

# 生物聚合物與回收再生聚合物 成為吸收性不織布用品材料的潛力

紡拓會編譯

2021.08

目錄	頁次
摘要.....	1
緒論.....	1
生物聚合物的發展.....	4
回收再生 AHPs 用品.....	11
結論.....	15

# 生物聚合物與回收再生聚合物 成為吸收性不織布用品材料的潛力

## 摘要

一次性的吸收性衛生用品(AHPs)包括嬰兒紙尿褲，女性護理用品譬如衛生棉、護墊，以及成人尿失禁用品。全球的 AHPs 零售市場 2019 年估計約為 900 億美元，2020 年由於疫情更是大幅成長。

AHPs 是便利的用品，對健康的生活也有所貢獻。不過，AHPs 產品主要使用紡熔不織布，原料是來自石油的聚合物，其製造與使用對環境有非常不利的影響。平均每天有 15 億片紙尿褲被丟棄，大多數不是焚燒就是送入掩埋場。雖然有一些回收再生的制度或計畫已經建立，但是 AHPs 的回收再生極度困難，這是由於它們複雜的材料構造，產品的用途及產品在丟棄後的狀態。不意外的是，由於消費後的廢棄 AHPs 問題隨著時間愈來愈嚴重，AHP 產業現在面臨著限制與法令，譬如歐盟一次性塑膠產品指令。

AHPs 的製造商為了規避法令的影響，將生物聚合物視為解決之道。包括以直接投入式來生產生質性的聚酯與聚醯胺，以農業廢棄物來製造生質性 PP，以第二代與第三代原料製造 PLA，以及將可再生的生物質以細菌發酵方式製造 PHAs。然而，生物聚合物的總產量於 2020 年達到相對低的 210 萬噸，AHPs 用品的製造商還必須與塑膠包裝材質的生產商來競爭取得有限的生物聚合物產量。

## 緒論

一次性的吸收性衛生用品(absorbent hygiene products；簡稱 AHPs)大部分都以不織布製成，包括：

- 嬰兒紙尿褲
- 女性護理用品，譬如衛生棉、護墊
- 成人尿失禁用品

全球的 AHPs 零售市場 2019 年估計約為 900 億美元，並且每年成長，甚至在新冠肺炎爆發前就是如此。2020 年的疫情則引起恐慌購買與大量購買，使得 AHPs 產品的銷售額暴漲。

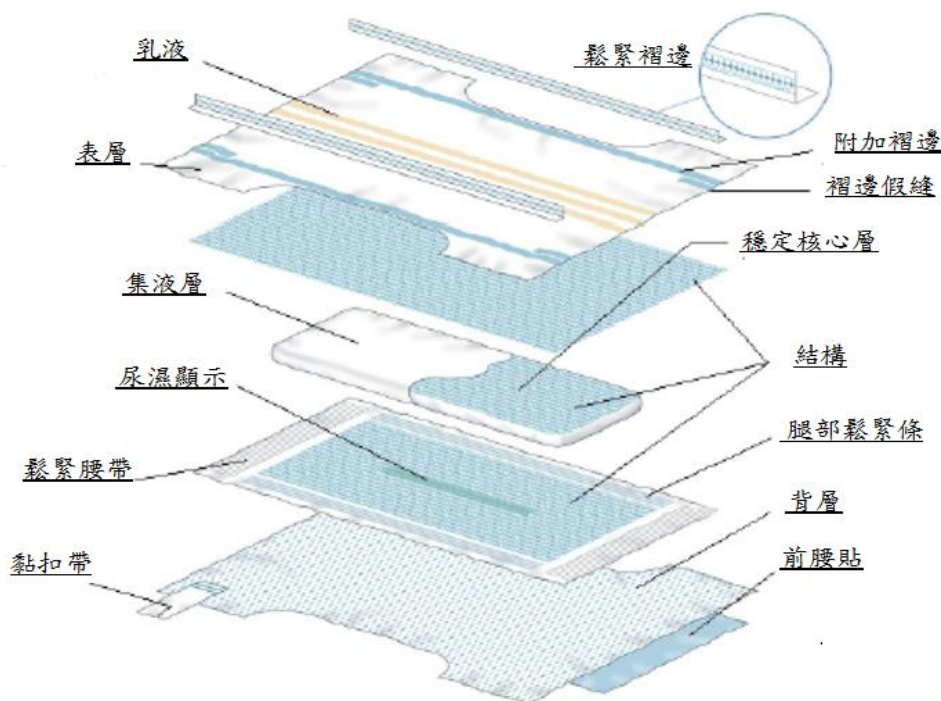
由於外部壓力，這個產業正進行許多變革。AHPs 產品使用方便，對健康生活有所貢獻。不過，產品主要使用紡熔不織布 ( spunmelt nonwovens )<sup>1</sup>，原料是來自石油的聚合物。這種聚合物包括 PP ( polypropylene，聚丙烯 )、PE ( polyethylene，聚乙烯 ) 或聚酯結合各種含量的木漿、超吸水性聚合物 ( superabsorbent polymers, SAPs ) 及彈性物。

<sup>1</sup> 紡熔不織布 ( spunmelt nonwovens )，使用紡黏 ( spunbonding ) 與熔噴 ( melt blowing ) 技術製造的不織布。

