

【産業競争力懇談会 2022年度 プロジェクト 最終報告】

【緑のエコシステム】

2023年2月9日

産業競争力懇談会 **COCN**

【エクゼクティブサマリ】

1. 本プロジェクトの基本的な考え方

本プロジェクトでは、カーボンニュートラル達成に向けて、昨年度の「緑のエコシステム研究会」の検討結果をもとに、樹木を中心としたCO₂の吸収、炭素固定、エネルギー生産、環境対応を「緑のエコシステム」としてサプライチェーンの川上から川下まで俯瞰して検討している。その中で本プロジェクトが目指す社会の構築を実現するには、森林の持つ炭素固定価値に基づくCO₂経済の確立による価値創造を進める必要があると考えている。

2. 検討の視点と範囲

2016年に策定された「地球温暖化対策計画」では2030年に約2,780万t（2013年度総排出量の2.0%に相当）のCO₂を森林吸収で確保するとしていたが、2021年10月の改訂で目標が約3,800万t（2013年度総排出量の2.7%に相当）に、1,020万t引き上げられるなど、森林のCO₂吸収機能の一層の発揮が求められている。このように、CO₂吸収源としての森林は重要であり、産出される木材は建材や新素材などとして都市部で「第2の森林」として長期にわたり炭素を固定化し、最終的に木質バイオマス燃料としてカーボンニュートラルな熱や電気エネルギーを生み出す（図1）。

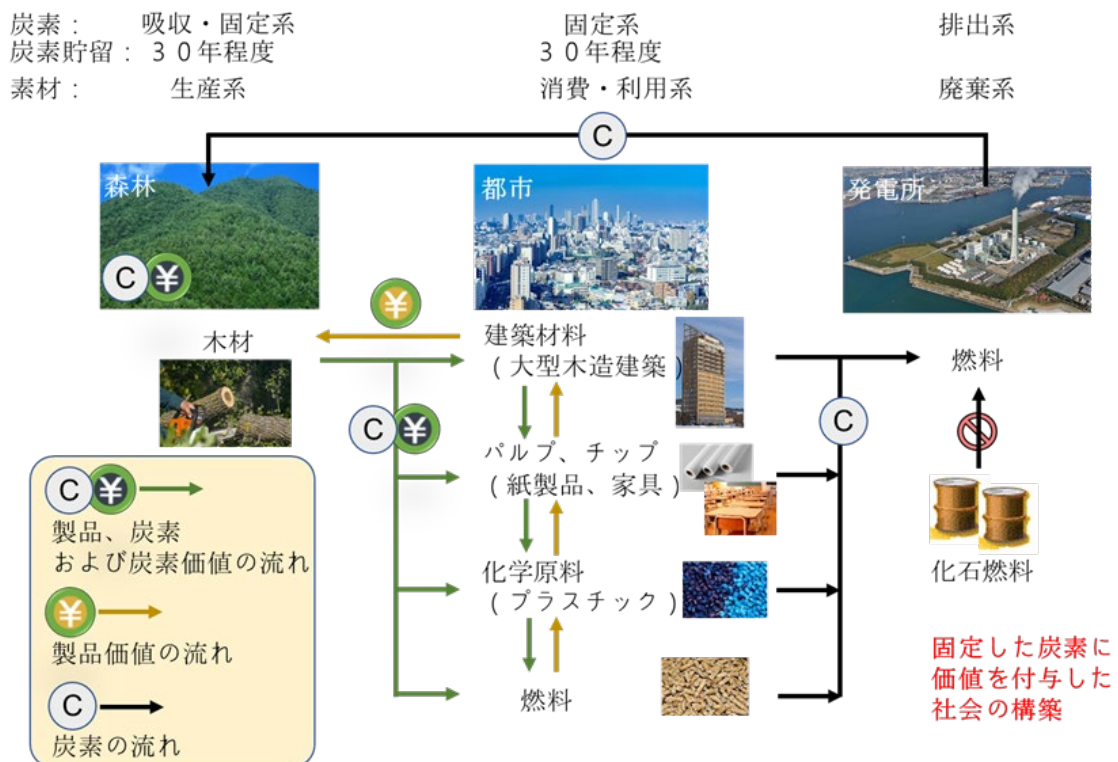


図1. 「緑のエコシステム」が構築を目指す社会モデル例

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炭素についても新たな市場を構築し、もって林業を活性化できるのではないかと考えた。そして、国内での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 CO2 の吸収・炭素固定につながると考えられる。

3. 産業競争力強化のための提言および施策

<提言>

サプライチェーンにおける技術分野や携わるプレーヤも多種多様で、かつ、森林サイクルの時間軸を踏まえると中長期での取り組みが必要であることなどが明らかになってきた。したがって、後述する個別の施策提言やプロジェクト化などの取り組みに加え、例えば、今後の出口として「森林カーボン資源循環経済圏構想」(図2)のようなモデル事業に産学官が参加し、情報共有や多様なプレーヤの連携、課題解決を促進する「プラットフォーム」のような場を形成して進めることが有効ではないかと考える。また、「特区」のような形で地域を選定し、サプライチェーンの川上から川下までを一気通貫で、デジタル技術を駆使しながら、継続的な価値創造によるマネタイズを推進し、本プロジェクトが目指す緑のエコシステムを構築するための各種課題について社会実験が行えるような検討をすることも有効と思われる。

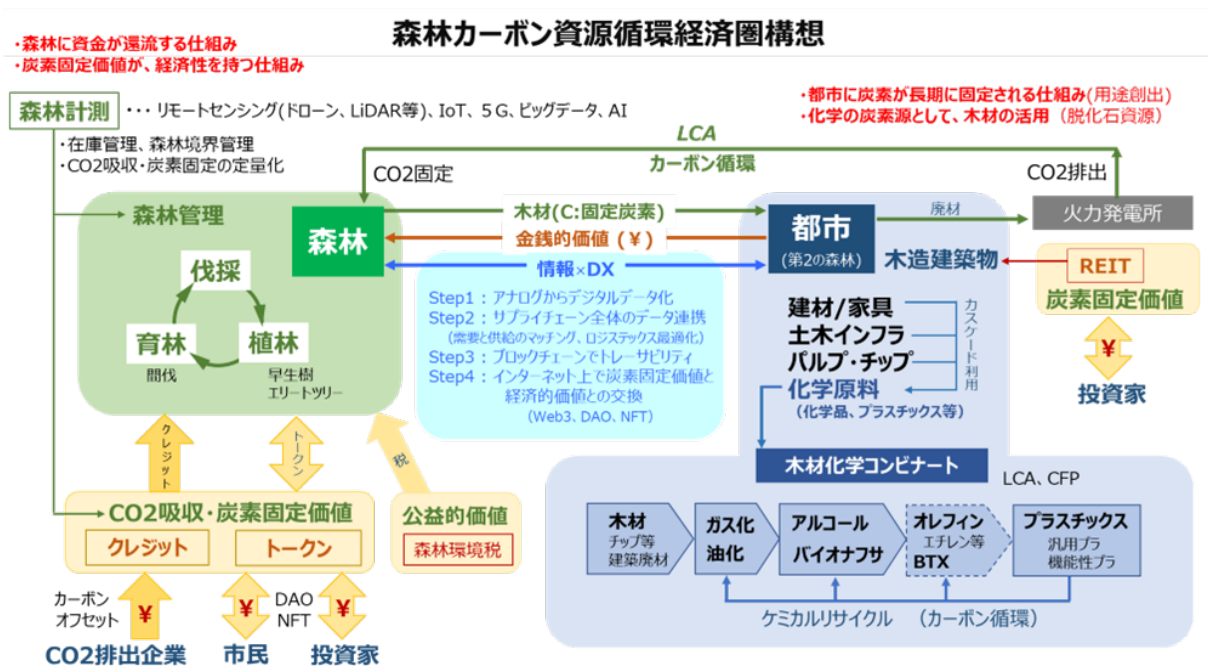


図2. 当プロジェクトで検討した「森林カーボン資源循環経済圏構想」

< 施策 >

本プロジェクトでは、樹木を中心としたCO2の吸収、炭素固定、エネルギー生産、環境対応を「緑のエコシステム」としてサプライチェーンの川上から川下まで俯瞰して検討している。その中で「緑のエコシステム」が目指す社会の構築を実現するには、森林の炭素固定価値に基づくCO2経済の確立による価値創造を進めることが重要で、そのために、①林業の活性化、②木材を利用した用途の拡大、③炭素固定量の定量化と信用の担保、④資金が林業に還流する仕組み作りなどの課題を解決する必要がある、下記の3-1～3-6の6つの分野に分けて施策を検討した（図3）。

