

A Thesis for the Degree of Ph.D. in Engineering

Numerical Study on Propagation Behaviors of  
Gaseous Detonation in Two- and  
Three-Dimensional Tubes

February 2013

Graduate School of Science and Technology  
Keio University

Yuta Sugiyama

# 主 論 文 要 旨

報告番号	① 乙 第	号	氏 名	杉山 勇太
主 論 文 題 目 :				
Numerical Study on Propagation Behaviors of Gaseous Detonation in Two- and Three-Dimensional Tubes (二次元および三次元管内を伝播する気相デトネーションの伝播機構に関する数値解析)				
(内容の要旨)				
<p>本論文では簡略化学反応モデルと圧縮性流体計算によって二次元および三次元管内を伝播する気相デトネーションの伝播機構について考察した。</p> <p>第一章では、研究の背景と目的を述べた。</p> <p>第二、第三章では三次元管内を伝播する振動デトネーションとスピンドトネーションの伝播機構の考察を行った。振動デトネーションでは再着火と中断を繰り返す伝播形態が観測された。円管内を伝播するスピンドトネーションにおいては初期圧力や直径に対して二つの伝播形態（定常モード、不安定モード）が観測された。定常モードでは周方向静止座標系において定常的な流れ場が確認された。不安定モードでは、衝撃波面に周期的に複雑マッハ軸干渉が観測され、周期性を持つ伝播形態となった。本数値解析によって、スピンドトネーションの伝播において重要となるトランスバースデトネーションが、管内を伝播する音波と同期して伝播する必要があることが明らかになった。</p> <p>第四章では二次元曲管内を伝播するデトネーションの数値解析を二つの観点から行った。一つ目は管幅をセル幅<math>\lambda</math>の半分相当に固定し、二次元曲管の内径 <math>R_{in}</math> と外径 <math>R_{out}</math> の比（内外比） <math>R_{out}/R_{in}</math> をパラメータとしてデトネーションの伝播に対する内外比の影響を調査した。この管幅の場合、マッハ反射構造を持つ定常デトネーションが得られた。化学反応を考慮した三衝撃波理論を用いて入射衝撃波角度などの衝撃波構造を理論的に検討した結果、数値解析結果と良い一致を示した。二つ目は内外比を 1.5 と 2 とし、内径 <math>R_{in}/\lambda</math> をパラメータとして計算を行い、二次元曲管内を伝播する湾曲デトネーションの安定伝播機構の考察を行った。内径 <math>R_{in}/\lambda</math> の増大に従って湾曲デトネーションの伝播が継続する傾向が得られた。波面の湾曲を考慮した定常理論を適用して安定伝播限界を検討した結果、デトネーション波面の湾曲が臨界値より大きい条件で安定伝播することが示された。</p> <p>第五章では逐次反応を考慮した二次元デトネーションの数値解析を行い、伝播機構の考察を行った。化学特性長さである半反応距離比と二重セルデトネーションのセル幅比が定性的に一致した。二重セルデトネーションを <math>P</math>-<math>V</math> 線図によって逐次反応を二つに分離した。二つの分離されたデトネーションと二重セルデトネーションの第一反応と第二反応によって得られたセル幅がそれぞれ概ね一致し、第一、第二反応によるデトネーションの相互作用はないことが明らかになった。不安定性を議論するためには分離されたデトネーションを用いる必要があることが示唆された。</p> <p>最後に第六章において本論文の結論を述べた。</p>				

## SUMMARY OF Ph.D. DISSERTATION

School Science for Open and Environmental Systems	Student Identification Number	SURNAME, First name  SUGIYAMA, Yuta
Title  <p style="text-align: center;">                     Numerical Study on Propagation Behaviors of Gaseous                      Detonation in Two- and Three-Dimensional Tubes                 </p>		
Abstract <p>                     This thesis examines propagation behaviors of detonations in two- and three-dimensional tubes by numerical simulations with compressible Euler equations.                 </p> <p>                     Chapter 1 gives the background and the motivation of the thesis.                 </p> <p>                     Chapters 2 and 3 reveal the propagation behaviors of pulsating and spinning detonations in three-dimensional tubes, respectively. Pulsating detonation shows cyclic behavior in longitudinal direction. Spinning detonation in a circular tube showed two propagation modes, namely steady and unstable mode. Steady mode shows stable propagation without change in the shock structure. Meanwhile, unstable mode shows periodical change in the shock structure. Complex Mach interaction periodically appears on the shock front. Spinning detonation can maintain its propagation when acoustic coupling with transverse detonation is satisfied.                 </p> <p>                     Chapter 4 treats two series of simulations of detonations propagating in a two-dimensional curved channel. One is that channel width <math>L</math> is equivalent to <math>0.5\lambda</math> (<math>\lambda</math>: simulated cell width) and that the ratio of outer and inner radii <math>R_{out}/R_{in}</math> is chosen as a parameter. Steady curved detonations with Mach reflection structure are observed. The structures of three-shock configuration show good agreement with those estimated by three-shock theories with and without chemical reaction. The other is that <math>R_{out}/R_{in}</math> is fixed as 1.5 and 2 and that inner radius normalized by cell width <math>R_{in}/\lambda</math> is chosen as a parameter. Curved detonation became more stable at a larger <math>R_{in}/\lambda</math>. I applied the idea of quasi-steady solution to the numerical results and confirmed that the curved detonation propagates steadily in the case that the radius of curved detonation is larger than the critical value.                 </p> <p>                     In Chapter 5, double cellular detonations were numerically investigated in two-dimensional channel with two successive chemical reactions. I successfully divided the double cellular detonation with two successive exothermic reactions into two detonations, primary and secondary detonations, with a single exothermic reaction, based on <math>P</math>-<math>V</math> relation of Rayleigh line and Hugoniot curves with the addition of the hypothetical condition of intermediate initial state. The linear stability analysis of planar detonation and the soot rack images of double, primary and secondary detonations showed that instabilities of primary and secondary detonations are dominant to that of double cellular detonation with two successive reactions. I confirmed the validity of division of two successive reactions to clarify the characteristics of double cellular detonation.                 </p> <p>                     Chapter 6 gives the conclusion of the thesis.                 </p>		