行 政 院 環 境 保 護 署
毒 物 及 化 學 物 質 局

計畫編號：TCSB-106-CP02-02-E004

# 永續綠色化學與循環經濟之政策研析

## 期末報告
## （修訂稿）

計畫執行單位： 國立臺灣大學碳循環永續技術與評估研究中心

計畫執行期間： 106 年 12 月 28 日至 107 年 6 月 27 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： 林逸彬 副教授（國立臺灣大學環工所）

顧問： 侯嘉洪 副教授（國立臺灣大學環工所）

中 華 民 國 一○七 年 六 月

# 「永續綠色化學與循環經濟之政策研析」

## 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">國立臺灣大學碳循環永續技術與評估研究中心</td></tr>
<tr><td>參與計畫人員姓名</td><td colspan="3">蔣本基、林逸彬、侯嘉洪、陳則綸、蔡少瑋、黃建豪</td></tr>
<tr><td>年　　度</td><td>106</td><td>計畫編號</td><td>TCSB-106-CP02-02-E004</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">106 年 12 月～107 年 06 月</td></tr>
<tr><td>本期期間</td><td colspan="3">106 年 12 月～107 年 06 月</td></tr>
<tr><td rowspan="6">本期經費</td><td colspan="3">_零_億_920_千元</td></tr>
<tr><td colspan="2">資本支出</td><td>經常支出</td></tr>
<tr><td colspan="2">土地建築___千元</td><td>人事費 374,010 千元</td></tr>
<tr><td colspan="2">儀器設備___千元</td><td>業務費 423,990 千元</td></tr>
<tr><td colspan="2">其　　他___千元</td><td>材料費 122,000 千元</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td>其　他___千元</td></tr>
<tr><td colspan="4">摘要關鍵詞（中英文各三則）<br>綠色化學 12 原則、循環經濟、推動策略<br><br>Green Chemistry 12 principles, Circular economy, Promotion Strategies</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：

永續綠色化學與循環經濟之政策研析

二、英文計畫名稱：

Policy Analysis of Sustainable Green Chemistry and Circular Economy

三、計畫編號：

TCSB-106-CP02-02-E004

四、執行單位：

國立臺灣大學碳循環永續技術與評估研究中心

五、計畫主持人（包括共同主持人）:

蔣本基、林逸彬

六、執行開始時間：

106/12/28

七、執行結束時間：

107/6/27

八、報告完成日期：

107/5/25

九、報告總頁數：

228 (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 2010

十三、中文摘要關鍵詞：

綠色化學 12 原則、循環經濟、推動策略

十四、英文摘要關鍵詞：

Green Chemistry 12 principles, Circular economy, Promotion Strategies

十五、中文摘要（約三百至五百字）

本研究從聯合國永續發展目標之目標與策略進行評析，並列出與綠色化學 12 項原則之相關性，從國際上針對綠色化學 12 項原則定義以及循環經濟理念及推動現況，研析彙整美國、歐盟、加拿大、英國、德國、瑞典、荷蘭、日本、韓國、中國等十個國家針對綠色化學與循環經濟之相關政策，包含綠色化學發展、化學物質管理、綠色化學相關政策、以及創新技術研發等，並整合國外綠色化學推動策略與措施；盤點國內與綠色化學原則及循環經濟相關部會與局處，包含行政院環保署、行政院經濟部工業局、能源局、行政院衛生福利部、中華民國勞動部職業安全衛生署、行政院農業委員會、中華民國財政部等，彙整執掌範圍、施政方針以及近三年來相關推動專案，並建立綠色化學與循環經濟部會關聯性，最後歸納國內外相關推動經驗；另一方面，也協助行政院環境保護署毒物及化學物質局（以下簡稱化學局）辦理兩場次專家諮詢會議，以釐清綠色化學與循環經濟國內可行之政策研究方向，並彙整相關研析的資料，於環保署內與臺大校園內辦理共四場次永續綠色化學講習課程，協助推廣深化綠色化學與循環經濟理念，落實教育宣導品質。

本研究綜合前述研究與分析成果，提出綠色化學與循環經濟政策建議與優先治理方向，包含：(1)整合綠色化學原則發展防制

(Prevention) 、保障 (Assurance) 、永續 (Sustainability) 之 P-A-S 策略，以促進永續綠色化學發展與建立循環經濟體系；(2) 研擬綠色工程與綠色化學教育推動策略；(3) 推動綠色化學創新技術發展策略；(4) 實踐永續綠色化學循環經濟之行動方案，以利於落實綠色化學 12 原則，創造出源頭材料之有害物質的替代品，透過設計減少浪費的化學物質，減少能資源需求，逐步建構循環經濟體系。

十六、英文摘要：

This study firstly evaluates the objectives and strategies of United Nations Sustainable Development Goals (SDGs) to build the relationship between green chemistry 12 principles and circular economy. Based on the definition of green chemistry 12 principles and the concept of circular economy, the related polices and strategies from the United States, the European Union, Canada, the United Kingdom, Germany, Sweden, Netherlands, Japan, Republic of Korea and China were reviewed. The international movement on developing trend of green chemistry, chemical substance management, policy implementation, innovative technologies and integrated promoting strategies on green chemistry was also analyzed.

In addition, the policy goals and projects related to green chemistry and circular economy for domestic government agencies including Environmental Protection Administration, Industry Bureau, Energy Bureau, Health and Welfare Department, Ministry of Labor, the Council of Agriculture, the Department of Health and Welfare and the Ministry of Finance were also analyzed and reviewed. To investigate the policy strategies and solution for green chemistry and circular economy, we also

invited related experts from government, industries and academy to hold Ad Hoc committees. Moreover, we also conducted four sustainable green chemistry lectures to emplyees of Environmental Protection Administration and students of National Taiwan University, which can promote the educational propaganda of green chemistry and circular economy concept in various field.

Finally, the proposed strategies and priorities governance direction (PGD) for implementing green chemistry 12 principles toward circular economy were suggested: (1) to integrate green chemistry 12 principles towards Prevention, Assurance, and Sustainability (PAS) strategies thereby promoting sustainable green chemistry development and a circular economy system; (2) to develop green engineering and green chemistry educational program both in the industry and university; (3) to conduct the developing strategies and action plans on innovative green chemistry technologies; (4) to facilitate the policy implementation on green chemistry 12 principles including use of alternative chemicals, redesign of chemical process and reduction of energy and resources consumption theregy gradually building a completed circular economy system.

# 目錄

**目錄** ..... **i**
**圖目錄** ..... **iii**
**表目錄** ..... **v**
報告大綱 ..... i
**第一章　前言** ..... **1**
1.1 研究緣起及目的 ..... 1
1.2 計畫目的與工作項目 ..... 3
**第二章　研究方法** ..... **7**
**第三章　研析國外綠色化學與循環經濟政策與管理制度** ..... **10**
3.1 聯合國永續發展目標 ..... 10
3.2 綠色化學與循環經濟之國際情勢 ..... 18
3.2.1 綠色化學理念與 12 原則 ..... 18
3.2.2 循環經濟概念 ..... 22
3.2.3 綠色化學與循環經濟示範案例 ..... 24
3.3.4 整合綠色化學原則與循環經濟理念 ..... 30
3.3 各國綠色化學與循環經濟現況分析 ..... 33
3.3.1 美國 ..... 33
3.3.2 加拿大 ..... 42
3.3.3 歐盟 ..... 44
3.3.4 英國 ..... 49
3.3.5 德國 ..... 51
3.3.6 瑞典 ..... 55
3.3.7 荷蘭 ..... 57
3.3.8 日本 ..... 60
3.3.9 韓國 ..... 65
3.3.10 中國 ..... 67
3.4 整合國外綠色化學推動策略與措施 ..... 70
**第四章　我國綠色化學與循環經濟現況** ..... **74**
4.1 環保署推動策略 ..... 82
4.2 經濟部推動策略 ..... 95
4.3 勞動部推動策略 ..... 103
4.4 教育部推動策略 ..... 107
4.5 其他部會推動情形 ..... 108

4.6 整合國內部會綠色化學與循環經濟關聯性 ..... 110
**第五章　建立綜合研究平臺與國際合作夥伴關係 ..... 113**
5.1 綠色化學與循環經濟專家諮詢會議 ..... 113
5.2 永續綠色化學與循環經濟講習課程 ..... 118
5.2.1 2 月 26 日講習課程成果 ..... 118
5.2.2 5 月 29 日講習課程成果 ..... 123
5.3 辦理綠色化學與循環經濟國際研討會 ..... 126
5.3.1 循環經濟與綠色發展論壇(2017) ..... 126
5.3.2 發展綠色化學技術邁向循環經濟圓桌論壇(2018) ..... 130
**第六章　綠色化學與循環經濟政策建議 ..... 132**
6.1 綠色工程與綠色化學教育推動策略 ..... 134
6.2 推動綠色化學創新技術發展策略 ..... 139
6.3 研擬綠色化學與循環經濟優先治理方向 ..... 141
**第七章　結論與建議 ..... 149**
7.1 結論 ..... 149
7.2 建議 ..... 151
**第八章、參考文獻 ..... 153**
**附錄目次 ..... 155**
**附錄一、評選會議記錄與意見回覆 ..... 156**
**附錄二、期末報告審查會議建議 ..... 161**
**附錄三、第一次專家諮詢會議紀錄 ..... 164**
**附錄四、第二次專家諮詢會議紀錄 ..... 170**
**附錄五、民國 107 年 2 月 26 日第一次與第二次講習課程問券設計 ..... 176**
**附錄六、民國 107 年 5 月 29 日第三次與第四次講習課程題目設計 ..... 191**
**附錄七、永續綠色化學與循環經濟講習課程教材 ..... 195**

# 圖目錄


圖一　、本計畫研究架構流程圖 ..... 7
圖二　、本計畫研析國外綠色化學與循環經濟政策與管理制度流程圖 ..... 10
圖三　、全球永續發展概況 ..... 11
圖四　、聯合國永續發展目標 ..... 11
圖五　、從線性經濟邁向循環經濟示意圖 ..... 22
圖六　、循環經濟示意圖 ..... 23
圖七　、循環經濟願景 ..... 23
圖八　、鋼鐵業循環經濟示意圖 ..... 25
圖九　、石化業循環經濟示意圖 ..... 25
圖十　、電力業循環經濟示意圖 ..... 26
圖十一　、建築業與水泥業循環經濟示意圖 ..... 26
圖十二　、電子業循環經濟示意圖 ..... 27
圖十三　、循環經濟體系中化學產品之生命週期階段示意圖 ..... 32
圖十四　、美國綠色化學發展進程 ..... 35
圖十五　、美國環保署之 TSCA 推動架構 ..... 37
圖十六　、加拿大綠色化學研究中心 ..... 42
圖十七　、加拿大提出整合綠色化學技術發展綠色城市願景 ..... 44
圖十八　、REACH 評估體系 ..... 46
圖十九　、化學管理體系架構示意圖 ..... 47
圖二十　、英國綠色化學環境、食品農村事務部整合環境與農業部門發展生質燃料 ..... 49
圖二十一　、約克大學(University of York)建立綠色化學卓越研究中心 ..... 50
圖二十二　、德國 2050 低碳經濟策略 ..... 52
圖二十三　、化學品租賃制度示意圖 ..... 53
圖二十四　、化學品租賃制度發展進程 ..... 53
圖二十五　、整合化學品租賃制度促進循環經濟體系之發展 ..... 54
圖二十六　、瑞典 Greenchem 推動生質燃料技術 ..... 56
圖二十七　、荷蘭化學產業生態系統藍圖 ..... 59
圖二十八　、荷蘭建構生態系統服務實踐社會經濟效益示意圖 ..... 59
圖二十九　、日本環境省之 CSCL 推動架構 ..... 63

圖三十　、韓國環境部之 TCCA 推動架構.....66
圖三十一　、韓國推動廢棄物資源化邁向循環經濟示意圖.....67
圖三十二　、各國關於防制污染及意外之綠色化學原則推動政策進展.....70
圖三十三　、各國關於保障安全及保全之綠色化學原則推動政策進展.....71
圖三十四　、各國關於永續能源及資源之綠色化學原則推動政策進展.....71
圖三十五　、盤點國內各部會綠色化學與循環經濟現況流程圖.....74
圖三十六　、綠色化學教育網示意圖.....107
圖三十七　、國內八大部會實踐相關綠色化學原則與循環經濟理念之架構圖.....112
圖三十八　、永續綠色化學與循環經濟專家諮詢會議剪影.....117
圖三十九　、107 年 2 月 26 日永續綠色化學與循環經濟講習課程活動剪影；(上)講師課程講習；(下)團體大合照.....122
圖四十　　、Kahoot App 互動教學軟體使用流程.....124
圖四十一　、107 年 5 月 29 日永續綠色化學與循環經濟講習課程活動剪影；(上左) 蔣本基教授課程講習；(上右) 侯嘉洪教授課程講習；(中左) 林逸彬教授課程講習；(中右) 獲獎學員頒獎；(下左) App 互動教學演示；(下右)全體大合照.....125
圖四十二　、2017 循環經濟與綠色發展論壇.....128
圖四十三　、2018 循環經濟、化學產業及租稅政策國際研討會.....131
圖四十四　、12 項綠色化學原則以 P-A-S 分類示意圖.....133
圖四十五　、P-A-S 策略與國內各部會權責分類圖.....133
圖四十六　、整合綠色化學與綠色工程原則發展清潔生產技術示意圖.....136
圖四十七　、紐約市污水廠污泥能源回收之示意圖.....137
圖四十八　、綠色化學邁向循環經濟示意圖.....141
圖四十九　、化學品管理體系與相關協議與倡議之示意圖.....142
圖五十　　、化學管理相關法制示意圖.....143
圖五十一　、建構綠色化學與循環經濟體系流程圖.....145
圖五十二　、以環境管理學 PDCA 原則推動綠色化學政策.....145

# 表目錄


表一　、計畫工作內容與執行結果對照表 ..... 4
表二　、參與計畫人力資料 ..... 6
表三　、綠色化學與循環經濟專家諮詢規劃內容 ..... 8
表四　、17 項永續發展目標之目標與策略 ..... 13
表五　、綠色化學 12 原則及定義說明 ..... 18
表六　、與綠色化學原則相關之國際公約 ..... 20
表七　、發展綠色化學技術-案例彙整 ..... 27
表八　、美國總統綠色化學挑戰獎獲獎技術案例彙整 ..... 39
表九　、化學管理體系之管理項目與權責分配工作 ..... 47
表十　、化學管理之關鍵績效指標 ..... 48
表十一　、荷蘭針對綠色化學相關政策 ..... 57
表十二　、荷蘭綠色化學技術案例 ..... 58
表十三　、日本綠色化學技術案例 ..... 61
表十四　、日本色綠色及永續化學獎獲獎技術案例彙整 ..... 63
表十五　、中國針對綠色化學相關政策 ..... 68
表十六　、國外綠色化學與循環經濟推動目標及措施 ..... 72
表十七　、整合綠色化學 12 項原則與循環經濟 6R 原則與國內各部會權責單位之關聯表 ..... 75
表十八　、環保署水保處、廢管處與回收基管會針對綠色化學原則或循環經濟相關推動專案 ..... 82
表十九　、環保署環管處與化學局針對綠色化學原則相關推動專案 ..... 88
表二十　、環保署發展化學物質有效管理之推動策略 ..... 94
表二十一　、經濟部工業局與能源局符合綠色化學原則及循環經濟相關推動專案 96
表二十二　、勞動部相關局處與綠色化學原則或循環經濟相關推動專案 ..... 104
表二十三　、各部會促進符合綠色化學原則及循環經濟相關建議 ..... 110
表二十四　、永續綠色化學與循環經濟政策研析計畫專家名單 ..... 113
表二十五　、107 年 1 月 25 日第 1 次專諮會議程 ..... 114
表二十六　、107 年 4 月 17 日第 2 次專諮會議程 ..... 115
表二十七　、107 年 2 月 26 日第 1 次講習課程議程 ..... 118
表二十八　、講習課程講師資訊 ..... 119

表二十九 、永續綠色化學與循環經濟講習課程問券調查結果 ..... 119
表三十 、2017 循環經濟與綠色發展論壇議程 ..... 126
表三十一 、2017 循環經濟與綠色發展論壇會議結論 ..... 128
表三十二 、2018 發展綠色化學技術邁向循環經濟圓桌論壇議程 ..... 130
表三十三 、綠色工程原則與定義以及與綠色化學原則相關性 ..... 134
表三十四 、符合綠色化學原則整合國外推動經驗與國內權責單位 ..... 144
表三十五 、實踐永續綠色化學循環經濟之行動方案 ..... 146

# 報告大綱

計畫名稱：永續綠色化學與循環經濟之政策研析
計畫編號：TCSB-106-CP02-02-E004
計畫執行單位：國立臺灣大學碳循環永續技術與評估研究中心
計畫主持人(包括協同主持人)：蔣本基、林逸彬
計畫期程：106 年 12 月 28 日起至 107 年 06 月 27 日止
計畫經費：新台幣玖拾貳萬元整


摘要

綠色化學 (Green Chemistry, GC) 主要內容是指利用化學的技術和方法減少對人類健康、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，同時儘量降低危害的副產物、廢棄物和產品的生產。從科學研發的角度來看，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。由於工業發展對環境造成的嚴重破壞及化石能源的日漸減少，產業的發展也由原先的高效率及高品質轉為「永續發展」 (Sustainable Development) 的層面，藉此同步考量環境、經濟及能源等面向，於自然環境可承受之前提下進行經濟活動，進而減少對環境的污染，並可持續利用資源與提升人類生活品質。

循環經濟是一種再生系統，透過減材料與能源循環再利用，使資源投入量、廢棄物排放量與能源使用量最小化。其概念原則包含產品再設計、再製造及翻新與資源減量、回收及再利用等，與「製造，生產，處置」生產模式之線性經濟形成對比。最著名的定義是由艾倫麥克亞瑟基金會 (Ellen Macarthur Foundation, EMF) 制定，將循環經濟稱為「透過概念設計重新改造工業界經濟體系」，並描述妥善利用自然資源可影響經濟，包含生產和消費面向，並將廢棄物轉化為產品。

據此，本研究透過研析先進國家（以歐、美、日為主）對於綠色化學與循環經濟相關推動政策，並盤點國內各部會（包含環保署、經濟部、勞動部、財政部、教育部、科技部等）相關施政目標與近年執

行專案；同時，召開專家諮詢會與國際研討會探討綠色化學與循環經濟相關推動政策以及行動方案，建立綜合研究平台與國際夥伴關係；另一方面，編輯相關教材，辦理永續綠色化學與循環經濟講習課程，以推廣綠色化學與循環經濟之理念。其研究成果包括：評析國際綠色化學與循環經濟推動經驗、分析我國各部會發展綠色化學與循環經濟之關聯性、整合國內外推動策略與執行措施、提出適用於我國發展綠色化學與循環經濟之政策建議與優先治理方向。

The definition of Green Chemistry (GC) refers to utilize the chemical technologies and methods to reduce raw materials, catalysts, and solvents. Then it can minimize hazardous substance into human health, community safety, and the ecological environment during the production process. From the perspective of scientific research and development, green chemistry can reduce the hazardous substances emission from the chemical process. It uses new technologies to improve traditional manufacturing processes and changes the previously required production efficiency and production quality to reduce waste generation. It also reduces the burden on the earth caused by the production process, and reduces or even does not emit hazardous substances such as greenhouse gases, water pollution, and heavy metals that are harmful to the human body and the environment. Due to the serious damage to the environment caused by industrial development and the fossil fuel utilization, the industrial structure has also been shifted from the original high-efficiency and high-quality to the level of “sustainable development”, whereby the environment, economy and energy are concerned. The economic behaviors have to be implemented under the pollution affordable environment, which can not only reduce the pollution but also promote the sustainability and improve the quality of human life.

The circular economy is a regenerative system that minimizes, mitigates, closes, and reduces material and energy cycles, resource inputs, and waste, emissions, and energy leakage. This can be achieved through long-lasting design, maintenance, repairs, reuse, remanufacturing, refurbishment and recycling, which is in contrast to the linear economy of the manufacturing, manufacturing, and disposal production model. The most famous definition was developed by the Ellen McArthur Foundation,

referring to the circular economy as "reconstructing the industrial economy through conceptual design," and describing how natural resources affect the economy for production and consumption. Provide input and convert waste into products.

Based on this needs, this study analyzes the promotion policies related to green chemistry and circular economy in advanced countries (mainly in Europe, the United States, and Japan), and investigates various domestic ministries (including the EPA, the Ministry of Economic Affairs, the Ministry of Labor, the Ministry of Finance, and Ministry of Education and Ministry of Science and Technology) related governance objectives and recent projects implementation. We also organized the ad-hoc committee and international conference to discuss green chemistry and circular economy policy and technology. In order to promote the green chemistry and circular economy concept, the sustainable green chemistry and circular economy training courses was conducted in this study. The research concluded the following results: coopetition the advantage and experiences of international green chemistry and circular economy, analysis of various domestic ministries related to green chemistry and circular economy priciples, integration of domestic and foreign promotion strategies and implementation measures, put forward for governmental development of green chemistry and circular economy policy suggestions and priorities governance direction.

# 行政院環境保護署委託研究及專案工作計畫成果報告摘要（詳細版）

## 前　言

2015 年聯合國提出永續發展目標 (Sustainable Development Goals, SDGs) 以促進世界各國共同努力解決人類健康、經濟增長與氣候變化，貧困與不平等現象的挑戰。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，在人類永續發展旅途上，扮演者重要角色。

「綠色化學」係指利用化學技術與方法去削減或減少對人類健康、社區安全及生態環境造成危害之原料、觸媒與溶劑於產品生產過程中之使用，並避免產生危害性之副產物與廢棄物。Paul Anastas 與 John C. Warner 於 1998 年制定「綠色化學 12 原則」，包含：防止廢棄物生產、原子經濟、較少有害化學合成、設計更安全化學品、更安全溶劑與助劑、設計能源效率、使用再生原料、減少衍生物、選擇良好催化劑、可降解設計、即時分析污染防治及更安全化學品以防止意外發生。上述 12 項原則奠基往後學術與工業界於發展環境永續發展目標之準則。循環經濟 (circular economy) 理念在於透過整合上下游原物料供應鏈，發展產品重新設計與商業模式，以促進更好的資源使用效率、藉此降低廢棄物排放及環境衝擊。一般可分為兩種循環模式：生物循環 (biological circulation) 及工業循環 (inudstrial circulation) 。其中前者指產品最後可被生物分解，回到自然環境中提供養分。後者則是將產品進行重新設計、再製、或升級製成更高價值的新產品。

整合綠色化學原則與循環經濟理念可促進發展生產者責任制度，多項研究指出生產者應就產品的整個生命週期，對產品的原料採集、製造、回收、循環和最終處置負起以下責任，並盡可能的減少廢棄物以及危害物質的產生：(1) 環境損害責任 (liability) ：生產者對已經證實的由產品導致的環境損害負責，其範圍由法律規定，並包括產品生命週期各階段。(2) 經濟責任 (economic responsibility) ：生產者為其生產的產品的收集、循環利用或最終處理全部或部分地付費。生產者可通過特定費用方式承擔經濟責任。(3) 物質責任 (physical

responsibility) ：生產者必須實際地參與處理其產品或其產品引起的影響。這包括：發展必要的技術、建立並運轉回收系統以及處理他們的產品。(4) 所有權責任 (ownership) ：在產品的整個生命週期中，生產者保留產品的所有權，該所有權牽連到產品的環境問題。(5) 資訊披露責任 (informative responsibility) ：生產者有責任提供有關產品以及產品在其生命週期的不同階段對環境的影響的相關資訊。

據此，本工作項目主要透過蒐集瞭解國外對於綠色化學及循環經濟之相關研究及說明，產出適用本國且易於瞭解之定義及說法。其中蒐集彙整分析綠色化學及循環經濟相關之國外政策與管理制度資料，至少包含歐、美、日三國，分析現況、特色及內涵，並研析各國間對綠色化學與循環經濟政策與管理制度之關聯重點。

執行方法

本研究計畫針對「綠色化學與循環經濟之政策研析」進行研究，主要工作內容包含：(1) 蒐研國外綠色化學與循環經濟政策與管理制度；(2) 盤點國內相關部會綠色化學與循環經濟現況評析；(3) 整合國外資料與國內現況，研提可行政策建議；(4) 辦理專家諮詢會議與講習課程。

透過評析彙整國內外綠色化學與循環經濟發展技術與策略資料（國際至少包含歐美日），整合規劃國內未來推動綠色化學邁向循環經濟之短、中、長程策略以及發展藍圖，以供政府部門未來應用參考，為了增強國內綠色化學創新科技能力，建立國際合作與夥伴關係，培育專業人才，建構綜合研究技術交流平臺。規劃主導綠色化學整合循環經濟發展，培訓專業學程各界人士，並使研究成果推廣宣傳至各界，同時積極推廣相關政策制度之效益，藉以發揮輔導業界技術提升之卓越成效。

結　果

本計畫研析聯合國永續發展目標之標的與策略，綠色化學理念與 12 原則，循環經濟理念以及綠色化學與循環經濟示範案例彙整。評析成果包括：

（一）SDGs 內容包含提出瞭解決經濟增長與氣候變化，貧困與不平等

現象的挑戰，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，不僅節約能源與水資源與降低碳排放，且更具備提升教育，創造就業機會、加強社區溝通，改善健康與福祉等效益，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，在人類永續發展旅途上，扮演者重要角色。因此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。說明綠色化學的重要性，首在提昇化學的社會形象，重建化學的永續發展形象。

（二）目前各國政府也開始發展化學工程與地球環境友善型產品，首先防止污染。透過實踐綠色化學，可以創造出源頭材料之有害物質的替代品，並可透過設計減少浪費的化學物質，減少能資源需求。為了在全世界推廣綠色化學，需要許多政府決策者，學術界，科學界，工業界，貿易組織，小企業，非政府組織，研究中心與其他政府機構的共同努力。綠色化學為國際努力持續提升對於解決環境，衛生與經濟問題的手段。例如：國際純粹與應用化學聯合協會 (International Union of Pure and Applied Chemistry, IUPAC) 與世界各地的行業與其他研究機構合作，幫助解決這些污染和其他環境問題。許多成功的創業型公司，其產品是基於綠色化學與工程實踐的應用，建立清潔生產計劃。針對綠色化學的發展，Paul Anastas 與 John C. Warner 於 1998 年制定了含有哲學的「綠色化學 12 原則」，促使學術與工業科學家實現環境永續發展的目標。

（三）循環經濟的概念由兩位英國環境經濟學家 David W. Pearce 和 R.Kerry Turner 於 1989 年首次提出。在「自然資源與環境經濟學」書中，傳統的開放型經濟體是沒有開發的內置循環利用的趨勢，這是通過將環境視為廢水庫來反映的。循環經濟基於反饋豐富(非線性)系統的研究，特別是生活系統。其主要結果是優化系統而不是組件的概念，或「設計適性」的概念。作為一個通用的概念，它從一些更具體的方法，包括搖籃到搖籃，生物模擬，工業生態學與「藍色經濟」。目前艾倫麥克亞瑟基金會

在國際上對於推廣循環經濟的工作佔有很大的比重，該基金會出版了一系列報告，統整歸納循環經濟發展之概念，並作為企業，決策者與學術界的諮詢中心，以及提供各種諮詢服務。循環經濟是藉由設計而形成可恢復、可再生，並讓各種產品、元件與材料在任何時間下都達到最高使用性與價值的一種經濟型態，以達到保護與加強自然資本、最佳化資源使用效率(Optimize resource yields) 等效益。因此，為了邁向循環經濟，必須發展綠色科技、綠色產業、綠色供應鏈與綠色經濟等關鍵課題。

（四）綠色化學與循環經濟理念可落實在不同產業，包含：(1)鋼鐵業：廢棄物例如爐碴與污泥等可提供給再利用廠商進行資源化產品；(1)電力業：區域性汽電共生供熱廠結合生質能源以供給區域性之工業用電及住宅用電、加熱，亦可引進海水（自然冷卻方式）、汽電共生系統剩餘之蒸汽、及焚化爐之廢水熱能，發展智慧電網將能源之分配效率最大化，燃料及系統彈性最大化；(2)石化業：可引入綠色化學理念，將生產率最佳化，並將廢棄熱能、化學產品進入回收體系再利用，可自成為一個循環經濟園區；(3)農林業：將農林廢棄物沼渣沼液作為再生資源的一種來源，整合創新生質精煉技術可將其能源使用效率最大化；(4)水泥業與建築業：綠建築目前以推動再生綠建材為主，其推動策略應整合其對於建築與環境效益，減少原物料用量、減少廢棄物處理成本、減少能耗與碳排放、提高資源永續利用程度、提高產業競爭力以及提高產品附加價值，最後推動再生綠建材之循環經濟體系；(5)電子業：電子廢棄物中微量的貴重金屬及稀土元素，是重要的戰略物資。目前國內已透過回收技術的提升，將電子廢棄物中的有用物質精煉再製，送回產業鏈使用。

（五）彙整各國綠色化學政策管理推動方向，包含美國、加拿大、歐盟、英國、德國、瑞典、荷蘭、日本、韓國及中國等，並整合相關法令規範、政策方針等資訊，以供我國未來發展永續綠色化學與循環經濟政策推動之參考依據：

**1.** 美國：

美國環保署制定污染防制法與毒性物質管理法，針對化學品與毒性化學物質進行管理，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，各州政府也陸續開始通過有關管制產品內化學物質之法律，管制對象及方法因不同州而相異，美國環保署自 1995 年起頒發「美國總統綠色化學挑戰獎」，以鼓勵學術與產業界致力研發綠色化學技術。

**2.** 加拿大：

加拿大於 1999 年頒布環境保護法案 (CEPA1999) ，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，經由設計開發階段到製造、使用、搬運、儲存、進口、出口、運輸與最終處置之生命週期的方式進行綜合評估，並希望整合綠色化學技術發展綠色城市願景。此外，加拿大政府以及許多其他的企業夥伴成立了綠色化學中心，任務是將學術和業界結合，發展新的綠色化學來促進經濟和環境。

**3.** 歐盟：

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。另外亦推動有害物質零排放 (Zero Discharge Hazardous Chemicals, ZDHC) 計畫，其中以服裝業與製鞋行業必須通過所有途徑使所有產品零排放危險化學品之實踐。

**4.** 英國：

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，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；英國政府結合學術界成立全球綠色化學中心 (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。

**5.** 德國：

德國聯邦環境局於 1999 年推動永續化學政策，於 2015 年德國政府推動歐盟所發表的 2050 低碳經濟策略和 2 年能源效率計劃，特別針對工業部門發展綠能政策，其中亦提倡改善化學製程與使用良好催化劑以提升能源效率，建立綠色化學示範園區。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。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。

**6.** 瑞典：

瑞典針對綠色化學推動之主掌機關為化學品管理局，主要依據歐盟相關規範進行化學品管理，包含化學產品，農藥與貨物。除了 REACH 外還有包含化學產品的分類，標籤和包裝規定。Greenchem 是一個致力於發展永續無污染工業生物科技的研究聯盟，著重於利用回收的原料來生產「更綠色」的化學產品，並主張推動生質燃料取代化石燃料，由瑞典 Lund 大學生物科技系、環境與能源系與業界團體所組成。目前瑞典運輸業之再生燃料使用佔比為歐盟第一，其 2030 年的目標是取代多數化石燃料的車輛。

**7.** 荷蘭：

荷蘭在綠色化學上的法令，主要依據 2015 年所提出的 17 個永續發展目標(goal)及 169 個目的(target)所制定，在 169 個目標中，41 個目標現有相關政策，主要包含：水、土、空氣污染防制，生物多樣性、農業、工業升級，及永續資源使用消耗此外，公民參與是綠色化學推廣與發展手段之一，透過提高公民綠色意識，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，有助於綠色化學的發展。結合產官學研等能力，建立綠色化學之生態鏈結與國際夥伴關係，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。

**8.**日本：

日本在綠色化學的發展始於 1970 年代，一開始只有少部分的公司投入，隨著永續發展的意識逐漸提高，現今綠色化學在日本的應用已成為國際上的典範之一。在日本的綠色化學應用中，以生物科技占最大宗，其他如綠色溶劑、較高原子經濟之設計程式、低有害物質排放等；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，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。另外日本於 2000 年成立「綠色及永續化學獎 (Green and Sustainable Chemical Award) 」，包含經濟、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。

**9.**韓國：

韓國有毒化學品管理法（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。此外韓國針對廢棄物減量之政策包括對一次性產品和過度包裝產品限制，改善產品設計，改良裝載系統，規劃良好的回收通路。

**10.** 中國：

中國最早明確提出綠色化學相關的議題是在 1995 年，由中國科學院化學部定義“綠色化學與技術。1997 年啓動「環境友好石油化工催化化學與化學反應工程」等一系列研究項目，對中國之後基本有機化學生產技術的綠色化進行了向導性的基礎研究。綠色化學可視為實踐永續發展之手段之一，透過綠色化學原則進行產品與製程設計，可提高附加價值以及降低環境污染，中國目前對於綠色化學相關推動政策包含：廢棄物資源化、提升能源效率、促進原子經濟性、降低毒性危害物質、廢棄物管理。

（六）評析國內部會權責單位與綠色化學 12 項原則及循環經濟 6R 原則之相關性，分析近三年施政方向與執行專案，彙整綠色化學與循環經濟跨部會關聯表，以供環保署化學局未來建立跨部會合作政策推動之參考：

**1.** 環保署：

環保署符合綠色化學原則與循環經濟理念的相關業務單位包含：管制考核及糾紛處理處（管考處）主要推動環保標章與碳足跡標章制度與審核機制，符合減廢原則；水質保護處（水保處）主要推動廢污水流向以及污水下水道水質自動監測管理，符合即時分析污染物之原則；回收基管會以及廢棄物管理處（廢管處）主要以廢棄物資源化之管理與技術開發為主，化學局則是民國 105 年新成立單位，近年來主要推動化學物質登錄制、毒性化學物質管制評估及運作管理、建置跨部會化學物質資訊平臺-化學雲系統以及毒性化學物質災害應變演練等關於化學物質管制運作與資訊系統建置之工作，以及食品安全與毒物源頭控管所設立之綜合性管制機構。

**2.** 經濟部：

經濟部主要以工業局與能源局對於推動綠色化學與循環經濟具相關性，其中工業局相關執掌又可分為永續發展組、知識服務組、金屬發電組以及民生化工組，工業局近年來配合政府配五+二產業創新政策與前瞻基礎政策之推動，透過提供產業輔導、補助、培訓及推廣等服務，協助產業創新及升級；能源局相關執掌能源技術組為主，與綠色化學或循環經濟較相關的政策以推動生質能源關鍵技術研發為主，皆符合綠色化學原則以及循環經濟 6R 原則。

**3.** 勞動部：

勞動部與綠色化學相關之權責單位包含職業安全衛生署與勞動及職業安全衛生研究所，主要掌管化學品管理與勞工安全意外預防之相關工作，包含：作業場所新化學物質申報登錄機制之評估研究、國內危害化學物質暴露評估資料庫建立、推動全球調和制度化學品管理，符合綠色化學安全保障與勞工意外防護等理念。

**4.** 教育部：

教育部主要是以教育宣導的方式推動綠色化學 12 原則之理念，其中針對高中職著手推動校園化學品資訊化管理計畫，期望透過從大專與高中職階段開始培養創新獨立的思考，提升學生的創造力及潛力，將綠色化學科學教育紮根，定期舉辦「綠色化學創意競賽」，用以激發學生潛力，落實綠色化學教育。

**5.** 其他部會：

其他與綠色化學或循環經濟相關部會包含中華民國科技部（科技部）、行政院農業委員會（農委會）、中華民國衛生福利部（衛福部）、中華民國財政部等（財政部）；農委會與綠色化學相關的主要以農業藥物毒物試驗所推動的農業科技研發、植物防疫檢疫、生物技術、環境保護等等，符合防止廢棄物以及減少衍生物等原則；衛福部則是以食品藥物管理署（食藥署）所掌管食品源頭管理、建立食品業者登錄平臺、藥品醫材管理、化粧品管理工作，並針對高風險進口食品做長期資料分析，達化學品即時監控目的；科技部則是主要推動基礎科學研究、工程技術與科技研發等相關工作，其中可包含自然科學及永續研究、工程技術研究、生命科學研究；同時，財政局國際財政司租稅協定科與賦稅署則是扮演租稅協定以及化學租賃制定之職責單位，屬於綠色化學與循環經濟商業模式建置之執掌單位。

## 結　論

本計畫從聯合國永續發展目標之目標與策略進行評析，並列出與綠色化學 12 項原則之相關性，從國際上針對綠色化學 12 項原則定義以及循環經濟理念及推動現況，研析彙整美國、歐盟、加拿大、英國、德國、瑞典、荷蘭、日本、韓國、中國等十個國家針對綠色化學與循環經濟之相關政策，包含綠色化學發展、化學物質管理、綠色化學相關政策、以及創新技術研發等，並整合國外綠色化學推動策略與措施；盤點國內與綠色化學原則及循環經濟相關部會與局處，彙整執掌範圍、施政方針以及近三年來相關推動專案，並建立綠色化學與循環經濟部會關聯性，並邀集國內關於綠色化學與循環經濟等相關專家學者、部會代表與產業代表，辦理兩場專家諮詢會，徵詢綠色化學與循環經濟相關意見，最後彙整為綠色化學與循環經濟政策建議；另一方面編輯綠色化學與循環經濟相關教材，辦理四場講習課程，有效提升綠色化學與循環經濟理念之宣導。

## 建　議

本研究針對綠色化學 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，Prevention、Assurance 與 Sustainability 作為 P-A- S 方法的核心部分，其中，防止廢棄物、降低衍生物及而其餘 3 種如催化劑，更安全的溶劑和輔助設備以及降解設計作為兩種策略之交集。為了促進永續綠色化學發展與建立循環經濟體系，必須戰略性地研擬一種綜合方法，基於以綠色化學原則與循環經濟理念分別針對工程化學教育、創新技術研發以及優先治理方向進行規劃推動策略。本研究之建議包括：

（一）發展綠色工程與綠色化學教育推動策略：基於綠色化學與綠色工程之科學，工程和技術邁向永續發展的前提下建立跨學科之永續綠色化學教育。相關策略包含：發展綠色化學公民宣導，充實綠色化學知識內涵、建構綠色化學教學環境，落實永續發展教育目標、加強綠色化學職業教育，提升綠色產業競爭實力、鼓勵傑出創新研究人員，設置綠色化學獎勵基金。

（二）推動綠色化學創新技術發展策略：整合綠色化學創新技術與循環經濟 6R 原則，有助於鼓勵產業界實踐綠色化學原則，建立綠色供應鏈循環經濟體系。相關策略包含：設置專責化學技術部門，建置綠色化學技術研發中心、建立國外廠商合作機制，促成關鍵技術設備本土化、強化資源再生體系，落實永續物料管理、建立綠色財稅經濟誘因，活絡綠色產業市場機能、整合原料產品市場，建立循環經濟體系。

（三） 研擬綠色化學與循環經濟優先治理方向：(1) 依據 P-A-S 策略完善化學管理體系，審查化學物質風險評估措施與受規管化學物質的範圍，達到污染及意外防制，提升新化學物質登記源頭管理效能，優化勞工安全衛生維護體制，以保障安全及保全，全面推動綠色化學原則與循環經濟發展獎勵條例，鼓勵企業界發展為綠色產業，以達到能源及資源永續。(2) 整合國外推動經驗與國內施政方向，整合綠色化學原則、產品及服務與永續物料管理，落實於學術教育界、政府部門與產業界，據以提升環境效益、社會效益與經濟效益，接著可依據環境管理學 PDCA 原則推動綠色化學政策，確認政策願景與目標，研擬相關行動方案，發展評估綠色化學技術之績效指標，最後滾動式修正檢討施政方向與執行措施。(3) 實踐永續綠色化學循環經濟之行動方案，整合綠色化學原則與循環經濟理念必須包含政府治理、技

術研發與教育宣導，並實踐永續發展目標為宗旨，據此研擬包含危害化學品管理、綠色產業之關鍵綠色化學技術、廢棄物資源化體系、卓越研發中心與技術知識平台、發展國際合作夥伴關係等五項發展策略以及其行動方案。(4) 實踐綠色化學原則建置綠色智慧園區，以實踐「綠色化學原則」與「循環經濟理念」為目標，利用「物聯網」及「人工智慧」等通信技術，推動綠色「智慧園區」，以建置國內危害化學品管理制度，邁向綠色智慧園區，同時發展產業物聯網鏈結，建立綠色產業智慧園區。

# 第一章　前言

本章節說明本計畫研究緣起與目的，透過研析綠色化學理念、原則、永續發展目標以及循環經濟理念等，說明本研究重要性以及相關開展的工作項目，包含研析各國綠色化學原則與循環經濟相關法規政策與推動方向，並盤點國內各部會目前推動近況，彙整成關聯表，最後整合國內外綠色化學原則與循環經濟相關政策，辦理專諮會與講習課程，研擬適用於國內之政策建議。

## 1.1 研究緣起及目的

綠色化學(Green Chemistry, GC)目前是一項新興領域，主要內容是指利用化學的技術和方法去消滅或減少那些對人類健康、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。

由於工業發展對環境造成的嚴重破壞及化石能源的日漸減少，產業的發展也由原先的高效率及高品質轉為「永續發展」 (Sustainable Development) 的層面，藉此將環境、經濟及能源一同考量，即是在自然環境可承受的前提下進行經濟行為，如此除可減少對環境的污染外，同時也可持續利用資源和增進人類的生活品質。

循環經濟是一種再生系統，透過減材料與能源循環再利用，使資源投入量、廢棄物排放量與能源使用量最小化。其概念原則包含產品再設計、再製造及翻新與資源減量、回收及再利用等，與「製造，生產，處置」生產模式之線性經濟形成對比。最著名的定義是由艾倫麥克亞瑟基金會 (Ellen Macarthur Foundation, EMF) 制定，將循環經濟稱為「透過概念設計重新改造工業界經濟體系」，並描述妥善利用自然資源可影響經濟，包含生產和消費面向，並將廢棄物轉化為產品。由

Boulding 於 1966 年所提倡的，描述將地球描述為具有有限同化能力的封閉循環系統，並從中推斷出經濟與環境應該共存。

本計畫主要透過研析先進國家（以歐、美、日為主）對於綠色化學與循環經濟相關推動政策，並盤點國內各部會相關施政目標，研擬適用於我國發展綠色化學與循環經濟之政策建議。

## 1.2 計畫目的與工作項目

本研究將評估綠色化學對於發展循環經濟之相關技術與整合管理，並提出國內對於綠色化學之可行政策建議，以提升我國綠色化學與循環經濟競爭力與促進符合國際綠色化學 12 項原則，計畫工作內容如下，相關計畫工作內容與執行結果對照表請參考表一：

1. 收集國外綠色化學與循環經濟政策與管理制度
2. 盤點國內相關部會綠色化學與循環經濟現況評析
3. 辦理專家諮詢會議與講習課程，提供未來建構專業諮詢平臺之基礎
4. 整合國外資料與國內現況，研提可行政策建議
5. 建立綠色化學循環經濟國際合作夥伴關係

表一 、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.蒐集彙整分析綠色化學及循環經濟相關之國外政策與管理制度資料。 | ‧ 已彙整聯合國永續發展目標、國內外綠色化學原則與循環經濟理念與發展趨勢，相關成果請參照 3.1，3.2 節。<br>‧ 已彙整各國綠色化學政策管理推動方向，包含美國、加拿大、歐盟、英國、德國、瑞典、荷蘭、日本、韓國及中國等，並整合相關法令規範、政策方針等資訊，以供我國未來發展永續綠色化學與循環經濟政策推動之參考依據，相關成果請參照 3.3，3.4 節。 | √ | | |
| 2.盤點國內各部會之綠色化學與循環經濟現況。收集彙整國內各部會針對綠色化學及循環經濟策略之相關作法，產出現況及關聯報告表。 | 已彙整國內部會權責單位與綠色化學 12 項原則及循環經濟 6R 原則之相關性，包含環保署、經濟部、勞動部、衛福部、農委會、財政部、教育部、科技部，相關成果請參照第四章。 | √ | | |
| 3.統整國外資料及國內現況，提出可行政策建議由國內外相關綠色化學及循環經濟策略管理作法統整分析後，研析適合本國之政策制度建議及作法。 | 已歸納綠色工程與綠色化學教育推動策略、推動綠色化學創新技術發展策略及永續綠色化學與循環經濟優先治理方向，相關成果請參照第六章。 | √ | | |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 4.辦理兩場次專家諮詢會議 | 已分別於107年1月25日與4月 17 日辦理兩場次專家諮詢會議，相關成果說明請參照5.1節。 | √ | | |
| 5.辦理四場次綠色化學與循環經濟講習課程 | 已分別於107年2月26日與5月 29 日辦理四場次講習課程，相關成果說明請參照 5.2節。 | √ | | |
| 6.期末成果報告 | 已於 107 年 5 月 25 日繳交期末報告初稿，並於 6 月 6 日辦理期末審查會議。 | √ | | |

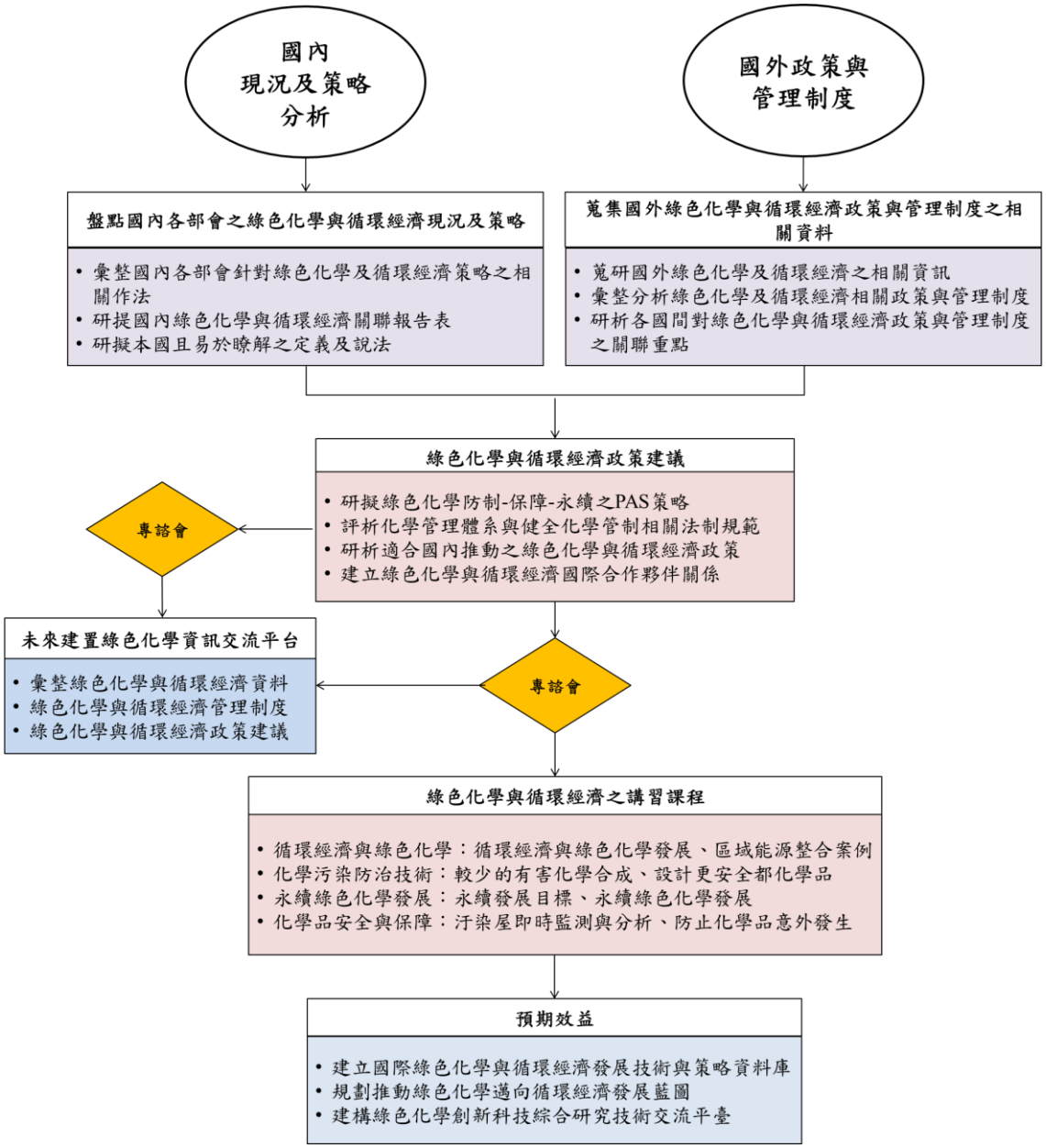
| 查核點 | 實際完成時間 | 查核點內容說明 |
|---|---|---|
| 綠色化學及循環經濟相關之國外政策與管理制度資料 | 107 年 4 月中旬 | 彙整歐洲、美國、日本等不同國家綠色化學及循環經濟相關之國外政策與管理制度資料，並進行分析比較說明。 |
| 盤點國內各部會之綠色化學與循環經濟現況。 | 107 年 4 月中旬 | 收集彙整國內各部會針對綠色化學及循環經濟策略之相關作法，包含環保署、經濟部、消防署、勞動部等，並彙整現況及關聯報告表。 |
| 統整國外資料及國內現況，提出可行政策建議作法 | 107 年 5 月中旬 | 彙整國內外綠色化學整合式管理與循環經濟發展策略，評析國內可執行之短、中、長程推動策略與發展藍圖。 |
| 辦理第一場專家諮詢會 | 107 年 2 月 | 邀集國內外綠色化學與循環經濟相關專家學者，總出席人數達十五人。 |
| 辦理第二場專家諮詢會 | 107 年 4 月 | 邀集國內外綠色化學與循環經濟相關專家學者，總出席人數達十五人。 |
| 辦理第一場講習課程 | 107 年 2 月 | 辦理兩小時之綠色化學與循環經濟相關課程，總出席人數達三十人。 |
| 辦理第二場講習課程 | 107 年 2 月 | 辦理兩小時之綠色化學與循環經濟相關課程，總出席人數達三十人。 |
| 辦理第三場講習課程 | 107 年 5 月 | 辦理兩小時之綠色化學與循環經濟相關課程，總出席人數達三十人。 |
| 辦理第四場講習課程 | 107 年 5 月 | 辦理兩小時之綠色化學與循環經濟相關課程，總出席人數達三十人。 |
| 期末報告繳交 | 107 年 6 月 | 完成契約書工作內容項目。 |

表二 、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；擔任講習課程講師 | 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 |
| 林逸彬 | 協助進度掌控；召開會議；工作規劃；擔任講習課程講師 | 臺灣大學環境工程學研究所副教授 | 6 | 環境工程、理化處理方法、單元操作、分析化學 |
| 侯嘉洪 | 協助進度掌控；召開會議；工作規劃；擔任講習課程講師 | 臺灣大學環境工程學研究所副教授 | 6 | 環境工程、水處理技術、電化學技術、單元操作、分析化學 |
| 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 |
| 蔡少瑋 | 資料整理及報告撰稿 | 臺灣大學環境工程學研究所博士生 | 6 | 環境工程、電化學技術 |
| 黃建豪 | 協助庶務作業；資料整理及報告撰稿 | 臺灣大學環境工程學研究所碩士生 | 6 | 環境工程 |

# 第二章　研究方法

本計畫欲針對『綠色化學與循環經濟之政策研析』進行研究，主要工作內容包含：(1) 蒐研國外綠色化學與循環經濟政策與管理制度；(2) 盤點國內相關部會綠色化學與循環經濟現況評析；(3) 整合國外資料與國內現況，研提可行政策建議；(4) 辦理專家諮詢會議與講習課程。本計畫之研究流程詳如圖一所示：




圖一 、本計畫研究架構流程圖

本目標之工作內容研究步驟為：

**1. 研析國外綠色化學與循環經濟政策與管理制度**

本工作項目主要透過蒐集瞭解國外對於綠色化學及循環經濟之相關研究及說明，產出適用本國且易於瞭解之定義及說法。其中蒐集彙整分析綠色化學及循環經濟相關之國外政策與管理制度資料，至少包含歐、美、日三國，分析現況、特色及內涵，並研析各國間對綠色化學與循環經濟政策與管理制度之關聯重點。

**2. 盤點國內相關部會綠色化學與循環經濟現況評析**

透過辦理專家諮詢會以及彙整國內各部會執行計畫與施政方針等資訊，盤點國內各部會之綠色化學與循環經濟現況。收集彙整國內各部會針對綠色化學及循環經濟策略之相關作法，產出現況及關聯報告表。

**3. 研提綠色化學與循環經濟政策建議**

統整國外資料及國內現況，提出可行政策建議由國內外相關綠色化學及循環經濟策略管理作法統整分析後，產出適合本國之政策制度建議及作法。

**4. 辦理專家諮詢會議**

本工作項目包括辦理綠色化學與循環經濟之專家諮詢會議、研討會與講習課程，本目標之工作項目為邀集國內產業、學界代表以及國際專家學者，強化產官學合作與國際交流，使與會者瞭解綠色化學與循環經濟政策規劃發展設計，以研商相關策略與可行方案。安排之專家諮詢會關鍵議題如表三：

表三 、綠色化學與循環經濟專家諮詢規劃內容

| 課程項目 | 課程內容 |
|---|---|
| 循環經濟 | 循環經濟理論、區域能資源整合、創新技術之經濟模式 |
| 化學污染防治技術 | 較少的有害化學合成、設計能源效率、使用再生原料、選擇良好的催化劑、可降解之設計 |
| 化學意外災害預防 | 設計更安全的化學品、更安全的溶劑與助劑 |
| 綠色化學永續發展 | 綠色化學與永續發展目標、整合式化學物質管理體系 |

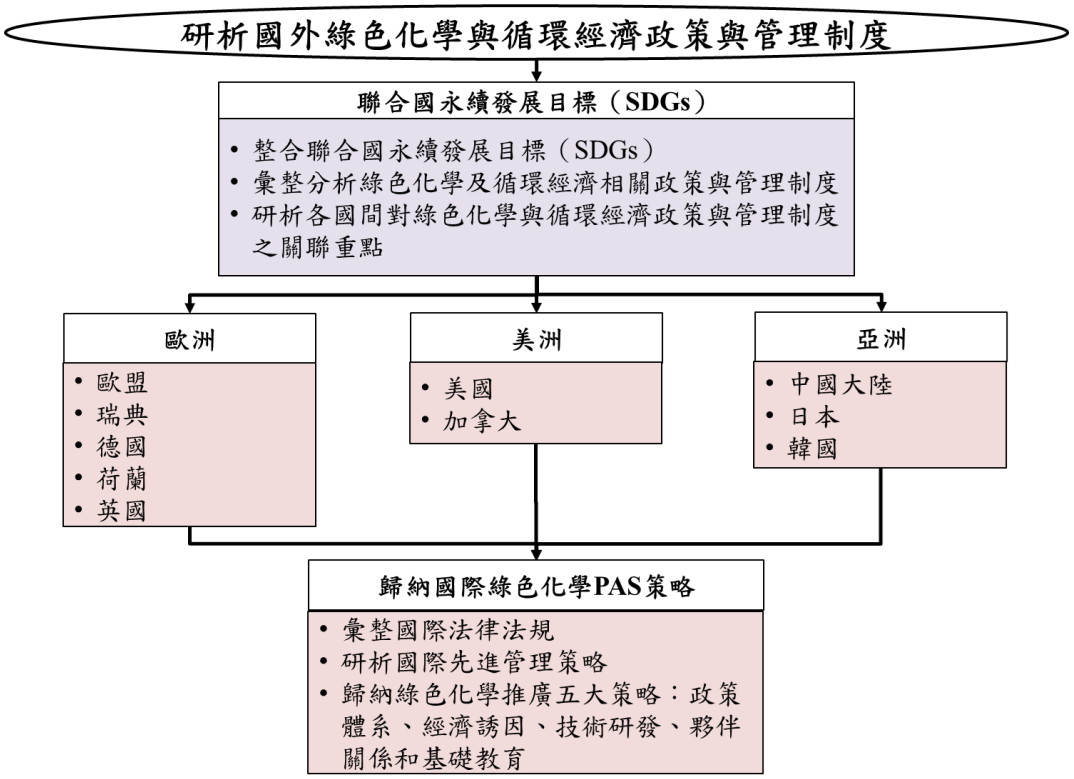
**5. 辦理講習課程**

上述課程將分別針對政府界人士、企業代表和學術代表開展。其中政府部門人士主要闡述綠色化學與循環經濟之發展趨勢及各國的相關政策；針對企業界以推廣清潔生產和強化企業社會責任為主要目標。綠色化學 12 原則精神涵蓋注重污染防治、勞工安全、清潔能源、健康風險、綠色消費及綠色產業等基礎理論，可作為邁向永續發展目標基本手段。

有鑑於此，環保署化學局為了推廣永續綠色化學理念、促進綠色化學 12 原則、發展綠色化學教育、落實循環經濟體系及邁向永續發展目標，特辦理本次講習會議，本次講習會議主要邀請各部會代表，透過宣導聯合國永續發展目標、綠色化學 12 原則及循環經濟，並透過即時教學互動方式，提升講習會辦理成效，有助於環保署推廣綠色化學與循環經濟之理念。另一方面，為了增進講習課程效益，使用 Kahoot 此款 App 增加講師與聽眾互動，並可即時透過搶答方式，以得知聽眾對於講習課程內容的瞭解程度，據此量化講習會辦理成效；首先講師們會將事先設定好的題目輸入至 Kahoot 軟體中，並於會議當天同步請聽眾使用手邊的電子載具(手機或平板等)下載 Kahoot App 後開啟講師於臺上建立好 PIN 碼讓聽眾進行連線，當所有人連線完成之後，即按下開始作答按鈕，在有限的時間內完成作答並即時公佈答題分佈統計。

# 第三章　研析國外綠色化學與循環經濟政策與管理制度

本章節主要透過彙整目前世界各國所推動產業清潔生產並發展循環經濟，透過政府，決策者，企業，行業與公眾連結以符合永續發展目標宗旨。工業化過程中，獲得更清潔產品與清潔製程對於維護與改善人體健康以及環境生活品質中有著關鍵的作用。透過綠色化學與循環經濟理念而實踐，透過蒐集歐美亞三州等各個主要國家之綠色化學或循環經濟推動經驗，做為我國施政之參考依據，本工作項目研究流程如圖二所示：

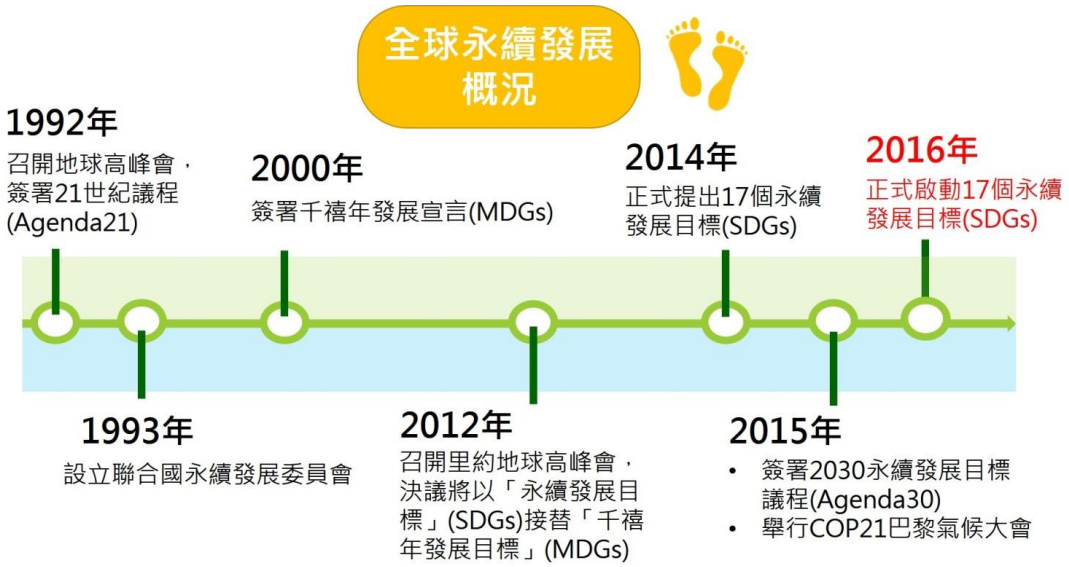



圖二 、本計畫研析國外綠色化學與循環經濟政策與管理制度流程圖

## 3.1 聯合國永續發展目標

自 1992 年開聯合國召開地球高峰會 (Earth Summit) ，正式建立永續 (Sustainablility) 概念，於 2000 年於聯合國舉行的千禧年大會當中，與會的 189 個國家，共同簽署了「千禧年宣言」 (United Nations Millennium Declaration) ，

承諾在 2015 年前所要達成的 8 項「千禧年發展目標」 (Millennium Development Goals, MDGs) ，緊接著於 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（圖三），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（圖四）。




圖三 、全球永續發展概況

（參考來源：UN Sustainable Development Goals, https://sustainabledevelopment.un.org/?menu=1300）

圖四 、聯合國永續發展目標

（參考來源：UN Sustainable Development Goals, https://sustainabledevelopment.un.org/?menu=1300）

SDGs 內容包含提出瞭解決經濟增長與氣候變化，貧困與不平等現象的挑戰，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，不僅節約能源與水資源與降低碳排放，且更具備提升教育，創造就業機會、加強社區溝通，改善健康與福祉等效益，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，在人類永續發展旅途上，扮演者重要角色。

因此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。說明綠色化學的重要性，首在提昇化學的社會形象，重建化學的永續發展形象。本計畫更彙整了 17 項永續發展目標中主要設計的目標與策略，如表四所說明。

表四 、17 項永續發展目標之目標與策略

| 永續發展目標 | 目標與策略 |
|---|---|
| SDG 1<br>消弭貧窮 | ・ 消除一切形式的貧窮：在未來 15 年內消除一切形式的貧窮，包括最極端的貧窮形式，使全世界不再有人每日生活於「赤貧」。<br>・ 建立無貧窮模式：所有地方每個人都應享有基本水準的生活並擁有社會保障，窮人及最弱勢人群也應擁有社會保障，若受到戰亂衝突或自然災害危害時也能夠獲得足夠的協助與基本服務。<br>・ 推廣社會保障福利：社會保險及勞動力市場計畫是社會保障的其他形式，包括覆蓋老年及身障年金、產假福利、失業保險、技能培訓及工資補助等。 |
| SDG 2<br>消除飢餓 | ・ 整合「生產型農業」以推動糧食供應鏈與農業體系：應重視二線城市（或衛星城市）的農產物流軟硬體基礎建設，發展一個高效率、高度整合、高科技化的糧食供應鏈體系。<br>・ 建構糧食安全體系：糧食安全包含消費者購買糧食的能力，農業研發的公共支出及農業基礎建設，飲食的種類與攝取營養量、以及農糧產品的安全性。<br>・ 促進鄉村發展：鄉村政策與農業政策間的相互依存關係應該受到重視。增加農家所得的重要手段之一為增加農場外（Off-farm）就業機會。 |
| SDG 3<br>確保健康與福祉 | ・ 降低死亡率與疾病：降低孕產婦死亡率、降低兒童死亡率、終結傳染性疾病的流行，與普及生殖健康服務。<br>・ 因應當前重大公衛威脅：非傳染性疾病、物質濫用、交通事故和污染造成的健康危害。<br>・ 涉及法制面議題：《菸草控制框架公約》的實施、藥品與疫苗可近性、健康財源與人力和風險管理。 |
| SDG 4<br>優質的教育 | ・ 確保所有的男孩與女孩都完成免費的、公平的且優質的小學與中學教育，達到恰當且有效的學習成果。<br>・ 確保所有的男女都有公平、負擔得起，與優質的技術、職業與高等教育的受教機會，包括大學。<br>・ 增加能夠就業、找到好工作或經營事業所需的相關的技術與專業技能的年輕人與成人的數目。<br>・ 確保所有的學子都習得必要的知識與技能，而可以促進永續發展。 |
| SDG 5 | ・ 確保婦女在各種領域有足夠，或至少 30%的參與決策與治理層 |

| | |
|---|---|
| 性別平等 | 機會。<br>・ 包括福利待遇的兩性同工同酬，並努力使所有女性和男性都能得到維持基本生活的薪酬。<br>・ 提供女性和男性所需的服務、資源與資訊，以支持他/她們得到養老育兒的照顧服務。<br>・ 建立職場零暴力，包括語言、肢體暴力的政策，並預防性騷擾。<br>・ 擴展與婦女經營事業有關的生意關係，包括小型生意和女性企業家。 |
| SDG 6<br>清潔飲水和衛生設施 | ・ 強化飲用水水質管理落實水質監控制度。<br>・ 加強工業區下水道系統提升污水廠操作成效。<br>・ 改善工業區污水處理廠處理功能。<br>・ 提升工業區內工廠廢（污）水納管率。<br>・ 加強河川水質淨化實踐綜合水資源管理。 |
| SDG 7<br>可負擔且永續的能源 | ・ 關鍵能源性指標：降低能源密集度 (Energy/GDP) 、$CO_2$ 排放密度 ($CO_2$/Energy) 、提昇經濟成長 (GDP/Population) 。<br>・ 發展清潔能源：使用高效率之汽渦輪與蒸氣渦輪機組、燃氣複循環、汽電共生、燃煤機組之碳捕獲及儲存等。<br>・ 建立能源管理體系：使用智慧型電網、高電壓輸電系統、分散式區域熱電系統。<br>・ 提升綠能占比：使用風能、太陽能、生質能等。<br>・ 推廣節能機具：使用節能之高效率運具、燈具、設備、綠建築及能源管理。 |
| SDG 8<br>全面的就業及永續的經濟成長 | ・ 邁向創新導向新經濟：整合資源、與多元價值的創新環境，用以確保臺灣國際競爭優勢，使創新成為經濟持續成長的動力。<br>・ 促進產業多元化發展：落實結構改革，如法規制度改革、人力素質提升、國土空間改造、金融創新與稅制改革。<br>・ 加速微型創業與中堅企業轉型發展：透過政府領頭帶動產業創新、效能提升與振興傳產之淬鍊加值。<br>・ 推動永續發展與生態觀光：兼顧環境融合，以「永續觀光」為導向，建構多元永續與社會生活銜接的觀光內涵。 |
| SDG 9<br>永續創新產業有韌性的基礎建設 | ・ 促進永續工業化；增加小型工業和其他企業。<br>・ 採用清潔和環保技術及產業流程。<br>・ 提供發展中國家更多的財政、技術和技能支援。<br>・ 大幅提升資訊和通信技術的普及度。 |
| SDG 10<br>減少不平等 | ・ 逐步實現和維持最底層 40%人口的收入增長，並確保其增長率高於全國平均水準。<br>・ 增強所有人的權能，促進他們融入社會、經濟和政治生活，而 |

| | |
|---|---|
| | 不論其年齡、性別、身心障礙與否、種族、族裔、出身、宗教信仰、經濟地位或其他任何區別。<br>・ 確保機會均等，減少結果不平等現象，包括取消歧視性法律、政策和做法，推動與上述努力相關的適當立法、政策和行動。<br>・ 採取政策，特別是財政、薪資和社會保障政策，逐步實現更大的平等。<br>・ 改善對金融市場和金融機構的監管和監測，並加強上述監管措施的執行。 |
| SDG 11<br>永續城市與社區 | ・ 提供安全、負擔得起的、易於利用、可持續的交通運輸系統。<br>・ 加強包容與永續的城市建設，加強參與性、綜合性、可持續的人類住區規劃和管理能力。<br>・ 保護和捍衛世界文化和自然遺產。<br>・ 大幅減少各種災害造成的死亡人數和受災人數。<br>・ 減少城市發展造成的負面環境影響，包括空氣品質以及城市廢棄物管理等。 |
| SDG 12<br>責任生產與消費 | ・ 確保永續的消費與生產模式：包含制定管理對環境有害物質的具體政策和國際協定。<br>・ 永續產品與綠色科技：發展符合環保及「生態永續性」之「綠色科技」採用低資源消耗及低廢棄物之「清潔生產技術」。<br>・ 綠色產品與綠色消費：發展「為環境而設計」與「綠色標章」或「環保標章」的產品。 |
| SDG 13<br>氣候行動 | ・ 強化所有國家對天災與氣候有關風險的災後復原能力與調適能力。<br>・ 將氣候變化措施納入國家政策、策略與規劃之中。<br>・ 提昇在氣候變化減緩、調適、降低衝擊與早期預警等之教育、認知、個人與機構的能力。<br>・ 落實已開發締約國的承諾，建立綠色氣候基金。<br>・ 提昇有效規劃與管理氣候行動的能力。 |
| SDG 14<br>海洋資源的永續利用 | ・ 應預防和大幅減少各類的海洋污染，特別是來自陸源的海洋廢棄物和優養化。<br>・ 對海洋和沿海生態系進行永續管理和保護，包括加強災後復原能力。<br>・ 減少並解決海洋酸化的影響。<br>・ 有效監管過度漁撈，以及非法的、未報告的、未受監管的，或毀滅性漁法。<br>・ 提供小規模人工漁撈業者取得海洋資源與進入市場的管道。 |
| SDG 15 | ・ 透過將生物多樣性納入政府和社會的主流，解決生物多樣性喪 |

| | |
|---|---|
| 陸地資源的永續管理 | 失的根本原因。<br>・ 減輕生物多樣性的直接壓力，並促進永續利用。<br>・ 透過保護生態系、物種和基因多樣性，改善生物多樣性的狀況<br>・ 提昇生物多樣性和生態系服務為人類所帶來的利益。<br>・ 透過參與性規劃、知識管理和基礎能力建設，強化執行工作。 |
| SDG 16<br>創建和平、包容的社會 | ・ 保障每一個人「不得無理予以逮捕或拘禁，非依法定理由及程式，不得剝奪任何人之自由」。<br>・ 法律應禁止任何歧視，並保證人人享有平等而有效的保護」。平等權和自由權相同，均是以全體國民為對象，其標的在建立一個無歧視的社會。<br>・ 「人人有權享有生命、自由和人身安全」視為基本的公民與政治權利，其中生命及人身安全即屬人民的生存權。「人人皆有天賦之生存權，此種權利應受法律保障，任何人之生命不得無法剝奪。 |
| SDG 17<br>促進夥伴關係 | ・ 構建聯合國永續發展基金與建立 SDG 知識管理平臺以積極散播 SDGs 全球夥伴間的見解與經驗交流。<br>・ 結合企業的力量協助全球建立一個公義與永續的世界，透過諮詢、研究、跨範疇合作等方式，為企業提出永續策略和解決方案之建言。<br>・ 跨國企業營運過程中所產生的廢棄物及排放溫室效應氣體，亦需要妥善處理，才能符合現今永續發展的訴求。 |

（參考來源：聯合國永續發展目標策略、理論與實踐，簡又新主編）

其中美國環保署於 2017 年更進一步分析推廣綠色化學有助於完成 SDG 之指標，如下說明：

- SDG 3 (健康與福祉) ：安全的化學藥品有助於保障人體健康與勞工安全。
- SDG 6 (清潔水資源) ：降低化學製程副產物排放，可保障潔淨飲用水。
- SDG 7 (可負擔之清潔能源) ：藉由發展清潔能源可提升化學製程的能源效率。
- SDG 8 (永續經濟成長) ：發展綠色化學產業，促進循環經濟體系。
- SDG 9 (創新產業與基礎設施) ：減少化學合成程式，加快化學製程生產效率，發展創新綠色化學產業。

- SDG 11 (永續社區與城市) ：推動綠色化學是促進城市永續發展之途徑之一。
- SDG 12 (確保永續消費及生產模式) ：減少石油產品的使用，減緩其消耗，避免其危害和價格波動。
- SDG 15 (陸地資源永續) ：降低有害化學物質，減少化學物質對生態系統的破壞。

## 3.2 綠色化學與循環經濟之國際情勢

### 3.2.1 綠色化學理念與 12 原則

目前各國政府也開始發展化學工程與地球環境友善型產品，首先防止污染。透過實踐綠色化學，可以創造出源頭材料之有害物質的替代品，並可透過設計減少浪費的化學物質，減少能資源需求。為了在全世界推廣綠色化學，必須需要許多政府決策者，學術界，科學界，工業界，貿易組織，小型企業，非政府組織，研究中心與其他政府機構的共同努力。綠色化學領域在國際努力持續提升對於解決環境，衛生與經濟問題的手段。例如：國際純粹與應用化學聯合協會(International Union of Pure and Applied Chemistry, IUPAC) 與世界各地的行業與其他研究機構合作，幫助解決這些污染和其他環境問題。

許多成功的創業型公司，其產品是基於綠色化學與工程實踐的應用，建立清潔生產計劃。針對綠色化學的發展，Paul Anastas 與 John C. Warner 於 1998 年制定了「綠色化學 12 原則」（如表五所示），促使學術與工業科學家實現環境永續發展的目標。

表五 、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<br>(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<br>(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<br>(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<br>(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 | 選擇常溫與常壓下進行化學合成以降低製程 |

| | | |
|---|---|---|
| | (Design for Energy Efficiency) | 的能耗。 |
| 7 | 使用再生原料<br>(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<br>(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<br>(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<br>(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<br>(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。 |

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

若能改進傳統化學的思維及製程，導入永續與環境保護的觀念，改以綠色化學為出發點，運用先進的科學技術解決問題，勢必能在經濟、環境、和社會資源間取得平衡。例如：超臨界 $CO_2$ 染色技術在 2015 年前，每年將染色超過 3,900 萬噸聚酯纖維，與傳統染色技術相比，綠色染色技術涵蓋廢棄物源頭減量、使用綠色溶劑以及循環溶劑等觀念，降低傳統製程中的燃料能源使用。例如：水是綠色溶劑之一，若將水加溫加壓至超臨界態，會改變其介電常數，使得原先不溶於常溫常壓水之低極性有機化合物變為可互溶，形成均勻混合之單一相，可進一步將有機物分解為 $CO_2$、$H_2O$、$Cl_2$ 或 $N_2$ 等。

另一方面，國際上針對相關化學品的管制與污染防治也制定一系列相關國際公約，透過這些公約可作為各國制定相關法律規範之依據，並可促進區域性或國家性之綠色化學發展，相關說明如表六。

表六 、與綠色化學原則相關之國際公約

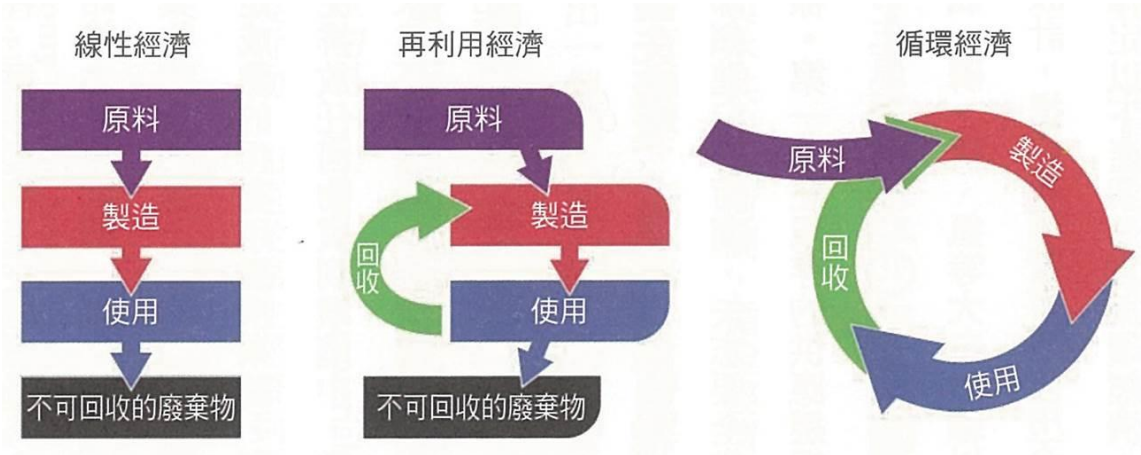
| 公約名稱 | 相關國家 | 簽署或生效時間 | 核心精神 |
|---|---|---|---|
| 杜拜宣言 (Dubai Declaration) | 全球性 | 2006 年 | ➢ 強調各行業的責任，向利益相關者提供化學品的健康和環境影響的數據和資訊，這些數據和資訊需要安全地使用化學品及其製成的產品;<br>➢ 深化國際化學藥品管理體系的自願協議 |
| 巴塞爾公約 (Basel Convention) | 美國、孟加拉、巴西、香港、印度、哈薩克斯坦、紐西蘭、俄羅斯、瑞士、臺灣、泰國、土耳其、英國 | 1992 年 | ➢ 減少有害廢棄物之產生，並避免跨國運送時造成的環境污染；提倡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。<br>➢ 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 (Stockholm Convention) | 全球共計 152 簽署國 | 2004 年 | ➢ 為了禁用或限制生產持久性有機污染物而訂定<br>➢ 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<br>➢ DDT 生產和使用的限制（只允許使用對抗瘧疾）<br>➢ 支援開發中國家尋找替代品 |
| 里約環境與發展宣言 (Rio Declaration on Environment and | 全球性 | 1992 年 | ➢ 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 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Development) | | | 自然災害。 |
| 全球化學品統一分類和標籤制度 (Globally Harmonized System of Classification and Labeling of Chemicals) | 全球性 | 1992 年 | ➢ 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。 |
| 馬尼拉公約 (Manila Principles) | 全球性 | 2011 年 | ➢ 各締約國政府，該國政府有義務達到或者超過本公約所設置航海人員訓練、發證及航行當值的最低標準。 |
| 鹿特丹公約 (Rotterdam Convention) | 全球共計 72 簽署國 | 2005 年 | ➢ 推動各國在國際貿易中就某些有毒化學品和除害劑分擔責任和通力合作，以更好保障人體健康和保護環境，同時實施一項強制性的事先知情同意程序，用以監察和控制危險化學品的進出口 |
| ISO 9001 | 全球性 | 1987 年 | ➢ 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 (Johannesburg Plan of Implementation) | 全球性 | 2002 年 | ➢ 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。 |

（參考來源：本計畫自行彙整）

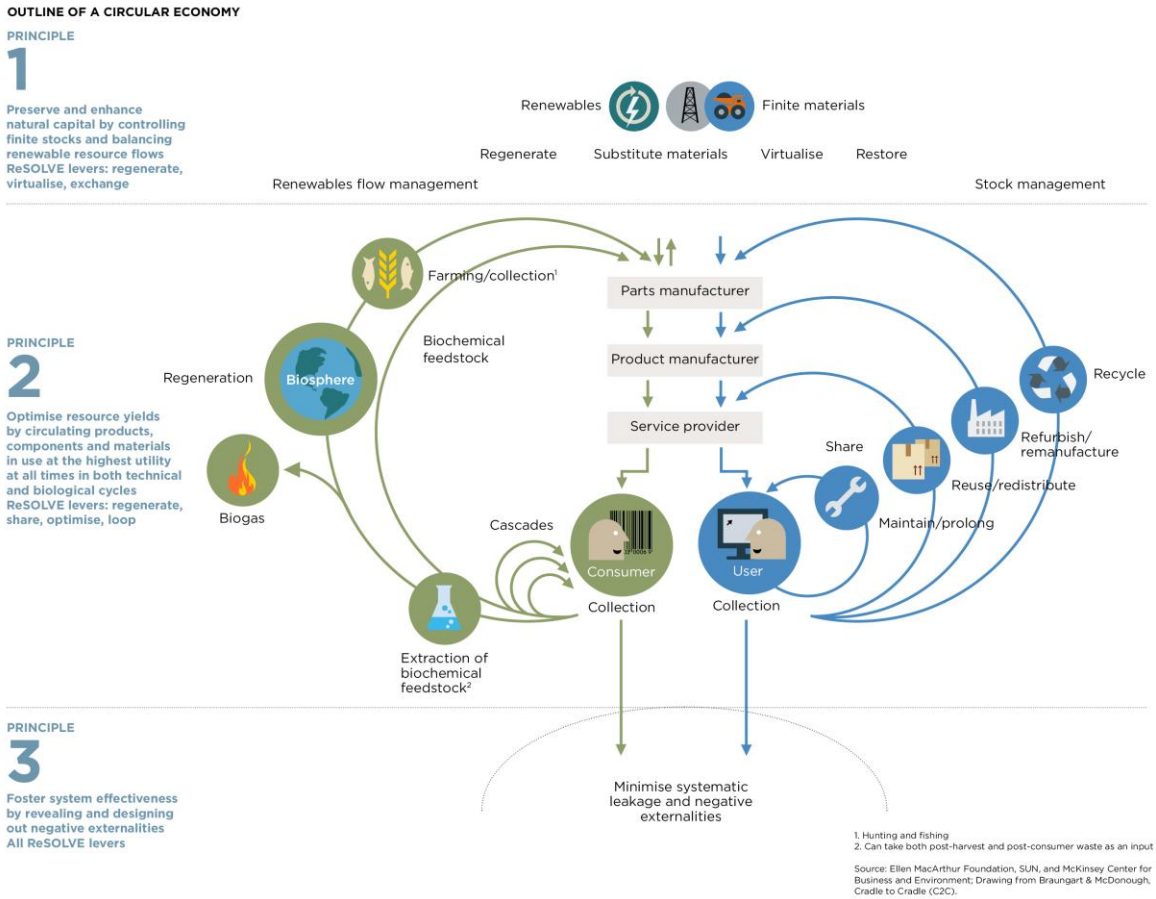
### 3.2.2 循環經濟概念

循環經濟的概念首先由兩位英國環境經濟學家 David W. Pearce 和 R.Kerry Turner 於 1989 年首次提出。在「自然資源與環境經濟學」書中，他們指出，傳統的開放型經濟體是沒有開發的內置循環利用的趨勢，這是通過將環境視為廢水庫來反映的。循環經濟基於反饋豐富（非線性）系統的研究，特別是生活系統。其主要結果是優化系統而不是組件的概念，或「設計適性」的概念。作為一個通用的概念，它從一些更具體的方法，包括搖籃到搖籃，生物模擬，工業生態學和"藍色經濟"。目前艾倫麥克亞瑟基金會在國際上對於推廣循環經濟的工作佔有很大的比重，該基金會出版了一系列報告，統整歸納循環經濟發展之概念（如圖六所說明），並作為企業，決策者與學術界的諮詢中心，以及提供各種諮詢服務。循環經濟是藉由設計而形成可恢復、可再生，並讓各種產品、元件與材料在任何時間下都達到最高使用性與價值的一種經濟型態，以達到保護與加強自然資本、最佳化資源使用效率 (Optimize resource yields) 等效益（圖五）。因此，為了邁向循環經濟，必須發展綠色科技、綠色產業、綠色供應鏈與綠色經濟等關鍵課題（圖七）。



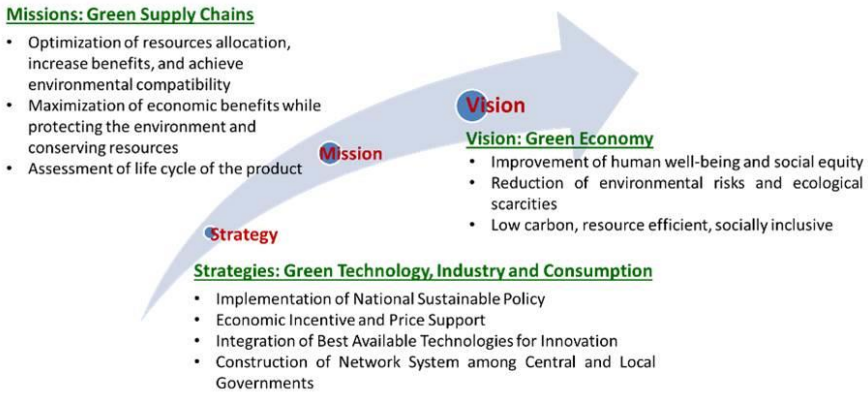

圖五 、從線性經濟邁向循環經濟示意圖

(資料來源：荷蘭政府 A Circular Economy in the Netherlands by 2050: Government-wide Programme for a Circular Economy.)




