

【産業競争力懇談会 2021年度 研究会 中間報告】

【緑のエコシステム研究会】

2021年10月15日

産業競争力懇談会 **COCN**

【エクゼクティブサマリー（中間）】

緒言および検討の方向性

地球温暖化を制御するには、CO₂の累積排出量を制限する必要がある。CO₂正味ゼロ排出を達成し、他の温室効果ガスも大幅に削減する必要がある。森林のもつ災害防止、生物多様性、食料確保、疾病の抑制にくわえCO₂の吸収・蓄積能力が重要である。

森林における二酸化炭素の吸収促進と都市における炭素固定の長期化という観点から対策を検討した。すなわち森林での伐採が進めば新たな植林も可能となり、さらなる二酸化炭素の固定につながる。

木材の耐久財としての多面的活用：バイオマス・プラスチック

木材から得られる木質バイオマスを原料とするプラスチックの開発が進められている。木材を原料とするもので、長期の炭素固定に寄与すると考えられる。木材を精製しセルロースやヘミセルロースを高分子として活用するほか、低分子に還元して高機能のプラスチックを製造する技術開発が必要。

早生樹や高機能樹の育種と活用による、森林サイクルの短期化と二酸化炭素吸収の効率化

日本の人工林は50年ないし70年と言われている。社会・経済情勢の変化により、経営が困難となっていて二酸化炭素の吸収率が落ちている。早生樹による森林サイクルの短期化と二酸化炭素を高効率で吸収する樹木の育種を図るべきである。

森林や木材の二酸化炭素経済への適応

森林や木材のもつ二酸化炭素吸収・固定化能力の経済的価値に注目が寄せられている。欧州を中心に炭素税や国境取引調整金など、二酸化炭素の排出に厳しい賦課が検討されている。環境問題に取り組む企業や事業に対する投資は巨額に達している。森林のもつ二酸化炭素吸収能を合理的に炭素経済に組み込むべきである。

森林の二酸化炭素吸収量の正確な把握

森林の二酸化炭素吸収量は、対象森林地域から樹木をサンプリングして推定している。今後、より簡易な方法で高い精度の吸収量が求められると考えられている。高精度レーザーやAIを用いた樹種の判定など、ビッグデータ化の推進が期待される。

