

# 植物性プラスチックの研究開発と製品適用

## Research and Development of Bioplastics and Application to Products

### あらまし

近年、石油や石炭などの化石資源の消費による二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）排出量の増加に伴い、地球温暖化が急速に進んでおり、CO<sub>2</sub>排出量の低減が急務となっている。このような状況において、資源に限りがある石油の代替材料として、焼却処分時のCO<sub>2</sub>の発生量が少なく地球への環境負荷が少ない植物性プラスチックの活用に関心が高まっている。富士通では、1990年代から、植物性の材料（バイオマス）を原料とする植物性プラスチックに着目し、開発を行ってきた。その結果、トウモロコシを原料とするポリ乳酸をベースとし、植物性プラスチックの難燃化、ポリマーアロイ化技術を開発し、2005年春より、ノートパソコンの筐体に適用している。さらに、トウゴマを原料とするポリアミド11を用いた柔軟な植物性プラスチックを開発し、2007年春より、ノートパソコンの部品に適用している。本稿では、植物性プラスチックの開発技術、ライフサイクルアセスメント評価結果について紹介する。

### Abstract

Increasing levels of CO<sub>2</sub> emissions from the consumption of such fossil resources as oil and coal have contributed to global warming accelerating at an unprecedented rate. Efforts to reduce CO<sub>2</sub> emissions are now urgently needed. In view of this situation, environment-friendly bioplastics that emit less CO<sub>2</sub>, are attracting greater attention as an alternative energy source to oil, a limited source of energy. Since the 1990s, Fujitsu has focused on developing bioplastics made from biomass and successfully developed flame retardant and polymer alloy technologies for a bioplastic based on polylactide resin made from corn. This material has been used in notebook computers since spring 2005. Fujitsu also developed a soft bioplastic made from polyamide 11 (based on castor beans) that has been used in notebook computers since spring 2007. This paper describes the technologies developed for plant-based plastics and the results of assessing their life cycle.



木村浩一（きむら こういち）  
基盤技術研究所環境技術研究部  
所属  
現在、パソコン筐体材料技術の開発  
に従事。



堀越裕三（ほりこし ゆうぞう）  
基盤技術研究所環境技術研究部  
所属  
現在、環境材料技術の開発に従事。

## ま え が き

植物性プラスチックの中で、トウモロコシなどを原料とするポリ乳酸（PLA：polylactic acid）<sup>(1)</sup>は、資源の枯渇が懸念される石油の消費量の削減や環境負荷の低減といった時代の要求を受けて、耐久性を必要とする製品への適用が進められている。

富士通では、1996年以前から携帯ワープロの電池ふた、筐体などへのPLAの適用を研究している。2000年には世界に先駆けて電子エレクトロニクス分野への応用を進め、LSIの輸送や実装ラインで使われるキャリアテープに適用した<sup>(2)</sup> このキャリアテープは、導電性、低コスト、さらに連続したテープとしての機械的強度を達成した。さらに、耐久性を必要とする製品への適用の検討を進めた結果、2002年3月、PLAを含む材料の組成を最適化しノートパソコン筐体部品 {赤外線（IR）通信ポートの赤外線透過部分} に適用した<sup>(3)</sup>

本稿では、植物性プラスチックの研究開発と製品適用について紹介する。

## トウモロコシを原料とする植物性プラスチック

### ● PLAの現状

PLAは、トウモロコシ、ジャガイモ、サトウキビなど植物性の材料（バイオマス）から抽出された乳酸をラクチドにし、開環重合することによって作られる。現在、流通しているPLAは、主としてトウモロコシを原料としており、最大の供給メーカーであるネイチャーワークス社が、2002年4月に、14万t/年の設備の稼働を始めた。さらに2007年夏には、中国の浙江海正生物材料が、5000t/年の設備を稼働した<sup>(4)</sup> PLAの価格も、2012年には、200円台前半/kgになると推測され<sup>(5)</sup> 本格的な普及が期待される。

