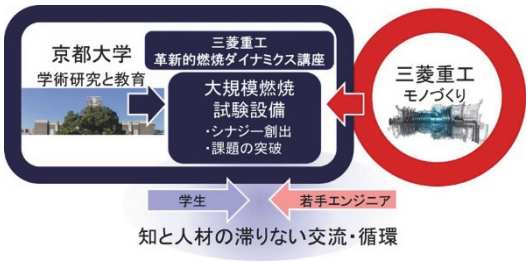
知と人材が循環する，次世代産学連携の構築

Next-Generation Industry-Academia Collaboration:
Circulating Knowledge and Talent



斉藤 圭司郎 *1
Keijiro Saito

橋口 和明 *2
Kazuaki Hashiguchi

後藤 征司 *3
Seiji Goto

電力需要の増加や脱炭素化に伴いガスタービンの高効率化が急務であり，三菱重工業株式会社及び京都大学は，産学共同講座“三菱重工 革新的燃焼ダイナミクス講座”を開設した。本講座では大学内に国内最大級の大型高圧燃焼試験設備を構築し，大規模な数値解析技術と高度な計測技術を融合して，燃焼振動をはじめとする複雑な燃焼メカニズムの解明を推進する。研究成果を迅速に実機製品開発へフィードバックして革新的な燃焼技術を確立するとともに，研究への参画を通じた知と人材の循環により，エネルギー産業を牽引する次世代専門人材の育成を図る。それらの技術展望について述べる。

1. はじめに

三菱重工業株式会社（以下，当社）における燃焼技術開発の高度化及びハードテック分野の人材育成を目標に，京都大学内に共同講座“三菱重工 革新的燃焼ダイナミクス講座”を開設した[(1), (2)]。本報では，その狙いと実施内容を紹介する。

2. 背景とねらい

現代社会におけるデジタルシフト，特に生成 AI の爆発的な普及に伴って世界的にデータセンターが増加し，電力需要を増大させており，エネルギーインフラの構築が急務となっている。また，CO_2 排出量抑制のために導入が広がっている再生可能エネルギー（太陽光・風力など）は，天候などによる出力変動が激しいため，電力系統を安定化のために急速起動できる高出力なバックアップ電源が必要となる。これに対応できるガスタービンは最も有望な発電として期待されており，その特徴は以下である。

- 高効率：最新鋭機種では 64%以上
- 急激な負荷変動に追従可能な高い出力調整能力
- 燃焼時に二酸化炭素を出さない脱炭素燃料にも対応可能

ガスタービンの開発は，日欧米の数社が熾烈な競争を続けており，継続した革新技術の開発が必要不可欠となっている。それを実現可能とするため，京都大学内に共同講座“三菱重工 革新的燃焼ダイナミクス講座”を新たに開設した。本取組みでは当社が培った試験設備の設計・運用ノウハウと京都大学の高度な研究推進力を融合させて，大学内に世界トップレベルの大型高圧燃焼試験設備を構築し，以下の目標を掲げ，シナジーの創出と技術課題の突破を図ることを大きな目的としている（図 1）。

- 効率 70%超級の燃焼技術の追求

  ガスタービン・コンバインドサイクル（GTCC）効率を極限まで押し上げるための革新的燃焼技術を追求し，燃焼メカニズムの解明と革新的な燃焼コンセプトの創出を目指す。

*1 総合研究所 燃焼研究部 部長
*2 総合研究所 燃焼研究部 次長 博士（工学）
*3 総合研究所 オープンイノベーション推進室 次長

・ カーボンニュートラルな燃焼技術の実現

水素やアンモニアなどの燃焼時に二酸化炭素を排出しない燃料の燃焼技術を確立するために，実機内の現象を再現できる最先端の燃焼試験装置を大学内に設置し，各種計測技術と数値計算によって燃焼メカニズムを解明し，燃焼時の課題をクリアする。

・ 次世代人材の育成と多角展開

大学においてガスタービン燃焼に関係した実践的な研究を進めることにより，研究に参画する学生だけでなく，当社社員も積極的に研究に参加することにより，日本のエネルギー産業を牽引する次世代の高度専門人材を育成する。