圖六 、循環經濟示意圖

(資料來源：Ellen Macarthur Foundation, https://www.ellenmacarthurfoundation.org/)

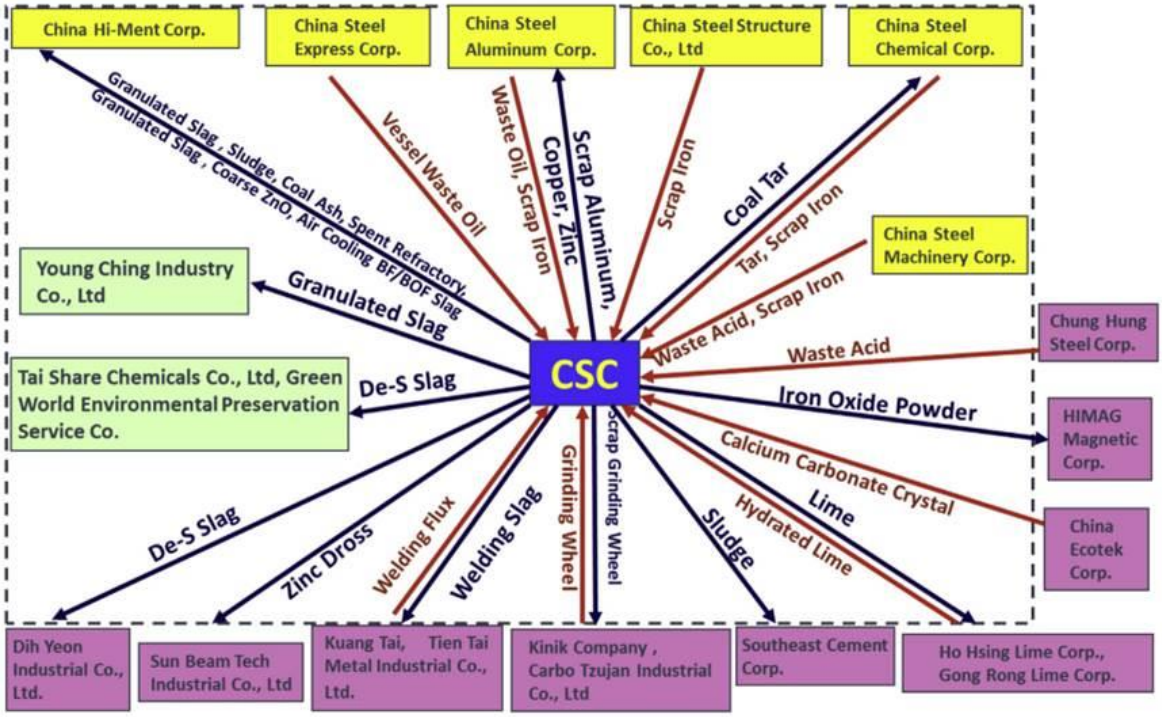



圖七 、循環經濟願景

(資料來源：Pan et al., 2015)

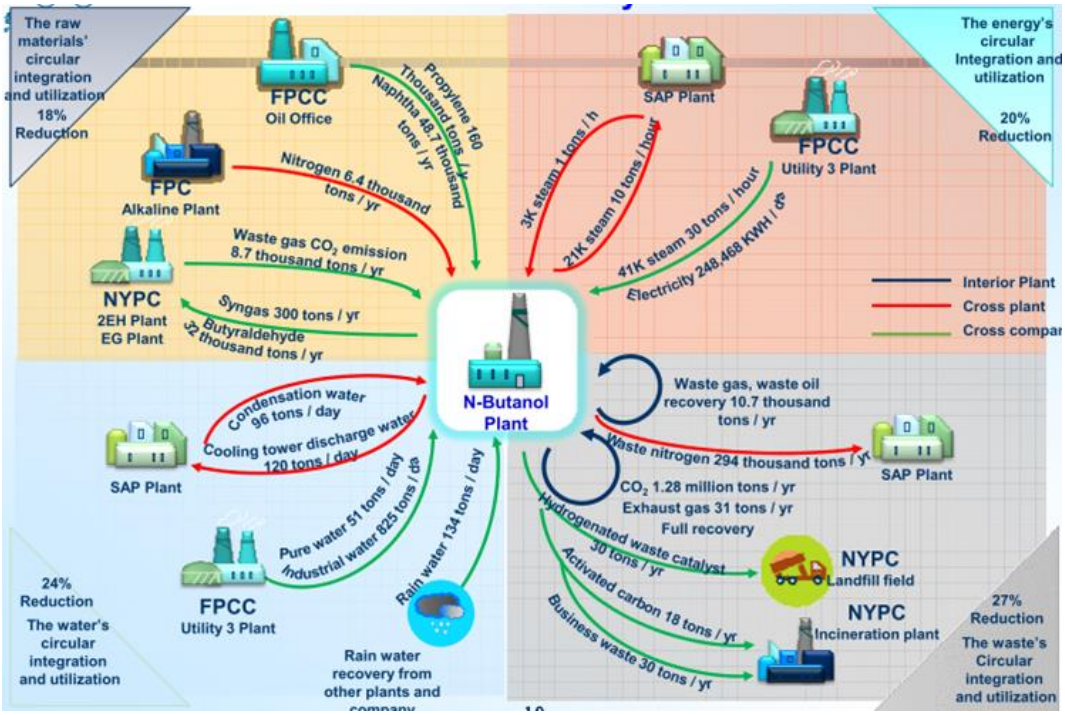
### 3.2.3 綠色化學與循環經濟示範案例

透過研析國內外重點產業相關案例可發現，綠色化學與循環經濟理念可落實在不同產業，包含：(1)鋼鐵業：廢棄物例如爐碴與污泥等可提供給再利用廠商進行資源化產品；(1)電力業：區域性汽電共生供熱廠結合生質能源以供給區域性之工業用電及住宅用電、加熱，亦可引進海水（自然冷卻方式）、汽電共生系統剩餘之蒸汽、及焚化爐之廢水熱能，發展智慧電網將能源之分配效率最大化，燃料及系統彈性最大化；(2)石化業：可引入綠色化學理念，將生產率最佳化，並將廢棄熱能、化學產品進入回收體系再利用，可自成為一個循環經濟園區；(3)農林業：將農林廢棄物沼渣沼液作為再生資源的一種來源，整合創新生質精煉技術可將其能源使用效率最大化；(4)水泥業與建築業：綠建築目前以推動再生綠建材為主，其推動策略應整合其對於建築與環境效益，減少原物料用量、減少廢棄物處理成本、減少能耗與碳排放、提高資源永續利用程度、提高產業競爭力以及提高產品附加價值，最後推動再生綠建材之循環經濟體系；(5)電子業：電子廢棄物中微量的貴重金屬及稀土元素，是重要的戰略物資。目前國內已透過回收技術的提升，將電子廢棄物中的有用物質精煉再製，送回產業鏈使用。



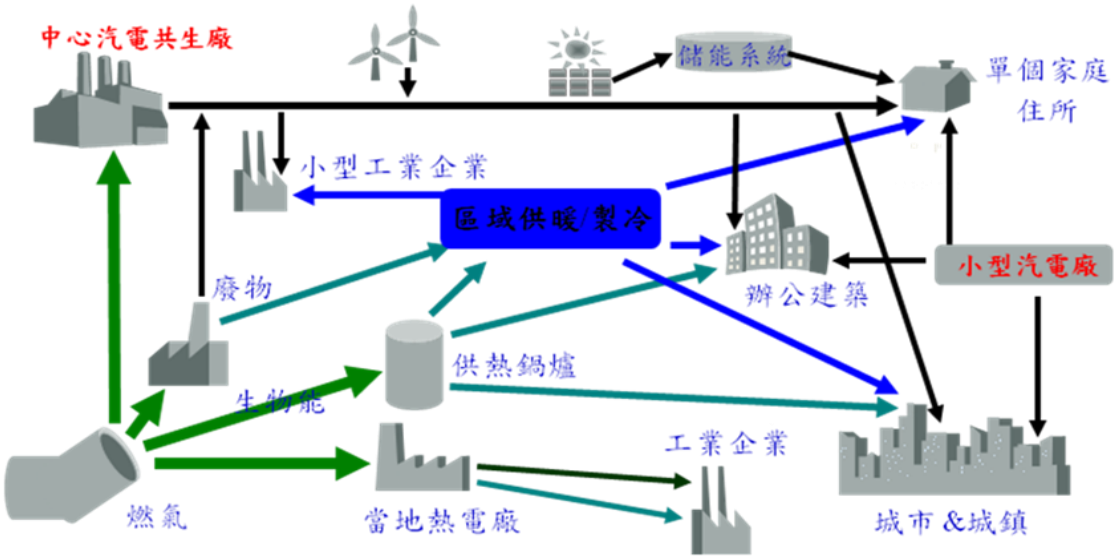

圖八 、鋼鐵業循環經濟示意圖

(資料來源：Pan et al., 2015)



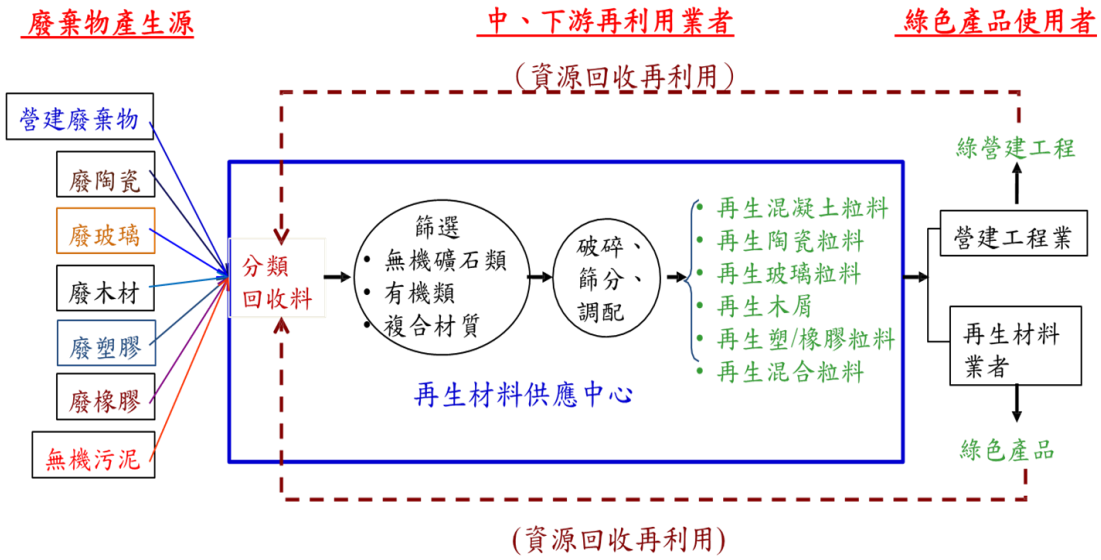

圖九 、石化業循環經濟示意圖

(資料來源：台塑公司提供)



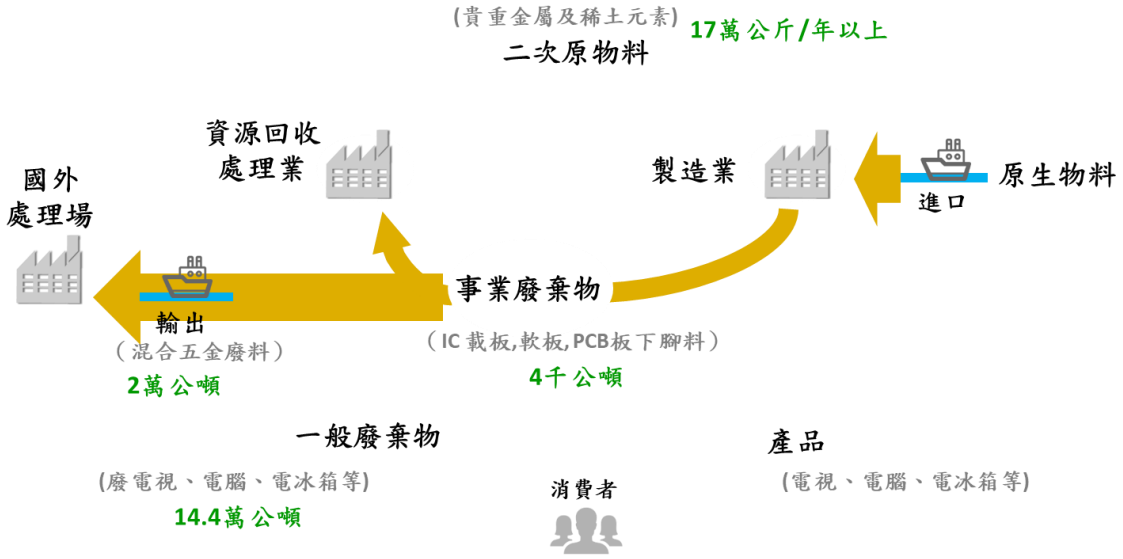

圖十 、電力業循環經濟示意圖

(資料來源：Christensen, 2012)




圖十一 、建築業與水泥業循環經濟示意圖

(資料來源：循環永續綠建築創新環境科技發展策略研究，2017，內政部建築研究所)




圖十二 、電子業循環經濟示意圖

(資料來源：數據來源由優勝奈米公司口述資料提供，本計畫自行彙圖)

此外，實踐綠色化學原則建構循環經濟體系之關鍵技術須包含：綠色設計與綠色製程、永續材料與產品以及循環經濟商業模式等，彙整文獻中提到對於實踐綠色化學原則之相關技術。

表七 、發展綠色化學技術-案例彙整

| 技術名稱 | 技術簡介 | 與綠色化學原則相關性 | 國家案例 |
|---|---|---|---|
| **電子廢棄物回收技術** | 建立電子廢棄物回收中心，可將廢舊光碟與廢棄 PCB 進行回收，而後在後續新電腦的生產過程中進行再利用。 | (1)防止廢棄物<br>(6)設計能源效率<br>(7)使用再生原料<br>(8)減少衍生物<br>(10)可降解之設計 | 臺灣、日本、美國 |
| **電子廢棄物貴金屬回收技術**<br>**城市礦山(Urban Mining)** | 透過溶劑剝除方式或離子交換系統方式，將廢棄電路板上的貴重金屬分離回收再利用。 | (1)防止廢棄物<br>(3)較少的有害化學合成<br>(5)更安全的溶劑與助劑<br>(6)設計能源效率<br>(7)使用再生原料<br>(8)減少衍生物 | 臺灣、中國、美國、日本 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| **高效能生物催化技術生產辛伐他汀(Simvastatin)** | 利用生物催化設計辛伐他汀的綠色製造方法，同時優化化學反應過程。 | (1)防止廢棄物<br>(3)較少的有害化學合成<br>(4)設計更安全的化學品<br>(8)減少衍生物<br>(12)以更安全的化學品防止意外發生 | 美國 |
| **利用酵素發酵反應將CO/CO2轉化為乙醇** | 異氰酸酯(isocyanate )可作為製備聚氨酯(polyurethane)原料；使用無毒的化學原料代替異氰酸酯，與amine反應，合成多羥基聚氨酯(polyhydroxy urethane)，作為聚氨酯的替代化學藥劑 | (3)較少的有害化學合成<br>(4)設計更安全的化學品<br>(5)更安全的溶劑與助劑<br>(8)減少衍生物 | 美國、英國 |
| **使用液態二氧化碳取代四氯乙烯作為綠色溶劑** | 四氯乙烯可做為有機化學合成溶劑，但是卻會造成地下水體污染，因此改用液態二氧化碳作為綠色溶劑。 | (3)較少的有害化學合成<br>(4)設計更安全的化學品<br>(5)更安全的溶劑與助劑<br>(8)減少衍生物 | 美國 |
| **應用酶減少強效紙與紙板所需的能源和木纖維** | 使用酶改良木材中的纖維素以增加將木纖維彼此粘合的纖維數量，使紙張具有更高的強度和質量 - 無需額外的化學品或能源。使得造紙能夠減少木材纖維和更高比例的再生紙。 | (1)防止廢棄物<br>(3)較少的有害化學合成<br>(4)設計更安全的化學品<br>(5)更安全的溶劑與助劑<br>(6)設計能源效率<br>(7)使用再生原料<br>(8)減少衍生物 | 美國、中國、日本 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| **生物精煉技術** | 整合農業副產品與生物煉油技術所產生的廢棄物與副產品作為生物煉製原料的利用。例如：利用聚乳酸(PLA)生產生物塑膠。 | (1)防止廢棄物<br>(3)較少的有害化學合成<br>(4)設計更安全的化學品<br>(8)減少衍生物<br>(12)以更安全的化學品防止意外發生 | 美國、加拿大、歐洲 |
| **鹼性廢棄物碳礦化發展綠色建材** | 以鹼性廢棄物作為二氧化碳礦化捕獲之原料，礦化後之產物可研析其物化性質、晶項組成、 力學性質等作為綠色建材之替代原料。透過此技術不僅可有效廢棄物處理成本，並可提升降低 CO2 排放以及開發新穎綠建材產品，具備節能減碳與循環減廢之效益。 | (1)防止廢棄物<br>(3)較少的有害化學合成<br>(7)使用再生原料<br>(8)減少衍生物 | 歐洲、中國、台灣 |

(資料來源：本計畫自行彙整)

### 3.3.4 整合綠色化學原則與循環經濟理念

國際上綠色化學在實務應用成功經驗包括：歐洲永續化學獎倡導提高資源利用效率和選擇性；澳洲皇家化學學會獎勵設計更安全的化學產品之企業；日本政府推廣綠色溶劑等等；目前企業界尤其關注化學品之生產成本、產品不良率及相關法令規範，整合原物料與產品盤查體系、污染防治監測系統、勞工安全衛生管理及製程安全管理等綠色化學發展要素。循環經濟有別於線性經濟，是透過整合能資源回收再利用、廢棄物減量、產品端再設計等 6R 原則，落實政府與產業之間合作經營模式，期望達到平衡經濟發展與環境永續之理想。

整合綠色化學原則與循環經濟理念可促進發展生產者責任制度，多項研究指出生產者應就產品的整個生命週期，對產品的原料採集、製造、回收、循環和最終處置負起以下責任，並盡可能的減少廢棄物以及危害物質的產生：(1) 環境損害責任 (liability) ：生產者對已經證實的由產品導致的環境損害負責，其範圍由法律規定，並包括產品生命週期各階段。(2) 經濟責任 (economic responsibility) ：生產者為其生產的產品的收集、循環利用或最終處理全部或部分地付費。生產者可通過特定費用方式承擔經濟責任。(3) 物質責任 (physical responsibility) ：生產者必須實際地參與處理其產品或其產品引起的影響。這包括：發展必要的技術、建立並運轉回收系統以及處理他們的產品。(4) 所有權責任 (ownership) ：在產品的整個生命週期中，生產者保留產品的所有權，該所有權牽連到產品的環境問題。(5) 資訊披露責任 (informative responsibility) ：生產者有責任提供有關產品以及產品在其生命週期的不同階段對環境的影響的相關資訊。

綠色化學更著重在改良原料替代方案與提高產品應用率，相關研究亦提出結合原子經濟概念、化學製程與綠色化學相關指標，以量化製程改善與設計改變後的確切綠色程度，進而判斷此項技術是否有發展之潛力。常用的指標如下 (Jiménez-González & Constable, 2011)：

1. 碳轉換效率(Carbon efficiency)：碳轉換效率＝產物含碳量/反應物含碳量(%)

$$碳轉換效率 = \frac{產物含碳量}{反應物含碳量}(\%)$$

在醫藥工業中較常使用此種指標，可有效的反映製程中的碳使用效率，進而分析改善方向。

2. 原子利用效率(Atom economy)：原子利用效率＝產物分子量/所添加之反應物分子量(%)

$$原子利用效率 = \frac{產物分子量}{所有添加之反應物分子量}(\%)$$

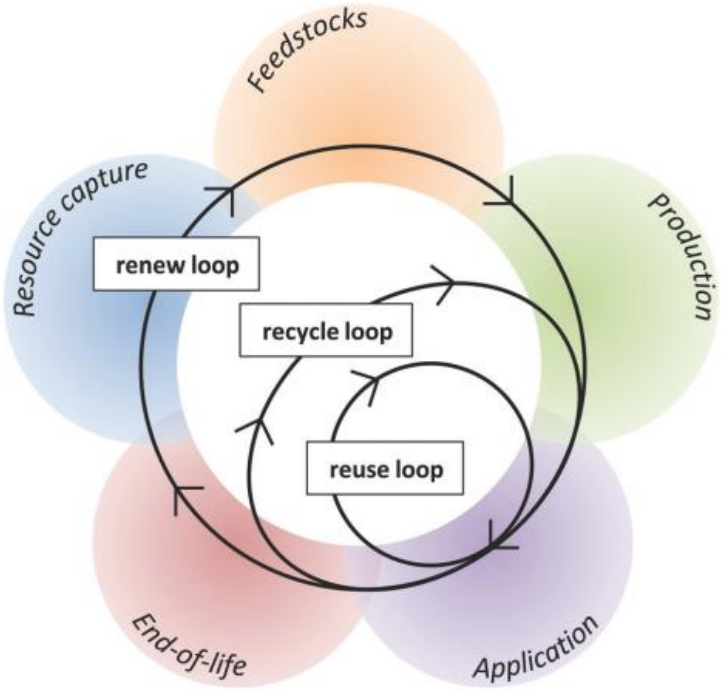
此種指標可以直接的呈現反應中的轉化效率，若是必須藉由添加許多反應物才能獲得單一之限定產物，便會得到低原子利用效率，即是偏離綠色化學之準則。

3. 環境指數(Environmental factor)：環境指數＝產生之廢棄物重量/產物重量(%)

$$環境指數 = \frac{產生之廢棄物重量}{產物重量}(\%)$$

上述指標表示產物所相對應之廢棄物產量，其中可循環添加物如觸媒與溶劑則忽略不記，僅需考慮整體廢棄總量，其中廢棄物定義可藉由可生命週期評估，將對環境產生過大負擔的認定為廢棄物。因此，綠色化學技術具備應用天然材料，消除產品毒性，轉化廢舊材料與使用可再生能源之發展潛力，皆屬於循環經濟的重要原則之一，其相關連結包含：(1)產品設計包裝；(2)使用再生能源與天然材料；(3)產品效益多樣性選擇；(4)跨領域合作等。依據循環經濟概念，並非只是使用天然材料、再生材料或廢棄物資源化作為產品原料，必須將產品製程與功能效益設計最佳化納入考量，對於化學領域來說，必須由化學研發廠商或學術單位結合後續製造商，一同研擬產品設計最佳化，以降低原物料的浪費，並透過生命週期評

估對於環境衝擊，化學產品之生命週期如圖十三所示；因此，建立綠色化學循環經濟體系必須考量到化學製程監督體系、原物料來源控管、產品設計與品質品管保證、有力的產品認證體系以及結合跨產業之能資源鏈結。




圖十三 、循環經濟體系中化學產品之生命週期階段示意圖

(資料來源：James, et. al., 2016)

### 3.3 各國綠色化學與循環經濟現況分析

本工作項目主要彙整各國綠色化學政策管理推動方向，包含美國、加拿大、歐盟、英國、德國、瑞典、荷蘭、日本、韓國及中國等，並整合相關法令規範、政策方針等資訊，以供我國未來發展永續綠色化學與循環經濟政策推動之參考依據。

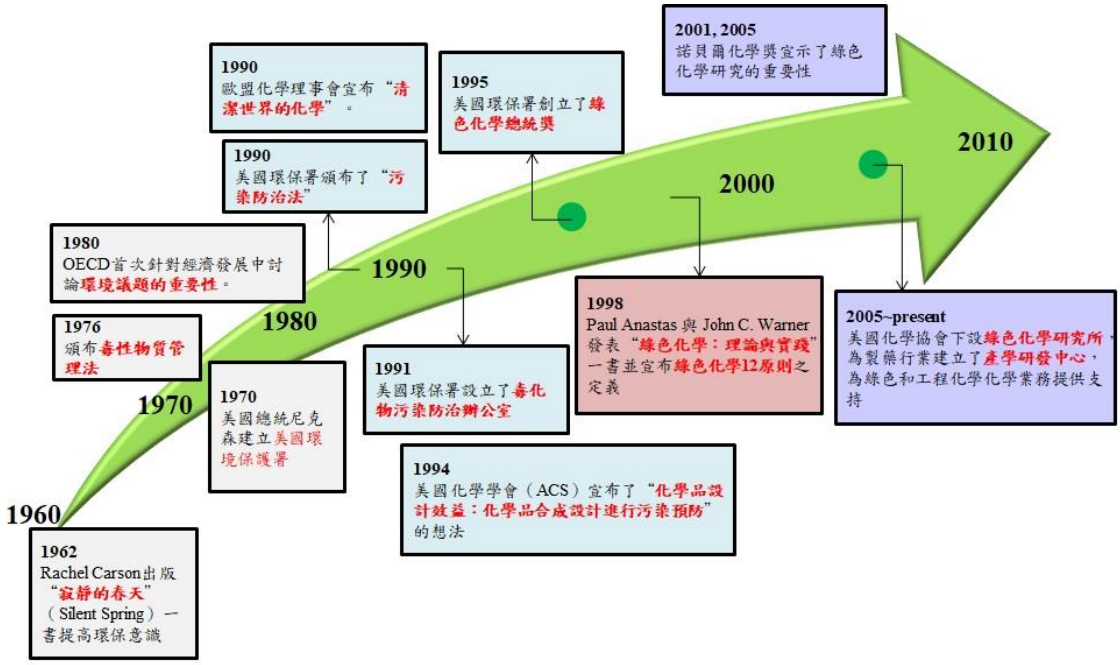
#### 3.3.1 美國

**(a)綠色化學發展**：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（如圖十四所示），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；

- 1998 年美國環保署的 P. T. Anastas 博士及英國諾丁漢大學化學系的 J. C. Warner 教授共同提出綠色化學的 12 條原則，希望能使人類更加瞭解綠色化學的定義；
- 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。




圖十四 、美國綠色化學發展進程

(資料來源：本計畫自行彙整)

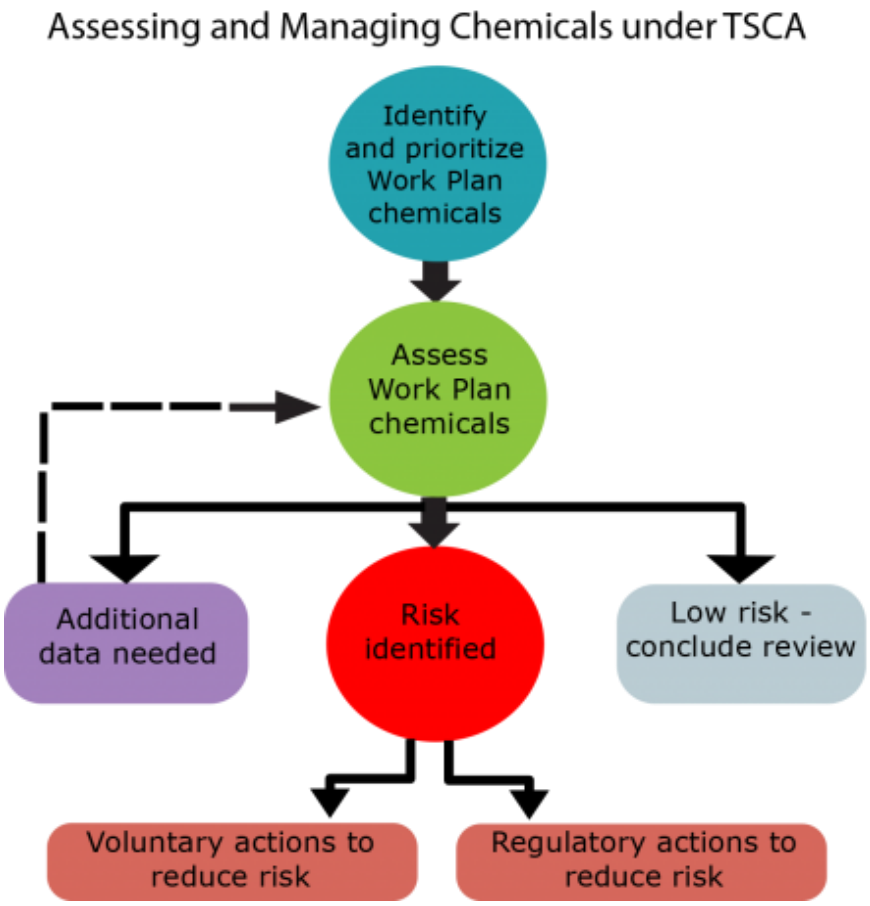
**(b)化學物質管理**：TSCA 現已成為美國有效管理化學物質的法規，其整體化學物質評估架構如圖十五所示，目前最新修正案內容中，規定化學物質必須經過優先化 (prioritization) 、風險評估 (risk evaluation) 及風險管理 (risk management) 等三步驟，以確保既有化學物質安全性，亦保障評估或管理是在實務可行的範圍下進行。

- 優先化：美國環保署於 2017 年建立以風險為基準的篩選程式，來指定化學物質進行風險評估的優先順序，考量的要素包括化學物質的潛在危害及暴露（包括持久性、生物累積性、對潛在暴露或易感亞族群的暴露、貯存於重要飲用水資源附近等）、運作條件 (conditions of use) 及運作量（製造、加工）等。
- 風險評估：經前述優先化的高優先物質即進入到風險評估的階段。這個階段 TSCA 要求環保署需在界定的使用情境下，判斷對物質是否會對健

康或環境造成不合理風險，也會同時考量可能比一般大眾有更高風險的次族群，例如幼童或勞工。

- 風險管理：一旦美國環保署認定化學品具不合理風險時，美國環保署必須公佈風險管理規範，包括化學品標示、業者通報義務、甚至是禁限用等規定。環保署進行評估風險管理措施時，考量的因素包括：人體健康及環境影響、法規措施的效益與經濟（包括國家整體、小企業及科技創新等）衝擊，法規成本與效益考量時亦須將實際之現況納入。

上述三階段的程式作業時程互相牽連形成一個整體的架構，目前美國環保署已於 2016 年，公告首 10 項進行風險評估的物質，正式啟動為期 3 年風險評估。將劃分各物質風險評估範疇 (scope) ，並需納入運作條件 (conditions of use) 中造成危害及暴露的可能，包括持久性、生物累積性、對潛在暴露或易感族群的暴露、貯存於重要飲用水資源附近與否等。本法涵蓋工業化學品及其在生產和流通過程中的管理，建立了商用化學品報告、記錄、追蹤、測試和使用限制等要求在內的一整套化學品管理制度。




圖十五 、美國環保署之 TSCA 推動架構

(資料來源：TSCA （Toxic Substances Control Act）)

**(c)提倡各州毒化物管制**：2008 年之後，美國各州開始通過有關管制產品內化學物質之法律，管制對象及方法因不同州而相異，例如有些州政府僅針對兒童用品進行管制，有些則全面性的管制所有商品，於策略方面則皆需要回報商品的化學成分，但有些州需要再檢附「替代化學物質評估書」 (Alternative Assessment, AA) ，以下以加州及華盛頓州法律為例。

加州是最早通過綠色化學相關法律的州，其於 2008 年通過的兩項 California Green Chemistry Initiative(CGCI) － AB 1879 (Hazardous Materials and Toxic Substances Evaluation and Regulation)及 SB 509(Toxic Information Clearinghouse)，此兩項倡議 (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，並請廠商進行替代化學物質評估，瞭解是否有可替代原化學物質的替代化學成分，最後由 DTSC 回覆廠商，使廠商瞭解 DTSC 將會對廠商的此項化學物質進行管制的措施（禁止或限制）。

華盛頓州的 Children's Safe Products Act 則是針對 12 歲以下孩童用品，並與 Department of Ecology 合作要求廠商提供產品的化學物質資料，至於廠商是否要進行替代化學物質評估則沒有強制規定，而此法案不會強制要求廠商進行化學物質的減量或使用替代物質。上述所提不同州之法律雖管理方式及產品對象皆不同，然而，相同的是，都需要呈報商品中所含的化學物質，此雖無法強制廠商減少使用或使用替代性化學物質，但廠商為了保護公司商譽，於商品的化學物質公佈之後，多針對化學成分進行調整，使得法案推動亦達到管理工業化學物質的目的。

為解決每年幾百萬噸的污染並降低龐大的污染處理費，使政府、工業界及民眾意識由過去主要以污染控制或管末處理來管理污染物質，改以管理商品源頭的原物料、設計、製造，來改善廢棄物或污染物的排放量，使商品和商品副產物於回收或最終處置時，能減少有害物質的釋放，目前主要執行策略如下：

- 美國環保署需發展、執行資源使用減量策略，例如：建立資源減量的量測標準、建立年度獎勵制度，以給予對於資源使用減量有創新或卓越方法的公司獎勵。
- 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。
- 於每年的毒性化學物質釋放表單中，公司的擁有人或執行人須填寫物質的減量使用及回收的相關資料，其包含了物質於某設施中的回收量、與前年相較之下的回收增長率、回收方法等，並將所有資訊公開給公眾瀏覽。

**(d)設立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，近年相關獲獎技術案例如表八說明，其相關參賽資格如下說明：

- 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。
- 必須能達到資源使用量減量。
- 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。
- 必須是過去五年內為重要發展里程碑的技術或發現。
- 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」。

表八 、美國總統綠色化學挑戰獎獲獎技術案例彙整

| **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)** |
|---|---|---|---|---|
| 可保留產品中的活性成分之新型生產 β-氨基酸的綠色製程 | 重新整合生產產品時的製造流程 | 從生質丙三純製備丙烯乙二醇 | 用於印刷工業中之環境友善溶劑 | Atorva 立脂妥膜衣錠(Atorvastatin)綠色合成方式 |
| 發展並商業化應用對環境友善的木質材料黏著劑 | 由豆類成分製成可燃性泡棉，可運用於家具及寢具中 | 利用氫氣進行碳原子鍵結反應 | 以超臨界 $CO_2$ 進行醫學滅菌，取代舊有使用乙烯氧化 | 以奈米觸媒選擇性直接合成過氧化氫 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | | 物及 γ-射線的滅菌法 | |
| 以生物方式發展並商業化雷射印表機所使用之碳粉 | 廣泛使用以自然原料為主的殺蟲劑 | 硼酯化合物的綠色製備方式 | 新的鹼金族元素安定方式 | 冷卻水系統化學及控制技術 |
| 以不使用溶劑的生物催化方式製造化妝品及個人保健食品 | 樹酯與酯類製備成的低揮發性的醇酸類油漆 | 以銅觸媒及環境友善還原劑進行自由基轉移聚合反應 | 以異相觸媒將植物糖反應為液體碳氫燃料 | 設計新的分析用標籤蛋白質 |
| 以過氧化氫創新技術製備對環境友善的環氧丙烷 | 利用恃利(Treattaromes™)香料做為天然殺蟲劑 | 回收 $CO_2$ 生物合成高碳(碳數大於 2)醇類 | 微生物生產再生燃料與化學原料 | 以生物酵素合成佳糖維(Sitagliptin) |
| 利用可再生的原料以較低的成本製造基礎化學藥品 | 以水相製備丙烯酸醇酸樹脂 | 降低有機溶劑依賴性相關研究 | 以生質作物為原料生產丁二酸 | 高分子薄膜科技 |
| 以生物催化的方式有效率地製造怯脂寧(Simvastatin) | 利用酵素降低製造高品質紙張及紙板所需要的能量 | 藉由 $CO_2$ 及一氧化碳製備生物可降解高分子 | 以金屬觸媒生產綠色化學品 | 從礬土提煉純鋁之綠色製程 |

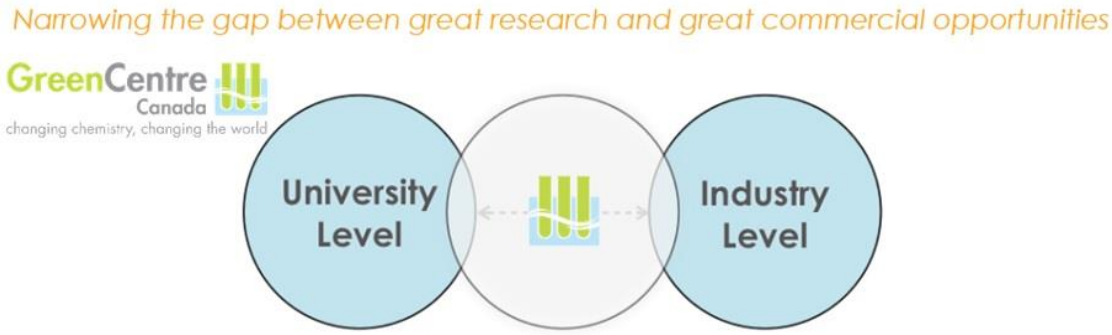
(資料來源：本計畫自行彙整)

美國綠色化學發展包含政府、學術界、工業界，其中，政府單位的新作為於整體時間軸上主要發生於 1995 年以前及 2005 年之後，並影響了 1995 年至 2005 年間之後學術界、工業界的綠色化學走向。於 1995 年之前美國政府藉由 Pollution Prevention Act 及 Presidential Green Chemistry Challenge Awards 來協助並鼓勵工業界、學術界往綠色化學方向發展，促使 1995 至 2005 年此 20 年間，美國國內 GCI、相關學術單位、論壇、研討會的建立，這些學術界及工業界的活動不但培養了美國國內之綠色化學人才，也直接、間接的幫助企業逐漸由過去傳統的技術轉向綠色化學技術，而於 2005 年之後，各州政府開始藉由立法，針對

州內產品的化學物質進行管制，以更具強迫性方式相較於（1995 年之前之法案較具強迫性），使廠商的使用綠色化學技術，並擴大綠色化學於工業的應用。

### 3.3.2 加拿大

**(a)綠色化學發展**：在 2009 年，安大略省政府和加拿大政府以及許多其他的企業夥伴成立了綠色化學中心。綠色化學中心是 CECR (Centres of Excellence for Commercialization and Research) 的會員並且總部設立在加拿大安大略省的金士頓中的皇后大學；如圖十六所示，綠色化學中心的任務就是將學術和業界結合，發展新的綠色化學來促進經濟和環境；同時綠色化學中心也積極在推廣 12 項綠色化學指標和 12 項綠色工程指標。此外，加拿大綠色化學網絡 (Canadian Green Chemistry Engineering Network) 是包含化學、生物化學和化學工程的跨領域網絡，與立法單位，產業合夥人和個個替代和傳統能源，化學，生物化學的製程領域專家共同合作，加拿大綠色化學工程網絡希望將整個創新的研究應用在商業化。




圖十六 、加拿大綠色化學研究中心

(資料來源：Green Centre Canada., 2017)

綠色化學的原則包含了有化學物使用安全，加拿大亦有發展化學物的管理方法，身為化學物質產品安全管理的先驅，也透過化學物管理法案支援國企化學物管理策略 (Strategic Approach to International Chemicals Management, SAICM) ，這是為了世界永續發展的化學物管理規範。加拿大針對風險管理的方法是仰賴完善的科學，評估和監控，結合許多工具來管理化學物造成的風險。

加拿大政府更針對城市和直轄地區和聯邦政府都有不同的角色，聯邦政府負責制定法律和發展教條以及適合全加拿大的目標。許多聯邦化學物法案主要由加

拿大環境和加拿大健康主導，其他聯邦的部門和局也都盡量促進化學物完善管理的生命週期。

**(b)綠色化學相關政策**：加拿大於 1999 年頒布環境保護法案 (CEPA1999) ，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，CEPA1999 補足了許多連聯邦法律缺陷之處，包含：

- 建立情蒐單位；授權環境和人體安全研究活動；商業產品中評估風險的方法；廣泛的物質管理方法，污染和廢棄物以及要求有害物質的釋放不可以被任何定量方法偵測到，此法案和該監督部門需要每五年重新審視來持續改進。
- 有害產品法案:建立化學物的分類標準和有害認知及當局的管理或是禁止標準其中包含工作環境中對使用者會造成危害的管理或禁用。
- 殺蟲劑產品法案:管制可用的產品用以確保環境安全和人體健康
- 有害物質運輸法案:提升運輸有害物質的公共安全
- 漁業法案:禁止投契有害物質到漁業密集水體
- 加拿大勞工守則:規範職業安全衛生的相關議題

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，包含：

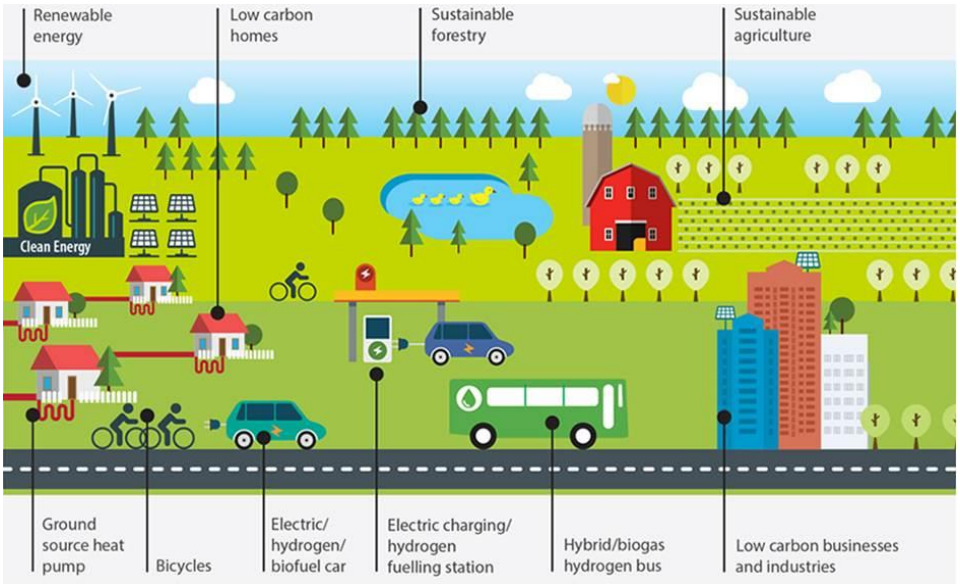
- 設立較受關注化學物的政府強制監督和優先權的時間序。
- 統合跨聯邦部門化學物管理活動並選擇最適合聯邦政府介入的層級。
- 加強研究監控和韌性。
- 增加企業的監督和責任。
- 整合國際的化學物評估和管理法。
- 宣導化學物的潛在風險。

加拿大的國內物質清單 (Domestic Substance List) 建立從 1980 中期到現今的物質分辨方法，第一步就是利用科學的方法評估所有商業可取得的化學物質

CEPA1999 規定約兩萬三千種現存物質如果他有潛在風險就必須受檢驗，而且必須依照下列原則選出影響較大的物質：

- 內部毒性（原本就對人體和環境是有毒的）。
- 持久性（需要長時間降解）。
- 生物累積性（會隨著食物鏈累積在有機體上）。
- 有高暴露機率的物質

經過以上分類後，加拿大在 2006 成為第一個有系統的整理所有國內商業物質的國家。加拿大使用綜合性的環境評估方法，例如：人體暴露最大風臉因數，常用於食物和衣服染料的物質等。由此可見，加拿大政府實施不同的風險管理工具，從監管、活動、自願行動和公眾參與，以解決當前化學物質帶來的風險。並從設計開發階段到製造、使用、搬運、儲存、進口、出口、運輸和最終處置之生命週期的方式進行綜合評估，並希望整合綠色化學技術發展綠色城市願景。



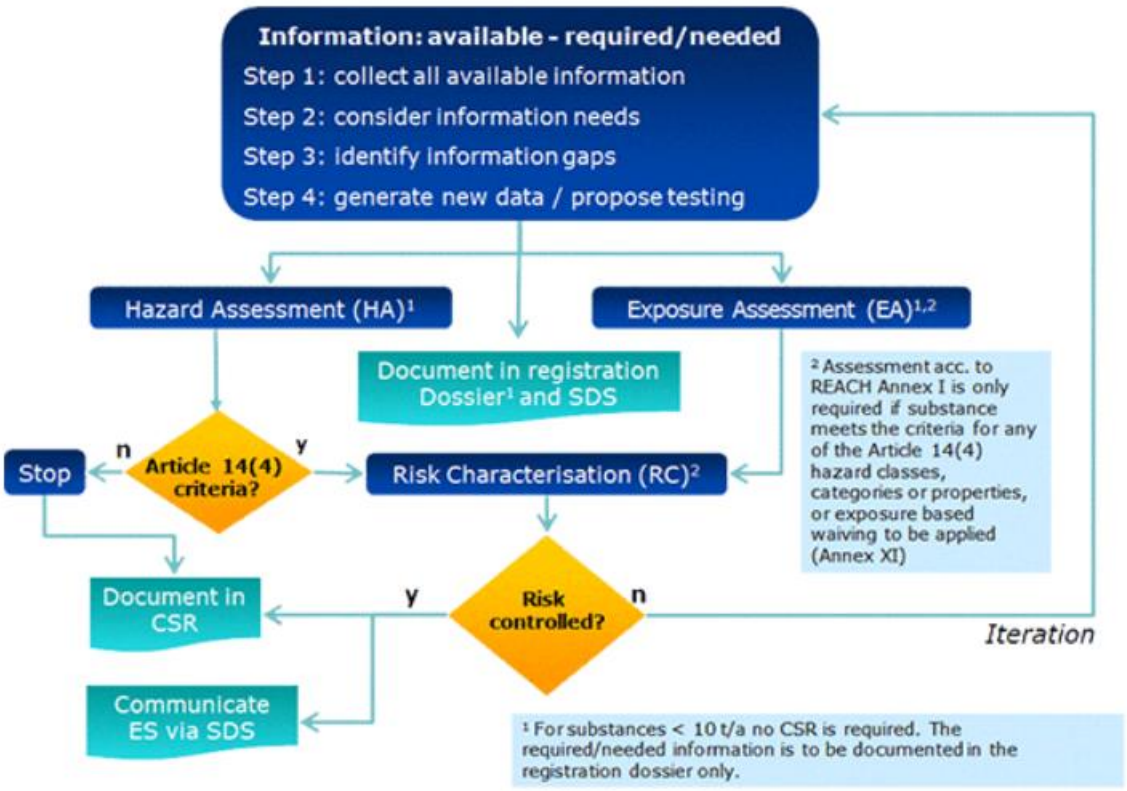

圖十七 、加拿大提出整合綠色化學技術發展綠色城市願景

(資料來源：Green Centre Canada., 2017)

### 3.3.3 歐盟

**(a)REACH 評估體系**：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。如圖十八所示，REACH 法規則包含以下要點：

- 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。歐洲化學品主管機關須於登記後 3 週內完成資料完整性之檢視，如果主管機關未要求製造商或進口商提供更進一步的資料，製造商或進口商可於登記 3 週後開始生產或進口化學物質；如果製造商或進口商未能於期限內提供完整之資料，化學物質將不能被製造或進口。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；產量介於 100 - 1,000 公噸之既有化學物質：須於規章正式實施後 6 年內完成登記；產量介於 1 - 100 公噸之既有化學物質：須於規章正式實施後 11 年內完成登記以及新化學物質須於規章正式實施後 60 日內完成登記。




圖十八 、REACH 評估體系

(參考來源：REACH，http://ec.europa.eu/environment/chemicals/reach/reach_en.htm)

**(b)ZDHC Programe**：有害物質零排放 (Zero Discharge Hazardous Chemicals, ZDHC) 於 2011 年開始施行，最初主要是為了響應綠色和平活動。初步工作確立了一項聯合路線圖，目標發展至 2020 年，其中以服裝業與製鞋行業必須通過所有途徑達到使所有產品零排放危險化學品之實踐。所涵蓋的品牌來自歐洲和美國的品牌，例如運動裝，奢侈品和時尚品牌。ZDHC 明訂製造受限物質清單 (Manufacturing Restricted Substance List, MRSL) ，包含主要用於製造產品的工藝和功能化學品，以及用於清潔設備和設施的化學品。

ZDHC 計畫為了減少使用或管理化學藥品所造成風險，透過建立化學管理系統 (Chemical Management System, CMS) 指導手冊，重點說明發展與支持危險 ZDHC 計劃中 CMS 所需的方法。其中，政府根據政策規定新製造或進口的通用（工業）化學品，業務經營者須通過事先審查提供通知進行審查。ZDHC 與 CMS 的目

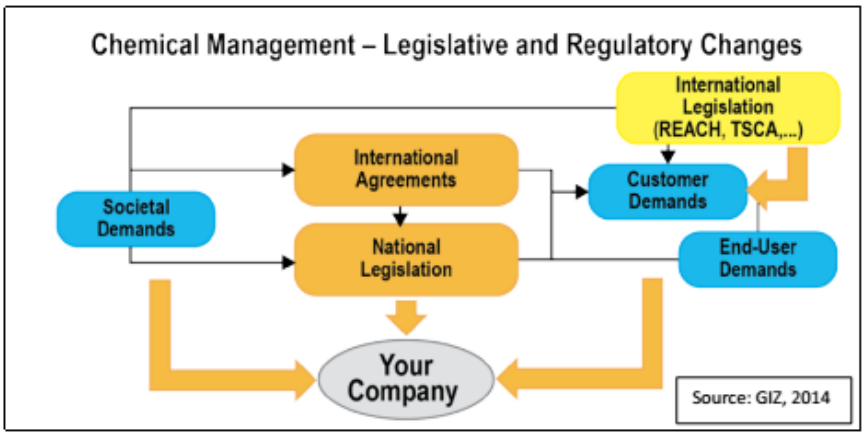
標是製定一個管理框架，協助相關藥品零售商，供應商與化學品供應商瞭解其對於危險藥品零排放角色，並制定明確的準則，使所有承諾的供應鏈利益相關者參與並承擔其價值鏈的一部分責任。為將各種推動措施結合生命週期的各個階段，必須經由立法與監管制度設計執行，主要有下列四個方面(如圖十九所示)：

(1) 說明營運所需的管轄權，法規與許可證（例如，城市，州/省，國家）

(2) 建立監督管理團隊

(3) 規範各項子系統監督管理之權責

(4) 明定重大操作或限制變更之規定




圖十九 、化學管理體系架構示意圖

(參考來源：Giz, 2014)

為了建立成功的化學管理體系，高級領導階級必須承諾並確保建立、實施、維護與改進對於客戶滿意度。其中相關資源包括人力資源與專業技能，組織基礎設施，技術與財政。將以下角色與職責納入體系中，將每個單位權責分配明確，使相關聯繫人傳達給適用的供應鏈合作夥伴，因此，如表九所說明，化學管理體系組織結構圖、角色與責任分配應隨著組織的變化，每年應定期檢討與更新並擬定關鍵績效指標（如表十所說明）。

表九 、化學管理體系之管理單位與權責分配工作

| 管理單位 | 權責分配工作項目 |
|---|---|
| 監督團隊 | ‧ 定期向高級領導報告<br>‧ 負責CMS的日常管理 |

| | |
|---|---|
| 法規符合度 | ・對於每個適用的管轄區，定期監督調整適用的法規<br>・鑑別新的或變更的法規要求 |
| 化學應用與管理 | ・負責產品製造過程與產品化學知識<br>・負責建立供應鏈合作夥伴與各項單位元視窗 |
| 危害評估和風險管理 | ・負責化學產品與製程中之危害風險評估<br>・負責建立供應鏈合作夥伴與各項單位元視窗 |
| 組成永續化學委員會 | ・負責組織中化學品管理的代表<br>・負責化學品管理與擬訂永續化學指標 |

(資料來源：本計畫自行彙整)

表十 、化學管理之關鍵績效指標

| 項目 | 關鍵績效指標 |
|---|---|
| 組織架構 | ・明定各單位責任歸屬<br>・強化單位橫向溝通機制 |
| 人員培訓 | ・落實工作品質管理<br>・加強專業知識訓練 |
| 文件管理 | ・建立化學物質資料表管理資料庫<br>・落實組織內化學藥品流向紀錄與追蹤機制 |
| 化學管理工作 | ・評估員工暴露風險<br>・建立安全資料數據管理機制<br>・落實化學物質運輸、儲存與棄置等系統<br>・完善員工標準作業流程 |

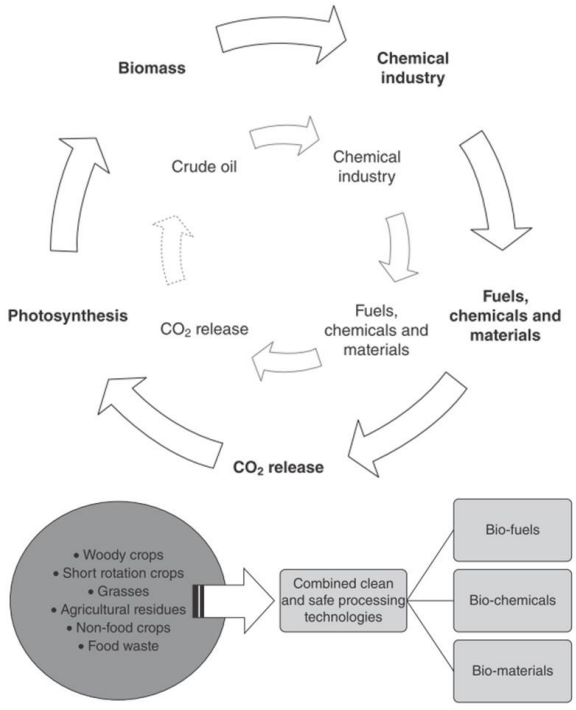
(資料來源：本計畫自行彙整)

**(c)永續化學獎**：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：

- 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。

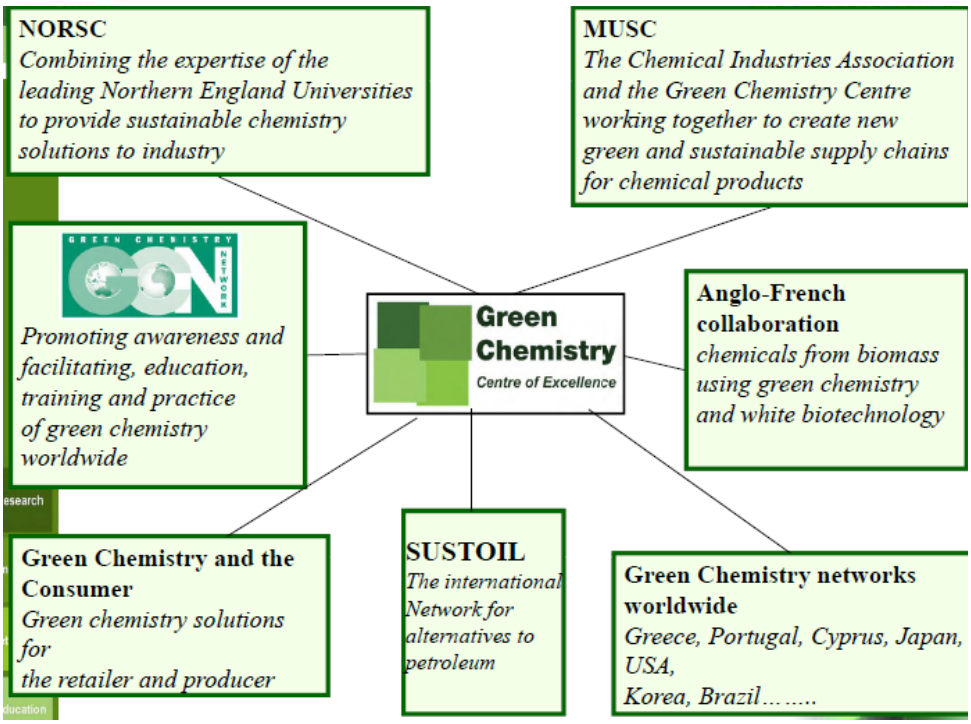
### 3.3.4 英國

**(a)推動綠色化學權責單位**：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。如圖二十所說明，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。




圖二十 、英國綠色化學環境、食品農村事務部整合環境與農業部門發展生質燃料（參考來源：L.A.PFALTZ GRAFF and J.H.CLARK, 2009)

**(b)發展綠色化學技術**：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（如圖二十一所示）。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。




圖二十一 、約克大學 (University of York) 建立綠色化學卓越研究中心

（參考來源：University of York, 2015)

近年來，英國化學工業協會積極響應政府對國家發展綠色化學促進永續發展之承諾，進而發展高價值製造業，與夥伴關係和其他利益相關者開展合作。並持續加強英國各地企業化學和化學的長期競爭力，特別關注推動創新，投資和出口；

強化價值鏈，使行業能夠為企業和社區提供低碳解決方案，同時確保競爭力和永續的能源供應。英國化學工業所關切的八項領域為(1)氣候變化；(2)能源；(3)健康和安全；(4)租稅；(5)貿易；(6)環境；(7)化學品管理；(8)經濟增長等。

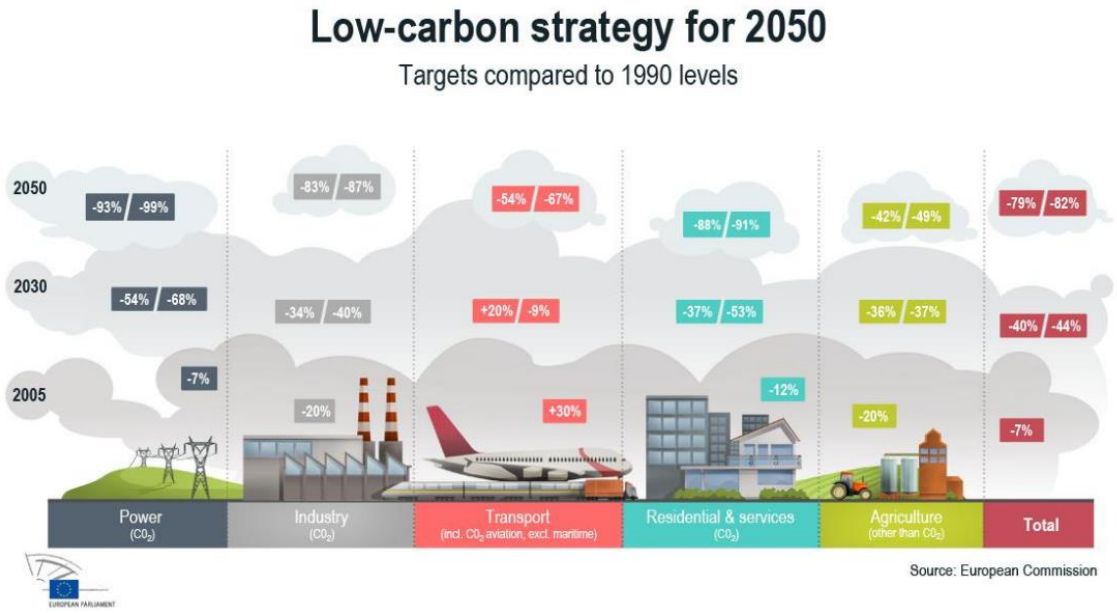
### 3.3.5 德國

**(a)綠色化學執掌單位**：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。德國關於綠色化學之相關機構如下：

- DECHEMA (Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie)：建立使用綠色化學的方法評估某化學物質產品之生態效率與永續性，並特別加強宣導綠色溶劑和催化劑之應用，考慮到環境衝擊低的溶劑的話最常見的就是離子性液體、超臨界反應材料；
- 德國化學工程協會：致力於勞工安全的照顧。主要的工作內容就是生產工廠、運輸的安全要求減少原物料和能源在經濟上的適用和排放的減量；
- 德國聯邦環境基金會(German Federal Environmental Foundation, DBU)：德國聯邦環境基金會是歐洲最大的環境基金會，主要在促進環境保護的計畫。

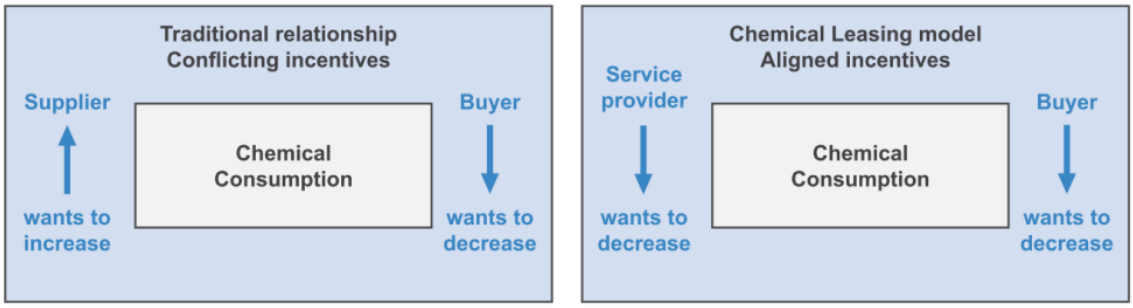
於 2015 年德國政府推動歐盟所發表的 2050 低碳經濟策略和 2 年能源效率計劃（如圖二十二所示），特別針對工業部門發展綠能政策，其中亦提倡改善化學製程與使用良好催化劑以提升能源效率，建立綠色化學示範園區。




圖二十二 、德國 2050 低碳經濟策略

(參考來源：European Commission)

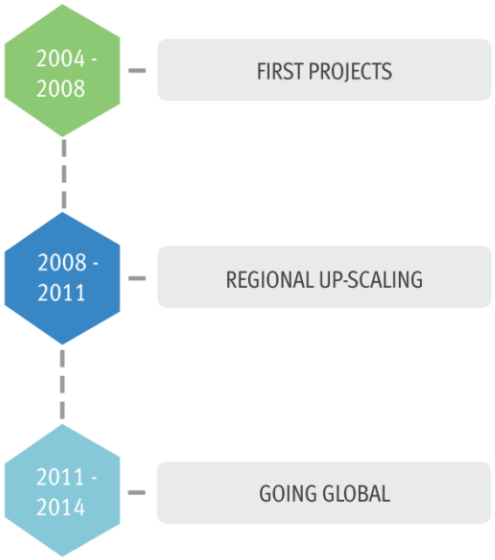
**(b)推動化學租賃制度**：另一方面，德國政府亦呼應聯合國的響應推行了化學品租賃制度 (Chemical Leasing) ，此制度是一種以服務為導向的商業模式，可延伸生產者與客製化服務的責任，包括化學品整個生命週期的管理。如圖二十三所示，傳統上，供應商為了增加銷售量而買方則想要減少化學品用量。透過化學品租賃制度，生產者銷售的化學品以功能導向為主，藉由和生產者簽訂長期客製化服務合約，使化學品更有效地使用提升經濟效益，同時降低化學品對環境及人體健康的風險。




圖二十三 、化學品租賃制度示意圖

(參考來源：(UNIDO, 2016))

化學品租賃制度始於 21 世紀初（圖二十四），由奧地利之農業，林業，環境和農業部針對化學品租賃潛力的研究並期望活絡當地化學品市場。2004 年聯合國與奧地利政府開始推廣化工產業之循環合作和商業合作模式基於良好示範計畫，聯合國也逐漸在不同地方推廣化學租賃制度，往全球化的方向進行。化學品租賃制度之永續性標準包含減少能源資源浪費、提升化學品風險管理維護人體健康、改善經濟與社會效益與公平分享制度、完善化學品管理體系等。其成功的關鍵因素在於利益分享，完善標準與參與方彼此信任。以共同實踐環境、社會與經濟效益永續發展為目標。




圖二十四 、化學品租賃制度發展進程

(參考來源：(UNIDO, 2016))

化學品租賃制度主要是以化學公司為特定用戶提供化學物質的商業模式，但保留該化學品的所有權。目的是把焦點從增加化學品銷售量轉向增值方法，化學品更有效地使用，並提升環境與經濟效益，因此，可作為一種創新商業模式可加速循環經濟推動，如圖二十五所示，由於該制度可全面性將化學品銷售零浪費與產品生命週期納入考量，將有助於建立循環系統，並強化商業夥伴之間的交流與提升資源使用效率。

圖二十五 、整合化學品租賃制度促進循環經濟體系之發展

(參考來源：(UNIDO, 2016))

化學品租賃制度的概念亦符合 SAICM 的宗旨與 REACH 的相關精神，因為三者的目標都是妥善管理化學品的整個生命週期，強化全球性的化學品管理體系，使人體健康和環境的不利影響最小化：

- 化學品租賃和 REACH 皆具備推動化學品供應商之間的成本管控、收益均衡與責任共承擔的理念。
- 化學品租賃和 REACH 影響層級皆包含各行各業，包括製造商，進口商，出口商和下游用戶。
- 化學品租賃和SAICM 皆要求各上中下游之化學品銷售流向必須嚴格監控與控管。

- 化學品租賃制度可透過完善的控管以降低危險物質排放，與 REACH 整合之後進而減少化學品之註冊/授權之費用。

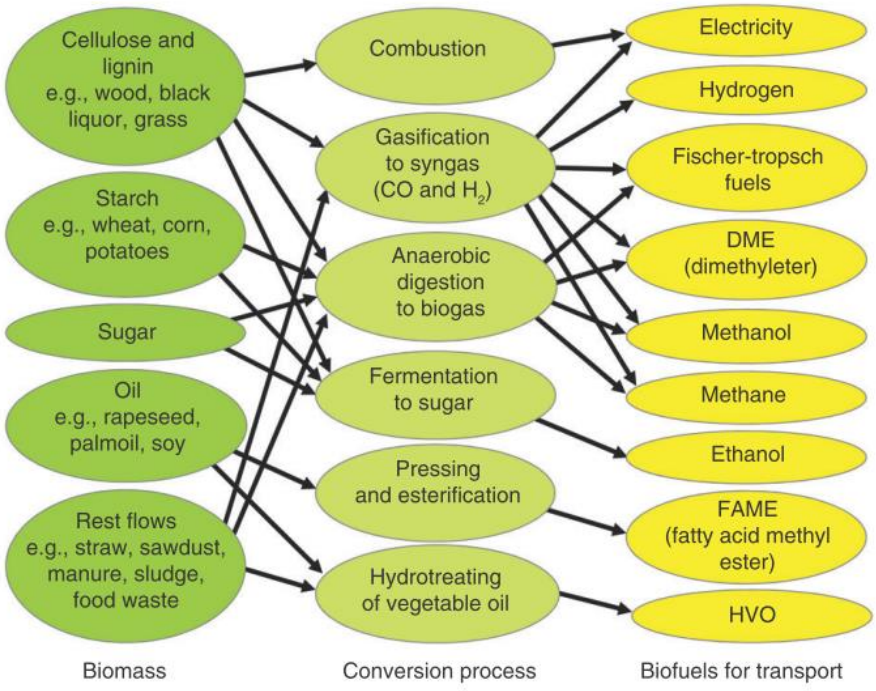
### 3.3.6 瑞典

**(a)綠色化學執掌單位**：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。

**(b)發展綠色化學策略聯盟**：瑞典的 Greenchem 是一個致力於發展永續無污染工業生物科技的研究聯盟，著重於利用回收的原料來生產「綠色」的化學產品，由瑞典 Lund 大學生物科技系、環境與能源系、CIRCLE (Centre for Innovation, Research and Competence in the Learning Economy) 機構及八個業界團體所組成。八個業界團體分別代表著化學藥品的生產、使用及回收者。他們所扮演的角色是從製造及產品應用的角度出發，提供以無污染製程之方式製造「綠色」化學產品的專業建議，包括 Aarhus Karlshamn、ACO HUD NORDIC、Akzo Nobel Industrial Coatings、Akzo Nobel Surface Chemistry、AstraZeneca、IKEA 及 Perstorp Protist；Greenchem 的綠色化學產品目標被分為兩個大的應用範圍：一是塗佈材料、黏著劑及潤滑劑，而另一個是保養品與清潔品。舉例來說，綠色化學產品包含了脂肪環氧化物、縮水甘油醚、脂肪酯、烷機配醣類及醇醯等等。而這些化學產品基本上是用比一般化學反應殘留物更環保且節能的生物觸媒反應來生產的。更值得一提

的是，生產過程所使用的觸媒不僅取得容易且原料是由其他製程回收而來的，對於環境保護可謂是助益良多。產品在實驗室研發成功後，其合作的業界團體則負責最後的產品檢驗及量化。

**(c)發展清潔技術**：為了加速這些產品及技術的應用，Greenchem 也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，達到環境保護的目的，例如，Greenchem 開發了一種植物油傢俱的表面處理產品，使用酶脂肪酶進行化學修飾，該產品可用作油漆中的成分；亦可作為洗滌劑、洗髮劑和護膚產品的表面活性劑成分。另一方面，目前瑞典運輸業之再生燃料使用佔比為歐盟第一，其 2030 年的目標是用於獨立於化石燃料的車輛，生質燃料可按化學成分分類，依照原物料不同的成分生產適用的再生燃料。




圖二十六 、瑞典 Greenchem 推動生質燃料技術

(參考來源：Greehem，2016)

### 3.3.7 荷蘭

**(a)綠色化學相關法令**：當前荷蘭在綠色化學上的法令，主要依據 2015 年所提出的 17 個永續發展目標 (goal) 及 169 個目的 (target) 所制定，在 169 個目標中，41 個目標現有相關政策，主要包含：水、土、空氣污染防制，生物多樣性、農業、工業升級，及永續資源使用消耗 (sustainable consumption and production) ，皆與綠色化學有相關，透過立法，促使國家及社會進行綠色化學的研究與提升，達到永續發展目標，與綠色化學相關之法令政策如表十一說明，藉由政策規範，如制定稅收 (Green tax) 、農工業升級等，並透過綠色化學 12 原則評估技術是否有助於永續社會之發展。此外，公民參與是綠色化學推廣與發展手段之一，透過提高公民綠色意識，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，有助於綠色化學的發展。荷蘭政府除了在政策制定外，亦藉由以下方法達到「活力社會 (Energetic society) 」及「參與社會 (Participation society) 」，由上而下的政策配上由下而上之參與，使永續發展真正落實。

表十一 、荷蘭針對綠色化學相關政策

| 政策 | 執行方針 |
|---|---|
| 廢棄物資源化 | 提高生產效率與資源使用效率，並減少污染排放及致死率，達到永<br>續生產及管理 |
| 水資源保育 | 減少對水資源的污染及提高水資源使用效率 |
| 自然資源保育 | 陸地與海洋自然資源之保護 |
| 能源管理 | 提高能源使用效率與再生能源使用率 |
| 廢棄物管理 | 更有效率管理資源，藉以減少每人環境衝擊量 |
| 氣候變遷 | 針對氣候變遷進行調適，並減少溫室氣體排放 |

(參考來源：本計畫自行彙整)

**(b)發展綠色化學技術**：目前荷蘭地區的綠色化學主要分佈以綠色能源、綠色材料、污染處理以及提高生產效率為主要，以下就其荷蘭綠色化學的案例如表十二所說明。

表十二 、荷蘭綠色化學技術案例

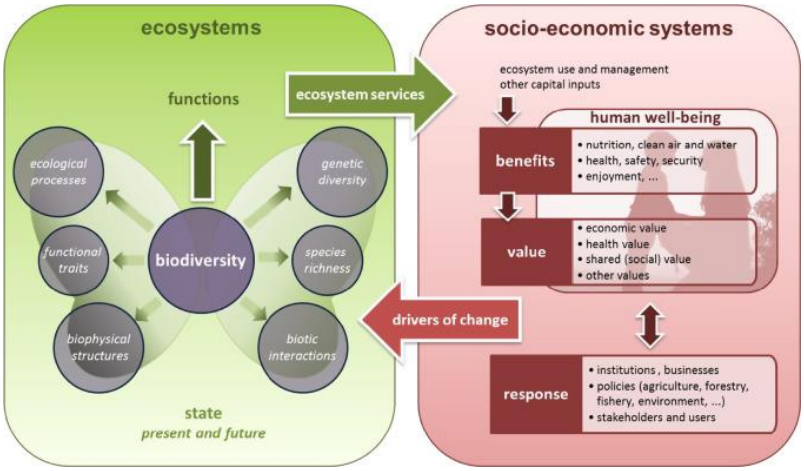
| 企業或單位名稱 | 技術名稱 | 技術簡介 |
|---|---|---|
| Bioclear earth | 利用二氧化碳及氫氣合成甲烷 | 利用二氧化碳與氫氣作為原料，在微生物的作用下結合生成甲烷，目前該公司積極與眾多大學，包含：Hanze University、University of Groningen，期待能更加推廣此技術，做為未來的清潔能源。 |
| Bioclear earth Company and University of applied sciences Emden-Leer | 廢廚餘產電與施肥 | 能擷取廚餘中含有的大量能源作為使用，同時最終產物亦可施肥，達到環境友善之廢物利用。 |

(參考來源：本計畫自行彙整)

**(c)建立化學生態系統**：荷蘭政府正大力推廣化學生態系統，如圖二十七所示，係指結合產官學研等能力，建立綠色化學之生態鏈結與國際夥伴關係，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，其相關效益可落實至社會與經濟層面。

圖二十七 、荷蘭化學產業生態系統藍圖

(參考資料：Chemical Industry in the Netherlands, https://investinholland.com/industries/chemicals/)




圖二十八 、荷蘭建構生態系統服務實踐社會經濟效益示意圖

(參考資料：http://biodiversity.europa.eu/maes)

### 3.3.8 日本

**(a)綠色化學發展**：日本在綠色化學的發展始自於 1970 年代，一開始只有少部分的公司投入，隨著永續發展的意識逐漸提高，現今綠色化學在日本的應用已成為國際上的典範之一。Hidemichi Fujii 在 2015 年整理了自 1970 年開始到 2010 年間各公司在綠色化學的應用，Fiji 將綠色化學產業分成五個類別：(1)生物降解法；(2)水溶液相關；(3)生物科技類；(4)無氯漂白科技；(5)生化燃料電池。1978 年開始，綠色化學的產業開始增多，然而在 1990 年代因為受到經濟衰退的影響，對於綠色化學的投資與發展呈現逆成長，2000 年之後，因為政府政策，包含環境法加嚴以及毒性化學物使用規範，促使綠色化學再度被重視。1998 年，日本工業貿易部 (Ministry of International Trade and Industry) 公佈「日本國家生物降解聚合物和塑膠計劃 (Japan's national program on biodegradable polymers and plastics) 」促使相關產業的發展，其中以印刷業占大多數，例如 Toppan Printing Co., Ltd 所生產一種生物可降解且無毒的電子卡片。2000 年之後，因應能源轉型的問題，使得生化燃料電池的發展也越漸被重視，2011 年 3 月的東北大地震，促使對於新型能源的重視，同時在災後的復原方面，綠色化學的新技術也扮演重要的角色。

**(b)發展綠色化學技術**：在日本的綠色化學應用中，以生物科技占最大宗，其他如綠色溶劑、較高原子經濟之設計程式、低有害物質排放等，近年日本綠色化學技術發展案例如表十三所說明。

表十三 、日本綠色化學技術案例

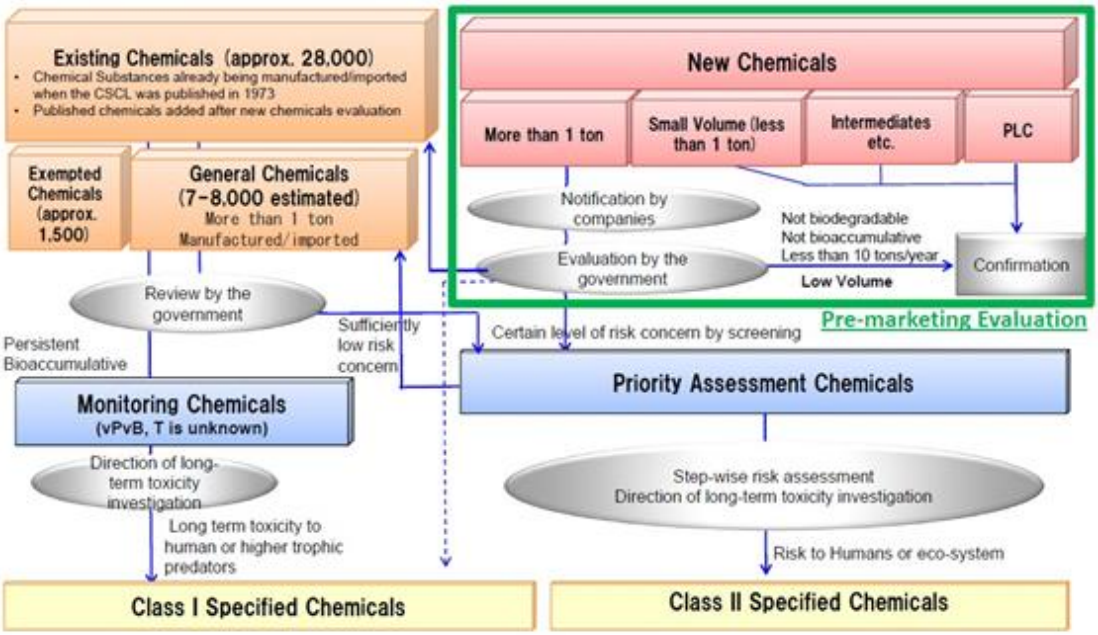
| 企業或單位名稱 | 技術名稱 | 技術簡介 |
|---|---|---|
| 旭化成株式會社 (Asahi Kasei Corporation) | 利用二氧化碳作為聚碳酸脂的生產 | 聚碳酸脂為工業用塑膠之一，傳統的生產是利用 CO 及 $Cl_2$ 結合，生成有毒氣體 phosgene 作為中間產物，再加入酚進行合成，其過程不僅產生有毒氣體，其原料也較為環境不友善，因此利用二氧化碳及環氧乙烷，成功生產出聚碳酸脂並商業化，該技術取代傳統的 CO 及 $Cl_2$，使用二氧化碳及環氧乙烷作為反應物，不僅在原料上較為環境友善，同時也不再產生有毒的中間產物，也不需要二氯甲烷作為溶劑，達到綠色化學的生產過程。 |
| 三菱化學公司 (Mitsubishi Chemical Corporation) | 利用環氧乙烷生產單乙二醇 | 單乙二醇是種防凍液以及生產樹脂與聚脂纖維的材料之一，在傳統非催化劑的環境下，其產率約只有 89%，而三菱化學公司所利用的新技術可以將產率提高至 99%，其技術之核心是以碳酸亞乙酯經由兩階段合成，提高產品產率。第一階段是利用磷鹽產生碳酸亞乙酯作為中間產物，第二階段再將碳酸亞乙酯水解，此反應幾乎可完全反應，提高產率且不浪費任何反應物，此技術已在實際工業中被商業化，取代傳統的技術，此綠色的技術不只節省了資源消耗，同時能源、水資源、溫室氣體的排放也皆有明顯減少，是為綠色化學的案例之一。 |
| 靜岡大學(吉田潤一) | 綠色有機化學合成程式 | 有機陽離子目前廣泛的應用作為有機合成的中間體，其不穩定的特性使的其必須在親核試劑 (nucleophiles) 中生成，吉田教授團隊所發展之 (Cation pool) 方法利用低溫電解，有助於其中間體不需再親核試劑中生成，可應用於電化學氧化及化學氧化法。 |

(參考來源：本計畫自行彙整)

**(c)化學物質管理**：日本經濟產業省、勞動省以及環境部於 2009 年 4 月 1 日和 2011 年 4 月 1 日分兩步驟對毒性化學物質進行管理。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。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。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) 。

- 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，依據化審法規定，凡一般和優先評估之化學物質之 2010 年製造或輸入量達 1 公噸者，須進行通報。

依據修法後的化審法，日本廠商可要求非日本境內之出口商供應商提供下列資訊： 化學物質的辨識資料（IUPAC 名稱、CAS/METI 番號）混合物中組成物質的濃度 其中針對一般化學物質的部分，則無須通報濃度小於 10%之預期之添加劑和無預期產生的污染物 而針對優先評估化學物質，低於 1%濃度之無預期產生污染物無須通報，然而預期的添加劑無論組成濃度為何，則皆須進行通報。




圖二十九 、日本環境省之 CSCL 推動架構

(參考來源：Chemical Substances Control Law)

**(d)綠色及永續化學獎**：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。

表十四 、日本色綠色及永續化學獎獲獎技術案例彙整

| 經濟、貿易與工業 | 環境 | 教育、文化、運動、科學與科技 |
|---|---|---|
| 於水相塗佈光熱成像薄膜 | 發展環境友善之異相無機鹽類觸媒 | 使用水為輔助之循環印刷系統 |
| 利用 $CO_2$ 以非光氣法生產聚碳酸酯 | 發展新的五環氟化物綠色製程 | 利用環境友善觸媒於高效率有機物生產製程 |
| 發展並工業化氣相貝克曼重組製程，用於 | 發展並工業化新的有氧環境下之氧化方式 | 發展對環境友善之防火環氧樹酯並應用於電子元件 |

| | | |
|---|---|---|
| 生產己內醯胺(ε-Caprolactam) | | |
| 利用超臨界流體生產有機與無機材料 | 發展新的觸媒反應-激化未反應之化學鍵 | 應用於表面結構之強力光催化纖維，並商業化於水淨化系統中 |
| 藉由種植的高爾基體自動化生產糖綴合物 | 設計手性催化劑並生產非對稱性胺基酸 | 低硫化燃料生產技術 |
| 固態異相觸媒用於化學製程 | 運用噴墨技術生產液晶螢幕中薄膜 | 發展聚合物觸媒用於水相化學製程 |
| 利用固態酸性觸媒於四氫呋喃聚合化製程 | 發展新型潤滑劑減緩環境負擔 | 教育與傳播綠色化學 |
| 藉由循環異丙苯於丙烯氧化製程 | 藉由印刷技術發展塑化染料敏化太陽能電池 | 藉由藥物添加劑減量促進能源節省 |
| 藉由次臨界水工業化生產界面活性劑 | 開發新的矽烷偶聯劑用於輪胎生產 | 開發多金屬觸媒 |
| 使用固態酸性觸媒製備剛硬性合金 | 開發粉末光觸媒用於太陽光電解水產氫 | 研發有機自由基電池 |

(參考來源：本計畫自行彙整)

**(e)綠色化學技術範例**：日本部份企業對於實踐綠色化學原則發展創新技術，並邁向循環經濟已推行多年，主要針對電子廢棄物的資源化再製造為產品，例如：(1) 佳能 (Canon) 公司一直致力於將廢棄塑膠進行回收並用於新的佳能產品中，將收集到的機械先進行拆解和分類，而後將外殼中的工程塑膠進行破碎和清洗，其他塑膠則優先分離後再處理。(2) 富士公司 (Fujitsu Ltd.) 是一家跨國資訊科技設備與服務供應商，並成立了個人電腦產業中第一個廢舊光碟回收中心，該中心可將廢舊光碟中的塑膠進行回收，而後在後續新電腦的生產過程中進行再利用，富士公司更與美國 US-based Anything IT 聯盟的合作夥伴，擁有超過十年的良好合作關係，產業界能夠將資源化產生的利潤提供消費者優質產品與優惠售價。(3) 日本電氣 (NEC) 公司推廣回收的設備進行檢測以確定可以進行再利用，並制定後續的維修方案，如果設備無法修復，則進行拆解和人工分類，當中的纜線出售給非

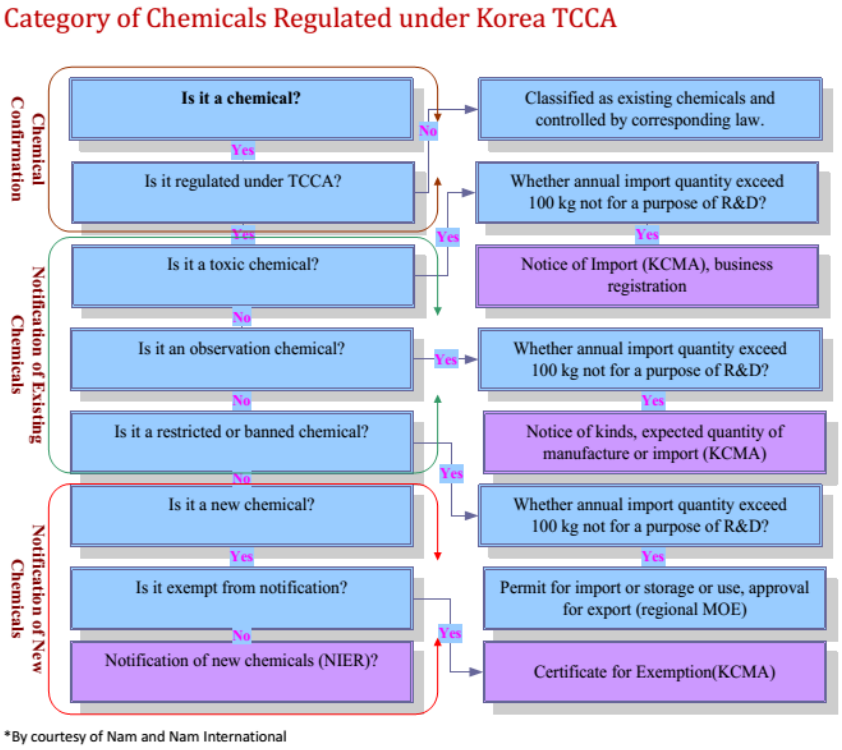
金屬加工企業，PCB 板則交由金屬回收企業進行處理，並使用熒光燈檢測處理后產品的汞含量。

### 3.3.9 韓國

**(a)綠色化學相關法令**：韓國有毒化學品管理法 (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，整體架構如圖三十所說明，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) ，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。

韓國政府透過 ARECs 的修訂，引入預註冊機制與全面既有化學物質註冊要求，期許能更完整地蒐集物質之危害與使用資料；並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。

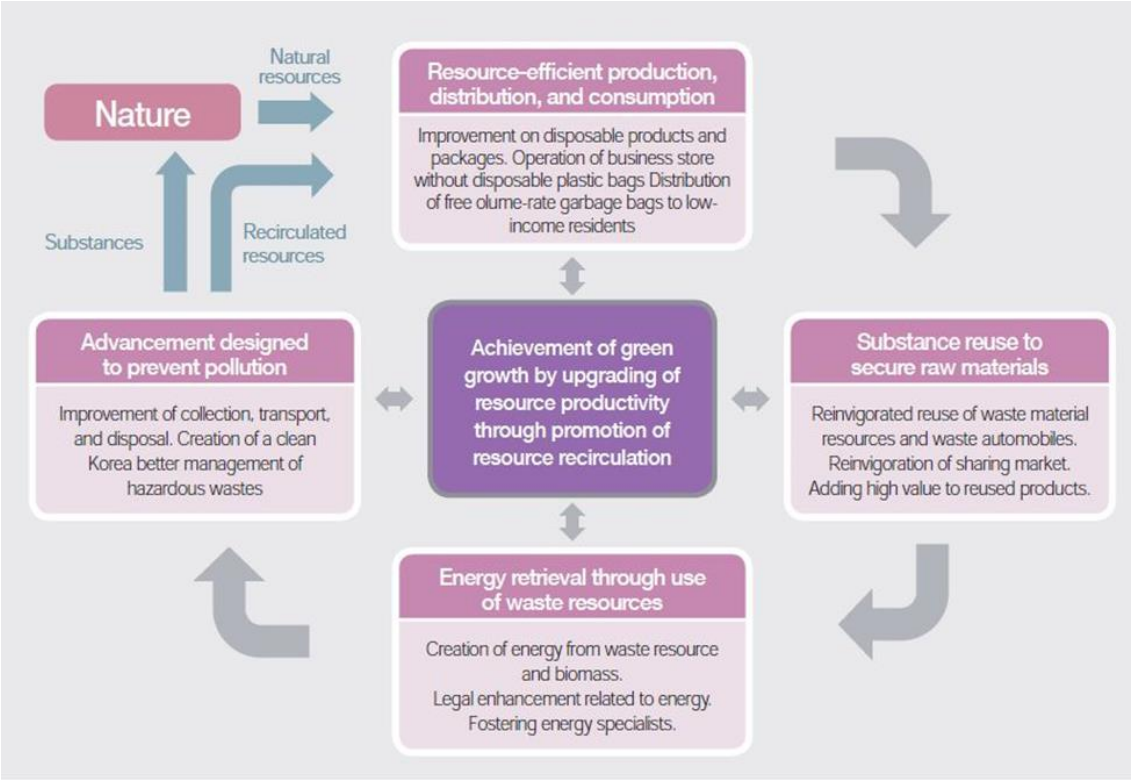
ARECs 主要修訂內容包含：修法後的 ARECs 亦納入更全面的供應鏈溝通以及通報要求，凡註冊的新及既有化學物質物質或含其之混合物、危害性化學物質(不論註冊與否)、指定之新化學物質(少量通報)與豁免的低關注聚合物等，皆須向下游提供化學物質安全使用資訊；如產品中含有優先管制物質，也須向韓國環境部進行通報。




圖三十 、韓國環境部之 TCCA 推動架構

(參考來源：Chemical Inspection & Regulation Service)

**(b)以綠色化學原則推動循環經濟**：韓國針對廢棄物減量之政策包括對一次性產品和過度包裝產品限制，改善產品設計，改良裝載系統，規劃良好的回收通路，特別針對廢棄化學產品，例如塑膠廢料或廢棄塑化用品等進行回收改質，以降低能耗的角度思考，重新設計為再生產品，提升其附加價值（圖三十一）。




圖三十一 、韓國推動廢棄物資源化邁向循環經濟示意圖

(參考來源：Chemical Inspection & Regulation Service)

### 3.3.10 中國

**(a)綠色化學發展**：中國最早明確提出綠色化學相關的議題是在 1995 年，由中國科學院化學部提出「綠色化學與技術」的院士諮詢課題，綠色化學開始正式的發展。1997 年，1997 年啓動「環境友好石油化工催化化學與化學反應工程」等一系列研究項目，對中國之後基本有機化學生產技術的綠色化進行了嚮導性的基礎研究。發展至今，中國綠色化學在各個工業部門都有一定的發展：

- 煤炭工業：煤炭液化技術、煤炭地下氣化技術、水煤漿技術、潔淨煤聯合循環發電技術、循環潔淨煤技術。
- 石油資源優化：清潔汽油：超臨界態催化轉化技術；柴油加工（脫硫）：非晶態微晶合金新材料。

- 有機電化學：利用電子得失來替代還原劑以及催化劑，從根本上消除污染。
- 生物農藥：生產發展環境友好的生物農藥。
- 綠色洗滌業：1993 年起研製新型無磷洗衣粉並投入使用。

中國綠色發展趨勢，其中針對原子經濟特別包含催化、催化劑方面皆有高水準的發展。對於催化劑、溶劑方面做了非常多的研究，例如超臨界 $CO_2$ 代替有害有毒溶劑的發展等等。開發清潔的能源，做到源頭減廢，同時加強催化劑以及新型化學物質的生產使用，提高原子利用效率，減少廢棄物產生，提升經濟以及環境效益，實踐綠色化學原則與目標。

中國綠色化學最早是由中國科學院明確提出並展開發展，後由政府機構與國有企業類似於中國石油化工集團一同發展，融入工業發展中。各大高校成立綠色化學與技術研究中心，以學術交流與強化基礎技職教育的方式，包含舉辦研討會、論壇活動，開展相關研究。2006 年中國化學學會與綠色化學專業委員會成立，與中國環保部門等政府部門機關相應合作，推動綠色化學的發展。

**(b)綠色化學相關政策**：綠色化學可視為實踐永續（可持續）發展之手段之一，透過綠色化學原則進行產品與製程設計，可提高附加價值以及降低環境污染，中國目前對於綠色化學相關推動政策如表十五所說明。

表十五 、中國針對綠色化學相關政策

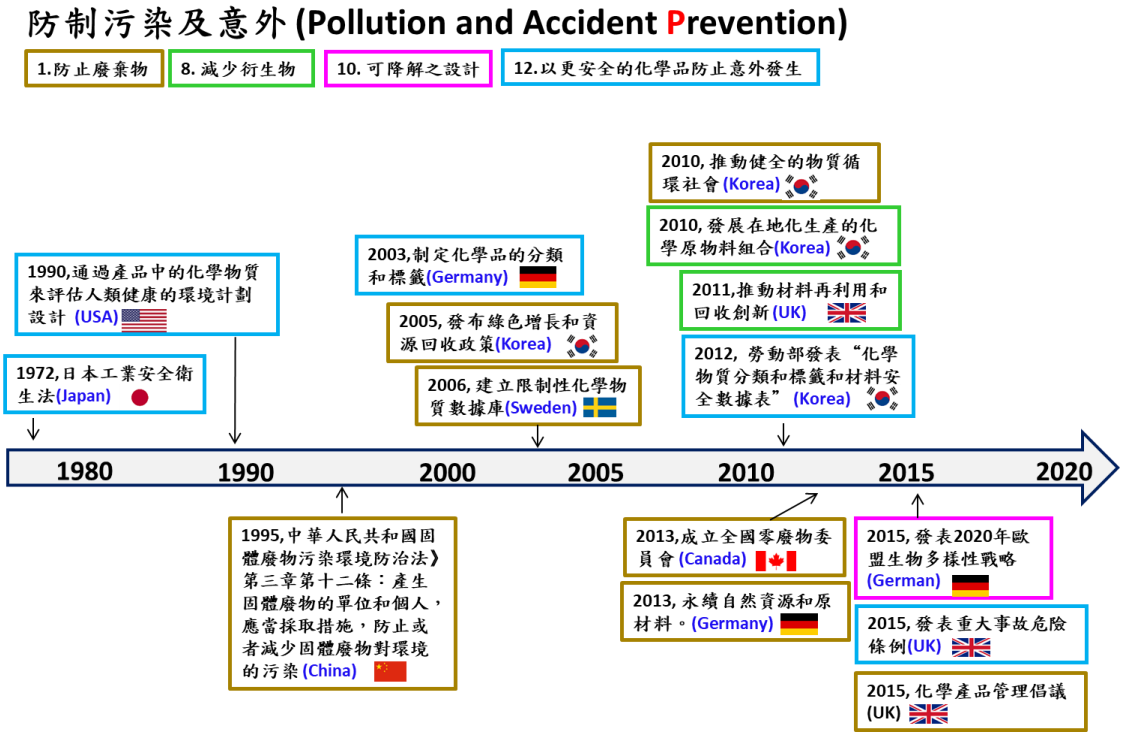
| 政策 | 執行方針 |
|---|---|
| 廢棄物資源化 | 國家鼓勵單位和個人購買、使用再生產品和可重複利用產品 |
| 提升能源效率 | 綜合利用現代生物技術和化學化工技術的綠色生化工程，如再生物質能源等 |
| 促進原子經濟性 | 依據永續發展的基礎上研究合成化學和催化化學的基礎問題，發展綠色合成和綠色催化技術，提生產率與產能 |
| 降低毒性危害物質 | 國家鼓勵科研、生產單位研究、生產易回收利用、易處置或者在環境中可降解的薄膜覆蓋物和商品包裝物 |
| 廢棄物管理 | 對固體廢物污染環境的防治，實行減少固體廢物的產生量和危害 |

| | |
|---|---|
| | 性、充分合理利用固體廢物和無害化處置固體廢物的原則，促進清潔生產和循環經濟發展 |

(參考來源：本計畫自行彙整)

