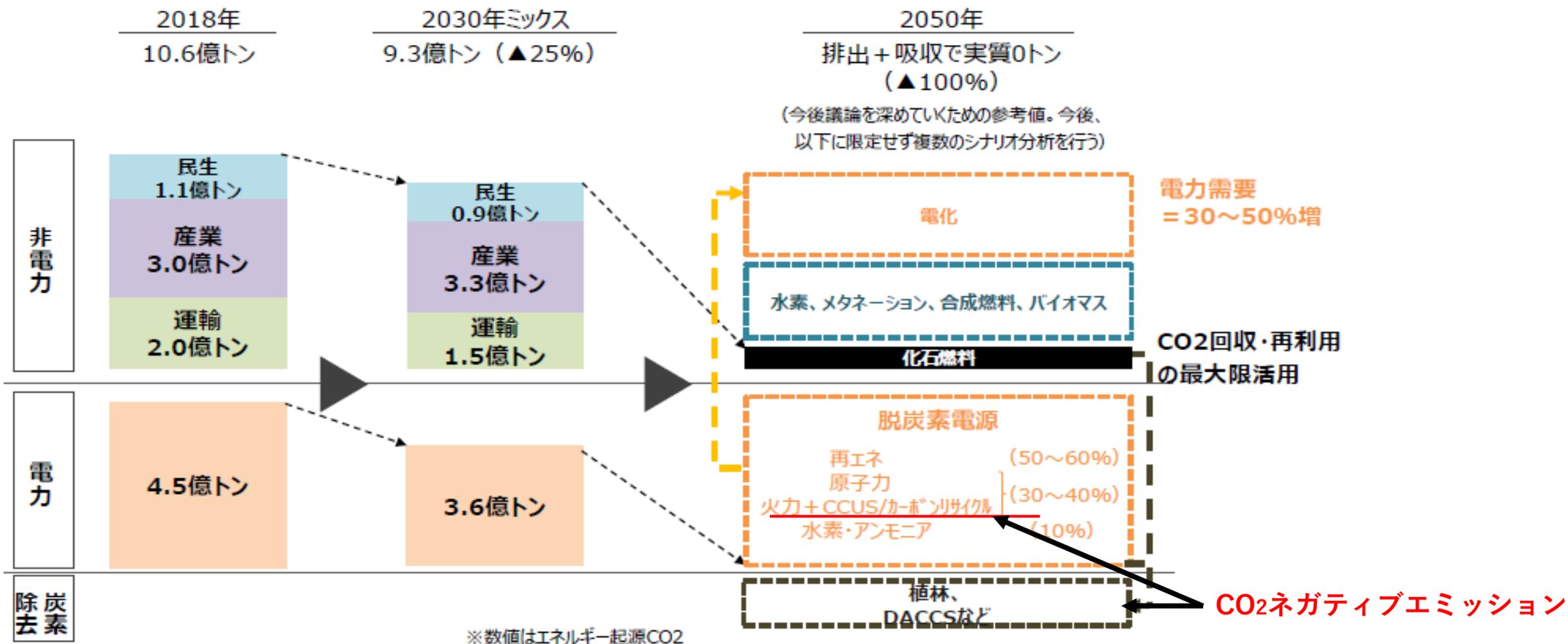


CO₂ネガティブエミッションに向けて

SCE・net エネルギー研究会

松宮 紀文

2050年カーボンニュートラルの実現



1.BECCUS(BECCS+BESSU)が必要とされる背景

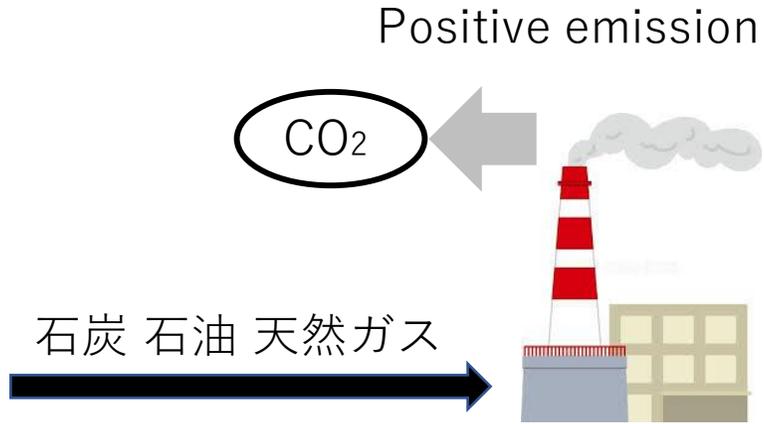
BECCUSとは：Bio-energy with Carbon Capture Utilization and Storage

2050年：CO₂排出量 = 0（日本政府目標）

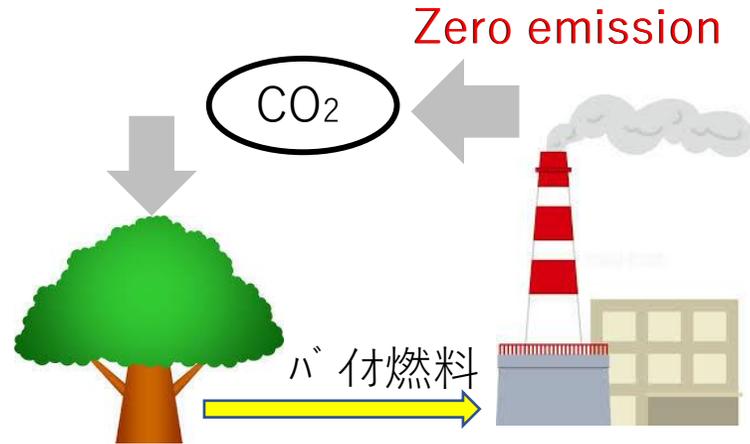
問題点 → CO₂排出の避けられない分野の存在（航空機等のCO₂移動発生源）

- ・ **バイオマス**：生成（成長）過程で光合成によりCO₂を吸収するため、仮に燃焼してCO₂を排出してもその排出は生成時の吸収と相殺される。木質資源を中心とした動植物から生まれた**再生可能な有機性資材**である。
注) 化石燃料(石油、石炭、天然ガス等)は植物資源であるが、作成期間が長く再生可能な資源ではない。
- ・ **バイオマス発電**：バイオマス燃料を燃やして出る水蒸気やガスを使って、タービンを回して発電する、**火力発電の一種**。この電気の部分がグリーン電力となり、CO₂を排出せず、環境に負荷を与えないというメリットがあり**自然エネルギー**とみなされる。
- ・ **バイオマス・ニッポン**：地球温暖化防止、循環型社会形成、戦略的産業育成、農山漁村活性化等の観点から、農林水産省をはじめとした関係府省が協力して、バイオマスの利用活用推進に関する具体的取組や行動計画を「バイオマス・ニッポン総合戦略」として平成14年12月に閣議決定。平成18年にはこの戦略が改訂され**平成21年**には「**バイオマス活用推進基本法**」が制定された。

