



# THERMAL ENGINEERING

TED Newsletter on the WEB

日本機械学会熱工学部門ニュースレター  
TED Newsletter No.59 December 2009

## 目 次

### 1. TED Plaza

『燃焼科学の新展開』

- シャボン玉を用いた火災消火の研究  
鳥飼 宏之（弘前大学）
- 非線形時系列解析による燃焼ダイナミックスの解明と  
その工学的応用  
後藤田 浩（立命館大学），宮野 尚哉（立命館大学），  
立花 繁（宇宙航空研究開発機構）

### 2. 2009 年度年次大会熱工学部門報告

### 3. 熱工学コンファレンス 2009 開催報告

### 4. 第二回湘南ワークショップ報告

### 5. 部門賞・一般表彰贈呈式

### 6. 行事案内

- 部門企画行事
- 部門関連行事
- 国際会議

### 7. その他

編集後記

## TED Plaza

## シャボン玉を用いた火災消火の研究



鳥飼 宏之

弘前大学 准教授  
 大学院理工学研究科  
[torikai@cc.hirosaki-u.ac.jp](mailto:torikai@cc.hirosaki-u.ac.jp)

## 1. はじめに

火災が発生した場合、一般には大量の水が消火剤として使用される。しかし水の使用は、火炎から直接被害を受けていない電気・電子機器、紙製品そして建築物自体に水損と言われる2次被害を生じる。この水損を回避するために、二酸化炭素や窒素といった不活性ガスを消火ガスとして用いる消火法がある。このガス消火法では、消火ガスを火炎に対して噴流形態で放出し、火炎周囲の酸素濃度または燃料濃度を燃焼が不可能となる値まで低下させて消火を達成する。しかし、従来の消火ガスの火炎への輸送方法では、図1(a)のように消火ガスが火源へ到達する間に周囲空気との相互拡散や混合が生じ、消火ガス濃度の減少つまり消火能力の低下を生じるという問題がある。そのためガス消火法では、消火達成のために大量の消火ガスを空間中へ放出する必要が生じる。しかし酸素を含まない消火ガスの大量放出は、特に密閉空間内での使用では人を窒息させる恐れがあり人命への配慮も必要となる。このようにガス消火法にも欠点があり、その使用条件は限定的となっている。

そこで著者は、水損を生じないガス消火法の使用範囲の拡大を目指し、カプセルを利用して消火ガスを輸送するという改善策を提案している。それは図1(b)のように不活性ガスをカプセル内に充填し、そのカプセルを火炎近傍まで輸送して火源近傍で破裂させることで内部に充填された消火ガスを火炎へ供給するという方法である。このカプセルを用いた消火法では、カプセルの膜が消火ガスと周囲空気との相互拡散を抑制し、消火ガスを高濃度に維持したまま火源へ輸送できるという利点がある。さらにカプセル膜を火炎近傍で破裂させることで、高濃度の消火ガスを局所的にまた大量に火炎へと供給することができる。このカプセル消火法は、消火に必要な不活性



(a) 従来の消火ガス供給法

(b) カプセルを利用した消火ガス輸送法

図1 従来のガス消火法とカプセル消火法の比較

ガス量を減少させることが可能であり、また窒息などの人命への危険性も低下させることが可能になると考えられる。現在、我々の研究室では、このカプセル消火法の基礎研究として、形成が容易で破裂時の破膜現象の再現性も高いシャボン玉を用いた消火法の研究を実験的に行っている[1]-[4]。シャボン玉は液膜で気体を包み、二酸化炭素のような水溶性ガスを輸送するには不向きだが、窒素ガスであれば充分周囲空気との拡散・混合を抑制して、カプセルとしての役割を果たす。このシャボン玉を用いたカプセル消火法を、我々はシャボン玉消火と呼んでいる。本稿ではシャボン玉の破裂過程とシャボン玉消火の消火過程を、密度変化を光学的に可視化するシュリーレン法と、粒子を添加した流体をレーザーシートで照らし、その粒子からの散乱光により流体挙動を可視化するレーザトモグラフィ法を用いて観察し、シャボン玉消火の消火機構について説明・紹介する。

## 2. 実験装置および方法

### 2.1 シャボン玉消火の実験装置

シャボン玉消火実験に使用した装置の概略を図2に示す。消火対象には、火災で生じる拡散火炎の基本的な燃焼形態である噴流拡散火炎を用いた。噴流拡散火炎は外径3mm、内径2.5mmのステンレス管バーナから燃料を静止空气中に吹き出すことで形成した。管長は十分に長くし、バーナ出口までにポアズイユ流れが充分発達するようにした。燃料には燃焼学的な知見が豊富なメタンを用いた。そのメタン流量はキャピラリフローメータを用いて測定し、その流量をバーナの円管断面積で除することで断面平均流速  $U$  [m/s] を算出した。シャボン玉消火とシャボン玉破裂過程の可視化を行った具体的な実験条件を表1に示す。この条件では噴流拡散火炎は層流で火炎基部がバーナリムに付着した状態で燃焼する。

消火用のシャボン玉の形成には Swagelok 社製の SNOOP 液をシャボン液として使い、窒素ガスを消火ガスとして用いた。窒素ガスの吹出し口は外径6mmのプラスチック管を用いた。このプラスチック管から窒素ガスを微小な流量で吹き出した状態で、管端にシャボン液を塗布することで窒素ガスを充填したシャボン玉を形成した。窒素の流量もメタンガスと同様にキャピラリフローメータによって測定した。また窒素吹出し口外径は、形成したシャボン玉直径に比べて充分小さくシャボン玉形状や消火に影響しないことを確認している。

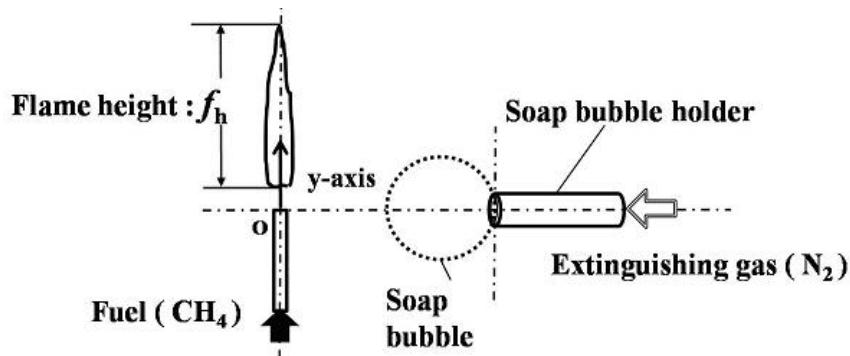


図2 シャボン玉消火実験装置の概略

表1 噴流拡散火炎とシャボン玉の形成条件

Flame condition	
Mean fuel flow rate [m/s]	5.5
Reynolds number [-]	822
Flame height : $f_h$ [cm]	30
Soap bubble condition	
Nitrogen gas volume [cm <sup>3</sup> ]	300
Soap bubble diameter [cm]	8.3

## 2.2 シャボン玉消火の実験方法

窒素を充填したシャボン玉による消火実験の手順を以下に示す。はじめに燃料流量を調節し火炎高さ  $f_h$  が約 30 cm となるメタン-空気拡散火炎を形成した。そして、窒素ガスを一定流量で吹き出した状態でシャボン液を吹出し口に塗布しシャボン玉を形成した。このとき、シャボン玉の形成開始時刻をゼロとして時間を計測し、シャボン玉に充填されるガス量を計測した。そして目的とする  $300 \text{ cm}^3$  の窒素ガスがシャボン玉に充填されたところで窒素ガスの供給を停止した。そして、シャボン玉を火炎へとゆっくりと移動させ、シャボン玉を必ず火炎帯に接触させて破裂させた。シャボン玉破裂後、消火したかどうかを目視にて確認し、火炎が消滅していれば消火成功とした。実験に使用した窒素ガス量  $300 \text{ cm}^3$  は、今回消火対象として形成した高さ約 30 cm の噴流拡散火炎を常に消火できる条件である。また、消火における拡散火炎の安定性は、バーナリム近傍に形成される火炎最上流端に位置する火炎基部が支配することが知られている。そこで本実験では、シャボン玉の中心位置をバーナリムと同じ高さに設定し、火炎側方からシャボン玉を移動させて火炎基部領域の火炎帯と接触・破裂させた。座標には原点をバーナリム上端、噴流中心の位置とし、下流方向を正とする  $y$  軸を設定した。

## 2.3 シュリーレン法による可視化

シャボン玉内部に充填された窒素ガスのシャボン玉破裂時の放出過程とシャボン玉消火での窒素ガスと火炎挙動を検討するために、密度変化を可視化できるシュリーレン法を用いて観察を行った。その光学系および光源の配置の概略を図3に示す。口径 200 mm、焦点距離 2000 mm の2枚の凹面鏡を使用し、光源にはハロゲンランプ(PHILIPS, LCR)を使用した。光の凹面鏡への入射角および反射角  $\theta$  は約  $7^\circ$  に設定した。シュリーレン画像の記録には、高速度撮影が可能なデジタルカメラ(CASIO, EXILIM EX-F1)を使用した。撮影条件はシャッタースピードを  $1/320 \text{ s}$ 、フレームレートを  $300 \text{ frame/s}$  とした。

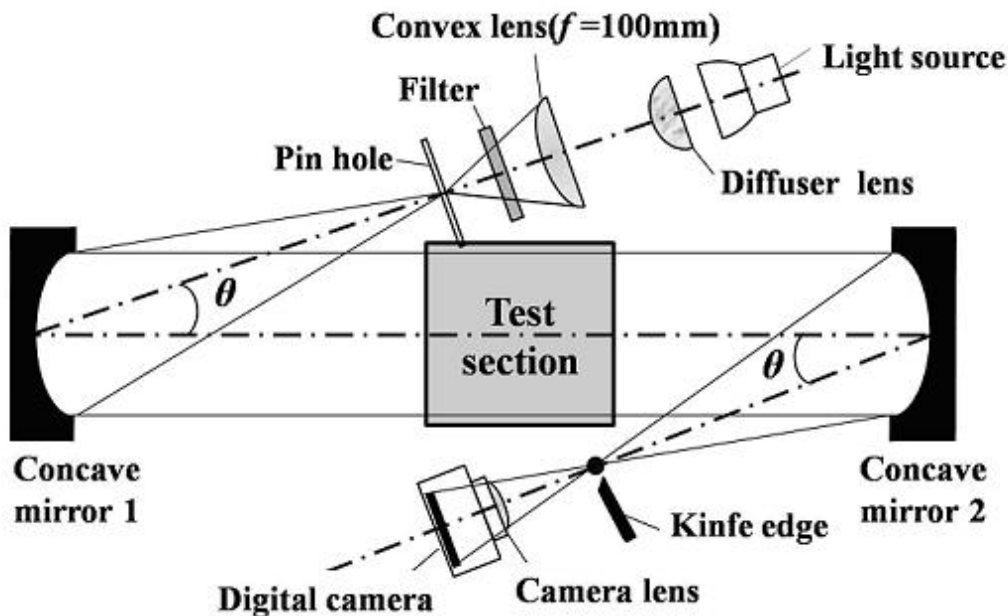


図3 密度変化を可視化するシュリーレン光学系と光源

## 2.4 レーザトモグラフィ法による可視化

シャボン玉に充填された窒素ガスの放出過程の観察として、レーザトモグラフィ法による可視化を行った。その装置概略を図4に示す。シャボン玉に充填する気体にオイル・ミスト粒子を添加し、シャボン玉に封入した。そのシャボン玉に厚さ約1mmのシート状にした50mWのレーザ光を側方から照射し、シート面に直交する位置から高速度撮影可能なデジタルカメラで映像を撮影した。レーザ光源にはLD励起Nd:YAG/YVO4固体レーザ(カトウ光研, PIVLaser G50)を用いた。今回使用したオイル・ミスト粒子の流体への追従性は、シュリーレン画像で得られた窒素ガス挙動とトモグラフィ法で得られた粒子挙動を比較した結果、窒素ガス塊との挙動に顕著な差が無く、ある程度追従していることが確認された。

