 18 種人類健康和環境危害分類，透過研究和收集所有相關來源的數據，包括標準化測試和科學文獻中的測量數據，GreenScreen 指定列表中的危害信息以及信息衍生自模型和合適的化學類似物。根據 GreenScreen 危害標準（如生物累積性評估）針對 18 項人類健康與環境終點中的每一個的危害等級進行分類，危險等級範圍從極高 (Very High) 到極低 (Very Low)。



圖六 、綠色篩選指標 (GreenScreen) 評估流程

(資料來源：Greenscreen ® for safer Chemicals Hazard assessment Guidance, V1.4, 2018)

2.依照 GreenScreen Benchmark 評分：GreenScreen Benchmark™的方法主要提供標準化與直接量化化學危害。以 GreenScreen 評估每種化學品都被分配了 1 到 4 之間的基準值。標竿值評分方法是分析 GreenScreen 中包含的 18 項危害終點評估指標，並將不同指標之間組合性進行評分，其中為了反應各國政府在國內和國際上建立的危害問題，以第 1 類標竿值「高度關注化學品」判定是否為綠色化學品之重要參考依據，並同時符合 REACH 等全球法規的人類健康和環境高度關注的化學品標準，其中「高度關注化學品」包含致癌物質，生殖，發育和神經發育毒物，誘變劑，持久性，生物累積性和有毒化學品，高持久性及高生物累積性的化學物質。步驟 1 中生成的每個危害性評估用於皆可應用於標竿值計算以確定最終評量分數，每個級別僅允許某些數量和類型的數據，如果數據不足，可能導致無法計算出標竿值。

3.化學品使用之決策分析：GreenScreen 用於支持在產品與製程中使用化學品的決策參考，評量分數提供高參考度指標，危害總結表提供相關危害的具體量化訊息，

將有助於應用綠色化學原則進行產品設計和開發，化學和材料採購，風險管理，工作場所安全等方面提供廠商進行更好的決策。

此外，從產品生命週期的角度，綠色化學原則強調的是降低環境衝擊同時提升經濟效益，此概念可用於選擇綠色化學品和反應，綠色化學是化學產品和製程的設計，可減少或消除有害物質的使用或產生，這種新的污染預防方法是美國環境保護署綠色化學計劃的核心重點，基於環境設計項目下的一項措施，進而提出一種可量化綠色化學原則的指標系統。該系統是依據綠色化學原則所涉及之多種評估指標，從分別為環境衝擊與經濟效益兩類，此兩類都是基於質量守恆進行量測與計算，表三說明目前廣泛用於業界的綠色化學指標：

表五 、綠色化學原則相關指標

	評估指標	與綠色化學原則相關性
環境衝擊評估	環境因子(E-Factor) E=總廢棄物質量/總產物質量	#1 防止廢棄物(Waste Prevention) #11 即時分析污染防治(Real-time Analysis for Pollution Prevention)
	質量強度(Mass Intensity)=生產過程中總質量/產物總質量	#9 催化應用(Catalysis)
	製程質量強度(Process Mass Intensity)=生產過程中總質量(包含用水量)/產物總量	#6 設計能源效率(Design for Energy Efficiency) #11 即時分析污染防治(Real-time Analysis for Pollution Prevention)
	廢水強度(Waste Water Intensity)= 生產過程中總廢水量/產物總量	#1 防止廢棄物(Waste Prevention) #11 即時分析污染防治(Real-time Analysis for Pollution Prevention)
	溶劑強度(Solvent Intensity)= 生產過程中總溶劑量/產物總量	#5 更安全的溶劑與助劑(Safer Solvents and Auxiliaries)
	再生原料使用比例(Renewable feedstock utilization) (%)=再生原料使用量/總投入原料量	#7 使用再生原料(Use of Renewable Feedstocks)
	安全化學品使用比例(Safer chemical utilization)(%)=安全化學品用量/單位製程化學品用量	#12 以更安全的化學品防止意外發生(Inherently Safer Chemistry for Accident Prevention)

經濟效益評估	原子經濟(Atom Economy) AE(%)=預期產物總質量/原物料總質量	#2 原子經濟(Atom Economy) #9 催化應用(Catalysis)
	反應效能(Reaction Mass Efficiency, RME)(%)=產物總量/反應物總量	#4 設計更安全的化學品(Design Safer Chemicals) #6 設計能源效率(Design for Energy Efficiency) #9 催化應用(Catalysis)
	質量生產率(Mass Productivity)(%)=產物總量/原物料使用量(包含溶劑用量)	#6 設計能源效率(Design for Energy Efficiency) #9 選擇良好的催化劑(Catalysis)
	有效質量產能(Effective Mass Yield)(%)=產物總量/有害物質總產量	#3 較少的有害化學合成(Less Hazardous Chemical Synthesis) #8 減少衍生物(Reduce Derivatives) #11 即時分析污染防治(Real-time Analysis for Pollution Prevention)
	碳經濟比例(Carbon Economy)(%)=產物總碳量/反應物總碳量	#2 原子經濟(Atom Economy)

(資料來源：Sheldon, 2017 及本計畫彙整綠色化學 12 原則)

前述相關指標可用於評估工業部門是否符合綠色化學原則，可確定相關化學製程具備最佳產能，並同時針對不同產量所帶來的廢棄物進行量化評估，作為工業部門是否需進行更多研究的領域創新和/或更廣泛的製程改善措施，此外，可為政府提供有用的量化訊息以調整企業稅收或因應政策，以促進更多的採用綠色技術。

美國綠色化學專家系統包含五個評估模式旨在協助使用者建立綠色化學過程，設計綠色化學品或調查綠色化學領域，該系統可針對新的或現有的化學品及其合成過程進行評估，下列說明五種評估方法：

1. 減少技術之綜合評估方法 (Synthetic Methodology Assessment for Reduction Techniques, SMART) ：根據用戶提供的信息對化學反應中使用或產生的有害物質進行量化和分類，修改和重新評估反應以優化其綠色性質。

2. 綠色合成反應評估：提供有關製造化學品的綠色合成方法的技術信息。

3. 化學品安全性評估：評估透過修改化學物質之安全性，按化學類別，屬性和用途組織分類。

4. 綠色溶劑之功能特性評估：透過建立使用傳統溶劑系統之綠色替代品的數據資料庫，並可依照物理化學特性搜尋潛在的綠色溶劑替代品。

5. 綠色化學原則參考指引：整合綠色化學原則相關應用文獻的資料庫。

3.1.2 應用綠色化學原則指標評分以及安全替代之案例

文獻中亦有指出如何應用綠色化學 12 項原則，進行化學品安全替代評估，主要考量綠色化學 12 項原則的精神為判斷某項製程或化學品是否符合綠色化學原則，其整體邊界應涵蓋整個產品生命週期的健康危害、生態風險和資源效率等面向。Kreuder 等人 (Kreuder, et. al. 2017) 建立綠色化學指標 (Green Chemistry Metrics, GCM) 的方法，該方法採用較容易獲得的數據，例如，全球化學品統一分類和標籤制度 (Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals, GHS) 的公開數據，並根據 12 項原則評估化學品和化學製程。使用 GCM，可以按照評估的度量標準對化學品或製程進行排名：（1）12 項綠色化學原則的每一項得分，（2）新的和改進的化學品/製程間的三類排名（改善資源利用、提高能源效率、減少對人類和環境的危害），以及（3）彙總比較排名。GCM 方法具有足夠健全和靈活度之特性，可涵蓋多種產品組合，以及可根據公認之行業慣例與現有數據進行評估，對於化學可持續性的選擇可提供參考價值。

研究指出，LCA 的結果可能與使用綠色設計指標的評估有所不同。Tabone 等人 (Tabone et. al. 2010) 使用 12 項綠色化學原則，評估聚合物生命週期對環境的影響，特別是針對 12 種聚合物的案例研究，將綠色設計指標與 LCA 結果進行比較。研究發現，符合綠色化學原則的聚合物對生命週期的環境影響較小，但是結果並不具有一致性。例如，生物原料的聚合物比具有石油原料的聚合物具有更高的環境影響，同時在綠色設計方面排名更高。

這種差異是由於綠色設計指標中的一種假設，即使用可再生資源是優勢的（原則 7），與評估生物材料使用的上游影響的複雜性形成對比。某些生物聚合物表現出較高的富營養化，對人類健康和農業生產中肥料使用、農藥使用和土地使用以及將生物材料轉化為塑料所需的發酵和其他化學加工步驟造成的生態毒性影響。但是，原則 7 的基本前提是最好使用可再生能源而不是消耗材料，從而鑑別需要在最短的時間內建立可再生材料的影響最小的措施。進一步的研究將 LCA 的結果與這種 GCM 方法進行比較可能會改善 GCM 的可用性和解釋。

Millipore Sigma 工業化學家為 GCM 制定的設計目標包括：（1）允許在相同用途的替代化學品之間進行直接比較，以及在相同化學品的替代合成生產過程之間進行直接比較；（2）允許與 12 條原則中的每條原則以及三個主要管理類別進行透明的比較：資源效率，人類健康和環境危害以及能源使用；（3）提供足夠的靈活性以適用於多樣化的產品組合;（4）通過利用現成的數據來減少評估成本；（5）根據公認的行業慣例；（6）容易將方法和結果揭露於客戶。考慮到這些指導要素，Kreuder 等人研究並設計了一種最佳方法，以 12 項原則中的每項對化學產品和製程進行評估和評分。

GCM 方法結合特定原則的算法(principle-specific algorithms, P-GCM)，用以比較和排序所考慮的化學和製程替代品。該方法使用從多種來源（包括 GHS）獲得的化學特有數據，計算 12 項原則（PS 1-12）中的每一種原則得分（principle score, PS）。PS 指標是進行比較和排名的關鍵，有助於 GCM 方法的使用彈性。

特定原則的分數（例如 PS-1）可用於評估各個 GC 原理下的替代性能。換句話說，可以比較替代方案在各個原則項目的 PS 值。由於特定化學物質的 PS 是基於不同的終點及不同的測量範圍，通過單個 PS 的直接求和計算出的總得分可能會與其他項目不成比例。因此，制定排序的策略是為了避免單個 PS 值將數據轉換為通用度量的不確定性和爭議性。

根據 GCM 評估備選方案的排名策略基於基於各個原則、原則類別以及所有 12 條原則的總和。所有層次結構描述如下。

1. 個別 GC 原則：每個原則特定分數（PS 1-12）的等級分配為 1 至 n（其中 n 是要比較的替代方案的數量），以得出原則特定分數等級分數（principle-specific score rank score, PSR 1-12）。例如，在比較原則 1 的三個產品替代方案時，原則得分分別按 1、2 和 3 排序，以得出 PSR 1-1，PSR 1-2 和 PSR 1-3 的原則特定等級得分。然後，可以將這些原則特定等級分數一起考慮，以按類別或在整個 12 項原則的範圍內對備選方案進行排名。

2. 類別排名（category rank, CR）：通過對該類別中 PSR 的平均值進行排名來確定。例如，通過對每種備選方案的原則 1、2、7、8、9 和 11 的 PSR 平均值進行排名，來確定用於改善資源利用的 CR。因此，如果要比較五種替代化學品，則每個類別的類別排名為 1-5。重要的是要注意，儘管在某些情況下某項原則可能對一個以上類別的環境收益有所貢獻，但此方法將原則歸類為與其收益最相關的類別。最後，為了讓用戶在比較化學產品或製程時考慮所有 12 條原則，GCM 使用總體等級 (summary rank, SR) 。SR 是每個備選方案所有 12 個 PSR 之平均值。

3. 改善資源利用類別：包括推動資源效率和減少廢物的原則。這套原理集合以多種方式解決了資源使用問題。此項目包含原則 1、2、7、8、9 及 11，以各種不同的分析角度對於資源利用率進行評分及排名。各原則說明及計算方式如下所述。

(1). 原則 1：防止廢棄物，「預防廢棄物要比廢棄物產生的處理或清理來得好」。對於 P1-GCM，合併了廢棄物嚴重性因子以解決廢棄物的環境宿命（即廢物的處理方式）。GCM 使用第三方或自定義分析來建立特定的廢棄物嚴重性因子。表六闡述了廢棄物嚴重性因子，這些因子來自 iSUSTAIN 綠色化學指數和 GHG 協議計算指引(Protocol Scope Calculation Guidance)。

表六 、廢棄物嚴重度表格

廢棄物處理方式	嚴重因子 (waste severity)
焚燒	15
垃圾掩埋場（惰性材料）	7
垃圾掩埋場（沼氣轉換能源）	5
堆肥	3
廢水處理	1.5
廢棄物轉為能源或從廢棄物產生能源	1
回收再利用	1

(資料來源：Kreuder et. al., 2017，本計畫翻譯彙整)

P1-GCM 的計算方程式為：

$$\frac{\sum_{i}^{n}(\text{mass of waste (kg)} \times \text{waste severity})}{\text{mass of product (kg)}}$$

對所有合成步驟 i 進行加權計算總合，廢棄物嚴重因子是來自表格所示。

(2). 原則 2：原子經濟，「合成方法的設計，應該以最大程度將過程中使用的所有材料併入最終產品中」。P2-GCM 是一種資源效率指標。為了專注於有效利用投入物而不是產生廢物，採用製程質量效率（process mass efficiency, PME）公式，其中包括反應物、輔助化學品和再生材料。

P2-GCM 由 PME 公式進行計算：

$$\frac{\text{R (kg)} + \text{A(kg)} - \text{RR(kg)} - \text{RA(kg)}}{\text{mass of product (kg)} + \text{mass of co product(kg)}}$$

其中 R 是輸入到製程作為反應物的化學物質的質量，RR 是製程中使用的回收和循環的反應物 R 的質量，A 是輔助化學物質，即載體（如溶劑，水等），整體催化劑和用於生產副產物和回收化學原料的添加物質），RA 是作為製程被回收和再利用的輔助劑 A 的質量。

(3). 原則 7：使用再生資源，「原物料應該是可再生的，而不是在技術和經濟上可

行的情況下消耗掉」。P7-GCM 專注於使用可再生原料的效率方面；通過考慮使用的可再生材料的數量對其進行評分。每個 GCM 用戶必須明確定義“可再生材料”一詞，以保持 P7-GCM 分析的透明性和可比性。

P7-GCM 的計算公式為：

$$\frac{\sum_{i}^{n}(\text{mass of raw material (kg)} \times \%\text{nonrenewable})}{\text{mass of product (kg)}}$$

其中%為不可再生百分比是不符合可再生能源定義的材料，可再生能源被定義為「生物產品 (biobased product) 」（參考美國農業部生物優先計畫定義），對所有原材料 *i* 其增長率大於或等於其使用率。不符合可再生定義的材料，例如來自廢物或二氧化碳的材料，將不會在此類別中受益。

(4). 原則 8：減少衍生物，「如果可能的話，應盡量減少或避免不必要的衍生化作用（使用保護基團，進行保護/解除保護以及暫時修改物理/化學製程），因為這樣的步驟需要額外的化學藥劑，並且可能產生更多的廢棄物。」

P8-GCM 的計算公式為：

$$\frac{\sum_{i}^{n}\text{mass of derivative waste (kg)}}{\text{mass of product (kg)}}$$

對所有合成步驟 *i* 進行計算總合。

(5). 原則 9：選擇良好的催化劑，「催化劑（盡可能具有選擇性）優於化學計量試劑」。P9-GCM 旨在認識到催化步驟通常比化學計量步驟更有效，為 P2-GCM 的補充，可能通過使用催化劑來推動原子經濟性的改善。

P9-GCM 可以估算為：

$$\frac{1}{1 + \text{總催化步驟(number of catalytic steps)}}$$

(6). 原則 11：即時分析污染防治，「需要進一步開發分析方法，以在形成有害物質之前進行製程中的實時監視和控制」。P11-GCM 結合了分析化學方法，例如製程實時分析，以檢測與計劃的偏差，並辨別與計劃的偏差越早得到糾正，過程就越不可能產生額外的廢物或造成額外的危害。具體來說，P11-GCM 的目標是監控過程溫度或 pH。評分依賴嚴格的監控規模，利用錯誤檢測監控系統（數位或模擬）針對每個化學製造的合成步驟（實驗室、試驗或產品線）進行實時管理。如果工廠具有可用的數位監控系統，比模擬監控系統具有更高的監控等級，並且可減少浪費。表七為監控嚴謹表格的範例。

表七 、監控嚴謹表範例

規模	監控系統	監控嚴謹度
lab	模擬	1
	數位	5
pilot	模擬	1
	數位	5
production	模擬	1
	數位	5

P11-GCM 計算方式如下：

$$\frac{\text{無監控合成步驟總數}}{\text{監控合成步驟總數} \times \text{監控嚴謹度} + \text{無監控合成步驟總數}}$$

4. 提高能源效率類別：原則 6 著重於化學合成中的能源使用。為了解決通常無法測量化學品生產中使用的能量（例如，千瓦時、兆焦耳及熱量），P6-GCM 通過計算合成步驟偏離環境壓力（即 1 atm 的大氣壓）和環境溫度（即室溫或 25°C）的反應時間來估算能量影響。

原則 6：設計能源效率，「化學製程的能源需求應因其對環境和經濟的影響進行鑑別，並應將其降至最低。如果可能，應盡量在環境溫度和壓力下進行製程」。P6-GCM

利用可用的化學過程數據反應時間和產品質量。GCM 要求根據當前的能源使用慣例制定自己的溫度和壓力加權因子。表八和表九是壓力和溫度加權因子表的範例，這些表是根據 iSUSTAIN 綠色化學指數修訂而成。

表八 、壓力加權因子範例表

壓力範圍(atm)	**severity factor (SF_P)**
水的臨界壓力(218 atm)	7
海平面標準大氣壓(1 atm)	1
絕對真空壓力(0 atm)	3

表九 、溫度加權因子範例表

溫度範圍(^oC)	**severity factor (SF_T)**
冰吸收熱量(−20 至 0)	7
水結冰（0）	5
液態水吸收熱量（0 至 20）	3
室溫（20 至 30）	1
液態水吸收熱量（30 至 100）	3
液態水沸騰（100）	5
蒸汽吸收熱量（> 100）	7

P6-GCM 可以以下列方程式估算：

$$\frac{\sum_i^n[(SF_P + SF_T) \times \text{time(h)} \times \text{mass of raw material(kg)}]}{\text{mass of product (kg)}}$$

對於所有合成步驟 *i* 進行溫度與壓力的加權計算總合。

5. 減少對人類和環境的危害類別：包括解決對人類健康、安全和環境的潛在影響的綠色化學原理。此類別的指標來自基於 GHS 標準分配給每個危害類別的數值分析， P3-GCM 至 P5-GCM 是基於人類健康的急性和慢性毒性終點（E），P10-GCM 利用 GHS 環境危害情境評估生物降解和積累(B)，P12-GCM 基於物理性危害的終點（Z）。GHS 健康危害終點標準歸類為 P3-GCM，P4-GCM 和 P5-GCM 均使用類似的基於 GHS 的方法評估毒性。主要區別在於 P3-GCM 專注於輸入材料，P4-GCM

專注於生產的產品，P5-GCM 專注於溶劑和分離劑。對於原則 3-5，化學品分兩步評估。首先，根據 GHS 危害分類值分配每個毒性終點的分數（acute and chronic toxicity end points, E），接下來，從最大 E 分數中確定總危險分數(overall hazard score, H)。

(1). 原則 3：較少的有害化學合成，「在可行的情況下，產品設計的生產和使用對人類健康和環境幾乎沒有或沒有危害。」

P3-GCM 由下列方程式進行計算：

$$\frac{\sum_{i}^{n}(\text{ H score} \times \text{mass of raw material(kg)})}{\text{mass of product (kg)}}$$

對所有原物料 *i*，其 H 分數的量測是根據化學特性 E 分數的評估的危險分數。

(2). 原則 4：設計更安全的化學品，「化學產品的設計應在達到其所需的功能，同時將其毒性降至最低。」

P4-GCM 可由下列方程式進行計算：

$$\frac{\sum_{i}^{n}(\text{ H score} \times \text{mass of product(kg)})}{\text{mass of product (kg)}}$$

對所有產品 *i*，其 H 分數的量測是根據化學特性 E 分數的評估的危險分數。

(3). 原則 5：更安全的溶劑與助劑，「應盡可能避免使用輔助物質（例如溶劑、分離劑），使用時應盡量選擇無毒的化學品。」

P5-GCM 可由下列方程式進行計算：

$$\frac{\sum_{i}^{n}(\text{ H score} \times \text{mass of solvent(kg)})}{\text{mass of product (kg)}}$$

對所有使用的溶劑或助劑 *i*，其 H 分數的量測是根據化學特性 E 分數的評估的危險分數。

(4). 原則 10：可降解之設計，「化學產品的設計應使其在功能結束時分解為無害的降解物，並且不會在環境中持久存在」。該原則的 GCM 源自母體和降解產品的 GHS 環境危害標準，為了對環境危害進行評分，除急性水生毒性數據外，GCM 還使用了 GHS 相關資訊衍生的生物降解、慢性水生毒性、對數辛醇-水分配係數（Log K_{ow}）和生物濃縮係數（bioconcentration factor, BCF）。根據 GHS 危害分類計算其生物降解和累積分數（degradation and bioaccumulation, B）。P10-GCM 可由下列公式計算：

$$\frac{\text{最高母體或降解產物 B 分數} \times \text{最高母體或降解產物總質量(kg)}}{\text{總產物質量 (kg)}}$$

其中 B 分數是根據 GHS 環境危害標準確定的生物降解分數。

(5). 原則 12：以更安全的化學品防止意外發生：「應該全面考量選擇製程使用的化學物質及其形式，以最大程度地減少發生化學事故的可能性，包括洩漏、爆炸和火災」。P12-GCM 是從 GHS 危險分類值得出的，該分類值是給定化學物質在包括爆炸性、可燃性、氧化能力、反應和腐蝕性在內的各種危險類型的物理性質 (physical hazards, Z)。與原則 3-5 相似，每個終點的 Z 得分（例如，易燃性、活性）是根據 GHS 危險分類值決定。研究人員必須確保從任何物理特性或其他比較中選擇最大的 Z 分數，來確定總體物理特性得分（physical properties score, P）。

P12-GCM 可由下列公式計算：

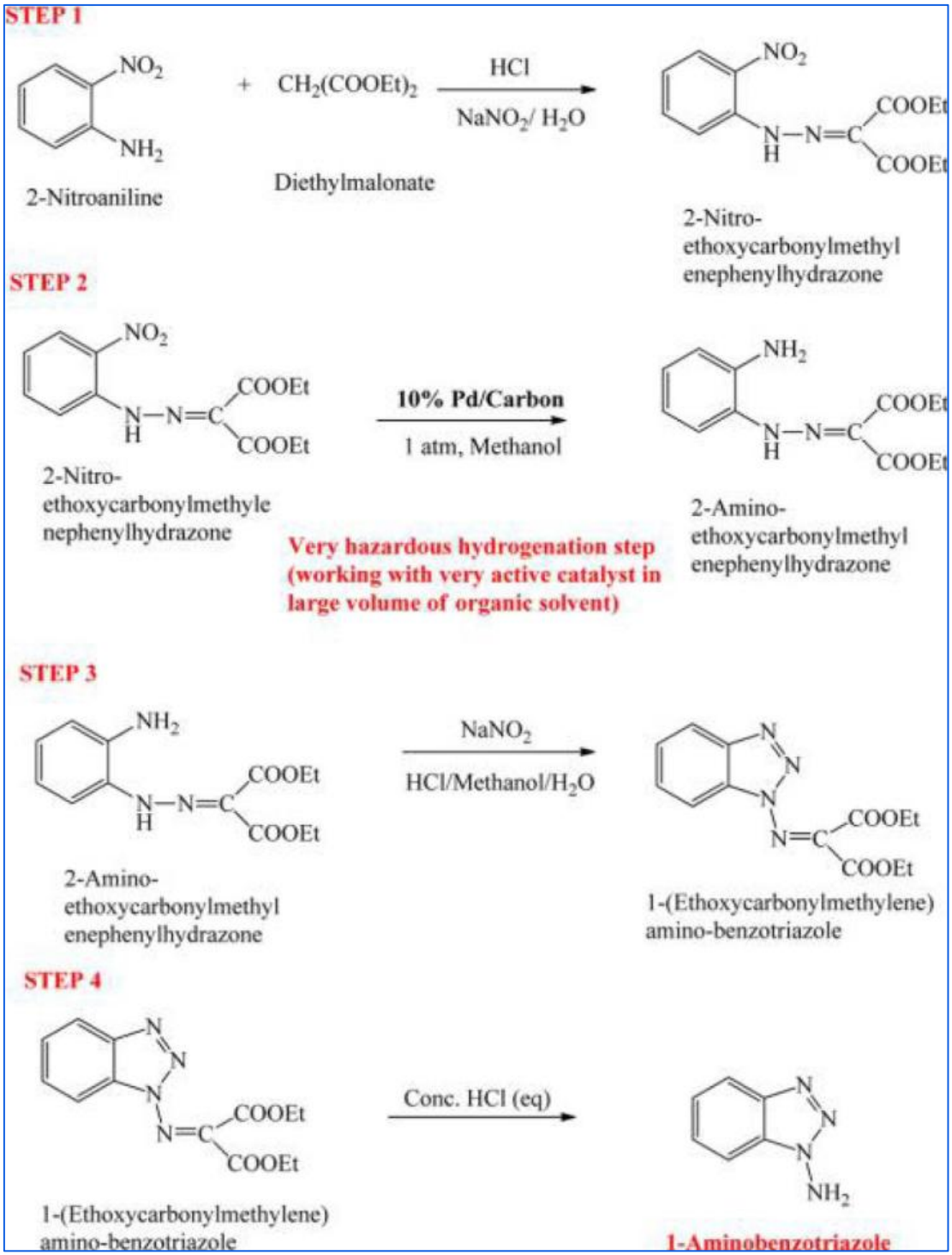
$$\frac{\sum_{i}^{n}(\text{P score} \times \text{mass of raw material(kg)})}{\text{mass of product (kg)}}$$

其中 P 分數是根據對所有原料 *i* 的化學 Z 分數的評估而確定的物理分數。

Millipore Sigma 公司在案例研究中試用 GCM 評估方法，發現 GCM 提供了對 12 種原理中的每種化學產品和製程技術進行評估和評分的能力，達成前述關鍵設

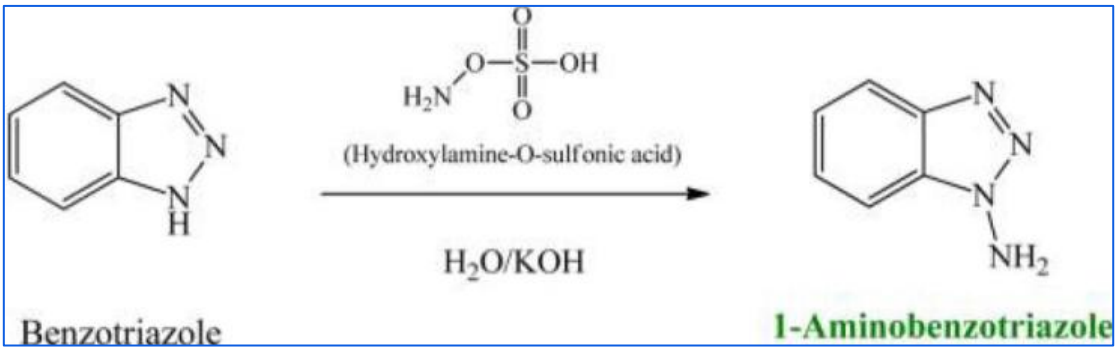
計目標。本案例研究比較了兩種替代方法—原始方法和重新設計方法—合成 1-氨基苯並三唑 (1-aminobenzotriazole) ，以使用 GCM 方法評估綠色替代方案，合成 1-氨基苯並三唑的原始方法包括以下四個步驟如圖七所示，第二步包括在大氣壓下使用 10%鈀/碳的甲醇溶液（20 L 燒瓶）進行具有危害性的氫化步驟。最終產物需要通過填充數公斤的矽膠柱及數十公升的有機溶劑進行純化。重新設計的過程解決了這個問題，因為它不需要經過管柱純化。圖八所示為合成 1-氨基苯並三唑的新方法是的一步法。在鹼性水溶液中苯並三唑與胺磺酸鹽的親核反應得到 1-氨基苯並三唑。通過萃取、洗滌和重結晶純化為最終產物。

重新設計的過程的改進包括：在過程中消除了使用 10%鈀/碳的甲醇溶液（20 L 燒瓶）在大氣壓下進行的具危險性氫化過程，減少了 40%的有機溶劑，減少了約 6 L 濃縮鹽酸和 150 g 的 10%鈀/碳催化劑廢料處理，減少了 6 kg 的助劑（例如，乙酸鈉/碳酸鈉/硫酸鹽），減少了 22 天（約 73%）的處理時間，產率提高了約 60%。



圖七 、原始 **1-**氨基苯並三唑的化學合成途徑

(資料來源：Kreuder et. al., 2017)



圖八 、改良後 1-氨基苯並三唑之的化學合成途徑

(資料來源：Kreuder et. al., 2017)

在改良的基礎上，根據 12 個 P-GCM 中的每一個比較了原始和重新設計的替代方案。然後按原理和類別按等級對他們進行評分。將替代方案設定不同假設進行比較：(1)案例研究邊界中包括的生命週期階段只限縮於化學製造的過程。(2)本案例研究不包括原材料提取、原材料預處理與清理。(3)為了提供簡化的範例，某些生命週期階段被排除在外。(4)案例研究範圍不包括任何原材料輸入或中間產物。

表十提供了綠色替代範例結果，其編排方式是按照 12 項原則和三大類別比較倍選化學品的分數和等級。在此範例中，在原則 1-3、5-7 及 12 的 GCM 評分，改良的 1-氨基苯並三唑製程比原始製程更好（PSR 較低），並且在所有三個類別中的排名都更高（CR 較低），重新設計的製程總體上具有更好的 SR（具有更高的 SR）。GCM 提供了大方向的證據，表明重新設計的流程在 12 條原則中的 11 條（在原則 9 中比原本差）、全部三個類別以及總體等級而言，評估為相等或者更好。最終，用戶將根據個人原則、類別或總體排名，決定是否優先選擇該化學藥品。本案例研究和 GCM 方法未得到 Millipore Sigma 公司以外的其他工業化學家同儕評審，這是本案利研究的潛在限制。

表十 、綠色替代評估案例的結果評分

類別與相關原則	原始製程		改良後製程	
	PS	PSR	PS	PSR
改善資源利用				
原則 1：防止廢棄物	2701	2	1042	1
原則 2：原子經濟	933	2	345	1
原則 7：使用再生原料	933	2	345	1
原則 8：減少衍生物	0.0	1	0.0	1
原則 9：選擇良好的催化劑	0.5	1	1.0	2
原則 11：即時分析污染防治	1.0	1	1.0	1
類別 PSR 平均	-	1.5	-	1.2
類別等級(CR)	-	2	-	1
增加能源效率				
原則 6：設計能源效率	3282	2	1322	1
類別 PSR 平均	-	2	-	1
類別等級(CR)	-	2	-	1
減少對人類和環境危害				
原則 3：較少的有害化學合成	3358	2	1455	1
原則 4：設計更安全的化學品	5.0	1	5.0	1
原則 5：更安全的溶劑與助劑	2245	2	1252	1
原則 10：可降解之設計	0.0	1	0.0	1
原則 12：以更安全的化學品防止意外發生	2516	2	220	1
類別 PSR 平均	-	1.6	-	1.0
類別等級(CR)	-	2	-	1
總體 PSR 平均	-	1.6	-	1.1
總體等級(SR)	-	2	-	1

(資料來源：Kreuder et. al., 2017，本計畫翻譯彙整)

GCM 之所以具有應用的價值，因為它提供了以下指標：（1）使用容易獲得的數據來評估，減少成本；（2）根據可用的公認行業慣例，以及（3）可以將方程式運算與結果簡單的向客戶表明。可持續性計劃應預期以下收益 1. 衡量：使用現有數據庫或建立簡單的數據收集程序的能力 2. 計算：利用定義明確的指標來計算綠色化學 12 項原則優勢的能力 3. 溝通：能夠與客戶透明地交流更綠色的替代選擇

與所有方法一樣，包括那些確立為 LCA 的方法，都有其局限性。Millipore Sigma 公司提出以下後續步驟，以改進這項研究：

1. 召集綠色化學工作組來試驗和審查該方法
2. 進行 LCA 評估，以將 GCM 結果與 LCA 結果進行比較

3.2 蒐研國內現有符合綠色化學相關指標及策略作法

聯合國於 2016 年訂定的 17 項永續發展目標 (Sustainable Development Goals, SDGs)，其中談到促進產業永續與改變消費生產模式，推廣綠色化學將有助於實踐永續發展目標。透過實踐綠色化學促進永續發展，因為建立對環境友好的化學過程，利用化學技術與方法，減少或排除有害物質的使用與產生，以保護地球環境生態。因此，綠色化學品合成、生產、鑑定與評估，更成為國際關注重點，其中 GreenScreen® for Safer Chemicals 是一種化學危害評估方法，旨在識別高度關注的化學品和更安全的替代品。GreenScreen® 是基於 12 項綠色化學原理和美國環保署的環境化設計 (Design for Environment, DfE)替代評估方法的基礎。

建立毒化物安全替代品之篩選機制，整合化學品數據平台與量化風險特性，包括人體健康效果，環境歸宿和毒性，以及安全性危險終點各自排名為高、中或低。建立綠色化學品篩選流程，企業可以對化學品建立化學管理體系，定期檢討與更新相關關鍵績效指標，有助於企業做出更明智的決策，降低業務風險並促進創新開發。推動綠色化學品產業達到永續發展目標，著力於永續發展解決方案的戰略規劃和創新，推廣可激勵消費者選擇永續發展事業的產品和服務，將行業轉變為支持全球目標的永續發展方向，創造更多的商業機會。

3.2.1 國內符合綠色化學原則之相關實務案例

有鑑於國內綠色化學原則以及概念主要推廣於教育宣導，較少用於產業實務面，因此，並無適用於國內產業之綠色化學原則指標，然而，國內已有相關實務研發案例可符合綠色化學原則，可作為未來推動國內綠色化學指標訂定之參考方向，主要參考化學局所舉辦的綠色化學及應用創新獎所篩選出的案例，如下列說明(台灣化學產業協會會刊，2020)：

1. 微膠囊環保型防污塗料應用於船殼保護

船殼因長期航行容易受海洋生物附著形成嚴重的生物污損問題，導致油耗增加並加速船體表面腐蝕，嚴重影響船舶正常航行。現今國際海事組織規定禁止使用有機錫類的防污塗料，而後多改用低毒性氧化亞銅塗料，該塗料會釋放銅離子，導致水中牡蠣受重金屬污染呈青綠色，且須配合除草劑去除藻類生物達到整體防污的效果。

此研究採用微膠囊環保型防污塗料之技術，取代有機錫類和氧化亞銅之防污塗料。塗料含抗菌劑具有生物可降解能力，使其不會造成生物毒性之累積，且採用微膠囊包覆技術，可減少抗菌劑的使用量，而透過微膠囊具有長效、穩定釋放之優點，可維持長期抑制生物污損所需的抗菌劑濃度。

本技術為一種可用於塗料使用之含抗菌劑微膠囊結構，其微膠囊結構設計概念包含:

- 採用單階段或多階段高分子聚合交聯，達成高單位之抗菌劑包覆於微膠囊核內；
- 採用疏水性抗菌劑，可使抗菌劑不致因水溶液溶解而快速大量地釋放於環境中；
- 微膠囊之核心為聚合疏水性高分子，或是具有疏水端官能基的高分子化合物，可穩定和大量儲存疏水性的抗菌劑；
- 微膠囊之殼壁為親水性單體所聚合成親水性高分子，可使控制抗菌劑穩定釋放至漆料，親水性高分子的外殼可形成類似屏蔽作用，隔離疏水性抗菌劑直接與漆料溶劑接觸。

此研究改良船殼防污塗料技術，替代含有機錫類及氧化亞銅傳統塗料，減少對於海洋生態之破壞、減少抗菌劑的使用，且抗菌劑具有生物降解能力，不會導

致環境中生物毒性累積，有效減少對於海洋生物健康的危害。

其研究之微膠囊環保型防污塗料符合綠色化學原則中，原則4設計更安全的化學品及原則10可降解之產品設計。

2. 化學品公司廢水氨氮削減

化學拼公司為改善高濃度氨氮的廢水，針對廠內的所有製程、原物料以及每一股廢水進行全面性的盤查：

(1). 廠內製程廢水中氨氮的來源可分為三大類，第一類為共通製程 (約佔35%)、第二類為特定製程(約佔50%)、第三類為其它製程(約佔15%)。

(2). 第一類的共通製程以新原料取代過量一莫耳的還原劑；第二類的特定製程採取新反應製程，降低反應之立體障礙，將反應所需之莫耳比降低至合理值(原製程使用含有高氨氮且超量四個莫耳的原料)，利用製程原已存在的反應物之螯合作用替代原本所需的錯合反應與原料。

透過製程調整，減少濾液中的氨氮含量。以印花染料為例，改善前後比較，氨水用量降低77.0%，銨離子濃度降低98.8%，透過設備的改善，分散劑用量每年減少3,200公斤，助濾劑也每年減量5,020公斤；反應時間方面，每年縮減3,400小時，同時減少總體耗能。產品符合總氮低於50mg/L的製程水準的法令要求，並成為綠色環保組織的重要供應商。

其廢水氨氮削減符合綠色化學原則中，包含原則2原子經濟最大化、原則3危害性較小的化學合成、原則4設計更安全的化學品、原則8減少衍生化學物及原則6更好的能源效率設計。

3. 化學品公司廢水處理廠的污泥減量與資源化

廢水處理廠運用綠色化學的原則來操作，以減少化學品使用及污泥減量與資

源化為目標改善：

(1). 檢測技術的改善：利用廢水吸收特定波長之特性，建立快速COD檢測技術，取代傳統高鹵COD檢測法需要長達7.5小時及加藥不足或者過度加藥的問題，將每日需9個樣品之傳統檢測方法降為2個，每年節省檢測藥品重鉻酸鉀43g、硫酸汞1,400g。

(2). 避免過度加藥：透過快速監測用藥，管制有效成分如混凝劑硫酸亞鐵，控制重金屬濃度，達到源頭管制也能避免產出有害的廢棄物。利用後段廢棄之污泥以提供前段化混系統所需鹼度，提升處理效果並節省整體藥劑用量與污泥產生量。

(3). 高端生物處理技術：應用了臭氧預處理以提升廢水之生物可降解特性，掌握生物處理系統的建康狀態，以菌相觀察與生物計數指標系統予以控制，維持良好的生物處理成效並避免前段化混系統過度的加藥。以先進高級氧化技術取代次氯酸鈉氧化處理廢水並避免可能衍伸鹵烷物質。實廠運作中若添加約1,000ppm氮氣，可有效降低臭氧產生機約20%之能耗。

(4). 污泥再利用：無機性污泥應用於非結構性骨材或土木工程土方之及配料，委託研究產製成環保水泥可能性，其結論為無機性污泥化學組成(CaO及Fe_2O_3)可部分取代石灰石及鐵質原料。

其廢水處理廠流程處理改善符合綠色化學原則中，包含原則1防止廢棄物、原則6提高能源效率、原則7使用可再生原料及原則11即時分析污染防治

4. 化學公司發展核磁共振分析技術，減少廢棄溶劑產生：核磁共振分析技術應用於相關產品的結構鑑定、分子量以及雜質的分析，取代了傳統有機化合物的定量分析技術，（主要採滴定法，或氣項與液項層析分離之後檢測分析物的光譜，分析過程中亦須使用大量有機溶劑），雖然傳統檢測方法在某些方面可提供檢測優越性，但核磁共振技術可減少大量廢棄溶劑符合綠色化學概念，有效減少對環境

的衝擊。同時，並可發展環境特性產品，如下說明：

(1). 環境特性產品-碳酸乙烯酯：碳酸乙烯酯以二氧化碳為主要原料再和環氧乙烷反應，此製程可以有效使用CO_2減少排放量，所以碳酸乙烯酯產品為一個綠色環保的製程，具有減少溫室效應之功效，預估CO_2年平均減少外排約45,790MT/y。

(2). 環境特性產品-纖維素酒精：取代傳統糧食作物為原料，將農業廢棄物，如稻稈、蔗渣等作為原料製成纖維素酒精，纖維素酒精可以脫水後製成乙烯，再轉而製成生質乙二醇，待研發成功後，東聯乙二醇製程的乙烯原料便可從原油或是農產廢棄物而來，讓東聯降低對原油的依賴度（目前乙烯由原油裂解），且生質乙二醇生產過程不增加CO_2排放，屬綠色環保產品。前述分析技術及產品符合綠色化學原則中，包含原則1防止廢棄物、原則7使用再生原料及原則6提高能源效率。

3.2.1 國內綠色化學原則之推動策略作法

本計畫團隊配合臺灣永續能源基金會，於109年9月9日辦理第四屆循環經濟綜合與創新解決方案國際研討會（本年度採視訊會議舉行），邀集國內外相關專家學者，針對循環化學產業，推動綠色化學原則等議題辦理圓桌會議，由於綠色化學原則與循環經濟體系息息相關，依據英國艾倫麥克亞瑟基金會所提出循環經濟定義：「循環經濟具有可回復性和可再生性，從一條完整價值鏈與跨不同價值鏈的系統，檢討各式各樣的經濟活動，建立資源循環體系」。藉由討論資源、材料、產品之間鏈結關係，重新思考廢棄物的可再利用情形，並確保其附加價值，以強化並確保天然資源的有效利用。傳統生產模式由自然環境中取得各項原料，以獲得所需產品，但中間產生的各項廢棄物及消費者使用而產生之廢棄物往往並未妥善利用。本次圓桌會議提出五個面向，包含訂定時宜法規、創造經濟誘因、完善資訊建置、提升技術能量與建立商業模式，本計畫彙整相關會議紀錄，提供國內推動國內綠色化學原則應用至循環經濟體系改善策略與措施之參考建議（自圓桌

會議會議紀錄彙整之），如表十一所說明。

表十一 、第四屆循環經濟綜合與創新解決方案國際研討會之圓桌會議紀錄彙整

面向	改善策略與措施
訂定時宜法規	• 完善法律法規體系（例如：化學品循環再生、綠色包裝標準等），檢討阻礙循環經濟發展之不合宜法規，以降低資源化資源限制。 • 強化源頭產源公司及廢棄物處理機構流程管理，借重科技掌握流向及數量，建置回溯及追蹤系統；促進資源與產業合理配置，簡化行政程序，強化整合管理機制。 • 訂定國內廢棄物之永續物料管理制度，提升「處理技術」及「監督管理」能量，訂定行業別綠色化學品標章（水足跡、碳足跡）標準與法則。 • 實綠色採購法主要定義，提升租賃商業模式；推動綠色金融體制，協助建立氣候金融平台，包括：碳交易、投資綠色科技、氣候保險及其他衍生性金融商品等，以帶動國內產業轉型。 • 嚴格控管流向及清除處理情形，訂定管理查核作業辦法，建立第三方稽核機制，落實查核監督機制。
創造經濟誘因	• 提供初期經濟誘因及補助，例如：減稅措施、低利融資、補助再生獎勵及二次料市場誘因獎勵等，並應考慮加上落日條款。 • 鼓勵業循環利用可再生之資源物，推動二次料驗證與證照制度，激勵二次料市場發展，扶植新興綠色製品及製造業。 • 擴大物料收集來源，妥善規劃未來循環經濟政策與發展期程，開發低成本應用技術，以降低集中處理廠營運成本。 • 提昇政府機關綠色採購比率，推廣綠色消費，對於節約成本、創造就業機會、技術創新、及提昇生產力帶來顯著經濟效益；建立綠色金流制度，明確金融資金支持。 • 藉社區總體營造結合文創方式，強化民眾綠色消費環境保護意識，提高循環資材及產品之附加價值。 • 評選優良示範產業，推廣以租代買商業模式，創造經濟價值，活絡產業發展，促使資源及設備產生最大效用。
完善資訊建置	• 建置跨業生產剩餘化學品資訊平台，導入跨域技術之管理，加強廢棄物管理及申報流程，以確實剩餘資源生產及流向，建立追蹤與評估系統，以利後續再利用。

