

# 「トランジションファイナンス」に関する セメント分野における技術ロードマップ（案）

2022年3月

経済産業省

# 目次

| 章                    | 節                | 概要   |
|----------------------|------------------|--|
| 1. 前提                |                  | <ul style="list-style-type: none"><li>セメント分野のロードマップの必要性</li><li>ロードマップの目的・位置づけ</li></ul>                                 |
| 2. セメント産業について        |                  | <ul style="list-style-type: none"><li>セメント産業の概要（産業規模、国内製造プロセス、エネルギー消費内訳）</li><li>CO2排出の現状</li><li>CO2排出に対する対応策</li></ul> |
| 3. カーボンニュートラルへの技術の道筋 | ①CN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>  |
|                      | ②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>                   |
|                      | ③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>                                     |

# 目次

| 章                    | 節                | 概要   |
|----------------------|------------------|--|
| 1. 前提                |                  | <ul style="list-style-type: none"><li>セメント分野のロードマップの必要性</li><li>ロードマップの目的・位置づけ</li></ul>                                 |
| 2. セメント産業について        |                  | <ul style="list-style-type: none"><li>セメント産業の概要（産業規模、国内製造プロセス、エネルギー消費内訳）</li><li>CO2排出の現状</li><li>CO2排出に対する対応策</li></ul> |
| 3. カーボンニュートラルへの技術の道筋 | ①CN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>  |
|                      | ②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>                   |
|                      | ③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>                                     |

# 1. 前提 | セメント分野の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。
- **セメント産業は、石灰石という国産原料を活用し、輸入に依存せず供給できる数少ない産業であると同時に、その汎用性と強靱さから建物や道路等のインフラに欠かせない素材を供給する産業**である。また、廃タイヤをはじめとする**廃棄物を熱源や原料として有効利用しており、循環型社会構築の役割**を担っている。
- 今後もセメントの安定供給と廃棄物処理への貢献など、**社会機能維持に必要**であることは変わらないため、**セメント産業のネットゼロに向けたトランジションによる対策が不可欠**。
- 移行には低炭素化に繋がる省エネ設備の更新・導入等とともに、カーボンニュートラルに向けての、回収したCO2を固定し、炭酸塩化することで、セメントの原料や骨材等として再利用する技術など、革新的な技術の研究開発が必要となるが、その研究開発・実装と多額の資金調達が必要となる。
- 「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」（令和3年6月）においては、コンクリート・セメントの両分野でカーボンニュートラルに向けた取り組みを進めることとされている。一方で、CO2排出の観点から考えると、**コンクリート製造時のCO2排出源の大宗は原料であるセメントから排出されるため、セメント分野におけるトランジションによる対策が極めて重要**である。
- 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。
- 日本のセメント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セメント分野の事業者の代表を含めて議論を行い、本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

- 本ロードマップは、「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、我が国セメント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。加えて、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。
- 現時点において、セメント分野におけるカーボンニュートラルを実現する技術は確立していない。2050年に向けて未だ確立されていない技術の研究開発が不可欠であり官民一体となって取り組む。
- 我が国セメント産業においては、脱炭素技術の確立を待つことなく、本技術ロードマップも参考として、脱炭素に向けた省エネやエネルギー転換などの「移行」に取り組むことが求められる。
- 他方、2030年や2040年を見据えたトランジション期間においては、研究開発のみならず、引き続き省エネの取組や高効率化を進めていくことが重要。

※ 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.meti.go.jp/policy/energy\\_environment/global\\_warming/gifund/pdf/gif\\_09\\_randd.pdf](https://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/global_warming/gifund/pdf/gif_09_randd.pdf)

（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. 前提 | ロードマップの目的・位置づけ

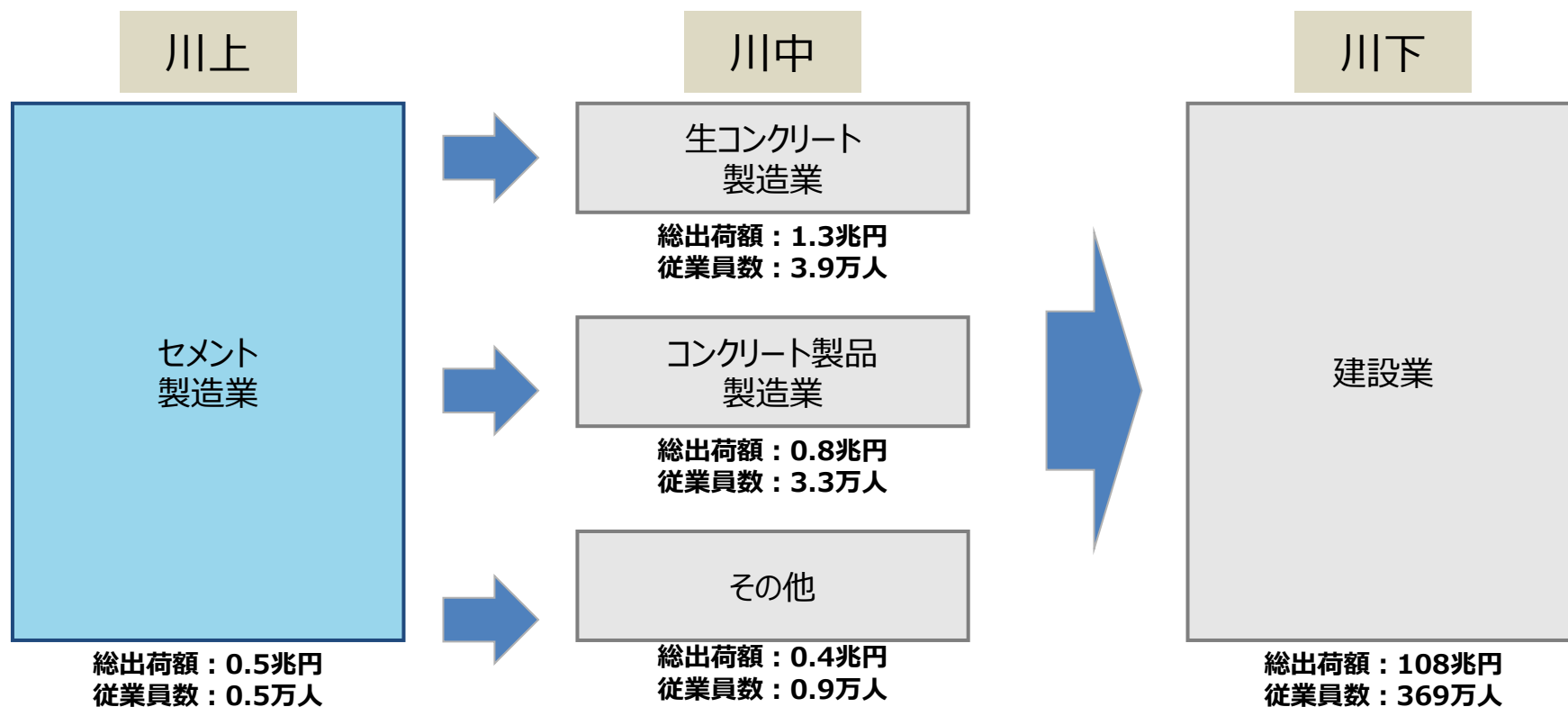
- トランジション・ファイナンスの対象には、自社の低・脱炭素化に向けた設備や研究開発への投資だけでなく、既存設備の解体・撤去費用、排出削減の取組により生じる他の環境や社会的な影響（事業撤退や廃炉等に伴う土壌汚染、雇用への影響等）への対応、他分野のトランジションに貢献する取組・活動等も含まれる。
- なお、本技術ロードマップについては、セメント分野における低炭素・脱炭素に向けた「技術」を対象として取り扱う。コンクリート製品に含まれるセメント水和物がCO<sub>2</sub>を固定化する働きがあることから、コンクリート分野におけるCO<sub>2</sub>固定等の取組が積極的に進められている。一方で、排出量という観点においてはP19のようにセメント分野での取組が重要となっており、セメント分野での取組に焦点を当てて本ロードマップを策定することとした。

# 目次

| 章                    | 節                | 概要   |
|----------------------|------------------|--|
| 1. 前提                |                  | <ul style="list-style-type: none"><li>セメント分野のロードマップの必要性</li><li>ロードマップの目的・位置づけ</li></ul>                                 |
| 2. セメント産業について        |                  | <ul style="list-style-type: none"><li>セメント産業の概要（産業規模、国内製造プロセス、エネルギー消費内訳）</li><li>CO2排出の現状</li><li>CO2排出に対する対応策</li></ul> |
| 3. カーボンニュートラルへの技術の道筋 | ①CN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>  |
|                      | ②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>                   |
|                      | ③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>                                     |

## 2. セメント産業について | 産業規模

- セメントは、砂利・砕石とともにコンクリートの原料となっており、建設業に提供される。セメントの需要は建設投資の動向に連動することとなる。
- セメント産業はインフラを支える重要な産業であるとともに、従業者数370万人を抱える建設業や、生コン事業者やコンクリート製品事業者含めた関連産業の維持・発展のためにも、国内セメント産業の維持・発展は重要。

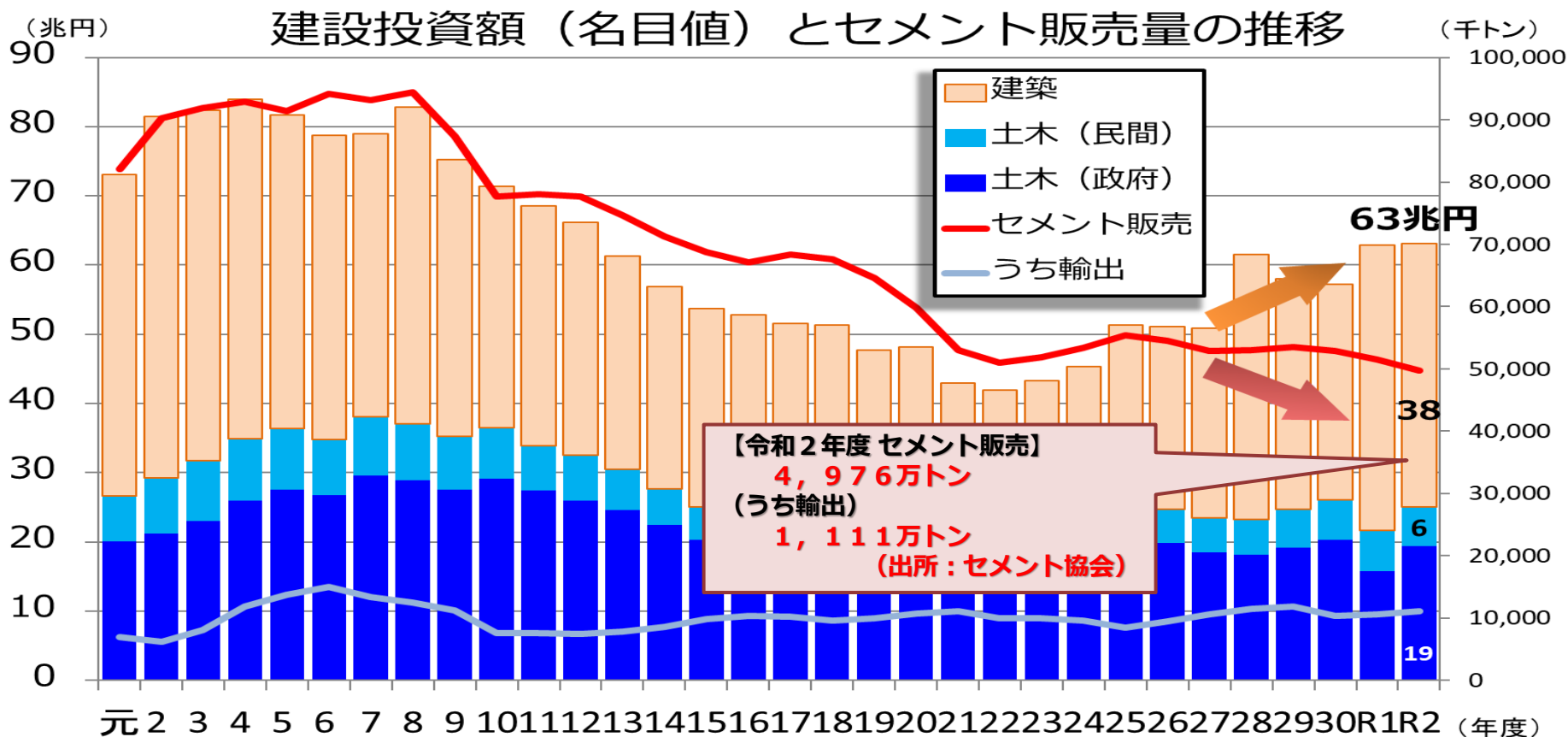


← 本ロードマップの対象 →



## 2. セメント産業について | 産業規模

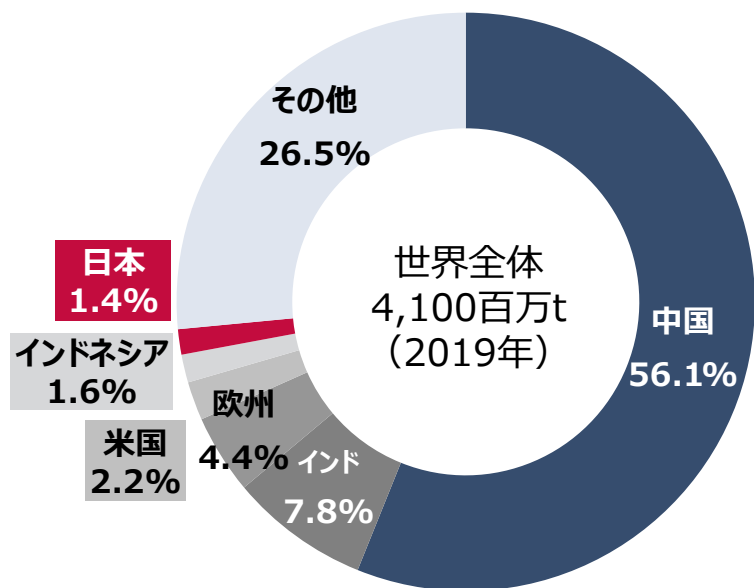
- 我が国の建設投資額は、平成4年度以降大きく減少。近年は国土強靱化対策により増額されているが、人件費等コスト増の背景を受け、セメント販売量は増加しておらず、ピーク時より半減。
- しかしながら、今後、防災、減災への投資や、公共インフラ（橋梁、護岸、高速道路）の更新、さらに廃棄物受入による社会的価値の側面からも、必要不可欠な産業であり、引き続き一定の需要が見込まれる。



