NEDO脱炭素技術分野成果報告会2025
プログラムNo.8

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：2025年　7月15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

発表者名　人見尚
*(株)大林組・シーカ・ジャパン(株)・(国)名古屋工業大学・(国)北海道大学
問い合わせ先　株式会社大林組　E-mail:　hitomi.takashi@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

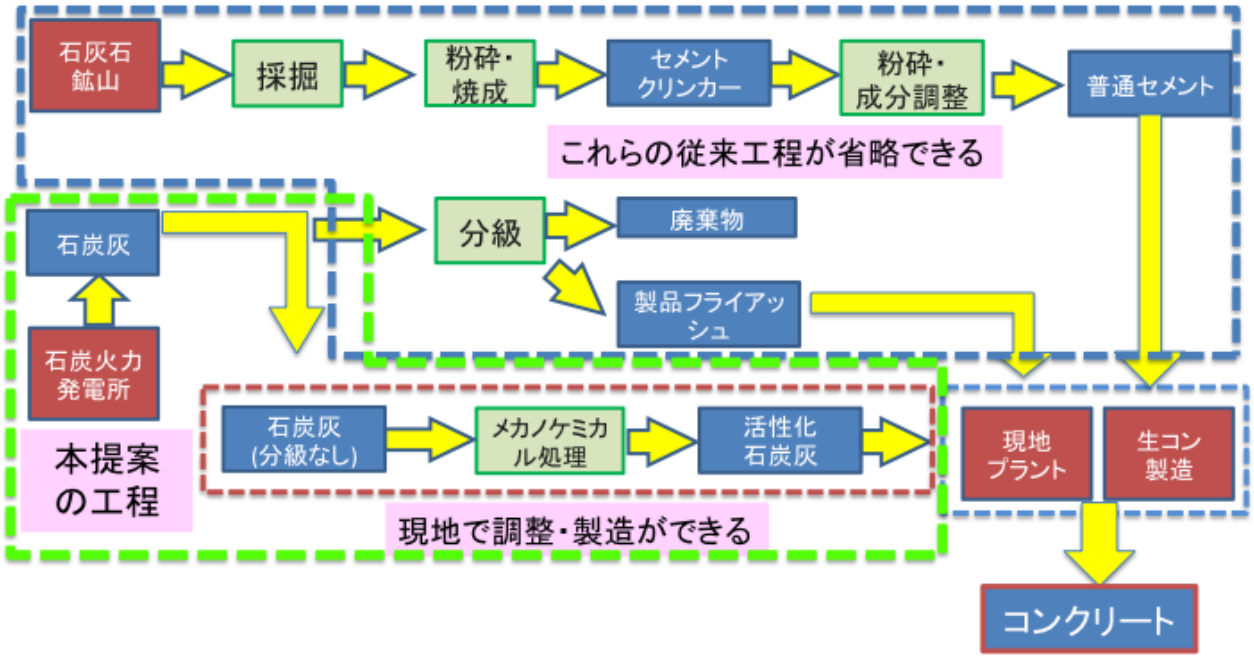
→ ジオポリマー、セメントレスコンクリート(本提案)

本事業の目的・目標

目的：石炭灰の有効活用
目標：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年における具体的目標

- 製造規模 10m^3 → 小規模施工・補修工事に対応（生産量は石炭灰処理装置）
- 長期安定性（高耐久性）
- CO_2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)

可溶性　　難溶性

$C_3S(3CaO \cdot SiO_2) + H_20 \rightarrow Ca(OH)_2 + nCaO \cdot mSiO_2 \cdot H2O$

$C_2S(3CaO \cdot SiO_2) + H_20 \rightarrow Ca(OH)_2 + nCaO \cdot mSiO_2 \cdot H2O$

水酸化カルシウム　　カルシウムシリケート水和物

ここに化学成分の侵入

硬化コンクリート中のCaは水に触れると徐々に溶解

石こうの生成　：　$Ca^{2+} + SO_4^{2-} \rightarrow CaSO_4$：膨張性・強度低下

炭酸カルシウムの生成：　$Ca^{2+} + CO_3^{2-} \rightarrow CaCO_3$：中性化(鉄筋腐食)

- そのそもの狙い：「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)