	• 加強產品品質及流向管理，強制產品申報及標示，以提升申報及標示品質。 • 運用AIoT技術建立供需網絡與循環經濟相關資訊，建置物質流、能源流等基本資料及統計分析模型；建構綠色產品平臺（例如：生產溯源追蹤、二手商品交換平臺），建立循環型服務業發展指標系統，定期發布發展資訊，提供政策回饋，以強化消費者綠色經濟意識。 • 建立化學品循環再生相關資訊平臺，扶植並發展循環再利用中間處理/資訊平臺產業，深化產業對綠色化學原則之推廣，辦理相關產業教育宣導，提升國內化學品管理量能。 • 建置明確企業商業可依循之標章體系（包括：界定範疇、標示呈現等），強化市場供需雙方媒合，加強產品碳足跡、水足跡透明化（例如：旅館業碳足跡標示）
提升技術能量	• 精進化學品循環再生、處理技術及管理措施，例如：提高廢水回收率、沼氣回收率及生物精煉技術，提升循環經濟及再利用能量。 • 運用綠色設計、程序優化及創新資源循環技術（例如：生物可分解技術、AI模式應用餐飲點餐、綠色包裝技術等），提升物質能源使用效率及生產力，減少廢棄物量。 • 建置廢棄物能源化之綠色供應鏈體系，建立整合式廢棄物再利用評估模型，評估廢棄物再利用之技術及商業化風險、環境衝擊、永續性、及經濟及法規可行性等。 • 建立資源再利用相關技術評估及篩選機制，確保產品資源化及循環經濟效益。 • 加強開發新環保材料技術研發，提升產品製造技術，延長產品使用壽命，降低環境衝擊，提高循環再利用價值。
建立商業模式	• 建立循環「創新-使用-產品」模式，開發以生物基/低資源密集度/可全回收之材質，於產品使用階段達到最佳化產品使用與附加價值維護，以達到「逆物流」產業商業模式。 • 完善剩餘資材與廢棄物回收循環體系之商業模式，涵蓋資源由供應、生產、消費、循環、廢棄物處理等階段之「生命週期思維」之跨業管理模式，例如：綠色運輸搭配服務業消費折扣。 • 篩選具潛力化學品（剩餘資材或廢棄物），選定示範與推廣場址由業者主導推動試行，藉此建立示範性商業模式與合作機制。 • 廠商直接購買回收料或與中間處理業合作共同廢料收

	集；擴大再生料應用，與特定企業合作（世界知名品牌商）或自行開拓市場。 • 透過「企業社會責任」要求，建立「綠色供應」體系與永續運作商業模式；優選示範亮點產業，推廣化學品租賃模式，促進資源對大限度運用。

(資料來源：本計畫自行彙整)

3.3 研議納入綠色化學應用及創新獎評選作業與環保標章等評量系統鏈結

我國環保標章制度推動迄今，已公告產品規格標準以供廠商申請者，可分為辦公室用具產品類、工業類、日常用品類、可分解產品類、有機資材類、利用太陽能資源、服務類、建材類、省水產品類、省電產品類、家電產品類、清潔產品類、資訊產品類、資源回收產品類等 14 大項。符合特定項目規格標準之要求並通過審查之產品，得於證書使用期限內使用環保標章。迄今已有超過 1 百多種產品項目符合環保標章規格標準。

環保標章推動方式各國不同。日本、美國等國係由民間組織發起，規格標準係由對應之協會（基金會）訂定。歐盟、及中國等之規格標準則由主管機關進行審查及發佈，我國亦採此作法。依據 ISO 14024 之精神，產品規格標準需定期檢討修正，以配合廠商之技術水準提昇及維持環保標章之選擇性。此外因環保標章制度已實施多年，規格標準用語及檢測方法亦有統一或改變之需要，故歷年均檢討修正數項規格標準。環保署現行每年針對取得標章之產品進行查核，各產品每三年會被查核一次。查核內容包括產品標示、內含物抽樣檢驗與賣場/現場查核等。

依據現有的規格標準，取得環保標章的不同產品中，關於環境危害物質之管制與環境荷爾蒙相關物質均已被嚴格限制（包括禁用），例如重金屬、鄰苯二甲酸酯類等多已禁用。然而各項規格標準中對於環境有害物之限制多採正面表列，對於主動針對毒化物進行研究，開發替代化學品之綠色化學產業，缺少鼓勵之作為。

第二類環保標章係環保署於 103 年 9 月 11 日函頒修正「行政院環境保護署綠色消費暨環境保護產品推動使用作業要點」為第二類環境保護產品之簡稱，該制度於自 89 年起推動，針對產品非屬環保署公告之環保標章規格標準項目，但經認定符合減量、可重複使用、可回收再利用、低污染、省能源、省資源或對環境友善等環保特性，核予證明書。環保署為推廣更多環保產品，於 103 年 9 月 28 日公告「第二類環保標章環境訴求評定基準」，內容包括適用範圍、用語及定義、特

性及要求、標示及其他事項，其中適用範圍中，可申請主張之環境訴求項目，包括低污染、具可堆肥化、具可生物分解、具可拆解設計、具可回收設計、具可再使用、使用回收料、具可延長壽命、回收能源、製程省資源、製程或產品使用可再生能源、廢棄物減量、使用階段省能源及使用階段省水，共 14 項，廠商可依據產品主要特性選擇 3 項以內，作為申請之評定基準，並據以提出產品環保優越性之佐證資料，供驗證機構驗證審查，審查通過後，核發第二類環保標章使用證書，廠商可於產品或包裝標示第二類環保標章圖案，進而共同推動環保行銷，推廣更多環保產品。依據此規定，採用綠色化學品製作之產品，應能符合低污染、具可堆肥化、具可生物分解等要求，依據環保署公告之程序，由廠商自行提出申請第二類環保標章。

3.3.1 國際化學品環保標章制度與獎項規範作法

依據綠色化學之概念提出環保標章申請之作法，在紐西蘭及歐盟有類似規定可供參考：

1. 紐西蘭官方環保標章 (Environmental Choice New Zealand, ECNZ) 相關作法

「Environmental Choice New Zealand (ECNZ)」是由紐西蘭官方授權給符合規範的廠商使用的環保標章。紐西蘭政府在 Environmental Choice 架構下推動的 Ecolabel（生態標章）不僅提供綠色家庭或企業作為環境友善產品認證，同時也是該產品環境績效的證明。紐西蘭的 Environmental Choice 計劃自 1992 年開始推動，該計畫之運作獨立於政府之外，授權第三方團體負責標章審核及使用授權，但該產品標章則屬於政府擁有並認可的標誌，具有官方認證的地位。表十二說明 ECNZ 願景、使命與價值主張。

表十二 、ECNZ 願景、使命與價值主張

ECNZ 的願景	紐西蘭政府推動 Environmental Choice 標章計畫之願景，在於支持政府、企業和消費者透過認同永續發展的優選產品和服務，透過標章授權及鼓勵民眾使用獲得標章授權的產品，逐步

	過渡到符合永續、低碳排放環境的經濟體制。
ECNZ 的使命	透過標章的授權及使用，使獲得 ECNZ 授權使用的標章(及其產品)成為紐西蘭最受信任、認可和追求的生態標章。
ECNZ 的價值主張	符合 ECNZ 標章要求而獲得標章使用授權的產品，代表其值得信賴、獨立、健全、透明並可驗證。

(資料來源：ECNZ website，本計畫翻譯彙整)

ECNZ 環保標章的內涵：產品符合標章使用要求並獲頒紐西蘭 Environmental Choice 標章，代表該產品和服務符合環境永續性的精神，可做為產品符合永續精神價值的指標，並可協助政府、企業和消費者做出更好的購買決定。紐西蘭 Environmental Choice 標章由環境部擁有並認可，同時也是全球 Global Ecolabelling Network 的成員，Environmental Choice 標章是紐西蘭唯一的第一類生態標章。符合第一類生態標章要求的產品所具備的重要特徵包括：

(1). 針對該產品的製造、使用及使用後的整個生命週期中，已進行符合多種規範的嚴格評估。

(2). 經過獨立的第三方驗證以確保符合要求。

(3). 生產、使用其廢棄後之處理處置均持續符合各項規範。

(4). 針對不同區域需要編寫不同標準以強調地域性環境問題。

(5). 定期更新規範標準，以鼓勵持續改善。

透過 ECNZ 環境保護標章計劃的推動及執行，可以獲得許多公共利益。這包括：

(1). 產品生產及使用可促進經濟效益。

(2). 協助消費者選擇，減少消費者信息成本的付出。

(3). 排除「漂綠 (green wash)」作為，確保符合環境永續精神。

(4). 在競爭的貿易環境中對產品進行驗證以符合生態環境要求。

(5). 提升生產者及消費者之環保意識。

(6). 減少產品使用及消耗對環境的影響。

(7). 強化環境關鍵策略的推動。

政府授權部門對於 ECNZ 標章使用的監督：依照 ECNZ 的規範，獲得標章使用授權的被許可人及其代理人只能在符合各項 ECNZ 規範要求（以及包含在其許可中所列其他規範)或有關這些產品或服務資訊的產品或服務上使用 ECNZ 標章。為了監督 ECNZ 標章的使用授權並確保獲得標章使用授權的廠商能持續維持產品品質要求，紐西蘭政府透過不同機制針對產品製造、使用及廢棄訂定各項規範，要求獲得授權的廠商能符合標章使用要求。表十三說明 ECNZ 推動流程與審核規範。

表十三 、ECNZ 推動流程與審核規範

監督計劃	政府授權之部門持續監督標章許可證的使用。該計劃列出政府授權機關或指定的驗證者將完成的驗證計劃，以確認： • 標章使用者或其代理人的產品或服務持續符合相關規範 • 標章使用者或其代理人對於標章的使用方式符合相關規範以及許可條件的要求。
檢查	• 政府授權機關或指定的驗證者可能會在標章使用許可期間內的任何時候，檢查標章使用人的產品或場所以確認該產品或服務以及標章的使用符合相關規範和許可條件的要求，這可能包括標章使用人代理商的處所。標章使用人必須允許標章使用人免費取得產品或進入場所以完成檢查。
紀錄	• 標章使用人必須保留足以證明所提供的產品或服務以及標章使用的方式滿足相關規範和這些許可條件的要求的記錄。 • 標章使用人必須允許政府授權機關或指定的驗證者免費取得各項紀錄以確認標章使用人（及其代理商）以及其產品或服務是否滿足相關要求和條件所需的記錄。
樣品	• 政府授權機關或指定的驗證者可能會在標章使用許可期間內的任何時候，獲取或索取產品及/或任何相關材料和廢棄物的樣品，以確認它們和標章使用人（及其代理商）的運作情況符合相關規範的要求。 • 標章使用人（及其代理商）必須免費提供所要求的樣品或允許訪問以收集樣品。 • 如果標章使用人（及其代理商）要求，政府授權機關或指定的驗證者將退還任何樣品，費用自理。

暫停許可	• 如果政府授權機關或指定的驗證者或標章使用人發現標章使用人（及其代理商）無法滿足相關規範或許可條件的要求，政府授權機關或指定的驗證者將要求標章使用人滿足要求或提供行動計劃已說明期將能滿足許可要求。 • 政府授權機關或指定的驗證者要求標章使用人在主動通知發現其無法符合要求或者經政府授權機關或指定的驗證者確定並通知標章使用人其無法滿足許可要求後的 14 天內執行此項操作。 • 政府授權機關或指定的驗證者將審核標章使用人已採取或計劃採取的措施，並決定是否可以接受。如果政府授權機關或指定的驗證者決定不接受這些修正動作，將暫停標章使用人的許可證，其期間可長達六個月。
複查停權	• 在不超過六個月的時間後，政府授權機關或指定的驗證者將重新評估標章使用人（或其代理商）是否滿足相關規範和許可條件的要求。 • 如果經驗證確認符合要求，政府授權機關或指定的驗證者將立即恢復標章使用人使用許可證。 • 如果經驗證確認仍然不符合要求，政府授權機關或指定的驗證者可以將暫停時間再延長一次（不超過六個月），或取消許可證。
移除標籤	• 如果在第二次暫停後仍未達到要求，則取消許可證 • 如果標章使用人的許可證被暫停，則標章使用人（或其代理商）必須採取措施，從任何不符合要求的產品中移除標章。 • 如果政府授權機關或指定的驗證者認為有必要，可保留採取行動刪除標籤的權利，並追回產生的任何費用。

(資料來源：ECNZ website，本計畫翻譯彙整)

紐西蘭環保標章中有關取得化學品類標章之規範：多數 ECNZ 的產品規格都包括對添加到產品中或在產品生產製造過程中添加不同化學品的規範，例如介面活性劑、木材處理劑、粘合劑、漂白劑或染料等。關於化學品使用的規範可協助化學品供應商獲得不同化學品的 ECNZ 許可，同時簡化使用這些化學品為原料或添加劑的最終產品製造廠商尋找符合 ECNZ 規格之成分或製程添加化學品的過程。

或者，如果化學品製造商不希望根據本化學品規範取得自己的 ECNZ 許可以便使用於符合 ECNZ 許可的產品，化學品供應商可以將相關的化學品資訊直接提供給最終產品製造商，以作為最終產品申請 ECNZ 許可評估的一部分或監督評估之用。對 ECNZ 許可產品中有關各種化學品成分濃度的限制或具有相同危害類別

的不同化學品成分的總量，仍與這些最終產品申請 ECNZ 許可的最終產品製造商相關，例如油漆、清潔劑或家具的產品，其各項化學品使用仍必須符合 NZEC 規範方能獲得各最終產品的 ECNZ 標章。這些化學品限值在適用的每個 ECNZ 產品規範中都有規定。

為了減少對環境生態和人體健康的潛在影響，產品中化學品的使用應該滿足無毒、對環境無害、易生物降解、且降解產物不應對人類健康或環境生態構成不可接受的風險。在 Ecolabel 生態標章之規範中廣泛使用了以危險性較低的物質取代危險性較高物質的原則，以降低化學品對環境生態及人體健康之威脅，ECNZ 標章對於化學品使用的要求，主要根據不同化學品的危險性類別限制了不同化學品的使用。這是歐洲有關化學品使用的討論文件“產品中永續化學品使用的道路：歐洲生態標籤之路 (The Path to Sustainable Use of Chemicals in Products: The European Ecolabel as a Signpost) 中提出的概念，ECNZ 的相關規範也廣泛採用了這種概念。受到管制的危害物質類別包括致癌物、致突變劑、對生殖有害的化學物質、過敏原和致敏劑、具生態毒性和生物累積性物質。

負責任的使用和處置化學品也能減少對人體健康和環境生態的風險。有害物質安全數據表 (MSDS) 包含許多負責任的使用化學品的必要資訊，每個化學品供應商都有責任向化學品用戶提供準確、最新和完整的 MSDS。由於產品包裝也會對環境造成影響，可能的影響取決於所用包裝材料的類型和後續處置方式。減少、重複使用及回收包裝材料可節省寶貴的資源，並減少進入廢棄物流的包裝量，對於環境生態維護也有其意義，因此 ECNZ 對於包裝材料也有相關的要求。表十四說明 ECNZ 針對化學品標章認證之相關規範，其範疇包含法律要求、用途特性要求、化學安全數據、能源管理、廢棄物管理、包裝管理、使用者要求、產品管理與產品特性等。

表十四 、**ECNZ** 針對化學品標章認證之相關規範

範疇	相關規範說明
法律要求之規範	該化學品必須遵守該化學品使用生命週期內所適用的所有相關環境法律和法規的規定。例如，相關法律法規可以包括與以下各項因素有關的法律或法規： • 生產、採購、運輸、處理和儲存用於製造所需的原料和組件； • 製造過程； • 處理、運輸和處置製造過程中產生的廢棄物； • 在國家內和國家之間運輸產品或原材料；以及 • 使用和處置產品。
根據用途的特定要求之規範	• 許可證申請人、持有人或化學品製造商必須透過填寫申請表中附表的內容，確認其想要獲得許可的化學品以及其所要考慮使用的 ECNZ 產品規格。 • 所確認使用的化學品必須符合 ECNZ 產品規格中適用條款的所有相關要求。
化學安全數據表規範	• 在紐西蘭出售或進口的化學品必須具備安全數據表，以確保符合有害物質和新生物法案（Hazardous Substances and New Organisms Act (HSNO)）之要求，或以符合 2001 年《有害物質（識別）條例 (Hazardous Substances (Identification) Regulations 2001)第 37 至 50 條、《 2001 年有害物質（緊急管理）條例 (Hazardous Substances (Emergency Management) Regulations 2001)第 12 至 20 條、以及「2001 年有害物質（處置）條例」(Hazardous Substances (Disposal) Regulations 2001)第 13 和 14 條的要求作為替代。 • 在其他國家/地區使用的化學品必須提供符合該國家/地區法律要求的化學安全數據表。該化學安全數據表應採用符合國際標準的 16 節格式，並使用被廣泛認可的危害分類系統，例如全球化學品調合制度（GHS）或歐盟風險與安全說明系統(EU system of Risk and Safety

	phrases) 許可證申請人/持有人或化學品製造商必須提供化學安全數據表準備過程的文件，包括： (1). 由具有適當知識的人批准 (2). 含有發行日期和版本號 (3). 定期審查現有化學安全數據表的程序 (4). 向客戶提供更新的化學安全數據表的程序 必須至少每三年提供給每個客戶一次化學安全數據，如果已經有更改版本，則應更頻繁的提供，並且在有需要時隨時提供。 必須在更新版的化學安全數據發行後三個月內向每個現有客戶提供新版化學安全數據。 化學安全數據必須能以電子形式以及紙本形式提供。
能源管理規範	許可證申請人/持有人和化學品製造商必須具備有效的能源管理政策及程序，以及/或能源管理計劃。許可證持有人必須每年提供能源管理報告，包括： • 總能源消耗； • 將總能源消耗細分為所用能源的類型； • 與生產有關的能源使用； • 採取減少能源使用和提高能源效率的措施； • 為計算和減少與能源使用相關二氧化碳排放而採取的措施； • 對供應商或合約製造商的相關措施或要求。
廢棄物管理規範	許可證申請人/持有人和化學品製造商必須具有有效的廢物管理政策、程序以及/或廢物管理計劃。許可證持有人必須每年提供廢棄物管理報告，內容包括： • 回收供內部或外部再利用的廢物數量和類型； • 供內部和外部循環使用的廢棄物數量和類型； • 進入填埋場處置的廢棄物數量和類型； • 供內部燃燒使用以回收能量的廢棄物數量和類型； • 與生產有關的廢棄物產生量； • 為減少廢棄物產生並改善廢物回收/再循環的

	措施；以及 • 對供應商或合約製造商的相關措施或要求。
包裝要求規範	所有塑料包裝必須已能夠在紐西蘭(或產品出口和銷售的國家/地區）回收的塑料製成。 包裝不得以會妨礙回收的方式進行浸漬、標示、上色或其他處理方式（例如 PVC 套管、金屬標籤）。 應在申請許可證時提供相關資訊，並在每年提交報告時說明包裝中使用的 PVC 和/或鄰苯二甲酸酯。其中應包括來自生產記錄和/或供應商的信息： • 再生 PVC 和原生 PVC 的重量百分比； • 用於為 ECNZ 許可產品的包裝所採用的用於生產 PVC 的氯氣和 VCM 的特定生產技術(包括薄膜電池、非石棉膜片、修正膜片、石墨陽極、汞電池、閉蓋生產等），包括生產的地點； • 有關廢物處置、廢水處理和空氣排放的信息（職業暴露、工廠排放和最終 PVC 樹脂排放）； • 有關生產過程的任何環境管理系統（EMS）的資訊，包括廢棄物、水、空氣和產品相關的要求； • 所用安定劑的類型； • PVC 的回收成分所含以及/或在生產 PVC 時添加的任何鄰苯二甲酸酯類塑化劑的類型和數量（如果有）； • 管理機關認為對鄰苯二甲酸鹽替代品的研究和措施；以及 • 與包裝有關的產品管理安排。 紙板包裝材料含有至少 80%的回收材料。 標籤必須具備足夠耐久性，以防止在灑水或化學藥品時發生降解現象。
使用者資訊規範	• 化學品標籤上的資訊必須符合將化學品用於 ECNZ 許可產品所在國家的相關法律要求。 • 該化學品必須隨附正確使用的資訊，包括使用的設備和所需的個人防護設備。 • 化學品必須隨附正確處置方法、回收不需要或未使用化學品的資訊。 • 該化學品必須隨附有關包裝材料重複使用、回

	收以及/或正確處置的資訊。 • 提供給用戶的資訊必須包括使用者應參考適用的 ECNZ 產品規格，以識別最終產品中可能包含的 ECNZ 許可化學品含量的任何限制，或在最終產品中限制使用化學品的聲明。
產品管理規範	許可證申請人/持有人或化學品製造商必須積極參與涉及以下各方面的產品管理計劃： • 從客戶端回收不需要的或未使用的化學品； • 對回收的化學品和化學品容器進行適當的再利用、循環利用或處置；以及 • 向客戶推廣產品管理計劃。 許可證持有人必須每年提出產品管理計劃的績效報告，包括回收的化學品量； • 重複使用的回收化學品的百分比以及再利用的方式； • 循環再利用的已回收化學品的百分比以及所回收的化學品的含量； • 處置的回收化學品的百分比及處置方式； • 被回收、再利用或運往掩埋場的回收化學品容器的百分比（重量）；以及 • 作為該計劃的一部分的相關措施，以增加回收廢化學品的數量。
產品特性規範	該化學品應符合其預期使用目的，並符合相關之產品品質標準

(資料來源：ECNZ website，本計畫翻譯彙整)

綜合上述說明，ECNZ 標章中對於化學品使用取得環保標章有嚴謹的規範，除考慮化學品本身的性質及其對人體健康及環境生態的潛在影響外，也針對產品製造、包裝、製程能源使用及廢棄物管理做了詳細的要求。考量終端產品製造商可能無法滿足所有要求而不申請 ECNZ 標章，也明定只要取得歐盟相關化學品認證或使用已取得 ECNZ 標章的化學品為原料，即可滿足 ECNZ 對化學品之規範來申請終端產品的 ECNZ 標章。

2. 歐盟生態標籤化學品 (EU Ecolabel Chemicals)

歐盟於 2014 年提出針對有害物質管制指引的方法。該方法綜合了歐盟產品局(Product Bureau)在產品標準制定過程中獲得的經驗以及與工作小組成員的討論和反饋。該工作小組的參與者包括奧地利、丹麥、歐盟環境總局、歐洲環境局/歐盟環境署、德國和英國等。總體方案以避免危害為基礎，但是在尚無替代品的時候，可能的風險及暴露應該被考慮接觸以保護消費者。該小組提出的建議方法以任務為導向，主要在於整體規範的制定流程應有高度的整合，包括採用整體生命週期評估方法，並反映在市場表現最佳 10-20%之產品的成效。該提案涵蓋一系列 6 個相互關聯的任務組，其中第三工作組的內容直接與綠色化學相關。

第三工作組的工作範疇主要在產品危害替代品和綠色化學的啟動。其目的在建立市場領先產品具實際可替代潛能的概念，以定義可行標準的目標。該方法係以不同科學原理為基礎，並儘可能基於各種評論和討論的共識來達成。整體目的在對產品中所含危害物質的具備實際可行替代潛力化學品，以及用於生產過程和產品供應鏈的化學管理系統進行描述，並足以代表市場上最好的產品所具備的環境保護表現。

3. 國外綠色化學創新獎項

美國總統綠色化學挑戰獎：Presidential Green Chemistry Challenge Awards 是由美國環保署的 Office of Chemical Safety and Pollution Prevention 贊助、與 American Chemical Society Green Chemistry Institute 共同合辦之獎項，至於此獎項之目的是希望可藉由創新的綠色化學技術來提升環境及經濟利益，此獎項之參與資格及評斷標準會引導參賽單位的研究方向，並影響綠色化學的發展方向，相關參賽資格如下說明：

(1). 必須為綠色化學科技，例如：相對舊有技術，此新技術可降低人類康或環境衝擊負面影響。

(2). 必須能達到資源使用量減量。

(3). 必須由合格的組織或其代表參與，其中「合格的單位」包含有教育機構及其他非營利組織。

(4). 必須是過去五年內為重要發展里程碑的技術或發現。

(5). 必須對美國本土的影響重大，例如：若此技術於美國影響僅有產品銷售，則必須至少符合「三項主要目標」的其中一項，其「三項重點目標」包含：更為綠色的「合成反應過程」、「反應條件」以及「化學成分」。

歐洲之「歐洲化學與分子科學學院」 (EuCheMS European Association For Chemical And Molecular Sciences, EuCheMS) 也自 2010 年開始頒發歐洲永續化學獎，每兩年頒發一次，頒發之領域包括：

(1). 使用替代合成途徑，提高資源利用效率和選擇性，例如利用均相觸媒催化劑加速反應。

(2). 使用更安全或可再生之替代性原料，如生物資源。

(3). 開發新型反應器、使用環境衝擊較低之溶劑、增加產率或減少廢物生產及排放；設計及開發對環境友善的新替代化學品，或在現有的化學產品上加強環境安全。

日本於 2000 年成立「綠色及永續化學獎 (Green and Sustainable Chemical Award) 」，分成經濟、貿易與工業項目、環境項目以及教育、文化、運動、科學與科技項目進行篩選，選出符合綠色化學及永續設計之製程或產品，列舉近年獲獎之項目 (U.S. Environmental Protection Agency) 。其中最著名的技術以化學家野依良治（Ryoji Noyori, 2001 年諾貝爾化學獎得主）於 2005 年提到綠色化學的三個重大發展：運用超臨界 CO_2 為綠色溶劑、過氧化氫進行清潔氧化反應及使用氫氣進行不對稱合成。

3.3.2 研提我國納入綠色化學原則於環保標章制度

有鑑於紐西蘭 ECNZ 制度推行多年，可作為我國納入綠色化學原則於環保標章制度之參考對象，目前我國環保標章申請及審核程序如所示，環保標章規格標準草案出爐後，會先經過環保署工作小組審查，通過後舉辦公聽會，邀請產業及相關單位之利害關係人一同討論，以利收集廣納各方意見。公聽會結束後，再舉行委員專家諮詢會，檢討公聽會的意見，哪些合理要求應該被採納或修正。最後，提交綠色消費暨環境保護產品審議會（簡稱審議會）審議，若審議通過，則予以公告。

圖九 、我國環保標章申請及審核程序

(資料來源：綠色生活資訊網)

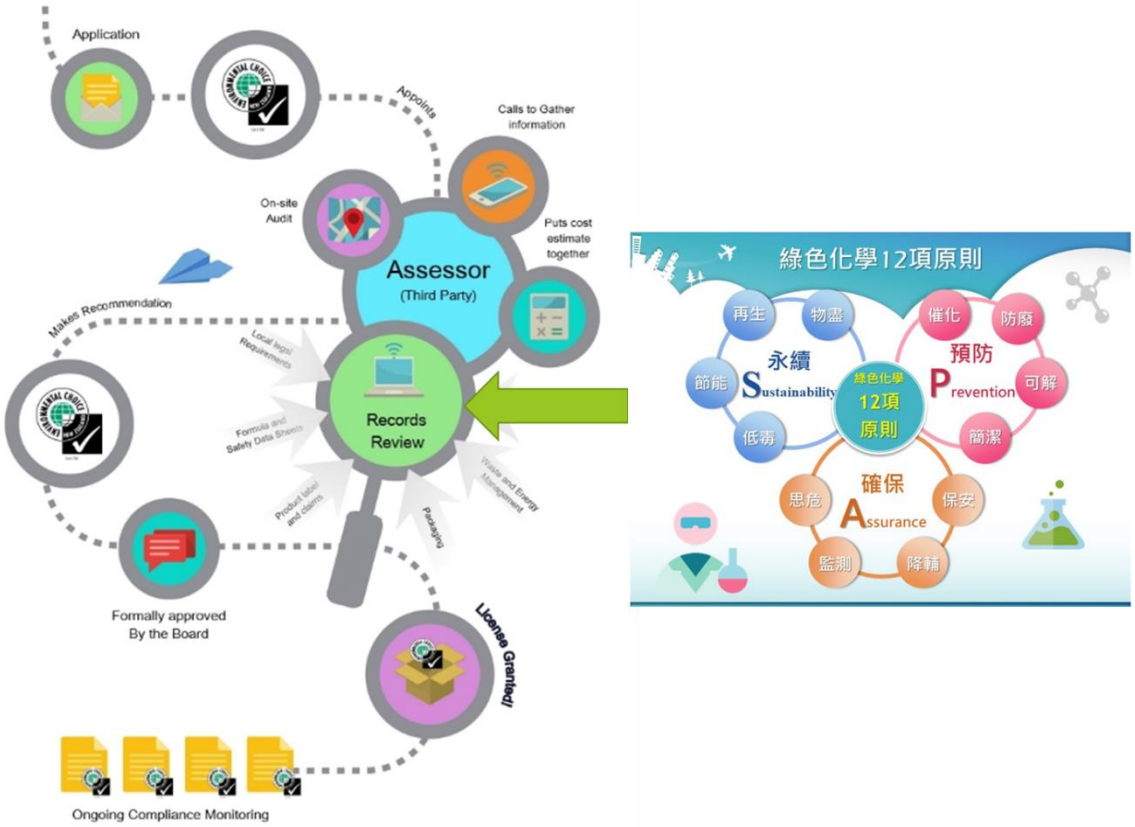
因此，參考國際現況及我國環保標章審核標準，並考量我國化學產業現況，依環保署第二類環保標章規格之要求，除提供第二類環保標章申請所需之文件資料外，研擬申請化學品標章應提供之佐證資料：

1. 參考綠色化學品替代評估流程與 PAS 評估體系，說明替代化學品所能取代之危害化學品類別（包括致癌物、致突變劑、對生殖有害的化學物質、過敏原和致敏劑、具生態毒性和生物累積性物質）()，並提供替代化學品具取代性之評估結果。
2. 提出替代化學品之安全資料表(SDS)，內容包括：化學品與廠商資料、危害辨識資料、成分辨識資料、急救措施、滅火措施、洩漏處理方法、安全處置與儲存方法、暴露預防措施、物理及化學性質、安定性與反應性、毒性資料、生態資料、廢棄物處置方法、運送資料、法規資料、以及其他資料。

3. 提供給使用者相關資訊：該化學品必須隨附正確使用的資訊，包括使用的設備和所需的個人防護設備、化學品必須隨附正確處置方法、回收不需要或未使用化學品的資訊、以及該化學品必須隨附有關包裝材料重複使用、回收以及/或正確處置的資訊。

4. 綠色標章申請人及化學品製造商對徐所提供化學品的產品管理計劃，包括：從客戶端回收不需要的或未使用的化學品的循環再利用計畫、對回收的化學品和化學品容器進行適當的再利用、循環利用或處置的方法、以及向客戶推廣產品管理計劃。

結合綠色化學原則於環保標章制度之整體概念如圖十所示，左圖是紐西蘭 ENCZ 既有針對綠色化學品標章之申請流程，其相關細節如 3.3.1 節所說明，其中於審查概念可將本計畫所提之 PAS 評量體系（右圖）納入考量，作為綠色化學環保標章之審核原則，除了可判定申請之化學品是否符合綠色化學原則外，亦可提供既有毒性化學物質之替代品參考，發展為綠色採購的概念，有關 PAS 評量體系將於 4.2 節詳細說明。



圖十 、整合 ECNZ 環保標章與 PAS 評估體系：綠色採購

(資料來源：ECNZ 網站與化學局網站)

第四章　研議我國化學物質安全替代篩選作法及提出建議替代案例

4.1 評估我國化學物質安全替代評估流程適用性

前期研究中參酌國際上相關產官學研組之所提出的化學品替代評估流程或作法，研提我國建立列管毒性化學物質安全替代作法及清單之評估流程，如圖九所示。首先設定願景，即基於綠色化學原則、配合永續發展目標以及化學品生命週期，進行毒性化學品之安全替代評估，以促進更安全的化學品以及毒性化學品防治與替代為目標，行動方案則是參酌各國政府或具有公信力組織所建立的毒性化學安全替代品方法，進行六項步驟的評估流程：

第一步驟：盤點目前國內列管的毒性化學物質清單，將其進行分類，排除已禁用之化學品與恐造成食安疑慮問題的化學品；

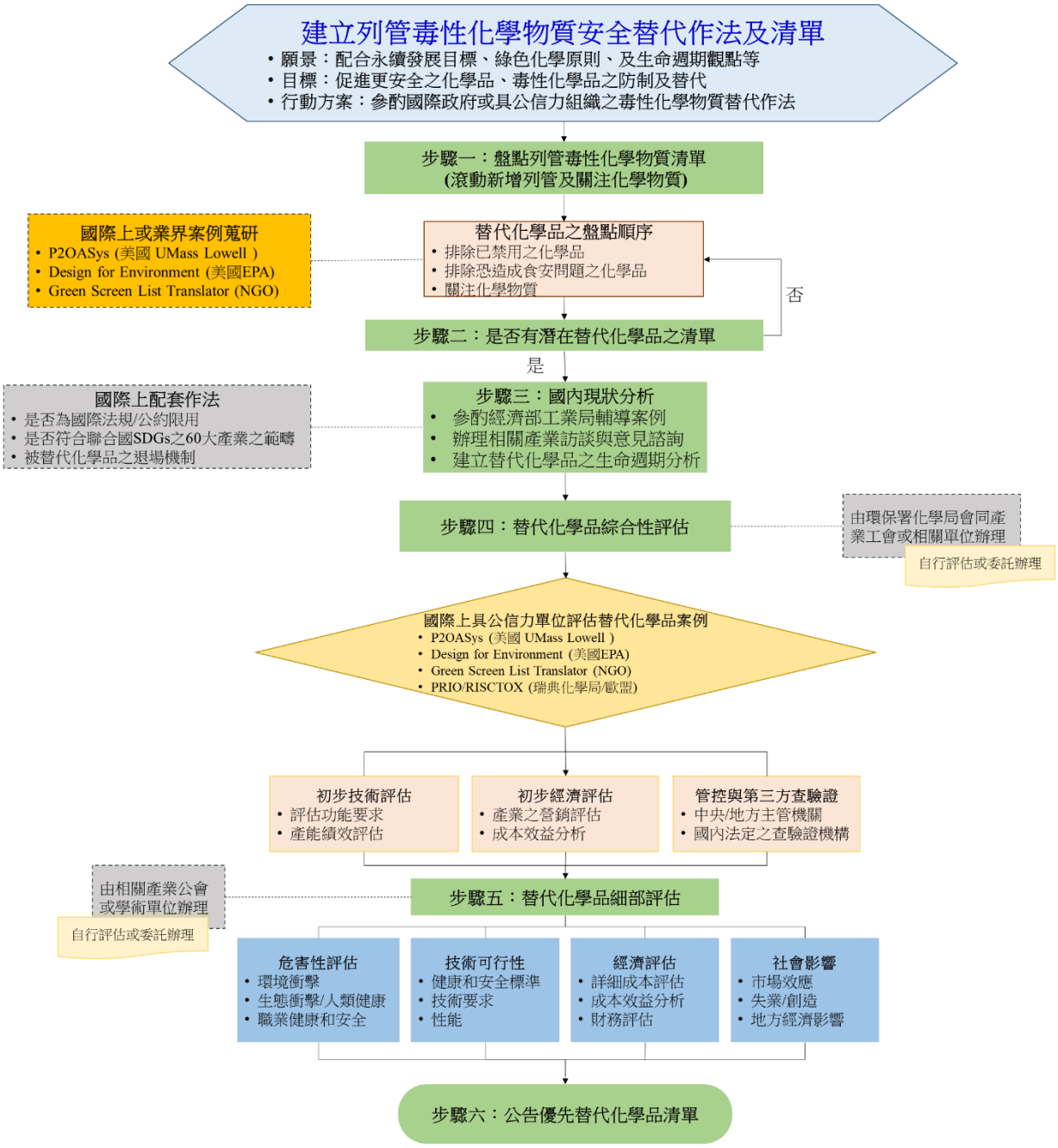
第二步驟：從高關注化學物質中尋找是否有潛在的應替代之化學品的名單；

第三步驟：建立國內現狀分析，包含環保署已公告之替代化學品案例或工業局過去與產業界輔導之案例，適度的辦理相關產業訪談進行意見徵詢，此外，並必須同時配合國際上的配套作法、相關法規與公約、是否符合 SDGs 之 60 大產業範疇以及是否有相關退場機制；

第四步驟：將所提出的替代化學品進行綜合性評估，這部分可由環保署會同相關單位自行評估或委託辦理，同時，也可引用國際上具公信力機構所出具之替代化學品安全評估報告,例如前述所介紹的美國 UMass Lowell、美國 EPA、Green Screen 與歐盟化學局等，接著將前述相關蒐集的意見與資料進行統整，包含技術性與經濟效益的初步評估，必要時，可導入第三方查驗證機構，提升評估結果報告的品質；

第五步驟：將已選定的替代化學品進行細部評估，可委託相關產業公會或學術單位辦理，分別針對危害性、技術可行性、經濟與財務評估，以及社會影響等；

第六步驟：確認該替代化學品的優先程度，並由環保署進行公告，以利於相關產業界參考。

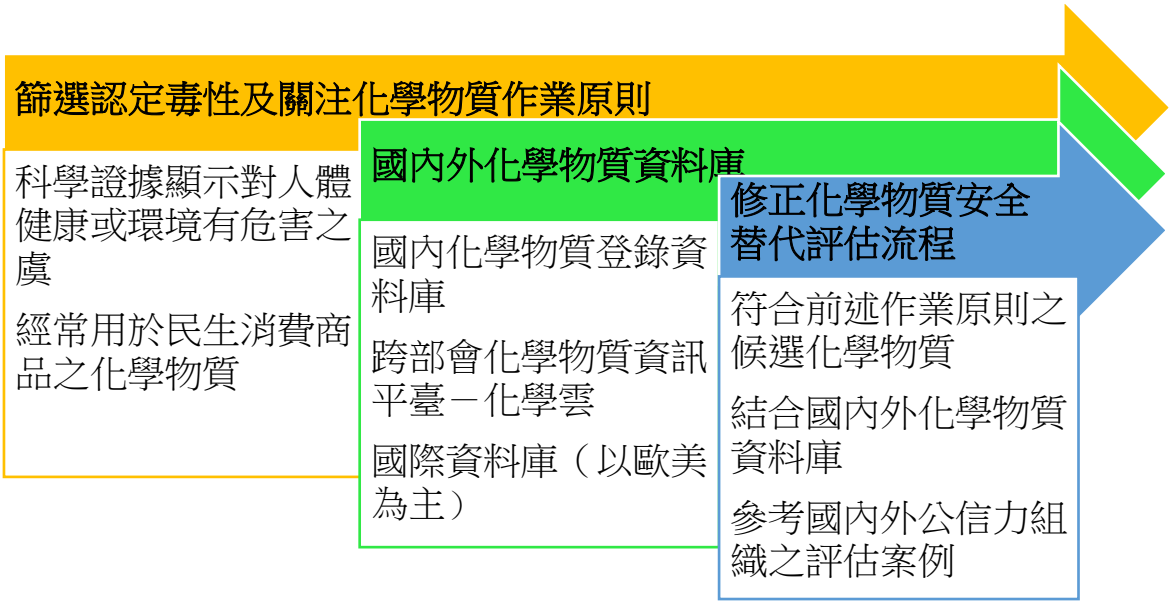


圖十一 、建議我國化學安全品替代評估流程圖

(資料來源：綠色化學應用於毒性化學物質源頭管理及溝通，2019)

4.2 研議提供其可替代化學物質清單或方案

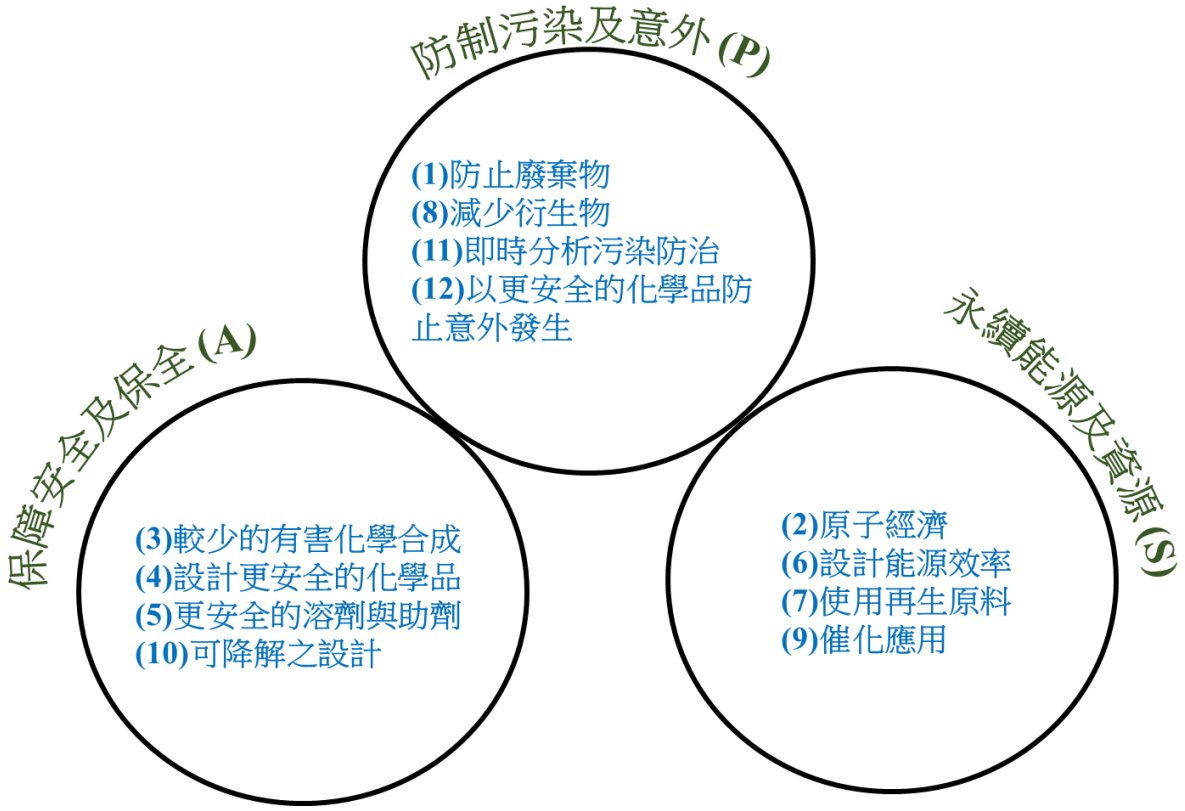
本工作項目係配合國內相關化學物質資料庫以及相關作業原則，如環保署公告之「篩選認定毒性及關注化學物質作業原則」，化學局公告之化學物質登錄資料庫、跨部會化學物質資訊平臺、國際資料庫等相關資料，驗證前述我國化學物質安全替代評估流程適用性。其執行流程如圖八所說明，可替代之化學物質清單應符合「篩選認定毒性及關注化學物質作業原則」所認定之化學物質，同時參考國內化學物質登錄資料庫與化學雲系統，以及國際資料庫（如歐盟 EU Chemicals Legislation Finder 或美國 TSCA Chemical Substance Inventory），進一步修正前述之安全替代評估流程，並鎖定至少三項化學物質案例，據以驗證其評估之可行性。本研究依據國際化學廠商相關公開資訊進行蒐研，針對六溴十二烷、三氧化鉻以及三氯乙烯等三項毒性化學物質之安全替代化學品評估報告進行研析，並同時驗證前一節所提之替代評估流程之適用性。



圖十二 、建議我國化學安全品替代評估流程圖之修正與驗證方式

(資料來源：本計畫自行彙整)

此外，本計畫研析綠色化學十二項原則，結合 GCM 與 PAS 原則，提出 GCM 與 PAS 整合式體系，如圖十三與表十五所示，藉由重新審視「防制污染及意外」(P)、「保障安全及保全」(A)以及「永續能源及資源」(S)，其精神與綠色化學十二項原則的關聯性，結合 3.1.2 節所提之 GCM 評量指標，研擬作為國內評估綠色化學原則與 PAS 指標之評量體系。其中 P 部分可包含原則 1－防止廢棄物、原則 8－減少衍生物、原則 11－即時分析污染防治、原則 12－以更安全的化學品防止意外發生；A 部分可包含原則 3－較少的有害化學合成、原則 4－設計更安全的化學品、原則 5－更安全的溶劑與助劑、原則 10－可降解之設計；S 部分可包含原則 2－原子經濟、原則 6－設計能源效率、原則 7－使用再生原料、原則 9－催化應用。



圖十三 、整合 GCM 與 PAS 評估體系

(資料來源：本計畫自行彙整)

表十五 、整合綠色化學原則至 **PAS** 體系分類

防制污染及意外 **(P)**	保障安全及保全 **(A)**	永續能源及資源 **(S)**
原則 1：防止廢棄物	原則 3：較少的有害化學合成	原則 2：原子經濟
原則 8：減少衍生物	原則 4：設計更安全的化學品	原則 6：設計能源效率
原則 11：即時分析污染防治	原則 5：更安全的溶劑與助劑	原則 7：設計更安全的化學品
原則 12：以更安全的化學品防止意外發生	原則 10：可降解之設計	原則 9：催化應用

