

脱炭素社会構築に貢献する 木質バイオマスのマテリアル利用

福島 和彦

国立大学法人東海国立大学機構
名古屋大学大学院生命農学研究科
森林・環境資源科学専攻
森林化学研究室 教授
kazu@agr.nagoya-u.ac.jp

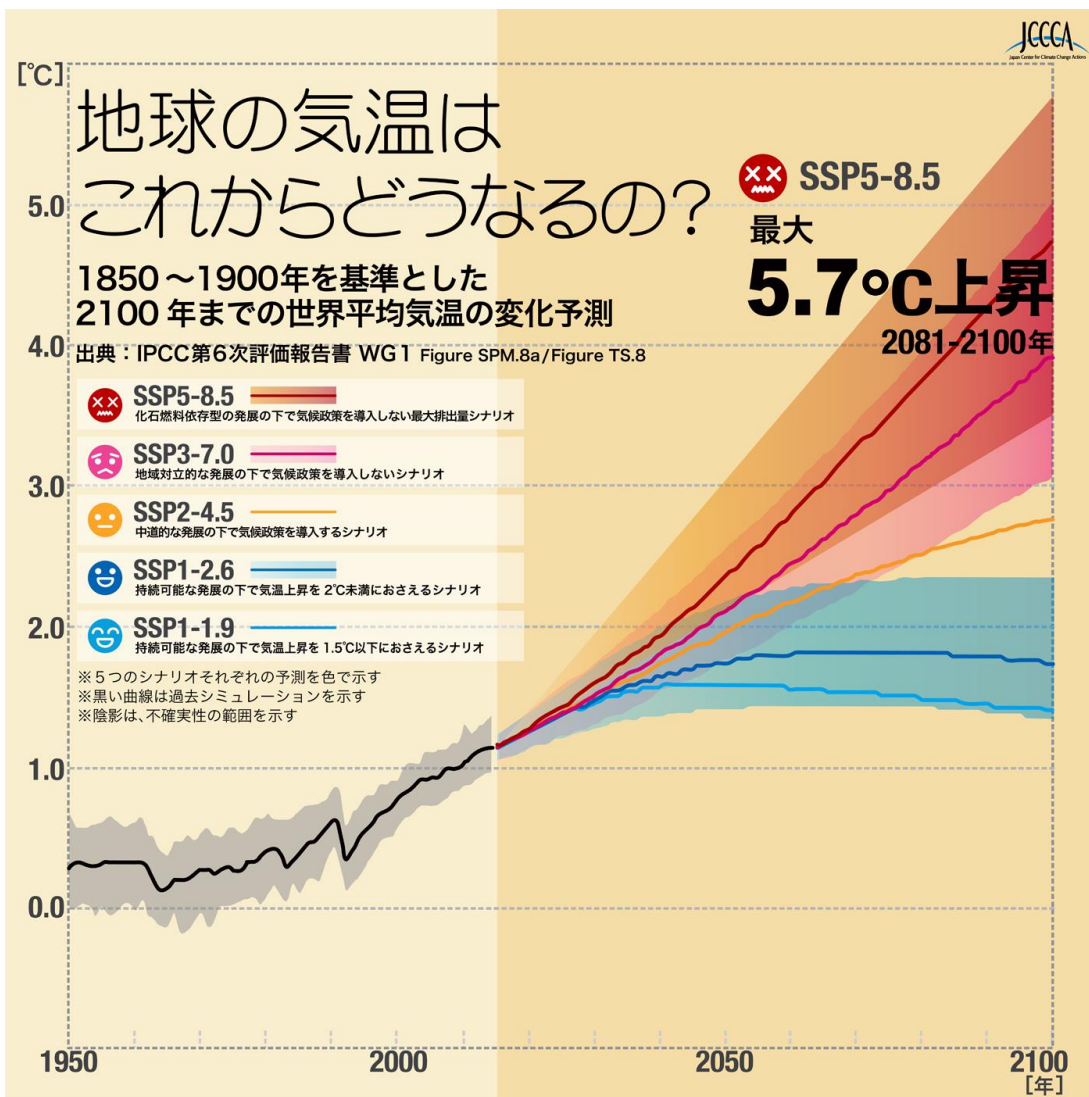
2022年9月13日

脱炭素社会構築に貢献する 木質バイオマスのマテリアル利用

今日お話しする内容

1. 我々の暮らしと地球温暖化
2. 木質バイオマス利用の意義
3. 木質とは何か
4. 鍵を握るリグニン利用
5. 今後の展望

21世紀半ばに実質CO2排出ゼロが実現する最善シナリオ(SSP1-1.9)においても2021～2040年平均の気温上昇は1.5℃に達する可能性があると発表しています(※1)。化石燃料依存型の発展の下で気候政策を導入しない、最大排出量のシナリオ(SSP5-8.5)においては、今世紀末までに3.3～5.7℃の昇温を予測しています。(※1) ... 1.5℃に達する可能性がどちらかといえば高い(50%以上の可能性)



IPCC 第6次評価報告書における SSPシナリオとは

シナリオ	シナリオの概要	近い RCPシナリオ ⁽¹⁾ (IPCC AR5 で使われた 代表適度経路シナリオ)
SSP1-1.9	持続可能な発展の下で 気温上昇を 1.5℃以下におさえるシナリオ 21 世紀末までの気温上昇(工業化前基準)を 1.5℃以下に抑える政策を導入 21 世紀半ばに CO ₂ 排出正味ゼロの見込み	該当なし
SSP1-2.6	持続可能な発展の下で 気温上昇を 2℃未満におさえるシナリオ 21 世紀末までの気温上昇(工業化前基準)を 2℃未満に抑える政策を導入 21 世紀後半に CO ₂ 排出正味ゼロの見込み	RCP 2.6
SSP2-4.5	中道的な発展の下で気候政策を導入するシナリオ 2030 年までの各国の国別削減目標(NDC)を 集計した排出量上限にほぼ位置する	RCP 4.5 (2050 年までは RCP6.0 にも近い)
SSP3-7.0	地域対立的な発展の下で 気候政策を導入しないシナリオ	RCP 6.0 と RCP 8.5 の間
SSP5-8.5	化石燃料依存型の発展の下で 気候政策を導入しない最大排出量シナリオ	RCP 8.5

出典: IPCC第6次評価報告書および環境省資料をもとにJCCCA作成

全国地球温暖化防止活動推進センター
ウェブサイトより

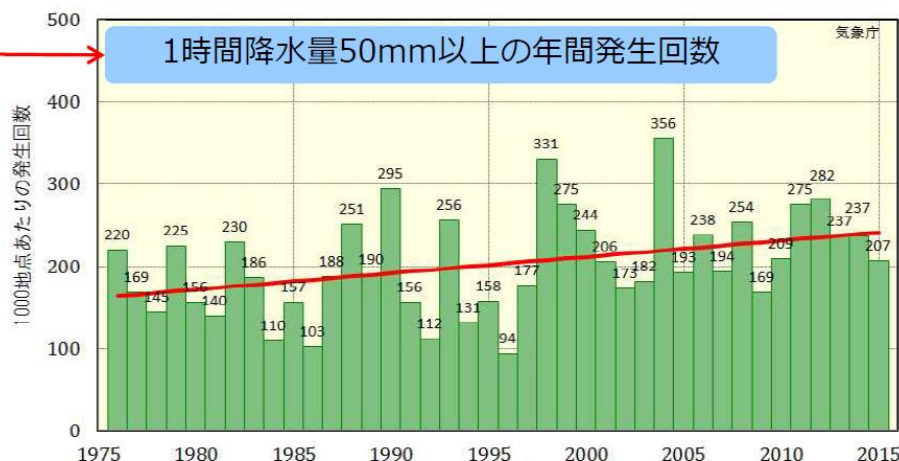
<https://www.jccca.org/download/43044>

「これまでに経験したことのないような大雨」(気象庁予報部)

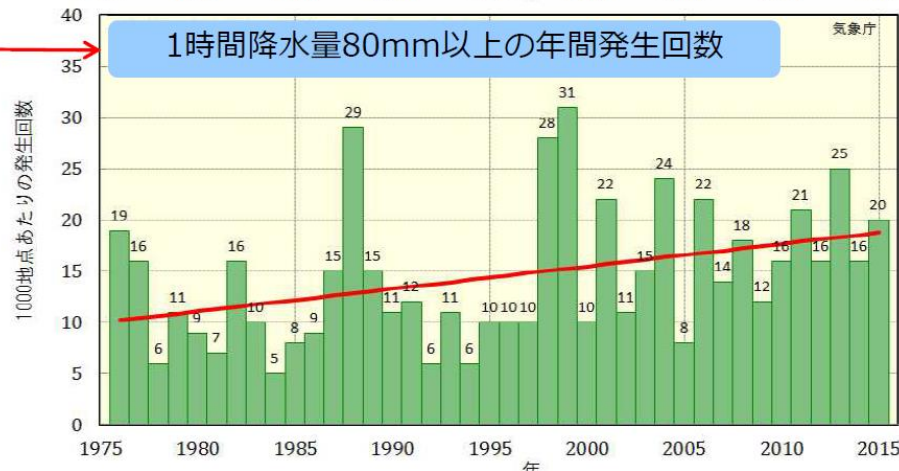
極端な雨の変化(1976～2015年)

滝のように降る雨

- 増加傾向が明瞭です。
- 地球温暖化の影響の可能性があります、より確実に評価するためには今後のさらなるデータの蓄積が必要です。

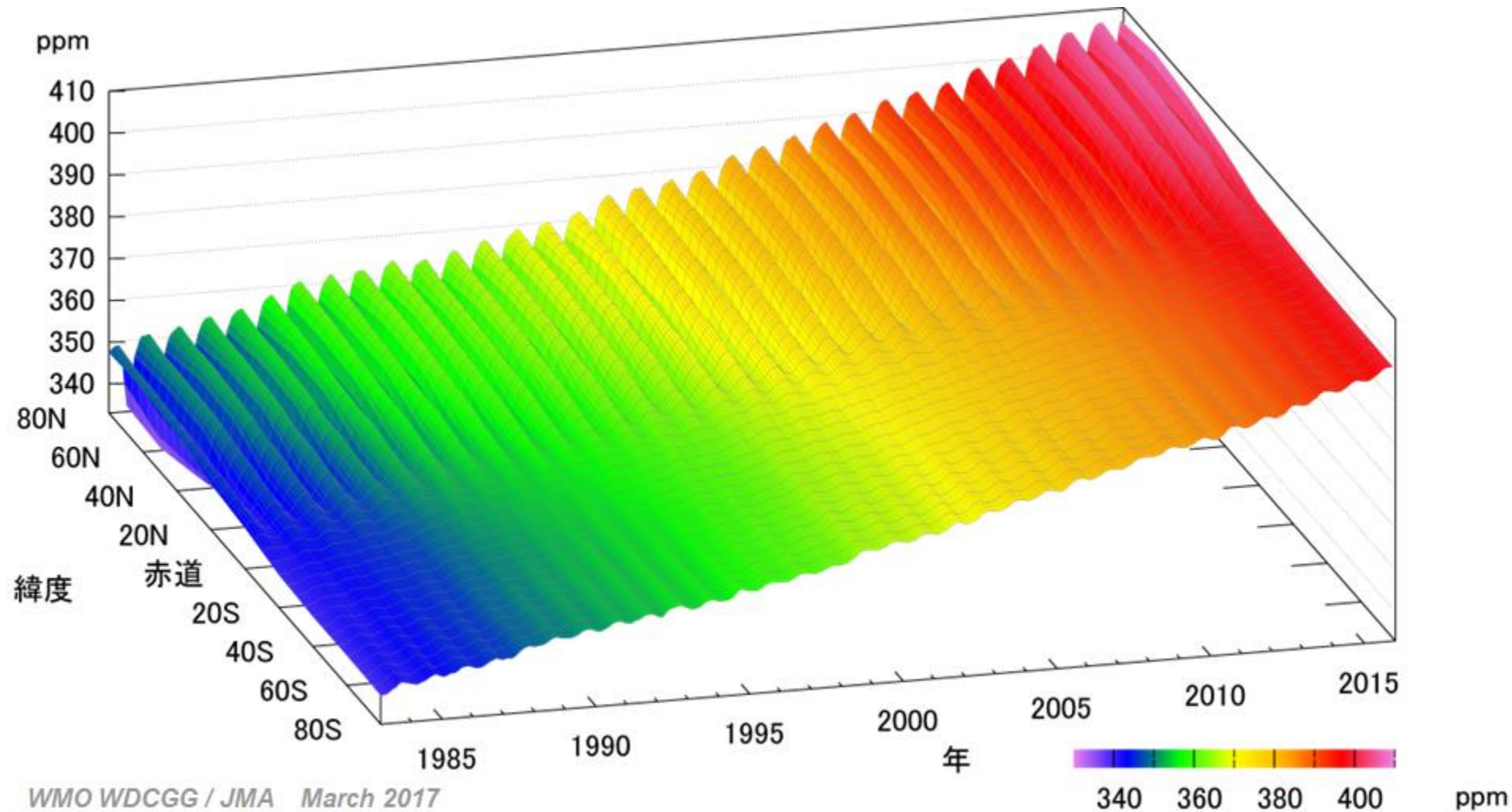


息苦しくなるような圧迫感があり、
恐怖を感じるような雨



2008年8月29日の岡崎豪雨では、1時から2時までの1時間の雨量が8月の観測史上1位を更新する146.5ミリ

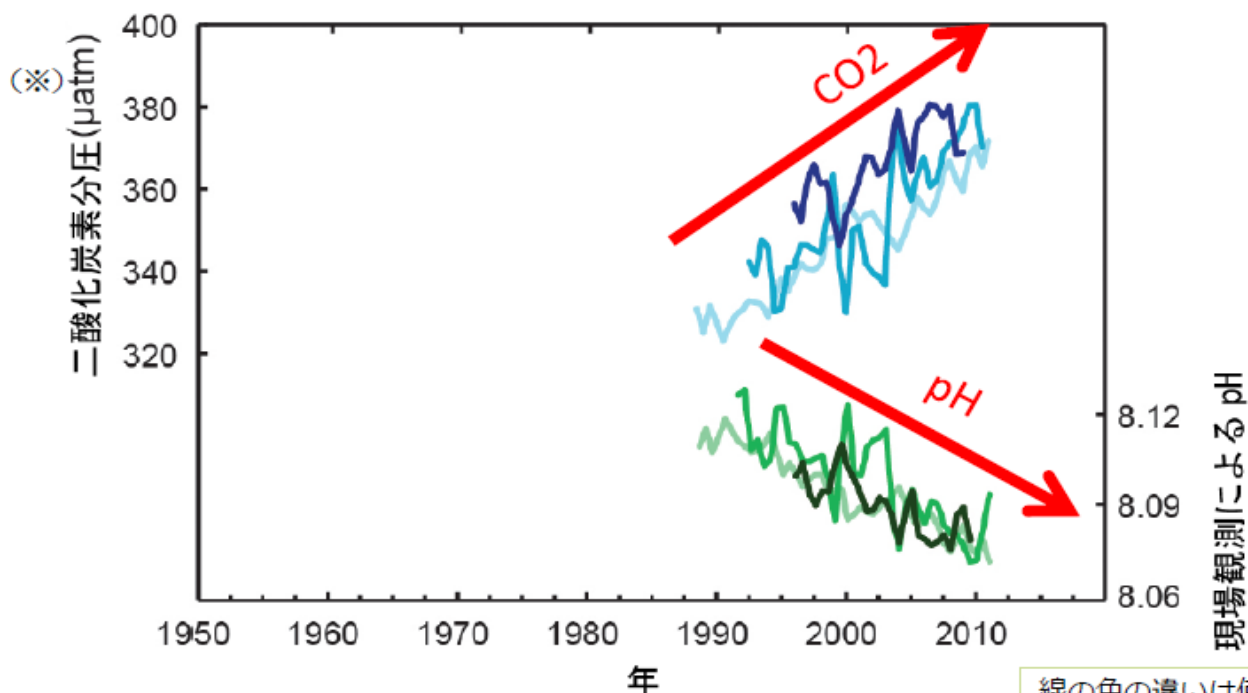
緯度帯ごとに平均した大気中の二酸化炭素濃度の変動



海は酸性化している

http://www.env.go.jp/earth/ipcc/5th/pdf/ar5_wg1_overview_presentation.pdf

- 海洋は排出された人為起源の二酸化炭素の約30%を吸収し、海洋酸性化を引き起こしている
(IPCC AR5 WG I SPM p.11, 28-29行目)
- 海面付近の海水のpHは工業化時代の始まり以降、0.1低下している(高い確信度)
(IPCC AR5 WG I SPM p.12, 11-12行目)



海洋のCO₂が増える



海洋のpHが下がる
(酸性化)

図. 海面の二酸化炭素とpH

線の色の違いは使用している観測データの違い。

(※) 大気と海洋の間でのやり取りされる二酸化炭素の量を定量的に扱う場合には、二酸化炭素濃度の単位を圧力の単位で示す。これを二酸化炭素分圧と呼び、 μatm (100万分の1気圧)で表す。

出典: 図, IPCC AR5 WG I SPM Fig. SPM.4(b)

地球温暖化とは、1億年前の二酸化炭素を一瞬にして吐き出すこと

そもそも石油や石炭、天然ガスといった化石燃料はどうやってできたものなのか？
今を遡ること1億年前、当時の海全体に大量の植物プランクトンが発生した時代がありました。植物プランクトンは光合成により太陽エネルギーを利用して増え、それを餌に今度は動物プランクトンが増えました。

大量の動植物プランクトンが死ぬと、海底にどんどん降り積もり、ヘドロとして堆積しました。ヘドロというのは、まさに微細な生き物たちの死骸などの有機物がたっぷり含まれた腐泥(ふでい)です。この海底に降り積もったヘドロがやがて化石化し、黒色頁岩(けつがん)となり、石油を生み出しました。

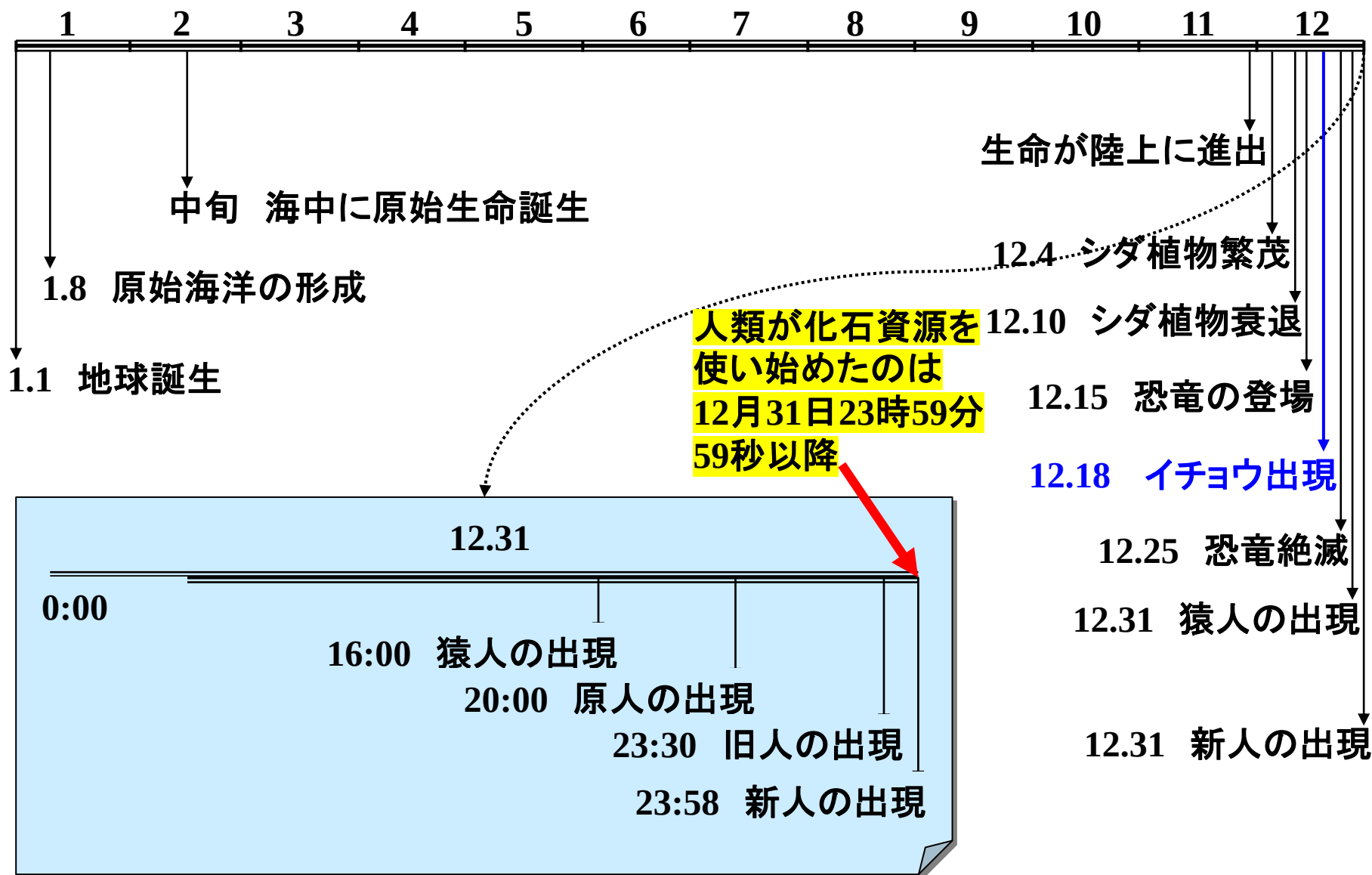
化石燃料は、燃料という観点から見ると、生物が持つエネルギーを圧縮して溜め込んだ極めて効率のよい物質です。逆にいえば、それを燃やせば、生物の身体をつくっていた炭素が酸素と反応して、一気に大量のCO2として排出されるわけです。植物などによって固定化されていた1億年前のCO2です。その量たるやすさまじい。**産業革命以降、大気中に吐き出されたCO2のうち、6000億トン以上が大気中に残っています。**

かくして大気中のCO2 濃度が一気に上がりました。地上の現存する植物の光合成の処理能力をはるかに上回る量です。このCO2が温室効果をもたらし、温暖化を促すのです。

(大河内 直彦 日経ビジネス

http://special.nikkeibp.co.jp/as/201207/next_nippon/vol6/ 現在は閉鎖しています)

地球時計(地球の歴史46億年を1年で表す)



温暖化への対応＝脱炭素への道筋

低炭素から脱炭素・卒炭素へ

- ・今世紀後半に人為的な温室効果ガスの排出をネット・ゼロに（パリ協定）
 - ☞化石燃料依存社会からの脱却
- ・温暖化が進むかどうかについて議論しない（パリ協定に従って世界は動いている）
 - ☞様々な懐疑論がいまだに多い
 - ☞こうした議論に足を取られているうちに、世界の動きを見逃してはいないか
 - ☞現在のモデルを延長するのではなく、**将来(2050年)から逆算**して考える
(2050年は二酸化炭素排出量が**ゼロ**の社会)

SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS

世界を変えるための17の目標



1 貧困をなくそう



2 飢餓をゼロに



3 すべての人に健康と福祉を



4 質の高い教育をみんなに



5 ジェンダー平等を実現しよう



6 安全な水とトイレを世界中に



7 エネルギーをみんなにそしてクリーンに



8 働きがいも経済成長も



9 産業と技術革新の基盤をつくろう



10 人や国の不平等をなくそう



11 住み続けられるまちづくりを



12 つくる責任 つかう責任



13 気候変動に具体的な対策を



14 海の豊かさを守ろう



15 陸の豊かさを守ろう



16 平和と公正をすべての人に



17 パートナースhipで目標を達成しよう



SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS

2030年に向けて
世界が合意した
「持続可能な開発目標」です

2015年9月の国連サミットで採択された「持続可能な開発のための2030アジェンダ」にて記載された2016年から2030年までの国際目標

脱炭素社会構築に貢献する 木質バイオマスのマテリアル利用

今日お話しする内容

1. 我々の暮らしと地球温暖化
- 2. 木質バイオマス利用の意義**
3. 木質とは何か
4. 鍵を握るリグニン利用
5. 今後の展望

日本は世界に冠たる森林国

森林率（国土面積に占める森林面積の割合）

1位:フィンランド	72%
2位:スウェーデン	69%
3位:日本	67%

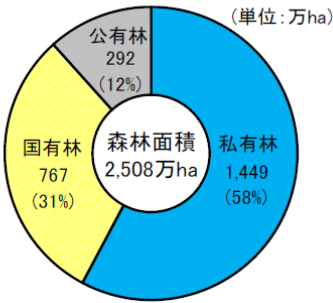
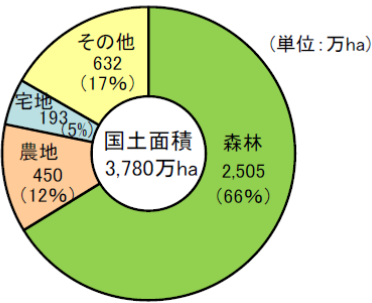
森林ばかりに思える カナダの森林率は 49.5%、
アメリカが 31.6%、
シュバルツバルトで有名なドイツが 30.0%、
イギリスに至っては 10.2%に過ぎない。

森林面積全体に占める人工林の割合は、
世界全体で約5%
日本は約40%



我が国の森林面積は国土の3分の2にあたる約2500万ha
森林資源は人工林を中心に蓄積が毎年約1億m³増加し、現在約49 億m³。
人工林の半数以上が11齢級以上の本格的な利用期を迎えている

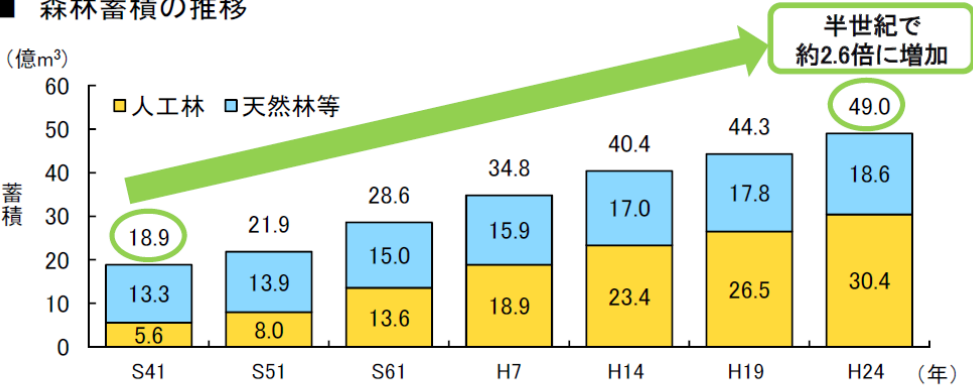
■ 国土面積と森林面積の内訳



資料:国土交通省「平成28年度土地に関する動向」
(国土面積は平成27年の数値)
注:林野庁「森林資源の現況」とは森林面積の調査
手法及び時点が異なる。

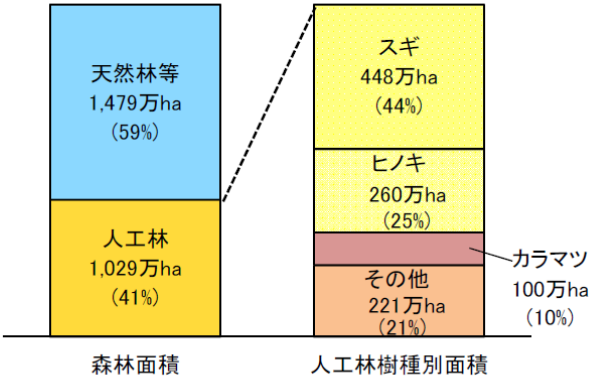
資料:林野庁「森林資源の現況」
(平成24年3月31日現在)

■ 森林蓄積の推移



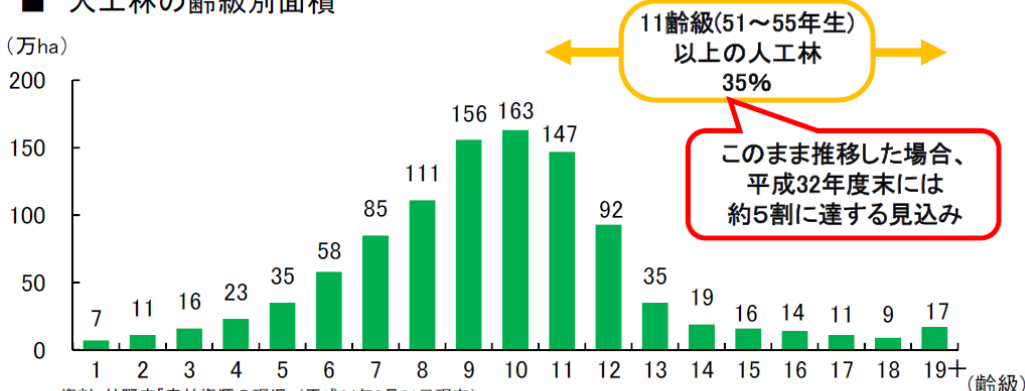
資料:林野庁「森林資源の現況」(各年の3月31日現在の数値)
注:総数と内訳の計の不一致は、単位未満の四捨五入による。

■ 人工林の樹種別面積

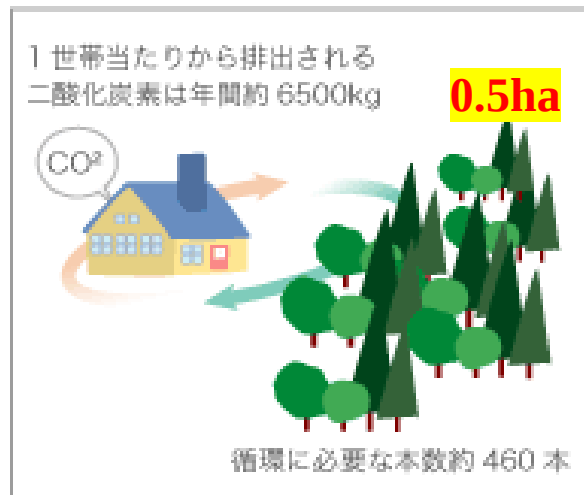


資料:林野庁「森林資源の現況」(平成24年3月31日現在)

■ 人工林の齢級別面積



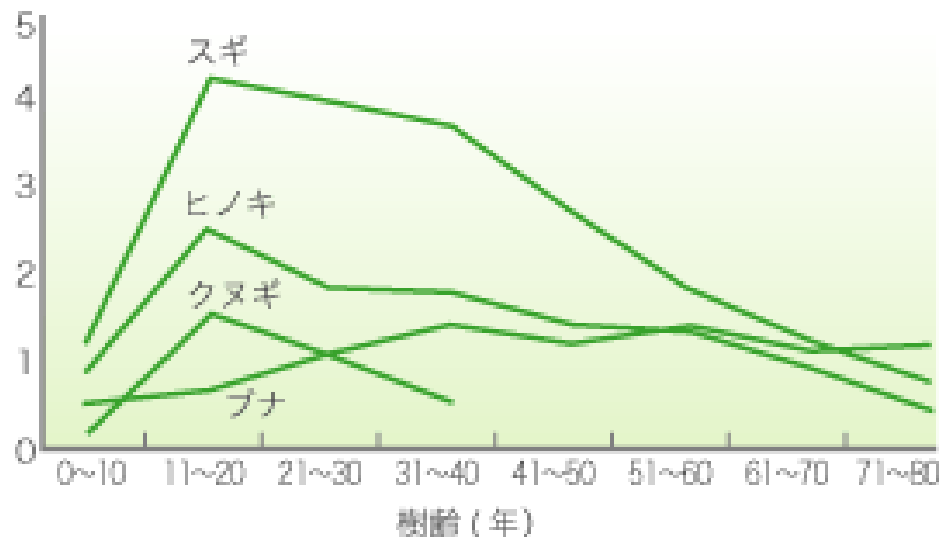
資料:林野庁「森林資源の現況」(平成24年3月31日現在)
注1:齢級(人工林)は、林齢を5年の幅でくくった単位。苗木を植栽した年を1年生として、1~5年生を「1齢級」と数える。
注2:森林法第5条及び第7条2に基づく森林計画の対象となる森林の面積。



森林は二酸化炭素を吸収し、地上部および地中に貯蔵して地球温暖化防止の役割を果たします。

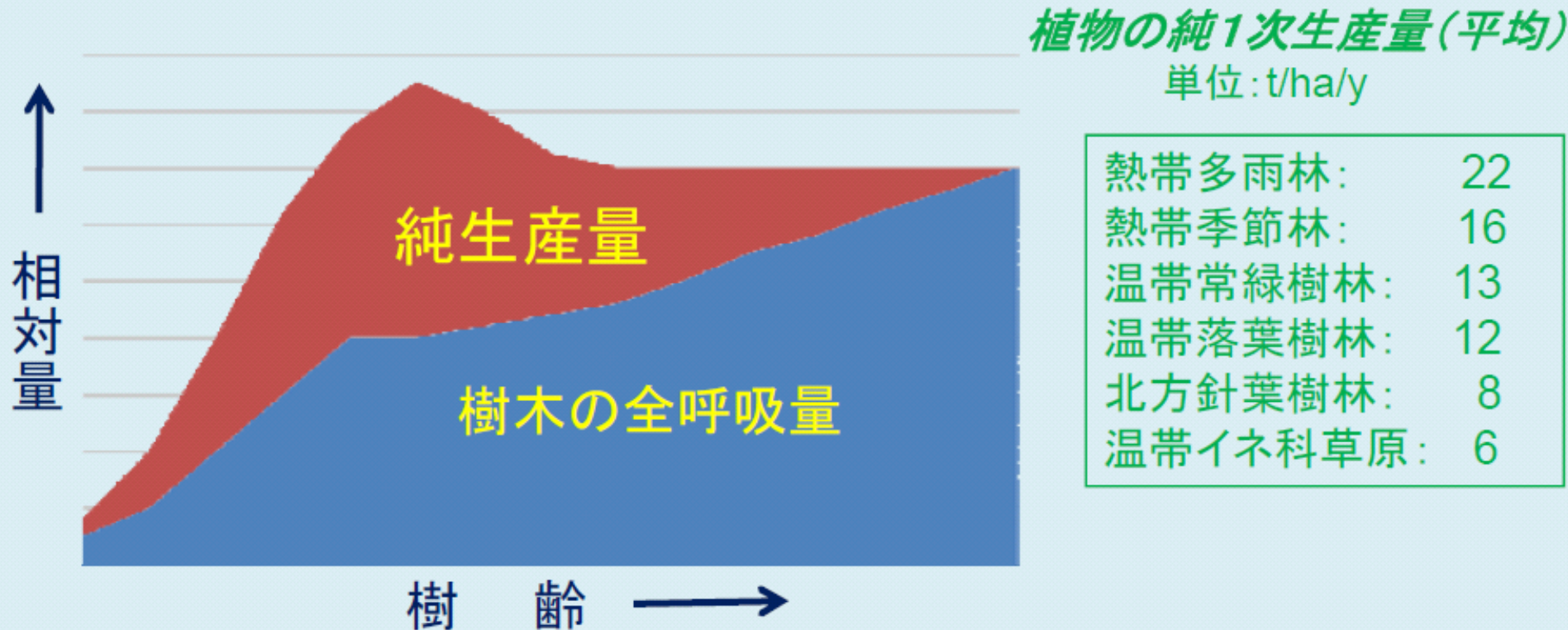
その吸収量は樹種や林齢により異なりますが、例えば50年生スギの人工林面積1ヘクタール当たりの炭素貯蔵量は170トン、1本当たりでは約190kgに達すると試算されています。これを50年で割れば1年間平均で1ヘクタール当たり3.4トン（約12.4トンの二酸化炭素）、1本当たり約3.8kgの炭素（約14kgの二酸化炭素）を吸収したことになります。

樹種・林齢別炭素吸収量
(炭素トン /ha)



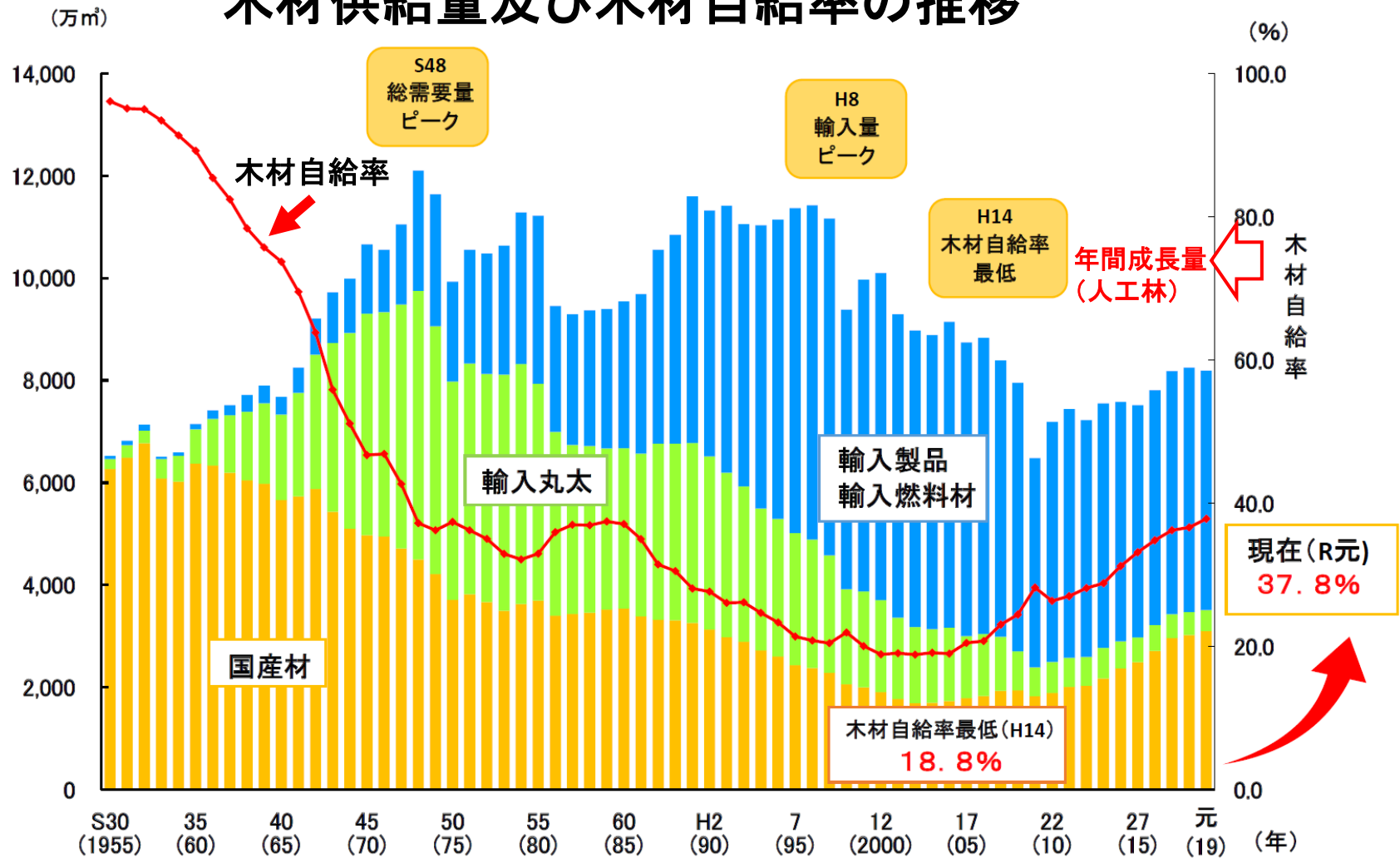
木質バイオマスの純生産量

(植物の光合成による) 純生産量 =
総生産量 - 植物自身の呼吸による消費量



一般的な樹木における純生産量の経年変化 (横山: バイオエネルギー最前線、森北出版2002)

木材供給量及び木材自給率の推移



国内の人工林で毎年成長している量の3割程度しか利用されていない
 燃料材については、総需要量が1,038.6万 m^3 (同15.1%増) と伸長したものの、輸入量の増加率が国内生産の増加率を上回っている⇒慢性的な品不足