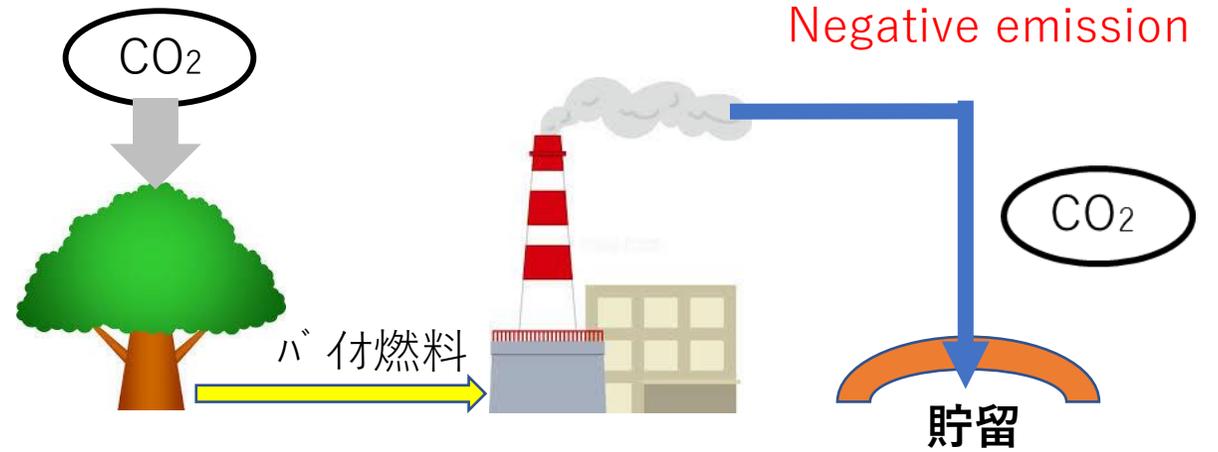
化石燃料発電：現状



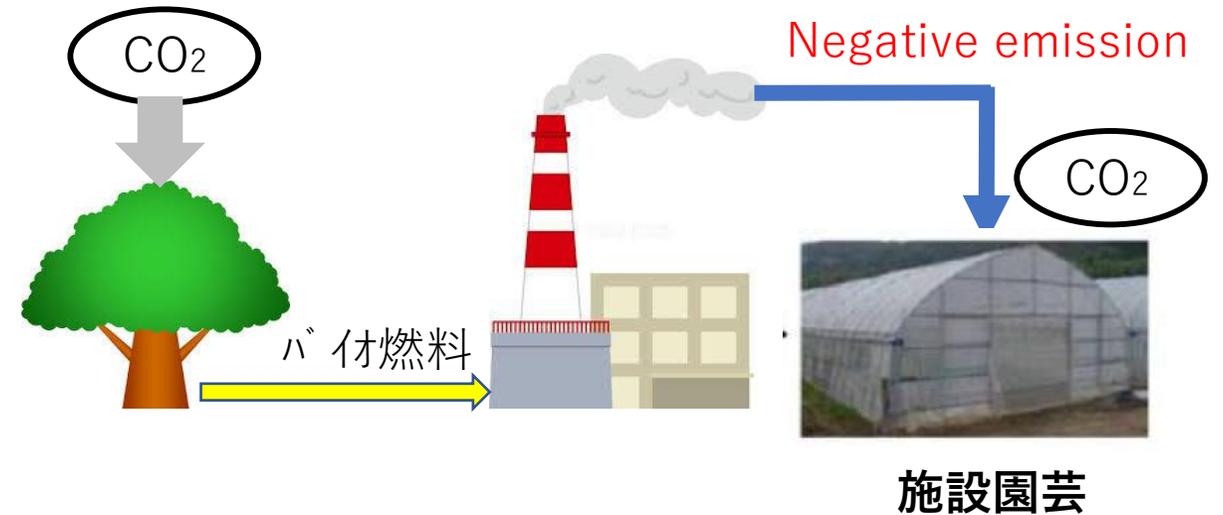
バイオマス発電



バイオマス発電+CCS(BECCS)

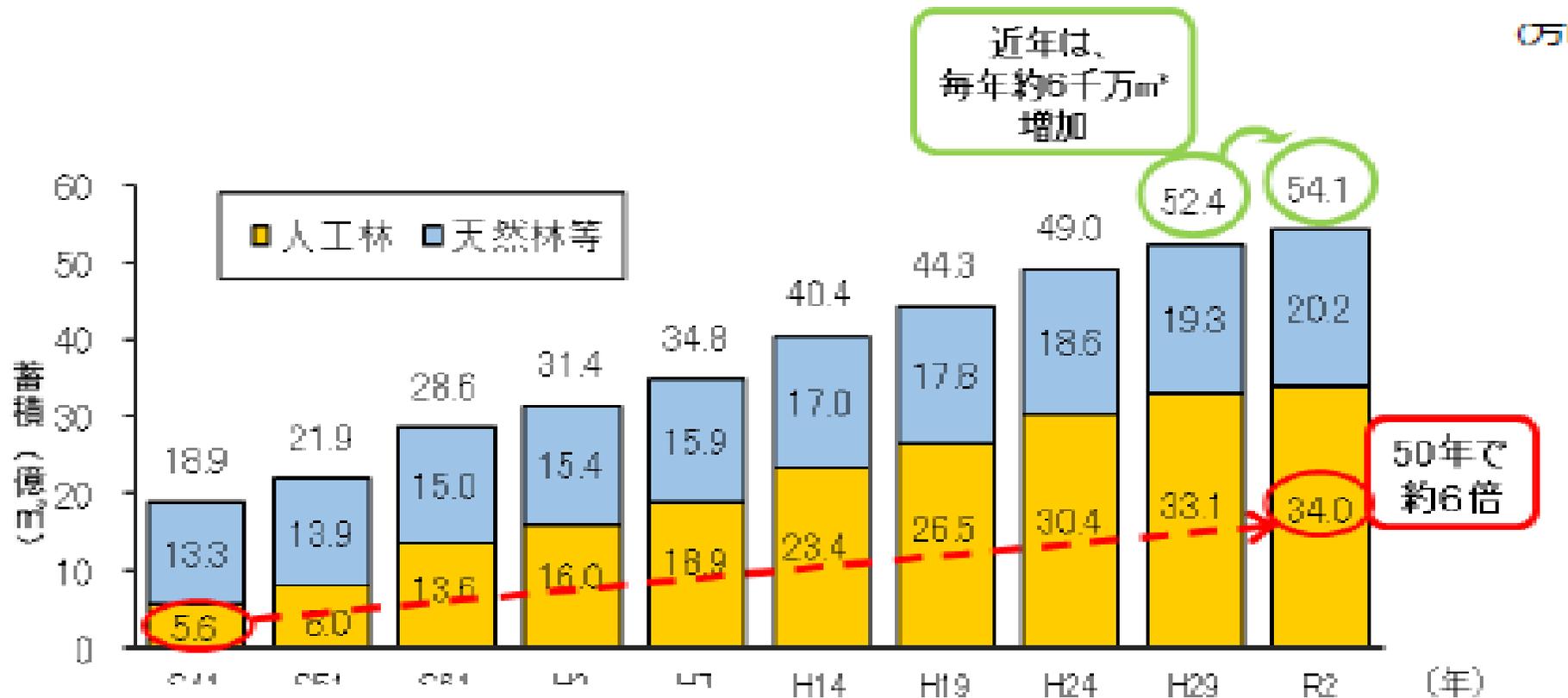


バイオマス発電+CCU(BECCU)



