ＧＰＮ　バイオプラスチック研究会レポート

　このレポートは、電器・電子機器製品を対象に、バイオプラスチックの定義や物性、環境側面からの評価に関する現状を整理したものである。

【概要】

1. 対象

・電気電子製品
・ベースレジンにバイオマス起源の原料を使用しているプラスチック。
・バイオプラスチック度が 25w%以上のプラスチック（合成樹脂）を指すこととする。

2. 環境側面からの検討

◆温暖化影響・化石燃料の保全
・ネイチャーワークスでは、風力発電（買電）により加工時にも自然エネルギーを使用している。
・LCA 評価では PLA を製造する工程の CO2 は少ない。（比較する石油系樹脂のデータが古く、厳密な比較は難しい。）

◆使用後のリサイクル容易性
・バイオプラを識別するために、一般のプラスチックに準じて、材料表示を行っている。
・ポリ乳酸は比重差で汎用プラと分別することが出来、量産材において、5 回の熱履歴で劣化のないことが確認されている。PLA をリサイクルすることは、物性的には問題はない。

◆食糧問題、原料としての安定供給性
・現状で人間の食糧供給を圧迫している状況にはない。
・土地や生産の持続可能性を危惧する意見もあるが、コンセンサスの得られた評価がない。

◆遺伝子操作・人体への安全
・ネイチャーワークス社では、遺伝子組み換えされたトウモロコシも利用しているが、遺伝子組み換えではないトウモロコシでの製造も対応している。
・遺伝子組み換え技術は、まだ発展途上の技術であるため、今後のさらなる技術開発や科学的な解明が期待される。

◆モデルケースによる LCA 評価
・PLA、PS、ABS、PLA+ABS の樹脂を対象にモデルケースを作り、特徴を整理。
・PLA にしても ABS や PS にしても、全量焼却したときよりもリサイクルしたときの方が数値は下がっているので、リサイクルはした方が良い、ということは言える。
・モデルケースは幾つかの仮定の下に計算されおり、結果の有意さの判断は意見が分かれる。これらの計算結果を見て、PLA が優れていると言えるほどの優位さは断定しにくい。

3. まとめ

・PLA 製造時の CO2 排出量は少なく、枯渇性資源の節約には効果がある。
・製造時の環境負荷(CO2)低減効果は、代替する石油系揺プラスチック樹脂によって異なる。
・ネイチャーワークス以外の事業者には、検証できるデータが揃っておらず、ネイチャーワークスの事例をもって「バイオプラスチック＝環境負荷の小さいプラスチック」とは言いきれない。

・PLA をリサイクルすることによって環境負荷を下げられる可能性がある。
・リサイクル性の評価は、物理的な物性には問題はないものの、実際の再資源化率やリサイクル代替率、マテリアルリサイクル時のデータの不整備など、検証するための不確定要素が多く、十分な検証が困難である。
・原材料生産・供給の持続可能性への評価は確立されておらず、引き続き配慮が必要である。

2006 年 11 月 30 日

グリーン購入ネットワークバイオプラスチック研究会

ＧＰＮ　バイオプラスチック研究会レポート

【目次】

1. 研究会の背景と目的

2. 研究会での検討テーマ

2-1. 研究会の開催

2-2. 対象範囲

2-3. 温暖化影響と化石燃料の保全

2-4. 使用後のリサイクル容易性

2-5. 食糧問題･原料としての安定供給性

2-6. その他（人体への安全性、遺伝子操作等）

2-7. モデルケースでの検証

2-8. まとめ

1. 研究会の背景と目的

プラスチックは、軽くて強く、耐久性があり、加工しやすい等の利点から、その市場を大きく拡大してきたが、最近では地球温暖化や廃棄物増加に繋がるなど、問題点も指摘されている。そこで、地球環境に配慮した資源循環型社会への転換の担い手として、植物を原料としたプラスチック（以下、バイオプラスチック）への期待が高まっている。これまでは技術的問題もさることながら、汎用プラスチックに比べて価格が高かったこと、用途が限られていたこと等から、市場の拡大は限定的であった。

しかし最近では、枯渇性資源の節約やカーボンニュートラルといった視点から注目が集まっている。2000年の初め頃から一部の包装やトレーなどの容器に採用されるようになったバイオプラスチックは、梱包用のバンドや自動車のタイヤカバーなど様々な用途に利用されるようになってきた。近年ではウォークマンや携帯電話、パソコンの筐体など、電気・電子製品へも用途が広がっており、2005 年に開催された愛・地球博でも、容器やスタッフ用の携帯電話に採用されるなど、拡大の気運が高まってきている。

グリーン購入ネットワーク（GPN）では、今後さらに、バイオプラスチックの製品への採用や、バイオプラスチックを利用した製品の購入を進めるために、バイオプラスチックについて LCA 等科学的な知見を整理し、総合的に判断する必要性があると考え、検討することとした。

2. 研究会での検討テーマ

2-1.研究会の開催

GPN では、会員を中心に研究会メンバーを組織し、6 回に渡って検討を行った。

第 1 回；1 月 18 日	研究会の目的、進め方
第 2 回；2 月 14 日	ケーススタディで取り上げる商品選定、考えられる項目の洗い出し
第 3 回；3 月 29 日	研究会での検討の対象範囲と LCA 評価
第 4 回；5 月 9 日	使用済み製品のリサイクル性、食糧問題
第 5 回；6 月 26 日	簡易モデルによるバイオプラスチックの特徴の把握
第 6 回；8 月 1 日	簡易モデルによるバイオプラスチックの特徴の把握 レポート案の検討

