

【産業競争力懇談会 2024年度 プロジェクト 最終報告書】

【炭素材料の由来認証、及びトレーサビリティの確立】

2025年2月14日

産業競争力懇談会 **COCN**

【エクゼクティブサマリ】

＜本推進テーマ活動の基本的な考え方＞

世界的に気候変動対策の必要性がますます高まる中、今後さまざまな分野で気候対策のスケールアップが進むと考えられる。温室効果ガス（GHG：Greenhouse Gas）の削減が世界的な目標とされ、GHG削減手段として再生可能エネルギーの利用やリサイクルの促進、化石由来から非化石由来の原材料への転換が重要視されている。国の施策の一つである、バイオエコノミー戦略 [1]が発表され、バイオエコノミー市場拡大に向けた施策（1）バイオものづくり・バイオ由来製品に関して、2030年に向けた取組の方向性の項目の中に、「カーボンフットプリント（CFP）の活用、ライフサイクルアセスメント（LCA）手法の確立等、バイオマスやバイオ技術の利活用による環境価値を定量的に評価する仕組みや、認証・クレジット化の仕組み、環境負荷を低減するバイオ由来製品の表示方法の検討。グローバル市場を見据えつつ、国際標準化や国際ルール形成を推進。バイオ由来製品の市場を早期創出・拡大できるよう、グリーン購入法等を参考にした需要喚起策の検討」が述べられており、今後非化石原材料であるバイオ由来材料への転換がはかられる。

本推進テーマでは、非化石原材料の燃料としてのエネルギー利用（以後、「バイオ燃料」と言う）と、プラスチックや繊維などの原材料利用（以後、「バイオマスプラスチック^{※1}」と言う）に関し、非化石原材料の利用を促進し、環境価値の計測と可視化、データ信頼性の確保を基盤に据え、国内外の連携を強化しつつ、脱炭素社会の実現に向け具体的な取組を推進する。そのため、非化石由来を含めた炭素材料の由来に関して、エビデンスに基づく炭素材料の由来認証であるバイオベース度^{※2}の計測装置の第一選択肢として高感度レーザー分光計測であるCRDS（Cavity Ring-Down Spectroscopy）を提案し、データの信頼性を担保する前処理を含めた測定プロトコルおよびデータ連携を確立し、非化石認証の要求事項であるバイオベース度を求める測定手段の一つとして国際標準化を進める。

※1 バイオマスプラスチックという用語に関して、バイオプラスチックと混同される場合も多い。バイオプラスチックは、植物などの再生可能な有機資源を原料とする「バイオマスプラスチック」と微生物等の働きで最終的に二酸化炭素と水にまで分解する「生分解性プラスチック」の総称であり、生分解プラスチックには一部石油由来のプラスチックも含まれている。本推進テーマでは、バイオマスプラスチックを対象とする。

※2 バイオベース度とは、製品やプロセスがバイオマスを原料として使用している割合であり、本報告書では14Cと12Cの比率により算出される値とする。

＜検討の視点と範囲＞

本推進テーマにおける検討の視点として、バイオ燃料やバイオマスプラスチックの利用促進に向けた包括的なアプローチが求められる。バイオ燃料の需要は年々増加しており、環境省の資料によれば、2050年までに世界のSAF（持続可能な航空燃料）供給量は4.1億kLから5.5億kLに達する見込みである [2]。また、自動車用途のバイオ燃料（バイオエタノール、ETBEなど）に関しても、日本ではエネルギー供給事業者によるエネルギー源の環境適合利用及び化石エネルギー原料の有効な利用の促進に関する法律（エネルギー供給構造高度化法）により、石油精製事業者がガソリンに一定量のバイオエタノール混合を義務付けている [3]。さらに、バイオプラスチックは、European Bioplastics からデータが更新され、2023年と比較して

2029年には約 2.6 倍の約 573 万トンになることが予測されている [5]。この予測は、2023 年度のデータ [4]と比較して増加のスピードは緩やかであるが、増加傾向に変化はなくバイオマスプラスチックの使用量は今後増加する。また、日本政府も 2030 年までに約 200 万トンのバイオマスプラスチック導入を目指しており [6]、その目標は極めて高いが、例えば国内のコーヒーチェーン店で使用されるストローをバイオマスプラスチックに変更するとの報道があったように、バイオマスプラスチックの社会実装がますます進むと思われる [7]。

この様に、今後バイオ燃料やバイオマスプラスチックの利用拡大に伴い、それらが実際に環境に与える影響を正確に評価し、科学的エビデンスに基づいた環境データのトレーサビリティの確保が必要である。

まず、非化石原材料の使用に伴う GHG 排出量は、バイオベース度の計測により、製品や材料に含まれる炭素が再生可能なバイオマス由来か、化石燃料由来かを区別することができ、カーボンニュートラルの考え方が適用できる。

現在、バイオベース度の計測のグローバルスタンダードは、加速器質量分析装置（AMS）である。本計測装置は高い精度で放射性炭素同位体（ ^{14}C ）を計測可能である一方、大型設備が必要でありランニングコストも高い。本推進テーマではオンサイトでのバイオベース度計測技術として、高感度レーザー分光計測である CRDS を候補とした。CRDS は小型化が可能で、オンサイトでの迅速な測定が期待される（図 1）。今後増加する非化石原材料を含有する製品に対し、そのバイオベース度による含有量計測は品質管理のために必須であり、さらに従来オフサイトでは非常に難しかった工程中のバイオベース度計測によるフィードバックや、連続的なモニタリングにも有力なオプションとなる。

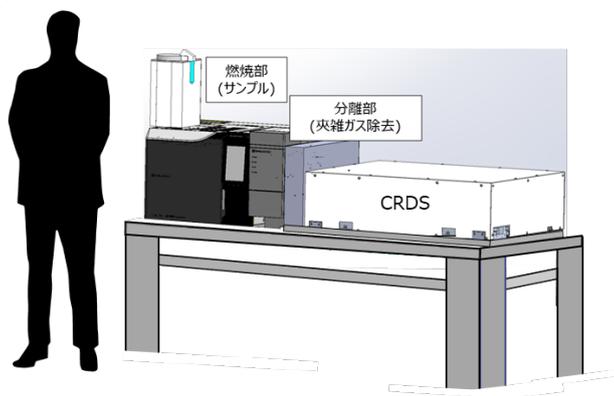


図 1 オンサイト放射性炭素同位体（ ^{14}C ）用の測定装置イメージ

次に、測定したデータに関してはサプライチェーン全体でのトレーサビリティを確保するためのシステム設計が不可欠である。本推進テーマにおいて、独自のプラットフォーム自体の構築を目指すのではなく、他の取組なども視野に入れた上で「炭素材料の由来認証」の観点で取得すべきデータやその形式などについて検討することが望ましいと判断した。欧州では、「持続可能な製品のためのエコデザイン規則（ESPR）」 [8]の施行や「デジタルプロダクトパスポート（DPP : Digital Product Passport）」 [8]により、製品に関する環境データをデジタル形式で提供する仕組みが導入され、データの透明性とトレーサビリティが重要となっている。例えば、Green x Digital コンソーシアムでは、異なるソリューション間での CO₂ データ連携の技術実証などを行い、2024 年 7 月には「CO₂ 可視化フレームワーク（Edition 2.0）」および「データ連携のための技術仕様（Version 2.0）」を公開している [9]。これらの文書は、先行する国際的な枠組みである WBCSD Partnership for Carbon Transparency (PACT) の Pathfinder Framework および Technical Specifications for PCF Data Exchange [10]を踏襲している。そこで、本推進テーマで検討するプラット

フォームの将来展開（国際連携・規格化）を見据え、Green x Digital コンソーシアムの取り組みを念頭においてデータ連携を進める事とした。

<産業競争力強化のための提言および施策>

今後、脱炭素社会に向け日本の産業競争力を強化するためには、非化石原材料の利用と言う視点で、バイオベース度の正確な計測、データのトレーサビリティ確保が重要なポイントであり、以下の施策について具体的に提言としてまとめた。ここでは項目のみ示す（詳細は本文参照）。

1. オンサイト計測装置の開発

小型で安価な装置を開発し、現場で非化石由来の炭素を正確に計測する。CRDS を用いて迅速な 14C 計測が可能で、自動化によりコストや時間を削減する。

2. カーボンフットプリント（CFP）の正確な把握

製品やサービスの CFP を一次データに基づき正確に算出し、消費者が環境に配慮した製品を選びやすくする。企業の環境対策効果や競争力向上にもつながる。

3. エビデンスに基づくトレーサビリティシステムの構築

証明書の偽造を防ぐため、トレーサビリティシステムを整備する。データベースや追跡システムと連携し、非化石原材料の使用を証明し、産業全体の透明性を高める。

4. インセンティブの適用

非化石原材料の利用を促進するため、規制や補助金、税制優遇などのインセンティブを提案する。企業が環境価値の高い製品を導入しやすくする。

5. バイオベース度の認証と標準化

CRDS でバイオベース度を計測し、非化石原材料の使用を証明する。同時に計測装置の国際標準化（ISO1662-2）への追加を進め、認証標準物質を用いた統一された計測システムを構築する。

6. 国際連携の強化

欧州などの厳しい環境規制に対応するため、国際連携を強化する。情報共有と技術交流を進め、日本の技術水準を維持し、環境価値の高い製品を国際市場に展開する。

これらの施策は、非化石原材料の利用を拡大し、企業の環境貢献度を高めるとともに、本分野で世界の先頭に立ち、オンサイトでのバイオベース度実計測とプラットフォームによるデータ流通により、エビデンスに基づいた取り組みを進めることで、産業活動を停滞させずに脱炭素社会・循環型社会を進めることが日本の産業競争力強化につながると考える。

<今後の展開>

本推進テーマは本年度が最終であり、今後の展開を以下に示す。

本年度は、脱炭素社会の実現に向け具体的な取組みを推進するため、欧州を中心とする規制動向調査と CRDS によるオンサイト 14C 計測装置開発に関して、「NEDO 先導研究プログラム／新技術先導研究プログラム」への公募テーマに採用されるように技術シーズに関する情報提供依頼（RFI）[11]に 2040 年以降の実用化・社会実装の実現に資する技術シーズ技術を提供した。残念ながら 2025 年度の公募する研究開発テーマの中に本件は含まれるまでには至らなかった [12]。

しかし、2年間の活動により、バイオマス度計測の必要性に関して周知した結果により、下記の2件のプロジェクトへ関わることができた。

- ① 令和6年度脱炭素型循環経済システム構築促進事業，環境省，受託：公益財団法人京都高度技術研究所，令和6年 [13]
- ② 特定新需要開拓事業活動計画認定制度，経済産業省 イノベーション・環境局 基準認証政策課 [14]

今後は、上記プロジェクトに参画を継続し、他のプロジェクトと連携しながら、将来的にバイオ燃料やバイオマスプラスチックの本格導入社会に対向け、14C計測による炭素材料の由来認証を行い、原材料の由来や流通、利用などの幅広い領域において、エビデンスに基づいたトレーサビリティを確保したデータ流通を促進し、非化石由来の原材料への材料転換を促進することで、温室効果ガス（GHG）排出量の削減と脱炭素社会の実現に貢献する。