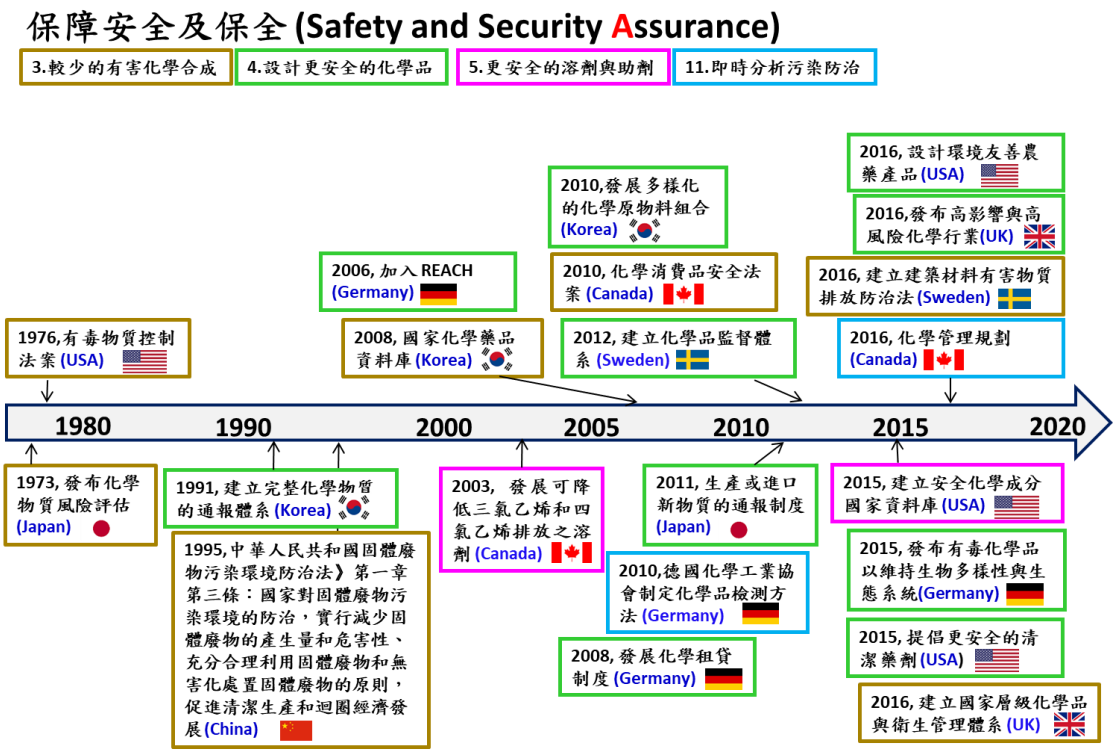
### 3.4 整合國外綠色化學推動策略與措施

圖三十二至圖三十四說明近年來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。



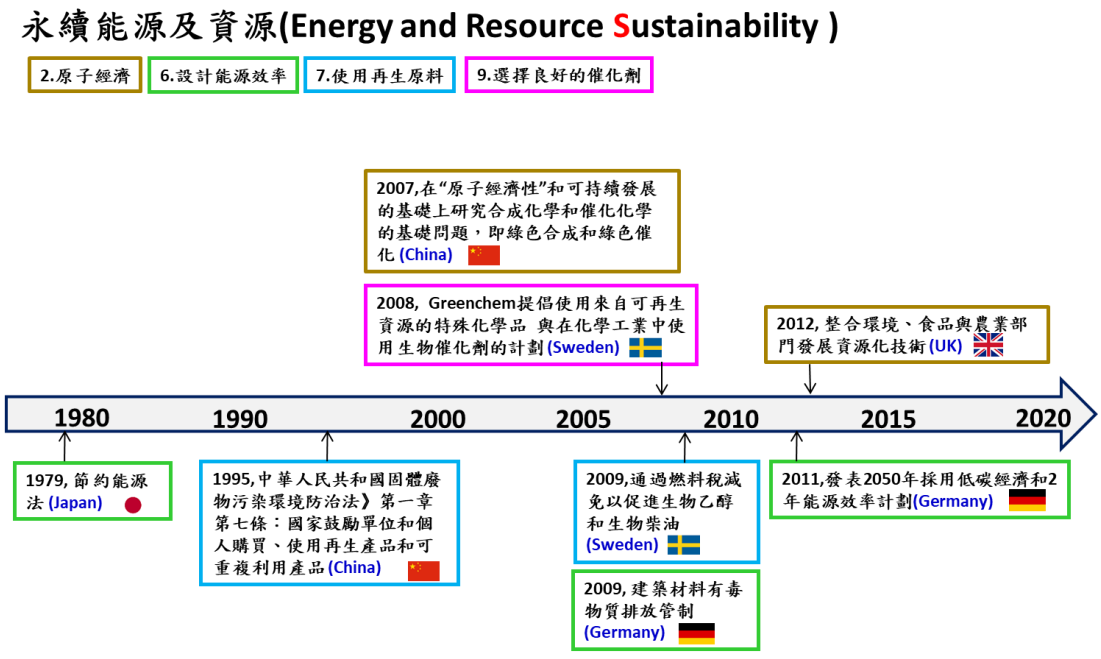

圖三十二 、各國關於防制污染及意外之綠色化學原則推動政策進展

(參考來源：本計畫自行彙整)




圖三十三 、各國關於保障安全及保全之綠色化學原則推動政策進展

(參考來源：本計畫自行彙整)




圖三十四 、各國關於永續能源及資源之綠色化學原則推動政策進展

(參考來源：本計畫自行彙整)

本計畫評析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十六所說明：

表十六 、國外綠色化學與循環經濟推動目標及措施

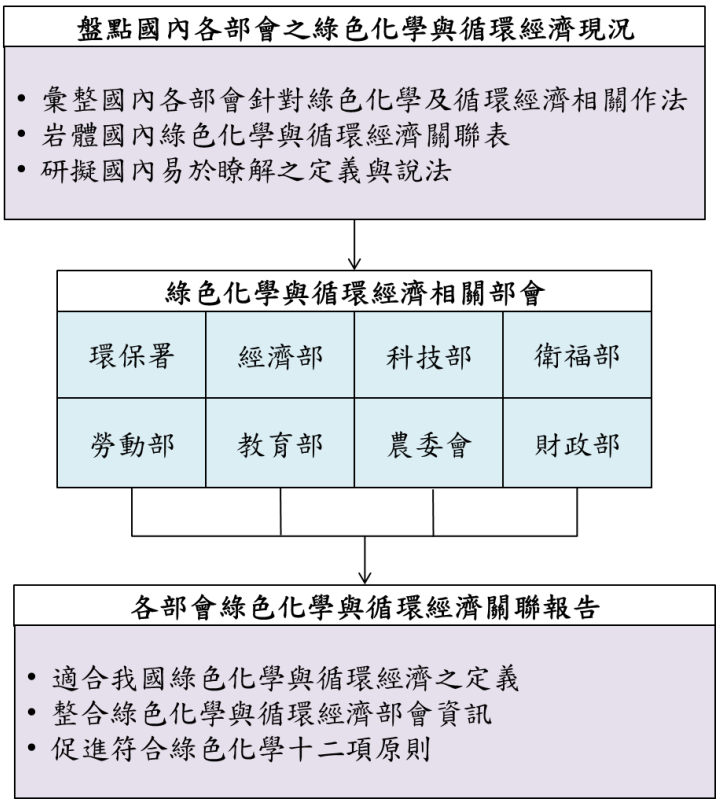
| **推動策略** | **推動措施** |
|---|---|
| 完善政策體系 | ➢ 發展永續綠色化學管理工具(Reach 與 ZDHC)，以落實有效的化學品管理體系。（歐盟）<br>➢ 整合綠色化學與綠色工程概念，發展化學品食物網可做為延伸單一化學品生產與產品應用之邊界，進而了解化學品從源頭至產品的流向。（美國）<br>➢ 推動化學品管制措施零排放，透過篩選化學物質的標準完善化學藥品管理制度。（美國）<br>➢ 提升公民參與綠色化學理念宣導的意願，提高公民綠色意識，使公民對與綠色產品的接受度提高，願意以實際行動支持並購買綠色化學產品。（荷蘭）<br>➢ 發展綠色化學策略聯盟，促進產官學研整合能力。（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）<br>➢ 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）<br>➢ 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）<br>➢ 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）<br>➢ 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）<br>➢ 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）<br>➢ 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）<br>➢ 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） |

(參考來源：本計畫自行彙整)

# 第四章　我國綠色化學與循環經濟現況

本章節工作項目之執行步驟如圖三十五說明：




圖三十五 、盤點國內各部會綠色化學與循環經濟現況流程圖

本章節主要彙整國內部會權責單位與綠色化學 12 項原則及循環經濟 6R 原則之相關性（如表十七所說明），其中與綠色化學或循環經濟相關之部會與相關部門局處為環保署（管制考核及糾紛處理處、綜合計劃處、空氣品質保護及噪音管制處、水質保護處、廢棄物管理處、環境衛生及毒物管理處、環境監測及資訊處、土壤及地下水污染整治基金管理會、毒物及化學物質局）、經濟部工業局（永續發展組、知識服務組、金屬發電組、民生化工組）、經濟部能源局（石油及瓦斯組、能源技術組）、勞動部（職業安全衛生署、勞動及職業安全衛生研究所）、教育部（資訊及科技教育司）、科技部（自然科學及永續研究發展司、工程技術研究發展司、生命科學研究發展司）、衛福部（食品藥物管理署）、農委會（農業藥物毒物試驗所）以及財政部（國際財政司）；其中針對環保署、經濟部工業

局、經濟部能源局、勞動部、教育部以及衛福部近三年針對綠色化學或循環經濟之執行計畫現況，綜合提出適合國內可行之建議。

表十七 、整合綠色化學 12 項原則與循環經濟 6R 原則與國內各部會權責單位之關聯表

| 部會 | 相關部門局處 | 相關業務執行範圍 | 與綠色化學原則相關性 | 與循環經濟相關性 |
|---|---|---|---|---|
| 環保署 | 管制考核及糾紛處理處 | ・ 環保事務調查複查<br>・ 環保標章（包含碳足跡標章）申請及綠色消費 | (1)防止廢棄物<br>(3)較少的有害化學合成<br>(8)減少衍生物 | (2)資源循環<br>(3)減量 |
| | 綜合計劃處 | ・ 環境保護政策方案之規劃及推動<br>・ 環境保護教育及宣導之規劃及推動<br>・ 環境保護團體與事業之聯繫、監督及輔導<br>・ 環境影響評估制度之策劃、推動、輔導及監督<br>・ 環境影響評估報告之審核 | (1)防止廢棄物<br>(3)較少的有害化學合成<br>(8)減少衍生物<br>(11)即時分析污染防治 | - |
| | 空氣品質保護及噪音管制處 | ・ 空氣品質保護規劃<br>・ 固定污染源防制<br>・ 移動性污染源防制 | (1)防止廢棄物<br>(6)設計能源效率<br>(7)使用再生原料<br>(8)減少衍生物 | (3)減量 |
| | 水質保護處 | ・ 水質管理監督<br>・ 事業廢水管制<br>・ 污水下水道系統及生活污水管理<br>・ 海洋污染防治<br>・ 淡水河系污染整治 | (1)防止廢棄物<br>(3)較少的有害化學合成<br>(7)使用再生原料<br>(8)減少衍生物 | (3)減量 |
| | 廢棄物管理處 | ・ 一般廢棄物政策之協調及推動<br>・ 源頭減量及資源回 | (1)防止廢棄物<br>(3)較少的有害化學合成 | (1)再利用<br>(2)資源循環<br>(3)減量 |

| 部會 | 相關部門局處 | 相關業務執行範圍 | 與綠色化學原則相關性 | 與循環經濟相關性 |
|---|---|---|---|---|
| | | 收工作之推動<br>・ 事業廢棄物及公民營廢棄物清除處理業機構管理<br>・ 推動設置環保科技園區<br>・ 事業廢棄物輸入輸出及再利用管理；營建廢棄物管理 | (7)使用再生原料<br>(8)減少衍生物 | (4)再生<br>(5)恢復 |
| | 環境衛生及毒物管理處 | ・ 飲用水管理<br>・ 環境衛生管理<br>・ 溫室氣體減量規劃、盤查交易及宣導調適<br>・ 低碳永續家園推動策略 | (1)防止廢棄物<br>(3)較少的有害化學合成<br>(6)設計能源效率<br>(7)使用再生原料<br>(8)減少衍生物<br>(9)選擇良好的催化劑 | (3)減量 |
| | 環境監測及資訊處 | ・ 環境監測規劃管理與品質保證 | (11)即時分析污染防治 | - |
| | 土壤及地下水污染整治基金管理會 | ・ 建立土壤污染防制資訊系統<br>・ 加強土壤污染源稽查管制<br>・ 積極推行土壤污染區之改善整治工作<br>・ 建立土壤污染防制與監測制度<br>・ 建立土壤污染通報應變處理制度 | (1)防止廢棄物<br>(3)較少的有害化學合成<br>(7)使用再生原料<br>(8)減少衍生物<br>(11)即時分析污染防治 | (3)減量 |
| | 毒物及化學物質局 | ・ 毒物與化學物質災害管理政策、法規之研擬、協調、執行及督導<br>・ 毒物與化學物質國際合作、科技發展 | (3)較少的有害化學合成<br>(4)設計更安全的化學品<br>(5)更安全的溶劑與助劑 | (3)減量 |

| 部會 | 相關部門局處 | 相關業務執行範圍 | 與綠色化學原則相關性 | 與循環經濟相關性 |
|---|---|---|---|---|
| | | 之策劃、推動、協調及執行<br>・ 毒物與化學物質綜合研究之策劃、推動、協調及執行<br>・ 毒物與化學物質相關國家標準之跨部會協調<br>・ 毒物與化學物質資訊系統之規劃、建置、資訊整合及運用分析<br>・ 毒物與化學物質邊境管理之規劃、協調及執行<br>・ 其他有關毒物及化學物質綜合規劃事項 | (8)減少衍生物<br>(9)選擇良好的催化劑<br>(10)可降解之設計<br>(11)即時分析污染防治<br>(12)以更安全的化學品防止意外發生 | |
| 經濟部工業局 | 永續發展組 | ・ 永續發展規劃<br>・ 工安環保<br>・ 工業廢棄物管理 | (1)防止廢棄物<br>(3)較少的有害化學合成<br>(4)設計更安全的化學品<br>(7)使用再生原料<br>(8)減少衍生物<br>(10)可降解之設計<br>(11)即時分析污染防治 | (1)再利用<br>(2)資源循環<br>(3)減量<br>(4)再生<br>(5)恢復<br>(6)再設計 |
| | 知識服務組 | ・ 產業創新<br>・ 產業效能<br>・ 產業振興 | (2)原子經濟<br>(4)設計更安全的化學品<br>(6)設計能源效率<br>(7)使用再生原料<br>(10)可降解之設 | (2)資源循環<br>(6)再設計 |

| 部會 | 相關部門局處 | 相關業務執行範圍 | 與綠色化學原則相關性 | 與循環經濟相關性 |
|---|---|---|---|---|
| | | | 計 | |
| | 金屬發電組 | ・ 金屬業<br>・ 機械科<br>・ 運輸工具 | (6)設計能源效率<br>(7)使用再生原料 | - |
| | 電子資訊組 | ・ 通訊業<br>・ 電子與光電業<br>・ 資訊業 | (11)即時分析污染防治 | - |
| | 民生化工組 | ・ 石油化學業<br>・ 食品醫學<br>・ 紡織業<br>・ 一般化學品 | (1)防止廢棄物<br>(3)較少的有害化學合成<br>(4)設計更安全的化學品<br>(5)更安全的溶劑與助劑<br>(7)使用再生原料<br>(8)減少衍生物<br>(9)選擇良好的催化劑<br>(10)可降解之設計 | (1)再利用<br>(2)資源循環<br>(3)減量<br>(4)再生<br>(5)恢復<br>(6)再設計 |
| 經濟部能源局 | 石油及瓦斯組 | ・ 石油設施管理<br>・ 瓦斯供應安全 | (12)以更安全的化學品防止意外發生 | - |
| | 能源技術組 | ・ 發展再生原料<br>・ 推廣節約能源 | (6)設計能源效率<br>(7)使用再生原料<br>(9)選擇良好的催化劑 | (1)再利用<br>(2)資源循環<br>(3)減量<br>(4)再生<br>(5)恢復<br>(6)再設計 |
| 勞動部 | 職業安全衛生署- | ・ 職業安全衛生管理<br>・ 局限空間危害預防<br>・ 化學品管理<br>・ 勞工健康服務<br>・ 勞動檢查 | (1)防止廢棄物<br>(4)設計更安全的化學品<br>(5)更安全的溶劑與助劑<br>(11)即時分析污 | - |

| 部會 | 相關部門局處 | 相關業務執行範圍 | 與綠色化學原則相關性 | 與循環經濟相關性 |
|---|---|---|---|---|
| | | | 染防治<br>(12)以更安全的化學品防止意外發生 | |
| | 勞動及職業安全衛生研究所 | ・ 勞動市場、勞動關係、職業衛生與職業安全研究<br>・ 發展與管理 CSNN 化學物質登記管理網 | (1)防止廢棄物<br>(4)設計更安全的化學品<br>(5)更安全的溶劑與助劑<br>(11)即時分析污染防治<br>(12)以更安全的化學品防止意外發生 | - |
| 教育部 | 資訊及科技教育司 | ・ 數位學習、網路及資通安全、人文及科技教育<br>・ 發展與管理綠色化學教育網<br>・ 發展與管理校園化學品管理與申報系統 | (1)防止廢棄物<br>(3)較少的有害化學合成<br>(5)更安全的溶劑與助劑<br>(6)設計能源效率<br>(8)減少衍生物<br>(12)以更安全的化學品防止意外發生 | - |
| 科技部 | 自然科學及永續研究發展司 | ・ 自然科學與永續研究發展相關產業前瞻技術研發政策之規劃、推動、人才培育、延攬、獎助管理及技術評估。 | (1)防止廢棄物<br>(3)較少的有害化學合成<br>(6)設計能源效率<br>(7)使用再生原料<br>(8)減少衍生物<br>(10)可降解之設計 | (1)再利用<br>(2)資源循環<br>(3)減量 |
| | 工程技術研究發展司 | ・ 規劃推動工程領域基礎研究與先導性應用研究，改善整 | (1)防止廢棄物<br>(3)較少的有害化學合成 | (1)再利用<br>(2)資源循環<br>(3)減量 |

| 部會 | 相關部門局處 | 相關業務執行範圍 | 與綠色化學原則相關性 | 與循環經濟相關性 |
|---|---|---|---|---|
| | | 體研發環境，培育科技人才。 | (4)設計更安全的化學品<br>(5)更安全的溶劑與助劑<br>(6)設計能源效率<br>(7)使用再生原料<br>(8)減少衍生物<br>(10)可降解之設計<br>(11)即時分析污染防治 | |
| | 生命科學研究發展司 | ・ 生物、醫學、醫藥衛生、農業科學研究成果之推廣及應用，產學合作計畫之審核、人才培育、延攬、獎助管理、補助及考核。 | (3)較少的有害化學合成<br>(4)設計更安全的化學品<br>(5)更安全的溶劑與助劑<br>(6)設計能源效率<br>(7)使用再生原料<br>(9)選擇良好的催化劑 | - |
| 衛福部 | 食品藥物管理署 | ・ 掌握市場上藥品、醫療器材品質，訂定藥品追溯或追蹤系統申報及管理辦法，規範藥商建立產品來源及流向管理系統。 | (3)較少的有害化學合成<br>(4)設計更安全的化學品<br>(11)即時分析污染防治<br>(12)以更安全的化學品防止意外發生 | - |
| 農委會 | 農業藥物毒物試驗所 | ・ 農業科技研發、植物防疫檢疫、生物技術、環境保護等5 個領域，特別關注於加強農藥安 | (1)防止廢棄物<br>(3)較少的有害化學合成<br>(6)設計能源效率<br>(7)使用再生原料 | - |

| 部會 | 相關部門局處 | 相關業務執行範圍 | 與綠色化學原則相關性 | 與循環經濟相關性 |
|---|---|---|---|---|
| | | 全、微生物農藥資源之開發、農藥品質檢測及安全資材之開發。 | (8)減少衍生物<br>(10)可降解之設計<br>(11)即時分析污染防治<br>(12)以更安全的化學品防止意外發生 | |
| 財政部 | 國際財政司租稅協定科 | ・ 國際租稅組織及其相關會議之處理、租稅協定發展趨勢之研究 | - | (6)再設計(化學租稅制度) |

(參考來源：本計畫自行彙整)

### 4.1 環保署推動策略

透過盤點近三年環保署各局處所推動的專案計畫（如表十八所示），篩選出符合綠色化學原則或循環經濟理念之相關進行說明，水質保護處（水保處）主要推動廢污水流向以及污水下水道水質自動監測管理，符合即時分析污染物之原則；回收基管會以及廢棄物管理處（廢管處）主要以廢棄物資源化之管理與技術開發為主，包含廢輪胎碳化、PLA 再生酯粒開發、塑膠/電子廢棄物資源化之回收、廢鉛酸電池回收、提昇廢車破碎殘餘物資源回收、廢容器回收處理體系管理、廢棄物資源化產物用途評估、廢橡膠混燒灰渣再利用於水泥生料、提升資源化產品品質以及環境友善產品設計評估。相關推動成果有助於防止廢棄物、較少的有害化學合成、促進再生原料使用並減少衍生物，此外透過廢棄物資源化開發，可提升資源循環再利用與創新產品再設計。

表十八 、環保署水保處、廢管處與回收基管會針對綠色化學原則或循環經濟相關推動專案

| 部會 | 相關部門 | 專案名稱 | 專案執行摘要 | 與綠色化學原則相關 | 與循環經濟原則相關 |
|---|---|---|---|---|---|
| 環保署 | 水質保護處 | 推動擴大廢（污）水自動監測連線傳輸與污水下水道系統管理計畫 | 完成廢(污)水自動監測(視)資料資訊公開作業(含建置自動監測傳輸資料異常檢核機制、規劃大數據及物聯網未來方向等、新增自動監測系統 7 種功能、建立自動監測系統與水污染源管制資料管理系統資料交換機制。 | (1)防止廢棄物<br>(11) 即時分析污染防治 | - |
| | 回收基管會 | 以水熱碳化廢輪胎製備活性碳用於汞蒸氣去除之研究 | 採用水熱碳化法轉製廢輪胎為活性碳，用在汞蒸氣吸附去除。與傳統乾式裂解碳化製程不同的是，水熱碳化可以保留廢棄輪胎中的硫元素 | (1)防止廢棄物<br>(3)較少的有害化學合成 | (1)再利用<br>(2)資源循環<br>(3)減量<br>(6)再設計 |

| 部會 | 相關部門 | 專案名稱 | 專案執行摘要 | 與綠色化學原則相關 | 與循環經濟原則相關 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | 並且同時添加活化劑以減少製程時間與藥劑用量。探討吸附之介面化學及反應機制，以利提升吸附汞的效果，達到廢棄物能源永續利用的目的。 | (7)使用再生原料<br>(8)減少衍生物 | |
| | | PLA 再生酯粒開發與射出產品試製計畫 | PLA 生質材料兼具可生物分解與無毒等特色，因此廣泛應用在食品包材。扣除加工出口的 PLA 產品，台灣每年約使用 PLA 1500 噸以上，然而由一般廢棄物(MSW)回收之 PLA 廢塑膠容器 (PCR)，常混雜有其他如 PET、PE 或 PS 等塑膠，因外觀相近而分離不易。為了能順利暢通回收 PLA 材料，本計畫目標為開發規格化 PLA 再生料，包括一般級 rPLA 再生酯粒及射出級 rPLA 再生酯粒，在落實營運面上將搭配國內資源回收處理廠、加工廠等。 | (1)防止廢棄物<br>(3)較少的有害化學合成<br>(7)使用再生原料<br>(8)減少衍生物 | (1)再利用<br>(2)資源循環<br>(3)減量<br>(6)再設計 |
| | | 塑膠/電子廢棄物資源化之回收再利用技術整合開發 | 針對廢棄偏光膜，再加上回收洗衣機之高耐衝聚丙烯塑膠，經配方設計、相容化研究、精密混練造粒、模具設計、模流分析、射出/押出成型等關鍵技術整合，可完成環保聚丙烯/偏光膜複材，並應用在建築用範本及物流用棧板產業，藉此達到材料再利用、資源永續化之綠色環保趨勢。 | (1)防止廢棄物<br>(3)較少的有害化學合成<br>(7)使用再生原料<br>(8)減少衍生物 | (1)再利用<br>(2)資源循環<br>(3)減量<br>(6)再設計 |

| 部會 | 相關部門 | 專案名稱 | 專案執行摘要 | 與綠色化學原則相關 | 與循環經濟原則相關 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 廢鉛酸電池回收率提昇冶煉技術開發計畫 | 鉛酸電池中的含鉛物料佔鉛酸電池比重超過七成，國內回收率仍然低於國際領先技術，低回收率亦使得冶煉過程中產生的鉛渣含鉛量過高，鉛渣數量過多等環境問題。針對鉛冶煉用耐火材料進行分析與開發，經由物性，化性，機性等分析建立材料使用特性，並且導入鉛冶煉爐體，得以在冶煉溫度提昇上提供足夠防護與增加使用壽命。 | (1)防止廢棄物<br>(3)較少的有害化學合成<br>(7)使用再生原料<br>(8)減少衍生物 | 再利用<br>減量<br>資源循環<br>再設計 |
| | | 提昇廢車破碎殘餘物(ASR)資源回收及轉換能源之關鍵技術應用與評估 | 計畫成果已初步驗證熱裂解及氣化處理技術，可有效將廢車破碎殘餘物 (ASR) 轉換為生質油、生質碳或合成氣等多元化能源應用用途，未來尚待進一步應用模廠或實廠之驗證，以供相關業者未來技術選擇的參考依據。 | (1)防止廢棄物<br>(3)較少的有害化學合成<br>(6)設計能源效率<br>(7)使用再生原料<br>(8)減少衍生物 | (1)再利用<br>(2)資源循環<br>(3)減量<br>(6)再設計 |
| | | 廢機動車輛粉碎殘餘物功能產品產製技術計畫 | 廢機動車輛粉碎殘餘物 (ASR) 組成複雜，分選處理困難，目前多以焚化處理。然而，面對焚化處理成本增加及環境展望，應思考將廢機動車輛粉碎殘餘物予以回收再利用。由於 ASR 中組成分密度差異大，本研究先以浮選方式分離輕質塑膠，如 | (1)防止廢棄物<br>(7)使用再生原料 | (1)再利用<br>(2)資源循環<br>(3)減量<br>(6)再設計 |

| 部會 | 相關部門 | 專案名稱 | 專案執行摘要 | 與綠色化學原則相關 | 與循環經濟原則相關 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | PE、PP、PU 等。再以水力漩流 (hydrocyclone) 分離技術為基礎，將差異大（比重）之物質分離選別，分成重塑膠， PVC、礦物(玻璃、土砂)、金屬等三股物質流。主要著重於驗證產品功能性、環境友善性特性。以解決國內 ASR 焚燒去化問題，產製高值化產品，降低環境負荷，創造綠色經濟。 | | |
| | | 廢容器回收處理體系管理專案工作計畫 | 透過廢容器流向及分佈調查及回收率試算，反映實際回收成效；另藉由輔導地方執行機關推動資源回收工作，提升各縣市資源回收成果，使資源有效循環再利用；另針對資源回收個體戶及回收業，調查廢容器收購現況，從前端進行源頭控管，以提升回收物品質及掌握資源回收之市場現況；另蒐集國內外回收廢容器再生料高值化相關技術，供環保署政策擬訂之參考及提升整體回收成效。 | (1)防止廢棄物<br>(7)使用再生原料<br>(8)減少衍生物 | (1)再利用<br>(2)資源循環<br>(3)減量<br>(6)再設計 |
| | 廢棄物管理處 | 廢棄物資源化產物用途評估、推動及管理專案工作計畫 | 垃圾焚化爐底渣資源化後之焚化再生粒料及煉鋼轉爐石可為良好工程材料，取代開採天然砂石，妥善應用於港區工程建設及交通建設，可創造經濟及環境保護雙贏的循環經濟模式。盤點國內可 | (1)防止廢棄物<br>(3)較少的有害化學合成<br>(7)使用再生原料 | (1)再利用<br>(2)資源循環<br>(3)減量<br>(6)再設計 |

| 部會 | 相關部門 | 專案名稱 | 專案執行摘要 | 與綠色化學原則相關 | 與循環經濟原則相關 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | 應用再生粒料之海事工程，並評估再生粒料應用於工程建設之成本及效益，依評估結果，推動再生粒料工程應用具有正面之效益。 | (8)減少衍生物 | |
| | | 廢橡膠混燒灰渣再利用於水泥生料可行性 | 透過蒐集廢輪胎膠片產出、鍋爐混燒及水泥原料再利用相關申報資料、法令規範等，瞭解廢輪胎膠片作為鍋爐混燒及水泥原料再利用之現況。並針對鍋爐混燒膠片業者進行 6 件不同混燒比例之灰渣進行採樣檢測，分析廢橡膠（輪胎膠片）混燒衍生灰渣的成分、物化特性等，及在不同混燒灰及摻配比下進行混燒灰渣作為水泥替代原料之再利用試驗作業，檢測 10 個水泥樣品以評估其可行性。 | (1)防止廢棄物<br>(3)較少的有害化學合成<br>(7)使用再生原料<br>(8)減少衍生物 | (1)再利用<br>(2)資源循環<br>(3)減量<br>(6)再設計 |

| 部會 | 相關部門 | 專案名稱 | 專案執行摘要 | 與綠色化學原則相關 | 與循環經濟原則相關 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 提升資源化產品品質及環境友善性評估專案計畫 | 執行成果包括：一、焚化再生粒料經水泥拌製對環境面影響探討:透過文獻與試驗，驗證對環境之使用無虞，強化焚化再生粒料應用於水泥拌製品之推廣可行性。二、再利用機構產製之焚化再生粒料抽樣檢測作業:計畫針對全臺灣 24 座焚化廠產出之底渣，經再利用機構前處理後產製之焚化再生粒料進行 TCLP 抽檢，確認其品質標準符合底渣再利用管理方式之規定。三、「底渣再利用管理方式」編修作業:擬針對焚化再生粒料分類、使用地點限制、營運及申報規定等三項做進一步深入探討，並透過本計畫抽樣作業、試驗分析與各界訪查等方式，以作為修訂方案之論證研究基礎。 | (1)防止廢棄物<br>(3)較少的有害化學合成<br>(7)使用再生原料<br>(8)減少衍生物 | (1)再利用<br>(2)資源循環<br>(3)減量<br>(5)恢復<br>(6)再設計再設計 |

(參考來源：本計畫自行彙整)

對於推動化學品的危害管理、流向追蹤、資訊建置、整合監控等工作，過去為環境衛生及毒物管理處（環管處）主管業務，毒物及化學物質局（化學局）於民國 105 年 12 月 28 日經行政院設立，移轉環管處關於化學物質管制運作與資訊系統建置相關工作項目包含：推動化學物質登錄制、毒性化學物質管制評估及運作管理、建置跨部會化學物質資訊平臺-化學雲系統，以及毒性化學物質災害應變演練等關於之工作等，並因應總統政見之「食安五環之推動策略」，針對食品安全與毒物源頭控管，為化學物質綜整管制機構，成立後所推動工作包含國家化學

物質管理政策、我國化學物質跨境管理、大專院校毒化災防制教育推廣、擴充化學物質知識地圖、我國化學物質安全媒體整合、大專校院綠色化學教育推動以及毒性化學物質運送即時追蹤系統管制推動等等，詳細專案內容可參照表十九。

經確認上述兩單位的業務職掌，可發現環保署成立之化學局為掌管化學物質追蹤、安全衛生、管理以及評估之主管機關，而環管處業務則以飲用水衛生、溫室氣體盤查減量等為主，因此化學局對於整合化學物質管理與維護食品安全之政策推動扮演著更為專職的單位，其中針對綠色化學原則之關聯性的部分，主要與(3)較少的有害化學合成、(5)更安全的溶劑與助劑、(4)設計更安全的化學品、(8)減少衍生物、(11)即時分析污染防治、(12)以更安全的化學品防止意外發生等六項原則更具相關性。

表十九 、環保署環管處與化學局針對綠色化學原則相關推動專案

| 相關部門 | 專案名稱 | 專案執行摘要 | 與綠色化學原則相關 |
|---|---|---|---|
| 環境衛生及毒物管理處 | 化學物質登錄制度精進措施專案計畫（民國104年至105年執行，106年之後由化學局主掌） | 彙集國際相關之安全替代作法、評估標準、目標物質以及國際成功替代案例5式，協調目標產業的替代計畫並啟動協調會議，並建制我國綠色化學替代之策略目標與成份標準及替代平臺，協助國內企業對於綠色替代更多的理解與執行管道，逐步淘汰危害化學物質並開創我國綠色替代新市場。 | (1)防止廢棄物<br>(3)較少的有害化學合成<br>(6)設計能源效率<br>(7)使用再生原料<br>(8)減少衍生物<br>(9)選擇良好的催化劑<br>(12)以更安全的化學品防止意外發生 |
| | 毒性化學物質管制評估及運作管理計畫（民國105年執行，106年之後由化學局主掌） | 主要工作成果包括：（1）依國外管制資訊維護建立我國篩選原則相關化學物質名單，評估五氯酚鈉水合物、五氯苯甲醚、月桂酸五氯苯酯及全氟辛酸等化學物質之列管可行性，並檢討石綿、鉛化物、壬基酚、壬基酚聚乙氧基醇、氰化物、 | (3)較少的有害化學合成<br>(4)設計更安全的化學品<br>(8)減少衍生物<br>(10)可降解之設計 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | 四氯乙烯、環己烷及六羰化鉻等列管毒化物之管制規定。（2）分析歐盟、美國、加拿大、日本、韓國、斯德哥爾摩公約及水俣汞公約之毒化物篩選標準，作為檢討我國篩選原則之參考。（3）建立「我國環境荷爾蒙關注清單」供跨部會推動小組參考，並完成市售清潔劑 30 件採樣。（4）針對氰化物電鍍議題進行產業衝擊影響調查，完成鉛等 6 種化學物質之國內運作調查，並提出管理建議。 | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | 化學雲-跨部會化學物質資訊服務平臺專案管理計畫<br>（民國104年至105年執行，106年之後由化學局主掌） | 建立跨部會資料庫建置及服務平臺開發、建置化學物質知識庫、擷取轉入國際化學物質資料、教育訓練及廣宣等。完成後端的化學雲管理分享主系統及前端給民眾查閱的化學物質知識地圖網站之初版開發，其中提供了基礎資料查詢、可疑廠商多元篩選法、跨域比對分析等功能。 | (11)即時分析污染防治<br>(12)以更安全的化學品防止意外發生 |
| | 104年度全國毒性化學物質災害應變演練計畫成果報告 | 盼望毒災發生時應動員該區域附近廠商協同處理，並主動關心附近敏感區域，如包括中小學、醫療院所及人員密集公共場所，是否有遭受波及可能，另也應於毒災應變後評估是否對當地生態環境有所影響。 | (11)即時分析污染防治 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 毒物及化學物質局 | 國家化學物質管理政策研析 | 整合國內各部會職掌中化學物質掌管法規與政策，透過召開專家諮詢會議、部會諮詢會議及跨部會研商會議等完成國家化學物質管理政策綱領，總計有 23 項推動策略，另盤點國內各部會之工作職掌及化學物質相關執行計畫。 | (1)防止廢棄物<br>(3)較少的有害化學合成<br>(4)設計更安全的化學品<br>(5)更安全的溶劑與助劑<br>(8)減少衍生物 |
| | 我國化學物質跨境管理研究計畫 | 化學品跨境管理措施應涵蓋化學物質登錄制度、許可制度以及國際通報制度。目前國內進口許可制度仍有部分輸入代號需要檢討修正，避免造成化學物質跨境管理漏洞；化學品登錄制度除比照國際通用作法外，尚宜考量國際貿易規範，以避免未來貿易之可能爭端；跨部會資訊平臺建置有其急迫性，可供各部會實施後市場稽查之用。 | (1)防止廢棄物<br>(3)較少的有害化學合成<br>(4)設計更安全的化學品<br>(8)減少衍生物 |
| | 大專院校毒化災防制教育推廣專案計畫 | 大專院校毒化災防制教育推廣，以大專院校內有實驗室設備為優先辦理對象，結合教育部共同推動，從高中職到大專院校，推動綠色化學教育及防災理念，已達上下連貫之策略。 | (5)更安全的溶劑與助劑<br>(11)即時分析污染防治<br>(12)以更安全的化學品防止意外發生 |
| | 擴充化學物質知識地圖計畫 | 彙整國際間化學物質之評估篩選機制，考量國際間對於化學物質的使用情形、毒理資料、環境流布、致癌性、持久性、生物累積性、毒性等管理方向，健全國內化學物質管理之基礎資訊。根據健康風險評估之四項基本步驟，建立篩選出 30 類化學物質之環境化學物質濃度資料庫，內容包括化學物 | (3)較少的有害化學合成<br>(4)設計更安全的化學品<br>(5)更安全的溶劑與助劑<br>(6)設計能源效率<br>(8)減少衍生物 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | 質辨識、危害確認、劑量效應評估以及本土性環境介質監測濃度等欄位。 | |
| | 我國化學物質安全媒體整合計畫 | 透過多元媒介與新興媒體傳遞正確資訊，提升民眾面對化學物質新聞的相關知識、應變能力之關鍵，進而長期培養民眾對相關訊息的基本知識與判讀能力。 | (12)以更安全的化學品防止意外發生 |
| | 106 年毒性化學物質管制評估及運作管理計畫 | 蒐集國際化學物質及環境荷爾蒙最新管制資訊供國內管理參考，據以提出國內管理建言及推動環境荷爾蒙跨部會分工管理。包括：（1）依國外管制資訊維護建立我國篩選原則相關化學物質名單，並匯集國際化學物質管理重點清單供化學雲整合跨部會資訊。(2)分析歐、美、加、日、韓、斯德哥爾摩公約及水俁汞公約之毒化物篩選標準，研提我國篩選原則修正建議。（3）掌握全氟辛酸等 3 種國內外關注之化學物質及孔雀綠等 57 種食安風險物質(合計 60 種物質)之國內運作現況，協助新增公告 13 種食安風險物質納入「毒性化學物質管理法」管理，並提前石綿全面禁用期程。（4）建立「我國環境荷爾蒙建議關注清單」及篩選作業流程，並彙整跨部會歷年執行成果，俾協助推動我國環境荷爾蒙分工管理。 | (5)更安全的溶劑與助劑<br>(11)即時分析污染防治<br>(12)以更安全的化學品防止意外發生 |
| | 大專校院綠色化學教育推動計畫 | 彙整收集國內大專校院化學相關系所資訊及目前開設綠色化學相關課程、高中職基礎化學課程大綱，國外開放綠色化學 | (1)防止廢棄物<br>(3)較少的有害化學合成<br>(4)設計更安全的化學品<br>(5)更安全的溶劑與助劑 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | 相關課程、教材、競賽及活動相關資訊。建議規劃課程首要針對通識課程執行，提出三個構面「環境關懷」、「化學與環境關聯」以及「減少化學衝擊」為初步規劃並以培養綠色化學教育素養為目標。 | (8)減少衍生物<br>(9)選擇良好的催化劑<br>(10)可降解之設計<br>(12)以更安全的化學品防止意外發生 |
| | 106 年毒性化學物質運送即時追蹤系統管制推動、營運管理及監控整合提升計畫 | 利用即時追蹤系統，掌握毒性化學物質流向，達到降低毒災發生後所造成人員傷亡及環境危害。每月根據勾稽樣態進行分析以及名單彙整，移交疑似異常名單協請環保局查核，並依據長時間累積的勾稽經驗及各類勾稽案件分析，進而修正勾稽規則以及強化系統功能之正確性及可靠度。 | (11)即時分析污染防治 |

(參考來源：本計畫自行彙整)

因此，環保署目前為了實現有效管理化學物質，以建構健康永續環境，擬定國家治理、降低風險、管理量能、知識建立及跨境管理等五大目標，並依據五大目標研擬共二十五項推動策略，如表二十所說明。

表二十 、環保署發展化學物質有效管理之推動策略

| 推動目標 | 推動策略 |
|---|---|
| 國家治理 | ・ 制定化學物質管理行動方案<br>・ 完備化學物質管理相關法規<br>・ 建立化學物質管理相關制度，包括管制、賠償與保護機制等<br>・ 成立國家化學物質管理會報，建立跨部會管考機制<br>・ 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<br>・ 推動綠色化學，鼓勵業界研發低化學風險製程<br>・ 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<br>・ 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<br>・ 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<br>・ 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<br>・ 建置國家及檢驗單位與檢驗標準，強化檢驗勾稽能力<br>・ 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<br>・ 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<br>・ 落實社區與學校之全民教育，建立對化學物質之正確知識<br>・ 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<br>・ 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<br>・ 管理化學物質跨境運輸<br>・ 確保貿易與環境政策之協調<br>・ 積極參與國際性化學物質管理相關組織與會議 |

(參考來源：本計畫自行彙整)

## 4.2 經濟部推動策略

經濟部主要以工業局與能源局對於推動綠色化學與循環經濟具相關性，其中工業局相關執掌又可分為永續發展組、知識服務組、金屬發電組以及民生化工組，工業局近年來配合政府五+二產業創新政策與前瞻基礎政策之推動，透過提供產業輔導、補助、培訓及推廣等服務，協助產業創新及升級，並設立相關產業推動小組及推動辦公室協助營造產業永續發展之優良環境，主要與綠色化學相關之原則包含(1)防止廢棄物、(2)原子經濟、(3)較少的有害化學合成、(6)設計能源效率、(7)使用再生原料、(8)減少衍生物、(9)選擇良好的催化劑、(12)以更安全的化學品防止意外發生等 8 項原則，更符合循環經濟所提倡之 6R 原則，因此對於推動循環經濟體系邁向永續環保產業，工業局扮演著與國內產業相依存之重要性，提供相關產業技術輔導與諮詢服務，並持續擬定相關研究計畫，以利促進國內綠色化學技術與綠色產業發展，近三年來所推動之專案包含：發展生質能暨環保產業、改善產業工作環境、促進產業園區及石化廠安全、整合產業園區能資源、推動產業綠色成長、提升產業綠色技術、推動資源再生產業、管制製造部門溫室氣體排放、推動製造部門低碳生產、推動製造業產品環境足跡、推廣資源再生綠色產品、建置製造業價值鏈資訊、推動再生能源產業、推動高值化學材料、輔導製藥產業技術以及推動精細化學品技術輔導與產業等。能源局相關執掌能源技術組為主，與綠色化學或循環經濟較相關的政策以推動生質能源關鍵技術研發為主，符合綠色化學原則(2)原子經濟、(6)設計能源效率、(7)使用再生原料以及循環經濟 6R 原則。關於工業局與能源局符合綠色化學原則及循環經濟相關推動專案詳情如表二十一所說明。

表二十一 、經濟部工業局與能源局符合綠色化學原則及循環經濟相關推動專案

| 部會 | 相關部門 | 專案名稱 | 專案執行摘要 | 與綠色化學原則相關 | 與循環經濟相關 |
|---|---|---|---|---|---|
| 經濟部工業局 | 永續發展組 | 生質能暨環保產業推動計畫 | • 推動生質能與環保產業發展，針對該產業涉及之市場、技術、法規或宣導等面向，研擬適當之產業推動措施，藉此推動產業穩定發展以及創造產值與就業人口。 | (1)防止廢棄物<br>(3)較少的有害化學合成<br>(7)使用再生原料<br>(8)減少衍生物<br>(10)可降解之設計 | (1)再利用<br>(2)資源循環<br>(3)減量<br>(6)再設計 |
| | | 產業工作環境改善計畫 | • 以基線改善技術輔導，協助工廠進行工安診斷、調查及瞭解工作環境現況，並協助其符合職業安全衛生法令之要求，另以功能性改善技術輔導降低工廠災害發生機率。 藉由建置或增修 ISO45001 管理系統，導入國際暴露評估技術進行化學品分級管理。 | (4)設計更安全的化學品<br>(5)更安全的溶劑與助劑<br>(11)即時分析污染防治<br>(12)以更安全的化學品防止意外發生 | - |
| | | 產業園區及石化廠安全促進計畫 | • 透過產業園區區域聯防推動及風險管理技術輔導，協助推動產業園區安全文化，提升救災應變知能。<br>• 產業園區聯防組織會員廠建立災害事故協防機制及事故縱橫向通報作業，藉以 | (4)設計更安全的化學品<br>(5)更安全的溶劑與助劑<br>(11)即時分 | |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | 達到即時災害事故通報。<br>• 提供產業園區聯防組織到場協助災害應變及調查<br>• 透過建立化學品調查機制，協助建立工業區高風險化學品分佈，掌握化學品危害潛勢。 | 析污染防治<br>(12)以更安全的化學品防止意外發生 | |
| | | 產業園區能資源整合推動計畫 | • 推動產業園區能資源整合鏈結，協助廠商妥善處理能資源運用情形，並輔導廠商改善及建立有效循環利用鏈結，建構能資源資訊公開透明化，產業生態化及資源循環再利用的生態化產業園區。 | (1)防止廢棄物<br>(2)原子經濟<br>(3)較少的有害化學合成<br>(7)使用再生原料<br>(8)減少衍生物<br>(11)即時分析污染防治 | (1)再利用<br>(2)資源循環<br>(3)減量<br>(4)再生<br>(5)恢復<br>(6)再設計 |
| | | 產業綠色成長推動計畫 | • 產業供應鏈清潔生產與循環經濟體系輔導：協助體系成員廠商盤點產品生命週期各階段之環境衝擊，針對主要熱點提供清潔生產與循環經濟改善建議。<br>• 產品/技術/服務之綠色創新與加值設計輔導：協助廠商進行產品綠色創新與加值設計診斷輔導，提供產品無毒害、節省能資源及易拆解可回收等建議。 | (1)防止廢棄物<br>(2)原子經濟<br>(3)較少的有害化學合成<br>(7)使用再生原料<br>(8)減少衍生物<br>(10)可降解之設計 | (1)再利用<br>(2)資源循環<br>(3)減量<br>(4)再生<br>(5)恢復<br>(6)再設計 |
| | | 產業綠色技術提升計畫 | • 環保技術輔導：依據受輔導廠商之環保體質弱點或綠色技術需求，提供空氣污 | (1)防止廢棄物<br>(6)設計能 | (1)再利用<br>(2)資源循環 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | 染、異味、水污染、噪音、土壤及地下水污染預防等環保技術輔導;協助產業建置最適化污染防治（制）設施操作維護程式,強化產業自主管理等預防性輔導。<br>• 綠色技術提升輔導:盤點特定行業別綠色技術缺口,公開徵求清潔生產及綠色技術或設備,配合現場輔導工作及計畫網站等方式予以推廣；篩選特定行業別工廠，進行綠色技術輔導。 | 源效率<br>(8) 減少衍生物<br>(9) 選擇良好的催化劑<br>(10)可降解之設計 | (3)減量<br>(4)再生<br>(5)恢復<br>(6)再設計 |
| | | 資源再生產業推動及審查管理計畫 | • 工業廢棄物再利用媒合:針對有廢棄物再利用需求之產源事業及再利用機構,透過工業廢棄物利用媒合平臺提供協助。 | (1) 防止廢棄物<br>(7) 使用再生原料<br>(8) 減少衍生物 | (1)再利用<br>(2) 資源循環<br>(3)減量 |
| | | 製造部門溫室氣體排放管制行動計畫 | • 製造部門溫室氣體減量潛力、成本及配套措施評估，並運作溫管法產業因應小組及工作小組。 | (2) 原子經濟<br>(6) 設計能源效率<br>(7) 使用再生原料<br>(9) 選擇良好的催化劑 | (3)減量 |
| | | 製造部門低碳生產推動計畫 | • 調查/訪視輔導：針對輔導項目（製程設備汰舊換新、新製程技術導入及低碳燃料替代），進行現況調查技術評析、改善潛力與效益初步評估。 | (2) 原子經濟<br>(6) 設計能源效率<br>(7) 使用再生原料<br>(9) 選擇良好的催化劑 | (1)再利用<br>(2) 資源循環<br>(6)再設計 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 製造業產品環境足跡與資源永續推動計畫 | • 物質流成本分析示範輔導:選定一項產品或製程做為受輔導標的，依據「ISO 14051：2011」或「ISO<br>• 14052：2017」標準，進行選定標的之物質流成本分析與教育訓練，結果可提供降低材料成本、能源成本與廢棄物量之熱點分析。 | (2)原子經濟<br>(6)設計能源效率<br>(7)使用再生原料<br>(8)減少衍生物<br>(9)選擇良好的催化劑 | (3)減量 |
| | | 資源再生綠色產品推廣計畫 | • 達到建全資源再生綠色產品相關規定，以推動資源再生綠色產品之生產、行銷，促進資源循環再利用，並開創資源再生產品商機，協助資源再生綠色產品行銷、拓展資源再生產品市場，以促進綠色消費及建構資源循環社會，以及擴展國內外資源再生產品市場等多重目標。 | (2)原子經濟<br>(7)使用再生原料 | (1)再利用<br>(2)資源循環<br>(3)減量<br>(6)再設計 |
| | 知識服務組 | 製造業價值鏈資訊應用計畫 | • 協助製造業強化物聯網、雲端運算與數據分析等智慧化技術應用，以「顧客導向、創新服務」為目標，發展「顧客導向的智慧機械產業化資訊應用」及「顧客導向的產業智慧機械化創新服務」，藉由資通訊技術做到「營運流程資訊化」、「數據蒐集自動化」及「營運決策智慧化」，深化製造及行銷通路之附加價值。 | (6)設計能源效率<br>(11)即時分析污染防治<br>(12)以更安全的化學品防止意外發生 | (6)再設計 |
| | 金屬發 | 鑄造產業 4C 升級轉型計畫 | • 導入 3D 列印砂模鑄造應用技術與提供技術輔導，縮短研發時程。 | (1)防止廢棄物<br>(6)設計能 | (6)再設計 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 電組 | | | 源效率 | |
| | | 再生能源產業推動計畫 | • 主要致力於國內「離岸風力機產業」、「陸域中小型風力機產業」，以及「太陽光電模組產業」等再生能源產業之發展與推動，期透過本計畫各項工作之推動，整合及協調各方資源，有效協助國內風力發電產業與太陽光電模組產業發展，提高國內再生能源使用率，使台灣躍升為綠色能源產業發展國家，創造潔淨低碳家園。 | (7) 使用再生原料 | - |
| | 民生化工組 | 紡織產業轉型推動計畫 | • 透過纖維改質技術及分散技術，加速傳統紡織產業由單純之代工產業轉型為高附加價值紡織品開發商。以高分子材料表面處理技術及機能性樹脂塗佈配方技術，強化面料耐磨及抗污等功能性，應用於耐磨兼具抗污複合功能之袋包用紡織品。 | (1) 防止廢棄物<br>(2) 原子經濟<br>(3) 較少的有害化學合成<br>(4) 設計更安全的化學品<br>(6) 設計能源效率<br>(8) 減少衍生物 | (1)再利用<br>(2) 資源循環<br>(3)減量<br>(4)再生<br>(5)恢復<br>(6)再設計 |
| | | 高值化學材料推動平臺計畫 | • 輔導預轉型及創新應用之高值化學材料業者，快速建立自主開發技術，協助產業創造差異化利潤。建置化學材料產業創新核心技術，協助國內產業具備完整自主供應鏈與應用量產能力。 | (2) 原子經濟<br>(6) 設計能源效率<br>(7) 使用再生原料<br>(9) 選擇良好的催化劑 | (4)再生<br>(5)恢復<br>(6)再設計 |
| | | 利基生技醫 | • 發展具臨床需求特色的醫 | (2) 原子經 | (6)再設計 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 藥產業輔導與國際化推動計畫 | 材產品，透過醫材與輔具資訊化、智慧化及客製化，協助異業轉入或傳統產業升級，輔導建立關鍵技術及開發新產品。進行製程改善/放大輔導，以使關鍵生產技術與國際接軌。 | 濟<br>(3)較少的有害化學合成<br>(4)設計更安全的化學品<br>(10)可降解之設計 | |
| | | 製藥產業技術輔導與推廣計畫 | • 進行農藥、環藥及動物用藥產品關鍵技術之開發諮詢診斷及輔導。 | (2)原子經濟<br>(3)較少的有害化學合成<br>(4)設計更安全的化學品<br>(10)可降解之設計 | - |
| | | 藥品商品化中心運作計畫 | • 生技醫藥新產品開發、研發成果商品化、技術授權、產學合作、新創育成、國際合作以及藥品加值整合諮詢輔導，並促成國際大廠與國內生技醫藥產學研機構進行技術交流合作。 | (2)原子經濟<br>(3)較少的有害化學合成<br>(4)設計更安全的化學品<br>(9)選擇良好的催化劑<br>(10)可降解之設計<br>(12)以更安全的化學品防止意外發生 | - |
| | | 精細化學品 | • 協助業者建立精細化學品 | (1)防止廢 | - |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 技術輔導與產業推動計畫 | 應用技術，範圍涵蓋環境友善型光電功能材料、光電材料再生技術、功能性塗料、樹脂或接著劑等其他精細化學品，期能促進國內建立新技術，開拓新興化學工業及環境友善型材料技術發展。 | 棄物<br>(2) 原子經濟<br>(3) 較少的有害化學合成<br>(7) 使用再生原料<br>(8) 減少衍生物<br>(12)以更安全的化學品防止意外發生 | |
| 經濟部能源局 | 能源技術組 | 永續生質能源關鍵技術研發計畫 | • 發展創新木質纖維素解聚技術為核心，建構醣類應用平臺，發展生質燃料及生質材料等低碳產業。<br>• 透過鏈結掌握利基料源業者，藉由技術輸出方式引領海外投資，建立優勢生質燃料與化學品產業。<br>• 透過微生物甘油加值化技術之開發，擴大甘油使用面向與產值，提升國內生質柴油產業之競爭力。<br>• 評估生物產電技術，具提升國內產業廢水回收價值之潛力，並提供廢水處理附加效益與固碳等環保效益。<br>• 透過業界合作，推動微藻固碳與利用示範，開發第二代袋式養殖系統與藻液循環養殖技術，提高 20%微藻產率與 50%水資源利用，以利微藻能源產業發展。 | (6) 設計能源效率<br>(7) 使用再生原料<br>(9) 選擇良好的催化劑 | (1)再利用<br>(2) 資源循環<br>(3)減量<br>(4)再生<br>(5)恢復<br>(6)再設計 |

(參考來源：本計畫自行彙整)

### 4.3 勞動部推動策略

勞動部與綠色化學相關之權責單位包含職業安全衛生署與勞動及職業安全衛生研究所，主要掌管化學品管理與勞工安全意外預防之相關工作以及研究，近三年推動專案如表二十二所示，職業安全衛生署近年針對作業場所新化學物質申報登錄機制之評估研究、國內危害化學物質暴露評估資料庫建立、推動全球調和制度 (Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals, GHS) 化學品管理－危害物質登錄管理機制評估進行推廣與研究，職業安全衛生研究所近年則是針對化學工廠批式製程安全評估技術研究、科學工業園區化學品資料庫建置研究、歐、日、美及韓國化學品管理及監督機制之探討以及化學因數暴露評估指引及執行等。

職業安全衛生署更致力依照聯合國所建置的 GHS 擬定相關推重政策，用以降低化學品對勞工與使用者健康危害及環境污染，並減少跨國貿易障礙，所主導推行的化學品分類與標示之全球調和系統。我國自 2006 年起已透過跨部會推動方案，於 2008 年起分階段展開 GHS 分類標示及物質安全資料表的實施。鑒於化學品頻繁的全球貿易活動，與制定國家法規以確保使用、運輸和處置的安全性，其範圍是十分廣泛的。因此體認到採用 GHS 制度國際調和的做法進行化學品分類和標示，可作為化學品管理需求提供發展的基礎。一旦能掌握生產或是進口化學品正確的安全資訊，才足以發展建立必要的管控化學品暴露與環境保護的基礎制度。

因此，勞動部於綠色化學原則相關部分主要著重於災害防治、意外保障與保全，以保障勞工之人身安全，勞動部依據職業安全衛生法，推動廠區內工作場所及實驗室之化學品管理及教育訓練，包含：加強勞工對化學物質危害之認知，確保化學品使用安全，預防化學品引起之危害，明訂危害性化學品之製造者、輸入者、供應者及雇主，應提供或揭示安全資料表、製備清單及採取通識措施，並建立新化學物質登記源頭管理，及管制性化學品運作許可與優先管理化學品運作等

重點管理新制，另雇主應依化學品危害性、散佈情形及使用量等，評估風險等級並採取分級管理措施，以保護勞工的健康與生命安全。勞動部更逐步建立 CSNN (Chemical Substance Nomination &. Notification) 化學物質登記管理，明定製造者或輸入者對於公告之化學物質清單以外之新化學物質，應向中央主管機關繳交化學物質安全評估報告，並經核准登記始得製造或輸入含有該物質之化學品。

針對優先管理化學品備查及管制性化學品許可，勞動部規定廠商運作經指定之優先管理化學品須報請備查 (Report) ，以及運作管制性化學品須經許可 (Permit) 才可運作。依據辦法之規定，廠商應依指定之方法將相關資料登錄至指定之資訊網站，故建置「化學品報備與許可平臺」。對於廠區內化學品更進一步發展分級管理，包含作業環境監測、定量推估模式及我國化學品分級管理工具等；雇主須全面掌握廠場內所使用之化學品，並依法規規定進行風險分級後採取適當之控制措施，且定期檢討並留存相關紀錄備查。化學品分級管理運用 GHS 健康危害分類來劃分化學品的危害群組，配合化學品散佈到空氣中的程度及使用量來判斷潛在暴露程度，後依其危害群組及潛在暴露程度以風險矩陣方式進行分級，再據以選擇適當的管理方法及暴露控制措施。

表二十二 、勞動部相關局處與綠色化學原則或循環經濟相關推動專案

| 部會 | 相關部門 | 專案名稱 | 專案執行摘要 | 與綠色化學原則之相關 |
|---|---|---|---|---|
| 勞動部 | 職業安全衛生署 | 作業場所新化學物質申報登錄機制之評估研究 | • 蒐集日本、歐盟、加拿大、美國、韓國及中國大陸等國家有關新化學物質管理作法，針對新化學物質申報管理之相關要點做分析比較，並根據我國現有部門分工制度，提出我國發展新化學物質申報機制。 | (1)防止廢棄物<br>(5)更安全的溶劑與助劑<br>(9)選擇良好的催化劑<br>(11)即時分析污染防治<br>(12)以更安全的化學品防止意外 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | | | 發生 |
| | | 國內危害化學物質暴露評估資料庫建立 | • 針對歷年暴露評估研究結果無法有效彙整，及現有作業環境空氣中檢測數據格式混亂且缺乏系統性管理、彙整之問題，研擬建置暴露評估資料庫，藉由資料庫管理系統之輸入、查詢及列印報表等功能，有效提升資料使用效能，將資料產出做為國內作業場所空氣中有害物暴露濃度之基本資料，將來做為研擬勞工政策的擬定(如重點檢查、工廠輔導)與法令標準的修正之參採依據。 | (1)防止廢棄物<br>(4)設計更安全的化學品<br>(5)更安全的溶劑與助劑<br>(9)選擇良好的催化劑<br>(11)即時分析污染防治<br>(12)以更安全的化學品防止意外發生 |
| | | 推動全球調和制度化學品管理－危害物質登錄管理機制評估 | • 蒐集美國、加拿大、日本、中國大陸及歐盟有關化學品管理相關指引與現行登錄機制，針對危害物質登錄管理之相關要點做分析比較，並與我國現有制度以及未來推行化學品全球調和制度、法規修訂方向之必要措施配合等，提出我國未來發展登錄機制之建議參考，健全完備危害化學品登錄制度，提供國家整體化學品危害辨識、風險評估與相關法規建置與管理之重要依據 | (1)防止廢棄物<br>(4)設計更安全的化學品<br>(5)更安全的溶劑與助劑<br>(9)選擇良好的催化劑<br>(11)即時分析污染防治<br>(12)以更安全的化學品防止意外發生 |
| | 勞動及職業安全衛生研究 | 化學工廠批式製程安全評估技術研究 | • 針對批式製程之設備維修保養及製程防護措施，探討採用失誤模式與影響分析 (Failure modes and effects analysis, FMEA) ，及保護層分析 (Layer of Protection Analysis, LOPA) 方法，應用於批式製程之作法。利用批式製程工廠現場輔導之經驗，研擬製程安全評估評估指引以供業界參考應用。 | (1)防止廢棄物<br>(4)設計更安全的化學品<br>(5)更安全的溶劑與助劑<br>(9)選擇良好的催化劑<br>(11)即時分析污染防治<br>(12)以更安全的化學品防止意外 |

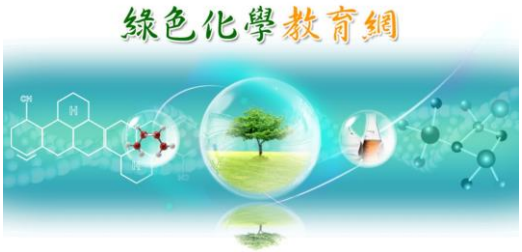
| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 所 | | | 發生 |
| | | 科學工業園區化學品資料庫建置研究 | • 為了預防化學品危害，需建立一套完整的化學品資料庫，收集事業單位之化學品使用資訊，以輔助擬訂與實施化學品安全使用政策和危害預防管理計劃。本研究擬以三個科學工業園區為示範場域，建立各區的化學品資料庫，提供各種規劃及意外處置時所需的基礎資料，以強化化學品管理。 | (1)防止廢棄物<br>(4)設計更安全的化學品<br>(5)更安全的溶劑與助劑<br>(11)即時分析污染防治<br>(12)以更安全的化學品防止意外發生 |
| | | 歐、日、美及韓國化學品管理及監督機制之探討 | • 危害性化學品登錄資訊之運用訓練，可提供檢查機構篩選高風險工作場所，以為監督檢查優先之決策參考。配合國家化學雲資訊系統增加資訊設備，以迅速取得事業單位使用化學物質詳細資訊，同時輔導業界文書及電子填報能力，以落實檢查與輔導宣導工作。 | (4)設計更安全的化學品<br>(5)更安全的溶劑與助劑<br>(11)即時分析污染防治<br>(12)以更安全的化學品防止意外發生 |
| | | 化學因數暴露評估指引及執行範例 | • 針對化學性危害的職業暴露評估與分級管理，進行制度現況檢討，並針對職業安全衛生法全面實施後，因應化學品分級管理之規劃需求，提出職業暴露危害管理指引，透過專家會議討論範例製作，解決目前在職業暴露評估與危害分級管理上容易遭遇的問題，保護勞工免於工作場所的化學性健康危害。 | (4)設計更安全的化學品<br>(5)更安全的溶劑與助劑<br>(11)即時分析污染防治<br>(12)以更安全的化學品防止意外發生 |

(參考來源：本計畫自行彙整)

### 4.4 教育部推動策略

教育部主要是以教育宣導的方式全面推動綠色化學 12 原則之理念，針對高中職為主要目標族群，推動校園化學品資訊化管理計畫，培養創新獨立的思考，提升學生的創造力及潛力，將綠色化學科學教育紮根，推廣全國大專與高中職學生對綠色化學的興趣，並鼓勵高中生探索科學的精神與創造發明的潛力，培養學生靈活思考、多元學習的精神，並定期舉辦「綠色化學創意競賽」，用以激發學生潛力，落實綠色化學教育；此外，教育部與毒物及化學物質局建立合作模式，共同推動大專校院綠色化學教育，期望與產業界攜手合作，針對未來綠色化學教育因應產業發展落實在校園專業課程，納入課程大綱設計，以強化綠色化學理念，讓各校師生瞭解綠色化學與企業的關係。

對於各大專院校之實驗室，建置校園化學品管理與申報系統，以利掌握校園內化學品數量與流向，確保學生於實驗室之人身安全，並建置實驗室安全衛生宣導影片對於化學實驗安全及消防課程設計實務教學。期望透過分享研習營方式，讓相關領域教師能獲得更實用深入資訊，將安全、環保、永續之綠色化學觀念逐步建立於教學實驗中。針對大眾之綠色化學知識推廣則是建立綠色化學教育網（如所示），即時分享國內外綠色化學相關知識，以讓一般民眾能瞭解綠色化學於校園教育之重要性。因此，教育部針對綠色化學原則係以教育紮根的方式進行推廣，除了可將環保永續的概念讓學子們從小培植之外，更能培養創意思考的能力。




圖三十六 、綠色化學教育網示意圖

### 4.5 其他部會推動策略

其他與綠色化學或循環經濟相關部會包含中華民國科技部（科技部）、行政院農業委員會（農委會）、中華民國衛生福利部（衛福部）、中華民國財政部（財政部）等；農委會與綠色化學相關的主要以農業藥物毒物試驗所推動的農業科技研發、植物防疫檢疫、生物技術、環境保護等等，透過相關試驗研究方法之開發，以加強農藥安全使用與殘留檢測、毒理檢測技術、微生物農藥資源應用、農藥品質檢測及安全，並建置完整的農藥資訊體系，讓農民及相關用戶可瞭解農藥使用與管理之重要性，由於農藥的使用與食品安全息息相關，因此實踐綠色化學原則於農藥使用與管理為未來可行推動方向，包含(1)防止廢棄物、(3)較少的有害化學合成、(6)設計能源效率、(7)使用再生原料、(8)減少衍生物、(10)可降解之設計、(11)即時分析污染防治、(12)以更安全的化學品防止意外發生等等。

衛福部則是以食品藥物管理署（食藥署）所掌管食品源頭管理、建立食品業者登錄平臺、藥品醫材管理、化粧品管理工作，並針對高風險進口食品做長期資料分析，由此找出不合格率成長的預測指標，協助篩檢出高風險目標，達即時監控目的。因此食藥署執掌工作與環保署化學局所推動食品安全相關工作有著密切關係，亦符合綠色化學原則包含(3)較少的有害化學合成、(4)設計更安全的化學品、(11)即時分析污染防治、(12)以更安全的化學品防止意外發生等。

科技部則是主要推動基礎科學研究、工程技術與科技研發等相關工作，其中可包含自然科學及永續研究、工程技術研究、生命科學研究，所涉及的範圍可擴大至推動工程領域基礎研究與先導性應用、自然科學與永續研究發展相關產業前瞻技術以及生物醫學、醫藥衛生、農業科學研究成果之推廣及應用等，因此，科技部可作為實踐綠色化學基礎理論與創新技術研發之職責單位。

有鑑於綠色化學與循環經濟商業模式之建置，財政局國際財政司租稅協定科與賦稅署則是扮演租稅協定以及化學租賃制定之職責單位，因此，有關稅協定發

展趨勢之研究，以及化學租賃制度應整合現有租稅與租賃制度，發展適合循環經濟發展之商業模式或相關獎勵機制。

### 4.6 整合國內部會綠色化學與循環經濟關聯性

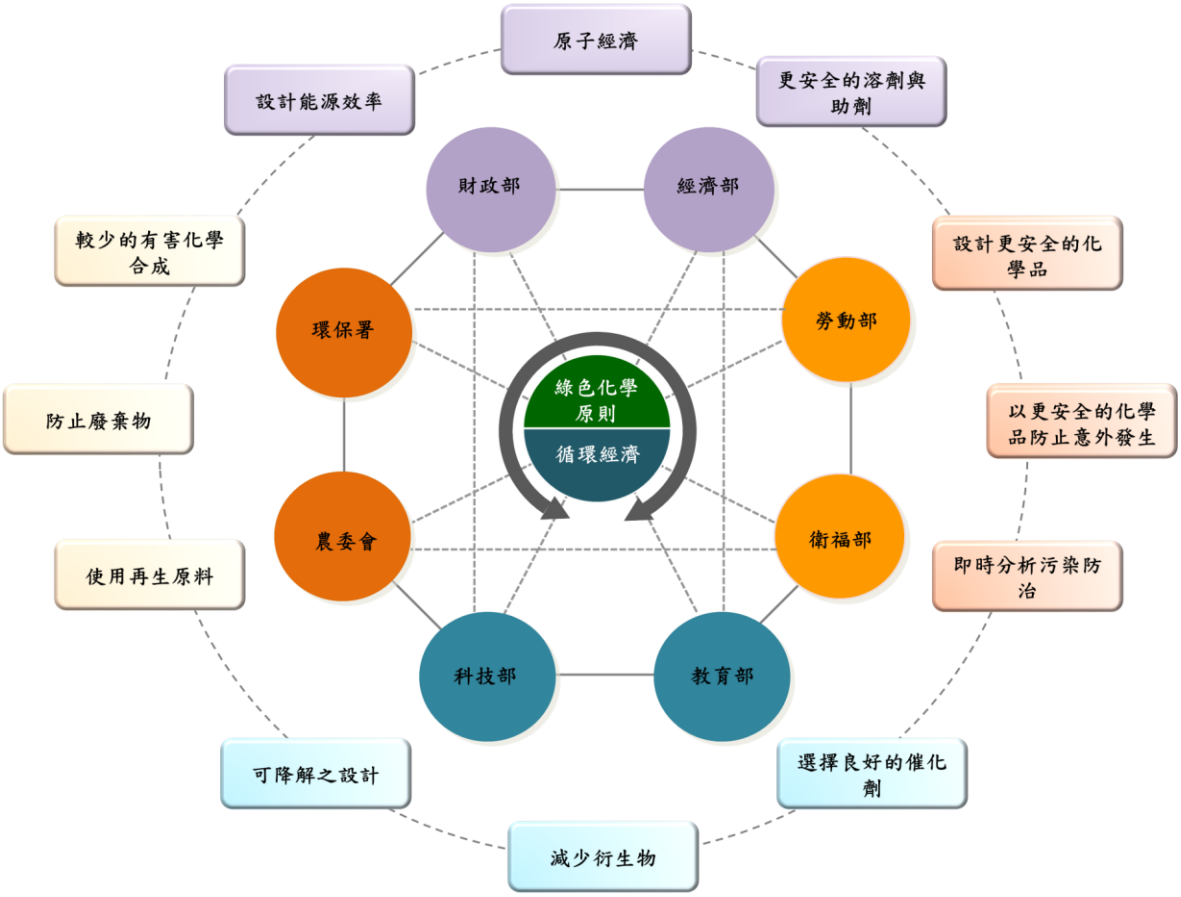
透過相關部會執掌範疇與近年所執行專案，可掌握國內與綠色化學原則及循環經濟相關部會，並整合國內八大部會實踐相關綠色化學原則與循環經濟理念之架構（圖三十七），表二十三說明各部會與綠色化學原則及循環經濟相關建議，其中污染及意外防制以環保署環管處、化學局、廢管處為主，保障安全及保全勞動部勞工安全衛生署、衛福部食藥署、農委會農藥試驗為主，永續能源及資源則是以經濟部工業局與能源局為主，教育部與科技部則推廣綠色化學與循環經濟教育宣導及技術研發，最後財政部則是負責商業模式與租賃制度等；總結來說，建議可將跨部會合作分類成三大組別合作方式，第一類是屬於環保署與經濟部（主推循環經濟與綠色化學理念）、第二類是經濟部、衛福部、勞動部與農委會（主推產業鏈結與勞工安全），第三類為教育部、財政部與科技部（主推科普教育、租賃政策與技術研發）。

表二十三 、各部會促進符合綠色化學原則及循環經濟相關建議

| 部會 | 促進符合綠色化學原則及循環經濟相關建議 |
|---|---|
| 環保署 | 推動化學品與毒化物流向管制等法令政策（化學局與環管處）<br>釐清並推動國內具高附加價值廢棄物來源以及設計獎勵制度（廢管處與回收基管會） |
| 經濟部工業局 | 推廣、輔導產業鏈結、資源技術開發、高附加價值化學品研發並強化能資源循環體系<br>（永續發展組與民生化工組） |
| 經濟部能源局 | 推動能源技術開發、能源效率提升措施、設計高能源效率以及提升原子經濟<br>（能源技術組） |
| 勞動部<br>職業安全衛生署 | 推動廠內化學品對於勞工安全、衛生以及意外防治等制度<br>推動廠區內工作場所及實驗室之化學品管理及教育訓練 |
| 教育部 | 結合綠色化學教育與產業發展落實專業課程，納入課程大綱設 |

| | |
|---|---|
| | 計，以強化綠色化學理念<br>建置校園化學品管理與申報系統以及校園化學品資訊化管理計畫 |
| 衛福部食藥署 | 掌管食品源頭管理、建立食品業者登錄平臺、藥品醫材管理、化粧品管理工作 |
| 農委會農藥試驗所 | 建置完整的農藥資訊體系，促進農藥的使用與食品安全 |
| 科技部 | 實踐綠色化學基礎理論與永續研究發展相關產業前瞻技術 |
| 財政部 | 發展綠色化學與循環經濟商業模式，制定租稅協定以及化學租賃（賦稅署及租稅協定科） |

(參考來源：本計畫自行彙整)




圖三十七 、國內八大部會實踐相關綠色化學原則與循環經濟理念之架構圖

(參考來源：本計畫自行彙整)

# 第五章　建立綜合研究平臺與國際合作夥伴關係

本章節說明辦理綠色化學與循環經濟專家諮詢會議、永續綠色化學與循環經濟講習課程以及綠色化學與循環經濟國際研討會，透過邀集國內外相關專家學者，協助研擬綠色化學推動策略並協助擔任講習課程之講師，落實綠色化學理念之教育宣導，同時辦理國際研討會，據以建立國際合作夥伴關係與綜合研究平台，以深化綠色化學與循環經濟相關研究。

## 5.1 綠色化學與循環經濟專家諮詢會議

本計畫擬定針對化學科學與環境工程以及有執行過綠色化學相關背景學者，擔任專諮會出席的專家，本計畫邀集專家如表二十四所說明。

表二十四 、永續綠色化學與循環經濟政策研析計畫專家名單

| 姓名 | 單位 |
|---|---|
| 蔡蘊明教授 | 國立臺灣大學化學系 |
| 趙奕姈研究員 | 中央研究院化學研究所 |
| 梁文傑教授 | 國立臺灣大學化學系 |
| 許景翔總經理 | 優勝奈米公司 |
| 洪崇軒教授 | 高雄第一科技大學環境與安全衛生工程系 |
| 鄒倫 主任 | 財團法人中技社 環境技術發展中心 |
| 陳孝行特聘教授 | 臺北科技大學 環境工程與管理研究所 |
| 張章堂特聘教授 | 國立宜蘭大學 環境工程學系 |
| 田慶宗處長 | 美國馬里蘭州環保局 |
| 高志明特聘教授 | 國立中山大學 環境工程研究所 |

於 107 年 1 月 25 日辦理第一次專家諮詢會議，針對「綠色化學國際情勢分析」、「以綠色化學原則建立化學物質管理體系」、「研擬永續綠色化學推動策略、發

展監測體系、安全管理與預警措施」等議題，本次主要邀集國內外專家學者與產業代表進行意見交流。

表二十五 、107 年 1 月 25 日第一次專諮會議程

| | |
|---|---|
| **09:30** | **會議開始** |
| **09**:30~09:35 | **會議致詞**<br>行政院環境保護署毒物及化學物質局 |
| **主持人：蔣本基特聘教授** | |
| **主題一： 綠色化學發展國際情勢** | |
| 09:35~10:05 | • 聯合國永續發展目標<br>• 綠色化學與循環經濟現況分析<br>• 綠色化學 12 項原則國際發展情勢 |
| 10:05~10:25 | **綜合討論** |
| **主題二：以綠色化學原則建立化學物質管理體系** | |
| 10:25~10:55 | • 防制污染及意外<br>• 保障安全及保全<br>• 永續能源及資源 |
| 10:55~11:15 | **綜合討論** |
| 11:15~11:30 | **中場休息** |
| **主題三：永續綠色化學與循環經濟推動策略** | |
| 11:30~12:00 | • 綠色化學原則與政府治理、產業技術及永續教育之關聯性<br>• 永續綠色化學執行困境與推動策略<br>• 永續綠色化學優先治理方向(Priority Governance Direction) |
| 12:00~12:20 | **綜合討論** |
| 12:20~13:30 | **午餐時間** |
| **主題四：發展監測體系、安全管理與預警措施** | |
| 13:30~14:30 | • 化學品災害防治<br>• 環境污染監測與控制<br>• 危害預警機制 |
| 14:30~14:50 | **綜合討論** |
| 14:50~15:00 | **會議結論**<br>**蔣本基特聘教授** |

第一次專諮會摘錄重點結論如下（會議記錄詳見附錄三）：

1. 綠色化學應以邁向永續發展為主，從生命週期的角度探討清潔生產、溫室氣體減量、危害物質管理、空氣污染、污染監測體系、化學管理制度、永續消費、健康風險評估，最後落實綠色經濟。
2. 對於企業界，降低不良產品率是主要關鍵，整合綠色化學原則與清潔生產技術，構建循環經濟體系，可作為政府未來優先治理方向。
3. 將整合各位專家學者意見，持續掌握各部會推動綠色化學方向與相關建議。

後續因應做法：

本計畫將參考委員寶貴建議，持續蒐集國內外關於綠色化學之清潔生產技術資料，並將邀請相關部會參與，包含財政部、工業局、教育部以及環保署相關局處參與討論，持續掌握各部會推動綠色化學方向與相關建議，並邀請綠色化學原則與清潔生產技術與循環經濟相關專家。

第二場專家諮詢會於 107 年 4 月 17 日辦理，主題為評析國內外綠色化學策略與情勢、發展創新綠色化學技術邁向循環經濟、研擬國內永續綠色化學與循環經濟優先治理方向，邀集國內外專家學者、產業代表以及部會代表進行意見交流。

表二十六 、107 年 4 月 17 日第二次專諮會議程

| | |
|---|---|
| 09:30 | **會議開始** |
| 09:30~09:35 | **會議致詞**<br>行政院環境保護署毒物及化學物質局 |
| **主持人：環境保護署毒物及化學物質局** | |
| **主題一：評析國內外綠色化學政策與情勢** | |
| 09:35~10:05 | • 盤點國內各部會綠色化學推動情形<br>• 評析國內外化學物質管理制度<br>• 研析化學租賃制度發展情勢及策略 |
| 10:05~10:25 | **綜合討論** |
| **主題二：發展創新綠色化學技術邁向循環經濟** | |

| | |
|---|---|
| 10:25~10:55 | • 發展綠色化學關鍵技術<br>• 盤點國內實踐綠色化學技術之重點產業<br>• 研擬綠色化學原則落實永續物料管理策略 |
| 10:55~11:15 | **綜合討論** |
| 11:15~11:30 | **中場休息** |
| **主題三：研擬國內永續綠色化學與循環經濟優先治理方向** | |
| 11:30~12:00 | • 研擬綠色化學技術優先研究方向<br>• 建立綠色化學之環境教育體系<br>• 實踐永續綠色化學循環經濟之行動方案 |
| 12:00~12:20 | **綜合討論** |
| 12:20~12:30 | **會議結論**<br>**蔣本基特聘教授** |

第二次專諮會摘錄重點結論如下（會議記錄詳見附錄四）：

1. 綠色化學推動要素需整合環境、教育與能源議題，包含推動綠色化學標章、職業教育推廣、低碳產品與低碳製程、強化綠色化學技術與製程、完善化學品流向盤查等，並建立綠色化學重大示範產業。
2. 循環經濟推動要素主要包含落實廢棄物管理、完善生產與消費需求面調查、發展產品環境化設計、優化租稅獎勵措施、建立資源循環供應鏈等。
3. 推動跨部會整合並落實綠色化學原則，可作為發展循環經濟手段之一，必須包含產業鏈結、經濟誘因、環境保育、教育宣導、科技研發及財稅制度等關鍵議題。

後續因應做法：

本計畫參考第二次專諮會委員建議，將環境、教育與能源議題，綠色化學重大示範產業案例進行、各部會對於循環經濟與綠色化學之相關性彙整，以及化學租賃制度細節等進行深入研析，最後歸納為綠色化學與循環經濟政策建議以及優先治理方向。

圖三十八 、永續綠色化學與循環經濟專家諮詢會議剪影

## 5.2 永續綠色化學與循環經濟講習課程

### 5.2.1 民國 107 年 2 月 26 日講習課程成果

本計畫於民國 107 年 2 月 26 日辦理第一與第二場次永續綠色化學與循環經濟講習課程，講習主題包含綠色化學 12 原則與國際情勢分析、以綠色化學原則建立化學物質管理體系、研擬永續綠色化學推動策略等三大項，議程與講者資訊如說明：

表二十七 、2018 年 2 月 26 日講習課程議程

| | |
|---|---|
| **13:00~13:30** | **報到** |
| 13:30~13:40 | **講習會議開始**<br>**會議致詞：（行政院環境保護署毒物及化學物質局）** |
| **主持人：蔣本基特聘教授/謝祝欽教授** | |
| **主題一：聯合國永續發展目標綠色化學發展國際情勢**<br>**主講人：蔣本基特聘教授** | |
| 13:40~14:20 | • 聯合國永續發展目標發展情勢<br>• 循環經濟理念<br>• 綠色化學 12 原則<br>• 國際綠色化學發展情勢<br>• 永續綠色化學與循環經濟推動策略 |
| **主題二：綠色化學技術發展**<br>**主講人：謝祝欽教授** | |
| 14:20~15:00 | • 各國綠色化學技術發展情勢<br>• 防制污染及意外技術<br>• 保障安全及保全技術<br>• 永續能源及資源技術<br>• 推動綠色化學創新技術發展策略 |
| 15:00~15:20 | **中場休息** |
| **主持人：蔣本基特聘教授** | |
| **主題三：綠色化學與綠色工程教育**<br>**主講人：侯嘉洪副教授** | |
| 15:20~16:00 | • 各國綠色化學教育推廣情勢<br>• 綠色工程理念<br>• 綠色工程原則 |

| | |
|---|---|
| | • 綠色工程應用<br>• 綠色工程與綠色化學教育推動策略 |
| **主題四：永續綠色化學與循環經濟政府治理方向<br>主講人：林逸彬副教授** | |
| 16:00~16:40 | • 各國綠色化學政府治理實踐<br>• 防制污染及意外治理<br>• 保障安全及保全治理<br>• 永續能源及資源治理<br>• 永續綠色化學優先治理方向(Priority Governance Direction) |
| 16:40~17:10 | **問題與討論** |
| 17:10~17:20 | **綜合討論** |
| 17:20~17:30 | **會議總結** |

表二十八 、講習課程講師資訊

| 講師背景 | 講師 |
|---|---|
| 國立台灣大學環境工程學研究所/碳循環永續技術評估中心 | 蔣本基特聘教授/主任 |
| 國立雲林科技大學環境與安全衛生工程系 | 謝祝欽教授 |
| 國立台灣大學環境工程學研究所 | 侯嘉洪副教授 |
| 國立台灣大學環境工程學研究所 | 林逸彬副教授 |

本次講習會議主要透過宣導聯合國永續發展目標、綠色化學 12 原則及循環經濟理念，主要邀請對象為環保署各局處，並透過問券調查廣泛蒐集相關單位意見，推廣永續綠色化學理念、促進綠色化學 12 原則，以助於環保署研擬整合式綠色化學循環經濟管理策略，本次總共發放 30 份問券，回收 23 份，問券統計如附錄五所示，最後彙整問券調查結果表二十九如所示。

表二十九 、永續綠色化學與循環經濟講習課程問券調查結果

| **主題** | **項目統計** |
|---|---|
| 一、綠色化學原則與永續發展目標（SDG）之相關性 | ➢ 目標 6. 確保所有人都能享有水及衛生及其永續管理<br>➢ 目標 7. 確保所有的人都可取得負擔得起、可靠的、永續的能源<br>➢ 目標 8. 促進包容且永續的經濟成長，達到全面且有生產力的就業 |

| | |
|---|---|
| | ➢ 目標 9. 建立具有韌性的基礎建設，促進永續工業，並加速創新<br>➢ 目標 11. 促使城市與人類居住具包容、安全、韌性及永續性<br>➢ 目標 12. 確保永續消費及生產模式<br>➢ 目標 14. 保育及永續利用海洋與海洋資源，以確保永續發展<br>➢ 目標 15.促進領地生態系統永續使用並遏止生物多樣性的喪失 |
| 二、環保署目前相關推動政策與12項綠色化學原則之相關性 | ➢ 1. 防止廢棄物<br>➢ 10.可降解之設計<br>➢ 11.即時分析污染防治 |
| 三、環保署未來推動或執行綠色化學及循環經濟對於「政府治理」之可行策略 | ➢ 建置化學物質數據庫，幫助政府有效的立法禁止或限制有害化學物質<br>➢ 制定有關化學產品之有害物質排放法規標準<br>➢ 建立更安全的化學成分清單與綠色化學標章 |
| 四、環保署未來推動或執行綠色化學及循環經濟對於「技術創新」之可行策略 | ➢ 成立廢棄物能資源循環研究中心，提供產業技術服<br>➢ 發展化合物的特性鑑定方式，使化學產品設計為保持功效的同時具備低毒性<br>➢ 積極發展綠色化學溶劑與生物可降解之創新技術 |
| 五、環保署未來推動或執行綠色化學及循環經濟對於「教育宣導」之可行策略 | ➢ 政府定期辦理綠色化學講習或研討會<br>➢ 於大專學院定期舉辦綠色化學創意科學競賽<br>➢ 建立綠色化學認證制度，培養基礎教師 |
| 六、未來臺灣推動綠色化學及循環經濟推動政策之執行措施 | ➢ 研擬綠色化學之防制、保障及永續策略：建立循環永續綠色化學能資源化綠色供應鏈模式，提出最適化發展方案，落實永續物料管理<br>➢ 整合政府權責單位，落實綠色化學原則：建立國家層級之化學物質分類和標籤和材料安全數據庫<br>➢ 健全化學管制相關法規，發展化學物質管理體系：根據國際情勢，優先評估創新化學品之適用性，建立製造/進口之相關條例<br>➢ 研發綠色化學創新技術，建立國際合作交流機制：加強綠色產業技術的國際交流和合作，積極引進及吸收先進技術，推廣和應用於清潔生產技術和製程<br>➢ 強化綠色化學環境教育，促進創新技術人才培育：建立綠色化學之工程、經濟與環境分析體系，落實 |

| | |
|---|---|
| | 毒性化學物質的健康風險評估，以加強產業之化學科普知識 |
| 七、可優先做為臺灣推動永續綠色化學循環經濟之示範產業 | ➢ 鋼鐵業、電力業、電子業、水泥業、造紙業、建築營造業、石化業 |
| 八、環保署為推動綠色化學與循環經濟發展在「政府治理」面，目前已建置及未來宜建置之法規 | ➢ 目前已建置之法規：<br>➢ 毒性化學物質管理法、廢棄物清理法、新興化學物質及既有化學物質登錄辦法、毒性化學物質運作獎勵辦法<br>➢ 資源回收再生法、水污染防治法、能源管理法、再生能源發展條例、溫室氣體減量及管理法<br>➢ 環保署已於 107 年正式全面禁止使用石綿，全氟辛磺酸及全氟辛酸 |
| | ➢ 未來宜建置之法規：<br>➢ 建議可先檢視我國已有的租稅獎勵政策，將符合綠色化學原則的製程、產品或輸出入，給予租稅減免等經濟誘因，讓市場機制建立資源供需或最適化資源配置，可提升整體社會與環境福利<br>➢ 建議發展毒性化學物質租賃管理制度、以及毒性化學物質安全替代品制度<br>➢ 建議以綠色化學原則為出發點，列管大部分的毒性化學物質<br>➢ 全面推動綠色化學原則與循環經濟發展獎勵條例，鼓勵企業界發展為綠色產業<br>➢ 建議可將綠色化學原則納入環境教育體系<br>➢ 建議可應用綠色化學原則針對環境用藥與土壤地下水防治等 |

(參考來源：本計畫自行彙整)

圖三十九 、107 年 2 月 26 日永續綠色化學與循環經濟講習課程活動剪影；(上)講師課程講習；(下)團體大合照

### 5.2.2 民國 107 年 5 月 29 日講習課程成果

本計畫於 2018 年 5 月 29 日辦理第三與第四場次永續綠色化學與循環經濟講習課程，講習主題延續第一次講習課程主題並據以深化，包含綠色化學與循環經濟國際情勢、推動綠色化學創新技術發展策略、綠色化學與綠色工程教育、永續綠色化學與循環經濟政府治理方向等四大項，本次講習會議主要透推廣永續綠色化學理念、促進綠色化學 12 原則、發展綠色化學教育、落實循環經濟體系及邁向永續發展目標，主要邀請對象為各部會代表、產業代表以及大專院校教職人員與行政人員，本次講習會議使用 Kahoot App 增加講師與聽眾互動，並可即時透過搶答方式，以得知聽眾對於講習課程內容的了解程度，據此量化講習會辦理成效，有助於環保署推廣綠色化學與循環經濟之理念。

實際運作過程如下：首先講師們會將事先設定好的題目輸入至 Kahoot 軟體中，並於會議當天同步請聽眾使用手邊的電子載具（手機或平板等）下載 Kahoot App 後開啟，進行流程如所示，講師於台上建立好 PIN 碼讓聽眾進行連線，當所有人連線完成之後，即按下開始作答按鈕，在有限的時間內完成作答並即時公布答題分布統計，透過即時教學反饋互動方式，最後會顯示所有人的得分，將前十名者贈送聯合國永續發展目標叢書一本。

步驟一：講師建立連線 PIN 碼

步驟二：確認聽眾皆以連線後按下開始紐

下列哪一項非屬綠色化學原則?

