

【産業競争力懇談会 2022年度 プロジェクト 中間報告】

## 【緑のエコシステム】

2022年10月20日

産業競争力懇談会 **COCN**

## 【エクゼクティブサマリ（中間）】

### 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CO<sub>2</sub>の吸収、炭素固定、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、森林の持つ炭素固定価値に基づくCO<sub>2</sub>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

カーボンニュートラル対策の中で、CO<sub>2</sub>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）。

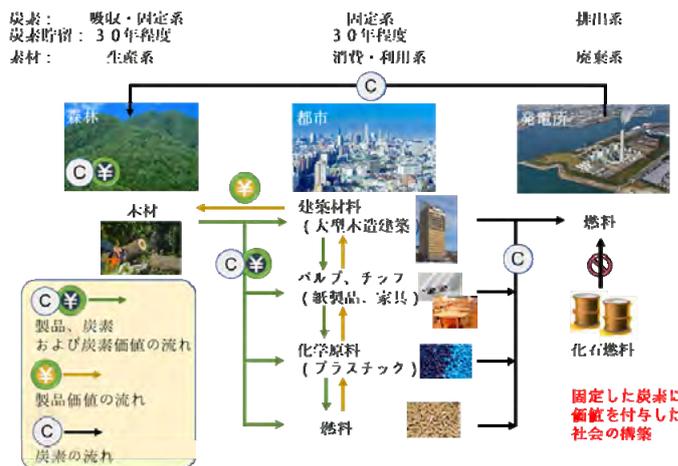


図. 「緑のエコシステム」が構築を目指す社会モデル例

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栽も可能となり、さらなるCO<sub>2</sub>の吸収・炭素固定につながると思われる。

### 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、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、モデル事業として、「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、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。

## <施策>

### 3-1. CO2 吸収の早い森林システムの育成

生産性の向上と森林サイクルの短期化が重要である。前者は、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する必要がある。後者は、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。また、林業の活性化においては、資金が林業に還流され、森林経営が健全化されることを図るべきである。

### 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

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林の部分がボトルネックであり、特に木材需要の創出が重要である。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・プラスチックなどの開発が必要である。

### 3-3. 高精度森林蓄積計測技術の開発

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。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、このトレードオフが解消されるべきである。

### 3-4. ライフサイクル・アセスメント(LCA)技術の開発

これまでの原料などのインプットとアウトプットから CO2 排出量を扱う LCA に加えて、森林における炭素蓄積量の評価のための LCA 手法も開発する必要がある。

### 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)とのデジタル変換方法、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を図るべきである。

### 3-6. CO2 クレジット制度の進化

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。

## 4. 最終報告書に向けた検討上の課題と展開

最終報告書に向けて、中間報告書で取りまとめた個々のテーマの深掘りを進めるとともに、テーマの優先順位を付け、産官学の役割分担も明確にし、本プロジェクト後のスケジュールイメージを作成する。

## 【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 .....	7
提言 .....	7
施策 .....	8
3-1. CO2 吸収の早い森林システムの育成 .....	8
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 .....	10
3-3. 高精度森林蓄積計測技術の開発 .....	12
3-4. ライフサイクル・アセスメント(LCA)技術の開発 .....	13
3-5. CO2 流通市場用ブロックチェーン技術の開発 .....	13
3-6. CO2 クレジット制度の進化 .....	14
CO2 経済の流れと課題 .....	15
4. 最終報告書に向けた検討上の課題と展開 .....	17
参考資料【定義】 .....	18

