

# 「トランジション・ファイナンス」に関する 紙・パルプ分野における技術ロードマップ（案）

2022年2月

経済産業省

# 目次

章	節	概要
1. 前提		<ul style="list-style-type: none"><li>紙・パルプ分野の技術ロードマップの必要性</li><li>本ロードマップの目的・位置づけ</li></ul>
2. 紙・パルプ産業について	● 紙・パルプ産業の概要	<ul style="list-style-type: none"><li>紙・パルプの製造工程</li><li>紙・パルプ産業における資源循環</li></ul>
	● CO2排出とエネルギーの現状	<ul style="list-style-type: none"><li>CO2排出量とエネルギー構成</li><li>製造工程におけるエネルギー消費量</li></ul>
	● 脱炭素化に向けた方向性	<ul style="list-style-type: none"><li>脱炭素化に向けた全体像</li><li>脱炭素の手法まとめ</li></ul>
3. カーボンニュートラルへの技術の道筋	● CNに向けた低炭素・脱炭素技術	<ul style="list-style-type: none"><li>カーボンニュートラル実現に向けた短中長期の技術オプションの内容</li></ul>
	● 技術ロードマップ	<ul style="list-style-type: none"><li>カーボンニュートラル実現に向けて国内で必要となる技術と想定される技術開発を2050年までの時間軸にマッピング</li></ul>
	● 科学的根拠／パリ協定との整合	<ul style="list-style-type: none"><li>本ロードマップで想定する技術およびCO2排出についてパリ協定との整合を確認</li></ul>
4. 脱炭素化及びパリ協定の実現に向けて		<ul style="list-style-type: none"><li>脱炭素電源など他分野との連携</li><li>本ロードマップの今後の展開</li></ul>

# 内容

## 1. 前提

## 2. 紙・パルプ産業について

## 3. カーボンニュートラルへの技術の道筋

## 4. 脱炭素化及びパリ協定の実現に向けて

# 1. 前提 | 紙・パルプ分野の技術ロードマップの必要性

- トランジション・ファイナンスに関するロードマップ（以下技術ロードマップ）は、CO2多排出産業であり、かつ排出ゼロのための代替手段が技術的・経済的に現状利用可能ではなく、トランジションの重要性が高いことなどを理由に分野を選定している。
- 紙・パルプ産業は、新聞用紙、コピー用紙、出版用紙といった「情報用」、段ボール、クラフト紙といった「包装用」、トイレットペーパー、ティッシュペーパー、タオル用紙といった「衛生用」など、**日常の中で毎日接する生活必需品である紙、板紙製品を安価で安定的に供給**し、産業活動や家庭生活を支えながら、人々の生活の中に広く深く浸透している。
- また、再生可能資源を原料とし、使い終わった紙は可能な限り古紙として回収して再利用、パルプを作る際の副生物である黒液をバイオマス燃料として活用、建築廃材や廃棄物を燃料として活用するなど、**循環型社会の形成になくてはならない産業**となっている。
- 他方、紙・パルプ産業は現時点でCO2多排出な産業分野であり、国内の製造業の中で4番目の規模のCO2を排出している。**紙・パルプ分野のネットゼロに向けた移行は不可欠**であり、低炭素化に向けた省エネ設備の更新・導入等とともに、既存設備や関連機器の有効活用、脱炭素化に向けた革新的技術の研究開発・実装など、多額の資金調達が必要となるため、国内外の技術を整理し、2050年までの道筋を描いた。
- 脱炭素に向けた技術革新や事業構造の変革は企業の強みとなる。2020年時点で3,500兆円(35兆ドル：世界持続的投資連合調べ)規模にまで拡大した世界のESG資金を呼び込むために、投資家の視点も理解しながら、多排出産業もその戦略を開示することが求められている。
- 日本の紙・パルプ産業の国際競争力向上に寄与する観点も踏まえ、技術、金融の有識者および紙・パルプ分野の事業者の代表を含めて議論を行い、本技術ロードマップを策定した。

# 1. 前提 | ロードマップの目的・位置づけ①

- 本技術ロードマップは、「クライメート・トランジション・ファイナンスに関する基本方針」（2021年5月金融庁・経済産業省・環境省）を踏まえ、我が国紙・パルプ産業における企業が、トランジション・ファイナンス（注）を活用した気候変動対策を検討するにあたり参照することができるものとして、策定するものである。
- 銀行、証券会社、投資家等に対して、当該企業が行う資金調達において、脱炭素に向けた移行の戦略・取組がトランジション・ファイナンスとして適格かどうかを判断する際の一助とするものである。
- 本技術ロードマップは、2050年のカーボンニュートラル実現を最終的な目標とし、現時点で入手可能な情報に基づき、2050年までに実用化が想定される低炭素・脱炭素技術や、それらの実用化のタイミングについて、イメージを示すものである。
- 本技術ロードマップは、パリ協定に基づき定められた国の排出削減目標（NDC）※<sup>1</sup>やグリーン成長戦略※<sup>2</sup>、グリーンイノベーション基金における研究開発・社会実装計画※<sup>3</sup>と統合的なものとなっている。
- 紙・パルプ産業におけるカーボンニュートラルの実現には、燃料転換が軸となり、新たなカーボンニュートラル燃料等の革新的技術が注目されているところ、早期の実用化は難しく、2030年や2040年を見据えたトランジション期間においては、化石燃料から木質バイオマス等の再生可能エネルギーやCO<sub>2</sub>排出量の少ない天然ガスや廃棄物燃料への「移行」を進めていくことが重要である。

（注）「トランジション・ファイナンス」とは、基本指針において、『気候変動への対策を検討している企業が、脱炭素社会の実現に向けて、長期的な戦略に則った温室効果ガス削減の取組を行っている場合にその取組を支援することを目的とした金融手法をいう』とされている。

※ 1 : <https://www.kantei.go.jp/jp/singi/ondanka/kaisai/dai41/siryou1.pdf>

※ 2 : <https://www.meti.go.jp/press/2021/06/20210618005/20210618005-3.pdf>

※ 3 : <https://www.nedo.go.jp/content/100932374.pdf>

## 1. 前提 | ロードマップの目的・位置づけ②

- トランジション・ファイナンスの対象には、自社の低炭素・脱炭素化に向けた設備や研究開発への投資だけでなく、既存設備の解体・撤去費用、排出削減の取組により生じる外部環境や社会的な影響（事業撤退や廃炉等に伴う土壌汚染、雇用への影響等）への対応、他分野のトランジションに貢献する取組・活動等も含まれる。
- 紙・パルプ分野においても、本資料のP20に示すような他産業の脱炭素に貢献する製品（エコプロダクツ）は、トランジション・ファイナンスの対象になりうる。なお、クライメート・トランジション・ファイナンスに関する基本指針P8では、『トランジション・ファイナンスでは、自社の経済活動に伴う排出削減を対象にした戦略・計画を持つ主体だけでなく、自社の製品・サービスを通じて、他社のトランジション戦略の実現を可能にする取組を計画している主体も対象となる。』とある。
- これらは脱炭素化に向けた社会経済全体に寄与する重要な要素である一方で、極めて広範囲な取組・活動にわたることから、本技術ロードマップについては、主に紙・パルプ分野における低炭素・脱炭素に向けた「技術」を取り扱う。

# 内容

1. 前提

2. 紙・パルプ産業について

3. カーボンニュートラルへの技術の道筋

4. 脱炭素化及びパリ協定の実現に向けて

## 2. 紙・パルプ産業について

◆紙パルプ産業の概要

◆CO<sub>2</sub>排出とエネルギーの現状

◆脱炭素化に向けた方向性

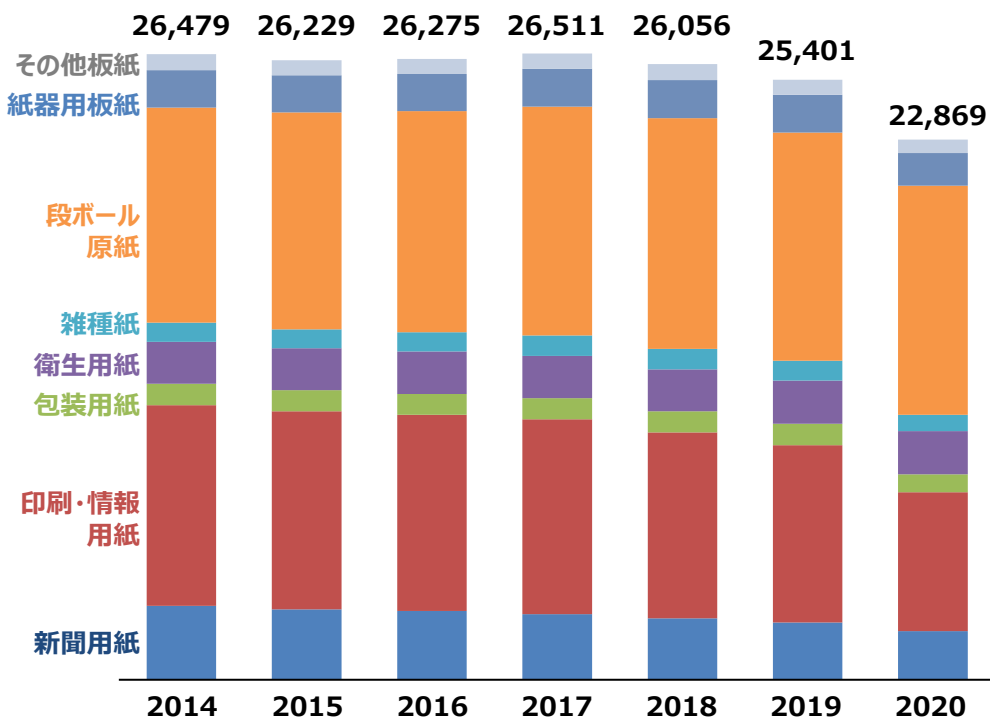


## 2. 紙・パルプ産業について | 産業規模

- **国内総出荷額は約7.5兆円**（製造業全体の約2.3%）。**従業員数は約18.7万人。**
- デジタル化や少子化等の構造的要因により、**印刷・情報用紙を中心に国内需要は減少傾向。**
- 木質原料からパルプ及び紙・板紙を製造し、あらゆる加工技術により**情報用や包装用、衛生用などの各種産業活動や家庭生活を支える紙・板紙製品を製造。**