步驟三：開始搶答過程

步驟四：可即時進行統計，得知答案分布

步驟五：得知所有聽眾的分數，發放獎勵

圖四十 、Kahoot App 互動教學軟體使用流程

(參考來源：本計畫自行彙整)

圖四十一 、107 年 5 月 29 日永續綠色化學與循環經濟講習課程活動剪影；（上左）蔣本基教授課程講習；（上右）侯嘉洪教授課程講習；（中左）林逸彬教授課程講習；（中右）獲獎學員頒獎；（下左）App 互動教學演示；（下右）全體大合照

### 5.3 辦理綠色化學與循環經濟國際研討會

#### 5.3.1 2017 循環經濟與綠色發展論壇

臺灣大學於 2017 年 12 月 5 日，為促進循綠色化學與環經濟體系的發展，結合中鼎教育基金會、臺灣永續能源研究基金會與清華大學共同合辦「循環經濟與綠色發展論壇」。邀集來自美國、中國、義大利、印度以及臺灣相關產業之專家進行演講，以促進相關領域之研究人員，教育工作者和從業人員之間交流和最新資訊，並有助於發展碳捕捉和利用技術以實現低碳經濟；推動綠色化學和全面質量管理的綠色產業；實施可永續式能質源管理建設的綠色供應鏈；建立良好的工程實踐和有效的工業生態示範商業模式。研討會相關主題包含：（1）循環經濟概論、循環經濟與線性經濟、永續性及循環經濟、從搖籃到搖籃；（2）綠色化學原理、污染和事故預防、能源及資源永續、安全及防護保障；（3）碳捕捉與利用、生產週期閉環、流程與材料創新、動力學模式；（4）廢棄物及資源綜合管理、永續性材料管理、化學品管理、供應鏈創新；（5）循環經濟商業模式、工業生態學、3R 原則(減量、再使用、再生利用)、最適化資源收益。本次研討會相關會議議程與資訊如表三十與圖四十二所示。

表三十 、循環經濟與綠色發展論壇(2017)議程

| | |
|---|---|
| 8:30–9:00 | **Registration** |
| 9:00–9:30 | **Opening Remarks**<br>Dr. Ying-Yuan Lee (Administrator, Environmental Protection Administration, Taiwan, R.O.C.)<br>Dr. Eugene Chien (President, CTCI Education Foundation and Taiwan Institute for Sustainable Energy, Taiwan, R.O.C.)<br>Dr. Wen-Chang Chen (Dean, College of Engineering, National Taiwan University, Taiwan, R.O.C.)<br>Prof. Liang-Shih Fan (Distinguished Professor, Department of Chemical Engineering, The Ohio State University, USA) |
| **Keynote Speech — Moderator：Prof. Young Ku (National Taiwan University of Science and Technology, Taiwan, R.O.C.)** | |
| 9:30–10:00 | **Development of Integrated Waste Management Plans towards Circular Economy**<br>Director, Miss Ying-Ying Lai (Environmental Protection Administration, Taiwan, R.O.C.) |

| | |
|---|---|
| 10:00–10:30 | **Chemical Looping Gasification, Reforming and Chemical Syntheses**<br>Prof. Liang-Shih Fan (The Ohio State University, USA) |
| 10:30–10:50 | **Coffee Break** |
| **Keynote Speech — Moderator：Miss Ying-Ying Lai (Director, Department of Waste Management)** | |
| 10:50–11:15 | **Circular Economy Policy in Korea**<br>Prof. Hyunook Kim (University of Seoul, Korea) |
| 11:15–11:40 | **The Role of Circular Economy in Addressing Income Inequalities in Developing Countries**<br>Prof. Paolo Vincenzo Genovese (Tianjin University, China) |
| 11:40–12:05 | **Challenges in Developing Cost-effective $CO_2$ Capture and Utilization Processes**<br>Prof. Steven Chuang (University of Akron, USA) |
| 12:05–13:30 | **Lunch** |
| **Speech — Moderator：Prof Pen-Chi Chiang (National Taiwan University, Taiwan, R.O.C.)** | |
| 13:30–13:50 | **Systems Analysis for Eco-Industrial Park**<br>Prof. Bin Chen (Beijing Normal University, China) |
| 13:50–14:10 | **Implementation of Integrated Management and Innovative Technology for Petrochemical Industry Park toward Circular Economy: The Formosa Plastics Group Experience**<br>Dr. Chia-Yii Yu (Formosa Plastics Group, Taiwan, R.O.C.) |
| 14:10–14:30 | **Regulatory Mechanism and Cooperative Experience in Recycling of Chemical Waste - An Indian Experience**<br>Prof. P. A. Joshi (Dharmsinh Desai University, India) |
| 14:30 – 14:50 | **Circular Economy as Fundamental Strategy for the Eco-Village in the Age of Globalization**<br>Prof. Paolo Vincenzo Genovese (Tianjin University, China) |
| 14:50 – 15:10 | **Deployment of Innovative Recycle Technology for E-Waste towards Circular Economy**<br>Managing Director, Kenny Hsu (UWin Nanotech Co., Ltd., Taiwan, R.O.C.) |
| 15:10–15:30 | **Discussion** |
| 15:30–15:50 | **Coffee Break** |
| **Speech — Moderator：Prof Chung-Sung Tan (National Tsing Hua University, Taiwan, R.O.C.)** | |
| 15:50–16:10 | **Carbon Circular Economy: Status of CCU in Taiwan**<br>Prof. Chung-Sung Tan (National Tsing Hua University, Taiwan, R.O.C.) |
| 16:10–16:25 | **The Next Post-Combustion $CO_2$ Capture Challenge: $PM_{2.5}$ and Amine Aerosol Emission**<br>Prof. Shi-Shang Jang (National Tsing Hua University, Taiwan, R.O.C.) |
| 16:25–16:40 | **Development of Chemical Looping Technology for Circular Economy: A Case Study**<br>Prof. Young Ku (National Taiwan University of Science and Technology, Taiwan, R.O.C.) |
| 16:40–16:55 | **Establishment of Waste-to-Resource Supply Chain via High-Gravity Carbonation**<br>Prof Pen-Chi Chiang (National Taiwan University, Taiwan, R.O.C.) |
| 16:55–17:10 | **Implementation of Green Chemistry Principles for Chemical Management towards** |

| | |
|---|---|
| | **Circular Economy**<br>Dr. Kinjal Shah (Dharmsinh Desai University, India) |
| 17:10–17:30 | **Discussion** |
| 17:30 | **Closing Remark** |

圖四十二 、2017 循環經濟與綠色發展論壇

透過本次研討會辦理成果，其會議結論聚焦於：（1）強化循環經濟基礎；；（2）實踐綠色化學原則；（3）發展碳捕獲再利用技術；（4）整合廢棄物資源化管理體制；（5）發展循環經濟模式等五大主題；表三十一說明本次會議結論彙整，可提供政府推動循環經濟與綠色化學發展之參考。

表三十一 、2017 循環經濟與綠色發展論壇會議結論

| 主題 | 建議策略 |
|---|---|
| 強化循環經濟基礎 | ・ 實踐循環經濟 6R 原則，包括重新設計，減少，再利用，恢復，回收與再生，以開發廢物到資源供應鏈。<br>・ 發展碳捕集和利用技術的發展應被視為實現循環經濟的組合解決方案。<br>・ 建立多尺度方法（Multi Scale Approach）以評估文化，經 |

| | |
|---|---|
| | 濟和社會背景的多樣性，是在農村與城市環境中實施循環經濟之可行方案。<br>・ 提升經濟效益，資源保護與永續增長。 |
| 實踐綠色化學原則 | ・ 整合綠色化學 12 原則發展為“PAS（預防、保全與永續）”策略。<br>・ 追求先進的創新清潔技術和生命週期評估<br>・ 發展二氧化碳為綠色溶劑，可作為碳氫化合物生產的碳源<br>・ 開發創新的環保貴金屬剝離方法實現綠色化學理念 |
| 發展碳捕獲再利用技術 | ・ 理解化學材料之間的缺陷與形態變化以及熱力學性質是設計這些材料的關鍵<br>・ 通過化學，光化與電化學方法發展二氧化碳再利用技術<br>・ 減少吸附劑再生的能耗降低二氧化碳排放<br>・ 強化燃燒後二氧化碳捕集技術之 PM2.5 排放控制 |
| 整合廢棄物資源化管理體制 | ・ 制定循環經濟政策，提供資訊，搭建合作平臺，提供獎勵機制<br>・ 發展區域資訊中心並與當地協調員促進了利益攸關方正式和非正式的資訊收集與參與<br>・ 實施節能減碳減廢的原料，水，能源，廢棄物之產業鏈結<br>・ 建構綜合性能源材料分析以建立綠色供應鏈 |
| 發展循環經濟模式 | ・ 整合高價值廢棄物技術開發成資源，提高經濟效益及資源利用效率<br>・ 以商業為中心的方法著重於工業共生系統的經濟效益，並吸引投資<br>・ 整合智慧交通發展連接的交通樞紐及專門服務系統<br>・ 強化消費者的信任與支持推動永續生產和消費 |

### 5.3.2 2018 發展綠色化學技術邁向循環經濟圓桌論壇

臺灣大學於 2018 年 4 月 2 日於循環經濟、化學產業及租稅政策國際研討會中辦理發展綠色化學技術邁向循環經濟圓桌論壇（研討會主題如圖四十三所示），邀集產業界與學術界代表，提供綠色化學技術與綠色產業等相關資訊，並彙整各方專家之會議結論，研擬實踐永續綠色化學循環經濟之發展策略與行動方案，並作為本計畫綠色化學與循環經濟優先治理方向（見 6.3 節）。

表三十二 、發展綠色化學技術邁向循環經濟圓桌論壇(2018)議程

| Deplyment of Waste Recycle Technology for Circular Economy<br>Moderators<br>Distinguished Prof. Pen-Chi Chiang (National Taiwan University) | |
|---|---|
| 13:00–14:00 | Opening **remark (5 mins):**<br>Prof. Pen-Chi Chiang (National Taiwan University)<br>**Lead speaker (8 mins):**<br>Director, Dr. Leon Tzou (CTCI Foundation)<br>**Lead speaker (8 mins):**<br>Distinguished Prof. Jimmy C. M. Kao (National Sun Yat-sen University)<br>**Lead speaker (8 mins):**<br>Distinguished Prof. Shiao-Shing Chen (National Taipei University of Technology)<br>**Lead speaker (8 mins):**<br>Dr. Kinjal Shah (Dharmsinh Desai University, India)<br>**Panelist (5 mins):**<br>Distinguished Prof. Chang-Tang Chang (National Ilan University)<br>**Panelist (5 mins):**<br>Dr. Yong-Jun Sun (Nanjing Tech University, China)<br>**Panelist (5 mins):**<br>Dr. Kenny Hsu (UWin Nanotech Co., Ltd.) |
| 14:00–14:25 | Discussion |
| 14:25–14:30 | Concluding Remark<br>Prof. Pen-Chi Chiang (National Taiwan University) |
| 14:30–14:50 | Coffee Break |

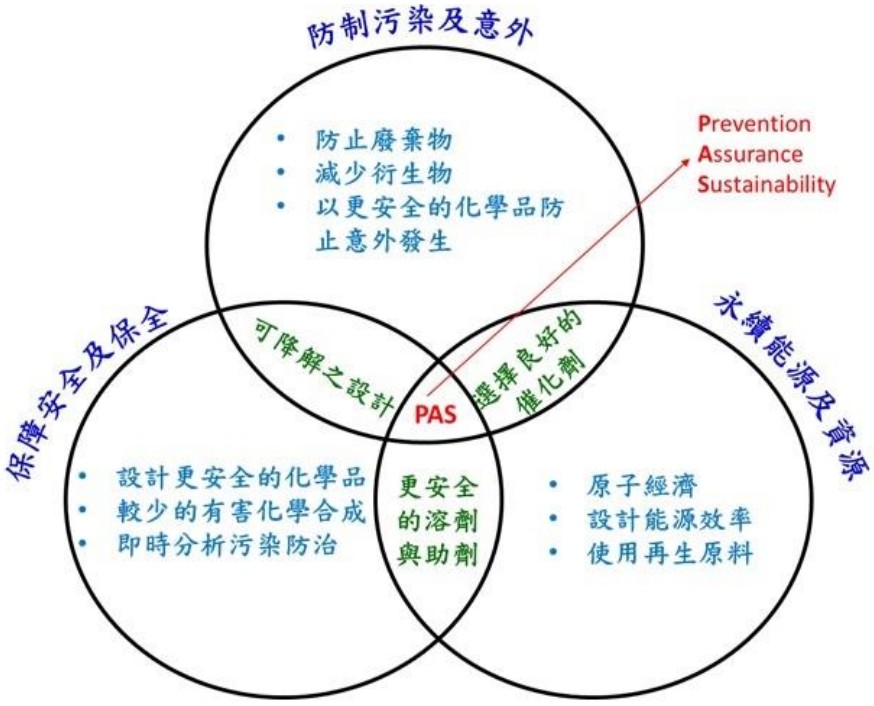
圖四十三 、2018 循環經濟、化學產業及租稅政策國際研討會

# 第六章　綠色化學與循環經濟政策建議

本章節彙整前述國內化綠色化學與循環經濟相關政策推動、技術發展與教育宣導等概念，研擬適合我國綠色化學與循環經濟之政策建議；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，因此，綠色化學是解決企業與個人對更安全產品日益增長的需求的解決方案。本研究擬針對綠色化學 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(如圖四十四所示)；

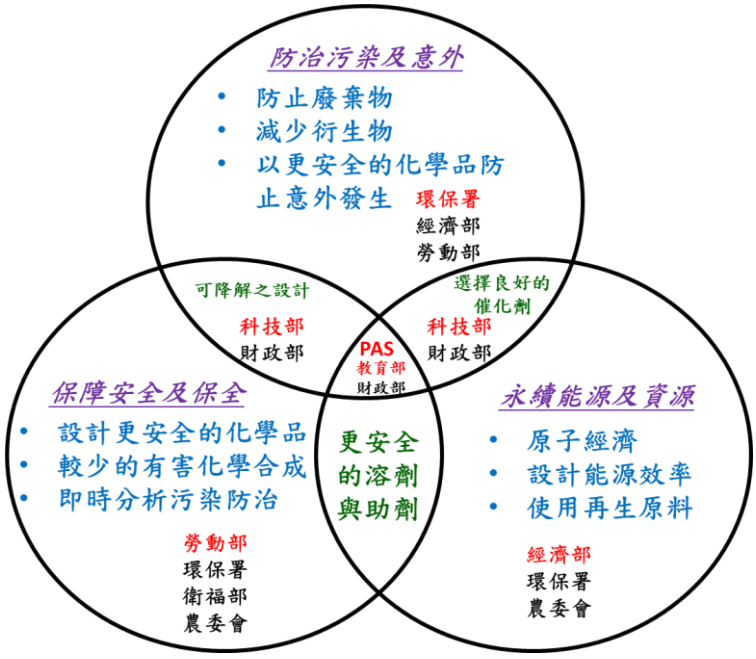
- 防制污染及意外 (Pollution and Accident Prevention)
- 保障安全及保全 (Safety and Security Assurance)
- 永續能源及資源 (Energy and Resource Sustainability)

根據圖四十四，Prevention、Assurance 與 Sustainability 作為 P-A-S 方法的核心部分，其中，防止廢棄物、降低衍生物及而其餘 3 種如催化劑，更安全的溶劑和輔助設備以及降解設計作為兩種策略之交集。另一方面，圖四十五說明將國內各部會權責劃分落實 PAS 策略之概念圖，其中防制污染及意外以環保署、經濟部與勞動部為主，保障安全及保全以勞動部、環保署、衛福部與農委會為主，永續能源及資源則以經濟部、環保署與農委會為主，科技部與教育部則是作為 PAS 策略之核心基礎。




圖四十四 、12 項綠色化學原則以 P-A-S 分類示意圖

(參考來源：本計畫自行彙整)




圖四十五 、P-A-S 策略與國內各部會權責分類圖

(參考來源：本計畫自行彙整)

為了促進永續綠色化學發展與建立循環經濟體系，必須戰略性地研擬整合式推動策略，下列說明以綠色化學原則與循環經濟理念分別針對工程化學教育、創新技術研發以及優先治理方向進行規劃推動策略。

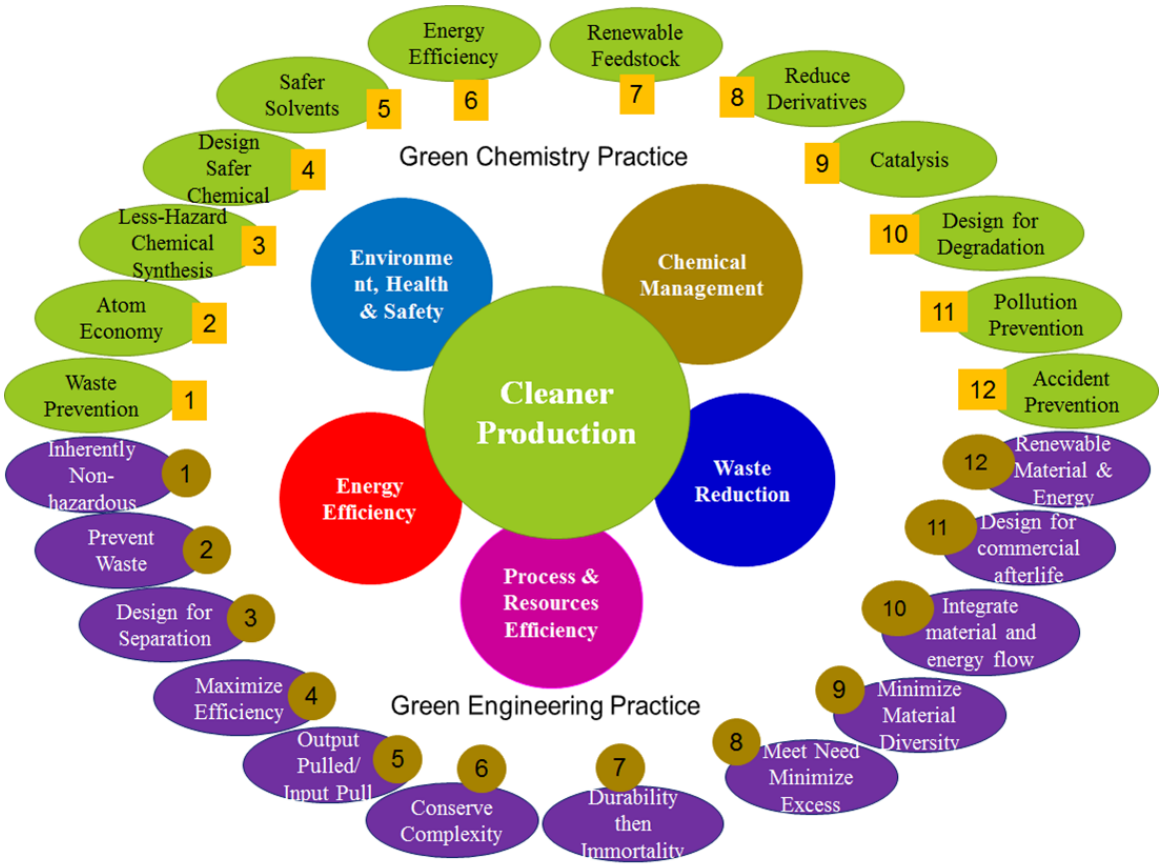
### 6.1 綠色工程與綠色化學教育推動策略

美國化學學會也提出綠色工程的想法，綠色工程是一門包含全部傳統工程專業的學科，例如：化學工程、機械工程、環境工程等，實現綠色工程以可行且經濟的方式於設計、商品化、生產與使用等過程中於源頭減少污染物的產生，並減少對於人體健康以及環境產生危害的風險，綠色工程亦歸納 12 項原則，其理念與綠色化學原則不謀而合，但綠色工程更強調的是以工程的角度保障製程的安全性、低風險性及永續性，說明綠色化學與所對照的綠色工程 12 項原則，透過綠色工程與綠色化學的結合，可透過發展清潔生產技術以達到化學品管理、廢棄物減量、程序與資源效率優化、能源效率提升、環境與健康保障等效益。

表三十三 、綠色工程原則與定義以及與綠色化學原則相關性

| | 綠色工程 12 項原則 | 定義 | 與綠色工程原則相關 |
|---|---|---|---|
| 1 | 設計者須盡量確保質能輸入與輸出的低風險性 | 設計者須盡量確保質能輸入與輸出的低風險性、降低危害性、降低暴露性 | 防止廢棄物、較少的有害化學合成、減少衍生物 |
| 2 | 預防勝於治療 | 在工業循環生態中，一個系統所產生的廢棄產物(對該系統無用的物質)，可成為另一系統的輸入原料或進一步作為其他用途。 | 防止廢棄物 |
| 3 | 設計分離及純化程序將質能消耗降至最低 | 分離及純化程序需要時間、質量與能量的投入，將產物分離、純化程序的消耗降至最低所節省的質量、能量及時間相當可觀。 | 選擇良好的催化劑、可降解之設計 |
| 4 | 系統的設計需考量質量、能量，以及時間效率的 | 進行反應器良好的設計，發展適合長遠發展與的產品 | 設計能源效率、選擇良好的催化劑 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | 最大化 | | |
| 5 | 系統應由物質及能量的“輸出拉力”而非“輸入推力”控制 | 化學反應善用列沙特列原理(LeChatlier’s principle): 當一平衡受到外加因素影響，平衡會朝向抵銷或消除此外加因素方向移動，直至平衡。 | 選擇良好的催化劑 |
| 6 | 物質及能量的保存複雜度 | 物質的處置方法並非單一，處置的設計需考量回收、再利用，以及最終利益棄置等途徑。 | 原子經濟 |
| 7 | 設計目的為目標耐用性，而非不滅性 | 當產品的耐存時間超過其可利用商業週期時，將造成固體廢棄物存留以及生物累積等環境問題。 | - |
| 8 | 滿足需求，避免過量 | 為了非必要用途或功能所做的設計應被視為有缺陷的設計，包括工程中“一法適用全體”的解決方案。 | 較少的有害化學合成、減少衍生物 |
| 9 | 減少材料的多樣性 | 多成分產品應致力於材料的統一，以利於拆卸和保值(value retention)，盡量減少材料的多樣性。 | 可降解之設計 |
| 10 | 整合可取得的能源與物質 | 流程和系統的設計必須整合可用的能源與物質流。 | 設計能源效率、選擇良好的催化劑 |
| 11 | 考慮產品使用完畢後之性能 | 建立性能指標(Performance metrics)須包含對產品使用完畢後性能的設計 | 原子經濟 |
| 12 | 使用可再生而非消耗的能源與物料 | 若一個過程中的廢棄物可以回收並作為替代原料或可回收的原料，同時保有其價值，那麼從永續的角度來看，這肯定被認為是可再生的。 | 使用再生原料 |

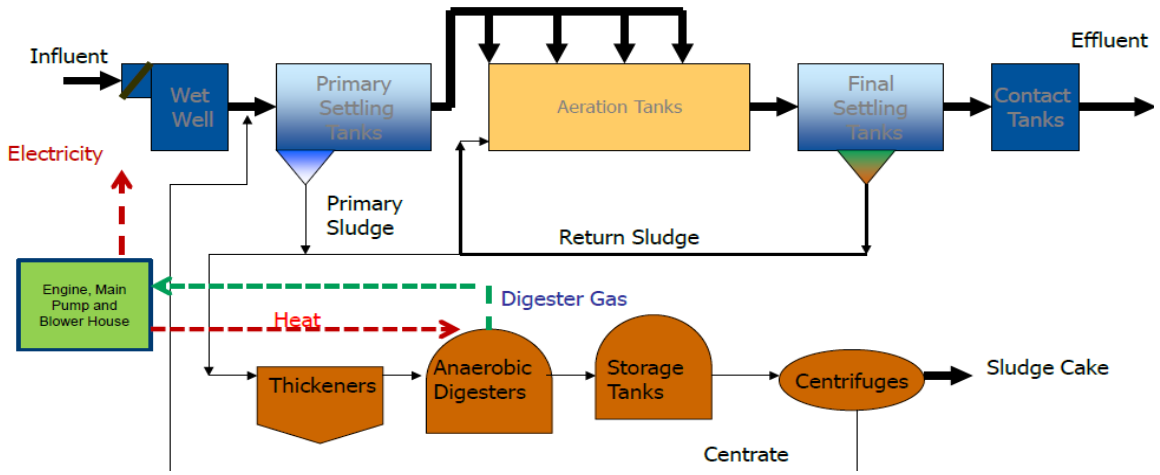



圖四十六 、整合綠色化學與綠色工程原則發展清潔生產技術示意圖

(參考來源：本計畫自行彙整)

事實上，國際上以汽電共生結合沼氣發電技術對於實踐綠色工程理念於環境、能源與化工等相關領域已施行多年，例如：紐約市污水廠之汽電共生系統，紐約市一共有 14 個污水處理廠，在 2003～2004 年有 4 個廠 (Oakweed Beach (200 kW), 26the Ward (400 kW), Hunts Point (600 kW)及 Red Hook (400 kW))裝置燃料電池 (Fuel Cell)，產生電力，在 26th ward 廠裝置的 Fuel Cell 其污泥的來源來自初級及二級沈澱池，經過濃縮池及消化槽以後產生甲烷，以 Fuel Cell 產生電力。馬里蘭州巴爾鐵摩 (Baltimore) 城的後河 (Back River) 污水處理廠汽電共生系統 (Combined Heat and Power, CHP)，後河污水廠之處理容量是 681,818 噸/天，該廠每天出產 48,700 立方米的厭氧消化氣體，大部分是甲烷。經過汽電共生之設施裝置以後，後河廠每年可以產生平均 2.4×106 瓦的電力，減少 12.9×106 磅二氧化碳

排放量，減少 7.7×106 的氮氧化物之排放量，每年後河廠省下 180 萬美元需付出能源的費用（圖四十七）。




圖四十七 、紐約市污水廠污泥能源回收之示意圖

因此，基於綠色化學與綠色工程之科學，工程和技術邁向永續發展的前提下建立跨學科之永續綠色化學教育，相關執行策略如下：

**(1)發展綠色化學公民宣導，充實綠色化學知識內涵**

- 建構綠色化學之人文價值的感受，使學習者成為負責任與主動的公民；
- 建立綠色化學工作坊，發展數位化教材，以提升綠色化學教育的普及率；
- 推動綠色化學公民宣導活動，辦理綠色化學講習課程與研討會，促進公民瞭解化學品與個人及社會的相互依存關係，邁向永續綠色化學發展。

**(2)建構綠色化學教學環境，落實永續發展教育目標**

- 結合產官學研究平台，推動創新教育方式，納入綠色化學內容至基礎教育課程；
- 制定不同學齡層級之化學教育方案與目標，編列綠色化學教育叢書；
- 發展國高中學校化學課綱中的替代實驗，將綠色化學落實於十二年國教，進而改善綠色化學教育體系，加強興趣培養與學習主動性；

- 推廣大專院校綠色化學原則之通識與實驗課程，打造校園實驗教學的安全與環境的永續發展，提升師生間對於綠色化學的可行性與重要性。

**(3)加強綠色化學職業教育，提升綠色產業競爭實力**

- 建立綠色化學之工程、經濟與環境分析體系，落實毒性化學物質的健康風險評估，以加強產業之化學科普知識；
- 訂定綠色化學優先研究課題，開辦產業之綠色化學課程與教育宣導；整合綠色化學理論及實務應用，結合技職培訓與產業技術研發工作；
- 深化檢驗與查驗證人才培育，推動化學品產線與污染監測第三方認證制度，以保障化學產品行銷率與降低不良產品率。

**(4)鼓勵傑出創新研究人員，設置綠色化學獎勵基金**

- 建立綠色化學獎助學金，提升研發思考能力；辦理綠色化學創意競賽獎；
- 激發師生間創意思維，鼓勵年輕學子投入綠色化學研發；
- 建立綠色化學基金，培養公民與綠色化學知識社群，增進全民綠色化學認知基礎，以達到永續綠色化學發展。

## 6.2 推動綠色化學創新技術發展策略

**(1)設置專責化學技術部門，建置綠色化學技術研發中心**

- 規劃設置專責管理部門，統合化學技術管理，提昇實質效益；
- 加強跨區域合作機制，建置資源循環利用網絡與平台；強化化學產業與資源回收業者之競合關係，建立綠色化學整合之關鍵技術；供應端可為化工或電子產業，回收技術研發為需求端之優化方案；
- 改善化學管理結構：持續開發原料及能源替代方案，提高原料及能源使用效益。

**(2)建立國外廠商合作機制，促成關鍵技術設備本土化**

- 加強綠色產業技術的國際交流和合作，積極引進及吸收先進技術，推廣和應用於清潔生產技術和製程。
- 充分利用市場機制，激勵技術創新。加快培育關鍵技術之專業人員。從研究經費、稅收和信貸上，支持綠色產業的研發，發展可實際應用的生產技術。
- 發展創新綠色化學技術示範亮點，建構區域綠色化學資訊交流平台，藉由策略聯盟合作開發縮短產品研發時程，推展綠色化學品應用市場。

**(3)強化資源再生體系，落實永續物料管理**

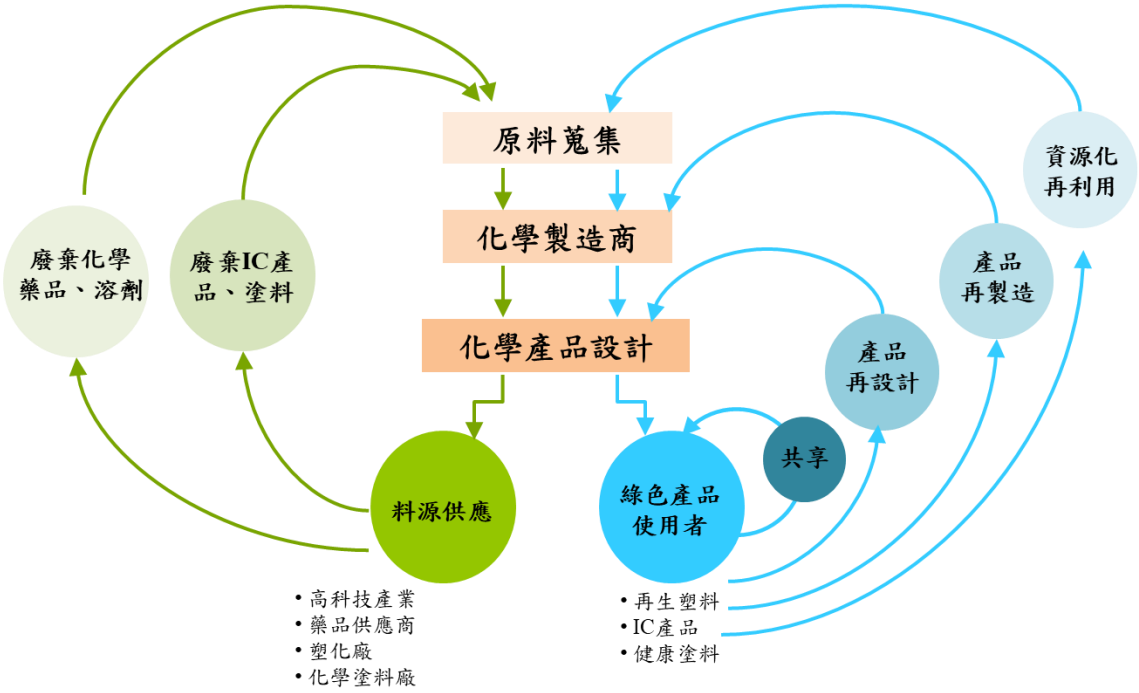
- 打通業者與使用者上中下游通路，包含廢棄物來源、資源回收、產品功能設計、產品銷售規劃以及產品使用者等，建構資源化學品產業體系作為循環經濟實踐基礎。
- 推動綠色化學產業之能源與水資源鏈結與廢棄物資源化技術，建立生命週期評估，完善循環永續綠色化學創新技術指標體系，量化各類再利用技術之環境效益。
- 建立循環永續綠色化學能資源化綠色供應鏈模式，提出最適化發展方案，落實永續物料管理。

**(4)建立綠色財稅經濟誘因，活絡綠色產業市場機能**

- 開創多元化的投資環境，促成綠色產業的市場機制；強化環境投資政策；著重多元化、商業化、與國際化；
- 吸引外國直接投資時必須考慮保護國內產業。逐步調整外商投資領域的產業，制定鼓勵、限制、嚴格限制、禁止外商投資產業與項目。如積極引進清潔生產技術，鼓勵外資投資於綠色產業；
- 綠色稅收體制可有效提升資源的合理利用，解決政府的收支問題，也可促進貿易與環境的平衡發展，有利於國家和企業長遠發展。可借鏡國外成功經驗，開徵污染排放稅、污染產品稅、生態環境稅等稅種。

**(5)整合原料產品市場，建立循環經濟體系**

- 整合原料蒐集、化學品製造商、產品設計、料源供應鏈與消費端，建構綠色化學循環經濟體系；
- 建立化學品之能源投入產出評估準則，提高投資擇優決策品質，確保化學品淨節能效益及真實環境效益，訂定搖籃到搖籃之生命週期策略；
- 建構民間組織與相關公協會夥伴關係以提升綠色化學經濟、環境與健康效益之溝通與教育工作，建立綠色化學發展之示範案例，完善綠色產業合作經營模式。




圖四十八 、綠色化學邁向循環經濟示意圖

(參考來源：本計畫自行彙整)

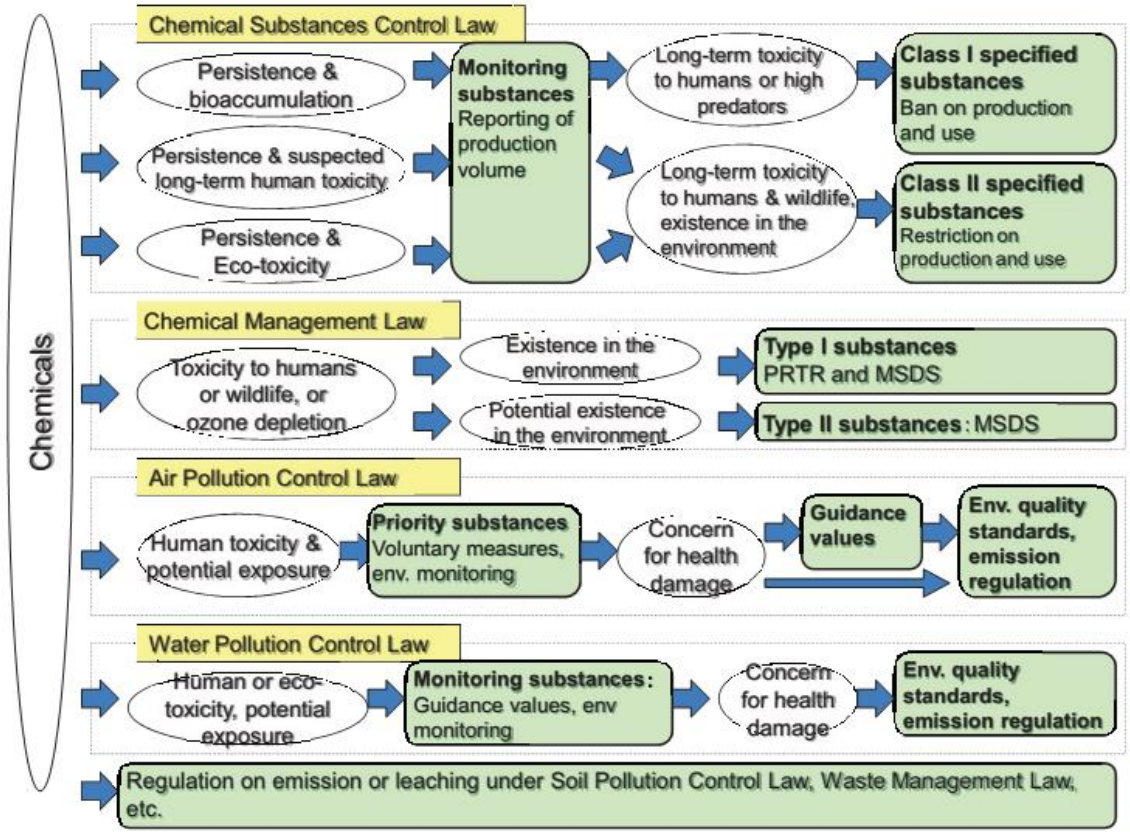
### 6.3 研擬綠色化學與循環經濟優先治理方向

**(1)依據 P-A-S 策略完善化學管理體系：**整合綠色化學原則，促進防制污染及意外、保障安全及保全、永續能源及資源等，建立完善的化學管理體系，以法規為例：建立創新化學品之適用性評估方法並建立製造/進口之相關條例，目前國際上所提到化學品管理體系必須結合國際計畫倡議（例如：REACH）、區域性協議組織（例如：APEC 與 OECD）以及全球性協議組織（例如：聯合國環境計畫）等，以落實化學品跨境管理，因此，為了全面控制化學物質，政府必須審查化學物質風險評估措施與受規管化學物質的範圍，同時建立物質流追蹤與認查驗制度，以符合國際趨勢化學管理規定，達到污染及意外防制（圖五十）。透過提升新化學物質登記源頭管理效能，及管制性化學品運作許可證核發制度，提升勞工安全衛生維護體制，以保障安全及保全；另一方面，檢視我國已有的租稅獎勵政策，將符合綠色化學原則的製程、產品或輸出入，給予租稅減免等經濟誘因，讓市場機

制建立資源供需或最適化資源配置，可提升整體社會與環境福利，全面推動綠色化學原則與循環經濟發展獎勵條例，鼓勵企業界發展為綠色產業，以達到能源及資源永續。

圖四十九 、化學品管理體系與相關協議與倡議之示意圖

(參考來源：本計畫自行彙整)




圖五十 、化學管理相關法制示意圖

(參考來源：本計畫自行彙整)

**(2)整合國外推動經驗與國內施政方向：**本計畫彙整十個國家針對綠色化學與循環經濟之發展情勢、法令政策、經濟誘因、技術研發、教育推廣等面向，如表三十四所說明，據此彙整 12 項符合綠色化學原則之推動經驗並對照國內相關權責單位，並可參考 REACH 評估體系以確認國內各部會推動綠色化學之定位。

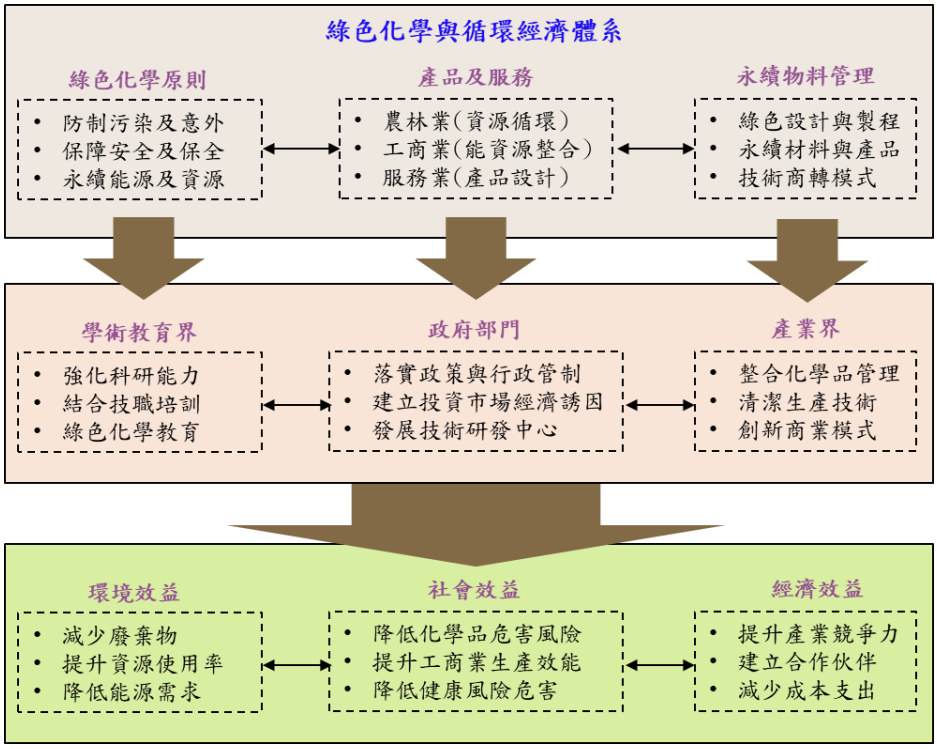
此外，如圖五十一所示，為了建構綠色化學與循環經濟體系，必須整合綠色化學原則、產品及服務與永續物料管理，落實於學術教育界、政府部門與產業界，據以提升環境效益、社會效益與經濟效益，接著可依據環境管理學 PDCA 原則推動綠色化學政策，如圖五十二所示，首先確認政策願景與目標，研擬相關行動方案，例如：循環經濟商業模式、跨部門整合式化學管理並建立化學品物質流追蹤與認查驗制度，接著發展評估綠色化學技術之績效指標、提升民眾接受度，並確

保化學品之安全保障，最後必須滾動式修正檢討施政方向與執行措施；上述所提之施政藍圖可作為後續跨部會整合推動永續綠色化學循環經濟施政方針參考。

表三十四 、符合綠色化學原則整合國外推動經驗與國內權責單位

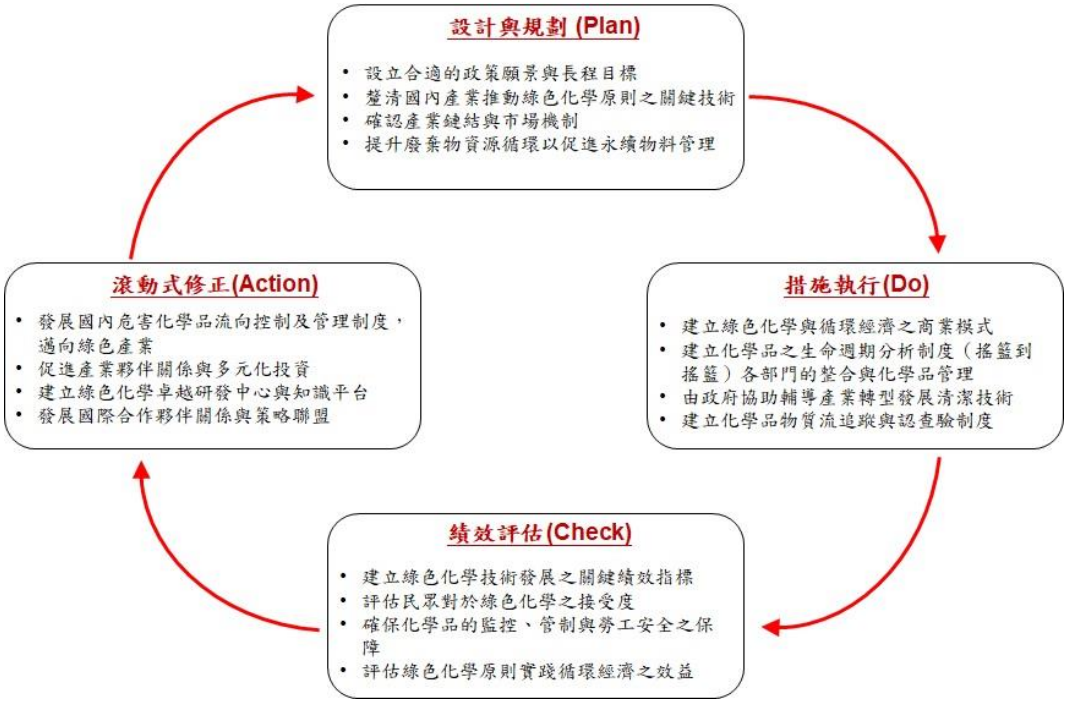
| | **綠色化學原則** | **國外推動經驗** | **相關權責單位** |
|---|---|---|---|
| **1** | 防止廢棄物 | 推動健全的物質循環社會(南韓) | 環保署/工業局 |
| **2** | 原子經濟 | 推動材料再利用和回收創新 (英國) | 環保署/工業局/能源局 |
| **3** | 較少的有害化學合成 | 建立化學物質風險評估體系(日本) | 環保署/勞動部/衛福部/農委會 |
| **4** | 設計更安全的化學品 | 發展化學租賃制度 (德國) | 財政部 |
| **5** | 更安全的溶劑與助劑 | 建立安全化學成分國家資料庫(美國) | 環保署/勞動部/衛福部/農委會 |
| **6** | 設計能源效率 | 推動低碳經濟與提升能源效率長程計劃(德國) | 科技部/能源局 |
| **7** | 使用再生原料 | 燃料稅減免以促進生物乙醇和生物柴油 (瑞典) | 工業局/能源局 |
| **8** | 減少衍生物 | 發展在地化生產的化學原物料組合(S-Korea) | 工業局 |
| **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(瑞典) | 教育部/科技部/工業局 |
| **10** | 可降解之設計 | 推廣具生物可降解性之化學品(德國) | 科技部/工業局/能源局 |
| **11** | 即時分析污染防治 | 建立整合式化學品管理體系(加拿大) | 環保署/勞動部/衛福部/農委會 |
| **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(南韓) | 環保署/勞動部/衛福部/農委會 |

(參考來源：本計畫自行彙整)




圖五十一 、建構綠色化學與循環經濟體系流程圖

(參考來源：本計畫自行彙整)




圖五十二 、以環境管理學 PDCA 原則推動綠色化學政策

(參考來源：本計畫自行彙整)

**(3)實踐永續綠色化學循環經濟之行動方案：**依據本計畫研究成果，整合綠色化學原則與循環經濟理念必須包含政府治理、技術研發與教育宣導，並實踐永續發展目標為宗旨，據此研擬包含危害化學品管理、綠色產業之關鍵綠色化學技術、廢棄物資源化體系、卓越研發中心與技術知識平台、發展國際合作夥伴關係等五項發展策略以及其行動方案，供後續施政參考，詳細說明請參照表三十五。

表三十五 、實踐永續綠色化學循環經濟之行動方案

| 發展策略 | 行動方案 |
|---|---|
| 發展國內危害化學品流向控制及管理制度，邁向綠色產業 | ・ 整合全球性協議與公約至化學品管理體系，包括斯德哥爾摩公約、鹿特丹公約、巴塞爾公約、蒙特利爾議定書、巴黎協定以及國際勞工組織公約等<br>・ 建立化學品之生命週期分析制度（搖籃到搖籃），確保各部門的整合與有效管理化學品管理<br>・ 推動化學品管理框架，參酌國際化學品管理戰略方針（SAICM），包括：風險評估管理、數據資料庫、勞工安全、農藥分級使用與處置、危害化學品之分類與監控<br>・ 推動材料和產品在生命週期管理，強化化學品生產者延伸責任（EPR）政策 |
| 發展綠色產業之關鍵綠色化學技術，以促進產業夥伴關係與多元化投資 | ・ 整合政府各部門包含環保、工業、能源、科技研發、財政以及教育等單位，建立綠色化學循環經濟體系。<br>・ 發展技術推廣之經濟誘因措施，促進綠色科技的國際協議。<br>・ 建立化學租賃制度，分析生產/供應商之主要成本和收益，以促進循環經濟商業模式。<br>・ 實踐綠色化學之創新產品創新，並完善與活絡市場機制。 |
| 強化廢棄物資源化體系並建立永續物料管理計畫 | ・ 釐清資源化體系之瓶頸與挑戰，以降低環境衝擊與提升資源利用率<br>・ 提高民眾對於電子廢棄物回收、綠電技術與綠色商務理事會的認知，以建立綠色產業之永續發展<br>・ 加速廢棄物資源之生命週期管理及公眾意識，以提升資源再利用之永續性。<br>・ 參酌“環境教育法”研擬短中長期之消費者綠色化學與循環經濟教育計劃 |

| | |
|---|---|
| 建立綠色化學卓越研發中心與技術知識平臺 | ・ 發展長期性投資與高報酬之及替代綠色能源技術綠色化學技術<br>・ 整合現有政府政策方向與構建能力，推動印刷電路板業，石化業，農林業，電子業與生技業之永續物料管理體制<br>・ 推廣產業廢棄物排放極小化之投資市場和清潔生產技術，並輔導產業轉型 |
| 發展國際合作夥伴關係以提升國家願景計劃與策略聯盟 | ・ 發展綠色供應鏈之產品製造商，採購分銷商，零售商或技術創新者等綠色化學獎項，並推動國際型綠色化學與循環經濟策略聯盟<br>・ 整合綠色化學原則與循環經濟 6R 原則，落實區域國際合作夥伴關係。<br>・ 建立綠色技術交流平臺，推動綠色化學之國際合作計劃 |

(參考來源：本計畫自行彙整)

**(4)實踐綠色化學原則 建置綠色智慧園區：**透過整合綠色化學、循環經濟以及智慧管理的理念，可藉著採用創新化學合成方法與清潔生產技術在化學產品生產過程中降低有危害的副產物、廢棄物及衍生物，並透過製程整合、概念重新設計、維護、資源化、再利用，再製造以及資源循環，建構生態工業區，實踐循環經濟體系，邁向能資源的永續發展。

針對智慧化管理部份，則主要以物聯網（Internet of Things，IoT)為主，利用具有感知與通信能力的終端設備，透過自動化操作系統同時接受各方資訊，建立大數據資料庫，使系統可重新設計與優化，提升管理層面的效能，可廣泛應用包括運輸物流業、健康醫療以及智慧化環境（家庭、辦公、工廠）領域等。

智慧園區概念則是利用物聯網及人工智慧等通信技術來感知，監測，分析，控制，整合前述生態工業園區各個關鍵環節的資源分配與能源使用，結合物聯網體系、工業生態及環境工程等專業技術，建構智慧化管理體系，期能實踐能資源利用率最大化，廢棄物排放最小化的生態工業區裡念。有鑑於此，政府應以實踐「綠色化學原則」與「循環經濟理念」為目標，利用「物聯網」及「人工智慧」等通信技術，推動綠色「智慧園區」，具體推動策略措施如下：

**(1)建置國內危害化學品管理制度，邁向綠色智慧園區：**建立化學品之生命週期分析制度，確保各部門的整合與有效管理化學品管理，包括：風險評估管理、數據資料庫、勞工安全、農藥分級使用與處置、危害化學品之分類與監控，強化化學品生產者延伸責任政策。

**(2)發展關鍵綠色化學技術，促進夥伴關係與多元化投資：**整合環保、工業、能源、科研、財政以及教育等政府部門之人力及經費資源，建立推廣綠色化學技術之經濟誘因措施，發展化學租賃制度，分析生產/供應商之主要成本和收益，推動綠色化學與循環經濟策略聯盟，以促進循環經濟市場，完善與活絡市場機制。

**(3)實踐永續物料管理強化廢棄物資源化供應鏈：**釐清資源化體系之瓶頸與挑戰，以降低環境衝擊與提升資源利用率，提高民眾對廢棄物回收與綠電技術的認知，加速廢棄物資源之生命週期管理及公眾意識，以提升資源再利用之永續性。

**(4)建立綠色化學卓越研發中心與技術知識平臺：**發展長期性投資具高報酬之綠色能源及綠色化學技術，建立印刷電路板業，石化業，農林業，電子業與生技業等重點產業之研發中心及技術交流平台，推廣清潔生產技術並輔導產業轉型

**(5)發展產業物聯網鏈結，建立綠色產業智慧園區：**整合園區各項獨立系統資訊平臺，建構園區資訊的即時，準確，高效之多元化平台，落實園區內各單位的即時有效連線、即時監控、系統通報及事故預警系統，發揮綠能感測平台、自主重組連結、情境分析管理及智慧感測應用等功能，並選擇國內相關龍頭產業作為示範。

# 第七章　結論與建議

本章節說明本計畫成果結論與建議，結論部分主要分為：(1)整合綠色化學原則與循環經濟理念之作法；(2)研析各國綠色化學原則與循環經濟之推動政策；(3)彙整國內各部會相關推動策略，建立綠色化學原則之關聯性。

## 7.1 結論

本計畫從聯合國永續發展目標之目標與策略進行評析，並列出與綠色化學 12 項原則之相關性，從國際上針對綠色化學 12 項原則定義以及循環經濟理念及推動現況，研析彙整美國、歐盟、加拿大、英國、德國、瑞典、荷蘭、日本、韓國、中國等十個國家針對綠色化學與循環經濟之相關政策，包含綠色化學發展、化學物質管理、綠色化學相關政策、以及創新技術研發等，並整合國外綠色化學推動策略與措施；盤點國內與綠色化學原則及循環經濟相關部會與局處，彙整執掌範圍、施政方針以及近三年來相關推動專案，並建立綠色化學與循環經濟部會關聯性，並邀集國內關於綠色化學與循環經濟等相關專家學者、部會代表與產業代表，辦理兩場專家諮詢會，徵詢綠色化學與循環經濟相關意見，最後彙整為綠色化學與循環經濟政策建議；另一方面編輯綠色化學與循環經濟相關教材，辦理四場講習課程，有效提升綠色化學與循環經濟理念之宣導；本研究結論包含：

1. 整合綠色化學原則與循環經濟理念可促進發展生產者責任制度，生產者應就產品的整個生命週期，對產品的原料採集、製造、回收、循環和最終處置負起以下責任，並盡可能的減少廢棄物以及危害物質的產生：(1) 環境損害責任 (liability) ：生產者對已經證實的由產品導致的環境損害負責，其範圍由法律規定，並包括產品生命週期各階段。(2) 經濟責任 (economic responsibility) ：生產者為其生產的產品的收集、循環利用或最終處理全部或部分地付費。生產者可通過特定費用方式承擔經濟責任。(3) 物質責任 (physical responsibility) ：生產者必須實際地參與處理其產品或其產品引起的影響。這包括：發展必要的技

術、建立並運轉回收系統以及處理他們的產品。(4) 所有權責任 (ownership) ：在產品的整個生命週期中，生產者保留產品的所有權，該所有權牽連到產品的環境問題。(5) 資訊披露責任 (informative responsibility) ：生產者有責任提供有關產品以及產品在其生命週期的不同階段對環境的影響的相關資訊。

2. 可參考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）。

3. 透過相關部會執掌範疇與近年所執行專案，可掌握國內與綠色化學原則及循環經濟相關部會，其中污染及意外防制以環保署環管處、化學局、廢管處為主，保障安全及保全以勞動部勞工安全衛生署、衛福部食藥署、農委會農藥試驗為主，永續能源及資源則是以經濟部工業局與能源局為主，教育部與科技部則推廣綠色化學與循環經濟教育宣導及技術研發，最後財政部則是負責商業模式與租賃制度等；總結來說，建議可將跨部會合作分類成三大組別合作方式，第一類是屬於環保署與經濟部（主推循環經濟與綠色化學理念）、第二類是經濟部、

衛福部、勞動部與農委會（主推產業鏈結與勞工安全），第三類為教育部、財政部與科技部（主推科普教育、租賃政策與技術研發）。

### 7.2 建議

本研究針對綠色化學 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，Prevention、Assurance 與 Sustainability 作為 P-A- S 方法的核心部分，其中，防止廢棄物、降低衍生物及而其餘 3 種如催化劑，更安全的溶劑和輔助設備以及降解設計作為兩種策略之交集。為了促進永續綠色化學發展與建立循環經濟體系，必須戰略性地研擬一種綜合方法，基於以綠色化學原則與循環經濟理念分別針對工程化學教育、創新技術研發以及優先治理方向進行規劃推動策略。本研究之建議包括：

（一）發展綠色工程與綠色化學教育推動策略：基於綠色化學與綠色工程之科學，工程和技術邁向永續發展的前提下建立跨學科之永續綠色化學教育。相關策略包含：發展綠色化學公民宣導，充實綠色化學知識內涵、建構綠色化學教學環境，落實永續發展教育目標、加強綠色化學職業教育，提升綠色產業競爭實力、鼓勵傑出創新研究人員，設置綠色化學獎勵基金。

（二）推動綠色化學創新技術發展策略：整合綠色化學創新技術與循環經濟 6R 原則，有助於鼓勵產業界實踐綠色化學原則，建立綠色供應鏈循環經濟體系。相關策略包含：設置專責化學技術部門，建置綠色化學技術研發中心、建立國外廠商合作機制，促成關鍵技術設備本土化、強化資源再生體系，落實永續物料管理、建立綠色財稅經濟誘因，活絡綠色產業市場機能、整合原料產品市場，建立循環經濟體系。

（三）研擬綠色化學與循環經濟優先治理方向：(1) 依據 P-A-S 策略完善化學管理體系，審查化學物質風險評估措施與受規管化學物質的範圍，達到污染及意

外防制，提升新化學物質登記源頭管理效能，優化勞工安全衛生維護體制，以保障安全及保全，全面推動綠色化學原則與循環經濟發展獎勵條例，鼓勵企業界發展為綠色產業，以達到能源及資源永續。(2) 整合國外推動經驗與國內施政方向，整合綠色化學原則、產品及服務與永續物料管理，落實於學術教育界、政府部門與產業界，據以提升環境效益、社會效益與經濟效益，接著可依據環境管理學 PDCA 原則推動綠色化學政策，確認政策願景與目標，研擬相關行動方案，發展評估綠色化學技術之績效指標，最後滾動式修正檢討施政方向與執行措施。(3) 實踐永續綠色化學循環經濟之行動方案，整合綠色化學原則與循環經濟理念必須包含政府治理、技術研發與教育宣導，並實踐永續發展目標為宗旨，據此研擬包含危害化學品管理、綠色產業之關鍵綠色化學技術、廢棄物資源化體系、卓越研發中心與技術知識平台、發展國際合作夥伴關係等五項發展策略以及其行動方案。(4) 實踐綠色化學原則 建置綠色智慧園區，以實踐「綠色化學原則」與「循環經濟理念」為目標，利用「物聯網」及「人工智慧」等通信技術，推動綠色「智慧園區」，以建置國內危害化學品管理制度，邁向綠色智慧園區，同時發展產業物聯網鏈結，建立綠色產業智慧園區。

# 第八章、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. Anastas, P. T.; Lankey, R. L. Life Cycle Assessment and Green Chemistry: The Yin and Yang of Industrial Ecology. Green Chem. 2000, 289-295.
3. Anastas, P. T.; Warner, J. C. Green Chemistry: Theory and Practice; Oxford University Press: New York, 1998; p 30.
4. Anastas, P. T.; Bickart, P. H.; Kirchhoff, M. M. Designing Safer Polymers; Wiley-Interscience: New York, 2000.
5. D. Patel, S. Kellici, B. Saha, Green Process Engineering as the Key to Future Processes, Processes, 2 (2014) 311–332.
6. Ember, L. Chem. Eng. News 1991, July 8, 7-16.
7. Ellen Macarthur Foundation Website (https://www.ellenmacarthurfoundation.org/).
8. I.T. Horvth, P.T. Anastas, Innovations and Green Chemistry, Chem. Rev., 107 (2007) 2169–2173.
9. James H. Clark, Thomas J. Farmer, Lorenzo Herrero-Davila and James Sherwood, Circular economy design considerations for research and process development in the chemical sciences, Green Chemistry, 2016
10. Pollution Prevention Act of 1990. 42 U.S.C., Sections 13101- 13109, 1990.
11. Pan, S.-Y., Du, M.A., Huang, I.T., Liu, I.H., Chang, E.E., Chiang, P.-C., 2015. Strategies on implementation of waste-to-energy (WTE) supply chain for circular economy system: a review. Journal of Cleaner Production 108, 409-421.
12. UNIDO, 2016. Global promotion and implementation of chemical leasing business models in industry. United Nations.
13. Ritter, S. K. Green Chemistry. Chem. Eng. News 2001, 79 (29), 27-34.
14. T. V. Ramachandra, B.H. Aithal, K. Sreejith, GHG footprint of major cities in India, Renew. Sustain. Energy Rev., 44 (2015) 473–495.
15. UNIDO, 2016. Global promotion and implementation of chemical leasing business models in industry. United Nations.
16. 永續教育叢書，綠色化學，2014，談俊嵩
17. 聯合國永續發展目標策略、理論與實踐，2014，簡又新
18. 2016 年能源產業技術白皮書，2016，經濟部能源局
19. 循環永續綠建築創新環境科技發展策略研究，2017，內政部建築研究所

20. 環保署環保專案成果報告資訊系統 https://epq.epa.gov.tw/Default.aspx?rn=4080299
21. 勞動部職業安全衛生研究所-https://www.ilosh.gov.tw/menu/1153/1162/
22. 勞動部職業安全衛生署 https://laws.ilosh.gov.tw/ioshcustom/Web/YearlyReserachReports/Default
23. 勞動部職業安全衛生署 CSNN 化學物質登記管理網 https://csnn.osha.gov.tw/content/home/index.aspx
24. 經濟部工業局 https://www.moeaidb.gov.tw/external/ctlr?PRO=publication.rwdPublicationView&id=3482
25. 教育部化學管理與申報系統 http://chem.moe.edu.tw/
26. 教育部綠色化學教育網 http://chem.moe.edu.tw/green/News
27. 衛生福利部食品藥物管理署 https://www.fda.gov.tw/TC/index.aspx
28. 國際化學品政策宣導網 https://www.chemexp.org.tw/content/masterpage/

# 附錄目次

**附錄一、評選會議記錄與意見回覆 ..... 156**
**附錄二、期末報告審查會議建議 ..... 161**
**附錄三、第一次專家諮詢會議紀錄 ..... 164**
**附錄四、第二次專家諮詢會議紀錄 ..... 170**
**附錄五、民國 107 年 2 月 26 日第一次與第二次講習課程問券設計 ..... 176**
**附錄六、民國 107 年 5 月 29 日第三次與第四次講習課程題目設計 ..... 191**
**附錄七、永續綠色化學與循環經濟講習課程教材 ..... 195**

# 附錄一、評選會議記錄與意見回覆

| 委員建議 | | 回覆與修訂情況 |
|---|---|---|
| （一）劉委員雅蘭 | | |
| 1. | P.6 表一係屬”關鍵議題”而非講習課程規劃？若是，則請修改。 | 謝謝委員指教，已修正為專諮會討論議題。 |
| 2. | P.37 文字刪除”選產”二字，似指”研究成果推廣”？ | 謝謝委員指教，已修正為研究成果推廣。 |
| 3. | P.37 預期效益 1. 指出”建立國際綠色化學與…資料庫”，請問是指何形式的資料庫；在此金額下似指資料集或文件彙集，供委託單位參考，而非建置一個資料庫？ | 謝謝委員指教，資料庫是指各國發展策略資料庫。 |
| 4. | P.36 經費表中”人事費”與P.35 “人力運用”不符(計劃書於人員編列中顯示有5位，但報告中只有編制3位)，請說明。 | 謝謝委員指教，人員配置調整為 2 博 1 碩。 |
| 5. | 依科技部委託研究計劃人事費及管理費編列基準，管理費之編列以計畫各項經費合計經費之10%為上限，請說明。 | 謝謝委員指教，行政管理費會依貴局決定。 |
| 6. | 簡報提到韓國並沒有出現於計畫書中(計劃書只有提到歐、美、日)，請問韓國所扮演的角色為何？是否可預期其資料量和歐、美、日相當呢？ | 謝謝委員指教，歐、美、日資料會更深入，其他國家則是加強廣度。 |
| 7. | 請說明講習會之確切策略或辦理規劃 | 謝謝委員指教，四個講習會，邀請環保署、經濟部、勞動部，設計問卷、加強溝通，並將相關結果辦理專諮會，最後一場講習會是研究成果匯整。 |
| （二）劉委員怡焜 | | |
| 1. | 國內專家諮詢會議所邀請的專家、對象有何想法？ | 謝謝委員指教，已聯繫化學工程、化學與環境相關背景之專家。 |

| | | |
|---|---|---|
| 2. | 研習會編列教材如何推廣應用及提升價值效果 | 謝謝委員指教，教材將 SDG 及各公約之精神與綠色化學整合並納入循環經濟之概念，並進行問券與題目設計，以提升講習課程成效。 |
| （三）蘇委員怡萍 | | |
| 1. | 錯字，如atom之翻譯「元子」，請修正為「原子」。「裡約」，請修正為「里約」。「約翰內斯堡」，請修正為「約翰尼斯堡」。 | 謝謝委員指正，已修正相關錯字。 |
| 2. | P.15 各項公約建議中英對照，並增列西元時間。里約環境與發展宣言的核心精神，提及「避免由於浪費造成的自然災害」，建請再回顧全文，釐清災害是否為「自然災害」。「馬尼拉公約」及「約翰尼斯堡執行計畫」之核心精神，未提及和綠色化學的關係，請再補充。 | 謝謝委員指教，會依公約精神，說明符合 SDG、CE、GC 之精神規範 |
| 3. | 德國聯邦環境局的「化學租約」的意思，請再詳加說明。「化學品租賃制度(chemical leasing)」，請進一步說明細節作法。 | 謝謝委員指教，已於期末報告 3.3.5 節說明化學租賃制度相關精神與做法。 |
| 4. | 韓國TCCA，日本「中化集團…」請再進一步說明。 | 謝謝委員指教，已於期末報告 3.3.8 與 3.3.9 節補充相關說明。 |
| 5. | P.26 第20行「…結構和檔」之文意，可能是翻譯問題，請再加以闡釋。倒數第3行「…。，…」亦請再具體補充或說明是否為誤植。 | 謝謝委員指正，已修正相關錯字。 |
| 6. | P.27 中間段落提及「為了建立功的化學管理體系，高級領導階級必須承諾…」，「功」字是否為誤植，並請再詳加說明化學管理體系架構示意圖和綠色化學管理體系之關聯性。 | 謝謝委員指正，已修正相關錯字並補充相關說明於期末報告 6.3 節。 |
| 7. | P.9 「SDGs…加強社區溝通，改善健 | 謝謝委員指教，將透過專諮會徵詢不 |

| | | |
|---|---|---|
| | 康與福祉等效益」，臺灣因土地集約使用，工廠密集，鄰接住宅區，對於和民眾溝通上，如溝通方式、溝通議題…等應導入何種策略，請補充說明。 | 同領域之意見，已補充相關教育宣導策略說明於期末報告 6.3 節。 |
| 8. | P.35 「人力及經費運用情形」之4位博碩士助理均處「待聘」狀態，考量本案執行期間僅6個月，請補充說明目前是否已物色人選或將處理方式。 | 謝謝委員指正，已修正為 2 博 1 碩。 |
| 9. | 2次專諮會在議題上有沒有區分的構想？ | 謝謝委員指教，專諮會將會區分主題，並藉以確定分別針對環保署、經濟部、勞動部綜合的講習會內容。 |

# 行政院環境保護署毒物及化學物質局「永續綠色化學與循環經濟之政策研析」採購評審委員會評審會議紀錄

壹、會議時間：106 年 12 月 15 日（星期五）上午 11 時

貳、會議地點：本局 1 樓招標會議室

參、主席：劉召集人怡焜　　記錄：蕭寶桂

肆、評選委員會組成：內派委員 3 人，共計 3 人組成。

伍、出席委員：劉召集人怡焜、劉委員雅蘭、蘇委員怡萍

陸、請假委員：無。

柒、列席人員（工作小組成員）：林松槿科長、黃佑榮技士（具有採購人員資格）、崔君至環境技術師（協助評審委員會辦理與評審有關之作業）

捌、評選方式：採序位法評選優勝廠商。

玖、投標廠商家數及名稱：投標廠商 1 家且其資格及評選項目以外資料經審查合格，廠商名稱為「國立臺灣大學」。

拾、評選委員互選召集人，經評選委員互相推舉後，決議劉委員怡焜擔任召集人。

拾壹、召集人致詞：(略)

拾貳、報告事項：

一、主辦單位就本案需求內容及廠商評選事宜報告（略）。

二、工作小組初審意見報告（略）。

三、簡報：「國立臺灣大學」(略)。

拾參、評選委員及廠商詢答事項：如附件 1。

拾肆、評選結果：

一、經本委員會就各評選項目、受評廠商資料及工作小組初審意見逐項討論後，綜合評選結果詳評選總表（如附件 2）。

二、 經各委員依據本採購案評分表就各評選項目、受評廠商資料及工作小組初審意見逐項討論後，評定參與評選廠商分數（序

位)，並將各委員評分結果填列於評選總表，「國立臺灣大學」總評分/平均總評分為 256 / 85.3，序位合計值為 3。

三、經召集人詢問各出席委員及列席人員，均認為不同委員之評選結果無明顯差異情形，且評選委員會或個別委員評選結果與工作小組初審意見無明顯差異。

四、決議：

(一)1 家參與評選廠商之平均總評分達 70 分以上，且標價合理，無浪費公帑情形，經出席委員過半數決議：投標廠商之「國立臺灣大學」為第 1 優勝廠商。

(二)本案為訂有底價，並依準用最有利標決標辦法規定，優先議價對象簽奉機關首長或授權人員核定後公布。

拾伍、委員是否有不同意見：無。

拾陸、散會（上午 12 時 00 分）。

# 附錄二、期末報告審查會議建議

**一、時間：**中華民國 107 年 6 月 6 日(星期三) 上午 10 時 00 分

**二、地點：**本局 B1 會議室

**三、主席：**劉代理組長怡焜

**四、出（列）席單位及人員：**李委員文亮、梁委員永芳、顧委員洋、國立台灣大學、本局綜合規劃組

**五、主席致詞：**(略)

**六、計畫執行單位報告：**(略)

**七、審查意見：**

| 委員建議 | | 回覆與修訂情況 |
|---|---|---|
| （一）李委員文亮 | | |
| 1. | P.13 表四推動專案？本表僅就 12 原則說明似未有推動專案內容，請修正內容獲表名稱。 | 謝謝委員指教，已修正表五為綠色化學十二原則及定義說明。 |
| 2. | 部分文字仍使用”擬”，請修正之。（P.5） | 謝謝委員指教，已修正相關文字。 |
| 3. | 講習會的效益如何評估？使用搶答的方式，所以量化作答成績，即時反饋之互動教學使用流程請略加放大，以利了解畫面之美景。（P.9） | 謝謝委員指教，第一次講習課程是透過問券調查了解學員對於課程內容理解程度，第二次則以答題APP方式，並發放SDG叢書作為獎勵，另已修正P.9互動教學APP使用流程。 |
| 4. | 講習課程內容與教材可放置於附錄。 | 遵照辦理，相關教材以放置附錄六。 |
| 5. | 3.3.3示範案例若將綠色化學與循環經濟略加區隔，各種案例可以比較清晰。（P.18） | 謝謝委員指教，已修正 P.19 相關文字。 |
| 6. | 國外推動綠色化學發展之策略，可否整合比較，作為國內推動的策略地圖(Strategic Road Map)的對策，將時間軸（五年度）的行動方案有效佈建，以供化學局作參考。 | 謝謝委員指教，P.111~113 已說明國外推動綠色化學與循環經濟之發展策略所對應至國內部會權責關係。 |
| 7. | 產業期待部會整合機制，化學局運用 | 謝謝委員指教。 |

| | | |
|---|---|---|
| | 會報的方式進行之。 | |
| 8. | 智慧園區與科學園區為例最為適合，建議未來可選擇相關龍頭產業作為領導。 | 謝謝委員指教，已納入相關建議瑜報告 P.116。 |
| 9. | 化學租賃制度以服務為導向之商業模式，需要客製化服務與綠色會計的落實。 | 謝謝委員指教，已納入相關建議瑜報告 P.116。 |
| （二）梁委員永芳 | | |
| 1. | 釐清 P.X 報告摘要，生物循環(biological nutrients)與工業循環(Industrial nutrients)用字是否正確。 | 謝謝委員指教，已修正為生物循環(Biological circulation)及工業循環(Inudstrial circulation)。 |
| 2. | P.Xvi建議將環保標章制度與碳足跡制度、鼓勵可回收低污染為資源等納入環保署綠色化學推動專案成果。 | 謝謝委員指教，已納入環保標章制度與碳足跡制度（管考處推動），請參考 4.1 節。 |
| 3. | P.11 SDG 13 Climate Action翻譯為目標與策略，顯然有誤，請修正之。 | 謝謝委員指教，已修正。 |
| 4. | P.14 將加註各個公約的英文名稱及簽署日期；另外簽署國家宜在確認之，例如美國與台灣並未加入巴賽爾公約；請納入鹿特丹公約。 | 謝謝委員指教，已修正英文日期與簽署日期，納入鹿特丹公約，並刪除相關簽署國家以免混淆。 |
| 5. | P.21 表六電子廢棄物回收技術請增列台灣、美國與日本。 | 謝謝委員指教，已修正。 |
| 6. | P.59 環保署請增列管考處（環保標章與碳足跡標章），另經濟部工業局所屬單位與環保署相同，請修正之。 | 謝謝委員指教，已納入環保標章制度與碳足跡制度（管考處推動），請參考 4.1 節。 |
| 7. | 建議各圖表請增列資料來源或自行彙整等。 | 謝謝委員指教，已修正。 |
| （三）顧委員洋 | | |
| 1. | 本計畫各項目標之執行內容及進度大部分符合原規劃要求，可通過期末審查。 | 謝謝委員肯定。 |
| 2. | 有關管理政策研析部份，建議可依據 | 謝謝委員指教，已納入相關建議，請參照 P.111。 |

| | | |
|---|---|---|
| | REACH精神，確認各部會單位推動綠色化學之定位。 | |
| 3. | 有關化學品管理，建議將物質流追蹤、認查驗制度納入考量。 | 謝謝委員指教，已納入相關建議，請參照 P.111 及圖五十二說明。 |
| （四）毒物及化學物質局 | | |
| 1 | 請補充專家諮詢會的會議意見對應做法。 | 遵照辦理，已補充於 5.1 節說明。 |
| 2 | 請補充計畫工作內容對照表。 | 遵照辦理，已補充於表一說明。 |

# 附錄三、第一次專家諮詢會議紀錄

## 「永續綠色化學與循環經濟政策研析」專家諮詢會

一、 時間：107 年 1 月 25 日（星期四）上午 09 時 30 分

二、 地點：國立臺灣大學 環境研究大樓 401 會議室（臺北市芳蘭路 71 號 4 樓）

三、 主席：蔣本基特聘教授　　記錄：陳則綸

四、 出（列）席單位及人員：如簽到單

五、 主席致詞：（略）

六、 簡報內容：（略）

七、 綜合討論（依照發言順序）

（一）蔡蘊明教授：

1. 關於綠色化學發展應著重於化學工業界對於環境影響。
2. 建議可補充說明現行臺灣對於綠色化學做法的綜述，以瞭解臺灣過去的管理與推動困境，其他國家地區的做法僅做為參考。並納入學術文獻成果，建立完整的分析架構。
3. 對於學術或教育界，臺灣可參考國外制度，辦理綠色化學獎項以鼓勵產學研發，例如：美國總統化學獎或本次簡報提到的歐洲、澳洲與日本等等，透過獎項激勵、鼓勵綠色化學研究。此部分工作可作為政府要為業界創機會與支持綠色化學教育，以及發展國際夥伴關係並強化傳統產業轉型為綠色企業。

（二）蔣本基教授：

1. 必須從化學產業源頭說明台灣現狀以及欠缺的法規研議/研究收集，重要國家的政策，如 VOC 等空氣污染的政策，學外國建立政府科技獎勵希望政府支援與他國合作/產學合作。

（三） 梁文傑教授：

1. 建議政府學習國外經驗，整合化學品能源效率與化學品可降解之設計，發展綠色化學協助產業轉型。
2. 建議訂定毒性化學管制標準，使國內工業界化學品進出口有一致的法令

規範。

3. 建議探究化學品與使用水或飲用水之間的關聯系，因為大部分的化學品都使用水為助溶劑，然而後續的水處理目前尚未有一個最佳解決方案。

4. 建議將綠色化學內容納入國高中與大專生教育，規劃相關專門通識課程，並將現有綠色化學原則加入作為第十三個原則。並透過政府部門加強宣導綠色化學精神。

（四） 蔣本基教授：

5. 建立綠色化學之工程、經濟與環境分析體系，並從健康風險評估的角度考慮毒性化學物質危害，建議由科技部制定從生命週期的角度訂定綠色化學優先研究課題，並彙編永續綠色化學課程與環境教育的宣導，以促進永續發展教育。

（五）趙奕姈研究員：

1. 目前國內規模較大的產業都會參與 Taiwan Chemical Industry Association (TCIA)，如何整合綠色化學精神以推廣循環經濟是未來各產業可發展的方向。

2. 建議政府結合產官學能量，依據綠色化學原則訂定相關政策目標，接著為企業界建立經濟誘因制度，最後再進行目標管制標竿等目標。

3. 針對綠色化學教育方面，目前國內缺乏相關領域的教師數量，建議目前可透過推動綠色化學工作坊，發展數位化教材，以提升綠色化學教育的普及率。

（六）洪崇軒教授：

1. 目前重要化學品的企業關注的是生產成本、產品不良率、與相關法令規範。因此建立完整的化學品評估系統必須整合原物料與產品盤查體系、污染防治監測系統、勞工安全衛生管理與製程安全管理(Process Safety Management)等要素。

2. 建立廠區內化學產品流向資料庫，並評估國際上綠色化學最佳可行技術適用之可行性。

3. 針對綠色化學教育體制，建議注重中小學生基本概念的教育，並針對不同學齡層級制定化學教育方案。

（七）王體健教授：

1. 目前中國強調綠色發展，即台灣所提倡的循環經濟，讓產品從生產到消費的生命週期中減少污染物的排放，逐步邁向工業 4.0。

2. 可強化兩岸對於綠色化學方面的交流。以空氣污染防制為例：在生產中盡量使用清潔能源，強化 VOC 與 $PM_{2.5}$ 排放管制等。

3. 針對綠色化學教育方面，建議從基礎教育開始落實，並分不同學齡層進行不同階段的教育目標。

4. 針對化學品之健康風險評估方面，建議從毒性物質之基礎研究深入探討，以利掌握化學毒物的管控，降低污染風險。

（八）張永博副理（優勝奈米公司）：

1. 對於企業界來說，污染防治監測與檢驗是關注重點，其政府必須明確訂定檢驗方法及其方法的制定要規範，並落實第三方認證制度，保障產品行銷率與降低不良產品率。

（九）余建中董事長（精湛檢驗公司）：

1. 建議政府應考量數據檢驗的執行現況，定期修訂不符時宜的檢驗方法，納入品管制度，提升企業執行產品與環境污染檢驗之誘因，以促進化學品的安全管理並降低不良產品率。

（十）繆慧娟（教育部代表）：

1. 建議結合產官學研，推動創新教育方式，提供獎助學金，提升中小學生或大專生思考能力，納入綠色化學內容至基礎教育課程。

（十一）蕭寶桂博士（環境保護署毒物及化學物質局）：

1. 本計畫規劃之策略包含面向較廣，建議辦理第 2 次專家諮詢會議前先整理並寄送相關議題及資訊供與會專家學者、部會及產業代表參考，俾利於會議時提出建議及作法。

2. 建議第 2 次專家會議辦理時，可邀請化學局相關組室及環保署相關處室或產業公會代表等共同參與，研議關於綠色化學與循環經濟之相關政策及推動策略，以助於本計畫後續工作執行之參考。

八、 會議結論：

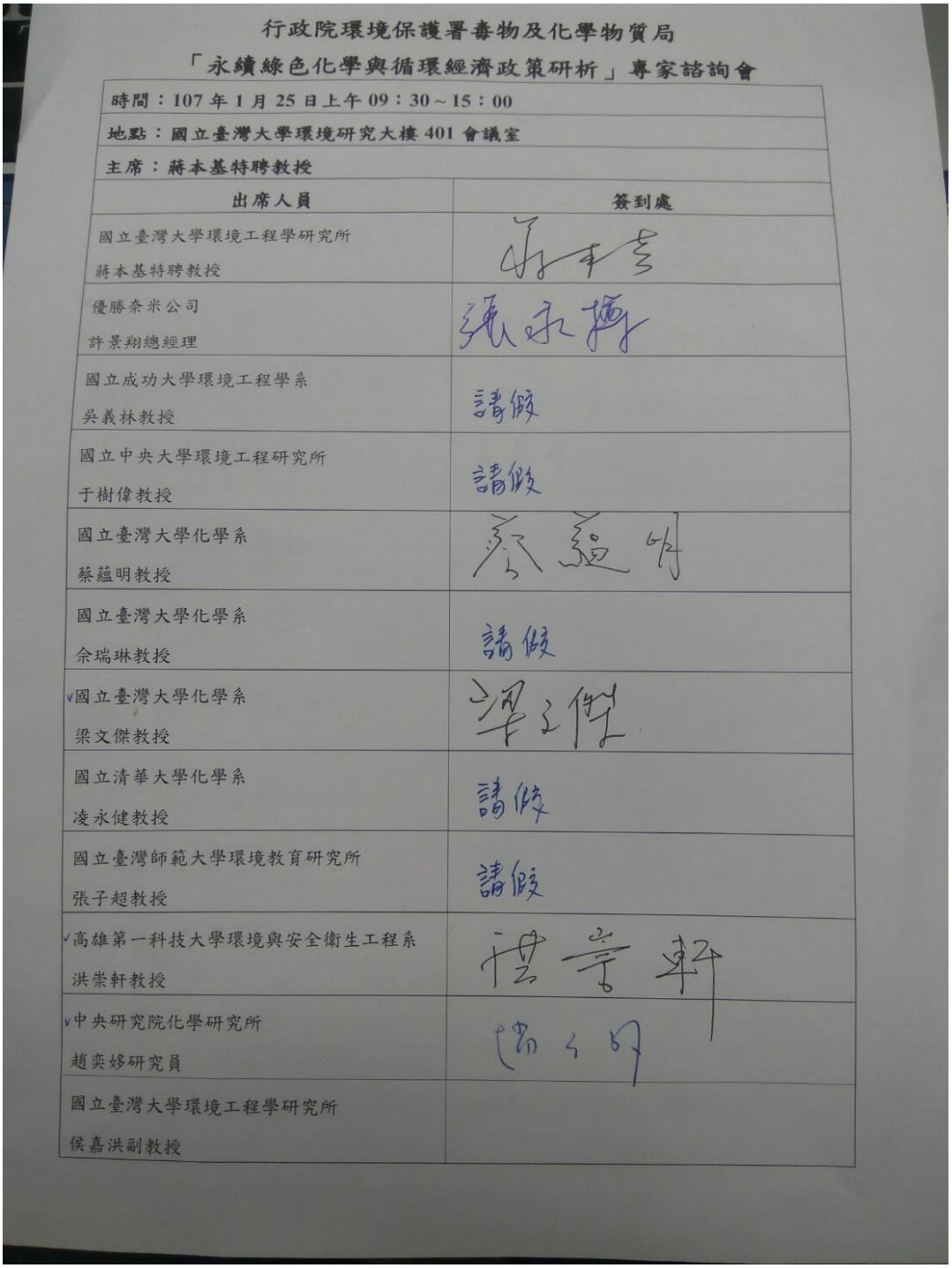
1. 綠色化學應以邁向永續發展為主，從生命週期的角度探討清潔生產、溫室氣體減量、危害物質管理、空氣污染、污染監測體系、化學管理制度、永續消費、健康風險評估，最後落實綠色經濟。

2. 對於企業界，降低不良產品率是主要關鍵，整合綠色化學原則與清潔生產技術，構建循環經濟體系，可作為政府未來優先治理方向。

3. 將整合各位專家學者意見，預定於 2 月 22 日至 23 日期間舉辦綠色化學講習會，持續掌握各部會推動綠色化學方向與相關建議。

九、 散會：中午 12 時 00 分

## 附件一：簽到單



行政院環境保護署毒物及化學物質局

「永續綠色化學與循環經濟政策研析」專家諮詢會

時間：107 年 1 月 25 日上午 09：30～15：00

地點：國立臺灣大學環境研究大樓 401 會議室

主席：蔣本基特聘教授

| 出席人員 | 簽到處 |
|---|---|
| 國立臺灣大學環境工程學研究所<br>蔣本基特聘教授 | |
| 優勝奈米公司<br>許景翔總經理 | |
| 國立成功大學環境工程學系<br>吳義林教授 | 請假 |
| 國立中央大學環境工程研究所<br>于樹偉教授 | 請假 |
| 國立臺灣大學化學系<br>蔡蘊明教授 | |
| 國立臺灣大學化學系<br>余瑞琳教授 | 請假 |
| √國立臺灣大學化學系<br>梁文傑教授 | |
| 國立清華大學化學系<br>凌永健教授 | 請假 |
| 國立臺灣師範大學環境教育研究所<br>張子超教授 | 請假 |
| √高雄第一科技大學環境與安全衛生工程系<br>洪崇軒教授 | |
| √中央研究院化學研究所<br>趙奕婷研究員 | |
| 國立臺灣大學環境工程學研究所<br>侯嘉洪副教授 | |

| | |
|---|---|
| 國立臺灣大學環境工程學研究所<br>林逸彬副教授 | 請假 |
| 崑山科技大學資訊傳播系<br>蔡德明助理教授 | 請假 |
| 精準檢驗科技公司 | [illegible] |
| 工業局(產基會代表) | 劉冠妤 戴[illegible] |
| 教育部(工研院代表) | 游慧娟 |
| 科技部(自然司) | [illegible] |
| 化学局 (綜規組 高環) | 蕭會桂 |
| 化學局 (綜規組技工) | 黃[illegible] |
| 浙江大学 | 曲[illegible]陽 |
| 台大環工所 碩士研究生. | 黃建豪 |
| 台大環工所碩士研究生 | 陳慧娟 |
| 华南理工大学 | 谢莹莹 |
| 厦门大学 | 李静莉 |
| 厦门大学 | 高雅 |

台大環工所 陳則綺 裴思睿

Kinjal Shah

# 附錄四、第二次專家諮詢會議紀錄

## 「永續綠色化學與循環經濟政策研析」專家諮詢會議

一、 時間：107 年 4 月 17 日（星期二）上午 09 時 30 分

二、 地點：國立臺灣大學 環境研究大樓 401 會議室（臺北市芳蘭路 71 號 4 樓）

三、 主席：蔣本基特聘教授　　記錄：陳則綸

四、 出（列）席單位及人員：如簽到單

五、 主席致詞：（略）

六、 簡報內容：（略）

七、 綜合討論：

（一）國立臺北科技大學陳孝行教授：

2. 關於教育及研發方面，綠色化學在國內的研發偏少。環境工程的專業集中在管末處理。化學化工則以材料科學為主，製程方面相對較少。因此，建議應整合科技部、教育部、環保署等各部會能量共同推動綠色化學製程。

3. 綠色化學在沒有強制性法規時，應以較安全的選擇作為推動的考量，因此建議可思考推動綠色化學標章方向，利用〝盤點〞或〝獎勵〞方式，鼓勵廠商多用安全的方法或替代品。

4. 建議化學局可考慮製作綠色化學技術與製程的指引手冊，進而循序漸進完善化學品流向盤查。例如：比照韓國的 Korea-Reach 的方法，在合理的時間表下，訂出臺灣版的 Taiwan-Reach，也許是一個可行的方法，慢慢的化學品資訊就會透明、管理及替代品的使用也會變得較為容易及普及。

（二）國立宜蘭大學張章堂教授：

6. 建議綠色化學推動策略應整合教育與能源議題，例如推動低碳產品與低碳製程，並發展短中長程規劃，納入綠色化學重大示範產業，如：半導體與高科技產業。

7. 建議發展循環經濟產業生態鏈，建立化學品原物料與產品鏈結，如整合水泥廠與鋼鐵廠運作方式，推動廢棄物資源化再利用。

（三）財團法人中技社環境技術發展中心鄒倫教授：

1. 我國推動循環經濟必須配合國內產業需求以及環境教育體系，並釐清各部會權責執掌，特別是針對產業如何結合綠色化學原則。

2. 掌握綠色化學原則可結合生命週期概念，使環境衝擊極小化，經濟效益極大化。

3. 化學品租賃政策必須包含風險管理、安全品質、環境衝擊降低、經濟效益兼顧等要素，如何發展成完善的管理模式也必須考量上中下游的責任歸屬。

4. 建議可將跨部會合作分類成三大組別合作方式，第一類是屬於環保署與經濟部（主推循環經濟與綠色化學）、第二類是經濟部、勞動部與農委會（主推產業鏈結與勞工安全），第三類為教育部、財政部與科技部（主推科普教育、租賃政策與技術研發）。

