

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

はじめに

研究開発の評価は、研究開発活動の効率化・活性化、優れた成果の獲得や社会・経済への還元等を図るとともに、国民に対して説明責任を果たすために、極めて重要な活動であり、このため、経済産業省では、「国の研究開発評価に関する大綱的指針」（平成24年12月6日、内閣総理大臣決定）等に沿った適切な評価を実施すべく「経済産業省技術評価指針」（平成26年4月改正）を定め、これに基づいて研究開発の評価を実施している。

経済産業省において実施している革新的セメント製造プロセス基盤技術開発は、エネルギー多消費産業の一つであるセメント産業が、更なる省エネ・低炭素化に向けた取り組みが社会的に求められている一方で、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ことから、更なる省エネ・低炭素化を可能とする革新的な製造プロセスを開発するため、平成22年度から平成26年度まで実施した（平成22年度はNEDO助成事業として）ものである。

今回の評価は、この革新的セメント製造プロセス基盤技術開発研究開発の事後評価であり、実際の評価に際しては、省外の有識者からなる革新的セメント製造プロセス基盤技術開発事後評価検討会（座長：片山 恵一 東海大学工学部応用化学科教授）を開催した。

今般、当該検討会における検討結果が評価報告書の原案として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（座長：小林 直人 早稲田大学研究戦略センター副所長・教授）に付議され、内容を審議し、了承された。

本書は、これらの評価結果を取りまとめたものである。

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

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

委 員 名 簿

座長	小林 直人	早稲田大学研究戦略センター副所長・教授
	大島 まり	東京大学大学院情報学環教授 東京大学生産技術研究所教授
	太田 健一郎	横浜国立大学工学研究院グリーン水素研究センター長 ・特任教授
	亀井 信一	株式会社三菱総合研究所政策・経済研究センター長
	高橋 真木子	金沢工業大学工学研究科教授
	津川 若子	東京農工大学大学院工学研究院准教授
	西尾 好司	株式会社富士通総研経済研究所主任研究員
	森 俊介	東京理科大学理工学研究科長 東京理科大学理工学部経営工学科教授

(座長除き、五十音順)

事務局：経済産業省産業技術環境局技術評価室

革新的セメント製造プロセス基盤技術開発 事後評価検討会
委員名簿

座長	片山 恵一	東海大学工学部応用化学科 教授
	梅本 宗宏	日本建設業連合会コンクリート品質専門部会副部長 (戸田建設株式会社 技術開発センター社会基盤ユニット構造材料チーム主管)
	小嶋 芳行	日本大学理工学部物質応用化学科 教授
	宝田 恭之	群馬大学大学院理工学府 教授
	松尾 誠治	東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻 助教
	宗像 鉄雄	国立研究開発法人産業技術総合研究所省エネルギー研究部門 研究部門長

(座長除き、五十音順)

事務局：経済産業省 製造産業局 住宅産業窯業建材課

革新的セメント製造プロセス基盤技術開発の評価に係る省内関係者

【事後評価時】

(平成27年度) 【今回】

製造産業局 住宅産業窯業建材課長 寺家 克昌 (事業担当課長)

大臣官房参事官 (イノベーション推進担当)

産業技術環境局 研究開発課 技術評価室長 岩松 潤

【中間評価時】

(平成24年度)

製造産業局 住宅産業窯業建材課長 三橋 敏宏 (事業担当課長)

産業技術環境局 産業技術政策課 技術評価室長 岡本 繁樹

【事前評価時】 (事業初年度予算要求時)

製造産業局 住宅産業窯業建材課長 渡邊 宏 (事業担当課長)

革新的セメント製造プロセス基盤技術開発 事後評価

審 議 経 過

○第1回事後評価検討会（平成27年10月15日）

- ・評価の方法等について
- ・プロジェクトの概要について
- ・評価の進め方について

○第2回事後評価検討会（平成27年11月19日～11月30日：書面審議）

- ・評価報告書(案)について

○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

（平成27年12月18日）

- ・評価報告書(案)について

目 次

はじめに

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
委員名簿 革新的セメント製造プロセス基盤技術開発事後評価検討会 委員名簿
革新的セメント製造プロセス基盤技術開発の評価に係る省内関係者
革新的セメント製造プロセス基盤技術開発研究開発事後評価 審議経過

	ページ
事後評価報告書概要	i
第1章 評価の実施方法	
1. 評価目的	1
2. 評価者	1
3. 評価対象	2
4. 評価方法	2
5. プロジェクト評価における標準的な評価項目・評価基準	2
第2章 プロジェクトの概要	
1. 事業の目的・政策的位置付け	5
2. 研究開発等の目標	9
3. 成果、目標の達成度	13
4. 事業化、波及効果について	46
5. 研究開発マネジメント・体制等	48
6. 費用対効果	52
第3章 評価	
1. 事業の目的・政策的位置付けの妥当性	58
2. 研究開発等の目標の妥当性	60
3. 成果、目標の達成度の妥当性	62
4. 事業化、波及効果についての妥当性	64
5. 研究開発マネジメント・体制等の妥当性	66
6. 費用対効果の妥当性	68
7. 総合評価	70
8. 今後の研究開発の方向等に関する提言	72
第4章 評点法による評点結果	78
参考資料	
参考資料1 経済産業省技術評価指針	
参考資料2 経済産業省技術評価指針に基づく標準的評価項目・評価基準	
参考資料3 平成24年度革新的セメント製造プロセス基盤技術開発プロジェクト評価中間報告書（概要版）	

事後評価報告書概要

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※
H22FY 予算額	H26FY 予算額	H24FY 予算額	総予算額(22-26)	総執行額(22-26)
140,000	160,000	156,447	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		
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	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。	・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。	達成

		・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。 (課題) ・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。		
(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)	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。 ・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。	・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ブにより 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。 (課題) ・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。	達成	
(c) 省エネセメントの開発	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。	・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)	達成	

	・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。	・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。 (課題) ・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。		
2. クリンカ焼成プロセスのシミュレーション解析	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。 ②焼成プロセスの省エネポテンシャル評価	①統合シミュレータの開発および高度化 -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。 -電気炉実験により、省エネクリンカにおける生成鉱物の反応速度の違いを把握した。 -省エネクリンカ（鉱化剤、高 C3A、7μm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。 -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。 ②焼成プロセスの省エネポテンシャル評価 -高度化したシミュレータにより	達成	

		省エネ型クリンカの省エネポテンシャルを再評価した。 -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。 -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。	
3. クリンカ焼成プロセスの計測技術開発 (a) スペクトル計測等によるキルン内温度計測技術開発	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）。 ①ダストキャンセル法 ②光ファイバー法	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。 ・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。 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。 ・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。	達成

(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ので、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。

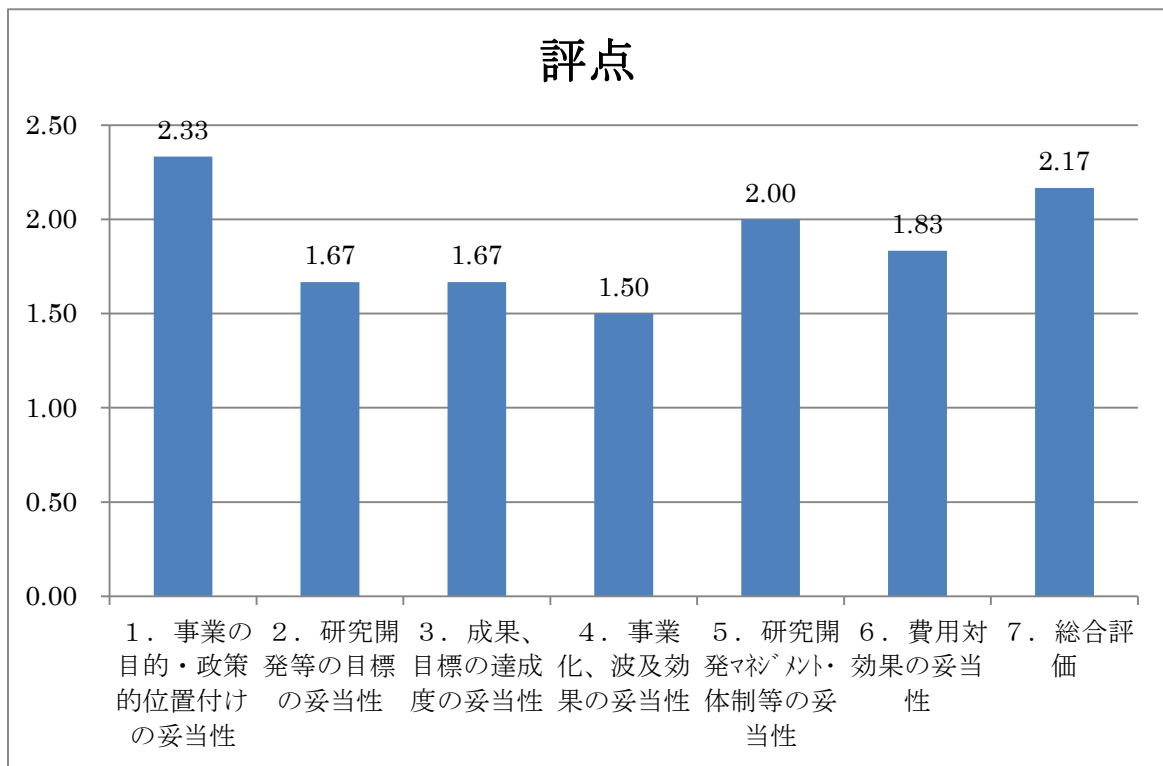
全体統合シミュレータについては、解析の高度化のみならず、クリンカーのサイズ変動など複雑現象に対する実装に向けた最適運転計画などの制御アルゴリズムの提案にむけた検討も同時に期待したい。

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



第 1 章 評価の実施方法

第1章 評価の実施方法

本プロジェクト評価は、「経済産業省技術評価指針」（平成26年4月改定、以下「評価指針」という。）に基づき、以下のとおり行われた。

1. 評価目的

評価指針においては、評価の基本的考え方として、評価実施する目的として

- (1) より良い政策・施策への反映
- (2) より効率的・効果的な研究開発の実施
- (3) 国民への技術に関する施策・事業等の開示
- (4) 資源の重点的・効率的配分への反映

を定めるとともに、評価の実施にあたっては、

- (1) 透明性の確保
- (2) 中立性の確保
- (3) 継続性の確保
- (4) 実効性の確保

を基本理念としている。

プロジェクト評価とは、評価指針における評価類型の一つとして位置付けられ、プロジェクトそのものについて、同評価指針に基づき、事業の目的・政策的位置付けの妥当性、研究開発等の目標の妥当性、成果、目標の達成度の妥当性、事業化、波及効果についての妥当性、研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等の妥当性の評価項目について、評価を実施するものである。

その評価結果は、本プロジェクトの実施、運営等の改善や技術開発の効果、効率性の改善、更には予算等の資源配分に反映させることになるものである。

2. 評価者

評価を実施するにあたり、評価指針に定められた「評価を行う場合には、被評価者に直接利害を有しない中立的な者である外部評価者の導入等により、中立性の確保に努めること」との規定に基づき、外部の有識者・専門家で構成する検討会を設置し、評価を行うこととした。

これに基づき、評価検討会を設置し、プロジェクトの目的や研究内容に即

した専門家や経済・社会ニーズについて指摘できる有識者等から評価検討会委員名簿にある6名が選任された。

なお、本評価検討会の事務局については、指針に基づき経済産業省製造産業局住宅産業窯業建材課が担当した。

3. 評価対象

革新的セメント製造プロセス基盤技術研究開発（実施期間：平成22年度から平成26年度）を評価対象として、研究開発実施者（宇部興産株式会社、住友大阪セメント株式会社、太平洋セメント株式会社、三菱マテリアル株式会社）から提出されたプロジェクトの内容・成果等に関する資料及び説明に基づき評価した。

4. 評価方法

第1回評価検討会においては、研究開発実施者からの資料提供、説明及び質疑応答、並びに委員による意見交換が行われた。

第2回評価検討会においては、それらを踏まえて「プロジェクト評価における標準的評価項目・評価基準」、今後の研究開発の方向等に関する提言等及び要素技術について評価を実施し、併せて4段階評点法による評価を行い、評価報告書(案)を審議、確定した。

また、評価の透明性の確保の観点から、知的財産保護、個人情報で支障が生じると認められる場合等を除き、評価検討会を公開として実施した。

5. プロジェクト評価における標準的な評価項目・評価基準

評価検討会においては、経済産業省産業技術環境局技術評価室において平成25年4月に策定した「経済産業省技術評価指針に基づく標準的評価項目・評価基準について」のプロジェクト評価（中間・事後評価）に沿った評価項目・評価基準とした。

1. 事業の目的・政策的位置付けの妥当性

（1）事業目的は妥当で、政策的位置付けは明確か。

- ・事業の政策的意義（上位の施策との関連付け等）
- ・事業の科学的・技術的意義（新規性・先進性・独創性・革新性・先導性等）

- ・社会的・経済的意義（実用性等）
- （２）国の事業として妥当であるか、国の関与が必要とされる事業か。
 - ・国民や社会のニーズに合っているか。
 - ・官民の役割分担は適切か。

２．研究開発等の目標の妥当性

- （１）研究開発等の目標は適切かつ妥当か。
 - ・目的達成のために具体的かつ明確な研究開発等の目標及び目標水準を設定しているか。特に、中間評価の場合、中間評価時点で、達成すべき水準（基準値）が設定されているか。
 - ・目標達成度を測定・判断するための適切な指標が設定されているか。

３．成果、目標の達成度の妥当性

- （１）成果は妥当か。
 - ・得られた成果は何か。
 - ・設定された目標以外に得られた成果はあるか。
 - ・共通指標である、論文の発表、特許の出願、国際標準の形成、プロトタイプの作製等があったか。
- （２）目標の達成度は妥当か。
 - ・設定された目標の達成度（指標により測定し、中間及び事後評価時点の達成すべき水準（基準値）との比較）はどうか。

４．事業化、波及効果についての妥当性

- （１）事業化については妥当か。
 - ・事業化の見通し（事業化に向けてのシナリオ、事業化に関する問題点及び解決方策の明確化等）は立っているか。
- （２）波及効果は妥当か。
 - ・成果に基づいた波及効果を生じたか、期待できるか。
 - ・当初想定していなかった波及効果を生じたか、期待できるか。

５．研究開発マネジメント・体制等の妥当性

- （１）研究開発計画は適切かつ妥当か。
 - ・事業の目標を達成するために本計画は適切であったか（想定された課題への対応の妥当性）。

- ・採択スケジュール等は妥当であったか。
- ・選別過程は適切であったか。
- ・採択された実施者は妥当であったか。

(2) 研究開発実施者の実施体制・運営は適切かつ妥当か。

- ・適切な研究開発チーム構成での実施体制になっているか、いたか。
- ・全体を統括するプロジェクトリーダー等が選任され、十分に活躍できる環境が整備されているか、いたか。
- ・目標達成及び効率的実施のために必要な、実施者間の連携／競争が十分に行われる体制となっているか、いたか。
- ・成果の利用主体に対して、成果を普及し関与を求める取組を積極的に実施しているか、いたか。

(3) 資金配分は妥当か。

- ・資金の過不足はなかったか。
- ・資金の内部配分は妥当か。

(4) 変化への対応は妥当か。

- ・社会経済情勢等周辺の状況変化に柔軟に対応しているか（新たな課題への対応の妥当性）。
- ・代替手段との比較を適切に行ったか。

6. 費用対効果の妥当性

(1) 費用対効果等は妥当か。

- ・投入された資源量に見合った効果が生じたか、期待できるか。
- ・必要な効果がより少ない資源量で得られるものが他にないか。

7. 総合評価

第2章 プロジェクトの概要

1. 事業の目的・政策的位置付け

1-1 事業目的

セメント産業はエネルギー多消費産業の一つであることから、我が国の温室効果ガス削減に向け、更なる省エネ・低炭素化に向けた取り組みが求められている。しかしながら、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ことから、本事業では、更なる省エネ・低炭素化を可能とする革新的な製造プロセスを開発することを目的とする。

具体的には、セメント製造において、鉱化剤あるいは鉱物組成の変更による焼成温度低下技術に加え、焼成プロセスを解析するシミュレーション技術やキルン内計測技術を用いて焼成プロセスの高度化等、種々の省エネ技術を融合化することにより、セメント製造エネルギーの8~9割を占めるクリンカ焼成工程における革新的なセメント製造プロセスの基盤技術開発を実施し、国内セメント製造業全体の競争力強化に繋がる革新的省エネルギー技術の確立を目的とするものである。

1-2 政策的位置付け

(1) 省エネルギー技術戦略2011（平成23年3月資源エネルギー庁策定）

省エネルギー技術の研究開発と普及を効果的に推進するため、経済産業省とNEDOにより策定された「省エネルギー技術戦略2011」において、製造プロセスで省エネを推進する「エクセルギー損失最小化技術」が重要かつ基軸となる技術として選定された。

この「エクセルギー損失最小化技術」においてセメント製造プロセスが具体例として示され、本事業の内容が引用されている。

(2) 環境エネルギー技術革新計画（平成25年9月総合科学技術会議決定）

「技術で世界に貢献していく、攻めの地球温暖化外交戦略を組み立てること。」との安倍総理大臣からの指示をうけ、総合科学技術会議により計画を改訂。環境エネルギー技術革新計画2013において、地球全体の環境・エネルギー制約の解決と、各国の経済成長に必要と考えられる「革新的技術」の1つとして、セメント製造プロセスが具体例として示され、本事業の内容が引用されている。

(3) エネルギー基本計画（平成26年4月閣議決定）

第4章 戦略的な技術開発の推進において、取り組むべき技術課題の1つとして、エネルギー利用に関するプロセスを効率化するための「製造プロセスの

革新」を支える技術開発に取り組むと明記されている。

(4) エネルギー関係技術開発ロードマップ（平成26年11月資源エネルギー庁策定）

エネルギー基本計画の方針に基づき、我が国のエネルギー関係の技術開発戦略を改めて俯瞰し整理することを目的として、「エネルギー関係技術開発ロードマップ」が経済産業省により策定された。ここにおいても、本事業の「革新的セメント製造プロセス」が取り上げられており、その重要性和普及展開のためのロードマップが示されている。

25. 革新的セメント製造プロセス



(出典) エネルギー関係技術開発ロードマップ H26.12 経済産業省 より抜粋

(5) 長期エネルギー需給見通し（平成27年7月資源エネルギー庁）

エネルギー基本計画の方針に基づき、将来のエネルギー需給構造の見通しを示すためにとりまとめられた「長期エネルギー需給見通し」において、見通し策定の前提となる省エネ施策の1つとして、本事業の「革新的セメント製造プロセス」が取り上げられており、2030年の本技術の貢献による省

エネルギーの見通しが示されている。

産業・転換部門

産業・転換部門	省エネルギー対策名	導入・普及 促進		省エネルギー 効果 2030FY	内訳		概要
		2012FY	2030FY		うち電力	うち燃料	
産業・転換部門	従来型省エネルギー技術の導入 （熱効率向上、スラグ粉砕 エアローム式クーラー セパレータ改善 型石炭炉）	—	—	2.1	0.8	1.3	粉砕効率を向上させる設備、エアローム式クーラー、排熱発電の導入等のベストプラクティス技術の最大導入に努める。
	熱エネルギー代替廃棄物（廃プラ等）利用 技術の導入	—	—	1.3	-0.1	1.4	従来の設備を用いて熱エネルギー代替として廃棄物を利用する技術。
	革新的セメント製造プロセスの導入	0%	50.0%	15.1	—	15.1	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、焼成温度低減等を可能とする革新的な製造プロセス技術。
	ガラス溶融プロセスの導入	0%	50.0%	2.0	-0.6	2.6	ガラス等による高温を利用し、焼成にガス原料をガス化することで効率的にガスを気中で溶融し、省エネを図るプロセス技術。
	産業・転換部門製造業 計	—	—	23.5	0.1	23.4	—
パルプ・紙・紙加工品製造業	高効率古紙パルプ製造技術の導入	11%	40%	3.6	3.6	—	古紙パルプ工程において、古紙と水の攪拌・古紙の溶解を従来型よりも効率的に進めるバルブを導入し、稼働エネルギー使用量を削減する。
	高圧高圧型黒液回収システムの導入	※	69%	3.9	—	—	濃縮した黒液（パルプ製造の副産物）を蒸気発生させる黒液回収システムで、従来型よりも高圧高圧型で効率が上がるものを更新時に導入する。
	パルプ・紙加工品製造業 計	—	—	9.5	3.6	0.0	—
石油製品・石炭製品製造業	熱の有効利用の推進 （高効率熱交換器の導入、エンジン・高効率機器の導入、 動力系の効率改善、プロセスの大規模な改善・高度化）	23% （2030年度の目標 に対する達成率）	100% （2030年度の目標 に対する達成率）	77.0 （2010年度比 100.0）	—	—	高効率熱交換器の導入、エンジン外による高度制御の推進、ポンプ等動力系の高効率モーターへ置き換え、装置間の配管増設による原料油のレキタージュ等によりエネルギー消費量を削減する。
	石油製品・石炭製品製造業 計	—	—	77.0	—	—	—

産業・転換部門製造業、パルプ・紙・紙加工品製造業、石油製品・石炭製品製造業における 〇 の対策は、各業界における2020年度以降の低炭素社会実現計画において位置付けられているもの。

※印を付した対策は、統計の整理上、最終エネルギー消費の削減量としては計上しないが、相当分が転換部門において一次エネルギー消費の削減に寄与するものとなる。

（出典） 長期エネルギー需給見通し関連資料 H27.7 資源エネルギー庁 より抜粋

1-3 国の関与の必要性

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4%を占めており、更なる省エネ・低炭素化に向けた取組が求められているが、我が国セメント産業のエネルギー効率は世界最高水準であり、既存の対策技術については、工場に設置スペースがない等の特段の制約が無い限り、2020年までにほぼ100%の導入を計画している。

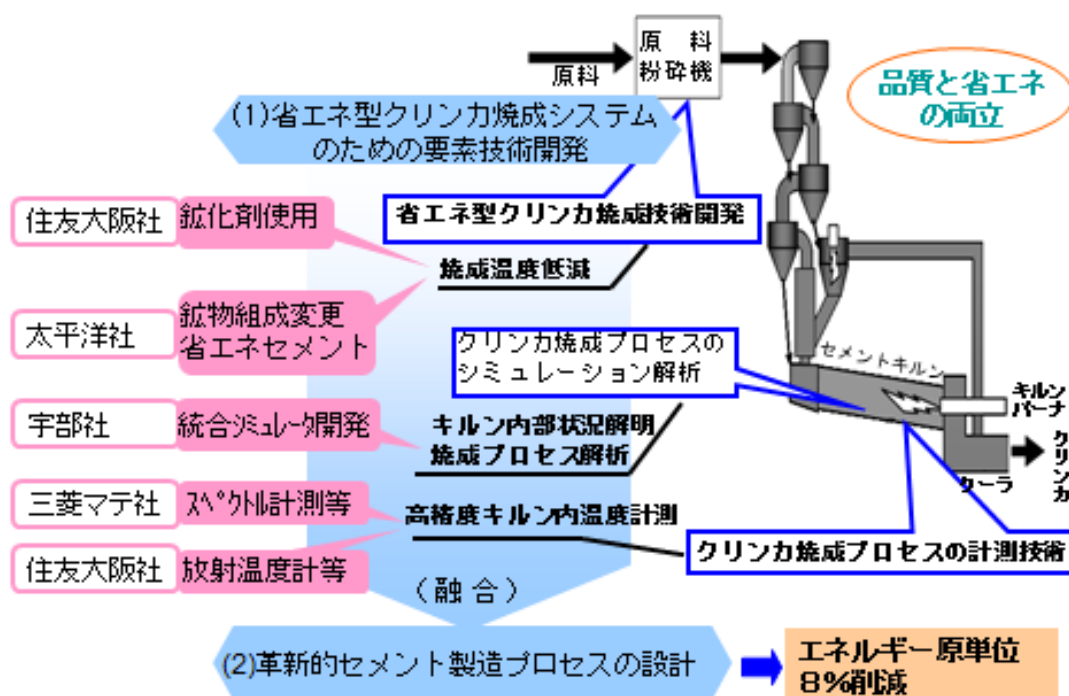
このため、既存技術の導入により更なるCO₂削減を達成することは困難であり、これを打開するためには、製造プロセスで最もエネルギーを消費するクリンカ（セメントの中間製品）の焼成プロセスにおいて、焼成温度低下等、非従来型の革新的製造プロセスを確立する必要がある。

また、世界のセメント需要はアジア等の新興国を中心に2050年に向けて大きく拡大することが見込まれており、セメント産業のCO₂排出抑制は国際的にも極めて重要な課題となっている。

したがって、セメント分野の省エネルギーディングカントリーとして地球規模での温暖化対策に貢献するとともに、我が国セメント産業の国際競争力を強化する観点からも本技術開発は必要不可欠である。

本事業は、地球温暖化対策及び省エネルギーという国家的要請に的確に対応し、産業部門、特にエネルギー多消費業種の省エネルギー対策に資する基盤技術の開発であり、革新的な省エネ技術の普及に向けたリスクの高い技術の開発に対して国が補助するものであることから、有効性は高いと判断する。

革新的セメント製造プロセス基盤技術開発 全体像



2. 研究開発目標

2-1 研究開発目標

2-1-1 全体の目標設定

革新的セメント製造プロセス基盤技術開発は、「エネルギー原単位を 8%削減するセメント製造プロセス全体の設計提案を行い、実用化への技術課題を明確にする。」ことを最終目標とする。

本研究開発事業の全体の目標は表 1 のとおり。

表 1. 全体の目標

目標・指標	設定理由・根拠等
[中間目標:平成24年度] 焼成温度低下等を実現する省エネ型クリンカ焼成システムの要素技術を開発し、単位セメント製造重量当たりのエネルギー消費量(以下、「エネルギー原単位」という。)8%削減を目標とする革新的プロセスの設計提案を行い評価する。	平成 21 年度 NEDO 事前研究によると、鉱化剤使用においては、100～150℃の焼成温度低減によるエネルギー原単位削減割合は 2～3%にとどまる。また、セメント強度向上効果によりクリンカの一部を石灰石等の混和材に置き換えるには、普通ポルトランドセメントの JIS 規格により混和材添加率に制限があり、クリンカ使用量削減によるエネルギー原単位削減割合は 5%以下となる。そのため、現段階で想定できるエネルギー原単位削減量は、7～8%程度となる。
[最終目標:平成26年度] エネルギー原単位を 8%削減するセメント製造プロセス全体の設計提案を行い、実験的検証によって実用化への技術課題を明確にする。	一方、平成 21 年度 NEDO 先導調査によれば、理論的には、ビーライト割合約 20%の普通ポルトランドセメントに比べ、例えばビーライト割合約 60%の低熱ポルトランドセメントは、約 6%のエネルギー原単位削減が、また、ビーライトーアウイン系クリンカは鉱物組成の変化に応じ、6～20%のエネルギー原単位削減が期待できる。

2-1-2 個別要素技術の目標設定

表 2. 個別要素技術の目標

要素技術	目標・指標 (事後評価時点)	目標・指標 (中間評価時点)	設定理由・根拠等
(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	実機適用への課題抽出	実験室規模の電気炉で選定された鉱化剤種類、量、割合及び、鉱物組成のクリンカについてテストキルンを用いた製造試験を行い、実機焼成での焼成温度低減（100℃）を図るための焼成条件を明確化。	セメント焼成エネルギー低減技術の一つとして鉱化剤を用いた焼成温度低下技術があるが、国内においては鉱化剤の実機製造による適用は十分に行われておらず、その技術を確立することは重要。
(b) 鉱物組成変更による省エネ型クリンカ焼成技術開発	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	<u>ア) ビーライト活性化によるクリンカ開発</u> テストキルンによる焼成試験等に基づき、実機焼成により普通ポルトランドセメント同等品質を達成するための製造条件を明確化。 <u>イ) ビーライトーアウイン系クリンカ開発</u> テストキルンによる試験焼成の結果等に基づき、実機焼成試験を行い、実機製造における運転管理や設備面での課題等を明確化。	セメント焼成エネルギー低減のための技術の一つとして石灰石の割合を減じる方法があるが、セメントの強度が低くなるという問題があった。 これに対して、 ア) ビーライトそのものの水和活性を高める方法（ビーライト活性化による低カルシウム型クリンカの開発）及び イ) ビーライトに水和活性の高いアウインを共存させる方法（ビーライトーアウイン系クリンカの開発）が効果的。

(c)省エネセメントの開発	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をの検討	省エネ型クリンカ等の性能を把握の上クリンカ性能の効果的利用方法を検討し、クリンカ性能向上のための方策の提案を行う。	エネルギー原単位削減手法として、クリンカの一部を混和材で置換する方法があり、上記省エネ型クリンカ等を基材とした場合、それらの性能を最大限に引出しつつ、更なる省エネ性能向上が可能
(2) クリンカ焼成プロセスのシミュレーション解析	革新的セメント製造プロセスの課題抽出	①セメントプロセス全体シミュレータの開発及び ②焼成システムを考慮できる統合シミュレータの開発を行い、それらからエネルギー原単位低減に向けた影響因子を定量化することにより、革新的セメント製造プロセス設計の課題抽出を行う。	セメントプラントのロータリーキルン内では、複雑な化学反応を行いながらクリンカを生成しているが、この化学反応は各温度で連続的に行われ、また内部循環している物質等もあり、現在もこの化学反応の詳細が追及できていない。 このキルン内部等のプラント運転の状況を解明することができれば、 ・ 運転操作条件の最適化 ・ 省エネ運転化 ・ 運転トラブルのメカニズム把握及び対策 ・ 新プロセス開発 の大きな指針となり、セメント製造プロセスを考える上でも非常に重要であるが、実際のクリンカ生成モデル化技術は未だ発展途上であるため、実プラントと同様の燃焼システムを考慮できる統合シミュレータを開発するもの。
(3) クリンカ焼成プロセスの計測技術開発			
(a)スペクトル計測等によるキルン内温度計測技術開発	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	スペクトル計測等による技術選定を行い、炉内環境模擬試験装置による原理確認と温度計測手法の確立と実機キルンにおける実証試験により、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を目指す。	低温焼成を行う場合、通常の焼成に比べ焼成温度が目標値を下回ると一気に温度が低下し品質低下を招くおそれがあることに加え、セメントキルンは「原料や燃料の品質変動」、「コーティングの落下による原料移動速度変化」等の様々な外乱があるため、セメントキルン低温焼成の安定運転を行うためには、キルン温度の計測精度の向上が必須。 また、本事業で開発する省エネセメントは従来のセメントと較べ