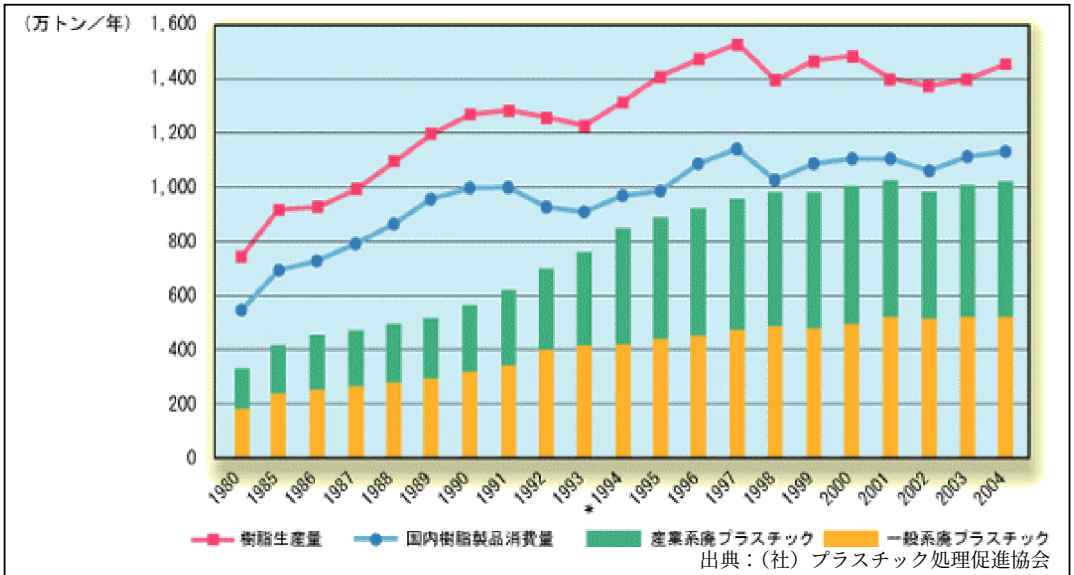
2-2.対象範囲

本研究レポートでは、電気・電子製品に使用される、もしくは使用される可能性のある、バイオプラスチックを対象に研究レポートをまとめた。バイオプラスチックは、容器包装や一部文具事務用品にも採用されているが、耐久性や耐衝撃性などの物性が電気・電子製品とは異なると考えられることから、対象を絞った形で検討することとした。

日本では、毎年プラスチック樹脂が 1,400 万トン生産され、1990 年代終わりから横ばいになっているが、毎年 1,100 万トンを超える樹脂製品が消費されている。また、一般系廃プラスチック、産廃系プラスチックがそれぞれ毎年 500 万トン廃棄されている。このことから、我々の生活がプラスチックによって支えられている事が分かる。

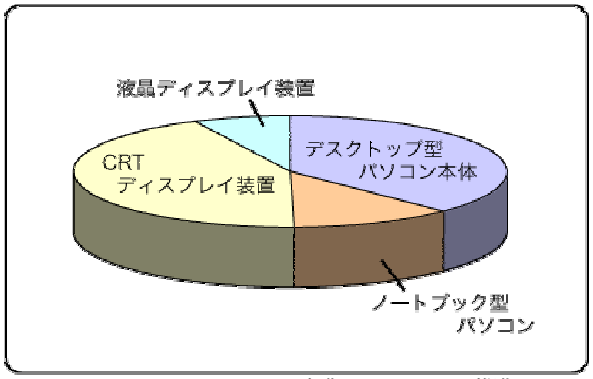
本研究会で対象とした電気・電子製品の代表格であるパソコンは、毎年 12,860 台出荷されており、2005 年に始まったパソコンリサイクルによって、29 万台の PC が回収され、リサイクルされている。

同様に家電製品についても、家電リサイクル法の対象となっている冷蔵庫・洗濯機・エアコン・テレビは、2005 年度は約 1,162 万台回収、リサイクルされている。



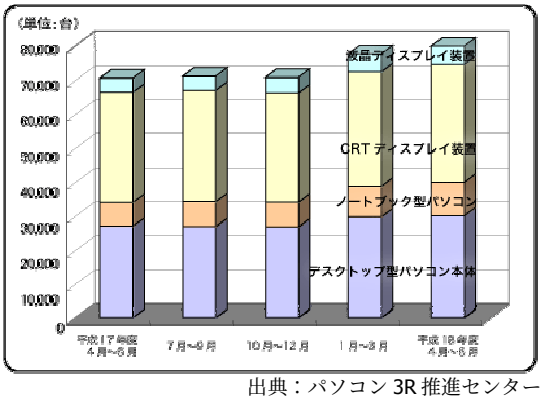
出典：（社）プラスチック処理促進協会

グラフ 2-1. 国内のプラスチック生産量と廃棄量



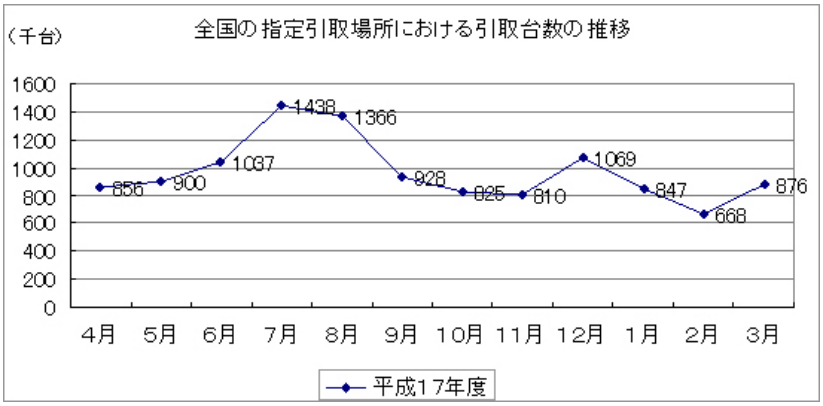
出典：パソコン 3R 推進センター

グラフ 2-2. 回収台数内訳（平成 18 年 4 月～6 月）



出典：パソコン 3R 推進センター

グラフ 2-3. 再資源化工場搬入台数内訳



出典：環境省

グラフ 2-4. 家電リサイクル法における全国の指定引き取り場所での引き取り台数の推移

2-2-1.バイオプラスチックの定義

研究会では、バイオプラスチックの定義を次のように整理した。

◆バイオプラスチックの定義

(1) 生物体構成物質起源の原料を使用している素材をいい、化石資源を起源とした素材を除く。

(2) 製品の筐体や部品等、構成部材の総重量に対して、使用されているバイオマス樹脂の重量比率を指す。

(3) バイオマス樹脂の重量比率は、次の計算式で算出する。

バイオプラスチック ＝ バイオマス樹脂（バイオマス起源の原料を使用した材料）÷構成部材の総重量

(4) バイオプラスチック度が 25w%以上のプラスチック（合成樹脂）を指すこととする。

2-2-2.バイオプラスチックの種類

バイオプラスチックには、現状以下の種類のものが販売もしくは開発されている。

分類	高分子名称
化学合成系	ポリ乳酸
	ポリグリコール酸
微生物生産系	ポリヒドロキシ酪酸
	ポリ（ヒドロキシ酪産/ヒドロキシヘキサン酸）
天然物系	エステル化澱粉
	酢酸セルロース
	キトサン/セルロース/澱粉
	澱粉/化学合成系

