

NEDOエネルギー・地球環境分野成果報告会**2026**
プログラム**No. B2-2-10**

石炭灰によるセメントレスコンクリート 技術の実用開発の現状

石炭灰によるセメントレスコンクリート技術の実用化
開発

カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発/石炭
利用環境対策事業/石炭利用環境対策推進事業

発表： 2026年 7月22日

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

人見尚(大林組) ※ 1

*大林組・シーカ・ジャパン・名古屋工業大学・北海道大学

問い合わせ先 株式会社大林組 Web : <https://www.obayashi.co.jp/>

本事業の背景

建設市場を対象； 日本国内 年間6000万トンの生コンクリート

解決すべき2つの問題点

- ①普通ポルトランドセメント(OPC)： 製造に大量CO₂
- ②産業副産物の発生：石炭火力発電所 石炭灰 ⇒ 900万トン/年
石炭灰は国内では微減だが世界的に見て増加の予想

石炭灰(フライアッシュ：以下FA)活用上の問題点

- ①品質変動：産地・燃焼装置の違い ⇒ 産地・ロット違いがコンクリートに影響
 - ②低反応性：ガラス質の微細球状 ⇒ 化学的に安定(反応しにくい)
- 現在の用途 セメントの置換材 ⇒ フライアッシュコンクリート70万トン/年

近年開発された新たなコンクリート技術

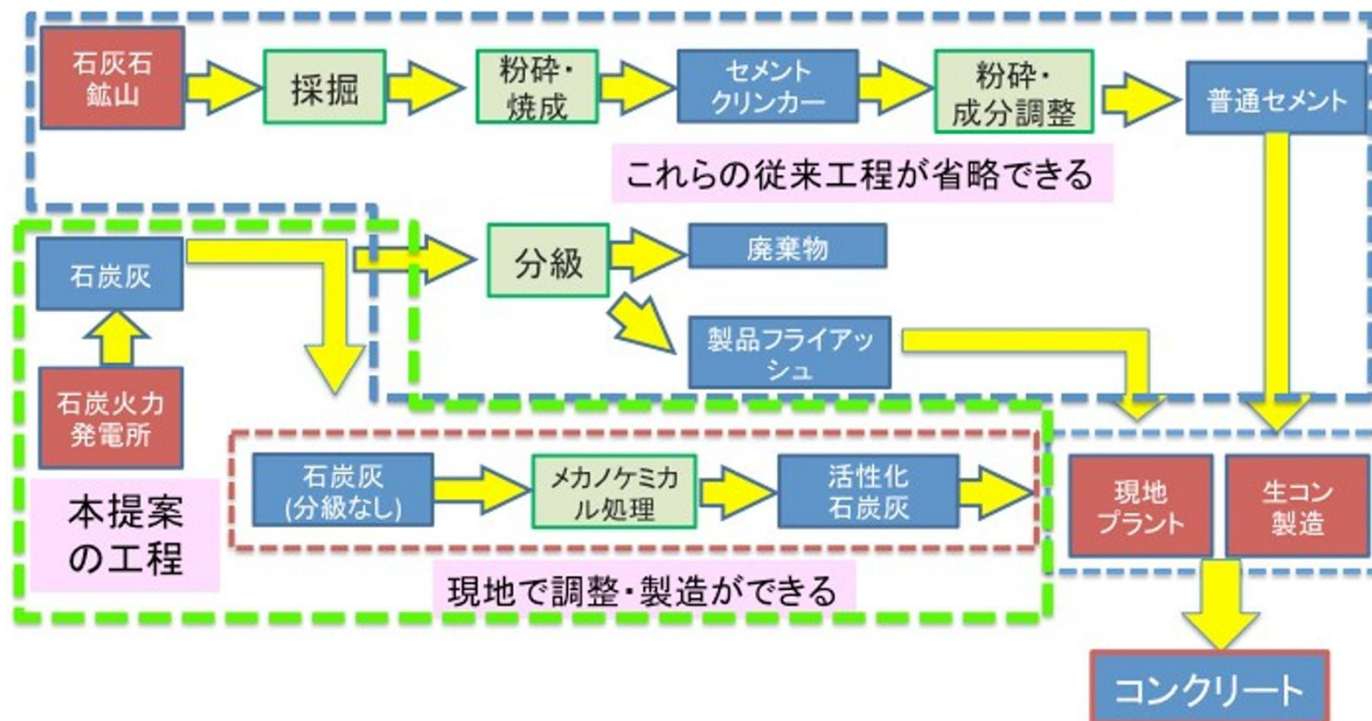
- ①高置換型コンクリート： OPCの大半を高炉スラグなど産業副産物で置換
→ ECMセメント、クリーンコンクリート
- ②セメント非含有： ケイ素の重合反応で硬化組織を形成
→ ジオポリマー、セメントレスコンクリート（本提案）

本事業の目的・目標

- ・石炭灰(フライアッシュ)の有効活用
- ・石炭灰を用いたセメントレスコンクリート技術の実用化

事業完了の2025年度における具体的目標

- ・製造規模 10m³ → 小規模施工・補修工事に対応
- ・高耐久性(長期安定性)
- ・CO₂発生量の削減

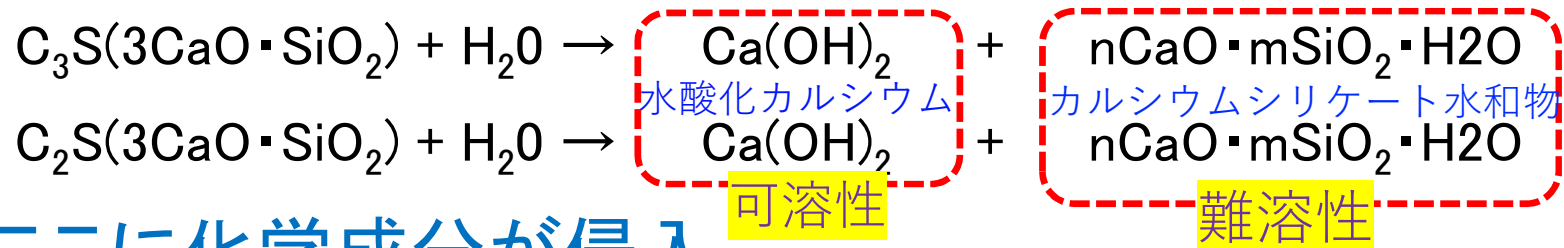


背景：長期的に化学安定なコンクリートの必要性

- 高耐久なコンクリートが必要な場所がある

→ 化学工場、酸性河川、温泉地、放射性廃棄物処分場(＋焼却炉など高温環境)

- 問題はCa(カルシウム)