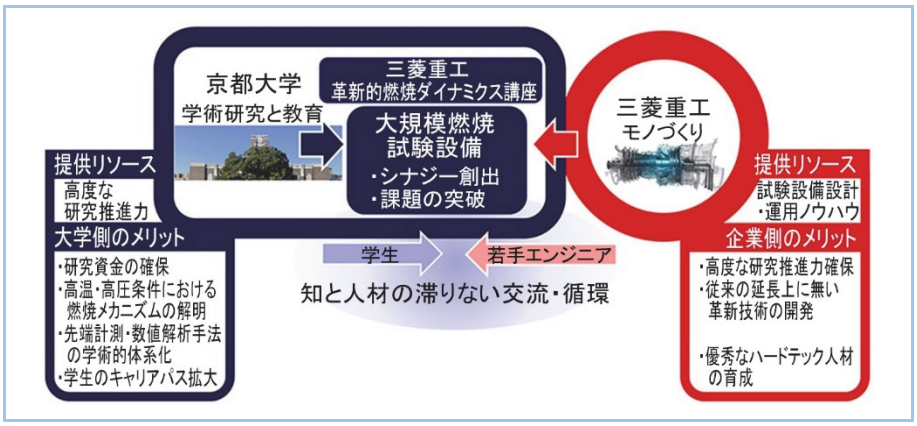


図1　京都大学と当社の共同講座によるシナジー

京都大学としては本取組みを通じて，高温・高圧条件における燃焼メカニズムの解明が図れるとともに，先端計測・数値解析手法の学術的体系化を進めることができ，大学における学術研究と教育を発展させ充実させることができる。

まずは，ガスタービン燃焼器を対象に研究を開始し，得られた成果を逐次実機製品開発へフィードバックし，将来的には当社製品としてラインアップする各種燃焼機器についての研究を追加し研究対象を拡大する予定である(図 2)。本活動は一期 5 年で定期的な契約見直しにより長期的な活動につなげていく。

