

# 「乱流制御による新機能熱流体システムの創出」

## 研究の概要・目標

### 1.目標

ハイゼンベルグの予言「20世紀の最後まで残る物理学の問題は、素粒子論と乱流であろう」(今世紀初頭)にある乱流の解明と制御を目的とし、壁乱流、自由乱流、混相乱流、乱流燃焼等の多様な乱流場に適用可能な制御システムを構築し、革新的熱流体システムの創出を図る。

#### 3年後の目標:

- 1)乱流能動制御のためのマイクロセンサ、アクチュエータ等、基盤技術の開発
- 2)乱流燃焼の解明と、燃焼センサ、アクチュエータ等、基盤技術の開発

#### 5年後の目標:

- 1)乱流能動制御モデルシステムの構築 抵抗低減等、システムの有効性を実証
- 2)乱流燃焼制御モデルシステムの構築 燃焼制御による希薄予混合燃焼の安定化と適用範囲の拡大

## 2.内容

- 1)能動乱流制御グループ: 亂流の能動制御のためのマイクロセンサ、マイクロアクチュエータ、制御理論、流体の物性制御法の開発とシステム化。
- 2)乱流燃焼制御グループ: 亂流燃焼の解明、燃焼計測センサ、制御用アクチュエータの開発、乱流燃焼制御システムの構築

## 3.新奇性

乱流という非線形複雑現象の能動制御に適した新制御理論を開発する。マイクロマシン技術的新領域を開拓し、壁乱流、自由乱流、混相乱流、乱流燃焼等の多様な乱流場を制御する。

## 諸外国の現状等

### 1.諸外国の現状

米国及び欧州において乱流制御を目的とした研究は幅広く積極的に実施されている。

<米国>

70年代から90年代の初めまで、NASA、軍関係、航空機産業界を中心として、リブレット(物体表面の微細縦溝)に代表される非能動的なデバイスの実用化を主目標に、制御デバイス・制御理論・数値シミュレーション等について幅広く精力的な研究が行われたが、ポリマーなど一部を除き実用化に至らなかった。現在は主に大学において、基礎的な乱流メカニズムの解明や、先端的である能動的な乱流制御の研究が行われている。

<欧州>

米国と比べてより実用的な研究を行う傾向があり、各国独自の研究の他、EU及び周辺地域の乱流及び乱流燃焼関係の研究機関を結合した組織である ERCOFATAC(European Research Community on Flow, Turbulence And Combustion)があり、その中の Special Interest Groupにおいて乱流制御研究が、積極的に行われている。なお、ロシアでは、旧ソ連時代に乱流制御研究が精力的に行われていたが、現在は欧州や米国に引き継がれている。

### 2.我が国の水準

乱流に関する基礎研究は大学において長い歴史を持ち、世界的にもトップレベルにあるが、乱流制御を目的とした組織的大規模研究は未だ行われていない。しかし、光学的センシング等の乱流のモニタリング技術、センサ・アクチュエータ等のマイクロマシン技術、乱流の数値シミュレーション技術など、乱流制御に必要な個々の基盤技術は世界のトップレベルにある。

(H12年～H16年、H14予算額：3.0億円(3.0億円))

研究代表者(研究総括責任者)：大橋秀雄(工学院大学)

融合研究機関：航空宇宙技術研究所、産業技術総合研究所、海上技術安全研究所

## 研究進展・成果がもたらす利点

### 1.世界の水準との関係

マイクロマシン技術、高度センシング技術、コンピュータ、制御理論など、現在入手できる最新の基盤技術を総合し、世界に先駆けて乱流制御システムを構築することにより、製造業及び環境関連技術の根幹をなす基礎工学の分野で技術的な優位が確立できる。

### 2.波及効果

<エネルギー・環境問題への波及効果>

- 1)交通システムの低公害化  
・航空機・船舶・自動車の抵抗低減およびエンジンの効率化と二酸化炭素や有害排出ガスの低減  
→輸送コスト低減
- 2)コジェネレーションの推進  
・コジェネ用マイクロガスタービンの高効率化、小型化、低価格化  
→コジェネの需要増大・普及促進
- 3)地域エネルギー利用の効率化  
・パイプラインの抵抗低減、熱伝達制御  
→地域冷暖房の効率化・普及促進

