

高効率ガスタービン技術実証事業 中間評価の概要

平成27年7月10日

資源エネルギー庁

電力基盤整備課

A : 1700°C級ガスタービン 技術実証事業

目 次

1. プロジェクトの概要
2. 目的・政策的位置付け
3. 目標
4. 成果、目標の達成度
5. 事業化、波及効果
6. 研究開発マネジメント・体制等
7. 前回(H25)中間評価結果
8. 評価
9. 提言及び提言に対する対処方針

1. プロジェクトの概要

概 要

電力産業の保守高度化とリプレイス需要にあった大容量機の高効率化を目指し、目標コンバインド効率57%以上を達成するために必要な、1700℃級ガスタービンの実用化を図る。

そのため、1700℃級ガスタービンの実用化に必要な要素技術開発と実証機の開発・製作・実証運転を行う。

実施期間

平成24年度～平成32年度（9年間）

4年間：要素技術開発（事前技術検証）

5年間：実証機の開発・製作・実証運転

（4年間終了後、事業の見直しを行うことになっている。）

予算総額

当初計画：140.5億円（補助率3分の2）

H24	H25	H26	H27	H28	H29	H30	H31	H32	年度 億円
12.6	11.8	18.8	20	10.1	17.4	17.4	17.4	15	
63.2				77.3					

実績反映：144.7億円（補助率3分の2） H28年度以降は当初計画と同じ金額

H24	H25	H26	H27	H28	H29	H30	H31	H32	年度 億円
12.6	11.8	19.5	23.5	10.1	17.4	17.4	17.4	15	
67.4				77.3					

実 施 者

三菱重工業株式会社

プロジェクトリーダー

伊藤 栄作 三菱重工業株式会社（部長）

2. 目的・政策的位置付け

- 世界の温室効果ガスの排出を2050年までに半減するという長期目標を達成するため、革新的な技術開発の重要性が掲げられており、その中で、天然ガス利用の高度化として高温ガスタービンを用いた高効率火力発電技術の実用化を目指す事が定められている。
- 経済産業省は、「Cool Earth－エネルギー革新技術計画」を設定（平成20年3月5日）し、その中で「高効率天然ガス火力発電」が含まれており、着実な技術開発が必要である。
- エネルギー基本計画(平成22年6月18日閣議決定)において、「その他の火力発電については、新增設・更新の際には、原則としてその時点における最先端の効率を有する設備の導入を目指す。」と謳われており、1700℃級ガスタービンに代表される超高温高効率ガスタービンは、現状最も高効率の火力発電技術として、リプレースにおける大容量機のエネルギー効率向上に寄与できる技術である。
- 「日本再興戦略 -JAPAN is BACK-」(平成25年6月14日閣議決定)において、LNG 火力について、2020年頃までに1700度級ガスタービンの実用化を目指す(発電効率:現状52%程度→改善後57%程度)と明記されている。
- 総合科学技術会議の環境エネルギー技術革新計画(平成25年9月13日閣議決定)において、高効率天然ガス発電技術のロードマップが示されており、この中でも2020年をターゲットに、57%の発電効率を目指すことが記載されている。

「環境エネルギー技術革新計画」(平成25年9月13日)

技術ロードマップ

2. 高効率天然ガス発電

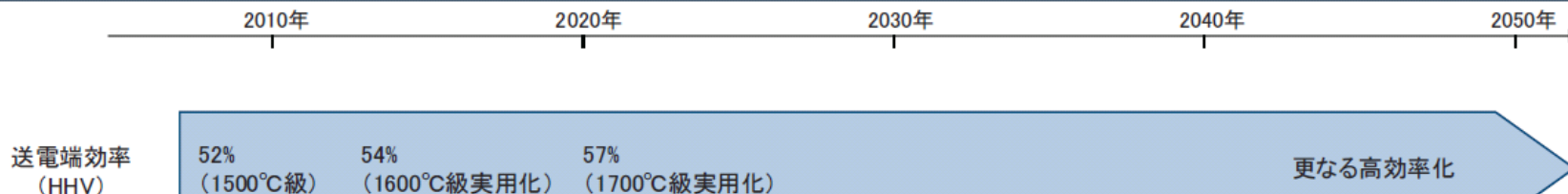
技術の概要

- 高効率天然ガス発電技術としては、ガスタービン及び蒸気タービン複合発電技術や、開発中の高温分空気利用ガスタービン技術(AHAT)がある。
- 我が国では1600℃級のガスタービンの開発が完了し、2013年10月より関西電力の姫路第二発電所にて営業運転を開始予定(発電効率54%、送電端・HHV)。
- 将来CCSが商用化し、導入されれば、二酸化炭素排出をほぼゼロにすることが可能。
- OIEA はEnergy Technology Perspectives2010の(世界のエネルギー起源CO₂の排出量を2050年に2005年比で半減させる)ブルーシナリオにおいて、天然ガス火力発電で2.8億トン程度のポテンシャルがあると試算。

我が国の技術開発の動向・課題

- 我が国は、コンバインドサイクル発電に関して、2013年頃に1600℃級で54%、2020年頃には1700℃級で57%の発電効率(送電端・HHV)を達成することを目指している。また、トリプルコンバインドサイクル発電システムについて、要素技術開発を実施している。
- AHATについては、2020年頃までに10万kW級で51% (送電端・HHV)の発電効率を実現することを目指す。
- 1700℃級ガスタービンの開発では、超高耐熱合金をはじめとする高温耐熱性タービンの開発等が主要な課題となっている。この課題を解決し、現状最大52%の発電効率(送電端・HHV)を57%(2020年頃)まで上げることが目標。
- AHATについては、高効率圧縮機設計技術やタービン翼冷却技術の開発が必要である。

技術ロードマップ



- ガスタービン技術は、空力、熱力、燃焼、材料等の広範囲で高度な設計技術・製造技術を有することから、産学官の連携の下、技術開発を進めることが重要(大学等における材料や触媒技術等の基礎研究と、民間主体のプラントをシステムとして実証する大型プロジェクトの連携を強化)
- 幅広い人材の育成による技術開発の推進

国際動向

普及の現状

- 米国では、2013年にフロリダ州において、発電効率(送電端・HHV)が約54%となる高効率ガスタービンの営業運転が開始される予定。

技術開発の動向

- 米国エネルギー省(DOE)の国家プロジェクトでは、ガスタービンメーカーや大学に2003年から2015年にかけて約1,000億円を投資して、高効率化を目指している。
- 欧州では、CAME-GTと呼ばれるイニシアチブの中で高効率ガスタービンの開発が推進され、現在は第7次研究枠組計画(FP7)の中で個別の技術要素の改良に向けた研究開発が実施されている。

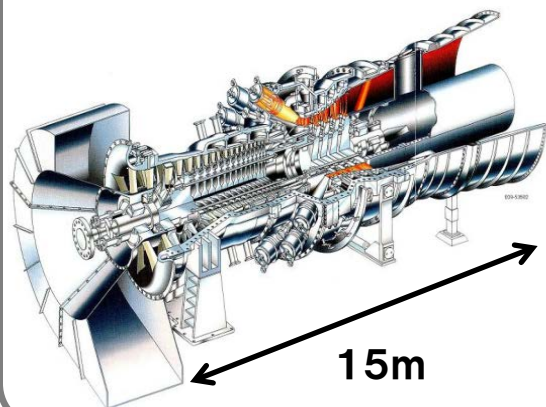
我が国の国際競争力

- 我が国では、入口ガス温度を1600℃まで高め世界最高水準の発電効率(送電端・HHV)54%を実現した「1600℃級複合発電」が2013年10月頃に営業運転が開始される予定であり、我が国の技術開発レベルは世界最高水準にある。
- ガスタービンの高温化はスピードが非常に速く、1980年代初頭の複合発電システムの導入以降、年間約20℃という早いペースで燃焼温度の高温化が進み、熱効率が改善してきた。熾烈な開発競争の中、高温化に対して技術的に開発が可能な国は、米・独・日の3カ国に絞られつつある。

ガスタービンの特徴

高度な技術が必要で、国際競争が激化

● 作動原理と特徴 コンパクト&大出力



- 圧縮機
空気を吸い込み、圧縮
- 燃焼器
超高温・高エネルギーの燃焼ガスを作る
- タービン
回転エネルギーに変換

● 高度な技術が必要

- 超高温
1600-1700℃
超合金の融点 約1350℃
- 超高速
500m/s以上の回転速度
⇒10,000Gを超える遠心力
- 長時間運用
1年以上の連続運用も可能

● 超高効率ガスタービンの特長

- 火力発電の中で最も高効率
熱効率 >60% Cf 石炭火力 約 45%
- 低エミッション
CO₂ < 0.31kg/kwWh Cf 石炭火力の1/2.5
- フレキシブルな運用が可能
自然エネルギーの発電量の変動を補完
- 多様な燃料を使用可能
- 技術展開のバリエーションが豊富
IGCCなど、

● 技術の波及効果が大い

- 市場規模が大きい 2-3兆円
- 産業の裾野が広く、雇用に貢献
- 技術開発が、市場シェアに直結する。

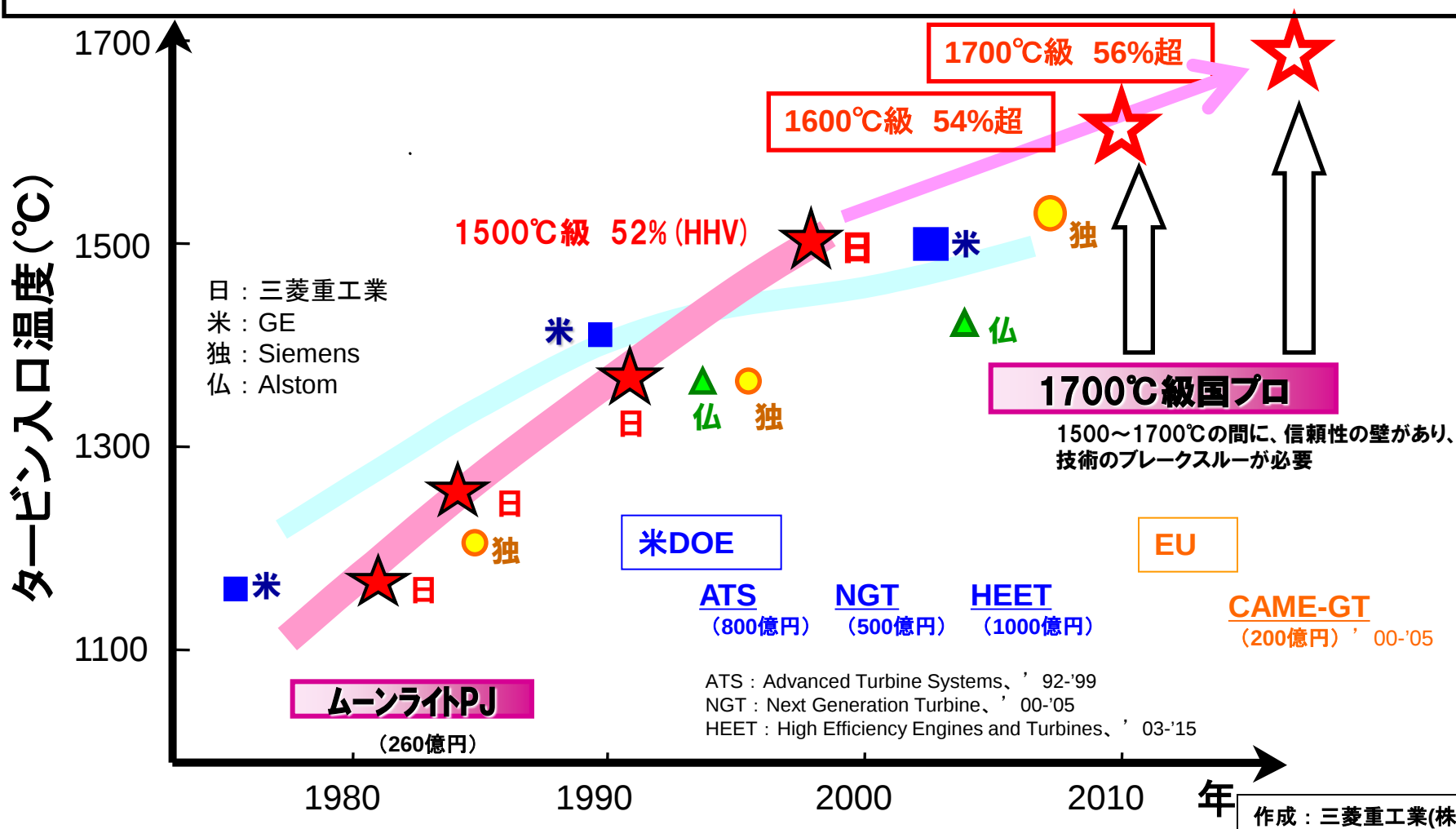
● 過酷な国際競争

- 各国のフラッグシップ技術
科学技術分野で、航空宇宙技術と並ぶ重要技術
- 各国の経済/エネルギー政策の重要技術

欧米各国との競争

欧米vs日本 ガスタービンの高温化(高性能化)競争で優位性を維持

- わが国は、世界に先駆けて1500℃級を実用化し、本分野をリードしている。
- 欧米は巨額の研究開発費を投じており、日本は手を緩めるとすぐに競争力を失う。
- 優位性を維持するため、1700℃級に必要な革新的技術開発に取り組み、早期に実用化する事が必要である。



国の関与の必要性

火力発電の高効率化のためには、革新的な技術開発が必要だが、

- 研究開発成果の商業性や投資回収可能性に係る**リスクが大きく、民間企業だけでは対応できない研究開発分野**である。
- **実用化まで長期のリードタイムと多大な研究開発投資を必要とする技術開発を推進するには、官民がその方向性を共有する事が不可欠**である。

●大型ガスタービンの高温化は、
日本が世界をリードしてきた。

●海外にも先例が無い。

ムーンライト

'78~'87 260億の予算で実施。

●高温化技術の遅れを挽回した。

●開発技術を活用して、

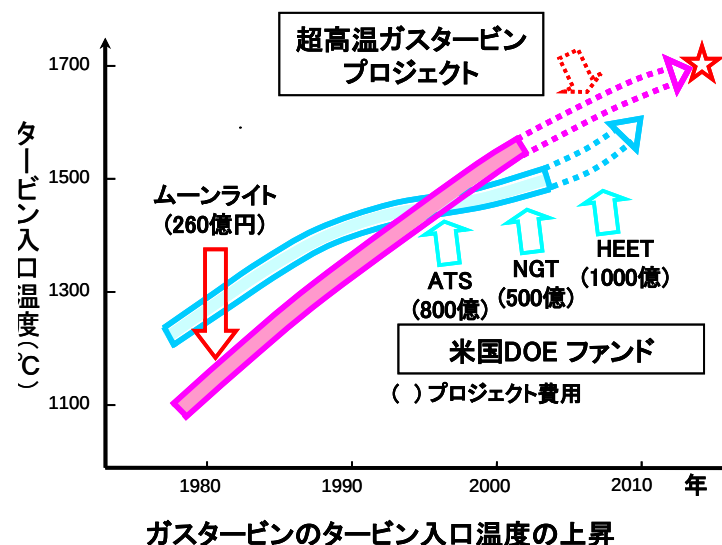
'90 1350℃級 実用化

'97 1500℃級 実用化

以降高温化で世界をリード

したがって、未知の事象が想定され開発リスクが高い。

産学共同で、最新の基礎技術を投入しつつ進める為に、是非とも国の関与と支援が必要である。



施策の目的実現の見通し

高効率ガスタービンの実用化
技術開発
(1700℃級ガスタービン)

プロジェクトの
アウトプット

カスタマー

直接アウトカム

中長期のアウトカム

プロジェクトの概要

1700℃級ガスタービン
実現の為に必要となる
実用化技術の開発。

より実機に近い
条件下での
各技術の実現
性の評価

民間企業
(電力会社及び
重工業メーカー)

燃焼器、タービン、
圧縮機をモ
ジュールレベル
で検証

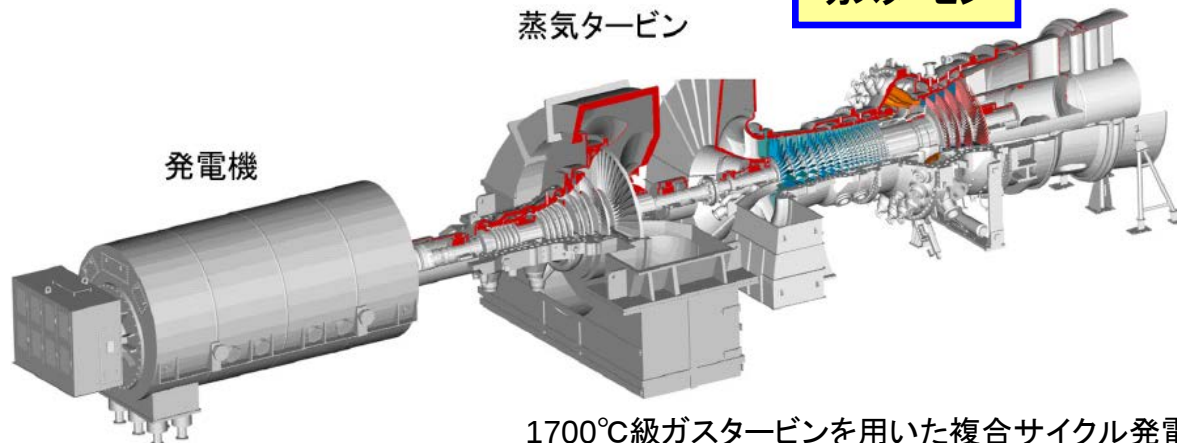
1700℃級
ガスタービンの
実現

効果が確認された要素技術を活用して、
1600℃級ガスタービンを開発

1700℃級
ガスタービン

蒸気タービン

発電機

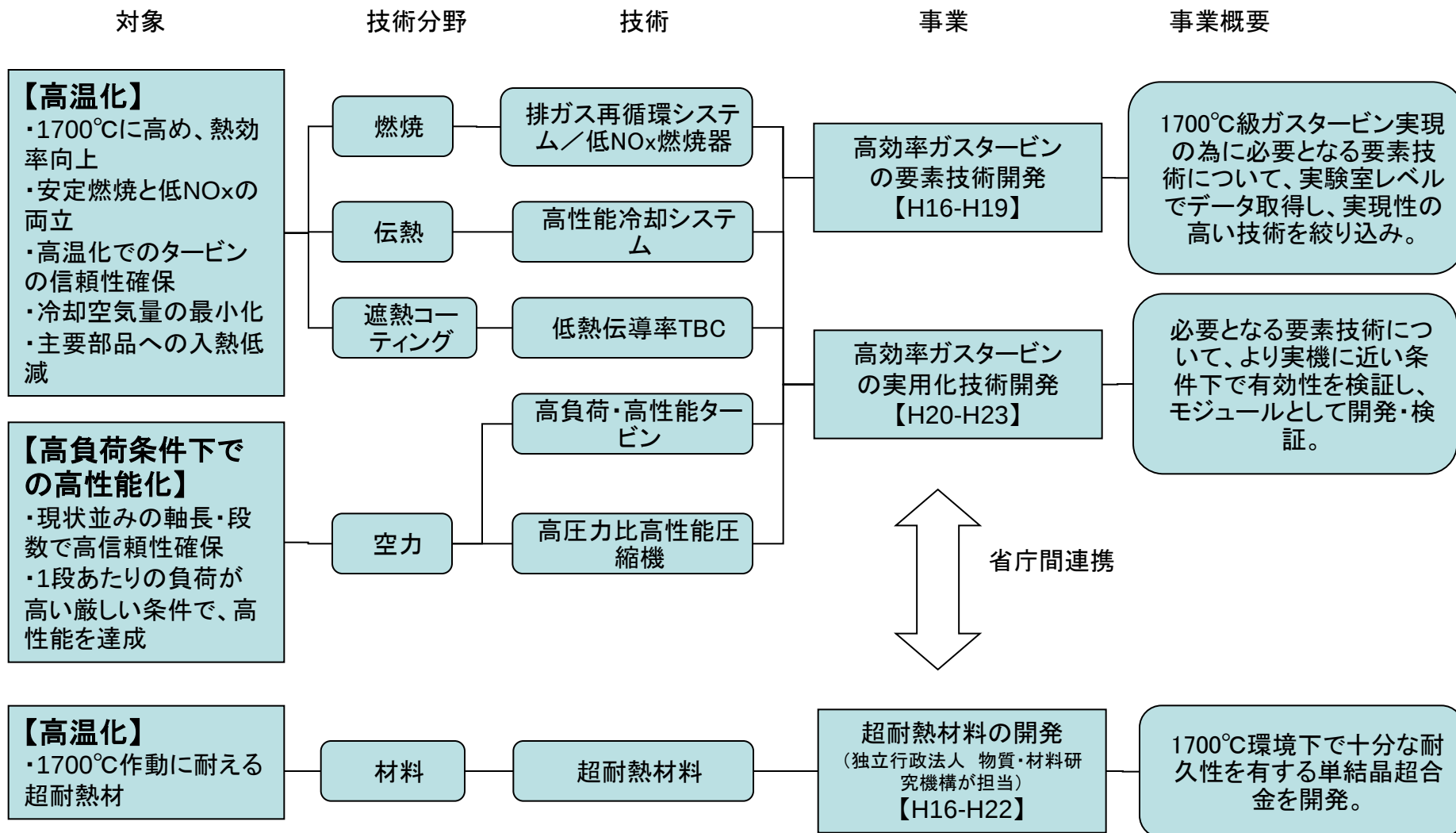


1700℃級ガスタービンを用いた複合サイクル発電設備のイメージ

施策の構造

要素技術開発・実用化技術開発（H16～H23年度）

送電端効率56%HHVを達成を目指し、燃焼温度を高めた1700℃級ガスタービンを実現するキー技術を開発する。



施策の構造

実証事業 (H24~H32年度)

H24-H27 : 要素技術開発

H28-H32 : 実証機開発・実証試験

主要コンポーネントの要素技術

- ・ 遮熱コーティング
- ・ 冷却技術
- ・ 燃焼器
- ・ タービン
- ・ 圧縮機
- ・ 耐熱材料

設計に必要な先端要素技術

- ・ サイクル
- ・ 構造技術
- ・ シール
- ・ 高温強度評価技術
- ・ ダンパ振動制御技術

製造に必要な先端要素技術

- ・ 検査技術
- ・ 先進製造技術

試運転に必要な先端要素技術

- ・ 特殊計測技術
- ・ ダンパ振動制御技術

設計

製造

組立

試運転

H27年度終了時に、実証機開発の計画の再確認を行い、必要あれば見直しを行う予定。(総合科学技術会議)

3. 目標

全体目標

コンバインド効率57%以上（送電端、HHV）を達成する。
1700℃級ガスタービンに適用可能な実用化技術を開発する。

目標・指標 (事後評価時点)	目標・指標 (中間評価時点)	設定理由・根拠等
発電効率57% (高位発熱量基準、送電端)	発電効率57%（高位発熱量基準、送電端）を達成するために必要な、要素技術の開発目標に向けて、解析や要素試験により、各項目の達成目途を得る。 また、要素試験の実施仕様を明確にして、準備を進める。	2020年市場導入時に世界最高効率で、海外メーカーに確実に先行できる発電効率を目標とした。

個別要素技術の目標(1/3)

要素技術	目標・指標	目標・指標 (H27/6 評価時点)	設定理由・根拠等
① 低熱伝導率遮熱コーティング	遮熱性を+30%向上 (従来 1600℃級)	・ 厚さ0.5mm以上 ・ 熱疲労寿命従来並 ・ エロージョン試験着手 ・ 厚膜DVC成膜技術	・ 超高温での遮熱性の大幅向上と、耐久性の両立。 膜厚 従来0.3mm→0.5mm以上 ・ エロージョン/コロージョンの発生防止 従来比減耗量Δ50% ・ 大型3次元翼の高品質確保 ・ 航空用GTの3倍の大型
② 高性能冷却システム	冷却空気量Δ10% (従来 1600℃級)	・ 燃焼器＋タービンの気流・伝熱試験 ・ 端壁面詳細データ ・ 動翼フィルム効率計測技術	・ 冷却空気流量の大幅削減Δ10% ・ ガス温度を約100℃ ・ 燃焼器下流の強い乱れ、表面近傍の高温ガス流れ 局所流速精度 ±10%以内 熱伝達率精度 ±30%以内 ・ 内部冷却流と、外部ガス流の連成効果 圧力予測精度 ±10%以内
③ 非定常性制御燃焼技術	NOx 40ppm 排ガス再循環有り (従前目標 50ppm) NOx 50ppm 排ガス再循環無し	・ 排ガス再循環有 NOx40ppm以下 ・ 内部データ把握 ・ 実機燃焼器形態の火炎形状の把握。 ・ 不安定領域を特定 ・ 燃焼振動予測精度向上 ・ 燃料多様化技術	・ 再循環を最小限(30%⇒0%)で、NOx 50ppm ・ 燃焼用空気温度従来450℃⇒500℃程度で燃料の自己着火や逆火などの発生防止。 ・ 燃焼振動の発生メカニズムの理解と発生防止 ・ 燃料多様化技術：燃料ノズルを開発する。
④ 超高性能タービン	一軸タービンで 効率92%以上 (従前目標 91%)	・ 効率向上コンセプト ・ 排気損失Δ50%低減 ・ ストラットとの干渉把握 ・ 励振力メカニズム解明	・ 超高温・高負荷条件での高効率の実現 ・ 排気損失低減：従来比Δ50% ・ 高温ガスの混入防止：シール空気 従来比Δ10% ・ 超高負荷での励振力低減：従来比Δ10%

個別要素技術の目標(2/3)

要素技術	目標・指標	目標・指標 (H27/6 評価時点)	設定理由・根拠等
⑤境界層制御高性能圧縮機	一軸圧縮機 圧力比約30 効率90%以上 (従前目標89%)	・前方段の負荷+10% 段効率+1% ・中後方段クリアランスデータ取得 ・多段モデル圧縮機試験装置製作	・発電用一軸15段程度で、圧力比約30を実現 ・境界層コントロール ・3次元翼形状を開発 効率 90%以上 ・一軸・高圧力比圧縮機の安定な起動特性の確保
⑥超高性能サイクル	発電効率 57%HHV, 送電端) を達成可能なシステム構成 (従前目標56%)	・発電効率57%を実現するための、エクセルギ分析・評価をし、アイデア検討	・エクセルギ分析による効率最大化 ・高性能サイクル最適化 ・現状世界最高の1600℃級のデータを活用
⑦高機能構造技術	クリアランス周方向偏差1.0mm以下	・構造コンセプト ・1600℃級でのクリアランスデータ取得 ・圧縮機ロータベンチレーション構造計画	・直径4m以上の半割れ構造車室 ・周方向隙間偏差1.0mm以下 ・過渡運転時のピンチポイントを無くし、定格運転時のクリアランス低減
⑧高性能シール・軸受	・従来もれ量1/3 ・シール空気量10%低減	- リーフシール基礎データ取得 ・軸受損失40%低減	・大変形追従型高性能シールの開発 ・高性能軸受の開発
⑨先進製造技術	・長穴加工L/D>250 (従前L/D>200) ・孔位置誤差1.0mm ・溶接変形 Δ50% ・鑄造歩留り>90%	・長穴加工L/D>250 ・溶接変形の20%以上低減 ・高強度の中子・鑄型の製造 ・GT部品のAdditive Manufacturing技術開発	・タービン長翼の細部を冷却する長穴加工技術 ・溶接時の変形低減 Δ50% ・精密鑄造技術の品質確保 ・大型精密鑄造翼の形状精度確保、鑄型強度向上 ・3D造形

個別要素技術の目標(3/3)

要素技術	目標・指標	目標・指標 (H27/6 評価時点)	設定理由・根拠等
⑩超高温強度評価技術	方向凝固翼の強度評価手法の構築	・高温域設計材料データ ・超高温域長時間使用後の材料データ取得	・方向凝固翼の強度評価技術確立 ・クリティカル部位の高温強度評価技術
⑪特殊計測技術	高温部計測センサーの耐用時間100hr以上 ・現地データの遠隔監視	・高温での動翼振動計測の開発と実機計測 ・高温での動翼チップクリアランス計測準備 ・現地データの遠隔監視システム	・特殊計測用センサーの開発 ・燃焼ガス温度計測 ・タービン表面メタル温度計測 ・クリアランス計測 ・動翼振動計測 ・大規模データ処理技術
⑫高精度・高機能検査技術	翼内面の複雑形状部の欠陥検知0.5mm以下	・センサ試作 ・0.5mmのき裂検知	・翼内面の欠陥検知技術 従来1.0mm→0.5mm
⑬高性能ダンパ振動制御技術	翼振動数のバラツキ50%低減	・ダンパの基礎データを取得	・バラツキの小さいダンパ技術 ・確実な共振回避とダンピング確保

