



木質バイオマス利活用について

バイオマス・ニッポンin 大分

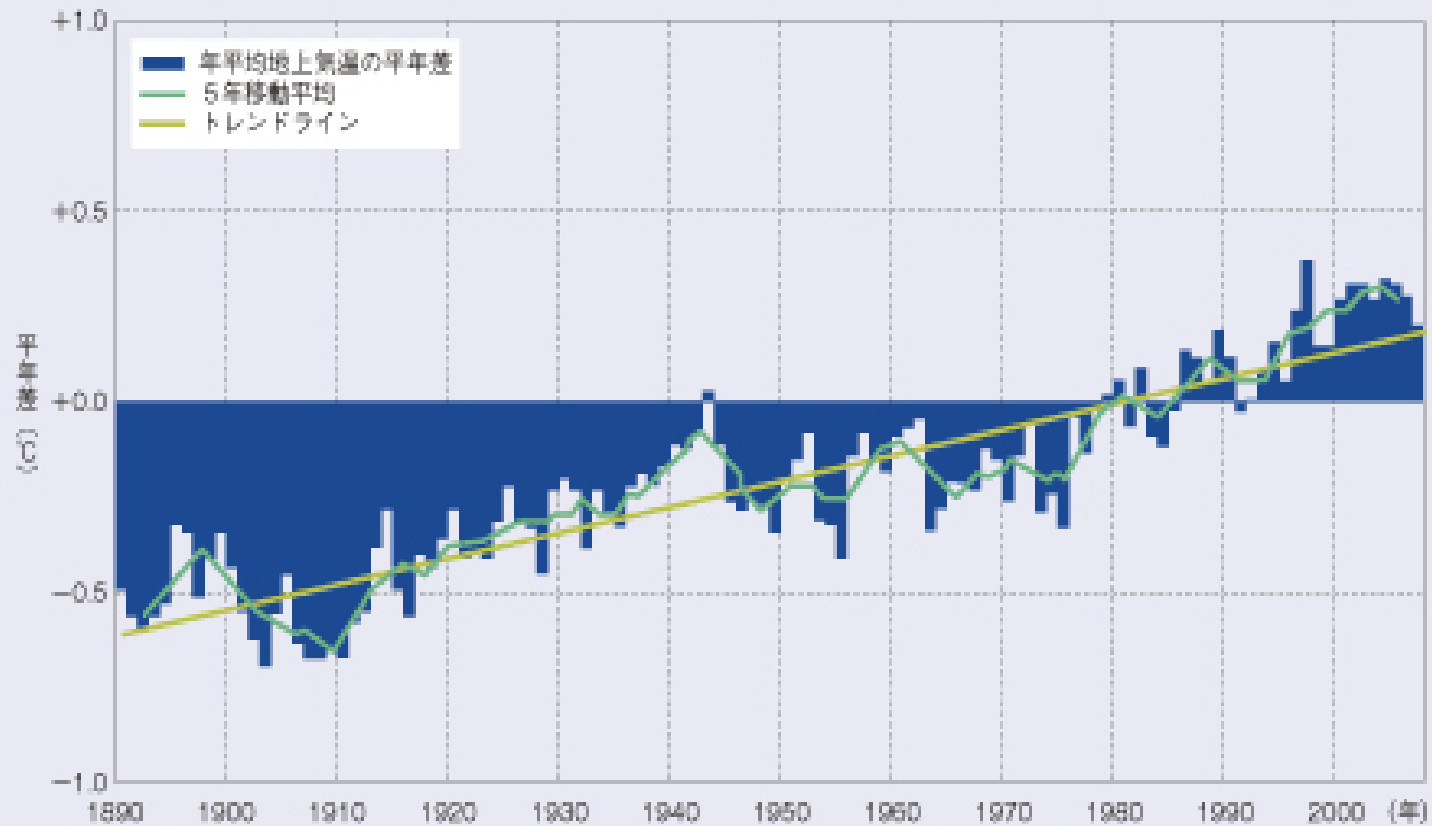


九州大学大学院農学研究院

近藤 隆一郎

地球温暖化の状況

図 1-1-2 世界の年平均地上気温の平年差



出典：気象庁ホームページ (http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpd/info/temp/an_wld.html)

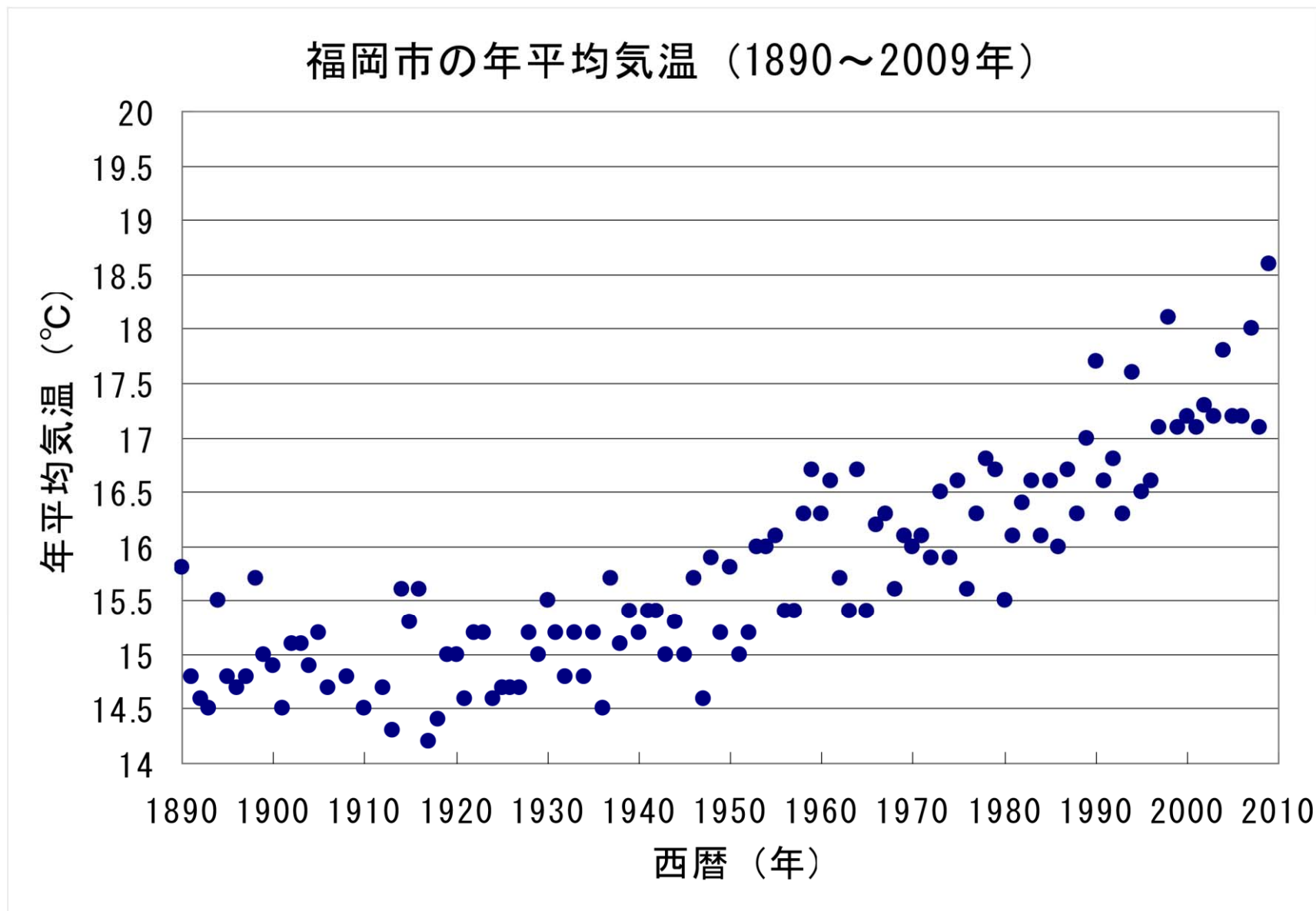
(環境白書2009)

地球温暖化の状況

- 「気候変動に関する政府間パネル(IPCC)」第4次評価報告書は、気候システムの温暖化は疑う余地がなく、人為起源の温室効果ガスの増加が原因である可能性が非常に高いと結論。
- 日本の年平均気温は100年あたり1.11°Cの割合で上昇。気温が上昇した場合、水稲の増収や減収、病害虫の増加や感染症リスクの拡大、ブナ林の分布適域面積の減少が予測。

(森林・林業白書2008)

