

第4章 循環型資源の活用とSDGsの関係性

—地球環境や社会・経済の持続性への森林資源の育成とリサイクルの有り方—

はじめに：

気候変動や自然災害等の多発が、世界各地で深刻になる中、地球の環境や社会・経済の持続性への危機意識を背景に、国連サミットの多様性の活動として、採択された「持続可能な開発目標（SDGs）」が、17の目標に分類化され、

更に展開された169の身近なテーマに対し、世界全体で活発に取り組んでいます。その中で世界的に森林資源の森林・林業・木材産業の分野は、近年関心が高まりどう多様性的に活動し、如何にSDGsの目標達成に貢献していくのか考えたいと思います。

（末尾 p.14【表-7】建築界に係わりの深いSDGs10ゴールを参照）

図1 持続可能な健全な森林



4-1 SDGs視点で建築における木（森林）が果たすべき役割

低(脱)炭素社会のためには、基本的エネルギー消費量、即ちCO₂排出量の削減がテーマです。そのための資源循環型社会の構築には、「小さな循環」と「大きな循環」の意識が必要です。地球上に存在する大半の資源は、無謀に消費されるものであり、そのリサイクルと言っても資源が失われていく速度を緩める程度の「小さな循環」にしか過ぎません。これに対し木（森林）は、太陽エネルギーで育つ自然素材でありCO₂を吸収して成長し、炭素を貯蓄しながら資源を作り出す、つまり資源そのものを作り出す「大きな循環」を担っています。この木の木材としての循環には、木材が製材となる過程で、段階的に丸太→建材→おがくずの畜産利用→バイオマスとしてエネルギーの創出等に有効活用されているカスケード利用が有ると言われています。

建築業界において、必要性和メリットとして、以下の（4つの視点）が求められます。

①**社会からの要請**：パリ協定をはじめとした環境配慮型建築の普及への社会的要求として、建築分野での2030年までに約40%のCO₂排出量の削減、気候変動問題に関する具体的な対応及び、住宅供給・都市計画の脆弱性の軽減（レジリエンス※1）、環境保全、公共空間の整備などにおいて、都市と地方が連携した統合的な政策の策定

※1レジリエンス：住宅では、自然災害等非常事態から速やかに回復できる強靭さを備えた住宅のこと

②**長期的視点に基づく建築計画**：建築物のライフサイクルの非常に長く、その影響の長期化を踏まえ、有るべき将来像から逆算して目標を設定するアプローチで取り組む必要性として、資源循環型社会は、ごみの抑制（Reduce）・再利用（Reuse）・再生利用（Recycle）の「3R」に、小さな循環＝熱回収（Recover）及び大きな循環＝再生産（Renew）を加えた「5R」への取組み

③**複雑な産業構造への対応**：建設プロジェクトに参加する設計者や施工技術士、資材供給者さらに、投資家やデベロッパー、オーナー等多種多様なステークホルダー間のパートナーシップ（連携と協働）の必要性

④環境不動産と ESG 投資：投資対象は、2 つの財務的価値（土地などの資産）の省エネ建築としての光熱費の削減といった EB（エネルギー・ベネフィット）と、非財務的価値（環境 E や社会 S、ガバナンス G 等）としての環境や健康、福祉への貢献などの NEB（ノン・エネルギー・ベネフィット）がありますが、現在、この非財務的価値である ESG 重視する潮流が必要になってきます。

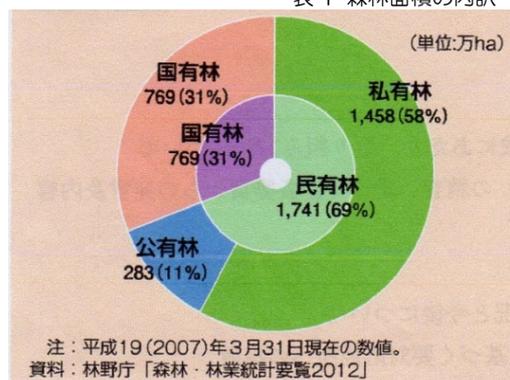
木（森林）は、地球温暖化防止に貢献させるために、消費者が生活の中で木材を多く使うように心がけ、伐って、使って、植えて、育てることで森林資源の若返りを図ることが重要で、更に次世代のために、それを学ぶ「ESD（Education for Sustainable Development）」の機会を作ることも重要であると思います。

4-2 世界有数の資源保有国・日本の森林面積及び森林率

国際連合食糧農業機関が発表する世界森林資源評価の 2015 年版の報告書によると、日本国土の森林（現在 2505 万 ha.）の森林率（陸地面積に占める森林面積の割合）は、68.5%で、OECD 加盟 34 カ国の中でフィンランド 73.1%に次ぐ第 2 位に位置し、人工林の面積もトップの中国、米国、ロシアなどに次いで世界で第 7 位の水準にあります。「天然林」と「人工林」の比は 6:4 の割合で世界有数の森林資源保有国です。

森林資源量の目安となる森林蓄積（森林を構成する樹木の幹の体積）は、52 億 4200 万 m^3 と一貫して増加傾向にあります。蓄積の内訳をみると、「天然林など」が 1966 年の 13 億 2900 万 m^3 から 2017 年には 19 億 3300 万 m^3 に、「人工林」が 1966 年の 5 億 800 万 m^3 から 2017 年には 33 億 800 万 m^3 増大し、植栽後に大きく成長する人工林の伸びが目立ちます。