## 2. セメント産業について | 産業規模

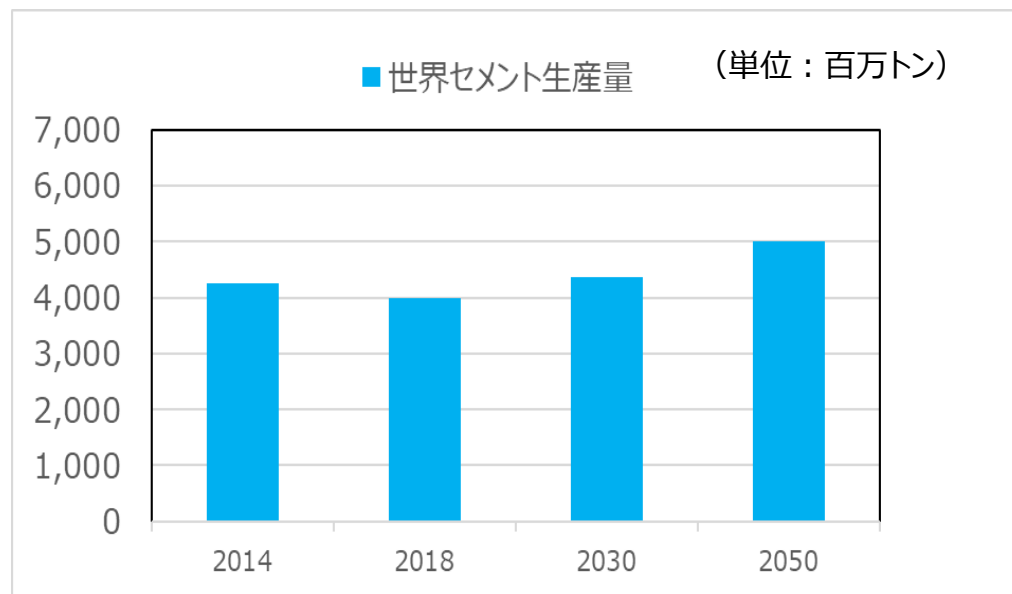
- 国内セメント産業の生産量は5,600万トン、国内出荷量は約3,900万トン※。**国内需要は減少傾向**だが、一定の設備能力確保は不可欠。アジアを中心とするニーズの高まりから**輸出は年々増加**。**アジアの需要増などにより、国内需要の減少をカバー**している。
- 日本のセメント産業は、廃棄物の受入れ等により**サーキュラーエコノミーにも貢献**している現状から、国内外でのニーズに対応するための**生産体制を維持し、セメントの安定供給を行うことが重要**。加えて、カーボンニュートラルに対応した製品で**アジアを中心とした海外市場を獲得**していくため、**トランジション技術で対応を行いつつ、CNに向けた技術開発を進める**必要がある。

### 世界のセメント生産量



※ 2020年の数値。

### 世界のセメント生産量見通し



(出典) IEAレポート (Technology Roadmap Low-Carbon Transition in the Cement Industry)、セメントハンドブック (一般社団法人セメント協会) 等を利用して作成。

## 2. セメント産業について | 産業規模

- 国内セメントメーカーは17社。工場は石灰石鉱山を有する山間部を中心に全国に立地しており、国内で30工場が存在。

### 太平洋グループ ●

- ①太平洋セメント (専)
- ②明星セメント
- ③敦賀セメント
- ④デイ・シイ

### 住友大阪グループ ●

- ⑦住友大阪セメント (専)
- ⑧八戸セメント

### 宇部三菱グループ ●

- ⑨宇部興産 (兼)
- ⑩三菱マテリアル (兼)

### 麻生グループ ●

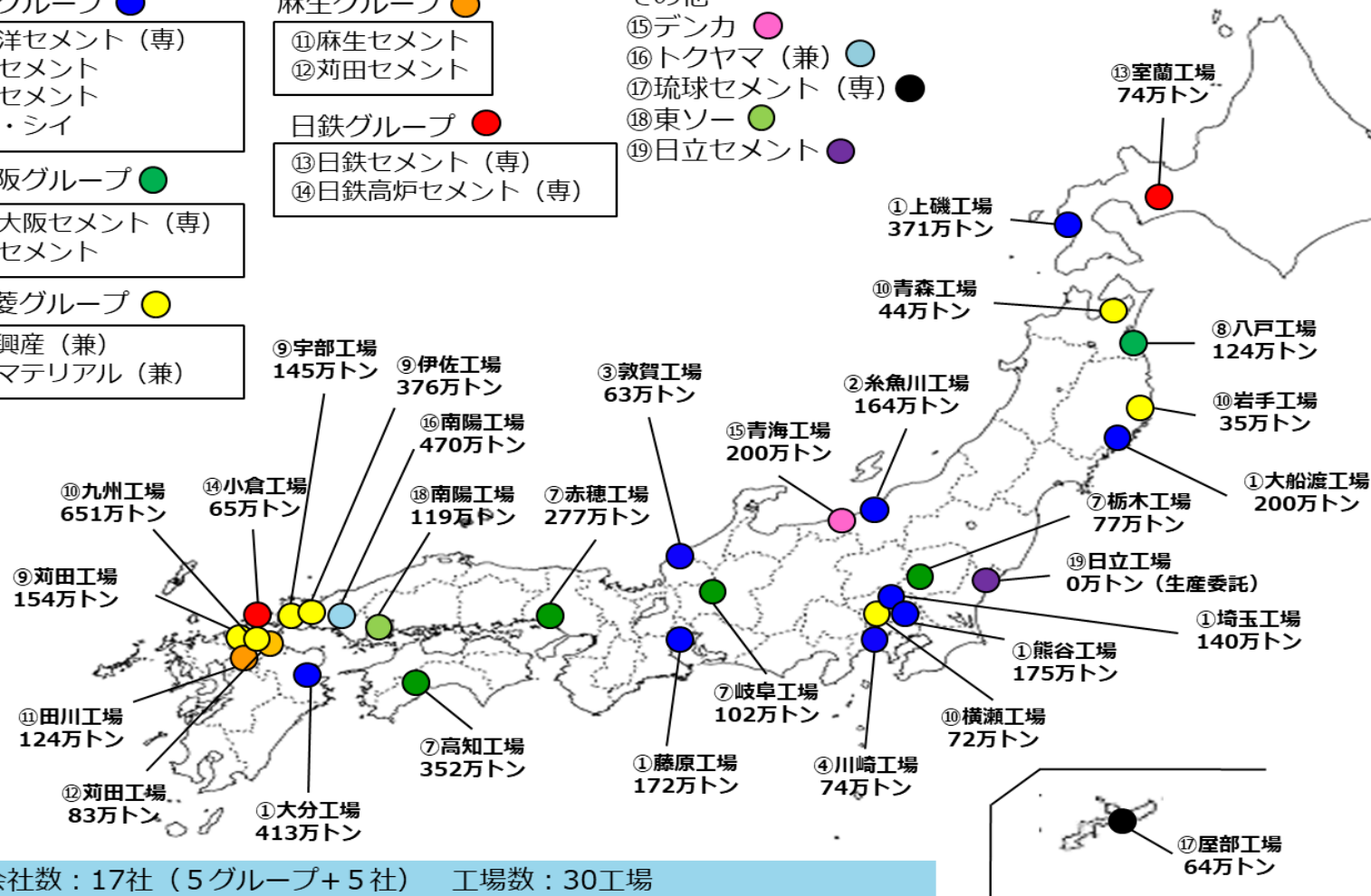
- ⑪麻生セメント
- ⑫苅田セメント

### 日鉄グループ ●

- ⑬日鉄セメント (専)
- ⑭日鉄高炉セメント (専)

### その他

- ⑮デンカ ●
- ⑯トクヤマ (兼) ●
- ⑰琉球セメント (専) ●
- ⑱東ソー ●
- ⑲日立セメント ●

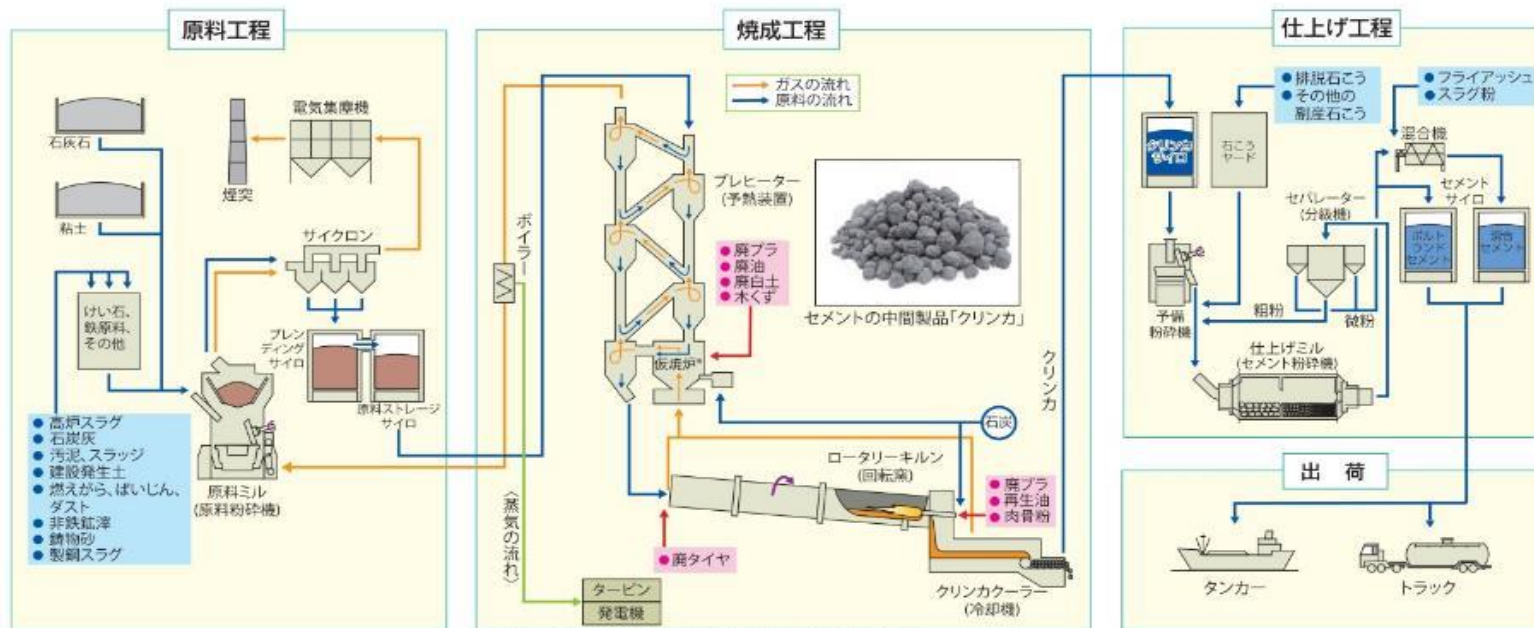


- 会社数：17社 (5グループ+5社) 工場数：30工場
- クリンカ製造能力：5,372万トン/年
- 売上高：2兆5,852億円 経常利益：1,910億円 (2020年度)
- 経常利益率：7.4% 在籍従業員：7,714名 (2020年12月末現在)

(出所) セメント協会調べ

## 2. セメント産業について | 製造プロセス

- セメント産業は工場を常時稼働させており、各工程で電気エネルギーが必要。
- 焼成工程では1450度で原料を焼成しており、焼成工程で多くのエネルギーを消費。省エネ等効率性の観点から、余熱を用いて、廃熱発電や原料の予熱・乾燥等を行うのが特徴。



\*プレヒーターに仮焼炉があるものをNSP方式、無いものをSP方式という。

(出典) セメント協会資料

### 原料ミル

原料ミルを用いて石灰石を含む主な原料を粉砕し、セメントのもととなる粉体原料を製造

### プレヒーター

粉体原料をプレヒーターで予熱

### ロータリーキルン

1450度の熱で原料を焼成することで水硬性をもつ化合物を生成

### クリンカクーラー

生成化合物を冷却し、クリンカを製造

### 仕上げミル

石こうを加え、円筒状のドラムを回転させクリンカと石こうを粉砕

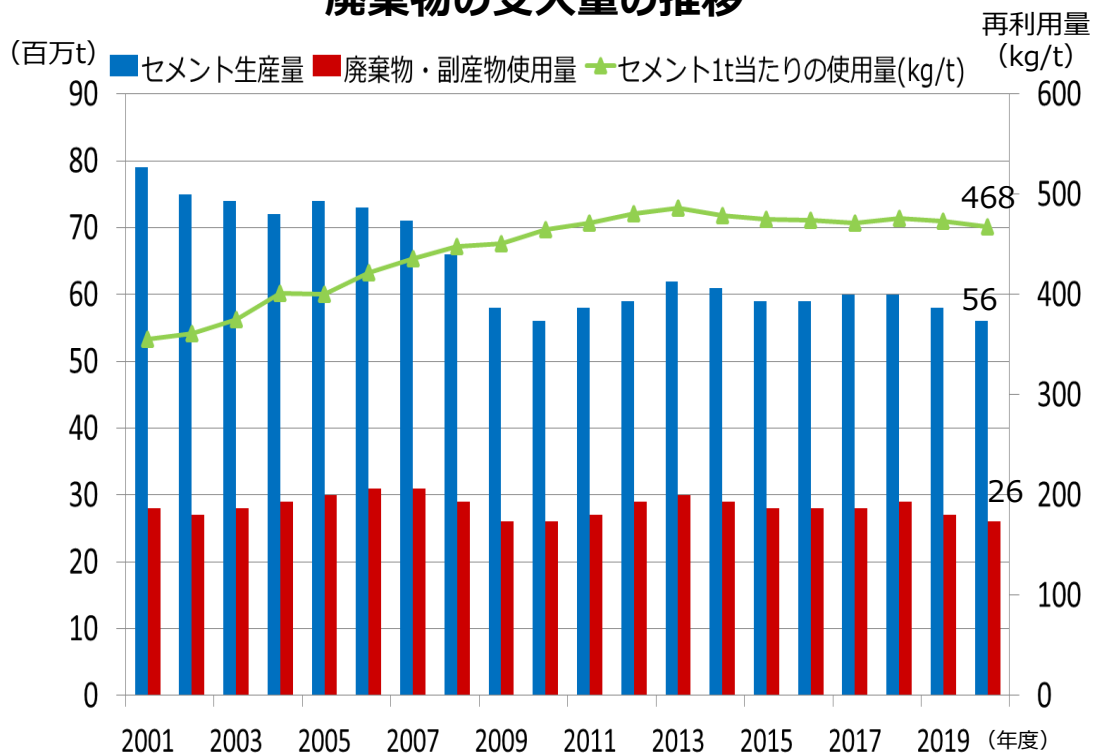
### セパレーター、混合機

セパレーターで微粉と粗粉に分別  
混合機ではセメント原料にフライアッシュや高炉スラグを加える

## 2. セメント産業について | 製造工程における廃棄物利用

- セメント産業は様々な**廃棄物・副産物を原料代替やエネルギー代替として受け入れ**。セメント1トンあたり約500kgの廃棄物を使用している。
- 東日本大震災以降は、災害廃棄物の受入れ処理など、セメント工場の稼働により**自治体の災害復旧にも貢献**。