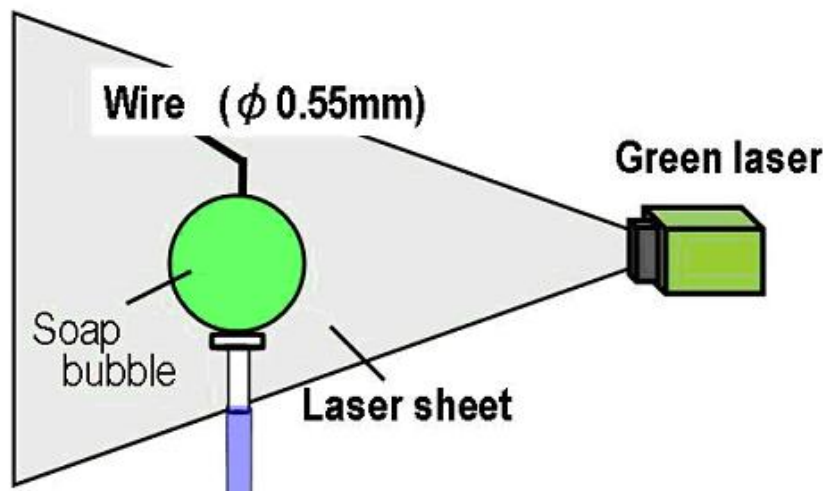


図4 レーザトモグラフィ法によるシャボン玉破裂過程の可視化

## 3. 実験結果および考察

### 3.1 シャボン玉の破裂過程

はじめに、シャボン玉が破裂した時に内部に充填された窒素ガスがどのように周囲に放出されるかを、シュリーレン法を用いて観察した結果を図5に示す。シャボン玉は非燃焼場で形成し、直径0.5mmの針金をシャボン玉上端に接触させることで破裂させた。図5の各画像の上方に付した数字は経過時間を表し、シャボン玉の破膜開始時刻を0msとしている。

図5から、針金がシャボン玉の最上端に接触すると、接触部分からシャボン液膜の破裂・収縮が開始し、液膜は下方へ縮んでシャボン玉最下端の位置で収束することがわかる。このシャボン液膜は破裂開始後17msで画像から視認できなくなることから、シャボン玉の液膜収縮が10ms程度の短い時間で生じていることを示している。そして時刻7msと17msの画像で窒素と空気の界面に規則的な乱れが形成されている。これは、シャボン液膜が窒素ガスと空気との間を高速で収縮し、その液膜移動に窒素と空気が引きずられた結果、ケルビン-ヘルムホルツの不安定性が誘起され、窒素-空気界面に規則的な渦が形成されたものと考えられる[5]。また時刻7msと17msでは、シャボン液膜に包まれていた窒素ガスが破膜開始位置から上方へ流れ出している。これは、シャボン玉液膜の表面張力によってシャボン玉内部の気体圧力が周囲気体よりもわずかに高くなり、このシャボン玉内圧と大気圧との圧力差により上方へ駆動された流れと考えられる。次に、時刻53msから323msまでの画像を見ると、シャボン液膜が収縮・収束した後に、窒素ガス塊の最下端が上方向へ持ち上げられ、最終的には窒素ガス塊全体が上方へ移動してゆくことがわかる。この液膜収縮後に生じる窒素ガス塊の上方向への移動つまり流れは、シャボン液膜の収縮に引きずられることで形成された窒素ガスの流れがシャボン玉最下端の液膜収束位置で対向し、流れの

向きが破膜開始位置へと曲げられた結果、窒素ガス塊の最下端（窒素と空気の界面）が上方へと移動したものと考えられる。

ただし密度変化を可視化したシュリーレン法では、シャボン液膜の収縮による窒素ガスの液膜収束位置から破膜開始位置へ向かう流れの状況が観察しづらい。そこで、レーザトモグラフィ法によって図5と同様の条件のシャボン玉破裂過程を可視化した。その実験から得られた画像を図6に示す。

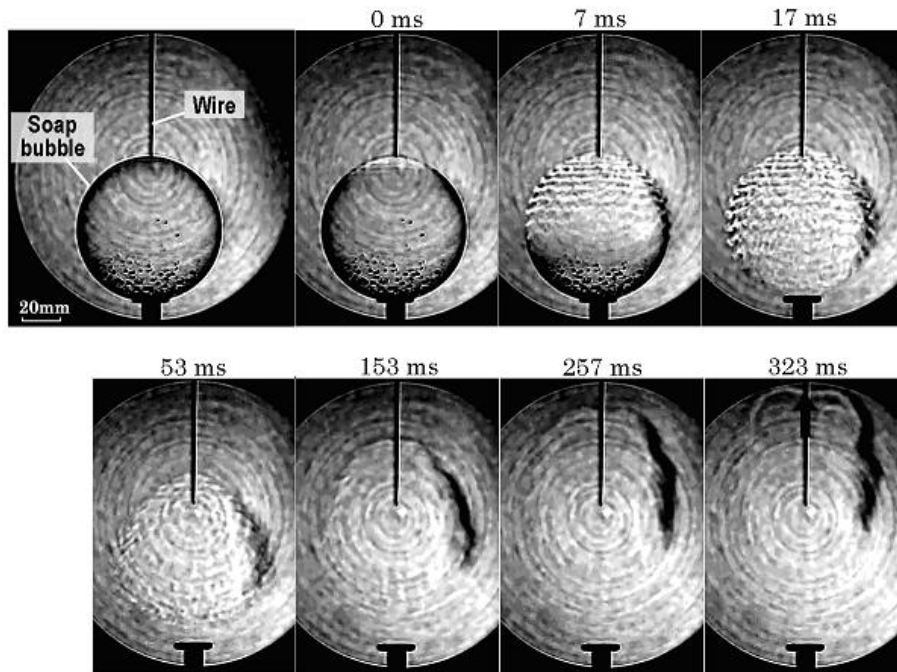


図5 窒素ガスを充填したシャボン玉破裂過程のシュリーレン法による可視化

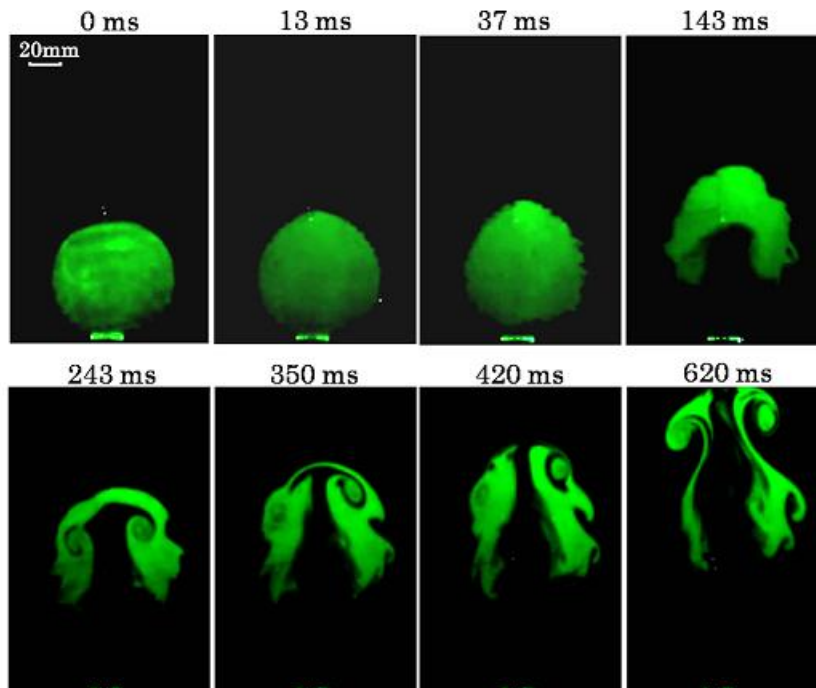


図6 レーザトモグラフィ法によるシャボン玉破裂過程の可視化

図6から、破膜開始から時刻 37 ms で窒素ガス塊の最下端が画像上方へ移動し始めていることがわかる。しかし時刻 143 ms で、窒素ガス塊下方の窒素-空気界面がガス塊内部に向かって移動し始めている。そして、時刻 243 ms で窒素ガス塊は下方から押しつぶされた形に変化し、そのガス塊内部に渦対が生成されている。この渦対は液膜収縮によって生じた流れが渦輪を形成し、その渦輪を側方から観察した結果得られたものと考えられる。そして最終的に、シャボン玉に充填されたガスと共に渦輪は画像上方へと移動してゆく。

このように、窒素ガスを充填したシャボン玉を一点から破裂させると、充填された窒素ガスがシャボン玉内圧と大気圧との差によって破裂位置から流れ出し、そしてまた、シャボン液膜の収縮によって引きずられて生じる流れによって、窒素ガス塊が液膜の収束位置から破膜開始位置へと流れ、最終的には渦輪を形成して空間中を移動してゆくことがわかった。そこで、このシャボン玉の破裂に伴う窒素ガスの挙動が、消火にどのように影響しているかを次に検討してゆく。

### 3.2 消火成功時の窒素ガス挙動と火炎挙動

噴流拡散火炎のシャボン玉消火過程について説明する。シュリーレン法を用いて消火過程で得られた結果を図7に示す。画像上方に付した数字は経過時間を表し、シャボン玉が噴流拡散火炎の火炎帯の外縁に接触し、破膜が始まった時刻を 0 ms としている。

シャボン玉が火炎帯に接触すると、接触位置からシャボン玉に破膜が生じることが時刻 3 ms の画像からわかる。破膜位置はシャボン玉の側方ではなく、若干斜め上方に存在している。時刻 17 ms の画像を見ると、すでに火炎基部領域の温度境界が変形し始めている。これはシャボン玉に充填された窒素ガスがシャボン玉内圧と大気圧との圧力差により破膜位置から火炎へ放出された結果と考えられる。そして時刻 50 ms で窒素ガス塊は、3.1 節で述べたように、シャボン液膜の収縮により液膜収束位置から破膜開始位置の方向へ窒素ガスが押し流されており、その流れの影響を受けて火炎基部部分の温度境界の変形がメタン噴流の中心部にまで及んでいる。これはシャボン玉から放出された窒素ガスによって火炎に局所消炎が形成され、その局所消炎領域が拡大していることを示している。そして時刻 77 ms では火炎基部近傍の温度境界の変形が、シャボン玉からのガス放出方向と燃料噴流の下流方向の 2 方向に拡がり、窒素ガスによる消炎領域がさらに拡大していることを示している。そして 150 ms では局所消炎の拡大と共に火炎基部がバーナリムから離れ、火炎が付着火炎から浮き上がり火炎へと遷移している。そして最終的に浮き上がり火炎として下流に残った火炎も、時間経過とともに更に下流へと押し流されて全体消炎に至る。

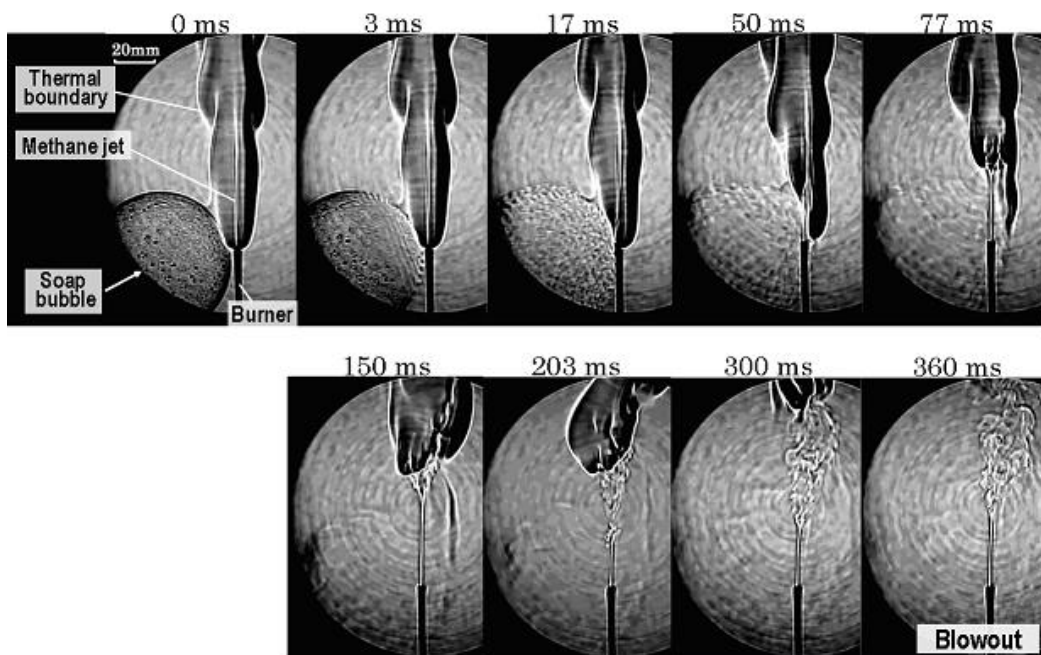


図7 噴流拡散火炎のシャボン玉消火過程のシュリーレン法による可視化

### 3.3 シャボン玉消火過程における火炎基部挙動

3.1 節で述べたシャボン玉から放出される窒素ガスの挙動と、3.2 節で説明した火炎の消火挙動との関係をより詳細に明らかにするために、シュリーレン画像から図8に示す噴流中心軸上に存在する温度境界の最下端位置 A と、温度境界の中で最下端となる位置 B の時間変化を検討する。この各温度境界の下端位置は、局所消炎によって形成された Edge flame (火炎基部) が存在する位置を表す。横軸はシャボン玉の破膜開始を 0 ms とした時間、縦軸は噴流軸上の距離 y を示す。また図8のグラフには、シャボン玉破裂過程で生じる渦輪がメタン噴流に到達した時刻を一点鎖線で記入している。