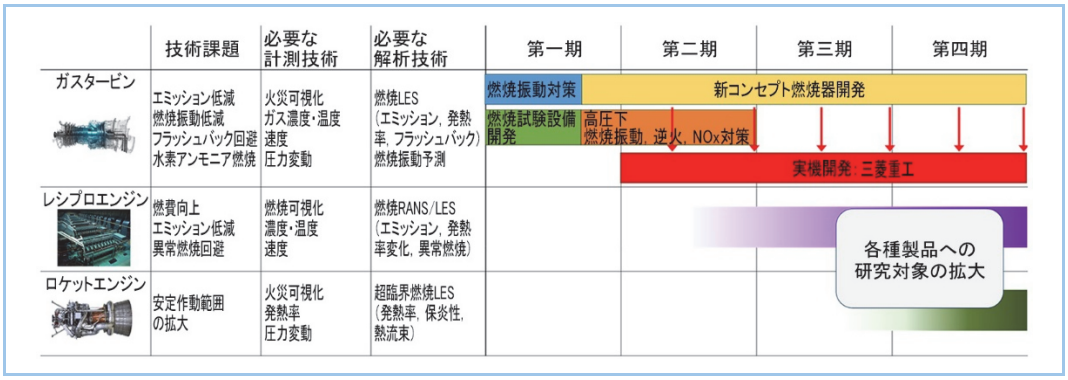


図2　研究活動ロードマップ

また，京都大学をアカデミアのハブとして関係大学・機関と連携し，積極的に新たな知見の導入を図るとともに，産業界における技術的課題の共有も図っていく(図 3)。

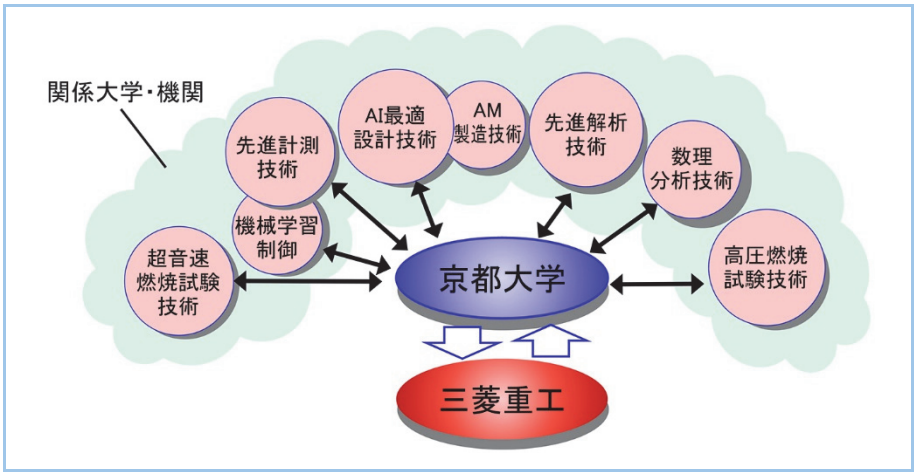


図3 京都大学をハブとした幅広い分野との連携強化

3. イノベーションを加速するための人員体制

いち早く成果を実機にフィードバックできるように，研究成体制を充実させた(図 4)。兼任教員と専任教員を組み合わせた充実した体制により強力に研究を進める。

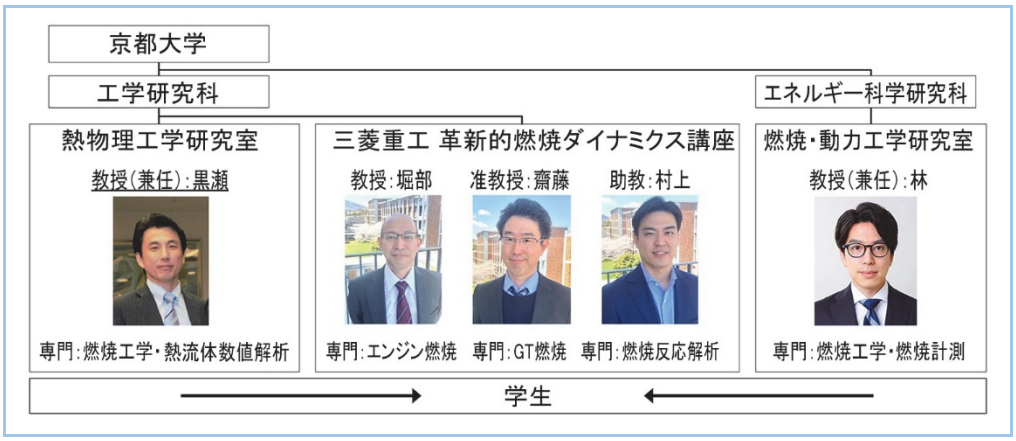


図4 共同講座研究体制

講座立上げの連携先の熱物理工学研究室[3](図 5)では，スーパーコンピュータ“富岳”などを活用した大規模な数値解析技術を用いて，乱流場におけるスカラ輸送・反応・燃焼機構の解明を進めており，ガスタービン燃焼器内部の複雑な燃焼・流動現象を対象とした研究においても豊富な実績を誇っている。また，燃焼・動力工学研究室[4](図 6)では先進のレーザー計測をはじめとする高度な実験・計測技術を展開しており，燃焼・噴霧現象などの複雑な現象を詳細に評価・解明してきた実績がある。本共同講座では，これらの特色を生かし，数値解析と実験計測の両面からメカニズムを解明し革新燃焼技術開発に反映していく。

