

サマリー

セメント産業における気候変動対策 ～国際的な指標作成に向けた動向と課題～

戦略・産業ユニット 新エネルギーグループ¹

研究員 伊藤葉子

気候変動政策の将来枠組みについての国際交渉が本格化する中、日本政府は「セクター別アプローチ」を提案している。今後の展開によっては、当該アプローチに大きく関連し得る既存の取組として、エネルギー消費あるいは CO₂ 排出について産業部門別に国際指標を作成しようとする動きがある。こうした取組は、アジア太平洋パートナーシップ (APP) や国際エネルギー機関 (IEA) においてすでに進められている。また、セメント産業は、セメント業界による国際的なイニシアティブのもとに、自主的な気候変動対策の一環として国際指標作りについて先進的に検討を進めてきた。

セメント産業部門における国際指標の作成は、企業あるいはプラントにおけるセメント製品の生産 1 単位あたりのエネルギー消費量や CO₂ 排出量について、統合的な計測及び表記を可能にし、世界のセメント産業が比較参照し得る指標を策定することを目指している。現在、そうした指標作成にあたっての具体的な論点や課題が、セメント業界の取組、APP、IEA での検討等を通じ明らかになっている。その課題とは、指標の評価対象の設定、代替燃料に関する算定、データ整備の問題等である。例えば、セメント製品の生産工程のうちエネルギー消費または CO₂ 排出の算定対象をどのように特定するのかといった論点が含まれる。こうした課題を検討することは、指標の整合性を確保するという技術的観点から重要であるだけでなく、各企業の省エネルギーや気候変動対策の方策に影響を与えるという点で重要な意味を持つ。国際指標の作成をベースとした気候変動の枠組構築を目指すのであれば、政策決定の面からも適切な指標となるよう注視する必要がある。

¹ 本稿執筆当時の所属は地球環境ユニット、地球温暖化政策グループ

セメント産業における気候変動対策 ～国際的な指標作成に向けた動向と課題～¹

戦略・産業ユニット 新エネルギーグループ²

研究員 伊藤葉子

はじめに

2008 年に入り気候変動対策の将来枠組に関する国際交渉が本格化する中、日本政府は温室効果ガスの排出削減目標を算定するための手法として「セクター別アプローチ (sectoral approach)」を提案している³。そしてセメント産業は、当該手法の対象セクターの一つとして挙げられている。

セクター別アプローチには、日本提案に限らず様々な定義、手法があるが⁴、本稿では、エネルギー効率あるいは温室効果ガス排出の国際指標をセクター別に策定するための取組を取り上げ、セメント産業における国際的な場での検討事例の内容と、そこで挙げられた課題を整理する。そのための背景として、日本のセメント産業及び欧州の主要セメント企業による省エネルギー・気候変動対策について、生産工程で用いる原燃料や技術、製品市場の特質に対応したそれぞれの自主的な取組を紹介する⁵。

セメント産業は、産業別の国際指標作成について先行的に検討を行ってきた産業部門の一つであり、本稿で取り上げた日本及び欧州のセメント産業は、国際的な産業団体による議論の場等を通じ、セクター別アプローチに関する検討に積極的に参加している。しかし、産業別の国際指標は、その決め方によっては各企業が省エネルギーや気候変動対策として取り得る方策に影響を与える可能性がある。このため、産業内の利害得失に起因する立場の相違をどのように調整するのか等、困難な課題も予想される。国際指標の作成をベースとしてセクター別アプローチを進めるのであれば、指標の客観性を確保し、長期的な気候変動対策の政策目標に資する内容となるよう検討が求められる⁶。

¹ 本稿は、「平成 19 年度経済産業省委託調査『平成 19 年度環境問題対策調査等委託費アジア太平洋パートナーシップに関する追加調査：欧州セメント産業に関する調査報告書』(財)日本エネルギー経済研究所、平成 20 年 3 月」及び「平成 19 年度調査報告書『省エネルギー制度構築支援調査事業省エネルギー政策評価』(財)日本エネルギー経済研究所、平成 20 年 3 月」について、転載の許可を得て加筆したものである。関係者のご理解・ご協力に謝意を表す。

² 本稿執筆当時の所属は地球環境ユニット、地球温暖化政策グループ

³ 福田康夫首相は「世界経済フォーラム年次総会 (ダボス会議、2008 年 1 月)」での特別講演において、業種 (セクター) 別に温室効果ガスの削減目標を作成し、それらを各国で積み上げた量を国別の温室効果ガス排出の削減目標とすることを提案した。算定方法については、日本政府がその後国連 (気候変動枠組条約事務局) に対し提出したポスト京都の国際枠組に関する一連の提案書に示された。

(FCCC/KP/AWG/2008/MISC.1/Add.1, March 17, 2008)

⁴ 「セクトラル・アプローチ -その概念と適用-」金星姫、工藤拓毅、(財)日本エネルギー経済研究所、2008 年 6 月；「ポスト京都議定書の枠組としてのセクター別アプローチ：日本版セクター別アプローチの提案」澤昭裕、福島文子、21 世紀政策研究所、2008 年 3 月 11 日、等。

⁵ なお、セメント産業の生産工程と、生産プロセスにおけるエネルギー利用の特徴については巻末を参照されたい。

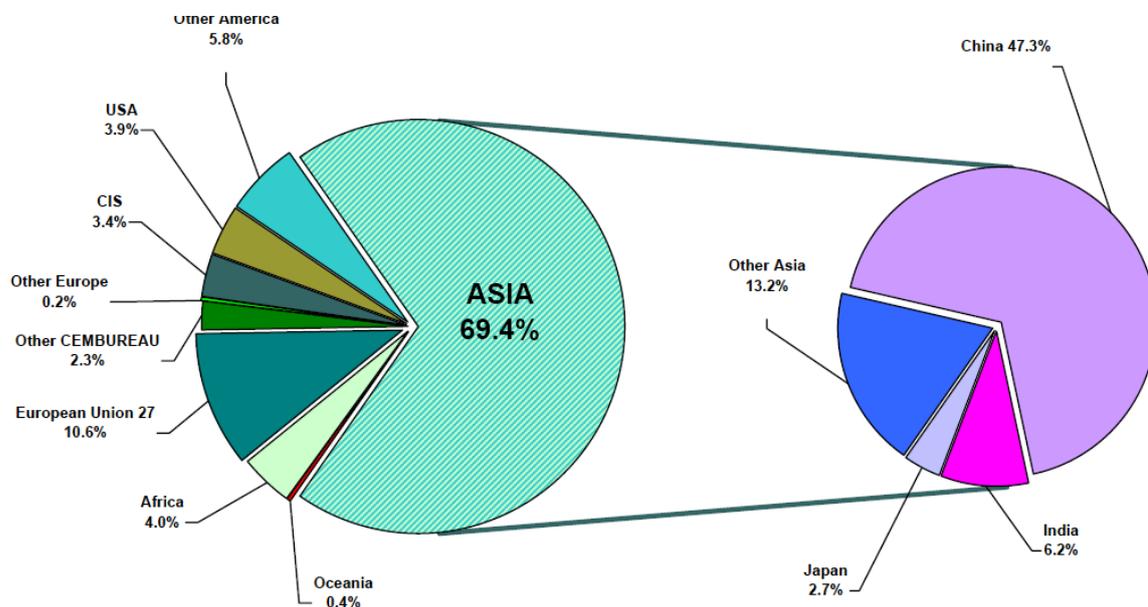
⁶ 本稿は国際指標作成に関するセメント産業固有の課題を検討対象とする。セクター間の公平性や、温室

1. セメント産業の特徴と省エネルギー及び気候変動対策における重要性

セメント産業は、省エネルギー及び気候変動対策において重要性の高い産業部門の一つである。その理由を、以下に挙げるセメント産業の特徴と現状に即して述べる。

第一にセメントは、建築資材や道路等の社会インフラに用いられる経済活動に不可欠な素材の一つであり、先進国における市場は成熟段階にあるものの、経済発展が進む中国、インド等を中心として、世界的なセメント需要は今後急速に増大することが予想される。世界全体における 2006 年のセメント生産量はおよそ 25 億 4,000 万トンであり、世界のセメント生産のおよそ 5 割を中国が占めている (図 1)。

図 1 地域別セメント生産シェア (2006 年)



(出所) 欧州セメント協会 (CEMBUREAU)

第二に、セメント産業は他の素材産業と同様に、製造工程に膨大な熱エネルギー⁷を必要とするエネルギー多消費産業である。セメント産業では、生産に必要な大量のエネルギー消費により温室効果ガスを排出すると同時に、製造工程における化学反応によっても二酸化炭素が発生する⁸。これらをあわせセメント産業は、温室効果ガスの大規模排出源の一つとなっている。

効果ガス排出削減量への寄与度等、セクター別アプローチそのものに起因する問題点については「セクトラル・アプローチ - その概念と適用 -」金星姫、工藤拓毅、(財) 日本エネルギー経済研究所、2008 年 6 月等を参照されたい。