	植物		微生物	石油		
	生分解				非分解	
	PLA	ｾﾙﾛｰｽ	PHB	PBS	PC	ABS
密度(g/cm3)	1.26	1.26	1.18-1.26	1.26	1.2	1.02
ｶﾞﾗｽ転移温度(℃)	59	?	5	-32	150	?
融点(℃)	170	?	175-180	114	240	220
熱変形温度(℃)	55	81		97	138	93
燃料熱(cal/kg)	4560	5659	4560	5640	7294	8424
引張り強度(kgf/cm^2)	660	350	330	580	600	490
伸び(pct)	7.3	?	1.8	700	6	20
曲げ強度(kgf/cm^2)	1000	450	550	?	890	420
曲げ弾性率(kgf/cm^3)	34500	14000	36	6700	24000	27000
IZOT(J/m)	24.5	147	20	?	120-160	7-120
コスト(円/kg)	450	800	1500	550	400	250

表 2-1. バイオプラスチックの物性

2-3.温暖化影響と化石燃料の保全

2-3-1.評価にあたって

バイオプラスチックは植物を原料とし、植物は光合成により大気中の CO_2 を吸収して成長する。そのため、バイオプラスチックを使用後に焼却処分しても、排出される CO_2 の炭素は元々空気中から取り入れたものであり、原料由来分としては、大気中の CO_2 は増加しない。しかしながら、植物の栽培や樹脂の製造、輸送等には当然ながらエネルギーや副資材を消費するので、これらの影響を考慮する必要がある。すなわち、LCA（ライフサイクル・アセスメント）的な評価を行い、各ライフステージでの温室効果ガスの排出やエネルギー消費を試算し、総合的に評価すべきである。

バイオプラスチックの LCA は幾つかの発表事例がある。

代表的な事例を表 2-2 に示す。

バイオプラの種類	発表者［所属］	評価対象	境界条件	発表年	参考文献
PLA	E.T.H. Vink 他［NatureWorks］	温室効果ガス エネルギー消費 水消費	原料栽培～ペレット製造	2003 (2006 改版予定)	1)
PHA	柘植、土井他［東京工業大学］	温室効果ガス エネルギー消費	原料栽培～ペレット製造	2003	2),3)
	T.U.Gerngross［Dartmouth College］	エネルギー消費	原料栽培～ペレット製造	1999	4)

表 2-2. バイオプラスチックの環境影響評価の試算例

バイオプラスチックの中では、現在はポリ乳酸が使用量､生産可能量ともに突出しているので、次節では、ポリ乳酸の試算結果について取り上げる。

2-3-2. ポリ乳酸のライフサイクル･アセスメント

ポリ乳酸のライフサイクル・アセスメントについては、最大の製造元であるネイチャーワークス社が 2003 年に論文 [1)]で試算値を発表しており、また 2006 年には新規論文で試算値を改版予定である。以下に新規論文の要点を紹介する。

◆ ネイチャーワークス社 2006 年新規論文　要点

・計算範囲としては、原料栽培からポリ乳酸ペレットの製造までである。すなわち、計算に含まれるプロセスは、トウモロコシ栽培→収穫、乾燥、コーンウェットミルへの輸送→デキストロース製造→乳酸製造→ラクチド製造→ポリ乳酸製造、である。