【目次】

【プロジェクトメンバー】.....	2
【1. 緒言】.....	4
【2. 非化石データの認証制度の現状と将来のあり方】.....	6
① バイオ燃料の現状と認証動向.....	6
② バイオプラスチックの現状と標準化動向.....	7
③ マスバランス方式を活用した ISCC 認証 現状と課題.....	9
④ バイオベース度の測定ニーズのヒアリング調査.....	9
⑤ バリューチェーンプレイヤーにおけるバイオベース度の認証, 実測の必要性仮説.....	10
⑥ バイオベース認証の資源循環への寄与について.....	11
【3. 炭素同位体 14C (14C) 計測方法の現状と課題】.....	12
① 14C オンサイト測定装置への期待.....	12
② 14C 計測装置の現状.....	14
③ 炭素材料の由来認証に求められる計測手法.....	14
④ 課題.....	16
【4. 非化石認証共通データ連携の構築に向けて】.....	17
【5. 提言の方向性】.....	18
【6. 今後の課題と展開】.....	20
【参考文献】.....	23

【プロジェクトメンバー】

リーダー	西本 尚弘	株式会社島津製作所 執行役員 基盤技術研究所 所長	
CO リーダー	福田 桂	株式会社三菱総合研究所 サステナビリティ事業本部 GX グループ 主席研究員	プラットフォーム WG 主査
メンバー	国岡 正雄	国立研究開発法人産業技術総合研究所 企画本部 知財・標準化推進部 標準化推進室 標準化オフィサー	認証 WG 主査
	加藤 晴久	国立研究開発法人産業技術総合研究所 計量標準総合センター 物質計測標準研究部門 上級主任研究員	
	内山 倫行	株式会社日立製作所 エネルギー事業統括本部 エネルギーソリューション 事業統括本部カーボンニュートラル事業部 主管技師長	
	阪倉 一成	株式会社日立製作所 エネルギー事業統括本部 エネルギーソリューション 事業統括本部カーボンニュートラル事業部 水素事業推進室 技師	
	深田 彰	NEC ソリューションイノベータ株式会社 第二 PF ソフトウェア事業部 シニアプロフェッショナル ブロックチェーン技術センター センター長	
	川崎 貴夫	NEC ソリューションイノベータ株式会社 第二 PF ソフトウェア事業部 主任 ブロックチェーン技術センター	
	斎藤 真司	株式会社東芝 生産技術センター 光学・検査技術研究部 上席研究員	
	橋本 玲	株式会社東芝 生産技術センター 光学・検査技術研究部 研究主幹	
	野中 辰夫	株式会社住化分析センター 千葉ラボラトリー 所長	
	佐藤 俊輔	株式会社カネカ CO2 Innovation laboratory 所長	
	杉瀬 健	株式会社カネカ CO2 Innovation laboratory 主任	
	月見 亮介	株式会社カネカ Global Open Innovation 企画部 主任	
	山崎 英数	富士フイルム株式会社 バイオサイエンス&エンジニアリング研究所 研究主幹	
	副島 晋	富士フイルム株式会社 知的財産部 国際標準化推進室 室長	
	坂本 裕貴	富士フイルム株式会社 国際標準化推進室 標準戦略担当	
	佐藤 忠伸	富士フイルム株式会社 国際標準化推進室	
	茨木 絢子	富士フイルム株式会社 ESG 推進部 環境・品質マネジメントグループ	
	藤岡 博明	株式会社ケミトックス 国際事業部 マネージャー	
	土屋 哲	富士通株式会社 Strategic Planning 本部 シニアディレクター	
	清水 敏之	東洋紡株式会社 パッケージング開発部 マネージャー	
	横山 利男	日本プラスチック工業連盟 規格部 主幹	
	豊田 博	日本プラスチック工業連盟 規格部 主幹	
	木村 俊範	一般社団法人日本有機資源協会	
	本多 宏子	一般社団法人日本有機資源協会 事務局	
	森 浩之	日本バイオプラスチック協会 顧問	
	大松沢明宏	日本化学繊維協会 技術グループ長	

	東條 公資	株式会社島津製作所 基盤技術研究所 先端分析ユニット 副ユニット長	計測 WG 主査
サブリーダー	古宮 哲夫	株式会社島津製作所 基盤技術研究所 先端分析ユニット グループ長	
事務局	井原 正博	株式会社島津製作所 基盤技術研究所 研究推進室 室長	
	杉本 典史	株式会社島津製作所 営業本部 グローバル共創営業戦略室 産学官連携推進ユニット ユニット長	
	大垣内 誠	株式会社島津製作所 分析計測事業部 LCビジネスユニット	
	三ツ松 昭彦	株式会社島津製作所 環境経営統括室 マネージャー	
	小西 善之	株式会社島津製作所 技術推進部 国際標準化グループ グループ長	
	若尾 豪	株式会社島津製作所 営業本部 グローバル共創営業戦略室 産学官連携推進ユニット	
	南雲 誠心	株式会社島津製作所 業本部 国内営業ユニット 分析計測ソリューション 営業統括部 営業企画部 企画管理グループ マネージャー	
	松本 隆雄	株式会社島津製作所 営業本部 グローバル共創営業戦略室 産学官連携推進ユニット 国内連携推進グループ グループ長	
	折戸 文夫	株式会社島津製作所 アドバイザー	
COCN 担当	古屋 孝明	株式会社三菱総合研究所 常勤顧問	
実行委員	水落 隆司	三菱電機株式会社 執行役員 開発本部	
	中村 典永	大日本印刷株式会社 フェロー	
COCN 担当	今泉 延弘	富士通株式会社 富士通研究所 研究変革室 兼 グローバル政策推進 本部 リサーチディレクター	
	坂口 隆明	三菱電機株式会社 産業政策渉外室 担当部長	
COCN	山口 雅彦	一般社団法人産業競争力懇談会 (COCN)	
事務局長			
COCN	武田 安司	一般社団法人産業競争力懇談会 (COCN)	
副事務局長			
	金枝上敦史	一般社団法人産業競争力懇談会 (COCN) 事務局長代理	
COCN	高柳健二郎	三菱ケミカル株式会社 フロンティア&オープンイノベーション本部 グローバルインダストリーパートナーシップ部 部長	
実行委員			
COCN	佐藤 桂樹	トヨタ自動車株式会社 R-フロンティア部 担当部長	
企画小委員	福山満由美	株式会社日立製作所 研究開発グループ 技術戦略室 技術顧問	
	鎌田 芳幸	株式会社東芝 経営企画部 政策渉外担当 統括部長 ゼネラルマネージャー	

【本文】

【1. 緒言】

近年、世界規模で地球温暖化の影響とみられる異常気象が相次いでおり、国内においても毎年のように猛暑日の増加や極地的な豪雨災害が発生するなど、気候変動がもたらす影響は深刻さを増している。

気候変動の原因の一つである温室効果ガス（GHG：Greenhouse Gas）に関して、2021年COP26で温度上昇を1.5度に抑えることが世界目標とされている。世界でカーボンニュートラル実現にむけその対策が講じられており、日本でも2050年までにカーボンニュートラルを実現し脱炭素社会の実現を目標としている[15]。しかし、2023年4月に環境省地球環境局が報告しているIPCC第6次評価報告書（AR6）統合報告書（SYR）の概要で、「国が決定する貢献（NDCs）」によって示唆される2030年の世界全体のGHG排出量では、温暖化が21世紀の間に1.5℃を超える可能性が高く、温暖化を2℃より抑えることがさらに困難になる可能性が高い事が示されている[16]。今後、あらゆる分野で気候対策のスケールアップが急務である。

GHGの削減に関しては、その発生源は複雑であり単純な解決策はないが、多くの取り組みが行われている。その中でも、再生可能エネルギーの利用やリサイクルの促進、化石由来から非化石由来の原材料への転換の動きなどは大きな流れと言える。非化石原材料に含まれる炭素分は、植物がその成長過程において大気中の二酸化炭素（CO₂）を固定したものであり、それを燃焼させてもCO₂の増加にはつながらず、代替された化石原材料分のGHG排出量を削減することができる。

非化石原材料の用途として、大きく以下の二つが挙げられる。燃料としてのエネルギー利用（以後、「バイオ燃料」と言う）と、プラスチックや繊維などの原材料利用（以後、「バイオマスプラスチック」と言う）である。World Greenhouse Gas Emissions by Sector 2021の報告[17]では、2021年のGHG総排出量において、輸送関連が13.7%、化学製品2.6%に相当する事がしめされている。

<バイオ燃料を取り巻く状況>

また、バイオ燃料に関しては、その種類として固形バイオ燃料、バイオエタノール、バイオディーゼル、バイオジェット燃料、バイオメタン・バイオガスに分けられる。これらは、輸送用燃料用途や燃焼などによるエネルギー源として利用される。輸送用途では、バイオエタノールやバイオディーゼルが自動車用燃料などに使用されている。またバイオジェット燃料はSAF（Sustainable Aviation Fuel）と呼ばれており、2021年に国際航空運輸協会が「世界の航空運輸業界が2050年までにCO₂の排出を実質ゼロにする」との長期目標を採択した[18]。環境省環境再生・資源循環局の資料[2]によると、2020年の世界のSAF供給量は6.3万kL（世界のジェット燃料供給量の0.03%）であり、2050年にはその需要は4.1億kL～5.5億kLになると見込んでいる。自動車用途のバイオ燃料（バイオエタノール、ETBEなど）に関しても、我が国ではエネルギー供給事業者によるエネルギー源の環境適合利用および化石エネルギー原料の有効な利用の促進に関する法律（エネルギー供給構造高度化法）により、石油精製事業者に対してガソリンに一定量のバイオエタノール混合を義務付けている[3]。今後、バイオ燃料の使用も多くの分野で拡大することが見込まれる。

<バイオプラスチックを取り巻く状況>

バイオマスプラスチックに関して、European Bioplastics のレポート [5]によると、世界の年間生産能力は生分解プラスチックを含むバイオプラスチックとして、2023 年の 2,019 千トンが 2029 年には 5,349 千トンと約 2.6 倍に増加すると予測している。また、米国のバイデン前大統領は 2022 年 9 月に「Advancing Biotechnology and Biomanufacturing Innovation for a Sustainable, Safe, and Secure American Bioeconomy.」という大統領令 (E.O.14081) に署名し、その具体例として 20 年以内に、現在のプラスチックやその他ポリマーの 90%以上をリサイクル可能なバイオポリマーに置き換えることを宣言した [19]。

国内では、日本政府により 2030 年までに約 200 万トンのバイオマスプラスチックの導入を目指すことが示された [6]。この値は、2019 年の日本のバイオプラスチック出荷量である約 4.7 万トンと比較しても、また上記世界の生産能力に対しても、極めて野心的な高い目標である。また、農林水産省の「みどりの食料システム戦略、～食料・農林水産業の生産性向上と持続性の両立をイノベーションで実現～」では、持続可能な資材やエネルギーの調達において、高機能合成樹脂のバイオマス化を拡大して進めている [20]。今後、バイオマスを使用した市場は大きく拡大することが予測できる。

<GHG と指標としての CFP>

現在、排出する GHG に関しては、カーボンフットプリント (CFP : Carbon Footprint of Products) の考え方が主流となりつつある。CFP は、商品やサービスの原材料調達から生産、流通・販売、輸送、廃棄・リサイクルなど製品のライフサイクルステージの各段階において排出される GHG の排出量を CO₂ に換算し、除去・吸収量を除いた総量を示す指標であり、商品やサービスに分かりやすく表示する仕組みである。通常の活動では GHG を排出するのみであるが、バイオマス由来の CO₂ に関しては、算定対象製品のライフサイクルにおいて排出される GHG 量 (バイオマス由来の CO₂ を含む。ただし、バイオ燃料の使用に伴う CO₂ は含まない) と除去・吸収される GHG 量をそれぞれ算定し、その排出量から除去・吸収量を差し引いたものを CFP の値として採用することがカーボンフットプリントガイドラインとして示されている [21]。

