

バイオチャーによる循環型炭素経済と脱炭素戦略



研究ノート

笹内 謙一*

A Circular Carbon Economy and Decarbonization Strategy Enabled by Biochar

Key Words: Biomass, Biochar, Carbonization, Pyrolysis, Decarbonization

はじめに

バイオチャー(バイオ炭)は、木質バイオマス、農業残渣、食品廃棄物、下水汚泥等を低酸素または無酸素条件下で熱分解して得られる炭素質固体である。従来は燃料や土壌改良材として利用されてきたが、近年はその高い炭素安定性に着目し、長期炭素固定を可能とするCarbon Dioxide Removal(CDR:炭素除去)技術として世界的に再評価されている。とりわけ、バイオチャーは他のCDR技術と比較して相対的に低コストであり、かつ農業、廃棄物処理、エネルギー供給といった既存インフラと接続しやすい点に大きな特徴がある。

本稿では、世界および日本におけるバイオチャー市場の拡大、主要技術、事業モデル、経済性を整理するとともに、欧州で進展する制度設計と産業戦略を踏まえて、日本における実装可能性を検討した。特に、欧州では製品規制と炭素除去認証を両輪とした制度整備が進み、バイオチャーは単なる農業資材から、炭素除去、熱供給、資材販売を束ねた多収益型脱炭素インフラへと位置付け直されている。

世界では、航空¹⁾、IT、流通等の大企業がバイオチャー由来のCDRクレジットを長期契約で購入し始めており、需要側の市場形成はすでに本格化している。一方、日本では小規模を中心とする利用がなお主流であり、欧米で進む中規模・大規模商業化との間には隔りがある。

しかし日本は森林率が67%と高く、林地残材、竹、

製材端材、農業残渣が豊富にあり、制度面でもJ-クレジットが活用できるため、事業化のポテンシャルは大きい。そこで本稿では、まずバイオチャーの概念とこの分野で世界の先端を行く欧州の戦略を整理し、その上で世界市場、日本市場、炭化技術、経済性を検討する。

バイオチャーとは

バイオチャーとは、植物由来の炭素を熱分解によって安定な固体炭素へ変換した生成物である。一般に、木質チップ、竹、わら、米粉、果実殻等を350~700℃程度の低酸素条件下で処理することにより得られ、生成物はバイオチャー、可燃性ガス、凝縮液に大別される。バイオチャーは高い固定炭素分を有し、適切な製造条件下では数十年から数百年(J-クレジットでは百年以上が要件)にわたり炭素を比較的安定に貯留できる。したがって、バイオチャーは単なる炭化物ではなく、炭素循環を人為的に遅くするための制御媒体と理解すべきである。

欧州では、産業革命以降の文明は、地中に固定されていた化石炭素を燃焼によって大気へ放出する「一方通行の炭素フロー」を加速させてきたと捉えられている。

これに対しバイオチャーは植物が大気から吸収した炭素を再び安定固体へ戻す「再炭化」技術として位置付けられる。すなわち、燃やすことによって炭素を散逸させるのではなく、熱分解によって分解しにくい安定炭素へ変換し、土壌または地圏側へ戻すという発想である。

この考え方は、地質学的にはLithospheric Organic Carbon(岩石圏有機炭素)という概念とも接続し、バイオチャーを単なる土壌改良材ではなく、地質的スケールで炭素を固定する人工的媒介物とみなす見方につながっている。実務上もバイオチャーには土壌の保水性・通気改善、肥料利用率の向上、臭気低減、家畜敷料利用、コンクリートや建材への混和、



* Kenichi SASAUCHI

1957年4月生まれ
大阪大学 工学部 金属材料工学科 卒業
現在、(株)PEO 技術士事務所 代表取締役
技術士 (総合技術監理・衛生工学部門)
TEL: 078-587-2929
FAX: 078-587-2929
E-mail: sasauchi@peobio.co.jp



図1 地質学的視点からの炭素循環の破壊(左)とバイオチャーによる修復(右)

金属精錬時の石炭コークス代替など、多面的な利用価値がある。したがってバイオチャーの本質は炭素除去、資源循環、農業改善、材料利用を同時に成立させる多機能炭素材料にある。

欧州のバイオチャー戦略

欧州におけるバイオチャー戦略の特徴は、バイオチャーを従来の農業資材から、脱炭素産業を構成する「多収益型プロジェクト」へ転換している点にある。すなわち、炭素除去クレジット、熱供給・蒸気供給、物理製品としてのバイオチャー販売を組み合わせ、金融的に成立するプロジェクトとして設計する考え方である。欧州バイオチャー産業連合(EBI)は、現在の産業成長を最も強く牽引しているのはBCR(Biochar Carbon Removal)であると位置付けている。

