

# 乱流制御による新機能熱流体システムの創出

融合研究機関：(株)航空宇宙技術研究所

(株)産業技術総合研究所

(株)海上技術安全研究所

(研究総括責任者：大橋 秀雄)

## I 研究の全体計画

### 1. 研究の趣旨

#### 【1】 研究の背景

機械技術は先進工業国である我が国の産業の要であり、21世紀に向けて、その先端的研究を強力に推進しなければならない。本研究は機械技術の基盤的要素である流体・熱・燃焼工学において残された最大の課題である乱流を、マイクロマシンなどの最先端技術を適用して高度に制御しようとする、知的乱流制御プロジェクトである。知的乱流制御は機械技術においてブレークスルーをもたらす技術であり、一方で、地球温暖化という解決を迫られている全地球的問題の対策を講ずる上においても、鍵を握る技術の1つである。

乱流は、流体中の微細な渦運動であり、航空機や船舶が進むとき周りの空気や水から受ける摩擦力を1桁以上増加させるなどのマイナスの効果や、混合・熱伝達・燃焼の促進などのプラスの効果を持ち、そのマイナス面の抑制とプラス面の促進を目的とする乱流制御は、抵抗低減、燃焼効率促進、伝熱促進・抑制、化学反応制御等、エネルギー生成・消費に係る技術のほとんど全ての領域でその効果が期待される技術である。

具体的には、下記のような波及効果が期待される。

- ① 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といった交通システムの低公害化が挙げられる。またこれは輸送コスト低減ももたらし経済的にも波及効果がある。
- ② エネルギー問題への対応策の一つとして普及しつつあるコージェネレーション用マイクロガスタービンの高効率化、小形化、低価格化に寄与する。これによりコージェネレーションの需要増大・普及促進がはかられる。
- ③ パイプラインの抵抗低減、熱伝達制御が実現し地域冷暖房の効率化・普及促進がなされ地域エネルギー利用の効率化がもたらされる。
- ④ ポンプ、自動車、船舶、航空機、医療機器等の流体関連工業製品の国際競争力の向上がもたらされる。
- ⑤ 製造分野においても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

晶シリコンウェハー等)する。

#### 【2】 研究の必要性

「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)

このハイゼンベルグの予言にあるように乱流は古くて新しい研究テーマである。しかも壁乱流、噴流、混相乱流、乱流燃焼といった多様な乱流場は広く工学的に応用され、この乱流場を適切に制御できるようなシステムを構築することは、製造、運輸等、社会、経済に幅広い影響を及ぼす。

乱流制御を目的とした研究は米国及び欧州においても幅広く積極的に実施されている。まず、米国においては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 passive 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 active な乱流制御の研究が行われている。また、欧州においては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 ERCOFTAC 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。このように乱流制御の実現に向けて、欧米を中心として乱流現象の把握と解明、最適な制御システムの提案等その具体化に向けての努力がなされているが、未だ有効な制御法の実現には成功しておらず、実用に供することのできるデバイスも完成していない。この主な理由は、乱流という複雑な現象の把握と解明、乱流制御デバイスの設計製作技術、最適制御技術等のそれぞれに、クリアすべき多くのハードルが存在するにもかかわらず、これら多岐の専門領域にまたがる技術を総合し制御システムを構築できる強力な研究体制がなかったためである。

一方、我が国の乱流現象に関する基礎研究は大学において古くから行われ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な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、センサー・アクチュエータ等のマイクロマシン技術、乱流現象の解明・予測のため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要素技術は世界のトップレベルにある。

乱流制御を実現するには、コヒーレント微細構造という乱流構造等の現象の本質に関わる新しい知見の集積、高度なセンシング技術、マイクロマシン技術、コンピュータ、制御理論など、周辺技術の高度化が不可欠であり、高いハードルが存在する。