表 1 森林面積の内訳



4-3 我が国の森林を取り巻く現状と SDGs

我が国の森林面積は、自然的な条件及び現況からみると、世界の森林面積が減少する中、過去半世紀にわたりほぼ横ばいで推移し、その蓄積量は、天然林、人工林とも年々増加しています。このうち、森林の 4 割を占める人工林の半数が、一般的な主伐期である 50 年生を超え本格的な利用期を迎えています。持続的な森林の利用とは、森林の成長量や蓄積を踏まえた伐採を行い、森林の適切な更新と整備により再生産を進めていき、この充実した森林資源の持続的な利用により、SDGs に貢献していくことができる状況となっています。また我が国は、その位置、地形、地質、気象等の自然的条件から、台風、豪雨、豪雪等による災害が発生しやすい国土となっています。

特に戦中・戦後の森林の大量伐採の結果、我が国の戦後の森林は大きく荒廃し、各地で台風等による大規模な山地災害や水害が発生しました。このため、木材生産という観点だけではなく、国土の保全や水源の涵養等の公益的機能の発揮という観点から、林業・木材産業とともに幅広い国民の参加を得て森林整備に取組み、その回復が図られました。我が国土の 3 分の 2 を占める森林は、水を育む、気候変動を緩和する、山地災

害を防止するなどの多面的機能を持っており、この多面的機能を発揮させ森林を利用するという行為が様々なSDGsに貢献し、そこから生み出される恵みを森林の整備・保全に還元させることで、持続可能な大きな循環を作り出すことが重要と思われます。

4-3-1 我が国の森林を取り巻く変動

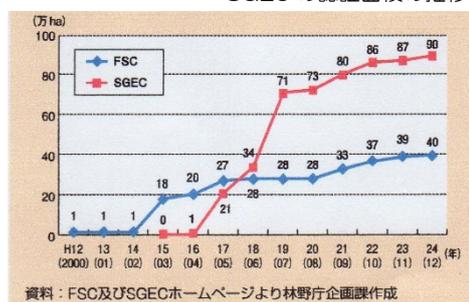
社会的・経済的な条件及び現況について見ると、

第一に、人口減少が挙げられます。森林が所在し、林業が営まれる山村地域で過疎化が進行してきたが、平成20（2008）年以降は、我が国の人口そのものが減少局面に入っています。今後100年間で我が国の人口は100年前の水準に戻っていくとの推計もあり我が国の社会全体の持続性にも影を落とす懸念もあります。

このため、地域の活力の維持を目指し地方創生に関わる様々な取組が行われており、移住者を増やしている事例もみられます。その際、地域資源の一つである森林の積極的な活用を図ることは、林業・木材産業での働く場の確保等による地域の経済循環の面でも大きな役割を果たし得るものと考えられます。

第二としては、人々の意識が生活の質（QOL）の向上を求める方向へ変化していることが挙げられます。木材を利用した空間で過ごすことに温かみや安らぎを感じる意識の一面を反映するものと考えられます。また、都市部の住民には、森林の持つリフレッシュ効果等に期待する声があり教育、健康、観光等の分野で森林空間を利用する新しい動きが出てきていることもその表れと言えます。

表2 我が国におけるFSC及びSGECの認証面積の推移



4-3-2 健全な森の育成

森林認証制度は、適正に管理された森林から産出した木材などを独立した第三者機関が、評価・認証すると共に、認証マークを付けることによって、持続可能な森林の利用と保護を図ろうとする制度のムーブメントがあります。

森林認証制度としては、1993年に林業者、木材引取業者、先住民団体、自然保護団体などが集まり設立された国際NGO森林管理協議会（FSC）と「森林管理協議会（FSCマーク）」と、ヨーロッパ11か国の認証組織による更に国際的な森林認証制度として1999年に小規模林業に対応する形で発足した「PEFC森林認証プログラム」があります。



4-3-3 DX※2で林業の生産性向上

林業は、造林から収穫まで長期間を要し、厳しい自然条件下での人力作業が多いといった特性があり、このことが低い生産性や安全性の一因となっています。これを抜本的に改善するため、森林・林業基本計画では、新技術を活用し、伐採から再造林・保育に至る収支のプラス転換を可能とする「新しい林業」を展開することとし、森林資源でのDX推進・ICTを活用した資源管理・生産管理を行うデジタル化／スマート林業をはじめとし

た「林業イノベーション」による先進技術の導入促進のための異分野の技術探索や、産学官の様々な知見者による専門委員会からの助言を得つつ新技術の開発が著しく進展している新技術を積極的に活用し、森林管理や林業の効率化等を図ることが期待されています。
※2 DX (Digital Transformation)：企業が AI、IoT、Big data などのデジタル技術を用いて業務効率化や新たなビジネスモデルの創出を実現させること。

4-3-4 森林、木材の利用活用で実現する脱炭素社会

我が国において、現実には低層住宅の8割は木造ですが、使用されている木材の半分は輸入であり、それを国産材に替えて行く余地があります。また、中高層建物は、住宅、非住宅に関わらずほとんどが鉄筋コンクリート造ですが、この分野にも新技術で進化した木造の活用を進めるべきです。また海外からパーム油、天然ゴム、大豆などを含む森林コモディティ※3を調達する多くの日本の農林産品を使って

商品を流通させている企業に対し、取り扱う製品が持続可能に生産された原材料を使用しているのか、**サプライチェーン**※4の観点から、世界の消費者は問い始めています。原産国の法律を遵守して生産されているか、新たな森林減少や土地転換を伴う開発を引き起こしていないか、先住民や地域コミュニティの権利に十分配慮しているか、こうした点を確認する方針を、確立・実行し、持続可能な調達を行なうことが、企業には今後益々強く求められます。

