

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	High Temperature Carbon Dioxide Reduction in Tubular Solid Oxide Electrolysis Cells for a Carbon Recycling Ironmaking System
著者(和文)	DipuArnoldus Lambertus
Author(English)	Arnolduslambertus Dipu
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9474号, 授与年月日:2014年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:加藤 之貴,小澤 正基,矢野 豊彦,竹下 健二,塚原 剛彦
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第9474号, Conferred date:2014/3/26, 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

(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	Arnoldus Lambertus Dipu	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	加藤之貴	准教授	塚原剛彦	准教授
	審査員	小澤正基	教授		
		矢野豊彦	教授		
竹下健二		教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は“High Temperature Carbon Dioxide Reduction in Tubular Solid Oxide Electrolysis Cells for a Carbon Recycling Ironmaking System”(炭素循環製鉄のための管型固体酸化物電気分解セルによる高温二酸化炭素還元)と題し、6章より構成されている。

第1章「Introduction to Active Carbon Recycling Energy System」では、二酸化炭素(CO₂)排出の削減手法として能動的な炭素循環エネルギーシステム(Active Carbon Recycling Energy System, ACRES)が有用であることを述べている。ACRES 駆動のための一次エネルギー源として高温出力と、非 CO₂ 排出、量的な安定性から高温ガス炉(High Temperature Gas-cooled Reactor, HTGR)が最も有効であることを示している。産業分野で 44%の CO₂ を排出する製鉄プロセスに対して ACRES を利用した炭素循環製鉄手法を提案している。ACRES の成立には CO₂ の還元が重要技術であり、この実現に固体酸化物電気分解セル(Solid Oxide Electrolysis Cell, SOEC)技術が有効であることを示している。以上より HTGR 駆動の SOEC 技術を用いた炭素循環製鉄の重要性を述べ、本研究の目的と意義を示している。

第2章「Carbon Dioxide Electrolysis in SOEC」では、SOEC を用いた CO₂ 電気分解による一酸化炭素(CO)、酸素(O₂)生成の原理を述べている。電気分解は高温になるほど Gibbs 自由エネルギーが低減し、電力消費が削減でき、より効率的に進行することを示している。従来の SOEC 研究は小円盤型セルによる基礎的検討が主であり、産業利用向けのセルの大幅積化には本研究の研究対象である管型 SOEC の開発が必要であると述べている。

第3章「Basic Studies on Carbon Dioxide Electrolysis in YSZ-based Electrolyte」では管型 SOEC を用いた CO₂ 電気分解実証試験を検討している。管型 YSZ(Yttria Stabilized Zirconia)(外直径 8 mm、内直径 5 mm×長さ 300 mm)の外表面をカソード触媒層、内面をアノード触媒層とし、アノード[電解質|カソード]の構成が Pt-LSM|YSZ|Pt-LSM、LSM|YSZ|LSM、Pt|YSZ|LSM (Pt:白金, LSM: La_{0.8}Sr_{0.2}MnO₃)である 3 種の SOEC を検討している。電解温度 800~900°C の電気分解試験で、SOEC による CO₂ 電気分解の進行を実証している。Pt-LSM 系セルが最も反応活性が高いことを示している。

第4章「Improvement of Carbon Dioxide Electrolysis Performance Using Ni-LSM|YSZ|LSM-YSZ Cell and Ni-YSZ|YSZ|LSM-YSZ Cell」では、高価な Pt を使用しないセル構成を検討し Ni-LSM|YSZ|LSM-YSZ 及び Ni-YSZ|YSZ|LSM-YSZ の構成を持つ SOEC を作製し反応性を実験的に検討している。電解温度の向上に伴い電圧値一定の際に電流密度が向上し、電気分解反応性が向上することを示している。第3、4章のセルの中で Ni-LSM 系セルが最も優れた性能を示し、また CO : O₂ 生成比がほぼ 1 : 0.5 となり、Faraday 則に応じて化学量論的に電気分解が進むことを明らかにしている。第5章のプロセス評価に必要な条件下においての CO 生成速度を実験的に明らかにし、また、250 時間の連続試験でも反応活性、結晶構造に大きな変化が見られず安定していることを実証している。

第5章「ACRES-HTGR within Ironmaking Process」では、高温ガス炉駆動 ACRES を用いた製鉄プロセスを提案し、実験結果をもとにプロセスの規模を評価している。HTGR の高温熱を用いて 800°C での高温電気分解を想定し、第4章で開発した Ni-YSZ|YSZ|LSM-YSZ の実験結果を用いてエネルギー収支を算定している。JAERI/JAEA が提案した HTGR システム (GTHTR300、熱出力 600MW) を用い、日本の在来主力製鉄方法である高炉 (3.4 ton s⁻¹) を対象にした炭素循環製鉄システムを検討し、高炉 1 基あたり HTGR は 2.9 基、SOEC 所要表面積は 66 km² と算定している。今後、SOEC 反応活性の向上による表面積の削減が主要な研究対象であると述べている。本検討より HTGR を駆動源とした SOEC の利用による炭素循環製鉄の基礎的な成立性を示し、ACRES 手法が日本の炭素資源供給・エネルギー供給安全保障と低炭素社会に貢献できると結論している。

第6章「Conclusions」では、本論文を総括し結論を述べている。

これを要するに、本論文は HTGR 駆動の炭素循環製鉄の成立に必要な SOEC による CO₂ 電気分解の技術的な可能性を示したものであり、工学上及び工業上貢献するところが大きい。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として十分価値あるものと認められる。