https://www.rinya.maff.go.jp/j/press/kikaku/200930_30.htmlを改変

いま、なぜバイオマスなの？

メリット1

地球温暖化の防止

「カーボンニュートラル」な資源なので、温室効果ガス(CO₂)の排出を抑制します。

メリット2

循環型社会の形成

「資源使い捨て社会」から「資源リサイクル社会」への移行を促進します。

メリット3

戦略的産業の育成

バイオマスを利用した「新たな産業」が生まれます。

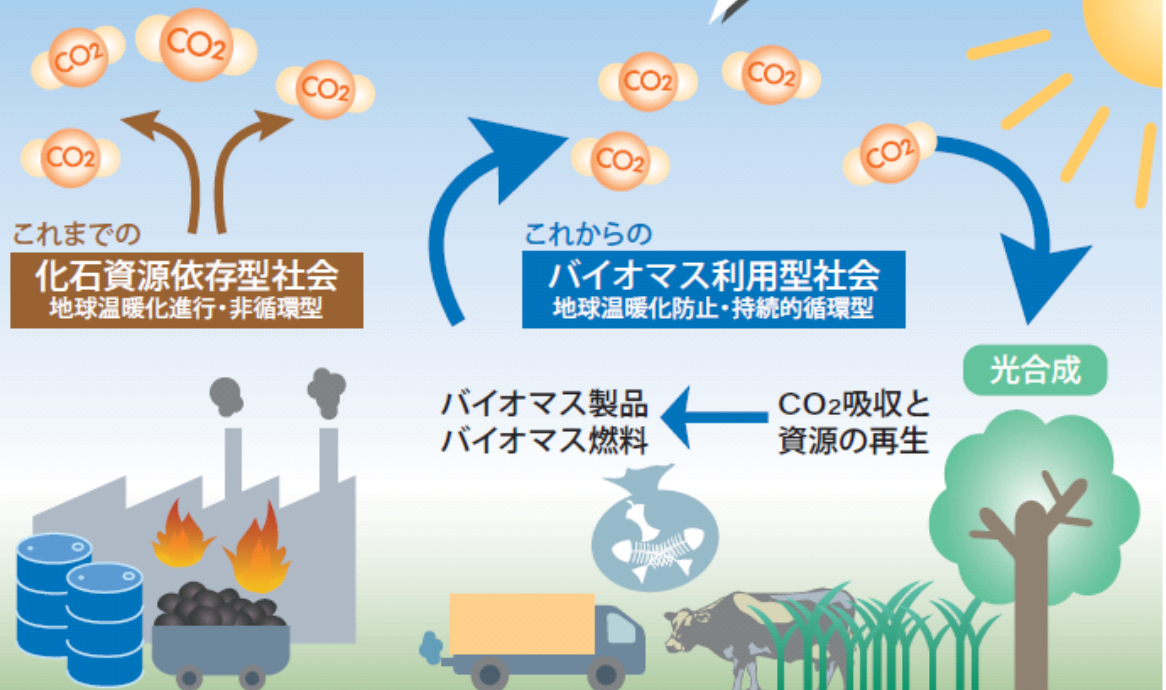
メリット4

農山漁村の活性化

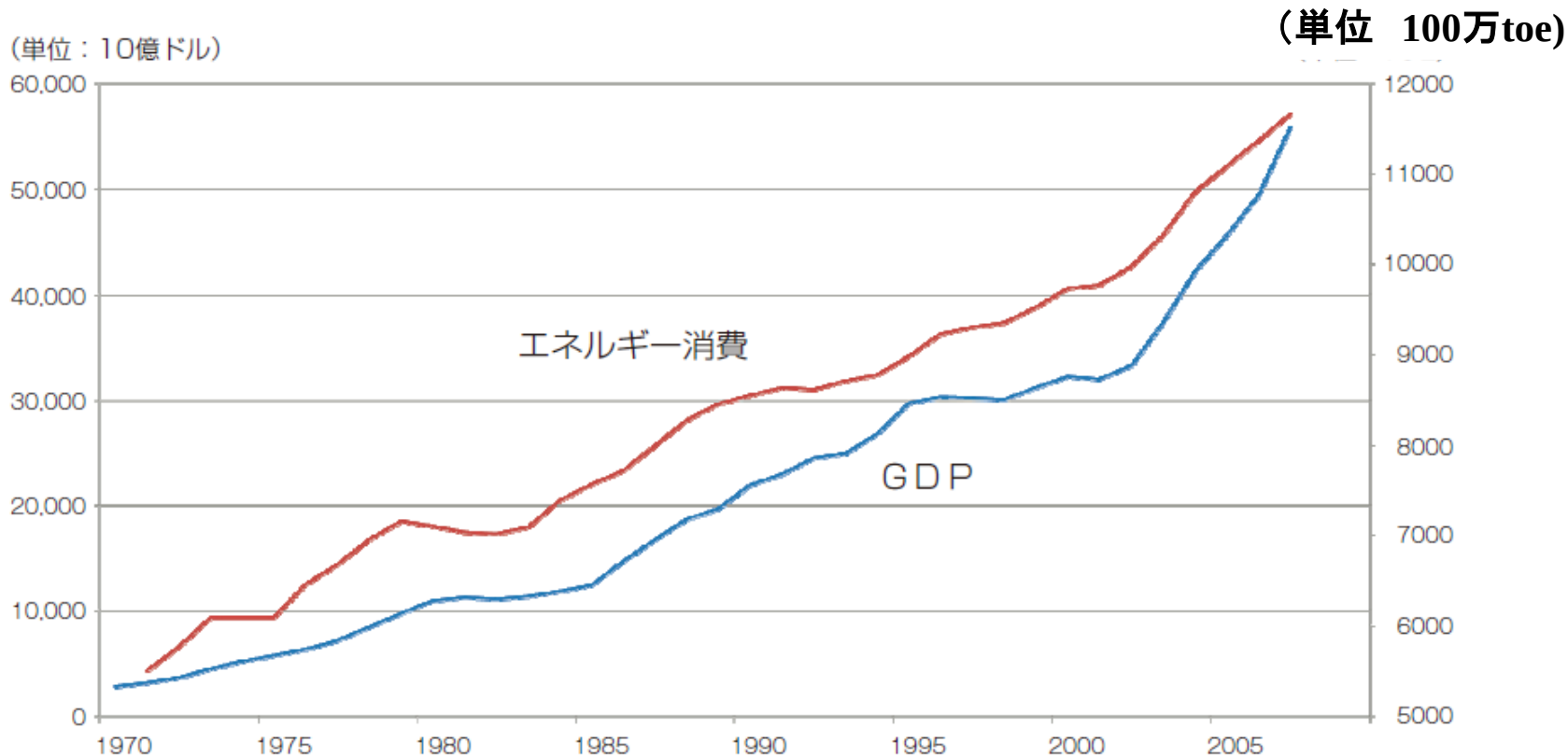
「エネルギーや素材の供給」という新たな役割が期待されます。

カーボンニュートラルとは・・・

バイオマスの炭素は、もともと大気中のCO₂を植物が光合成により固定したものであるため、燃焼等によりCO₂が発生しても、実質的に大気中のCO₂を増加させません。



世界のGDPとエネルギー消費の推移



(出所) World Bank, World Development Indicators

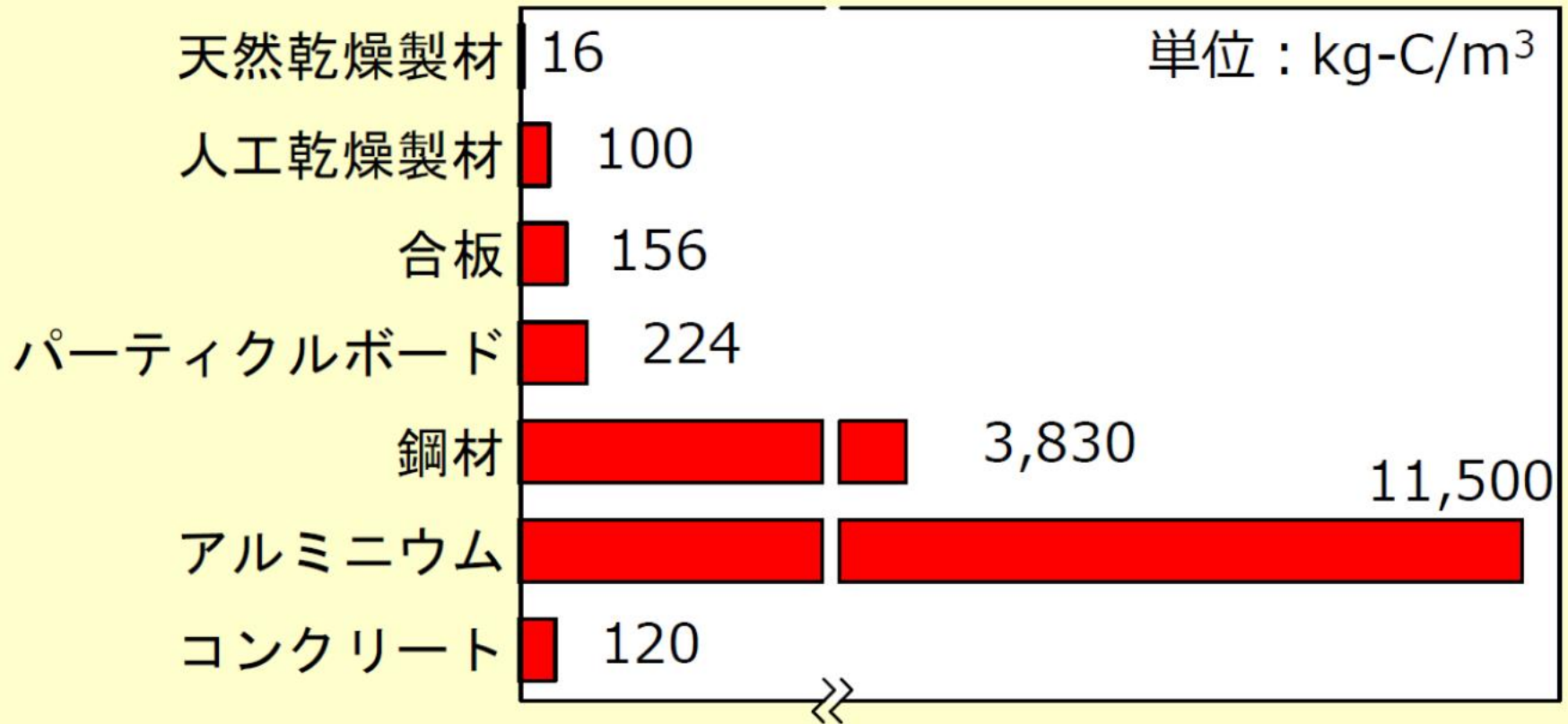
1965年の38億toe(原油換算トン、tonne of oil equivalent, 1TOE=10⁷ kcal)から年平均2.5%で増加し続け、2009年には112億toeに達した。

目に見えないところで消費される間接エネルギー

ガス、ガソリン、灯油など直接的に消費されているエネルギー(直接エネルギー)だけでなく、製品の製造工程に用いられる原材料生産や製造、加工、輸送などに間接的に消費されているエネルギー(間接エネルギー)もあります。

品目	生産工程	投入エネルギー (原油換算)
米栽培 (玄米1kg)	栽培 → 収穫 → 出荷 →	0.35 ℓ
洋服(紳士ジャケット) 1着(600g)	素材 → 布地製造 → 縫製 →	7 ℓ
自動車(1,800cc)	製鉄 → プレス(部品ごとの製造) → 加工・組立て →	1,442 ℓ
住宅(戸建・床面積 100m ²)	製材 → 加工・組立て →	8,774 ℓ
カラーテレビ(21型)	材料(樹脂・電子部品)製造 → 組立て → 輸送 →	38 ℓ
図書1冊 (300グラム)	製紙 → 印刷 → 製本 →	0.55 ℓ

各種材料製造時の炭素排出量



岡崎, 大熊 : 木材工業 53(4)より作成

木質バイオマスを利用することの地球温暖化対策上の意義

1. 炭素貯蔵効果：
森林による**二酸化炭素吸収固定、使用中における貯蔵**
2. 省エネルギー効果：
他の材料と比較して**製造時における少ないエネルギー**
3. エネルギー代替効果：
化石燃料の消費節約による二酸化炭素放出削減

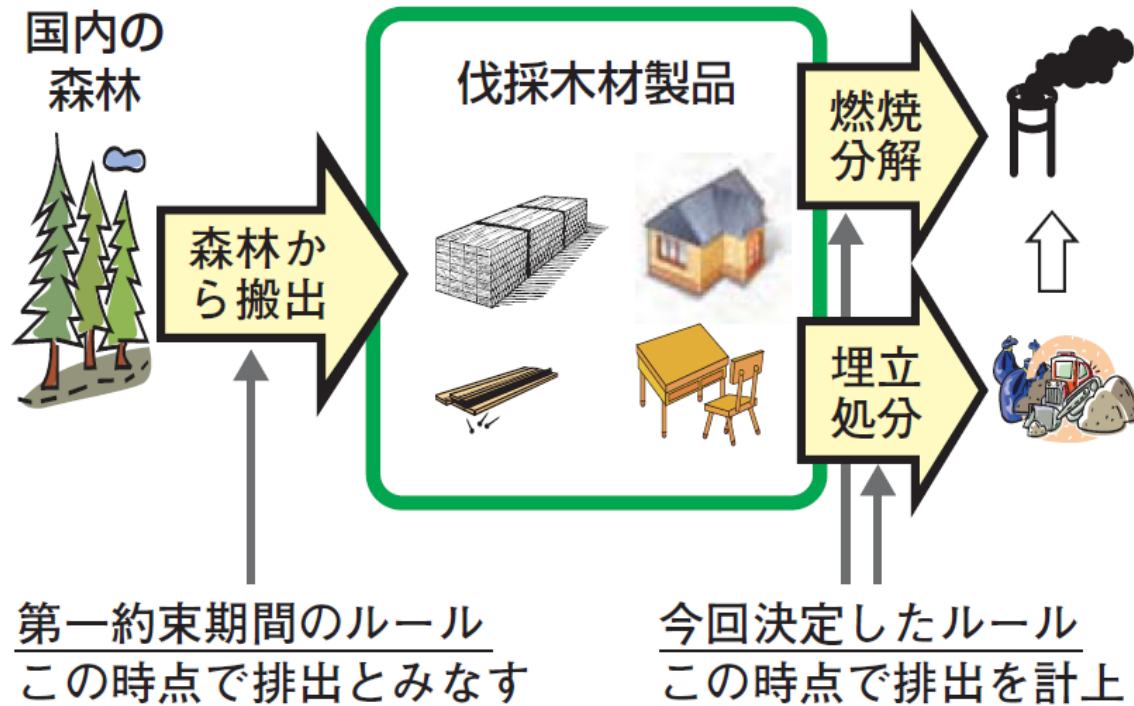
学術の動向 脱温暖化へ森林木材の役割 2008年11月 より

住宅1戸当たりの炭素貯蔵量と材料製造時の二酸化炭素排出量

	木造住宅	鉄骨プレハブ住宅	鉄筋コンクリート住宅
炭素貯蔵量	 6炭素トン	 1.5炭素トン	 1.6炭素トン
材料製造時の炭素放出量	 5.1炭素トン	 14.7炭素トン	 21.8炭素トン

COP17（2011年）で決定された搬出後の木材の取扱い

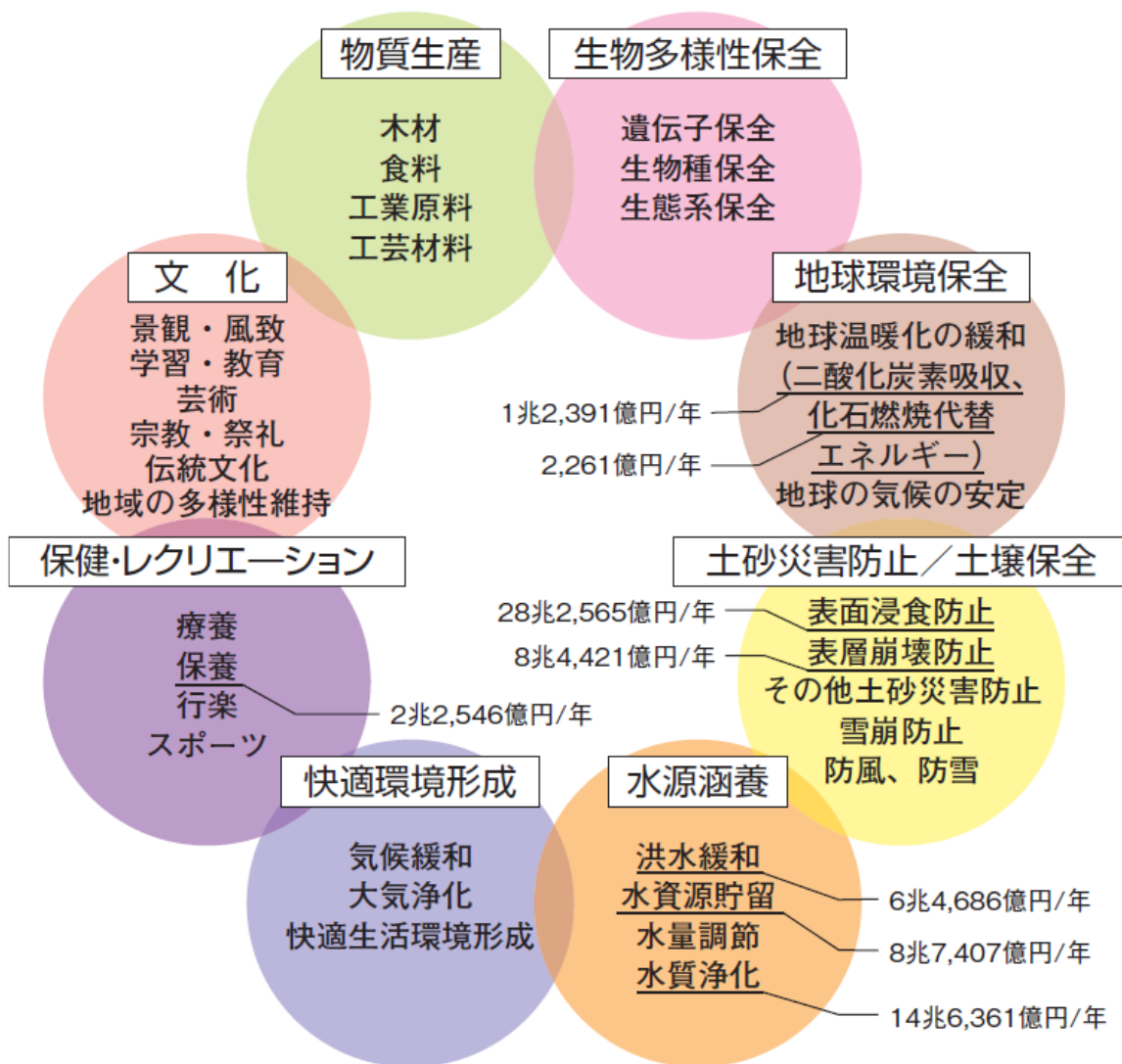
輸入HWPは計上不可



搬出後の木材（伐採木材製品（HWP※）、製材・木質パネル・紙）における炭素量の変化を各国の温室効果ガス吸収量又は排出量として計上

※Harvested Wood Products

森林の有する多面的機能



注1: 貨幣評価額は、機能によって評価方法が異なっている。また、評価されている機能は多面的機能全体のうち一部の機能にすぎない。

2: いずれの評価方法も、「森林がないと仮定した場合と現存する森林を比較する」など一定の仮定の範囲においての数字であり、少なくともこの程度には見積もられるといった試算の範疇を出ない数字であるなど、その適用に当たっては細心の注意が必要である。

3: 物質生産機能については、物質を森林生態系から取り出す必要があり、一時的にせよ環境保全機能等を損なうおそれがあることから、答申では評価されていない。

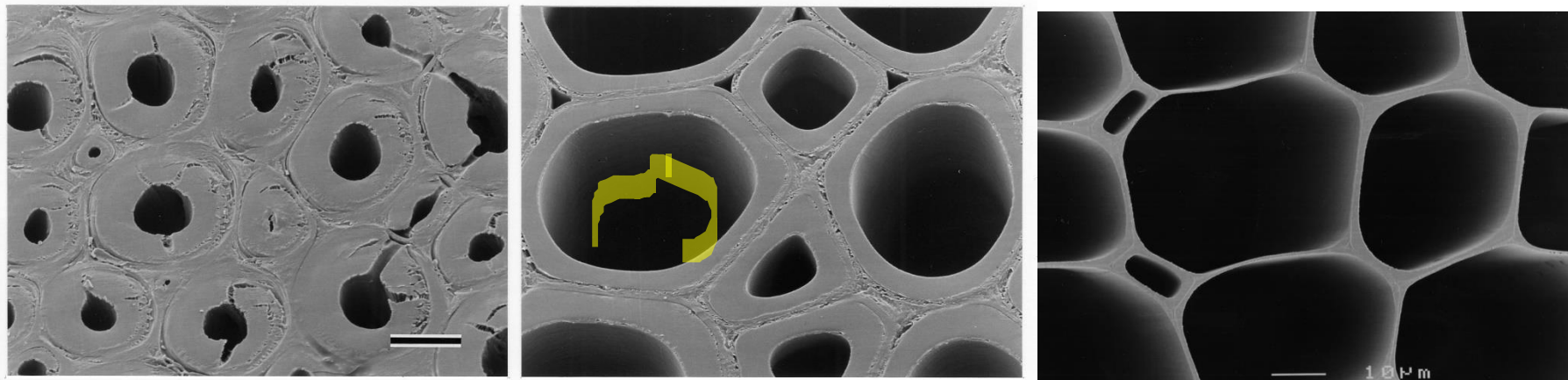
資料: 日本学術会議答申「地球環境・人間生活にかかわる農業及び森林の多面的機能の評価について」及び同関連付属資料
(平成13(2001)年11月)

脱炭素社会構築に貢献する 木質バイオマスのマテリアル利用

今日お話しする内容

1. 我々の暮らしと地球温暖化
2. 木質バイオマス利用の意義
- 3. 木質とは何か**
4. 鍵を握るリグニン利用
5. 今後の展望

二次木部（年輪構造）の厚い細胞壁にCO₂が固定



左：リグナムバイタ（最も重い樹種）、中央：イタヤカエデ、右：バルサ（最も軽い樹種）
（北海道大学・佐野雄三氏提供SEM写真）

厚い細胞壁の主成分

- ・セルロース（45 ～ 50%）
- ・ヘミセルロース（20～30%）
（グルクロノキシランやグルコマンナン）
- ・リグニン（20 ～ 30%）
- ・ペクチン系多糖類（ホモガラクトuron酸など；少量）

日本の年間木材成長量 （人工林のみ）

約1億m³≒4000万トン
そのうちリグニンは
約800万トンから1200万トン

持続的供給可能な
バイオ原料として有望

木質バイオマスはクリーンな生物資源

樹木が生きていくためには、非常に多くの元素を必要とするが、木材は死んだ細胞の集合体であり、細胞内容物はほとんど回収されている。したがって、木材は、細胞の抜け殻、すなわち、細胞壁のみによって構成されている。木材を構成する元素は、炭素(C)、酸素(O)、水素(H)の三種でそのほとんどを占め、タンパク質や核酸など他の生体高分子と比べ、窒素(N)やイオウ(S)の含量はごく微量である(図)。辺材においては、放射線組織が生きているため、窒素含量がわずかに多い。その他の微量元素としては、Ca, K, Na, Mg, Fe, Mn, Cu, Co, P, Si等多種類のものが検出されている。

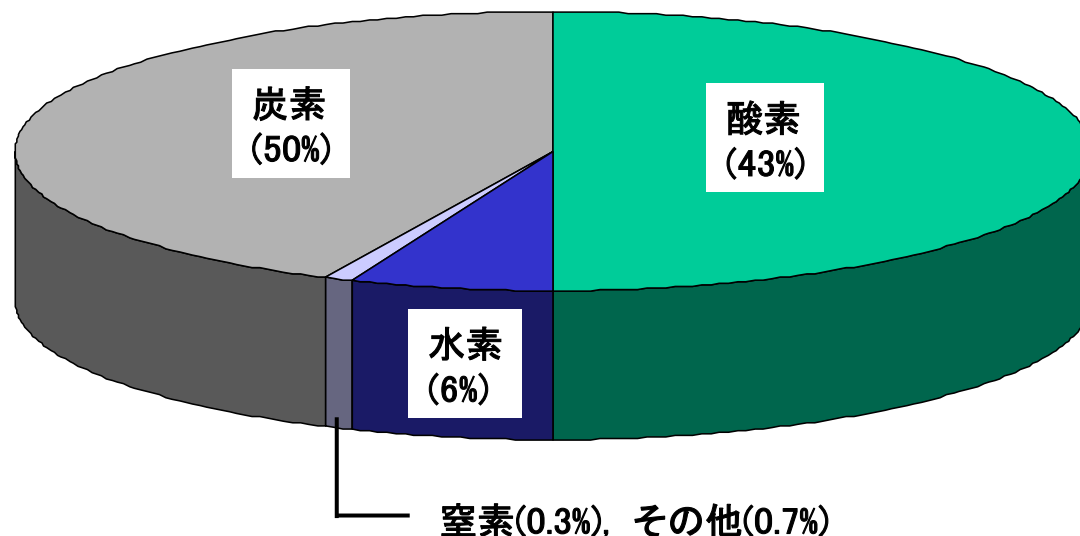
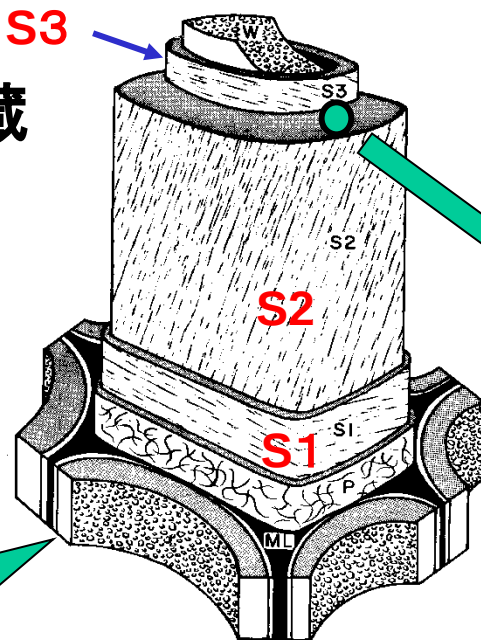
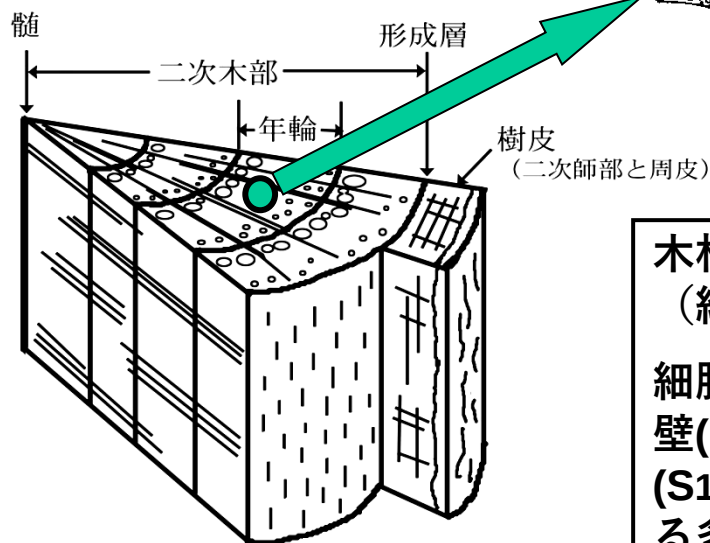