2019 年全球的不織布產量達到約 1,200 萬噸，其中有 42% 約 500 萬噸是採用紡熔技術生產，並應用於 AHPs 市場。其後因 COVID-19 肆虐，對以細纖維 ( fine fiber ) 製成的熔噴不織布需求大增，導致業者前仆後繼，進行相關廠房設備的擴建，以滿足疫情初期防護產品之需求。最常見由細纖維製成的熔噴不織布，即是作為外科口罩及防毒面具基本的過濾層。

AHPs 產品的組成複雜，譬如，嬰兒紙尿褲這類拋棄式產品，可能包含多達 16 種不同功能的組件，並以複雜的工序所組成。在過去的 20 年間，一片嬰兒紙尿褲的平均重量已減輕超過 50%。重量的減輕來自尿褲結構的進步，與此同時，它們的性能也隨之大幅改進。

圖 1: 一片嬰兒紙尿褲的標準構造與組件



資料來源: Nordson

## AHP 廢棄物的問題

紙尿褲的製造與使用對環境具非常不利的影響。在其大量製造過程中，不合格率約為 2.5%，這意味著平均每分鐘有 3 萬片紙尿褲，在沒送達貨架前即被丟棄<sup>2</sup>。

<sup>2</sup> 這個數字是以全世界約有 1,200 台機器生產嬰兒紙尿褲，每台機器每分鐘的標準產出是 1,000 片估算出。

遺憾的是，這類廢棄物不適合分解回收。相關分解技術雖正在開發，但大多數的廢棄紙尿褲不是焚燒就是送入掩埋場。而使用後的 AHP 廢棄物問題更是日益嚴重也日益明顯，特別是當其他產品已陸續找到可成功回收的案例。

## 各國立法

### ● 歐盟一次性塑膠產品指令

AHP 產業由於對環境造成的碳足跡，在面臨立法的限制之下，已有一段時日。在歐盟，首次的立法是 2019 年訂立的一次性塑膠產品指令 ( Single-Use Plastics Directive )。這個新指令的第一階段涉及對 10 個種類的產品採取行動，這些是最常在歐洲海灘上發現的丟棄物品，常是報紙頭條的海洋廢棄物，包括女性護理用品，其中濕紙巾也是 AHP 用品的大宗。

2021 年 7 月新的歐盟法令就會生效，規定含有塑膠或聚合物 ( 包括合成纖維 ) 的產品需附有明顯的警告標誌。此外，生產者責任延伸 ( extended producer responsibility, EPR ) 制度將自 2024 年 12 月生效，賦予生產者自海灘回收並處理產品的責任。

這一切代表製造 AHP 產品的品牌業者，將會增加額外成本，且亦造成消費者眼中的不良形象。拋棄式嬰兒紙尿褲在歐盟一次性塑膠產品指令第一階段並未納入，似逃過一劫，但這也只是遲早的問題。

### ● 美國立法

在美國，加州循環經濟與塑膠減汙法案 ( the California Circular Economy and Plastics Pollution Reduction Act ) 在 2019 年 6 月提出，現正等待核准。

法案的目的是確保加州的製造商、零售商以及那些產品賣到加州的業者，他們一次性塑膠包裝與特定產品 ( 尤其是那些最常在海灘上看到的 ) 廢棄物，需透過減少來源、回收及堆肥等方式減少 75%。

這個法案在 2019 及 2020 年皆未獲得足夠票數，如果最後通過，相關製造商就需要在 2024 年前證明達到 20% 的回收率，2028 年前 40%，2030 年前 75%。在當時的氛圍之下，據信美國新總統(拜登)上任後法案通過的機率將會大增。

### ● 加拿大立法

加拿大的一次性塑膠法案也正在草擬中，內容比照歐盟的指令。

### ● 避開迫近的立法

這些立法對濕紙巾比較不是問題，對女性護理用品製造商的影響較大。因為：濕紙巾結構較簡單；濕紙巾的材質組成成分較少；業者已在研究開發可沖掉的濕紙巾；濕紙巾對合成物的倚賴較低。

製造商可藉著使用不在指令內的原料來規避歐盟的一次性塑膠產品指令與生產者責任延伸等法規。依照現存「塑膠」的定義，指令內不含的原料有：木漿；黏液纖維；澱粉；棉花；萊賽爾；纖維素衍生物；亞麻、大麻及劍麻；蛋白質；生質性及可生物分解的聚合物，譬如 PLA ( polylactic acid, 聚乳酸 )。

事實上，濕紙巾業者已在這方面投入大量研發工作，且成功開發出由替代纖維製成的可沖式濕巾。

總部位於美國德州的 Kimberly-Clark 公司於 2009 年推出的北美嬰兒濕紙巾大品牌 Huggies Pure，就是 100%無塑料產品，凡是符合由 INDA (美國北卡州不織布產業協會) 與 EDANA (比利時布魯塞爾的歐洲一次性產品與不織布協會) 聯手建立的可沖性準則的 Huggies Pure 產品，成分皆是無塑料的。