<製造業への波及効果>

- 1)流体関連工業製品の国際競争力の向上  
・ポンプ、自動車、船舶、航空機、医療機器等
  - 2)マイクロデバイス・テクノロジーの社会的普及
  - 3)材料の生成と高品質化  
・素材流動状態の乱流制御により、生成材料中の組成・構造を制御し、高品質化を実現(単結晶シリコンウェハ等)
- <学術的波及効果>
- 1)非線形制御理論の展開
  - 2)地球物理など他分野の乱流研究への貢献

## 1. 研究概要

### (1) 目的、意義、必要性

本研究は、新機能熱流体システムを開発して乱流制御を行うことにより流体抵抗低減及び燃焼や熱輸送の改善を実現し、環境・エネルギー問題に貢献することを目的とする。乱流制御の実現には幅広い技術の集積が不可欠であり、航空宇宙技術研究所の数値シミュレーション技術、産業技術総合研究所のマイクロマシン技術、及び海上技術安全研究所の実験・計測技術の3つを融合させることが必須である。

## (2) 研究概要

本研究では、第1にマイクロマシン技術を用いた能動型乱流制御システムの開発を行う。ここでは、マイクロセンサ・アクチュエータおよびそれらを制御するアルゴリズムを結合し、さらに流体物性の変化も組み合わせ、システム構築を行う。第2に乱流燃焼制御システムを開発する。ここでは、燃焼センサ・アクチュエータを開発し、制御による保炎性能向上、燃焼騒音・振動の抑制を実現し、環境低負荷型燃焼技術である希薄予混合燃焼の適用範囲の拡大を目指したシステムを構築する。