		①実機キルン内スペクトル計測等による温度計測技術の選定 ②炉内環境模擬試験装置による原理確認と温度計測手法の確立 ③実機キルンにおける実証試験	低温域での焼成を行うが、こういった低温焼成ではクリンカ粒径が小さくなり相対的にクリンカクーラからの粉塵の影響が大きくなるため、現在使用している放射温度計計測では精度の低下が懸念された。 このため、キルン内から放出されるスペクトル等を利用し、粉塵による影響を受けにくい温度計測方法の開発が必要。
(b)放射温度計等によるキルン内温度計測技術開発	窯前（キルン出口部）からキルン内部を分光測定することにより、キルン内部のガス温度等の温度計測を可能とする技術の確立	①キルン内部の温度計測を行うため、窯前（キルン出口部）よりキルン内部の分光測定の実施、及びキルン二次空気含塵濃度測定装置の開発を実施し、単色放射温度計、二色放射温度計での含塵濃度の影響を評価する。 ②キルン内部の温度計測を直接行うため、キルンセルに熱電対を直接挿入し信号を無線等にて伝送するシステムの開発を実施し、高温セル上での装着・耐久性等を評価し、6ヶ月以上の耐用を目指す。 ③キルン操業状態と①②で得られる温度分布との関連を評価する。	セメントキルンでの温度測定は従来、キルン入口及びキルン出口でのガス温度測定のみであり、キルン内部のガス温度等の温度計測は十分に行われておらず、キルンの内部状況を知る上で直接的かつ連続的な温度測定は重要

3. 成果、目標の達成度

3-1 成果

3-1-1 全体成果

中間評価時点においては、各要素技術（①省エネ型クリンカ焼成技術、②クリンカ焼成プロセスのシミュレーション解析技術、③クリンカ焼成プロセスの温度計測技術）を確立するとともに、これらの要素技術を融合し、クリンカ焼成工程の焼成温度低下等を可能とするセメント製造プロセスを設計した。

- ・ 鉱化剤使用クリンカ少量成分の最適化を実施：F=0.14～0.2%, SO₃=1～4%
- ・ 省エネセメントの設計を実施：高 C3A(+4%)+混合材 10%（LSP 必須）
- ・ セメント全体シミュレータを開発：キルンシミュレータ+熱流体解析

事後評価時点においては、確立したそれぞれの要素技術について実機適用に向けた検討を行うとともに、これらを融合したセメント製造プロセス全体の設計を行った。これにより本基板技術の実用化への技術課題を明確にした。

- ・ 鉱化剤使用および省エネセメントの OPC 同等品質を確認
- ・ 全体シミュレータの高度化を実施
- ・ 新規温度計測方法を確立

中間評価時点の成果および事業後半の成果の概略を下表に示す。

材料技術						シミュレーション 技術	計測技術
↓項目/材料→		鉱化剤使用	ヒート活性化	アインヒート系	高 C3A 系		
省エネ型クリンカ焼成技術開発	材料設計	F=0.6% SO ₃ =4.5%	C2S 単相 (Ba 添加)+OPC	アイン 40%	C3A=13~16%	・ 原料予熱工程を含めたプロセス全体を考慮できる全体シミュレータを開発 ・ 熱流体解析ソフトと双方向連成する統合シミュレータを開発 ・ このシミュレータを用いて、製造プロセス設計の課題抽出	・ 放射温度計測定精度比較(単色 Si 優位) ・ 熱電対によるキルン内部クリンカ温度の連続測定・有効性検証 ・ ガスの影響を除いた新規計測方法の理論の確立
	品質	OPC 同等	初期強度やや低	OPC 同等 強度の伸び少	OPC 同等		
	省エネ率	7%	2~3%	30%	0%		
	規格	現行 N (場合により溶出)	現行 N	非 N→新規規格 非 ISO	非 N→N 拡張 ISO 内		
省エネ 8%達成		要混合材添加	未達成	達成	要混合材添加		
実用化への課題		・ F 原料調達 ・ キルン内物質循環把握 ・ 品質設計	—	・ コスト、実績等 ・ キルン内物質循環把握 ・ 品質設計	・ 規格 ・ 品質設計	・ 低温焼成型クリンカーの実機焼成での検証	・ 新規計測方法の精度向上と実機での検証 ・ キルン内部クリンカ温度測定データの活用
		限定的可能 (第Ⅰ期)	—	将来 (次世代)	近い将来 (第Ⅱ期)		

3-1-2 個別要素技術成果

(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

i. 実施内容の概略

前半3年では、基礎実験として実験室規模の電気炉焼成試験、スケールアップ試験としてテストキルンによる製造試験を行い、実機焼成での焼成温度低減を図るための鉱化剤添加量や焼成条件の検討を行った。また、鉱化剤の安定供給の可能性を確認するため、想定した廃棄物（F系、石膏系）について賦存量を調査した。後半2年では、前半3年で得られた結果を元に、仮焼炉の改造を行ったテストキルン（以下ミニプラント）での製造試験を実施し、焼成温度低減効果の確認と製造したクリンカの物性評価を行った。さらにスケールアップ試験として大型テストキルンを用いた2～3tレベルでのクリンカの試製造を実施し、製造したクリンカについて各種物性試験や耐久性試験、コンクリート製品製造に用いて、より実機に近い規模での製造によるクリンカの評価を行った。

ii. 開発スケジュール

	H25				H26			
【1】ミニプラント焼成試験								
①適用条件確認	焼成試験、物性確認							
②耐久性確認試験								
③実機課題抽出					課題抽出			
【2】大型テストキルン焼成試験								
①クリンカ試製造					焼成試験、物性確認			
②耐久性確認試験								
③試験施工実施					コンクリート製品製造			

iii. ミニプラント焼成試験

ミニプラントを用いた焼成試験では、鉍化剤の添加量を、これまでの試験結果から最適と判断された $F=0.20\%$ 、 $SO_3=2.0\%$ を中心に検討を行った。得られたクリンカを用いてモルタル物性試験(強度、凝結)を実施した。物性に関しては、強度は増加、凝結は若干の短縮傾向であった。凝結に関しては、焼成を安定させるためにクリンカ中の $f. CaO$ を高めに設定したことが影響していると考えられる。

ミニプラント焼成試験結果

組成範囲	普通ポルトランドセメント (OPC) 組成
焼成条件	$f. CaO$ 0.8%以下 硫黄成分の揮発抑制のため窯尻 O_2 分圧 $\approx 5\%$ 焼成温度は OPC クリンカ焼成時と比較し $90^\circ C$ 程度低い
鉍化剤添加量	F (フッ素) : 0.15% SO_3 : 1.5~2.0% JIS R 5201 に従って作成したモルタル供試体からの F 溶出量を環境庁告知第 46 号に従って測定した。F の溶出はクリンカ中の F 含有量が 0.2%を超えると、環境基準を満たさない。
物理性状	ブレーン比表面積 $3300 cm^2/g$ に粉碎しモルタルおよびコンクリート性状評価 いずれも鉍化剤添加により強度は増進傾向を示し、凝結に関しては遅延傾向を示した。 コンクリート耐久性は、乾燥収縮、促進中性化に関しては若干の減少傾向を示し、凍結融解性では変化はなかった。断熱温度上昇、水和熱は若干の増大が認められたが、同一強度レベルで比較すると変化はなかった。

iv. 大型テストキルンによるクリンカの試験製造

ミニプラント焼成試験の結果を踏まえて、更なるスケールアップ試験として大型テストキルンを用いたクリンカの大量焼成試験を実施した。原料投入量としてはこれまでの $30 kg/h$ から $1000 kg/h$ と大幅に増加させ、2~3t の製造を行った。製造したクリンカを用いてモルタル・コンクリート物性試験(強度、凝結、耐久性試験)を実施したところ、鉍化剤添加による強度への影響は小さく、凝結に関しては遅延傾向であった。耐久性に関しても影響は小さい結果となった。

大型テストキルンによるクリンカ試製造結果

組成範囲	普通ポルトランドセメント (OPC) 組成
焼成条件	f . CaO 0.8%以下 硫黄成分の揮発抑制のため窯尻 O_2 分圧 $\approx$ 5% 焼成温度は OPC クリンカ焼成時と比較し 90℃程度低い
鉍化剤添加量	F (フッ素) : 0.15% SO_3 : 1.5%
物理性状	ブレン比表面積 $3300\text{cm}^2/\text{g}$ と粉砕しモルタルおよびコンクリート性状評価 いずれも鉍化剤添加により強度は増進傾向を示し、凝結に関しては遅延傾向を示した。 コンクリート耐久性は、乾燥収縮、促進中性化に関しては若干の減少傾向を示し、凍結融解性、断熱温度上昇、水和熱についても変化はなかった。

v. コンクリート打設試験

コンクリート打設試験は、コンクリート製品のロングベンチフリーム (LBF) を製造し、圧縮強度、載荷試験、外観への鉍化剤添加による影響の確認を行った。LBF は規格品 (溝幅 650mm 外幅:770mm 長さ 3995mm 高さ:480mm) を製造した。また、現行品の製造も併せて行い打設状況の比較を行った。製品打設、均し等作業性等において現行品との差異はなかった。材齢 21 日品についてひび割れ荷重、及び破壊荷重までの載荷を行ったが、鉍化剤添加による影響を認められない。また、脱型時のひび割れや色むらなどについても現行品と差異が無かった。



ロングベンチフリーム打設状況

vi. 実機適用時の課題

●正確な焼成温度計測、管理が必要

鉍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になってくると考えられる。

●工場での安定操業行う上での懸念事項

液相成分の増加によるキルン内奥リング生成による操業トラブルや、揮発成分の循環濃縮によるサイクロンの閉塞トラブルが懸念される。また、脱塩設備において揮発成分である F が回収される懸念がある。

●AQC の最適化が必要

鉍化剤の添加により、焼成クリンカは細粒化すると想定される。クリンカが細粒化すると AQC を通過するクリンカの層が密になり、エアーが通過出来ず、AQC の熱交換効率が低下すると考えられる。よって、装置の最適化、もしくはオペレーションの最適化が必要になると考えられる。

vii. まとめ

●鉍化剤添加により焼点温度の低下効果を確認した。クリンカ中の F 含有量が 0.20%を超えると、溶出量が環境基準値を満足できないことから F=0.15%で検討を行ったところ、焼点温度低下効果はおよそ 100℃の低下を確認した。この時の SO_3 含有量は 1.0%であったことから、焼点温度を 100℃程度低減するための鉍化剤添加量は F=0.15%、 SO_3 =1.0%であることが明確となった。

●モルタル物性への影響は、強度に関しては増加傾向を示し、凝結に関しては若干の遅延傾向を示したが、通常変動範囲内と考えられる。コンクリートに関しても同様であり、耐久性に関しても乾燥収縮、促進中性化、凍結融解抵抗性において大きな影響は無かった。断熱温度上昇量に関しても OPC 相当であったが、データ数は少なく、試験は続けていく必要がある。

●コンクリート製品の製造試験では、鉍化剤添加による影響は認められなかった。また、長期安定性に関しては今後観察を行っていく予定である。

●今後の課題としては、焼成温度の正確な測定・管理の方法や、AQC の最適化が必要である。また、キルン内コーティングへの影響や、PH の閉塞、脱塩設備での F 回収などについて留意し、今後、実機適用時に確認していく必要がある。

(b) 鉱物組成変更による省エネ型クリンカ焼成技術開発

ア) ビーライト活性化による低カルシウム型クリンカの開発

中間評価時点での成果として下表の実機製造に向けた課題を明らかにした。OPC 同等の品質を有する低カルシウム型クリンカの製造には、バリウムを 10mol%程度含有するビーライトの単相合成が必要となることが明らかとなった。またその際の製造エネルギー削減量は 0～4%程度と見積もられた。一方、実機製造への課題は原料調達や設備面等が挙げられた。これらの結果より、原材料の調達の難しさおよび経済性の面から実用化は困難と判断し、中間評価後は、より実用性の高い技術の研究開発に研究資源を集中投入することとした。

実機製造に向けた課題

項目	課題
原料面	Ba 調達
焼成面	OPC、ビーライト各基材の別焼成
粉碎面	ビーライト超微粉碎
設備面	原料サイロ等整備
エネルギー削減効果	0～4%(粉碎エネルギー未考慮)

イ) ビーライトーアウイン系クリンカの開発

i. 実施内容の概略

OPC と同等の強度を得るためには、鉱物量としてアウイン量 40%以上の確保と併せ、焼成条件（焼点温度、窯尻酸素濃度、f. CaO)の最適化が必要であった。またセメント仕上げ条件（ブレン比表面積、石膏添加量）は、焼成条件以上に強度に影響することを確認した。一方、実機製造に関しては、原料中に多く含まれる硫黄成分がキルン内で循環濃縮することによりコーティングが生成し、安定製造が困難となることが予想された。そこで後半 2 年では、実機製造を前提に低アウイン量で OPC 同等の性能を得るための方策を検討した。その結果を以下に述べる。

ii. 開発スケジュール

	H25				H26			
原料組成および焼成条件が鉱物組成に及ぼす影響調査								
ラボ試験	■	■						
スケールアップ試験		■	■					
大型テストキルンによる焼成試験								
焼成試験			■	■				
仕上げ条件の最適化				■				
コンクリート評価等					■	■	■	■

iii. 低アウイン量（アウイン量 40%未満）での検討

これまでの検討により、アウイン量 40%以下でも、焼成エネルギー8%低減を確実に達成可能であることが明らかである。一方、アウイン量が多くなるとキルン内で循環・濃縮する SO_3 分が増加するため、キルン内にコーティングが生成し、実製造において運転トラブルが発生することが懸念される。シミュレーションによる SO_3 分の揮発状況から、この減少はアウイン量 40%以下でも発生することが予想された。したがって、実製造を前提とし、OPC 同等の性能を維持しつつアウイン量を 40%未満にするための諸条件の最適化が必要である。

そこで、アウイン量 30%、 C_4AF 20%のビーライト-アウインクリンカ中にドーパントを添加して、ビーライトを活性化させることで強さ改善を試みた。

● ラボスケールでの検討

電気炉により各種少量成分を添加したアウイン量 30%、 C_4AF 量 20%のクリンカを焼成温度 1350℃で焼成し、少量成分が鉱物組成に与える影響を検討した。その結果、ホウ素、リンを添加することでこれまでに確認された $\beta\text{-C}_2\text{S}$ では無く、 $\alpha'\text{-C}_2\text{S}$ が確認された。

電気炉で検討した組成範囲と鉱物組成に与える影響

鉱物組成目標	アウイン量30% C_4AF 量20% C_2S 量50%
添加成分	ホウ素, リン, バリウム
少量成分の影響	ホウ素, リンを添加 $\Rightarrow \alpha'\text{-C}_2\text{S}$ が生成（通常 $\beta\text{-C}_2\text{S}$ のみ）

少量成分を添加し、焼成したクリンカをブレン 4000±200cm²/g に粉砕し、ブレン 6000±200cm²/g 無水石膏を後混合することで、無水石膏添加量とクリンカ中に添加した少量成分がモルタル強さに与える影響を 1/10 スケールモルタル試験※で評価し、最適な石膏添加量や、少量成分を明確化した。

※ 1/10 スケールモルタル

JIS R 5201:1997 に規定されるセメント強さ試験用モルタルの 1/10 スケールのもの。試製したクリンカ試料量が少量である場合の評価に用いる。

電気炉焼成品の強度評価結果

石膏添加量	無水石膏を11mass%添加（セメント中SO ₃ /Al ₂ O ₃ 比 0.7%）時、モルタル強さは最大となった。
少量成分	ホウ素を添加した水準でOPC並みの強さとなった。

● 少量成分検討結果

アウイン量 30%、C₄AF20%のアウイン-ビーライトクリンカを用いて、OPC と同等のモルタル強さを得るための条件をスクリーニングした結果、ホウ素を 0.9%添加し、石膏添加量は 11mass%（セメント中 SO₃/Al₂O₃ 比 0.7）とした。

iv. スケールアップ実験

● テストキルンでの焼成評価

前項の結果を踏まえてテストキルンでは低アウイン量のクリンカ焼成条件を明確にし、実機製造における課題を抽出した。1380℃まで焼成温度を上げた場合、クリンカが大塊化したためテストキルンでは 1360℃が上限と考えられる。

テストキルン焼成条件の評価結果

検討組成と添加剤	アウイン量40% C ₄ AF量10%	アウイン量30% C ₄ AF量20%	アウイン量30% C ₄ AF量20% ホウ素 0.9%
焼成条件	窯尻O ₂ 濃度 4.0%以上 焼成温度 1350±10℃	窯尻O ₂ 濃度 4.0%以上 焼成温度 1350±10℃	窯尻O ₂ 濃度 4.0%以上 焼成温度 1350±10℃
運転課題	焼成温度上昇に伴いクリンカが大塊化		

v. 物性評価

● テストキルン焼成クリンカのもルタル評価

ラボスケールでの検討を元に、得られたアウイン量 30%のクリンカのもルタル評価を行い、もルタル強さが最も高くなる焼成条件を明確化した。その結果、ホウ素を添加することにより明らかにもルタル強さが改善され、さらに高温焼成することでよりもルタル強さが大きくなった。また、一方で焼成温度低下すると強さが低下するため、厳密な焼成温度管理が必要であることが分かった。

もルタルフローと強度が良好なセメント仕上げ条件

クリンカ 鋳物量	焼成温度 (°C)	クリンカ粉 末度 (cm ² /g)	無水石膏 粉末度 (cm ² /g)	SO ₃ /Al ₂ O ₃ モル比	強さ評価
アウイン量 30% B 無し	1,300	4000	6000	0.7	初期×、長期×
	1,350				初期×、長期△
アウイン量 30% B 有り	1,300				初期×、長期○
	1,350				初期○、長期○

● コンクリート評価

仕上げ条件を最適化したセメントについて、コンクリート耐久性を OPC と比較して評価し、添加したホウ素がコンクリート耐久性に良い影響を与えることを確認した。しかしながら、OPC のコンクリート耐久性には劣るため、さらなる検討が必要である。

コンクリートの耐久性評価

セメント	断熱温度上昇	促進中性化	凍結融解	長さ変化
アウイン 30%	×	△	△	×
アウイン 30% ホウ素有リ	△	△	○	○

○ : OPC 並み △ : OPC よりやや劣る × : OPC より劣る

vi. 実機製造に向けた課題

●品質に関する課題

- ・ OPC に比べ、コンクリート耐久性に劣る。
（促進中性化、断熱温度上昇、凍結融解）
- ・ 焼成温度が強さに大きく影響する。

●安定製造に関する課題

- ・ コーティングによるトラブルの懸念
- ・ 焼成温度上昇に伴うクリンカ大塊化によるトラブルの懸念。

●規格に関する課題

- ・ 現在の OPC 規格の範囲外のため新規格の制定が必要

●原材料に関する課題

- ・ アルミニウム源の確保が必要。

vii. まとめ

- 電気炉焼成試験により、アウイン量 30%、 C_4A_3F 20%のビーライト-アウインクリンカを用いて、OPC 相当のモルタル強さとなる添加剤の種類と最適添加量 (B_2O_3 : 0.9%) と、最適な石膏添加量を把握した (11mass% = SO_3/Al_2O_3 : 0.7)。
- テストキルン等焼成試験の結果から、アウイン量 30%でも焼成温度が高くなるとクリンカが大塊化する傾向があり、安定焼成には焼成温度管理が重要であることが明らかとなった
- テストキルン焼成試験により、焼成条件を明確にする（焼成温度：1350 ±10℃、窯尻酸素濃度 4.0%以上）と同時に、OPC クリンカ焼成と比べて大幅にエネルギー効率を削減できることを確認した（約 20%）。さらに、物性評価により、ホウ素を添加することでコンクリート耐久性が改善することを確認したが、OPC と比べるとやや劣る結果であった。
- 本基盤研究の結果から焼成エネルギー削減効果は大きく、次世代省エネセメントとして期待される材料であるが、品質および安定製造面での課題が多く、今後さらなる検討の必要がある。

(c) 省エネセメントの開発

i. 実施内容の概略

省エネ型クリンカの性能を把握し、それを基にクリンカ性能の効果的利用方法ならびにクリンカ性能向上のための方策を検討した。それらの結果は各クリンカの項において述べる。

高アルミネート相クリンカ（高 C_3A クリンカ）の試験焼成、物性確認および省エネ効果の評価を行った。その結果、OPC クリンカに比して C_3A を 4% 増加することで、焼成エネルギーを 3~4% 低減し、また、混合材として石灰石を 5~10% 程度増加することにより、エネルギー原単位を 8~14% 程度低減する可能性が示唆された。一方、この省エネセメントが JIS 規格外であり、規格の整備が必要となることが課題とされた。

ii. 開発スケジュール

本項の開発スケジュールは以下のとおりである。

	H25				H26			
ミニプラント焼成試験								
クリンカの試製造								
省エネ効果の確認								
耐久性確認								
大型テストキルンによるクリンカ試製造								
クリンカの試製造								
物理特性の明確化								
省エネセメントの設計								
普及に向けた検討								

iii. ミニプラント焼成試験

● クリンカの試製造、省エネ効果の確認

テストキルン等の試験により最適化された鉱物組成のクリンカを試製造し、省エネ効果の確認および焼成状況の把握を行った。その結果、OPC クリンカに比べ、焼成温度が約 3°C 、燃料供給量が約 2.2% 低下したことが確認された。焼成状況については、クリンカ中の液相が増加したことによりコーティングが付着しやすくなっており、実機製造における安定運転への影響が懸念された。

クリンカ組成と省エネ効果

試料名	鉱物割合(wt%)				焼点温度 (°C)	焼点温度 低減(°C)	燃料供給 割合(%)
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF			
OPC	50.3	28.0	9.7	9.5	1452	0	100
高 C ₃ A	49.2	25.7	12.6	10.3	1449	-3	97.8

● 試製セメントの耐久性試験

試製造クリンカを使用したセメントによる耐久性等の評価を行った。その結果、圧縮強さは OPC と同等で、耐久性は OPC に比べやや劣る部分もあるが概して同等以上であった。

物理特特性評価結果

試料		JIS 規格	OPC	高 C ₃ A
混合材割合(wt%)		under 5	LSP 3.5	LSP 10.0
ブレン(cm ² /g)		over 2500	3400	3400
凝結 時間	始発(分)	over 60	60	85
	終結(時)	under 10	2.2	2.0
安定性(mm)		under 10	1.0	0.5
圧縮強さ (N/mm ²)	3d	over 12.5	22.9	20.3
	7d	over 22.5	33.8	32.2
	28d	over 42.5	52.9	49.9
MgO(%)		under 5.0	1.6	1.8
SO ₃ (%)		under 3.5	2.2	2.1
LOI(%)		under 5.0	2.4	5.2
Total alkali(%)		under 0.75	0.22	0.21
Cl(%)		under 0.035	0.000	0.000

耐久性評価結果

試料名	混合材	促進 中性化	乾燥収縮	断熱温度 上昇	硫酸塩劣化	
					5°C	23°C
OPC	LSP 3.5% (基準)	—	—	—	—	—
	LSP 10%	◎	○		○	○
	LSP 5% + FA5%	○	○		○	○
高 C ₃ A	LSP 3.5%	○	○		△	△
	LSP 10%	◎	○	○	△	△
	LSP 5% + FA5%	○	○		△	△

iv. 大型テストキルンによるクリンカ試製造

- クリンカの試製造、物理特性の明確化

ミニプラント焼成により最適化が確認された鉱物組成のクリンカを大型テストキルンにより試製造し、得られた試製セメントの物性を評価した。その結果、LSP 混合量の増加により、強熱減量が規格値 5.0%となったが、その他の品質は概ね OPC と同等であった。

物理特性評価試料

試料名	鉱物割合(wt%)				f-CaO (%)	混合材 LSP
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF		
OPC	64.1	13.2	3.7	10.5	0.00	3.5
高 C ₃ A	57.3	9.3	10.7	5.8	0.27	10.0

物理特特性評価結果

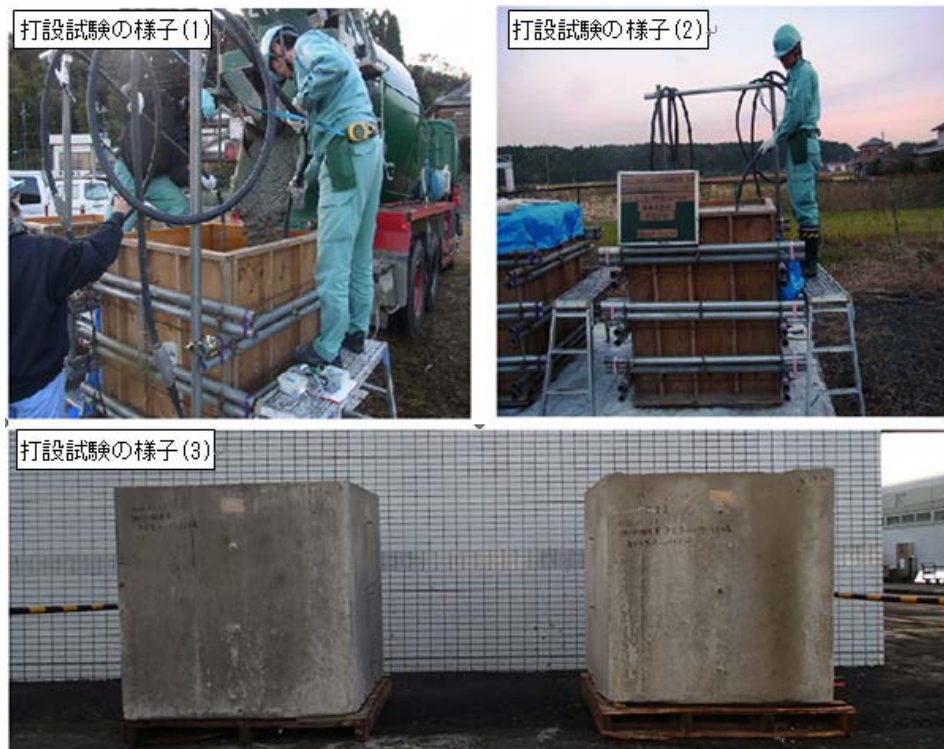
試料		JIS 規格	OPC	高 C ₃ A
混合材割合(wt%)		under 5	LSP 3.5	LSP 10.0
ブレン(cm ² /g)		over 2500	3250	3360
凝結 時間	始発(分)	over 60	120	125
	終結(時)	under 10	3.6	2.9
安定性(mm)		under 10	0.5	28.2
圧縮強さ (N/mm ²)	3d	over 12.5	26.3	28.2
	7d	over 22.5	43.8	44.2
	28d	over 42.5	61.8	54.8
MgO(%)		under 5.0	1.5	1.5
SO ₃ (%)		under 3.5	1.9	1.7
LOI(%)		under 5.0	2.6	5.0
Total alkali(%)		under 0.75	0.20	0.32
Cl(%)		under 0.035	0.000	0.000

v. コンクリート打設試験

- 試験施工、コンクリート評価

大型テストキルンによる試製造クリンカを使用し、生コン工場において一般的な土木構造物を想定したフレッシュコンクリートを作製した。

これを使用して 1m×1m×1m の打設構造体を試作し、コンクリート評価を行った。その結果、フレッシュコンクリートの性状は OPC コンクリートと同等であり、圧縮強度は OPC コンクリートよりやや劣ったがミニプラントでの試製造をはじめこれまでの試験での評価結果より同等の性能を有すると考えられた。



コンクリート評価結果(1)

試料名		スランプ(cm)			空気量(%)			コンクリート温度(℃)		
		0	30	60	0	30	60	0	30	60
経過時間(分)										
OPC		15.5	14.0	13.0	6.2	6.1	5.5	16	17	17
高 C ₃ A		18.0	14.0	13.5	6.2	6.2	6.1	16	16	17

コンクリート評価結果(2)

硬化時間 (day)	圧縮強度(N/mm ²)		静弾性係数(kN/mm ²)	
	OPC	高 C ₃ A	OPC	高 C ₃ A
7	18.6	18.6	—	—
28	27.7	24.6	24.9	24.8
56	31.5	25.8	26.8	26.9
91	31.6	27.2	28.3	27.0

- 省エネセメントの設計

これまでの諸試験の結果より、混合材割合と L0I が JIS 規格を超えるがその他の品質は OPC 同等であり、本技術開発における省エネセメントの設計を、高 C_3A (+4%) + 混合材 10% (ただし、LSP5%が必須) とした。

vi. 実機適用時の課題

テストキルンおよびミニプラント等での試製造等の結果から、クリンカ中の液相量増加に伴うキルン内壁へのコーティング付着による安定運転への影響が懸念事項として挙げられる。

vii. 海外規格・市場調査

本セメントの設計が JIS 規格外であり、実用に際しては規格の整備が必要となる。そこで海外における関連規格の調査を行った。

- 韓国

2011 年に韓国政府が、「2020 年、低炭素緑色社会具現化のためのロードマップ」を発表した。これに対して、セメント部門は温室効果ガス排出量 8.5%削減を目標と、そのための方策として、少量混合成分の含有量を 10%に規格変更した。この規格変更後の混合材使用割合はメーカーによっては+1~2%の増加傾向であった。

- アメリカ

2002 年にアメリカ・ポルトランドセメント協会 (PCA) が、2020 年までに 1990 年比で CO_2 排出量 10%削減を任意目標とした。これを受け、ASTM に Portland-limestone cement が追加されたが、その製造量はごく僅かと見られる。

viii. まとめ

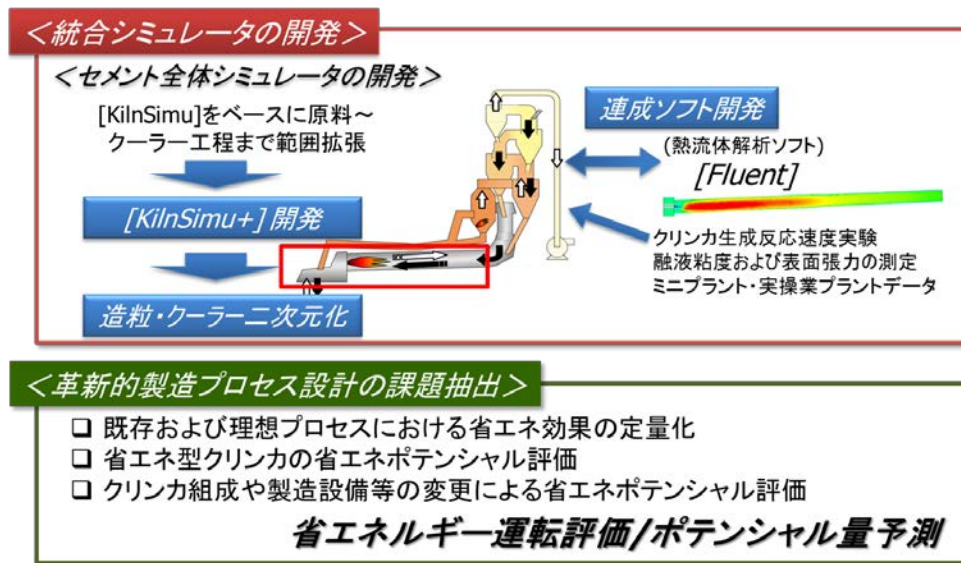
- 省エネセメントの設計を以下のとおりに決定した。

高 C_3A (+4%) + 混合材 10% (ただし混合材に LSP5%が必須)

- 高 C_3A クリンカは OPC クリンカよりも焼成エネルギーが 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。

- 省エネセメントはモルタルおよびコンクリート評価試験の結果、OPC と同等の品質であることが確認された。ただし、強熱減量、水和熱および耐硫酸塩性は OPC より劣る結果となった。今後、より詳細な検討が必要であると考えられた。
- 省エネセメントを用いたコンクリート構造体の打設実験により、OPC を用いた場合と同等の施工性であることが確認された。
- 省エネセメントの実用に向けた課題として、混合材割合等の規格整備が挙げられる。また、製造時のクリンカ中の液相量増加に伴うキルン内壁へのコーティング付着による安定運転への影響に留意する必要がある。