今後の検討課題

* クレジット取得の増大促進につながる諸課題

森林経営におけるDX化

固定二酸化炭素（耐久木材、木質バイオマスプラスチック）のトラッキング：

マイクロチップ、IoT、マッピング、ライフサイクルアセスメント（LCA）

二酸化炭素債権の信頼性保証：小口化、ブロックチェーン、見える化、永続性

二酸化炭素債権の流通市場：製品への価値付与、電子市場、

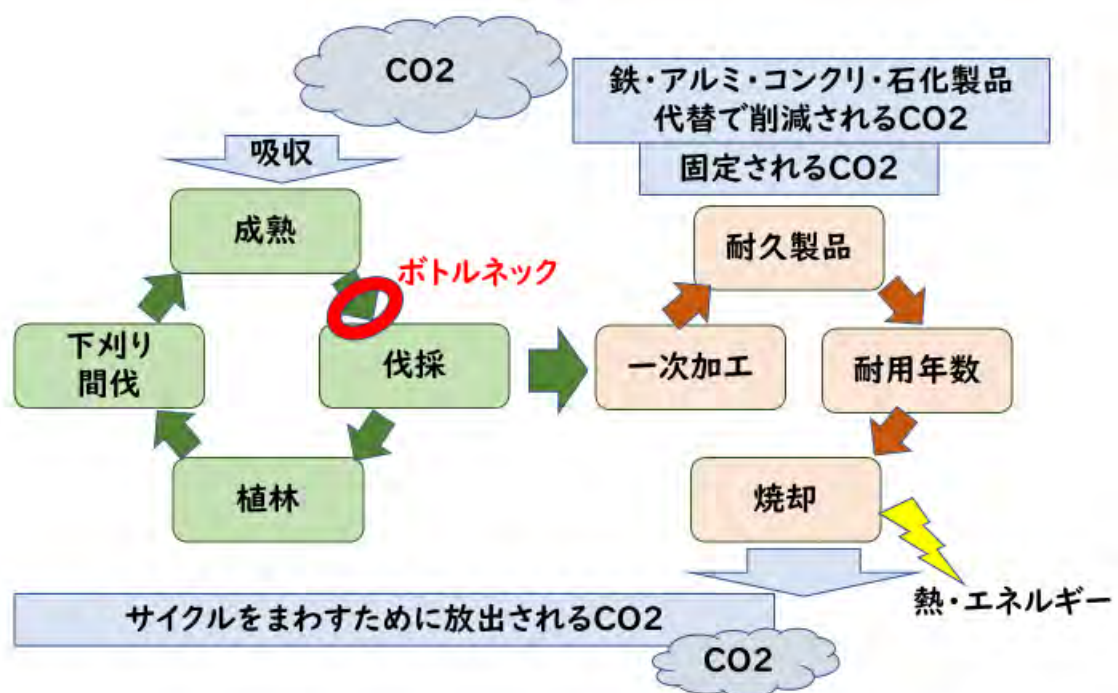
現金・ポイント・仮想通貨との交換

最終処分時の減価対応：熱・エネルギーの販売

- * インフラストラクチャー構築と運用にかかるコストと CO2 負荷
- * 林業経営の健全化(高収益化)とクレジット取得の両立
- * システムの構築、運用への SDGs 関連資金の導入とリターン
- * 企業や政府、自治体の巻き込みなど

提言の方向性

- * 高規格木質バイオマス・プラスチックの大量製造を可能とする、木質原材料のロジスティクスと化学製造過程の検討
- * 二酸化炭素経済における森林・木材の二酸化炭素吸収・固定化能力のグローバルな債権化と森林への還流を可能とする、技術的インフラストラクチャー構築の検討
- * スギ・ヒノキ一辺倒だったこれまでの林業のありかたとは一線を画する新しい技術(早生樹種、バイオテクノロジー、自動化、IT/AI・遠隔管理など)を導入した新林業体系の検討



【目次】

プロジェクトメンバー	2
緒言	5
活動状況について	6
検討の概要	6
木材の耐久財としての多面的活用：バイオマス・プラスチック	8
早生樹や高機能樹の育種と活用による、森林サイクルの短期化と二酸化炭素吸収の効率化 ...	10
森林や木材の二酸化炭素経済への適応	11
森林の二酸化炭素吸収量の正確な把握	12
今後の検討課題	13
提言の方向性	13
参考資料	14

【プロジェクトメンバー】

京都府立大学	生命環境科学研究科 森林資源循環学研究室	教授	宮藤 久士*
第一三共株式会社		顧問	久保 祐一**
ENEOS 総研株式会社	エネルギー経済調査部	副部長	磯田 洋一
かたばみ興業株式会社	緑化造園本部	山林部長	馬場 崇
かたばみ興業株式会社	緑化造園本部	取締役執行役員 本部長	山口 充博
鹿島建設株式会社	環境本部地球環境室	次長	亘理 篤
鹿島建設株式会社	技術研究所	主席研究員	越川 義功
株式会社 小松製作所	CTO 室	フェロー	石野 力
株式会社 小松製作所		顧問	高村 藤寿
AIST_産業技術総合研究 所	生命工学領域 生物プロセス研 究部門 植物機能制御研究グループ	グループ長	光田 展隆
AIST_産業技術総合研究 所	生命工学領域 研究企画室	研究企画室長	千葉 靖典
AIST_産業技術総合研究 所	地質調査総合センター研究戦略 部	イノベーションコ ーディネータ	張 銘(ちょうめい Zhang Ming)
NEDO_新エネルギー・ 産業技術総合開発機構	TSC バイオエコノミーユニット	ユニット長	水無 渉
第一三共株式会社	サステナビリティ推進部 環境 経営・グローバルヘルスグルー プ	グループ長	上原 勉
株式会社 地球快適化イ ンスティテュート	フューチャーデザイン室	シニアリサーチャ ー	安部 陽子
日本電気株式会社	事業インキュベーション本部	上席事業創造プロ フェッショナル	遠山 みず穂
日本電気株式会社	システムプラットフォーム研究 所		辻 正芳
日本電気株式会社	システムプラットフォーム研究 所		田中 修吉
日本電気株式会社	政策渉外部		橋本 宜明
日本電気株式会社	NECソリューションイノベー タ	プロフェッショナ ル	深田 彰

