

超音速非定常流れ場における水素の白金触媒燃焼

学位論文内容の要旨

将来のスペースプレーンや超音速旅客機用のエンジンとして、スクラムジェットエンジンが有望視されている。スクラムジェットエンジンは、マッハ6以上の高速飛行中に作動するエンジンで、エンジン内部の流れを超音速状態に保ったまま燃料を噴射し、燃焼させることが特徴である。低マッハ数時には静温が十分に上がらないため、何らかの点火・保炎機構が必要であると考えられる。その1つの候補としてプラズマトーチが挙げられているが、外部からの多大な電力供給が必要であることや大掛かりな設備を必要とすることなどが構造重量の増大を招くため、航空機用エンジンに適用するには問題がある。それに代わる点火・保炎機構として、比較的低温でも反応が進行し、外部からのエネルギー供給や機械的設備がほとんど不要な触媒燃焼を用いた手法が有効であると考えられる。しかし、これまで超音速流中における触媒燃焼の基礎的な機構について研究が行われた例はほとんど無く、不明な点が多く残されている。

著者は、過去の研究において、白金線を用いた定常超音速予混合気流中における水素の触媒燃焼についての実験を行い、予混合気が理論混合比の時に触媒反応発熱量が最大になること、熱線の設定温度をある温度以上にすると、発熱量は熱線温度に依存しなくなることなどを明らかにした。発熱量が熱線温度に依存しなくなる理由として、白金線近傍では水素または酸素の濃度が0に近く、触媒反応は主流から白金線近傍への化学種の輸送によって律速され、発熱量は化学種の物質伝達によって決定されているとの結論を得た。しかし、物質輸送速度と触媒反応速度との定量的な比較および詳細な検証はいまだ行われていない。

触媒燃焼をスクラムジェットエンジンの点火・保炎機構として使用する場合には、非定常に変化する超音速流中における作動特性を明らかにしておくことも必要である。そのためには、超音速非定常流れ場での触媒燃焼の応答性の評価など、非定常超音速流中における触媒反応の基礎的な燃焼機構について明らかにする必要がある。著者が知る限り、そのような研究例は過去に

において存在しない。

本研究では、触媒燃焼の発熱量が熱線温度に依存しなくなる現象についての機構解明と、超音速非定常流れ場中における水素の白金触媒燃焼の変化を評価する手法の提案ならびに非定常場での触媒燃焼の変化の評価を目的とする。

本論文は6章で構成されており、内容は以下の通りである。

第1章は序論であり、本研究にいたる背景を述べ、これまでの研究で得られている成果を示し、それに伴う本研究の目的を述べている。

第2章では、本研究で使用する実験条件において、触媒燃焼発熱量の非定常な変化がどのように検出されるかを明らかにすることを目的として、高圧室と低圧風洞からなる衝撃波管を用い、低圧風洞内に設置したNi-Ptダブルプローブに衝撃波を当て、それによってニッケル線と白金線それぞれに供給される電力の変化を観測する実験について、その手法を説明している。

第3章では、第2章で説明した実験の結果について述べている。衝撃波通過後の熱線への供給電力の変化率は熱線内の軸方向温度分布により、熱線の持つ熱拡散率で決定されることや、供給電力の変化率への触媒反応の寄与分は、熱線温度が400℃以上になると熱線温度に依存しないこと、水素濃度と強い相関関係があることを明らかにした。

第4章では、衝撃波通過による触媒反応の基礎的な機構を調べるため、RICE法を用いた数値計算について、その手法について述べている。

第5章では、第4章で説明した手法を用いて行った計算について、その結果を示している。熱線のある温度以上にすると、触媒燃焼発熱量が熱線温度に依存せず一定になる機構を明らかにした。また衝撃波通過後の発熱量の変化は極めて速やかに起こるため、超音速非定常流れ場に対して触媒燃焼は極めてよい応答性を持つことなどを明らかにした。

第6章は結論であり、本研究で得られた成果を要約している。

本論文で著者は、触媒燃焼発熱量が熱線温度に依存しなくなるのは、化学種の白金線表面への吸着が、ある温度を境に温度依存性を失うために起こること、超音速非定常流れ場中での触媒燃焼は、衝撃波通過に対して非常に速やかな応答性を持っていることなどを明らかにした。

