

革新的セメント製造プロセス基盤技術開発
事後評価報告書
（案）

平成27年12月

産業構造審議会産業技術環境分科会

研究開発・イノベーション小委員会評価ワーキンググループ

事後評価報告書概要

プロジェクト名	革新的セメント製造プロセス基盤技術開発
上位施策名	
事業担当課	経済産業省 製造産業局 住宅産業窯業建材課

プロジェクトの目的・概要

- セメント産業はエネルギー多消費産業の一つであり、CO₂排出量は我が国産業部門の約6%を占めている。
- 我が国セメント産業の省エネ技術は既に世界最高水準にあり、既存技術による省エネはほぼ限界に達しているが、更なる省エネ・低炭素化に向けた取組が求められている。
- このため、本プロジェクトでは、セメント製造プロセスで最もエネルギーを消費するクリンカの焼成工程において、焼成温度低下等を可能とする革新的な製造プロセスの基盤技術の開発を行い、我が国セメント産業の一層の省エネ・低炭素化を図るもの。

予算額等（委託 or 補助（補助率：2/3））

（単位：千円）

開始年度	終了年度	中間評価時期	事後評価時期	事業実施主体
平成22年度	平成26年度	平成24年度	平成27年度	セメント4社※
H24FY 予算額	H25FY 予算額	H26FY 予算額	総予算額(22-26)	総執行額(22-26)
156,447	140,000	120,000	720,000	832,000

※セメント4社：宇部興産(株)、住友大阪セメント(株)、太平洋セメント(株)、三菱マテリアル(株)

目標・指標及び成果・達成度

(1) 全体目標に対する成果・達成度

個別要素技術	目標・指標	成果	達成度
	最終時点		
<p>1. 省エネ型クリンカ焼成技術開発 (a) 鉱化剤使用によるセメントクリンカ低温焼成技術開発</p>	<p>実機適用への課題抽出。 ・予熱設備を追加したテストキルン(ミニプラント)や大型テストキルンを用いて、鉱化剤添加効果の確認とプロセス評価や物性評価の実施。試験施工や耐久性といった物理特性の明確化。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ミニプラント焼成試験では焼成温度低減(100℃)を図る為の焼成条件を明確化した。 ・大型テストキルンを用いたクリンカ試製造では、原料投入量をミニプラント焼成に比べて大幅に増加させてクリンカを製造し、モルタルおよびコンクリート性状に鉱化剤添加の影響がないことを明確化した。 ・さらにコンクリート製品であるロングベンチフリーム(LBF)の製造試験を行い、製品打設時、均し等作業性および耐久性を含めた諸物性において鉱化剤添加の影響がないことを確認した。 <p>(課題)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・鉱化剤含有量の変動によって焼成温度を変化させる必要がある為、正確な焼成温度の計測と焼成温度管理が必要。 ・鉱化剤の添加により、焼成クリンカは細粒化すると想定、AQCの熱交換効率の低下が予想されることから、装置およびオペレーションの最適化必要になる。 	達成
<p>(b) 鉱物組成変更による省エネ型クリンカ焼成技術開発 (ビーライトーアウイン系クリンカ開発)</p>	<p>鉱物組成変更による省エネ型クリンカ焼成における諸条件の最適化および実機焼成における課題抽出。 ・テストキルン等での試験焼成による鉱物組成およびドーパントの最適化、実機焼成時の課題抽出。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・テストキルン等を使用し、アウイン量最適化およびホウ素ドーピングにより OPC 同等の試製クリンカを得た。 ・テストキルンにより得たビーライトアウインクリンカは、仕上げ石膏添加の種類、量、粉末度などの最適化が必要であること 	達成

