HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Research on Le effect of Acoustic Instability in Downward Propagating Flames [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	Chung, Yong Ho
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第13391号
Issue Date	2018-12-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/72373
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Chung_Yong_Ho_review.pdf, 審査の要旨



Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

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　Chung Yong Ho

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

学位論文題名

Research on Le effect of Acoustic Instability in Downward Propagating Flames
(下方伝播火炎での音響学的不安定性に対する Le の影響)

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学等における学問的興味の対象となっている。ここで最も核心となる疑問は音響圧力変動と熱放出変動がどのような機構により相互作用をもつかという点である。これに関しては火炎面に特定の乱れが存在しているときに、その乱れた火炎面が音響速度変動場に置かれることで火炎前縁での発熱変動が生じることが機構の一つとして提案されている。このとき支配的影響を与えるパラメータの一つが Le (ルイス数:温度伝導率と物質拡散係数の比) である。この Le の影響については単純化された系を対象として多くの理論的検討が行われているが、実験的検討は極めて限定的にしかなされていない。その要因の一つは燃料空気混合気中を伝播する火炎の火炎面に生じる乱れは自発的に生じるものであり、この火炎面の変形を実験変数として制御することが難しかったことによる。本論文では管内を垂直下方に伝播する火炎が特定の条件で平面火炎になることに着目し、この平面火炎に対し外部からレーザを照射することで火炎面に任意の変形を与えたうえで Le の影響を実験的に明らかにしようとしたものである。

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、内径 50 ㎜、長さ 711 ㎜) 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高速度カメラで観測している。また、伝播している火炎面にレーザを照射し火炎面変形を制御する手法について述べている。

第 3 章では、管内に圧力変動が全く生じていない状態から圧力振動振幅が拡大する過程 (Primary instability と呼ぶ) を種々の混合気組成について調べている。不安定性の指標として Growth rate(圧力増幅率) を用い、とくに Le の影響に焦点を当てて議論を行っている。Growth rate は燃焼速度が増大したときや火炎面に乱れが生じた結果としての火炎表面積の増大にほぼ比例して増加することを実験的に示している。このとき Le が重要な役割を果たすことを見いだしており、Le<1 の条

件と火炎先端面の変形が凸型の組み合わせ、および Le>1 の時変形が凹型の組み合わせにおいてこの関係性が明確に表れることを示している。一方、Le>1 の条件と先端変形が凸型の組み合わせとなったときは Growth rate は極めて小さい値にしかならないことを示した。先行研究において初期の不安定が発生する機構には 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) が重要であることが指摘されていたが、本研究によりこれは Le>1 で変形が凸の時に重要なものになるのであって、たとえば Le<1 と凸型の火炎が組み合わされたときは Velocity coupling(発熱変動が音響速度変動と火炎面積に支配される機構) が重要な相互作用の機構であることを示している。

第 4 章では、伝播管内にすでに Primary instability が存在している場において、外部からのレーザ照射により火炎変形を与えることで急激な圧力増大を伴う Secondary instability への遷移を引き起こすことが可能なことに着目し、この発生条件マップを提示している。基本的にレーザ照射強度を大きくし変形を増大させるほど遷移が生じやすくなるが Le>1 においてはこの遷移境界が 2 種類 (火炎先端が凸形状と凹形状の場合) 存在し、遷移限界は凹形状から遷移するほうが拡大することを示している。一方 Le<1 の場合は基本的に 1 種類の遷移境界しか存在せずすべて凸の火炎形状から遷移が生じる。また Le>1 の場合にレーザ照射時間を長くすると遷移を引き起こすにはより強い照射強度、すなわち大きな火炎変形が必要となることを示している。これらの結果を示したうえで、その違いが生じる要因について火炎伸長の効果を考慮した説明を試みている。

第 5 章では、本研究の結論を述べている。

以上のように本論文では、ガスタービン等の燃焼器でしばしば問題となる熱音響学的不安定性の発生条件や機構について、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、そこで生じる音響学的不安定性拡大におよぼす Le の影響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。