4. 成果、目標の達成度(1/3)

要素技術	目標・指標 (H27/6 評価時点)	成果 (H27/6 評価時点)	達成度
①低熱伝導率遮熱コーティング	・厚さ0.5mm以上 ・熱疲労寿命が従来並み ・エロージョン試験装置製作および試験着手 ・厚膜DVC成膜技術	・厚さ0.5mm以上の成膜条件で、熱疲労寿命が従来並みであることを確認した。 ・エロージョン試験装置を製作し、試験に着手した。 ・大容量ガンの長溶射距離条件により、1mmの厚膜DVCの成膜を確認した。	達成
②高性能冷却システム	・実機燃焼器＋タービン翼列の気流・伝熱試験による端壁面での詳細データ取得。 ・動翼フィルム効率計測技術の開発着手	・タービン翼列の気流試験・伝熱試験による端壁面での詳細データを取得した。 ・高応答フィルム検出塗料の応答性を確認した	達成
③非定常性制御燃焼技術	・排ガス再循環有、NOx 40ppm以下を確認する。 ・燃焼器内気流データの取得。 ・実機燃焼器形態での火炎形状の把握。 ・燃焼を不安定にする領域を特定する。 ・燃焼振動予測精度の向上。 ・燃料多様化技術の開発。	・排ガス再循環有、NOx 16ppmを確認した。 ・燃焼器内気流データを取得した。 ・実機燃焼器形態での火炎形状を計測した。 ・燃焼を不安定にする領域を特定した。 ・各種パラメータの燃焼振動モードに対する影響を把握した。 ・燃料多様化に伴う、フラッシュバック現象の耐性確認試験方法を開発した。	達成
④超高性能タービン	・タービン効率向上コンセプトの抽出 ・排気ディフューザの改良を行い、圧力損失50%低減 ・ストラットとの干渉把握 ・励振力発生メカニズムの考察・解明	・タービン効率向上コンセプトを抽出し、試設計とシミュレーションで妥当性を確認した ・排気50%圧力損失低減を確認した。 ・ディフューザストラットの流況を可視化し、ディフューザ効率改善の指針を得た。 ・励振力データを取得し現象のメカニズムを考察・解明した。	達成

4. 成果、目標の達成度(2/3)

要素技術	目標・指標 (H27/6 評価時点)	成果 (H27/6 評価時点)	達成度
⑤境界層制御高性能圧縮機	・前方段の負荷を+10%高めた条件で、段効率+1%向上 ・中後方段に対し、多段条件での動翼チップクリアランス流れデータを取得。 ・多段モデル圧縮機試験装置の製作	・前方段の負荷を約10%高め、段効率+1%向上を確認した。 ・多段条件での動翼チップクリアランス流れデータを取得。 ・多段モデル圧縮機試験装置を組み立て完了し試験実施中。	達成
⑥超高性能サイクル	・エクセルギ分析・評価をし、アイデア検討	・発電効率57%以上の達成目途。 ・エクセルギ損失の発生部位を定量評価した。 ・低温熱源を利用した効率改善のアイデアを提案できた。	達成
⑦高機能構造技術	・各種構造コンセプトの比較検討 ・1600℃級でクリアランスデータを取得 ・圧縮機ロータベンチレーション構造計画	・構造コンセプトを考案し、比較検討を実施。 ・1600℃級ガスタービンにおける実機詳細クリアランスデータを取得した。	達成
⑧高性能シール・軸受	・リーフシール基礎試験装置の製作とデータ取得 ・軸受損失40%低減	・リーフシールの基礎データを取得した。 ・軸受損失を47%低減した。	達成
⑨先進製造技術	・長穴加工L/D>250 ・溶接変形の20%以上低減 ・高強度の中子・鋳型の製造 ・GT部品のAdditive Manufacturing技術開発	・長穴加工を実施し、L/D>250を達成した。 ・レーザー溶接工法最適化で、変形を20%低減目途を得た。 ・鋳型原料・スラリー条件を決定し、候補材を抽出した。 ・3D造形で、タービン翼、圧縮機翼、燃焼器ノズルの供試体試作を行った。	達成

4. 成果、目標の達成度(3/3)

要素技術	目標・指標 (H26/7 評価時点)	成果 (H26/7 評価時点)	達成度
⑩超高温強度評価技術	・高温域での設計に向けた材料データ取得 ・超高温域長時間使用後データ取得に着手	・高温域での材料データを取得した。 ・加熱時効試験を実施し、10,000hr以上のデータを取得した。	達成
⑪特殊計測技術	・高温での動翼振動計測技術（非接触）の開発と計測実施 ・高温での動翼チップクリアランス計測準備 ・現地データの遠隔監視	・実機ガスタービンにおいて燃焼器着火後の高温条件でタービン翼振動データを取得した。 ・実機高温タービンのチップクリアランス計測に成功した。	達成
⑫検査技術	・直径φ0.7mmのき裂検知極小センサの試作 ・試計測の実施により、検知精度0.5mm	・直径φ0.7mmの極小ファーマースコープセンサーを試作。 ・0.5mmのき裂検知の目途を得た。	達成
⑬ダンパ振動制御技術	・振動数やダンピングの基礎データ取得	・基礎データを取得し改良ダンパの検討を開発し、ばらつき低減効果を確認した。	達成

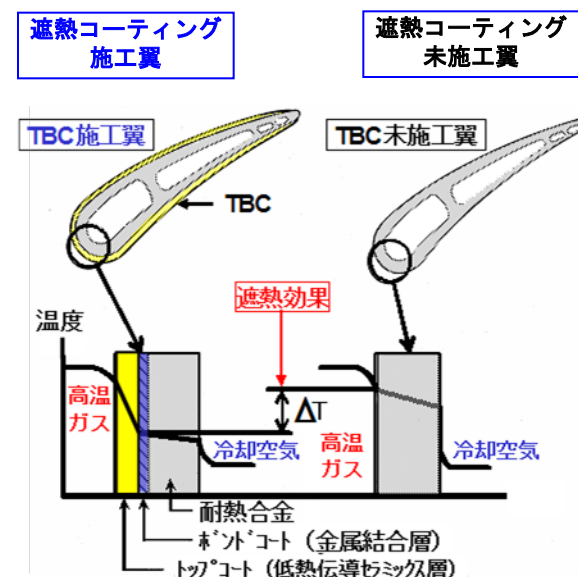
①-1 低熱伝導率遮熱コーティング

・ 1700℃級ガスタービンで想定される超高温の温度環境にて使用可能で、熱伝導率が通常のTBC（※）よりも低く、かつ長期信頼性を確保可能な超高温用TBC材料の開発を目的とする。

※TBC : Thermal Barrier Coating 遮熱コーティング

[1] エロージョン特性の向上を図るための緻密な皮膜で、かつ熱サイクル耐久性確保のためにトップコートに縦割れを導入した緻密縦割れ型（DVC:Dense Vertical Cracking type）TBCを開発した。

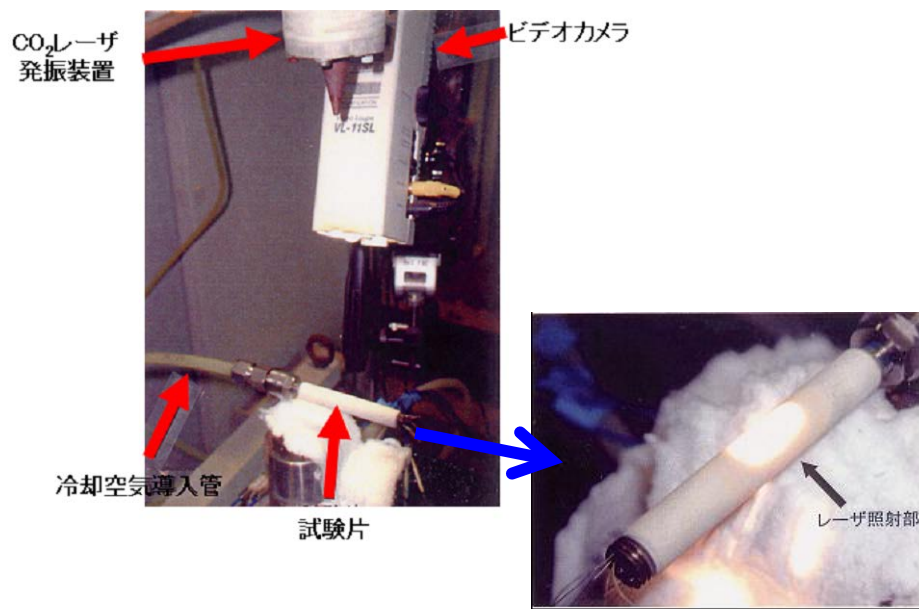
[2] ボンドコートには高い耐酸化性と良好な延性のバランスが重要であり、現用CoNiCrAlYと同等の硬さを維持しつつ耐酸化性を向上させるCoNiCrAlYベースの新素材ボンドコートを開発した。



①-2 低熱伝導率遮熱コーティング

[3] TBCの信頼性向上を図るため、はく離強度評価試験を行うとともに、耐久性評価技術の高精度化のための試験技術開発を行った。

[4] TBCのエロージョンに対する耐久性・信頼性評価するため、実機条件での評価が可能なエロージョン試験装置・評価技術を開発した。



レーザー熱サイクル試験

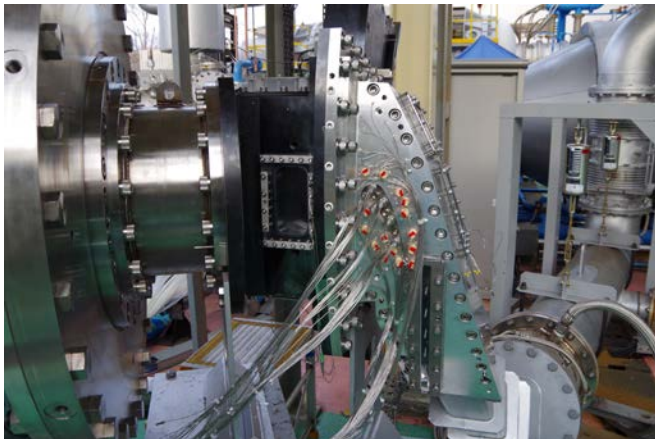


高温エロージョン試験

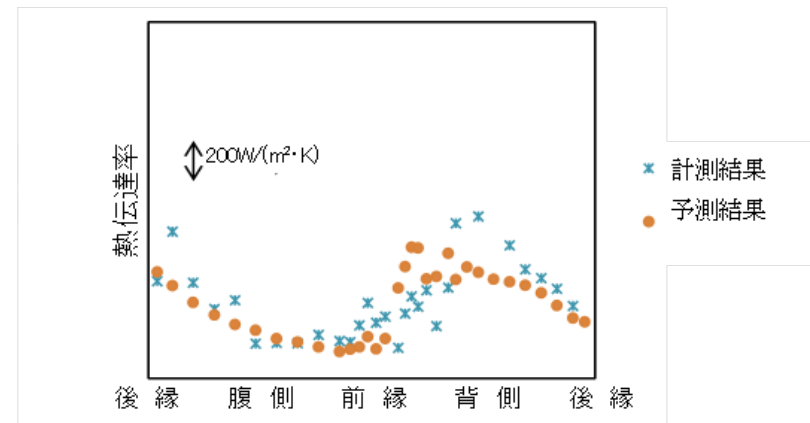
②-1 高性能冷却システム

・冷却翼の温度を所定温度以下を保ちつつ冷却空気流量を低減するためには、熱伝達率分布等を詳細に把握し、冷却空気の配分を調整する必要がある。

- [1] 主流加熱ヒーター及び高応答赤外線カメラ(IRカメラ)を用いた非定常法熱伝達率計測手法を用いて、ガスタービン初段静翼内側シュラウド面の詳細な熱伝達率分布を取得した。
- [2] 動翼先端部に対向する静止部品である分割環の熱境界条件の予測精度向上を目的に前方段回転試験装置を用いて、伝熱試験を行い、CFDが十分な予測精度を有していることを確認できた。



燃焼ガス流れ詳細計測試験装置

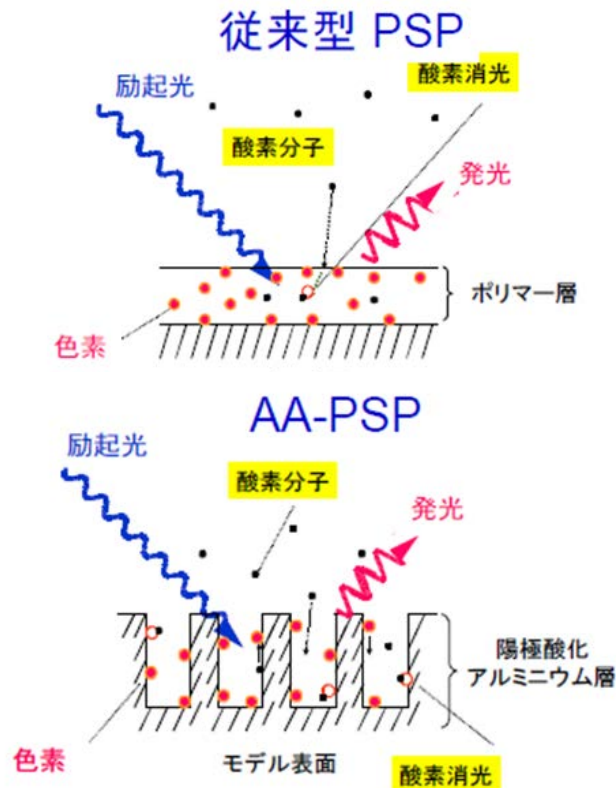


翼面熱伝達率分布

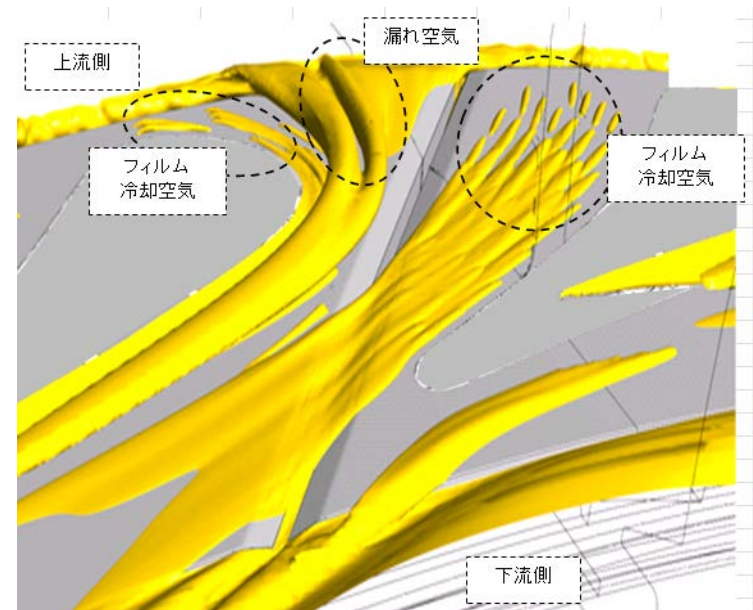
②-2 高性能冷却システム

[3] 高速回転条件する動翼のフィルム冷却試験を行うに当たり、高応答性感圧塗料PSP (Pressure-Sensitive Paint) を塗布した試作品の製作を行い、健全性を確認した。来年度以降、高速回転条件でのフィルム冷却試験を行う予定である。

[4] 翼端壁・隙間周辺部につき、主流部の燃焼ガスと、冷却・漏れ空気の詳細な流れと温度場の把握を目的とし、部品レベルでの詳細な3次元形状を再現したシミュレーション技術の適用・評価、予測結果の検証を行った。



アルミ材料に対するPSP塗布表面SEM画像



静翼の漏れ・冷却空気の等値面

③ 非定常性制御燃焼技術

- ・ 実機の高圧・高温場における燃焼振動などの火炎の非定常性を評価・制御する技術開発を行っている。
- ・ 火炎において放出される OH^* (水酸基)からの紫外光は、燃焼振動などの火炎の非定常性を評価するうえで重要な指標であり、高圧場に適用可能な光学計設計を行った。
- ・ 燃焼振動の圧力変動との同期計測を行い、火炎中の不安定燃焼領域を可視化することにより、燃焼改良検討を行った。

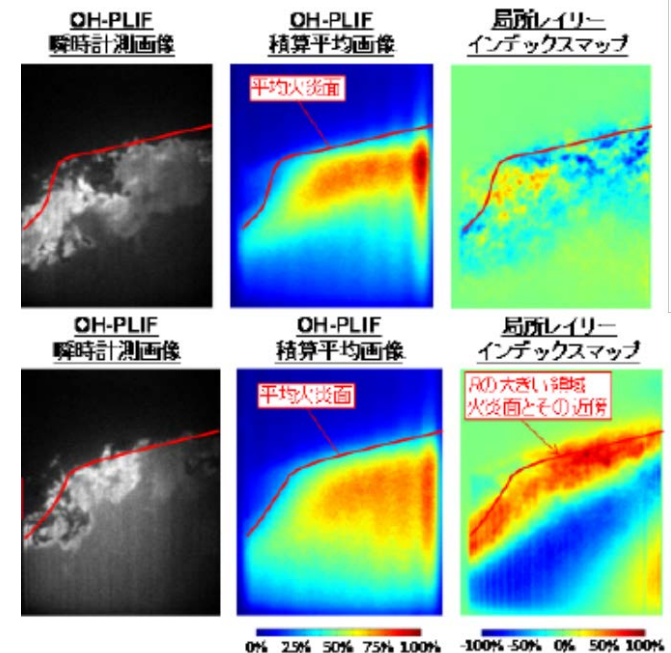


火炎可視化試験装置

上: 安定燃焼時

下: 燃焼振動発生時
(不安定燃焼時)

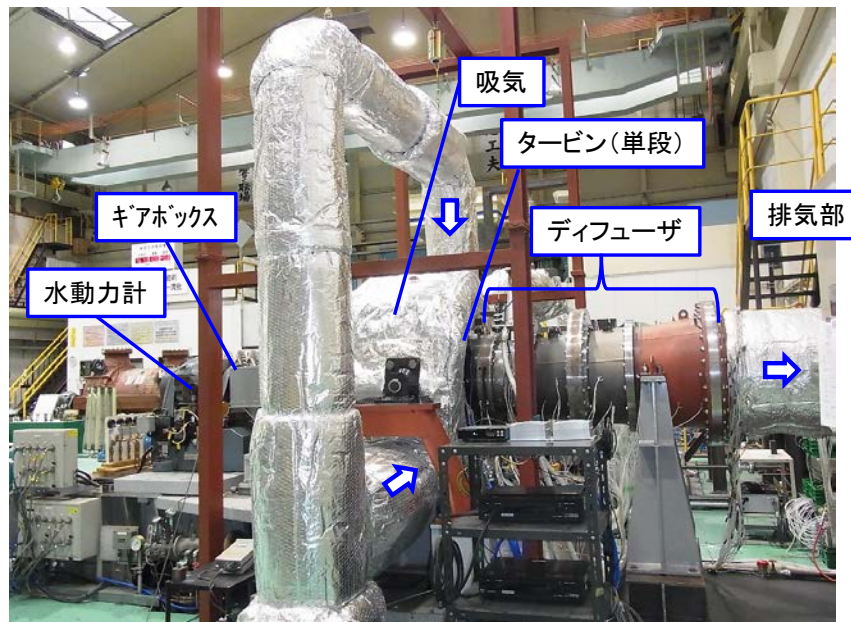
右の赤い部分が
不安定燃焼領域
(レイリーインデックス
とは、安定/不安定を
示す指標)



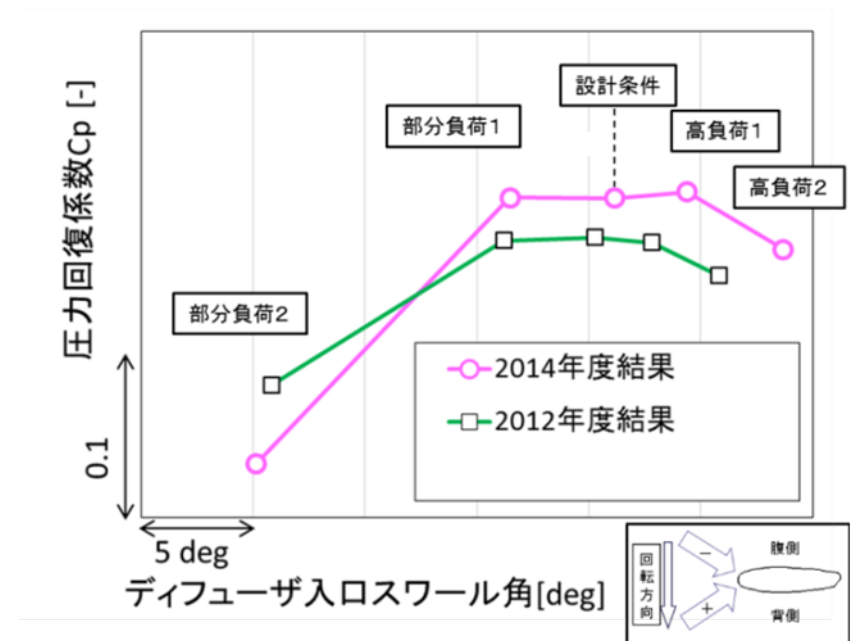
不安定燃焼領域の可視化

④ 超高性能タービン

最適化したディフューザ形状の試験装置にて、タービン効率・ディフューザ壁圧等の計測、及び内部流動可視化試験を行った。設計条件のみならず、広い負荷範囲で設計条件での性能と同等な性能を維持していることを確認した。一方で、部分負荷側での性能に影響があることを確認した（図中、部分負荷2）。



〔最適化したディフューザ形状の試験〕



圧力回復係数(Cp)比較

⑤ 境界層制御高性能圧縮機

- ・ 海外メーカーの圧縮機に対して効率面で凌駕する、効率90%以上を目指す。
- ・ 動翼のチップ漏れ流れ損失の低減を狙い、翼負荷分布をアフトラードイングとした翼型設計、ならびに、反動度・仕事係数の調整を行い、漏れ損失低減効果を流動解析により評価した。
- ・ 三次元流動解析の精度検証と新設計コンセプト適用による効率向上の検証を目的として前方8段リグ試験装置を製作した。来年度以降、試験を実施する予定である。

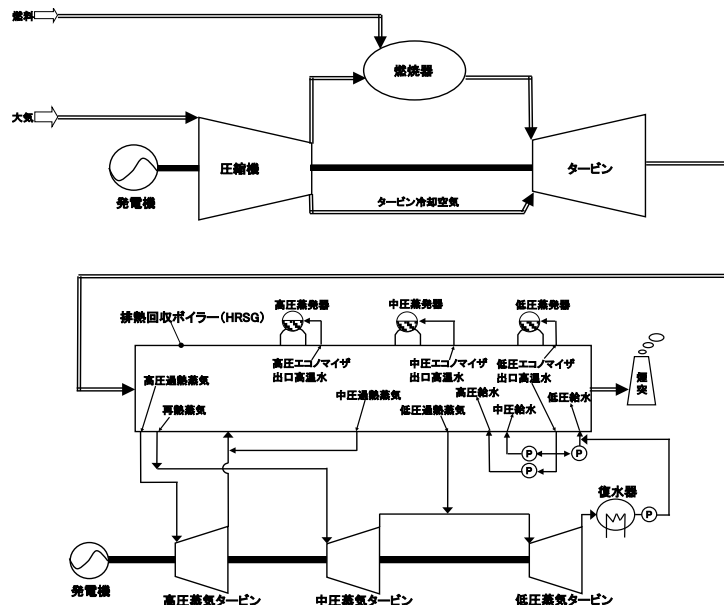


前方8段リグ試験装置

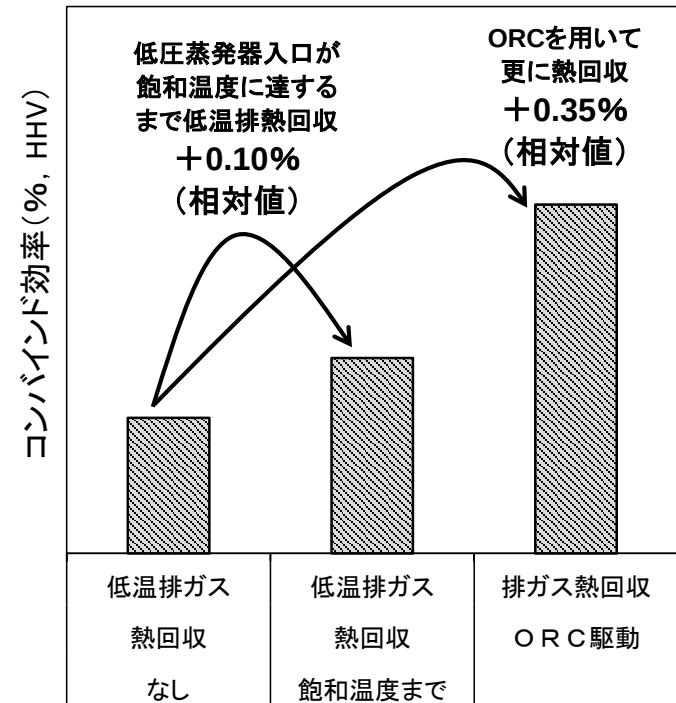
⑥ 超高性能サイクル

・エクセルギ理論を活用し、プラントの各コンポーネントにおけるエクセルギー損失を定量評価し、損失低減策を検討し、プラント構成や圧力・温度などの条件を最適化することにより、効率の最大化を図る。

・低温熱交換器による排ガス熱回収量増大、部分負荷時の燃焼器入口空気予熱、吸気冷却排熱回収の各サイクル高効率化アイデアを提案、効率向上効果を検討した。



対象としたサイクル

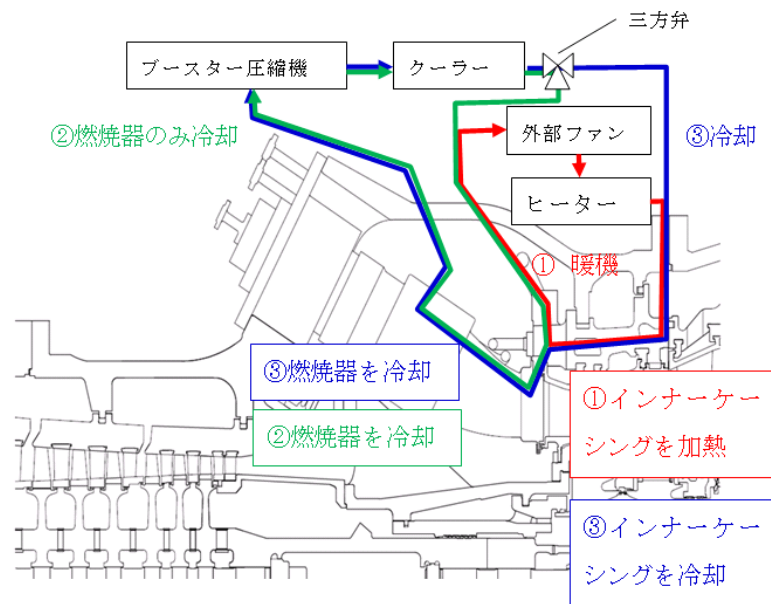


コンバインド効率改善効果

⑦ 高機能構造技術

1700℃級、送電端効率57%HHVを実現可能なガスタービンの開発において、効率向上のための構造面の打ち手として、クリアランス低減構造の検討を行った。

- [1] 空冷式タービン翼環に対し、高性能断熱材をタービン翼環に設置する構造について計画した。
- [2] 圧縮機ロータボアベンチレーションについて構造計画を行った。過渡運転時のピンチポイントを無くし、定格運転時のクリアランスを低減できる目途を得た。