図8から、シャボン玉の破膜直後の数十 ms の間は噴流軸上に火炎基部 A は形成されず、また火炎基部 B も顕著な y 軸方向への位置の変化を示さない。これは、はじめの数十 ms の間火炎基部がバーナリムに付着していることを示す。しかし、シャボン玉の破膜開始から 50ms 程度で、窒素ガスが噴流中心軸まで到達し、火炎基部 A が形成される。またほぼ同時刻から火炎基部 B もバーナリムから離れ、下流へと押し流され始めている。この火炎基部 B の挙動は噴流火炎がバーナリムから離れて浮き上がったことを示す。この時、火炎基部 B はグラフの傾きから約 41 cm/s の速さで下流へ向かって移動している。さらに 120 ms 程度で火炎基部 B は、火炎基部 A と同様の位置まで後退し、火炎基部 A に取り込まれて消滅する。他方、火炎基部 A は 50 ms 程度で形成されると 41 cm/s の速さで下流へと移動する。そして 150 ms の時刻から、バーナリムから 5 cm 程度下流へ流された位置で、火炎基部 A が浮き上がり火炎のように安定化しているのがわかる。しかし、時刻 200 ms にシャボン玉の破裂によって形成された窒素ガスの渦輪が、メタン噴流位置に到達し干渉すると、火炎基部 A に再度窒素ガスが供給され、基部は約 36 cm/s の速さで再び下流へと流され始めることがわかる。そして最終的に、全体消炎が達成される。

このように噴流拡散火炎のシャボン玉消火では、シャボン玉が破裂することによって大気圧と内圧との圧力差によって形成される窒素ガスの流れが噴流拡散火炎のバーナリムに付着した火炎基部に作用し、そしてシャボン玉液膜が収縮・収束することで生じるもう一つの窒素ガスの流れが、バーナより浮き上がった火炎基部に対して再度作用することで火炎を下流へと押し流し、最終的にシャボン玉消火が達成されることがわかった。

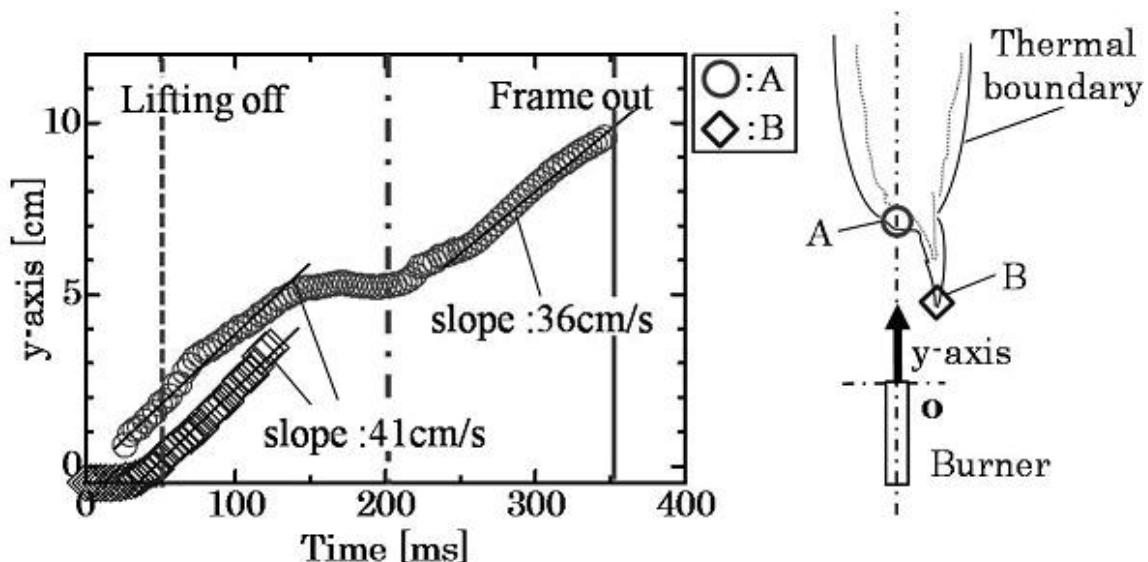


図8 シャボン玉消火過程における火炎基部挙動



#### 4. まとめ

我々は水損を生じないガス消火法の使用範囲の拡大を目指し、カプセルを利用して消火ガスを輸送するというカプセル消火法を提案している。このカプセル消火法は、カプセルの膜が消火ガスの周囲空気との相互拡散を抑制し、消火ガスを高濃度に維持したまま火源へ輸送そして供給できることが利点である。さらにまた、カプセル膜を火炎近傍で破裂させることで、高濃度の消火ガスを局所的にまた大量に火炎へと供給することができる。このカプセル消火法は、消火に必要な消火ガス量を減少させることが可能であり、また窒息などの人命への危険性も低下させることが可能になると考えられる。そのカプセル消火法の基礎研究として、シャボン玉に不活性ガスを充填し、それを火炎に接触させることで不活性ガスを火炎に供給して消火を達成するというシャボン玉消火実験を行った。その結果、シャボン玉が破裂すると充填された窒素ガスは、まずシャボン液膜の表面張力から生じる周囲大気とシャボン玉内圧との圧力差により破膜位置から放出される。そして、シャボン液膜は破膜と同時に収縮しながら窒素ガスを引きずり1点に収束することで、窒素ガス塊が液膜収束位置から破膜位置へと移動する流れが形成されることがわかった。

この窒素を充填したシャボン玉を噴流拡散火炎の火炎基部領域に接触・破裂させると、シャボン玉内圧と周囲大気との圧力差により窒素ガスが破膜開始位置から火炎基部へと供給され、火炎基部領域に局所消炎が形成される。そしてこの局所消炎領域が時間経過と共に拡大し、火炎がバーナリムから離れて浮き上がり火炎となる。そこで、シャボン玉液膜が収縮することによって形成された窒素ガス塊の流れがメタン噴流に到達・干渉すると浮き上がり火炎として下流で安定化した火炎基部が再度下流へと流され、最終的に全体消火が達成されることがわかった。

現在、我々の研究室で行っているシャボン玉消火実験は、実験室規模の小さな火炎を対象としたものであるため、本研究の結果がそのまま実規模火炎に適応できるわけではない。しかし、カプセルに消火ガスを充填して火源近傍まで輸送し、火炎とカプセルを接触させて破裂させることで高濃度の消火ガスを大量かつ瞬間的に火炎に供給して消火を達成するというコンセプトは、新たな消火技術としての可能性を充分有していると我々は考えている。今後は、消火対象をより実践的な火炎に変えて実験を行い、またシャボン玉を火源へと効率的に輸送する技術を開発することでシャボン玉消火を確立し、消火の科学・技術に貢献できればと考えている。

本研究の一部は、弘前大学理工学研究科長重点研究からの補助を受けて行われた。ここに記し感謝の意を表す。またシャボン玉消火実験そして可視化実験を遂行してくれた弘前大学大学院 目時匠君、弘前大学 村下卓美君に謝意を表す。

#### 参考文献

- (1) 目時匠, 鳥飼宏之, 伊藤昭彦, 日本機械学会 2009 年度年次大会講演論文集(3), pp.61-62 (2009).
- (2) 目時匠, 鳥飼宏之, 伊藤昭彦, 平成 21 年度日本火災学会研究発表会概要集, pp.130-131 (2009).
- (3) 目時匠, 鳥飼宏之, 伊藤昭彦, 第 46 回燃焼シンポジウム, pp.452-453 (2008).
- (4) 鳥飼宏之, 伊藤昭彦, 平成 20 年度日本火災学会研究発表会概要集, pp.142-143 (2008).
- (5) Jaw, S. Y., Chen, C. J. and Hwang, R. R., Journal of Visualization, Vol.10, No.1, pp.21-24 (2007).

## TED Plaza

# 非線形時系列解析による燃焼ダイナミックスの解明と その工学的応用



後藤田 浩

立命館大学 准教授  
理工学部機械工学科  
[gotoda@se.ritsumei.ac.jp](mailto:gotoda@se.ritsumei.ac.jp)



宮野 尚哉

立命館大学 教授  
理工学部マイクロ機械システム工学科  
[tmiyano@se.ritsumei.ac.jp](mailto:tmiyano@se.ritsumei.ac.jp)



立花 繁

宇宙航空研究開発機構 主任研究員  
研究開発本部ジェットエンジン技術研究センター  
[tachibana.shigeru@jaxa.jp](mailto:tachibana.shigeru@jaxa.jp)

### 1. はじめに

非線形時系列解析とは、一定の時間間隔ごとに並んだ数値データ(時系列データ)のダイナミックスに潜むカオス特性を明らかにする解析である。具体的には、Takens の埋め込み次元定理[1]を用いて時系列データを位相空間に変換し、位相空間内の軌道の構造的特徴である自己相似性(フラクタル性)や力学的特徴である軌道不安定性を定量化する手法である。1980年代にレーリー・ベナール対流の数理モデル方程式として提案されたローレンツ方程式の解に対して非線形時系列解析が適用されて以来[2]、非線形時系列解析は数学・物理系のみならず生命科学・電子・情報系などの幅広い分野で適用されており、複雑に変動する非線形現象の解明に対して有効になりつつある。燃焼は、流動、熱・物質拡散、化学反応が相互に作用し合う複雑な非線形現象であることから、カオス力学の考え方が燃焼ダイナミックスの取り扱いに対しても重要である。実際、パルス燃焼[3]、[4]、旋回燃焼[5]、[6]、セル状火炎[7]、[8]、デトネーション波[9]などの挙動に対して非線形時系列解析が適用されている。これらの研究では、位相空間内の軌道の自己相似性や軌道不安定性の定量化に対して相関次元[2]やリャプノフ指数[10]、[11]が用いられ、燃焼ダイナミックスの物理とカオスの関連性が議論されている。しかしながら、非線形時系列解析が工学的応用という視点から利用されていないように思われる。工学的応用としてカオスの特徴を利用できないのであろう

か？「決定論的カオス」と呼ばれるカオスには「短期予測可能・長期予測不可能」という重要な性質があるが、この性質に着目して燃焼ダイナミクスの短期的な予測はできないのであろうか？燃焼ダイナミクスの短期的な予測の可能性をカオス力学の視点から明らかにしていくことは、基礎燃焼分野の新たな展開を切り開いていくだけでなく、高度化する燃焼器の制御技術の開発にも大きく寄与していくと思われる。この点に着目して、著者は4年前に、非線形時系列解析を用いて巡回燃焼の挙動の短期的な予測を試み、カオス力学の重要性を明らかにした[12]。しかしながら、短期予測を行う上で必要となる位相空間内の軌道の決定論的な特徴の抽出に不十分な点が残っている。