⁷ 本稿では、化石燃料及び廃棄物や副産物等の代替エネルギーをあわせたものを熱エネルギーとする。

⁸ 原料の化学反応による二酸化炭素排出はセメント生産における二酸化炭素排出の 60% を占める。(社)セメント協会ホームページ)

セメント産業の特徴として挙げられることの第三点目は、各国のセメント生産におけるエネルギー利用効率に大きなばらつきがあることである。セメント産業は、基本的には、生産がその消費地近傍で行われる“地産地消”型産業である。セメントは重量が大きいため、工場から輸送される範囲は多くは半径 200～300km 以内であるといわれ、セメントの輸出入量は、世界のセメント生産の 6%程度といわれている⁹。今後セメント需要の増大が見込まれるのはアジアやロシア、東欧等の新興経済国であるが、これらの国々のセメント生産に最新技術を備えた外資系企業が進出する一方、ローカルな企業のシェアも高く、エネルギー効率が相対的に劣る生産設備が多く稼働している。これらの国々でのエネルギー効率を高めることを含め、セメント生産におけるエネルギー効率を世界全体で高めていくことを目指した気候変動対策の枠組を構築することが重要な課題である。

2. 日本のセメント産業と省エネルギーへの取り組み

2-1. 日本のセメント産業の概要

わが国初のセメント工場は、1873年に官営工場として東京に建設された。その後、工場の民営化等を通して、品質の高いポルトランドセメントの生産が開始された。1903年には、従来の堅窯に代わる回転炉（ロータリーキルン）が導入され、生産効率の大幅な改善がもたらされた。そして 1950 年代後半になると設備増強が盛んに行われ、海外からの新規技術の導入等により生産量が飛躍的に増大した。

近年のセメントの種類別生産高は、表 1 の通りである。2006 年暦年における日本のセメント生産量合計は 7,317 万トンであった（2006 年）。日本で生産されるセメント製品の 7 割以上がクリンカ¹⁰の使用割合が高いポルトランドセメント¹¹であり、クリンカに多くの代替材料を加えた混合セメントは、全体の 2 割程度となっている。

表 1 日本のセメント生産内訳（1997-2006）

種類\年度		97	98	99	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
ポルトランドセメント	普通	68,336	59,703	57,970	56,766	52,483	49,448	47,786	47,622	49,438	50,441
	早強	3,716	3,328	3,407	3,483	3,324	3,247	2,940	2,777	3,101	3,073
	中庸熱	231	286	442	447	539	509	512	621	807	851
	耐硫酸塩	31	5	41	22	4	5	2	1	4	4
	その他	67	58	142	176	184	232	189	128	179	247
	小計	72,381	63,380	62,002	60,893	56,534	53,442	51,429	51,150	53,528	54,617
混合セメント	高炉	16,096	16,299	17,178	17,631	17,791	16,760	16,109	14,914	15,485	14,631
	シリカ	39	29	25	27	19	21	22	25	28	23
	フライアッシュ	539	567	449	498	360	176	79	124	194	144
	その他	264	334	265	270	305	327	467	417	402	400
	小計	16,938	17,229	17,917	18,426	18,475	17,284	16,676	15,480	16,109	15,198
	計	89,319	80,609	79,919	79,319	75,009	70,726	68,105	66,630	69,637	69,815
	輸出用クリンカ等	3,238	1,960	2,262	3,054	4,110	4,753	5,403	5,052	4,294	3,356
	合計	92,558	82,569	82,181	82,373	78,119	75,479	73,508	71,682	73,931	73,170

（出所）セメント協会ホームページ

⁹ "Annual Report 2006", Lafarge, 2006 年

¹⁰ セメントの半製品で、その生産（焼成）過程において膨大な熱エネルギーを消費する（巻末参照）。

¹¹ クリンカに適量の石膏を混ぜたポルトランドセメントと呼ばれる（日本工業規格（JIS）R5210）。

セメントの国内需要は高度経済成長期（1950 年代半ば～1970 年代はじめ）に目覚しく増大した。その後 1980 年代後半から 1990 年代初頭までの“バブル経済”期には更に需要が伸び、1996 年には過去最高（9,927 万トン）を記録した。以後は、景気低迷に伴い減少傾向にあり、2006 年の国内需要は 5,899 万トンと、1970 年頃の水準に落ち込んだ。国内需要のうち輸入のシェアは 2.0%（2006 年）である。輸出は中国、香港、韓国等のアジア市場向けが中心であるが、2006 年の輸出量は 959 万トンと、1,000 万トンを割り込む水準であり、ピーク時（1994 年の 1,500 万トン）と比較し大きく減少している。

国内におけるセメント市場の縮小傾向が続く中で、各社は生産工程や物流の合理化に注力してきた。また構造改善事業と大型合併等による再編により、経済動向にあわせた産業構造の変革を敢行し、現在日本のセメント産業は 18 の製造会社及び 10 の販売ブランドで構成されている（表 2）。

表 2 セメント業界の概要

業界全体の規模		業界団体の規模		自主行動計画参加規模	
企業数	18社	団体加盟企業数	18社	計画参加企業数	18社 (100%)
市場規模	売上高 5,270億円	団体企業売上規模	売上高 5,270億円	参加企業売上規模	売上高 5,270億円 (100%)

(注) 売上高は各企業におけるセメント部門売上高の合計

(出所) セメント協会、「セメント産業における地球温暖化対策の取り組み」、2007 年 10 月 11 日

2-2. 日本のセメント産業における省エネルギーの進展¹²

日本のセメント産業は、生産工程の効率化による省エネルギーを目指し、これまで数々の取組を進めてきた。まず 1903 年に回転窯（ロータリン・キルン）が導入され、クリンカの焼成工程のエネルギー効率を大きく改善するとともに、それまで主流であった湿式法キルンは、熱効率を上げるために乾式法に置換され、1980 年代に乾式率が 100%に達した。

一方、焼成工程のエネルギー効率をさらに向上させるために、回転窯の廢熱を利用した予熱装置の導入が進められた。これは、原料を予熱装置を通過させた後に回転窯に送り込む SP（サスペンション・プレヒーター）ないし NSP（ニュー・サスペンション・プレヒーター）方式と呼ばれる。SP キルンは、ロータリーキルンの前工程に 4 段または 5 段のサイクロンからなる予熱装置（SP）を設置したものである。キルンの排ガスがサイクロンの下段から上段に流れるのに対し、原料粉末を上段から投入することで、各段において熱交換と捕集を繰り返し、予熱で仮焼した状態で原料をキルンに送り込む仕組みである。これにより熱効率が向上するだけでなく、工程が安定することで品質が改善し、生産能力が大幅に向上するというメリットがある。わが国が独自に開発した技術である NSP キルンは、サスペンション・プレヒーターとキルンの間にさらに仮焼炉を設けたもので、SP キルン

¹² (社) セメント協会、「セメントの常識」、2007 年 1 月

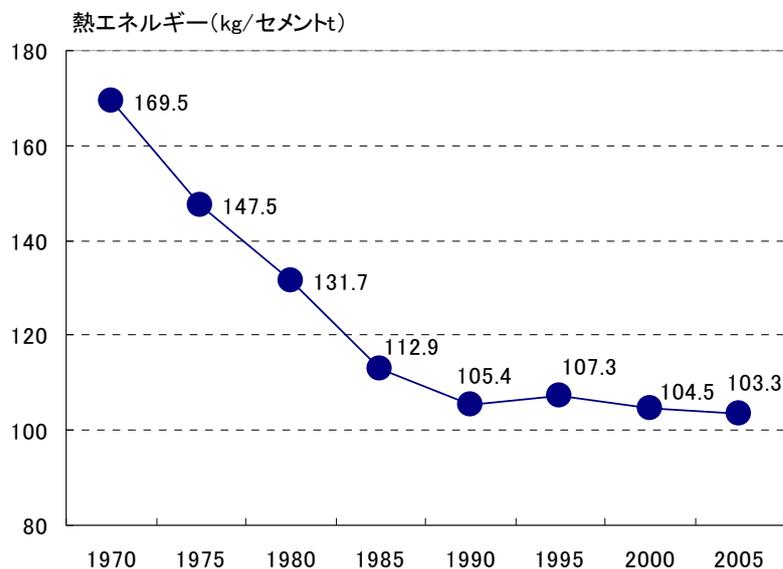
と比較し焼成度をさらに高めてキルンに原料を供給するため、焼成能力は SP キルンよりも増大する。

さらに、こうした予熱装置からの排ガスを利用した発電や、原料粉碎の効率を高めるための堅型ミル、予備粉碎機付ミルの導入等により、電力消費の面でもエネルギー効率の向上を図っている。