ここに化学成分が侵入

硬化コンクリート中のCaは水に触れると溶解・

さらに硫酸イオン(SO_4^{2+})や炭酸イオン(CO_3^{2-})に触れると

石こうの生成 : $\text{Ca}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{CaSO}_4$: 膨張性・強度低下

炭酸カルシウムの生成: $\text{Ca}^{2+} + \text{CO}_3^{2-} \rightarrow \text{CaCO}_3$: 中性化(鉄筋腐食)

- そのその狙い:「カルシウム溶出の無いコンクリート」(放射性廃棄物処分場)

→ 普通ポルトランドセメントを使用しない:さらに、硫酸など化学作用に強い

本技術の核となるもの

そのその狙い:「**カルシウム溶出の無いコンクリート**」

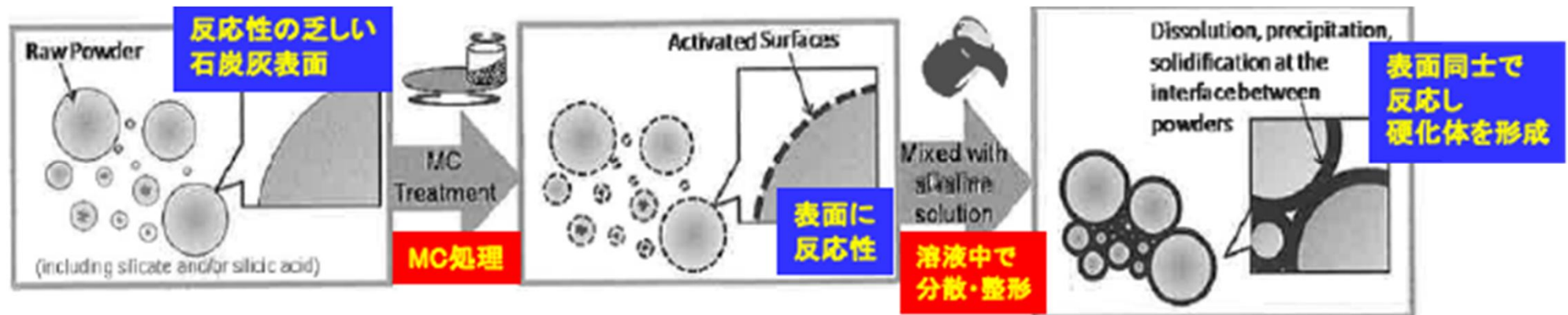
→ 普通ポルトランドセメントを使用しない

• ジオオリマー技術との違い

反応性ケイ素成分 = フライアッシュ ≠ ケイ素溶液(水ガラスなど)

• 石炭灰に強力な摩砕処理を加え**機械的刺激で化学反応性**を付与

→ **メカノケミカル処理** : フライアッシュの結合性を高める



研究項目・産業目的・最終目標

	研究項目	細目	企業 主担当	メンバー (大林はすべて)	開発項目	産業目的	最終目標
1	施工技術の確立	施工技術の確立	大林組	北大・名工大	配合設計法・施工 方法開発	混練方法・打設・締 固め	・標準型で10m3規模の製造・施工 ・中流動、高流動型の確立 ・トンネル支保工(模擬)の打設
				北大	製造方法の開発	現地製造・工場製造 方法	現場プラント 工場製造委託
2	結合材技術の確立	MC処理装置実用化	大林組	名工大	MC装置大型化(調 査、委託)	必要量の確保	3000kg/日の製造体制 (コンクリート10m3規模)
		ケイ素系助材開発	大林組	名工大	スラリー製造ス ケールアップ	必要量の確保	移動式設備検討
					助剤の原材料の拡 張	原料供給多様化・安 定化、原料低コスト 化	原材料の拡張
		フレッシュ状態制御法	日本シーカ	名工大	名工大・大林組	減水材	流動性制御
					名工大・大林組	凝結遅延剤	可使時間確保 180分以上
				名工大、北大	名工大・大林組	収縮低減	基本配合で 300 μ 以下
3	耐久性	物質侵入制御	大林組	北大、名工大	外来物質遮へい性	物質侵入抑制	高流動で同程度
					硬化組織安定性	構成材溶出・鉱物生 成	高流動で同等の溶出抑制
4	生産体制・ ビジネスモデル	生産体制 規準化	大林組	全員	生産体制構築	生産体制の確立	生産体制の確立
				北大・名工大	コンソーシアム設 置準備	業界内の周知, 規準 化	NETIS登録 土木学会規準

結合材技術の開発：使用材料

- FAは集塵灰(≠II種灰)

FAの元素割合

元素(酸化 物表示)	質量(%)	
	原灰	除炭灰
SiO ₂	70.63	73.38
Al ₂ O ₃	21.62	17.93
Fe ₂ O ₃	2.83	3.28
CaO	1.61	1.77
CO ₂	3.9	0.1

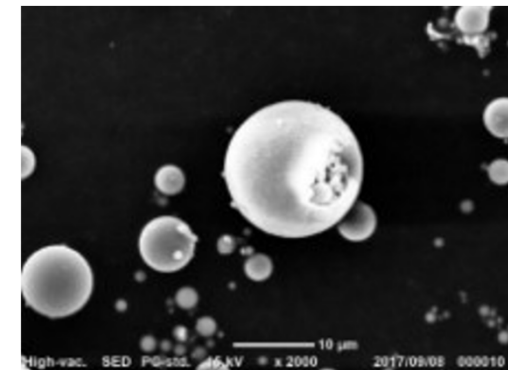
- FAの構成鉱物

Quartz, Mullite, Hematite, Lime

- FAの摩砕処理

フリッチュ社製遊星型ボールミルP-5

- ジルコニア製摩砕用ポッド(1L)
- ジルコニア製のD10mmのボール500gとFA50gを封入　：回転数300rpm

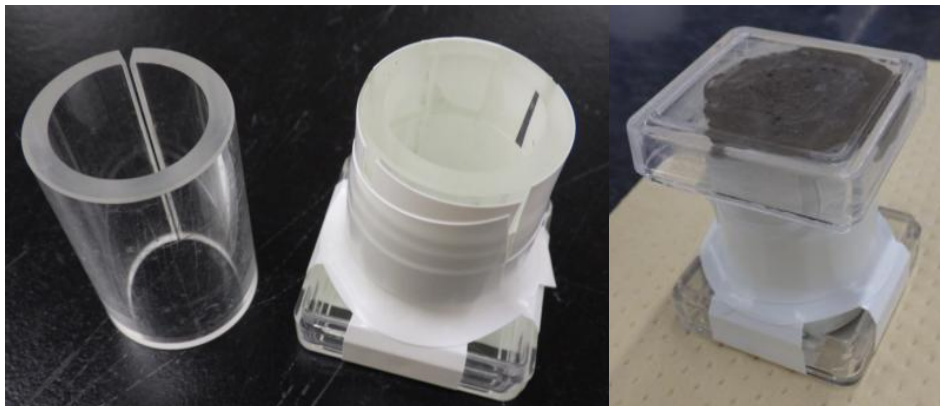


結合材技術(25年度報告):ペースト硬化体作製

フライアッシュをミルで摩砕：0～24時間の加工品

▶ 供試体の作製

- ・ 摩砕処理FAとスラリーを混合
- ・ 2分間混練し，型枠に打込み
- ・ 型枠に振動→脱気
- ・ その後2日間は脱型せずに養生
- ・ 脱型してさら5日間の養生