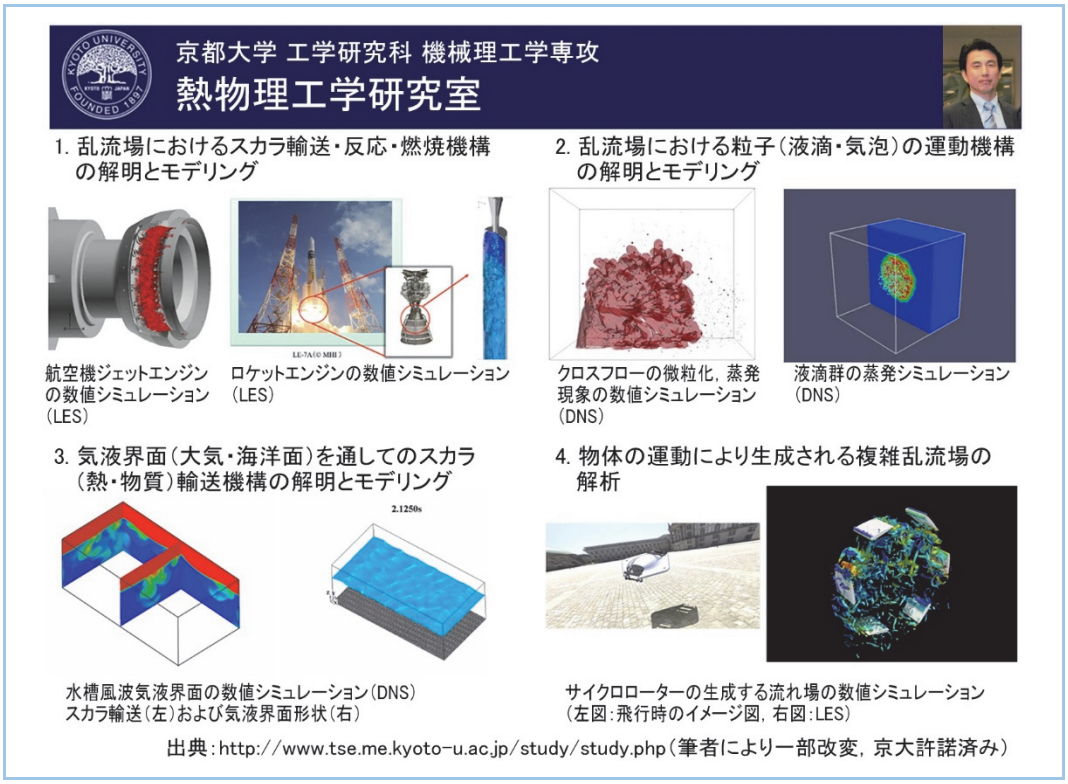


図5 熱物理工学研究室 研究紹介

図6 燃焼・動力工学研究室 研究紹介

4. 燃焼課題に向けた研究

本章では，ガスタービン燃焼器を対象とした研究テーマについて簡単に説明する。ガスタービン燃焼器には，主に NO_x，燃焼振動，フラッシュバック（逆火），未燃分の排出といった技術課題があり，これらは排反事象として相互に密接に関係している。さらに，製品化のためには，コストや寿命，メンテナンス性なども考慮する必要があり技術課題とのバランスを取りながら解決する必要である（図 7）。

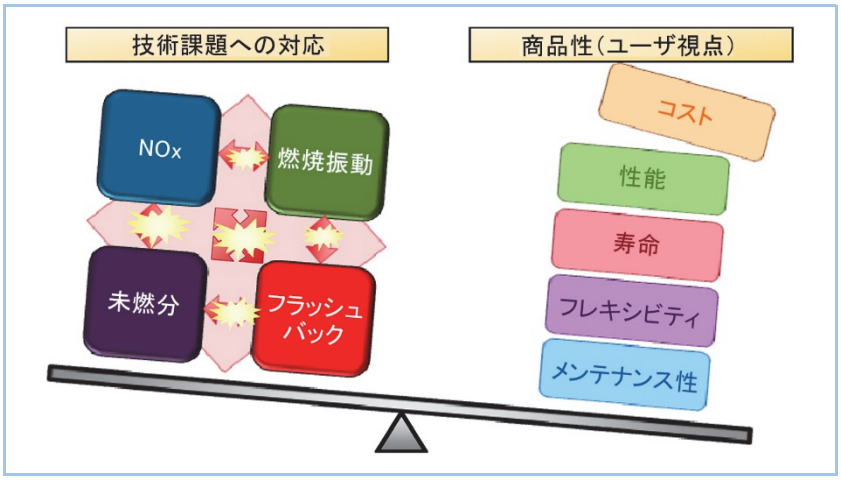


図7 ガスタービン燃焼器の技術課題

今回，高効率化のためにタービン入口温度（燃焼温度）を高めようとしており，燃焼温度の上昇に伴い，NO_x の増大，フラッシュバックや燃焼振動の発生増加が課題となる。特に，燃焼振動は燃焼器内で音響振動と火炎が相互に影響しあい大きな圧力の変動を生じる現象で，機器を損傷させるリスクがあるため最優先課題となっている。そこで，本共同講座では，はじめに燃焼振動を対象として発生メカニズムの解明と対策技術の開発を進める。燃焼振動メカニズムは大まかには濃度変動起因の当量比カップリングと速度変動起因の速度変動カップリングに分けられると考えており[5]，この 2 つに着目して研究を進める（図 8）。