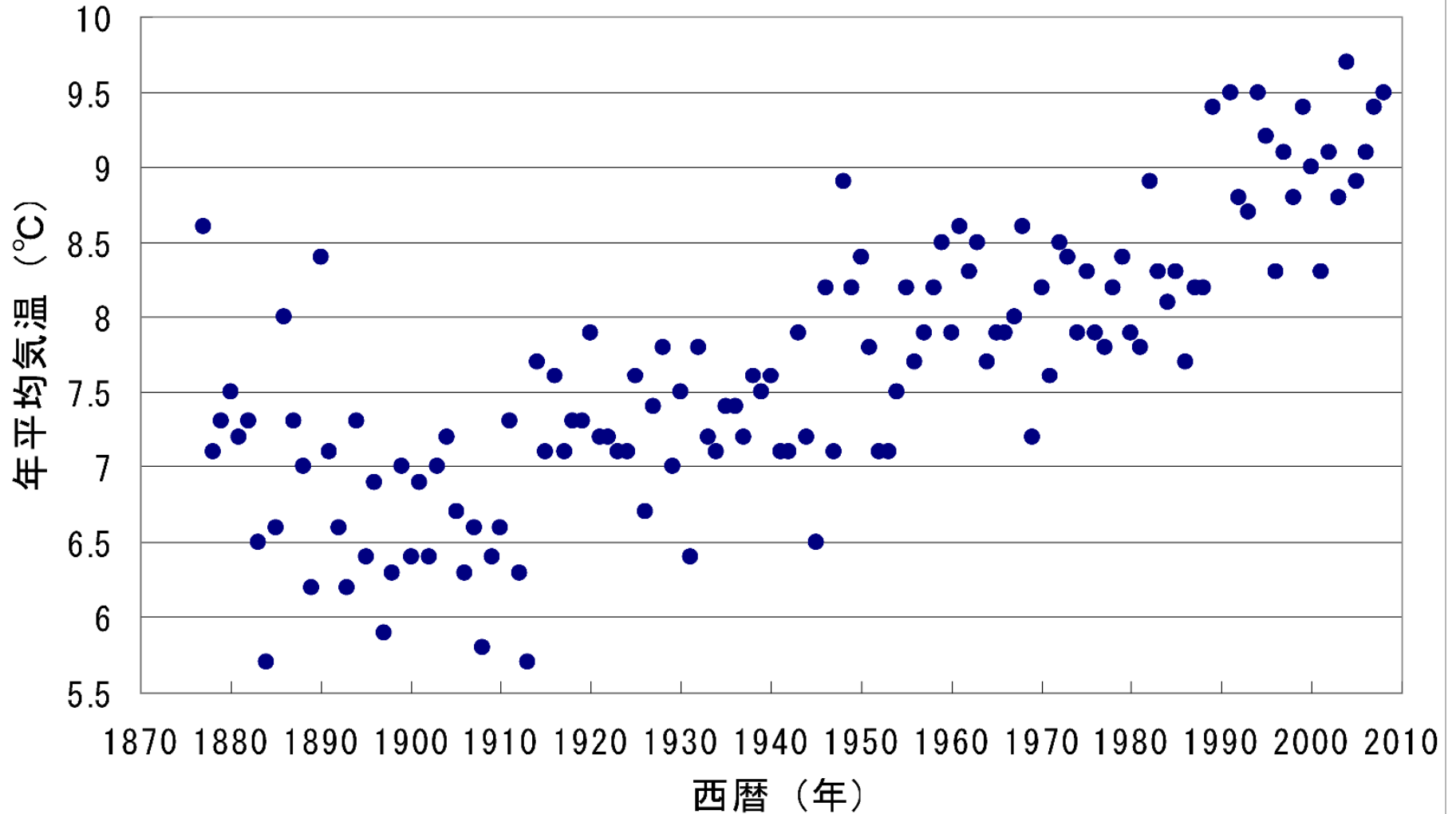
福岡市の年平均気温の推移



気象庁統計情報から作成

札幌市の年平均気温の推移

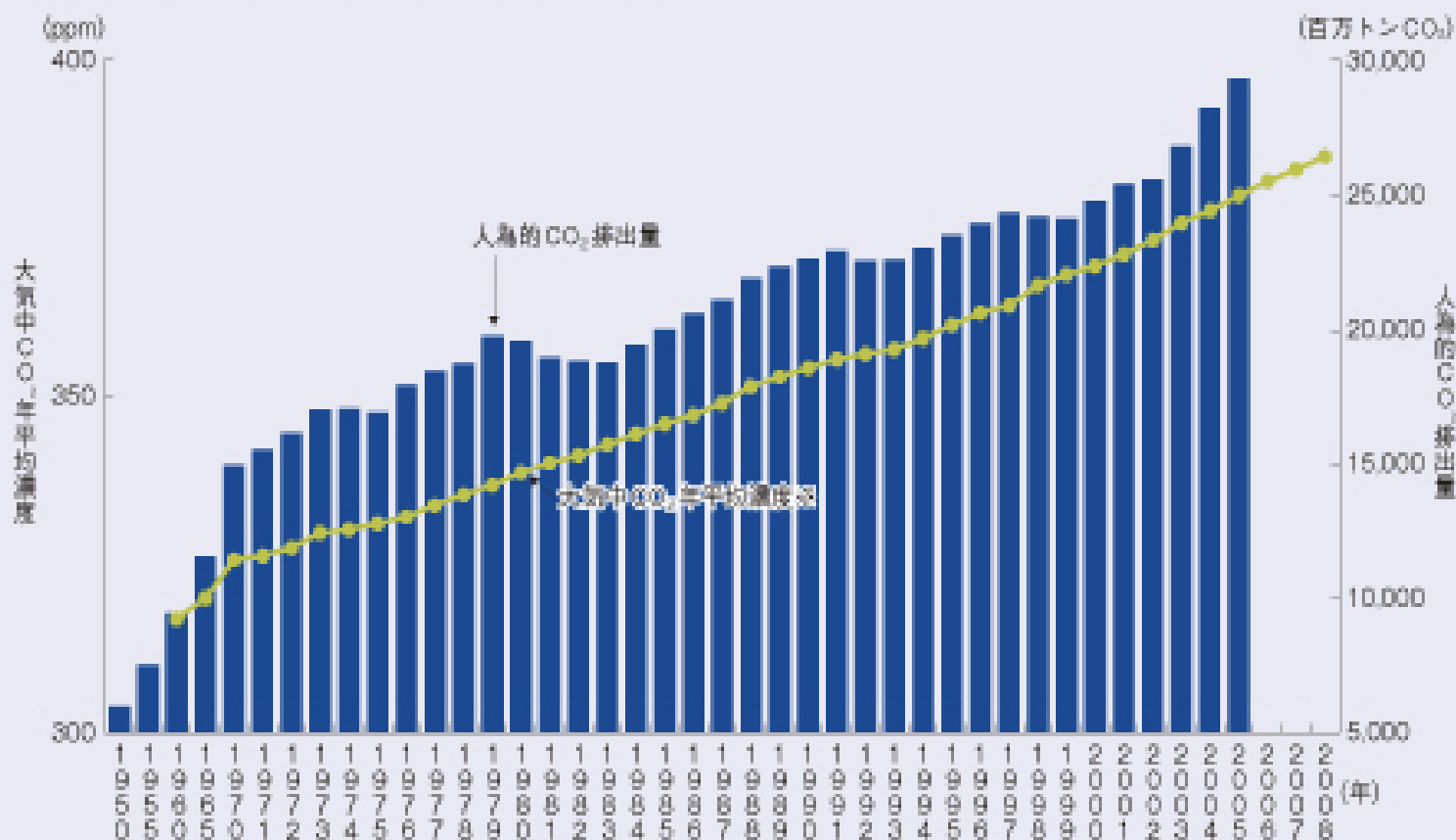
札幌市の年平均気温（1877～2008年）



気象庁統計情報から作成

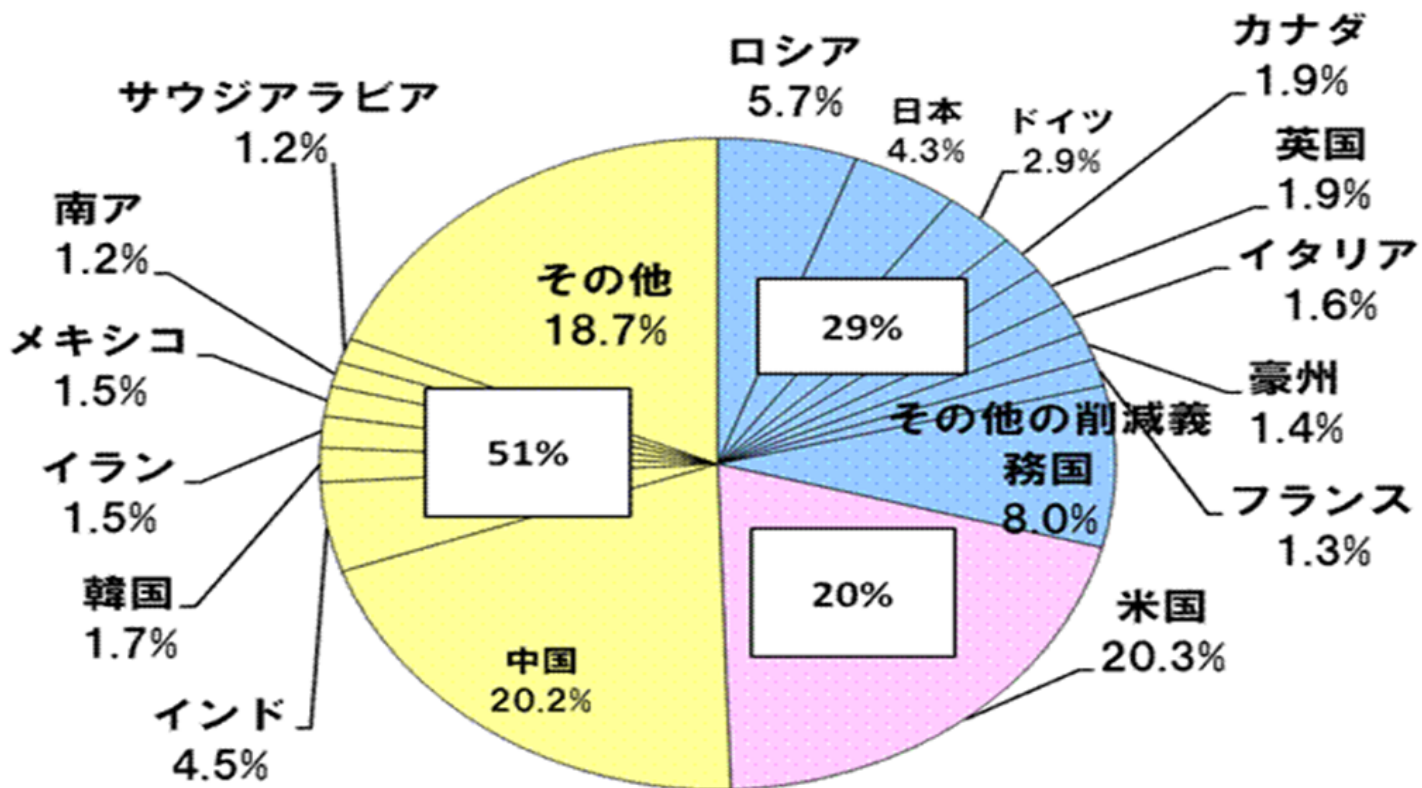
地球温暖化の状況

図 1-1-3 大気中二酸化炭素濃度と人為的排出量

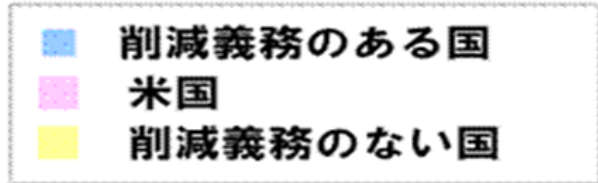


注) ※基準観測点：ハワイ・マウナロア島（北緯19度32分、西経155度35分）。
 年平均濃度は、米国海洋大気庁地球システム研究所(NOAA/ESRL)のホームページより(<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>)
 ppm：乾燥空気に対する100万分の1（体積比）
 出典：NOAA/ESRL、米国オーケリッジ国立研究所

図 世界のエネルギー起源二酸化炭素排出量（2006年）

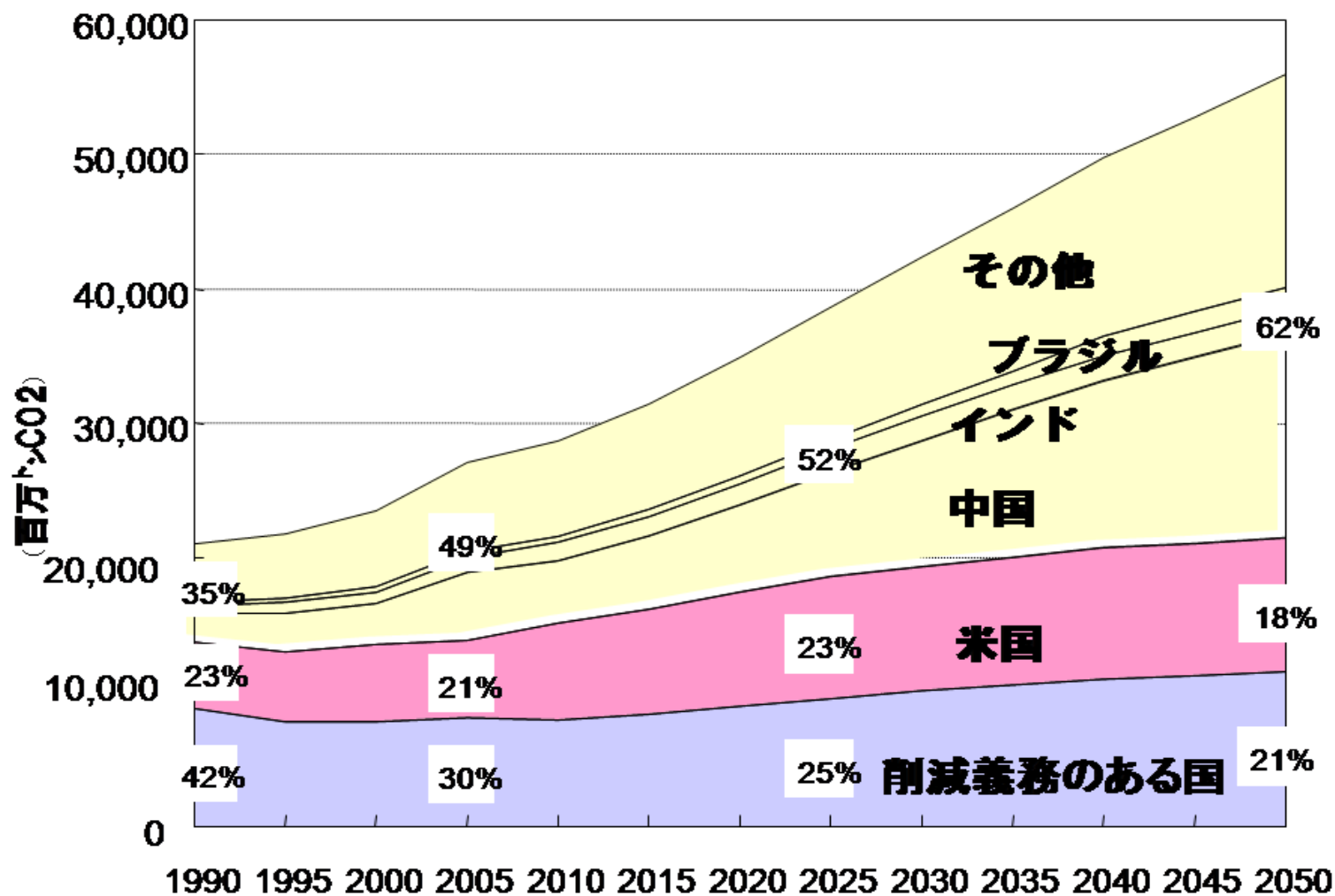


注：EU15カ国の排出量が世界に占める割合は12%
出所 IEA



(エネルギー白書2009)

図 世界の二酸化炭素排出量の見通し



出典：財団法人地球環境産業技術研究機構（RITE）

（エネルギー白書2009）

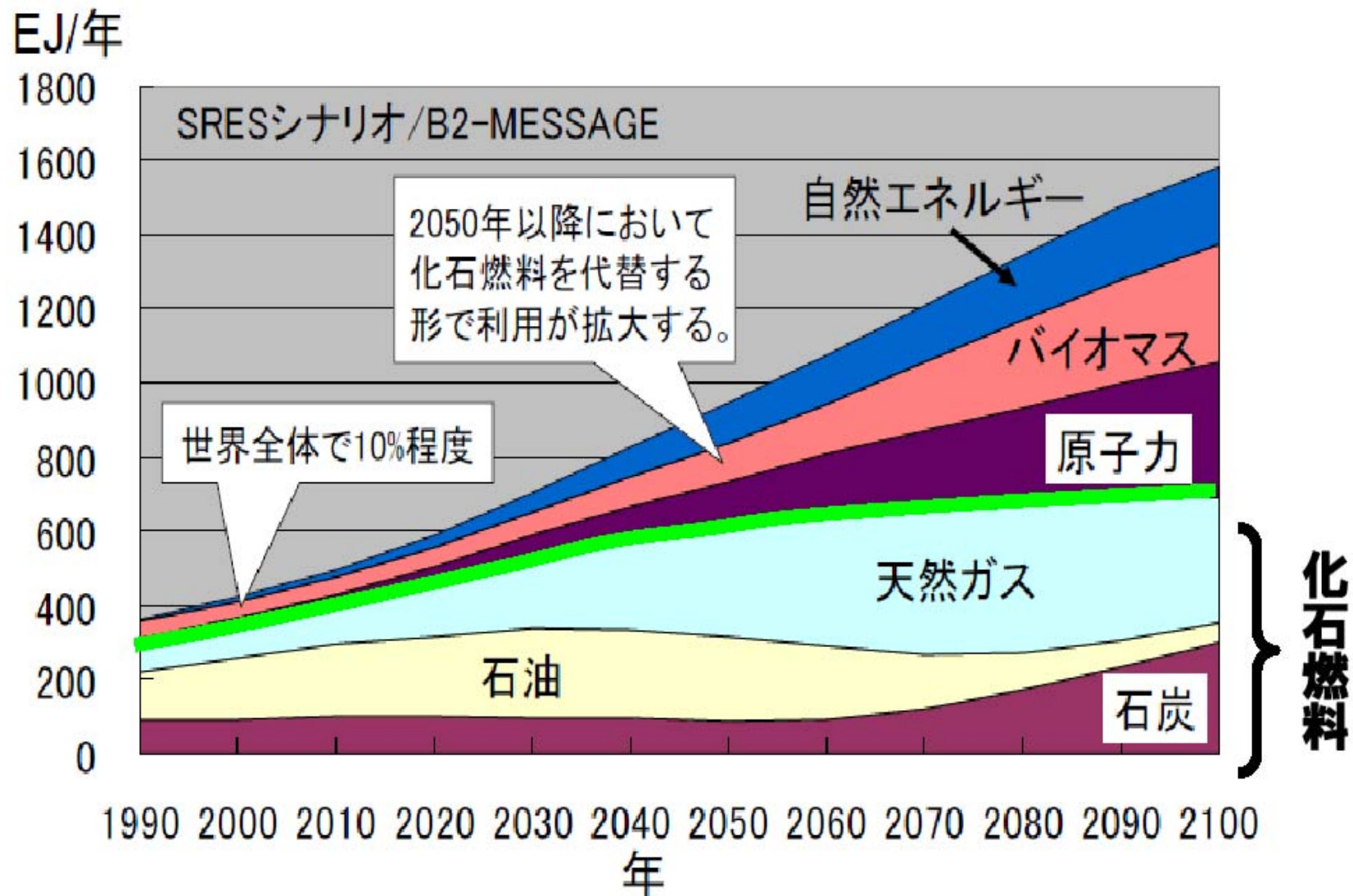
低炭素社会を目指して

- 世界の温室効果ガスの排出量は、1970年から2004年までに約70%増加し、自然界の吸収量の2倍を超過。我が国の2007年度の温室効果ガスの排出量は基準年から8.7%増加。
- 我が国は、2050年までに二酸化炭素の排出量を世界全体で半減するため、我が国で60～80%の削減を目指すという長期目標を国際社会に提示。
- 平成20年(2008年)7月には、温室効果ガスの排出量を自然界の吸収量と同等レベルに収めると同時に生活の豊かさを実感できる「低炭素社会」の実現に向けた行動計画を策定。

民主党「25%削減」

民主党は、8月30日に行われた衆議院選挙向けのマニフェストの中で、2020年までにCO₂などの温室効果ガスの排出量を90年比で**25%削減**することを表明し、9月7日に、これを国際公約とした。

エネルギーの需給見通し



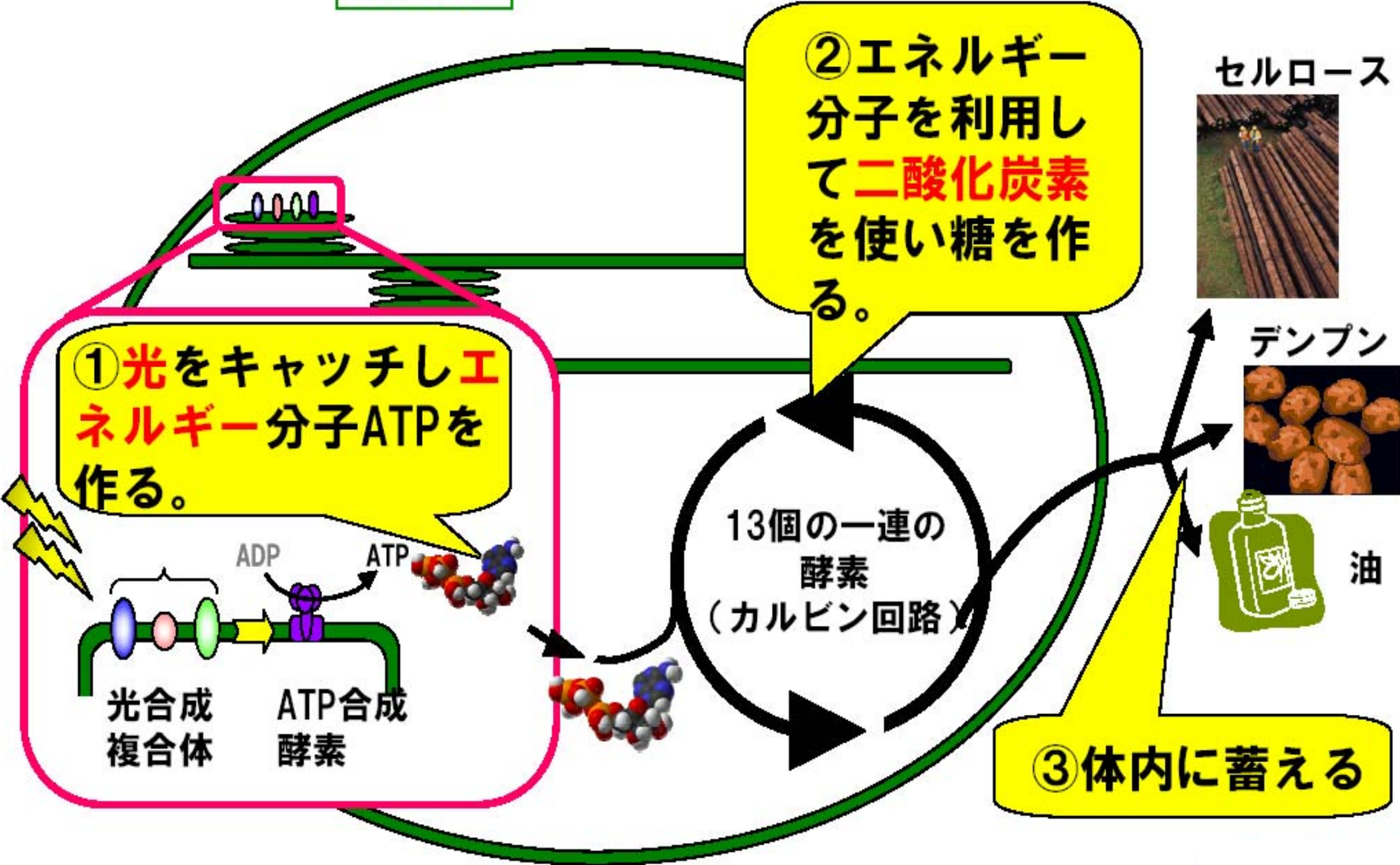
出典: IPCC第3次レポート

バイオマスとは

- バイオマス (Biomass) とは、**光合成**により生産され、エネルギーあるいはマテリアル利用が可能である一定量集積した生物起源の資源を意味する。
- バイオマスは、**再生可能資源**であり、バイオマスから得られるエネルギーは**再生可能エネルギー**とされ、わが国では、**新エネルギー**と称されている。