このような背景のもと、最近、我々は位相空間内の軌道の決定論的な特徴を抽出する方法として実績のある Wayland 法 [13-15](位相空間内の軌道群の平行度を定量化する手法)によって燃焼ダイナミクスの決定論的な特徴を抽出し、抽出された決定論的な特徴に基づいて燃焼状態の短期的な予測を試みる研究を行っている。本稿では、希薄予混合ガスタービン燃焼器で発生する振動燃焼[16], [17]を対象に、非線形時系列解析を用いて振動燃焼の圧力変動から決定論的な特徴を抽出し、圧力変動の短期的な予測の可能性を明らかにしたものを紹介したい[18]。

## 2. 希薄予混合ガスタービン燃焼器で発生する振動燃焼の圧力変動

図 1 で示されるように、本研究で使用する燃焼実験装置は、空気供給系、燃料供給系、燃料-空気混合室、燃焼室から構成される[16], [17]。ブローアから供給された空気は電気ヒーターによって予熱され、混合室へ流入する。メイン燃料は、燃焼器入口より 260 mm 手前の位置で、円盤上に多数あけられた細孔から気流中に噴射される。燃焼室は、長さ 630 mm で 100 mm × 100 mm の矩形断面を有している。なお、主/次燃料ともにメタンガスを用いる。火炎は燃焼室入口に組み込まれた軸流スワラ(ハブ径 20 mm, スワラ外径 50 mm)によって保持される。図 2 で示されるように、燃焼器壁面の圧力変動は、圧力トランスデューサ(Kulite Semi-conductor Products, Inc., Model XTL-190-15G)を用いて計測され、圧力トランスデューサは混合室に 1 つ(PT1)と燃焼室に 3 つ(PT2, PT3, PT4)の合計 4 ヶ所に取り付けられている。圧力変動の時系列データは 25.6 kHz のサンプリングレートで取得される。

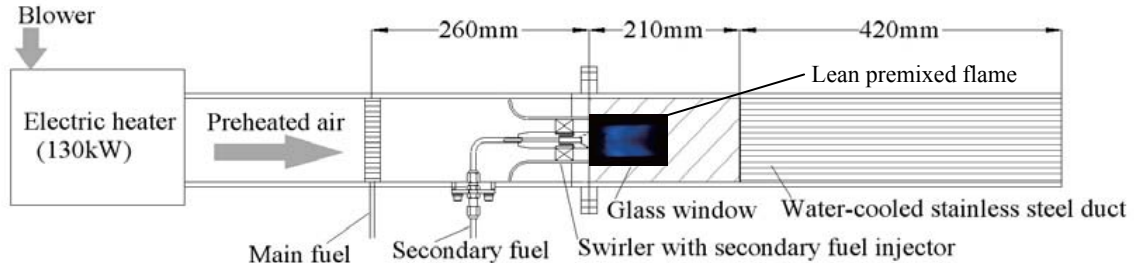


図 1 実験装置

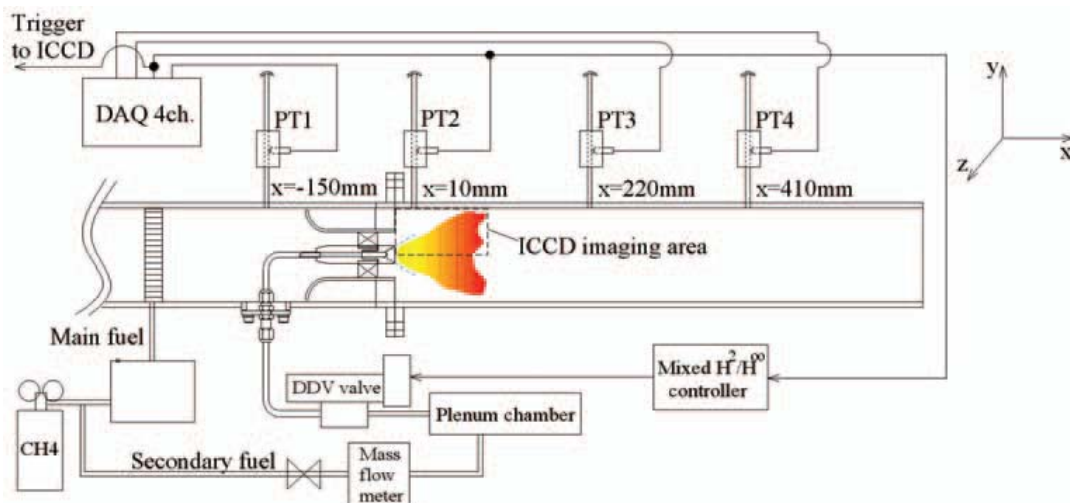


図 2 圧力変動の計測

この燃焼器では、入口温度、空気流量を、それぞれ、700 K、78 g/s（スローラ断面流速 90 m/s に相当）で一定とし、主燃料の流量のみを変化させ、当量比 $\phi$ を0.43から0.55まで増加させる。本研究では、図3で示されるような振動燃焼の圧力変動[16]、[17]に対して非線形時系列解析を適用し、圧力変動の決定論的な特徴を抽出し、圧力変動の短期的な予測を行う。

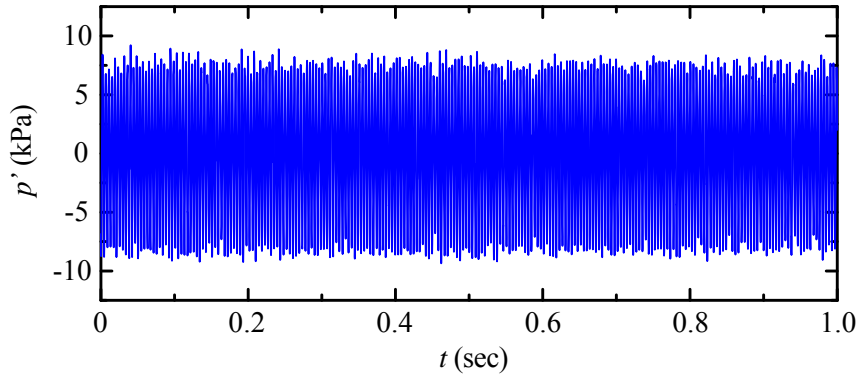


図3 振動燃焼の圧力変動( $\phi=0.49$ の場合)

### 3. 圧力変動の決定論的な特徴

圧力変動の決定論的な特徴を抽出するために、まず、式(1)で示される Takens の埋め込み次元定理 [1]を用いて圧力変動 $p'$  [kPa]の時系列データを図4で示すような位相空間へ変換する。式(1)で $t_i$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ) を変化させることによって、 $D$ 次元の位相空間内に軌道を描くことができる。

$$\mathbf{X}(t_i) = (p'(t_i), p'(t_i + \tau), \dots, p'(t_i + (D-1)\tau)) \quad \dots(1)$$

ただし、 $\mathbf{X}(t_i)$  を位相空間内の軌道上の点(位置ベクトル)、 $\tau$  を埋め込み時間、 $D$  を埋め込み次元、 $N$  をデータ点数とする。本研究では、最適な埋め込み時間を圧力変動の相互情報量[6]が最初に最小になるときの時間とする。

次に、Wayland 法[13]を用いて、構築された  $D$ 次元の位相空間内の近接する軌道群の平行度を求め、決定論的な特徴を抽出する。図4で示されるように、まず、時刻  $t_i$  の位相空間内にある位置ベクトル  $\mathbf{X}(t_i)$  について、 $K$ 個の最近傍ベクトル  $\mathbf{X}(t_k)$  ( $k = 1, 2, \dots, K$ )を探す。本研究では、 $K = 10$ とする。最近傍ベクトル  $\mathbf{X}(t_k)$  のそれぞれについて、 $T\tau$ だけ時間が経過した後の位置ベクトルは  $\mathbf{X}(t_k + T\tau)$  になる(ただし、 $T$ を時間ステップとする)。このとき、時間の経過に伴う各軌道の変化は式(2)によって近似的に表すことができ、 $\mathbf{V}(t_k)$ の方向の分散は並進誤差  $E_{trans}$  として式(3)で表せる。位相空間内の軌道に決定論的な特徴が残っていれば軌道群の平行性は高く、決定論的な特徴が残っていなければ軌道群は互いに交差し、平行性は低くなる。 $E_{trans} \leq 0.01$  のとき、位相空間内の軌道群の平行度に決定論的な特徴が強く残っていると判定する。本研究では、 $\mathbf{X}(t_i)$ を無作為に  $M$ 個選択し、その平均値を  $E_{trans}$ として求める。本研究では、 $M = 100$ とし、 $D$ を2から10まで変化させる。

$$\mathbf{V}(t_k) = \mathbf{X}(t_k + T\tau) - \mathbf{X}(t_k) \quad \dots(2)$$

$$E_{trans} = \frac{1}{K+1} \sum_{k=0}^K \frac{\|\mathbf{V}(t_k) - \hat{\mathbf{V}}\|}{\|\hat{\mathbf{V}}\|} \quad \dots(3)$$