・製造プロセスのデータは、量産プラントのデータを使用。

・温室効果ガス、および再生不能エネルギー資源の消費について試算し、石油系プラスチックと比較。

・風力発電電力を購入し、2006 年度より製造に利用。

図 2-5 に試算値の概要を示す。なお、化学経済研究所による石油系プラスチックの試算値[5)]も比較対象として併記した。

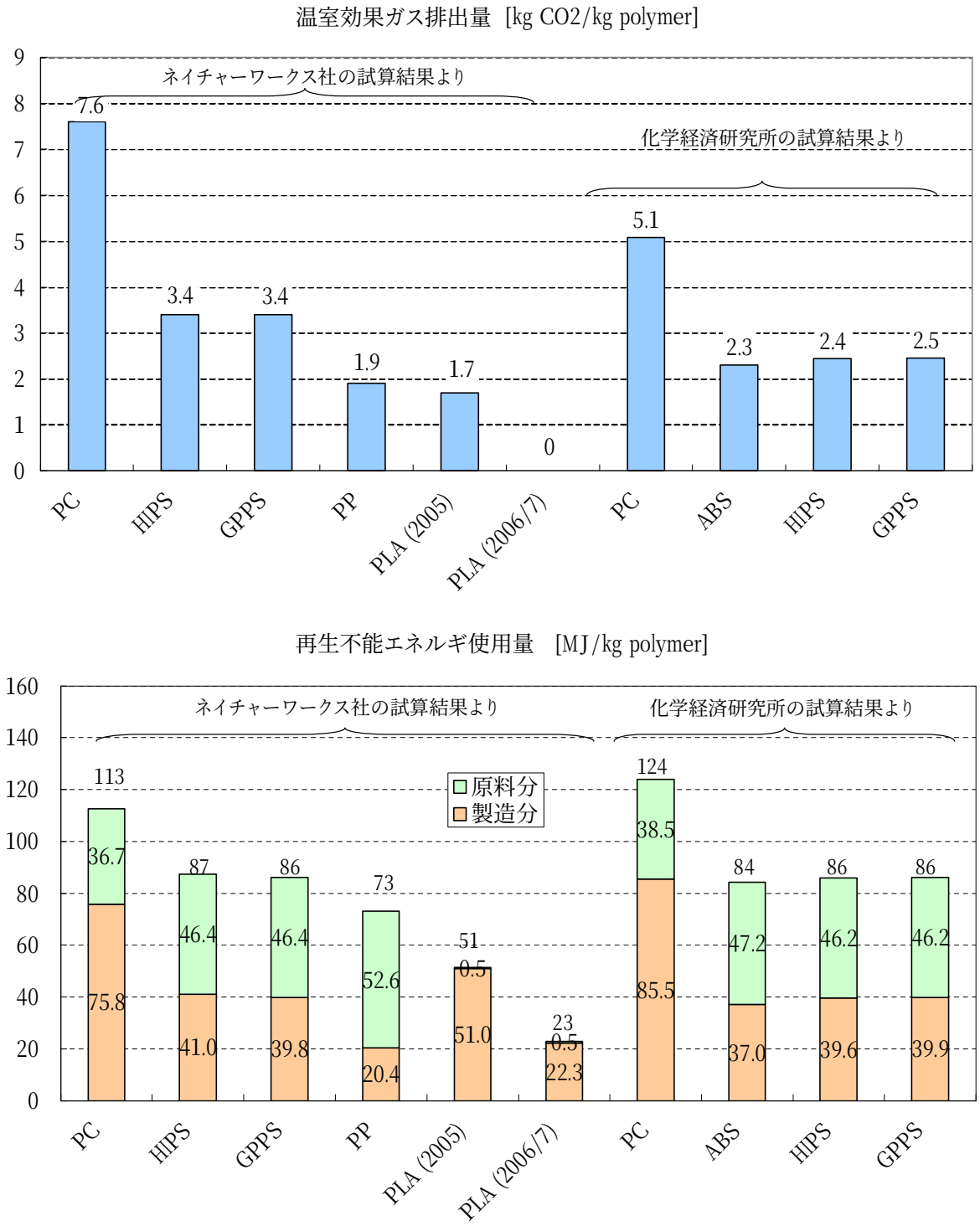


図 2-5. 石油系樹脂と PLA の温室効果ガス排出量と再生不能エネルギー使用量

電気・電子機器用途としては、ABS や HIPS が使用されることが多いので、これらとポリ乳酸を比較すると、温室効果ガス[kg CO_2 /kg polymer]については、ABS が 2.3、HIPS が 3.4/2.4 に対し、PLA は 1.7 である。また、再生不能エネルギーの使用[MJ/kg polymer]については、ABS が 84、HIPS が 86/87 に対し、PLA は 2006 年度の値で 23 であり、どちらの指標も PLA は ABS、HIPS より優れている。

上記の結果を解釈するにあたり、留意すべき点を挙げる。（下記で○はポリ乳酸に有利な点、◆はポリ乳酸に不利な点、△はケースバイケースで結果が異なる点を示す）

・LCA の試算値は、一般にはその使用後の処理方法によって、大きく値が変動する。（△）

・廃棄方法として焼却を仮定した場合は、ポリ乳酸にとって有利となる。これは分子組成に由来するもので、ポリ乳酸 $[CH_3OCHCO]n$ はポリスチレン $[CH_2C(C_6H_5)H]n$ と比べて炭素の含有率が少ないため、結果的に同質量の樹脂を燃焼させても、CO_2 の排出は少なくなる。（○）

・材料密度の考慮が必要である。　製品筐体等の部品として環境影響を評価する場合は、同重量でなく同体積で比較する必要がある。　ポリ乳酸の密度は 1.26 と HIPS の 1.04 と比べて 2 割強大きい。（◆）

また、特筆すべき点として、ネイチャーワークス社より、風力発電の電力を購入することにより、ポリ乳酸製造に伴う CO_2 排出を相殺してゼロとしていることが報告されている。[6)]　風力発電等の自然エネルギーの購入による CO_2 のオフセット自体は材料メーカーの方針であり、ポリ乳酸の特徴ではない。しかしながら、バイオプラスチックは一般的特徴として、自然エネルギーを導入しやすいと言えるのではないか。

こう考える理由は、石油由来のプラスチックは原油精製工程で排出される残渣を活用してエネルギー費のコストダウンを図っている。これはコスト的には優れているが、温暖化の観点では CO_2 排出源となる。また、外部から敢えて自然エネルギーを購入するインセンティブが働きにくい。一方、バイオプラスチックの製造プロセスではこのような制約がなく、必要に応じて自然エネルギーを取り入れやすいと考えられる。自然エネルギーは風力発電以外でも可能で、たとえば、原料植物の葉や茎等の余剰バイオマスをエネルギー源として活用することも、将来は充分に考えられる。

その他、バイオプラスチックを製品に採用し長期間使用することにより、光合成により植物に固定された炭素をさらに長期間、固定化することができる。これもバイオプラスチックの特長の一つといえる。

結論として、ポリ乳酸の温室効果ガスの排出とエネルギー消費に関する LCA では、汎用の石油系プラスチックと比較して劣るという事実は無い。むしろ、自然エネルギーの導入のし易さや、炭素の固定効果を考えると、優れたエコマテリアルとして期待できる。

2-3-3.電気･電子機器用のバイオプラスチックのライフサイクル･アセスメント

電気・電子機器の筐体として用いる場合、ポリ乳酸が単独で使用されることはなく、物性向上を図るために、一般には他の樹脂や添加物と複合化して用いられる。そのため、環境影響評価もその複合物に対して行う必要がある。ポリ乳酸複合物の環境影響評価としては、富士通（株）やソニー（株）で試算事例がある。富士通（株）は、従来の PC-ABS と比較して、ポリ乳酸複合物は 14.8% の CO_2 排出の削減効果があると報告している。[7)] ソニーは、従来のプラスチック(ABS)と比較して、20%の削減効果があると報告している。[8)]

LCA の評価結果は、材料組成や使用後の処理方法等によって大きく影響を受ける。そのため、導入にあたっては、実用材料についてできるかぎり実際のデータを収集して、温室効果ガス排出量やエネルギー消費量を定量的に捉えていくことが大切である。

2-4.使用後のリサイクル容易性

2-4-1.リサイクル技術

バイオプラスチックは、石油系プラスチックとは物理的、化学的に異なった特性を持っている。そのためリサイクルにあたっては、プラスチック以外の材料との分離だけでなく、石油系プラスチックと分離が重要になってくる。

(1) 判別方法

判別方法としては、金属やセラミックスとの比較判別については、石油系プラスチックと同様に密度の違いなどで可能である。一方石油系プラスチックとの比較判別については、密度、発熱量などが判別データとなるであろう。また、衝撃強度など物理的特性の差を利用することも考えられるが、測定容易な形状の被測定試料の入手が容易でない。

もっとも基本的なことは、材料表示を利用することであり、一定量重量以上の電子機器部品には表示が義務付けられており、これを活用することで判別可能である。

例（富士通）：PLA＋PC-TD10 FR（40）

(2) 分離技術

金属やセラミックスからの分離については、石油系プラスチックの場合と同様、比重の差を利用して液体での分離や気体流での分離が可能と考えられる。一方、石油系プラスチックとの分離については、ブロック単位で接着されている場合は破砕した後、金属やセラミックスとの分離と同様な方法で可能であろうが、ミリ・ミクロンレベルでの混合体については、ケミカルな特性や生分解性などバイオプラスチック特有の性質を利用して分離することも考えられるが将来の技術である。

(3) 個別リサイクル技術

①マテリアルリサイクル

成形を繰り返した場合の特性変化（NEC データ）から、衝撃強度他の物性に際立った劣化はなく、石油系プラスチックと同レベルのマテリアルリサイクルが可能と考えられる。

②ケミカルリサイクル

生分解性のバイオプラスチックを加圧・加熱、あるいは微生物でモノマーまで分解し、再びポリマー化するケミカルリサイクルについては大学の研究機関を中心に盛んに研究が進められており、再合成可能であることが実証されている。今後、経済性を中心と実用化に向けた技術開発・インフラ整備が必要である。

③サーマルリサイクル

熱源としての利用が、技術的には最も容易であるが、石油系プラスチックと比較したとき、その発熱量は 50%程度あり、分離するか用途を限定するかなどの工夫が必要である。

