

B2. 高湿分空気利用ガスタービン実証事業

1. 事業の目的・政策的位置付け

1-1 事業目的

平成23年3月の東日本大震災の後、原子力発電所の多くが停止されており、我が国の発電電力量の約9割が火力発電によるものとなっている。その発電効率は40.9%（平成17年度一般電気事業者の平均発電端熱効率）と既に世界最高レベルに達している。しかし、資源の乏しい我が国のエネルギーセキュリティの確保に関する問題及び近年の地球環境問題双方への対応から火力発電所は、環境に配慮した更なる発電効率向上への取組が求められている。

エネルギー資源の中で天然ガスは、東南アジアを中心に世界各国に幅広く分布しており、我が国のエネルギーセキュリティを確保する上で極めて重要な燃料である。また、他の化石燃料に比べ、燃焼時における二酸化炭素排出量が少ないため、環境負荷の少ないクリーンなエネルギーと言える。そのため、火力発電所における天然ガスの利用拡大を図るため、既設火力発電所に比べて二酸化炭素排出量の削減が多く見込まれる高効率ガスタービンの技術開発を推進していくことが強く求められている。

本事業で研究開発する高湿分空気利用ガスタービンA H A T*1（以下、「本技術」）はこのような必要性に応える高効率ガスタービン技術であり、中小容量機（10万kW程度）の高効率化（45%(HHV)既設複圧CC*2→51%(HHV)以上）を目標としている。A H A Tは1980年に日本で考案されたH A T*3システムが基礎になっており、電力事業用に改良を加えた日本オリジナルの技術である。

世界初となるA H A Tの実用化に必要な長期信頼性等の実証等の技術開発を行い、実用化に繋げることが本事業の目的である。

*1 アドバンスド高湿分空気利用ガスタービン：Advanced Humid Air Gas Turbine

*2 コンバインドサイクル：Combined Cycle

*3 高湿分空気利用ガスタービン：Humid Air Gas Turbine

1-2 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」（経済産業省）において、高効率ガスタービンは、二酸化炭素排出量を抑制できる高効率天然ガス発電であり、「重点的に取り組むべきエネルギー革新技术」の一つとして位置付けられている。また、同計画で示されたロードマップにおいて、AHAT(高湿分空気利用ガスタービン)は、2020年代に実用化を目指す技術として位置付けられている。

「技術戦略マップ」（平成22年6月14日、経済産業省）において、A H A Tは中小容量機の新設およびリプレイスによるエネルギー効率向上できること

から「総合エネルギー効率の向上」、天然ガスの有効利用の観点から「化石燃料の安定供給とクリーン・有効利用」に寄与する技術の一つとして位置付けられている。

さらに、エネルギー基本計画(平成 22 年 6 月 18 日、経済産業省)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、AHATはリプレースにおける中小容量機のエネルギー効率向上に努めることができる技術である。

平成 23 年 3 月の東日本大震災の後、平成 23 年 8 月に制定された「第 4 期科学技術基本計画」(文部科学省)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」によると、3つのプランのうち「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(図 1-3)。「日本産業再興プラン」の中では、我が国が世界で一番企業が活動しやすい国となることを目指し、高効率火力発電(石炭・LNG)について、環境に配慮しつつ導入を進めるとともに、技術開発を進めて発電効率の更なる向上を目指すと記載されている。「戦略市場創造プラン」の中では、クリーンで経済的なエネルギーが供給される社会を実現するため、当面の主要施策として先進技術開発を加速し、世界最高水準の効率を有する火力発電を我が国で率先して導入するとともに、世界へ積極的に展開することが記されている。

また、平成 25 年 7 月に総合技術会議「環境エネルギー技術革新計画」で示された高効率天然ガス発電のロードマップでは、AHAT が 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標としていること、AHAT 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ことが記載されている。

AHAT と他の発電システムの関連づけとしては、平成 16 年 6 月にとりまとめられた、(財)エネ総工研の「電力分野産業技術戦略」に関わる動向調査報告書において(図 1-4)、AHAT はガスタービンサイクルを改良したシステムであり、比較的早期に実用化が期待できる高効率発電システムである。また、次世代高効率発電システムである石炭ガス化と組み合わせたIGHATへ展開できる技術であると位置づけられている。