(資料來源：本計畫自行彙整)

4.2.1 蒐研國際上可替代化學物質之潛在清單

案例一：六溴十二烷 (Hexabromocyclododecane, HBCD)

1. 國內外現況分析：HBCD 具持久性且不易於環境中分解，由於其價格便宜且具阻燃劑的效果，為目前全球主要溴化阻燃劑之一。商業上用途主要添加於發泡聚苯乙烯，以及射出成形聚苯乙烯，作為防止火災的耐燃劑。在許多紡織品、家具、黏著劑或塗料中也很常添加 HBCD。HBCD 具生物累積性，會使得生物體內內分泌系統、生殖系統、以及發育與神經系統造成干擾，因此，斯德哥爾摩公約已於 2013 年 5 月公告列管 HBCD，且歐盟電子電機設備中危害物質禁用指令亦將 HBCD 列為優先考量禁用的有害物質；然而，鮮少有針對 HBCD 進行市場上中下游全面性的盤點；我國衛福部於 2014 年調查國內食品內 HBCD 之含量監測及風險評估，其結果發現以魚類中含量最高，油脂類、水產類、家畜肉類、家禽肉類及乳品類則含量較低，並使用蒙地卡羅模擬法推估國人各年齡層經由食物途徑之六溴環十二烷暴露劑量，結果顯示國人經由食品攝入 HBCD 之健康風險遠低於可接受之風險，因此建議針對 HBCD 暫無需研擬食品中之限量標準；此外，環保署化學局亦於 2014 年公告 HBCD 為第一類毒性化學物質。

2. 替代化學品綜合性評估：目前並沒有非溴類化學品可替代 HBCD 做為用於發泡聚苯乙烯，以及射出成形聚苯乙烯的阻燃劑，然而目前根據美國麻薩諸塞大學洛厄爾 (University of Massachusetts Lowell) 針對 HBCD 之替代化學品所做的評估報告中指出，HBCD 目前市場上的化學替代品之用途可包含：溴類的阻燃劑、以及樹酯材料等；溴類的阻燃劑可包含以四溴環辛烷、與二溴乙基二溴環己烷作為 HBCD 之替代品，且目前並未有對於人體健康或環境危害之相關科學證據；樹酯材料之 HBCD 之替代品可包含磷酸三氯丙基酯、磷酸三氯乙基以及乙二醇等。

案例二：三氧化鉻 (Chromium(VI) trioxide)

1. 國內外現況分析：鉻酸可廣泛應用在表面處理業、水電鍍產業，鉻鍍層具有被鍍製品產生良好外觀的裝飾作用，亦有阻隔氧化、防鏽、耐磨等功能，又因其製程簡易、成本低等特點，十分受到產業業者青睞。然而六價鉻不論對環境、對人體都會產生巨大的危害；目前歐盟 REACH 將三氧化鉻列為高關注化學物質，因為其具有致癌性及致突變性，使用該物質的公司必須申請授權，並將三氧化鉻建議為減少勞工對該物質於工作場合的接觸暴露風險，此決定將迫使已申請使用三氧化鉻的公司對汽車，航空和其他產業中各種用途的物質實施嚴格的風險管理程序。並使這些公司最多有 7 年的時間來重新評估更安全的替代品的可用性，或在可能的情況下更早地替換該物質。

2. 替代化學品綜合性評估：針對三氧化鉻 (Chromium (VI) trioxide) 之安全替代化學品，主要是針對電鍍蝕刻液的原物料替代，如聚酰胺纖維 (Polyamide, PA) 等，德國高儀集團 (GROHE) 針對三氧化鉻之安全替代化學品用於電鍍蝕刻液之相關綜合性評估，其評估結果表示，PA 是可以作為三氧化鉻的替代化學品，其對於環境衝擊較三氧化鉻小，且技術可行性高，唯產品成本約高 25%至 35%左右，導致目前使用端意願較低，對於中小型產業來說成本負擔風險較高，替代意願較低。

案例三：三氯乙烯 (Trichloroethylene, TRI)

1. 國內外現況分析：三氯乙烯的兩種主要用途是作為溶劑，清除金屬零件上的潤滑油脂，以及用於其他化學品的製造，特別是冷媒，因製造、使用與棄置而溶於地下水，因為無法蒸發會長時間殘留於其中，當暴露量達一定限值時，可能會導致頭痛、頭暈、嗜睡，大量暴露可能會導致死亡；目前美國環境保護署制定三氯乙烯的最大污染容許濃度為 5 ppb，建議暴露限值為 2 ppm，我國勞工作業場所則是規定在工作場所中 8 小時日時量之建議暴露平均濃度限值為 50 ppm。

2. 替代化學品綜合性評估：陶氏化學 (Dow Chemical Company) 針對 TRI 之可行的安全替代化學品進行綜合性的評估作業，其可行的替代化學品包含甲苯、全氯乙烯、二甲苯、二氯甲烷、1, 溴丙烷、d-檸檬烯以及辛酸癸酸甲酯 (caprylic capric methylester) 等九項進行評估，評估項目包含技術可行性、經濟可行性、風險評估與替代適用性等，詳細說明請參照表十二，其中甲苯與二氯甲烷為具技術可行性的替代化學品，其他化學物質仍需更多的實驗數據佐證，二氯甲烷為經濟上可行且健康風險也較低，然本次評估結果仍需更多的實證經驗，方能驗證其替代品的適用性。

表十六 、陶氏化學針對三氯乙烯之替代化學品評估結果

替代化學品名稱	技術可行性	經濟可行性	風險評估	替代適用性
甲烷	技術上可行	不可行，生產成本較高	相較於 TRI，對人體致癌風險較低	甲烷可部分替代 TRI，然實用上仍須考量爆炸風險，完整的化學品替代指南仍不完整
全氯乙烯	技術上可行，仍需更多實證數據	不可行，生產成本較高	相較於 TRI，對人體致癌風險較低	缺乏相關實證案例，完整的化學品替代指南仍不完整
二甲苯	技術上可行，仍需更多實證數據	不可行，生產成本較高	相較於 TRI，對人體致癌風險較低	缺乏相關實證案例，完整的化學品替代指南仍不

				完整
二氯甲烷	技術上可行	可行	相較於 TRI，對人體致癌風險較低	缺乏相關實證案例，完整的化學品替代指南仍不完整
1, 溴丙烷	技術上可行，仍需更多實證數據	不可行，生產成本較高	有較高的致癌風險	不適用，因有人體健康風險之考量
d-檸檬烯	技術上可行，仍需更多實證數據	不可行，生產成本較高	相較於 TRI，對人體致癌風險較低	缺乏相關實證案例，完整的化學品替代指南仍不完整
辛酸癸酸甲酯	技術上可行，仍需更多實證數據	不可行，生產成本較高	非毒性化學物質	不適用，其替代評估仍處於實驗階段

(資料來源：Analysis of Alternative for Trichloroethlyene, (2015)，陶氏化學，本計畫自行翻譯彙整)

4.2.2 研擬我國化學物質替代評估流程與驗證

本計畫將針對前期研究所提之我國化學物質替代評估流程，整合三項國際毒性化學物質替代品案例（包含：1-氨基苯並三唑、二氯甲烷以及壬基酚聚氧乙烯醚(Nonylphenol Ethoxylates, NPEs) ）進行驗證與分析，並試圖修正評估流程，以利於提供化學局未來評估安全替代化學品之參考，修正流程如圖十四所示，相關分析過程如下列步驟說明：

1. 步驟一：明訂願景為從永續發展目標為宗旨，配合綠色化學原則中以毒性化學物質的生命週期觀點進行相關資訊的蒐研國際上所建立的毒性化學物質安全替代之評估結果。盤點我國所列管毒性化學物質，包含高關注之毒化物，盤點順序首先排除國內已禁用的化學品以及食安問題相關之化學品，主要盤點原則在於，已禁用化學品的替代物質其代表性較低且無商業上的價值，食安風險之化學品則是需另外高度考量人體健康風險，故不優先作為安全替代品的建議名單。

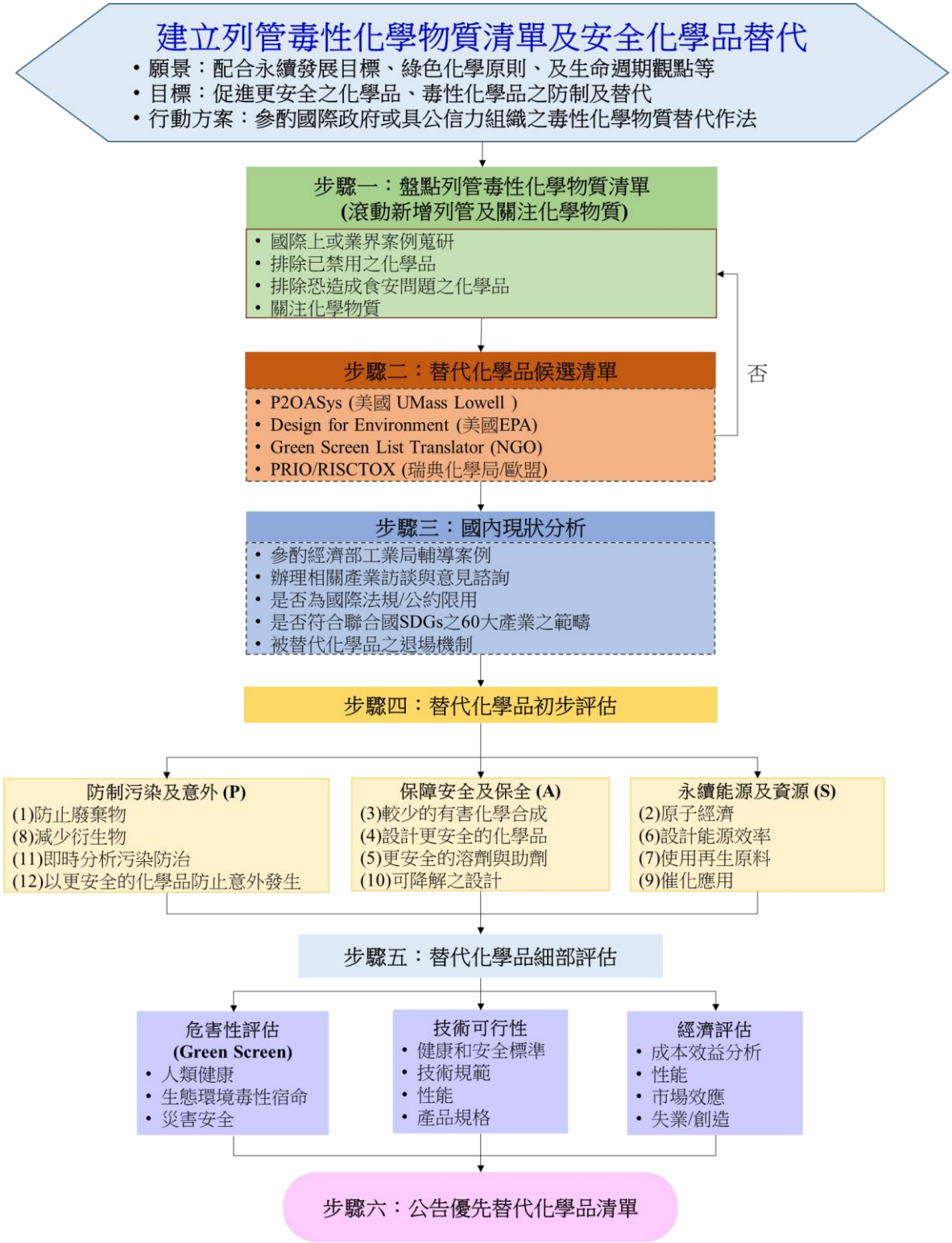
2. 步驟二：從國際上先進國家政府單位、學術單位或具公信力的國際組織所出具的安全替代化學品評估報告中蒐研潛在的替代物質。

3. 步驟三：參考並彙整國內外對於潛在替代化學品與被替代化學品的評估之現況分析結果。

4. 步驟四：蒐研相關報告中所提的替代化學品綜合評估結果，整合 PAS 原則與 GCM 指標，將綠色化學原則評估體系作為替代化學品的初步評估，相關評估指標如 3.1.2 節所說明，透過 PAS 的初步評估可了解其替代品或改良後製程是否符合綠色化學原則。

5. 步驟五：分為危害性評估、技術可行性、經濟評估等三面向，其中危害性評估可參考 DfE 或 GreenScreen 之評估結果進行量化評分，進一步得知替代品的毒性危害程度。

6. 步驟六：提出優先替代化學品之建議清單。



圖十四 、整合 **GCM** 與 **PAS** 評估體系應用於化學物質替代評估流程

本計畫針對圖十四化學物質替代評估流程之步驟四與步驟五進行案例分析驗證，步驟四係針對整合式 PAS 與 GCM 評估指標進行分數評量，並以 1-氨基苯並三唑，其結果如表十七所說明，改良後製程 PSR 較低者可符合 PAS 原則，其中在防制污染及意外 (P) 的部分主要符合的是原則1以及原則12，透過製成後的改善，可明顯降低其產生的廢棄物以及意外風險，因此也提升整體排名，在保障安全及保全 (A)的部分，主要改善符合原則 3 與原則 5，其 PSR 排名由 1.5 降至 1，最後針對永續能源及資源 (S)的部分，對於原則 2、原則 6 與原則 7 都有一定程度的量化改善成果，其 PSR 排名由 1.75 降至 1.25，透過 GCM 評估結果整合至 PAS 原則之分類，更可體現出化學品替代或以製程改良的方式，能作為一個量化評估結果證明其符合綠色化學原則。

此外，本計畫針對圖十四化學物質替代評估流程之步驟五中的危害性評估，以二氯甲烷為例如表十八所說明，引用 GreenScreen 的評估結果，將各個替代化學品對於第一類健康危害、第二與第三類健康危害、生態毒性、環境宿命、物理危害等之衝擊程度進行評分，其權重因子則以評估項目的數量多寡進行分類，另外危害評估等級評分則分為極高（vH）5 分、高（H）4 分、中等（M）3 分、低（L）2 分、極低（VL）1 分，以量化結果來看，二氯甲烷的毒性評估達 15.6 分為最高，甲醇 5 分為最低，然而在評估過程中甲醇許多資訊缺乏，故如 d-檸檬烯為 9 分，2-(2-丁氧基乙氧基)乙醇為 10.3 分可能是毒性較低的替代選擇，部分化學品如甲酸 14.9 分或燒鹼 14.5 分的評估分數與二氯甲烷相差不遠，表示並未有降低毒性風險的誘因；第二個毒性評估案例則是 NPEs，其評估結果是參考美國環保署 DfE 進行量化評分，如表十九所說明，危害評估等級評分則分為 VL =極低危險(1 分)、L = 低危險(2 分)、M =中度危險(3 分)、H =高危險(4 分)、VH =非常危害(5 分)，可分為環境宿命與水體毒性兩類，由毒性評估結果呈現烷基多聚葡萄糖 Alkyl polyglucose (APG)為 5.6 分，表示其毒性危害最低，具替代之潛力，另外烷基醚硫酸鹽 Alkyl ether sulfates (AES)、直鏈烷基苯磺酸鹽 Linear alkylbenzene sulfonates (LAS)sodium salt、乙氧基化/丙氧基化醇 Ethoxylated/propoxylated alcohols 之評估分數為 6 分，亦可參考作為替代選擇。

表十七 、整合 **PAS** 與 **GCM** 評估指標結果**-1-**氨基苯並三唑（步驟四評估案例）

PAS 與 GCM 評估指標	原始製程		改良後製程	
	PS	PSR	PS	PSR
防制污染及意外 (P)				
原則 1：防止廢棄物	2701	2	1042	1
原則 8：減少衍生物	0.0	1	0.0	1
原則 11：即時分析污染防治	1.0	1	1.0	1
原則 12：以更安全的化學品防止意外發生	2516	2	220	1
類別 PSR 平均	-	1.5	-	1
類別等級(CR)	-	2	-	1
保障安全及保全 (A)				
原則 3：較少的有害化學合成	3358	2	1455	1
原則 4：設計更安全的化學品	5.0	1	5.0	1
原則 5：更安全的溶劑與助劑	2245	2	1252	1
原則 10：可降解之設計	0.0	1	0.0	1
類別 PSR 平均	-	1.5	-	1
類別等級(CR)	-	2	-	1
永續能源及資源 (S)				
原則 2：原子經濟	933	2	345	1
原則 6：設計能源效率	3282	2	1322	1
原則 7：使用再生原料	933	2	345	1
原則 9：催化應用	0.5	1	1.0	2
類別 PSR 平均	-	1.75	-	1.25
類別等級(CR)	-	2	-	1

表十八、二氯甲烷 **(methylene chloride)**替代評分-毒性評估結果案例說明（步驟五評估案例）

替代化學品	第一類健康危害					第二與第三類健康危害									生態毒性		環境宿命		物理危害		總分
權重因子	0.3					0.4									0.1		0.1		0.1		
評估項目	C	3	R	D	E	AT	ST		N		SnS	SnR	IrS	IrE	AA	CA	P	B	RX	F	
							Sing2e	Repeat	Sing2e	Repeat											
二氯甲烷	4	NE	DG	DG	3	3	5	4	5	5	2	DG	3	3	3	*2*	*5*	1	2	2	**15.6**
苯甲醇	2	2	*2*	3	DG	3	2	2	*3*	*3*	3	*2*	2	3	2	2	1	1	*2*	2	**12.9**
2-(2-丁氧基乙氧基)乙醇	*2*	2	2	2	DG	2	2	3	DG	2	2	DG	*3*	3	2	2	1	1	*2*	3	**10.3**
二甲基亞碸	*2*	2	2	2	DG	2	2	2	2	2	2	2	*3*	*3*	2	*2*	*2*	1	*2*	3	**11.6**
1,3-二氧戊環	2	*3*	*3*	3	DG	2	3	3	3	2	2	DG	*3*	*3*	2	2	*3*	1	*2*	3	**13**
二元酯(二元酯混合物)	*2*	2	2	*3*	*3*	2	3	*3*	3	DG	2	DG	2	*3*	3	2	1	1	*3*	2	**12**
d-檸檬烯	2	2	DG	2	DG	2	2	2	DG	DG	3	DG	3	*3*	5	3	1	3	*2*	3	**9.5**
丙酮	*2*	2	*3*	3	DG	2	*3*	3	3	*3*	2	DG	2	3	2	2	1	1	2	3	**12.5**
甲醇	NA	NA	NA	3	NA	3	5	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	2	*2*	1	1	NA	3	**5**
甲苯	DG	2	3	3	3	2	3	3	3	3	2	DG	3	2	3	*3*	*3*	1	2	3	**13.2**
甲酸	2	2	2	*2*	DG	3	5	*3*	5	DG	2	DG	5	5	3	3	1	1	2	3	**14.9**

燒鹼	*2*	2	*2*	*2*	*2*	3	5	*2*	*2*	*2*	2	DG	5	5	3	DG	*2*	1	*3*	2	**14.5**

C =致癌性，M =致突變性，R =生殖毒性，D =發育毒性，E =內分泌干擾，AT =急性毒性，ST =全身器官毒性，N =神經毒性，SnS =皮膚過敏，SnR =呼吸過敏，IrS =皮膚刺激，IrE =眼睛刺激，AA =水生毒性，CA =慢性水生動物毒性，P =持久性，B =生物累積，RX =反應性，F =易燃性

危害評估等級(極高（vH）5 分、高（H）4 分、中等（M）3 分、低（L）2 分、極低（VL）1 分。DG 表示沒有足夠的數據來劃分危險等級。NE 表示未做出確定

表十九 、壬基酚聚氧乙烯醚 (Nonylphenol Ethoxylates, NPEs)替代評分-毒性評估結果案例說明（步驟五評估案例）

評估分類	環境宿命		水體毒性			總分
評估指標	持久性	降解物[2]	急毒性	慢毒性	降解毒性	
權重因子	0.4		0.6			
化學品名稱						
壬基酚乙氧基化物 Nonylphenol ethoxylates (NPEs)	3	3	4	3	5	9.6
辛基酚乙氧基化物 Octylphenol ethoxylates (OPEs)	4	3	4	4	5	10.6
C9-11 線性醇乙氧基化物 Linear alcohol ethoxylates (LAE)	1	1	4	4	1	6.2
C12-15 線性醇乙氧基化物 Linear alcohol ethoxylates (LAE)	1	1	5	4	2	7.4
乙氧基化/丙氧基化醇 Ethoxylated/propoxylated alcohols	2	1	3	3	2	6
烷基多聚葡萄糖 Alkyl polyglucose (APG)	1	1	3	3	2	5.6
直鏈烷基苯磺酸鹽 Linear alkylbenzene sulfonates (LAS)sodium salt	1	1	4	4	2	6
烷基硫酸酯 Alkyl sulfate esters (AS)	1	1	4	4	2	6.8
烷基醚硫酸鹽 Alkyl ether sulfates (AES)	2	1	4	4	2	6
脫水山梨糖醇酯 Sorbitan esters	2	1	4	4	2	7.2
VL =極低危險(1 分)，L =低危險(2 分)，M =中度危險(3 分)，H =高危險(4 分)，VH =非常危害(5 分)						

4.3 辦理產業化學物質安全替代教育宣導

4.3.1 109 年 09 月 01 日教育宣導會議成果

本計畫於民國 109 年 9 月 01 日辦理第一場次綠色化學教育宣導會議，主要介紹國外綠色原則指標評估方法及紐西蘭環保標章制度；國際毒性化學物質安全替代之評估流程及案例介紹，期透過國外成功經驗作為國內發展綠色化學的參考依據，議程資訊如表二十說明，出席單位包含產業代表與學術代表，出席人數達 25 人，其相關會議照片如圖十五所示：

表二十 、109 年 9 月 01 日教育宣導會議程

時間	主題	主講人
13:40～14:00	簽到/領取講義	
14:00～14:05	講習會議開始	會議致詞：（行政院環境保護署毒物及化學物質局）
14:05～14:55	國外綠色化學指標及紐西蘭環保標章介紹	王根樹 教授 國立臺灣大學公衛學系
	• 各國政府推動綠色化學之情勢 • 國際綠色化學發展方向與獎項 • 綠色化學原則指標評估系統 • 紐西蘭環保標章 ECNZ 介紹	
14:55～15:15	茶歇	
15:15～16:05	毒性化學物質安全替代之評估流程	蔣本基 特聘教授 國立臺灣大學環境工程學研究所
	• 永續發展目標與綠色化學原則 • 毒性化學物質管理制度 • 毒性化學物質替代篩選評估工具 • 建立毒性化學物質安全替代之評估流程及案例分析	
16:05～16:30	綜合討論 Q&A	
16:30～	會議結束	

圖十五 、109 年 9 月 01 日教育宣導會現場照片

本次教育宣導會議之教材主要會議重點說明如下，相關簡報檔案請參考附錄三：

1. 台灣目前對於化學品的管制方向為「安全、永續與有效管理」，而紐西蘭的方向為「安全、永續與預防」，兩者差異在於預防及有效管理，然而臺灣的有效管理目前無較實務且具體的執行方式，建議臺灣可參考紐西蘭對於「預防」的執行方式，將原先的「有效管理」轉變為在「預防」下的實際措施。

2. 許多化學品在規定尚有使用性的必要，如須檢測化學需氧量時，以標準方法檢測則須使用到化學品重鉻酸鉀，使用後將產生含有重金屬鉻的廢液，然而此為標準方法所用的藥劑，使用替代的化學品則有法規上的疑慮。綜合所述，對於相關法規所定使用的化學品,可規劃一時程蒐集國際上是否有相關的替代化學品資料，且可進行相關單位認證的標準方法，並於法規上進行調整與更新。

3. 工廠使用替代化學品時，困難常在「替代化學品的相關資訊來源」，建議可透過政府部門與學術單位，輔導廠商有相關資訊可進行化學品替代的作業。

4. 由於研發出與原先藥品俱有相似成效的化學品，通常需有一定的專業知識與多年經驗累積，建議可建立一資料庫，將相關成功案例彙整，提供一資訊交流的平台。

4.3.2 109 年 10 月 23 日教育宣導會議成果

本計畫於民國 109 年 10 月 23 日辦理第二場次綠色化學教育宣導會議，辦理地點於臺中逢甲大學綠能研究中心，主要對象是化學產業與逢甲大學學生，並邀集共四位評論人，針對本次宣導會議內容進行評論，介紹國外綠色原則指標評估方法及紐西蘭環保標章制度;國際毒性化學物質安全替代之評估流程及案例介紹，期透過國外成功經驗作為國內發展綠色化學的參考依據，議程資訊如表二十一說明，出席單位包含產業代表與學術代表，出席人數達 30 人，其相關會議照片如圖十六所示：

表二十一 、109 年 10 月 23 日教育宣導會議程

時間	主題	主講人
13:40～14:00	簽到/領取講義	
14:00～14:05	講習會議開始/會議致詞	行政院環境保護署毒物及化學物質局
14:05～14:35	國外綠色化學指標及紐西蘭環保標章介紹 • 各國政府推動綠色化學之情勢 • 國際綠色化學發展方向與獎項 • 綠色化學原則指標評估系統 • 紐西蘭環保標章 ECNZ 介紹	王根樹 教授 國立臺灣大學公衛學系
14:35～14:45	與談人評論	林秋裕教授/逢甲大學綠能中心主任 謝祝欽教授/國立雲林科技大學
14:45～15:00	茶歇	
15:00～15:30	毒性化學物質安全替代之評估流程 • 永續發展目標與綠色化學原則 • 毒性化學物質管理制度 • 毒性化學物質替代篩選評估工具 • 建立毒性化學物質安全替代之評估流程及案例分析	蔣本基 特聘教授 國立臺灣大學環境工程學研究所
15:30～16:00	與談人評論	林逸彬教授/臺灣大學環境工程學研究所 曾繁銘秘書長/台灣化學產業協會
16:00～16:20	綜合討論	
16:20～16:30	會議結論	

圖十六 、109 年 10 月 23 日教育宣導會現場照片

本次教育宣導會議之評論人建議重點結論如下說明：

1. 整合聯合國永續發展指標 SDGs 內容與綠色化學原則，作為整體政策推廣之施政要點。

2. 結合最新國際趨勢，包含了歐盟最新發布的 European Green Deal，做為歐盟針對新冠肺炎復甦 Green Recovery 之策略。

3. 綠色化學最上位的問題點，可以考慮使用 renewable 料源，例如一般的 Biomass，或是來自廢棄物的 Biological biomass wastes。

4. 第三節的 GCM 評估積分方式，可自河川汙染指標 RPI 的方式切入。

5. ESG 是目標產業投資最重要的事，E 就是環境，故綠色化學是符合產業需求的。

4.3.2 109 年 11 月 06 日教育宣導會議成果

本計畫於民國 109 年 11 月 06 日辦理第三場次綠色化學教育宣導會議，辦理地點於高雄科技大學，主要對象是南部化學產業與高科大學學生，並邀請六位產學界專家擔任評論人，出席人數達 60 人，其規劃議程如表二十二所示：

表二十二 、109 年 11 月 06 日教育宣導會議程

時間	主題	主講人
08:30～09:00	簽到/領取講義	
09:00～09:10	講習會議開始/會議致詞	蕭寶桂 博士/環保署化學局
主持人：吳忠信 教授兼工學院院長/高雄科技大學化材系		
09:10～09:40	國外綠色化學指標及紐西蘭環保標章介紹 • 各國政府推動綠色化學之情勢 • 國際綠色化學發展方向與獎項 • 綠色化學原則指標評估系統 • 紐西蘭環保標章 ECNZ 介紹	王根樹 教授 國立臺灣大學公衛學系
09:40～09:50	與談人評論	顧洋 教授/臺灣科技大學化工系
09:50～10:00		陳永忠 教授/高雄科技大學化材系
10:00～10:30	茶歇	
主持人：王根樹 教授/臺灣大學公衛學系		
10:30～11:00	毒性化學物質安全替代之評估流程 • 永續發展目標與綠色化學原則 • 毒性化學物質管理制度 • 毒性化學物質替代篩選評估工具 • 建立毒性化學物質安全替代之評估流程及案例分析	蔣本基 特聘教授 國立臺灣大學環境工程學研究所
11:00～11:10	與談人評論	吳忠信 院長/高雄科技大學化材系
11:10～11:20		何麗貞 副總/聚合國際公司
11:20～11:30		林逸彬 教授/臺灣大學環工所
11:30～11:50	綜合討論	
11:50～12:00	會議結論	蔣本基 特聘教授/臺灣大學環工所

本次教育宣導會議之評論人建議重點結論如下說明：

1. 建議政府相關單位推動綠色化學原則應用於減少毒性化學品使用，特別是減少廢棄物的產生、增加可回收利用的可能性。
2. 應配合生命週期提高能源效率（碳足跡及水足跡）。
3. 政府應平衡綠色化學推動與其經濟效益之關聯性。

4. 建議公部門一貫化，避免魚目混珠或由第三公正單位執行，實際建置評估替代程序結合永續物料管理。

第五章　結論與建議

5.1 結論

1. 盤點國際符合綠色化學相關指標應用策略及可行作法：

本計畫針對綠色篩選指標 (GreenScreen)進行化學品的安全替代評估進行探討，透過清潔生產行動發展綠色篩選為更安全的化學品公開可用且透明的化學危害篩選方法，其篩選機制為建立 PBT 三個鑑定化學品之基本原則以及訂定 4 個標竿值 (Benchmark)，其中 P 指的是持久性 (Persistence)，B 指的是生物累積性 (Bioaccumulation) ，T 指的是人體毒性和生態毒性 (Human Toxicity and Ecotoxicity)，4 個標竿值則是(1)高度關注化學品；(2)使用中但須尋找安全替代品；(3)使用中但需要改善；(4)安全化學品。此外，美國環保署更明定綠色化學原則指標，分別從環境衝擊與經濟效益兩類著手，基於質量守恆進行量測與計算出化學品的效益評估。

2. 蒐研國內現有符合綠色化學相關指標及策略作法：

國內綠色化學原則以及概念目前主要推廣於教育宣導，較少用於產業實務面，因此，並無適用於國內產業之綠色化學原則指標，然而，參考化學局所舉辦的綠色化學及應用創新獎，篩選國內已有相關實務研發案例，符合綠色化學原則，可作為未來推動國內綠色化學指標訂定之參考方向，包含：微膠囊環保型防污塗料應用於船殼保護、某化學公司廢水氨氮削減與廢水處理廠的污泥減量與資源化、某化學公司核磁共振分析技術，減少廢棄溶劑產生，並發展環境特性產品，如碳酸乙烯酯以及纖維素酒精）。此外，配合第四屆環經濟綜合與創新解決方案國際研討會圓桌會議，建議推動國內綠色化學原則應用至循環經濟體系之改善策略與措施，包含訂定時宜法規、創造經濟誘因、完善資訊建置、提升技術能量與建立商業模式。

3. 研議納入綠色化學應用及創新獎評選作業與環保標章等評量系統鏈結：

本計畫參考紐西蘭 ECNZ 及歐盟生態標章作法，並研析其對於化學品標章認證之規範與評估，其中 ECNZ 的產品規格都包括對添加到產品中或在產品生產製造過程中添加不同化學品的規範，化學品供應商獲得不同化學品的 ECNZ 許可，並強制規範化學品與永續化學的概念，將致癌物、致突變劑、對生殖有害的化學

物質、過敏原和致敏劑、具生態毒性和生物累積性物質等化學品排除在標章申請範圍；此外，歐盟生態標章目的在於建立市場領先產品具實際可替代潛能的概念，以定義可行標準的目標，對產品中所含危害物質的具備實際可行替代潛力化學品，彰顯出其對於生態環境友善的價值。

4. 評估我國化學物質安全替代評估流程適用性：

本計畫參考前期計畫成果，研提我國建立列管毒性化學物質安全替代作法及清單之評估流程，配合國際相關評估報告資料庫，基於綠色化學原則、配合永續發展目標以及化學品生命週期，進行毒性化學品之安全替代評估，以促進更安全的化學品以及毒性化學品防治與替代為目標，整合 PAS 原則與 GCM 指標，以三項國際毒性化學物質替代品案例（包含：1-氨基苯並三唑、二氯甲烷以及壬基酚聚氧乙烯醚 (Nonylphenol Ethoxylates, NPEs) ）進行驗證與分析。

5. 辦理產業化學物質安全替代教育宣導：

本計畫於 109 年 09 月 01 日、10 月 23 日以及 11 月 06 日，於臺灣大學、逢甲大學以及高雄科技大學辦理三場次化學物質安全替代教育宣導會議，主要受邀對象包含學生、老師、產業界以及部分政府單位，其中第二場次與第三場次更邀請相關綠色化學或化學產業之專家學者擔任評論人，蒐集其針對化學物質安全替代教育相關建議，建立化學品安全教育與安全替代品宣導平臺，深化綠色化學原則的應用與指標評估的建置。

5.2 建議

本計畫以實踐綠色化學原則應用於化學產業推廣，同時建構綠色化學與毒化物管理知識為目標，針對國外綠色化學指標與其推廣應用策略或可行作法進行蒐研，研析綠色化學獎項納入環保標章評量系統，同時研議可替代化學物質之清單與方案，據以驗證化學物質安全替代評估流程之適用性，最後建立示範教材與辦理相關教育宣導，促進國內產業投入綠色化學教育與毒化物管理的量能；根據本計畫重點成果，提出具體建議如下：

1.推動毒性化學物質安全替代評估體系（短程）：

建議參考本計畫所提之化學物質替代評估流程，配合國內既有之相關化學品資料庫，建置公開資訊平臺，盤點國內適用之化學品產業，除了掌握國內毒化物整體物質流向，並提供化學品相關產業之安全替代評估做法，配合 PAS 原則與 GCM 評估指標、危害評估、技術可行性與經濟成本等面向進行綜合評估，可進一步優先篩選出化學品安全替代項目。

2. 參考本計畫蒐研紐西蘭 ECNZ 環保標章規範與流程，並持續蒐研相關標章研訂策略作法，做為未來訂定化學品標章制度之參考（中程）：

建議參酌 ECNZ 針對化學品標章認證之相關規範，其範疇包含法律要求、用途特性要求、化學安全數據、能源管理、廢棄物管理、包裝管理、使用者要求、產品管理與產品特性等，以研提國內適用綠色化學指標之化學品環保標章。

3. 明定綠色化學原則指標建置化學局資料庫，並考量建立示範亮點計畫（長程）：

建議整合國內既有毒性化學物質申報數量，掌握上中下游物質流向，配合化學雲資料庫建置，納入環工、資訊、公衛與化學相關領域之專家學者，共同發展本土化毒性化學物質安全替代數據庫。

參考文獻

1. Better business better world, Business and Sustainable Development Commission (BSDC), 2017
2. GreenScreen ® for Safer Chemicals, 2014
3. Current Chemical Risk Management Activities, USEPA, 2016
4. Comments on Green Chemistry and Sustainable Chemistry in Response to Resolution 2/7 of the UN Environment Assembly, IPEN, 2017
5. Sheldon, R.A., 2017. Metrics of Green Chemistry and Sustainability: Past, Present, and Future. ACS Sustainable Chemistry & Engineering 6, 32-48.
6. Giraud, R.J., Williams, P.A., Sehgal, A., Ponnusamy, E., Phillips, A.K., Manley, J.B., 2014. Implementing Green Chemistry in Chemical Manufacturing: A Survey Report. ACS Sustainable Chemistry & Engineering 2, 2237-2242.
7. Matus, K.J., Clark, W.C., Anastas, P.T., Zimmerman, J.B., 2012. Barriers to the implementation of green chemistry in the United States. Environ Sci Technol 46, 10892-10899.
8. Environmental Choice New Zealand, https://www.environmentalchoice.org.nz/.
9. EUROPEAN COMMISSION, Findings of the EU Ecolabel Chemicals Horizontal Task Force, Proposed approach to hazardous substance criteria development. JRC-IPTS: EU Ecolabel Horizontal Task Force on Chemicals 24-02-14.
10. Sheldon, R.A., 2017. Metrics of Green Chemistry and Sustainability: Past, Present, and Future. ACS Sustainable Chemistry & Engineering 6, 32-48.
11. Kreuder, et. al., 2017. A Method for Assessing Greener Alternatives between Chemical Products Following the 12 Principles of Green Chemistry. ACS Sustainable Chemistry & Engineering 5, 2927-2935.
12. Tabone, M. D.; Cregg, J. J.; Beckman, E. J.; Landis, A. E. Sustainability Metrics: Life Cycle Assessment and Green Design in Polymers. Environ. Sci. Technol. 2010, 44 (21), 8264−8269.
13. Gregory Morose, An Overview of Alternatives to Tetrabromobisphenol A (TBBPA) and Hexabromocyclododecane (HBCD), University of Massachusetts Lowell, 2006
14. Analysis of Alternative for Chromium (VI) trioxide, 2012, Grohe AG Company
15. Analysis of Alternative for Trichloroethlyene, 2015, Dow Chemical Company
16. 行政院環境保護署毒物及化學物質局，2018，永續綠色化學與循環經濟之政策研析
17. 行政院環境保護署毒物及化學物質局，2018，107 年度毒性化學物質釋放量計算指引輔導推動計畫
18. 行政院環境保護署毒物及化學物質局，2019，綠色化學應用於毒性化學物質源頭管理及溝通
19. 行政院環境保護署，2019，107-108 年度環保標章制度精進暨環境保護產品追蹤管理第 1 年(2 年計畫)。EPA-107-K102-03-A049。
20. 環保署綠色生活資訊網，https://greenliving.epa.gov.tw/newPublic/Link.
21. 東聯化學 2016 企業社會責任報告書，http://www.twcia.org.tw/news/news_more?id=6c03014d1a5f4c98999cf6caea7bd1e
22. 行政院衛生福利部，2014，103 年度--食品中六溴環十二烷之含量監測及風險評估。

23. 綠色生活資訊網，
https://greenliving.epa.gov.tw/newPublic/GreenMark/CriteriaReviewProcedures
24. 台灣化學產業協會會刊，
http://www.twcia.org.tw/information/index?id=d9d435df03a84a8596e88a3ac0be9770

附錄目次

附錄一、工作進度會議會議記錄

行政院環境保護署毒物及化學物質局
「應用綠色化學原則研議化學物質安全替代篩選系統及教育宣導計畫」
第1次工作進度報告會議紀錄

審查意見	意見回復
請參考國外做法驗證我國化學物質替代評估流程之適用性，研議綠色化學原則評估指標及替代化學品的快速篩選作法。	已蒐集國外相關資料，並且街內容製作為「毒性化學物質安全替代之評估流程」教材。
有關第二類環保標章或者本局辦理綠色化學相關競賽獎項評選等相關業務，請將計畫產出之綠色化學指標納入其中，並分析可行性。	遵照辦理，未來將相關內容納入報告內。
請詳加蒐集分析紐西蘭環保標章制度，包括由申請廠商提出佐證產品符合綠色化學內涵，提供專家評審審核後決定標章核發之作法等 。	遵照辦理，已將紐西蘭相關環保標章資訊製作為「國外綠色化學指標及紐西蘭環保標章介紹」教材。
參考國外經驗及國內現有資訊，評估建立 PASS (Prevent, Assurance, Sustainability and Security)系統，並建立本土化可行的綠色化學評估指標。	遵照辦理，未來將相關內容納入報告內。
文獻 Green Chemistry Metrics, GCM 評估案例可編列為教育宣導教材，以國外經驗的作為國內執行推動之參考依據。	遵照辦理，已將國外相關綠色化學指標評估系統製作為「國外綠色化學指標及紐西蘭環保標章介紹」教材。
教育宣導課程可邀請相關專家增加教育訓練成效，預定於期中報告前舉辦第1場教育宣導，10月中旬及11月初舉辦第2及第3場，時間暫定為星期五下午2時至4時30分。	遵照辦理，已於9月1日完成第1場教育宣導研習會議，並邀請有關產業一同參與，包括化工產業、檢驗業、顧問工程公司與廢棄物清除技術公司。
期中報告時間已預定為9月15日、期末報告會議已預定為11月26日。	遵照辦理，於9月4日前繳交期末報告初稿。

附錄二、期中審查會議記錄

行政院環境保護署毒物及化學物質局
「應用綠色化學原則研議化學物質安全替代篩選系統及教育宣導計畫」
期中審查會議紀錄

洪委員輝嵩	
審查意見	意見回復
綠色化學12原則指標，並給予量劃分數，最後給予一個總分，並訂一個及格的分數。	感謝委員意見，綠色化學指標與評分方式之相關內容與案例研析請參考3.1.2節中的表十一。
化學品的替代是相當不容易的工作，現有的例子，請考慮朝環境面及替代成果說明，環境面為什麼要素，中間碰到哪些問題，如何改進，最後效果如何。	感謝委員意見，國際上案例對於化學品替代評估之環境面探討主要是針對人體健康風險、生物累積性為主，例如Greenscreen ®準則，其主要障礙為資料庫建立不易，導致最終評估結果不具代表性，相關說明可參考3.1.1節。
紐西蘭的ECNZ系統是一個系統性的標章，對化學品申請ECNZ的又因是什麼，是否分析一下，看為什麼至今沒有一項化學品通過。	感謝委員意見，紐西蘭的ECNZ系統針對化學品標章申請與推動流程相關內容與規範說明請參考3.3節。
鄭委員政峯	
審查意見	意見回復
表五評估指標之名詞要定義清楚	謝謝委員意見，已明確定義綠色化學評估指標。
國內現有符合綠色化學相關指標之廠家(案)例，要慎重選擇	謝謝委員意見，目前所提之國內案例屬於個案初步分析，詳細資訊仍屬商業機密，故未來若針對國內產業推動綠色化學指標必須審慎評估與選擇。
溶劑化學品的替代，須考慮其使用之功能特性依據，可能性較高	謝謝委員意見，將納入期末建議事項。
化學物質安全替代之三個例子的敘述，其作用性理由的敘述	謝謝委員意見，目前所提之國內案例屬於個案初步分析，詳細資訊仍屬商業機密，故未來若針對國內產業推動綠色化學指標必須審慎評估與選擇。
有效管理並為預防性，從消極性變為積極性，非常好	謝謝委員。
楊委員慶熙	
審查意見	意見回復
LCA資料庫的數據能先verify並以本土數據為優先，以反應在本土之真正優勢，另評估系統並建立SOP有一定流	謝謝委員意見，未來推動國內綠色化學指標應用應優先建立本土化數據庫與流程步驟，將納入計畫期末建議，

程及步驟	做為未來研究課題。
生態標章之使用選擇只要看齊標章就可優先買，但對其是否符合使用標目的，其差異將是如何？這跟環保標章是清潔用品、化妝品其功能稍有差異，但若是用於工業，其可能造成的反應，產品對預期的效果可能case by case仍應有替代使用評估準則	謝謝委員意見，生態標章主要目的在於評估對產品中所含危害物質的具備實際可行替代潛力化學品，其涵蓋的面相較環保標章更廣泛，目前歐盟針對相關規範尚未有明確的案例，這部分可作為未來建立我國化學品納入標章準則之探討對象。
國內外評估資料系統之收集，建議要完整的系統，要容易進行評估、正確使用，期中報告所列之案件，如永光化學、東聯化學等等，建議有詳細之評估流程	謝謝委員意見，目前所提之國內案例屬於個案初步分析，詳細資訊仍屬商業機密，故未來若針對國內產業推動綠色化學指標必須審慎評估與選擇。

附錄三、期末審查會議記錄

行政院環境保護署毒物及化學物質局
「應用綠色化學原則研議化學物質安全替代篩選系統及教育宣導計畫」
期末審查會議紀錄

洪委員輝嵩	
審查意見	意見回復
建議期末報告應將先前的原理原則，歸納整理出一套可行、量化的表格，讓化學局評估與應用	謝謝委員意見，關於替代流程驗證之相關量化表格已補充於4.2.2節。
目前教育宣導已開完北中南三場，宜將相關教材內容提供業者參考。	謝謝委員意見，本計畫於辦理三場教育宣導會議皆已將教材內容公開上網，提供各界參考。
建議補充說明業界可執行化學物質安全替代之誘因。	謝謝委員意見，目前推動化學品安全替代可配合循環經濟政策推動一併執行，請參考3.2.1節國內綠色化學原則之推動策略作法。
鄭委員政峯	
審查意見	意見回復
建議本計畫所提之替代流程宜評估產業面的執行程度。	謝謝委員意見，本計畫透過安全教育宣導會議已讓部分廠商了解其綠色化學原則推動的重要性，目前廠商執行程度尚需配合未來化學局推動方向評估是否可執行。
替代化學品應考慮其作用原理，依其原理尋找評估其可行性。	謝謝委員意見，目前所提之國內案例屬於個案初步分析，詳細資訊仍屬商業機密，故未來若針對國內產業推動綠色化學指標必須審慎評估與選擇。
建立將國內現有綠色化學案例整合說明	謝謝委員意見，已補充於3.2.1節國內綠色化學原則之推動策略作法。
化學物質安全替代之三個例子的敘述，其作用性理由的敘述	謝謝委員意見，目前所提之三項案例係作為修正化學品替代流程之驗證說明，然由於資訊收集不易，只針對毒性評估與PAS原則評估進行部分的量化評分結果。
報告摘自資料，可註出處。	謝謝委員。
張委員章堂	
審查意見	意見回復
P24原則1與原則2及原則8：翻譯名稱不佳，宜在思考修正。	謝謝委員意見，翻譯名稱系參照綠色化學原則之原文定義重新修訂。
P33工藝宜改為技術。	謝謝委員意見，已修正。