カーボンフットプリントガイドラインには、より正確な CFP の把握、排出量削減の効果のモニタリング、顧客へ提供する CFP に削減努力の反映ができるため、一次データ (企業が各プロセスで直接測定したデータ) を用いた算定の必要性が書かれている [21]。

非化石原材料の使用に伴う GHG 排出量の算出は、バイオベース度を基本に行われる。バイオベース度の計測は、ASTM D6866 や ISO 19984 などに規定されており、放射性同位炭素である ¹⁴C の濃度を計測する。つまり、原材料など直接 ¹⁴C を計測することで、バイオベース度がわかり、一次データとして CO₂ 吸収量の算出が可能となる。現在のバイオマスベース度評価のための ¹⁴C 計測には加速器質量分析装置 (AMS : Accelerator Mass Spectrometry) が主流として採用されている。AMS は、高精度の計測が可能であるが、サイズが大きく電流供給や放射線などの対策を行った特殊な設備が必要であり、サンプルの前処理にも手間がかかるため、オンサイトでのデータ取得は極めて困難である。

現在、プラスチック製造における非化石原材料の使用に際し、セグリゲーション方式とマスバランス方式があ

る。マスバランス方式は、原材料中の非化石原材料の比率を最終製品に割り当てることを保証する制度である [22]。メーカー側は既存の設備が使えるため大規模な設備投資が不要で、かつユーザー側も製造された製品の性能がほとんど変わらないため、両者にとってメリットがある。非化石原材料の使用を促す目的においても有効な方法である。しかしながら、近年「マスバランス方式を用いてバイオマス由来特性を割り当てたプラスチックの考え方について」[22]での報告書にもあるように、割り当てたバイオマス由来特性の量の妥当性を実測などにより確認することができないため、実際に非化石原材料が使用されていないにもかかわらず、ライフサイクルでの GHG の排出量を算定することが懸念されている。これに対しバイオベース度を直接計測することにより、企業内で取得したデータに基づき GHG の排出量を算定することが可能となるため、CFP の適正管理のためにはオンサイトでバイオベース度を計測しそれを認証し GHG の排出量を算定に活用することが好ましい。

<バイオマス材料流通の将来像と計測の必要性>

将来的に欧州では従来法からより厳密な炭素のバイオマス認証・トレーサビリティが求められる可能性が高く、世界的な動きになると考えられる [23]。この世界的ルールチェンジに対して、オンサイトで 14C に基づくバイオベース度の実計測とプラットフォームによるデータ流通でバイオマス原料の導入を後押しし、脱炭素社会・循環型社会を進めることが重要である。これは、脱炭素社会の主役である最終消費者へ正しい情報を提供し、環境価値の高い製品を選んでもらうために必須であり、また企業にとっても、一次データに基づく正確な CFP の把握は、環境への取組や貢献度を可視化し、それを向上する動きをサポートするものとなる。さらに、トレーサビリティを確保することで製品価値の向上と偽造やグリーンウォッシュの対策が可能となる。

本推進テーマでは、非化石原材料の利用を拡大するための具体的な施策やプロジェクトの立案をするため、本推進テーマでは 2 つのワーキンググループを立ち上げて、提言を行うための調査活動を実施した。

WG 1 : 「バイオマス認証及び流通の制度設計」

WG 2 : 「オンサイト計測実現に向けた開発仕様検討」

【 2. 非化石データの認証制度の現状と将来のあり方 】

① バイオ燃料の現状と認証動向

バイオ燃料の燃焼時に排出される CO₂ は、原料となるバイオマスが大気中から吸収した炭素由来であるため「カーボンニュートラル」と見なされ、国内外で CO₂ 削減対策の一つとしてバイオ燃料の導入促進が図られている。わが国ではエネルギー供給事業者によるエネルギー源の環境適合利用および化石エネルギー原料の有効な利用の促進に関する法律（エネルギー供給構造高度化法）により、石油精製事業者に対してガソリンに一定量のバイオエタノール混合を義務付けている（現状の告示では、2027 年度まで原油換算 50 万 kl/年）。また、昨年 11 月に開催された脱炭素燃料政策性委員会では、「ガソリンにおいては、2030 年度までに、一部地域における直接混合も含めたバイオエタノールの導入拡大を通じて、最大濃度 10%の低炭素ガソリンの供給開始を目指す」こと、および「2040 年度から、対応車両の普及状況やサプライチェーンの対策状況などを見極め、対象地域や規模の拡大を図りながら、最大濃度 20%の低炭素ガソリンの供給開始を追求する」方針が示されている [3]。ジェット燃料については、エネルギー供給構造高度化法の告示を改正し、2030～

2034 年度において、「2019 年度に日本国内で生産・供給されたジェット燃料の GHG 排出量の 5%相当量以上」を持続可能な航空燃料（Sustainable Aviation Fuel, SAF）の供給目標として設定することとしている [24]。海外においても、同様にバイオエタノールやバイオディーゼル、SAF、船舶用燃料におけるバイオ燃料の導入義務等の制度が導入されている。バイオ燃料の認証（非化石認証含む）については、大きく 2 つの枠組みが存在する。

1 つは燃料規格であり、例えばガソリンについては揮発油などの品質の確保等に関する法律（品確法）[25]や JIS 規格により、満たすべき品質基準やエタノール・酸素分の混合上限等が定められている。航空用燃料については国際規格である ASTM D1655, D7566 により、SAF が満たすべき品質基準、混合上限等が定められている。燃料規格の遵守確認については、燃料供給事業者自身や品確法に基づく登録分析機関による品質確認が義務付けられている^{※4}。バイオ燃料の混合率測定方法については法律・規格において必ずしも規定されていないが、ASTM D1655 においてはコプロセッシング^{※3}におけるバイオベース度測定に関して、14C の同位体分析が例示されている。

※3：品質分析は、品確法に基づく登録分析機関に委託することができる。

※4：化石燃料とバイオ油脂の共処理により製造される燃料

2 つ目は導入義務や税制優遇などにおける要件であり、非化石由来であることに加え、ライフサイクルでの GHG 排出量や原料調達加工・製造・輸送・最終利用までの過程における社会・環境影響なども含めたバイオ燃料としての持続可能性の担保が求められることが国際的に一般的となっている。バイオ燃料の国際的な持続可能性認証スキームとしては ISCC や RSB などが存在し、日本の事業者による認証事例も近年増加しているが、これらの認証においてはマスバランスによる認証が主流となっている。なお、米国カリフォルニア州の Low Carbon Fuel Standard [26]では、バイオ起源炭素の定量法として 14C 測定による分析法が導入されている。

② バイオプラスチックの現状と標準化動向

バイオマスプラスチックは、海洋環境のプラスチック廃棄物による汚染防止や 2050 年頃のカーボンニュートラルの実現のため、需要の伸びに従い、生産能力が引き続き伸びることが、European Bioplastics により予測され [5]、その伸びは 2023 年と比較して 2029 年には約 2.6 倍になることが推測される（図 2）。この予測は、2023 年度のデータ [4]と比較して増加のスピードは緩やかになったが、依然増加傾向に変化はなくバイオマスプラスチックの使用量は増加する。特に生分解バイオマスプラスチックの増加が顕著である。

Global Production capacities of bioplastics 2024-2029 in 1,000 tonnes

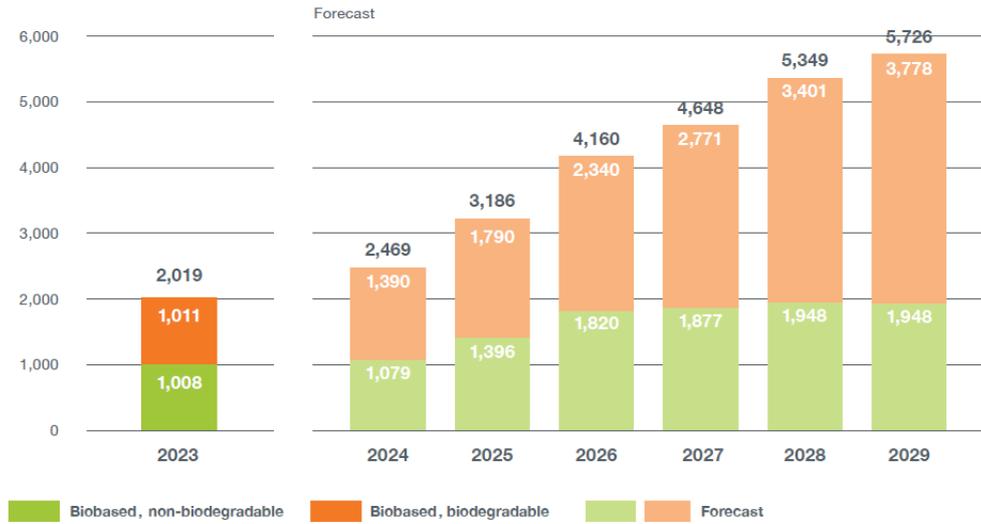


図 2 バイオマスプラスチックの世界の生産能力の現状と予測 [5]

(緑：バイオマスプラスチック，オレンジ：生分解性バイオマスプラスチック)

表 1 に国内外のバイオベースプラスチックの認証制度などを記載した。日本の認証制度では，日本バイオプラスチック協会（JBPA）のバイオマスプラスチック識別表示制度において，2024 年 1 月から新たに樹脂 9 種，11 製品が，日本有機資源協会（JPRA）のバイオスマーク認定制度において，新たに 76 製品の登録があり，新たなバイオベース製品の市場投入が積極的に行われていることを示している。

表 1 バイオマス由来プラスチックに対して認証等をする制度とその表示マーク

制度等の名称	バイオスマーク 識別表示制度	バイオスマーク 認定制度	BioPreferred	OK Biobased	DIN CERTCO Biobased
表示 マーク			HP を参照	HP を参照	HP を参照
運営 団体	日本バイオプラスチック協会 [27]	(一社) 日本有機資源協会 [28]	米国農務省 [29]	TÜV Austria (ベルギー) [30]	DIN CERTCO (ドイツ) [31]
登録数	樹脂 128 種 製品 915 品 (2024 年 1 月現在)	製品 1,945 品 (2024 年 1 月現在)	製品 14,000 品以上 (2023 年 6 月現在)	製品 547 品 (2023 年 6 月現在)	156 社の製品 (1 社で複数登録有) (2023 年 6 月現)
規定	ISO 16620-3 に規定されたバイオマスプラスチック度が 25%以上の樹脂	ISO 16620-4 に規定されるバイオマス度が 10%以上の申請製品を認証	ASTM D6866 (ISO 16620-2 と同等) に規定するバイオベース度に基づく	ASTM D6866 (ISO 16620-2 と同等) に規定するバイオベース度に基づく	ASTM D6866 , CEN/TS 16138 , ISO 16620 に規定するバイオベース度に基づく

また，これらのバイオベース度の計算に用いられている米国試験材料規格 ASTM D 6866 の 2024 年版が，専門委員会 D20 (プラスチック) ， WG 98 (バイオプラスチック) で審議され，新たに発行され，現代炭素率 (pMC) をバイオベース度に計算する際に使用する補正係数が 2026 年まで追記された。それに従い，プラスチック製品のバイオベース度の計算方法の規格である ISO 16620-2 (TC61 (プラスチック) 専門委員