(3) 研究総括責任者

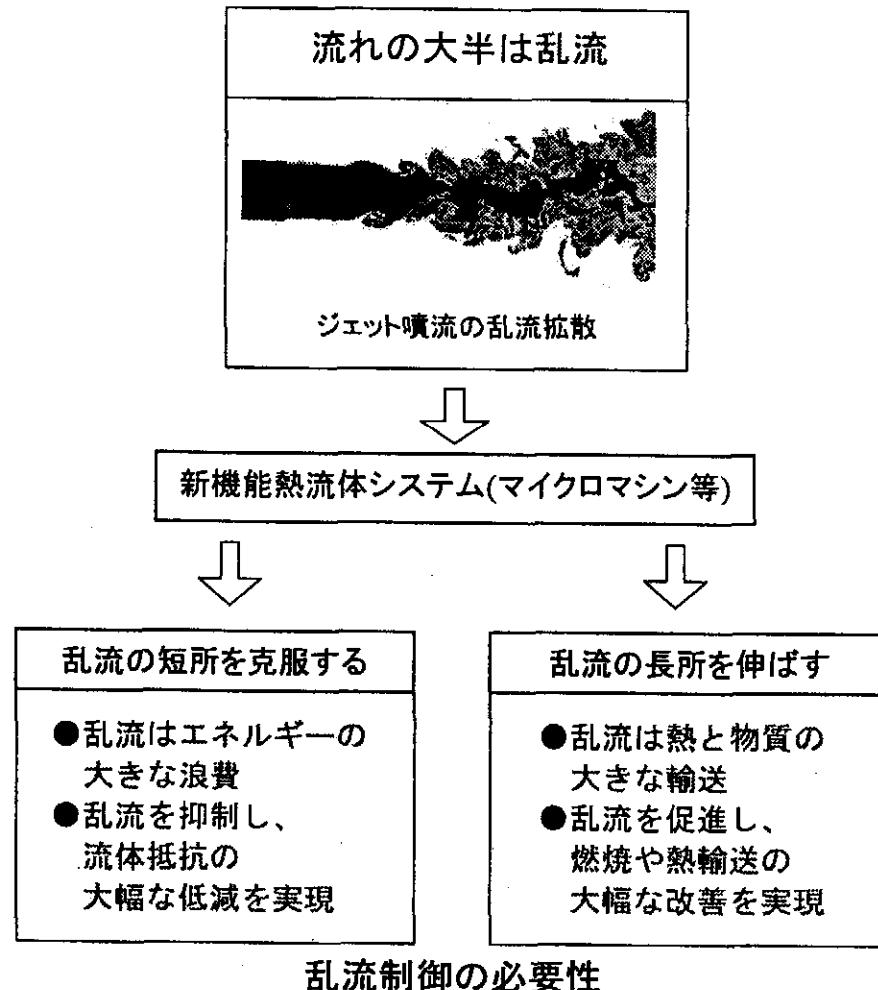
大橋 秀雄（工学院大学学長）

#### (4) 融合研究機關

文部科学省 独立行政法人航空宇宙技術研究所  
経済産業省 独立行政法人産業技術総合研究所  
国土交通省 独立行政法人海上技術安全研究所

### (5) 研究期間

平成 12 年度～平成 16 年度



(6) 融合研究の形態及びメリットについて

	航技研	産総研	海技研	融合の形態
サブテーマ1 能動乱流制御	<u>研究内容</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>・能動乱流制御用アルゴリズムの開発</li> <li>・能動乱流制御デバイスの数値シミュレーション</li> </ul> <u>融合のメリット</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>・マイクロマシン技術の導入</li> </ul>	<u>研究内容</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>・マイクロセンサ、アクチュエータの開発</li> <li>・能動乱流制御システム開発</li> </ul> <u>融合のメリット</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>・計算機資源の活用</li> <li>・大型実験装置の活用。</li> </ul>	<u>研究内容</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>・能動乱流制御用流体物性制御法の開発</li> <li>・能動制御システム実験・評価</li> </ul> <u>融合のメリット</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>・計算機資源の活用</li> <li>・マイクロマシン技術の導入</li> </ul>	知的乱流制御センターに全ての研究参加者は併任により着任する。また、個々の研究所間でも研究に応じて併任により着任し研究を行う。また、研究の進捗状況に応じて短期滞在実験を行う。 産総研のマイクロマシン技術、航技研の計算機資源、海技研の計測実験装置を相互に共同利用し研究を遂行する。
サブテーマ2 乱流燃焼制御	<u>研究内容</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>・乱流燃焼制御に関する実験及び数値シミュレーション</li> <li>・乱流燃焼制御システムの開発、実験及び評価</li> </ul> <u>融合のメリット</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>・マイクロマシン技術の導入</li> <li>・実験技術の向上</li> </ul>	<u>研究内容</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>・燃焼制御アクチュエータの開発</li> <li>・燃焼制御用センサの開発</li> </ul> <u>融合のメリット</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>・計算機資源の活用</li> <li>・システム化技術の向上</li> </ul>	<u>研究内容</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>・希薄予混合燃焼実験</li> <li>・乱流燃焼制御アルゴリズムの開発</li> </ul> <u>融合のメリット</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>・計算機資源の活用</li> <li>・レーザー計測技術の向上</li> </ul>	知的乱流制御センターに全ての研究参加者は併任により着任する。また、個々の研究所間でも研究に応じて併任により着任し研究を行う。また、研究の進捗状況に応じて短期滞在実験を行う。 産総研のマイクロマシン技術、航技研の計算機資源、計測装置、海技研の実験装置を相互に共同利用し研究を遂行する。