本プロジェクトでは「開放」と「融合」という言葉の通り、広く国内のトップクラスの研究者を集約し、現在入手できる最新の技術を総合することで世界に先駆けて乱流制御システムを構築することが可能であり、同時にそれは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性の確立へとつながり、研究実施は不可欠である。

### 【3】 研究全般の概要及び目標

本研究では、我が国の機械系の3つの独立行政法人（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）の流体力学関係のエキスパートが組織の枠を越えて結集し、最新の工学的成果を結集し、マイナス面の抑制とプラス面の促進を目指した乱流制御技術を開発することを目標とする。そして本研究で開発される乱流制御技術は、船舶などの流体機器の摩擦抵抗低減、混合・拡散の制御による燃焼効率促進、伝熱促進・抑制、化学反応制御等、エネルギー生成・消費に係る技術のほとんど全ての領域でその効果が期待される。

研究は2つのサブテーマからなる。1つは能動乱流制御に関する研究であり、センサー・アクチュエータからなるマイクロマシン技術等の基盤技術を開発し（3年後）、乱流を能動的に制御することによって摩擦抵抗低減・剥離・伝熱等の制御システム構築を目指す（5年後）。もう1つは乱流燃焼制御に関する研究であり、乱流燃焼現象への理解を深めつつセンシング技術を開発し（3年後）、さらに乱流ジェット等における燃料ガスと空気の拡散・混合を制御し促進することにより、希薄予混合燃焼を安定化させてその適用範囲を拡大し、燃焼効率の促進と有害生成ガスの低減を目指す（5年後）。そして、これら2つのサブテーマを実現することにより、革新的な熱流体システムの創出をはかる。

#### 1. 能動乱流制御に関する研究

能動乱流制御の研究では制御により流体抵抗を低減させることを主目的とする。

流体抵抗は2つに大別される。流体が物体に衝突あるいは物体から剥がれることによる圧力抵抗と流体が物体と擦れることによる摩擦抵抗とである。摩擦抵抗の大部分を占めるのが乱流摩擦抵抗だが、その低減方法は次の2つに大別される。

- ① 壁面にある種の一連の筋（riblet）や突起を設ける受動的方法
- ② 吹き出し・吸い込み等により積極的に流れに働きかける能動的方法

従来より、受動的方法による摩擦抵抗低減に関する研究

は行われてきた。ただし、この方法は流れの条件が変わると（例えば、船や飛行機の色が変わると）期待される効果が上げられず、その利用範囲は極めて限定される。

一方、乱流の微細渦構造に直接働きかける能動的方法は、流れの状況に応じて流れへの働きかけを変化させることが可能であり、非常に高い柔軟性を有する抵抗低減の方法である。乱流制御へのこのようなアプローチは、まず米国において軍事利用を目的として1980年代後半から行われるようになった。しかし、結局実用化されるまでにいたらず、シミュレーション等による能動制御の有効性に期待をつなぐところで終わり、その後、基礎的な研究が大学を中心として今日まで続いている。

この背景には、能動制御実現のために必要な個々の基盤技術の難しさがある。能動制御を実現するためには、微細縦渦構造と同程度（ミリ～マイクロオーダー）の大きさのセンサー・アクチュエータ群を開発する必要がある。さらに、それらを有機的に結合し、複雑な流れの変化に追従し適切に制御するための制御アルゴリズムも必要である。

センサー・アクチュエータ群の開発には高度なマイクロマシン製造技術、制御アルゴリズムの構築のためには乱流現象への深い理解が必要となる。また、センサーの設計においては、壁面からの情報から流れの3次元構造を予測できるような新たな計測原理の開発が必要であり、アクチュエータの設計においては新たな機構の開発が必要である。すなわち、能動乱流制御のための基盤技術を支える基礎の確立がまず必要だったわけである。このような基礎として、例えばマイクロマシン製造においては高度な半導体製造技術があげられ、制御アルゴリズムの構築にとっては超高速計算機を用いた高精度シミュレーションがあげられる。