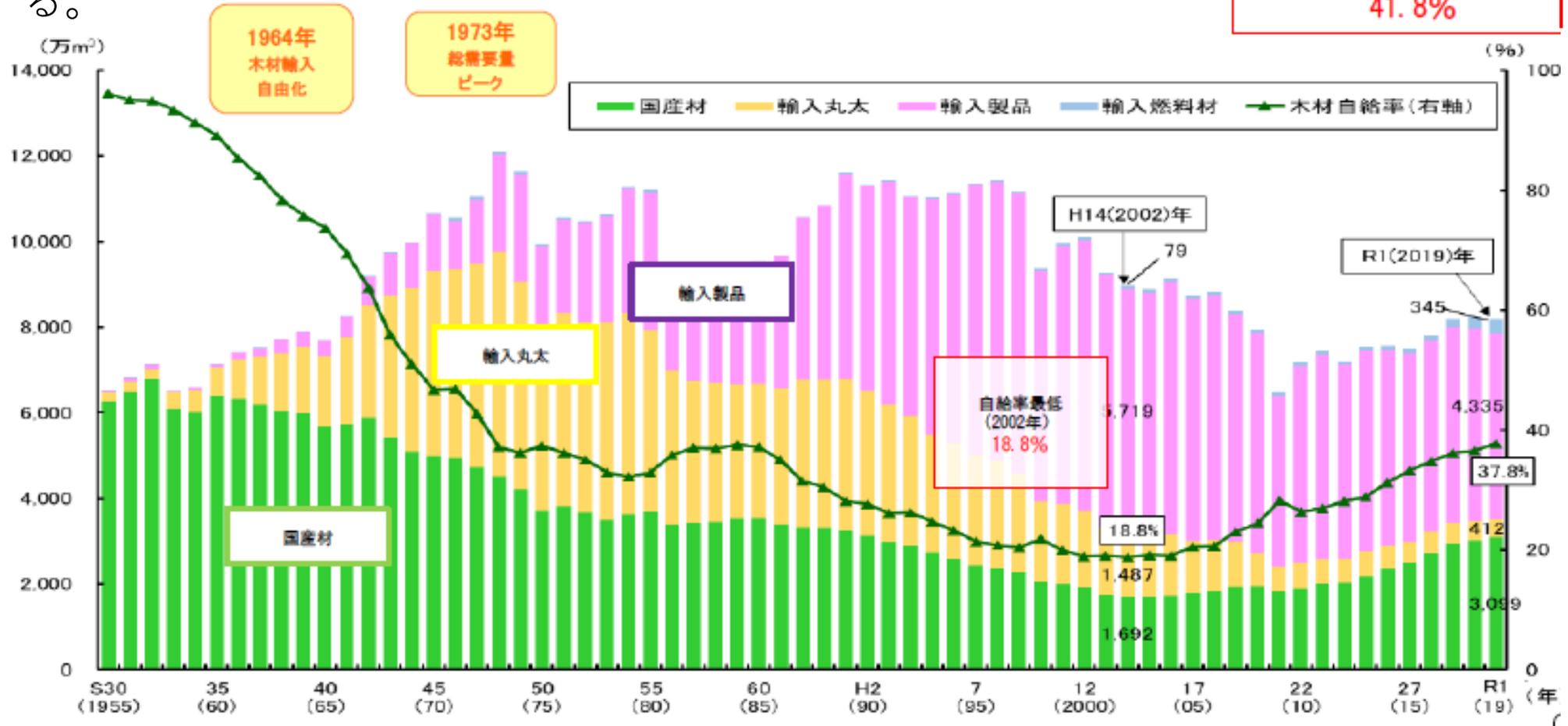
2.日本の森林とバイオマスの現状

- ・我が国は世界有数の森林国で、国土の2/3が森林である
- ・森林資源には人工林と天然林があるが、人工林・天然林共に増加し近年は毎年6000万m³ずつ増加



木材の自給率

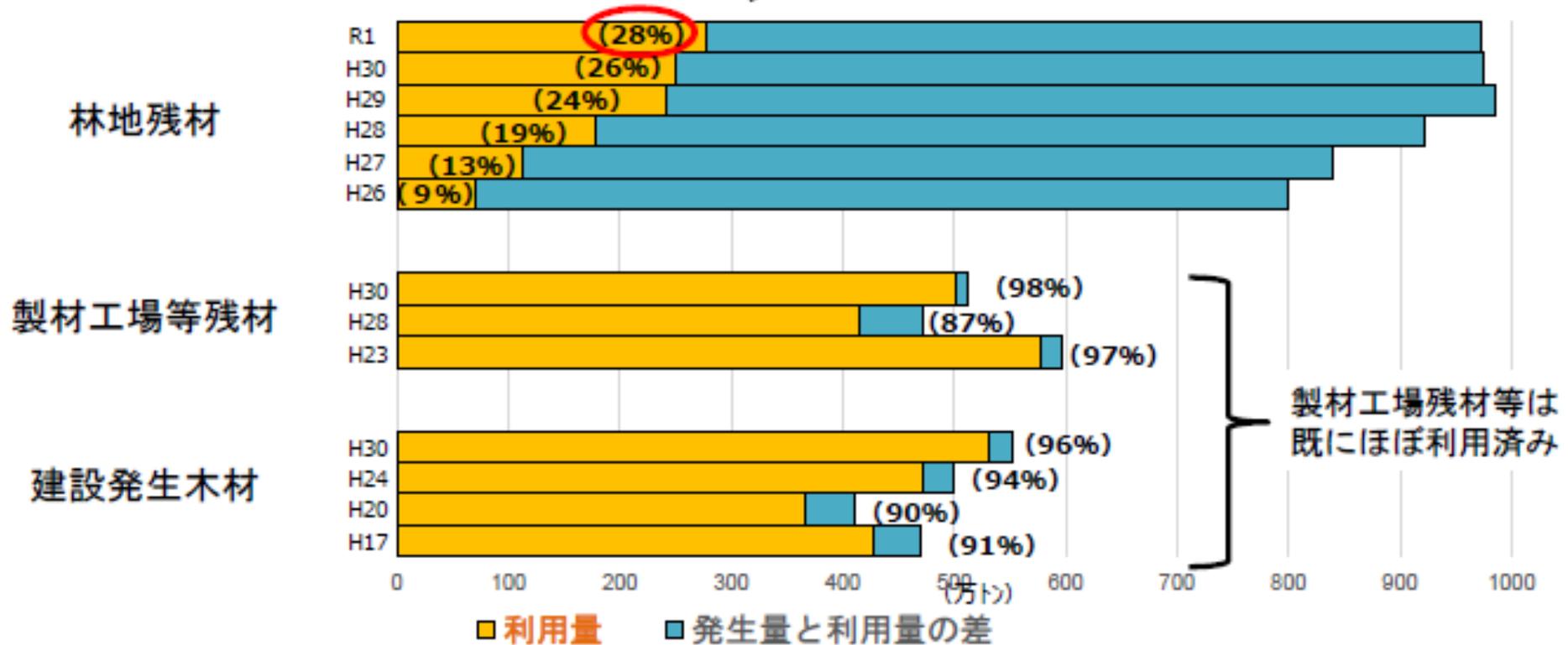
- ・ 2019年度の我が国の木材供給量は8000万m³、うち国産材は3000万m³程度である。
- ・ 木材の自給率は2002年から年々増加しており、2020年度には41.8%に達している。



- ・木質バイオマスのうち、製材工場等残材と建設発生木材は、製紙原料などとしてほぼ利用済み。
 - ・他方、間伐材等の**林地残材**（林地に放置される残材）の利用率は少ない。
- 木質バイオマスのエネルギー利用を進めるためには、**林地残材の活用が不可欠**

■木質バイオマスの利用状況

令和7年の目標 30%以上（320万トン＝約800万m³）



- 木質バイオマスについては、カスケード利用*を基本として、未利用間伐材等の利用、熱電併給システムの構築等に取り組む。

新たに、燃料材（ペレット、薪、炭、燃料用チップ）の利用目標を設定。

*木材を建材等の資材として利用した後、ボードや紙等の利用を経て、最終段階では燃料として利用すること。

- 2030年における木材利用量の目標は4,200万m³。このうち、**燃料材は900万m³**。

「森林基本計画」における木材利用量の目標

| 用途区分 | 国産材利用量（単位：万m ³ ） | | |
|------------|-----------------------------|--------------|--------------|
| | 2019 （実績） | 2025 （目標） | 2030 （目標） |
| 製材用材 | 1300 | 1700 | 1900 |
| 合板用材 | 500 | 700 | 700 |
| パルプ・チップ用材 | 500 | 500 | 500 |
| 燃料材 | 700 | 800 | 900 |
| その他 | 200 | 200 | 200 |
| 合計 | 3200 | 3900 | 4200 |