図. 木材の元素組成

() 内の数値は平均的含有率である

樹木:CO₂の固定と貯蔵

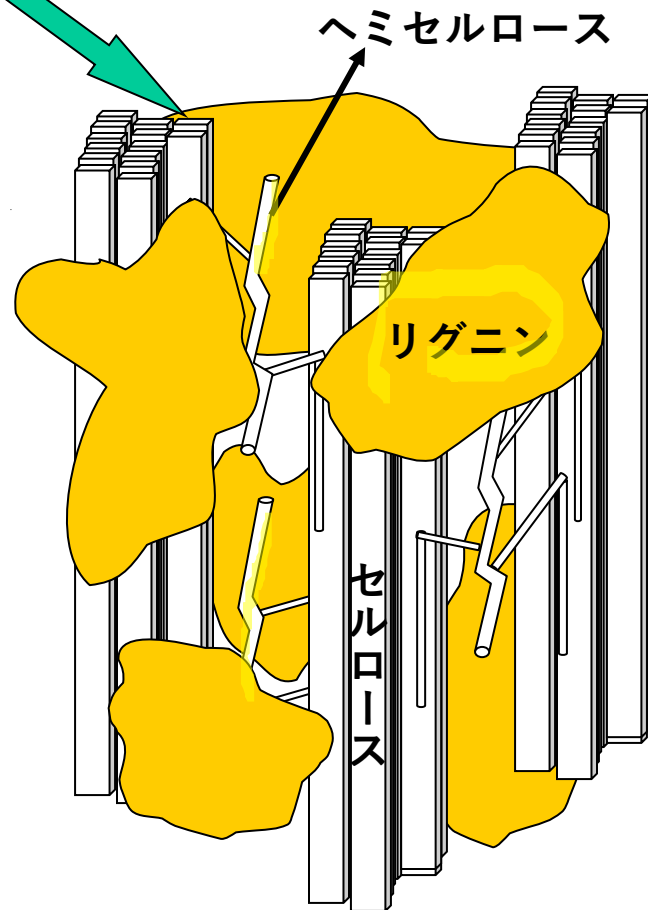
形成層で生まれた細胞は
細胞壁を作り年輪構造を
形成する



木材は死んだ細胞
(細胞壁) の集合体
細胞間層(ML)、一次
壁(P)、二次壁
(S1,S2,S3層)からなる
多層構造を有する

分解酵素の侵入困難

配向性を有する高結晶性セル
ロースミクロフィブリル
の間隙にヘミセルロースと
リグニンが存在する

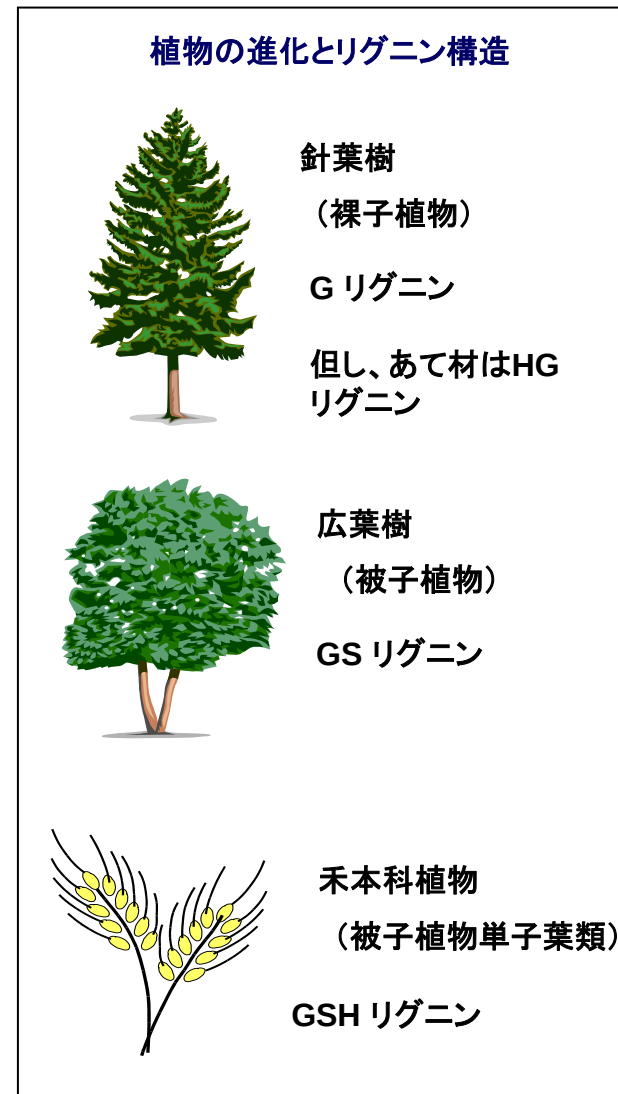
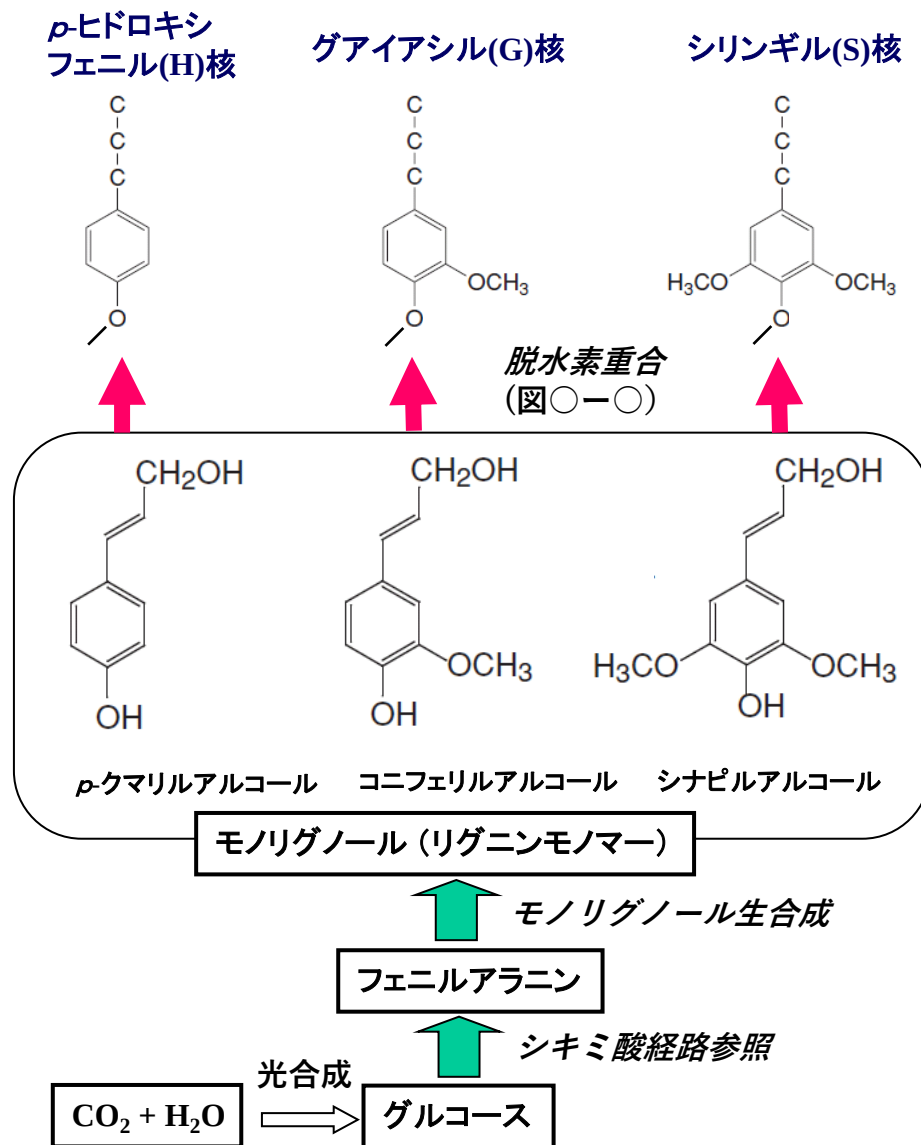


二次壁S2層模式図

木材(二次木部)の微細構造イメージ

木材は軽くて強い、かつ腐りにくいと言われますが、
このようなナノ構造に原因があるわけです。

植物の進化とリグニンの構造



リグニン生合成の概略(左)と植物の種類により異なる
 リグニンモノマー組成(右)

リグニンの機能①

リグニンは同じ細胞にあっても複数の機能を担っていることが多い。

- ・ 紫外線からの防御

リグニンは芳香環を有しており紫外線を吸収する性質を示すことから、細胞内の小器官や遺伝子を護っている。

- ・ 防水機能

木は水を通さない。これは、セルロースミクロフィブリルの隙間にリグニンという疎水性物質が沈着し、リグニンはヘミセルロースと共有結合して細胞壁内で永久固定されるからである。

- ・ 病虫害からの防御

単位間結合様式には繰り返し単位が無いので酵素的分解は非常に困難となる（長い時間をかければ、リグニンはキノコなどの微生物によりゆっくり分解される）。

リグニンの機能②

- ・ 支持機能(接着機能、結晶化の防止)

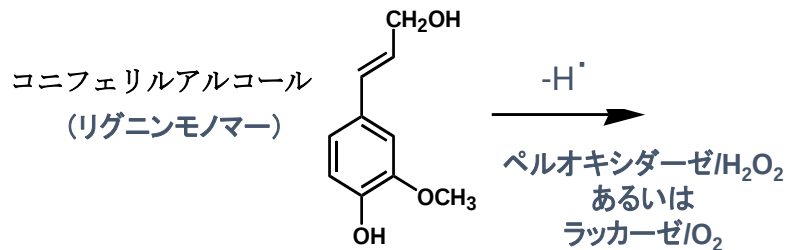
細胞と細胞を接着させるためのリグニンがセルコーナ一部や複合細胞間層（細胞間層と一次壁）で形成する。また、二次壁のセスロースミクロフィブリル間隙にリグニンが挿入的に沈着し、強度に貢献する。リグニンは高分子化の過程で、炭水化物と共有結合を形成するので細胞壁中で永久固定される。リグニンはモノリグノールのラジカルカップリング反応の繰り返して高分子化するので極めて多様な構造を有し、結晶化することはないので、セスロースミクロフィブリルの間隙において、木材の結晶化を進行させない。

- ・ 無毒化機能

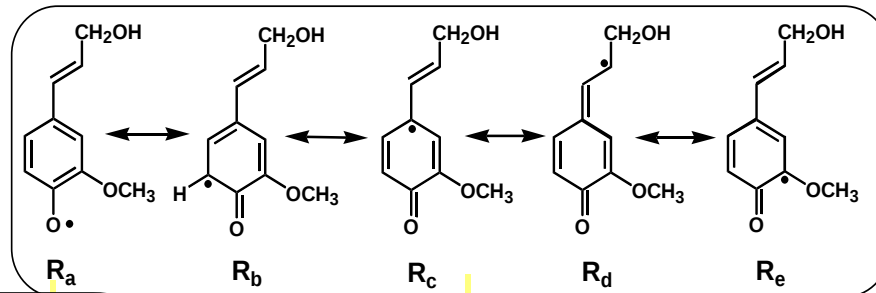
生命が維持していくためには細胞内に溜まった老廃物（過酸化化物）を処理し無毒化させる必要がある。リグニンの高分子化はラジカルカップリングの繰返しであるので、その都度過酸化化物を消費することができる。

寺島典二、木材学会誌, 59(2),65-80(2013)

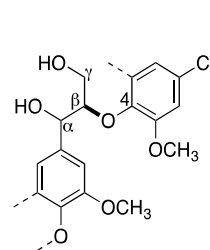
モノグノールの重合



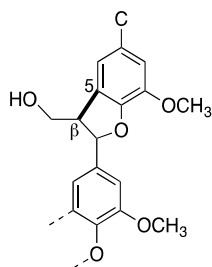
ラジカル混成体



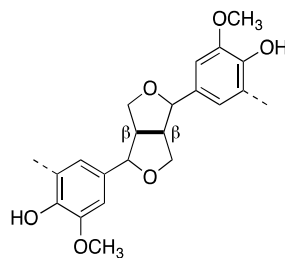
リグニンの主な単位間結合様式



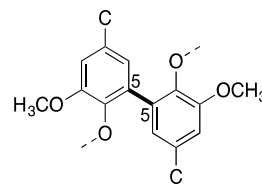
アリールグリセロール-
β-アリールエーテル
(β-O-4)
最も多く存在する



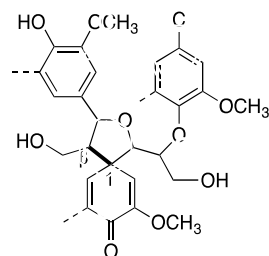
フェニルクマラン
(β-5)



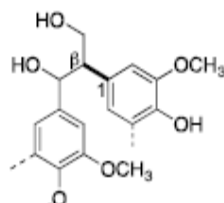
レジノール
(R-β)



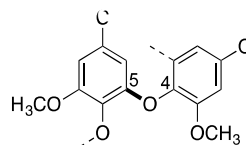
ビフェニル
(5-5)



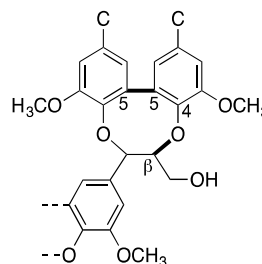
スピロジエノン
(β-1)



ジアリールプロパン
(β-1)

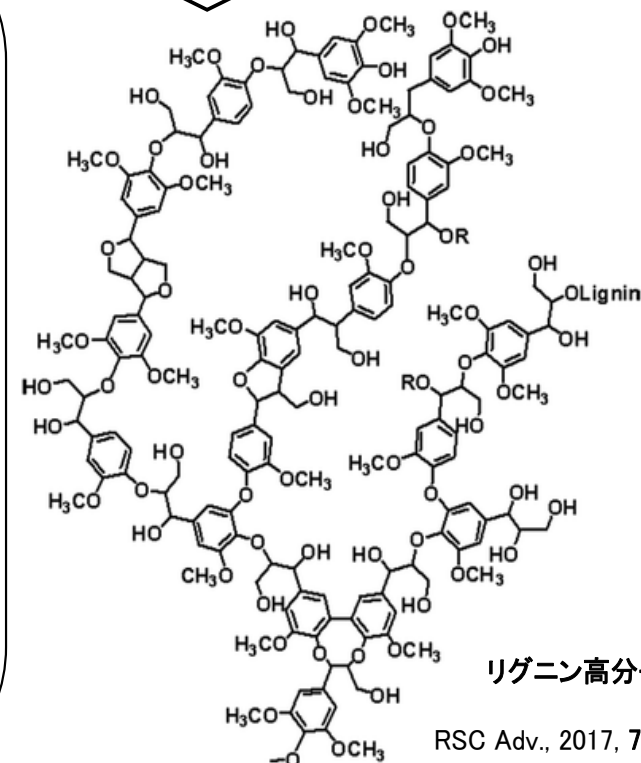


ジアリールエーテル
(4-O-5)



ジベンゾジオキシシン
(5-5/β-O-4)

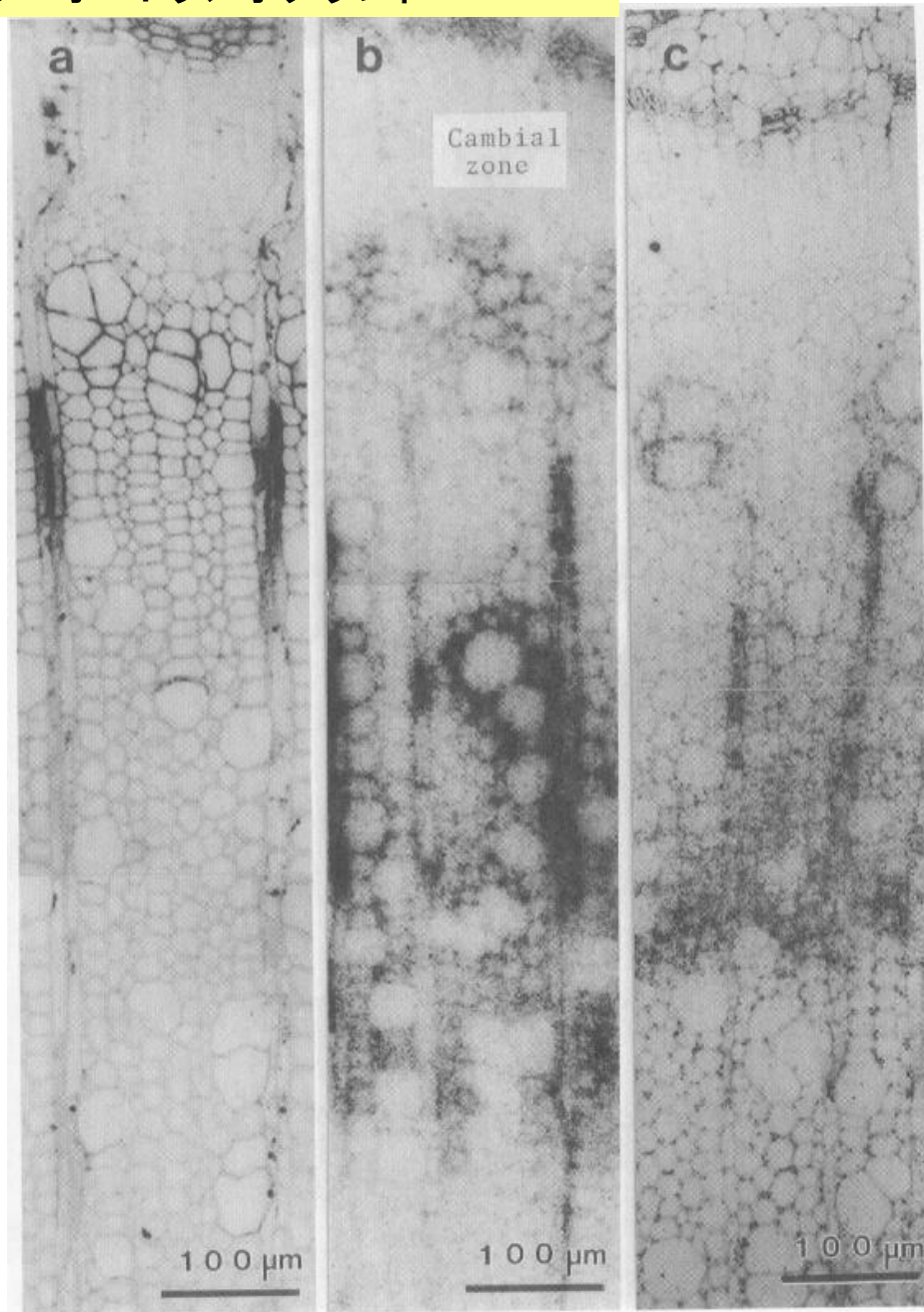
ラジカルカップリング重合



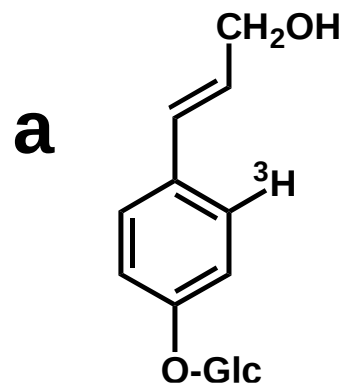
リグニン高分子モデル

RSC Adv., 2017, 7, 16866

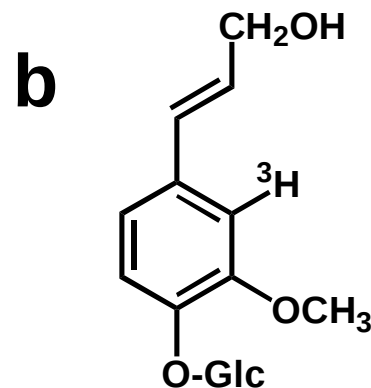
酸化酵素によるラジカル混成体の生成と多様な単位間結合



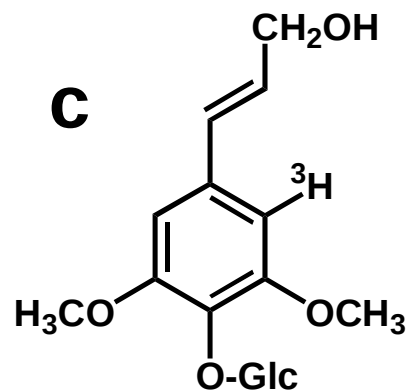
Magnolia kobus (コブシ)



H リグニン



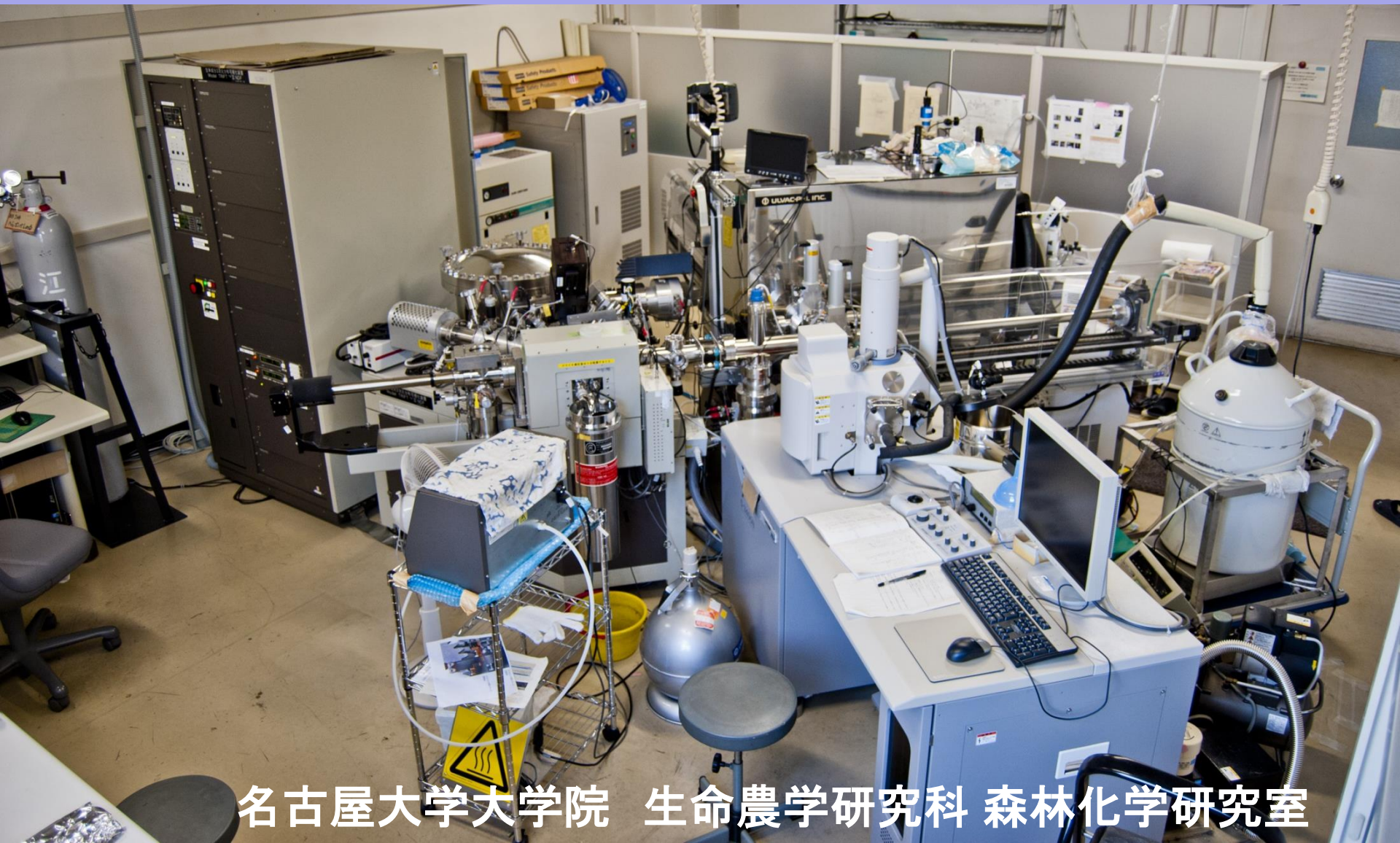
G リグニン



S リグニン

TOF-SIMS(飛行時間型二次イオン質量分析法)