※3 コモディティ (commodity)：完全または実質的な代替可能性を持つ経済的価値またはサービスである。市場はその商品価値を同等かほぼ同じとして扱う。鉄鉱石、砂糖、米や小麦等穀物、原材料、根幹資源、農作物、鉱業生産品。

※4 サプライチェーン (Supply Chain)：商品や製品が消費者に届くまでの一連の生産・流通プロセスを指す。具体的には、原材料・部品の「調達」→商品の「製造」→「在庫管理」→「物流・流通」→「販売」といった一連のプロセスの連鎖になる。

表3 森林面積と人工樹種別面積

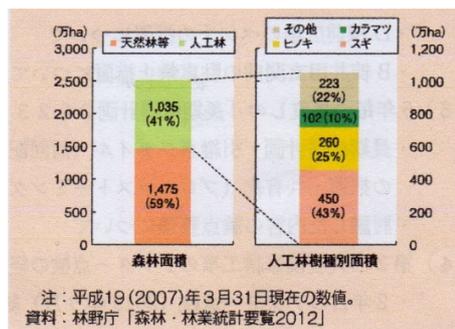
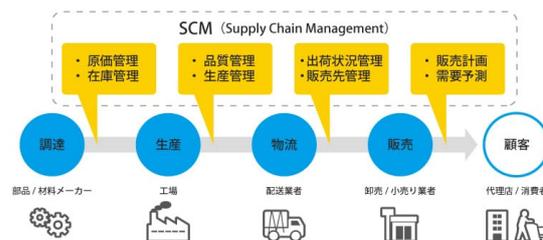


図2 メーカーサプライチェーン



4-4 木材料としての科学的性質

木を材料として長く使い続けるためには、強度や耐久性など性能を科学的に評価する必要があります。ところが木は生き物ですから、そっくり同じものは二つとありません。ですから例えばヒノキやマツ、スギなど木材樹種ごとの性能を導き出そうとする場合、膨大な数の木を調査してデータを蓄積しなければ、真の姿は見えてこないのです。さらに木材は年月を経るとどのように変化するのか、伐採後に保管され古木材となった場合と、建築材として長年使われて荷重や張力が掛かっていた場合とでは、その出る差が解明されていないことがまだ沢山あります。

4-4-1 伝統的な木造建築を支えてきた古木材材料

歴史ある社寺や古民家の柱や梁（はり）に使われている「古木材」には、天変地異にも

耐え千年以上もの間、建物を支えているものも多くあります。しかし今まで、材料としての古木材の科学的な研究や評価はあまり進んでいませんでした。ヒノキやマツ、スギなど日本の風土が育んだ木が、材料としてそれぞれどんな性質を持ち、年月を経るとどのように変化するのか、伐採後、保管され古木材となった場合と、建築材として長年使われ、荷重や張力が掛かっていた場合ではいかに差が出るものなのか、まだまだ経験値的に頼ることが多くありますが、木の持つ優れた特性を生かした日本の木造建築技術は、世界に誇れるレベルです。「束石（つかいし）」と呼ばれる石で土台を造り、その上に木で構造物の骨組みを造る伝統的な日本の木造建築は、木材という軸で強度を持たせる構造です。もともと木は風にしなり、自身にかかる力をうまく逃す構造を備えています。鉄筋コンクリート造りや鉄骨造りが“剛”の構造なら、伝統工法である木造建築は木材のしなやかさとしたたかさを最大限生かした“柔”の靱性構造で、地震の揺れなどを巧みに「いなす」ことができるのです。京都・東本願寺の耐震性を徹底調査した研究結果に、まず使われている木材をサンプリング調査したところ、アメリカ産の松であることがわかりました。明治期の建て直しに先進的な試みがなされていたようです。また、東本願寺の主要部分については2分の1のスケールの模型を作り、振動台に載せて実験を試みたところ、耐震性が非常に高いことが解りました。柱と梁で地震の力を吸収する木造建築の良さを、東本願寺でも生かしていたからです。

4-4-2 木材がスポンジのようにエネルギーを吸収

意外なことに木造建築の耐震性はとても高いのです。なぜならコンクリートや鉄骨構造とは異なる方法で、地震のエネルギーを受け止めるからです。鉄筋コンクリートの建物では、がっちり固められた柱と梁（はり）、そして壁面で地震の力に対抗します。ところが木造建築の場合、柱と梁は組むものの鉄骨のように何力所も固定しません。だから地震が起こると柱と梁が連動して動きます。これにより木材がスポンジのような役割を果たして地震のエネルギーを吸収するのです。しなやかに衝撃を吸収する考え方は東京スカイツリーの耐震構造でも採用されています。

4-4-3 木を見て経験の知恵を生かす職人の技

東本願寺の再建に携わった明治の職人たちが、木造建築を力学的に理解していたわけではないでしょう。しかし、地震が多い日本で建築に関わってきた職人たちの間では、木造での制震技術が経験知として受け継がれていたのです。これはいわば匠の知恵です。彼らは木をじっくりと見て、適材適所を見極めていきます。カンナの削り方なども木に合わせて微調整しているのです。木造建築の世界では、その職人技を現代科学の力を使って分析し、正すべきところは指摘し、生かせる知恵は活用しようとしています。そして、伝統工芸の知恵を発展的に応用し、環境と共生できるこれからの木造建築作りの研究が進められています。

