

事業区分	経常研究(応用)	研究期間	平成 25 年度～平成 27 年度	評価区分	事後評価
研究テーマ名	ジオポリマーコンクリート製造技術の開発				
(副題)	(二酸化炭素排出が少ない製造技術による無機廃棄物の製品化に関する研究)				
主管の機関・科(研究室)名	研究代表者名	窯業技術センター 環境・機能材料科 山口典男			

<県長期構想等での位置づけ>

長崎県総合計画	2.産業が輝く長崎県(5)「次代を担う産業と働く場を生み育てる」 ①地場企業の育成・支援、③新産業の創出・育成 3.地域が輝く長崎県(9)「安全安心で快適な地域をつくる」 ③地球温暖化対策の推進、④環境への負荷の削減と循環型社会づくり
科学技術振興ビジョン	2-1 産業の基盤を支える施策 (3)成長分野への展開 ①グリーンイノベーションへの取組み
長崎県産業振興ビジョン	1本県の強みを活かした地場産業の育成、 1.地域資源活用型産業振興プロジェクト ①高度加工技術を活かした製造業の振興 3 時代をリードする新産業の創出・育成 3.新産業(成長分野産業)振興プロジェクト ①環境・新エネルギー分野の振興

1 研究の概要(100 文字)

二酸化炭素排出の少ないジオポリマー技術を都市ごみスラグ等の廃棄物に適用することで、ジオポリマーコンクリートの開発を行なう。最適な作製条件の選定と耐久性評価から、ジオポリマーコンクリートの実用化を目指す。	
研究項目	①コンクリート製造プロセスの検討 ②耐久性・安全性に関する評価 ③製品試作に関する検討

2 研究の必要性

1) 社会的・経済的背景及びニーズ	県内では、自治体や産廃処理業者から溶融スラグ、電気供給事業者からフライアッシュなどの無機廃棄物が発生しており、循環型社会の観点から有効利用が求められている。一方、温室効果ガスの削減への取り組みが社会的に進行しており、製造業などにおいては二酸化炭素低排出プロセスへの転換・導入などが今後ますます重要となってくる。セメント産業における二酸化炭素排出は国内排出量の4%を占めており、その対策が急務となっている。
2) 国、他県、市町、民間での実施の状況または実施の可能性	二酸化炭素低排出プロセスであるジオポリマー技術は、大学や一部企業等で注目され研究されている事例があるが、市場流通までの製品化には至っていない。ジオポリマーコンクリートに関しては、公設試での研究事例はなく、本課題が先導的なものとなる。ただし、環境問題の視点から、ジオポリマー技術が注目され始めており、後発研究が出てくる可能性が想定される。事業化を早期に実現するためにも、企業との連携を図りながら進める。

3 効率性(研究項目と内容・方法)

研究項目	研究内容・方法	活動指標		H 25	H 26	H 27	単位
①	各廃棄物原料における配合割合(廃棄物粉末・砂・砂利・硬化液)、処理条件などが基礎物性に及ぼす影響を検討する。	対象廃棄物(活性フィラー)の種類	目標	1	1	—	種類
			実績	1	1	—	
②	ジオポリマーコンクリートの耐久性・安全性を明確にするため、中性化、耐酸性、耐火性試験等を廃棄物原料毎に行なう。	評価項目数	目標	—	6	6	件
			実績	—	6	7	
③	製品をイメージした大型化サンプルの試作を行う。	試作品数	目標	—	—	2	種類
			実績	—	—	2	

1) 参加研究機関等の役割分担

・窯業技術センター：コンクリートの製造条件の検討、耐久性等の評価、試作品の作製を行なう。

2) 予算

研究予算 (千円)	計 (千円)	人件費 (千円)	研究費 (千円)	財源			
				国庫	県債	その他	一財
全体予算	9,577	4,768	4,809				4,809
25年度	3,327	1,544	1,783				1,783
26年度	3,005	1,613	1,392				1,392
27年度	3,245	1,611	1,634				1,634