固体表面の分子や原子の分布をサブミクロンオーダーの空間分解能で観察できる質量分析法

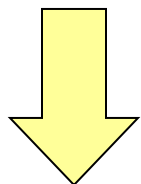


名古屋大学大学院 生命農学研究科 森林化学研究室

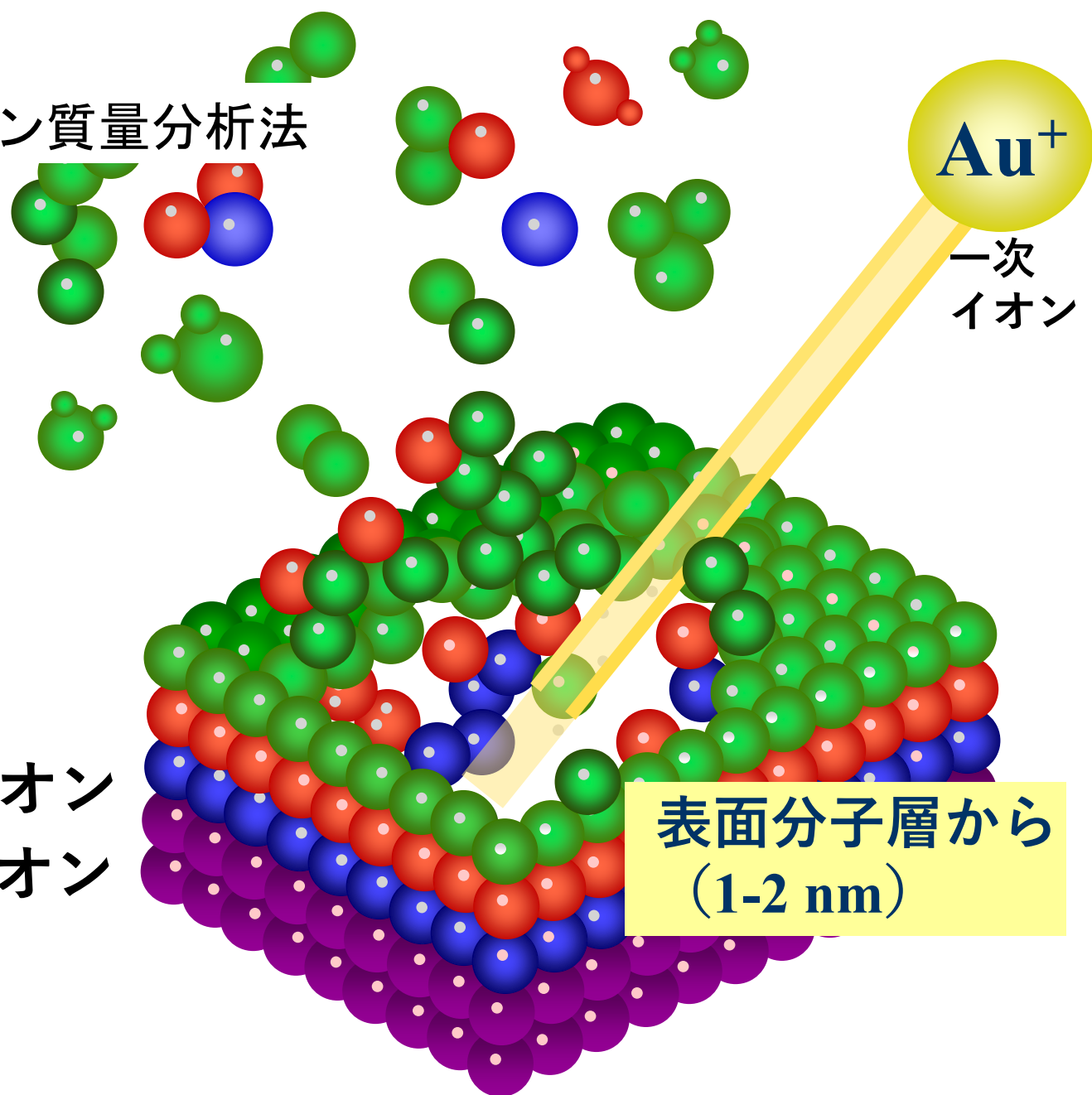
ToF-SIMS

飛行時間型2次イオン質量分析法

二次イオンが
表面から放出する



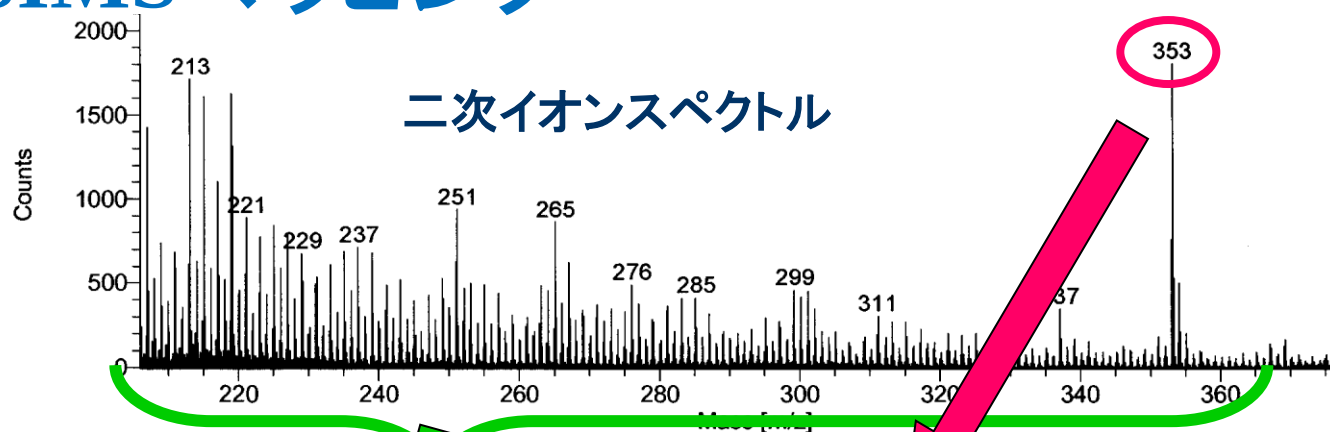
ToF-MS (+) イオン
(-) イオン



リグニンの化学構造を顕微領域で可視化する技術

TOF-SIMS マッピング

ヒノキ心材の分析例



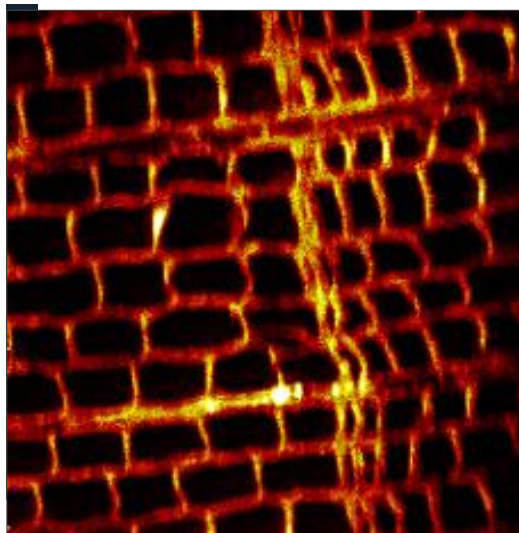
全イオン イメージ

特定イオンの イメージ(マッピング)

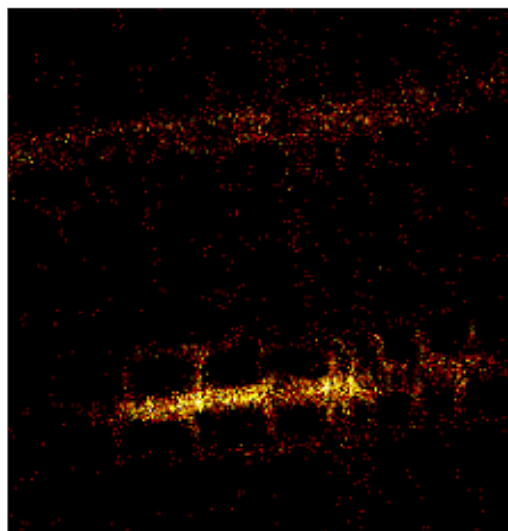
高

イオン強度

低

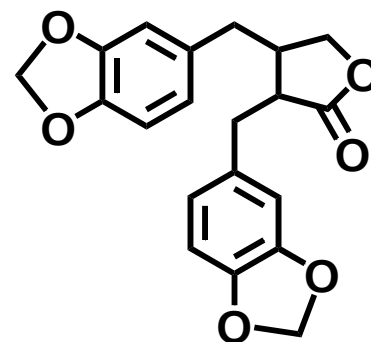


試料の表面形状



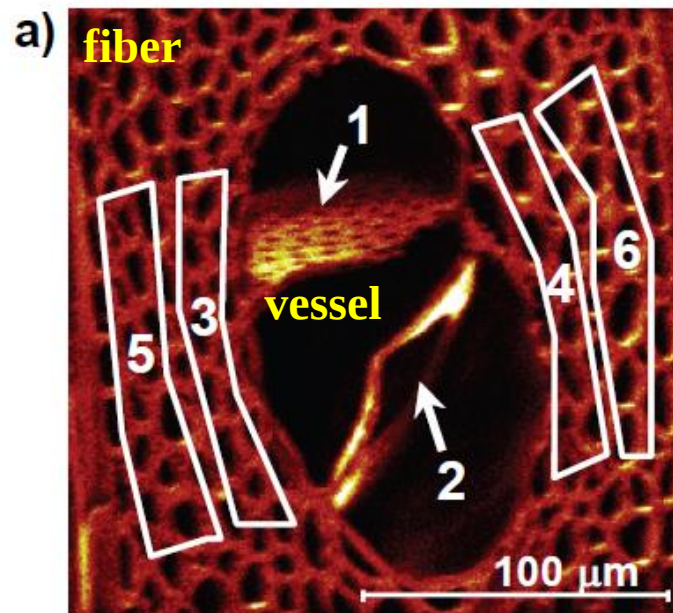
特定成分の分布

m/z 353



ヒノキ心材
抽出成分
(ヒノキニン)

カエデのリグニン構成モノマー(S/G比)は、細胞の種類により異なる



S/G ratio

vessel

1. 0.50

2. 0.46

fiber

3. 0.98

4. 0.75

5. 1.00

6. 0.90

ROI (region of interest)

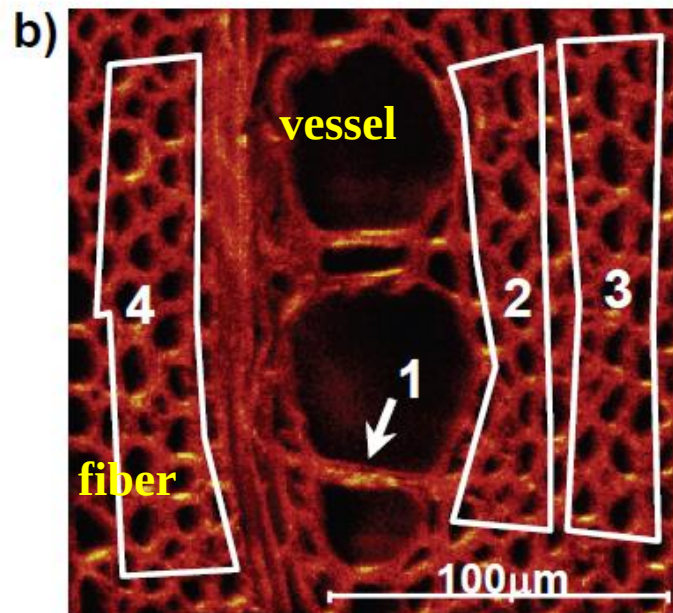
Analysis



Vessel : Guaiacyl rich

Fiber: S $\doteq$ G

リグニン分析(S/G比)は、有機化学実験をしなくても達成できる



vessel

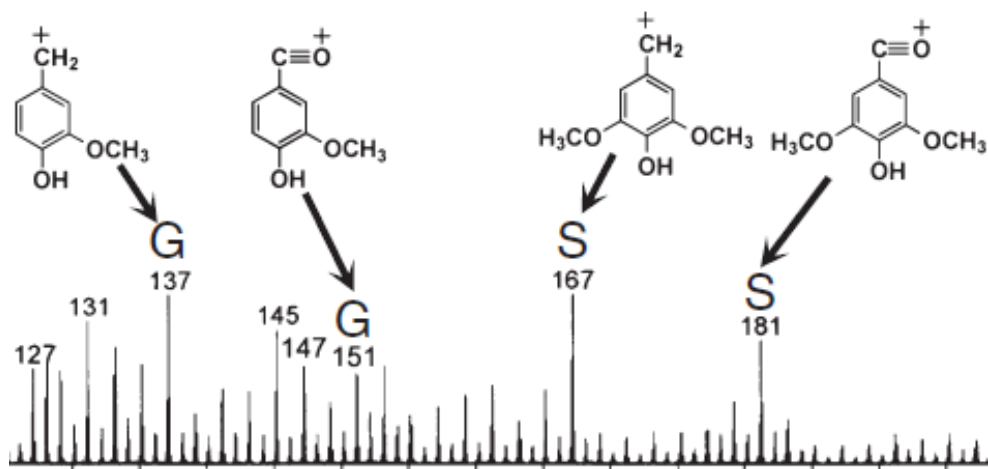
1. 0.46

fiber

2. 1.02

3. 1.08

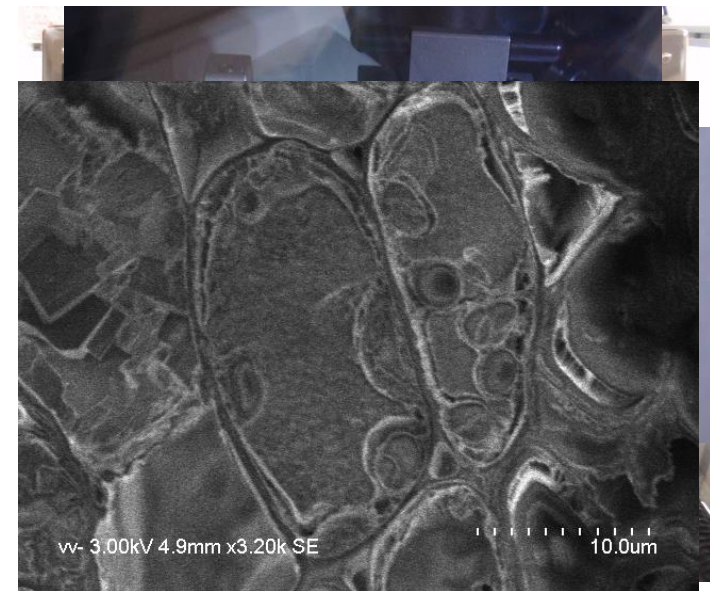
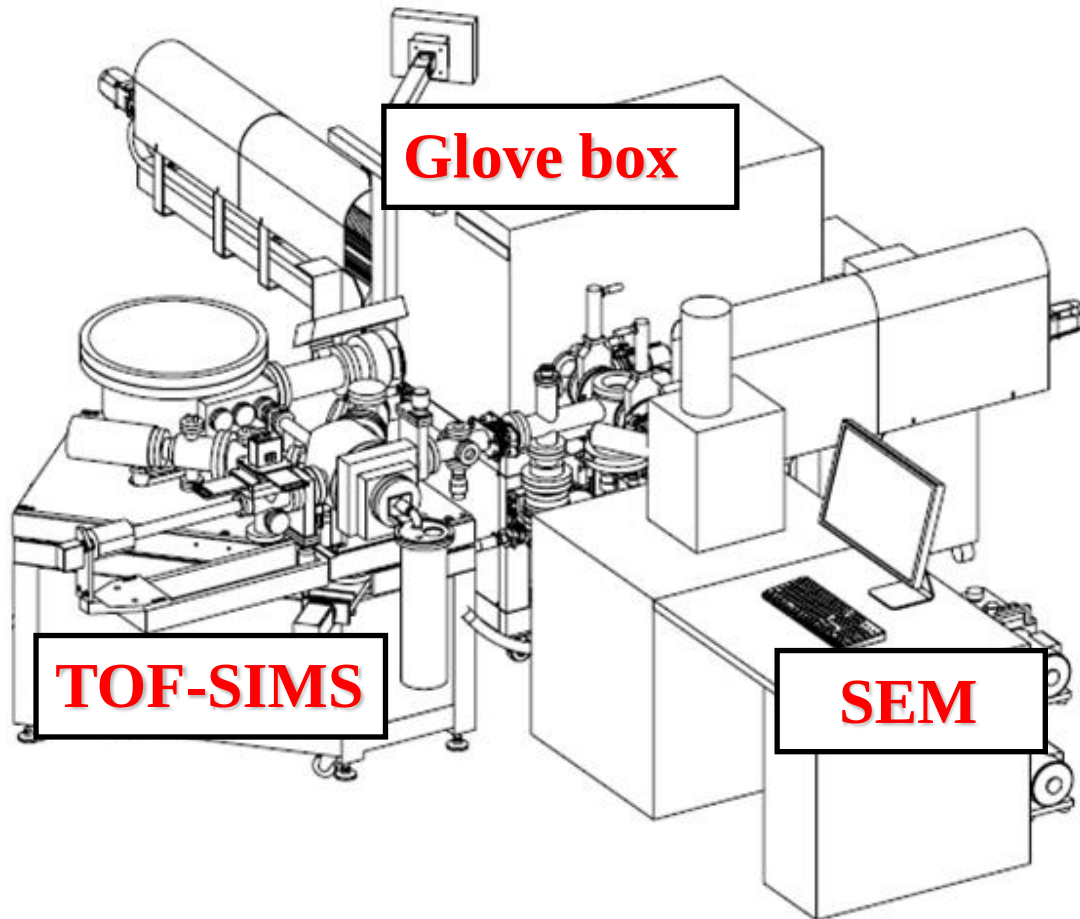
4. 0.90



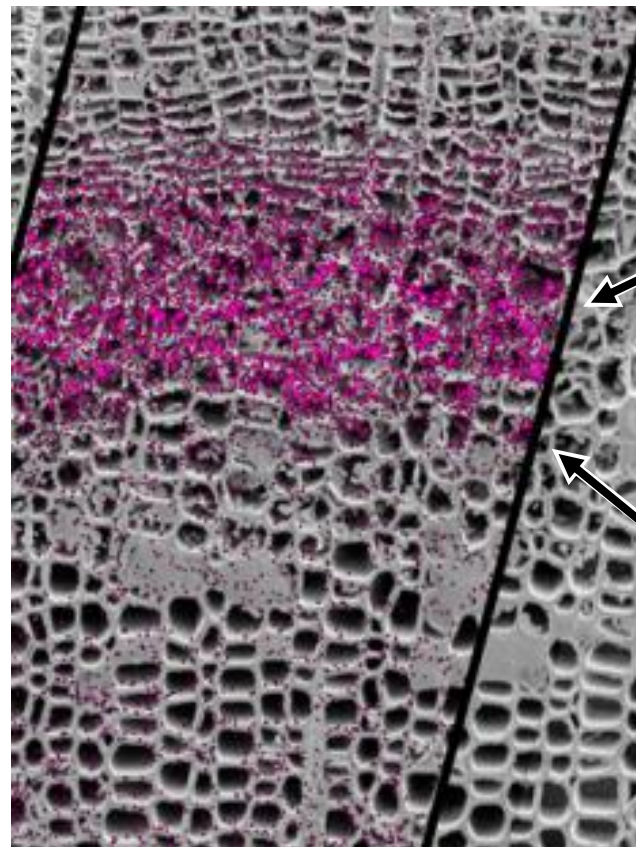
Saito, K., et al., Plant J. (2012)

• CryoTOF-SIMS/SEM

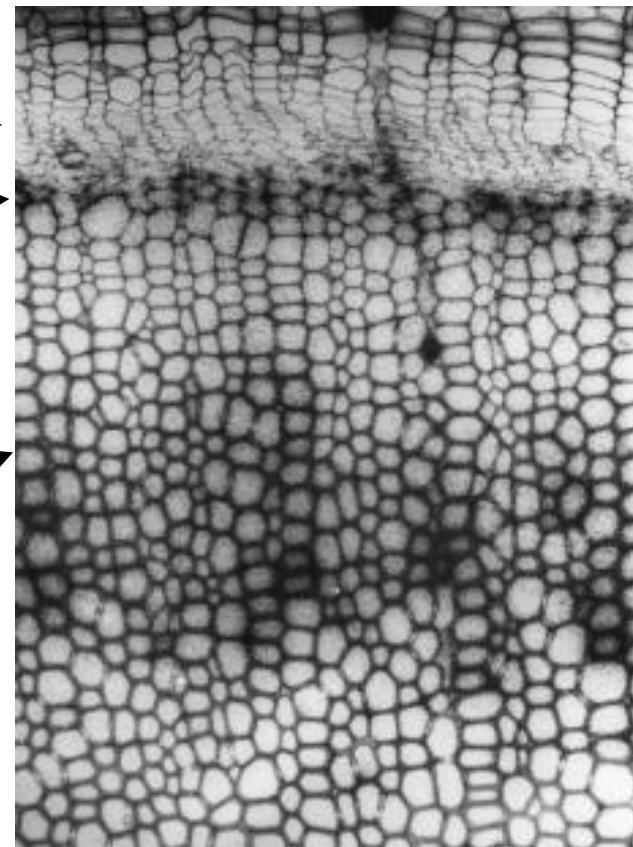
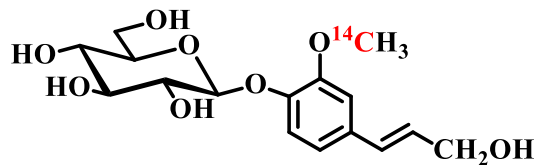
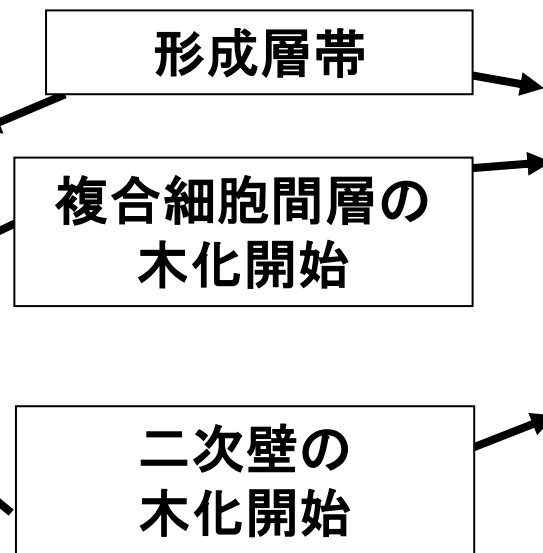
- TOF-SIMSとSEMを連結し、極低温下で試料の凍結状態を維持したまま試料の調製・観察を行うことができる
- 水溶性化合物の局在を突き止めることができる