### ● ノートパソコン筐体への適用課題

通常、ノートパソコンの筐体部品は大きく分けるとLCDバックカバー、LCDフロントカバー、アッ

パーカバー、ロアカバーの4部品に大別される。大型プラスチック筐体は、それぞれ要求される強度や耐熱性などの物性が異なるが、共通するのは燃えにくさの指標である難燃性が要求される。ノートパソコン筐体に適用するためには、現在最も多くのノートパソコン筐体に使用されているPC-ABS（Polycarbonate-Acrylonitrile Butadiene Styrene）、ABSなどの石油系プラスチックと同等の特性を得る必要がある。

#### (1) 難燃性

ノートパソコンに必要とされる難燃性は、UL-94規格（米国Underwriters Laboratories Inc.が定めた耐炎性試験規格）において、電源容量などにも左右されるが、通常V-1以上相当が要求される。そのため難燃剤の添加が必須である。しかし最も効果の大きいハロゲン系難燃剤は環境問題から使用できない。ハロゲン系難燃剤以外として、リン系難燃剤、金属塩系難燃剤、シリコン系難燃剤などがあるが、著者らは最も効果が発現しやすく、材料バランスの取りやすいリン系難燃剤が有効であると考える。

#### (2) 耐熱性

PLAをノートパソコンなどの電子機器筐体に適用する場合、先に述べた難燃性に加えて、剛性、耐熱性と高い成形性が需要である。ノートパソコンの使用温度は、通常-10～65℃を範囲とするのに対し、PLAの耐熱性は、熱変形温度が50℃と低く、使用範囲を満たすことは困難である。しかしPLAを結晶化することにより、耐熱性が高まることは知られている。そこで、PLAの筐体への適用性を把握するため、PLAを結晶化させた場合と非晶質の場合の曲げ特性（ISO 178）、荷重たわみ温度（ISO 75）、シャルピー衝撃強度（ISO 179）を測定した。試験片は、常温（金型温度30℃）で成形後、アニール（120℃-5 min）を行い、結晶化した。

表-1は、結晶化すると熱変形温度が低荷重時（0.45 MPa）には2.5倍に上昇するが、結晶化に

表-1 PLAの物性

	比重	曲げ強度 (MPa)	曲げ弾性率 (GPa)	シャルピー衝撃強度 (kJ/m <sup>2</sup> )	0.45 MPaにおける熱変形温度 (°C)	1.82 MPaにおける熱変形温度 (°C)
非晶質	1.27	94.5	3.2	2.7	57.3	54.2
結晶化 (120℃-5 min)	1.27	77.3	3.8	2.7	145.5	62.6

よって堅くなるため曲げ強度が約18%低下したことを示している。しかし十分な耐熱性を得るためには、PLAの結晶化が必須である。

(3) 成形性

PLAは、結晶化速度が遅いことから成形が難しい材料である。結晶化を促進するためには、金型温度を90~120℃の高温にして成形を行う必要がある。そのため、結晶核剤を加えたPLAを用いて、ノートパソコンのフロントカバーを成形した。その成形結果を図-1に示す。図-1に示すように、離型時に筐体に変形した。また、型と型の合わせ面で大きなバリが発生した。これは、PLAの結晶化度が最大30~40%であるため、完全に結晶化した場合においても非晶部分の割合が高く、非晶部の特性が支配的になる。さらにPLAの非晶部分は、ガラス転移点が約60℃にあるため、高温成形を行う90~120℃では軟化し、筐体に変形した。

このように、PLAをノートパソコンに適用するには、剛性、耐熱性、難燃性に加えて、成形性も含めた材料バランスの確保が重要である。



図-1 成形結果  
Fig.1-Molding result.

● ノートパソコン筐体への適用

現用の設備を使用し、ノートパソコン筐体に適用可能な特性を満たすため、ポリマーアロイ化技術、難燃化技術を組み合わせ、新しい植物性プラスチックを開発したPLAは、結晶化度が最大30~40%であり、非晶部分の特性が支配的になる。そのため耐熱性が低い。そこで、PLAの物性を改善するため、非晶性プラスチックかつPLAと溶解度パラメタの近いポリカーボネート樹脂(PC: Polycarbonate)と混練し、ポリマーアロイ化した(図-2)。開発した植物性プラスチックの物性を表-2に示す。ポリマーアロイ化によって、耐熱性、成形性が向上した。