※ 過去の年度は実績、当該年度は現計予算、次年度以降は案

※ 人件費は職員人件費の見積額

(研究開発の途中で見直した事項)

4 有効性

研究項目	成果指標	目標	実績	H	H	H	得られる成果の補足説明等
				25	26	27	
①	ジオポリマーコンクリートの許容製造条件の決定	2件	2件	1	1	—	本研究において取り上げる活性フィラー2種類(スラグとフライアッシュ)において、ジオポリマーコンクリートの基礎物性が基準値をクリアできる製造プロセスの許容範囲を明らかにする。
②	物性の優位性を踏まえた用途提案	1件	1件	—	—	1	セメントコンクリートと耐久性等を比較することで、優位性および適切な利用法を提案する。
③	試作品の作製	2種類	2種類	—	—	2	企業等に製品として提案ができる数十センチ以上の試作品(無筋・鉄筋製品)を作製する。例として、舗装用平板ブロック(無筋製品)、U型側溝(鉄筋製品)などを試作予定。

1) 従来技術・先行技術と比較した新規性、優位性

ジオポリマーコンクリートの競合製品には、セメントコンクリートがある。ジオポリマーはセメントと比べ、二酸化炭素の排出量が極めて少なく、最大 80%削減できると言われており、環境面で優位である。

これまでのジオポリマー技術に関する研究は、ペースト(無機粉末と硬化液だけ)での研究が多く、骨材を含むコンクリートとしての研究は少ない。特に、ジオポリマー技術では、使用する粉末(廃棄物)の種類により、硬化の様子や強度などの特性が大きく異なり、都市ごみスラグによるコンクリート化の研究はほとんどない。このため、ジオポリマーコンクリートの安定的な製造条件については十分議論されていない。さらに、中長期的な耐久性および安全性も十分検討されていないなど、ジオポリマーコンクリートを、セメントコンクリートの代替として使用するには、多くの課題を解決する必要性があり、実用化された事例はほとんどない。

これまでの経常研究等を通じ、セメントよりも高い強度を示すスラグが県内で排出されていることを確認した。これらのスラグをジオポリマーコンクリートの粉末(活性フィラー)として利用することで、他者の研究にはない「高強度ジオポリマーコンクリート」として優位性を示すことができると考えている。

2) 成果の普及

■ 研究成果の社会・経済への還元シナリオ

本研究でジオポリマーコンクリートの製品製造技術を確認し、ジオポリマー技術をセメントコンクリートの代替技術として位置付け、コンクリート2次製品メーカー、建設業者、スラグ等の無機廃棄物排出業者などに技術移転し、社会・経済への還元を行う。このとき、無機廃棄物の発生業者、原料加工業者および2次製品製造業者による原料供給から製造に至るまでの連携を図りながら実施する。また、技術移転および支援の中で、コスト削減についても企業と連携し取り組む。

■ 研究成果による社会・経済への波及効果の見込み

・経済効果：約1億円/年(道路用コンクリート製品)、約0.5億円/年(石工品)

・道路用コンクリート製品のH22年度(全国)の販売額は約856億円※、販売数量は約408万トン※である。

県内の未利用スラグ5000tを活用した場合、約1億円程度になると見込まれる。

・石工品の平成20年の出荷額は約900億円※であり、県内消費(全国の1/100と仮定)は約9億円であり、この内、5%を置き換えると仮定した場合には、0.5億円程度になると見込まれる。

※金額は経産省の工業統計より引用。

(研究開発の途中で見直した事項)