(2) クリンカ焼成プロセスのシミュレーション解析



i. 統合シミュレータの高度化（ツール開発）

①微粉炭燃焼試験を通じた計算精度向上

- ・ (財)電力中央研究所の石炭燃焼試験炉にて粉碎条件の異なる 2 水準のオイルコークスを調整し、粒子径差異による燃焼影響を評価した。
- ・ 燃焼挙動を数値的に再現することで計算精度の向上を図ることができた。

②クリンカクーラーモデルの二次元化

- ・ クリンカクーラー内の熱交換シミュレーションに造粒（クリンカ粒度）の影響を考慮できるよう以下の改良を行った。
 - 焼成プロセスの省エネポテンシャルでは、クリンカクーラーの熱回収効率が大きく影響を及ぼす。そこで、統合シミュレータの一部としてキルン内でのクリンカ造粒および転動による粒子偏析を予想するためのモデルを作成した。
 - クリンカクーラーの幅方向に粒度が異なった状態としてクリンカが投入される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した。
- ・ シミュレータで考慮すべき因子を検討するため、以下のラボ実験（電気炉、テストキルン）および実機キルンデータ収集を行った。
 - 電気炉実験によるクリンカ生成反応速度の測定を行い、鉍化剤添加や高 C_3A 化の影響を確認した。その効果をシミュレーションのパラメー

- タに反映させることで省エネ効果を試算できるようにした。
- クリンカ造粒検討のための融液粘度および表面張力の測定を行った。
- ミニプラントでの省エネ型クリンカ焼成試験により造粒メカニズムを推定し、省エネクリンカの造粒には大きな影響はないことを確認した。
- 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。

ii. 革新的製造プロセス設計の課題抽出（ツール利用）

開発したシミュレータを用いて、省エネ型クリンカのポテンシャル評価、クリンカ組成や製造設備、運転パラメータの変更による影響を確認し、省エネ製造に向けた指針・課題抽出を行った。

①省エネ型クリンカの省エネポテンシャル評価

● 省エネ型クリンカ焼成の省エネ効果を定量評価した。

① 鉱化剤使用によるクリンカ焼成〔住友大阪社〕

- 高 F、高 SO₃ クリンカ (F/SO₃ = 0.1/2.0%、0.2/2.0%、0.2/4.0%)

② 鉱物組成変更によるクリンカ焼成〔太平洋社〕

- 高 C₃A クリンカ (C₃A:12%)
- ビーライト-アウイン 40%

なお、テストキルンでの焼成実験により、省エネ型クリンカの粒度は OPC クリンカと大きな違いは無いと考えられたため、本シミュレーションでのクリンカ粒度分布は OPC クリンカと同等で計算した。

	最高ベッド温度 (°C)	最高ガス温度 (°C)	原単位削減量 [MJ/t]
OPC クリンカ（比較ベース）	1,409	1,768	3,824
鉱化剤 (F:0.1%, SO ₃ :2.0%)	△34	△9	△3.3%
鉱化剤 (F:0.2%, SO ₃ :2.0%)	△64	△46	△4.0%
鉱化剤 (F:0.2%, SO ₃ :4.0%)	△60	△35	△6.3%
高間隙相化	△32	△8	△0.5%
ビーライト-アウイン 40%	△61	△124	△21.1%

- ・ 鉱化剤添加による反応速度増加を考慮して省エネ効果をシミュレーションした結果、最大 6.3%の熱量原単位削減が期待される。

- ・ 高間隙相化（高 C_3A 化）による省エネ効果は小さい。
- ・ ビーライト-アウイン系では省エネ効果が大きいが、硫黄のキルン内部循環量が多く、現状プラントでの運転トラブルの懸念がある。

②焼成プロセスの省エネポテンシャル評価

- ・ クリンカ諸率（HM, SM、IM）変化による省エネ効果を定量評価した。

	原単位削減量 [MJ/t]
OPC クリンカ（比較ベース）	3,824
① HM（2.10→1.95）低減	△119（△3.1%）
② SM（2.49→1.70）低減	△22（△0.6%）
③ IM（1.79→0.80）低減	△9（△0.2%）
④（①+②+③）	△49（△1.3%）

- ・ HM 低減の熱量原単位の削減効果が最も高い。但し、クリンカの鉱物組成として C_3S の割合がやや少なくなる。SM および IM 低減も効果はあるが、HM に比べると影響は小さい。
 - ・ なお、2次元モデルでの熱量原単位の低減効果およびクリンカ組成の計算結果は、いずれも1次元モデル検討時と同傾向であった。
- 既存設備の省エネポテンシャルを定量評価した。改善項目はSPリークガスの低減、余剰空気の削減およびクーラー効率改善とした。

OPC クリンカとの比較	熱量原単位 [MJ/t]	原単位削減量 [MJ/t]
① SP 部リークガスの低減		
リーク 25kNm ³ /h 削減	3,767	△58（△1.5%）
② 余剰空気の削減		
燃焼空気比 1.2→1.05	3,740	△84（△2.2%）
酸素富化（1次空気）	3,772	△52（△1.4%）
③ クーラー2次空気・抽気温度変更		
クーラー効率 63%	3,716	△109（△2.8%）
クーラー効率 70%	3,608	△217（△5.7%）

- ・ クーラー二次元化モデルにより既存設備の省エネポテンシャルを精査したところ、今回試算した3つの項目の中ではクーラー効率改善に

よる熱量原単位の削減効果が大きいことが分かった。

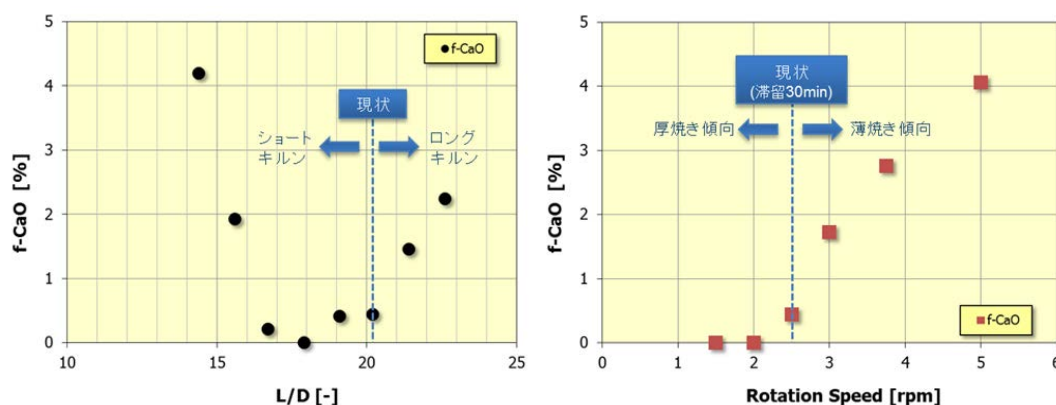
- 各種プラント運転条件変更による燃費影響を定量評価した。

① 仮焼炉焚比変更による影響

	生産量 [t/h]	原単位削減量 [MJ/t]	f. CaO [%]
OPC クリンカ（比較ベース） 〈仮焼炉 54：キルン 46〉	194	3,824	0.41
① 仮焼炉 0：キルン 100	128	▲192（▲5%）	0.77
② 仮焼炉 70：キルン 30	185	▲154（▲4%）	0.34

- ・ NSP プラントから SP 運転を想定すると、キルン窯尻ガス温度や f. CaO の上昇により運転困難となり、運転調整すると生産量▲34%、熱量原単位▲5%となる。
- ・ 仮焼炉側の比率を上げると、キルン側の熱量不足が顕著となり、f. CaO が上昇する。これに対応するために焚量変化・送分量減のアクションが必要となり、熱量原単位が▲4%となる。
- ・ 現状クリンカ焼成における仮焼炉焚比の変更は、熱量原単位の悪化となる。

② キルン長 (L/D)、回転数による影響



- ・ キルンを長くするとキルンからの放熱が大きく、クリンカ焼成熱量不足となり、f. CaO の残存が高い。一方、キルンを短くしすぎても焼成熱量不足となる。
- ・ キルン内ベッド高さが高い焼成（厚焼き）の方が、クリンカ f. CaO の残存が低い。
- ・ 本結果より、現状キルン長さを 15%短くし、キルン回転数を遅くした

運転の方が高効率となる。この際の熱量原単位は 1%改善される。

③ 石炭種、微粉炭粒子径による影響

	熱量原単位 [MJ/t]	原単位削減量 [MJ/t]
OPC クリンカ（比較ベース）	3,824	---
① 微粉炭粒子径変更		
平均粒子径 44→66 μm	4,140	▲316（▲6.8%）
平均粒子径 44→99 μm	4,384	▲560（▲12.1%）
② 石炭種変更		
瀝青炭→半無煙炭	3,905	▲81（▲2.1%）
瀝青炭→無煙炭	3,906	▲82（▲2.1%）

- ・（財）電力中央研究所での微粉炭燃焼試験などを踏まえた計算のチューニングおよびクーラー2次元モデル化により、再検討を実施した。
- ・微粉炭粒子径を大きくすると、燃焼が悪化するためにガス温度が低くなり、f. CaO が増加した。これに対応するための焚量・送入力減により、熱量原単位は悪化した。
- ・石炭種を半無煙炭あるいは無煙炭に変更すると、燃焼が悪化するために熱量原単位はやや悪化する傾向となった。

iii. まとめ

(i) 統合シミュレーターの高度化

① 微粉炭燃焼試験を通じた計算精度向上

- （財）電力中央研究所の石炭燃焼試験炉にて粉碎条件の異なる 2 水準のオイルコックスを調整し、粒子径差異による燃焼影響を評価した。
- 燃焼挙動を数値的に再現することで計算精度の向上を図ることができた。

② クリンカクーラーモデルの二次元化

- 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。
- 電気炉実験により、省エネクリンカにおける生成鉱物の反応速度の違いを把握した。

- 省エネクリンカ（鉍化剤，高 C_3A ，7μm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。
- 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。

(ii) 焼成プロセスの省エネポテンシャル評価

(i) の高度化キルンシミュレータを用いて、省エネ型クリンカの省エネポテンシャルおよびクリンカ組成や焼成プロセス・運転条件の変更による省エネポテンシャルを再評価したところ、以下の結果が得られた。

①省エネ型クリンカの省エネポテンシャル評価

- 省エネ型クリンカの中では鉍化剤使用が最も省エネポテンシャルが高く、 $F : 0.2\% + SO_3 : 4.0\%$ の条件で最大 $\Delta 6.3\%$ の省エネ効果が得られることが推測された。
- 高 C_3A 化による省エネ効果は $\Delta 0.5\%$ と小さかった。
- ビーライトーアウイン系は省エネ効果 $\Delta 21.1\%$ と大きいですが、硫黄のキルン内循環量が増加し、コーティングによる運転トラブルが懸念される。

②焼成プロセスの省エネポテンシャル評価

- クリンカの諸率変更の中で HM 低減による省エネ効果が最も大きい（HM - 0.15 低減で 3.1% の省エネ効果）。
- 既存設備の改善（SP 部リークガス低減、余剰空気削減、クーラー効率改善）による省エネポテンシャルを評価した結果、クーラー効率の改善の省エネ効果が大きいことが確認できた。
- プラント運転条件として仮焼炉焚比、キルン長および回転数、石炭種変更および粒子径変更の影響を評価した結果、仮焼炉焚比や石炭種・粒度は現状条件を変更すると熱量原単位が悪化することが分かった。また、シミュレーションに用いたキルン設備では、現状よりもキルン長を長くし、回転数を遅くすることで熱量原単位が良化することが推測された。

(3) クリンカ焼成プロセスの計測技術開発

(a) スペクトル計測等によるキルン内温度計測技術開発

i. 予備試験

<ダストキャンセル法（DC法）>

- 炉内環境模擬試験装置を用いた検証試験で、DC法を適用して粉塵の影響を除くことで計測精度が向上することが確認でき、DC法の理論が成り立つと判断した。（図1、図2）

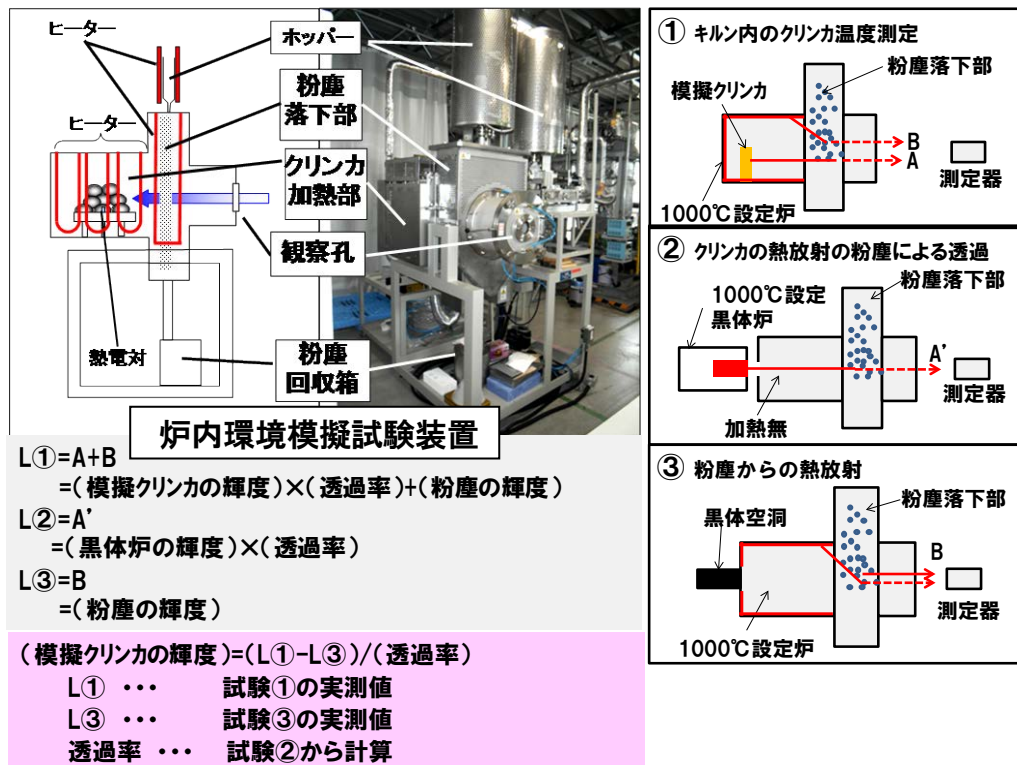


図1. DC法の理論確認試験の方法

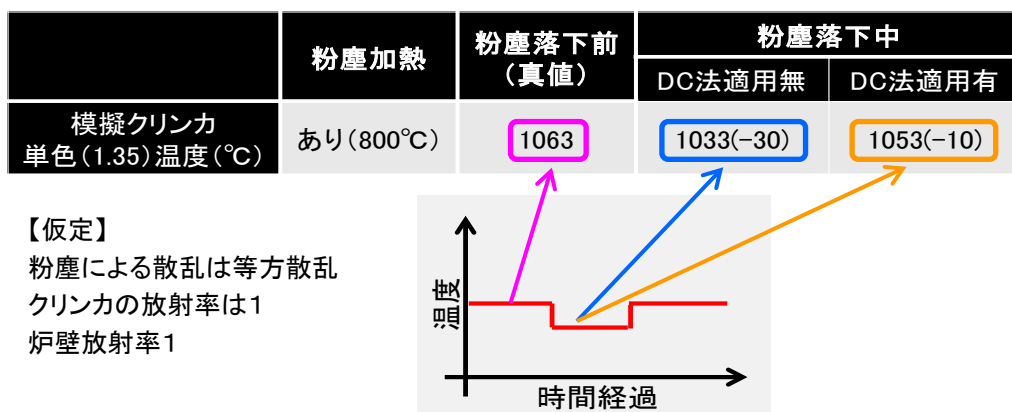


図2. DC法の理論確認試験の結果

＜光ファイバー法＞

「放射温度計の導光部に FIMT（金属被覆管光ファイバー）を使用しその先端を直接溶融金属に浸漬させて測温する温度計。直に溶融金属に浸漬して測温するため外乱、放射率の影響を受けず、FIMT が消耗しても、新しい FIMT を繰出すだけで繰返し測温が可能」として市販されている JFE メカニカル株式会社製の光ファイバー温度計（図 3）を、同温度計の本来の測定対象とは異なるクリンカの温度測定に適用する方法について検討し、以下の結論を得た。

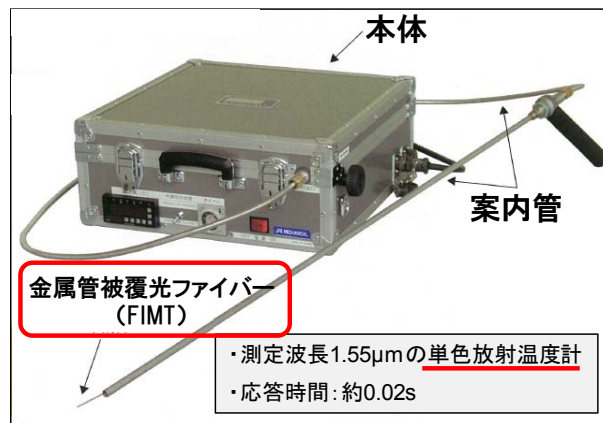


図 3. 光ファイバー温度計

- クリンカ焼成温度である 1450℃の炉内では、クリンカに接触しなくても、FIMT は熱によるダメージを受ける。そこで、「FIMT を水冷管で保護してキルン内部へ導入し、クリンカへ挿入する短時間だけ水冷管からの出し入れを間欠的に行う」方法（図 4）で、クリンカ温度の自動測定ができるか検討を行うことにした。

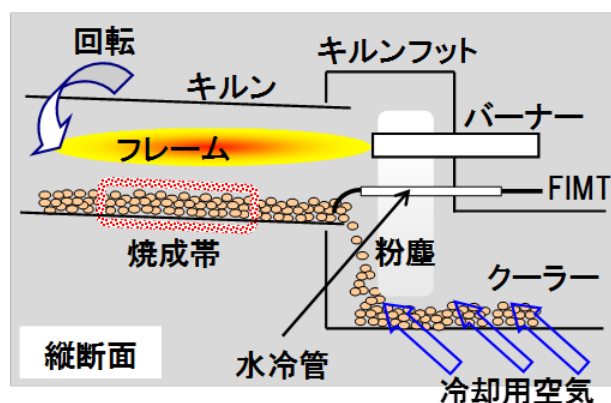


図 4. キルンへの FIMT 導入方法の概念図

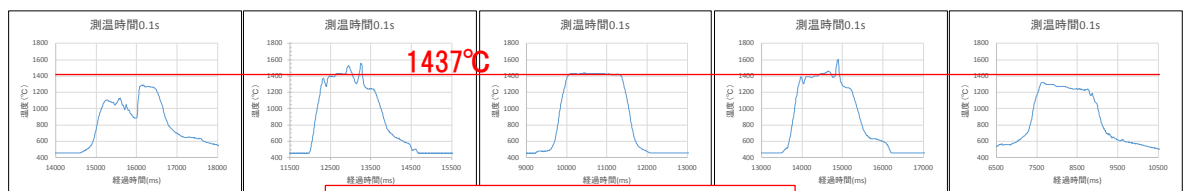
- 前記の検討を行うため、FIMT をクリンカ焼成温度である 1450℃に設定した炉内に設置したクリンカと炉外の間を往復させることで、光ファイバーを水冷管に退避し、測定時のみにクリンカに接触させる状況を再現する試験装置を製作して温度測定試験を実施した。光ファイバー温度計の測定結果はクリンカに挿入した熱電対による測定結果との差が大きく、その差も一定ではなかったため（図 5）、光ファイバー温度計をクリンカ温度測定に適用することは、何らかの工夫がない限り難しい、と判断した。

クリンカ内挿入熱電対: 1437℃ → 光ファイバー温度計の表示もこの値に近くなるはず

【測定条件】

- ・FIMTの挿入深さ: 10mm
- ・測温時間: 0.1s/1回測定
- ・FIMTの移動速度: 400mm/s(炉内に居る時間: 2.3s/1回測定)

【1回測定】



各測定値の差が大きい

【50回繰返し測定】

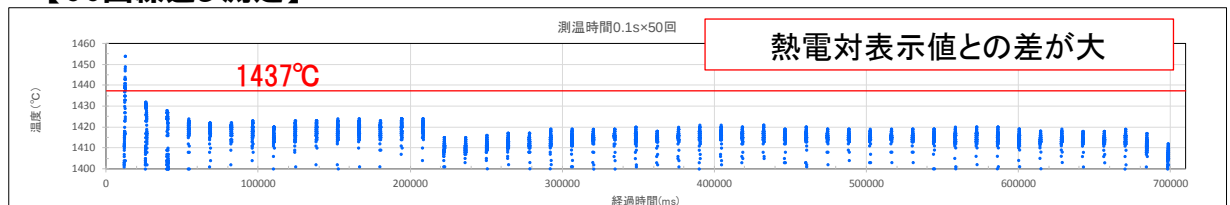


図 5. FIMT による温度測定結果

ii. 実機試験

＜ダストキャンセル法（DC法）＞

- DC法を実機キルンに適用し、粉塵温度、粉塵濃度、クリンカ温度を求めた。粉塵の温度は刻々と変化していること（グラフ上）、測定器①方向の透過率は0～1の間を大きく変化していること（グラフ中）、粉塵の影響により測定器②のクリンカ温度は低く表示されていること（グラフ下）、測定器①の透過率が低い「グラフ中」の赤枠の時刻のクリンカ温度の測定精度は悪化しておりデータがばらついていないこと（グラフ下）、が読み取れた。（図 6）

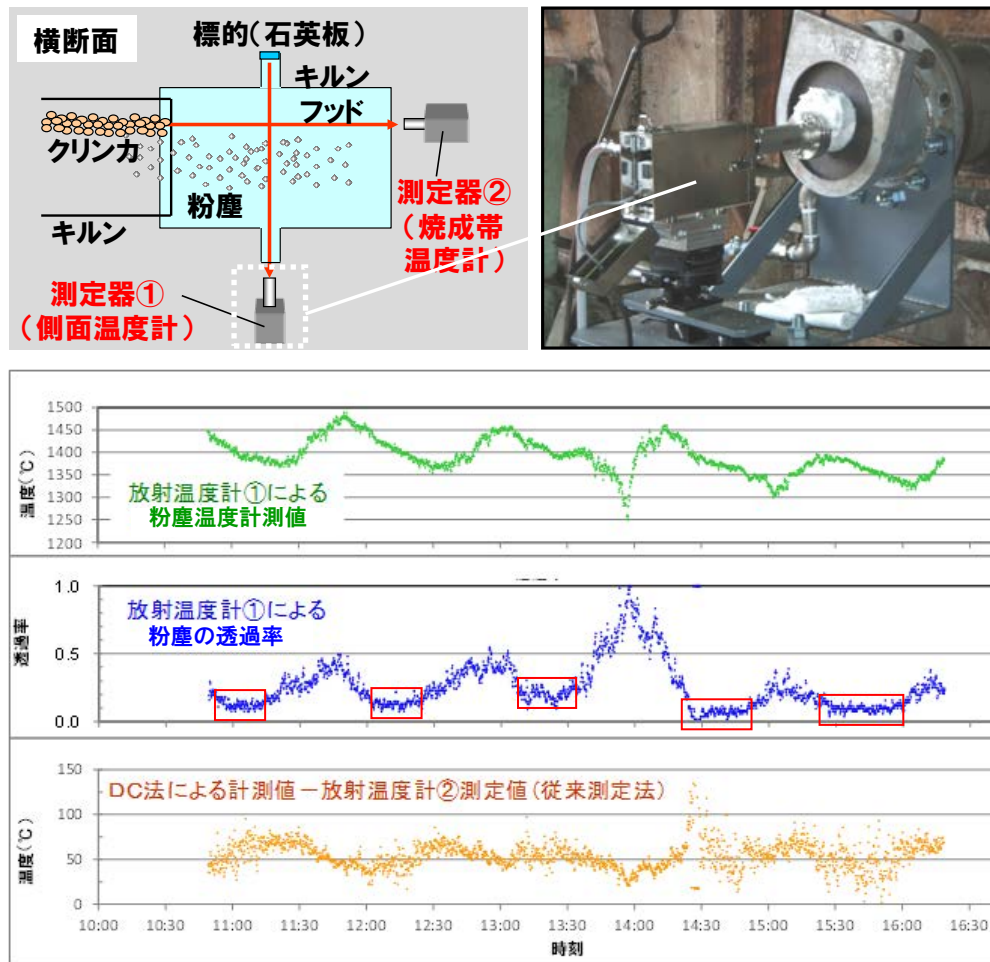


図6. DC法による計測結果

iii. まとめ

ダストキャンセル法と光ファイバー法の2つの方法に対して実機キルンでの検証を行い、工場への適用の可否を判断した結果、以下の結論を得た。

<ダストキャンセル法>

- 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と判断した。
- 実機キルンに適用することで、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。

- 以上より、ダストキャンセル法の工場への適用は可能であると判断した。

<光ファイバー法>

- 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せる試験装置を製作し温度測定試験を実施した結果、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。光ファイバー温度計は、何らかの工夫がない限り、クリンカ温度を間欠的に測定することも難しいと判断した。

3-1-3 特許出願状況等

表 3. 特許・論文等件数

要素技術	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
(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	0	0	1	0	0	0	0
(b) 鉱物組成変更による省エネ型クリンカ焼成技術開発	0	0	1	0	0	0	0
(c) 省エネセメントの開発	2	0	1	0	0	0	0
(2) クリンカ焼成プロセスのシミュレーション解析	0	0	0	0	0	0	0
(3) クリンカ焼成プロセスの計測技術開発							
(a) スペクトル計測等によるキルン内温度計測技術開発	0	0	3	0	0	0	0
(b) 放射温度計等によるキルン内温度計測技術開発	0	0	0	0	0	0	0
計	2	0	6	0	0	0	0

表 4 論文、投稿、発表、特許リスト

	題目・メディア等	時期
論文	セメント・コンクリート論文集 「製造条件が C_2S 固溶体の水和活性に与える影響」	H27. 3
	セメント・コンクリート論文集 「省エネルギー型汎用セメントの開発」	H27. 3
投稿	セメント新聞 「太平洋、住友大阪、三菱マテ、宇部 共同で革新的技術開発 セメント製造省エネ NEDO が助成先に決定」	H22. 10
	セメント新聞 「4 社で革新的製造技術開発 廃棄物活用でエネルギー効率悪化 焼成システム改革図る」	H22. 12
	セメント新聞 「革新的セメント製造技術開発 成果、海外へ技術移転も 3 要素技術開発へ 4 社が役割分担」	H22. 12
	セメント新聞 「着実に進展する革新的セメント製造プロセス基盤技術	H24. 1

	開発」	
	セメント新聞 「革新的製造技術開発・キルン内温度計測に“期待”」	H25. 2
発表	第 67 回セメント技術大会 「クリンカ焼成プロセスのシミュレーション解析」	H25. 5
	2nd International Symposium on Inorganic and Environmental Materials 「Development of New Advanced Simulation Technology for Cement Making Process」	H25. 10
	日本セラミックス協会 2014 年年会 「省エネルギー型汎用セメントの研究」	H26. 3
	第 68 回セメント技術大会 「ビーライト - アウインクリンカのテストキルン焼成と品質評価」	H26. 5
	第 68 回セメント技術大会 「電気炉試験によるビーライト - アウインセメントの鉱物組成と焼成条件に関する検討」	H26. 5
	第 68 回セメント技術大会 「各種石膏を添加したビーライト-アウインセメントの物理性状に関する研究」	H26. 5
	第 68 回セメント技術大会 「石膏を添加したビーライト - アウインセメントの水和反応についての考察」	H26. 5
	第 68 回セメント技術大会 「ビーライト - アウイン系クリンカを単味粉碎したセメントの水和反応についての考察」	H26. 5
	第 68 回セメント技術大会 「ビーライト - アウインセメントのコンクリート評価」	H26. 5
	第 68 回セメント技術大会 「省エネルギー型汎用セメントの開発」	H26. 5
	第 68 回セメント技術大会 「ビーライト-アウインクリンカのテストキルン焼成と品質評価」	H26. 5
	第 68 回セメント技術大会 「製造条件が高ビーライトセメントの水和活性に与える影響」	H26. 5
	第 68 回セメント技術大会	H26. 5

	「鉬化剤使用によるセメントクリンカーの低温焼成」	
	GTT Workshop 「Simulation Technology for Clinker Burning Process」	H26. 7
	化学工学会第 46 回秋季大会 「クリンカ焼成プロセスのシミュレーション解析」	H26. 9
	第 14 回 FactSage ユーザー会 「クリンカ焼成プロセスのシミュレーション解析」	H26. 10
	AICHE(米国化学工学会) Annual Meeting 2014 「The Estimation Method Using the Advanced Simulation Technology for Cement Manufacturing Process」	H26. 11
	第 69 回セメント技術大会 「クリンカ焼成プロセスのシミュレーション解析(第 2 報)」	H27. 5
	第 69 回セメント技術大会 「焼成温度を低減した省エネクリンカーの造粒に及ぼす融液特性の影響」	H27. 5
	第 69 回セメント技術大会 「ドーパントとリサイクル原料がビーライト - アウインセメントの強さ発現性に及ぼす影響」	H27. 5
特許	出願 No. 2012-080012「炉内における被加熱物、粉塵及び炉内ガスの温度とそれらの放射率の計測方法」	H24. 3 出願済
	出願 No. 2014-053172「粉塵が存在する雰囲気中の物体の温度を計測する方法」	H26. 3 出願済
	出願 No. 2015-182656「被加熱物の温度、粉塵の温度及び粉塵の濃度を計測する方法」	H27. 9 出願済
	出願 2013-59802「セメント組成物」	H25. 3 出願済
	出願 2013-59302「セメント組成物」	H25. 3 出願済
	出願 2015-73688「セメントクリンカーの製造方法」	H27. 3 出願済

3-2 目標の達成度

表 5. 目標に対する成果・達成度の一覧表

要素技術	目標・指標	成果	達成度
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	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。	・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ューム（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。 （課題） ・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
(b) 鉱物組成変更による省エネ型クリンカ焼成技術開発	1) ビーライトーアウイン系クリンカ開発 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。 ・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、	・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ブにより 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ー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。 ・実機製造ではコーティングおよび	達成

	耐久性および品質課題の確認。	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	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。 ・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。	・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。 ・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			
	革新的セメント製造プロセスの課題抽出。 (i) 統合シミュレータの高度化 ①微粉炭燃焼試験を通じた計算精度向上 ②クリンカクーラーモデルの二次元化 (ii) 焼成プロセスの省エネポテンシャル評価 ①省エネ型クリンカの省エネポテンシャル評価 ②焼成プロセスの省エネポテンシャル評価	・(財)電力中央研究所の石炭燃焼試験炉にて粉碎条件の異なる 2 水準のオイルコークスを調整し、粒子径差異による燃焼影響を評価した。 ・燃焼挙動を数値的に再現することで計算精度の向上を図ることができた。 ・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。 ・電気炉実験により、省エネクリンカにおける生成鉱物の反応速度の違いを把握した。 ・省エネクリンカ（鉱化剤、高 C3A, 7μm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。 ・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。 ・高度化したシミュレータにより	達成

		省エネ型クリンカの省エネポテンシャルを再評価した。 ・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。	
3. クリンカ焼成プロセスの計測技術開発			
(a) スペクトル計測等によるキルン内温度計測技術開発	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）。 ① ダストキャンセル法 ② 光ファイバー法	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。 ・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。 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。 ・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。	達成

