

2020年3月26日
2022年3月24日改訂

「カーボンニュートラルを目指すセメント産業の長期ビジョン」

一般社団法人 セメント協会

1. 本ビジョン策定経緯及び狙いと改訂経緯

セメント産業は、2020年度に約4,000万tの二酸化炭素を排出し、国内の産業部門において、電力、鉄鋼、化学に次ぐ第4位の排出源となっている。しかも主要製造過程において、主成分の酸化カルシウムを得る際に石灰石を加熱分解し、二酸化炭素が発生するため($\text{CaCO}_3 \Rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2 \uparrow$)、プロセス起源の排出量が全体の約6割を占めるという特徴を有しており、現状では代替する技術は、存在しない。

これまでセメント産業は、日本経済団体連合会(以下「経団連」という。)の提唱する環境自主行動計画及び低炭素社会実行計画(2021年6月にカーボンニュートラル行動計画に改組)に参画し、セメント製造用エネルギー原単位の低減に向けて真摯に努力してきた。その結果、環境自主行動計画では目標を上回る成果を得、現在進めているカーボンニュートラル行動計画では、2018年度に引き上げた目標を3年連続で達成し、2022年度からはさらに深掘りをした新目標をもってフォローアップすることとしている。

2018年10月、経団連は各産業界が自主的な「長期ビジョン」策定に向けた検討を行うことを提言した。また、2019年6月に閣議決定された「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」では「我が国は、最終到達点として「脱炭素社会^{*}」を掲げ、それを野心的に今世紀後半のできるだけ早期に実現していくことを目指す。それに向けて、2050年までに80%の温室効果ガスの排出削減という長期的目標を掲げており、その実現に向けて、大胆に施策に取り組む。」とされ、セメント協会では、「脱炭素社会を目指すセメント産業の長期ビジョン」を策定し、セメント産業が、2050年、更には、その先という不確実な将来を展望し、現時点において、2050年の長期目標や最終到達点としての「脱炭素社会」の実現に向け、目指すべき方向性を示した。

一方、その後、我が国は2030年の削減目標の見直しと、2050年を目標とした長期行動計画の策定に着手し、2020年10月、菅総理大臣は所信表明演説において、我が国が2050年にカーボンニュートラルを目指すことを宣言し、同年12月には「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」を閣議決定した。また、グリーン成長戦略は2021年6月に更なる具体化が行われ、当業界が関連するカーボンリサイクル・マテリアル産業の取組みにおいては、「新たな製造プロセスの確立・炭酸塩の利用拡大」が盛り込まれ、国としてのカーボンニュートラルを目指す方向性が示され、当業界が貢献すべき分野についても、少しずつ明確になってきている状況にある。そのため、国の目指すカーボンニュートラルの方向性を念頭に置きながら、2020年3月26日に公表したビジョンをカーボンニュートラルに向けた本ビジョンに改めた。

今回の改訂では、セメント産業としての2050年カーボンニュートラルの絵姿を示したが、この分野はバリューチェーンとしてカーボンニュートラルを目指す絵姿が多く用いられている。そのような意味でも、今後ますます、建設業界をはじめとしたステークホルダーとの関係ならびに理解と協力が重要である。

※今世紀後半に温室効果ガスの人為的な発生源による排出量と吸収源による除去量との間の均衡(世界全体でのカーボンニュートラル)を達成すること

2. 広義の国内需要量

本ビジョンを作成するに当たり、まず、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)について、(株)三菱総合研究所の分析結果を元に将来予測を行った。その結果、2050年における広義の国内需要は3,400万t～4,200万t程度と推計される。生産量については、輸出と輸入を加味する必要があるが、2050年の国際市場や為替動向などを現時点で予測することは困難である。従って、生産量は、広義の国内需要から更に幅をもって捉えるべきである。