P34評分過程宜加強補充計算過程與所使用參數，並進行本土化之建議方向。	謝謝委員意見，已將文獻中使用的量化評估指標納入PAS原則中，做為未來本土化之建議方向。
P36-40名稱實例探討所對應原則較報告中所述多元，宜在加強評析。	謝謝委員意見，已加強國內案例研析，並分析符合綠色化學之範疇。
P41宜列明國外與國內環保標章差異處，以利推動相關作業。	謝謝委員意見，已於3.3.2節補充研提我國納入綠色化學原則於環保標章制度。
P65 11/6第三場綠色化學會議，宜補上會議結論。（已於期末報告呈現）。	謝謝委員意見，已補充相關結論。
P67宜以產業導入綠色化學為目標（如皮革業與電鍍業），進行毒性物質使用減量。	謝謝委員意見，已納入未來建議推動方向。
化學局	
審查意見	意見回復
請承辦單位修正期末報告時參照委員及本局建議，並據以辦理，包含文字及格式勘誤，名詞統一，標註參考文獻。並請於期末報告定稿中提供工項成果對照頁數或章節表，俾便確認對應報告，易於翻閱。	謝謝委員意見，遵照辦理。
請於報告定稿中詳細說明修正後我國化學安全品替代評估流程各步驟對應之實際操作作法及策略。	謝謝委員意見，已提出修正版化學安全品替代評估流程以及其詳細說明，請參考4.2.2節。
本計畫原則符合計畫工項要求進度。	謝謝委員。

附錄四、教育宣導教材簡報

議題一：國外綠色化學指標及環保標章介紹

National Taiwan University

「應用綠色化學原則研議化學物質安全替代篩選系統及教育宣導計畫」

環境教育教材

國外綠色化學指標及環保標章介紹

大綱

一. 各國政府推動綠色化學之情勢

二. 國際綠色化學發展方向與獎項

三. 綠色化學原則指標評估系統

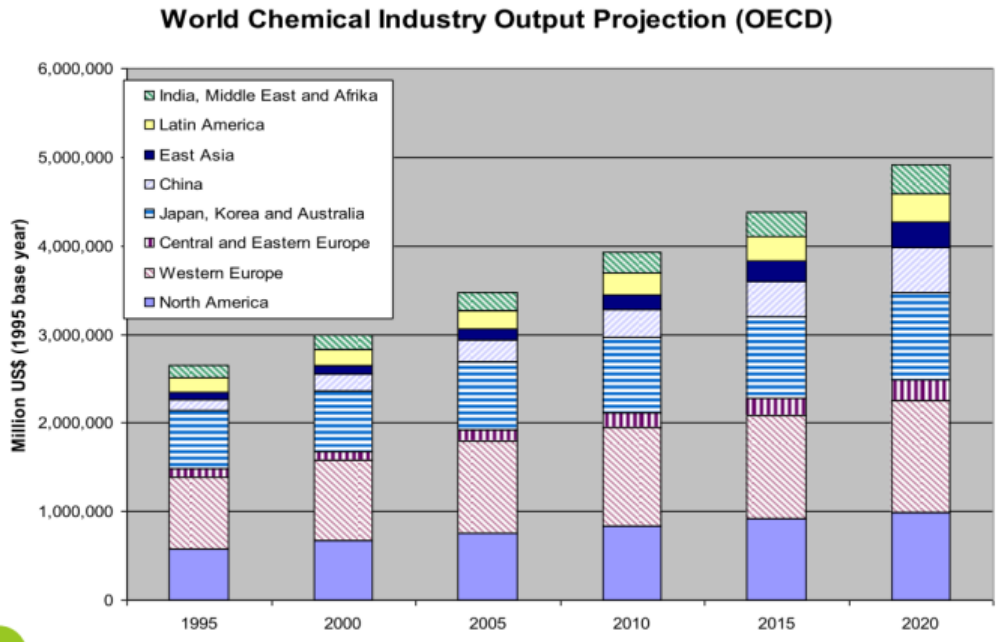
四. 紐西蘭環保標章ECNZ介紹

2

一、各國政府推動綠色化學之情勢

3

1.1 國際化學品產量增長趨勢



4

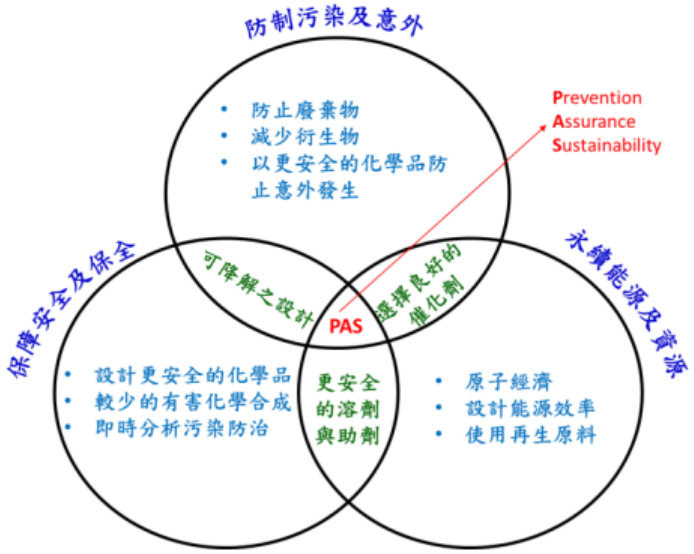
1.2 綠色化學12項原則

	綠色化學原則	定義說明
1	防止廢棄物(Prevention)	從化學合成或產品生產過程中，避免廢棄物的生成，從源頭防治污染。
2	原子經濟 (Atom Economy)	設計合成方法最佳化，使得製程中所採用的所有原料進入最終產品之中。
3	較少的有害化學合成 (Less Hazardous Chemical Synthesis)	使得所使用與產生的化學物質對人體健康和環境無毒無害。
4	設計更安全的化學品 (Design Safer Chemicals)	設計化學產品具有高效的功能與最低的毒性。
5	更安全的溶劑與助劑 (Safer Solvents and Auxiliaries)	避免使用溶劑、分離試劑等助劑，如不可避免時，也要選用無毒無害的助劑。
6	設計能源效率 (Design for Energy Efficiency)	選擇常溫與常壓下進行化學合成以降低製程的能耗。
7	使用再生原料 (Use of Renewable Feedstocks)	在技術可行和經濟合理的前提下，儘量採用再生資源代替消耗性資源。
8	減少衍生物 (Reduce Derivatives)	避免使用與產生不必要的衍生物。
9	選擇良好的催化劑(Catalysis)	採用高選擇性的催化劑，這比使用化學計量助劑更加優越，並可提升合成反應之轉化效率以降低能耗。
10	可降解之設計 (Design for Degradation)	設計化學產品在其功能終結後不會永存於環境中，要能分解成無害的物質。
11	即時分析污染防治 (Real-time Analysis for Pollution Prevention)	於製程中即時線上監控有可能產生的有害物質並儘量避免產生這些有害物質。
12	以更安全的化學品防止意外發生 (Inherently Safer Chemistry for Accident Prevention)	使用與生產可降低意外事故如洩漏、爆炸、火災等的化學品。

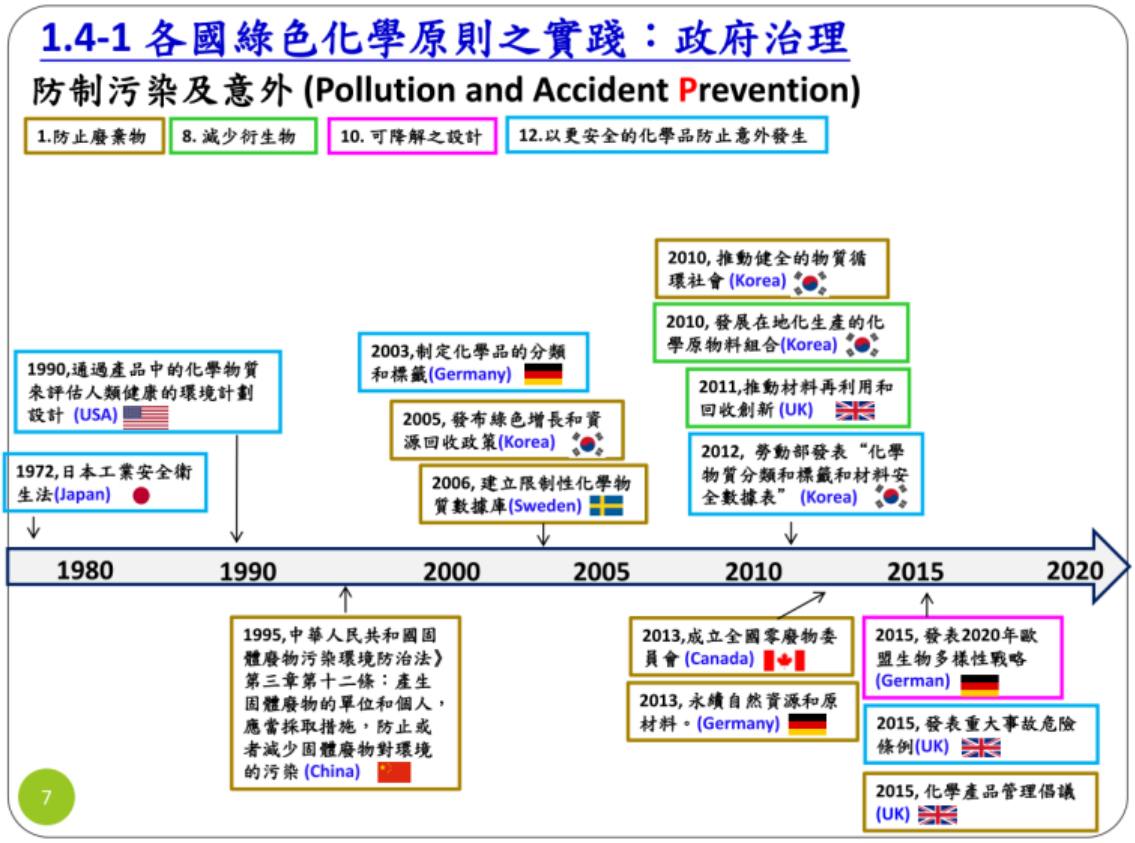
5

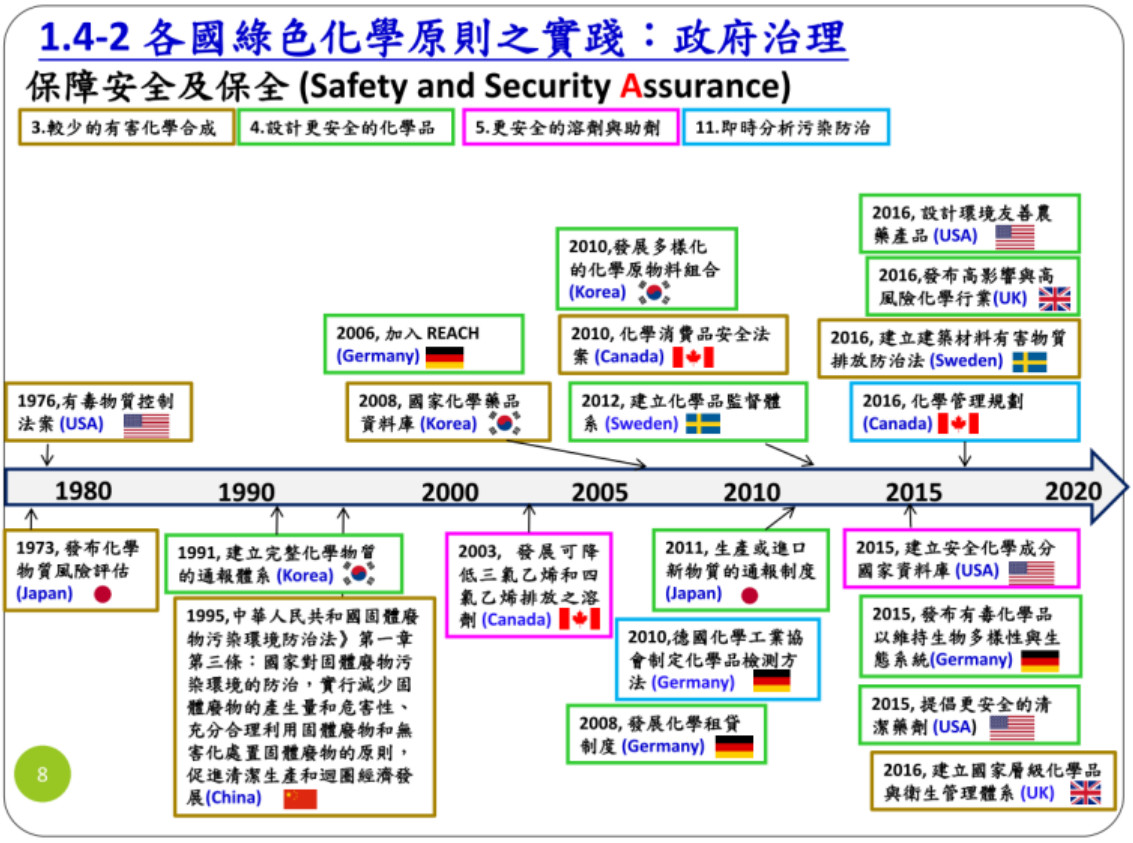
1.3 綠色化學P-A-S分類

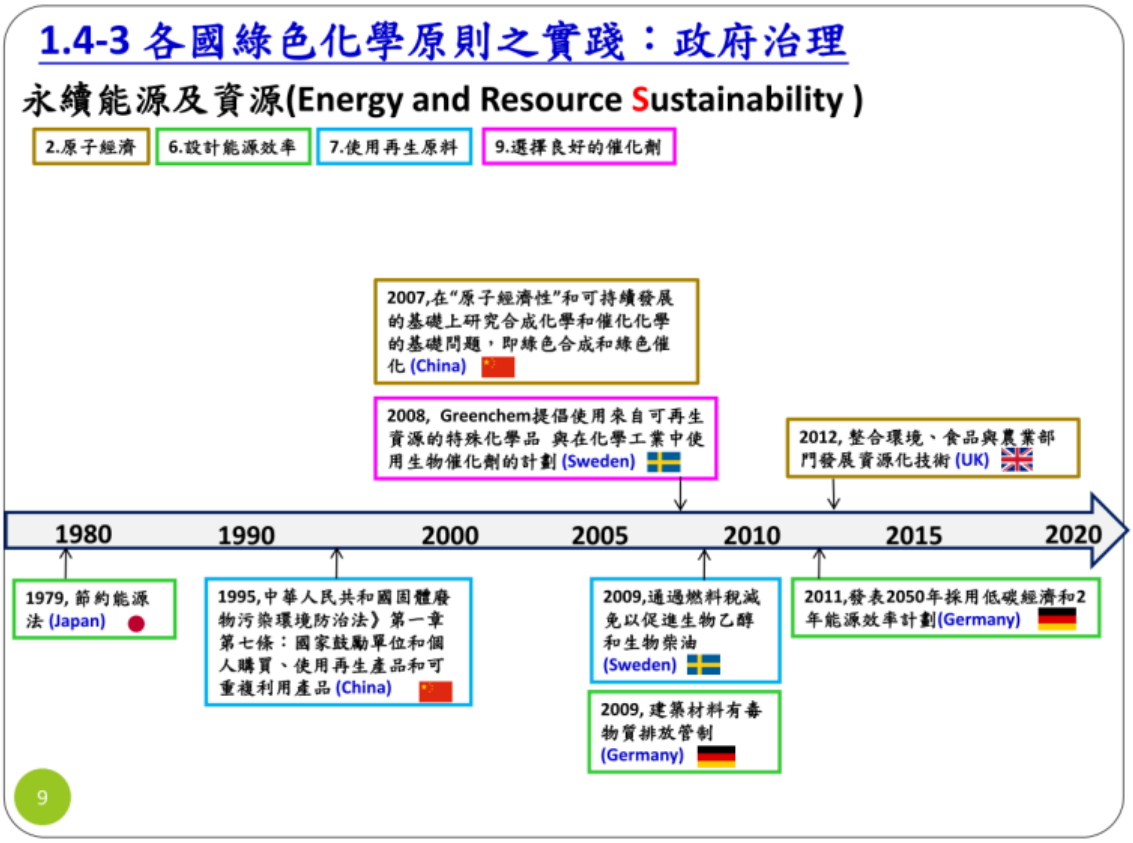
- 防制污染及意外(Pollution and Accident **Prevention**)
- 保障安全及保全(Safety and Security **Assurance**)
- 永續能源及資源(Energy and Resource **Sustainability**)



6


1.4-1 各國綠色化學原則之實踐：政府治理
防制污染及意外 (Pollution and Accident Prevention)
1.防止廢棄物
8. 減少衍生物
10. 可降解之設計
12.以更安全的化學品防止意外發生
2010, 推動健全的物質循環社會 (Korea)
2010, 發展在地化生產的化學原物料組合(Korea)
2011,推動材料再利用和回收創新 (UK)
2012, 勞動部發表“化學物質分類和標籤和材料安全數據表” (Korea)
2003,制定化學品的分類和標籤(Germany)
2005, 發布綠色增長和資源回收政策(Korea)
2006, 建立限制性化學物質數據庫(Sweden)
1990,通過產品中的化學物質來評估人類健康的環境計劃設計 (USA)
1972,日本工業安全衛生法(Japan)
1980
1990
2000
2005
2010
2015
2020
1995,中華人民共和國固體廢物污染環境防治法》第三章第十二條：產生固體廢物的單位和個人，應當採取措施，防止或者減少固體廢物對環境的污染 (China)
2013,成立全國零廢物委員會 (Canada)
2013, 永續自然資源和原材料。(Germany)
2015, 發表2020年歐盟生物多樣性戰略 (German)
2015, 發表重大事故危險條例(UK)
2015, 化學產品管理倡議 (UK)
7


1.4-2 各國綠色化學原則之實踐：政府治理
保障安全及保全 (Safety and Security Assurance)
3.較少的有害化學合成
4.設計更安全的化學品
5.更安全的溶劑與助劑
11.即時分析污染防治
2016, 設計環境友善農藥產品 (USA)
2010,發展多樣化的化學原物料組合 (Korea)
2016,發布高影響與高風險化學行業(UK)
2006, 加入 REACH (Germany)
2010, 化學消費品安全法案 (Canada)
2016, 建立建築材料有害物質排放防治法 (Sweden)
1976,有毒物質控制法案 (USA)
2008, 國家化學藥品資料庫 (Korea)
2012, 建立化學品監督體系 (Sweden)
2016, 化學管理規劃 (Canada)
1980
1990
2000
2005
2010
2015
2020
1973, 發布化學物質風險評估 (Japan)
1991, 建立完整化學物質的通報體系 (Korea)
1995,中華人民共和國固體廢物污染環境防治法》第一章第三條：國家對固體廢物污染環境的防治，實行減少固體廢物的產生量和危害性、充分合理利用固體廢物和無害化處置固體廢物的原則，促進清潔生產和迴圈經濟發展(China)
2003, 發展可降低三氯乙烯和四氯乙烯排放之溶劑 (Canada)
2011, 生產或進口新物質的通報制度 (Japan)
2010,德國化學工業協會制定化學品檢測方法 (Germany)
2008, 發展化學租賃制度 (Germany)
2015, 建立安全化學成分國家資料庫 (USA)
2015, 發布有毒化學品以維持生物多樣性與生態系統(Germany)
2015, 提倡更安全的清潔藥劑 (USA)
2016, 建立國家層級化學品與衛生管理體系 (UK)
8



1.5永續綠色化學優先治理方向

- 依據各國所推動的綠色化學政策，以綠色化學十二項原則進行分類，彙整建議我國推動永續綠色化學優先治理方向。

	綠色化學原則	優先治理方向
1	防止廢棄物	推動健全的物質循環社會 (S-Korea)
2	原子經濟	推動材料再利用和回收創新 (UK)
3	較少的有害化學合成	建立化學物質風險評估 體系(Japan)
4	設計更安全的化學品	發展化學租賃制度 (Germany)
5	更安全的溶劑與助劑	建立安全化學成分國家資料庫 (USA)
6	設計能源效率	推動低碳經濟與提升能源效率長程計劃(Germany)
7	使用再生原料	燃料稅減免以促進生物乙醇和生物柴油 (Sweden)
8	減少衍生物	發展在地化生產的化學原物料組合(S-Korea)
9	選擇良好的催化劑	提倡使用來自可再生資源與生物性催化劑的特殊化學品
10	可降解之設計	推廣具生物可降解性之化學品
11	即時分析污染防治	建立整合式化學品管理體系
12	以更安全的化學品防止意外發生	建立國家層級之化學物質分類和標籤和材料安全數據庫

10

二、國際綠色化學發展方向與獎項

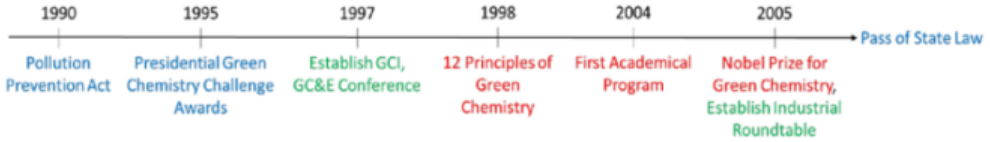
11

2.1 國際綠色化學相關公約

公約名稱	相關國家	核心精神
杜拜宣言	美國、歐盟、日本、澳洲、台灣 中國、印度、加拿大、德國、法國、英國	➢ 強調各行業的責任，向利益相關者提供化學品的健康和環境影響的數據和資訊，這些數據和資訊需要安全地使用化學品及其製成的產品; ➢ 深化國際化學藥品管理體系的自願協議
巴塞爾公約	美國、歐盟、日本、澳洲、台灣 中國、印度、加拿大、德國、法國、英國	➢ 減少有害廢棄物之產生，並避免跨國運送時造成的環境污染；提倡就地處理有害廢棄物，以減少跨國運送；妥善管理有害廢棄物之跨國運送，防止非法運送行為；提升有害廢棄物處理技術，促進無害環境管理之國際共識。 ➢ 公約的管制對象有分為三部分：針對應嚴加管制的有害廢棄物、管制家庭廢棄物以及其焚化後之灰燼有害特性認定準則
斯德哥爾摩公約	全球性	➢ 為了禁用或限制生產持久性有機污染物而訂定 ➢ 已禁用艾氏劑、狄氏劑、異狄氏劑、氯丹、七氯、毒殺芬、滅蟻靈、六氯苯、多氯聯苯，並減少排放多氯二苯並戴奧辛和多氯二苯並呋喃類化合物 ➢ DDT生產和使用的限制（只允許使用對抗瘧疾）
里約環境與發展宣言	全球性	➢ 於1992年地球高峰會宣告27項原則，旨於促進全球永續發展，並需要全球大數據分析以瞭解地球大氣層的行為及其與陸地和海洋的相互作用，以避免由於浪費造成的自然災害。
全球化學品統一分類和標籤制度	全球性	➢ 由聯合國制定的化學品分類和標記系統，目的在於統一不同國家和地區的化學品分類和標記。
ISO 9001	全球性	➢ 從供應商的原材料採購到成品交付到客戶的品質控管體系。
約翰內斯堡執行計劃	全球性	➢ 構建健全管理體系對於執行永續發展項目來控制自然資源的枯竭至關重要。

2.2 國際綠色化學發展方向：美國

- 美國綠色化學之發展可分成政府單位、學術單位及工業單位，1990 年代前期多為政府之作為，藉由通過法案(Pollution Prevent Act)及設立獎項(Presidential Green Chemistry Challenge Awards)來使工業界及學術界注意到綠色化學之相關議題
- 1997 年之後於學術及工業界設立了相關學術研究及促進綠色化學工業發展之組織、會議，加速綠色化學之學術領域及相關產業之成長
- 2005 年時，綠色化學領域得到了諾貝爾化學獎的重視，並將獎項頒給當時致力於相關研究之美國學者，以給予相關研究肯定



Blue: Government Activities
Red: Academic Activities
Green: Industrial and Other Organization's Activities

13

2.2 國際綠色化學發展方向：美國

美國總統綠色化學挑戰獎於2014年至2020年的獲獎技術

年份	綠色合成途徑獎 (Greener Synthetic Pathways)	設計綠色化學品獎 (Designing Greener Chemicals)	學術獎(Academic Award)	小企業獎 (Small Business Award)	綠色反應條件(Greener Reaction Conditions)
2014	微藻發酵產生的量身定制的油	RE-HEALINGTM泡沫濃縮液–有效的無鹵消防	藥物合成的好氧氧化方法	Farnesane：突破性的可再生烴，用作柴油和噴氣燃料	節能顯示和照明產品的綠色量子點合成
2015	LanzaTech氣體發酵過程	非異氰酸酯混合聚氨酯/綠色聚氨酯TM	可再生化學品，液體燃料和可生物降解聚合物的綠色縮合反應	Plantrose®工藝：超臨界水是生物基工業的經濟推動力	使用固定床固態催化劑反應器系統生產高活性聚異丁烯的新型高效方法
2016	AlkyClean®技術：生產汽油烷基化物的固有安全技術	空氣碳：將溫室氣體轉化為高性能熱塑性塑料	富含地殼過渡金屬的催化作用	通過BIOLON™ DDDA的商業化生產可再生尼龍	Instinct®技術-使氮肥對農民和地球更加有效地工作
2017	Letermovir：製藥行業可持續商業製造過程的最新方法案例研究	突破性的熱敏紙可持續成像技術	使用量身定制的金屬配合物簡單高效地從消費材料中回收稀土元素	UniSystem™：一種用於電網規模儲能的高級釩氧化還原液流電池	改進的固相肽合成技術可實現工業化生產依替卡肽的綠色工藝
2018	商品化學品中Doravirine的可持續商業製造過程	Rinskor™Active –在減少環境影響的同時提高水稻產量	增加全球獲取高容量艾滋病毒藥物奈韋拉平的機會	eShuttle™技術，用於環氧丙烷和減少PVC供應鏈中的CO_2排放	幾丁質大規模生產的實用方法：美國唯一使用基於離子液體的分離工藝的設施
2019	為更綠色的未來而創新：為Zerbaxa™開發綠色和可持續的製造工藝	—	用於電網存儲的鹼性鹼性Zn-MnO_2可充電電池	微生物生產的多種用途的高純度葡萄糖酸	TRUpath™
2020	生物基丁二醇	生物基無甲醛熱固性粘合劑配方	Pure-Cut™	SPEAR®殺蟲劑：新型殺生物劑的第一個成員其顯示出與合成殺蟲劑相當的功效	ProTide合成問題的綠色解決方案：立體選擇性組裝ProDrug的多功能

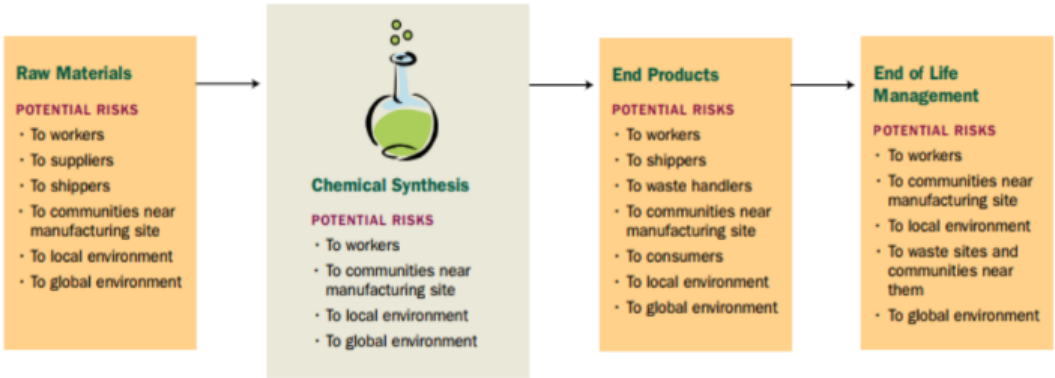
2.3 國際綠色化學發展方向：歐洲

- 歐洲之「歐洲化學與分子科學學院」（European Association For Chemical And Molecular Sciences, EuCheMS）也自2010年開始頒發歐洲永續化學獎，每兩年頒發一次，頒發之領域包括：
  - 使用替代合成途徑，提高資源利用效率和選擇性，例如利用均相觸媒催化劑加速反應；
  - 使用更安全或可再生之替代性原料，如生物資源；
  - 開發新型反應器、使用環境衝擊較低之溶劑、增加產率或減少廢物生產及排放；
  - 設計及開發對環境友善的新替代化學品，或在現有的化學產品上加強環境安全。
- 2018最新得獎人洛桑聯邦理工學院的化學和工程研究所的Paul Dyson，致力於**催化研究包括均相和雙相催化、分散的納米催化和非均相負載型催化劑**，重點在於可持續性，盡可能避免使用有毒揮發性溶劑以及使用可再生原料。

15

3.4 國際綠色化學發展方向：英國

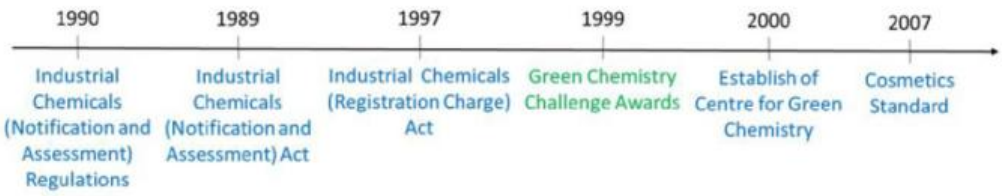
- 綠色化學是一個新興的化學部門，研究如何充分利用原材料和能源，以“原子經濟”為原則減少有害物質的釋放。
- 綠色化學的目的是預防性地採取行動，並涵蓋生命週期的概念，應用搖籃製搖籃的管理方式，減少未來工業化學過程造成的損害。



16

2.5 國際綠色化學發展方向：澳洲

- 澳洲由 1990 年至 2007年間，皆主要由政府機構以法律主導工業界綠色化學的限制及規範，法律包含了Industrial Chemical Regulations、Industrial Chemical Act 以及 Cosmetic Standard 。
- 2000 年澳洲政府建立了 Centre of Green Chemistry以發展綠色化學相關技術及科技。
- 另外澳洲皇家化學學會（Royal Australian Chemical Institute, RACI）於1999年開始頒發綠色化學挑戰獎。獲獎單位需符合使用新的替代合成途徑、使用新的替代反應條件以及設計更安全的化學產品這3個條件之一。



17

2.6 國際綠色化學發展方向：日本

- 日本於2000年成立「綠色及永續化學獎（Green and Sustainable Chemical Award）」，分成經濟、貿易與工業項目、環境項目以及教育、文化、運動、科學與科技項目進行篩選，選出符合綠色化學及永續設計之製程或產品，列舉近年獲獎之項目。
- 日本化學家野依良治（Ryoji Noyori, 2001年諾貝爾化學獎得主）於2005年提到綠色化學的三個重大發展：運用超臨界CO2為綠色溶劑、過氧化氫進行清潔氧化反應及使用氫氣進行不對稱合成。

18

2.6 國際綠色化學發展方向：日本

年份	經濟、貿易與工業	環境	教育、文化、運動、科學與科技
2010(第十屆)	使用新型固體酸催化劑生產金剛烷的環保方法	粉末狀光催化劑開發於利用陽光從水中製氫	環保型有機自由基電池的研發
2011(第十一屆)	新型均相催化劑的創新乙二醇合成工藝	住宅PEFC系統“ENE-FARM”小型燃料處理系統的開發	超臨界水中有機改性金屬氧化物納米粒子的環境友好合成方法
2012(第十二屆)	引領可持續未來社會的新洗滌方案	稀土金屬綠色回收技術的發展	開發實用和實用的綠色和可持續化學催化劑
2013(第十三屆)	輕型商用飛機碳纖維複合材料的開發	藉由印刷技術發展塑化染料敏化太陽能電池	開發環境友好的脫氫交叉偶聯新方法
2014(第十四屆)	利用可再生資源實現透明工程塑料的商業化-實現KAITEKI的活動	開發耐用的單片光伏背板以降低環境影響	固體催化劑對纖維素生物質解聚的研究
2015(第十五屆)	高性能反滲透膜的研製	高性能反滲透膜的研製	利用超臨界流體開發天然和環境材料的分離和反應過程
2016(第十六屆)	紙質澆鑄流道的開發	創新的碳粉技術，可在不影響環境的情況下獲得高圖像質量	使用新穎化合物創造新型植物生長調節劑
2017(第十七屆)	高荷電率和高耐久性怠速停止系統車輛低環境負荷電池的開發	用於節油輪胎的新型溶液苯乙烯-丁二烯橡膠的開發	完全利用廢油轉化為高價值產品的流式反應分離系統
2018(第十八屆)	食品包裝用水性噴墨油墨的開發	高性能泡沫塑料絕熱材料的絕熱性能及其長期穩定性的提高	HFC-23的三氟甲基化反應研究進展
2019(第十九屆)	完全無需處理的報紙印刷版的開發	開發環保型氫氟烯烴“AMOLEA”	高效鈣鈦礦太陽能電池的開發

19

2.6 綠色化學發展方向：臺灣

- 環保署及教育部積極共同推動**大專院校毒化防災教育及綠色化學政策**，於2017年底舉辦記者會，擴大推廣效益，特別邀請教育部共同聯合舉辦「綠色化學暨毒化災防制部會合作記者會」。邀請學校老師分享推動綠色化學之經驗及成果，同時展示因應災害發生出動之專業防護設備，宣誓跨部會一起為推動臺灣綠色化學教育及實驗室學生安全努力。

主管機關毒物及化學物質局願景

（一）專責單位源頭管理

（二）協助部會強化管理

（三）加強部會合作勾稽檢查

（四）與國際化學物質管理接軌

資料來源:https://www.tcsb.gov.tw/cp-307-2974-0ece4-1.html

20

2.6 綠色化學發展方向：臺灣

- 2019年舉辦第1屆**綠色化學應用及創新獎**，為鼓勵毒性化學物質運作單位持續朝向低污染、低毒性之替代品研發、減少毒化物使用、落實危害預防管理及強化緊急災變能力，同時促使全民參與綠色化學推動工作，透過公開表揚績優單位及個人，讓各界學習仿效，以實現「永續、安全、有效管理化學物質」的願景。
- 採取個人獎與團體獎兩部分，第1屆綠色化學應用及創新獎，獲獎單位及個人，計有15家績優團體及10位個人。

21

資料來源:https://www.tcsb.gov.tw/np-315-1.html

三、綠色化學原則指標評估系統

22

Kreuder et al., 2017, *ACS Sustainable Chem. Eng.*

3.1 綠色化學原則指標 (GCM評估方法)

- 綠色化學的12條原則概述了用於識別綠色化學或製程的架構，涵蓋了整個產品生命週期中的健康危害、生態風險和資源效率方面。Kreuder等人介紹有關建立**綠色化學指標（Green Chemistry Metrics, GCM）**的方法，該方法採用較容易獲得的數據，例如，**全球化學品統一分類和標籤制度（Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals, GHS）**彙編的數據，並根據12項原則評估化學品和化學製程。
- GCM可以按照評估的度量標準對化學品或製程進行排名：（1）12項綠色化學原則的每一項得分，（2）新型和改進的化學品/製程間的三類排名（**改善的資源利用**、**提高的能源效率**和**減少對人類和環境的危害**），以及（3）彙總比較排名。
- GCM方法的獨特之處在於足夠健全和靈活度可以涵蓋多種產品組合，可以根據公認之行業慣例及使用現有數據進行評估，並且就化學可持續性的選擇具有參考價值。

23

3.1 綠色化學原則指標 (GCM評估方法)

- 根據國際文獻指出LCA的結果可能與使用綠色設計指標的評估有所不同。Tabone等人通過使用12項綠色化學原則減少聚合物生命週期對環境的影響，特別是針對12種聚合物的案例研究，將綠色設計指標與LCA結果進行比較。研究發現，符合綠色化學原則的**聚合物對生命週期的環境影響較小**，但是**結果並不具有一致性**。例如，生物原料的聚合物比石油原料的聚合物具有更高的環境影響，同時在綠色設計方面排名更高。
- 這種差異是由於綠色設計指標中的一種假設，即**使用可再生資源是優勢的**（原則7），與評估生物材料使用的上游影響的複雜性形成對比。某些生物聚合物表現出較高的**富營養化**，對人類健康和農業生產中肥料使用、農藥使用和土地使用以及將生物材料轉化為塑料所需的發酵和其他化學加工步驟造成的**生態毒性影響**。
- 但是，原則7的基本前提是最好使用可再生能源而不是消耗材料，從而鑑別需要在最短的時間內建立可再生材料的影響最小的措施。進一步的研究將LCA的結果與這種GCM方法進行比較可能會改善 GCM的可用性和解釋。

24

3.1 綠色化學原則指標 (GCM評估方法)

- GCM方法結合了特定原則的算法(principle-specific algorithms, P-GCM)，用以比較和排序所考慮的化學和製程替代品。該方法使用從多種來源（包括GHS）獲得的化學特有數據，**計算12項原則（PS 1-12）**中的每一種**原則得分（principle score, PS）**。**PS指標是進行比較和排名的關鍵**，有助於GCM方法的使用彈性。
- 特定原則的分數（例如PS-1）可用於評估各個**GC原理下的替代性能**。換句話說，可以比較替代方案在各個原則項目的PS值。由於特定化學物質的PS是基於不同的終點及不同的測量範圍，通過單個PS的直接求和計算出的總得分可能會與其他項目不成比例。因此，**制定排序**的策略是為了避免**單個PS值將數據轉換為通用度量的不確定性**和**爭議性**。

25

3.2 GCM評分和排名的架構

- GCM將這12項化學原則分為相似的類別，重點放在減少**人類和環境危害**、**資源利用**和**能源效率**的三個綠色化學類別。

改善資源利用	增加能源效率	減少人類和環境危害
原則1：防止廢棄物	原則6：設計能源效率	原則3：較少的有害化學合成
原則2：原子經濟		原則4：設計更安全的化學品
原則7：使用再生原料		原則5：更安全的溶劑與助劑
原則8：減少衍生物		原則10：可降解之設計
原則9：選擇良好的催化劑		原則12：以更安全的化學品防止意外發生
原則11：即時分析污染防治		

26

3.2 GCM評分和排名的架構

- **個別GC原則**：每個原則特定分數（PS 1-12）的等級分配為1至n（其中n是要比較的替代方案的數量），以得出原則特定分數等級分數（principle-specific score rank score, PSR 1-12）。
- **類別排名（category rank, CR）**：通過對該類別中PSR的平均值進行排名來確定。例如，通過對每種備選方案的原則1、2、7、8、9和11的PSR平均值進行排名，來確定用於改善資源利用的CR。儘管在某些情況下某項原則可能對一個以上類別的環境收益有所貢獻，但此方法將原則歸類為與其收益最相關的類別。
- **所有原則的總體等級（summary rank, SR）**：為了讓用戶在比較化學產品或製程時考慮所有12條原則，GCM使用總體等級（summary rank, SR）。SR是每個備選方案所有12個PSR之平均值。

27

3.3 改善資源利用類別評估指標

- **原則1：防止廢棄物**
  - ✓ 「預防廢棄物要比廢棄物產生的處理或清理來得好。」對於P1-GCM，**合併了廢棄物嚴重性因子以解決廢棄物的環境宿命（即廢物的處理方式）**。GCM使用第三方或自定義分析來建立特定的廢棄物嚴重性因子。下表闡述了廢棄物嚴重性因子，這些因子來自iSUSTAIN綠色化學指數和GHG協議計算指引(Protocol Scope Calculation Guidance)。

P1-GCM的計算方程式為：

$$\frac{\sum_{i}^{n}(\text{mass of waste (kg)} \times \text{waste severity})}{\text{mass of product (kg)}}$$

對所有合成步驟i進行加權計算總合，廢棄物嚴重因子是來自表格所示。

廢棄物處理方式	嚴重因子 (waste severity)
焚燒	15
垃圾掩埋場（惰性材料）	7
垃圾掩埋場（沼氣轉換能源）	5
堆肥	3
廢水處理	1.5
廢棄物轉為能源或從廢棄物產生能源	1
回收再利用	1

28

3.3 改善資源利用類別評估指標

- **原則2：原子經濟**
  - 「合成方法的設計，應該以最大程度將過程中使用的所有材料併入最終產品中。」P2-GCM是一種資源效率指標。為了專注於有效利用投入物而不是產生廢物，借鑒了**NSF / GCI / ANSI 355-2011中的製程質量效率（process mass efficiency, PME）**公式，其中包括反應物、輔助化學品和再生材料。

    P2-GCM由PME公式進行計算：

$$\frac{\mathrm{R\,(kg) + A(kg) - RR(kg) - RA(kg)}}{\mathrm{mass\ of\ product\ (kg) + mass\ of\ co\text{-}product(kg)}}$$

    其中R是輸入到製程作為反應物的化學物質的質量，RR是製程中使用的回收和循環的反應物R的質量，A是輔助化學物質（即載體（溶劑，水），整體催化劑和用於生產副產物和回收化學原料的添加物質），RA是作為製程被回收和再利用的輔助劑A的質量。

29

3.3 改善資源利用類別評估指標

- **原則7：使用再生資源**
  - 「原物料應該是可再生的，而不是在技術和經濟上可行的情況下消耗掉。」P7-GCM專注於使用可再生原料的效率方面；通過考慮使用的可再生材料的數量對其進行評分。**每個GCM用戶必須明確定義“可再生材料”一詞**，以保持P7-GCM分析的**透明性和可比性**。

    P7-GCM的計算公式為：

$$\frac{\sum_{i}^{n}(\mathrm{mass\ of\ raw\ material\ (kg)} \times \%\mathrm{nonrenewable})}{\mathrm{mass\ of\ product\ (kg)}}$$

    其中%為不可再生百分比是不符合可再生能源定義的材料，可再生能源被定義為“生物產品(biobased product)”（由美國農業部生物優先計劃定義），對所有原材料i其增長率大於或等於其使用率。**不符合可再生定義的材料，例如來自廢物或二氧化碳的材料，將不會在此類別中受益**。

30

3.3 改善資源利用類別評估指標

- **原則8：減少衍生物**
  - 「如果可能的話，應盡量減少或避免不必要的衍生化作用（使用**保護基團，進行保護/解除保護以及暫時修改物理/化學製程**），因為這樣的步驟需要額外的化學藥劑，並且可能產生更多的廢棄物。」

P8-GCM的計算公式為：

$$\frac{\sum_{i}^{n} \text{mass of derivative waste (kg)}}{\text{mass of product (kg)}}$$

對所有合成步驟*i*產生之衍生化物重量進行計算總合。

31

3.3 改善資源利用類別評估指標

- **原則9：選擇良好的催化劑**
  - 「催化劑（盡可能具有選擇性）優於化學計量試劑。」P9-GCM旨在認識到**催化步驟通常比化學計量步驟更有效**，為P2-GCM的補充，**可能通過使用催化劑來推動原子經濟性的改善**。

P9-GCM可以估算為：

$$\frac{1}{1 + \text{總催化步驟(number of catalytic steps)}}$$

對所有催化步驟進行計算。

32

3.3 改善資源利用類別評估指標

- **原則11：即時分析污染防治**
  - 「需要進一步開發分析方法，以在形成有害物質之前進行製程中的實時監視和控制。」P11-GCM結合了分析化學方法，例如製程實時分析，以檢測與計劃的偏差，並辨別與計劃的偏差越早得到糾正，過程就越不可能產生額外的廢物或造成額外的危害。評分根據嚴格的監控規模，利用錯誤檢測監控系統（數位或模擬）針對每個化學製造的合成步驟（實驗室、試驗或產品線）進行實時管理。如果工廠具有可用的數位監控系統，比模擬監控系統具有更高的監控等級，並且可能減少浪費。

P11-GCM 計算方式如下：

$$\frac{\text{無監控合成步驟總數}}{\text{監控合成步驟總數} \times \text{監控嚴謹度} + \text{無監控合成步驟總數}}$$