全国木質バイオマス発電所一覧地図

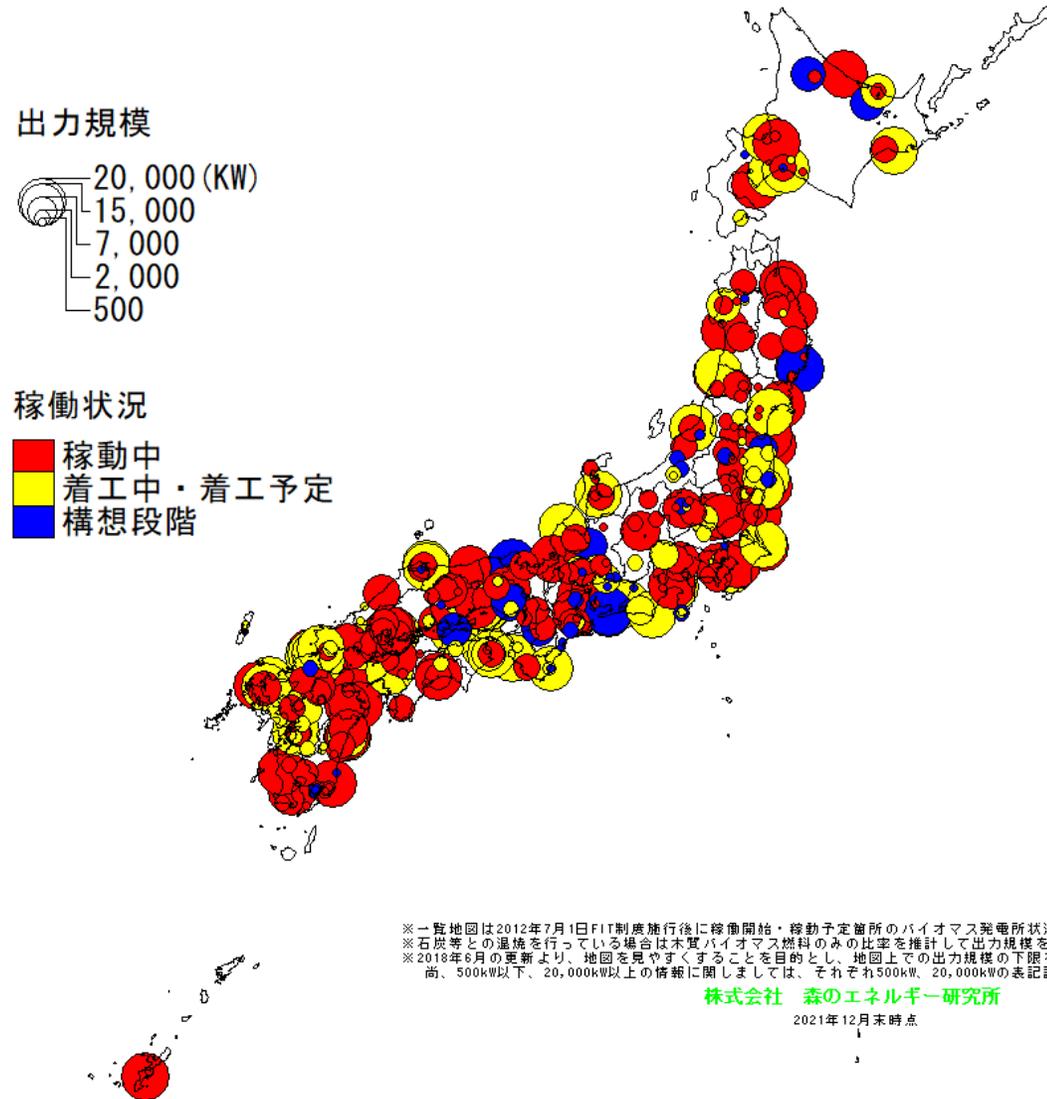
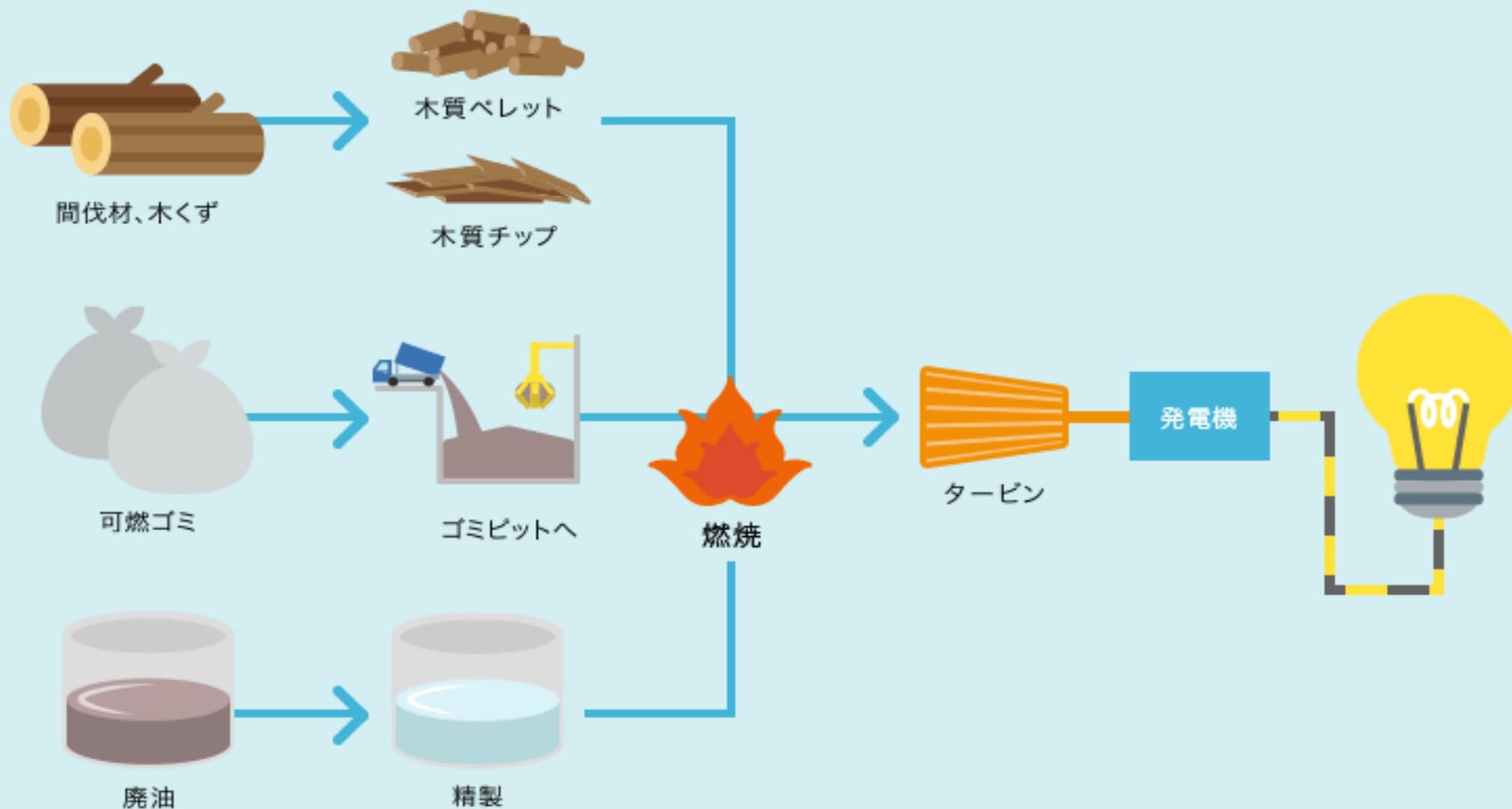
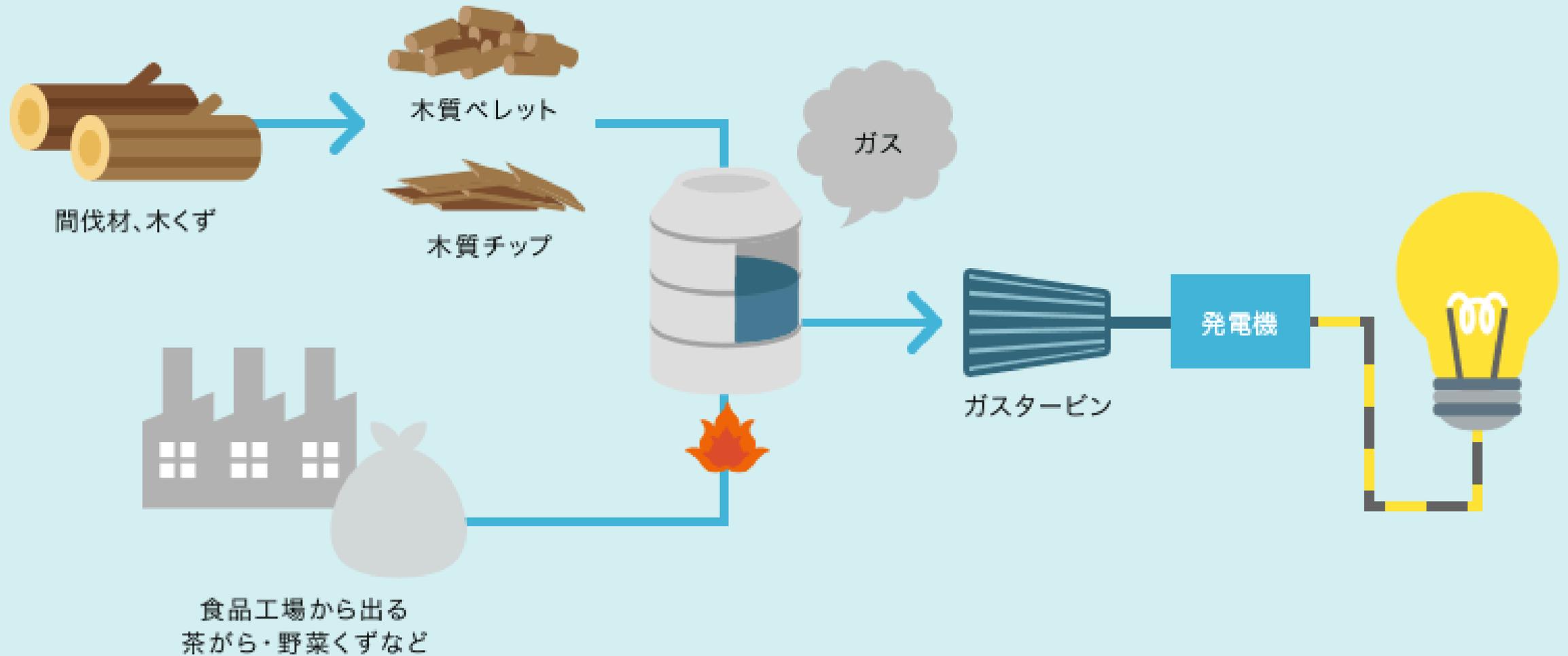


図2 日本のバイオマス発電所

直接燃焼方式



熱分解ガス化方式



バイオマス発電所の燃料(現状)

1.国内木材

国内の未利用木質等を利用する燃料であり、森林の未利用材を燃料に用いることで、山村地域に経済効果をもたらすメリットがある。ただし、燃料を安定的・持続的に調達する必要があるためその体制作りと資源の再生産に時間を要するため、適切な資源管理・再生を行う必要がある。国内木材を燃料に用いた発電所が完全なCO₂ゼロエミッション発電所と考えられる。