$$\hat{\mathbf{V}} = \frac{1}{K+1} \sum_{k=0}^K \mathbf{V}(t_k) \quad \dots(4)$$

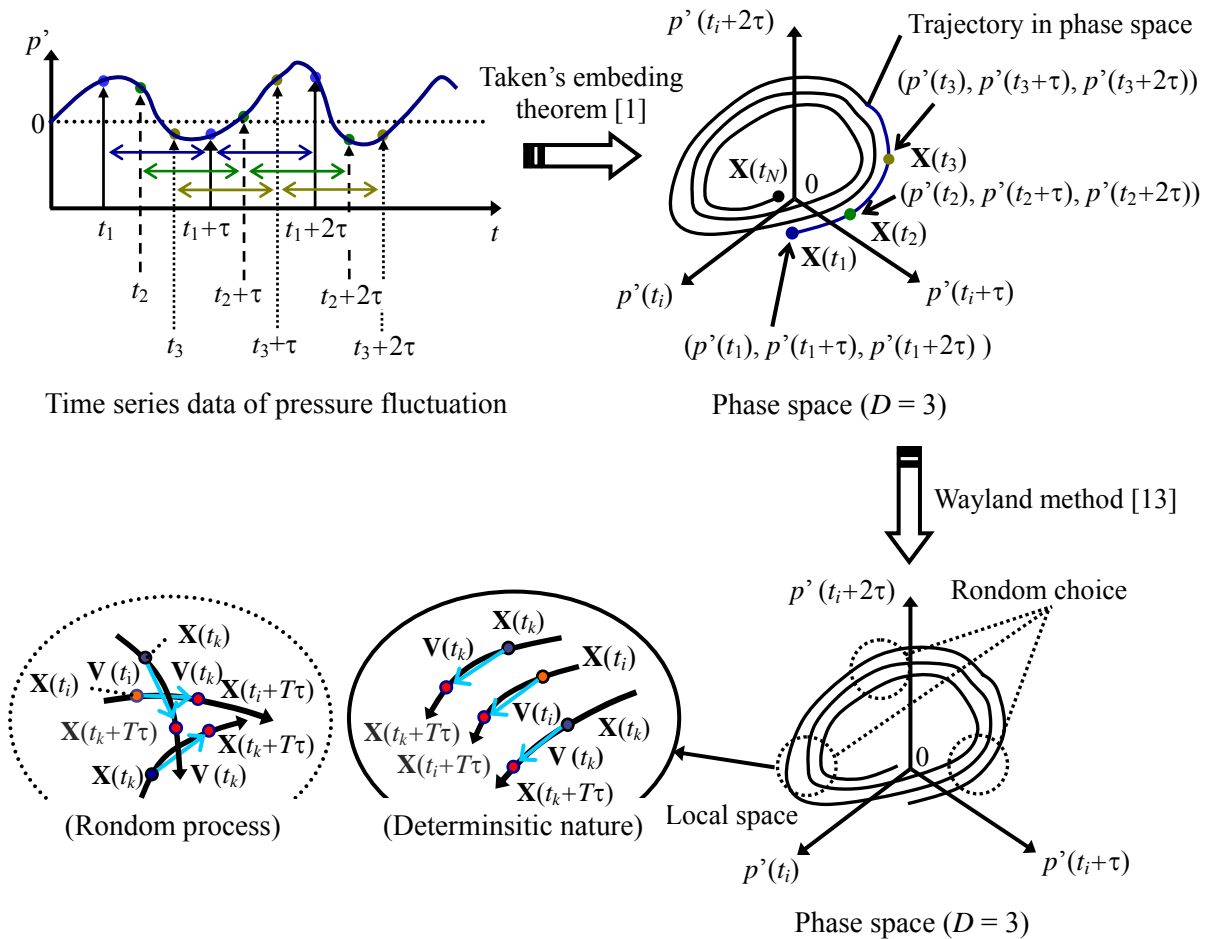


図4 位相空間内の軌道群の決定論的な特徴の抽出

3次元位相空間内の軌道の形状と当量比 $\phi$ の関係を図5に示す。 $\phi = 0.43$ のとき、軌道は位相空間内を埋め尽くし、軌道の変化に決定論的な特徴は観察されない。 $\phi = 0.44$ のとき、 $\phi = 0.43$ の場合と比較して軌道の交差は少なくなるが、決定論的な特徴は十分に観察されない。 $\phi = 0.45$ のとき、軌道の形状に中空の領域が現れ、軌道の変化に決定論的な特徴が生じ始めるようになる。そして、 $\phi = 0.46$ のとき、幅を持ったリミットサイクルが形成されるようになる。 $\phi = 0.52$ まで増加すると、リミットサイクルの形状に変化が生じ、 $\phi = 0.55$ で周期性が失われ始める。これらの位相空間内の軌道群の平行度を定量化した並進誤差  $E_{trans}$  と当量比 $\phi$ の関係を図6に示す。ただし、 $E_{trans}$ の値は、埋め込み次元  $D$  の変化に対して最小になるときの値とする。 $\phi < 0.45$ のとき、 $E_{trans}$ の値は0.01よりも大きく、軌道群の平行度は低い。この結果は位相空間内の軌道の形状と対応しており、短期予測を行うための決定論的な特徴が圧力変動に存在しないことを示している。しかしながら、 $\phi \geq 0.45$ では、 $E_{trans}$ の値は0.01より小さくなり、 $\phi = 0.45$ から0.55までの範囲で形成される振動燃焼の圧力変動には、短期予測を行うための軌道群の平行度が存在していると言える。

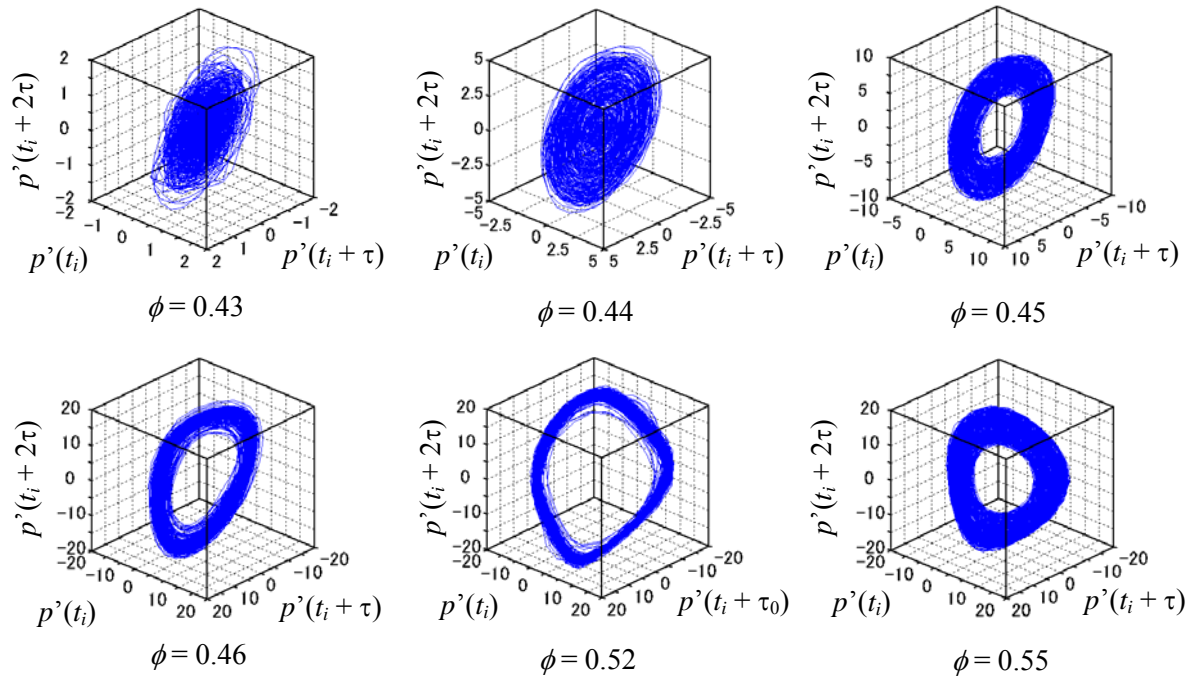


図5 3次元位相空間内の軌道の形状と当量比 $\phi$ の関係

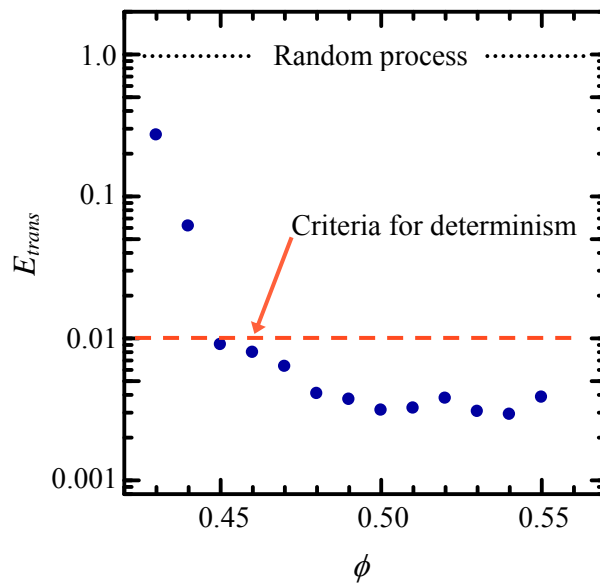


図6 並進誤差  $E_{trans}$  と当量比 $\phi$ の関係

#### 4. 圧力変動の短期予測

圧力変動に決定論的な特徴が存在しているとする。もし、現在の挙動と似たような挙動が過去にも観察されていたならば、現在の挙動が発展していく様子は、過去の挙動と似たようなものになると考えられる。この考えに基づいた時系列データの短期予測法の一つが Sugihara & May による局所非線形近似法[19]である。この方法は位相空間内の軌道の変化に決定論的な特徴が十分に残っている場合に対して適用可能な方法であり、決定論的カオスの重要な性質「短期予測可能・長期予測不可能」という考え方に基づく方法である。軌道群の平行性が位相空間内で保たれている領域が多ければ多いほど、予測の精度は高くなる。

短期予測法を時系列データに適用する前に、まず、時系列データを二分し、圧力変動を予測するためのデータベースとして前半の時系列データを用い、予測された時系列データと比較するための参照データとして後半の時系列データを用いる。本研究では、22 秒間の時系列データに対して、20 秒間をデータベースに、残り 2 秒間を参照用データとする。図 7 で示されるように、データベースから構築される位相空間内の軌道の予測する点を  $\mathbf{X}(t_p)$  とし、 $T$  ステップ後に  $\mathbf{X}(t_p + T)$  に移るものとする。このとき、 $\mathbf{X}(t_p)$  に近接する点  $\mathbf{X}(t_k)$  ( $k = 1, \dots, K$ ) は  $\mathbf{X}(t_k + T)$  に移る。 $\mathbf{X}(t_k + T)$  を  $\mathbf{X}(t_p)$  と  $\mathbf{X}(t_k)$  の距離  $d_k$  の指数関数で重みづけることで、 $\mathbf{X}(t_p + T)$  を式(5)より求めることができる。 $\mathbf{X}(t_p + T)$  を時系列データに逆変換することで、予測された圧力変動が得られる。

$$\mathbf{X}(t_p + T) = \frac{\sum_{k=1}^K \mathbf{X}(t_k + T) \exp(-d_k)}{\sum_{k=1}^K \exp(-d_k)} \quad \dots(5)$$

$$d_k = \|\mathbf{X}(t_p) - \mathbf{X}(t_k)\| \quad \dots(6)$$

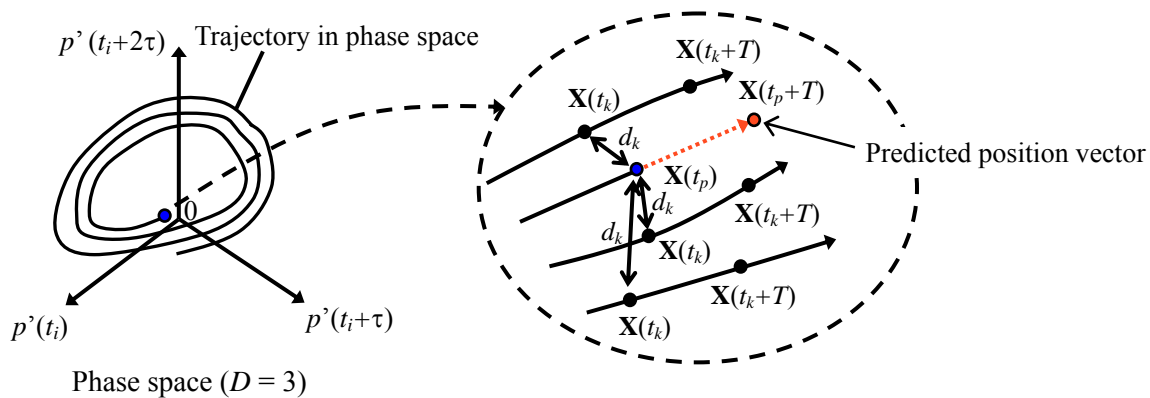


図 7 位相空間内の軌道の短期予測

決定論的な特徴が残っていると判断できる  $\phi = 0.46$  と  $0.49$  の 2 つの場合について、圧力変動を短期的に予測した結果をそれぞれ図 8, 9 に示す。  $\phi = 0.46$  のとき、予測の開始直後では実測値(破線)と予測値(実線)がほぼ一致しているが、時間が経過するにつれて、両者の振幅と位相が徐々に一致しなくなっていく。他方、決定論的な特徴が多く残っている  $\phi = 0.49$  のとき、実測値と予測値は時間が経過してもほぼ一致している。このことは、位相空間内の軌道の変化に決定論的な特徴が多く残っているほど、圧力変動の短期予測の精度が高くなることを示している。本稿では、位相空間内の軌道群の近傍点数やデータベースの大きさを固定して非線形時系列解析を行ったが、今後、これらのパラメータを系統的に変化させ、圧力変動の短期的な予測がどの程度まで可能であるのかを議論していく必要がある。また、実測値と計測値の一致度を定量的に評価していく必要がある。