### 廃棄物の受入量の推移



(出典) セメント協会

### 災害廃棄物の受入処理例

| 発生年   | 自然災害           |
|-------|----------------|
| 2011年 | 東日本大震災         |
| 2014年 | 広島県土砂災害        |
| 2015年 | 関東・東北豪雨        |
|       | D.Waste-Netに加入 |
| 2016年 | 熊本地震           |
| 2017年 | 九州北部豪雨         |
| 2018年 | 西日本豪雨          |
| 2019年 | 台風19号          |



(参考) 災害廃棄物受入量について

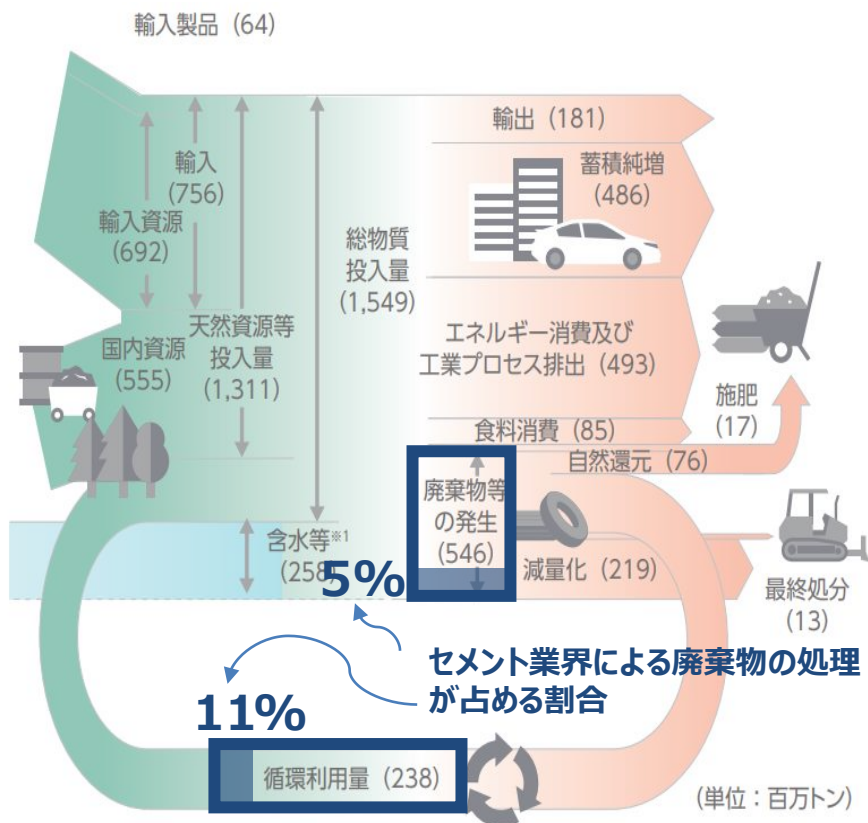
- 東日本大震災 110万トン
- 熊本地震 22万トン



## 2. セメント産業について | 製造工程における廃棄物利用量

- セメント産業は年間約**2600万t**（国内で発生する廃棄物総量5億4600万tの約5%、循環利用量の約11%）の**廃棄物・副産物を受け入れ、天然資源の代替として有効利用**。これにより**循環型社会に貢献**。

### 日本における物質フローと廃棄物のセメント資源化



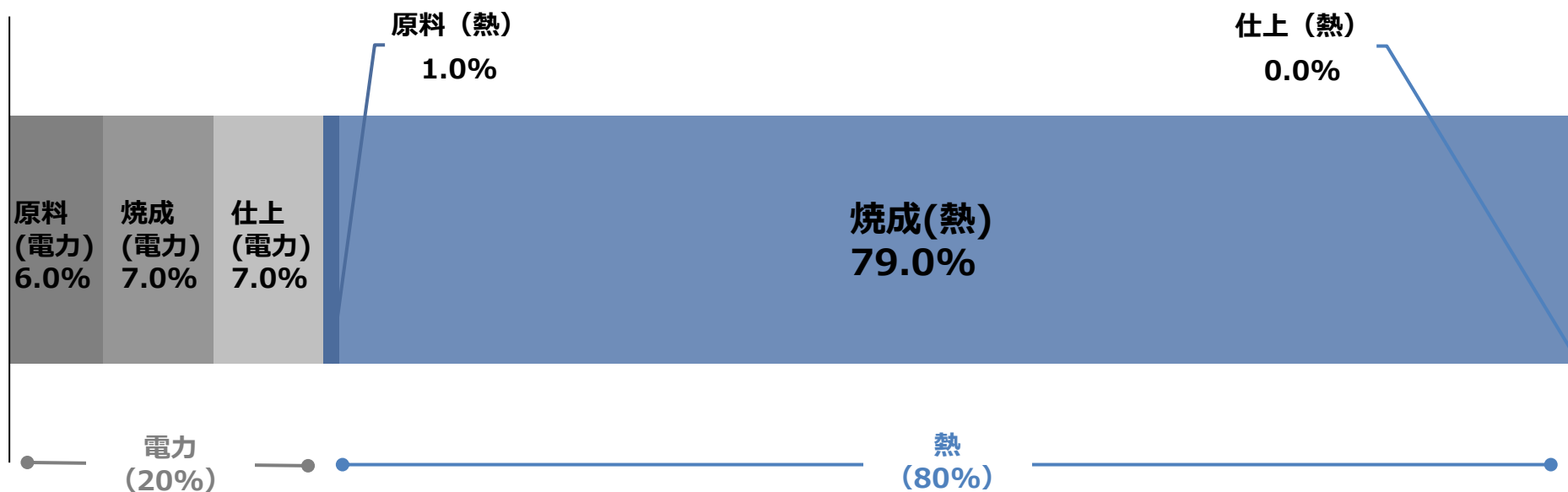
### セメント産業における廃棄物受入の内訳



## 2. セメント産業について | 製造工程におけるエネルギー消費内訳

- 製造行程におけるエネルギー消費の大部分（8割）が、1450度の高温を要する石灰石等の原料焼成の熱エネルギーである。
- 電力消費は各工程で広く使われるが、熱を廃熱発電設備に利用するなど有効活用していることで、エネルギー消費の全体に占める割合は低くなっている（2割）。

### 各工程における電力と熱の消費内訳

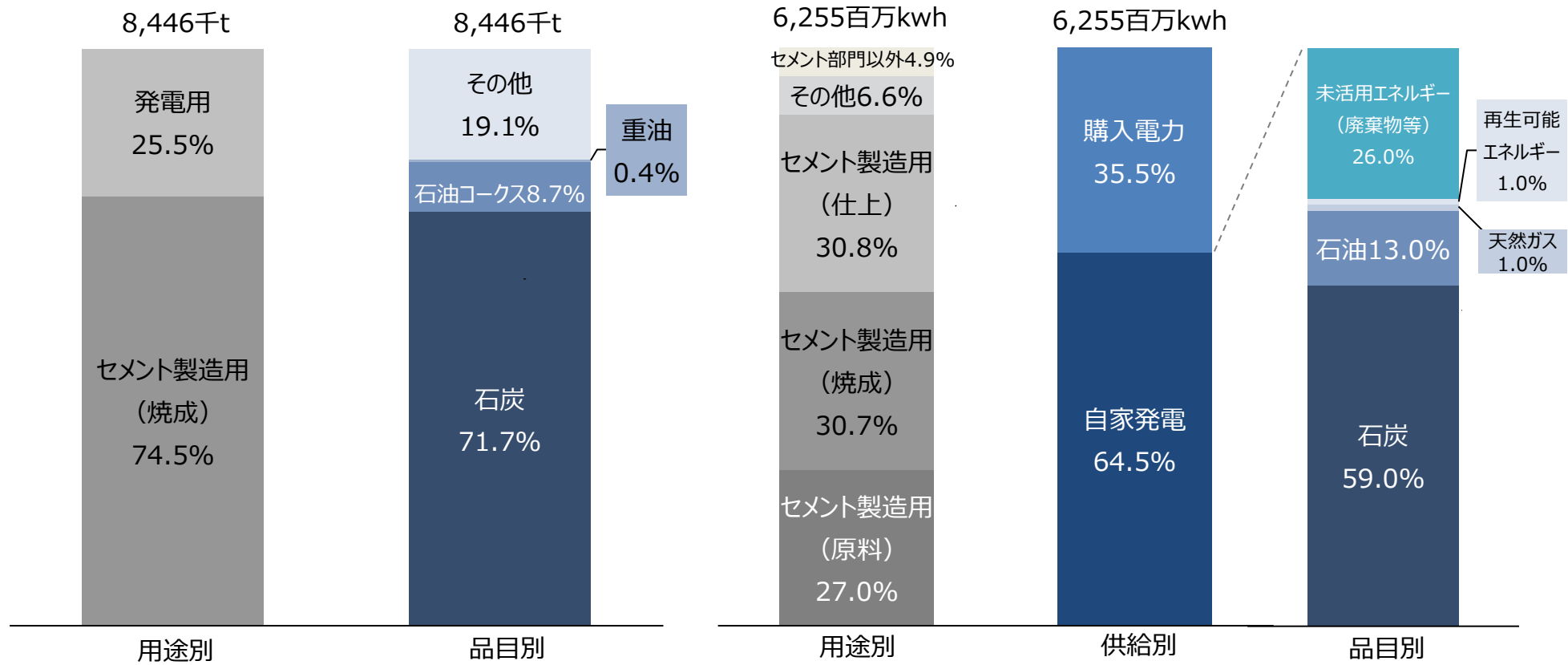


## 2. セメント産業について | 製造工程におけるエネルギー消費内訳

- エネルギー消費の8割を占める**熱エネルギー**は、多くが**石炭**によって賄われており、**1450度の高温を要する焼成工程**に主に使われる。
- エネルギー消費の2割である**電力**は、**自家発電と購入電力**により賄われており、各工程で利用されている。**自家発電は主に石炭、その他バイオマスや天然ガス等を燃料**として発電されている。

熱エネルギーの用途・品目別構成 エネルギー消費の80%

電力エネルギーの用途・品目別構成 エネルギー消費の20%



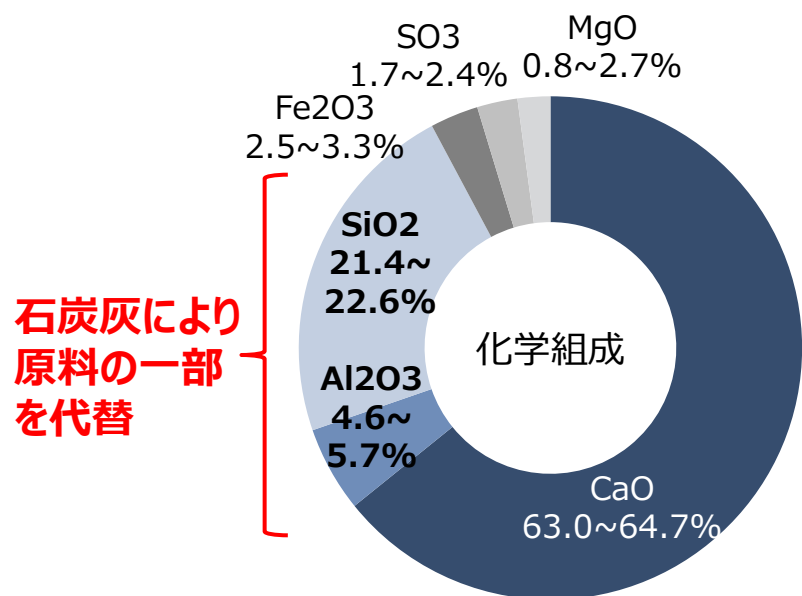
(出典) 総合エネルギー統計、セメント協会



## 2. セメント産業について | 製造工程における石炭等の利用について

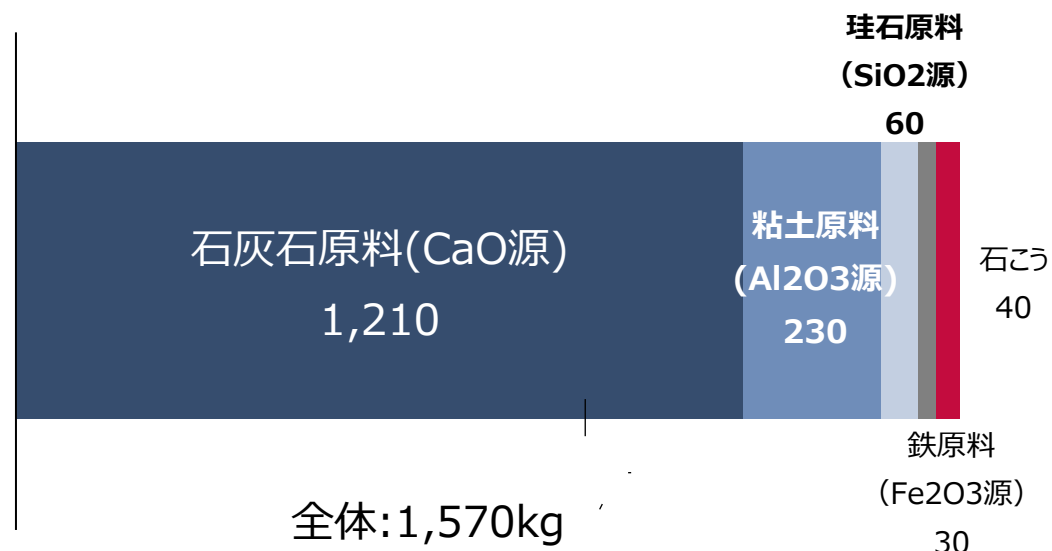
- セメント産業では**石炭を燃料及び原料として利用している**。**焼成工程で1450度の高温を保つことに適している**だけでなく、焼成時に発生する石炭灰はセメント成分であるSiO<sub>2</sub>（シリカ）、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>（アルミナ）の貴重な原料であり、天然原料代替という観点からも**石炭はセメント製造プロセスに合理的な電力・原料供給源の一つ**としてスタンダードとなっている。
- 他産業では天然ガスへの燃料転換も行われており、セメント産業でも技術的には導入が可能である一方、石灰石鉱山に近接する内陸部のセメント工場等では、**パイプライン設置や輸送が困難である事情が存在。**

