

東京理科大学
TOKYO UNIVERSITY OF SCIENCE

地域イノベーション戦略支援プログラム（旧知的クラスター創成事業）

平成24年2月13日

地域イノベーション戦略支援プログラム グローバル型（第Ⅱ期） 成果 第28号
☆二酸化炭素排出量60%削減 澱粉含有ポリエチレン発泡緩衝材の開発☆

学校法人東京理科大学

理事長

塚本 桓世

財団法人長野県テクノ財団

理事長

市川 浩一郎

（長野県全域知的クラスター本部長）

拝啓 貴社ますますご清栄のこととお喜び申し上げます。平素より格別なるお引き立てを賜り厚くお礼申しあげます。この度、地域イノベーション戦略支援プログラムグローバル型（第Ⅱ期）における第28号の研究成果として、「二酸化炭素排出量60%削減 澱粉含有ポリエチレン発泡緩衝材の開発」について、平成24年2月13日付けで発表いたします。是非、貴紙上または貴番組にてご紹介いただきますようお願い申し上げます。

敬具

※なお、内容解禁日は、以下のとおりお願い申し上げます。

平成24年2月13日（月）発表終了以降

○ はじめに

東京理科大学理工学部は「二酸化炭素排出量 60%削減 澱粉含有ポリエチレン発泡緩衝材」の開発に成功しましたので発表致します。これは、文部科学省の「地域イノベーション戦略支援プログラム グローバル型(第Ⅱ期)」の「ナノカプセルポリマー充填剤およびシリカナノ中空粒子の開発と応用」で生まれた成果です。

○ 概要

ポリエチレン(PE)を原料とした発泡緩衝材は、軽量でクッション性、断熱性、耐水性、柔軟性に優れていることから、農業資材を始め、家電製品の梱包材や建築資材として幅広く使用されています。しかし、上記の優れた特性を持っている反面、化石燃料由来成分を原料としていることから、廃棄時に大量の二酸化炭素(CO₂)を排出する問題がありました。

この対策として、PEの一部を工業用澱粉(澱粉)と置き換えて化石燃料由来成分の使用量を削減し、カーボンニュートラルの考えによりCO₂排出量を削減した製品も存在します。しかし、発泡緩衝材は、溶融した樹脂にガスを吹き込み気泡が発生した状態で冷却・固化して製造することから、樹脂の中に異物が含まれていると気泡が破れ、発泡倍率が低下して製品の品質が低下する問題があります。ここで澱粉を配合したPEを発泡緩衝材の原料に用いると、親水性の澱粉を疎水性のPEに添加することになり、両者は親和性が低く混ざりにくいため、PE中で澱粉が凝集して大きな塊となり、これが異物となってしまいます。

これを解決するために、澱粉とPEの親和性を高める必要があります。一番効果が高い方法は澱粉の化学修飾(エステル化)となります。この方法は澱粉の分子に直接、PEと親和性がある修飾基を付けるため効果が高いのですが、澱粉を特殊な反応器で処理するためコストが非常に高くなります。その他の方法としては、澱粉とPEの両方に親和性があり、接着剤のような機能を持つ「相溶化剤」(界面活性剤のような物質)を澱粉の表面にコーティングする方法があります。コーティング方法には相溶化剤を溶剤に溶解してコーティングする方法や、加熱や機械的な攪拌で混合してコーティングする方法があります。しかし、溶剤によるコーティングは大量の相溶化剤を用いることになり、さらに溶剤を除去するなど工程が増えてコストが高くなります。加熱や機械的な攪拌を用いる方法は、相溶化剤を少量で均一にコーティングすることが難しく、さらに熱や剪断力による澱粉の変質が起り、澱粉の変色など製品の品質