對所有有無監控合成步驟進行計算。

規模	監控系統	嚴謹度
lab	模擬	1
	數位	5
pilot	模擬	1
	數位	5
production	模擬	1
	數位	5

33

3.4 提高能源效率類別評估指標

- **原則6：設計能源效率**
  - 「化學製程的能源需求應因其對環境和經濟的影響進行鑑別，並應將其降至最低。如果可能，應盡量在環境溫度和壓力下進行製程。」P6-GCM利用可用的**化學過程數據反應時間和產品質量**。通過計算合成步驟偏離環境壓力（即1 atm的大氣壓）和環境溫度（即室溫或25°C）的反應時間來估算能量影響。GCM要求根據當前的能源使用慣例制定自己的溫度和壓力加權因子。

P6-GCM 可以以下列方程式估算：

$$\frac{\sum_i^n[(SF_P + SF_T) \times \text{time(h)} \times \text{mass of raw material(kg)}}{\text{mass of product (kg)}}$$

對於所有合成步驟i進行溫度與壓力的加權計算總合。

壓力範圍(atm)	severity factor (SF_P)
水的臨界壓力(218 atm)	7
海平面標準大氣壓(1 atm)	1
絕對真空壓力(0 atm)	3

溫度範圍(°C)	severity factor (SF_T)
冰吸收熱量(−20至0)	7
水結冰（0）	5
液態水吸收熱量（0至20）	3
室溫（20至30）	1
液態水吸收熱量（30至100）	3
液態水沸騰（100）	5
蒸汽吸收熱量（>100）	7

34

3.5 減少對人類和環境的危害類別評估指標

- **減少對人類和環境的危害類別**：包括解決對人類健康、安全和環境的潛在影響的綠色化學原理。此類別的指標來自基於GHS標準分配給每個危害類別的數值分析。
  - P3-GCM至P5-GCM是基於**人類健康的急性和慢性毒性終點（E）**，
  - P10-GCM利用GHS**環境危害情境評估生物降解和積累（B）**，
  - P12-GCM基於**物理性危害的終點（Z）**。
- GHS健康危害終點標準歸為幾類，P3-GCM，P4-GCM和P5-GCM均使用類似的基於GHS的方法評估毒性。主要區別在於P3-GCM專注於輸入材料，P4-GCM專注於生產的產品，P5-GCM專注於溶劑和分離劑。對於原則3-5，化學品分兩步評估。首先，根據GHS危害分類值分配每個毒性終點的分數（E分數），接下來，從最大E分數中確定總危險分數(overall hazard score, H)。

35

3.5 減少對人類和環境的危害類別評估指標

- **人類健康的急性和慢性毒性終點（E）**
  - 急毒性測定表（LD50 / LC50），包含Oral, Dermal, Gases, Vapors, Dust and Mists。
  - 皮膚腐蝕
  - 皮膚過敏
  - 眼睛傷害
  - 眼睛過敏
  - 呼吸道過敏
  - 吸入危險性
  - 生殖毒性
  - 泌乳生殖毒性
  - 目標器官系統毒性（單次接觸）
  - 目標器官系統毒性（反復接觸）
  - 生殖細胞致突變性
  - 致癌性

Endpoint	(E) score
急毒性	3
皮膚腐蝕	2
眼睛傷害/過敏	1
呼吸道過敏	1
吸入危險性	NA
生殖毒性	NA
皮膚過敏	4
生殖細胞致突變性	NA
目標器官系統毒性（重複接觸)	2
致癌性	NA
H score 取最高的E score	4

- 其中根據上述GHS危害分類值分配清單每個毒性終點的分數（E分數），接下來，從最大E分數中確定總危險分數(overall hazard score, H)。

36

3.5 減少對人類和環境的危害類別評估指標

- 環境危害情境評估生物降解和積累（B）
  - 水生毒性測定表：LC50（魚）； EC50（水蚤/甲殼動物）； ErC50（藻類、植物）
  - 快速降解能力、
  - 生物累積因子（BCF）
  - Log K_{ow}。
- 其中根據上述GHS清單每個終點的分數（B分數），取最大的B分數來進行計算。

37

3.5 減少對人類和環境的危害類別評估指標

- 物理性危害的終點（Z）
  - 爆炸性
  - 易燃性物質
  - 助燃性物質
  - 高壓氣體
  - 易燃物質
  - 自發反應物質
  - 自燃物質
  - 有機過氧化物
  - 金屬腐蝕性
- 綜整上述表單中的Z score ，取最高Z score作為P score代表物理性的危害加權分數。

38

3.5 減少對人類和環境的危害類別評估指標

- **原則3：較少的有害化學合成**
  - 「在可行的情況下，產品設計的生產和使用對人類健康和環境幾乎沒有或沒有危害。」P3-GCM專注於**合成的原物料毒性**，根據GHS人類健康的急性和慢性毒性終點（E）進行評估。

P3-GCM由下列方程式進行計算：

$$\frac{\sum_i^n(\text{H score} \times \text{mass of raw material(kg)})}{\text{mass of product (kg)}}$$

對所有原物料i，其H分數的量測是根據化學特性E分數的評估的危險分數。

39

3.5 減少對人類和環境的危害類別評估指標

- **原則4：設計更安全的化學品**
  - 「化學產品的設計應在達到其所需的功能，同時將其毒性降至最低。」P4-GCM**專注於生產物品之毒性**，根據GHS人類健康的急性和慢性毒性終點（E）進行評估。

P4-GCM由下列方程式進行計算：

$$\frac{\sum_i^n(\text{H score} \times \text{mass of product(kg)})}{\text{mass of product (kg)}}$$

對所有產品i，其H分數的量測是根據化學特性E分數的評估的危險分數。

40

3.5 減少對人類和環境的危害類別評估指標

- **原則5：更安全的溶劑與助劑**
  - 「應盡可能避免使用輔助物質（例如溶劑、分離劑），使用時應盡量選擇無毒的化學品。」P5-GCM**專注於溶劑和分離劑**，根據GHS人類健康的急性和慢性毒性終點（E）進行評估。

P5-GCM由下列方程式進行計算：

$$\frac{\sum_{i}^{n}(\text{H score} \times \text{mass of solvent(kg)})}{\text{mass of product (kg)}}$$

對所有使用的溶劑或助劑i，其H分數的量測是根據化學特性E分數的評估的危險分數。

41

3.5 減少對人類和環境的危害類別評估指標

- **原則10：可降解之設計**
  - 「化學產品的設計應使其在功能結束時分解為無害的降解物，並且不會在環境中持久存在。」該原則的P10-GCM源自母體和降解產品的GHS環境危害標準。

P10-GCM由下列方程式進行計算：

$$\frac{\text{最高母體或降解產物B分數} \times \text{最高母體或降解產物總質量(kg)}}{\text{總產物質量 (kg)}}$$

其中B分數是根據GHS環境危害標準確定的生物降解分數。

42

3.5 減少對人類和環境的危害類別評估指標

- 原則12：以更安全的化學品防止意外發生
  - 「應該全面考量選擇製程使用的化學物質及其形式，以最大程度地減少發生化學事故的可能性，包括洩漏、爆炸和火災。」P12-GCM是從GHS危險分類值得出的，該分類值是給定化學物質在包括爆炸性、可燃性、氧化能力、反應性和腐蝕性在內的各種危險類型的物理性質。通過為研究人員確保任何物理特性或從其他比較中選擇最大的Z分數，來確定總體物理特性得分（physical properties score, P）。

P12-GCM由下列方程式進行計算：

$$\frac{\sum_{i}^{n}(\text{P score} \times \text{mass of raw material(kg)})}{\text{mass of product (kg)}}$$

對所有使用的原物料i，其中P分數是根據化學特性Z分數的評估和計算確定的物理分數。

43

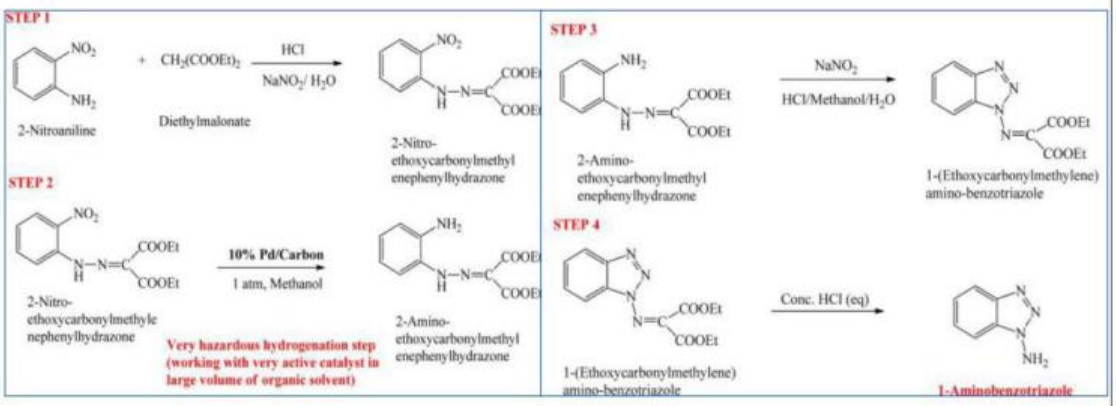
3.6 GCM評估指標案例分析

- Millipore Sigma公司在案例研究中試用GCM評估方法，發現GCM提供了對12種原理中的每種化學產品和製程工藝進行評估和評分的能力，並且達到了上述評估指標關鍵設計目標。
- 本案例研究比較了兩種替代方法—原始方法和重新設計方法—合成1-氨基苯並三唑，以使用GCM方法評估綠色替代方案。

44

3.6 GCM評估指標案例分析

合成1-氨基苯並三唑的原始方法包括以下四個步驟如下圖所示，第二步包括在常壓下使用10%鈀/碳的甲醇溶液（20 L燒瓶）進行具有**危害性的氫化步驟**。最終產物需要通過**填充數公斤的矽膠柱**及**數十公升的有機溶劑**進行純化。



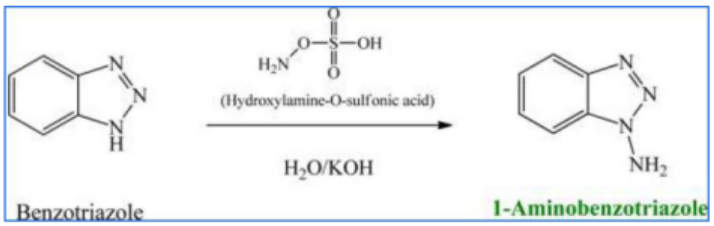
原始1-氨基苯並三唑的製造

45

3.6 GCM評估指標案例分析

重新設計的過程解決了這個問題，因為它不需要經過管柱純化。下圖所示為合成1-氨基苯並三唑的新方法是的一步法。在鹼性水溶液中苯並三唑與胺磺酸鹽的親核反應得到1-氨基苯並三唑。通過萃取、洗滌和重結晶純化為最終產物。

重新設計的過程的一些改進包括：在過程中**消除了使用10%鈀/碳的甲醇溶液**（20 L燒瓶）在常壓下進行的具危險性氫化過程，**減少了40%的有機溶劑**，**減少了約6 L 濃縮鹽酸**和**150g的10%鈀/碳催化劑廢料處理**，**減少了6 kg的助劑**（例如，乙酸鈉/碳酸鈉/硫酸鹽），**減少了22天（約73%）的處理時間**，**產率提高了約60%**。



改良的1-氨基苯並三唑製程

46

3.7 GCM評估指標計算

替代方案與以下邊界設定了假設進行比較：

1. 案例研究邊界中包括的生命週期階段只**限縮於化學製造的過程**。
2. 本案例研究**不包括原材料提取**、**原材料預處理與清理**。
3. 為了提供簡化的範例，**某些生命週期階段被排除**在外。
4. 案例研究範圍**不包括任何原材料輸入或中間產物**。

在改進的基礎上，根據12個P-GCM中的每一個比較了原始和重新設計的替代方案。然後按原理和類別按等級對他們進行評分。

47

3.7 GCM評估指標計算

類別與相關原則	原始製程工藝		改良製程工藝	
	PS	PSR	PS	PSR
改善資源利用				
原則1：防止廢棄物	2701	2	1042	1
原則2：原子經濟	933	2	345	1
原則7：使用再生原料	933	2	345	1
原則8：減少衍生物	0.0	1	0.0	1
原則9：選擇良好的催化劑	0.5	1	1.0	2
原則11：即時分析污染防治	1.0	1	1.0	1
類別PSR平均	-	1.5	-	1.2
類別等級(CR)	-	2	-	1
增加能源效率				
原則6：設計能源效率	3282	2	1322	1
類別PSR平均	-	2	-	1
類別等級(CR)	-	2	-	1
減少對人類和環境危害				
原則3：較少的有害化學合成	3358	2	1455	1
原則4：設計更安全的化學品	5.0	1	5.0	1
原則5：更安全的溶劑與助劑	2245	2	1252	1
原則10：可降解之設計	0.0	1	0.0	1
原則12：以更安全的化學品防止意外發生	2516	2	220	1
類別PSR平均	-	1.6	-	1.0
類別等級(CR)	-	2	-	1
總體PSR平均	-	1.6	-	1.1
總體等級(SR)	-	2	-	1

48

3.7 GCM評估指標計算

- 結果表編排方式是按照12項原則和三大類別比較倍選化學品的分數和等級。在此範例中，在原則1-3、5-7及12的GCM評分，重新設計的1-氨基苯並三唑製程比**原始製程工藝更好（PSR較低）**，並且在所有**三個類別中的排名都更高（CR值較低）**，**重新設計的製程工藝總體上具有更好的SR**（具有排名更高的SR）。
- GCM提供了大方向的證據，表明重新設計的流程在12條原則中的11條（在原則9中比原本差）、全部三個類別以及總體等級而言，評估為相等或者更好。最終，**用戶將根據個人原則、類別或總體排名，決定是否優先選擇該化學藥品**。本案例研究和GCM方法未得到**Millipore Sigma公司以外的其他工業化學家同行評審**，這是本研究的潛在限制。

49

3.8 GCM評估指標總結

- GCM比現有方法更具優勢，因為它提供了以下指標：（1）使用容易獲得的數據來評估，減少成本；（2）根據可用的公認行業慣例，以及（3）可以將方程式運算與結果簡單的向客戶表明。可持續性計劃應預期以下收益：
  1. 衡量：使用現有數據庫或建立簡單的數據收集程序的能力
  2. 計算：利用定義明確的指標來計算綠色化學12項原則優勢的能力
  3. 溝通：能夠與客戶透明地交流更綠色的替代選擇
- 與所有方法一樣，包括那些確立為LCA的方法，都有其局限性。提出以下後續步驟，以改進這項研究：
  1. 召集綠色化學工作組來試驗和審查該方法
  2. 進行LCA，以將GCM結果與LCA結果進行比較

50

四、紐西蘭環保標章ECNZ介紹

51

4.1 Environmental Choice New Zealand (ECNZ) 紐西蘭環保標章

- "Environmental Choice New Zealand (ECNZ)"是紐西蘭官方的環保標章。Environmental Choice架構下的 **Ecolabel (生態標章)** 不僅提供綠色家庭或企業的環境友善產品認證，同時也是產品環境績效的證明。
- 紐西蘭的 Environmental Choice 計劃自1992年開始推動，該計畫之運作**獨立於政府**之外，但**產品標章則是政府擁有並認可的標誌**。

Cert.TM

52

資料來源:https://environmentalchoice.org.nz/

4.2 ECNZ的目標

- ECNZ的願景
  - 紐西蘭政府推動 Environmental Choice 標章計畫之願景，在於支持政府、企業和消費者透過認可永續發展的優選產品和服務，過渡到永續、低碳排放的經濟體制。
- ECNZ的使命
  - 成為紐西蘭最受信任、認可和追求的生態標章。
- ECNZ的價值主張
  - 值得信賴、獨立、健全、透明並可驗證。

53

4.3 ECNZ環保標章的內涵

- 獲頒紐西蘭 Environmental Choice 標章代表該**產品和服務符合環境永續性**，並協助政府、企業和消費者做出更好的購買決定。紐西蘭 Environmental Choice 標章由環境部擁有並認可，同時也是**全球Global Ecolabelling Network的成員**，Environmental Choice 標章是紐西蘭**唯一的第一類生態標章**。第一類生態標章的重要特徵包括：
  - 針對產品或服務的整個生命週期中進行符合多種規範的嚴格評估
  - 獨立的第三方驗證
  - 持續符合各項規範
  - 針對不同區域需要編寫標準以強調地域性環境問題
  - 定期更新規範標準，以鼓勵持續改善

54

4.3 ECNZ環保標章的內涵

- 透過ECNZ環境保護標章計劃的執行，可以獲得許多公共利益。這包括：
  - 促進經濟效益
  - 減少消費者信息成本
  - 排擠“漂綠 (green wash)”作為
  - 在競爭的貿易環境中對產品進行驗證
  - 提升環保意識
  - 減少消費影響
  - 強化環境關鍵策略

55

Cert.TM

4.3 ECNZ環保標章的內涵

Ecolabelling in New Zealand

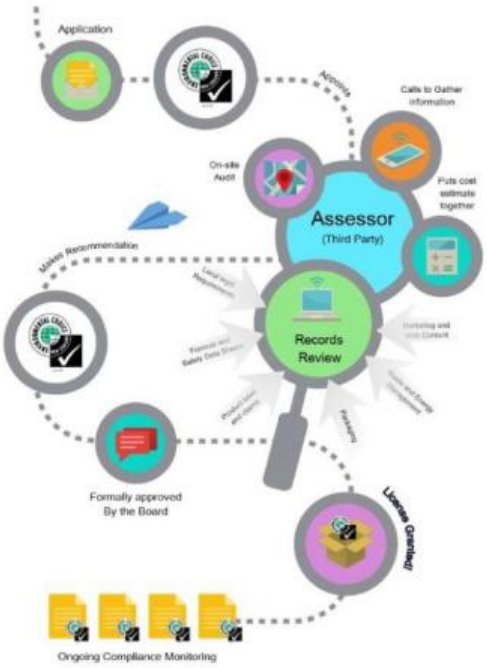
There are an increasing number of guidelines, programmes and certifications in New Zealand to indicate environmental preferability, many of which have their own ecolabels or logos. The table below summarises a number of those in an effort to clarify how they differ from each other, and to ensure a greater understanding of what they do or do not offer. Overleaf is further explanation of the types of labels and a glossary of terms to assist with establishing which best suits your organisation, service or product.

Cert.TM

Environmental preferability options

NAME		TYPE	DESCRIPTION
	Environmental Choice New Zealand www.environmentalchoice.org.nz	1	New Zealand's only Type 1 Government-owned ecolabelling programme, Environmental Choice deals specifically with products and services, not organisations. Its licensing process is against rigorous, transparent, independently developed specifications that take into account the lifecycle impact of the product or service. It meets the ISO 14020/24 principles.
	Enviro-Mark www.enviro-mark.com	EMS	Enviro-Mark is an environmental management system certification programme (not a product certification programme). The EMS covers how organisations manage their environmental impacts. Organisations can achieve one of five levels of certification. The final step meets the requirements of ISO 14001.
	Life Cycle Assessment www.iso.org	LCA	Life Cycle Assessment considers the environmental aspects and potential impacts throughout a product's life - from raw material acquisition through to production, use and disposal. An internationally accepted framework for LCA methodology is defined in ISO standards 14040 and 14044.
	Forest Stewardship Council info.fsc.org	Single issue	The Forest Stewardship Council provides two types of certification: Forest Management Certification for sustainable forest management practices and Chain of Custody certification for tracking forest products in the supply chain.
	Programme for the Endorsement of Forest Certification www.pefc.org	Single issue	Programme for the Endorsement of Forest Certification provides two types of certification: Forest Management Certification for sustainable forest management practices and Chain of Custody certification for tracking forest products in the supply chain.
	Declare www.declareproducts.com	2	Declare is a 'nutrition-label' for building products, developed to assist those going through the Living Building Certification process. It includes a product database to streamline the material specification and certification process. This is based on manufacturers' self-declaration.
	carbonZero www.enviro-mark.com	EMS	carbonZero is for organisations, products, services or events to offset their carbon emissions. Certified against ISO 14064-1 for organisations or PAS 2050 for products or services.
	Energy Star www.energywise.govt.nz	Single issue	The Energy Efficiency and Conservation Authority (EECA) awards the Energy Star mark to products and appliances with superior energy efficiency within their category. It is a voluntary programme where industry partners identify and promote superior energy efficient products.
	Certified Emissions Management and Reduction Scheme www.enviro-mark.com	CMS	The Certified Emissions Management and Reduction Scheme is for organisations, products or services to make a measurement and reduction claims about their carbon footprints. Certified against ISO 14064-1 for organisations or PAS 2050 for products or services.
	Environmental Product Declaration www.iso.org	EPD	EPD's are independently verified public declarations of environmental performance of products for all or parts of the lifecycle. Based on ISO 14025 (1996) and LCA.
	ISO 14001 www.iso.org	EMS	An internationally accepted standard that sets requirements for environmental management systems for organisations.

Note: The table is meant as a guide, and is by no means an exhaustive list. More information about each programme can be found on their individual websites.



https://environmentalchoice.org.nz/get-licensed/licence-application/

4.4政府授權部門對於ECNZ標章使用的監督

監督計劃	政府授權之部門持續監督標章許可證的使用。該計劃列出政府授權機關或指定的驗證者將完成的驗證計劃，以確認： • 標章使用者或其代理人的產品或服務持續符合相關規範 • 標章使用者或其代理人對於標章的使用方式符合相關規範以及許可條件的要求。
檢查	政府授權機關或指定的驗證者可能會在標章使用許可期間內的任何時候，檢查標章使用人的產品或場所以確認該產品或服務以及標章的使用符合相關規範和許可條件的要求，這可能包括標章使用人代理商的處所。標章使用人必須允許標章使用人免費取得產品或進入場所以完成檢查。
紀錄	標章使用人必須保留足以證明所提供的產品或服務以及標章使用的方式滿足相關規範和這些許可條件的要求的記錄。 標章使用人必須允許政府授權機關或指定的驗證者免費取得各項紀錄以確認標章使用人（及其代理商）以及其產品或服務是否滿足相關要求和條件所需的記錄。
樣品	政府授權機關或指定的驗證者可能會在標章使用許可期間內的任何時候，獲取或索取產品及/或任何相關材料和廢棄物的樣品，以確認它們和標章使用人（及其代理商）的運作情況符合相關規範的要求。 標章使用人（及其代理商）必須免費提供所要求的樣品或允許訪問以收集樣品。 如果標章使用人（及其代理商）要求，政府授權機關或指定的驗證者將退還任何樣品，費用自理。

57

4.4政府授權部門對於ECNZ標章使用的監督

暫停許可	
無法滿足許可要求	• 如果政府授權機關或指定的驗證者或標章使用人發現標章使用人（及其代理商）無法滿足相關規範或許可條件的要求，政府授權機關或指定的驗證者將要求標章使用人滿足要求或提供行動計劃已說明期將能滿足許可要求。政府授權機關或指定的驗證者要求標章使用人在主動通知發現其無法符合要求或者經政府授權機關或指定的驗證者確定並通知標章使用人**其無法滿足許可要求後的14天內執行此項操作**。 • 政府授權機關或指定的驗證者將審核標章使用人已採取或計劃採取的措施，並決定是否可以接受。如果政府授權機關或指定的**驗證者決定不接受這些修正動作**，將暫停標章使用人的許可證，其**期間可長達六個月**。
複查停權	• 在不超過六個月的時間後，政府授權機關或指定的驗證者將重新評估標章使用人（或其代理商）是否滿足相關規範和許可條件的要求。如果經驗證確認符合要求，政府授權機關或指定的驗證者將立即恢復標章使用人使用許可證。如果經驗證確認仍然不符合要求，政府授權機關或指定的驗證者可以將**暫停時間再延長一次**（不超過六個月），或取消許可證。 • 如果在**第二次暫停後仍未達到要求，則取消許可證**。
移除標籤	• 如果標章使用人的許可證被暫停，則標章使用人（或其代理商）必須採取措施，從任何不符合要求的產品中移除標章。如果政府授權機關或指定的驗證者認為有必要，可保留採取行動刪除標籤的權利，並追回產生的任何費用。

58

4.5紐西蘭環保標章中有關取得化學品類標章之規範

大多數ECNZ的產品規格都包括對添加到產品中或在產品生產製造過程中添加**化學品的規範**。關於化學品使用的規範可協助化學品供應商獲得不同化學品的ECNZ許可，同時**簡化使用這些化學品為原料或添加劑的最終產品製造廠商**尋找符合ECNZ規格之成分或製程添加化學品的過程。

製造商不希望根據本化學品規範，供應商可以將**相湍的化學品資訊直接提供給最終產品製造商**，以作為最終產品申請ECNZ許可評估的一部分或監督評估之用。

許可產品中有關各種成分濃度的限制或具有相同危害類別的不同成分的總量，這些化學品限值在適用的每個ECNZ產品規範中都有規定。

在Ecolabel生態標章之規範中廣泛使用了以危險性較低的物質取代危險性較高物質的原則，該規範根據**不同化學品的危險性類別**限制了化學品的使用。這是歐洲有關化學品使用的討論文件“**產品中永續化學品使用的道路：歐洲生態標籤之路**(The Path to Sustainable Use of Chemicals in Products: The European Ecolabel as a Signpost)”（2008.12.）中提出的概念，ECNZ的相關規範也廣泛採用了這種概念。

59

4.5紐西蘭環保標章中有關取得化學品類標章之規範

- **受到管制的危害物質**類別包括致癌物、致突變劑、對生殖有害的化學物質、過敏原和致敏劑、具生態毒性和生物累積性物質。
- 負責任的使用和處置化學品也能減少健康和環境風險。**有害物質安全數據表（SDS）**包含許多負責任的使用化學品的必要資訊，每個化學品供應商都有責任向化學品用戶提供準確、最新和完整的SDS。
- 包裝也會對環境造成影響，可能的影響取決於所用包裝材料的類型和後續處置方式。減少、重複使用及回收包裝材料可節省寶貴的資源，並減少進入廢棄物流的包裝量。

60

4.6 ECNZ中有關化學品使用的環境規範

1. 法律要求之規範

該化學品必須遵守該化學品使用生命週期內所適用的所有相關環境法律和法規的規定。

例如，相關法律法規可以包括與以下各項因素有關的法律或法規：

- 生產、採購、運輸、處理和儲存用於製造所需的原料和組件；
- 製造過程；
- 處理、運輸和處置製造過程中產生的廢棄物；
- 在國家內和國家之間運輸產品或原材料；以及
- 使用和處置產品。

61

4.6 ECNZ中有關化學品使用的環境規範

2. 根據用途的特定要求之規範

a. 許可證申請人、持有人或化學品製造商必須透過填寫申請表中附表的內容，確認其想要獲得許可的化學品以及其所要考慮使用的ECNZ產品規格。

b. 所確認使用的化學品必須符合ECNZ產品規格中適用條款的所有相關要求。

62

4.6 ECNZ中有關化學品使用的環境規範

3. 化學安全數據表(SDS)規範

a. 在紐西蘭出售或進口的化學品必須具備安全數據表（SDS），以確保符合有害物質和新生物法案（Hazardous Substances and New Organisms Act (HSNO)）之要求，或以符合2001年《有害物質（識別）條例(Hazardous Substances (Identification) Regulations 2001)》第37至50條、《 2001年有害物質（緊急管理）條例(Hazardous Substances (Emergency Management) Regulations 2001)》第12至20條、以及《 2001年有害物質（處置）條例(Hazardous Substances (Disposal) Regulations 2001)》第13和14條的要求作為替代。

或者

在其他國家/地區使用的化學品必須提供符合該國家/地區法律要求的SDS。該SDS應採用符合國際標準的16節格　式，並使用被廣泛認可的危害分類系統，例如全球化學品調合制度（GHS）或歐盟風險與安全說明系統(EU system of Risk and Safety phrases)。

b. 許可證申請人/持有人或化學品製造商必須提供SDS準備過程的文件，包括：
- 由具有適當知識的人批准；
- 含有發行日期和版本號；
- 定期審查現有SDS的程序；以及
- 向客戶提供更新的SDS的程序。

c. 必須至少每三年提供給每個客戶一次SDS，如果已經有更改版本，則應更頻繁的提供，並且在有需要時隨時提供。

d. 必須在更新版的SDS發行後三個月內向每個現有客戶提供新版SDS。

e. SDS必須能以電子形式以及紙本形式提供。

63

4.6 ECNZ中有關化學品使用的環境規範

4. 能源管理規範

a. 許可證申請人/持有人和化學品製造商必須具備有效的能源管理政策及程序，以及/或能源管理計劃。

b. 許可證持有人必須每年提供能源管理報告，包括：
- 總能源消耗；
- 將總能源消耗細分為所用能源的類型；
- 與生產有關的能源使用；
- 採取減少能源使用和提高能源效率的措施；
- 為計算和減少與能源使用相關二氧化碳排放而採取的措施；以及
- 對供應商或合約製造商的相關措施或要求。

64

4.6 ECNZ中有關化學品使用的環境規範

5. 廢棄物管理

a. 許可證申請人/持有人和化學品製造商必須具有有效的廢物管理政策、程序以及/或廢物管理計劃。

b. 許可證持有人必須每年提供廢棄物管理報告，內容包括：

- 回收供內部或外部再利用的廢物數量和類型；
- 供內部和外部循環使用的廢棄物數量和類型；
- 進入填埋場處置的廢棄物數量和類型；
- 供內部燃燒使用以回收能量的廢棄物數量和類型；
- 與生產有關的廢棄物產生量；
- 為減少廢棄物產生並改善廢物回收/再循環的措施；以及
- 對供應商或合約製造商的相關措施或要求。

65

4.6 ECNZ中有關化學品使用的環境規範

6. 包裝要求規範

a. 所有塑料包裝必須已能夠在紐西蘭（或產品出口和銷售的國家/地區）回收的塑料製成。

b. 包裝不得以會妨礙回收的方式進行浸漬、標示、上色或其他處理方式（例如PVC套管、金屬標籤）。

c. 應在申請許可證時提供相關資訊，並在每年提交報告時說明包裝中使用的PVC和/或鄰苯二甲酸酯。其中應包括來自生產記錄和/或供應商的信息：

1. 再生PVC和原生PVC的重量百分比；
2. 用於為ECNZ許可產品的包裝所採用的用於生產PVC的氯氣和VCM的特定生產技術（薄膜電池、非石棉膜片、修正膜片、石墨陽極、汞電池等），包括生產的地點；
3. 有關廢物處置、廢水處理和空氣排放（職業暴露、工廠排放和最終PVC排放）
4. 有關生產過程的任何環境管理系統（EMS）的資訊，包括廢棄物、水、空氣和產品相關的要求；
5. 所用安定劑的類型；
6. PVC的回收成分所含以及/或在生產PVC時添加的任何鄰苯二甲酸酯類塑化劑的類型和數量（如果有）；
7. 管理機關認為對鄰苯二甲酸鹽替代品的研究和措施；以及
8. 與包裝有關的產品管理安排。

d. 紙板包裝材料含有至少80%的回收材料。

e. 標籤必須具備足夠耐久性，以防止在灑水或化學藥品時發生降解現象。

66

4.6 ECNZ中有關化學品使用的環境規範

7. 使用者資訊規範

a. 化學品標籤上的資訊必須符合將化學品用於ECNZ許可產品所在國家的相關法律要求。

b. 該化學品必須隨附正確使用的資訊，包括使用的設備和所需的個人防護設備。

c. 化學品必須隨附正確處置方法、回收不需要或未使用化學品的資訊。

d. 該化學品必須隨附有關包裝材料重複使用、回收以及/或正確處置的資訊。

e. 提供給用戶的資訊必須包括使用者應參考適用的ECNZ產品規格，以識別最終產品中可能包含的ECNZ許可化學品含量的任何限制，或在最終產品中限制使用化學品的聲明。

67

4.6 ECNZ中有關化學品使用的環境規範

8. 產品管理規範

a. 許可證申請人/持有人或化學品製造商必須積極參與涉及以下各方面的產品管理計劃：

- 從客戶端回收不需要的或未使用的化學品；
- 對回收的化學品和化學品容器進行適當的再利用、循環利用或處置；以及
- 向客戶推廣產品管理計劃。

b. 許可證持有人必須每年提出產品管理計劃的績效報告，包括：

- 回收的化學品量；
- 重複使用的回收化學品的百分比以及再利用的方式；
- 循環再利用的已回收化學品的百分比以及所回收的化學品的含量；
- 處置的回收化學品的百分比及處置方式；
- 被回收、再利用或運往掩埋場的回收化學品容器的百分比（重量）；以及
- 作為該計劃的一部分的相關措施，以增加回收廢化學品的數量。

9. 產品特性規範

該化學品應符合其預期使用目的，並符合相關之產品品質標準。

68


Green
Chemistry
感謝認真聆聽！！
問題與建議？
69

議題二：毒性化學物質安全替代之評估流程

National Taiwan University

「應用綠色化學原則研議化學物質安全替代篩選系統及教育宣導計畫」

環境教育教材

毒性化學物質安全替代之評估流程

大綱

一. 永續發展目標與綠色化學原則

二. 毒性化學物質管理制度

三. 毒性化學物質替代篩選評估工具

四. 建立毒性化學物質安全替代之評估流程及案例分析

五. 結論與建議

2

一、永續發展目標與綠色化學原則

3

1.1 永續發展目標

- 於2016年1月1日各國領導人同意簽屬簽署的2030年永續發展目標議程（Agenda 30）正式啟動，而當中最受矚目的便是聯合國所訂定的17項永續發展目標 (Sustainable Development Goals, SDGs) ，係以「促進繁榮同時保護地球」為宗旨。

4

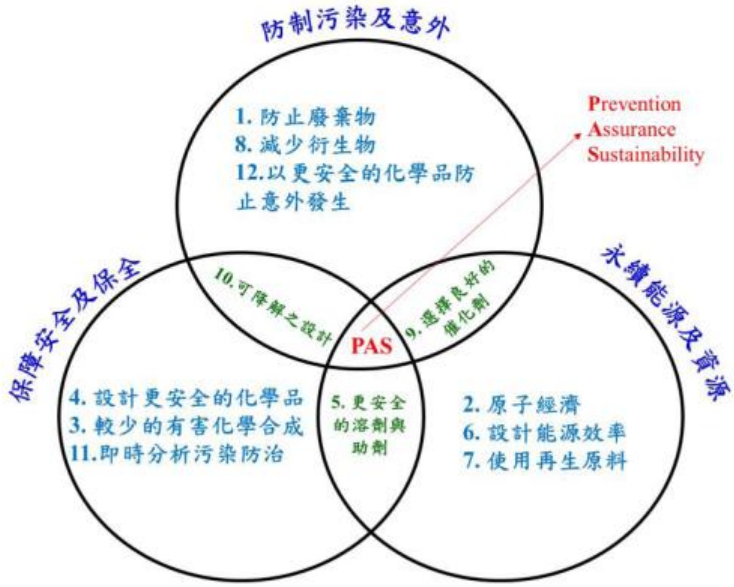
1.2 綠色化學12項原則

	綠色化學原則	定義說明
1	防止廢棄物(Prevention)	從化學合成或產品生產過程中，避免廢棄物的生成，從源頭防治污染。
2	原子經濟 (Atom Economy)	設計合成方法最佳化，使得製程中所採用的所有原料進入最終產品之中。
3	較少的有害化學合成 (Less Hazardous Chemical Synthesis)	使得所使用與產生的化學物質對人體健康和環境無毒無害。
4	設計更安全的化學品 (Design Safer Chemicals)	設計化學產品具有高效的功能與最低的毒性。
5	更安全的溶劑與助劑 (Safer Solvents and Auxiliaries)	避免使用溶劑、分離試劑等助劑，如不可避免時，也要選用無毒無害的助劑。
6	設計能源效率 (Design for Energy Efficiency)	選擇常溫與常壓下進行化學合成以降低製程的能耗。
7	使用再生原料 (Use of Renewable Feedstocks)	在技術可行和經濟合理的前提下，儘量採用再生資源代替消耗性資源。
8	減少衍生物 (Reduce Derivatives)	避免使用與產生不必要的衍生物。
9	選擇良好的催化劑(Catalysis)	採用高選擇性的催化劑，這比使用化學計量助劑更加優越，並可提升合成反應之轉化效率以降低能耗。
10	可降解之設計 (Design for Degradation)	設計化學產品在其功能終結後不會永存於環境中，要能分解成無害的物質。
11	即時分析污染防治 (Real-time Analysis for Pollution Prevention)	於製程中即時線上監控有可能產生的有害物質並儘量避免產生這些有害物質。
12	以更安全的化學品防止意外發生 (Inherently Safer Chemistry for Accident Prevention)	使用與生產可降低意外事故如洩漏、爆炸、火災等的化學品。

5

1.3 綠色化學PAS原則

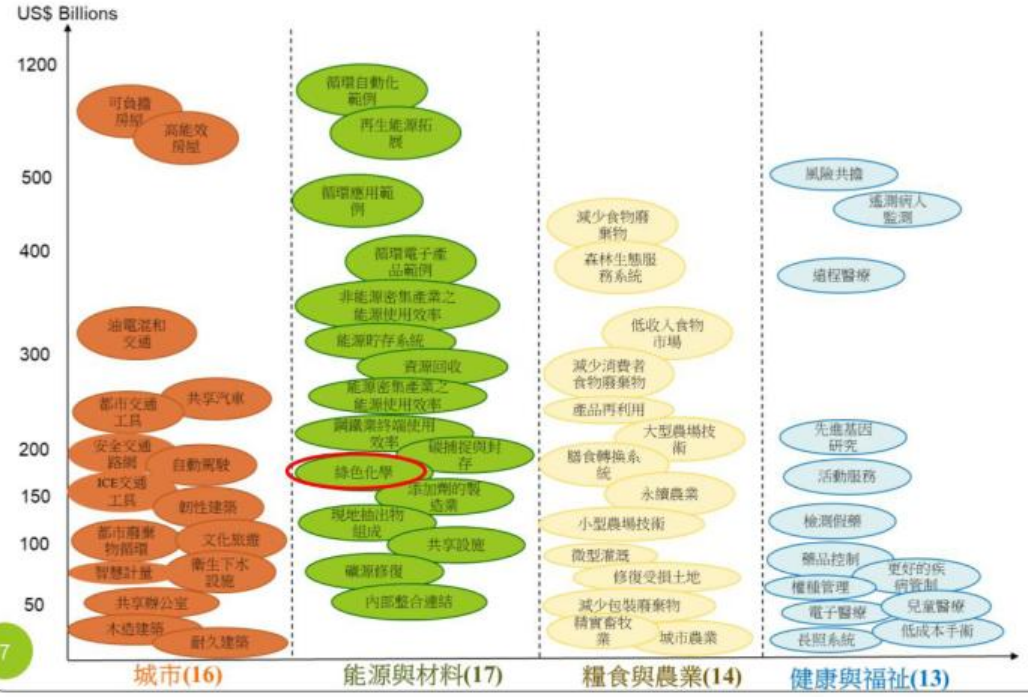
1. 防制污染及意外 (Pollution and Accident **Prevention**)
2. 保障安全及保全 (Safety and Security **Assurance**)
3. 永續能源及資源 (Energy and Resource **Sustainability**)



6

1.4 聯合國SDG之60大產業與綠色化學

「聯合國永續發展目標：更好的商業、更好的世界」



7

1.5 聯合國SDG之60大產業與綠色化學

- 綠色化學品中的合成技術：研發高選擇性，高原子經濟性的綠色合成技術，使用高效的催化技術，選擇無毒無害試劑及溶液，製備精細綠色化學品，實踐綠色化學
- 促進產業永續與改變消費生產模式，推廣綠色化學將有助於實踐永續發展目標。以生命週期與物質流可說明綠色化學的永續價值
- 透過實踐綠色化學促進永續發展，因為建立對環境友好的化學過程，利用化學技術與方法，減少或排除有害物質的使用與產生，以保護地球環境生態
- 綠色化學透過減毒化物、減廢棄物、減原料的三減手段，達到降低成本、降低能源、降低風險的三低目標，得以朝向永續發展目標邁進

8

1.6 聯合國SDG與化學產業

9

二、毒性化學物質管理制度

10

2.1 國際毒化物管理政策：美國

◆ **化學物質管理**

- TSCA規定化學物質必須經過優先化(prioritization)、風險評估(risk evaluation)及風險管理(risk management)等三步驟，以確保既有化學物質安全性
- 透過篩選化學物質的標準完善化學藥品管理制度（例如：危害性、暴露性、持久性、生物蓄積性、毒性、致癌性）

TSCA之化學品評估與管理程序

11

2.1 國際毒化物管理政策：美國

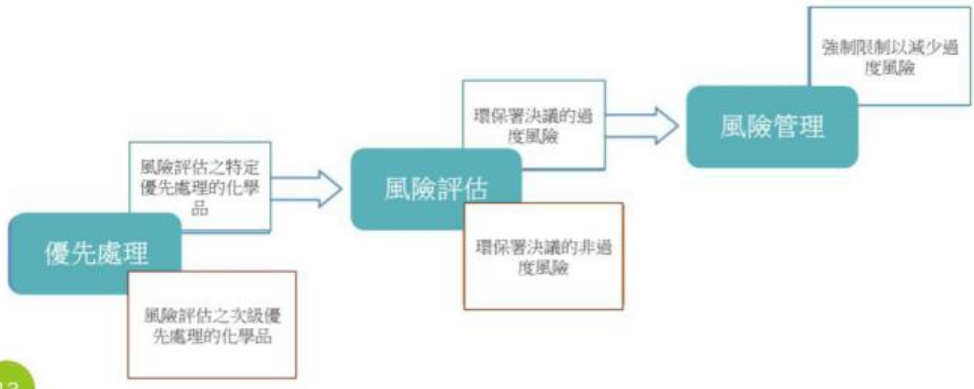
◆ **提倡各州毒化物管制**

- 加州是最早通過綠色化學相關法律的州，其於2008年通過的項倡議(initiative)要求所有商品含有的化學物質皆須回報給 Department of Toxic Substances Control (DTSC)，DTSC會辨認此些化學物質中必須優先考量安全性的化學物質。
- 華盛頓州的Children's Safe Products Act 則是僅針對孩童(12 歲以下)用品，並與Department of Ecology合作要求廠商提供產品的化學物質資料。
- 以配套補助(matching grants)來補助州政府提倡州內企業資源減量使用之技術，而州政府須幫助、提供需要或被認為需要進行資源減量使用的公司資訊及協助，同時也提供教育訓練課程或其他合適的方法協助企業。
- 建立物質減量使用交流中心(Source Reduction Clearinghouse)，以匯集相關管理、技術及操作方法的數據及資料，以利技術轉移、教育並採用新技術，並於網路上開放公眾樓瀏覽。

12

2.1 國際毒化物管理政策：美國

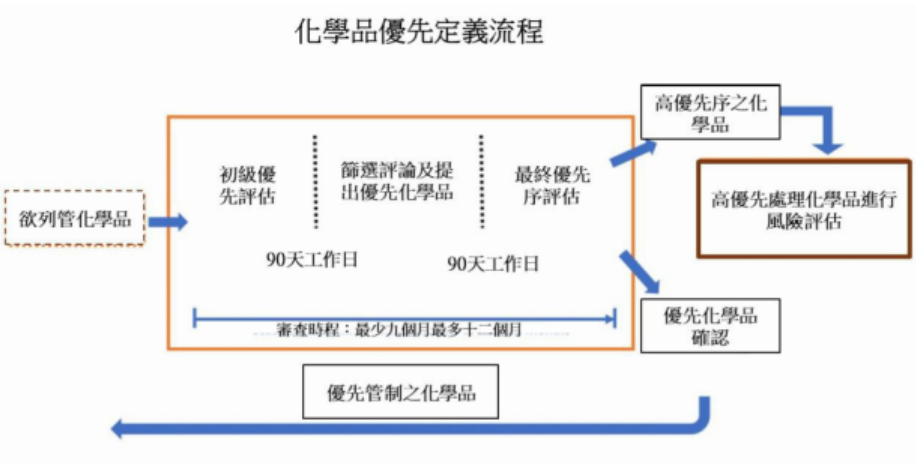
- 美國環保署首先將現有化學品中鎖定可能為潛在毒化物的候選化學品，接著透過評估現有化學品安全性與毒性物質管理法 (Toxic Substance Control Act, TSCA) TSCA相關規範，確定近期識別潛在化學品的方法優先排序。