在北美銷售的主要嬰兒濕巾品牌之一 - Huggies Pure，由總部位於美國德州歐文市的 Kimberly-Clark 於 2009 年推出，符合 INDA 和 EDANA<sup>4</sup> 研商制定的可沖洗性指南的 Huggies Pure 產品皆已不含塑料。

<sup>4</sup> INDA，前身為國際不織布和一次性用品協會 (International Nonwovens and Disposables Association)，總部位於美國北卡羅來納州卡里的不織布行業協會 (Association of the Nonwoven Fabrics Industry)。EDANA，前身為歐洲一次性用品和不織布協會 (European Disposables and Nonwovens Association)，是一家位於比利時布魯塞爾的國際協會，服務於不織布及相關行業。

另一方面，已有業者研究纖維素纖維並發展專門的設備，藉以處理與結合特殊木漿等級與棉籽絨，以便替代合成纖維。

## 生物聚合物的發展

相對而言，女性護理用品 (femcare) 製造商要規避相關法令的影響，比濕紙巾製造商面臨的挑戰就大得多了。女性護理用品是多組件產品，儘管不像嬰兒紙尿褲那般複雜。它們使用的原料包含以擠壓合成聚合物製成的紡熔不織布 (spunmelt nonwovens) 組件。這些聚合物在任何情況下皆不易被天然纖維所取代。

解決之道可能就在於生物聚合物 (biopolymer；亦即生質性聚合物 bio-based polymer)，尤其是那些以第二代原料製成者。第一代原料係指來自糧食作物的原料，譬如玉米與甘蔗。第二代原料係指來自不適合人類或動物食用的作物與植物；來自生產第一代原料時產生的廢料。

不過，根據美國 A2K 顧問公司的說法，受到法規的影響，生物精煉的發展一直聚焦在生質燃料上，很少注意到生物聚合物。

美國的再生燃料標準 (Renewable Fuels Standard, RFS) 是於 2005 年「能源政策法案」 (Energy Policy Act) 下建立的，並在 2007 年的「能源獨立與安全法案」 (Energy Independence and Security Act) 下擴充。

RFS 訂下生質酒精與柴油燃料混合成運輸燃料的最低標準，RFS 標準是強制性的，為確保產業採用這個標準，亦開發出一套燃料辨識與交易系統。

在歐洲，與再生燃料相關的標準被連結至降低車輛的碳排放量。如果車輛製造商無法逐漸達到低碳目標，就需付稅。由於法規清楚就位，市場對使用再生燃料的低排放交通工具的需求已經成長。

自 RFS 於 2005 年建立之後，玉米酒精的產能大增。數據顯示，在 2007 年「能源獨立與安全法案」實施前，美國生質酒精的年產量約為 50 億加侖 ( 190 億公升 )；今日則超過 160 億加侖。但是，並沒有類似的法規來帶動生物聚合物產業的發展。因此，生物聚合物必須與石油衍生聚合物在價格與效能方面競爭；或是提供額外的效能優點，讓它們成為受歡迎的原料。

然而，推動生物聚合物的一股大力量將來自美國推出禁用一次性塑膠品的新立法，以及消費者日益要求使用環境永續的原料。A2K 公司相信生物聚合物若立法通過，將符合消費者的要求期望，於 2020 至 2024 年間，銷量即可輕易翻倍成長。

不過，AHPs 製造商將必須與塑膠包裝材料商競取生物聚合物的產能，因為後者也在尋找原料替代物，而且要找到盡可能低的價格。未來，塑膠包裝材料的市場可能更吸引生物聚合物的業者，因為此一市場龐大，也比 AHPs 的市場單純一些。

## 直接投入式生物聚合物的生產

2020 年生物聚合物的產量總計 210 萬噸，不到同一年所有聚合物產量 3.68 億的 1%。以直接投入式來生產的生質性聚酯與生質性聚醯胺合計約 1 百萬噸，占全球生物聚合物產量的 48%<sup>3</sup>。

<sup>3</sup> 直接投入式 ( drop-in solution ) 係指用來生產某一聚合物的原料只有一種或一部分是屬於生質原料。一般而言，直接投入式不需要變換所有的製程設備。

目前直接投入式產品成分僅含約 30% 的生質原料。因此，直接投入式雖是一個正向的發展，卻會扭曲整體生物聚合物生產的數字，因為所有的生質性 PET ( 聚對苯二甲酸乙二酯 ) 皆會被計算在生物聚合物的產量內，但其成分只有 30% 是屬於生質成分。

這類產品最著名的例子是可口可樂的植物性塑膠瓶 PlantBottle™，這個瓶裝是在 2009 年推出，含約 30% 的生質成分。在推出 PlantBottle™ 後，可口可樂已配銷了超過 400 億瓶，並於 2016 年計算出，公司採用這款瓶身之後，每年約減少相當於 36.5 萬噸的二氧化碳排放量。2019 年並估算出，自 2009 來減少的碳排放量，相當於 1 百萬輛的汽車的碳排放量。