会) [32]とゴム製品のバイオベース度の計算方法, ISO 19984-2 (TC45 (ゴム及びゴム製品) 専門委員会) [33]の改正作業が行われており, 2025 年には改訂版が発行されると思われる。このように, バイオベース度に関わる国際規格の改正作業が多くの標準化機関で行われていることから, これらの規格の社会ニーズが高いことを物語っている。

プラスチック製品と同様, 現状の多くの繊維製品 (衣料品等) は, 石油由来の化学繊維でできており, 脱石油の観点から, 日本化学繊維協会では, リサイクルやバイオベース原料の利活用が検討されている [34]。その仕様やリサイクル原料やバイオベース原料の配合率や適合基準を示した JIS の開発を行っている。また, それらの JIS の ISO TC38 (繊維) 専門委員会での ISO 規格化も検討している。

③ マスバランス方式を活用した ISCC 認証 現状と課題

化学産業におけるマスバランス認証取得のトレンドは, 現状でも続いており, 水面下では多くのプラスチック化学製品製造メーカーが ISCC 認証の取得を行っている (事業所認証)。マスバランス方式は, 川下ユーザーにとって既存の加工ラインで最終製品を製造することが可能であり, また, 川上の製造側の化学メーカーも新たに設備を投資する必要なく, 既存の装置を用いて生産できるため, 大きなメリットがある。特に, 材料転換初期において, マスバランス方式を採用することで, 徐々にバイオマスベース度を増やし, 非化石原材料の使用を増やすことができる。

一方, 国際的に企業が環境に配慮しているように見せかけるグリーンウォッシュの状況を考慮すると, 将来的に ISCC 認証とマスバランスについては科学的根拠に基づいた改定を行い, 認証制度の高付加価値化を目指すことが望ましい。国全体での 2050 年のカーボンニュートラル目標の達成に向けては, 化石資源由来のプラスチック製造から段階的に脱却していく必要があり, バイオマス割当プラスチック (マスバランス) の活用は, 2050 年までの技術イノベーションを促進するための過渡期の仕組みと位置づけられる。

④ バイオベース度の測定ニーズのヒアリング調査

バイオベース度の測定ニーズなどに関して, 企業へバイオベース製品の導入状況, バイオベース度の測定ニーズ等のヒアリング調査を行った。

ヒアリングした企業は 8 社 (花王株式会社, 豊田通商株式会社, 東洋紡株式会社, 株式会社セブン&アイ・ホールディングス, BASF ジャパン株式会社, 株式会社モロフジ, 住友化学株式会社)

ヒアリングの結果を簡略化しポジティブな意見とネガティブな意見に分け下記に記載する。

● ポジティブな意見

- ✓ バイオポリエチレンの使用実績: さとうきび由来のバイオポリエチレンを 2011 年頃から使用 (レジ袋, PET ボトルのキャップなど)。
- ✓ 炭素 14 測定を年数回実施: 自治体の要求時に対応。
- ✓ バイオマス材料の比率表示で脱炭素化 PR: 比率表示により脱炭素化の PR が可能。
- ✓ エビデンス確保とログ管理の重要性: 信頼性向上とグリーンウォッシュ防止。
- ✓ ISO などの国際標準化の重要性: 非化石原材料評価法の国際標準化が重要。
- ✓ 日本有機資源協会のバイオスマーク認証制度利用: 認証制度の利用で信頼性向上。

- ✓ BtoB および消費者の認知度向上：認知度が上がりつつあり、バイオスマークは有効である。
- ✓ バイオマス含有率の 14C 測定を年数回実施：購入企業の要望に対応。
- ✓ 簡便なバイオベース度測定のニーズ：簡便な測定方法に需要あり。
- ✓ 市場促進にはインセンティブが必要：規制，補助金，税制上の優遇が市場拡大に寄与。
- ✓ バイオマス由来材料やリサイクル材料の要望が増加中
- ✓ 最終顧客側も消費者への説明のしやすさからセグリゲーション方式を要望
- ✓ 製品の仕様に関して，その場で確認したい。
- ネガティブな意見
 - ✓ バイオベース認証取得は行ってない：認証取得のコストや手間がかかる。
 - ✓ トレーサビリティ重視：認証よりも原料の追跡が重要。
 - ✓ 炭素 14 測定の実施可能性は低い：コストや手間がかかるため。
 - ✓ 国際的な規制による測定の必要性：規制が厳しくなると測定が必須になる可能性。
 - ✓ バイオマス材料の量の問題：供給量が限られている。
 - ✓ バイオマスと石化材料の比率による課題：マスバランスの考え方との整合性が課題。
 - ✓ 消費者の認証への関心不足：認証の価値がまだ十分に理解されていない。
 - ✓ カーボンニュートラル重視：脱石油化と製造プロセス全体での環境負荷低減を目指している。
 - ✓ リサイクルプラはセグリゲーション方式のものが流通していないことからマスバランス方式も容認される傾向

ポジティブな意見では，実績・信頼性・品質管理や環境 PR といった意見があり，一方，ネガティブな意見は，認証取得コストや手間，個別認証よりトレーサビリティ重視，またはカーボンニュートラルとしてプロセス全体を見る事が重要であるという意見があった。

バイオベース度の市場促進には，規制やインセンティブが必要であり，環境価値向上へつながることが示されることが重要であることが分かった。これらは，以下に示した **5. 提言の方向性〈産業競争力強化のための提言および施策〉**に通ずる結果であった。

⑤ バリューチェーンプレーヤーにおけるバイオベース度の認証，実測の必要性仮説

企業ヒアリングを参考にして，今後の状況，バリューチェーンのプレーヤーにおけるバイオベース度の認証，実測の必要性仮説を図 3 に示す。プラスチック資源循環戦略 [6]がバイオプラスチック 200 万トンを目指す過渡期（-2030）においては，バイオベース製品の投入を増加させなければならない。新規参入企業や外国企業のバイオベース製品を販売することが多くなった場合，詐称品の排除のために実測による確認や認証による信頼性担保が必要になってくる。また，自治体なども，確認のために実測データを要求せざるを得ない状況になると考えられる。日本が宣言したカーボンニュートラルを目指す成熟期（-2050-）においては，回収・再生メーカーを含む循環の過程，原料→製品→廃棄→回収→原料→製品のバリューチェーンの流れの中で，すべての情報が同時に流通するため，どこかの段階でゲートウェイとしての，バイオベース度の測定が義務づけられ，社会全体に新規投入される原料は，バイオマス原料のみからなる循環市場が構築される（新規投入化石原料ゼロ）。過渡期，成熟期に向かい，多くの製品のバイオベース度を実測して確認し，リサイクル率を加味しな

がら、認証しなければならないため、簡易なバイオベース度の実測のニーズは高まっていくと判断できる。

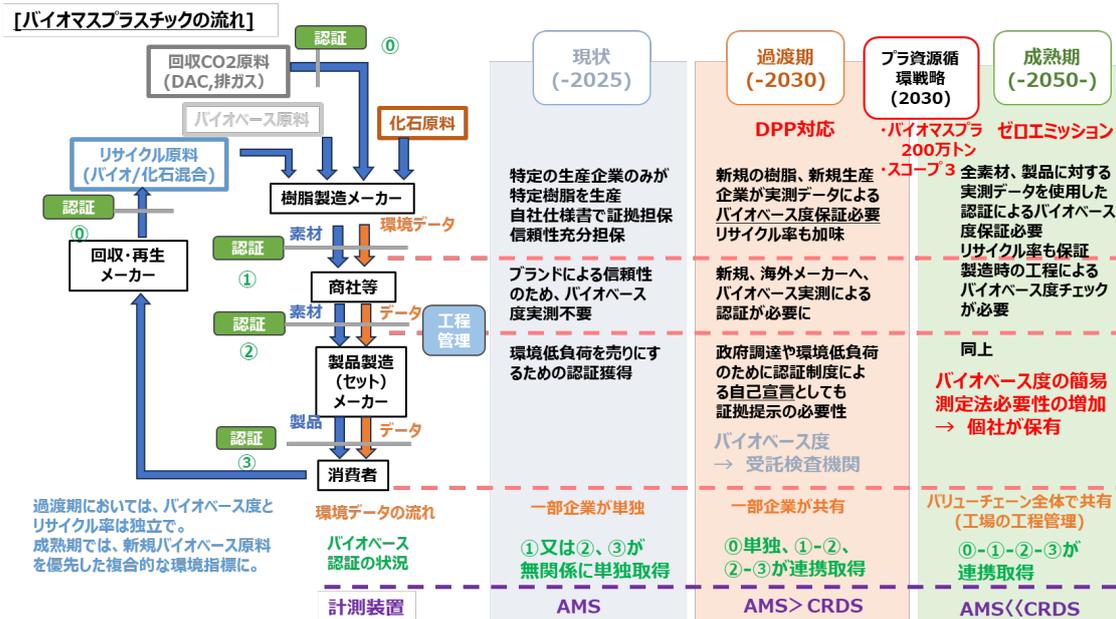


図3 バリューチェーンのプレイヤーにおけるバイオベース度の認証、実測の状況 (対象企業のヒアリングによる分析)

⑥ バイオベース認証の資源循環への寄与について

プラスチック製品廃棄物の有効利用として、資源循環の観点から、リサイクルの重要性が指摘されている [36]。バイオベース認証についても、COCN プロジェクトの多くの関係者から、資源循環の観点での関連や対応について指摘を受けた。プラスチック資源の有効利用から、3Rの重要性は無視できないが、日本の施策としては、3R+Renewable (再生可能原料利用) を実施することになっている。3Rにおいては、サーキュラーエコノミーの取組が産官学を一体となって、実施していくプラットフォームが2023年にできあがっており、サーキュラーエコノミー実施のための多くの取組が実施されている [37] [38]。

当該プロジェクトでも、この件、バイオベース認証のサーキュラーエコノミーへの貢献を議論してきた。現状の結論としては、バイオベース原料のプラスチック製品の活用を促進するために行われるバイオベース認証は、3R+Renewableの3Rではなく、Renewableを実現するための環境プロセスである。つまり、バイオベース認証は、カーボンニュートラル、脱石油を目指す取組であり、現状では、サーキュラーエコノミーとは切り離して実施されることになるかと判断しており、図4示す緑部分の範囲に限定された実施されることとなると推測される。また、近い将来の資源循環の範囲は、バイオベースとは異なる範囲の図4の青部分に示される部分になると想定される。将来的には、環境中に漏洩するバイオベース生分解性プラスチック製品廃棄物が、環境中で生分解され、大気中の二酸化炭素となり、その管理された二酸化炭素や燃焼・回収された二酸化炭素を活用したバイオベース製品、その他の製品の製造など、自然界の二酸化炭素サイクルを活用した図4の紫部分に示す資源循環を議論することになるかもしれないが、バイオベース認証プラットフォーム構築の次のステップであるという意見が主であった。

プラスチック製品の原料としての、バイオベース原料とリサイクル原料は、どちらも炭素サイクルに関わる重要な原

料であり、バイオベース製品をリサイクルしたリサイクル原料も生じてくる。バリューチェーンの下流側に、その含有率は、情報伝達されるべきではあるが、独立した環境指標であり、その関連、複合、リサイクル回数の考え方は、将来的な議論すべきポイントであると認識している。