コニフェリンの分布と木化段階



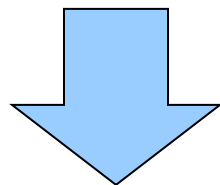
Cryo-TOF-SIMS/SEMによって可視化された
内因性コニフェリンの樹幹内分布



^{14}C 標識コニフェリンの投与により
可視化された、コニフェリンの
リグニンへの取り込みタイミング

コニフェリンは複合細胞間層の木化前から貯蔵され始め、
二次壁の木化開始と共に細胞内濃度が急激に減少する。

辺材と心材の識別



古材の年代決定に重要

年輪年代学
年輪化学

法隆寺



世界最古の木造建築物（世界遺産）
創建は、聖徳太子創建時 607年と、670年の全焼後の説がある

辺材と心材

心材 色が濃い

細胞の死

- ・ 心材特有成分検出

辺材 色うすい

細胞生きている

- ・ 栄養貯蔵

辺材と心材

- ・ 色が異なる
- ・ 抽出成分量が異なる

**辺材と心材は
目で判別できる**

伐採直後のヒノキ断面

伐採年代の推定：古い木材をみると・・・



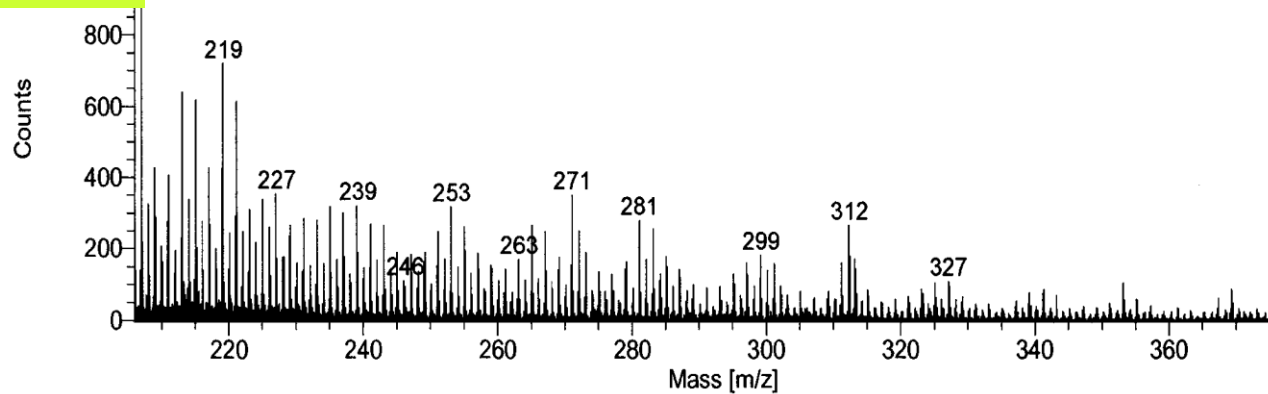
色が変わっていて
辺材を識別できない！

法隆寺建築古材

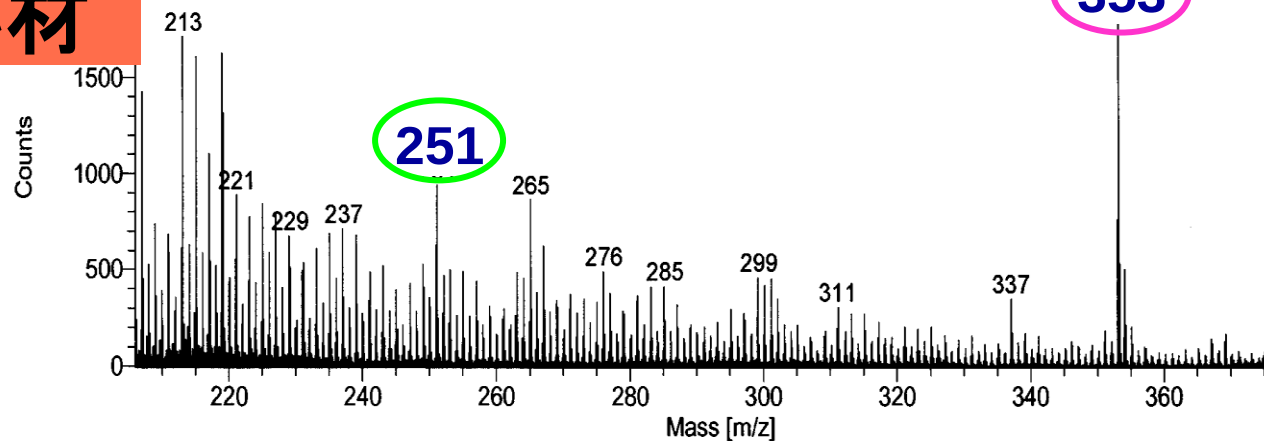
伐採年を判定できない

ヒノキ辺材・心材スペクトルの違い

辺材



心材

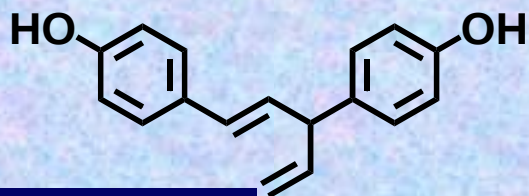


違いを
示す
イオン
選択

ヒノキ心材の特有イオンの同定

標品を用いて同定

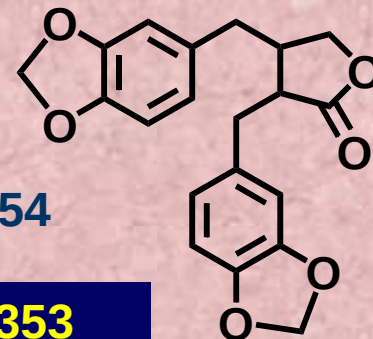
ヒノキレジノール



m/z 251

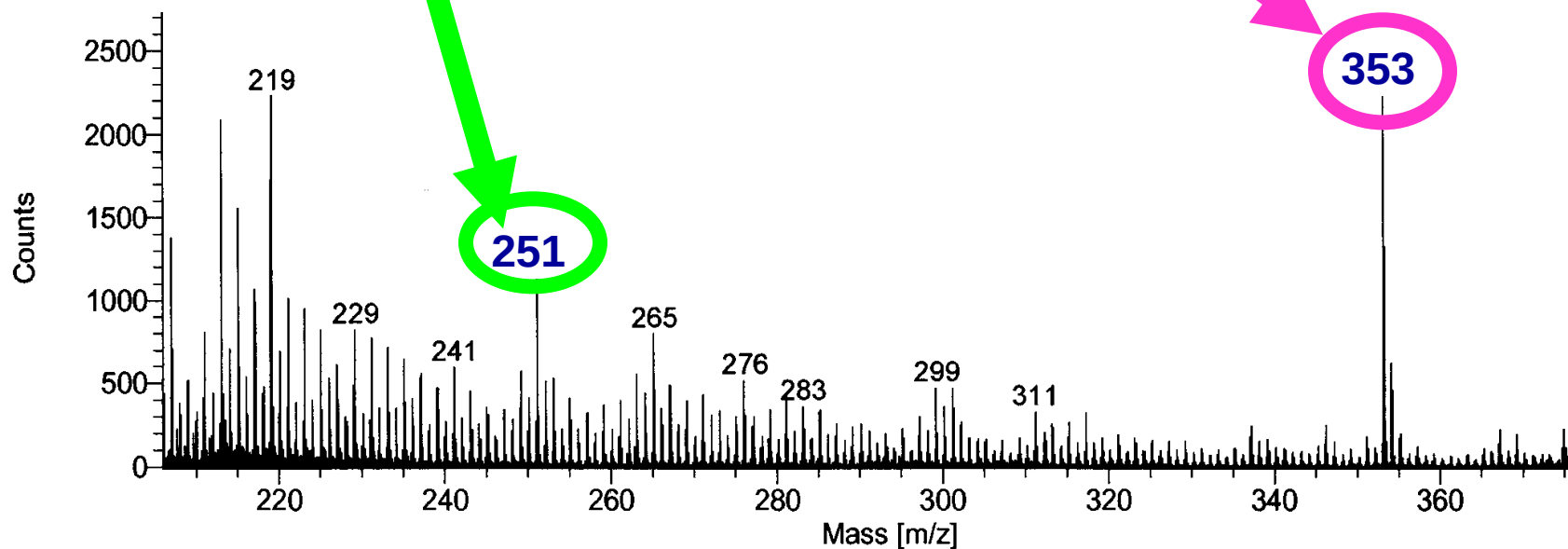
Mw 252

ヒノキニン



Mw 354

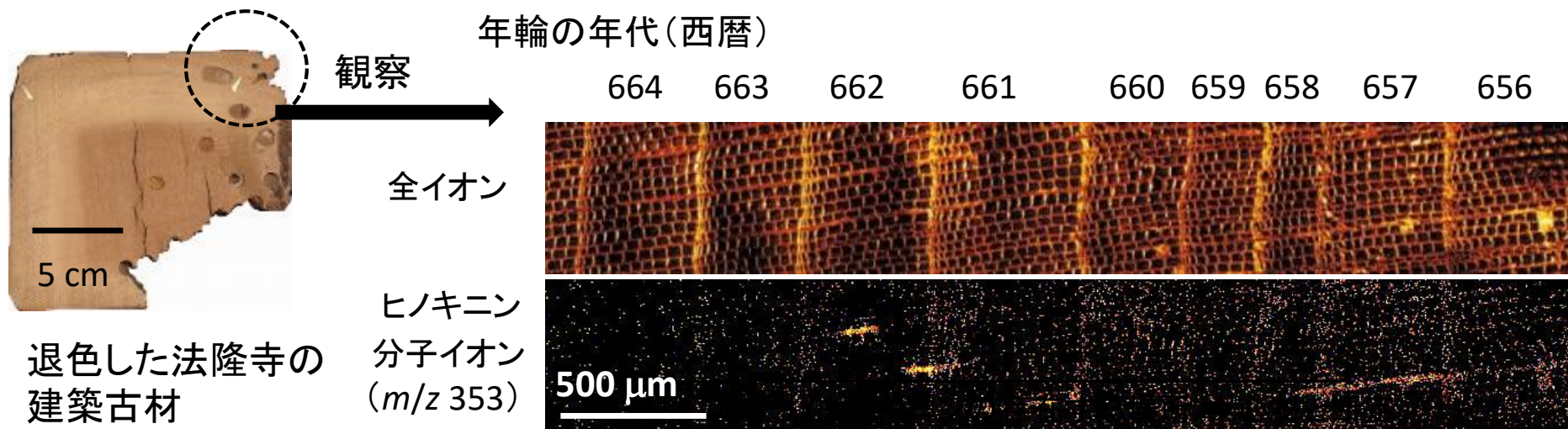
m/z 353



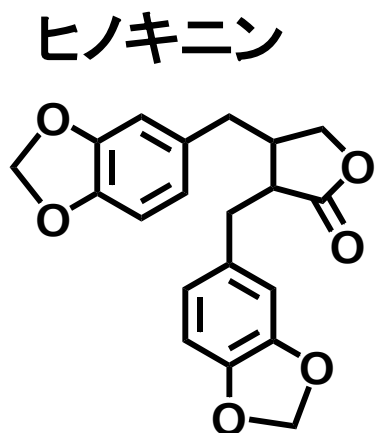
ヒノキ心材ToF-SIMS 正イオン スペクトル

TOF-SIMS分析の応用例

法隆寺古材の辺材-心材境界の決定による伐採年の推定



TOF-SIMSで辺材・心材の境界を決定



ヒノキの心材成分

限られた試料から、1 mm以下の年輪毎にこれらの成分を抽出、定量していくのは非常に困難

K. Saito et al., *Analytical Chemistry*, 80, 1552-1557 (2008)

K. Saito et al., *Applied Surface Science*, 255, 1088-1091 (2008)

はやぶさカプセル内の微粒子の初期分析の開始について

平成23年1月17日
宇宙航空研究開発機構

宇宙航空研究開発機構（JAXA）は、はやぶさ搭載の帰還カプセルにより持ち帰られた、サンプル収納容器（※1）からの微粒子の採集とカタログ化を進めています。

サンプルキャッチャーA室から自由落下法により回収された微粒子の中で、電子顕微鏡観察により岩石質と同定した微粒子の初期分析（※2）を開始する事となりました。初期分析を担当する研究者等の情報を添付資料に示します。

初期分析計画の一覧

分析代表者 （*）と主要 メンバー （分析代表者 五十音順）	所属	分析法、使用設備	得られる情報
		大粒アモルファス微粒子（初期）	
奈良岡 浩 * 三田 肇 浜瀬 健司 福島 和彦	九州大・理 福岡工大・工 九州大・薬 名古屋大・農	ガスクロマトグラフ質量分析計（九州大） 液体クロマトグラフ蛍光検出法（九州大） 飛行時間型二次イオン質量分析計（名古屋大）	有機化合物の有無と種類
坂本 尚義 *	北海道大・理	同位体顕微鏡／二次イオン質量分析計（北海道大）	同位体組成、微量元素組成

脱炭素社会構築に貢献する 木質バイオマスのマテリアル利用

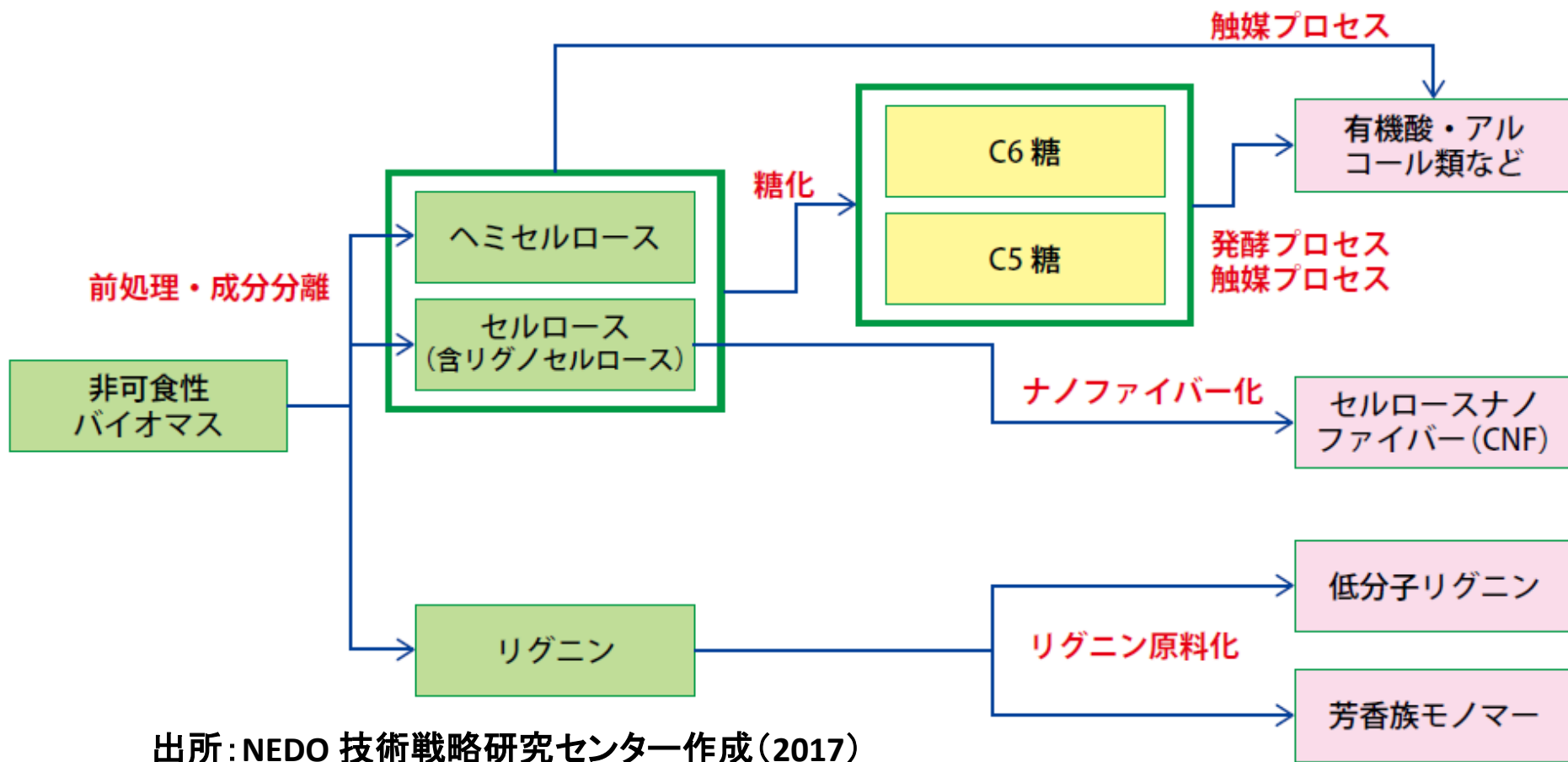
今日お話しする内容

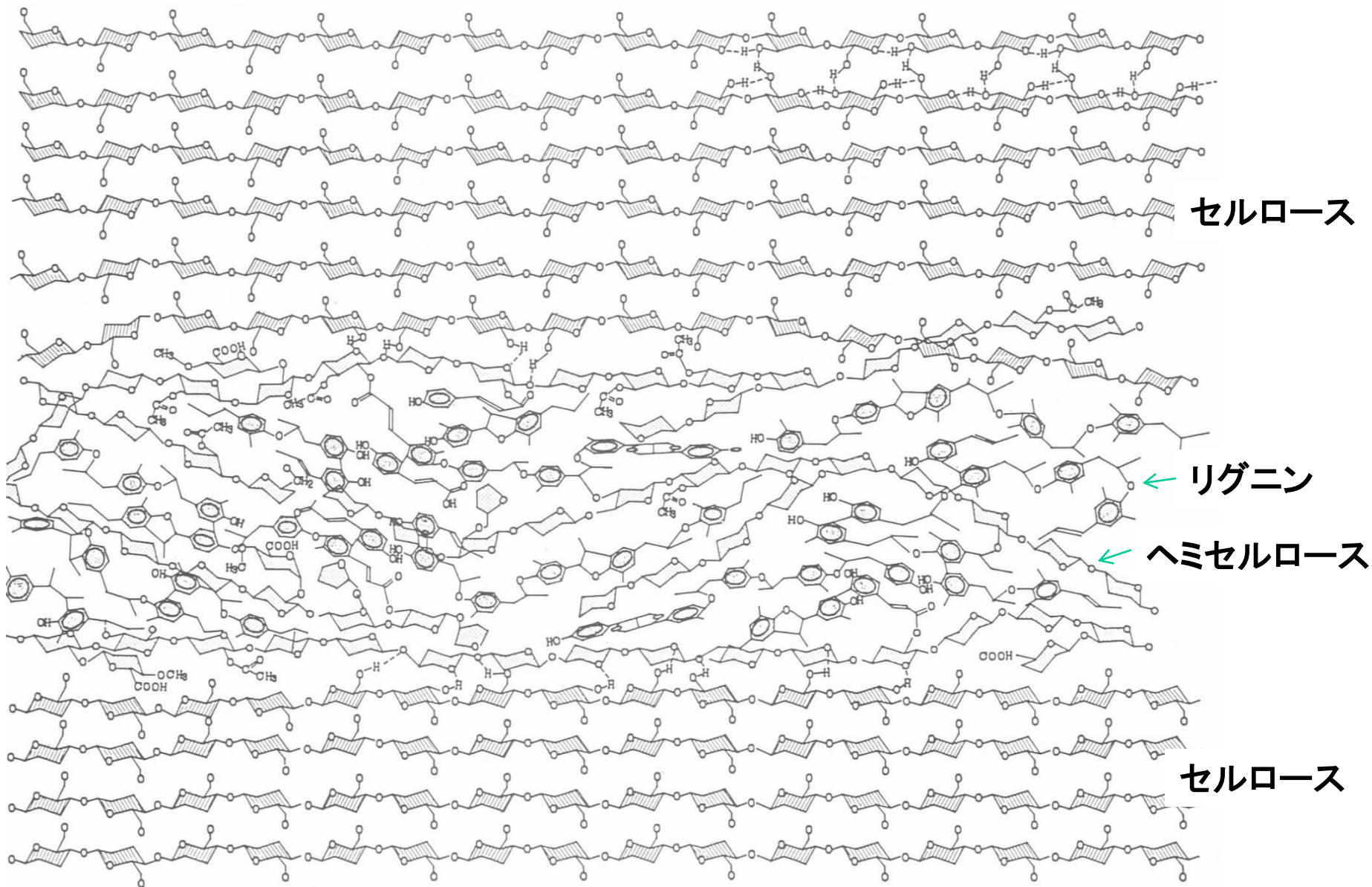
1. 我々の暮らしと地球温暖化
2. 木質バイオマス利用の意義
3. 木質とは何か
- 4. 鍵を握るリグニン利用**
5. 今後の展望

バイオリファinery(*biorefinery*)

