



特集記事 • 11

カーボンニュートラルに向けた日本の各産業の取り組み

カーボンニュートラルを目指すセメント産業の取り組み

Challenges for the Cement Industry towards Carbon Neutrality by 2050

一般社団法人セメント協会
生産・環境部門
統括リーダー

青木尚樹
Naoki Aoki

一般社団法人セメント協会
生産・環境部門
審議役

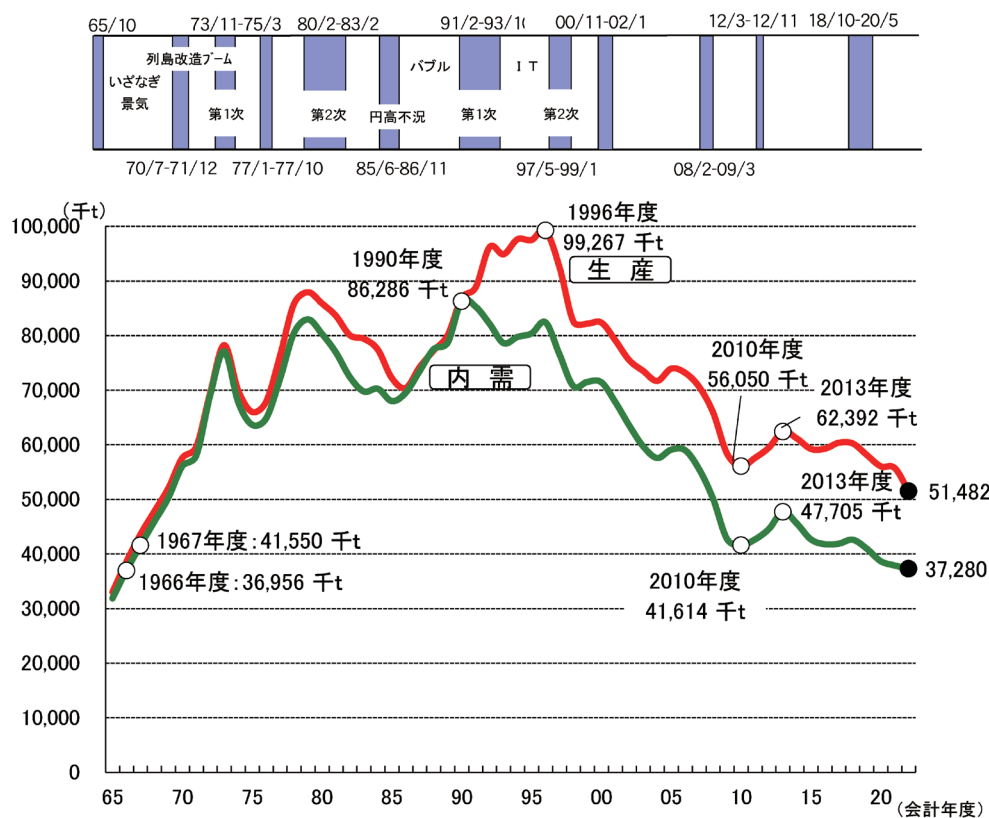
安斎浩幸
Hiroyuki Anzai

1 セメント産業の現状

セメントはそのルーツ的な材料が先史時代より用いられ、文明の発展に寄与してきた。その後、長い歴史を経て、18世紀中ごろ、近代セメントの研究が始まり、1824年に最初のポルトランドセメントが開発された。その後、ポルトランドセメントは英国を中心に発達し、わが国では1875年に最初の信頼できる品質のポルトランドセメントの製造に成功した¹⁾。

黎明期のわが国のセメントの需要は、財政難やセメントに対する認識不足により伸び悩んだが、日清・日露の戦勝や濃尾大地震におけるコンクリート構造物の耐震性が証明されたことから高まりを見せて生産量も伸びた。そして、セメント会社の増加や回転窯の導入などによって産業は成長し、その後の規格や試験方法の整備も相まって品質が向上した。

セメントの需要は第二次世界大戦後の復旧・復興から高度経済成長期を経て、オイルショックや種々の不況とバブル



(注) 1992年度以降の生産には輸出用クリンカ等を含む

図1 セメント生産量及び国内需要の推移²⁾ (Online version in color.)

などの好景気が交互する中、1996年度に約1億トンのピーク生産量を記録した。その後は長期にわたり縮小傾向が続き、リーマンショックによる世界的景気後退、公共事業予算の大幅な削減、建設労働者の人手不足等に加え、近年のエネルギー価格高騰ならびに建設資材高騰により国内需要はピークの約55%にまで落ち込んでいる。

2023年4月現在、国内には16社30工場がある。わが国は純度の高い石灰石を排出する鉱山が国内に点在しており、それを主原料とするセメント工場も、北は北海道から南は沖縄まで全国に点在している。工場の立地は鉱山に近い内陸型と原料と製品の輸送に適した臨海型に分かれる。これまでは、セメント製造に必要な石炭等の大量輸送が可能な臨海型が立地的にはより適していたが、セメントの製造に利用する廃棄物・副産物は主に都市部で発生しており、それらの収集という点から近年は状況が変わってきている。

2 近年のセメント産業の特徴

2.1 セメントの製造と廃棄物・副産物の利用

―サーキュラーエコノミーを支えるセメント産業

図2にセメントの製造工程を示す。

セメントは、原料を乾燥・粉碎・調合する原料工程、調合された原料を高温で焼成し、セメントの中間製品であるクリンカを製造する焼成工程、焼成されたクリンカに凝結調整剤である石こうを加えて粉碎して粉状のセメントにする仕上げ工程の三つの工程を経て製造される。特に焼成工程では