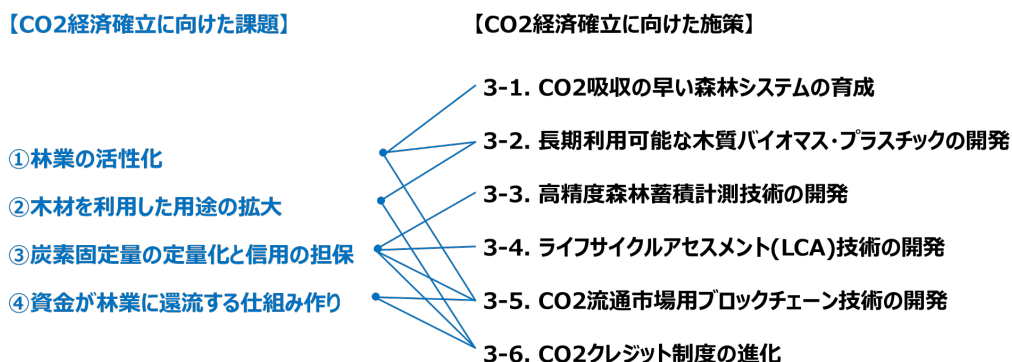


図3. CO2経済の確立に向けた課題と施策の関係

クレジットやトークンなどにより、経済的価値が山側に回る仕組みのイメージ図を以下に示す。

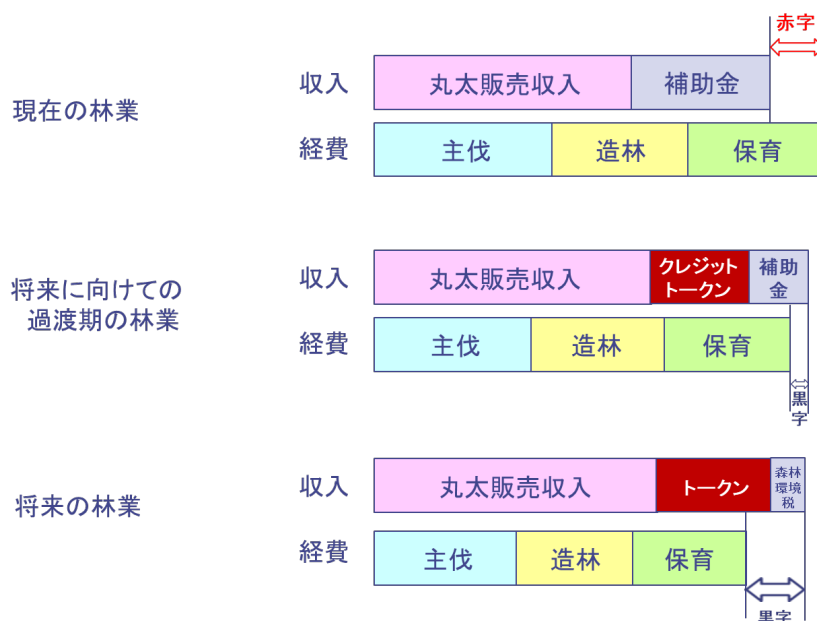


図4. 今後の山側の収益性のイメージ図

【目 次】

プロジェクトメンバー	2
本文	4
1. 本プロジェクトの基本的な考え方	4
2. 検討の視点と範囲	5
3. 産業競争力強化のための提言および施策	8
提言	8
施策	8
3-1. CO2 吸収の早い森林システムの育成	10
3-2. 長期利用可能な木質バイオマスプラスチックの開発	11
3-3. 高精度森林蓄積計測技術の開発	14
3-4. ライフサイクル・アセスメント(LCA)技術の開発	16
3-5. CO2 流通市場用ブロックチェーン技術の開発	16
3-6. CO2 クレジット制度の進化	17
CO2 経済の流れと課題	20
添付資料	23
添付資料 1 : 【森林カーボン資源循環経済圏構想の全体イメージ】	
添付資料 2 : 【講演会・勉強会の内容、講師リスト】	
添付資料 3 : 【定義】	

【プロジェクトメンバー】

#	区分	企業・大学・法人名	氏名
1	リーダー	京都府立大学	宮藤 久士
2	サブリーダー	住友化学株式会社	黒田 俊也
3	メンバー	かたばみ興業株式会社	馬場 崇
4	メンバー	かたばみ興業株式会社	山口 充博
5	メンバー	鹿島建設株式会社	亘理 篤
6	メンバー	鹿島建設株式会社	越川 義功
7	メンバー	国立研究開発法人産業技術総合研究所	光田 展隆
8	メンバー	国立研究開発法人産業技術総合研究所	鈴木 馨
9	メンバー	国立研究開発法人産業技術総合研究所	油谷 幸代
10	メンバー	国立研究開発法人産業技術総合研究所	張 銘
11	メンバー	株式会社志賀郷社榮	今西 恵一
12	メンバー	株式会社志賀郷社榮	中島 育郎
13	メンバー	ソニーグループ株式会社	庄司 直美
14	メンバー	ソニーセミコンダクタソリューションズ株式会社	板倉 英三郎
15	メンバー	第一三共株式会社	上原 勉
16	メンバー	株式会社地球快適化インスティテュート	安部 陽子
17	メンバー	津田産業株式会社	津田 綾子
18	メンバー	日本電気株式会社	江藤 めぐみ
19	メンバー	日本電気株式会社	田中 修吉
20	メンバー	日本電気株式会社	橋本 宜明
21	メンバー	日本電気株式会社	深田 彰
22	メンバー	日本電気株式会社	川崎 貴夫
23	メンバー	日本電気株式会社	中山 憲幸
24	メンバー	日本電気株式会社	原 航
25	メンバー	株式会社パスコ	高岸 且
26	メンバー	株式会社パスコ	河野 誠忠
27	メンバー	株式会社パスコ	菅原 史緒
28	メンバー	株式会社日立製作所	小塚 潔
29	メンバー	株式会社日立製作所	長我部 信行
30	メンバー	富士通株式会社	佐藤 裕一
31	メンバー	富士通株式会社	小林 悠治
32	メンバー	富士通株式会社	濱田 祐介
33	メンバー	富士通株式会社	岩崎 靖

34	メンバー	富士通株式会社	木田 祐太郎
35	メンバー	富士通株式会社	有賀 崇文
36	メンバー	国立大学法人 三重大学	淵上 佑樹
37	メンバー	株式会社三井住友銀行	浅見 英男
38	メンバー	株式会社三井住友銀行	杉山 ひろみ
39	メンバー	株式会社三井物産戦略研究所	本郷 尚
40	メンバー	株式会社三菱総合研究所	古屋 孝明
41	メンバー	三菱電機株式会社	森 一之
42	メンバー	三菱電機株式会社	佐藤 剛彦
43	メンバー	三菱電機株式会社	梁瀬 徹行
44	メンバー	株式会社三菱 UFJ 銀行	志村 幸美
45	メンバー	株式会社三菱 UFJ 銀行	王 楠
46	オブザーバー	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)	水無 渉
47	COCN 担当実行委員	鹿島建設株式会社	森山 善範
48	COCN 担当実行委員	住友化学株式会社	上田 博
49	COCN 担当実行委員	ソニーグループ株式会社	島田 啓一郎
50	COCN 担当実行委員	第一三共株式会社	熊倉 誠一郎
51	COCN 担当企画小委員	日本電気株式会社	武田 安司
52	COCN 担当企画小委員	トヨタ自動車株式会社	佐藤 桂樹
53	COCN 事務局長	一般社団法人 産業競争力懇談会	山口 雅彦
54	COCN 副事務局長	一般社団法人 産業競争力懇談会	五日市 敦
55	COCN 副事務局長	一般社団法人 産業競争力懇談会	土肥 英幸
56	COCN 企画小委員	株式会社地球快適化インスティテュート	岩田 一
57	COCN 企画小委員	株式会社日立製作所	菊地 達朗
58	COCN 企画小委員	三菱電機株式会社	金枝上 敦史
59	COCN プロジェクト事務局	第一三共株式会社	三浦 慎一

【本 文】

1. 本プロジェクトの基本的な考え方

本プロジェクトでは、カーボンニュートラル達成に向けて、昨年度の「緑のエコシステム研究会」の検討結果をもとに、樹木を中心としたCO₂の吸収、炭素固定、エネルギー生産、環境対応を「緑のエコシステム」としてサプライチェーンの川上から川下まで俯瞰して検討している。その中で本プロジェクトが目指す社会の構築を実現するには、森林の持つ炭素固定価値に基づくCO₂経済の確立による価値創造を進める必要があると考えている。

従来より、1997年の京都議定書、2015年のパリ協定など、温室効果ガス削減は世界の重要課題となってきた。2021年8月に気候変動に関する政府間パネル（IPCC）が第6次評価報告書（第1作業部会報告書（自然科学的根拠））で「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」と報告した。それを受けた同年11月の第26回気候変動枠組み条約締約国会議（COP26）の「グラスゴー気候合意」では、人間活動がこれまでに約1.1℃の温暖化を引き起こしていること、世界の平均気温の上昇を工業化前の水準からプラス2℃をはるかに下回る水準にし、1.5℃に抑える努力を追求するという長期的な世界目標を再確認した。また、地球温暖化を1.5℃に抑えるためには、世界のCO₂の排出量を2030年までに2010年比で45%削減し、今世紀半ばには実質ゼロにする必要があるとされ、さらに、CO₂を吸収する森林などの自然と生態系を保護し、回復することの重要性も強調された。これらを踏まえ、現在では生物多様性を考慮しつつ、2050年カーボンニュートラルの達成が世界的な目標となっている。

一方、わが国では2020年10月に菅総理（当時）が就任所信表明演説で「2050年までに温室効果ガスの排出実質ゼロ」を目指すとし、2021年4月に、2030年の温室効果ガス削減の目標として、2013年度比46%削減を目指すこと、さらに50%の高みに向け挑戦を続けることを表明した。2021年10月に改訂された地球温暖化対策計画では、2030年度の森林によるCO₂吸収量の目標について、これまでの約2,780万tから約3,800万tに、目標が1,020万t引き上げられるなど、森林の有するCO₂吸収機能の一層の発揮が求められている。

経済産業省は2022年12月に、企業などに対してCO₂排出量に応じたコスト負担を求めるカーボンプライシングについて、「炭素に対する賦課金」と「排出量取引制度」を導入する制度設計や導入時期などの具体策案を提示した（図1）。今後、企業はCO₂排出への課金に備える必要がある。

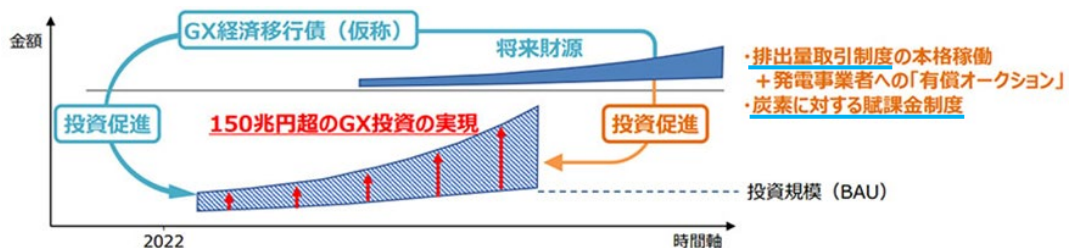


図1. 成長志向型カーボンプライシング構想案（経済産業省）

一方、海外においてもCO2の排出に課金する世界的な流れがある。いわゆるEU-ETSや国境調整措置(CBAM)など、CO2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。環境問題に取り組む企業の事業に対する投資は巨額になると思われる。これに呼応して、CO2の吸収・炭素固定に対する経済的な価値を付与する仕組みが検討されている。日本では森林のCO2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。

2050年にカーボンニュートラルを実現するためには、省エネや再エネ導入などによるCO2排出削減が重要であるものの、プロセス由来のCO2など削減対策が困難な残余排出もあり、これらへの対応が課題となる。今後、このような残余排出を、森林の持つCO2吸収・炭素固定によりオフセットすることも重要となる(図2)。森林での伐採が進めば新たな植林が可能となり、さらなるCO2吸収・炭素固定につながると考えられる。