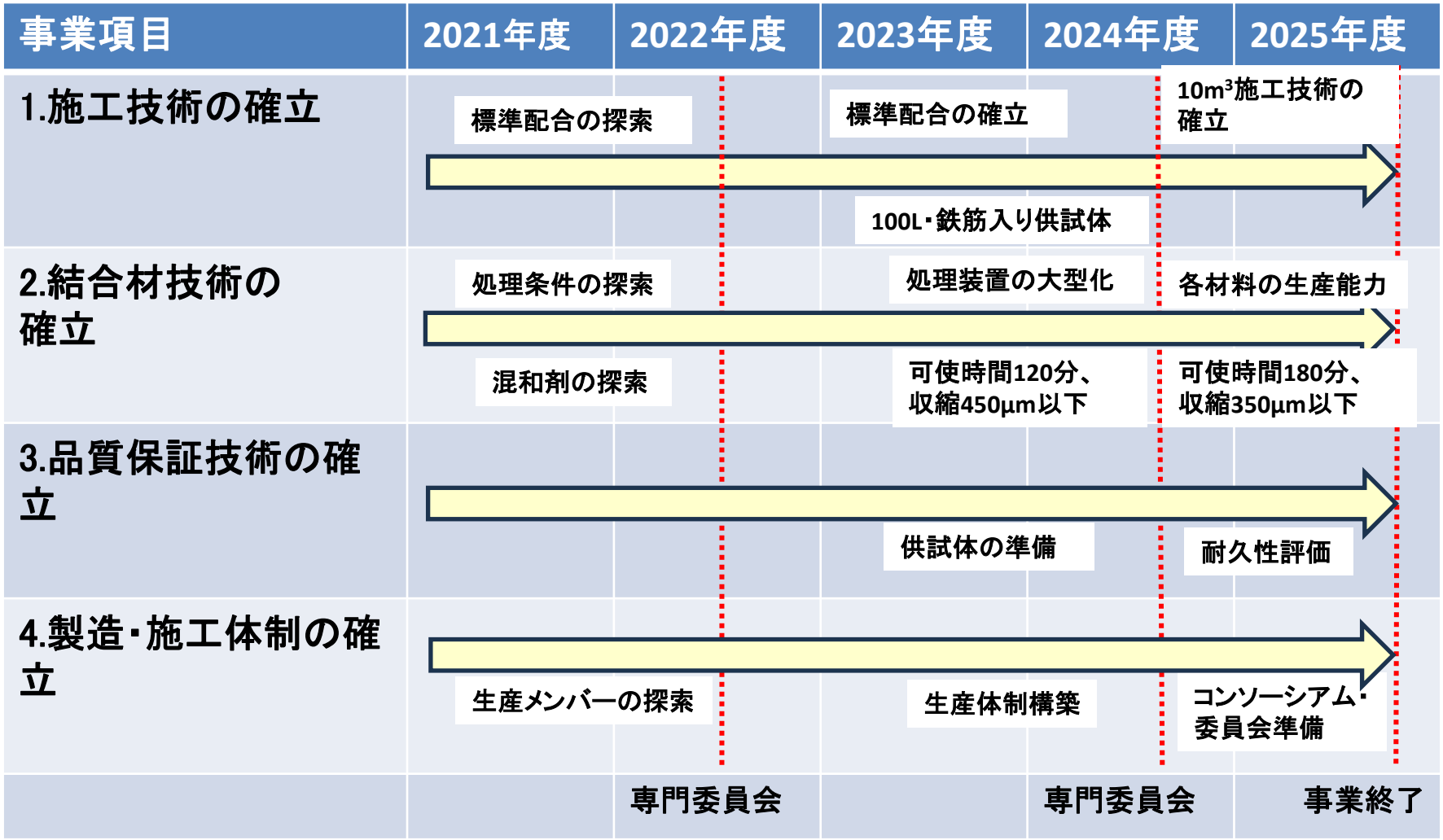
- 石炭灰に強力な摩砕処理を加え機械的刺激で化学反応性を引き出す

→ 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	混錬方法・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 300μ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	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
		規準化		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

スケジュール



以下、研究成果を報告します

結合材技術の開発：使用材料

- 石炭灰(フライアッシュ: FA)：集塵灰
  → 分級無し(JIS灰では無い)