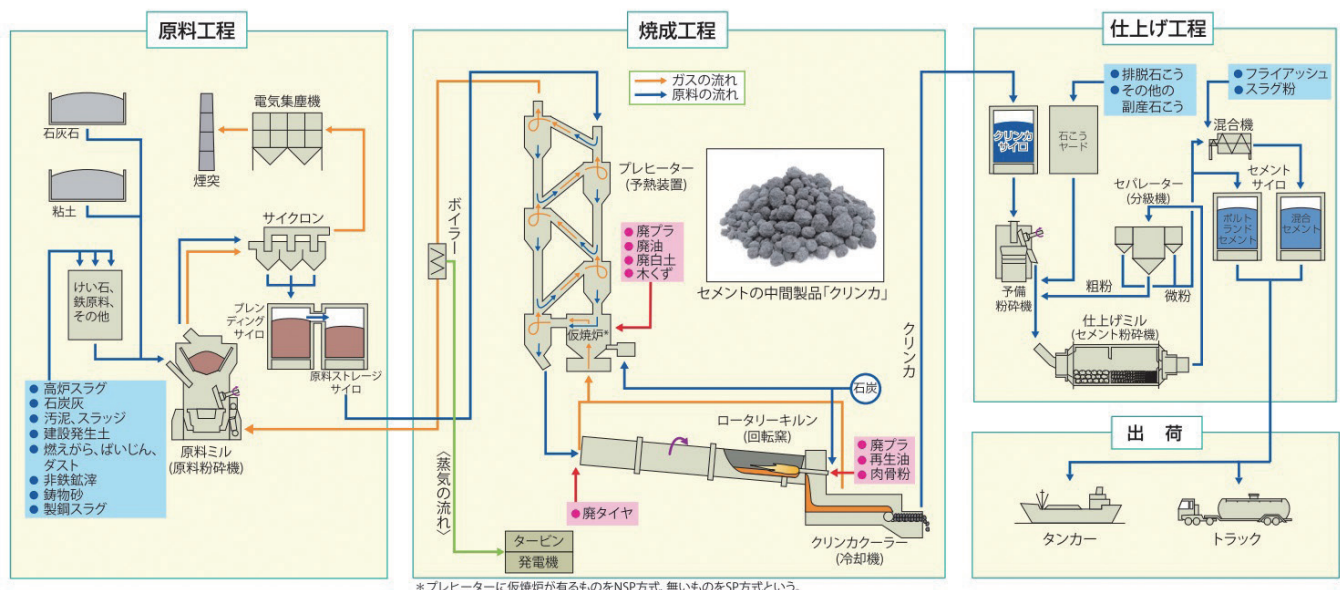
1450℃もの高温で焼成する必要があることから、多量の熱エネルギーを必要とする。

近年のセメント製造における大きな特徴は、多種多様な廃棄物・副産物をセメント製造に利用している点にある。廃棄物・副産物の利用という点では、古くから凝結調整剤として天然石こうの代わりに化学石こうを利用したり、産業から副次的に排出される高炉スラグやフライアッシュ等を混合材として利用したりといった副産物の利用を積極的に行ってきた。1979年には、普通ポルトランドセメントに、石灰石、高炉スラグ、フライアッシュ、シリカ質混合材を最大5%まで添加できるように品質規格の改正も行われてきた。

一方、近年では、熱エネルギーや原料の代替として廃棄物・副産物を利用する技術開発を行い、その利用量を増やしてきた。熱エネルギーの代替としては可燃性の廃棄物の利用を、原料の代替としては、主に粘土の代替となる各種の廃棄物の利用をそれぞれ拡大してきた。セメントの製造では、1450℃もの高温で焼成してクリンカを製造するため、セメントの組成に含まれる成分で構成されるものであれば、原料代替として利用が可能になるもので(図3参照)、表1にその代表的なものとして、天然粘土とその代替となる廃棄物の組成を示す。

また、同様に、可燃性廃棄物を熱エネルギーの代替として利用する際にも、その灰分は原料の代替として利用され、可燃性廃棄物を使用しても二次廃棄物を排出しなくなる。つまり、セメント産業は廃棄物を使用しても二次廃棄物が発生しない産業として特徴付けられている。

これらの廃棄物・副産物の利用拡大は時代背景も関係している。経済発展の過程において、各所から多くの廃棄物や



副産物が排出されるようになり、廃棄物の発生増大による処理・処分場の不足が顕在化し、循環型社会の形成に取り組むことが急務となった。国土の狭い我が国においては省資源・省エネルギーの観点から対策が必要となり、1991年に再生資源利用促進法（後、資源有効利用促進法）の施行によりリサイクルの取り組みの促進が推進された。その後、2001年に施行された循環型社会形成推進法を基本的な枠組みとして循環型社会形成のための法体系が整備され、引き続いて、各種の

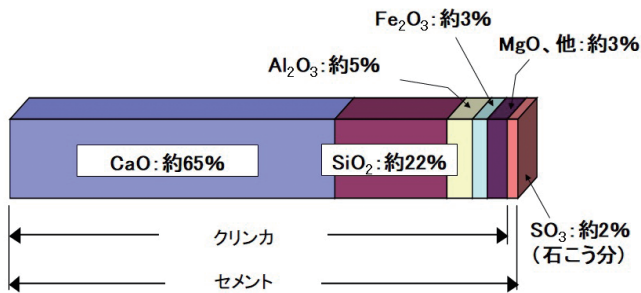


図3 セメントの化学組成例³⁾ (Online version in color.)

リサイクル法も施行され、施策体系が整っていった⁴⁾。

これらの体系形成により、廃棄物の回収・再利用も促進され、セメント産業においては廃プラスチックや木くずなどの使用量を増やしていくとともに、建設リサイクル法による建設汚泥類、自動車リサイクル法によるシュレッダーダスト等、個別の法体系の整備により利用量が増えていったものもある。また、石炭灰は再生資源利用促進法の下、「電気業に属する事業を行うものの石炭灰利用促進に関する判断の基準となるべき省令」を定めて利用促進し、現状では発生量の60%以上をセメント用として利用するに至っている⁵⁾。

表2にセメント産業の廃棄物・副産物使用量の推移を示す。セメント産業が受け入れる廃棄物・副産物は多岐多様に渡り、その処理によって発生元事業の円滑な運営を支えていると考えられる。例えば、電気業から発生する石炭灰や下水事業における下水汚泥などの受け入れ処理は、既に社会インフラ化しているものであり、循環型社会の経済を支えている。加えて、図4に示すように、最終処分場の延命にも効果があるとの試算もあり、処理・処分場の不足の問題を解決する一助に

表1 天然粘土とその代替となる廃棄物の組成比較の事例

クリンカ原料	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
天然粘土	～5%	40～80%	10～30%	3～10%
石炭灰	5～20%	40～65%	10～30%	3～10%
焼却灰	20～30%	20～30%	10～20%	～10%
下水汚泥	5～30%	20～30%	20～50%	5～10%

(A)	産業廃棄物最終処分場残余容量(2022年4月時点)	171,085 (千m ³)
(B)	産業廃棄物最終処分場残余年数(2022年4月時点)	19.7 (年)
(C)	2022年以降の産業廃棄物の年間最終処分量試算値 [(A)/(B)]	8,685 (千m ³)
(D)	セメント工場が1年間に受入れている廃棄物・副産物等の容積換算試算値(2021年度実績)	18,973(千m ³)
(E)	セメント工場が受入処理しなかった場合の最終処分場の残余年数試算値 [(A)/(C)+(D)]	6.2(年)
(F)	セメント工場が廃棄物等を受入処理することによる最終処分場の延命効果試算値 [(B)-(E)]	13.5 (年)

<試算結果>

19.7年
(環境省発表、2022年度)

セメント工場が受け入れ
処理をしなかった場合

6.2年
(セメント協会試算値)

図4 最終処分場の延命効果（試算値）⁶⁾ (Online version in color.)