④バイオリサイクル

微生物による分解を利用したリサイクルは、バイオプラスチックの大きな特徴である。これまで、生分解性プラスチックとして安全性、分解条件などのデータの蓄積がある。しかし、電子機器部品のような厳しい熱的・機械的特性が要求される用途の場合には、非生分解性材料の添加が一般的であるため、バイオリサイクルにあたっては十分な管理が必要であろう。とりわけパソコンや家電製

品には難燃剤が添加されているため、バイオリサイクルは現実的には難しいであろう。

2-4-2.リサイクルシステム

(1) パソコンのリサイクルシステム（現状）

廃棄パソコンをメーカーが回収・リサイクルする体制が整備されており、回収されたパソコンは主に手作業により筐体・プリント板等の部品に解体・分別される。プラスチックは主に筐体として素材表示や識別機を援用して分別され素材業者の手に渡されるが、使用質量が極端に小さかったり、金属埋め込みや塗装等により他の素材と不可分に接合されたりしている場合はプラスチック単一素材に分別が出来ないため、高品質のマテリアルリサイクルは困難である。この状況は石油系プラスチックも同様であり、マテリアルリサイクル率の向上の為には、単一素材に分離し易く且つ使用質量の大きい部品に適用される方が有利である。

(2) 携帯電話のリサイクルシステム（現状）

携帯電話は部品サイズが小さいことから、手作業による解体・分別を経ずに直接に破砕・金属抽出が行われているのが大半であり、リサイクル率の値は製品中に用いられている金属の質量比で示されている。しかしながら、上述のように使用質量単位が大きければ解体・分別も容易になる為、筐体等に適用されればマテリアルリサイクルされることも可能となるであろう。

(3) 家電のリサイクルシステム（現状）

家電製品は家電リサイクル法施行後の体制の整備・回収量の増大に伴い、それまでの丸ごと破砕から解体・分別した後に破砕されるようになり、プラスチックのマテリアルリサイクル率も改善されて来た。パソコン等の IT 製品に比べポリプロピレン等の汎用樹脂の使用割合が高く、添加剤の使用量も少ない。シール等の付着物や使用による汚れがリサイクル品質を阻害する要因となるが、使用質量単位の大きいことや洗浄を行うことにより克服されている。バイオプラスチックを適用する場合、質量の大きい筐体を対象とするとマテリアルリサイクルし易いが、内部ユニットの微小部品として用い敢えて分別せず、サーマルリサイクル・金属抽出することも選択肢となり得る。この場合、素材生成時の CO_2 発生の少ないことがバイオプラスチック適用の意義となる。

(4) 現状リサイクルシステムにバイオプラ製品が混入した場合の課題

①技術面：マテリアルリサイクルする場合、破砕⇒再溶融を経ても目だった品質劣化のないことが確認されている。石油系プラスチックや他の異種素材と混合・アロイ化されている場合、リサイクルを行う毎にこれらの添加素材の補充が求められることが想定されるが、石油系プラスチックでも同様であり、従来と同様の手法で同等の環境負荷で処理が可能と思われる。ケミカルリサイクルでは、今後の研究開発を待つ要素が大きいが、添加素材との分離とモノマー化がポイントとなるであろう。いずれのリサイクルにおいても従来素材と分離されて処理されなければならない。

②費用面：マテリアルリサイクルする場合、分離に工数やエネルギーを要しないことと回収量が大きく纏まった処理量となることが費用面から求められる。

バージン材の価格との比較も重要であり、バイオプラスチックの適用量の増減の影響が複雑に表れるものと予想される。

③社会認識面：バイオプラスチックと言えども、種々の素材を添加することにより生分解性を失っていることが広く認識され、法定の回収ルートに載せられるように促すことが上記の回収量の増大に繋がる。バイオプラスチック単体をリサイクルする環境負荷の面での意義に関しては議論の余地があるが、回収量の増大により単位質量当りのリサイクル処理がもたらす環境負荷を小さくすることが可能であり、回収量の趨勢を見て定量的な議論を行うことが求められる。また、石油系プラスチックと同様、素材グレードの簡素化も重要であろう。

④新しいリサイクルシステムの必要性：

異種素材が添加されたバイオプラスチックに対してコンポスト処理は適用できない。処理工程自体は石油系プラスチックと類似のものになると思われるが、バイオプラスチックのリサイクルをプラントの建設により集中・大規模化・専門化し、分子量の調整や添加剤の補充等も行い、プラスチックとしての再商品化まで一体化して行える体制が望まれる。

2-4-3.まとめ

バイオプラスチックは、一般的な石油系プラスチックと同レベルでマテリアルリサイクルが可能である。同時に微生物による分解などバイオプラスチック特有のリサイクルの選択も可能である。しかし、電子機器用途の特性確保のため、種々の添加剤を含有させるのが一般的であり、製品のリサイクルにあたっては十分な含有物の把握と管理が必要である。

またバイオプラスチックは本来循環型資源である。従って、バイオプラスチックの製造に、あるいはマテリアルリサイクルにどの程度の枯渇資源を消費するかを検討した上で、最適なリサイクル方法を選択すべきである。

また、リサイクル方法の選択は経済的側面からも検討すべきであり、現行のプラスチックリサイクルシステムの中で、取り扱う量によってステップ的に考えていくことも重要であろう。

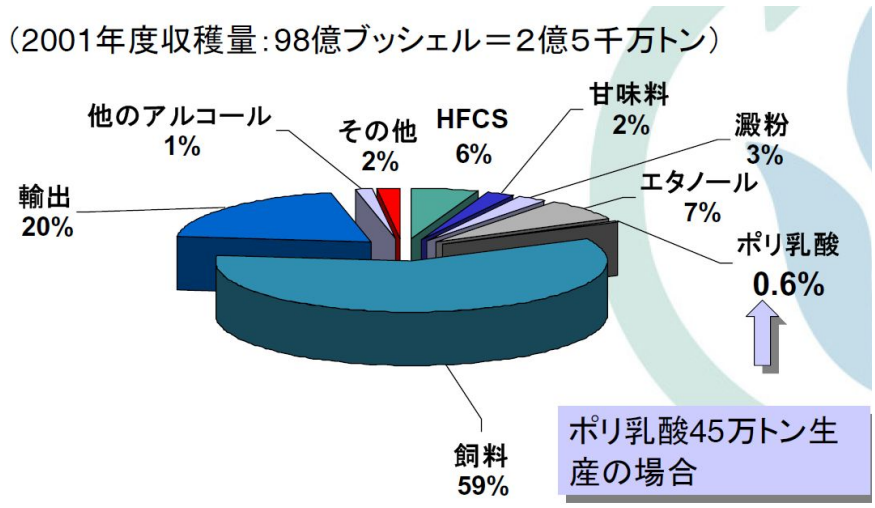
2-5.食糧問題･原料としての安定供給性

バイオプラスチックの原料となる PLA は、アメリカにあるネイチャーワークス社が最大の製造元であり、現在 14 万トン/年の PLA を製造している。PLA の原料となるトウモロコシは、人間が食べるスイートコーンではなく、デントコーン 1)という品種が使用されている。