2019 年 PlantBottle™ 占可口可樂在北美總包裝量的 30%，占可口可樂在全球總包裝量的 7%，這也使得該公司成為全世界生物聚合物的最大消費者。

全世界生產聚酯寶特瓶大多數使用的主要聚合物單體是 MEG ( 單乙二醇 ) 與 PX ( 對二



甲苯 )，PlantBottle™ 的生產是將其中 MEG 的部分成功地以生物聚合體取代之。但是要以生物性的聚合物單體來取代 PX 的部分，則困難得多。

可口可樂的確曾以 100% 的生質性 MEG，與生質性 PX 製造出聚酯寶特瓶，能完全回收再生，並於 2015 年米蘭的世界博覽會中展出。不過，此後就沒再聽說進一步的消息。看來要將一個 100% 可再生、來源負責的瓶子達到商業化生產的目標，需要投入更多的努力，可口可樂一直和夥伴們持續努力朝向這個目標。

同時，可口可樂於 2019 年宣布免費提供 PlantBottle™ 的製造技術給予其他產業的公司，包括競爭對手在內。

### 生質性 PP ( 聚丙烯 )

多年來不同的企業皆試圖生產出可行的生質性 PP。最著名的是美國寶潔公司 ( Procter & Gamble, P&G ) 與巴西 Braskem 公司的合作，但最終並未成功。

不過，兩家歐洲主要的 PP 製造商宣稱，近年來自農業廢棄物生產生質性 PP 技術方面的兩項計畫均獲進展。這兩家公司是: LyondellBasell，位於荷蘭的聚合物、化學品及精煉公司；Borealis，位於奧地利的化學品公司。

這兩項計畫都是和 Neste 合資，Neste 是位於芬蘭的煉油與行銷公司。Neste 在生產該公司聚合物和化學產品時，以生物基材替代傳統化石原料，如今擁有製造再生產品 300 萬噸的年產能。

該公司的專利技術 NEXBTL，據稱幾乎以任何生質性油脂為原料，包括品質較差的廢油與油渣，來生產各種高級的再生產品。

### ●LyondellBasell

LyondellBasell 於 2019 年 6 月宣布，已經利用 Neste 的技術生產出商業規模的生質性 PP 與生質性 LDPE ( 低密度聚乙烯 )。其使用的原料包括 Neste 的再生碳水化合物，源自環保的生質性原料，譬如廢油與油渣。

之後，該公司已成功生產數千噸生物聚合物，並經核准使用同一製程生產食物的包裝材質。這類生物聚合物以 Circulen 與 Circulen Plus 的名稱行銷，是 LyondellBasell 循環經濟產品品牌下的新產品家族。

LyondellBasell 位於德國 Wesseling 的工廠現在推出一種新的 Neste 再生原料，可直接投入生產生質性的 PE 與 PP，產生的聚合物業經獨立第三方使用碳化蹤劑檢驗。這些檢驗確認這些聚合物含有超過 30% 的再生成分，因此，是屬於「直接投入式」產品，不需要變換所有的製程設備。

## ●Borealis

Borealis 於 2019 年 10 月宣布與 Neste 簽署一項策略合作合約，以生產「可再生」PP。這項合約讓 Borealis 得以使用 Neste 以 NEXBTL 技術生產的 100%再生丙烷做為再生原料，供 Borealis 位於比利時 Kallo 與 Beringen 的工廠使用。

Borealis 係使用可再生的 PP 為原料，生產出一整組名為 Bornewables 的產品，這組產品於 2020 年 9 月商業上市，產品的誕生是首次 Borealis 使用生質性原料取代部分化石原料商業化生產 PP，以工業化規模進行可再生的丙烷脫氫。

Bornewables 產品據稱具備與傳統 PP 相同的性能，而且是可完全回收再生的。生產過程經獨立認證符合 ISCC PLUS 標準，這個認證保證這種再生原料是可再生的，經過環保的製程生產，並可溯源至源頭。

<sup>4</sup> ISCC PLUS 是德國國際永續性與碳驗證 ( ISCC ) 機構建立的認證制度，適用於未被歐盟再生能源指令 ( RED ) 與燃料品質指令 ( FQD ) 所規範的市場，包含食品、飼料、化學品及能源市場。

## ●SABIC Trucircle

SABIC Trucircle 是一種「循環性」PP，使用來自回收聚合物的原料生產。這個產品是位於沙烏地阿拉伯的跨國性化學品製造公司 SABIC 開發而成。這個產品是該公司 PP 產品家族 SABIC Purecares 的一部分，於 2020 年初開始應用在 AHPs 產品。

這類 PP 的製造，是先分解使用過的混合聚合物，讓它們成為各自的分子組建之後，然後再將之重新聚合，藉以產生原生的聚合物，現被丹麥 Fibertex Personal Care 公司，投放於製造經 ISCC PLUS 認證的生質性不織布，第一批已於 2020 年 11 月出貨。

此款不織布的生產，對供應 AHPs 市場並使用紡熔不織布的企業而言至關重要，是生物聚合物供應鏈開發與擴張上的一個重要里程碑。Fibertex Personal Care 公司現正供應經認證的循環性不織布予顧客，是該公司 Comfort、Dual、Elite、Loft 等產品系列的一部分。

## 聚乳酸 ( POLYLACTIC ACID, PLA )

PLA ( Polylactic acid, 聚乳酸 ) 是生物聚合物與生物可分解聚合物領域成長的主要推手，預期 2023 年的產能將會成長至較 2018 年多出 60%。