植物は太陽エネルギーを貯める

葉緑体



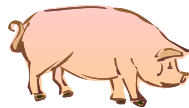
バイオマスの種類と特性

バイオマスとは

- 再生可能な、生物由来の有機性資源で化石資源を除いたもの。
- 太陽のエネルギーを使って生物が合成したものであり、生命と太陽がある限り、枯渇しない資源。
- 焼却等しても大気中の二酸化炭素を増加させない、カーボンニュートラルな資源。

○ バイオマスの種類

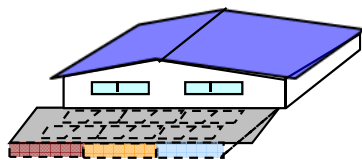
廃棄物系バイオマス



家畜排せつ物



食品廃棄物



下水汚泥
黒液



製材工場残材、
建築廃材

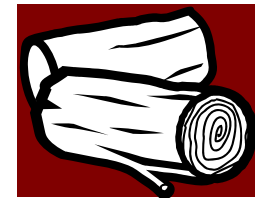
未利用バイオマス



稲わら、
もみ殻



麦わら



間伐材、林地残材等

資源作物



糖質資源(さとうきび、てん菜等)
でんぷん資源(コメ、トウモロコシ等)
油脂資源(菜種、大豆等)

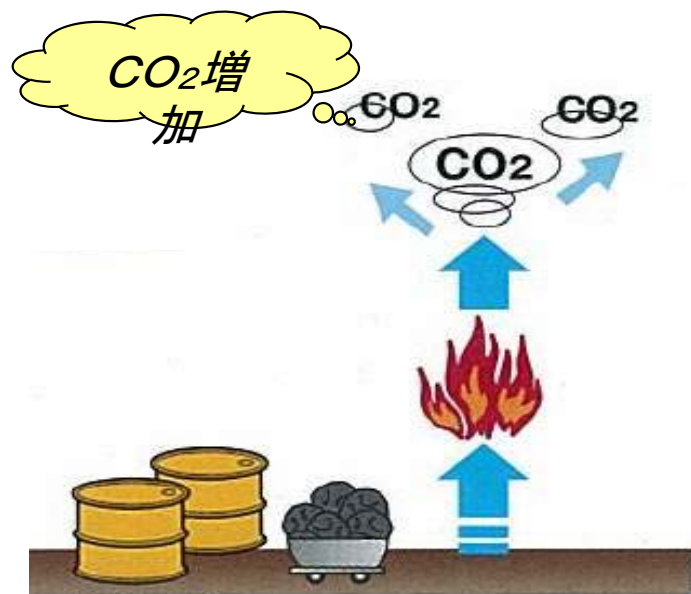
○ 『バイオマス』の語源

BIOMASS (バイオマス) = **BIO** (生物資源) + **MASS** (量)

カーボンニュートラルとは

○ バイオマス由来の炭素は、もともと大気中のCO₂を植物が光合成によって固定したものであり、燃焼等によってCO₂が発生しても、実質的な大気中のCO₂は増加しない。

化石資源依存型の社会
～これまで～



地球温暖化進行・非循環型

バイオマス利用型の社会
～これから～

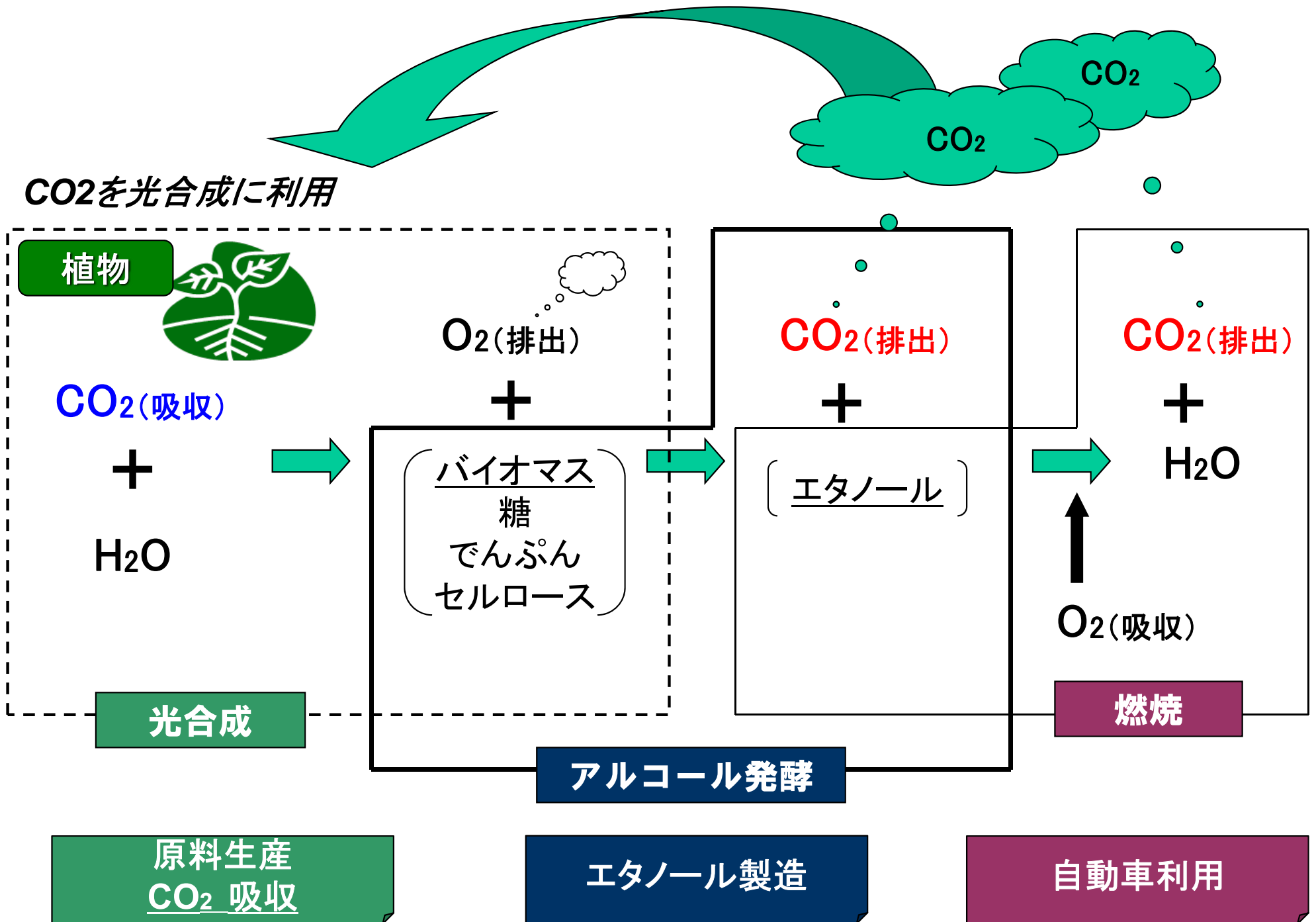


地球温暖化防止・持続的循環型

化石資源に代え、バイオマスを利用することで大気中のCO₂の増加を抑制

カーボンニュートラルとは

CO₂を光合成に利用



我が国のバイオマスの現況

バイオマス	年間発生量	用途および利用率
家畜排泄物	約8700万トン	堆肥への利用率約90%
下水汚泥	約7500万トン	建築資材・堆肥への利用率約70%
黒液	約7000万トン	エネルギーとしての利用率約100%
廃棄紙	約3700万トン	素材原料・エネルギーとしての利用率約60%
食品廃棄物	約2000万トン	肥料・飼料への利用率約20%
製材工場等残材	約430万トン	製紙原料・エネルギーへの利用率約90%
建設発生木材	約470万トン	製紙原料・家畜敷料としての利用率約70%
農作物非食用部分	約1400万トン	堆肥・飼料・家畜敷料としての利用率約30%
林地残材	約340万トン	製紙原料への利用約2%

我が国のバイオマス賦存量・利用率(2006年)

農水省バイオマス・ニッポン総合戦略推進会議資料より抜粋・改変

地球温暖化防止に果たす森林の役割

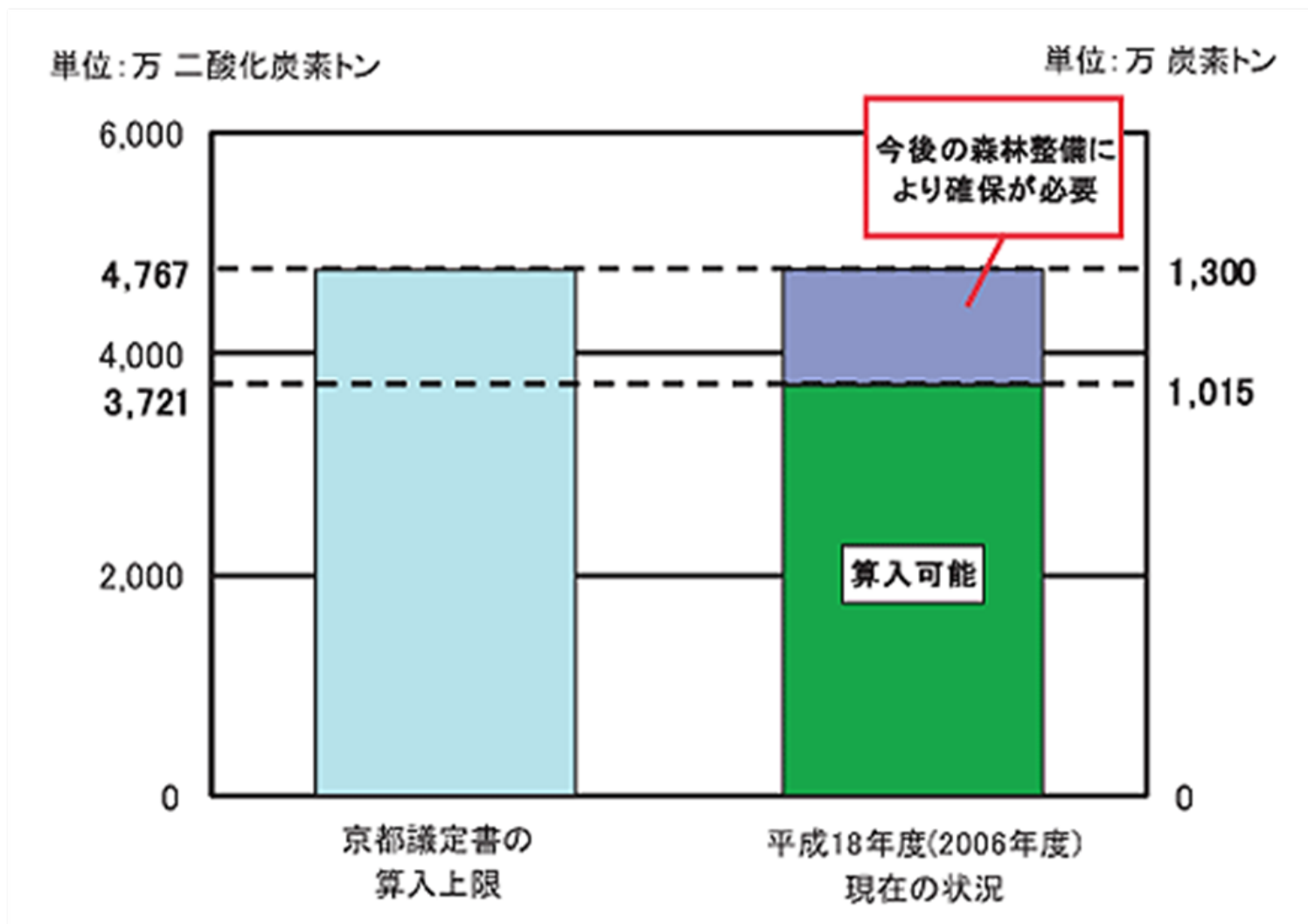
- 森林による二酸化炭素の吸収、炭素の貯蔵
- 木材利用による炭素の貯蔵（住宅等への木材利用により、木材中の炭素を長期間維持）
- 他資材の代替による二酸化炭素の排出削減（製造や加工に要する化石燃料が他資材に比べて少ない）
- 木材のエネルギー利用による二酸化炭素の排出削減