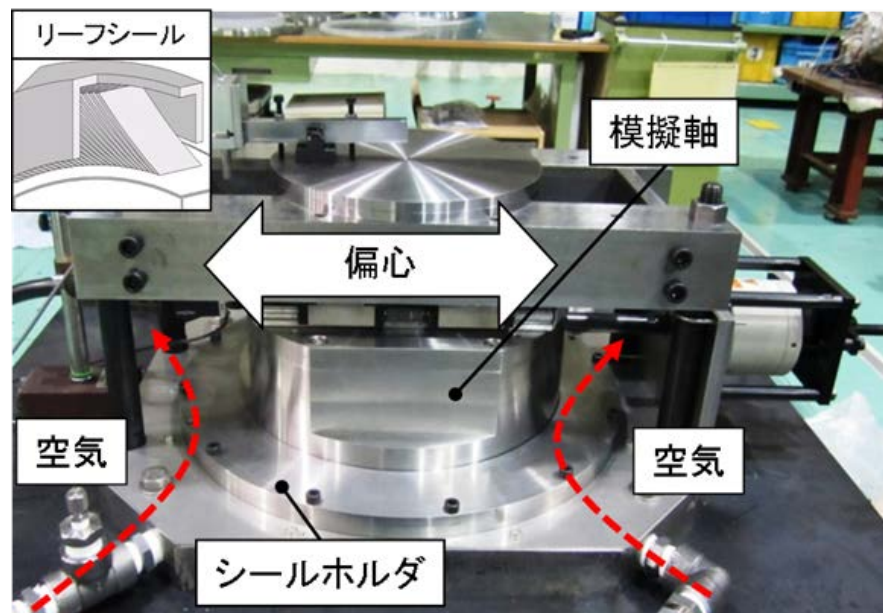
[1]空気冷却式タービン翼環による
クリアランスコントロール

⑧ 高性能シール軸受

クリアランスが過渡的に大きく変化する大変形対応高性能シール技術、及び動力損失及び油量低減を図った高負荷対応軸受技術を開発する。

[1] リーフシールの設計形状及び流体条件パラメータについて、要素試験にてその影響を定量化した。

[2] 低損失軸受を開発、損失を47%低減した。

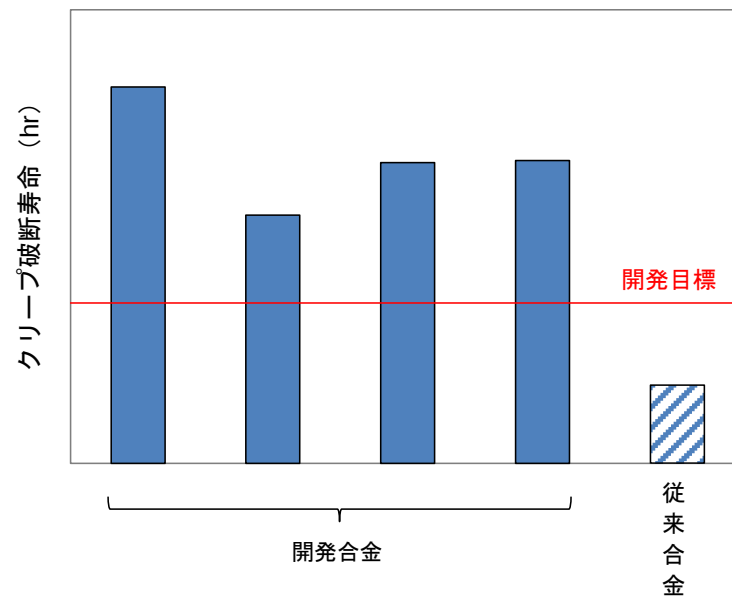


リーフシール要素試験装置

⑨-1 先進製造技術

・結晶性欠陥予測技術の高度化、鋳型および中子の強度向上、鋳造設備の最適化などを含む材料・製造プロセス開発に向け、シミュレーション技術開発、単結晶合金および鋳型の各種特性評価ならびに鋳造設備の最適化開発を実施した。

- [1] 鋳造欠陥であるフレックルの予測技術を開発
- [2] 高強度鋳型材の開発
- [3] 鋳造欠陥を抑制する先進鋳造法の開発（鋳造時の凝固界面近傍の冷却を強化）
- [4] 単結晶合金の材料データ構築と単結晶翼鋳造技術の開発



開発合金のクリープ破断試験結果

⑨-2 先進製造技術

・従来の製造技術の制約を超えた形状の製造や、機械加工や溶接のコスト・リードタイムの低減のため、3Dプリンタを用いた金属積層造形技術をガスタービン部品に適用する技術を開発した。

[1] 材料強度評価データの取得及び、造形可能な形状・精度など金属積層造形に関する技術課題の明確化。

[2] 圧縮機気流試験用モデルの試作

[3] 3D造形技術を応用し、複雑冷却構造タービン翼の試製造、燃焼器Dualノズルの試製造の実施。

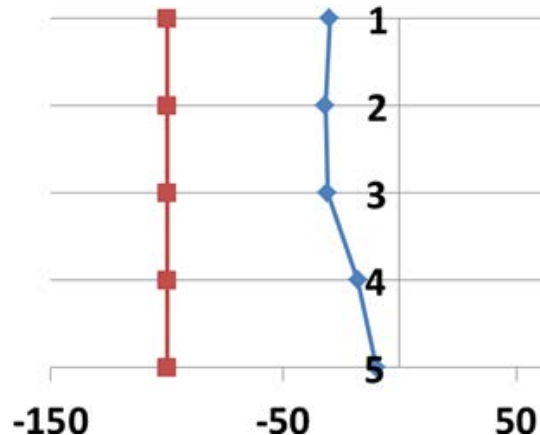
⑨-3 先進製造技術

•超高温で使用するタービン翼の製造では、従来以上に高精度高品質な溶接手法が必要とされる。シュラウド部や翼部の冷却を目的とした内部構造を形成するのに必須な溶接技術の開発や、新単結晶合金の溶接補修技術検討も実施した。

- [1] 静翼シュラウド部を対象にレーザ法による自動溶接法を開発した。
- [2] 低入熱溶接工法により、従来手法に対し変形を半減できる目途を得た。
- [3] 新単結晶合金の溶接補修技術の目途を得た。



(a) リモート光学系による
低入熱溶接工法例



(b) 変形抑制効果の例

低入熱溶接手法による変形抑制の例

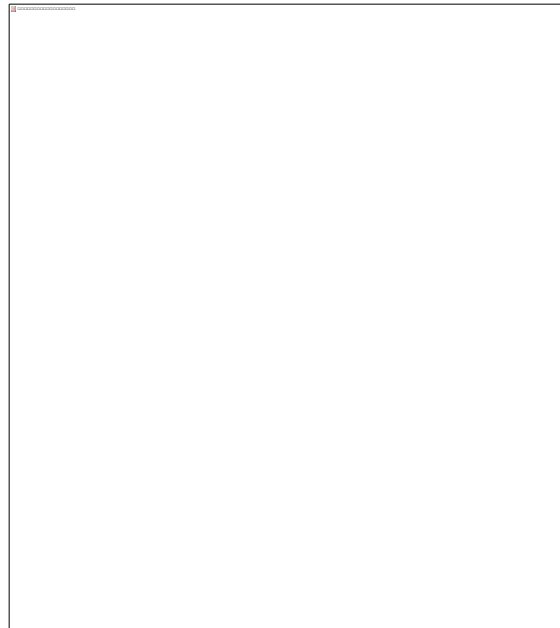
⑩ 超高温強度評価技術

・ 従来を超える超高温域での材料データを取得し、温度勾配が存在する場合のクリープ強度評価手法及び多軸応力場での疲労評価手法精度の向上を目指す。

[1] EBSD(Electron Backscatter Diffraction:電子線後方散乱回折)によるクリープ損傷判定手法の適用性を検討

[2] タービン翼の多軸応力場における疲労評価手法の精度向上

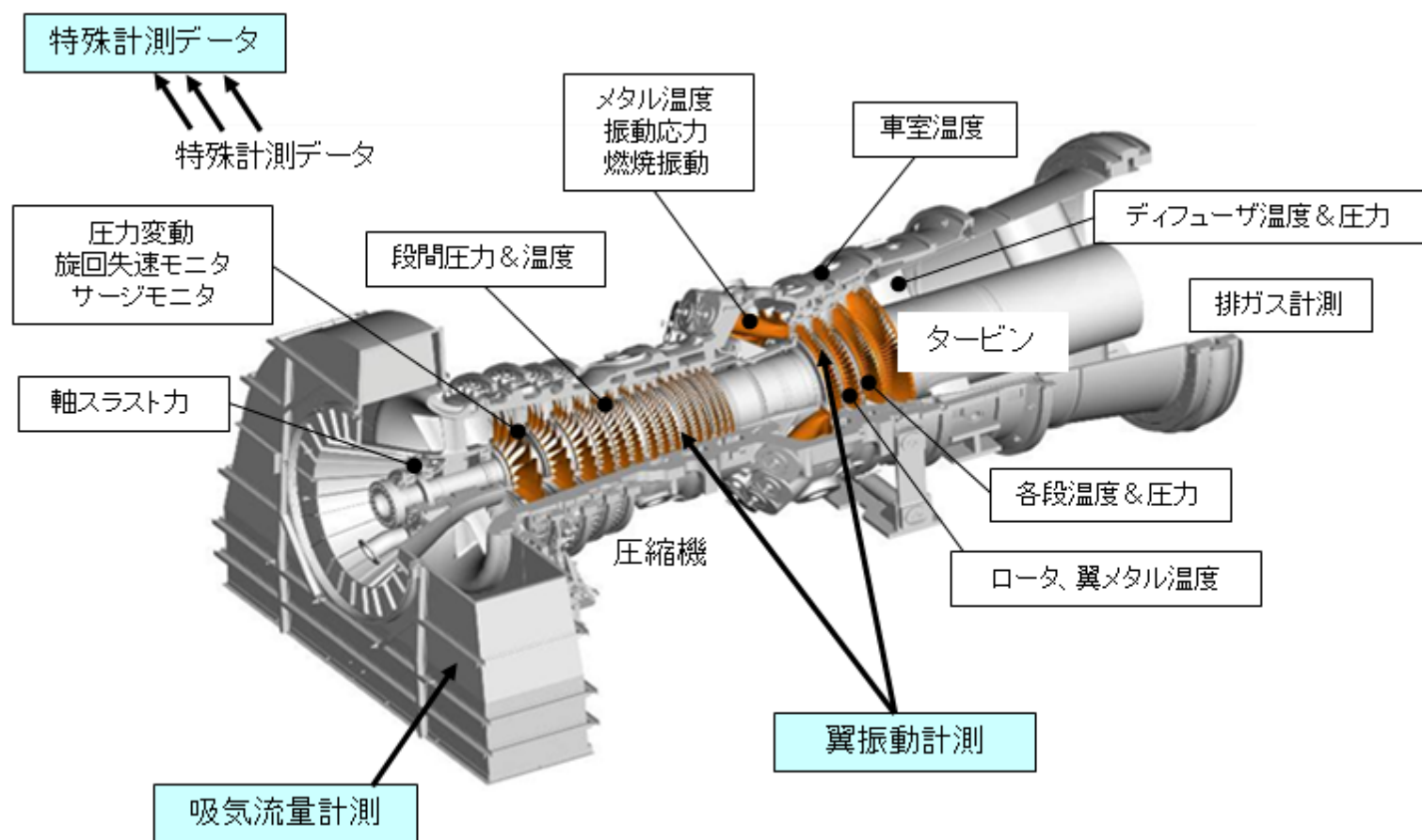
[3] 実機環境を模擬した中空冷却クリープ試験装置の開発



実環境を模擬した中空冷却クリープ試験装置

⑪ 特殊計測技術

・従来の常設監視計器に加え、特殊計測と呼ばれる仮設的に取り付けられたセンサーで、各部の温度、圧力変動、振動、クリランス等を計測する必要がある。
本研究では、超高温環境下での振動計測、データ処理技術、流量計測技術などについて、改良・新技術の要素検証を実施し、実機への適用評価を行った。



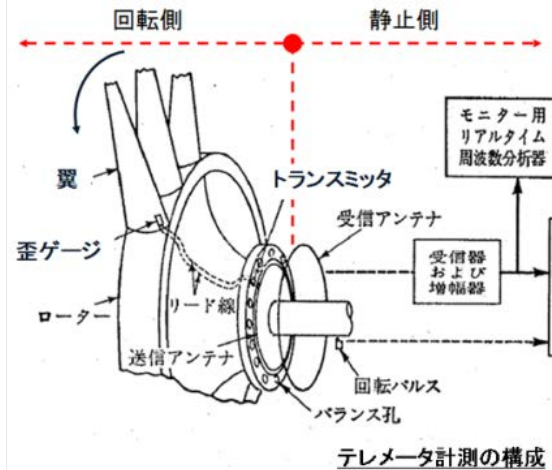
⑪-1 特殊計測技術

[1] 高温タービンBVM (Blade Vibration Monitor : 翼振動監視システム) を開発し実機の計測に成功した。

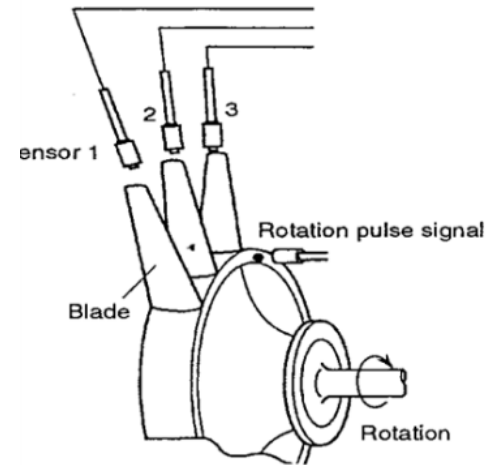
[2] 高温タービンチップクリアランス計測システムを開発し、実機の計測に成功した。



溶射ゲージの施工例



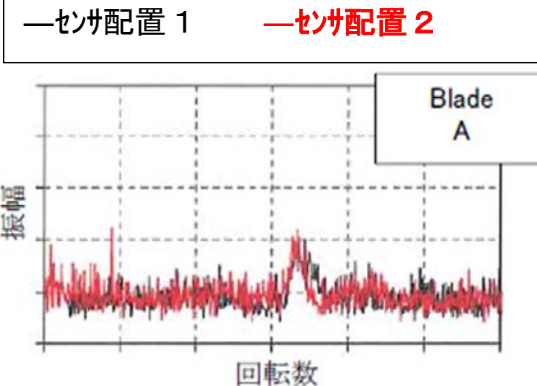
テレメータ計測の構成



(従来) ひずみゲージ+テレメータ計測

(新) 非接触BVM計測

高温タービンの非接触翼振動計測技術

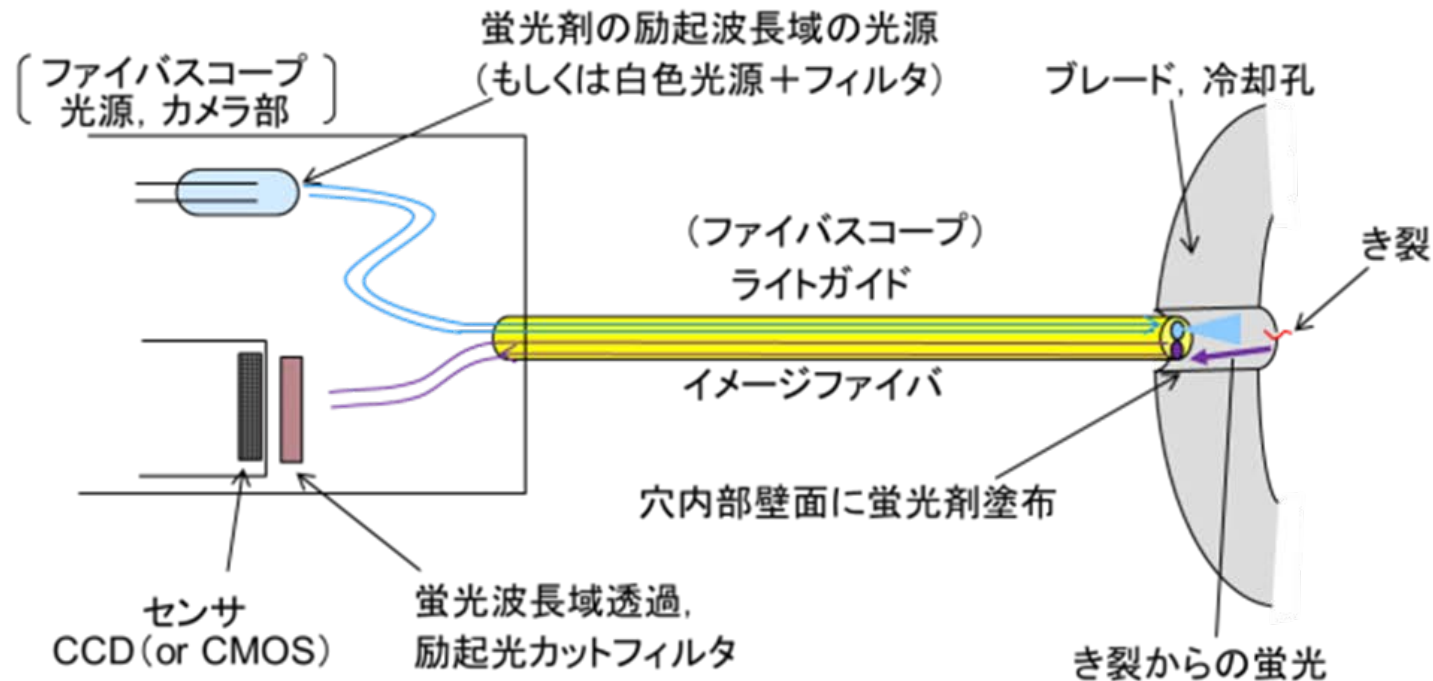


タービン1段動翼のBVM実機計測例

⑫-1 高精度・高機能検査技術

・ 動翼の冷却通路内部等の見えない位置の欠陥を見逃すことなく検出することが重要である。

[1] $\phi 0.7\text{mm}$ の細径ファイバースコープと蛍光剤によるき裂強調手法で、実翼を模擬した冷却孔付近の約 0.5mm のき裂検出ができることを確認した。



ファイバースコープによるき裂蛍光観察

⑫-2 検査技術

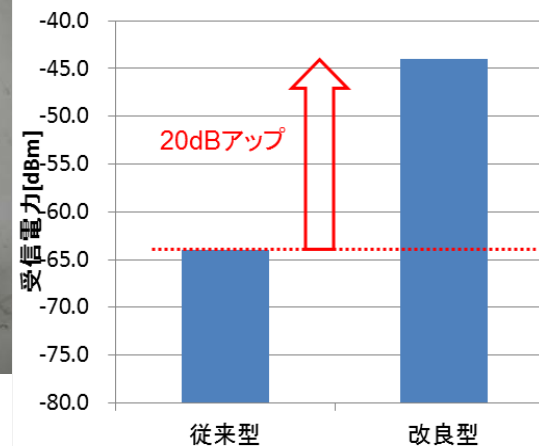
・最新の有線・無線ネットワーク技術を活用し、高温・高速環境下の特殊計測・実機モニタリング手法を開発した。

[1]改良計測通信系を構築し実証試験を実施した。距離50m、遅延1秒以下の性能が発揮できることを確認した。

[2]高周波通信回路の観点からテレメータの送信アンテナを改良し、受信電力20dB向上することが確認できた。



テレメータ改良型アンテナ

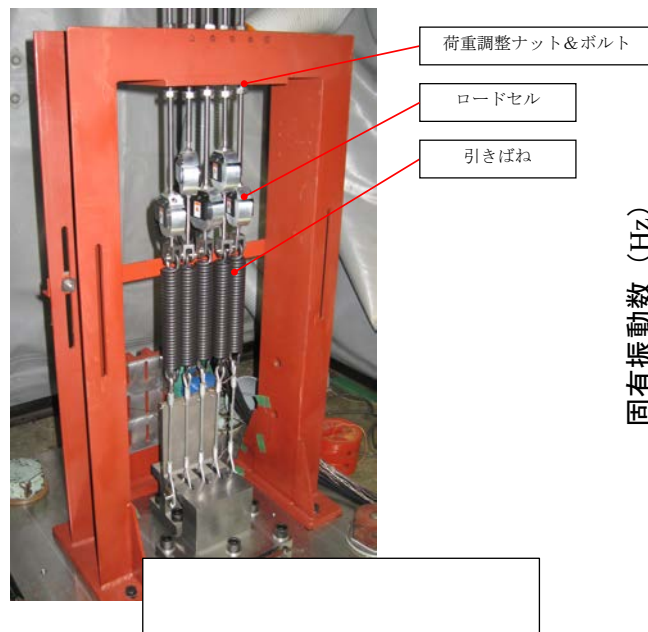


アンテナ改良による受信電力特性向上

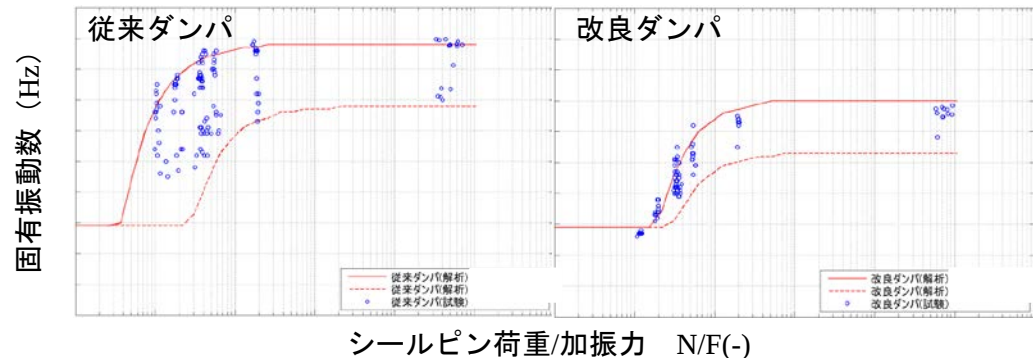
⑬ ダンパ振動制御技術

・高負荷タービンではタービン翼の励振力が大きく、安定したダンピングが得られる高性能ダンパ技術が必要である。

[1] 改良ダンパ構造を開発し、単翼要素試験装置にて改良ダンパの振動数ばらつき低減効果を確認した。



[1]-1 単翼ダンパ要素試験装置



[1]-2 改良ダンパによるばらつき低減

5. 事業化、波及効果

(市場規模)

- ・ 日本、米国、アジアを中心に、1500℃級→1600℃級へ主力機が移行。
- ・ 引き続き、超高性能機へ市場が移行していくことは確実。
- ・ 先進国および途上国のいずれも電力需要が伸びており、引き続き、ガスタービンの市場規模は出力合計40GWレベルで2009年のリーマンショック後の景気減退以降、2030年までに1.5～2倍程度の拡大傾向が見込まれている。
- ・ ハイエンドのGTCC（出力約500MW）80台分に相当する。

(経済性)

・ ガス価格が高い場合は、500MWの発電設備を年間8000hr運用すると、発電効率を52%→57%に高めることにより、年間39億円（9.6%）程度の燃料代の節約。ガスタービン全体の80～90%に波及効果あり。

表：発電効率を52%⇒57%とした場合の年間の燃料代の差

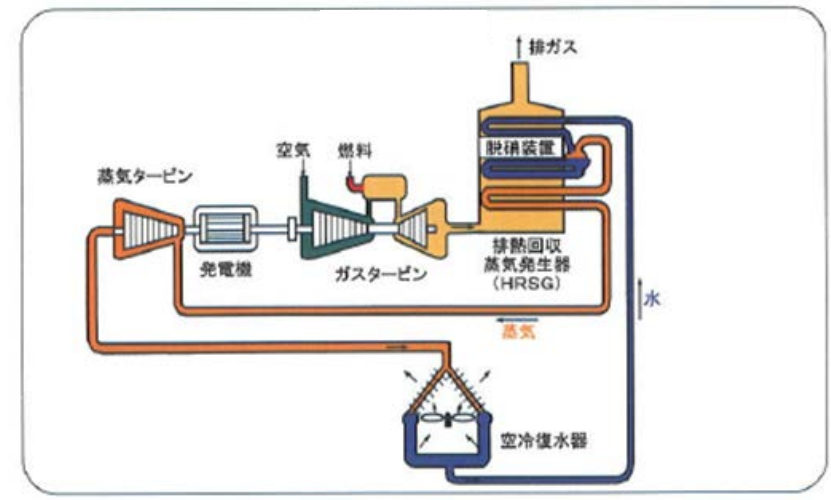
燃料価格	発電効率 52%	発電効率 57%	燃料代の差
17 \$ / MMB t u	447億円	408億円	Δ39億円
10 \$ / MMB t u	263億円	240億円	Δ23億円

(波及効果)

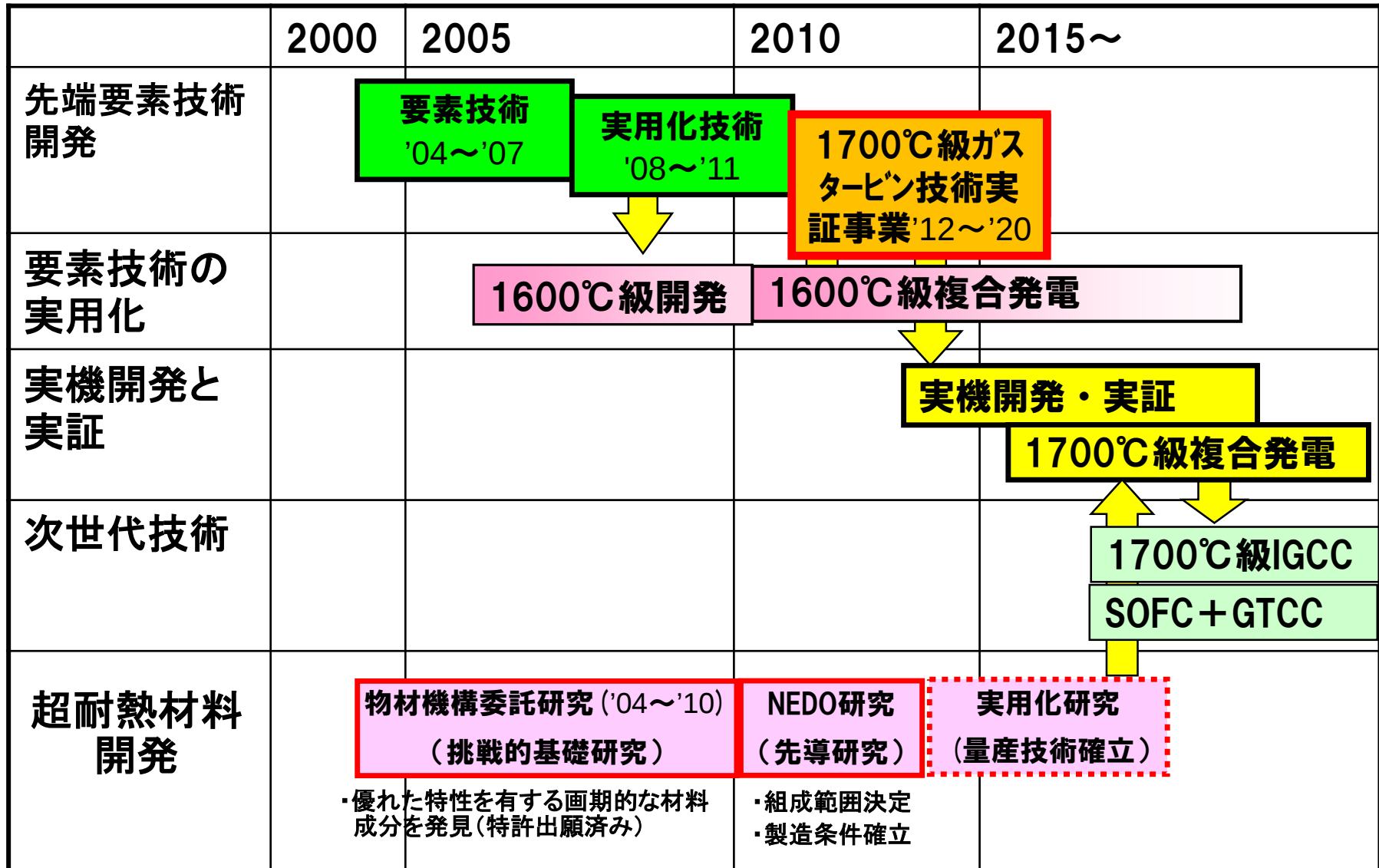
高効率高温ガスタービンは、石炭ガス化発電IGCCの主機の一つとして、適用可能である。1700℃級のIGCCが実現すれば、燃料の多様化によるエネルギーセキュリティ上のメリットに加え、発電効率50%（現状約42%）の実現が期待できる。