4-4-4 木質資源が循環する社会をめざして

そのような中でも、木材研究者が長年かけて精力的に蓄積したデータからシミュレーションを行い、建物の中で使われている木材の強度特性を求められるようになりました。伝

統的な木造建築の調査や修復に大いに役立っています。木は人間が想像もつかないような巧妙なメカニズムを持っています。金属やコンクリートなどのように、人間の目的に応じて性質をコントロールできるわけではありませんが、日本では古くから培われた知恵と技で、木材をさまざまな用途に活用してきました。化石資源が残り少ないと言われていた今、人類の生活と自然生態系とのバランスをとりながら、資源を循環させることが求められています。リユース・リサイクルができるのも、木が材料として優れている点です。ただし木材を再び長く使い続けるためには、それまでの長い年月で受けた熱や力、水分移動などによる材質の変化を研究し、強度や耐久性などを評価することが必要です。木質資源がゆっくと循環する社会をめざして、今後も材料としての木を研究する「生物材料工学」が進化して行きます。

図3 木材持続的のリユースサイクル



4-5 地球温暖化防止に向けて

日本は OECD 加盟国中 3 位の森林大国で、森林蓄積は毎年 6 千万立方メートル増加、現在 54 億立方メートルに達し、その内面積ベースで人工林の繁茂が樹齢 50 年を超えます。これらの資源を積極的に活用して、脱炭素社会を目指すカーボンニュートラルの観点で、森林の確保を強化し、木材による炭素貯蔵量を図ることが必要です。森林が CO₂ を吸収し、その樹木を石油由来の素材や化石燃料の代替えに木材を利用し、次の苗を植えて育てれば、若い森林は高齢の森林より CO₂ を多く吸収するため、炭素吸収量の増加にもつながる森林の活用を循環させ、持続性を高めながらグリーン成長を促進したいです。

4-5-1 地球温暖化（Global warming）とは

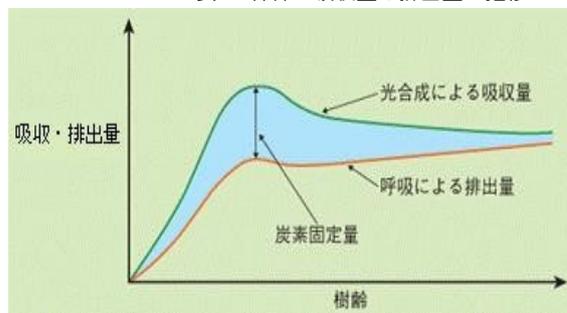
地球温暖化はより正確には、主に人為的な地球の気候系の平均気温が長期的に上昇することその継続が予測されることであり、気候変動とは、地球温暖化とその影響（降水量の変化など）の両方を含むものです。地球温暖化は有史以前からですが、20 世紀半ば以降の変化はかつてないほどの速度と規模で推移しています。これは気候変動の主要な側面であり、気温の直接測定や、温暖化の様々な影響の測定によって実証されています。森林は CO₂ を吸収し、地球温暖化の防止に貢献している相関関係にあります。地球温暖化の防止には、温室効果ガス、中でも温暖化への影響が最も大きいとされる二酸化炭素の大気中の濃度を増加させないことが重要です。地球上の二酸化炭素循環の中では、森林が吸収源として大きな役割を果たしています。

4-5-2 森林が二酸化炭素を吸収している量

樹木も含め植物は、光合成により二酸化炭素を吸収し酸素を放出する一方で、私たち人間と同じように生きていくための呼吸もしています。ただし、光合成に使われる CO₂ 量は呼吸から出る CO₂ 量よりも多いので、差し引きすると樹木は CO₂ を吸収しているこ

とになります。成長期の若い森林では、樹木はCO₂をどんどん吸収して大きくなります。これに対して、成熟した森林になると、吸収量に対する呼吸量がだんだん多くなり、差し引きの吸収能力は低下していきます。また、樹木の炭素蓄積量・放出量を推定でき、樹木が吸収し蓄積するCO₂の量は樹齢によりそれぞれ異なっています。例えば、適切に手入れされている36~40年生のスギ人工林はこれまでに吸収してきた量と1年間に吸収する量は、1ha当たり約302トンのCO₂（炭素量に換算すると約82トン）を蓄えていると推定されます。又36~40年生のスギ人工林1haが1年間に吸収する二酸化炭素の量は、約8.8トン（炭素量に換算すると約2.4トン）と推定されます。独立行政法人森林総合研究所）

表4 森林の吸収量と排出量の推移

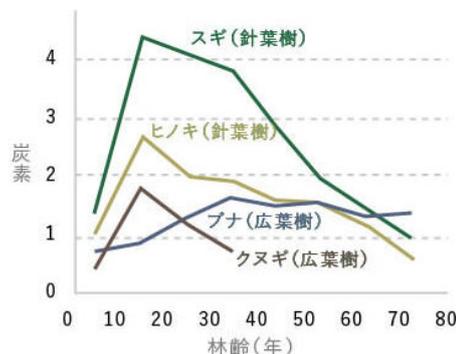


林野庁森林整備部森林利用課

4-5-3 森林減少を抑える対策を行うべきか

発展途上国の森林の大規模伐採による乱開発による森林減少の抑制が大切です。また既に森林減少が進んだ国では、新たに森林を増やすこと、植林は重要な対策です。日本を含めた先進国では森林減少は余り見られません。しかし、カナダでは虫害と火災により森林はCO₂を排出しています。つまり、先進国ではCO₂を吸収する状態を維持するよう、森林を適切に管理することが大切です。人工林が成熟期をむかえた日本では、森林面積はこの半世紀変わらず、CO₂を吸収し続けていますが伐採し若い森林に更新することが効果的です。さらに森林から生まれた木材を上手に利用することが重要です。炭素を貯えている木造住宅や木製家具を増やすことは、社会の中に炭素を貯えて大気中の炭素増加を抑えます。鉄やアルミなどの代わりに木材を使うことにより、製造時の大きな化石燃料の消費を抑えることができます。また、使い終わった木材を燃やしてエネルギーを生み出せば、温暖化の原因となる化石燃料を節約できます。このように、持続可能な森林経営による森林のサプライチェーン※4によるCO₂の吸収と、木材利用によるCO₂の排出削減の組合せが、温暖化対策として重要であると言えます。