3. セメント産業の果たすべき役割

セメント産業は、以下の役割を担っているが、これらは2050年以降においても果たすことは可能であり、かつ、果たし続けるべきものである。

3.1 基礎素材の供給者

我が国は、数多くの災害に繰り返し苛まれてきた。近年地震災害が多発し、南海トラフ地震や首都直下地震も遠くない将来に発生する可能性が高まり、異常気象も頻発し、激甚化してきている。セメント産業は、これらに対処するため、社会インフラ・防災インフラなどの整備を進める上で、必須の役割を担うコンクリートの基礎素材の供給を通じて大きな役割を果たしてきた。

更に、地球温暖化問題に対処するためには、地球温暖化の悪影響を軽減する適応策は、益々重要になっている。また、我が国のインフラは高度経済成長期に集中的に整備されたため、今後急速に老朽化することが懸念されており、その維持管理・更新が課題となっている。

こうした事情も踏まえ、政府は2018年に国土強靱化基本計画を改定し、気候変動適応計画を策定した。セメントは、固化材とともに多くのハード面の施策で必須の素材であり、セメント産業は、両者の供給者として、今後とも大きな役割を果たしていくことになる。

3.2 循環型社会形成への貢献

セメント産業は多様な廃棄物・副産物を原料や熱エネルギーの代替として有効利用する技術を開発し、その受け入れ量を増やしてきた。石炭灰の受け入れを通して、東日本大震災以降の石炭火力発電による電力供給を支え、下水汚泥や清掃工場の焼却灰の処理により、快適な市民生活の維持に尽力している。2018年度において、我が国の循環資源量の約11%に当たる約2700万tの廃棄物等を使用し、循環型社会構築に貢献している。これにより、当協会の試算によれば、産業廃棄物最終処分場の約11年の延命効果が見込まれる。併せて、熱エネルギー代替として利用することにより、エネルギー投入量の減少を通じて社会全体の二酸化炭素の削減にも貢献している。

なお、廃プラスチックについては、プラスチックごみの削減とリサイクルの促進を目的とした「プラスチックに係る資源循環の促進等に関する法律」(令和3年6月11日公布、令和4年4月1日施行)により排出抑制が進むものと考えられるが、再資源化ができない場合、熱回収を実施できるものは、熱回収することが関係省令¹⁾に定められており、引き続き当業界が貢献できるものと想定される。

1)「排出事業者のプラスチック使用製品産業廃棄物等の排出の抑制及び再資源化等の促進に関する判断の基準となるべき事項等を定める命令」(省令第一号) 令和4年1月19日公布

3.3 地域経済への貢献

我が国のセメント工場は、北海道から沖縄まで全国に30工場が存在している。将来、工場数の減

少も懸念されるが、セメント工場の立地する自治体の多くは比較的小規模であり、その存在は地域経済にとって重要であると考えられる。併せて、3.4に述べる災害対策における役割を有効に果たすためには、セメント工場の全国展開が望ましい。

3.4 災害廃棄物処理への貢献

東日本大震災でセメント工場が大量の災害廃棄物を処理したことを契機に、2015年9月に環境省が主導して設立した「災害廃棄物処理支援ネットワーク(D.Waste-Net)」へ参画した。同ネットワークでは、復旧・復興対応支援が期待されている。その後、熊本地震や平成29年7月九州北部豪雨等で、セメント産業は、災害廃棄物を処理した。最近の風水害の頻発・激甚化や近い将来南海トラフ地震等の発生が予想されることに鑑みれば、セメント産業の果たせる役割は重要である。地方公共団体の災害廃棄物処理計画との関連付けや災害支援協定の締結等を通じて、社会インフラとしての認知度の向上が望まれる。

4. 目指すべき対策の方向と克服すべき課題

我が国の目指す2050年カーボンニュートラルの実現に向けて、セメント産業も貢献する必要がある。そのためには、当然ながら、排出する二酸化炭素を最大限削減し、排出された二酸化炭素を適切に処理しなければならない。これに加えて、セメント産業は、セメントという基礎素材の供給者としてサプライチェーン全体を通じた二酸化炭素削減についても貢献することが望ましい。