### 普通セメントの化学組成



### 普通セメント1トンあたりの原料構成 (kg)

- 粘土や珪石の代替として石炭灰を活用することで天然原料の利用を削減。



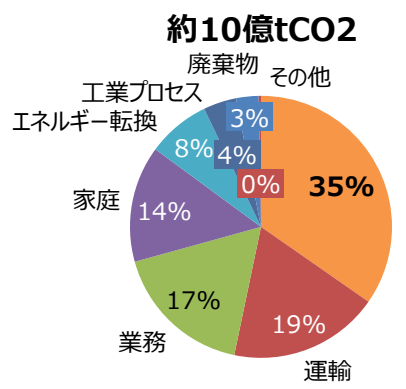
# 目次

| 章                    | 節                | 概要   |
|----------------------|------------------|--|
| 1. 前提                |                  | <ul style="list-style-type: none"><li>セメント分野のロードマップの必要性</li><li>ロードマップの目的・位置づけ</li></ul>                                 |
| 2. セメント産業について        |                  | <ul style="list-style-type: none"><li>セメント産業の概要（産業規模、国内製造プロセス、エネルギー消費内訳）</li><li>CO2排出の現状</li><li>CO2排出に対する対応策</li></ul> |
| 3. カーボンニュートラルへの技術の道筋 | ①CN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>  |
|                      | ②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>                   |
|                      | ③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>                                     |

## 2. セメント産業について | CO2排出の現状

- 2019年度の我が国のCO2排出のうち、産業部門のCO2排出は35%。窯業・土石製品のエネルギー由来CO2排出量は産業部門の8%であり、うちセメントが約6割を占める。(1,655万t)
- 加えて製造工程での非エネルギー由来CO2 (=プロセス由来CO2) を約2,533万t排出しており、合計約4,200万トンのCO2をセメント産業で排出している。

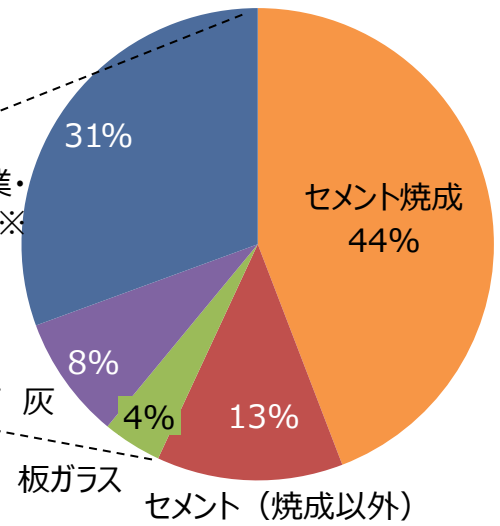
我が国全体 (2019年度)



窯業・土石製品 排出内訳 (2019年度)

約2,900万tCO2 (うち1,655万tCO2がセメント)

エネルギー由来のCO2排出

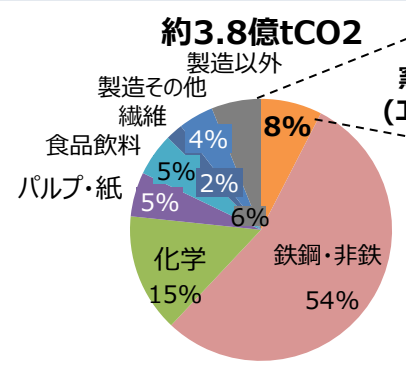


約2,533万tCO2

非エネルギー由来のCO2排出

セメント製造過程で石灰石からCO2が発生するため、年間約2,533万tの非エネルギー由来 (=プロセス由来) CO2排出があり、これはセメント製造工程の排出(約4,200万トン)の6割に相当する。

産業部門 (2019年度)



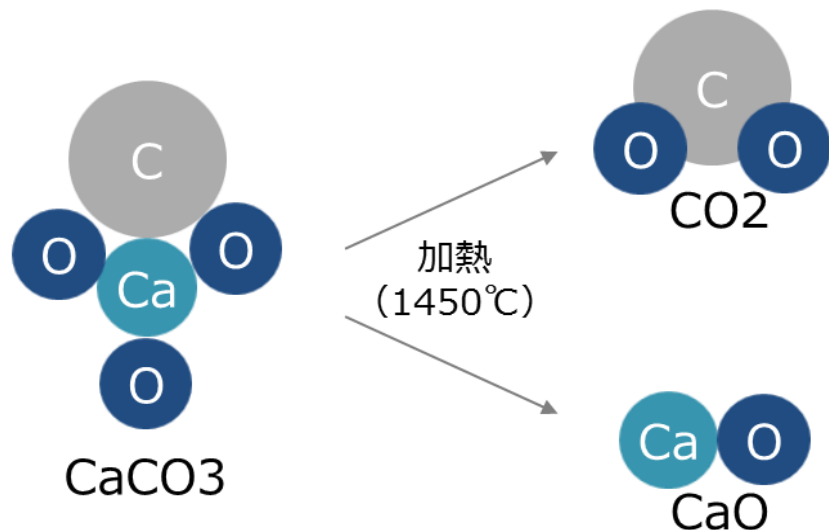
※窯業・土石製品製造業のうち、他製品、他ガラス製品製造業、他窯業・土石製品製造業の合計

## 2. セメント産業について | CO2排出の現状

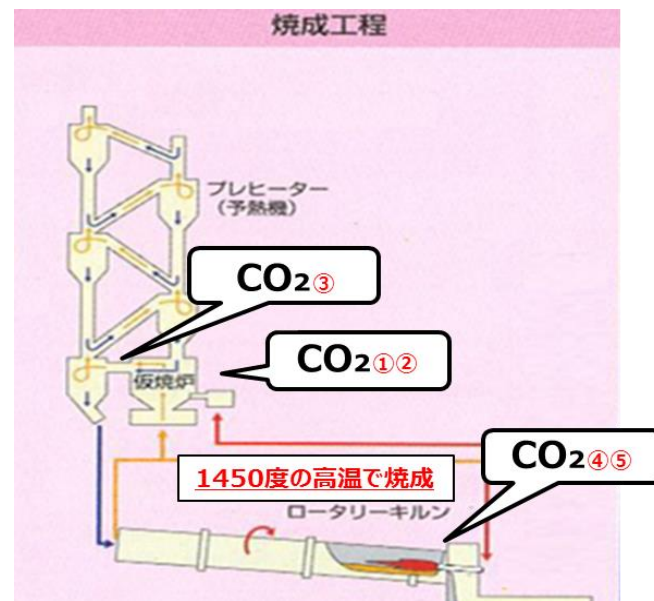
- セメント原料の石灰石から脱炭酸反応によりプロセス由来CO2が必然的に排出。焼成工程では1450度の高温焼成のため、主に石炭を利用しており、エネルギー由来CO2が多く排出。
- プロセス由来のCO2が6割、エネルギー由来CO2が4割。製造プロセスにおける排出対策とエネルギー源からの排出対策が必要。

### プロセス由来CO2排出原理

- セメントの原料である石灰石を1450度で加熱する際の脱炭酸反応によりCO2が必然的に発生する。
- セメントの原単位排出は763kgCO2/t-cem。



### セメント焼成時の主なCO2発生起源



#### セメント製造工程におけるCO<sub>2</sub>発生

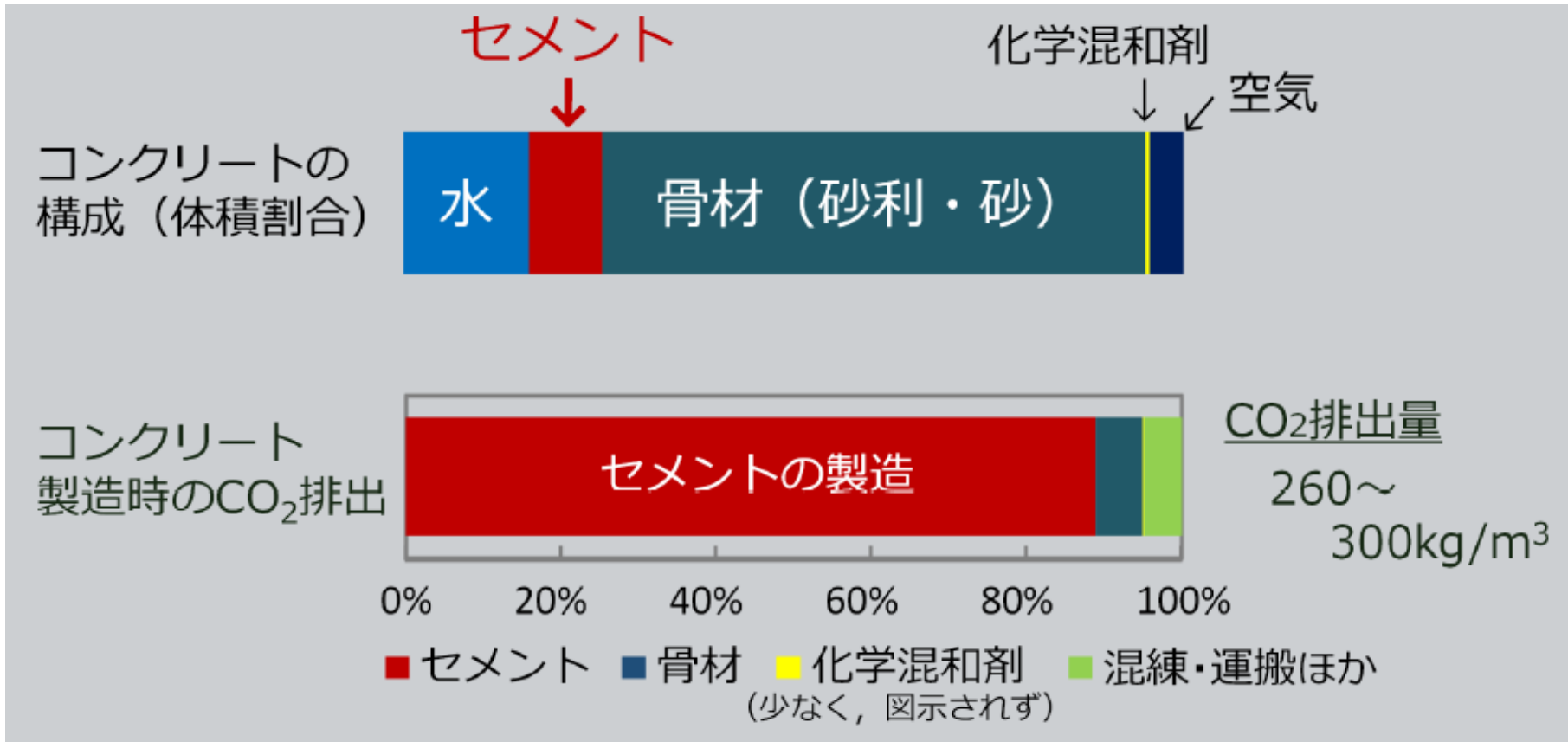
- |                  |      |
|------------------|------|
| ①プロセス由来 (仮焼炉)    | 約48% |
| ②エネルギー由来(仮焼炉)    | 約20% |
| ③プロセス由来 (プレヒーター) | 約6%  |
| ④プロセス由来 (キルン)    | 約6%  |
| ⑤エネルギー由来 (キルン)   | 約20% |

青字：プロセス由来CO<sub>2</sub>  
赤字：エネルギー由来CO<sub>2</sub>

事業者ヒアリングにより作成

## 2. セメント産業について | コンクリートの材料構成とCO2排出割合

- 製品であるコンクリートまで含めてみた場合の評価においても、主なCO2排出源はセメントであり、セメント産業でのCO2排出量削減に取り組むことが重要と考える。



各種公表データから作成

# 目次

| 章                    | 節                | 概要   |
|----------------------|------------------|--|
| 1. 前提                |                  | <ul style="list-style-type: none"><li>セメント分野のロードマップの必要性</li><li>ロードマップの目的・位置づけ</li></ul>                                 |
| 2. セメント産業について        |                  | <ul style="list-style-type: none"><li>セメント産業の概要（産業規模、国内製造プロセス、エネルギー消費内訳）</li><li>CO2排出の現状</li><li>CO2排出に対する対応策</li></ul> |
| 3. カーボンニュートラルへの技術の道筋 | ①CN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>  |
|                      | ②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>                   |
|                      | ③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>                                     |

## 2. セメント産業について | 国内セメント産業におけるCO2対策

- プロセス由来CO2は、炭酸塩生成などを含むCCUS、クリンカ比率の低いセメント開発、効率的にCO2を回収する技術など、革新的技術が不可欠。 既存の研究開発の深化とともに、グリーンイノベーション基金による研究開発、設備投資などが必要。
- エネルギー由来CO2は、省エネ設備導入、エネルギー代替廃棄物利用の拡大、自家発電設備の燃料転換、焼成用キルンの燃料をクリーンエネルギーに転換するなどの取組を進める必要。
- セメント産業が担う廃棄物処理による社会貢献の取組を継続しつつ、エネルギー由来CO2、プロセス由来CO2の両面から、様々な手法でもってセメント産業のネットゼロに取り組む。

### CO2排出量削減方法

#### プロセス由来CO2対策

##### CO2の再資源化

- セメント製造工程のCO2をカルシウム源に取り込み、炭酸塩化するなどの**CCUS技術**の研究を実施。
- グリーンイノベーション基金では「**製造プロセスにおけるCO2回収技術の設計・実証**」や「**多様なカルシウム源を用いた炭酸塩化技術の確立**」に関する事業を実施。