13

2.1 國際毒化物管理政策：美國

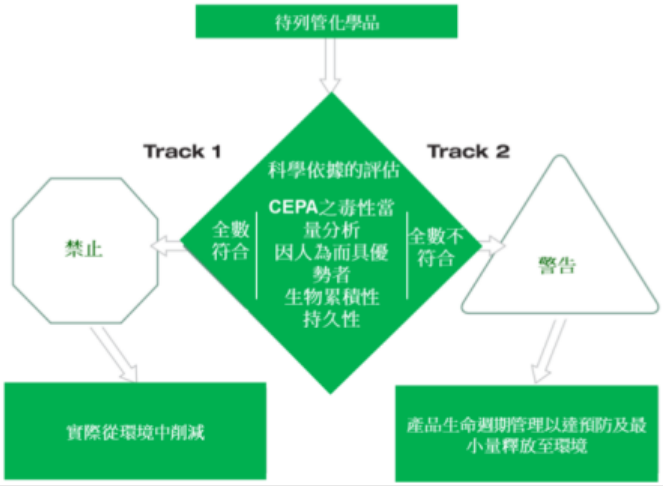
- 為了找出優先潛在毒化物，根據TSCA規定標準篩選化學品，檢討有關的合理可用資料，其篩選規定包含：化學物質的危害和暴露可能性、持久性和生物積累、可能暴露或易感染性、儲存地點是否為在重要的飲用水源附近、使用條件或使用條件的重大變化、化學物質可反應性製造或加工過程可靠性



14

2.2 國際毒化物管理政策：加拿大

- 加拿大政府也頒佈了毒性物質管理法 (Toxic Substances Management Policy)，致力於從環境中徹底消除由此產生的有毒物質，主要包含具有持久性和生物累積性 (Track 1物質)，以及從生命週期角度管理其他有毒物質和有關物質，以防止其釋放到環境中 (Track 2物質)



15

2.3 國際毒化物管理政策：歐盟

◆ REACH評估體系

16

REACH評估體系

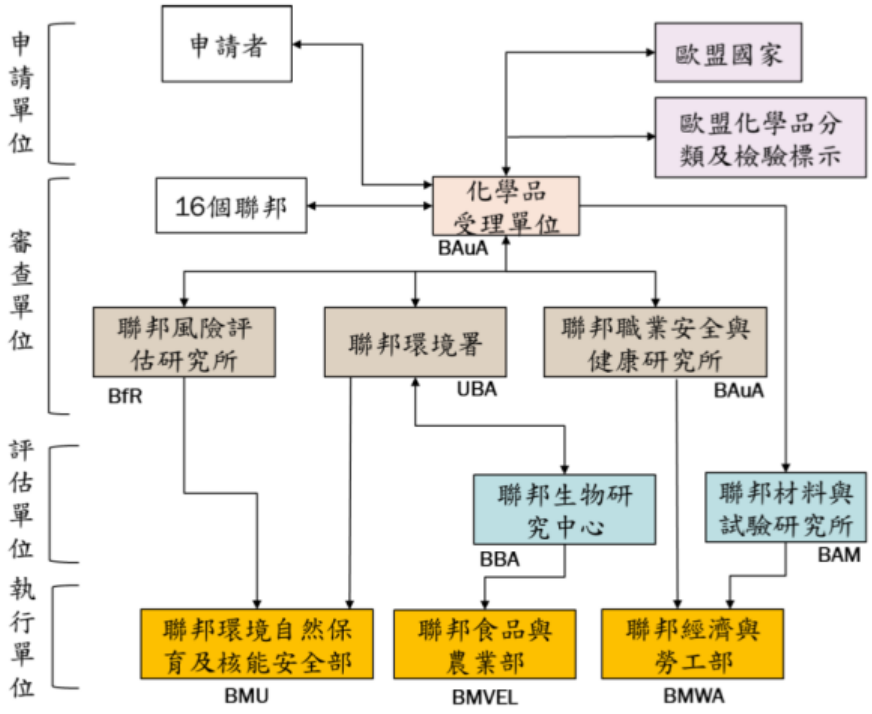
2.3 國際毒化物管理政策：歐盟

◆ **REACH評估體系**

- **登記流程 (Registration Process)** ：登記為歐盟新化學品政策之基礎，製造商或進口商須提供化學物質之相關資料至歐洲化學品主管機關 (European Chemicals Agency) 登記，以便能有效管理化學物質。
- **登記標準/免除登記標準**：產量超過1公噸之既有化學物質 (Existing Substances) 和新化學物質 (New Substances) ，製造商或進口商須提供必要之註冊檔及測試資料向歐洲化學品主管機關登記；其中產量超過10公噸的物質另須提供化學品安全報告 (Chemical Safety Report, CSR)。
- **登記時限**：當規章正式實施後，產量大之化學物質及CMR化學物質 (Carcinogenic, Mutagenic, toxic for Reproduction substances, CMR) 優先登記，相關之時限包含產量超過1,000公噸之既有化學物質及CMR化學物質：須於規章正式實施後3年內完成登記

17

2.4 國際毒化物管理政策：德國



18

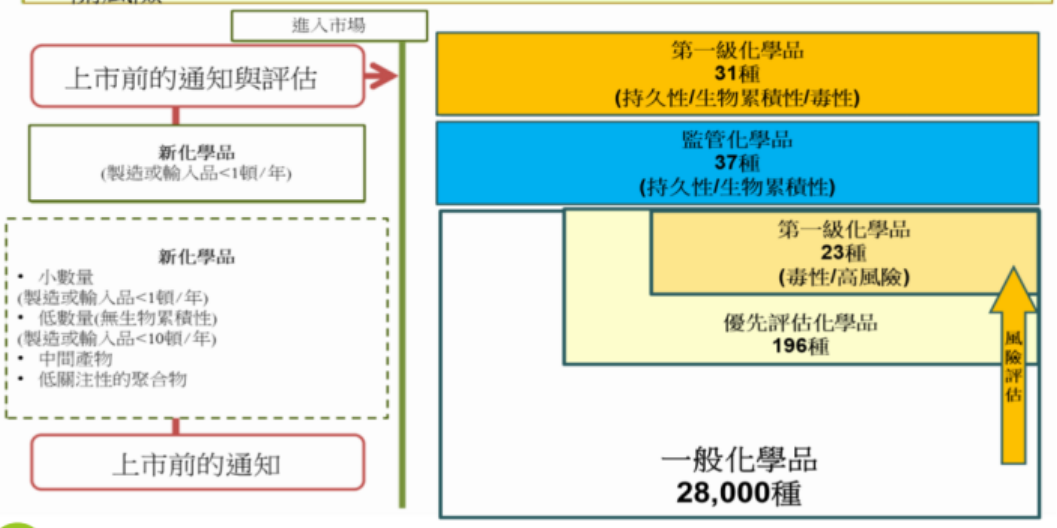
2.4 國際毒化物管理政策：德國

- 德國化學物質管理法對於申報、試驗責任，包括新化學物質及既有化學物質 在內，新的物質係指無規範於歐洲現有化學物質清單/歐洲通報化學物質名單 (EINECS, European Inventory of Existing Commercial Chemical Substances)
- 製造商或進口商均有義務向德國化學總署辦理註冊。該署負責管理資料庫，如果一項物質沒有註冊，就不能生產或進入德國市場，即所謂無資料、無市場
- 德國化學物質相關法規主要受歐盟法制之影響，基於化學物質資訊之蒐集及分析，要求化學物質之登錄、評估、授權、分級、標示及包裝
- 德國之化學物質法制依其規範對象，可分為廣義及狹義二者。廣義係指法規所規範的是於工業製程中釋放至環境之化學物質，狹義則並不涉及特定環境媒介之保護，主要係普遍地規範具危險性化學物質之運用

19

2.5 國際毒化物管理政策：日本

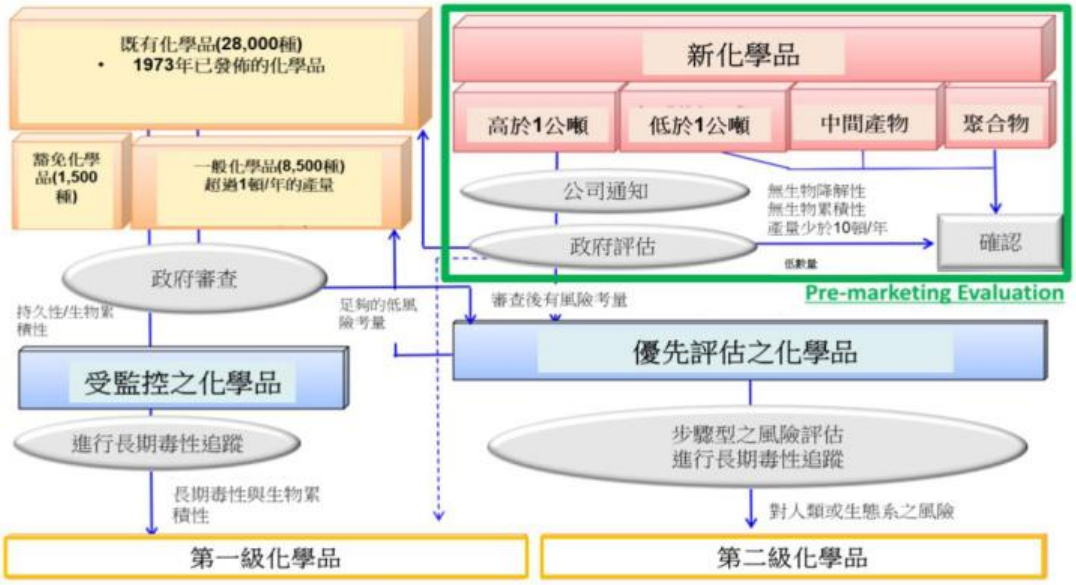
- 日本政府所執行的風險評估包含兩個層面：化學物質流入市場之前或之後
- 基於風險評估的結果，政府得採取相關配套措施以利控制化學物質的相關風險



20

2.5 國際毒化物管理政策：日本

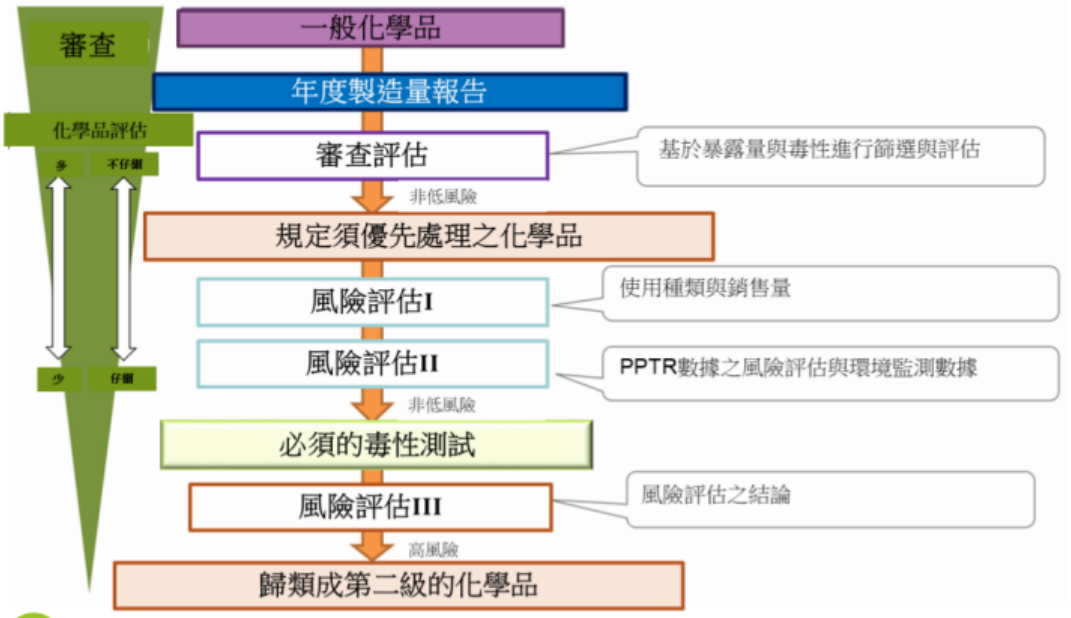
◆ 日本環境省之化學物質審查規制法評估流程



21

2.5 國際毒化物管理政策：日本

◆ 日本環境省既有化學品之風險評估流程



22

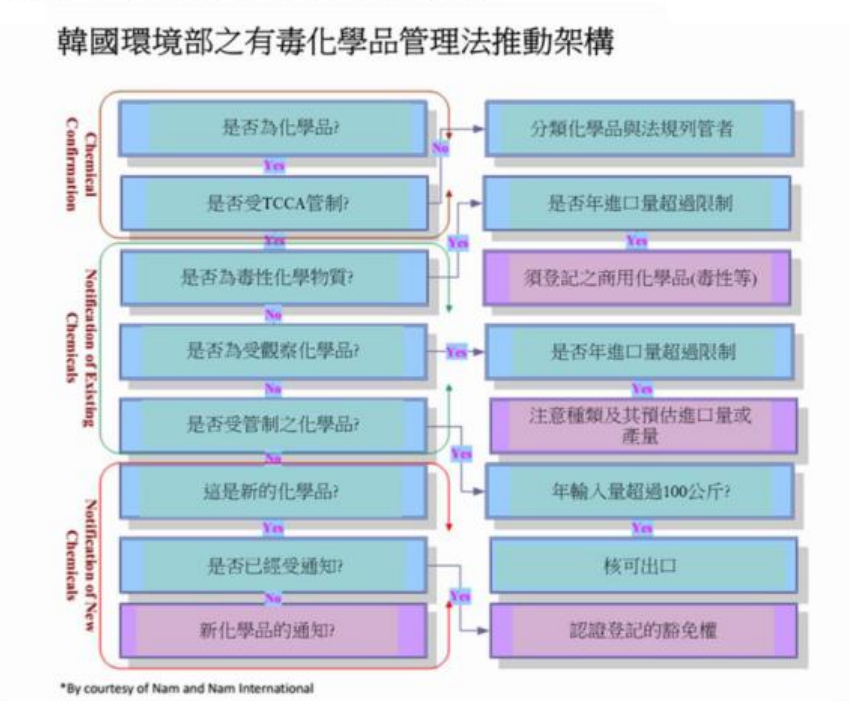
2.5 國際毒化物管理政策：日本

- 依據日本經濟產業省 (Ministry of Economy, Trade and Industry, METI) 新公告的化學物質審查規制法 (Chemical Substances Control Law, CSCL) 規定，於2011年4月1日起，要求境內的製造商與進口商，進行所謂的年度通報作業，若無依法進行通報，則將會面臨可能無法順利製造或進口。
- 一般化學物質組成包含有下列物質：公告的既有化學物質 (Existing Chemical Substances) 、新公告的化學物質 (Newly announced chemical substances) 、化審法修法前第2級和第3級監視化學物質 (Former Class II and Class III Monitor chemical substances) 、未被列入至優先評估之化學物質 (Chemical substances for which the designation for PAC has been cancelled) 、已收到核定通知於公開前的新化學物質 (New chemical substances before announcement that have received a notice of decision) 。
- 優先評估化學物質：為日本經濟產業產省公告適用優先評估化學物質的清單中化學物質 (List of Priority Assessment Chemical Substances) 排除通報的化學物質

23

2.6 國際毒化物管理政策：南韓

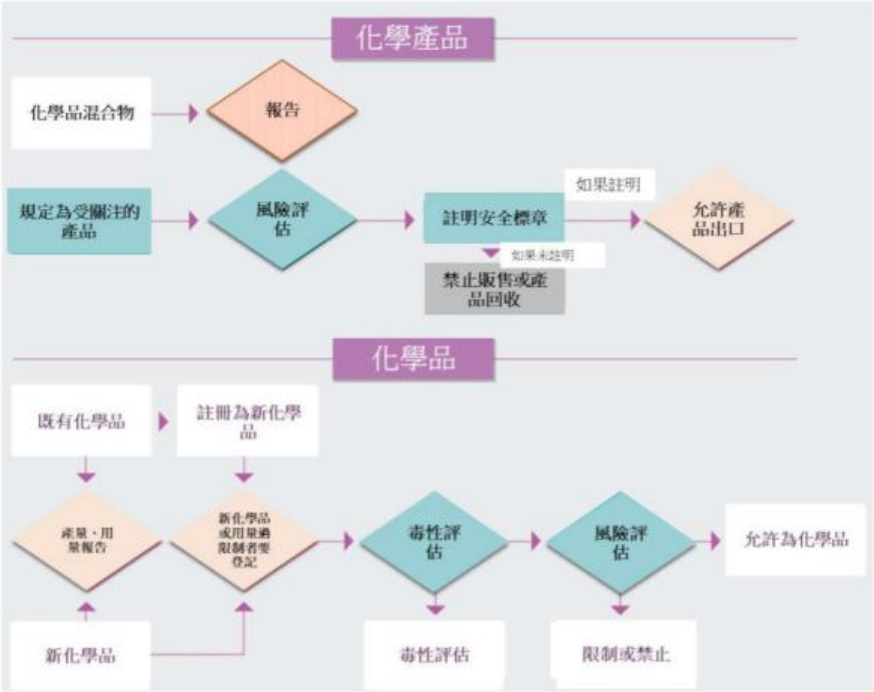
◆ **韓國環境部之有毒化學品管理法推動架構**



24

2.6 國際毒化物管理政策：南韓

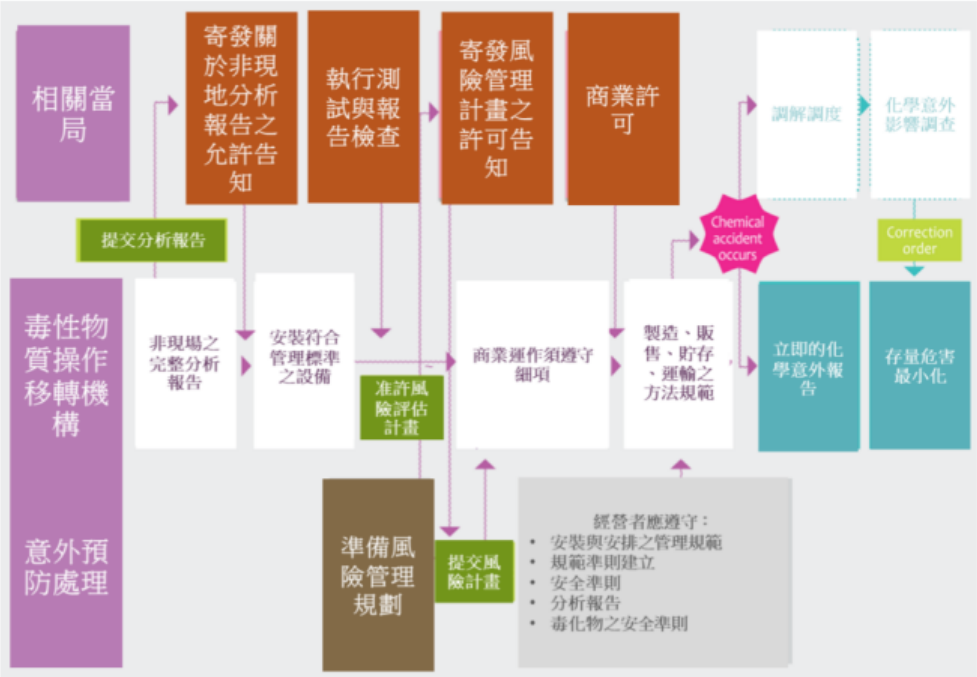
◆ 韓國環境部之化學物質註冊與評估法評估流程



25

2.6 國際毒化物管理政策：南韓

◆ 韓國環境部之化學品控制法管制流程



26

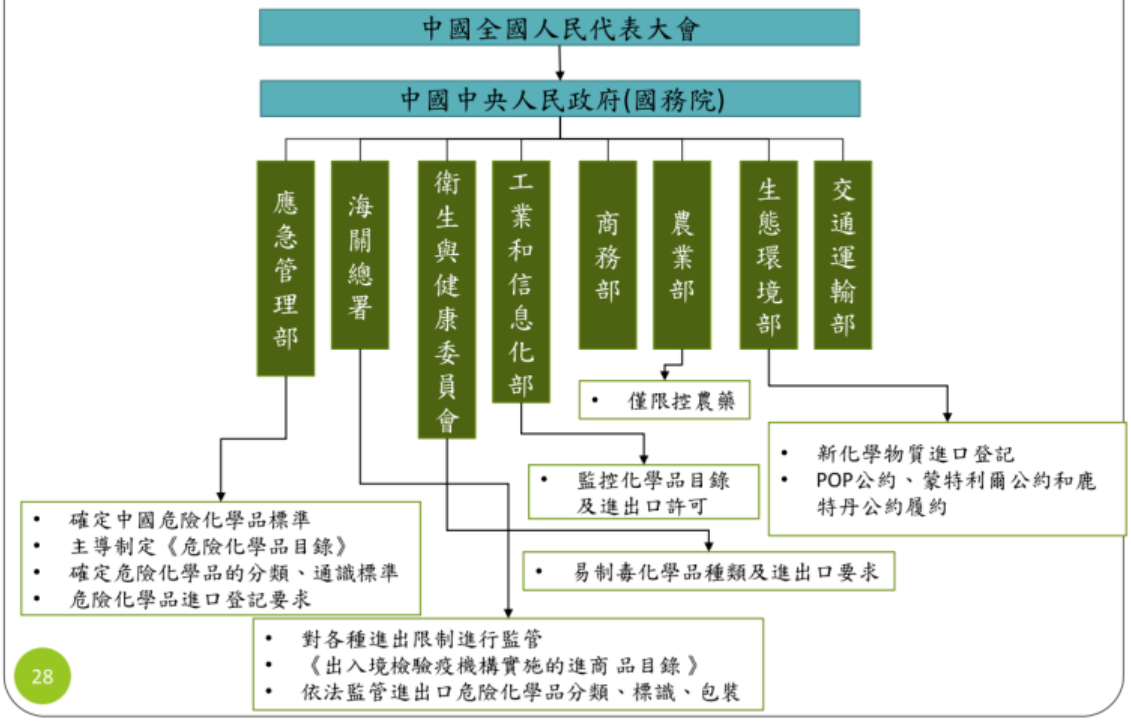
2.6 國際毒化物管理政策：南韓

- 南韓有毒化學品管理法 (Toxic Chemicals Control Act, TCCA)，國家環境研究所負責根據該法案通知新的化學品，教育部韓國化學品管理協會負責接受詳細化學品申報和申請確認書。韓國環境部 (Ministry of Environment, MOE) 公告韓國化學物質註冊與評估法 (Act on the Registration and Evaluation of Chemical Substances, ARECs) 或 化學品控制法 (Chemicals Control Act, CCA)，亦通稱之K-REACH
- 針對含優先管制物質 (Priority control substance) 的產品進行管理，同時改善許可 (Permission) 與限制物質的管理機制，降低廠商負擔、提高法規符合度的可及性。
- 毒化物分析分析系統旨在防止化學物質源頭事故，涉及定量評估化學品的潛在場外影響事故和應用化學處理設施安裝階段的調查結果。此外，增加罰款以加強有毒的責任化學品業務。當有毒化學品的安全管理業務外包時，訂購商負責管理承包商，承包商的任何違法行為也會影響訂購方。
- 每五年需要準備化學災害事故風險管理計劃，包括化學事故洩漏情景，緊急行動計劃，和損害恢復；根據風險管理計劃採取緊急行動立即向相關主管機構報告，避免過去只在發生事故時才會進行對人類健康或環境風險評估，強化整合管理能量

27

2.7 國際毒化物管理政策：中國

◆ 中國進出口危險化學品/危險貨物主管機構框架



28

2.7 國際毒化物管理政策：中國

◆ **《危險化學品安全管理條例》(國務院591號令)**

- 國務院條例 - 《危險化學品安全管理條例》(國務院591號令)
- 第六條第三款 品質監督檢驗檢疫部門負責核發危險化學品及其包裝物、容器生產企業的工業產品生產許可證，並依法對其產品品質實施監督，負責對進出口危險化學品及其包裝實施檢驗。
- 第六條第四款 環境保護主管部門負責... 危險化學品環境管理登記和新化學物質環境管理登記...
- 第六十七條 危險化學品生產企業、進口企業，應當向國務院安全生產監督管理部門負責危險化學品登記的機構(以下簡稱危險化學品登記機構)辦理危險化學品登記。
  - 中國GHS系列標準
  - • GB13690-2009：化學品分類和危險公示通則
  - • GB15258-2009：化學品安全標籤編寫規定
  - • GB/T 16483 – 2008：化學品安全技術說明書內容和專案順序
  - • GB/T 17519-2013 化學品安全技術說明書編寫指南
  - • GB 30000.2 ~ GB 30000.29 – 2013 28項《化學品分類、警示標籤、警示性說明安全規範》系列國家標準

29

2.7 國際毒化物管理政策：中國

◆ **化學品進出口管理 – 危險化學品**

化學品管理類別	法規	頒布機關	配套目錄	主管機關	要求
危險化學品	危險化學品安全管理條例	國務院	• 危險化學品目錄 • 危險化學品目錄(2015版)實施指南 - 分類信息表	應急管理部	進口商： 1. 危險化學品安全生產/經營許可證 2. 完成危險化學品進口登記 3. 按照中國GHS系列標準進行分類、標識，製作並提供SDS； 4. 報關報檢時提供上述材料並經過審核。 出口商： 1. 危險化學品安全生產/經營許可證 2. 按照目的國法規要求進行分類、標籤 3. 報關報檢時提供中文翻譯版SDS、標籤供審核
	危險化學品生產企業安全生產許可證實施辦法	應急管理部			
	危險化學品經營授權管理辦法				
	危險化學品登記管理辦法				
	關於進出口危險化學品及其包裝檢驗監管有關問題的公告	質檢總局	• 危險化學品目錄 • 中國GHS系列標準	海關總署(原出入境檢驗檢疫局)	

30

2.7 國際毒化物管理政策：中國

◆ 化學品進出口管理－特殊類化學品

化學品管理類別	法規	頒布機關	配套目錄	主管機關	要求
新化學物質	• 危險化學品安全管理條例 • 新化學物質環境管理辦法	國務院 環保部	• 中國已有化學物質名錄	生環部	進口商： 完成新化學物質環境管理登記
嚴格限制進出口的有毒化學品	• 危險化學品安全管理條例	國務院	• 中國嚴格限制的有毒化學品名錄 (2018年)	生環部 商務部 海關總署	進(出)口商： 進出口目錄列明的化學品完成PIC程式；進口登記，海關放行單
農藥	• 農藥管理條例	國務院	• 禁止農藥目錄 • 限制使用農藥目錄	農業部 生環部 海關總署	進口商： 不得進口禁止農藥目錄中的農藥； 進口農藥需完成農藥登記。
兩用物項	• 兩用物項和技術進出口授權管理辦法	商務部	• 兩用物項和技術進出口授權管理目錄	商務部 海關總署	進(出)口商： 取得相應兩用物相許可證
禁止進出口貨物	• 禁止進口貨物目錄 • 禁止出口貨物目錄	商務部 環保部 海關總署	• 禁止進口貨物目錄 • 禁止出口貨物目錄	商務部 生環部 海關總署	進(出)口商： 禁止進出口行為 (中國履行POPS公約)
監控化學品	• 中華人民共和國監控化學品管理條例	國務院	<中華人民共和國監控化學品管理條例>實施細則	工信部	進(出)口商： 必須由指定的獲得監控化學品進口許可證的單位進口(第1,2,3類)(CWC履約)

31

三、毒性化學物質替代篩選評估工具

32

3.1 綠色篩選指標 (GreenScreen)

- GreenScreen® for Safer Chemicals是一種**化學危害評估方法**，旨在**識別高度關注的化學品和更安全的替代品**，通過根據國際、國家和州政府機構，政府間機構和非政府組織召集的權威科學機構制定的40多種危害清單中的訊息對化學品進行評分。
- 清潔生產行動 (Clean Production Action) 還開發了名為GreenScreen List Translator™的GreenScreen縮寫版本方法，該方法提供了“列表清單”方法，可快速識別高度關注的化學品。
- GreenScreen® 是**基於12項綠色化學原理**和美國環保署的**環境化設計 (Design for Environment, DfE)** 替代評估方法的基礎上，該方法將有關化學品固有特性的可用數據 - 包括**人類健康影響，環境宿命和毒性以及安全性 - 整合到危害終點表(hazard endpoints)**，並分別列為高、中或低。藉此，危害評估進一步合併為一個基準，為比較化學品提供了一種簡便的方法。
- 所有產品之化學品均可適用GreenScreen® for Safer Chemicals規範進行化學品之評估審核

33

3.2 綠色篩選指標 (GreenScreen)評估流程

危害性評估流程

步驟一：鑑定需要評估的化學品

步驟二：資料蒐集與資訊建立

2a：GreenScreen 基本化學品資料庫

2b：GreenScreen 特別化學品清單

2c：以模型評估尚缺乏的化學品資訊

步驟三：危害性鑑定

3a：使用GreenScreen 18項危害性終點評估

3b：確認每項危害性的信賴區間

3c：鑑定危害性級距分類

3d：出具危害評估報告

步驟四：鑑別產品環境轉移性

以生命週期方式評估化學產品是否會造成潛在性的環境排放）

步驟五：評估產品環境轉移性量化數字

標竿值評分流程

步驟六：以 GreenScreen 產品標竿值進行評分

6a：運用有機與無機化學品標竿值進行鑑定

6b：量化最終評分，建立分數級距

6c：出具化學品GreenScreen評分報告

34

(Ref: Greenscreen ® for safer Chemicals Hazard assessment Guidance, V1.4, 2018)

3.3 綠色篩選之危害性評估

- GreenScreen 危害性評估 (GreenScreen Hazard Assessment)（如之生物累積性評估）針對18個人類健康與環境終點中的每一個的危害等級進行分類，危險等級範圍從極高 (Very High) 到極低 (Very Low)
- GreenScreen危害性評估可適用用於評估單一化學品或更複雜的混合物和聚合物材料

- vL：非常低
- L：低
- M：中度
- H：高
- vH：非常高
- DG：缺乏評估數據
- Blank：未進行評估

GreenScreen 危害性評估結果表

Group I Human					Group II and II* Human										Ecotex		Fate		Physical	
C	M	R	D	E	AT	ST		N		SnS*	SnR*	IrS	IrE	AA	CA	P	B	Rx	F
						SINGLE	REPEATED*	SINGLE	REPEATED*										
DG	L	L	M	M	DG	L	L	M	M	L	L	L	L	L	L	vH	M	L	L

Glossary of GreenScreen® Hazard Endpoint Abbreviations

AA Acute Aquatic Toxicity
AT Acute Mammalian Toxicity
B Bioaccumulation
C Carcinogenicity
CA Chronic Aquatic Toxicity
D Developmental Toxicity
E Endocrine Activity
F Flammability
IrE Eye Irritation
IrS Skin Irritation
M Mutagenicity and Genotoxicity
N Neurotoxicity
P Persistence
R Reproductive Toxicity
Rx Reactivity
SnS Sensitization (Skin)
SnR Respiratory Sensitization
ST Systemic/Organ Toxicity

** Repeated exposure*

35

(Ref: Greenscreen ® for safer Chemicals Hazard assessment Guidance, V1.4, 2018)

3.4 GreenScreen 18項危害性終點評估指標

第一類人體健康 Human Health Group I	第二類人體健康 Human Health Group II	第二類人體健康* Human Health Group II*	環境毒性與宿命 Environmental Toxicity & Fate	物理性危害 Physical Hazards
致癌性 Carcinogenicity (C)	急性哺乳動物毒性 Acute Mammalian Toxicity (AT)	全身毒性&器官效應-重複暴露終點評估 Systemic Toxicity & Organ Effects – Repeated Exposure sub-endpoint (ST-repeated)	急性水生動物毒 Acute Aquatic Toxicity性 (AA)	反應性Reactivity (Rx)
致突變性和遺傳毒性 Mutagenicity & Genotoxicity (M)	全身毒性&器官效應 Systemic Toxicity & Organ Effects (ST-single)	神經毒性-重複暴露終點評估 Neurotoxicity – Repeated Exposure sub-endpoint (N-repeated)	慢性水生動物毒性 Chronic Aquatic Toxicity (CA)	可燃性 Flammability (F)
生殖毒性 Reproductive Toxicity (R)	神經毒性 Neurotoxicity (N-single)	皮膚過敏性 Skin Sensitization (SnS) 呼吸道過敏性 Respiratory Sensitization (SnR)	其他生態毒性之可行研究 Other Ecotoxicity studies when available	
發育毒性（包括發育神經毒性）Developmental Toxicity (incl. Developmental Neurotoxicity) (D)	皮膚刺激性 Skin Irritation (IrS)		持久性 Persistence (P) 生物累積性 bioaccumulation (B)	
內分泌活動 Endocrine Activity (E)	眼睛刺激性 Eye Irritation (IrE)			

3.5 GreenScreen 標竿值評分步驟

P持久性 (Persistence)

B生物累積性(Bioaccumulation)

T人體毒性和生態毒性 (Human Toxicity and Ecotoxicity)

第四級標竿值 **安全化學品**

- 低P +低B +低T（生態毒性或人體毒性）+低物理危害（易燃性和反應性）+低額外生態毒性

第三級標竿值 **使用中但仍可改進的化學品**

- 中度P或中度B
- 適度的生態毒性
- 中度T（人類毒性）
- 中度可燃性或中度反應性

第二級標竿值 **使用中但須尋找安全替代之化學品**

- 中度P +中度B +中度T
- 高P +高B
- 高P +中度T（生態毒性或人類毒性）
- 高B +中度T（生態毒性或人類毒性）
- 中度T（人類毒性）
- 極高T或高T高可燃性或高反應性

第一級標竿值 **高度關注之化學品**

- PBT =高P +高B + 非常高T（生態毒性或人類毒性）或高T
- 非常高P +非常高B （生態毒性或人類毒性）
- 非常高P + 非常高T （生態毒性或人類毒性）
- 非常高B + 非常高T或高T （生態毒性或人類毒性）

37

(Ref: Greenscreen ® for safer Chemicals Hazard assessment Guidance, V1.4, 2018)

3.6 GreenScreen 評估結果報告

- 標竿值評分是通過分析GreenScreen中包含的18個危害終點評估指標之間組合性進行鑑定，為了反應各國政府在國內和國際上建立的危害問題，以第1類標竿值「高度關注化學品」判定是否為綠色化學品之重要參考依據
- 總結表提供相關危害的具體量化訊息，將有助於應用綠色化學原則進行產品設計和開發，化學和材料採購，風險管理，工作場所安全等方面提供廠商進行更好的決策

38

GREENSCREEN BENCHMARK™ SUMMARY

This product assessment report includes a GreenScreen Benchmark™ score and attached individual assessment reports for the product inventory listed in Table 1 and any impurities in Table 2 below.

The product itself has not been assigned a single Benchmark score. No product claims can be made without licensing through Clean Production Action.

Table 1. Product Benchmark Summary

Product Component(s)	Chemical Name	Trade Name or CASRN	% by weight in product	Benchmark Score	Assessment Report Number
Polymer Mixture	Various	EZ-Clean Paint, #EZ-50-BLK	85	1	GSA-23
Solvent	Chemical A	42123-45-8	1	2	GSA-43
Pigment	Chemical B	6472-81-2	8	3	GSA-876
	Chemical C	2976-34-2	6	4	GSA-88

Table 2. Impurities < 100 ppm: Special Case and Known

Chemical Name	CASRN	(ppm)	GreenScreen List Translator score	Function	Reason for Inclusion
Impurity 1	135-49-2	50	LT-UNK	Impurity	Special Case Impurity

Table 3. Weight Percentage of Product at Each Benchmark Score

1	2	3	4
85%	1%	8%	6%

PRODUCT FUNCTIONAL USE(S)

1) Paint
2) Coating

INVENTORY THRESHOLD

Inventory thresholds achieved and any deviations from GreenScreen requirements:
100 ppm (no deviation from v1.4 guidance)

Methods used to determine compliance with inventory thresholds:
Analytical testing (detection and quantification using HPLC; limit of detection 2.0 ppm)

3.7 綠色化學專家體系(Green Chemistry Expert System)

- 美國環保署開發一種高適用性評估體系－綠色化學專家系統，可用於選擇綠色化學品和反應，綠色化學是化學產品和製程的設計，可減少或消除有害物質的使用或產生
- 該系統是依據綠色化學原則所涉及之多種評估指標，分別為原子經濟與環境因子兩類，此兩類都是基於質量守恆進行量測與計算

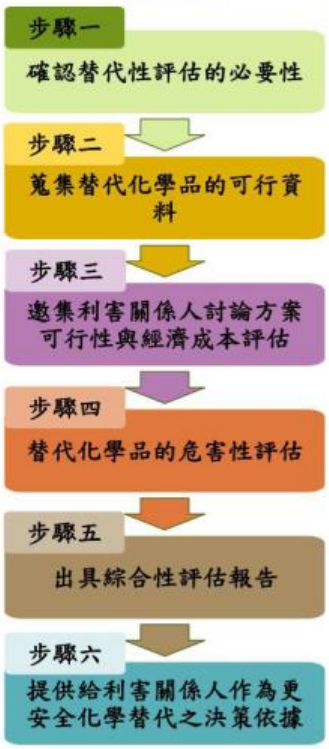
環境因子(E-Factor) E=總廢棄物質量/總產物質量	原子經濟(Atom Economy) AE(%)=產物總質量/原物料總質量
質量強度(Mass Intensity)=生產過程中總質量/產物總質量	反應效能(Reaction Mass Efficiency, RME)(%)=產物總量/反應物總量
製程質量強度(Process Mass Intensity)=生產過程中總質量(包含用水量)/產物總量	質量生產率(Mass Productivity)(%)=產物總量/原物料使用量(包含溶劑用量)
廢水強度(Waste Water Intensity)= 生產過程中總廢水量/產物總量	有效質量產能(Effective Mass Yield)(%)=產物總量/有害物質總產量
溶劑強度(Solvent Intensity)= 生產過程中總溶劑量/產物總量	碳經濟比例(Carbon Economy)(%)=產物總碳量/反應物總碳量

39

3.8 USEPA綠色化學安全替代評估做法

環境化設計 (Design for Environment, DfE)

- 美國環保署 (US EPA) 發起了 環境化設計 (DfE) 進行化學品替代性評估 (Chemical Alternatives Assessment, CAA)，希望能將工業所使用的化學品進行全面性的評估。
- US EPA成立了化學安全與污染防治辦公室 Office of Chemical Safety and Pollution Prevention ，專門執行化學品替代性評估 (CAA)：評估化學品在產品生命週期相關階段造成的危害，為知情決策奠定基礎。
- CAA 的評估結果為工業和其他利害相關者提供了他們需要選擇更安全的化學品並儘量減少化學意外之綜合風險評估資訊



40

(Ref: Lacoje, et. al., 2010)

3.9 綠色化學原則量化指標

綠色化學原則量化指標：

- 可用於評估工業部門是否符合綠色化學原則
- 可確定相關化學製程具備最佳產能
- 針對不同產量所帶來的廢棄物進行量化評估
- 可作為工業部門是否需進行更多研究的領域創新和/或更廣泛的製程改善措施
- 可為政府提供有用的量化訊息以調整企業稅收或因應政策，以促進更多的採用綠色技術。

評估方式	用途
減量技術之綜合評估方法 (Synthetic Methodology Assessment for Reduction Techniques, SMART)	根據用戶提供的信息對化學反應中使用或產生的有害物質進行量化和分類，修改和重新評估反應以優化其綠色性質
綠色合成反應評估	提供有關製造化學品的綠色合成方法的技術信息
化學品安全性評估	評估透過修改化學物質之安全性，按化學類別，屬性和用途組織分類
綠色溶劑之反應性評估	透過建立使用傳統溶劑系統之綠色替代品的數據資料庫，並可依照物理化學特性搜尋潛在的綠色溶劑替代品
(綠色化學原則參考指引	整合綠色化學原則相關應用文獻的資料庫

41

3.9-1 綠色化學原則量化指標-環境衝擊評估

- 綠色化學是化學產品和製程的設計，可減少或消除有害物質的使用或產生，基於環境設計項目下的一項措施，從分別為環境衝擊與經濟效益兩類

	評估指標	與綠色化學原則相關性
環境衝擊評估	環境因子(E-Factor) E=總廢棄物質量/總產物質量	#1防止廢棄物(Waste Prevention) #11即時分析污染防治(Real-time Analysis for Pollution Prevention)
	質量強度(Mass Intensity)=生產過程中總質量/產物總質量	#9選擇良好的催化劑(Catalysis)
	製程質量強度(Process Mass Intensity)=生產過程中總質量(包含用水量)/產物總量	#6設計能源效率(Design for Energy Efficiency) #11即時分析污染防治(Real-time Analysis for Pollution Prevention)
	廢水強度(Waste Water Intensity)= 生產過程中總廢水量/產物總量	#1防止廢棄物(Waste Prevention) #11即時分析污染防治(Real-time Analysis for Pollution Prevention)
	溶劑強度(Solvent Intensity)= 生產過程中總溶劑量/產物總量	#5更安全的溶劑與助劑(Safer Solvents and Auxiliaries)
	再生原料使用比例(Renewable feedstock utilization) (%)=再生原料使用量/總投入原料量	#7使用再生原料(Use of Renewable Feedstocks)
	安全化學品使用比例(Safer chemical utilization)(%)=安全化學品用量/單位製程化學品用量	#12以更安全的化學品防止意外發生(Inherently Safer Chemistry for Accident Prevention)

資料來源：Sheldon, 2017

42

3.9-2 綠色化學原則量化指標-經濟效益評估

	評估指標	與綠色化學原則相關性
經濟效益評估	原子經濟(Atom Economy) AE(%)=產物總質量/原物料總質量	#2原子經濟(Atom Economy) #9選擇良好的催化劑(Catalysis)
	反應效能(Reaction Mass Efficiency, RME)(%)=產物總量/反應物總量	#4設計更安全的化學品(Design Safer Chemicals) #6設計能源效率(Design for Energy Efficiency) #9選擇良好的催化劑(Catalysis)
	質量生產率(Mass Productivity)(%)=產物總量/原物料使用量(包含溶劑用量)	#6設計能源效率(Design for Energy Efficiency) #9選擇良好的催化劑(Catalysis)
	有效質量產能(Effective Mass Yield)(%)=產物總量/有害物質總產量	#3較少的有害化學合成(Less Hazardous Chemical Synthesis) #8減少衍生物(Reduce Derivatives) #11即時分析污染防治(Real-time Analysis for Pollution Prevention)
	碳經濟比例(Carbon Economy)(%)=產物總碳量/反應物總碳量	#2原子經濟(Atom Economy)

43

資料來源：Sheldon, 2017

3.10 綠色化學相關指標及策略作法

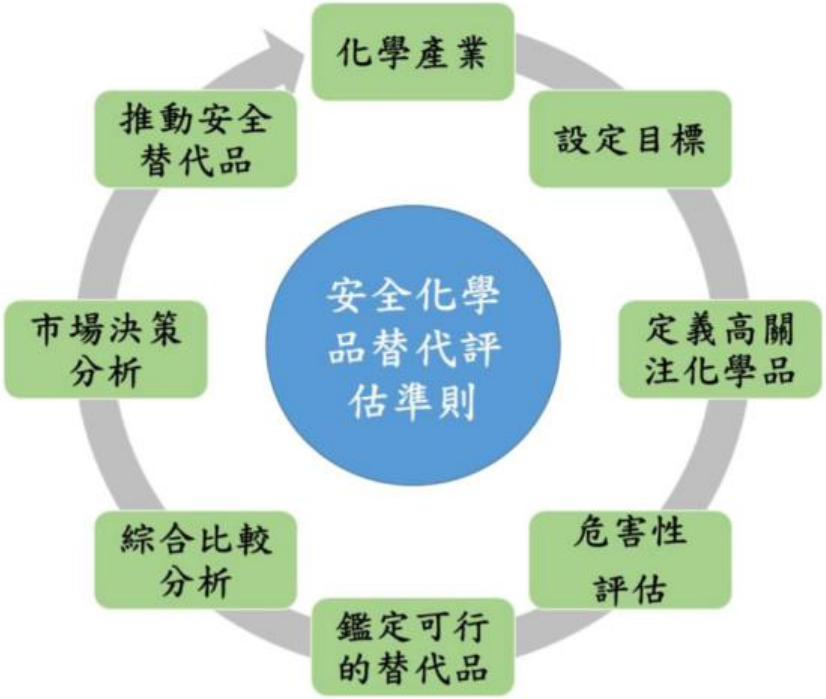
- 建立毒化物安全替代品之篩選機制，整合化學品數據平台與量化風險特性，包括人體健康效果，環境歸宿和毒性，以及安全性危險終點各自排名為高、中或低。
- 建立綠色化學品篩選流程，企業可以對化學品建立化學管理體系，定期檢討與更新相關關鍵績效指標，有助於企業做出更明智的決策，降低業務風險並促進創新開發。
- 推動綠色化學品產業達到永續發展目標，著力於永續發展解決方案的戰略規劃和創新，推廣可激勵消費者選擇永續發展事業的產品和服務，將行業轉變為支持全球目標的永續發展方向，創造更多的商業機會。