① 高効率天然ガス火力発電

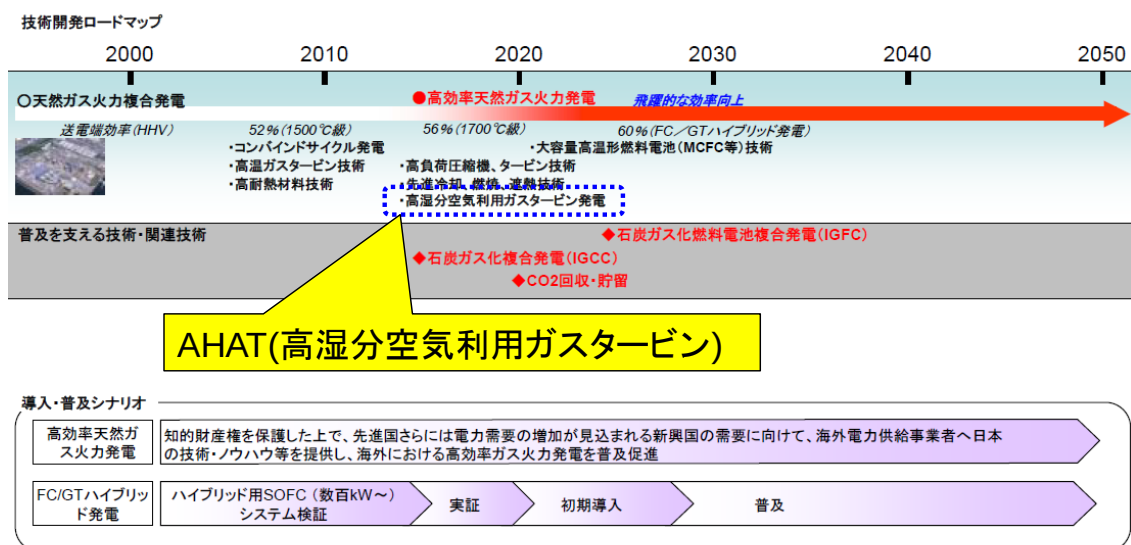


図 1-1 「Cool Earth -エネルギー革新技術計画」(平成20年3月、経済産業省)におけるロードマップ

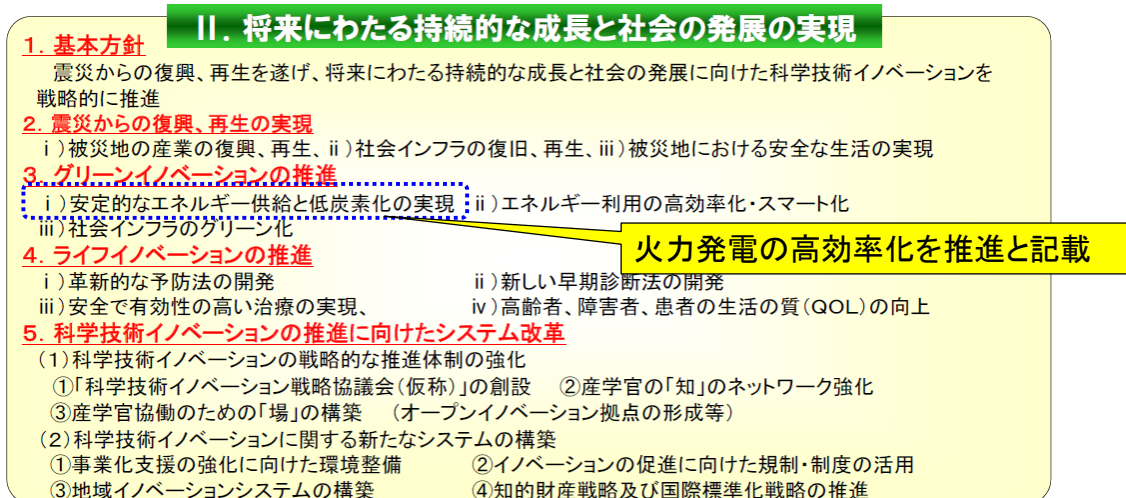


図1-2 「第4期科学技術基本計画」(平成23年8月、文部科学省)における
火力発電の高効率化の位置づけ

- 一、日本産業再興プラン
5. 立地競争力の更なる強化（世界で一番企業が活動しやすい国を目指す）
- ⑦環境・エネルギー制約の克服
- 高効率火力発電（石炭・LNG）の導入
- ・環境省と経済産業省が合意した環境アセスメントの明確化・迅速化を踏まえ、今後、**高効率火力発電（石炭・LNG）について、環境に配慮しつつ導入を進めるとともに、技術開発を進めて発電効率の更なる向上を目指す。**
- 二、戦略市場創造プラン
- テーマ2：クリーン・経済的なエネルギー需給の実現
- ①クリーンで経済的なエネルギーが供給される社会
- Ⅱ）解決の方向性と戦略分野（市場・産業）及び当面の主要施策
- 先進技術開発を加速し、世界最高水準の効率を有する火力発電を我が国で率先して導入するとともに、世界へ積極的に展開する。**