実証試験実施場所の候補地

- ・兵庫県高砂市の三菱日立パワーシステムズ(株)社内の実証発電設備にて実施予定。
- ・現在、更新計画に係る環境影響評価を終了し、工事に着手した。



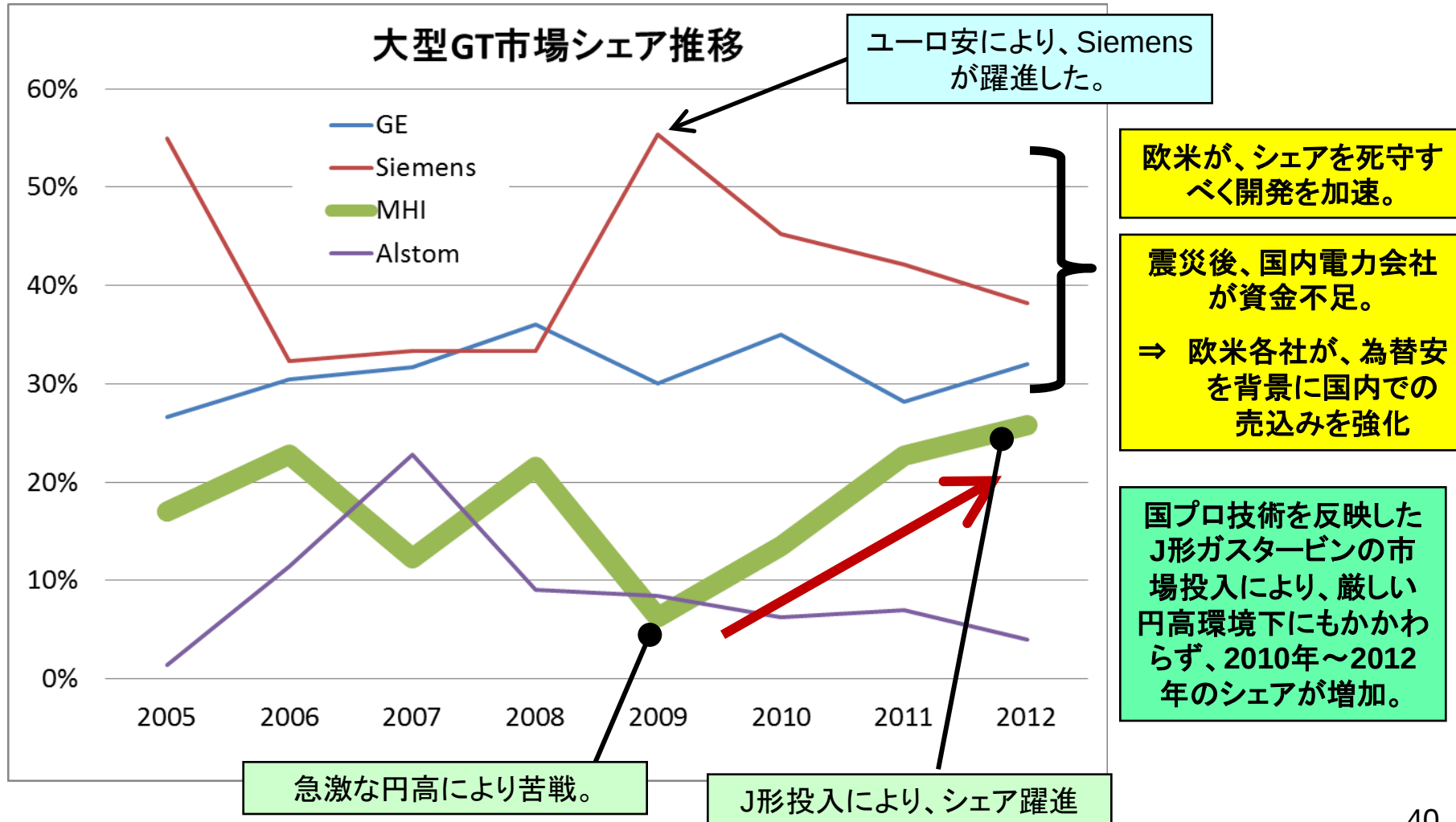
実用化までの技術開発ロードマップ (1,700℃級ガスタービン)



大型ガスタービン(170MW以上)の各国シェアの推移

J形の投入により当社のシェアが躍進

日本は、徐々にシェアを伸ばしてきたが、2009年以降はリーマンショック後の急激な円高のため世界市場で苦戦を強いられた。しかし、国プロ技術を反映したJ形ガスタービンの市場投入により2010年～2012年はシェアが躍進した。



費用対効果・変化への対応等

(CO2削減効果と省エネ効果)

既存の老朽火力発電所の約50%を1700℃級ガスタービンコンバインドサイクルに置き換えた場合のCO2低減効果は6700万ton/年（日本全体のCO2排出量の約5%に相当）、省エネ効果は原油換算で2200万トンと莫大な量と成る。

(LNG輸入額増大への対応)

ガス価格が高い場合（17\$/MMBtu程度）は、500MWの発電設備を年間8000hr運用する場合を想定すると、発電効率を52%→57%に高めることにより、年間39億円程度の燃料代の節約となる。

(震災への対応)

大型ガスタービンでも全長は約15m程度であり、工場で組立てた後、輸送し現地に設置することができる。従って、工期がわずか数か月で発電を始めることも可能（石炭火力：36～48ヶ月、原子力10年）となる。

蒸気が要らない「空冷燃焼器」も視野に入れた開発を行うこととした。

空気燃焼器：従来は燃焼器の燃焼筒を蒸気で冷やしているが、これを新たに空気で冷やすことにより、プラント全体の蒸気配管が大幅に簡略化され、起動時の補助ボイラが不要となる。

(自然エネルギー—普及に伴う負荷変動への対応)

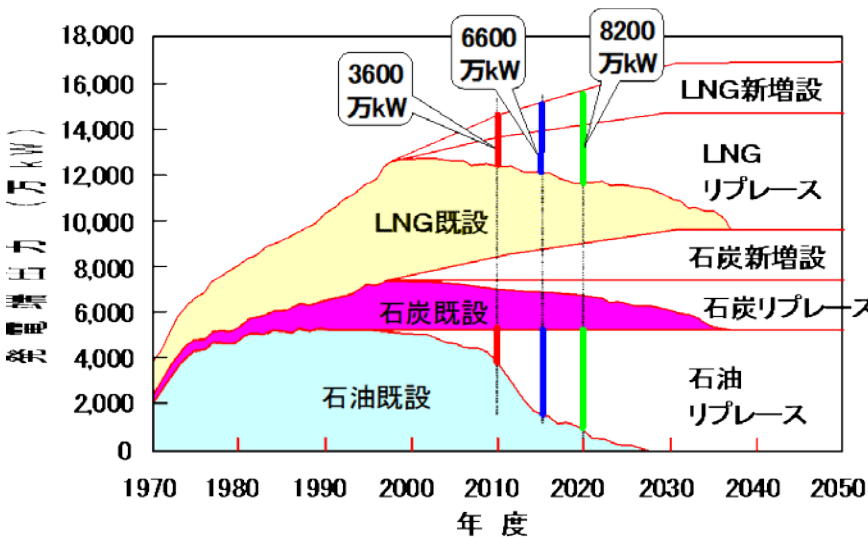
1分間で発電量を約50MW増減させることができる。この「高い負荷変動吸収能力」により、発電量の変動を広域でカバーし、再生可能エネルギーの普及を促進する。

このように運用性として、急速起動や負荷変化能力も考慮して構造検討を実施する。

既存の火力発電所を1700℃級ガスタービンコンバインドサイクルに置き換えた場合のCO₂低減および省エネ効果

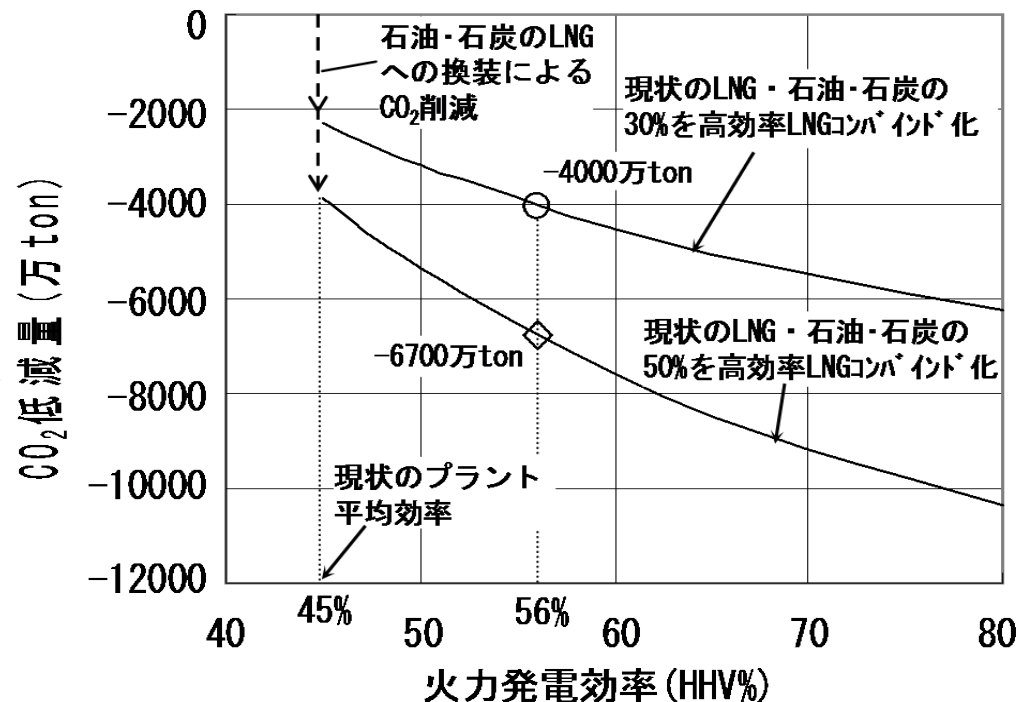
現状のLNG(平均発電効率45%), 石油および石炭火力を置き換えた場合の効果

置きかえる 既存発電所の割合	CO ₂ 削減量	全発電所からの排出量に占める割合	省エネルギー効果 (原油換算)
30%	4000万ton/年	10%	1300万トン
50%	6700万ton/年	17%	2200万トン



わが国における電源構成の推移(プラント寿命40年)

出典: 電力中央研究所



1700℃級ガスタービンCO₂低減効果

変化への対応

(環境問題への対応)

- ・環境問題の高まりにより自然エネルギーの普及に拍車
- ・ガスタービンなどの**高負荷吸収能力の大容量電源が必要**

(国内リプレース需要への対応)

- ・導入後30 年以上を経た**老朽火力のリプレース需要**

(急速な円高とその後の景気減退時のシェア確保)

- ・リーマンショックに伴う急速な**円高**のため**世界市場で苦戦**
- ・**国プロ技術を反映した1,600℃級J 形ガスタービンの市場投入によりシェアが躍進**

(東日本大震災後の原子力発電所稼働停止に伴う電力不足への対応)

- ・東日本大震災後の**原子力発電所の稼働停止に伴う電力不足**。
- ・**1600℃級J形ガスタービンを試運転直後から発電を継続**。

(短期間での発電開始ニーズへの対応)

- ・ガスタービン単体ならば工場で組立てた後、輸送し現地に設置、数か月で発電が可能

(自然エネルギーの普及と燃料多様化に伴う運用性ニーズへの対応)

- ・中・低カロリー燃料や原油焚きなどへの対応

平成25年11月20日 総合科学技術会議第103回評価専門調査会 議事録に基づく、平成28～32年度の事業内容見直しについて(1/4)

指摘事項

- ① 事業原課が主体となって事業評価検討会を設置して、事業開始4年目の実証機建設前に中間評価を行い、補助率も含めて**事業の見直し**を行う

対処方針

事業見直しには以下の3点の考慮が必要。

①事業環境の変化

海外競合メーカーが想定より早く高効率機を公表。国際競争を勝ち抜くため、さらなる要素効率向上研究が必要。

②技術開発の進捗状況

・1700℃級実証機のためには、バックアップ技術の開発やシミュレーション技術、実証後に必要な性能向上技術の開発が必要不可欠。

③実証フェーズでの送電必要性

実証フェーズでは発電・送電することに対して、事前に補助対象と補助対象外の範囲を明確に分けておくことが必要。

○対処方針

・実証試験自体は当初の予定通り進めるが、発電に直接寄与する実証発電設備は、ガスタービン本体含めすべて**事業者自前費用で建設し(建設費約500億円(ガスタービンを含む発電所全体と試運転の総額)削減)**、補助対象に含めないこととする。

・平成28年度以降の補助事業申請対象範囲は、**発電に直接寄与しない1700℃での実証に関連する研究開発** および さらに高性能化を目指すためのより難易度とリスクの高い**要素技術研究に係る費用に限定する**。

平成25年11月20日 総合科学技術会議第103回評価専門調査会 議事録に基づく、平成28～32年度の事業内容見直しについて(2/4)

具体的には、以下のような費目を補助対象とする。

《補助事業(平成28年度～平成32年度)内容》

○従前

- ・これまでの要素技術開発の成果を適用することによる実証機の設計
- ・実証機の製作と初回品検査(寸法や品質の検査)
- ・実証機の各部品の隙間間隔をチェックしながら数万点の部品の組立
- ・実証機のロータを用いた高速バランス試験の実施
- ・実証機の据付、実証試験の実施
- ・実証試験における特殊計測
- ・運転データを評価・分析し、商用化を加速するための改良検討

○変更後

- ・設計アイデアを実現するための製造技術・検査技術の研究
- ・超高温燃焼器の**バックアップ技術**の開発研究
- ・超高温高負荷タービンの性能信頼性を確保するための**バックアップ技術**の研究
- ・圧縮機作動安定実現のための運用方法及び**バックアップ技術**の研究
- ・過酷環境下で確実にデータを取得するための特殊計測技術の研究
- ・発電実証試験の作動状態量を事前に予測する**大規模数値シミュレーション**
- ・発電実証試験における**特殊計測実施**
- ・試運転データを評価・分析し、商用化を加速するための改良検討
- ・**更に競争力を高めるための性能向上／信頼性向上研究**
より難易度とリスクの高い海外他社が容易に追従できない要素技術の研究

平成25年11月20日 総合科学技術会議第103回評価専門調査会 議事録に基づく、平成28～32年度の事業内容見直しについて(3/4)

指摘事項

② 中間評価に基づく事業の見直しの一環として、**補助率の見直し**を行うに当たっては、その段階では既に要素技術の開発は基本的に終了していることや、実証機については実証試験終了後には商用機として活用できること等を考慮して、適切な補助率を設定する必要がある。

対処方針

・前述の諸事情を考慮し、1700℃級実証機の設計・製造・試運転と、さらなる要素効率開発を並行して進める必要がある。

・補助率の引き下げについては、国が支援すべき分野とメーカーによる自主開発を行う分野を分けて、前者については要素技術研究のリスクを考慮すると、メーカー単独では負担が大きいため、最先端の要素技術開発という位置付けで、**従来通りの補助率(2/3)の研究実施とする(予算削減による実質補助率は27%)**。

・**補助率が現状より低く設定された場合**には、**研究の規模を縮減し、実施項目を大幅に絞り込む必要**がある。

・米国、欧州いずれも多額の補助金で国がメーカーを支援しているため、現状世界で3か国(米独日)しか新規開発できない状態から、**我が国は脱落**する事態に陥る恐れがある。

平成25年11月20日 総合科学技術会議第103回評価専門調査会 議事録に基づく、平成28～32年度の事業内容見直しについて(4/4)

指摘事項

③ 8年目から9年目の実証試験、検証段階においては、実証機による連続運転が行われ、商用機と同様に売電による収入が得られるということも想定される。これを考慮して、段階的に補助率を引き下げていくという対応を検討するとともに、事業開始までに**売電による収入の見込みを反映する形で国の予算計画の見直しが必要**である。

対処方針

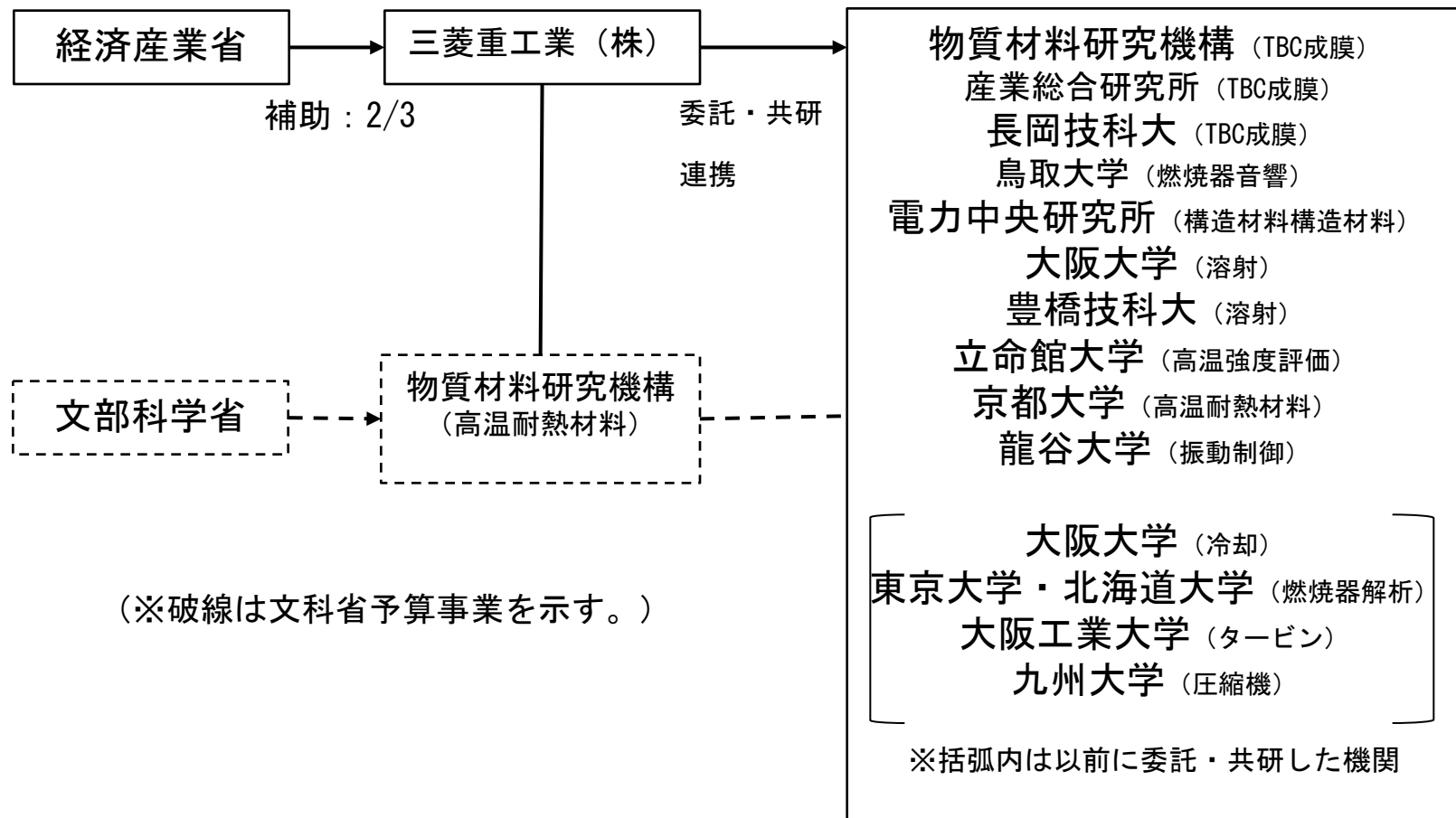
平成31年度及び平成32年度に**売電収入が見込まれる場合の実施スキーム**として以下のとおりとする。

- ・1700℃級実証機の試運転では、発生電力の送電を行う必要がある。試運転終了後も、長期実証のため、継続して運転・送電を行い、データを取得し続ける必要がある。
- ・実証試験自体は当初の予定通り進める。「本来補助事業自体で収入を得ることを前提としていない」ということを考慮し、発電に直接寄与する実証発電設備は、ガスタービン本体含めすべて**事業者自前費用で建設し、補助対象に含めないこととする。**
- ・平成28年度以降の補助事業申請対象範囲は、発電に直接寄与しない**1700℃での実証に関連する研究開発** および さらに高性能化を目指すためのより難易度とリスクの高い**要素技術研究に係る費用に限定する。**

6. 研究開発マネジメント体制

産官学連携・省庁間連携の体制を組んで推進中です。

○ プロジェクトリーダー：三菱重工業（株） 伊藤栄作



(参考)特許・論文等件数

	表彰	論文	投稿	発表	特許	電力会社 視察
件数	1 件	1 0 件	7 件	3 7 件	2 2 件	1 2 0 回

7. 前回(H25)中間評価結果

評価WGコメント

○指摘事項無し

評価WGコメントに対する対処方針

○指摘事項なし

8. 評価

8-1. 評価検討会

評価検討会名称

高効率ガスタービン技術実証事業中間評価検討会

座長

大山 力 横浜国立大学 大学院 工学研究院 教授

評価検討会委員

委員

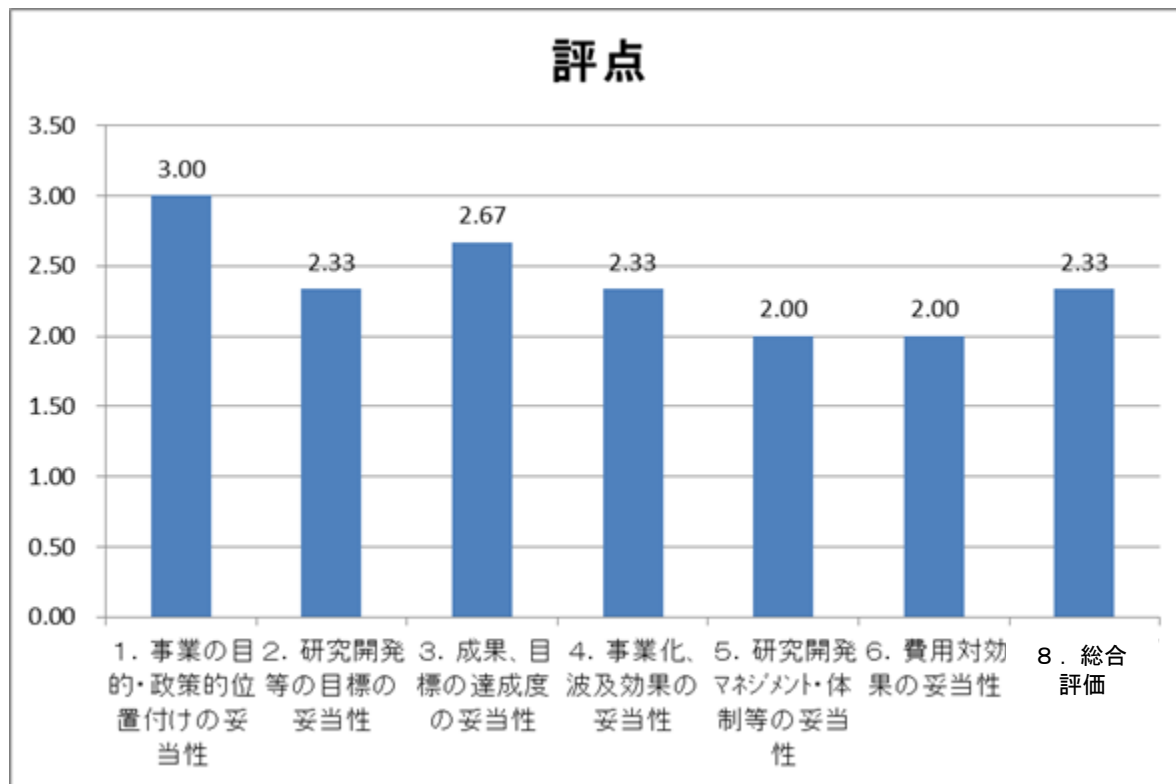
太田 有 早稲田大学 基幹理工学部 機械科学・航空
学科 教授

藤井 俊英 電気事業連合会 技術開発部長

8-2. 総合評価(コメント)

○4年間に及ぶ要素技術開発期間が概ね終了し、14項目に及ぶ技術課題に関してもほぼ問題点を克服し、平成28年度以降に予定されている実証機の開発・製作・実証運転に向けての準備は整っている。4年間に及ぶ要素開発において、新たに開発・研究された数多くの先進技術は、当該GTの分野のみならず、広く機械工学分野全般の著しい進歩を促す結果になっている。更に、海外メーカーとの激しい開発競争を勘案し、今後の研究計画を見直し、更なる高効率化を目指した高度でリスクの高い要素技術の開発を積極的に推進していく姿勢は評価できる。当該分野において、今後も我が国が指導的役割を担っていくためには、国の補助による本事業の更なる加速が必要となる。

8-3. 評点結果



【評価項目の判定基準】

評価項目1.～5.