## 【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	株式会社志賀郷社栄	今西 恵一
12	メンバー	株式会社志賀郷社栄	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	株式会社三井物産戦略研究所	本郷 尚
38	メンバー	株式会社三菱総合研究所	古屋 孝明
39	メンバー	三菱電機株式会社	森 一之
40	メンバー	三菱電機株式会社	佐藤 剛彦
41	メンバー	三菱電機株式会社	梁瀬 徹行
42	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
43	COCN 担当実行委員	鹿島建設株式会社	森山 善範
44	COCN 担当実行委員	住友化学株式会社	上田 博
45	COCN 担当実行委員	ソニーグループ株式会社	島田 啓一郎
46	COCN 担当実行委員	第一三共株式会社	熊倉 誠一郎
47	COCN 担当企画小委員	日本電気株式会社	武田 安司
48	COCN 担当企画小委員	トヨタ自動車株式会社	佐藤 桂樹
49	COCN 事務局長	一般社団法人 産業競争力懇談会	山口 雅彦
50	COCN 副事務局長	一般社団法人 産業競争力懇談会	五日市 敦
51	COCN 副事務局長	一般社団法人 産業競争力懇談会	土肥 英幸
52	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
53	COCN 企画小委員	富士通株式会社	大久保進之介
54	COCN 企画小委員	株式会社日立製作所	菊地 達朗
55	COCN 企画小委員	三菱電機株式会社	金枝上 敦史
56	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CO<sub>2</sub>の吸収、炭素固定、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、森林の持つ炭素固定価値に基づくCO<sub>2</sub>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、温暖化ガス削減は世界の重要課題となってきた。2021年8月には、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」とされた。それを受けた第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、及び影響が既にすべての地域で感じられていることに警告と最大限の懸念を表明するとともに、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、これによって気候変動のリスクと影響を大幅に軽減できるとした。また、地球温暖化を1.5℃に抑えるためには、世界のCO<sub>2</sub>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た。さらに、社会や環境の保護を確保しつつ、条約の長期的で地球規模の目標を達成するため、CO<sub>2</sub>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。これらなどにより、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。

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CO<sub>2</sub>排出削減が重要であるものの、プロセス由来のCO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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1）。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CO<sub>2</sub>吸収・炭素固定につながると考えられる。

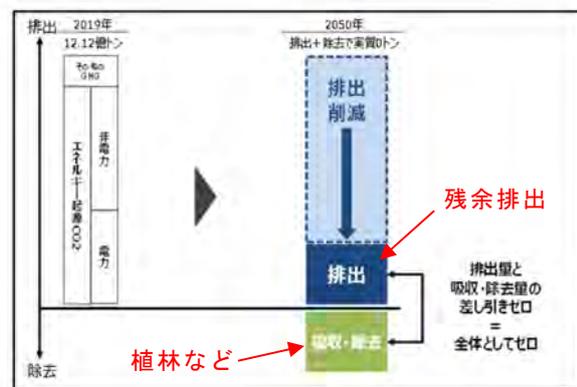


図1：カーボンニュートラルにおける吸収・除去

しかしながら、日本の森林における CO2 吸収量は減少傾向にある。それは、間伐などの森林の管理が十分されていないことに由来している。林業活性化のためには、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、資金が林業へ還流する仕組みが必要と考えている。

一方、CO2 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措置など、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価値を付与する仕組みが取り入れられている。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。

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。

人工林は植栽、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 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。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。

カーボンニュートラル対策の中で、CO<sub>2</sub> 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 3）。