使用材料一覧

材料名	略称	備考
フライアッシュ	FA	集塵灰
水酸化カリウム	KOH	一般品
シリカフューム	SF	JIS A 6207適合品
イオン交換水	W	イオン交換樹脂

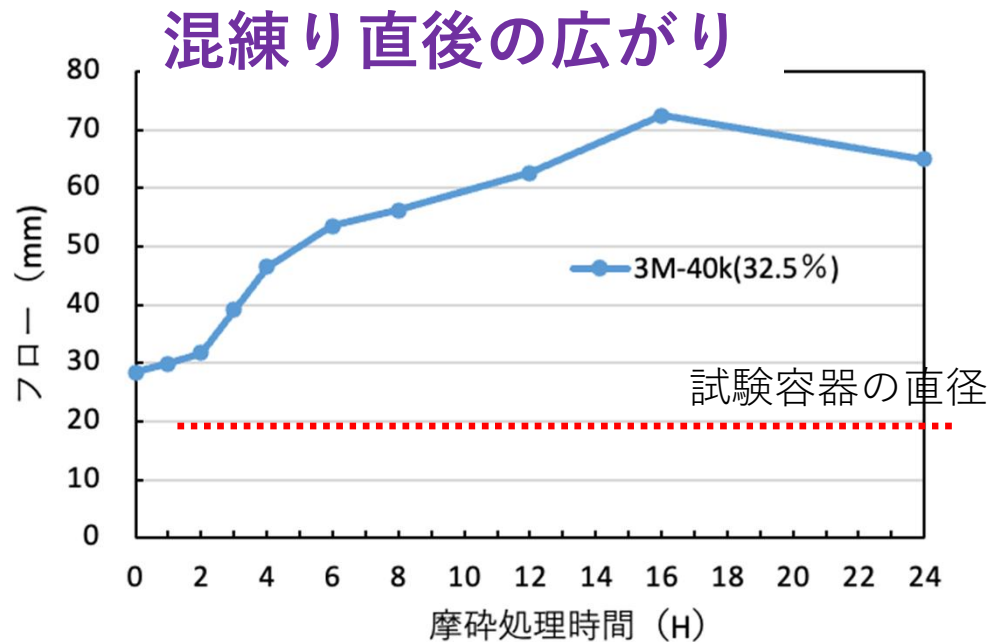
硬化体の配(調)合 (kg/m³)

W/B (%)	結合材(B)		混練水(W)
	集塵灰 (FA)	シリカフューム (SF)	水酸化カリウム溶液(KOH溶液)
32.50	1397.2	42.2	467.8

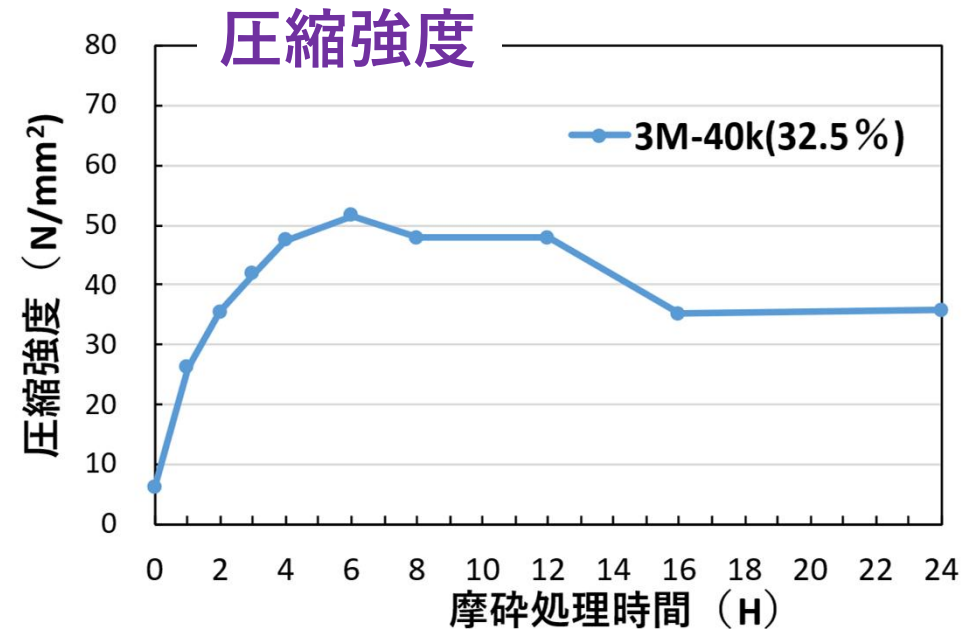
SFはFAの1/30

結合材技術（25年度報告）：ペースト硬化体性能

▶ フレッシュ状態と材齢7日の圧縮強度



- ・摩砕時間増 → 粘性は低下
- ・粘性は16時間が最大



- ・摩砕時間増 → 圧縮強度は増加
- ・圧縮強度は6時間
- ・材料のバランスで反応性を制御

フライアッシュを結合材化できた

今年度報告：結合材の未燃炭素を除去(軽減)