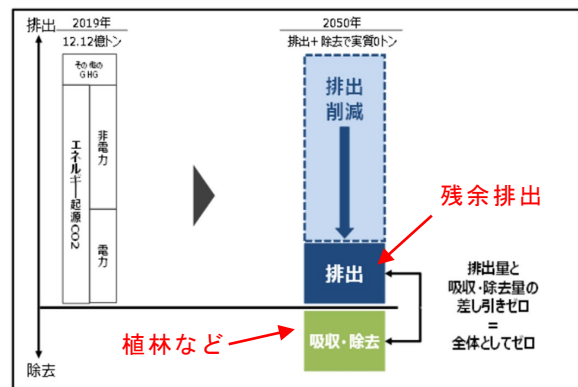


図2. カーボンニュートラルにおける吸収・除去
出展：カーボン・クレジット・レポート 2022年6月

しかしながら、日本では伐採期を迎えたにもかかわらず伐採が進まない森林が多く存在しており、日本の森林におけるCO2吸収量は減少傾向にある。林業活性化を促進し、森林のCO2吸収機能を最大限に活用するためには、このような森林の炭素固定の能力の経済的価値に注目し、クレジット、トークンなどを利用することで、資金が林業へ還流する仕組みが必要と考えている。

すなわち、CO2の排出は負の価値を、CO2の吸収・炭素固定は正の価値を持ち、CO2吸収・炭素固定能は資産と考えることができる。そこで、森林の持つCO2吸収・炭素固定価値を、合理的にCO2経済に組み込むことが重要と考えている。

2. 検討の視点と範囲

日本は国土の約7割が森林の森林国である。森林面積は約2,500万ヘクタールであり、そのうち4割にあたる約1,000万ヘクタールが人工林である。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)が主体であり、森林の成長に木材需要が追いついておらず、結果として高樹齢化が進んでいる。面積ベースで人工林の半分が50年生を超えて成熟し、利用期を

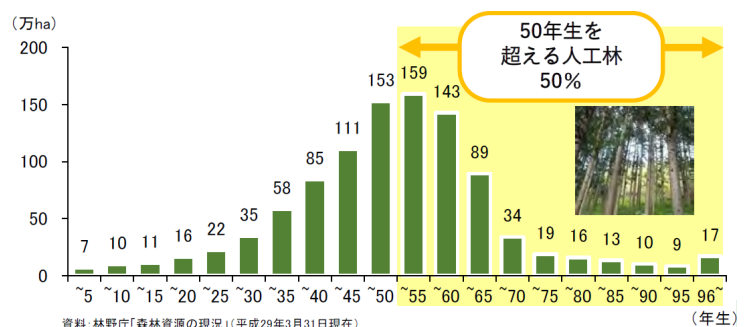


図3. 人工林の林齢別面積 (林野庁)

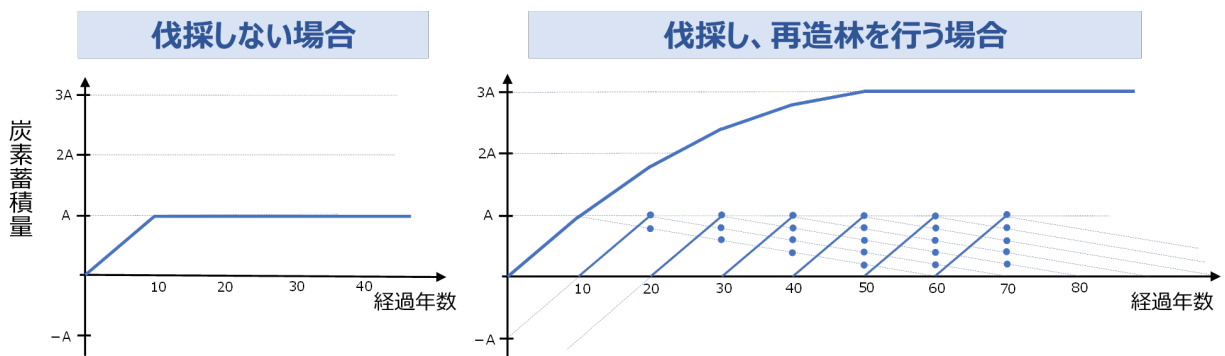
迎えている(図3)。この豊富な資源を有効活用すると同時に、循環利用に向けて計画的に再造林することが必要である。現在、伐採後の再造林が3割程度となっており、丸太販売価格より植栽コストの方が高いため、森林所有者の再造林へのモチベーションが湧かない状態であり、今後の林業の活性化や防災の面でも課題となっている。



図4. 樹木の伐採と木材の搬出が滞っている (林野庁)

人工林は植林、下刈、間伐、伐採のサイクルの中で、CO2を吸収し、樹木として炭素固定することが知られているが、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により、国内の樹木の伐採と木材の搬出が滞っていると考えられる(図4)。

ここで、森林において、伐採をしない場合と、伐採し再造林(植林)を行う場合との炭素蓄積量の比較試算結果を図5に示した(10年成長の早生樹を前提)。伐採後に植林をすることにより、同じ森林(面積)でモデル上は3倍の炭素蓄積が可能である。早生樹、エリートツリーなど成長の早い樹木を活用し、CO2吸収・炭素固定量を促進することにより、炭素固定価値をクレジットとして発生させるなど今後の可能性が考えられる。



【Ueda-model:前提条件】
 ・木材は10年で成長し、その後の炭素貯蔵は一定と仮定。
 ・伐採された木材の残存率は50年で、線形で減衰と仮定。
 ・木材の成長のみ考慮し、土壌、リターなどは考慮なし。

図5. 森林を伐採しない場合と、伐採し植林した場合との炭素蓄積量の比較試算 (Ueda-model)

木材を大量に使用する建築用材の CLT (Cross Laminated Timber, 直交集成板) などの木質新材料の利用も進んできてはいるものの、いまだ国内の森林の需要は低下した状態にある。今後は、木造住宅における国産材使用割合の低い分野(横架材や羽柄材等)での国産材利用を拡大するとともに、中高層建築等の木造化・木質化を推進するため、CLT や耐火部材の開発・普及が課題である。また、護岸、堰堤、地盤改良用木杭等の土木インフラ分野などでの利用も期待される(図6)。

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)において炭素を固定し続けていることに変わりはない。



図6. 木材を利用した土木インフラ事例(国土交通省)

カーボンニュートラル対策の中で、CO2 吸収源としての森林は重要であり、産出される木材は、建材や新素材などとして都市部で「第2の森林」として長期にわたり炭素を固定化し、最終的に木質バイオマス燃料として、カーボンニュートラルな熱や電気エネルギーを生み出す(図7)。

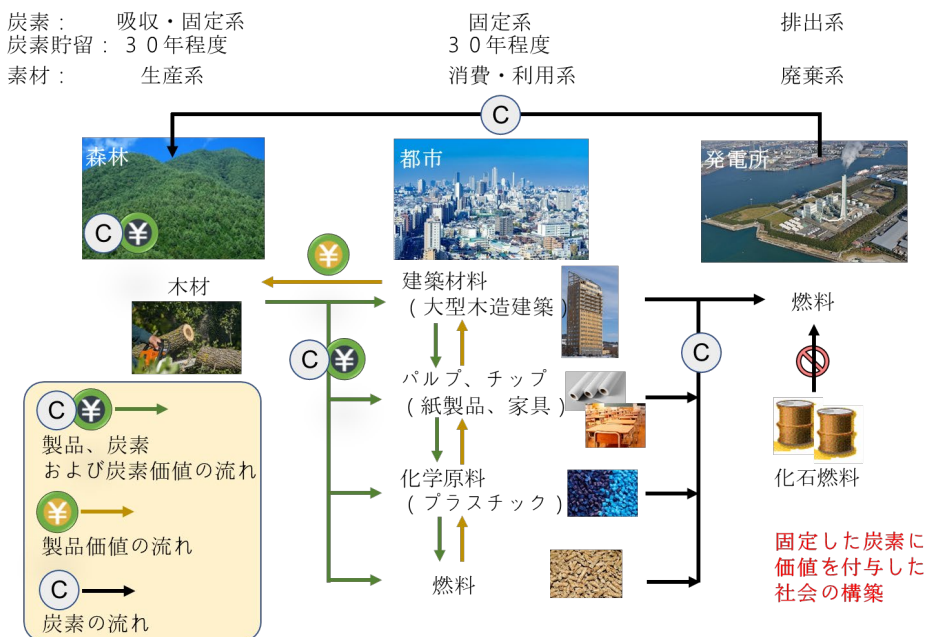


図7. 「緑のエコシステム」が構築を目指す社会モデル例

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している炭素についても新たな市場を構築し、もって林業を活性化できるのではないかと考えた。国内での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CO2の吸収・炭素固定につながると考えられる。

よって、本プロジェクトでは、昨年度の「緑のエコシステム研究会」の検討結果をもとに、国内の森林の持つCO2吸収・炭素固定の価値に注目し、森林における炭素固定、都市部における炭素の長期固定、社会制度やインフラ的な社会基盤システム構築の3つの視点から、森林のCO2吸収や都市での長期炭素固定能力の向上と定量化、林業への資金の還流を可能とする社会的基盤システムの構築など、森林の炭素固定価値に基づくCO2経済の確立による価値創造について、それぞれWGにて検討を進めた(図8)。

