

ケナフ添加バイオプラスチックの開発

Kenaf Fiber-Reinforced Bioplastic for Electronic Products

井上和彦*
Kazuhiko Inoue

芹澤 慎*
Shin Serizawa

位地正年*
Masatoshi Iji

要 旨

地球温暖化の要因のCO₂の固定化や石油資源枯渇対策のため、植物原料のバイオプラスチックが重要となっていますが、電子機器筐体を利用するためには耐熱性などの特性向上が課題でした。そこで、高い温暖化防止効果を持つケナフの繊維を添加することで、耐熱性や剛性に優れたバイオプラスチックを開発しました。ケナフ繊維をトウモロコシなどの植物資源を利用したポリ乳酸に添加すると、耐熱性（熱変形温度）と剛性を現在使用している石油系プラスチックより向上でき、さらに成形性も改良（結晶化促進）できました。

Bioplastics produced from biomass are important to fixate CO₂ gas warming the earth and conserve petroleum resource. However, the plastics' characteristics such as heat resistance and strength are insufficient for use in electronic products. We have developed a high-performance bioplastic reinforced with Kenaf fiber. Kenaf is a representative plant that fixates CO₂ efficiently. The addition of the fiber to PLA (Polylactic Acid) produced from corn, etc. greatly increases the heat resistance (distortion temperature under load) and strength (modulus) of PLA. These characteristics are higher than those of conventional petroleum-resourced plastics. Furthermore, its easiness of molding is improved because the crystallization time of PLA is shortened by adding the fiber.

1. まえがき

NECではこれまで、有害な難燃剤を添加しない（脱ハロゲン脱リン）難燃性プラスチックなど、環境調和性に優れた電子機器・部品用プラスチックを開発し、製品への適用を進めてきました^{1,2)}。

近年、石油資源枯渇や地球温暖化の防止対策から、植物資源を利用したバイオプラスチックが注目を集めています。

そのなかでもポリ乳酸は、トウモロコシを原料とした大量生産が開始されたことから、特に脚光を浴びています。ポリ乳酸は、すでにフィルムや繊維用途向けに製品化され、電子機器筐体用途の一部にも採用が始まっています。

本稿では、バイオプラスチックの電子機器への利用の可能性と課題、さらに、地球温暖化防止効果の高いケナフの繊維を添加して高機能化（高耐熱、高剛性）したポリ乳酸の開発と今後の展開について述べます。

2. 電子機器へのバイオプラスチック利用の可能性と課題

従来の電子機器の筐体材料にはポリカーボネート、ABS、ポリスチレンなど、また電子部品の絶縁材料にはエポキシ樹脂などの石油原料のプラスチックが用いられてきました。しかし石油は枯渇資源であり、再生可能な資源（非枯渇資源）への代替化は今後の大きな課題となっています。

植物成分を利用したバイオプラスチックは、石油代替だけでなく、地球温暖化の要因とされている炭酸ガスの固定化効果もあることから脚光を浴びています。バイオプラスチックのもう1つの特長としては、廃棄後の土中での生分解性に優れている点が挙げられます。

しかしながら、すでに電子機器分野ではリサイクル化が推進されており、各社ともリサイクルしやすい素材の選択・開発、リサイクル容易な製品設計、さらに、回収・再生システムの構築に注力しています。また、プラスチック材料の物性低下によって再生できなくなった場合でも、国内では処分地の不足から、埋め立てよりも石油代替燃料として熱エネルギーを回収（サーマルリサイクル）していく方向にあります。

もちろん、生分解という特性にも不法投棄などに対するリスク対策として価値はあります。しかしながら、電子機器用のバイオプラスチックは、現在のリサイクルシステムのなかで、石油系プラスチックと同様にリサイクルを実現させていくことが重要であり、高度なりサイクル性が要求されるものと考えています。

バイオプラスチックを電子機器用途に広く展開する上で

* 基礎・環境研究所
Fundamental and Environmental Research Laboratories

の課題は、高度な実用特性（耐熱性、機械的特性、成形性、リサイクル性など）や低コストの達成です。バイオプラスチックとしては、ポリヒドロキシブチレートなどの微生物生産系、ポリ乳酸、ポリブチレンサクシネートなどの化学合成系、さらに、エステル化デンプン、酢酸セルロースなどの天然物系が挙げられます。

このうち、電子機器用としての特性やコストを達成できる可能性のあるものは、化学合成系です。なかでもポリ乳酸は、化学合成系では初めて、カーギルダウ社によって本格的な量産が開始されたため、コストの大幅な低減が期待されています。また、ポリ乳酸の製造時に必要なエネルギー消費量は通常の石油系プラスチックと比べ、かなり低いことが明確になりました³⁾。したがって、ポリ乳酸は電子機器用途として、現在のバイオプラスチックのなかでは最も有望なものの1つです。