44

四、建立毒性化學物質安全替代之評估流程及案例分析

45

4.1 化學安全品替代評估原則



46

4.1 化學安全品替代評估原則

- Oguzcan等學者也提出更安全化學替代品的評估標準，更安全的化學替代評估標準包含物理化學評估、人體健康危害評估、暴露評估、技術性能評估、環境評估、經濟/金融和社會評估以及生命週期評估

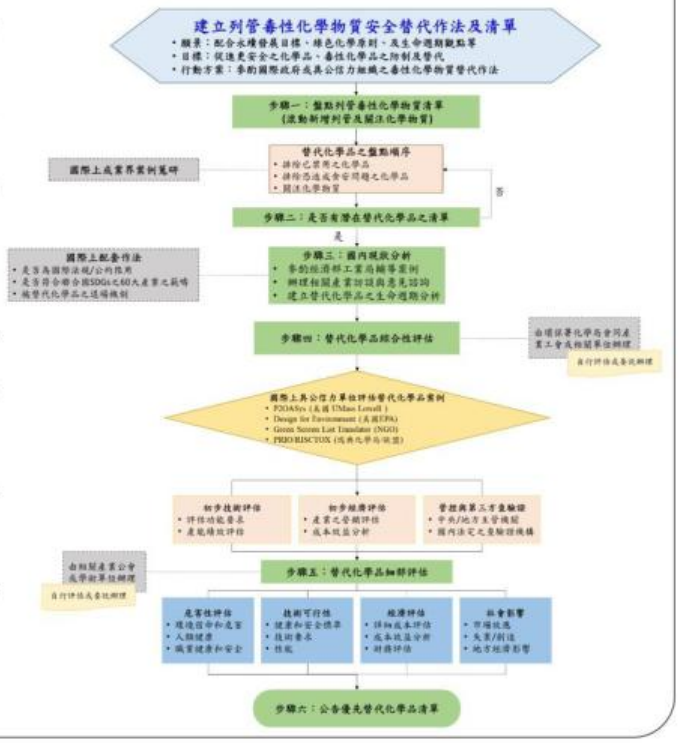
更安全的化學替代品評估標準	定義
物理化學評估	任何使用化學品的物理化學性質評估物理化學危害（例如爆炸性和腐蝕性）和/或進一步預測後續評估中使用的化學品性質的評估。
人體健康危害評估	評估化學品對人體的內在危害，而不是物理化學危害
暴露評估	用作任何評估的手段，包括暴露模型或僅使用物理化學特性評估暴露潛力，而無需對任何保護區域進行任何建模
技術性能評估	檢查備選方案對所需功能的技術性能
環境評估	考慮到化學品對環境的內在危害，如生態毒性危害
經濟/金融和社會評估	分別評估替代的經濟/財務和社會方面，並可能包括生命週期思維
生命週期評估	評估替代品和關注化學品對環境和人類的生命週期影響

47

(Ref: Semih Oguzcan, et, al., 2017)

4.2 研擬安全化學品替代評估流程

- 步驟一：盤點目前國內列管的毒性化學物質清單
- 步驟二：從高關注化學物質中尋找是否有潛在的應替代之化學品的名單
- 步驟三：建立國內現狀分析，包含環保署已公告之替代化學品案例或工業局過去與產業界輔導之案例
- 步驟四：替代化學品進行綜合性評估
- 步驟五：將已選定的替代化學品進行細部評估
- 步驟六：確認優先替代化學品



48

4.3 綠色替代品成功案例

被替代物質	替代物質	用途	應用案例	資料來源
壬基酚（壬酚）（Nonylphenol）	甲基環氧乙烷與環氧乙烷和單（2-乙基己基）醚的聚合物（2-Ethyl Hexanol EO-PO Nonionic Surfactant	清潔用品產業	陶氏化學公司（DOW Chemical）	SUBSPORT/財團法人安全衛生技術中心
全氟辛烷磺酸（Perfluorooctane sulfonic acid）	聚合物分散液（產品名為Arkophob® FFR liq，成分未揭露）	紡織及衣物業	ARCHROMA 色彩及特殊化學品公司	SUBSPORT/財團法人安全衛生技術中心
甲醛（Formaldehyde）	鞣酸（Tannic acid）／木質素（Lignin）	木質板材產業	法國綠色板材計畫（Panneaux verts（Green panels））	SUBSPORT/財團法人安全衛生技術中心
1,3-丁二烯（1,3-Butadiene）	大豆油	數位印刷產業	Print Recovery Concepts	SUBSPORT/財團法人安全衛生技術中心
硫鉻酸鉛(1344-37-2)	四氧化釩鉍(Bismuth vanadium tetraoxide, Yellow 184, CAS No. 14059-33-7)	建材塗料產業	德國化學公司巴斯夫（BASF）	SUBSPORT/財團法人安全衛生技術中心

49

4.4-1 毒化物替代評估案例說明

毒化物：二甲基甲醯胺 (Dimethylformamide, DMF)

替代評估案例一：

- MacMillan等人評估幾種作為CH_2Cl_2和DMF的替代溶劑，可使用常見酰胺偶聯劑或試劑組合的四種基準酰胺鍵形成反應的介質進行化學反應性的評估。
- 使用"(2-肟基-氰基乙酸乙酯)-N,N-二甲基-嗎啉基脲六氟磷酸酯" (COMU)作為優選的偶聯劑(coupling reagent)，替代化學品為：**碳酸二甲酯 (dimethylcarbonate, DMC)，乙酸乙酯 (ethyl acetate, EtOAc) 與2-甲基四氫呋喃 (2-methyltetrahydrofuran, 2-MeTHF)**，分別進行芳基化(aryl)、烷基化(alkyl acids)與胺化(amines) ，可與CH_2Cl_2和DMF具有相同的產物轉化率，但對於環境較不會有危害性。 (Ref: MacMillan, et. al., 2013)

替代評估案例二：

- 目前DMF被認為是適合肽合成反應的唯一溶劑；Jad等人證明**四氫呋喃 (tetrahydrofuran, THF)和乙腈(acetonitrile, ACN)** 是比DMF更友好的溶劑，並產生比DMF更高純度的產物。(Ref: Jad, et. al., 2015)

50

4.4-1 毒化物替代評估案例說明

毒化物：苯 (Benzene)

替代評估案例：

- 在溶劑應用方面，**環己烷 (Cyclohexane)**是一個非常好的代替品，它是一種非極性溶劑，可溶於非極性物質，如乙醇，乙醚，丙酮，苯和石油醚。 它是通過苯與氫反應製造的。 它是生產己二酸和己內醯胺的主要原料。 環己烷還用於電鍍，橡膠製造和清漆溶劑的生產。
- **庚烷(Heptane)**也是一種非極性溶劑，可以有效替代苯。可用於油漆和塗料以及作為橡膠 - 水泥溶劑。 特性與己烷相似，但不會出現與己烷有關的環境和健康問題。 在電鍍，液相色譜，印刷和柔性版印刷中用作溶劑。
- 還有許多其他非極性溶劑可用作苯的替代品：**戊烷(Pentane)，環戊烷(cyclopentane)，1,4-二噁烷(1,4-dioxane)**；戊烷相對便宜並且通常在實驗室中用作易於蒸發的溶劑。 環戊烷用於合成樹脂和橡膠粘合劑的製造。

51

(Ref: Henderson, et. al., 2011)

4.4-1 毒化物替代評估案例說明

毒化物：鄰苯二甲酸二酯 (Phthalates)

替代評估案例：

- 鄰苯二甲酸酯具有低揮發性和緩慢釋放在使用過程中的PVC產品，擴散到空氣中。
- 鄰苯二甲酸酯可做為增塑劑，常見的替代品包括“二異壬基 - 環己烷-1,2-二羧酸酯”(Di-isononyl- cyclohexane-1, 2-dicarboxylate, DINCH)，乙醯基檸檬酸三丁酯 (Acetyl tributyl Citrate, ATBC)，對苯二甲酸二辛酯 (Dioctyl Terephthalate, DOTP)，2,2,4-三甲基1,3-戊二醇二異丁酸酯（2,2,4-trimethyl
- 1,3-pentanediol Diisobutyrate, TXIB）和二 - 2- 己基乙基己酯（Di(2-ethyl hexyl) adipate, DEHA）。

52

(Ref: Lowell Center for Sustainable Production, 2011)

4.4-1 毒化物替代評估案例說明

毒化物：1,3-丁二烯 (1,3-Butadiene, BD)

替代評估案例：

- Gao等人開發的新穎鎂鋁催化劑，提升BD轉化成生質柴油的產率與轉化率。
- 初步評估結果顯示，不同的製備方法對催化劑之表面結構和化學性質有影響，另外pH值也是重要因子，主要在強酸和強鹼時會轉化成乙烯，弱酸和弱鹼有助於BD轉化成醇類或酯類，為了獲得更高的BD選擇性，必須調配完美MgO和Al_2O_3的比例，並必須在Mg-Al催化劑中使用用於調節酸鹼平衡的改質劑。

53

(Ref: Gao et. al., 2017)

4.4-2 毒化物替代評估案例說明

毒化物：乙腈 (Acetonitrile)

替代評估案例：

- 在樣品製備方法中替代乙腈的主要溶劑之一是**甲醇**。許多製造商正在提供可用於替代需要乙腈的現有方法的方法和產品。
- Biotage提供EVOLUTE系列聚合物相，可用於使用甲醇的固相萃取（SPE）和簡單的通用程式。
- EVOLUTE產品系列已針對使用甲醇的方法進行了優化，這成為短缺的長期解決方案

54

(Ref: Shen et. al., 2015)

4.4-1 毒化物替代評估案例說明

R134a製冷劑的替代品

製冷劑替代化學品	化學品特性與危害性說明	使用障礙
二氧化碳 (Carbon Dioxide, CO_2)	• 對全球變暖或臭氧破壞潛勢值之影響遠低於一般製冷劑 • 價格便宜且化學意外可能性較低	但當用作製冷劑時，與R-134a相比CO_2（稱為R-744）需要極高的操作壓力
HFC-152a	• 以兩個氫原子取代兩個氟原子，具有與R-134a類似的操作特性，但冷卻性更好 • HFC-152a全球變暖潛勢值為120，比R-134a低10倍	略微易燃
HFO-1234yf	• 具有與R-134a非常相似的熱特性，因此不需要對空調系統進行調整 • HFO-1234yf的全球變暖潛勢值為4	無
氨	• 全球變暖潛勢值與臭氧破壞潛勢值為0 • 分子量小、潛熱大、蒸汽密度大及傳熱性能好 • 具強烈氣味在達到危險濃度之前氣體洩漏容易被檢測 • 價格較低	有毒，易燃並且與銅不相容
Super-Freeze 134a	• 為環境安全的烴類混合物，設計用作直接替代和改裝製冷劑選項 • 用於替代美國以外的汽車空調和製冷系統中的R123a和R12製冷劑 • 與R134a和R12相比，可在較低的壓力下運行 • 提供改善的冷卻性能和性能	無

55

(Jitendra Kumar Verma et al., 2013)

4.4-1 毒化物替代評估案例說明

四氯乙烯的替代品(乾洗)

- **液態二氧化碳：**液體或超臨界流體，可用於服裝清潔專業設備。最常見的方式是700磅/平方英寸的壓力下使用液體二氧化碳，並使用專門為此方法設計的清潔劑。此方式係將液態二氧化碳與清潔劑結合在傳統的籃式機器進行清洗。
- **高閃點油煙：**閃點高於140度華氏之低味道石油煙為基礎乾洗溶劑，廣泛用於取代PERC乾洗。
- **縮醛：**無鹵可燃溶劑，成分為1-（丁氧基乙氧基）丁烷，也稱丁縮醛或甲醛二丁基縮醛。
- **丙二醇醚：**是一種石油溶劑於1990晚期用於取代PERC乾洗，可透過改善碳氫氧化物系統使用。
- **環狀揮發性甲基矽氧烷：**現階段用於乾洗的是環狀VMS十甲基環五矽氧烷。 無色無味液體用於多溶劑系統機器。
- **正丙基溴：**直接用於取代PERC溶劑，並可直接使用現有的PERC及碳氫氧化物乾洗系統。

56

(參考來源：TURI, 2012)

4.4-1 毒化物替代評估案例說明

壬基酚聚氧乙烯醚 (Nonylphenol Ethoxylates, NPEs)的替代評估

Chemical Class	宿命		水體毒性[1]			符合DfE表面活性劑標準？	合成
Chemical	持久性	降解物[2]	急毒性	慢毒性	降解毒性		
壬基酚乙氧基化物Nonylphenol ethoxylates (NPEs)							
Nonylphenol ethoxylate (9EO); NPE9	M	Y[3]	H	M	VH	N	壬基酚由苯酚和三丙烯製備，產生高度支化的、對位取代的烷基酚。壬基酚與環氧乙烷的反應產生NPE表面活性劑
辛基酚乙氧基化物Octylphenol ethoxylates (OPEs)							
Octylphenol ethoxylate (10EO); OPE10	H[4]	Y[5]	H	*H*	VH	N	辛基酚由苯酚和二異丁烯製備，產生高度支化，主要是對位取代的烷基酚。辛基酚與環氧乙烷的反應產生OPE表面活性劑。
線性醇乙氧基化物Linear alcohol ethoxylates (LAE)							
C9-11 Alcohols, ethoxylated (6 EO)	VL	N	H	H	L[6]	Y	衍生自脂肪酸或α-烯烴的直鏈醇與環氧乙烷反應。得到LAE表面活性劑。許多洗滌劑級LAEs使用C10-C18範圍內的醇
C12-15 Alcohols, ethoxylated (9EO)	VL	N	VH	H	L[6]	Y	
乙氧基化/丙氧基化醇Ethoxylated/propoxylated alcohols							
Oxirane, methyl-, polymer with oxirane, Mono (2-ethylhexyl ether); Ecosurf EH-9	L	N	M	*M*	L[6]	Y	2-乙基己醇與環氧乙烷和環氧丙烷反應。該類中的其他表面活性劑使用直鏈醇代替2-乙基己醇。
烷基多聚葡萄糖Alkyl polyglucose (APG)							
D-Glucopyranose, oligomeric, decyl octyl glycosides	VL	N	M	M	L[6]	Y	脂肪醇在酸催化劑存在下與葡萄糖反應。類似的產品可以由其他糖製備，例如蔗糖。
直鏈烷基苯磺酸鹽Linear alkylbenzene sulfonates (LAS)							
Benzenesulfonic acid, C10-13-alkyl derivs., sodium salt	VL	N	H	H	L[6]	Y	在酸催化劑存在下，用線性烯烴（內部或末端）將苯烷基化，得到直鏈烷基苯（LAB）。將LAB中間體磺化並且中和，得到直鏈烷基苯磺酸鹽表面活性劑。
烷基硫酸酯Alkyl sulfate esters (AS)							
Sodium lauryl sulfate	VL	N	H	H	L[6]	Y	將脂肪醇硫酸化並中和得到烷基硫酸酯鹽。
烷基醚硫酸鹽Alkyl ether sulfates (AES)							
Polyoxy(1,2-ethanediyl), alpha-sulfo-omegadodecyloxy-, sodium salt	L	N	H	H	L[6]	Y	將線性醇乙氧基化物硫酸化並中和，得到烷基醚硫酸鹽。
脫水山梨糖醇酯Sorbitan esters							
Sorbitan monostearate	L[7]	N	H	H	L[6]	Y	脂肪酸甲酯在鹼性催化劑存在下與脫水山梨糖醇反應，得到脫水山梨糖醇酯。

VL =極低危險，L =低危險，M =中度危險，H =高危險，VH =非常危害 — 彩色字體（VL、L、M、H和VH）中的終點是根據實驗數據劃分。黑色斜體（*VL*、*L*、*M*、*H*和*VH*）的終點是使用估計值和專家判斷（分子結構活動關係）劃分。

注意：乙氧基化表面活性劑中1,4-二噁烷雜質的含量在產品配方中限制在100 ppm。

1.審查急性毒性數據包括魚類的96小時LC50檢測，無脊椎動物的48小時EC50或LC50檢測以及藻類的72-96小時EC50檢測。如果有足夠的急性數據，則無需評估慢性毒性值。

2.表面活性劑所關注的降解產物是具有高急性水生毒性（L/E/IC50≤10ppm）和緩慢的生物降解速率（大於28天）的化合物

3.一種潛在的壬基酚降解物引起人們對其影響內分泌系統的可能性。

4.對於辛基酚乙氧基化物的可用生物降解數據，不能確定半衰期。根據生物降解速率數據，50%降解量的時間（通過氣需求測量）似乎比60天略長。

5.一種潛在的辛基酚降解物，比母體化合物更持久、毒性更大。

6.根據現有的生物降解研究，這種化學物質最終會降解為CO_2，H_2O和礦物鹽，因此預計不會產生水生有毒的降解物。

7.可用的生物降解數據不包括10天空窗期。

4.4-1 毒化物替代評估案例說明

二氯甲烷 (methylene chloride)的替代評估

Chemical	Group I Human					Group II & II Human									Ecotox		Fate		Physical	
							ST		N											
	C	M	R	D	E	AT	Single	Repeat	Single	Repeat	SnS	SnR	IrS	IrE	AA	CA	P	B	RX	F
二氯甲烷	H	NE	DG	DG	M	*M*	vH	H	*vH*	*vH*	L	DG	H	H	M	*L*	*vH*	vL	L	L
苯甲醇	L	L	*L*	M	DG	M	L	L	*M*	*H*	H	*L*	L	H	L	L	vL	vL	*L*	L
2-(2-丁氧基乙氧基)乙醇	*L*	L	L	L	DG	L	L	H	DG	L	L	DG	*M*	H	L	L	vL	vL	*L*	M
二甲基亞碸	*L*	L	L	L	DG	L	L	L	L	L	L	L	*M*	*M*	L	*L*	*L*	vL	*L*	M
1,3-二氧戊環	L	*M*	*M*	M	DG	L	M	M	M	L	L	DG	*M*	*H*	L	L	*M*	vL	*L*	H
二元酯(二元酯混合物)	*L*	L	L	*M*	*M*	L	M	*M*	M	DG	L	DG	L	*M*	M	L	vL	vL	*M*	L
d-檸檬烯	L	L	DG	L	DG	L	L	L	DG	DG	H	DG	H	*H*	vH	H	vL	M	*L*	M
丙酮	*L*	L	*M*	M	DG	L	*M*	M	M	*M*	L	DG	L	H	L	L	vL	vL	L	H
甲醇	NA	NA	NA	H	NA	H	vH	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	L	*L*	vL	vL	NA	H
甲苯	DG	L	H	H	M	L	M	H	M	H	L	DG	H	L	H	*H*	*H*	vL	L	H
甲酸	L	L	L	*L*	DG	H	vH	*H*	vH	DG	L	DG	vH	vH	M	M	vL	vL	L	M
塊鹼	*L*	L	*L*	*L*	*L*	H	vH	*L*	*L*	*L*	L	DG	vH	vH	M	DG	*L*	vL	*M*	L

C =致癌性，M =致突變性，R =生殖毒性，D =發育毒性，E =內分泌干擾，AT =急性毒性，ST =全身器官毒性，N =神經毒性，SnS =皮膚過敏 SnR =呼吸過敏，IrS =皮膚刺激，IrE =眼睛刺激，AA =水生毒性，CA =慢性水生動物毒性，P =持久性，B =生物累積，RX =反應性，F =易燃性

斜體中的危險等級(極高（vH）、高（H）、中等（M）、低（L）、極低（VL）反映估計（模擬估值、權威B列表、篩選列表，弱類似物和較低信任度） BOLD中的危險等級與高質量數據、權威A列表或類似物。第二組人類健康終點與第一組人類健康終點的不同之處在於它們有四個危險評分（即vH、H、M和L）而不是三個（即H、M和L），並且基於單次暴露而不是重複曝光。DG表示沒有足夠的數據來劃分危險等級。NE表示未做出確定（衝突數據）

4.4-1 毒化物替代評估案例說明

鄰苯二甲酸酯(Phthalate)的替代評估

- Lowell Center相關評估報告提出以生物塑膠進行替代品，生物塑膠主要是來自於植物所製造，例如大豆，大米，小麥和亞麻籽等

生物塑膠原料	產品及應用方式	人體健康潛在影響	環境影響
聚乳酸（來自玉米，甜菜，甘蔗，小麥，番薯或米飯）	用於食品容器，薄膜和纖維產品	可能會引起皮膚刺激並可能導致呼吸道刺激	廢棄的乳酸可做為回收但會產生二次污染物
氨基甲酸酯（來自大豆，蓖麻油，油菜籽，向日葵和亞麻籽）	可作為黏著劑	會刺激皮膚，眼睛和呼吸道導致氣喘，有可能會衍生出致癌物質	尚未發現對環境潛在的危害
纖維素（來自棉或木材）	用於玩具，手把，黏著劑，膠帶，玻璃紙，密封膜和汽車塗料等	製造過程可能會對工人產生過氧化物，具有高可燃性	生產過程有比較高能源和水要求
對苯二甲酸（來自玉米）	用於纖維紡織品，地毯和服飾	吸入和皮膚接觸會刺激粘膜並影響視神經系統	具備生物可降解性
木質素（木頭）	用作填充物和橡膠，可轉換為碳纖維	生產過程中，工人可能會接觸到腐蝕性，易燃和有毒化學品	生產過程有比較高能源和水要求可堆肥
玉米蛋白	用於塑膠添加劑	引起皮膚炎，並且刺激眼睛和鼻子	具備生物可降解性
大豆蛋白	用於玩具，花園用品，食品服務工業副具包裝，覆蓋物，高爾夫球座和結構材料	引起皮膚炎，並且刺激眼睛和鼻子	具備生物可降解性

59

(參考來源：Lowell Center, 2010)

4.4-1 毒化物替代評估案例說明

四溴雙酚A (Tetrabromobisphenol A, TBBPA) 以及六溴環十二烷 (Hexabromocyclododecane, HBCD)的替代評估

- TBBPA與HBCD通常用作環氧樹脂的反應性阻燃劑，環氧樹脂的應用是TBBPA的主要用途，HBCD則是主要用於製作發泡聚苯乙烯與聚苯乙烯之保溫產品的保溫板原料

TBBPA替代品	健康或環境潛在影響
2,4,6-三溴苯酚可用於環氧電路板應用	2,4,6-三溴苯酚被認為是有毒的口服藥，但經皮膚或吸入途徑未認為有毒
紅磷（是磷的一種相對穩定的形式）	紅磷對水生生物有毒，有造成海洋生物威脅之疑慮
氫氧化鋁混和氫氧化鎂	並未發現對環境或健康造成危害性
聚酰亞胺樹脂	使用聚酰亞胺層壓板的缺點是由於水分少，導致加工時會使用大量的水
HBCD替代品	**健康或環境潛在影響**
其他溴化物產品	無研究指出簡易化學結構的溴化物會對環境或健康造成影響
聚氨酯和聚異氰脲酸酯	具有低至中度的急性毒性口服，會透過皮膚和呼吸引入
酚醛樹脂	甲醛用作製造酚醛樹脂的原料，甲醛具有高度致癌性

60

(參考來源：Lowell Center, 2006)

五、結論與建議

61

5.1 推動綠色化學原則於產業面障礙與挑戰

項目	障礙與挑戰
組織面	(1) 中央部會（環保署化學局）與地方政府（衛生局或環保局等）間之整合與職權劃分之界定不易； (2) 綠色化學產業聚落促成機制規劃未完善，導致產業界投入清潔生產之推動能量不足； (3) 綠色化學原則相關推動時程與架構之組織機構缺乏； (4) 清潔生產技術整合平臺未落實，缺乏綠色化學研究、交流、合作、教育綜合平台。
法規面	(1) 政府對綠色化學原則之推廣政策缺乏整體性； (2) 尚未完整建立可行之綠色化學評量指標； (3) 對於相關配套與誘因政策之研擬未完善； (4) 區域能資源之法規及行政分析與整合式管理系統建置未臻完備。
財務面	(1) 相關綠色技術或化學替代品成本較高，關鍵技術設備與其相關原材料進口成本過高與其專利權問題尚未解決； (2) 利益相關方間動機不一致，未能整合獎勵機制和收益； (3) 整體節能減排之效益及區域能資源整合之經濟成本效益不易分析評估；
技術面	(1) 技術本土化程度較低，未能高效利用可在國內大量生產並推廣應用的國產材料降低成本，且創新技術的利用具有風險和不確定性； (2) 有經驗的工作人員及具備專業知識和製程設計和團隊缺乏，對新技術和新材料的應用經驗不足，綠色設計的完成度較低； (3) 化學替代品之環境效益分析複雜、可用性較低； (4) 適應市場機制的環保與化學品相關產業鏈尚未完整形成，產業化水準低。
社會面	(1) 永續綠色化學與毒化物管理模式初期投資和成本較高，科技含量高、成本投入高且回報長期緩釋，開發商、消費者難見即時利益，阻礙其應用和推廣； (2) 資源利用和配置效率的最優化難以實現； (3) 大量的技術疊加未必能達到資源利用和配置效率最佳，往往成本增加同時造成綜合效益降低。

62

5.2 產業化學推動綠色化學原則建議事項

(1).毒化物的替代優先順序，建議由技術可行性進行推廣，同時應考量毒化物在國內的運作量。

(2).毒性化學物質安全替代推動須透過跨部會的整合，整合現有與推動中法規，由學術單位技術輔導，經濟部門提供財務鼓勵策略等，以增加廠商進行化學品替代的誘因等

(3).建議政府單位應建立安全替代資訊平臺，蒐集國際重要案例，建置資料庫供廠商參考，並建議採用使用者付費的原則，提高廠商提供成功案例誘因。

(4).建置平臺亦可作為產、學、研溝通管道，提供資訊鏈結，包含政府（管制策略及未來目標）、產業（提出目前的困難或自身成功的案例）、學術（技術與法規的建議，協助建立管理制度）。

(5).可參酌染料業的「藍色標章」可評估染料的危害，毒性化學品使用建議也可建立危害標章，使廠商使用或其他用戶端瞭解研發新替代品之重要性。

63

5.2 產業化學推動綠色化學原則建議事項

(6).政府推動禁用化學物質管制時，應考慮提供經濟誘因及技術輔導，可增加政策推動之可行性。

(7).以產業現況而言，雖然於小量階段成功開發替代品，但若要投入生產，常會因生產線系統複雜造成產業不願意替換，需要政府輔導推動上下游產業鏈結。

(8).針對精進毒性化學物質管理的關鍵，包含盤點各企業使用毒化物之（潛在）可替代方案或不可替代之原因，以及適時度瞭解毒化物供應商替代方案及推動困境。

(9).由於化學品應用主要跟隨市場需求，應思考替代化學品被供應鏈品牌要求時，可提升使用替代品化學之可能性。

(10).業界執行替代做法時，主要考慮技術成熟度及成本接受度，建議政府可據此訂定替代化學品執行規範及時機。

64

5.3 發展綠色化學原則產、官、學、研溝通平台

	建議事項
政府治理	• 將永續發展和綠色（循環）化學原則納入產業轉型，提倡傳統供應鏈轉變為綠色供應鏈的概念 • 建立循環度指標體系，同時考慮加工材料和中間產物之回收，並重點關注循環度不足之處，無法再利用之初級資源，社會經濟循環率與生態循環率等方面 • 建立綠色化學之基礎研究與技術開發數據資料庫，通過支付方式提供給行業參考，收入可以作為其他綠色政策的基金來源 • 政府機構應建立項目團隊相關技術授權或專利轉移之標準，以利實現政府與民營企業之間的技術共享
產業實踐	• 為了建立循環經產業鏈，化學工業應考慮使用綠色替代化學品，將廢棄物轉化成高價值之化學品，特別考量能源轉化效率與碳捕獲再利用技術等 • 化學產業經營理念應納入5R的概念，即回收、減量、再利用、循環以及再設計，以實踐傳統化學產業轉型的願景
研究發展	• 將綠色化學原則納入大學課程，以及研究機構之專責單位，從分子層面克服發展創新化學品的基本挑戰，邁向化學產品之循環經濟。 • 將綠色化學原則納入工業技術研發項目之考量準則，包含涉及石化產品（如：生物可降解塑膠）、水資源（如光伏正滲透技術）、能源、製藥和農業等業別 • 應用系統工程模型與系統評估工具進行現有系統的性能評估，同時進行創新系統的設計開發工作

65

感謝認真聆聽！！

問題與建議？

66

附錄五、教育宣導 5000 字教材二式

應用綠色化學原則研議化學物質安全替代篩選系統及教育宣導計畫-國外綠色化學指標及環保標章介紹

一、各國政府推動綠色化學之情勢

1.1 整合國外綠色化學推動策略與措施

各國對於綠色化學與循環經濟相關政策推動、管制法規以及技術研發，彙整為推動策略與推動措施，包含提升評量體系、改善教育品質、加強理念宣導以及完善政府政策等面向，例如：發展永續綠色化學管理工具（Reach 與 ZDHC），以落實有效的化學品管理體系（歐盟）、提升公民參與綠色化學理念宣導的意願，提高公民綠色意識，使公民對與綠色產品的接受度提高，願意以實際行動支持並購買綠色化學產品（荷蘭）、發展綠色化學策略聯盟，促進產官學研整合能力（瑞典）、建立化學租賃制度，發展循環經濟商業模式，落實化學品有效管理及創造共享利潤(德國）、規劃綠色化學挑戰獎，以鼓勵產業推動永續綠色化學技術（歐盟、美國、日本）、落實技職學校之綠色化學教育，以培養專業技術人才，以降低產品不良率，促進產業環境友善（中國）、建立綠色中心，將創新的設備及技術從學術研發推廣至工業界，並培養知識產權專業人才，為創新市場提供真正的產業發展機會（加拿大）、推動化學品管制措施，透過篩選化學物質的標準完善化學藥品管理制度（美國）。

各國推動綠色化學與循環經濟相關政策、法令與執行措施等發展情勢，並依照綠色化學原則將各執行措施分類防制污染及意外、保障安全及保全以及永續能源及資源，以利瞭解各國對於綠色化學與循環經濟的進展，提供我國發展綠色化學政策方向之參考依據。綜合彙整國際資訊後，可發現日本與美國對於毒性學物質的管理是最早開始立法的國家，歐洲國家則主要是依循歐盟與聯合國的腳步逐漸推動，其他國家例如中國與南韓對於實現綠色化學原則邁向循環經濟進行相關法制化作業，因此，未來除了傳統的污染及意外的防制與安全保障等，整合綠色化學原則與循環經濟的概念更能達到能源與資源的永續發展。

綜合上述，各國對於綠色化學與循環經濟相關政策推動、管制法規以及技術研發，彙整為推動策略與推動措施，並對應 SAICM 五大目標，包含提升評量體系、改善教育品質、加強理念宣導以及完善政府政策等面向，與我國各部會所推動進行比較說明，國外推動目標及措施綜合內容如表一所說明：

表一、國外綠色化學與循環經濟推動目標及措施

推動策略	推動措施
完善政策體系	➢ 發展永續綠色化學管理工具(Reach 與 ZDHC)，以落實有效的化學品管理體系。（歐盟） ➢ 整合綠色化學與綠色工程概念，發展化學品食物網可做為延伸單一化學品生產與產品應用之邊界，進而了解化學品從源頭至產品的流向。（美國） ➢ 推動化學品管制措施零排放，透過篩選化學物質的標準完善化學藥品管理制度。（美國） ➢ 提升公民參與綠色化學理念宣導的意願，提高公民綠色意

	識，使公民對與綠色產品的接受度提高，願意以實際行動支持並購買綠色化學產品。（荷蘭） ➢ 發展綠色化學策略聯盟，促進產官學研整合能力。（瑞典）
發展經濟誘因	➢ 建立化學租賃制度，發展循環經濟商業模式，落實化學品有效管理及創造共享利潤。（德國） ➢ 整合跨部門之資源與重新分配，並提供企業之優惠貸款，降低投資成本。（英國） ➢ 建立環境憑證 (environmental credentials) 制度，對於採用綠色化學技術之實施者進行認證，進而提升環境績效並增加銷售額。（英國）
提升研發技術	➢ 建立綠色化學卓越研究中心，建立產學合作平台，提供具環境友善與經濟效益及社會可接受性的綠色化學技術研發。（英國） ➢ 建立綠色中心，將創新的設備及技術從學術研發推廣至工業界，並培養知識產權專業人才，為創新市場提供真正的產業發展機會。（加拿大） ➢ 從生態方面檢視綠色化學產品對環境的改變；並且致力將科技新知散播到業界，以提高綠色化學產品的使用率。（瑞典）
落實基礎教育	➢ 規劃綠色化學挑戰獎，以鼓勵產業推動永續綠色化學技術（歐盟、美國、日本） ➢ 創立廢棄物資源循環獎勵金，以鼓勵學術界研發資源化技術，強化基礎科研能力。（英國、韓國） ➢ 落實技職學校之綠色化學教育，以培養專業技術人才，以降低產品不良率，促進產業環境友善。（中國）
強化夥伴合作	➢ 整合生技產業、生質能產業、綠色化學校園、生態工業區、以及跨國企業建立化學生態體系，推動化學品管理及創新技術開發。（荷蘭） ➢ 發展消費者責任關懷計劃，建立綜合化學安全文化，提出安全績效的承諾。（美國） ➢ 推動工業部門發展綠能政策，並提倡產業鏈以改善化學製程與提升能源效率，建立綠色化學示範園區。（德國）

1.2 建立毒性化學物質安全替代之評估流程

IC 2 Safer Alternatives Assessment 於 2011 年所提出的安全化學品替代評估準則，搜尋相關毒化物安全替代之作法，包含八項準則，首先主要對象是鎖定化學產業，設定需要被替代的目標化學品，定義何謂高關注化學品，進行危害性評估（人體健康與環境危害性等），鑑定可行的化學替代品，接著進行綜合比較分析（如社會影響、技術經濟評估與生命週期評估等），最後在確認如何推廣替代化學品符合市場需求，提出決策分析，最後完成安全替代化學品。Oguzcan 等學者也提出更安全化學替代品的評估標準，更安全的化學替代評估標準包含物理化學評估、人體健康危害評估、暴露評估、技術性能評估、環境評估、經濟/金融和社會評估以及生命週期評估；主要是為了評估受管制或高度關注之化學品是否有更安全的替代品，Oguzcan 等學者彙整了國際上所有針對化學產業中化學品之評估方法

與準則。

為了建立列管毒性化學物質安全替代作法及清單之評估流程,首先設定願景，即基於綠色化學原則、配合永續發展目標以及化學品生命週期，進行毒性化學品之安全替代評估，以促進更安全的化學品以及毒性化學品防治與替代為目標，行動方案則是參酌各國政府或具有公信力組織所建立的毒性化學安全替代品方法，進行六項步驟的評估流程：第一步驟是盤點目前國內列管的毒性化學物質清單，將其進行分類，排除已禁用之化學品與恐造成食安疑慮問題的化學品；第二步驟則是從高關注化學物質中尋找是否有潛在的應替代之化學品的名單；第三步驟是建立國內現狀分析，包含環保署已公告之替代化學品案例或工業局過去與產業界輔導之案例，適度的辦理相關產業訪談進行意見徵詢，此外，並必須同時配合國際上的配套作法、相關法規與公約、是否符合 SDGs 之 60 大產業範疇以及是否有相關退場機制；第四步驟則是將所提出的替代化學品進行綜合性評估，這部分可由環保署會同相關單位自行評估或委託辦理，同時，也可引用國際上具公信力機構所出具之替代化學品安全評估報告，例如前述所介紹的美國 UMass Lowell、美國 EPA、Green Screen 與歐盟化學局等，接著將前述相關蒐集的意見與資料進行統整，包含技術性與經濟效益的初步評估，必要時，可導入第三方查驗證機構，提升評估結果報告的品質；第五步驟則是將已選定的替代化學品進行細部評估，可委託相關產業公會或學術單位辦理，分別針對危害性、技術可行性、經濟與財務評估，以及社會影響等，最後步驟可確認該替代化學品的優先程度，並由環保署進行公告，以利於相關產業界參考。

二、國際綠色化學發展方向與獎項

2.1 國際綠色化學發展方向：美國

美國綠色化學發展可從 1960 年代 Rachel Carson 所發表的寂靜的春天一書開始啟發一系列的環保議題討論，於 1970 年成立環保署，並於 1976 年開始正式實施毒性物質管理法(Toxic Substance Control Act, TSCA)，開啟了境內毒性化學物質污染管制。1990 年美國污染防制法 (Pollution Prevention Act) 制定了降低來源端污染為最優先解決環境問題的方向，於製造過程中減少及防止廢棄物之產生以取代製造後的廢棄物管制。規範制定後，即從各方面著手製造端的污染減量，由於污染減量之關鍵在於化學反應中的分子變化，因此 1991 年美國環保署污染與毒化物管制部門設立了第一項綠色化學研究項目-替代合成路徑研究；1992 年國家科學委員會 (National Science Foundations Program) 與美國環保署共同聯手著重於開發對環境友善的製程；1993 年美國環保署正式推出美國綠色化學計畫，由柯林頓總統於 1995 年開始發起，從 1996 以來，每年皆由美國環保署頒發「美國總統綠色化學挑戰獎」 (The Presidential Green Chemistry Challenge Awards Program) ，推動美國產學界對綠色化學發展之腳步。美國總統綠色化學挑戰獎至 2012 年已舉辦 17 年，就綠色合成途徑 (Greener Synthetic Pathways) 、綠色反應條件 (Greener Reaction Conditions) 、設計綠色化學品 (Designing Greener Chemicals) 、學術獎 (Academic Award) 及小企業獎 (Small Business Award) 等五個項目進行徵選，表揚產學界推動綠色化學技術之成果。統計 17 年來獲獎的綠色化學技術共減少或消除約 8.25 億磅的危險化學品的使用量，節省約 795 億公升的水，減少 78 億磅的 CO_2 排放量，對環境保護、水資源及溫室氣體減量皆有極大的幫助；Green Chemistry Institute 是於 1997 年由工業、政府、學術單位共同計劃成立的非營利組織，致力於提倡並

發展綠色化學，而後於 2001 年加入 American Chemical Society (ACS) ，成為 ACS 的一部分，被稱為 ACS Green Chemistry Institute (ACS GCI) ，並由美國政府、工業及學術部門之人員共同組成理事會，共同管理並推廣綠色化學。ACS GCI 致力於綠色化學產品及製程的設計研發，以減少生產及使用有害物質，並促進全世界的化學產品生產公司能使用綠色化學及工程的相關技術及方法。於設計研發方面，ACS GCI 積極的進行科學研究及並往永續的方向追求創新；於推廣綠色化學方面則是藉由教育學程及產業圓桌論壇 (Industrial Roundtable) ，來分別與學術界及企業溝通，來促使工業朝綠色化學方向發展，並培育下一代綠色化學人才。

2.2 國際綠色化學發展方向：歐洲

英國綠色化學主要是由環境、食品與農村事務部(Department for environment, food & rural affairs, DEFRA)為主管機關，主要是為了減少對環境的影響，包含(1)減少排放量(2)改善廢物管理(3)減少用水量(4)購買綠色產品及服務(5)政府各項施政公開和透明。英國政府對於採用綠色化學技術之實施者提供環境憑證 (environmental credentials) ，進而提升環境績效並增加銷售額。藉由綠色化學等方法改良業務的環境績效時，可以利用環境憑證作為環境友善之宣告。英國政府也依循歐盟引用 REACH 規定以促使製造商考慮用替代材料代替有害物質。DEFRA 於 2016 年起推動整合環境與農業部門，有效地重新利用資源，並發展生質燃料減少二氧化碳排放，促進綠色化學原則建立循環經濟體系，預估有助於企業節省高達 230 億英鎊。

英國政府針對綠色化學基礎研究也設立了不少研究中心，例如：全球綠色化學中心 (Genetics/Genomics Competency Center, G2C2) ，目標是促進綠色化學領域專家的合作和知識共用，推動全球教育、公共宣傳與 21 世紀永續發展的決策。該中心並頒獎給在綠色化學領域有優良研究學者；針對與產業面連結方面，約克大學 (University of York) 建立綠色化學卓越研究中心，為產學合作平臺，提供具環境友善與經濟效益及社會可接受性的綠色化學技術研發可作為綠色化學教育宣導、技術研發與產業合作之聯絡網，推動政府、企業界與學術界之綠色化學教育，培訓和實踐。主要發展技術包含：再生能源和生物煉製、綠色產品設計-在整個產品生命週期中應用綠色化學原理、清潔生產技術等。

瑞典針對綠色化學推動之主掌機關為化學品管理局，大部分立法責任都在歐盟範圍內進行管理。該法律涵蓋化學產品，農藥和貨物。除了 REACH 外還有包含化學產品的分類，標籤和包裝規定，分類-利用確立的標準來判斷某種物質或混合物為健康危害、環境危害、物理危害標籤及安全數據表，銷售化學產品需告知相關危險及如何保護自己還有環境包裝和儲存-包裝的設計有規定，確保包裝符合規定並妥善保管。近年來瑞典政府宣佈「2030 年永續化學」 (Sustainable Chemistry 2030) ，並投資相關化學產業包含四個重點領域：可再生資源引入系統、生產可再生化學品和材料產品、生產可再生汽車燃料資源和能源效率。

德國聯邦環境局於 1999 年推動永續化學政策，其目標包含：(1)不管毒性如何，不使持久性或是生物累積性的外來物質進入環境；(2)不使致癌，致突變性或是生殖毒性的物質進入到環境；(3)人為活動不得釋放上述物質到環境減低其他毒性或是環境毒性的物質使用到技術可行的範圍，減少使用未知環境影響的物質除非是直接來自自然的資源。聯邦環境局的化學租約要求進入供應鏈的化學物都必須瞭解它對環境及人體的影響，如此一來製造商就必須要對自己的產品負責；這個規

定也同樣適用於化學物的組成，必須要對人體和環境都是安全的。另一方面，德國政府亦呼應聯合國的響應推行了化學品租賃制度 (Chemical Leasing) ，此制度是一種以服務為導向的商業模式，可延伸生產者與客製化服務的責任，包括化學品整個生命週期的管理。傳統上，供應商為了增加銷售量而買方則想要減少化學品用量。透過化學品租賃制度，生產者銷售的化學品以功能導向為主，藉由和生產者簽訂長期客製化服務合約，使化學品更有效地使用提升經濟效益，同時降低化學品對環境及人體健康的風險。

三、綠色化學原則指標評估系統

3.1 綠色化學原則指標 (GCM 評估方法)

綠色化學十二原則概述了用於識別綠色化學或製程的架構，涵蓋了整個產品生命週期中的健康危害、生態風險和資源效率方面。Kreuder 等人介紹有關建立綠色化學指標（Green Chemistry Metrics, GCM）的方法，該方法採用較容易獲得的數據。GCM 可以按照評估的度量標準對化學品或製程進行排名：（1）12 項綠色化學原則的每一項得分，（2）新型和改進的化學品/製程間的三類排名（改善的資源利用、提高的能源效率和減少對人類和環境的危害），以及（3）彙總比較排名。GCM 方法的獨特之處在於足夠健全和靈活度可以涵蓋多種產品組合，可以根據公認之行業慣例及使用現有數據進行評估，並且就化學可持續性的選擇具有參考價值。