### 紙・板紙生産量（千トン）

- デジタル化の影響もあり、新聞用紙、印刷・情報用紙は生産量が減少
- 一方で、段ボール原紙はECの拡大等に伴い生産量が小幅ながら増加



### 紙・板紙の主な種類と用途

- 紙・板紙は、情報、包装、衛生、その他様々な用途で利用されており、多様な産業活動・家庭生活を下支えしている。

紙・板紙			
情報	包装	衛生	その他
<b>新聞用</b> ・新聞用紙 <b>情報用</b> ・情報用紙 <b>印刷用</b> ・上級印刷紙 ・薄葉印刷紙 ・特殊印刷紙 ・中級印刷紙 ・下級印刷紙 ・アート紙 ・その他塗工紙 ・微塗工上質紙 など	<b>袋・包み袋用</b> ・両更クラフト紙 ・純白ロール紙 など <b>段ボール用</b> ・外装用クラフトライナー ・内装用ライナー ・中芯原紙 など <b>紙器用</b> ・白ボール ・マニラボール ・黄板紙 ・色板紙 など	<b>衛生用</b> ・トイレトペーパー ・ティッシュペーパー ・タオル用紙 など	<b>工業用</b> ・壁紙 ・積層板 ・食器容器 ・電気絶縁紙 ・グラス紙 ・ライスペーパー ・建材原紙 ・ワンプ など <b>家庭用</b> ・書道用紙 など

## 2. 紙・パルプ産業について | 紙・パルプの製造工程

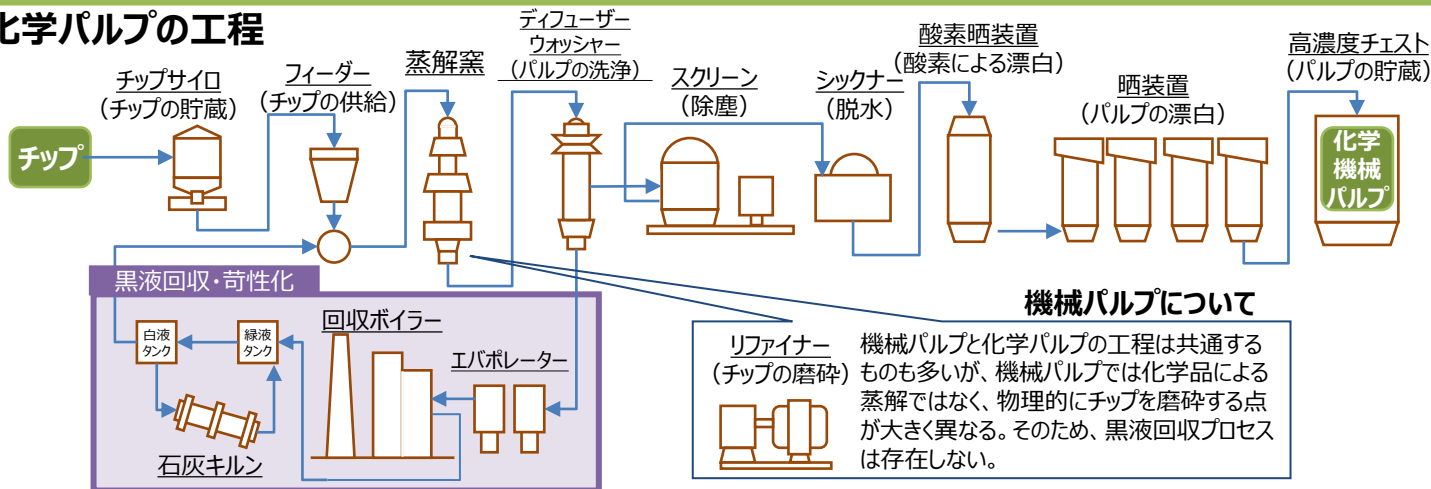
- 紙・パルプの製造工程は、木質チップと古紙を原料としてパルプを作る前工程と、パルプから紙を作る後工程からなり、蒸解や乾燥の工程に多くの熱・電気を必要としている。

パルプ製造

### 化学・機械パルプ

- 木質チップを原料にパルプを製造するプロセス。
- チップを薬品で蒸解する化学パルプと、物理的に磨砕する機械パルプがある。
- 化学パルプ製造で生じた黒液は回収され、エネルギー源として利用される他、利用した薬品も回収して再利用される。

### 化学パルプの工程

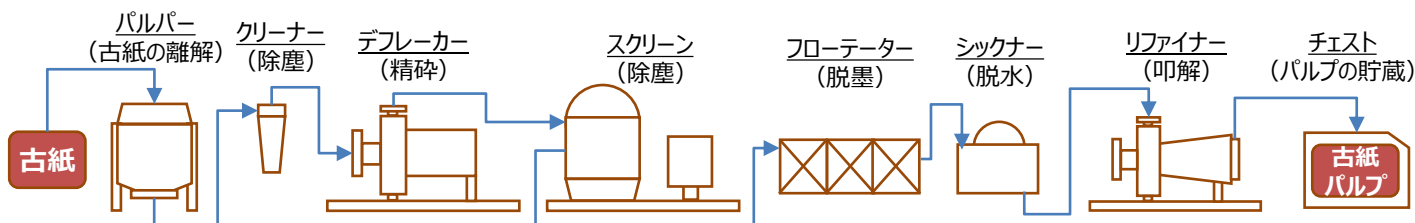


### 機械パルプについて

リファイナー 機械パルプと化学パルプの工程は共通する（チップの磨砕）ものも多いが、機械パルプでは化学品による蒸解ではなく、物理的にチップを磨砕する点が大きく異なる。そのため、黒液回収プロセスは存在しない。