	第二PFソフトウェア事業部		
日本電気株式会社	NECソリューションイノベータ 第二PFソフトウェア事業部	主任	川崎 貴夫
株式会社 パスコ	事業統括本部 森林プロジェクト推進部		高岸 且
株式会社 日立製作所		アドバイザー	小塚 潔
株式会社 日立製作所	エネルギーセクター 経営戦略本部 コミュニケーション・渉外部	ビジネスエキスパート	菊地 達朗
富士通株式会社	富士通研究所研究本部データ&セキュリティ研究所	特任研究員	佐藤 裕一
富士通株式会社	サステナビリティ推進本部環境統括部環境エンジニアリング部		小林 悠治
みずほリサーチ&テクノロジー株式会社（J-クレジット制度事務局）	環境エネルギー第2部 環境エネルギー政策チーム		加藤 史浩
みずほリサーチ&テクノロジー株式会社（J-クレジット制度事務局）	環境エネルギー第2部		桂 貴暉
みずほリサーチ&テクノロジー株式会社（J-クレジット制度事務局）	環境エネルギー第2部		荻田 竜史
株式会社 三菱総合研究所	サステナビリティ本部	主任研究員	上條 善康
株式会社 三菱総合研究所	サステナビリティ本部	主任研究員	宮崎 昌
三菱電機株式会社	先端技術総合研究所ソリューション技術部	主席技師長	森 一之

*リーダー、**サブリーダー

事務局一覧（敬称略）

鹿島建設株式会社		執行役員 技師長	森山 善範
ソニーグループ株式会社		主席技監	島田 啓一郎
日本電気株式会社			武田 安司
第一三共株式会社	渉外部渉外グループ	主幹	三浦 慎一

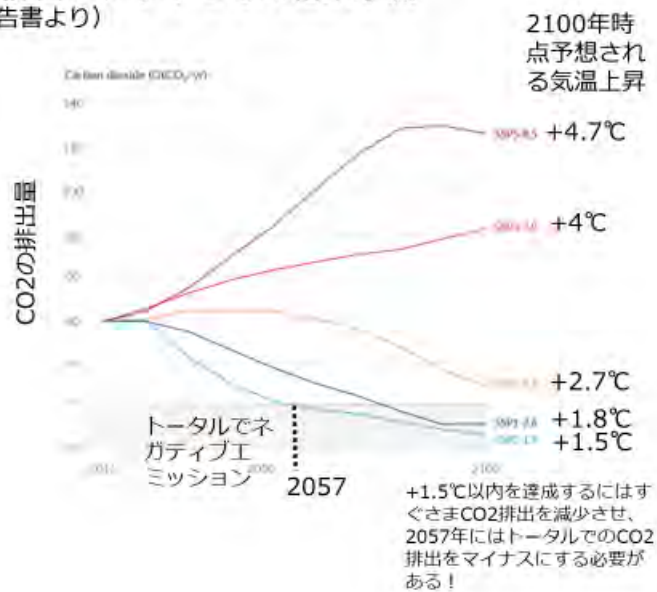
トヨタ自動車株式会社	未来創生センター R-フロンティア部	主査／担当部長	佐藤 桂樹
株式会社 東芝			五日市 敦
COCN		事務局長	山口 雅彦

【本文】

緒言

本年8月、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）は第6次評価報告書（第1作業部会報告書（自然科学的根拠））を発表した。報告書は「人間の影響が大気、海洋及び陸域を温暖化させてきたことには疑う余地がない」とし、「自然科学的見地から、人為的な地球温暖化を特定のレベルに制限するには、CO₂の累積排出量を制限し、少なくともCO₂正味ゼロ排出を達成し、他の温室効果ガスも大幅に削減する必要がある。」と断じた。（図1）

図1 CO₂排出シナリオとその結果予測
（IPCC 6次報告書より）



自然界における二酸化炭素の主な吸収源は海洋と森林であることが知られている。しかし森林は世界の陸地の4分の1を占めるに過ぎない。古代文明の栄えた中国、メソポタミア、地中海沿岸などは、過度な樹木の伐採により砂漠や岩山となってしまった。現在は熱帯雨林のプランテーション化や放牧地などへの土地利用変化、パルプやバイオマス燃料用を含む違法伐採により、グローバルに森林の荒廃が進んでいる。すなわち、動物の生活や自然災害（火山、山火事など）で排出されたCO₂を、海洋の藻類や海草、森林が吸収し、長期的な均衡を保つべきであるところ、人類が過去に排出してなお排出しつつあるCO₂が多すぎて昨今の課題に至っている。

