

# エナジートランジションを支える基盤技術

常務執行役員

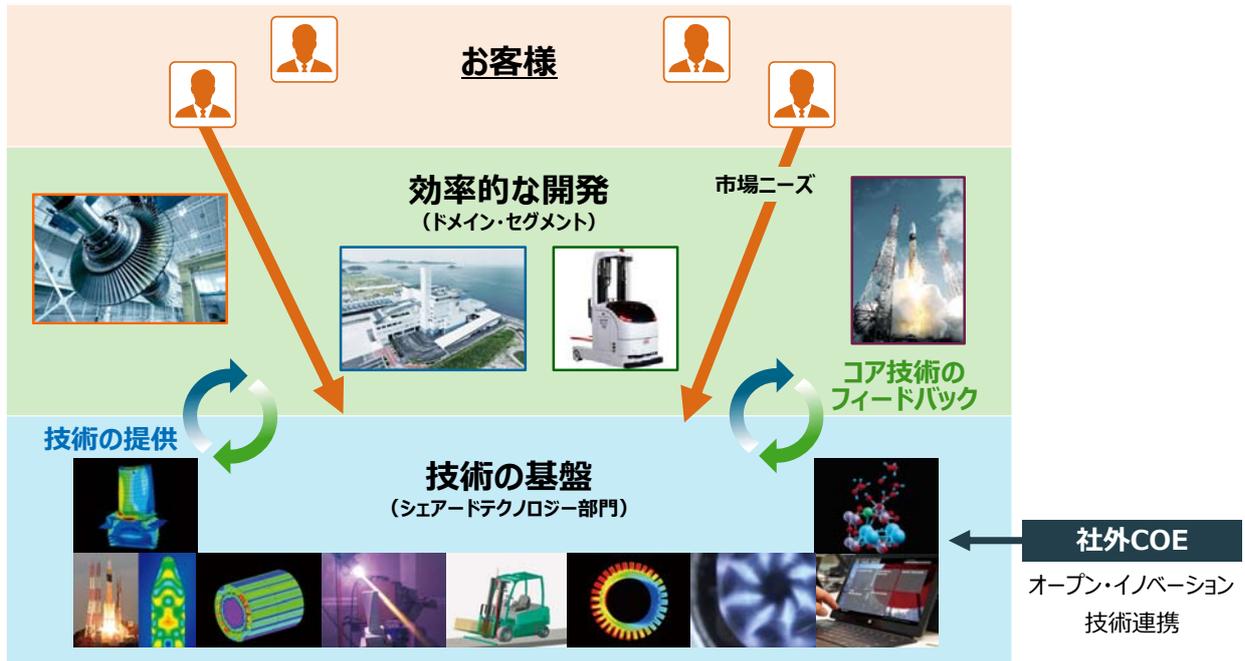
CTO

伊藤 栄作

CTOの伊藤です。

エナジートランジションを支える基盤技術について説明します。

## 多様性ある技術を横通し



COE: Center of Excellence世界トップレベル研究拠点

当社グループでは、製品の多様性を活かし、優れた技術や知識を、シェアードテクノロジー部門に集積・横通しすることで、技術シナジーを創出しています。技術シナジーの例として、次のスライドで、水素への燃料転換について説明します。

### 水素取扱いの難しさ

- 高い燃焼性
- 極低温
- 金属脆化



液酸液水エンジン  
国内実績トップ

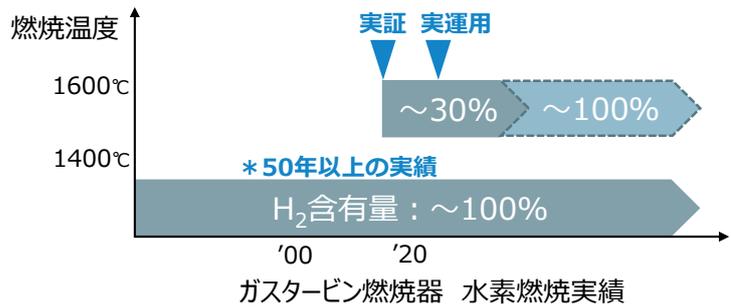


水素混焼ガスタービン  
世界シェアトップ

出典：三菱重工技報 Vol.48 No.3 (2011), "最新の製鉄所副生ガス焼きガスタービンコンバインドの開発状況"