### 古紙パルプ

- 古紙を原料にパルプを製造するプロセス。
- 古紙を離解・除塵・脱墨等することで、パルプ化する。



### 抄紙・塗工

- パルプから紙を製造するプロセス。
- 99%水分を含んだパルプを搾水・熱等により乾燥させることで、紙にする。
- 添加剤等により紙の表面を塗工する。

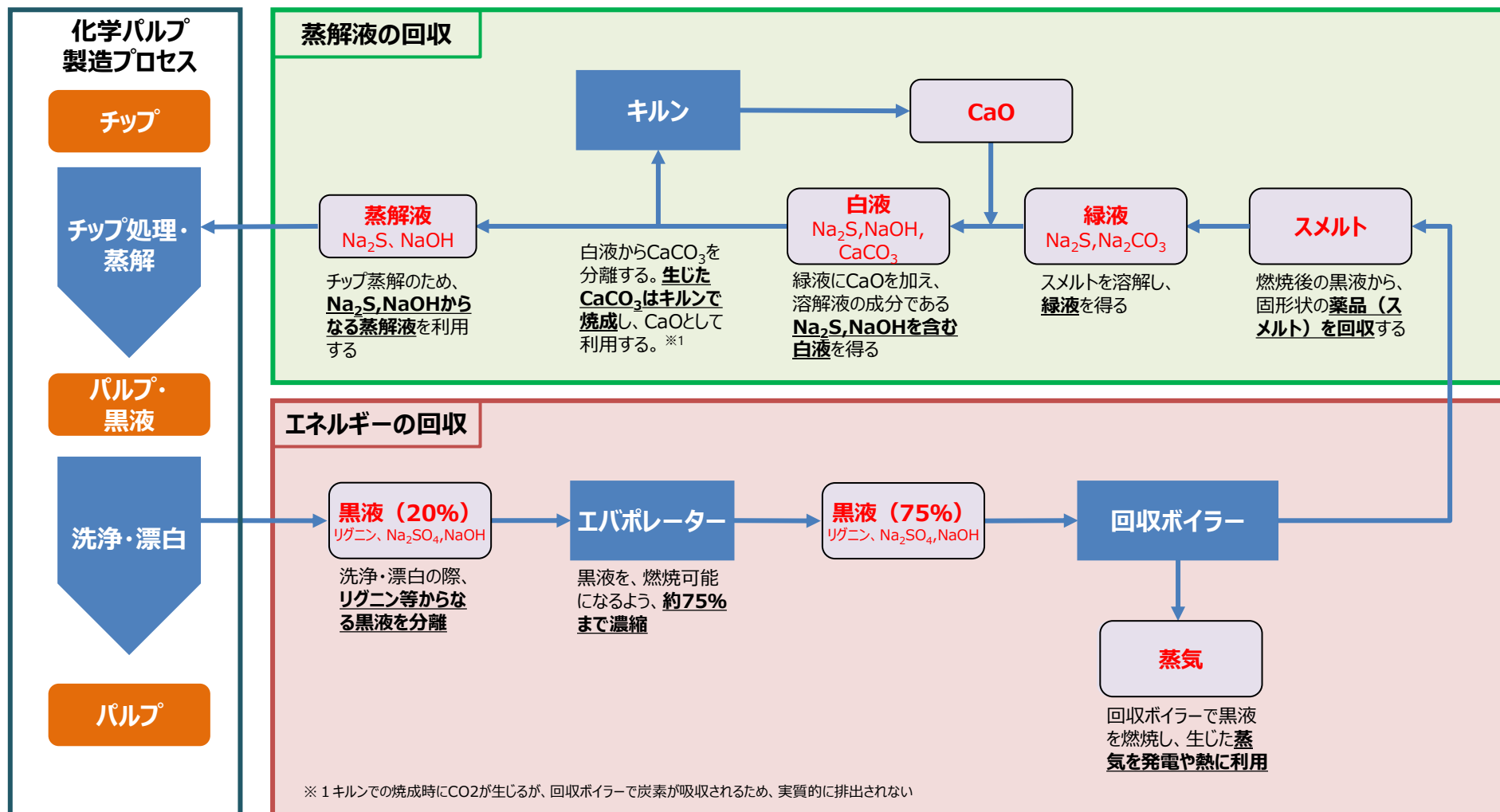
### 化学・機械パルプ 古紙パルプ



紙製造

## 2. 紙・パルプ産業について | 化学パルプ製造に伴うエネルギー及び使用薬品の有効利用

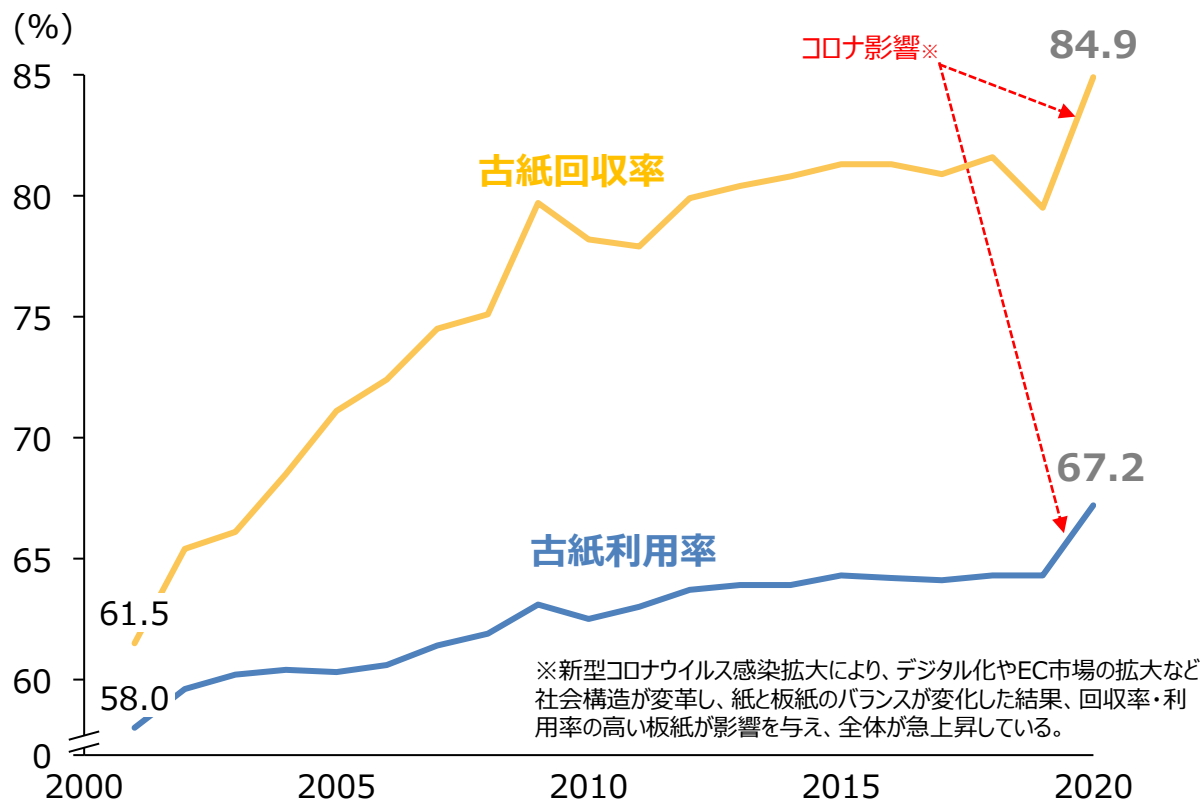
- 化学パルプの製造工程で生じる黒液（リグニンを主成分とする廃液）を濃縮し、回収ボイラーで燃料利用している。また、ボイラーで燃焼後の黒液から薬品を回収、苛性化することで蒸解に使う成分を生成し、エネルギーの有効利用と薬品の循環を効率的に行っている。



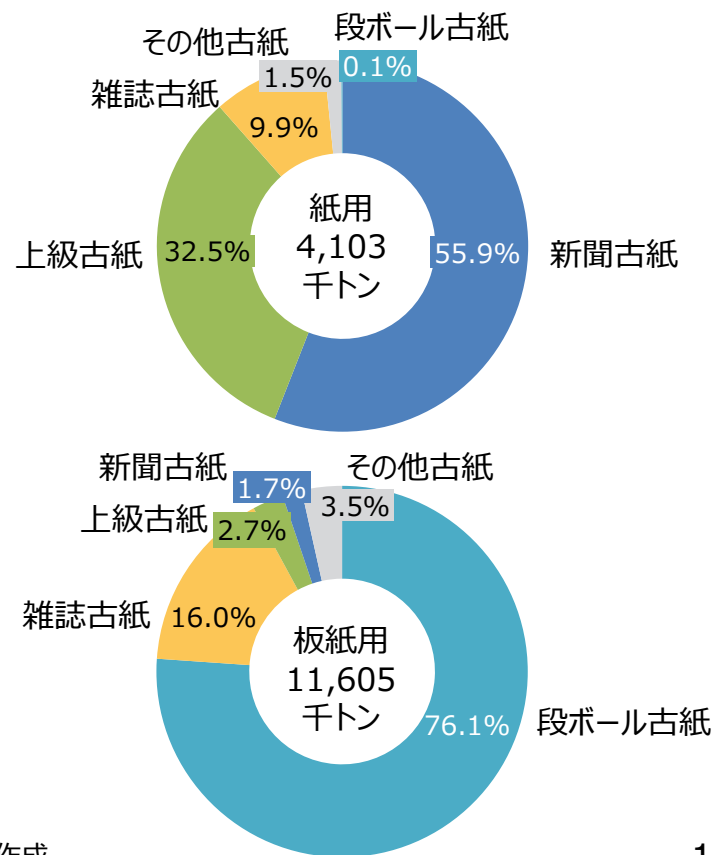
## 2. 紙・パルプ産業について | 古紙リサイクルによる資源循環

- 我が国の古紙回収率・利用率は世界的に高水準であり、**資源循環社会を形成**している。紙の生産者かつ古紙の需要者として、**古紙利用を促進**しており、原料確保の観点からも、**難処理古紙（従来、回収・利用困難であった紙ゴミ）の活用拡大の取組も進めている**。
- 他方で、**紙の品質を保つためこれ以上の古紙利用は難しく**、国内で余剰した古紙は東南アジア等へ輸出されている。

古紙の回収率及び利用率の推移



古紙の紙・板紙別消費量（2020年）



## 2. 紙・パルプ産業について | 持続的な森林経営

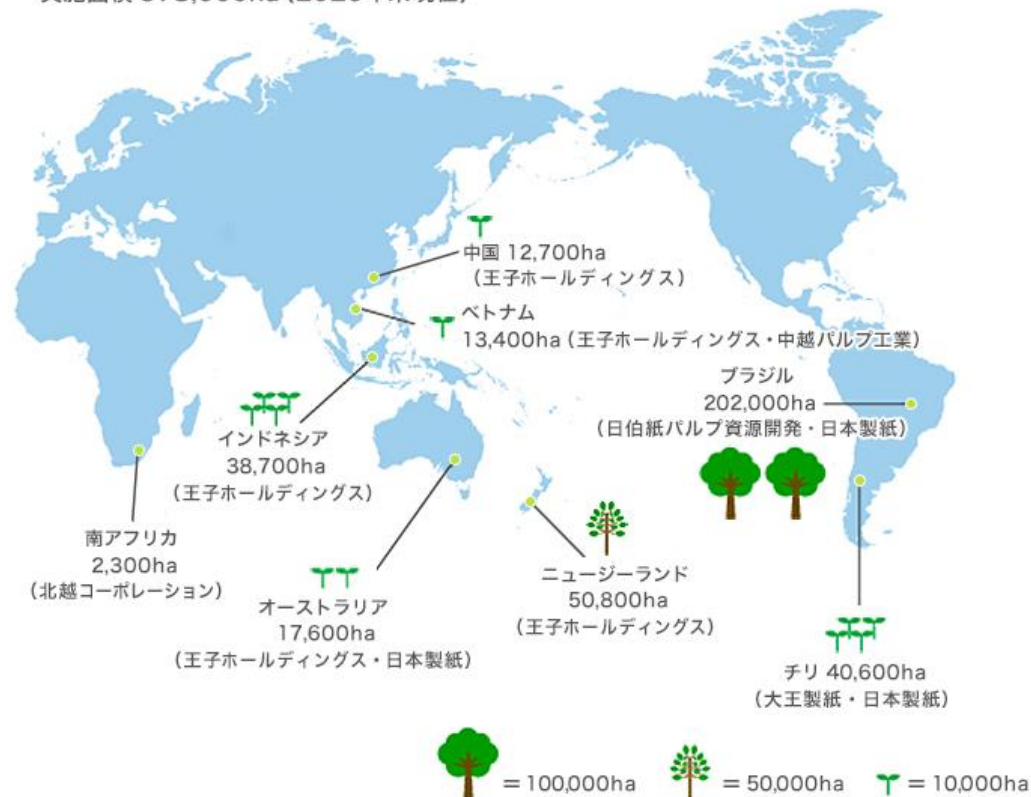
- 製紙業界では、原燃料となる森林を保有しており、適切な管理を通じて、生物多様性の保全をはじめ持続可能な森林経営を進め、CO2吸収・固定化の促進に寄与している。
- 計画的な伐採・再植林、植林面積の拡張、環境適応性や生長量が高い林木育種の推進によるCO2吸収・固定量の拡大により、社会全体のカーボンニュートラルに貢献することができる。

### 産業植林のイメージ



### 製紙業界の海外植林

実施面積 378,000ha (2020年末現在)