制度面では、欧州戦略は「製品品質」と「炭素除去認証」の二つの柱で構成される。第一の柱は、EU Fertilising Products Regulation (FPR) および CMC14 に代表される製品規制であり、混合ごみや汚泥のような不適切原料の排除、H/C比による安定性証明、PAH等の汚染物質基準、必要に応じた REACH対応などを求めている。第二の柱は、CRCF (Carbon Removal and Carbon Farming) に代表される認証制度であり、恒久的炭素除去としての妥当性、MRVの適正性、追加性、二重計上防止といった要件を満たすことが要求される。欧州ではこの二つの適合性が、製品販売と炭素除去価値の双方を市場化する前提となっている。

技術戦略としては、急速熱分解やガス化よりも、緩慢熱分解 (slow pyrolysis) が欧州市場の「最適な選択肢」として位置付けられている。理由は、第一に高いチャー収率を確保しやすく、BCR 収益を最大化しやすいこと、第二に安定した炭質を得やすく、H/C比や安定性に関する欧州規制に適合しやすいこ

と、第三に熱回収との親和性が高いことである。すなわち、欧州では単なる発電効率ではなく、炭収率、炭素安定性、規制適合性を同時に最適化する観点から技術が選択されている。

また、欧州の実装事例では、循環型経済の文脈で図2のような Industrial symbiosis が重視されている。

例えば、廃棄系バイオマスや産業副産物を原料として受け入れ、そこからクリーンエネルギー、バイオチャー、炭素除去クレジットを同時に生み出す構成である。将来戦略としては、バイオチャーを単独技術として完結させるのではなく、植林、土壌改良、BECCS (BioEnergy with Carbon Capture and Storage) 等の他の CDR 技術と統合する方向が示されている。植林との統合は苗木の生存率や保水性を高め、BECCS との統合はエネルギー回収と物質利用を両立させる。したがって、欧州戦略の核心は、規制適合性を確保した低速熱分解設備を基盤に、熱、製品、クレジットを束ね、さらに他 CDR 技術と接続可能な脱炭素インフラとしてバイオチャーを位置付ける点にある。

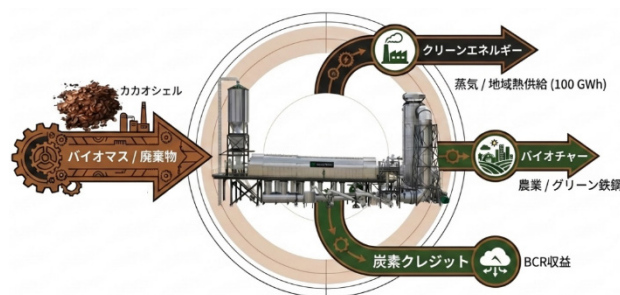


図2 産業共生 (Industrial Symbiosis) による循環型経済

世界のバイオチャー市場の拡大

世界のバイオチャー市場は、第一に CDR 市場、第二に農業脱炭素、第三に農業残渣・有機性廃棄物の資源化という三つの軸で拡大している。なかでも CDR 市場での拡大は顕著であり、2024年の CDR

供給の大部分をバイオチャーが占め、2025年供給分の相当量が長期契約済み³⁾であるとされる。

これは、バイオチャーが初期の炭素除去市場において、供給量・価格競争力・認証適合性の面で優位に立っていることを意味する。また、国別にみると、中国、米国、インド、ドイツなどが主要市場として位置づけられ、日本は市場規模こそ限定的であるものの、J-クレジット制度を背景に将来有望市場として評価されている。市場拡大の決定要因としては、農業残渣量、政策支援、炭素市場の成熟度が大きく寄与している。したがって、バイオチャー市場は単なる炭製品市場ではなく、政策、農業、エネルギー、炭素金融が結び付いた複合市場として理解する必要がある。

世界の主要プロジェクトは、大型プラント型、農業分散型、産業副産物型に大別できる。大型プラント型では、ボリビアの Exomad Green⁴⁾ やブラジルの Aperam BioEnergia⁵⁾ が代表例であり、年間数万トンから十万トン規模の生産能力を有する。農業分散型では、Varaha²⁾ や Safi Organics が農業残渣を原料として炭素除去と土壌改良を両立している。産業副産物型では、Bioforcetech のように下水汚泥や有機性廃棄物を炭化し、廃棄物処理と炭素固定を一体化した事業が成立している。