図 1 参照

図 2 参照

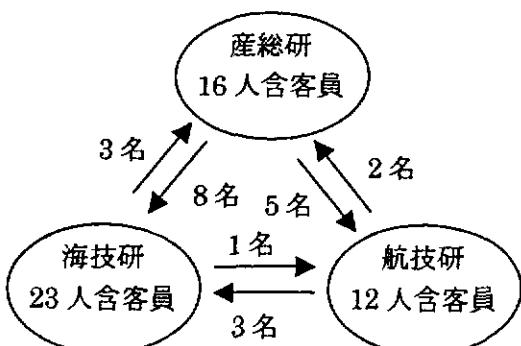


図 1 サブテーマ1 人事交流

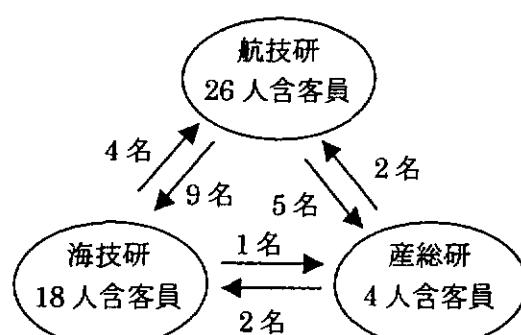


図 2 サブテーマ2 人事交流

## 2. 所用経費一覧

### (1) 研究費の配分一覧 (サブテーマ毎)

○研究総括責任者名：大橋秀雄（工学院大学、海上技術安全研究所併任）

(単位：千円)

サブテーマ名	サブテーマリーダー	12年度予算	13年度予算	14年度予算
1. 能動乱流制御の研究	吉田博夫	176,865	179,081	174,402
2. 乱流燃焼制御の研究	小川哲	124,708	118,122	122,739
合計額		301,573	297,203	297,141

注)・所用経費一覧表は1枚の用紙にすること。

- ・各年度の合計額=各サブテーマの配分額の合計。
- ・各サブテーマで共通に使う機器の購入等でサブテーマごとに仕分け困難な場合、どちらかのサブテーマに大まかな数字の記載可。

### (2) 年度毎予算額推移 (機関毎)

(単位：千円)

機関 年度	12年度予算	13年度予算	14年度予算	合計
1. 航空宇宙技術研究所	96,279	94,312	93,798	284,389
2. 産業技術総合研究所	83,309	70,312	93,298	246,919
3. 海上技術安全研究所	121,985	132,579	110,045	364,609
合計	301,573	297,203	297,141	895,917

### 3. 研究成果の概要

本研究では、壁乱流と噴流乱流(燃焼)という2つの代表的な乱流を対象として、乱流を制御するための手法を研究し開発している。乱流を制御するためには、ハード及びソフトの双方の技術における飛躍と、それらを融合した成果を必要とする。具体的には、(1)制御すべき乱流の特徴の把握、(2)乱流を検知するためのセンサ技術の開発、(3)乱流を操作するためのアクチュエータ技術の開発、(4)乱流の効率的な制御法の開発、そして最後に、研究成果を統合した(5)実証システムの開発が必要である。ここでは、これら5つの項目について、「能動乱流制御」と「乱流燃焼制御」の2つのサブテーマ研究によって得られた成果の概要を示す。

#### (1)制御すべき乱流の特徴の把握

乱流制御の実現はまず制御対象としての乱流の特徴の把握が不可欠である。すなわち乱流がどのような構造をもっており、さらにその構造への入力と出力の関係、つまりどのような作用に対してどのような変化が得られるのかといった制御対象の特徴を捉えなくてはならない。

まず DNS (Direct Numerical Simulation、直接数値シミュレーション) を高度化し、壁乱流および乱流燃焼に適用した。DNSとは、流体運動の支配方程式であるナビエストークス方程式を、離散化以外の近似無しに数値計算することにより実際の乱流現象をコンピュータ上で忠実に再現する高度なシミュレーション手法である。本研究では、これまで困難と考えられていた乱流燃焼場、添加物を含むような乱流場等の複雑な現象について DNS を実施し、実験だけでは得られない知見を得た。まず壁乱流については、DNSにより、ストリーク構造と呼ばれる準秩序的な縦渦構造があり、それが壁近くの乱流場の挙動を支配する役割を負っていることを明らかにした。また、水流について DNS を実施し、界面活性剤を微量添加することによって水が非ニュートン流体化され、それに伴って顕著な摩擦抵抗低減が発生するメカニズムを明らかにした。なお、壁乱流に微細気泡を注入したマイクロバブル流れについても DNS を実施したが、実験で得られている摩擦抵抗低減効果が再現されず、その原因を現在検討中である。乱流燃焼については、乱流燃焼場の詳細な DNS を実施し、希薄予混合燃焼の安定化にとって重要な保炎に関わる現象を見いだした。また、乱流燃焼騒音の詳細なシミュレーションも実施し、騒音発生機構について理解を深めた。今後、DNS の知見に基づき、燃焼器全体のシミュレーション用のモデルの改良、制御システム設計のためのモデリング等に貢献できるようにする。