そして、まさにこの基礎的な部分の欠落がこれまで能動的制御の実現に至らなかった最大の理由である。しかしながら今日においては、マイクロマシン技術の長足の進歩によってマイクロオーダーのセンサー・アクチュエータアレーの製作の自由度がかってよりはるかに向上し、かつ超高速計算機による数値シミュレーションの精度の向上、シミュレーション対象の拡大がもたらされ、さらに、新たな計測手法の開発が行われ、上述の「基礎」が固まりつつあると考えられる。この「基礎」の部分が従来、本課題に参加する各研究所が注力してきた研究テーマである。

基盤（センサー・アクチュエータ群、制御技術）を生み出すための基礎はほぼ固まり、基盤技術の構築を経て、未だ誰もなしえていないシステム化へ向かう。

本サブテーマでは、壁乱流の能動制御を実現するため、乱流のマイクロ構造（縦渦、ストリーク）を精密に検出するマイクロセンサーと、乱流の微細構造を制御するためのマイクロアクチュエータ及び制御アルゴリズムを開発する。また、船舶や熱搬送システム等のより規模の大きな対象に利用可能な、流体自身の持つ物性を利用した乱流アクチュ

ーション（バブルや界面活性剤を微量添加することによる乱流のアクチュエーション）技術を確立する。さらに、これらをシステム化したものを用いて乱流を知的に制御し、抵抗低減、剥離、相変化、混合・拡散、ならびに伝熱の制御を実現する。また、より現実的な流れ場への本制御システムの適用を目指し、複雑な流れ場の計測法のような工学的実現を目指した周辺技術も確立する。

3年後は、乱流能動制御のためのマイクロセンサー、アクチュエータ等、基盤技術の開発を目標とし、5年後には乱流能動制御のモデルシステムを構築し、抵抗低減等の実現によってシステムの有効性を実証する。

## 2. 乱流燃焼制御に関する研究

乱流燃焼制御に関する研究においては、低環境負荷型燃焼技術として注目されながらもその不安定性故に限られた範囲で実用に供されているに過ぎない希薄予混合燃焼を制御により安定範囲を拡大することを目的とする。

現在、人類が得ているエネルギーの大半を燃焼に負っている。また、そのほとんどは乱流場中の燃焼、すなわち乱流燃焼である。一方で、燃焼は二酸化炭素、窒素酸化物、ダイオキシン等の環境汚染物質を発生させる。工学的には、これら汚染物質の発生を抑制しつつ、従来以上に効率の良い燃焼を行うことが課題となる。そして、乱流燃焼制御の実現は、この課題の克服への大きな前進となる。

燃焼において、従来、乱流は燃料と空気とを効率的に混合する目的で積極的に活用されてきた。しかし、これらの技術は「制御」という概念をほとんど含まないものであり、その適用範囲は限定されている。これは、通常の乱流以上に複雑な現象である乱流燃焼が「制御」の対象になることがほとんどなかったためである。乱流の部分ブラックボックス化した「燃焼制御」はあっても、乱流の積極的な制御を利用した「乱流燃焼制御」はほとんど研究対象となることはなく、ごくわずかな研究者がそれに関連する基盤技術の基礎を研究していたに過ぎない。仮に、「乱流燃焼制御」が実現されるならば、燃焼現象に広く応用可能である。すなわち、本サブテーマは「乱流燃焼制御」をターゲットとしていること自体、極めて新奇性に富んでいる。

従来、化学反応を伴う乱流燃焼は、複雑な乱流現象の中にありとりわけ複雑な現象であり、その現象の複雑さ故に多くの研究者を引きつけてきた。同時に、その複雑さ故に、現象の理解を中心とした極めて基礎的な研究が主体であり、その先を目指すまでにいたらなかった。その一つの原因は、これら基礎的な研究が大学を中心とした個々の研究者により実施されており、独立行政法人（旧国立研究所）においてもほとんどの場合、同様の状況であったことによる。また海外においても状況は同様であるが、乱流燃焼制御をターゲットとしたプロジェクトを興す動きが米国においてあることは注目したい。