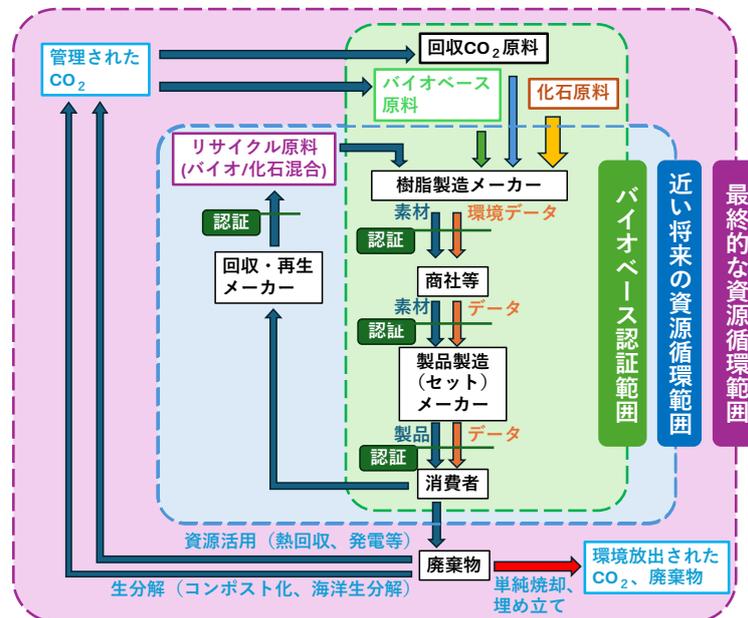


図4 バイオベース認証（緑）、近い将来の資源循環（青）、最終的な資源循環の範囲（紫）

【3. 炭素同位体 14C（14C）計測方法の現状と課題】

炭素同位体 14C 計測方法の現状について調査し、現状の測定装置は大型の据置型が中心であり、前処理の手間や測定時間などに課題があることがわかった。そこで、それに代わる迅速なオンサイト分析方法として CRDS を有力候補とした。ここでは、迅速なオンサイト測定方法への期待について整理するとともに、そのために必要な CRDS の技術課題について詳細を調査した。

① 14C オンサイト測定装置への期待

カーボンニュートラルに向け官民挙げたさまざまな施策が実行されているが、施策の効果を客観的・定量的に測定することは極めて重要である。CO₂ 削減効果の定量化には非化石由来 CO₂ のマーカーである 14C の地球規模での推移をマクロ的に測定するとともに、CO₂ 発生源となる個々の製品レベルでのマイクロな測定の積み上げが炭素の由来解明には欠かせない。マクロ的には、2021 年のノーベル物理学賞でも注目されたように、温暖化の主要因は産業革命以降の化石燃料由来 CO₂ の蓄積である [41]。しかしながら現状は化石非化石を区別するための 14CO₂ のオンサイトにおけるリアルタイムモニタリングはいまだ実施されていない [42]。後述するように現在の 14CO₂ の測定は AMS などの特殊でデリケートな方法に限られ、測定には長時間の前処理と専門技術が必要なためである。マイクロな視点においても、CO₂ の発生源である燃料やプラスチックの環境負荷測定において同様の状況である。政府のグリーン成長戦略では 2030 年にバイオマスプラスチックを年間 200 万トン導入する目標が掲げられている [6]、バイオマスプラスチックは一旦製品になると化学的に石油由来品と区別がつかず、バイオベース度の客観的な定量化には 14C の測定をするしか方法はない。しかしながら上記のよ

うに 14C 測定へのアクセスが困難なこともあり、現在は証明書に基づく Chain of Custody がマスバランス方式などで実施されている [43]。

さて、CRDS（後述）のような 14CO₂ をオンサイトで簡易測定可能な技術開発が進んだ未来について考える。測定感度としては、大気中の 14CO₂ 濃度の 1% に相当する 10⁻¹⁴ を想定する。まずはバイオマスプラスチックであるが、プラスチックはその名が示す通り、特に耐久財へ応用すると炭素の半永久的な固定化につながるとともに、適切なりサイクル技術によりゼロエミッション社会の実現に貢献する。原料が植物バイオマスや DAC によるメタネーション由来の場合はさらに大気中 CO₂ の積極削減につながる。例えば、バイオ PE は 1 キロ当たり 4.3~4.9 キロの二酸化炭素排出を削減でき、約 70-74% 温室効果ガスを削減できるとされる [44]。原料にはサトウキビの搾りかすや廃食用油からのバイオナフサが用いられるが、特に廃食用油は小規模事業者からの提供が主であり、14CO₂ 簡易測定装置によるバイオマス由来測定が可能になれば、これら小規模事業者が信用に基づく付加価値を提供する有力な手段となる。証明書偽造の抑止力にもつながるであろう。政府のグリーン購入基本方針 [45] ではバイオマスプラスチックへの置き換えまたは一部配合の基準が示されているが、近年の航空バイオ燃料 SAF の例でも明らかのように廃食用油などバイオベース原料の争奪戦になることが今後予想される [46]。マテリアルリサイクルやケミカルリサイクルにおいても、バイオベースリサイクル素材の流通量には限りがあるため供給過少状態となり、測定認証によりバイオマスプレミアムともいえる一定の付加価値が発生することは容易に想像できる。マスバランス方式でバイオベース度が希釈された特性を有するリサイクル素材は、Chain of Custody による加工・流通過程の厳密な管理により測定なしでのデジタル認証で運用されるが、構成成分が確実なセグリゲート方式も併存することから実質的には価値の差別化が誘発されることが予想され、ペレット等の素材を分別するためのオンサイト測定が今後重要になるであろう。廃食用油と同様にバイオマスリサイクル素材は市場で一定の価格で取引されるようになり、オンサイト測定でさらに差別化することで違法投棄によるプラスチックごみを削減し、リサイクルプラスチックの使用を促進するためのインセンティブがもたらされることが期待される。

次世代燃料に関しては経済産業省の合成燃料（e-fuel）の導入促進に向けた官民協議会で議論されており、今後バイオ燃料や合成燃料の使用が増えるとされている [24]。E10 のような自動車などのガソリンへのバイオ燃料の混合については、品確法で実測による品質管理が義務付けられており [25]、14C 簡易測定へのアクセスが容易になればバイオベース度自体が品質管理項目へ追加されることが考えられる。航空業界ではすでに述べたように SAF の導入が活発になっており、政府は 2030 年までに航空燃料の 1 割に相当する 170 万 kl を SAF にする目標を掲げている [47]。SAF への廃油の主要供給元となっているタイでは、屋台などからの廃油の違法垂れ流しが減少したという報告もあるが [46]、個々の零細供給元からのバイオベースの真質測定には、14C 簡易測定器は欠かせないものになるであろう。

バイオマスプラスチックやバイオ燃料の原料生産拡大に伴い、食料との競合や耕作地拡大による森林破壊といった持続可能性の議論が進んでいる。すでに実施されている CO₂ の連続モニタリングに加え [42]、さらに地域ごとの 14CO₂ の常時オンサイトモニタリングを実施することで、その地域の土地利用状況に関する情報が得られる可能性がある。例えばある地域の CO₂ の増加が大規模伐採によるものか工場や火山性の排出であるかの判別や、トウモロコシなど一年生植物と木材などの多年生植物の植生状態に関する情報は 14CO₂ の濃度変化を連続測定することで可能となることが期待される。さらに 14CO₂ に加え安定同位体の測定を組み合わせ

せることで、植物の生育年代や C3, C4 植物の判別による原料の部分的な同定が可能になることが期待される。

② 14C 計測装置の現状

以上のように、カーボンニュートラル社会の実現に向け、再生可能エネルギーの普及と共に化石原料の削減が求められる中、非化石原材料であるバイオマスプラスチックやバイオマス燃料などの普及促進に向けた取り組みが加速すると考えられるが、原料がバイオマス（非化石）由来か化石由来かを判別し、環境価値として可視化・データ化する計測手法の確立が急がれる。

昨年度は、この非化石認証に求められる計測手法に関して、現行の計測手法について調査し課題の洗い出しを実施、さらに AMS を使用した受託計測を行っている企業へのヒアリングを行った。その結果、現行手法では前処理方法や計測時間、測定コストなどに課題があることが分かった。また、今後の計測需要を鑑み、オンサイトでの新たな迅速計測手法に向けて要求される仕様案の検討を行った。さらに、多様なカーボンフットプリント算定のための複合計測についても検討を行った。

③ 炭素材料の由来認証に求められる計測手法

大気中の CO₂ には一定割合の 14C が含まれており、その割合は植物に固定化される。一方、化石由来の 14C は半減期 5,730 年でほぼ全量が崩壊しているため、14C 濃度を測定することにより非化石由来との判別ができる [48]。測定感度として大気中の 14C の濃度である 1×10^{-12} の 5% が測れることが求められる。14C 濃度測定法は米国試験材料規格 ASTM D6866-12, ヨーロッパ規格 CEN/TS16137, ISO 国際標準規格 ISO/CD16620 で規定されており、具体的な手法としては加速器質量分析法（AMS）、液体シンチレーションカウンタ法（LSC : Liquid Scintillation Counter）等がある。このうち AMS は試料を CO₂ に変換してさらにグラファイトに還元し、このグラファイトをイオン化して炭素 12, 13 及び 14 の割合が測定できる加速器にかけて質量分析し、14 C の割合を計測する。測定精度は 2% 以下と高精度であり、デファクトスタンダードとなっているが、設置には 100m² 以上が必要な大型で高価（数億円）な装置であり、保有している機関も限られる（国内で数台）。測定時間は数十分であるが、前処理のグラファイト化には数日を要する。専門のオペレータが必要であり、独自に調査したところ測定コストも 1 サンプルあたり約 7 万円と高額である。LSC は試料を CO₂ に変換し、さらにベンゼンに転換して液体シンチレータと混合してシンチレーションカウンタにかけ、14C 数をカウントする。外部放射線の影響を受けるため、完全なシールドが必要である。前処理としてベンゼンへの転換に数日以上時間を要すること、露光時間が 4 時間以上必要といった問題がある。以上のように現行計測手法の課題として、前処理の手間、測定時間、設置場所、運用コストなどが挙げられ、非化石認証で想定される原料の受け入れ、出荷品質保証、認証申請、抜き打ち検査、などの各シーンで必要となると考えられるオンサイトでの迅速な分析手法からは程遠いものとなっている。

大型の加速器や放射線測定に頼らない同位体分析法として、分子種の光吸収量の同位体依存性を利用したレーザー分光法が挙げられる。中でもキャビティリングダウン分光法（CRDS : Cavity Ring-Down Spectroscopy）は共振器内の分子吸収に依存する光子寿命を測定することで極めて高感度な分析を可能とした手法で、今のところ 14CO₂ が測定可能な唯一の分光法である。名古屋大学やイタリアの

ppqSense 社 [49]などで実際に 14C の測定が実施されており、LSC や AMS との比較によるバリデーションも行われている [50] [51]。現行手法と同様に前処理は試料を CO₂ に変換する必要があるが、測定時間は 10 分程度と見込まれている。近年、量子カスケード型半導体レーザー（QCL：Quantum Cascade Laser）や中赤外域の高感度光検出器、さらに高反射率ミラーなどの中赤外域光学素子の発展により CRDS の高感度化が進んでおり、非化石認証で必要とされる有力なオンサイト分析手法として注目される。