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」が不可欠であるとともに、建設業界をはじめとしたステークホルダーの理解と協力が必要である。

4.1 クリンカ/セメント比の低減

セメントはクリンカ、石こう、混合材で構成されている。セメント製造工程で発生する二酸化炭素の殆どがこのクリンカ製造過程で発生する(プロセス起源+エネルギー起源)ことから、セメント産業にとって、クリンカ/セメント比を低減することは二酸化炭素排出量削減に直結するため、以下の方策を検討する。

ア) ポルトランドセメントに添加する少量混合成分の分量を増量する。

イ) 高炉セメントB種に添加する高炉スラグの分量を増量する。

この場合、セメントの品質面で性能維持の観点から影響が最小となるような検討を行う必要があり、また、クリンカ原料としての廃棄物受け入れ量の低下が循環型社会構築に対する影響を及ぼさないよう、ステークホルダーの理解を得ながら推進する。具体的には、実機で製造した試製セメントを用いて性能確認を行う必要があり、その後には規格改正を視野に入れて進める必要がある。

4.2 投入原料の低炭素化(石灰石代替となる原材料利用拡大)

ア) 脱炭酸されたカルシウム源を含む廃棄物・副産物の利用拡大

原料代替として用いている高炉スラグや都市ゴミ焼却灰などは、脱炭酸済みの酸化カルシウムを含んでいる。ただし、セメントの製造や品質に影響を及ぼす成分が含まれており、現状では、その含有率により使用量はかなり限定される。今後、製品や製造条件に及ぼす影響の低減化に向けた技術開発により利用拡大が進めば、二酸化炭素排出量削減が期待できる。

イ) コンクリートのリサイクル

生コン工場で発生するスラッジや再生骨材の製造に伴い発生した微粉、建設現場で発生する解体コンクリート、残コン、戻コンなどにも、脱炭酸した酸化カルシウムが含まれ、クリンカ原料としての利用が期待できる。利用に関しては、集約システム構築の必要性、セメントの製造や品質に影響を及ぼす成分の濃縮など課題がある。今後の技術開発により、投入原料の低炭素化による二酸化炭素の排出削減につながる可能性がある。

4.3 省エネルギーの推進

我が国のセメント産業における直接の省エネルギー対策は、個々の省エネ設備の普及拡大が推進の鍵となる。長期的な普及拡大を予測することは難しいが、2019 年末の段階で、2030 年度末までに製造設備における BAT(Best Available Technology、利用可能な最良の技術)である高効率クリンカクーラ、廃熱発電、堅型スラグミルなどの導入が予定されており、中期的には更なる省エネルギーの進展が見込まれる。

また、これらの省エネルギー設備の導入によって得られる省エネ効果には電力原単位の低減も相当量含まれており、二酸化炭素排出という点では、間接的にエネルギー転換部門の削減に貢献することとなる。加えて、今後の工場における自動運転や IoT の活用、さらには再生可能エネルギーの積極的活用によっても電力エネルギーの低減が期待できる。

4.4 鉱化剤使用等による焼成温度低減

ポルトランドセメントクリンカの焼成温度を低減する技術として、鉱化剤の添加や間隙相の増量などがある。

前者は、焼成温度を 100℃程度低減できる結果が報告されているが、本技術の適応には鉱化剤となる原料の安定調達とコスト及び品質上の課題がある。一方、後者は、セメントクリンカ鉱物組成変更により焼成温度の低減を目指すもので、これらのクリンカは現行の製品とは異なるため、実機での製造条件や製品としての性能などの検討を行うとともに、品質に関してはステークホルダーの理解が必要である。

4.5 使用エネルギーの低炭素化

炭素排出係数を有さないバイオマスの熱エネルギー代替としての利用は、重要な低炭素化対策である。しかし、多くの業種での利用が想定され、量的な確保と価格の高騰への対応が課題となるとともに、下水汚泥のような水分量が多く乾燥を含めた前処理にエネルギーを要するものもあることから、総量としての二酸化炭素排出量の増加を招来する場合もあり、利用については総合的に判断する必要がある。なお、将来的には生物資源から生成されるバイオプラスチックの普及が期待される。