この複雑な乱流燃焼を制御するためには、現象への一層

の理解とそれを背景にした適切なセンシング技術、アクチュエータの開発が必要である。すなわち、現時点で、基盤技術が未成熟であり、現在或る技術の改良等だけで対応しきれない点が根本的な問題として存在している。つまり、乱流燃焼制御はもうひとつのサブテーマである「能動乱流制御」以上に、様々な技術を集約する必要がある。

本サブテーマにおいては、3独立行政法人、大学の融合体制のもと流体、燃焼、制御と言った様々な分野の研究者が協力しあい、今まで培ってきた基礎をより強固なものとしつつ、その先を目指していく。具体的には、高精度シミュレーション、光学計測等の最新の研究手段を用い、基礎的な知見の拡大を目指すとともに、それらを背景として、制御には不可欠でありながら方向が見えないセンサー・アクチュエータ等の基盤技術の確立を行う。さらに、それら基盤技術をシステム化することで、希薄予混合燃焼の安定範囲の拡大を実現する。

3年後は、高精度数値シミュレーション等による乱流構造と燃焼との関係を中心とする乱流燃焼の解明と、燃焼場に適したセンサーの開発を目標とし、5年後には乱流燃焼制御の実現のためのモデルシステムの構築と、保安性向上・燃焼振動抑制等、制御による希薄予混合燃焼の安定化を目標とする。

## 2. 開放的融合研究の概要

### 【1】 研究の概要

#### 1. 能動乱流制御に関する研究

能動乱流制御の研究では、流体抵抗低減を主たる目的とした制御システムの構築を目標として、そのための基盤技術の開発・評価を行うとともに、乱流あるいは混相乱流の現象解明を実施している。

平成14年度は今までに蓄積されたアクチュエータ・センサーといった基盤技術の高度化を目的とした研究を行うとともに、それをサポートする現象理解を深める。また、制御システムの構築に着手する。

具体的には、以下の4つの項目に対して実験的・数値解析的研究を進める。

#### (1) 能動乱流制御デバイスの開発

これまで開発してきたセンサー・アクチュエータの機能向上を図るとともに平成14年度においては、実装型制御システム構築のための仕様を検討しつつ、センサーならびにアクチュエータのアレー化・最適配置条件を明らかにする。センサーとしては、20個以上の熱膜型せん断力センサーを流れに垂直方向に1mm間隔、流れ方向に2mm間隔程度に集積アレー化をし、直径2mmの電磁マイクロアクチュエータアレー複数個（数10個程度）をそれぞれ3～4mmピッチで後方に配置する。このセンサー・アクチュエータユニットにより1～2mm程度の空間分解能ならびに2msec程度の応答特性を実現する。

剥離制御においてはマイクロボルトクスジェネレータの最適化ならびに分散配置について検討し、翼弦長 30cm、最大厚さ 5 cm の翼型搭載仕様を明らかにする。また新たに開発したファイバブラッグ (FBG) システムによりデバイスの制御性評価を行う。

流体自身の持つ物性を利用した乱流アクチュエーションにおいては、バブルによる抵抗低減メカニズムを明らかにするとともに、抵抗低減効果が高く必要エネルギーのより少ない気泡発生法を確立する。

## (2) 能動乱流制御理論の構築

引き続き、乱流の直接数値シミュレーション (DNS) 技術を用いて、最適制御、乱流構造規範型、ニューラルネットワーク、遺伝的アルゴリズムなどの複数の制御アルゴリズムを探索する。実験的には熱膜型せん断力センサーアレーと電磁マイクロアクチュエータアレーとを壁面に配置し最大で 256 チャンネルの高速演算処理装置を介して応答時間、空間分解能、的確な制御動作がなされているか否かなどについて検証する。

