

放射光 X 線イメージングデータの画像解析による多孔質材料の密度評価

○藤崎 聡美^{a)}、河野 裕一^{b)}、宮原 英隆^{c)}、万福 和子^{c)}、田沼 萌^{a)}、
水戸谷 剛^{b)}、鈴木 正哉^{c)}、吉本 則之^{d)}

^{a)}岩手大学 理工学系技術部、^{b)}東日本機電開発株式会社、^{c)}産業技術総合研究所、^{d)}岩手大学 理工学部

1.研究の背景と目的

2019 年に NEDO が行った調査¹⁾により、日本国内で廃棄されている熱資源の 8 割弱が 200 °C 以下の低温熱であり、回収されている熱の大部分は 200～500 °C の高温熱であることが示された。この課題に対し、産業技術総合研究所は、多孔質材料「HASClay®」(以下 HASClay)²⁾を開発した。HASClay は 100 °C 以下の低温熱を繰り返し回収・利用できる蓄放熱材料ともいえる。東日本機電開発株式会社(岩手県盛岡市)は、HASClay を用いて地域の未利用熱を回収・利用する「地域熱エネルギー循環システム」³⁾を開発している。回収した熱は、冬期のビニールハウス用暖房等への利用検討がなされている。

HASClay の蓄放熱性能を持続させ、かつさらなる性能向上を目的としていることから、そのために必要な水蒸気の内部挙動を把握するため、我々は令和 3 年度から HASClay の内部状態を非破壊で観察できる「放射光 X 線イメージング測定 (CT 測定)」を行っている。

測定の結果、HASClay 内部において密度に差のある領域の存在が判明したものの、その密度算出には困難が伴った。そこで数種のファントム材も測定し、再構成後のグレイ値(以下 CT 値)や組成比・既知密度の総合的な解析によって、蓄放熱による HASClay 内部の微細な密度変化をとらえることに成功した。本報告では、この密度算出方法について紹介する。

2.実験条件

2-1.測定した HASClay について

HASClay は、GI と呼ばれる蓄放熱性能の高いものと、GII と呼ばれる農業用ハウスなど高湿度条件下での利用に適するものがあり、GI・GII 共に粉末状態と造粒体の 2 種のタイプ⁴⁾がある。本実験において、蓄放熱状況下にさらしていないものを「未使用品」、高温水の吸着と高温での乾燥を繰り返す過酷な蓄放熱状態を繰り返したものを「強制劣化品」と定める。

2-2.放射光 X 線イメージング測定について

本実験は、九州シンクロトロン光研究センター(以下 SAGA-LS)の BL07 第 2 実験ハッチで行った。最大視野角が 2 mm(H)×2 mm(W)であるため、HASClay の造粒体を外径 2 mm のチューブに入るよう成形したのち 4 水準の吸湿状態にした。測定中に水分の吸着・脱離が起きないようにポリプロピレンチューブに封じたものを測定に用いた。

撮影は 1000 枚 / 360 °で、測定は 11 keV 及び 15 keV で行った。測定後のデータは、SAGA-LS の米山氏が開発した SAKAS⁵⁾を用いた再計算後、ImageJ-Fiji で再構成および解析を行った。

また、HASClay の密度算出に向けたファントム材には Al₂O₃ 及び SiO₂、H₂O を選択した。測定時は、これらファントム材もポリプロピレンチューブに入れた。

2-3.組成算出について

HASClay の組成は SEM-EDS 観察で導出した。HASClay は粉末の押出成形で造粒体を作製しているため、同手法で柱状成形した乾燥サンプルを用いた。

3.結果

図2に、GIIの未使用品及び強制劣化品について、含水量100%から完全乾燥まで4水準の含水量サンプルを測定した結果を示す。再構成後のCT像にて明暗が視認できたため、画像のCT値を用いた密度算出が可能であると示唆された。また、内部に高輝度の箇所が確認できた。不純物の可能性が示唆されたためSEM-EDS測定で確認したところ、