（四）優勝奈米科技有限公司許景翔總經理：

4. 建議推動綠色化學必須考量落實環境教育，包含環境倫理、環境道德、毒化物管制以及廢棄物預防與處理。

5. 建議應該以環境領導經濟，參考歐洲推動循環經濟示範園區等。

（五）環保署廢管處：

1. 循環經濟為我國五加二創新產業之一，有關部會皆積極共同推動，行政院 107 年 3 月已請經濟部彙整相關部會政策統整納入「循環經濟推動方案」後報行政院。環保署針對廢棄物資源循環進行推動，並已訂定 107 至 109 年資源回收再利用推動計畫，區分生產、消費、廢棄物管理、二次料市場等四大面向，包括各部會 12 大項推動策略與執行措施。

2. 綠色化學與循環經濟之發展策略若推動化學品租賃，建議納入次級品使用或經中間處理至可再使用以減少廢棄，落實資源循環利用。例如科技大廠之廢硫酸，可以是其他廠的原料。

3. 在經濟誘因面，因事業廢棄物處理成本日增，各產業皆必需自主資源再利用、減廢以節約廢棄物處理的必要成本。其次是透過產業鏈結讓資源循環最大化、廢棄最小化。

（七）環保署回收基管會：

1. 強化生產者責任延伸至生命週期的每一階段，特別是產品生產前的「產品環境化設計」，對於環境化設計能有一些規範或標準，避免生產出對環境衝擊大的產品。

2. 建議強化生產者更多社會責任與主動參與，而非被動遵守法令。

3. 產品設計應考量生命週期各階段，一旦產品有一個階段對環境造成影響，也會影響循環經濟的效益，可能影響後端無法資源循環再利用。

（八）臺灣產業服務基金會：

1. 工業局「產業綠色成長推動計畫」項下體系輔導工作，預計會透過 TCIA（臺灣化學科技產業協會），邀請 6 家企業籌組體系，並共同推動循環經濟工作。成員名單：李長榮、永光化學、臺灣聚合、環球橡膠、全通、（另 1 家待確認）。

2. 推動化學品租賃建議：(1)使用端及供應端之共識需被建立。(2)法規需明確解釋（使用後之化學品為〝資源物〞非〝廢棄物〞）。(3)若可行，則可考慮建立「媒合交易平台」。

3. 目前工業局持續推動輔導廠商盤點可推行化學品租賃之化學品（原則為用於物理性使用之化學品）。

（九） 財政部國際財政司：

1. 租稅協定旨在消除跨境交易所得稅、重複課稅及加強稅務合作，適用對象不限特定產業，且其適用得視交易事實個案審查。

2. 經濟合作暨發展組織（Organization for Economic Co-operation and Development, OECD）鑑於租稅協定避免雙重課稅特性係以防止濫用為主，其「稅基侵蝕及利潤移轉（BEPS）行動計畫 5，要求各國不得提供有害租稅競爭法律」，尚無化學產業租稅優惠制度之討論。

3. 關於我國現有租稅獎勵措施，適用於化學租賃部分，屬財政部賦稅署執掌。

（九）教育部資訊及科技教育：

1. 教育部針對綠色化學之推廣也非常積極，包含研習、夏令營、綠化創意競賽等，如後續團隊需要部內配合之事項，教育部會盡量協助。

2. 關於職業教育的部分，建議以綠色化學觀念，設計檢定證照制度。

3. 化學租賃制度的部分，因 12 年國教高級中等以下學校，依課綱進行實驗，所以各校使用的化學品一致，建議可作為此制度未來試推廣之對象。

八、 會議結論：

4. 綠色化學推動要素需整合環境、教育與能源議題，包含推動綠色化學標

章、職業教育推廣、低碳產品與低碳製程、強化綠色化學技術與製程、完善化學品流向盤查等，並建立綠色化學重大示範產業。

5. 循環經濟推動要素主要包含落實廢棄物管理、完善生產與消費需求面調查、發展產品環境化設計、優化租稅獎勵措施、建立資源循環供應鏈等。

6. 推動跨部會整合並落實綠色化學原則，可作為發展循環經濟手段之一，必須包含產業鏈結、經濟誘因、環境保育、教育宣導、科技研發及財稅制度等關鍵議題。

九、 散會：中午 12 時 00 分

附件一：簽到單

## 行政院環境保護署毒物及化學物質局
## 「永續綠色化學與循環經濟政策研析」專家諮詢會

| | |
|---|---|
| 時間：107 年 4 月 17 日上午 09：30～12：00 | |
| 地點：國立臺灣大學環境研究大樓 401 會議室 | |
| 主席：蔣本基特聘教授 | |
| **出席人員** | **簽到處** |
| 國立臺灣大學環境工程學研究所<br>蔣本基特聘教授 | 蔣本基 |
| 財團法人中技社 環境技術發展中心<br>鄒倫 主任 | 鄒倫 |
| 美國馬里蘭州環保局<br>田慶宗 博士 | 田慶宗 |
| 臺北科技大學 環境工程與管理研究所<br>陳孝行 特聘教授 | 陳孝行 |
| 國立宜蘭大學 環境工程學系<br>張章堂 特聘教授 | 張章堂 |
| 優勝奈米公司<br>許景翔總經理 | 許景翔 |
| 台大環工所 | 侯嘉茂 |
| | 林逸樹 |
| 環保署廢管處 | 游濟如 |
| 環保署基管會 | 顏素真 |
| 環保署化學局 | 蕭鑫桂 |
| Kinj. NTU. | Kinjal Shah |
| | 孫永平 |
| | 陳則綸 |

| | |
|---|---|
| 經濟部工業局 永續發展組 | 林庭瑋 |
| UWin Nanotech Co., Ltd. | [illegible] |
| 環保署環管處 | 劉卉庭 |
| 台灣產業服務基金會 | 汪時昇 |
| 財政部國際財政司 | 黃詩綺 |
| 工業技術研究院 | 鄒慧娟 |
| 教育部資科司 | 姚[illegible] |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

# 附錄五、民國 107 年 2 月 26 日第一次與第二次講習課程問券設計

## 永續綠色化學與循環經濟政策研析講習會　問券

**姓名:_____單位：_____**

**一、您認為綠色化學與永續發展目標有相關性？(可以複選)：**

□目標 1. 消除各地一切形式的貧窮
□目標 2. 消除飢餓，達成糧食安全，改善營養及促進永續農業
□目標 3. 確保健康及促進各年齡層的福祉
□目標 4. 確保有教無類、公平以及高品質的教育，及提倡終身學習
□目標 5. 實現性別平等，並賦予婦女權力
□目標 6. 確保所有人都能享有水及衛生及其永續管理
□目標 7. 確保所有的人都可取得負擔得起、可靠的、永續的能源
□目標 8. 促進包容且永續的經濟成長，達到全面且有生產力的就業
□目標 9. 建立具有韌性的基礎建設，促進永續工業，並加速創新
□目標 10. 減少國內及國家間不平等
□目標 11. 促使城市與人類居住具包容、安全、韌性及永續性
□目標 12. 確保永續消費及生產模式
□目標 13. 採取緊急措施以因應氣候變遷及其影響
□目標 14. 保育及永續利用海洋與海洋資源，以確保永續發展
□目標 15.促進領地生態系統永續使用並遏止生物多樣性的喪失
□目標 16. 促進和平且包容的社會，以落實永續發展
□目標 17. 強化永續發展執行方法及活化永續發展全球夥伴關係

**二、您認為環保署目前相關推動政策與十二項綠色化學原則最相關的是哪幾項?(可以複選)：**

□1. 防止廢棄物

□2. 原子經濟

□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

□6. 設計能源效率

□7. 使用再生原料

□8. 更減少衍生物

□9. 選擇良好的催化劑

□10.可降解之設計

□11.即時分析污染防治

□12.以更安全的化學品防止意外發生

**三、您認為環保署未來推動或執行綠色化學及循環經濟對於「政府治理」之可行策略？(可以複選)：**

□建置化學物質數據庫，幫助政府有效的立法禁止或限制有害化學物質

□成立全國零廢棄委員會，定期舉行邁向零廢棄之議題討論

□制定有關化學產品之有害物質排放法規標準

□結合國際趨勢訂定審查化學物質風險評估和管制化學物質範圍的措施

□推廣化學租賃等經濟模式有助於減少化學品的使用

□建立更安全的化學成分清單與綠色化學標章

□對於發展符合綠色化學原則之燃料不徵收能源稅

□其他

**四、您認為貴部會未來推動或執行綠色化學及循環經濟對於「技術創新」之可行策略？(可以複選)：**

□化學品採用連續自動合成技術，提高生產量

□成立廢棄物能資源循環研究中心，提供產業技術服務

□推廣無害安全的化學輔助劑

□發展化合物的特性鑑定方式，使化學產品設計為保持功效的同時具備低毒性

□積極發展綠色化學溶劑與生物可降解之創新技術

□企業須規劃化學品相關工作人員之災害預警與通報管理機制

□其他

**五、您認為貴部會未來推動或執行綠色化學及循環經濟對於「教育宣導」之可行策略？(可以複選)：**

□政府定期辦理綠色化學講習或研討會

□於大專學院定期舉辦綠色化學創意科學競賽

□建立綠色化學認證制度，培養基礎教師

□規劃綠色化學線上課程與教材

□編列綠色化學教育叢書，強化國民教育宣導，舉辦教育系列活動，提升國民綠色化學素養

□其他

**六、通過本次講習，您認為下列執行措施對未來臺灣推動綠色化學及循環經濟推動政策有較大幫助：**

**1. 研擬綠色化學之防制、保障及永續策略**

□規劃設置專責管理部門，統合化學技術管理，提昇實質效益

□加強跨區域合作機制，建置化學安全管理預警機制

□建立循環永續綠色化學能資源化綠色供應鏈模式，提出最適化發展方案，落實永續物料管理

□其他

**2. 整合政府權責單位，落實綠色化學原則**

□發展化學租賃制度，建立化學物質風險評估體系

□建立國家層級之化學物質分類和標籤和材料安全數據庫

□結合中央與地方單位，發展在地化化學管理體系

□其他

**3. 健全化學管制相關法規，發展化學物質管理體系**

□根據國際情勢，優先評估創新化學品之適用性，建立製造/進口之相關條例

□建立綠色稅收體制，提升能資源的合理利用

□審查化學物質風險評估措施與受規管化學物質的範圍，定期檢討與更新相關關鍵績效指標

□其他

**4. 研發綠色化學創新技術，建立國際合作交流機制**

□建立產官學合作模式，籌組專業技術輔導團隊，導入智慧技術與客製化商品服務

□加強綠色產業技術的國際交流和合作，積極引進及吸收先進技術，推廣和應用於清潔生產技術和製程。

□建構綠色化學發展策略聯盟，發展創新綠色化學技術示範亮點，推展綠色化學品

應用市場

□其他

**5. 強化綠色化學環境教育，促進創新技術人才培育**

□建立綠色化學工作坊，發展數位化教材，以提升綠色化學教育的普及率

□建立綠色化學之工程、經濟與環境分析體系，落實毒性化學物質的健康風險評估，以加強產業之化學科普知識

□深化檢驗與查驗證人才培育，推動化學品產線與污染監測第三方認證制度，以保障化學產品行銷率與降低不良產品率

□其他

**七、通過本次講習，您認為下列何種產業可優先做為臺灣推動永續綠色化學循環經濟之示範：**

□鋼鐵業

□造紙業

□電力業

□電子業

□水泥業

□石化業

□農林業

□建築業

□其他

八、通過本次講習，請您針對環保署推動綠色化學與循環經濟發展提供綜合建議：

已建置的法規：

未來宜建置的法規：

## 民國 107 年 2 月 26 日第一次與第二次講習課程問券統計：

**總共發放 30 份問券，回收 23 份**

一、您認為綠色化學與永續發展目標有相關性？

| 選項 | 數目 |
|---|---|
| 目標 **1.** 消除各地一切形式的貧窮 | **5** |
| 目標 **2.** 消除飢餓，達成糧食安全，改善營養及促進永續農業 | **10** |
| 目標 **3.** 確保健康及促進各年齡層的福祉 | **9** |
| 目標 **4.** 確保有教無類、公平以及高品質的教育，及提倡終身學習 | **5** |
| 目標 **5.** 實現性別平等，並賦予婦女權力 | **3** |
| 目標 **6.** 確保所有人都能享有水及衛生及其永續管理 | **19** |
| 目標 **7.** 確保所有的人都可取得負擔得起、可靠的、永續的能源 | **17** |
| 目標 **8.** 促進包容且永續的經濟成長，達到全面且有生產力的就業 | **14** |
| 目標 **9.** 建立具有韌性的基礎建設，促進永續工業，並加速創新 | **14** |
| 目標 **10.** 減少國內及國家間不平等 | **3** |
| 目標 **11.** 促使城市與人類居住具包容、安全、韌性及永續性 | **14** |
| 目標 **12.** 確保永續消費及生產模式 | **18** |
| 目標 **13.** 採取緊急措施以因應氣候變遷及其影響 | **13** |
| 目標 **14.** 保育及永續利用海洋與海洋資源，以確保永續發展 | **17** |
| 目標 **15.**促進領地生態系統永續使用並遏止生物多樣性的喪失 | **16** |
| 目標 **16.** 促進和平且包容的社會，以落實永續發展 | **5** |
| 目標 **17.** 強化永續發展執行方法及活化永續發展全球夥伴關係 | **11** |

二、您認為環保署目前相關推動政策與十二項綠色化學原則最相關的是哪幾項?(可以複選)：

| 選項 | 數目 |
|---|---|
| **1.** 防止廢棄物 | **22** |
| **2.** 原子經濟 | **8** |
| **3.** 較少的有害化學合成 | **13** |
| **4.** 設計更安全的化學品 | **11** |
| **5.** 更安全的溶劑與助劑 | **13** |
| **6.** 設計能源效率 | **14** |
| **7.** 使用再生原料 | **14** |
| **8.** 更減少衍生物 | **10** |
| **9.** 選擇良好的催化劑 | **10** |
| **10.**可降解之設計 | **15** |
| **11.**即時分析污染防治 | **17** |
| **12.**以更安全的化學品防止意外發生 | **13** |

三、您認為環保署未來推動或執行綠色化學及循環經濟對於「政府治理」之可行策略？(可以複選)：

| 選項 | 數目 |
|---|---|
| **1.** 建置化學物質數據庫，幫助政府有效的立法禁止或限制有害化學物質 | **18** |
| **2.**成立全國零廢棄委員會，定期舉行邁向零廢棄之議題討論 | **15** |
| **3.**制定有關化學產品之有害物質排放法規標準 | **20** |
| **4.**結合國際趨勢訂定審查化學物質風險評估和管制化學物質範圍的措施 | **16** |
| **5.**推廣化學租賃等經濟模式有助於減少化學品的使用 | **11** |
| **6.**建立更安全的化學成分清單與綠色化學標章 | **20** |

| | |
|---|---|
| **7.對於發展符合綠色化學原則之燃料不徵收能源稅** | **11** |

四、您認為貴部會未來推動或執行綠色化學及循環經濟對於「技術創新」之可行策略？**(可以複選)**：

| 選項 | 數目 |
|---|---|
| **1.** 化學品採用連續自動合成技術，提高生產量 | **6** |
| **2.成立廢棄物能資源循環研究中心，提供產業技術服務** | **13** |
| **3.推廣無害安全的化學輔助劑** | **11** |
| **4.** 發展化合物的特性鑑定方式，使化學產品設計為保持功效的同時具備低毒性 | **17** |
| **5.積極發展綠色化學溶劑與生物可降解之創新技術** | **13** |
| **6.** 企業須規劃化學品相關工作人員之災害預警與通報管理機制 | **11** |

五、您認為貴部會未來推動或執行綠色化學及循環經濟對於「教育宣導」之可行策略？**(可以複選)**：

| 選項 | 數目 |
|---|---|
| **1.政府定期辦理綠色化學講習或研討會** | **17** |
| **2.** 於大專學院定期舉辦綠色化學創意科學競賽 | **18** |
| **3.** 建立綠色化學認證制度，培養基礎教師 | **17** |
| **4.** 規劃綠色化學線上課程與教材 | **12** |
| **5.** 編列綠色化學教育叢書，強化國民教育宣導，舉辦教育系列活動，提升國民綠色化學素養 | **16** |

六、通過本次講習，您認為下列執行措施對未來臺灣推動綠色化學及循環經濟推動政策有較大幫助：

**1.** 研擬綠色化學之防制、保障及永續策略

| 選項 | 數目 |
|---|---|
| **1.** 規劃設置專責管理部門，統合化學技術管理，提昇實質效益 | **16** |

| | |
|---|---|
| **2.** 加強跨區域合作機制，建置化學安全管理預警機制 | **12** |
| **3.** 建立循環永續綠色化學能資源化綠色供應鏈模式，提出最適化發展方案，落實永續物料管理 | **21** |

**2.** 整合政府權責單位，落實綠色化學原則

| 選項 | 數目 |
|---|---|
| **1.** 發展化學租賃制度，建立化學物質風險評估體系 | **12** |
| **2.** 建立國家層級之化學物質分類和標籤和材料安全數據庫 | **17** |
| **3.** 結合中央與地方單位，發展在地化化學管理體系 | **10** |

**3.** 健全化學管制相關法規，發展化學物質管理體系

| 選項 | 數目 |
|---|---|
| **1.** 根據國際情勢，優先評估創新化學品之適用性，建立製造/進口之相關條例 | **16** |
| **2.** 建立綠色稅收體制，提升能資源的合理利用 | **15** |
| **3.** 審查化學物質風險評估措施與受規管化學物質的範圍，定期檢討與更新相關關鍵績效指標 | **14** |

**4.** 研發綠色化學創新技術，建立國際合作交流機制

| 選項 | 數目 |
|---|---|
| **1.** 建立產官學合作模式，籌組專業技術輔導團隊，導入智慧技術與客製化商品服務 | **12** |
| **2.** 加強綠色產業技術的國際交流和合作，積極引進及吸收先進技術，推廣和應用於清潔生產技術和製程 | **19** |
| **3.** 建構綠色化學發展策略聯盟，發展創新綠色化學技術示範亮點，推展綠色化學品應用市場 | **15** |

**5.** 強化綠色化學環境教育，促進創新技術人才培育

| 選項 | 數目 |
|---|---|
| **1.** 建立綠色化學工作坊，發展數位化教材，以提升綠色化學教育的普及率 | **12** |

| | |
|---|---|
| **2.** 建立綠色化學之工程、經濟與環境分析體系，落實毒性化學物質的健康風險評估，以加強產業之化學科普知識 | **19** |
| **3.** 深化檢驗與查驗證人才培育，推動化學品產線與污染監測第三方認證制度，以保障化學產品行銷率與降低不良產品率 | **16** |

七、通過本次講習，您認為下列何種產業可優先做為臺灣推動永續綠色化學循環經濟之示範：

| 選項 | 數目 |
|---|---|
| **1.** 鋼鐵業 | **14** |
| **2.** 造紙業 | **7** |
| **3.** 電力業 | **12** |
| **4.**電子業 | **11** |
| **5.**水泥業 | **8** |
| **6.**石化業 | **6** |
| **7.**建築營造業 | **7** |

八、透過本次講習，您認為環保署為推動綠色化學與循環經濟發展在「政府治理」面，目前已建置及未來宜建置之法規分別為何？：

- 目前已建置之法規：

**1.** 毒性化學物質管理法、廢棄物清理法、新興化學物質及既有化學物質登錄辦法、毒性化學物質運作獎勵辦法

**2.** 資源回收再生法、水污染防治法、能源管理法、再生能源發展條例、溫室氣體減量及管理法

**3.** 環保署已於 **107** 年正式全面禁止使用石綿，全氟辛磺酸及全氟辛酸

- 未來宜建置之法規：

**1.** 建議可先檢視我國已有的租稅獎勵政策，將符合綠色化學原則的製程、產品或

輸出入，給予租稅減免等經濟誘因，讓市場機制建立資源供需或最適化資源配置，可提升整體社會與環境福利

**2.** 建議發展毒性化學物質租賃管理制度、以及毒性化學物質安全替代品制度

**3.** 建議以綠色化學原則為出發點，列管大部分的毒性化學物質

**4.** 全面推動綠色化學原則與循環經濟發展獎勵條例，鼓勵企業界發展為綠色產業

**5.** 建議可將綠色化學原則納入環境教育體系

**6.** 建議可應用綠色化學原則針對環境用藥與土壤地下水防治等

# 附錄六、民國 107 年 5 月 29 日第三次與第四次講習課程題目設計

## 永續綠色化學與循環經濟政策研析講習會　題目

**一、下列哪一項為聯合國永續發展目標 SDG 12？：**

□健康與福祉

□海洋資源永續

□可負擔且永續的能源

□責任生產與消費

**二、請問綠色化學第一個原則是哪一項？：**

□較少的有害化學合成

□防止廢棄物

□可降解之設計

□減少衍生物

**三、下列何者為原子經濟的定義？**

□避免使用與產生不必要的衍生物

□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

□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

□以化學反應中的「原子轉化率」來衡量反應的經濟程度

**四、斯德哥爾摩公約主要在規範下列何者事項？**

□有害廢棄物跨國運送

□化學藥品管理體系

□限制生產持久性有機污染物

□全球永續發展理念

**五、請問何謂 PAS 策略？**

□Pollution, Assurance, Sustainability

□Pollution, Accident, Security

□Prevention, Assurance, Sustainability

□Prevention, Accident, Security

**六、歐盟所發展的 ZDHC 計畫，其實質內容為何？**

□企業社會責任計畫

□綠色產品與綠色消費

□有害物質零排放管理

□綠色產業與循環經濟

**七、請問下列何者案例並不符合循環經濟理念？**

□將電子廢棄物中的有用物質精煉再製，送回產業鏈使用

□鋼鐵廠廢棄物例如爐碴與污泥等可提供給再利用廠商進行資源化產品

□污水處理廠污泥處理後直接掩埋

□區域性 CHP 廠結合生質能源以供給區域性之工業用電及住宅用電、加熱

**八、請問下列哪一個範疇不屬於美國總統綠色化學挑戰獎？**

□綠色反應條件獎

□產業與消費獎

□綠色化學品設計獎

□綠色合成路線獎

**九、下列哪一個化合物屬於綠色溶劑？**

□甲醛

□苯

□乙醇

□水

**十、請問下列哪一項不屬於研發發展綠色化學關鍵技術之主題？**

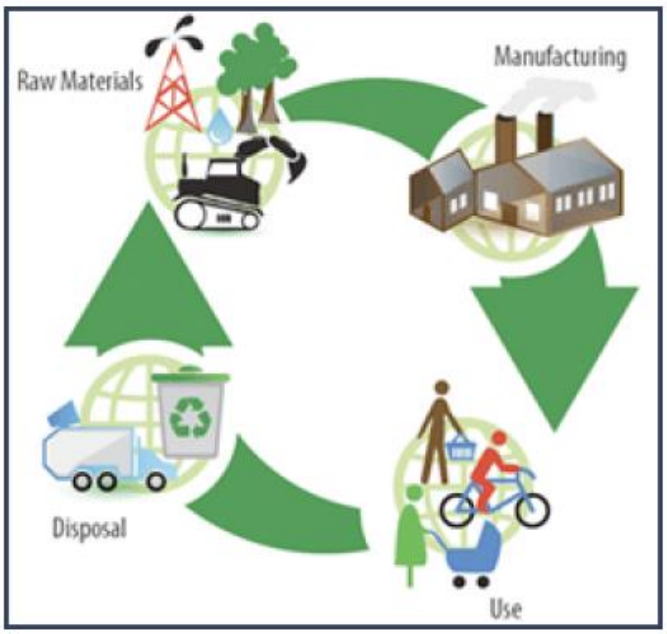
□綠色設計與綠色製程

□永續材料與產品

□污染物管末處理

□循環經濟商業模式

**十一、請問下圖可說明何種降低環境衝擊的理念？**




□市場結構分析

□產品生命週期分析

□商品服務流程

□經濟成本效益評估

**十二、請問何者非屬化學租賃制度之效益？**

□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

□提升化學產品銷售率

□減少能源資源浪費

□提升化學品風險管理維護人體健康、 改善經濟與社會效益

**十三、請問下列目前我國既有法規與推廣綠色化學相關性最高？**

□毒性化學物質管理法

□溫室氣體減量及管理法

□再生能源發展條例

□空氣污染排放標準

**十四、循環經濟概念是由何者英國環境經濟學家提出？**

□Ellen Macarthur

□Paul Anastas

□David W. Pearce

□John C. Warner

**十五、下列何者為美國針對毒性化學物質管制法規？**

□Pollution Prevention Act

□Toxic Substance Control Act

□Strategic Approach to International Chemicals Management

□Chemical Substances Control Law

**十六、歐盟 REACH 評估體系主要內涵？**

□鼓勵使用低危害化學物質並提研發安全化學物質的誘因

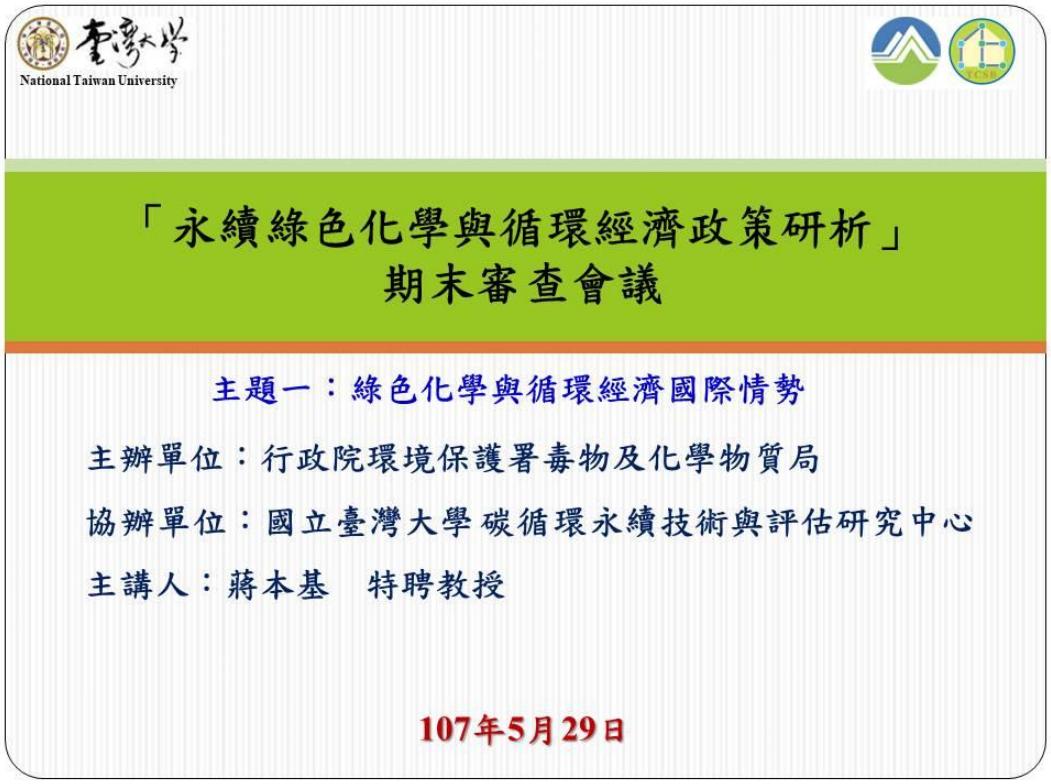
□減少化學藥品所造成的污染

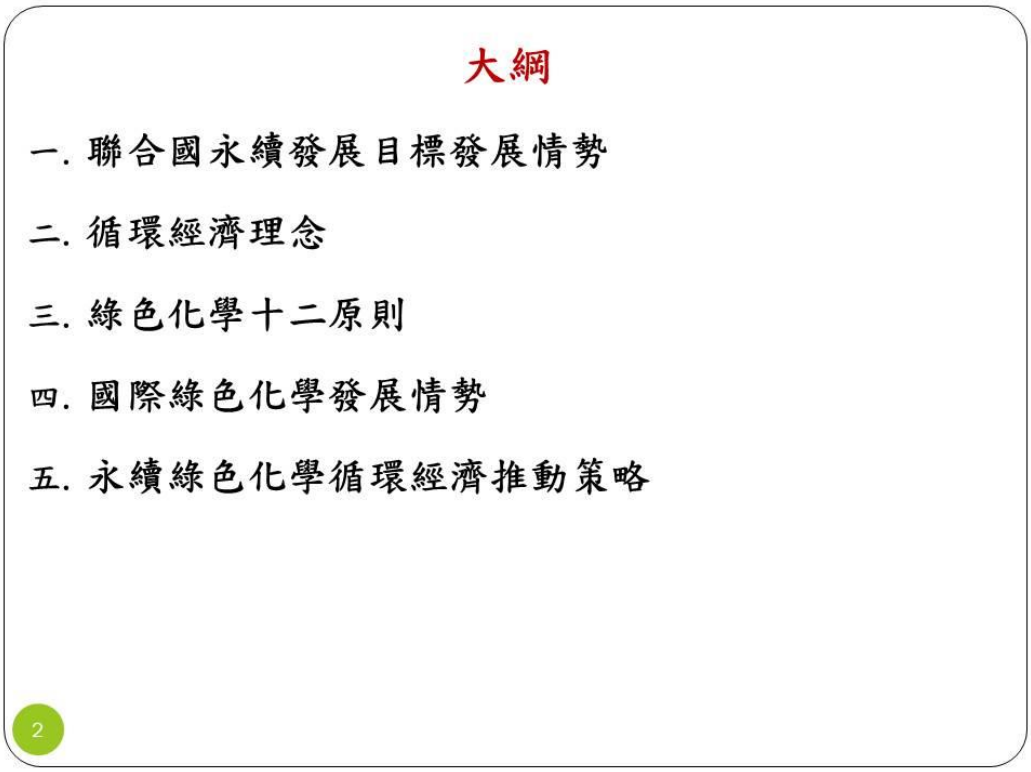
□發展綠色產品及服務

□建立綠色化學產品供應鏈

# 附錄七、永續綠色化學與循環經濟講習課程教材

主題一：綠色化學與循環經濟國際情勢



# 一、聯合國永續發展目標發展情勢

3

## 1.1 永續發展（Sustainable Development）

- 「永續發展」一詞最早是由**「國際自然及自然資源保護聯盟」、「聯合國環境規劃署」、及「世界野生動物基金會」**三個國際保育組織，於1980年出版之「世界自然保育方案」報告中提出。

- 1987年，聯合國世界環境與發展委員會(WCED)，發表「**我們共同的未來**」報告，將永續發展定義為：「能滿足當代需求，同時不損及後代子孫滿足其本身需求的發展」，自此推動永續發展在世界各國掀起浪潮。

  「永續發展」應包含：**公平性 (Fairness)、永續性 (Sustainability)、及共同性 (Commonality) 三個原則**；就**社會層面**而言，主張公平分配，以滿足當代及後代全體人民的基本需求；就**經濟層面**而言，主張建立在保護地球自然系統基礎上的可持續經濟成長；就**自然生態層面**而言，主張人類與自然和諧相處。

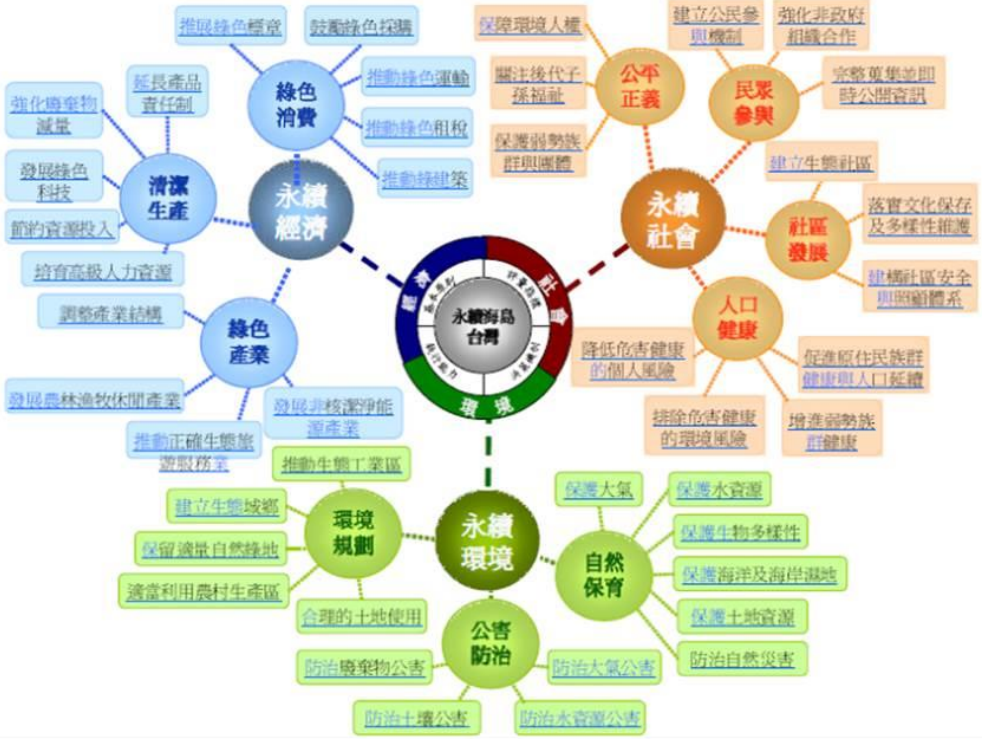
4

# 1.1 永續發展（Sustainable Development）

5

*資料來源: http://cst2.nhu.edu.tw/app/super_pages.php?ID=intro2*

# 1.2 永續海島台灣




6

## 1.3 千禧年發展目標

7

*資料來源: http://www.un.org/millenniumgoals/*

## 1.4 永續發展目標（Sustainable Development Goals）

8

*資料來源: http://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals*

## 目標一：消弭貧窮

### 目標與策略

1. **消除一切形式的貧窮**：在未來15年內消除一切形式的貧窮，包括最極端的貧窮形式，使全世界不再有人每日生活於「赤貧」。
2. **建立無貧窮模式**：所有地方每個人都應享有基本水準的生活並擁有社會保障，窮人及最弱勢人群也應擁有社會保障，若受到戰亂衝突或自然災害危害時也能夠獲得足夠的協助與基本服務；
3. **推廣社會保障福利**：社會保險及勞動力市場計畫是社會保障的其他形式，包括覆蓋老年及身障年金、產假福利、失業保險、技能培訓及工資補助等。

9

*(資料來源: 聯合國永續發展目標理論、策略與實踐，2017)*

## 目標二：消除飢餓

### 目標與策略

1. **整合「生產型農業」以推動糧食供應鏈與農業體系**：應重視二線城市（或衛星城市）的農產物流軟硬體基礎建設；如周遭地區的交通、用地、冷鏈、倉儲、安全檢測、大數據分析、物聯網建設等均急需改善轉型，發展一個高效率、高度整合、高科技化的糧食供應鏈體系。
2. **建構糧食安全體系**：糧食安全包含消費者購買糧食的能力，對糧食價格衝擊的反應，糧食供給的足夠性、供給不足的風險、國家運送食物的能力、農業研發的公共支出及農業基礎建設，飲食的種類與攝取營養量、以及農糧產品的安全性。
3. **促進鄉村發展**：鄉村政策與農業政策間的相互依存關係應該受到重視。增加農家所得的重要手段之一為增加農場外（Off-farm）就業機會，這需要有個生機蓬勃的鄉村經濟來支持。而促進鄉村發展的主要手段包括：在教育、交通運輸、健康及居住等建設的投資，以增加鄉村地區的吸引力。

10

*(資料來源: 聯合國永續發展目標理論、策略與實踐，2017)*

# 目標三：確保健康與福祉

## 目標與策略

1. **降低死亡率與疾病**：降低孕產婦死亡率、降低兒童死亡率、終結傳染性疾病的流行，與普及生殖健康服務；
2. **因應當前重大公衛威脅**：非傳染性疾病、物質濫用、交通事故和污染造成的健康危害；
3. **涉及法制面議題**：《菸草控制框架公約》的實施、藥品與疫苗可近性、健康財源與人力和風險管理。

11

*(資料來源: 聯合國永續發展目標理論、策略與實踐，2017)*

# 目標四：優質的教育

## 目標與策略

**確保包容、公平的優質教育，並提昇所有人的終身學習機會：**

- 確保所有的男孩與女孩都完成免費的、公平的且優質的小學與中學教育，達到恰當且有效的學習成果。
- 確保所有的男女都有公平、負擔得起，與優質的技術、職業與高等教育的受教機會，包括大學。
- 增加能夠就業、找到好工作或經營事業所需的相關的技術與專業技能的年輕人與成人的數目。
- 確保所有的學子都習得必要的知識與技能，而可以促進永續發展，透過的途徑包括永續發展教育、永續生活模式、人權、性別平等、和平及非暴力倡議、世界公民、欣賞文化多樣性、及文化對永續發展的貢獻。

Education 2030

12

*(資料來源: 聯合國永續發展目標理論、策略與實踐，2017)*

# 目標五：性別平等

## 目標與策略

**消除對性別一切形式歧視行為：**

- 確保婦女在各種領域有足夠，或至少30%的參與決策與治理層機會。
- 包括福利待遇的兩性同工同酬，並努力使所有女性和男性都能得到維持基本生活的薪酬。
- 提供女性和男性所需的服務、資源與資訊，以支持他/她們得到養老育兒的照顧服務。
- 建立職場零暴力，包括語言、肢體暴力的政策，並預防性騷擾。
- 擴展與婦女經營事業有關的生意關係，包括小型生意和女性企業家。

13

*(資料來源: 聯合國永續發展目標理論、策略與實踐，2017)*

# 目標六：清潔飲水和衛生設施

## 目標與策略

1. 強化飲用水水質管理落實水質監控制度；
2. 加強工業區下水道系統提升污水廠操作成效；
3. 改善工業區污水處理廠處理功能；
4. 提升工業區內工廠廢（污）水納管率；
5. 加強河川水質淨化實踐綜合水資源管理

14

*(資料來源: 聯合國永續發展目標理論、策略與實踐，2017)*

# 目標七：可負擔且永續的能源

## 目標與策略

1. **關鍵能源性指標**：降低能源密集度(Energy/GDP)、$CO_2$排放密度($CO_2$/Energy)、提昇經濟成長(GDP/Population)
2. **發展清潔能源**：使用高效率之汽渦輪與蒸氣渦輪機組、燃氣複循環、汽電共生、燃煤機組之碳捕獲及儲存等
3. **建立能源管理體系**：使用智慧型電網、高電壓輸電系統、分散式區域熱電系統
4. **提升綠能占比**：使用風能、太陽能、生質能等
5. **推廣節能機具**：使用節能之高效率運具、燈具、設備、綠建築及能源管理

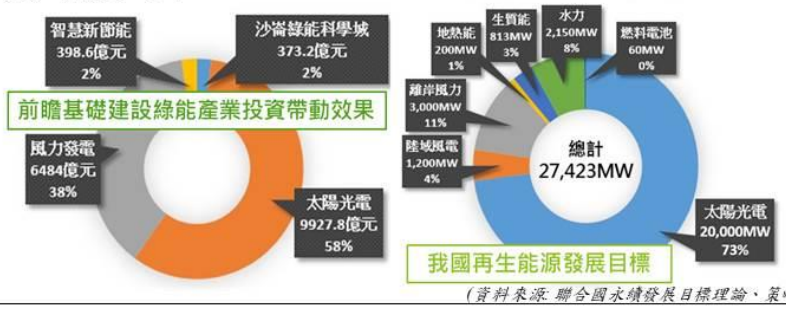
15

*(資料來源: 聯合國永續發展目標理論、策略與實踐，2017)*

# 目標八：全面的就業及永續的經濟成長

## 目標與策略

1. **邁向創新導向新經濟**：整合資源、與多元價值的創新環境，用以確保台灣國際競爭優勢，使創新成為經濟持續成長的動力。
2. **促進產業多元化發展**：**落實結構改革**，如法規制度改革、人力素質提升、國土空間改造、金融創新與稅制改革。
3. **加速微型創業與中堅企業轉型發展**：透過政府領頭帶動**產業創新**、效能提升與振興傳產之淬鍊加值。
4. **推動永續發展與生態觀光**：兼顧環境融合，以**「永續觀光」**為導向，建構多元永續與社會生活銜接的觀光內涵。




16

*(資料來源: 聯合國永續發展目標理論、策略與實踐，2017)*

# 目標九：永續創新產業有韌性的基礎建設

## 目標與策略

**1. 促進包容可持續工業化；增加小型工業和其他企業**

**2. 採用清潔和環保技術及產業流程**

**3. 提供發展中國家更多的財政、技術和技能支援**

**4. 大幅提升資訊和通信技術的普及度**

17

*(資料來源: 聯合國永續發展目標理論、策略與實踐，2017)*

# 目標十：減少不平等

## 目標與策略

**強化社會凝聚（solidarity）與社會包容（social inclusion）。：**

- 逐步實現和維持最底層40%人口的收入增長，並確保其增長率高於全國平均水準。
- 增強所有人的權能，促進他們融入社會、經濟和政治生活，而不論其年齡、性別、身心障礙與否、種族、族裔、出身、宗教信仰、經濟地位或其他任何區別。
- 確保機會均等，減少結果不平等現象，包括取消歧視性法律、政策和做法，推動與上述努力相關的適當立法、政策和行動。
- 採取政策，特別是財政、薪資和社會保障政策，逐步實現更大的平等。
- 改善對金融市場和金融機構的監管和監測，並加強上述監管措施的執行。

18

*(資料來源: 聯合國永續發展目標理論、策略與實踐，2017)*

# 目標十一：永續城市與社區

## 目標與策略

1. 提供安全、負擔得起的、易於利用、可持續的交通運輸系統
2. 加強包容與永續的城市建設，加強參與性、綜合性、可持續的人類住區規劃和管理能力
3. 保護和捍衛世界文化和自然遺產
4. 大幅減少各種災害造成的死亡人數和受災人數
5. 減少城市發展造成的負面環境影響，包括空氣品質以及城市廢棄物管理等

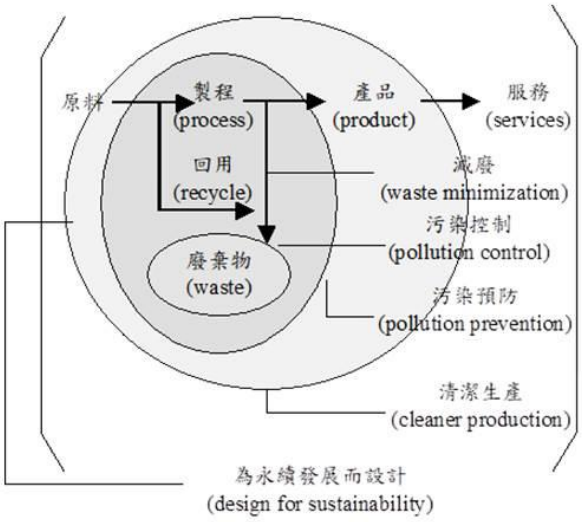
19

*(資料來源: 聯合國永續發展目標理論、策略與實踐，2017)*

# 目標十二：責任生產與消費

## 目標與策略

1. **確保永續的消費與生產模式**：包含制定管理對環境有害物質的具體政策和國際協定
2. **永續產品與綠色科技**：發展符合環保及「生態永續性」之「綠色科技」採用低資源消耗及低廢棄物之「清潔生產技術」
3. **綠色產品與綠色消費**：發展「為環境而設計」與「綠色標章」或「環保標章」的產品




20

*(資料來源: 聯合國永續發展目標理論、策略與實踐，2017)*

# 目標十三：因應氣候變遷

## 目標與策略

1. 強化所有國家對天災與氣候有關風險的災後復原能力與調適能力
2. 將氣候變化措施納入國家政策、策略與規劃之中
3. 提昇在氣候變化減緩、調適、降低衝擊與早期預警等之教育、認知、個人與機構的能力
4. 落實已開發締約國的承諾，建立綠色氣候基金
5. 提昇有效規劃與管理氣候行動的能力

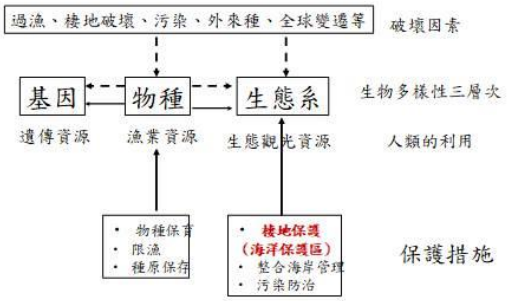
21

*(資料來源: 聯合國永續發展目標理論、策略與實踐，2017)*

# 目標十四：海洋資源的永續利用

## 目標與策略

1. 應預防和大幅減少各類的海洋污染，特別是來自陸源的海洋廢棄物和優養化
2. 對海洋和沿海生態系進行永續管理和保護，包括加強災後復原能力
3. 減少並解決海洋酸化的影響
4. 有效監管過度漁撈，以及非法的、未報告的、未受監管的（IUU），或毀滅性漁法
5. 提供小規模人工漁撈業者取得海洋資源與進入市場的管道




唯有保護海岸自然棲地與整合管理海洋生物資源才能永續利用。
虛線箭頭為破壞的因果關係，實線為經由保護而影響到的層面。

22

*(資料來源: 聯合國永續發展目標理論、策略與實踐，2017)*

## 目標十五：陸地資源的永續管理

目標與策略

1. 透過將生物多樣性納入政府和社會的主流，解決生物多樣性喪失的根本原因
2. 減輕生物多樣性的直接壓力，並促進永續利用
3. 透過保護生態系、物種和基因多樣性，改善生物多樣性的狀況
4. 提昇生物多樣性和生態系服務為人類所帶來的利益
5. 透過參與性規劃、知識管理和基礎能力建設，強化執行工作

23

*(資料來源: 聯合國永續發展目標理論、策略與實踐，2017)*

## 目標十六：創建和平、包容的社會

目標與策略

**強化「自由權」、「平等權」、「生存權」和「司法正義」：**

- 保障每一個人「不得無理予以逮捕或拘禁，非依法定理由及程序，不得剝奪任何人之自由」。
- 法律應禁止任何歧視，並保證人人享有平等而有效的保護」。平等權和自由權相同，均是以全體國民為對象，其標的在建立一個無歧視的社會。
- 「人人有權享有生命、自由和人身安全」視為基本的公民與政治權利，其中生命及人身安全即屬人民的生存權。「人人皆有天賦之生存權，此種權利應受法律保障，任何人之生命不得無法剝奪。
- 「人人完全平等地有權由一個獨立而無偏倚的法庭進行公正和公開的審訊，以確定他的權利和義務，並判定對他提出的任何刑事指控」
- 「人人在法院或法庭之前，悉屬平等。任何人受刑事控告或因其權利義務涉須予判定時，應有權受獨立無利之法定管轄法庭公正公開審問。」。

24

*(資料來源: 聯合國永續發展目標理論、策略與實踐，2017)*

# 目標十七：促進夥伴關係

## 目標與策略

**強化永續發展執行方法及活化永續發展全球夥伴關係：**

- 構建聯合國永續發展基金與建立SDG知識管理平臺以積極散播SDGs全球夥伴間的見解與經驗交流。
- 結合企業的力量協助全球建立一個公義與永續的世界，透過諮詢、研究、跨範疇合作等方式，為企業提出永續策略和解決方案之建言。
- 建立跨國企業執行SDGs，將會使執行區域更寬廣、內容更具體多元、更直接增進員工福祉，以及更有效率。
- 跨國企業營運過程中所產生的廢棄物及排放溫室效應氣體，亦需要妥善處理，才能符合現今永續發展的訴求。
- 全球夥伴關係的聚焦任務，包括: 性別平等、數位落差、建置國家能力。採取停止慈善援助的侷限性方式，改採用永續開發與共創價值的作法，以達符合善用自然資源的加乘經濟發展效應。

25

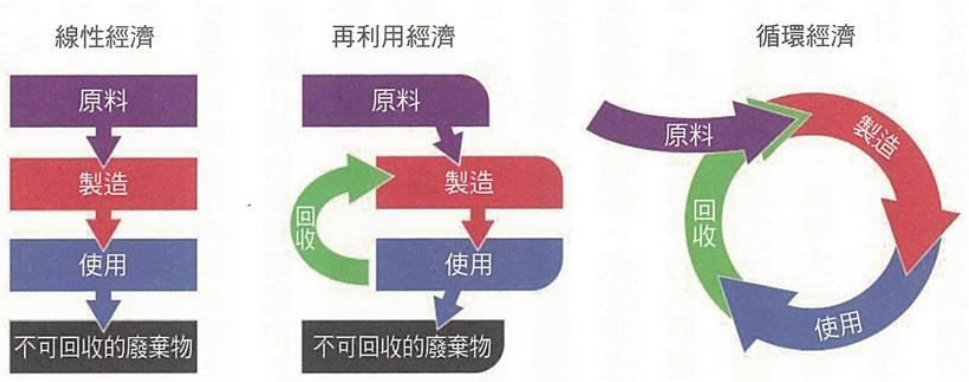
*(資料來源: 聯合國永續發展目標理論、策略與實踐，2017)*

# 二、循環經濟理念

26

## 2.1 循環經濟理念

- 循環經濟是藉由設計而形成可恢復、可再生，並讓各種產品、元件與材料在任何時間下都達到最高使用性與價值的一種經濟型態。
- 原則:保護與加強自然資本、最佳化資源使用效率(Optimize resource yields)、促進系統效益。



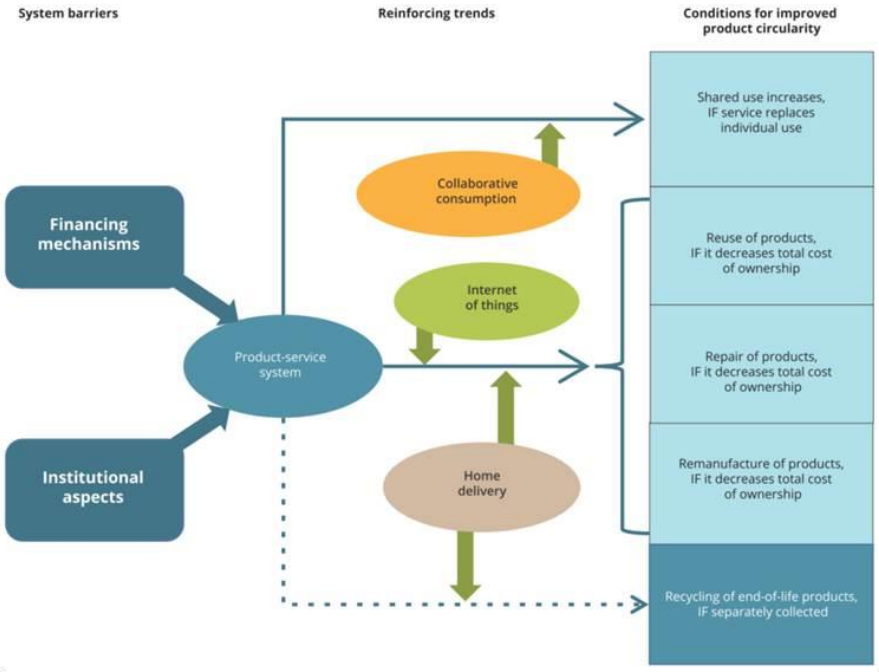

**從線性經濟邁向循環經濟圖**

27

資料來源：荷蘭政府 A Circular Economy in the Netherlands by 2050: Government-wide Programme for a Circular Economy.

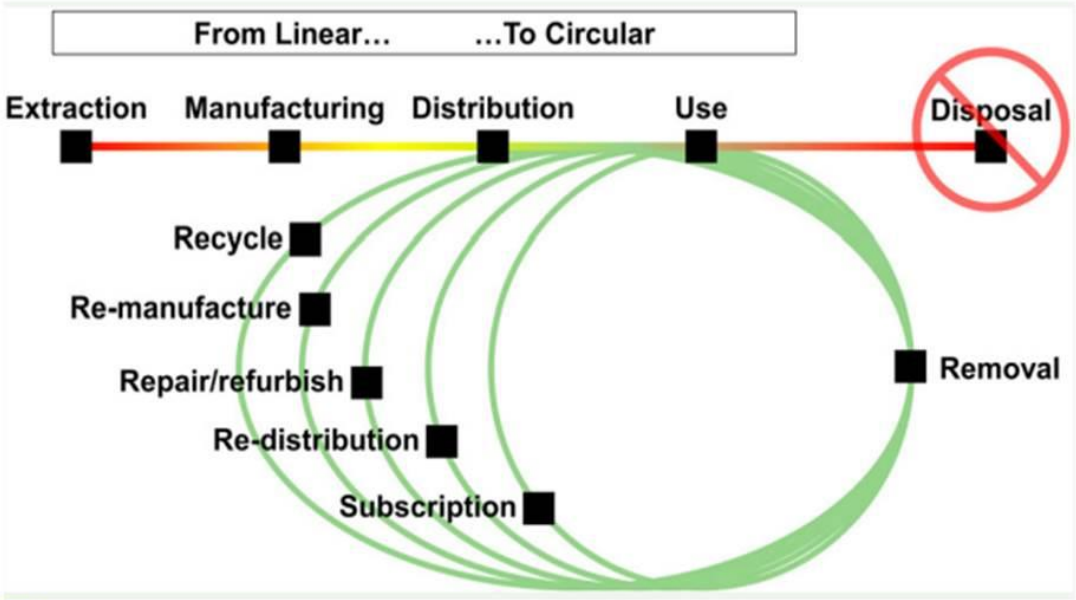
## 2.1-1 循環經濟理念

- 整合消費者需求與生產者之價值，建立產品服務體系。




28

## 2.2 循環經濟與線性經濟比較

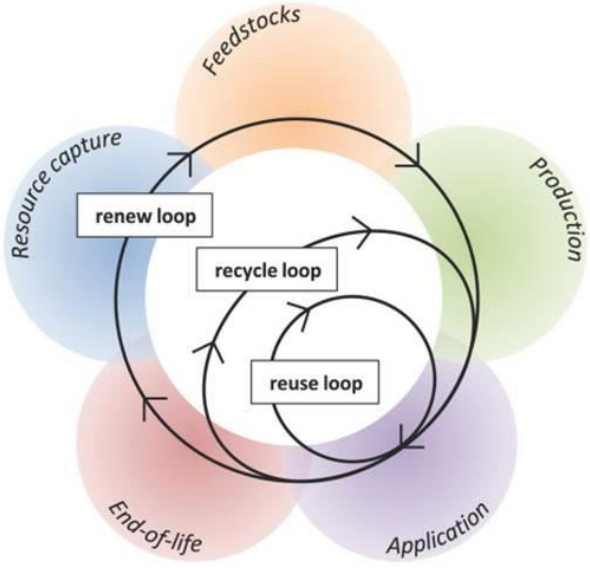



29

(Jonathan et. al., 2017)

## 2.3 綠色化學與循環經濟

- 綠色化學技術具備**應用天然材料，消除產品毒性**，轉化廢舊材料與使用可再生能源之發展潛力，皆屬於循環經濟的重要原則之一，其相關連結包含：
- (1)**產品設計包裝**；
- (2)使用**再生能源與天然材料**
- (3)**產品效益多樣性選擇**；
- (4)**跨領域合作**等。



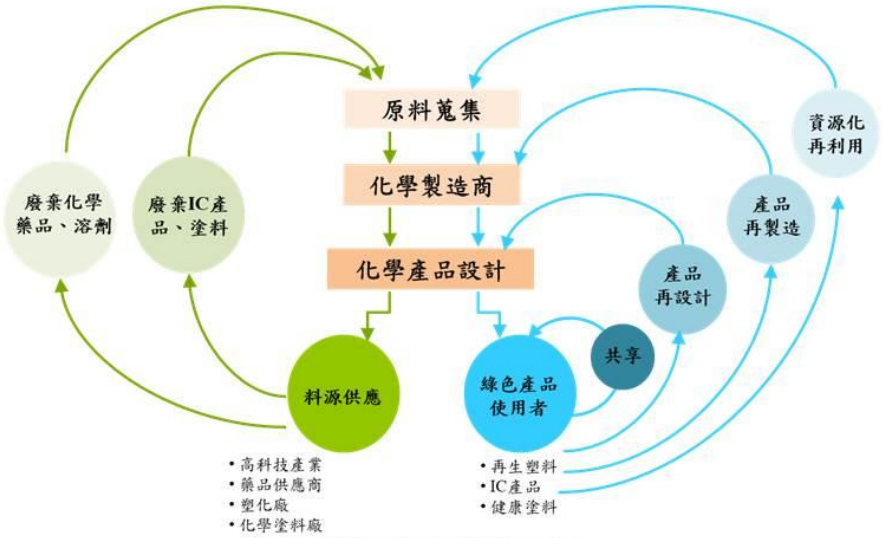

循環經濟體系中化學產品之生命週期階段示意圖

30

(資料來源：James, et. al., 2016)

## 2.3 綠色化學與循環經濟

- 建立綠色化學循環經濟體系必須考量到化學製程監督體系、原物料來源控管、產品設計與品質品管保證、有力的產品認證體系以及結合跨產業之能資源鏈結。

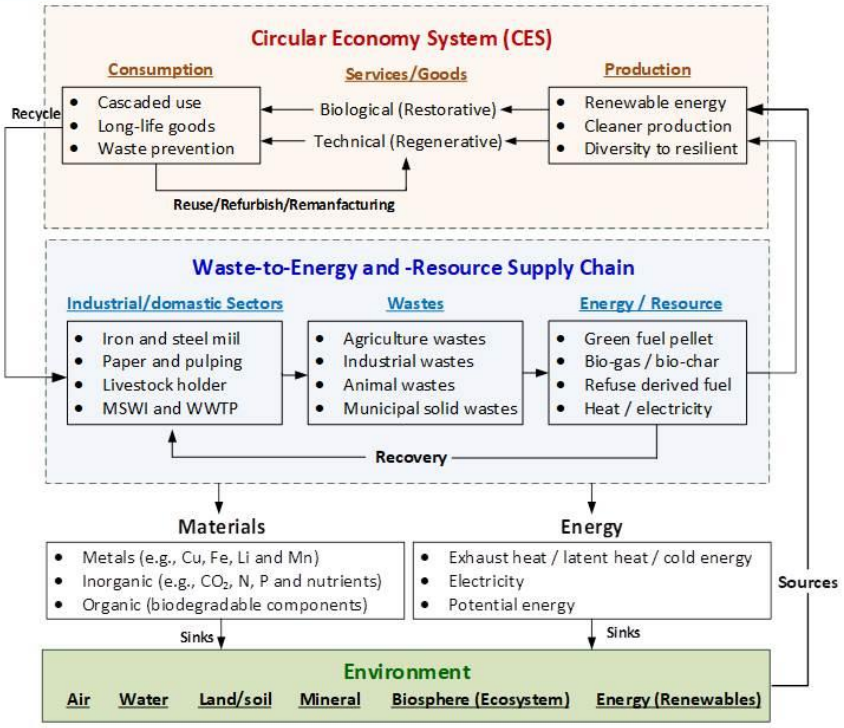



綠色化學與循環經濟示意圖

(資料來源：EMA Foundation, 2016)

31

## 2.4 建立綠色供應鏈邁向循環經濟體系




32

# 2.5 循環經濟願景

**Missions: Green Supply Chains**

- Optimization of resources allocation, increase benefits, and achieve environmental compatibility
- Maximization of economic benefits while protecting the environment and conserving resources
- Assessment of life cycle of the product

**Vision**

**Vision: Green Economy**

- Improvement of human well-being and social equity
- Reduction of environmental risks and ecological scarcities
- Low carbon, resource efficient, socially inclusive

**Mission**

**Strategy**

**Strategies: Green Technology, Industry and Consumption**

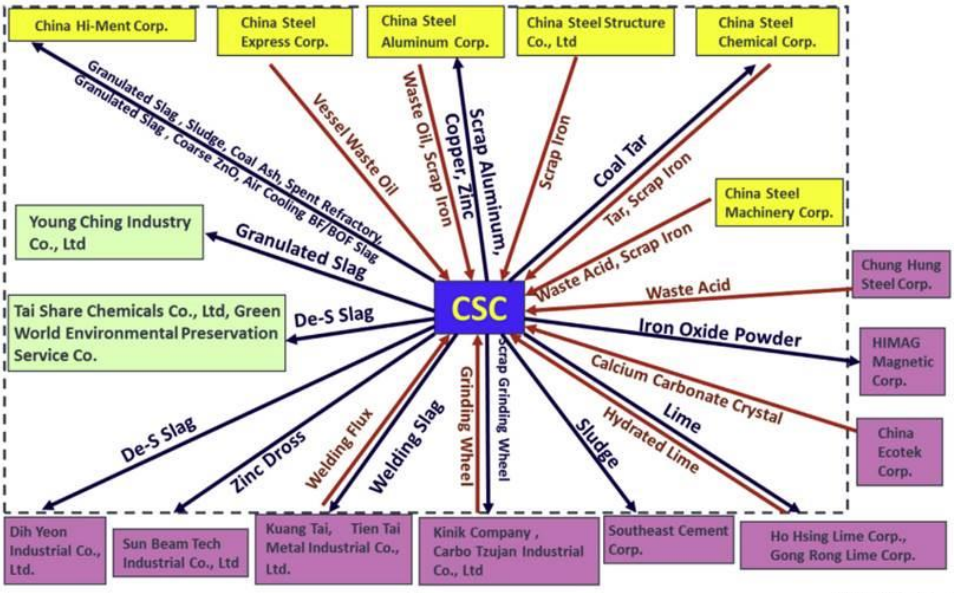
- Implementation of National Sustainable Policy
- Economic Incentive and Price Support
- Integration of Best Available Technologies for Innovation
- Construction of Network System among Central and Local Governments

Visions, missions and strategies of a green economy towards sustainable development (Chiang and Pan, 2017).

33

# 2.6-1 循環經濟示範案例：鋼鐵業

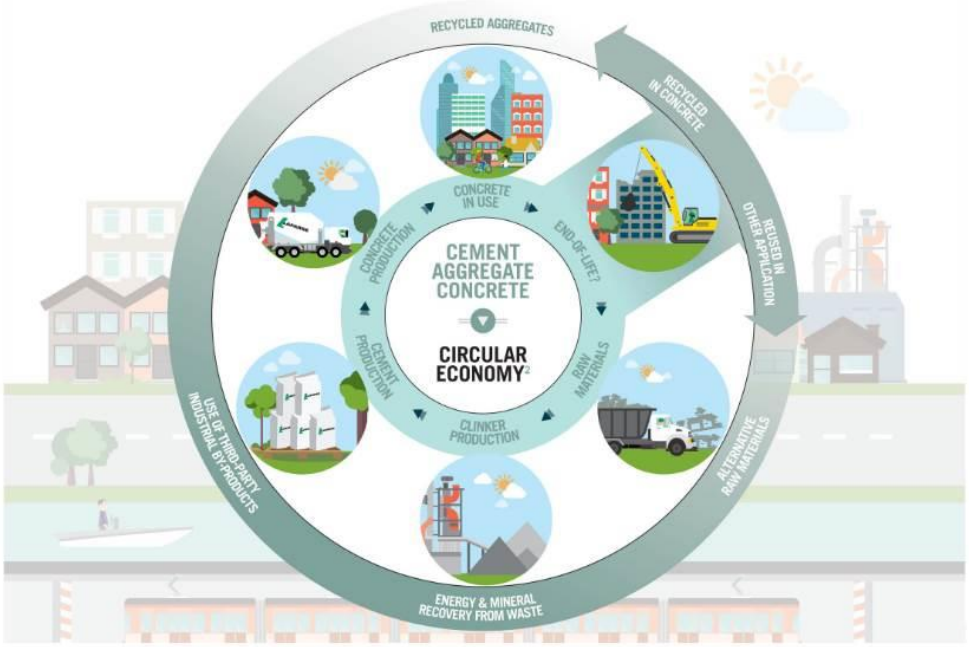
- 鋼鐵廠廢棄物例如爐碴與汙泥等可提供給再利用廠商進行資源化產品
- 部分餘熱可回收經由汽電共生系統再利用




34

資料來源:Li，2015

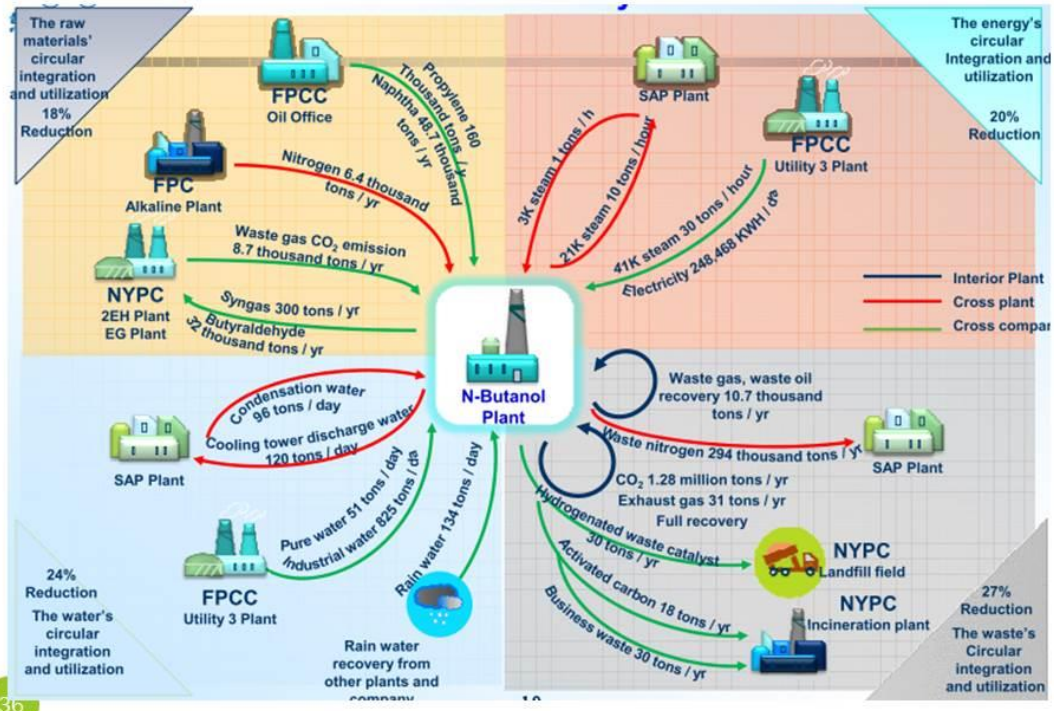
## 2.6-2 循環經濟示範案例：水泥業




35

資料來源:Li，2015

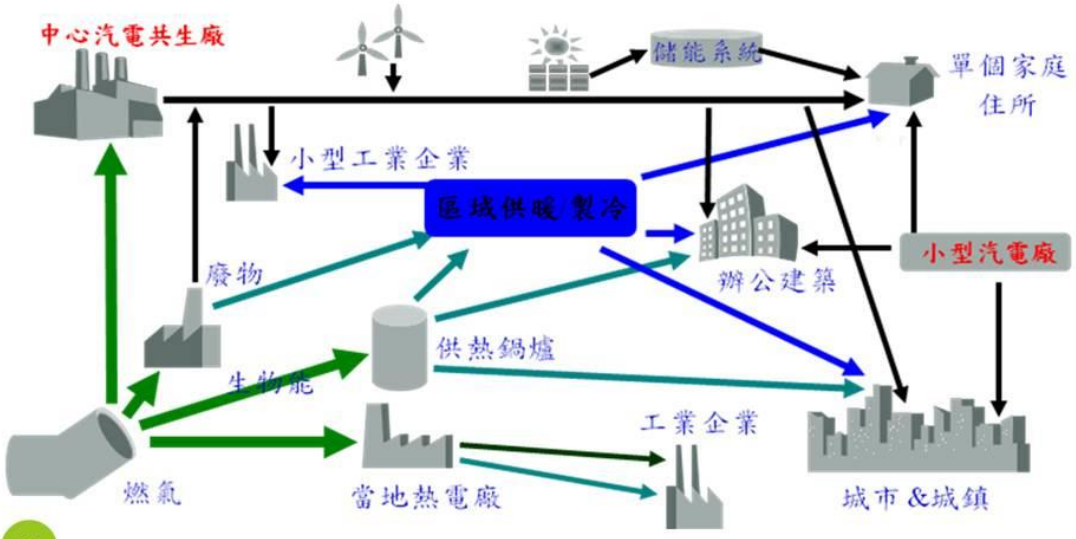
## 2.6-3 循環經濟示範案例：石化業




36

## 2.6-4 循環經濟示範案例：電力業

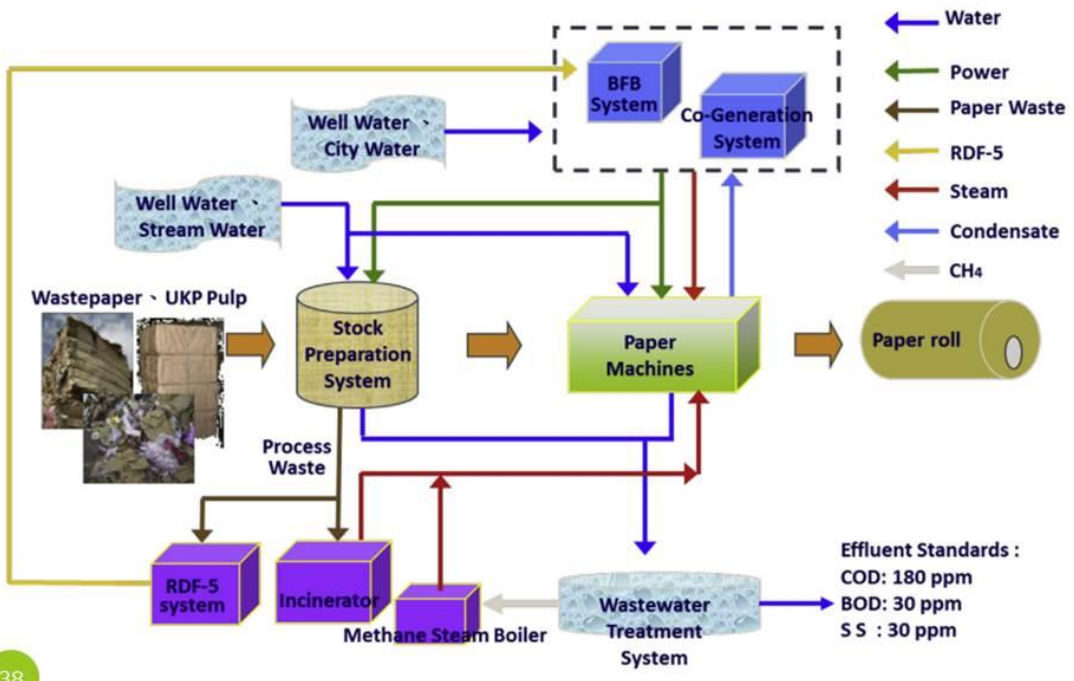
- 供熱：區域性CHP廠結合生質能源以供給區域性之工業用電及住宅用電、加熱。
- 製冷：海水（自然冷卻方式）、汽電共生系統剩餘之蒸汽、及焚化爐之廢水熱能。
- 智慧電網：能源之分配效率最大化，燃料及系統彈性最大化。




37

資料來源：Christensen，（2012）

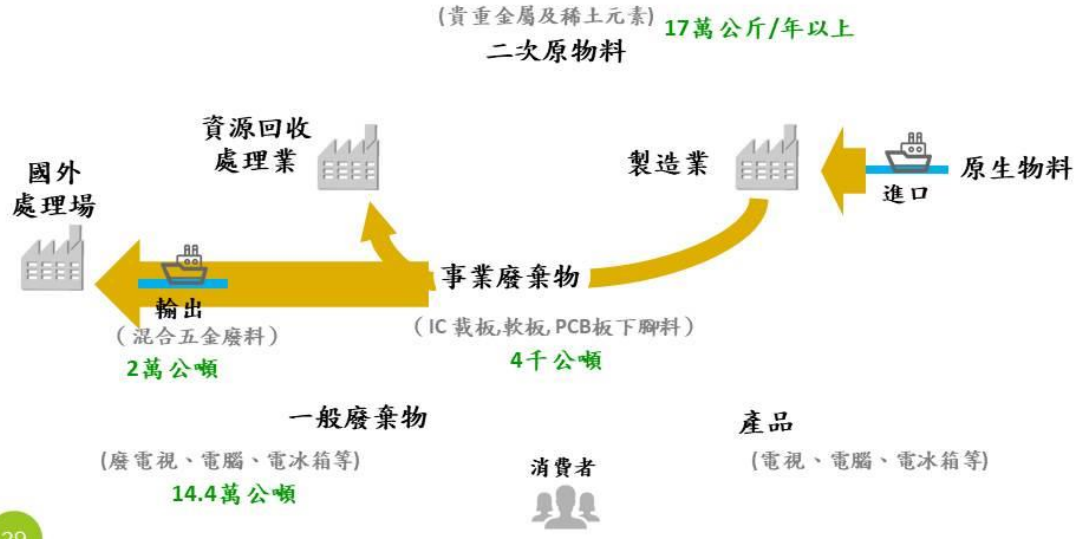
## 2.6-5 循環經濟示範案例：造紙業




38

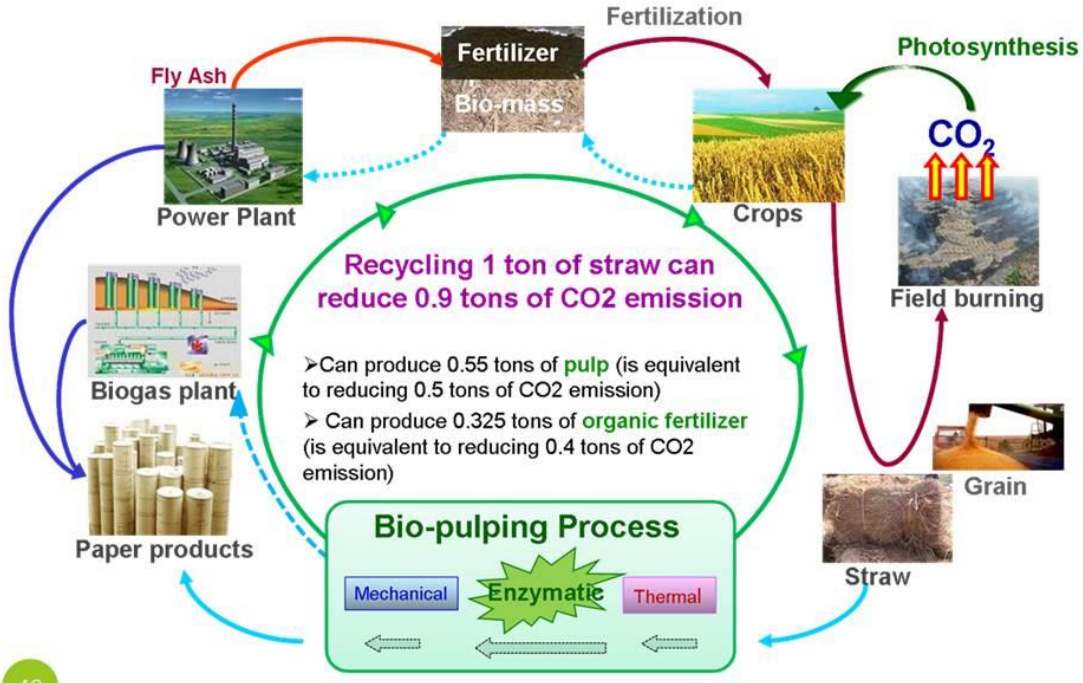
## 2.6-6 循環經濟示範案例：電子業

- 電子廢棄物中微量的貴重金屬及稀土元素，是重要的戰略物資。目前國內已透過回收技術的提升，將電子廢棄物中的有用物質精煉再製，送回產業鏈使用




39

## 2.6-7 循環經濟示範案例：農林業




40

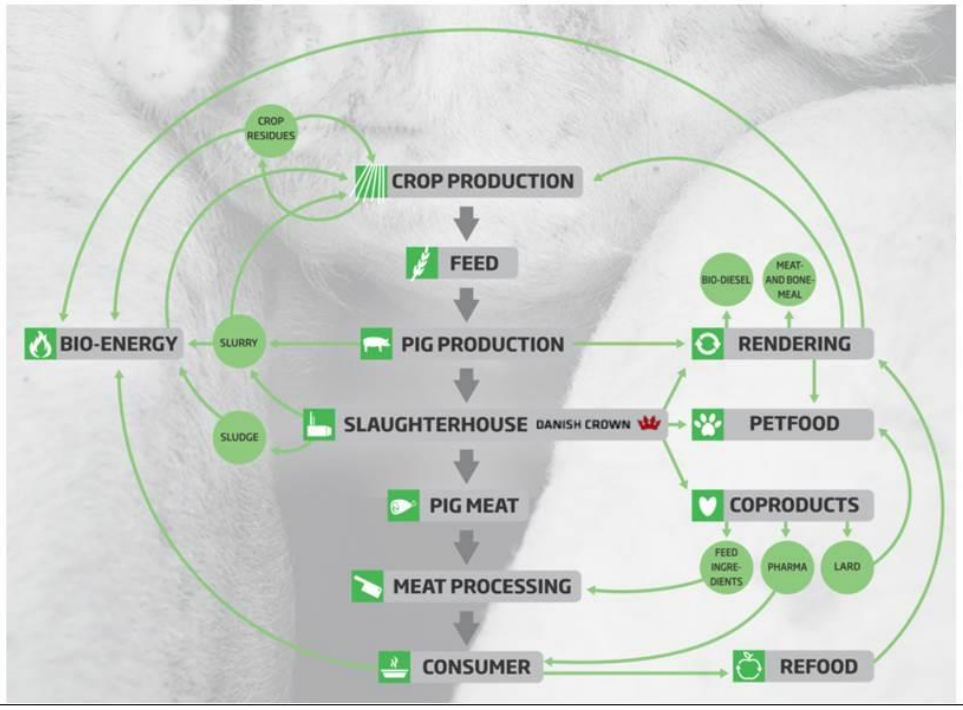
## 2.6-7 循環經濟示範案例：農林業

- 沼氣收集系統

41

## 2.6-7 循環經濟示範案例：農林業

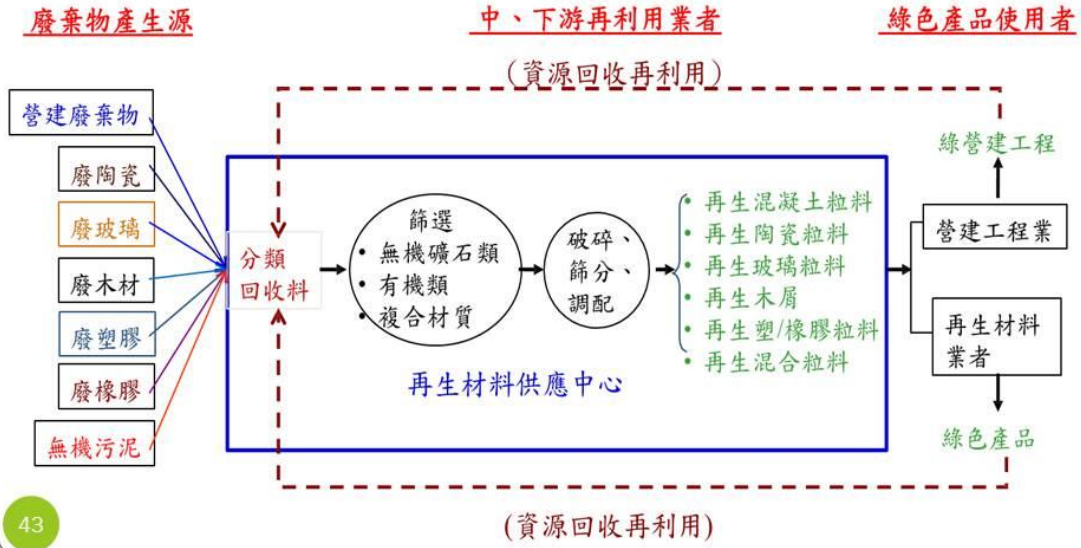
- 養豬業與農業結合




42

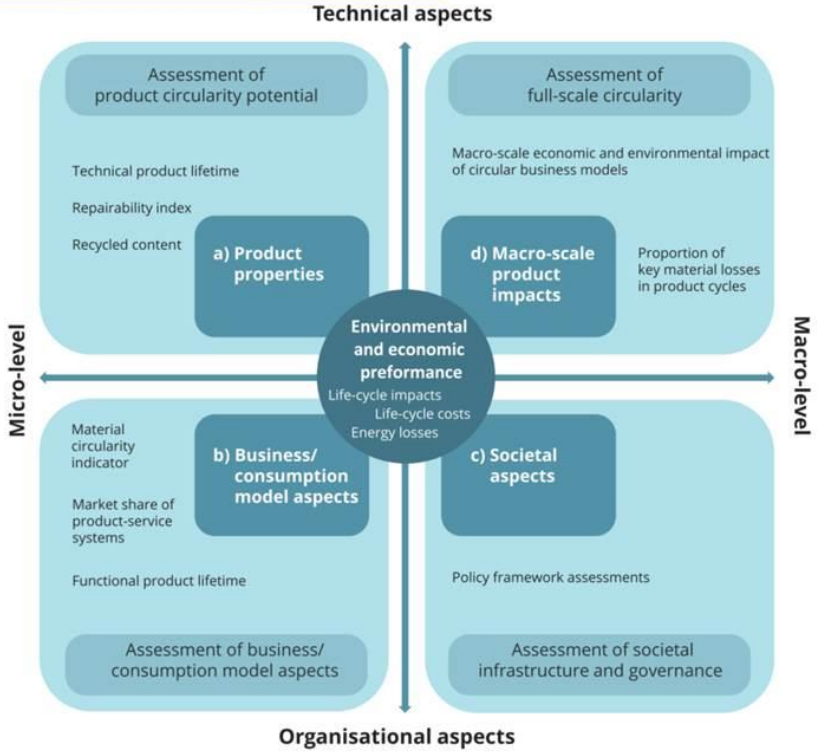
## 2.6-8 循環經濟示範案例：建築業

- 綠建築目前以推動再生綠建材為主，其推動策略應**整合其對於建築與環境效益**，**減少原物料用量**、**減少廢棄物處理成本**、**減少能耗與碳排放**、提高資源永續利用程度、提高產業競爭力以及提高產品附加價值，最後推動再生綠建材之循環經濟體系。




43

## 2.7 建立循環經濟評估體系




44

# 三、綠色化學十二原則

45

## 3.1 綠色化學定義

- 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、水汙染、重金屬等。
- 具體且周全的設計是確認生產時各步驟皆為不可再簡化的，且**必須修正操作至符合綠色化學的12條準則**，並**增加產物與副產物的生命週期**。

46

## 3.2 綠色化學十二原則

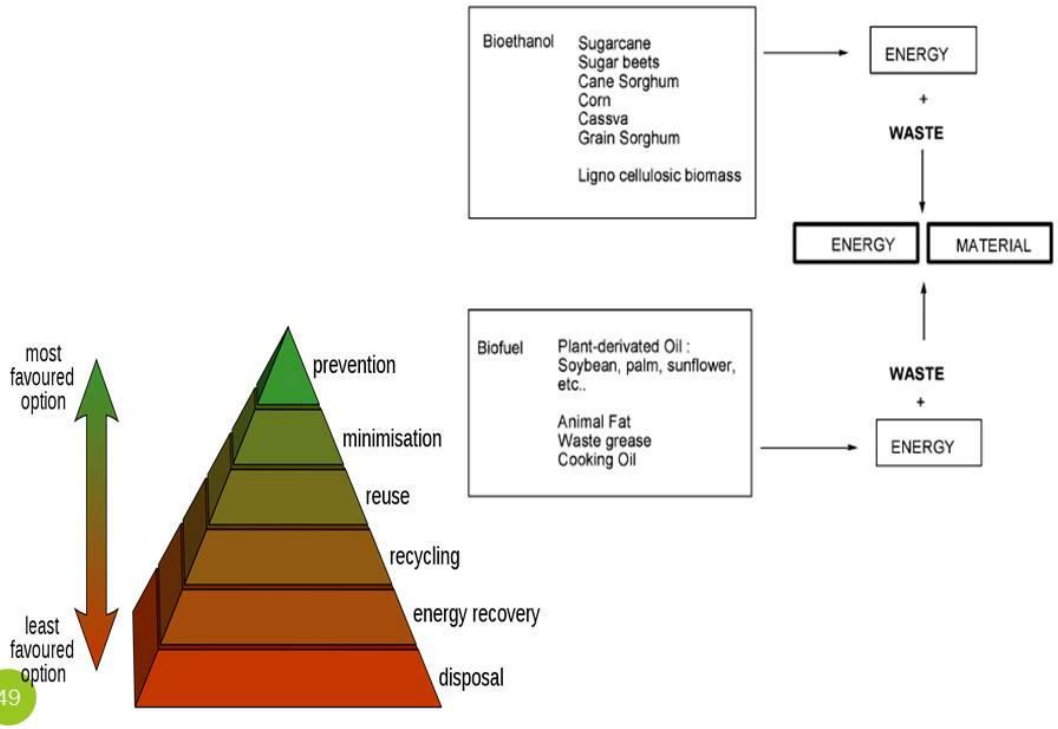
| 項目 | 綠色化學原則 | 定義說明 |
|---|---|---|
| 1 | 防止廢棄物 | 從化學合成或產品生產過程中，避免廢棄物的生成，從源頭防治污染 |
| 2 | 原子經濟 | 設計合成方法最佳化，使得製程中所採用的所有原料進入最終產品之中 |
| 3 | 較少的有害化學合成 | 使得所使用與產生的化學物質對人體健康和環境無毒無害 |
| 4 | 設計更安全的化學品 | 設計化學產品具有高效的功能與最低的毒性。 |
| 5 | 更安全的溶劑與助劑 | 避免使用溶劑、分離試劑等助劑，如不可避免時，也要選用無毒無害的助劑。 |
| 6 | 設計能源效率 | 選擇常溫與常壓下進行化學合成以降低製程的能耗 |
| 7 | 使用再生原料 | 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 | 避免使用與產生不必要的衍生物 |
| 9 | 選擇良好的催化劑 | 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 | 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 | 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 | 使用與生產可降低意外事故如洩漏、爆炸、火災等的化學品 |

## 3.2 綠色化學十二原則

- 12項綠色化學原則可簡化成**PRODUCTIVELY**（Tang, Smith, & Poliakoff, 2005）：
  - P：Prevent wastes（避免廢棄物）
  - R：Renewable materials（可再次使用的材料）
  - O：Omit derivatization steps（省略多餘的步驟）
  - D：Degradable chemical products（可分解的化學產物）
  - U：Use safe synthetic methods（使用安全的生產方式）
  - C：Catalytic reagents（適當的催化物質）
  - T：Temperature, pressure ambient（溫和的溫度與壓力）
  - I：In-process monitoring（製程中監控）
  - V：Very few auxiliary substance（較少的輔助試劑）
  - E：E-factor, maximize feed in product（提高反應物轉化為產物的效率）
  - L：Low toxicity of chemical products（毒性低的化學物質）
  - Y：Yes, it is safe（確保整體的安全性）

48

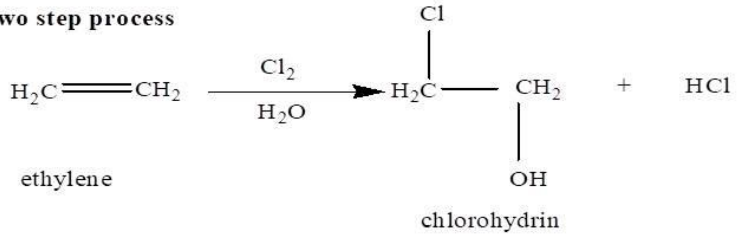
## 3.2-1 防止廢棄物




49

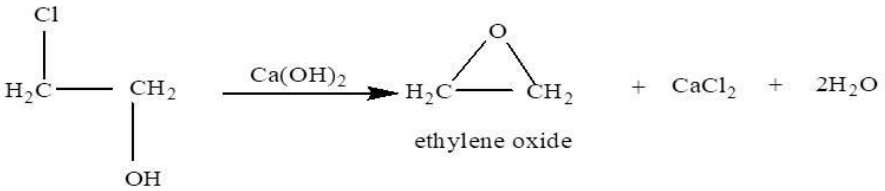
## 3.2-2 原子經濟

**(A) Two step process**




ethylene

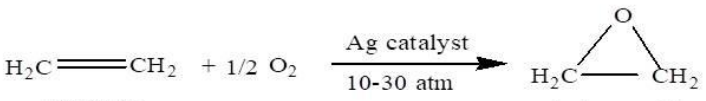
chlorohydrin




chlorohydrin

ethylene oxide

**(B) One step process**




ethylene

ethylene oxide

50

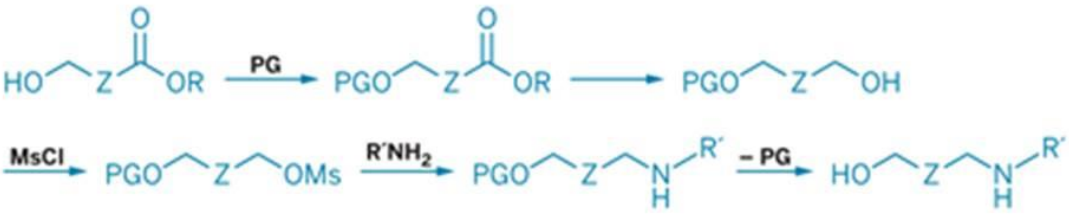
## 3.2-2 原子經濟

| Process | Reactant | | Product | | | | Atom economy |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Utilized | | Non utilized | | |
| | Formula | Formula weight (g/mol) | Formula | Formula weight (g/mol) | Formula | Formula weight (g/mol) | |
| **chlorohydrin process (E-factor =5)** | $C_2H_4$ | 28 | $C_2H_4$ | 28 | | | |
| | $Cl_2$ | 71 | | 0 | $Cl_2$ | 71 | |
| | $H_2O$ | 18 | O | 16 | $H_2$ | 2 | |
| | $Ca(OH)_2$ | 74 | | 0 | $Ca(OH)_2$ | 74 | |
| | $CH_4H_8O_3CaCl_2$ | 191 | $C_2H_4O$ | 44 | $H_4O_2CaCl_2$ | 147 | 44/191=23% |
| **catalytic oxidation process (E-factor =0.3)** | $C_2H_4$ | 28 | $C_2H_4$ | 28 | | 0 | |
| | ½ $O_2$ | 16 | O | 16 | | 0 | |
| | **$C_2H_4O$** | **44** | **$C_2H_4O$** | **44** | | | **44/44= 100%** |

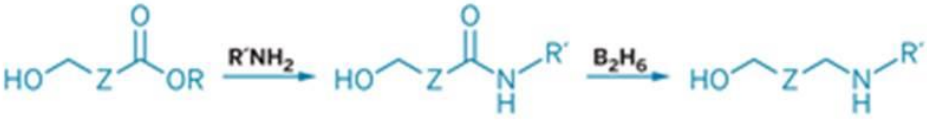
51

## 3.2-3 較少的有害化學合成

**Initial process:**




**Greener process:**




**Z = $CH_2$, NH, O, or S; PG = protecting group; Ms = methanesulfonyl**

Amino-alcohol production

52

## 3.2-4設計更安全的化學品

MOLECULAR MATERIALS INFORMATICS

### Green Metrics

$$\textbf{Yield} = \frac{\text{molar mass of product}}{\text{molar mass of limiting reactant}}$$

$$\text{Process Mass Intensity (}\textbf{PMI}\text{)} = \frac{\text{mass of all reactants}}{\text{mass of products}}$$

$$\textbf{E-factor} = \frac{\text{mass of waste}}{\text{mass of products}}$$

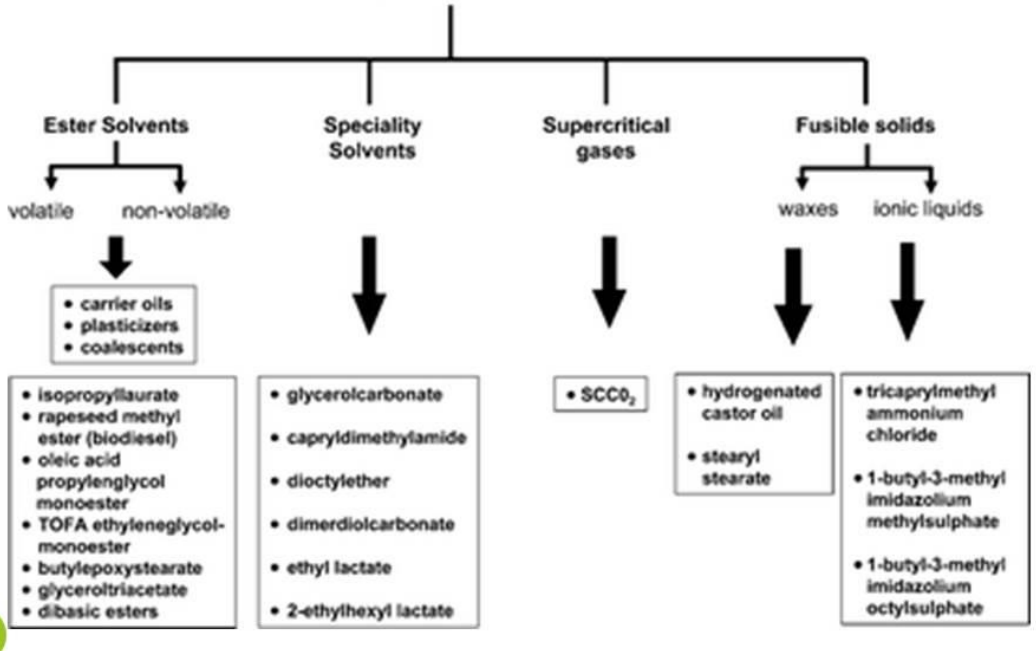
$$\textbf{Atom Economy} = \frac{\Sigma \text{ molecular weight products}}{\Sigma \text{ molecular weight reactants}}$$

53

- Trivial calculations… if the information is available.

