

海洋生分解性プラスチックの特徴を活かした、 新たな 3D プリント製品の可能性

New Potential of 3D Printed Products : Making Use of the Marine-biodegradable Plastic

安宅絢音¹, 滑川由記¹, 濱崎トキ², 山崎周一³, 田中浩也¹

Ayane ATAKA¹, Yuki NAMERIKAWA¹, Toki HAMASAKI², Shuichi YAMAZAKI³, Hiroya TANAKA¹

¹慶應義塾大学環境情報学部, ²株式会社 Boolean, ³株式会社ネクアス

¹Faculty of Environment and Information Studies, Keio University,

²Boolean Co., Ltd., ³NEQAS Co., Ltd.

【要約】

生分解性プラスチックとは、コンポスト中や土中、海中の微生物の働きによって化学反応を起こし、最終的に二酸化炭素と水に分解されて自然界に還る性質を持つプラスチックのことである。本研究では、生分解性プラスチックの中でも海中での分解にも適応した海洋生分解性プラスチックを利用し、3D プリンティング技術と素材の特性を掛け合わせることで、新たな価値創造につながる製品のあり方を提案する。従来からあった製品を海洋生分解性素材で置き換えるという既存の発想を超えて、資源循環への貢献以上の、さらなる価値を付加した製品の可能性を探索した。そしてまた本稿では、生分解性素材を含むバイオプラスチックを利用した製品の現状を広範なサーベイのもとで分類・体系化し、海洋環境の現状を調査した上で、新たな視点を持って制作したプロトタイプの方角性を提示し、今後の展望について述べる。

キーワード: 3D プリンター, バイオプラスチック, 生分解性, 海洋生分解性, SDGs

【Abstract】

Biodegradable plastics are plastics which can be decomposed by the action of micro-organisms into water and carbon dioxide under specified conditions such as compost, soil and the ocean. This research proposes the new valuable ways of Marine-biodegradable plastic products through making maximum use of both 3D printing technology and the characteristics of the material. We explore the Marine-biodegradable plastic's potential of providing us with additional valued products which is beyond the existing idea using these as just an alternative to fossil-based plastic. In addition to the systematic classification of bioplastic products, researches of present situation of the ocean, directions of prototypes and prospects of the future are also shown.

Keywords: 3Dprinter, Bioplastic, Biodegradable, Marine-biodegradable, SDGs

1. はじめに

近年、気候変動や海洋プラスチックゴミ問題が顕在化し、特に緊急性のある環境問題として議論されることが増えている。そこで、気候変動を引き起こす温室効果ガスの大部分を占める二酸化炭素の発生源の1つが化石資源由来かつ非分解性プラスチック（以下プラスチックと呼ぶ。）の製造・転換・廃棄物の燃焼処理によるものであること、また海洋に放出されるプラスチック廃棄物が劣化・風化して発生するマイクロプラスチックを海洋生物が捕食することによって表面に付着した有害物質の生物濃縮が起り、取り込んだ人体に害を及ぼす可能性があることの主に2つの観点から、脱プラスチック*化が叫ばれている。

我々は、従来のプラスチックの代替素材の研究の広がりを俯瞰して、中でも特に海洋生分解性プラスチックの可能性に着目した。本研究の目的は、現在想定されている活用方法と海洋環境の現状を精密に把握した上で、既存用途代替以上の新たな価値を見出し、海洋生分解性プラスチックの発展可能性を広げることである。

2. プラスチック代替素材の研究の広がり

2-1. 代替素材の分類

脱プラスチック化が急がれる中、従来のプラスチックの代用品として代替素材が次々に登場している。大きく分けると、プラスチック以外の素材とバイオプラスチックの2つがある。前者には菌糸や紙、パルプ等が含まれる。後者は、バイオマスプラスチックと生分解性プラスチ

ックの2つを含む。この2つの性質は同時に成立し得るため、図1の左上の領域をバイオマス由来非分解性プラスチック(Bio-based non-biodegradable plastic)、右上をバイオマス由来生分解性プラスチック(Bio-based biodegradable plastic)、右下を化石資源由来生分解性プラスチック(Fossil-based biodegradable plastic)として定義されている。

われわれは、バイオプラスチックをこれら3つの独立項目に分類することとし、それぞれどのような製品に应用されているかを整理した(図2)。バイオプラスチックは、地球環境に優しく、原料ならではの風味や分解する機能を持っている反面、化石資源由来非分解性プラスチックと比較すると、強度、耐熱性、難燃性、製品寿命、材料コストや加工性において、劣る部分が残る。使用目的・場面に求められる物性を満足しつつ、環境負荷を減らす選択が求められている。