フライアッシュには未燃炭素

- 様々な未燃炭素量

ex. A発電所：7%, B発電所：1%

→ OIGCC：ほぼ0%

- 未燃炭素があると

- ① 摩砕時間の増加
- ② 流動性の低下
- ③ 可使時間の短縮
- ④ 圧縮強度の低下

- 本技術の改良のために

→ 未燃炭素除去法の検討

未燃炭素の除去技術

▶ 加熱・燃焼法

- ・温度により除去割合
- ・CO₂が発生
- ・cFFtの例

▶ 静電分離

- 極性のあるベルコンで吸引除去
- ・電中研殿、太平洋セメント殿
- ・装置が特殊！

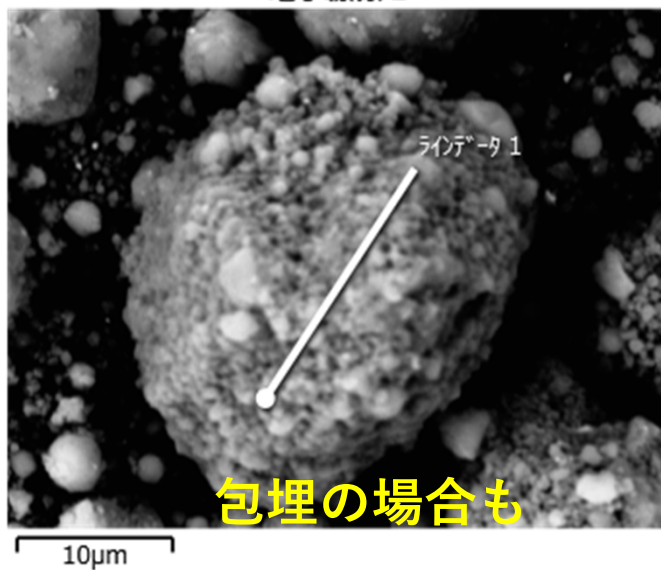
▶ 洗浄法

- オイル添加水で攪拌分離
- マイクロバブルで効率化の例

結合材技術の開発: 使用材料

- FA: 集塵灰
 - 分級無し(非JIS灰)
 - 未燃炭素:(約4%)
- 除去方法
 - 600°Cの加熱による
 - (CO₂排出量からは不適切ですが。)

電子線像 2



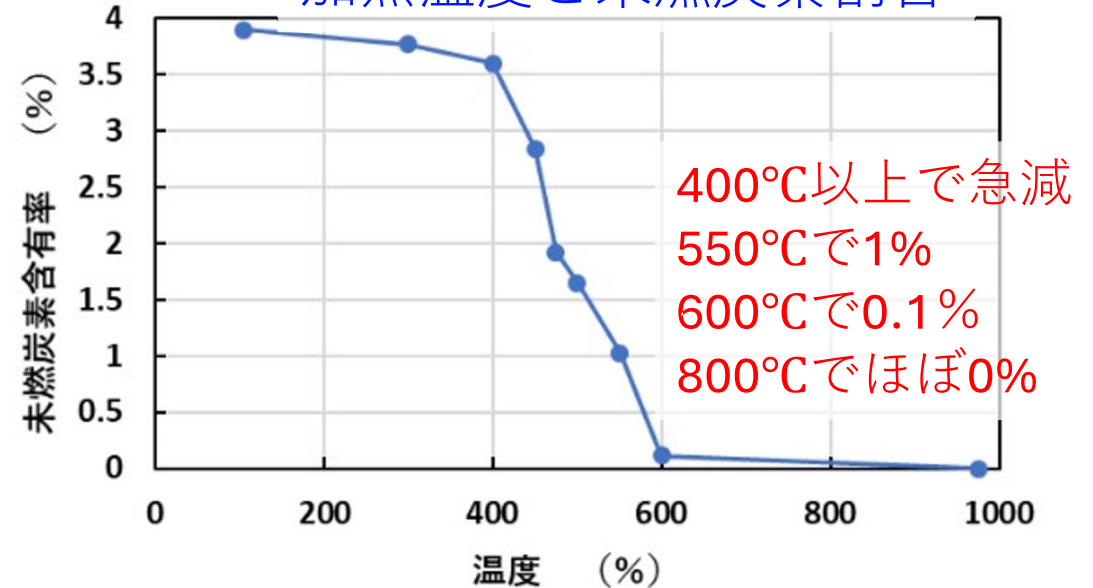
- 未燃炭素軽減試験(電気炉加熱)



昇温1時間程度
目標温度1時間保持
徐冷



加熱温度と未燃炭素割合



結合材技術の開発：使用材料と供試体作製

FAの元素割合

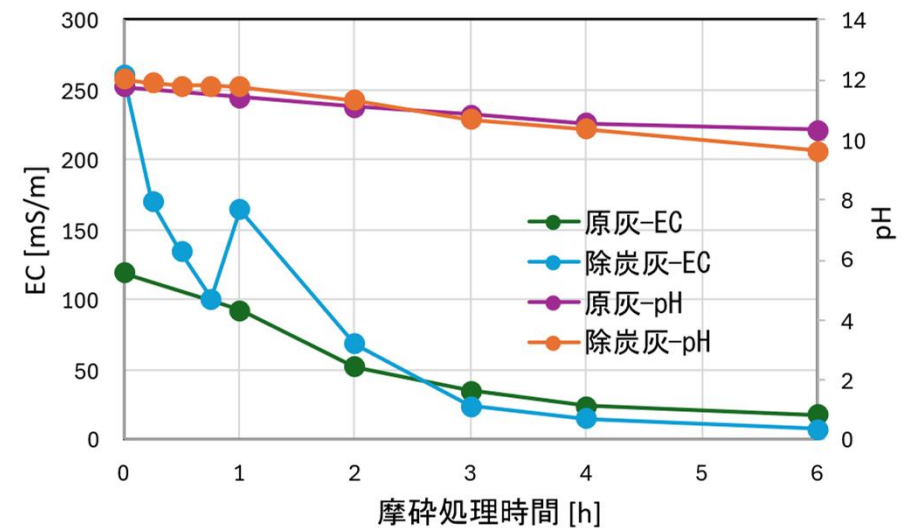
FAの元素割合

元素(酸化物 表示)	質量(%)	
	原灰	除炭灰
SiO ₂	70.63	73.38
Al ₂ O ₃	21.62	17.93
Fe ₂ O ₃	2.83	3.28
CaO	1.61	1.77
CO ₂	3.9	0.1