アメリカでは、2 億 5,000 万トンのデントコーンの収穫がある（2001 年度実績）。用途として最も多いのが「飼料」で、全体の 60%を占めている。その他輸出が 20%、エタノール 7%、HFCS6%と続いており、ポリ乳酸の原料として使用されるのは全体の 0.17%を占めている。

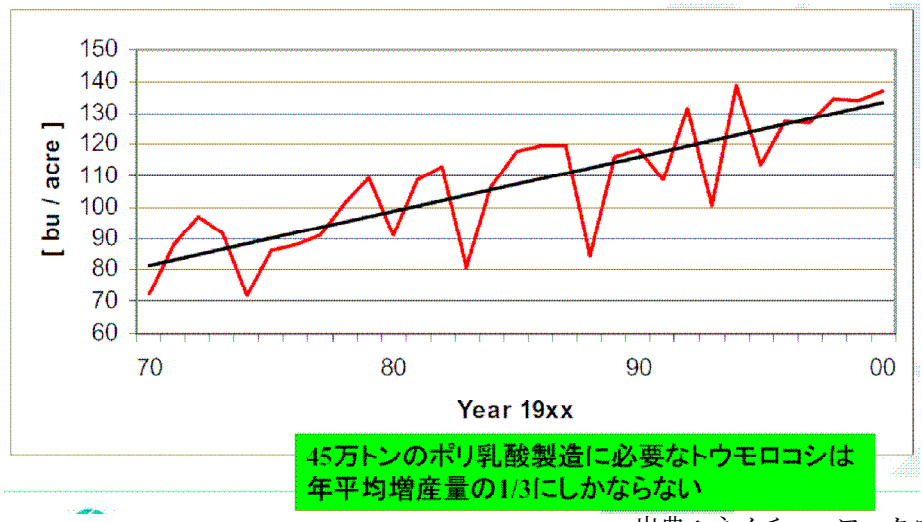
ネイチャーワークス社では、14 万トン/年のプラントを 3 基に増設し、45 万トン/年へ製造能力を高めることを予定しているが、製造能力が 45 万トン/年に増加したとしても、2001 年度収穫量で当てはめると、全体の 0.6%に過ぎないことになる。

アメリカではトウモロコシの収穫量は年々増加しており、年平均 1.7～2%程度増加している。PLA が 45 万トン/年製造するのに必要なトウモロコシは、年平均増産量の 1/3 にしかならないことが分かる。



出典：ネイチャーワークス社資料

グラフ 2-6.　アメリカのデントコーン収穫量（2001 年）



出典：ネイチャーワークス社資料

グラフ 2-7.　過去 30 年の米国トウモロコシ生産量の推移

国連世界食糧計画によると、世界の飢餓人口は 8 億人にも及ぶ 2)。また、糖尿病ネットワークでは、世界の糖尿病人工は予備軍も併せて 3.1 億人と推計している 3)。PLA の原料として利用されるデントコーンは食用ではないことから、現時点では PLA の製造が食料飢餓を加速させているとは言えないだろう。しかしながら、今後 PLA など工業用途のデントコーン栽培が拡大し、食用のスイートコーンを栽培していた土地が、商業用にデントコーンを栽培することになると、間接的な影響が懸念される。

ブラジルなど一部の地域では森林を切り開いて農地へ転換していることを指摘されることがある。植物原料であるトウモロコシから製造するバイオプラスチックは、化石燃料を代替する効果はあるが、もしその原料となるトウモロコシが森林を切り開かれた農地で栽培されたものだとすると、土地の持続可能利用性や生産の持続可能性の面から、課題を突きつけられることも考えられる。

PLA をトウモロコシの茎や葉、その他の繊維を原料として製造することも物理的には可能であるが、トウモロコシの粒から製造するよりも効率が悪く、現時点では将来的な目標に留まっている。

以上のことから、PLA を製造することによる食糧問題や原料としての安定供給性については、現時点では問題のないレベルにあると言えるが、持続可能な原材料の栽培や供給については、原材料メーカの情報開示がさらに進むことが期待される。

補足）

1)デントコーン：家畜の飼料用のコーン。品種（早生・晩生など）にもよるが、草丈は２m程度になる。
通常のスイートコーンに比べ、やや葉の色が濃く、茎も太く堅い。

2)国連世界食料計画　：http://www.wfp.or.jp/faq/#question1

3)糖尿病ネットワーク：http://www.dm-net.co.jp/chousa/cat280/

2-6.その他（遺伝子操作、人体への安全性等）

アメリカで収穫されるトウモロコシの 8 割が遺伝子組み換えされたものであるとも言われている。ネイチャーワークス社では、遺伝子組み換えされたトウモロコシも利用しているが、PLA の中に DNA が含まれていないことの証明を求めたり、遺伝子組み換えではないトウモロコシから製造した PLA を求めたりすることもできる。

遺伝子組み換え技術や遺伝子組み換え食品については、人体や生態系への影響、遺伝子操作に対する倫理観など様々な観点から議論が交わされている。遺伝子組み換え技術の安全性や影響については、国として科学的に検証され、一部許可されているものもあるが、遺伝子組み換え技術は、まだ発展途上の技術であるため、今後のさらなる技術開発や科学的な解明が期待される。