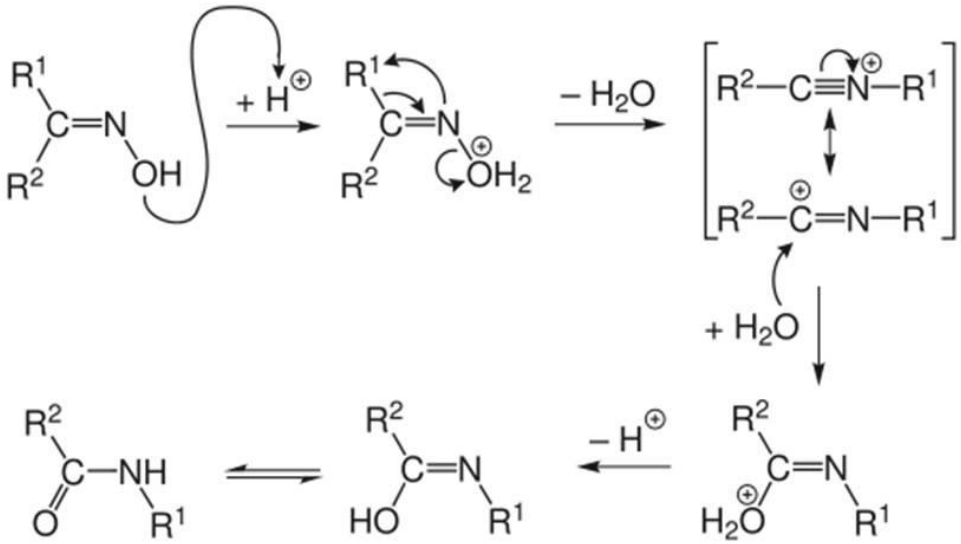
## 3.2-5更安全的溶劑與助劑

### Green Solvents




54

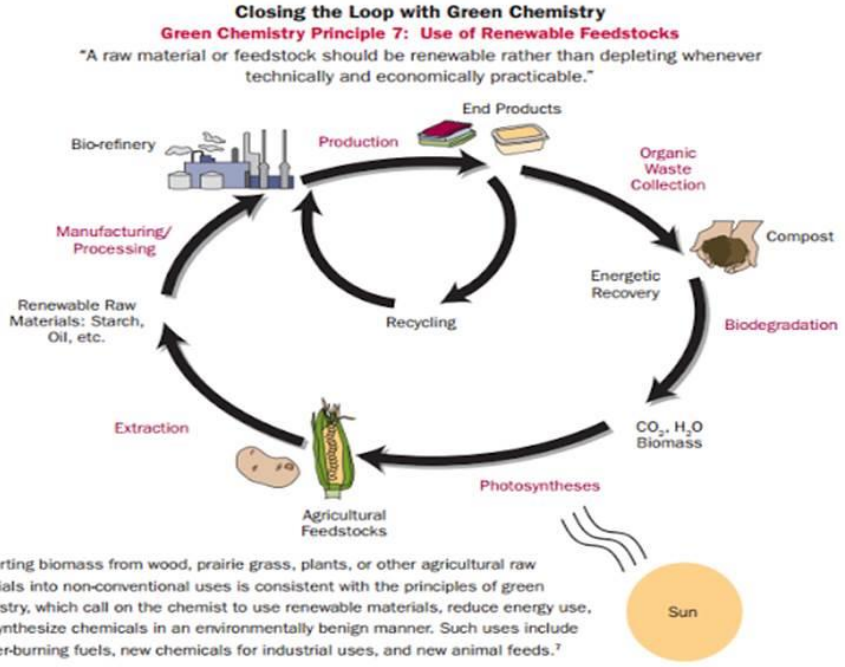
## 3.2-6 設計能源效率



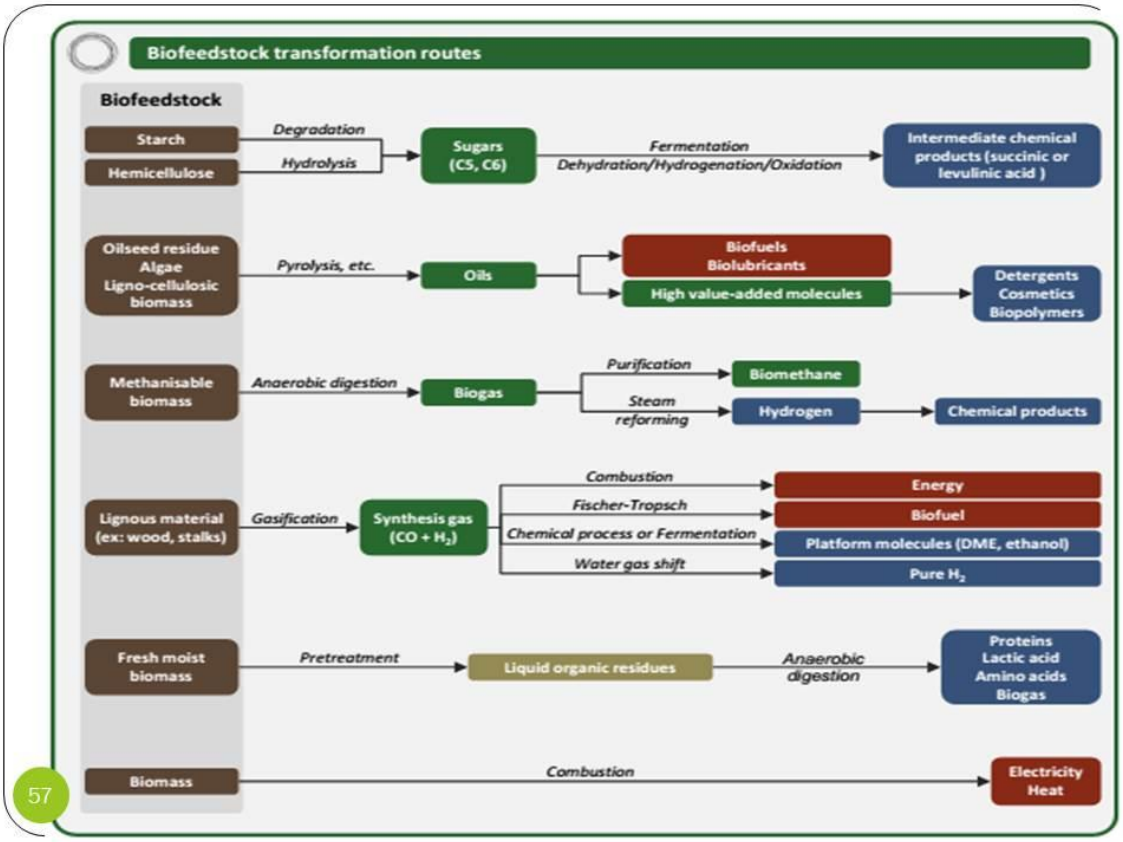
微波輻射：微波源的反應已經在固體載體如粘土，矽膠等中進行，消除或最小化溶劑的使用；反應發生的速度快於加熱。

55

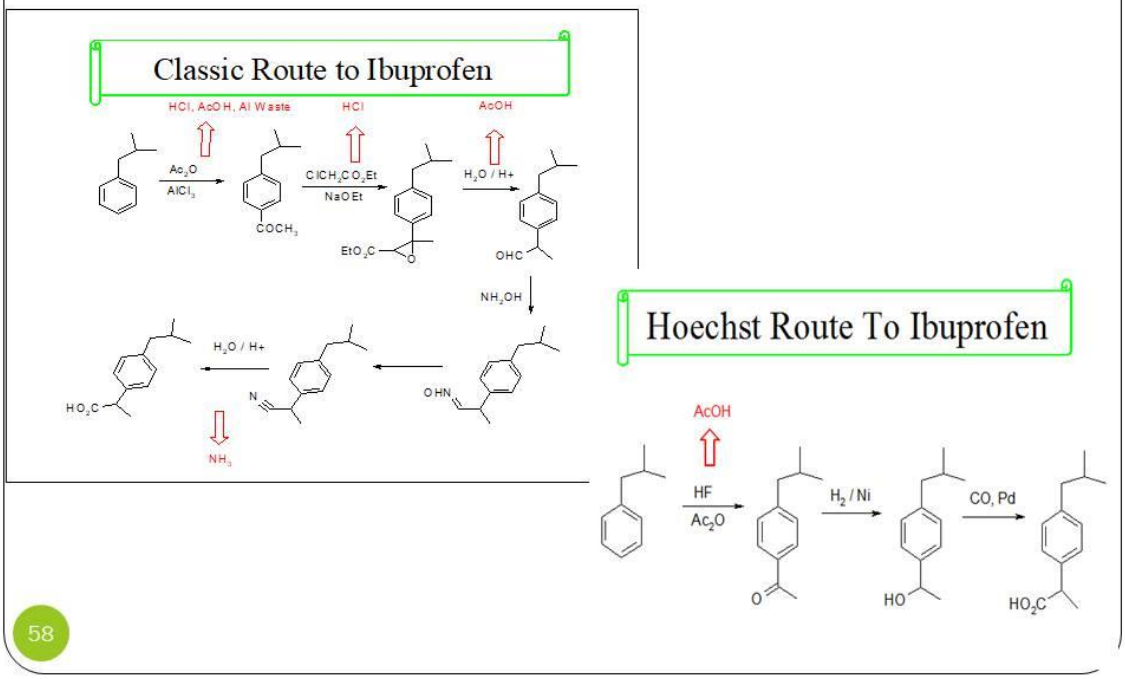
## 3.2-7使用再生原料



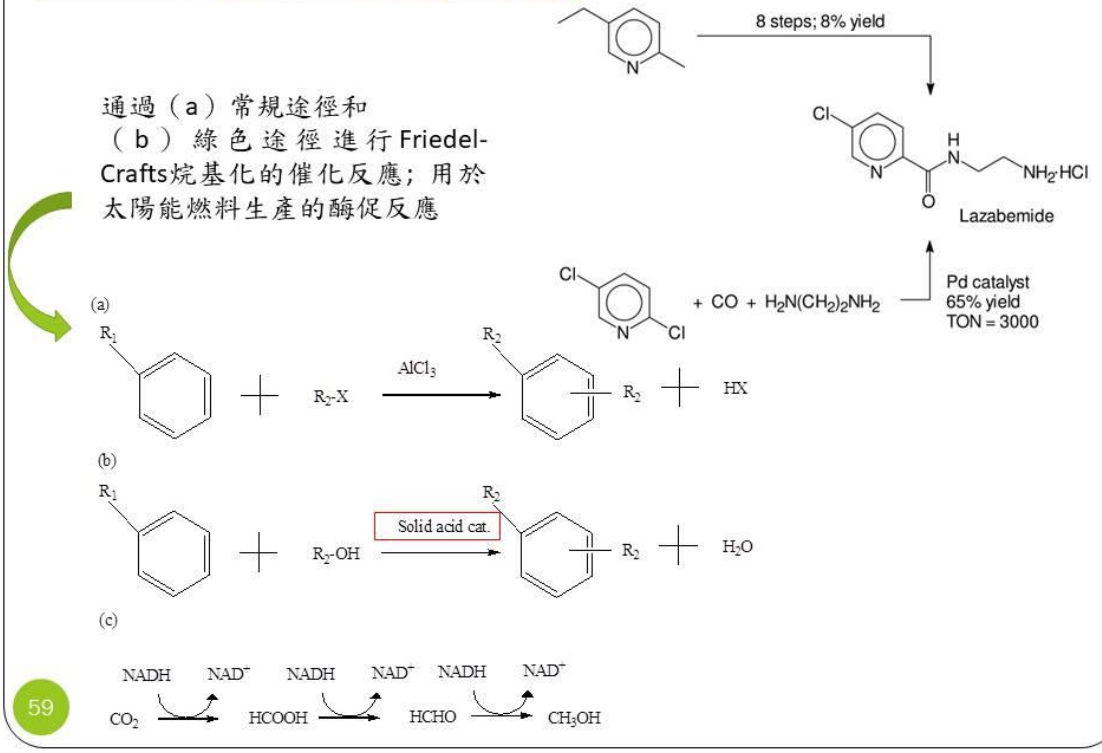

56


Biofeedstock transformation routes
Biofeedstock
Starch
Hemicellulose
Degradation
Hydrolysis
Sugars (C5, C6)
Fermentation
Dehydration/Hydrogenation/Oxidation
Intermediate chemical products (succinic or levulinic acid )
Oilseed residue
Algae
Ligno-cellulosic biomass
Pyrolysis, etc.
Oils
Biofuels
Biolubricants
High value-added molecules
Detergents
Cosmetics
Biopolymers
Methanisable biomass
Anaerobic digestion
Biogas
Purification
Steam reforming
Biomethane
Hydrogen
Chemical products
Lignous material (ex: wood, stalks)
Gasification
Synthesis gas (CO + H2)
Combustion
Fischer-Tropsch
Chemical process or Fermentation
Water gas shift
Energy
Biofuel
Platform molecules (DME, ethanol)
Pure H2
Fresh moist biomass
Pretreatment
Liquid organic residues
Anaerobic digestion
Proteins
Lactic acid
Amino acids
Biogas
Biomass
Combustion
Electricity
Heat
57

## 3.2-8 減少衍生物


Classic Route to Ibuprofen
HCl, AcOH, Al Waste
HCl
AcOH
Ac2O
AlCl3
ClCH2CO2Et
NaOEt
H2O / H+
NH2OH
NH3
Hoechst Route To Ibuprofen
AcOH
HF
Ac2O
H2 / Ni
CO, Pd
58

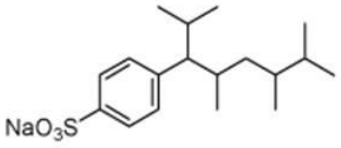
# 3.2-9 選擇良好的催化劑



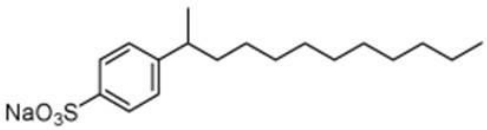

通過（a）常規途徑和（b）綠色途徑進行Friedel-Crafts烷基化的催化反應；用於太陽能燃料生產的酶促反應

59

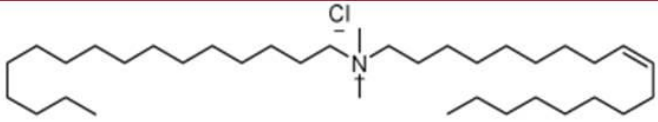
# 3.2-10 可降解之設計



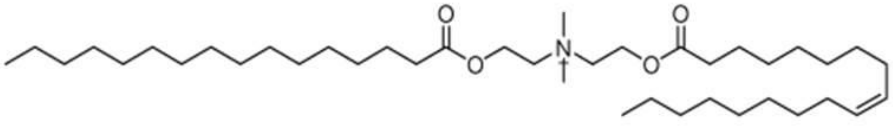
Tetrapropylene benzene sulfonate
TPPS



Linear alkylbenzene sulfonate
LAS



Di(hydrogenated)tallowdimethylammonium chloride (DHTDMAC) -
Biodegradability test : 0-5%

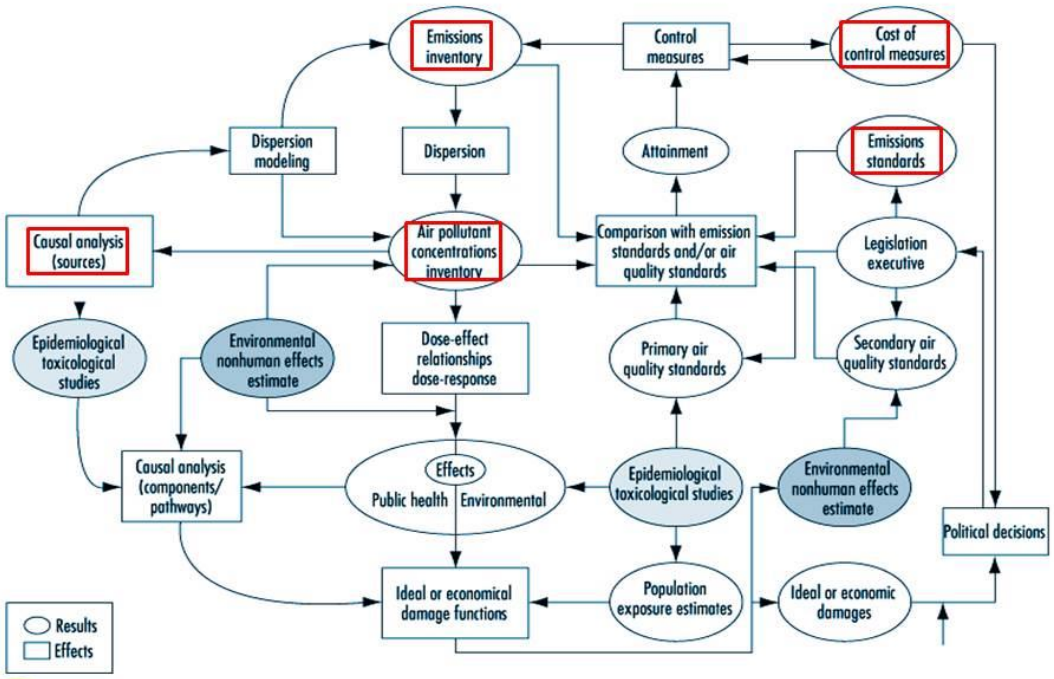


Di(ethyl ester)dimethylammonium chloride (DEEDMAC) - Biodegradability test : 76%

60

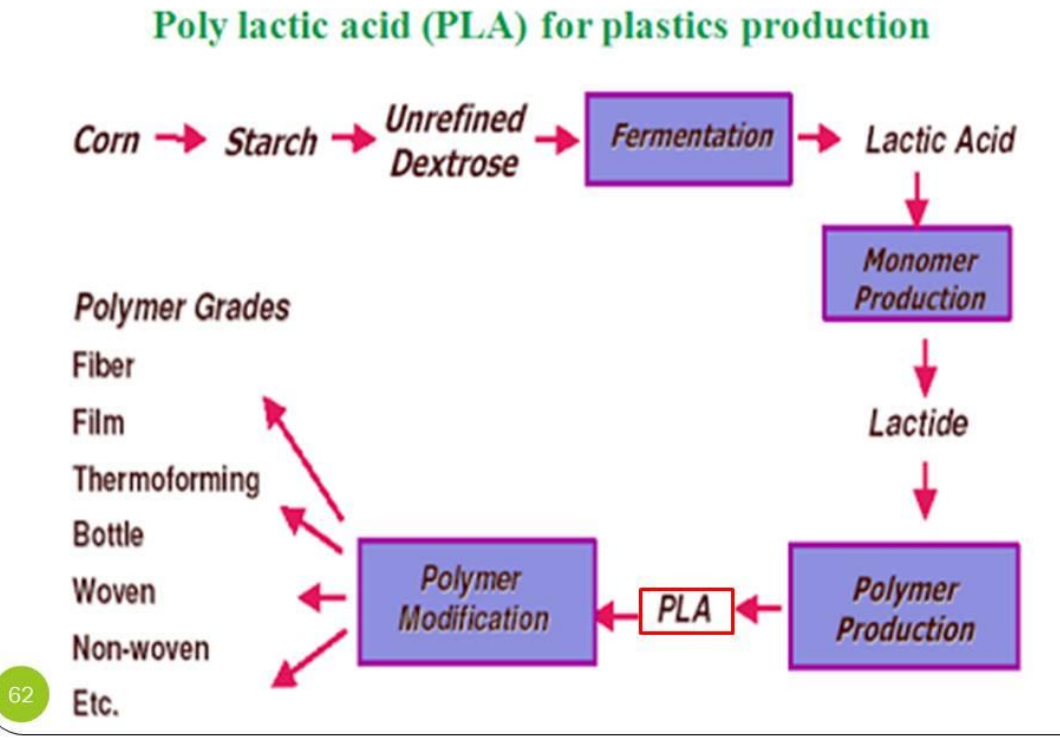
將生物降解性整合在表面活性劑的設計

## 3.2-11 即時分析污染防治




61

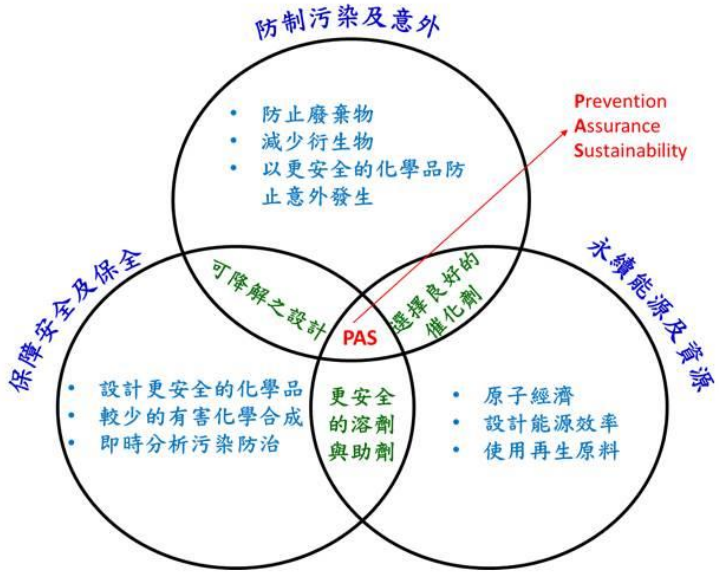
## 3.2-12 以更安全的化學品防止意外發生




62

## 3.3 研擬綠色化學P-A-S策略

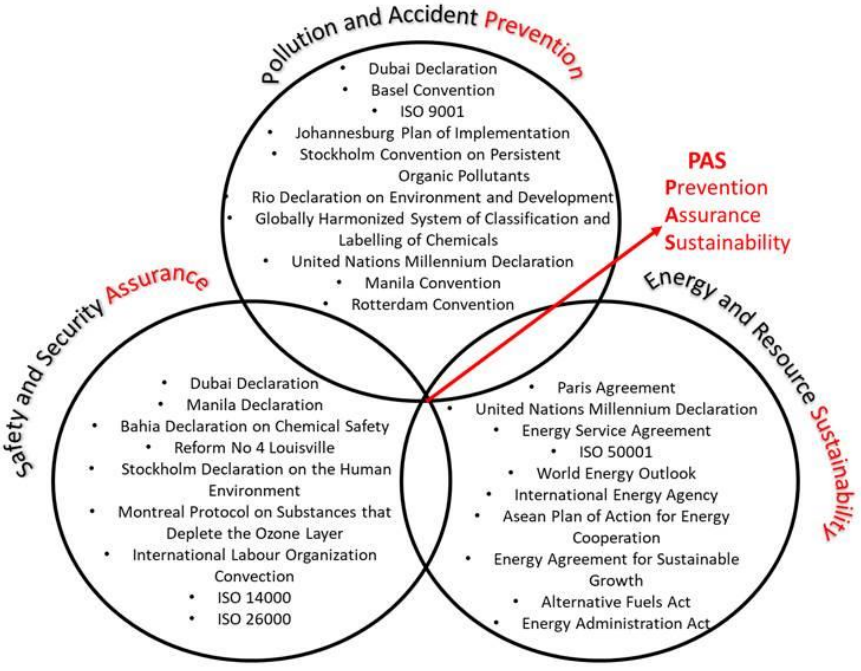
- 防制污染及意外(Pollution and Accident **Prevention**)
- 保障安全及保全(Safety and Security **Assurance**)
- 永續能源及資源(Energy and Resource **Sustainability**)




63

## 3.3 研擬綠色化學P-A-S策略

將中所有與綠色化學有相關之國際公約與法令依照P-A-S策略進行分類




64

# 3.4 永續發展目標與綠色化學十二原則

- **SDGs與綠色化學相關的包含：**
  - **SDG 3(健康與福祉)**：安全的化學藥品有助於保障人體健康與勞工安全；
  - **SDG 6(清潔水資源)**：降低化學製程副產物排放，可保障潔淨飲用水；
  - **SDG 7(可負擔之清潔能源)**：藉由發展清潔能源可提升化學製程的能源效率；
  - **SDG 8(永續經濟成長)**：發展綠色化學產業，促進循環經濟體系；
  - **SDG 9(創新產業與基礎設施)**：減少化學合成程式，加快化學製程生產效率，發展創新綠色化學產業；
  - **SDG 11(永續社區與城市)**：推動綠色化學是促進城市永續發展之途徑之一；
  - **SDG 12(確保永續消費及生產模式)**：減少石油產品的使用，減緩其消耗，避免其危害和價格波動；
  - **SDG14&SDG 15(海洋與陸地資源永續)**：降低有害化學物質，減少化學物質對生態系統的破壞

65

*(Ref: UN, 2016; USA EPA, 2017)*

# 3.4 永續發展目標與綠色化學十二原則

66

## 3.4 永續發展目標與綠色化學十二原則

- 永續發展需符合公平性（Fairness）、永續性（Sustainability）及共同性（Commonality）三大原則，聯合國已於1993年成立永續發展委員會，教育全球大眾對環境、經濟和社會資源之平衡，以達三者之永續發展。
- 任一綠色化學之技術及製程需符合1998 年的綠色化學12條原則，若從12條原則中歸納綠色化學與永續發展之關聯，可從經濟性、材料及廢棄物加以切入：
  - 經濟性：綠色化學的核心為從原子經濟性（即原子利用率）進行設計，故在成本（包括環境成本）上通常低於傳統工業上的直接反應。
  - 材料：綠色原料除需有效率的用於生產製程外，亦盡可能完全回收，減少甚至不使用非再生原料。
  - 廢棄物：在製造過程中盡可能減少或消除廢棄物的產生，亦即從源頭減量，以符合綠色化學的永續性觀點。

13

## 3.4 永續發展目標與綠色化學十二原則

- 根據WHO，減少危險化學品的接觸對實現永續發展目標至關重要，包含：

- 到2030年，按照既定的國際公約，實現**化學品與其廢棄物在其整個生命週期內的無害化環境管理**，並大幅減少其向空氣，水和土壤的排放，以盡量減少對人類健康和環境的不利影響。(Target 12.4).

- 到2030年，**大幅度減少危險化學品和空氣，水土污染和污染造成的死亡人數和疾病人數**。(Target 3.9).

- 到2030年，通過減少污染，**減少危險化學品與廢棄物的排放**，將未經處理的廢水比例減半，大幅提高全球的回收和安全再利用，改善水質。(Target 6.3).

13

# 四、國際綠色化學發展情勢

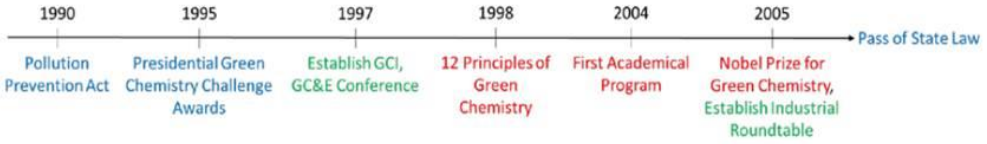
69

## 4.1 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<br>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;<br>➢ 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<br>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。<br>➢ 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<br>➢ 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<br>➢ 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。 |

## 4.2 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

71

## 4.2 國際綠色化學發展方向：美國

美國總統綠色化學挑戰獎於2006年至2012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) |
|---|---|---|---|---|---|
| 2006 | 可保留產品中的活性成分之新型生產β-氨基酸的綠色製程 | 重新整合生產產品時的製造流程 | 從生質丙三純製備丙烯乙二醇 | 用於印刷工業中之環境友善溶劑 | Atorva 立脂妥膜衣錠(Atorvastatin)綠色合成方式 |
| 2007 | 發展並商業化應用對環境友善的木質材料黏著劑 | 由豆類成分製成可燃性泡棉，可運用於家具及寢具中 | 利用氫氣進行碳原子鍵結反應 | 以超臨界$CO_2$進行醫學滅菌，取代舊有使用乙烯氧化物及γ-射線的滅菌法 | 以奈米觸媒選擇性直接合成過氧化氫 |
| 2008 | 以生物方式發展並商業化雷射印表機所使用之碳粉 | 廣泛使用以自然原料為主的殺蟲劑 | 硼酯化合物的綠色製備方式 | 新的鹼金族元素安定方式 | 冷卻水系統化學及控制技術 |
| 2009 | 以不使用溶劑的生物催化方式製造化妝品及個人保健食品 | 樹酯與酯類製備成的低揮發性的醇酸類油漆 | 以銅觸媒及環境友善還原劑進行自由基轉移聚合反應 | 以異相觸媒將植物糖反應為液體碳氫燃料 | 設計新的分析用標籤蛋白質 |
| 2010 | 以過氧化氫創新技術製備對環境友善的環氧丙烷 | 利用特利(Treattaromes™)香料做為天然殺蟲劑 | 回收$CO_2$生物合成高碳(碳數大於2)醇類 | 微生物生產再生燃料與化學原料 | 以生物酵素合成佳糖維(Sitagliptin) |
| 2011 | 利用可再生的原料以較低的成本製造基礎化學藥品 | 以水相製備丙烯酸醇酸樹脂 | 降低有機溶劑依賴性相關研究 | 以生質作物為原料生產丁二酸 | 高分子薄膜科技 |
| 2012 | 以生物催化的方式有效率地製造怯脂寧(Simvastatin) | 利用酵素降低製造高品質紙張及紙板所需要的能量 | 藉由$CO_2$及一氧化碳製備生物可降解高分子 | 以金屬觸媒生產綠色化學品 | 從礬土提煉純鋁之綠色製程 |

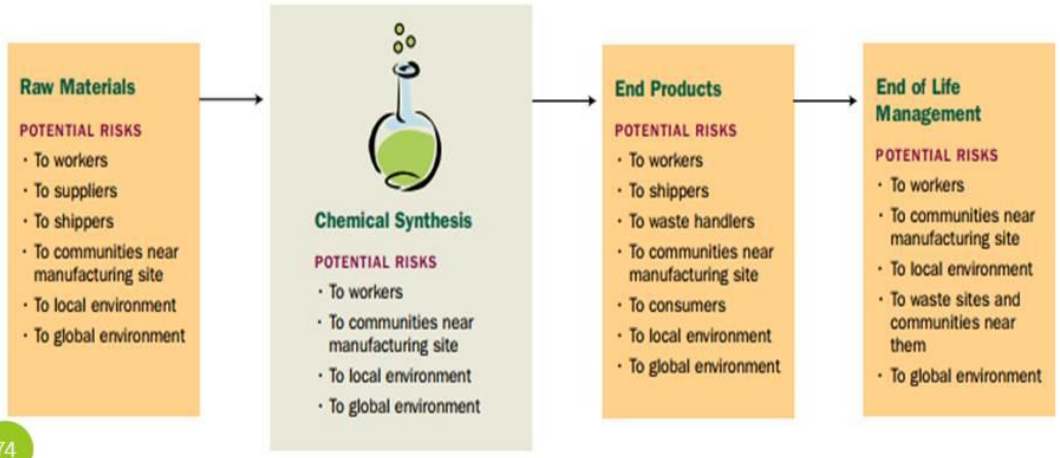
## 4.2 國際綠色化學發展方向：歐洲

- 歐洲之「歐洲化學與分子科學學院」（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：
  - 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。

73

## 4.2 國際綠色化學發展方向：英國

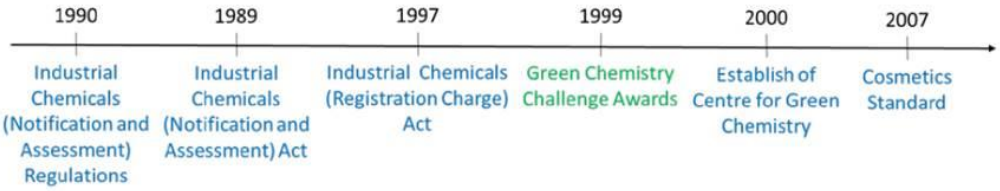
- 綠色化學是一個新興的化學部門，研究如何充分利用原材料和能源，以“原子經濟”為原則減少有害物質的釋放。
- 綠色化學的目的是預防性地採取行動，並涵蓋生命週期的概念，應用搖籃製搖籃的管理方式，減少未來工業化學過程造成的損害。




74

## 4.2 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。




75

## 4.2 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（U.S. Environmental Protection Agency）。

- 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。

76

## 4.2 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 |
|---|---|---|---|
| 2002(第一屆)<br>(第一年未細分獎項) | 於水相塗佈光熱成像薄膜 | 發展環境友善之異相無機鹽類觸媒 | 使用水為輔助之循環印刷系統 |
| 2002(第二屆) | 利用$CO_2$以非光氣法生產聚碳酸酯 | 發展新的五環氟化物綠色製程 | 利用環境友善觸媒於高效率有機物生產製程 |
| 2003(第三屆) | 發展並工業化氣相貝克曼重組製程，用於生產己內醯胺(ε-Caprolactam) | 發展並工業化新的有氧環境下之氧化方式 | 發展對環境友善之防火環氧樹酯並應用於電子元件 |
| 2004(第四屆) | 利用超臨界流體生產有機與無機材料 | 發展新的觸媒反應-激化未反應之化學鍵 | 應用於表面結構之強力光催化纖維，並商業化於水淨化系統中 |
| 2005(第五屆) | 藉由種植的高爾基體自動化生產糖綴合物 | 設計手性催化劑並生產非對稱性胺基酸 | 低硫化燃料生產技術 |
| 2006(第六屆) | 固態異相觸媒用於化學製程 | 運用噴墨技術生產液晶螢幕中薄膜 | 發展聚合物觸媒用於水相化學製程 |
| 2007(第七屆) | 利用固態酸性觸媒於四氫呋喃聚合化製程 | 發展新型潤滑劑減緩環境負擔 | 教育與傳播綠色化學 |
| 2008(第八屆) | 藉由循環異丙苯於丙烯氧化製程 | 藉由印刷技術發展塑化染料敏化太陽能電池 | 藉由藥物添加劑減量促進能源節省 |
| 2009(第九屆) | 藉由次臨界水工業化生產界面活性劑 | 開發新的矽烷偶聯劑用於輪胎生產 | 開發多金屬觸媒 |
| 2010(第十屆) | 使用固態酸性觸媒製備剛硬性合金 | 開發粉末光觸媒用於太陽光電解水產氫 | 研發有機自由基電池 |

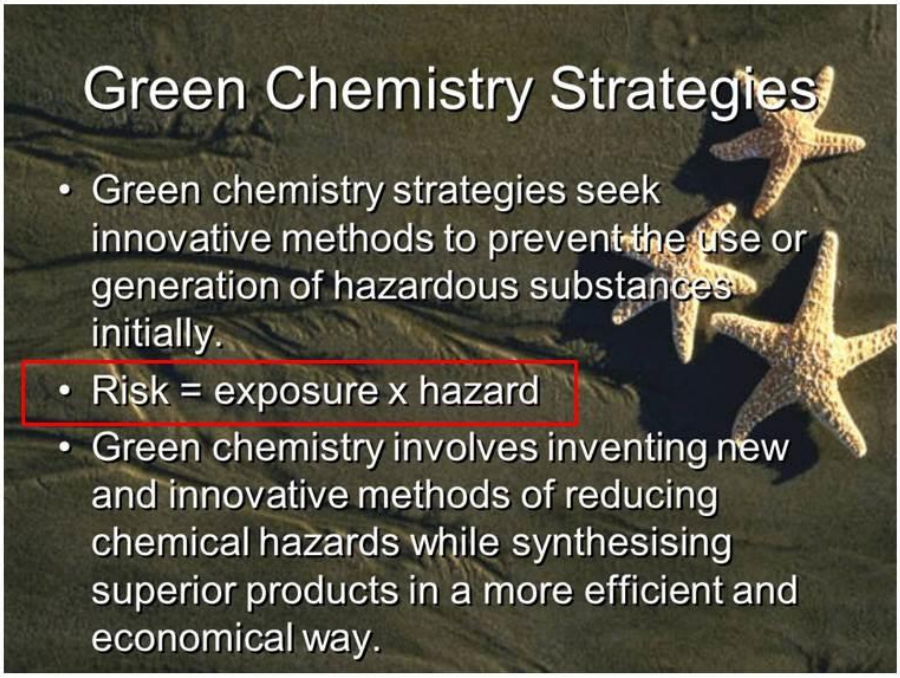
77

77

# 五、永續綠色化學循環經濟推動策略

78

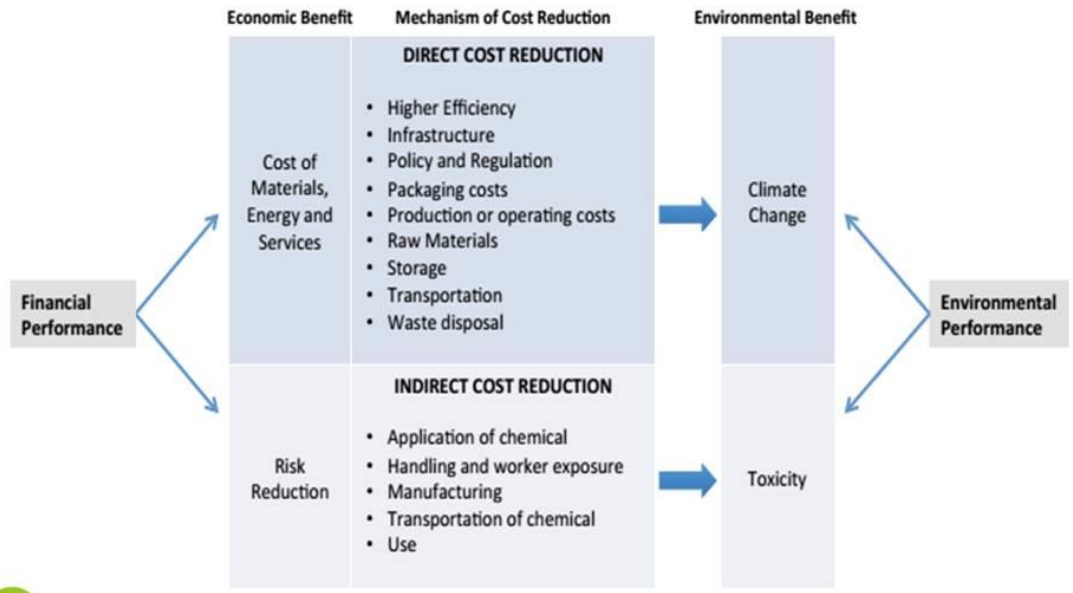
## 5.1 綠色化學管理策略：基礎理論




79

## 5.2 綠色化學管理之績效評估

☐ Environmental benefits and financial performance of green chemistry.




80

Output of commerce committee

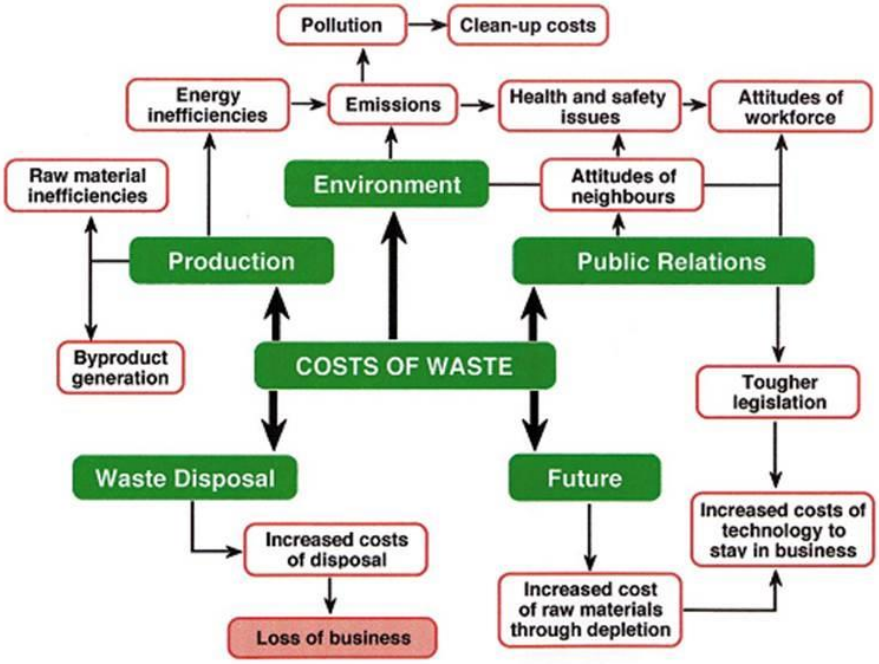
## 5.3 綠色化學推動障礙與挑戰

### Key Barriers to implementation of Green Chemistry

- **Human Barriers**
  - inertia to change from old paradigm to New Paradigm
  - decades of shop-floor experience becomes barrier instead of resource
- **Scale-up Barriers**
  - want to see same result in lab as that expected in plant
  - availability of plant to take trials with new technology
  - risk of scale-up – who will bear?
- **Market Barriers**
  - Lack of awareness about potential of Green Chemistry tool box
  - Some myths like it's expensive, it will increase cost, etc
- **IP Barriers**
  - challenge to protect IP
  - little respect for IP in the industry – no hesitation in copying idea

81

## 5.3 綠色化學推動障礙與挑戰




82

## 5.4 永續綠色化學循環經濟推動策略

**1. 研擬綠色化學之防制、保障及永續策略**

- 針對**綠色化學十二項原則**進行分類，發展「**防制（Prevention）－保障（Assurance）－永續（Sustainability）**」三面項，稱為「P-A-S」策略：
  - 「防制」係指防止廢棄物與降低衍生物產生；
  - 「保障」係指污染物質即時監測體系以及低有害物質之化學合成方法；
  - 「永續」係指更安全的溶劑與輔助設備與有害物質降解設計。

**2. 整合政府權責單位，落實綠色化學原則**

- 依據綠色化學十二項原則與定義：
  - 研訂政府各部門權責，**建立跨部會溝通平臺**；
  - 促進**化學物質有效管理**，保障化學部門安全，
  - 減少化學毒害物質，**降低化學產品能耗**，以**建構健康永續環境**；
  - 訂定**國家治理**、**降低風險**、**管理量能**、**知識建立**及**跨境管理**等重大目標。

83

## 5.4 永續綠色化學循環經濟推動策略

**3. 健全化學管制相關法規，發展化學物質管理體系**

- 根據國際情勢，優先評估創新化學品之適用性：
  - 建立化學品**製造/進口之**相關條例；
  - 進行**化學物質風險評估措施**，
  - 完善**化學物質管理體系**；
  - 定期檢討與更新相關**關鍵績效指標**。

**4. 研發綠色化學創新技術，建立國際合作交流機制**

- 建立產學合作模式，籌組專業技術輔導團隊：
  - 導入綠色化學之**智慧技術**與**客製化商品服務**；
  - 推動綠色化學與**水資源鏈結**與**廢棄物資源化技術**；
  - 建立**生命週期評估**，量化各類**技術循環經濟效益**；
  - 舉辦國際研討會與工作坊，**加強資訊與技術交流**。

84

## 5.4 永續綠色化學循環經濟推動策略

**5. 強化綠色化學環境教育，促進創新技術人才培育**

- 規劃綠色化學創新技術相關課程，培育具前瞻性思考之專業技術人才：
  - 建立**相關資格認證制度**，加強綠色化學種子教師養成；
  - 編列**綠色化學教育叢書**，強化國民教育宣導；
  - 舉辦**教育系列活動**，提升國民綠色化學素養；
  - 增加**開放課程與數位教材**，深化綠色化學教育能量。

85

**Thank you for your attention !!!**

*Questions and Comments ??*

86

*Contact Information: pcchiang@ntu.edu.tw*

主題二：推動綠色化學創新技術發展策略

National Taiwan University

# 「永續綠色化學與循環經濟政策研析」講習會議

## 主題二：推動綠色化學創新技術發展策略

主辦單位：行政院環境保護署毒物及化學物質局

協辦單位：國立臺灣大學碳循環永續技術與評估研究中心

主講人：謝祝欽教授（國立雲林科技大學環境與安全衛生工程系）

107年5月29日

## 大綱

一. 各國綠色化學技術發展情勢

二. 防制污染及意外技術

三. 保障安全及保全技術

四. 永續能源及資源技術

五. 推動綠色化學創新技術發展策略

2

# 一、各國綠色化學技術發展情勢

3

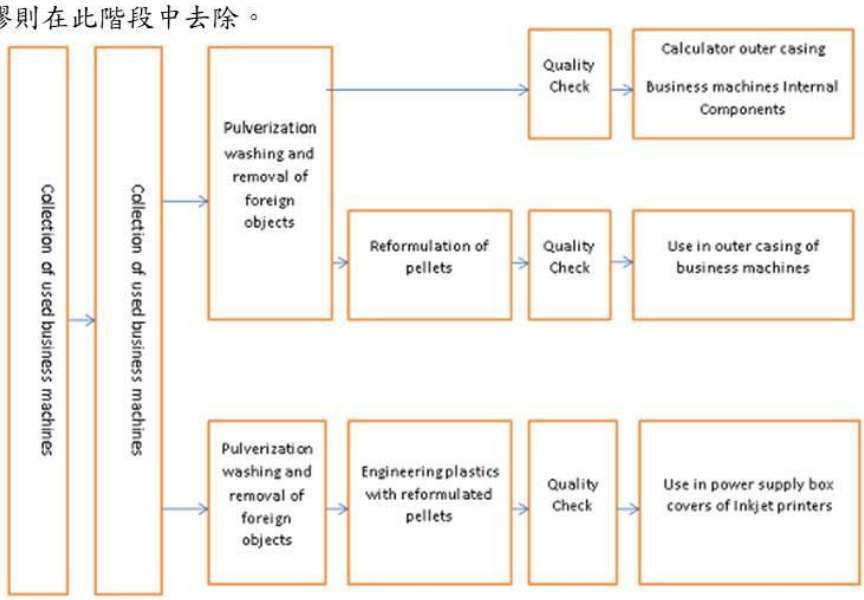
## 1.1 各國綠色化學原則之實踐：技術發展

| 綠色化學原則 | 技術發展 |
|---|---|
| 防止廢棄物 | • 通過使用連續流動合成技術，增加鹽酸二苯肼的生產量<br>• 加拿大著名的奢華化妝品公司因其使用100%消費後再生PET製成的透明PET瓶而獲得認可<br>• 最新的加熱爐技術是針對高效發電的低空氣焚燒技術 |
| 原子經濟 | • 日本化學品製造商Kaneka公司已經建成了一個光電轉換率為26.3%的太陽能電池 |
| 較少的有害化學合成 | • 中央政府協助收集，分發和處理化學廢棄物給地方政府支持發展回收技術 |
| 設計更安全的化學品 | • 強化化學品連續加工和合成技術方法<br>• 建立企業化學產品上中下游供應鏈 |
| 更安全的溶劑與助劑 | • 從礦物基油墨轉變為大豆基油墨是報紙業務的一個例子<br>• 離子液體作為溶劑的最大優點在於減少空氣中的揮發性有機物 |
| 設計能源效率 | • 結合燃料電池和太陽能電池的最新HEMS住房系統比家庭消耗的電力更多。 剩餘電力將出售給電力公司 |
| 使用再生原料 | • 開發綠色化學品管理技術，為客戶提供工程業務<br>• 工業生物技術可以減少能源消耗與生產浪費 |
| 減少衍生物 | • 發展替代生物柴油原料的選擇，如動物脂肪和油菜籽<br>• 引用殼聚醣（脫乙酰甲殼素）及其衍生物作為化妝品中的成分 |
| 選擇良好的催化劑 | • 德國化學工業已經訂定化學肥料的永續生產標準 |
| 可降解之設計 | • 目前瑞典國內生物燃料的生產量可提升2023年國內生物燃料生產18TWh燃料 |
| 即時分析污染防治 | • 組織化的發展生物材料，建立生產線及時汙染通報體系 |
| 以更安全的化學品防止意外發生 | • 發展不易燃聚氨酯材料<br>• 鼓勵企業發展限製或禁止的化學品<br>• 部分企業建立化學災害事故預警體系，相關人員需要接受化學災害教育訓練 |

## 1.2-1 各國綠色化學技術發展情勢：日本

**佳能（CANON）循環回收技術**

- 佳能（Canon）一直致力於將廢棄塑膠進行回收並用於新的佳能產品中。
- 收集到的機械先進行拆解和分類，而後將外殼中的工程塑膠進行破碎和清洗。
- 其他塑膠則在此階段中去除。

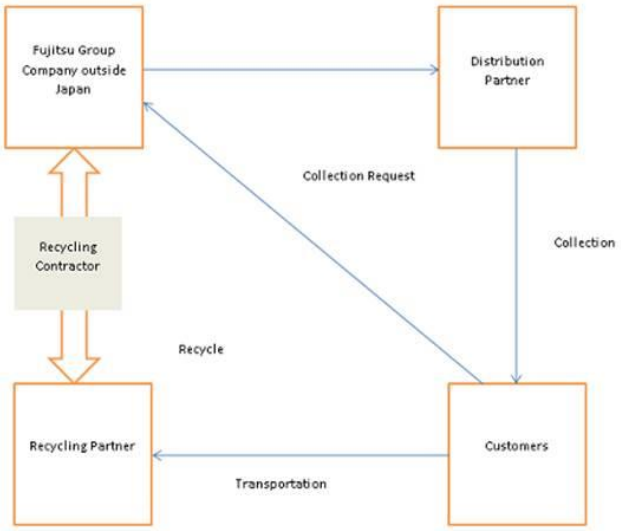



5

## 1.2-1 各國綠色化學技術發展情勢：日本

**富士（FUJITSU）回收技術**

- 日本富士公司（Fujitsu Ltd.）是一家跨國資訊科技設備與服務供應商。該公司近期宣佈成立了個人電腦產業中第一個廢舊光碟回收中心。
- 該中心可將廢舊光碟中的塑膠進行回收，而後在後續新電腦的生產過程中進行再利用。
- 富士公司還是美國US-based Anything IT 聯盟的合作夥伴，擁有超過十年的良好合作關係。通過該聯盟，產業界能夠向消費者提供最大限度地優質產品和優惠售價。

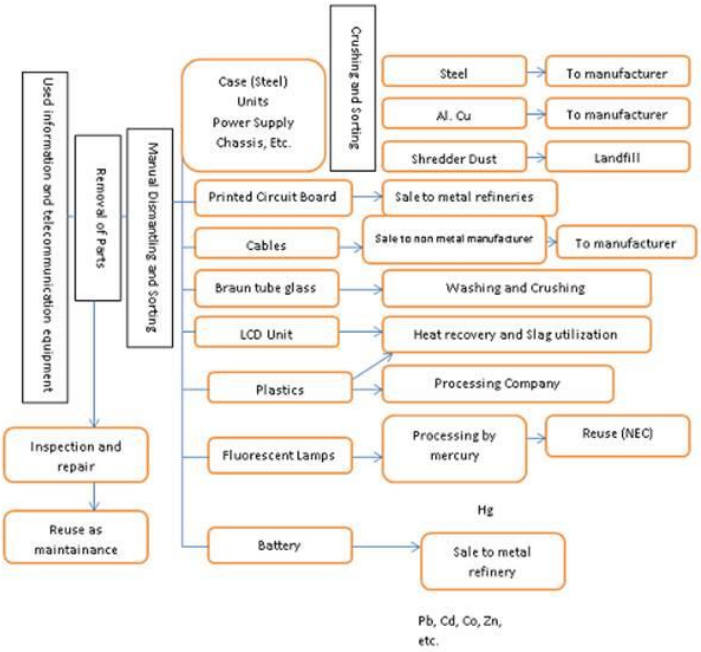



6

## 1.2-1 各國綠色化學技術發展情勢：日本

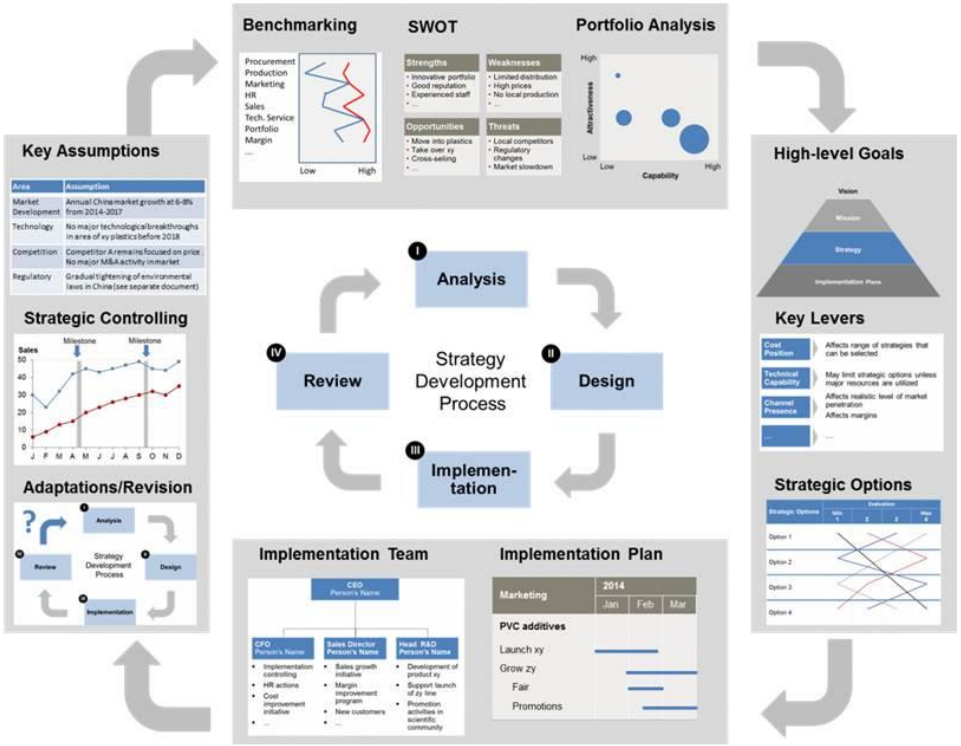
**NEC 回收技術**

- 首先回收的設備進行檢測以確定可以進行再利用，並制定後續的維修方案；
- 如果設備無法修復，則進行拆解和人工分類；
- 當中的綫纜出售給非金屬加工企業，PCB板則交由金屬回收企業進行處理。
- NEC公司還會使用熒光燈檢測處理后產品的汞含量。



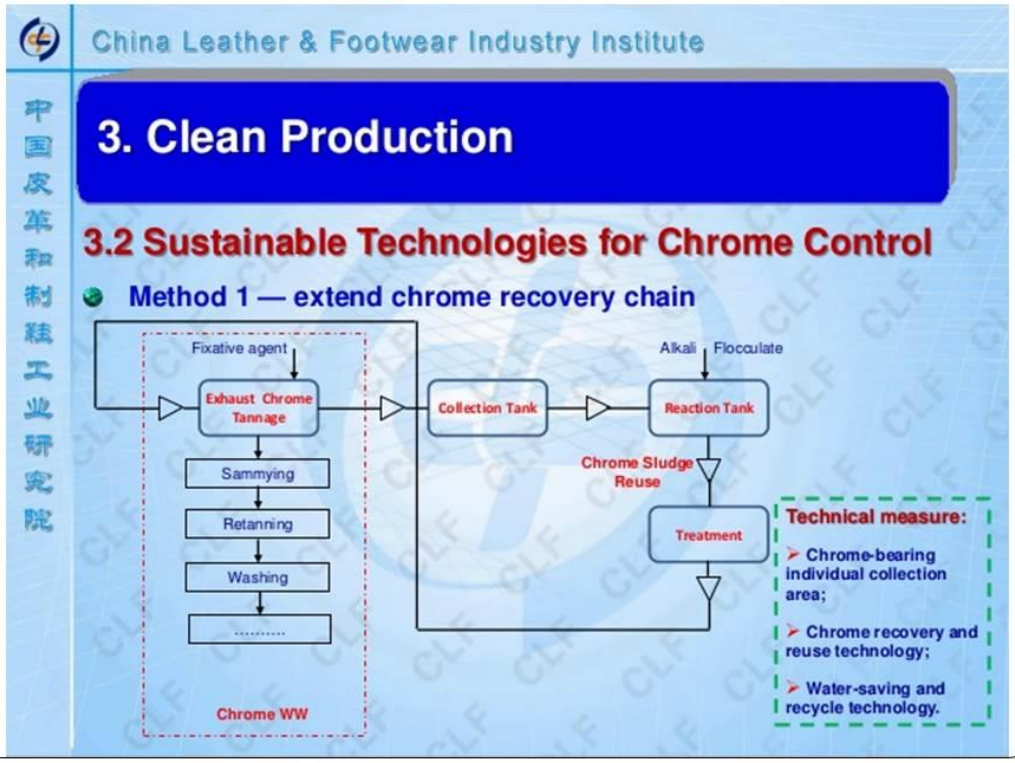

7

## 1.2-2 各國綠色化學技術發展情勢：中國




8

## 1.2-2 各國綠色化學技術發展情勢：中國



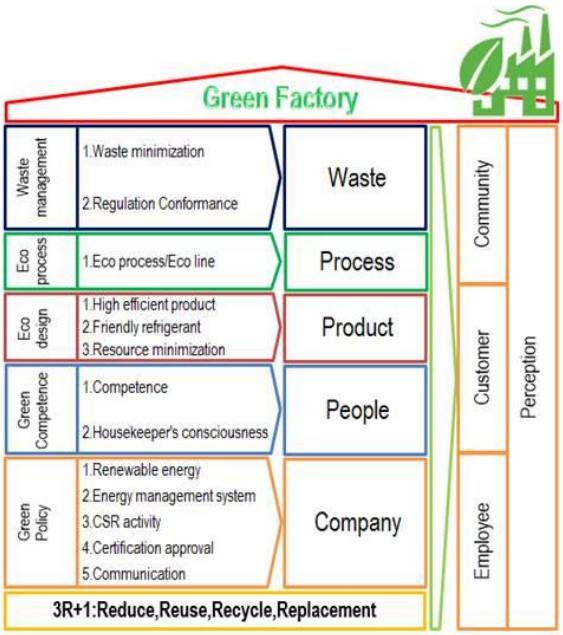

9

## 1.2-3 各國綠色化學技術發展情勢：美國

LM: Office of Legacy Management
LMS: Legacy Management Support

10

## 1.2-3 各國綠色化學技術發展情勢：美國




SCI 情節科技之5大面向

1.綠色企業

2.綠色人群

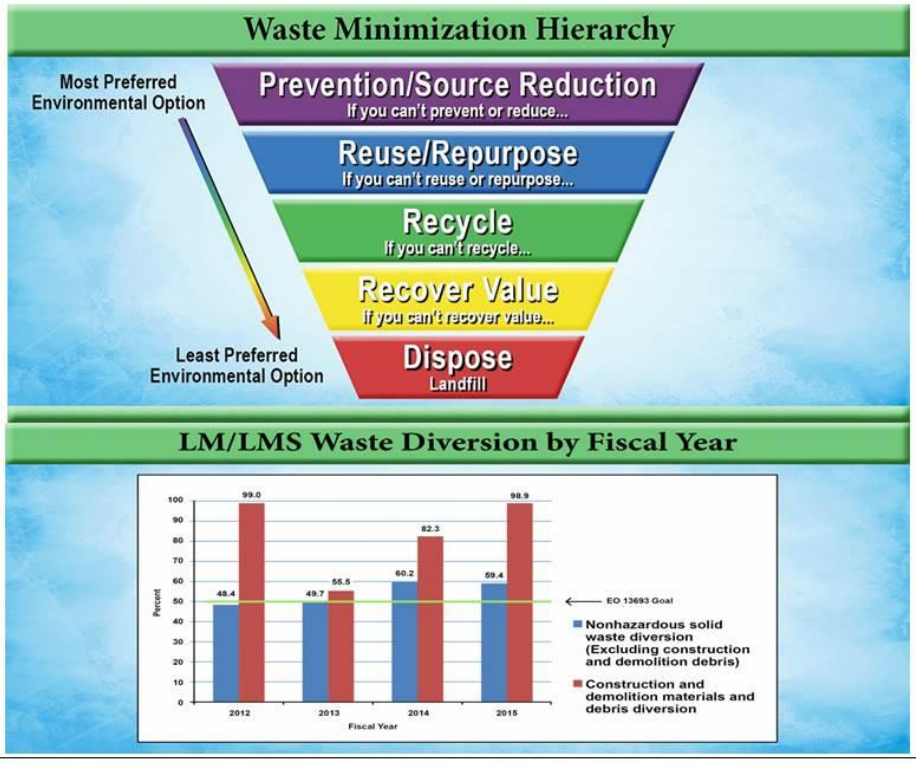
3.綠色產品

4.綠色製程

5.綠色廢棄物

11

## 1.2-3 各國綠色化學技術發展情勢：美國




12

## 1.2-3 各國綠色化學技術發展情勢：美國

13

## 1.2-3 各國綠色化學技術發展情勢：美國

美國化學協會每年頒發「美國總統綠色化學挑戰獎」(Presidential Green Chemistry Challenge Awards)給對推展綠色化學有卓越貢獻。
獎項有六項：
綠色合成路線獎(Greener Synthetic Pathways)、
綠色反應條件獎(Greener Reaction Conditions)、
綠色化學品設計獎(The Design of Greener Chemicals)、
小企業獎(Small Business)、
學術獎(Academic)、
氣候變化獎(Specific Environmental Benefit: Climate Change)等。

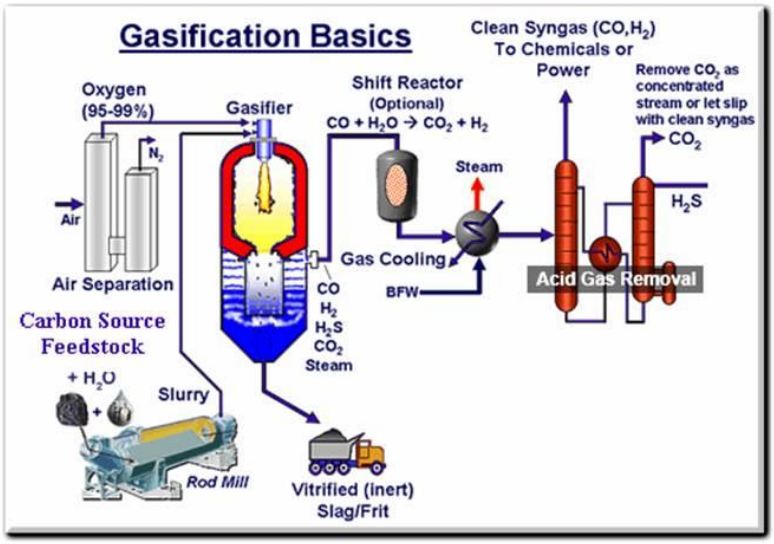
評選三大標準:
為具有科學及創新的技術、
對人類及環境有益、
可實際應用的生產技術。

「工業材料雜誌」367期

14

## 1.2-4 各國綠色化學技術發展情勢：加拿大

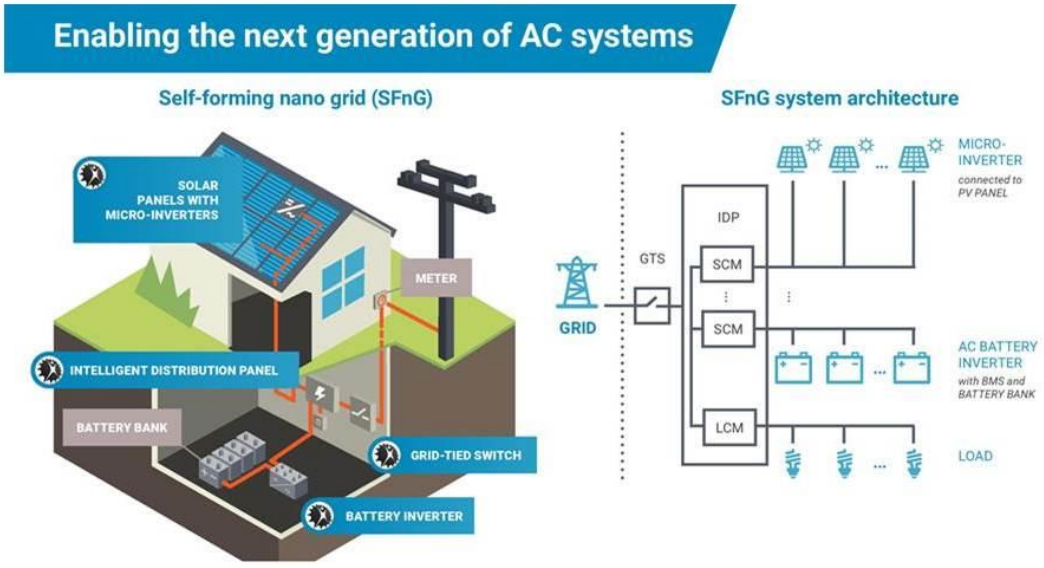
- Nexterra 開發了世界上商業化程度最高的energy-from-waste 氣化技術。




15

## 1.2-4 各國綠色化學技術發展情勢：加拿大

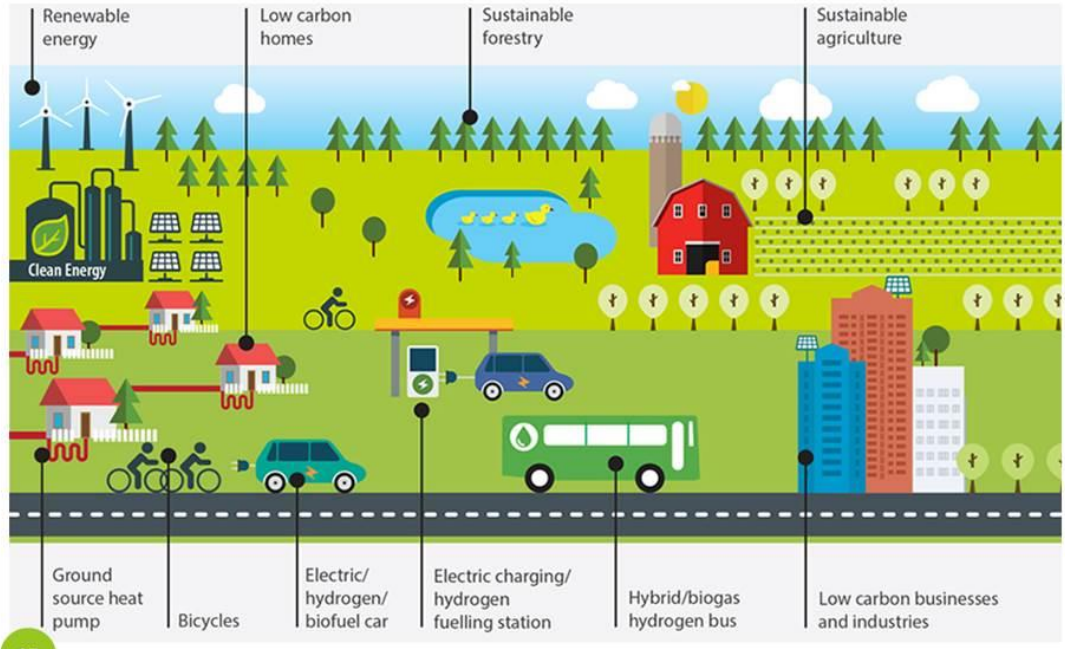
- Solantro 正積極擴展其與原始設備製造商和原始設備設計商（OEM/ODM）的伙伴關係以建立 標準化的產品生產原料並支持切實可行的分類標準。




16

## 1.2-4 各國綠色化學技術發展情勢：加拿大

整合綠色化學技術發展綠色城市願景

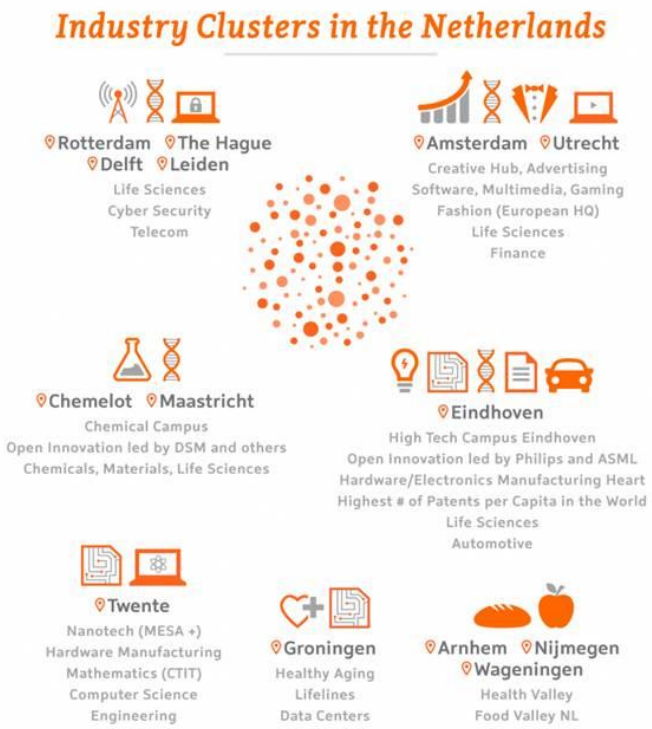



17

## 1.2-4 各國綠色化學技術發展情勢：加拿大

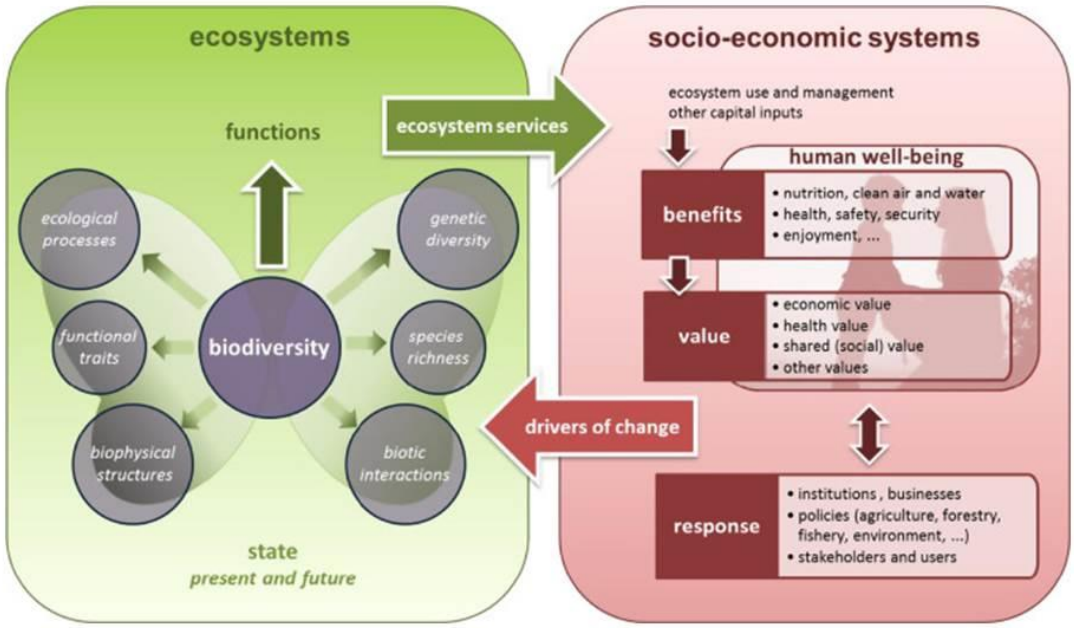
18

## 1.2-5 各國綠色化學技術發展情勢：荷蘭



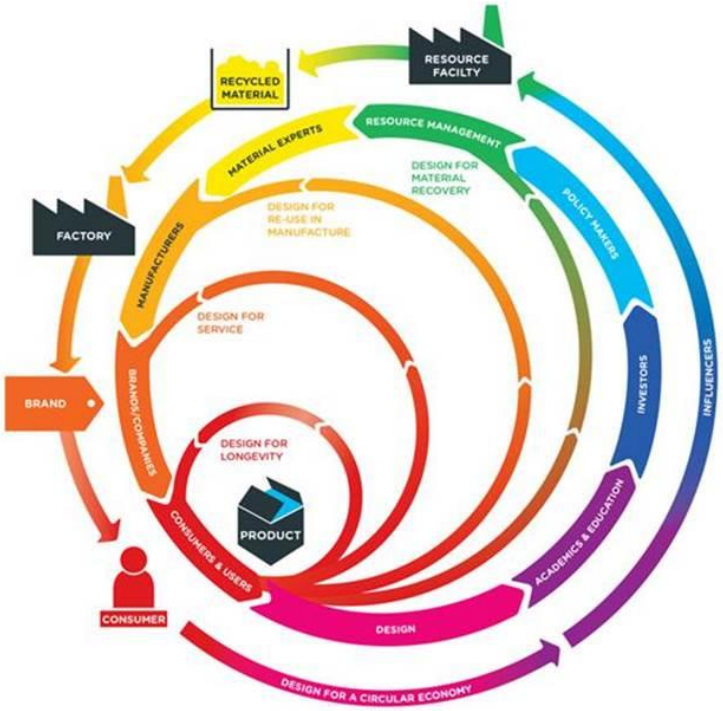

19

## 1.2-5 各國綠色化學技術發展情勢：荷蘭




20

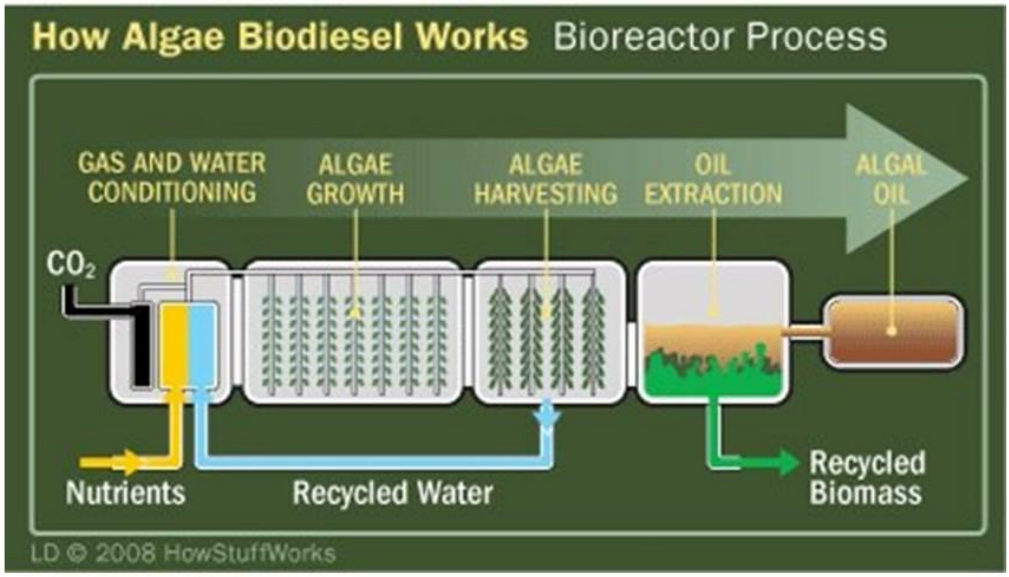
## 1.2-5 各國綠色化學技術發展情勢：荷蘭




21

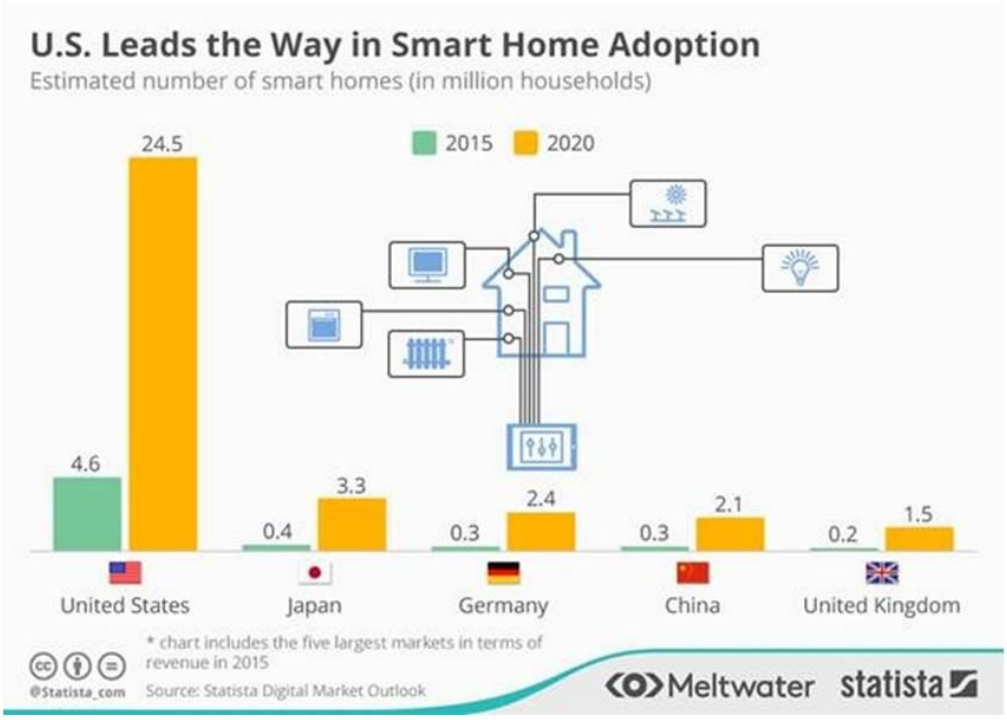
## 1.2-5 各國綠色化學技術發展情勢：荷蘭

### 二氧化碳捕獲用於藻類種植培育




22

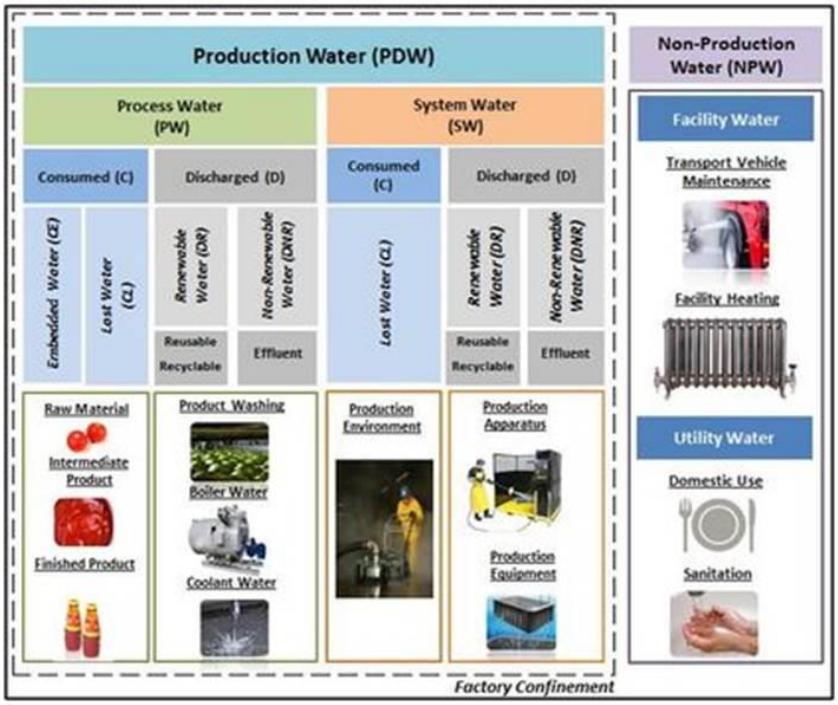
## 1.2-6 各國綠色化學技術發展情勢：英國




23

## 1.2-6 各國綠色化學技術發展情勢：英國

針對製造業用水量之模式模擬及減量藍圖




24

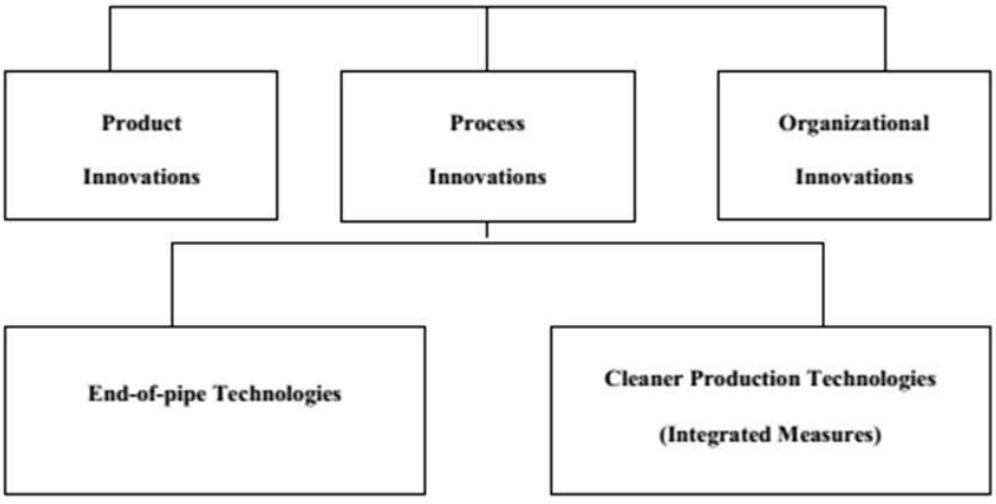
## 1.2-6 各國綠色化學技術發展情勢：英國

永續食品生產

25

## 1.3 綠色化學技術分類

防制污染及意外技術　　永續能源及資源技術　　保障安全及保全技術




26

## 二、防制污染及意外技術

- 防止廢棄物(1)
- 減少衍生物(8)
- 可降解之設計(10)
- 以更安全的化學品防止意外發生(12)

27

## 2.1 綠色化學指標: 重原料替代方案與提高產品應用率

- 碳轉換效率(Carbon efficiency)：在醫藥工業中較常使用此種指標，可有效的反映製程中的碳使用效率，進而分析改善方向。

$$\text{碳轉換效率} = \frac{\text{產物含碳量}}{\text{反應物含碳量}}(\%)$$

- 原子利用效率(Atom economy)：此種指標可以直接的呈現反應中的轉化效率，若是必須藉由添加許多反應物才能獲得單一之限定產物，便會得到低原子利用效率，即是偏離綠色化學之準則。

$$\text{原子利用效率} = \frac{\text{產物分子量}}{\text{所有添加之反應物分子量}}(\%)$$

- 環境指數(Environmental factor)：此種指標表示產物所相對應之廢棄物產量，其中的可循環添加物如觸媒與溶劑則忽略不記，僅需考慮整體廢棄總量，其中廢棄物的定義可藉由可生命週期評估，將對環境產生過大負擔的認定為廢棄物。

$$\text{環境指數} = \frac{\text{產生之廢棄物重量}}{\text{產物重量}}(\%)$$

28

## 2.2 綠色溶劑

1.防止廢棄物
8. 減少衍生物
10. 可降解之設計

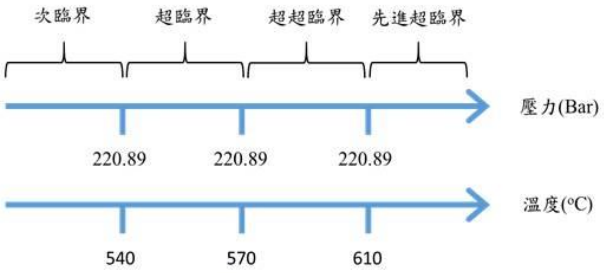
- 若能改進傳統化學的思維及製程，導入永續與環境保護的觀念，改以綠色化學為出發點，運用先進的科學技術解決問題，勢必能在經濟、環境、和社會資源間取得平衡。
- 超臨界$CO_2$染色技術在2015年前每年將染色超過3,900萬噸聚酯纖維，與傳統染色技術相比，綠色染色技術涵蓋廢棄物源頭減量、使用綠色溶劑以及循環溶劑等觀念，此外也降低傳統製程中的燃料能源使用。
- 例如：水是綠色溶劑之一，若將水加溫加壓至超臨界態，會改變其介電常數，使得原先不溶於常溫常壓水之低極性有機化合物變為可互溶，形成均勻混合之單一相，可進一步將有機物分解為$CO_2$、$H_2O$、$Cl_2$或$N_2$等。

29

## 2.2 綠色溶劑

1.防止廢棄物
8. 減少衍生物
10. 可降解之設計

- 與傳統焚化處理比較，超臨界水氧化技術主要優點為：
  - 速度快、密閉性高、分解效率高、易於輸送與分散、氧化效率高
  - 超臨界水狀態下對金屬鹽類溶解度低，有利於處理後的水與金屬鹽類之分離
  - 氧化過程不會產生多餘衍生之副產物，下表為超臨界水氧化技術與傳統廢棄物處理方式比較



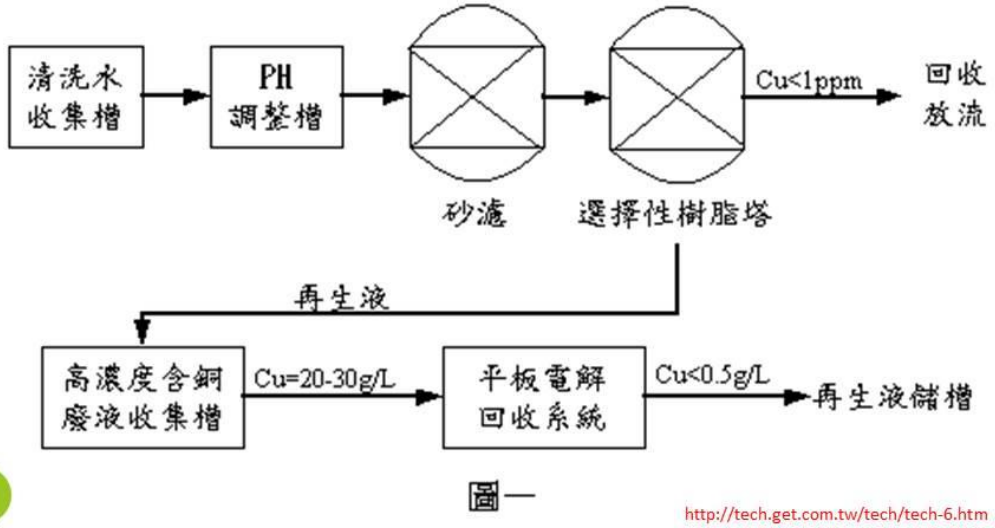

| | 溫度(°C) | 壓力(atm) | 滯留時間(min) | 優點 | 缺點 |
|---|---|---|---|---|---|
| 超臨界水氧化 | 450~550 | 250~350 | 1 | 氧化率高 | 設備負擔大 |
| 溼式氧化法 | 150~300 | 10~200 | 10-100 | 僅需處理廢水，不造成空氣污染 | 不易處理低分子有機酸 |
| 焚化法 | 800~1100 | 1 | 0.01 | 方便、風險低 | 空氣汙染 |

30

## 2.3 印刷電路板業的含銅廢液回收

1.防止廢棄物
8. 減少衍生物

- 清洗水離子交換樹脂及電解回收處理，印刷電路板各製程單元產生之清洗水，除COD及氧化劑濃度偏高之清洗水外，皆可納入離子交換回收系統濃縮銅離子，樹脂再生產生之硫酸銅廢液，可併入電解回收系統去回收銅，回收處理流程如圖一所示，結合第一及第二階段之執行成效，約可回收全廠80~90% 之銅。




圖一

31

http://tech.get.com.tw/tech/tech-6.htm

## 2.4 冷媒回收技術

1.防止廢棄物
8. 減少衍生物

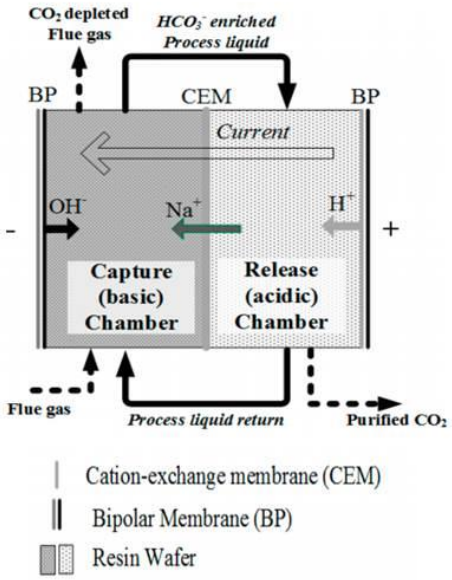
- 回收碳氟化合物再利用或銷毀以防止大氣釋放造成臭氧層破壞
- 這項技術的應用特別適合於蒙特利爾議定書ODS相關項目
- 回收技術設備可作為移動式回收設備使用，可以輕鬆運輸，並採用靜電分離工藝來淨化製冷劑或作為集中式固定式淨化中心

32

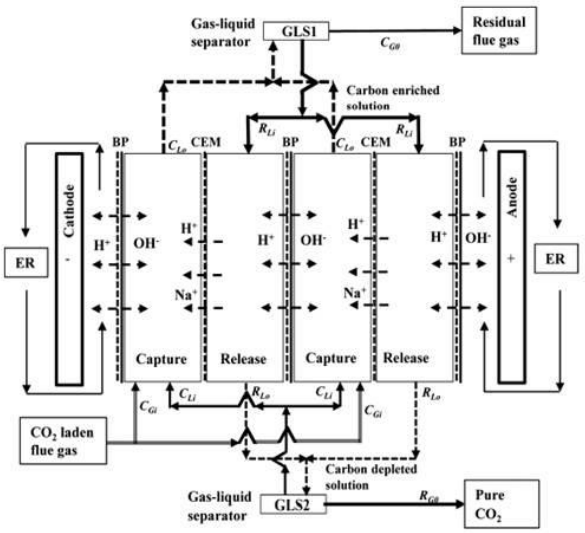
Asada Corporation, 2015

## 2.5 樹脂晶片電去離子技術與碳捕獲技術

1.防止廢棄物
8. 減少衍生物
10. 可降解之設計




單個RW-EDI單元用於$CO_2$循環(捕獲與釋放)




RW-EDI整合在地pH控制用於$CO_2$循環

33

## 2.6-1 電子廢棄物回收技術：城市礦山

1.防止廢棄物
8. 減少衍生物

如何將貴金屬從電子廢棄物中提取回收?