ただし、セメント産業による熱エネルギー代替廃棄物の利用拡大は、バイオマスに限らず、他産業では処理が困難な廃棄物も含めて利用率を高め、循環型社会形成という観点からも重要であり、他産業での単純焼却により排出される二酸化炭素を削減し、社会全体での削減にも貢献することになる。

また、水素やアンモニア、メタネーションによる合成メタンなどの導入によってもエネルギー起源二酸化炭素の削減が期待できる。ただし、その導入に向けては必要とする量の確保、競争力のある価格での供給や、安定供給のためのインフラ整備などの外部条件の整備が欠かせない。

最後に、自家発電に用いるエネルギーについても、バイオマスの混焼率増、水素やアンモニア、メ

タネーションによる合成メタンなどの導入も検討していく必要がある。その際、前述と同様の外部条件の整備は欠かせない。

4.6 低炭素型新材料の開発(現行の汎用的なセメントと組成が異なる新材料)

二酸化炭素を吸収して硬化する材料や製造時の二酸化炭素の排出量が少ない材料の開発が行われている。現時点では課題も多く、汎用的なセメントに置き換え得る結合材とはなっていないが、コンクリート製品など、特定の分野から利用されていく可能性があり、新たな結合材や混合材の開発に取り組んでいく必要がある。

4.7 二酸化炭素の回収・利用・貯留(CCUS)への取り組み

セメント産業が我が国の目指すカーボンニュートラルの実現に貢献するためには、相当部分をCCUSへ依存せざるを得ない。このうち、回収技術では特に、吸収材料や吸収条件など、セメント工場からの排ガスに含まれる二酸化炭素に対しての最適条件を確立する必要がある。セメント協会では、セメント工場から排出される二酸化炭素回収の最適な条件について、(公財)地球環境産業技術研究機構に委託して、調査・研究を行った結果、最適な回収に向けてはいくつかの前処理の必要性が判明した。

また、本技術の最重要な点として分離・回収された二酸化炭素の処理先を確保する必要がある。二酸化炭素の貯留はその有用な処理方法の一つであり、国内外で実証が進められているが、貯留場所の確保、安全性や輸送方法等の課題解決に向け、国主導での検討が進められており、今後、実用化に向けてインフラなどが整備されることが望まれる。

一方、回収した二酸化炭素の処理方法として、有効利用する技術開発が会員各社をはじめとして、各方面で進められている。2020年1月に公表された「革新的環境イノベーション戦略」では、「CO₂を原料とするセメント製造プロセスの確立/製造工程で発生する二酸化炭素を回収し、炭酸塩として固定化後、原料や土木資材として再資源化するセメント製造プロセス構築を目指す。」ことがアクションプランの一つとして取り上げられ、その技術開発が会員会社にて進められている。また、廃棄物から抽出したカルシウム塩を利用するなどして二酸化炭素を炭酸塩として回収する技術開発についても、会員会社において進められている。

その後、2050年カーボンニュートラルの実現に向けた国のグリーン成長戦略が策定され、同戦略において、セメントに関する今後の取り組みとして、「国内セメント工場で大量のCO₂回収を実現する技術の確立を目標とする。(中略)廃棄物等の多様なカルシウム源を用いて、回収したCO₂と反応させ炭酸塩として有効利用する技術の開発や商用化に向けた実証等を進め、当該技術の確立を図る。」とされている。具体的には、グリーンイノベーション基金事業において「CO₂回収型セメント製造プロセスの開発」として、“製造プロセスにおけるCO₂回収技術の設計・実証”及び“多様なカルシウム源を用いた炭酸塩化技術の確立”の研究開発が会員会社において進められる。

