

## 学位論文及び審査結果の要旨

氏 名 石原 咲子

学位の種類 博士(工学)

学位記番号 工府博甲第487号

学位授与年月日 平成28年3月24日

学位授与の根拠 学位規則(昭和28年4月1日文部省令第9号)第4条第1項及び横浜国立大学学位規則第5条第1項

学府・専攻名 工学府 システム統合工学専攻

学位論文題目 流路内におけるデフラグレーションからデトネーションへの遷移機構 (Mechanism of deflagration to detonation transition in a channel)

論文審査委員 主査 横浜国立大学 教授 石井 一洋  
横浜国立大学 教授 松本 裕昭  
横浜国立大学 教授 三宅 淳巳  
横浜国立大学 教授 西野 耕一  
横浜国立大学 准教授 酒井 清吾

## 論文及び審査結果の要旨

管内において、通常の火炎(デフラグレーション)が加速してデトネーションへ遷移(Deflagration to Detonation Transition、以後 DDT)することは19世紀末より知られている。配管内における予期せぬデトネーションの発生は甚大な被害をもたらすため、DDTはデトネーション抑止を目的として古くから研究されてきた。このDDT過程については次のような説明が与えられている。まず燃焼ガスの膨張により圧縮波が生じ、これにより火炎が加速してさらに圧縮波が生ずるという正のフィードバックを経て、圧縮波の集中により衝撃波が形成される。この火炎に先行する衝撃波によって未燃ガスが高温・高圧となり、局所爆発が生じてデトネーションが発生する、というシナリオである。しかしながら局所爆発の発生条件を含めたDDT機構は未だ完全に解明されておらず、DDTが生じる位置・時刻を定量的に予測できるまでに至っていない。

本論文は、管内におけるDDTに関して、局所爆発が生ずるまでの過程とその発生条件についての解明を目的としている。まず、DDT過程における先行衝撃波の役割を流路内における入射衝撃波で置き換え、入射衝撃波背後の可燃性気体に点火を行うことで、測定対象と

する場を単純化し、時間的・空間的に DDT を高い再現性で生成することに成功した。次に、壁面における火花点火、壁面から離れた空間内でのレーザ点火により、点火位置が DDT 過程に及ぼす影響を調べた。また先行衝撃波背後では、流路壁面の境界層が層流境界層から乱流境界層へと遷移するので、点火する時刻を制御することで火炎が伝播する壁面境界層の状態を変化させ、DDT が生ずる位置および時刻を圧力計測と可視化計測から求めた。さらに、DDT 過程を二方向から可視化計測することで、火炎前方に形成される衝撃波が壁面にて正常反射からマッハ反射の形態で反射する際に、未燃ガスに対して超音速で伝播する火炎が出現することがわかった。この火炎により強い衝撃波が形成されてデトネーションが生ずることを示した。本論文の構成は以下のとおりである。

第1章では、デトネーションおよび起爆の研究に関する歴史的背景、従来の DDT 過程の説明、最近の数値計算の成果について述べ、本研究の動機および目的を記している。

第2章では、矩形断面流路の短辺側壁面および長辺側壁面で火花点火を行い、点火時における境界層の状態が DDT 過程に及ぼす影響について調べている。点火してから DDT が生ずるまでの時間は境界層レイノルズ数の増加とともに減少し、層流境界層から乱流境界層へ遷移する段階では DDT に要する時間が著しく減少するとともに、ばらつきが小さくなることを示している。また可視化計測結果から、火炎面前方に形成される衝撃波が流路壁面で反射し、その背後で高速で伝播する加速火炎が生じた後に、デトネーションが開始することを明らかにしている。さらに火炎面前方の衝撃波の波面解析を行った結果、局所爆発の生成には、さらに衝撃波を強化する機構が必要であることを示している。

第3章では、流路壁面に形成される境界層の内部および外部でレーザ点火を行い、点火位置が DDT に及ぼす影響について調べている。火炎と境界層との干渉のみで DDT が生ずることはなく、火炎が流路壁面到達後に加速火炎が生じてデトネーション遷移が起こるといふ過程は第2章の結果と同様であり、加速火炎が生じてからデトネーション遷移が起こるまでの時間は壁面点火の場合とほとんど変わらないことを明らかにしている。

第4章では、二方向から同時可視化計測を行うことで DDT が生じる場所の時刻および位置を特定し、加速火炎面に付随する衝撃波どうしの干渉が局所爆発を誘起していることを明らかにしている。

第5章では、これまでの実験結果をもとに考察を行い、火炎面前方の衝撃波が壁面でマッハ反射することで加速火炎が生じ、加速火炎の発達により生ずる衝撃波どうしの干渉により局所爆発が起こり、デトネーション開始に十分な強さの衝撃波を生み出すという、新たなデトネーション遷移機構を提案している。

第6章には本論文の結論を記している。

以上のように、本論文は管内における DDT において、これまで不明であった局所爆発が生ずるまでの詳細な過程を明らかにするものであり、審査委員全員一致して博士(工学)の学位論文として十分な価値があるものと認めた。