

化学分析手法によるフライアッシュ固化体の材料特性評価

中国電力（株） エネルギア総合研究所 ○正会員 松尾 暢 中本 健二 及川 隆仁
中国電力（株） 電源事業本部 正会員 樋野 和俊

1. 研究目的

本研究の目的は、石炭火力発電所から発生するフライアッシュ（FA）とセメントにより製作した固化体の材料特性を化学分析手法により定量評価することである。FAは、コンクリート用混和材として活用され、水和発熱抑制、長期強度の改善等に効果がある。

著者らは、FAを大量に活用した固化体に関する研究開発に取り組んでいる。FAにセメントと水を混合し製造される固化体について、セメントのみで硬化した固化体との化学特性を定量的に比較することで、その材料特把握を試みた。

2. フライアッシュ固化体

FA固化体は、FA（中国電力（株）産）と高炉セメントB種および結合水の化学反応（水和反応とポズラン反応）により生成される化合物である。FA固化体は従来から、空隙率と比表面積が大きく、ポーラスな構造であることが知られている。FA固化体はFA100に対して外割でセメントを15%添加、セメント固化体は比較材料としてセメントに適量の水のみを添加し製作した。

3. 化学分析手法による評価方法

FA固化体とセメント固化体を同時に製造、養生、および分析を実施することで材料特性を評価した。なお試料分析（表-1）はすべて製造6ヶ月以上の養生期間を経たのちに実施した。XRF（蛍光X線分析）およびXRDによる定性・簡易定量分析では、試料を粉碎し素材を均質化して偏りが無くなる様に調整した。

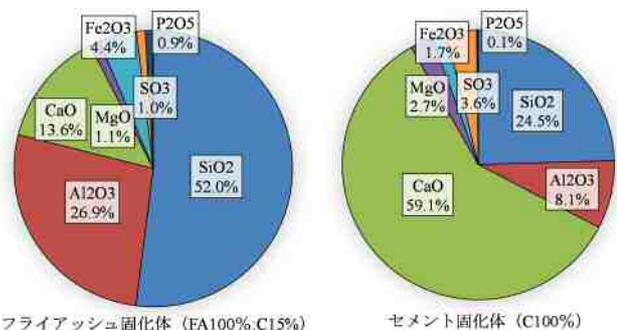


図-3 XRFによる固化体の元素構成比

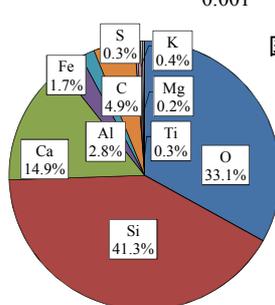


図-4 FA固化体のEPMA分析結果

表-1 固化体の化学分析項目

項目	分析対象:FA固化体およびセメント固化体
比表面積/細孔分布	気体吸着法および水銀圧入法
元素構成の評価	蛍光X線(XRF)分析による簡易定量分析
元素組成評価	X線マイクロアナライザー(EPMA)による分析 (FA固化体のみ)
結晶組成物の評価	XRD回折による簡易定量分析
組成物質量把握	熱重量・示差熱分析(TG/DTA分析)
結晶組成物観察	SEM画像による観察

表-2 固化体の配合と分析結果

重量比		乾燥密度 (g/cm ³)	空隙率 (%)	比表面積 (m ² /g)	非晶質強度 (cps)	全強度 (cps)	非晶質質量評価
FA	高炉セメント						
100%	15%	1.25	40.9	11	385542	629942	61.2
0%	100%	2.07	13.1	7	135842	326505	41.6

非晶質質量評価=(非晶質強度/全強度×100)