2.Palm Kernel Shell(PKS)

植物油であるパーム油の原料であるパーム椰子の殻の部分である。蒸気タービン方式の発電では発電出力が大きくなるほど事業の利益率が向上するが、燃料の消費量も増大する。国内の未利用木材だけでは燃料が不足するケースも生じる。この不足分を補うためにPKSをインドネシアから輸入して用いる。国内木材の補助燃料とするケースとPKSが主材となるケースがある。輸入PKSだけを燃料とすれば国内CO₂削減は不可能だが、地球規模で考えるとCO₂ゼロエミッション発電所と考えても良い。

3.石炭+木質バイオマス

燃料の調達リスク等により発電量が制限されるバイオマス発電所に石炭を混焼させることにより、発電規模と発電効率の効率化を図る。

新規石炭火力発電所の燃料にバイオマスを混焼させることにより、発電効率の向上を可能にする。即ち発電効率が $\text{発電効率} = (\text{総発電量}) / (\text{投入全エネルギー量} - \text{投入バイオマスエネルギー量})$ で算出される。

石炭火力発電所の発電効率向上によりCO₂排出を削減させるという考えに基づく。

燃料別バイオマス発電量（含2030年頃稼働予定）

| 発電所燃料 | 発電所数 | 発電量（kW） |
|------------|------------|----------------|
| 国産材 | 140 | 688,000 |
| PKS | 88 | 5,324,000 |
| 石炭混焼 | 36 | 1,500,000 |
| 不明 | 84 | 683,000 |
| 合計 | 348 | 8,195,000 |

出典：森のエネルギー研究所

バイオマス発電所の例：関西電力朝来バイオマス発電所

○ 朝来バイオマス発電所の概要

| | |
|------------------------|---|
| 敷地面積 | 約0.7ha |
| 発電出力 | 5,600kW |
| 売電電力量 | 約3,700万kWh (一般家庭約12,000世帯 ^{※1} の年間電気使用量に相当) |
| CO2排出削減量 ^{※2} | 約18,000t |
| 運転開始 | 平成28年12月1日 |
| 燃料 | be材燃料チップ 約6.3万t/年 |

※1 関西電力の従量電灯Aの平均的なモデルの使用量（260kWh/月）を用いて算定。

※2 関西電力の平成27年度CO2排出係数（0.496kg-CO2/kWh）を用いて算定。

国内材による発電可能量(2030年度推定)

国内材燃料体積：900万 m³

国内材燃料重量：360万 t

国内材発電量：55億kWh (688000 kW)

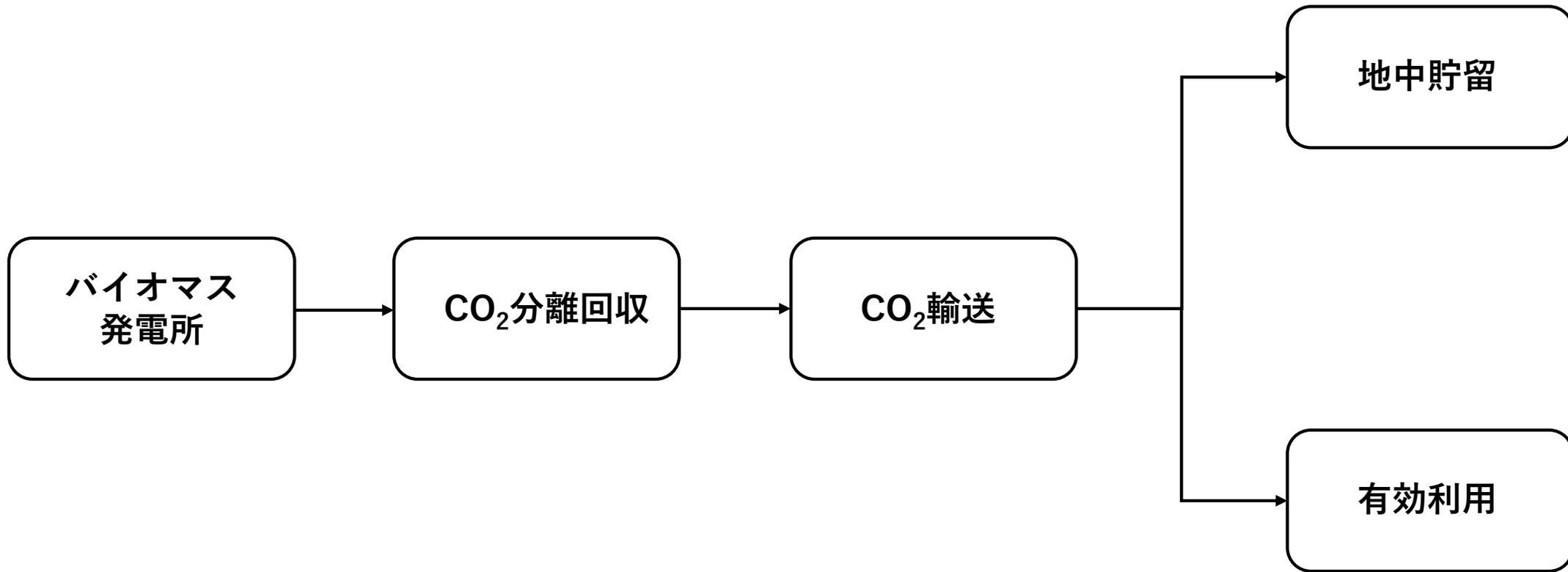
国内材バイオマス発電CO₂排出量推定(2030年度推定)

342,000kG-CO₂/hr

年間：27億3600万t

*：関西電力公表のCO₂排出係数(0.496kg-CO₂/kWh)より

3.BECCS & BECCU



3-1. BECCS

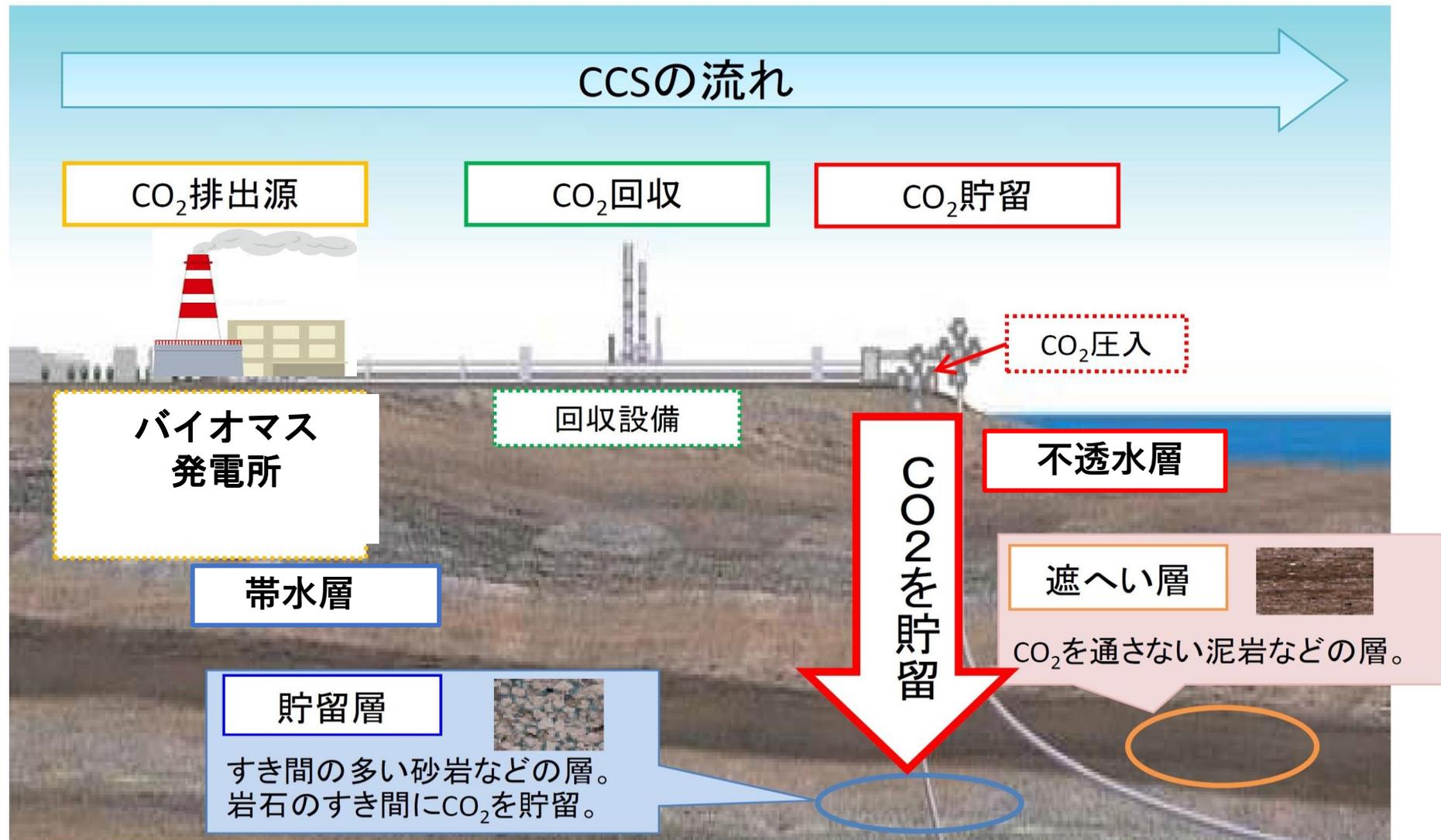
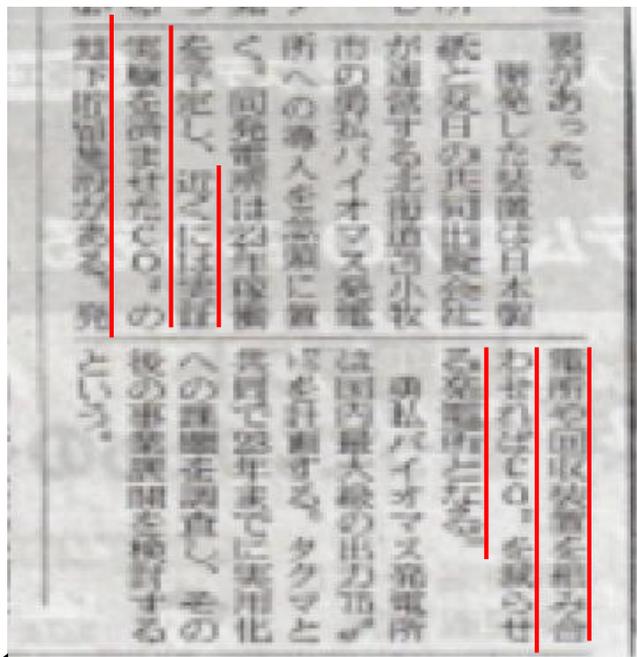