PLA 是用途極為靈活的材質，並具有良好的阻隔性，亦可達到高性能材質的等級，在產品應用時，可替代 ABS 樹脂 ( acrylonitrile butadiene styrene, 丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物 )、PP( polypropylene, 聚丙烯 )、PS( polystyrene, 聚苯乙烯 )。



## ●NatureWorks Ingeo

全球 PLA 生產領導者美國 NatureWorks 公司早於 2001 年在內布拉斯加州建立一座 Ingeo PLA 工廠<sup>5</sup>。

<sup>5</sup>Ingeo 是 NatureWorks 公司的 PLA 聚合物品牌。

因此，該公司已具 20 年的開發經驗，並將產品成功引進市場，顧客遍布許多領域。內布拉斯加州工廠每年 15 萬噸的產能已全開設，據報 2019 及 2020 年的市場價格已略為上揚。

該公司和紡熔不織布的製造商合作密切，著名的成功故事之一，是芬蘭 Ahlstrom-Munksjö 公司為英國茶袋材料的工業規模化生產。Ahlstrom-Munksjö 專精於纖維材質研發，包括濾材、不織布及包裝用料。

Ingeo PLA 也被置於紙尿褲的組件，例如 Kimberly-Clark 公司的產品 Huggies Pure & Natural 與 Huggies Gold Naturemade 頂級紙尿褲。這些紙尿褲具備的特性，是以往 AHPs 領域前所未見的，因其特性在於親水技術，可減少嬰孩的尿布疹，是具效用的 AHPs 產品。

## ●使用 Ingeo 製造的 Kimberly-Clark 產品

Kimberly-Clark 公司開發出一系列以 Ingeo 製成的複合材料，具獨特的奈米細胞結構，可用於製造噴熔不織布。這種不織布設計使用於一些潛在的用途，具備和 PP 製成的材料相同的強韌度，但是硬度較高，耐衝擊強度則和耐衝擊度改良後的 PP 織帶相當。同時，這種不織布的強度據稱相當於 PET 聚酯不織布的強度，硬度也經過改進，價格實惠也易於生產。

其奈米細胞結構是由百萬分之一與十億分之一的洞，以及密閉的細胞結構混合組成，可藉由改變洞的大小來「微調」纖維特性，以符合產品的需求。相對於使用傳統標準的 PLA 聚合物，使用 Ingeo 來生產紡熔不織布，拉伸強度增加 57%，伸長度則可增加五倍。纖維重量則會大幅減輕，這是因為拉絲過程受到控制，以及洞狀結構部分達 50% 的緣故。因此製成的材料，重量比 PP 輕，但具有 PE 的模數<sup>6</sup>，可製造耐衝擊強度更上一層的產品。

<sup>6</sup> 模數是用以衡量一種材料在承受低負重時抗拒延伸的能力。通常是施加在材料的應力（或負重）與施力結果產生的伸長度（張力）的比值。

## ●Fitesa 生物聚合物雙組分

巴西不織布製造商 Fitesa 於 2013 年與美國 NatureWorks 公司、巴西 Braskem 公司共同發布消息後，開始生產以兩種生物聚合物形成外殼與核心雙組分構造的不織布。

外殼是以 Braskem 的「I'm green」生質性 PE 構成，核心則是以 NatureWorks 的 Ingeo PLA 製成。這兩種材質皆是 100% 生質性。因為是以生質性 PE 做為外殼，這項產品極度柔軟，Ingeo 製成的核心則使得它強韌有勁。這項產品推出時，在許多面向皆都超越當下，並代表 AHPs 產業發展的方向。

### ● NatureWorks 的擴充與甲烷開發

美國 NatureWorks 繼在內布拉斯加州的工廠成功之後，本來打算在泰國或美國再增設一座工廠，採用第二代的原料，亦即不適合人類或動物食用的作物與植物。這項計畫已經擱置，因為該公司正研究直接採用第三代原料，亦即甲烷。

NatureWorks 於 2014 年獲得美國能源部生質能源技術辦公室 ( US Department of Energy' s Bioenergy Technologies Office, BETO ) 的一筆 250 萬美元的補助，進行收集與使用甲烷做為其 Ingeo 生物聚合物與中間物的原料。

該公司與加州的 Calysta 公司結盟，形成夥伴關係，進行一項野心的計畫，並開發出新技術，能將生物基氣體轉換成液體，以及生物基的氣體轉換成化學物，以甲烷做為新的原料，生產高價值的化學物與運輸燃料。這項技術據稱較現有製程的成本效益都更有優勢 ( 亦即更高的 CP 值 )。

以甲烷當作原料這件事，則被認為對企業具相當的吸引力，特別因為這可能是一項低成本的選項，原料的來源豐富且具效率，使用的技術可規模化，已被 DuPont 公司及 Statoil 公司 ( 已改名為 Equinor ) 用以製造單一細胞蛋白質，經證明是有效的且已付諸商業化。

NatureWorks 與 Calysta 現在正攜手合作開發這個製程。如果這個合作計畫成功，就可以為 Ingeo 製造出降低生產成本的原料，會使得生產 Ingeo 的成本，遠低於生產石化聚合物的成本，遠低於競爭對手生產生物聚合物的成本。不過，這項製程達到大規模商業化程度的將不會早於 2023-24 年。

