



|                     |                                                                                                                                                                     |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Title               | Research on Coupling Mechanism of Primary Acoustic Instability in Downward-Propagating Flames<br>[an abstract of dissertation and a summary of dissertation review] |
| Author(s)           | 尹, 晟煥                                                                                                                                                               |
| Degree Grantor      | 北海道大学                                                                                                                                                               |
| Degree Name         | 博士(工学)                                                                                                                                                              |
| Dissertation Number | 甲第12453号                                                                                                                                                            |
| Issue Date          | 2016-09-26                                                                                                                                                          |
| Doc URL             | <a href="https://hdl.handle.net/2115/63328">https://hdl.handle.net/2115/63328</a>                                                                                   |
| Rights(URL)         | <a href="https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/">https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/</a>                                           |
| Type                | doctoral thesis                                                                                                                                                     |
| File Information    | Youn_SungHwan_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      尹 晟煥

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

## 学位論文題名

Research on Coupling Mechanism of Primary Acoustic Instability in Downward-Propagating Flames  
(下方伝播火炎における燃焼と音響学的不安定性の相互作用に関する研究)

ガスタービンやロケットエンジンなどにおいて、しばしば強い燃焼騒音が生じた時には装置の損傷が生じる場合もある。これは、燃焼による熱放出変動と燃焼室内音響圧力変動の相互作用により生じることが知られており、その理解は工業的な立場からだけでなく熱工学あるいは燃焼工学等における学問的興味の対象となっている。

このような熱音響学的不安定性については、近年基礎的立場から予混合気を充填した片側開放管内を下方にむけ火炎伝播させる実験が頻繁に行われている。これに関する従来の報告において、異なる2つの音響学的不安定性の存在が指摘されている。その第一は火炎伝播開始直後の大きく湾曲した火炎が音響振動の影響を受けて平面火炎へ変化するプライマリ音響学的不安定性であり、第二はその平面火炎が音響振動の影響を受けて波状火炎へ変化するセカンダリ音響学的不安定性である。セカンダリ音響学的不安定性はプライマリ音響学的不安定性の発生が前提となるため、燃焼現象における音響学的不安定性の理解にはプライマリ音響学的不安定性の発生機構を知ることがきわめて重要である。しかし、これまでの理論的研究の存在にもかかわらず、このプライマリ音響学的不安定性の発生機構について実験的立場からの検証は十分になされておらず、その機構が明らかにされているとは言えない。

本論文では燃焼管内下方伝播火炎におけるプライマリ音響学的不安定性の発生機構の実験的解明に取り組んでおり、この現象の発生条件および発生機構を明らかにすることを主題としている。

第1章では、予混合火炎の一般的性質および燃焼現象において生じる固有不安定性について概要を述べている。さらに、先行研究において提案された燃焼現象における音響学的不安定性の相互作用機構の紹介およびこれまでの実験に基づく先行研究の要約を行っている。また、本研究の背景と目的を述べている。

第2章では、実験装置および実験手順について述べている。伝播管(透明アクリルチューブ、第3、4章では内径50 mmおよび管長511 mm、第5章では内径50 mmおよび管長711 mm)は鉛直方向に固定され、大気圧で予混合気を充填し下方伝播火炎の時間的進展挙動を2台のハイスピードカメラで観測している。また、音響圧力の時間的変動の測定方法についても述べられている。

第3章では、Pressure coupling(圧力変動と化学反応速度が連動することによる不安定性拡大)および Acceleration coupling(圧力変動と火炎面積変動が連動することによる不安定性拡大)という2つの機構を提示し、その中でプライマリ音響学的不安定性開始に対してもっとも支配的な機

構を究明することを試みている。Pressure coupling を支配する Coupling 定数を任意に変化させるために様々な組成の二酸化炭素または窒素で希釈された希薄エチレン予混合火炎を用いた。また、Acceleration coupling の重要性を明らかにするために火炎先端形状を能動的に変化させる CO<sub>2</sub> レーザ照射法を導入している。これら実験結果から、不安定現象は Coupling 定数と強い相関を持つ一方で、火炎表面形状の変化は不安定性進展に寄与しないことが明らかになり、本研究で扱う伝播管内で生じるプライマリ音響学的不安定性開始に対しては Pressure coupling が主要な機構であることを明らかにしている。

第 4 章では、プライマリ音響学的不安定性に対するルイス数効果 (熱-物質不均一拡散効果) を検討している。第 3 章で示されたように、支配的機構が Pressure coupling である場合、ルイス数の減少は圧力変動に対する燃焼速度の感度を高めることが予測され、ルイス数と不安定性が高い相関を持つことが予測されるからである。実験の結果、不安定性が発生する条件がルイス数により明確に変化することが示され、Pressure coupling が不安定性発生機構であるという理解が正しいことを示している。

第 5 章では、N<sub>2</sub> または CO<sub>2</sub> 希釈の CH<sub>4</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>、C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> 予混合気のような様々な燃料の音響学的不安定性に対する影響について検討している。これらの燃料成分の違いによる影響は、各燃料の活性化エネルギー、断熱火炎温度、ルイス数といった燃焼学的特性値により特徴づけられることが述べられている。その背景にはプライマリ音響学的不安定性が Pressure coupling により支配されるとする理解が存在している。また、本章の後半ではセカンダリ音響学的不安定性への進展に関する実験的観察結果が示されている。

第 6 章では、本研究の結論を述べる。

以上のように本論文では、ガスタービンやロケットエンジンの燃焼器でしばしば問題となる熱-音響学的不安定性の機構について、基礎的立場から伝播管を用いた実験的手法により検討を加え、そこで生じるプライマリ音響学的不安定性の開始機構を明らかにしている。この結果は、産業における燃焼装置の燃焼不安定性に対し基礎的知見を与えるものであり、熱工学および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。