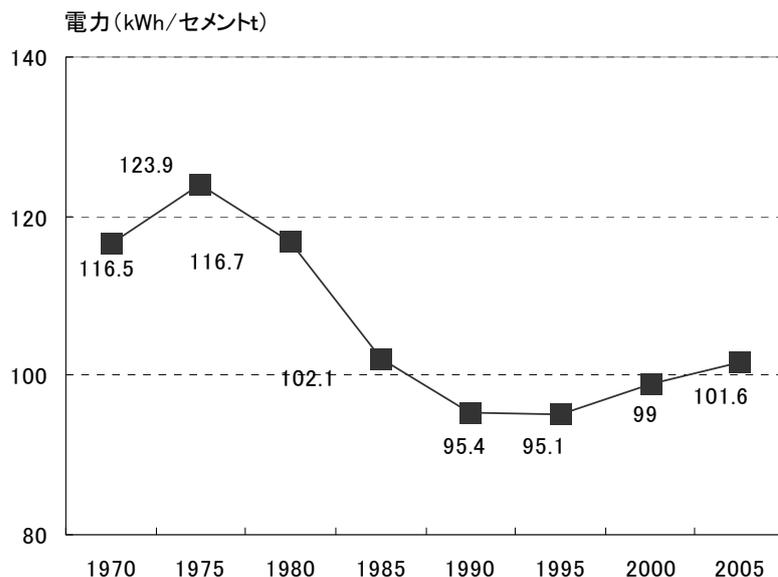
日本のセメント産業は、このように熱効率に優れ量産効果の高いキルンへの転換や、省電力化の取組を進め、大幅な省エネルギーを実現した。その結果、1970 年から 1990 年までの 20 年間に、燃料消費原単位を 36%、電力消費原単位を 18%それぞれ改善した(図 2)。こうした努力により、日本のセメント産業は世界でも最高水準のエネルギー効率を達成しているとの報告もある¹³。近年、電力消費原単位の上昇傾向がみられるが、廃棄物の受け入れ増大等がその一因であると考えられている。

また、燃料構成の面で、日本のセメント産業は 1973 年の石油危機を契機に、それまでの主燃料であった重油から石炭への転換を進めた。現在セメント工場で使用される熱エネルギーは石炭が約 78%と最も高く、石油コークスが約 13%、産業廃棄物・副産物が約 6%、そして重油が約 3%となっている。

図 2 日本のセメント生産エネルギー原単位の推移 (暦年)



¹³ Toward a Sustainable Cement Industry, Substudy 8, Climate Change, March 2002, Battelle Memorial Institute ; セメント協会による引用。



(注) 熱エネルギー原単位は石炭換算
 (出所) 「セメントの常識」、(社) セメント協会、2007 年 1 月

2-3. 現在の取組

近年では、省エネルギーへの取組は、地球温暖化対策の一環としても重要性を増している。日本のセメント産業は、日本経団連の「環境自主行動計画」に参画し、1996 年 12 月に「セメント産業の環境保全に関する自主的行動計画」を策定(1998 年 10 月改訂)した。同行動計画は、セメント製造のエネルギー原単位(セメント製造用熱エネルギー、自家発電用熱エネルギー及び購入電力エネルギーを合計したエネルギーの消費原単位)を指標としており、現在の目標は、2010 年度までに同原単位の 1990 年度比 3.8%低減(2008~2012 年度の 5 年間の平均値として)である。セメント産業は改訂前の目標値であった「1990 年度比で 3.0%程度の低減」をすでに達成し、上記目標は、2007 年度の見直しにより新たに策定された値である。

日本のセメント産業では、目標を達成するための対策として、(1)省エネ設備の普及促進、(2)エネルギー代替廃棄物等の使用拡大、(3)その他廃棄物等の使用拡大、(4)混合セメントの生産比率拡大、の 4 つのテーマを挙げ、取組を進めている。これらの対策に向けた設備投資状況は、表 3 の通りである。

日本では、前述の高効率焼成炉への転換が 1997 年度までに 100%実施済みであり、排熱利用や熱交換効率の向上といった対応は限界に近づいている。このため近年では、熱エネルギー原単位はほぼ横ばいの状態が続いている。セメント産業での省エネルギーや気候変動対策の更なる促進のためには、代替燃料の有効利用による化石燃料使用の削減が重要な取組の一つとなっている。ただし廃棄物等の利用拡大は、前処理設備や工場内輸送等でセメント工場のエネルギー原単位を上昇させる要因となり得る。図 2 に示したように、近年の電力原単位は上昇傾向にあるが、その理由の一つとしてこの廃棄物の利用拡大が寄与

していると考えられる。日本のセメント産業は、こうした社会的要請への対応がかえってエネルギー効率を低下させてしまうといった逆効果を生むにもかかわらず、全体のエネルギー消費は低減するよう工夫を重ねつつ取組を進めている。

表 3 セメント業界における温暖化対策設備投資状況（2000～2005 年度）

項目	年度	2000年度	2001年度	2002年度	2003年度	2004年度	2005年度
		投資額 (百万円)	投資額 (百万円)	投資額 (百万円)	投資額 (百万円)	投資額 (百万円)	投資額 (百万円)
省エネ設備の普及促進		1,542	1,817	217	341	651	1,289
エネルギー代替廃棄物等の使用拡大		3,009	2,990	4,985	2,873	1,693	4,191
その他廃棄物等の使用拡大		5,286	4,839	2,999	4,991	4,860	5,074
混合セメントの生産比率拡大		81	300			1,314	35
合計		9,918	9,946	8,201	8,205	8,518	10,589
省エネ期待効果(原油換算 万kl/年)		データなし	データなし	▲ 10	▲ 11	▲ 10	▲ 17

(出所) セメント協会、「セメント産業における地球温暖化対策の取り組み」、2007 年 10 月 11 日

3. 欧州の主要セメント企業の省エネルギー及び地球温暖化対策への取組

欧州連合（European Union、以下 EU）におけるセメント生産量は合計 2 億 5,028 万トン（2005 年）であり、世界のセメント生産量に占める割合はおよそ 10%程度である。欧州は、世界的に見てセメント生産地として重要な地位を占めている訳ではないが、セメント・メジャーとして数えられる大規模多国籍セメント企業の多くが欧州を本拠地としており、その動向と戦略が注目される。

欧州のセメント産業界は、「WBCSD (World Business Council for Sustainable Development) 持続可能な発展のための世界経済人会議」¹⁴から発足した「CSI (Cement Sustainability Initiative 持続可能な発展のためのセメント産業イニシアティブ)」¹⁵を通じ、気候変動問題に関して産業界独自の取組を進めている。その一環としてメンバー各社は、二酸化炭素排出量の削減目標を自主的に設定し、その進捗を報告している。

¹⁴ WBCSD は、地球サミット（1992 年リオ会議）の開催等を背景として、持続可能な成長への産業界の貢献を目的に 1995 年に発足した。日本企業を含む 190 社（35 カ国の 20 産業、産業団体。2007 年 10 月 5 日現在）による組織で、事務所はジュネーブ及びワシントン DC にあり、日本からは 29 社（東京電力、関西電力、中部電力、大阪ガス等のエネルギー企業、旭硝子、太平洋セメント等の素材系企業、ソニー、トヨタ自動車等の製造業、三菱商事、三井物産等の総合商社等）が参加している。現在は、副議長として（株）トヨタ自動車、協議会メンバーに（株）東京電力が選出されている。

¹⁵ 1999 年 11 月に、セメント産業の持続可能な発展への道を調査・検討することを目的に、WBCSD の産業部門プロジェクト下のセメント産業部会として立ち上げられた。現在 CSI の参加メンバーはコアメンバー 10 社と参加メンバー 8 社の合計 18 社となっており、日本からは設立当初から（株）太平洋セメントがコアメンバーとして参加している。他のコアメンバー 9 社は、Heidelberg Cement（ドイツ）、Holcim（スイス）、Italcementi Group（イタリア）、Lafarge（フランス）、RMC（イギリス）、Cempor（ポルトガル）、Cemex（メキシコ）、The Siam Cement Group（タイ）、Votorantim（ブラジル）（CSI ホームページ）。CSI のメンバーは 14 カ国で操業しており、世界のセメント生産量の 4 割を占める（Cementing Promises, 20 April 2007）。

欧州セメント・メジャー3社（本稿では、Holcim、Lafarge 及び HeidelbergCement の3社を取り上げた）の二酸化炭素の排出動向と目標達成状況を、表4に示す。各社は、1990年比のセメント生産量あたり二酸化炭素排出原単位の改善をそれぞれ目標として設定しており、3社とも目標達成に向けた進捗は順調であるとしている。

表4 欧州のセメント・メジャー3社のCO₂排出動向と原単位目標の達成状況（2006年）

	Holcim	Lafarge	HeidelbergCement
売り上げ（2006年）	152億ユーロ	169億ユーロ	90億ユーロ
各社の目標： 1990年比CO ₂ 原単位 （ネット） CO ₂ -kg/t-cement	20%削減	20%削減	15%削減
1990年のCO ₂ 原単位 （ネット） CO ₂ -kg/t-cement	NA	763	765
2006年のCO ₂ 原単位 （ネット） CO ₂ -kg/t-cement	634	655	667
達成状況（2006年）	15.9%削減	6.6%削減	12.8%削減
<その他参考>			
2006年のCO ₂ 原単位 （グロス） CO ₂ -kg/t-cement	653	670	698
CO ₂ 排出量（グロス） Mt-CO ₂	99.8	94.4	47.5
CO ₂ 排出量（ネット） Mt-CO ₂	96.9	NA	45.4