3点: 非常に重要又は非常によい

2点: 重要又はよい

1点: 概ね妥当

0点: 妥当でない

6. 総合評価

(中間評価の場合)

3点: 事業は優れており、より積極的に推進すべきである。

2点: 事業は良好であり、継続すべきである。

1点: 事業は継続して良いが、大幅に見直す必要がある。

0点: 事業を中止することが望ましい。

9. 提言及び提言に対する対処方針

今後の研究開発の方向等に関する提言

- 補助率については、十分に予算額を絞り込んだ結果を受け、2/3にすべきとの結論となった。
- 今後のさらなる高効率化競争に勝ち残るためにも、H28年度以降の予算はバックアップ技術、シミュレーションの精緻化、特殊計測技術の必要性に応じて適切に配分すべきである。
- 1700℃級GTの商用化という最終的な目標に対して、各構成要素の技術的課題および、GTシステム全体としての問題点を、従来までの1500℃級、1600℃級で整理・検討し、1700℃級へと応用する仕組みを、技術情報や知的資産として公開し、産業界で有効に活用する方法を構築して頂きたい。これにより、動力・エネルギー分野の技術開発を大きく牽引することが期待できる。
- 1700℃級GTの更に先を見越し、更なる性能向上と技術革新を図るために不可欠な要素技術の絞り込みと解決策や新技術の提案を積極的に行い、産学官が連携した研究体制を構築することが必要であろう。
- 高効率化以外の観点からも、ランニングコスト低減につながる研究開発目標を具体的に盛り込んでほしい。

提言に対する対処方針

- 海外の急速な技術開発の現状を鑑み、さらに+50℃程度過酷な条件と、さらに+1%発電効率を高めることを「要素技術の目標」として設定する。これらのストレッチ目標を目指した検討を通じて、より厳しい未知の領域における技術課題を顕在化することにより、バックアップ技術の完成度を高め、実証の成功確率を高めると共に、実証後の継続的な信頼性向上と発電効率向上の実現につなげていく必要がある。また、これを確実に実施するために、シミュレーションの精緻化、特殊計測技術を並行して実施する必要がある。H28年度以降の予算は、このバックアップ技術、シミュレーションの精緻化、特殊計測な技術の内容を詳細に検討し、適切かつ必要な額を申請する予定である。
- 来年度以降5年間の実施計画を具体化し、得られる知見や最新技術を、世界に先駆けて運用中の1600℃級ガスタービンの長期データと関連付けて評価し、実証機の設計に反映していく。これにより、高信頼性と高効率を効果的に実現し、競争力を高め商用化を進める方針である。また、研究の成果を学会発表や論文、特許などを通じて公開して動力・エネルギー分野の技術開発を大きく牽引する所存である。
- 要素技術に関しては上述のストレッチ目標を設定し、より厳しい条件において最新の数値シミュレーションを実施し作動条件を評価して、より厳しい未知の領域における技術課題を顕在化することにより、注力すべき要素技術を絞り込んでいく予定である。各技術課題に対して、1600℃級までの運用データも考慮しつつ、これまでの延長上で解決できる範囲か、新技術が必要かを判断し、必要なものについてはシミュレーションによるフィジブルスタディを経て新技術の提案を行っていく。解決策や新技術の具体例としては、例えば、微細冷却構造の開発による冷却効率向上や、形状変更による荷重や応力の緩和、新素材による長寿命化、斬新な形状による空力性能向上、各部隙間のアクティブコントロールなどが考えられる。それを大学などの研究機関と共有することにより、研究のモチベーションとして活用してもらうことにより、補助事業としての「産官」連携に、「学」も積極的に関与できる体制を構築する。
- これまで1700℃級でも、従来GTのメンテナンス基準と同等の条件を前提として、要素技術を開発しており、それをブレークダウンしたものが現在の各要素技術の目標値となっている。今後の研究では、ランニングコスト低減につながる研究開発目標を新たに設定し、明記する予定である。

B: 高湿分空気利用ガスタービン 技術実証事業

目 次

1. プロジェクトの概要
2. 目的・政策的位置付け
3. 目標
4. 成果、目標の達成度
5. 事業化、波及効果
6. 研究開発マネジメント・体制等
7. 前回(H25年度)中間評価及び総科フォローアップにおける指摘事項に対する対応
8. 評価
9. 提言及び提言に対する対処方針

1. プロジェクトの概要

概 要

電力産業の短中期的ニーズに対応する中小容量機(10万kW程度)の高効率化のために、高湿分空気利用ガスタービン(AHAT)の実用化に必要な多段軸流圧縮機、多缶燃焼器等の開発を行うとともにシステムの長期信頼性等の実証等を行う。

実施期間

平成24年度～平成29年度(6年間)

予算総額

58.4億円(補助(補助率:2/3))

年度	H24	H25	H26	H27	H28	H29
億円	7.2	10.7	14.9	6.9	14.2	4.6

実 施 者

三菱日立パワーシステムズ(株)、(一財)電力中央研究所、住友精密工業(株)

プロジェクト リーダー

三菱日立パワーシステムズ(株) 吉田 正平 (主管技師)

2. プロジェクトの目的・政策的位置付け

平成20年3月に閣議決定された「Cool Earth ―エネルギー革新技术計画」において、天然ガスを燃料とするガスタービンの高効率化が環境負荷低減の実現のための重要な技術開発であると位置づけられている。

また、平成23年8月に制定された「第4期科学技術基本計画」においては、安定的なエネルギー供給と低炭素化の実現のため火力発電の高効率化に資する技術開発は重点的な取組として位置づけられている。

平成25年6月に閣議決定された内閣府の「日本再興戦略」の「日本産業再興プラン」、「戦略市場創造プラン」のなかで、高効率火力発電の先進技術開発の加速が宣言されている。

平成26年4月に閣議決定された「エネルギー基本計画」では、高効率LNG火力発電の技術開発、効率的な利用や輸出を促進すると明記されている。

これらの政策を実現するために、発電規模に応じた発電熱効率の一層の向上が必要であり、ガスタービン高温部品の技術向上と発電サイクルの工夫が必要不可欠である。また、環境負荷の少ない発電システムを開発することは、電力の安定的かつ低廉な供給を確保する上で極めて重要な対策である。

電力産業の短中期的ニーズに対応する中小容量機(10万kW程度)の高効率化のために、高湿分空気利用ガスタービン(AHAT: Advanced Humid Air Turbine)の実用化に必要な多段軸流圧縮機、多缶燃焼器等の開発を行うとともにシステムの長期信頼性等の実証等を行う。

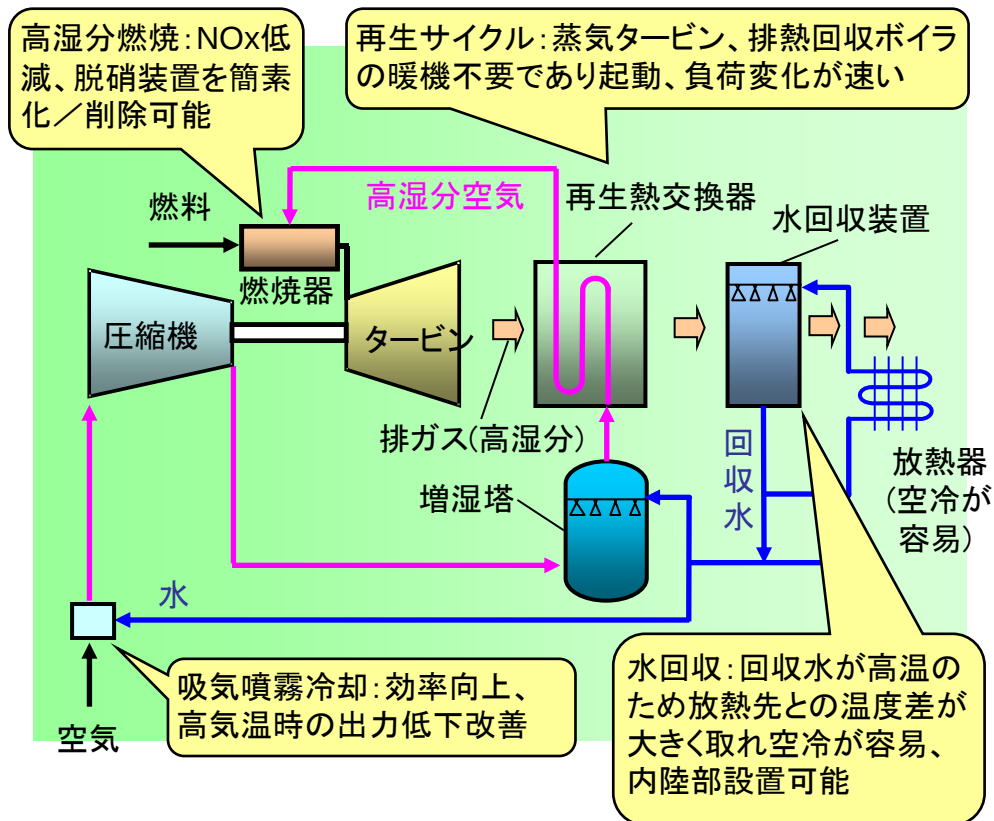
国の関与の必要性

- AHATは、世界初の新型ガスタービン発電システムであり、全体システム特性や、高湿分圧縮機、高湿分燃焼器、高湿分冷却翼などで構成される高湿分ガスタービンは、**未知なところが多く難度が高い技術**である。開発リスクが高いため、国の関与のもとで実用化技術開発を推進し、民間企業だけでは達成し得ない、世界をリードする技術確立する。
- 我が国はエネルギー資源に乏しく、海外に対するシステム輸出が外貨獲得と資源権益の確保の観点で重要である。**海外では、ガスタービンの有力メーカーが、高い水準の政府補助を受けて※開発を加速しており、我が国が同等の補助を行わないことは国際競争力を削ぐことに繋がる。**
※米国DOEは、Advanced Hydrogen Turbine Development(2005-2015年)でGE社に81M\$(補助率60%)、SIEMENS社に82M\$(補助率60%)の補助を実施
- 本技術を実用化することで、天然ガス利用促進によるエネルギーセキュリティ確保と高効率化によるCO2削減を実現できる。現段階では、高度なガスタービン製作技術は欧米、日本など限られた先進国しか有していないが、**開発の勢いを緩めた場合、先進国以外の企業にキャッチアップ**され、エネルギーセキュリティの確保等が不可能となる。
- 本事業は実証の段階となるものの、以下の**技術的、事業的なリスクを同時に有しており**、民間企業が安定して開発を継続するには、**2/3の補助率が必要**である。
 - (1) 実証機では、要素開発機器の組み合わせだけでなく、排ガスからの回収水の再利用など従来にない技術開発内容を含んでおり、開発リスクが要素研究と同等程度に大きい。
 - (2) 次世代電力供給システムは、開発、建設リードタイムが長く、技術実証期間も含めると投資回収に時間を要する。民間事業者が投資リスクを負ったまま実証事業を継続するために、補助率を高く維持することが必要である。
 - (3) 日本再興戦略を受けた早期実証開始のため、発電機等の削除により合理的に実証することを計画しており、実証期間中、実証終了後も売電収入が得られないため、事業者の投資のリスクが相当に大きい。

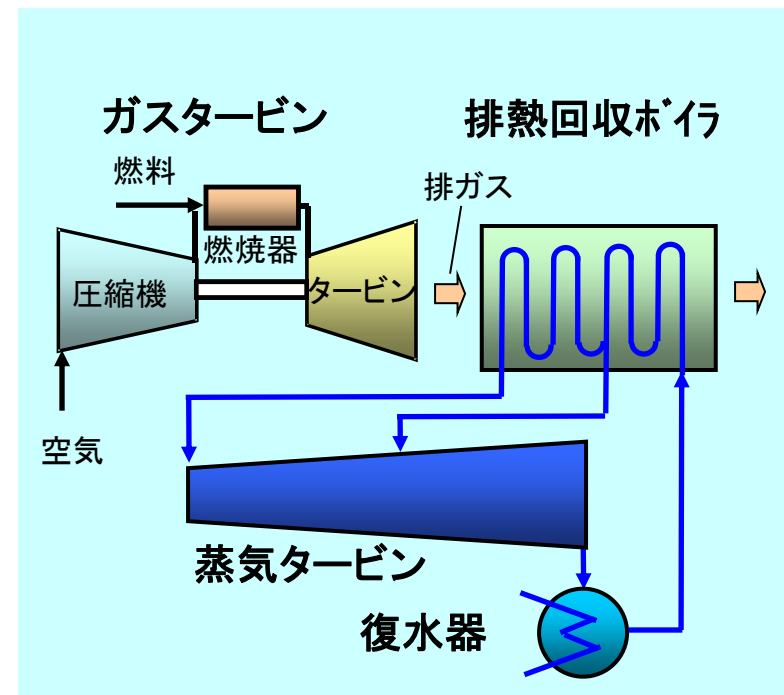
3. 目標

AHATとは(1)

日本オリジナルの技術であり、高湿分空気を利用したガスタービン単独の発電システムである。コンバインドサイクルの蒸気タービン蒸気量に匹敵する湿分を増湿塔で加え、ガスタービン排熱を高湿分再生熱交換器で回収し、ガスタービンで利用する。



AHAT

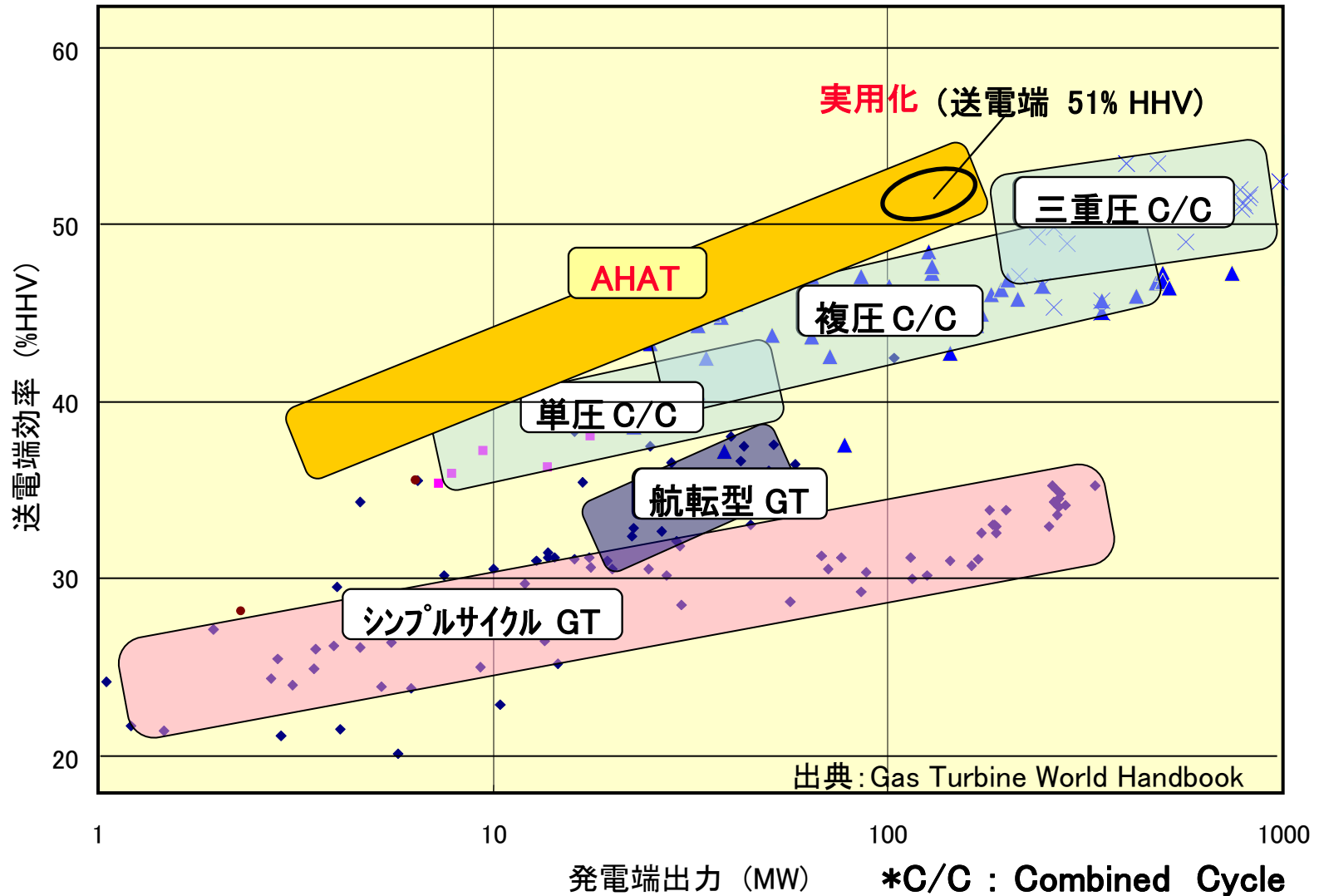


コンバインドサイクル

3. 目標

AHATとは(2)

中小容量機(10万kW程度)で、コンバインドサイクルの効率を凌ぐ新型ガスタービン発電システムである。



3. 目標

AHATとは(3)

AHATは、運用性、環境性、経済性に優れた発電システムである。

◎:特に優位 ○:優位 -:同等

項目		AHAT		コンバインドサイクル
運用性	起動時間	◎	ST系なく、起動時間短い	ST HRSG暖機要
	負荷即応性	◎	GT単独運転並み	ベース
	最低負荷	◎	高湿分燃焼により低負荷で運転可能	低NO _x 安定燃焼の制限
	大気温度特性	○	吸気噴霧冷却:高気温時の出力低下小	GTおよびST出力低下
	制御	○	GT制御が主でシンプル	GT、ST制御あり
環境性	NO _x 対策	○	GT:高湿分空気燃焼、GT排気:必要に応じ脱硝装置	GT:低NO _x 燃焼器、又は、水噴射、又は蒸気噴射、GT排気:脱硝装置
	立地制約	◎	水回収水温60℃程度:冷却塔冷却 内陸部にも設置可能	ST出口温30℃程度:復水器冷却 沿岸(海水への温排水)
経済性	機器構成、工期	◎	ST系なく、構成シンプルで工期も短い	ベース
	配管	-	GT圧縮機吐出圧力低く、薄肉 ただし、再生サイクル配管径大	HRSG 高圧系圧力高く、肉厚 ただし、主蒸気配管径小
	水質管理	-	水処理装置(イオン交換樹脂等)設置	薬注による pH 調整
	ユーティリティ消費	-	純水(圧縮機吸気噴霧冷却用)、アンモニア(脱消用)、冷却水(冷却塔補給用)	純水(HRSGブロー補給用)、 アンモニア(脱消用)、冷却水(補給用)
	メンテナンス費用	○	構成機器少ない(排熱回収系、水回収系)	排熱回収系、ST系、復水器系

GT:ガスタービン、ST:蒸気タービン、HRSG:排熱回収ボイラ

3. 目標

目的1: AHATの信頼性を確保するガスタービン技術の開発 (テーマ(1)~(4))

目的2: AHATシステムの長期信頼性等の実証 (テーマ(5)~(7))

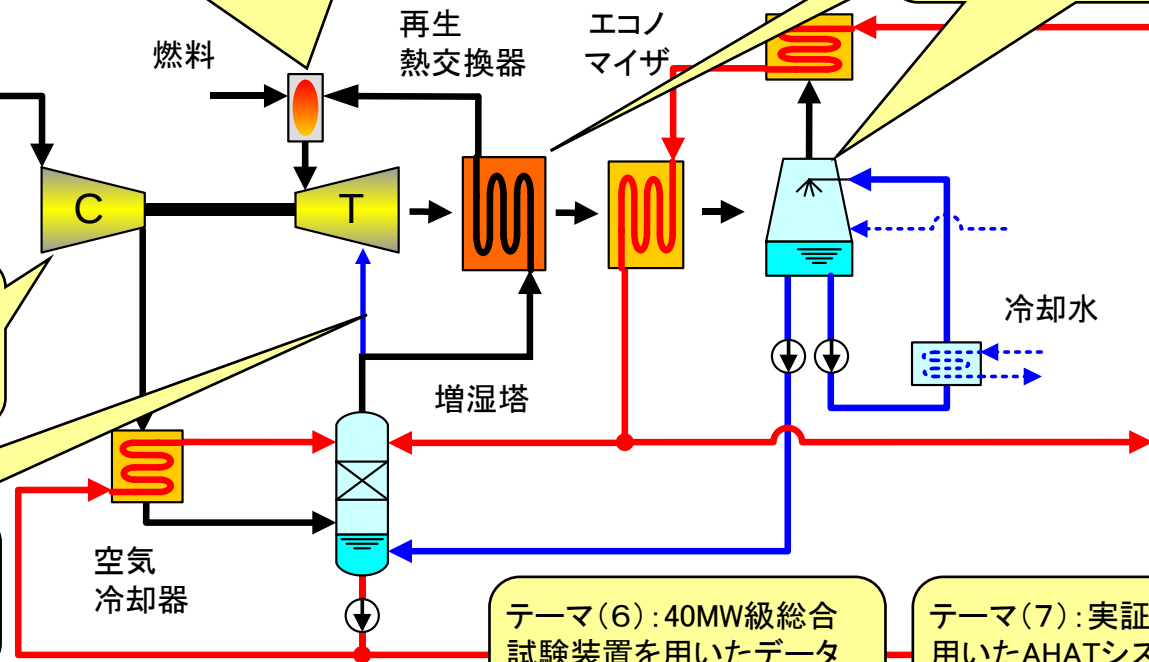
テーマ(2): 圧縮機動力の低減や発電効率及び信頼性向上に向けた吸気噴霧・液滴の蒸発促進技術

テーマ(4): LNG以外の燃料(バイオガス等)も利用可能となる燃料多様化に向けた高湿分燃焼技術の開発

テーマ(5): 実証プラント製作に向けた主要機器のスケールアップ技術の開発

テーマ(1): 高湿分圧縮機における非定常性挙動予測等の信頼性向上に向けた技術の開発

テーマ(3): 高湿分冷却翼における主流ガス熱負荷低減に向けた技術の開発



テーマ(6): 40MW級総合試験装置を用いたデータ検証・実証プラントへの反映

テーマ(7): 実証プラントを用いたAHATシステム全体の長期信頼性等の実証

図 AHATの開発課題と本事業の目的

AHATの開発課題と本事業の目的

目的1. 電力産業の短中期的ニーズに対応する中小容量機(10万kW程度)の高効率化のため、AHATガスタービンの実用化に必要な多段軸流圧縮機、多缶燃焼器等の開発を行う。

(高信頼性化技術: AHATの信頼性を確保するガスタービン技術)

テーマ(1): 高湿分圧縮機における非定常性挙動予測等の信頼性向上に向けた技術の開発

テーマ(2): 圧縮機動力の低減や発電効率及び信頼性向上に向けた吸気噴霧液滴の蒸発促進技術

テーマ(3): 高湿分冷却翼における主流ガス熱負荷低減に向けた技術の開発

テーマ(4): LNG以外の燃料(バイオガス等)も利用可能となる燃料多様化に向けた高湿分燃焼技術の開発

目的2. AHATシステムの長期信頼性等の実証を行う。

テーマ(5): 実証プラント製作に向けた主要機器のスケールアップ技術の開発

テーマ(6): 40MW級総合試験装置を用いたデータ検証・実証プラントへの反映

テーマ(7): 実証プラントを用いたAHATシステム全体の長期信頼性等の実証

3. 目標

AHATの開発目標

下表の要素技術項目は、天然ガスを燃料とした10万kW級中容量高湿分空気利用ガスタービンシステムにおいて、送電端効率51%、NOx排出濃度10ppm以下(16%O₂)を達成可能にする。

要素技術	目標・指標(事後評価)	目標・指標(中間評価)	妥当性・設定理由・根拠等
(1)高湿分 圧縮機	圧縮機の吸込流量20%削減と信頼性確保の両立	既存の圧縮機に対して適用可能な流量削減技術の確立	フルAHATシステムの流量バランスを成立させるのに必要な削減量として20%を選定した。
(2)蒸発 促進技術	吸気噴霧量3.5%以上と信頼性確保の両立	軸流圧縮機での吸気噴霧試験による主流温度低下および空力上の信頼性の確認	既存の圧縮機に対して大幅な改造を伴わない限界噴霧量として3.5%を選定した。
(3)高湿分 冷却翼	静翼冷却効率70%以上、空力損失10%削減を両立する冷却技術の開発	・熱負荷低減構造の最適化検討 ・タービン内部流れ制御構造の最適化検討	AHATの優位性を損なわないため、高熱負荷条件でも冷却空気量と空力損失を低減できる技術開発が必要。
(4)高湿分 燃焼器	LNG以外の多様な燃料に対してNOx:10ppm以下となる高湿分燃焼器の設計技術開発	・多様化燃料の燃焼特性評価 ・燃焼器冷却促進構造の性能評価	高湿分空気による燃焼では燃焼の不安定化が懸念される、低NOxと燃焼安定性の両立を勘案し設定した。
(5)スケール アップ技術	・再生熱交換器の大容量化、長期信頼性の確保 ・大容量化に適した水回収装置の検討	・材料面、構造面での大容量化技術の開発 ・実証機向け水回収装置の基本仕様検討	・大型化による表面処理皮膜の均一化、コア製作・組立の検討、確認が必要。 ・大容量化向きの充填物式の性能検証により、実証機仕様を策定する。
(6)40MW級 総合試験	・高湿分ガスタービンの構成機器の健全性確認 ・実証機の性能予測	・高湿分ガスタービンの構成機器の健全性確認 ・熱効率および部分負荷特性、負荷追従性の評価	・実証機設計の前に、定格出力による運転と機器健全性確認、不具合摘出が必要。 ・ユーザーとしては定格性能以外の部分負荷等の特性も重要視している。
(7)実証機 試験	実証機による、システム全体の長期信頼性の実証	実証機の構成および仕様検討	実用化に先立ち、商用機に準じた規模での長期信頼性検証が必要。

4. 成果、目標の達成度

各実施項目はH27/6の中間評価時点の目標を達成しており、順調に進捗している。

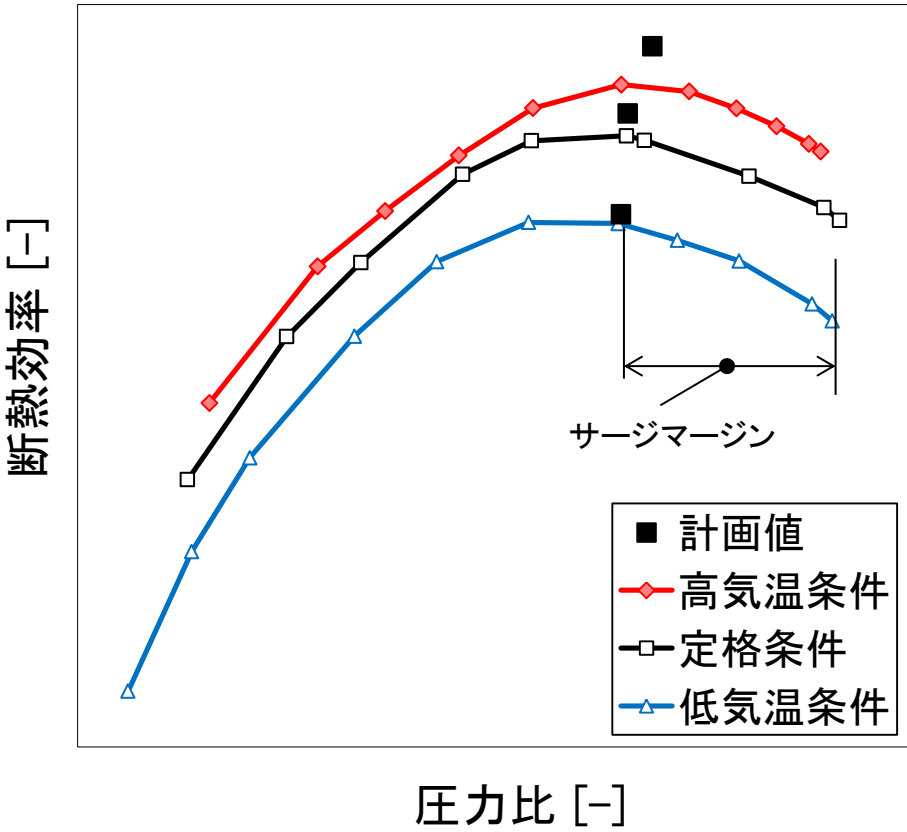
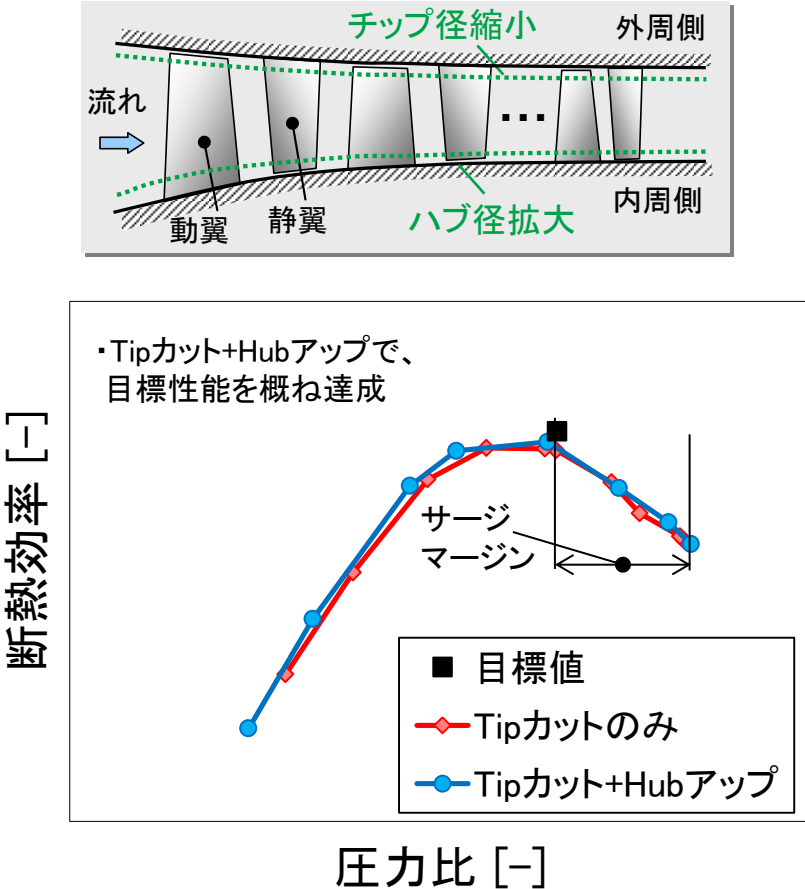
要素技術	目標・指標(中間評価)	成果	達成度
(1)高湿分 圧縮機	既存の圧縮機に対して適用可能な流量削減技術の確立	既存のベース圧縮機のフローパターンを維持し、チップカットとハブアップすることで目標性能およびサージマージンの低下を最小限に抑制できることを確認した。	達成
(2)蒸発 促進技術	軸流圧縮機での吸気噴霧試験による主流温度低下および空力上の信頼性の確認	最大3.1wt%噴霧を実施し吸気噴霧冷却時の特性を取得、主流温度低下等の効果を確認し、性能予測アルゴリズムにより3.5wt%噴霧時の空力上の信頼性を確認した。	達成
(3)高湿分 冷却翼	・熱負荷低減構造の最適化検討 ・タービン内部流れ制御構造の最適化検討	・主流制御型フィルム冷却構造をタービン翼に適用し、フィルム冷却性能向上を翼列試験で確認した。 ・翼側壁面に凹凸をつけ、翼間の流れを整流化する技術を開発した。	達成
(4)高湿分 燃焼器	・多様化燃料の燃焼特性評価 ・燃焼器冷却促進構造の性能評価	・要素燃焼試験で濃度、燃料温度の影響を評価した。 ・フィルムレス冷却促進構造の伝熱性能を評価した。	達成
(5)スケール アップ技術	・材料面、構造面での大容量化技術の開発 ・実証機向け水回収装置の基本仕様検討	・40MW機用1段モデルでの処理試験により均一な耐食皮膜を確認。商用機仕様コアの大型化品試作、自動溶接によるコア接続溶接を検討して最適条件を確認した。 ・水回収試験結果により性能予測手法の精度を検証し、実証機向け水回収装置の基本仕様を検討した。	達成
(6)40MW級 総合試験	・高湿分ガスタービンの構成機器の健全性確認 ・熱効率および部分負荷特性、負荷追従性の評価	・200時間以上の運転により、高湿分ガスタービンの構成機器の基本的な健全性を確認した。 ・実データから加湿による熱効率向上効果を確認し、部分負荷特性を評価した。また、動特性解析により負荷追従性を評価した。	達成
(7)実証機試験	実証機の構成および仕様検討	実証機の機器構成と機器仕様を検討した。	達成