図3-1. 二酸化炭素回収・貯留 (CCS) 概念図



近くには実証実験をすませたCO₂の地下貯留施設がある。発電所や回収装置を組み合わせればCO₂を減らせる発電所となる。

日本製紙バイオマス発電

高効率のCO₂回収装置

日本製紙 バイオマス発電向け

日本製紙がバイオマス発電向け、CO₂排出量は...
 高効率のCO₂回収装置...
 CO₂削減に貢献する...
 2023年1月の稼働を予定している。

学校向けPC自主回収

衝撃で発煙例 NECが124万台

NECが124万台のPCを回収...
 衝撃で発煙例...
 回収作業は順調に進んでいる。

バイオマス発電

バイオマス発電は木材...
 環境に優しいエネルギー...
 再生可能な資源を利用...
 CO₂削減に貢献する。

| | |
|------------|-----------------------------|
| (1) 会社名 | 勇払エネルギーセンター合同会社 |
| (2) 所在地 | 北海道苫小牧市字勇払（日本製紙北海道工場勇払事業所内） |
| (3) 設立年月日 | 2019年2月14日 |
| (4) 事業内容 | バイオマス発電による電力供給事業 |
| (5) 出資比率 | 日本製紙51%、双日49% |
| (6) 使用燃料 | 輸入木質チップ、パームヤシ殻、国内未利用材 |
| (7) 発電出力 | 74,950kw（発電端） |
| (8) 着工予定 | 2020年3月 |
| (9) 運転開始予定 | 2023年1月 |

苫小牧バイオマス発電株式会社

| | |
|---------|---|
| 事業内容 | 再生可能エネルギー固定価格買取制度を活用し、三井物産社有林、国有林、民有林などの北海道産の未利用間伐材等を燃料として木質バイオマス発電所を運営 |
| 発電端発電出力 | 6,194kW |
| 運転形態 | 24時間連続定格運転 |
| 発電燃料 | 全て北海道産間伐材等林地未利用木材 |
| 燃料木材供給者 | (株)イワクラ、三井物産フォレスト(株)、住友林業フォレストサービス(株)、北海道森林組合連合会 |
| 電力販売先 | 北海道ガス株式会社へ販売 |
| 主要設備 | 燃料破碎機、チップ燃料搬送設備、チップサイロ、木質バイオマス流動層ボイラー、蒸気タービン、発電機、特別高圧受変電設備 |



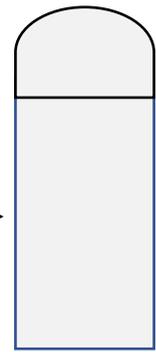
日経新聞に掲載された日本製紙バイオマス発電だけでなく苦小牧バイオマス発電も苦小牧CCS実証試験センターに近くCO₂のBECCS実験に適用が可能と考えられる。

苦小牧CCS実証試験センターには化学吸収法のCO₂分離装置があるが、各発電所排ガスすべてを同センターに輸送してCO₂の分離回収も行うのか各バイオマス発電所でCO₂を分離回収してCO₂のみ輸送するかをコスト比較して検討する必要がある。

3-2.BECCU



バイオマス
発電所



CO2分離
回収装置

CO₂

Time-Lapse Video Day 35
450 ppm 1270 ppm

【直接利用～農業】：植物生長の増進

【直接利用～工業】：ガス・ドライアイス

【変換利用】メタン・オレフィンに変換

一時的にCO₂は回収されるが、最終的には大気中に放出されるためCO₂のネガティブエミッションと言えるか疑問？

「CO₂施肥効果」



- ・ CO₂は、植物の**光合成**にとって必須の原料
- ・ CO₂濃度が2倍上昇すると、生長が促進

農作物の収穫増加率

CO2濃度：大気中濃度(400ppm)→600ppmに増加

| | 増加率 (%) |
|--------------|---------|
| 小麦 (米国) | 16 |
| 大豆 (米国) | 16 |
| コシヒカリ (日本) | 15 |
| じゃがいも (イタリア) | 35 |
| 大麦 (ドイツ) | 8 |
| 牧草 (ドイツ) | 12 |
| テンサイ (ドイツ) | 8 |
| 冬小麦 (ドイツ) | 14 |

施設園芸

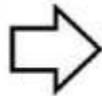
- ・ ガラス室やビニールハウスを利用して野菜などの園芸作物（野菜類・花き・果樹）を栽培することで、天候や外気温の影響を減らして比較的安定した生産ができる農業形態の1つ。
- ・ 雨よけ施設、パイプハウス、天窓やカーテンの開閉を自動でできるもの、ボイラーなどの加温設備があるもの、**CO₂発生装置**や溶液栽培施設など高度な環境制御装置を備えるもの、センサーで計測されたデータを基に複数の機器を組み合わせる環境制御を行うことができる「複合環境制御装置」を備えたもの、施設の形態はさまざま。



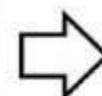
雨よけ施設



ビニールトンネル



温室



環境制御装置を
備えた施設

現状のCO₂発生装置の種類



| | | | |
|-------|-------|--------|-----------------|
| 装置の方式 | 灯油燃烧 | LPガス燃烧 | 液化炭酸ガス |
| 特徴 | 排ガス利用 | 排ガス利用 | ボンベ供給 |
| 供給ガス | 混合ガス | 混合ガス | CO ₂ |
| メリット | 燃料費安価 | 壊れにくい | 熱が少ない |
| デメリット | 燃烧不純物 | 燃料費高価 | 燃料費高価大 |
| 普及実態 | 大部分 | 灯油に次ぐ | 大規模施設 |