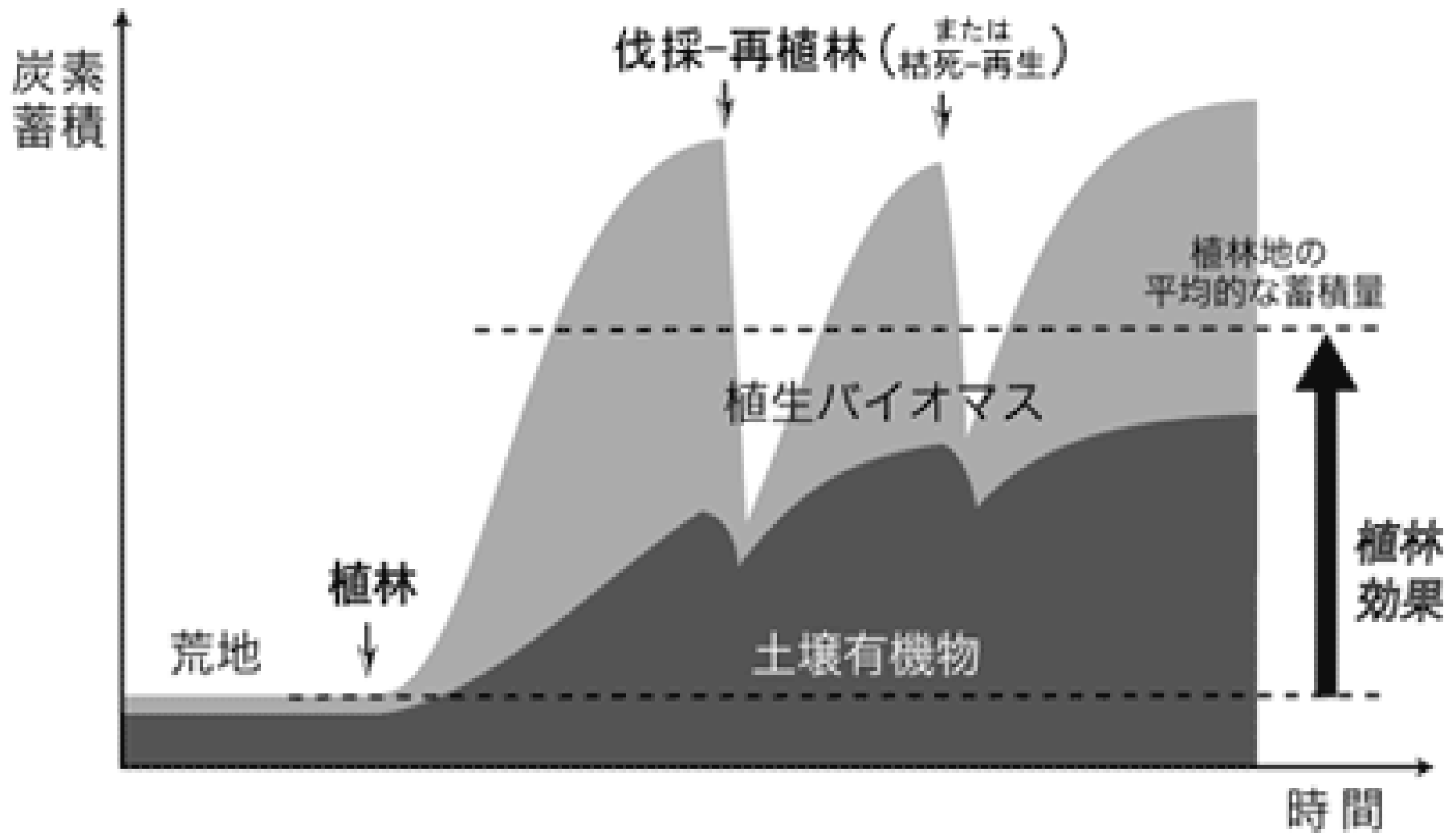
（森林・林業白書2008）

低炭素社会の実現に向けた取組

(1) 森林の二酸化炭素吸収量の確保

我が国の森林吸収量の状況

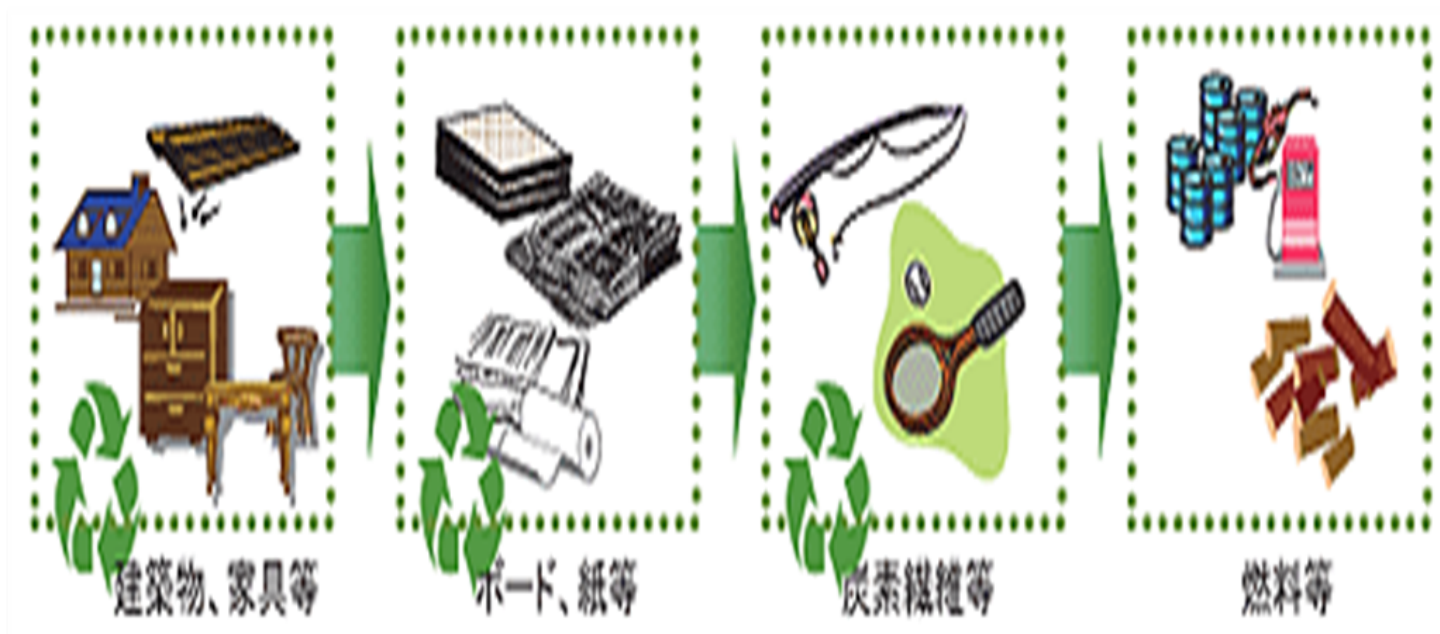




植林の実施前後における炭素蓄積量の変化

(2) 炭素の貯蔵を増やし、化石燃料の使用を減らす







木材の多段階利用（事例）



(森林・林業白書2008)

住宅は都市の森林

住宅一戸当たりの材料製造時の炭素放出量と炭素貯蔵量

	木造住宅	鉄骨プレハブ住宅	鉄筋コンクリート住宅
材料製造時の炭素放出量	 5.1t	 14.7t	 21.8t
炭素貯蔵量	 6t	 1.5t	 1.8t

単位：炭素トン

資料：「炭素ストック、CO₂放出の観点から見た木造住宅建設の評価」木材工業Vol53、No. 4、1998

(森林・林業白書2008)

木質バイオマス



製材工場等残材(おが屑、かな屑)

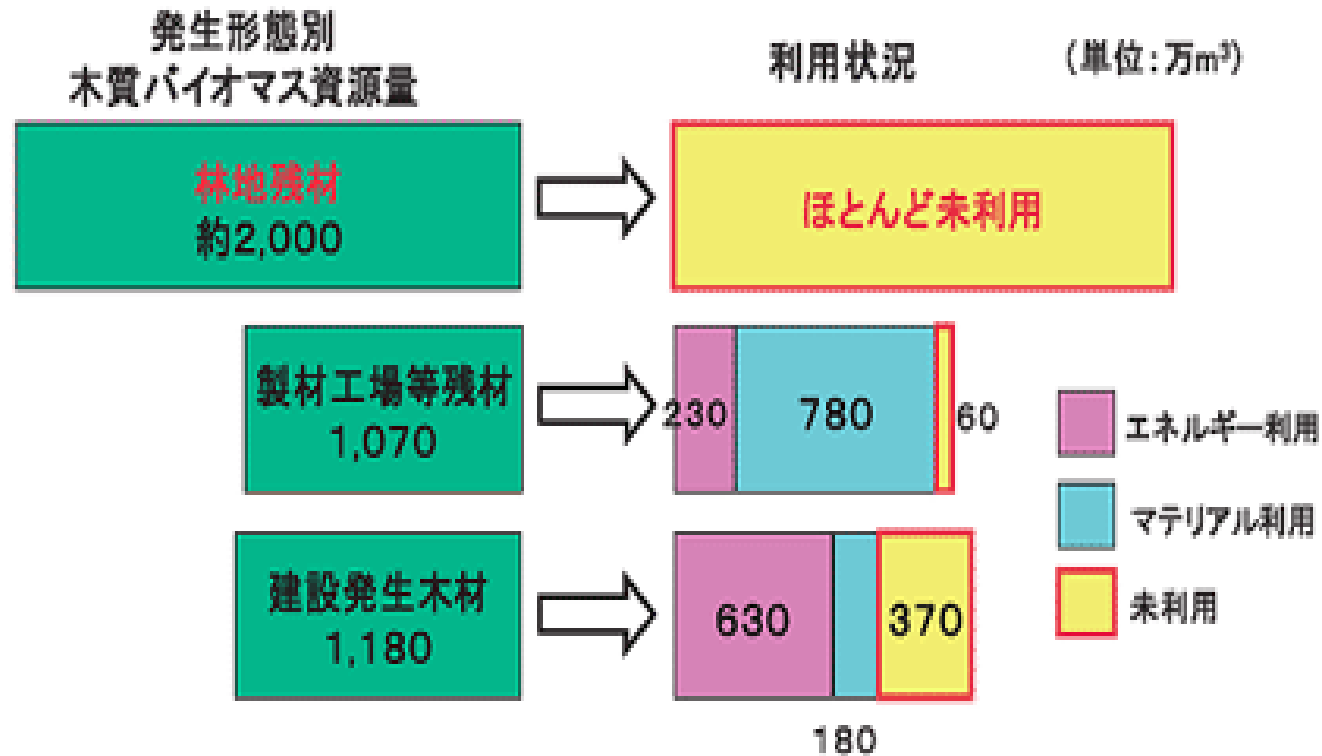


建設発生木材



林地残材

木質バイオマスの発生量と利用の現況



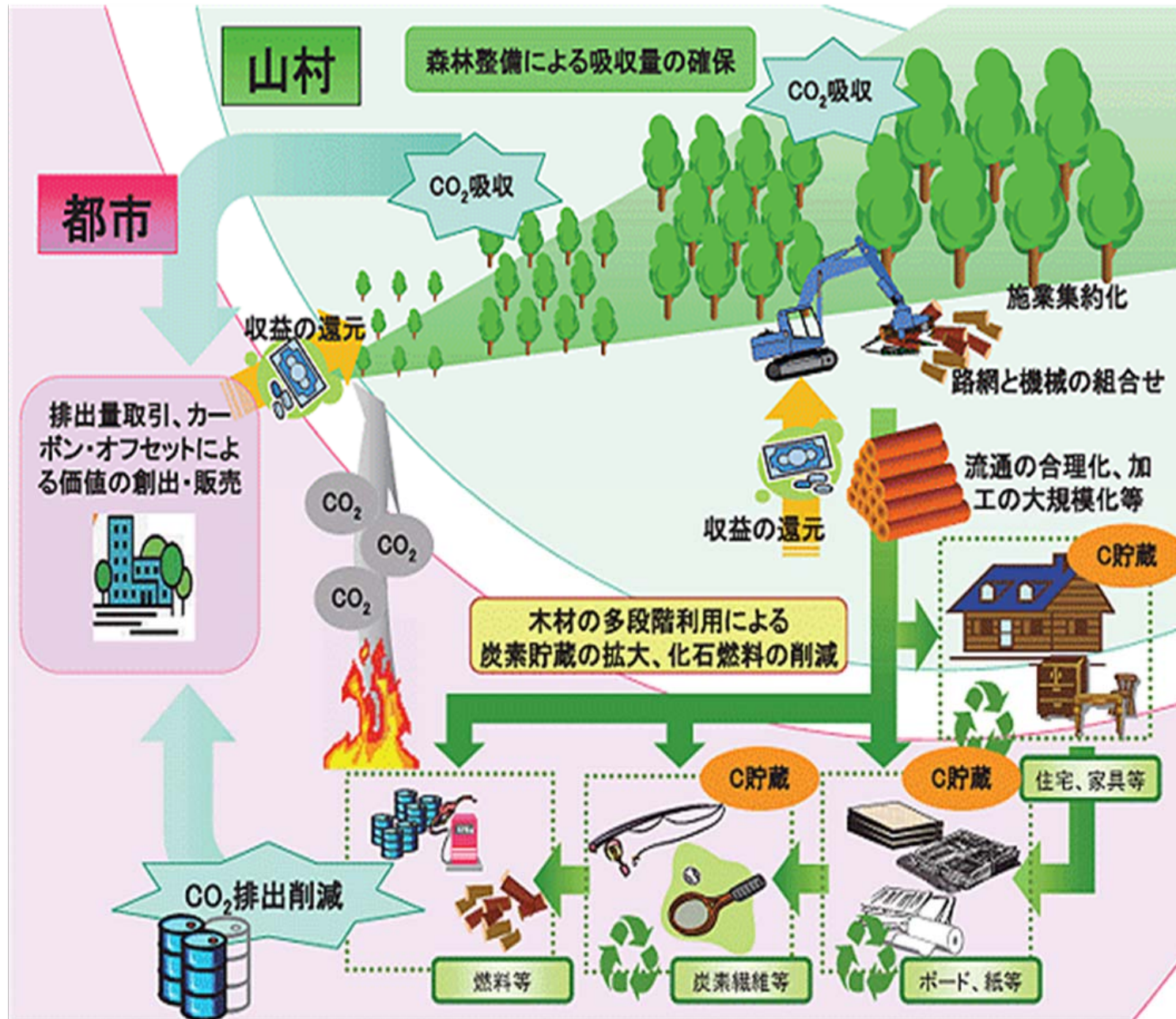
- ・ 林地残材：林野庁「平成19年木材需給表」等から推計
- ・ 製材工場等残材：農林水産省「農林水産統計（木質バイオマス利用実態調査(平成17年)）」、林野庁「平成19年木材需給表」等から平成19年時点で推計
- ・ 建設発生木材：国土交通省「平成17年度建設副産物実態調査」、(財)日本住宅・木材技術センター報告書等により推計

(森林・林業白書2008)

低炭素社会の実現に向けて

- 森林は、**二酸化炭素の吸収や再生産可能で炭素の貯蔵機能**等を有する木材の生産を通じ、地球温暖化の防止に向けた低炭素社会の実現に重要な役割。
- 低炭素社会の実現には、森林の適正な整備を継続的に実施していくことが必要。また、国産材を中心とした木材の利用拡大も重要。
- 森林整備や木材生産を担う林業は、採算性の悪化など依然として厳しい状況。森林が所在する山村は人口の減少・高齢化等が進行。森林の適正な管理に支障をきたすおそれ。
- 生産・流通・加工の各段階におけるコストダウンに加え、**木材の新たな用途開発**や**排出量取引・カーボン・オフセット**等の新たな取組の収益を山元に還元することにより、林業の採算性の向上がもたらされ、林業・山村が活性化。
- 林業・山村の活性化を通じ、**山村の豊かな森林を林業が守り育て、その恵みである木材を無駄なく使っていく**ことが、低炭素社会の実現の鍵。

低炭素社会と森林（概念図）



バイオマスの変換

1. 物理的変換

- 1) 薪
- 2) ペレタイジング
- 3) パーティクルボード

2. 熱化学的変換

- 1) 燃焼
- 2) ガス化
- 3) 熱分解
- 4) 炭化
- 5) 水熱ガス化
- 6) 水熱液化
- 7) バイオディーゼル製造

3. 生物化学的変換

- 1) メタン発酵
- 2) エタノール発酵
- 3) アセトン・ブタノール発酵
- 4) 水素発酵
- 5) 乳酸発酵
- 6) サイレージ
- 7) コンポスト化

バイオマスの変換

1. 物理的変換

- 1) 薪： 途上国では重要な民生エネルギー源
世界エネルギー消費の14%、途上国では36%に達する。
- 2) ペレタイジング： 原料をペレット形状に加圧成形すること。木質ペレット、オガライト
- 3) パーティクルボード： リグノセルロース原料剥片から製造される板製品の総称。

バイオマスの変換

2. 熱化学的変換

1) 燃焼

2009年11月5日 新聞報道：「バイオ燃料石炭と併用」

九州電力は熊本県苓北発電所にて、固形燃料、木質バイオマスを石炭燃料に混ぜて発電。年間1万トンの二酸化炭素の排出量削減。木質バイオマスは木材伐採後の枝葉、間伐材を使用。

2) ガス化

バイオマス固体原料を高温場において、熱分解と化学反応によって、ガス燃料または化学原料ガス(合成ガス)のガス状態に変換するプロセス。反応温度 800°C 以上。 CO , H_2 , C_xH_y 。

3) 熱分解

段階的に 500°C 程度まで加熱。熱分解液、ガス、炭化物の生成。

4) 炭化

固体バイオマスを空気の遮断もしくは制限して $400\sim 600^{\circ}\text{C}$ に加熱し、主生成物として炭を得る技術。木酢液、可燃ガス成分を副生する。