表2 セメント産業の廃棄物・副産物使用量²⁾

(単位:千t)

種 類	主な用途	1990年度	2000年度	2010年度	2015年度	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度
石炭灰	原料、混合材	2,031	5,145	6,631	7,600	7,597	7,750	7,681	7,593	7,286	7,450	6,893
高炉スラグ	原料、混合材	12,213	12,162	7,408	7,301	7,434	7,398	7,852	7,430	6,981	6,939	6,519
汚泥、スラッジ	原料	341	1,906	2,627	2,933	3,052	3,255	3,267	3,091	2,950	2,904	2,864
副産石こう	原料(添加材)	2,300	2,643	2,037	2,225	2,149	2,179	2,229	2,091	2,032	2,098	2,000
燃えがら(石炭灰は除く)、 ばいじん、ダスト	原料	468	734	1,307	1,442	1,534	1,524	1,530	1,554	1,482	1,471	1,534
建設発生土	原料	—	—	1,934	2,278	1,850	1,823	1,531	1,214	1,241	1,159	946
廃プラスチック	熱エネルギー	0	102	445	576	623	643	718	746	746	774	784
非鉄鉱滓等	原料	1,559	1,500	682	722	757	795	811	740	725	708	612
製鋼スラグ	原料	779	795	400	395	405	374	387	441	364	439	388
木くず	熱エネルギー	7	2	574	705	642	543	517	450	437	400	379
鋳物砂	原料	169	477	517	429	409	446	455	407	336	379	365
廃油	熱エネルギー	90	120	275	293	324	314	335	322	245	302	273
廃白土	原料、熱エネルギー	40	106	238	311	287	287	264	260	260	267	272
再生油	熱エネルギー	51	239	195	179	195	209	223	236	282	236	256
ガラスくず等	原料	0	151	111	129	141	130	152	165	154	151	142
廃タイヤ	原料、熱エネルギー	101	323	89	57	69	63	70	65	69	68	80
肉骨粉	原料、熱エネルギー	0	0	68	57	57	59	60	63	71	71	68
RDF、RPF	熱エネルギー	0	27	48	37	35	37	40	46	46	34	39
ボタ	原料、熱エネルギー	1,600	675	0	0	0	0	0	0	0	0	0
その他	—	14	253	408	382	438	502	459	506	447	445	462
合計	—	21,763	27,359	25,995	28,053	27,997	28,332	28,583	27,422	26,155	26,294	24,878
セメント生産高		86,849	82,373	55,903	59,074	59,114	60,202	60,074	57,978	55,894	55,588	51,339
セメント1t当たりの使用量(kg/t)		251	332	465	475	474	471	476	473	468	473	485

(注)1.「建設発生土」は2002年度以降調査を開始 2.「汚泥・スラッジ」は下水汚泥を含む
3.「石炭灰」は電力業界以外の石炭灰を含む 4.「その他のセメント」用は含まれていない

もなっている。

2.2 災害復旧への貢献

前述のように各種技術開発により、セメント産業は多種多様な廃棄物を受け入れ、その処理量を増やしていくことで、多方面からの新たな受け入れ処理の要請を受けるようになった。例えば災害廃棄物への対応である。セメント産業では、これまでに培った廃棄物処理の技術を災害廃棄物の処理に活用し、被災地の早期の復旧・復興を支援している。

セメント産業の災害廃棄物処理の実績を振り返ると、震災による災害廃棄物は発生量も多く、東日本大震災ではセメント工場も被災する中、100万tを超える震災廃棄物を処理し、環境省の災害廃物処理ネットワーク(D.Waste-Net)発足翌年に発生した熊本地震では21.5万tを処理した。

今後、発生が予測されている南海トラフ巨大地震や首都直下地震などでは、最大の発生量として、それぞれ東日本大震災における災害廃棄物発生量をはるかにしのぐ約2億7千万

トン⁷⁾や約1億トン⁸⁾もの甚大な量の災害廃棄物が発生することが想定されており、セメント産業の災害廃棄物を処理する“ちから”が期待されている。

③ セメント産業からの二酸化炭素排出の現状

これまで述べたのように、セメント産業は循環型社会構築に重要な役割を果たしている。一方で、その製造プロセスからも二酸化炭素を発生するという困難な側面も有している。

セメント産業からの二酸化炭素排出は主原料である石灰石の脱炭酸に起因するプロセス起源の二酸化炭素排出と、セメント製造に用いる多量の熱エネルギー及び電力に起因するエネルギー起源の二酸化炭素排出がある(図5、6参照)。2022年度の実績として、プロセス起源の二酸化炭素排出が約2250万t、エネルギー起源の二酸化炭素排出が約1400万tと、総量では年間3650万tの排出があり、その比率はプロセス起源が

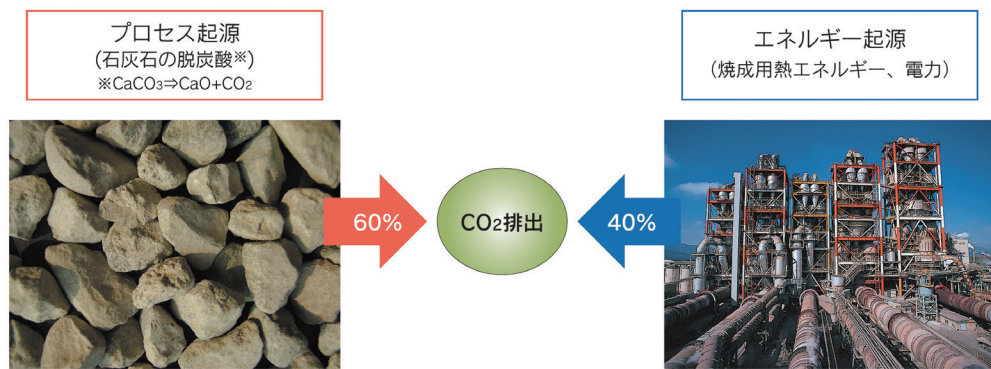


図5 セメント産業の二酸化炭素排出状況³⁾ (Online version in color.)

