T2R2 東京科学大学 リサーチリポジトリ
Science Tokyo Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Material Development of Calcium Oxide-Based Media for Thermochemical Energy Storage
著者(和文)	GuoRui
Author(English)	Rui Guo
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11824号, 授与年月日:2022年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:加藤 之貴,小林 能直,塚原 剛彦,原田 琢也,吉田 克己
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11824号, Conferred date:2022/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

Powered by T2R2 (Science Tokyo Research Repository)

（博士課程）

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第　　号		学位申請者氏名		GUO Rui	
論文審査 審 査 員		氏　名	職　名		氏　名	職　名
	主査	加藤之貴	教授	審査員	吉田克己	准教授
	審査員	小林能直	教授			
		塚原剛彦	教授			
		原田琢也	准教授			

論文審査の要旨（2000 字程度）

本論文は「Material Development of Calcium Oxide-Based Media for Thermochemical Energy Storage」と題し、7章より構成されている。

第 1 章「Introduction」ではカーボンニュートラル(CN) 実現のためにエネルギー効率を改善し、温室効果ガス排出量を削減する必要性を研究背景として説明し、この削減に貢献しえる化学蓄熱(TCES, Thermochemical Energy Storage) の研究開発の意義について述べている。TCES が実装されると余剰エネルギーを貯蔵し、高需要時に熱・電力供給が可能となり、電力供給網全体のエネルギー効率を改善できると述べている。次いで酸化カルシウム/水系(CaO/H_2O)TCES の原理、電力網安定化向け TCES としての価値を示し、既往研究を参照して、CaO 材料の繰り返し反応において粉体の凝集、体積変化、および不十分な機械的安定性が課題であることを指摘している。そしてそれらの解決のための新規材料開発が本研究の目的であると示している。

第 2 章「Hydration Reactivity Enhancement of Calcium Oxide-Based Composite Powder」では、CaO 材料の繰り返し反応性の向上のために、前駆体として炭酸カルシウムを TEOS-SCA（tetra-ethoxysilane および saline coupling agent の 50wt%:50wt%混合物）と混合した複合粉体材料（C1-n, n = 0.3, 0.6, 1.0, 1.5, 2.0（n は混合質量%））を作製し参照試料である単体炭酸カルシウムとの反応性及び熱出力/蓄熱性能を水和反応及び脱水反応の繰り返し反応実験で比較している。複合粉体材料は単体材料と比べ、反応転化率に変化がより少なく繰り返し反応安定性の向上が観察され、さらに水和反応実験比較から C1-0.6 が最適な混合比であると結論づけている。C1-0.6 は、同じ実験条件で単体粉体材料より最大 1.9 倍の熱出力密度があるとしている。また 120 回の繰り返し反応を行い、転化率の結果から C1-0.6 の反応安定性が高いことを明らかにしている。X 線回折分析により複合粉体材料に Ca_2SiO_4 の存在が判明し Ca_2SiO_4 の pinning effect（粒子形状固定効果）によって単体材料の凝集が改善されたと結論づけている.

第 3 章「Bulk Volume Change Alleviation of Calcium Oxide-Based Composite Pellet」では実用利用で必要なペレット形状の材料開発を行うため前章で最適化した混合比を持つ C1-0.6 複合粉体材料を 3wt%の Carboxymethyl cellulose (CMC) と混合したペレット試料（M-$CaCO_3$pt）を作製し参照試料である単体ペレット（R-$CaCO_3$pt）との繰り返し実験前後の体積変化及び水和/脱水反応で実験的に比較している。M-$CaCO_3$pt は 22 回の繰り返し実験で R-$CaCO_3$p に比べてペレットの形状が十分に維持されることを実証し、また M-$CaCO_3$pt は繰り返し後の比表面積が R-$CaCO_3$pt に比べ 3 倍以上大きく、熱出力と蓄熱密度がそれぞれ最大 33.9%,20.2%向上したことを確認し、単体ペレットより実用性がある TCES 材料であると結論づけている。

第 4 章「Structural Stability Maintaining and Heat Transfer Improvement of Calcium Oxide-Based Shelled Composite Materials」では実用の充填層反応器での TCES 材料利用のために、ハニカム構造を有し熱伝導性が高く量産化されいてる炭化ケイ素-Diesel Particle Filter (SiC-DPF)のハニカム孔内に M-$CaCO_3$pt を充填した複合材料（M-$CaCO_3$pt-SD）について評価されている。参照試料である単体ペレット（R-$CaCO_3$pt）-SiC-DPF 複合材料と比べての繰り返し機械的安定性及び熱出力/蓄熱性能を実験的に検討している。M-$CaCO_3$pt-SD は単体ペレット複合材料に対し、蓄熱密度が 1000 kJ L_{pellet}^{-1} を超える優れた蓄熱密度、かつ 22 回の繰り返し実験で体積がある程度維持され、また高い熱伝導率により熱出力性能の向上も見られ、本研究において TCES 材料として最も有望な複合材料であることを示した。

第 5 章「Kinetic Hydration/Dehydration Analysis」では、開発した TCES 材料の反応速度論的検討を行い水和及び脱水反応速度式と反応メカニズムを検討している。単体ペレット（R-$CaCO_3$pt）と複合ペレット（M-$CaCO_3$pt）にうついて検討を行い、40 以上の反応速度モデルの適用を結果から、JMAK 理論 (Johnson-Mehl-Avrami-Kolmogorov theory)に基づく反応速度式で本材料の反応が説明できることを明らかにし、反応速度式を提出している。

第 6 章「Environmental and Economic Assessment of a Nuclear-TCES Combined System」では開発した TCES 材料の利用を想定した原子力-TCES 複合電力供給システムを提案し、システム経済的を評価している。需要変化に応じた蓄熱モードを想定し TCES 複合システムの経済性を開発材料毎に比較検討し、M-$CaCO_3$pt-SD がシステムで必要とされる体積が最も少なく、よりコンパクトで低コストのシステムを実現できると明らかにしている。

第 7 章「Conclusions」では、各章において得られた結果を総括し、本論文の結論としている。

これを要するに本論文は、従来材料に対してり繰り返し反応性の高い CaO 材料を見出し、かつ実用充填層利用に耐え、反応性に優れた SiC-DPF と複合した複合材料を創出し、この材料が原子力-TCES 複合電力供給システムの実現に寄与できることを明らかにしており、工学上及び工業上貢献することが大きい。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として十分に価値あるものと認められる。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ（T2R2）にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。