

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	熱化学エネルギー貯蔵に用いる酸化カルシウム複合材料の開発
Title(English)	Development of composite materials using calcium oxide for thermochemical energy storage
著者(和文)	船山成彦
Author(English)	Shigehiko Funayama
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11644号, 授与年月日:2020年9月25日, 学位の種別:課程博士, 審査員:加藤 之貴,竹下 健二,小林 能直,塚原 剛彦,鷹尾 康一郎
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11644号, Conferred date:2020/9/25, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	融合理工学 原子核工学	系 コース	申請学位 (専攻分野)： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	(工学)
学生氏名： Student's Name	船山 成彦		指導教員 (主)： Academic Supervisor(main)	加藤 之貴	
			指導教員 (副)： Academic Supervisor(sub)		

要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

本論文は “Development of composite materials using calcium oxide for thermochemical energy storage” と題し、全 7 章から構成されている。

第 1 章 “Introduction” では、研究背景、研究目的、論文構成が示されている。原子力と再生可能エネルギーが連携した低炭素電力システムに言及し、変動する電力需要と再生可能エネルギーの不安定な電力供給に対応するために大容量のエネルギー貯蔵技術が不可欠である事が述べられている。本論文では酸化カルシウム/水/水酸化カルシウム(CaO/H₂O/Ca(OH)₂)系熱化学エネルギー貯蔵に着目し、実用的な CaO 材料開発を目的としたと述べている。

第 2 章 “Thermochemical storage performance of a packed bed of calcium hydroxide pellets” では、高純度 Ca(OH)₂ペレットの蓄熱性能の評価結果が示されている。100 W スケールの充填層反応器を用いた性能評価から、ペレット充填層が 1.0 MJ L-bed⁻¹ の高い蓄熱密度を有することが示されている。また通常充填の CaO 粉体層に比べ熱伝導率の向上が見られた一方で、繰り返し反応後の体積変化やセンチメートルスケールの凝集塊形成が観察され、単体 CaO 材料の持つ複数の課題の解決には別の方策が必要であると結論づけている。

第 3 章 “Development of composite materials using silicon-silicon carbide porous supports” ではケイ素-炭化ケイ素多孔性担体を用いた複合材料の蓄熱性能が示されている。ケイ素-炭化ケイ素ハニカムを用いた複合材料 (ハニカム複合材料) は 1.6 kW L-bed⁻¹ の熱出力速度(初期 5 分間、水和圧力 85 kPa)を持ち、単体 Ca(OH)₂ペレットの約 1.8 倍の熱出力速度であることを明らかにしている。またケイ素-炭化ケイ素フォームを用いた複合材料は (フォーム複合材料) は 1.3 kW L-bed⁻¹ の熱出力速度を持ち、単体ペレットの 1.4 倍の熱出力速度であることを示している。さらにケイ素-炭化ケイ素フォームを用いた複合材料 (フォーム複合材料) では繰り返し実験後の体積変化とセンチメートルスケール凝集塊の形成が大幅に抑制され、従来の CaO 試料よりも高い耐久性能を持つことを明らかにしている。

第 4 章 “Calcium hydroxide composites using silicon-silicon carbide ceramic foam and honeycomb supports” では、エネルギー密度を向上したフォーム複合材料と機械強度を改善したハニカム複合材料の蓄熱性能を示している。フォーム複合材料では 0.8 MJ L-bed⁻¹ の高い蓄熱密度を有し、また体積変化や凝集が抑制され材料の高い耐久性能が明らかにされている。ハニカム複合材料では最大 1.8 kW L-bed⁻¹ の熱出力速度を示し、単体ペレットの同速度の 1.9 倍であることを示している。ハニカム複合材料の最大蓄熱速度は 0.3 kW L-bed⁻¹ であり、単体ペレットの 1.4 倍であることを明らかにしている。またフォーム複合材料とハニカム複合材料では単体 CaO 試料と比較し体積変化が抑制され、さらにフォーム複合材料では凝集塊の形成も抑えられることが示されている。多孔性担体を用いて体積変化や凝集を有効に抑えるためには約 1 mm 以下に CaO 材料を小分けする必要があると述べられている。

