



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Spherical flame propagation behavior of pulverized coal particles and ammonia in a turbulent environment [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	Khalid, Hadi Bin
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第13645号
Issue Date	2019-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/74136
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Hadi_bin_Khalid_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士 (工学) 氏名 Hadi bin Khalid

審査担当者 主 査 准教授 橋本 望
 副 査 教 授 藤田 修
 副 査 教 授 大島 伸行
 副 査 教 授 永田 晴紀

学位論文題名

Spherical flame propagation behavior of pulverized coal particles and ammonia in a turbulent environment.

(微粉炭とアンモニアの乱流混焼場における球状火炎伝播特性)

CO₂ 排出量削減は全産業において重大な課題となっており、発電分野においては太陽光発電や風力発電等の不安定な電源の導入が加速している。一方で、電力需要の制御は容易ではないため、不安定な電源の調整は主に火力発電が担っている。火力発電のうち、最も単位発電量当たりの CO₂ 排出量が多い石炭火力からの CO₂ 排出量を削減することを目指し、CO₂ フリーのエネルギーキャリアガスの候補であるアンモニアを石炭火力に混焼させることが検討されている。これまでに、SIP などのプロジェクトによって比較的大型の石炭燃焼試験炉での混焼試験が行われ、混焼率は低いものの、実機大型微粉炭ボイラにおいてもアンモニアと微粉炭の混焼実証試験等が実施されている。これらの試験では、微粉炭へのアンモニアの混焼により、火炉出口での NO_x 濃度や未燃分がどのように変化するかなどを調べているものの、なぜアンモニアの混焼により未燃分や NO_x の排出濃度が変化するか (あるいは変化しないか) については全く解明されていない。この点を解明するためには、数値解析等による詳細な検討が必要である。しかし、数値解析用のアンモニアと微粉炭の混焼モデルは未だ開発されていない。本論文では、数値解析用のモデル構築に必要なアンモニアと微粉炭粒子群の火炎伝播特性を明らかにしようとしたものである。

第 1 章では、研究の背景について述べ、本研究の狙いと目的および本研究の重要性について説明している。

第 2 章では、微粉炭粒子群およびガス燃料の球状火炎伝播に関する先行研究について調べた結果について説明している。先行研究において静止雰囲気かつ微小重力下で行われた微粉炭粒子群の火炎伝播実験では、空間における微粉炭粒子濃度 (数密度) が火炎伝播速度に大きな影響を与えており、ある微粉炭粒子濃度において火炎伝播速度が最大になることが報告されている。

第 3 章では、研究の方法について述べている。本研究で開発した乱流場中における固体燃料粒子群の火炎伝播を詳細に観察できる実験装置の詳細について説明すると共に、粒子画像流速測定法 (PIV) を用いて計測した燃焼チャンバ内の乱流特性についても説明している。

第 4 章では、得られた実験結果と結果の考察について述べている。まず、4.1 節では、乱流場中における微粉炭粒子群の火炎伝播特性について説明している。様々な乱流強度の乱流場中において微粉炭粒子群の火炎伝播特実験を行った結果、微粉炭粒子群の火炎伝播は乱流強度に大きく影響を受け、乱流強度が強いほど火炎伝播速度が増加することを明らかにした。また、乱流強度の影響に比べ、微

粉炭粒子濃度の影響は非常に小さいことが明らかになった。これは、これまでの先行研究で行われてきた静止雰囲気中もしくは層流場における微粉炭粒子群の火炎伝播とは全く異なり、本研究で初めて明らかとなった特筆すべき点である。4.2 節では、微小重力環境下および通常重力下で行った微粉炭粒子群の火炎伝播実験を比較し、静止雰囲気条件では大きな違いが出るものの、乱流条件では大きな違いが出ないことを述べている。4.3 節では、アンモニア/空気予混合気の乱流場における火炎伝播実験結果について述べている。静止雰囲気場においては、先行研究と同様に、当量比 1.1 程度の燃料過濃条件において燃焼速度が最大となるが、乱流場においては、燃料希薄条件において燃焼速度が高くなる傾向があることを明らかにした。4.4 節では、アンモニアと微粉炭粒子群を混合した場合の火炎伝播特性について述べている。アンモニアと酸化剤の当量比を 0.6 とした条件において、微粉炭の固定炭素に対する揮発分の比を表す燃料比が低い石炭（揮発分が多い石炭）では、アンモニアと微粉炭粒子群を混合して燃焼させた場合の方がアンモニアのみを燃焼させた場合および微粉炭粒子群のみを燃焼させた場合に比べ火炎伝播速度が高くなることを示した。この結果は、当初想定していた結果と異なり、非常に興味深い新しい知見である。

第 5 章では、本研究の結論を完結に述べている。

以上のように、本論文では、世界唯一となる、乱流場において固体粒子群の球状火炎伝播を観察可能な実験装置の開発について記述されていると共に、開発した装置を用い、先行研究では得られていない乱流場における微粉炭燃料粒子群の火炎伝播特性が明らかにされている。また、微粉炭粒子群の火炎伝播特性、アンモニアの火炎伝播特性、アンモニアと微粉炭粒子群を混合した場合の火炎伝播特性について、それぞれ新たな知見が得られている。これは、将来のアンモニアを燃料として利用する火力発電システムの開発に資するだけでなく、既存の固体燃料を用いる様々な産業機器の改良や運用性向上に貢献することが期待できる成果であり、燃焼工学の発展に寄与するところ大なるものがある。よって、著者は北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。