34

優勝奈米科技有限公司 UWin Nanotech Co., Ltd.

## 2.6-2 電子廢棄物回收技術：錫剝除技術與資源化

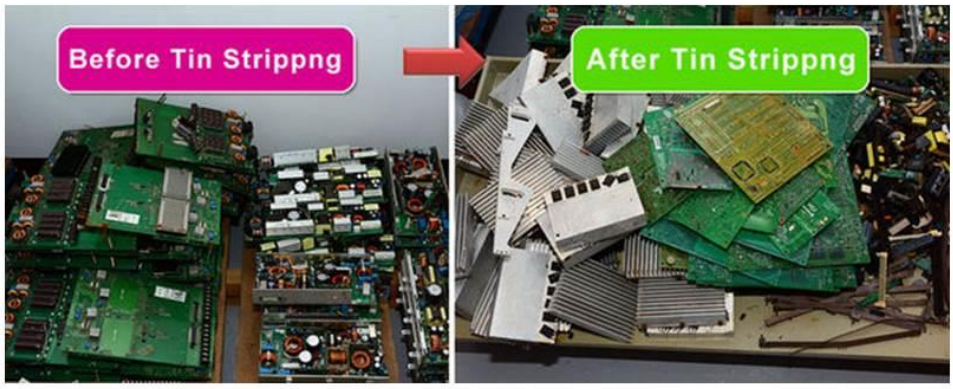
1.防止廢棄物
8. 減少衍生物
10. 可降解之設計

35

優勝奈米科技有限公司 UWin Nanotech Co., Ltd.

## 2.6-2 電子廢棄物回收技術：錫剝除技術與資源化

1.防止廢棄物
8. 減少衍生物
10. 可降解之設計




36

優勝奈米科技有限公司 UWin Nanotech Co., Ltd.

## 2.6-2 電子廢棄物回收技術：錫剝除技術與資源化

1.防止廢棄物
8. 減少衍生物
10. 可降解之設計

快速實現大規模的電子垃圾環保回收—Barrel One Automatic Machine

PCB版上，鑲嵌許多的半導體晶片與金屬連接器，可以再利用的貴金屬，包含金、銀、銅與錫等

37

優勝奈米科技有限公司 UWin Nanotech Co., Ltd.

## 2.6-3 電子廢棄物回收技術：減碳效益

1.防止廢棄物
8. 減少衍生物
10. 可降解之設計

處理技術碳排放量對比

| Items | Barrel One | PCB Infrared Oven | Incinerators |
|---|---|---|---|
| Power Consumption of Main Engine (Kilowatt/ Per Ton of Motherboard) | 232 | 533 | 245183833 |
| Power Consumption of Processing (Kilowatt/ Per Ton of Motherboard) | 29.6 | 1233 | 1054712 |
| Total electricity consumption (Kilowatt/ Per Ton of Motherboard) | 261.6 | 1766 | 246238545 |
| Electricity carbon emissions (KgCo2e/ Per Ton of Motherboard) | 180.5 | 1219 | 169904596 |
| Water Consumption (Kilowatt/ Per Ton of Motherboard) | 1 | 0 | 0 |
| Carbon of water consumption (KgCo2e/ Per Ton of Motherboard) | 0.17 | 0 | 0 |
| The total carbon emissions (KgCo2e/ Per Ton of Motherboard) | 181 | 1219 | 169904596 |
| Number of trees needed | 6022 | 40618 | 5663486535 |

38

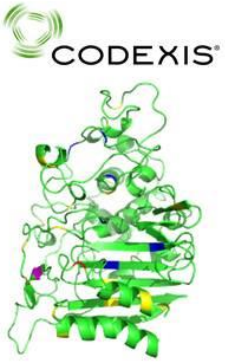
優勝奈米科技有限公司 UWin Nanotech Co., Ltd.

## 2.7 高效能生物催化技術

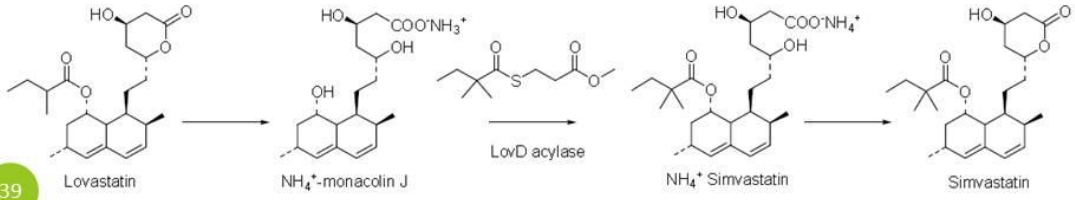
1.防止廢棄物
8. 減少衍生物
12.以更安全的化學品防止意外發生

**Case study: Codexis, Inc. & Dr. Yi Tang, UCLA**

**高效能生物催化技術生產辛伐他汀(Simvastatin)**




- 辛伐他汀是治療高膽固醇的主要藥物，由天然產品製造。
- Codexis優化酶和化學過程。由此產生的過程大大減少危害和浪費，具有成本效益並滿足客戶的需求。歐洲和印度的一些製造商使用該技術製造辛伐他汀。
- 利用生物催化設計辛伐他汀的綠色製造方法，同時優化化學反應過程。




39

## 三、保障安全及保全技術

- 較少的有害化學合成(3)
- 設計更安全的化學品(4)
- 更安全的溶劑與助劑(5)
- 即時分析污染防治(11)

40

## 3.1 Solberg 的綠色滅火泡沫

3.較少的有害化學合成
4.設計更安全的化學品

- 利用生質原料產生的無鹵素界面活性劑製造不然鹵素的滅火泡沫

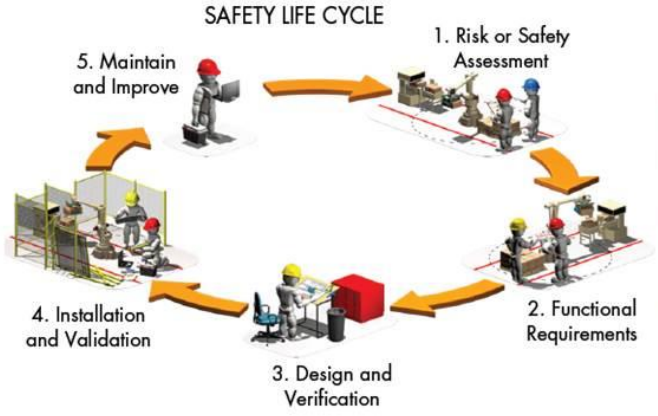
41

http://www.solbergfoam.com/

## 3.1 Solberg 的綠色滅火泡沫

3.較少的有害化學合成
4.設計更安全的化學品

- Pyro-cool Fire Extinguishing Foam (FEF)

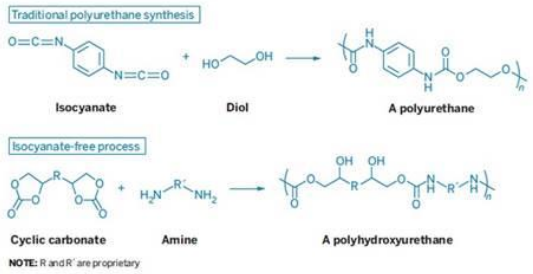


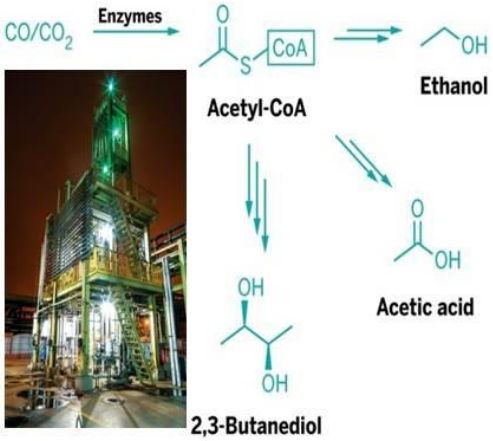
42

## 3.2 Lanza科技的綠色原料與綠色製程

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

- **綠色原料**：利用酵素發酵反應將CO/CO2轉化為化工原料並使用鋼鐵廠廢氣生產乙醇
- **綠色製程**：異氰酸酯(isocyanate)惡臭且是致癌化學原料 但卻是製備聚氨酯(polyurethane)原料；聚氨酯的用途包括顏料，塗層，黏著劑，絕緣材料；使用無毒的化學原料代替異氰酸酯，與amine反應，合成多羥基聚氨酯(polyhydroxy urethane)，作為聚氨酯的替代化學藥劑



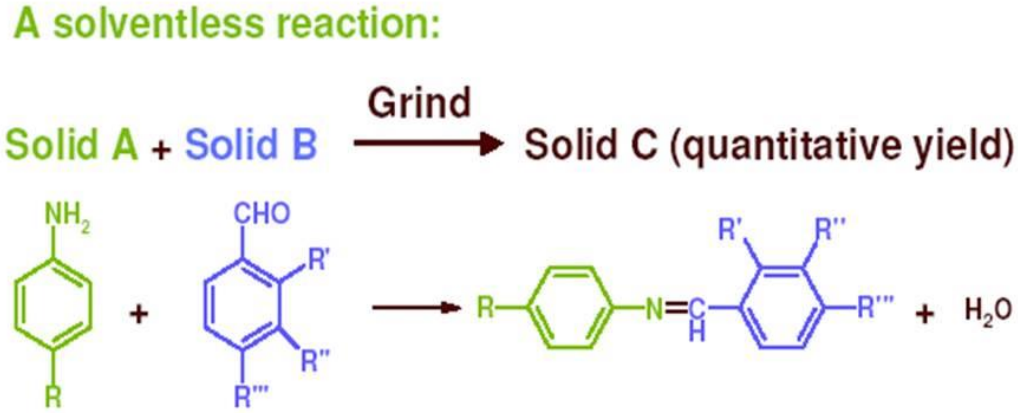

43

C&EN, Volume 93 Issue 33, pp. 32-35, 2015

## 3.3 減少輔助物質的使用

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

- “應盡可能不使用輔助物質（如溶劑，分離劑等），並且在使用時無害“




44

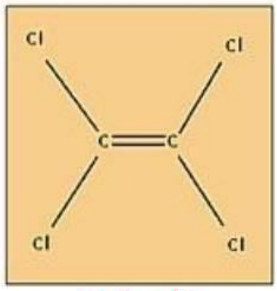
## 3.4 使用安全溶劑

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

- 使用液態二氧化碳取代四氯乙烯

**DRY CLEANING OF CLOTHES**

- Tetra chloroethene($C_2Cl_2$) was earlier used as solvent for dry cleaning but these compound contaminates the ground water and suspected carcinogen.
- The process using this compound is now being replaced by a process where liquefied carbon dioxide with a suitable detergent is used .
- Replacement of halogenated solvent by liquid Carbon dioxide ($CO_2$) will result in less harm to ground water .




四氯乙烯
Perchloroethylene

- Skin, eye, respiratory irritation
- Nervous system effects
- Damage to liver, kidneys
- Proposition 65 Carcinogen
- Reproductive toxin

- High pressure system cleans with liquid $CO_2$
- By-product of industrial processes
- No environmental, health hazards identified

45

## 3.5 木纖維酶應用

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

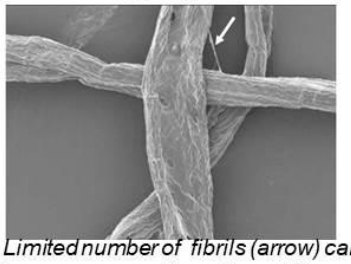
**Case study: Buckman International, Inc.**

**應用酶減少強效紙與紙板所需的能源和木纖維**

Buckman
Commitment makes the best chemistry.

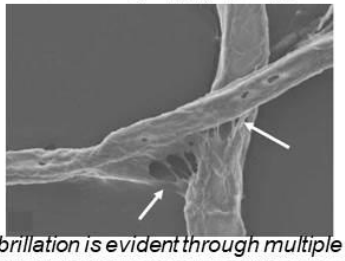
- 傳統製造強效紙張需要昂貴的木漿，高能耗的處理或化學添加劑。
- 巴克曼的Maximyze®酶改良木材中的纖維素以增加將木纖維彼此粘合的纖維數量，使紙張具有更高的強度和質量 - 無需額外的化學品或能源。
- 使得造紙能夠減少木材纖維和更高比例的再生紙，使單個工廠每年可節省100萬美元，以改善紙張質量並支持更環保的生產實踐；
- Maximyze技術由特定的酶組成，可改善纖維素間的纖維間結合，增加紙張的強度

處理前



*Limited number of fibrils (arrow) can be seen connecting adjacent fibers*

經Maximyze技術處理後



*Fibrillation is evident through multiple fibrils (arrows) between cellulose fibers*

46

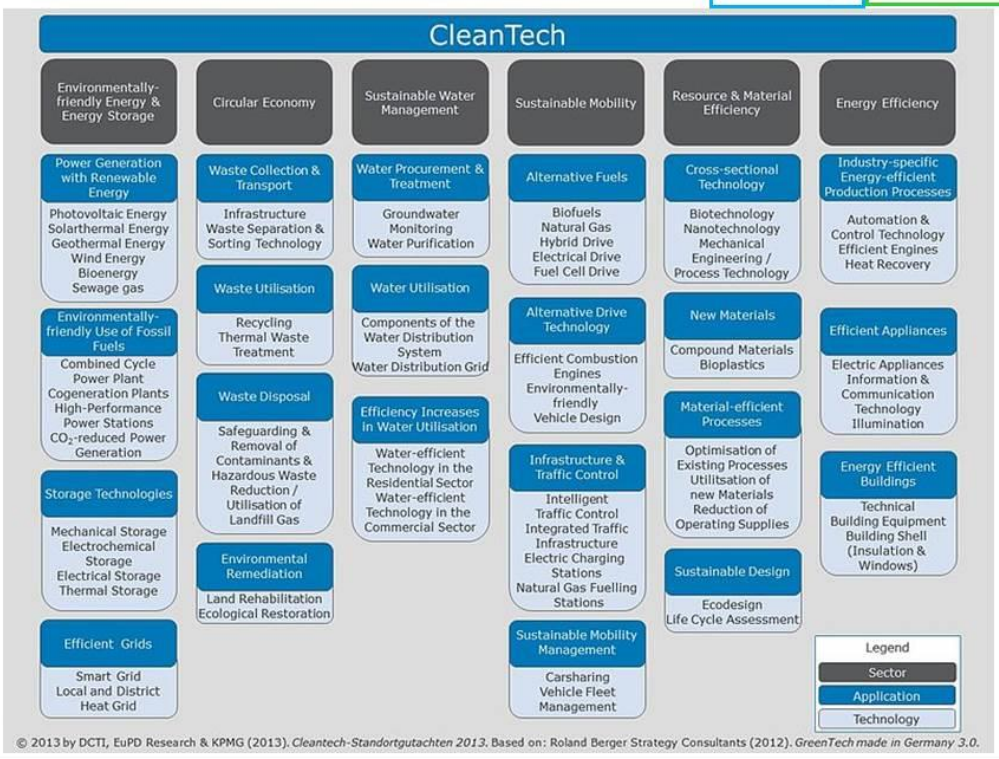
# 四、永續能源及資源技術

- 原子經濟(2)
- 設計能源效率(6)
- 使用再生原料(7)
- 選擇良好的催化劑(9)

47

## 4.1 發展永續綠色化學清潔技術

9.選擇良好的催化劑 2.原子經濟 7.使用再生原料 6.設計能源效率




© 2013 by DCTI, EuPD Research & KPMG (2013). *Cleantech-Standortgutachten 2013*. Based on: Roland Berger Strategy Consultants (2012). *GreenTech made in Germany 3.0.*

48

## 4.2 綠色化學與能源之整合

9.選擇良好的催化劑 2.原子經濟 7.使用再生原料 6.設計能源效率

生質能轉換技術之發展現況

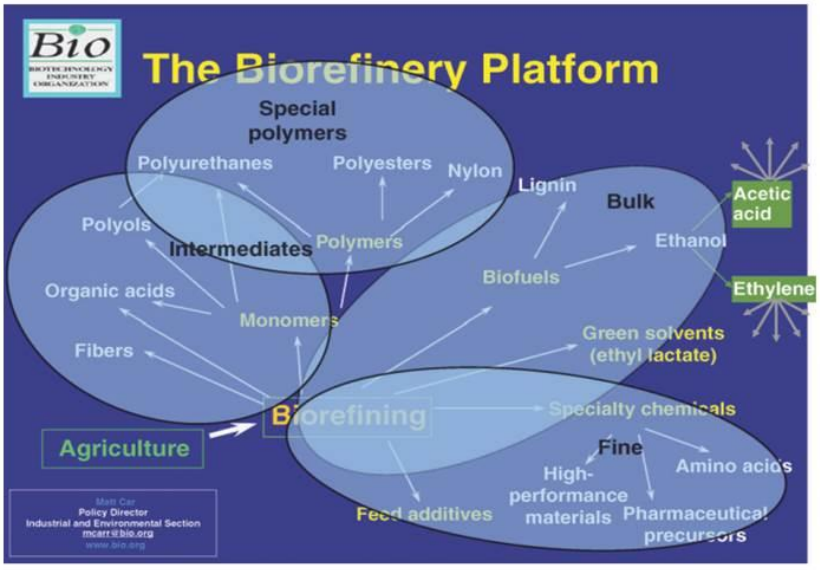
| 技術種類 | 轉換技術 | 原料來源 | 生質產品 | 應用 | 技術現況 |
|---|---|---|---|---|---|
| 物理化學 (Physical-chemical) | 轉酯化 (Trans-esterification) | 油脂作物 動物脂肪 | 生質柴油 | 運輸用液態燃料 | 已商業化 |
| | 氫化 (Hydrogenation) | | 生質柴油 | 運輸用液態燃料 | 已商業化 |
| 生物化學 (Bio-chemical) | 發酵 (Fermentation) | 澱粉、糖類 | 生質酒精 | 運輸用液態燃料 | 已商業化 |
| | 纖維素水解發酵 | 農林廢棄物 | 生質酒精 | 運輸用液態燃料 | 試運轉廠階段 |
| | 生物轉化 (Biotransformation) | 農林廢棄物 下水道污泥 | 氫氣 | 運輸用液態燃料 | 實驗室規模 |
| | 厭氧發酵 (Anaerobic Digestion) | | 沼氣 | 運輸用液態燃料 | 已商業化 |
| 熱化學 | 直接燃燒 (Combustion) | 都市廢棄物 農林廢棄物 | 熱 | 熱能、發電 | 已商業化 |
| | 氣化 (Gasification) | | 熱 合成氣 | 熱能、發電 運輸用液、氣態燃料 | 試運轉廠階段 |
| | 熱裂解 (Pyrolysis) | | 熱 合成氣 | 熱能、發電 運輸用液、氣態燃料 | 試運轉廠階段 |

49

## 4.3 生物精煉技術

2.原子經濟 7.使用再生原料 6.設計能源效率

- 整合綠色化學與生物煉油技術所產生的廢氣物與副產品作為生物煉製原料的利用。




The Biorefinery Platform: Biomass routes to renewable chemistry.

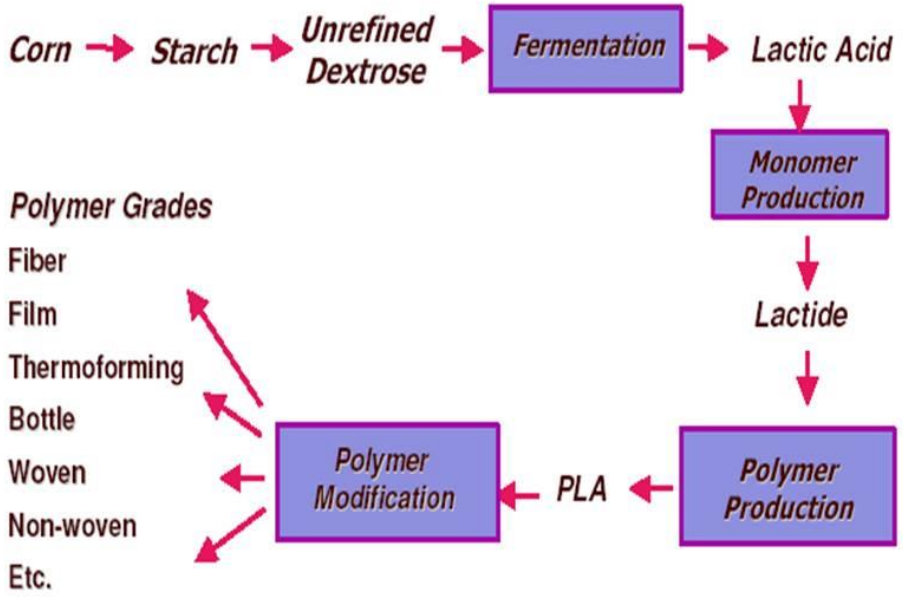
(Pfaltzgraff, LA and Clark, JH, 2014)

50

## 4.3-1 生物精煉技術-生物塑膠

2.原子經濟
7.使用再生原料 6.設計能源效率

利用聚乳酸(PLA)生產生物塑膠

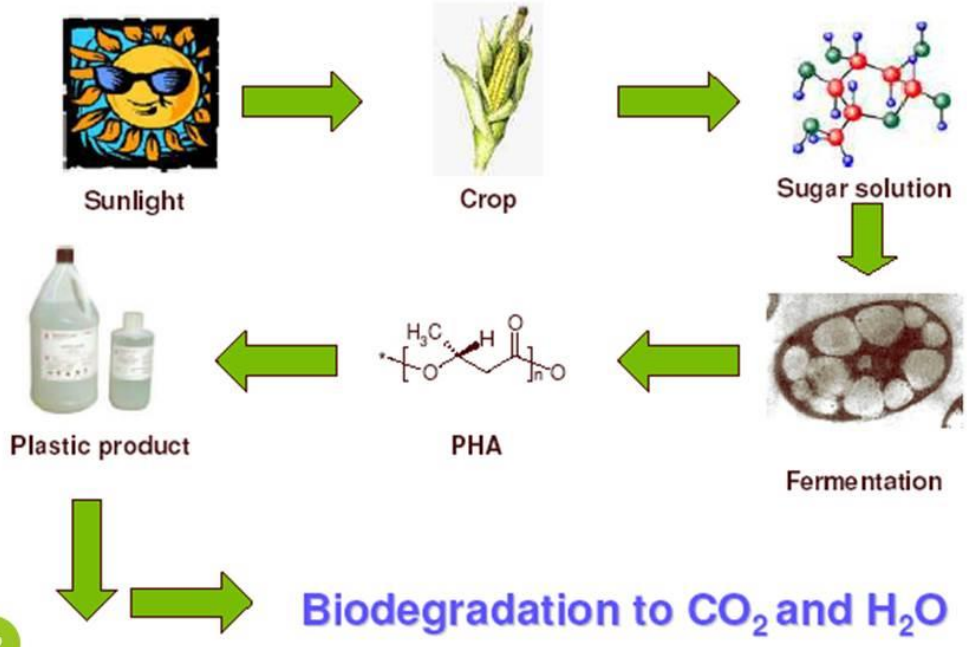



51

## 4.3-1 生物精煉技術-生物塑膠

2.原子經濟
7.使用再生原料 6.設計能源效率

聚羥基烷酯(PHA's)

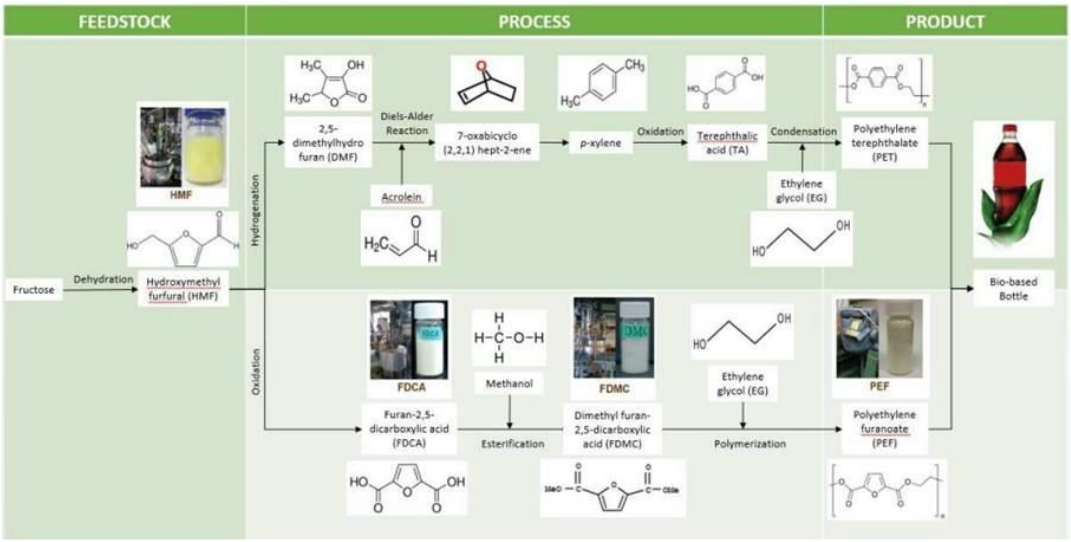



52

## 4.3-1 生物精煉技術-生物塑膠

9.選擇良好的催化劑 | 2.原子經濟
7.使用再生原料 | 6.設計能源效率

- 利用生物科技可將從果糖轉化而來的羥甲基糠醛合成PEF和PET，進而生產生物塑膠。



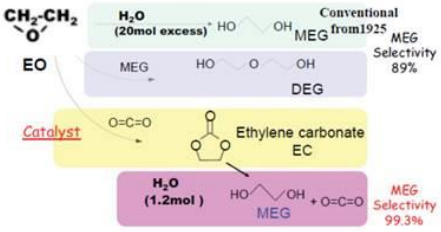

53

(Guneet Kaur, et, al., 2017)

## 4.4 創新化學合成技術

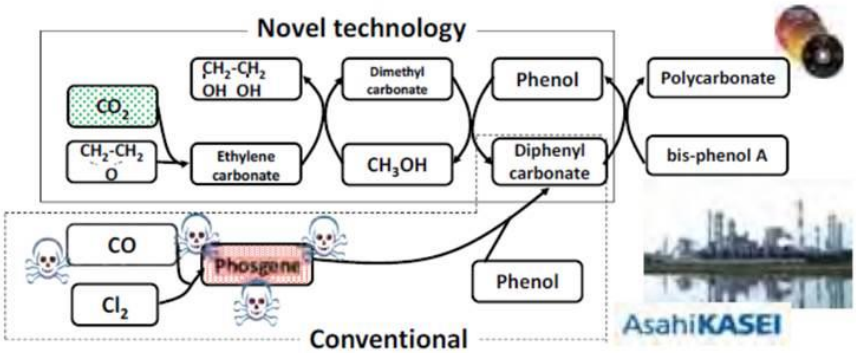
9.選擇良好的催化劑 | 2.原子經濟
7.使用再生原料 | 6.設計能源效率

- 選用較高效率的催化劑，加速化學反應速率
- 選用綠色溶劑（例如：CO2）取代傳統反應速率較慢且較高汙染的溶劑




*Ethylene glycol synthesis process using novel homogeneous catalyst.*

**Ethylene oxide production of monoethylene glycol technology and the traditional comparison**




54

**Novel and Traditional Comparison of Polycarbonate Production (Ushikubo, 2013)**

## 4.5 再生原料

2.原子經濟
7.使用再生原料

當技術和經濟條件允許時，原材料之選擇和使用應當盡可能可再生。

**Non-renewable**

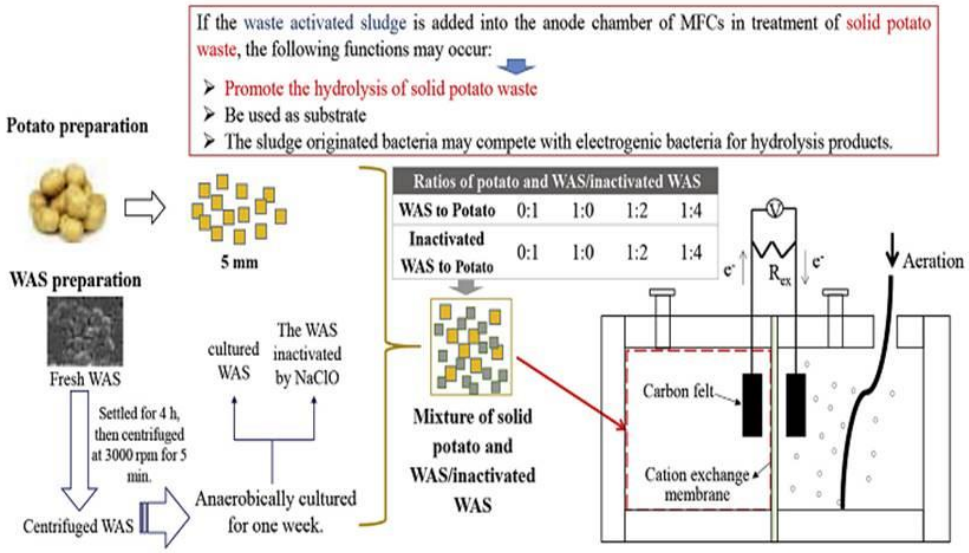
**Renewable**

55

## 4.5-1 再生原料：農作廢棄物再利用

2.原子經濟
7.使用再生原料

- 使用微生物燃料電池處理固體馬鈴薯廢棄物



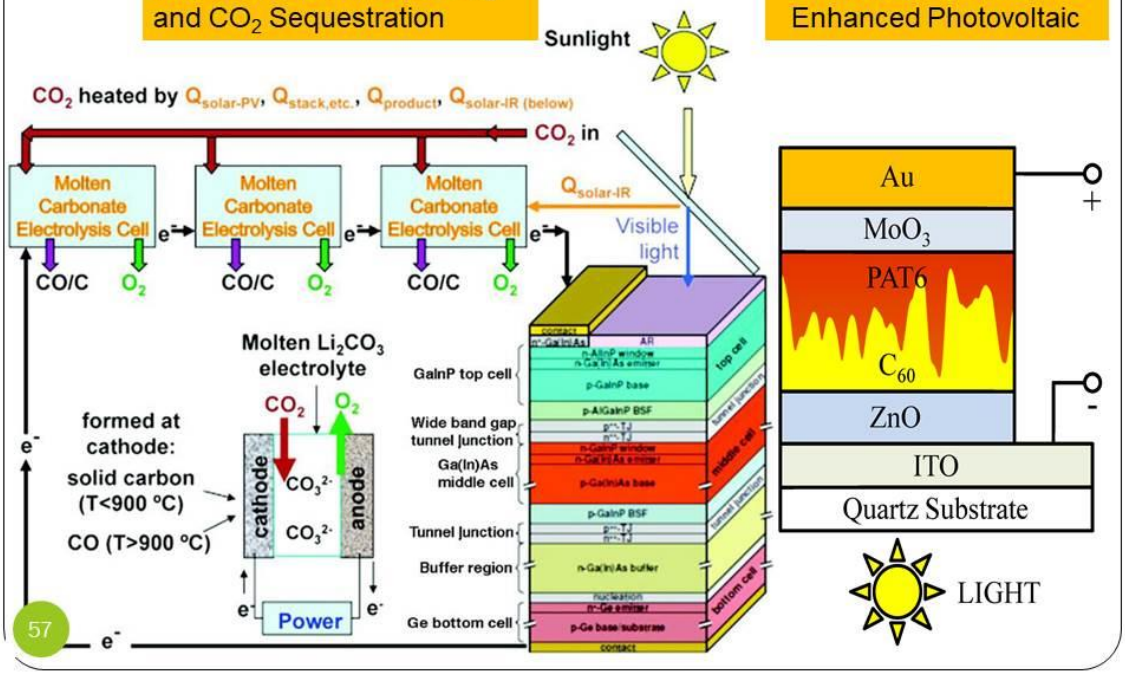

56

## 4.5-2 再生原料：太陽能電池與固碳

2.原子經濟
7.使用再生原料 6.設計能源效率

Fuel Cells, Fuel Processing and $CO_2$ Sequestration

Nanophotonics-Enhanced Photovoltaic

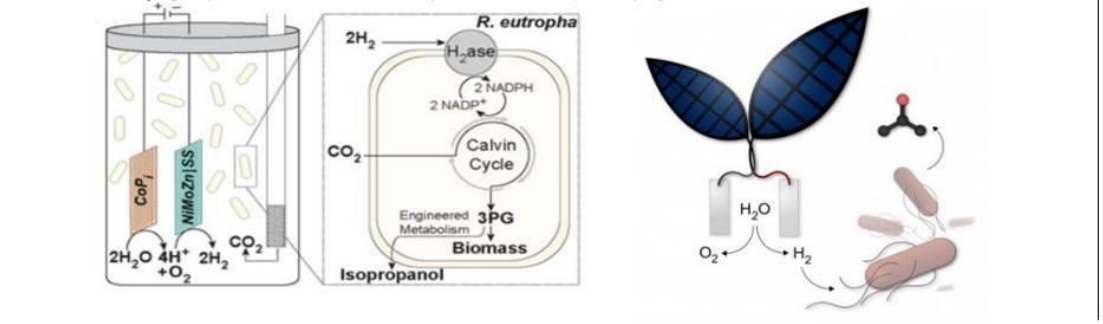


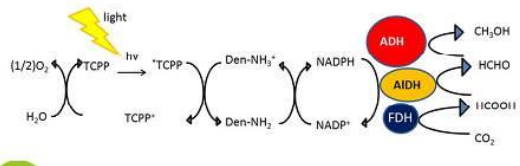

57

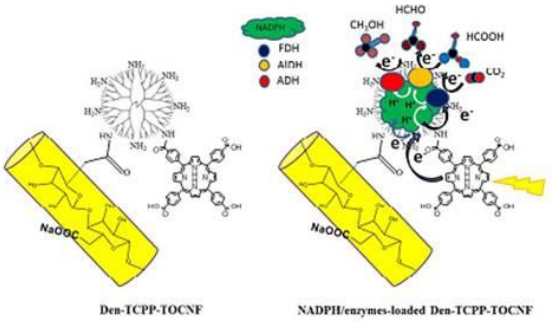
## 4.5-2 再生原料：太陽能電池與固碳

2.原子經濟
7.使用再生原料 6.設計能源效率

以CO2為原料並結合人工光合作用發展太陽燃料電池



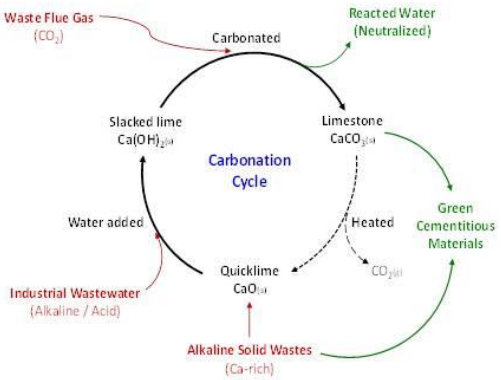



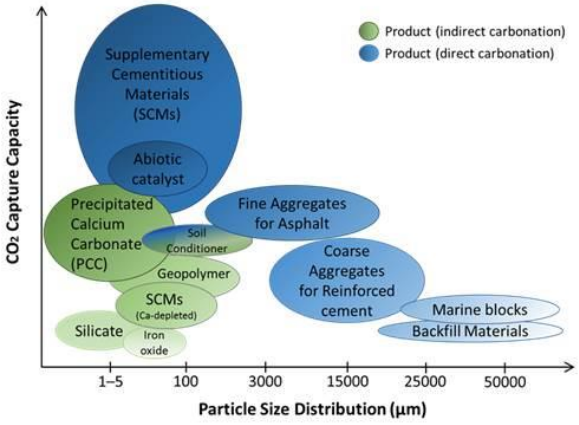

58

## 4.5-3 再生原料：鹼性廢棄物碳礦化於建材利用

2.原子經濟
7.使用再生原料

- 以鹼性廢棄物作為二氧化碳礦化捕獲之原料，礦化後之產物可研析其物化性質、晶項組成、 力學性質等作為綠色建材之替代原料。透過此技術不僅可有效廢棄物處理成本，並可提升降低$CO_2$排放以及開發新穎綠建材產品，具備節能減碳與循環減廢之效益。



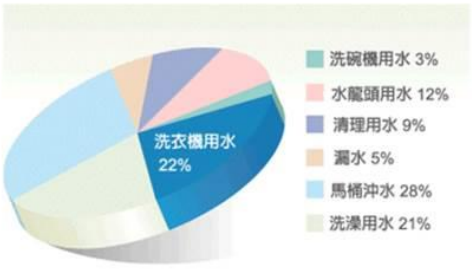




59

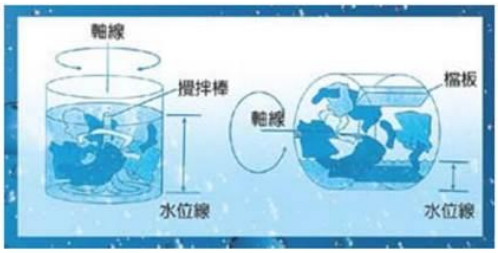
（資料來源：Pan et al., 2017）

## 4.6 家電用品的綠色製程

2.原子經濟
6.設計能源效率




▲ 圖 1 生活用水比例




▲ 圖 3 垂直式與水平式水位線之比較

品項包括
(1)特力屋股份有限公司與朝盟股份有限公司的「不鏽鋼置物架系列（10件）」，每件碳足跡數值介於2.6~10kgCO2e；
(2)六堆釀興業有限公司的「純釀醬油系列（3件）」，每瓶碳足跡介於0.9~1kgCO2e
(3)台灣高速鐵路股份有限公司的「高速鐵路運輸服務」，碳足跡數值為每人每公里38gCO2e。

洗衣機用水量佔生活用水比例超過2成，國內家庭洗衣機普及率在8成以上，提升洗衣機省水效率推估每年即可節省9千萬噸的水量。

http://www.wcis.org.tw/Upload/QUARTC/000166/26-10.pdf

60

## 4.7 綠色設計

6.設計能源效率

綠色設計

今天的Airbus飛機只有1970年代的十分之一的碳足跡

新的引擎與機身設計，在油耗方面減少40％

http://ec.europa.eu/research/transport/news/items/europe_s_airbus_wins_award_for_green_manufacturing_en.htm

綠色設計

波音公司於2014年首先使用添加15％生質柴油的航空用油

目標為通過使用航空用生質柴油節省50-90％的石化碳排放

http://www.manufacturing.net/news/2014/12/boeing-conducts-worlds-first-flight-with-green-diesel

61

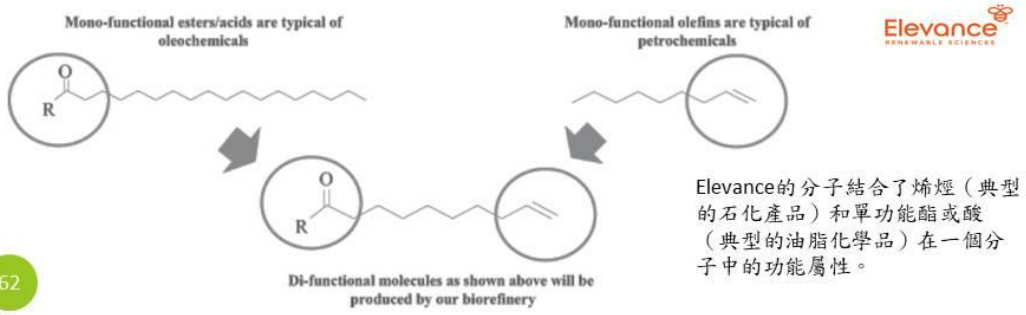
## 4.8 複分解催化技術

9.選擇良好的催化劑 2.原子經濟
7.使用再生原料 6.設計能源效率

**Case study: Elevance Renewable Sciences, Inc.**

**利用複分解催化以有利的成本生產高性能的綠色特種化學品**

- Elevance採用高性能催化劑技術來分解天然油脂，並將碎片重新組合成新型高性能綠色化學品。 減少能源消耗且溫室氣體排放量減少了50%。 並可應用至多種用途的特殊化學品，如高濃度冷水清潔劑，可提供更好的清潔效果，同時降低能源成本。
- 複分解催化是一種化學反應，它使用高效和選擇性的催化劑來分解並將分子重新組合成新的化學品；Elevance使用複分解法來製造新穎的雙官能團分子，可用作特種化學品官能基。



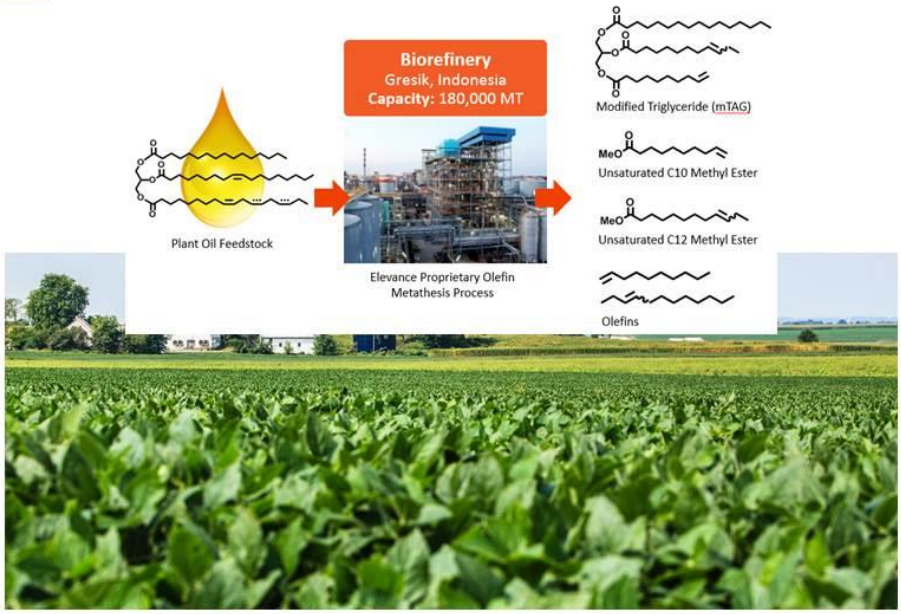

Elevance的分子結合了烯烴（典型的石化產品）和單功能酯或酸（典型的油脂化學品）在一個分子中的功能屬性。

62

## 4.8 複分解催化技術

9.選擇良好的催化劑 | 2.原子經濟
7.使用再生原料 | 6.設計能源效率

**Case study: Elevance Renewable Sciences, Inc.**




63

# 五、推動綠色化學創新技術發展策略

64

## 5.1 發展綠色化學關鍵技術

| 研發主題 | 研發課題 |
|---|---|
| 綠色設計與綠色製程 | • 設計環境友善之製程<br>• 設計污染及意外防制<br>• 確保能源及資源之永續性<br>• 保障製程之安全及保全<br>• 建立製程之生命週期分析 |
| 永續材料與產品 | • 發展綠色化學資源與產品市場機制<br>• 實踐資源生產與原子經濟之最佳化<br>• 推動碳循環與再利用技術<br>• 開發高附加值產品<br>• 建立永續物料管理 |
| 循環經濟商業模式 | • 建立生態工業園區<br>• 發展創新綠色供應鏈<br>• 實踐6R原則（產品再設計、廢棄物減量、資源再生、資源循環產品再利用及產品再生）<br>• 整合廢棄物資源化管理<br>• 建構經濟誘因機制 |

65

## 5.2 發展綠色化學技術-案例彙整

| 技術名稱 | 技術簡介 | 與綠色化學原則相關性 | 國家案例 |
|---|---|---|---|
| 電子廢棄物回收技術 | 建立電子廢棄物回收中心，可將廢舊光碟與廢棄PCB進行回收，而後在後續新電腦的生產過程中進行再利用。 | (1)防止廢棄物<br>(6)設計能源效率<br>(7)使用再生原料<br>(8)減少衍生物<br>(10)可降解之設計 | 日本、美國 |
| 電子廢棄物貴金屬回收技術 | 透過溶劑剝除方式或離子交換系統方式，將廢棄電路板上的貴重金屬分離回收再利用。 | (1)防止廢棄物<br>(3)較少的有害化學合成<br>(5)更安全的溶劑與助劑<br>(6)設計能源效率<br>(7)使用再生原料<br>(8)減少衍生物 | 台灣、中國 |
| 高效能生物催化技術生產辛伐他汀(Simvastatin) | 利用生物催化設計辛伐他汀的綠色製造方法，同時優化化學反應過程 | (1)防止廢棄物<br>(3)較少的有害化學合成<br>(4)設計更安全的化學品<br>(8)減少衍生物<br>(12)以更安全的化學品防止意外發生 | 美國 |
| 利用酵素發酵反應將CO/CO2轉化為乙醇 | 異氰酸酯(isocyanate )可作為製備聚氨酯(polyurethane)原料；使用無毒的化學原料代替異氰酸酯，與amine反應，合成多羥基聚氨酯(polyhydroxy urethane)，作為聚氨酯的替代化學藥劑 | (3)較少的有害化學合成<br>(4)設計更安全的化學品<br>(5)更安全的溶劑與助劑<br>(8)減少衍生物 | 美國、英國 |

## 5.2 發展綠色化學技術-案例彙整

| 技術名稱 | 技術簡介 | 與綠色化學原則相關性 | 國家案例 |
|---|---|---|---|
| 使用液態二氧化碳取代四氯乙烯作為綠色溶劑 | 四氯乙烯可做為有機化學合成溶劑，但是卻會造成地下水體污染，因此改用液態二氧化碳作為綠色溶劑。 | (3)較少的有害化學合成<br>(4)設計更安全的化學品<br>(5)更安全的溶劑與助劑<br>(8)減少衍生物 | 美國 |
| 應用酶減少強效紙與紙板所需的能源和木纖維 | 使用酶改良木材中的纖維素以增加將木纖維彼此粘合的纖維數量，使紙張具有更高的強度和質量 - 無需額外的化學品或能源。使得造紙能夠減少木材纖維和更高比例的再生紙。 | (1)防止廢棄物<br>(3)較少的有害化學合成<br>(4)設計更安全的化學品<br>(5)更安全的溶劑與助劑<br>(6)設計能源效率<br>(7)使用再生原料<br>(8)減少衍生物 | 美國、中國、日本 |
| 生物精煉技術 | 整合農業副產品與生物煉油技術所產生的廢棄物與副產品作為生物煉製原料的利用。例如：利用聚乳酸 (PLA)生產生物塑膠。 | (1)防止廢棄物<br>(3)較少的有害化學合成<br>(4)設計更安全的化學品<br>(8)減少衍生物<br>(12)以更安全的化學品防止意外發生 | 美國、加拿大歐洲 |
| 鹼性廢棄物碳礦化發展綠色建材 | 以鹼性廢棄物作為二氧化碳礦化捕獲之原料，礦化後之產物可研析其物化性質晶項組成、 力學性質等作為綠色建材之替代原料。透過此技術不僅可有效廢棄物處理成本，並可提升降低CO2排放以及開發新穎綠建材產品，具備節能減碳與循環減廢之效益。 | (1)防止廢棄物<br>(3)較少的有害化學合成<br>(7)使用再生原料<br>(8)減少衍生物 | 歐洲、中國、台灣 |

67

## 5.3-1 盤點國內實踐綠色化學技術之重點產業

- 印刷電路板產業：

- ☐ 電子廢棄物拆解系統
- ☐ 廢棄材料分選與分類
- ☐ 金屬材料回收系統
- ☐ 貴金屬剝除回收純化
- ☐ 塑膠廢棄物回收再利用

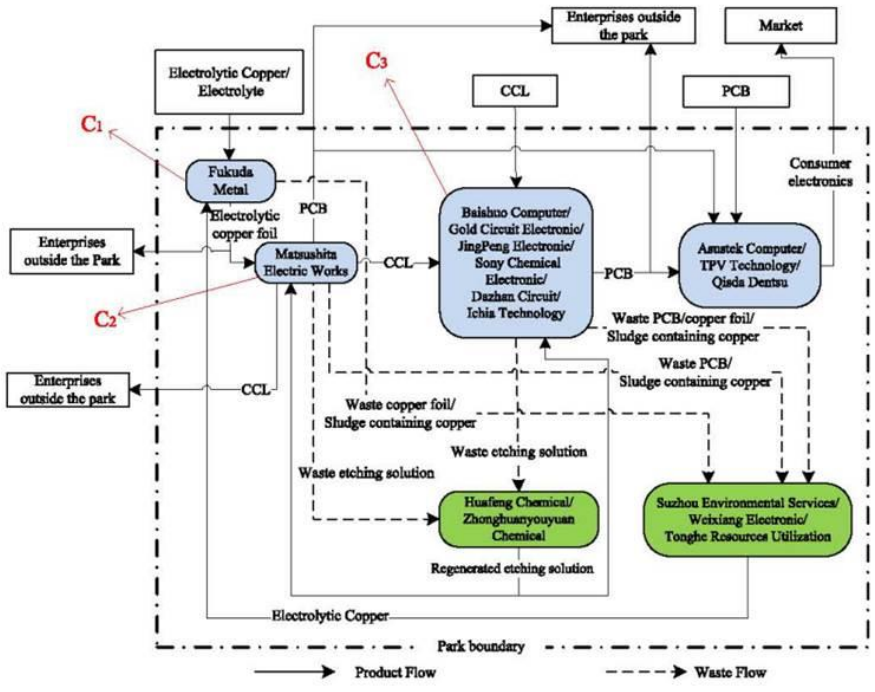
68

## 5.3-1 盤點國內實踐綠色化學技術之重點產業

| 綠色化學原則 | PCB產線 |
|---|---|
| 1. Prevent Waste | • Cut 開料 |
| 2. Atom Economy | • Etching 刻蝕 |
| 3. Less Hazardous Synthesis | • Electroless Ni/Au化學鍍 |
| 4. Design Benign Chemicals | • PTH 化學沉銅 |
| 5. Benign Solvents & Auxiliaries | • Plating Ni/Au電鍍 |
| 6. Design for Energy Efficiency | • silk-screen printing |
| 7. Use of Renewable Feedstocks | • Water Based Ink |
| 8. Reduce Derivatives | • Automation Control |
| 9. Catalysis (vs. Stoichiometric) | • Environmental agents |
| 10. Design for Degradation | • Acid and alkali reuse |
| 11. Real-Time Analysis for Pollution Prevention | • Strict control of dangerous chemicals. |
| 12. Inherently Benign Chemistry for Accident Prevention | |

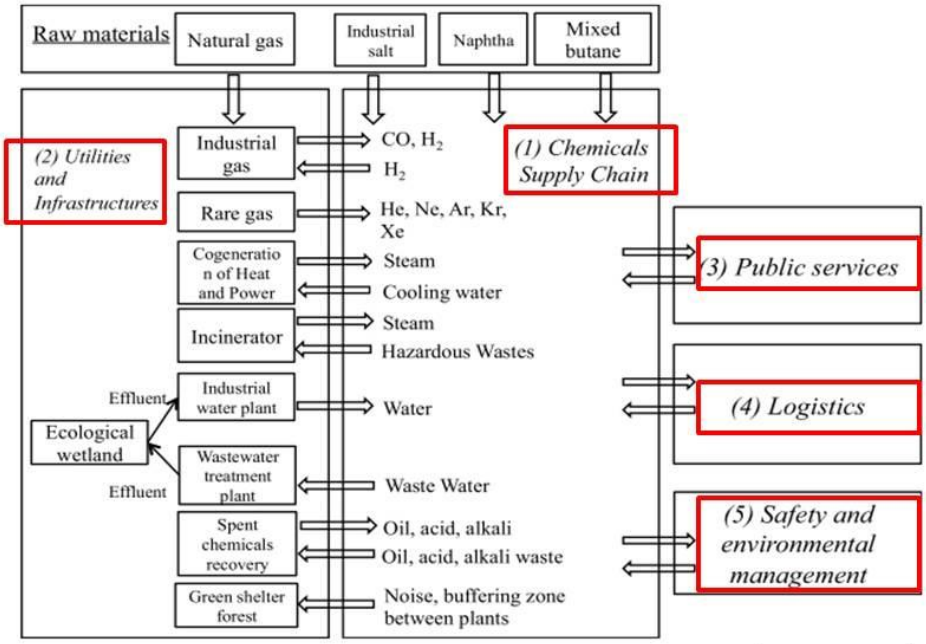
## 5.3-1 盤點國內實踐綠色化學技術之重點產業

- 印刷電路板產業：



## 5.3-2 盤點國內實踐綠色化學技術之重點產業

- 石化業：




(Jeremy H. Yune, et al. 2016)

71

## 5.3-3 盤點國內實踐綠色化學技術之重點產業

- 農林業：

農業廢棄物 → 殺菌劑材料 → 家禽畜產品

水稻根莖/穀殼

牡蠣殼/蝦殼

萃取程序

1.殺菌劑載體
2.納米材料

殺菌劑產品

生物塑膠產品

72

## 5.3-3 盤點國內實踐綠色化學技術之重點產業

- 農林業：

◆釀酒穀物與水果廚餘

◆ 關鍵材料與技術

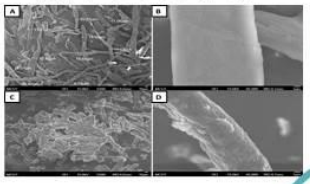
**廚餘推肥**

啤酒蒸餾/釀酒廠

- 廚餘所產生的纖維素

**纖維素純化**

羧甲基纖維素



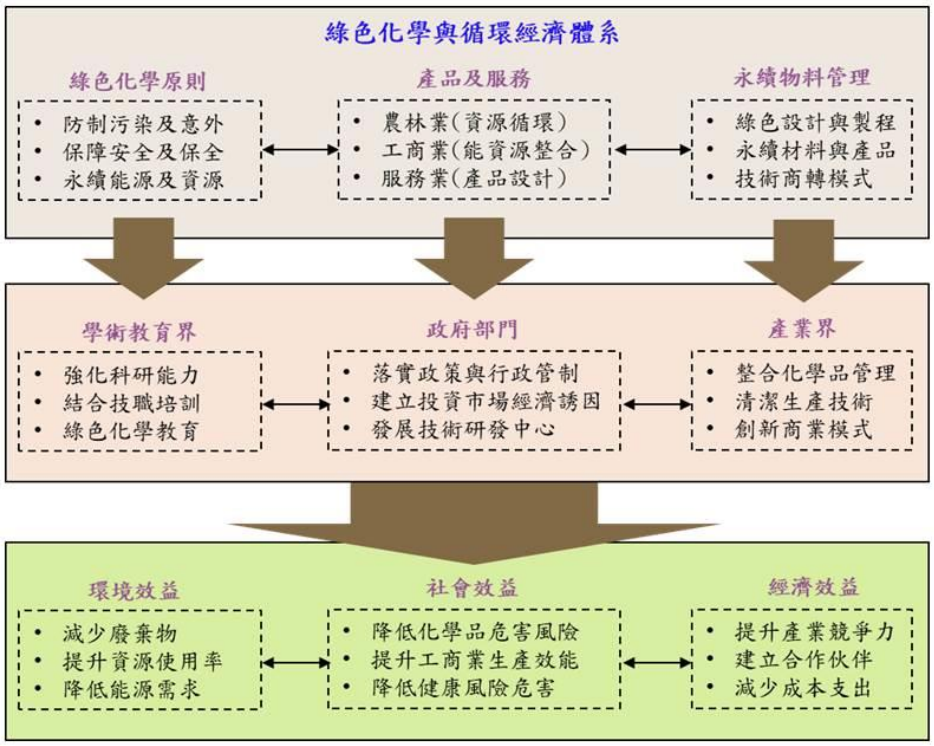
1.纖維素分離技術
2.纖維素和明膠膜的合成
3. 物理化學材料性質測試

**高附加價值薄膜產品**

- 食品業
  - 加工食品
- 化妝品
  - 化妝品材料
  - 面膜產品
- PCP產業
  - 印刷電路板

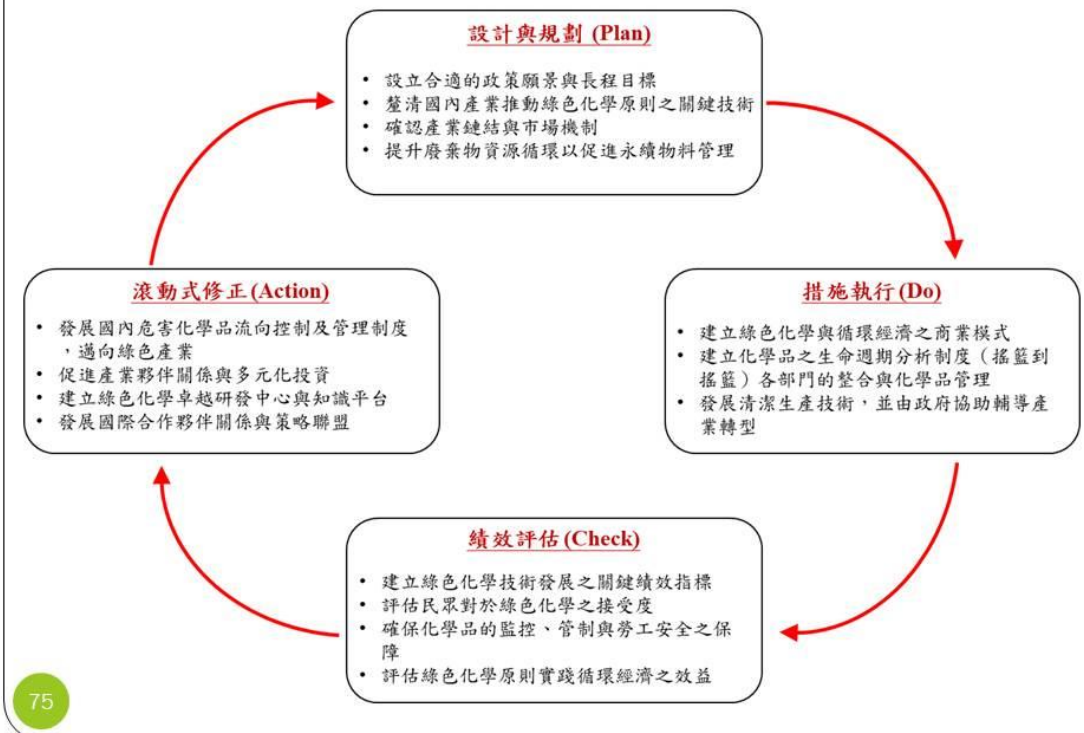
73

## 5.4 研擬綠色化學原則落實永續物料管理策略




74

## 5.4 研擬綠色化學原則落實永續物料管理策略




75

## 5.5 推動綠色化學創新技術發展策略

### （一）設置專責化學技術部門，建置綠色化學技術研發中心：

- 規劃設置專責管理部門，統合化學技術管理，提昇實質效益；
- 加強跨區域合作機制，建置資源循環利用網絡與平台；強化化學產業與資源回收業者之競合關係，建立綠色化學整合之關鍵技術；供應端可為化工或電子產業，回收技術研發為需求端之優化方案；
- 改善化學管理結構：持續開發原料及能源替代方案，提高原料及能源使用效益

### （二）建立國外廠商合作機制，促成關鍵技術設備本土化：

- 加強綠色產業技術的國際交流和合作，積極引進及吸收先進技術，推廣和應用於清潔生產技術和製程。
- 充分利用市場機制，激勵技術創新。加快培育關鍵技術之專業人員。從研究經費、稅收和信貸上，支持綠色產業的研發，發展可實際應用的生產技術。
- 發展創新綠色化學技術示範亮點，建構區域綠色化學資訊交流平台，藉由策略聯盟合作開發縮短產品研發時程，推展綠色化學品應用市場。

76

## 5.5 推動綠色化學創新技術發展策略

### （三）強化資源再生體系，落實永續物料管理

- 打通業者與使用者上中下游通路，包含廢棄物來源、資源回收、產品功能設計、產品銷售規劃以及產品使用者等，建構資源化學品產業體系作為循環經濟實踐基礎。
- 推動綠色化學產業之能源與水資源鏈結與廢棄物資源化技術，建立生命週期評估，完善循環永續綠色化學創新技術指標體系，量化各類再利用技術之環境效益。
- 建立循環永續綠色化學能資源化綠色供應鏈模式，提出最適化發展方案，落實永續物料管理。

### (四)建立綠色財稅經濟誘因，活絡綠色產業市場機能

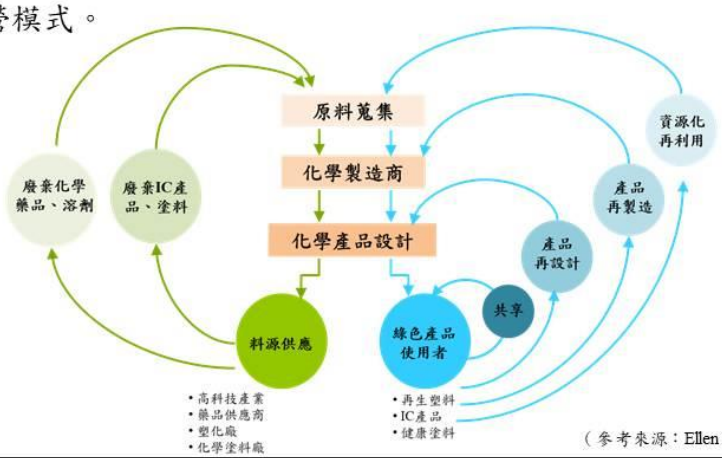
- 開創多元化的投資環境，促成綠色產業的市場機制；強化環境投資政策；著重多元化、商業化、與國際化。
- 吸引外國直接投資時必須考慮保護國內產業。逐步調整外商投資領域的產業，制定鼓勵、限制、嚴格限制、禁止外商投資產業與項目。如積極引進清潔生產技術，鼓勵外資投資於綠色產業。
- 綠色稅收體制可有效提升資源的合理利用，解決政府的收支問題，也可促進貿易與環境的平衡發展，有利於國家和企業長遠發展。可借鏡國外成功經驗，開徵污染排放稅、污染產品稅、生態環境稅等稅種。

77

## 5.5 推動綠色化學創新技術發展策略

### （五）整合原料產品市場，建立循環經濟體系

- 整合原料蒐集、化學品製造商、產品設計、料源供應鏈與消費端，建構綠色化學循環經濟體系。
- 建立化學品之能源投入產出評估準則，提高投資擇優決策品質，確保化學品淨節能效益及真實環境效益，訂定搖籃到搖籃之生命週期策略。
- 建構民間組織與相關公協會夥伴關係以提升綠色化學經濟、環境與健康效益之溝通與教育工作，建立綠色化學發展之示範案例，完善綠色產業合作經營模式。




（參考來源：Ellen Macarthur Foundation）

78

# Thank you for your attention !!!

*Questions and Comments ??*

79

***Contact Information:*** *hsiehcc@yuntech.edu.tw*
*pcchiang@ntu.edu.tw*

National Taiwan University

# 「永續綠色化學與循環經濟政策研析」講習會議

## 主題三：綠色化學與綠色工程教育

主辦單位：行政院環境保護署毒物及化學物質局

協辦單位：國立臺灣大學碳循環永續技術與評估研究中心

主講人：侯嘉洪　副教授

107年5月29日

## 大綱

一. 各國綠色化學教育推廣情勢

二. 綠色工程理念

三. 綠色工程原則

四. 綠色工程應用

五. 綠色化學與綠色工程教育推動策略

2

# 一、各國綠色化學教育推廣情勢

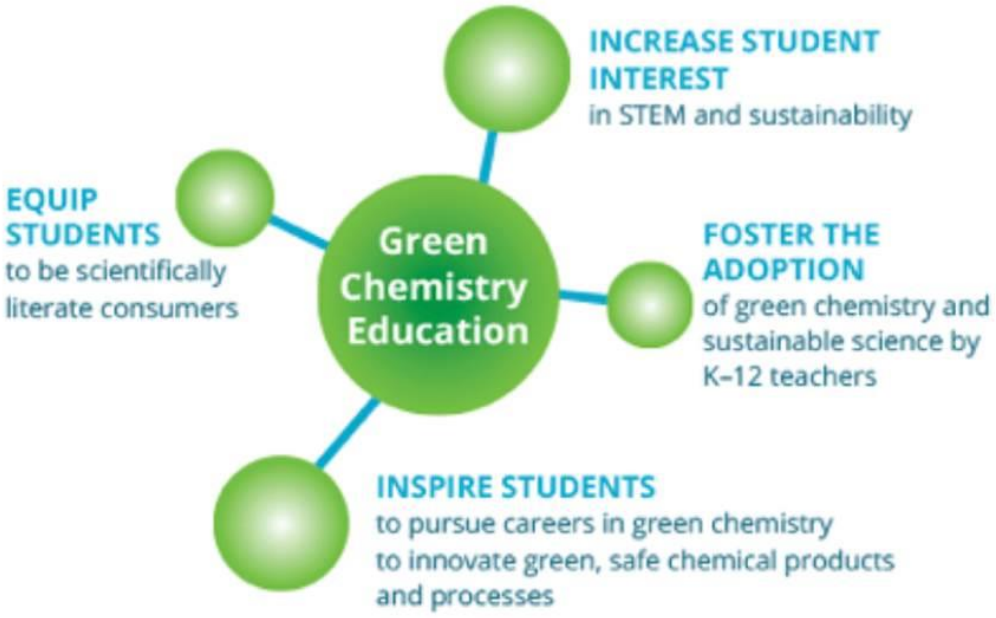
3

## 1.1 各國綠色化學原則之實踐：教育宣導

| 防制污染及意外 | 保障安全及保全 | 永續能源及資源 |
| --- | --- | --- |
| 鼓勵從自然保護到環境教育與學科的貢獻 | 合理的化學品設計：降低急性水生毒性 | 研究提升原子結構鏈結，促進化學品合成效率 |
| 提倡廢棄物防治，最小化，再利用與回收 | 英國催化中心推動不同化學催化濟研究組合 | 推廣含有納米顆粒的化學產品和製品 |
| 創立資源循環獎勵金 | 在原加油站進行現場現場試驗，監測生物降解情況 | 通過建立產學平台促進化學生產與生物原料的開發 |
| 鼓勵學術研發塑料回收技術 | 提倡化學品安全的原則，消除不必要的複雜性，使操作錯誤的可能性降低 | “可再生資源專用化學品 – Greenchem”研究項目側重於生產可再生原料的精細化工產品的生物催化劑的開發和應用 |
| 推廣高效化學合成聚醣技術 | | |

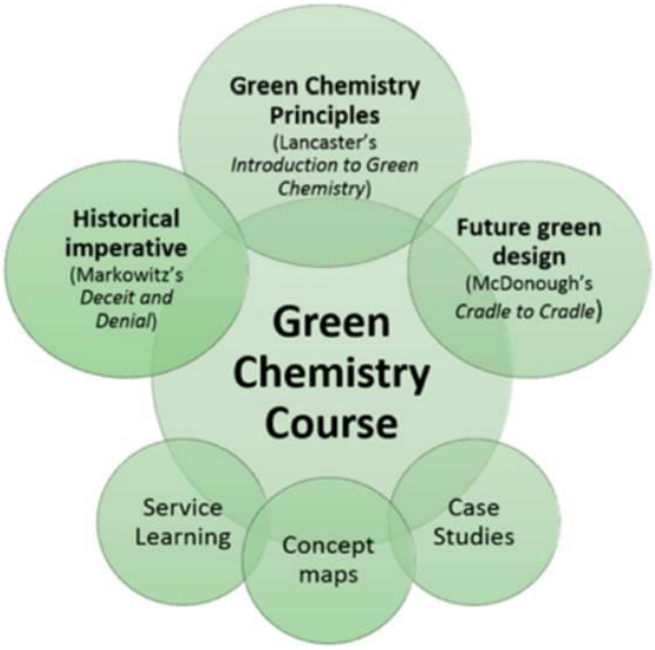
4

## 1.2 綠色化學教育目的




5

## 1.3 綠色化學原則融入化學教育體系




6

# 二、綠色工程理念

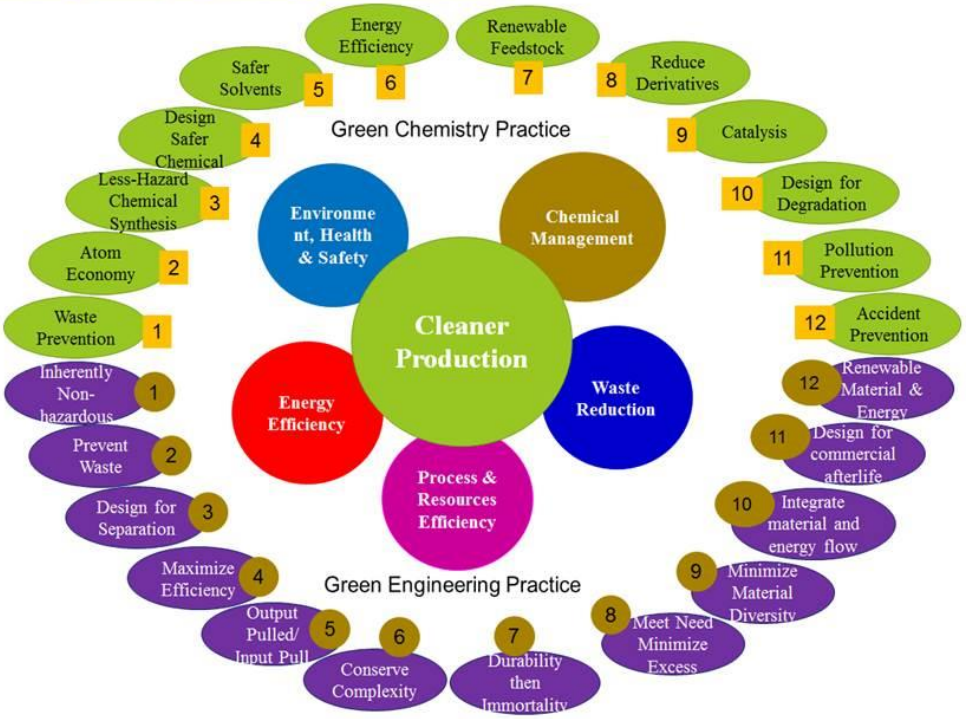
7

## 2.1 綠色化學與綠色工程原則

| | 綠色化學12項原則 (GC) | 綠色工程12項原則 (GE) |
|---|---|---|
| 1 | 防止廢棄物 | 設計者須盡量確保質能輸入與輸出的低風險性 |
| 2 | 原子經濟 | 預防勝於治療 |
| 3 | 較少的有害化學合成 | 設計分離及純化程序將質能消耗降至最低 |
| 4 | 設計更安全的化學品 | 系統的設計需考量質量、能量，以及時間效率的最大化 |
| 5 | 更安全的溶劑與助劑 | 系統應由物質及能量的“輸出拉力”而非“輸入推力”控制 |
| 6 | 設計能源效率 | 物質及能量的保存複雜度 |
| 7 | 使用再生原料 | 設計目的為目標耐用性，而非不滅性 |
| 8 | 減少衍生物 | 滿足需求，避免過量 |
| 9 | 選擇良好的催化劑 | 減少材料的多樣性 |
| 10 | 可降解之設計 | 整合可取得的能源與物質 |
| 11 | 即時分析污染防治 | 考慮產品使用完畢後之性能 |
| 12 | 以更安全的化學品防止意外發生 | 使用可再生而非消耗的能源與物料 |

8

## 2.1 綠色化學與綠色工程原則




9

## 2.1-1 綠色化學與綠色工程相關性

| 項目 | 綠色化學原則 | 與綠色工程原則相關 |
|---|---|---|
| GC 1 | 防止廢棄物 | GE 1, GE 2, |
| GC 2 | 原子經濟 | GE 6, GE 11 |
| GC 3 | 較少的有害化學合成 | GE 1, GE 2, GE 8 |
| GC 4 | 設計更安全的化學品 | |
| GC 5 | 更安全的溶劑與助劑 | |
| GC 6 | 設計能源效率 | GE 4, GE 10 |
| GC 7 | 使用再生原料 | GE 6, GE 12 |
| GC 8 | 減少衍生物 | GE 1, GE 8 |
| GC 9 | 選擇良好的催化劑 | GE 3, GE 4, GE 5, GE 10 |
| GC 10 | 可降解之設計 | GE 3, GE 9 |
| GC11 | 即時分析污染防治 | |
| GC 12 | 以更安全的化學品防止意外發生 | |

10

## 2.2 綠色工程定義

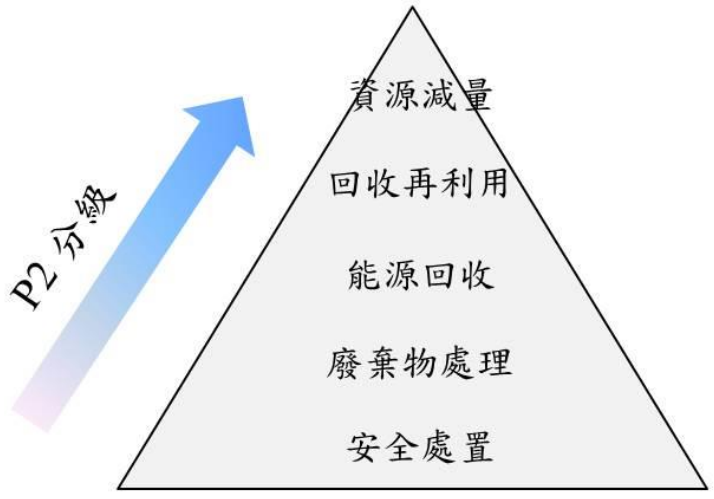
- 綠色工程以可行且經濟的方式於設計、商品化、生產與使用等過程中兼顧以下兩點:
  - 於源頭減少污染物的產生
  - 減少對於人體健康以及環境產生危害的風險

- 綠色工程是一門包含全部傳統工程專業的學科
  - 化學工程
  - 機械工程
  - 環境工程等

11

## 2.3 污染防治Pollution Prevention (P2)

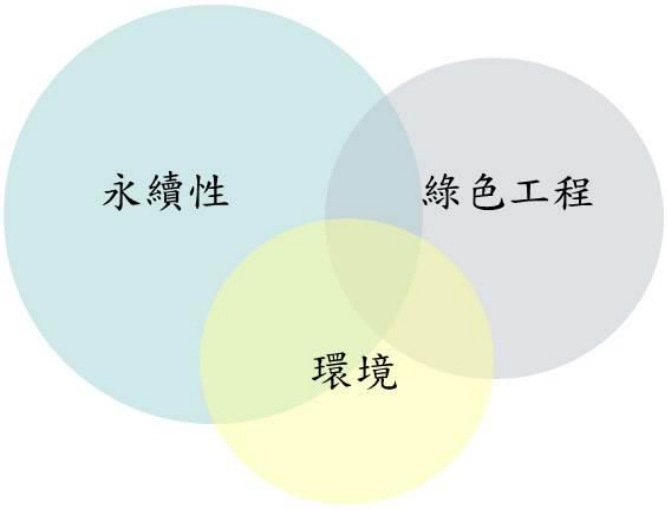
- 提升使用原料、能源、水和其他資源之效率以及節約資源的使用確保資源不會匱乏




12

## 2.4 永續性

- 永續發展： 在不影響未來世代生存之權益，提供人類發展之需求。




13

## 2.4-1 永續性挑戰

- 埃利希和霍爾德倫(Ehrlich and Holdren) (1971)： I = P *A *T
  - I : 人類活動造成之衝擊 (human impact)
  - P: 人口 (population)
  - A: 富裕 (affluence)
  - T: 科技 (technology)
- 解決根本永續性的挑戰：
  - 人類健康
  - 能源
  - 食物
  - 水
  - 資源耗竭 等議題

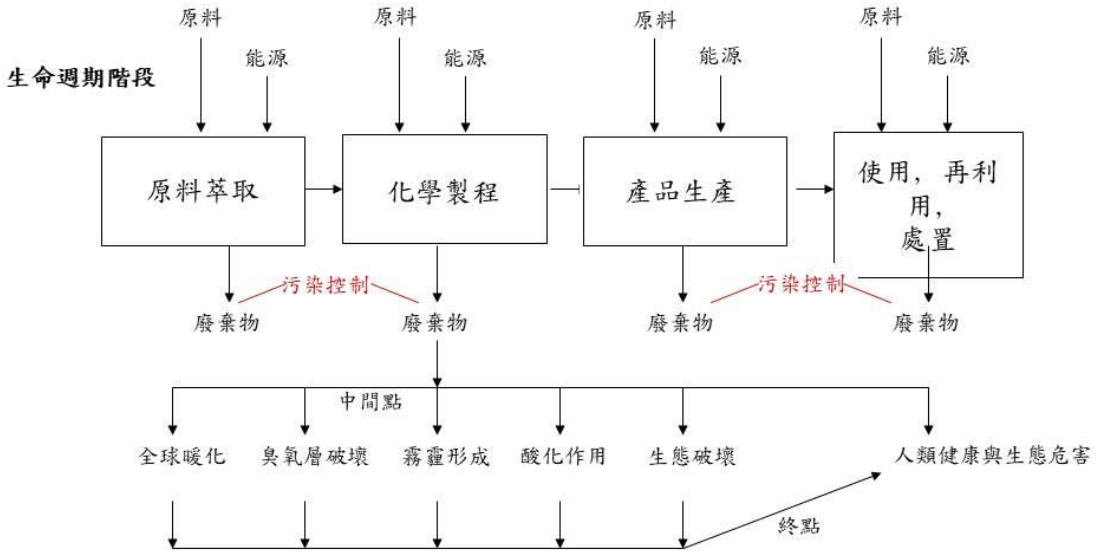
14

## 2.5 環境議題

- 全球能源議題
- 材料使用
  - 礦物、金屬、有機物
  - 水
- 環境議題
  - 全球暖化
  - 跨區域性與地方性之空氣品質
  - 空氣污染規範
  - 水質
  - 廢棄物

15

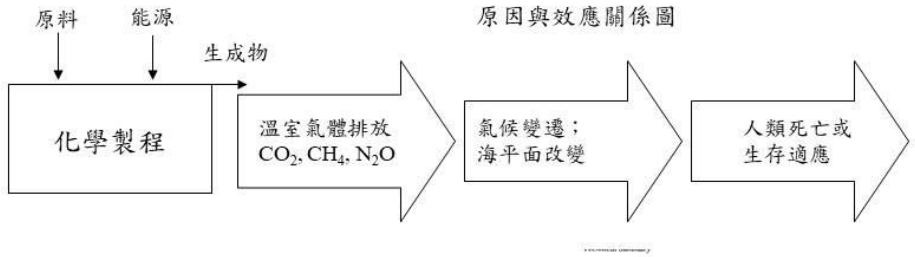
## 2.5-1 環境衝擊範圍



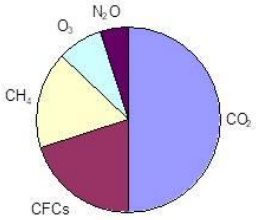

16

David Shonnard, Michigan Technological University

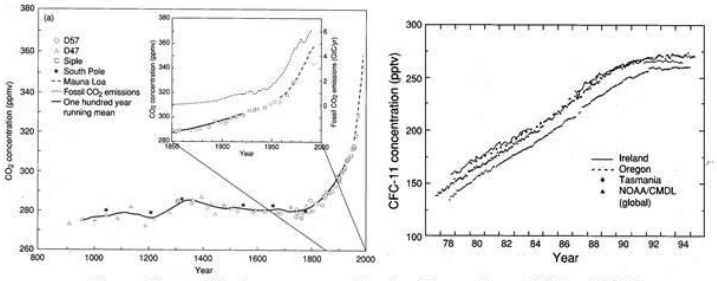
## 2.5-2 全球暖化與相關衝擊




原因與效應關係圖




Contribution to global Warming; *Phipps, NPPC, http://www.snre.umich.edu/nppc/*

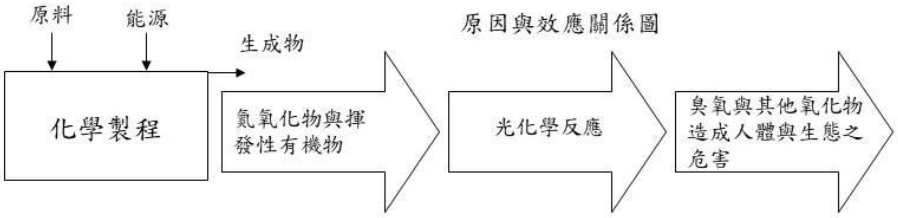



*Climate Change 1995, Intergovernmental Panel on Climate Change, WMO and UNEP, Cambridge University Press, 1996.*

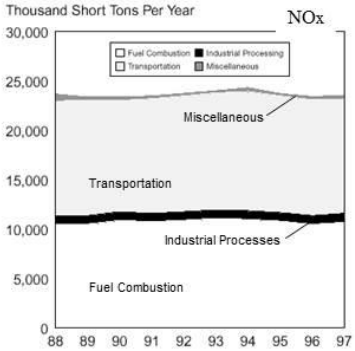
17

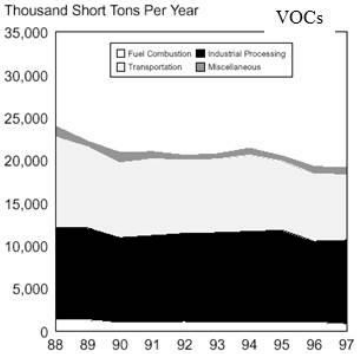
David Shonnard, Michigan Technological University

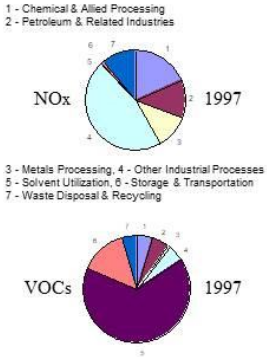
## 2.5-3 霧霾污染與相關衝擊




原因與效應關係圖



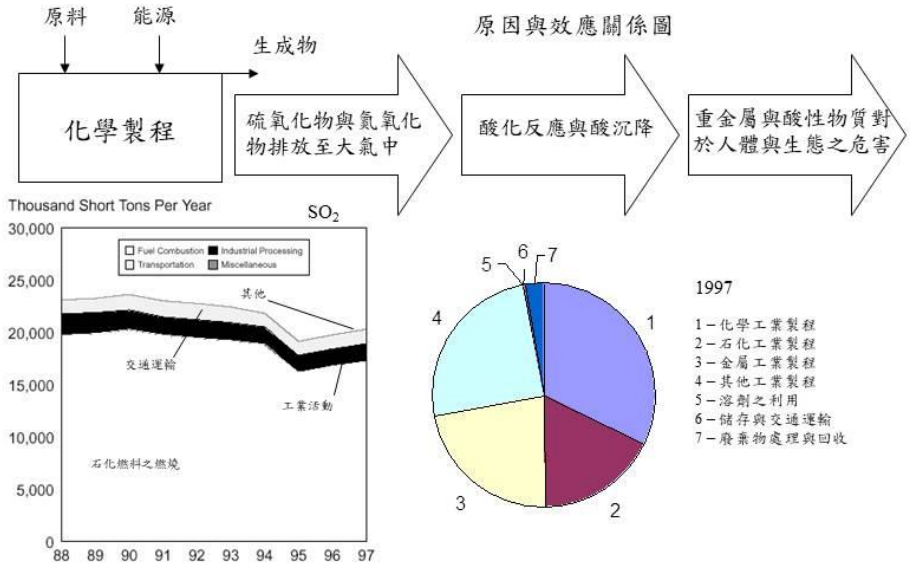




*National Air Quality and Emissions Trends Report, 1997, U.S. EPA Office of Air Quality Planning and Standards, http://www.epa.gov/oar/aqtrnd97/chapter2.pdf*

18

David Shonnard, Michigan Technological University

## 2.5-4 酸雨與酸沉降

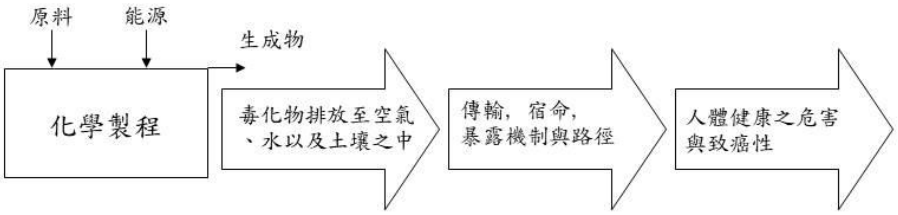



*National Air Quality and Emissions Trends Report, 1997, U.S. EPA Office of Air Quality Planning and Standards, http://www.epa.gov/oar/aqtrnd97/chapter2.pdf*

19



## 2.5-5 危害人體健康之毒化物




資源保育及回收法案(RCRA, Resource Conservation and Recovery Act)—主要管制有害與毒性物質的製造、運輸及最終處置，並降低或避免有害廢棄物之產生，而所產生之廢棄物也要妥善處理以免危害健康及環境。RCRA法案規範之有害廢棄物，化學品佔其中的51％。

美國緊急事故應變計畫與社區知權法(EPCRA, Emergency Planning and Community Right to Know Act)—加速人員了解工作場所中所存在之危害性化學品之資訊，使人員能掌握危害性化學品排放至環境中之情形，並有助於管理廢棄化學品。EPCRA法案所規範之有害廢棄物中，化學品佔其中的27％。

20

# 三、綠色工程原則

21

## 3.1 綠色工程原則

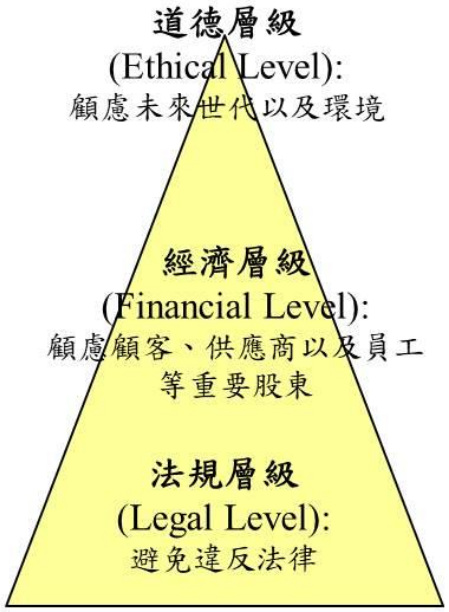
- 藉由工業程序的設計與應用，達到永續的目的。
  - 考量生命週期
  - 廣泛應用：產品、程序及系統
- 綠色工程的十二項原則

永續發展 ➡ 綠色工程 ➡ 永續性

22

## 3.2 綠色工程倫理

柯爾伯格(Kohlberg's)
道德發展模型




綠色工程倫理發展模型

23

## 3.3-1 綠色工程原則一

- 原則一

  設計者須盡量確保質能輸入與輸出的低風險性

  - 降低危害性
  - 降低暴露性

$$風險 = f(危害性，暴露性)$$

  - 例： 生物塑料，乳酸乙酯溶劑，無氯水消毒
  - 新興污染物及奈米粒的風險？

24

## 3.3-2 綠色工程原則二

- 原則二
- 預防勝於治療
  - 半導體製程，2 克晶圓：1.7 公斤廢水 (Willams et al., Environ. Sci. Technol. 2002).
  - 製藥程序，1 公斤產品：100 公斤廢水(Sheldon, Chem. Ind., 1992).
  - 輸入質量 → 輸出廢棄物
  - 廢棄物是人為概念
    - 在工業循環生態中，一個系統所產生的廢棄產物(對該系統無用的物質)，可成為另一系統的輸入原料或進一步作為其他用途。

25

## 3.3-3 綠色工程原則三

- 原則三
- 設計分離及純化程序將質能消耗降至最低
  - 分離及純化程序需要時間、質量與能量的投入
  - 將產物分離、純化程序的消耗降至最低所節省的質量、能量及時間相當可觀。
  - 自動分離：
  - 催化分離
    - 自潔表面，例：蓮花效應(lotus effect)
    - 奈米科技的應用

26

## 3.3-3 綠色工程原則三

### 蓮花效應(The Lotus Effect)

- W. Barthlott, C. Neinhuis, Purity of the sacred lotus, or escape from contamination in biological surfaces, *Planta* (1997) 202: 1–8.