表 2 に現行計測手法と CRDS の比較を示す。迅速なオンサイト分析手法としては、測定感度および精度を確保しつつも、前処理に手間がかからず自動化が可能なおこと、測定時間が 10 分程度で済むこと、卓上サイズであることが求められると見られ、CRDS が最有力候補となる。

表 2 非化石認証のための分析手法の比較（独自調査結果）

	測定装置		
	AMS	LSC	CRDS
前処理	ガス化	ガス化	ガス化
	夾雑ガストラップ	夾雑ガストラップ	夾雑ガストラップ
	グラファイト化	ベンゼン変換	不要
前処理時間	約 2 日	～10 日	数時間
計測時間	10～30 分	4～12 時間	～10 分
測定感度 ^{※5, ※6}	10 ⁻¹⁵	10 ⁻¹³	10 ⁻¹⁴
測定精度	0.2%～2%	2%～5%	5%
測定コスト	1 サンプル：約 7 万円	—	—
設置サイズ等	大型施設（超高真空）	シールドが必要	テーブルトップ

※5：1950 年の 14C 濃度の 14C と 12C 比率：1×10⁻¹²

※6：10⁻¹⁴ ≒ バイオベース度 1%に相当

表 3 に CRDS の開発動向を示す。CRDS はこれまでに安定同位体や微量ガス分析向けの装置が開発され市販されているが、測定感度は最高でも 10⁻¹⁰ 程度であり、14CO₂ の分析用装置の実用化に向けて世界中で研究開発が行われている。イタリアの ppqSense 社はイタリア国立光学研究所の研究成果をもとにして、世界初の天然 14CO₂ 測定用 CRDS 装置を上市している [49]。飽和吸収を利用して高感度化を図っており、感度は 1×10⁻¹⁴ を達成している。夾雑ガスの影響を避けるためにガスを極低温に冷却しており、装置が大型化している。アメリカのローレンスリバモア国立研究所（LLNL）では、2 波長のレーザー光源を用いた高感度手法の研究が進んでおり、研究室レベルであるが常温での測定で（ガス冷却なし）0.7×10⁻¹⁴ の感度を実現している [52]。

量子カスケード型半導体レーザーでは、(株)東芝が NIMS, 東京工科大学, 東海大と共同で面発光型の中赤外発光素子の開発を行っている [53]。ビーム広がり角が小さいシングルモード出力が得られるので、装置の小型化に適している。今後の進展が期待される。

表3 CRDSの開発動向（独自調査結果）

	実施機関						
	Piccaro	Tiger Optics	神栄テクノロジー	ppqSense	LLNL	名古屋大学	本プロジェクト
所在国	米国	米国	日本	イタリア	米国	日本	—
測定対象	CH ₄ N ₂ O HF HCl 13CO ₂ 等	H ₂ O D ₂ O CO CO ₂ CH ₄ HF等	H ₂ O	14CO ₂	12CO ₂ 13CO ₂ 14CO ₂	12CO ₂ 13CO ₂ 14CO ₂	12CO ₂ 13CO ₂ 14CO ₂
測定感度※ 6	~10 ⁻¹⁰	~10 ⁻⁹	~10 ⁻⁸	1×10 ⁻¹⁴	0.7×10 ⁻¹⁴	2×10 ⁻¹³	<10 ⁻¹⁴
レーザー	近赤外 LD	近赤外 LD	近赤外 LD	中赤外 QCL	中赤外 QCL (2波長)	中赤外 QCL	面発光 QCL
サイズ mm	W 430 D 460 H 180	W 218 D 599 H 222	W 150 D 380 H 200	W 1940 D 1050 H 1560	—	—	テーブルトップ (目標) W1800 D1000
開発ステータス	製品	製品	製品	製品	研究	研究	提案
備考				世界初の天然 14C 用 CRDS 製品機 飽和吸収を利用	2波長 CRDS で高感度化 常温で天然 14C 計測を実現	外部共振器によりレーザー波長を精密制御	最新要素技術の集積でテーブルトップサイズのオンサイト測定装置を目指す

※6 : 10⁻¹⁴ ≒ バイオベース度 1%に相当（再掲）

④ 課題

上記の様に、バイオベース度の基準である 14C の従来の測定装置は大型高額であり、前処理や測定に日数がかかるといった問題があり、化石原料からの転換によるバイオマス導入量増加に対応するための簡便・迅速な評価手法としては不向きである。これにかわる新しい計測手法として CRDS を本プロジェクトでは候補として挙げた。最新の量子光デバイスの要素技術を集積したテーブルトップサイズのオンサイト測定装置の実現が目標となる。大がかりな冷却装置が不要で、光源や検出系の量子光デバイスをモリシックに集積化することにより大幅な小型化が可能であるとともに、システムの環境ノイズ耐性、動作温度範囲、堅牢性、コストなどの課題解決が期待される。さらに波長制御性が向上することで、広範囲のスペクトルを一度に取得することができ、14CO₂ と同時に安定同位体 CO₂ の測定をすることで 14C 比率の標準物質による校正が不要になる可能性がある。一次発生源からの CO₂ をフィールドにおいて直接オンサイト分析を可能にすることで、より確実な一次データの取得が初めて実現できる。

これらの実用化には現場使用に耐える信頼性・耐久性の確保が必要なのは言うまでもなく、小型・低コスト化と合わせて、基礎原理からデバイス、モジュール、装置にわたる総合的な基盤技術開発が必要となり、その

実現には産官学の連携が求められる。

また、産地やバイオベース由来の特定可能性の検証には、14Cによるバイオベース度測定に加えて、安定同位体や微量不純物の複合同時計測データの有効性検証が必要である。また、IoT センサーやモニターなどのデジタル化への取り組みも含め、炭素排出量の削減に向けた複合的な計測手法のニーズは高まると考えられ、求められる要素技術やデバイスなどの継続的な最新動向調査を進めることが求められる。

【4. 非化石認証共通データ連携の構築に向けて】

炭素の由来やそれを用いた原料、また流通も含めた利用などの幅広い領域において、新しい枠組みでの信頼性のあるエビデンスに基づくトレーサビリティを確保するためには、IoT や AI を利用しサイバー空間（仮想空間）とフィジカル空間（現実空間）を高度に融合させたプラットフォームの構築が必要となる。

国外では、欧州における「持続可能な製品のためのエコデザイン規則（ESPR）」の施行や「デジタルプロダクトパスポート（DPP : Digital Product Passport）」の導入 [8]、国内でも経済産業省主導によるサプライチェーン上のデータ連携の仕組みに関するガイドライン β 版（蓄電池 CFP・DD 関係）の公表等、様々な取組が進められている [23]。

その一例として、一般社団法人電子情報技術産業協会（JEITA）では、企業のカーボンニュートラル化の促進と産業・社会の変革につながる新たなデジタルソリューションの創出・実装に向けた活動を推進する場として「Green x Digital コンソーシアム」を設立している [10]。Green x Digital コンソーシアムでは、異なるソリューション間での CO2 データ連携の技術実証等を行い、本年 7 月には「CO2 可視化フレームワーク（Edition 2.0）」および「データ連携のための技術仕様（Version 2.0）」を公開している。これらの文書は先行する国際的な枠組みである WBCSD Partnership for Carbon Transparency（PACT）の Pathfinder Framework および Technical Specifications for PCF Data Exchange [54] を踏襲しており、本テーマで検討するプラットフォームの将来展開（国際連携・規格化）を見据えると、Green x Digital コンソーシアムの取組を念頭においてデータ連携などの仕様を検討することが望ましいと考えられる。Green x Digital コンソーシアム事務局へのヒアリングを行ったところ、取組の概要は以下のとおりであった。

<プラットフォームの構築等について>

- ・ Green x Digital コンソーシアムではデータ形式の共通化を行った上で、別途企業が提供しているプラットフォームへデータの引渡を行う。コンソーシアムとしてプラットフォームの構築を行うことは想定していない。
- ・ データ形式を共通化することで、異なるツールでもデータの相互連携を可能としている。

<データフォーマットについて>

- ・ 共通データフォーマットは「グローバル共通項目」と「Green x Digital コンソーシム独自項目」にわけて整理している。
- ・ グローバル共通項目は、原則として「Pathfinder Network Technical Specifications for PCF Data Exchange version 2.1.0」に定義されているデータモデルに準拠している。
- ・ Green x Digital コンソーシアム独自項目は、「CO2 可視化フレームワーク」におけるデータ活用等

を考慮して独自に追加した項目である。

- ・ 要求レベルは Mandatory（必須）、Optional（任意）、Recommendation（推奨）のいずれかであり、Mandatory であるものは、必ずデータに含まれていなければならない。

<データの信頼性の担保等について>

- ・ 将来的に第三者検証を推奨とする方針とし、信頼ある検証・監査法人の検査を受けて、証明付きでデータを引き渡すことを想定する。ただし、外部保証なしのデータの流通も妨げるものではなく、信頼性が低いデータの使用可否はユーザー側の判断に委ねる。
- ・ 検証の有無に加えて、データ品質を評価するレーティングを表示するルールとしている。評価結果無しで流通させることも妨げないが、スコア値でデータの品質水準がユーザーに伝わる仕掛けにしている。

<対象分野・製品について>

- ・ コンソーシアムは様々な業種が参加されているが、実証は製造業中心で実施している。始めから対象分野を広げて、様々な業種で進めることは困難。
- ・ まずはものづくりで実証し、これを参考に他の業種・サービスもそれぞれ類似の検討を進めていただくのがよいと考えている。

Green x Digital コンソーシアムの取組を参考に、本 WG においても独自のプラットフォーム自体の構築を目指すのではなく、他の取組等も視野に入れた上で「炭素材料の由来認証」の観点で取得すべきデータやその形式等について検討することが望ましいと判断した。

例えば、Green x Digital コンソーシアムではグローバル共通項目の必須レベルとして「biogenicCarbonContent（生物由来炭素含有量）や「fossilCarbonContent（化石燃料由来の炭素含有量）」、Green x Digital コンソーシアム独自項目の推奨レベルとして「gateToGateBiogenicCarbonContent（Gate-to-Gate での生物由来炭素の質量）」等が規定されており、同報告に用いる数値として、計測データを活用することが考えられる。また、上述のとおり、Green x Digital コンソーシアムでは将来的にデータの信頼性として第三者検証を推奨することや、データ品質を評価するレーティングを表示することとしているが、計測結果を第三者検証の補完/代替として用いることや、「品質の高いデータ」と見なすことの可否・見なすための要件について検討するとともに、Green x Digital コンソーシアム以外の取組との連携可否等についても、引き続き検討することとした。

【5. 提言の方向性】

<2030 年以降に想定される状況>

今後、世界的に GHG 削減が求められる中、プラスチックや化石燃料使用量の削減のため、リサイクルやバイオマスなどの非化石原材料への原料転換が極めて重要となる。昨年度はバイオマスプラスチックに着目したが、今年度は、バイオマスプラスチックおよびそのリサイクルに加え、燃料分野 [40]やエネルギー分野 [55]も重要な領域であり議論を進めた。

今後ますます原料転換の実現に向けた多くの議論が行われる中で、炭素の由来認証は化石由来の CO2 削減に関して非常に重要な環境価値の指標の一つとなる。欧州ではこのような環境価値に関して、実態が伴わない環境主張「グリーンウォッシュ」が横行するのを避けるために、2023 年 3 月、欧州委員会から「欧州グリ