レーザ光を用いた光学的計測技術も、非接触で流れを高解像度で計測することができ、研究に不可欠なツールである。マイクロバブル流れでは、レーザ光によって蛍光発光するトレーサを水中に添加した PIV/LIF (Particle Image Velocimetry / Laser Induced Fluorescence) 法を用いて気泡と乱流の干渉を詳細に計測し、乱流による摩擦抵抗増大の主因であるレイノルズ応力の発生を気泡が抑制するメカニズムを世界で初めて明らかにできた。乱流燃焼については、高度なセンサ技術を用いて単純な形状周りの希薄予混合火炎の振る舞いについての測定を行い詳細な時系列データを得た。そして DNS と比較検討可能な計測データを得ることにより両者を連携させ保炎機構の詳細を解明することが可能となった。

#### (2)センサ技術の開発

乱流を制御するためには、先ず、複雑に変化する乱流の構造と挙動を正確に知るためのセンサ技術が必要である。壁乱流では、乱流に支配的影響をもつ壁面近くの縦渦構造と運動をとらえるため、マイクロマシン製造技術を利用して、空間的に高い分解能をもち時間的変化に追従できる複数の壁面センサを開発した。さらに、解析あるいはシミュレーションから得られた設計指針に基づき、これらの応答性等の性能向上を図るとともに、抵抗低減システム構築に向けてアレー化を行った。乱流燃焼では、高温に耐え、且つ非常に高い時間・空間分解能を有するセンサ技術として光学的方法が適しており、そのため半導体レーザ分光システム (DLAS) を開発した。同システムは希薄予混合燃焼領域における火炎先端の

振動を高時間分解能でガス温度計測が可能であり、保炎制御に有効である。これを乱流予混合バーナに応用した。通常の熱電対では得ることの出来ない 20kHz での温度サンプリングに成功した。これら、高機能なセンサー群からは大量のデータが得られるが、高速にデータ処理を行うソフトウェアの開発も併せて実施した。

今後、実装可能なフィードバック制御システムへの組み込みを念頭に、ロバスト性の向上、最適配列などについて検討する。

### (3) アクチュエータ技術の開発

乱流を制御するため次に必要となるものは、乱流を好ましい方向に変化させることができるアクチュエータ技術である。アクチュエータの要件は、少ない労力で大きな変化を発生させることができる高効率性と、好ましい変化のみを発生させそれ以外の変化を発生させない選択的機能性である。

壁乱流については、マイクロマシン技術を用いた、マイクロ電磁アクチュエータ、積層型ピエゾセラミックアクチュエータ、マイクロジェットヴォルテックスジェネレータ (MJVG) の、異なる 3 つのアクチュエータ技術を検討・開発した。その結果、マイクロ電磁アクチュエータ、積層型ピエゾセラミックアクチュエータは制御には利用可能ではあるものの投入エネルギーが大きい等の問題があることがわかった。また、マイクロジェットヴォルテックスジェネレータは剥離制御には有効であることがわかった。さらに、マイクロバブル技術について、摩擦抵抗低減効果を最大にする気泡径を調べるため、水ジェット法、流路幅変更法、空気溶解法の 3 つの気泡径制御方法を開発・検討し、空気溶解法による微細気泡により抵抗低減効果が著しく向上することが見いだされた。

乱流燃焼については、不安定になりがちな希薄予混合燃焼を安定保持するために、可変スワーラと 2 次火炎制御により構成される保炎用デバイスを作製した。さらに安定範囲を拡大するため、不安定燃焼の一因である燃焼騒音・振動を抑制する方法として能動騒音制御技術の応用を考えた。そのためのデバイスとして、音響加振型アクチュエータである燃焼制御用スピーカを製作し、スワール型の燃焼器における振動燃焼を抑える実験を行い特定周波数における振動抑制を実現した。また、2 次火炎を変動させることにより音を発生させ、音源として用いることも検討しており、具体的なデバイスとして高速な応答性を有するバルブの利用を考え、その基本特性を把握した。例えば、ピエゾ素子を用いた制御弁を用い、燃料流量が脈動する場合の音響特性、及び燃焼時・非燃焼時の音圧レベルの周波数特性、燃料ガスの違いが周波数特性に及ぼす影響等を調べた。