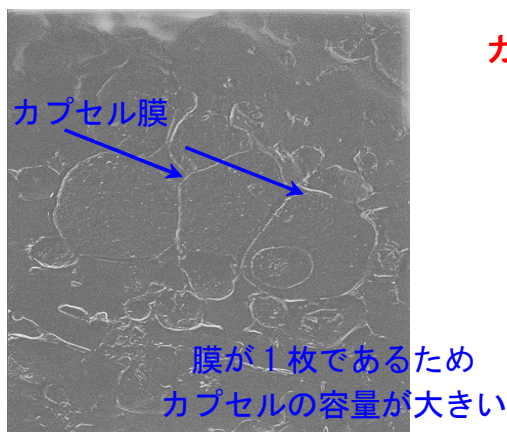
を低下させます。

上記の問題を解決するためには、熱や剪断力をかけずに少量の相溶化剤を均一に澱粉にコーティングする必要があります。そこで本研究では、相溶化剤をナノサイズにして澱粉の表面に付着させれば、少量で分子レベルの均一なコーティングを行うことができ、さらに相溶化剤をカプセル化すればナノサイズでありながら凝集を防ぐことも可能だと考え、相溶化剤のナノカプセル化を試みました。

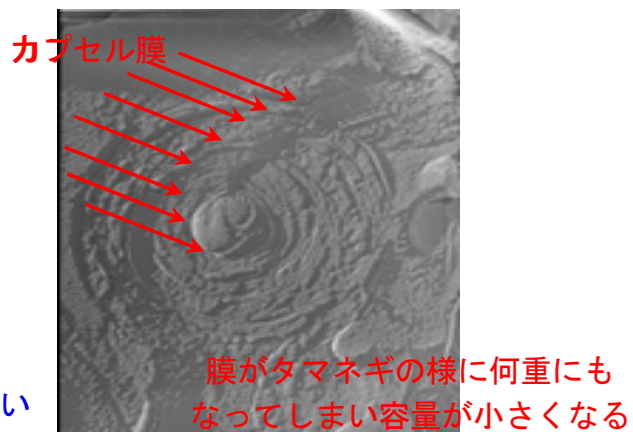
相溶化剤をナノカプセル化する方法としては、従来からバンガム法や超音波照射法が存在しますが、有機溶媒を用いるために製造工程が多段階となる問題や、カプセルの容量が小さいため、相溶化剤を澱粉に付着させる効率が低下する問題があります。それに対して本研究で用いた超臨界逆相蒸発法(特許番号:日本 4296341 号、フランス・ドイツ・イギリス No.EP1334765)は、有機溶媒を用いずに容量の大きなカプセルを一段階で製造できるため、コストを下げる事が出来ます。

ここで、超臨界逆相蒸発法の特徴を下記に示します。

- ・従来のカプセル化技術で使用する有害な有機溶媒の代わりに安全で無害な超臨界CO₂を使用するため、環境に優しく安全なカプセルを製造できる。
- ・従来のカプセルと膜の構造が異なるため、内包容量が大きく分散性の高いカプセルを効率良く製造できる。



超臨界逆相蒸発法によって
製造したカプセル



従来のカプセル化方法で
製造したカプセル

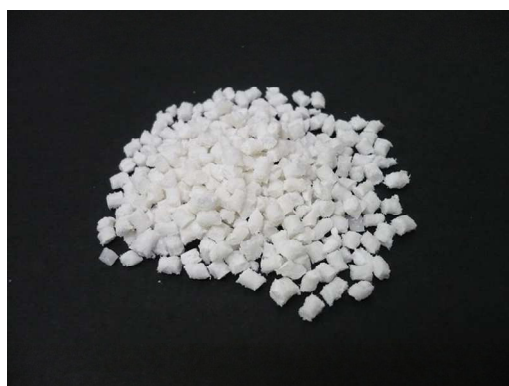
この超臨界逆相蒸発法によってナノカプセル化した相溶化剤(金属石けん系)を用いることにより、少量の相溶化剤で澱粉の表面を均一にコーティングすることが可能となり、澱粉を

10%添加しながらクッション性が高く、環境にも配慮した発泡緩衝材を開発することが出来ました。さらに、焼却時の高温で CO₂ を吸収するセラミックスをナノカプセル化して配合することにより、本発泡緩衝材の焼却で発生する CO₂ を 60%削減することが可能となりました(図 1)。