これらを収益構造で整理すると、現在最も成長が著しいのは「バイオチャー+CDR」モデルである。このモデルでは、収益の70~90%を CDR クレジットが占め、残りをバイオ炭販売および熱利用が補完する。これに対し、農業モデルでは農業資材販売、廃棄物処理モデルでは処理委託費、エネルギー供給モデルでは蒸気・温水・電力販売、材料化モデルでは建材やコンクリート混和材としての付加価値利用が主な収益源となる。

熱分解条件と炭素収率

木質バイオマスの熱分解では、温度上昇に伴い炭収率は低下する一方、炭素含有率と炭素安定性は向上する。350~450℃で高収率、550~650℃で高品質炭が得られると整理されており、CDR 用途では550~600℃、滞留時間20~30分程度が代表的設計条件とされている。ここで重要なのは、木質バイオマスにおける「固定炭素15~20%」と「バイオチャー収率22~28%」は異なる概念であり、相互に矛盾し

ない点である。前者は工業分析上の指標であり、後者は熱分解後の固体回収率である。熱分解過程では揮発分が除去されて炭素が固体中に濃縮されるため、原料の元素炭素含有率約50%に対し、生成バイオチャーでは70~85%程度まで高まる。このため、収率が25%前後でも、原料中炭素の相当部分を安定固体として保持することが可能となる。

日本でのバイオチャー利用

日本での事業成立性を左右する要因として、原料物流、熱需要先の有無、クレジット化の確度、年間稼働率が挙げられる。特に日本では、電力単独よりも熱併給の有無が採算に大きく影響するため、木材乾燥、施設園芸、食品工場、福祉施設、公共施設等への熱供給を組み込むことが重要である。バイオチャー農地施用は既に J-クレジット認証実績を有しており、熱供給と炭素除去価値を組み合わせた地域循環型モデルが最も現実的である。

自動車会社のマツダでは地元広島で発生する廃棄物系バイオマスを炭化、固形化して石炭コークスの代替として自動車部品鋳物製造に取り組んでいる⁶⁾。コークスは熱源だけでなく鋳物製造時の加炭剤にもなるため、鋳物部品への炭素固定によるCDRも視野に入れている。日本では農業・林業残渣を活用することで年間約1400万tCO₂の炭素固定ポテンシャルがあると試算⁷⁾されている。

おわりに

以上より、バイオチャーは世界的にはすでに CDR 市場の中心技術の一つとして位置付けられており、長期オフテイク契約、大型・中型連続炉、農業残渣活用、熱利用統合型プラントが今後の成長を牽引すると考えられる。世界で成立している事業モデルの本質は、炭そのものの販売ではなく、炭素固定価値、熱価値、製品価値、廃棄物処理価値を重ね合わせた複合事業にある。

日本においても、森林率の高さと未利用バイオマス資源の存在を踏まえれば、バイオチャー事業の潜在性は高い。ただし、その実装は単なる炭化炉導入ではなく、原料物流、熱需要、J-クレジット制度との接続、地域内の利用先を一体で設計する必要がある。したがって、日本型バイオチャー事業の最適解は、国産木質・竹等を主原料とする中規模連続熱分

解設備に、熱供給、炭素除去、製品販売を組み合わせた地域分散型統合プラントであると結論づけられる。

参考文献

- 1) ESG Today:
www.esgtoday.com/boeing-signs-40000-tonne-biochar-carbon-removal-agreement
- 2) Renewable Carbon:
<https://renewable-carbon.eu/news/varaha-launches-varaha-industrial-partners-program-vipp-to-scale-industrial-biochar-carbon-removal-in-cote-divoire>
- 3) 立命館大学 日本バイオ炭コンソーシアム:
www.consortium.japan-biochar.org/li9er7rznsif5cqwsuk56zihakj5m4aq/3%2F5-14/866675fb-db40-4d7a-acd1-759131e10ac6
- 4) Unbound Summits:
www.unboundsummits.com/library/carbon-markets-are-shaping-our-climate-future
- 5) Regreener:
www.regreener.earth/blog/the-5-best-biochar-carbon-credit-and-offset-projects-of-2026
- 6) 田中祐一：カーボンニュートラルに向けたマツダの取り組み、広島大学バイオ燃料講習会テキストp13-18(2026)
- 7) 環境インフラ海外展開プラットフォーム:
www.jprsi.go.jp/files/ew2023in/4_Seminar%204_Presentation_Dr.%20Shigeto%20Sudo_NARO.pdf