また、剥離制御における制御アルゴリズム確立のために、剥離の予兆信号となるショート・バブルや前縁圧力変動などの状態変化について模型翼型を使用して検討する。前縁圧力変動検出は開発中のピエゾファイバー型センサーを使用する。センサーの時間応答 5 マイクロ秒以下、空間分解能 0.5mm 以下を目指す。

## (3) 乱流制御数値シミュレーション

最も基本的な流れである壁乱流ならびに管内流に関し、制御のために投入するパワーとその結果もたらされる利得について検討する。また、センサー・アクチュエータアレーの最適な配置についても検討する。検討は流れのレイノルズ数範囲 3,000~6,000 に対して行う。

さらに、剥離制御においては、ボルトクスジェネレータにより発生する渦と流れとの干渉について数値解析を行い制御に対する効果の予測を行う。

気泡を含む乱流において抵抗低減が起こる原因の特定のためのシミュレーションおよび現実的な系に適用可能なサブグリッドスケールモデルを開発し、LES 計算への道筋を開く。また界面活性剤を添加した流れの伝熱に関するシミュレーションを行う。

## (4) モデルシステムによる実証

まず、翼型を模擬した圧力勾配下にある局面壁を持つ風洞を使用して、能動制御システム構築を行う。センサーとしては熱膜型センサーならびに片持ち梁センサーを使用し、アクチュエータとしては吹き出し装置を使用する。吹き出し強度としては、余分な抵抗を発生させないためならびに駆動パワーを押さえるためにも、最大でも対主流速度の 10 倍以下を目指す。片持ち梁は流れが順流であるか逆流であるかを簡単に識別できるので制御アルゴリズム検証のための有力なツールとなる。ニッケルワイヤセンサー部を

2.54mm 間隔で配置した多チャンネル熱膜型センサーを使用する。以上により制御システムの基本構成 (センサー・アクチュエータの位置関係、アクチュエータ駆動条件) などについて明らかにする。小型翼型への適用を考慮しレイノルズ数 10,000~100,000 程度の流れに着目する。さらに、モデル翼型を用いて制御システム試験の環境を整える。

## 2. 乱流燃焼制御に関する研究

乱流燃焼制御の研究においては、低環境負荷型燃焼技術として注目される希薄予混合燃焼の不安定性 (消炎、逆火、燃焼振動等) を抑制する制御システムの構築を目的として個々の項目の研究を実施している。

平成 14 年度は、消炎・燃焼振動を抑止するためのシステム要素 (アクチュエータ、モニタリング) の開発・評価を目的とした研究を実施するとともに、それをサポートする現象理解を深めるための研究を引き続き行う。また、制御システムの構築に着手する。

具体的には、以下の 4 つの項目に対して実験的・数値解析的研究を進める。

### (1) 乱流ジェット制御の開発

燃焼器における消炎抑止 (保炎性向上) あるいは燃焼振動の抑止を、主火炎とは別途設ける二次ジェットの制御により実現しようと試みている。そのための各種デバイス (アクチュエータ) の特性評価・開発、高温環境下にある燃焼器への適応性の評価を行う。

具体的には、音響加振型アクチュエータならびにマイクロジェット型ピエゾノズルについて周波数特性等の特性評価を行う。また、それら制御用デバイスは高温環境 (火炎温度は 1000 度 C を超える) 等、かなり厳しい条件下で用いられるためロバストなものが要求される。そのため、モデル燃焼器へ容易に適応可能であるためにはどのような仕様を満足する必要があるか、等開発に向けた検討を行う。

### (2) 乱流燃焼計測技術の開発

昨年度まで行った計測技術を集約する形で、自発光計測システム、PIV、LIF 等の同時総合的計測システムを構築する。また、燃焼システムに組み込むためには小型軽量が要求される点を考慮し、半導体レーザー吸収分光システムを用いた高時間分解能をもつ非接触成分 (OH, NOX, CH) 及び温度計測法の更なる開発に取り組む。