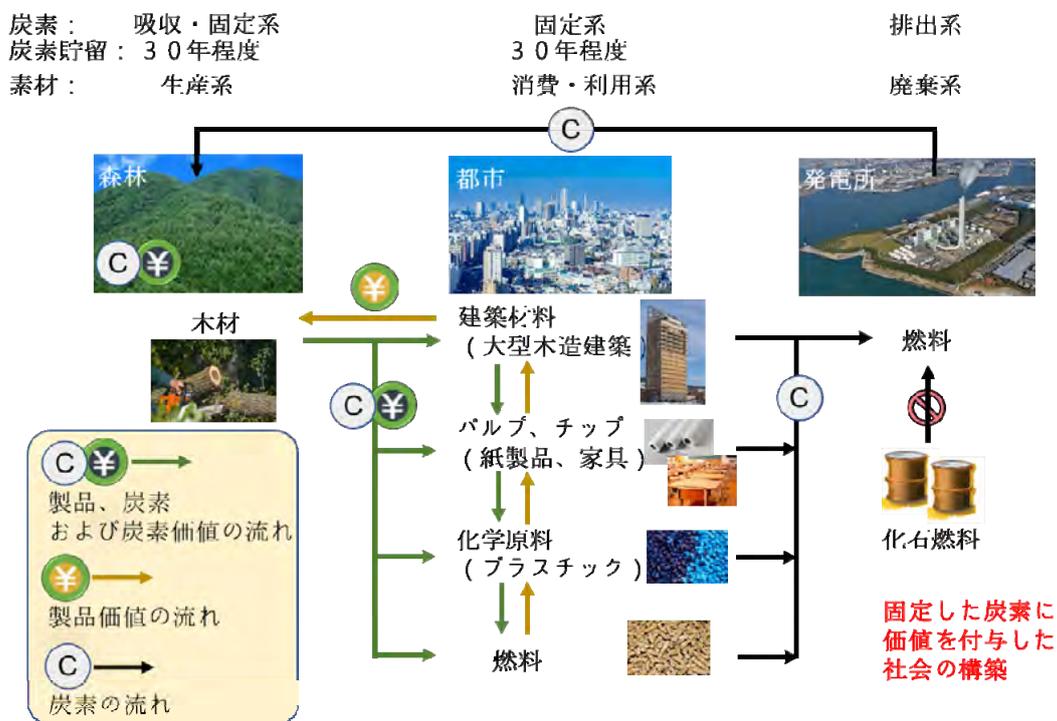


図 3. 「緑のエコシステム」が構築を目指す社会モデル例

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。国内での森林での伐採が進めば新たな植栽も可能となり、さらなる CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 4）。

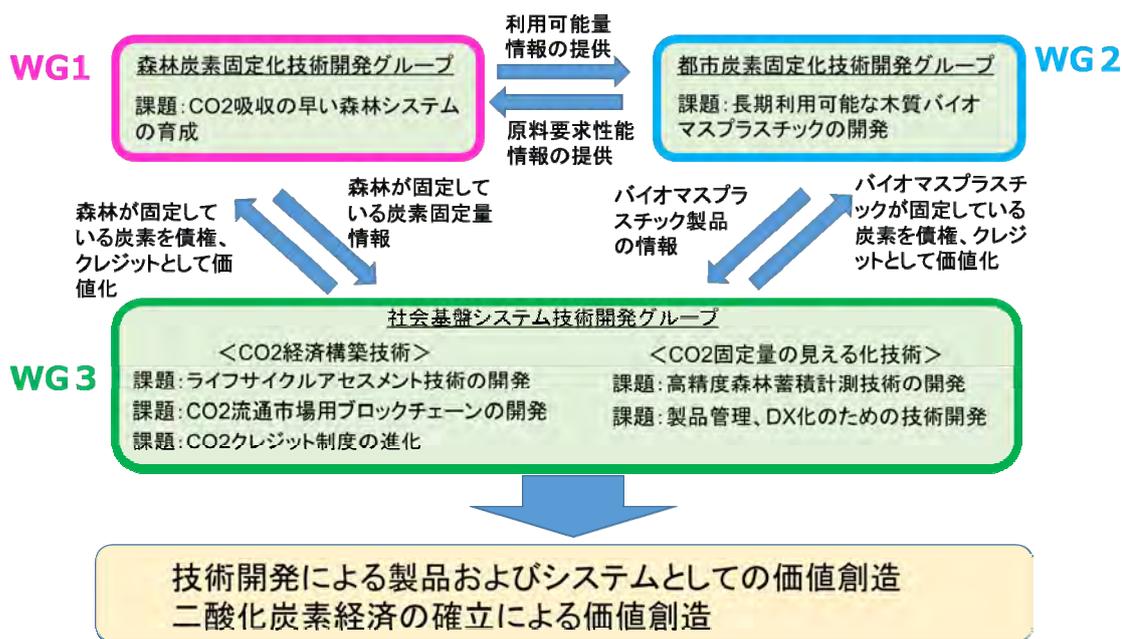


図4. 緑のエコシステム構築に向けた課題

### 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CO<sub>2</sub>の吸収、炭素固定、エネルギー産生、環境対応を「緑のエコシステム」としてサプライチェーン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CO<sub>2</sub>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5）。

#### 【CO<sub>2</sub>経済確立に向けた課題】

- 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

#### 【CO<sub>2</sub>経済確立に向けた施策】

- 3-1. CO<sub>2</sub>吸収の早い森林システムの育成
- 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
- 3-3. 高精度森林蓄積計測技術の開発
- 3-4. ライフサイクルアセスメント(LCA)技術の開発
- 3-5. CO<sub>2</sub>流通市場用ブロックチェーン技術の開発
- 3-6. CO<sub>2</sub>クレジット制度の進化

図5. CO<sub>2</sub>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、例えば、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、モデル事業として、「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、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。

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、その結果として森林の高樹齢化が進み、CO2 の吸収率が落ちている。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、CO<sub>2</sub>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6）。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CO<sub>2</sub>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6. 早生樹や高機能樹の育種と活用

また、林業の生産性を改善し、森林によるCO<sub>2</sub>の吸収を促進するには、森林サイクルの短縮化（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CO<sub>2</sub>吸収能を合理的にCO<sub>2</sub>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。令和6年度より森林環境税が導入されるが、いわゆる林業のサプライチェーン（図7）の川上における課題に対する活用だけでなく、木材利用などの川下に対する有効活用にも期待したい。