しかしながら、ポリ乳酸自体の特性は電子機器用としてはまだ十分ではありません。ポリ乳酸単独では、これまでの電子機器筐体用プラスチック（ABSなど）に比べ、特に、耐熱性と衝撃強度が劣っており、さらに難燃化処方（特に脱ハロゲン化）も確立されていないのが現状です。また、成形性に関しても、ポリ乳酸の結晶化が遅いためアニール処理が必要となることから、生産性の向上が課題となっています。さらにリサイクル性（再生時の特性保持）についても十分な知見が得られていません。したがって、今後、これらの特性の早急な改良が望まれています。

3. ポリ乳酸の特性改善

3.1 これまでの検討例

第2章で述べたようにポリ乳酸を電子機器に広く適用するためには、耐衝撃性、剛性などの機械的特性、耐熱性（熱変形温度）、さらに成形性（結晶化速度）を改良する必要があります。

ポリ乳酸は結晶性高分子なので、可とう性が低く、耐衝撃性が低いという特徴を有します。衝撃性の改良には通常、エラストマーなどの可とう性成分を添加する処方が用いられます。たとえば、可とう性のあるバイオプラスチック（ポリヒドロキシアルカノエート）による改善効果も報告されています⁴⁾。

ポリ乳酸の耐熱性や強度を改良する方法としては、ナノコンポジット技術の利用⁵⁾ やガラス長繊維の添加⁶⁾ などが知られています。これに対して、上記の耐衝撃性改良のように、植物資源を特性改良に利用できれば、バイオプラスチックとしての環境調和性を一層向上することが可能となります。しかし、植物資源を利用した報告例は少なく^{7,8)}、特に筐体用材料としてのポリ乳酸の耐熱性などに対する顕著な改善効果は報告されていません。

3.2 ケナフ繊維添加ポリ乳酸の開発

NECでは、電子機器の筐体用材料として、地球温暖化防止効果の高いケナフの繊維とポリ乳酸の複合材を開発して

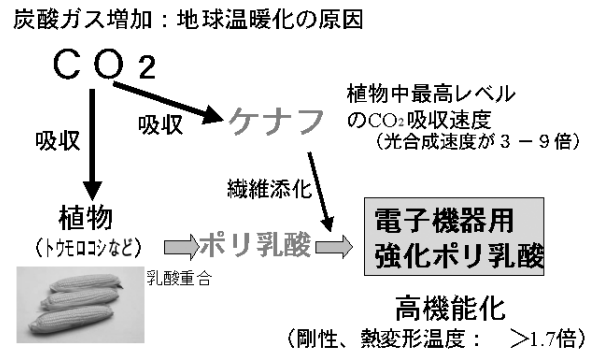


図1 ケナフ繊維の添加によるポリ乳酸の高機能化
Fig.1 High performance bioplastic with kenaf fiber.

おり、特にポリ乳酸の耐熱性（荷重たわみ温度）、強度（剛性）、成形性（結晶化速度）の大幅な改良に成功しました^{9,10)}（図1）。

ケナフは植物中、最高レベルの炭酸ガス吸収速度を持っており（光合成速度は通常の樹木の3~9倍、炭素含有量は約43%¹¹⁾。これから計算すると1tにつきCO₂を約1.4 t吸収可能）、地球温暖化対策として有望です。現在、オーストラリアを始め（写真）、世界各国で栽培されています。しかし、従来の利用方法は、紙の繊維材料や飼料など、既存材料の代替が中心であり、有効な利用方法は未開拓でした。



写真 オーストラリアでのケナフ栽培(ネイチャートラスト社提供)
Photo Kenaf plantation in Australia.



図2 ケナフ、ケナフ繊維、およびケナフ繊維添加ポリ乳酸(ケナフ繊維20wt%)
Fig.2 Kenaf, kenaf fiber and kenaf fiber-reinforced bioplastic.

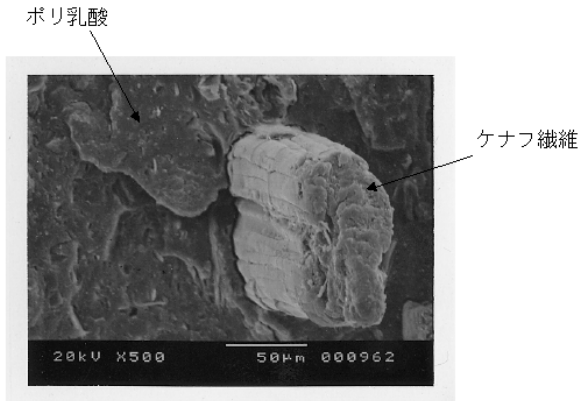


図3 ケナフ繊維添加ポリ乳酸の破断面

Fig.3 Broken cross section of kenaf fiber-reinforced bioplastic.