### (3) 乱流燃焼微細メカニズムの解明

燃焼制御のためにはモデル燃焼器の制御理論構築が不可欠である。また、提案された各種制御理論、あるいはそれを組み込まれて構築される制御システム全体を評価するためにはシステム全体のシミュレーション (例えば、燃焼器全体のシミュレーション) が不可欠だが、そのためには複雑形状周りの数値シミュレーション用の乱流燃焼モデルの構築が不可避である。

これらを目的として、「乱流燃焼計測技術の開発」で開発された時系列非接触詳細計測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DNSと連携させることにより保炎、騒音発生機構について更に理解を深める。

#### (4) モデルシステムによる評価

モデルシステム構築のためのプラットフォームとして前年度開発された円錐保炎型予混合燃焼器について、火炎の状態を観察すると共に、出口におけるガス分析を行い、燃焼基本特性を把握する。

さらにシステム構築のためには個々の要素技術を具体的な燃焼器に適応させる必要があるが、そのために火炎の自発光計測による火炎の浮き上がり検出法の研究、パイロット用燃料量、可変角旋回羽根のコントロール装置の研究開発等のモデル燃焼器に特化した研究を実施する。

## 【2】 融合への取り組みの概要

### (1) 研究総括責任者の指導性

研究の遂行に関し研究総括責任者が指導性を発揮し責任を負える体制を整えるべく、総括責任者の下、研究全体のマネジメントを行う組織として後述の「知的乱流制御研究センター」に開放融合研究マネジメントグループを設けている。このグループは各サブテーマWGのリーダー、3研究所の代表者、「知的乱流制御研究センター」の長、大学・民間の代表的メンバーといった研究実施の実務者の代表からなり、研究全体の方向性、実行時の予算の有効配分等について組織の枠を越え議論・決定する。定期的に開催される研究マネジメントグループの会合の議事内容、決定事項は逐次マネジメントグループから総括責任者に対し報告され、承認を得るようになっておりその意向がフィードバックされる仕組みとなっている。

また、研究の代表メンバーのみならず研究参加者全員の意見を研究総括責任者が把握し、研究遂行に反映させるため研究参加者全員が参加する全体委員会を開催する。同委員会は研究メンバーの意思統一の機会を設けるという意味からも有益である。

本体制により、研究参加者の自由意志による研究の遂行を大きく妨げることなく、しかも研究総括責任者が研究遂行の方向性を常に把握し指導できる状況となっている。

平成14年度も本体制のもと、研究における自発的な芽を摘むことなく、しかも明確な研究の方向性を維持している。

### (2) サブテーマ間の連携

能動乱流制御・乱流燃焼制御の2つの研究サブグループの枠を越えた横断的研究グループが存在する。平成13年度は計測及び数値シミュレーションのグループが活動を行い、グループミーティングを開催し能動制御・燃焼制御の枠にとらわれない熱心な議論が行われ、シミュレーション手法の向上、計測手法の見直し等の成果があった。

平成14年度は、これら二つのグループの活動を維持するとともに、さらにアクチュエータに関する新たな横断グ

ループを組織し活動を開始する。

また、全体委員会においてもサブテーマ相互の意見交換が行われている。

### (3) 融合への取り組み

現在、所属組織、担当研究分野の垣根を越えた組織である「知的乱流制御研究センター」を海上技術安全研究所内に設置している。3独立行政法人・大学・民間からの融合研究参加者はすべて同センターに併任をかけ、研究の中心と位置づけられている。同センターには学術担当、運営担当の2名のセンター長を置き、学術担当には笠木伸英氏（東京大学大学院工学系研究科教授）が、また運営担当には児玉良明（海上技術安全研究所推進性能部抵抗研究室長）がその任についている。

知的乱流制御研究センターにおいては、研究全体のマネジメントを行う組織として前述の「開放融合研究マネジメントグループ」が存在し、研究総括責任者の下、予算配分・研究計画等を1元的に管理している。