（注）

- Holcim社の売り上げは23,969百万スイスフラン（年次報告2006年）をユーロ換算（2008年4月2日レート）。
- グロスは、セメント生産において必要なエネルギーの合計として代替燃料のエネルギー利用を含む。ネットは、グロスのエネルギー量から代替燃料によるエネルギー利用分を差し引いたもの。
- LafargeはCO₂原単位の実績及び目標のネットまたはグロスを明記していない。
- HolcimはCO₂原単位の実績及び目標をCO₂-kg/t-cementitiousで表記（本文4-1.参照）。

（出所）各社の年次報告等に基づき作成。

これらセメント・メジャー3社は、上記目標を念頭においた気候変動対策として、以下に示す様な取組を挙げている：

①混合セメントの増大とクリンカ比率の低減

欧州のメジャー各社は、セメントの原料として用いるクリンカの比率を低下させ、他の混合材（スラグ、フライアッシュ、シリカ質混合材）を用いた混合セメントの割合を増や

すことを二酸化炭素排出削減策の中心に位置づけている。例えば、Holcim 社が生産するセメントの種類別内訳では、クリンカ比率が高いポルトランドセメントの割合は 40%であり、それ以外はクリンカ以外の原材料を混合した各種混合セメントである（2005 年）。こうした混合セメントを増大することで、全体的としてクリンカ比率を低下させることができる。現在 HeidelbergCement 社のクリンカ比率は 79%（2006 年）、そして Holcim 社は同 74.7%（2005 年）となっている。

②代替燃料の増大

欧州メジャー各社は、廃棄物等の代替燃料の利用増大は、経済面でも環境面でも、二酸化炭素の排出削減だけでなく廃棄物埋め立て量の削減にもつながる等のメリットがあるとし、積極的に進める考えである。例えば Holcim 社では、代替燃料の利用割合が 1990 年には 4%に満たなかったが、1999 年以降は 10%を越える水準に増大し、2005 年には 13%にまで達している¹⁶。主な代替燃料は、化石燃料由来の各種廃棄物、廃タイヤ、廃油、廃プラスチック、バイオマス等である。

③省エネルギー設備の導入

設備のエネルギー効率の改善について各社は、今後需要の伸びが予想される新興経済国等で特に重要であるとしている。しかし、各社とも省エネルギーの達成状況についてはあまり強調していない。むしろ、エネルギー消費が多いクリンカの生産を減らし、代替材料を用いた混合セメントの生産・販売にシフトするという上述の対策を重視していることが外部に向けた情報公開を通じて観察される。したがって、日本の企業が省エネルギー対策として取り組んできたプラントの設備改善や排熱利用等によるエネルギー消費の効率化は、欧州企業にとっては必ずしも優先的な取組として位置づけているわけではない点に留意する必要がある。

次章以降では、これまでに述べたセメント産業の状況を背景として、セメント産業に係る温室効果ガス排出削減の目安としての指標作成に関する動向を整理する。

4. セメント産業の指標作成に関連する具体的取組及び検討の動向

4-1. セメント産業団体による取組¹⁷

セメント産業は、産業別の国際指標作成について先行的に検討を行ってきた産業部門の一つであり、日本及び欧州のセメント産業は、CSI（前出）による議論の場を通じ、セクター別アプローチを具体化するための検討に参加している。

こうした検討の第一歩として CSI は、メンバー企業の二酸化炭素排出量を比較可能な形で算定するための枠組作りを進めている。生産工程を対象に二酸化炭素の排出量を算定す

¹⁶ "Corporate Sustainable Development Report 2005", Holcim

¹⁷ WBCSD/CSI ホームページ <http://www.wbcdcement.org/>

際には、用いるデータについての定義および評価範囲（バウンダリ）をあらかじめ設定し、共通の算定方法を用いることでデータの比較可能性を高めることができる。そのため CSI は、「セメント産業のための二酸化炭素排出モニタリング及び報告プロトコル (The Cement CO₂ Protocol : CO₂ Accounting and Reporting Standard for the Cement Industry)」(以下「CSI・CO₂プロトコル」)を 2003 年に策定した¹⁸。「CSI・CO₂プロトコル」は、工場毎の二酸化炭素排出量を算定するための書式で、事業者はあらかじめ設定された項目（例：生産数量、燃料使用量、電力使用量、等）について各自のデータを入力し、セメントの製造工程から直接的、間接的に発生する二酸化炭素排出の総量および二酸化炭素排出原単位を算定する。また事業者は、「CSI・CO₂プロトコル」に基づき各企業が報告した内容を、別に CSI が定めたガイドラインに基づき第三者による保証(independent audit)を経た上で、定期的にその結果を公表する。

こうした CSI の取組によりセメント産業では、業界内企業の二酸化炭素の排出状況を客観的に把握することが可能となった。CSI ではこのような比較可能性を担保した上で、メンバー各社共通の指標として、下記項目について毎年報告を行い、各社の取組の透明性を高めている：

- 二酸化炭素の総排出量（グロス及びネット）
- 水硬性製品単位重量あたりの CO₂ 排出量 (kg-CO₂/t-cementitious)¹⁹
- 1990 年の排出量（基準年排出量）と比較した二酸化炭素排出量の差異。

欧州のセメント・メジャーによる二酸化炭素の排出削減目標に関する取組（前述）も、「CSI・CO₂プロトコル」に基づき進捗が公表されたものである。

4-2. EUにおけるセクター別アプローチの検討

EU では、主要な気候変動対策として、域内で法的拘束力を持つ「EU 排出量取引制度 (European Union Greenhouse Gas Emission Trading Scheme ; EUETS)」によるキャップ&トレード²⁰が実施されている。エネルギー多消費産業であるセメント産業は、気候変動政策上の重要性が高い産業部門の一つとしてその制度の対象となっている。

EUETS 実施の産業部門への影響については、制度開始からの期間が短く、実績が少ないこと等から定量的評価やエネルギー利用形態の変化等の分析はこれまでのところ行われていない。しかし欧州のセメント・メジャー等の報告によれば、セメント産業に対する排出枠は十分な量を超えた水準で割当てられ、各社ともグループ内取引で対応するにとどまっ

¹⁸ 「CSI・CO₂プロトコル」の開発は CSI の参加企業と WBCSD 及び WRI (World Resources Institute, 世界資源研究所) による共同プロジェクトとして進められた。

¹⁹ 水硬性製品 (cementitious) は、スラグ等の混合材、混合セメント、セメントを含む。

²⁰ Directive 2003/87/EC of the European Parliament and of the Council of 13 October 2003 establishing a scheme for greenhouse gas emission allowance trading within the Community and amending Council Directive 96/61/EC ; 域内の生産施設を対象として二酸化炭素の排出キャップを義務として設け、排出キャップに応じた排出枠 (アローワンス) の過不足を排出量取引により調整することを認める制度。2005 年 4 月に制度が開始され、2007 年末までを第 1 期間、2008 年から 2012 年までを第 2 期間として各期間内における対象事業者の排出上限が設けられる仕組み。現在第 3 期間 (2013 年以降) の制度内容が現在検討されている。

ている。このため、取引制度の導入が、これまでのところでは具体的な省エネルギーや温室効果ガスの排出削減策を実施させる直接のインセンティブとはなっていない。

一方で、EUETS の適用範囲の拡大やその継続に際しては、セクターごとの指標やベンチマークをもとに排出枠を割当てて方法を検討する動きが出ている。以下の節に示すように、実施の範囲として域内を想定するものと、国際的に実施することを想定するものの二通りのセクター別アプローチが検討されている。

4-2-1. EU排出量取引制度下のセクター別排出割当の配分に関する検討

EUETS の継続実施を念頭に、セメント業界は制度ルールの改善を求めている。そこでは特に、排出枠の割当方法の変更が重要な論点であるとしている。現行の対象部門への割当は、各加盟国政府が検討・提案し、これを欧州委員会が承認するというプロセスを経て行われている。割当水準は基本的に過去の排出実績に基づくものである。こうした割当方法に代わり、欧州のセメント産業は“EUETS の配分に関するセクター別アプローチ（セクトラル・アロケーション）”を提案した。この割当方法提案は、各セクターで収集したデータに基づいて効率性のベンチマークを設定し、それを各セクター内で統一された割当基準とし配分するというものである。現段階では具体的な指標等は示されていないものの、欧州委員会が 2008 年 1 月 23 日に提出した制度案²¹は、こうしたセクター別のベンチマークに基づく割当方法を今後取り入れる可能性を示唆しており、今後更なる検討が進められる見込みである。