種類	自己評価	研究評価委員会
事前	<p>(24年度) 評価結果 (総合評価段階:S)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・必要性 S 年々増加する都市ごみスラグやフライアッシュを資源として利用することは、循環型社会を構築する上で重要である。また、温室効果ガスの削減に関する社会的要請はますます高くなってきている。このように環境負荷の低減は、喫緊の課題となっている。これに対してジオポリマー技術は、上記社会的ニーズを同時に解決することのできる技術として導入が望まれている。リサイクル製品として普及させるためには、ジオポリマーコンクリートの製造条件や安全性を明確にする必要があり、県研究機関として取り組む必要がある。</li> <li>・効率性 S 本研究課題では都市ごみスラグ等を用いたコンクリート化(砂・砂利を含む)に取り組むが、過去の研究から、排出場所の違いにより硬化特性が著しく異なることが分かっている。このようにジオポリマー技術は、廃棄物粉末の特性を考慮した製造プロセスの確立と製品化に取り組むことが重要である。そこで、セメントよりも高強度を示す都市ごみスラグと、排出量の多いフライアッシュを原料の候補として選定することにより、製品化に向けた効率的な研究となる。また、セメントに対する優位性を明確にするために、セメントが得意としない耐酸性、耐熱性を中心に評価を進める計画である。さらに、試作品の製造においては、技術移転を想定している企業と連携し行なうことで、効率的に研究を進める。</li> <li>・有効性 S ジオポリマー技術は、競合技術であるセメントと比べ環境配慮型の技術であり、近年の社会的要請に適合しており優位性がある。セメントと比べコストがやや高くなるが、セメントが得意ではない耐酸性、耐熱性などの特長を持つことから、セメントと補完的に製品開発を行なうことができる。普及に当たっては、ジオポリマーの優位的特徴を活かして、スラグ等の排出事業所と協力し、県内のコンクリート 2 次製品メーカーや土木建設企業との共同開発を図る計画であり、成果の有効利用に努める。</li> <li>・総合評価 S 無機廃棄物を活用する新しい技術であるが、着実に成果を出して来ている。ジオポリマー固化体の特性</li> </ul>	<p>(24年度) 評価結果 (総合評価段階:A)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・必要性 A 廃棄物の有効活用は、循環型社会を構築する上で重要であり、社会的な要請も強い。ジオポリマーコンクリートの製造条件や安全性を明確にし、リサイクル製品として普及させてほしい。</li> <li>・効率性 A 研究手法については、最適な製造条件の選定を試行錯誤で行う印象を受けるので、より効率的に実験条件を設定するために、論理的な手法が使えないかを検討すること。</li> <li>・有効性 A 環境対応技術として有効であるが、製品を普及させるためには、導入コストとランニングコストが重要であることから、研究開発段階においても低コスト化についての詳細な検討を行うこと。</li> <li>・総合評価 A ジオポリマーコンクリートは県内外でニーズが見込まれる製品であるので、原材料の安定供給と製品の品</li> </ul>

<p>は、活性フィラーの種類に依存する。このため、まずは活性フィラーを限定し、ケーススタディーとして確立することで、製品化に近づけようとしており、成果が期待できる。また、コンクリート二次製品メーカーにおいては、大型設備の導入も不要であることから、技術移転に繋がる可能性が高いと考えている。</p>	<p>質を追求し、研究計画どおり確実な成果が得られるよう研究開発に取り組むことを期待する。</p>
<p>対応</p>	<p>対応</p> <p>必要性: 都市ごみスラグだけでなく、火力発電所から排出されるフライアッシュを対象として製品開発を行なう。また、有害物質の溶出などにも注意を払い安全性を確保したりリサイクル製品として普及するように努める。</p> <p>効率性: 無機廃棄物のジオポリマー固化の基礎的検討において、これまで明らかにした特性を踏まえ、固化における重要な因子を優先的に検討し、効率的に研究を進めるように努める。</p> <p>有効性: 原料コストの大半を占める専用硬化液の使用量を減らすことで、コストの低減を図ることができる。このため、強度などの物性が目標値を維持できる範囲で、硬化液の濃度や使用量を調整する。導入コストに関しては、コンクリート 2 次製品メーカーの既存設備を活用することができるため、コスト低減につなげることができると考えている。</p> <p>総合評価: 廃棄物は種類などによりその特性が変わるため、原料の安定確保は重要な要素である。本研究では排出量が多い施設のスラグやフライアッシュをターゲットとして研究を進める。また、様々な性能評価を行う中から、既存のセメントコンクリートとの差別化を図り、ジオポリマーコンクリートの長を明確化することで確実な成果が得られるように努める。</p>
<p>途 中</p> <p>( 年度) 評価結果 (総合評価段階: )</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・必要性</li> <li>・効率性</li> <li>・有効性</li> <li>・総合評価</li> </ul>	<p>( 年度) 評価結果 (総合評価段階: )</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・必要性</li> <li>・効率性</li> <li>・有効性</li> <li>・総合評価</li> </ul>
<p>対応</p>	<p>対応</p>