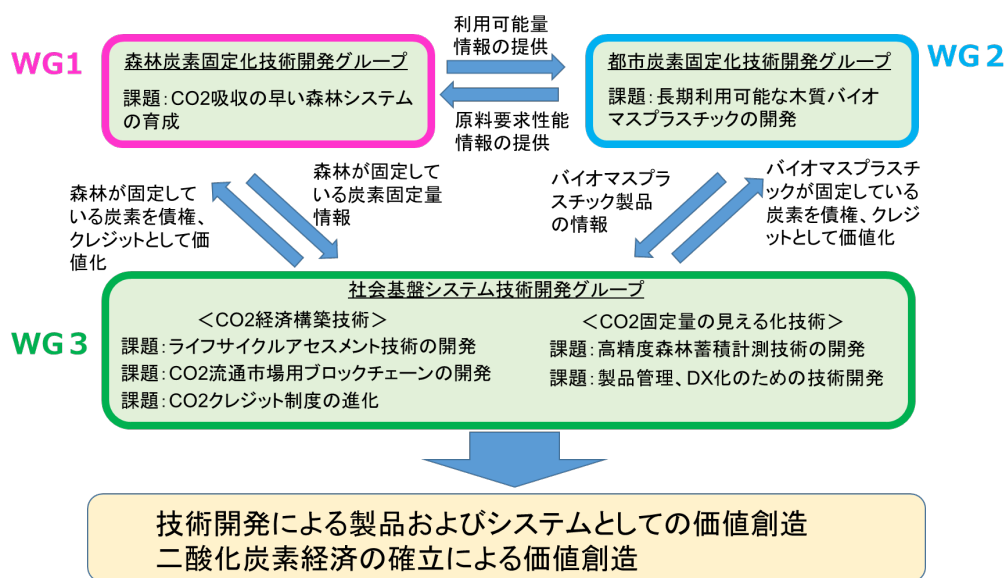


図8. 緑のエコシステム構築に向けた課題

3. 産業競争力強化のための提言および施策

<提言>

上述のように、本プロジェクトでは、樹木を中心としたCO2の吸収、炭素固定、エネルギー生産、環境対応を「緑のエコシステム」としてサプライチェーンの川上から川下まで俯瞰して検討している。その中で「緑のエコシステム」が目指す社会の構築を実現するには、森林の炭素固定価値に基づくCO2経済の確立による価値創造を進めることが重要で、そのために、①林業の活性化、②木材を利用した用途の拡大、③炭素固定量の定量化と信用の担保、④資金が林業に還流する仕組み作りなどの課題を解決する必要がある、下記の3-1~3-6の6つの分野に分けて施策を検討し(図9)、「森林カーボン資源循環経済圏構想」の考えに至った(図10)。

【CO2経済確立に向けた課題】

【CO2経済確立に向けた施策】

- ① 林業の活性化
- ② 木材を利用した用途の拡大
- ③ 炭素固定量の定量化と信用の担保
- ④ 資金が林業に還流する仕組み作り

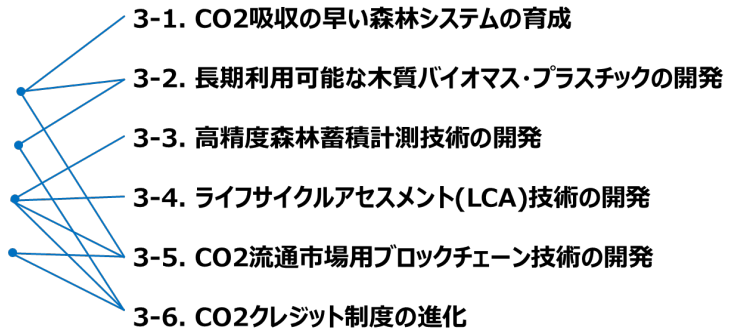


図9. CO2 経済の確立に向けた課題と施策の関係

サプライチェーンにおける技術分野や携わるプレーヤも多種多様で、かつ、森林サイクルの時間軸を踏まえると中長期での取り組みが必要であることなどが明らかになってきた。したがって、後述する個別の施策提言やプロジェクト化などの取り組みに加え、今後の出口として「森林カーボン資源循環経済圏構想」(図10)のようなモデル事業を産学官が参加し、情報共有や多様なプレーヤの連携、課題解決を促進する「プラットフォーム」のような場を形成して進めることが有効ではないかと考える。また、「特区」のような形で地域を選定し、サプライチェーンの川上から川下までを一気通貫で、デジタル技術を駆使しながら、継続的な価値創造によるマネタイズを推進し、本プロジェクトが目指す緑のエコシステムを構築するための各種課題について社会実験が行えるような検討をすることも有効と思われる。

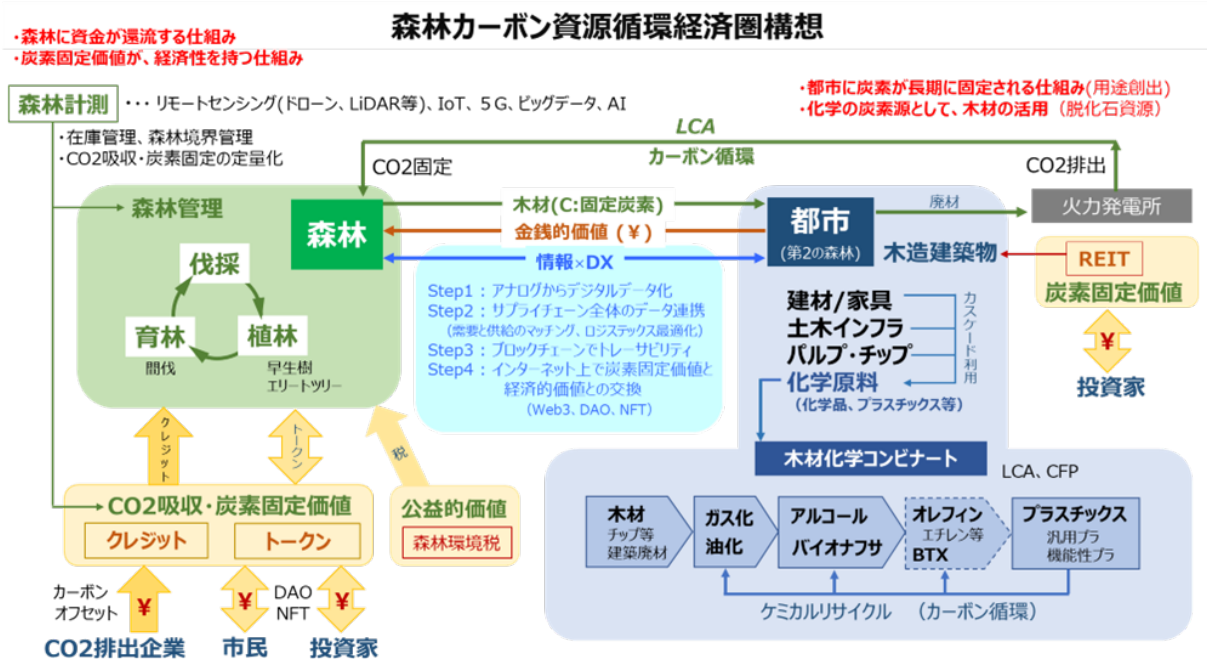


図10. 当プロジェクトで検討した「森林カーボン資源循環経済圏構想」の全体イメージ

我々はこうした仕組みがグローバルに展開・発展するものと予測し、将来的に必要となる技術的インフラを備えた社会基盤システムを整えることが、日本の産業競争力の強化と地球温暖化防止に寄与するものと考えている。

< 施策 >

3-1. CO2 吸収の早い森林システムの育成

(我が国の林業の活性化と、森林サイクルの短期化・CO2 吸収の効率化)

日本の人工林の森林サイクルは 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林業経営が困難となっていて、適切な伐採が行われない結果、森林の高樹齢化が進み、CO2 の吸収量が落ちている。その対策として、第一に林業を活性化し、山林から市場への木材の流れを促進する必要がある。このために、①市場における木材需要の創出、②木材供給能力の安定化、③木材の市場価値向上の 3 点をバランスよく実現すべきである。①について、製材品や合板、パルプ・チップ等の用材用途、また近年注目を集めている中大規模木造建築等の建材用途に加え、都市部での長期炭素固定を可能とするような用途の創出が期待される。木材はカスケード利用を前提とし、バイオマス発電等燃料用途への利用は林地残材等の未利用材や廃材の活用が望ましく、さらにエネルギー利用効率の観点から熱電併給が好適である。②について、林道の整備および山林の急斜面から林道まで木材を運搬する手段の効率化を図ることが望ましく、日本の山林形態に適した重機の開発や作業の省力化等が期待される。③について、市場需要の多様化による木材価値向上は供給の動機となることが期待できる。加えて木材の炭素固定に対する経済的価値の付与が実現すればさらなる動機付けにつながるものと推測されるが、その実現には木材の炭素固定量についての高精度な評価が必要となる。

第二に、炭素固定に対する経済的価値付与の観点から、森林による CO2 吸収量向上に資する施策を講じることが望ましい。このために、①森林構成について、地位的要素を考慮した最適な樹種および植栽密度の選定および施業の確立、②育種と品種改良、③早生樹や高機能樹を活用した森林サイクルの短縮の 3 点が有効であると考えられる。①について、多様化する市場需要を想定し、各用途に応じた物性を持つ樹種を広く選択することが重要である。その上で、育林する土地の地位を考慮し、樹種毎に最適な植栽密度の選定や、混植などの可能性などの施業の最適化を検討する必要がある。②については、CO2 を高効率で吸収する樹木の育種や品種改良（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（図 11）。③については、従来のスギ、ヒノキ、カラマツより成長の速いエリートツリー、またセンダン、ユーカリ、コウヨウザンのような早生樹は、植栽から伐採までの期間を短縮できるため早期の収益化が可能で林業の経営向上に有用であり、かつ森林サイクルの短縮により CO2 吸収量向上への

寄与が期待できるが、この場合も、市場需要に応じた樹種の選択は必須である。なお①～③いずれについても、環境に適した樹種の選択や混植、地域によっては自然林への回帰など生物多様性に悪影響を及ぼさないことが原則である。さらに、データに基づく計画・管理が必要であり、計測技術、データ処理技術、LCA 技術などの開発が求められる。



図 11. 早生樹や高機能樹の育種と活用

また、森林による CO2 の吸収を促進するには、エリートツリーや早生樹などの利用、スマート林業化（機械化、自動化、電化、デジタル化）による生産性の向上、商流の合理化、林業経営の自立も重要と考える。日本の林業経営の現状として、補助金制度の利用が前提となっており施策が画一的である点は課題である。今後、林業を活性化しつつ、森林の持つ CO2 吸収能を合理的に CO2 経済に組み込むことによる木材の価値向上を実現するためには、多様な市場需要の創出とそれらの需要への柔軟な対応が欠かせない。2024 年度より森林環境税が徴収されるが、いわゆる林業のサプライチェーン（図 12）の川上における課題に対する活用だけでなく、木材利用の促進などの川下に対する有効活用にも期待したい。

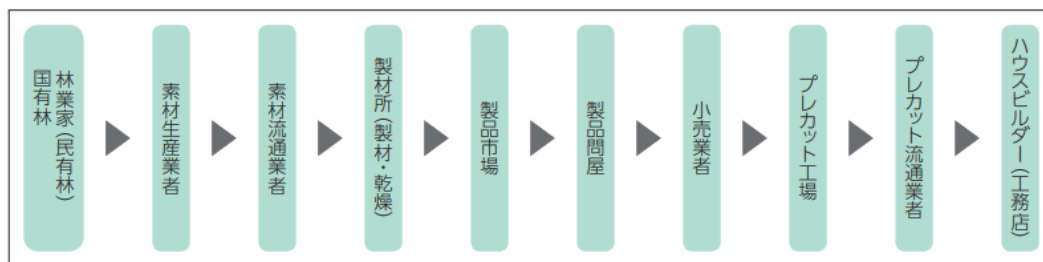


図 12. 通常的林業のサプライチェーン（出典：AFC フォーラム）

3-2. 長期利用可能な木質バイオマス・プラスチックの開発

（都市における炭素の長期固定化：木材の耐久財としての多面的活用）

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)や各種木質ボード類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。