検討対象とした摩砕条件

	0h	15m	30m	45m	1h	2h	3h	4h	6h
		in	in	in					
原灰									○
除炭灰	○	○	○	○	○	○	○	○	○

▶ イオン交換水へ浸漬

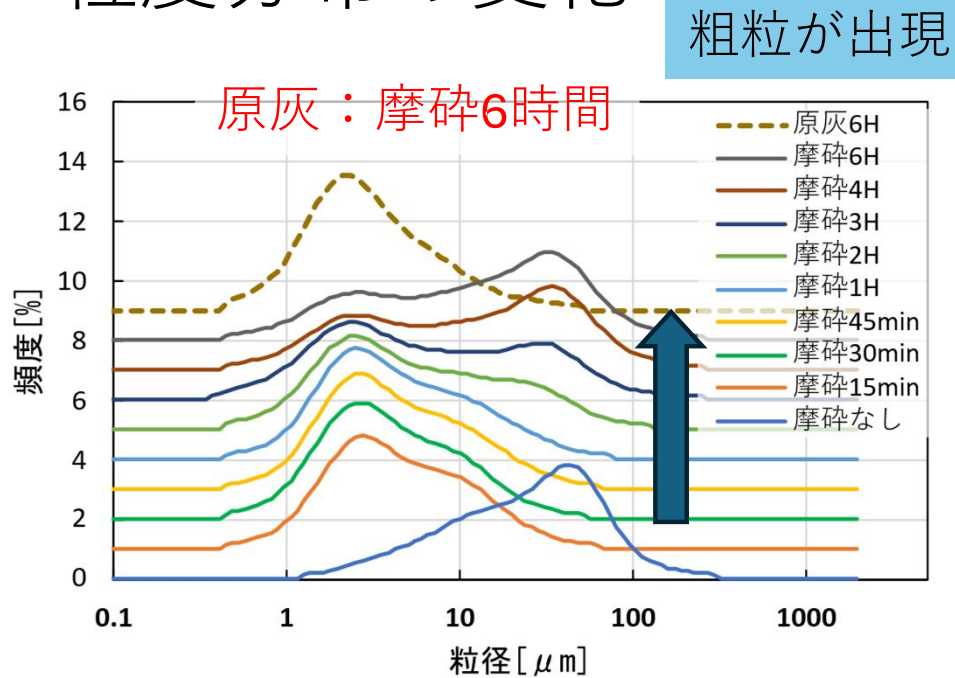


挙動はほぼ同じ

- ・ pH → 徐々に低下
- ・ 電気伝導率(イオン量) 低下

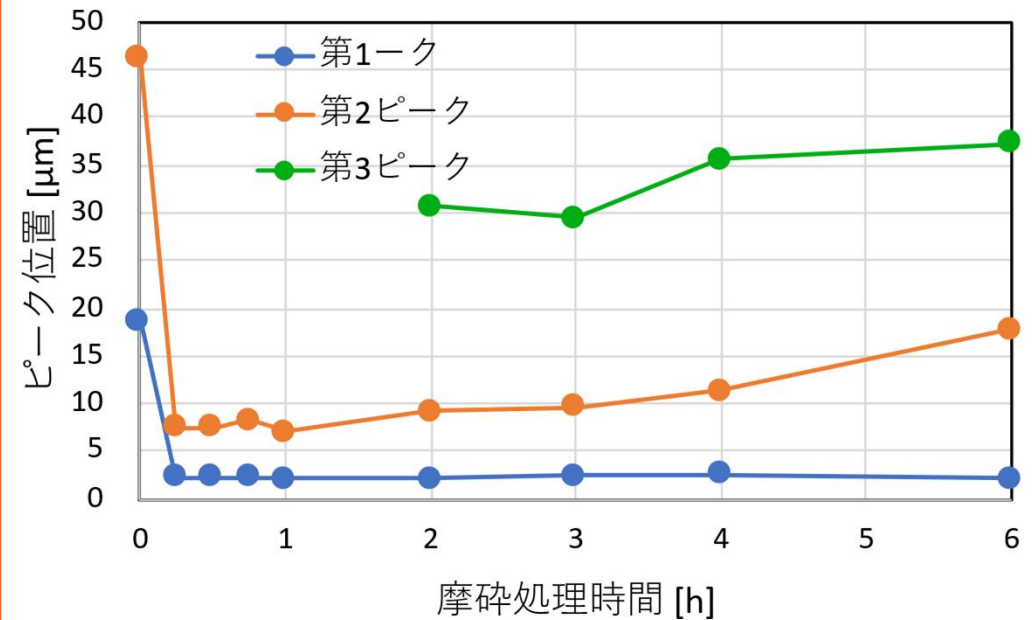
結合材技術の開発:フライアッシュの変化1

• 粒度分布の変化



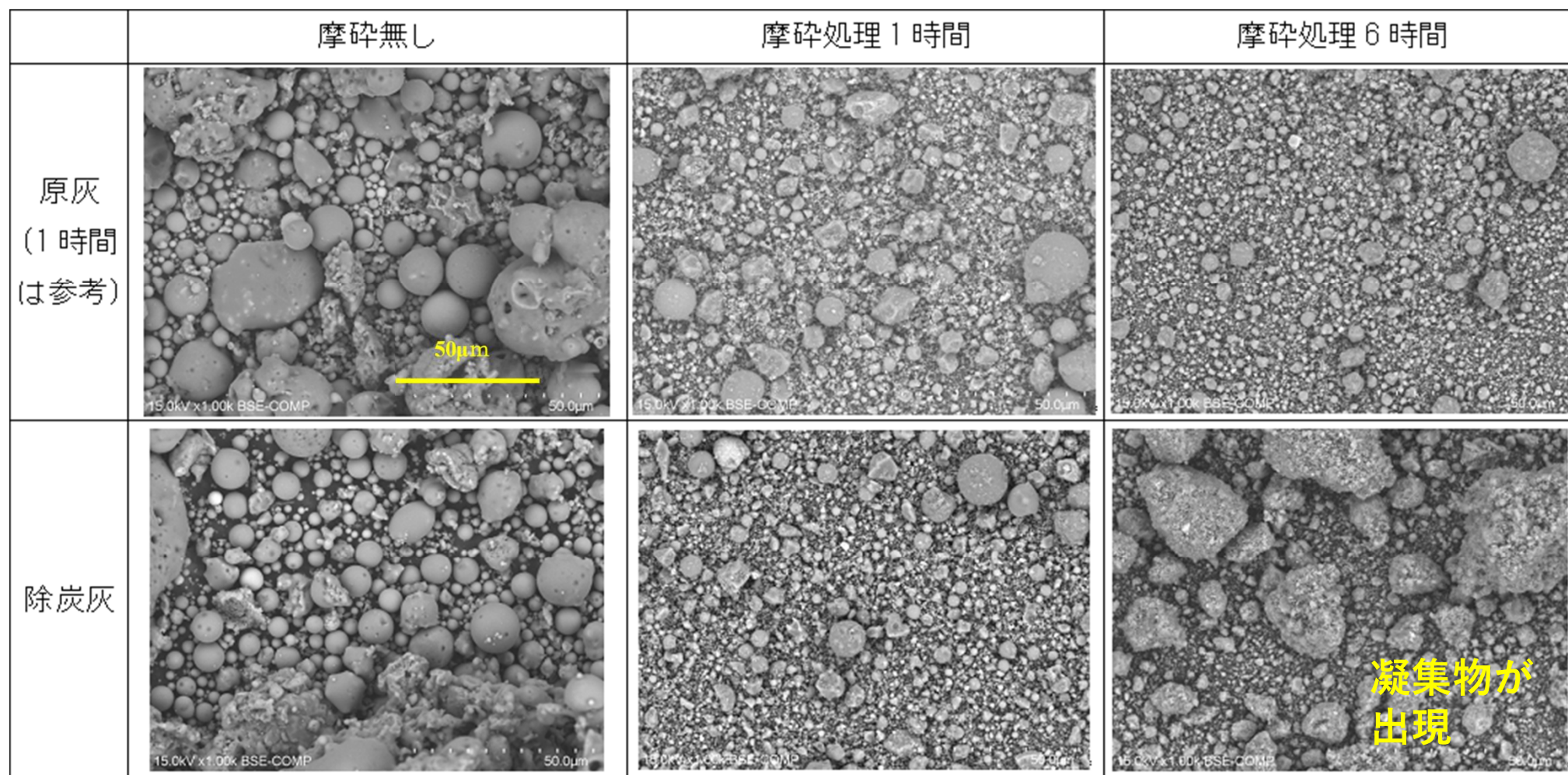
- 摩砕の長時間化に伴い粗粒成分増
- 未燃炭素除去で効率Up

• 粒度分布を解析すると



ピーク位置が粗粒側に徐々にシフト

結合材技術の開発:フライアッシュの変化2



結合材技術の開発：ペースト硬化体作製

使用材料一覧

材料名	略称	備考
フライアッシュ	FA	集塵灰(原灰・除炭)
水酸化カリウム	KOH	一般品
シリカフューム	SF	JIS A 6207適合品
イオン交換水	W	イオン交換樹脂

硬化体の配(調)合 (kg/m³)

	W/B (%)	結合材(B)		混練水(W)
		集塵灰 (FA)	シリカ フューム (SF)	水酸化カリウム溶液 (KOH溶液)
3M-40k	32.5	1397.2	42.2	467.8
4M-60k	32.5	1379.9	57.8	467.3