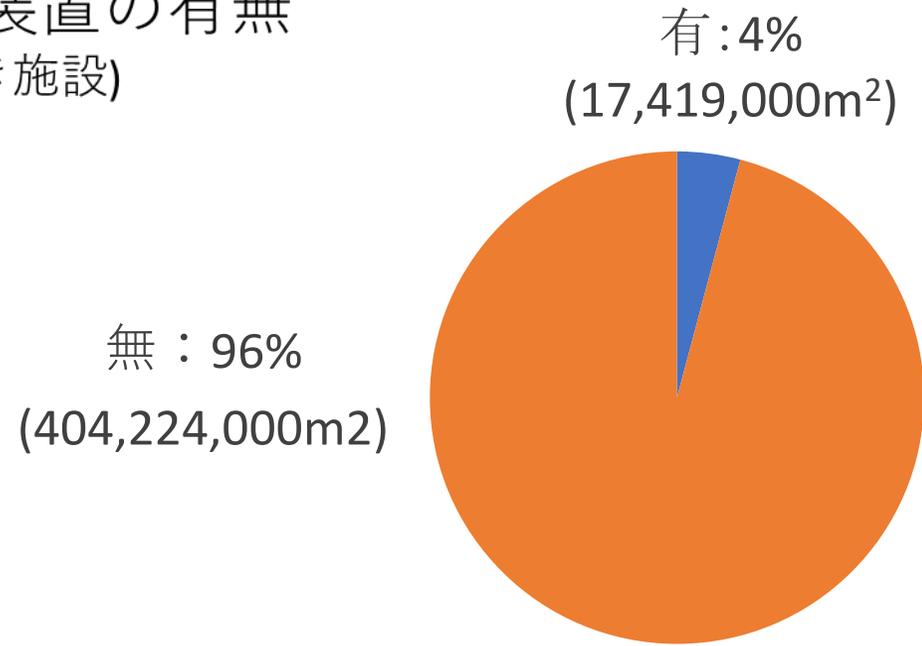
ハウス栽培用炭酸ガス発生装置の仕様例

唐津プロパンガス 株式会社大晴 ハウス栽培用炭酸ガス発生装置「みのるくん」 型式KCH-20Z

| | |
|----------------------------------|--|
| 型 式 | KCH-20Z |
| CO₂発生量 (kg/hr) | 5 |
| ガス消費量kg/h (kcal/h) | 1.67 (20.000) |
| 標準施用面積 | 1,000m² |
| 使用燃料 | LPG (プロパンガス イ号以上) |
| 供給ガス圧 | 2.8kPa |
| 電 源 | 三相200V・50/60Hz |
| 消費電力 | 150W/220W |
| 風 量 | 50m ³ (0.14kPa) /60m ³ (0.16kPa) |
| 安全装置 | フレイムロッド方式 |
| 点火方式 | イグナイター、自動点火 |
| 外形寸法 | 440φ×660H×860Lφ |
| 製品重量 (kg) | 30 |

以上より1000m²の施設に5kg/hrのCO₂を供給する前提で検討を行った

園芸施設のCO2発生装置の有無 (対象：加温設備付き施設)



2018年度農水省統計

園芸施設に必要なされているCO₂量

$$(404,224,000\text{m}_2/1000\text{m}_2)*5(\text{kg-CO}_2/\text{hr})=2,021,000(\text{kg-CO}_2/\text{hr})$$

バイオマス発電CO₂排出量(2030年推定)

| 発電所燃料 | CO ₂ 排出量(kg-CO ₂ /h) |
|-------|--|
| 国産材 | 341,000 |
| PKS | 2,640,000 |
| 石炭混焼 | 744,000 |
| 不明 | 339,000 |
| 合計 | 4,064,000 |

結論

国内材バイオマス発電所から排出されたCO₂は341,000kg-CO₂/hrで、バイオマス発電所排出のCO₂の8.4%がネガティブエミッションの対象となる。

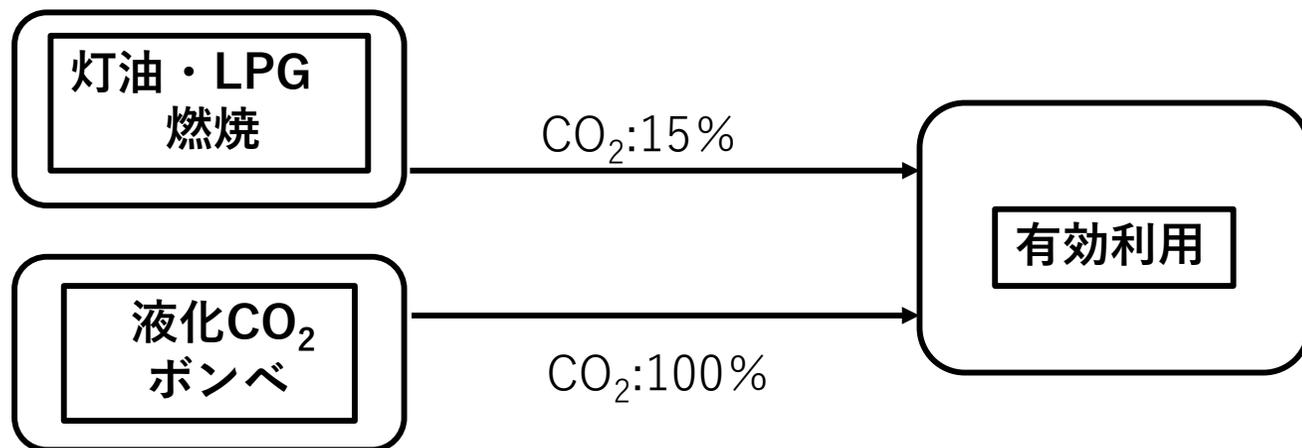
燃料用の国産化は増加傾向にありCO₂ネガティブエミッション量は今後増加すると推定される。

更に園芸施設には1,680,000kg-CO₂/hrのCO₂が必要であり、PKS・石炭混焼燃料発電所排ガスの一部(45%)がゼロエミッション化に利用できる。

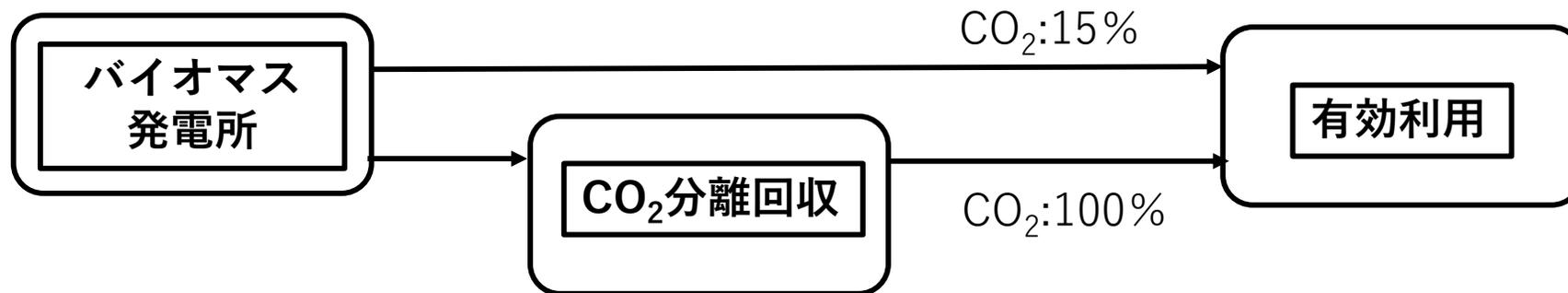
バイオマス発電所排ガスは国内材の燃料化を増進するとともに、その立地条件に合わせてCCSとCCUとを組み合わせてネガティブエミッションを達成するのが理想である。