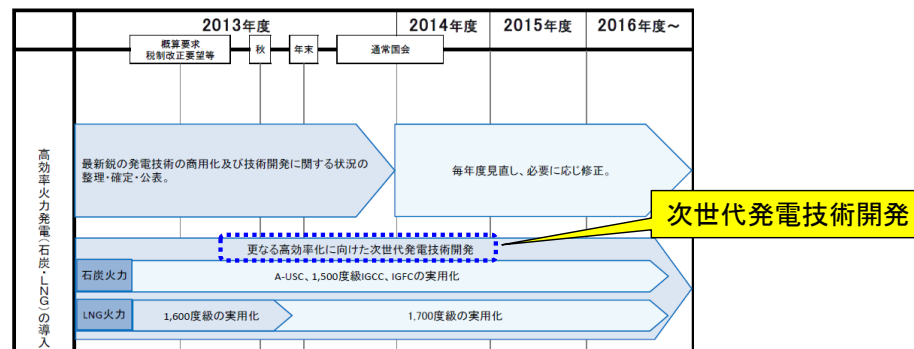
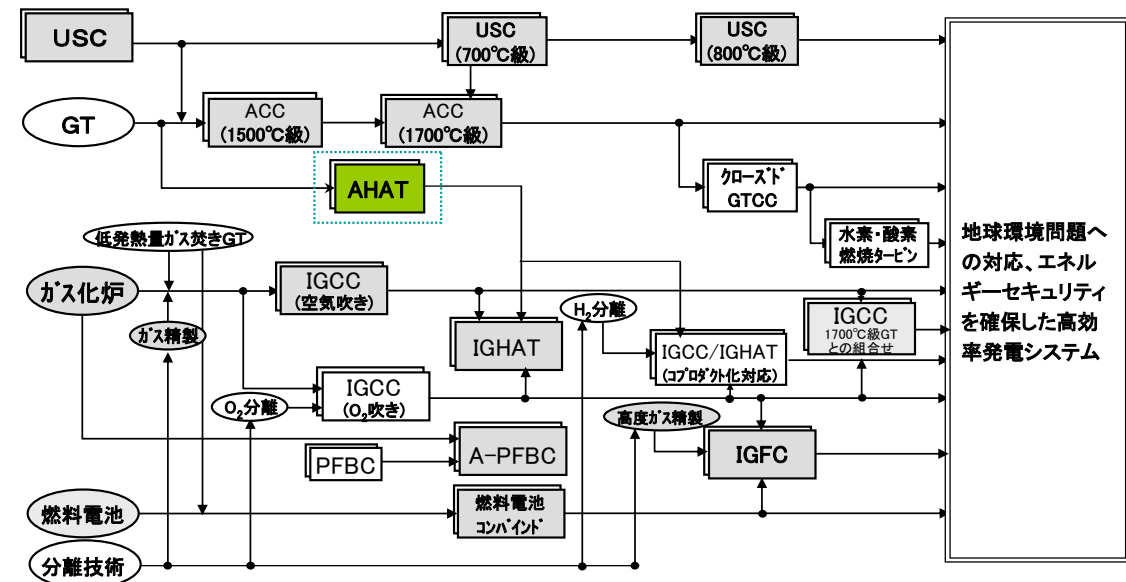


図1-3 「日本再興戦略」(平成25年6月、内閣府)における高効率火力発電の位置づけ



□ : 発電システム ○ : 要素技術 網掛 : 調査対象技術 □ : 目的

出典:「電力分野産業技術戦略」に関わる動向調査報告書 平成16年6月 (財)エネ総工研

図1-4 各種発電システムにおけるA H A Tの位置づけ

1-3 国の関与の必要性

AHA Tは、世界初、新型ガスタービン発電システムである。増湿装置、再生熱交換器など新たな機器を統合した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AHA Tに適合したガスタービンは、未知なところが多く世界初の難度が高い技術である。民間企業だけでは開発リスクを伴うため、国の関与のもとで実用化技術開発を推進することで民間企業だけでは達成し得ない世界をリードする技術を確立することができる。