澱粉と CO₂ 吸収剤を添加した発泡緩衝材は世界初の製品となります。

開発成果の概要

- ①製紙業等で使用される工業用澱粉を10%含有し、焼却時に排出されるCO₂を60%削減するポリエチレン発泡緩衝材。
超臨界逆相蒸発法によって作製したナノカプセルを応用している。
- ②石油資源使用量とCO₂排出量を削減することが可能。



澱粉含有PE



澱粉含有PE 発泡緩衝材

図 1 開発成果の概要

○ 開発成果

1. 澱粉の高分散化

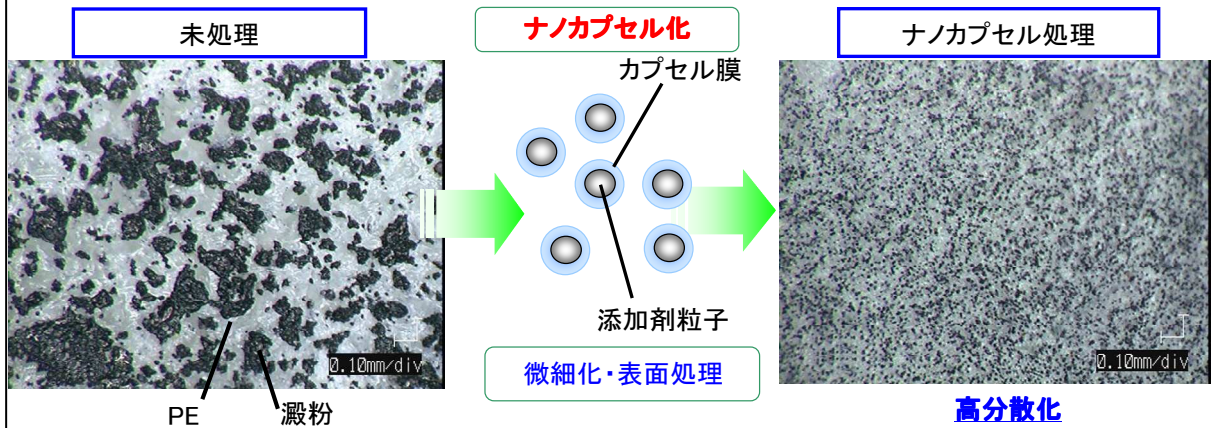
図2と図3に本研究で開発したナノカプセル化相溶化剤(金属石けん系)と、比較対象のため同じ相溶化剤を未処理で添加した澱粉添加 PE 樹脂(発泡緩衝材の原料)とその発泡体の作製結果を示します。ナノカプセル化することにより、相溶化剤がナノサイズとなって表面積が増大するため、表面活性が高くなって相溶化剤の効果が非常に高くなり、澱粉の分散性と接着性が向上していることが分かります(図 2 中の①と②)。さらにカプセルの膜によって保護されるため、ナノサイズとなった相溶化剤が凝集することはありません。