## 2. 紙・パルプ産業について

◆紙パルプ産業の概要

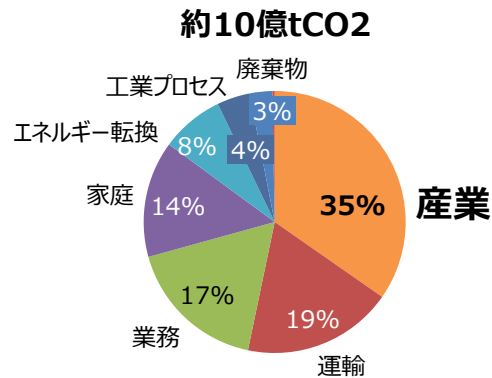
◆CO<sub>2</sub>排出とエネルギーの現状

◆脱炭素化に向けた方向性

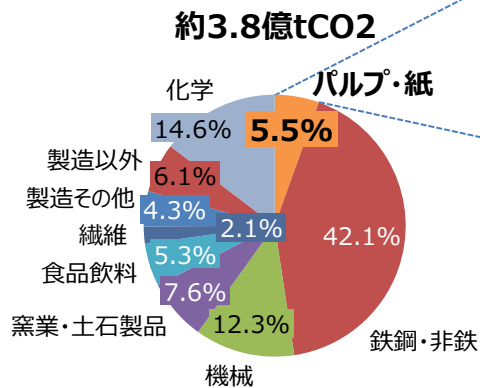
## 2. 紙・パルプ産業について | CO2排出量

- 2019年度の我が国のCO2排出のうち、**産業部門のCO2排出は35%**。
- このうち、**約5%を占める紙・パルプ産業**においては、**CO2排出量の削減は喫緊の課題**。
- 紙・パルプの原料は木質資源であるため、自家発電による**エネルギー起源の排出が大半**。

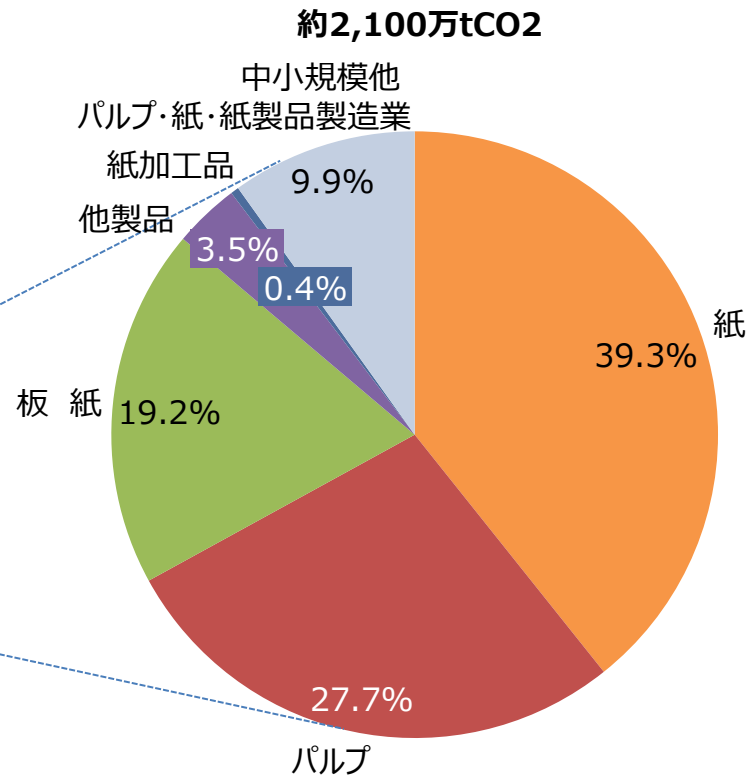
我が国全体（2019年度）



産業部門（2019年度）



紙・パルプ業 排出内訳（2019年度）



（出典）国立研究開発法人国立環境研究所「日本の温室効果ガス排出量データ」（2019年度確報値）

（出典）経済産業省「総合エネルギー統計」（2019年度確報値）

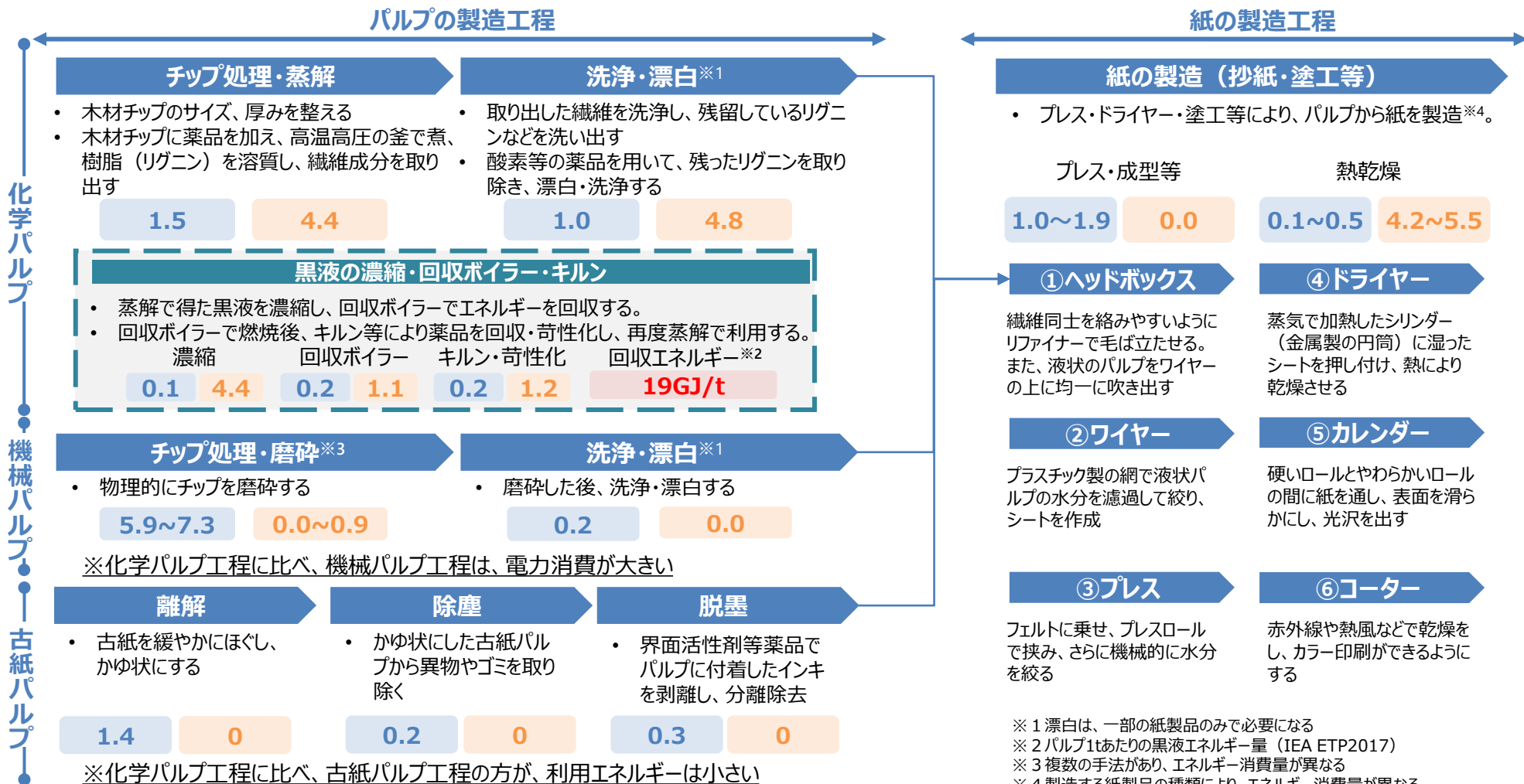
## 2. 紙・パルプ産業について | エネルギー消費量

- パルプ・紙の製造工程では、**動力として電力を利用するとともに、蒸解・乾燥等の工程で多くの蒸気（熱）を利用する。黒液回収工程では消費量以上のエネルギーを得ることができる。**

### パルプ・紙の製造工程の概要及び1トンあたりのエネルギー消費量

電力消費<sup>※5</sup>  
GJ/t

熱消費  
GJ/t

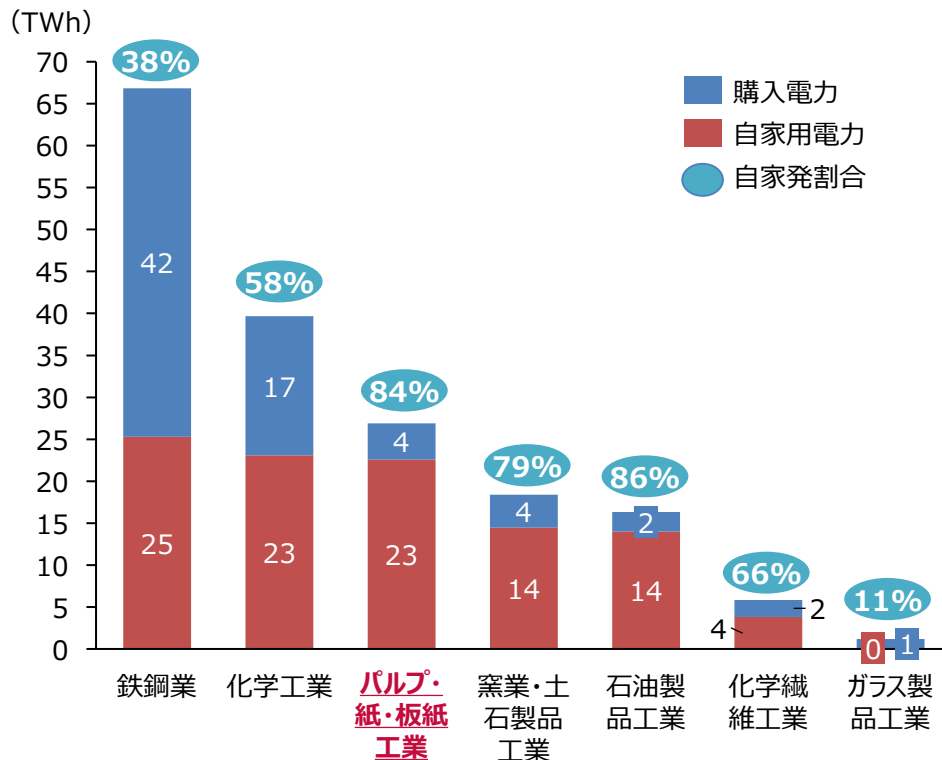




## 2. 紙・パルプ産業について | 自家発割合とエネルギー構成

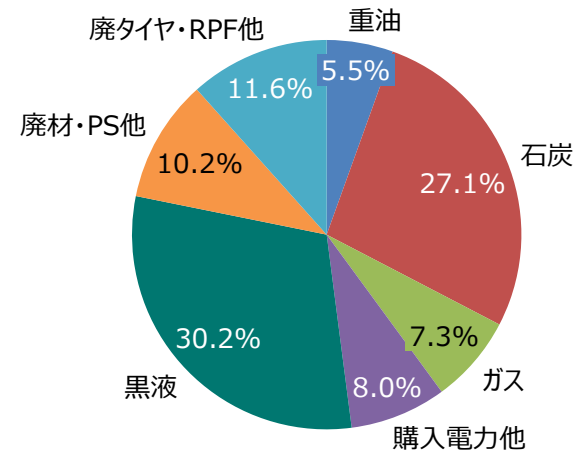
- 紙の製造は、**大量の水で希釈したパルプ（パルプ1：水99）を抄いて絞って乾燥させるため、大量の熱と電気を必要とする。**そのため、ボイラーで燃料を焚いて熱・電気を生み出しており、電力消費量に対する**自家発割合が高くなっている。**全国の工場からは、災害時も含め周辺地域への電力供給を行っている。
- エネルギー源は、**化学パルプ製造時に生じる黒液割合が最も高く、その発生量はパルプの需要に左右されるもの全量燃料利用している。**他方で、**石炭や重油等の化石燃料も高い。**