	<ul style="list-style-type: none"> ・試製セメントの物性明確化、仕上げ条件の最適化。 ・試製コンクリートのフレッシュ性状、強度発現性、耐久性および品質課題の確認。 	<p>を明らかにし、その最適条件を明確化した。最適化したセメントを用いて、コンクリートのフレッシュ性状、強度発現、耐久性を評価し OPC 代替としての特徴を明らかにした。</p> <p>(課題)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・実機製造ではコーティングおよび焼成温度制御、品質面では耐久性および規格等が課題である。 	
(c) 省エネセメントの開発	<p>製造プロセス実用化に向けた技術的課題を抽出し、エネルギー原単位 8%削減を可能とする製造プロセスの検討。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・品質、耐久性及び省エネ効果等を総合的に踏まえた省エネセメントの設計。 ・省エネ効果を最適化した条件でのクリンカ試製造および物性明確化。 ・実用化に向けた課題抽出。 	<ul style="list-style-type: none"> ・省エネセメントの設計を以下に決定した。高 C3A(+4%)+混合材 10% (ただし、混合材に LSP5 % が必須) ・高 C3A クリンカでは焼成エネルギーが 2.2~4.0%低減し、セメント製造全体でのエネルギー低減は 8.5~10.1%と試算された。 ・省エネセメントの品質は OPC と概ね同等、強熱減量は一部規格外、水和熱は高め、耐硫酸塩性は低めであった。 <p>(課題)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・実機製造ではコーティング、品質面では規格変更または新設が課題である。 	達成
2. クリンカ焼成プロセスのシミュレーション解析	<p>①統合シミュレータの高度化として、クーラーの二次元モデルを開発し、クリンカ組成変更等によるクリンカ粒度及びクーラー効率への影響まで想定できる様にする。</p> <p>②焼成プロセスの省エネポテンシャル評価</p>	<p>①統合シミュレータの開発および高度化</p> <p>-原料・焼成工程全般を検討できる KilnSimu+と燃焼解析ソフトの双方向連成で解析可能な統合シミュレータにクリンカ粒度及びクーラー効率への影響までを想定可能なクーラー二次元モデルを加え高度化したものを開発した。また、以下の実験及び測定を行い計算精度を向上させた。</p> <p>-電気炉実験により、省エネクリン</p>	達成

		<p>力における生成鉱物の反応速度の違いを把握した。</p> <p>-省エネクリンカ（鉱化剤，高 C3A，7μ等）の造粒特性に関して，融液特性（粘度，表面張力）の測定を行い，ミニプラントでの焼成試験により融液特性と粒度との関係を確認した。</p> <p>-実機キルンのクーラー内温度分布および粒子偏析状態を観察した。</p> <p>②焼成プロセスの省エネポテンシャル評価</p> <p>-高度化したシミュレータにより省エネ型クリンカの省エネポテンシャルを再評価した。</p> <p>-クリンカ組成や製造設備等の変更による省エネポテンシャルを再評価した。</p> <p>-革新的セメント製造プロセス設計の課題抽出で，既存および理想プロセスにおける省エネ効果の定量化を行った。</p>	
<p>3. クリンカ焼成プロセスの計測技術開発</p> <p>(a) スペクトル計測等によるキルン内温度計測技術開発</p>	<p>スペクトル計測等による実機キルンへ適用ができるキルン内温度計測技術の確立（下記方法の工場適用可否判断）。</p> <p>①ダストキャンセル法</p> <p>②光ファイバー法</p>	<p>①ダストキャンセル法の工場への適用は，可能性ありと判断した。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・炉内環境模擬試験装置を使った検証試験で，ダストキャンセル法の理論が成り立つことを確認した。 ・実機キルンに適用し，大きく変化する粉塵温度や透過率による影響をキャンセルしたクリンカ温度を求めた。 <p>②光ファイバー温度計はクリンカ温度の測定に適していないと判断した。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・光ファイバーを水冷管に退避し，測定時のみにクリンカに接触さ 	達成