<p>(28年度) 評価結果 (総合評価段階: A)</p> <p>・必要性 S フライアッシュの有効利用策については、電力事業者においても重要な課題となっている。また、コンクリート2次製品製造業からも、ジオポリマーコンクリートは新規素材として期待されている。このような観点からも新しいジオポリマーコンクリートの研究開発は、窯業技術センターとして取り組む必要性が高い。</p> <p>・効率性 A ジオポリマーの特徴である原料依存性を考慮し、県内で排出されるフライアッシュ、都市ごみスラグを原料として絞り込み研究を実施した。耐久性評価においても、何に特長があるかを抽出する内容で検討しジオポリマーの特長の明確化を効率的に実施した。また、県内企業と連携し実際の製造設備で無筋・有筋のジオポリマーコンクリートを試作し、今後の製品化に向けた課題を抽出し連携企業と意見交換を行ないながら実施出来た。</p> <p>・有効性 A ジオポリマーコンクリートの特長として、塩酸にも耐える高い耐酸性があることや、加熱に対する強度低下がセメントコンクリートよりも緩やかなことなど、既存のセメントコンクリートを補完できる特長を明確化することができた。また、試作品の作製においては、製造現場での課題を明確にでき、製品化に向けた製造条件の改良につながる知見を得ることができた。</p> <p>・総合評価 A 研究として計画内容の成果を挙げることができ、外部資金獲得へ向けた基礎的な情報や課題を明確にすることができた。また、試作を通じ、コンクリート2次製品製造業との意見交換も綿密に行ない、今後の連携体制も構築できた。今後は外部資金等を活用し、積極的に製品化を進めていく。</p>	<p>(28年度) 評価結果 (総合評価段階: A)</p> <p>・必要性 A 県内で大量に発生する都市ごみスラグやフライアッシュなどの無機廃棄物の有効活用は、循環型社会を構築する上でも重要であり、必要性は高かった。</p> <p>・効率性 A 機能性の確認のみならず、さまざまな試作を実施し、実用化に向けての課題が抽出できた。耐酸性及び耐凍結融解性を両立する最適条件を見出すとともに、製品製造に重要なスランプ特性（混練物の流動性）も確保しており、効率的に研究が進捗できた。</p> <p>・有効性 A 耐酸性と耐凍結融解性に優れた製品を開発でき、従来のコンクリート2次製品との差別化が図れた。今後は、コンクリート2次製品メーカーと連携し、課題の解決に取り組むとともに、開発品の特長を活かせる市場の分析や製品ターゲットの明確化にも取り組んでほしい。</p> <p>・総合評価 A 実用化の上でコスト面が大きな課題ではあるが、従来品にはない耐酸性などの特長を有する製品が開発できた。今後は、産業廃棄物利用の観点よりも高機能・高性能なコンクリートの製造技術という観点で製品化を進めれば、市場へのアピールも強くなると思われる。</p>
<p>対応</p>	<p>対応 コスト削減や製造プロセスの改善などにおいて企業と連携するとともに、高い耐酸性などの特長を活かした製品を開発することで、従来のセメントコンクリートと差別化を図り、高機能コンクリートとして製品化を積極的に推進していく。</p>