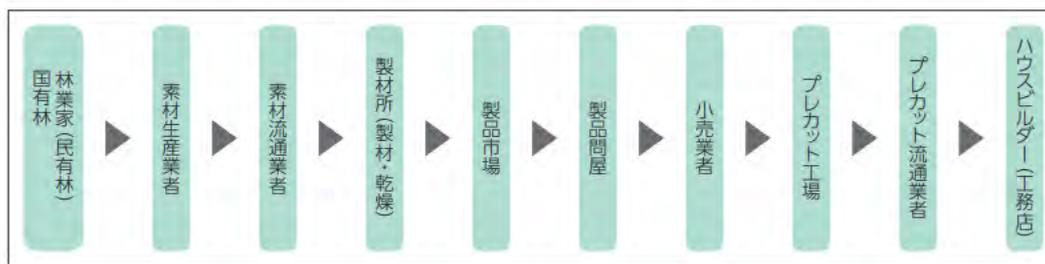


図7. 通常の林業のサプライチェーン（出典：AFC フォーラム）

### 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を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角材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CO<sub>2</sub>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8）。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。

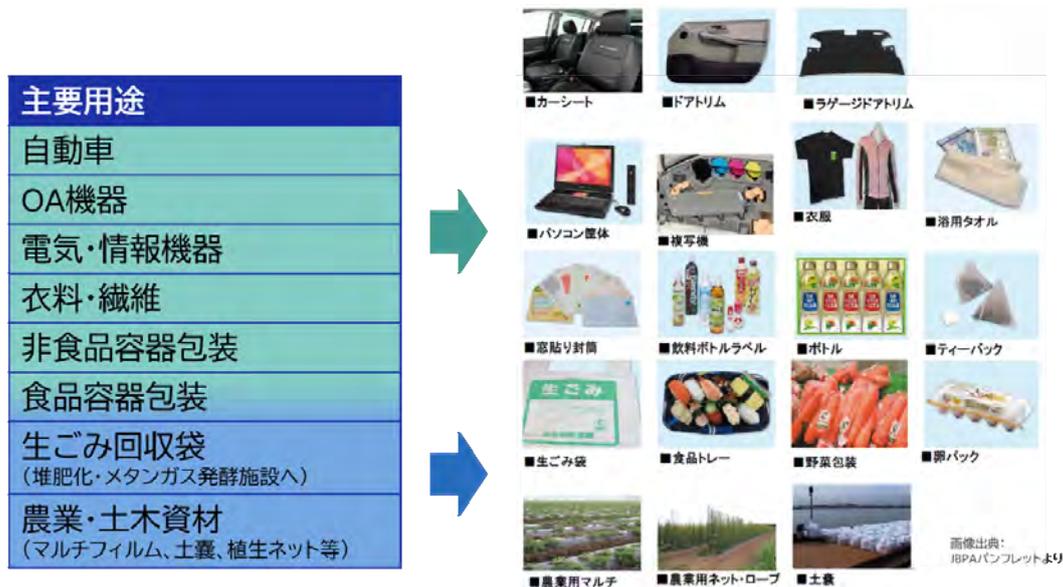


図8. バイオプラスチックの主な用途（画像出典：JBPAパンフレット）

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。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。

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の検討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

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。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。

また、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9、表1)。地上においてもLiDAR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。

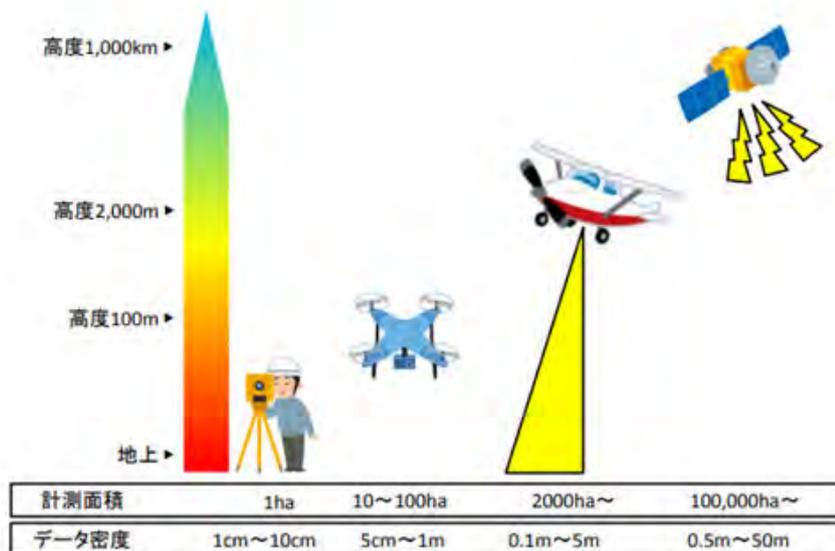


図9. 各種センシング方法のプラットフォームの比較

(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 1. 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