### ● Total Corbion PLA

Total Corbion PLA 是法國 Total 公司與荷蘭 Corbion 公司雙方出資各半的合資公司。在 2019 年，這個合資項目在泰國羅勇市設立一座工廠，年產七萬五千噸 PLA 生物聚合物，成為近年全球生物聚合物最大的增產。

羅勇市的工廠為合資公司的品牌 Luminy 生產用途廣大的 PLA 聚合物，以泰國當地生產的可再生、非基改甘蔗為原料。工廠的產出瞄準多種終端用途市場，主要為 3D 列印，汽車，消費品及包裝材料。

Luminy PLA 纖維經特別優化以供擠壓、紡絲、射出成型、不織布製造及熱壓成型之用。生產 PLA 所需要的單體「交酯」( lactide ) 的產能已同時擴充至每年十萬噸。

在 Total Corbion PLA 工廠開工後，全球業界製造 PLA 的產能增加將近 50%，達每年 24 萬噸。Total Corbion PLA 更於 2020 年 9 月宣布，將於法國的生產基地設立第二座 PLA 工廠，年產量為十萬公噸。

### PHAs ( 聚羥基烷酸酯 )

PHAs ( POLYHYDROXYALKANOATE, 聚羥基烷酸酯 ) 構成另一個永續纖維家族，深具製造不含合成纖維的吸收體衛生用品 ( absorbent hygiene products, AHPs ) 用品的潛能。PHAs 是可生物分解脂肪族聚酯，係由可再生的生物質，譬如蔬菜油脂與糖經細菌發酵製成，在有氧與無氧的狀況下皆可迅速達到生物分解。

它們具熱機械特性，亦即在強度、彈性、延展性、韌性及伸縮性上均類似 PP；它們的物理特性，亦即與添加劑，以及其他聚合物混紡纖維的相容性，則類似 PET 聚酯。

#### ● Danimer Scientific

美國的 Danimer Scientific 公司是最先進的 PHA 纖維與聚合物的開發者。2020 年該公司生產了兩萬噸的自有品牌 Nodax PHA，首次量產的時間是在 2020 年 1 月。

所有的 Nodax 產能均以滿載，第二階段的工廠擴建已在進行，2021 年的產能將會翻倍。該公司董事 Isao Noda 曾於 P&G 公司工作多年，Nodax 最初就是在 P&G 開發的。今日 Mr. Noda 已經是聚合物領域的世界級領導權威者之一。

Nodax 為一種分枝結構，包含一種共聚物，具中鏈長度，因此性能更好，包括較其他 PHAs 更低的熔點；極小的熱降解；良好的熔體黏度；擠壓過程中易於掌控。Nodax 的特性可藉改變所含共聚物的內容，而為特定用途調整，自非常柔軟的薄膜，到堅硬的器皿與瓶子皆可以 Nodax 來製造。

同石化基底的聚合物相比，來源上較為便宜、有效率，譬如冬季芥花製的蔬菜油內發現一種可使其高收成的微生物，藉細菌發酵技術持續地精進產品。

#### ● Brewed Protein

Brewed Protein ( 意思是釀造的蛋白質 ) 是日本專精生物技術的 Spiber 公司開發出的材質。這種材質以源自植物的生物質經過專利的發酵過程製成，可以處理成多種形式，包括如絲般光澤的細緻長纖到短纖紗，號稱如喀什米爾羊毛般柔軟，或具有保溫排濕的羊毛特性。

Spiber 公司於 2020 年 12 月末在三菱 UFJ 摩根史坦利證券公司安排的一回募資籌得約 2.4 億美元的資金，主要使用於贊助 Spiber 與 Archer-Daniels-Midland ( ADM ) 合作的計畫。ADM 是美國的食品加工與大宗物資交易公司。這項合作計畫包括在美國愛荷華州，設立一間大規模生產 Brewed Protein 聚合物的工廠，以及持續的材料開發等計畫。

### ● 歐盟一次性塑膠產品指令是潛在阻礙

歐盟的這項指令對諸如 Nodax、Brewed Protein 等發酵成型的產品會是潛在的阻礙。如前所述，不織布製的濕紙巾與女性衛生用品，如含有塑膠，將面臨新的法令限制。第一個限制是自 2021 年 7 月起，產品必須附有新的標籤。

不過，PHAs 的一個問題在於歐盟指令內對聚合物的定義。指令內的定義如下：

「塑膠係指在歐盟法規 No. 1907/2006 第三條第五點所定義的聚合物組成的材料，可能加入助劑或其他物質，並是終端產品的主要結構組件。未經化學改造的自然聚合物則不受此限」。

「因此，透過人工培養與發酵過程，在工業設備下製造的生物合成物所產生的聚合物，亦即 PHAs，不應被視為自然聚合物，因為自然聚合物是發生在自然的聚合化過程的結果」。