### 高温燃焼の難しさ

- 逆火現象
- 燃焼振動
- NOx生成



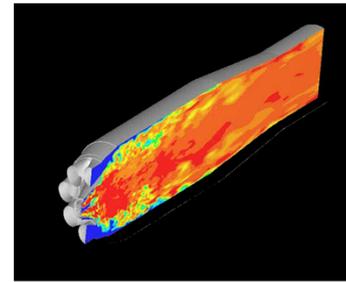
NOx: Nitrogen Oxides 窒素酸化物

水素への燃料転換は、エナジートランジションの重要な手段です。水素は取扱いの難しい燃料ですが、当社グループでは、水素利用の長年の経験があります。まず、ロケットエンジンでは、液体水素が燃料です。また、製鉄所や製油所の副生ガスを燃料とするガスタービンでは、世界で圧倒的なシェアを誇ります。この副生ガス燃料は、様々な割合で水素を含みますが、すでに、50年以上の運用実績があります。

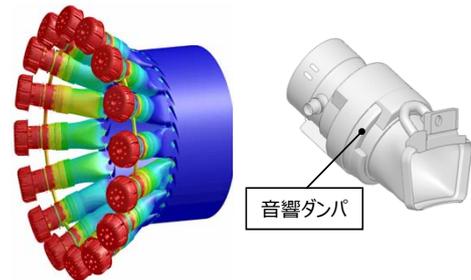
ガスタービンでは、燃焼温度を高めることで発電効率を上げることができます。しかし、水素を高温で燃焼させると、炎が機械の内部に入り込む逆火現象や、激しく機械を揺さぶる燃焼振動が発生します。このような現象が起きると数秒で機械が壊れてしまいます。また、高温ほど増加するNOx排出を抑制する必要があります。当社のガスタービンは、水素を燃料に30%以上入れて、1600℃を超える燃焼温度で安定作動させることに成功しました。これを実現するためには、如何に燃焼状態を予測し、把握するかがキーポイントとなります。

超高温での安定燃焼

世界のCOEと共同開発



<燃焼シミュレーション>



<燃焼振動シミュレーション>

© MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD. All Rights Reserved.

4

水素を超高温で安定して燃焼させる技術について紹介します。

現在、当社グループのガスタービンは、世界トップクラスの効率を達成し、2020年上期時点で世界シェアトップです。初めに『1700°C級ガスタービンの技術開発』で培った燃焼予測技術です。

右上の図は、ガスタービン燃焼器内部の燃焼状態を解析したものです。本解析は、Large Eddy Simulationと呼ばれる手法を用い、独自の燃焼モデルで、百万分の一秒以下の時間刻みで数十個の燃焼反応を解析します。総合研究所が有する数千個の高速計算機による並列計算を実施しています。これは、京コンピュータの1/10レベルに相当する大規模解析です。

右下の図は、16本の燃焼器をモデル化し、燃焼振動を解析したものです。さらに、右図に示す音響ダンパを用いることで燃焼振動を抑制し、超高温でも安定な作動を実現します。この技術は、実はロケットのメインエンジンにも応用し、3000°C級の安定な水素燃焼を実現しました。

## コンセプトから実用化まで一貫した開発検証プロセス 当社のみ

### 要素検証



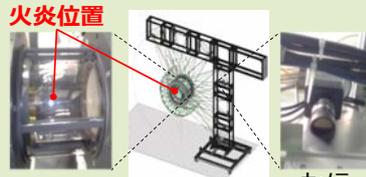
ラボ試験

### コンポーネント検証

CTで不安定領域を特定 世界初



火炎



<燃焼CT計測>



<高圧燃焼試験設備>

### 実機検証

センサー3千点で現象把握 当社のみ



実証設備(2020運開)

シミュレーションで新コンセプト創出

データアナリティクス

CT: Computed Tomography コンピュータ断層撮影法

© MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD. All Rights Reserved.