日本は国土の7割が森林の森林国である。森林面積は2500万ヘクタールであるが、国民一人あたりは0.2ヘクタールで世界平均（0.6ヘクタール）より大幅に少ない。そのうち人工林は森林総面積の4割にあたる約1000万ヘクタールである。人工林の多くは戦後の植林活動による針葉樹（スギ、ヒノキなど）が主体であるが、近年の木材価格の下落により伐採が滞り、高

樹齢化が進んでいる。また林業従事者が減少し、森林の間伐や下刈などの手当てが十分にできず、荒廃しつつある。

森林は、木材の供給源のほか、キノコや野草などの食料、酸素の供給や大気の浄化、治水や防災などの国土のレジリエンス、生態の多様性など自然の保持、また人々に安らぎの場を提供するなど、多面的な効用を維持するためにも、しっかりと守っていく必要がある。

一方、二酸化炭素の排出に課金する世界的な流れがある。いわゆる炭素税や国境調整金など、二酸化炭素の排出源に対して、排出量に応じた負担を求めるものである。日本では地球温暖化対策税や化石燃料・原料の使用にかかる諸税がある。これに呼応して、二酸化炭素の吸収・固定に対して、価値を付与する仕組みが取り入れられている。日本の森林については、植林などの二酸化炭素吸収量増大分について価値を付与する J-クレジット制度が運用されている。すなわち、二酸化炭素の排出は負の価値を、二酸化炭素の吸収・固定は正の価値を持ち、二酸化炭素吸収・固定能は資産と考えることができる。

我々はこうした仕組みが将来なんらかの形でグローバルに展開するものと予測し、将来的に必要な技術的インフラを整えることが、日本の産業力の強化と地球温暖化防止に寄与するものと考え、本研究会で検討を進めることとした。

なお、森林のもつ災害防止、生物多様性、食料確保、疾病や健康被害の抑制、観光などの特性は重要であり、これらの特性に悪影響を与えない対応が必要であることを前提とした。

本中間報告書では、最終的な提言にむけた本研究会活動の現況と今後の方向性について報告する。

活動状況について

本研究会立ち上げ時の当初の活動方針について、資料1に添付した。

研究会は以下のとおり開催し、テーマごとに有識者の発表に続いて、メンバー間で総合的に討論した。(いずれも2021年)

第一回 6月29日 研究会の方針説明と各自自己紹介

第二回 7月12日 J-クレジットについて 馬場崇氏(かたばみ興業)、加藤史浩氏(J-クレジット制度事務局)

第三回 7月30日 バイオマス・プラスチックについて 宮藤久士教授(京都府立大)、光田展隆氏(AIST_産業技術総合研究所)、田中修吉氏(日本電気株式会社)

第四回 8月26日 リモートセンシング技術について 高岸且氏(株式会社パスコ)

第五回 9月14日 ライフサイクルアセスメントとブロックチェーンについて 加用千裕准教授(東京農工大)、深田彰氏(日本電気)

検討の概要

森林(人工林)は植林、下刈、間伐、伐採のサイクルにより、高効率で二酸化炭素を吸収し、樹林として固定することが知られているが、近年では主に国内林業の低生産性に起因する輸入材に

対する国産材の価格競争力の低下とそれに伴う林業の衰退により、樹木の伐採と木材の搬出が滞っていると考えられる。(図2)