4. 事業化、波及効果について

4-1 事業化の見通し

セメント製造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 4%を占める。国内のセメント製造各社は、1970 年ごろから積極的に省エネルギー技術の開発や導入を行い、そのエネルギー効率は世界最高水準となっている。我が国セメント製造業は、既存技術による省エネはほぼ限界に達しているが、CO₂ 排出量削減の社会的な要請の高まりもあり更なる省エネ・低炭素化が求められており、これを実現する新しい省エネ技術の開発が必要とされている。

今般、経済産業省では、エネルギー基本計画の方針に基づき、総合資源エネルギー調査会基本政策分科会長期エネルギー需給見通し小委員会における取りまとめを踏まえ、「長期エネルギー需給見通し」を決定した。また、本年 12 月にフランス・パリで開かれる国連気候変動枠組条約第 21 回締約国会議(COP21)に向け、日本政府としての約束草案が決定され、国連気候変動枠組条約事務局に提出されたところである。こうした状況下において、CO₂ 削減に関する社会的要請はますます強まっており、企業の社会的責任の面からも CO₂ 削減のための省エネ技術開発は重要な研究課題と位置づけられる。特に、本事業は、「長期エネルギー需給見通し関連資料」中に、産業・転換部門における省エネルギー対策の 1 つとして挙げられており、2030 年における省エネ量が 15 万 kL と見込まれている。

本基盤研究においては全セメント生産量の約 80%を占める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、開発した技術が実用化すれば、現行製品を置き換えることになる。したがって、現行の販売ルートや販売先等をそのまま利用することが可能であり、開発した技術の普及が進みやすく、かつ省エネ効果が産業全体に波及しやすい、という利点を有している。

一方で、事業化に向けた社会的課題として、

- ・新プロセスにより製造されるセメント製品に要する新たな原料の調達
- ・品質・コスト競争力の確保
- ・流通網の整備

加えて、本事業を通して明らかになった技術的課題として、

- ・セメントキルン内壁に付着し安定運転を妨げるコーティング対策
- ・長期的品質確認のためのコンクリート耐久性試験の継続実施

- ・必要に応じた設備の改造や導入等の最適化実施

などが想定される。

これら課題を本事業実施者である４社が中心となって業界全体で解決をはかり、2020年以降*より実機による実用化検討を行った後、導入可能な工場から順次普及展開を図っていきたい。

*セメント業界においては、復興需要、全国的な減災・防災需要、オリンピック・パラリンピック関連需要などの要因により2020年頃までは実機稼働率が100%に近い状況であり、本事業終了後直ちに実機による実用化検討を始めることは難しいため。

4－2 波及効果

国内のセメント生産量がここ数年減少傾向である一方で、世界におけるセメント需要は、BRICsに代表される新興国の経済発展に伴い年々増加の一途を辿っていることから、当該産業におけるCO₂排出抑制を目的とした省エネ技術開発は、国際的にも極めて重要な課題である。

したがって、我が国が省エネルギーディングカントリーとしてセメント製造に関する革新的な省エネ技術確立し世界に発信していくことは、グローバルな省エネ・低炭素化に貢献するとともに、この結果として、国内セメント産業の国際競争力強化にも繋がることになる。

5. 研究開発マネジメント・体制等

5-1 研究開発計画

表6. 研究開発計画

実施項目／年度(平成)	22	23	24	25	26
Ⅰ. 省エネ型クリンカ焼成システムのための要素技術開発					
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	鉱化剤最適化	テストキルン焼成		コンクリートによる耐久性評価試験	
(b) 鉱物組成変更による省エネ型クリンカ焼成技術開発	ピーライト活性化影響調査	ピーライト活性化テストキルン焼成		ミグラー等によるクリンカ製造試験およびセメントとしての品質評価	
	アウイン系影響調査	アウイン系テスト/実機キルン焼成		ミグラー改良	
(c) 省エネセメントの開発		クリンカ性能利用	省エネセメントの創出	ミグラー等によるクリンカ製造試験およびセメントとしての品質評価	
				市場調査	
2. クリンカ焼成プロセスのシミュレーション解析					
		全体シュミレータ開発		統合シュミレータ開発	
		統合シュミレータ開発			
			ミグラー省エネ評価	プロセス設計課題抽出	省エネ関連焼成プロセス評価
3. クリンカ焼成プロセスの計測技術開発					
(a) スペクトル計測等によるキルン内温度計測技術開発	実機キルン内/外計測技術	炉内環境模擬試験装置	実機実証	実機キルン実証試験	
				精度向上検討	
(b) 放射温度計等によるキルン内温度計測技術開発	焼点温度測定技術開発	キルンセル熱電対埋込み	操業評価		
Ⅱ. 革新的セメント製造プロセスの設計					
			要素技術開発融合	要素技術開発の融合	
			クリンカ性能利用	革新的セメント製造プロセス設計	

5-2 研究開発実施者の実施体制・運営

本研究開発は、公募による選定審査手続きを経て、宇部興産株式会社、住友大阪セメント株式会社、太平洋セメント株式会社及び三菱マテリアル株式会社の4社が共同で、平成22年度にNEDOからの助成を受けて実施し、平成23年度からは経済産業省の直執行として補助を受けて実施したもの。

また、研究開発の実施に当たっては、本研究を円滑にすすめ目標達成に向けた各研究分担の成果の融合を図るために以下を役割とする全体会議を設置した。

- ・ 本研究の進捗確認
- ・ 研究成果等の情報共有
- ・ 本研究目標達成のための相互協力

全体会議は各社の主任研究者を中心に構成され、研究開発を統括するためのリーダーを太平洋セメント株式会社 中央研究所 市川牧彦（期途中で人事異動により平尾宙に交替）とするとともに、委員の指導および助言により本研究の方向性等について適正化を図るため、本研究内容に関する専門知識を有する学識経験者からなる技術委員会を設置した。全体会議では、特許の共有や利用許諾などの成果の活用方法についても議論し、事業参加者内での利用と、外部への利用許諾についての方針を合意している。

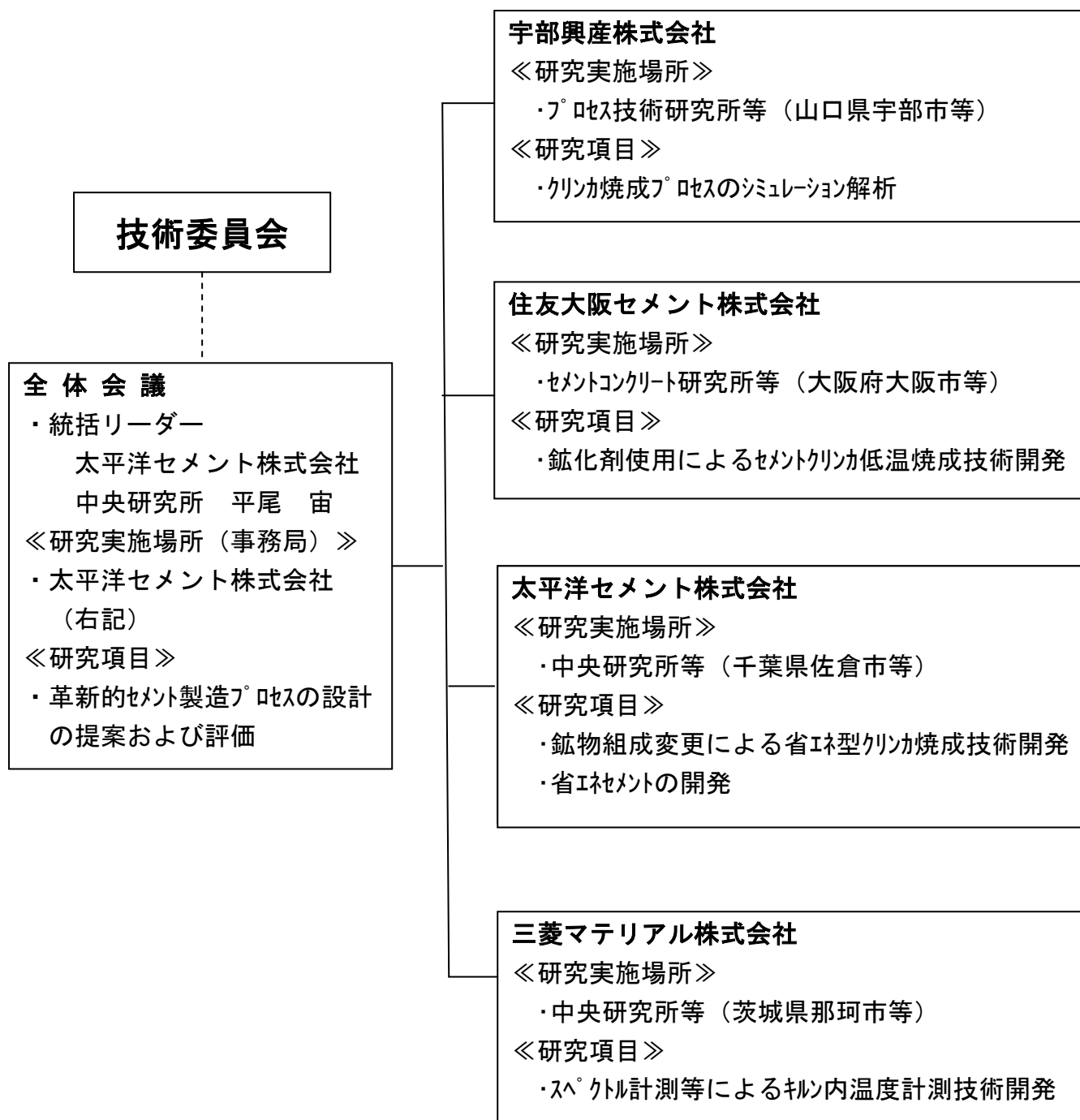


図 5 - 1. 研究開発実施体制

5－3 資金配分

本事業は公募による選定審査手続きを経て、宇部興産株式会社、住友大阪セメント株式会社、太平洋セメント株式会社及び三菱マテリアル株式会社の4社の共同申請に基づき採択した。各要素技術における事業費（補助金を含む全額）を以下に示す。

事業資金の配分については、事業選定時に審査しており、また、実施事業者それぞれにおいておおむね良好な成果が得られたことから、資金の配分は妥当であったと考えられる。

表7. 資金配分（研究開発費として）

（単位：百万）

実施項目／年度	22	23	24	25	26	合計
革新的セメント製造プロセス基盤技術開発						
(1) 省エネ型クリンカ焼成技術開発	90	96	81	75	68	409
(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	22	29	25	25	24	125
(b) 鉱物組成変更による省エネ型クリンカ焼成技術開発	67	58	27	25	12	190
(c) 省エネセメントの開発	0	9	29	26	31	95
(2) クリンカ焼成プロセスのシミュレーション解析	61	62	33	46	35	237
(3) クリンカ焼成プロセスの計測技術開発	41	42	32	30	41	186
(a) スペクトル計測等による窑内温度計測技術開発	31	31	31	30	41	163
(b) 放射温度計等による窑内温度計測技術開発	11	11	1	0	0	22
合計	191	200	145	151	144	832

* 四捨五入の関係で、合計の合わないところがある

5－4 変化への対応

特になし

6. 費用対効果

6-1 費用対効果

本研究開発は低炭素社会に向けた次世代型セメント製造プロセスの開発であり、将来的には実用化し国内セメント製造全般に普及することを目指す。独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構が制定した「革新的セメント製造プロセス基盤技術開発」基本計画によれば、本基盤技術が実用化しエネルギー原単位 8%削減が実現した場合、我が国のセメント業界全体に普及すれば、製造プロセスへの投入エネルギーを原油換算で年間約 38 万 kL（暫定値）低減させることが期待でき、本プロジェクトの予算規模(H22～H26)約 7.2 億円に比べて十分な効果が得られるものと考えられる。

	2020 年	2030 年	2050 年
セメント生産量※ ¹	5,621 万 t※ ³	5,521 万 t※ ⁴	5,521 万 t※ ⁴
消費エネルギー※ ²	486 万 kL	477 万 kL	477 万 kL
省エネ効果 = 477 × 8%			約 38 万 kL

※1：H21 年 8 月 平成 21 年 8 月 26 日公表（長期エネルギー需給見通し(再計算)について）より

※2：H21 年 2 月 地球温暖化問題に関する懇談会 中期目標検討委員会(第 4 回)より

※3：H25 年 1 月 セメント協会の低炭素社会実行計画より

※4：※1 における 2020 年数値(6,699 万 t)を※3 における 2020 年数値(5,621 万 t)に置換え、その減少率を※1 における 2030 年数値および 2050 年数値に適用して表記した。

(参考) 用語解説

■ セメント

用語	定義
セメント	水と反応して、硬化する鉱物質の微粉末。
セメントクリンカー (又はクリンカ)	セメントの原料をキルンで焼成した塊状のもの。
ポルトランドセメント	水硬性のカルシウムシリケートを主成分とするクリンカに適量のセッコウを加え、微粉碎して製造されるセメント。
普通ポルトランドセメント	一般用途に用いる汎用性のあるポルトランドセメント。
早強ポルトランドセメント	普通ポルトランドセメントの3日強さを1日で発現するセメント。緊急工事や寒冷地での冬場の工事などに使用される
混合セメント	ポルトランドセメントに、高炉スラグ微粉末、シリカ質混合材、フライアッシュなどの混合材をあらかじめ混合したセメント。

■ コンクリート

用語	定義
モルタル	セメント、水、細骨材及び必要に応じて加える混和材料を構成材料とし、これらを練り混ぜその他の方法によって混合したもの、又は硬化させたもの。
コンクリート	セメント、水、細骨材、粗骨材及び必要に応じて加える混和材料を構成材料とし、これらを練り混ぜその他の方法によって混合したもの、又は硬化させたもの。
フレッシュコンクリート	まだ固まらない状態にあるコンクリート。
LBF	Long Bench Flume (ロングベンチフリューム)、主に圃場整備事業の農地造成における小用水路に使用される。また、法尻等に設ける側溝、法面の集排水等にも使用される。コンクリートベンチフリュームは JIS A 53723 に規定されている。ロングベンチフリュームは据付手間や漏水の軽減のために、通常のベンチフリュームよりも製品延長が長く (4 m) になっている。

■ クリンカ鉱物および水和生成物等

用語	定義
エーライト	セメントクリンカーを構成する主要な化合物の一種で、理想組成は $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (C_3S) で表される。短期・長期に渡る強度発現を担っている。
ビーライト	セメントクリンカーを構成する主要な化合物の一種で、理想組成は $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (C_2S) で表される。エーライトに比べて反応速度が遅く、長期に渡る強度発現を担っている。水和熱が小さい特徴を持つ。
アルミネート相	セメントクリンカーを構成する化合物の一種で、間隙相物質の一つ。理想組成は $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ (C_3A) で表される。水和直後から反応し、モルタル・コンクリートのフレッシュ性状や凝結などに影響を及ぼす
フェライト相	セメントクリンカーを構成する化合物の一種で、間隙相物質の一つ。理想組成は $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ (C_4AF) で表される。
$\text{C}_{11}\text{A}_7 \cdot \text{CaF}_2$	化学式で $11\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaF}_2$ と表される水硬鉱物で、急硬性を示す。
アウイン	通常のセメントクリンカーには含まれないが、原料中に多量の CaSO_4 を添加するなどの条件によってセメントクリンカー中に生成させることができる。化学式では、 $4\text{CaO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SO}_3$ で表され、海外ではカルシウムサルホアルミネートと表記されることが多い。またイーリマイトとも表記される。
Na_2Oeq	全アルカリ量 (%) = Na_2O (%) + $0.658\text{K}_2\text{O}$ (%) で表される。コンクリートのアル

または R_2O 、全アルカリ量、アルカリ総量	カリ骨材反応と関連が高いため、ポルトランドセメントは JIS で 0.75%以下に定められている。
ig.loss または強熱減量、LOI(Loss On Ignition)	一般に 1000℃前後の規定温度で試料を加熱し、結晶水や揮発成分の離脱による質量の減少分を百分率で示した値。セメントでは風化の程度を表しており、ポルトランドセメントは JIS で 5.0%以下に定められている。
insol または不溶残分、インソール	試料 1g を塩酸 (1+1) 10ml で溶かし、未溶解部分をさらに炭酸ナトリウム溶液 (5%) 50ml で溶解したときに残ったものを百分率で示した値。セメントにおいては、不溶残分は添加されているセッコウや混和材などに含まれる。
f.CaO またはフリーライム、遊離石灰	未反応の CaO のこと。クリンカ焼成管理において、焼成反応の完結の程度を見る指標として重要であり、適正值は 0.2～1.0%の幅を持つ。焼成が不十分な際に多くなり、コンクリートに膨張性亀裂を生じさせる原因となる。
脱炭酸	セメントの主原料である石灰石に熱を加え CO_2 を揮発させること。
固溶	固体結晶中に他のイオンが溶解すること。格子点にある原子の一部を異種原子で置換する置換固溶と、格子の空隙に異種原子が不規則に介在する侵入固溶がある
水和物	水と反応したもの。例えば、珪酸カルシウム水和物 (C-S-H ゲル)、エトリンガイト、モノサルフェートなど。
エトリンガイト	$3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 31 \sim 33H_2O$ で表される化合物で、セメント中のセッコウとアルミネート相が反応してできる。
モノサルフェート	セメントの水和物の名称。エトリンガイトとアルミネート相が反応してできる化合物
ストラトリンガイト	$2CaO \cdot Al_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot 8H_2O$ で表される化合物で、通常のセメントには生成せず、 Al_2O_3 を多く含有する特殊なセメントで生成する。アウインセメント中では、 C_2S と水酸化アルミが反応してできる。

■ 混和材料

用語	定義
混和材料	セメント、水、骨材以外の材料で、コンクリートなどに特別の性質を与えるために、打込みを行う前までに必要に応じて加える材料。
混和材 または、混合材	混和材料の中で、使用量が比較的多く、それ自体の容積がコンクリートなどの練上がり容積に算入されるもの。
フライアッシュ	微粉炭燃焼ボイラの燃焼ガスから集塵器で捕集されるアッシュ。それ自体は、水硬性をもたないが、水の存在のもとで水酸化カルシウムと常温で反応して不溶性の化合物を作って硬化する鉱物質の微粉末の材料。
高炉スラグ微粉末	溶鉱炉で銑鉄と同時に生成する熔融状態の高炉スラグを水によって急冷し、これを乾燥・粉砕したもの、又はこれにセッコウを添加したもの。
LSP	Lime Stone Powder、石灰石微粉末

■ 混和剤

用語	定義
化学混和剤	コンクリートに混和することで、流動性の改善、凝結・硬化時間の調整などコンクリートの諸物性を改善するために用いる薬剤の総称。比較的少量の添加で効果を発揮するため、完成したコンクリートの容積として算入する必要がない。
減水剤	セメント粒子表面に負の電荷を与え、粒子を分散させることにより流動性を高める作用をもち、単位水量を低減させることができる。ポリカルボン酸系、ナフタリン系、アミノスルホン酸系などが使用される。
高性能減水剤	通常の減水剤よりも高い減水効果をもち、単位水量をさらに低減することができる。ナフタレンスルホン酸系、ポリカルボン酸系などが使用される。

AE 助剤	コンクリートに混和させることで、多数の微細な独立した空気泡を一様に分布させることができる。コンクリートの打設作業の能率や凍結に対する抵抗性を向上させる作用をもつ。樹脂系、アルキルベンゼンスルホン酸系などが使用される。
遅延剤	コンクリートの凝結を 2 時間程度遅らせるもので、暑中コンクリートの施工やコールドジョイントの防止に使用される。フッ化物、リン酸塩、ホウ酸塩などの無機物や、糖類、リグニンスルホン酸、クエン酸、グルコン酸など各種の有機酸またはその塩が使用される。

■ 骨材

用語	定義
骨材	モルタル又はコンクリートつくるために、セメント及び水と練り混ぜる砂、砂利、砕砂、砕石、スラグ骨材、その他これらに類似の材料。
細骨材	10mm 網ふるいを全部通り、5mm 網ふるいを質量で 85%以上通る骨材。
粗骨材	5mm 網ふるいに質量で 85%以上とどまる骨材。
砂	自然作用によって岩石からできた細骨材。

■ コンクリート配合及び物性に関する用語

用語	定義
強さまたは強度	圧縮や曲げなどの外力に抵抗できる程度。JIS 規格ではコンクリートの場合には強度、モルタルやペーストの場合には強さと表される。
密度	セメント、混和材などの粉体の質量をその絶対容積で除した値。
粉末度	セメント、混和材などの粉体の細かさ。
凝結	セメントに水を加えて練り混ぜてから、ある時間を経た後、水和反応によって流動性を失い、次第に硬くなる現象。
単位水量	フレッシュコンクリート 1m ³ 中に含まれる水量。
水セメント比	フレッシュコンクリート又はフレッシュモルタルに含まれるセメントペースト中の水とセメントとの質量比。
スランプ	フレッシュコンクリートの軟らかさの程度を示す指標の一つ。スランプコーンを引き上げた直後に測った頂部からの下がりで表す。
ブリーディング	フレッシュコンクリート及びフレッシュモルタルにおいて、固體材料の沈降又は分離によって、練混ぜ水の一部が遊離して上昇する現象。
空気量	コンクリート中のセメントペースト又はモルタル部分に含まれる空気泡の容積の、コンクリートの全容積に対する百分率。
断熱温度上昇	断熱状態におけるコンクリート内部の温度上昇のこと。ダムなどの大型の構造物では、内部で発生したセメントの水和熱の放熱ができず、温度応力によりひび割れが発生する可能性がある。
乾燥収縮長さ変化	硬化したコンクリート又はモルタルが乾燥によって収縮する現象。
凍結融解(凍害)	コンクリートが受ける劣化現象の一つ。寒冷地のコンクリートは、コンクリート中の水分が凍結し、その氷圧のため組織に微細なひび割れが生じる。長期にわたる凍結と融解の繰り返しによってコンクリートが徐々に劣化する。
中性化	硬化したコンクリートが空気中の炭酸ガスの作用を受けて次第にアルカリ性を失っていく現象。
促進中性化試験	硬化したコンクリートの中性化に対する抵抗性を相対的に評価する試験。通常よりも高い CO ₂ 濃度の環境下に試験体を置き、試験体の中性化速度から抵抗性を評価する。

■ セメントの製造に関する用語

用語	定義
セッコウ	クリンカを粉砕してセメントを製造する際にクリンカに対し数%添加される。急結を防止し、凝結を適切に制御する役割を果たす。

キルン	セメントの原料を焼成する回転窯。
ミル	セメントの原料などを粉状に粉碎する機械。
仕上げ粉碎	セメント製造の最終工程。クリンカと石膏とを混合粉碎し、目標の SO_3 量や比表面積に調整する。
プレヒーター または、予熱器	セメントの原料をキルンに入れて焼成する前に、あらかじめキルン排熱や仮焼炉によって熱を上げておく装置。
SP キルン	予熱器であるいくつかの熱交換器（サイクロン）を備えたキルン。
NSP キルン	SP キルンの予熱器に加えて、クーラ排熱を利用した仮焼炉（Calciner）を設けてさらに予熱機能を強化したキルン。キルン方式の中では最も熱効率が高い。
クリンカクーラ または、クーラ	キルンから排出された高熱のクリンカを冷却する装置。
AQC	Air Quenching Cooler（エアクエンチングクーラー）。空気との熱交換によりクリンカーを冷却する装置。高温の焼成物に冷風を送り、急冷してクリンカーを冷却する空冷式冷却機。焼成物がクーラグレー特上を移動しており、この下部に設置された複数の空気室から冷却空気がグレー特の孔を通して供給されることにより焼成物を冷却する。
コーティング	キルン内の高温焼成部でセメント原料から揮散した成分（塩素、アルカリ、硫黄など）が、低温部に付着析出した化学物。
アルカリ	主にナトリウム、カリウムをいう。
モジュラス	化学成分係数値。
（焼成）熱量原単位	セメント（またはクリンカ）1 トンを製造するのに要する原燃料由来の熱量。
理論（焼成）熱量原単位	クリンカ焼成反応を完結させるために理論的に必要な熱量。実際の焼成熱量はさらに放散熱、排ガス・クリンカ持去り熱などが加わる。
電力原単位	セメント 1 トンを製造するのに要する電力。
HM(水硬率)	$\frac{\text{CaO} - 0.7 \times \text{SO}_3}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3}$
SM(珪酸率)	$\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3}$
IM(鉄率)	$\frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{Fe}_2\text{O}_3}$
LSF(石灰飽和度)	クリンカ中の酸性成分 SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 と結合できる最大必要な CaO 量(MgO 量) $\frac{\text{CaO} (+ 0.75 \text{ MgO})}{0.028 \text{ SiO}_2 + 0.018 \text{ Al}_2\text{O}_3 + 0.0065 \text{ Fe}_2\text{O}_3}$
ノルム計算 （ボーグ式）	対象とするものの化学組成から、一般的に生成する鉱物の構成量を計算により求める方法。セメントでは一般的にボーグ式が用いられることが多い。
リートベルト解析	セメントクリンカーを粉末 X 線回折により分析し、測定された X 線回折強度が対象鉱物の体積に比例することを利用したリートベルト法により、クリンカ中の構成化合物の定量を行うこと
窯前	キルン出口部
焼点温度	キルン内クリンカ温度（最高温度部）
キルンフッドスロート部	クリンカクーラからキルンまでの連結部分
クリンカ焼成度 (f-CaO)	クリンカ鉱物生成後の残存 CaO （酸化カルシウム）
窯尻	キルン入口部

原料 HM(水硬率)	送入原料の成分比 (=CaO/(SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃))
キルンセル	キルンの外殻 (厚さ 50mm 程度の管状鉄板)

■ 計測

用語	定義
スペクトル	スペクトルという言葉にはいろいろな意味が含まれるが、本文においてはキルンから放出される光のうち波長に従って連続的に変化する連続スペクトルである熱放射スペクトル、原子に特有の不連続な線スペクトルである原子スペクトル、分子に特有の不連続な帯スペクトルである分子スペクトルを意味する。
輝度、または、放射輝度	ある面積から放出される光線の強度。単位は、単位立体角あたり、単位投影面積あたり、単位時間あたりのエネルギー。SI 単位では $W \cdot sr^{-1} \cdot m^{-2}$ 。特定の波長における輝度は、分光放射輝度といい、単位は、 $W \cdot sr^{-1} \cdot m^{-3}$ 。
放射率	加熱された物体の輝度 L と、同温度の黒体の輝度 L_B との比 L/L_B 。
単色放射温度計	物体の熱放射の輝度を計測して温度を算出する放射温度計の一種で、特定の波長の分光放射輝度を利用して温度を算出する温度計測装置。分光放射輝度から温度を算出するのにプランクの放射則*を使うため、物体の放射率が定まらなると温度を算出することができない。 * $L(\lambda, T) = \varepsilon \times (2C_1 / \lambda^5) \times [1 / \{\exp(C_2 / \lambda T) - 1\}]$ $L(\lambda, T)$: 分光放射輝度、 ε : 放射率、 C_1 : 放射の第1定数、 C_2 : 放射の第2定数、 λ : 波長、 T : 加熱された物体の温度
二色放射温度計	物体の熱放射の輝度を計測して温度を算出する放射温度計の一種で、波長 λ_1 における分光放射輝度 L_1 と波長 λ_2 における分光放射輝度 L_2 の比 L_1/L_2 を利用して温度を算出する温度計測装置。分光放射輝度比から温度への変換に、2つの波長における放射率が等しいと置いてプランクの放射則から導いた $T = \{C_2(1/\lambda_2 - 1/\lambda_1) / \{\ln(L_1/L_2) + 5\ln(\lambda_1/\lambda_2)\}\}$ を使うため、2つの波長における放射率が同じであれば放射率が不明でも温度を算出することができる。

■ シミュレーション

用語	定義
シミュレータ	現実的に実験することが困難な場合に、その仮想的なモデルを作成して模擬的に実験するソフトウェア
パラメータ	ソフトウェアの動作条件を与えるための情報
燃焼空気比	微粉炭等が燃焼する際、実際に使用される空気量と理論空気量との比。
リーク	SP 内部が負圧であるため、設備の隙間から漏れ入る空気
酸素富化	燃焼用供給空気の酸素濃度を高めることで、排ガス量の低減を図る技術
クーラー効率	クーラーに投入される熱エネルギーの内、熱エネルギー回収ができる割合
アスペクト比 L/D	ロータリーキルンの [(長さ L) / (直径 D)] で表され、キルンのサイズを表す指標。現在運転されているセメント用ロータリーキルンで (14~20) 程度
仮焼炉焚比	NSP キルンで使用される熱エネルギーに対して、仮焼炉側で使用される熱エネルギー比
流動層	上向きにガスを噴出させることによって、固体粒子をガス中に浮遊させる層
移動層	固体粒子とガスの接触によって熱移動や化学反応などを行わせる充填層

第 3 章 評価

第3章 評価

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

【肯定的意見】

・(A 委員) セメント産業は原料を国内で受給できる唯一の産業でありエネルギー効率においても最高水準に達しているものの、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。この意味において、今回の事業目的ならびに政府の位置づけは妥当なものであると考える。

・(A 委員) 事業の技術的意義についても具体的検討事項である鉍化剤あるいは鉍物組成の変更による焼成温度低下技術、焼成プロセスを解析するシミュレーション技術、キ

ルン内計測技術の提案には新規性・独創性が含まれていると考える。提案課題は、産業界への波及にはまだ解決する要素が存在する感がぬぐえないため、これら省エネルギー技術の普及に向けた未確定要素を含む技術に対し国が関与サポートする有効性は高いと判断する。

・(B 委員) セメント産業はエネルギー多消費産業である。我が国のセメント産業の省エネ技術は世界トップクラスであるが、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、国のプロジェクトとして積極的に進めなければならない。

・(C 委員) CO2 削減への取り組みは産業界にとって必達のテーマであるが、産官学が協働して進めることが、国際的削減目標の達成には必要不可欠と思われる。セメント産業は、国土強靱化計画においては中心をなす産業であり、本プロジェクト成果が今後のセメント製造のコア技術になることの意義は大きいと考える。

・(D 委員) 日本のセメント製造方法は世界最高水準にあり、“完成した技術”と言っても過言ではない。しかし、世界に先駆けたまさに革新的な事業であることは明白である国内だけでなく、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。

・(E 委員) セメント産業は社会基盤を支える重要な産業であるとともに、二酸化炭素大量排出産業の一つである。我が国の未来社会を構築する上で、高効率なセメント製造技術を開発する本事業の目的は妥当と判断できる。また、開発技術は極めて新規性の高いものであり、開発リスクを考慮すると、国の関与は必要と思われる。

・(F 委員) 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、CO2 排出量あるいはエネルギーの低減に望むというプロジェクトはすばらしい。わずかな、省エネでも年単位になるとかなりの量になるために有意義な事業である。世界に先駆けたまさに革新的な事業であることは明白である。

民間単体で行ってしまうと単にその会社の独自の技術となり、波及効果は少なくなってしまうが、国の事業として行うことにより、波及効果をもたらすことが可能となる。

【問題点・改善すべき点】

・(C 委員) 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。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、同時に示したほうがよかった。

・(D 委員) 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

・(E 委員) 最終的に実用化を進展させるためには、ユーザーを取り込んだ体制が必要であったように思える。

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熱等＋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。