▶ 混練用スラリー

・KOH溶液の変更

3Mol/L → 4Mol/L に増加

・シリカフュームを溶解

Si濃度：40,000ppm

→ 60,000ppm

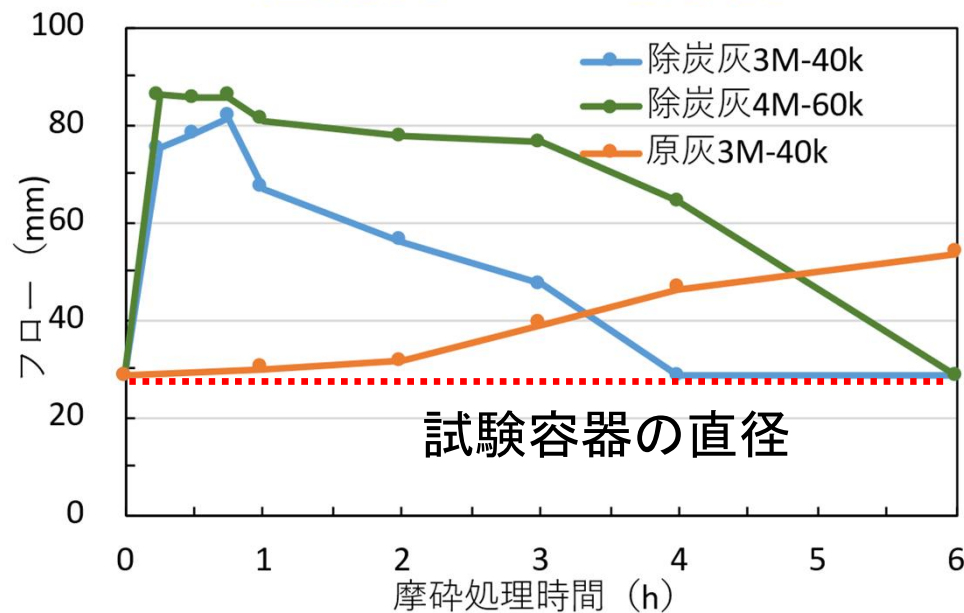
供試体作製手順

- ・摩砕処理FAとスラリーを混合
- ・2分間混練→型枠に打込
- ・型枠に振動→脱気
- ・2日間脱型せずに養生
- ・脱型してさら5日間の養生

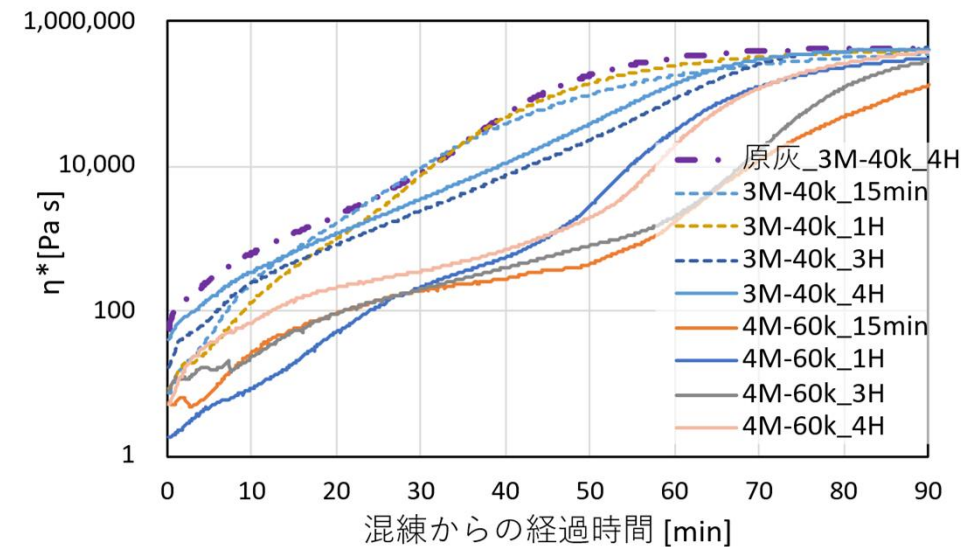
結合材技術の開発：ペースト硬化体の評価 1

▶ フライアッシュの摩砕時間とフレッシュ状態の関係

簡易フロー試験



粘性の経時変化

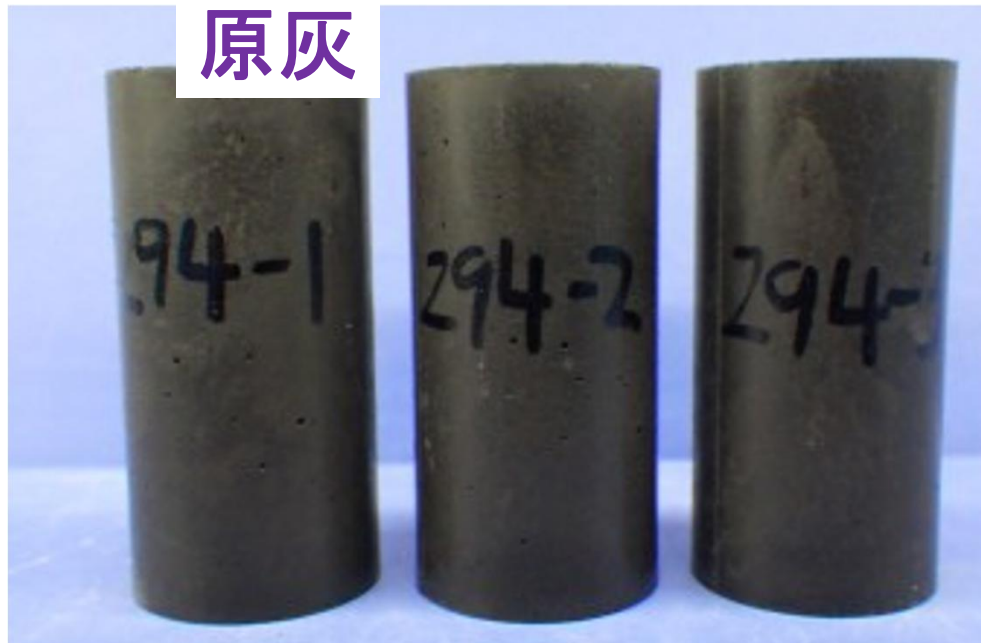


- ・短時間の摩砕で→ 粘性低下
- ・フローは1時間で最大

- ・未燃炭素除去 → 低粘性
- ・可使状態の拡大

結合材技術の開発：ペースト硬化体の評価 2

▶ 供試体の外観



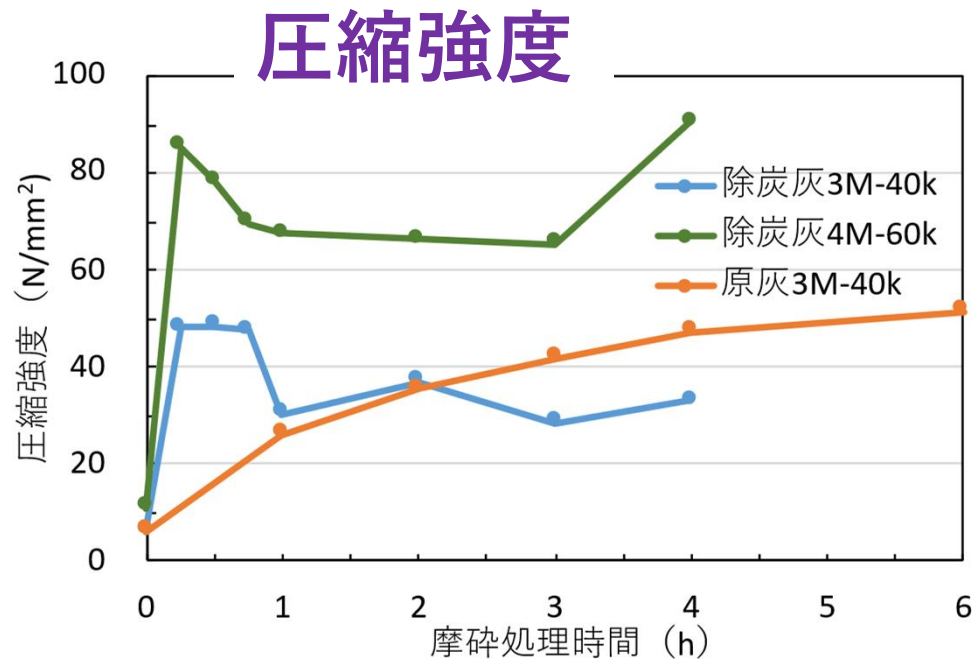