図2 樹木の伐採と木材の搬出が滞っている



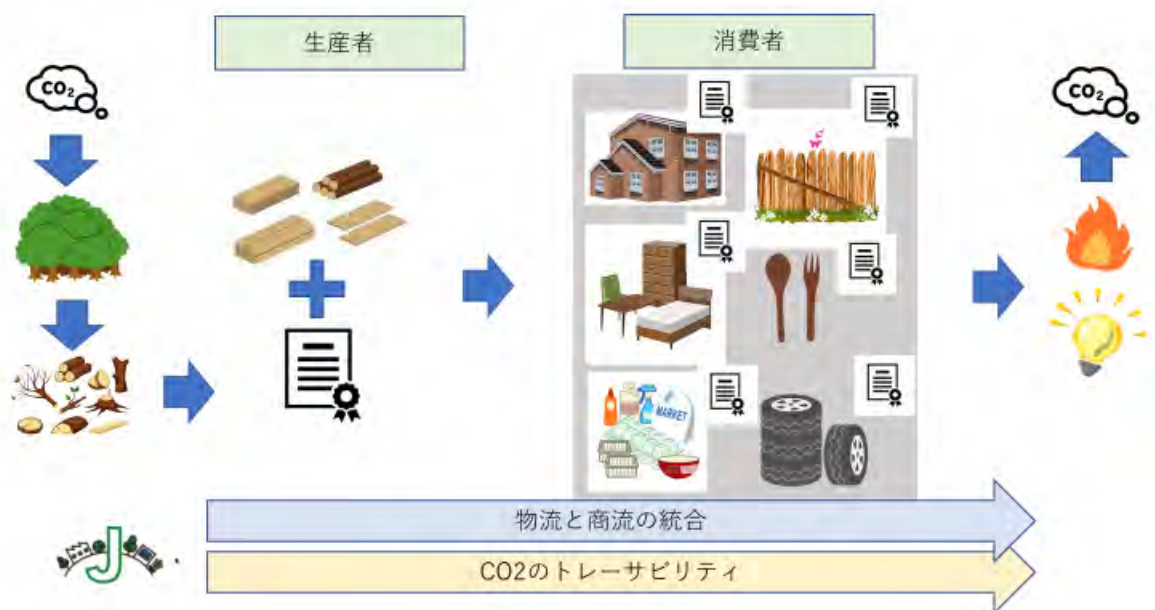
木材を大量に使用する CLT などの木質新材料の開発も進んできてはいるものの、いまだ森林を取り巻く状況は厳しい状態にある。森林から伐採された木材は、利用用途に応じてその形状は変化するものの、燃やさない限り利用されている場所（主に人口密集している都市部）において二酸化炭素を固定し続けていることに変わりはない。一方で、森林が二酸化炭素を固定していることは国際的にも共通の認識であり、固定化された二酸化炭素に金銭的な価値を付加する制度が導入されている場合もある。木材の材料としての商業的な価値だけではなく、森林から伐採、搬出された後も固定化されている二酸化炭素についても新たな市場を構築し、もって森林の状況を改善できるのではないかと考えた。森林での伐採が進めば新たな植林も可能となり、さらなる二酸化炭素の固定につながるとも考えられる。

そこで、森林における二酸化炭素の吸収促進と都市における炭素固定の長期化という観点から、対策を検討した。(図3、4)

図3 木材の用途拡大



図4 緑のエコシステム検討概念図 (対象分野)



木材の耐久財としての多面的活用：バイオマス・プラスチック

木材は、古来建築や建造物に使われてきたが、強度や耐火性などの観点から小規模の物件に用途が限られていた。近年、CLT(Cross Laminated Timber, 直交集成板)や石膏ボード合板などの技術開発が進み、高層・大規模建築にも木材が使われるようになってきている。

一方、木材から得られる木質バイオマスを原料とするプラスチックの開発が進められている。一般に「バイオプラスチック」は、環境中で分解して環境負荷を減らす「生分解性プラスチック」

と、生物由来原料から製造される「バイオマス・プラスチック」に分類される。バイオマス・プラスチックの中でも、木材を原料とするものを「木質バイオマス・プラスチック」と呼ぶ。プラスチックの多くは化石原料から製造され、最終的に焼却処分されると、二酸化炭素を発生する。一方、バイオマス・プラスチックは大気中の二酸化炭素を吸収した原料により製造されるので、焼却して発生する二酸化炭素は吸収量と同量であり、カーボンニュートラルである。プラスチックのうちでも、耐久消費財や工業製品に使用されるエンジニアリング・プラスチックは長期間にわたり使用されるため、木質バイオマス・プラスチックに置き換えることにより、長期の炭素固定に寄与すると考えられる。

木材の構成要素をプラスチック原料となる低分子化合物に分解し、より高度な機能を持つバイオマス・プラスチックを製造するプロセスや、木材を精製しセルロースやヘミセルロースを高分子として活用する多糖類型バイオマス・プラスチックの製造プロセスを構築すべきであると考えた。さらにプラスチック(種類を問わず)に木粉や木材チップを混合した木質混合プラスチック(WPC: Wood Plastic Composite) の活用も促進すべきと思われる。

また木質バイオマス・プラスチックの市場拡大における課題(従来プラスチックとのコスト差)、およびその対策(高付加価値化、CO2削減クレジットの付与)の検討も必要である。(図5、6)