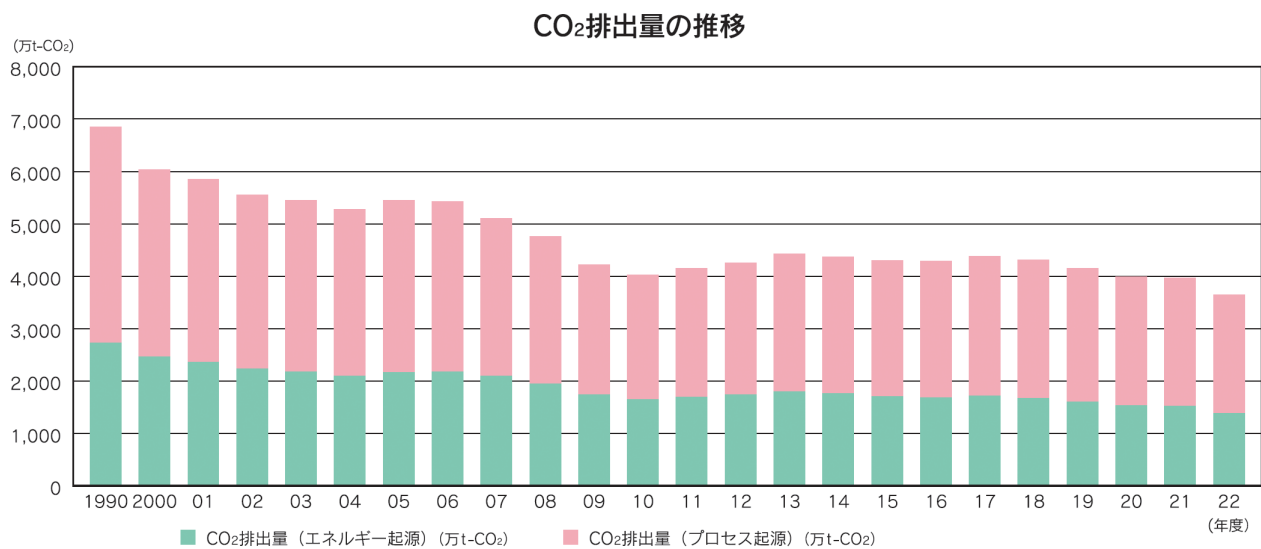


図6 セメント産業の二酸化炭素排出量の推移³⁾ (Online version in color.)

六割、エネルギー起源が四割を占めている。このことは、製造に用いる熱エネルギーや電力について脱炭素化を進めただけでは、セメント産業からの二酸化炭素排出の削減に限界があることを意味しており、セメント産業は削減困難な多量排出産業と認識される所以となっている。

4 セメント産業の二酸化炭素削減の基本

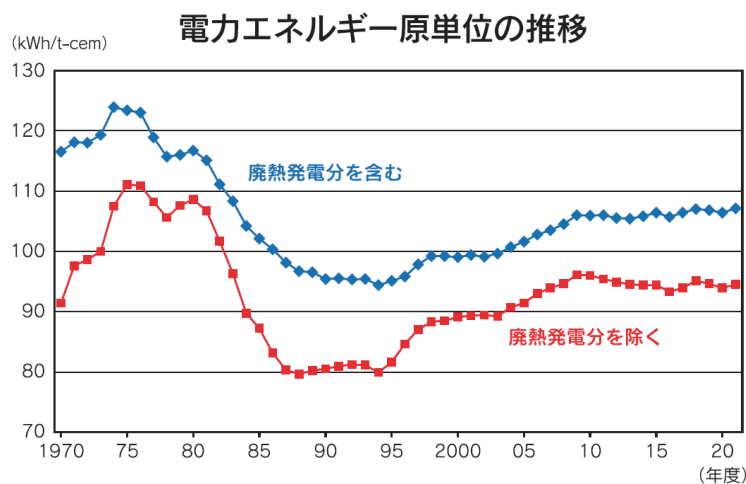
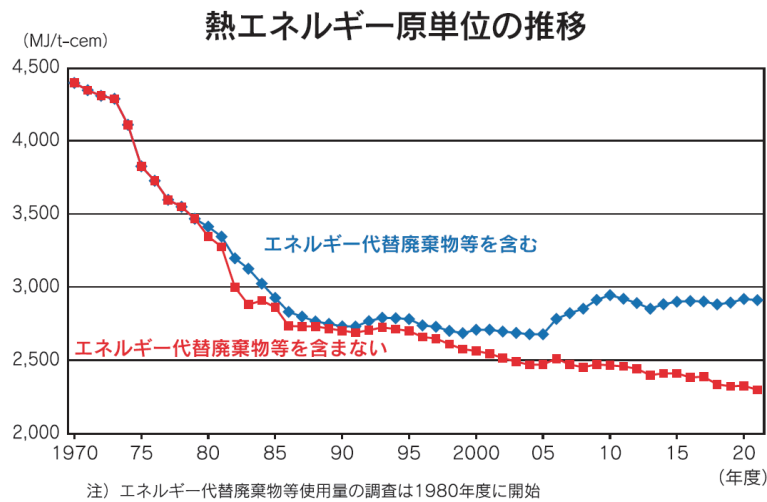
4.1 省エネルギーとエネルギー転換

セメント産業はエネルギー多消費産業の一つであり、大量の熱エネルギーと電力を消費する。その量は1tのセメント製造あたりとして、2022年度の国内の平均では約3,000MJの熱エネルギーと110kWhの電力量となっており²⁾、いかに熱エネルギーが多くを占めるかわかる。そのため、セメント産業

では古くから熱エネルギーを中心とした省エネルギーに努め、省資源とともに化石エネルギー使用量減らすことにより化石エネルギー由来の二酸化炭素排出削減を進めてきた。

セメントの製造様式は、「予熱装置（プレヒーター）付き回転窯（キルン）による乾式方式」（以下、乾式キルンと呼ぶ）が世界的にも最も効率が良いものとして認識されており、かつては地域によっては湿式や半湿式の様式も用いられていたが、現在では新規はもちろんのこと、既存の工場でもほとんどがこの乾式キルンに置き換わっている（図2参照）。

この乾式キルンの特徴としては、焼成で利用した後の廃熱を効率よく回収し、再利用できることから、熱エネルギー効率が良い点にある。日本のセメント産業は、石油ショックの経験から、積極的に設備変更を行ってきており、1997年には国内全てのキルンが乾式キルンに置き換わっている。それ以降も大きな効率は望めないが、引き続きエネルギー対策に取

図7 セメント産業における省エネルギー推移状況³⁾ (Online version in color.)