5

次に、検証プロセスを紹介します。

燃焼シミュレーションによって見出されたアイデアは、ラボレベルの要素検証でその妥当性を確認します。

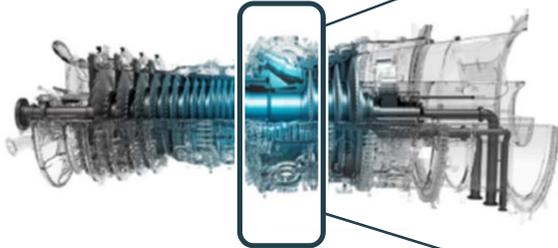
次にコンポーネント検証として大気圧の30倍程度の高圧燃焼試験を実施します。火炎が発する光を3次元CTスキャンすることにより、詳細な燃焼状態を把握、不安定領域を抽出します。燃焼試験設備は、元々は超音速のインテグラルロケットラムジェット用の燃焼試験設備ですが、改良して使っています。

次に、実機検証に進みます。3000点規模の特殊センサーにより、ガスタービンの内部で起きている現象を正確に把握します。準備に8か月もかかります。新開発の部品を組み込んで、厳しい商用運転の中で、その実力を見極めるのです。このため、研究者や設計者にとっては、言い訳無しの試練の場となります。写真奥にある古い実証発電設備は、1500℃級、1600℃級のガスタービンを世界に先駆けて実用化し、23年間の役目を終えました。実験機の機能を果たしながら、商用機として99.5%を超える高いアベイラビリティを記録しました。

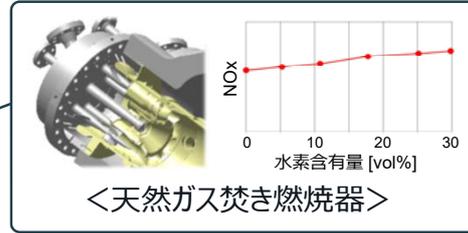
このような開発プロセスは、高度な計測技術と実証発電設備を有する当社グループしか採用できません。

超高温燃焼で、水素→電気への変換効率を最大化

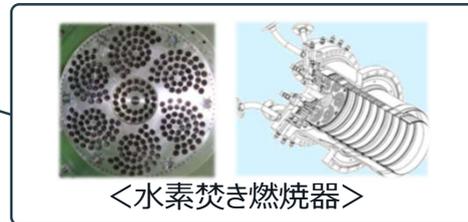
水素混焼・専焼ガスタービン



水素30%で安定燃焼（実用化済み）



水素100%で安定燃焼（開発中）



NOx: Nitrogen Oxides 窒素酸化物

現在までに、J型ガスタービン燃焼器で、水素を30%混ぜた燃料で、1600℃での安定燃焼を確認し、NOx排出も運用可能な範囲にあることを確認しています。30%は水素燃料の供給が試験の制約となっており、将来的には100%水素燃焼に繋がります。

古い900℃級～最新鋭の1650℃級まで、いずれのプラントでも採用可能で、ハードウェアをほとんど変えずに水素燃焼が可能となります。J型ガスタービンでの30%混焼は、20万kW相当で、水素自動車100万台に相当します。

ここで、一つ疑問を持たれるかもしれません。どこから大量の水素を調達してくるのか？ということです。三菱重工グループが提案するソリューションの一例を紹介します。

今後増えてくる再生可能エネルギーの余剰電力を、既存のグリッドを使って、既存の発電所に逆送し、発電所の中で水素製造を行います。発電所の中で、従来の燃料にそのまま混合すれば、すぐに水素混焼が可能となります。水素の液化や輸送を必要としないので、もっとも社会コストを抑えた水素の普及方法と言えるでしょう。これは、まさに、既存の社会インフラを最大限活用したエナジートランジションの姿です。