産業別電力消費量及び自家発割合（2020年）



紙・パルプ産業のエネルギー種別消費量（2020年）

合計：約437PJ



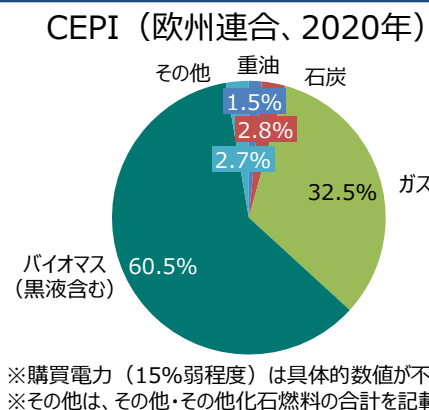
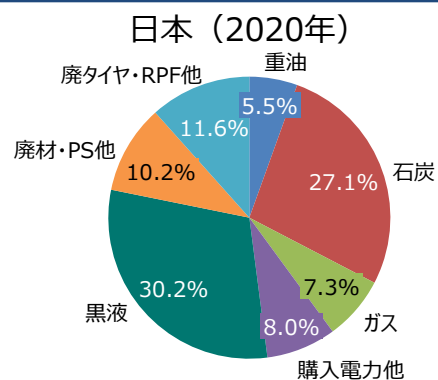
紙・パルプ産業のエネルギー消費内訳（2020年）



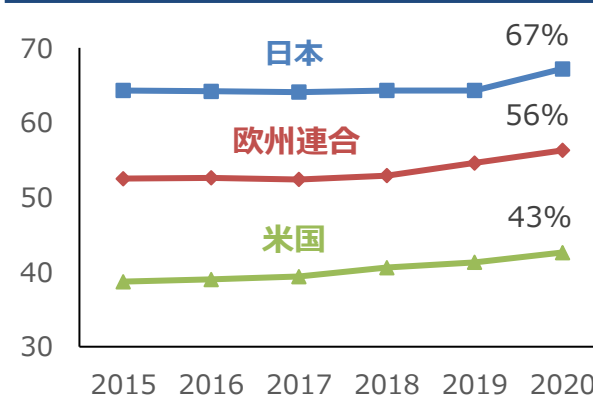
## 2. 紙・パルプ産業について | 世界の紙・パルプ産業の動向

- 欧米の製紙工場は、豊富な森林資源から安価なパルプを大量に生産することで、大量の黒液を得るとともに、バイオマス燃料も安価に入手可能であることから、これらを最大限活用している。
- 他方で、日本は国産材が比較的高価であるため、船舶輸送費を掛けて海外から輸入した木材を多く利用しており、この状況を補う意味でも古紙利用を促進してきた。このため黒液の発生量は限定的であり、安価な石炭をはじめとしたその他の燃料への依存度も高い。
- 省エネ・高効率化、再エネ等への燃料転換を中心に取組を進めている欧米企業も参考にしつつ、我が国の状況に応じた対応策を検討し、推進していくことが求められる。

### 世界の紙・パルプ産業のエネルギー構成



### 世界の古紙利用率



### 世界の主な製紙企業の動向

- 毎年1%のエネルギー効率化を実現するとともに、木材ベースのバイオマスの活用やコスト効率的な水素発電の使用、原子力を含むCO2フリーエネルギー由来の電力の購入により、2030年までに2015年比で65%の排出削減を実現する（フィンランド企業）
- LED電力、バイオマスボイラーの最新設備の導入等に加え、再生可能エネルギー電力への転換やWaste to Energy、嫌気性ガスタービンなどの導入により2030年までに2019年比40%削減、2050年ネットゼロを目指す（英国企業）
- 省エネルギーの実践とともに、2025年末までにDongguan地域にあるすべてのボイラーを石炭からガス火力ボイラーに代替することで、2060年カーボンニュートラルとの国の目標実現に対応する（中国企業）

## 2. 紙・パルプ産業について

◆紙パルプ産業の概要

◆CO<sub>2</sub>排出とエネルギーの現状

◆脱炭素化に向けた方向性

## 2. 紙・パルプ産業について | 製紙業界における脱炭素に向けた長期ビジョン

- **日本製紙連合会は2021年1月、「製紙業界—地球温暖化対策長期ビジョン2050」を発表。**  
また、**大手製紙メーカー各社も2050年カーボンニュートラルを宣言している。**

### 日本製紙連合会の生産活動におけるCO2排出量削減方法

#### 最新の省エネルギー設備・技術の積極的導入等による省エネの推進

- 最新の省エネルギー設備・技術の導入
  - 製造工程の見直し
  - エネルギー管理の徹底
- ※新規または老朽化設備の更新では、従来型の石炭ボイラーの導入はしない

#### 製紙に関連した革新的技術(イノベーション)の実用化に挑戦

- 抄紙機ドライヤーとキルンの電化
- プレスでの水分量低下によるドライヤーでの乾燥効率の改善
- 高効率なパルプ製造方法の開発
- エネルギー効率の高い黒液濃縮設備の開発
- ドライヤーフード、製紙排水等での廃熱回収技術の開発