り組んできた(図7参照)。

このように、セメント産業が大量に消費する熱エネルギーについては真摯に省エネに取り組んできているが、脱炭素という観点からは化石エネルギーからの転換が必要になってくる。セメント産業はセメント製造に用いる熱エネルギーの代替として可燃性廃棄物の利用を進めてきた。その利用率は業界平均で20%を超えるようになり、2023年4月に改正された省エネ法では、セメント製造業の焼成工程における燃料の非化石エネルギーの利用率に対する2030年度の目標の目安として28%が明記され、化石エネルギーからの転換がより必要となってきている。非化石エネルギーの利用拡大は化石エネルギーの削減につながる一方で、脱炭素に向けてはアンモニアや水素の混焼や転換といった二酸化炭素を排出しない技術が必要になってくる。今後、脱炭素と最適な焼成条件の両面から技術開発が進められていく。

一方、電力についても表3に示すように、いくつかの省エネに資する設備の導入が考えられるが、セメント産業は高温

で操業しているため、効率と安全を重視して自家発電を導入している割合が高く、業界平均で電力の65%を自家発電で賄っている。そのため、電力使用時の省エネはさることながら、自家発電の7割を占める火力発電の燃料転換が脱炭素には必要になる。すでにバイオマス混焼やより炭素強度の低いガス発電への切り替えが進む一方で、将来的にはさらなるバイオマス混焼率の向上やアンモニアや水素の混焼/転換が必要になる。

4.2 プロセス起源二酸化炭素排出削減に向けたクリンカ代替の使用

前述の通り、セメント産業からの二酸化炭素排出には製造に用いるエネルギー起源の他に、主原料となる石灰石の脱炭酸によるプロセス起源の二酸化炭素排出があり、その量は全体の六割を占めている。セメントは水と反応して硬化するという特性を有する化合物を含むポルトランドセメントクリンカを製造するために、典型的な組成比として酸化カルシウム

表3 セメント製造における省エネルギーの方策

	目的もしくは省エネ設備名	概要
廃熱回収	廃熱発電	廃熱を利用して発電する。
	原料乾燥	廃熱を利用して原料を乾燥する。
	石炭乾燥	廃熱を利用してセメント製造に用いる石炭を乾燥する。
	混合材乾燥	廃熱を利用して高炉スラグを乾燥する。
	高効率クリンカクーラ	より多くの廃熱を回収できる高効率なクーラに置き換える。
粉砕の効 率化（電気 の効率化）	予備粉砕機	仕上げ粉砕において、予備粉砕機を導入し粗粉砕を行う。
	高効率セパレータ	原料粉砕において、粗粉と微粉を分級し、粉砕効率を高める。
	堅型ミル	粉砕と同時に乾燥を行う。乾燥は廃熱を利用する。

表4 プロセス起源二酸化炭素排出を低減する方策

手法	概要
混合材の活用	高炉スラグやフライアッシュのような材料をクリンカ置換として使用。混合セメントの混合材や普通ポルトランドセメント等の少量混合成分がそれにあたる。
クリンカ組成の変更	現行のクリンカよりも酸化カルシウムが少なくなる組成に変更する。
投入原料の低炭素化	脱炭酸済みのカルシウムを含む廃棄物・副産物利用やコンクリートリサイクルにより、石灰石使用量を低減する。
低炭素型新材料開発	現行の汎用的なセメントとは組成が異なる低炭素型新材料を開発し、汎用的なセメントの置き換えを目指す。

が約63～65％程度含むように原料を調整する（図3参照）。そして、この酸化カルシウムを得るために石灰石を強熱して脱炭酸させており、プロセス起源の二酸化炭素排出を避けることができず、加えて完全に代替できる技術も存在していない。

ただし、表4に示すようにプロセス起源の二酸化炭素排出を低減する技術はいくつかある。例えば、混合材をクリンカの置換として用いる手法がある。代表的なものとして、製鉄所から副次的に発生する高炉スラグや石炭火力発電所から排出される石炭灰の一つであるフライアッシュを用いた混合セメントである高炉セメントやフライアッシュセメントがある。これら混合材の利用によってクリンカ使用量減らすことにより、プロセス起源およびエネルギー起源の両方の二酸化炭素排出量を減らすことができる。しかしながら、普通ポルトランドセメントとは一部性能が異なることから、それぞれの特性を理解しながら適材適所で利用が必要となる。

また、普通ポルトランドセメントについても、現行のJIS

では5％まで混合することが認められている少量混合成分に関し、その最大混合量を10％までに増やすことも検討しており、10％まで増やしても性能に問題ないことが確認されたのちに、JISの改正に着手していく予定である。

一方、プロセス起源二酸化炭素排出の根本である石灰石の使用量を減らすものとして、脱炭酸済みのカルシウムを含む廃棄物・副産物を原料として利用する手法がある。対象となる廃棄物・副産物として各種の焼却残さや高炉スラグ、コンクリートくずなどがある。実際に、わが国の温室効果ガス排出量として、工業プロセスであるセメント製造からの排出量を計算する際に用いるクリンカ1tあたりの二酸化炭素排出係数は、廃棄物由来のカルシウム含有量に基づいて石灰石起因の排出量を減じる形で補正され、国のインベントリデータとして報告されている⁹⁾。

しかしながら、プロセス起源二酸化炭素排出量はこれらによる削減を経ても2200万tを超える排出量がある現状で、

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、クリンカ/セメント比が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(強制的に固定化させるものは含めない)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いないため、セメント産業に係る貢献として、絵姿に示す。

(2)エネルギー起源二酸化炭素

- ・省エネとエネルギー代替廃棄物の利用拡大を進め、また、クリンカ/セメント比の低減分のエネルギー使用量削減が可能。
- ・焼成用エネルギーは、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、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

- ・国のグリーン成長戦略等に沿いながら、技術開発を推進し、二酸化炭素の回収・利用・貯留の技術によって削減を目指す。

(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年カーボンニュートラルの絵姿

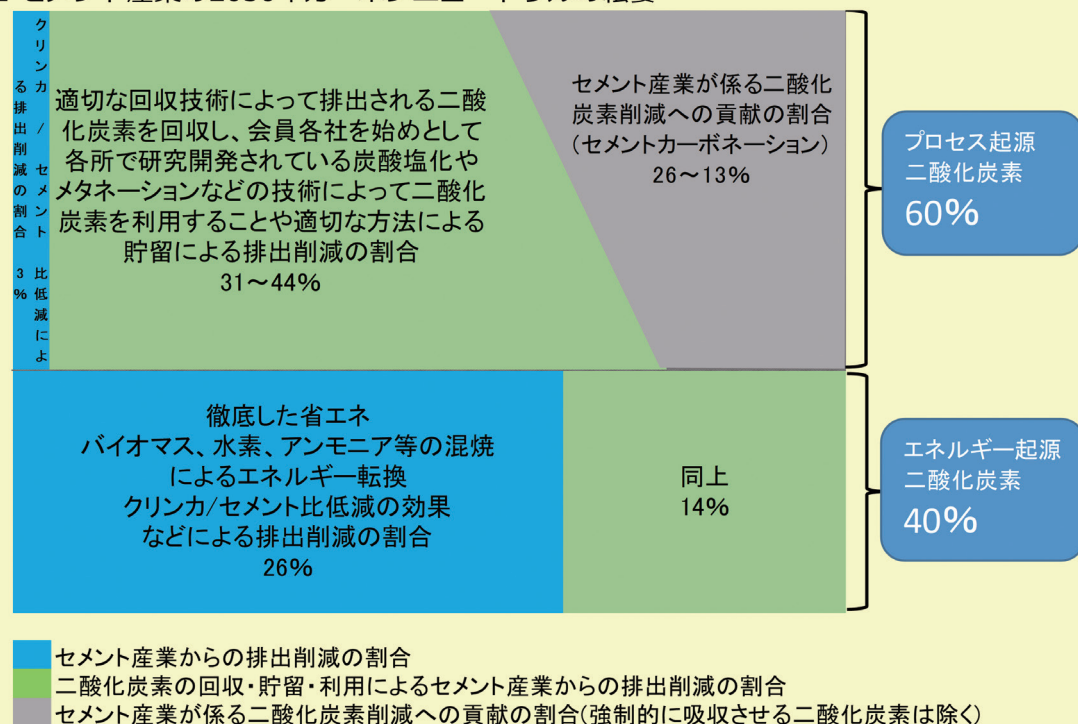


図8 カーボンニュートラルを目指すセメント産業の長期ビジョン概要¹⁰⁾ (Online version in color.)