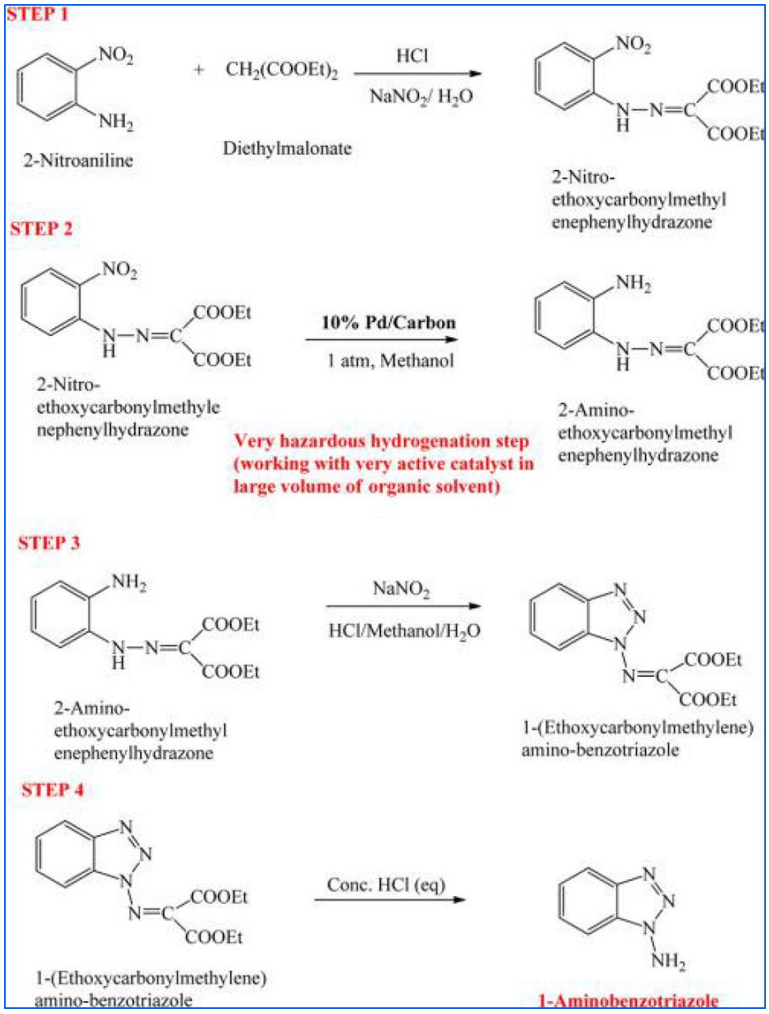
GCM 方法結合了特定原則的算法(principle-specific algorithms, P-GCM)，用以比較和排序所考慮的化學和製程替代品。該方法使用從多種來源（包括 GHS）獲得的化學特有數據，計算 12 項原則（PS 1-12）中的每一種原則得分（principle score, PS）。PS 指標是進行比較和排名的關鍵，有助於 GCM 方法的使用彈性。特定原則的分數（例如 PS-1）可用於評估各個 GC 原理下的替代性能。換句話說，可以比較替代方案在各個原則項目的 PS 值。由於特定化學物質的 PS 是基於不同的終點及不同的測量範圍，通過單個 PS 的直接求和計算出的總得分可能會與其他項目不成比例。因此，制定排序的策略是為了避免單個 PS 值將數據轉換為通用度量的不確定性和爭議性。

3.2 GCM 評估指標案例分析

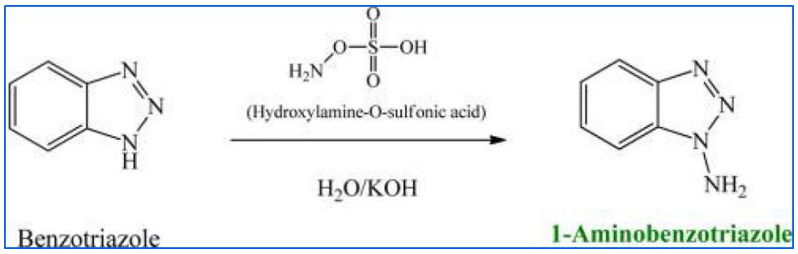
Millipore Sigma 公司在案例研究中試用 GCM 評估方法，發現 GCM 提供了對 12 種原理中的每種化學產品和製程技術進行評估和評分的能力，並且達到了上述關鍵設計目標。本案例研究比較了兩種替代方法—原始方法和重新設計方法—合成 1-氨基苯並三唑 (1-aminobenzotriazole) ，以使用 GCM 方法評估綠色替代方案，合成 1-氨基苯並三唑的原始方法包括以下四個步驟如圖七所示，第二步包括在大氣壓下使用 10％鈀/碳的甲醇溶液（20 L 燒瓶）進行具有危害性的氫化步驟。最終產物需要通過填充數公斤的矽膠柱及數十公升的有機溶劑進行純化。重新設計的過程解決了這個問題，因為它不需要經過管柱純化。圖八所示為合成 1-氨基苯並三唑的新方法是的一步法。在鹼性水溶液中苯並三唑與胺磺酸鹽的親核反應得到 1-氨基苯並三唑。通過萃取、洗滌和重結晶純化為最終產物。

重新設計的過程的一些改進包括：在過程中消除了使用 10％鈀/碳的甲醇溶液（20 L 燒瓶）在大氣壓下進行的具危險性氫化過程，減少了 40％的有機溶劑，減少了約 6 L 濃縮鹽酸和 150 g 的 10％鈀/碳催化劑廢料處理，減少了 6 kg 的助劑（例如，乙酸鈉/碳酸鈉/硫酸鹽），減少了 22 天（約 73％）的處理時間，產率提高了

約 60%。



圖一、原始 1-氨基苯並三唑的化學合成途徑



圖二、改良後 1-氨基苯並三唑之的化學合成途徑

四、紐西蘭環保標章 ECNZ 介紹

4.1 ECNZ 環保標章的內涵

「Environmental Choice New Zealand (ECNZ)」是由紐西蘭官方授權給符合規範的廠商使用的環保標章。紐西蘭政府在 Environmental Choice 架構下推動的 Ecolabel (生態標章) 不僅提供綠色家庭或企業作為環境友善產品認證,同時也是該產品環境績效的證明。紐西蘭的 Environmental Choice 計劃自 1992 年開始推動，該計畫之運作獨立於政府之外，授權第三方團體負責標章審核及使用授權，但該產品標章則屬於政府擁有並認可的標誌，具有官方認證的地位。產品符合標章使用要求並獲須紐西蘭 Environmental Choice 標章，代表該產品和服務符合環境永

續性的精神，可做為產品符合永續精神價值的指標，並可協助政府、企業和消費者做出更好的購買決定。紐西蘭 Environmental Choice 標章由環境部擁有並認可，同時也是全球 Global Ecolabelling Network 的成員，Environmental Choice 標章是紐西蘭唯一的第一類生態標章。

4.2 ECNZ 中有關化學品使用的環境規範

多數 ECNZ 的產品規格都包括對添加到產品中或在產品生產製造過程中添加不同化學品的規範，例如介面活性劑、木材處理劑、粘合劑、漂白劑或染料等。關於化學品使用的規範可協助化學品供應商獲得不同化學品的 ECNZ 許可，同時簡化使用這些化學品為原料或添加劑的最終產品製造廠商尋找符合 ECNZ 規格之成分或製程添加化學品的過程。

或者，如果化學品製造商不希望根據本化學品規範取得自己的 ECNZ 許可以便使用於符合 ECNZ 許可的產品，化學品供應商可以將相關的化學品資訊直接提供給最終產品製造商，以作為最終產品申請 ECNZ 許可評估的一部分或監督評估之用。對 ECNZ 許可產品中有關各種化學品成分濃度的限制或具有相同危害類別的不同化學品成分的總量，仍與這些最終產品申請 ECNZ 許可的最終產品製造商相關，例如油漆、清潔劑或家具的產品，其各項化學品使用仍必須符合 NZEC 規範方能獲得各最終產品的 ECNZ 標章。這些化學品限值在適用的每個 ECNZ 產品規範中都有規定。

為了減少對環境生態和人體健康的潛在影響，產品中化學品的使用應該滿足無毒、對環境無害、易生物降解、且降解產物不應對人類健康或環境生態構成不可接受的風險。在 Ecolabel 生態標章之規範中廣泛使用了以危險性較低的物質取代危險性較高物質的原則，以降低化學品對環境生態及人體健康之威脅，ECNZ 標章對於化學品使用的要求，主要根據不同化學品的危險性類別限制了不同化學品的使用。這是歐洲有關化學品使用的討論文件“產品中永續化學品使用的道路：歐洲生態標籤之路 (The Path to Sustainable Use of Chemicals in Products: The European Ecolabel as a Signpost) 中提出的概念，ECNZ 的相關規範也廣泛採用了這種概念。受到管制的危害物質類別包括致癌物、致突變劑、對生殖有害的化學物質、過敏原和致敏劑、具生態毒性和生物累積性物質。

五、參考文獻

1. Anastas, P. T.; Heine, L. G.; Williamson, T. C. Green Chemical Syntheses and Processes: Introduction. In Green Chemical Syntheses and Processes; Anastas, P. T., Heine, L. G., Williamson, T. C., Eds.; American Chemical Society: Washington, DC, 2000; Chapter 1.
2. UNIDO, 2016. Global promotion and implementation of chemical leasing business models in industry. United Nations.
3. Environmental Choice New Zealand, https://www.environmentalchoice.org.nz/.
4. Kreuder, et. al., 2017. A Method for Assessing Greener Alternatives between Chemical Products Following the 12 Principles of Green Chemistry. ACS Sustainable Chemistry & Engineering 5, 2927-2935
5. 行政院環境保護署毒物及化學物質局，2018，永續綠色化學與循環經濟之政策研析
6. 行政院環境保護署毒物及化學物質局，2019，綠色化學應用於毒性化學物質

源頭管理及溝通

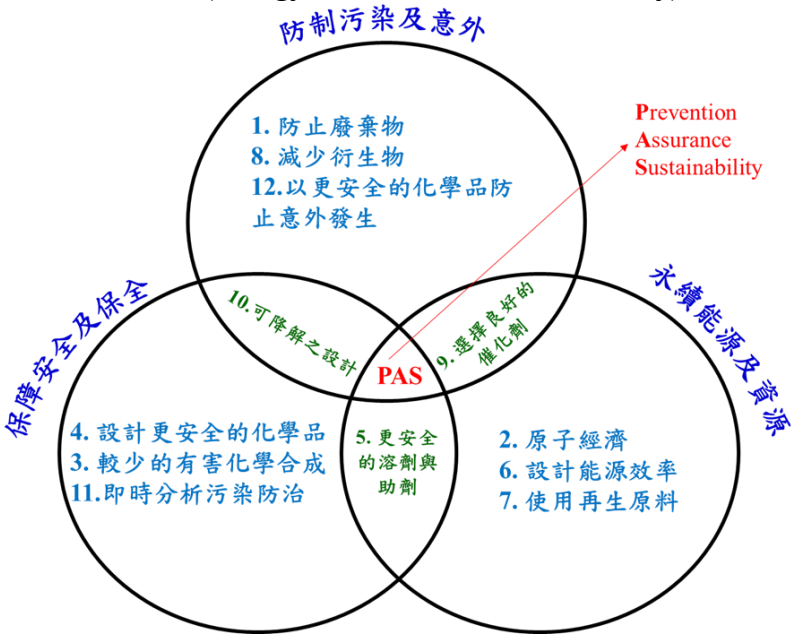
應用綠色化學原則研議化學物質安全替代篩選系統及教育宣導計畫-毒性化學物質安全替代之評估流程

一、各國政府推動毒化物管理與綠色化學之情勢

1.1 綠色化學與 PAS 原則

綠色化學旨在於生命週期中減少或消除有害物質的使用與生成的化學產品，包含設計，製造與使用壽命。基於常規化學和工程基礎上，發展永續化學產品與技術，以符合 12 項基本原則。遵守這些原則可以防止污染和浪費，從而以更低的危險性與更有效的方式合成化學品，促進可再生原料的使用，並發展更安全的化學品的設計，前述原則皆與毒性化學物質管理息息相關，因此，綠色化學是解決企業與個人對更安全之化學品替代的解決方案。為了簡化綠色化學原則並重新歸納，針對綠色化學 12 項原則進行分類，防制 (Prevention) －保障 (Assurance) －永續 (Sustainability) 三面項策略，稱為 P-A-S 策略。

- 防制污染及意外 (Pollution and Accident Prevention)
- 保障安全及保全 (Safety and Security Assurance)
- 永續能源及資源 (Energy and Resource Sustainability)。



圖一、綠色化學 12 項原則與 PAS 之關聯性

1.2 美國與加拿大毒性化學物質管理制度

美國毒化物管理法 (Toxic Substance Control Act, TSCA)規定化學物質必須經過優先化(prioritization)、風險評估(risk evaluation)及風險管理(risk management)等三步驟，以確保既有化學物質安全性；透過篩選化學物質的標準完善化學藥品管理制度（例如：危害性、暴露性、持久性、生物蓄積性、毒性、致癌性）；為了找出優先潛在毒化物，根據 TSCA 規定標準篩選化學品，檢討有關的合理可用資料，其篩選規定包含：化學物質的危害和暴露可能性、持久性和生物積累、可能

暴露或易感染性、儲存地點是否為在重要的飲用水源附近、使用條件或使用條件的重大變化、化學物質可反應性製造或加工過程可靠性；加拿大政府也頒佈了毒性物質管理法 (Toxic Substances Management Policy) ，致力於從環境中徹底消除由此產生的有毒物質，主要包含具有持久性和生物累積性 (Track 1 物質)，以及從生命週期角度管理其他有毒物質和有關物質，以防止其釋放到環境中 (Track 2 物質)；德國化學物質相關法規主要受歐盟法制之影響，基於化學物質資訊之蒐集及分析，要求化學物質之登錄、評估、授權、分級、標示及包裝，德國之化學物質法制依其規範對象，可分為廣義及狹義二者。廣義係指法規所規範的是於工業製程中釋放至環境之化學物質，狹義則並不涉及特定環境媒介之保護，主要係普遍地規範具危險性化學物質之運用。

1.3 歐盟毒性化學物質管理制度

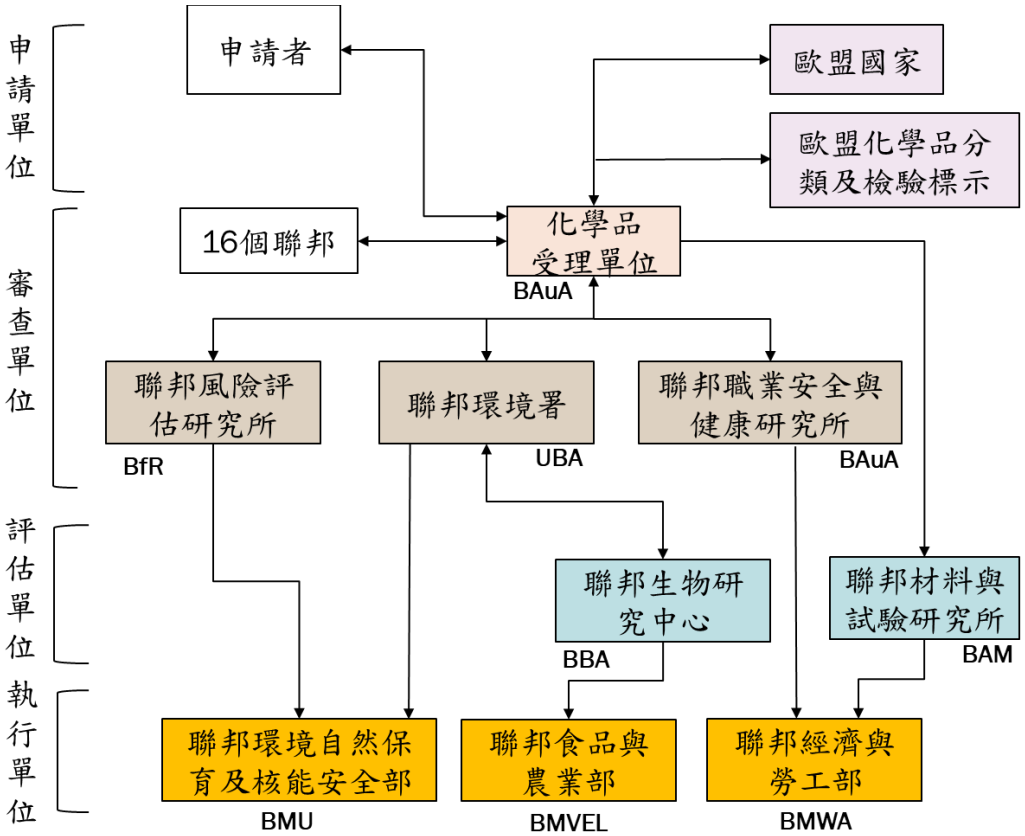
歐盟於 2007 年實施新化學品政策，化學品註冊、評估、許可和限制 (Registration, Evaluation and Authorization and Restriction of Chemicals, REACH) ，鼓勵以較不危險的化學物質取代現有危險化學物質並提供研發安全化學物質的誘因以及整合生態、經濟與社會等方面的發展，達成永續發展的目標。此全面性改革之歐盟化學品管制系統之架構及流程系統，預告了歐盟新化學品政策正式執行的開始，也宣告歐盟境內或是輸歐的廠商，都必須重新開始省思化學品對人類和生態環境的影響，以及企業應擔負的責任。

圖二、歐盟 REACH 評估體系

1.4 德國毒性化學物質管理

德國毒性化學物質之立法是根據環境保護觀念，包括管制使用有害性環境化學品為目的。於危害性化學物質立法，透過整合所有相關單位，包含風險評估、環境署、職業安全與健康、經濟與勞工、食品與農業部等等，詳細記錄每一反應條件，要求申請者提出之暴露情境、暴露評估及風險特性資料，包含所有涉及的環境媒介等，以確認物質危險性與危害性，並建立資料庫作為風險評估程序之環境化學物質毒理特性依據。

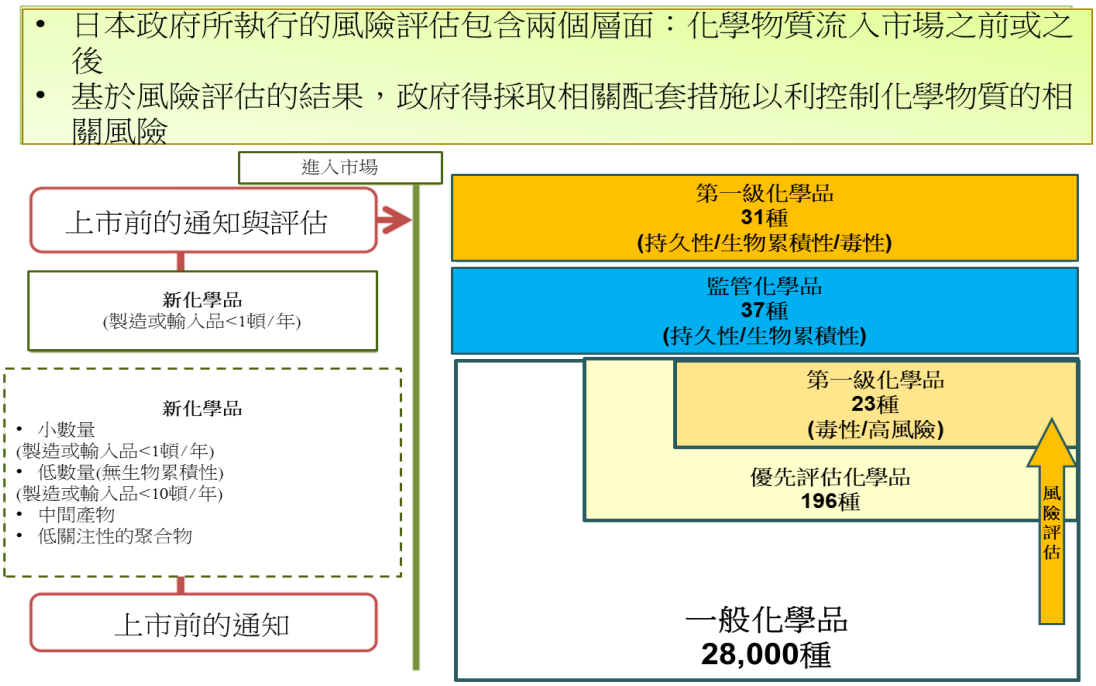
德國化學物質相關法規主要受歐盟法制之影響，基於化學物質資訊之蒐集及分析，要求化學物質之登錄、評估、授權、分級、標示及包裝，主要強調化學物質資訊之管理，運用化學物質於特定產品，或釋放化學物質於環境等行為進行管制；申報對象包含新化學物質及既有化學物質，製造商或進口商均有義務向德國化學總署辦理註冊，聯邦環境署負責管理資料庫，一旦某化學物質未經過註冊，就不能生產或進入德國市場；規範範圍對象則包括洗衣及清潔用品、食品及商品、廢水法、洩漏控制、水體保護、土壤保護、野生動物、化學武器、危險商品運輸、麻醉藥品、以及精神藥物等；申報流程由聯邦職業安全與健康研究所負責擔任受理單位，在評估後文件完整性以及初步評估後，由聯邦風險評估研究所、聯邦環境署、農業及森林之聯邦生物研究中心與聯邦材料研究及測試研究所專家進行該化學物質之整體性的評估作業，核可之後會發放通知。



圖三、德國聯邦毒性化學物質管理體系

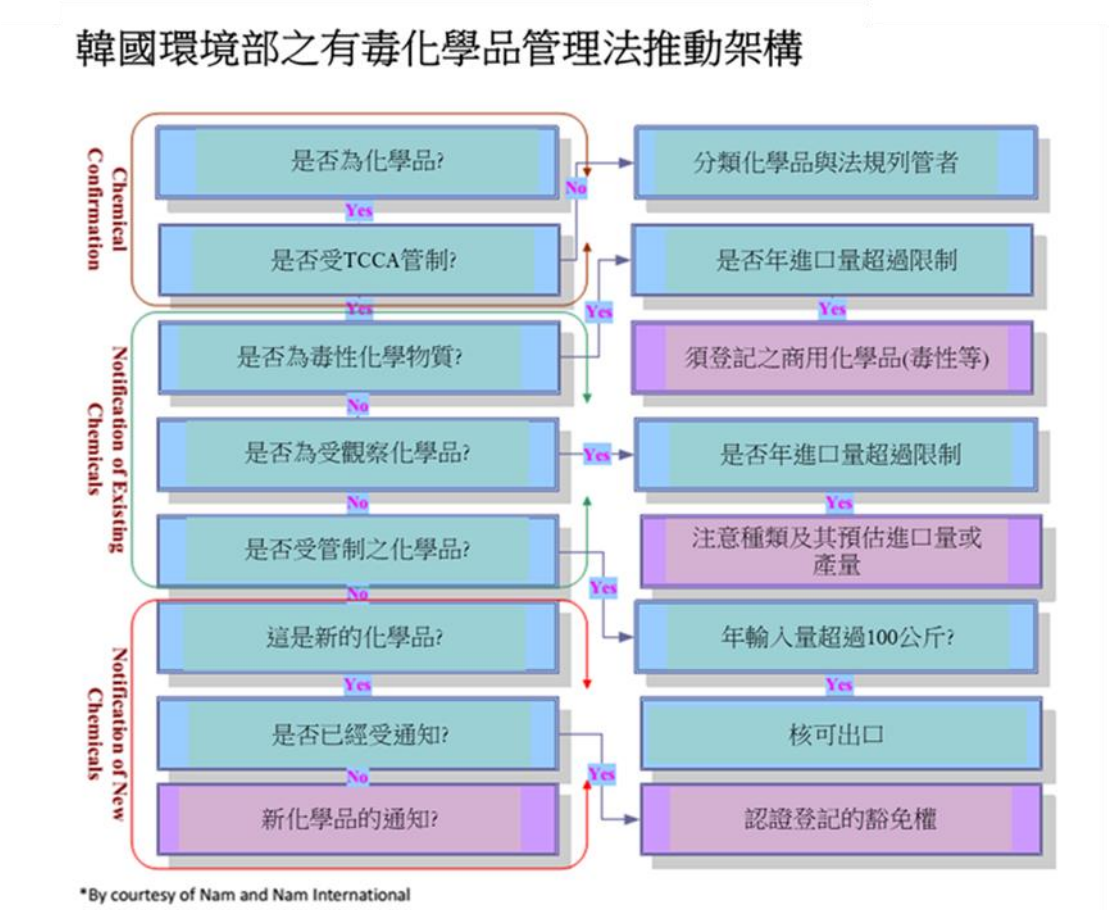
1.5 日本與韓國毒性化學物質管理

日本經濟產業省 (Ministry of Economy, Trade and Industry, METI) 所制定的化學物質審查規制法 (Chemical Substances Control Law, CSCL)，於 2011 年 4 月 1 日起，要求境內的製造商與進口商，進行所謂的年度通報作業，若無依法進行通報，則將會面臨可能無法順利製造或進口。CSCL 的主管機關包含日本經濟產業省、勞動省以及環境部，分別對既有化學品與新化學品進行毒性化學物質管理。對於新的化學品，日本的生產商或進口商應遵守相關法規要求，適用通報之物質依據 CSCL 之規定，須進行通報物質的種類為一般化學物質 (General Substances) 或優先評估化學物質 (Priority Assessment Chemical Substances, PACSs) 。



圖四、日本環境省之化學物質審查規制法推動架構

南韓有毒化學品管理法 (Toxic Chemicals Control Act, TCCA) 於 1991 年針對在韓國對工業化學品進行全面管理和控制，由環境部為主管機關，國家環境研究所負責根據該法案通知新的化學品，教育部韓國化學品管理協會負責接受詳細化學品申報和申請確認書。韓國環境部 (Ministry of Environment, MOE) 公告韓國化學物質註冊與評估法 (Act on the Registration and Evaluation of Chemical Substances, ARECs) 或 化學品控制法 (Chemicals Control Act, CCA)，亦通稱之 K-REACH，於 2018 年 3 月 20 日正式通過修法程式，將於 2019 年 1 月 1 日正式實施。整體架構如圖五所說明，分別先鑑定化學品分別是否受 TCCA 管制、是否為毒性化學物質、是否為受關注或受管制之化學品、是否會新化學品等等的鑑定程序，進一步於 TCCA 的架構下進行管制。



圖五、韓國環境部之有毒化學品管理法推動架構

二、毒性化學物質替代篩選評估工具

2.1 綠色篩選指標 (GreenScreen)

GreenScreen® for Safer Chemicals 是一種化學危害評估方法，旨在識別高度關注的化學品和更安全的替代品，通過根據國際、國家和州政府機構，政府間機構和非政府組織召集的權威科學機構制定的 40 多種危害清單中的訊息對化學品進行評分。清潔生產行動 (Clean Production Action) 還開發了名為 GreenScreen List Translator™的 GreenScreen 縮寫版本方法，該方法提供了“列表清單”方法，可快速識別高度關注的化學品。GreenScreen® 是基於 12 項綠色化學原理和美國環保署的環境化設計 (Design for Environment, DfE) 替代評估方法的基礎上，該方法將有關化學品固有特性的可用數據 - 包括人類健康影響，環境宿命和毒性以及安全性 - 整合到危害終點表(hazard endpoints)，並分別列為高、中或低。 藉此，危害評估進一步合併為一個基準，為比較化學品提供了一種簡便的方法。所有產品之化學品均可適用 GreenScreen® for Safer Chemicals 規範進行化學品之評估審核。GreenScreen 危害性評估 (GreenScreen Hazard Assessment)（如之生物累積性評估）針對 18 個人類健康與環境終點中的每一個的危害等級進行分類，危險等級範圍從極高 (Very High) 到極低 (Very Low)GreenScreen 危害性評估可適用用於評估單一化學品或更複雜的混合物和聚合物材料。

圖六、綠色篩選指標 (GreenScreen)評估流程

標竿值評分是通過分析 GreenScreen 中包含的 18 個危害終點評估指標之間組合性進行鑑定，為了反應各國政府在國內和國際上建立的危害問題，以第 1 類標竿值「高度關注化學品」判定是否為綠色化學品之重要參考依據；總結表提供相關危害的具體量化訊息，將有助於應用綠色化學原則進行產品設計和開發，化學和材料採購，風險管理，工作場所安全等方面提供廠商進行更好的決策。

2.2 USEPA 綠色化學安全替代評估做法

美國環保署 (US EPA) 發起了 環境化設計 (DfE) 進行化學品替代性評估 (Chemical Alternatives Assessment, CAA)，希望能將工業所使用的化學品進行全面性的評估。 US EPA 成立了化學安全與污染防治辦公室 Office of Chemical Safety and Pollution Prevention ，專門執行化學品替代性評估 (CAA)：評估化學品在產品生命週期相關階段造成的危害，為知情決策奠定基礎。CAA 的評估結果為工業和其他利害相關者提供了他們需要選擇更安全的化學品。

其推動動作法與策略包含：建立毒化物安全替代品之篩選機制，整合化學品數據平台與量化風險特性，包括人體健康效果，環境歸宿和毒性，以及安全性危險終點各自排名為高、中或低。建立綠色化學品篩選流程，企業可以對化學品建立化學管理體系，定期檢討與更新相關關鍵績效指標，有助於企業做出更明智的決策，降低業務風險並促進創新開發。推動綠色化學品產業達到永續發展目標，著力於永續發展解決方案的戰略規劃和創新，推廣可激勵消費者選擇永續發展事業的產品和服務，將行業轉變為支持全球目標的永續發展方向，創造更多的商業機會。並儘量減少化學意外之綜合風險評估資訊。

三、建立毒性化學物質安全替代之評估流程及案例分析

2.1 化學安全品替代評估原則

Oguzcan 等學者也提出更安全化學替代品的評估標準，更安全的化學替代評估標準包含物理化學評估、人體健康危害評估、暴露評估、技術性能評估、環境評估、經濟/金融和社會評估以及生命週期評估，如下表所示：

更安全的化學替代	定義

品評估標準	
物理化學評估	任何使用化學品的物理化學性質評估物理化學危害（例如爆炸性和腐蝕性)和/或進一步預測後續評估中使用的化學品性質的評估。
人體健康危害評估	評估化學品對人體的內在危害，而不是物理化學危害
暴露評估	用作任何評估的手段，包括暴露模型或僅使用物理化學特性評估暴露潛力，而無需對任何保護區域進行任何建模
技術性能評估	檢查備選方案對所需功能的技術性能
環境評估	考慮到化學品對環境的內在危害，如生態毒性危害
經濟/金融和社會評估	分別評估替代的經濟/財務和社會方面,並可能包括生命週期思維
生命週期評估	評估替代品和關注化學品對環境和人類的生命週期影響

2.2 毒化物替代評估案例說明

MacMillan 等人評估幾種作為 CH_2Cl_2 和 DMF 的替代溶劑,可使用常見酰胺偶聯劑或試劑組合的四種基準酰胺鍵形成反應的介質進行化學反應性的評估。

使用”(2-肟基-氰基乙酸乙酯)-N,N-二甲基-嗎啉基脲六氟磷酸酯” (COMU)作為優選的偶聯劑(coupling reagent)，替代化學品為：碳酸二甲酯 (dimethylcarbonate, DMC)，乙酸乙酯 (ethyl acetate, EtOAc) 與 2-甲基四氫呋喃 (2-methyltetrahydrofuran, 2-MeTHF)，分別進行芳基化(aryl)、烷基化(alkyl acids)與胺化(amines) ，可與 CH_2Cl_2 和 DMF 具有相同的產物轉化率，但對於環境較不會有危害性。目前 DMF 被認為是適合肽合成反應的唯一溶劑；Jad 等人證明四氫呋喃(tetrahydrofuran, THF)和乙晴(acetonitrile, ACN) 是比 DMF 更友好的溶劑，並產生比 DMF 更高純度的產物。

在溶劑應用方面，環己烷 (Cyclohexane)是一個非常好的代替品，它是一種非極性溶劑，可溶於非極性物質，如乙醇，乙醚，丙酮，苯和石油醚。 它是通過苯與氫反應製造的。 它是生產己二酸和己內醯胺的主要原料。 環己烷還用於電鍍，橡膠製造和清漆溶劑的生產。庚烷(Heptane)也是一種非極性溶劑，可以有效替代苯。可用於油漆和塗料以及作為橡膠 - 水泥溶劑。 特性與己烷相似，但不會出現與己烷有關的環境和健康問題。 在電鍍，液相色譜，印刷和柔性版印刷中用作溶劑。還有許多其他非極性溶劑可用作苯的替代品：戊烷(Pentane)，環戊烷(cyclopentane)，1,4-二噁烷(1,4-dioxane)；戊烷相對便宜並且通常在實驗室中用作易於蒸發的溶劑。 環戊烷用於合成樹脂和橡膠粘合劑的製造。

2.3 產業化學推動綠色化學原則建議事項

- 毒化物的替代優先順序，建議由技術可行性進行推廣，同時應考量毒化物在國內的運作量。
- 毒性化學物質安全替代推動須透過跨部會的整合，整合現有與推動中法規，由學術單位技術輔導，經濟部門提供財務鼓勵策略等，以增加廠商進行化學品替代的誘因等
- 建議政府單位應建立安全替代資訊平臺，蒐集國際重要案例，建置資料庫供廠商參考，並建議採用使用者付費的原則，提高廠商提供成功案例誘因。
- 建置平臺亦可作為產、學、研溝通管道，提供資訊鏈結，包含政府（管制策略及未來目標）、產業（提出目前的困難或自身成功的案例）、學術（技術與法規的建議，協助建立管理制度）。
- 可參酌染料業的「藍色標章」可評估染料的危害，毒性化學品使用建議也可建立危害標章，使廠商使用或其他用戶端瞭解研發新替代品之重要性。
- 政府推動禁用化學物質管制時，應考慮提供經濟誘因及技術輔導，可增加政策推動之可行性。
- 以產業現況而言，雖然於小量階段成功開發替代品，但若要投入生產，常會因生產線系統複雜造成產業不願意替換，需要政府輔導推動上下游產業鏈結。
- 針對精進毒性化學物質管理的關鍵，包含盤點各企業使用毒化物之（潛在）可替代方案或不可替代之原因，以及適時度瞭解毒化物供應商替代方案及推動困境。
- 由於化學品應用主要跟隨市場需求，應思考替代化學品被供應鏈品牌要求時，可提升使用替代品化學之可能性。
- 業界執行替代做法時，主要考慮技術成熟度及成本接受度，建議政府可據此訂定替代化學品執行規範及時機。

三、參考文獻

1. Anastas, P. T.; Heine, L. G.; Williamson, T. C. Green Chemical Syntheses and Processes: Introduction. In Green Chemical Syntheses and Processes; Anastas, P. T., Heine, L. G., Williamson, T. C., Eds.; American Chemical Society: Washington, DC, 2000; Chapter 1.
2. Oguzcan, S., Kruopiene, J., & Dvarioniene, J. (2016). Approaches to chemical alternatives assessment (CAA) for the substitution of hazardous substances in small- and medium-sized enterprises (SMEs). Clean Technologies and Environmental Policy, 19(2), 361-378.
3. IC2 Safer Alternatives Assessment, 2011
4. 行政院環境保護署毒物及化學物質局，2018，永續綠色化學與循環經濟之政策研析
5. 行政院環境保護署毒物及化學物質局，2019，綠色化學應用於毒性化學物質源頭管理及溝通

附錄六、各場次教育宣導會議簽到單

109 年 09 月 01 日第一場教育宣導會議

應用綠色化學源頭管理策略推廣安全替代系統研習會議

簽到表 主講人

姓名	單位	職稱	簽到
蔣本基	臺灣大學環工所	特聘教授	蔣本基
王根樹	臺灣大學環職所	教授	王根樹
蕭寶桂	行政院環境保護署毒物及化學物質局	特約高級環境技術師	蕭寶桂

應用綠色化學源頭管理策略推廣安全替代系統研習會議

簽到表 與會人員

姓名	單位	職稱	簽到
余建中	精湛檢驗科技股份有限公司	總經理	余建中
陳育錚	精湛檢驗科技股份有限公司	檢驗室主任	陳育錚
陳政佑	台塑企業總管理處安衛環中心	工程師	陳政佑
方嘉靖	台塑企業總管理處安衛環中心	工程師	方嘉靖
許正平	慧群環境科技股份有限公司	顧問/主任技師	許正平
許景翔	優勝奈米科技有限公司	總經理	
何享穎	優勝奈米科技有限公司	副理	
胡家豪	優勝奈米科技有限公司	課長	胡家豪
彭依偉	長春集團	高級工程師	彭依偉
何[illegible]	嘉德技術	董事長	何[illegible]
蘇[illegible]敏	高利科技	業務顧問	蘇[illegible]敏
陳國[illegible]	〃	業務技術	陳國[illegible]
樓仲軒	〃	〃	樓仲軒

應用綠色化學源頭管理策略推廣安全替代系統研習會議

簽到表 與會人員

姓名	單位	職稱	簽到
白智維	臺灣大學環職所	博士候選人	白智維
梁幃杰	臺灣大學環職所	研究助理	梁幃杰
吳宛玲	臺灣大學環職所	研究生	吳宛玲
洪郁欣	臺灣大學環職所	研究生	洪郁欣
吳柏璋	水科技與低碳永續創新研發中心	博士生	吳柏璋
蔡少瑋	〃	〃	蔡少瑋
陳明儀	慶齡工業研究中心	助理	陳明儀

應用綠色化學源頭管理策略推廣安全替代系統研習會議

簽到表 工作人員

姓名	單位	職稱	簽到
曾渤之	臺灣大學環工所	博士候選人	曾渤之
洪振耀	臺灣大學環工所	研究生	洪振耀
章家語	臺灣大學環工所	研究生	章家語

109 年 10 月 23 日第二場教育宣導會議

應用綠色化學源頭管理策略推廣安全替代系統研習會議

簽到表（主講人/評論人）

單位	姓名	職稱	簽到
臺灣大學環工所	蔣本基	特聘教授	蔣本基
臺灣大學環職所	王根樹	教授	王根樹
逢甲大學綠能中心	林秋裕	主任	林秋裕
台灣化學產業協會	曾繁銘	秘書長	曾繁銘
臺灣大學環工所	林逸彬	教授	林逸彬
國立雲林科技大學	謝祝欽	教授	謝祝欽
行政院環境毒化局	蕭寶桂	特約高級環境技術師	蕭寶桂
四維創新	陳怡瑋	協理	陳怡瑋

應用綠色化學源頭管理策略推廣安全替代系統研習會議

簽到表（與會人員）

單位	姓名	職稱	簽到
鐘詳科技有限公司	黃滿美	總經理	
源大環能股份有限公司	林祐慶	工程師	[illegible]
源大環能股份有限公司	江彥雄	工程師	[illegible]
量子工程顧問股份有限公司	黃聖涵	研發	黃聖涵
量子工程顧問股份有限公司	林政勳	業務	林政勳
工業技術研究院	何敏碩	研究員	何敏碩
工業技術研究院	黃馨儀	研究員	黃馨儀
中區環境事故專業技術小組	陳廷侑	隊員	陳廷侑
逢甲大學環科系	林琦媞	學生	林琦媞

應用綠色化學源頭管理策略推廣安全替代系統研習會議

簽到表（與會人員）

單位	姓名	職稱	簽到
逢甲大學環科系	陳志成	教授	
逢甲大學環科系 永續奈米科技研究室	林俊德	副教授	林俊德
逢甲大學環科系 永續奈米科技研究室	王杏瑜	研究助理	王杏瑜
遠東科技大學	官振豐	教授	
國立屏東科技大學 木材科學與設計系	林曉洪	教授	
中州科技大學	張佑安	副教授	張佑安
國立暨南大學應化系	郭明裕	教授兼主任	
逢甲大學環科系	張家銘	博士生	張家銘
逢甲大學環科系	吳俊杰	學生	吳俊杰
逢甲大學環科系	洪嘉蓮	學生	洪嘉蓮
逢甲大學環科系	楊欣儒	學生	楊欣儒
逢甲大學環科系	林家蓁	學生	林家蓁
逢甲大學環科系	張芸瑄	學生	張芸瑄
~~逢甲大學環科系~~ 雲科	楊珮珊	學生	楊珮珊
逢甲大學環科系	柯宏諺	學生	柯宏諺
國立雲林科技大學	黃文綺	學生	黃文綺

應用綠色化學源頭管理策略推廣安全替代系統研習會議

簽到表　工作人員

單位	姓名	職稱	簽到
臺灣大學環工所	曾渤之	博士生	曾渤之
臺灣大學環工所	陳則綸	博士生	陳則綸
臺灣大學環工所	洪振耀	研究生	
臺灣大學環工所	章家語	研究生	
逢甲大學環科系	許育婷	研究生	許育婷
逢甲大學環科系	林奇鋒	研究生	林奇鋒
環科系	莊以理	研究生	
環科系	李俊政	研究生	
環科系	周裕凱	研究生	周裕凱
環科系	吳庭瑋	研究生	吳庭瑋
環科系	陳彥璋	研究生	陳彥璋

109 年 11 月 06 日第三場教育宣導會議

應用綠色化學源頭管理策略推廣安全替代系統研習會議

簽到表（主講人/評論人）

單位	姓名	職稱	簽到
國立臺灣大學環工所	蔣本基	特聘教授	
國立臺灣大學環職所	王根樹	教授	
行政院環境毒化局	蕭寶桂	特約高級環境技術師	
國立高雄科技大學化材系	吳忠信	院長	
國立高雄科技大學化材系	陳永忠	副教授	
國立臺灣科技大學化工系	顧洋	教授	
國立臺灣大學環工所	林逸彬	教授	
聚和國際股份有限公司	何麗貞	副總經理	

應用綠色化學源頭管理策略推廣安全替代系統研習會議

簽到表（與會人員）

單位	姓名	職稱	簽到
怡台技服課	王瑞杰	課長	王瑞杰
怡台業務部	施偉哲	課長	施偉哲
怡台業務部	阮暐程	工程師	阮暐程
旺捷智能感知股份有限公司	屈鴻均	策略長	屈鴻均
旺捷智能感知股份有限公司	姜博識	人工智慧長	姜博識
長興材料工業股份有限公司	盧銘新	資深專員	
長興材料	張家銘	工程師	
聚和國際	黃麗惠		
〃	李坤學		
〃	李政樵		
崑山科大綠能中心	許豪麟		許豪麟
〃	林俊良		林俊良
彰化環保局	黃鈺之	技佐	黃鈺之

應用綠色化學源頭管理策略推廣安全替代系統研習會議

簽到表（與會人員）

單位	姓名	職稱	簽到
國立高雄科技大學環安系	許祐甄	研究生	許祐甄
國立高雄科技大學環安系	盧信中	學生	盧信中
國立高雄科技大學環安系	黃凱平	學生	
國立高雄科技大學環安系	劉新浩	學生	劉新浩
國立高雄科技大學環安系	邱懷霈	學生	邱懷霈
國立高雄科技大學環安系	魏妤庭	學生	魏妤庭
國立高雄科技大學環安系	蔡子涵	學生	蔡子涵
國立高雄科技大學環安系	林君晏	學生	林君晏
國立高雄科技大學環安系	石芳寧	學生	石芳寧
國立高雄科技大學環安系	林宜慧	學生	林宜慧
國立高雄科技大學環安系	胡有淳的	學生	胡有淳
國立高雄科技大學環安系	梁軒慈	學生	梁軒慈
國立高雄科技大學環安系	陳冠伶	學生	陳冠伶
國立高雄科技大學環安系	黃春評	學生	
國立高雄科技大學環安系	李岱翰	學生	李岱翰
國立高雄科技大學環安系	鄭家逢	學生	鄭家逢

應用綠色化學源頭管理策略推廣安全替代系統研習會議

簽到表（與會人員）

單位	姓名	職稱	簽到
國立臺南大學環境生態學院	張家欽	教授兼任院長	張家欽
國立高雄科技大學環安系	洪崇軒	教授	
國立高雄科技大學化材系	潘俊仁	助理教授	潘俊仁
國立高雄科技大學化材系	簡秀紋	助理教授	簡秀紋
國立高雄科技大學環安系	李孟珊	助理教授	李孟珊
國立高科科技大學化材系	陳韋丞	碩士生	陳韋丞
國立高雄科技大學化材系	歐毓綺	碩士生	歐毓綺
國立高雄科技大學化材系	陳泰宇	學生	陳泰宇
國立高雄科技大學環安系	黃芷琪	博士生	黃芷琪
國立高雄科技大學環安系	劉德謙	碩士生	劉德謙
國立高雄科技大學環安系	王清鋒	研究生	王清鋒
國立高雄科技大學環安系	洪志盈	研究生	洪志盈
國立高雄科技大學環安系	張念慈	研究生	張念慈
國立高雄科技大學環安系	王鄧誼	研究生	王鄧誼
國立高雄科技大學環安系	陳宥介	研究生	
國立高雄科技大學環安系	楊秩昂	研究生	楊秩昂

應用綠色化學源頭管理策略推廣安全替代系統研習會議

簽到表（與會人員）

單位	姓名	職稱	簽到
國立高雄科技大學環安系	鄭嘉緯	學生	
國立高雄科技大學環安系	陳俊宏	學生	陳俊宏
國立高雄科技大學環安系	葉亞甄	學生	葉亞甄
國立高雄科技大學環安系	葉駿嘉	學生	葉駿嘉
國立高雄科技大學	董安傑	研究生	董安傑
國立高雄科技大學	洪韋鈞	學生	洪韋鈞
國立高雄科技大學	何美玲	學生	何美玲
國立高雄科技大學	俞耀庭	學生	俞耀庭
聚和國際	陳盈吉		
高科大	高聖寓		
高科大	許燁輝		
高科大	林英翰	學生	林英翰

應用綠色化學源頭管理策略推廣安全替代系統研習會議

簽到表

單位	姓名	職稱	簽到
臺灣大學環工所	曾渤之	博士生	曾渤之
臺灣大學環工所	陳則綸	博士生	陳則綸
臺灣大學環工所	洪振耀	研究生	
臺灣大學環工所	章家語	研究生	