これ以外にも、回収した二酸化炭素をメタネーション技術により合成メタンとして、熱エネルギーに利用していく技術開発も進められている。本章の冒頭でも述べたように、当業界にとってCCUSは我が国の目指すカーボンニュートラルの実現に向けて不可欠な技術であり、基盤技術開発や技術実証の国の動向にも沿いながら、早期の実用化を目指しての技術開発を進める必要がある。

なお、上述の技術においては、現状では多大のエネルギーが必要であることなどを含めて、コスト低減についても併せて検討する必要がある。

「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」における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）の成長戦略「工程表」におけるセメント分野の取り組み（抜粋）¹⁾

※代表事例を記載	2021年	2022年	2023年	2024年	2025年	～2030年	～2040年	～2050年
●セメント 国内キルン全機導入	セメント製造工場でのCO ₂ 回収技術の開発 回収CO ₂ の炭酸塩化による原料・燃料化プロセスの開発					大規模設備でのCO ₂ 回収と炭酸塩化技術実証	設備導入コスト低減・補助金等による導入支援 国内メーカー、アジアメーカーへの技術展開 海外企業へのライセンスビジネスの展開	

1) 経済産業省「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」（概略資料）、p.78

https://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/global_warming/ggs/pdf/green_gaiyou.pdf

4.8 セメントカーボネーション（セメント水和物の二酸化炭素の固定）

石灰石(CaCO₃)を主原料として製造されるセメントは、水と反応しセメント水和物となり、硬化する。このセメント水和物は大気中の二酸化炭素と徐々に反応して炭酸カルシウム(CaCO₃)を生成し、二酸化炭素を固定化する。

以下、この大気中に含まれる二酸化炭素が時間の経過とともに徐々に固定化される反応をセメントカーボネーションと称し、そこには外部エネルギーなどを付与して二酸化炭素を強制的に吸収(固定)させるものは含めない。

セメントカーボネーションによる二酸化炭素の固定量(以下、セメントカーボネーション量と称す)が相当量あることは種々の海外文献で報告されているが、国際的に合意された新たな二酸化炭素の吸収源として算出方法論は未だに整備されていない。実際に、国家温室効果ガスインベントリーの作成方法の国際標準として、IPCC（地球温暖化についての科学的な研究の収集、整理のための「気候変動に関する政府間パネル」）が作成し、パリ協定下で各国に使用が義務付けられている2006年版インベントリーガイドラインでは、具体的な算定方法やデフォルト係数は示されず、その開発は将来の検討課題としているものの、セメントカーボネーションによるプロセスの存在は明確に言及されている¹⁾。

その後、2021年8月、IPCCが公表した第6次評価報告書（第1作業部会）の五章には、過去に全世界で生産されたセメント量とこれを用いたコンクリート構造物のデータをもとに、2010年から2019年までの炭素収支（カーボンバジェット）をモデル試算した結果、年間平均で0.2PgC（二酸化炭素に換算すると約7億3千万t-CO₂）のセメントカーボネーション量があると示されている。これに対する、2010～2019年間の10年間における世界のセメント生産量は、396.3億トン²⁾になることから、年間のセメントカーボネーション量をセメント原単位に換算すると、0.185t-CO₂/t-cem.となる。

また、2021年、IPCCの排出係数データベース（Emission Factor Database）に、セメントカーボネーション量の算出方法とデータの登録申請がなされたが³⁾、提案された算定方法は、ライフサイクルを通して二酸化炭素の排出および吸収固定を表すものであるものの、年間ベースでのセメントカーボネーション量の算定が困難であることから、データベース編集委員会はこの提案を承認しなかった。ただし、この提案に対する同年4月～5月の討議内容については、将来の算定方法開発に有益な情報を含んでいるため同データベースにNoteとして記載された。その算定方法⁴⁾⁵⁾を参考に、日本の2050年のセメントカーボネーション量をセメント原単位で推定すると約0.095t-CO₂/t-cemとなった。

このように、セメントカーボネーションによる大気中に含まれる二酸化炭素の固定化の議論は各所で行われており、それを基にしたIPCCのインベントリー作業部会における今後の算定方法など

