

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	酸素水素燃焼発電システムの基礎研究
Title(English)	
著者(和文)	武埴浩太郎
Author(English)	Kotaro Takehana
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11739号, 授与年月日:2022年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:野崎 智洋,店橋 護,小酒 英範,末包 哲也,志村 祐康
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11739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)	論文要旨
Type(English)	Summary

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	機械 機械	系 コース	申請学位 (専攻分野)： 博士 Academic Degree Requested Doctor of	(工学)
学生氏名： Student's Name	武埴 浩太郎		指導教員 (主)： Academic Supervisor(main)	野崎 智洋
			指導教員 (副)： Academic Supervisor(sub)	店橋 護

要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

本論文は、「酸素水素燃焼発電システムの基礎研究」と題し、2030 年以降を見据えた次世代発電技術として期待されている酸素水素燃焼発電サイクルを対象に研究成果をまとめたもので、全 5 章から構成される。

第 1 章「緒論」では、本研究の背景、目的を述べている。我が国はエネルギーセキュリティ面の脆弱性が課題であり、化石燃料による二酸化炭素排出量のさらなる削減が求められる中で、水素は低炭素社会実現に向けて重要な役割を果たすことが期待されていることを示した。水素利用技術の中で、酸素水素燃焼発電サイクルは発電段階では二酸化炭素削減効果が大きいことから、低炭素社会および水素社会実現に向けた次世代の電力供給オプションとして意義があることを示した。以上を踏まえ、酸素水素燃焼発電サイクルの基本特性、不凝縮ガスが発電特性に及ぼす影響、酸素水素燃焼における火災安定性を主とした、酸素水素燃焼発電システムの基礎研究を目的とした。

第 2 章「酸素水素燃焼発電サイクルの基本特性」では、酸素水素燃焼発電サイクルを対象に、空気 LNG 燃焼ガスタービンコンバインドサイクル (Gas Turbine Combined Cycle: GTCC)、空気水素燃焼 GTCC と比較しながら熱効率解析およびエクセルギー解析を行い、その基本特性および優位性を明らかにしている。セミクローズドサイクルのシステム構成かつ量論完全燃焼条件下では作動流体が H_2O のみとなる特徴を持つ酸素水素燃焼発電サイクルは、空気 LNG 燃焼 GTCC または空気水素燃焼 GTCC と比べ、熱効率は 2-11 ポイント高くなった。酸素水素燃焼サイクルにおける圧縮動力が空気 LNG 燃焼 GTCC および空気水素燃焼 GTCC と比べて小さくなるためである。これは、酸素水素燃焼発電サイクルの再生熱交換器の途中で H_2O の一部が分岐され、復水器を経て凝縮された飽和水はポンプで給水加圧される影響が大きい。酸素水素燃焼発電サイクルが高効率であるもう一つの要因として、燃焼器におけるエクセルギー損失低減が大きいためである。これは水素のエクセルギー率が低いためである。また、酸素水素燃焼の燃焼生成物と燃焼器へ再循環される作動流体 (H_2O) が同じ物質であるため、混合によるエクセルギー損失が低減されることに起因する。さらに、酸素製造動力を考慮した酸素水素燃焼発電サイクルの送電端効率の概算結果も示した。酸素水素燃焼発電サイクルの送電端効率は、空気水素燃焼 GTCC の熱効率よりも高効率となることから、次世代発電技術として優位性があることを明らかにした。

第 3 章「不凝縮ガスが発電特性に及ぼす影響」では、酸素水素燃焼の平衡計算を行い、未燃ガス、不凝縮ガスを推定した。量論完全燃焼条件 (当量比 1.0) のもと作動流体 H_2O における酸素水素燃焼では、 H_2O の熱解離により、 H_2 、 O_2 、 OH が不凝縮ガスとして生成される。ここでは、空気水素燃焼と比較して H_2 、 O_2 、 OH はより多く生成されることを明確にした。タービンで急激に膨張・冷却したときに反応が凍結したと仮定すると、 H_2O の熱解離により生成された OH は活性化学種のため、酸素が不凝縮ガスとして生成される可能性があることを示した。さらに、深冷空気分離法により製造される酸素に含まれる不純物窒素による NO 生成の傾向を示した。当量比 1.0 を基準に 0.01 減少または増加すると、 NO 生成量は急激に増加または減少することを明らかにした。