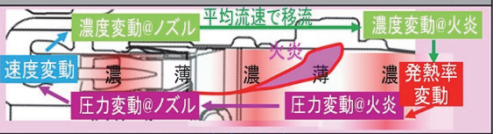
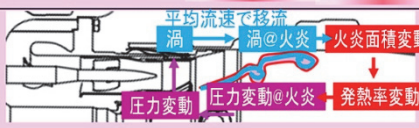
メカニズム		周波数	図
Equivalence ratio Coupling（当量比カップリング）	圧力変動 ↓ 濃度変動 ↓ 発熱率変動	低周波(10Hz) ～ 高周波(kHz)	
Velocity Coupling（速度カップリング）	速度変動 ↓ 火炎面積変動 ↓ 発熱率変動	低周波(10Hz) ～ 高周波(kHz)	

図8 燃焼振動メカニズム

開発フローの概要を図 9 に示す。京都大学では最先端の計測・解析技術をもとに物理現象の根本解明と理論化・モデル化を主導する要素研究を実施し，燃焼振動を抑制可能な要素形状を見出す。当社では実機燃焼器形状に落とし込んだ際の検証など製品技術を開発し，最終的には高砂製作所に設置の T 地点と呼ばれる実機を用いて，実際のガスタービンで発電しながら検証をすることを考えている。

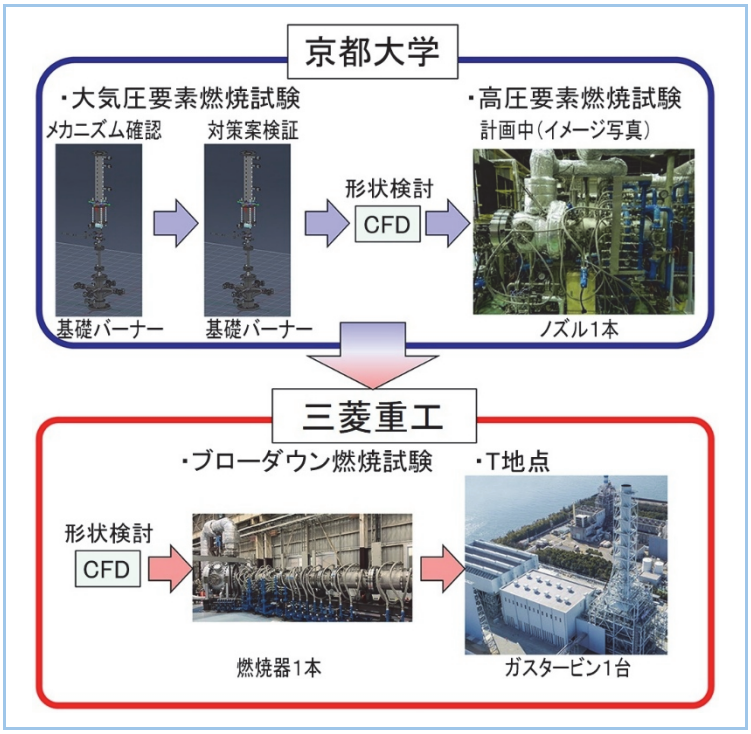


図9 開発フロー

京都大学内では以下の 4 つのテーマを実施する。テーマ 1, 2 が先に述べた燃焼振動メカニズムの解明と抑制手法の検証であり，テーマ 3 ではテーマ 1, 2 で使用する光学計測技術を開発する。テーマ 4 では，実機条件での検証を可能とする大型の燃焼試験設備を開発する。国内の大学に設置する燃焼試験設備としては最大規模を目指す。