これによって、現在最もノートパソコン筐体に採用されている材料であるPC-ABS樹脂と同等設備、同等条件の成形が可能になり、既存のPC-ABS樹脂の設備を使用できる。難燃性は、リン系難燃剤を用いることによって燃焼時に効率良く炭化被覆層を形成させることでハロゲン系難燃剤を使用することなくUL94規格V-1以上を達成した。

この材料は、ノートパソコン筐体に適用可能な物性を達成し、2005年1月発売のFMV-BIBLO NBの

PLA(淡部) PC樹脂(濃部)

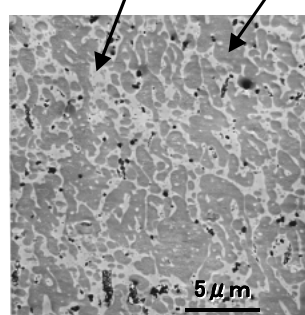


図-2 ポリマーアロイ  
Fig.2-Polymer alloy.

表-2 開発材料の物性

試験項目	試験方法	単位	代表値
耐熱性 (荷重たわみ温度)	ASTM D648	℃	85
引張強さ	ASTM D638	MPa	65
引張破断伸び	ASTM D638	%	60
曲げ強度	ASTM D790	MPa	100
曲げ弾性率	ASTM D790	GPa	4.4
難燃性 (1.5 mm)	UL94	—	V-1
難燃性 (3.0 mm)	UL94	—	V-0

LCDバックカバー、ロアカバー筐体に世界で初めて実用化された(図-3)。2005年9月には、植物性プラスチックを筐体4面に適用拡大し、継続して採用している。さらに2006年より、ノートパソコン以外の製品への適用を進め、POSシステムGlobalSTORE III TeamPoS3000(富士通フロンテック製)、A3両面高速カラーレスキャナfi-5900C(PFU製)、非接触型手のひら静脈認証装置PalmSecure(富士通フロンテック製)に適用した。また、2007年から衝撃強度を1.5倍に高め、携帯電話らくらくフォンベーシック、らくらくフォンIVの内部部品に適用拡大した。

## ● 環境評価

開発した植物性プラスチックは農業生産によるトウモロコシ栽培、抽出した乳酸から樹脂を合成する化学プロセス、成形を経て製造される。パソコン部品として使用された後、回収され焼却されている。製品には資源採掘から製造、使用、廃棄・リサイク

ルにおいて様々なエネルギーや資源が使用され、地球温暖化に影響の大きい二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)排出という形で環境負荷を与えている(図-4)。しかし、ライフサイクル全体のCO<sub>2</sub>排出量を分析することにより、環境負荷低減効果の把握や、環境に優しい製品設計が実現できる。

そこで、ライフサイクルを素材調達、筐体製造、リサイクルの三つのプロセスに分け、それぞれのプロセスで投入されるエネルギー(電力、燃料)、資源から地球温暖化に最も影響の大きいCO<sub>2</sub>排出量を求めることにより環境負荷を調べた。

### (1) 素材調達

農業生産において、殺虫剤、肥料、水、重油の使用はCO<sub>2</sub>排出という形で環境に影響を与える。一方、このCO<sub>2</sub>はトウモロコシの実の成長に伴う光合成により大気中から吸収される。さらにトウモロコシから乳酸を抽出し、植物性プラスチックに合成するためには、電力や化石燃料の投入がエネルギーとして



図-3 植物性プラスチックを採用したノートパソコン  
Fig.3-Application of bio-plastic to notebook PC housing.