【肯定的意見】

・(A 委員) 研究開発の目標として、セメントの製造プロセス特にクリンカの焼成工程に関しエネルギー原単位を8%削減する定量的設定をしたことについては、鉱化剤使用において100～150℃の焼成温度低減によるエネルギー原単位削減割合が2～3%となること、セメント強度向上効果によりクリンカの一部を石灰石等の混和材に置き換えにはクリンカ使用量削減によるエネルギー原単位削減割合は5%以下となること、ビーライト割合約60%の低熱ポルトランドセメントでは約6%のエネルギー原単位削減が見込まれること、ビーライトーアウイン系クリンカは鉱物組成の変化に応じ6～20%のエネルギー原単位削減が期待できること、などを考慮すると、これらの事例より適切かつ妥当と評価する。

・(B 委員) 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。

・(C 委員) 目標設定が、セメント製造プロセス全体の設計提案においてエネルギー原単位で8%削減するという実現可能な目標を設定しており、妥当と判断できる。

・(D 委員) 現行技術から考え得る目標、および課題が適切に設定されている。

・(E 委員) 省エネ型セメント製造プロセスを開発するために、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、これまでの技術的知見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は、やや曖昧な点はあるものの、現実的な目標であると考えられる。

・(F 委員) はじめからエネルギー消費量 8%削減を目標としたことが評価される。100度の焼成温度低減ではエネルギー原単位削減割合は 2~3%であることからはじめから相当の無理をして目標を掲げたものと考えられる。

【問題点・改善すべき点】

・(B 委員) 目標としてエネルギー原単位 8%削減を掲げているが、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。比較が可能なように、1. クリンカ製造に要する理論的に必要なエネルギー原単位 (J/t)、2. 現状のトップクラスのキルンで消費されるエネルギー原単位 (J/t)、の 2 点を明示した上で、3. 開発目標のエネルギー原単位 (J/t)、を目標として挙げた方が、特に技術的な意義を示すには、わかりやすい表現だったと思われる。また、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。

・(D 委員) 原料組成を変えた場合、また新たな原料を用いる場合など、作業工程の検討に重きが置かれたためか、コストについて十分に検討されていないように思われる。

・(E 委員) 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。目標値は概ね適切であるが、極めて革新的とはいいがたい。

・(F 委員) アーウイン系クリンカなどを製造することを目的としており、石膏をはじめとする鉱化剤の確保が困難になることが予想される。また、それら鉱化剤の不純物量などによって結果が変わる恐れがある。

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ので、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。

【肯定的意見】

・(A 委員) 総合的知見に関しては、セメント製造技術における省エネルギー・低炭素化を実現する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。各個別要素技術の開発については、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ものと考ええる。成果論文投稿や学会で発表については、中間報告以降は概ね及第点に達していると考ええる。

・(B 委員) 鉱化剤、高 C3A、ビーライト-アウイン等、種々の省エネセメントを検討し、統合シミュレータにより省エネ効果約 8%～約 20%と目標を達成している。

・(C 委員) 個別要素の成果は、概ねスケジュール通り進められており、成果についても評価できる。また、特許や論文数についても概ね妥当と考えられる。

・(D 委員) 各社それぞれが担当した項目については、それなりの成果が得られている

ことは理解できる。

・(E 委員) 各要素技術とも、妥当な成果を上げられていると判断できる。革新的技術開発であるので、全てを達成することは困難と思われるが、材料開発では低温焼成材料、シミュレーションではセメントシミュレーター、計測技術では高精度なキルン内部温度測定法が開発されており、高く評価できる。達成度もある程度妥当なところと考えられる。

・(F 委員) 現状の焼成温度 1450 度からいずれも焼成温度を 100 度低下させることに成功したことは評価できる。また、欠点を自ら把握しているので、今後それらを補完する技術開発をしてほしい。

大型テストキルンを用いての評価まで間に合い、その成果が出てよかったと思う。

【問題点・改善すべき点】

・(A 委員) 実用化に必要な特許出願については国内については進展が見られたが、国際特許出願や国際規格化に関する計画が今後さらに実施すべき点が残る。

・(B 委員) 論文数が 2 報と少なく、また、国際標準への寄与は今後となっている。早期の導入を目指すのであれば、成果の知名度を上げる必要がある。

・(C 委員) 省エネクリンカ焼成技術開発の材料は、すべて N セメントとの置換によって省エネ目標を達成するが、耐久性の劣る部分で、必要な置換や目標達成が行われない危惧がある。

・(D 委員) 上述したように、担当各社がそれぞれ成果を得ていることは理解できる。ただ、それら得られた成果が如何に活かされているのか、または活かそうとしているのかが容易に理解できるような工夫がほしかった。時間の関係もあるだろうが、検討結果を反映した最終的な製造実験を計画期間内に実施していれば、より理解が易しかったように思う。論文や特許などの共通指標に関しては、もう少し、努力しても良かったように思う。

・(E 委員) 成果の公表（論文など）は、5 年間の開発としてはあまりにも少ないと判断せざると得ない。積極的に国内外に情報発信し、この分野での指導的立場を確立するために努力すべきであった。

・(F 委員) 普通セメントと同等といった場合、どこまでを許容するのが明確ではない。現在ではセメント製造においていろいろな廃棄物を受け入れている。これらの微量成分がセメントの組成を変化させている。このような不純物を含む系においても、今回行われた事業での成果が生かすことができるのかの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。

【肯定的意見】

- ・(A 委員) 今後の事業化については、今後の技術的課題である、セメントキルン内壁に付着し安定運転を妨げるコーチング対策、長期的品質確認のためのコンクリート耐久性試験の継続実施、必要に応じた設備の改造や導入等の最適化実施、などの課題を克服することが重要で、今後も実施研究機関が中心となって業界全体で解決を図ることで工場への普及展開が現実となるものとする。成果に基づいた波及効果については、課題が残されるものの報告書でも指摘されているように本研究では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、本課題の成果技術が実用化のための技術普及や省エネルギー効果が産業全体に波及しやすいと考える。
 - ・(B 委員) 国内で普及展開ができれば海外でも波及効果が期待できる。
 - ・(C 委員) Nセメントと同等の品質が保証されるなら、現状の製品との置き換えがスムーズに移行できれば、CO2 削減の効果は大きいと考えられる。
 - ・(D 委員) 新しい省エネ技術の開発が期待され、地球の環境保全に大きく貢献する可能性がある。
 - ・(E 委員) 最も普及しやすい普通ポルトランドセメント代替品を目標としているので、産業界への普及は進みやすいものと考えられる。
- 計測技術、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。
- ・(F 委員) 日本の主力のセメントメーカーによる技術なので協力し合うことにより世界に類をみない省エネでのセメント製造が可能になると思われる。また、この技術を世界中に広めるような計画も必要と思われる。波及効果としては高いと思われるが、各社が連携できればということが前提である。(連携ができるのであれば、評価はすべて a

であるが、できなければc：できることが前提であると思われる)

【問題点・改善すべき点】

・(B 委員) まだ実用化検討に達しておらず、課題(新原料の調達、品質・コスト競争力、流通網整備)を解決できるかどうか未定になっている。これらの課題が解決できるかが最も重要で、事業化のために早急に検討する必要がある。

・(C 委員) 普及のための製品の JIS 化や普及に向けた工程が曖昧であり、当プロジェクトに参画していない製造会社への技術移転が進みにくい可能性が考えられる。

・(D 委員) 事業化に至るまでの筋道が具体的になっておらず、その実施までにはいくつかの困難が予想される。

・(E 委員) 実用化に対する明確なシナリオが示されていない。特にコストに関する検討が不十分であるため、実用化できるかどうかは極めて曖昧である。開発当初から、経済性の検討を行いつつ、技術開発成果を評価すべきであった。

また、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ように思われる。

・(F 委員) セメント製造は廃棄物の受け入れも行わなくてはならず、この廃棄物の種類については各会社あるいは工場単位で異なる。このため、足並みがそろうのであればよいが、そろわないで独自の路線をたどることにならないことを願う。

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。

【肯定的意見】

・(A 委員) 実施期間、実施体制については、セメント業界を代表する宇部興産株式会社、住友大阪セメント株式会社、太平洋セメント株式会社及び三菱マテリアル株式会社の4社による共同の実施であり、さらに研究の進捗管理のための全体会議を持つなど妥当であると評価する。また、研究開発の実施においても、目標達成に向け本研究の進捗確認、本研究成果等の情報共有、本研究目標達成のための相互協力を設置するなど積極的な姿勢が見受けられる。資金配分についても、どの機関とも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と考える。

・(B 委員) 研究開発計画は、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、研究開発計画は適切であった。また、国内の主要なセメントメーカーによる省エネセメントの開発であり、実施体制は極めて適切であった。

・(C 委員) 研究開発計画、実施体制、資金配分とも適切に進められていたと判断できる。特に主要なセメント製造会社4社に、研究分担・費用が適切に処理されていた。

・(D 委員) 各社それぞれが担当項目について詳細な検討を実施している。

・(E 委員) エネルギー原単位8%削減に対する計画は適切であると判断できる。

セメント産業大手によるオールジャパン体制での開発であり、実施体制は概ね妥当である。全体会議を設定し、各社間の情報共有を図ったことは開発の方向性を随時判断するために有効であると評価できる。

・(F 委員) 結果論ではあるが、計画通りの成果を上げることができたために、実施体制・運営についてはうまくいったと思われる。

【問題点・改善すべき点】

・(B 委員) 各社で開発した省エネセメント（鉱化剤、鉱物組成）の成果を実施者間で今後どのように連携／競争していくのか、事業化を見据えれば、業界全体で考える必要

がある。

- ・(C 委員) 特許を含めた成果の共有化の説明が不足しており、今後の事業化プロセスで、各社に十分な成果の活用をお願いしたい。

- ・(D 委員) より緊密な連絡体制など、担当各社が得た成果を迅速に共有してその後に活かす体制が十分ではなかったように思われる。

- ・(E 委員) 全体会議、技術委員会の設置により体制は整っているが、開催頻度、検討内容などが分からないため、どの程度プロジェクトに貢献できたか不明である。

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。

【肯定的意見】

・(A 委員) 本課題では、エネルギー原単位を 8%削減するセメント製造プロセス全体の設計提案を行うとともに、実験的検証によって実用化への技術課題が予算内で明確にでき、また、エネルギー原単位 8%削減が我が国のセメント業界全体に普及することで製造プロセスへの投入エネルギーを原油換算で年間約 38 万 kL 低減させることが期待できることから、費用対効果は妥当なものであったと考える。

・(B 委員) 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、費用対効果は高い。

・(C 委員) 本プロジェクトにおける製造プロセスの省エネ効果は大きく、投入された資源量に見合った効果が期待できる。

・(D 委員) 省エネのための技術導入によって生じる新たな検討課題など、全体の状況を勘案しながら開発を進めていた。

・(E 委員) リスクのある先端的な技術開発であるので、成果を投入資源量によって一概に評価できないが、概ね適切な成果が上げられていると考えられる。

また、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。

・(F 委員) 4 社が足並みをそろえていければ大きな費用対効果を生むと思われる。セメントは薄利多売の印象を持つが、実施することにより年間の CO₂ 発生量などにしたら大変な量になるため、実施していかなければならない。また、38 万 kL が節約できるとのことではこれがいくらに相当するのかが不明であるがある程度の年数稼働させることにより投入した予算を超える効果があると思われる。

【問題点・改善すべき点】

・(B 委員) 平成 27 年 7 月の長期エネルギー需給見通し関連資料では、2030 年に普及率 50%で省エネ量 15.1 万 kL となっている。一方、今回の成果報告では、上記のように省エネ量 38 万 kL と、より多いため問題ないのかもしれないが、普及率 100%で 38 万 kL

の省エネ効果は、普及率 50%で省エネ量 15.1 万 kL と整合性がない (100%普及で 30.2 万 kL に相当)。

また、2050 年も省エネ効果 8%で試算しているが、2050 年 (35 年後) には、更なる省エネ技術の開発が進んでいなければならないと思われるため、ここで開発した技術を 2050 年まで先延ばしせずに、早急に実用化・事業化されることを期待する。

・(C 委員) 2050 年換算ですべてのセメントで、8%の省エネ効果が見込まれているが、セメント全体に対する Nセメントの使用割合や成果による Nセメントにおける置換率が考慮されておらず、38 万 kL の根拠が曖昧である。また、予想原油価格により費用の比較を行っても良かったのではないかと。

・(D 委員) 目標達成のためには様々な技術開発が必要であろう。それらは特許、論文、投稿、発表の形で公表されるが、特に本開発に関係する論文についてはその数が多いとは言えない。中には公開が憚られるものもあるだろうが、口頭発表の数を考慮すると、より多くの論文投稿があっても良かったように思う。

・(F 委員) 38 万 kL の節約ができるというのはわかるが、この量は日本の一年の使用量の何%に相当するのか、あるいはいくらに相当するのかなどがわかるとよい。

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。

【肯定的意見】

・(A 委員) 本事業は、当面の目標の達成や各課題が計画通りに実施し有用な成果を挙げられたことを考えると全体としては評価ができる成果が得られたと考える。各要素検討においても、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、に対し、それぞれ与えられた期間内において、鉍化剤使用クリンカ少量成分の最適化を実施、省エネセメントの設計を実施、さらには、セメント工程を統括した全体シミュレータを開発等が提案、検証されたことは、評価に値する。

・(B 委員) セメント産業はエネルギー多消費産業の一つのため、国の関与の下で国内の主要なセメントメーカーと共に省エネのための研究開発を推進しなければならない重要事項である。中間評価を踏まえて研究開発項目の見直しを適切に行なうと共に、省エネ効果の大きなプロセス技術も開発しており、今後に期待できるものとなっている。

・(C 委員) セメント産業は我が国の基幹産業の一つであり、CO₂削減に向かって本研究開発・事業化を進めることは、社会的にも大きな意義のあるプロジェクトであったと言える。各個別要素技術も確実な成果を上げており、省エネ化における世界最先端のセメント産業をさらに進化させる成果を上げている。今後の事業化の推進によって、成果が結果として現れることを期待して、更なる研究開発を進めてもらいたい。

・(D 委員) 殆ど完成されているセメント製造技術を見なおして、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。このように解決が難しい問題を取り上げ、業界が一丸となって取り組んでいることは、業界全体の活性化にも繋がり、有意義である。

・(E 委員) 我が国の産業基盤を支えるセメント製造技術の高効率化の可能性を示しており、二酸化炭素排出を抑制しつつ産業の成長に貢献できるプロジェクトである。

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。

・(F 委員) セメントの省エネおよび CO₂ 排出量の低下に係わる事業に着手したということは日本の環境問題において非常に重要である。セメントは石灰石から作るのだから CO₂ を排出するのは当たり前だという考えを見直すよい機会になったのではないかと思う。このことが他の CO₂ を排出する産業にも普及することが望まれる。

【問題点・改善すべき点】

・(B 委員) 目標数値が相対的な値でしか示されておらず、若干曖昧である。また、論文発表や国内および海外での規格の検討も積極的に行ない、成果のアピールを積極的に行うべきであったと思われる。今後の普及も検討期間が長いものとなっており、いつ普及させるのか予測できないものになっている。

・(C 委員) セメント産業は、これまで各社が JIS の下で画一的な品質の製品を供給してきた。今後の製造プロセスの中で、どのような製品を供給するのかを十分検討して、事業化を進めてもらいたい。

・(D 委員) 課題の達成に伴う多くの困難が予想されることから、より緊密な連携が必要であった。また新しい技術であれば、コストの検討も同時に進めるべきであった。

・(E 委員) 開発当初から経済性の検討が不足していたように思われる。実用化シナリオが明確でない点も、コスト評価が曖昧であることに起因していると判断できる。

今後、ユーザーを巻き込んだ体制で経済性、新技術の実装について突っ込んだ検討が必要と思われる。

・(F 委員) 純粋なセメントを製造する場合における低温度化技術の成果は得られたと思うが、実際のセメント製造に当てはめた場合にどうなるのかをもう少し検討する必要があると思われる。

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、コーチング、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、クリンカー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。

【各委員の提言】

・(A 委員) 今後の成果、事業化にはまだ課題があると思われるが、これらの実現に向けた更なる検討を期待する。特に、革新的なセメント製造技術の実用化は、今後欧米のセメントメジャーと中国やインドなどの新興国セメント会社に対抗するには欠かせないものでその責任と役割が大きい。そのためには、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、コーチング、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。提案した温度計測技術は、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。また、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、クリンカー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。さらに、今後は省エネルギーの観点と同時に、環境への貢献（廃棄物使用量、CO2 利活用（エネルギー化）、熱利用など）、地域に融合した貢献もさらに期待したい。

・(B 委員) 今回の成果にはコストの試算結果が示されていない。少なくともコスト試算を行い、今後の事業化に向けたマイルストーンを示すべきである。なお、各社で事業化に向けた方針は異なると思われるため、各社毎の計画を示すと、今後の国の支援のありかたも検討できる。

・(C 委員) 日本のセメント産業が供給してきたセメントは、世界的に見ても安定して高品質なものを供給してきました。これが、日本の建設産業の根幹を支えていたと言えるでしょう。しかしながら、省エネルギー含め環境を全面に打ち出した場合に、他産業のようにコスト面の負担を受益者に求めていることは非常に少ないと思います。原材料を自国で供給できる一種の特異性が、製造コストの優良者になりすぎた側面もあります。産業構造の変化を求め、今後の技術開発の方向に加えることができれば、国際的競争力を維持し世界中のセメントメジャーに対抗できる日本のセメント産業を維持できると考えています。

・(D 委員) 現行規格を変える必要がある場合は、関係業界と十分に、かつ慎重に話し合って検討することが望まれる。

・(D 委員) 新たな技術について検討する場合は、経済的側面も考慮してほしい。

・(D 委員) 4社それぞれが分担して担当項目について検討することも大切であるが、今回のようにその達成に多くの困難が予想されるような問題解決のためには、問題を絞り込んでから全社が一丸となって問題解決に取り組むような対応が必要なのかも知れない。

・(E 委員) 本事業の目標に対して十分な検討が行われており、新規な高効率セメント製造技術の基礎的知見を確立したことは評価できる。

また、各要素技術はそれぞれ特徴ある成果を有しており、今後の活用が期待できる。

但し、本技術を当初の目標に従って推進し、事業化するためには、明確な事業化戦略を構築する必要がある。

本事業全体として、経済性評価が曖昧であり、早急に十分な評価、課題抽出を行い、次のステップに進んで頂きたい。

・(F 委員) 鉍化剤を添加することによりクリンカの製造温度を 100 度低下させることができたので、実際にこれらから作製した製品の耐久性についてさらに検討を行う必要があるのではないかと思います (180 日までで判断でよい)。

やはり、実際のセメント製造にこの事業の結果を当てはめて、実際に長期の運転が可能であるのかの実証が必要であると思われる。

9. 個別要素技術に関するコメント

①省エネ型クリンカ焼成技術開発

【成果に対する評価】

□ (A 委員) 省エネルギー型セメントは、モルタルおよびコンクリート評価試験で OPC と同等の品質であることが確認されるなどの顕著な成果を上げており、実用化への可能性が期待できるものと評価する。現状の普通ポルトランドセメントとの代替を想定した際に、本基盤研究の結果から焼成エネルギー削減効果は大きく次世代省エネセメントとして期待される材料であり今後の進展を期待する。

□ (B 委員) 鉍化剤使用による焼成温度低減、鉍物組成変更による省エネ化、高 C3A による省エネ化、を実施し、目標とする 8% 以上の省エネ効果を得ている。

□ (C 委員) N セメントと同等とした場合に、一部の耐久性の低下が危惧されます。耐久性確保の観点からセメント量を増やすようなことが起こらないようにすることが、CO₂ 削減には必要ではないか。

・ (D 委員) 事後評価であることを考えると、各社が検討結果をそれぞれ個別に説明するのではなく、目的達成に大きく貢献した項目だけについて説明する方が理解され易いと思う。そのためにも、各社のより綿密な連携体制の構築が必要である。

・ (E 委員) 未達成の部分もあるが、リスクある開発課題であり、十分な成果が達成されたと判断できる。低温焼成材料の開発により、省エネルギー製造の可能性を示したことは今後のセメント産業の新展開が期待できる。

・ (F 委員) クリンカを従来よりも低温度で製造するためには、鉍化剤として F、SO₃ あるいはセメント組成を変える B 源を使用することが有効な手段であることを明らかにされた。また、電気炉実験から、ミニプラントそして大型プラントでの実証とステップアップして目標を達成できたことは評価できる。100 度の温度低下がいかに優れているかは理解できる。これにより、CO₂ の排出、エネルギーの削減が可能となる。ただし、今後鉍化剤などに含まれる不純物の影響、さらにはセメントに含まれる不純物の影響などを検討する必要があると思われる。セメントは構造材として使用されるため、長期にわたる強度発現などについて十分に検討をしてもらいたい。

【事業化の見通しに関する評価】

□ (A 委員) 今後の課題と提示されている、焼成温度の正確な測定・管理の方法、キルン内コーティングへの影響、PH の閉塞、脱塩設備、さらに、品質および安定製造面での課題の克服を期待する。特に、省エネルギー型セメントの強熱減量、水和熱および耐硫酸塩性が OPC より劣る結果となっていることについては今後の詳細検討が望まれる。

□ (B 委員) 実キルンでの検討を早急に行い、実用化の見通しを早急につけるべきである。

□ (C 委員) 今後の事業化の工程について、見通しが曖昧な部分がある。普及のために JIS 化や JIS 変更などの工程とマイルストーンを本プロジェクトで示すべきではなかったか。

・(D 委員) 問題の指摘だけで終わっている項目もあり、その解決までには時間が必要である。また、本段階の主目的の一つが課題抽出であるが、その問題解決のための方法などを検討して明示してほしかった。

・(E 委員) 事業化戦略が示されていない。本焼成技術の経済性評価が曖昧であり、早急に検討する必要がある

・(F 委員) 同じセメントの製造においてもこの事業に参加した 4 社ともに独自のノウハウをお持ちである。このため、日本の将来のためにと 4 社が連絡を密に取り、一本化ができれば事業化は可能であり、波及効果も高まると思われる。あるいは、2 つの方法のどちらかを選択するということも選択肢の一つであるかもしれない。

この事業において得られた知見を積極的に海外に展開することも必要と思われる。

②クリンカ焼成プロセスのシミュレーション解析

【成果に対する評価】

□ (A 委員) 今回検討されたシミュレータは、既存の KilnSim をベースに原料工程からクーラー工程までを統合化されたこと、また、後半期に実施されたクリンカクーラーモデルの二次元化、造粒モデルの構築したことは、それぞれ従来解析性能を大幅に向上できる強みを持つ。今回の試みのように焼成温度を下げる場合、セメント全体システムに大きな影響を与える工程としてはキルンのみならずクリンカクーラーの影響が問題となる。その意味においても、省エネルギー型クリンカのエネルギー削減効果、キルン内温度分布、実機キルンクーラー内温度分布および粒子偏析状態の観察を可能とした今回のシミュレータ開発の意義は大きいと考える。

□ (B 委員) 計算精度の高いシミュレータを開発し、省エネ型クリンカの省エネポテンシャルを評価する等、実用的なシミュレータを開発した意義は大きい。

□ (C 委員) 各社が異なるキルンで製造する場合に、事前検討を可能とした非常に有意義な開発結果であったと考える。今後の事業化に各社で有効に活用していただきたい。

□ (D 委員) セメントプロセス全体シミュレータを開発し、ミニプラントの実験結果を利用してその有用性を確認できたことは、今後のプロセス解析に有用である。

・(E 委員) セメントシミュレーターが開発されており、今後、本プロジェクト以外にも活用可能と思われる。セメント産業にとって極めて有意義な技術と評価できる。但し、今後、シミュレーターの一般化を行って頂きたい。例えば、石炭の炭種依存性を表すための精緻なモデルを活用などの検討を行って頂きたい。

【事業化の見通しに関する評価】

□ (A 委員) 今回のキルンシミュレータの解析で得られた結果として、先ず鉱化剤使用が最も省エネポテンシャルが高いこと、高 C3A 化による省エネ効果が小さいこと、ビーライトーアウイン系は省エネ効果が大きいことが挙げられる。また、クリンカの諸率変更の中で HM 低減による省エネ効果が最も大きいこと、既存設備の改善ではクーラー効率の改善の省エネ効果が大きいこと、さらに、プラント運転条件では、現状よりもキルン長を長くし、回転数を遅くすることで熱量原単位が良化することが推測された。これらは今後の事業化においてすぐにでも対応が協議できる事案であり、今後の事業化・国際競争力の強化の指針となる。なお、今後の実装においては統合シミュレータで得られたクリンカーのサイズ変動など複雑現象に対し、これらの現象を抑制する最適運転計画などの制御アルゴリズムの提案が重要となることが予想されるため、今後も継続的な検討を期待する。

□ (B 委員) セメント産業だけのシミュレータでは波及効果が小さいため、セメント産業以外でも使えるように汎用化し、シミュレータの導入市場の拡大を図るべきである。

□ (C 委員) 異なるキルンでの製造結果とともに、さらにシミュレーション技術の持続的開発に取り組んでいただきたい。

□ (D 委員) シミュレータを利用した実機製造を実行して課題を明らかにし、その対策を早急に検討する必要がある。

・(E 委員) 本プロジェクトの事業化に対してもかなりの貢献が出来ると思われるが、独立した技術としての活用も期待できる。

③クリンカ焼成プロセスの計測技術開発

【成果に対する評価】

□ (A 委員) キルン内温度計測技術開発において、スペクトル計測等による炉内環境模擬試験装置の試作および放射線温度計による手法どちらにおいても、低温化による粉塵などの外乱を含む困難な測定環境の中、実機キルンによる実証ならびに測定精度や耐久性等の検証が行われていることから、いずれも当初の目的が達成できているものと考ええる。

□ (B 委員) 高精度キルン内温度計測に関し、ダストキャンセル法では放射輝度測定器の指向性を向上させることで計測精度の向上が期待できることを示すなど、一定の成果があった。

□ (C 委員) 温度測定の精度が、今回の製造プロセスの実用化時の管理温度を決め、省エネ効果を決めることに繋がります。特許を含め、測定方法の確立の意義は大きいと考えます。

□ (D 委員) ダストキャンセル法を用いることによってクリンカ製造時の測温が可能であることを明らかにし、その有用性を実機のクリンカ製造工程にて確認した。この結果

を利用したキルン内の反応解析の進展が大いに期待される。

・(E 委員) 新規で精度の高い測定技術が開発されており、高く評価できる。

他分野での応用も期待できる。

【事業化の見通しに関する評価】

□ (A 委員) 今後事業化において、例えば放射線温度計でのダストキャンセル法は炉内環境模擬試験装置を使った検証試験でもその有効性が検証されている。さらに、クリンカ温度、粉塵温度、粉塵濃度、炉内壁温度を仮定して行ったモデル計算により、理論的には放射輝度測定器の指向性向上により、計測精度の向上が期待できることを示している。炉内環境模擬試験装置を使った検証試験でも、粉塵温度、粉塵濃度、クリンカ温度の計測が可能などその有効性が検証されており、このことは本手法を含む放射線温度計が今後の事業化に大いに有望であることが示唆できる。

□ (B 委員) 種々検討した中で、ダストキャンセル法のみが実キルン内の温度計測に使用できる結果となっている。シミュレータと同じように、セメント産業だけの温度計測技術では波及効果が小さいため、セメント産業以外で適用できそうな市場調査をしっかりと行い事業化する必要がある。

□ (C 委員) 測定方法とノウハウの共有化を進めていることが、事業の普及化に貢献すると考えます。

□ (D 委員) 指向性を考慮することによって測温精度が向上するため、焼成の効率向上による省エネ化が期待される。

・(E 委員) 本プロジェクトでも活用できるが、独立した技術としての事業化も期待できる。

第 4 章 評点法による評点結果

第 4 章 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」に係るプロジェクト評価の実施に併せて、以下に基づき、本評価検討会委員による「評点法による評価」を実施した。その結果は「3. 評点結果」のとおりである。

1. 趣 旨

評点法による評価については、産業技術審議会評価部会の下で平成 11 年度に評価を行った研究開発事業（39 プロジェクト）について「試行」を行い、本格的導入の是非について評価部会において検討を行ってきたところである。その結果、第 9 回評価部会（平成 12 年 5 月 12 日開催）において、評価手法としての評点法について、

(1) 数値での提示は評価結果の全体的傾向の把握に有効である、

(2) 個々のプロジェクト毎に評価者は異なっても相対評価はある程度可能である、との判断がなされ、これを受けて今後のプロジェクト評価において評点法による評価を行っていくことが確認されている。

これらを踏まえ、プロジェクトの中間・事後評価においては、

(1) 評価結果をできる限りわかりやすく提示すること、

(2) プロジェクト間の相対評価がある程度可能となるようにすること、

を目的として、評価委員全員による評点法による評価を実施することとする。

本評点法は、各評価委員の概括的な判断に基づき点数による評価を行うもので、評価報告書を取りまとめる際の議論の参考に供するとともに、それ自体評価報告書を補足する資料とする。また、評点法は研究開発制度評価にも活用する。

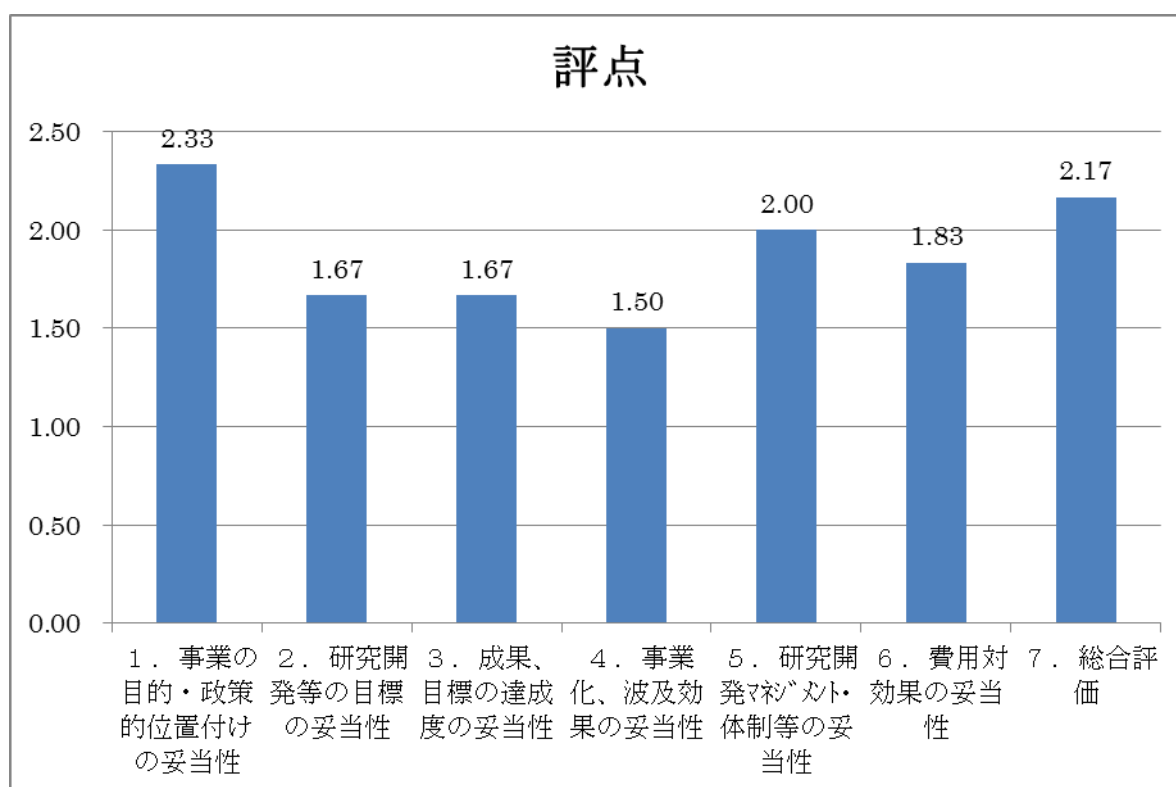
2. 評価方法

- ・ 各項目ごとに 4 段階（A（優）、B（良）、C（可）、D（不可）〈a, b, c, d も同様〉）で評価する。
- ・ 4 段階はそれぞれ、A（a）= 3 点、B（b）= 2 点、C（c）= 1 点、D（d）= 0 点に該当する。
- ・ 評価シートの記入に際しては、評価シートの《判定基準》に示された基準を参照し、該当と思われる段階に○を付ける。
- ・ 大項目（A, B, C, D）及び小項目（a, b, c, d）は、それぞれ別に評点を付ける。
- ・ 総合評価は、各項目の評点とは別に、プロジェクト全体に総合点を付ける。