4-2-2. 企業の国際競争

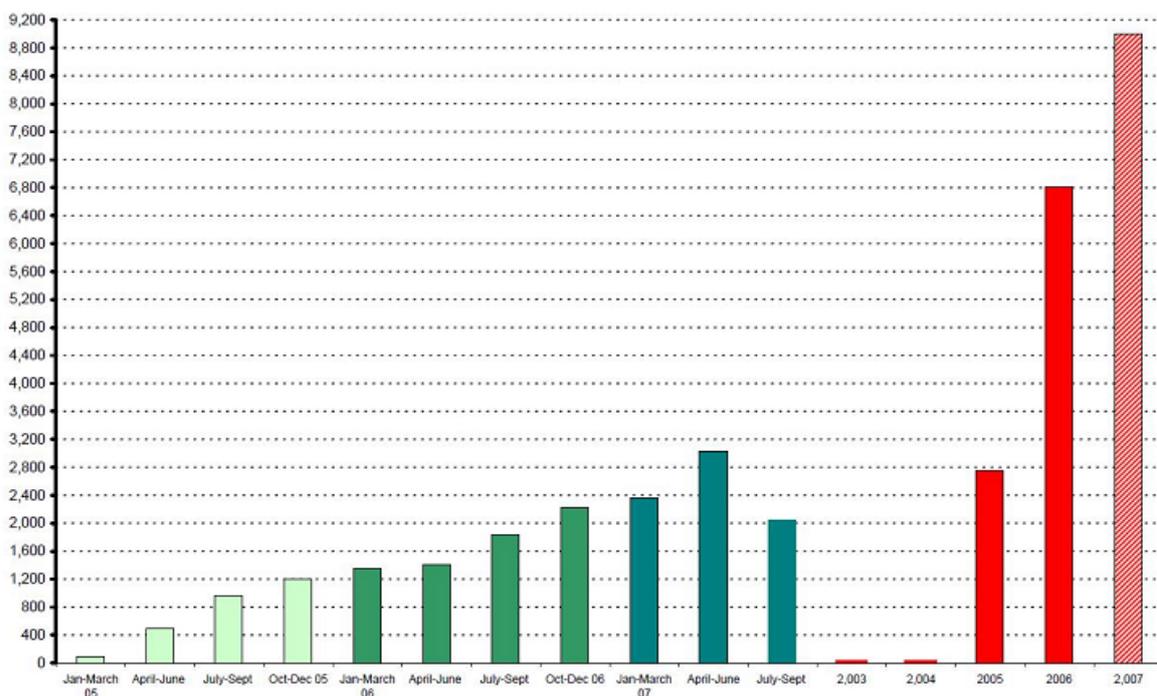
域内の割当方法の問題に加え、国際競争に晒されている産業にとっては、域外の生産国との公平性が重大な関心事である。欧州セメント協会（CEMBUREAU）は、中国からのセメント輸入の急増（図 3）は、セメントの生産移転によるリーケージが実際に生じていることの証左であるとして警告している。

欧州のセメント業界は、上記のセクター別のベンチマーク設定を世界的にも拡大する“グローバルなセクター別アプローチ”をあわせて提言している。これは、EUETS の課題というよりも今後の気候変動対策の国際枠組の問題であるが、キャップ&トレードを前提とした EUETS が継続実施される中で、企業の国際競争の公平性を高める観点と、地球規模での排出削減を進める観点から、中国やインドを中心とした途上国からの参加が得られるような気候変動対策の国際枠組を構築して行こうとするアプローチである。こうした考え方は、EU の政策決定者と産業界との間で共有されつつある。欧州委員会・企業総局が立ち上げた「企業競争、エネルギー及び環境に関するハイレベル・グループ (High Level Group (HLG) on Competitiveness, Energy and the Environment)」が採択した「第 5 次報告

²¹ "COM(2008) 16 final, 2008/0013 (COD), Proposal for a DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL amending Directive 2003/87/EC so as to improve and extend the greenhouse gas emission allowance trading system of the Community", European Commission

書²²」においても、新興経済国の炭素集約型産業の参加を促すことが、健全な国際競争の場を確保しつつ気候変動の緩和策を進めるための解決策の一つになるとして、セクター別アプローチの検討を進めるべきとしている。こうした欧州の動向を受けて、欧州の政策決定者や他産業の業界団体の中で、今後はセクターごとの指標作成への取組が進む可能性がある。

図 3 中国から EU へのセメント輸入の推移



(注) 単位はk トン
 (出所) CEMBUREAU、1 月 23 日付プレスリリース

ここまで述べてきた内容を基に、セクター別アプローチの具体的取組としてセメント産業の国際指標を作成しようとする場合の日本及び欧州のセメント業界それぞれの関心事を整理する。

日本のセメント産業にとって国際指標の作成は、これまでに日本のセメント業界が精力的に進めてきた省エネルギー対策の実績をふまえ、セメント生産におけるエネルギー効率等の客観的評価を可能にする共通の基準作りとしてとらえることができる。他方、欧州のセメント産業は、「EU 排出量取引制度」によるキャップ&トレードが実施される中で、域内での公平なキャップ配分と EU 域外のセメント企業との国際競争の公平性の確保が重要

²² FIFTH REPORT OF THE HIGH LEVEL GROUP ON COMPETITIVENESS, ENERGY AND THE ENVIRONMENT CONTRIBUTING TO AN INTEGRATED APPROACH TO COMPETITIVENESS, ENERGY AND ENVIRONMENT POLICIES, Addressing both international action on climate change and better regulation

な関心事となっている。このため、中国、インド等の主要途上国の参加が得られるような気候変動対策の国際枠組の構築を念頭に置いた指標作成に意欲を示しているのである。同時に、セメント・メジャーと呼ばれる欧州を拠点とする大規模多国籍企業にとっては、グループ大での省エネルギーや温室効果ガス削減ポテンシャルを戦略的に活かせる内容の指標作成が重要となる。このように各々の視点の違いから、指標の具体的な内容については、議論が分かれる可能性もある。

4-3. クリーン開発と気候に関するアジア太平洋パートナーシップ (APP) ²³

「クリーン開発と気候に関するアジア太平洋パートナーシップ (以下、APP)」は、日本、豪州、中国、インド、韓国、米国、カナダの 7 カ国から成る地域協力のパートナーシップとして 2005 年 7 月に発足した²⁴。セメント、鉄鋼、アルミニウムなどの主要産業を含む 8 つの部門別にタスクフォースを設置し、セクターごとの指標の検討など取組を進めている。セメント産業については、APP 参加国が全世界のセメント生産に占める割合は約 62%となっている。

APPの参加国でもある中国やインドでは、今後急激な経済発展が予想され、インフラ整備に欠かせないセメントの更なる生産増大が予想される。APPの主要な目的は、パートナー国間の協力を通じ、省エネルギーや環境対策技術をそれら経済成長国により広く導入することで、効率的でクリーンなセメント生産が可能となり、費用対効果の高い温室効果ガス削減に貢献し得る、というものである。これに基づく活動として、セメント生産におけるベスト・プラクティスや最善の技術の特定を行い、省エネルギーや二酸化炭素削減のポテンシャル評価、そして技術・慣習を普及するにあたっての障壁についての分析を進めること等を目指している。

こうした取組を進めるため APP セメント・タスクフォースでは、パートナー国のセメント産業の現状について、共通の枠組に基づいたデータの集計を行い、二酸化炭素排出やエネルギー利用に関する指標、またはベンチマークを策定することを検討している。表 7 に、セメント・タスクフォースで合意された公式プロジェクトの概要を示す (2008 年 4 月 30 日現在)。データ収集と指標作成に関する作業は、主にプロジェクト 1 と 2 の作業として進められている。日本は両プロジェクトの幹事国 (managing party) を務めるとともに、プロジェクトの運営資金を拠出している。

算定の枠組と各国が提出するデータ項目については、第 3 回セメント・タスクフォース会合 (2007 年 4 月、ニューデリー) の結果、下記を合意している²⁵ :

²³ APP ホームページ <http://asiapacificpartnership.org/>

²⁴ カナダは、第二回閣僚会合 (2007 年 10 月、ニューデリー) 以降、正式に参加。

²⁵ The Asia - Pacific Partnership on Clean Development and Climate, The Third Cement Task Force Meeting in Delhi, India, Chair's Summary

義務としての (mandatory) 指標 :

- 既存の「CSI・CO₂ プロトコル」を用いて算定した水硬性製品 1 トンあたりの CO₂ 排出原単位 (kg-CO₂/t-cementitious)

自主的な (voluntary) 指標²⁶ :

- クリンカ生産量 1 t あたりの総合エネルギー原単位 (代替燃料およびバイオマス燃料を除く) または
- クリンカ生産量 1 t あたりの熱エネルギー (代替燃料及びバイオマス燃料を除く) 及び電力原単位 (MJ/t-clinker)