#### 自家発電設備における再生可能エネルギーの利用比率の拡大

- 国内外の燃料用木質バイオマスの安定確保
- バイオマス燃料化技術開発の導入
- 水力、太陽光、風力、地熱などの再生可能エネルギー設備の導入

#### エネルギー関連革新的技術の積極的採用

- CCS、CCUS
- カーボンニュートラルなガス及びプラスチック等の廃棄物のエネルギー利用
- カーボンニュートラルな購入電力の利用

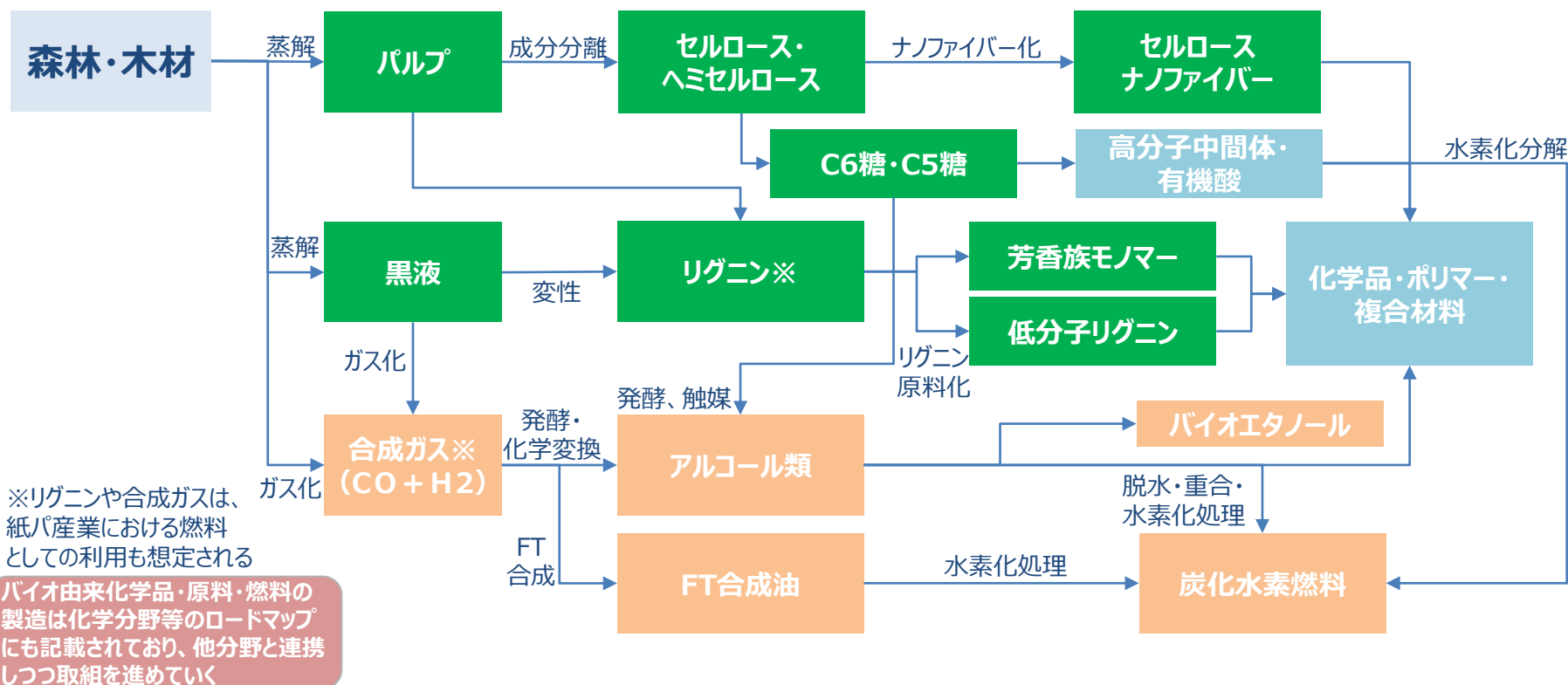
## 2. 紙・パルプ産業について | 脱炭素化に向けた方向性

- 2050年カーボンニュートラルの実現に向け、製造工程において電力や熱を多く使用する乾燥工程を中心に、省エネルギー設備の導入や革新的な省エネルギー技術の開発を進める。
- 2030年に向けては、CO2排出の主な要因である自家発蒸気・電力の燃料を、石炭から木質バイオマス等の再生可能エネルギーへ転換を進めることが必要であり、2050年に向けては、更なる燃料転換を進めるとともに、化石燃料が残る可能性に備え、CO2回収・固定・再利用技術の導入検討も進める。黒液が得られない工場や中小企業等においても、天然ガスや廃棄物、太陽光等の再生可能エネルギーを活用した燃料転換を進める。
- 加えて、製紙業界は所有する森林面積が多く、持続可能な森林経営の促進や植林技術の開発により森林によるCO2吸収・固定化を拡大させ、社会全体のカーボンニュートラルに貢献できる。また、クレジット制度の整備により、森林によるCO2吸収を適正に価値化することで、より高度な森林経営を図ることができる。
- 木材からパルプ・リグニン等を成分分離する紙・パルプ産業の技術は、化石資源由来の化学製品に替わり木質資源から化学製品を製造する「バイオリファイナリー」技術として展開することで、社会全体のカーボンニュートラルに貢献する。また、木質資源由来のカーボンニュートラルな環境対応素材を用いた製品を提供することで、サプライチェーン全体でのCO2削減に寄与する。例えば、セルロースナノファイバー複合材料やプラスチック代替の紙製品、木質資源を原料としたバイオプラスチック・セロファン等が挙げられる。
- 従来、市中ゴミとして焼却処理されてきた難処理古紙や一般廃棄物等を回収し、原燃料として再利用する仕組み・技術を開発することで、地域全体でのCO2排出削減に貢献する。

## 2. 紙・パルプ産業について | (参考) 木材の利用可能性

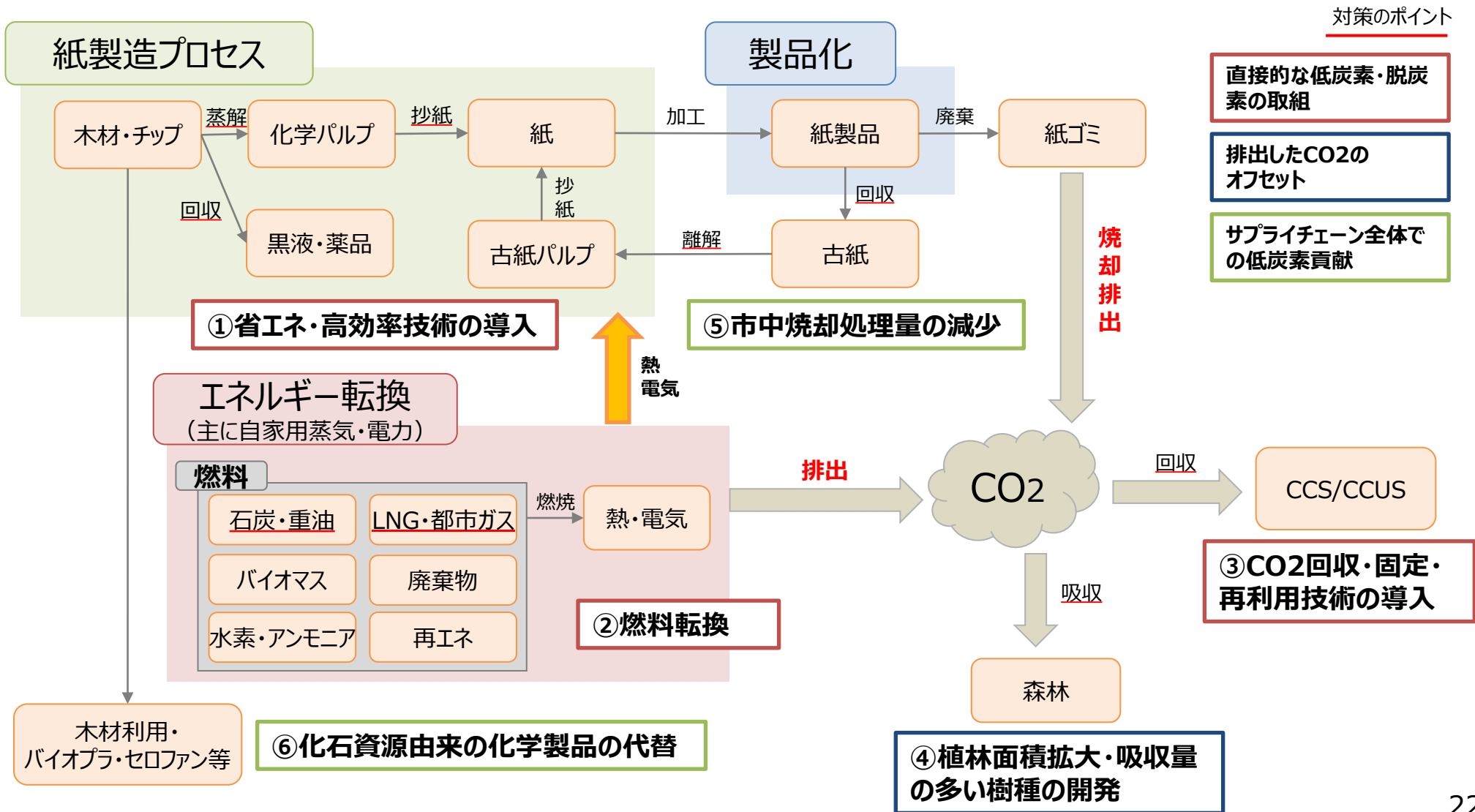
- 製紙業界では、木質バイオマスを原料とした化学製品の製造技術の開発を行っており、バイオファイナリーの一つとして、カーボンニュートラル社会の実現に資する取組として推進している。
- その中でもセルロースナノファイバー（CNF）は、軽量・高強度との特性を持つバイオマス由来の高性能素材であり、自動車や建材など幅広い分野への活用が想定されており、多くの製紙各社が開発・用途展開を進めている。

### 木材活用のイメージ



## 2. 紙・パルプ産業について | 脱炭素化に向けた全体像

- ①②③紙製造に伴う**直接的な低炭素・脱炭素**、④排出した**CO<sub>2</sub>のオフセット**、⑤⑥**サプライチェーン全体での低炭素貢献**を進める。



## 2. 紙・パルプ産業について | CO2排出源と脱炭素の手法まとめ

### 製紙業界の既存工程における取組（本技術ロードマップの対象）

	主な排出源	脱炭素への手法
①②③ パルプ・紙製造	<ul style="list-style-type: none"><li>自家用蒸気・電力を中心としたエネルギー利用による排出</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>省エネ技術等の活用</li><li>熱及びエネルギー利用時の燃料転換・電化</li><li>CCS/CCUSの実装</li></ul>
④植林	<ul style="list-style-type: none"><li>—</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>持続可能な森林経営の促進や植林技術の開発により森林によるCO2吸収・固定化を拡大させ、社会全体のカーボンニュートラルに貢献</li></ul>
⑤古紙リサイクル	<ul style="list-style-type: none"><li>古紙として回収されず、廃棄物として焼却処理されることによる排出</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>従来廃棄物とされている難処理古紙等を回収・再利用するシステム・技術を拡大することにより、社会全体のカーボンニュートラルに貢献</li></ul>

### その他の取組（他産業の脱炭素に資する取組）

⑥パルプの紙以外の用途への利用（バイオリファイナリー）	<ul style="list-style-type: none"><li>木材からパルプ・リグニン等を成分分離する紙・パルプ産業の技術は、化石資源由来の化学製品に替わり木質資源から化学製品を製造する「<u>バイオリファイナリー</u>」技術として展開することで、<u>社会全体のカーボンニュートラルに貢献する</u>。</li><li>木質資源由来のカーボンニュートラルな環境対応素材を用いた製品を提供することで、<u>サプライチェーン全体でのCO2削減に寄与する</u>。例えば、セルロースナノファイバー複合材料やプラスチック代替の紙製品、木質資源を原料としたバイオプラスチック等が挙げられる。</li></ul>
-----------------------------	---