表 ケナフ繊維添加ポリ乳酸およびガラス繊維(GF)添加ABSの特性
Table Mechanical properties of fiber-reinforced plastics.

項目	ケナフ繊維+ポリ乳酸				GF+ABS	
繊維含有量 (wt%)	0	10	15	20	0	20
荷重たわみ温度 (°C)	66	72	107	120	86	100
曲げ弾性率 (GPa)	4.5	5.4	6.3	7.6	2.1	7.3
曲げ強度 (MPa)	132	111	110	93	70	110
ノッチ付きアイゾット衝撃強度 (J/m)	46	40	33	32	200	50

*高荷重下

そこで、ケナフ繊維（繊維長：5mm以下）とポリ乳酸の混練によって、ケナフ繊維で強化された複合材を作成し（図2, 3）、ポリ乳酸に対するケナフ繊維の添加効果を検討しました（結果：表）。

その結果、ケナフ繊維を15%以上含有することで、電子機器の筐体などに使用されているポリスチレン系樹脂（ABS）以上に、耐熱性（高荷重下での荷重たわみ温度）を大幅に改良できることが分かりました（図4）。

剛性（曲げ弾性率）もケナフ繊維の添加量とともに大幅に向上しました。一般に、ガラス繊維など無機物系の繊維状補強材は、結晶性樹脂の剛性や耐熱性を向上させる効果があり、これは、補強材による樹脂の変形防止に加えて、補強材表面での樹脂の結晶化促進が原因とされています¹²⁾。また、図5の示差走査熱量の測定結果（100℃保持）に示すようにケナフ繊維の添加により結晶化に起因するピークが出現しており、ケナフ繊維は、単に変形防止だけでなく、ポリ乳酸の結晶化促進の効果もありました。

今回の耐熱性と剛性の大幅な改善には、これらの相乗効果があったものと想定しています。従来、ポリ乳酸の特性を充分発現させるためには、結晶化のために成形後のアニール処理が必要であり、生産性が低いという課題がありました。ケナフ繊維により結晶化が促進されるので、アニール時間を大幅に短縮でき、生産性が改善されました。

曲げ強度は、ケナフ繊維の添加によって少し低下する傾向にありますが、ポリスチレン系樹脂と同等のレベルです。

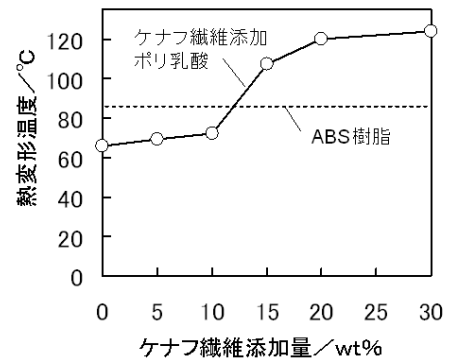


図4 ケナフ繊維添加ポリ乳酸の熱変形温度（高荷重下）

Fig.4 Distortion temperature under load of kenaf fiber-reinforced bioplastic.

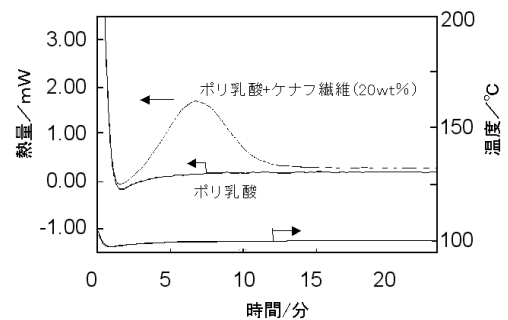


図5 ポリ乳酸、ケナフ繊維添加ポリ乳酸の示差走査熱量測定(DSC)

Fig.5 DSC thermograms of bioplastics with and without kenaf fiber.

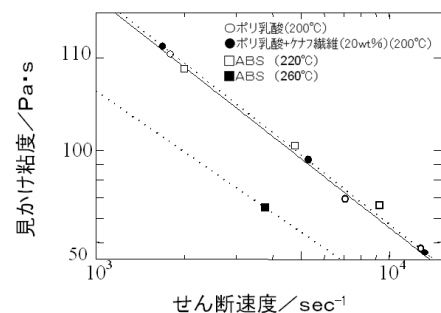


図6 ポリ乳酸、ケナフ繊維添加ポリ乳酸、ABS樹脂の粘度特性
Fig.6 Viscosities of bioplastics with and without kenaf fiber and ABS.