バイオマスの変換

2. 熱化学的変換

5) 水熱ガス化

バイオマスを加圧熱水中で処理して可燃性ガスを得る。350°C以上、20MPa以上の条件。臨界点周辺。超臨界ガス化。主成分は、水素、二酸化炭素、メタン。

6) 水熱液化

バイオマスを高温高圧の熱水中(300°C、10MPa程度)で熱分解。気体、液体、固体が生成。

7) バイオディーゼル製造

バイオマスの変換

3. 生物化学的変換

1) メタン発酵

バイオマスを嫌気性条件で微生物分解し、メタン、二酸化炭素を生成する反応

2) エタノール発酵

3) アセトン・ブタノール発酵

偏性嫌気性菌を用いて糖からアセトン、ブタノールを生成させる発酵。グルコースからブタノール、アセトン、エタノール、水素を生じる。エネルギー効率100%。

4) 水素発酵

嫌気性発酵において最終主生成物が水素である反応。

5) 乳酸発酵

グルコースを原料とし、乳酸菌により乳酸を生成。バイオプラスチックであるポリ乳酸の原料。

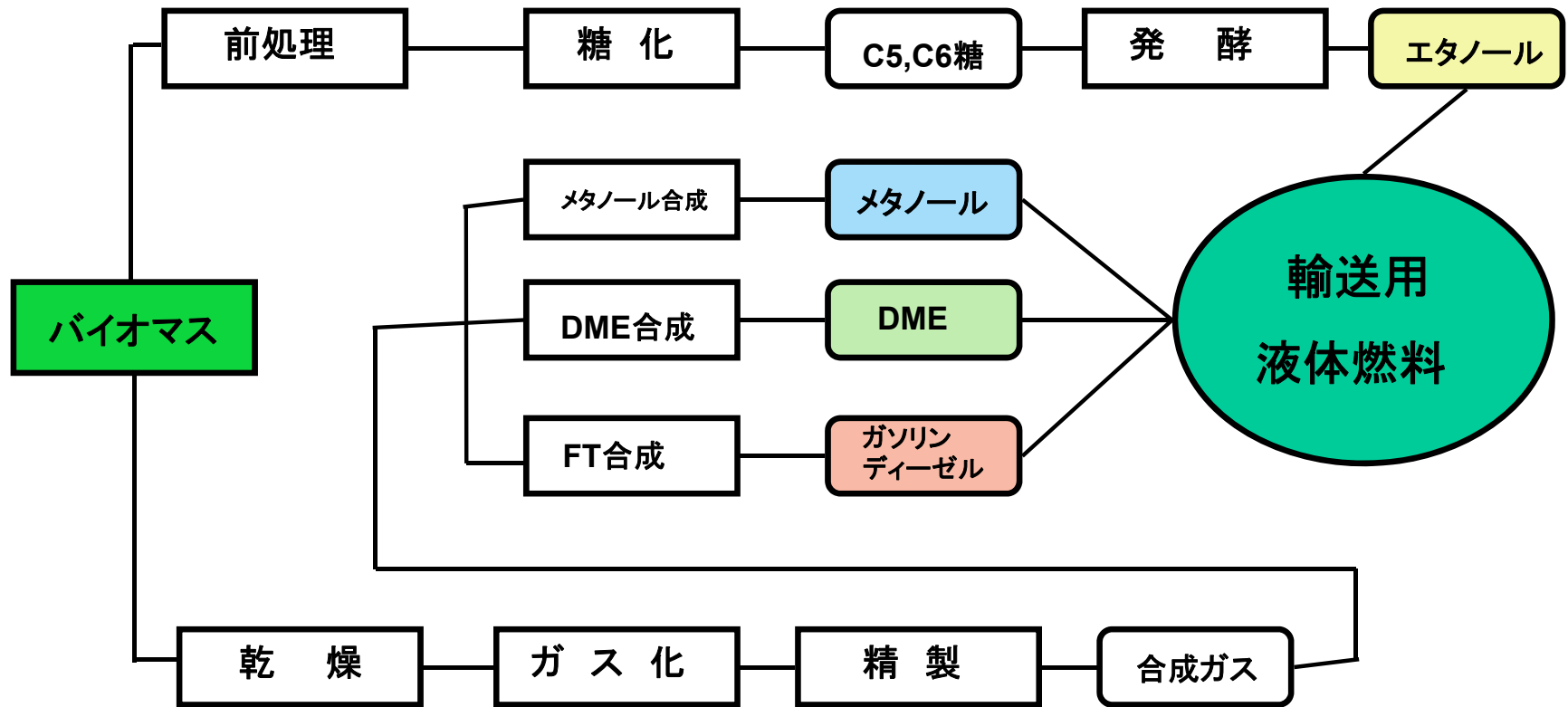
6) サイレージ

新鮮な飼料作物や牧草などを材料として、乳酸菌を利用した家畜の貯蔵飼料。

7) コンポスト化

ワラ、もみがら、樹皮、屎尿などを堆積または攪拌し、腐熟させたもの。

バイオマスから輸送用液体燃料の製造プロセス



効率的ガス化、ガス精製、触媒開発、新エネルギーの融合

バイオ燃料の種類と利用方法

- バイオ燃料とは、「バイオマス」を原料として作られる自動車用等の燃料。
- バイオ燃料には、主としてバイオエタノール(ガソリン代替)とバイオディーゼル燃料(BDF)(軽油代替)の2種類がある。

○ バイオエタノール

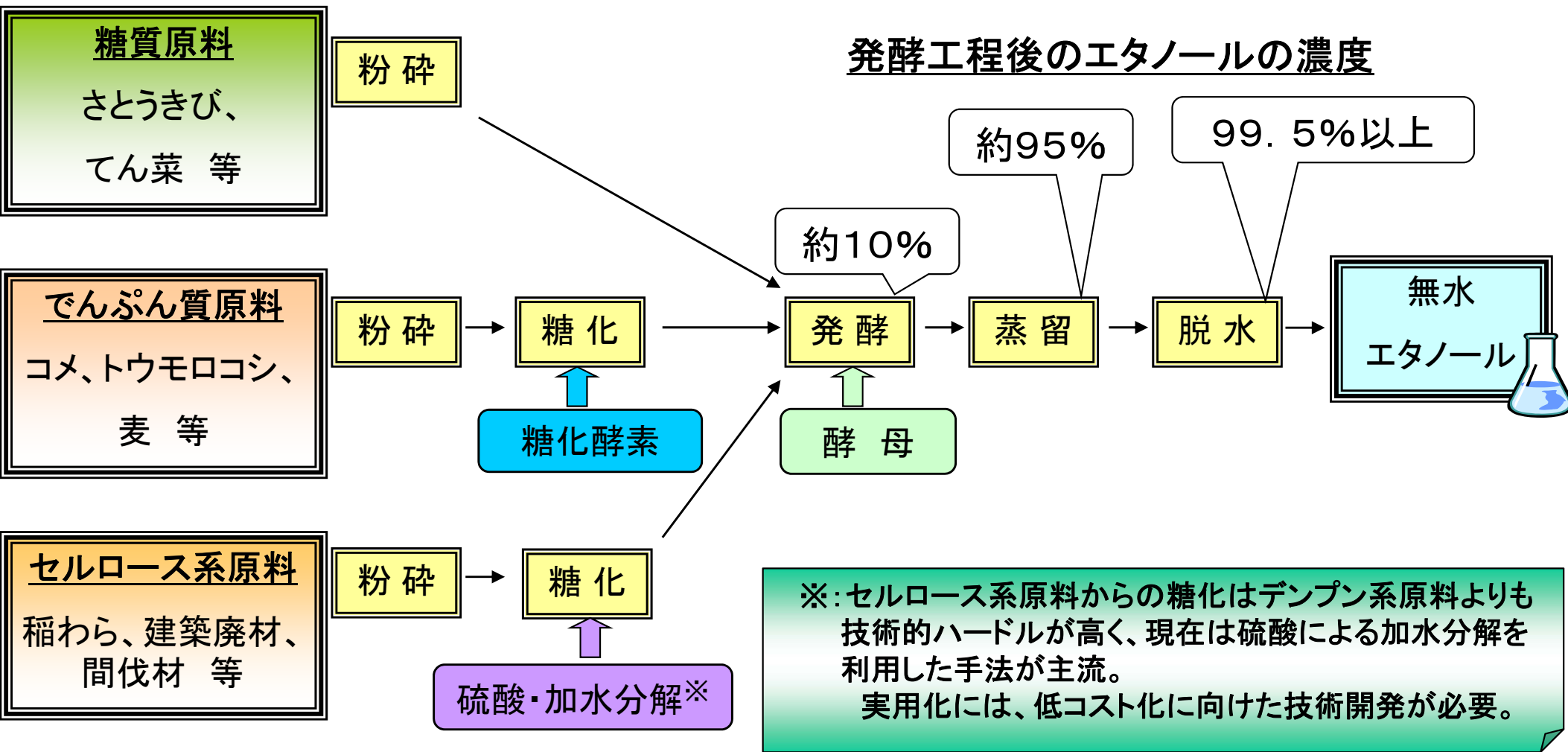


○ バイオディーゼル燃料(BDF)



バイオエタノールの製造方法

- バイオエタノールの製造方法は基本的に酒と同じ。
- 一般に、さとうきびなどの糖質やトウモロコシ、コメ等のデンプン質作物を原料に、これらを糖化・発酵させ、濃度99.5%以上の無水エタノールにまで蒸留して作られる。
- 稲わらや廃材などのセルロース系の原料から、エタノールを製造することも技術的には可能。



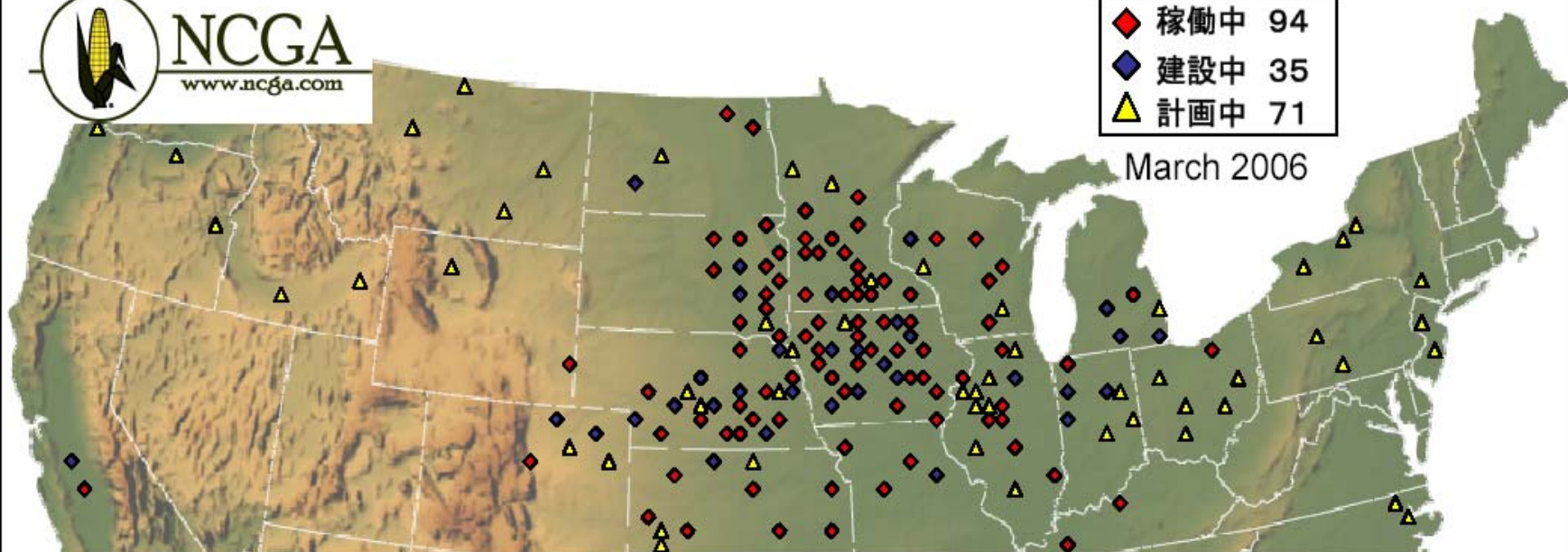
食糧からバイオ
燃料生産

米国のバイオエタノール生産工場



- ◆ 稼働中 94
- ◆ 建設中 35
- ▲ 計画中 71

March 2006



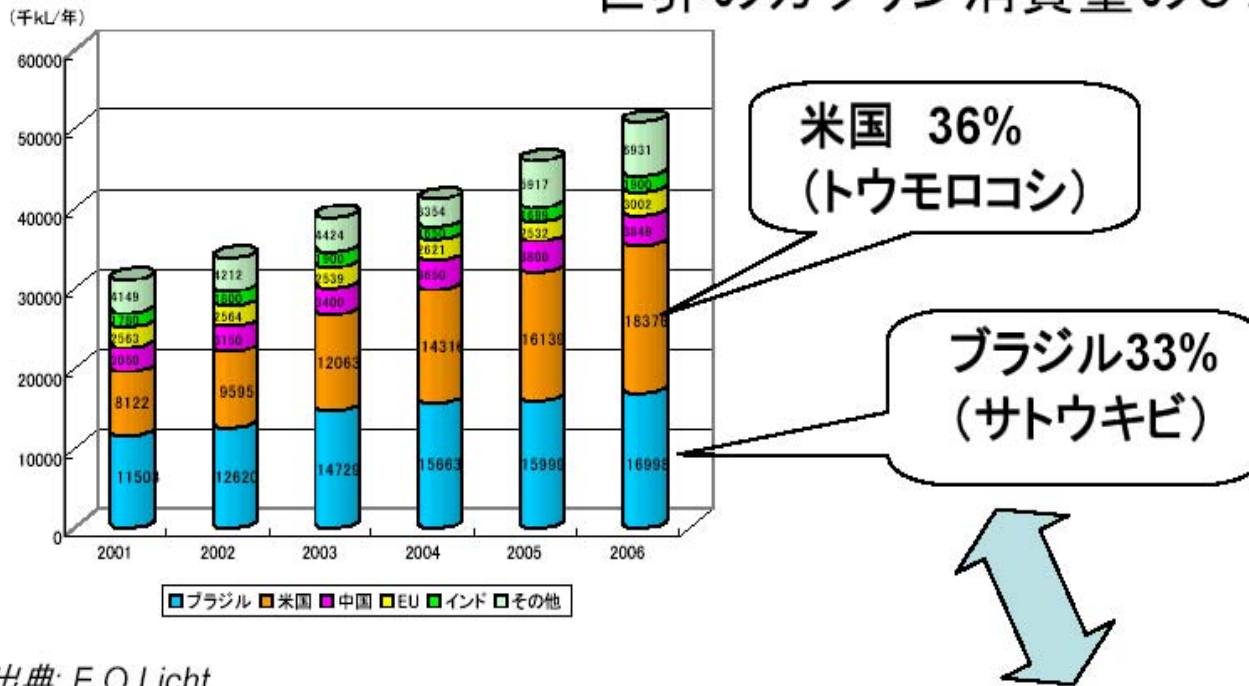
“コーンベルト”に沿ってバイオエタノール
が生産されている



C. Somerville (NEDO Workshop, Osaka, 2006, 9, 14)

バイオ・エタノール生産動向

世界のガソリン消費量の5%ぐらい



出典: F.O.Licht
<http://statistics.fo-licht.com>

食料とバイオ燃料との競合

世界規模での食料品値上がり！！

我が国におけるバイオ燃料の現状

- 実用的規模での取組はまだ存在しない。
- 現在、全国7箇所でバイオエタノールの実証試験が行われている。
- 生産量は、約30klと推計(H19.3時点)。

7. 福岡県北九州市 (新日鐵エンジニアリング) 【経済産業省、環境省】

・食品廃棄物からの燃料用エタノール製造実証。



1. 北海道十勝地区 ((財)十勝振興機構等) 【農林水産省、経済産業省、環境省】

・規格外小麦等からの燃料用エタノール製造とE3実証。



2. 山形県新庄市(新庄市)【農林水産省】

・ソルガム(こうりゃん)からの燃料用エタノール製造とE3実証。



3. 大阪府堺市(大成建設、丸紅、大阪府等)【環境省】

・建築廃材からの燃料用エタノール製造とE3実証。



4. 岡山県真庭市(三井造船、岡山県等)【経済産業省】

・製材工場残材からの燃料用エタノール製造実証とE3実証。

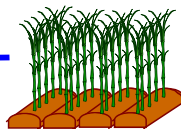


5. 沖縄県伊江村

(アサヒビール、JA伊江、伊江村等)

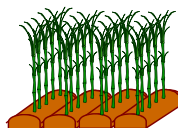
【農林水産省、経済産業省、環境省、内閣府】

・さとうきび(新品種)からの燃料用エタノール製造とE3実証。



6. 沖縄県宮古島(りゅうせき)【環境省】

・さとうきび(糖蜜)からの燃料用エタノール製造とE3実証。



米国でのバイオ燃料導入への積極的施策

-これまでの食料との競合型プロセスから
木質系セルロースの活用へ-



William Jefferson Clinton
(Democrat)

“バイオ製品とバイオエネルギーに関する開発と促進”

1999年8月「大統領令13134」

George W Bush
(Republican)

2025年：
ガソリンの3割をバイオエタノールに代替（現在 5.5億KL使用）

食料と競合しない 植物資源からのバイオマスエネルギーへ

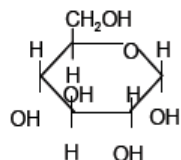
これまでの食料と競合型プロセス



とうもろこし/サトウキビ



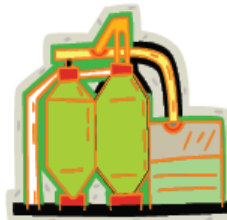
単糖/でん粉



glucose
oligosaccharide



エタノール発酵

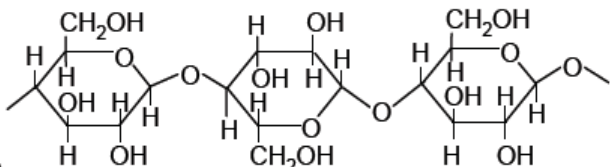


バイオエタノール

次世代プロセス



木質系
セルロース



単糖

Saccharification



バイオ燃料




木質系セルロース原料バイオマス



Forest woods



Corn, Corn Stover



杉間伐材

稲わら

製材廃材(オ)