第 5 章 “Numerical analysis of calcium oxide hydration in a packed bed reactor” では充填層反応器における水和反応の 2 次元非定常数値解析モデルが提案され、水和反応時の反応層温度・転化率及び熱出力挙動の推算を行っている。さらに高熱伝導度多孔性担体の最適な体積分率の予測を行い、熱出力速度のさらなる向上が可能であることを示している。高熱伝導度担体材料の最適な体積分率においては 3 kW L-bed⁻¹ 以上の熱出力速度が得られ、単体ペレット充填層の 0.9 kW L-bed⁻¹ と比較し 3 倍以上の熱出力速度となることが見込まれることを明らかにしている。また最適な体積分率と担体熱伝導率依存性および水和圧力依存性との関係についても明らかにしている。

第 6 章 “Application of thermochemical energy storage to nuclear reactor power plants” では小型原子炉と 10 MWh_{th} の蓄熱容量を持つ熱化学エネルギー貯蔵システムにより駆動するランキンサイクルのエネルギー解析結果が示されている。開発した主な蓄熱材料の所要体積は 36-45 m³ であり、従来顕熱蓄熱材の同体積 113-137 m³ の 1/3 程度に抑えられ、コンパクトな蓄熱が可能であると述べている。開発した複合材料が単体 CaO 材料と比較し概ね 1.5 倍程度の熱出力速度を持ち、負荷追従時の出力電力の変動幅を増大させ得ることを明らかにしている。また、材料の体積変化や凝集効果の観点から複合材料は単体ペレット材料と比較し高い安定性を持ち、より実用的な蓄熱材料であると結論づけている。

第 7 章 “Conclusions” では各章で示された結果を総括し、本論文の結論を述べている。

これを要するに、本論文は、開発した複合材料が単体 CaO 材料の複数の課題を克服でき、高熱伝導度多孔性担体の体積分率の最適化により熱出力速度のさらなる向上が期待されることを明らかにすると共に、複合 CaO 材料が熱化学エネルギー貯蔵システム統合型原子力発電所の負荷追従機能を強化し、低炭素電力システムの構築に寄与することを示している。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、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。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

(博士課程)
Doctoral Program

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： 融合理工学系 系
Department of Graduate major in 原子核工学 コース
学生氏名： 船山 成彦
Student's Name

申請学位 (専攻分野)： 博士 (工学)
Academic Degree Requested Doctor of
指導教員 (主)： 加藤 之貴
Academic Supervisor(main)
指導教員 (副)：
Academic Supervisor(sub)

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

Low-carbon power grids based on nuclear and renewables require the load leveling of intermittent power supply from renewables and the load following of variable power demand. Thermal energy storage (TES) can potentially be utilized for cost-effective large-scale energy storage that is essential for the load leveling and following in the grid. Thermochemical energy storage (TCES) using calcium oxide/water (CaO/H₂O) reaction system is a promising technology for high-temperature (400–600 °C) TES because of long reversibility of the thermochemical reaction, low costs and non-toxicity of CaO. However, pure CaO has shortcomings of low thermal conductivity, formation of centimeter-scale agglomerates, and bulk volume change during repetitive reactions. The primary objective of this study was to develop composite materials that simultaneously overcome the multiple shortcomings in pure CaO to increase the heat storage rate and heat output rate and enhance cycle durability of the storage material. This study focused on novel composites using silicon–silicon carbide (Si–SiC) foam or honeycomb supports that have chemically inertness, high thermal conductivity, high mechanical strength, and expedient structures with small pores or channels. TCES and durability performances of the composites were investigated using a laboratory-scale packed bed reactor. Composites using Si–SiC foams and honeycombs showed higher heat output rates than that of a pure pellet bed, and the foam composites suppressed the formation of cm-scale agglomerates and bulk volume changes simultaneously. This study also developed a numerical model of the hydration of CaO, and the optimal porosity of porous supports that maximizes the heat output rate was shown. An energy analysis of a Rankine cycle driven by a small modular reactor and a TCES system showed that the composite materials developed in this study can contribute to the load-following of the low-carbon power grid based on nuclear and renewables.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、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。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).