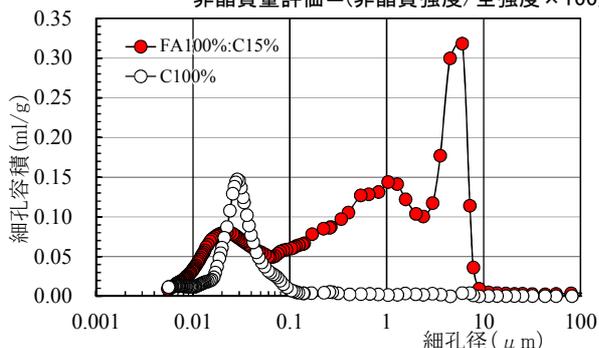


図-1 固化体の細孔容積分布

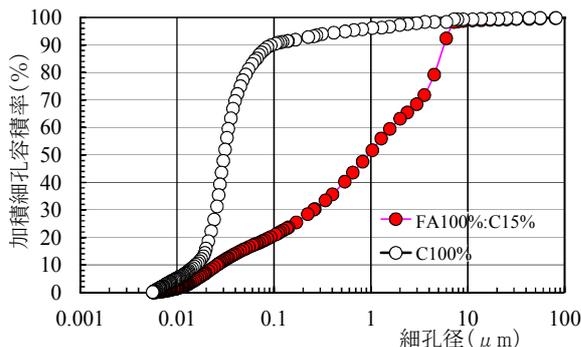


図-2 固化体の加積細孔容積率分布

表-3 固化体の結晶組成物と化学式

結晶組成物名称	化学式
Mulite	Al ₆ Si ₂ O ₁₃
Calcite	CaCO ₃
Quartz	SiO ₂
Hatruite	Ca ₃ Si ₅ O ₅
Portandite	Ca(OH) ₂

キーワード フライアッシュ, ポズラン反応, 石炭灰有効活用

連絡先 〒739-0046 東広島市鏡山3-9-1 中国電力（株） エネルギア総合研究所 TEL050-8202-5270

4. 分析結果と考察

(a) 固化体の基礎特性と比表面積と細孔分布

固化体の基礎特性（乾燥密度，空隙率，および比表面積）を表-2 に示す．比表面積および細孔分布（図-1, 2）は，FA 固化体で大きい．著者らはこれまでに，ポゾラン反応率が高い場合に比表面積が大きいことを報告¹⁾しており，この細孔の発達はFA によるポゾラン反応に起因すると評価できる．

(b) 固化体の元素構成と結晶組成物質

固化体の元素構成（図-3）と XRD（図-5）による組成物質（表-3, 図-6）が定量把握された．EPMA 分析（図-4）では，FA は石炭燃焼後の酸化物であり O（酸素）元素比率が高く確認された．

(c) FA 固化体の熱重量・示差熱分析結果

TG 曲線（図-7）は熱重量分析結果であり，下降は質量減少を示す．DTA 曲線（図-8）は示差熱分析（熱的挙動）であり上昇は発熱現象，下降は吸熱現象を示す．図中 25～300 °C は付着水の脱離，セメント水和物や *Ettringite* 等の脱水分解による質量減少と吸熱である．400～550 °C は *Portlandite* の脱水分解による質量減少と吸熱，600～900 °C は固化体に含まれる *Calcite* の脱炭酸による質量減少と吸熱反応が主反応である．

(d) 固化体の SEM 画像観察

SEM 画像は，試料を切断し内部を観察した．結晶組成物の生成状況が SEM 画像により確認された．写真-1 に示されるように，FA 固化体では，微細な細孔と針状結晶の発達が確認された．セメント固化体は塊状であり微細構造は確認されなかった．XRD では把握されなかった *Portlandite* と考えられる六角板状の結晶性水和物も確認された．

5. 結論

本研究により，FA 固化体とセメント固化体について，化学的な材料特性が定量的に評価された．分析結果は FA 活用研究を進めるうえで有益な基礎データである．本データは FA 固化体の配合を検討するうえで，基礎データとして活用可能である．