今後、現時点で検討されたアクチュエータの、制御システムへの組み込みに向けたロバスト性の向上、最適配列などについて検討する。また、より高性能なアクチュエータ開発も実施する必要がある。

### (4) 制御法の検討

制御システムの構築はまず制御対象の特徴の把握から始まる。そのためには入力と出力の関係、すなわちどのような作用に対してどのような変化が得られるのかといった制御対象の特徴を捉えなくてはならない。

壁乱流については、DNS を用いて乱流とマイクロセンサ・マイクロアクチュエータ・アレーの働きをシミュレートし、遺伝的アルゴリズム、ニューラルネット等の制御手法によって乱流を制御し、摩擦抵抗を低減できることを明らかにした。

乱流燃焼については、音響加振型アクチュエータを用いた燃焼騒音・振動制御のための制御アルゴリズムの調査研究を行い、具体的にシステムを構築して評価した。また、本格的な制御システム構築に向けた簡単なコントローラ系の試作及びその性能試験を実施した。モデル燃焼器の制御則構築のためには複雑形状周りの数値シミュレーションを行う必要があるが、そのためにはシミュレーションで用いる乱流燃焼モデルが必要である。そのため従来のモデルの妥当性について検討を行い、新たなモデル構築の必要性が明らかとなった。詳細な実験データと DNS の比較により得られた知見はこのモデル構築にも有

用である。

今後、上述した具体的なセンサ・アクチュエータの動作特性を想定しながら、実装可能なコントローラを設計・試作する。

#### (5) 実証システムの検討

能動乱流制御では、壁乱流抵抗低減ならびに剥離抑制のためのフィードバック制御システム構築を最終目標としている。前述の個々の要素デバイス開発と併行して、原型となる制御システムを試作した。

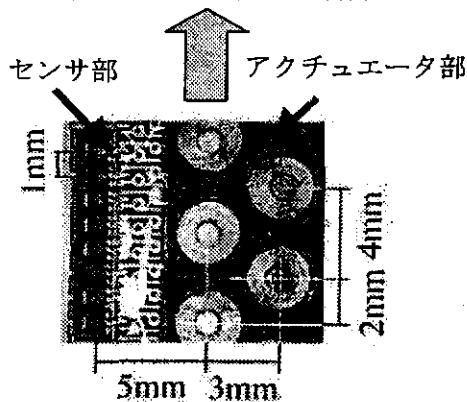
乱流燃焼では、ターゲットをメタン希薄予混合ガスタービン用の燃焼器として、その超希薄化、安定化を実現するシステム構築を最終的な目標としている。今後の制御システム構築のベースとなる保炎性能を高めた実験用モデル燃焼器を設計・製作した。同燃焼器には、保炎用デバイスが組み込まれており、希薄燃焼が可能である。

今後、制御要素デバイスの特性を向上させつつ、それらを最適な形に組み合わせて実証システム構築を行う。

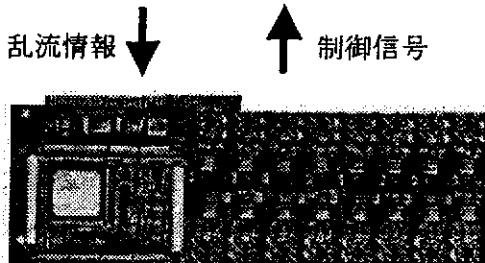
翼面上に発達する乱流



壁面に埋め込み乱流を制御



試作センサ・アクチュエータ・アレー



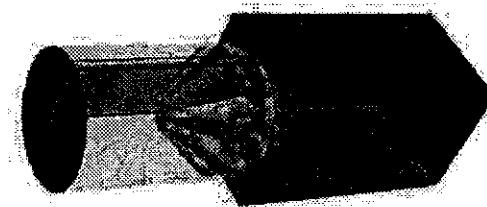
試作コントローラ(DSP)