得られた発泡体も気泡の破れが無いいため発泡倍率が高く、緩衝性能が高いことがわかります(図 2 中の③と図 3)。

ナノカプセル相溶化剤の効果

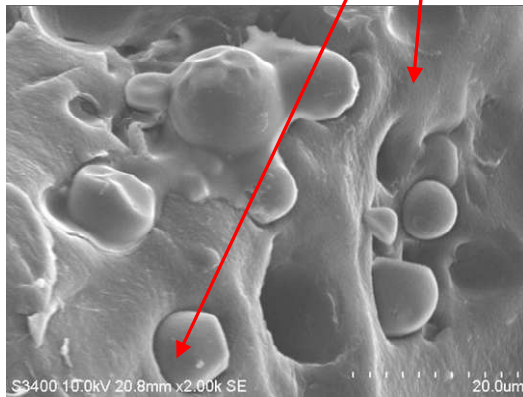
①相溶化剤をナノカプセル化することによって、表面積が増大。

ナノサイズでありながらカプセル膜によって凝集を防止。



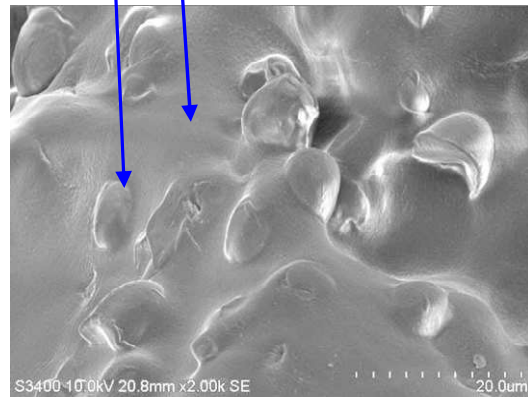
②電子顕微鏡写真(澱粉分散状態の違い)

相溶化剤の効果不十分、澱粉とPEが剥離



通常の相溶化剤

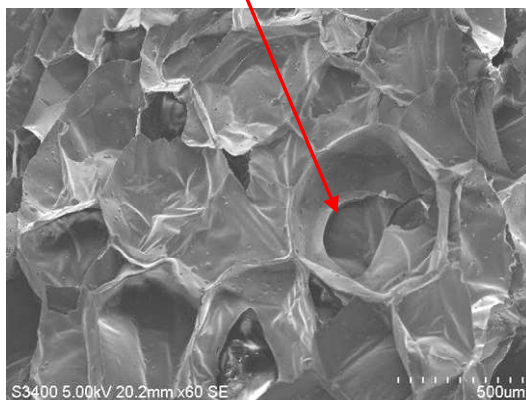
澱粉とPEが接着している



ナノカプセル化 相溶化剤

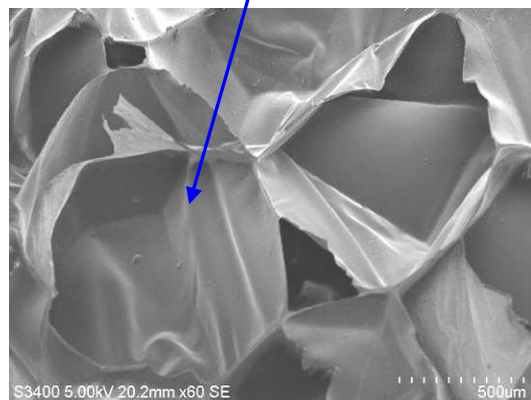
③電子顕微鏡写真(発泡体断面の状態)

気泡が小さく、破れている



通常の相溶化剤

気泡が大きく破れが無い



ナノカプセル化 相溶化剤

図 2 ナノカプセル化相溶化剤の効果

本研究で得られた発泡緩衝材の性能

ナノカプセル化 相溶化剤
発泡倍率41倍

通常の相溶化剤
発泡倍率21倍



側面の比較



断面の比較

「ナノカプセル化 相溶化剤」を用いた
発泡体は、澱粉を10%含有しながら
発泡倍率が高い(大きく膨らんでいる)



クッション性など性能が高い

省資源化

カーボンニュートラル

図3 本研究で得られた発泡緩衝材の性能

2. 二酸化炭素削減

図4にCO₂削減の原理、図5にCO₂削減効果測定結果を示します。CO₂削減は、CO₂を吸収する多孔質無機化合物(CO₂吸収剤)を発泡緩衝材に添加することによって実現しています。このCO₂吸収剤は、発泡緩衝材を焼却する際の高温下でCO₂と反応して炭酸塩となることにより、CO₂を大気中に放出させずに灰として残す仕組みとなっています(図4)。これにより、焼却によって発泡緩衝材自体から排出されるCO₂の量を60%削減することが出来ます(図5)。ここでも澱粉の高分散化と同様にCO₂吸収剤をナノカプセル化することにより、表面積を増大させて反応性を高め、CO₂を効率良く吸収することが可能となりました。