表 5 APP セメント・タスクフォースによる個別プロジェクト

プロジェクト名及び概要	
1 Status Report	CO ₂ 排出やエネルギー効率、リサイクル、大気汚染物質の排出状況に関する現状調査の実施
2 Benchmarking	ベンチマークの策定とCO ₂ 排出削減ポテンシャルの評価
3 Legal/Regulatory Issues	CO ₂ や大気汚染物質の排出削減にあたって障害となる法規制等の検討
4 Product Application	コンクリート構造物や製品の評価に関する検討
5 Center of Excellence	環境関連の最善技術の普及、人材育成、専門家交流等を行うセンターの設置
6 Cement Kiln Co-Generation	セメントキルンの排熱利用発電デモンストレーションプラントの設置
7 Hazardous Wastes – Best Practices for Co-Processing and Management in Cement Kilns	有害廃棄物、産業廃棄物の利用促進のためのデモンストレーションプラントの設置等
8 High Energy Biomass Fuels for Cement Production	バイオマス、とりわけ藻類バイオマスをセメント生産における再生可能な代替燃料としての利用研究
9 The effect of cement concrete as a CO₂ sink	コンクリート構造物等におけるCO ₂ の吸収効果に関する検討とIPCCへのインプット
10 Performance Diagnosis	省エネルギー診断

(出所) APP ホームページ (<http://asiapacificpartnership.org/CementTF.htm>) より作成

APPにおいてもCSIのプロトコルを用いることになったことは特筆すべき点であり、CSIも、こうしたプロトコル策定・運用に影響を与えていることを自認している²⁷。しかし、省エネルギーの促進を考えるにあたっては「CSI・CO₂プロトコル」も万能ではなく、セメント産業の指標作成にあたって検討すべき課題も多い (次章)。上記のようにAPPセ

²⁶ ここでの mandatory・voluntary の意味は、すべてのパートナー国が対象となる場合と、自主的なデータ提出が期待される場合、との意味合いであり、温室効果ガス削減等を指標に基づき義務付けるというものではない。

²⁷ Making Cement Sustainable: Carbon and Other Emissions (3 September 2007)

メント・タスクフォースは、CO₂ 排出指標（セメント生産あたり）についてはすべてのパートナー国にデータ提出を求める（マンドトリー）一方、セメント生産におけるエネルギー消費により焦点をあてた指標（クリンカ生産のエネルギー効率）は自主的（ボランタリー）な位置づけにとどまっている点に注意が必要である。

4-4. IEAによる指標の作成

IEA は、2005 年に英国で開催された G8 サミットで採択された「グレンイーグルズ行動計画」を受けて、“Tracking Industrial Energy Efficiency and CO₂ Emissions” を 2007 年に発表し、セメント、鉄鋼等の主要産業部門ごとに、エネルギー効率や二酸化炭素排出等、指標となり得る要素を抽出した。セメント産業に関する指標として示された項目は、表 6 の通りである。

表 6 IEA 報告書に示されたセメント産業に関する指標

指標	単位
①クリンカ比率（セメント中のクリンカ重量比率） Clinker ratio per tonne cement	%
②クリンカ t あたりエネルギー原単位 Energy intensity of clinker	GJ/t clinker
③クリンカ生産の代替燃料割合 Alternative fuel use for clinker production	%
④セメント t あたり電力原単位 Electricity intensity of cement	kWh/t cement
⑤セメント t あたりエネルギー原単位 Total energy intensity of cement	GJ/t cement
⑥セメントの総合一次エネルギー原単位（発電を含む） Total primary energy intensity (including upstream energy use in electricity)	GJ/t cement
⑦セメント t あたりのエネルギー由来 CO ₂ 排出 Energy related CO ₂ emissions per tonne of cement	t-CO ₂ /t cement
⑧セメント t あたりのエネルギー由来及びプロセス由来 ²⁸ CO ₂ 排出 Energy and process CO ₂ emissions per tonne of cement	t-CO ₂ /t cement

(出所) IEA, Tracking Industrial Energy Efficiency and CO₂ Emissions, 2007 より作成

²⁸ クリンカ製造における化学反応による二酸化炭素の排出量は、IPCC のデフォルト値である 0.51kg/クリンカ t を使用するとしている。

IEA は、これらの項目に関しての国別の現状をあわせて示した²⁹。しかし、各項目のデータの定義やバウンダリが明確でないものもあり、各国における原単位の推移を把握すること以上の分析は困難となっている。このため、現状の入手データからは、評価対象国のエネルギー消費量や CO₂ 排出量について単純な国際比較はできない状況といえる。

また、IEA 報告書では、セメント産業全体の省エネルギーのポテンシャルとして、生産工程における BAT (Best Available Technology) の全面的な普及とクリンカ生産における燃料代替の進展により、2.5~3EJ のエネルギー消費の削減が可能との試算が示された。CO₂ 排出削減ポテンシャルに関する試算は、クリンカを他の原材料と代替することで年間 240Mt (二酸化炭素換算) の削減が可能という結果であった。しかし、これまでの IEA の作業では、上述の通りデータの制約等があることに留意が必要である。

5. セメント産業の指標作成等の取組を通じて明らかになった論点及び課題

これまでにセメント産業の指標作成に関する様々な取組を見てきたが、これらの検討において論点となった項目について下記に整理する。これらは、データの整合性を確保するという技術的観点から重要であるが、どのような施策に重点を置くのか等により適性が異なる事項もあり、政策目標に合致した指標となるよう検討が必要である。

5-1. データの入手可能性

指標の作成にあたっては、クリンカ及びセメント生産の各工程におけるエネルギー利用をはじめとする各種のデータが必要となる。CSIでは前述した「CSI・CO₂プロトコル」を用いた「二酸化炭素排出データベース」の構築を進めている。このデータベースは、「CSI・CO₂プロトコル」を使って各社が提出する二酸化炭素排出量のデータを基に、CSIメンバー企業が所有する工場すべての二酸化炭素排出のデータを集積し、第三者機関が認証・管理を行うものである。対象となるキルン数は1,000にのぼり、これまでにメンバー各社の1990年、2000年、2005年における二酸化炭素排出のデータが収集された。

こうしたデータベースの構築により、政策決定者に対し統合的なデータ提出及び情報提供が可能になる (ただし後述するように、データの項目や詳細については検討が必要である)。しかし、こうした一部の取組を除いては、セメント生産及びエネルギー利用等に関する統計情報の整備状況は各国で異なり、指標作成に必要なデータの入手可能性は一様ではない。また、関連データの定義やバウンダリがデータにより異なることも問題となるため、比較可能な形でデータを収集すること、あるいは、そうしたデータ収集の枠組を策定することが課題となる。こうした課題への対応のひとつとして APP セメント・タスクフォースは、「CSI・CO₂プロトコル・セミナー」を 2008 年 1 月に中国 (北京) で開催した。会合の開催を通して、エネルギー・CO₂データの収集・整備に関する専門家育成の重要性があらためて認識された³⁰

²⁹ Tracking Industrial Energy Efficiency and CO₂ Emissions, IEA, 2007

³⁰ APP e-Newsletter, Volume 1, Issue 1, March 2008

5-2. 評価対象と生産活動量の設定

セメント生産の指標として、クリンカまたはセメントの生産量あたりの二酸化炭素排出量、もしくは同エネルギー消費量を用いることが考えられる。

セメント生産におけるエネルギー効率により重点を置く立場からは、セメント生産におけるエネルギー消費の大半を占めるクリンカの生産工程に焦点をあて、クリンカのエネルギー消費原単位を指標とすることが合理的であると考えられる。他方、二酸化炭素の排出削減策を実施する観点からは、セメント生産工程全体の二酸化炭素排出原単位とすることで、エネルギー効率の改善だけでなく、混合セメントの増大によるクリンカ削減や代替燃料の使用量を指標に織り込むことも考えられる。

前述のように、例えば、ポルトランドセメントが主要な製品である日本ではクリンカ比率が高く、日本のセメント産業はクリンカ製造における効率化と省エネルギーに注力してきた。他方欧州では、セメントに含まれるクリンカ比率を下げる（混合セメントの生産を増やす）二酸化炭素の削減対策に重点を置いている³¹。このように、日本と欧州のセメント産業がこれまでに取り組んできた省エネルギー対策や製品の種類には相違があること等から、国際指標の評価対象と生産活動量の設定については、利害が異なる面がある。

これまでに述べてきたように、EU排出量取引制度では二酸化炭素排出に対する規制であること、CSIの場合で「CSI・CO₂プロトコル」が策定されたこと、そしてAPPでも「CSI・CO₂プロトコル」を用いた二酸化炭素排出量の把握と指標策定を目指していることから、世界的にみればセメント生産量あたりの二酸化炭素排出を指標とする動きが主となっている。このため、わが国産業もクリンカ比率を下げざるを得ない状況にある。しかし、クリンカ比率の削減を長期的な二酸化炭素削減策として位置づけるに当たっては以下の様な制約が考えられる：