建築廃材(チ)

杉バーク

「国産バイオ燃料の大幅な生産拡大」

平成19年2月 バイオマス・ニッポン総合戦略推進会議



① 収集・運搬コストの低減

山から木を安く下ろす、稲わらを効率よく集める機械等を開発

② 資源作物の開発

エタノールを大量に生産できる作物を開発



③ エタノール変換効率の向上

稲わらや間伐材などからエタノールを大量に製造する技術を開発



非食糧からバ
イオ燃料生産

バイオエタノールの製造

セルロース



サトウキビ



雑草



林地残材

コーンの茎や葉



食べられないイネの仲間
(スイッチグラス、ススキ)



粉碎

粉々にし、セルロース以
外のものを除く。



やっかい 糖化

セルロースを分解し
て糖にする。



酒造技術

微生物で糖をエタ
ノールにする。

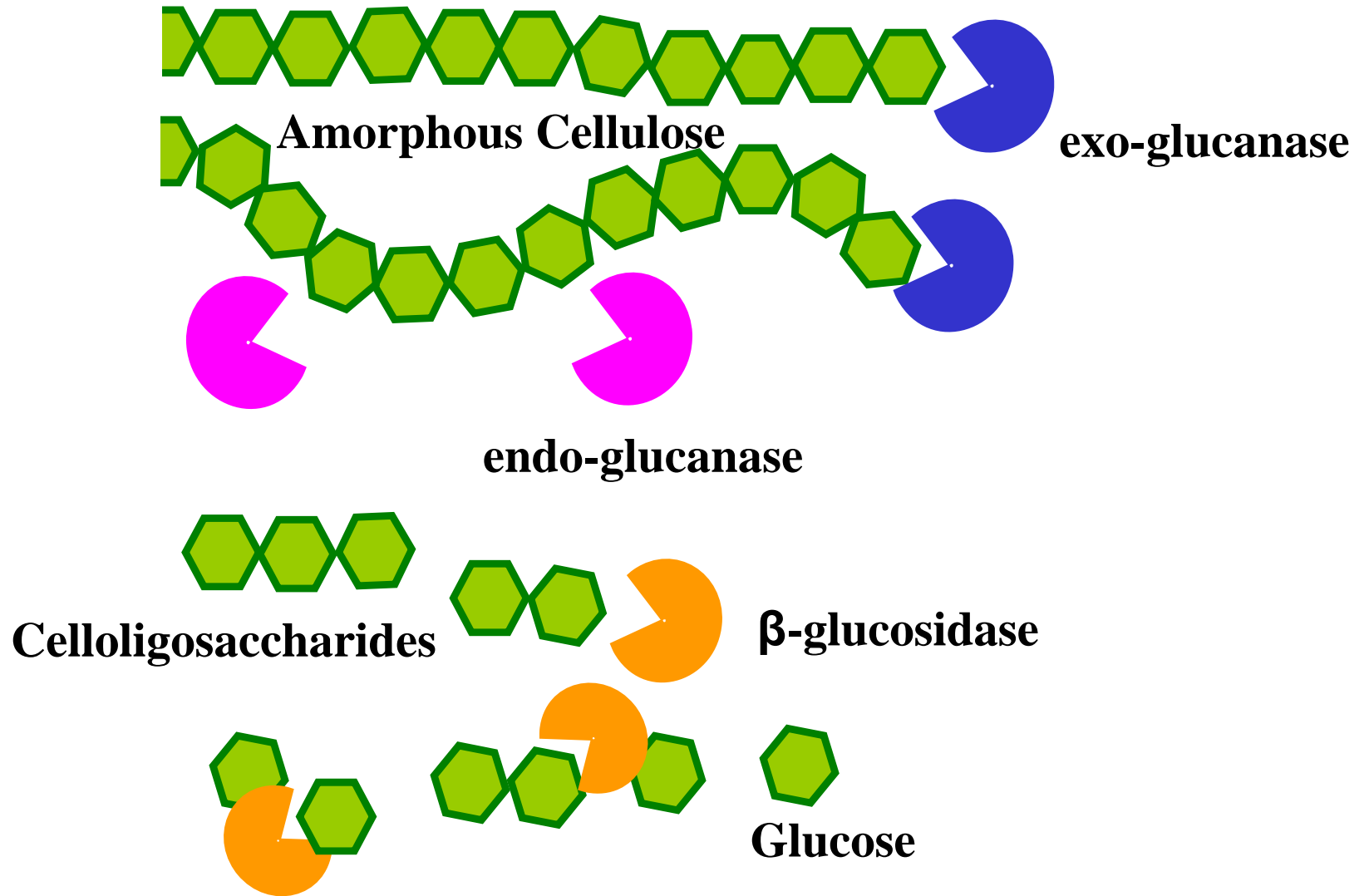
発酵



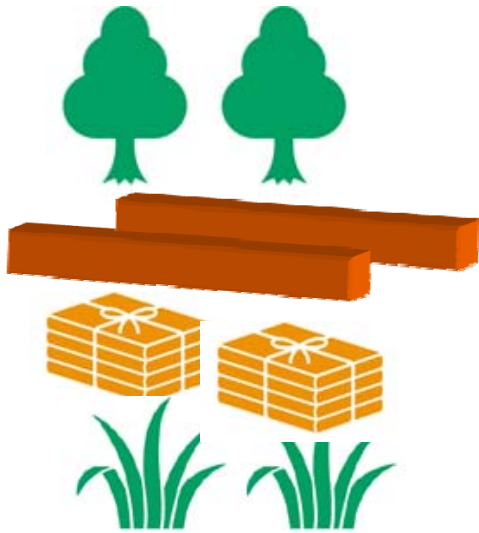
不純物を取り除き、きれいに
する。

精製

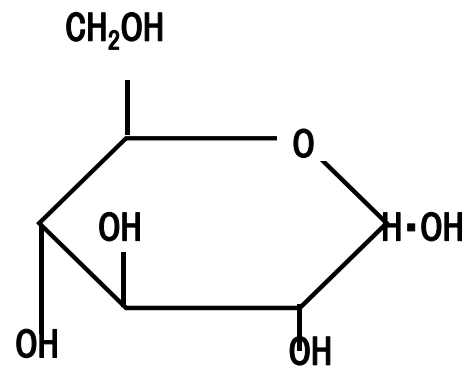
セルロースの糖化に必要な酵素



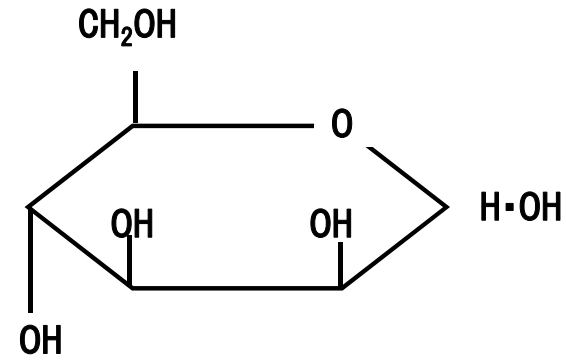
糖化液に含まれる糖成分の化学構造



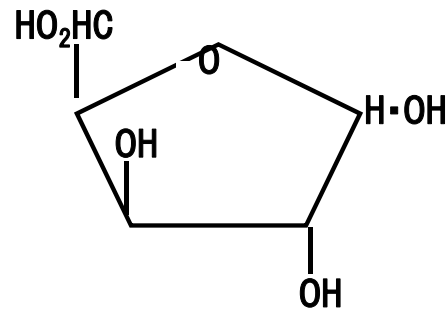
セルロース
ヘミセルロース
リグニン



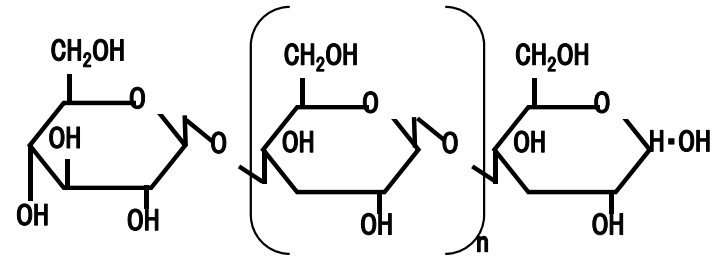
グルコース



マンノース



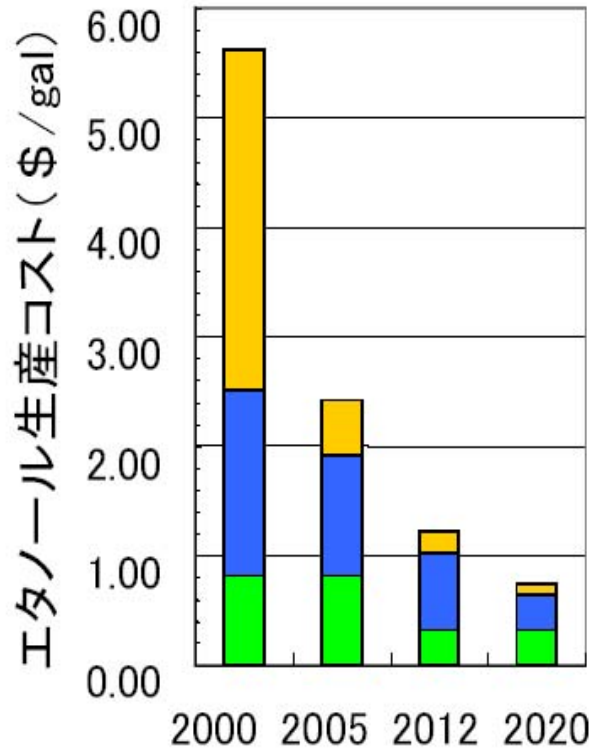
キシロース



部分分解セルロース

↓
エタノール

エタノール生産コストの推移



米国エネルギー省のセルロース系エタノール生産ロードマップ

糖化酵素のコスト

安価なセルラーゼ製造
高効率セルラーゼの探索

バイオ変換のコスト

低エネルギーでの発酵生産
低エネルギーでのエタノール精製

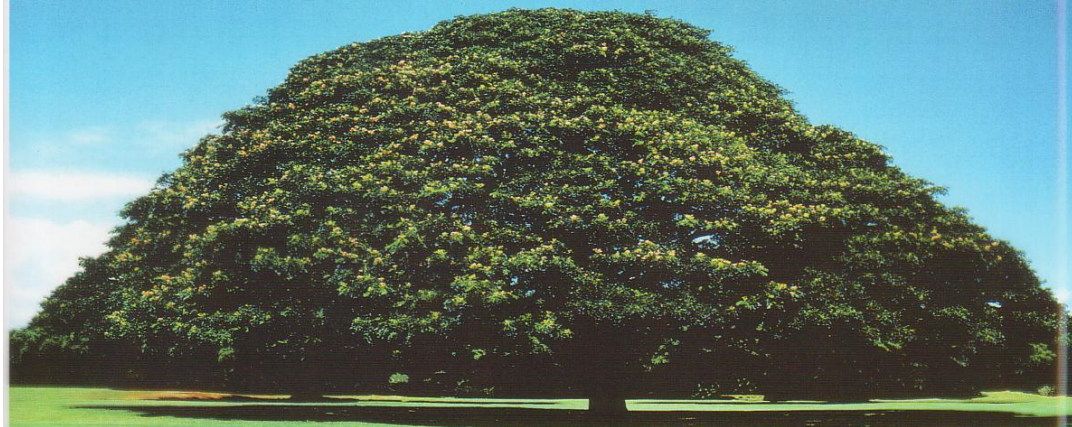
原料のコスト

低エネルギーでの植物生産
(農業技術、収穫方法、運搬など)
高収量エネルギー作物開発
ミネラルの効率的回収

熾烈なコストダウン競争が始まっている

リグノセルロースの構造

樹木は巨大な木造建築物



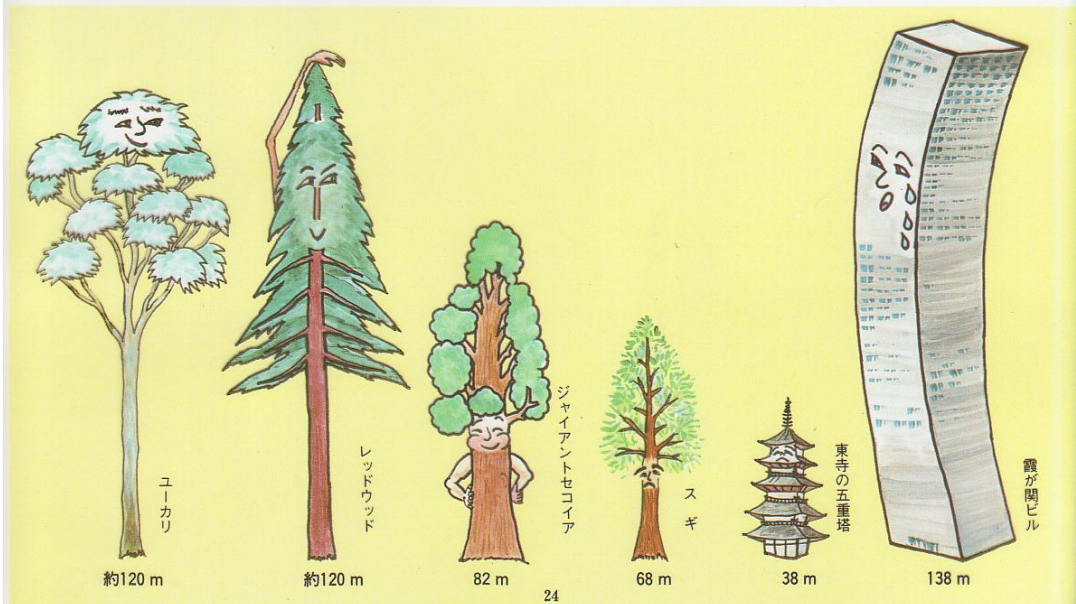
樹木は千年を越える寿命を保ちます。この長い年月の間には、台風などの暴風雨や積雪、そして烈しい地震などを何度も経験しているに違いありません。樹木の幹は、空中に広がった非常に重い樹冠を、一本足の不安定な形で支えているのです。いわば、樹木はそれ自体が立派な木造建築物と言えるでしょう。樹木の想像を越える強さの秘密はどこに隠されているのでしょうか。

▲ モンキーボッドの樹(樹高 25 m、枝幅 40 m)

背比べする世界の巨木たち

樹木は地球上で最大の生命体で、北アメリカのレッドウッドやオーストラリアのユーカリには、日本の超高層建築のさきがけとなった36階建ての霞が関ビルの高さにも匹敵する巨木があります。日本では68mのスギが最高ですが、それでも京都東寺の五

重塔や東大寺大仏殿よりもずっと高いことになります。大きさも考慮すると、北アメリカのジャイアントセコイアには直径が10mを越し、重さが数千tにもなる巨木があります。