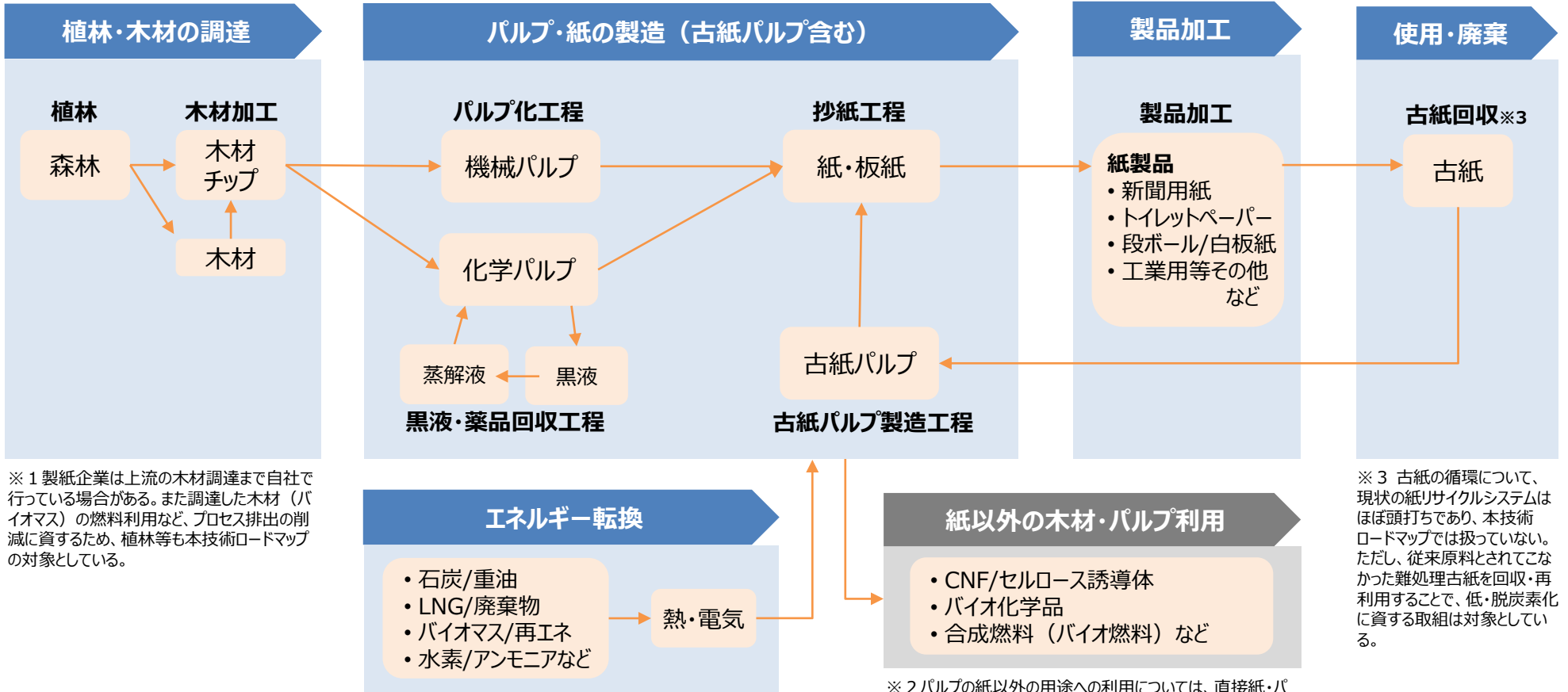


## 2. 紙・パルプ産業について | 技術ロードマップの対象

- 本技術ロードマップでは、**原燃料となる木材・古紙の調達から、紙・パルプ産業の根幹となるパルプ化工程及び抄紙工程、それに伴って重要となるエネルギー転換**までを、脱炭素に資する取組として対象とする。 ※1、2

### 紙・パルプ産業の概要と本技術ロードマップの対象

本技術ロードマップの対象 本技術ロードマップの対象外



※1 製紙企業は上流の木材調達まで自社で行っている場合がある。また調達した木材 (バイオマス) の燃料利用など、プロセス排出の削減に資するため、植林等も本技術ロードマップの対象としている。

※2 パルプの紙以外の用途への利用については、直接紙・パルプ産業の排出を削減する技術ではないため、本技術ロードマップの対象ではないが、トランジション・ファイナンスの対象にはなりうる。

※3 古紙の循環について、現状の紙リサイクルシステムはほぼ頭打ちであり、本技術ロードマップでは扱っていない。ただし、従来原料とされてこなかった難処理古紙を回収・再利用することで、低・脱炭素化に資する取組は対象としている。

# 内容

1. 前提

2. 紙・パルプ産業について

**3. カーボンニュートラルへの技術の道筋**

4. 脱炭素化及びパリ協定の実現に向けて

### 3. カーボンニュートラルへの技術の道筋 | CNに向けた低炭素・脱炭素技術①

製造プロセス

燃料製造

植林

技術名	概要	排出係数※1	実装年※2	主な参照先※3
省エネ・高効率 (ベストプラクティス)	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 製造工程の見直し (統合・短縮等)</li> <li>✓ エネルギー管理の徹底 (エネルギー管理システムの導入、管理方法の見直し等)</li> <li>✓ 老朽化設備省エネ・高効率化更新、LED照明採用</li> </ul>	-	既に導入	✓ 低炭素社会実行計画 等
高効率パルプ製造等	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 蒸解で生産される化学パルプを水ではなく蒸気で洗浄等</li> </ul>	省エネ - 30~40%	2020年代	✓ M.R. Mobarakeh 等
キルンの脱炭素化	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ パルプ製造における石灰燃焼工程を電化</li> <li>✓ キルン不使用の新たな薬品回収技術</li> </ul>	0.0~	2030年代	✓ 製紙業界 地球温暖化対策長期ビジョン
ドライシートフォーミング	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 水の代わりに空気を使用することで、乾燥工程のエネルギーを削減</li> </ul>	省エネ - 50%	2030年代	✓ M.R. Mobarakeh 等
高効率プレス技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 熱を用いたプレスで乾燥時の熱需要削減や機械圧と空気圧を組合せ等の省エネ技術</li> </ul>	省エネ - 8~40%	2030年代	✓ M.R. Mobarakeh 等
抄紙機ドライヤーの電化	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 抄紙工程において化石燃料を活用した乾燥設備を電化 (CN電源が前提)</li> </ul>	0.0~	2030年代	✓ 製紙業界 地球温暖化対策長期ビジョン
高効率乾燥技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 熱及び圧力を使用した機械的脱水や高圧条件における乾燥</li> </ul>	-	2030年代	✓ M.R. Mobarakeh 等
ガス乾燥	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ ガス燃焼からの高温ガスでの乾燥</li> </ul>	省エネ - ~20%	2030年代	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ M.R. Mobarakeh</li> <li>✓ Lingbo Kong et al 等</li> </ul>
リグニンの分離	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 木材等からリグニンを分離し、バイオ燃料として使用 (化学品にも活用可能)</li> </ul>	-	2020年代	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ IEA ETP2020</li> <li>✓ M.R. Mobarakeh</li> </ul>
黒液のガス化	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ パルプ化プロセスの副産物である黒液をガス化し、効率的にエネルギーを回収</li> </ul>	排出削減10%	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ IEA ETP2020</li> <li>✓ M.R. Mobarakeh</li> </ul>
早生樹・エリートツリー	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 適応性が高く、成長量も高い優れた樹種及びその造林</li> </ul>	-	既に一部で導入※4	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 革新的環境イノベーション戦略等</li> <li>✓ グリーン成長戦略</li> </ul>
スマート林業	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 自動化機械や森林クラウドと整合したICT生産管理システム等の開発、センシング技術を活用した造林作業の低コスト化・省力化</li> </ul>	-	2040年代	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 革新的環境イノベーション戦略等</li> <li>✓ グリーン成長戦略</li> </ul>

※1：排出係数は下工程も含んだもの。既存技術の排出係数をもとに、対象技術による削減幅より算出。削減幅は、当該工程における削減幅として記載。

※2：社会実装計画については導入拡大・コスト低減フェーズの開始年を、IEAの場合はAvailable Yearを参照。

※3：実装年の参照先には下線を付加

※4：一部地域では既に導入されているが、日本は国土が南北に長く各地域にあった樹種の選定・開発が必要であり、実証段階という面もある。

### 3. カーボンニュートラルへの技術の道筋 | CNに向けた低炭素・脱炭素技術②

自家用発電・蒸気

CCUS

技術名	概要	排出係数※1	実装年※2	主な参照先※3
省エネ・高効率化	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 高効率発電設備やCHPの導入</li> <li>✓ エネルギー管理システム等の導入</li> </ul>	—	既に導入	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 低炭素社会実行計画</li> <li>✓ グリーン成長戦略</li> </ul>
天然ガスへの燃料転換	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 燃料を天然ガスに転換（混焼・専焼）</li> </ul>	0.32~0.415 (kgCO2/kwh)	既に導入	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 低炭素社会実行計画</li> <li>✓ グリーン成長戦略 など</li> </ul>
バイオマスへの燃料転換	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 燃料をバイオマスに転換（混焼・専焼）</li> </ul>	0.0 (kgCO2/kwh)	既に導入	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 低炭素化実行計画</li> <li>✓ IEA ETP2020</li> </ul>
廃棄物のエネルギー利用	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ プラスチックやタイヤ、RPF、RDF等の廃棄物エネルギーを活用</li> </ul>	—※4 (kgCO2/TJ)	既に導入	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 低炭素化実行計画</li> <li>✓ グリーン成長戦略</li> </ul>
太陽光発電への転換	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 自家用電力を太陽光発電に切り替える</li> </ul>	0.0	既に導入	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ グリーン成長戦略</li> <li>✓ IEA ETP2020</li> </ul>
水素・アンモニア等への燃料転換	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 水素発電、アンモニア混焼、石炭ボイラーやガスタービンにおけるアンモニア専焼</li> </ul>	0.0~	2020年代以降	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ GI基金 - 社会実装計画</li> <li>✓ グリーン成長戦略</li> <li>✓ IEA ETP2020</li> </ul>
直接電気加熱	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 電気ボイラーから熱を生成</li> </ul>	0.0~ (kgCO2)	2030年代	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ M.R. Mobarakeh 等</li> </ul>
ヒートポンプにおける排熱回収	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ プロセスからの排熱を回収し、中温（160℃程度）に変換</li> </ul>	0.0~ (kgCO2)	2030年代	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ M.R. Mobarakeh 等</li> </ul>
排ガス等からのCO2分離回収	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 天然ガスやバイオマス燃焼等からのCO2回収</li> <li>✓ CCS/CCUS等の導入（BECCS等を含む）</li> </ul>	—	2020年代	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ グリーン成長戦略</li> <li>✓ GI基金 - 社会実装計画</li> <li>✓ IEA ETP2020</li> </ul>