3. 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



經濟產業省技術評価指針

平成 2 6 年 4 月

目次	1
経済産業省技術評価指針の位置付け	2
I. 評価の基本的考え方	6
1. 評価目的	6
2. 評価の基本理念	6
3. 指針の適用範囲	7
4. 評価の類型・階層構造及びリンケージ	7
5. 評価方法等	8
6. 評価結果の取扱い等	9
7. 評価システムの不断の見直し	9
8. 評価体制の充実	9
9. 評価者（外部有識者）データベースの整備	9
10. 評価における留意事項	10
II. 評価の類型と実施方法	12
1. 研究開発プログラムの評価	12
1－1. 複数の研究開発課題によって構成されるプログラムの評価	12
(1) 事前評価	12
(2) 中間評価	12
(3) 終了時評価	13
1－2. 競争的資金制度等の研究資金制度プログラムの評価	14
(1) 事前評価	14
(2) 中間評価	14
(3) 終了時評価	15
2. 研究開発課題（プロジェクト）の評価	16
(1) 事前評価	16
(2) 中間評価	16
(3) 終了時評価	17
3. 追跡調査・追跡評価	18
3－1. 追跡調査	18
3－2. 追跡評価	18

経済産業省技術評価指針の位置付け

経済産業省技術評価指針（以下、「本指針」という。）は、経済産業省が、経済産業省における研究開発プログラム及び研究開発課題（以下、「研究開発プログラム・課題」という。）の評価を行うに当たって配慮しなければならない事項を取りまとめたものである。

本指針は、「産業技術力強化法」（平成12年法律第44号）第10条の規定、「科学技術基本計画」（平成23年8月閣議決定）、「研究開発システムの改革の推進等による研究開発能力の強化及び研究開発等の効率的推進等に関する法律」（平成20年法律第63号）第34条の規定及び「国の研究開発評価に関する大綱的指針」（平成24年12月内閣総理大臣決定）（以下、「大綱的指針」という。）に沿った適切な評価を遂行するための方針を示す。

同時に、「行政機関が行う政策の評価に関する法律」（平成13年法律第86号）（以下、「政策評価法」という。）に基づく「経済産業省政策評価基本計画」（以下、「政策評価基本計画」という。）に沿った、経済産業省政策評価のうち研究開発に関する部分の実施要領としての性格を持つ。したがって、研究開発プログラム・課題についての評価の結果は、政策評価基本計画に基づき実施される事前評価及び事後評価に適切に反映・活用を図る。

技術評価は、政策評価法上要請される評価を含め政策評価の一環としての位置付けを有することから、本指針は、研究開発プログラム・課題の成果や実績等を厳正に評価し、それを後の研究開発プログラム・課題の企画立案等に反映させる政策サイクルの一環としての評価の在り方について定めるものである。

ただし、研究開発プログラム・課題に係る評価は、研究開発の内容や性格、実施体制等の態様に応じた評価方法に拠るべきであるとともに、評価の厳正さと効率性を両立するためには、評価をとりまく様々な状況に応じた臨機応変な評価手順を設定する必要がある。さらに、評価手法は日進月歩であり、今後よりよい評価手法が提案されることも十分考えられる。したがって、本指針では共通的なルール及び配慮事項を取り上げることとし、より詳細な実施のプロトコルは評価マニュアルの作成等により記述することで、機動的な実施を図ることとする。

当省研究開発機関が自ら実施する評価をその機関の自己改革の契機とするような自律的なシステムの構築に努め、研究開発を実施する当省研究開発機関が、大綱的指針及び本指針に沿って、研究開発評価の実施に関する事項について、明確なルールを定め、研究開発評価の実施及び評価結果の活用が適切かつ責任を持って行うよう、所管官庁としての責務を果たすものとする。

◎本指針における用語については、次に定めるところによる。

- ・研究開発プログラム： 「上位施策の目標達成に向けて複数の研究開発課題を含む各手段を組み立てた計画や手順に基づく取組」及び「上位施策目標との関連性を明確にし、検証可能な目標を設定した研究資金制度」をいう。

（注１）「政策評価の実施に関するガイドライン」（平成１７年１２月１６日政策評価各府省連絡会議了承。以下「政評ガイドライン」という。）においては、各行政機関が所掌する政策を、「政策（狭義）」、「施策」及び「事務事業」の三階層に区分整理するところであり、その定義は次のとおり。

- ・政策（狭義）： 特定の行政課題に対応するための基本的な方針の実現を目的とする行政活動の大きなまとまり。
- ・施策： 上記の「基本的な方針」に基づく具体的な方針の実現を目的とする行政活動のまとまりであり、「政策（狭義）」を実現するための具体的な方策や対策ととらえられるもの。
- ・事務事業： 上記の「具体的な方策や対策」を具現化するための個々の行政手段としての事務及び事業であり、行政活動の基礎的な単位となるもの。

（注２）第４期科学技術基本計画においては、研究開発の政策体系は、「政策」、「施策」、「プログラム・制度」及び「研究開発課題」の四階層に区分整理するところである。政評ガイドラインとの関係では、当該「プログラム・制度」及び「研究開発課題」は、ともに政評ガイドラインにおける「事務事業」に該当するものと整理されているところである。

- ・研究開発課題（プロジェクト）： 具体的に研究開発を行う個別の実施単位であり、当省が定めた明確な目的や目標に沿って実施されるものをいう。

なお、大綱的指針においては、競争的資金制度等の「研究資金制度」における個々の採択課題も「研究開発課題」と称呼されているところであるが、本指針においては、混同を避けるため、当該各採択課題は「研究課題」と称呼するものとする。

- ・研究資金制度： 資金を配分する主体が研究課題を募り、提案された中から採択した研究課題に研究開発資金を配分する制度をいう。競争的資金制度は、これに含まれる。

なお、「上位施策目標との関連性を明確にし、検証可能な目標を設定した研究資金制度（以下、「研究資金制度プログラム」という）」については、大綱的指針における整理に従い、本指針においても「研究開発プログラム」の一つとして取り扱うものとする。

- ・競争的資金制度： 資金を配分する主体が、広く一般の研究者（研究開発に従事している者又はそれらの者から構成されるグループをいう。）、企業等又は特定の研究者、企業等を対象に、特定の研究開発領域を定め、又は特定の研究開発領域を定めずに研究課題を募り、研究者、企業等か

ら提案された研究課題の中から、当該課題が属する分野の専門家（当該分野での研究開発に従事した経験を有する者をいう。）を含む複数の者による、研究開発の着想の独創性、研究開発成果の先導性、研究開発手法の斬新性その他の科学的・技術評価又は経済的・社会的評価に基づき研究課題を採択し、当該研究課題の研究開発を実施する研究者等又は研究者等が属する組織若しくは企業等に研究開発資金を配分する制度をいう。

- ・ 当省研究開発機関： 国からの出資、補助等の交付を受けて研究開発を実施し、又は研究開発の運営管理を行う機関のうち、当省所管の独立行政法人をいう。
- ・ 政策評価書： 本指針において用いる「政策評価書」とは経済産業省政策評価実施要領を踏まえた評価書をいう。
- ・ 政策サイクル： 政策の企画立案・実施・評価・改善（plan-do-check-action）の循環過程をいう。
- ・ 評価システム： 評価目的、評価時期、評価対象、評価方法等、評価に係るあらゆる概念、要素を包含した制度、体制の全体をいう。
- ・ 推進課： 研究開発プログラム・課題を推進する課室（研究開発担当課室）をいう。
- ・ 主管課： 研究開発プログラム・課題の企画立案を主管する課室及び予算等の要求事項を主管する課室をいう。
- ・ 査定課： 予算等の査定を行う課室（大臣官房会計課、資源エネルギー庁総合政策課等）をいう。
- ・ 有識者： 評価対象となる研究開発プログラム・課題について知見を有する者及び研究開発成果の経済的・社会的意義につき評価できる者（マスコミ、ユーザ、人文・社会学者、投資家等）をいう。
- ・ 外部評価者： 経済産業省に属さない外部の有識者であって、評価対象となる研究開発プログラム・課題の推進に携わっていない者をいう。
- ・ 外部評価： 外部評価者による評価をいい、評価コメントのとりまとめ方法としてパネルレビュー（評価者からなる委員会を設置（インターネット等を利用した電子会議を含む。）して評価を行う形態）による場合とメールレビュー（評価者に対して郵便・FAX・電子メール等の手段を利用して情報を提供し、評価を行う形態）による場合とがある。
- ・ 評価事務局： 研究開発プログラム・課題の評価の事務局となる部署をいい、評価者の行う評価

の取りまとめ責任を負う。

- ・評価者： 評価の責任主体をいい、パネルレビューによる場合には外部評価者からなる委員会が責任主体となり、メールレビューによる場合には、各外部評価者がそれぞれ責任主体となる。また、評価の結果を踏まえて、資源配分の停止や変更、研究開発プログラム・課題の内容の変更に責任を有するのは研究開発プログラム・課題の推進課及び主管課である。
- ・終了時評価： 事業終了時に行う評価であり、事業が終了する前の適切な時期に行う終了前評価と事業の終了直後に行う事後評価がある。
- ・アウトプット指標： 成果の現象的又は形式的側面であり、主として定量的に評価できる、活動した結果の水準を測る指標をいう。
- ・アウトカム指標： 成果の本質的又は内容的側面であり、活動の意図した結果として、定量的又は定性的に評価できる、目標の達成度を測る指標をいう。

I. 評価の基本的考え方

1. 評価目的

(1) より良い政策・施策への反映

評価を適切かつ公正に行うことにより、研究者の創造性が十分に発揮されるような、柔軟かつ競争的で開かれた研究開発環境の創出など、より良い政策・施策の形成等につなげること。

(2) より効率的・効果的な研究開発の実施

評価を支援的に行うことにより、研究開発の前進や質の向上、独創的で有望な優れた研究開発や研究者の発掘、研究者の意欲の向上を促すことにより、研究開発を効果的・効率的に推進すること。

(3) 国民への技術に関する施策・事業の開示

高度かつ専門的な内容を含む研究開発プログラム・課題の意義や内容について、一般国民にわかりやすく開示すること。

(4) 資源の重点的・効率的配分への反映

評価の結果を研究開発プログラム・課題の継続、拡大・縮小・中止など資源の配分へ反映させることにより資源の重点化及び効率化を促進すること。

また、評価の結果に基づく適切な資源配分等を通じて、研究開発を次の段階に連続してつなげることなどにより、その成果の利用、活用に至るまでの一体的、総合的な取組を推進し、研究開発成果の国民・社会への還元の効率化・迅速化に資すること。

2. 評価の基本理念

評価の実施に当たっては、以下の考え方を基本理念とする。

(1) 透明性の確保

推進課、主管課及び当省研究開発機関は、積極的に研究開発成果を公開し、その内容について広く有識者等の意見を聴くこと。評価事務局においては、透明で公正な評価システムの形成、定着を図るため、評価手続、評価項目・評価基準を含めた評価システム全般についてあらかじめ明確に定め、これを公開することにより、評価システム自体を誰にも分かるものとするとともに、評価結果のみならず評価の過程についても可能な限り公開すること。

(2) 中立性の確保

評価を行う場合には、被評価者に直接利害を有しない中立的な者による外部評価の導入等により、中立性の確保に努めること。

(3) 継続性の確保

研究開発プログラム・課題においては、個々の評価がそれ自体意義を持つだけではなく、評価とそれを反映した研究開発プログラム・課題の推進というプロセスを繰り返していく時系列のつながりにも意義がある。したがって、推進課及び主管課にとって評価結果を後の研究開発プログラム・課題の企画立案等に反映させる際に有用な知見を抽出し、継続性のある評価方法で評価を行うこと。

(4) 実効性の確保

政策目的に照らし、効果的な研究開発プログラム・課題が行われているか判断するための効率的評価が行われるよう、明確で実効性のある評価システムを確立・維持するとともに、研究開発プログラム・課題の運営に支障が生じたり、評価者及び被評価者双方に過重な負担をかけることのない費用対効果の高い評価を行うこと。

3. 指針の適用範囲

(1) 本指針においては、多面的・階層的な評価を行う観点から、経済産業省における研究開発プログラム・課題を基本的な評価対象とする。

(2) 国費（当省予算）の支出を受けて研究開発プログラム・課題を実施する当省研究開発機関、民間企業、大学・公設試験研究機関等について、当該研究開発プログラム・課題の評価の際に、これら機関における当該研究開発プログラム・課題に係る研究開発実施体制・運営面等に関し、国費の效果的・効率的執行を確保する観点から、必要な範囲で評価を行う。

(3) 上記(1)及び(2)の規定にかかわらず、当省研究開発機関が運営費交付金により自ら実施し、又は運営管理する研究開発プログラム・課題については、独立行政法人通則法（平成11年法律第103号）及び大綱的指針に基づいて実施されるものであることから、原則として本指針による評価の対象としない。その他、公的第三者機関において技術的事項も含めて事業内容の評価検討等がなされることとなった研究開発プログラム・課題についても、原則として本指針による評価の対象としない。

(4) 評価の種類としては、この他に当省研究開発機関における研究者等の業績の評価が存在するが、これは当該機関の長が評価のためのルールを整備した上で、責任を持って実施することが基本であり、本指針による評価の対象としない。

4. 評価の類型・階層構造及びリンクージ

(1) 実施時期による類型

評価はその実施時期により、事前評価、中間評価、終了時評価及び追跡評価に類型化される。

(2) 評価の階層構造及び施策階層における評価

経済産業省における技術評価は、「研究開発プログラム」階層又は「研究開発課題」階層における評価を基本とするが、政策効果をあげるために特に必要があると認められるときには、「施策」階層において、関連する複数の研究開発プログラム・課題が有機的に連携をとって体系的に政策効果をあげているかを評価することとする。当該「施策（階層における）評価」は、それを構成する研究開発プログラム又は研究開発課題における評価結果を活用し、研究開発プログラムの評価に準じて実施するものとする。

(3) 実施時期による評価のリンケージ

中間評価、終了時評価は、研究開発プログラム・課題の達成状況や社会経済情勢の変化を判断し、計画の見直しや後継事業への展開等の是非を判断するものである。また、事前評価での予想が実際にどのような結果となったか、予算措置は妥当であったか等を確認することにより、事前評価の方法を検証し得るものである。したがって、中間評価、終了時評価の結果をその後の産業技術政策・戦略の企画立案や、より効果的な事前評価の評価手法の確立に反映させるよう努めるものとする。

5. 評価方法等

厳正な評価を行うためには、評価方法、評価項目等に客観性を持たせることが必要であることから、本指針をはじめ評価実施に係る諸規程等を整備の上、公開するものとする。

技術評価室は本指針を踏まえ、評価マニュアル等を策定するとともに、円滑な評価の実施のための指導及び評価システムの維持管理を行う。

(1) 事業原簿

研究開発プログラム・課題の基本実施計画書、政策評価書等をもって事業原簿とする。推進課又は主管課は、事業原簿を作成・改定した場合は、速やかにその写しを技術評価室へ提出する。

(2) 評価項目・評価基準

評価の類型及び研究開発プログラム・課題の態様に応じて標準的な評価項目・評価基準を技術評価室が別に定めることとする。

(3) 評価手法

評価の類型に応じて適切な評価手法を用いるものとする。

(4) 評価の簡略化

評価の実施に当たっては、評価コストや被評価者側の過重な負担を回避するため、研究開発プログラムの評価においては、合理的と考えられる場合には、研究開発課題の評価を省略又は簡略化することができるものとする。また、評価対象となる事業に係る予算額が比較的小額である場合には、評価項目を限定する等の簡略化を行うことができるものとする。

なお、省略及び簡略化の標準的な方法については技術評価室が別に定める。

6. 評価結果の取扱い等

(1) 評価結果の取扱い

評価事務局は、評価終了後速やかに評価書の写しを技術評価室に提出する。技術評価室は全ての評価結果について、これまでに実施された関連調査及び評価の結果、評価の実施状況等を踏まえつつ意見をまとめ、査定課及び政策評価広報課に報告する。

主管課、推進課は、評価結果を踏まえ、必要に応じ、研究開発プログラム・課題の運営見直し・改善等を図るものとする。

(2) 予算査定との関係

査定課は、技術評価室から事前評価、中間評価及び終了前評価の評価書の提出を受けた場合は、技術評価室の意見を踏まえつつ研究開発プログラム・課題の査定等を行う。

(3) 評価結果等の公開の在り方

評価結果及びこれに基づいて講ずる又は講じた措置については、機密の保持が必要な場合を除き、個人情報や企業秘密の保護、知的財産権の取得等に配慮しつつ、一般に公開することとする。

なお、事前評価については、政策立案過程の透明化を図る観点から、評価事務局は予算が経済産業省の案として確定した後に、公開するものとする。

7. 評価システムの不断の見直し

いかなる評価システムにおいても、評価は評価者の主観的判断によってなされるものであり、その限りにおいては、完璧な客観性、公平性を求めることは困難である。したがって、評価作業が終了するごとにその評価方法を点検し、より精度の高いものとしていく努力が必要である。また、本指針については、こうした一連の作業を踏まえ、原則として毎年度見直しの要否を検討する。

8. 評価体制の充実

評価体制の充実を図るため、研究者を評価者として活用するなどにより、評価業務に携わる人材を育成・確保するとともに、評価の実施やそれに必要な調査・分析、評価体制の整備等に要する予算を確保する。

9. 評価者（外部有識者）データベースの整備

技術評価室は、国内外の適切な評価者を選任できるようにするため、及び個々の評価において普遍性・信頼性の高い評価を実現するため、研究開発プログラム・課題に係る外部有識者（評価者）データベースを整備する。

10. 評価における留意事項

(1) 評価者と被評価者との対等性

① 評価者と被評価者との関係

評価作業を効果的に機能させるためには、評価者と被評価者の双方が積極的にその知見と情報を提供し合うという協調的関係と、評価者もその評価能力を評価されるという意味で、評価者と被評価者とが相互に相手进行评估するという緊張関係とを構築し、この中で、討論を行い、評価を確定していく必要がある。この際、評価者は、不十分な成果等を被評価者が自ら進んで提示しない事実があるかどうかを見極める能力が要求される。一方、被評価者は、評価対象の研究開発プログラム・課題の位置付けを明確に認識するとともに、評価結果を正確に理解し、確実にその後の研究開発プログラム・課題の創設、運営等に反映させていくものとする。

② 評価者に係る留意事項

研究開発成果を、イノベーションを通じて国民・社会に迅速に還元していく観点から、産業界の専門家等を積極的に評価者に選任する。

③ 被評価者に係る留意事項

被評価者は、評価を事業の質をより高めるものとして積極的に捉え、評価は評価者と被評価者の双方の共同作業であるとの認識の下、真摯な対応を図ることが必要である。

(2) 評価の不確実性

評価時点では見通し得なかった技術、社会情勢の変化が将来的に発生し得るという点で評価作業は常に不確実性を伴うものである。したがって、評価者は評価の精度の向上には、必然的に限界があることを認識した上で、評価時点で最良と考えられる評価手法をとるよう努めることが必要である。かかる観点からは、厳正さを追求するあまりネガティブな面のみを過度に減点法で評価を行うこととなると、将来大きな発展をもたらす技術を阻害するおそれがある点にも留意する必要がある。また、成果に係る評価において、目標の達成度合いを評価の判定基準にすることが原則であるが、併せて、副次的成果等、次につながる成果を幅広い視野からとらえる。

(3) その他の留意事項

① 評価人材としての研究者の活用

研究者には、研究開発の発展を図る上で専門的見地からの評価が重要な役割を果たすものであることから、評価者としての評価への積極的参加が求められる。一方、特定の研究者に評価実施の依頼が集中する場合には、評価への参加が大きな負担となり、また、評価者となる幅広い人材の養成確保にもつながらないことから、海外の研究者や若手研究者も評価者として積極的に参加させることなどにより評価者確保の対象について裾野の拡大を図るよう努める。

② 所期の成果を上げられなかった研究開発

研究開発は必ずしも成功するとは限らず、また、失敗から貴重な教訓が得られることもある。したがって、失敗した場合には、まずその原因を究明し、今後の研究開発にこれを活かすことが重要であり、成果を上げられなかったことをもって短絡的に従事した研究者や組織、機関を否定的に評価すべきものではない。また、評価が野心的な研究開発の実施の阻害要因とならないよう留意しなければならない。

③ アウトプット指標及びアウトカム指標の活用等

評価の客観性を確保する観点から、アウトプット指標やアウトカム指標による評価手法を用いるよう努める。ただし、論文の被引用度数、特許の申請状況等による成果の定量的評価は一定の客観性を有するが、研究開発プログラム・課題においては研究分野や内容により、その意味は大きく異なり得るものであり、必ずしも研究開発成果の価値を一義的に表すものではない。したがって、これらを参考資料として有効に活用しつつも、偏重しないよう留意すべきである。

④ 評価結果の制度間での相互活用

研究開発をその評価の結果に基づく適切な資源配分等を通じて次の段階の研究開発に連続してつなげるなどの観点から、関係府省、研究開発機関及び制度を越えて相互活用するよう努める。

⑤ 自己点検の活用

評価への被評価者等の主体的な取組を促進し、また、評価の効率的な実施を推進するため、推進課及び主管課は、自ら研究開発プログラム・課題の計画段階において具体的かつ明確な目標とその達成状況の判定基準等を明示し、研究開発プログラム・課題の開始後には目標の達成状況、今後の発展見込み等の自己点検を行い、評価者はその内容の確認などを行うことにより評価を行う。

⑥ 評価の国際的な水準の向上

研究開発の国際化への対応に伴い、評価者として海外の専門家を参加させる、評価項目に国際的なベンチマーク等を積極的に取り入れるなど評価に関して、実施体制や実施方法などの全般にわたり、評価が国際的にも高い水準で実施されるよう取り組む。

Ⅱ．評価の種類と実施方法

1．研究開発プログラムの評価

1－1．複数の研究開発課題によって構成される研究開発プログラム（以下「複数課題プログラム」）の評価

(1) 事前評価

① 評価者

外部評価者

② 被評価者

推進課及び主管課

③ 評価事務局

推進課及び主管課。ただし、必要に応じて技術評価室が行うこともできる。

④ 評価手法

外部評価を行う。

⑤ 評価項目・評価基準

技術評価室が定める標準的な評価項目・評価基準又は評価者が定めるものとする。

⑥ 実施時期

「複数課題プログラム」の創設時（プログラム構成要素として最初に実施する「研究開発課題（プロジェクト）」の初年度予算要求時）に、当該プログラム全体に係る「事前評価」を実施する。

これに加え、既に実施中の複数課題プログラムにおいて、新たな「研究開発課題」を実施する前（初年度予算要求時）に、当該研究開発課題に係る「事前評価」を実施するものとする。

(2) 中間評価

① 評価者

外部評価者

② 被評価者

推進課及び主管課

③ 評価事務局

推進課及び主管課。ただし、必要に応じて技術評価室が行うこともできる。

④ 評価手法

外部評価を行う。

⑤ 評価項目・評価基準

技術評価室が定める標準的な評価項目・評価基準又は評価者が定めるものとする。

⑥ 実施時期

複数課題プログラムを構成する各「研究開発課題」が終了する各年度中に、当該プログラム全体に係る中間評価を実施する。（ただし、当該研究開発課題の終了をもって複数課題プログラム全体が終了する場合にあっては、当該プログラム全体の終了時評価（終了前評価又は事後評価）を行うものとし、前記中間評価は実施しない。）

なお、複数課題プログラムを構成する一の「研究開発課題」の実施期間が5年以上である場合にあっては、必要に応じ、上記中間評価の実施に加え、当該研究開発課題事業の開始から3年程度ごとを目安として、当該プログラム全体に係る中間評価を行うものとする。

(3) 終了時評価

① 評価者

外部評価者

② 被評価者

推進課及び主管課

③ 評価事務局

推進課及び主管課。ただし、必要に応じて技術評価室が行うこともできる。

④ 評価手法

外部評価を行う。

⑤ 評価項目・評価基準

技術評価室が定める標準的な評価項目・評価基準又は評価者が定めるものとする。

⑥ 実施時期

複数課題プログラム全体の終了時に実施する。

ただし、当該プログラムの成果を切れ目なく次の研究開発プログラム等につなげていく場合には、当該プログラムが終了する前の適切な時期に終了時評価（終了前評価）を行うこととし、その他の場合には、当該プログラムの終了直後に終了時評価（事後評価）を行うものとする。

1－2．競争的資金制度等の研究資金制度プログラムの評価

(1) 事前評価

① 評価者

外部評価者

② 被評価者

推進課及び主管課

③ 評価事務局

推進課及び主管課。ただし、必要に応じて技術評価室が行うこともできる。

④ 評価手法

外部評価を行う。

⑤ 評価項目・評価基準

技術評価室が定める標準的な評価項目・評価基準又は評価者が定めるものとする。

⑥ 実施時期

新規の研究資金制度プログラムの創設時（初年度予算要求時）に行う。

(2) 中間評価

① 評価者

外部評価者

② 被評価者

推進課及び主管課

③ 評価事務局

推進課及び主管課。ただし、必要に応じて技術評価室が行うこともできる。

④ 評価手法

外部評価を行う。

⑤ 評価項目・評価基準

技術評価室が定める標準的な評価項目・評価基準又は評価者が定めるものとする。

⑥ 実施時期

実施期間が5年以上の研究資金制度プログラム又は実施期間の定めのない研究資金制度プログラムについて、3年程度ごとに行う。

(3) 終了時評価

① 評価者

外部評価者

② 被評価者

推進課及び主管課

③ 評価事務局

推進課及び主管課。ただし、必要に応じて技術評価室が行うこともできる。

④ 評価手法

外部評価を行う。

⑤ 評価項目・評価基準

技術評価室が定める標準的な評価項目・評価基準又は評価者が定めるものとする。

⑥ 実施時期

研究資金制度プログラムの終了時に実施する。

ただし、当該研究資金制度プログラムの成果を切れ目なく次の研究資金制度プログラム等につなげていく場合には、当該研究資金制度プログラムが終了する前の適切な時期に終了時評価（終了前評価）を行うこととし、その他の場合には、当該研究資金制度プログラム終了直後に終了時評価（事後評価）を行うものとする。

2. 研究開発課題（プロジェクト）の評価

(1) 事前評価

① 評価者

外部評価者

② 被評価者

推進課及び主管課

③ 評価事務局

推進課及び主管課。ただし、必要に応じて技術評価室が行うこともできる。

④ 評価手法

外部評価を行う。

⑤ 評価項目・評価基準

技術評価室が定める標準的な評価項目・評価基準又は評価者が定めるものとする。

⑥ 実施時期

新規の研究開発課題（プロジェクト）の創設時（初年度予算要求時）に行う。

(2) 中間評価

① 評価者

外部評価者

② 被評価者

推進課及び主管課

③ 評価事務局

推進課及び主管課。ただし、必要に応じて技術評価室が行うこともできる。

④ 評価手法

外部評価を行う。

⑤ 評価項目・評価基準

技術評価室が定める標準的な評価項目・評価基準又は評価者が定めるものとする。

⑥ 実施時期

実施期間が5年以上の研究開発課題（プロジェクト）又は実施期間の定めのない研究開発課題（プロジェクト）について、3年程度ごとに行う。

(3) 終了時評価

① 評価者

外部評価者

② 被評価者

推進課及び主管課

③ 評価事務局

推進課及び主管課。ただし、必要に応じて技術評価室が行うこともできる。

④ 評価手法

外部評価を行う。

⑤ 評価項目・評価基準

技術評価室が定める標準的な評価項目・評価基準又は評価者が定めるものとする。

⑥ 実施時期

研究開発課題（プロジェクト）の終了時に実施する。

ただし、当該研究開発課題（プロジェクト）の成果を切れ目なく次の研究開発課題（プロジェクト）等につなげていく場合には、当該研究開発課題（プロジェクト）が終了する前の適切な時期に終了時評価（終了前評価）を行うこととし、その他の場合には、当該研究開発課題（プロジェクト）終了直後に終了時評価（事後評価）を行うものとする。

3. 追跡調査・追跡評価

3－1. 追跡調査

終了した研究開発プログラム・課題を対象として、終了後数年間にわたり、その研究開発活動や研究開発成果が産業、社会に及ぼした効果等について調査を行う。

3－2. 追跡評価

終了して数年経った国費（当省予算）投入額の大きな研究開発プログラム・課題を対象として、その研究開発活動や研究開発成果が産業、社会に及ぼした効果等について外部評価を行う。

(1) 評価者

外部評価者

(2) 被評価者

評価対象となる研究開発プログラム・課題に携わった推進課及び主管課

(3) 評価事務局

推進課及び主管課。ただし、必要に応じて技術評価室が行うこともできる。

(4) 評価手続・評価手法

過去の事業原簿等の文献データ、関連部署・機関及びその他関係者等からの聞き取り調査等による情報を基にパネルレビュー又は第3者機関への委託による外部評価を行う。

(5) 評価項目・評価基準

技術評価室が定める標準的な評価項目・評価基準又は評価者が定めるものとする。

(6) 実施時期

研究開発プログラム・課題終了後、成果の産業社会への波及が見極められる時点とする。

経済産業省技術評価指針に基づく
標準的評価項目・評価基準

平成27年4月

経済産業省産業技術環境局

技術評価室

目 次

ページ

はじめに	1
I . 研究開発プログラム(複数課題プログラム、研究資金制度プログラム) の評価項目・評価基準	3
I - 1. 複数課題プログラムの評価項目・評価基準	3
I - 1 - (1) 事前評価	3
I - 1 - (2) 中間評価	4
I - 1 - (3) 終了時評価	6
I - 2. 研究資金制度プログラムの評価項目・評価基準.....	8
I - 2 - (1) 事前評価	8
I - 2 - (2) 中間評価	9
I - 2 - (3) 終了時評価	10
II . 研究開発課題(プロジェクト)の評価項目・評価基準	13
II - (1) 事前評価	13
II - (2) 中間評価	14
II - (3) 終了時評価	16
III . 追跡評価の評価項目・評価基準	18