ークレーム（環境主張）指令案」[23]が発表された。この中では、環境クレームの立証に関する要件として、

- ・ 認められた科学的証拠と最先端の技術的知識に依存すること
- ・ ライフサイクルの観点から見た影響や側面
- ・ パフォーマンスの重要性を示すこと
- ・ 正確な一次情報または二次情報を含むこと

などが述べられている。今後、多くの環境価値の高い製品が上市される中で、将来的に欧州では従来法より厳密な炭素の由来認証とトレーサビリティが求められる可能性が高いと思われる。これらは欧州にとどまらず、世界的な動きになると考えられる。例えば、バイオマスプラスチックについてはバイオベース度だけでなく、材料の種類・産地・加工工程などのフェアトレード的な観点も入れた証書が伴って販売・流通されることがユーザーに対する責任として製品スペックになることも考えられる。これは燃料分野やエネルギー分野でも同様である。

今後訪れるルールチェンジに対し、これらの分野で世界の先頭に立つためには、オンサイトでのバイオベース度実測とそのデータの流通が非常に重要となる。日本が先導し、エビデンスに基づいたデータを流通させ、原料転換を後押しし、産業活動を停滞させずに脱炭素社会・循環型社会を進めることは、日本の産業競争力強化につながると考える。

<産業競争力強化のための提言および施策>

今後訪れる脱炭素社会に向け、炭素の由来認証を基軸に、データの流通や利用を含めた炭素の流れを計測・可視化し、エビデンスに基づくトレーサビリティを含めたシステムに貢献する。これは、脱炭素社会の主役である最終消費者へ正しい情報を提供し、環境価値の高い製品を選んでいただくために必須である。さらに企業にとって、一次データに基づく正確なカーボンフットプリント（CFP）の把握が可能となり、環境への取組や貢献度を可視化し、さらにトレーサビリティを確保することで製品価値の向上と偽造やグリーンウォッシュの対策が可能となる。

環境価値を経済価値として転換するには困難が伴うが、非化石原材料利用による CO2 削減効果を「削減貢献量」（≒Scope 1～3 における削減）として価値化することで、炭素の由来認証に「削減貢献量」の概念を適用し、業界各社の ESG 情報開示に活用可能となる。加えて、バイオマス関連商品の利用を促進するためにインセンティブ（規制、補助金や税制上の優遇など）が適用されれば、企業の環境対策活動を後押しすることにつながる。ただし、環境価値製品の導入促進には経済価値だけでなく社会受容性も大きく影響し、サプライチェーン全体からエンドユーザーまでの啓蒙活動も必要であり、今後社会全体での取り組みが求められる。

また、炭素を含む多くの取り組みに関しては、国内にサーキュラーエコノミー関連の多くのプラットフォームが検討、または実装されている中で、個別ではなく連携することが非常に重要である。

今後、脱炭素社会に向け日本の産業競争力を強化するためには、非化石原材料の利用と言う視点で、バイオベース度の正確な計測、データのトレーサビリティ確保が重要なポイントであり、以下の施策について具体的に提言としてまとめた。

1. オンサイト計測装置の開発

非化石由来の炭素を各工程で正確に計測するための安価で小型のオンサイト装置の開発が求められる。

CRDS は高感度で迅速な 14C 計測が可能であり、製造現場や流通現場での即座のデータ取得が可能となる。これにより、非化石原材料の使用を証明する手段や工程のフィードバック、連続モニタリング等としての使用において、一貫した自動化が手間や時間、コストの削減につながる。

2. カーボンフットプリント（CFP）の正確な把握

企業が提供する製品やサービスの CFP を一次データに基づき正確に算出し、その数値を製品に明示することが重要である。これにより、消費者にとって環境価値の高い製品を選択するための指針となり、企業の環境対策効果や競争力向上にも寄与する。

3. エビデンスに基づくトレーサビリティシステムの構築

証明書の偽造を防ぐためにも、トレーサビリティシステムの整備が必須である。バイオ燃料やバイオマスプラスチックの利用を証明するデータベースや追跡システム等、他に存在する多くのプラットフォームと連携し、これを産業全体に導入することで、非化石原材料の使用を科学的に証明し産業全体の透明性を確保する。

4. インセンティブの適用

非化石原材料の利用を促進するために、規制や補助金、税制優遇などのインセンティブを提案する。これにより、企業がより積極的に環境価値の高い製品を導入しやすくなる。特に、非化石原材料の使用を奨励するための税制優遇措置の導入や、消費者へのポイント制度などが有効である。

5. バイオベース度の認証と標準化

CRDS でのバイオベース度の計測による非化石原材料の使用を証明し、その認証のためにバイオベース度を求める測定手段の一つとして国際標準化（ISO1662-2）を行うとともに、認証標準物質を用いた計測プロトコルによる一貫した基準に基づく統一されたシステムを構築する。

6. 国際連携の強化

欧州をはじめとする厳しい環境規制に対応するため、国際連携を強化し、情報共有と技術交流を進める。これにより、日本国内の技術水準を国際的に維持し、環境価値の高い製品の国際市場への展開を後押しする。

これらの施策は、非化石原材料の利用を拡大し、企業の環境貢献度を高めるとともに、本分野で世界の先頭に立ち、オンサイトでのバイオベース度実計測とプラットフォームによるデータ流通により、エビデンスに基づいた取り組みを進めることで、産業活動を停滞させずに脱炭素社会・循環型社会を進めることが日本の産業競争力強化につながると考える。

【6. 今後の課題と展開】

本推進テーマは、昨年度の WG を再編し、二つの WG とし活動を開始した。今年度の WG 活動は、バイオマスプラスチックや燃料、エネルギー分野の国内外の動向（規制、標準化、社会受容性）の調査、およびオンサイトで使用可能な小型・自動・安価な装置を実現するための計測システムの開発仕様の策定に向けた議論を進めた。推進テーマの出口として、まずは 2030 年以降のバイオマスプラスチック本格導入社会に対応できるシステムの制度設計を行い、以下の公的プロジェクトの獲得を目指した。

- (i) 欧州を中心とした制度調査を含むプロジェクト

(ii) オンサイト計測を目的とした卓上 CRDS の開発プロジェクト

(i) については、経産省の「令和 7 年度に国が実施すべき／後押しすべき標準化テーマ等に関する調査」[56]への情報提供を検討したが、計測システムとの連携が必要であり、現段階では時期尚早と判断した。本推進テーマの実用化や社会実装を目指すには、標準化が極めて重要であり、海外との連携が不可欠である。しかし、欧州や米国などの海外の動向は不安定で予測が難しい部分も多いため、特に欧州の動向には柔軟に対応しながら今後検討を進める。

また、(ii) については、NEDO の「NEDO 先導研究プログラム／新技術先導研究プログラム」に関する情報提供依頼 (RFI) について [11] に対して、2040 年以降の実用化・社会実装の実現に資する技術シーズ技術を提供した。残念ながら 2025 年度の公募する研究開発テーマの中に本件は含まれるまでには至らなかった [12]。

しかし、本推進テーマの 2 年間の活動により、バイオマス計測の必要性に関して周知された結果により、下記の 2 件のプロジェクトへ関わることができた。

- ① 令和 6 年度脱炭素型循環経済システム構築促進事業（うち、プラスチック等資源循環システム構築実証事業）：「化石資源由来プラスチックを代替する省 CO2 型バイオプラスチック等（再生可能資源）への転換及び社会実装実証事業」、環境省、受託：公益財団法人京都高度技術研究所、令和 6 年 [13]
- ② 特定新需要開拓事業活動計画認定制度、経済産業省 イノベーション・環境局 基準認証政策課 [14]

今後は、上記プロジェクトに参画を継続し、他のプロジェクトと連携しながら、将来的にバイオ燃料やバイオマスプラスチックの本格導入社会に対向け、14C 計測による炭素材料の由来認証を行い、原材料の由来や流通、利用などの幅広い領域において、エビデンスに基づいたトレーサビリティを確保したデータ流通を促進させることで、非化石由来の原材料への材料転換を促進し、温室効果ガス (GHG) 排出量の削減と脱炭素社会の実現に貢献する

本推進テーマ活動を含む次年度以降のロードマップ案を図 5 に示した。来年度以降は、オンサイト計測可能な装置の開発が重要であり装置開発を加速する。また、データ連携に関しては、グリーン×デジタルコンソーシアムとの連携を含め検討を行い、プラスチックのリサイクルやバイオ燃料についても検討を続ける。

カーボンニュートラルに向けて、計測データを含む多くの情報がエビデンスをもとに最終製品のスペックとして最終ユーザーに届くよう、計測装置やデータ連携、認証および標準化など、さまざまな課題に対して、他の国内プロジェクトと連携を進め、2030 年度以降の全国的な社会実装を目指す計画である。