第 4 章「酸素水素燃焼における火災安定性」では、当量比 1.0 以下の条件で酸素水素燃焼実験による噴流非予混合火災の基礎実験データを取得することで、燃焼特性を明らかにしている。酸化剤流速 (窒素希釈された酸素)、当量比、希釈率 (酸化剤流量に対する窒素流量) を条件として、酸素水素燃焼による噴流非予混合火災の吹き消え限界を図示化することで燃焼安定範囲を明らかにした。さらに、 OH 自発光計測および OH PLIF 計測により、火災形状を明確にした。燃焼安定範囲の結果および第 2 章を踏まえ、酸素水素燃焼発電シミュレーションを模擬した燃焼条件 ($O_2:N_2=1:9$) では着火が困難であることを示した。

第 5 章「結論」では、本研究で得られた、酸素水素燃焼発電サイクルの優位性、酸素水素燃焼の平衡計算による不凝縮ガスが発電特性に及ぼす影響、酸素水素燃焼における噴流非予混合火災の燃焼安定範囲、吹き消え限界、燃焼特性に関する研究成果を要約した。

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).

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース：	機械	系
Department of, Graduate major in	機械	コース
学生氏名：	武埜 浩太郎	
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)：	野崎 智洋	
Academic Supervisor(main)		
指導教員 (副)：	店橋 護	
Academic Supervisor(sub)		

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

This thesis presents the fundamental study of oxygen-hydrogen combustion power generation system. It consists of 5 chapters.

Chapter 1 “Introduction” provides an introduction to an important role of hydrogen energy and oxygen-hydrogen combustion power generation system, which is one of the candidates as a future hydrogen power generation system to realize low-carbon society.

Chapter 2 “Basic characteristic of oxygen-hydrogen combustion power generation system” investigated thermodynamic analysis and exergy analysis of oxygen-hydrogen combustion power generation system (hereafter, oxy-hydrogen cycle) to clarify its performance, compared to gas turbine combined cycle (GTCC) with LNG/Air combustion and GTCC with H₂/Air combustion. The overall thermal efficiency of oxy-hydrogen cycle resulted in 2-11% points higher than GTCC with LNG or H₂ as functions of gas turbine inlet temperature and pressure. The lower compression power due to semi-closed configuration and lower exergy loss of combustor due to pure working fluid (H₂O) achieves higher thermal efficiency of oxy-hydrogen cycle. The net thermal efficiency of oxy-hydrogen cycle considering oxygen production energy becomes higher than the thermal efficiency of GTCC with H₂, indicating oxy-hydrogen cycle can achieve high performance as next-generation power generation cycle.

Chapter 3 “Impact of non-condensable gas on power generation characteristics” investigated equilibrium calculation of oxygen-hydrogen (O₂/H₂) combustion diluted by H₂O with the impact of non-condensable gas from equivalence ratio. The residues of H₂, O₂ and OH in stoichiometric complete combustion were left due to thermal dissociation. More H₂, O₂ and OH are produced compared to Air/H₂ combustion, showing H₂, O₂ and OH is produced not only by combustion product but also working fluid. Here also discusses the NO formation caused by nitrogen residue from O₂ production process.

Chapter 4 “Flame stability of oxygen-hydrogen combustion” investigated experimental study of combustion stability and characteristics for non-premixed O₂/H₂ combustion. The flame stability limit and blow-off limit were clarified as functions of hydrogen or oxidizer (oxygen diluted by nitrogen) velocity, equivalence ratio and dilution ratio (nitrogen flow rate/oxidizer flow rate).

Chapter 5 “Conclusion” provides conclusion for the fundamental study of oxygen-hydrogen combustion power generation system.

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 1 copy 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).