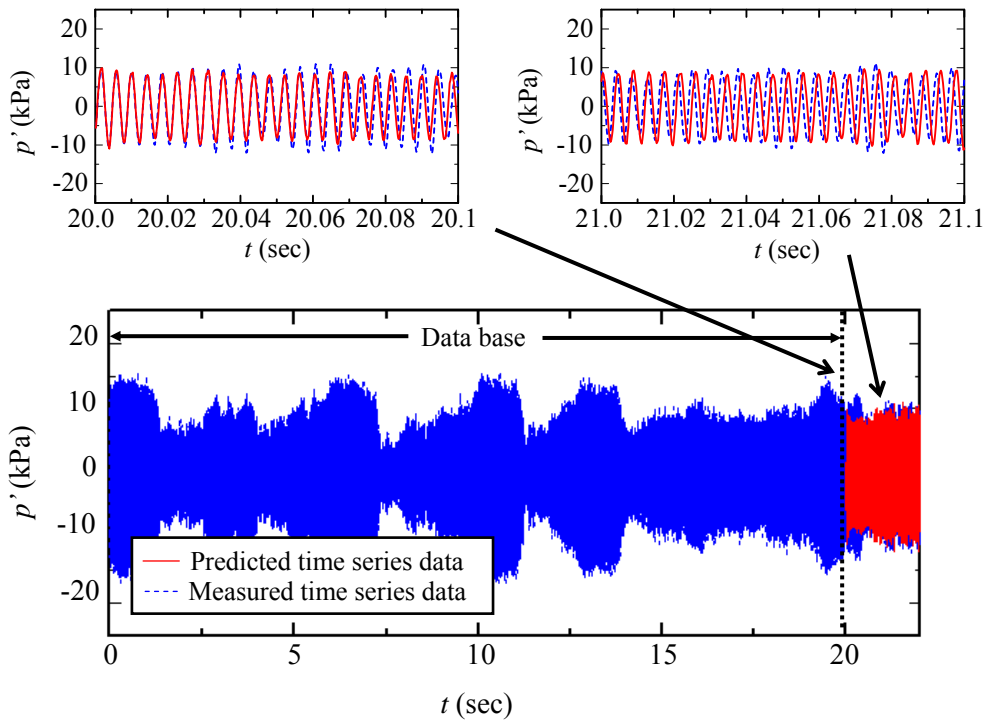


図8  $\phi = 0.46$  における圧力変動の短期予測

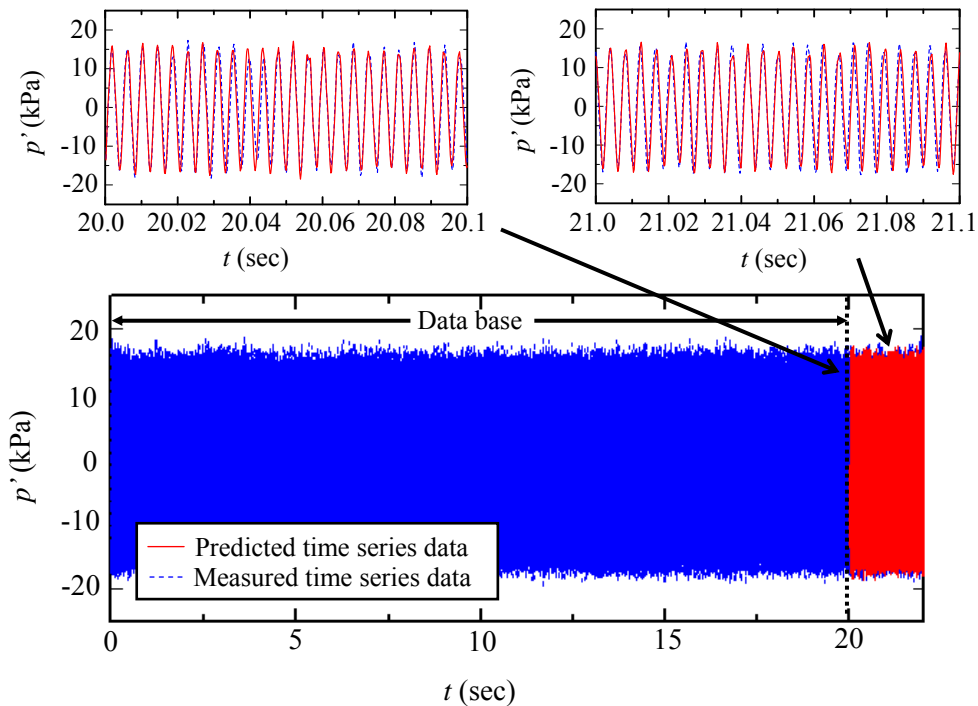


図9  $\phi = 0.49$  における圧力変動の短期予測

## 5. おわりに

本稿では、非線形時系列解析の工学的応用を視野に入れて、希薄予混合ガスタービン燃焼器で発生する振動燃焼の圧力変動に潜む決定論的な特徴を抽出し、圧力変動を短期的に予測した結果を紹介した。予測された圧力変動の精度には課題が残されているが、非線形時系列解析が圧力変動の短期予測に対して有効な手法になる可能性が示された。振動燃焼の発生はガスタービンエンジンの致命的な破損やライフサイクルの低下に繋がるため、燃焼状態に異常がないかを早期に検知することは重要な技術課題である。例えば、エンジン運転中の燃焼室内の圧力変動を常時モニタ



リングしながら予測値と実測値を比較し、一致度が一定の範囲を外れた場合には異常と警告するようなヘルスマニタリング技術が考えられる。今後、我々はこのようなエンジン燃焼器の異常検知をより早期に可能とする方法の一つとして非線形時系列解析の有効性を明らかにしていきたいと考えている。

## 謝辞

本研究の一部は、日本学術振興会 科学研究費補助金 若手研究 B、倉田記念日立科学技術財団、マツダ財団、カシオ科学振興財団による研究助成によって実施されたものがある。また、本研究は立命館大学大学院理工学研究科 創造理工学専攻 修士課程 新木本 寛之 君の研究内容をもとに紹介したものである。ここに感謝の意を表す。

## 参考文献

- [1] 合原 一幸 編, カオス時系列解析の基礎と応用, 産業図書, 2000.
- [2] P. Grassberger, and I. Procaccia, Characterization of strange attractors, *Physical Review Letters*, vol. 50, pp. 346 - 349, 1983.
- [3] C. S. Daw, J. F. Thomas, G. A. Richards, and L. L. Narayanaswami, Chaos in thermal pulse combustion, *Chaos*, vol. 5, pp. 662 - 670, 1995.
- [4] S. Datta, S. Mondal, A. Mukhopadhyay, D. Sanyal, and S. Sen, An investigation of nonlinear dynamics of a thermal pulse combustor, *Combustion Theory and Modeling*, vol. 13, pp. 17- 38, 2009.
- [5] H. Gotoda, and T. Ueda, Transition from periodic to non-periodic motion of a Bunsen-type premixed flame tip with burner rotation, *Proceedings of the Combustion Institute*, vol. 29, pp. 1503 - 1509, 2002.
- [6] H. Gotoda, Y. Asano, K. H. Chuah, and G. Kushida, Nonlinear analysis on dynamic behavior of buoyancy-induced flame oscillation under swirling flow, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 52, pp. 5423 - 5432, 2009.
- [7] S. Kadowaki, and N. Ohkura, Time series analysis on the emission of light from methane-air lean premixed flames: Diagnostics of the flame instability, *Transactions of the Japan Society for Aeronautical and Space Science*, vol. 51, pp. 133 - 138, 2009.
- [8] 門脇 敏, 貫井 純一郎, メタン-空気混合気の希薄燃焼における「ゆらぎ」の解析, *日本機械学会論文集 B編*, 71 巻 711 号, pp. 2748 - 2753, 2005.
- [9] H. D. Hg, A. J. Higgins, C. B. Kiyanda, M. I. Radulescu, J. H. S. Lee, K. R. Bates, and N. Nikiforankis, Nonlinear dynamics and chaos analysis of one-dimensional pulsating detonations, *Combustion Theory and Modeling*, vol. 9, pp. 159 - 170, 2005.
- [10] A. Wolf, J. B. Swift, L. H. Swinney, and J. A. Vastano, Determining Lyapunov exponent from a time series, *Physica D*, vol. 16, pp. 285 - 317, 1985.
- [11] M. T. Rosenstein, J. J. Collins, and C. J. De Luca, Lyapunov exponent from time series, *Physical Review A*, vol. 34, pp. 4971 - 4979, 1986.
- [12] H. Gotoda, and T. Ueda, Orbital instability and prediction of a Bunsen flame tip motion with burner rotation, *Combustion and Flame*, vol. 140, pp. 287 - 298, 2005.
- [13] R. Wayland, D. Bromley, D. Pickett, and A. Passamante, Recognizing determinism in a time series, *Physical Review Letters*, vol. 70, pp. 580 - 582, 1993.
- [14] T. Miyano, S. Munetoh, K. Moriguchi, and A. Shintani, Dynamical instability of the motion of atoms in a silicon crystal, *Physical Review E*, vol. 64, pp. 016202, 2001.
- [15] T. Miyano, T. Moriya, H. Nagaike, N. Ikeuchi, and T. Matsumoto, Dynamical properties of acoustic emission by anomalous discharge in plasma processing system, *Journal of Physics D*, vol. 41, pp. 035209, 2008.
- [16] S. Tachibana, J. Zimmer, Y. Kurosawa, and K. Suzuki, Active control of combustion oscillations in al lean premixed combustor by secondary fuel injection coupling with chemiluminescence imaging technique, *Proceedings of the Combustion Institute*, vol. 31, pp. 3225 - 3233, 2007.
- [17] 立花 繁, ジマー ロレント, 黒澤 要治, 鈴木 和雄, 二次燃料噴射による振動燃焼の能動制御, *ながれ*, 25 巻 第 3 号, pp. 219 - 227, 2006.
- [18] 新木本 寛之, 後藤田 浩, 宮野 尚哉, 立花 繁, 希薄予混合ガスタービン燃焼の圧力変動の非線形時系列解析, 第 47 回燃焼シンポジウム, 札幌, 2009.
- [19] G. Sugihara, and R. M. May, Nonlinear forecasting as a way of distinguishing chaos from measurement error in time-series, *Nature*, vol. 344, pp. 734 - 741, 1990.

## 2009 年度年次大会熱工学部門報告

### 2009 年度年次大会熱工学部門委員長 丸田 薫（東北大学）

日本機械学会 2009 年度年次大会が、9 月 14 日・16 日の三日間、岩手県盛岡市の岩手大学で開催されました。当部門では、年次大会熱工学部門委員会を組織し、オーガナイズドセッションなどの企画・運営にあたりました。（以下、委員氏名および所属・敬称略、石塚 勝（富山県立大）、小原 拓（東北大）、鹿園直毅（東京大）、鈴木雄二（東京大）、日向野三雄（秋田県立大）、山本 悟（東北大）、中村 寿（幹事・東北大）丸田 薫（東北大）

熱工学部門のオーガナイズドセッションとしては、熱工学部門の単独企画として S0601「食と熱工学」が、他部門との合同企画として J0101「エネルギーと環境問題におけるマルチフィジックス CFD シミュレーション」、J0103「電子情報機器、電子デバイスの強度・信頼性評価と熱制御」、J0801「次世代燃料と新しい燃焼技術、エンジン、動力システム」、J0601「燃料電池」、T0501「マイクロ・ナノスケールの熱流体现象」、T0502「マイクロ・ナノ領域におけるバイオ・熱流体融合学術創成」の 6 件が、流体工学部門、動力エネルギーシステム部門、エンジンシステム部門、材料力学部門、計算力学部門、バイオエンジニアリング部門、情報・知能・精密機械部門との合同で企画されました。

唯一の熱工学部門単独企画となった S0601「食と熱工学」では 2 セッション 10 講演が行われました。合同企画 J0101「エネルギーと環境問題におけるマルチフィジックス CFD シミュレーション」においては 2 セッション 9 講演、J0103「電子情報機器、電子デバイスの強度・信頼性評価と熱制御」では 5 セッション 20 講演、J0801「次世代燃料と新しい燃焼技術、エンジン、動力システム」では 4 セッション 22 講演、J0601「燃料電池」では 3 セッション 14 講演、T0501「マイクロ・ナノスケールの熱流体现象」では 4 セッション 25 講演、T0502「マイクロ・ナノ領域におけるバイオ・熱流体融合学術創成」では 3 セッション 17 講演と、合計 23 セッションにおいて 117 件と、非常に多数の講演が行われ、満員となる講演室もあるほどでした。また熱工学一般セッションでも伝熱、燃焼、輻射・熱物性およびプラズマ、各種熱現象に関するセッションが企画され、45 件の発表に対して活発な議論が行われました。その他、エンジンシステム部門との共同企画により、先端技術フォーラム F0701「光に着目した燃焼現象の計測法」が実施され、5 件の講演がありました。

伝熱シンポジウムや熱工学コンファレンスを始めとする熱工学関連学会の開催時期との関係もあり、年次大会への熱工学部門会員の参加減少が懸念されましたが、機械学会のすべての部門が一堂に会するという本大会の特徴や、最近の熱工学が新しい分野や他分野との複合領域への進出が目覚ましいことが幸いしてか、昨年度の横浜大会同様、企画されたいずれのセッションにも多数の方々の参加があり、熱のこもった実りある議論が展開されていたようです。

昨年度の機械学会年次大会は、機械の日(8月7日)・機械週間(8月1日-7日)に近い日程を、と言う理由で8月に開催されましたが、今回は従来の慣例に近い9月の開催となりました。それでも機械学会会員が深く関係する他の学会との日程重複は避けられなかったようですが、結果として多くの参加者が得られたことはなによりでした。

部門同好会は、小岩井農場において、昨年度と同じく熱工学部門、流体工学部門、材料力学部門、計算力学部門の4部門共同で開催されました。本年度の同好会は、総計で100名を大きく越える参加を得て盛大に執りおこなわれ、会員間の親睦・交流を深めるまたと無い良い機会となりました。