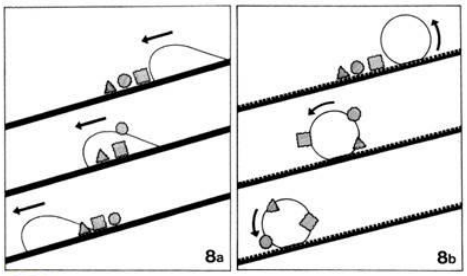



**Fig. 8a,b.** Diagram summarizing the connection between roughening and self-cleaning. While on smooth surfaces the particles are mainly redistributed by water (**a**), they adhere to the droplets surfaces on rough surfaces and are removed from the leaves when the droplets roll off (**b**)

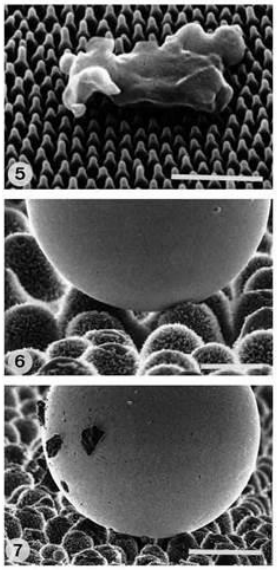



**Fig. 5.** Contaminating particle on a regularly sculptured wing surface of *Cicada orni*, demonstrating the decreased contact area between a particle and a rough surface. *Bar* = 1 μm

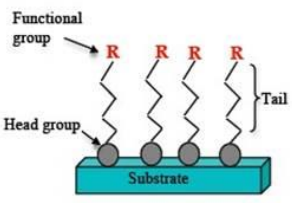
**Fig. 6.** Mercury droplet on the papillose adaxial epidermal surface of *Colocasia esculenta* demonstrating the effect of roughness on wettability. Due to the decreased contact area between liquid and surface, air is enclosed between the droplet and the leaf, resulting in a particularly strong water-repellent surface. *Bar* = 20 μm

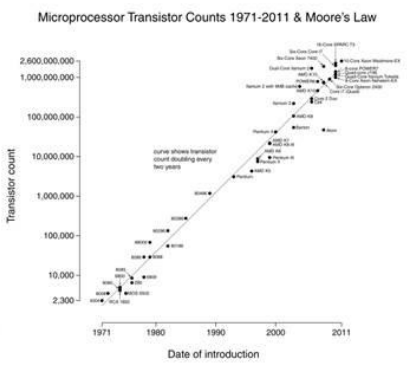
**Fig. 7.** Mercury droplet on the adaxial leaf surface of *Colocasia esculenta*, demonstrating the Lotus-Effect. Contaminating particles adhere to the surface of the droplet and are removed from the leaf when the droplet rolls off. *Bar* = 50 μm

27

## 3.3-4 綠色工程原則四

- 原則四
- 系統的設計需考量質量、能量，以及時間效率(temporal efficiency)的最大化。
  - 反應器良好的設計
  - 適合長遠發展與的產品
  - 摩爾定律(Moore's Law): 產率成長概述
  - 自組裝系統：自動建構法

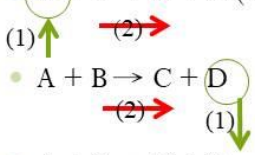



28

## 3.3-5 綠色工程原則五

- 原則五
- 系統構件的轉換須藉由物質及能量的“輸出拉力”(output pulled)而非 “輸入推力”(input pulled)控制。
  - 列沙特列原理(LeChatlier's principle)：當一平衡受到外加因素影響，平衡會朝向抵銷或消除此外加因素方向移動，直至平衡。
    - A + B → C + D (in equilibrium)




    - A + B → C + D




    - A + B → C + D
  - 利用列沙特列原理，在取得目標產物的同時，將資源投入量降至最低。

29

## 3.3-6 綠色工程原則六

- 原則六
- 質量的回收再利用與最終利益棄置(beneficial disposition)需考量該決策所附帶的熵值以及複雜性。
  - 在永續社區中，物質的處置方法並非單一，處置的設計需考量回收、再利用，以及最終利益棄置等途徑。
    - 高複雜性，低熵值變化-再利用
    - 低複雜性-棄置物仍具備可回收性
  - 自然系統(Natural systems)亦可視為一複雜系統
  - 許多作為化學品及材料的生物原料具有高功能性及高度複雜的立體性。

30

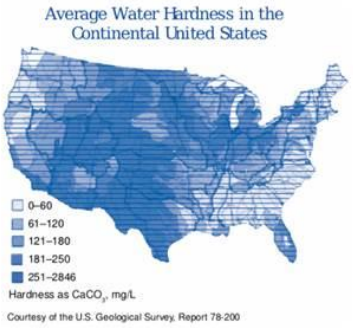
## 3.3-7 綠色工程原則七

- 原則七
- 設計目的為目標耐用性，而非不滅性。
  - 當產品的耐存時間超過其可利用商業週期時，將造成固體廢棄物存留以及生物累積等環境問題。
  - 為了短期目的而製造的商品卻擁有長久的耐存時間：
    - 拋棄式尿布
    - 包裝材料

31

## 3.3-8 綠色工程原則八

- 原則八
- 為了非必要用途或功能所做的設計應被視為有缺陷的設計，包括工程中“一法適用全體”的解決方案。
  - 雖然產品敏捷性和靈活性具有吸引力，但為了達到非必要用途或功能所投入的資源及成本可能很高。
  - 產品的過度設計：
    - 洗衣粉配方
    - 磷酸鹽：
      用於去除水硬度的粘合劑




32

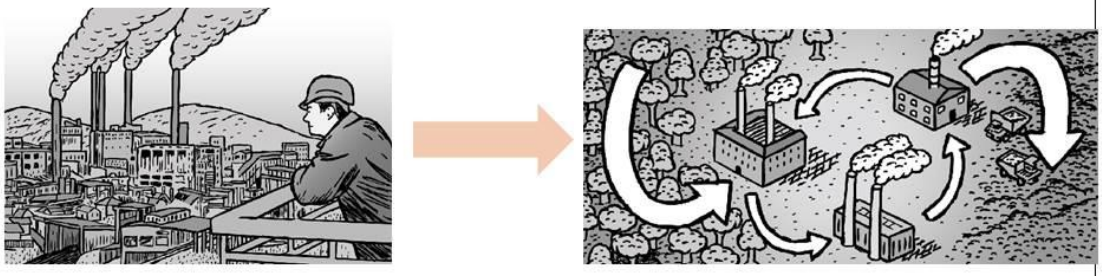
## 3.3-9 綠色工程原則九

- **原則九**
- 多成分產品應致力於材料的統一，以利於拆卸和保值(value retention)，盡量減少材料的多樣性。
  - 在產品的設計階段就考量使用最少成分和最少材料的原則（包括減少或消除使用粘合劑，塗料和密封劑），將對該產品的整個生命週期產生影響。
  - 多種物質成分會導致分離和回收困難。
  - 終止產品的使用時，其材料的多樣性決定了產品的重新使用和回收的易拆卸性。

33

## 3.3-10 綠色工程原則十

- **原則十**
- 流程和系統的設計必須整合可用的能源與物質流。
  - ✓提高整體系統效率
  - ✓降低成本和環境影響
  - ✓確保投入的資源發揮其最高價值且不會成為廢棄物。
  - ✓物質和能量流的整合典範：丹麥卡倫堡工業共生園



34

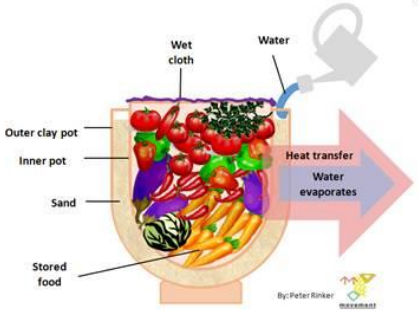
## 3.3-11 綠色工程原則十一

- 原則十一
- 性能指標(Performance metrics)包含對產品使用完畢後性能的設計
  - 若一產品本身及製造過程對人體及環境無害，仍須確保此產品於使用完畢後對環境無不良影響(例如固體廢棄物對環境造成的危害、持久性及生物累積性)。
  - 氟氯碳化物 (CFCs)?

35

## 3.3-12 綠色工程原則十二

- 原則十二
- 使用可再生而非消耗的能源與物料。
  - 使用非再生資源會造成環境損害。
  - 生物材料通常被認為是可再生的。
  - 若一個過程中的廢棄物可以回收並作為替代原料或可回收的原料，同時保有其價值，那麼從永續的角度來看，這肯定被認為是可再生的。
  - 罐中罐儲藏/冷却系统 (Bah Abba)



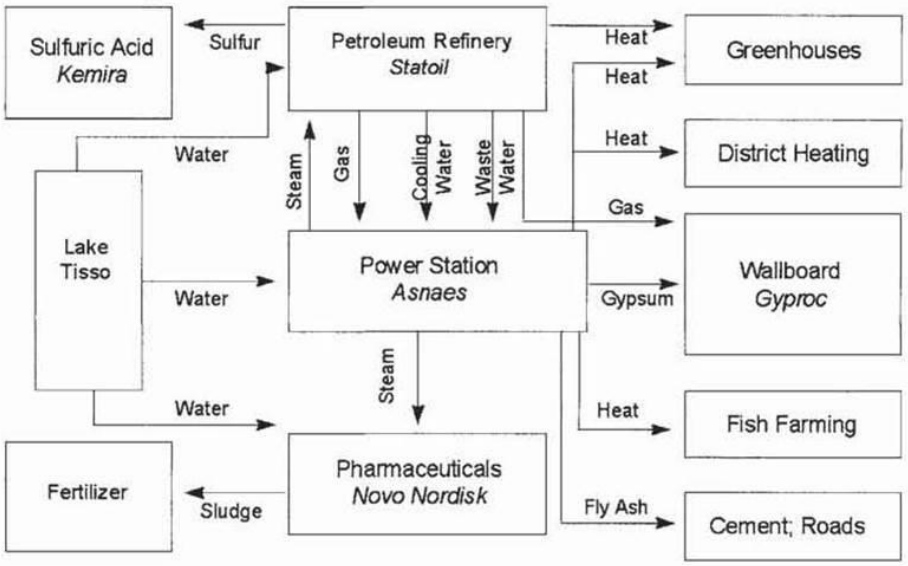

36

# 四、綠色工程應用

37

## 4.1 綠色工程應用案例：工業生態系統

卡倫堡生態工業園的物質和能量流動

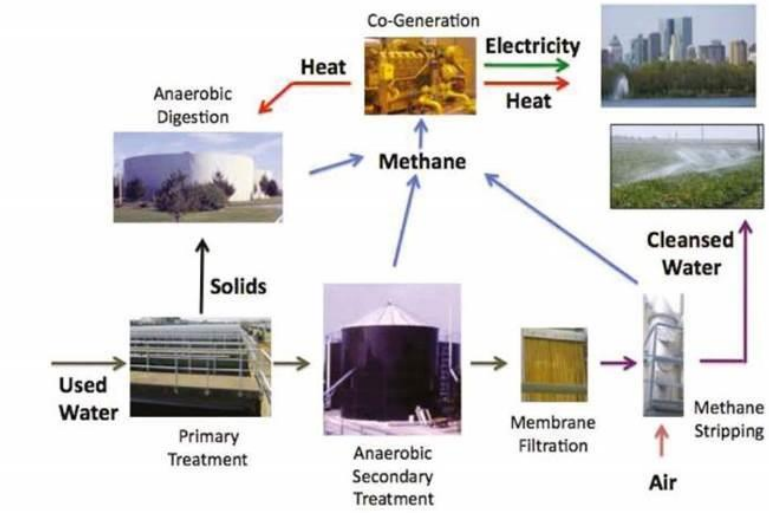



38

## 4.1 綠色工程應用案例：厭氧處理

厭氧處理生活污水的假想系統

- 將厭氧過程作為生活污水處理的核心技術？

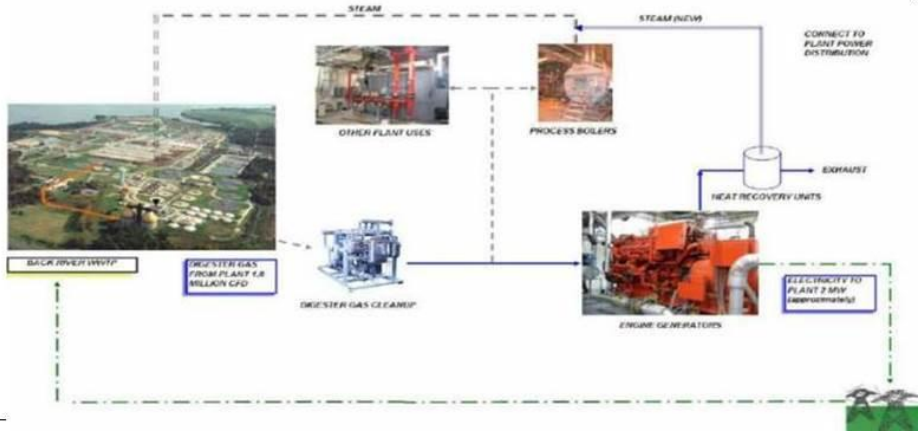



- Perry L. McCarty et al., "生活污水處理作為能源生產者-可否實現呢 ?", Environmental Science & Engineering, 2011.

39

## 4.1 綠色工程應用案例：污水廠能源回收

- 馬里蘭州巴爾鐵摩(Baltimore)城的後河(Back River)污水處理廠汽電共生系統(Combined Heat and Power, CHP)
  - 後河污水廠之處理容量是681,818噸/天，該廠每天出產48,700立方米的厭氧消化氣體，大部分是甲烷。
  - 經過汽電共生之設施裝置以後，後河廠每年可以產生平均2.4x106瓦的電力，減少12.9x106磅二氧化碳排放量，減少7.7x106的氮氧化物之排放量，每年後河廠省下180萬美元需付出能源的費用

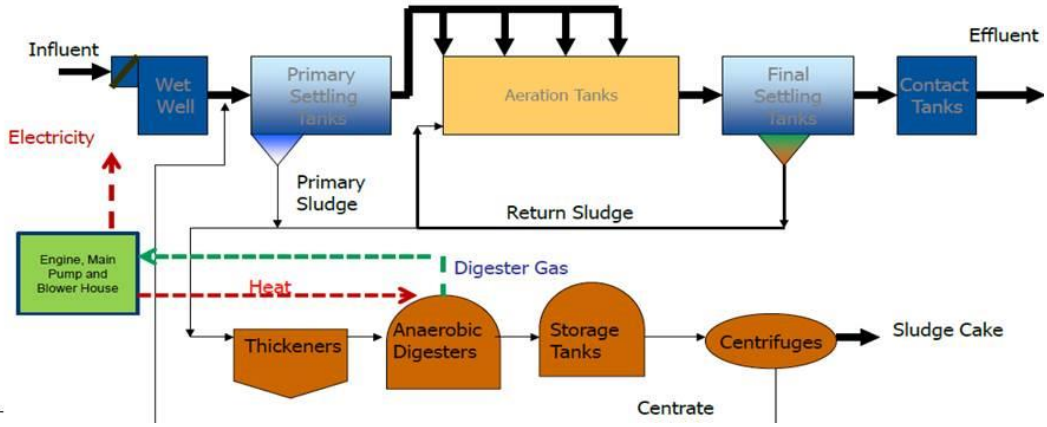



40

## 4.1 綠色工程應用案例：污水廠能源回收

### 污水廠能源回收：紐約市污水廠之汽電共生(CHP)系統

- 紐約市一共有14個污水處理廠，在2003～2004年有4個廠(Oakweed Beach (200 kW), 26the Ward (400 kW), Hunts Point (600 kW)及Red Hook (400 kW))裝置燃料電池(Fuel Cell)，產生電力
- 在26th ward廠裝置的Fuel Cell其污泥的來源來自初級及二級沈澱池，經過濃縮池及消化槽以後產生甲烷，以Fuel Cell產生電力。下圖是一般紐約市污水廠污泥能源回收之示意圖。

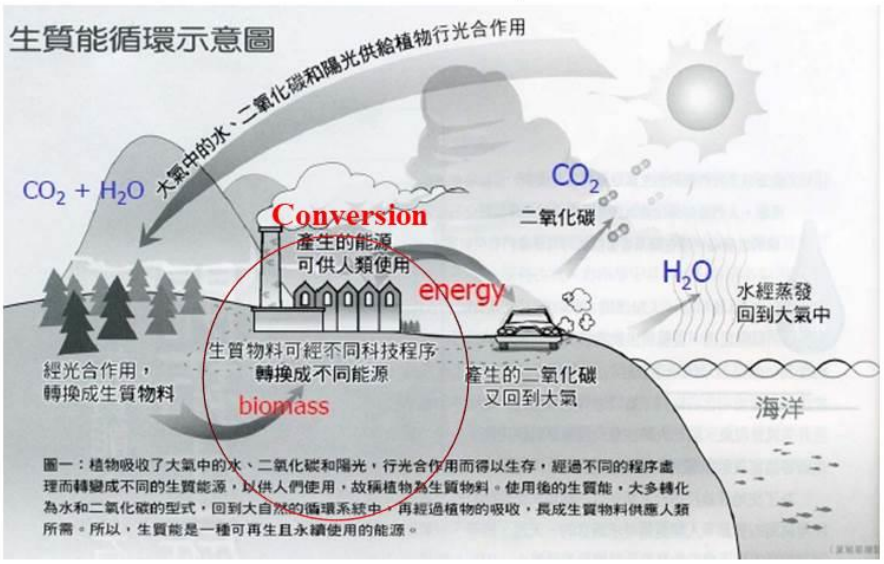



41

## 4.1 綠色工程應用案例：生質能源

### 生質能源

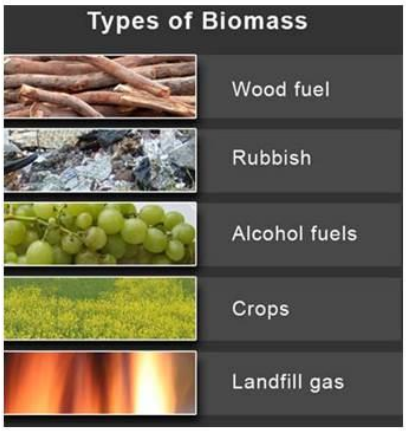
**二氧化碳零排放(Zero emission)**




42

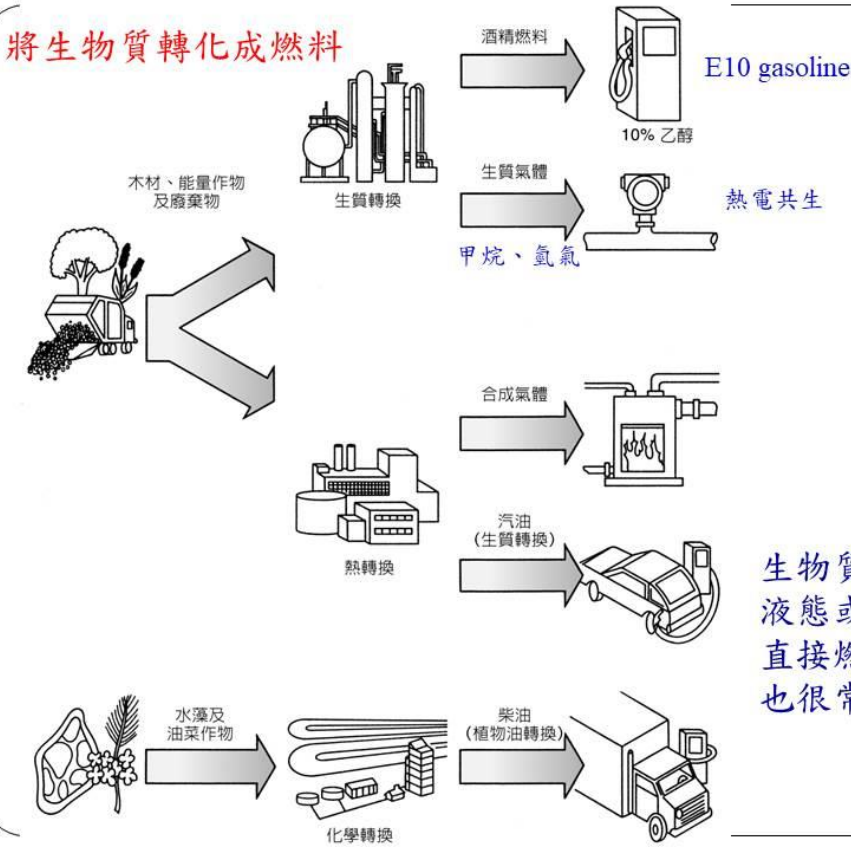
## 4.1 綠色工程應用案例：生質能源

- 由生物質轉化而生的能源稱為生質能源。
- 生物質包含農作物(玉米、小麥)、樹、水生植物，農林廢棄物、城市廢棄物等。




43

圖片來源： www.worldofenergy.com.au



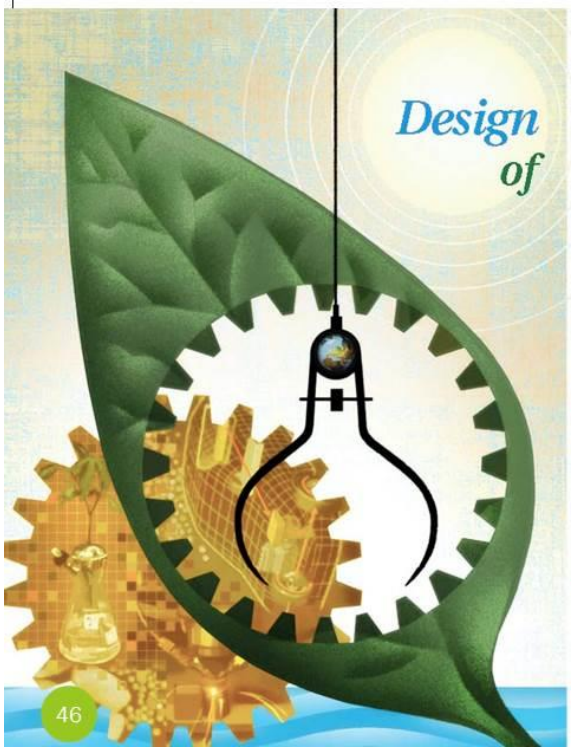

生物質可以轉化為液態或氣態燃料，直接燃燒產生電力也很常見。

## 4.2 永續工程

- 永續工程的原則:
  1. 從整體上設計工程流程和產品，使用系統分析，並整合環境影響評估工具。
  2. 保護人類健康和福祉的同時改善自然生態系統
  3. 在所有工業活動中導入生命週期觀念
  4. 盡可能確保投入及產出的物質及能量於本質上是安全的
  5. 將自然資源消耗最小化
  6. 努力避免浪費
  7. 開發及應用工程解決方案，同時了解當地地理環境及文化
  8. 創建超越當前主流技術的工程解決方案以達成永續發展
  9. 積極邀請社區民眾及利益相關者參與工程解決方案之發展

45

## Peer Reviewed




46

**通過綠色工程的12項原則進行設計**

P.T. Anastas and J. B. Zimmerman
*Environmental Science & Technology*, *37* (5), pp 94A–101A, 2003

永續所涉及的層面包括
分子、產品、
過程及系統

# 五、綠色化學與綠色工程教育推動策略

47

## 5.1 綠色工程與綠色化學教育推動策略

### 1.發展綠色化學公民宣導，充實綠色化學知識內涵

- 建構綠色化學之人文價值的感受，使學習者成為負責任與主動的公民；
- 建立綠色化學工作坊，發展數位化教材，以提升綠色化學教育的普及率；
- 推動綠色化學公民宣導活動，辦理綠色化學講習課程與研討會，促進公民瞭解化學品與個人及社會的相互依存關係，邁向永續綠色化學發展。

### 2.建構綠色化學教學環境，落實永續發展教育目標

- 結合產官學研究平台，推動創新教育方式，納入綠色化學內容至基礎教育課程；
- 制定不同學齡層級之化學教育方案與目標，編列綠色化學教育叢書；
- 發展國高中學校化學課綱中的替代實驗，將綠色化學落實於十二年國教，進而改善綠色化學教育體系，加強興趣培養與學習主動性；
- 推廣大專院校綠色化學原則之通識與實驗課程，打造校園實驗教學的安全與環境的永續發展，提升師生間對於綠色化學的可行性與重要性。

48

## 5.1 綠色工程與綠色化學教育推動策略

### 3. 加強綠色化學職業教育，提升綠色產業競爭實力

- 建立綠色化學之工程、經濟與環境分析體系，落實毒性化學物質的健康風險評估，以加強產業之化學科普知識；
- 訂定綠色化學優先研究課題，開辦產業之綠色化學課程與教育宣導；整合綠色化學理論及實務應用，結合技職培訓與產業技術研發工作；
- 深化檢驗與查驗證人才培育，推動化學品產線與污染監測第三方認證制度，以保障化學產品行銷率與降低不良產品率。

### 4. 鼓勵傑出創新研究人員，設置綠色化學獎勵基金

- 建立綠色化學獎助學金，提升研發思考能力；辦理綠色化學創意競賽獎；
- 激發師生間創意思維，鼓勵年輕學子投入綠色化學研發；
- 建立綠色化學基金，培養公民與綠色化學知識社群，增進全民綠色化學認知基礎，以達到永續綠色化學發展。。

49

## Thank you for your attention !!!

*Questions and Comments ??*

50

*Contact Information: chiahunghou@ntu.edu.tw*
*pcchiang@ntu.edu.tw*

主題四：永續綠色化學與循環經濟政府治理方向

National Taiwan University

# 「永續綠色化學與循環經濟政策研析」講習會議

主題四：永續綠色化學與循環經濟政府治理方向

主辦單位：行政院環境保護署毒物及化學物質局

協辦單位：國立臺灣大學碳循環永續技術與評估研究中心

主講人：林逸彬　副教授

107年5月29日

## 大綱

一. 各國政府推動綠色化學之情勢

二. 防制污染及意外之政策 (Pollution and Accident Prevention)

三. 保障安全及保全之政策 (Safety and Security Assurance)

四. 永續能源及資源之政策 (Energy and Resource Sustainability )

五. 永續綠色化學優先治理方向 (Priority Governance Direction)

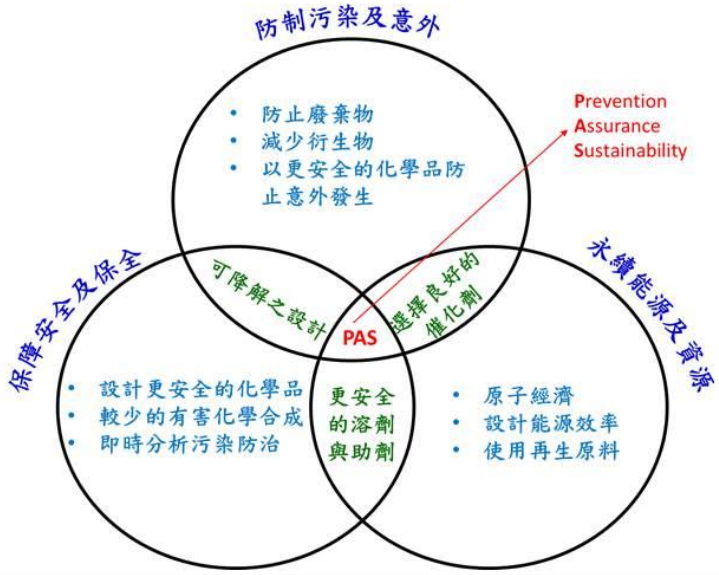
2

# 一、各國政府推動綠色化學之情勢

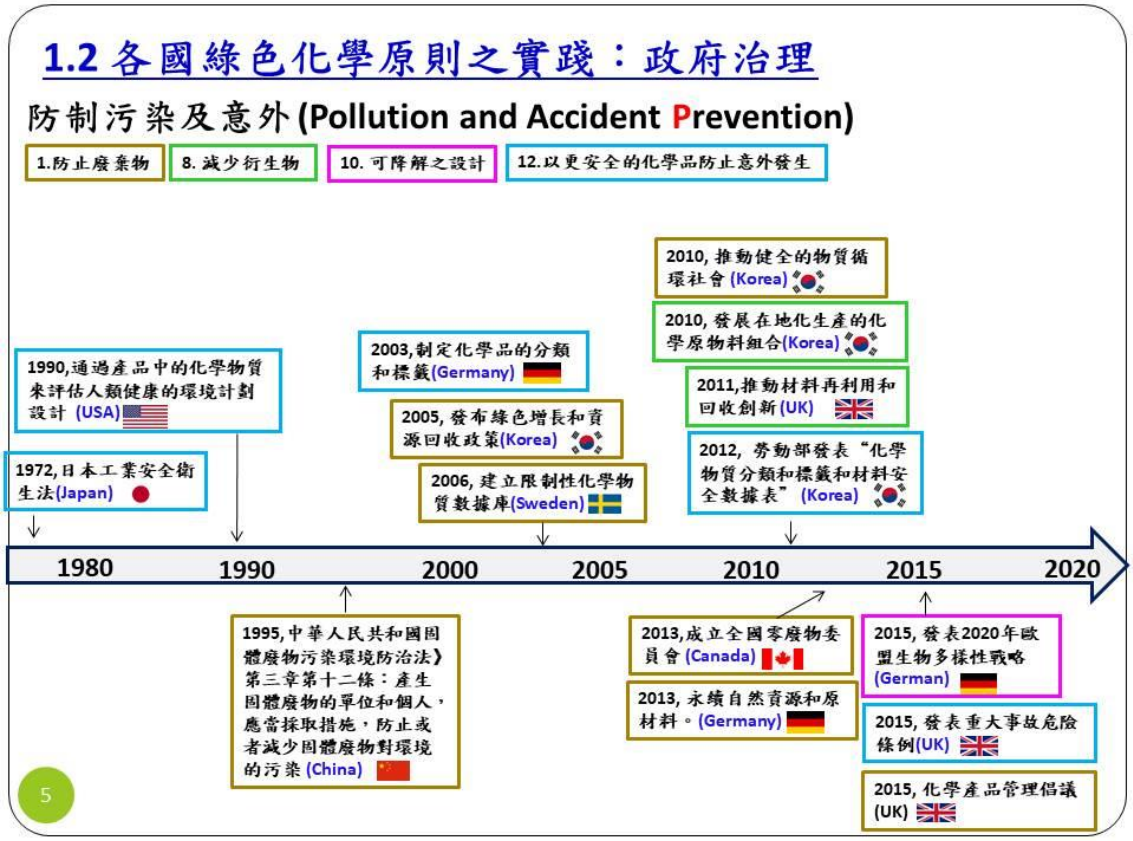
3

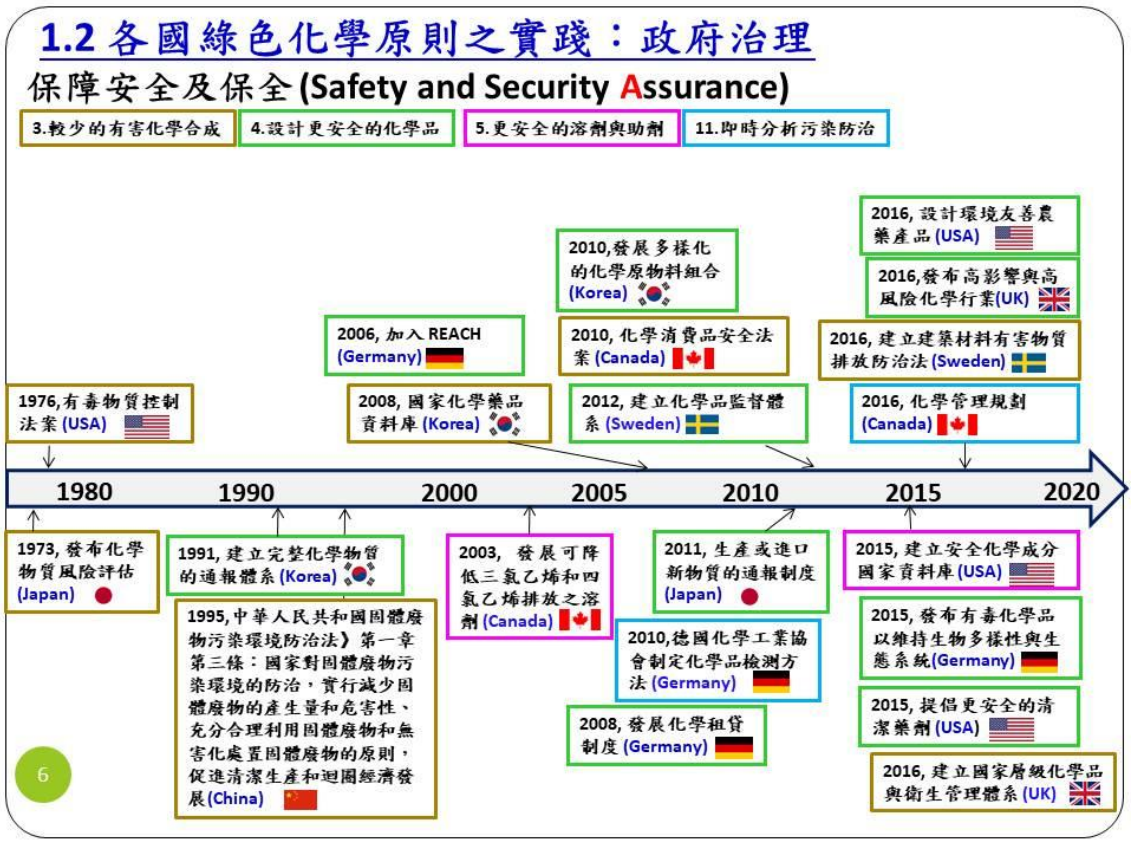
## 1.1 綠色化學P-A-S分類

- 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**)




4


1.2 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
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)
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)
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)
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)
5


1.2 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
1976,有毒物質控制法案 (USA)
2006, 加入 REACH (Germany)
2008, 國家化學藥品資料庫 (Korea)
2010,發展多樣化的化學原物料組合 (Korea)
2010, 化學消費品安全法案 (Canada)
2012, 建立化學品監督體系 (Sweden)
2016, 設計環境友善農藥產品 (USA)
2016,發布高影響與高風險化學行業(UK)
2016, 建立建築材料有害物質排放防治法 (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)
2008, 發展化學租賃制度 (Germany)
2010,德國化學工業協會制定化學品檢測方法 (Germany)
2011, 生產或進口新物質的通報制度 (Japan)
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)
6

## 1.2 各國綠色化學原則之實踐：政府治理

永續能源及資源(Energy and Resource Sustainability )

2.原子經濟 | 6.設計能源效率 | 7.使用再生原料 | 9.選擇良好的催化劑

2007,在"原子經濟性"和可持續發展的基礎上研究合成化學和催化化學的基礎問題，即綠色合成和綠色催化 (China)

2008, Greenchem提倡使用來自可再生資源的特殊化學品 與在化學工業中使用生物催化劑的計劃(Sweden)

2012, 整合環境、食品與農業部門發展資源化技術(UK)

1980 1990 2000 2005 2010 2015 2020

1979, 節約能源法 (Japan)

1995,中華人民共和國固體廢物污染環境防治法》第一章第七條：國家鼓勵單位和個人購買、使用再生產品和可重複利用產品(China)

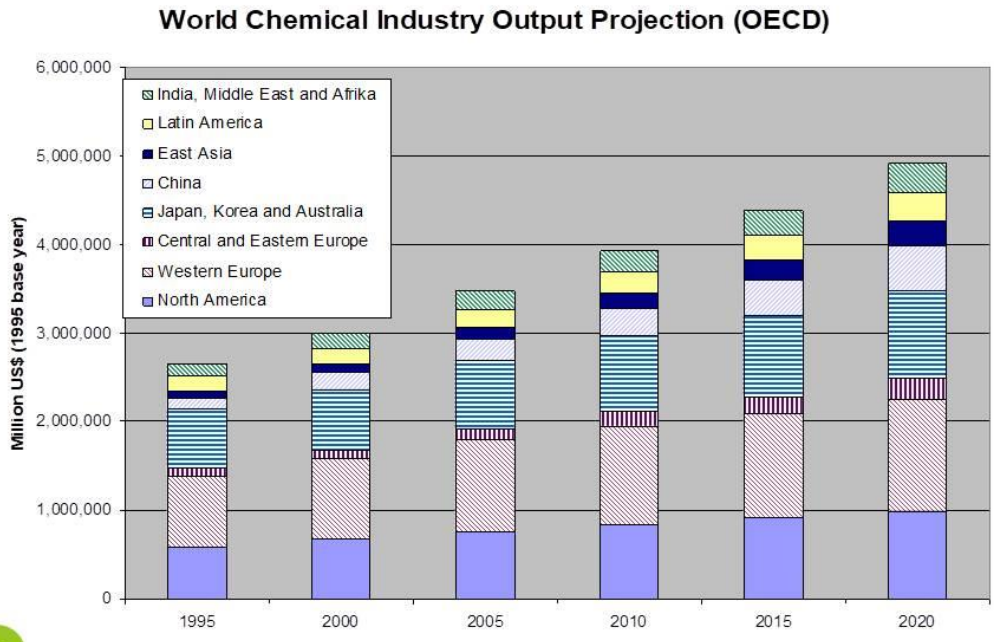
2009,通過燃料稅減免以促進生物乙醇和生物柴油 (Sweden)

2009, 建築材料有毒物質排放管制 (Germany)

2011,發表2050年採用低碳經濟和2年能源效率計劃(Germany)

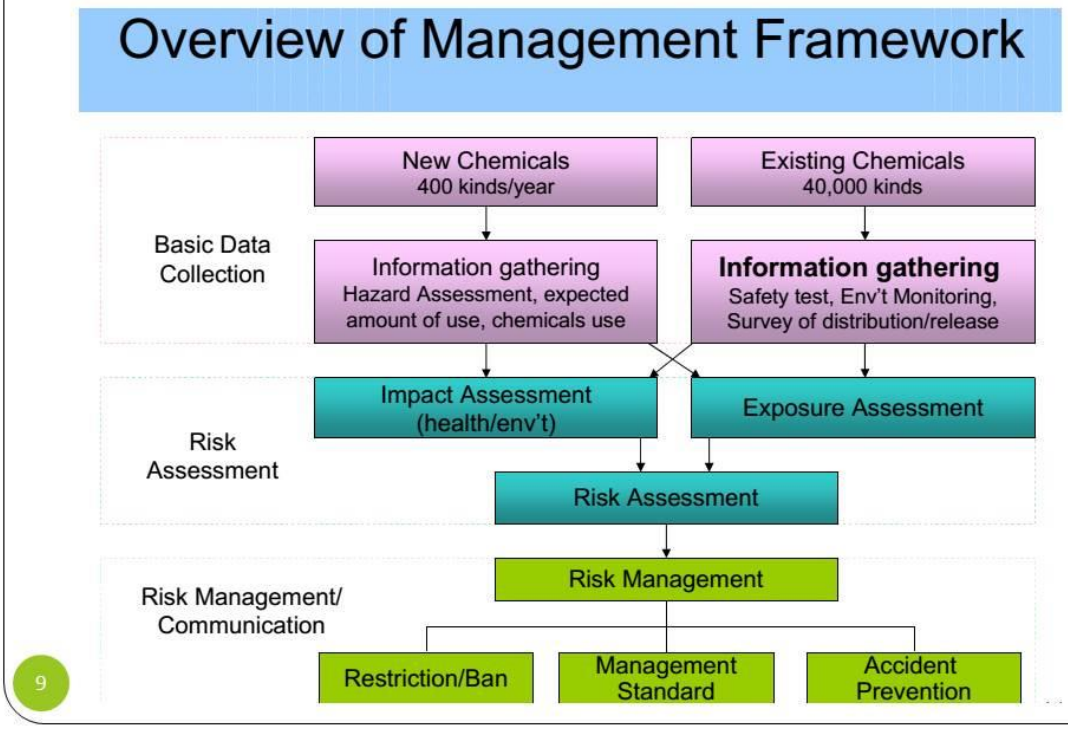
7

## 1.3 國際化學品產量增長趨勢



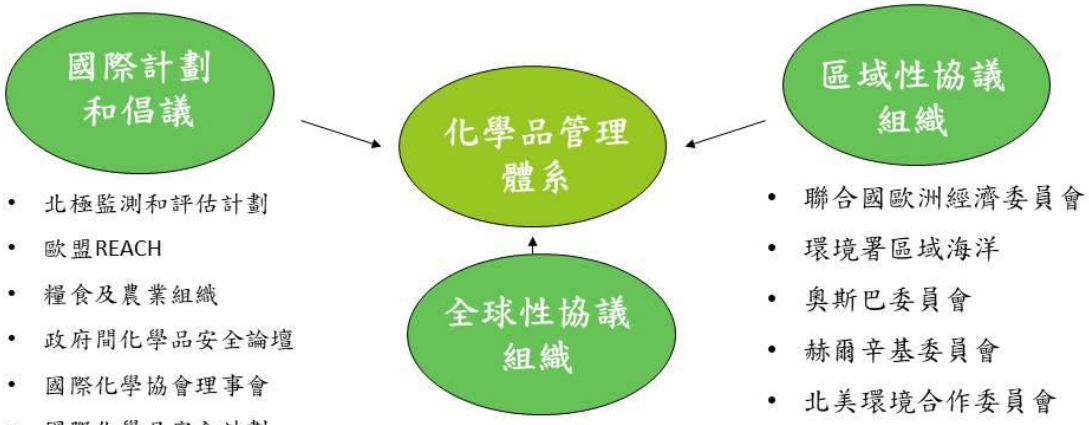

8

## 1.4 國際化學品管理體系




9

## 1.4 國際化學品管理體系



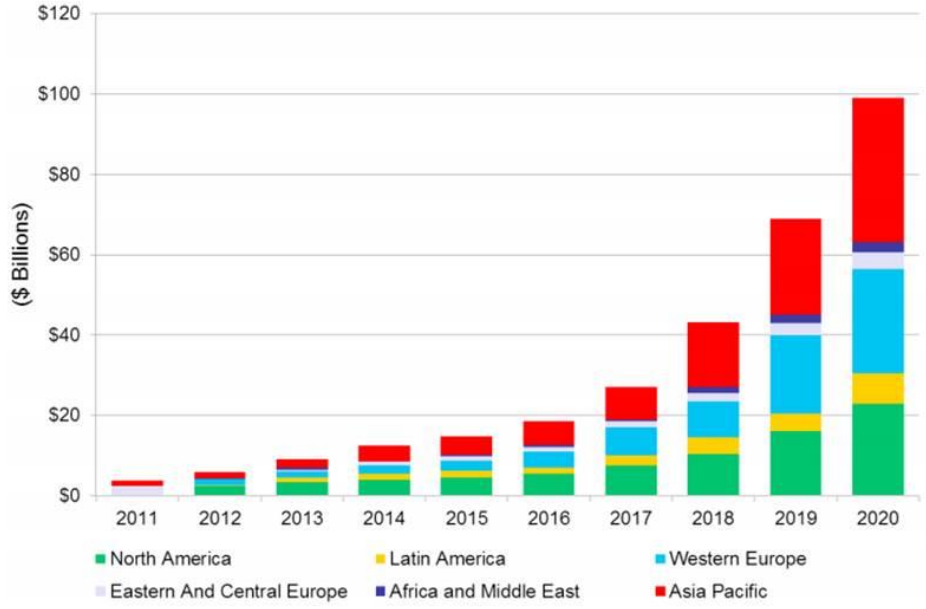

- 北極監測和評估計劃
- 歐盟REACH
- 糧食及農業組織
- 政府間化學品安全論壇
- 國際化學協會理事會
- 國際化學品安全計劃
- 組織間化學品健全管理方案
- 經濟合作與發展組織
- 聯合國工業發展組織
- 聯合國訓練研究所
- 世界衛生組織相關方案

- 聯合國環境計劃
- 國際勞工組織
- 國際海事組織

- 聯合國歐洲經濟委員會
- 環境署區域海洋
- 奧斯巴委員會
- 赫爾辛基委員會
- 北美環境合作委員會

10

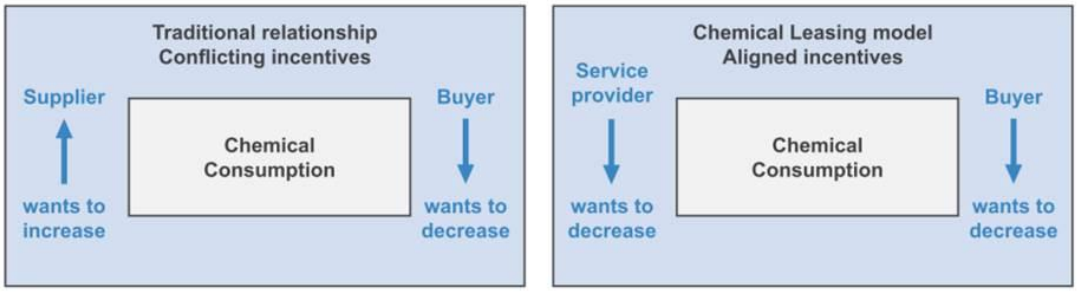
## 1.5 綠色化學產值-2020年願景




11 Global green Chemicals Market by region: 2011–2020

## 1.6 化學品租貸制度(Chemical Leasing)

- 化學品租貸制度(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。透過化學品租貸制度，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。




12

資料來源：UNIDO, 2016

## 1.6 -1 化學品租貸制度發展進程

- 化學品租貸制度始於21世紀初，由奧地利之農業，林業，環境和農業部針對化學品租賃潛力的研究並期望活絡當地化學品市場。
- 2004年聯合國與奧地利政府開始推廣化工產業之循環合作和商業合作模式
- 基於良好的示範計畫，聯合國也逐漸在不同地方推廣化學租貸制度，往全球化的方向進行。

13

資料來源：UNIDO, 2016

## 1.6-2 化學品租貸制度之效益

- 化學品租貸制度之永續性標準包含減少能源資源浪費、提升化學品風險管理維護人體健康、 改善經濟與社會效益與公平分享制度、完善化學品管理體系等。
- 化學品租賃成功的關鍵因素在於利益分享，完善標準與參與方彼此信任。以共同實踐環境、社會與經濟效益永續發展為目標。

| *Environmental benefits* | *Social benefits* | *Economic benefits* |
|---|---|---|
| Reduction of resource consumption | Reduced risks in chemical handling | Reduced costs |
| Reduced emissions and waste | Better qualification of workers due to training | Improved competitiveness |
| Reduced energy demand | Reduced health hazards | Better business partnerships |

14

資料來源：UNIDO, 2016

## 1.6-3 化學品租貸制度與循環經濟

- 化學品租貸制度作為一種創新商業模式可加速循環經濟推動，由於該制度可全面性將化學品銷售零浪費與產品生命週期納入考量。
- 化學租賃有助於建立循環系統，並強化商業夥伴之間的交流與提升資源使用效率。

15

資料來源：UNIDO, 2016

## 1.6-4 化學品租貸制度與REACH及SAICM

- SAICM旨於強化全球性的化學品管理體系，化學品租貸制度的概念符合SAICM的宗旨，因為兩者的目標都是妥善管理化學品的整個生命週期，使人體健康和環境的不利影響最小化。
- 此外，化學品租貸制度亦符合REACH的相關精神：
  - 化學品租賃和REACH皆具備推動化學品供應商之間的成本管控、收益均衡與責任共承擔的理念。
  - 化學品租賃和REACH影響層級皆包含各行各業，包括製造商，進口商，出口商和下游用戶。
  - 化學品租賃和REACH皆要求各上中下游之化學品銷售流向必須嚴格監控與控管。
  - 化學品租賃制度可透過完善的控管以降低危險物質排放，與REACH整合之後進而減少化學品之註冊/授權之費用。

16

SAICM: strategic approach to international Chemicals management
REACH: Registration, Evaluation and Authorization of Chemicals System

資料來源：UNIDO, 2016

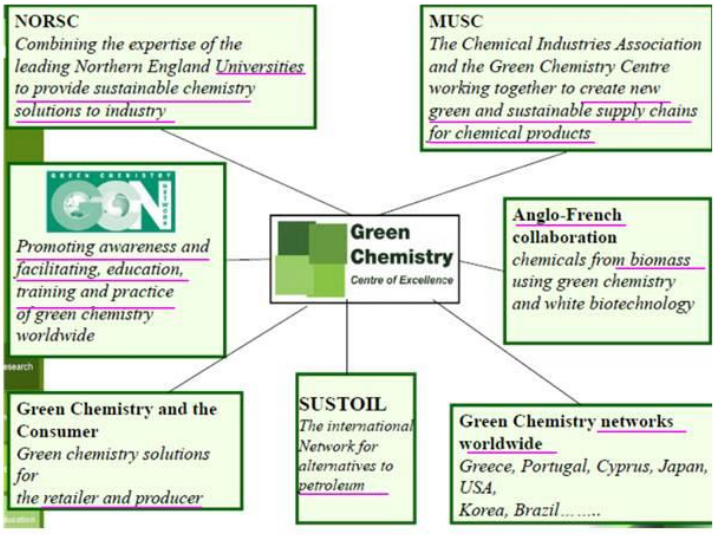
## 二、防制污染及意外之政策

- 防止廢棄物(1)
- 減少衍生物(8)
- 可降解之設計(10)
- 以更安全的化學品防止意外發生(12)

17

## 2.1 國際綠色化學政策：英國

- 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
- 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。



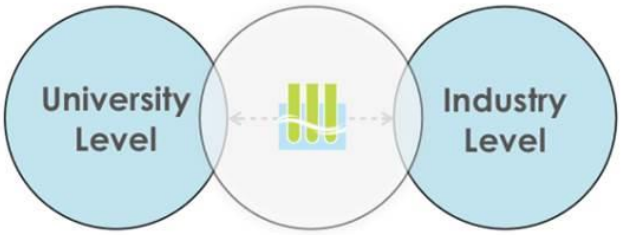

18

## 2.2 國際綠色化學政策：加拿大

GreenCentre Canada
changing chemistry, changing the world

- 建立綠色中心，其任務為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。

*Narrowing the gap between great research and great commercial opportunities*




19

(Green Centre Canada ., 2017)

## 2.3 化學品管理體系管理工具：歐盟

☐ 實踐永續綠色化學管理工具: ZDHC tools, STANDARD 100 by OEKO-TEX ®, DETOX TO ZERO by OEKO-TEX ®, GM SUB tool

### CITEVE – main areas of activity

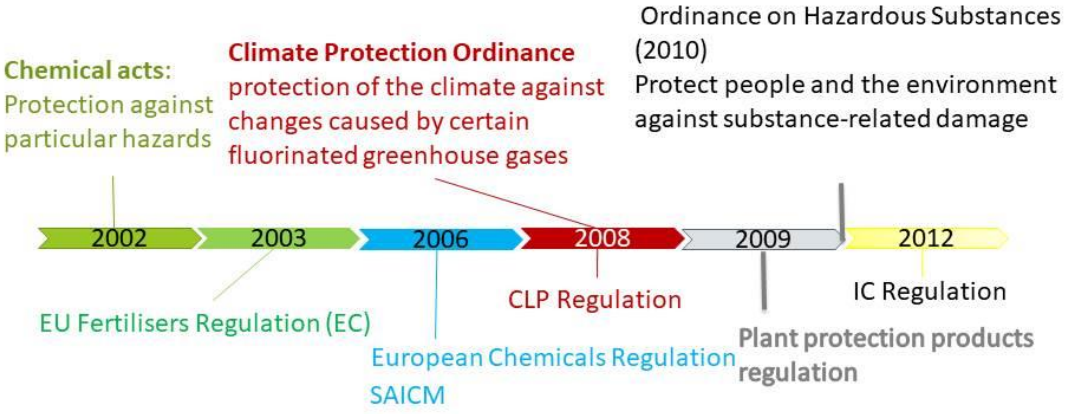
- Laboratorial Testing
- Product & Process Certification
- Technology & Engineering
- Sustainable Production
- Design & Fashion Intelligence
- Training & Coaching
- R&D + Innovation
- Standardisation
- Clusterisation and intercluster cross-fertilisation
- Industry 4.0 & Shop of the Future
- International consultancy

20

(European Union, 2017)

## 2.4 國際綠色化學政策：德國

- 於1990初首次提出綠色經濟(Green Economy, GE)概念。
- 聯合國於2012在里約高峰會採納綠色經濟全球策略[UN 2011]，將綠色經濟被視為永續發展的重要內涵




21

## 2.4 國際綠色化學政策：德國

- 推行化學品租貸制度(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。透過化學品租貸制度，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。

22

## 2.5 國際綠色化學政策：荷蘭

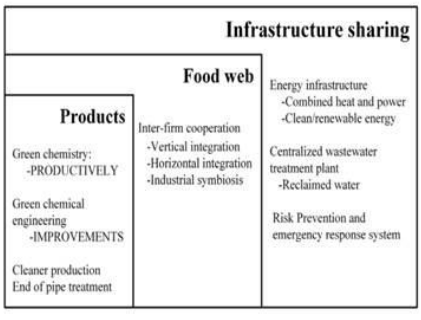
- 整合生技產業、生質能產業、綠色化學校園、生態工業區、以及跨國企業建立化學生態體系，推動化學品管理及創新技術開發。

23

## 2.6 結合綠色工程概念

- 於綠色生產中採用綠色化學與綠色工程共計24條原則
- 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。

| *12 Principles of green chemistry (GC)* | *12 Principles of green engineering (GE)* |
|---|---|
| GC 1 Prevent waste and contamination | GE 1 Inherent rather than circumstant |
| GC 2 Maximize atom economy | GE 2 Prevention instead of treatment |
| GC 3 Design less-hazardous chemical synthesis | GE 3 Design for separation |
| GC 4 Design safer solvents and products | GE 4 Maximize efficiency |
| GC 5 Use safer solvents and reaction conditions | GE 5 Output pulled versus input pushed |
| GC 6 Increase energy efficiency | GE 6 Conserve complexity |
| GC 7 Use renewable feedstocks | GE 7 Durability rather than immortality |
| GC 8 Avoid chemical derivatives | GE 8 Meet need, minimize excess |
| GC 9 Use catalysts, not stoichiometric reagents | GE 9 Minimize material diversity |
| GC 10 Design chemicals and products to degrade after use | GE 10 Integrate material and energy flows |
| GC 11 Analyze in real time to prevent pollution | GE 11 Design for commercial 'afterlife' |
| GC 12 Minimize the potential for accidents | GE 12 Renewable rather than depleting |




24

(Qiao Hao, et al. 2017)

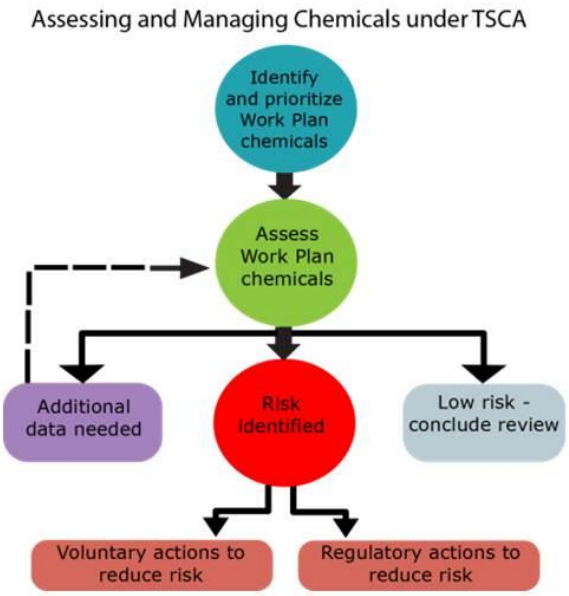
## 三、保障安全及保全之政策

- 較少的有害化學合成(3)
- 設計更安全的化學品(4)
- 更安全的溶劑與助劑(5)
- 即時分析污染防治(11)

25

## 3.1 國際綠色化學政策：美國

- 採取多管齊下的策略來確保商業化學品的安全
- 推動 zero discharge of hazardous chemicals (ZDHC) 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（例如：危害性、暴露性、持久性、生物蓄積性、毒性、致癌性）



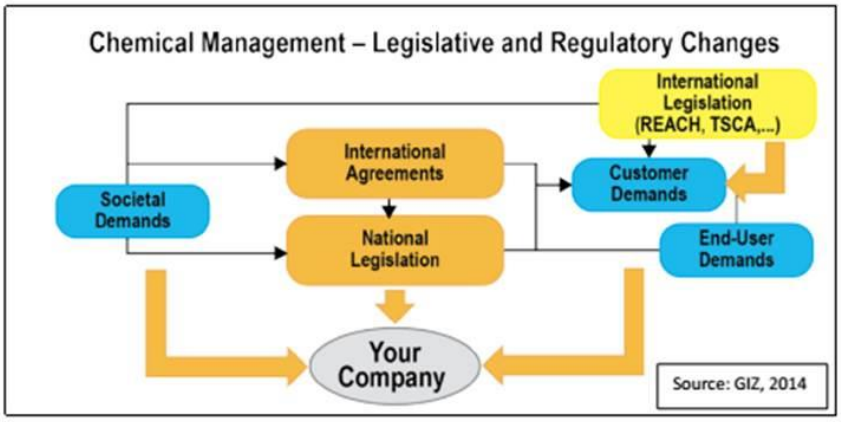

美國環保署之ZDHC推動架構

26

## 3.1 國際綠色化學政策：美國

**ZDHC規範：**

- ☐ 應說明化學品經營之適用管轄權限，規定和許可證將初始管理標識分配給特定的職位或團隊。
- ☐ 應持續的監管監督和適用性確定分配給特定的職位或團隊。
- ☐ 應說明管理層將如何被告知重大的監管變化或何時接近許可限制或操作限制。




27

(ZERO DISCHARGE OF HAZARDOUS CHEMICALS PROGRAMME., 2017)

## 3.1國際綠色化學政策：美國

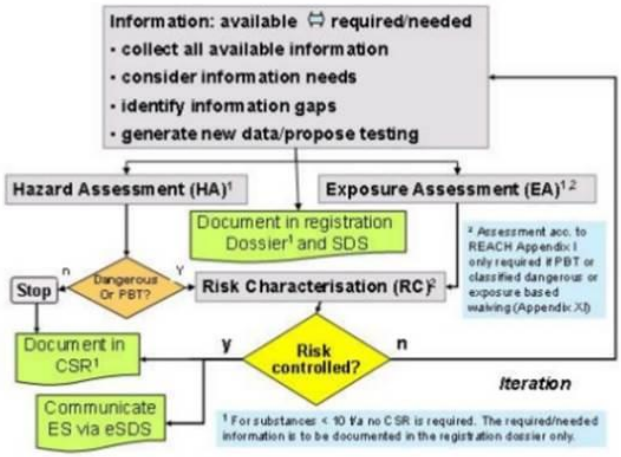
- 美國化學理事會(ACC)通過責任關懷計劃，建立綜合化學安全文化，提出安全績效的承諾。

28

(American Chemistry Council, 2013)

## 3.2 國際綠色化學政策：歐盟

- 於2007年實施 **Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals (REACH)**評估系統
- 鼓勵以較不危險的化學物質取代現有危險化學物質，提供研發安全化學物質的誘因，並整合生態、經濟與社會等方面的發展，達成永續發展的目標。

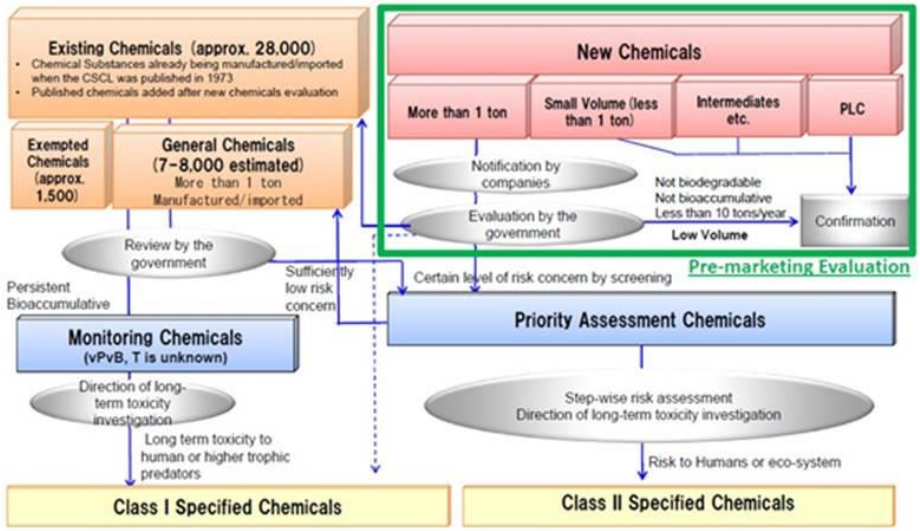



29

REACH評估體系

## 3.3 國際綠色化學政策：日本

- 於2011年推行「生產或進口新物質的通報制度」
- 日本的生產商或進口商應遵守化學物質控制法的要求，對新化學品之風險評估與通報體系出具年度報告。



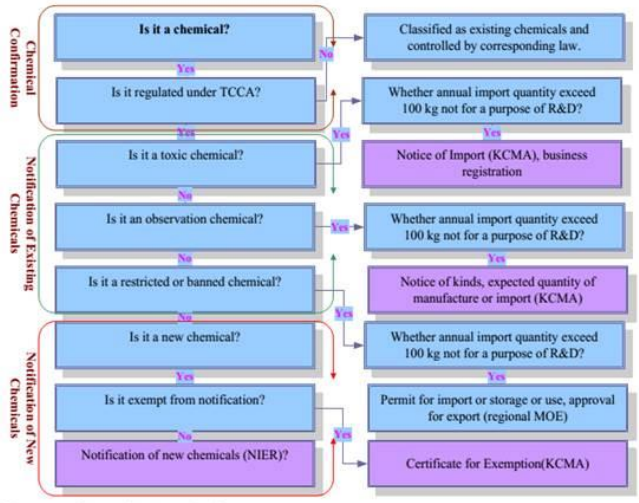

30

日本環境省之化學物質控制法推動架構

## 3.4 國際綠色化學政策：南韓

- 1991年制定有毒化學品管理法(Toxic Chemicals Control Act, TCCA)，針對工業化學品進行全面管理和控制。環境部為主管機關，國家環境研究所負責根據該法案列管新的化學品，化學品管理協會負責接受詳細化學品申報和申請確認書。

Category of Chemicals Regulated under Korea TCCA

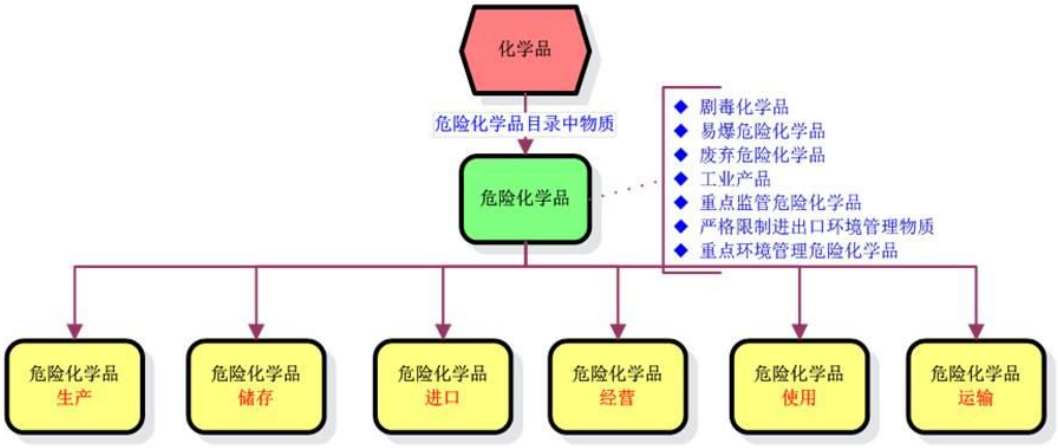



*By courtesy of Nam and Nam International

31

## 3.5 國際綠色化學政策：中國

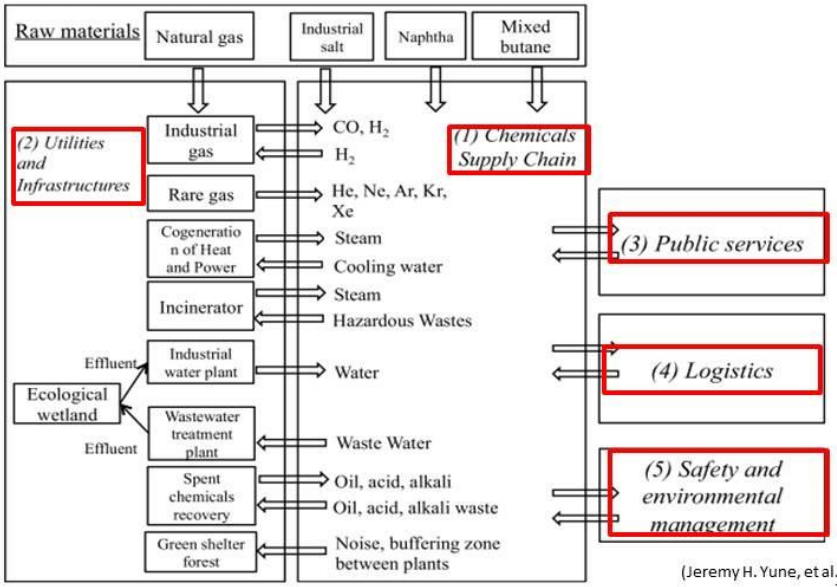
- 針對危險化學品進行分類管制，嚴格監控使用流向，包含生產、儲存、進口、販售、使用與運輸等過程。




32

## 3.5 國際綠色化學政策：中國

- **整合式化學品管理體系(上海生態工業園區)**：整合化學供應鏈、公用流與公共設施、大眾服務、委外廠商、環安與工安管理等五個層面納入監督管理體系中。可有效掌握各個化學品的流向去處。




(Jeremy H. Yune, et al. 2016)

33

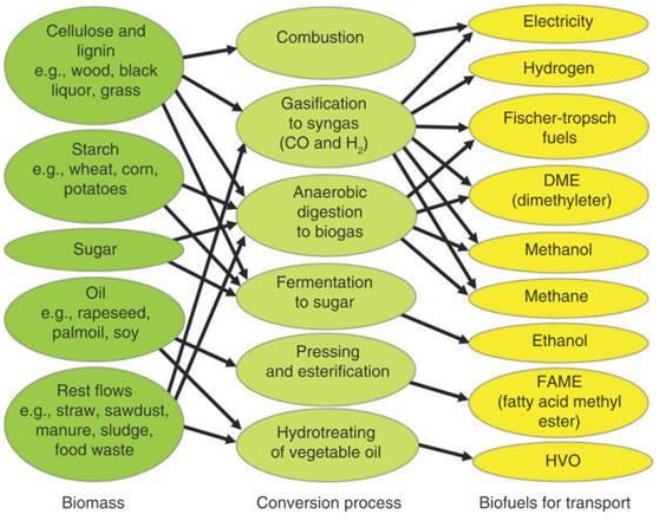
## 四、永續能源及資源政策

- 原子經濟(2)
- 設計能源效率(6)
- 使用再生原料(7)
- 選擇良好的催化劑(9)

34

## 4.1 國際綠色化學政策：瑞典

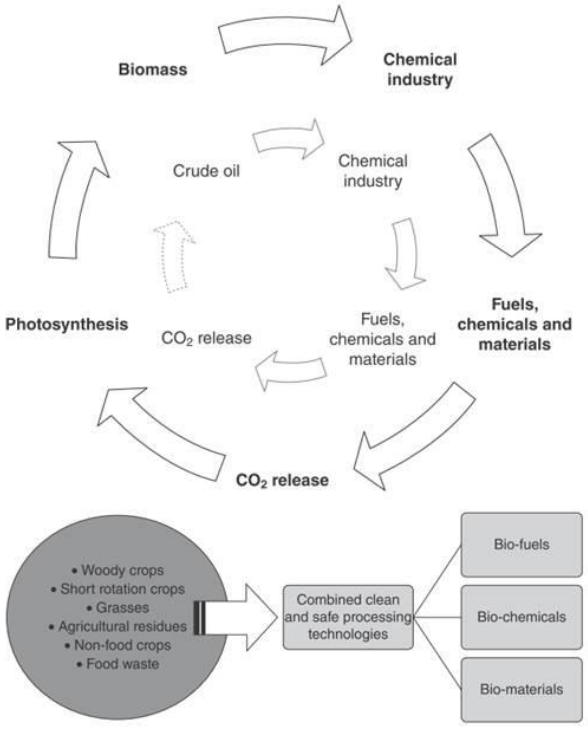
- 目前瑞典運輸業之再生燃料使用佔比為歐盟第一。
- 瑞典政府2030年的目標是用於獨立於化石燃料的車輛。
- 生質燃料可按化學成分分類，依照原物料不同的成分生產適用的再生燃料。




35

## 4.2 國際綠色化學政策：英國

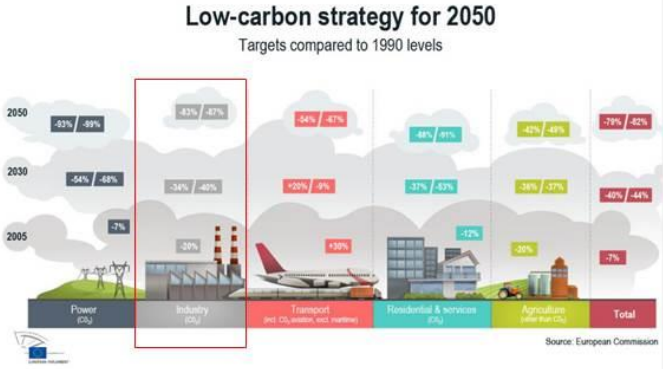
- 英國環境、食品與農村事務部(DEFRA)推動整合環境與農業部門，有效地重新利用資源，並發展生質燃料減少二氧化碳排放，預估有助於企業節省高達230億英鎊。




36

## 4.3 國際綠色化學政策：德國

- 德國政府推動歐盟所發表的2050低碳經濟策略和2年能源效率計劃。特別針對工業部門發展綠能政策，其中亦提倡改善化學製程與使用良好催化劑以提升能源效率，建立綠色化學示範園區。



37

## 五、永續綠色化學優先治理方向
## (Priority Governance Direction)

38

## 5.1 綠色化學相關法規現況調查

目前已建置之法規：

- 毒性化學物質管理法、廢棄物清理法、新興化學物質及既有化學物質登錄辦法、毒性化學物質運作獎勵辦法
- 資源回收再生法、水汙染防治法、能源管理法、再生能源發展條例、溫室氣體減量及管理法
- 環保署已於107年正式全面禁止使用石綿，全氟辛磺酸及全氟辛酸

未來宜建置之法規：

- 建議可先檢視我國已有的租稅獎勵政策，將符合綠色化學原則的製程、產品或輸出入，給予租稅減免等經濟誘因，讓市場機制建立資源供需或最適化資源配置，可提升整體社會與環境福利
- 建議發展毒性化學物質租貸管理制度、以及毒性化學物質安全替代品制度
- 建議以綠色化學原則為出發點，列管大部分的毒性化學物質
- 全面推動綠色化學原則與循環經濟發展獎勵條例，鼓勵企業界發展為綠色產業
- 建議可將綠色化學原則納入環境教育體系
- 建議可應用綠色化學原則針對環境用藥與土壤地下水防治等

39

## 5.2 國內各部會執掌與綠色化學關聯性

- 環保署：

| 相關部門局處 | 與綠色化學相關性之業務執行範圍 | 與綠色化學原則相關性 |
|---|---|---|
| 綜合計劃處 | ・環境保護政策方案之規劃及推動<br>・環境保護教育及宣導之規劃及推動<br>・環境保護團體與事業之聯繫、監督及輔導<br>・環境影響評估制度之策劃、推動、輔導及監督<br>・環境影響評估報告之審核 | (1)防止廢棄物<br>(3)較少的有害化學合成<br>(8)減少衍生物<br>(11)即時分析污染防治 |
| 空氣品質保護及噪音管制處 | ・空氣品質保護規劃<br>・固定污染源防制<br>・移動性污染源防制 | (1)防止廢棄物<br>(6)設計能源效率<br>(7)使用再生原料<br>(8)減少衍生物 |
| 水質保護處 | ・水質管理監督<br>・事業廢水管制<br>・污水下水道系統及生活污水管理<br>・海洋污染防治<br>・淡水河系污染整治 | (1)防止廢棄物<br>(3)較少的有害化學合成<br>(7)使用再生原料<br>(8)減少衍生物 |
| 廢棄物管理處 | ・一般廢棄物政策之協調及推動<br>・源頭減量及資源回收工作之推動<br>・事業廢棄物及公民營廢棄物清除處理業機構管理<br>・推動設置環保科技園區<br>・事業廢棄物輸入輸出及再利用管理；營建廢棄物管理 | (1)防止廢棄物<br>(3)較少的有害化學合成<br>(7)使用再生原料<br>(8)減少衍生物 |

40

## 5.2 國內各部會執掌與綠色化學關聯性

- 環保署：

| 相關部門局處 | 與綠色化學相關性之業務執行範圍 | 與綠色化學原則相關性 |
|---|---|---|
| 環境衛生及毒物管理處 | ・飲用水管理<br>・環境衛生管理<br>・溫室氣體減量規劃、盤查交易及宣導調適<br>・低碳永續家園推動策略 | (1)防止廢棄物<br>(3)較少的有害化學合成<br>(6)設計能源效率<br>(7)使用再生原料<br>(8)減少衍生物<br>(9)選擇良好的催化劑 |
| 環境監測及資訊處 | ・環境監測規劃管理與品質保證 | (11)即時分析污染防治 |
| 土壤及地下水汙染整治基金管理會 | ・建立土壤污染防制資訊系統<br>・加強土壤污染源稽查管制<br>・積極推行土壤污染區之改善整治工作<br>・建立土壤污染防制與監測制度<br>・建立土壤污染通報應變處理制度 | (1)防止廢棄物<br>(3)較少的有害化學合成<br>(7)使用再生原料<br>(8)減少衍生物<br>(11)即時分析污染防治 |
| 毒物及化學物質局 | ・毒物與化學物質災害管理政策、法規之研擬、協調、執行及督導、國際合作、科技發展之策劃、推動、協調及執行<br>・毒物與化學物質綜合研究之策劃、推動、協調及執行、毒物與化學物質相關國家標準之跨部會協調、毒物與化學物質資訊系統之規劃、建置、資訊整合及運用分析 | (3)較少的有害化學合成<br>(4)設計更安全的化學品<br>(5)更安全的溶劑與助劑<br>(8)減少衍生物<br>(9)選擇良好的催化劑<br>(10)可降解之設計<br>(11)即時分析污染防治<br>(12)以更安全的化學品防止意外發生 |

## 5.2 國內各部會執掌與綠色化學關聯性

- 經濟部：

| 相關部門局處 | 與綠色化學相關性之業務執行範圍 | 與綠色化學原則相關性 |
|---|---|---|
| 工業局永續發展組 | ・永續發展規劃<br>・工安環保<br>・工業廢棄物管理 | (1)防止廢棄物、(3)較少的有害化學合成、(4)設計更安全的化學品、(7)使用再生原料、 (8)減少衍生物、<br>(10)可降解之設計、(11)即時分析污染防治 |
| 工業局知識服務組 | ・產業創新<br>・產業效能<br>・產業振興 | (2)原子經濟、(4)設計更安全的化學品、(6)設計能源效率、(7)使用再生原料、(10)可降解之設計 |
| 工業局金屬發電組 | ・金屬業<br>・機械科<br>・運輸工具 | (6)設計能源效率、(7)使用再生原料 |
| 工業局電子資訊組 | ・通訊業<br>・電子與光電業<br>・資訊業 | (11)即時分析污染防治 |
| 工業局民生化工組 | ・石油化學業<br>・食品醫學<br>・紡織業<br>・一般化學品 | (1)防止廢棄物、(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、(7)使用再生原料、(8)減少衍生物、(9)選擇良好的催化劑、<br>(10)可降解之設計 |
| 能源局石油及瓦斯組 | ・石油設施管理<br>・瓦斯供應安全 | (12)以更安全的化學品防止意外發生 |
| 能源局能源技術組 | ・發展再生原料<br>・推廣節約能源 | (6)設計能源效率、(7)使用再生原料、(9)選擇良好的催化劑 |

## 5.2 國內各部會執掌與綠色化學關聯性

- 勞動部：

| 相關部門局處 | 與綠色化學相關性之業務執行範圍 | 與綠色化學原則相關性 |
|---|---|---|
| 職業安全衛生署- | ・職業安全衛生管理<br>・局限空間危害預防<br>・化學品管理<br>・勞工健康服務<br>・勞動檢查 | (1)防止廢棄物<br>(4)設計更安全的化學品<br>(5)更安全的溶劑與助劑<br>(11)即時分析污染防治<br>(12)以更安全的化學品防止意外發生 |
| 勞動及職業安全衛生研究所- | ・勞動市場、勞動關係、職業衛生與職業安全研究<br>・發展與管理CSNN化學物質登記管理網 | (1)防止廢棄物<br>(4)設計更安全的化學品<br>(5)更安全的溶劑與助劑<br>(11)即時分析污染防治<br>(12)以更安全的化學品防止意外發生 |

- 教育部：

| 相關部門局處 | 與綠色化學相關性之業務執行範圍 | 與綠色化學原則相關性 |
|---|---|---|
| 資訊及科技教育司 | ・數位學習、網路及資通安全、人文及科技教育<br>・發展與管理綠色化學教育網<br>・發展與管理校園化學品管理與申報系統 | (1)防止廢棄物<br>(3)較少的有害化學合成<br>(5)更安全的溶劑與助劑<br>(6)設計能源效率<br>(8)減少衍生物<br>(12)以更安全的化學品防止意外發生 |

## 5.2 國內各部會執掌與綠色化學關聯性

- 科技部：

| 相關部門局處 | 與綠色化學相關性之業務執行範圍 | 與綠色化學原則相關性 |
|---|---|---|
| 自然科學及永續研究發展司 | ・自然科學與永續研究發展相關產業前瞻技術研發政策之規劃、推動、人才培育、延攬、獎助管理及技術評估。 | (1)防止廢棄物<br>(3)較少的有害化學合成<br>(6)設計能源效率<br>(7)使用再生原料<br>(8)減少衍生物<br>(10)可降解之設計 |
| 工程技術研究發展司 | ・規劃推動工程領域基礎研究與先導性應用研究，改善整體研發環境，培育科技人才。 | (1)防止廢棄物<br>(3)較少的有害化學合成<br>(4)設計更安全的化學品<br>(5)更安全的溶劑與助劑<br>(6)設計能源效率<br>(7)使用再生原料<br>(8)減少衍生物<br>(10)可降解之設計<br>(11)即時分析污染防治 |
| 生命科學研究發展司 | ・生物、醫學、醫藥衛生、農業科學研究成果之推廣及應用，產學合作計畫之審核、人才培育、延攬、獎助管理、補助及考核。 | (3)較少的有害化學合成<br>(4)設計更安全的化學品<br>(5)更安全的溶劑與助劑<br>(6)設計能源效率<br>(7)使用再生原料<br>(9)選擇良好的催化劑 |

## 5.2 國內各部會執掌與綠色化學關聯性

- 衛福部：

| 相關部門局處 | 與綠色化學相關性之業務執行範圍 | 與綠色化學原則相關性 |
|---|---|---|
| 食品藥物管理署 | • 掌握市場上藥品、醫療器材品質，訂定藥品追溯或追蹤系統申報及管理辦法，規範藥商建立產品來源及流向管理系統。 | (3)較少的有害化學合成<br>(4)設計更安全的化學品<br>(11)即時分析污染防治<br>(12)以更安全的化學品防止意外發生 |

- 農委會：

| 相關部門局處 | 與綠色化學相關性之業務執行範圍 | 與綠色化學原則相關性 |
|---|---|---|
| 農業藥物毒物試驗所 | • 農業科技研發、植物防疫檢疫、生物技術、環境保護等5個領域，特別關注於加強農藥安全、微生物農藥資源之開發、農藥品質檢測及安全資材之開發。 | (1)防止廢棄物<br>(3)較少的有害化學合成<br>(6)設計能源效率<br>(7)使用再生原料<br>(8)減少衍生物<br>(10)可降解之設計<br>(11)即時分析污染防治<br>(12)以更安全的化學品防止意外發生 |

- 財政部：

| 相關部門局處 | 與綠色化學相關性之業務執行範圍 | 與綠色化學原則相關性 |
|---|---|---|
| 國際財政司租稅協定科 | • 國際租稅組織及其相關會議之處理、租稅協定發展趨勢之研究 | 化學租稅制度 |

## 5.3 整合國外綠色化學推動策略與措施

| 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，以落實有效的化學品管理體系。(歐盟)<br>➢ 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)<br>➢ 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) |
| 發展經濟誘因 | ➢ 建立化學租賃制度，整合產官學構建能力，落實化學品有效管理及創造共享利潤。(歐洲)<br>➢ 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) |
| 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)<br>➢ 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) |
| 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）<br>➢ 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）<br>➢ 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、美國） |
| 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）<br>➢ 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)<br>➢ 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） |

## 5.4 實踐永續綠色化學循環經濟之行動方案

**一、發展國內危害化學品流向控制及管理制度，邁向綠色產業**

- 整合全球性協議與公約至化學品管理體系，包括斯德哥爾摩公約、鹿特丹公約、巴塞爾公約、蒙特利爾議定書、巴黎協定以及國際勞工組織公約等。
- 建立化學品之生命週期分析制度（搖籃到搖籃），確保各部門的整合與有效管理化學品管理。
- 推動化學品管理框架，參酌國際化學品管理戰略方針（SAICM），包括：風險評估管理、數據資料庫、勞工安全、農藥分級使用與處置、危害化學品之分類與監控。
- 推動材料和產品在生命週期管理，強化化學品生產者延伸責任（EPR）政策。

47

## 5.4 實踐永續綠色化學循環經濟之行動方案

**二、發展綠色產業之關鍵綠色化學技術，以促進產業夥伴關係與多元化投資。**

- 整合政府各部門包含環保、工業、能源、科技研發、財政以及教育等單位，建立綠色化學循環經濟體系。
- 發展技術推廣之經濟誘因措施，促進綠色科技的國際協議。
- 建立化學租貸制度，分析生產/供應商之主要成本和收益，以促進循環經濟商業模式。
- 實踐綠色化學之創新產品創新，並完善與活絡市場機制。

48

## 5.4 實踐永續綠色化學循環經濟之行動方案

**三、強化廢棄物資源化體系並建立永續物料管理計畫**

- 釐清資源化體系之瓶頸與挑戰，以降低環境衝擊與提升資源利用率
- 提高民眾對於電子廢棄物回收、綠電技術與綠色商務理事會的認知，以建立綠色產業之永續發展
- 加速廢棄物資源之生命週期管理及公眾意識，以提升資源再利用之永續性。
- 參酌“環境教育法”研擬短中長期之消費者綠色化學與循環經濟教育計劃

49

## 5.4 實踐永續綠色化學循環經濟之行動方案

**四、建立綠色化學卓越研發中心與技術知識平台**

- 發展長期性投資與高報酬之及替代綠色能源技術綠色化學技術
- 整合現有政府政策方向與構建能力，推動印刷電路板業，石化業，農林業，電子業與生技業之永續物料管理體制
- 推廣產業廢棄物排放極小化之投資市場和清潔生產技術，並由政府協助輔導產業轉型

**五、發展國際合作夥伴關係以提升國家願景計劃與策略聯盟**

- 發展綠色供應鏈之產品製造商，採購分銷商，零售商或技術創新者等綠色化學獎項，並推動國際型綠色化學與循環經濟策略聯盟
- 整合綠色化學原則與循環經濟6R原則，落實區域國際合作夥伴關係。
- 建立綠色技術交流平台，推動綠色化學之國際合作計劃

50

## 5.5 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 |

51

## Thank you for your attention !!!

*Questions and Comments ??*

52

***Contact Information:*** *yipinlin@ntu.edu.tw*
*pcchiang@ntu.edu.tw*

UNIDO, 2016. Global promotion and implementation of chemical leasing business models in industry. United Nations.