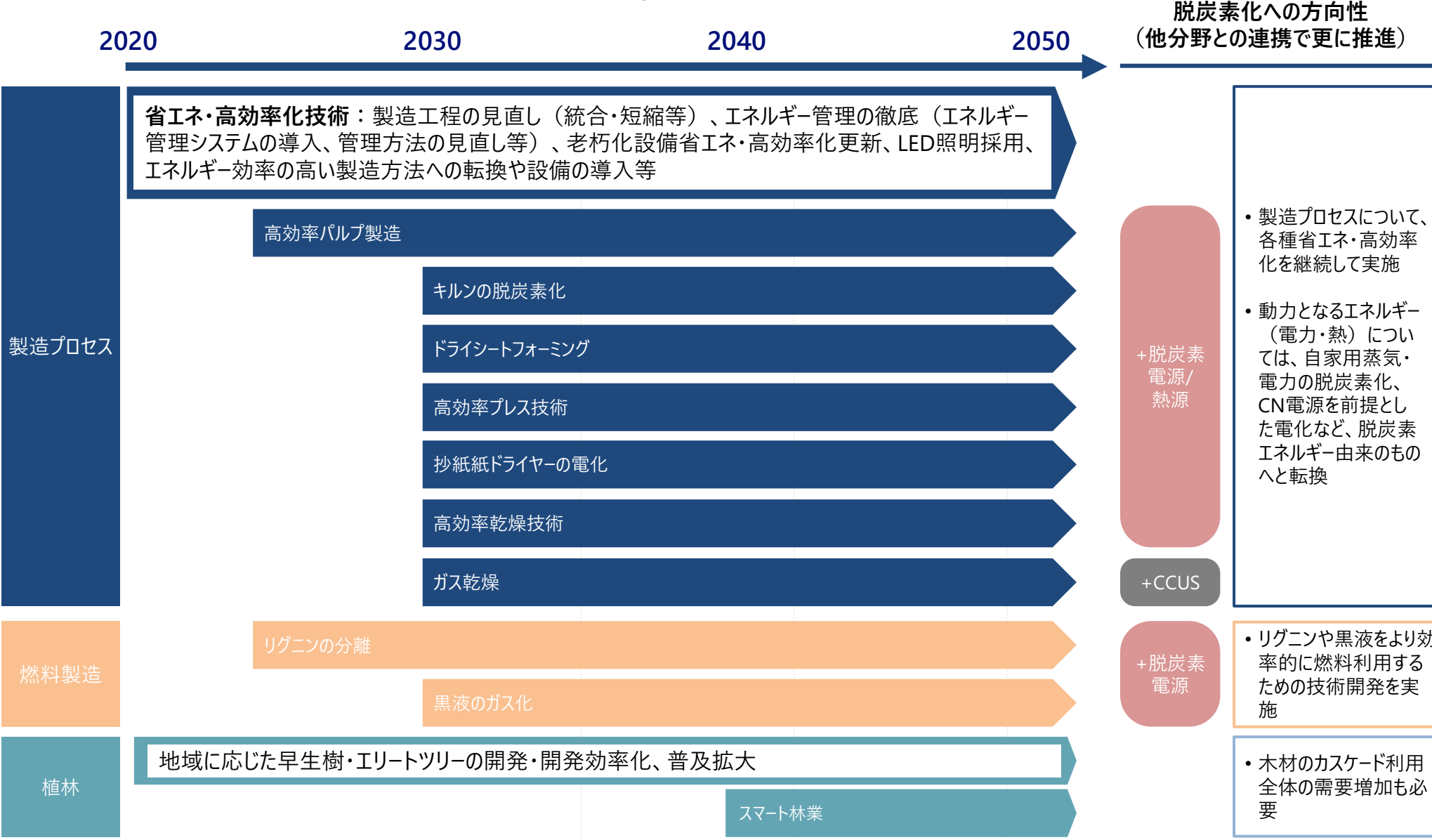
※ 1 : 排出係数は下工程も含んだもの。既存技術の排出係数をもとに、対象技術による削減幅より算出。削減幅は、当該工程における削減幅として記載。

※ 2 : 社会実装計画については導入拡大・コスト低減フェーズの開始年を、IEAの場合はAvailable Yearを参照。

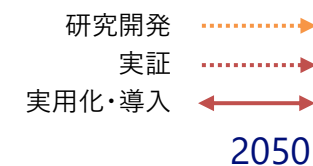
※ 3 : 実装年の参照先には下線を付加

※ 4 : 利用する廃棄物の種類等により排出係数は異なる

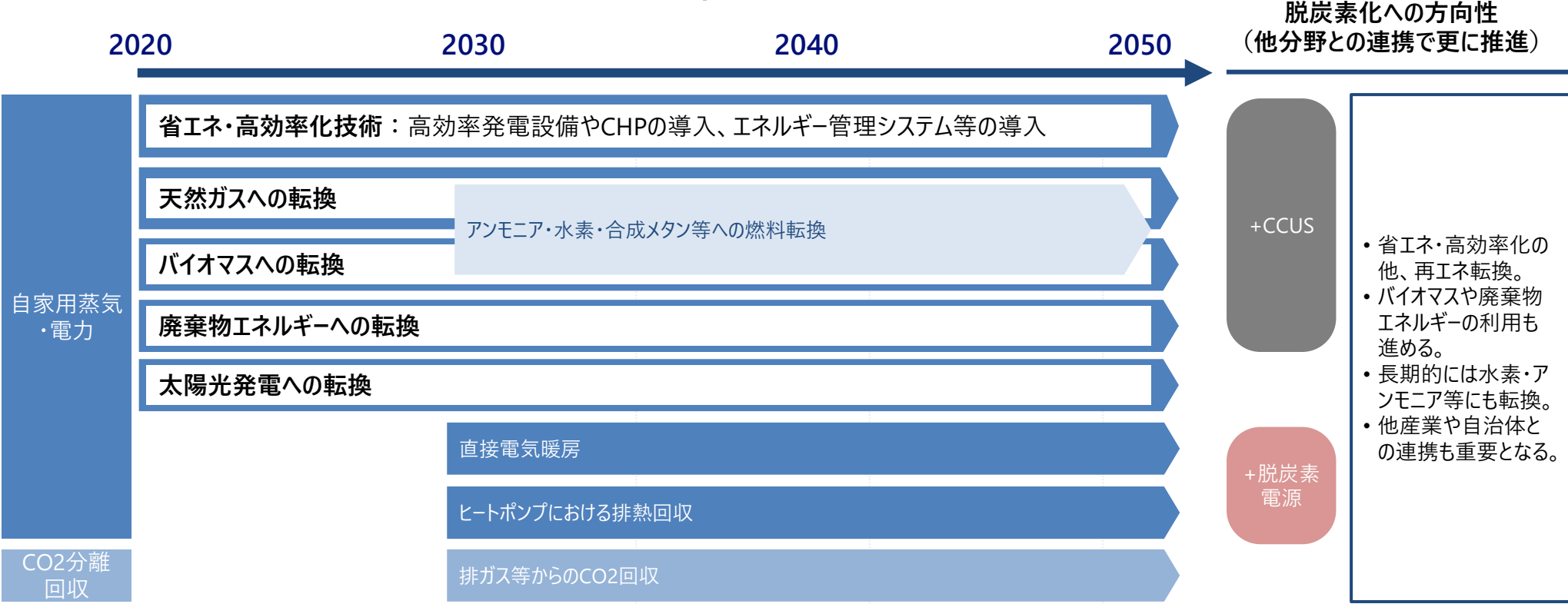
### 3. カーボンニュートラルへの技術の道筋 | 技術ロードマップ①



### 3. カーボンニュートラルへの技術の道筋 | (参考) 実用化までのフロー



### 3. カーボンニュートラルへの技術の道筋 | 技術ロードマップ②



脱炭素化への方向性  
(他分野との連携で更に推進)

+CCUS

+脱炭素電源

- 省エネ・高効率化の他、再エネ転換。
- バイオマスや廃棄物エネルギーの利用も進める。
- 長期的には水素・アンモニア等にも転換。
- 他産業や自治体との連携も重要となる。

### 3. カーボンニュートラルへの技術の道筋 | (参考) 実用化までのフロー

研究開発   
 実証   
 実用化・導入 

2025

2030

2040

2050

自家用蒸気・電力 | 低炭素あるいは脱炭素な燃料への転換を進める

省エネ・高効率化技術



天然ガスへの転換



バイオマスへの転換



廃棄物エネルギーへの転換



太陽光発電への転換



水素・アンモニアなどへの転換



直接電気暖房



ヒートポンプにおける排熱回収



その他

CO2分離回収





# 内容

1. 前提

2. 紙・パルプ産業について

3. カーボンニュートラルへの技術の道筋

**4. 脱炭素化及びパリ協定の実現に向けて**

## 4. 脱炭素化及びパリ協定の実現に向けて

- 本技術ロードマップは、現時点で想定されている低炭素・脱炭素技術を選択肢として示すとともに、これら技術の実用化のタイミングについて、イメージを提示するものである。
- 紙・パルプ分野における技術開発は長期にわたることが想定されており、経済性など不確実性も存在する。そのため、本技術ロードマップに記載されている以外の低炭素・脱炭素技術が開発・導入される可能性もある。
- また、紙・パルプ分野における低炭素・脱炭素技術の実用化は、脱炭素電源、水素・アンモニア燃料の供給、CCUSなど他分野との連携を含む社会システムの整備状況にも左右されるため、他分野と連携しつつカーボンニュートラルの実現に向けた取組を進めていくこととなる。
- 今後、本分野における技術開発や各社・政策の動向、その他技術の進展や、投資家等との意見交換を踏まえ、技術ロードマップの妥当性を維持し、活用できるよう、定期的・継続的に見直しを行うこととする。
- 紙・パルプメーカー各社においては、長期的な戦略の下で、各社の経営判断に基づき、本技術ロードマップに掲げた各技術を最適に組み合わせて、カーボンニュートラルの実現を目指していくこととなる。
- また、各事業主体の排出削減の努力は本技術ロードマップの「技術」にとどまらず、カーボンクレジットの活用やカーボンオフセット商品の購入、CCSの実装等も考えられる。

経済産業分野におけるトランジション・ファイナンス推進のためのロードマップ策定検討会  
紙・パルプ分野 委員名簿

【座長】

秋元 圭吾 公益財団法人地球環境産業技術研究機構（RITE）  
システム研究グループリーダー・主席研究員

【委員】

押田 俊輔 マニユライフ・インベストメント・マネジメント株式会社クレジット調査部長  
梶原 敦子 株式会社日本格付研究所 執行役員サステナブル・ファイナンス評価本部長  
関根 泰 早稲田大学 理工学術院 教授  
高村 ゆかり 東京大学 未来ビジョン研究センター 教授  
竹ヶ原 啓介 株式会社日本政策投資銀行 設備投資研究所エグゼクティブフェロー／  
副所長 兼 金融経済研究センター長  
松橋 隆治 東京大学 大学院工学系研究科電気系工学専攻 教授

【専門委員】

磯貝 明 東京大学 特別教授  
内村 浩美 愛媛大学 特別栄誉教授  
松原 孝知 日本製紙連合会 エネルギー委員長