図5 バイオマスプラスチックの種類

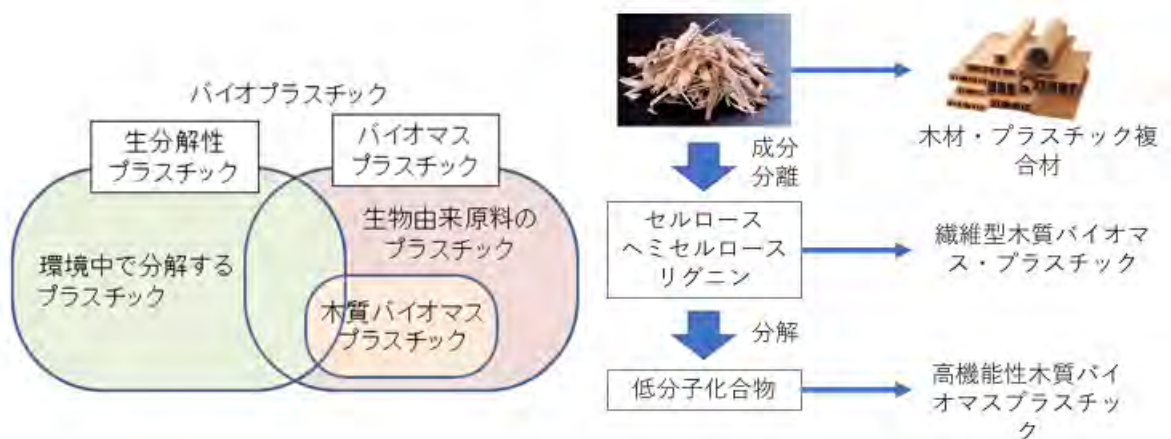


図6 炭素固定を狙ったバイオマスプラスチック

現在のプラスチックに対する捉えられ方

- ・化石燃料の使用を控える
⇒バイオマス利用
- ・プラスチックによる環境汚染を防ぐ
⇒生分解性の付与

フィルム、包装
容器などが主な
対象

さらにバイオマスプラスチックを使うことで

炭素固定材料としてのプラスチック
森林(木材)の炭素を都市部に固定する
長期利用可能な高耐久性、高機能性が必要

家電、自動車、住
宅部材など耐久
消費財などを主
な対象としては

7

早生樹や高機能樹の育種と活用による、森林サイクルの短期化と二酸化炭素吸収の効率化

戦後の日本の人工林は大部分をスギ、ヒノキが占め、その森林サイクルは50年ないし70年と言われている。植林から収穫となる伐採までの期間が長く、その間の社会・経済情勢の変化により、経営が困難となっていて、その結果として高樹齢化が進み、二酸化炭素の吸収率が落ちている。

この対策として、造林・育林の低コスト化による林業経営体の収益向上や荒廃農地の林業としての活用などの観点から期待される、センダン、ユーカリ、コウヨウザンのような早生樹による森林サイクルの短期化(目的にもよるがバイオ燃料やプラスチック向けなら5~10年)と二酸化炭素を高効率で吸収する樹木の育種(例:交配、変異原育種あるいはゲノム編集、遺伝子組換えなどの技術を駆使し、成長が早い、もしくは成長速度は変わらずとも、高密度、高強度の木材を形成するスーパー樹木など)を図るべきである。なおこの場合においても、生態系に悪影響を及ぼさないことが原則である。(図7)

図7 早生樹や高機能樹の育種と活用



森林や木材の二酸化炭素経済への適応

脱炭素社会に向けた検討が進むにつれ、森林や木材のもつ二酸化炭素吸収・固定化能力の経済的価値に注目が寄せられている。すでに国内の間伐等の森林経営活動による増分に対して J-クレジット制度が運用されているものの、取引が相対で市場が形成されていないこと、J-クレジットの付与が赤字の事業に限定されていることなどから、まだ取扱量が小規模であり、制度の改善が検討されている。(図8)