本年度の年次大会の成功は、全国から参加された皆様、学会の企画運営にあられた全ての部門の委員の方、また特に少人数で膨大な量の仕事をこなされた岩手大学の実行委員会委員の先生方によるものと考えます。この機会をお借りして、皆様に心より御礼申し上げたいと存じます。来年度以降の年次大会、また会員の皆様の発展を祈念しつつ、2009年度年次大会熱工学部門のご報告とさせていただきます。

## 熱工学コンファレンス 2009 開催報告

実行委員会委員長  
加藤泰生（山口大学）

熱工学部門の年間行事の中でも一大事業である、熱工学コンファレンス 2009 は、平成 21 年 11 月 7 日(土)、8 日(日)の二日間（実質 2 日目が半日なので 1 日半の会期）にわたり、山口大学の常盤台キャンパス、工学部講義棟で開催されました。最終集計では学術講演 144 件、参加登録者 291 名、懇親会参加者 140 名でした。前年度が流体部門と合同で KSME との国際ジョイントコンファレンスであったため純粋な国内学会は 2 年ぶりの開催でした。私にはその前の慶応大学 (06)、京都大学 (07) での盛会な開催状況が幾分記憶に残っていて、少々、気後れしていましたが、この間（ま）が空いたお蔭で幾分幸い致しました。実行委員の構成員もぎりぎりまでそろわず、少ないスタッフで如何に運営するか心に砕きました。エネルギー系の先生方全員御支援は勿論のこと、他学科、県の技術センターの専門研究員などに依頼して講演室と受付その他ぎりぎりの配置で望みました。ほとんどの先生方が、本熱工学コンファレンスを御存じなく、長い準備期間があったにもかかわらず参加の皆様には御不便、御不満を与えたかもしれません。

とりあえずは、本番の講演会、どこも立見も出る程盛況な講演室、講演発表があるなど、学術講演はかなり活況を呈していたようで、実行委員会としては胸をなでおろしました。

特別講演会は、吉田松陰生誕 150 年ということで、各地のいろんなイベントでお忙しい著名な一坂太郎 氏（萩博物館特別学芸員）に”吉田松陰と晋作の志“と題して、幕末の松陰流教育論を滲ませながらの力のこもった 1 時間の講演を頂きました。あつという間でしたが会場から熱のこもった講演そのものへの大きな拍手を頂きました。



論文集表紙（錦帯橋（右上窓））



写真 特別講演風景 一坂 太郎 氏

### 【いくつかの試み】

1 つは、この春から感性工学科に來られた小金井真先生が、空調システム関連の先生で、この際この分野も取り込んでみようかと急遽、この分野を OS 企画していただき、また講演者の参加の便を諮るため、学会に無理を言っていままでなかった建築学会などへ協賛依頼を追加をお願いしたことです。結果、セッション参加者には新しい概念で討論ができ、おおむね満足いただけたようです。協賛学会をあまり膨らませても実が挙がらない例が多いのですが今回はうまく行ったと自画自賛しています。

2 つは、休憩フローの開設と茶菓の提供です。会場が 1 棟内にあるとはいえ 3 階までの高さは問題です。やはりセッション間の休憩を有効に過ごしていただくために、1 日目だけでしたが

2箇所（2階、3階フロー）に分散して設置しました。そして、ここには、宇部観光コンベンション協会から（有償ですが）御当地の名産品（茶菓）を提供していただき堪能していただいたことです。お土産としてお持ちになられた先生もいるやに聞いています。当会の思惑どおりでした。

3つは、会場費を抑えるために、工学部を共催にしたことです。工学部から断られる懸念もありましたので部門運営委員会には諮りませんでしたし、予算計上はしていましたが、工学部からOKがいただけたのでかなり助かりました。昨今、会場確保などにも苦勞することから、土、日開催が普通になりつつありますし参考になればと思います。

うれしい誤算を披露したいと思います。従来講演会は実行委員会マターで会計処理されるかと思っていました。そのため講演数、参加登録者数がかなりの程度ないと財政的に大変厳しくなるのではないかと懸念がありました。会期1日半は短すぎた、それも流体部門と重なるし、しまったとの思いがありました。そのため、事前参加登録数（講演会、懇親会）からして支出の大幅削減に悩みましたし、実際、講演会場における学生アルバイトを極力少なくしたりもしました。ご不便をお掛けしたことが少なくなかったのではと危惧致しました。しかし、ふたを開けますと当日受付が非常に多く、かつ懇親会の登録もしかりでこれには、うれしい誤算でした。事前のネームプレートが足らなくなるなど慌てましたが…

それから、受付および参加費に関するお金の管理に関して学会にすべて取り仕切っていただきました。こちらでは、入金の入りに相当する口座開設の面倒くさい実務（幹事の先生有難うございました）程度でした。しかしただただ不便だったのは、一旦学会会計に入ると、取り戻すのが極めて面倒で理由書が必要でした。

まだまだ思惑以外の話もありますが駄文を長々と書いてもなんですので報告は終わりにします。

最後に、13名からなる実行委員のみなさま。それぞれに役割分担をお願いし、大変な労力を割いて準備をして頂きました。幹事の三上真人、望月信介教授をはじめ委員の方々にこの場をお借りして厚く御礼申し上げます。また、学会職員の村山ゆかり様始め学会関係各位、さらには、かなり御心配をおかけしました前年度部門運営委員の皆様、前回開催の京都大学の吉田先生（今回の部門長でもありましたが）はじめ京都大学からは電子ファイルにて、おおくのノウハウを頂きました。その他関係各位の皆様方に感謝申し上げます。

## 第二回湘南ワークショップ報告

白樫 了（東京大学）

地球温暖化問題への関心の高まりや昨今のグリーンニューディール等への期待から、新たなエネルギー機器への関心が高まってきています。その中でも、熱は、熱機関、給湯、空調、乾燥、反応、殺菌等の多くの用途で利用され、エネルギー変換や消費に占める総量としても極めて大きく、熱工学の重要性は益々高まっています。このような中、新しい熱機関や熱機器の開発事例が近年数多く報告されるようになってきています。一方で、このような熱技術の開発を支える人材の育成に関しては、産学の長期的な視点での協力関係が不可欠です。産業界が求める学士・修士・博士の熱工学の基礎素養、大学が教育として学生に伝えたい熱工学の基礎と熱工学の新しい素養などについて、産学の立場から考え直す時期に来ていると思われまます。

このような背景に鑑み、熱工学部門では去る平成 21 年 11 月 13 日と 14 日に、湘南国際村センターに於いて、将来の熱工学について議論するためのワークショップを開催致しました。本ワークショップには産学から 33 名の参加者が集い、新しい熱機器の開発事例や人材教育の状況を講演により概観するとともに、パネルディスカッションや意見交換を通じて、熱工学の将来の方向性について活発な意見交換を行いました。

初日 11/13 の午後は「熱機関・熱利用機器の新展開」が開催されました。神戸製鋼所の上原一浩氏からはスクリー空気圧縮機を転用した蒸気発電機についてのお話がありました。続いて日立製作所の幡宮重雄氏から、高湿分空気を利用した新型ガスタービン AHAT のご紹介頂きました。東京ガスの矢作正博氏からは、太陽熱を利用した集合住宅用高効率給湯器の開発状況についてお話し頂きました。続いて、富士石油の永田英記氏からは石油プラントへのカーリーナサイクルの適用事例をご紹介頂きました。引き続き夕食会、意見交換会では、熱工学のニーズや今後の方向性について、長時間にわたって屈託のない意見交換が交わされました。

続く二日目は、「産・学が求める熱工学の基礎素養と教育」が開催されました。最近になって、熱工学や機械工学分野の素養を必要とする産業より、大学から得られる人材に基礎能力が不足しつつあることを耳にする機会が増えてきています。一方、大学においても学際分野の研究が指向されつつあることで、教育すべき内容が増えて、従来のカリキュラムが変わりつつあります。これらの状況を踏まえて、大学で学生に教育すべき熱工学の基礎素養について、産学双方の立場から考える機会をもちました。最初に神鋼リサーチ(株)の黒坂俊雄氏より、産業界で実施された貴重なアンケート調査に基づいて、産業界の立場で望まれる熱工学の素養や能力、また、それらを踏まえた産学連携のあり方についてお話がありました。続いて、慶應義塾大学の植田利久氏より、長年にわたり大学と大学院で研究・教育にたずさわられた経験にもとづき、大学として学生に教えた熱工学の素養や能力、カリキュラムも提案についてお話いただきました。最後に、長らく産業界におられた後、大学にうつられた東京大学の金子祥三氏より、産業界で必要になる熱工学の素養や、さらに踏み込んで企業で必要となる工学的センスについて、ご自身の事例を含めてご紹介いただきました。尚、二日目のセッションの内容は、1月に発行の「機械の研究」の特集記事「熱工学分野の教育を考える」に、緒言と総括を加えて掲載される予定です。

二日間の議論を通じて、参加者の問題意識や課題に対する理解が進み、将来の熱工学の発展へのヒントを得る大きなきっかけになったのではないかと思います。

## 部門賞・一般表彰贈呈式

### 第 86 期（2008 年度）熱工学部門賞・部門一般表彰 受賞者一覧（敬称略）

#### 熱工学部門賞

功績賞（永年功績賞）	吉田 駿	（九州大学名誉教授）
	熊田 雅弥	（岐阜大学名誉教授）
功績賞（国際功績賞）	工藤 一彦	（北海道大学名誉教授）
功績賞（研究功績賞）	門出 政則	（佐賀大学教授）
功績賞（技術功績賞）	中込 秀樹	（千葉大学教授）
業績賞	平井 秀一郎	（東京工業大学教授）

#### 部門一般表彰

貢献表彰	二宮 尚	（宇都宮大学准教授）
	鈴木 雄二	（東京大学准教授）

#### 講演論文表彰

##### < 年次大会 >

「Ar-Pt(111)系を用いた分子線散乱実験及び適応係数測定 of 分子動力学解析」  
山口 浩樹 (名古屋大学), 埴 常男 (名古屋大学), 森 英男 (九州大学),  
新美 智秀 (名古屋大学)

「SAM-溶媒界面における界面熱抵抗特性の分子論的研究」  
菊川 豪太 (東北大学), 小原 拓 (東北大学), 川口 暢 (デンソー),  
鳥越 栄一 (デンソー), 萩原 康正 (デンソー), 松本 洋一郎 (東京大学)

##### < K-J 熱流体国際会議 >

“A Mass Transfer Model for Flow Architecture of the Lung (Why do we have a  
bronchial tree with 23 levels of bifurcation?)”  
中山 颯 (静岡大学), 桑原 不二郎 (静岡大学), 佐野 吉彦 (静岡大学)

“Zone folding effects of heat conduction in nano-porous silicon”  
永井 大資 (九州工業大学), 大谷 直弘 (九州工業大学),  
城戸 陽平 (九州工業大学), 宮崎 康次 (九州工業大学),  
塚本 寛 (北九州工業高等専門学校)

#### 若手優秀講演フェロー賞

“Scattering Process of Monatomic Molecular Beam on Vertically Aligned Single-Walled  
Carbon Nanotubes”  
原田 裕士 (東京大学)

“Development of Micro Superheated-Steam Generator”  
飯尾 剛範 (関西大学)

## 熱工学部門賞

### 功績賞（永年功績賞）

吉田 駿 氏

贈賞理由：熱工学，とりわけ管内沸騰熱伝達，高性能ボイラ蒸発管やヒートポンプ開発などの分野において，永年にわたり熱工学の発展に貢献した功績が顕著である．



#### 略歴：

1962 九州大学工学部機械工学科卒  
1967 九州大学大学院博士課程修了  
1967 九州大学工学部講師  
1968 九州大学工学部助教授  
1979 九州大学工学部教授  
現 九州大学名誉教授

### 功績賞（永年功績賞）

熊田 雅弥 氏

贈賞理由：熱工学，とりわけ強制対流伝熱，熱流体に関する計測などの分野において，永年にわたり国内外の熱工学の発展に貢献した功績が顕著である．



#### 略歴：

1966 岐阜大学工学部機械学科卒  
1966 岐阜大学工学部助手  
1975 岐阜大学工学部助教授  
1990 岐阜大学工学部教授  
1999 岐阜大学工学部長  
現 岐阜大学名誉教授