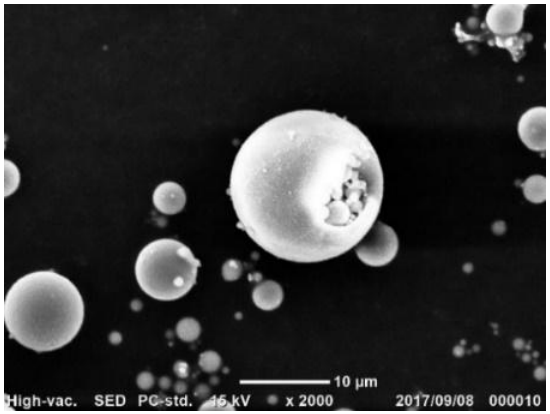
FAの元素割合

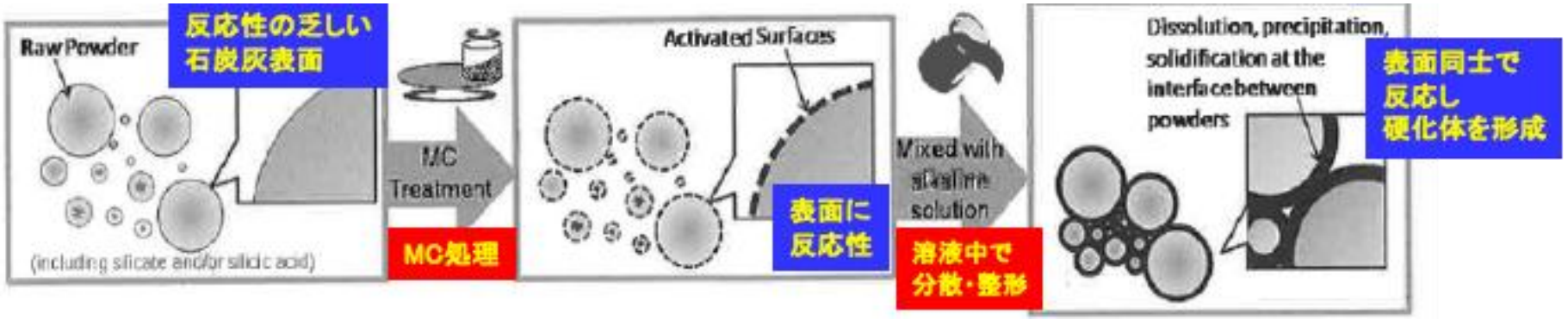
元素(酸化物表示)	質量(%)
SiO_2	67.35
Al_2O_3	20.87
CO_2	4.52
Fe_2O_3	2.63
CaO	1.51

- FAの構成鉱物

Quartz ＞ Mullite ≫ Hematite ≫ Calcite
SiO_2　$mCaO \cdot nSiO_2$　Fe_2O_3　$CaCO_3$

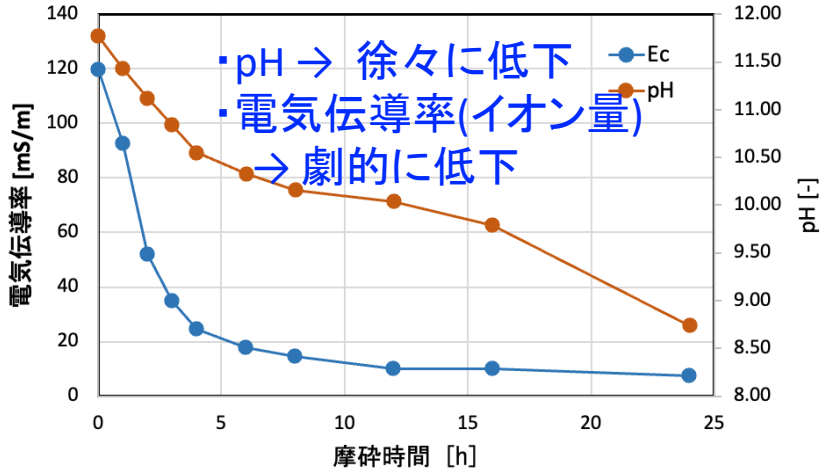
- FAの摩砕処理
  - 遊星型ボールミル
  - ジルコニア製摩砕用ポッド(1L)
  - ジルコニア製のD10mmのボール500gとFA50gを封入　：回転数300rpm