の議論の進展が待たれる。

- 1) “2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 3: Industrial Processes and Product Use” , p.2.15
<https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol3.html>
- 2) セメント協会、セメントハンドブック(2021)
- 3) “The 19th meeting of the Editorial Board of the IPCC Emission Factor Database (EFDB)—Note on issues related to cement carbonation” (Online meeting, April-May 2021)
https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/EFDB/otherdata/Note_on_Cement_Carbonation.pdf
- 4) Hakan Stripple, Christer Ljungkrantz, Tomas Gustafsson, Ronny Andersson ,“CO₂ uptake in cement-containing products - Background and calculation models for IPCC implementation”,
<https://www.ivl.se/publikationer/publikation.html?id=5656>
- 5) Sanjuan M.A. et al. Carbon Dioxide Uptake by Cement-Based Materials: A Spanish Case Study, Applied Sciences, 2020, 10, 339,
<http://dx.doi.org/10.3390/app10010339>

4.9 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

コンクリート舗装を走行する大型車の燃料消費率は、同一距離走行時のアスファルト舗装と比較した場合、0.8～4.8%少ないとの報告¹⁾があり、既存のアスファルト舗装をコンクリート舗装に置き換えた道路では、走行する大型車の燃料消費率の向上に伴う二酸化炭素排出の低減が期待できる。今後、官民協力をはじめとした種々の方策によりコンクリート舗装普及が推進し、社会全体の二酸化炭素削減への貢献が期待される。

- 1) 吉本徹「コンクリート舗装と重量車の転がり抵抗・燃費」コンクリート工学、Vol.48 (4)、pp.11-17 (2010)

5. セメント産業としての 2050 年のカーボンニュートラルの絵姿

我が国の目指すカーボンニュートラルの実現に貢献するために、セメント産業として目指すべき対策を可能な限り進捗させる必要がある。その一方で、当産業はプロセスからの排出量が全体の 6 割を占め、早期に排出量を劇的に削減することが困難な一面を持つ。

そのため、現時点で考えられる 2050 年に向けての対策から、セメント産業が 2050 年にカーボンニュートラルを達成する絵姿をビジョンとして描いた。その実現に向け、技術開発の推進と建設業界をはじめとしたステークホルダーとの関係ならびに理解と協力が重要である。

5.1 2050 年に向けて目指す対策

(1) プロセス起源二酸化炭素

- ・普通ポルトランドセメントの少量混合成分の増量により、2030 年にはクリンカ/セメント比（国内生産量ベース）が 0.85 から 0.825 に低減することを目指す。
 - ・セメントカーボネーションにより固定する二酸化炭素量については相当量あることが報告されているが、国際的に合意された算定方法が確立してないため、IPCC の公開情報等をベースに幅を持たせた推定値を用いて、セメント産業に係る貢献として、絵姿を示すこととした。
- なお、強制的に固定させた二酸化炭素はこの貢献には含めない。

(2) エネルギー起源二酸化炭素

- ・徹底した省エネと化石エネルギーの代替となる廃棄物の利用拡大を進める。
- ・(1) で示したクリンカ/セメント比の低減分に応じて、焼成用エネルギーの使用量を削減できる。
- ・焼成用エネルギーについては、バイオマスを含む代替廃棄物の利用拡大、将来的な水素・アンモニア・合成メタン混焼などにより、ゼロエミッション系の混焼を少なくとも 50% までに増やすことを目指す。
- ・自家発電は継続的なセメント製造を支える電力供給源として不可欠である。そのため将来的にはバイオマス燃料を始めとした各種ゼロエミッション系燃料への転換によるゼロエミッションを目指す。

