HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Effect of Flame Deformation of Downward Propagating Flames Induced by Laser Irradiation Method on its Combustion Instability [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	Nguyen Truong Gia, Tri
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第14433号
Issue Date	2021-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/81325
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Nguyen_Truong_Gia_Tri_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　Nguyen Truong Gia Tri

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

Effect of Flame Deformation of Downward Propagating Flames Induced by Laser Irradiation Method on its Combustion Instability
(レーザー照射法による管内下方伝播火炎の変形が燃焼不安定性におよぼす影響)

近年の燃焼装置におけるエネルギー効率の最大化への要求からガスタービン燃焼器においては希薄予混合燃焼方式の導入が進んでいる。燃焼器に予混合燃焼方式を導入すると、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の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知られている。このとき乱れの波数と圧力変動の増幅率 (以下 Growth rate と呼ぶ) には一定の関連があり、その関係性については多くの理論的研究がなされてきた。しかし、伝播火炎面に存在する乱れの波数は能動的に制御することが難しく、その実験的検証がこれまで十分になされてきたとは言えない。そこで本論文では、先行研究で開発されたレーザー照射により火炎面を変形させる手法を拡張し、火炎面に複数のレーザービームを照射することで火炎面の構造 (火炎面変形のセルサイズおよび変形セルの間隔) を任意に制御することを可能にしたうえで、その構造と Growth rate との相互関係を実験的に明らかにしている。さらに、古典的な理論から推測される Growth rate との比較を行い、従来の理論の適用限界を示唆することに成功している。

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、内径 50mm、長さ 705mm) を鉛直方向に固定し、大気圧で燃料をエチレンとする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、著者が本研究で新たに開発した、伝播火炎面に二本のレーザービームを同時照射し火炎面に現れる 2 つの変形セルのサイズ (振幅および波長) と間隔を任意に制御する手法について述べている。

第 3 章では、管内を伝播する平面上の火炎に対し、第 2 章で開発した手法を用いて単一セルの変

形を与えた場合 (SLI, Single Laser Irradiation) および 2 つのセルの変形を与えた場合 (DLI, Double Laser Irradiation) の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。この結果、燃料希薄条件での伝播火炎に現れる燃焼振動の Growth rate は DLI が最も大きく、次いで SLI、平面火炎の順となることを明らかにしている。これと対応して、伝播火炎に現れる二次不安定性 (Secondary instability と呼ぶ) の発現する限界燃焼速度も低下して行くことも示されている。既存の理論では伝播火炎面に存在する乱れの波数と振幅により圧力変動の Growth rate が記述されるとされており、本論文で得られた実験結果は既存の理論と定性的には一致する傾向となっている。しかし、本章ではさらに詳細な検討を加え、実際には実測した火炎の表面積が Growth rate とより直接的な相関を持つことを見出している。これは既存理論が本研究で扱うような大きな変形を伴う火炎へ適用することが難しいことを示唆するもので、既存理論に適用限界が存在することを示したものと言える。

第 4 章では、DLI の実験システムにより与えられた 2 つの火炎セルの間隔を任意に変化させたときの Growth rate の変化を観察している。この結果、セルの間隔を徐々に大きくしていくとそれに伴って Growth rate も増大していくが、あるセル間隔でそれが極大を示し、完全に 2 つのセルが分離する位置に形成されると Growth rate が低下することを示した。これは、セル間隔が離れるに従って変形した火炎面の面積が増大する効果と、セルとセルの間に形成される大きな曲率の火炎面が Growth rate に及ぼす効果の両者が複合した結果として現れたものであることを述べている。

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燃焼不安定性の基本的機構である火炎変形と音響振動の相互作用について、新たに開発した火炎面形状制御法と伝播管を用いた実験的アプローチにより検討を加えたものである。これらの成果は、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。