カーボンニュートラルの実現に向けては革新的技術が不可欠であり、二酸化炭素の回収・利用・貯留や新たな低炭素型新材料といった分野の技術開発を進めていく必要がある。

5 カーボンニュートラルの実現に向けた取り組み

5.1 2050年に向けて目指す対策と2050年の絵姿¹⁰⁾

わが国のカーボンニュートラル宣言ならびにグリーン成長戦略の策定を受け、2020年に公表したセメント産業の長期ビジョンをカーボンニュートラルに向けたものに改訂し、2022年3月に公表した。

2050年に向け、セメント産業は現在果たしている「基礎素材の供給者」の役割と「循環型社会形成」「地域経済」「災害廃棄物処理」への貢献は将来的にも果たす必要があるとの認識である。その上で、わが国が目指すカーボンニュートラルの実現に貢献するために目指すべき対策の方向性を示し、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示した。

図8に、2050年に向けて目指す対策とそれらを進めて2050年にカーボンニュートラルを達成するときの絵姿として、排出削減の割合を対策や貢献に分けて示す。

2050年にカーボンニュートラルを達成する絵姿を眺めみると、二酸化炭素の回収・利用・貯留の技術、いわゆる

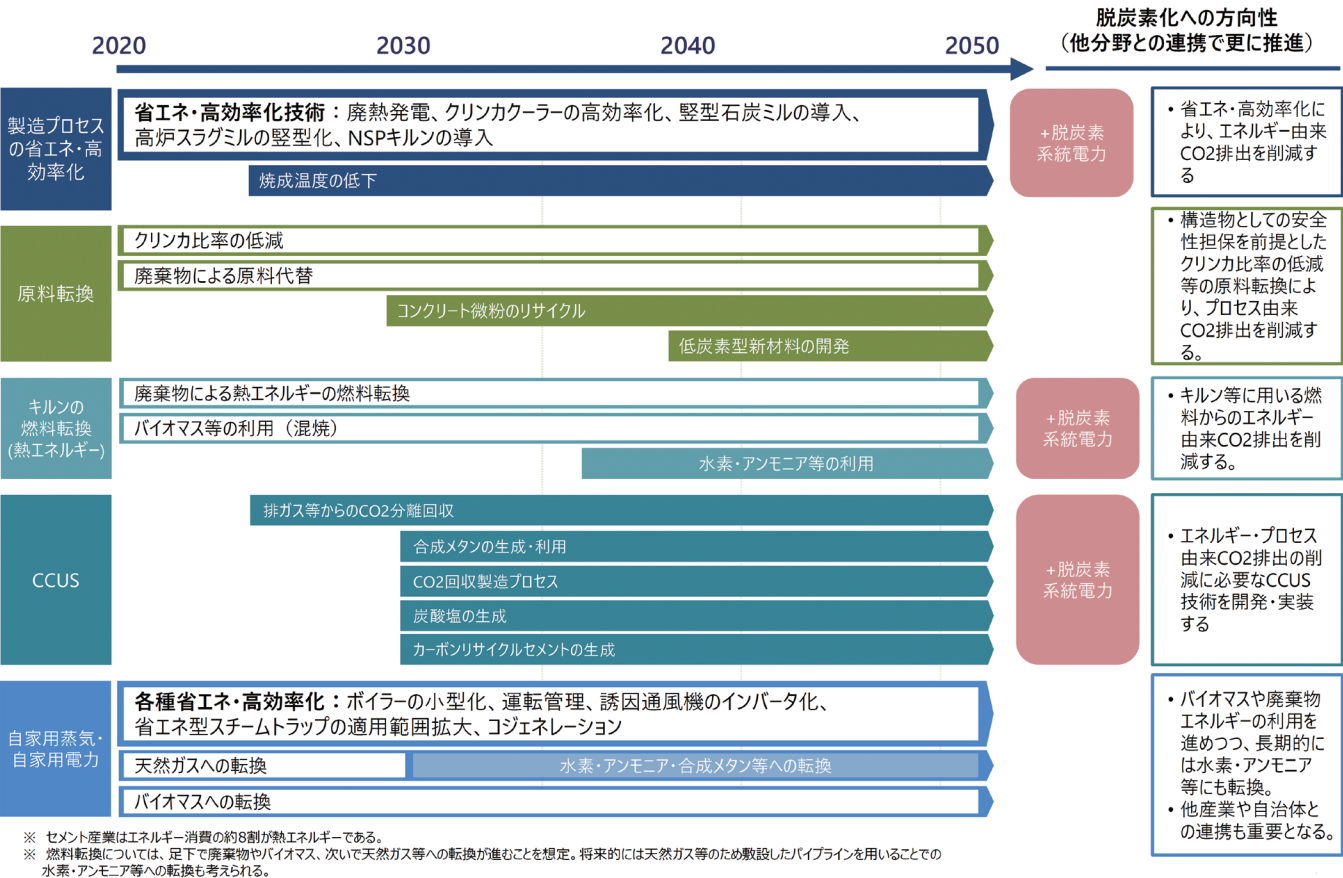


図9 技術ロードマップ¹²⁾ (Online version in color.)