はじめに

研究開発評価に当たっては、公正性、信頼性さらには実効性の観点から、その対象となる研究開発の特性や評価の目的等に応じて、適切な評価項目・評価基準を設定して実施することが必要である。

本標準的評価項目・評価基準は、経済産業省における技術に関する施策及び技術に関する事業の評価を行うに当たって配慮しなければならない事項を取りまとめたガイドラインである経済産業省技術評価指針に基づき、評価方法、評価項目等に一貫性を持たせるために、標準的なものとして、技術評価室が定めるものである。

用語の解説

本規程における用語については、「国の研究開発評価に関する大綱的指針」(平成24年12月6日内閣総理大臣決定)及び同解説書並びに「経済産業省技術評価指針」(平成26年4月)に従い、次に定めるところによる。

・研究開発プログラム:「上位施策の目標達成に向けて複数の研究開発課題を含む各手段を組み立てた計画や手順に基づく取組」及び「上位施策目標との関連性を明確にし、検証可能な目標を設定した研究資金制度」をいう。

・研究開発課題(プロジェクト):具体的に研究開発を行う個別の実施単位であり、当省が定めた明確な目的や目標に沿って実施されるものをいう。

なお、大綱的指針においては、競争的資金制度等の「研究資金制度」における個々の採択課題も「研究開発課題」と称呼されているところであるが、混同を避けるため、当該各採択課題は「研究課題」と称呼するものとする。

・研究資金制度:資金を配分する主体が研究課題を募り、提案された中から採択した研究課題に研究開発資金を配分する制度をいう。競争的資金制度は、これに含まれる。

なお、「上位施策目標との関連性を明確にし、検証可能な目標を設定した研究資金制度(以下「研究資金制度プログラム」という。)」については、大綱的指針における整理に従い、「研究開発プログラム」の一つとして取り扱うものとする。

・競争的資金制度:資金を配分する主体が、広く一般の研究者(研究開発に従事している者又はそれらの者から構成されるグループをいう。)、企業等又は特定の研究者、企業等を対象に、特定の研究開発領域を定め、又は特定の研究開発領域を定めずに研究課題を募り、研究者、企業等から提案された研究課題の中から、当該課題が属する分野の専門家(当該分野での研究開発に従事した経験を有する者をいう。)を含む複数の者による、研究開発の着想の独創性、研究開発成果の先導性、研究開発手法の斬新性その他の科学的・技術評価又は経済的・社会的評価に基づき研究課題を採択し、当該研究課題の研究開発を実施する研究者等又は研究者等が属する組織若しくは企業等に研究開発資金を配分する制度をいう。

(注1)「政策評価の実施に関するガイドライン」(平成17年12月16日政策評価各府省連絡会議了承。以下「政評ガイドライン」という。)においては、各行政機関が所掌する政策を、「政策(狭義)」、「施策」及び「事務事業」の三階層に区分整理するところであり、その定義は次のとおり。

・政策(狭義):特定の行政課題に対応するための基本的な方針の実現を目的とする行政活動の大きなまとまり。

・施策:上記の「基本的な方針」に基づく具体的な方針の実現を目的とする行政活動のまとまりであり、「政策(狭義)」を実現するための具体的な方策や対策ととらえられるもの。

・事務事業:上記の「具体的な方策や対策」を具現化するための個々の行政手段としての事務及び事業であり、行政活動の基礎的な単位となるもの。

(注2)第4期科学技術基本計画においては、研究開発の政策体系は、「政策」、「施策」、「プログラム・制度」及び「研究開発課題」の四階層に区分整理するところである。政評ガイドラインとの関係では、当該「プログラム・制度」及び「研究開発課題」は、ともに政評ガイドラインにおける「事務事業」に該当するものと整理されている。

I. 研究開発プログラム(複数課題プログラム、研究資金制度プログラム)の評価項目・評価基準

I-1. 複数課題プログラムの評価項目・評価基準

研究開発プログラム(複数課題プログラム)の評価については、以下によるものの他、当該プログラムの構成要素である個別の研究開発課題の評価については、「Ⅱ. 研究開発課題(プロジェクト)の評価項目・評価基準」によるものとする。

I-1-1(1) 事前評価

【事前評価項目1】	事業アウトカムの妥当性
事前評価基準1-1	複数課題プログラムの目的を踏まえた事業アウトカム(指標及び目標値)が明確であり妥当であること。
	(注)事業アウトカムが実現した場合の日本経済や国際競争力、問題解決に与える効果が優れていること。 当該複数課題プログラムの事業アウトカムと関連性のある省内外の事業と重複がなく、適切に連携等が取れていること。 事業アウトカムを踏まえ、次年度以降に技術開発を実施することが合理的であること。
	(注)市場規模・シェア、エネルギー・CO2削減量などの事業アウトカムを計測できる定量的な指標が設定されるとともに、目標値及び達成時期が適切に設定されていること。

【事前評価項目2】	複数課題プログラムの内容及び事業アウトプットの妥当性
事前評価基準2-1	複数課題プログラムの内容が明確かつ妥当であること。
	(注)当該複数課題プログラムを構成する個々の事業それぞれの研究開発要素が明確であること。 国内外他者において実施されている類似の研究開発や競合する研究開発等の現状が把握されており、本事業によって、技術的優位性(特許取得等)及び経済的優位性(上市・製品化、市場規模・シェア等)を確保できるものであること。
事前評価基準2-2	事業アウトプット指標及び目標値が明確かつ妥当であること。
	(注)中間評価時点及び終了評価時点において、複数課題プログラムの進捗状況を客観的に評価検証し得る、定量的な事業アウトプット指標が提示されるとともに、目標値が適切に設定されていること。

【事前評価項目3】	当省(国)が実施することの必要性
事前評価基準3	次の①から⑤のいずれかを満たすものであるなど、当省(国)において、当該複数課題プログラムを実施することが必要であることが明確であること。 ①多額の研究開発費、長期にわたる研究開発期間、高い技術的難度等から、民間企業のみでは十分な研究開発が実施されない場合。 ②環境問題への先進的対応等、民間企業には市場原理に基づく研究開発実施インセンティブが期待できない場合。 ③標準の策定、データベース整備等のうち社会的性格が強いもの(知的基盤)の形成に資する研究開発の場合。 ④国の関与による異分野連携、産学官連携等の実現によって、研究開発活動に新たな

	付加価値をもたらすことが見込まれる場合。 ⑤その他、科学技術的価値の観点からみた卓越性、先導性を有しているなど、国が主体的役割を果たすべき特段の理由がある場合。
--	---

【事前評価項目4】	事業アウトカム達成に至るまでのロードマップの妥当性
事前評価基準4	事業アウトカム達成に至るまでのロードマップは、以下の点を踏まえて作成されていること。 ・知財管理の取扱 ・実証や国際標準化 ・性能や安全性基準の策定 ・規制緩和等を含む実用化に向けた取組 ・成果のユーザー

【事前評価項目5】	複数課題プログラムの実施・マネジメント体制等の妥当性
事前評価基準5-1	複数課題プログラムの実施・マネジメント体制が明確かつ妥当であること。
事前評価基準5-2	事業の目的及び事業アウトカムを踏まえ、知財の取扱についての戦略及びルールが十分検討されていること。

【事前評価項目6】	費用対効果の妥当性
事前評価基準6	投入する予定の国費総額に対して、事業アウトプット及び事業アウトカムが妥当であること。

I-1-(2) 中間評価

【中間評価項目1】	事業アウトカムの妥当性
中間評価基準1-1	中間評価時点においてなお、複数課題プログラムの目的を踏まえた事業アウトカムが明確であり妥当であること。
	(注)事業アウトカムが実現した場合の日本経済や国際競争力、問題解決に与える効果が優れていること。
中間評価基準1-2	中間評価時点においてなお、事業アウトカム指標及び目標値が明確かつ妥当であること。
	(注)市場規模・シェア、エネルギー・CO2削減量などの事業アウトカムを計測できる定量的な指標が設定されるとともに、目標値及び達成時期が適切に設定されていること。

【中間評価項目2】	複数課題プログラムの内容及び事業アウトプットの妥当性
中間評価基準2-1	中間評価時点においてなお、複数課題プログラムの内容が明確かつ妥当であること。
	(注)研究開発要素が明確であること。 国内外他者において実施されている類似の研究開発や競合する研究開発等の現状が把握されており、本事業によって、技術的優位性(特許取得等)及び経済的優位性(上市・製品化、市場規模・シェア等)を確保できるものであること。
中間評価基準2-2	中間評価時点においてなお、事業アウトプット指標及び目標値が明確かつ妥当であること。
中間評価基準2-3	中間評価時点での事業アウトプットの目標値が達成されているとともに、関連する論文

	発表、特許出願、国際標準の形成、プロトタイプの実現等が実施されていること。
	(注)未達成の場合はその原因や今後の見通しについて適切に説明されていること。

【中間評価項目3】	当省(国)が実施することの必要性
中間評価基準3	中間評価時点においてなお、次の①から⑤のいずれかを満たすなど、当省(国)において、当該複数課題プログラムを実施することが必要であることが明確であること。 ①多額の研究開発費、長期にわたる研究開発期間、高い技術的難度等から、民間企業のみでは十分な研究開発が実施されない場合。 ②環境問題への先進的対応等、民間企業には市場原理に基づく研究開発実施インセンティブが期待できない場合。 ③標準の策定、データベース整備等のうち社会的性格が強いもの(知的基盤)の形成に資する研究開発の場合。 ④国の関与による異分野連携、産学官連携等の実現によって、研究開発活動に新たな付加価値をもたらすことが見込まれる場合。 ⑤その他、科学技術的価値の観点からみた卓越性、先導性を有しているなど、国が主体的役割を果たすべき特段の理由がある場合。

【中間評価項目4】	事業アウトカム達成に至るまでのロードマップの妥当性
中間評価基準4	中間評価時点においてなお、事業アウトカム達成に至るまでのロードマップは、以下の点を踏まえて作成され、必要に応じて改定されていること。 ・知財管理の取扱い ・実証や国際標準化 ・性能や安全性基準の策定 ・規制緩和等を含む実用化に向けた取組 ・成果のユーザー

【中間評価項目5】	複数課題プログラムの実施・マネジメント体制等の妥当性
中間評価基準5-1	複数課題プログラムの実施・マネジメント体制等が、事業の目的及び事業アウトカムを踏まえ、以下の点について明確かつ妥当であること。 ・研究開発計画 ・研究開発実施者の適格性 ・研究開発の実施体制(チーム構成、プロジェクトリーダー、連携や競争を図るためのフォーメーション等) ・国民との科学・技術対話の実施などのコミュニケーション活動 ・資金配分 ・社会経済情勢等周囲の状況変化への柔軟な対応
中間評価基準5-2	事業の目的及び事業アウトカムを踏まえ、知財の取扱いについての戦略及びルールが十分検討され、具体化されていること。

【中間評価項目6】	費用対効果の妥当性
中間評価基準6	中間評価時点においてなお、投入する予定の国費総額に対して、事業アウトプット及び事業アウトカムが妥当であること。

I－1－(3) 終了時評価

【終了評価項目1】	事業アウトカムの妥当性
終了時評価基準1－1	終了時評価時点においてなお、複数課題プログラムの目的を踏まえた事業アウトカムが明確であり妥当であること。
	(注)事業アウトカムが実現した場合の日本経済や国際競争力、問題解決に与える効果が優れていること。
終了時評価基準1－2	終了時評価時点においてなお、事業アウトカム指標及び目標値が明確かつ妥当であること。
	(注)市場規模・シェア、エネルギー・CO2削減量などの事業アウトカムを計測できる定量的な指標が設定されるとともに、目標値及び達成時期が適切に設定されていること。

【終了時評価項目2】	複数課題プログラムの内容及び事業アウトプットの妥当性
終了時評価基準2－1	終了評価時点においてなお、複数課題プログラムの内容が明確かつ妥当であること。
	(注)研究開発要素が明確であること。 国内外他者において実施されている類似の研究開発や競合する研究開発等の現状が把握されており、本事業によって、技術的優位性(特許取得等)及び経済的優位性(上市・製品化、市場規模・シェア等)を確保できるものであること。
終了時評価基準2－2	終了評価時点においてなお、事業アウトプット指標及び目標値が明確かつ妥当であること。
終了時評価基準2－3	終了時評価時点での事業アウトプットの目標値が達成されているとともに、関連する論文発表、特許出願、国際標準の形成、プロトタイプの作成等が実施されていること。
	(注)未達成の場合はその原因や今後の見通しについて適切に説明されていること。

【終了時評価項目3】	当省(国)が実施することの必要性
終了時評価基準3	終了時評価時点においてなお、次の①から⑤のいずれかを満たすなど、当省(国)において、当該複数課題プログラムを実施することが必要であることが明確であること。 ①多額の研究開発費、長期にわたる研究開発期間、高い技術的難度等から、民間企業のみでは十分な研究開発が実施されない場合。 ②環境問題への先進的対応等、民間企業には市場原理に基づく研究開発実施インセンティブが期待できない場合。 ③標準の策定、データベース整備等のうち社会的性格が強いもの(知的基盤)の形成に資する研究開発の場合。 ④国の関与による異分野連携、産学官連携等の実現によって、研究開発活動に新たな付加価値をもたらすことが見込まれる場合。 ⑤その他、科学技術的価値の観点からみた卓越性、先導性を有しているなど、国が主体的役割を果たすべき特段の理由がある場合。

【終了時評価項目4】	事業アウトカム達成に至るまでのロードマップの妥当性
終了時評価基準4－1	終了時評価時点においてなお、事業アウトカム達成に至るまでのロードマップは、以下の点を踏まえて作成され、必要に応じて改定されていること。 ・知財管理の取扱 ・実証や国際標準化 ・性能や安全性基準の策定 ・規制緩和等を含む実用化に向けた取組 ・成果のユーザー
【終了時評価項目5】	複数課題プログラムの実施・マネジメント体制等の妥当性
終了時評価基準5－1	事業実施中における、複数課題プログラムの実施・マネジメント体制等が、事業の目的及び事業アウトカムを踏まえ、以下の点について明確かつ妥当であること。 ・研究開発計画 ・研究開発実施者の適格性 ・研究開発の実施体制（チーム構成、プロジェクトリーダー、連携や競争を図るためのフォーメーション等） ・国民との科学・技術対話の実施などのコミュニケーション活動 ・資金配分 ・社会経済情勢等周囲の状況変化への柔軟な対応
終了時評価基準5－2	事業の目的及び事業アウトカムを踏まえ、知財の取扱についての戦略及びルールが十分検討され、事業アウトカム達成までの間も含め、具体化されていること。
【終了時評価項目6】	費用対効果の妥当性
終了時評価基準6	投入された国費総額に対して、事業アウトプット及び事業アウトカムが妥当であること。

I-2. 研究資金制度プログラムの評価項目・評価基準

I-2-(1) 事前評価

【事前評価項目1】	事業アウトカムの妥当性
事前評価基準1-1	制度の目的を踏まえた事業アウトカムが明確であり妥当であること。
	(注)事業アウトカムが実現した場合の日本経済や国際競争力、問題解決に与える効果が優れていること。 当該「制度」の事業アウトカムと関連性のある省内外の事業と重複がなく、適切に連携等が取れていること。 事業アウトカムを踏まえ、次年度以降に技術開発を実施することが合理的であること。
事前評価基準1-2	事業アウトカム指標及び目標値が明確かつ妥当であること。
	(注)市場規模・シェア、エネルギー・CO2削減量などの事業アウトカムを計測できる定量的な指標が設定されるとともに、目標値及び達成時期が適切に設定されていること。

【事前評価項目2】	制度内容及び事業アウトプットの妥当性
事前評価基準2	事業アウトプット指標及び目標値が明確かつ妥当であること。
	(注)中間評価時点及び終了評価時点において、事業の進捗状況を客観的に評価検証し得る、定量的な事業アウトプット指標が提示されるとともに、目標値が適切に設定されていること。

【事前評価項目3】	当省(国)が実施することの必要性
事前評価基準3	次の①から⑤のいずれかを満たすものであるなど、当省(国)において、当該制度を実施することが必要であることが明確であること。 ①多額の研究開発費、長期にわたる研究開発期間、高い技術的難度等から、民間企業のみでは十分な研究開発が実施されない場合。 ②環境問題への先進的対応等、民間企業には市場原理に基づく研究開発実施インセンティブが期待できない場合。 ③標準の策定、データベース整備等のうち社会的性格が強いもの(知的基盤)の形成に資する研究開発の場合。 ④国の関与による異分野連携、産学官連携等の実現によって、研究開発活動に新たな付加価値をもたらすことが見込まれる場合。 ⑤その他、科学技術的価値の観点からみた卓越性、先導性を有しているなど、国が主体的役割を果たすべき特段の理由がある場合。

【事前評価項目4】	事業アウトカム達成に至るまでのロードマップの妥当性
事前評価基準4	事業アウトカム達成に至るまでのロードマップは、以下の点を踏まえて作成されていること。 ・知財管理の取扱 ・実証や国際標準化 ・性能や安全性基準の策定 ・規制緩和等を含む実用化に向けた取組 ・成果のユーザー

【事前評価項目5】	当該制度の実施・マネジメント体制等の妥当性
事前評価基準5-1	制度の実施・マネジメント体制等が、事業の目的及び事業アウトカムを踏まえ、以下の点について明確かつ妥当であること。 ・制度の運営体制・組織 ・個々のテーマの採択プロセス ・事業の進捗管理（モニタリングの実施、制度関係者間の調整等） ・制度を利用する対象者 ・個々の制度運用の結果が制度全体の運営の改善にフィードバックされる仕組み ・成果の利用主体に対して、成果を普及し関与を求める取組 ・国民との科学・技術対話の実施などのコミュニケーション活動 ・資金配分 ・社会経済情勢等周囲の状況変化への対応
事前評価基準5-2	事業の目的及び事業アウトカムを踏まえ、知財の取扱いについての戦略及びルールが十分検討され、具体化されていること。

【事前評価項目6】	費用対効果の妥当性
事前評価基準6	投入する予定の国費総額に対して、事業アウトプット及び事業アウトカムが妥当であること。

I-2-(2) 中間評価

【中間評価項目1】	事業アウトカムの妥当性
中間評価基準1-1	中間評価時点においてなお、制度の目的を踏まえた事業アウトカムが明確であり妥当であること。
	(注) 事業アウトカムが実現した場合の日本経済や国際競争力、問題解決に与える効果が優れていること。
中間評価基準1-2	中間評価時点においてなお、事業アウトカム指標及び目標値が明確かつ妥当であること。
	(注) 市場規模・シェア、エネルギー・CO2削減量などの事業アウトカムを計測できる定量的な指標が設定されるとともに、目標値及び達成時期が適切に設定されていること。

【中間評価項目2】	制度内容及び事業アウトプットの妥当性
中間評価基準2-1	中間評価時点においてなお、事業アウトプット指標及び目標値が明確かつ妥当であること。
	(注) 中間評価時点及び終了評価時点において、研究開発の進捗状況を客観的に評価検証し得る、定量的な事業アウトプット指標が提示されるとともに、目標値が適切に設定されていること。
中間評価基準2-2	中間評価時点での事業アウトプットの目標値が達成されているとともに、関連する論文発表、特許出願、国際標準の形成、プロトタイプ作成等が実施されていること。
	(注) 未達成の場合はその原因や今後の見通しについて適切に説明されていること。

【中間評価項目3】	当省(国)が実施することの必要性
中間評価基準3	中間評価時点においてなお、次の①から⑤のいずれかを満たすものであるなど、当

	省(国)において、当該制度を実施することが必要であることが明確であること。 ①多額の研究開発費、長期にわたる研究開発期間、高い技術的難度等から、民間企業のみでは十分な研究開発が実施されない場合。 ②環境問題への先進的対応等、民間企業には市場原理に基づく研究開発実施インセンティブが期待できない場合。 ③標準の策定、データベース整備等のうち社会的性格が強いもの(知的基盤)の形成に資する研究開発の場合。 ④国の関与による異分野連携、産学官連携等の実現によって、研究開発活動に新たな付加価値をもたらすことが見込まれる場合。 ⑤その他、科学技術的価値の観点からみた卓越性、先導性を有しているなど、国が主体的役割を果たすべき特段の理由がある場合。
--	---

【中間評価項目4】	事業アウトカム達成に至るまでのロードマップの妥当性
中間評価基準4	中間評価時点においてなお、事業アウトカム達成に至るまでのロードマップは、以下の点を踏まえて作成され、必要に応じて改定されていること。 ・知財管理の取扱 ・実証や国際標準化 ・性能や安全性基準の策定 ・規制緩和等を含む実用化に向けた取組 ・成果のユーザー

【中間評価項目5】	制度の実施・マネジメント体制等の妥当性
中間評価基準5-1	中間評価時点においてなお、制度の実施・マネジメント体制等が、事業の目的及び事業アウトカムを踏まえ、以下の点について明確かつ妥当であること。 ・制度の運営体制・組織 ・個々のテーマの採択プロセス ・事業の進捗管理(モニタリングの実施、制度関係者間の調整等) ・制度を利用する対象者 ・個々の制度運用の結果が制度全体の運営の改善にフィードバックされる仕組み ・成果の利用主体に対して、成果を普及し関与を求める取組 ・国民との科学・技術対話の実施などのコミュニケーション活動 ・資金配分 ・社会経済情勢等周囲の状況変化への対応
中間評価基準5-2	事業の目的及び事業アウトカムを踏まえ、知財の取扱いについての戦略及びルールが十分検討され、具体化されていること。

【中間評価項目6】	費用対効果の妥当性
中間評価基準6	中間評価時点においてなお、投入する予定の国費総額に対して、事業アウトプット及び事業アウトカムが妥当であること。

I-2-(3) 終了時評価

【終了時評価項目1】	事業アウトカムの妥当性
終了時評価基準1-1	終了時評価時点においてなお、制度の目的を踏まえた事業アウトカムが明確であり妥当であること。
	(注)事業アウトカムが実現した場合の日本経済や国際競争力、問題解決に与える効果が優れていること。
終了時評価基準1-2	終了時評価時点においてなお、事業アウトカム指標及び目標値が明確かつ妥当であること。
	(注)市場規模・シェア、エネルギー・CO2削減量などの事業アウトカムを計測できる定量的な指標が設定されるとともに、目標値及び達成時期が適切に設定されていること。

【終了時評価項目2】	制度内容及び事業アウトプットの妥当性
終了時評価基準2-1	終了評価時点においてなお、事業アウトプット指標及び目標値が明確かつ妥当であること。
	(注)中間評価時点及び終了評価時点において、研究開発の進捗状況を客観的に評価検証し得る、定量的な事業アウトプット指標が提示されるとともに、目標値が適切に設定されていること。
終了時評価基準2-2	終了時評価時点での事業アウトプットの目標値が達成されているとともに、関連する論文発表、特許出願、国際標準の形成、プロトタイプの実成等が実施されていること。
	(注)未達成の場合はその原因や今後の見通しについて適切に説明されていること。

【終了時評価項目3】	当省(国)が実施することの必要性
終了時評価基準3	終了時評価時点においてなお、次の①から⑤のいずれかを満たすものであるなど、当省(国)において、当該制度を実施することが必要であることが明確であること。 ①多額の研究開発費、長期にわたる研究開発期間、高い技術的難度等から、民間企業のみでは十分な研究開発が実施されない場合。 ②環境問題への先進的対応等、民間企業には市場原理に基づく研究開発実施インセンティブが期待できない場合。 ③標準の策定、データベース整備等のうち社会的性格が強いもの(知的基盤)の形成に資する研究開発の場合。 ④国の関与による異分野連携、産学官連携等の実現によって、研究開発活動に新たな付加価値をもたらすことが見込まれる場合。 ⑤その他、科学技術的価値の観点からみた卓越性、先導性を有しているなど、国が主体的役割を果たすべき特段の理由がある場合。

【終了時評価項目4】	事業アウトカム達成に至るまでのロードマップの妥当性
終了時評価基準4-1	終了時評価時点においてなお、事業アウトカム達成に至るまでのロードマップは、以下の点を踏まえて作成され、必要に応じて改定されていること。 ・知財管理の取扱 ・実証や国際標準化 ・性能や安全性基準の策定

	・規制緩和等を含む実用化に向けた取組 ・成果のユーザー
終了時評価基準4-2	あらかじめ設定されていた事業アウトカムの達成時期における目標値の達成が見込まれていること。
	(注)達成が見込めない場合はその原因や今後の見通しについて適切に説明されていること。

【終了時評価項目5】	制度の実施・マネジメント体制等の妥当性
終了時評価基準5-1	終了時評価時点においてなお、制度の実施・マネジメント体制等が、事業の目的及び事業アウトカムを踏まえ、以下の点について明確かつ妥当であること。 ・制度の運営体制・組織 ・個々のテーマの採択プロセス ・事業の進捗管理(モニタリングの実施、制度関係者間の調整等) ・制度を利用する対象者 ・個々の制度運用の結果が制度全体の運営の改善にフィードバックされる仕組み ・成果の利用主体に対して、成果を普及し関与を求める取組 ・国民との科学・技術対話の実施などのコミュニケーション活動 ・資金配分 ・社会経済情勢等周囲の状況変化への対応
終了時評価基準5-2	事業の目的及び事業アウトカムを踏まえ、知財の取扱いについての戦略及びルールが十分検討され、事業アウトカム達成までの間も含め、具体化されていること。
終了時評価基準5-3	事業終了後における、事業アウトカム達成までの間の研究開発の実施・マネジメント体制等が明確かつ妥当であること。

【終了時評価項目6】	費用対効果の妥当性
終了時評価基準6	投入された国費総額に対して、事業アウトプット及び事業アウトカムが妥当であること。

Ⅱ. 研究開発課題(プロジェクト)の評価項目・評価基準

Ⅱ－(1) 事前評価

【事前評価項目1】	事業アウトカムの妥当性
事前評価基準1－1	事業の目的を踏まえた事業アウトカムが明確であり妥当であること。
	(注)事業アウトカムが実現した場合の日本経済や国際競争力、問題解決に与える効果が優れていること。 当該事業の事業アウトカムと関連性のある省内外の事業と重複がなく、適切に連携等が取れていること。 事業アウトカムを踏まえ、次年度以降に技術開発を実施することが合理的であること。
事前評価基準1－2	事業アウトカム指標及び目標値が明確かつ妥当であること。
	(注)市場規模・シェア、エネルギー・CO2削減量などの事業アウトカムを計測できる定量的な指標が設定されるとともに、目標値及び達成時期が適切に設定されていること。

【事前評価項目2】	研究開発内容及び事業アウトプットの妥当性
事前評価基準2－1	研究開発内容が明確かつ妥当であること。
	(注)研究開発要素が明確であること。 国内外他者において実施されている類似の研究開発や競合する研究開発等の現状が把握されており、本事業によって、技術的優位性(特許取得等)及び経済的優位性(上市・製品化、市場規模・シェア等)を確保できるものであること。
事前評価基準2－2	事業アウトプット指標及び目標値が明確かつ妥当であること。
	(注)中間評価時点及び終了評価時点において、研究開発の進捗状況を客観的に評価検証し得る、定量的な事業アウトプット指標が提示されるとともに、目標値が適切に設定されていること。

【事前評価項目3】	当省(国)が実施することの必要性
事前評価基準3	次の①から⑤のいずれかを満たすものであるなど、当省(国)において、当該研究開発課題(プロジェクト)を実施することが必要であることが明確であること。 ①多額の研究開発費、長期にわたる研究開発期間、高い技術的難度等から、民間企業のみでは十分な研究開発が実施されない場合。 ②環境問題への先進的対応等、民間企業には市場原理に基づく研究開発実施インセンティブが期待できない場合。 ③標準の策定、データベース整備等のうち社会的性格が強いもの(知的基盤)の形成に資する研究開発の場合。 ④国の関与による異分野連携、産学官連携等の実現によって、研究開発活動に新たな付加価値をもたらすことが見込まれる場合。 ⑤その他、科学技術的価値の観点からみた卓越性、先導性を有しているなど、国が主体的役割を果たすべき特段の理由がある場合。

【事前評価項目4】	事業アウトカム達成に至るまでのロードマップの妥当性
事前評価基準4	事業アウトカム達成に至るまでのロードマップは、以下の点を踏まえて作成されていること。 ・知財管理の取扱 ・実証や国際標準化 ・性能や安全性基準の策定 ・規制緩和等を含む実用化に向けた取組 ・成果のユーザー

【事前評価項目5】	研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性
事前評価基準5－1	研究開発の実施・マネジメント体制等が明確かつ妥当であること。
事前評価基準5－2	事業の目的及び事業アウトカムを踏まえ、知財の取扱いについての戦略及びルールが十分検討されていること。

【事前評価項目6】	費用対効果の妥当性
事前評価基準6	投入する予定の国費総額に対して、事業アウトプット及び事業アウトカムが妥当であること。

Ⅱ－(2) 中間評価

【中間評価項目1】	事業アウトカムの妥当性
中間評価基準1－1	中間評価時点においてなお、事業の目的を踏まえた事業アウトカムが明確であり妥当であること。
	(注)事業アウトカムが実現した場合の日本経済や国際競争力、問題解決に与える効果が優れていること。
中間評価基準1－2	中間評価時点においてなお、事業アウトカム指標及び目標値が明確かつ妥当であること。
	(注)市場規模・シェア、エネルギー・CO2削減量などの事業アウトカムを計測できる定量的な指標が設定されるとともに、目標値及び達成時期が適切に設定されていること。

【中間評価項目2】	研究開発内容及び事業アウトプットの妥当性
中間評価基準2－1	中間評価時点においてなお、研究開発内容が明確かつ妥当であること。
	(注)研究開発要素が明確であること。 国内外他者において実施されている類似の研究開発や競合する研究開発等の現状が把握されており、本事業によって、技術的優位性(特許取得等)及び経済的優位性(上市・製品化、市場規模・シェア等)を確保できるものであること。
中間評価基準2－2	中間評価時点においてなお、事業アウトプット指標及び目標値が明確かつ妥当であること。
	(注)中間評価時点及び終了評価時点において、研究開発の進捗状況を客観的に評価検証し得る、定量的な事業アウトプット指標が提示されるとともに、目標値が適切に設定されていること。
中間評価基準2－3	中間評価時点での事業アウトプットの目標値が達成されているとともに、関連する論文発表、特許出願、国際標準の形成、プロトタイプの実現等が実施されていること。
	(注)未達成の場合はその原因や今後の見通しについて適切に説明されていること。

	と。
--	----

【中間評価項目3】	当省(国)が実施することの必要性
中間評価基準3	中間評価時点においてなお、次の①から⑤のいずれかを満たすものであるなど、当省(国)において、当該研究開発課題(プロジェクト)を実施することが必要であることが明確であること。 ①多額の研究開発費、長期にわたる研究開発期間、高い技術的難度等から、民間企業のみでは十分な研究開発が実施されない場合。 ②環境問題への先進的対応等、民間企業には市場原理に基づく研究開発実施インセンティブが期待できない場合。 ③標準の策定、データベース整備等のうち社会的性格が強いもの(知的基盤)の形成に資する研究開発の場合。 ④国の関与による異分野連携、産学官連携等の実現によって、研究開発活動に新たな付加価値をもたらすことが見込まれる場合。 ⑤その他、科学技術的価値の観点からみた卓越性、先導性を有しているなど、国が主体的役割を果たすべき特段の理由がある場合。