		せる試験装置を製作し、温度測定試験を実施した。 ・クリンカ温度の測定結果は熱電対との差が大きく、その差も一定ではなかった。	
--	--	--	--

(2) 目標及び計画の変更の有無

無し

<共通指標>

論文数	論文の被引用度数	特許等件数 (出願を含む)	特許権の実施件数	ライセンス 供与数	取得ライセンス料	国際標準への寄与
2	0	6	0	0	0	0

評価概要

1. 事業の目的・政策的位置付けの妥当性

セメント産業は、我が国の社会基盤を支える重要な産業である一方で、エネルギー多消費産業の中で主要な原料を国内自給できる唯一の産業である。そのエネルギー効率は世界最高水準に達しているものの、更なる省エネを見据え、日本のセメントメーカーが協力して行う本プロジェクトは、国として積極的に進めるべきものと評価する。

十分に研究されつくした感のあるセメント産業であるが、本事業の開発技術は新規性・独創性があり、世界に先駆けた革新的な事業であることは明白である。その開発リスクを考慮すると、国の関与は必要。

また、今後増え続ける新興国・途上国を中心としたセメント需要に関し低炭素を目指す社会システム構築に呼応するには、これまでとは異なる革新的な省エネルギーを目指した取り組み努力が求められる。更なる省エネをこれまでとは異なるアプローチで進めることは、世界をリードする日本のセメント産業界に課せられた宿命であり、全世界の省エネに貢献するものである。

なお、CO2削減のためには、本プロジェクトで開発した製造プロセスを経たセメントが普及する必要がある。ユーザーを取り込んだ体制があると良かった。また、プロジェクト内で将来の実用化に向けたプラン、工程におけるマイルストーンなどを同時に示した方がよかった。

実用化に向けて、新たな技術開発が必要になると考えられるため、先を見通した迅速な対応が求められる

2. 研究開発等の目標の妥当性

セメントの製造プロセスの中で、エネルギーを多量に消費するクリンカ焼成工程の改善を目的としたことは妥当である。また、省エネ型クリンカ焼成技術として3種類の具体的手法を挙げ、関連するシミュレーション技術や温度計測技術を開発し、総合的に省エネを目指した本事業の目標には具体的な目標水準が示されており、適切かつ妥当だったと判断できる。

これまでの技術的知見や事例をもとに、目標値をエネルギー原単位8%削減としたことに関しても適

切かつ妥当であったと評価するが、事業化を見据えたコスト目標も設定すべきであったと思われる。

目標のエネルギー原単位 8%削減について、ベースを平均的な普通ポルトランドセメントクリンカの理論焼成熟等+排ガス顕熱/熱放散等とはしているものの、ベースシステムが特定できないため、相対的な表現である 8%の意義が若干曖昧になっているので、エネルギー原単位で示したほうがわかりやすかったと思われる。

低温焼成のための材料開発は省エネ効果が明確になっているが、省エネ効果に対する各要素技術との定量的関連が曖昧である。

3. 成果、目標の達成度の妥当性

総合的知見に関しては、目標であるエネルギー原単位の 8%の削減可能性をスケジュール通りに概ね達成されていると評価する。

個別要素技術に関しても、省エネ型クリンカ焼成技術、クリンカ焼成プロセスのシミュレーション解析技術、クリンカ焼成プロセスの温度計測技術を確立し、それらの結果を融合することで、鉱化剤使用クリンカ少量成分の最適化、省エネルギーセメントの設計、シミュレーションによるセメント運転条件の提示がされており、これらも概ね成果が達成されている。

今後の課題を自ら把握しているため、今後それらを補完する技術開発をしてほしい。

なお、特許や論文数について概ね妥当との評価もある一方で、積極的な国内外への情報発信や指導的立場の確立等のために、もう少し努力すべきだったとの評価が多数を占めた。

検討結果を反映した最終的な製造実験が計画期間内に実施されているとより良かった。また、セメント製造においては色々な廃棄物を受け入れているため、不純物を含む系においても実証あるいはシミュレーションが必要である。