CCUSにその多くを負っていることが分かる。よって、セメント産業のカーボンニュートラルの実現はCCUSの社会実装の進展が大きな鍵となっている。

また、コンクリート中のセメント水和物が、大気中の二酸化炭素と徐々に反応して炭酸カルシウムを生成し二酸化炭素を固定化することは、これまで耐久性を阻害するものとして考えられてきたが、この徐々に固定化するという性能は地球温暖化対策の観点からは貢献として見られるようになってきた。絵姿では、この固定化による削減をセメントカーボネーションと称し、セメント産業に係る貢献として示した。

5.2 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¹¹⁾

経済産業省では、二酸化炭素多排出産業の2050年カーボンニュートラル実現に向けた具体的な移行の方向性を示すため、「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」を設置し、その活動の一環として、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ロードマップをとりまとめ、2022年3月に公表した。図9に技術ロードマップを示す。

本技術ロードマップは、当方が公表したセメント産業の長期ビジョンの方向性と基本的に同じものであるものの、本ロードマップでは時間軸が明記され、CCUS、水素・アンモニア・合成メタンへの転換などの革新的技術の導入の時期については2030年以降となっており、2020年代中盤の現時点では、バイオマスを含めた廃棄物の利用拡大による非化石エネルギーの利用拡大や省エネ設備の導入促進などを含めた省エネルギーに努めるとともに、クリンカ比率の低減などのプロセス起源の二酸化炭素を減らしながら、GI基金等の活用によって技術開発を行う期間とされている。

6 グリーンイノベーション基金事業

2021年12月、わが国のカーボンニュートラル宣言を踏まえ、新たな成長戦略として「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」が策定され、企業の野心的な挑戦を後押しすべく、過去に例のない2兆円の「グリーンイノベーション基金」(以下、GI基金)が創設された。

グリーン成長戦略では成長が期待できる14分野が選定され、その一つのカーボンマテリアル・リサイクル産業として

セメント・コンクリート分野の取り組みが取り上げられ、グリーンイノベーション基金のプロジェクトとして「CO₂を用いたコンクリート等製造技術開発」¹³⁾が採択されている。図10に、このプロジェクト全体の概要図を示す。

このプロジェクトは四つのテーマからなっており、コンクリート分野の「CO₂排出削減・固定量最大化コンクリートの開発」、「CO₂排出削減・固定量最大化コンクリートの品質管理・固定量評価手法に関する技術開発」とともに、セメント

分野としては「セメント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」の二つのテーマの研究開発が進められている。

セメント分野の前者には「CO₂回収型セメント製造プロセスの開発」として太平洋セメント（株）が実施先として採択され、図11に示すようにプレヒーターからコンパクトな設備で効率よくCO₂を回収できる「CO₂回収型仮焼炉」について、メタネーションシステムの開発とともに着手している¹⁴⁾。

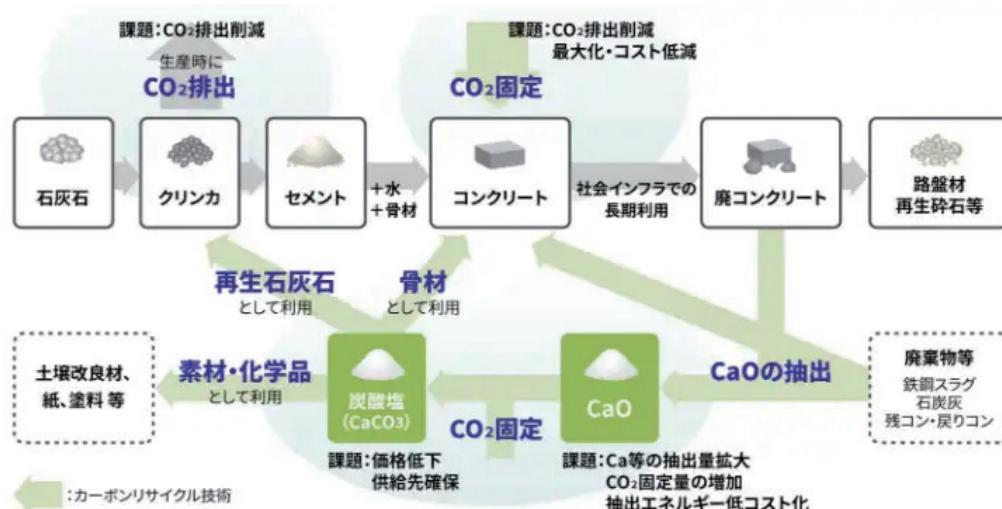


図10 「CO₂を用いたコンクリート等製造技術開発」プロジェクト概要図¹³⁾ (Online version in color.)

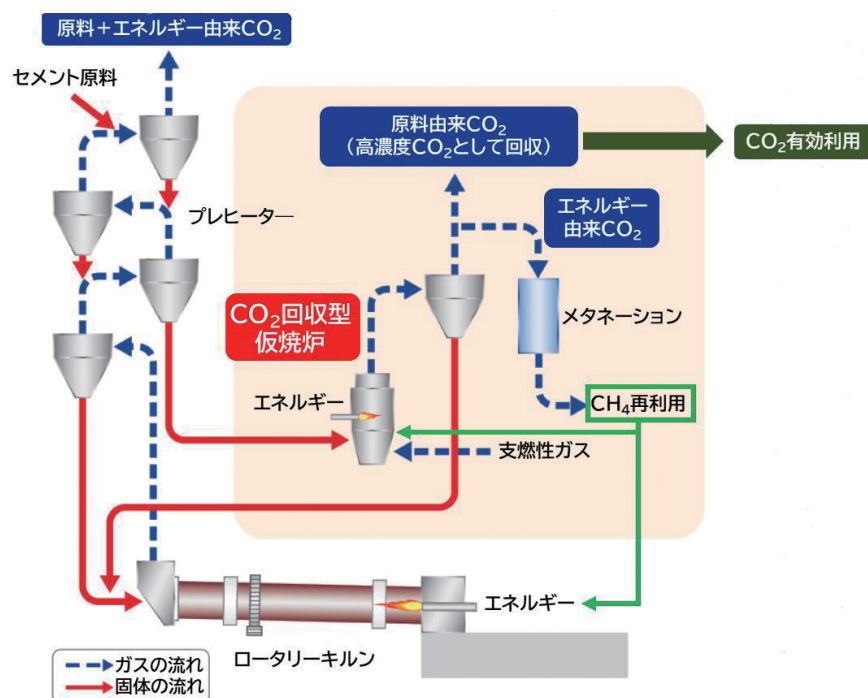


図11 CO₂回収型セメント製造プロセスの概念図¹⁴⁾ (Online version in color.)