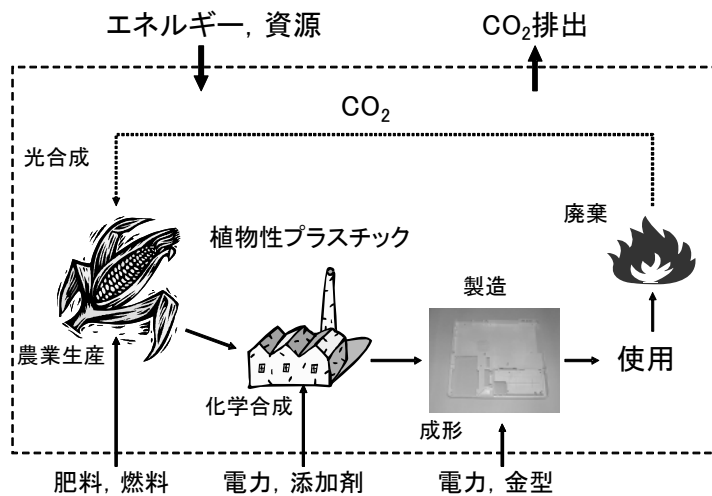


図-4 植物性プラスチック筐体のライフサイクル  
Fig.4-Lifecycle of bio-plastic notebook PC housing.

必要であり、それらはまたCO<sub>2</sub>排出を増大する。そこで、農業生産と化学合成プロセスで排出されるCO<sub>2</sub>から、トウモロコシの光合成の結果として大気中から吸収されるCO<sub>2</sub>を控除することにより、材料製造プロセスにおけるCO<sub>2</sub>排出量を求めた（図-5）。

植物性プラスチック製造のCO<sub>2</sub>排出とPC-ABS樹脂のCO<sub>2</sub>排出を比較した。植物性プラスチックからのCO<sub>2</sub>排出は化石燃料資源を消費するプラスチックと比べると高いレベルに達する。しかし、光合成によるCO<sub>2</sub>吸収を考慮すると、植物性プラスチックの製造に伴うCO<sub>2</sub>排出はPC-ABSに比べて約14%低減する（図-6）。

なお、PLAのCO<sub>2</sub>排出量データ（化学合成，農業生産，CO<sub>2</sub>吸収）は，Nature Works LLCの数値データを使用した<sup>6)</sup>

(2) 筐体製造

筐体を製造するための成形においては電力消費，消耗品である金型消費，成形工場からPC組立工場までの500 kmの輸送に伴いCO<sub>2</sub>が排出される。合

わせると全体の約8%である。植物性プラスチック筐体では、PC-ABS樹脂に比べて成形時間が約20%増加するがライフサイクル全体に対する影響は小さい。

(3) 焼却およびリサイクル

パソコン部品として組み立てられ、ユーザ先での使用、回収を経て、リサイクルセンターで解体・分別され焼却される。結果的に、このプロセスで排出されるCO<sub>2</sub>は焼却で発生するCO<sub>2</sub>とちょうど同じ大きさである。PLAはPC-ABS樹脂などの化石燃料資源をベースとする樹脂に比べて、炭素含有率が少ないため、焼却したときのCO<sub>2</sub>排出が少なくなる。

植物性プラスチックと化石燃料資源を消費するPC-ABS樹脂筐体のCO<sub>2</sub>排出量を図-7に示す。植物性プラスチックをノートパソコン筐体に適用すると、素材調達と廃棄において二つの材料からのCO<sub>2</sub>排出量が異なっている。全体の結果は、植物性プラスチックの使用がライフサイクル全体におけるCO<sub>2</sub>排出量を14.8%低減するという環境優位性を与えるこ

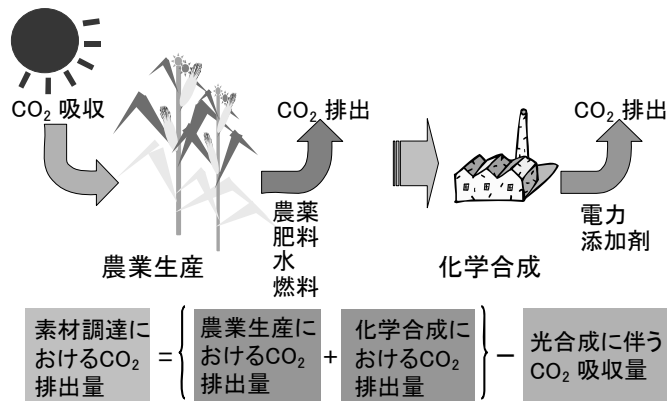


図-5 植物性プラスチックの環境負荷評価  
Fig.5-Environmental burden assessment of bio-plastic.