4. 事業化、波及効果の妥当性

普通ポルトランドセメントと同等の品質確保を目標としているため、産業界への普及は進みやすいものとする。国内で普及展開ができれば、海外への波及効果も期待できる。

シミュレーション技術は本開発にとっても重要な技術であるが、一般的なセメント産業に対しても役立つものであり、多大な波及効果が期待できる。

事業化における課題（新原料の調達、品質・コスト競争力、流通網整備、普及のための製品の JIS 化等）への取り組みが必要である。

実用化を促進するためにはユーザーとの連携が必要である。

5. 研究開発マネジメント・体制等の妥当性

実施体制については、国内の主要なセメントメーカーによるオールジャパン体制での開発であり、さらに、全体会議を設定し各社間の情報共有を図っており適切であった。

研究開発計画については、途中の中間評価で開発内容を絞り込む等の対応をしており適切であった。

資金配分についても、各社それぞれが担当項目について、課題目標が概ね達成できたことを鑑みると適切であった。

特許を含めた成果は、今後の事業化プロセスで、各社に十分な活用をお願いしたい。

6. 費用対効果の妥当性

省エネ効果 8%が達成できれば、大きな省エネ効果（2050年で原油換算約 38 万 kL の省エネ効果）が期待できるため、投入された予算を超える効果が期待できる。

それぞれの要素技術は波及効果があると考えられるので、セメント産業全体としての技術改善効果に繋がるものと期待できる。

なお、2030年や2050年の省エネ量の試算が曖昧である。また、38 万 kL という省エネ効果を金額換算などによって表現されているとよかった。

7. 総合評価

本事業は、全体としても各要素技術においても、当面の目標が計画通りに達成され、確実な成果を上げたことは評価に値する。我が国のセメント製造技術はエネルギー効率においても最高水準に達している中で、これを更に、省エネ・低炭素化を可能とする革新的製造プロセスを開発しようとする難易度の高い事業であるが、低温焼成材料の開発により、エネルギー原単位 8%の削減の可能性を見出し、実証した点は評価できる。また、セメントシミュレーターや高精度温度測定法は他でも活用可能であり、高く評価できる。

セメント産業は我が国の基幹産業の一つであると共に、エネルギー多消費産業の一つでもある。国の関与の下で業界が一丸となって CO2 削減に向かって本研究開発・事業化を進めることは、業界全体の活性化・成長に貢献できると同時に、社会的に大きな意義がある。

なお、今後の事業化に向けては、ユーザーを巻き込んだ体制で経済性、新技術の実装、どのような製品を供給するのか等について更なる検討が必要と思われる。

8. 今後の研究開発の方向等に関する提言

今後の実施課題と位置付けられた、鉱化剤使用および省エネセメントの OPC 同等品質の確認、全体統合シミュレータの高度化、新規温度計測方法を確立、の速やかな解決がまたれる。

省エネ型クリンカ焼成技術において、温度管理、コーティング、閉塞、細粒化、耐硫酸塩性、耐久性などの個々問題への具体的対策を期待する。

温度計測技術は、今後の海外展開などにおける日本のスキル・知財となりえる要素が多く実用が待たれる。

全体統合シミュレータについては、解析の高度化のみならず、クリンカのサイズ変動など複雑現象に対する実装に向けた最適運転計画などの制御アルゴリズムの提案にむけた検討も同時に期待したい。

今後、実際のセメント製造にこの事業の結果を当てはめて、長期の運転が可能であるか等の実証が必要と考える。また、事業化においてはコスト試算、マイルストーンの設定は必要と考える。各社で事業化に向けた方針は異なるものと考えられるが、多くの困難が予想される問題解決のためには、全社が一丸となって取り組む必要があると考える。

評点結果

評点法による評点結果 「革新的セメント製造プロセス基盤技術開発」

	評点	A 委員	B 委員	C 委員	D 委員	E 委員	F 委員
1. 事業の目的・政策的位置付けの妥当性	2.33	2	3	2	2	2	3
2. 研究開発等の目標の妥当性	1.67	2	2	1	2	1	2
3. 成果、目標の達成度の妥当性	1.67	1	2	1	2	2	2
4. 事業化、波及効果についての妥当性	1.50	1	2	1	1	1	3
5. 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等の妥当性	2.00	2	2	2	2	2	2
6. 費用対効果の妥当性	1.83	2	3	0	1	2	3
7. 総合評価	2.17	2	2	2	2	2	3