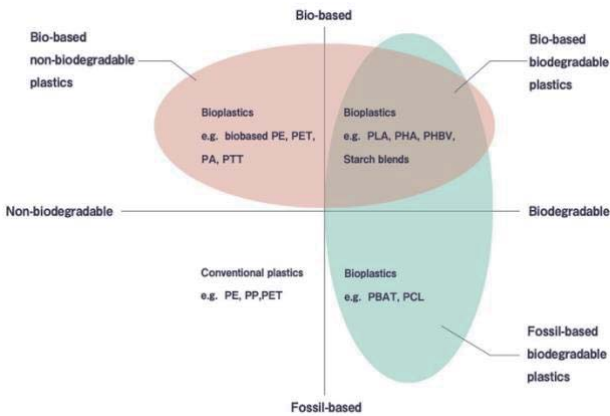


図1. バイオプラスチックの分布 (IfBB による図表を参考に作成)



図2. 代替プラスチックの全体観とその製品の例

2-2. 生分解性プラスチック

バイオマスプラスチックは、再生可能な植物や動物抽出液等の資源を原料とするプラスチックを指す一方、生分解性プラスチックは、主に微生物の活動によって分子レベルで化学変化を起こし、最終的に水と二酸化炭素に分解されるプラスチックのことを指す。この分解機構には加水分解や微生物の放出する酵素、微生物

の代謝による分解が含まれるため、分解速度は微生物の数量、温度、水分量の3つの条件に依存する。

また、生分解性プラスチックの中でも、バイオマス由来の原料で作られているもののみがカーボンニュートラルであるとされている。

2-3. 海洋生分解性プラスチック

海洋生分解性プラスチックとは、生分解性プラスチックの中でも海中での生分解性を持つプラスチックのことである。具体的には、ISO規格に則って、海中(30℃)で生分解度が6ヶ月以内に90%以上になること等の条件を満たしたものが、海洋生分解性プラスチックとして認められている。一般的に、海中は土中に比べて微生物の量が少なく、水温も気温より低いため、生分解に長い時間を必要とする。しかし、非分解性プラスチックはマイクロプラスチックになった後、完全に分解されることなく数百年も浮遊するのに対し、海洋生分解性プラスチックはマイクロプラスチックの形態を通過はするものの、完全に水と二酸化炭素に分解されるという点では決定的に異なる。

海洋生分解性プラスチックが現在直面している課題は、2つの視点で捉えることができる。1つ目は素材の特性の視点である。上記で示したマイクロプラスチックが海洋で完全に分解されるには一定の時間(一般的には半年以上)が必要であり、その間はマイクロプラスチック問題に寄与してしまう。また一部の酢酸セルロースを主成分とする海洋生分解性プラスチックは酸性を示し、海のpHや成分バランスに影響を与える可能性もある。2つ目は利用先の視点である。海洋生分解性プラスチックを含む生分解性プラスチックは原料に由来した色、香り、質感等の様々な特性があるにも関わらず、図2の通り従来のプラスチック製品の置き換えが主な利用先となってしまう。

しかし、海洋生分解性プラスチックの「半年から1年かけて分解される」性質をもとに、課題に応え、更に3Dプリンティング技術によって新たな価値を乗せたプロダクトを生み出せる可能性はある。

3. 海洋環境の現状

3-1. 温暖化対策としての海

2009年にUNEPらが出した『Blue Carbon』という報告書は、海洋植生が陸上植生に劣らない二酸化炭素の吸収源であることを示し、海洋での温暖化対策を促進させる方向性を示した。一方、世界で温室効果ガス削減に向けて削減努力は年々増加しているのに対し、二酸化炭素の吸収源となる自然生態系は人間の活動によって減少が止まらず、特に海洋植生は熱帯雨林の5-10倍の速さで消失しており、数十年後にその殆どが消失するとされている。これは、いくら排出規制を行っても吸収源の消失によって相殺され、温室効果ガス削減が進まないという状況を招く深刻な事態である。

こういった状況を改善するために、海洋環境を保全し、ブルーカーボン(地球温暖化に関わる温室効果ガスのうち、海洋生物の作用によって大気中から海中に吸収された二酸化炭素由来の炭素のこと)を増やすための取り組みが行われている。

3-2. 海洋酸性化

大気と海洋の間での二酸化炭素(CO₂)の吸収・放出は、大気中のCO₂の分圧と海中に溶けているCO₂の分圧の関係で成り立っている。よって海中の溶存CO₂の分圧が大気中のCO₂の分圧より小さくなったとき、大気中のCO₂が海中に吸収される。また海中の溶存CO₂の分圧を減らす要因は、海洋植物の光合成に加えて水温低下でCO₂の溶解度が大きくなることなどがある。