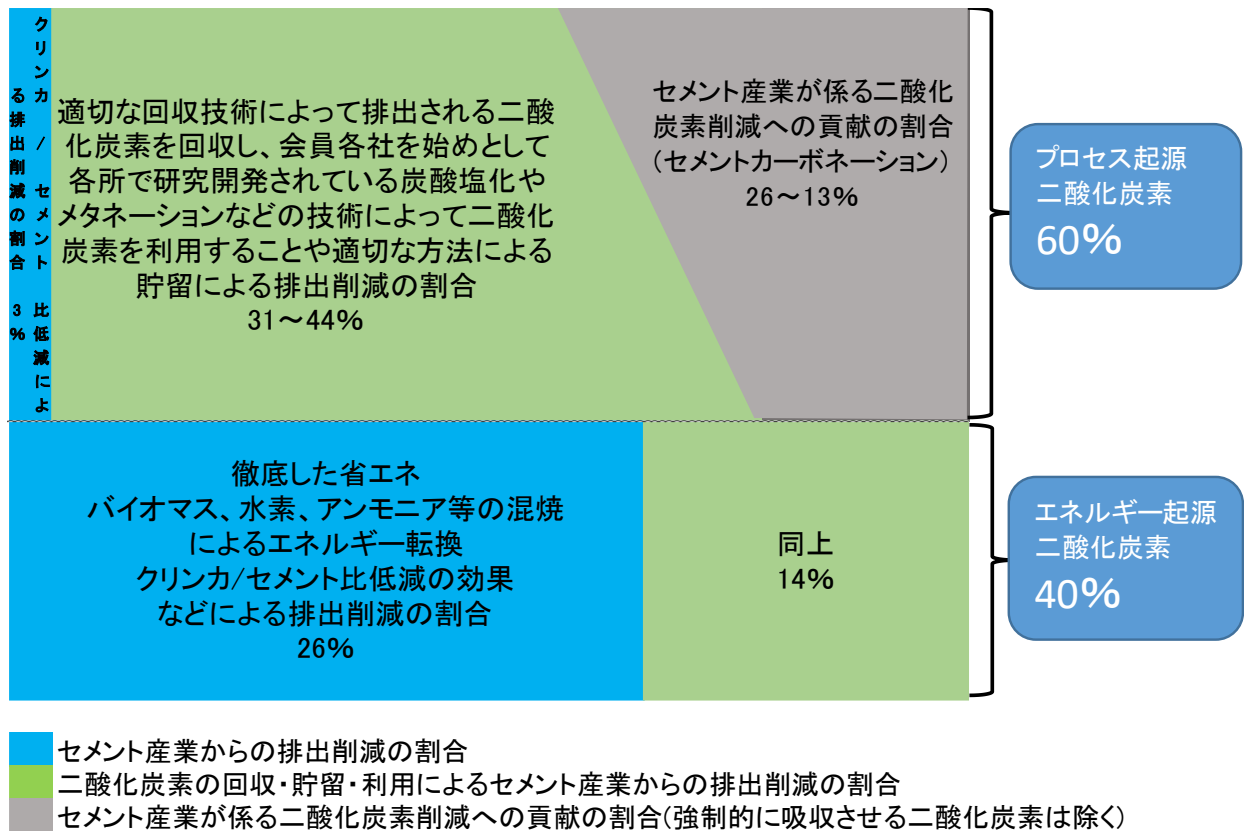
(3) プロセス起源、エネルギー起源両方に向けた二酸化炭素の回収・利用・貯留

- ・セメント産業のカーボンニュートラルの実現には二酸化炭素の回収・利用・貯留が不可欠であり、国のグリーン成長戦略等の目指すところに沿いながら、グリーンイノベーション基金事業でも取り上げられているような回収・利用技術に関しての技術開発を推進し、二酸化炭素の回収・利用・貯留の技術による削減を目指す。

(4) その他の想定

- ・ユーザーの低炭素化への意識向上から、将来的にはクリンカの比率がより低減することが想定され、2030 年に 0.825 を目指したクリンカ/セメント比が、2050 年には 0.8 にまで低減することを想定する。

5.2 セメント産業の 2050 年のカーボンニュートラルの絵姿



以上