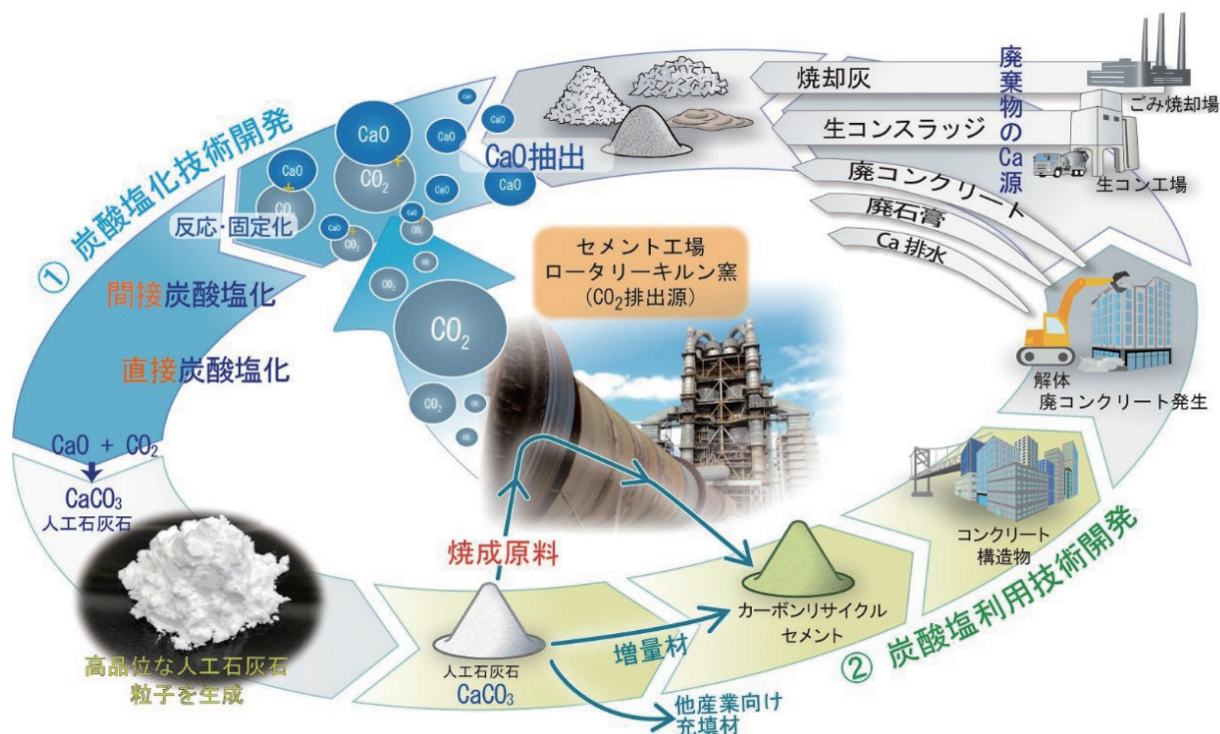


図12 多様なカルシウム源を用いた炭酸塩化技術の確立 事業イメージ¹⁶⁾ (Online version in color.)

方、後者は住友大阪セメント（株）が提案した「多様なカルシウム源を用いた炭酸塩化技術の確立」が採択され、図12に示すように多様な廃棄物等から抽出した酸化カルシウムとセメント製造工程から分離されたCO₂から人工石灰石（CaCO₃）を生成する炭酸塩化技術とともに、その人工石灰石をカーボンリサイクルセメントの原料として利用する炭酸塩利用技術の開発に着手している¹⁵⁾。

7 終わりに

これまで述べてきたように、セメント産業はエネルギーからだけではなく、プロセスからも二酸化炭素を多く排出し、その削減が困難な産業である。このような産業がカーボンニュートラルを実現するためには、革新的技術である二酸化炭素を排出しない水素やアンモニアの導入や、二酸化炭素の回収・利用・貯留の社会実装が必要であり、加えて内陸にも工場を有するセメント産業では、これらの技術の利用に向けた輸送手段等のインフラの整備も必須となり、新たな設備投資等によって製造コストが高くなることが想定される。

すでにエネルギーの高騰により資材価格が高騰している中、カーボンニュートラルの実現に向けた対策のコストをどのように負担していくかについては、一業種で解決するのは難しく、ステークホルダーを含めた社会全体での負担のあり方について検討していく必要があると考える。

セメントは、その製造過程において多量の二酸化炭素を排出する一方で、絵姿でも示したように使用段階での二酸化炭素の固定源としての役割も期待されており、セメント産業は、今後も循環型社会の形成に貢献しながら、技術開発を推進しつつ、わが国の目指すカーボンニュートラルの実現に貢献してまいりたい。

参考文献

- 1) (一社)セメント協会：セメントの常識，(2020)，64.
- 2) (一社)セメント協会：セメントハンドブック(2023年度版)，
https://www.jcassoc.or.jp/cement/4pdf/jj3h_06.pdf
- 3) (一社)セメント協会：環境にやさしいセメント産業，(2023)，
https://www.jcassoc.or.jp/cement/4pdf/jj3h_01.pdf
- 4) 経済産業省：資源循環ハンドブック2022 法制度と3Rの動向，<https://www.meti.go.jp/policy/recycle/main/data/pamphlet/pdf/handbook2022.pdf>
- 5) 日本フライアッシュ協会：石炭灰ハンドブック（平成27年度版），(2010年10月発行)，II-2.
- 6) 2022年度第1回 産業構造審議会 産業技術環境分科会 地球環境小委員会 製紙・板硝子・セメント等ワーキンググループ，https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/sangyo_gijutsu/chikyu_kankyo/seishi_wg/pdf/2022_001_05_01.pdf
- 7) 内閣府/中央防災会議/防災対策推進検討会議/南海ト

- ラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ、南海トラフ巨大地震の被害想定について（施設等の被害）【定量的な被害量】，（令和元年6月），41，https://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku_wg/pdf/1_sanko.pdf
- 8) 内閣府/中央防災会議/首都直下地震対策専門調査会，首都直下地震対策専門調査会報告，（平成17年7月），27，<https://www.bousai.go.jp/kaigirep/chuobou/senmon/shutochokkajishinsenmon/pdf/houkoku.pdf>
- 9) (国研) 国立環境研究所 地球環境研究センター：日本国温室効果ガスインベントリ報告書2023年，4-4.
- 10) (一社) セメント協会：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，（2022年3月）.
- 11) 経済産業省ニュースリリース：脱炭素化への移行に向け、トランジション・ファイナンスに関するセメント、紙・パルプ分野におけるロードマップを取りまとめました，（2022年3月24日），<https://www.meti.go.jp/press/2021/03/20220324002/20220324002.html>
- 12) 経済産業省：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，https://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/global_warming/transition/transition_finance_technology_roadmap_cement_jpn.pdf
- 13) (国研) 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) グリーンイノベーション基金プロジェクト，CO₂を用いたコンクリート等製造技術開発，<https://green-innovation.nedo.go.jp/project/development-manufacturing-concrete-using-CO2/>
- 14) 太平洋セメント (株) ニュースリリース，「CO₂回収型セメント製造プロセスの開発」がNEDOグリーンイノベーション基金事業に採択，<https://www.taiheiyo-cement.co.jp/news/news/pdf/220128.pdf>
- 15) 住友大阪セメント (株) ニュースリリース，NEDOのグリーンイノベーション基金事業として採択「多様なカルシウム源を用いた炭酸塩化技術の確立」，<https://www.soc.co.jp/news/63859/>
- 16) 経済産業省：2022年度 エネルギー構造転換分野WG報告資料，https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/green_innovation/energy_structure/pdf/011_05_00.pdf，(P.8参照)

(2023年8月28日受付)