しかし近年、海洋によるCO₂吸収量が年々増えていることに伴い、海面に過剰のCO₂が溶解し、海洋の酸性化(図3,図4)が進むことによる生物への影響が危険視されている。これはブルーカーボン推進とはトレードオフの関係にある。海洋酸性化の結果として炭酸カルシウム(CaCO₃)の生成を困難にすることで、CaCO₃を外骨格や殻の主成分として持つ生物(プランクトンや貝類、甲殻類や棘皮動物等)の奇形や成長への影響、生きている生物の殻や骨格が溶け出ししてしまうなどの被害が予想されている。

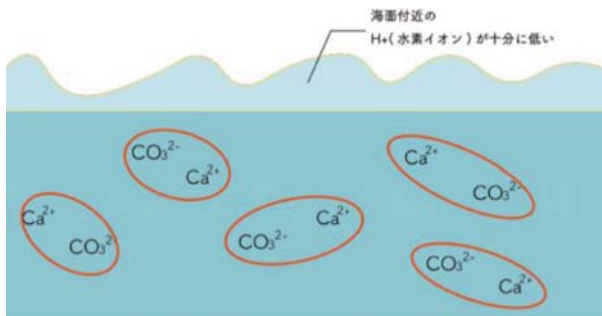


図3. 海洋の通常状態

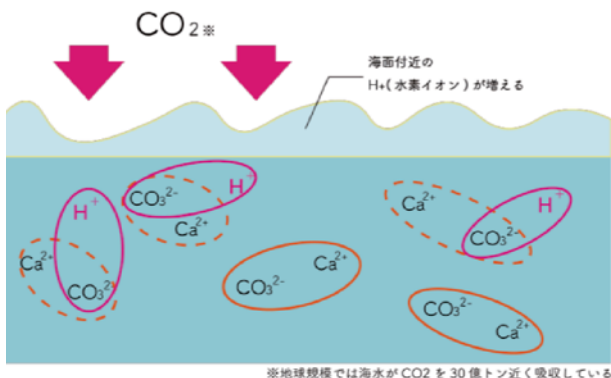


図4. 海洋酸性化が起きている状態

3-3. バランシングのための新たな道筋

つまり、ブルーカーボンを推進することは地球環境に貢献するが、過剰な推進は海洋酸性化という問題を起こしてしまう。しかし、過度な海洋酸性化を引き起こさ

ないよう対策をとることが可能であれば、ブルーカーボンを推進して地球温暖化を緩和する活動に貢献できるのではないかと考えられる。

そこで「バランシング」のための2つの提案を行う。1つ目は、酸性化が進んだ海域をセンシングし、アルカリ性の物質を海中に投入することでpHを調整することである。しかしこの方法は、海により多くのものを溶かすことによって強引にpHを調整する手法ともいえ、長期的に続けることは除去不可能な物質を蓄積することに繋がり、持続可能な解決方法とは言い難い側面もある。2つ目は、不足する物質(炭酸カルシウム等)を投入することである。この場合、減っている物質と同じ物質を投入するため、自然環境への負担は少なく済む。以上から、現状我々の出来ることは、その時にとって海洋環境に正の働きをする物質(海由来であるとなお良い)を適量投入してバランスを取ることであり、3Dプリンターで制作した海洋生分解性プラスチックを材料としたケースに、中和又は別の効果を持つ改質剤を内包させることで、海洋環境を改善しつつ新たな価値を生み出せると考える。

4. 海洋生分解性プラスチックの場面別用途の提案

地域や環境の特徴を考えた時の、それぞれに対応する海洋生分解性プラスチックの可能性を提示する。

4-1. ブルーカーボンよりも酸性化対策を急ぐ地域(例:漁業が盛んで海洋酸性化が与える生物への影響が著しい地域)

質量を調整したハコ型メッセンジャーを提案する。海水の密度から浮力を計算することが可能かつ、3Dプリンター特有の出力後の質量を予め把握可能な性質を利用して、出力した入れ物に入れることのできる改質剤の重さを計算することが可能となる。またハコの形を蟹などの甲殻類の形等として工夫したり、地域の方々を巻き込んだイベントの形にしたりすることで、海洋酸性化という環境問題についての学びの機会としても期待できる。