表5 (トン/ha・年) 樹種別・林齢別炭素吸



森林・林業白書平成16年版より

4-6 循環型資源の活用

4-6-1 森林（木材）の循環型社会の構築を実現する再生可能エネルギー

現在、地球温暖化や資源の有限性等の問題から持続可能な循環型社会への転換が課題となっており、森林や農地が生み出す再生可能なバイオマスを循環型資源として有効に活用していくことで、資源循環型の環境にやさしい地域づくりに貢献できます。木質バイオマス利用は、低炭素社会の実現に向けて重要な課題であり、地球温暖化の防止、森林資源の

有効活用を通じた森林の整備・保全やそれによる国土の保全、地域の活性化等に大きな役割を果たすことが期待されています。

1) 木材のカスケード利用

カスケード利用とは、1本の樹木から家や家具の原料となる製材や集成材、紙の原料となる低質材、ボイラー等の燃料となる木質バイオマス等、最後まで余すことなく使い尽くすことを指しています。木材のカスケード利用といった場合、主に以下の2つの意味合いがあります。

① 木材という資源全体のカスケード利用

木材は最初の段階で建材など木のまま利用されて、次の段階ではパーティクルボードや製紙、堆肥などの原材料としてリサイクルされ、最終的には燃料として使われて灰になり、自然に帰るといふサイクルがあります。この多段的な流れを指して、木材のカスケード利用を意味する場合があります。

② 資源の質を変えるカスケード利用

たとえば、木質資源を木質資源のままリサイクル（リユースではなく）する場合は水平リサイクルと言うのに対して、細かく砕いてパーティクルボードの原材料とするような、資源としての質を落として再利用する流れをカスケードリサイクルといいます。この場合は資源全体の循環を意味するのではなく、ひとつのリサイクル方法を指したものとなります。

2) 炭素の貯蔵庫として利用される建築物

森林から切り出された木材は、それ自身が内部に炭素を貯蔵したまま建築材料として使用されます。木の重量の約半分は炭素であり、燃料として使用せずに建築物を構成する材料として使えば、木材の

中に貯蔵されている炭素が大気に放出されることはほとんどなく、鉄筋コンクリート造や鉄骨プレハブ建築に比べて、木造建築物は4倍の炭素量を全体で貯蔵できるといわれています。さらに、建築物の解体後に、木材料を加工して新たな建築材料とすることで、長期にわたって二酸化炭素を材料中に固定することができます。

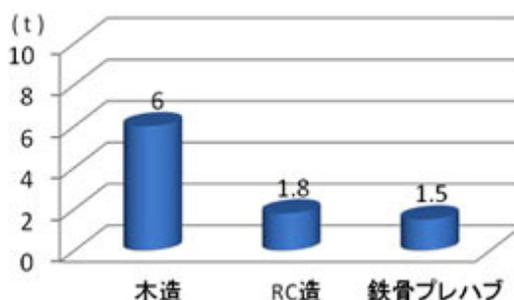
一方で、建築物を解体した後に木廃材を木質バイオマスとして利用した場合には、CO₂が大気に放出されますが、森林サイクルが維持されてさえいれば、新たに育った若齢木が放出したCO₂を吸収します。

3) 森林バイオマス利用した新エネルギーづくりの意義

バイオマスとは、光合成によって太陽エネルギー有機物として固定している植物とその植物を食べる動物及びその排泄物のことで、農業や林業の副産物、家畜の糞尿や生ゴミなど、さまざまな形で存在しており、「再生する資源」であることが最大の特徴です。

これらのうち樹木に由来する森林バイオマスは、その利用のメリット・意義を生かして、次のような貢献が期待できます。

表6 住宅に蓄えられる炭素量（住宅136㎡での比較）地球環境保全と木材利用



① 地球温暖化防止に寄与するカーボンニュートラルなエネルギー

バイオマスエネルギーは、大気中の二酸化炭素が光合成によって植物体内に固定されたエネルギーであり、それを燃やすことにより再び大気中に CO₂ が放出されたとしてもエネルギーの消費と植物育成のバランスを保つ限り、実質の CO₂ 排出がゼロと言える「カーボンニュートラル」なエネルギー源です。さらに、NO_x や SO_x の排出も少ないことから、環境への負荷が低いクリーンなエネルギーであり、地球温暖化の原因である CO₂ の排出削減に大きく貢献できます。

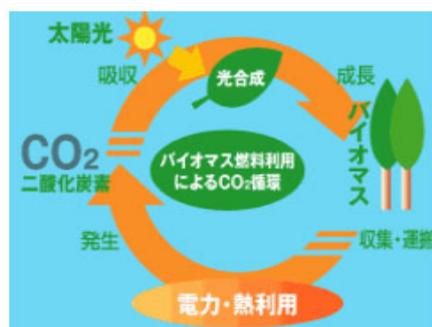
② 林業木材産業の採算性向上と森林整備の促進に貢献

用材生産を目的とした現在の林業生産にバイオマスの利用が加わることにより、林・木材産業の採算性を向上させ、持続可能な森林経営の確立に貢献できます（経済面）。こうして林業生産活動が活発になることで健全な森林整備の促進と、生物多様性の確保や森林生態系の安定化に貢献できます（環境面）。