壁乱流の能動制御のため試作されたセンサ・アクチュエータ・アレーとコントローラ



モデル燃焼器における燃焼実験

(右側の加熱され光っている棒はガス分析用プローブ)



モデル燃焼器全体の数値シミュレーション結果（温度分布）

円錐状のものは保炎デバイスの一部

#### 4. 研究成果公表等の状況

課題名（研究総括責任者名（研究機関名））：「乱流制御による新機能熱流体システムの創出」  
 （大橋秀雄（工学院大学、海上技術安全研究所併任））

##### 1 研究成果発表等

	原著論文による発表	査読つき Proceedings	左記以外の誌上発表	口頭発表	合 計
国内	18(4) 件	4(0) 件	7(1) 件	158(8) 件	187(13) 件
国外	28(16) 件	70(4) 件	3(0) 件	24(0) 件	125(20) 件
合計	46(20) 件	74(4) 件	10(1) 件	182(8) 件	312(33) 件

(注：既発表論文について記載し、投稿中の論文については括弧書きで記載のこと)

##### 2 特許出願等

6 件 (国内 5 件、国外 1 件)

##### 3 受賞等

3 件 (国内 3 件、国外 0 件)

##### 4 主要雑誌への研究成果発表

Journal	Impact Factor	サブテーマ 1	サブテーマ 2	合計
Journal of Fluid Mechanics	1.912	1	0	1.912
Experiments in Fluids	0.821	2	0	1.642
Int. J. Heat and Fluid Flow	0.968	5	0	4.840
Int. J. Heat and Mass Transfer	0.613	1	0	0.613
J. Computational Physics	1.716	3	1	6.864
Numerical Heat Transfer	1.033	2	0	2.066
Trans. ASME J. Heat Transfer	1.059	1	0	1.059
J. Enhanced Heat Transfer	0.906	1	0	0.906
Computer methods in applied mechanics and engineering	0.913	1	0	0.913
Physics of Fluids	1.799	1	0	1.799
AIAA J.	0.773	0	2	1.546
J. Physics D	1.179	0	1	1.179
Measurement Science Tech.	0.859	0	1	0.859
Combustion and Flame	1.56	0	1	1.56
主要雑誌小計		20.898	6.86	27.758
発表論文合計		21.818	9.285	31.103

## 【主な原著論文による発表の内訳】

### 1) 国内 [発表題名、発表者名、発表誌名等 (雑誌名、巻、号、頁、年 等)]

(計 22 件)

1. 「乱流のアクティブ・フィードバック制御」、笠木、日本機械学会論文集B編、67巻658号、pp.1298-1304 (2001).
2. 「界面活性剤添加による抵抗低減流れにおける温度境界層の構造と熱伝達特性」、川口他、日本機械学会論文集B編、67巻658号、pp.15-22 (2001).
3. 「せん断流中の单一気泡の挙動」、藤原他、日本機械学会論文集B編、68巻667号、pp.696-703 (2001).
4. 「マイクロバブルによる船舶の摩擦抵抗低減」、児玉、日本流体力学会誌「ながれ」、20巻4号、pp. 278-284 (2001).
5. 「高強度乱流予混合火炎の構造」、店橋他、日本機械学会論文集B編、67巻654号、pp.536-543 (2001).

### 2) 国外 [発表題名、発表者名、発表誌名等 (雑誌名、巻、号、頁、年 等)]

(計 44 件)