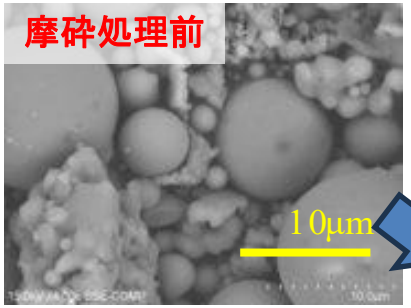


結合材技術の開発：フライアッシュの変化(その1)

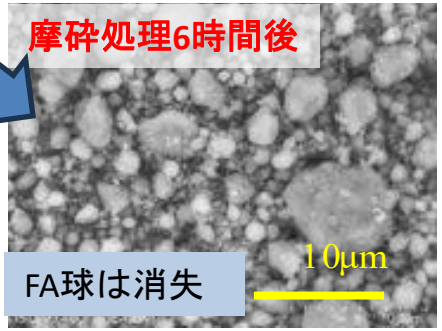
イオン交換水へ浸漬



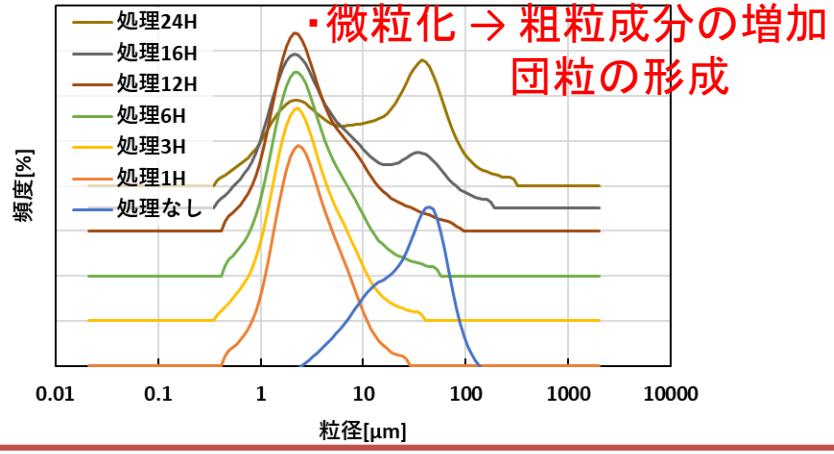
SEM像による観察



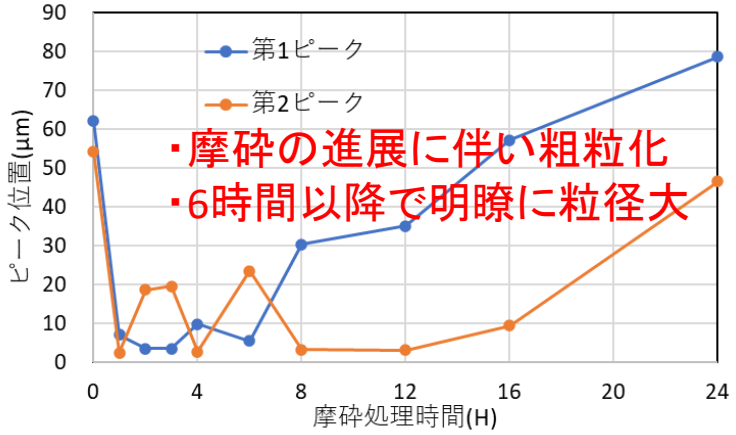
FA球および
異形の材料
(FA球＋未燃炭素？)