③ 新産業・雇用の創出に貢献

森林バイオマス資源は小規模に分散し、収集・運搬に割高なコストがかかることが欠点ですが、この性質は半面長所でもあり、地域分散型のエネルギー（電気・熱）供給を行うシステムを確立することで、地域に新たな産業と雇用を生み出す効果が期待できます。しかも近年では、木の主成分を原料としたバイオマス素材が開発され、車から食べ物まで様々な製品に木を使うための取組が進められています。さらにバイオマス素材は、暮らしを豊かにするだけでなく、化石燃料由来のプラスチックや金属の代わりとなり、生産や廃棄時の環境負荷を抑えます。また、この取組は SDGs が掲げる「技術開発」や「つくる責任、つかう責任」という目標にもつながります。

図4 バイオマス利用による CO₂ 循環



4-6-2 中高層建築の木造化・木質化

木造の中高層建築は、これまで耐火性などの問題から、難しいと言われてきました。しかし、近年では耐火部材や CLT といった技術開発が進み、木と鉄筋コンクリートを組み合わせた 12 階建て共同住宅「FLATS WOODS 木場」など、中高層建築の木造化・木質化の取組が増えています。内装にも木材が使われ、心地よい空間が広がっています。中大規模木造建築物においては、耐久性の向上のための設計上の配慮や木質部材の使用環境に応じた様々な耐久性部材の活用が重要ですが、防水性・水密性の高い外装部材の開発が進められ、木部への水分の作用を制御しつつ木を見せることも可能となっています。

図5 共同住宅「FLATS WOODS 木場」



1) 構造材料と構法

従来からの製材、集成材、構造用合板に加え、体力壁、壁式構造や床版への使用に加え、大規模、耐火建築、RC や SC 造とのハブリット高層化が急速に多く建設されるようになりました。木材の宿命として、中大規模木造の実現には部材に高性能ピンや剛接合が求められます。特にモーメント抵抗接合が難しく、鋼板や多数本の釘、ボルト、ラグスクリュー、ドリフトピンやジベルを使った接合法が考案され中大規模集成材構造の採用されています。

2) 木造軸組構法+CLT パネル

柱梁の木造軸組構法に、耐力壁や床版として、CLT (Cross Laminated Timber) パネルを用いる工法です。CLT は、直行集成材とも呼ばれ、厚さ 30mm の引き板を繊維が直交ように積層接着させた材料です。1995 にヨーロッパで開発され、2007 年頃日本に導入され国産材を利用して、免罪としての性能、接合法、防耐化技術、構法や設計法の研究開発がされました。

3) 混構造

混構造は、木造と非木造を構造的に一体化して設計する手法ですが、RC 等の構造コアを配置した平面混構造や、立面混構造として下層を RC 造あるいは鉄骨造とし、上層に LT パネルを用いたり、各層毎にそれぞれの設計法を適用して、屋根や天井を軽くて綺麗な木造することが出来ます。

木造建築物を機能的に分割できる場合、その間に耐火建築物を挟むことにより、各々の木造部分を耐火建築物にしなくてもよい方法があります。混構造は、単一の構造の利点を活かし、弱点を補うことができます。

図 6 RC 造に木造を組み上げた立面混構造住宅



4-6-3 木造建築の優れたメリット (建築環境学と木材)

1) 1000 年以上の歴史を持つ日本古来の木造建築

日本には、仏教とともに伝来したさまざまな建築技術や工具によって建物自体を、堅牢に作る事が出来るようになり、柱を埋めずに礎石 (そせき) の上に載せて建物を組めるようになりました。また、高い温度で焼く瓦により、雨漏りしにくい屋根を葺くことも出来るようになったのです。鎌倉時代にはそれまでの部材を単に上に積み重ねていく組み方から、部材に穴を空けて通す貫 (ぬき) を活用した木組みなどが用いられるようになり、建築技術はさらに熟成を重ねていきました。奈良や京都の神社仏閣をはじめ、何百年も前に建立された古い木造建築が、全国各地に残っています。しかし、その間台風や地震など、常にさまざまな自然の脅威にさらされている日本において、ほかの国と比較してもどうしてこれだけ多くの古い木造建築が現存しているのか、実はまだ完全には解明されていないのです。

2) 調湿性が高い材質

鉄筋コンクリート造りなど、気密性の高い室内では一面に”カビ”が生える場合も多いようです。木造建築には、調湿効果と呼ばれる優れた点があります。木造建築は湿気の多いときに空気中の水分を吸収し、空気が乾燥しているときは内部に蓄えていた水分を放出するので、室内はある程度の湿度を保てる仕組みになっているのです。木材には湿気を調節する働きがあり、66平方メートル(20坪)の木造住宅では1.8リットル(1升)ビンで43本分の水分が調整されるといわれています。湿度の高い日本では、木材が最も適している素材の一つです。

3) 保温性がすぐれている・断熱性

木材には、肉眼では見えないような、とても小さな穴がたくさんあります(多孔質といって、湿度調整にもおおいに関係があります)。この小さな穴には空気を蓄えています。このため、木材自体の温度が変わりにくく(断熱性が高い)、肌触りに温か味があります。木材は、熱を伝えにくい性質があります。水の熱伝導率を1としたとき木材は0.5、鉄は105ですから木材に比べて鉄は200倍も早く熱を伝えます。これが、居住性や住み心地を高め、夏は涼しく、冬は暖かい木造住宅の秘密です。