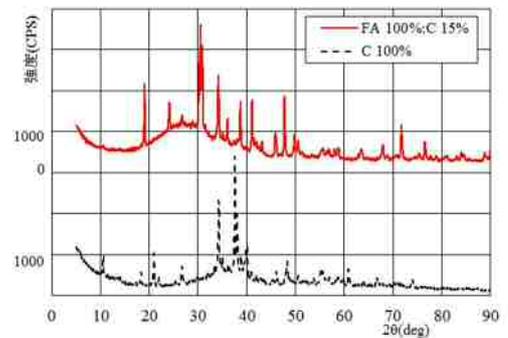


図-5 固化体の XRD 回折結果

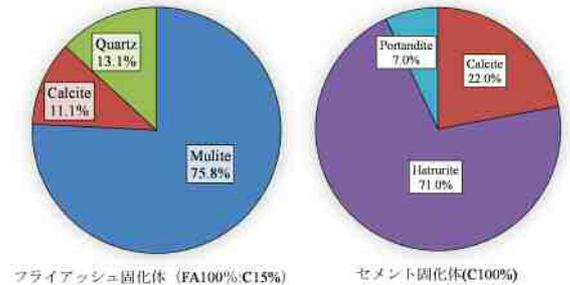


図-6 XRD による固化体の結晶組成物質

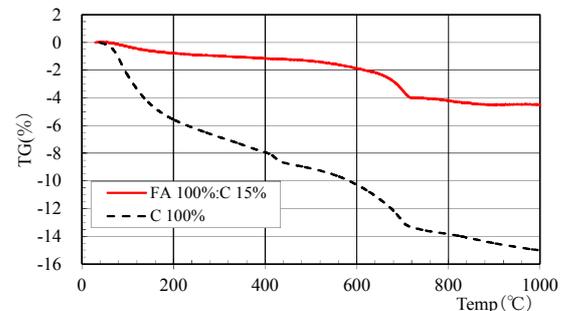


図-7 固化体の TG 曲線

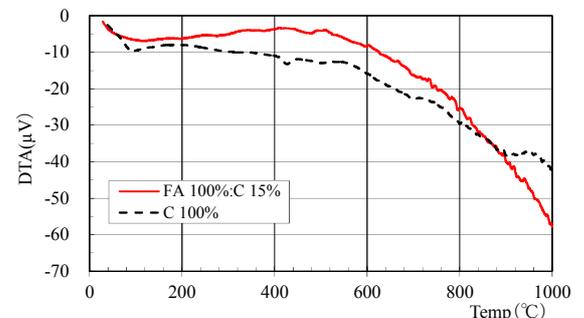
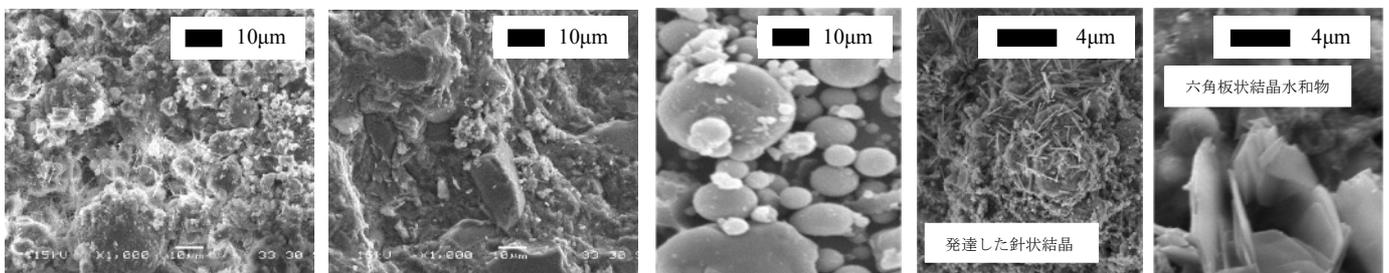


図-8 固化体の DTA 曲線



(a)FA 固化体 FA100%:C15% (b)セメント固化体:C100% (c)固化体に用いた FA (d)FA 固化体内部(1) (e)FA 固化体内部(2)

写真-1 固化体およびフライアッシュの SEM 画像

参考文献

- 1) 井上智子，中本健二，樋野和俊，浅岡聡：覆砂材に活用される石炭灰造粒物の硫化物イオン吸着機能に着目した最適配合の検討．土木学会第 70 回年次学術講演会概要集，VII-065，pp. 129-130，2015．