木材の需要を増やし、都市における炭素の長期固定化のためには、上記のような建築資材としての利用拡大は重要であるが、これに加えて都市の様々なインフラ系素材（公共性の高い水道、電気、道路関連）や、高耐久・高機能のバイオマス・プラスチックとしての利用も推進していく必要がある。

インフラ系素材としては、ガードレール、防音壁、電柱、埋設電線ケースなどが有望な用途として挙げることができる。これらの用途では、それぞれが国内木材供給量の10~20%に相当する潜在的な需要量があるが、現状は物性、コストの両面で課題があり適用はあまり広がっていない。

物性面では耐衝撃や耐腐朽などの耐久性の向上が課題であるが、これに対して素材と設計の観点での対策が必要である。素材の観点での対策としては、衝撃強度に優れる樹種の選択やプラスチック素材との複合などが挙げられる。一方、設計の観点では効率的に衝撃吸収可能な構造や、金属との複合的な利用などの対策を推進すべきである。

コスト面では現状の約1/2程度に抑制（木製ガードレール）することが求められるが、これに対しては大量調達可能な丸太サイズや種類の選定、および後述する木質混合プラスチックの活用などの対策を推進すべきである。

上述したインフラ系素材への利用と同様に、現状の化石資源由来のプラスチック代替としての木材の利活用拡大も重要であり、植物資源を原料とするバイオプラスチック（バイオマス・プラスチック）は、大気中のCO2を固定化し、カーボンニュートラルに寄与できる素材として各種用途で期待されている（図13）。しかし、現状はその大部分がデンプンなど可食性のバイオマス由来となっており、将来的な食糧問題への影響が懸念される。

これに対して、木材を原料とする「木質バイオマス・プラスチック」は、非可食性かつプラスチック素材の需要を十分にカバーできるポテンシャルを有するため、その重要性は高い。

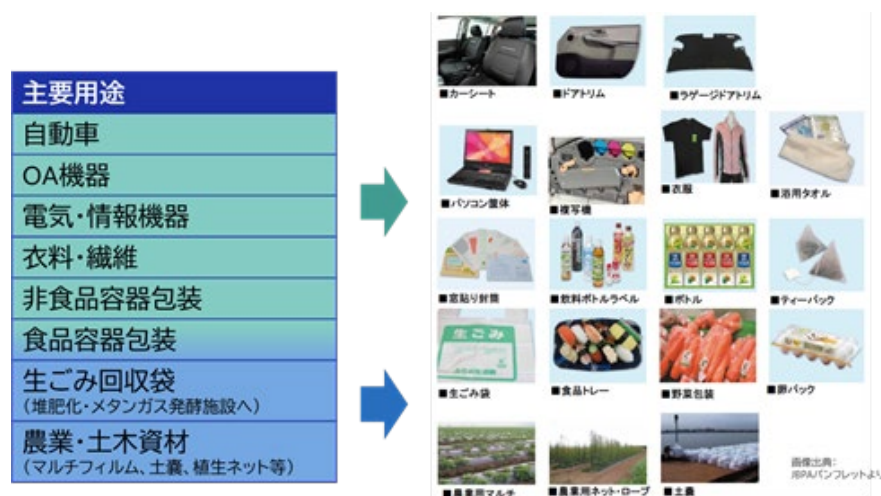


図 13. バイオプラスチックの主な用途（画像出典：JBPA パンフレット）

木質バイオマス・プラスチックにおいては、樹木をセルロース／リグニンに分離し、得られたセルロースから多糖類／単糖類を経由して、ポリエチレンなどの汎用プラスチックや、エンジニアリング・プラスチックなどの高機能プラスチックなどを作る方法がある。既存のパルプ化工程を活用して樹木からセルロースを安価に分離し、そのままエステル化、エーテル化などの化学処理を施す方法、およびセルロースを単糖へ分解して有望なモノマーへ変換する方法などが挙げられる。また、樹木を構成するセルロースやリグニンなどに分離せず、樹木をそのままガス化し油化する方法や、熱分解などで油化する方法も挙げられる。油化の場合は、精製を経て、既存のナフサラッカーを活用できるなどのメリットも挙げられる（図 14）。今後の技術開発が必要である。

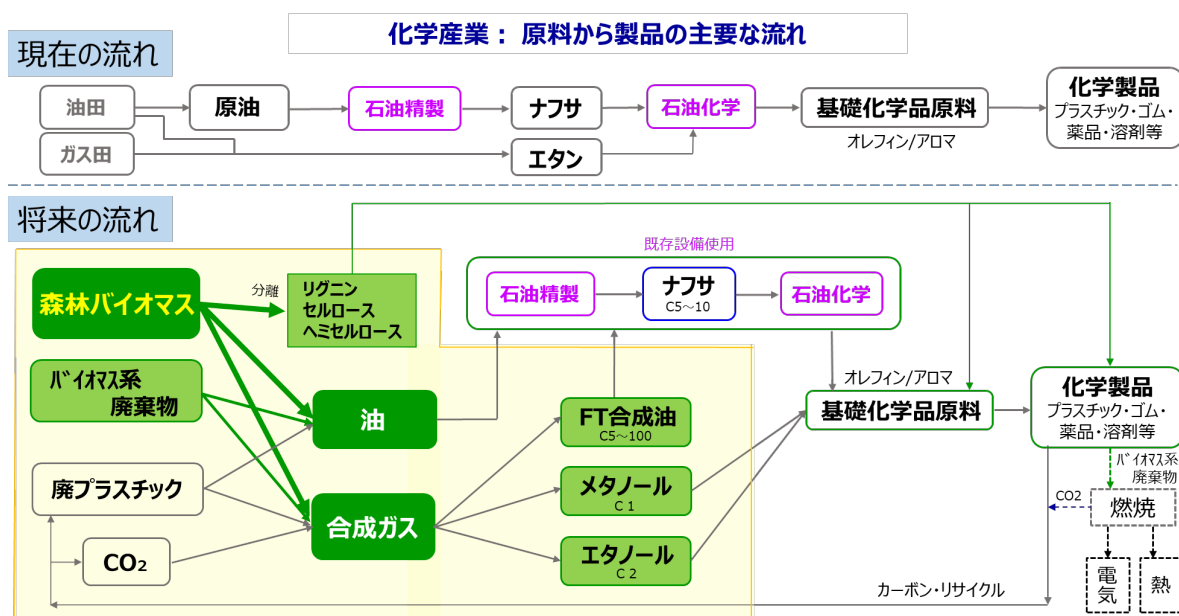


図 14. 将来の化学産業における製品等の主な流れ例

さらにプラスチック（種類を問わず）に木粉を混合した木質混合プラスチック（WPC: Wood Plastic Composite）の活用も比較的安価に木質バイオマスを活用可能という面で有望である。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、長期の炭素固定が可能となる。具体的には、ポリカーボネート樹脂、ポリアミド系樹脂、PET樹脂、PBT樹脂、その他機能性樹脂が候補として挙げられ、これらの国内生産量は78.2万tとなっている（表1）。また、表1の樹脂のうち、例えばポリエチレンの原料をナフサから木質バイオマス原料に置き換えた場合（炭素含有量よりCO2に換算）、約720万tのCO2吸収が期待でき、ポリプロピレンの場合は約740万tのCO2吸収が期待できる。

樹脂種	数量[千t]	金額[十億円]	単価[¥/kg]
ポリエチレン	2348	380	162
ポリプロピレン	2285	358	157
ポリスチレン	695	102	147
塩化ビニル	1664	223	134
AS, ABS	330	90	273
ポリカーボネート	268	84	313
ポリアミド系	185	96	519
PET	124	32	258
PBT	96	33	344
その他樹脂	109	42	385
熱可塑性樹脂計	8507	1635	192
熱硬化性樹脂計	735	288	392
全樹脂合計	9352	1964	210

表 1. 各種石油プラスチックの国内生産量と価格（2020 年）

（出典：日本プラスチック工業連盟 HP に追記）

しかし、既存の化石資源由来のプラスチック代替としての利用においてもコストの問題は大きい。そのためには、林業の生産性の向上やボトルネックとなっている木質バイオマスの化学変性手法の革新はもとより、木質バイオマス・プラスチックの高付加価値化や CO2 クレジットの付与システムなどの検討が必要である。さらに、建材から家具、そしてプラスチック原料といった木材のサプライチェーン全体のカスケード利用体制の構築もコスト低減に向けて重要な検討項目である。

3-3. 高精度森林蓄積計測技術の開発

高精度な森林計測は、森林資源の量や質を正しく把握し成長予測の精度向上や、在庫管理や販売戦略を練るためにも、また、森林による CO2 吸収・炭素固定量を評価するためにも重要である。現状、森林による炭素固定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が、今後、より簡易な方法で高い精度の炭素固定量測定が必要になると考えられる。しかし、森林の炭素固定量評価において、森林蓄積量測定精度を上げれば上げるほどコストが嵩むため、コストダウンとのトレードオフの関係を解消し、測定方法のコスト低減をする必要がある。

森林センシング方法は、衛星、航空機、ドローン、地上でのレーザ測定などの各種プラットフォームがある（図 15、表 2）。地上においても LiDAR (Light Detection and Ranging) などの高精度レーザ測定が増えてきている。測定方法は多様であり、精度を上げるために樹々 1 本 1 本の単木個別管理を行う場合はビッグデータとなり、AI を使用するなどデータ処理方法が課題である。また、樹種判別や樹高・材積などの判読方法、森林境界を見極め

るための評価方法や、測定可能エリアの範囲やエリア内でデータの伝送をどのように進めるかなど、データ通信方法や制御も課題となる。

さらに、これらの炭素固定量評価において、今後のクレジットやトークンの利用を進める場合は経済的価値との整合性が問われるため、どのレベルの森林測定精度が必要とされ、測定の許容誤差がどの程度かも確認していく必要がある。また、クレジットやトークンの利用は国内のみに限られないため、国際標準化も考慮していく必要がある。