樹木：巨大で長寿な生命体

樹木の特徴

高度に発達した細胞壁

階層的、空隙構造

樹幹：軽量高強度

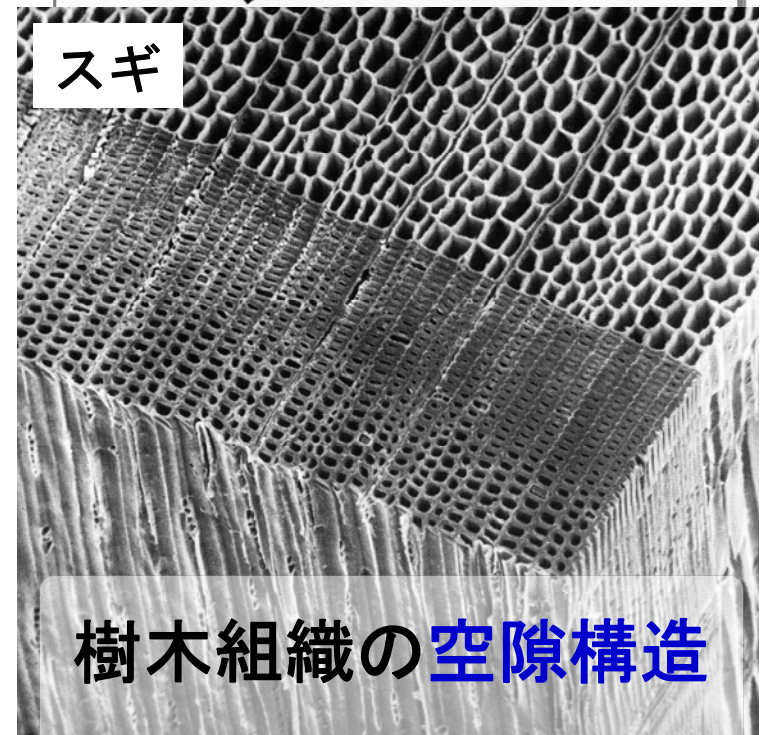
巨大生命体を支えることが可能

選択的な物質透過

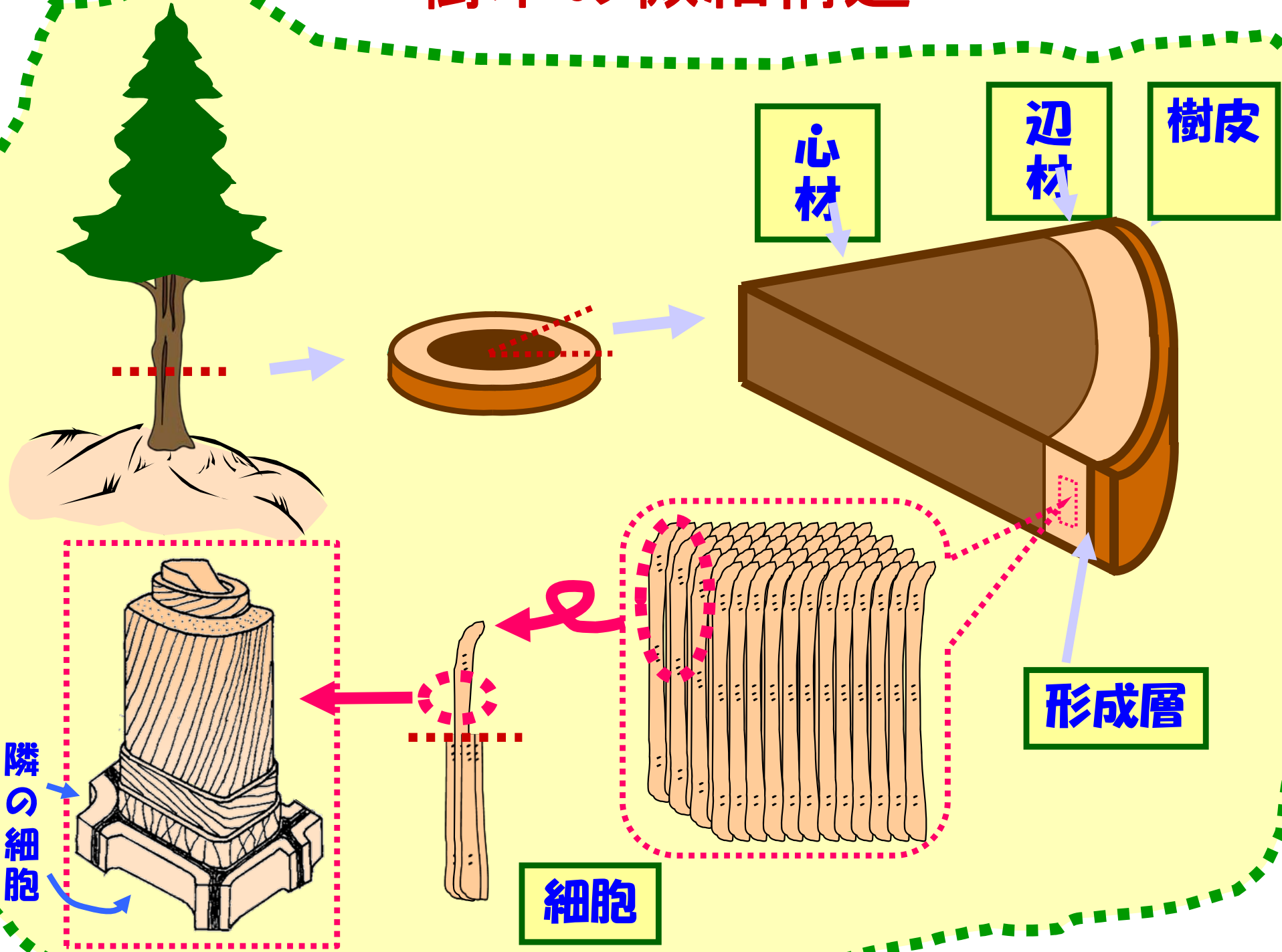
樹木細胞壁の
階層的構造

スギ

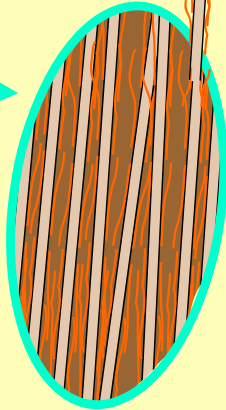
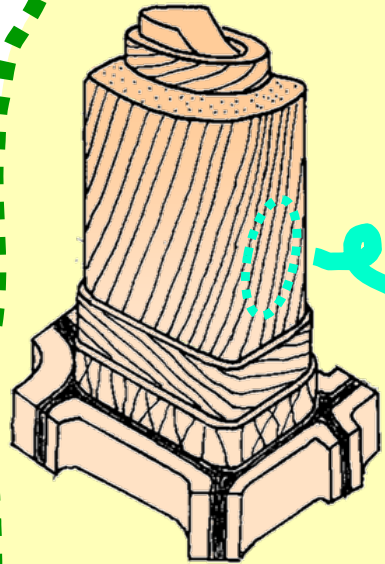
樹木組織の空隙構造



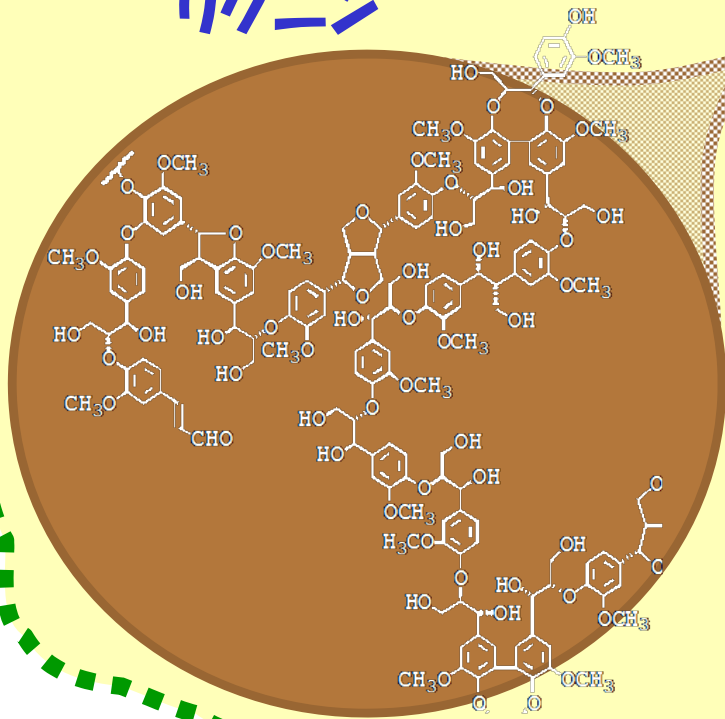
樹木の微細構造



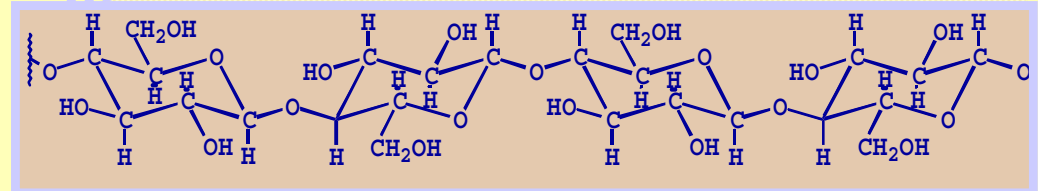
樹木細胞壁の構造



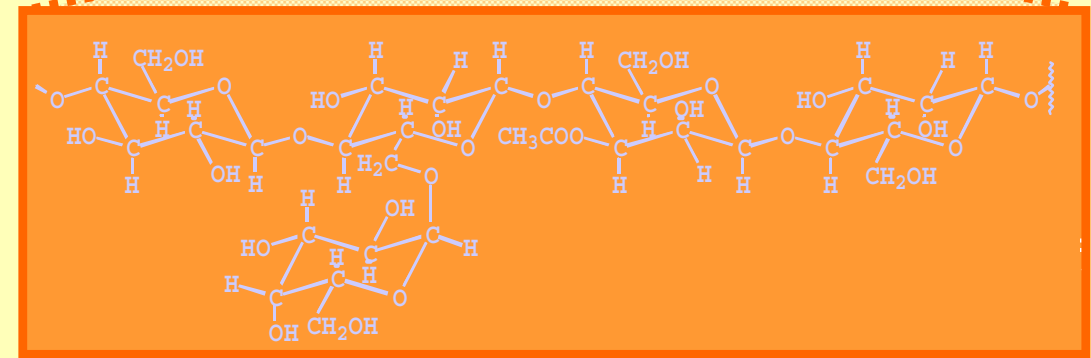
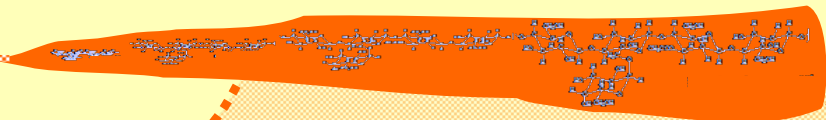
リグニン



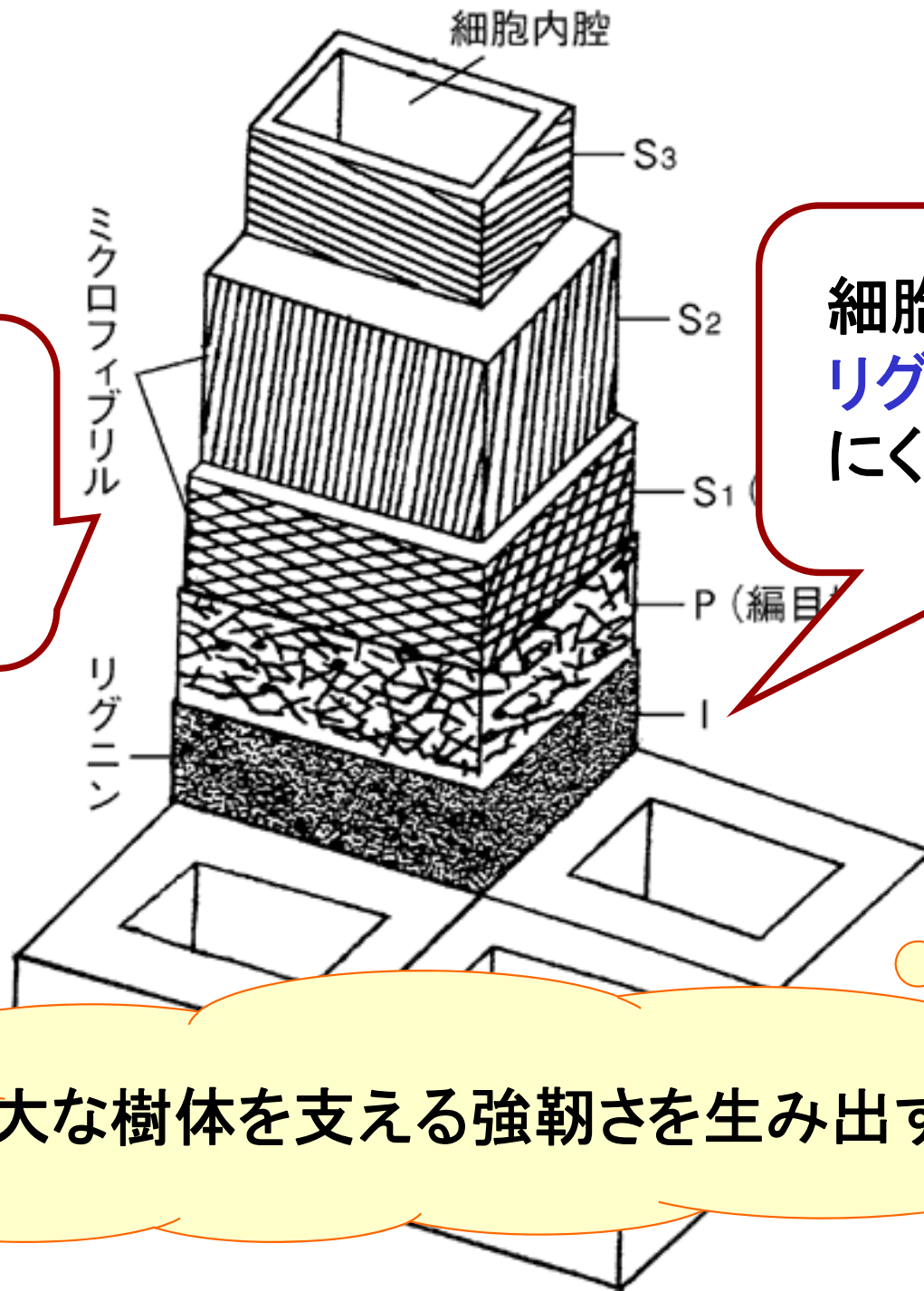
セルロース



ヘミセルロース



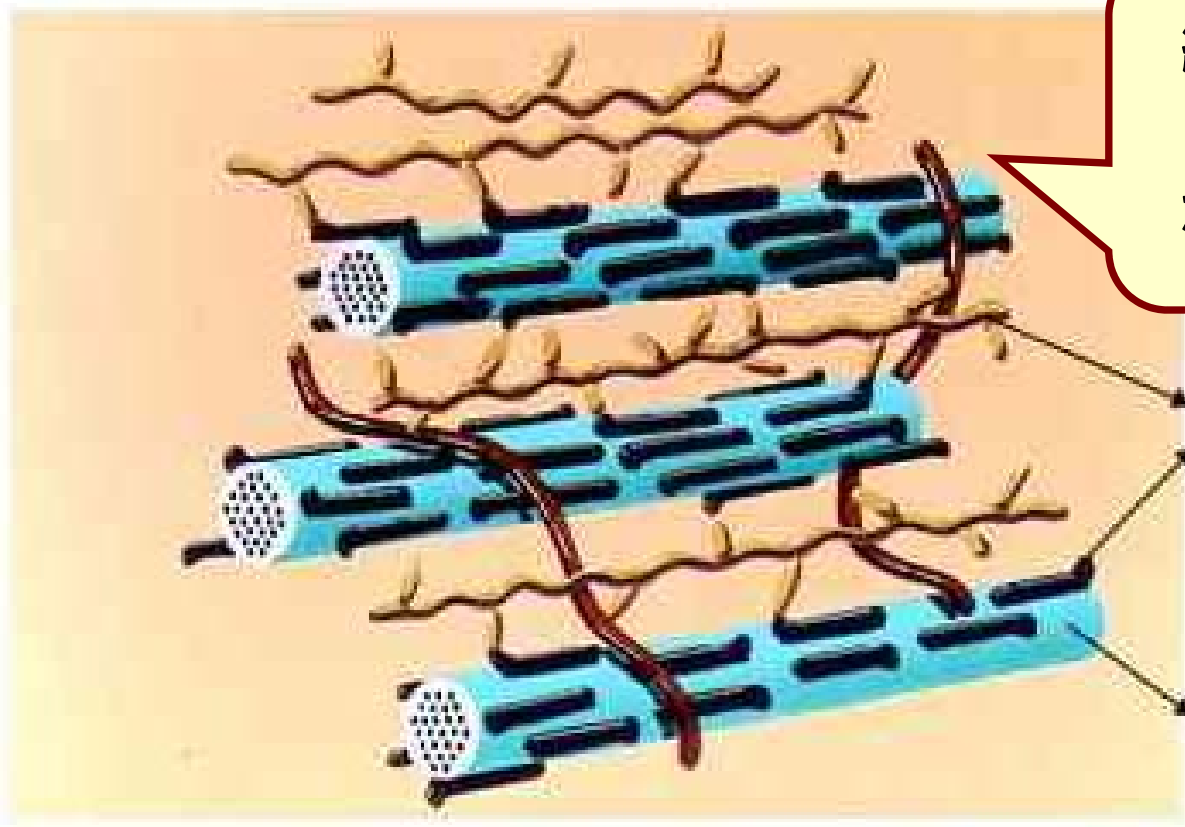
巨大な樹体を支える木材細胞の秘密



ミクロフィブリルのらせん方向は一定ではない。

細胞壁は互いにリグニンで強固にくっついている

巨大な樹体を支える強靱さを生み出す

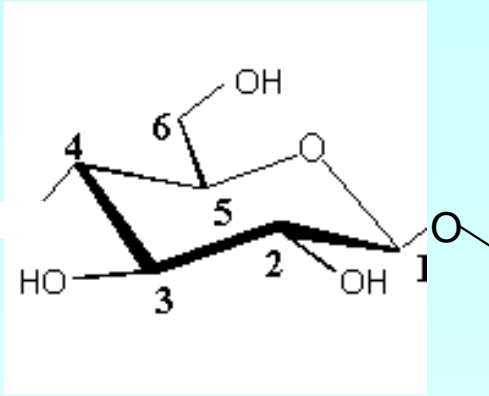


繊維間にリグニンが入り込むことでさらに強固な構造に！

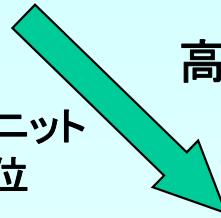
- マトリックス
(ヘミセルロースなど)
- セルロース繊維
(ミクロフィブリル)