粒度分布の変化

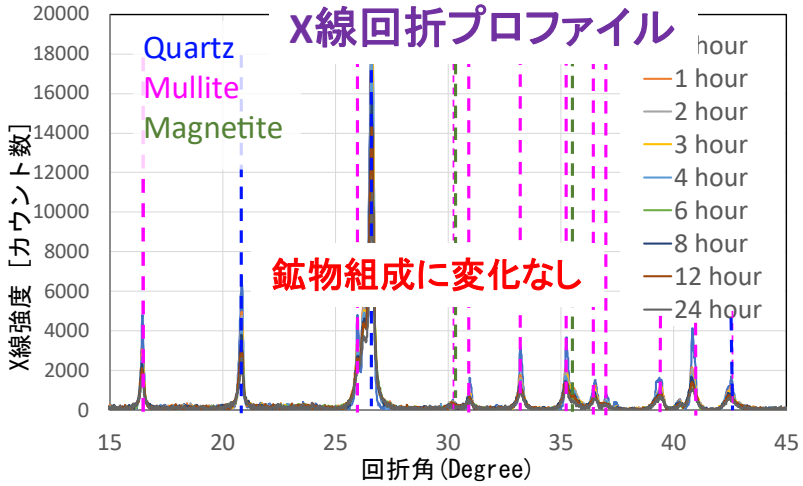


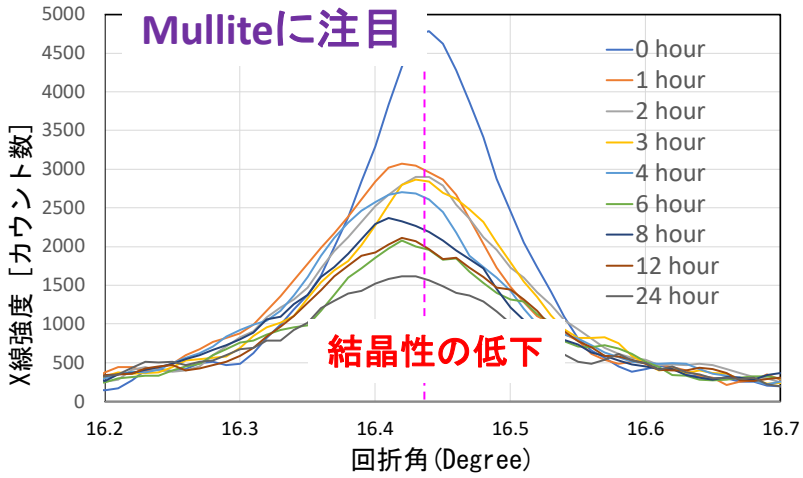
粒度ピーク位置の変化

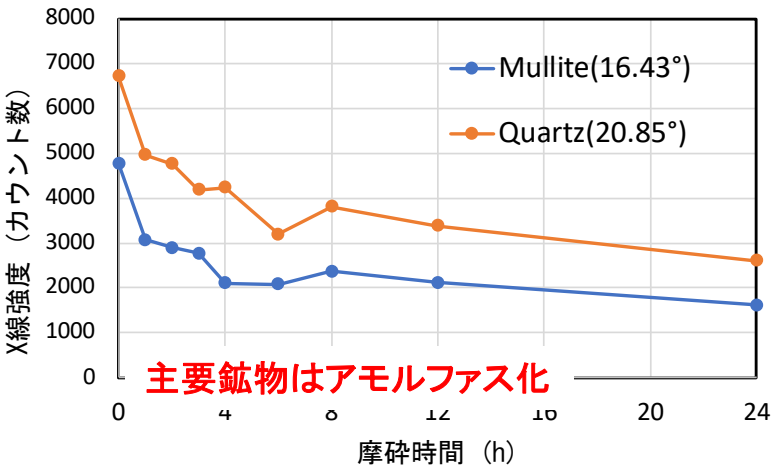


結合材技術の開発:フライアッシュの変化(その2)