園芸施設のCO₂活用プロセス

現在のCO₂供給技術



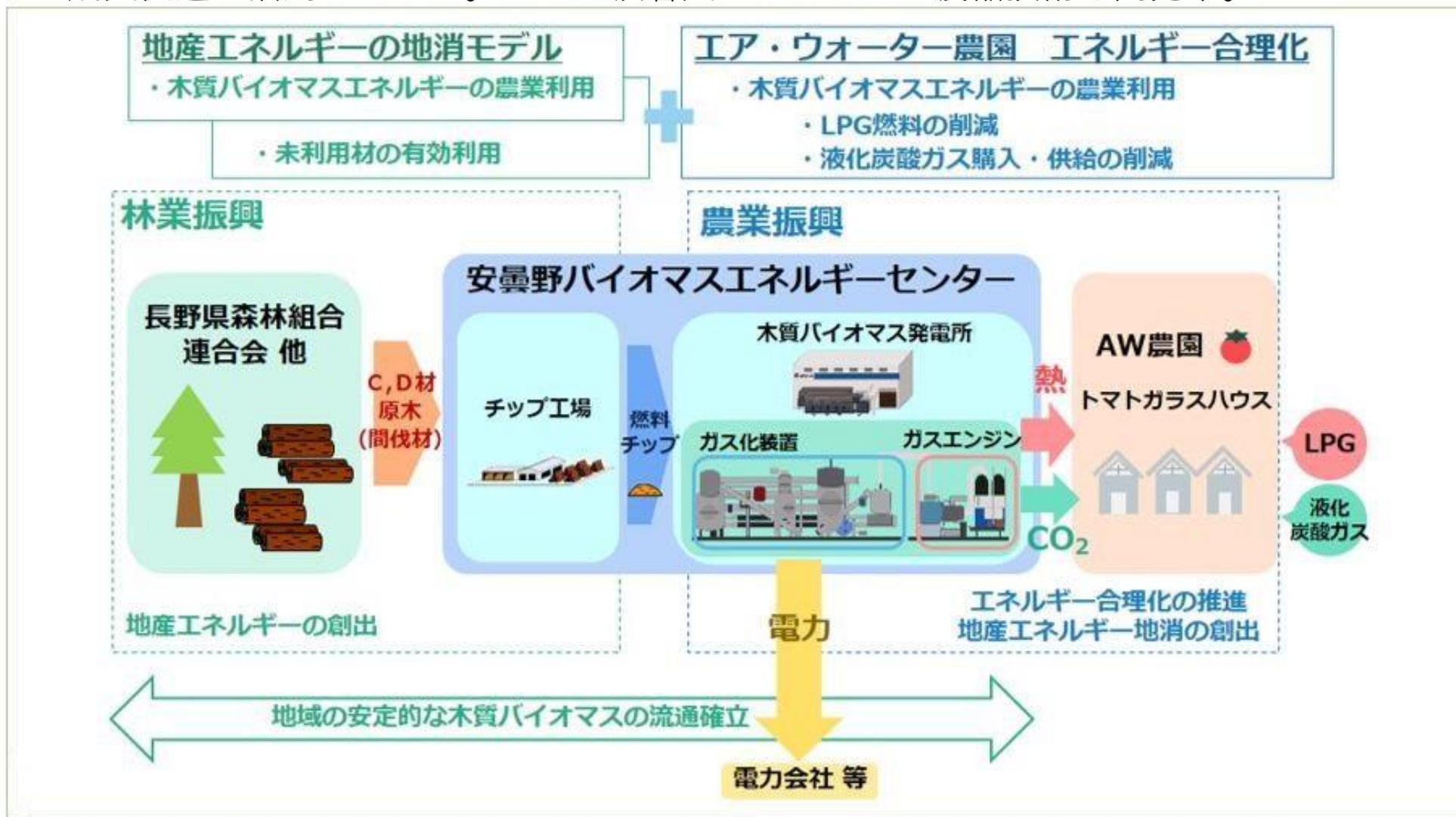
バイオマス発電排ガス
利用のケース



「液化CO₂」はCO₂の純度が高いのでクリーンで安全という点と食品利用の観点から消費者対策として高額ではあるが持ちいられる。バイオマス発電所排ガスを用いる場合、「CO₂分離回収」は現在の「液化CO₂」利用と同様のケースになると推測される。

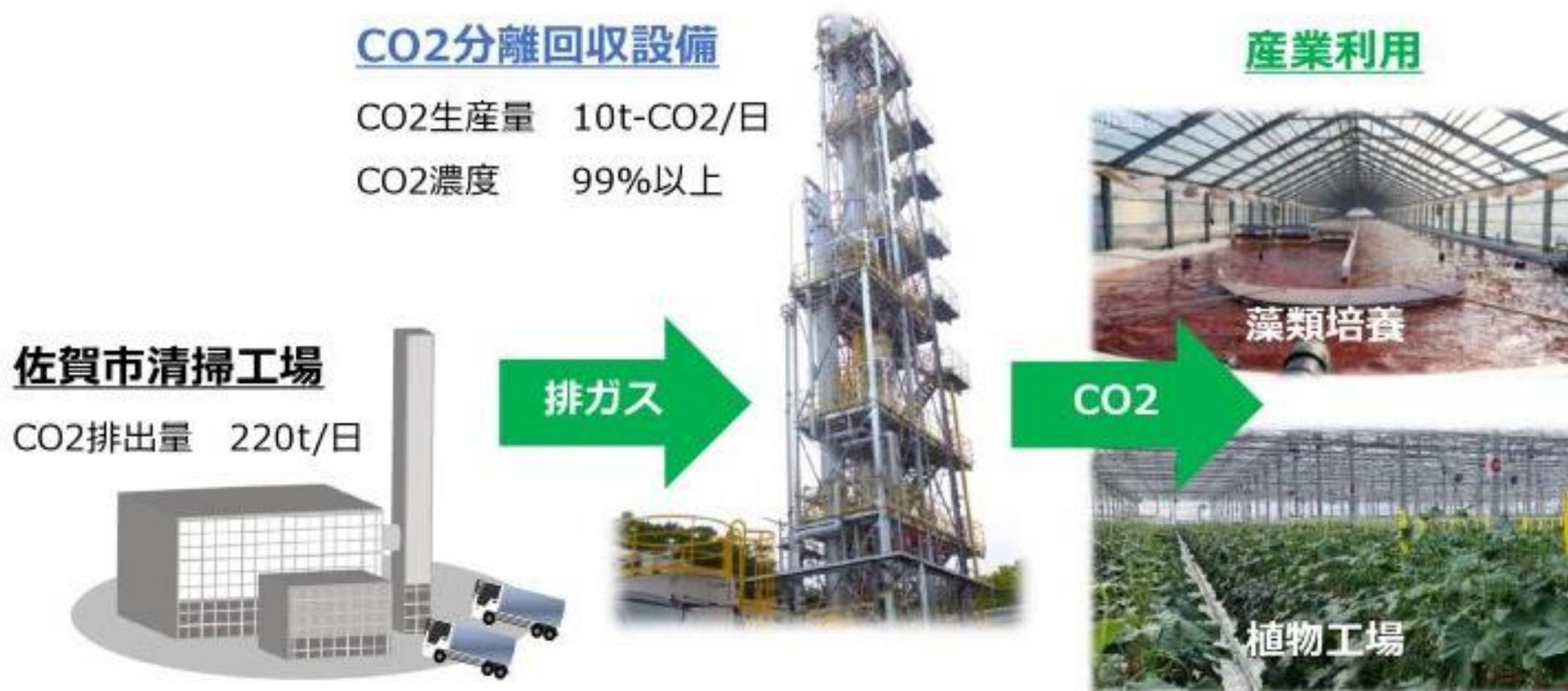
バイオマス発電所排ガスの施設園芸利用 例1：エアーウォーター安曇野

特徴：ガス化発電装置の排ガスから、除去すべき微量成分（NO_xやCO）を処理した後の排ガス（CO₂ 15%程度、残りはN₂・O₂などAir成分）をCO₂濃縮することなく供給し、ハウス内で自然希釈してトマトの成長促進に活用している。ただし吸着法によるCO₂の濃縮技術も開発中。



バイオマス発電所排ガスの施設園芸利用 例2：佐賀市

特徴：清掃工場排ガスは厳しい環境基準に基づいて管理されているが、一方施設園芸や藻類培養の事業者は食品製造の基準を順守しており、食品製造にもちいられる炭酸ガスの基準に準拠する性状の二酸化炭素を供給するため二酸化炭素のみを分離回収している。今後こうした分離回収技術も省力、省スペース化が図られていくことを期待している。



バイオマス発電所排ガスの施設園芸利用 例3：太平電業

特徴：農作物育成だけを考えるのであれば、高純度のCO₂を回収する必要は無く、ボイラ排ガスより有害物質を除去した上で農業利用できる。消費者が抱く回収排ガス環境で育った農作物に対するマイナスイメージ（人体への影響）を払拭するためCO₂回収装置にて回収したCO₂を使用する。

三菱重工エンジニアリングは広島市のバイオマス発電所向けに小型の二酸化炭素（CO₂）回収装置を受注した。装置の回収能力は300kg/dayで、2022年6月の稼働を予定。CO₂排出量を削減量が上回る「カーボンマイナス」を、この発電所が実現できるようにする。

回収装置を設置するのは、広島市北西部に位置する西風新都バイオマス発電所。

回収したCO₂は、構内にある農業用ハウスで農作物の育成に活用する。

発電所の出力は7100kW。2019年10月の運転開始で、燃料には木質チップを使用する。

回収装置は、英国の実証で使った試験機をベースに開発。自動運転機能などを追加し、商用機としての利用を可能にした。CO₂を吸収するアミン吸収液に関西電力と共同開発した「KS-1」を用いることで、高い回収率も実現した。三菱重工エンジとして、商用のバイオマス発電所からCO₂を回収するのは初となる。

回収装置は、設置に必要な敷地面積が全長5メートル、全幅2メートルと小型で、トラック輸送も可能。量産しやすいモジュール構造も採用することで、多様な排出源に対応できるようにした。自家発電設備や小型発電所、工場などへの展開を目指す。今後は、遠隔監視システムによる運転支援サービスの提供も進める。

電気新聞2021年12月2日