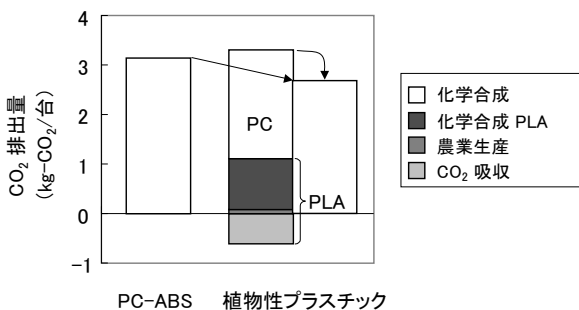


図-6 製造におけるCO<sub>2</sub>排出量の比較  
Fig.6-Amount of CO<sub>2</sub> emission in manufacturing PC-ABS and PLA.

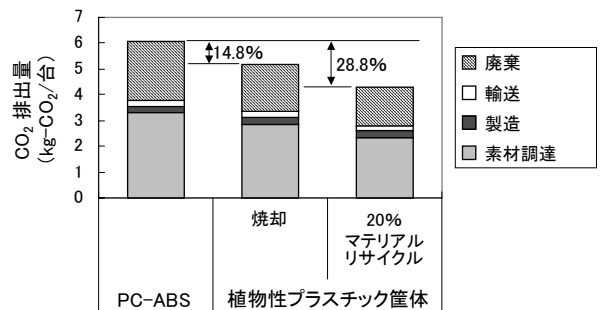


図-7 ライフサイクル全体のCO<sub>2</sub>排出量の関係  
Fig.7-Lifelong CO<sub>2</sub> emission of PC-ABS and bio-plastic for notebook PC housing.



図-8 トウゴマ  
Fig.8-Ricinus communis.

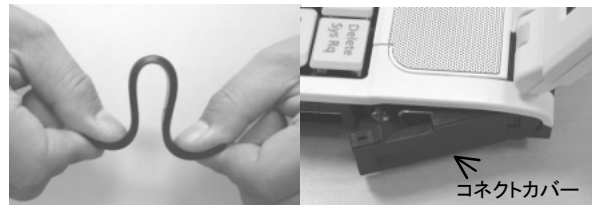


図-9 PA11系植物性プラスチック  
Fig.9-Bio-plastic PA11.

とを示している。

将来的には、使用後のノートパソコン筐体は筐体材料として再利用する予定である。回収した植物性プラスチック筐体を原料として利用するためには電力を消費するが、回収した材料を20%添加し再利用するとバージン材料の消費が減るため、ライフサイクル全体の環境負荷はPC・ABS筐体と比べるとCO<sub>2</sub>排出量の28.8%低減が可能になる。

### トウゴマを原料とする植物性プラスチック

本章では、トウゴマを原料とする植物性プラスチックのポリアミド11について、その特徴、製品適用および環境負荷への影響を述べる。

#### ● ポリアミド11の特徴

ポリアミド11 (PA11) は、トウゴマ {学名: Ricinus Communis (図-8)} という熱帯東部アフリカとインドを原産とする植物の種子から抽出したひまし油より、製造できる。PA11は柔軟性に富み、PLAと比べて、耐熱性、耐衝撃性に優れたエンジニアプラスチックであり、生分解はしない植物性プラスチックである。

ひまし油は、トリアシルグリコールであり、12-ヒドロキシオレイン酸 (リシノール酸) を含んでいる。PA11の製造方法は、まずリシノール酸トリグリセライドをメタノールでエステル交換してリシノール酸メチルにする。このリシノール酸メチルを加熱分解することによって、ヘプトアルデヒドとウンデシレン酸メチルができる。これを加水分解すると、ウンデシレン酸とメタノールが得られる。ウンデシレン酸に臭化水素を追加した後にアンモニアで求核置換し、11-アミノウンデカン酸を形成する。これがPA11のモノマーである。このモノマーを重合することにより、PA11が得られる<sup>7)</sup> PA11は、ア

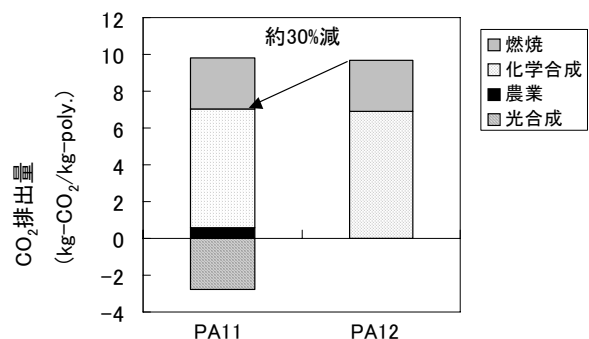


図-10 PA11のCO<sub>2</sub>排出量  
Fig.10-CO<sub>2</sub> emission of PA11.