(1) 高湿分圧縮機：流量削減方法検討

- ・ベース圧縮機の翼型、取付角度等を維持した流量削減手法を検討
- ・TipカットとHubアップの組合せにより流量削減しつつ効率等の目標性能を概ね達成、サージマージン低下を最小限に抑制できることを確認

◆Tipカット+Hubアップによる流量削減

◆詳細設計に対する性能の大気温度特性



(2) 蒸発促進技術：軸流圧縮機での吸気噴霧試験

最大3.1 wt%噴霧を実施しWAC※(吸気噴霧冷却)時の特性を取得、3.5 wt%噴霧時の空力的な信頼性計算の妥当性を確認した。

※WAC: Water Atomization Cooling

表 定格出力で2.5 wt%噴霧時の試験結果

項目	単位	試験結果
噴霧割合 (吸気質量流量基準)	wt%	2.5
ガスタービン出力	MW	51
大気温度	℃	26
圧縮機入口空気 温度低下量	℃	7.5
圧縮機出口空気 温度低下量	℃	67
吸込空気流量 増加割合	%	6.7

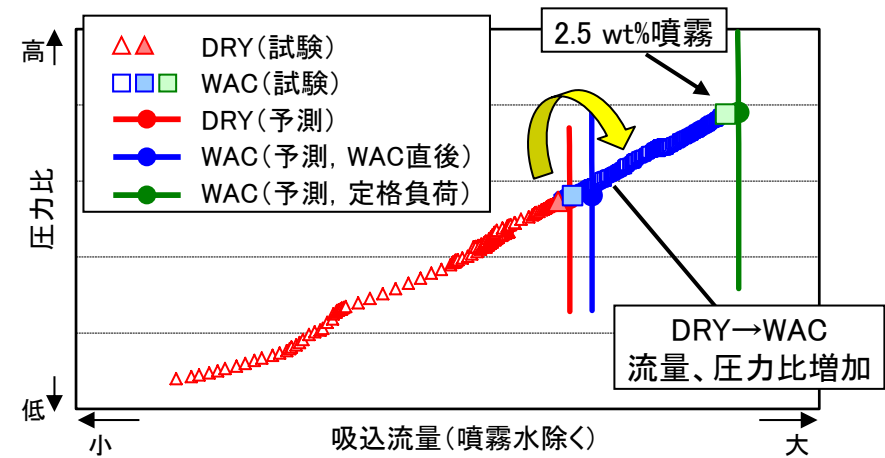


図 WAC試験時の流量-圧力比特性の測定結果

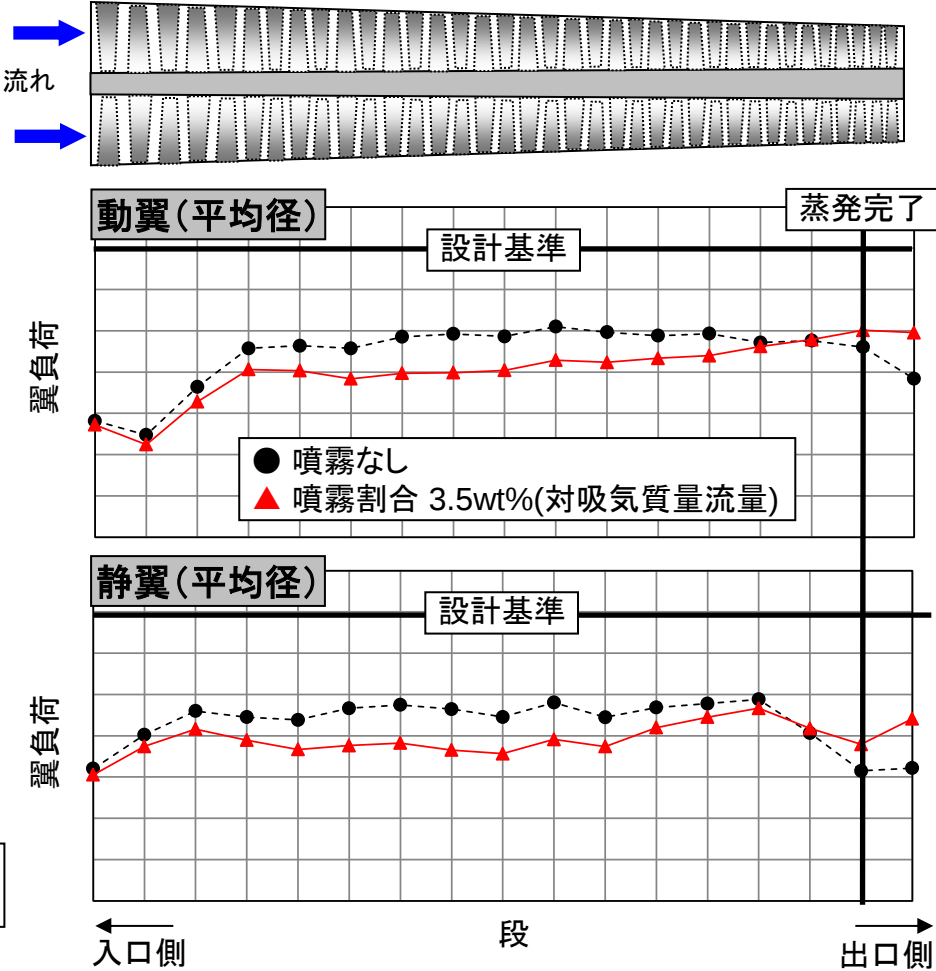
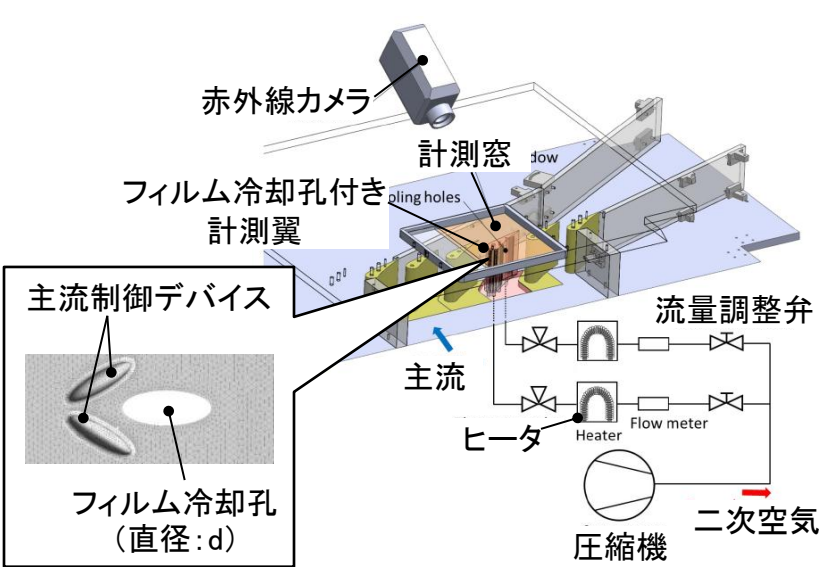


図 翼負荷分布の計算結果(噴霧割合 3.5wt%時)

(3) 高湿分冷却翼：熱負荷低減構造の最適化検討

高性能フィルム冷却構造をタービン翼に適用し、翼列風洞試験により円孔の約2～4倍の冷却性能を達成可能であることを確認した。



翼列風洞試験装置計測部

吹出し比 BR (Blowing Ratio)

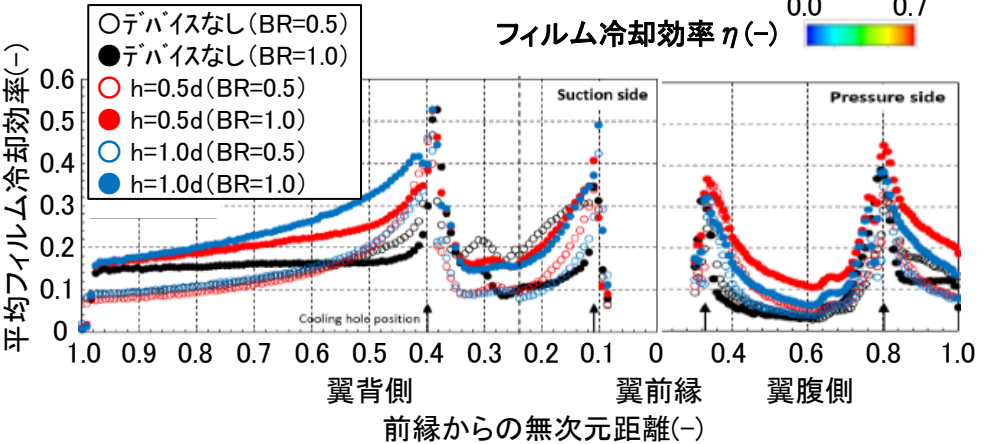
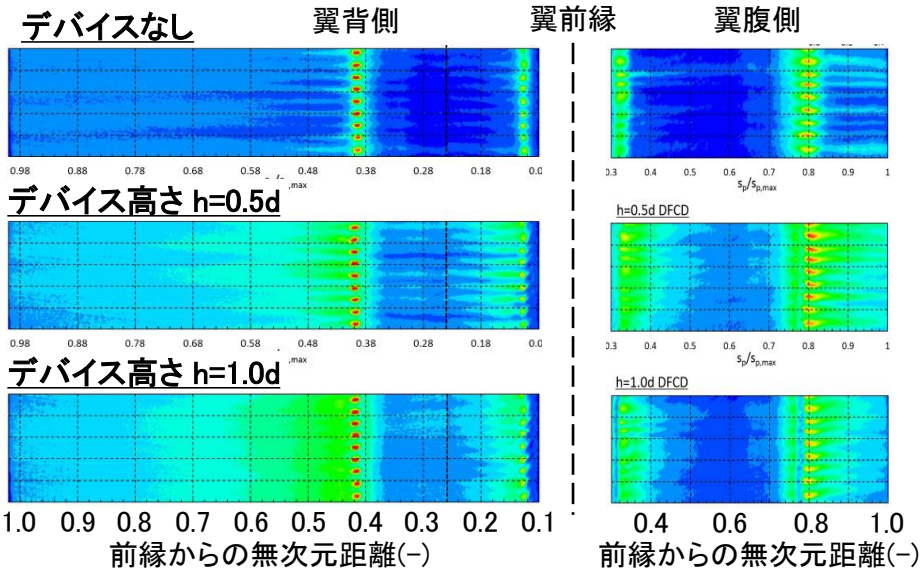
$$BR = \frac{\rho_c u_c}{\rho_g u_g}$$

ρ_g : 主流密度(kg/m³)
 ρ_c : 冷却空気密度(kg/m³)
 u_g : 主流流速(m/s)
 u_c : 冷却空気流速(m/s)

フィルム冷却効率 η

$$\eta = \frac{T_g - T_f}{T_g - T_c}$$

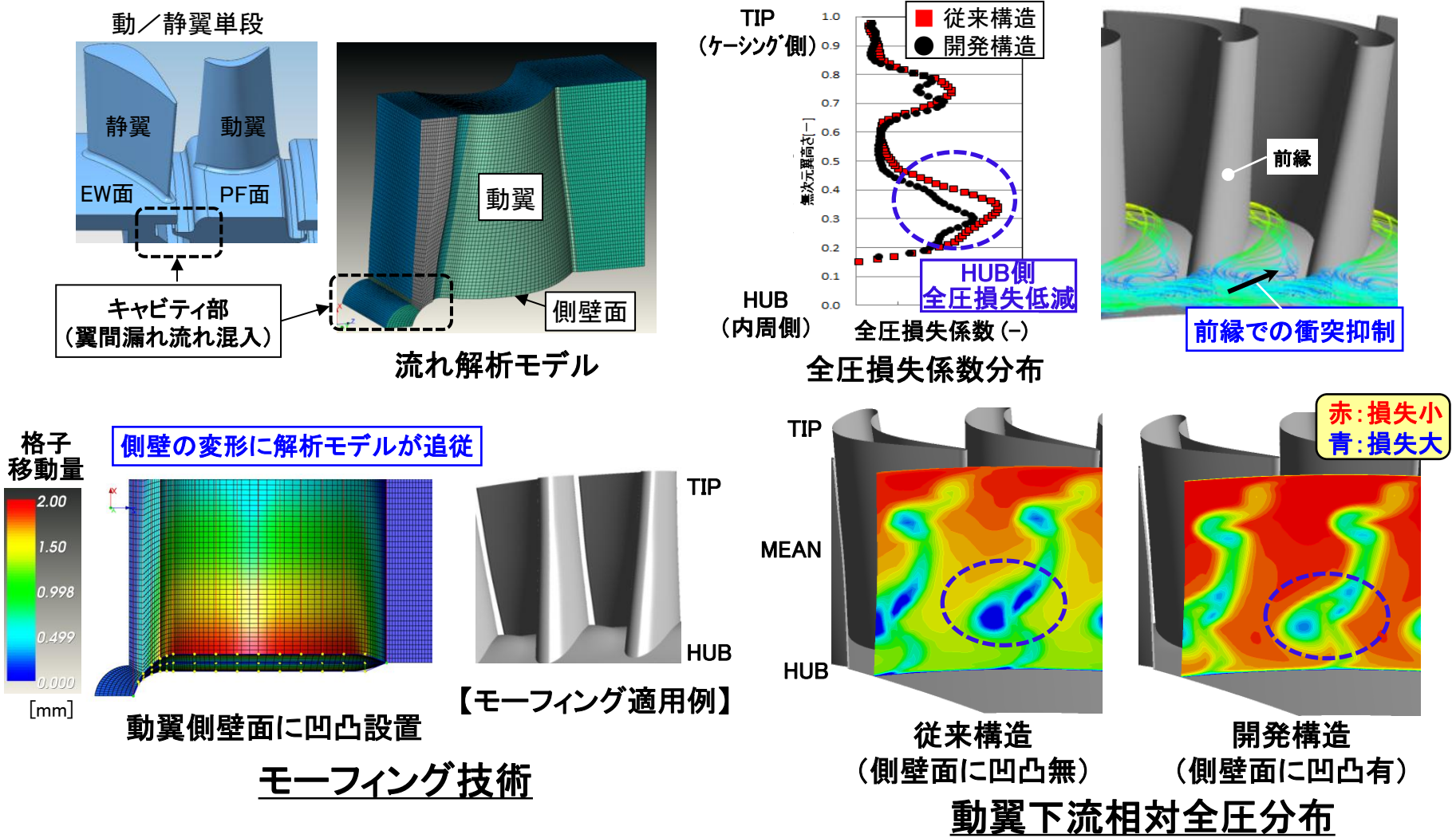
T_g : 主流温度(K)
 T_c : 冷却空気温度(K)
 T_f : 断熱壁面温度(K)



フィルム冷却効率に及ぼすデバイス高さの影響

(3) 高湿分冷却翼：タービン内部流れ制御構造の最適化検討

動翼の内周側壁近傍の渦生成を抑制する内部流れ制御構造を開発し、3次元乱流解析結果から全圧損失を約20%削減見込み(目標性能達成)



(4) 高湿分燃焼器：多様化燃料の燃焼特性評価

水素濃度20%以下であれば、燃料および空気の配分を調整することにより、LNG燃料と同様NO_x<10ppmのバーナ設計できる見通しを得た。

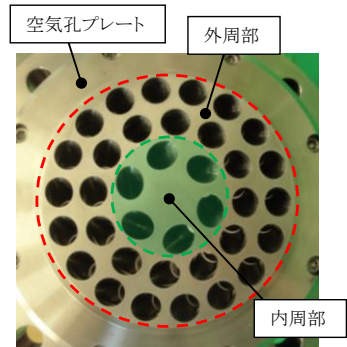
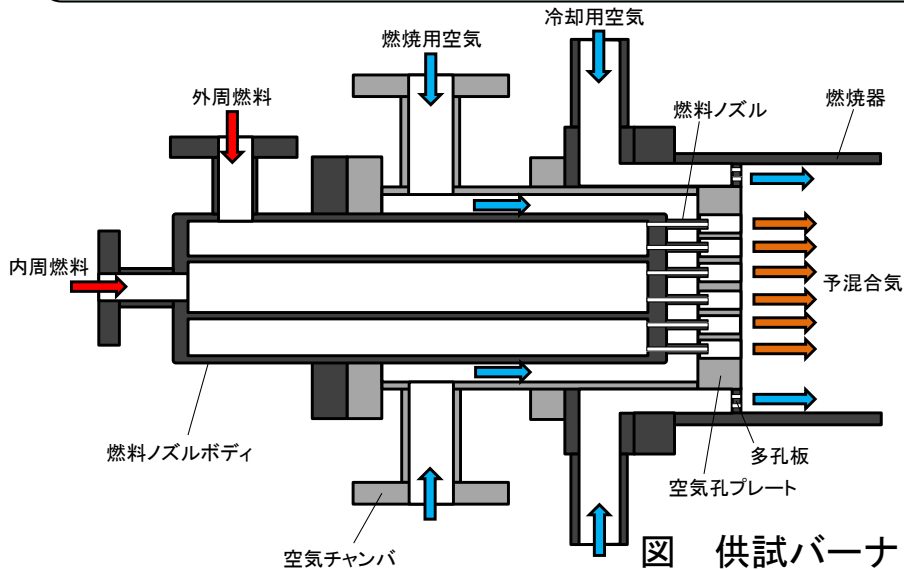
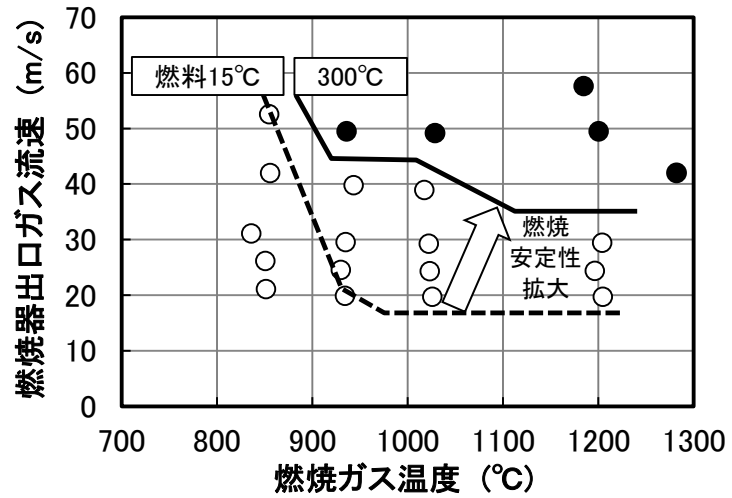
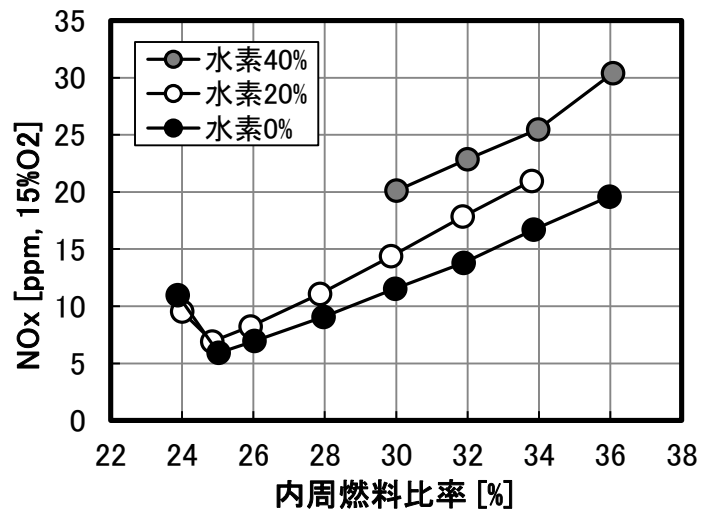


図 空気孔プレート



火炎写真



(4) 高湿分燃焼器：燃焼器冷却促進構造の性能評価

乱流促進リブとフロースリーブ縮小の組合せで、平滑流路の2倍以上の冷却促進効果が得られ、フィルムレス対流冷却が可能となる見通しを得た。

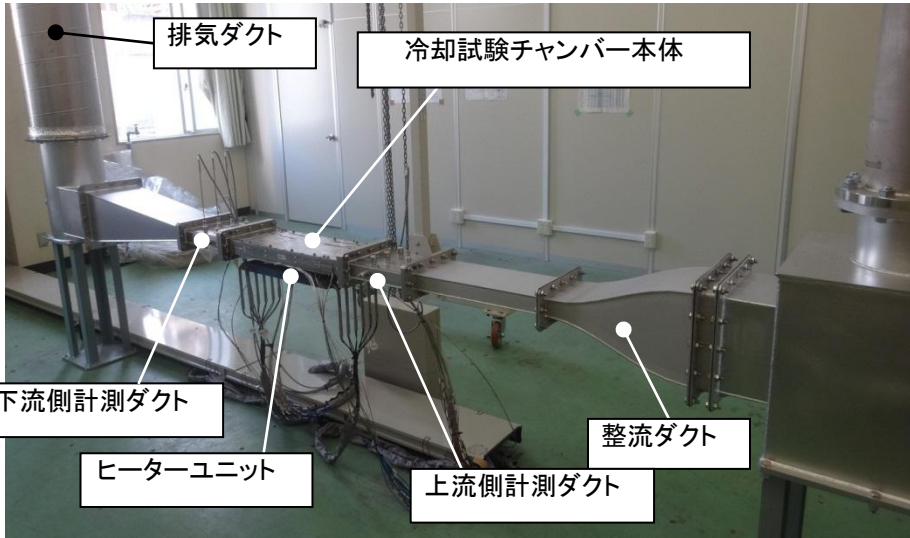
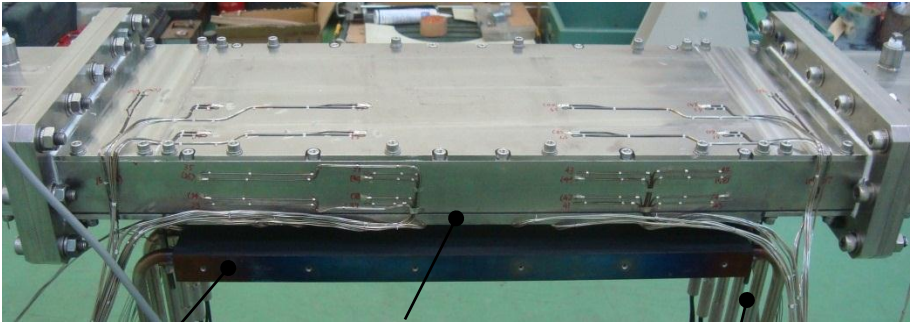
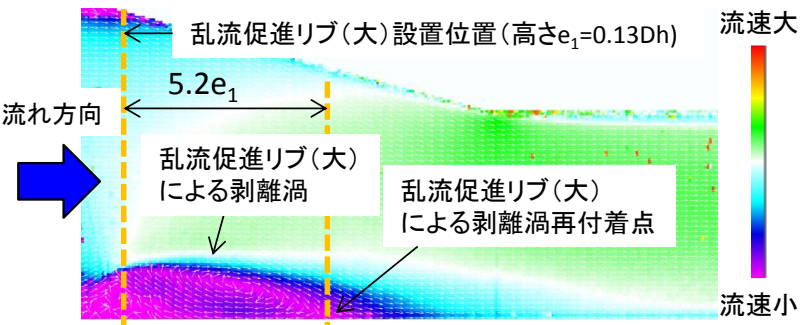
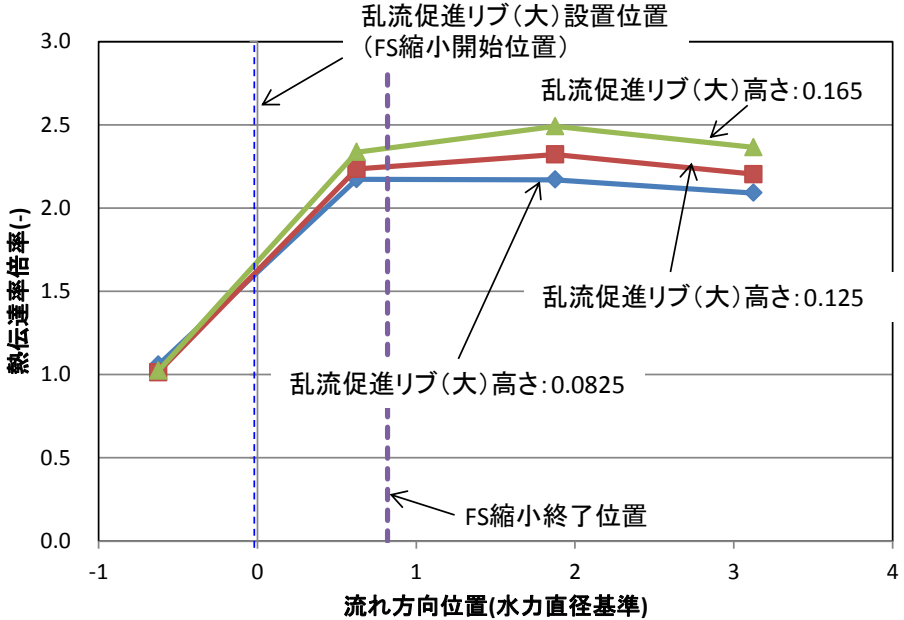


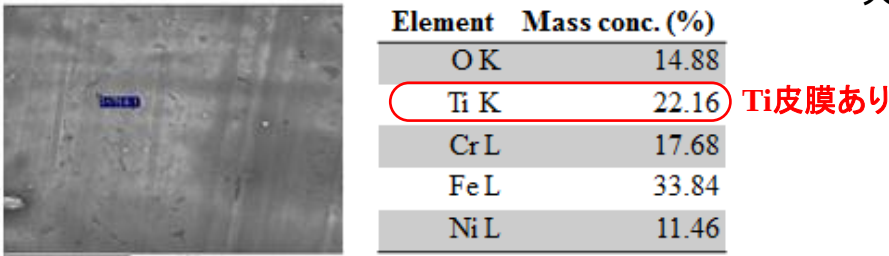
図 ライナ冷却要素試験装置



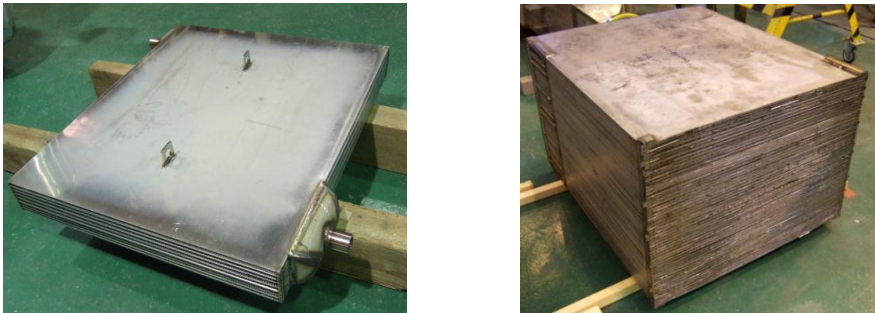
(5) スケールアップ技術：材料面、構造面での大容量化技術の開発

- 40MW機用コアを使用した表面処理試験を行い熱交換器内面に十分な膜厚のTiO₂皮膜を確認することで材料面での長期信頼性向上が期待出来る。
- 商用機仕様コアを更に大型化して試作を実施した。大型化した商用機仕様コアを接合溶接して組立を行うことで商用機の製作が可能なことを確認予定。

大型化した商用機仕様コアの試作、耐圧試験で十分な強度を確認した。

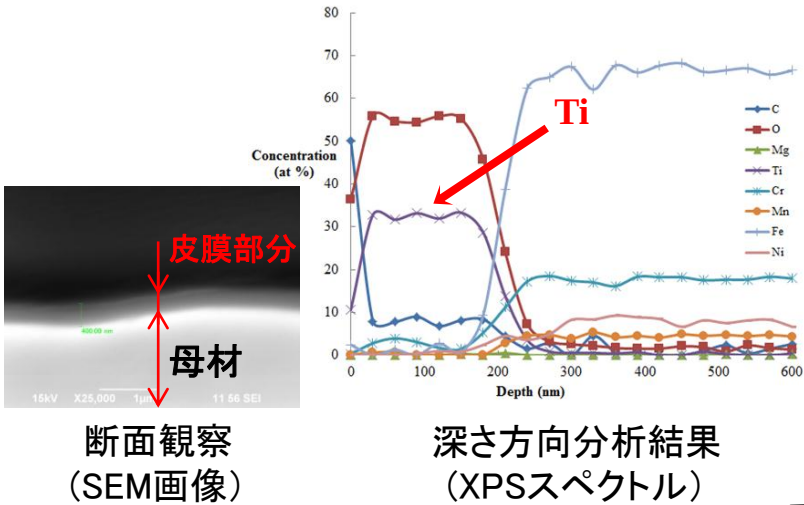


表面観察(左:SEM画像、右: EDS分析)