二酸化炭素削減の原理

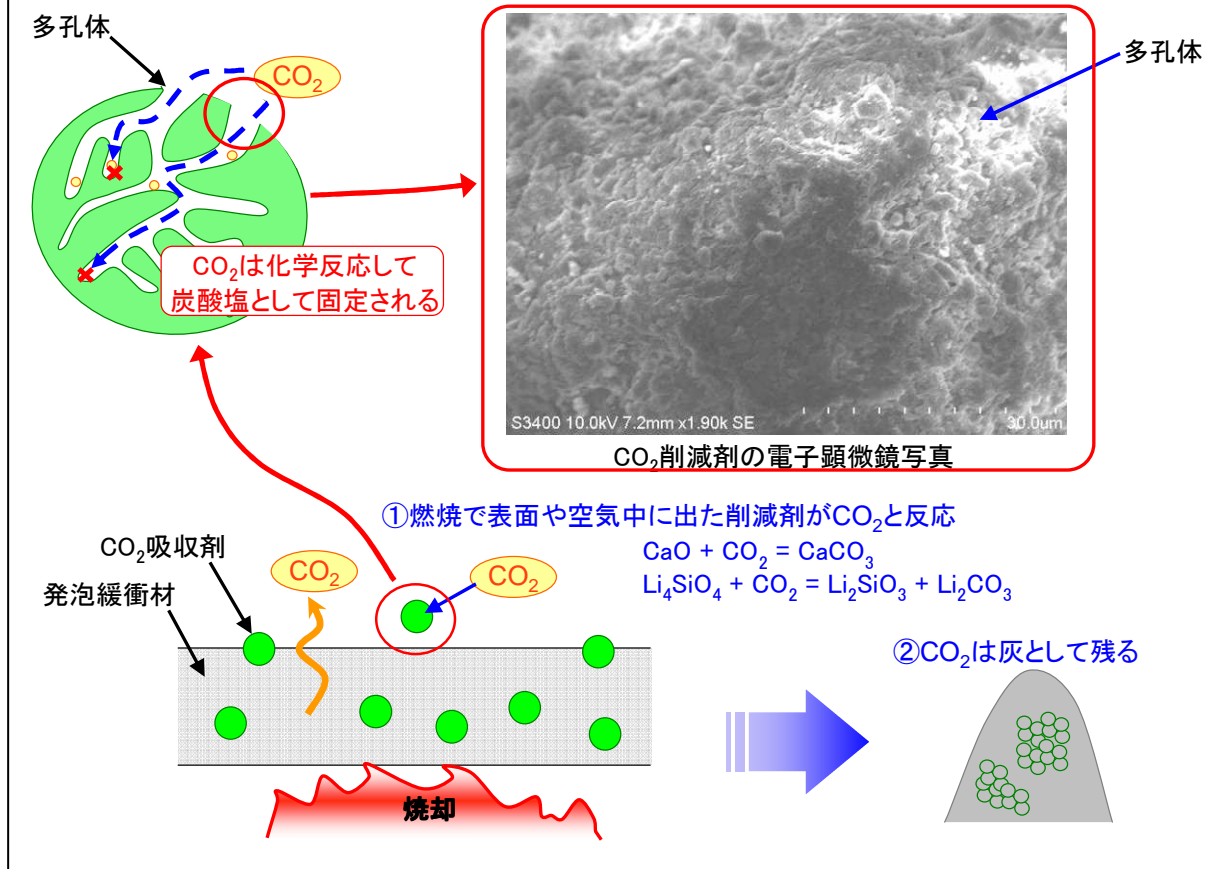


図4 CO₂削減の原理

CO₂削減効果

・プラスチックの燃焼ガス発生量測定 (JIS K 7217)

サンプル名	着火時間 [秒]	燃焼時間 [秒]	CO ₂ 排出量 [mg/g]	削減率 [%]
ポリエチレン 発泡緩衝材	15	19	1200	-
CO ₂ 排出量60%削減 澱粉含有ポリエチレン 発泡緩衝材	4	28	480	60