ルケマ社において、製造、販売されており、これまで包装、自動車およびトラック (エアブレーキのチューブなど)、スポーツ製品 (運動靴の靴底など) などに用いられている。

#### ● ノートパソコン部品への適用

PA11の柔軟性を生かすため、ノートパソコンのコネクタカバーなどの柔軟性が要求される部品への適用を検討した。前記コネクタカバーは、繰返し開閉を行うため、柔軟性ととも高い耐久性が要求される。1万回以上の繰返し屈曲に耐え得る性能が必要である。

PA11, PLA単体を用いて、コネクタカバーを試作し、繰返し屈曲させた場合、屈曲部分が白化する (白化した時点での繰返し数PA11>PLA)。耐久性の指標として、シェア硬度を測定すると、PLAの場合が83, PA11の場合が72であり、現用の材料であるポリエステル系のエラストマは、47と小さく、柔らかい。

そこで現用材料と同等の柔軟性を得るため、可塑剤、エラストマの添加を行い、新しい柔軟な植物性プラスチックを開発した。開発した材料は、ショア

硬度約55, 植物度<sup>(注)</sup>約80%を達成した。この新しい植物性プラスチックを開発し, 2007年1月よりノートパソコンの部品として実用化した(図-9)。

## ●環境負荷への影響

PA11を1 kg製造するために必要な総エネルギー量は, 161.7 MJである。また, PA11と組成の近い石油を原料とするポリアミド12 (PA12) とCO<sub>2</sub>排出量を比較すると, 排出量を約30%削減することができる(図-10)<sup>(8)</sup>

## む す び

本稿では, トウモロコシとトウゴマを原料とする植物性プラスチックの研究開発と製品適用について紹介した。21世紀は環境の世紀とも言われており, 製品や製造工程でのグリーン化が重要な課題となっている。また京都議定書により, CO<sub>2</sub>排出量の低減を各国に求めており, 日本は, CO<sub>2</sub>排出量を1990年度比6%低減することが求められている。CO<sub>2</sub>排出量の低減を進めていくため, 植物性プラスチックの適用は不可欠と考える。

今後, 本稿で紹介したような耐久材への適用範囲の更なる拡大とともに, 植物性プラスチックの性能の向上が期待される。

(注) 製品に含まれる有機成分中の植物由来材料の含有率。

## 参考文献

- (1) 望月政嗣: 野菜畑からプラスチックがとれる? ポリ乳酸と資源循環型社会. *PETEROTECH*, 石油学会, Vol.23, No.9, p.735-738 (2000).
- (2) T. Hashitani et al.: Biodegradable Plastic as Electronic Parts Packing Materials. 4th International Conference on EcoBalance, 2000, p.91-94.
- (3) 野崎耕司 ほか: 生分解性プラスチックのパソコン筐体への適用. *FUJITSU*, Vol.54, No.6, p.453-457 (2003).
- (4) 高田憲一: 「価格・性能」「活用技術」「脱石油・環境」で新展開 バイオプラ ポリ乳酸の実力. 日経ものづくり, No.237, p.79-84 (2007).
- (5) (株) 矢野経済研究所: バイオマス&生分解性プラスチック市場の展望と戦略2006年度版. 2006.
- (6) Vink E. T. H. et al.: Applications of life cycle assessment to Nature Works™ polylactide (PLA) production. *Polymer Degradation and Stability*, Vol.80, Issue 3, p.403-419 (2003).
- (7) 宮保 淳: 植物由来プラスチックの高機能化とリサイクル技術. 東京, サイエンス&テクノロジー, 2007, p.191-211.
- (8) PlasticEurope.  
<http://plastic europe.org>