##### セメントの低炭素化

- クリンカ比率の低いセメントの開発、混合セメントの普及拡大、混合材の比率の高いセメントの開発などを実施。

#### エネルギー由来CO2対策

##### 省エネ設備、エネルギー代替廃棄物利用による化石燃料削減

- 原料工程、焼成工程、仕上工程の各製造工程において、様々な**省エネ技術・設備を導入**し、省エネによる化石燃料削減を推進。
- クリンカ焼成時に**廃棄物をエネルギーや原料として有効利用**。

##### 化石燃料の削減、低炭素化

- 製造プロセスにおける自家発電において、化石燃料からバイオマスや水素等への転換を推進。
- ロータリーキルンの**焼成エネルギーをアンモニア等へ転換**するための研究開発に取り組む。
- CO2を用いた**合成メタンの生成（メタネーション）及び利用**の推進。



## 2. セメント産業について | セメント業界における脱炭素に向けた長期ビジョン

- 2020年3月、一般社団法人セメント協会は、温室効果ガス80%削減に向けた「脱炭素社会を目指すセメント産業の長期ビジョン」を公表。
- この中で、2050年までに目指すべき対策として、投入原料や使用エネルギーの低炭素化、CO<sub>2</sub>回収・利用・貯蔵（CCUS/カーボンリサイクル）などに取組むこととしている。

### 脱炭素社会を目指すセメント産業の長期ビジョン（抜粋）

#### 1. 本ビジョン策定経緯及び狙い

#### 2. 広義の国内需要量

2050年における広義の国内需要量（セメントの官需、民需、セメント系固化材）は3,400万t～4,200万t程度と予想。

#### 3. セメント産業の果たすべき役割

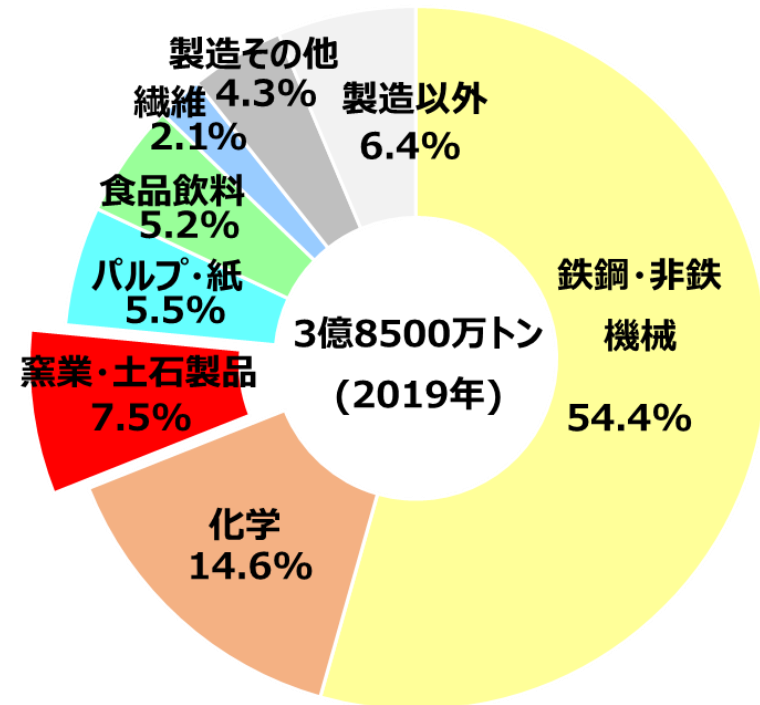
（略）セメント産業は将来的にも次のような役割を果たしていく  
 [基礎素材の供給者]、[循環型社会形成への貢献]、[地域経済への貢献]、  
 [災害廃棄物処理への貢献]

#### 4. 目指すべき対策の方向と克服すべき課題

目指すべき対策の多くは、克服すべき困難な課題を抱えており、その実現には「非連続なイノベーション」が不可欠。

- ・グリーン化比率の低減
- ・投入原料の低炭素化
- ・省エネルギーの推進
- ・鉱化剤使用等による焼成温度低減
- ・使用エネルギーの低炭素化
- ・低炭素型新材料の開発
- ・二酸化炭素回収・利用・貯留(CCUS)への取り組み
- ・供用中の構造物及び解体コンクリートによる二酸化炭素の固定(吸収)
- ・コンクリート舗装の推進による重量車の燃費向上に伴う二酸化炭素低減

### 業界別のCO<sub>2</sub>排出割合（2019年度）



### セメント製造時のCO<sub>2</sub>排出 国内4,147万トン(2019年度)

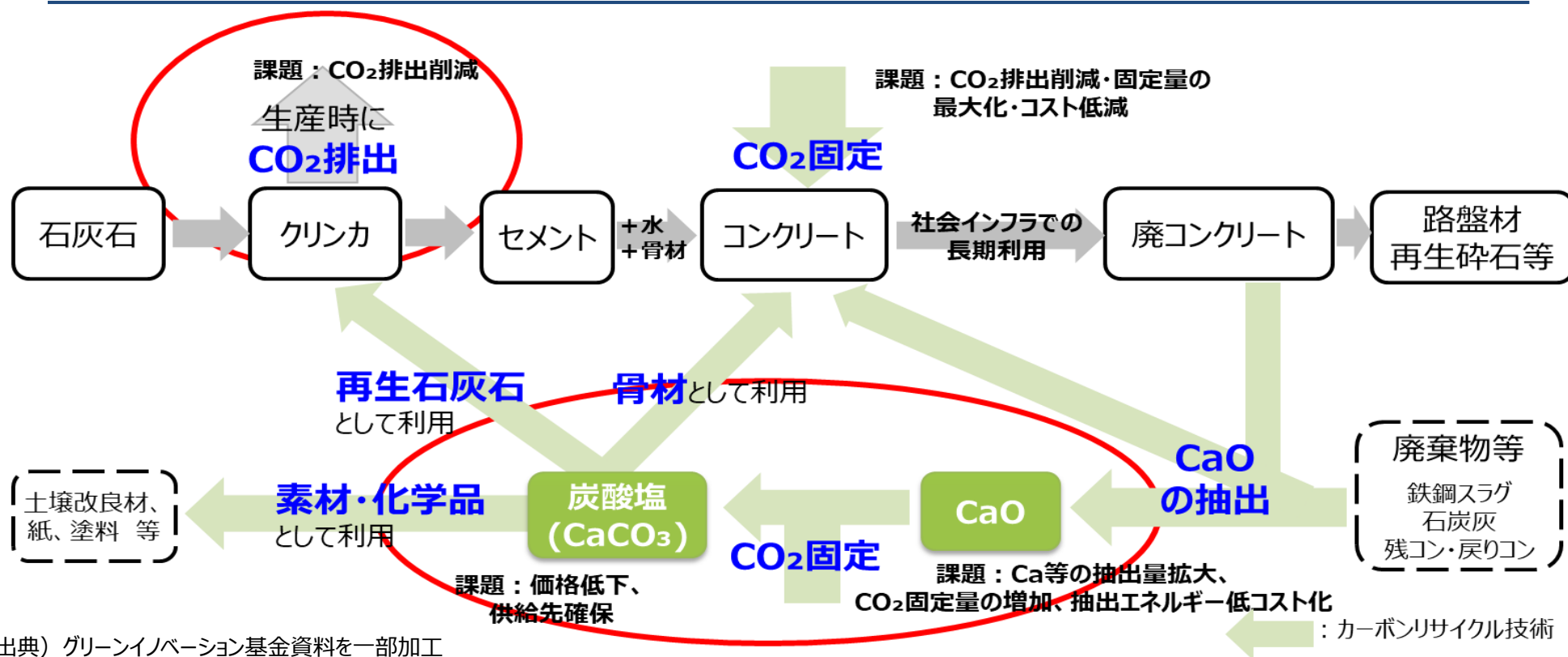
- ・石灰石（原料）由来 60% 2,533万トン/CO<sub>2</sub>
- ・化石燃料(エネルギー)由来 40% 1,614万トン/CO<sub>2</sub>



## 2. セメント産業について | プロセス由来CO2対策の取組（GI基金事業①）

- 脱炭素に向けて不可欠となるプロセス由来CO2の削減に向けては、グリーンイノベーション基金事業をもって官民を挙げ取組を進めることとしている。
- 本事業においては、既存の効率的な製造プロセスを活用しつつCO2回収量を増加させた新たなセメント製造プロセスを開発するとともに、回収したCO2と多様な廃棄物等のカルシウム源を用いて炭酸塩化し、再利用する技術の開発を行う。これにより新たな石灰石から排出されるCO2を削減するとともに、国内石灰石の利用を削減し、国内の資源確保にも貢献する。

### グリーンイノベーション基金事業概要



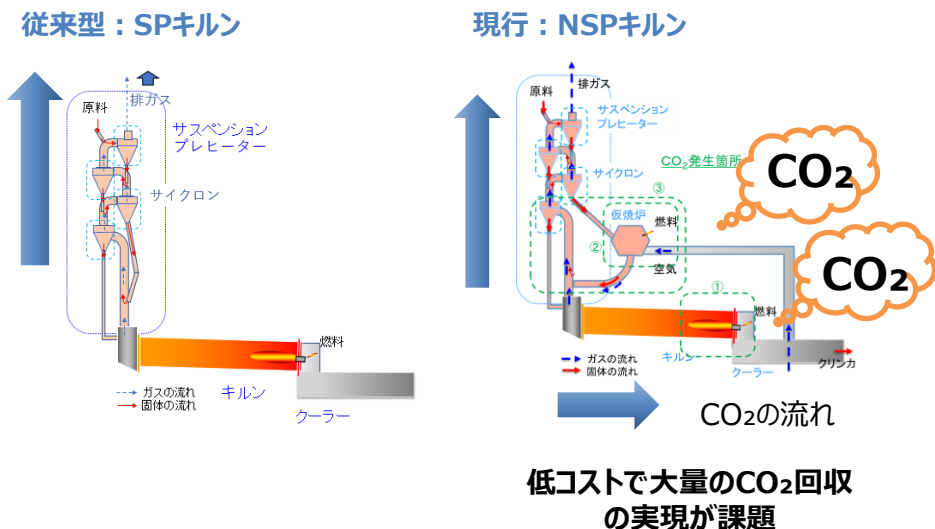
(出典) グリーンイノベーション基金資料を一部加工

## 2. セメント産業について | プロセス由来CO2対策の取組 (GI基金事業②)

- プロセス由来CO2はプレヒーター内部でそのほとんどが発生するため、効率的な回収が可能であるが、全量近く回収するためには、コストが課題となる。今後、**既存のNSPキルンのレトロフィットにより低コストかつ効率的にCO2を回収する製造プロセスの開発**を進める。
- また、**プロセス由来CO2の削減には石灰石の代替となる炭酸塩化技術の確立も急務**であり、上記CO2回収型セメント製造プロセス技術とともに、**CO2を利用した炭酸塩化技術の開発・実証、セメント製造プロセスにおけるCO2リサイクルモデルの開発・実証**も行う。

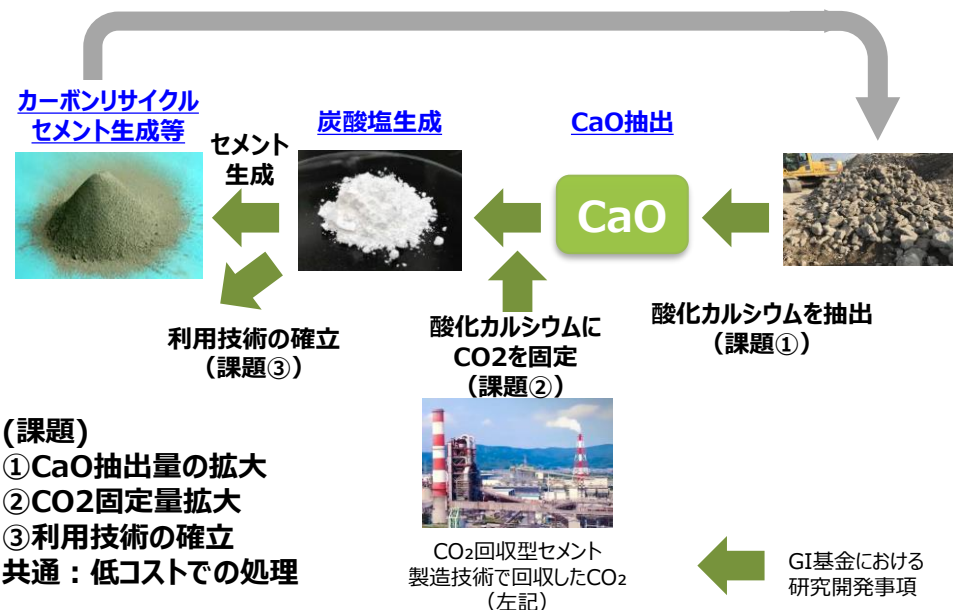
### 製造プロセスにおけるCO2回収

- ✓ SPキルン：排熱の有効利用を図るため、石灰石予熱のためキルンの高温ガスをプレヒーターに送る仕組みをもつ
- ✓ NSPキルン：プレヒーターにおいて追加的な燃焼設備（仮焼炉）を設置し、トータルの燃焼効率を上げることで更なる省エネを実現する（日本発）のキルン。現在の世界のデファクトになっている。



### CO2や廃棄物等をリサイクルしたセメント製造等技術

- ✓ CO2をカルシウムに固定した炭酸塩（CaCO<sub>3</sub>）化の技術開発を実施。CO2の固定量等に課題があり、これまで実用化に至っておらず、新たなCO2リサイクルモデルの開発・実証が進められている。



## 2. セメント産業について | プロセス由来CO2対策の取組（現在の取組）

- セメント産業からの排出の6割を占めるプロセス由来CO2は原料である石灰石の焼成により発生するため、完全な削減が困難である。
- **プロセス由来CO2の完全な削減に向けては炭酸塩の活用など革新的な技術が必要。足下の取組として廃棄物を活用した原料代替による削減と共に、炭酸塩生成による取組（CCUS）、クリンカ比率の低いセメント等の技術開発も行われている。**

