

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)	武埜浩太郎
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)	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	武埜 浩太郎	
		氏名	職名	氏名	職名
論文審査 審査員	主査	野崎 智洋	教授	志村 祐康	准教授
	審査員	店橋 護	教授		
		小酒 英範	教授		
		末包 哲也	教授		

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「酸素水素燃焼発電システムの基礎研究」と題し、以下の5章から構成される。

第1章「緒論」では、低炭素高効率発電の一つとして期待されている、酸素水素燃焼発電サイクルの構成と基本特性について述べている。酸素水素燃焼発電サイクルは、高温高压の蒸気により駆動する高温タービン、廃熱回収を行った後の低圧蒸気で駆動する低圧タービン、高压液水の熱再生により生成される高压蒸気で駆動する高压タービンで構成され、すべてのタービンが共通の作動流体、すなわち水蒸気で駆動されることが特徴であることを述べ、高温タービン入り口温度が同じでも空気燃焼によるコンバインドサイクルと比較して熱効率(%)が3-10ポイント高くなることを明らかにしている。酸素水素燃焼発電サイクルの作動流体は水蒸気のみであることが好ましく、燃焼完結性や酸素純度に起因して不凝縮ガスが含まれると熱効率の低下が危惧される。そこで、酸素純度、不凝縮ガス、脱気動力などを考慮して酸素水素燃焼発電サイクルの熱物質収支およびエクセルギー解析を行い、さらに酸素製造動力も考慮した送電端効率を評価することで、発電サイトでは二酸化炭素を排出しない高効率ゼロエミッション発電の優位性と課題を明らかにすることが本論文の目的であると述べている。

第2章「酸素水素燃焼発電サイクルの基本特性」では、量論完全燃焼を仮定した酸素水素燃焼発電サイクルに加え、液化天然ガスおよび水素を対象に空気燃焼ガスタービンコンバインドサイクル(Gas Turbine Combined Cycle:GTCC)の熱物質収支およびエクセルギー解析を行い、酸素水素燃焼発電サイクルの優位性を明らかにしている。空気を酸化剤として用いるGTCCでは、燃料の違いによる熱効率の変化は小さく、発電サイトで二酸化炭素を発生しない特徴を除き、水素を燃料として用いることの優位性が小さいことを指摘している。酸素水素燃焼発電では、燃焼器において混合に伴うエクセルギー損失を低減できることを明らかにしている。さらに、深冷分離または高温膜分離による酸素製造動力を考慮しても、送電端効率はGTCCより高くなることを明らかにしている。

第3章「不凝縮ガスが発電特性に及ぼす影響」では、深冷分離による酸素製造動力とともに、残留アルゴン、残留窒素、未燃酸素及び水素に対する脱気動力が発電特性および送電端効率に及ぼす影響を明らかにしている。酸素純度95%であれば酸素製造動力を低減しつつコンデンサにおける脱気動力の極端な増加を避け、送電端効率を高く維持できることを論じている。不凝縮ガスの発生原因となる燃焼完結性に関して平衡計算に基づき燃焼ガス組成と酸素純度および当量比の関係を論じている。酸素水素燃焼では空気燃焼と比較してH₂O分圧が約5倍高いため、H₂O熱分解によりH₂、O₂、OHが燃焼場にそれぞれ約1000ppm(1700°C、φ=1)存在し、当量比1でも完全燃焼を妨げる原因になり得ることを論じている。酸素純度95%では窒素が約1vol%残留するため、H₂O熱分解で生じた多量のOHが拡大ゼルドビッチ機構によりNO生成を促進する可能性を指摘している。酸素水素燃焼によるNO生成量の目安としてNO平衡値を求め、温度および当量比依存性について論じている。NO平衡値は温度だけでなく当量比によっても大きく変化し、当量比が1より僅かに外れるだけで(0.99<φ<1.01)NO平衡値が1桁以上変化することを示したうえで、非予混合燃焼場における局所O₂/H₂比の制御が低NO燃焼において重要になることを指摘している。

第4章「酸素水素燃焼における火炎安定性」では、ガスタービン実機で想定されるマルチクラスターバーナを想定して試作されたノズルを用い、水素および酸化剤(窒素希釈された酸素)の流速、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、噴流非予混合火炎の吹き消え限界を明らかにすることで燃焼安定性を論じている。水素流速が速くなるほど当量比1で火炎を維持することが困難になり、主として希薄燃焼域(φ<1)でのみ安定な火炎を形成できることを示している。このような傾向は酸素の希釈率が大きくなるほど顕著になり、模擬空気(N₂:O₂=8:2)を用いた場合には、特に水素流速に対して限定的な条件でのみ火炎を維持できることを明らかにしている。水素および酸化剤の流速を増すほど、噴流剪断層における酸素と水素の混合が抑制され火炎維持が困難になる可能性を指摘している。酸素水素燃焼発電では当量比1で完全燃焼を実現することが重要であることから、負荷変動などにもないノズル当たりの水素流量(流速)を大きく変化させることは、高効率発電を実現するうえで好ましくないことを指摘している。第2章で得られた結果を模擬した燃焼実験(N₂:O₂=9:1)では火炎維持が困難であったことから、希釈剤としてH₂Oを用いた場合の火炎安定性を再検証するとともに、噴流剪断層の制御を目的としたノズル形状の改善が必要であることを展望として述べている。

第5章「結論」では、各章で得られた結論を総括している。

以上を要するに、本論文は、酸素水素燃焼発電サイクルの熱物質収支及びエクセルギー解析に基づき、現有発電サイクルでは対応できない高効率ゼロエミッション発電の基本特性を明らかにするとともに、噴流非予混合火炎の吹き消え限界を明らかにすることで高効率発電の実現に向けた課題を抽出したものであり、工学上、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な価値が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、東工大リサーチポータル(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。