再生可能資源であるバイオマスを原料にバイオ燃料や樹脂などを製造するプラントや技術

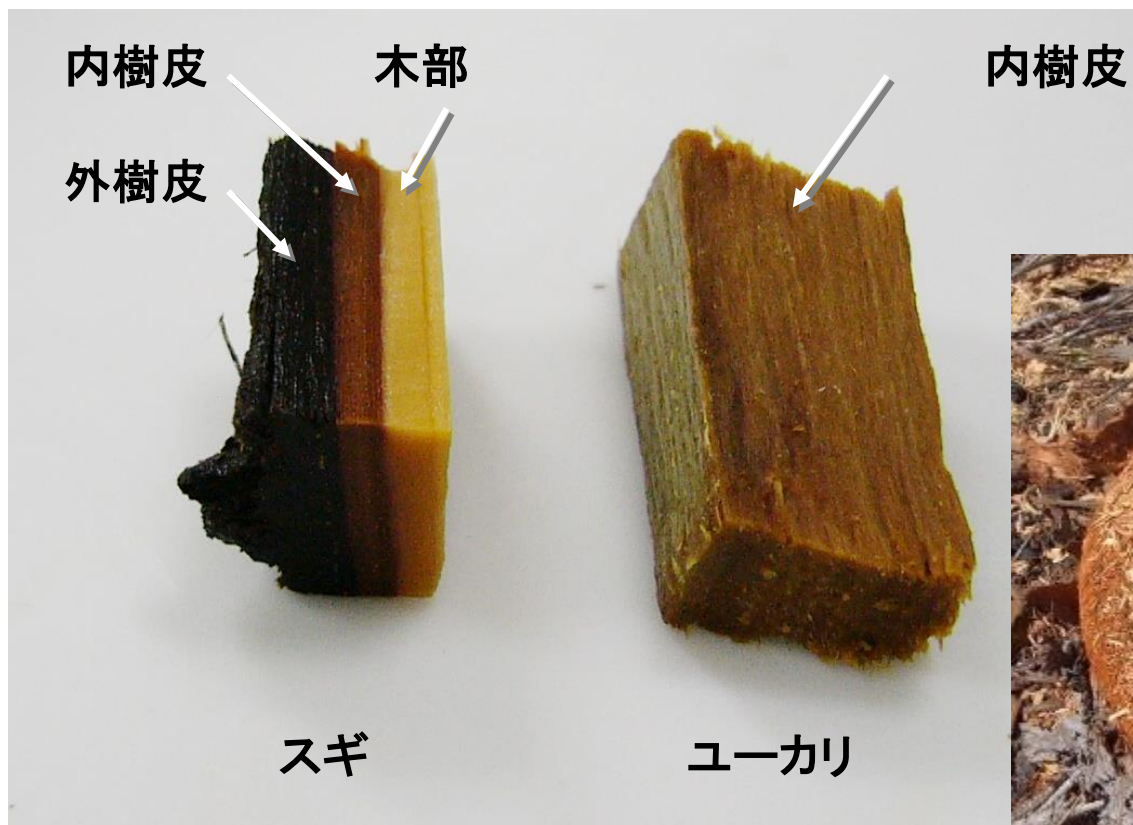
非可食性バイオマスからの化学品製造の技術体系





木質化細胞壁(リグノセルロース)の分子レベル想像図

樹皮からエタノールを作る



未利用資源からエタノール製造

ユーカリ樹皮は極めて厚く、大量に林地に残される

CO₂水熱処理＋酵素糖化によるエタノール生産量

ユーカリ樹皮

1トンのユーカリ内樹皮から約404kgの糖が得られ、醗酵収率(0.90)と変換理論値(0.511)を加味すると、 $404 \times 0.9 \times 0.511 = 185.8$ Kg 容積換算して

$$185.8 \times 1.25 = 232(\text{L})$$

スギ樹皮

1トンのスギ内樹皮から約197kgの糖が得られ、醗酵収率(0.90)と変換理論値(0.511)を加味すると、 $197 \times 0.9 \times 0.511 = 90.6$ Kg 容積換算して

$$90.6 \times 1.25 = 113(\text{L})$$

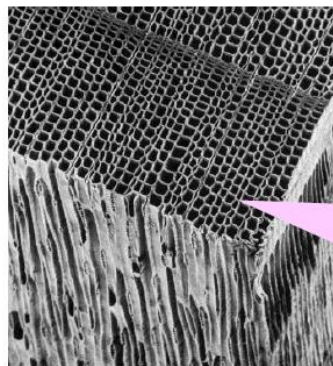
NEDO「新エネルギー技術研究開発／バイオマスエネルギー等高効率転換技術開発（先導技術開発）／未利用木質バイオマス（樹皮）の高効率糖化先導技術の開発」（代表：福島和彦）成果報告書（平成22年）

セルロース ナノファイバーとは

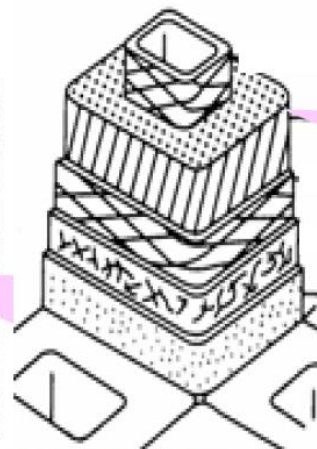
全ての植物細胞壁の骨格成分で、
植物繊維をナノサイズまで細かく
ほぐすことで得られます。



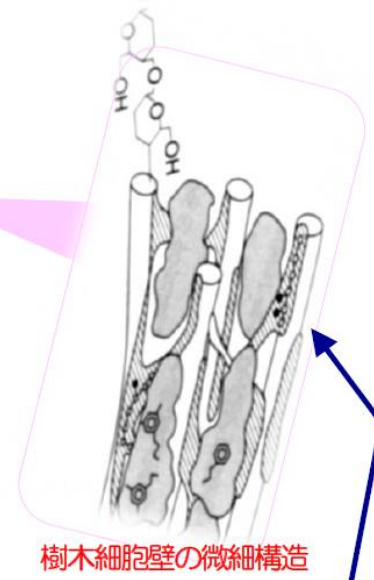
Copyright University of Canterbury, 1996. Artwork by Mark Harrington



樹木の構造

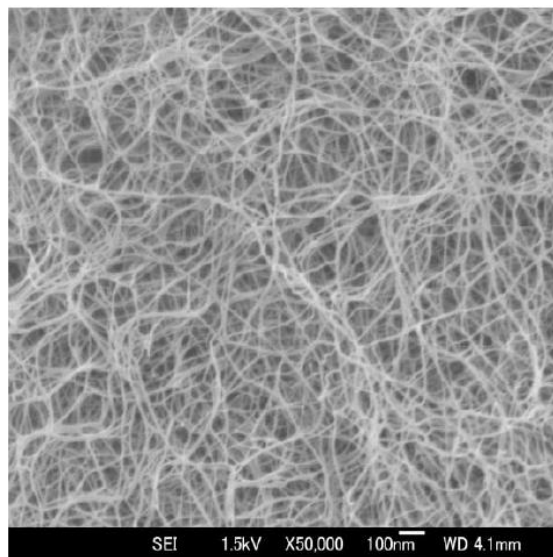


樹木細胞壁の構造



樹木細胞壁の微細構造

セルロースナノファイバー：50%
ヘミセルロース：20～30%
リグニン：20～30%



セルロースナノファイバー（木材）

SEM写真：京都大学 栗野博士提供

“樹木細胞壁は
鉄筋コンクリート”と
同じような構造。

リグニンのなかに
セルロースナノファイ
バーが埋め込まれている。

セルロースナノファイバーの特長と用途



ナノ複合材

樹脂やゴムに
セルロースナノファイバー
を混ぜると、軽くて強い
自動車部品が
作れます



フィルター

比表面積の大きい
ナノファイバーで作った
フィルターは小さな
塵埃を捕集できます



ガスバリア
フィルム

空気を通しにくい
フィルムは
食材などの鮮度保持に
効果があります



化粧品や食品、
塗料など

水中で粘性を
付与したり、微粒子を
分散したりできます



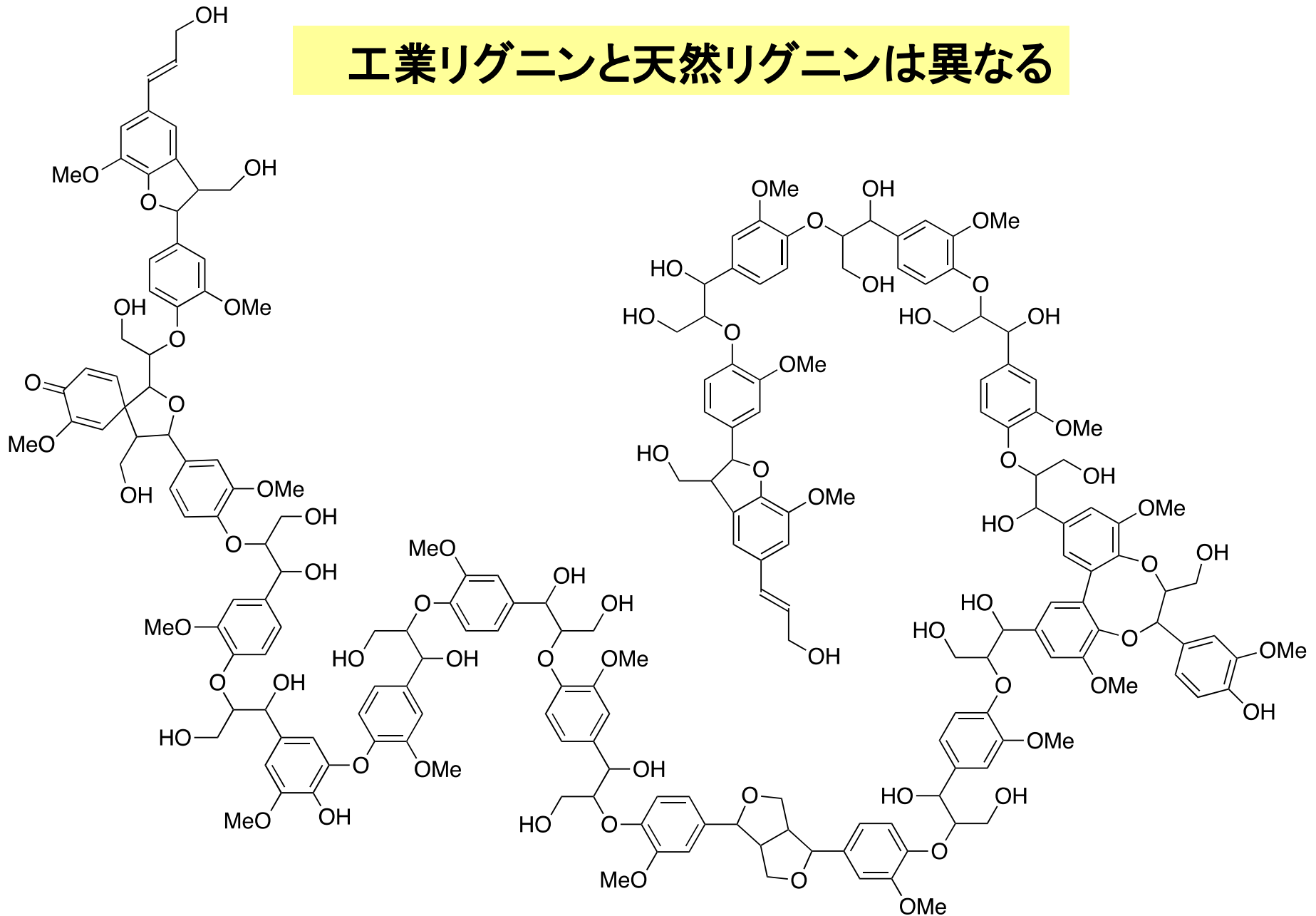
透明シート

透明表示体などの
素材として
使用できます

特長

1. 軽くて強い
2. 超極細の繊維
(繊維幅約3nm)
3. 比表面積が大きい
4. 熱による寸法変化が小さい
5. ガスバリア性が高い
6. 水中で特徴的な粘性を示す (チキソ性)
7. 環境にやさしいバイオマス素材

工業リグニンと天然リグニンは異なる



天然リグニンモデル構造 (Ralph et al. 2019)

クラフトリグニンの化学構造

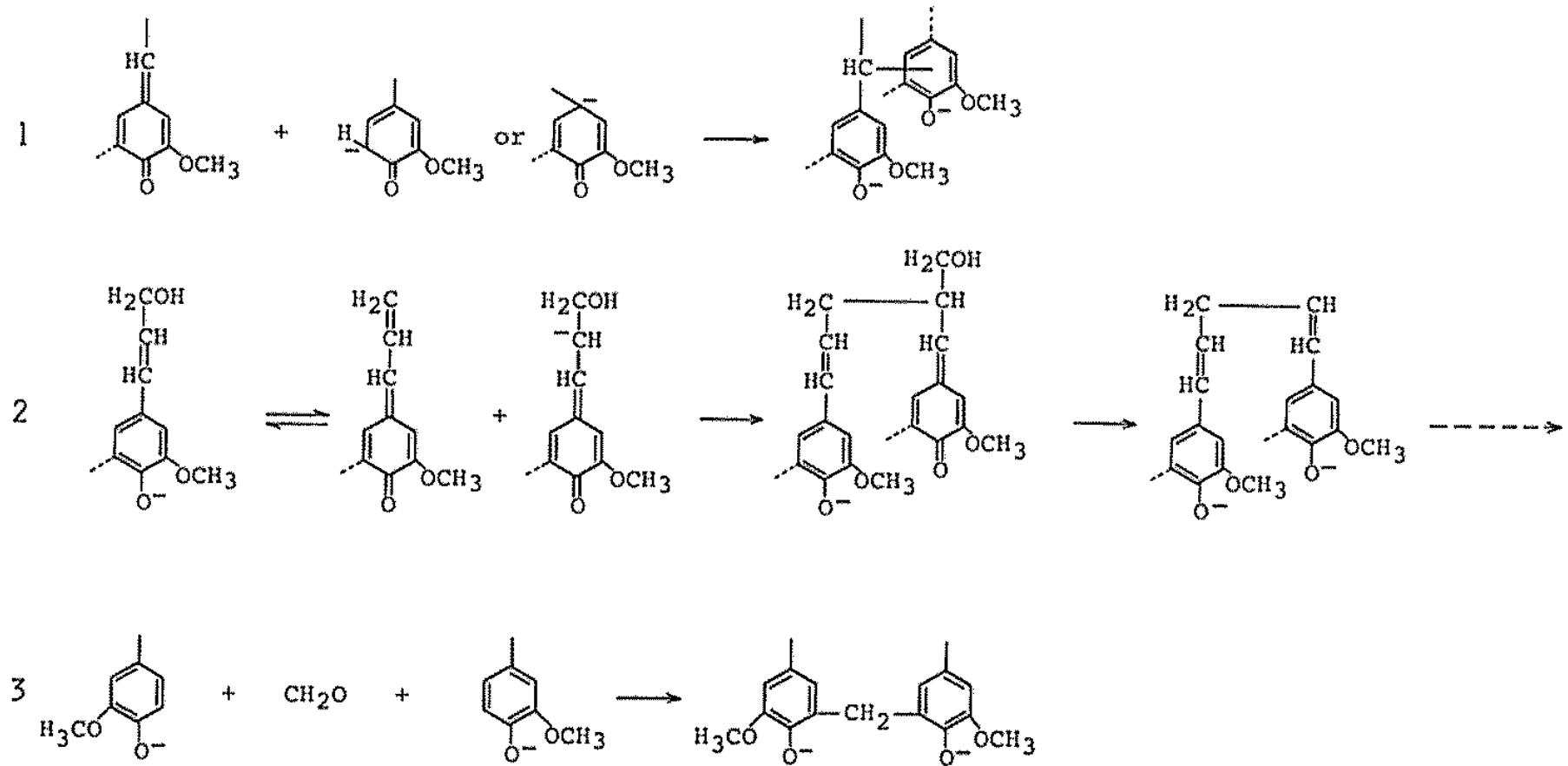


Fig. 7. Condensations of lignin during kraft pulping.

パルプ化過程でジフェニルメタン型構造が二次的に形成される。

クラフトリグニンは縮合型構造に富む。

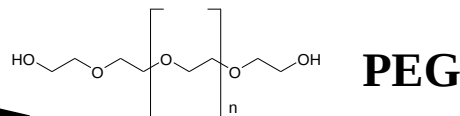
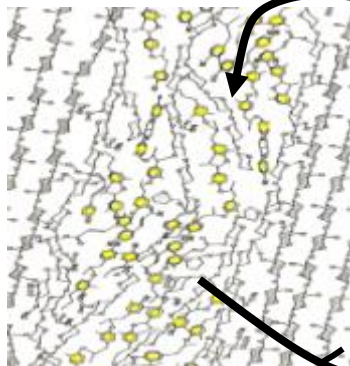
ポリエチレングリコール(PEG)による改質

ポリエチレングリコール(PEG)は化粧品等に多用される安全性の高い素材
生物材料との相互作用が高いユニークな物質

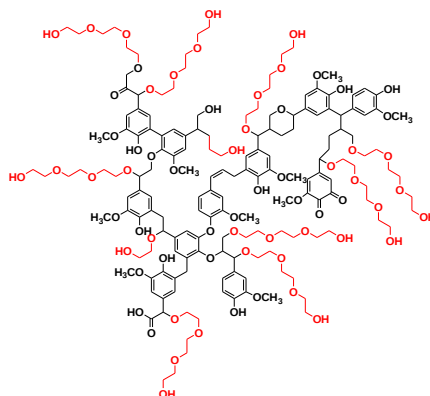
アイデア

PEGは相互作用が高く、物性制御も可能
反応の度合いを制御できればPEG中でリグニン抽出が可能！
加えて酸加溶媒分解ではPEG導入も同時におこる！

木材の化学構造の模式図



改質リグニン



★PEGは、化粧品、洗浄剤等、に多用されている毒性のない水溶性高分子であり、多くの化粧品に添加されています。
PEGはリグニンとのなじみがよく、相互作用で物性を変化させることができます。

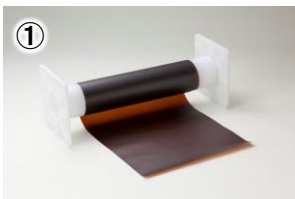
PEGによるリグニン抽出とPEGによる誘導体化を同時に達成する技術開発に成功！

改質リグニンを用いた製品開発



改質リグニンを用いた 高付加価値製品

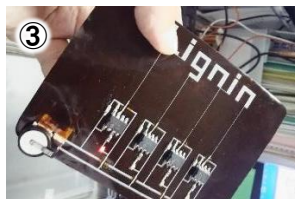
改質リグニンは、さまざまな材料と組み合わせることに適した素材です。生み出された製品には、1000億円を超える市場をつくりだすことが予測されています。



① 改質リグニン-粘土ハイブリッド膜



② タッチセンサー用改質リグニンフレキシブル基板



③ 改質リグニン電子基板



④ 改質リグニン外・内装材(繊維強化材)搭載車両



⑤ 3Dプリンター用生分解性改質リグニンフィラメントと3Dプリンター造形物



⑥ 銅箔塗装改質リグニンハイブリッド膜



⑦ 改質リグニンジョイントシート配管シール材(ガスケット)



⑧ 改質リグニン繊維強化材自動車用ドアトリム



⑨ 改質リグニン/パルプコンボジット射出成型品



改質リグニン系コンクリート用化学混和剤(AE減水剤)

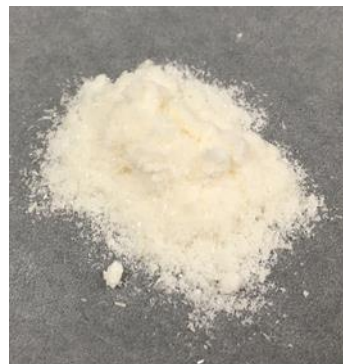
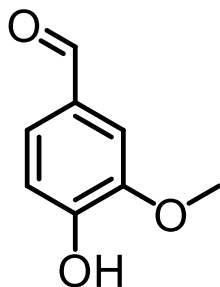
- ①、②、③、⑥ | 産総研
- ④ | 森林総研、産総研、(株)宮城化成、(株)光岡自動車
- ⑤ | ネオマテリア(株)、森林総研
- ⑦ | ジャパンマテックス(株)
- ⑧ | (株)宮城化成
- ⑨ | トクラス(株)、森林総研
- ⑩ | 森林総研

パルプ廃液からプラスチック

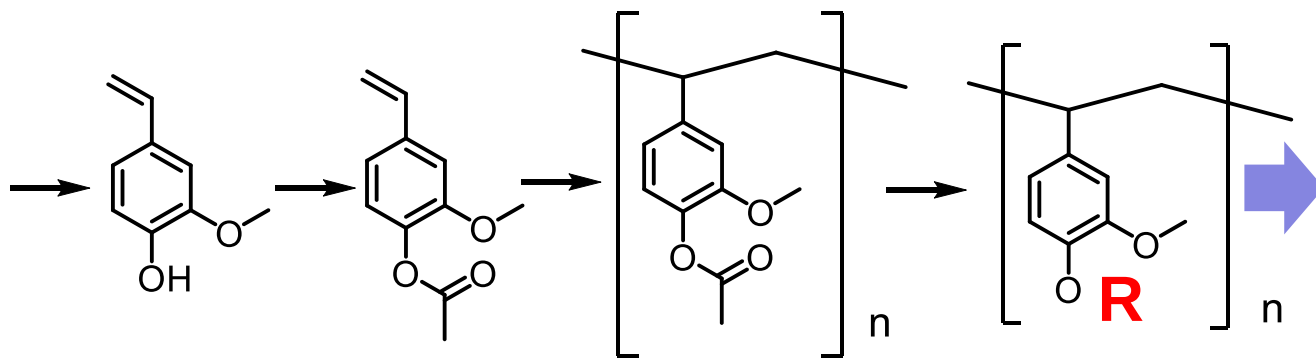
バニリン Vanillin

✓香料・食品に利用
(バニラの香り成分)

✓黒液から大量生産可能
(リグニンを多量に含むパルプ化工程の副生成物)



黒液(Black liquor)