800W × 950L × 110H
①従来構造
800W × 950L × 560H
②コストダウン構造

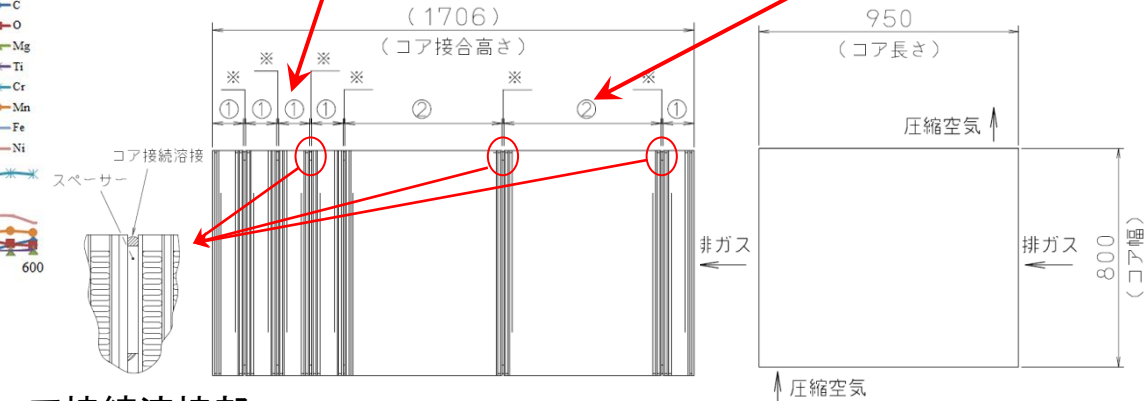
図 商用機仕様コア



断面観察
(SEM画像)

深さ方向分析結果
(XPSスペクトル)

図 表面処理被膜の分析結果



コア接続溶接部
断面(※)

図 商用機仕様コア接続溶接試験

(5) スケールアップ技術：充填物式水回収試験装置の試験結果

- 直径約1/8モデルの水回収試験装置で、散水温度と排ガス湿度の回収性能への影響を分析、回収量の測定値は予測値の約97%であり、高精度で予測可能
- 実証機向け水回収装置の基本仕様を検討し、ガスタービンへの加湿量に対して、100%以上の湿分を回収でき、外部からの補給水を大幅に低減できる見通し

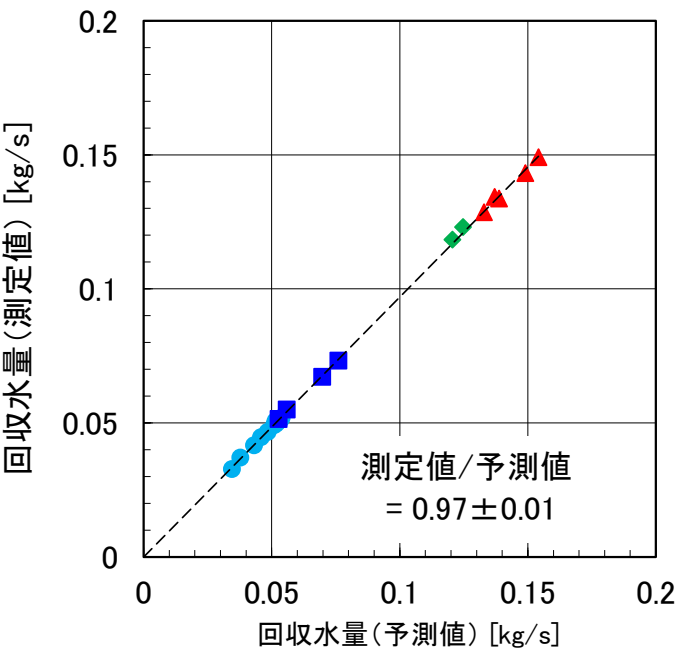


図 回収水量の測定値と予測値

表 実証機向け水回収装置の基本仕様と
性能予測結果例

	項目	仕様
基本仕様	充填物種類	A社 製品B / C社 製品D
	散水温度	33 °C
	散水流量	325 kg/s
予測性能	回収水量予測値	8.86 kg/s
	同 加湿量に対する割合	106 %
	排ガス出口温度	34°C
	充填物流下水温度	60°C

(6) 40MW級総合試験：総合試験の目的

- 高湿分ガスタービンの構成機器の健全性確認
- 実証機の性能予測

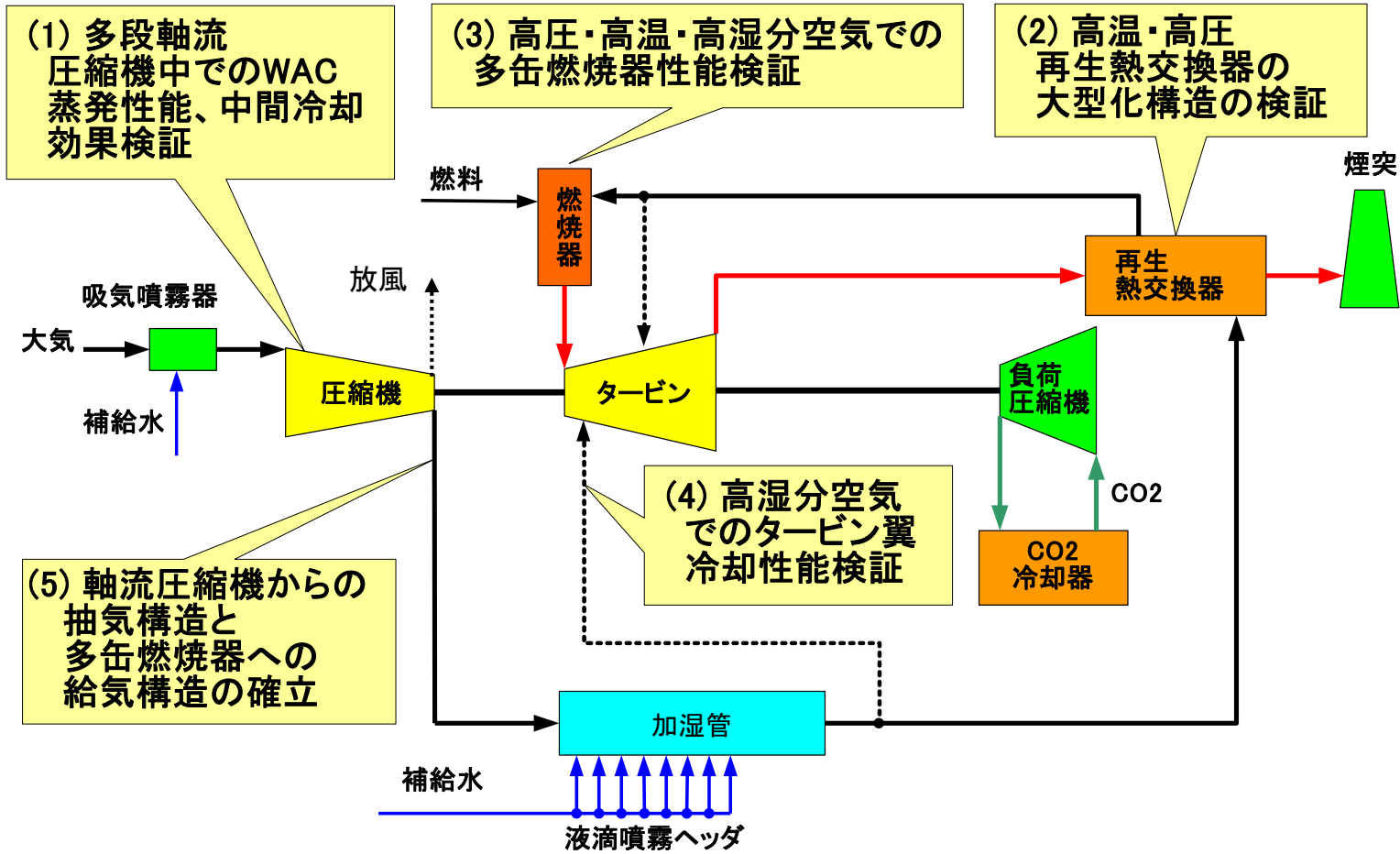


図 40MW級総合試験装置の構成と主な検証内容

(6) 40MW級総合試験：高湿分ガスタービンの構成機器の健全性確認

200時間以上の運転により、高湿分ガスタービンの基本的な健全性を確認した。

表 40MW級総合試験装置の試験工程と運転実績

実施項目	(H23年度)	H24年度		H25年度		H26年度	
全体工程 (工事等)	据付工事、試運転 ↔	分解・点検 ↔	定格出力 到達 ▼	直径約1/8 水回収装置追設 ↔		分解・点検 ↔	
試験		試験 ↔	試験 ↔	試験 ↔	試験 ↔	試験 ↔	試験 ↔
運転時間 [h]	80	80		90		30	

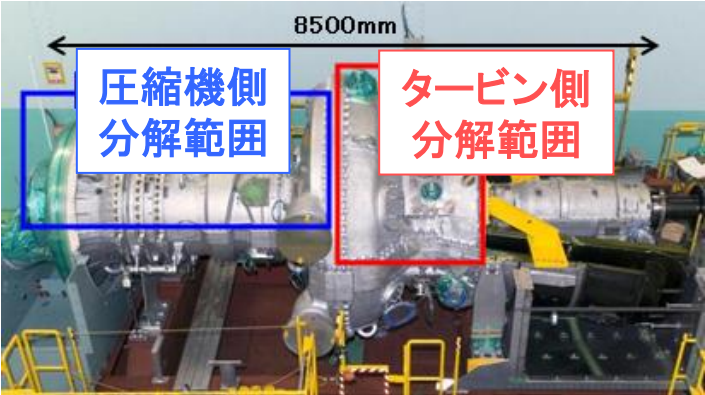


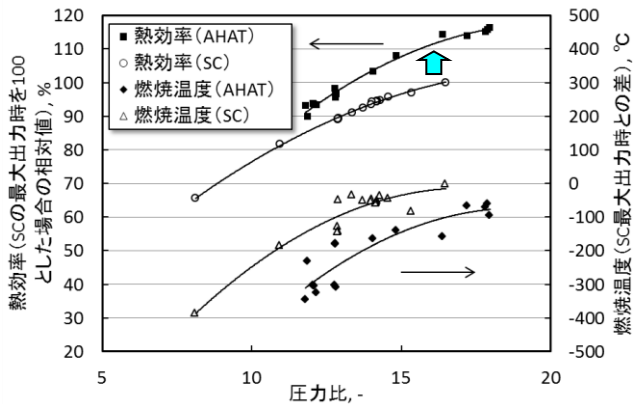
図 内部点検の分解範囲



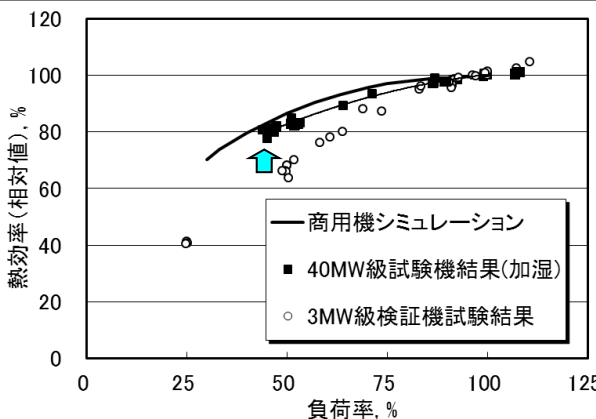
図 タービン側内部(静翼・動翼)

(6) 40MW級総合試験：データ検証と性能予測

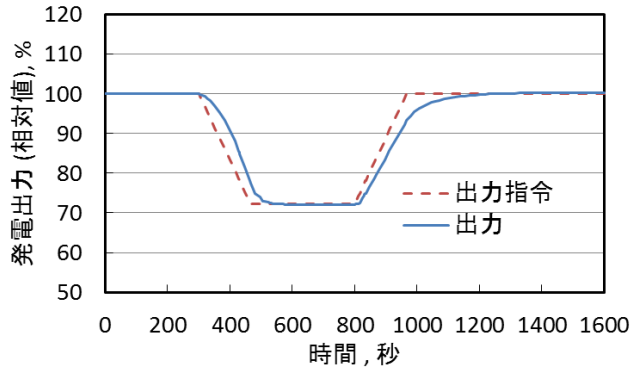
- シンプルサイクル(SC)運転と比較し、AHATでは排熱回収と加湿により熱効率向上が図れることを実データから検証できた。
- 吸気流量による負荷制御により、高い部分負荷特性が得られた。
- 動特性解析モデルを開発して、各種負荷指令や制御方法による負荷追従性を解析可能とし、AHATはGTCCより高い負荷変化率が得られる見込みを得た。



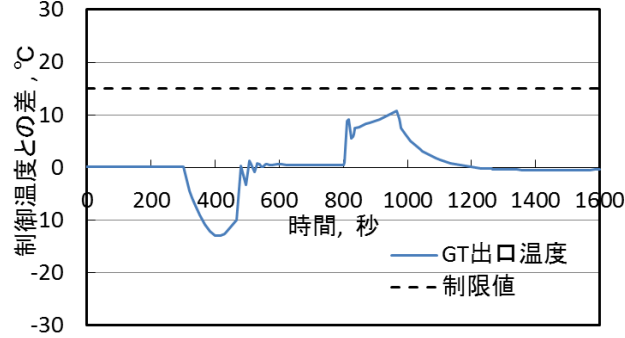
(1) AHATとSC運転の熱効率の比較



(2) 部分負荷特性



(3) 出力指令に対する負荷追従性シミュレーション例(負荷変化率 10%/min)



(4) 出力指令に対するガスタービン出口温度変化シミュレーション 例(負荷変化率 10%/min)

日本再興戦略(内閣府、H25年6月)における、火力発電の開発加速に対応し、既存40MW級総合試験装置を改造した二段階実証により、早期に実証開始する。

時期		2020年代	2012/4-2016/3	2016年度 開始予定
商用機/ 実証機		商用機	実証機 (二段階で実証)	
		AHAT	第一実証	第二実証
系統構成				
実証 目的 (網掛)	ガスタービン (A)	圧縮機	高湿分圧縮機の健全性	圧縮機-タービン流量マッチング技術
		吸気噴霧冷却	軸流圧縮機における吸気噴霧冷却	
		タービン	健全性、翼冷却性能 (加湿量約半分)	高湿分(全量加湿)での健全性、 翼冷却性能
		燃焼器	燃焼安定性 (加湿量約半分)	・高湿分(全量加湿)での燃焼安定性 ・最低(25%)負荷での燃焼安定性
	再生 サイクル(B)	ガスタービン本体構造	全量抽気/戻り構造	
		再生熱交換器	熱交換性能、構造、健全性	
	加湿 (C)	排熱回収機器、増湿塔	加湿管による簡易加湿 (加湿量約半分)	排熱回収ボイラによる全量熱回収、 全量加湿
水回収 (D)	水回収装置	・水回収性能 (直径1/8モデル) ・水質変化挙動 (再利用無し)	・排ガス全量からの水回収性能 ・回収水再利用時の機器健全性	

(7) 実証機試験：実証機の仕様の検討

- 排熱回収で生成した湿分を全量、ガスタービンに加湿し、水回収装置で全量回収して再利用した際の高湿分対応ガスタービンの長期信頼性を実証する。
- ガスタービンの設計出力は70 MW級とし、合理的に検証を進める。
- 40MW級装置の負荷圧縮機を活用して発電機等を削除し、設備費を低減する。

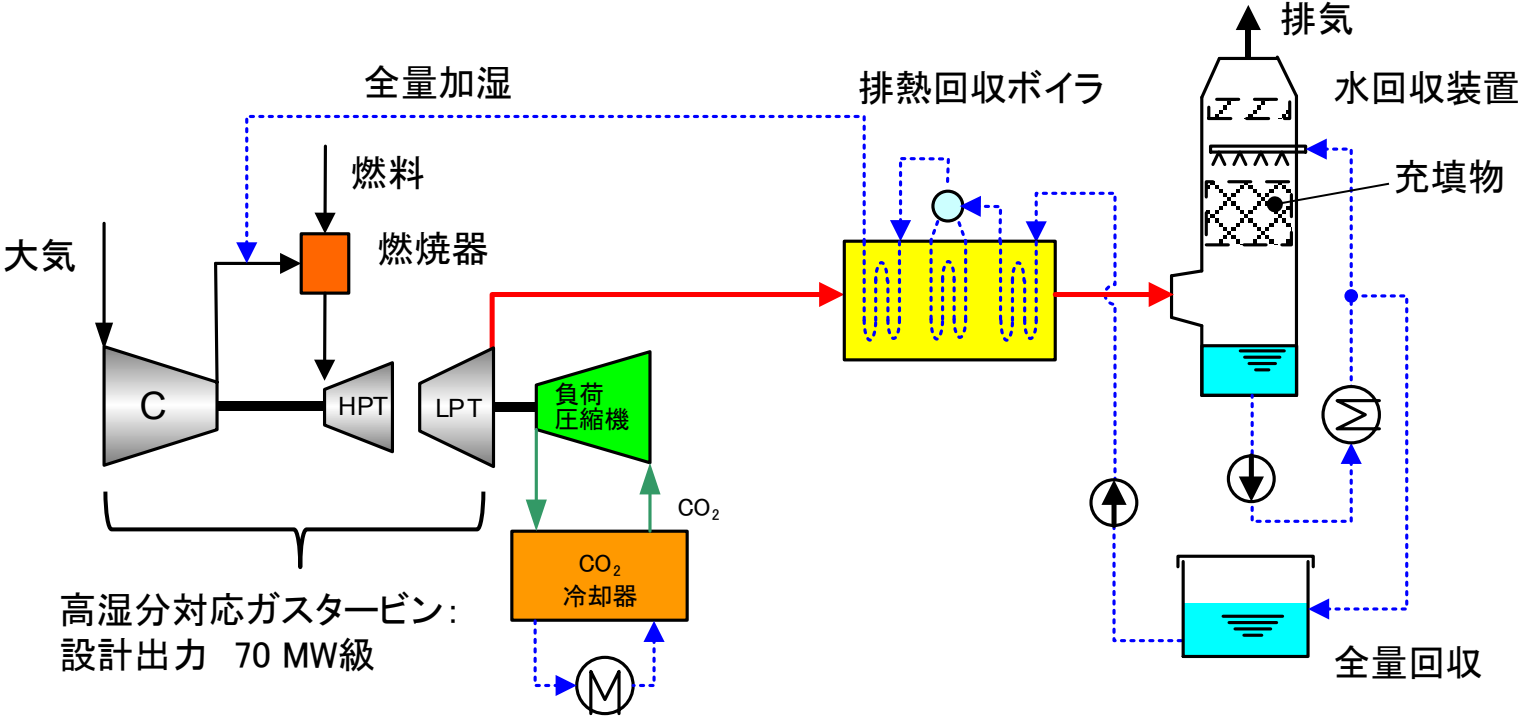


図 実証機の仕様検討結果

(7) 実証機試験：実証機における検証内容

- ユーザーニーズの調査結果より、商用機の運用方法としてミドル運用以上（年間50回以上の起動・停止）を想定。
- 実証機の運転回数としてはミドル運用の2倍の100回/年以上の起動停止、延べ運転時間として1,000時間程度を計画する。

表 実証機の目的と検証方法

機器	実証目的、内容	検証方法
圧縮機	乾燥⇔加湿切替時のサージ安定性の確認	圧縮空気の圧力、温度等の特殊計測
燃焼器	乾燥⇔加湿切替時の燃焼安定性の確認	排ガス成分分析、燃焼器圧力変動計測
	水蒸気酸化、高温腐食	半年運転後のボアスコープ点検、 1,000時間運転後のケーシング開放点検
タービン	高湿分排ガスによる翼の熱負荷の確認	タービン翼への特殊計測(温度)
	水蒸気酸化、高温腐食	半年運転後のボアスコープ点検、 1,000時間運転後のケーシング開放点検
排熱回収機器	排ガス側の乾湿の繰り返しによる腐食	1,000時間運転後の伝熱管の抜管と観察
	水側の腐食	
水系配管	腐食	材料試験片の質量測定
水質変化	排ガスからの回収水の処理方法と再利用を継続した場合の水質維持の確認	回収水、排熱回収機器への給水のサンプリング

4. 成果、目標の達成度

研究開発成果 : 学会表彰、論文、特許等の出願・発表状況

- 学会で高い評価を受け、海外で5件、国内で2件、学会から表彰※されている。
- 3MW級検証機、40MW級総合試験装置は、国内外の多数の顧客に視察頂き、ユーザーに関心を持たれている。

※主な学会表彰

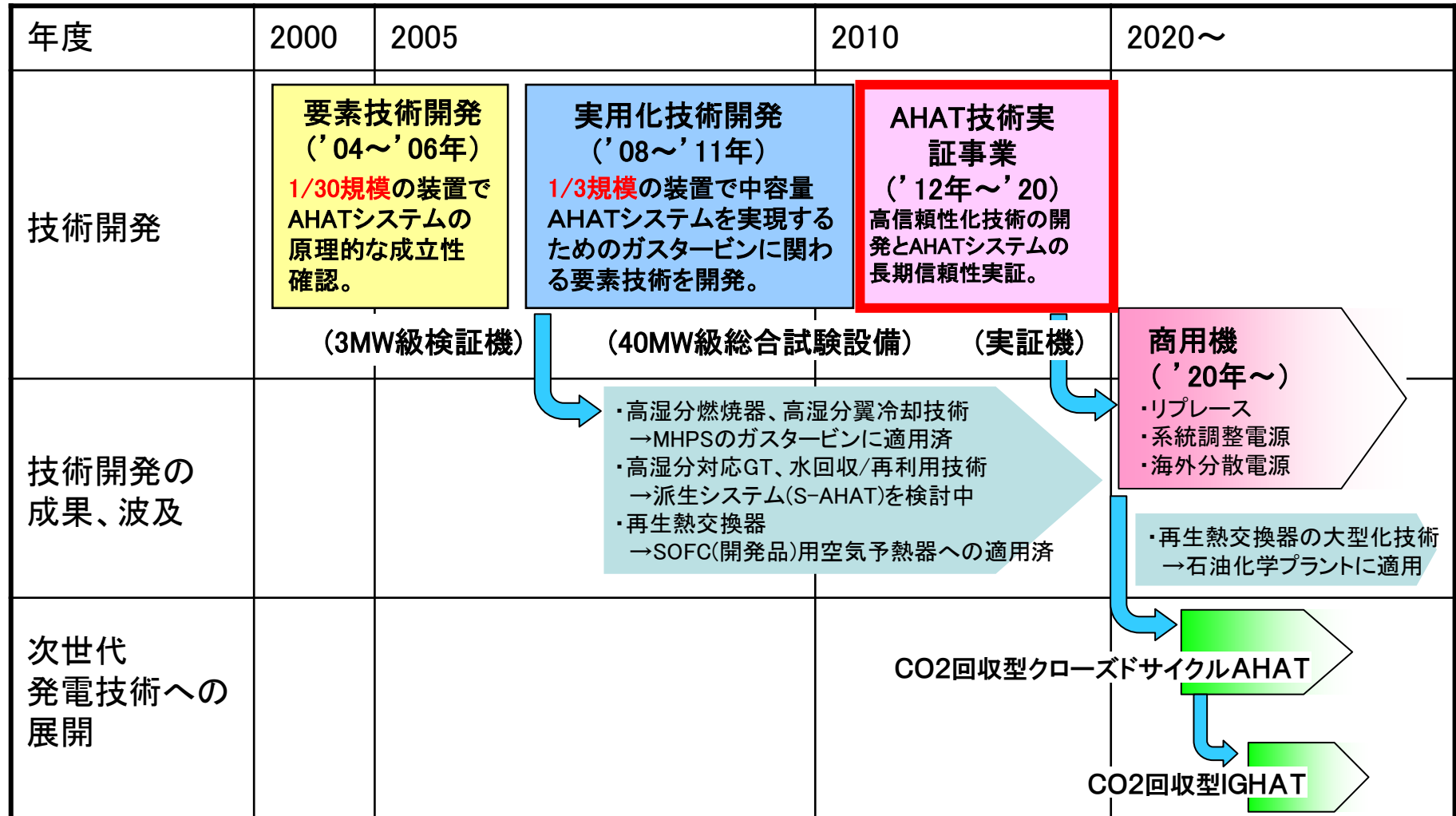
- ・ASME Turbo EXPO, Best Paper Award (Industrial and Cogeneration 部門) (2014年6月)
- ・ASME Turbo EXPO, J. P. Davis Award (2010年6月)
- ・ASME Turbo EXPO, Best Paper Award (Cycle Innovation 部門) (2009年6月)
- ・日本ガスタービン学会 技術賞 (2008年4月)

年度 項目	要素技術開発				実用化技術開発				技術実証事業			合計
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	
論文・解説	0	2	1	2	3	3	4	8	3	1	3	30
特許(公開)	3	10	12	7	8	11	6	6	10	6	7	86
国際会議 発表	1	2	1	2	4	1	1	6	1	6	5	30
国内会議 発表	2	0	5	7	5	1	3	1	5	11	5	45

5. 事業化、波及効果

事業化(商用化)の計画

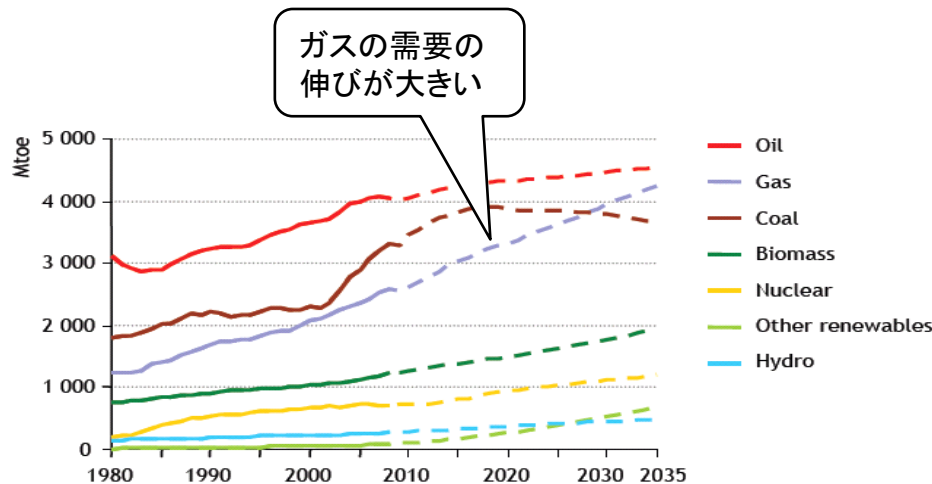
- 実証機の建設、運転により長期信頼性を評価し商用機につなげていく必要がある。
- 本技術の一部は既に製品に適用済みであり、ガスタービンの高性能化に寄与している。
- 本技術の派生システムの商用化の検討も進めている。



5. 事業化、波及効果

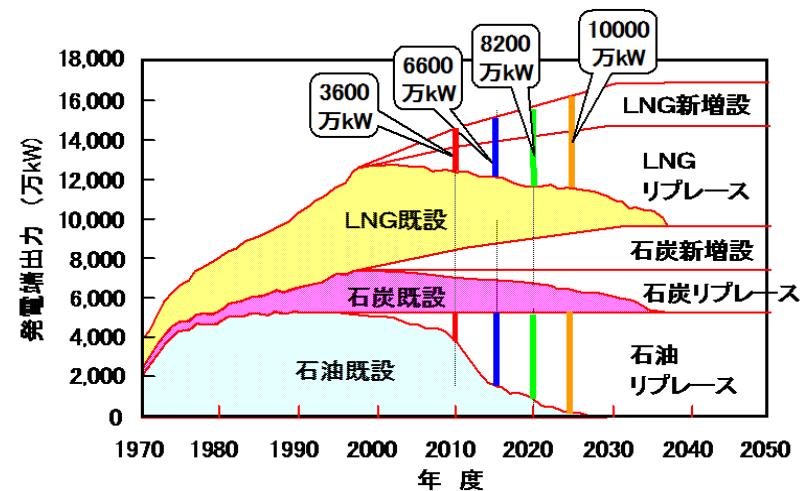
ガス火力発電の今後の見通しと市場規模

- シェールガスなど非在来型ガスの掘削技術が開発され、天然ガスは世界的な需要拡大が見込まれる。
- LNG火力発電のリプレイス潜在需要は、2020年に約8,000万kWと見込まれ、これらの国内リプレイス市場にAHATを導入していく。