- 鉱物組成の変化







話は変わりますが。。

- 混練用スラリー

・3Mol/L KOH溶液

・シリカフュームを溶解

Si濃度：40,000ppm

結合材技術の開発：ペーストの硬化体作製

- 供試体の作製

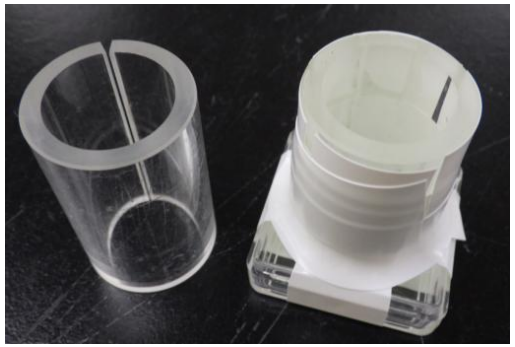
・摩砕処理FAとスラリーを混合

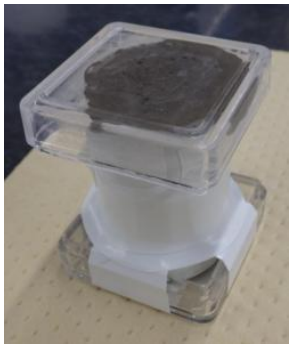
・2分間混練し，型枠に打込み

・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

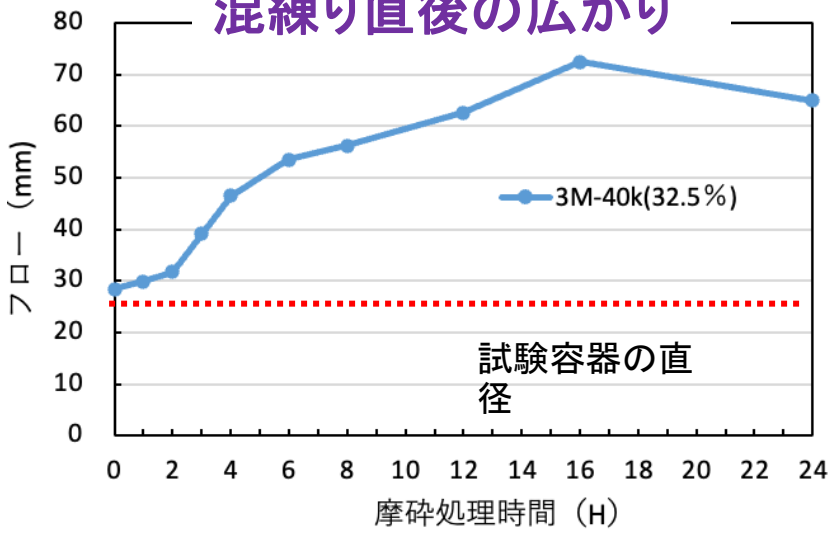
硬化体の配(調)合 （kg/m^3）

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

結合材技術の開発：ペースト硬化体作製による評価 1

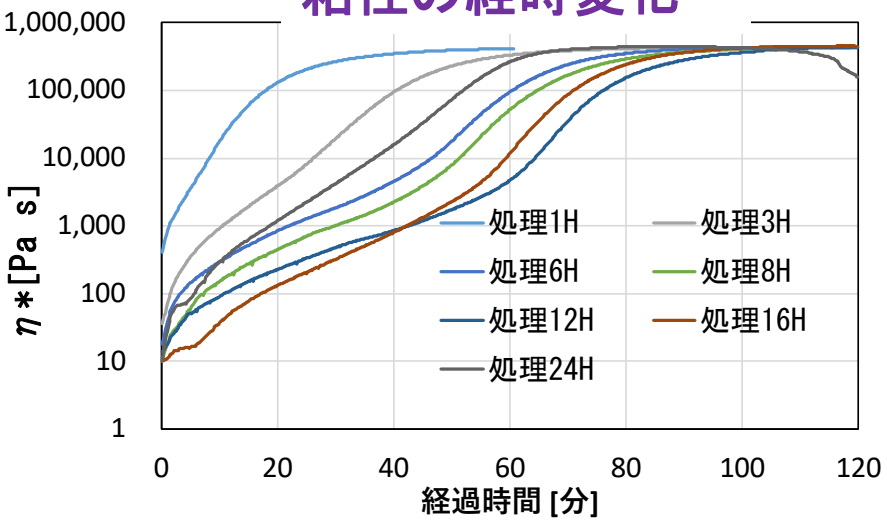
フライアッシュの摩砕時間とフレッシュ状態の関係

混練り直後の広がり



・摩砕時間増 → 粘性は低下
・粘性は16時間が最大

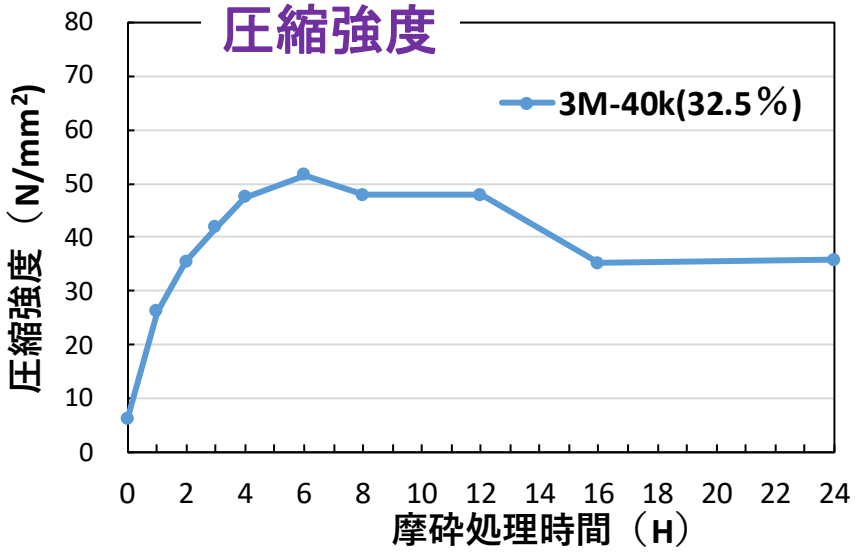
粘性の経時変化

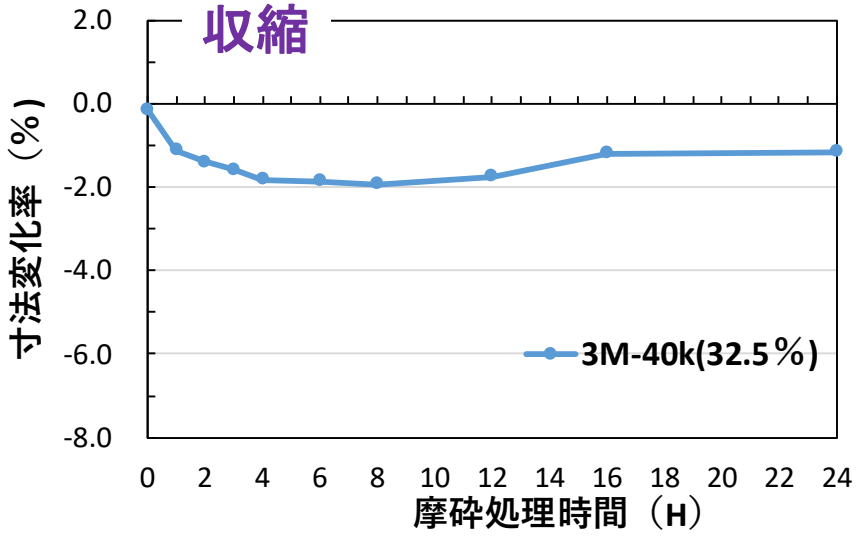


・摩砕時間増 → 低粘性状態維持
・60分程度は可使状態
・粘性は16時間で飽和