- 1 代替原料の供給面では、混合材の入手可能性は各国・地域により異なる；
- 2 技術面では、国・地域の建築基準によっては、高い強度が求められる建造物にクリンカ比率の高いセメントの使用が規定される場合がある。用途により要求されるセメントの品質が異なるため、一概に混合セメントを増やすべきとはいえない。

このように、各国・各地域のセメント産業は、セメント企業を取り巻く環境や操業条件、関連する規制、適した技術、市場の状況等、国や地域ごとの様々な相違から、それぞれのエネルギー・環境対策を行ってきた背景がある。セメント産業に広く適用するためのベンチマークや指標を策定するにあたって、どのような評価対象をどのような経済活動量で計ったものを代表的な指標として位置づけるのかといった課題は、セメント企業による今後の省エネルギー・気候変動対策の方策に影響を与え得るという点で重要な意味を持つ。このため、政策面からも十分な検討を行う必要がある。

途上国への省エネ技術の移転、普及を目指すのであれば、クリンカ生産に関するエネルギー

³¹ 西欧のポルトランドセメントの割合は 1999 年のデータで 43% (バテル報告書)。日本は 2006 年のデータで 74.6%。

ギー効率に関する指標もあわせて検討するべきとの考え方もある。ただしその場合にも、複数の指標の使い分け等について課題が残ることに注意が必要である。また、エネルギーや二酸化炭素の効率指標をベンチマークとして設定しようとする場合には、水準の高低を巡り合意が困難となることも考えられる。

行政の立場からは、産業界の合意が困難な結果として、指標の内容や数、そしてモニタリング方法が複雑なベンチマークが設定された場合、それを運営することは非現実的と考えざるを得ない。ベンチマークの策定と管理コスト等の行政負担を抑え、運用可能性や制度効率性を考慮した指標の検討が必要となる。

5-3 プロセスのバウンダリと算定上の定義

これまでに述べたように、セメント生産量あたりの原単位（エネルギーあるいは二酸化炭素。以下では単に原単位とする）は、セメントに含まれるクリンカの割合が大きいほど高くなる。また、工場単位、あるいは国単位で見た場合も同様に、クリンカの生産割合が大きい程その原単位は高くなる。このため、例えばある企業がクリンカ含有率の高いセメントを生産・販売している場合にも、クリンカを他社から受け入れたり、他国から輸入していたりしている場合には、原単位はクリンカを含めた一貫生産を行っている企業と比べて低く計上されるケースが考えられる。さらには、例えばデータのバウンダリ外へクリンカの生産拠点を移転した場合には、バウンダリ内の原単位が見かけ上低下しても、移転先でクリンカ生産に伴うエネルギー消費、あるいは二酸化炭素排出が増大する“リーケージ”が発生する可能性もある。これには、企業のデータの秘匿性等から検証が困難という側面もある。

クリンカ生産に関わる問題以外にも、データ収集のバウンダリや算定上の定義は、既存の国別データ等においても一様ではないと考えられ、前提が異なる可能性があることに留意する必要がある。それらの要素として考えられるものを以下に挙げる：

- 鉱山での原料採掘のエネルギー消費（近接工場の場合）
- 原料粉碎のエネルギー消費（オンサイトでの粉碎装置の有無）
- 混合材の運搬、予備処理のためのエネルギー消費
- 廃棄物の熱量の定義
- 廃棄物の燃焼における低位発熱量・高位発熱量³²の違い
- 排熱利用発電による電力消費の扱い
- 廃棄物燃料の定義（次項参照）

³² 高位発熱量基準 Higher Heating Value, 低位発熱量基準 Lower Heating Value。燃料のもっている燃焼熱を表示する際の条件を示すもので、高位発熱量基準(HHV)では燃焼ガス中の水蒸気の蒸発潜熱も有効な熱量として勘定される。低位発熱量基準(LHV)では蒸発潜熱を加算しない。従って発電効率は高位発熱量基準の方が、低位発熱量基準よりも低い値になる。

5-4. 代替エネルギーの算定

化石燃料の使用を廃棄物やバイオマス由来の代替燃料に置換することで、化石燃料消費（および二酸化炭素排出）を削減することができる。セメント事業者は、代替燃料の燃焼による二酸化炭素排出の算定について、これら代替燃料の利用は廃棄物処理の側面があるため、セメント事業者の排出にカウントするべきではないとしている。代替燃料利用に伴う二酸化炭素排出をセメント事業者によるものとして算入する場合には、事業者が廃プラスチックや廃タイヤ、廃油等の廃棄物燃料を用いても、二酸化炭素の排出削減はこうした代替燃料と化石燃料の排出係数との差分のみとなるため、代替燃料（バイオマス以外）の利用増大のインセンティブを阻害する可能性もある。

CSI では、“グロス”と“ネット”の考え方をを用いて、代替燃料の利用を区分して算定する方法を採用している。グロスとは、代替燃料のエネルギー利用を含んだセメント生産において必要なエネルギーをすべて含有する。ネットは、グロスのエネルギー量から代替燃料によるエネルギー利用分を差し引くというものである。代替燃料としての廃棄物受け入れを化石燃料消費の削減として反映することで、事業者の廃棄物受け入れの意欲が保たれるよう策定された。

ただし、ネットとして控除される代替エネルギーには、バイオマス起源燃料だけでなく、廃タイヤなど化石燃料由来の廃棄物も含まれ、これら燃料の算定上の扱いは、廃棄物の定義の問題とも絡み、企業と政策決定者の間で見解が分かれる可能性もある。これは、廃プラスチックや廃タイヤ等はエネルギーとしての利用する際の前処理が容易で、且つ高い熱量を得られることから、むしろこれらを資源としてとらえる考え方があるためである。

例えば EU 排出量取引制度では、セメント企業の燃料消費による二酸化炭素排出のうち、バイオマス燃料のみが控除の対象となっている。一方、日本の自主行動計画では、「廃棄物等の熱エネルギー源としての有効活用については、その取組みにより一般社会で通常行われる焼却・埋立処分をする際の温室効果ガス発生低減に寄与することから、日本経団連フォローアップ『調査の手順』にも規定されている通りエネルギー消費量にカウントしていない。」³³とあるように、廃棄物を利用するほど原単位が改善される内容となっている。

5-5. 間接排出（電力消費）の扱い

購入電力の扱いは、捕捉ポイントのとり方により違いが生じるため、明確化が必要である。例えば EU 排出量取引制度では、発電事業者を電力部門の二酸化炭素排出の捕捉ポイントとしているため、電力の消費者であるセメント事業者は、電力消費を自己のエネルギー消費として算入する必要がない。他方、「CSI・CO₂プロトコル」は、各プラントのエネルギー消費の一部として電力消費も算入している。

また、EU 排出量取引制度下の規定のように CO₂の間接排出を電力消費事業者の排出として算入しない場合には、セメント産業における排熱利用発電や購入電力の消費節減に対

³³ (社)セメント協会、「セメント産業における地球温暖化対策の取り組み」、平成 19 年 10 月 11 日

するインセンティブを阻害する等、政策面での影響を生じ得ることには留意が必要である。

まとめ

セメント産業は、省エネルギーあるいは温室効果ガス排出に関する国際指標について、具体的な検討を行っている。産業界だけでなく、EU や、国際機関（国際エネルギー機関）、国際協力（APP）も、気候変動対策におけるセクター別アプローチへの関心の高まり等を背景に、そうした指標作成について検討を進めている。

しかし、これらの取組からも観察されるように、業界内の戦略等の相違から、具体的な国際指標を策定する際には、利害は異なることも考えられる。例えば、本稿で概説したように、日本のセメント産業は石油ショック以降、プラントの設備改善や排熱利用等によるエネルギー消費の効率化による省エネルギー化に注力してきたが、欧州のセメント企業は、そうしたエネルギー効率化策を必ずしも重視していない。指標の評価対象や指標に織り込む要素の選定は、セメント産業で促進されるべき省エネルギーや気候変動対策のうちどのような対策を重視するのかにより異なるため、産業界内部で利害の相違を生じさせ、合意が困難である可能性もある。

日本政府は、ポスト京都の枠組としてセクター別アプローチを提案したが、産業別の国際指標を用いた方策を目指すのであれば、これまでに進められてきた個々の取組における議論をとりまとめ、合意形成を通して、長期的な気候変動対策の政策目標に資する指標作成に取り組むことが重要である。