モノマー化 ➡ ポリマー化 ➡ 機能化

生分解速度を制御できる



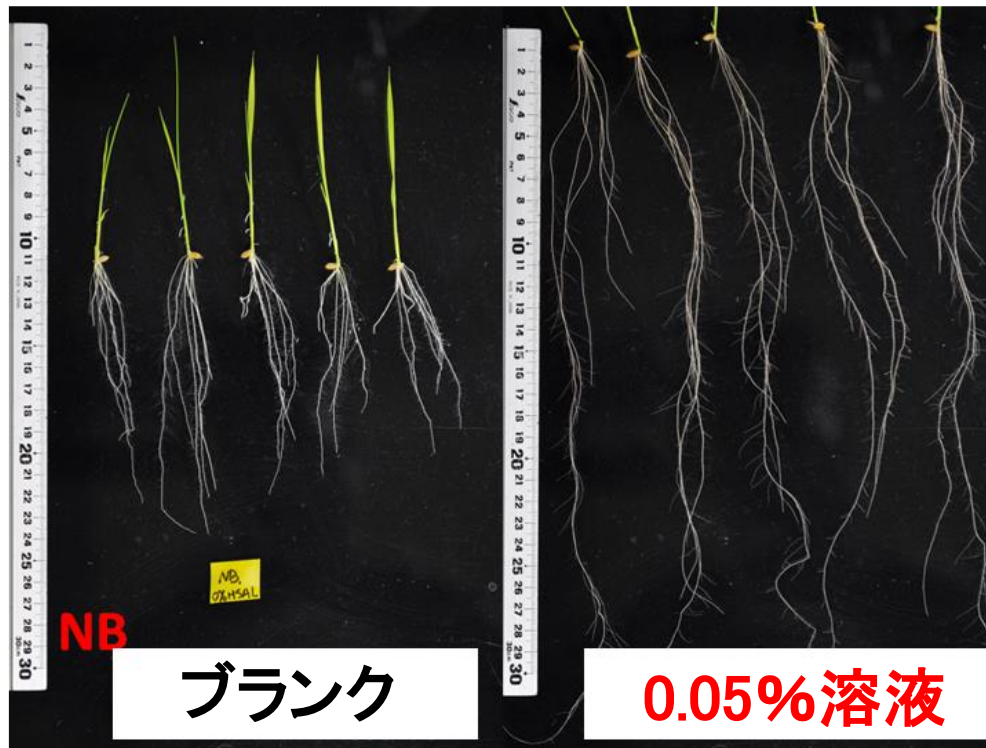
バニリン由来の
透明プラスチック

新しいバイオベース
マテリアルへ

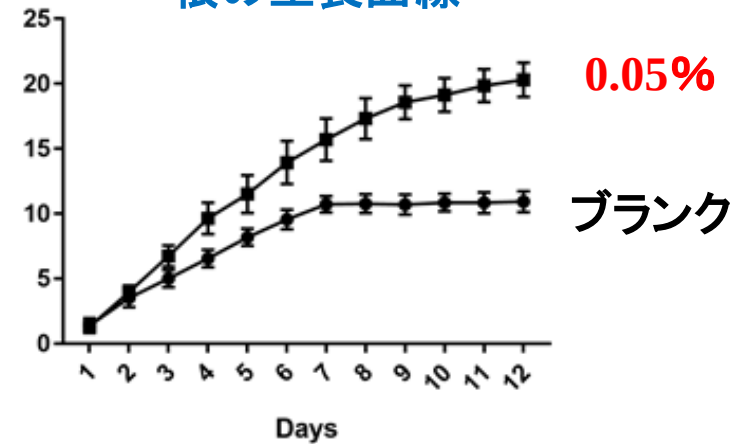
硫酸リグニンを水熱処理することにより得られる植物成長促進剤

水溶化した硫酸リグニンの植物成長促進作用

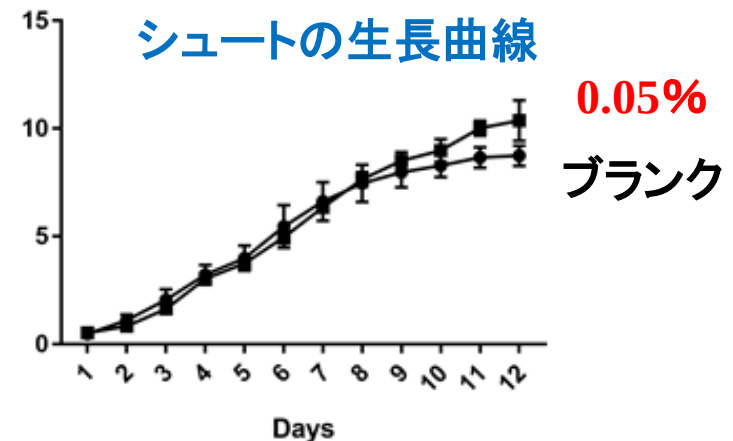
イネ(日本晴)での実験



根の生長曲線



シュートの生長曲線



脱炭素社会構築に貢献する 木質バイオマスのマテリアル利用

今日お話しする内容

1. 我々の暮らしと地球温暖化
2. 木質バイオマス利用の意義
3. 木質とは何か
4. 鍵を握るリグニン利用
5. 今後の展望

脱炭素社会の実現に資する等のための建築物等における木材の利用の促進に関する法律

・第三条(基本理念) 木材の利用の促進は、地球温暖化を防止することが人類共通の課題であり、そのための脱炭素社会の実現が我が国の緊要な課題となっていることに鑑み、森林における造林、保育及び伐採、木材の製造、建築物等における木材の利用並びに森林における伐採後の造林という循環が安定的かつ持続的に行われることにより、森林による二酸化炭素の吸収作用の保全及び強化が十分に図られることを旨として行われなければならない。

・2 木材の利用の促進は、製造過程における多量の二酸化炭素の排出等による環境への負荷の程度が高い資材又は化石資源に代替して、森林から再生産することが可能である木材を利用することにより、二酸化炭素の排出の抑制その他の環境への負荷の低減が図られることを旨として行われなければならない。

ブロック コモンズ

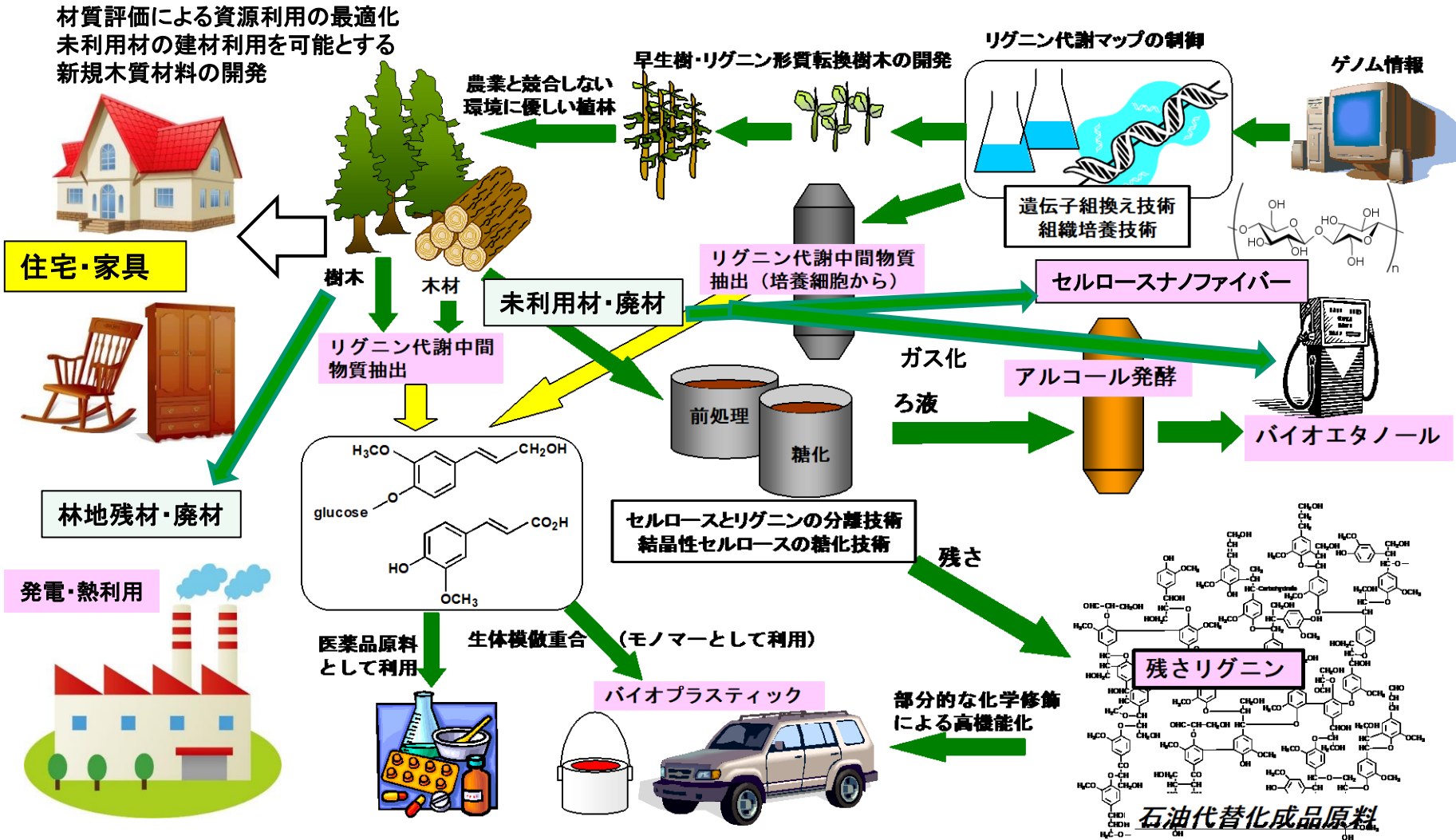
高層木造建築物

マスティンバー使用 18 階建て | 混構造 学生寮

ブリティッシュコロンビア大学

プロジェクトの概要

森林資源利用を拡大し、石油に頼らなくても持続できる社会をつくる



一気通貫（全体最適化）で脱炭素社会の実現
・基礎科学の充実、要素技術の連携が課題

豊富な木質バイオマス資源量

(日本の人工林の成長量は約4000万t/年で、現在、伐採搬出されている木材は約1200万t/年→2800万tが未利用資源として理論上調達可)。木質バイオマスから製造すればバイオエタノールとして認証



すべてプラスチックに変換する必要はあるの？



木→プラスチック(石油を使うことができた時代)→木
端材や未利用材の有効利用は環境に貢献
我々の暮らしも豊かにする→SDGsへの貢献

木材製品を作るということ

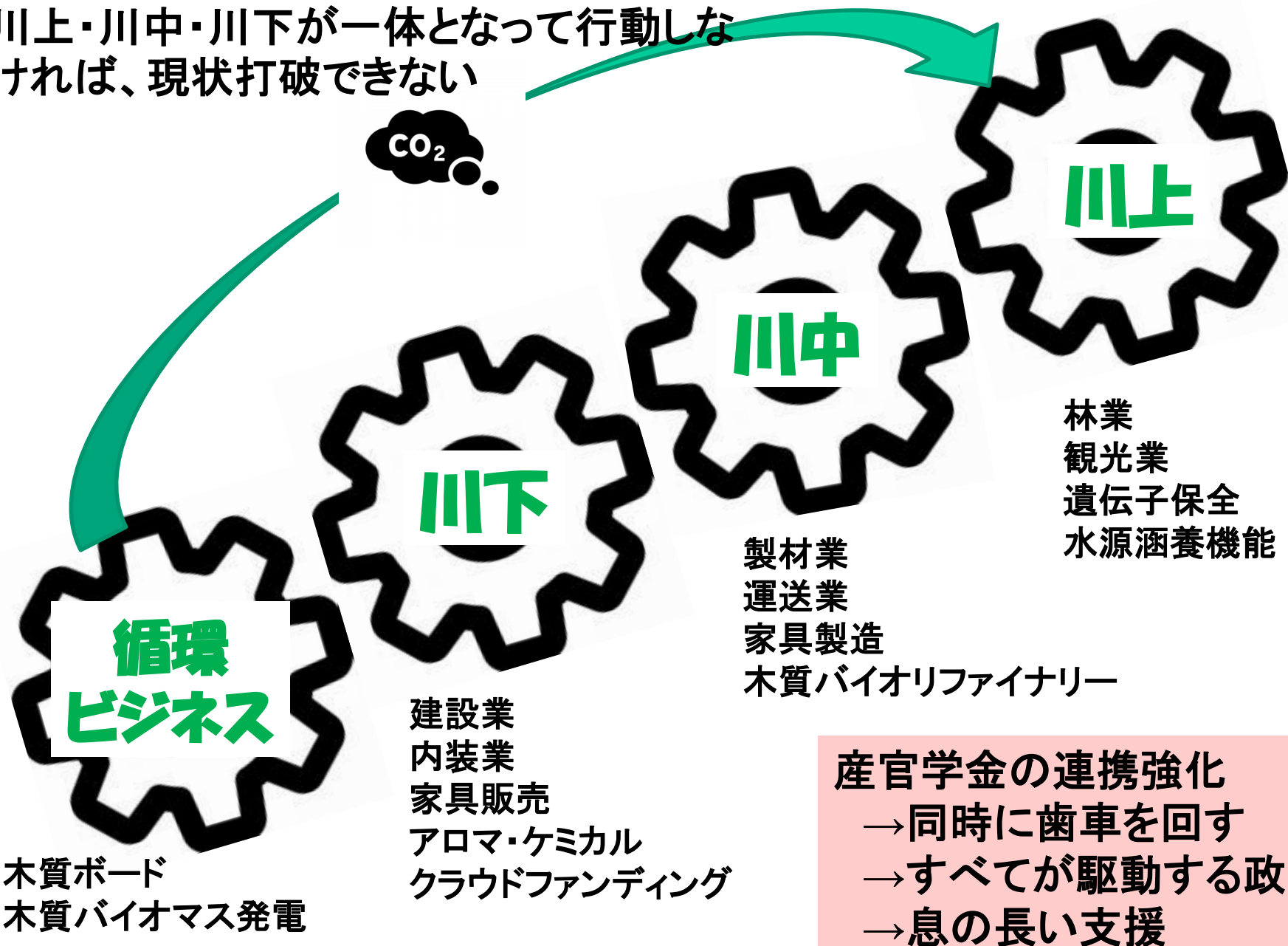
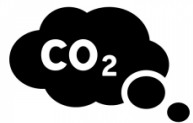
伐採された木に、もう一度、命を吹き込むこと
長く使われれば、それだけ炭素を閉じ込めておくことができる

消費者のニーズに合った製品、愛される製品を作る

生活環境の向上、健康増進にもつながる

東海バイオコミュニティ(森林分野)が目指す姿

川上・川中・川下が一体となって行動しなければ、現状打破できない



木材に新しい価値を見いだそう

家具・内装品を例にとって考えてみよう

従来の価値＝目に見える価値

- ・使いやすさ
- ・耐久性
- ・デザインの良さ
- ・製造者のブランド力
- ・リーズナブルな価格(N社、I社)

新しい価値＝目に見えない価値

- ・持続的な林業から生産された木材
- ・どれだけ二酸化炭素をとどめているか→買い替え需要がなくなる懸念もある
- ・廃棄時の優位性→買い替え時にカスケード利用を約束して高値下取りする
- ・採算されるまでのエネルギー(LCA)
- ・広葉樹林の維持管理に貢献(水源涵養機能、風光明媚→観光資源)

見えてくる問題点：消費者に新しい価値をいかに伝えるか
技術革新だけでは社会課題は解決できない
学際領域を結集した「総合知」で対応

東海バイオコミュニティ形成構想の概要

令和4年9月現在

- ✓ 地域に賦存する生物資源の活用によるイノベーション創出に向け、東海地域の産学官金の関係機関がプロジェクト毎に連携し、研究開発や実証試験から社会実装までの諸活動を実施。必要に応じて大括りのテーマ毎にプラットフォームを形成し、複数のプロジェクトを一体的に推進。
- ✓ ネットワーク機関がコミュニティの核となり、バックキャストアプローチによるプロジェクトの企画・推進、プラットフォームの設置・運用、資金調達、アウトプットの整理・引き渡し等の諸活動を強力に支援。東海機構などが資金的・人的資源の提供や助言により当該法人の活動を支援。

※ ネットワーク機関は東海機構内に設置しており、地域の金融機関等の協力を得つつ活動中。体制を強化しつつ、数年以内の法人化を目指す。

※ 現在、施設園芸のゼロエミッション化、都市の木質化に係るプロジェクトの形成、地域の花き産業の活性化、及び農村地域のスマート化、並びにあいち農業イノベーションプロジェクトとの連携に向けて調整中。



【研究開発機関】

岐阜県立森林文化アカデミー
静岡大学
水産研究・教育機構水産技術研究所
東海国立大学機構岐阜大学
東海国立大学機構名古屋大学
鳥羽商船高等専門学校
三重大学
酪農学園大学
【自治体】
愛知県

岐阜県

鳥羽市
中津川市

三重県

【企業等】

愛知県経済農業協同組合連合会
愛知県豆腐商工業協同組合
石塚硝子株式会社
イノチオ・フジブランド株式会社
株式会社ウッドフレンズ
一般社団法人エジシカ協会

王子ホールディングス株式会社

小原木材株式会社
岐阜県加子母林材振興会
岐阜県森林組合連合会
岐阜県木材協同組合連合会
ぎふの木ネット協議会
岐阜プラスチック工業株式会社
コダマ樹脂工業株式会社
住友林業株式会社
正プラス株式会社
全国木材組合連合会

プロジェクトA

(例) 企業A、生産法人A、大学A、大学B、ネットワーク機関

プロジェクトB

(例) 大学C、企業B、業界団体A、金融機関A、ネットワーク機関

プラットフォームA

関連する複数プロジェクトの共通基盤

プロジェクトC

(例) 大学E、企業D、農業法人C、ネットワーク機関

プロジェクトD

(例) 企業D、公的研究機関A、自治体A、金融機関B、ネットワーク機関

株式会社竹中工務店
一般社団法人中部経済連合会
一般社団法人中部圏イノベーション推進機構 (Nagoya Innovator's Garage)
中部電力株式会社
株式会社東海木材相互市場
東邦ガス株式会社
鳥羽磯部漁業協同組合
中日本航空株式会社
名古屋木材株式会社
西垣林業株式会社

西日本電信電話株式会社東海事業本部
日本製紙株式会社
一般社団法人日本有機資源協会
飛騨産業株式会社
株式会社フジイチ
フルハンEPO株式会社
三重外湾漁業協同組合
三重県漁業協同組合連合会
御木本製業株式会社
株式会社名港フラワーブリッジ
ヤマハ発動機株式会社

【ベンチャー】

合同会社ELEMUS
グランドグリーン株式会社
株式会社TOWING
株式会社ファームシップ

【資金提供機関】

農林中央金庫名古屋支店

※現時点で56機関が参画、分類は内閣府による。

新たな技術やシステムの社会実装によるイノベーションの創出

1. 地域の産学官金の参画状況

【令和4年9月現在】

【研究開発機関】

岐阜県立森林文化アカデミー
静岡大学
水産研究・教育機構水産技術研究所
東海国立大学機構岐阜大学
東海国立大学機構名古屋大学
鳥羽商船高等専門学校
三重大学
酪農学園大学

【自治体】

愛知県
岐阜県
鳥羽市
中津川市
三重県

【企業等】

愛知県経済農業協同組合連合会
愛知県豆腐商工業協同組合
石塚硝子株式会社
イノチオ・フジプランツ株式会社
株式会社ウッドフレンズ
一般社団法人エゾシカ協会
王子ホールディングス株式会社
小原木材株式会社

岐阜県加子母林材振興会
岐阜県森林組合連合会
岐阜県木材協同組合連合会
ぎふの木ネット協議会
岐阜プラスチック工業株式会社
コダマ樹脂工業株式会社
住友林業株式会社
正プラス株式会社
全国木材組合連合会
株式会社竹中工務店
一般社団法人中部経済連合会
一般社団法人中部圏イノベーション推進
機構 (Nagoya Innovator's Garage)
中部電力株式会社
株式会社東海木材相互市場
東邦ガス株式会社
鳥羽磯部漁業協同組合
中日本航空株式会社
名古屋木材株式会社
西垣林業株式会社
西日本電信電話株式会社東海事業本部
日本製紙株式会社
一般社団法人日本有機資源協会
飛騨産業株式会社
株式会社フジイチ
フルハシEPO株式会社

三重外湾漁業協同組合
三重県漁業協同組合連合会
御木本製薬株式会社
株式会社名港フラワブリッジ
ヤマハ発動機株式会社

【ベンチャー】

合同会社ELEMUS
グランドグリーン株式会社
株式会社TOWING
株式会社ファームシップ

【資金提供機関】

農林中央金庫名古屋支店

計56機関、分類は内閣府による

3. 個別プロジェクト形成の進捗状況

	目標	現状	当面の課題
施設園芸のゼロエミッション化	みどりの食料システム戦略が掲げる施設園芸の再エネ化目標に対応するためのモデルシステムを確立する。	金融機関、大手電力等とともに、実証試験の実施に向けて調整中。	スキームのブラッシュアップ、参画機関の特定
都市の木質化	都市木質化の先進事例として、東海地域内の一地方都市において地域産木材を活用した街づくりを進める。また、このための木材供給体制を構築する。	大手建築事業者及び東海機構、静大、三重大などの研究者が参加する研究会を定期的開催するとともに、対象自治体との調整を実施中。	対象地域の自治体による街づくり基本計画への採用、木材供給の担い手との調整。
地域の花き産業活性化	全国一の生産額を誇る愛知県をはじめとする東海地域全体の花き産業の活性化に向け、花き輸出への貢献も視野に入れつつ、生産・流通・加工技術を開発し、実用化する。	準備室において、域内の産学官との意見交換を進めつつ、プロジェクトの枠組みを作成中。	目標の設定、参画機関の特定
農村地域のスマート化	農村地域に低価格小容量の通信サービスであるLPWAを導入し、これを基盤として、農村地域に特有の各種課題に対応するためのシステムをモデル的に構築する。	金融機関、大手通信事業者等とともに、実証試験の実施又は設備導入に係る農水省補助事業の獲得に向けて検討中。	構想の具体化及び実証サイトの特定。

木

徳川家康は、春姫の化粧料として
木曾の山林を尾張藩にプレゼントした。



零式艦上戦闘機



技術



「木の文化」なくして名古屋のモノづくりは語れません。慶長20年(1615)、徳川家康は、初代尾張藩主・徳川義直の結婚に際し、新婦・**春姫の化粧料として木曾の山林**を与えました。裏木曾も含めると**20万ha**にも及ぶ豪華な結婚祝いです。切り出されたヒノキは、木曾川を一気に下り伊勢湾へ。そこから堀川を上り、白鳥の貯木場に集められました。幕府直轄地からも五木(ヒノキ・さわら・こうやまき・あすなろ・ねずこ)が流送され、名古屋は**国内最大級の木材の集積地**になりました。豊富な木材から時計・鉄道車両・合板・楽器(バイオリン等)・航空機などの近代産業に発展したほか、パチンコ台などの娯楽産業、仏壇・ダンス・木桶・扇子などの伝統産業として今日に至っています。

悠久の時を超えて、山と生きる。

伐って、植えて、育てる。そして、命を生かす…

木樵

KIKORI

ドキュメンタリー映画

語り：近藤正臣

監督・撮影・編集：宮崎政記 プロデューサー：益田由美子

出演：面家一男 澤和宏 瀧根清司 他 テーマ音楽：「久遠」日景健貴 横笛：雲龍

構成協力：大宮浩一 北里宇一郎 制作協力：山田貴敏 笠原木材㈱ 岐阜県 高山市 飛騨市

配給：平成プロジェクト 宣伝：原麻里奈 宣伝協力：ウフル 協賛：日本特殊陶業 新東通信 イオスコオペレーション ワーリンク SURROUND 名古屋木材

製作：2021「木樵」製作委員会



AFF
ARTS for the future

岐阜 **CINEX** 10月1日 *10:00の回上映後（予定）

①上映後 古田肇岐阜県知事（感想含めたコメントをいただきます）

②11:30～舞台挨拶&トークイベント

登壇：宮崎政記監督 ゲスト：面家（おもや）一男さん（『木樵』出演） MC：益田祐美子プロデューサー

1 貧困をなくそう



3 すべての人に健康と福祉を



6 安全な水とトイレを世界中に



7 エネルギーをみんなにそしてクリーンに



9 産業と技術革新の基盤をつくろう



まとめ

SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS

世界を変えるための17の目標

11 住み続けられるまちづくりを



12 つくる責任 つかう責任



13 気候変動に具体的な対策を



14 海の豊かさを守ろう



15 陸の豊かさを守ろう



・脱炭素社会に向け、石油がなくてもモノづくりができる社会を目指そう→未利用木質の活用

・森林を整備して二酸化炭素吸収に繋げよう

・社会イノベーションと科学イノベーションで木材のマテリアル利用を加速させよう

・脱炭素社会へのカギは伐採した木材の徹底的利用（現在、年間成長量の2～3割程度しか利用されていない）・・・カスケード利用の推進

・持続的森林経営とは「伐って、使って、植える」

ご清聴ありがとうございました