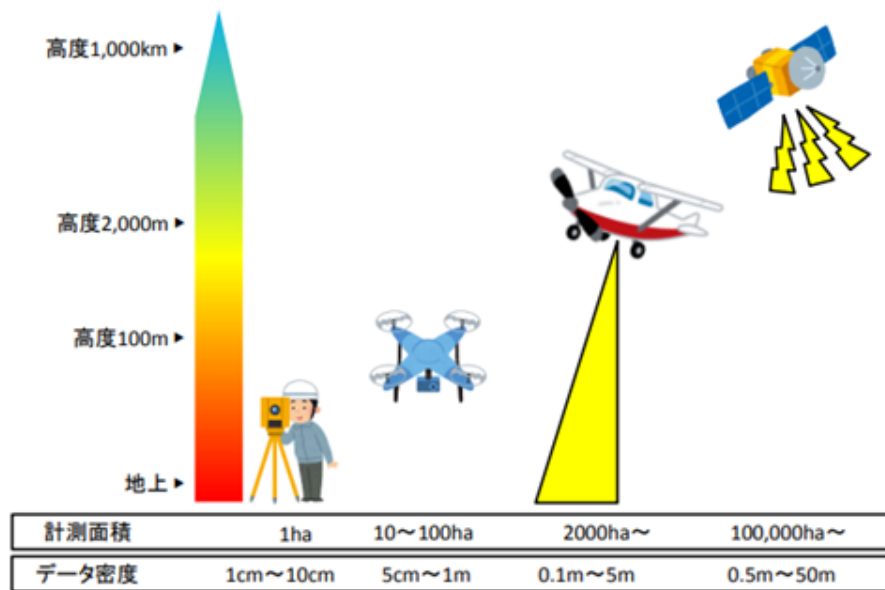


図 15. 各種センシング方法のプラットフォームの比較

(出典：高精度な森林情報の整備・活用のためのリモートセンシング技術やその利用方法等に関する手引き、平成 30 年、林野庁)

	対象面積	林相判読		樹高分布図	材積推定		
		自動判読	目視判読		標準地解析	エリア解析	単木解析
光学衛星画像*		○	○				
空中写真			○	○	○		
航空レーザ*			○	○		○	○
UAV 写真			○	○	○	○	
UAV レーザ			○	○			○
地上レーザ							○

表 2. 森林資源量の調査に対応するリモートセンシング技術

(出典：高精度な森林情報の整備・活用のためのリモートセンシング技術やその利用方法等に関する手引き、平成 30 年、林野庁)

3-4. ライフサイクル・アセスメント (LCA) 技術の開発

森林の植林-伐採-利用-廃棄のサプライチェーン全体の LCA 手法の確立が必要であり、特に現在主流の LCA は物質などのインプットとアウトプットによるフローの評価を行うため(図 16)、CO₂ の排出は扱うが、炭素蓄積 (CO₂ 吸収・炭素固定) などストックを伴う評価に関しては未確立であり、今後、評価方法の確立が望まれる。

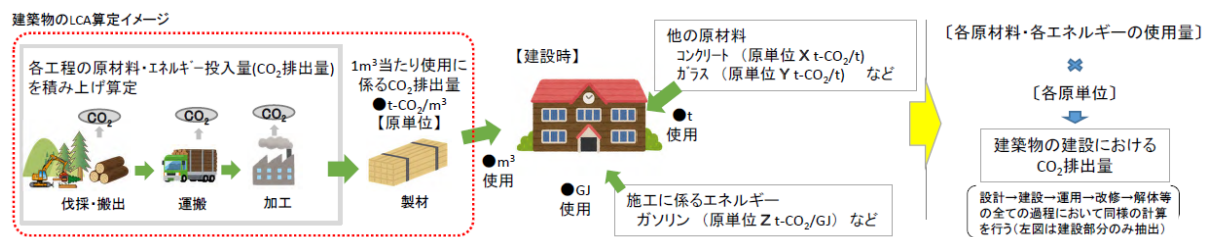


図 16. 現在の建築物の LCA 算定のイメージ (林野庁)

また、都市部で長期炭素固定に寄与する木材製品、バイオマス・プラスチック製品においては、上記の炭素ストックに対応した LCA によるカーボンフットプリント (CFP) の算出も必要と思われる。

さらに、炭素固定の価値に、生物多様性などの環境価値の評価も併せた LCA 手法の確立が望まれ、緑のエコシステムを包含する経済活動全体を通じた環境配慮性能を LCA で定量化し、総合的な CO₂ 吸収・炭素固定と経済波及の効果を、技術開発や施策の設計に組み入れる必要がある。

3-5. CO₂ 流通市場用ブロックチェーン技術の開発

森林と木材製品に固定された炭素量データと、経済的価値化されたデータ (クレジット、トークンなど) との価値交換方法やその精度、その際の炭素価値のトレーサビリティなど信用の確保としてのブロックチェーンの活用などが課題である (図 17)。また、サプライチェーン全体をカバーできるブロックチェーンのあり方、異なるシステム間のデータ連携のあり方も検討が必要である。また、ブロックチェーンによる国際的な流動性と暗号資産 (仮想通貨) などとの連動性の付与も必要となる。

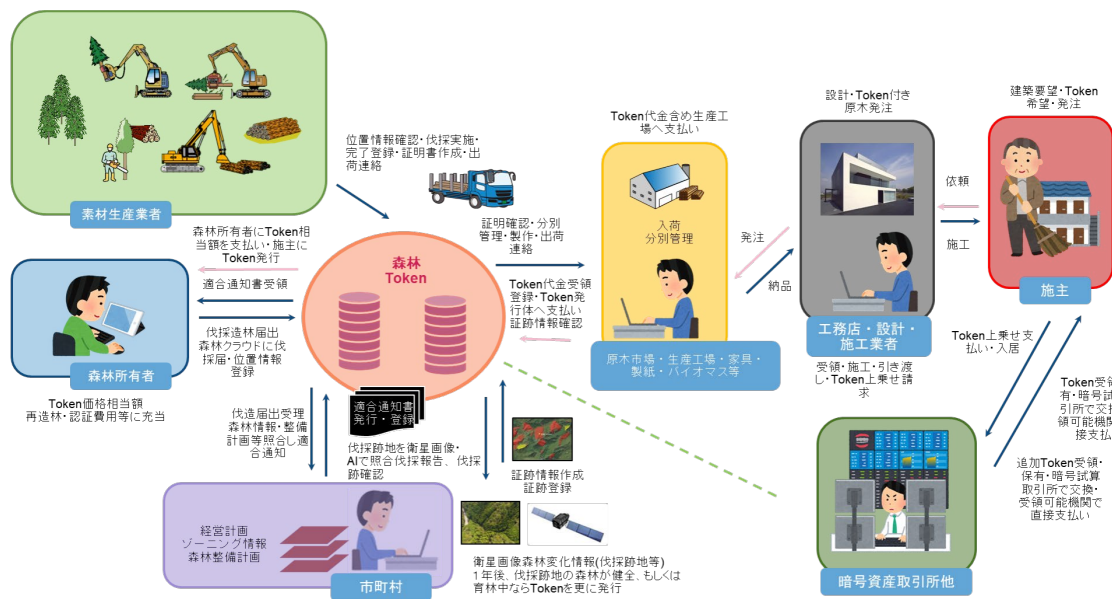


図 17. 将来の林業分野でのブロックチェーン技術を利用したトークン活用のイメージ

今後の Web3.0 においては、非代替性のトークン (NFT) を利用するなど、炭素固定価値と経済的価値とを、ブロックチェーン上で価値交換することが可能であり、市場を通さない Peer to Peer の直接取引や、DAO (Decentralized Autonomous Organization、分散型自律組織) などでトークンを活用し、分散型自律組織として森林を管理する方法も今後あり得る。これらの活用により、今後林業が活性化する可能性もあると考える。

3-6. CO2 クレジット制度の進化

森林や木材のもつ CO2 吸収・炭素固定化能の経済的価値に注目が寄せられている。森林のもつ CO2 吸収・炭素固定の価値を、クレジットやトークンなどを利用し、森林側に資金が回るような CO2 経済を推進すべきである。クレジットにはコンプライアンス系とボラントリー系があるが、我が国のコンプライアンス系として、J-クレジットがある。

J-クレジット制度では、これまでは取引が相対で市場が形成されていないため取引量や価格が不明であり、明示的カーボンプライスとして機能していないなどの課題があったが 2022 年 8 月の改訂で見直された。しかし、取扱量が小規模となっており、今後、企業などによる吸収系クレジットの需要増加が想定される中、クレジット供給量の拡大が望まれる。また、森林クレジットは再生可能エネルギーのクレジットと比較して現状 3～4 倍の高い価格となっており、森林計画の準備など手続きや、現場確認など認定までに時間が掛かることなどが要因と思われ、効率化を通して価格の適正化が望まれる。また、木質バイオマス・プラスチック利用におけるクレジット付与など、川下での木材利用によるクレジットの付与なども、木材利用促進に向けて重要と思われる。

また、J-クレジット制度によらない炭素吸収系・炭素除去系クレジットの創出拡大も課題であり、自然由来の国内ボランタリークレジット、ネガティブエミッション技術 (NETs) の開発に随伴する NETs クレジット、NDC (Nationally Determined Contribution; 温室効果ガス削減に向けた国が決定する貢献) の達成に資するボランタリークレジットの創出拡大などが望まれる。ボランタリークレジットの創出を促進するためにも、現在検討中の GX-ETS (日本における排出量取引制度) においてボランタリークレジットの使用が認められると、カーボン・クレジット需要が拡大すると想定される。さらには、取引安定性確保のためのカーボン・クレジットに係る法的・会計・税務的扱いの明確化も今後の課題である。

2022 年 9 月～2023 年 1 月に、東京証券取引所において、取引市場の実証試験がされた。今後の本格的な「カーボン・クレジット市場」において、ボランタリークレジットの取り扱いがされることも望まれる。

現行の森林管理のシステムの維持・向上に加え、前記の各種施策のフィージビリティを高めるための資金調達に繋がる取り組みも重要と思われる。そこで、広義のクレジットとして、企業版ふるさと納税の返礼品として炭素価値 (カーボンクレジット等) を企業宛てに提供できるようにしてはどうかと思われる (図 18)。現在、企業版ふるさと納税は、個人版ふるさと納税と異なり、「寄付者に対する経済的な見返り (返礼品等)」が禁止されている。これは自治体の入札・契約制度において、寄付者に特別の対応がされないためといった背景もあるが、返礼品を炭素価値に限定し許容することについては入札・契約制度の妨げとならず、それぞれの当事者の課題解決の一助となるのではと考えられる。