図8 J-クレジット制度の概要



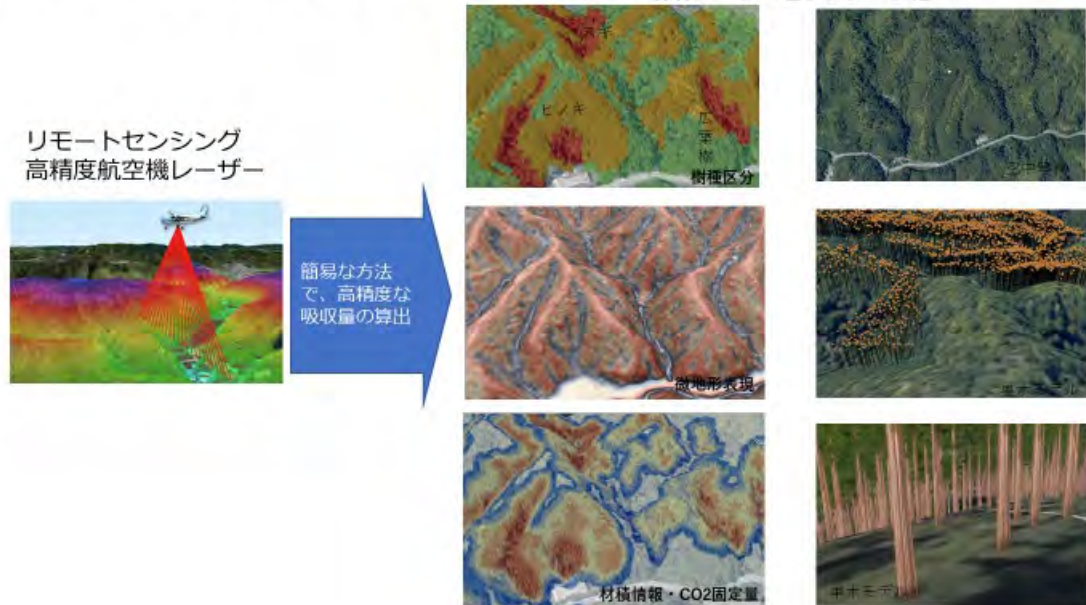
グローバルに目を転じると、欧州を中心に炭素税や国境取引調整金など、二酸化炭素の排出に厳しい賦課が検討されており、産業界はこれを除却（オフセット）する手段を求めている。また、環境問題に取り組む企業や事業に対する投資（ESGs 投資、グリーンボンドなど）は、すでに巨額に達しており、これらの資金を中心として巨大で国際的な「二酸化炭素経済」が生まれるのは確実な情勢である。

今後どのような経済的な仕組みが成立し運用されるかは予断を許さないが、二酸化炭素吸収・固定化能力が流通、取引されるためには、債権（または通貨）としての機能を持たなければならない。

森林の二酸化炭素吸収量の正確な把握

森林の二酸化炭素吸収量は、対象森林地域から樹木をサンプリングして、樹種や樹齢に基づいた係数を用いて、推定している。今後、より簡易な方法で高い精度の吸収量が求められると考えられ、地球観測衛星、航空機、ドローンなどの活用と、高精度レーザーやAIを用いた樹種の判定（リモートセンシング）、高精度マッピングによる樹木の個別管理など、リモートセンシングや森林データのビッグデータ化の推進が期待される。これらの情報は、二酸化炭素吸収量だけでなく、林業施業に有効な各種情報提供（下刈りや間伐、伐採の時期の決定、木材の搬出路の設計）や治水・防災など、幅広い森林価値の向上に寄与するものである。（図9）

図9 森林の二酸化炭素吸収量の正確な把握 高精度マッピングによる樹木の個別管理
森林データのビッグデータ化



今後の検討課題

* クレジット取得の増大促進につながる諸課題

- ・ 森林経営における DX 化
- ・ 固定二酸化炭素（耐久木材、木質バイオマスプラスチック）のトラッキング：
マイクロチップ、IoT、マッピング、ライフサイクルアセスメント（LCA）
- ・ 二酸化炭素債権の信頼性保証：小口化、ブロックチェーン、見える化、永続性
- ・ 二酸化炭素債権の流通市場：製品への価値付与、電子市場、
現金・ポイント・仮想通貨との交換
- ・ 最終処分時の減価対応：熱・エネルギーの販売
- ・ インフラストラクチャー構築と運用にかかるコストと CO2 負荷
- ・ 林業経営の健全化(高収益化)とクレジット取得の両立

* システムの構築、運用への SDGs 関連資金の導入とリターン

* 企業や政府、自治体の巻き込み

提言の方向性

- * 高規格木質バイオマス・プラスチックの大量製造を可能とする、木質原材料のロジスティクスと化学製造過程の検討
- * 二酸化炭素経済における森林・木材の二酸化炭素吸収・固定化能力のグローバルな債権化と森林への還流を可能とする、技術的インフラストラクチャー構築の検討
- * スギ・ヒノキ一辺倒だったこれまでの林業のありかたとは一線を画する新しい技術（早生樹種、バイオテクノロジー、自動化、IT/AI・遠隔管理など）を導入した新林業体系の検討