テーマ 1:濃度変動起因の燃焼振動の抑制

部分予混合バーナー(図 10)を対象に，燃焼場に流入する混合気の燃料濃度が変動するメカニズムを解明し，その抑制を目指す。

テーマ 2:速度変動起因の燃焼振動の抑制

完全予混合バーナーを用いて濃度変動を排除した上で，速度変動やそれに伴う“渦”の発生が引き起こす燃焼振動の発生メカニズムを解明し，その抑制を目指す。

テーマ 3:燃焼振動計測向け濃度・温度計測技術の開発

燃料濃度変動に起因する燃焼変動の抑制技術を開発する上で，燃焼場に流入する燃料濃度の計測が必須。そこで，半導体レーザーを用いた非接触計測手法で，燃焼振動に伴い変動する燃料濃度や温度を高速かつ高精度に評価可能な手法を開発する。

テーマ 4:高効率 GT 開発加速のための高圧要素燃焼試験技術の開発

燃焼振動，逆火，NO_x 生成といったガスタービン燃焼器において解決すべき現象は，“圧力”と“温度”の影響を強く受けるため，大気圧下の試験だけでは実機現象の解明に至らない。そこで，実機相当の過酷な条件をシミュレートできる国内大学最大級の大型高圧試験設備を設置する。本テーマでは，実験装置の設計と製作を実施する。

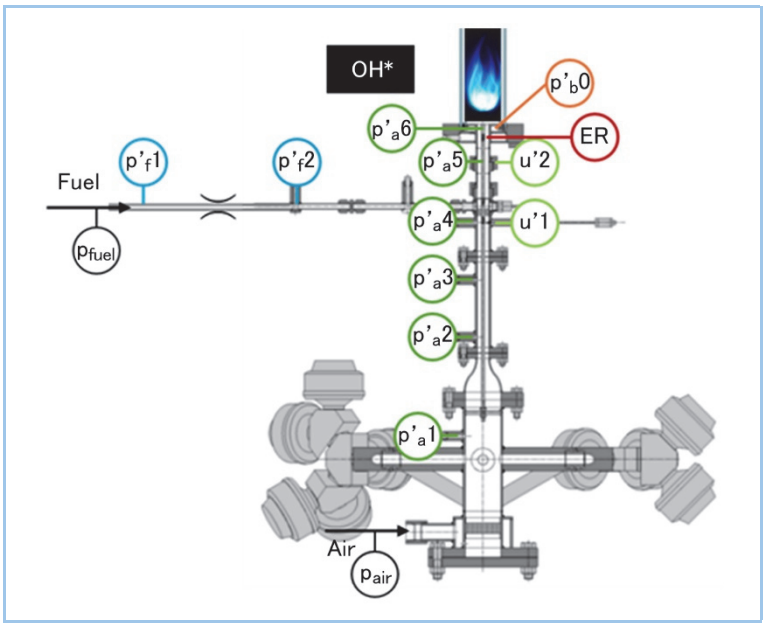


図 10 テーマ 1, 2 用 要素燃焼試験装置

5. まとめ

当社と京都大学は，革新的燃焼技術の開発加速のために，共同講座を開設した。本講座を介して燃焼技術開発だけでなく，ハードテック業界に向けた人材育成により社会への還元を図っていく所存である。

謝辞

本報の執筆に際し，国立大学法人京都大学 大学院工学研究科“三菱重工 革新的燃焼ダイナミクス講座”の皆様にご協力を賜り，深く御礼申し上げます。

参考文献

(1) 三菱重工業株式会社ニュースリリース，“産学連携で，京都大学に「三菱重工 革新的燃焼ダイナミクス講座」を開設 世界最高レベルの燃焼技術の開発と社会実装を促進”，2026.3.，https://www.mhi.com/jp/news/260330.html
(2) 京都大学 大学院工学研究科，“産学共同講座「三菱重工 革新的燃焼ダイナミクス講座」の設置について”，https://www.t.kyoto-u.ac.jp/ja/news-events/news/admg/mhi_sangakukyodo
(3) 京都大学 工学研究科 機械理工学専攻 熱物理工学研究室 ホームページ，http://www.tse.me.kyoto-u.ac.jp/
(4) 京都大学 大学院エネルギー科学研究科 エネルギー変換科学専攻 燃焼・動力工学研究室 ホームページ，https://cpel.energy.kyoto-u.ac.jp/
(5) 岸本ら，基礎バーナーの燃焼振動メカニズム分析，第 61 回燃焼シンポジウム，2023，E114