1. "Active control of streak structures in wall turbulence using an actuator array producing inclined wavy disturbances", Segawa, T., Kawaguchi, Y., Kikushima, Y., and Yoshida, H., Journal of Turbulence, Vol.3 015 (2002).
2. "Active Control of Wall Turbulence with Wall Deformation," Endo, T., and Kasagi, N., JSME Int. J., Vol. 44, No.2, pp. 195-203 (2001).
3. "Heat transfer enhancement to the drag-reducing flow of surfactant solution in two-dimensional channel with mesh-screen inserts at the inlet", Li P.W., Kawaguchi, Y., Daisaka, H., Yabe, A., Hishida, K. and Maeda, M., ASME Journal of Heat Transfer, 123, pp.779 – 789 (2001).
4. "Reynolds number effect on wall turbulence: Toward effective feedback control", Iwamoto, K., Suzuki, Y., and Kasagi, N., Int. J. Heat & Fluid Flow, (to appear).
5. "Local Flame Structure in the Well-Stirred Reactor Regime", Tanahashi, M., Nada, Y., Ito, Y. and Miyauchi, T., Proc. Combust. Inst., Vol. 29, (2002).
6. "Verification of Reduced Kinetic Mechanism by Hydrogen-air Non-Premixed Flame Formed in Shear Layer", Choi, G-M., Tanahashi, M., Li, Y. and Miyauchi, T., Thermal Science and Engineering, Vol.10, No.4, (2002).
7. "A Numerical Analysis on Structure of Turbulent Hydrogen Jet Lifted Flame", Mizobuchi, Y., Shinjou, J., Tachibana, S. and Ogawa, S., Proc. Combust. Inst., Vol. 29, (2002).
8. "Numerical Simulation of Flame Behavior in a Gas Turbine Combustor toward its Control", Shinjou, J., Mizobuchi, Y., Tachibana, S. and Ogawa, S., Proc. Combust. Inst., Vol. 29, (2002).

## 5 シンポジウム等の開催状況

### (1)国際シンポジウムの開催

本課題では、シンポジウムの開催を、

- ①研究成果を公開し広く議論の場を設け、研究へフィードバックする、
- ②乱流制御に関連する世界でも指折りの研究者を招き講演して頂くとともに議論に参加して頂き、研究へフィードバックする、
- ③融合研究評価委員が出席し1年間の成果を把握する、

と位置づけ、成果公開の場としてだけでなく、研究に対し広く意見を求める場として活用している。この観点から積極的にシンポジウム開催を行い、先行研究も含めすでに3回を数えた。国際的研究活動とするため、シンポジウムの講演ならびに論文集は全て英語で行った。また、来聴できない国内外の研究者のために、Web 上で論文集を公開している。

年次	開催テーマ名	概要	開催日数	参加人数の累計	
				内外国人	
11	第1回知的乱流制御シンポジウム 先行研究「新機能流体デバイスによる乱流制御」(H11単年度)の中で実施。	乱流制御研究を立ち上げるに当たって開催。 能動乱流制御、乱流燃焼制御に関わる分野の第1人者による招待講演及びプロジェクトメンバーによる研究の現状と将来計画についての講演。 招待講演：5件。 プロジェクトメンバーによる講演：4件	2日間	136名	10名
12	第2回知的乱流制御シンポジウム	平成12年度に実施した研究から代表的なものについて成果を報告。また、能動乱流制御、乱流燃焼制御に関わる分野の第1人者による招待講演。  招待講演：4件 プロジェクトメンバーによる講演：18件	3日間	158名	25名
13	第3回知的乱流制御シンポジウム	平成13年度に実施した研究から代表的なものについて成果を報告。また、能動乱流制御、乱流燃焼制御に関わる分野の第1人者による招待講演。  招待講演：4件 プロジェクトメンバーによる講演15件	3日間	141名	21名

(注：複数開催した場合は、それぞれ分けて記述すること)

## (2) 知的乱流制御研究センターweb site の運営

インターネットは、国際的な情報公開の場として、現在最も有効かつ重要である。そこで、独自ドメイン名 turbulence-control.gr.jp を取得し、

<http://www.turbulence-control.gr.jp/>

にプロジェクトのホームページを和文・英文の両方で開設した。ここではプロジェクト紹介の他、シンポジウム開催案内等、ユーザにとって有益と思われる情報をできる限り掲載している。特にシンポジウムのページでは講演論文集が PDF でダウンロード可能であり、またプロジェクトの研究報告会における資料（日本語）もダウンロード可能である。

以上、本研究では研究成果の国際的な広報に努めた結果、2000 年から本格的に始まった米国の DARPA(Defense Advanced Research Projects Agency、米国軍研究本部)によるポリマー・マイクロバブルによる摩擦抵抗低減研究プロジェクト

[http://www.darpa.mil/ato/programs/drag\\_reduct.htm](http://www.darpa.mil/ato/programs/drag_reduct.htm)

などに示されるように、乱流制御研究についての関心を世界的に高めている。