同センターにおける研究実施体制について言えば、能動乱流制御と乱流燃焼制御という2つのサブテーマについてそれぞれWG（ワーキンググループ）を設けて具体的な研究を行っている。それぞれのWGは定期的に会合を開きサブテーマのリーダーが研究進捗状況を常に把握すると共に各研究参加者が議論する場を提供している。さらに、サブテーマの枠を越えた議論の場、例えば「計測」「数値シミュレーション」といったくくりでの横断的研究グループを組織し活動している。また、研究者全体が参加する「全体委員会」もセンターが主催し、研究参加者全員がプロジェクトの全貌を把握する場を設けている。

さらに、後述する「知的乱流制御シンポジウム」をセンターが主催し、Webの運営も行うことで一括して本研究の広報活動を行っている。

また、e-mail（メーリングリストなどを活用）などを通し複数の組織に所属する多数の研究者が随時連絡を取り合い、情報を共有するとともに、実際に各研究サイトへ相互に出向いて実験ならびに数値計算を行っている。そのために、上記乱流制御研究センターへの併任のみならず、必要に応じて各研究機関間で相互に併任を掛け合っている。成果の取りまとめに関しても共同作業が進められている。

また併任といった人的手続きのみならず、参加組織間で共同研究契約を締結することで、相互の備品の貸借、知的所有権の所属等について問題が生じない体制を整えている。

さらに、産業界との連携も積極的に行い、産業界メンバーのサブグループ研究会への参加や複数の企業へのアンケート調査を通して情報交流を行い、産・学・官が融合した体制となっている。

平成14年度も同様の体制を維持するとともに、Web等を活用した情報の共有化を一層進めることを検討している。

### (4) 融合研究推進委員会における支援の取り組み

融合研究推進委員会は、融合研究参加3研究機関それぞれの研究担当理事、管理部長、企画室長に相当するメンバー、合計9名から構成される。

過去、研究総括責任者から「研究実施に際し各研究所間の違いをできる限り吸収できるような体制が望ましい」との意向を受け、推進委員会により対応が図られた。具体的には、各研究所間での人事・予算上の取り扱いについて研究の自由度が高まる方向で平滑化を行った。また、それに沿う形で、大学等との共同研究契約も一元化され、事務作業の軽減につなげた。また、改善の余地はあるものの

非常勤職員（ポスドク）の待遇の統一もなされた。

平成13年度終了時の推進委員会において、平成14年度も同様の体制を維持できるようにとの要望が研究総括責任者から出され、了承されている。

また、必要に応じて随時推進委員会を開催するのはメンバー構成から考え困難であることから、3研究所の企画室長に相当するメンバーから構成される融合研究推進委員会幹事会が、適宜事務的事項の検討に当たっており、平成14年度も同体制を継続する。

### 3. 年次計画

研究項目	12年度	13年度	14年度	15年度	16年度
1. 能動乱流制御に関する研究					
(1) 能動乱流制御デバイスの開発	壁面センサー、アクチュエータ開発				} 基盤技術統合 抵抗低減の実証
(2) 能動乱流制御理論の構築	非線形制御理論開発		システム化		
(3) 乱流制御数値シミュレーション	乱流状態		乱流制御状態		
(4) モデルシステムによる実証		モデル実験装置開発	システム実験		
2. 乱流燃焼制御に関する研究					
(1) 乱流ジェット制御の開発	制御用アクチュエータ開発		システム化		} 基盤技術統合
(2) 乱流燃焼計測技術の開発		燃焼用センサー開発	システム化		
(3) 乱流燃焼微細メカニズムの解明	乱流 Jet	乱流燃焼場	乱流燃焼制御		
(4) モデルシステムによる評価		モデル実験装置開発	システム実験・評価		
所要経費(合計)	302百万円	297百万円	297百万円		