### 功績賞（国際功績賞）

工藤 一彦 氏

贈賞理由：熱工学，とりわけ輻射伝熱，対流伝熱の分野での基礎および応用研究などの分野において，国内外の熱工学研究者の交流に貢献した功績が顕著である．



#### 略歴：

1970 東京大学工学系研究科船用機械工学修士課程修了  
1979 工学博士(東京大学)  
1979 (株)日立製作所エネルギー研究所 主任研究員  
1981 北海道大学工学部機械工学科助教授  
1994 北海道大学工学部教授  
現 北海道大学名誉教授

### 功績賞（研究功績賞）

門出 政則 氏

贈賞理由：熱工学，とりわけ沸騰熱伝達・限界熱流束，熱物性の計測法などの分野において，国内外の熱工学研究の発展に貢献した功績が顕著である．



#### 略歴：

1976 東京大学工学系研究科 船用機械工学博士課程修了  
1976 佐賀大学講師  
1978 佐賀大学助教授  
1988 佐賀大学教授



## 功績賞（技術功績賞）

### 中込 秀樹 氏

贈賞理由：熱工学，とりわけ冷熱技術，超伝導・極低温技術，再生可能エネルギー利用などの分野において，国内外の熱工学技術の発展に貢献した功績が顕著である。



略歴：

- 1979 東京大学工学系研究科機械工学専攻博士課程修了
- 1979 東京芝浦電気株式会社
- 1995 東京工業大学大学院総合理工学研究科客員教授（東芝在職中）
- 2004 千葉大学工学部都市環境システム学科教授

## 業績賞

### 平井 秀一郎 氏

贈賞理由：熱工学，とりわけ二酸化炭素の海洋・地中隔離技術，核磁気共鳴を用いた物質輸送の計測などの分野において，熱工学分野における研究業績が顕著である。



略歴：

- 1984 大阪大学大学院工学研究科産業機械工学修士課程修了
- 1984 大阪大学助手
- 1993 東京工業大学助教授
- 1998 東京工業大学教授

## 部門一般表彰

### 貢献表彰

#### 二宮 尚 氏（宇都宮大学）



贈賞理由：熱工学，とりわけ熱流体計測などの分野での研究への貢献，ならびに熱工学部門活動に対する貢献が顕著である。

#### 鈴木 雄二 氏（東京大学）



贈賞理由：熱工学，とりわけ MEMS や乱流などの分野での研究への貢献，ならびに熱工学部門活動に対する貢献が顕著である。

講演論文表彰

論文題目「Ar-Pt(111)系を用いた分子線散乱実験及び適応係数測定 of 分子動力学解析」  
山口浩樹（名古屋大学），埴常男（名古屋大学），森英男（九州大学），  
新美智秀（名古屋大学）



山口氏



埴氏



森氏



新美氏

贈賞理由：本論文は、気体分子と固体表面との相互作用、特にその適応係数に関して、分子線実験ならびに分子動力学解析の両面から詳細に検討したもので、その研究アプローチは萌芽性が高く、この分野の進展に重要な貢献をするものと考えられる。

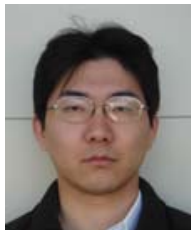
論文題目「SAM-溶媒界面における界面熱抵抗特性の分子論的研究」  
菊川豪太（東北大学），小原拓（東北大学），川口暢（(株)デンソー），  
鳥越栄一（(株)デンソー），萩原康正（(株)デンソー），松本洋一郎（東京大学）



菊川氏



小原氏



川口氏

贈賞理由：本論文は、固液界面に存在する熱抵抗を自己組織化膜を用いる事で低減可能である事実を示すとともに、その低減の分子スケールのメカニズムを明らかにしたものであり、萌芽性が高く、この分野の進展に重要な貢献をするものと考えられる。



鳥越氏

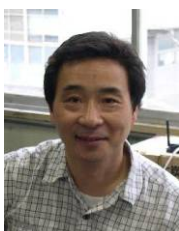


萩原氏



松本氏

論文題目 “A Mass Transfer Model for Flow Architecture of the Lung  
(Why do we have a bronchial tree with 23 levels of bifurcation?)”  
中山顕（静岡大学），桑原不二郎（静岡大学），佐野吉彦（静岡大学）



中山氏



桑原氏



佐野氏

贈賞理由：本研究による、肺中酸素輸送のモデル化は呼吸機構を説明するだけでなく、人工血管や人工肺の設計にも有効となる可能性を示しており、萌芽性が高く、この分野の進展に重要な貢献をするものと考えられる。

論文題目 “Zone folding effects of heat conduction in nano-porous silicon”

永井大資（九州工業大学）、大谷直弘（九州工業大学）、城戸陽平（九州工業大学）、  
宮崎康次（九州工業大学）、塚本寛（北九州工業高等専門学校）



永井氏



大谷氏



城戸氏

贈賞理由：本研究は、ナノポーラスシリコンにおける熱伝導率低下について分子動力学解析によって検討し、ナノホールがフォノングループ速度の低下をまねくことが原因であるとの見解を示したものであり、この分野の進展に重要な貢献をするものと考えられる。



宮崎氏



塚本氏

## 若手優秀講演フェロー賞

論文題目 “Development of Micro Superheated-Steam Generator”

飯尾 剛範 氏（関西大学）



贈賞理由：本講演は、超小型過熱蒸気発生器の開発研究として、その内容が優れていると同時に、発表方法に創意工夫がみられ、質疑に対する応答も的確であった。講演者の能力と努力は敬意に値するものであり、今後の活躍に期待が持てる。

論文題目 “Scattering Process of Monatomic Molecular Beam on Vertically Aligned Single-Walled Carbon Nanotubes”

原田 裕士 氏（東京大学）



贈賞理由：本講演は、カーボンナノチューブを利用したマイクロ熱交換器の基礎研究として、その内容が優れていると同時に、発表方法に創意工夫がみられ、質疑に対する応答も的確であった。講演者の能力と努力は敬意に値するものであり、今後の活躍に期待が持てる。

## 行事案内

### 部門企画行事案内

●熱工学コンファレンス 2010

開催日：2010年10月30日(土)～31日(日)

場 所：長岡技術科学大学

●第8回目になる日米熱工学合同会議(The 8th ASME-JSME Thermal Engineering Conference = AJTEC2011)

開催日：2011年3月13日(日)～17日(木)

場 所：Waikiki Beach Marriott Resort & Spa (米国ハワイ州ホノルル市)

URL：<http://www.jsme.or.jp/conference/AJTEC2011/>

### 部門関連行事案内

●第48回燃焼シンポジウム

開催日：2010年12月1日(水)～3日(金)

場 所：福岡

主 催：日本燃焼学会

●第31回日本熱物性シンポジウム

開催日：2010年11月17日(水)～19日(金)

場 所：九州大学

主 催：日本熱物性学会

発表申込締切：2010年7月13日(火)

原稿締切：2010年9月14日(火)

●第47回日本伝熱シンポジウム

開催日：2010年5月26日(水)～28日(金)

場 所：札幌コンベンションセンター「SORA」

主 催：日本伝熱学会

講演申込締切：2010年1月22日(金)

原稿締切：2010年3月19日(金)

URL：<http://hermes-me.eng.hokudai.ac.jp/nhts2010/index.htm>

### 国際会議案内

—2011年—

●The 8th ASME-JSME Thermal Engineering Joint Conference = AJTEC2011

開催日：2011年3月13日(日)～17日(木)

開催地：Waikiki Beach Marriott Resort & Spa (米国ハワイ州ホノルル市)

URL：<http://www.jsme.or.jp/conference/AJTEC2011/>

—2010年—

- Ninth Asian Thermophysical Properties Conference  
開催日：2010年10月19日(火)～10月22日(金)  
開催地：University of Science and Technology Beijing, Beijing, China  
Abstract 期限：March 1, 2010  
URL：<http://www.ustb.edu.cn/ATPC2010/>
  
- The 14th International Heat Transfer Conference  
開催日：2010年8月7日(土)～8月13日(金)  
開催地：Washington D.C., USA  
URL：<http://www.asmeconferences.org/IHTC14/>
  
- 33rd International Symposium on Combustion  
開催日：2010年8月1日(日)～8月6日(金)  
開催地：Tsinghua University, Beijing, China  
URL：<http://www.combustion2010.org/>
  
- 8th International ERCOFTAC Symposium on Engineering Turbulence Modelling and Measurements  
開催日：2010年6月9日(水)～6月11日(金)  
開催地：Jardins du Pharo, Marseille, France  
URL：<http://www.atout-org.com/etmm8/welcome>
  
- International Conference on Multiphase Flow 2010 (ICMF-2010)  
開催日：2010年5月30日(日)～6月4日(金)  
開催地：Marriott Tampa Waterside Hotel & Marina, FL, USA  
URL：<http://conferences.dce.ufl.edu/ICMF2010/>
  
- The 13th International Symposium on Transport Phenomena and Dynamics of Rotating Machinery (ISROMAC-13)  
開催日：2010年4月4日(日)～4月9日(日)  
開催地：Moana Surfrider, Waikiki, Honolulu, Hawaii, USA  
URL：<http://park.itc.u-tokyo.ac.jp/jetlab/ISROMAC-13/>
  
- 9th International ISHMT-ASME Heat and Mass Transfer Conference  
開催日：2010年1月4日(月)～1月6日(水)  
開催地：Bombay, INDIA  
URL：<http://www.me.iitb.ac.in/~ishmt2010/>

—2009年—

- ASME 2009 2nd Micro/Nanoscale Heat & Mass Transfer International Conference  
開催日：2009年12月18日(金)～12月21日(月)  
開催地：Shanghai Jiaotong University, Shanghai, China  
URL：<http://www.asmeconferences.org/MNHMT09/>
  
- Second International Conference on Thermal Issues in Emerging Technologies Theory and Applications (ThETA2)  
開催日：2009年12月17日(木)～12月20日(日)  
開催地：Sofitel El Gezira, Cairo, EGYPT  
URL：<http://www.thetaconf.org/>

## その他

### 編集後記

今回の TED Plaza では、「燃焼科学の新展開」という観点から、燃焼分野にて最近注目を集めている2つのトピックについて寄稿を頂きました。1つめは、燃焼の一大テーマである火災消火に関する研究で、弘前大学鳥飼氏より「シャボン玉と消火？」といった普通では結びつかないような、しかしその背景にはこれまでの燃焼工学で培われてきた多くの知識を背景に持つ非常にユニークな内容をご紹介頂きました。（尚、この研究は「平成20年度消防防災機器の開発等及び消防防災科学論文消防庁長官表彰（優秀賞）」を受賞されております。）また2つめは、立命館大学後藤田氏らにより、カオス理論を利用した「燃焼現象の近未来予測」という物理数学の概念を取り入れた燃焼工学ではこれまでにない斬新な内容についてご紹介を頂いております。

昨今、エネルギー問題や環境問題にも関連し、燃焼を含めた熱工学に関する研究はその重要性を日ごとに増してきていると思います。熱工学の分野は比較的その歴史も古く、多くの知識が蓄えられつつあると思いますが、さらなる発展・ブレークスルーのためには、これまでとは異なる視点からのアイデア、他分野との融合といった点が一つの重要な鍵になるのではと考えます。今回の TED Plaza では、そういった編集者の意図も含め、ユニークかつ斬新な2つのトピックをご紹介させて頂き、少なからずともその一端をご覧頂けたのではないかと勝手ながらに思っております。

最後に、お忙しい中にも関わらず今回の TED Plaza への執筆を快くお引き受け頂いた皆様には、この場をお借りして心より厚く御礼申し上げます。

（編集担当委員：横森・後藤田，文責：横森）

### 第87期広報委員会

委員長：	二宮 尚	（宇都宮大学）
幹事：	川口 達也	（東京工業大学）
委員：	元祐 昌廣	（東京理科大学）
	菊川 豪太	（東北大学）
	横森 剛	（慶應義塾大学）
	後藤田 浩	（立命館大学）
	高藤 圭一郎	（西日本工業大学）
	長山 暁子	（九州工業大学）

©著作権：2009 社団法人 日本機械学会 熱工学部門