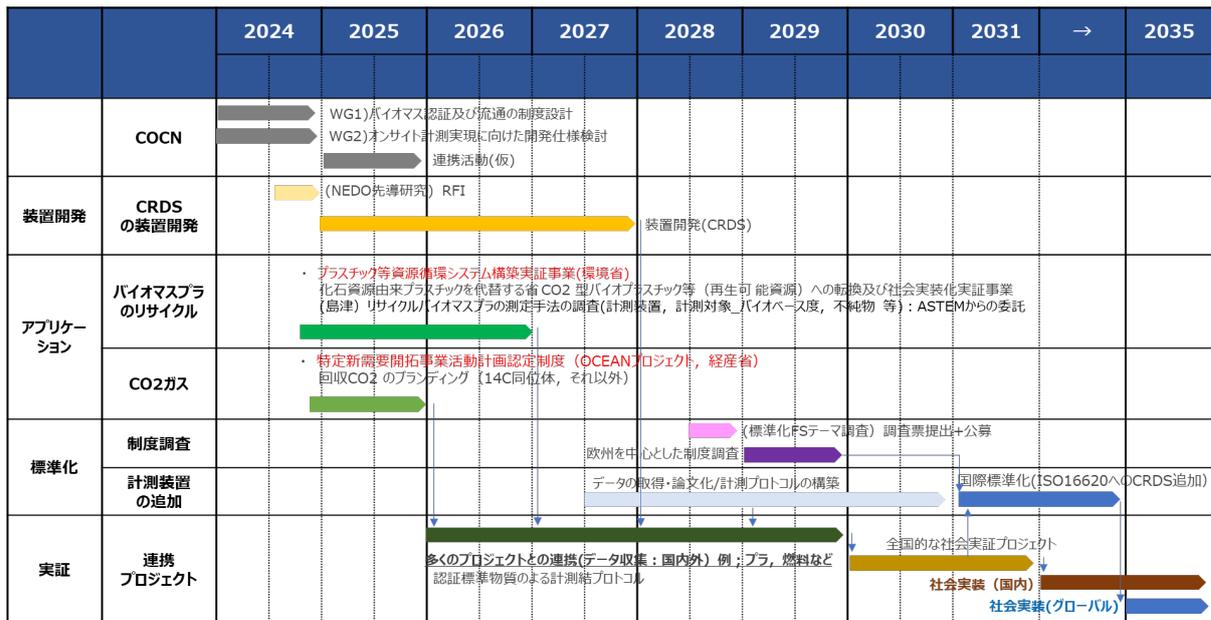


図5 次年度以降のロードマップ案

以上

【参考文献】

- [1] 統合イノベーション戦略推進会議, “バイオエコノミー戦略,” 2024年6月3日.
- [2] 環境省環境再生・資源循環局, “持続可能な航空燃料（SAF）について,” 27 6 2022.
<https://www.env.go.jp/content/000044157.pdf>
- [3] 資源エネルギー庁 資源・燃料部 燃料供給基盤整備課, “自動車用燃料（ガソリン）へのバイオエタノールの導入拡大について,” 11 11 2024.
https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shigen_nenryo/nenryo_seisaku/pdf/017_03_00.pdf
- [4] European Bioplastics e.V., “BIOPLASTICS MARKET DEVELOPMENT UPDATE 2023,” 12 2023.
https://docs.european-bioplastics.org/publications/market_data/2023/EUBP_Market_Data_Report_2023.pdf
- [5] European Bioplastics e.V., “BIOPLASTICS MARKET DEVELOPMENT UPDATE 2024,” 12 2024.
<https://www.european-bioplastics.org/bioplastics-market-development-update-2024/>
- [6] 消費者庁, 外務省, 財務省, 文部科学省, 厚生労働省, 農林水産省, 経済産業省, 国土交通省, 環境省, “プラスチック資源循環戦略,” 31 5 2019.
<https://www.env.go.jp/press/files/jp/111747.pdf>
- [7] スターバックス コーヒー ジャパン 株式会社, “プレスリリース（2025年度）,” 06 12 2024.
https://www.starbucks.co.jp/press_release/pr2025-5333.php
- [8] 欧州員会, “Ecodesign for Sustainable Products Regulation,” 2024年7月18日.
- [9] 一般社団法人電子情報技術産業協会, “Green x Digital コンソーシアム, 「CO2 可視化フレームワーク（Edition 2.0）」および「データ連携のための技術仕様（Version 2.0）」を公開,” 29 7 2024.
<https://www.jeita.or.jp/japanese/topics/2024/0729.pdf>
- [10] 一般社団法人 電子情報技術産業協会, “Green x Digital コンソーシアム,”
<https://www.gxdc.jp/>
- [11] 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構, “「NEDO 先導研究プログラム／新技術先導研究プログラム」に係る情報提供依頼（RFI）について,” 2024年7月1日.
https://www.nedo.go.jp/koubo/SM2_100001_00072.html

- [12] 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 フロンティア部 先導研究ユニット, “2025 年度「NEDO 先導研究プログラム／新技術先導研究プログラム及びフロンティア育成事業」に係る公募について（予告）,” 27 12 2024.
https://www.nedo.go.jp/koubo/SM1_100001_00084.html
- [13] 環境省 環境再生・資源循環局総務課 容器包装・プラスチック資源循環室, “令和 6 年度脱炭素型循環経済システム構築促進事業（委託）の 公募結果について,” 26 8 2024.
https://www.env.go.jp/press/press_03599.html
- [14] 経済産業省 イノベーション・環境局 基準認証政策課, “特定新需要開拓事業活動計画認定制度,” 30 9 2024.
https://www.meti.go.jp/policy/economy/hyojun-kijun/katsuyo/ocean_project/
- [15] 資源エネルギー庁, “2050 年カーボンニュートラルを見据えた 2030 年に向けたエネルギー政策の在り方,” 2021 年 4 月 28 日.
- [16] 環境省, “IPCC 第 6 回評価報告書の概要－統合報告書－,” 2023 年 11 月.
- [17] WORLD RESOURCES INSTITUTE, “World Greenhouse Gas Emissions by Sector 2021 (Sunburst chart),” 6 12 2024.
<https://www.wri.org/data/world-greenhouse-gas-emissions-sector-2021-sunburst-chart>
- [18] 国際民間航空機関, “2050 年までに, 航空業界がネットゼロを達成するためには,” 7 10 2022.
<https://www.icao.int/Newsroom/Pages/States-adopts-netzero-2050-aspirational-goal-for-international-flight-operations.aspx>
- [19] J. R. B. JR, *Advancing Biotechnology and Biomanufacturing Innovation for a Sustainable, Safe, and Secure American Bioeconomy*, THE WHITE HOUSE, 2022 年 9 月 12 日.
- [20] 農林水産省, “みどりの食料システム戦略,”
<https://www.maff.go.jp/j/kanbo/kankyo/seisaku/midori/>
- [21] 経済産業省, 環境省, “カーボンフットプリント ガイドライン,” 5 2023.
https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/carbon_footprint/pdf/20230526_3_1.pdf
- [22] 令和 4 年度 マスバランス方式に関する研究会, “マスバランス方式を用いてバイオマス由来特性を割り当てたプラスチックの考え方について,” 2022.
<https://www.env.go.jp/content/000142721.pdf>
- [23] 欧州委員会, “Proposal for a Directive on Green Claims,” 22 3 2023.
<https://environment.ec.europa.eu/publications/proposal-directive-green->

claims_en

- [24] 資源エネルギー庁 資源・燃料部, “合成燃料 (e-fuel) の導入促進に向けた官民協議会,” 2023年6月30日.
https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/e_fuel/pdf/2023_chukan_torimatome.pdf.
- [25] 資源エネルギー庁, “石油製品の品質確保について,”
https://www.enecho.meti.go.jp/category/resources_and_fuel/distribution/hinnakakuhou/
- [26] The California Air Resources Board, “Low Carbon Fuel Standard,”
<https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/low-carbon-fuel-standard>
- [27] “日本バイオマスプラスチック協会,” , <https://www.jbpaweb.net/>
- [28] “一般社団法人日本融資資源協会,” , <https://www.jora.jp/>
- [29] “BioPreferred,” , <https://www.biopreferred.gov/BioPreferred/>
- [30] “OK Biobased,” , <https://www.tuv-at.be/okcert/certifications/ok-biobased/>
- [31] “DIN CERTCO,” , <https://www.dincertco.de/din-certco/en/main-navigation/products-and-services/certification-of-products/packaging/biobased-products/>
- [32] “ISO 16620-2:2019 Plastics — Biobased content Part 2: Determination of biobased carbon content,” , <https://www.iso.org/standard/72474.html>
- [33] “ISO 19984-2:2017 Rubber and rubber products — Determination of biobased content Part 2: Biobased carbon content,”
<https://www.iso.org/standard/66787.html>.
- [34] 日刊繊維総合誌 繊維ニュース, “化繊協会 ISO提案を推進,” 2024年4月18日.
- [35] 株式会社プライムポリマー, “マスバランス方式によるバイオマス PP「Prasus®」を採用した日本生協連の食品パッケージがマスバランス方式初のエコマーク取得,”
https://jp.mitsuichemicals.com/jp/release/2023/2023_0712_1/index.htm
- [36] 環境省, “プラスチックに係る資源循環の促進等に関する法律の概要,” 6 2021.
<https://www.env.go.jp/content/000050286.pdf>.
- [37] 経済産業省 産業技術環境局, “サーキュラーエコノミーに関する産官学のパートナーシップについて,” 12 2023.
<https://www.meti.go.jp/press/2023/12/20231226005/20231226005-2.pdf>.
- [38] サーキュラーパートナーズ, “サーキュラーパート HP,” 3 2024., <https://www.cps.go.jp/>.
- [39] “Catena-X,” , <https://catena-x.net/en/>.

- [40] 日刊工業新聞, “エネ庁, バイオエタノール利用拡大 混合燃料「E10」に導入目標,” 2024年8月14日., <https://www.nikkan.co.jp/articles/view/00721436>.
- [41] 日本経済新聞, “ノーベル物理学賞の真鍋氏, 「温暖化の科学」の礎築く,” 5 10 2021. <https://www.nikkei.com/article/DGXZQODK020RN0S1A001C2000000/>.
- [42] 向井人史, 荒巻能史, 寺尾有希夫, 野村渉平, 環境省 国立研究開発法人国立環境研究所 環境計測研究センター 動態化学研究室 遠嶋康徳・保科優, 地球環境研究センター エミッションインベントリー連携グループ 野尻幸宏, 地球環境研究センター 炭素循環研究室, “炭素循環の気候応答解明を目指した大気中酸素・二酸化炭素同位体の統合的観測研究,” 2018年.
- [43] 環境省, “マスバランス方式に関する国内外の状況等,” 6 2023. <https://www.env.go.jp/content/000143869.pdf>
- [44] 国立大学法人 大阪大学, “令和2年度<脱炭素社会を支えるプラスチック等資源循環システム構築実証事業> (オールバイオマスプラからなる耐衝撃性樹脂の開発と用途展開) 委託業務成果報告書,” 2021年3月. https://www.env.go.jp/content/900535569.pdf?glarity_translate=1.
- [45] 環境省大臣官房環境経済課, “環境物品等の調達推進に関する基本方針,” 2022年2月. https://www.meti.go.jp/information/publicoffer/koji/2022/downloadfiles/20221021_1_6.pdf.
- [46] “タイで SAF 生産 廃油からサトウキビから,” NHK おは Biz, 2024年6月20日. [https://www3.nhk.or.jp/news/contents/ohabiz/articles/2024_0620.html.
- [47] 経済産業省プレス発表: DX 実現に向けた投資促進策を具体化する「分野別投資戦略」を取りまとめました, “参考資料 (持続可能な航空燃料 (SAF)) ,” 2023年12月22日.
- [48] M.Kunioka, “Measurement Methods of Biobased Carbon Content for Biomass - Based Chemicals and Plastics,” *RADIOISOTOPES*, 第 巻 62, pp. 901-925, 2013.
- [49] “ppqSense S.r.l.,” , <https://www.ppqsense.com/>.
- [50] e. a. V. Sonnenschein, “A cavity ring-down spectrometer for study of biomedical radiocarbon-labeled samples,” *J. Appl. Phys.*, 第 巻 12, 2018.
- [51] e. a. Maria Giulia Delli Santi, “Precise radiocarbon determination in radioactive waste by a laser-based spectroscopic technique,” *PNAS ,APPLIED PHYSICAL SCIENCES*, 第 巻 119, 第 28, 2022.
- [52] A. D. M. Jun Jiang, “Mid-infrared trace detection with parts-per-quadrillion quantitation accuracy: Expanding frontiers of radiocarbon sensing,” 2024年3月21日. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38513090/>.
- [53] S. Saito, R. Hashimoto, K. Kaneko, T. Kakuno, Y. Yao, N. Ikeda, Sugimoto, T.

Mano, T. Kuroda, H. Tanimura, S. Takagi, and K. Sakoda, "Design and fabrication of photonic crystal resonators for single-mode and vertical surface emission from strain-compensated quantum cascade lasers operating at 4.32 μ m," Appl. Phys. Express 14, 2021.

- [54] World Business Council, "Pathfinder Framework Guidance for the Accounting and Exchange of Product Life Cycle Emissions Version 2.0,"
<https://www.wbcsd.org/wp-content/uploads/2023/01/PACT-Pathfinder-Framework-WBCSD.pdf>.
- [55] みずほリサーチ&テクノロジーズ, "第10回 メタネーション推進官民協議会 欧州の政策等動向と欧州バイオメタンGO制度について," 2023年2月24日.
https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/methanation_suishin/pdf/010_04_04.pdf.
- [56] 経済産業省, "令和7年度に国が実施すべき/後押しすべき標準化テーマ等に関する調査,"
<https://www.meti.go.jp/policy/economy/hyojun-kijun/chousa/index07.html>.

一般社団法人 産業競争力懇談会（COCN）

〒100-0011 東京都千代田区内幸町 2-2-1

日本プレスセンタービル 6階

Tel : 03-5510-6931

E-mail : jimukyoku@cocn.jp

URL : <http://www.cocn.jp/>

事務局長 山口雅彦