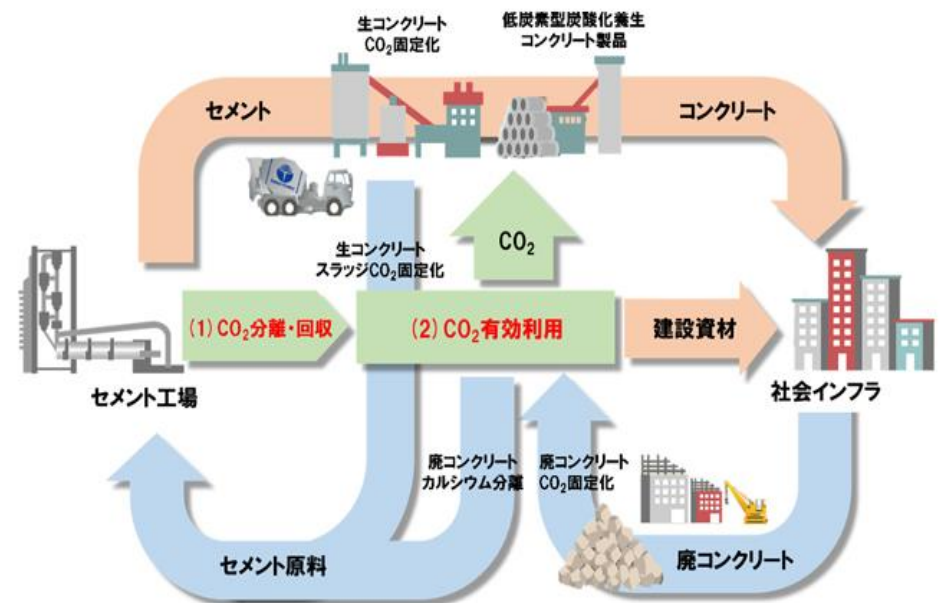
### 廃棄物による原料代替

- 廃棄物は化学組成が天然原料に近い場合、クリンカーの原料として代替可能。
- 2019年度のCO2削減量の試算値は84.8万t-CO2。石灰石約190万tの削減に相当する。

| クリンカー原料    | 酸化カルシウム (CaO) | 二酸化けい素 (SiO2) | 酸化アルミニウム (Al2O3) | 酸化鉄 (Fe2O3) |
|------------|---------------|---------------|------------------|-------------|
| 粘土 (天然)    | ~5%           | 40~80%        | 10~30%           | 3~10%       |
| 石炭灰 (廃棄物)  | 5~20%         | 40~65%        | 10~30%           | 3~10%       |
| 焼却灰 (廃棄物)  | 20~30%        | 20~30%        | 10~20%           | ~10%        |
| 下水汚泥 (廃棄物) | 5~30%         | 20~30%        | 20~50%           | 5~10%       |

### 炭素循環型セメント製造プロセス技術開発

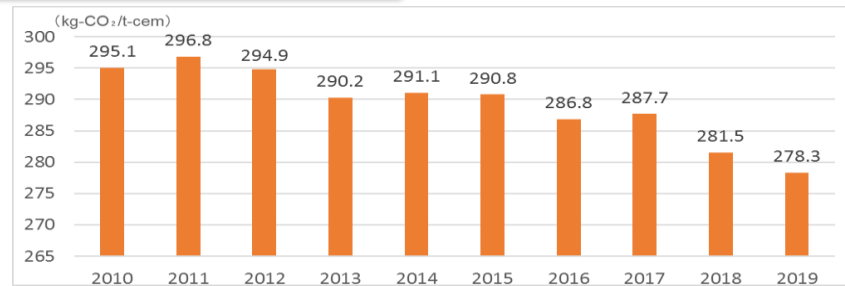
- 国内ではNEDO事業を中心にプロセス由来CO2の排出削減に向けてキルン排ガスからのCO2分離・回収や、回収したCO2をセメント製品へ固定化する実証実験が国内で行われている。
- しかし、セメント産業における排ガス中に含まれるCO2の全量近くを回収する技術はいまだ確立されていない。



## 2. セメント産業について | エネルギー由来CO2対策の現状

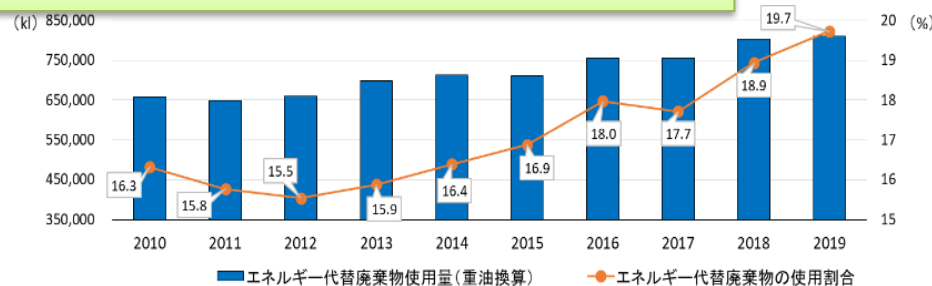
- セメント産業では地球温暖化対策計画を踏まえ、省エネ設備導入、エネルギー代替廃棄物利用等による化石燃料削減を通じたCO2削減対策を実施。
- 自家発電設備においては、化石燃料からバイオマス等への再生可能エネルギーへの転換が進められているなど、エネルギー由来CO2削減の取組が行われている。

### CO2排出原単位の推移



※CO2排出原単位は、セメント生産1tあたりのCO2排出量 (kg)

### エネルギー代替廃棄物使用量の推移



### 省エネ設備投資額の推移

(単位：百万円)

| 投資年度 | 2010  | 2011 | 2012  | 2013  | 2014  | 2015  | 2016  | 2017 | 2018  | 2019   | 累計     |
|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|--------|--------|
| 投資額  | 5,144 | 749  | 1,807 | 2,356 | 3,634 | 8,744 | 3,469 | 889  | 2,975 | 11,256 | 41,023 |

### 燃料転換への取組



栃木工場バイオマス発電設備 (住友大阪セメント株式会社)



青海工場バイオマス発電設備 (デンカ株式会社)

- ◆ 廃熱発電をキルン50基中31基導入  
※19万kW/70万kW(出力ベース)
- ◆ 自家発における再エネ(混焼含む)が約4割  
※28万kW/70万kW(出力ベース)



## 2. セメント産業について | エネルギー由来CO2対策における今後の課題と対策

- グリーンイノベーション基金ではプロセス由来のCO2対策に取り組むこととしているが、キルン等を稼働させるため石炭や重油等から生じるエネルギー由来CO2対策に課題が残る。
- これまでもバイオマス等の再生可能エネルギーの利用拡大や省エネ設備の導入などエネルギー由来CO2削減に向けて取組が行われており、一定の成果が上げられているものの、今後カーボンニュートラルに向けては一層、研究開発の実施や燃料転換の取組などに取り組んでいく必要がある。

### 今後の対策イメージ

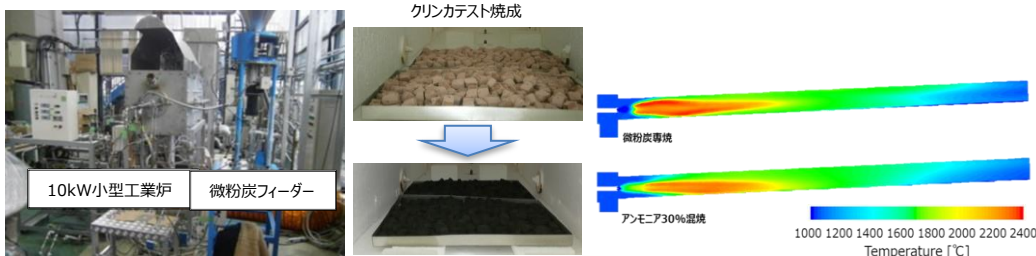
- 現在取り組む、再エネ利用拡大、省エネ設備の導入を継続。また、自家用発電に用いるエネルギー源を化石燃料から天然ガスやバイオマスに転換（混焼率向上も含む）を進める。
- 天然ガスの燃焼に必要なパイプライン等のインフラ整備を行いつつ、水素、アンモニア、合成燃料（合成メタン※）など、グリーンエネルギーへの燃料転換に必要な自家発電設備の導入を促進。  
※燃料転換の一環として、セメント工場から発生するCO2と水素によるメタン生成（合成ガス）などメタネーション化を推進しているが、メタン生成に向けた設備の導入や技術実証が必要。
- セメントキルンに利用する燃料対策として、水素・アンモニア※・合成メタン等の脱炭素燃料への転換・導入に向けた開発・実証等を進める。  
※アンモニアを用いたバーナーの開発等も既に行われているが、アンモニアの混焼比率は30%程度であり、混焼比率の高いアンモニア焼成技術が必要と考える。
- 事業採算性の向上のため、生産量に応じた効果的な生産体制の整備が必要。たとえば水素やアンモニア等の共同利用するコンビナート等の生産設備の整備など。

## 2. セメント産業について | (参考) セメントメーカーにおけるエネルギー由来CO2対策の取組

- 国内セメントメーカーの燃料転換によるエネルギー由来CO2対策の取組として、セメントキルンの燃焼に化石燃料とアンモニアの混焼を用いる焼成技術の開発が進められている。
- また、セメント工場の排ガスからCO2を分離回収して製造した合成メタンを燃料として活用するための技術開発及び実証が進められている。

### キルン焼成エネルギーの燃料転換

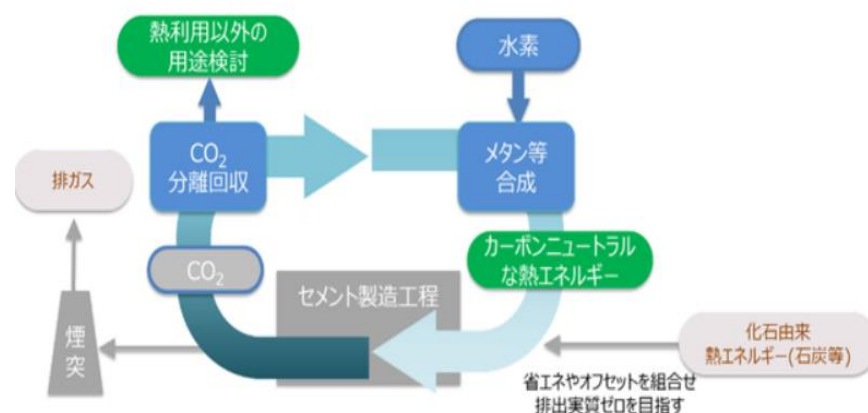
- セメント製造のバーナーをアンモニアに転換する技術開発（内閣府SIP）  
**ロータリーキルン内のバーナーの熱エネルギーをアンモニアに置き換え、化石燃料から生じるエネルギー由来CO2削減技術の確立を目指す**（宇部興産、大阪大学等実施）。
- モデル燃焼炉試験を用いて重油あるいは微粉炭とアンモニアとの混焼実験を行い、低NOx化を達成するための指針を取得
- 重油とアンモニアを混焼させてクリンカ焼成実験を行い、得られたサンプルの品質を評価するとともに、シミュレーションにより実機でアンモニア混焼した場合の影響予測を実施。
- 実験機レベルではアンモニア混焼の割合を30%まで増加させることを達成。



### 工場稼働エネルギーの燃料転換 (メタネーションによる合成メタンの利用)

- セメント工場の排ガスからCO2を分離回収し、**合成メタンを製造する技術、およびその合成メタンを脱炭素燃料として活用する技術の開発**が進められている（三菱マテリアル実施）。
- 2021年度より実証試験を実施。
- 今後安価な水素の確保やコストの算定などが必要。

工場排ガスのリサイクル概念図



## 2. セメント産業について | 国内と海外のセメント産業の比較

- クリカ比率や化石燃料利用率等に若干違いはあるものの、原料や燃料の利用状況について大きな違いはない。地震が多く高い強度が求められることなど、日本固有の事情も加味しながら世界の動向と歩調を合わせつつ取組を進める。
- 一方、日本は海外と異なりCO2の貯留ポテンシャルが少ないことから、CCUSの方向性については、廃棄物や回収したCO2を再利用する循環型のCCUS技術が国内に適するのではないか。

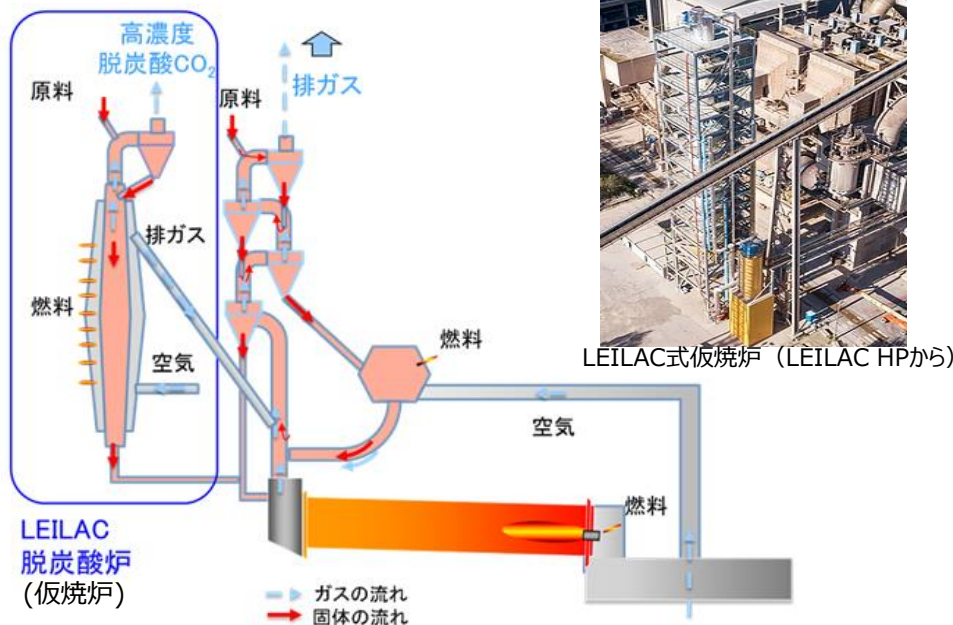
|                                  | 国内  | 海外   | 参考                      |
|----------------------------------|---|--|-------------------------|
| <b>クリカ比率</b><br>(プロセス由来CO2関係)    | <ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>クリカ/セメント比は約83%と世界平均より高く</b>、それに伴いCO2排出係数も高い。</li> <li>● 国によってセメントに求める圧縮強度の要求水準の運用の違いがあり、その影響が反映されている。</li> <li>● CO2削減に向け<b>クリカ比率の低減等を進める</b>。(セメント協会長期ビジョン)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>欧州は74%、中国は72%と比較的低い</b>。例えば中国はクリカ/セメント比が低いセメントが特徴。(CO2排出係数も低い。)</li> </ul>   | 主要地域のクリカ/セメント比※<br>     |
| <b>化石燃料利用率</b><br>(エネルギー由来CO2関係) | <ul style="list-style-type: none"> <li>● クリカ製造における<b>熱エネルギー中の化石燃料利用率は82.1%</b>。</li> <li>● 日本では<b>廃棄物をエネルギー及び原料の代替として利用</b>している。</li> <li>● 継続的な取り組みと、<b>使用エネルギーの低炭素化を進める</b>。(セメント協会長期ビジョン)</li> </ul>             | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 欧州では、エネルギー代替として廃棄物や<b>バイオマス燃料の利用を拡大</b>しており、化石燃料利用率が低い。</li> <li>● 一方、インドなど新興国では代替燃料の活用が進んでおらず、化石燃料利用率が高い。</li> </ul> | 化石燃料比率(%) (2016年度)<br>  |
| <b>貯留ポテンシャル</b><br>(プロセス由来CO2関係) | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 現状国内ではCO2貯留地域が限られており、回収したCO2に関しては、貯留や固定より、セメント製造プロセスの中でCO2を活用する<b>循環型の取組の方が合理的</b>である。</li> <li>● CCUSへの取組を進める。(セメント協会長期ビジョン)</li> </ul>                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 石油採掘地が多い等の理由によりCO2貯留ポテンシャルが高い<b>北欧やアメリカでは、回収したCO2を貯留・固定</b>する技術が主流となっている。</li> </ul>                                  | CO2貯留ポテンシャル (GtCO2)<br> |