4) 火にもけっこう強い

木材は燃えるのが欠点といわれています。しかし、断面が大きくなればなるほど燃えにくくなります。鉄骨は500~800度Cで曲り、アルミニウムはもっと低い温度で溶けます。木材の燃えるスピードは1分間に0.6ミリメートルしか進みません。また、燃えても有毒ガスがでないことなど安全な建築材料です。部材を挟んだりすることで、現代の木造建築の耐火性は大幅に向上しています。部材を大きくしたり、燃えにくいほかの部位は火事になって人が外部に避難するまで建物が燃え崩れないような構造になっているのです。

5) 加工しやすい・全部を組み直せる

奈良や京都にある日本の古い木造建築は、建築当初の状態のまま現在まで持ちこたえているわけではなく、「解体修理」と呼ばれる大がかりな修繕が何度か施されています。解体修理では、すべての部材をいったんバラバラにして、健全な部材は残しつつ、傷んでいる部材を交換したり繕ったり、割れている瓦を直したり、いったん落とした土壁の土に新しい土を混ぜて作り直したりします。建築用材料として、一番の利点は加工がしやすいことです。鋸でひき、鉋で削ってどのような形にも仕上げることができます。特に大きな利点は、くぎが効くということです。このことも日本の木造建築のユニークさを表しているといえます。木造住宅ならば、住む人が日用大工で、ちょっとした模様替えを楽しむこともできるのです。

6) 木材は加工し易くて強い

① 軽くて強い

鉄は強い材料ですが、木の強さも驚くほどです。例えば、引っぱる強さを重さあたりで比べると、同じ重さなら杉は鉄の3倍の強さがあります。また、圧縮強さにおいても、

花コウ岩、大理石、コンクリートより強く、このように軽くて強いということは、構造材料として適しているということです。木材は、同じ重さの鉄等に較べて強度があります。このため、木造住宅は建物全体を軽く作ることができるので、地盤への負荷が軽減されます。

② 耐久性が大きい

木材は腐れやすいといわれますが、しかし、腐らない状態に保てば耐久性は抜群です。木材は切り倒されてから、200～300年までの間は、曲げ強度や硬度は2割位上昇するといわれています。法隆寺が1300年もたっていることがその証明です。

7) 地震に強い木造住宅

日本の木造家屋は意外と耐震、耐風性があるといわれます。これは、土台、梁（はり）、柱で構成される部分に更に斜めの「筋かい」を入れてあるからです。強風や、ゆれなど一方から強く押される力を他に分散させるので全体として強くなります。規則どおりにつくられた木造家屋の倒れにくさは阪神淡路大震災の地震でもはっきりしています。

8) 木造のリフォーム、リノベーション

木造建築（住宅）はリフォーム、リノベーションによって住宅の機能性を高められることが期待でき、その結果、快適な住まいづくりの向上が実現できます。住宅の寿命と建物の状態を考慮したうえで、一般的に木造住宅のリフォーム、リノベーションには以下の様なメニューがあります。

- 間取りを変更する
- 劣化部分を補強、改修する
- 外観を変更する
- バリアフリーに対応する

Column 法隆寺 焼失を乗り越え、1300年

現存最古の建築物といえば、607年に聖徳太子が創建したという法隆寺で、1993年、日本で初めてユネスコの世界遺産に登録された国の宝であり、飛鳥時代の建築様式を今に伝える重要な文化財である。創建から現在まで一度も建替えがなかったかと言え、そうではなく、670年落雷による火災で全焼したとの記載が日本書紀にあり、実際に焼け跡も発見されています。

また奈良国立文化財研究所の科学的な調査によると、使用されている木材の伐採時期は650年代から690年代のものが多いそうです。だが、最も古い五重塔の心柱が594年に伐採されたものであるため、再建については諸説ありますが、日本最古どころか世界最古の建築物として1300年以上の歴史を誇ることは証明されています。

4-6-4 木材と健康との関係

1) 木の色合いと香り

木材は、紫外線を吸収し光をやわらげてくれるので、目に疲れを与えません。また生地素材である木材はその色調や木の断面にはいろいろな模様があります。特に年齢が板面につくりだす天然の模様と暖かみのある色合いは、ほかの材料には見られない独特な特性です。

図7 生地素材の木材は色調、木目柄や香り、肌触りを醸し出す



木材自体が発散するかぐわしい香りの成分は、人間に安らぎをもたらす環境に優しい素材であることも特徴です。

2) 木の肌ざわりと吸音性

日常生活の上で建物にどうしても直接ふれなければならないところがあります。木材の表面は、鉄やコンクリート等に較べて柔らかいので、転んでしまったり物をぶつけてしまったとき、その衝撃をある程度吸収してくれます。木の床を裸足で歩くと、その柔らかさとしなやかさで肌触りの良さを実感できると思います。木材は音を吸収し反射をやわらげるために静かな環境作りに最適です。

3) 木材を活用したくつろぎ空間づくり

「サードプレイス」として、人々へくつろぎの場所を提供することを理念としているスターバックス等、社会に対してより良い影響をもたらす、“Social Impact”を掲げるため、サステナブルな社会の実現に取り組んでいます。最近では、店舗の内装やテーブルに国産の木材を取り入れています。「店舗を設計するにあたり、木材の家具や内装は暖かみがあり、自然と木材を使う思考」になっています。環境に優しく暖かな木材に溢れた空間は、“住み続けられるまちづくり”、“つくる責任・つかう責任”というSDGsの目標にもつながります。

図8 店舗の内部や住宅室内に木材を間仕切り、内装仕上げに活用



4-7 地球の温暖化を抑制

地球温暖化は、空気中のCO₂が増加して温室のようになって、地球の温度を上昇させることを言い、結果、海面の上昇や陸地の熱帯化・砂漠化を招く等、とても恐ろしいものです。樹木は、空気中のCO₂を吸収して成長します（光合成と言います）。そして、伐採されて木材に姿を変えた後も、吸収したCO₂を放出することはありません。最終的に処れるまで、CO₂の貯蔵庫として働きます。このため、全国的に木材の利用推進と森林の整備の取り組みが進められています。