酸化チタンもしくは酸化鉄であることが分かった。密度算出時は、不純物由来のデータは用いていない。

図3には、ファントム材を用いて算出した各含水状態のHASClay GIIの密度値及びグレイ値の変容（ヒストグラム）を示す。未使用品のGIIは水分が容易に離脱する一方、強制劣化品では段階的に密度変化が起きることが分かった。水分が離脱しづらくなる様子をとらえることができたと考えられる。

ファントムを用いた密度算出の方法や、その他の測定データは発表時に紹介する予定である。

尚、本研究の一部はOpenCeramics誌に原著論文⁹⁾として掲載済みである。

謝辞

本実験に際し多大なるご協力を賜りました、吉本研究室所属の岩手大学大学院理工学専攻 柴田 凜平氏（当時M2生）、荒川 創汰氏（当時M1生）、岩手大学理工学部 村山 峻之介氏（当時B4生）、SAGA-LS 米山 明男博士、廣沢 一郎所長、岩手大学理工学部 関本 英弘助教に深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101074.html
- 2) https://unit.aist.go.jp/georesenv/geosustain/res_geo2020/ja/groups/HC2020.html
- 3) <https://www.kidenkaiatsu.com/business/pioneering4.html>
- 4) https://www.iskweb.co.jp/research/pdf/has_clay.pdf
- 5) <https://github.com/SAGALS-IMG>
- 6) <https://doi.org/10.1016/j.oceram.2025.100882>

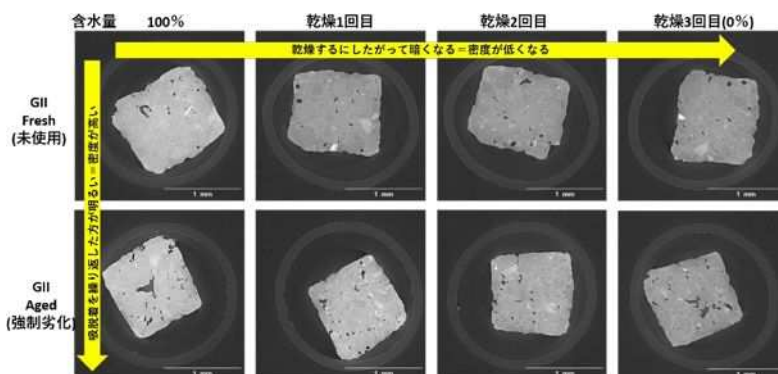


図2 GII 未使用品及び強制劣化品の測定結果

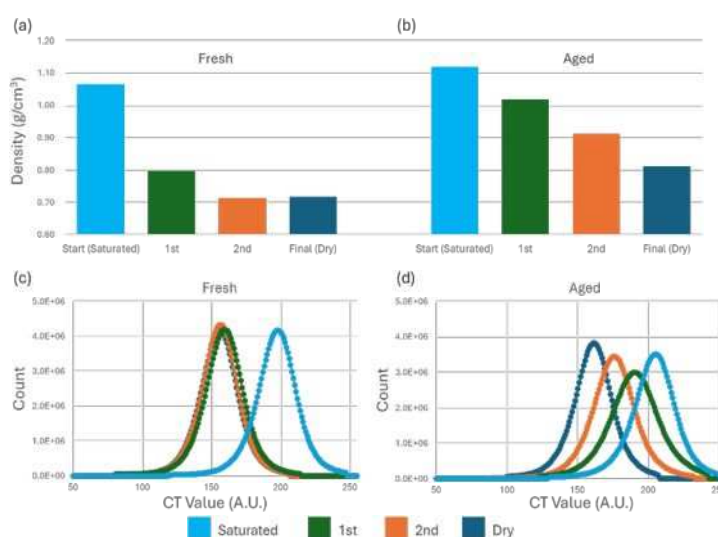


図3 GII 未使用品及び強制劣化品の密度とCT値の変容