- 未燃炭素の存在で黒色
- 艶あり



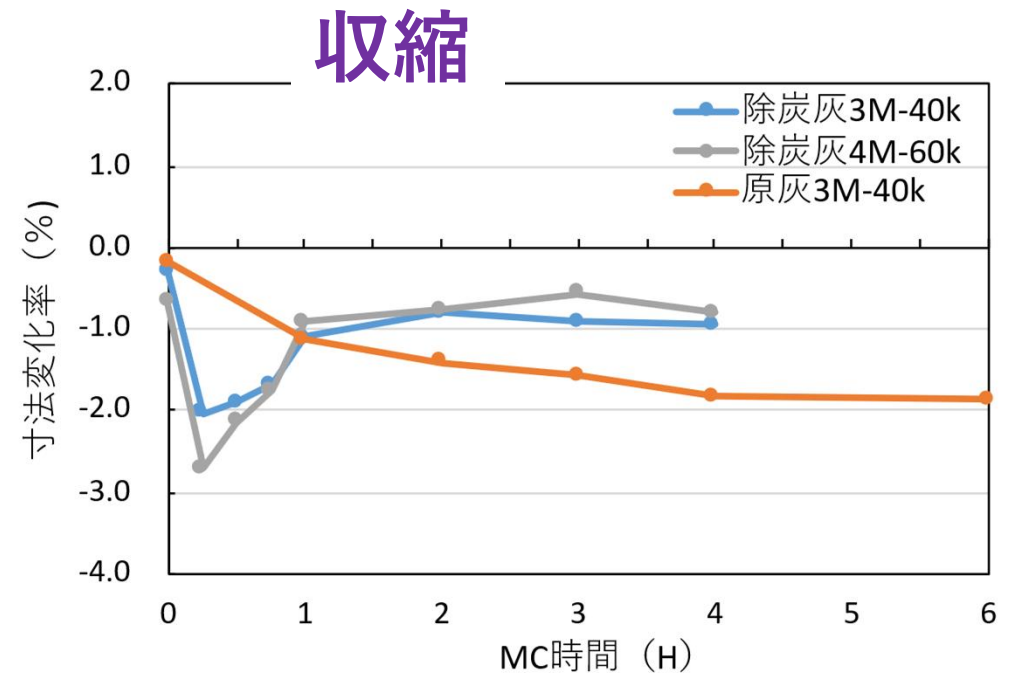
- 明灰色：OPCに近い発色
- 艶あり

結合材技術の開発: ペースト硬化体の評価 3

▶ 供試体の強度・収縮



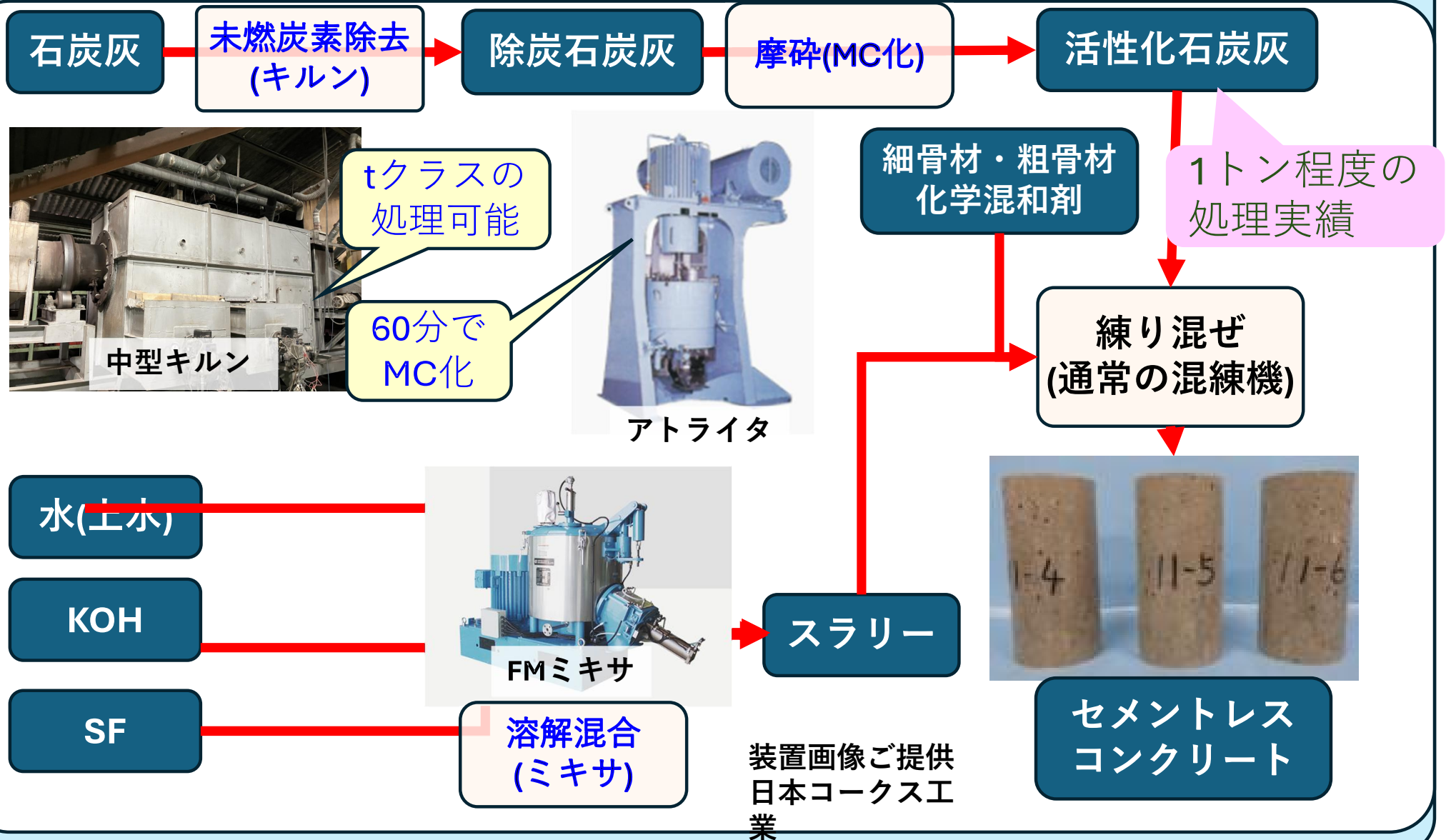
- ・ 未燃炭素除去 → 短時間で強度大
- ・ スラリーの濃度増で強度増
- ・ 6 時間では製作できず



- ・ 摩砕時間増 → 1 時間以上で抑制
- ・ 1.0% 以下に収縮抑制
- ・ 1 時間以上はほぼ等しい収縮

生産の流れ

石炭灰によるセメントレスコンクリートの生産の流れ

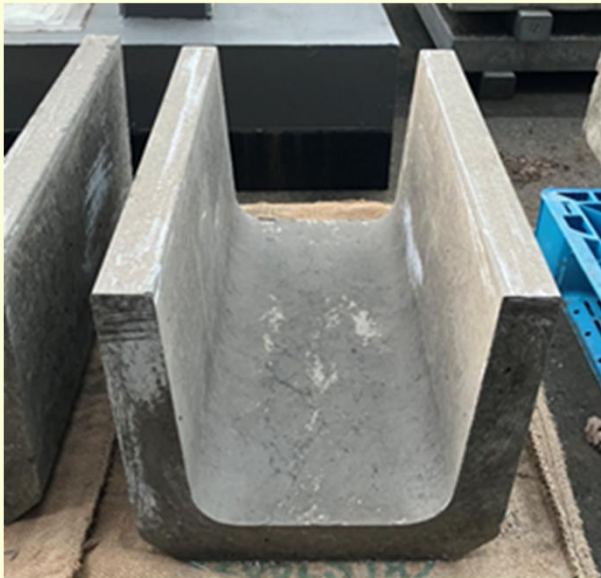


結合材技術の開発:その先の成果1

1.セメントレスコンクリート供試体製作

- ・ 石炭灰の種類を問わず結合材化可能
- ・ 未燃炭素の低減化が必要
- ・ モルタル化・コンクリート化可能

コンクリート W/B=37.5%,S/B=2.5,a/s=1.0