世界エネルギー需要予測

出典: IEA World Energy Outlook (2011)



日本における電源構成の推移推定例(寿命40年)

出典: 電力中央研究所「第18回エネルギー未来フォーラム」(1999)

5. 事業化、波及効果

AHATのセールスポイントとユーザーのメリット

- 中小容量クラスでは、欧米メーカーが技術的に先行し、販売シェアを占めている。
- 独自の高温分空気利用によるセールスポイントを付加して、事業化する。

比較項目		AHAT (目標)		GTCC(ガスタービン コンバインドサイクル)	顧客ターゲットと メリット
効率	発電効率	○	200MW以下の 同出力レベルで GTCCと同等以上	ベース	・日本、欧米:CO2削減による 環境保全 ・アジア、欧州:ランニングコス ト低減による経済性向上
運用性	起動時間	◎	ホット起動:30分 コールド起動:60分 (蒸気タービン無)	ホット起動:60分 コールド起動:180分 (蒸気タービンの 暖機必要)	全地域:再生可能エネルギー との連携(負荷変動への対応)
	負荷変化率 (時間あたりの 出力の変化率)	◎	ガスタービン単独の 場合と同等 (10%/min程度)	蒸気タービンの 負荷変化率に依存 (5%/min程度)	
環境性	NOx (窒素酸化物) 排出濃度	○	脱硝装置無しで 10ppm以下 (高温分燃焼)	脱硝装置必須	日本、欧米:低NOx排出による 環境保全
	立地の自由度	◎	水回収装置の 空冷化が比較的容易、 内陸部にも設置可能 伝熱面積:50%	蒸気タービンの 復水器の空冷化は 伝熱面積大きく、 臨海立地向き 伝熱面積:100%	・日本:自治体、事業者向けリ スク回避型分散電源(内陸立 地) ・中東、アフリカ、欧米:内陸 部、グリッド未整備地域へ中小 容量分散電源
経済性	機器コスト	◎	蒸気タービン系 無しのため、 GTCC以下	ベース	全地域:イニシャルおよびラン ニングコスト抑制による経済性 (ライフサイクルコスト)最小化
	建設期間	○	蒸気タービン系 無しのため GTCCより短工期	ベース	
	水消費	○	水回収により、 補給水ゼロも可能	排熱回収ボイラの ブロー水の補給	渇水地域:高効率発電プラント を導入により、環境保全、経済 性向上

5. 事業化、波及効果

事業化戦略

- 国内は、LNG火力リプレース、石油火力の燃料転換等のリプレース市場と、エネルギーセキュリティ確保を目的とした自治体、発電事業者のユーザーに導入提案する。
- H28年の電力全面自由化に伴い新電力会社(特定規模電気事業者)向けに導入提案する。
- 海外は、欧米など再生可能エネルギーの導入が多い地域その他、立地の自由度のメリットを生かし、中東、西アジア、アフリカ等の内陸部、グリッド未整備地域を中心に導入提案する。
- ガスタービンの製造・販売、メンテナンス事業の安定継続のため、20%のシェアを目標とする。

表 ターゲット市場と戦略

No.	市場	特徴	戦略
1	国内	・再生可能エネルギーとの連携ニーズ大 ・エネルギーセキュリティ確保を目的とした分散電源のニーズ ・電力全面自由化に伴う新電力会社の参入	・LNG火力リプレース、石油火力の燃料転換などのリプレース市場のユーザーに提案する ・内陸立地の分散電源の案件を狙う ・産業ユーザー向けの発電容量、熱電併給仕様の提案
2	欧米	再生可能エネルギーとの連携ニーズ大	起動時間、負荷変化率のメリット生かし再生可能エネルギーとの連携向けを狙う
3	中国、東南アジア	・中国の内陸部の発展 ・高気温	・内陸立地の分散電源の案件を狙う ・高気温地域に、出力低下が少ない点をアピールする
4	中東、西アジア、アフリカ	・高気温 ・水が乏しい ・グリッド未整備地域多い	・高気温地域に、出力低下が少ない点をアピールする ・水が乏しい地域に、補給水が少ないまたは不要な点をアピールする ・グリッド未整備の内陸立地の分散電源の案件を狙う

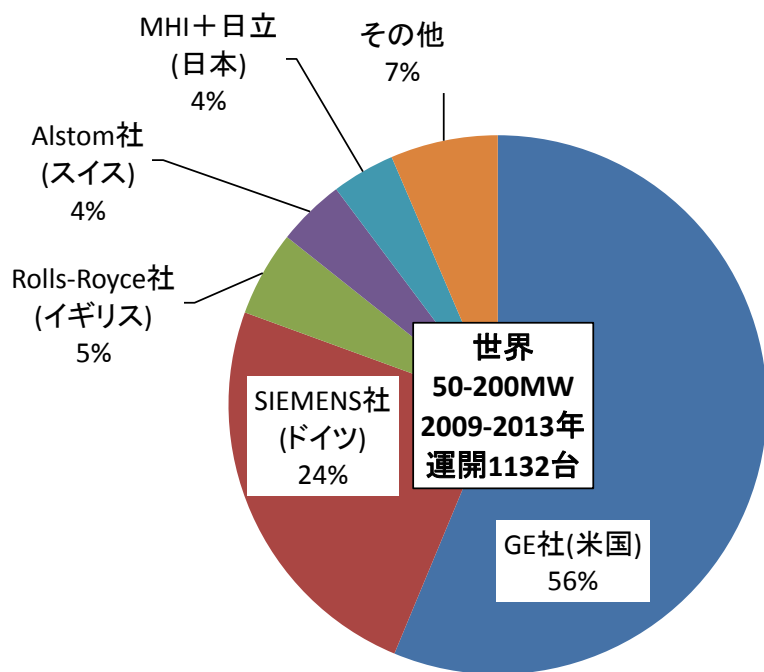


図 中小容量(50-200MW)ガスタービンの台数シェア(2009-2013年運開分、出典:三菱日立パワーシステムズ)

5. 事業化、波及効果

設備コスト、運転コストの見通し

- AHATはCC(コンバインドサイクル)よりも簡易な機器構成であり、量産時の機器価格は、CC以下となることを目標としている。
- 運転コストに関しては、排ガスからの回収水の水質維持に必要なコストを実証試験において明確化する。

表 AHATとCCの機器コストの検討

No.	機器	CC (コンバインド サイクル)	AHAT	機器コスト検討結果
①	GT本体	ガスタービン、発電機		CC $\approx$ AHAT (高湿分空気によるタービン 出力の増大により、同一サイ ズのGTで、CCのGT+STの出 力可能)
②	ST関連	蒸気タービン、復 水器、プラント補 機・配管・弁類	—	CC $\gg$ AHAT
③	熱交換器 類	排熱回収ボイラ	再生熱交換器、 エコマイザ、増 湿塔、空気冷却 器、水回収装置、 プラント補機・配 管・弁類	CC $<$ AHAT
④	電気設備	主変圧器、ガス絶縁開閉装置、相 分離母線、所内電気設備、計装・ 制御設備		CC $>$ AHAT (AHATは機器構成がCCに比 べシンプルな為、計装・制御 設備の構成が簡易となる)

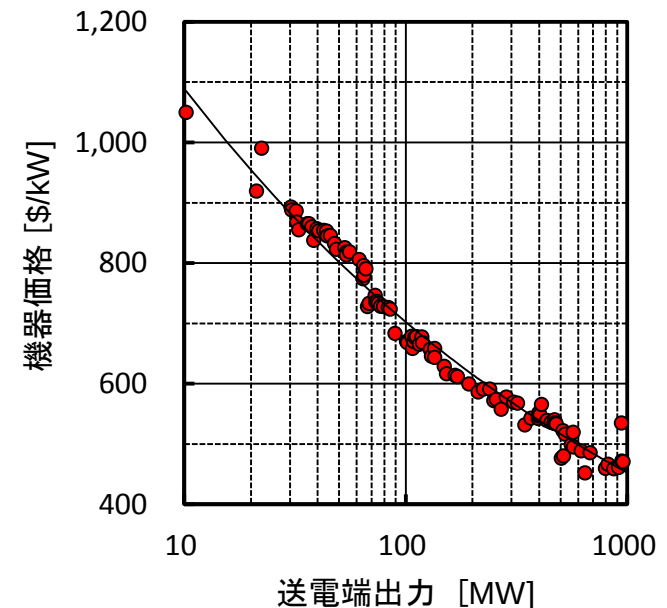


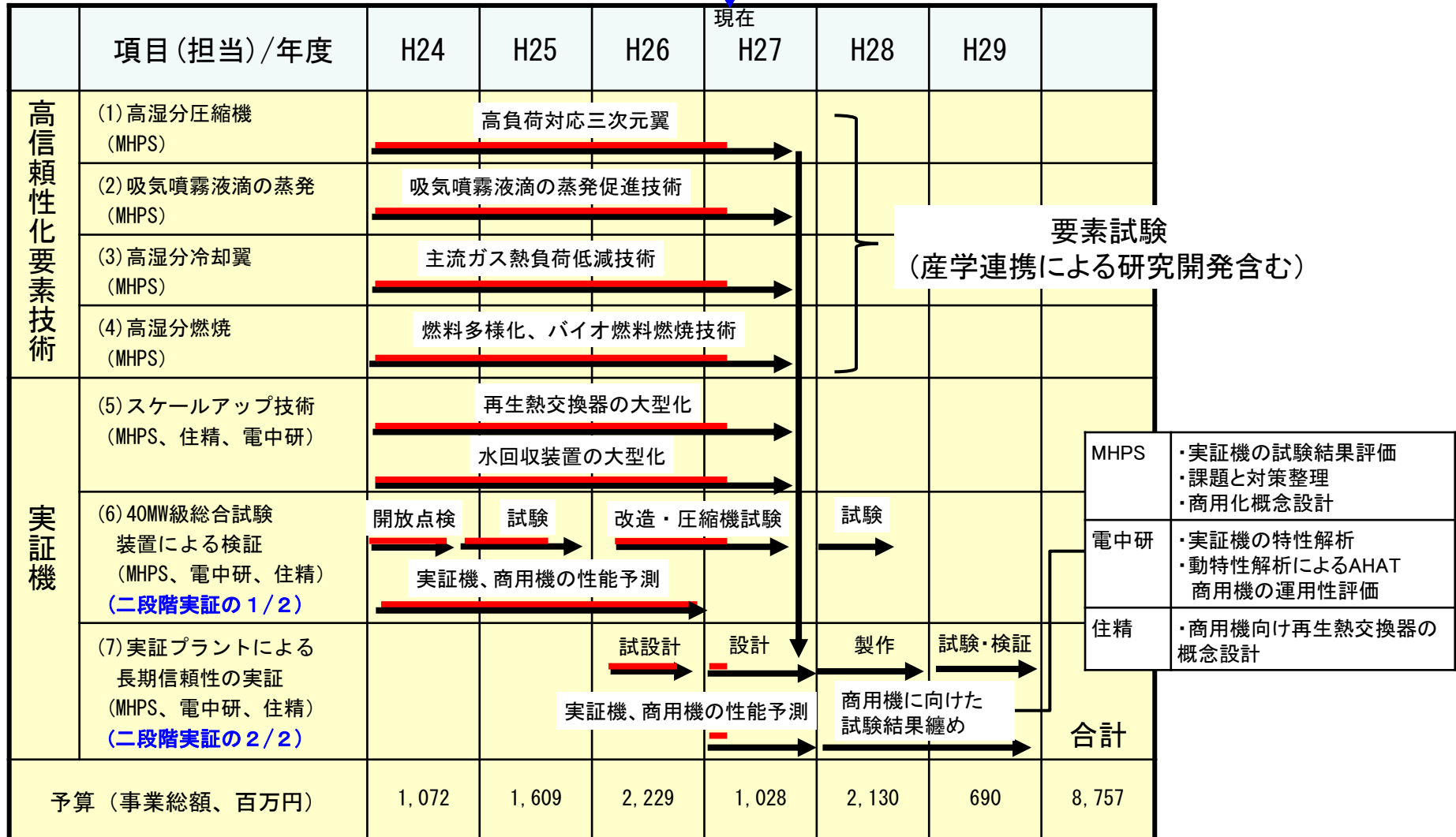
図 コンバインドサイクルの機器価格
(据付工事費除く)
データ出典: Gas Turbine World 2012
Handbook

6. 研究開発マネジメント・体制等

プロジェクト遂行スケジュール

各項目とも予定通り進捗している。

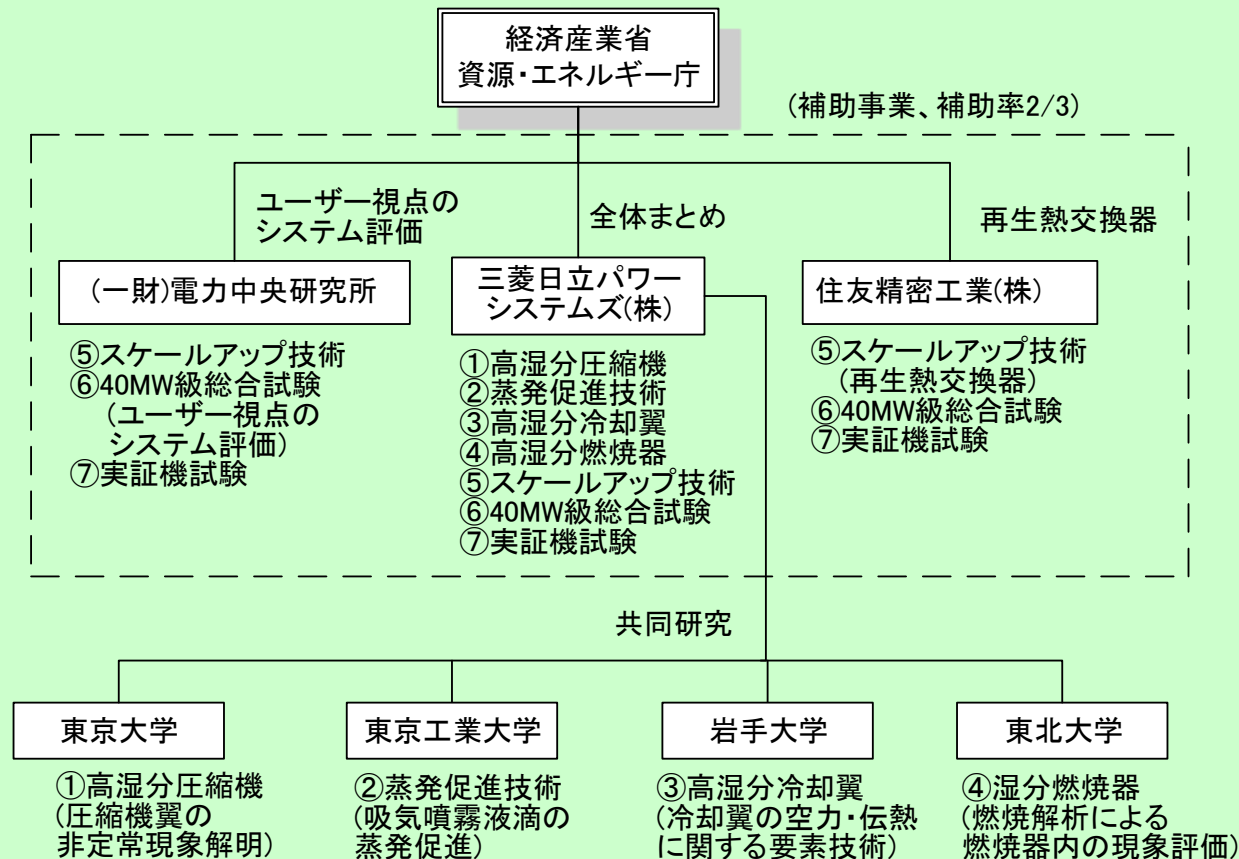
→ 計画
— 実績



6. 研究開発マネジメント・体制等

体制

- 本事業は、三菱日立パワーシステムズ(株)が全体まとめを担当、(一財)電力中央研究所はユーザーの視点に立ったシステム評価、住友精密工業(株)は再生熱交換器のスケールアップ技術を担当し、それぞれの実施者の専門技術を最大に発揮できる3社連携の協力体制で実施している。
- 国内の4つの大学(東大、東工大、岩手大、東北大)との共同研究により、大学が有する最新の理論、技術、設備を活用し、本開発を加速しつつ、国内の大学の研究水準向上に寄与する。



6. 研究開発マネジメント・体制等

事業総額の変更と研究開発の関係

- 日本再興戦略における火力発電の開発加速、産構審第7回(H26/2)評価WGコメントを受け、早期実証開始と発電規模に対する開発コスト圧縮を考慮し、事業の目標は変更せず研究開発の妥当性も確保する条件で、実証機の規模と実証機の運転時間計画を見直した。
- 実証完了をH32年度からH29年度に前倒しするとともに、事業予算総額(補助額)を383億円から58.4億円へ変更する。

No	項目	変更内容	事業に対する影響	研究開発としての意義、妥当性
1	事業目標	変更無し; 電力産業の短中期的ニーズに対応する中小容量機(10万kW程度)の高効率化のために、高湿分空気利用ガスタービン(AHAT)の実用化に必要な多段軸流圧縮機、多缶燃焼器等の開発を行うとともにシステムの長期信頼性等の実証等を行う。		
2	実証機出力規模	200MW級 →70MW級	建設費だけでなく燃料費も安価となり、事業経費の大幅削減に寄与。	出力70MW級の高湿分空気利用ガスタービンは、出力200MW級とほぼ同一構造、材料の事業用ガスタービンであり、高湿分空気の燃焼と排ガスからの回収水の再利用に関する信頼性は検証可能。
3	実証機システム構成	フル構成 →二段階実証	・実証開始、実証完了時期を早期化。 ・第一段階実証として40MW級総合試験装置を活用して、不足する機器を第二段階実証で補完するため、新規購入機器を必要最低限にでき、経費削減可能。	・AHATフル構成機器の相互作用を同時には検証できないが、相互作用はフルAHAT構成の3MW級検証機の実績と、動特性シミュレーションにより検証可能。 ・回収水の全量処理、全量再利用の検証には影響なし。
4	実証機負荷吸収方式	発電機 →負荷圧縮機	・既設の40MW級総合試験装置の負荷圧縮機を活用し建設費を低減。 ・発電して売電収入を得ることは不可。	ガスタービンの負荷吸収設備の種類は、高湿分空気利用ガスタービンの信頼性検証には影響なし。
5	実証機運転期間	2年 →1年	・実証完了時期を早期化。 ・運転に必要な燃料費、光熱費、人件費を低減。	・ミドル運用の2倍の100回以上/年の起動停止、延べ運転時間として1,000時間程度を計画している。 ・この運転回数、時間数で乾燥⇄加湿切替の運用の実証、個々の機器の長期信頼性の実証が可能。

7. 前回(H25年度)中間評価及び総科フォローアップにおける 指摘事項に対する対応

総科技 第103回評価専門調査会のコメント(平成25年11月)	対応
特に中小容量機(AHAT)に関しては、実用化による新たな市場への投入を行うものであり、かつ、これにより我が国の世界市場獲得における現状(4%)を大きく上回るシェア目標(20%)を目指すものであることから、早期の市場投入等、海外の競合技術に対する競争力強化の方策を含め、より具体的な市場獲得戦略の検討を行う必要がある。	以下の市場獲得戦略を策定しシェア獲得を目指す。 ・ 国内は、LNG火力リプレース、石油火力の燃料転換等のリプレース市場と、エネルギーセキュリティ確保を目的とした自治体、発電事業者のユーザーに導入提案する。 ・ H28年の電力全面自由化に伴い新電力会社(特定規模電気事業者)向けに導入提案する。 ・ 海外は、欧米など再生可能エネルギーの導入が多い地域その他、立地の自由度のメリットを生かし、中東、西アジア、アフリカ等の内陸部、グリッド未整備地域を中心に導入提案する。
産構審 第7回評価WGのコメント(平成26年2月)	対応
本事業は、中小容量機の高効率化に有望とされる高湿分空気利用のガスタービンの実用化技術開発、実証を行うものであり、蒸気タービンを用いずコンパクトで省スペースな利点があることから、設置地点としては、取水に制約のある内陸部、海外では中東地域や連係系統が不十分な発展途上国等を想定している。本技術により蒸気タービン用の水は不要となるが、高湿分燃焼用の水の確保は必要であり、また発電規模に対する相当のコスト圧縮の必要性も指摘されている。このため、現在実施中の実証事業において、水の確保を含めたランニングコスト、市場、事業戦略、コスト目標等について、事業化に向けて具体的に検討することが必要。	・ 発電規模に対する開発コスト圧縮を考慮し、実証機の出力を当初計画の約1/3に縮小し、かつ、二段階実証で合理的に高信頼性の機能検証を進めて行く。 ・ 事業化に向けた市場、事業戦略、コスト(含む水確保)目標等については、実証機の試験結果評価と商用化の概念設計で、発電事業の具体的な数値目標を設定し進めて行く。

8. 評価

8-1. 評価検討会

評価検討会名称

高効率ガスタービン技術実証事業中間評価検討会

座長

大山 力 横浜国立大学 大学院 工学研究院 教授

委員

太田 有 早稲田大学 基幹理工学部 機械科学・航空
学科 教授

藤井 俊英 電気事業連合会 技術開発部長

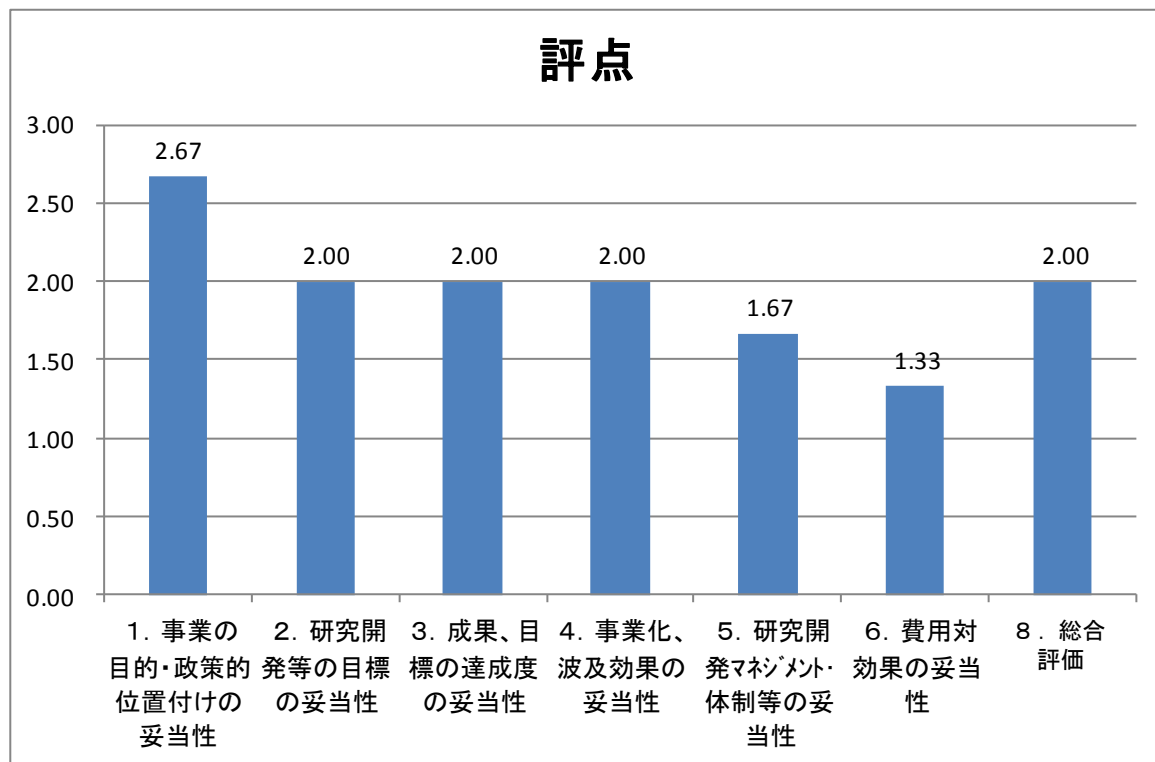
評価検討会委員

8-2. 総合評価(コメント)

○AHATは中小容量GTの高効率化を鑑み、送電端効率51%(HHV)という高い目標に対して、高湿分GTという新技術を活用した新型のガスタービン発電システムであり、この容量範囲ではコンバインドサイクルを凌ぐ高効率が期待されている。高湿分であるが故に各構成要素の技術的課題は困難であるが、現在までに新技術や新開発が順調に行われてきており、商用機化への目途が立ちつつある。また、実用化を加速するために予算を縮小している。

なお、当初の計画より事業期間および事業規模が大幅に短縮され、平成29年度までの残り約2年半の期間内に十分な高信頼性実証試験が実施できるかが大いに検討の余地があると考えられる。のべ1000時間程度の運転時間で十分な精度のデータが蓄積できるのか。また、フル構成機器の相互作用を同時に検証する予定が、3MW級検証器の実績と動特性シミュレーションに代用された問題はないのか。さらに、本事業において、実証機運転時間を1,000時間で計画するのであれば、メーカー主体またはユーザーと共同で、長期耐久試験を兼ねた営業運転が別途必要になると考えられる。そのような運転実績がないと、ユーザーが安心してAHATを選択できなくなるのではないか。100MW程度のLNG発電システムにおいては近年、高効率レシプロガスエンジン十数基で構成されたユニットを設置するユーザーもあり、冷却水用以外の熱交換器も必要ないためAHATよりさらにシンプルなシステムのように見えるが、このようなシステムに対するAHATの優位性について、説明するべきではないか。

8-3. 評点結果



【評価項目の判定基準】

評価項目1.～5.

3点: 非常に重要又は非常によい

2点: 重要又はよい

1点: 概ね妥当

0点: 妥当でない

6. 総合評価

(中間評価の場合)

3点: 事業は優れており、より積極的に推進すべきである。

2点: 事業は良好であり、継続すべきである。

1点: 事業は継続して良いが、大幅に見直す必要がある。

0点: 事業を中止することが望ましい。

9. 提言及び提言に対する対処方針

今後の研究開発の方向等に関する提言

- 事業総額と研究開発の大幅な変更について、その妥当性に大きな検討の余地があると考えられる。開発コストの圧縮は当然の方向性としても、実証完成年度の3年間前倒しと、実証機運転時間の大幅な削減は、本事業の商用化に向けた今後の計画にどのような影響を及ぼすか、十分な検討が必要であると考ええる。また、各構成要素の更なる技術課題克服に向けた継続的な検討を実施していく具体的な体制の構築と計画策定が必要であると考えられる。
- 事業総額の大幅な縮小と研究期間の短縮にも拘わらず、事業の目標に変更はなく、従来通りの研究開発の妥当性も確保するという説明は説得力に欠ける。この事業規模での事業遂行が可能であるのならば、従来の予算総額と試験期間の算出根拠に大いに疑義が生じる。事業の縮小に伴い、今後問題となる可能性を有している点の早急な洗い出しと追加検討の必要がある。
- 信頼性や運用性の実証試験において、補助金削減などの要因により十分な試験内容を実施しないまま市場へ投入すれば、ユーザーがAHATを安心して採用できなくなり、結果的に国の政策に沿った環境対策効果を得られなくなることが懸念される。早期市場投入や試験に必要な燃料費等を低減するという趣旨は理解できるが、実証機運転時間について、1,000時間で長期信頼性を本当に証明できるのか検討が必要と考えられる。さらに、コスト面および試験環境の理由で、発電機ではなく負荷圧縮機を用いて試験した場合、負荷追従性が優れていることについて、説得力をもって説明できるのか検討が必要と考えられる。

提言に対する対処方針

- 実証機の運転時間の大幅な削減が本事業の商用化に向けた今後の計画に及ぼす影響を検討する。また、各構成要素の更なる技術課題克服に向けた継続的な検討を実施していく具体的な体制を構築し、計画策定する。
- 商用機の建設、運転に際して技術課題となる可能性のある点を洗い出し、抽出された課題に対して追加検討を行う。
- 1,000時間で長期信頼性を証明できるのか検討を行う。発電機ではなく負荷圧縮機を用いた場合でも、負荷追従性が優れていることを根拠をもって説明できるよう検討を行う。