※クリカ比率は欧州を除き2016年経済産業省報告書より抜粋。欧州の値はCembureauのデータを参照、年数は不明。

## 2. セメント産業について | 世界のセメント産業の動向（取組例）

- 国際技術動向として、LEILACプロジェクトでは仮焼炉で石灰石を間接的に加熱し、プロセス由来CO<sub>2</sub>を回収する技術実証に着手中。高濃度のCO<sub>2</sub>回収が可能だが、**設備の大規模化が課題**。
- HeidelbergCement は2030年を目標にスウェーデンの工場での脱炭素化を発表。プロセス由来CO<sub>2</sub>は化学吸収法で回収し、圧縮冷却して海底貯蔵(CCS)する計画。ただし、CO<sub>2</sub>回収エネルギーがセメント生産用エネルギーの5倍と推計。さらに**海底貯蔵コストの考慮も必要**。
- 日本においてはCO<sub>2</sub>貯留を広く廉価で行うことが現状難しく、従前の廃棄物利用等におけるノウハウを活用し、回収したCO<sub>2</sub>を再利用する**循環型のCCUS技術に取り組んでいくことが現実的**ではないか。

### LEILACによる燃焼方法



### ■ LEILACプロジェクト

○EU Horizon2020の資金支援を受け、HeidelbergCement (独)、CEMEX(墨)、CALIX(米)等の世界主要メーカーが参画。

- LEILAC I 2019~ 30,000トン -CO<sub>2</sub>/年
- LEILAC II 2025~ 100,000トン -CO<sub>2</sub>/年

○石灰石由来CO<sub>2</sub>の20%相当を回収。

(LEILAC HPから)

### ■ HeidelbergCementデータ (CCS)

- CO<sub>2</sub>回収エネルギー 3.0GJ/t ※1
- セメント生産 0.6GJ/t ※2

※1「CO<sub>2</sub> Capture, Use, and Storage in the Cement Industry: State of the Art and Expectations」(著者Marta G. Plaza, Sergio Martínez, and Fernando Rubiera)  
 ※2「セメントハンドブック」(セメント協会)の電力量を基に算定



## 2. セメント産業について | セメント産業の脱炭素に向けた動向まとめ

- 社会インフラにおいて重要な建材であるセメントは今後とも重要になり、品質や安定供給を求めつつ、脱炭素社会の実現に向けて、プロセス由来CO<sub>2</sub>とエネルギー由来CO<sub>2</sub>の両面から削減に取り組む必要がある。
- プロセス由来CO<sub>2</sub>削減については、今後革新的な技術が必要。トランジションとして廃棄物を活用した原料代替や炭酸塩の生成、クリンカ比率の低いセメントの開発などに取り組みつつ、将来的なカーボンニュートラルに向け、GI基金事業を中心としたCO<sub>2</sub>回収・利用技術の開発が必要。また、これらの取組に向け、ユーザーや関係省庁との連携ならびに各者の理解を深め、リサイクル推進のための社会システム整備も段階的に進める必要がある。
- エネルギー由来CO<sub>2</sub>の削減に向けては、短期的にはエネルギー代替廃棄利用の拡大や、省エネ・高効率な設備の導入などに引き続き取り組みつつ、長期的には、自家発電設備やキルンにおいて水素やアンモニアなど脱炭素燃料への燃料転換を目指す。
- 海外ではCCS等の技術開発が進むが、設備規模、コスト等において課題が残る。また、日本では海外より貯留を行うポテンシャルが低く、経済性に鑑みると、廃棄物利用といった従前のノウハウも活用しつつ、回収したCO<sub>2</sub>を再利用する、循環型のCCUS技術の開発を中心とした技術開発を着実に進めることが重要。
- 今後、トランジション期間における技術も活用しながら、GI基金事業を中心として脱炭素に向けた取組を進める。

# 目次

| 章                    | 節                | 概要   |
|----------------------|------------------|--|
| 1. 前提                |                  | <ul style="list-style-type: none"><li>セメント分野のロードマップの必要性</li><li>ロードマップの目的・位置づけ</li></ul>                                 |
| 2. セメント産業について        |                  | <ul style="list-style-type: none"><li>セメント産業の概要（産業規模、国内製造プロセス、エネルギー消費内訳）</li><li>CO2排出の現状</li><li>CO2排出に対する対応策</li></ul> |
| 3. カーボンニュートラルへの技術の道筋 | ①CN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>  |
|                      | ②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>                   |
|                      | ③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>                                     |

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

製造プロセス

原料

| 技術名                    | 概要   | 排出係数/<br>削減幅等※1                               | 実装年※2   | 主な参照先  |
|------------------------|--|---|---------|--|
| 省エネ・高効率<br>(ベストプラクティス) | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 廃熱発電</li> <li>✓ クリンカクーラーの高効率化</li> <li>✓ 堅型石炭ミルの導入</li> <li>✓ 高炉スラグミルの堅型化</li> <li>✓ NSPキルン</li> <li>✓ IoTや自動運転の導入</li> </ul> | エネルギー原単位<br>約5.7%削減※3<br>(2019年比、<br>2030年時点) | 既に導入    | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 低炭素社会実行計画 等</li> <li>✓ Material Economics</li> </ul>                      |
| 燃焼温度の低下                | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 鉱化剤の利用により焼成温度を下げることでエネルギー原単位約2.6%の削減に寄与</li> </ul>  |   | 2020年代  | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 低炭素社会実行計画</li> </ul>  |
| クリンカ比率の低減              | <p>以下等により、セメントにおけるクリンカの比率を低減し、排出量を削減。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ アルミン酸三カルシウムの量を増やすことで、混合材の使用量の増加</li> <li>✓ 高炉セメントB種に添加する高炉スラグの分量増加</li> </ul>       | — ※4  | 一部は既に導入 | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 低炭素社会実行計画</li> <li>✓ Material Economics</li> <li>✓ IEA ETP2020</li> </ul> |
| 廃棄物による原料代替             | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 原材料の一部に廃棄物を利用することで、プロセス由来CO2の削減に寄与</li> </ul>   | — ※4  | 既に導入    | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 低炭素社会実行計画</li> </ul>  |
| コンクリート微粉のリサイクル         | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ コンクリート製造時の微粉等をクリンカの原料として活用</li> </ul>   | — ※5  | 2030年代  | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ セメント産業の長期ビジョン</li> <li>✓ Material Economics</li> </ul>                    |
| 低炭素型新材料の開発             | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 既存の結合材にかわる新たな組成の材料（製造時のCO2排出量の低い材料や、石灰石に近い新たな結合剤など）を開発することで非エネルギー排出の削減に寄与</li> </ul>  | — ※6  | 2040年代  | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ セメント産業の長期ビジョン</li> <li>✓ Material Economics</li> </ul>                    |

※1：排出係数は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：カーボンニュートラル行動計画における2030年見直し予定目標値と2019年実績値を参照した削減率。

※4：クリンカ比率や廃棄物による代替比率により排出係数は異なる。

※5：参考として、Material Economicsでは、当技術により非エネルギー排出を最大20%削減可能と記載。ただし同レポートはEUを対象としており、前提であるエクリンカ比率や基準等が異なるなど、日本で同様の削減幅を想定することは現状困難。

※6：参考として、Material Economicsでは、現状利用可能な代替結合材の利用により、ポルトランドセメントと比較して、最大10%の非エネルギー排出を削減できると記載。ただし、削減幅は純粋なポルトランドセメントの比較であり、高炉スラグなど混合材料を含むセメントでは削減幅が異なるなど、単純比較は困難。また、代替原料の利用可能性が限られることに加え、硬化時間や強度などの技術面でも、採用に向け課題があるとの記載もある。

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

燃料  
転換

CCUS

| 技術名              | 概要  | 排出係数/<br>削減幅等※1         | 実装年※2  | 主な参照先                                |
|------------------|---|-------------------------|--------|--------------------------------------|
| 廃棄物のエネルギー利用      | ✓ 廃プラや各産業からの汚泥、木くず等を熱エネルギー代替として活用                 | エネルギー由来排出<br>～100%削減 ※3 | 既に導入   | ✓ 低炭素社会実行計画                          |
| バイオマス等の利用        | ✓ 燃焼時にバイオマス等を活用することで、化石燃料の使用量を低減し、エネルギー由来CO2削減に寄与 |                         | 既に導入   | ✓ GI基金-社会実装計画<br>✓ IEA ETP2020       |
| 水素・アンモニア等の利用     | ✓ 燃焼時にCO2を排出しない水素やアンモニア等を利用することでエネルギー由来CO2の削減に寄与  |                         | 2030年代 | ✓ 内閣府SIP                             |
| 排ガス等からのCO2分離回収   | ✓ 工場外に排出される排ガス等から、化学吸収法等の既存技術を活用してCO2を分離・回収する     | -※4                     | 2020年代 | ✓ IEA ETP2020<br>✓ カーボンリサイクル技術ロードマップ |
| CO2回収製造プロセス      | ✓ 既存のセメント製造プロセスを活用し、プレヒーター内部からプロセス由来CO2を回収        | -※4 ※5                  | 2030年代 | ✓ GI基金-社会実装計画                        |
| 炭酸塩の生成           | ✓ カルシウム源にCO2を回収させ固定化することで炭酸塩として貯蔵・利用しCO2削減に寄与     | -※5                     | 2030年代 | ✓ GI基金-社会実装計画<br>✓ カーボンリサイクル技術ロードマップ |
| カーボンリサイクルセメントの生成 | ✓ CO2を固定した炭酸塩からセメントを製造する技術によりCO2排出削減に寄与           | -※5                     | 2030年代 | ✓ GI基金-社会実装計画                        |
| 合成メタンの生成・利用      | ✓ 排ガス中のCO2を回収し合成メタンを生成・利用することでセメント製造におけるCO2削減に寄与  | - ※4                    | 2030年代 | ✓ グリーン成長戦略                           |

※1：排出係数は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。燃料転換についてはエネルギー由来排出、CCUSについてはエネルギー由来排出・非エネルギー由来排出の両方について記載。

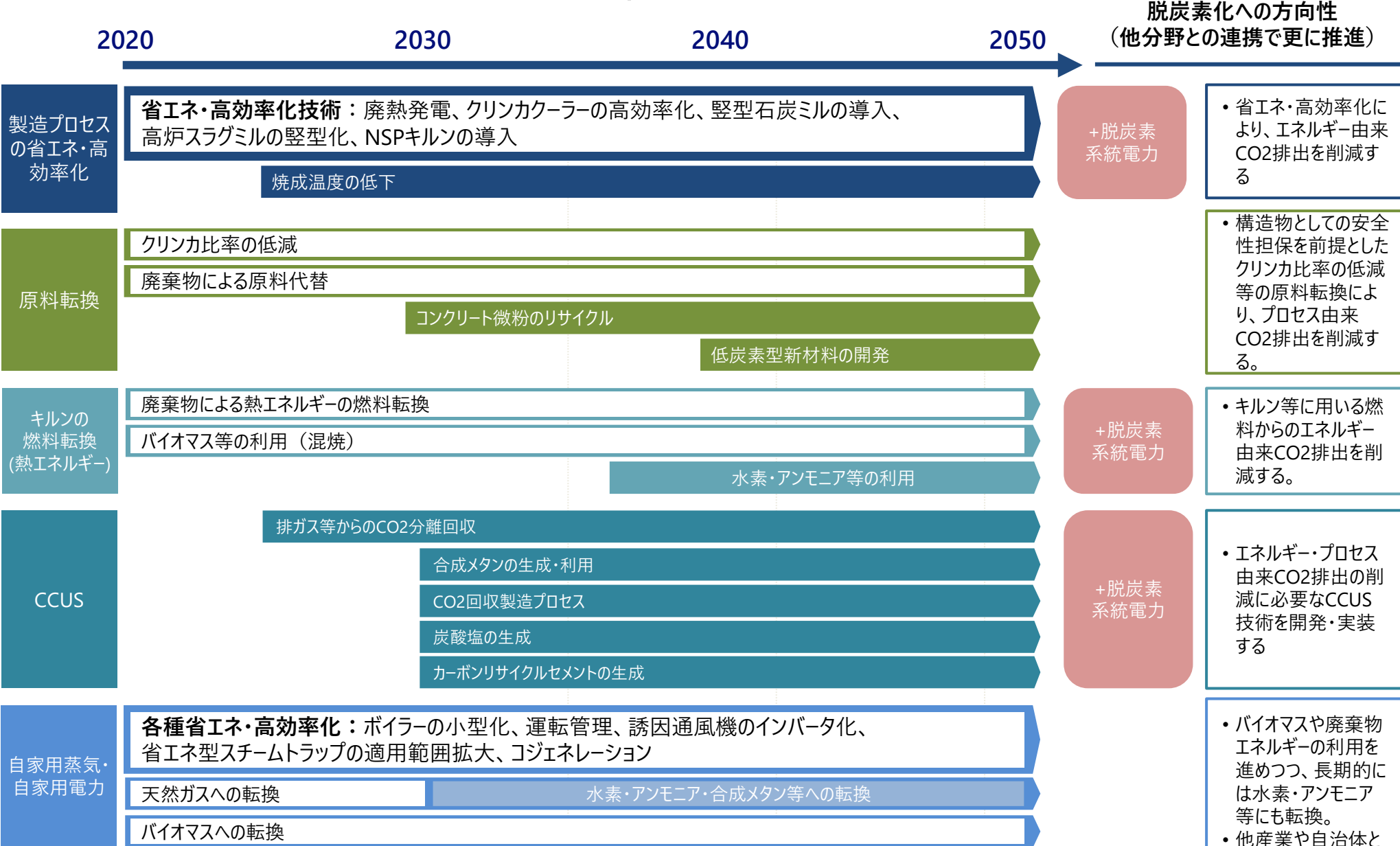
※2：社会実装計画については導入拡大・コスト低減フェーズの開始年を、IEAの場合はAvailable Yearを参照。