- ・ 流動性有り(スランプ14cm)、打ち重ね可能
- ・ 脱型に問題無し
- ・ 圧縮強度 20N/mm^2 (室温):要細骨材含水率の低減

結合材技術の開発：その先の成果2

2.セメントレスコンクリートの耐久性

化学侵食抵抗性（耐酸性評価）

- ・ 下水道事業団基準：5%硫酸浸漬試験
→112日以上浸漬(液交換あり)で変化を認めないこと
→浸漬後変化なし：高い耐酸性



▶ セメントを用いない新たな結合材を開発・改良

(結合材: 摩砕処理フライアッシュ、混練水: ケイ素溶解高アルカリ溶液)

- (1) 強力な摩砕処理でFAは結合材化
- (2) 未燃炭素の除去で、摩砕時間大幅短縮→CO₂排出量削減の手掛かり
- (3) 混練水(ケイ素溶解高アルカリ用液)の改良で性能アップ
- (4) コンクリート化が可能(摩砕実用機、大型供試体・二次製品)
- (5) 高い耐硫酸性を持つ: 下水道等高耐久部材へ

▶ 謝辞

- ・本研究はNEDO助成事業の成果です。
- ・フライアッシュは電源開発株式会社よりご提供いただきました。
ここに銘記し謝意を表します。