2-7. モデルケースでの検証

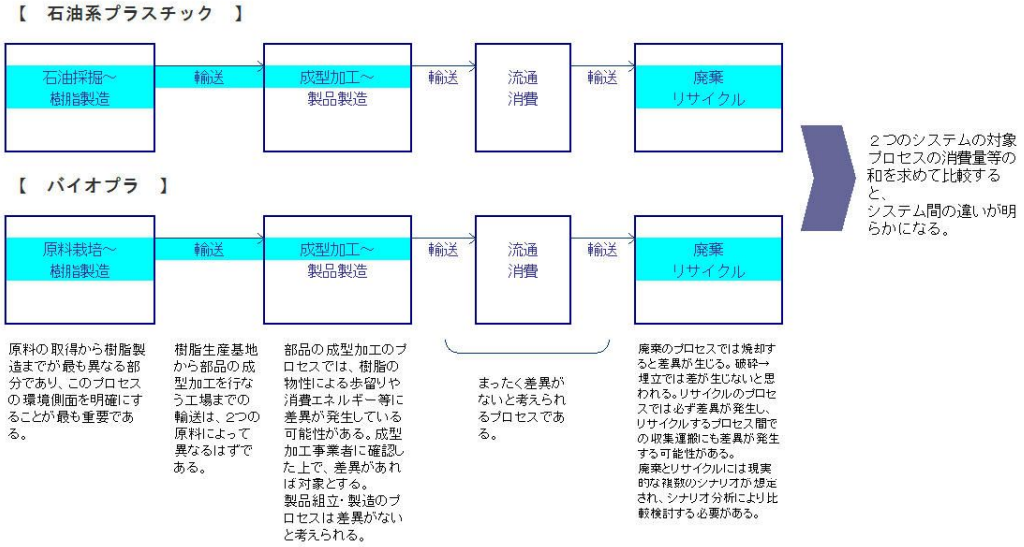
これまでの検討から、PLA は全ての側面から有効というわけではなく、採用する製品用途や代替する樹脂、回収リサイクルシステムの有無による、場合分け、使い分けを整理することが必要であることが考えられる。

そこで GPN では、2 つの異なるシステムによる比較分析を行った。

＜モデル設計＞	
目的	バイオプラスチックをパソコン等の製品に使用した場合の環境への影響の変化を分析して、バイオプラスチックの特徴を把握する。
分析方法	バイオプラスチック原料と、従来から使用されている石油系プラスチック原料の 2 つの原料を使用した場合のパソコン等のライフサイクルを想定したモデルを構築し、環境影響を比較する。
対象製品	ノートパソコンの筐体
比較するシステム	パソコン等に使用される石油系プラスチックとバイオプラスチックの 2 種類のプラスチック原料のシステムを比較する。 ①PS　を製造、焼却 65%＋マテリアルリサイクル 35% ②ABS を製造、焼却 65%＋マテリアルリサイクル 35% ③PLA を製造、焼却 65%＋ケミカルリサイクル 35% ④PLA＋ABS ブレンド樹脂を製造、焼却 65%＋ケミカルリサイクル 35% ※マテリアルリサイクルして発生する再生ペレットと電力をどの程度プラス評価に考えるか、バージン材料と等価と見なすのか、によって結論が変わってくるが、今回は【等価】とみなし、代替率 100%として考える。
対象とする環境側面	資源エネルギーの消費と二酸化炭素の排出の 2 つに限定
システムの範囲	原料採種・原料採掘から製造、流通、消費、廃棄・リサイクルまでのライフサイクル全体を対象範囲とするが、実際には差異が生じる「樹脂製造」と「廃棄・リサイクル」プロセスのみを対象として分析する。

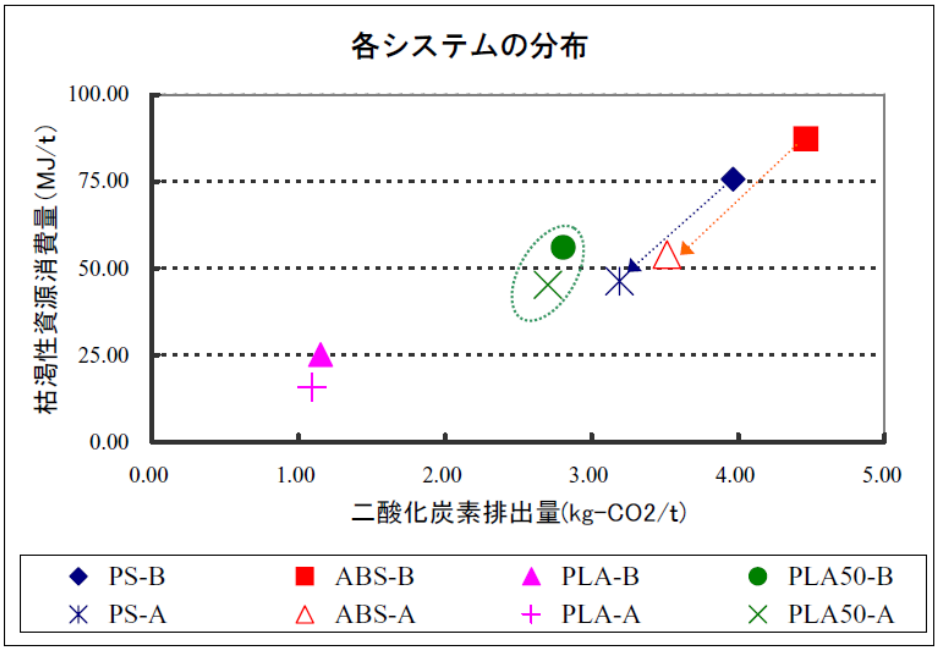
２つの異なるシステムの比較

２つの異なる原料を使用した場合の枯渇性資源消費と二酸化炭素排出の違いを分析する場合、異なるプロセスのみを対象として検討することになる。下記フローのハッチの部分が対象となると思われる。



＜　インベントリデータ　＞

	原料～樹脂製造	廃棄	リサイクル
石油系プラスチック	公表されている既存のインベントリデータを使用。 PP は（社）プラスチック処理促進協会のインベントリデータを利用。	家庭系廃棄物として市町村の廃棄物処理システムに投入されると仮定し、自治体の回収システムのデータを利用。	仮想的マテリアルリサイクルのインベントリデータを利用
バイオプラ	Nature Works が 2006 年に改版したインベントリデータを利用	基本的には石油系と同じ。 生分解を前提とした処理はインベントリデータがないか？	ケミカルリサイクルは、九州工業大学白井研究室の論文データを参照



	リサイクル代替値差し引き前(Before)				リサイクル代替値差し引き後(After)			
	PS-B	ABS-B	PLA-B	PLA50-B	PS-A	ABS-A	PLA-A	PLA50-A
non renewable resource	75.67	87.31	25.13	56.01	46.24	53.96	15.69	45.25
renewable resource	0.00	0.00	32.80	16.40	0.00	0.00	21.58	5.18
CO_2	3.97	4.46	1.15	2.81	3.19	3.52	1.10	2.70

※PLA50とは、PLAとABSを50:50でブレンドした樹脂である。
※PLA50-B、PLA51-Aの両方のデータは、インベントリデータに問題があり有意でない可能性がある。