II 平成14年度における実施体制

研究総括責任者：大橋 秀雄（工学院大学 学長）

研 究 項 目	担 当 機 関	研究担当者
<p>1. 能動乱流制御に関する研究</p> <p>(1) 能動乱流制御デバイスの開発</p> <p>(2) 能動乱流制御理論の構築</p> <p>(3) 乱流制御数値シミュレーション</p> <p>(4) モデルシステムによる実証</p>	<p>(独)航空宇宙技術研究所 (独)産業技術総合研究所</p> <p>(独)海上技術安全研究所, 他 (独)航空宇宙技術研究所 (独)産業技術総合研究所</p> <p>(独)海上技術安全研究所, 他 (独)産業技術総合研究所</p> <p>(独)海上技術安全研究所, 他 (独)航空宇宙技術研究所 (独)産業技術総合研究所</p> <p>(独)海上技術安全研究所, 他</p>	<p>高 木 正 平 ○吉 田 博 夫 川 口 靖 夫 児 玉 良 明, 他 高 木 正 平 ○吉 田 博 夫 川 口 靖 夫 児 玉 良 明, 他 ○吉 田 博 夫 川 口 靖 夫 深 瀧 康 二 杉 山 和 靖, 他 高 木 正 平 ○吉 田 博 夫 川 口 靖 夫 児 玉 良 明, 他</p>
<p>2. 乱流燃焼制御に関する研究</p> <p>(1) 乱流ジェット制御の開発</p> <p>(2) 乱流燃焼計測技術の開発</p> <p>(3) 乱流燃焼微細メカニズムの解明</p> <p>(4) モデルシステムによる評価</p>	<p>(独)航空宇宙技術研究所</p> <p>(独)産業技術総合研究所 (独)海上技術安全研究所 (独)航空宇宙技術研究所</p> <p>(独)海上技術安全研究所 (独)航空宇宙技術研究所</p> <p>(独)航空宇宙技術研究所</p> <p>(独)産業技術総合研究所 (独)海上技術安全研究所</p>	<p>○小 川 哲 鈴 木 和 雄 前 田 龍太郎 井 亀 優, 他 ○小 川 哲 鈴 木 和 雄 山 本 武 井 亀 優, 他 ○小 川 哲 溝 渕 泰 寛 新 城 淳 二, 他 ○小 川 哲 鈴 木 和 雄 前 田 龍太郎 井 亀 優, 他</p>

(注：○はサブテーマ責任者)

### Ⅲ 融合研究評価委員会・融合研究推進委員会

#### (1) 融合研究評価委員会

委 員	所	属
○井 上 孝太郎	(株)日立製作所	技師長
今 井 功	東京大学	名誉教授
竹 野 忠 夫	名城大学	教授
長 洲 秀 夫	元日本航空宇宙学会	会長
山 崎 弘 郎	(株)横河総合研究所	研究理事
James H. Whitelaw	イギリス Imperial College	教授
Christopher Brennen	アメリカ カリフォルニア工科大学	教授
Frank W Schmidt	アメリカ ペンシルベニア州立大学	名誉教授
Michel Trinite	フランス Rouen 大学	教授

(注：○は研究評価委員長)

#### (2) 融合研究推進委員会

委 員	所	属
○渡 邊 巖	(独)海上技術安全研究所	理事(研究)
永 安 正 彦	(独)航空宇宙技術研究所	理事(研究)
舞 田 正 孝	(独)航空宇宙技術研究所	企画経営室長
寺 田 博 之	(独)航空宇宙技術研究所	業務部長
請 川 孝 治	(独)産業技術総合研究所	エネルギー利用研究部門長
瀬 戸 政 宏	(独)産業技術総合研究所	企画本部総括企画主幹
長谷川 裕 夫	(独)産業技術総合研究所	エネルギー利用研究副部門長
石 丸 周 象	(独)海上技術安全研究所	企画部次長
吉 田 英 次	(独)海上技術安全研究所	管理部長

(注：○は研究推進委員長)