学位論文審査の要旨

主 査	教 授	工 藤	勲
副 査	教 授	工 藤	一 彦
副 査	教 授	藤 田	修
副 査	助教授	永 田	晴 紀

学 位 論 文 題 名

超音速非定常流れ場における水素の白金触媒燃焼

将来のスペースプレーンや超音速旅客機用のエンジンとして、スクラムジェットエンジンが有望視されている。スクラムジェットエンジンは、マッハ6以上の高速飛行中に作動するエンジンで、エンジン内部の流れを超音速状態に保ったまま燃料を噴射し、燃焼させることが特徴である。低マッハ数時では静温が十分に上がらないため、何らかの点火・保炎機構が必要であると考えられる。この点火・保炎機構として、比較的低温でも反応が進行し、外部からのエネルギー供給や機械的設備がほとんど不要な触媒燃焼を用いた手法が有効である。著者は、過去の研究において、白金線を用いた定常超音速予混合気流中における水素の触媒燃焼についての実験を行い、予混合気が理論混合比の時に触媒反応発熱量が最大になること、熱線の設定温度をある温度以上にとすると、発熱量は熱線温度に依存しなくなることなどを明らかにした。発熱量が熱線温度に依存しなくなる理由として、白金線近傍では水素または酸素の濃度が0に近く、触媒反応は主流から白金線近傍への化学種の輸送によって律速され、発熱量は化学種の物質伝達によって決定されているとの結論を得ている。しかし、物質輸送速度と触媒反応速度との定量的な比較および詳細な検証はいまだ行われていない。触媒燃焼をスクラムジェットエンジンの点火・保炎機構として使用する場合には、非定常に変化する超音速流中における作動特性を明らかにしておくことが必要である。そのためには、超音速非定常流れ場での触媒燃焼の応答性の評価など、非定常超音速流中における触媒反応の基礎的な燃焼機構について明らかにする必要がある。

本研究では、触媒燃焼の発熱量が熱線温度に依存しなくなる現象についての機構解明と、超音速非定常流れ場中における水素の白金触媒燃焼の変化を評価する手法を提案し、非定常場での触媒燃焼の変化の評価を目的としている。

本論文は6章で構成されており、内容は以下の通りである。

第1章は序論であり、本研究にいたる背景を述べ、これまでの研究で得られている成果を示し、それに伴う本研究の目的を述べている。

第2章では、本研究で使用する実験条件において、触媒燃焼発熱量の非定常な変化がどのように検出されるかを明らかにすることを目的として、高圧室と低圧風洞からなる衝撃波管を用い、低圧風洞内に設置したNi-Ptダブルプローブに衝撃波を当て、それによってニッケル線と白金線それぞれに供給される電力の変化を観測する実験について、その手法を説明している。

第3章では、第2章で説明した実験の結果について述べている。衝撃波通過後の熱線への供給電力の変化率は熱線内の軸方向温度分布により、熱線の持つ熱拡散率で決定されることや、供給電力の変化率への触媒反応の寄与分は、熱線温度が400℃以上になると熱線温度に依存しないこと、水素濃度と強い相関関係があることを明らかにしている。

第4章では、衝撃波通過による触媒反応の基礎的な機構を調べるため、RICE法を用いた数値計算について、その手法について述べている。

第5章では、第4章の手法を用いて行った計算について、その結果を示している。熱線のある温度以上にすると、触媒燃焼発熱量が熱線温度に依存せず一定になる機構を明らかにしている。また衝撃波通過後の発熱量の変化は極めて速やかに起こるため、超音速非定常流れ場に対して触媒燃焼は極めてよい応答性を持つことなどを明らかにした。

第6章は結論を述べていて、本研究で得られた成果を要約している。

これを要するに、著者は触媒燃焼発熱量が熱線温度に依存しなくなるのは、化学種の白金線表面への吸着が、ある温度を境に温度依存性を失うために起こること、超音速非定常流れ場中での触媒燃焼は、衝撃波通過に対して速やかな応答性を持っていることを明らかにした。これは宇宙推進工学の発展に貢献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。