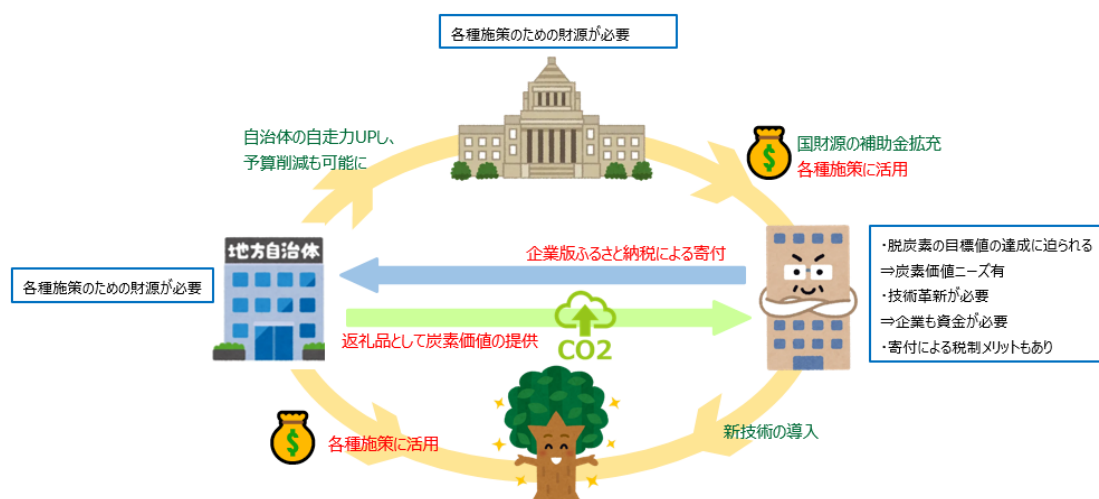


図 18. 企業版ふるさと納税の返礼品として炭素価値 (クレジット等) 提供のイメージ

また、クレジットと直接は関係ないが、金融の視点からの木材需要の創出として、REIT (Real Estate Investment Trust: 不動産投資信託) の活用が挙げられる (図 19)。2022 年 11 月末現在、J-REIT・私募 REIT の保有不動産は約 5,800 物件、約 27 兆円と巨大になっ

ており、この大きな需要に対して木造建築物の国内不動産の供給態勢を整えることが木材需要の創出において大事だと考えられる。機関投資家からも ESG 投資への強い要請があり、REIT による中高層木造建築物の取得推進へのインセンティブは強いと思われる。課題は、木造建築物の法定償却年数が 22 年と短く、SRC 造 (Steel Reinforced Concrete : 鉄骨鉄筋コンクリート造) や RC 造 (Reinforced Concrete : 鉄筋コンクリート造) と同等の償却年数が認められると市場が拡大すると思われる。また、建設コスト高も課題であり、こちらは木造需要の増大とともに木材調達コストも低減すると期待される。前述のように、木材需要の拡大に伴い、木材の伐採が進めば、新たな植栽が可能となり、CO2 吸収・炭素固定につながると思われる。

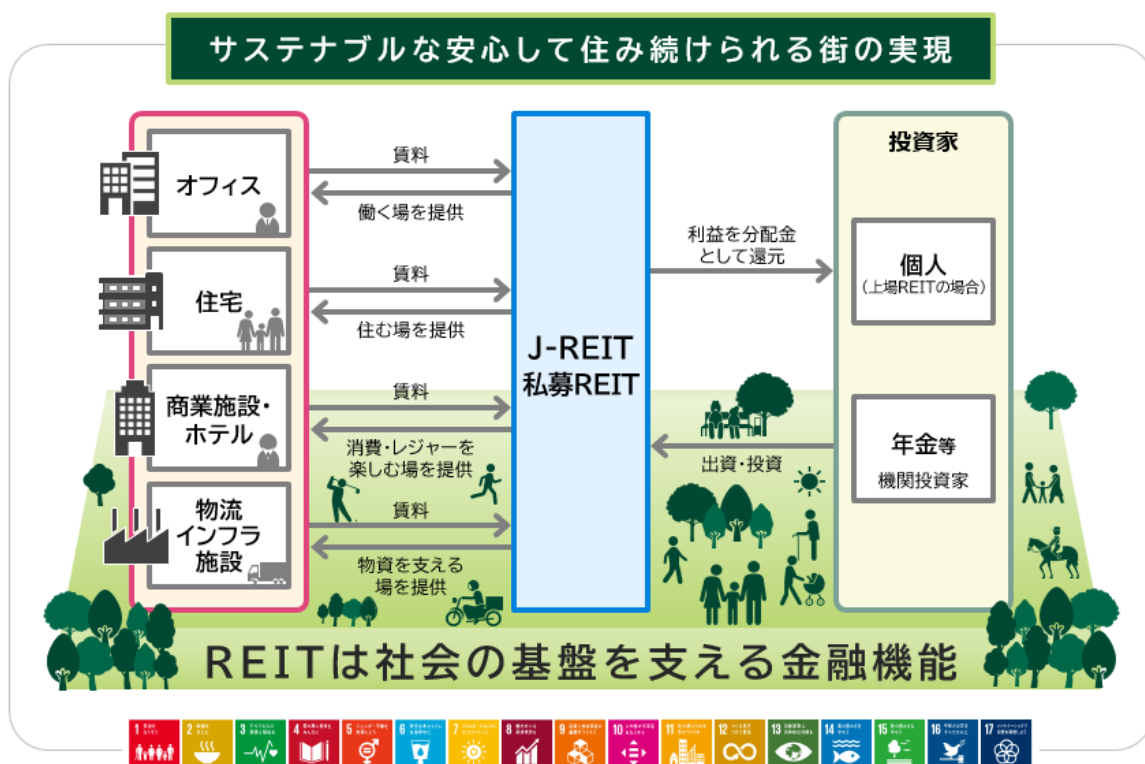


図 19. REIT を利用した街づくりを通しての地域創生・地域活性化

<CO2 経済の流れと課題>

上述のように、カーボンニュートラルに向けて森林の炭素固定を促進するためには、森林サイクルの木材伐採と植栽の部分がボトルネックであり、木材需要の拡大とともに林業の活性化も課題である。林業の活性化においては、資金が林業に還流され、林業経営が健全化されることも重要である。

今後、炭素固定化の価値が債権、クレジットやトークン化などにされていく際に、森林の炭素固定量の「データ精度」が重要になると予想される。炭素固定量算出のための森林リモートセンシング測定において、各種測定方法が提案される中、測定精度を上げるほどコストが掛かるため、このトレードオフの解消が課題となる。

また、林業経営の健全化においては、林業の収益性向上のため木材需要の創出、生産性向上や森林サイクルの短期化なども必要である。木材需要の創出においては、都市のインフラ系素材（ガードレールや防音壁など）や、木質バイオマス・プラスチックなどが挙げられ、国内樹木の伐採と木材の搬出がボトルネックと言われており、木材需要の創出は特に重要と言える。林業の生産性向上においては、機械化、自動化、電化を推進するとともに、デジタル化、ビッグデータ処理、AI、5GなどのICTを駆使したスマート林業が望まれる。

さらには、需要（市場）側と川上（林業）側との需給データのマッチングも課題である。森林サイクルの短期化は、生産性向上とCO2吸収量向上に寄与するため、エリートツリーや早生樹などの成長の早い樹木への期待が高いが、今後、どのような樹を植栽すればよいのか等の候補樹の選択とその市場性の確認、育種や品種改良、植栽場所の土壌・地位の適正や施業方法、そして生物多様性などへの影響なども検討していく必要がある。

そのためには、環境のライフサイクル・アセスメント(LCA)手法を確立するとともに、これまでのフローのCO2排出を扱うLCAに加えて、炭素蓄積のストック評価のためのLCA手法も確立する必要がある。また、得られた炭素固定量データのトレーサビリティの確保および信用の担保のためのブロックチェーン技術の活用も促進する必要がある。さらに、林業に資金を還流するための上質なクレジットやトークンなどの制度設計や、量の拡大と適正価格化が望まれる。そして、これらを流通する「カーボン・クレジット市場」などの炭素価値取引市場の形成もCO2経済確立のために必要と考える（図20）。このように、森林の炭素固定の価値に基づくCO2経済の確立を通して、「緑のエコシステム」が目指す社会を実現し、2050年カーボンニュートラルの達成への貢献を目指している。

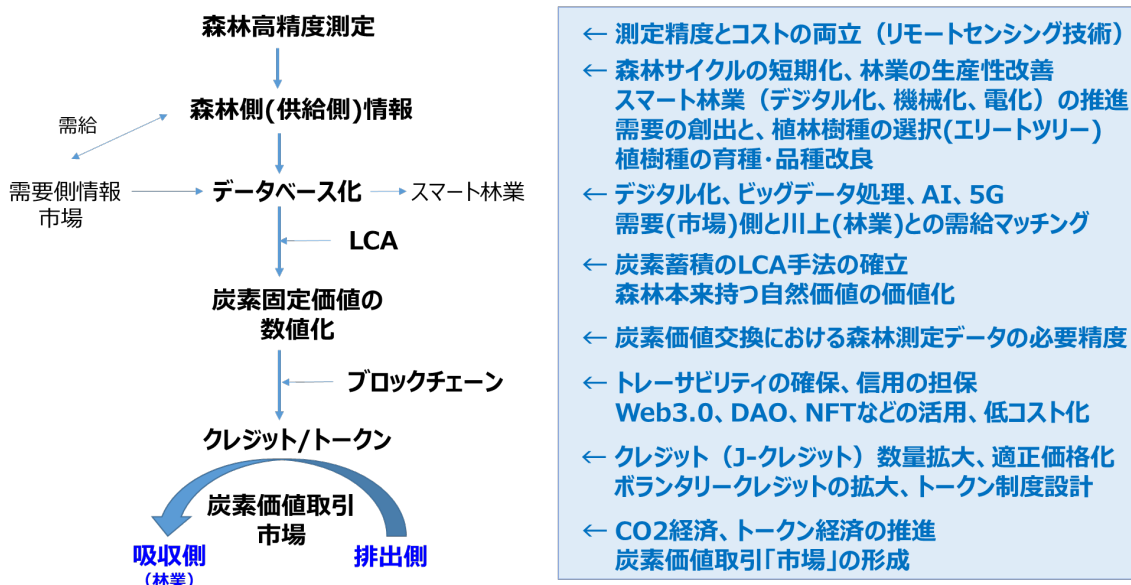


図 20. CO2 経済の流れと課題

また、クレジットなどの炭素価値の取引市場を通さず、DAO(Decentralized Autonomous Organization、分散型自律組織)のようなブロックチェーンを利用した NFT(Non-Fungible Token、代替不可能なトークン)を用いた技術で、直接、市民や投資家から植栽などの山林での活動に、トークンなどの経済的な炭素固定価値が廻る仕組み作りも、今後、林業の活性化に寄与できると思われる(図 21)。