結合材技術の開発：ペースト硬化体作製による評価 2

- 供試体の圧縮強度





- 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

- 摩砕時間増 → 収縮の傾向
- 最大2.0% → 大きい 要収集低減剤
- 収縮は6時間で飽和

結合材化石炭灰を用いた供試体の試作

- 結合材技術を用いモルタル･コンクリートを製作

→ 現在開発中の成果(知財化･論文化作業中)を集約して作製

モルタル：二次製品の試作

下水道など化学的苛烈環境への適用

U字溝模擬供試体：長さ20cm程度

コンクリート：鉄筋入り直方供試体

現場打込み可能性を検証

90Lクラス供試体：北大にて作製

今後の技術課題･まとめ

▶ 今後の技術課題

(1) 可使時間の確保 ： 硬化時間は最大120分だが全ての配合で180分を

(2) 石炭灰の品質変動に対応 ： 組成変化の影響は把握→配合設計に反映

(3) 耐久性評価 ： 硫酸など化学侵食耐久性の評価

(4) 生産体制･ビジネスモデルの確立 ： 製造システムはほぼ確立

▶ まとめ

石炭灰を結合材化しセメント不使用コンクリート技術を開発

(1) 石炭灰に強力な摩砕加工 →結合性を付与できる

(2) 摩砕処理石炭灰：一旦微粒化 → 凝集による粗粒を形成

(3) ケイ素＋アルカリ性溶液(助材)で混練 → 硬化体を作製：結合材となる

(4) これらを応用し、モルタル二次製品コンクリートの製作が可能に