森林の植栽-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、CO<sub>2</sub> の排出は扱うが、炭素蓄積 (CO<sub>2</sub> 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。

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・プラスチックにおいては、上記の炭素蓄積へ対応した 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 CO<sub>2</sub> 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. CO<sub>2</sub> 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) との変換方法やその精度、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 10)。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。

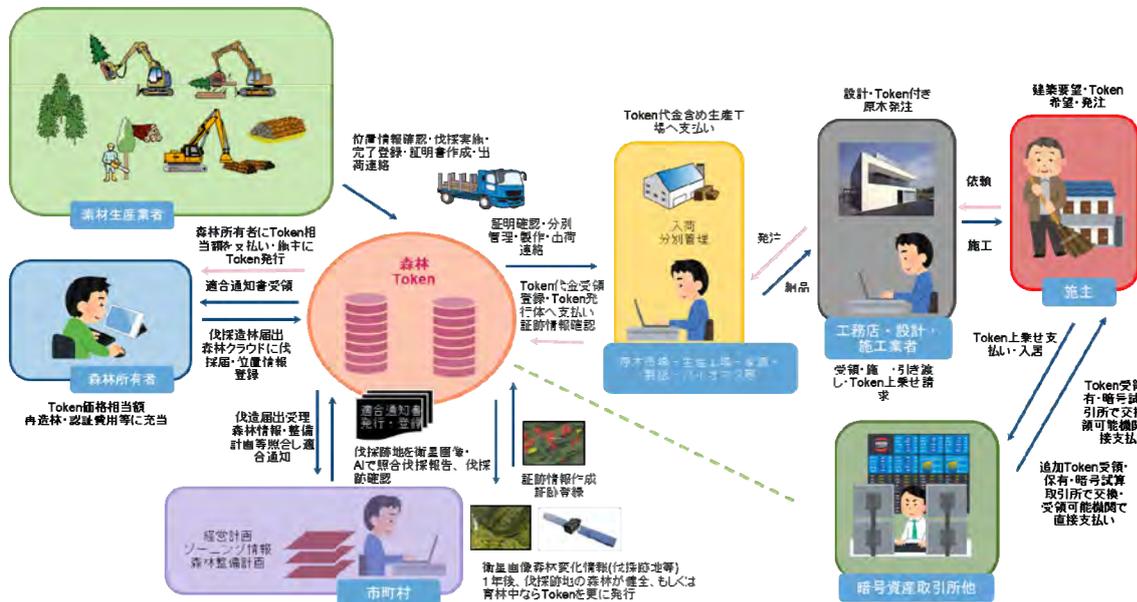


図 10. 将来の林業分野でのブロックチェーン技術を利用したトークン活用のイメージ

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 の直接取引も可能性がある。また、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。

### 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・炭素固定の価値を合理的に CO2 経済に組み込むべきであり、炭素固定量を経済的に価値化する方法として、債権、クレジットやトークンなどの利用が挙げられる。クレジットにはコンプライアンス系とボランタリー系があるが、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、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る。また、対象が赤字事業に限定されており、取扱量が小規模となっている。本年 8 月の方法論の改訂において、木材製品による固定炭素量のクレジット化が認められたものの限定的な量となることが想定され、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いる。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り、投資回収に時間が掛かることが課題となっている。また、木材利用での利用側でのクレジットの付与の可能性や、木質バイオマス・プラスチックにおけるクレジットの可能性なども議論が必要である。

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の創出の促進や、ネガティブエミッション技術 (NETs) の開発に随伴する NETs クレジット創出の促進なども望まれる。また、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も望まれる。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。

本年9月より、東京証券取引所による取引市場の実証試験が開始され、炭素価格の公示、クレジット流通市場や、紛争処理にも対応するための公的なインフラのとしての「カーボン・クレジット市場」の創設も望まれる。

#### <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CO2排出を扱うLCAに加えて、炭素蓄積の評価のためのLCA手法も確立する必要があり、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11)。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。