通常品と比較して、焼却時のCO₂発生量を60%削減している

図5 CO₂削減量測定結果

3. 期待される応用

環境に優しい発泡緩衝材として、農業用、工業用、土木建築用、運送用など幅広い用途があります。また、発泡緩衝材以外にも、樹脂の成形品(トレー、シート、袋、板など)への応用も期待できます。

○ 今後の予定

- ・本研究で開発した発泡緩衝材の販売を予定している。
- ・相溶化剤とナノカプセルの組成を検討・改良し、澱粉の含有量を51%まで高めた製品を開発する。(図6)

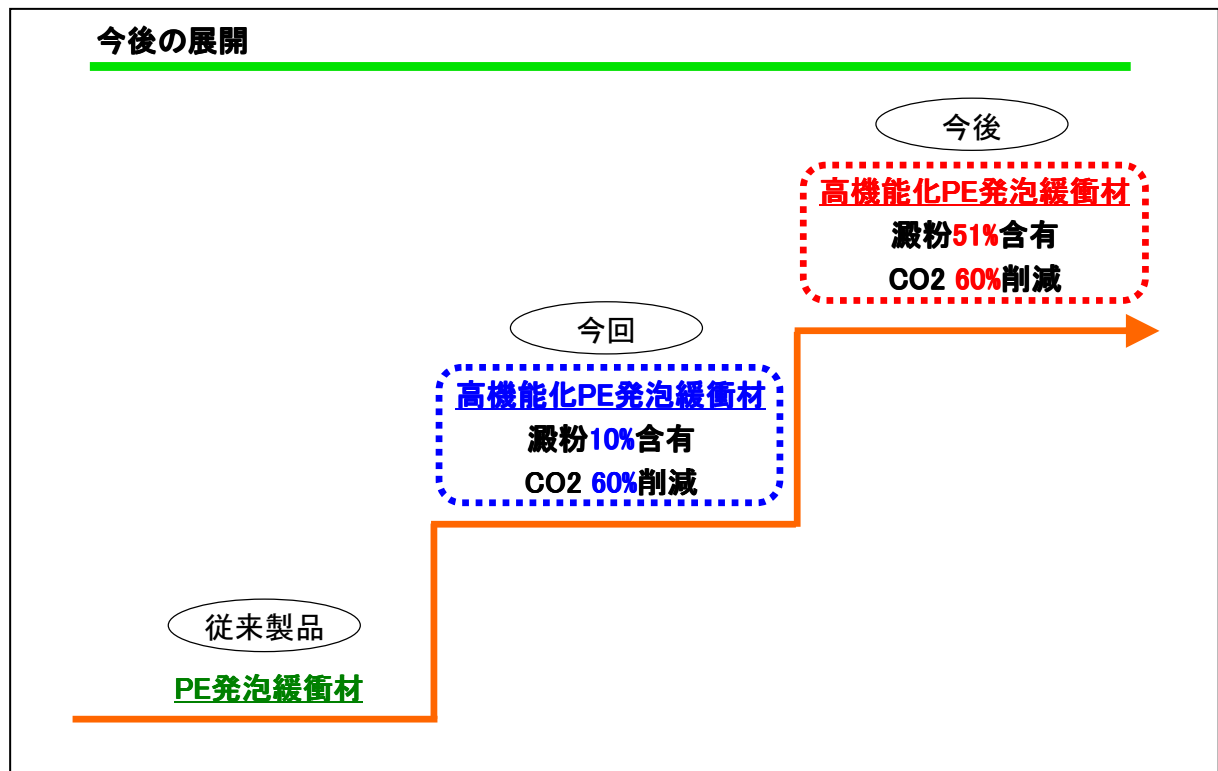


図6 今後の展開

*** この件に関するお問い合わせは、下記までお願い致します。**

①技術移転、共同研究等に関するお問い合わせ

〒162-8601 東京都新宿区神楽坂 1-3
東京理科大学 科学技術交流センター(承認TLO)
担当コーディネータ 金山 正明
TEL:03-5225-1089 (内線:1835) FAX:03-5225-1265
E-mail: kanayama_masaaki@admin.tus.ac.jp