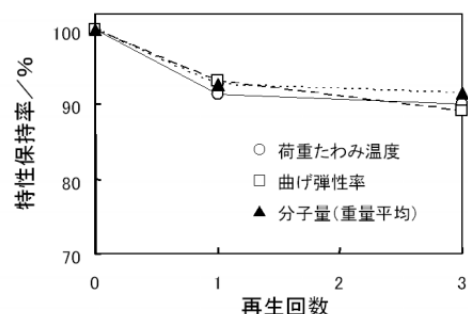


図7 ケナフ繊維添加ポリ乳酸（ケナフ20wt%）のリサイクル性

Fig.7 Influence of recycle process on characters of kenaf fiber-reinforced bioplastic.

耐衝撃性についても低下する傾向にあります。これらの強度特性の低下は、ケナフ繊維の添加により可とう性が低下したこと、さらに、ポリ乳酸とケナフ繊維の密着性が十分でないことが影響している可能性があるため、今後、これらの改良を検討予定です。流動性(図6)はポリ乳酸の特性を良好に保持することが分かりました。

さらに、リサイクル性を調査した結果(リサイクルは再溶解・再ペレット・再成形を1回とする)、ポリ乳酸単独およびこれにケナフ繊維を添加したものでは、同様に、物性や分子量が少し低下する傾向にありました。しかし、3回のリサイクルでもこれらの物性値は90%程度保持できたので、今後の組成調整によって、十分なりサイクル性を実現できる可能性があります。(図7)。

以上から、今回開発したケナフ繊維添加ポリ乳酸は、電子機器用素材として、剛性、耐熱性、成形性などの重要特性には目途がつかしました。今後は、衝撃性を改良して、非難燃用途の携帯用小型機器や周辺部品への使用を先行させ(2004年度内)、さらに、安全な難燃化の処方確立し、難燃性が必要な機器にも展開していく予定です。

4. まとめと将来展望

電子機器用の新環境調和素材として、バイオプラスチックが注目され、ポリ乳酸を中心に採用が開始されていますが、特性の改善が課題となっています。これに対して、地球温暖化防止効果の高いケナフの繊維を添加したポリ乳酸複合材を開発し、ポリ乳酸の剛性、耐熱性、成形性などの主要特性を大幅に改良しました。

石油資源は、2000年付近をピークとして算出量は減少し、2030年には現在の半分程度になるとの予測があります¹³⁾。したがって、再生可能な植物資源の利用はますます重要となり、バイオプラスチックの必要性が高くなることは間違いありません。NECでは2010年までに少なくとも現在使用している石油系材料の10%以上を植物系材料に代替する計画です。コストダウンや技術開発が進めば、使用割合はさらに増加するものと予想しています。

素材としては、今回のケナフ繊維添加ポリ乳酸系を中心に1つと考えていますが、特に、電子部品用実装材料など、より高度な物性が要求される分野では、ポリ乳酸以外の高性能なバイオプラスチックへのニーズが生じてくる可能性があります。このため、今後さらに、難燃性を始めとする様々な要求特性に対応した高機能バイオプラスチックの開発を行い、電子製品の環境負荷の低減に寄与していく予定です。

参考文献

- 1) 位地正年ほか; 「プラスチック」, 49, 7, pp. 81-84, 1998.
- 2) 位地正年ほか; 「電子材料」, 4, pp. 86-90, 2000.
- 3) T. U. Gerngrosse et al.; 「日経サイエンス」, pp. 11, 32, 2000.
- 4) 高木康雄; 「工業材料」, 51, 3, 23, 2003.

- 5) 大濱二三夫ほか; 「プラスチック」, 53, 10, 37, 2002.
- 6) 鈴木文行ほか; 「成形加工'02」, 214, 2002.
- 7) T. Nishino et al.; Proceeding 2000 Inter. Kenaf Symp., 193, 2000.
- 8) 稲生隆嗣ほか; 「第11回ポリマー材料フォーラム」, 245, 2002.
- 9) 「日経エレクトロニクス」, 2, 17, 39, 2003.
- 10) 芹澤慎ほか; 「成形加工'03」, 161, 2003.
- 11) 稲垣寛; 「高分子」, 51, 8, 597, 2002.
- 12) T. M. Takemori; Polym. Eng. Sci., 19, 1104, 1979.
- 13) 「日経サイエンス」; 6, 23, 1996.

筆者紹介



Kazuhiko Inoue
いのうえ かずひこ
井上 和彦 2001年、NEC入社。現在、基礎・環境研究所エコマテリアルTG主任研究員。工学博士。



Shin Serizawa
せりざわ しん
芹澤 慎 1994年、NEC入社。現在、基礎・環境研究所エコマテリアルTG主任。



Masatoshi Iji
いぢ まさとし
位地 正年 1990年、NEC入社。現在、基礎・環境研究所エコマテリアルTG研究部長。工学博士。