＜計算結果の考察＞

・グラフは①～④の計算結果で、リサイクル代替率を差し引きする前とした後での結果を表している。
・リサイクル代替率は、様々な議論があり、リサイクルをどの評価するのかによって、結論が変わってくる。ドイツでは代替率を 50%として考えていて、オランダでは 25～75%の間で考えている。
・ABS や PS は、全量焼却したときよりもリサイクルしたときの方が数値は下がっているので、リサイクルはした方が良い、ということは言える。
・PLA も同様に、リサイクルした方が良いことは言えるが、PLA を製造するのに消費する枯渇性資源が少ないため、同じく枯渇性資源を使って行うリサイクルに利用できる枯渇性資源には限度がある。PLA を製造するのに消費する枯渇性資源量以上に、リサイクル時に使用してしまっては、かえって PLA の負荷が大きくなることになる。
・今回の PLA＋ABS ブレンド樹脂の計算結果は、ブレンド樹脂のミニマムとして捉えることが出来る。
・リサイクル代替率の評価が定まらない中で、PLA 単体での計算結果とリサイクルした方が環境負荷を下げられそうだ、ということ以上のことを言うことは難しい。

2-8.まとめ

これまでの考察をふまえ、次のようなバイオプラスチックの特徴を整理することができる。

◆バイオプラスチックの特徴

1. バイオマスポリマーを原料とする PLA は CO2 排出量が少ない樹脂であり、枯渇性資源の節約には効果がある。
2. PLA 利用による製造時の環境負荷(CO2)低減効果は、代替する石油系揺プラスチック樹脂によって異なる。
2. ネイチャーワークスによる PLA 製造時の環境負荷は、他の石油系樹脂と比較して、優位となるケースがあるが、それをもって「バイオプラスチック＝環境負荷の小さいプラスチック」とは言いきれない。
3. ネイチャーワークスの PLA 製造時の環境負荷は明らかになっているが、それ以外の事業者が製造する PLA については、検証できるデータが揃っていない。
4. ブレンド樹脂を想定する場合、混合比率の違いによって、環境負荷の優位性の違いがありそうである。
5. PLA をリサイクルすることによって環境負荷を下げられる可能性がある。
6. リサイクル性の評価は、物理的な物性には問題はないものの、実際の再資源化率やリサイクル代替率、マテリアルリサイクル時のデータの不整備など、検証するための不確定要素が多く、十分な検証が困難である。
7. 原材料生産・供給の持続可能性への評価は確立されておらず、引き続き配慮が必要である。

パソコンや家電製品に使用されるポリカーボネートや HIPS、ABS など、プラスチック樹脂を製造するのに多くのエネルギーが必要な樹脂と PLA を比べた場合、PLA の方が樹脂製造に必要なエネルギーが少なくて済み、PLA による代替効果は大きいと言える。一方で PP や PE のように、プラスチック樹脂を製造するためのエネルギーが少ない樹脂を PLA で代替した場合、その代替効果は小さいことになる。

代替効果が小さい場合であっても、枯渇性化石資源の使用を抑制する効果がある場合は、PLA を採用することは有効であると言えるのではないだろうか。PLA を採用する製品、代替する石油系樹脂の種類を確認することが大切であろう。

ネイチャーワークスの資料によると、PLA 製造時の環境負荷は、他の石油系樹脂と比較して優位であることが示されている。現在市場で扱われている PLA の大半がネイチャーワークスによる供給である。また、ネイチャーワークスのプラントでは、風力発電による電力を購入し、製造時の化石燃料によるエネルギーの消費を抑制しようと取り組まれている。一方で、PLA を製造するプラントは他にも幾つかあるが、PLA の製造規模や効率はネイチャーワークスのそれらと比べて、まだまだ劣っているのが現状である。ネイチャーワークスが製造する PLA と、他のプラントで製造される PLA が同じ環境負荷とは考えることが出来ず、PLA＝環境負荷の小さいプラスチック素材であるとは、一概には言えない。

バイオプラスチック利用によるリサイクル時の環境負荷は、他の石油系樹脂同様、製品の回収・リサイクルシステムの存在に大きく依存する。

家電リサイクル法で対象となっている４品目（冷蔵庫・洗濯機・エアコン・テレビ）やパソコンなど、既に回収システムが確立している製品の場合、他の品目と比べて、回収に膨大なエネルギーを使用せず、一定程度の品質を確保することが出来る。そして、回収したバイオプラスチック製品は、マテリアルリサイクルもしくはケミカルリサイクルされるのが望ましい。とりわけ、前述のように PLA が、ポリカーボネートや HIPS など、比較的エネルギー消費量の大きい石油系樹脂を代替している場合は、リサイクルすることが望ましい。

一方、回収システムがなく、従来焼却処理されていた品目や製品については、エネルギーをかけて回収するよりも、焼却処理した方が全体として環境負荷を小さく抑えることが出来るのではないだろうか。その場合、バイオプラスチックには、なるべく多くのバイオマス原料が使用されていることが望ましいと考えられる。バイオプラスチックは、PLA 以外に石油系樹脂も配合されていることがあり、焼却処理される場合は、その石油系樹脂も焼却されてしまうため、枯渇性化石資源の使用抑制の為には、なるべく PLA などバイオマス原料の割合が多いことが望ましいと言える。

現在ネイチャーワークスが PLA を製造するアメリカでは、工業用トウモロコシが栽培され、原料として使用されている。現時点では、人の食糧供給への圧迫、原材料生産や供給の持続可能性の問題は顕在化しておらず、評価も確立されていないのが現状である。ただし、従来食料用であった農地が工業用に転用される、森林を開墾して農場を整備するなど、持続可能性という点から危惧を唱える声も存在することから、今後さらに PLA の製造を拡大していく場合には、これらの視点での配慮が必要となる。

参考文献

1) Vink ETH, et al.: Applications of life cycle assessment to Nature Works polylactide (PLA) production, Polymer Degradation and Stability, Volume 80, Issue 3, 2003, Pages 403-419
2) M.Akiyama, T.Tsuge, Y.Doi: Environmental life cycle comparison of polyhydroxyalkanoates produced from renewable carbon resources by bacterial fermentation, Polymer Degradation and Stability, Vol.80, pp.183-194, 2003
3) 柘植丈治、土肥義治、「バイオプラスチック生産の環境影響評価」、第 20 回グリーン購入研究会講演資料、2003
4) Gerngross TU: "Can biotechnology move us toward a sustaionable society?", Nature Biotechnology, Vol 17,pp.541-544,1999
5) 化学経済研究所： 基礎素材のエネルギー解析調査報告書、p7, 1993
6) Natureworks 社 Web ページより。
http://www.natureworksllc.com/corporate/news_press_release.asp?id=1388
7) K.Kimura, Y.Horikoshi, FUJITSU SCIENTIFIC & TECHNICAL JOURNAL, 2005-VOL41; NO2 p173-180
8) ソニー（株） CSR レポート 2003, p55, 2003
http://www.sony.co.jp/SonyInfo/Environment/environment/communication/report/2003/index.html