【中間評価項目4】	事業アウトカム達成に至るまでのロードマップの妥当性
中間評価基準4	中間評価時点においてなお、事業アウトカム達成に至るまでのロードマップは、以下の点を踏まえて作成され、必要に応じて改定されていること。 ・知財管理の取扱 ・実証や国際標準化 ・性能や安全性基準の策定 ・規制緩和等を含む実用化に向けた取組 ・成果のユーザー

【中間評価項目5】	研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性
中間評価基準5-1	研究開発の実施・マネジメント体制等が、事業の目的及び事業アウトカムを踏まえ、以下の点について明確かつ妥当であること。 ・研究開発計画 ・研究開発実施者の適格性 ・研究開発の実施体制(チーム構成、プロジェクトリーダー、連携や競争を図るためのフォーメーション等) ・国民との科学・技術対話の実施などのコミュニケーション活動 ・資金配分 ・社会経済情勢等周囲の状況変化への柔軟な対応
中間評価基準5-2	事業の目的及び事業アウトカムを踏まえ、知財の取扱についての戦略及びルールが十分検討され、具体化されていること。

【中間評価項目6】	費用対効果の妥当性
中間評価基準6	中間評価時点においてなお、投入する予定の国費総額に対して、事業アウトプット及び事業アウトカムが妥当であること。

Ⅱ－(3) 終了時評価

【終了評価項目1】	事業アウトカムの妥当性
終了時評価基準1－1	終了時評価時点においてなお、事業の目的を踏まえた事業アウトカムが明確であり妥当であること。
	(注)事業アウトカムが実現した場合の日本経済や国際競争力、問題解決に与える効果が優れていること。
終了時評価基準1－2	終了時評価時点においてなお、事業アウトカム指標及び目標値が明確かつ妥当であること。
	(注)市場規模・シェア、エネルギー・CO2削減量などの事業アウトカムを計測できる定量的な指標が設定されるとともに、目標値及び達成時期が適切に設定されていること。

【終了時評価項目2】	研究開発内容及び事業アウトプットの妥当性
終了時評価基準2－1	終了評価時点においてなお、研究開発内容が明確かつ妥当であること。
	(注)研究開発要素が明確であること。 国内外他者において実施されている類似の研究開発や競合する研究開発等の現状が把握されており、本事業によって、技術的優位性(特許取得等)及び経済的優位性(上市・製品化、市場規模・シェア等)を確保できるものであること。
終了時評価基準2－2	終了評価時点においてなお、事業アウトプット指標及び目標値が明確かつ妥当であること。
	(注)終了評価時点において、研究開発の進捗状況を客観的に評価検証し得る、定量的な事業アウトプット指標が提示されるとともに、目標値が適切に設定されていること。
終了時評価基準2－3	終了時評価時点での事業アウトプットの目標値が達成されているとともに、関連する論文発表、特許出願、国際標準の形成、プロトタイプの実現等が実施されていること。
	(注)未達成の場合はその原因や今後の見通しについて適切に説明されていること。

【終了時評価項目3】	当省(国)が実施することの必要性
終了時評価基準3	終了時評価時点においてなお、次の①から⑤のいずれかを満たすものであるなど、当省(国)において、当該研究開発課題(プロジェクト)を実施することが必要であることが明確であること。 ①多額の研究開発費、長期にわたる研究開発期間、高い技術的難度等から、民間企業のみでは十分な研究開発が実施されない場合。 ②環境問題への先進的対応等、民間企業には市場原理に基づく研究開発実施インセンティブが期待できない場合。 ③標準の策定、データベース整備等のうち社会的性格が強いもの(知的基盤)の形成に資する研究開発の場合。 ④国の関与による異分野連携、産学官連携等の実現によって、研究開発活動に新たな付加価値をもたらすことが見込まれる場合。

	⑤その他、科学技術的価値の観点からみた卓越性、先導性を有しているなど、国が主体的役割を果たすべき特段の理由がある場合。
--	---

【終了時評価項目4】	事業アウトカム達成に至るまでのロードマップの妥当性
終了時評価基準4-1	終了時評価時点においてなお、事業アウトカム達成に至るまでのロードマップは、以下の点を踏まえて作成され、必要に応じて改定されていること。 ・知財管理の取扱 ・実証や国際標準化 ・性能や安全性基準の策定 ・規制緩和等を含む実用化に向けた取組 ・成果のユーザー
終了時評価基準4-2	あらかじめ設定されていた事業アウトカムの達成時期における目標値の達成が見込まれていること。
	(注)達成が見込めない場合はその原因や今後の見通しについて適切に説明されていること。

【終了時評価項目5】	研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性
終了時評価基準5-1	事業実施中における、研究開発の実施・マネジメント体制等が、事業の目的及び事業アウトカムを踏まえ、以下の点について明確かつ妥当であること。 ・研究開発計画 ・研究開発実施者の適格性 ・研究開発の実施体制(チーム構成、プロジェクトリーダー、連携や競争を図るためのフォーメーション等) ・国民との科学・技術対話の実施などのコミュニケーション活動 ・資金配分 ・社会経済情勢等周囲の状況変化への柔軟な対応
終了時評価基準5-2	事業の目的及び事業アウトカムを踏まえ、知財の取扱についての戦略及びルールが十分検討され、事業アウトカム達成までの間も含め、具体化されていること。
終了時評価基準5-3	事業終了後における、事業アウトカム達成までの間の研究開発の実施・マネジメント体制等が明確かつ妥当であること。

【終了時評価項目6】	費用対効果の妥当性
終了時評価基準6	投入された国費総額に対して、事業アウトプット及び事業アウトカムが妥当であること。

Ⅲ. 追跡評価の評価項目・評価基準

【追跡評価項目1】	技術波及効果(事業アウトカムを含む。)
【追跡評価項目1-1】	プロジェクトの直接的・間接的技術成果の実用化の進展度合
追跡評価基準1-1	①プロジェクトの終了後に実用化した又は今後実用化が期待される製品やサービスがあること。 ②具体化された知財の取り扱いについての戦略及びルールに基づき、国内外での特許取得等が行われたこと。
【追跡評価項目1-2】	プロジェクトの直接的・間接的技術成果のインパクト
追跡評価基準1-2	①関連技術分野に非連続なイノベーションをもたらしたこと。 ②多くの派生技術が生み出されていること ③適用分野が多岐にわたっていること。 ④直接的・間接的技術成果を利用した研究主体が多いこと。 ⑤直接的・間接的技術成果を利用した研究主体が産業界や学会に広がりを持っていること。 ⑥研究開発の促進効果や期間短縮効果があったこと。
【追跡評価項目1-3】	国際競争力への影響
追跡評価基準1-3	①我が国における当該分野の技術レベルが向上したこと。 ②外国企業との間で技術的な取引が行われ、それが利益を生み出したこと。 ③外国企業との主導的な技術提携が行われたこと。 ④国際標準等の協議において、我が国がリーダーシップをとれる等のメリットもたらしたこと。 ⑤外国との技術交流の促進や当該分野での我が国のイニシアチブの獲得につながったこと。

【追跡評価項目2】	研究開発力向上効果(事業アウトカムを含む。)
【追跡評価項目2-1】	知的ストックの活用状況
追跡評価基準2-1	①プロジェクトの成果である知的ストックを活用した研究開発が行われていること。 ②知的ストックが画期的な新製品やサービスを生み出す可能性を高める工夫がなされていること。
【追跡評価項目2-2】	研究開発組織・戦略への影響
追跡評価基準2-2	①組織内、更には国内外において高く評価される研究部門となったこと。 ②関連部門の人員・予算の拡充につながったこと。 ③技術管理部門・研究開発部門の再構成等、社内の組織改変につながったこと。 ④組織全体の技術戦略・知財戦略の見直しや強化に寄与したこと。 ⑤他の企業や研究機関との共同研究の推進、ビジネスパートナーとの関係の強化・改善等、オープンイノベーションのきっかけになったこと。 ⑥プロジェクトが学会、フォーラム等の研究交流基盤の整備・強化のきっかけになったこと。
【追跡評価項目2-3】	人材への影響
追跡評価基準2-3	①組織内、更には国内外において高く評価される研究者が生まれたこと。 ②論文発表、博士号取得が活発に行われたこと。 ③他の企業や研究機関との研究者の人的交流のきっかけになったこと。

【追跡評価項目3】	経済効果(事業アウトカムを含む。)
【追跡評価項目3-1】	市場創出への寄与
追跡評価基準3-1	新しい市場の創造及びその拡大に寄与したこと。
【追跡評価項目3-2】	経済的インパクト
追跡評価基準3-2	①製品やサービスの売り上げ及び利益の増加に寄与したこと。 ②雇用創出に寄与したこと。
【追跡評価項目3-3】	産業構造転換・産業活性化の促進
追跡評価基準3-3	①既存市場への新規参入又は既存市場からの撤退等をもたらしたこと。 ②生産性・経済性の向上に寄与したこと。 ③顧客との関係改善に寄与したこと

【追跡評価項目4】	国民生活・社会レベルの向上効果(事業アウトカムを含む。)
評価基準4	①エネルギー問題の解決に寄与したこと。 ②環境問題の解決に寄与したこと。 ③情報化社会の推進に寄与したこと。 ④安全・安心や国民生活の質の向上に寄与したこと。

【追跡評価項目5】	政策へのフィードバック効果
追跡評価基準5-1	プロジェクトの成果、改善提案、反省点等がその後のプロジェクトのテーマ設定や体制構築へ反映されたこと。
追跡評価基準5-2	プロジェクトの直接的・間接的技術成果が産業戦略等に影響したこと。

【追跡評価項目6】	以上の評価結果を踏まえた、プロジェクト終了時の事後評価の妥当性																				
追跡評価基準6	終了時評価(事後評価を含む。)の結果が妥当であること。																				
	(注)今後の終了時評価において改善すべき点、考慮すべき点等があれば提案する。 <参考> <table border="0"> <tr> <td>(平成25年度までの評価項目)</td> <td>(平成26年度からの評価項目)</td> </tr> <tr> <td>①目的・意義の妥当性</td> <td>①事業アウトカムの妥当性</td> </tr> <tr> <td>②目標の妥当性</td> <td>②研究開発内容及び事業アウトプットの妥当性</td> </tr> <tr> <td>③計画内容の妥当性</td> <td>③当省(国)が実施することの必要性</td> </tr> <tr> <td>④国のプロジェクトであることの妥当性</td> <td>④事業アウトカム達成に至るまでのロードマップの妥当性</td> </tr> <tr> <td>⑤研究開発体制・運営の妥当性</td> <td>⑤研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性</td> </tr> <tr> <td>⑥研究開発成果の計画と比較した達成度</td> <td>⑥費用対効果の妥当性</td> </tr> <tr> <td>⑦実用化の見通し(成果普及、広報体制、波及効果)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>⑧総合評価</td> <td></td> </tr> <tr> <td>⑨今後の提言</td> <td></td> </tr> </table>	(平成25年度までの評価項目)	(平成26年度からの評価項目)	①目的・意義の妥当性	①事業アウトカムの妥当性	②目標の妥当性	②研究開発内容及び事業アウトプットの妥当性	③計画内容の妥当性	③当省(国)が実施することの必要性	④国のプロジェクトであることの妥当性	④事業アウトカム達成に至るまでのロードマップの妥当性	⑤研究開発体制・運営の妥当性	⑤研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性	⑥研究開発成果の計画と比較した達成度	⑥費用対効果の妥当性	⑦実用化の見通し(成果普及、広報体制、波及効果)		⑧総合評価		⑨今後の提言	
(平成25年度までの評価項目)	(平成26年度からの評価項目)																				
①目的・意義の妥当性	①事業アウトカムの妥当性																				
②目標の妥当性	②研究開発内容及び事業アウトプットの妥当性																				
③計画内容の妥当性	③当省(国)が実施することの必要性																				
④国のプロジェクトであることの妥当性	④事業アウトカム達成に至るまでのロードマップの妥当性																				
⑤研究開発体制・運営の妥当性	⑤研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性																				
⑥研究開発成果の計画と比較した達成度	⑥費用対効果の妥当性																				
⑦実用化の見通し(成果普及、広報体制、波及効果)																					
⑧総合評価																					
⑨今後の提言																					

【追跡評価項目 7】	プロジェクト終了後のフォローアップ方法
追跡評価基準7	プロジェクトの成果の実用化や普及に向けた、ロードマップや体制、後継事業の検討など、プロジェクト終了後のフォローアップ方法が適切であったこと。
	(注)フォローアップ方法について改善すべき点、より効果的な方策等があれば提案する。

革新的セメント製造プロセス基盤技術開発 プロジェクト評価中間報告書

平成 2 5 年 3 月
産業構造審議会産業技術分科会
評 価 小 委 員 会

中間評価報告書概要

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	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（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※
H22FY 予算額	H23FY 予算額	H24FY 予算額	総予算額(22-24)	総執行額(22-24)
140,000	160,000	156,447	456,447	386,663

※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	中間時点		
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				
実機適用への課題抽出	実験室規模の電気炉で選定された鉱化剤種類、量、割合及び、鉱物組成のクリンカについてテストキルンを用いた製造試験を行い、実機焼成での焼成温度低減(100℃)を図るための焼成条件を明確化。		・廃棄物の賦存量調査では、想定した廃棄物(F系、石膏系)について賦存量を調査し、安定供給の可能性を確認した。 □実験室規模電気炉での鉱化剤の最適化では、焼成温度低減(100℃～150℃低減)効果のある鉱化剤を用いて、電気炉による試験により生成クリンカ物性確保を計れる添加量、配合割合および焼成条件等を把握した。	達成

		□テストキルンを用いた製造試験では、実験室規模の電気炉で選定された鉱化剤種類、量、割合及び、鉱物組成のクリンカについて試製し、実機焼成での焼成温度低減(100℃)を図るための焼成条件を明確化した。	
b) 鉱物組成変更による省エネ型クリンカ焼成技術開発			
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	<u>ア) ビーライト活性化によるクリンカ開発</u> テストキルンによる焼成試験等に基づき、実機焼成により普通ポルトランドセメント同等品質を達成するための製造条件を明確化。 <u>イ) ビーライトーアウイン系クリンカ開発</u> テストキルンによる試験焼成の結果等に基づき、実機焼成試験を行い、実機製造における運転管理や設備面での課題等を明確化。	<u>ア) ビーライト活性化による低カルシウム型クリンカの開発</u> ・電気炉による添加剤の種類や量、焼成条件および粉碎条件等がビーライトの水和活性に及ぼす影響の調査を行い、普通ポルトランドセメント同等品質を目標とするビーライト活性化を達成するための、添加剤種類や量等の使用条件、焼成条件および粉碎条件を明確化した。 ・前項の結果を踏まえてテストキルンによる焼成試験を行い、実機焼成により普通ポルトランドセメント同等品質を達成するための製造条件を明確化し、実機焼成に向けた課題の整理を行った。 <u>イ) ビーライトーアウイン系クリンカの開発</u> ・電気炉により、普通ポルトランドセメント同等品質を目標とする鉱物組成および焼成条件を明確化した。 ・テストキルンにより、クリンカの焼成製造条件を明確化した。 ・L/D が実機同等の大型テストキルンにより、実機製造における焼成面での運転管理や設備面での課題等を明らかにした。 ・大型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、耐久性を評価し普通ポルトランドセメント代替としての特徴を明らかにした。 ・水和基礎解析を行い品質の最適化条件に及ぼす因子を明確化した。	一部達成
c) 省エネセメントの開発			
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	省エネ型クリンカ等の性能を把握の上クリンカ性能の効果的利用方法を検討し、クリンカ性能向上のための方策の提案を行う。	・クリンカ性能の効果的利用方法の探索では、省エネ型クリンカ等の性能を把握し、それを基にクリンカ性能の効果的利用方法を提案した。 ・省エネセメントの創出では、前項の提案	達成

		に基づく品質設計を行うと同時に、国内外のセメントの規格調査により規格整備の必要性や品質要件の整理等製品化に向けた課題の整理を行った。決定した省エネセメントの品質設計がJIS規格外であることが課題として挙げられた。 ・その他技術の調査では、必要に応じてクリンカ性能を向上させる技術等に関する調査を行い、クリンカ性能向上のための方策提案を行った。特に高間隙質クリンカについて、テストキルンによる焼成試験を行い、実機焼成に向けた課題の整理を行った。	
2. クリンカ焼成プロセスのシミュレーション解析			
革新的セメント製造プロセスの課題抽出	①セメントプロセス全体シミュレータの開発及び ②焼成システムを考慮できる統合シミュレータの開発を行い、それらからエネルギー原単位低減に向けた影響因子を定量化することにより、革新的セメント製造プロセス設計の課題抽出を行う。	□セメントプロセス全体シミュレータの開発では、原料余熱工程を含むプロセス全体に拡張したセメント全体シミュレータを製作し、さらに、理想的なプラント検討のための[KilnSimu+(流動層版)]を製作した。 このセメント全体シミュレータを使用し、電気炉・実機キルン及びテストキルン実験より得られたクリンカ生成反応パラメータ等のチューニングを行い、特定の実機プラントデータと合致できるようにした。 □焼成システムを考慮できる統合シミュレータの開発では、[Fluent]を用いた微粉炭燃焼解析を実施し、バーナ燃焼フレーム形状およびキルン内温度分布等を予測し、[微粉炭燃焼によるキルン内雰囲気温度分布推算]と[キルン内クリンカ温度分布推算]との連成解析を行い、特定の実機キルン運転実績と合致できるようにした。 □革新的セメント製造プロセス設計の課題抽出では、上記のシミュレータを用い、既存プラントの省エネルギーに係わる重要因子を抽出し、設備・運転変更への評価を実施した。さらに、クリンカ焼成から見た理想的なプラント設計への指針抽出し、省エネルギーポテンシャル値の予測を行った。	達成
3. クリンカ焼成プロセスの計測技術開発			
a) スペクトル計測等によるキルン内温度計測技術開発			
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	スペクトル計測等による技術選定を行い、炉内環境模擬試験装置による原理確認	①計測対象である放射源(クリンカ)の温度のみを計測可能とする装置を作製し	一部達成

確立	と温度計測手法の確立と実機キルンにおける実証試験により、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を目指す。 ①実機キルン内スペクトル計測等による温度計測技術の選定 ②炉内環境模擬試験装置による原理確認と温度計測手法の確立 ③実機キルンにおける実証試験	た。 ②実機キルン内の環境を構成する要因のうち、ガスおよび粉塵の温度と粉塵の濃度の状態を模擬できる炉内環境模擬試験装置の設計製作を行なった。同装置を使い、ガス温度、粉塵温度、粉塵濃度、カリウム添加量、等を変量した実験を行い、熱電対等による実測値との比較から、新しく提案した温度計測方法の妥当性や精度の確認を実行している。 ③温度計測装置は、空冷による冷却で実機キルン周辺の高温環境下で正常に機能することを確認した。温度計測技術については、新しく開発した温度計測技術の妥当性の確認や問題点を抽出するために計測装置の改造を実施している。	
b) 放射温度計等によるキルン内温度計測技術開発			
窯前(キルン出口部)からキルン内部を分光測定することにより、キルン内部のガス温度等の温度計測を可能とする技術の確立	①キルン内部の温度計測を行うため、窯前(キルン出口部)よりキルン内部の分光測定の実施、及びキルン二次空気含塵濃度測定装置の開発を実施し、単色放射温度計、二色放射温度計での含塵濃度の影響を評価する。 ②キルン内部の温度計測を直接行うため、キルンセルに熱電対を直接挿入し信号を無線等にて伝送するシステムの開発を実施し、高温セル上での装着・耐久性等を評価し、6ヶ月以上の耐用を目指す。 ③キルン操業状態と①②で得られる温度分布との関連を評価する。	①分光光度測定により特定の吸収波長域を確認した。又、キルン二次空気含塵濃度測定 及び 単色放射温度計、二色放射温度計の含塵濃度等の測定外乱の影響を評価した。 ②キルンセルに熱電対を直接挿入し信号を無線等にて伝送するシステムをロータリーキルンに実装してキルン内部の原料温度測定を実施した。伝送システムの6ヵ月以上の耐久性を確認、熱電対は保護管材質等を変えて測定した結果、定期的な交換が必要であることを確認した。 ③放射温度計により測定した焼点温度 および 熱電対により測定したキルン内部原料温度とクリンカ焼成度との関連を調査し、各所温度測定値の寄与度を評価した。	達成

(2) 目標及び計画の変更の有無 無

<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
0	0	2	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、我が国の国土保全、社会インフラの整備の観点から重要度の高い産業である一方で、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り、現在、世界最高水準にある我が国のセメント産業におけるエネルギー効率を更に飛躍的に向上させる省エネ技術の開発は、セメント産業が今後国の内外で伸びるための重要なキーテクノロジーであり、本プロジェクトは、意義あるものと評価する。

エネルギー原単位の飛躍的な削減を可能とする製造技術の開発にあたっては、技術的にもチャレンジングなテーマであり、新規性・革新性が求められる事業であることから、一企業の努力あるいは協会のような民間団体の努力によることは不可能に近く、効率的でもないため、国がプロジェクトとして援助し、セメント会社が協働し各々が得意な分野を担当していく研究技術開発フレームは、必要でかつ効率の良いものと考えられ、また、省エネルギーは国家戦略とも合致し、事業の成果は日本の省エネ・低炭素化に大きく貢献することから、国の事業としての妥当性は十分にある。

また、中国、東南アジアを中心にセメントの需要が急速に増しており、今後とも拡大と発展が予測される世界のマーケットにおいて、セメントの製造技術では世界をリードしている我が国のセメント産業が、セメントメジャーに対して存在感を高めていく革新技術を世界へ発信する意義は極めて高い。

なお、セメント会社4社の協働体制は有力であるが、今後最終目標を達成するに際しての取りまとめを担当する会社の主導的な役割が、国とともに特に重要になってくる。

2. 研究開発等の目標の妥当性

事前研究の結果および種々の制約条件から、研究開発等の目標をセメントの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置き、エネルギー原単位を8%削減する定量的設定をしていることは、適切かつ妥当と評価する。

我が国のセメント製造技術は、SP/NSP キルンや廃棄物受入れ等において世界を先導しているものの、欧米のセメントメジャーや中国・インドに製造量等で大きく水をあけられている現状であり、世界トップ水準の技術をベースに更に環境に配慮した製造技術を確立して、世界のマーケットで存在感を高めていくことが期待される。

なお、製造するセメントのすべての性能を普通ポルトランドセメントと同等とする目標は、厳しい設定であるが、最初の中間の目標としては妥当と評価した。

8%のエネルギー原単位削減を、何によって実現するかという点が曖昧であり、また、中間評価時点等で達成すべき水準・指標の設定に具体性に欠けると感じられる部分があるため、結果の評価に対して主観が入り込む余地が残される点が懸念される。これらの観点から、後期プロジェクトでは、前期3年の研究成果をふまえ、焼成温度の低減、クリンカの一部の混合材置換、キルンアスペクト比の最適化、空燃比変更など、どの技術でどれだけのエネルギー削減を目指すのかを明確化すべきである。

セメント各社が個々のテーマを実施しているが、個々の研究開発項目の目標達成に対する貢献の

度合い、目標値の定量化あるいは相互の関係が必ずしも明確ではない。今後最終目標達成に向けて、ある程度実験結果を共有化する、研究開発を重点化するなど効果的な実施に向けた工夫が必要ではないか。

3. 成果、目標の達成度の妥当性

総合的に見ると、ほぼスケジュールに沿って実験が行われ着実に研究が進んでおり、セメント製造技術における省エネ・低炭素化を実現するための中間目標であるエネルギー原単位の8%削減の可能性が見込める成果を上げていると評価する。

各個別要素技術の開発については、一部未達成の部分はあるものの、概ね目標を達成しており、全体目標達成の可能性が見込めるに十分な成果を上げていると評価する。特に、キルン内での温度計測精度の向上技術の開発は、セメントキルンでの低温焼成の安定操業に不可欠であり、現行のキルン焼成にも適用でき、より効率的なキルン操業への寄与が期待される。

なお、開発成果については、積極的に論文の投稿や学会で発表すべきである。論文となっていないことは、開発時に得られた様々なデータが後に使えるように整理されていないのではないかと危惧される。開発結果を単なる経験知として残すのではなく、汎用的に利用できる技術とするためにも、論文投稿や学会での発表を積極的に検討すべきである。

また、実用化に必要な国際特許出願や国際規格化に関する計画を明確にすべきである。得られた成果を欧米のセメントメジャーや中国・インド等のセメント会社との対応にどのように用いるかが明確でないため、遅すぎることはないように、国際特許の出願と国際標準の形成について、最終目標に対して初期の段階から明確にすべきである。

実験の結果出てきた様々な問題点については、各々の対策や検討期間を明示すべきである。

「革新的プロセスの設計提案」については、どの様な提案がされたか明確でなく、安易な目標変更はすべきでないが、基本計画の最終目標達成を前提として、3年間の成果をふまえ、早期実用化を目指して後期計画の見直しも検討すべきである。

4. 事業化、波及効果についての妥当性

普通ポルトランドセメントと同等の品質のものを開発対象としていることから、セメントの使い易さも同等と考えられ、コストパフォーマンスの良い技術が開発できれば、現行の流通ルート等がそのまま使える等の見通しが示されており、事業化は進むと考えられ、大きな波及効果が期待できる。

また、セメントキルン内での温度の計測精度の向上技術とクリンカ焼成プロセスのシミュレーション解析技術の向上は、現行のキルンの操業システムにも直ちに効率的に影響を及ぼし、省エネ効果を発揮するものと予想される。

我が国のセメント製造技術におけるエネルギー効率自体が現在世界最高水準であり、それを大きく上回るエネルギー効率を達成することは、他国に追従を許さぬ国際競争力を持つこととなり、海外への技術移転、国内他産業への技術の応用等、波及効果は大いに期待できるものと評価する。

なお、事業化の見通しは十分に高いものの、事業化に向けたシナリオが示されておらず、事業化まではクリアすべき問題が多いと思われるところ、研究開発終了後の展開を含めた、プロセスをで

きるだけ明確にしてほしい。

また、後期の２年間については、現状のプラントに付加することができる技術、現状のプラントの設備改良が必要な技術、新規プラント建設時に使える技術等に分類し、それぞれについて実現可能時期を明示すべきである。

更に、我が国のセメントの製造・販売ルートの現状を勘案すれば、全社の各セメント工場で同時に製造・出荷しない場合、当初の計画のような普通ポルトランドセメント置換による省エネ効果が発揮されない恐れがある。そのため、中間目標における省エネ型クリンカ焼成技術開発の３種類の技術を、最終目標では１種類に絞って開発することが、省エネ効果を最大化するために必要ではないか。

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

本プロジェクトには、我が国のセメント業界を代表する会社がすべて参加しており、更に、研究開発チームの構成、プロジェクトリーダーの統括、実施者間の連携は、目標を達成するために効率的に実施出来ており、研究の進捗管理のための全体会議を持つなど、目標達成のための実施体制は妥当であると評価する。

また、本目標が達成できた際の種々の効果を考慮すれば、資金配分は適切であり、費用対効果の高い研究開発となることが期待できる。

なお、実施者間の連携/競争が十分に行われた体制かは、報告書だけでは十分に判らないので、打ち合わせの回数と内容等を記入する様にした方がよいと思われる。

流動層プラントも、「セメントプロセス全体のシミュレータ」の中で検討されており、今後有力な省エネのセメント製造技術と考えられるが、本研究の中での最終目標における位置付けを明確にしてもらいたい。

６．総合評価

事業は良好に進行していると判断され、有用な成果を挙げつつあると評価する。今後の成果、事業化が大いに期待できる。

省エネという切り口で見た時の新しいセメント製造法の研究であり、このプロジェクト自体は十分に評価できる。

革新的なセメント製造技術の実用化が、欧米のセメントメジャーと中国やインドなどのセメント会社との競争の糧となることが期待できる。

エネルギー多消費のセメント産業では、１％のエネルギー削減でも、トータルで見れば大きなエネルギー削減となる。本プロジェクトは、セメント製造プロセスの中でも中心的な位置を占めるクリンカ焼成工程の省エネルギーを対象としており、事業としての位置づけは適切と考える。事業内容についても着実に成果を挙げており、事業終了時には実用化に繋がる成果が出ることが期待できる。

セメント産業は、我が国のインフラの整備を支える基幹産業のひとつであり、国土保全や震災復興の観点から重要度は高まっているが、大量の化石燃料の消費と二酸化炭素の排出を伴うことから、我が国の製造業全体に占める省資源、省エネに対する影響度も大きい。本事業はこれらの課題

の解決に向けた、重要な技術開発であり、今後実用化に向けた研究開発の進展を期待したい。

なお、個別要素技術開発相互の連携に乏しい点が懸念され、一部連合して同じ研究テーマを研究して相乗的に成果を上げて波及効果をもたらすような仕組みも考えたほうが良いと思われる。

実験でわかった問題点とその対策を常に示すようにお願いしたい。

8%の省エネルギーを達成する手段として、要素技術の様々な組合せが可能である。技術的難易度、コスト、達成可能時期の3面から研究開発対象を明確にし、開発資源を集中させ効率よく後期の研究を実施していただきたい。

7. 今後の研究開発の方向等に関する提言

限られた期間内で事業化を目指すためには、各研究テーマについて、優先順位を決め、それにマンパワーを集中することも必要ではないか。

我が国のセメント会社が世界の市場で存在感を示すためには、国内のセメント会社が一致し、普通ポルトランドセメントを革新セメントに置き換えた製造・販売できるシステムの確立が重要であり、そのためには、要素技術の「省エネ型クリンカ焼成技術」を1種類に絞り込むことが必要ではないか。

また、本プロジェクトで開発したセメントキルン内での温度の計測技術とクリンカ焼成プロセスのシミュレーション解析技術を向上させ、世界のセメント会社をリードできるのではないか。

シミュレーション解析の精度を上げるには、実プラントのキルン内温度等のデータが不可欠であり、逆に、シミュレーションで最適化された条件でどの程度の省エネルギーが達成できるかについて実プラントでの検証も不可欠である点を考慮すれば、究極の省エネプラント開発には、4社における情報伝達を密に協力していくことが重要であり、共有すべき情報を明確化し相互協力を実質化していただきたい。

基本計画の最終目標は「実用化への技術課題を明確にする」ということであるが、解決できない技術課題を明確にしても意味がない。今後の研究開発での最終目標は、より具体的に実用化への道筋がわかる目標を設定していただきたい。

実用化に向けた経済性に関する検討がなされていないが、たとえ良い技術であっても経済的に成り立つ可能性がない技術は開発しても仕方がなく、目標値達成のみに注力して実用性に乏しい研究にならないよう注意していただきたい。

近年、セメント産業には、省エネ化の推進、温室効果ガスの削減に加え、産業副産物・産業廃棄物受入量の拡大に向けた検討が求められている。それらの課題を個々に検討し研究開発に取り組むことは非効率的であり、また、お互いの効果が相殺してしまう可能性もあることから、セメント製造全体における大きな課題は何か、その解決にあたり検討すべき項目は何か、更に、それらの項目全ての最適化はどこに求められるのかを考えた研究開発を是非進めて欲しい。

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
1. 事業の目的・政策的位置付けの妥当性	3.00	3	3	3	3	3
2. 研究開発等の目標の妥当性	2.20	1	2	3	2	3
3. 成果、目標の達成度の妥当性	2.20	2	2	2	2	3
4. 事業化、波及効果についての妥当性	2.00	3	1	2	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	2.20	2	2	2	2	3
6. 総合評価	2.40	2	2	3	2	3