為了克服這個阻礙，一項發起中的運動主張在歐盟法令裡將發酵產品視為自然聚合物。這個運動將建立並賦予 PHA 與生物聚合物，在新的供應鏈的關聯。

### 回收再生 AHPs 用品

回收再生 AHPs 用品的組件，例如合成纖維、超吸水性聚合物 ( SAPs )、木漿及彈性物，在理論上是完全可行的。不過，問題在於產品被消費者使用後，要分開 AHPs 的不同組件，譬如紙尿褲。

以 PET 聚酯瓶為例，回收再生鏈從收集、清洗、淨化及重新聚合化的過程已相當成熟。以成衣為例，問題較多，多數的成衣品項皆含有混紡纖維布料、縫線、鈕扣及拉鍊。更多成衣的布料含有彈性纖維，是難以現有的技術分離。不過，使用混紡纖維布料的成衣仍可回收再生。

然而，回收再生 AHPs 用品的難度則達到新高度，因為涉及更大的複雜性，例如：材料構造、AHPs 產品的用途、產品在丟棄後的狀態。

### 回收再生 PP

#### ● PureCycle Technologies ( PCT )

美國的 PureCycle Technologies ( PCT ) 公司已在俄亥俄州設立一所實驗工廠，進行回收再生 PP 聚合物。這所工廠於 2019 年 7 月開幕，每年回收再生 70 噸 PP 聚合物，並採用消費用品公司 P&G 發明的製程。

PCT 現計劃於 2021-22 年間，於同一場址建立一座商業工廠，每年可處理 5 萬噸的 PP 聚合物。PCT 的作業是獨立於 P&G 之外，但可能會是協助 P&G 達到目標企圖的重要角色。

P&G 計劃於 2030 年達到所有包裝皆是可回收再生或重複使用，該公司在不織布、射出成型組件，以及聚合物薄膜方面，均為使用大量的 PP。於 2020 年 6 月 30 截止的 2019/20 會計年度，銷售額達 710 億美元。

PCT 的目標則是讓再生 PP 達到與原生 PP 相同的品質，並獲相同法令的核可。不過這個目標將會面臨三大挑戰，即清除汙染、清除色彩和清除異味。

此外，廢棄聚合物通常含不同種類與不同形式的聚合物。因此，要在廢棄物中提取單一聚合物且能獲利，是非常需要倚靠技術。PCT 的專利技術是在高溫高壓下，使用一種碳氫化合物溶劑，以及一種標準化學工程的新組合。

這些過程能淨化回收的聚合物，除去廢棄聚合物的異味、揮發性有機化學物，以及其他有機與懸浮粒子汙染物與添加劑。

PCT 的處理過程是一種自聚合物到聚合物的作業，在這當中：送入髒汙的聚合物、產出乾淨的聚合物、終端產品有著與原生 PP 相同的物性，包括相同的拉伸係數與耐衝擊強度。

PCT 過程的關鍵優點是簡單，特別是和熱裂解 ( pyrolysis ) 的過程相比，PCT 相對需要的步驟少了許多，故消耗的能源大量減少，將更符合成本效益。

### ●Braskem 與 Encina Development Group

巴西的 Braskem 公司打算與 Encina Development Group 形成長期的夥伴關係，以生產循環性、回收再生的 PP。

Braskem 是美洲最大的聚烯烴生產者，其產品組合也日益成長。2020 年 11 月，該公司承諾於 2030 年前大幅擴展，並提高協助消除環境中塑膠廢棄物的努力，以及 2050 年前達到碳中和目標。

美國的 Encina Development Group 擁有一項專利技術，可以將消費後的廢棄聚合物為原料生產再生化學物。該公司自詡提供「技術解決方案，以生產現在與未來世界倚賴的再生性工業產品」。

其所使用的專利技術可催化熱裂解的方式，節約地自聚合物提取化學物；有助混合廢棄聚合物的處理，這類消費後的聚合物通常需耗費高昂成本回收再生，故也因此過往皆是送入掩埋場。

Encina 打算在 2021 的下半年動工興建一座新工廠。這座工廠完工後預期每年能處理 17.5 萬噸的塑膠廢棄物，轉換成超過 9 萬噸的回收再生化學物。此外，這座工廠的產能在未來還可擴充至 35 萬噸。

Braskem 同時設定其「I'm Green」商標的回收再生產品的銷售於 2025 年成長至 30 萬噸，2030 年成長至 100 萬噸。

### ●Borealis and Tomra

奧地利的化學品公司 Borealis 與挪威的回收分類先進系統開發公司 Tomra 連手新建一座位於德國的先進機械式回收工廠，於 2021 年 1 月開始運轉。

這座工廠處理來自家用品的堅硬廢棄聚合物，與富彈性的廢棄聚合物。同許多現有回收工廠不同的是，這座工廠具備先進的技術，可為各種產業，包括汽車與消費品在內，生產高規格用途的聚合物。

該工廠生產的再生聚合物等級 Borcycle M 具高純度、低味道、產品高度一致性及輕微色彩變異的優點，因此該公司宣稱，此款產品符合顧客對跨越整個價值鏈品質的要求。工廠的關鍵客戶將是 P&G。

### ●LyondellBasell and Suez

荷蘭的 LyondellBasell 公司與位於法國的廢棄物處理國際性公司 Suez 於 2020 年 12 月宣布共同併購比利時的回收再生聚合物公司 Tivaco。