ガスタービンのセラミクス技術を応用し、水素製造/利用を一つの機器で実現



SOEC: 固体酸化物形水電解、SOFC: 固体酸化物形燃料電池

このスライドでは、分散型発電機器であるSOFCについて説明します。

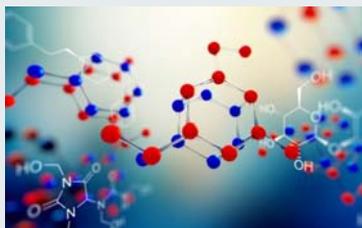
SOFCは、水素から直接電気を取り出すデバイスです。SOFCは、マイクロガスタービンとの組み合わせで、すでに多くのお客様に活用いただいています。実用化には、化学反応-電気-熱流動を連成させて解析する技術が適用されています。また、電解質のセラミクスには、ガスタービンの遮熱コーティングと同じ素材を活用しています。

あまり知られていませんが、SOFCは、水素製造もおこなうことができます。一つの機器で、再生可能エネルギーの余剰電力を利用して水素を製造し、自分自身でもう一度電気に戻すことができます。再生可能エネルギー大量導入後の、分散型発電設備の姿といえるでしょう。

## 革新的なアイデア創出と、スピーディな仮説検証

### イノベーション 推進研究所

従来の前提を覆す  
最先端の技術開発



2018年～

### YHH

Yokohama Hardtech Hub

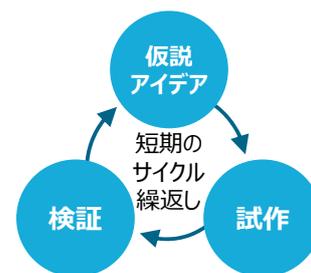
ベンチャーとの共創



2020年～

### ピボット開発の導入

技術課題を細分化し  
ベンチャーを凌ぐスピードで  
開発



2020年～

シェアードテクノロジー部門では、このような技術シナジーを創出しつつ、イノベーションを実現するために、新たに3つの取り組みを始めました。

まず、イノベーション推進研究所です。量子力学等の新たな研究領域から、従来の前提を覆すような最先端の技術を開発します。社会に大きなインパクトを与える、夢のある革新技術の研究開発です。社内外の研究者が連携し、基礎段階から取り組むことで、将来の実用化を加速します。

次に、ベンチャーとの共創空間として、YHH、Yokohama Hardtech Hubを開設しました。試作や実装の試行錯誤を行うインフラを備え、ハードテックを中心に運営します。すでに、いくつかのベンチャー企業が活動を開始しています。当社グループの技術や設備、人材も加わることで、事業化を加速し、我々自身も、イノベーターとしての発想力を身に着けます。

3つ目は、視野の拡大へ向けたピボット開発の導入です。研究者が、自由な発想で、自ら仮説を作り、検証する仕組みを新たに取り入れました。社会貢献のアイデアを自分の言葉で表現できること、技術課題を細分化して、ベンチャーをしのぐスピードで取り組むことを条件としています。開始後数カ月で、300件以上の新テーマに着手しました。この中では、失敗も立派な仮説検証データとして蓄積していきます。

## エナジートランジションを加速

### 社会コスト最小で燃料転換

幅広い製品の経験

最先端技術

イノベーション推進研究所  
YHH  
ピボット開発

#### <基盤技術>

センシング

デジタルツイン

データセキュリティ

データサイエンス

3D連成シミュレーション

ロボティクス

センサネットワーク

IoT/AI

水素製造・利用

触媒

AM利用

元素変換

自動化

知能化

AM: Additive Manufacturing

© MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD. All Rights Reserved.

9

まとめです。

シェアードテクノロジー部門では、本日紹介していませんが、多くの分野の基盤技術を有しています。これらを幅広い製品の経験と組み合わせることで、技術シナジーを創出します。

また、3つの新しい取り組みを通じて、最先端技術を開発し、エナジートランジションを加速したいと考えています。

以上で説明を終わります。

**MOVE THE WORLD FORWARD**

**mitsubishi  
heavy  
industries  
group**