巻末 セメントの生産工程とエネルギー利用

1. セメントの生産工程とエネルギー利用

以下ではセメント産業の主な生産工程とエネルギー利用について概説する。

セメントの生産工程は、①原料工程、②焼成工程、③仕上工程の 3 工程に大別される（図 4）。

原料工程では、石灰石、粘土、珪石などの原料の調合・粉碎を行い、次の焼成工程に原料を投入するための準備処理を行う。

焼成工程では、高温の炉内で原料の化学反応を促し、セメントの半製品であるクリンカ（水硬性をもった化合物）を製造する。

仕上工程では、焼成されたクリンカに石膏を加えさらに粉碎し、細かい粉末状のセメントに完成させる。

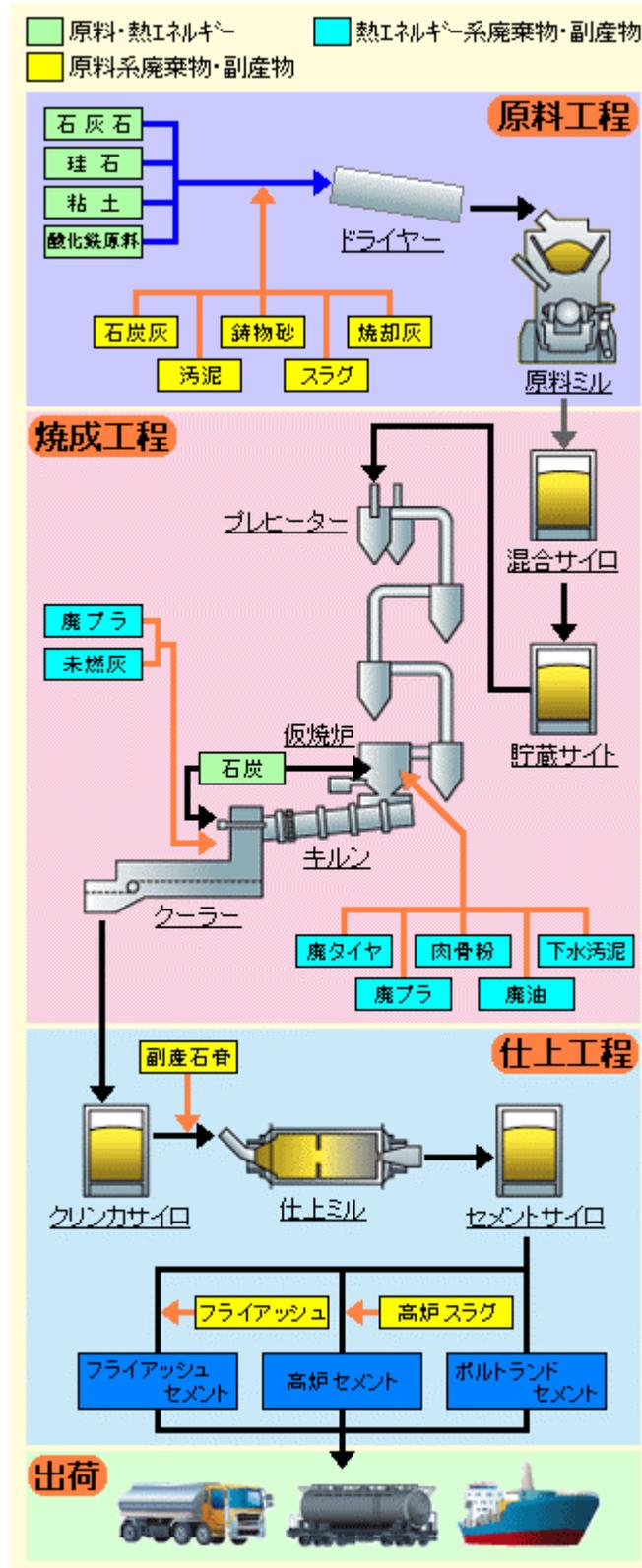
こうした一連の製造工程で用いられるエネルギーは、クリンカの焼成工程で用いられる燃料と、原料工程での原料粉碎や仕上工程でのクリンカ粉碎における電力が主である。

セメント生産の中心はクリンカの焼成工程であり、ここでは炉内温度が 1,450℃にもなるキルンを用いて原料を焼成し、ただちに冷却するというプロセスがとられる。この焼成工程で、セメント生産の全工程で必要なエネルギーの 7 割以上を消費する。わが国のクリ

ンカ製造においては、効率性の高い乾式回転窯（ロータリーキルン）が用いられ（普及率 100%）、さらに余熱の回収・利用を進めることで、高いエネルギー原単位をすでに達成している。他方、途上国等では、エネルギー効率の低い縦窯キルンや湿式キルン（原料に水を加えた上で粉碎し、スラリー状にした原料を焼成工程に投入する）を未だに使用している工場が多く稼働している。例えば中国では、2006 年のセメント生産量は 12 億 4,000 万トンであったが、このうち 48%がこうした旧式キルンで生産されている³⁴。

³⁴ アジア太平洋パートナーシップ、セメント・タスクフォース、"Interim Progress Report"（プロジェクト 1）<http://asiapacificpartnership.org/CementProjects.htm>

図 4 セメントの製造工程とエネルギー利用



(出所) セメント協会ホームページ

2. セメント産業の省エネルギー及び温室効果ガス削減のための取組

セメントの生産工程において省エネルギーあるいは温室効果ガス削減としてとり得る主な取組を下記に整理する³⁵。

①クリンカ製造工程の熱エネルギー利用に関する取組

前述のように、セメント生産の熱エネルギー消費の大半がクリンカの製造工程におけるものである。そのため、焼成工程での省エネルギー施策や技術向上がセメント生産における大幅な省エネルギー効果をもたらすことになる。具体的には下記のような取組が挙げられる：

- クリンカ製造に関する技術・設備
 - ・ 湿式キルンやたて窯キルンの乾式キルンへの置換
 - ・ 予熱装置（プレヒーター）³⁶の設置及び効率化³⁷
 - ・ 仮焼炉の設置
- キルンの排熱利用（上記プレヒーターでの利用等）、排熱利用発電

②電力消費

セメントの生産工程における電力消費は主に、原料工程における原料粉砕、代替燃料を利用する場合の予備処理（廃棄物原料の乾燥、粉砕等）、仕上工程における原料混合および粉砕で発生する。そのため、これら工程の各機械設備の高効率化により、特に電力の消費効率を改善することができる。例えば、原料工程における粉砕効率の高いミル³⁸の導入等があげられる。

また、自家発電の効率改善によってもセメントの生産量あたりの電力消費原単位を改善することができる。

③原料代替（混合セメントの増大）

セメントの原材料として、クリンカ以外の原材料（代替原材料）を用いることが可能である。そうした製品は混合セメントと呼ばれ、代替原材料にはスラグ、フライアッシュ、シリカ質混合材がある³⁹。混合材は他の産業部門（製鉄、発電）における副生物であるため、それら材料の入手にかかるエネルギーは運送や予備処理といった副次的なもののみとなる。前述のように、クリンカ製造にはエネルギーを多く消費するだけでなく化学反応に伴う二酸化炭素排出もあるため、クリンカを他の原材料に代替することで、セメント生産

³⁵ ここに挙げる施術・施策は網羅的なものではなく、セメント産業における省エネルギー、省資源に関する技術・施策は数多くある。「生産技術専門委員会報告」（社）セメント協会、2002年5月参照。

³⁶ SP（Suspension Preheater）式およびNSP（New Suspension Preheater）式がある。

³⁷ 予熱サイクロンを4段式から5段式へ変更・増設する等。

³⁸ たて型ミル、予備粉砕機付ミル等。

³⁹ 原材料として都市ごみの焼却灰をベースに下水汚泥、廃棄物等を混ぜた“エコセメント”の開発・生産も行われているが、省エネルギーや気候変動対策上の効果よりも廃棄物問題解決への貢献を目指した取組である。

量あたりのエネルギー消費及び二酸化炭素排出は低減することになる。

ただし、混合セメントとポルトランドセメントでは、物理的特性に差異がある点にも留意する必要がある⁴⁰。また、現状の技術動向や用途からは、クリンカが 100%代替される見通しはたっていない。

④燃料代替

高温の焼成設備を利用して、廃プラスチックや廃タイヤ等の廃棄物や、高炉スラグ、フライアッシュといった産業副産物を燃料として利用することが可能である。クリンカの焼成工程に用いる燃料を、二酸化炭素の排出係数がより低い燃料に転換（例えば石炭から廃棄物由来の燃料へ転換）することで二酸化炭素排出を削減することができる。

なお代替燃料として用いられる可燃性廃棄物は、燃料として熱エネルギーが利用可能であると同時に、その灰は原料としてクリンカに取り込まれる。酸化カルシウム (CaO) を多く含む上記廃棄物の利用は、原料起源の二酸化炭素排出を削減する効果がある。また、高炉スラグやフライアッシュは、代替燃料としても代替原料としても利用することが可能である⁴¹。

お問い合わせ : report@tky.iej.or.jp

⁴⁰ 例えば初期の強度特性が低いこと等。

⁴¹ "Today for tomorrow - success and goals for sustainability", HeidelbergCement, 2007 日本での分類上は、代替原料として用いられる高炉スラグ・フライアッシュ等は「廃棄物」、クリンカの代替材として用いられる高炉スラグ・フライアッシュ等は規格化された「副産物」として扱われる（(社)セメント協会ヒアリング）。