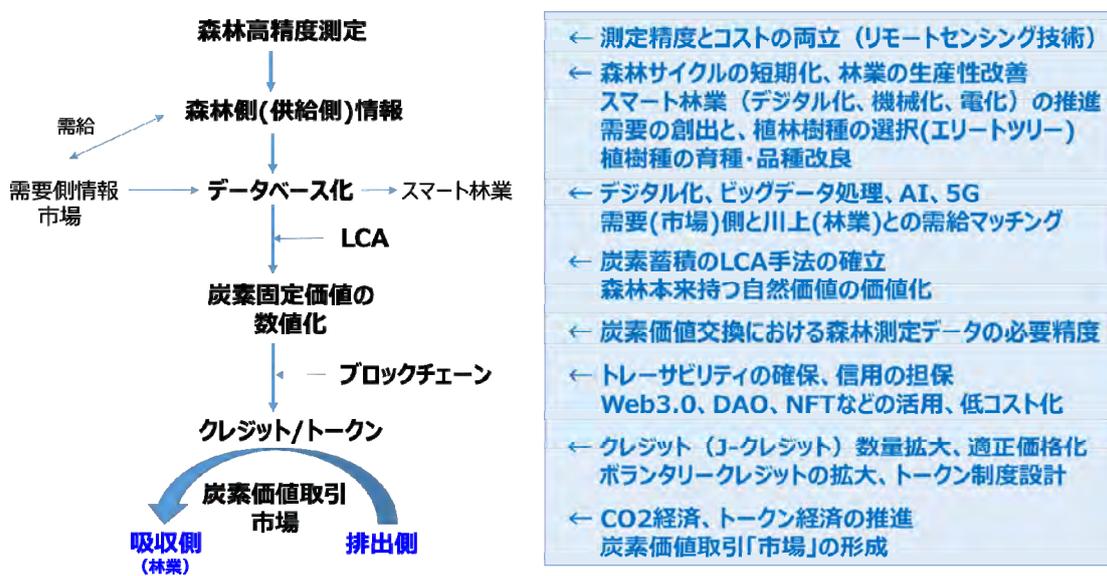


図 11. CO2 経済の流れと課題

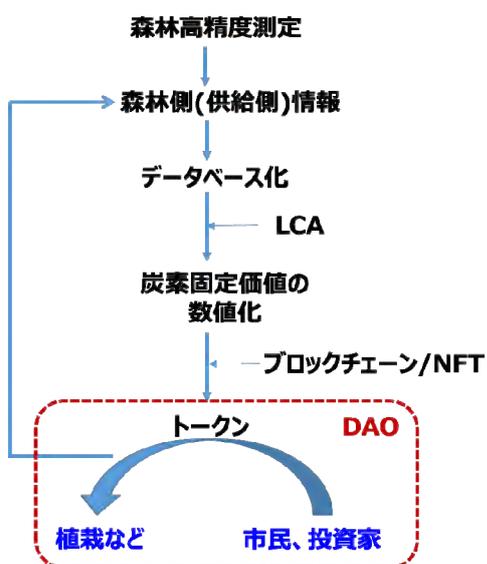


図 12. DAO 活用による植栽の促進

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回る仕組み作りも、今後、林業の活性化に寄与できると思われる(図12)。

#### 4. 最終報告書に向けた検討上の課題と展開

最終報告書に向けて、中間報告書で取りまとめた個々のテーマの深掘りを進めるとともに、テーマの優先順位を付け、産官学の役割分担も明確にし、本プロジェクト後のスケジュールイメージを作成する。

具体的には、政府、地方自治体、林業経営体なども巻き込み、官民の有識者からのヒアリングやプロジェクト・メンバー間での情報交換・検討などから産業界視点で洗い出した課題に対し、解決案の検討を行う。本テーマは、サプライチェーンにおける技術分野や携わるプレイヤーが多種多様であり、複数の省庁を跨ぐ案件が多いことを踏まえ、省庁横断的に関係省庁との連携にも期待したい。

ほぼ月次にネット上で開催するプロジェクト会および WG において、メンバー間で解決策について検討、協議する。

以上

## 参考資料【定義】

### ・CO<sub>2</sub> 吸収量と炭素固定量

樹木は、大気中の CO<sub>2</sub> 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 (=CO<sub>2</sub>/C) を掛けることで CO<sub>2</sub> 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

CO<sub>2</sub>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、CO<sub>2</sub>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