参考資料

気候変動に関する政府間パネル (IPCC) 第 6 次評価報告書 第 1 作業部会報告書 (自然科学的根拠) <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-i/>

木材・石炭・シェールガス 文明史が語るエネルギーの未来 石井彰著 PHP 新書 2014

図解 知識ゼロからの林業入門 第3版 関岡東生著 家の光協会 2018

絶望の林業 田中淳夫著 新泉社 2019

森林で日本は蘇る 林業の瓦解を食い止めよ 白井裕子著 新潮新書 2021

資料 1

産業競争力懇談会 (COCON)

2021年度推進テーマ活動企画書

1. 推進テーマのタイトル

緑のエコシステム研究会

2. 提案の産業競争力強化上の効果

1997年の京都議定書、2015年のパリ協定など、温暖化ガス削減は世界の重要課題であった。近年、異常気象とそれによる自然災害の激増により、各国政府・企業は2030年から2050年を目標年度とする温暖化対策を矢継ぎ早に打ち出し、すみやかに実行に移している。大手企業が原材料の調達先を温暖化対策企業に限定、消費者の環境意識の向上、さらに金融においても対応状況に応じた投融資の実施など、温暖化ガス対応は今や企業の重要経営課題で言っても過言ではない。

様々な温暖化ガス対策の中で、森林は主要な二酸化炭素吸収源であり、産出される木材は建材や新素材などとして長期にわたり二酸化炭素を固定化し、最終的に木質バイオマスとして、カーボンニュートラルに熱・電気エネルギーを生み出す。また木々の緑は、人々にいこいと安らぎをもたらす。この樹木を中心とした二酸化炭素の吸収、固定、エネルギー産生、環境対応を「緑のエコシステム」として、各社および関係団体の活動を参考にしながら、企業の技術面、財政面での関与を検討し、温暖化対策と企業活動に貢献していきたい。

3. 実現すべき目標とベンチマーク

昨年度の「林業再生・木質バイオマス研究会」の検討結果をもとに、おもに育種、苗木の生産から伐採にいたる森林サイクルの構築と都市の木質化、新素材開発など CO₂固定能力の向上にむけた方策 (技術面、財政面) を検討し、プロジェクト化を目指す。

4. 検討内容と構築すべきエコシステムの要素

森林資源の効率的な木質バイオマス化によるエネルギーとしての活用と、炭素固定能力の向上に

むけ、主に下記の点について技術面および財政面から企業のかかわりについて検討する。

- ① 「エネルギーの森」を実現する育種、苗木の生産から伐採にいたる森林サイクルの構築
- ② 輸入木質バイオマス原料の国産化にむけた木材燃料化の合理化、規格化
- ③ 都市の木質化と木材加工（製材、CLT*化）技術の推進、新素材の開発

CLT：Cross Laminated Timber、直交集成材

5. 想定される課題、解決案、官民の分担

官民の有識者からのヒアリングや研究会メンバー間での情報交換、検討などから、取組みの現状を把握、確認しながら産業界視点で論点を整理し、課題の洗い出しと解決案の検討を行う。

6. 目標実現までのロードマップ

ほぼ月次にネット上で開催する研究会において、メンバー間で課題について検討、協議する。

7. プロジェクトの出口、その後の推進主体案

検討の結果、あるいはその過程において、産業界として自発的に取り組むべきテーマが見出されれば、次年度以降のCOCN推進テーマプロジェクトとしての取組みを検討する。

8. プロジェクトの推進体制と想定する主なメンバー（敬称略）

リーダー：京都府立大学 教授 宮藤 久士

メンバー：昨年度研究会メンバーを中心に新規メンバーを加えて構成予定

事務局：

株式会社小松製作所 高村 藤寿（担当実行委員）

鹿島建設株式会社 森山 善範（担当実行委員）

第一三共株式会社 久保 祐一（担当実行委員）

日本電気株式会社 武田 安司（企画小委員）

第一三共株式会社 三浦 慎一

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 4階

Tel : 03-5510-6931 Fax : 03-5510-6932

E-mail : jimukyoku@cocn.jp

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

事務局長 山口雅彦