セルロースとは？

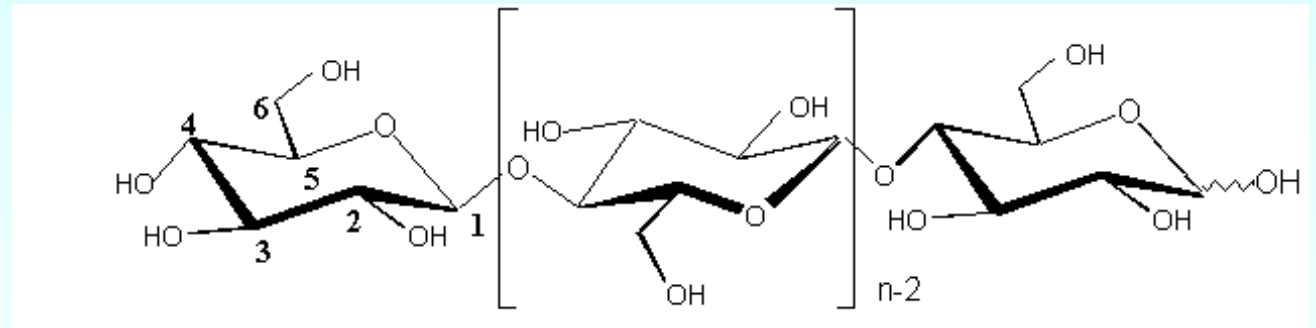
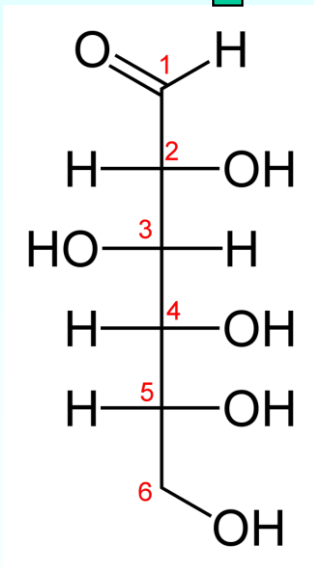
-分子構造-



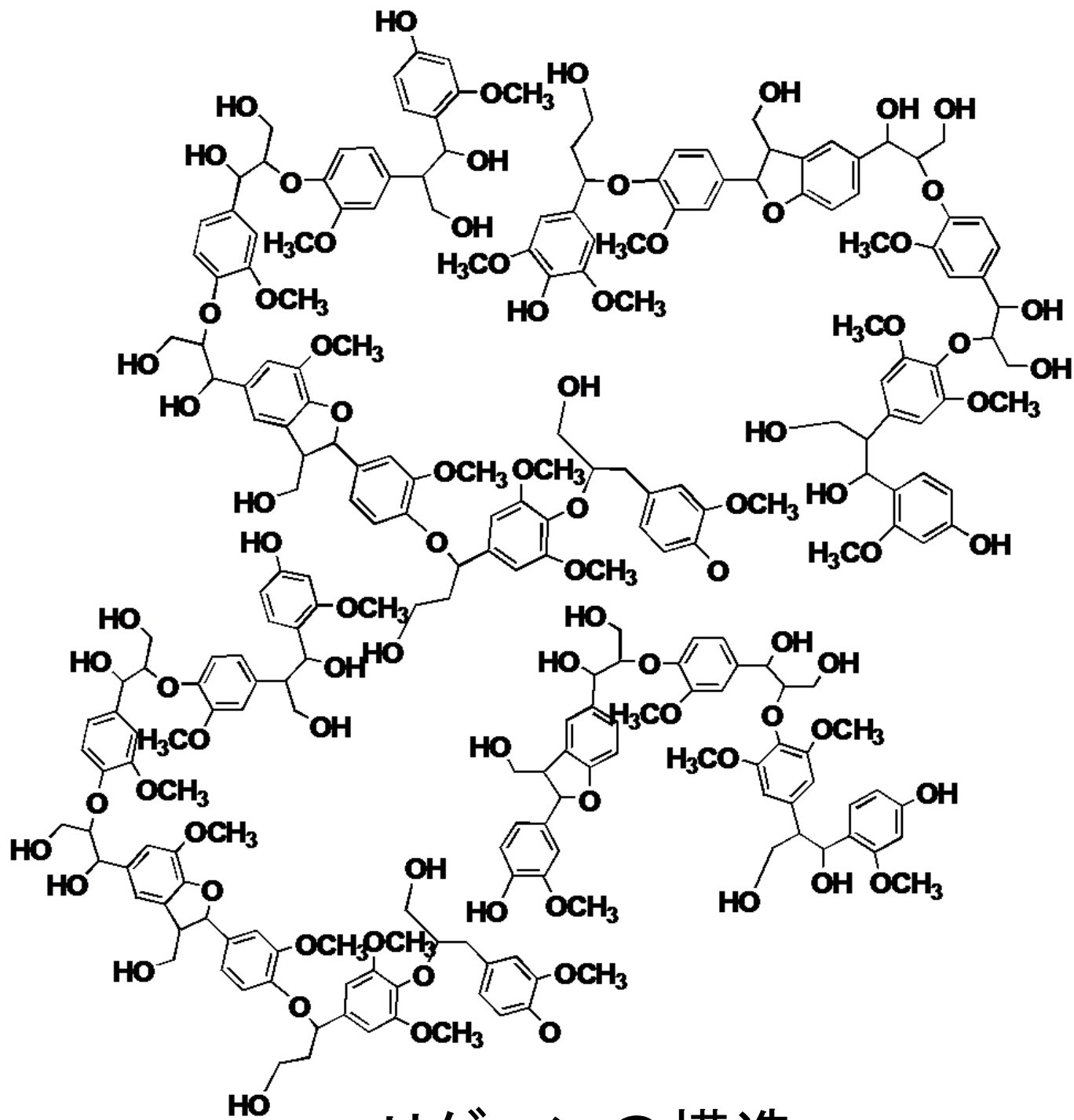
グルコース残基:セルロースを構成するユニット
グルコースが脱水で縮合重合する構成単位



高分子化



植物で純粹にセルロースだけを生産するのは、
綿花(コットン)だけで、通常は細胞壁の主成分として
繊維の形態で存在する。



リグニンの構造

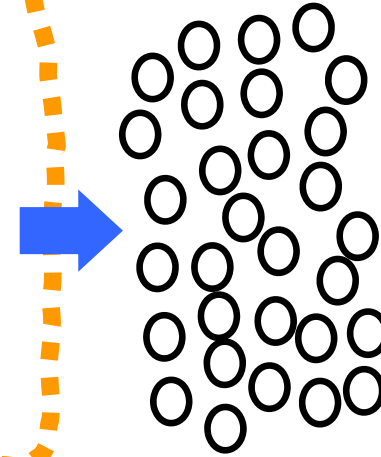
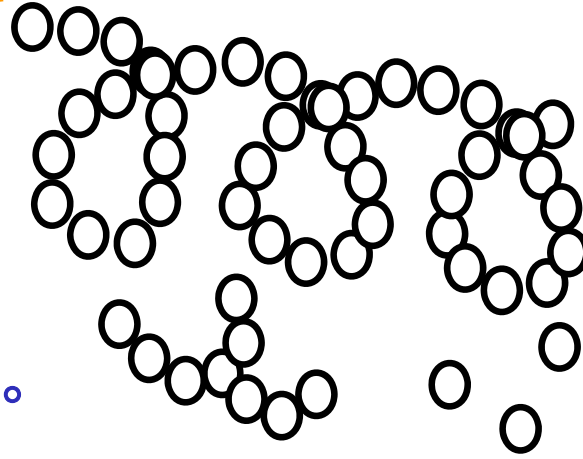
木質(リグノセルロース)と可食性バイオマス(デンプンなど)の違い

デンプン・糖

貯蔵物質。

簡単に分解利用される。

自然界に多くの分解・利用者。



木質(リグノセルロース)

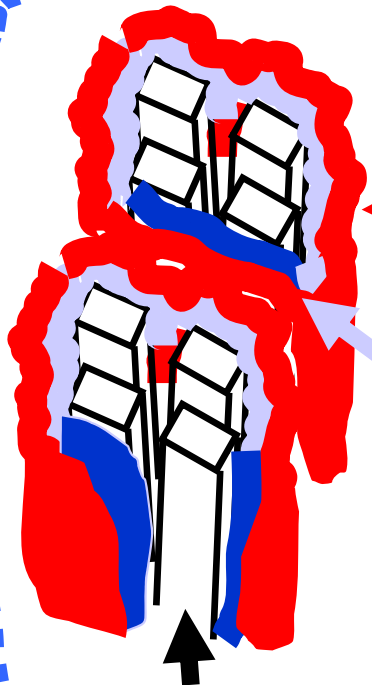
樹木の樹体を支える基盤材料。

簡単には分解されない。

自然界には限られた分解・利用者。

木材分解菌(シイタケ、カワラタケなど)

シロアリ



← リグニン

← ヘミセルロース

↑ セルロースマイクロフィブリル

原料植物細胞壁(木質)成分の化学・組織構造上の問題

- 1) セルロース
極めて強固な結晶構造をとっており、
デンプンに較べて糖化し難い
- 2) ヘミセルロース
五単糖は発酵し難い
- 3) リグニン
セルロースマイクロフィブリルを
(ヘミセルロースを介して)被覆
糖化酵素のアクセシビリティーを阻害
難分解性



セルロース系バイオマス糖化のための 前処理方法

処理作用

問題点

希硫酸処理

細胞壁の主要構成成分である
ヘミセルロースを流出させ、
セルロースの糖化率を向上させる
(リグニンは、ほとんど分解されない)

処理廃液の処理を
どうするか？
流出したキシロースは
回収して利用するか？

アンモニア水処理

リグニン、シリカ(稲わら)、
一部ヘミセルロースの流出

アンモニア水の
回収方法の確立

超臨界水処理 (亜臨界水処理)

細胞壁成分からグルコースや
オリゴ糖を生成。
(オリゴ糖では発酵できないので、
単糖にするために、酵素分解と
組み合わせる)

糖の過分解物が発酵を阻害。
単糖の回収率のさらなる向上。

微生物処理

木材腐朽菌などの菌類や
バクテリアにより、選択的に
リグニン等を除去

処理期間の長さ。
成長に伴い、
グルコース等を利用。

エタノール製造要素技術の開発

(1) 熱化学糖化系

熱水処理、酸触媒処理などでバイオマスを糖化し、発酵によりエタノールを得るもの



(2) 酵素糖化系

適切な前処理を行なったバイオマスを酵素処理で糖化し、発酵によりエタノールを得るもの



(3) 一貫微生物系

微生物技術を中心に、糖化・発酵同時反応など、ワンポット反応系でエタノールを得るもの

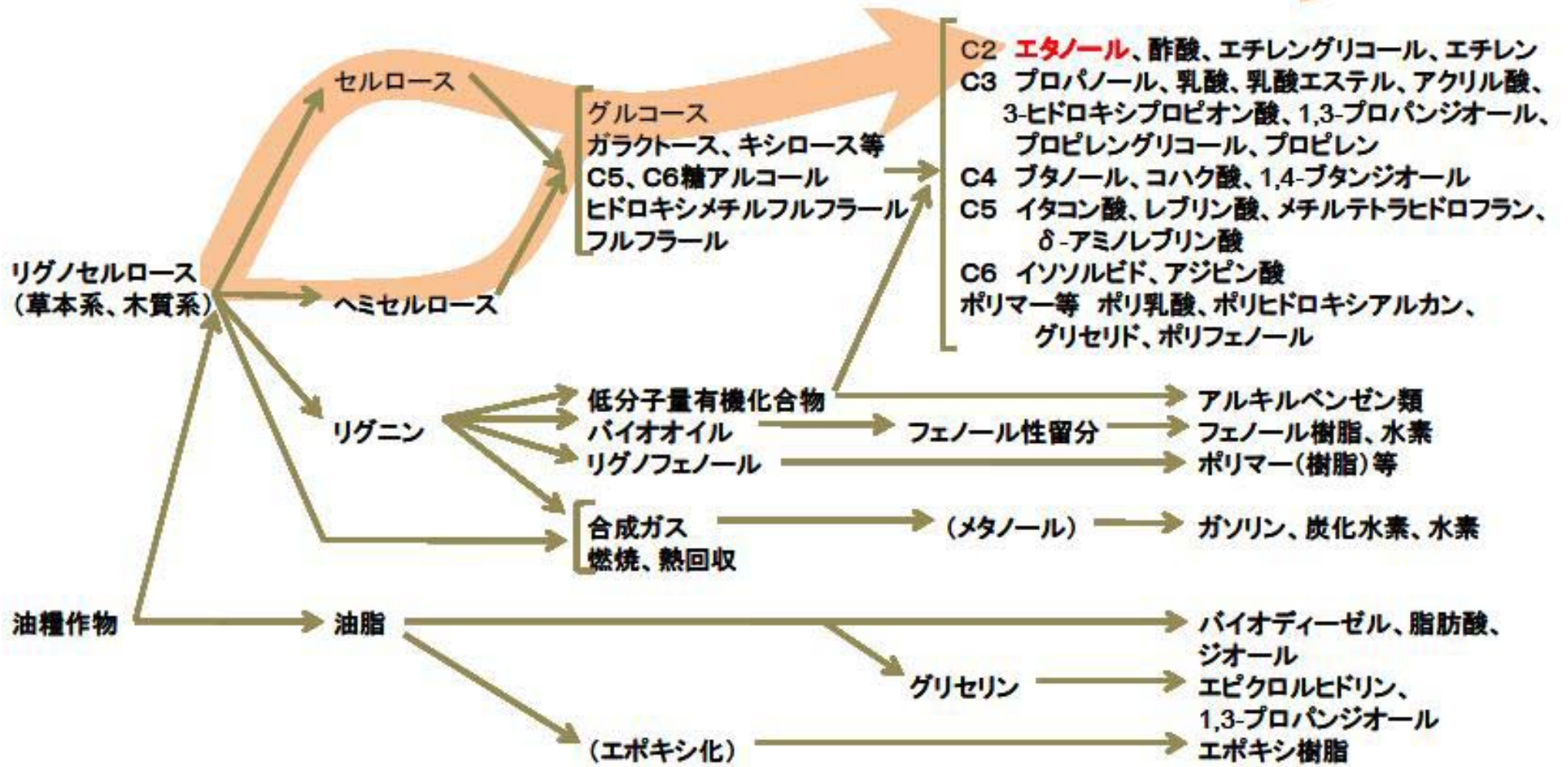


(4) 非エタノール発酵系

エタノール発酵によらない経路で、エタノールを得るもの



早急な開発が必要



統合バイオリファインリーの概念図

わが国が貢献
できる技術

バイオテクノロジーの役割