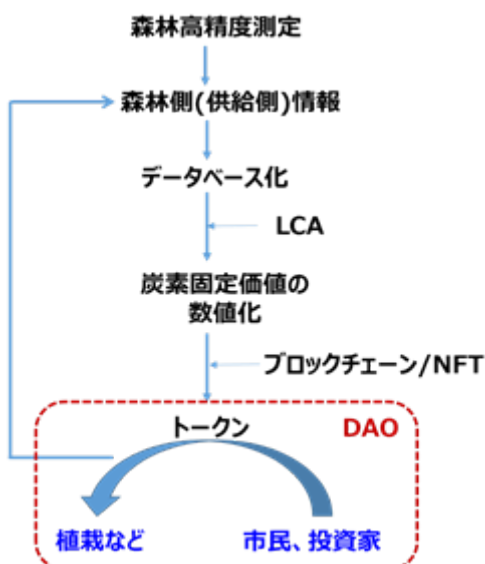


図 21. DAO 活用による植栽の促進

当PJでの「森林カーボン資源循環経済圏構想」における各施策の議論を表3にまとめた。

表3. 各施策の課題と対策、政策提言など

施策項目	課題と対策	政策提言など
3-1. CO2吸収の早い森林システムの育成	・生産性の向上：機械化、ICTを駆使したデジタル化などのスマート林業を推進、再造林コストの低減(伐採-造林の一貫作業化、コンテナ苗活用など)	・基礎検討はされており、実証検討が必要なステージである。
	・森林サイクルの短期化：エリートツリーや早生樹などの成長の早い樹木の活用が必要である。候補樹の選択とその市場性の確認、育種や品種改良、植栽場所の土壌・地位の適正や施業方法、そして生物多様性などへの影響なども検討していく必要がある。	・国のCO2削減(吸収)への貢献のためには、エリートツリー、早生樹の炭素蓄積の基礎データの蓄積が必要であり、そのフォローを国にお願いしたい。
3-2. 長期利用可能な木質バイオマスプラスチックの開発	・木材需要の創出：木質バイオマスのプラスチック利用(汎用プラ) (既存ナフサ代替)では、油化、ガス化などの技術開発が必要である。	・木質バイオマスの油化などの技術開発は、バリューチェーン上における数社が協力し、国のGI基金への公募が考えられる。
	・木材需要の創出：木質バイオマスのプラスチック利用(機能性プラ)では、高分子化の技術開発が必要である。	・技術開発はバリューチェーン上における数社が協力し、GI基金またはNEDO事業への公募などが考えられる。
3-3. 高精度森林計測技術の開発	・測定精度向上とコストとのトレードオフの解消：森林在庫管理	・ドローン測定などの規制緩和(←現在、規制緩和進行中につき、実証などを通じて、具現化する必要がある)
3-4. ライフサイクルアセスメント(LCA)技術の開発	・森林の炭素蓄積量などストック評価方法：森林計測値からの炭素ストック量評価方法の検討	・大学で基礎検討が必要である。
	・森林計測精度とCO2経済価値化との整合性の評価：ブロックチェーン技術の活用	・大学で基礎検討が必要である。
	・CO2吸収以外の森林の機能のアセスメント：防災機能、水源涵養、生物多様性などを含めた総合アセスメント手法の検討	・大学で基礎検討が必要である。
3-5. CO2流通市場用ブロックチェーン技術の開発	・炭素固定量データと経済的価値化されたデータ(クレジット、トークンなど)との価値の交換方法：川上と川下との接続検討	・ブロックチェーン技術はすでにあり、実証を通じて課題を抽出することが望ましい。
3-6. CO2クレジット制度の進化	・上質なクレジットなどの制度設計	・ボランタリークレジットの創出を促進(需要を拡大させる)ためにも、国にはボランタリークレジットの活用を検討をお願いしたい。 ・カーボンクレジット市場でもボランタリークレジットの取り扱いの検討をお願いしたい。 ・GX-ETS(日本における排出量取引制度)においてもボランタリークレジットの取り扱いの検討を国にお願いしたい。 ・NDCに対応したボランタリークレジットの整備を国にお願いしたい。 ・取引安定性確保のためのカーボン・クレジットに係る法的・会計・税務的扱いの明確化を国にお願いしたい。
	・Jクレジットの量の拡大と適正価格化：企業のオフセット希望量(数万t)への対応と、適正価格化(数千円)	・長期保有が大前提の森林において、クレジット販売期間が8～16年と短いため、クレジット販売の収益ではなかなか森林への投資は進まない可能性が考えられる。 ・Jクレジットでの数量拡大と、適正価格化の検討を、国にお願いしたい。
	・企業版ふるさと納税の返礼品にクレジットを活用：Jクレジットの拡大	・企業版ふるさと納税の返礼品として炭素価値(カーボンクレジット等)を企業宛てに提供できるよう国にお願いしたい。
	・REIT：REITを活用した木造建築物取得による木材需要の創出	・REITによる木造建築物取得推進を阻害する要因(①償却年数問題22年、コスト高)の解消を国にお願いしたい。
全体 ・地域を特定し、地域に応じた取り組みを行う ・北海道、東北、関東、関西、九州の各地区で候補抽出など	step1：各種木材情報のデジタル化：アナログからデジタルデータ化へ	・実証を通じて、課題の抽出が望ましい。
	step2：サプライチェーン全体のデジタル化、川上～川中～川下のデジタル情報の共有化、需要と供給のマッチング、ロジステックスの最適化、プロダクトアウト・在庫の見える化	・実証を通じて、課題の抽出が望ましい。
	step3：ブロックチェーンでトレーサビリティの確保	・実証を通じて、課題の抽出が望ましい。
	step4：ネット上で炭素固定価値と経済的価値との交換、Web3、DAO、NFT技術を利用し、投資家/市民などから直接、山元に資金が回る仕組み作り。	・Web3、DAOなどは、Web3環境の整備が必要で、どこまで金融取引などの判断や、会計、税制の整備を国にお願いしたい。



添付資料2【講演会・勉強会の内容】

- 7月22日 株式会社志賀郷社 代表取締役 今西恵一様
「素材生産者のJクレジット」
- 8月1日 三重大学大学院 生物資源学研究科 准教授 瀧上佑樹様
「ライフサイクルアセスメント(LCA)技術の開発」
- 8月8日 株式会社みずほリサーチ&テクノロジーズ 荻田竜史様
「J-クレジット制度(森林)説明会」
- 9月8日 株式会社三菱 UFJ 銀行 サステナブルビジネス部
企画開発グループ 調査役 王楠様
「カーボンクレジットと国内林業について」
- 11月30日 島根大学 学術研究院農生命科学系 准教授 米康充様
「高精度森林炭素蓄積計測」
- 11月9日 京都市 産業観光局農林振興室 林業振興課 課長 南孝之様
「京都市の林業振興と森林管理」
- 11月9日 京都府森林組合連合会 参事 松田純一様
「京都府の林業の現状と課題」
- 11月21日 林野庁 木材利用課 課長補佐 櫻井知様
「森林・林業・木材産業の現状と課題」
- 11月30日 宮城県林業技術総合センター 技術副参事兼総括技術次長 伊藤彦紀様
「Dが森林と都市をXする II」
- 11月30日 富士通株式会社 デジタルソリューション事業本部 竹之下誠様
「ブロックチェーン技術とトークン化による
カーボンオフセットの効率的な流通に向けた取り組みご紹介」
- 12月14日 株式会社三井住友銀行 専務執行役員 沢田渉様
「森林サーキュラーエコノミーへの挑戦」
- 12月14日 京都大学大学院農学研究科 准教授 村田功二様
「国産早生樹センダン利用の過去・現在・未来」

添付資料3【定義】

・CO₂吸収量と炭素固定量

樹木は、大気中のCO₂を吸収し、セルロースやリグニンなどの炭素化合物として固定している。樹木の材積を測定し、得られた材積データおよび比重から炭素(C)固定量を求め、さらに炭素固定量に44/12(=CO₂/C)を掛けることでCO₂吸収量に換算される。

・ブロックチェーン技術

「取引を記録する」技術のことで、取引記録を“ブロック”状にまとめ、それを一本の“チェーン”のように繋げて保存することからそのように呼ばれている。暗号技術を用いてデータを記録するため、データの改ざんが困難で、ネットワークの参加者が全員同じデータを共有することが可能な分散型台帳システム。

・トークン

偽造や改ざんが難しいブロックチェーン技術を用いて、企業や団体などが独自に発行するデジタル化された権利、資産のこと。

・NFT (Non-Fungible Token ; 代替不可能なトークン)

ビットコインのように1つ1つの単位が同じ交換価値を持つ“代替可能”な資産ではなく、それぞれが固有のものである特殊なトークンのことを指す。NFTは1つ1つが固有のものであるため、美術品や録音物、仮想現実の不動産などのデジタル資産の所有権を認証するために使用可能。

・DAO (Decentralized Autonomous Organization ; 分散型自律組織)

ブロックチェーン上で世界中の人々が協力して管理・運営される組織のこと。参加者が自律的に活動することにより、特定の所有者(株主)や管理者(経営者)が存在せずとも、事業やプロジェクトを推進していくことができる組織。DAOの意思決定に関わるには「ガバナンストークン」を保有する必要がある、トークン保有者はDAOの組織運営に対する提案をしたり、意思決定に関わる投票に参加したりする権利を得られる。

・カーボン・クレジット

CO₂などの温室効果ガスの排出削減量や吸収量などをクレジットとして発行し取引可能にしたもの。炭素価格(カーボン・プライシング)の一種で、法的拘束力がない自主的な取り組み。

・J-クレジット制度

省エネルギー機器の導入や森林経営などの取組による、CO₂などの温室効果ガスの排出削減量や吸収量を売買可能な「クレジット」として国が認証する制度。

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 Fax : 03-5510-6932

E-mail : jimukyoku@cocn.jp

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

事務局長 山口雅彦