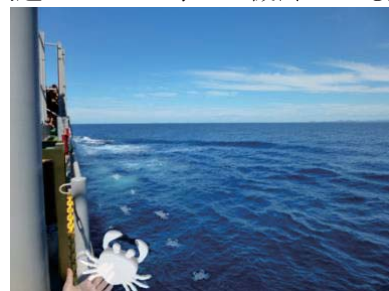


図5. 蟹型メッセンジャーのイメージ

4-2. 温暖化等人間の活動で消えてしまったものがある地域(例:流水, 地域の文化や儀式等)

自然物を模倣した形のプロダクトを提案する。これらを用いて、環境変化によって見られなくなってしまった自然現象や地域独自の文化や儀式のリバイバルを狙う。海洋生分解性プラスチックが半年から1年間かけて溶

ける時間的制約を逆手に取って、長時間景観として残る新しい流水表現や、過去に祭事で使用していた環境負担によってなくなった文化(灯籠流しや藁人形流し等)のリバイバルなどが可能になる。



図 6. 流水プロダクトのイメージ

4-3.pH を一定にする必要のある場面 (例:水槽(水族館)、排水の影響を受けた池)

改質剤を入れ替え可能な疑似景観型のプロダクトを提案する。水域の pH と水量、理想的な pH が明らかであることが多いため、必要な pH 調整剤の量を計算することが可能となる。具体的には、理想の pH に近づけるため、サンゴや岩等の形を模したプロダクトにアルカリ性のものと酸性のものをその都度の適切な割合で内包する。また、足し算式で投入する物質を調整しても、海洋とは異なり人間が処理できる環境であるため、回収が可能であることもこの環境ならではの特徴である。改質剤を内包して実用的でありつつ、造形によっては景観・働きともに長期間持続するという価値を付加することが可能となる。



図 7. サンゴ礁型 pH 調整プロダクトのイメージ

5. おわりに

1950 年から 2015 年にかけて生産量が 190 倍になった「軽い・強い・曲がる・安価」という好条件を持ち合わせるプラスチックは、2015 年末までにその 3 分の 2 が廃棄され、多くが陸と海に放たれた。現在社会でプラスチックと認識されるものの 99.9%は化石資源由来の非分解性のものであり、それらのオルタナティブを開拓し、刻一刻と進む環境破壊に歯止めをかけ、如何にして自然に更なる正の影響を与え得るかを模索・検証することは、今後の社会にとって最も期待されることの一つである。

化石資源由来で非分解性のプラスチックは温暖化の宿敵である一方、バイオ由来の生分解性のプラスチック、その中でも特に海洋生分解性プラスチックは、温

暖化によって深刻化する海洋酸性化を緩和することだけでなく、文化・生き物の絶滅や、pH 調整を景観保持の上で行う等の場面では付加価値の高いプロダクトとして利用することが可能である。つまり、代替プラスチックとしての役割以上に、環境破壊に歯止めをかけ、更に自然に貢献するという価値を見出すことができる。

本論文では、海洋生分解性プラスチックの現状と可能性を整理し、新たな価値創造の道筋、プロトタイプの方角性を提案した。海洋生分解性プラスチックは、すでに 3D プリント用のフィラメント材およびペレット材として使用できるものがあり、今後は、具体的に試作を積み重ねながら、実際に使われるプロダクトの開発を進める。



図 8. 株式会社 NEQAS 製 海洋生分解性プラスチックフィラメント(左)、同材料のペレット(中)、同材料を用いたプロトタイプ(右)

ただし、今後生分解性プラスチックを含むバイオプラスチックが広まっていく中で、分解に関する知識を十分に広める必要がある。例えば今回我々が提案したようなプロダクトは、「自然に捨てても良いから『捨てる』』という文脈とは区別して、「自然により良い影響を与えるから、そこに『付与』する」という文脈で受け取ってもらえるよう、しっかりとした文脈や行動をデザインする必要がある。

謝辞

本研究の一部は、Nature3D(<https://nature3d.net>) によって、高生分解性酢酸セルロースフィラメント C38TS の提供、支援を受けて進めた。ここに感謝の意を表します。

参考文献

1. 小松道男(2021)『バイオプラの教科書』, 日経 BP
2. NATIONAL GEOGRAPHIC(2021)『脱プラスチック～データで見る課題と解決策～』, 日経 BP
3. UNEP(2009).Blue Carbon: The Role of Healthy oceans in binding carbon
<https://wedocs.unep.org/20.500.11822/777>
(参照 2021-09-24)
4. 堀正和・桑江朝比呂(2017)『ブルーカーボン』
5. NEQAS の技術力
<https://neqas.co.jp/technology/>
(参照 2021-09-24)
6. bina background IfBB 図表
<http://www.biokunststoffe-nachhaltig.de/index.php/background.html>
(参照 2021-09-24)