②発泡製品に関するお問い合わせ

〒381-0211 長野県上高井郡小布施町雁田 361-1
ダイセルノバフォーム株式会社
生産・技術本部 技術開発部 部長 三宅祐治
TEL:026-247-2557 FAX:026-247-2281
E-mail: dainoba@annexis.ne.jp

③研究内容に関するお問い合わせ

〒278-8510 千葉県野田市山崎2641
学校法人東京理科大学 理工学部 工業化学科
教授 阿部 正彦
TEL:04-7124-1501(内線:2003) FAX:04-7121-2439
E-mail: abemasa@rs.noda.tus.ac.jp

アクティブ株式会社

平林誠
TEL:04-7124-1501(内線:5556) FAX:050-3768-2855
E-mail: m-hirabayashi@acteiive.jp

○ 用語の説明

・カーボンニュートラル

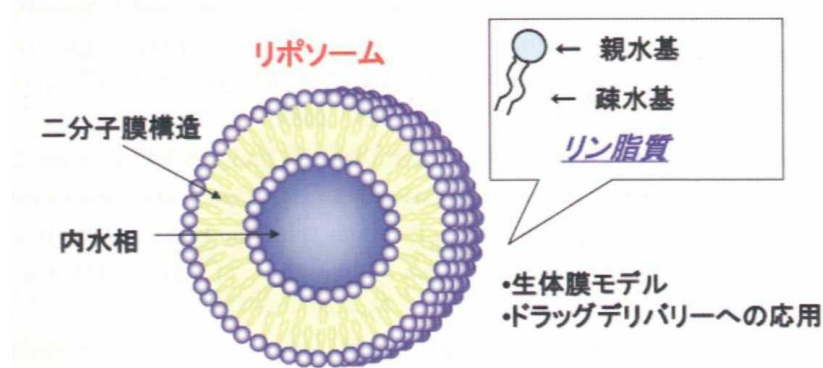
植物由来の素材(バイオマス)を燃焼させると化石燃料と同様に CO_2 を排出するが、植物は成長過程で光合成によって CO_2 を吸収するため、ライフサイクル全体で見ると大気中の CO_2 を増加させず、収支はゼロであると考えられる。このように、 CO_2 の増減に影響を与えない性質のことをカーボンニュートラルと呼ぶ。

・相溶化剤

互いに親和性が無く、混ざり合わない樹脂が存在した場合、その両方と親和性を持つ物質。親和性の無い樹脂同士を結びつける役割を果たす界面活性剤の様な物質。

・ナノカプセル

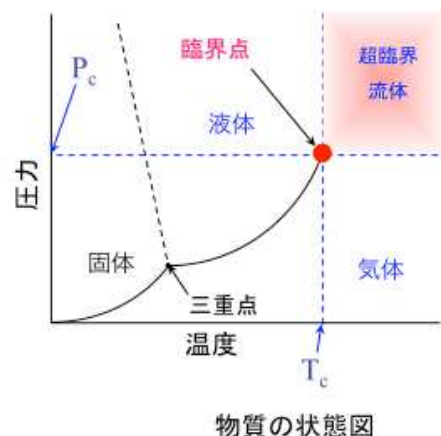
大きさがナノサイズ(10億分の1メートル)のカプセル(リポソーム)。リポソームとは生体膜由来のリン脂質が形成する二分子膜から構成される閉鎖小胞体(ナノカプセル)。



・超臨界二酸化炭素

物質を加熱・加圧し、臨界点(二酸化炭素の場合は 31.3°C 、 7.4MPa)を越えた状態を超臨界状態という。臨界点を越えた二酸化炭素のこと。気体、液体、固体とは異なった性質を示し、有機溶剤の代わりに食品成分の抽出やドライクリーニングなどに用いることができる物質である。

物質	臨界温度 [$^\circ\text{C}$]	臨界圧力 [MPa]
二酸化炭素	31.3	7.4



物質の状態図