※3：水素・アンモニア専焼の場合はエネルギー排出ゼロ、混焼率等により削減幅は異なる。廃棄物・バイオマスの利用における混焼の場合も混焼率に依存する。

※4：CO2回収による削減効果は、回収性能により異なる。



※5：GI基金・社会実装計画においては、プレヒーター内で発生するCO2の80%以上を回収し、炭酸塩1トンあたりに固定するCO2固定量を400kg以上とすることを目標としている。

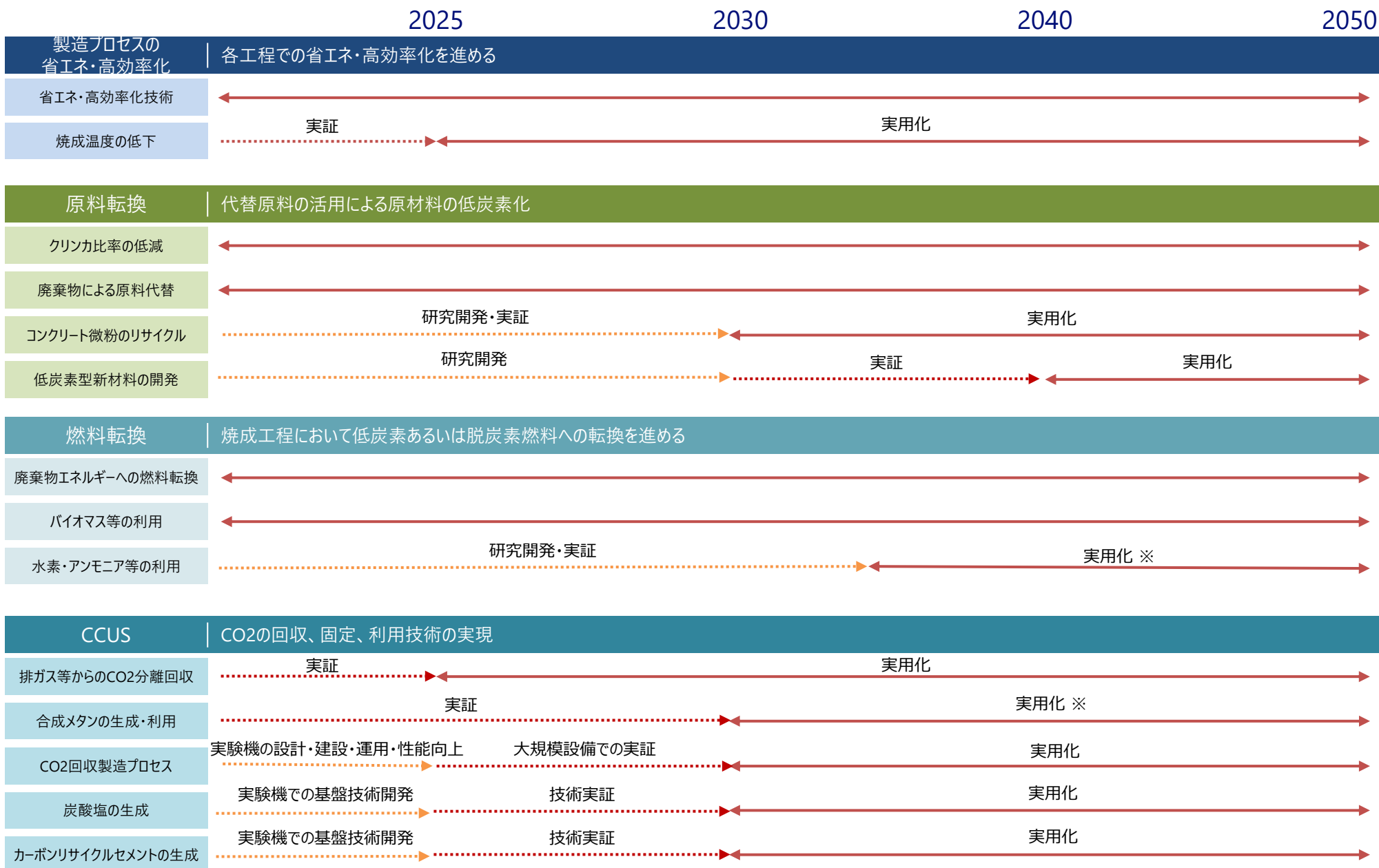
# 3. カーボンニュートラルへの技術の道筋 | ②技術ロードマップ



※ セメント産業はエネルギー消費の約8割が熱エネルギーである。  
 ※ 燃料転換については、足元で廃棄物やバイオマス、次いで天然ガス等への転換が進むことを想定。将来的には天然ガス等のため敷設したパイプラインを用いることでの水素・アンモニア等への転換も考えられる。

### 3. カーボンニュートラルへの技術の道筋 | ②技術ロードマップ【参考】

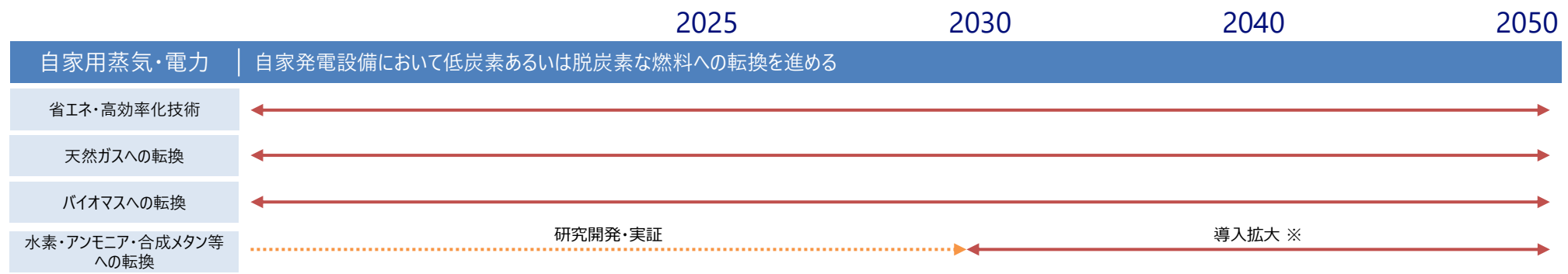
研究開発   
 実証   
 実用化・導入 



※ 実用化にあたっては、安価な水素の安定供給、インフラの確立など社会システムの整備といった条件の確立が必要。

### 3. カーボンニュートラルへの技術の道筋 | ②技術ロードマップ【参考】

研究開発 →  
 実証 →  
 実用化・導入 ←



※ 実用化にあたっては、安価な水素の安定供給、インフラの確立など社会システムの整備といった条件の確立が必要。



# パリ協定との整合/科学的根拠の整理

- 本技術ロードマップは、2050年カーボンニュートラルの実現を目的とした我が国の各政策や国際的なシナリオ等を参照して策定しており、パリ協定と整合する。
- 具体的には、各種省エネ・効率化や燃料転換などによる着実な低炭素化に加え、CCUSなどの革新的技術を積極的に導入することで、2050年のカーボンニュートラルを実現していくものである。

## 主な参照先・作成根拠

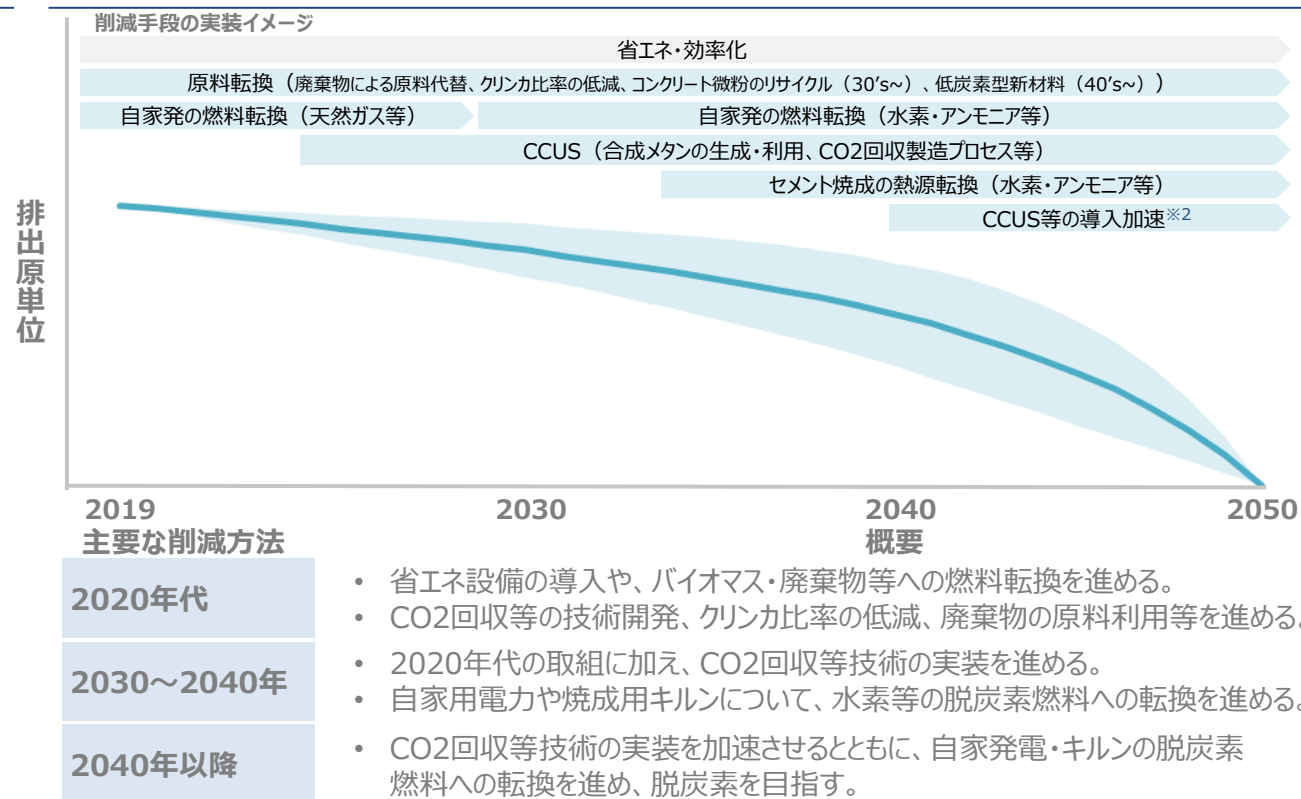
### 各種政府施策

- ✓ 2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略（カーボンリサイクル・マテリアル産業）
- ✓ 「カーボンリサイクル関連」プロジェクトに関する研究開発・社会実装計画
- ✓ 革新的環境イノベーション戦略
- ✓ エネルギー基本計画
- ✓ 温暖化対策計画
- ✓ カーボンリサイクル技術ロードマップ

### パリ協定と整合する海外のシナリオ・ロードマップ等

- ✓ Clean Energy Technology Guide (IEA)
- ✓ Energy Technology Perspective 2020 (IEA)
- ✓ Industrial Transformation 2050 (Material Economics)
- ✓ Science Based Target initiative

## CO2排出の削減イメージ<sup>※1, 2</sup>



※1 我が国におけるセメント産業全体としての削減イメージであり、実際にはセメント各社は各々の長期的な戦略の下でカーボンニュートラルの実現を目指していくことになるため、各社に上記経路イメージとの一致を求めるものではない。

※2 2050年カーボンニュートラルの実現には、CCUSや水素・アンモニア等の導入拡大も非常に重要。省エネ技術の進展や水素・アンモニアなどの新燃料の安定・安価な供給、その関連のインフラ、サプライチェーンを通じた連携によるCCUSやサーキュラーエコノミーなど、新たな社会システムの整備が前提。



# 目次

| 章                    | 節                | 概要   |
|----------------------|------------------|--|
| 1. 前提                |                  | <ul style="list-style-type: none"><li>セメント分野のロードマップの必要性</li><li>ロードマップの目的・位置づけ</li></ul>                                 |
| 2. セメント産業について        |                  | <ul style="list-style-type: none"><li>セメント産業の概要（産業規模、国内製造プロセス、エネルギー消費内訳）</li><li>CO2排出の現状</li><li>CO2排出に対する対応策</li></ul> |
| 3. カーボンニュートラルへの技術の道筋 | ①CN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>  |
|                      | ②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>                   |
|                      | ③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>                                     |

## 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。
- セメント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、セメント分野における低炭素・脱炭素技術の実用化は、脱炭素電源、水素供給、インフラ、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。また、カーボンニュートラルに対応したセメント及び技術の利用拡大や、技術開発によって生まれた付加価値の回収については、ユーザーを含め社会全体での理解も得る必要があるため、他分野や関係省庁等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。
- セメント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の実施等も考えられる。

# 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

## セメント分野 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】

坂井 悦郎 東京工業大学 名誉教授

北村 晃成 一般社団法人セメント協会 生産・環境幹事会 幹事長  
(太平洋セメント株式会社 執行役員 生産部長)

赤松 史光 大阪大学大学院 工学研究科 機械工学専攻 燃烧工学研究室 教授