4-7-1 森林資源の循環利用 リサイクルと再生産が可能

現在大量に消費されている鉄鉱石などの鉱物資源や、石油・石炭などの化石資源、プラスチックなどの化学製品は、将来的には資源が枯渇する背景にあります。木材は森林伐採後に植林をするなど、再生産することが可能です。つまり、持続可能な資源として木材は、リサイクルが可能な材料です。柱等の製材品や合板を作る時に出る端材や、住宅の解体材は、木質ボ



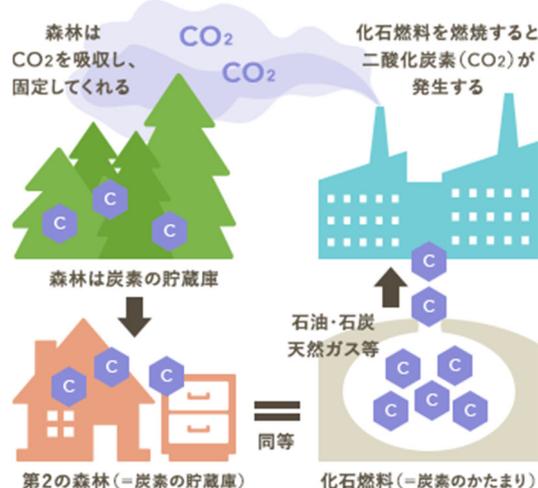
ード（木材を砕いたものを、接着して作る板など作り方によっていくつかの種類がある）等の材料になったり、燃料になったりします。

最近では、工場等を中心に、バイオマス発電が行われていますが、その燃料としても大量に利用されています。

また木材は、木の苗木や種・土・水・空気・太陽の光・そして樹木を守り育てる人の手があれば、何度でも再生産が可能です。このため、循環型社会の実現のためにはならない材料と言われています。木材の使用は、地球環境にやさしい資源利用と言えるでし再び自然に戻ります。そして、自然の力を利用して、木を育て、伐採し……。この循環では、木を伐採して、消費しても、同時に苗木を植えて、育てれば、木材として再び生産されます。つまり「資源の生産を生むリサイクル」、いわゆる「緑の循環」です。この「緑の循環」は、化石資源などを延命させるとともに、森林を維持することにも繋がります。

長期的に見れば、大気中のCO₂を増加させることなく、持続的に資源の生産が可能です。

図10 炭素森林資源生産サステナブルマテリアル環境利用イメージ



(参考文献 図・表の出典)

- ・ 国立環境研究所 「日本の温室効果ガスは出量データ」 経済産業省
- ・ カーボンニュートラル宣言 ガスイベントオフィス 総理府
- ・ SDGs 国連気候変動枠組条約締約国会議
- ・ 林業統計要覧 林野庁 HP, 持続可能な森林の経営
- ・ 国連森林戦略計画 2017~2030 森林総合研究所
- ・ 森林認証制度 国際 NGO 森林管理協議会 WWF Japan
- ・ 日経 SDGs フォーラム 2022 日本経済新聞
- ・ 林業・木材業の展望 Nice Business Report
- ・ 国土交通省 HP, 農林水産相 HP,

【表7】 建築界に係わりの深いSDGs（10ゴール）

	Goals	方策	施策
1	G3	健康住宅の推進	あらゆる年齢のすべての人々の健康的な生活を確保し、福祉を推進する
2	G4	次世代に向けた優れた学校建築	すべての人々に包摂的かつ公平で質の高い教育を提供し、未来のため生涯学習の機会を促進する 森林環境教育・木育
3	G7	省エネ建築の推進	安価で信頼できる持続可能な新しいエネルギー、再生可能エネルギー
4	G8	環境不動産とESG投資	包括的かつ持続可能な経済成長及び、すべての人々の完全かつ生産的な雇用と働きがいのある人間らしい雇用（ディーセント・ワーク）を促進する、企業の労働環境の改善、従業員の定着のため適切な労働環境の整備
5	G9	イノベーションによる建築産業の活性化	建設産業は大量の廃棄物を生み、膨大な量の天然資源やエネルギーを消費するので、レジリエントなインフラ構築、包括的かつ持続可能な産業化の促進、及びイノベーションの推進を図る
6	G11	住みやすいまちづくり	包摂的で、安全かつレジリエントで、持続可能な都市及び人間居住を実現する山地災害の防止にも貢献する
7	G12	LCCM建築の推進	持続可能な生産と消費のパターンを確保するエネルギー利用の効率化（冷房・暖房・給湯など）及び住宅自身でエネルギーを生産する
8	G13	グリーン建築の推進	気候変動とその影響に立ち向かうため、緊急対策をとる建築環境のCO ₂ フットプリントは削減し、建築やまちは変動しつつある気候に適應できるようにする二酸化炭素を貯め込み気候変動を緩和し
9	G15	木造建築の振興	陸上生態系の保護、回復及び持続可能な利用の推進、森林の持続可能な管理、砂漠化への対処、土地劣化の阻止および逆転、ならびに生物多様性損失の阻止を図る陸地を占拠する建築・まちの量的拡大の抑制
10	G17	供給サイドとユーザーサイドを結ぶパートナーシップの推進	循環型社会の構築には、持続可能な開発に向けて実施手段を強化し、グローバル・パートナーシップを活性化による多様性が求められる。