Tivaco 將成為 LyondellBasell 與 Suez 各出資一半的現有合資企業 Quality Circular Polymers (QCP) 旗下事業體。此一併購將使得 QCP 回收再生材料的產能增加至每年約 5.5 萬噸。

QCP 的再生材料用在許多消費用品上，包括著名行李箱包品牌 Samsonite 的 S' Cure ECO 行李箱系列。

### EMBRACED 回收再生計畫

在 2019 年 1 月，從沒曝光的智慧型回收箱，開始在荷蘭阿姆斯特丹一些經過挑選的 Etos 雜貨店，以及 Compañy&Partou 托嬰中心的場域外頭出現。



這些回收箱是 Embraced 計畫的一部分，合作的單位包括 P&G、TerraCycle、AEB Amsterdam 及 FaterSMART<sup>7</sup>。

<sup>7</sup> TerraCycle 是美國的私人回收企業；AEB Amsterdam 是荷蘭的廢棄物處理公司；FaterSMART 是永續材料與回收技術公司，是 Fater 公司的子公司，Fater 是 P&G 與義大利工業集團 Gruppo Angelini 合資於義大利設立的公司。

圖 2: Embraced 計畫在阿姆斯特丹的紙尿褲回收箱



資料來源: Procter & Gamble (P&G)

您可使用一款特別的手機應用 app 程式，即可找到最接近的回收箱，並使用同款手機程式產生條碼開啟回收箱，以利置入廢棄的 AHP 用品。這些回收箱計畫在 2020 年 3 月因新冠疫情而中止。在中止之前，在阿姆斯特丹已建立了一年自家戶與機構收集來的 1 萬噸使用後 AHPs，並將之轉變成原料的物流系統與一項儲存系統。

因此，Suez 集團被要求設計一座生物精煉廠，回收再生在阿姆斯特丹收集的廢棄 AHP 用品。

### FATERSMART 位於 Contarina 的工廠

全球第一座成功回收再生廢棄 AHPs 用品的工廠由 FaterSMART 於義大利的 Contarina 建立。FaterSMART 是 Fater 公司的子公司，Fater 是 P&G 與義大利工業集團 Gruppo Angelini 合資於義大利設立的公司。

這座工廠的支援系統是由當地的顧問及資源回收機構組成，由於工廠的設立運作，義大利將有超過 100 萬人受益於這項回收廢棄衛生用品的服務。工廠由 FaterSMART 運作，每年可處理 1 萬噸廢棄的 AHPs 用品。

最初是於 2013 年在 Contarina 建立一座實驗工廠，在 2015 年的運作之下，轉變為示範場域，2017 年就成為全面作業的工業運轉。這座工廠包含一套先進的高壓蒸氣滅菌過程，以利消毒 AHPs 用品。

用品經過這套過程後被分成兩條各別的串流：一條是可再利用的聚合物；一條是纖維素與超吸水性聚合物 ( SAPs ) 的組合。儘管目前技術仍是有限，但纖維素與超吸水性聚合物 ( SAPs ) 具商業再利用的價值。

FaterSMART 的系統自每 1 噸的廢棄物中可重新獲得下列兩個結果：一條是 150 公斤消毒過的纖維素與 75 公斤的 SAP；另一條則是 75 公斤消毒過的聚合物。

要成功建立更多這類的回收再利用工廠，需要地方當局同意讓另行收集廢棄 AHPs 的安排就緒，並進行廢棄物處理的夥伴願意投資並經營運作。

Contarian 這座工廠所採用的技術業經第三方認證安全無虞，確保廢棄物的每一部分皆經分流作業，並驗證微生物消毒的效用。

廢棄 AHPs 用品的主要組件皆被重新再利用如下：

- 消毒過的聚合物組件被回收再生成為硬聚合物產品，譬如棧板與家具。
- 消毒過的纖維素找到第二春，成為製造黏液纖維的成分，或用於製成苗床墊、貓砂、紙等用途。
- SAP 則可做為工業吸附器，或寵物墊等產品內的工業增稠劑。

## 結論

打造一種新的塑膠包裝材料相對是一個較單純的產業，因此在生產生物聚合物、回收再生 PP 及其他合成聚合物時，產出的聚合物應用於包裝用途上是輕而易舉的。

以生物聚合物製成的新塑膠包裝材料總量約為 100 萬噸，是現有生物聚合物產量的多數達 47%。對於回收再生聚合物，和生物聚合物的製造商而言，所生產的聚合物若拿來做為不織布等產品，將會是次要的考慮。

然而，使用於包裝的原生塑膠，現已愈被生質或回收再生的替代材料取代，使用生物聚合物來取代不織布產品現用的聚合物商機因而增加了。

類似歐盟一次性塑膠產品指令這樣的法規，將對於製造濕紙巾或女性護理這類產品，其不織布組件所使用到的聚合物，會有直接的影響。

一股更大的推動力則來自重要的消費性產品企業，例如 P&A、Kimberly-Clark，還有原料鏈最前端的龐大煉油公司，這兩種型態的企業皆已投入相當的資金。

一個更長期的目標則是回收再生使用過的 AHPs，因為這類廢棄產品的處置，仍是複雜的問題之一。