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削減を実現できるため社会的意義が高い。一方で、開発リスクの大きい技術であることから、国の主導・支援による事業とし、民間はそれぞれ優位技術をもつ複数社で構成している。また、最先端の高度な技術開発を行うため、複数の大学と共同研究を実施している。

本事業は、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投資を継続するには2/3の補助率が必要である。

(1) 技術的なリスク

複数の大学との共同研究が必要となるなど、最先端の高度な技術開発に伴うリスクがある。

(2) 事業的なリスク

AHA Tは、新規な火力発電システムであるため、開発期間が長くかかるだけでなく、商用機の建設も環境アセスなどのリードタイムが長く、投資回収に時間がかかる技術である。今後、投資回収のない状態で、実証機の建設などの大きな投資を継続することは、事業者である民間企業には大きな事業上のリスクである。

2 研究開発目標

2-1 全体の目標設定

(1) AHA Tの概要

AHA Tは、ガスタービン本体の圧力比、燃焼温度の上昇により効率上昇を狙うのではなく、システムの熱回収の工夫により高効率を達成する新型ガスタービン発電システムであり、その概略システムを図2-1左に示す。ガスタービン圧縮機に吸気噴霧システムを採用している。吸気噴霧冷却による吸込み空気量の増加、圧縮機内部で液滴蒸発させることにより圧縮機動力低減の効果を狙っており、夏場の出力低下も抑制できる。圧縮機で加圧された空気は、増湿塔にて温水と直接接触することにより蒸気タービン蒸気量に匹敵する量を加湿する。再生熱交換器で熱回収した高湿分空気は燃焼器に供給される。加湿により出力増加し、再生サイクルにより排ガスの熱を回収し熱効率が向上する。高湿分空気はNO_x低減に大きな効果が期待できる。また、排ガス中の湿分と凝縮潜熱

の一部を回収して再利用する水回収装置を有しており、水の消費量を抑制している。回収した水は、増湿塔に供給するとともにその一部を冷却して水回収器に再循環させている。

図2-1右に、コンバインドサイクルの概略系統を示す。コンバインドサイクルでは、ガスタービンと蒸気タービンの2台で動力を発生し高効率化している。AHATでは①噴霧器、②増湿塔、③再生熱交換器を設置し、ガスタービン1台で動力を発生し高効率化を図っている。

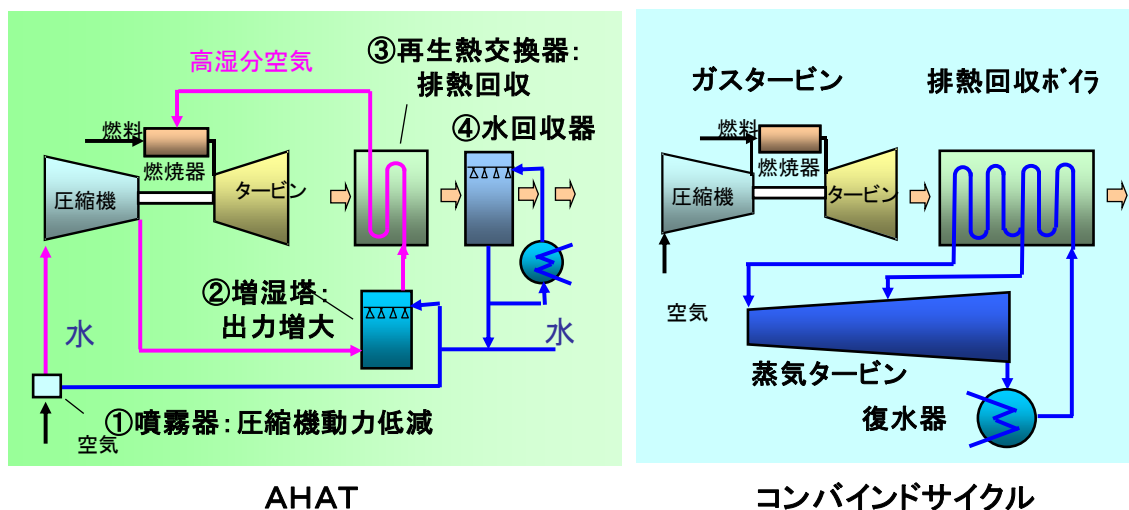


図2-1 AHATおよびコンバインドサイクルの概略系統

図2-2に各種発電システムの出カ—効率特性を示す。AHATは、コンバインドサイクルの蒸気ボイラの構成が複圧程度である～200MW以下の中小容量クラスで他発電システムよりも高い効率を得ることができる。

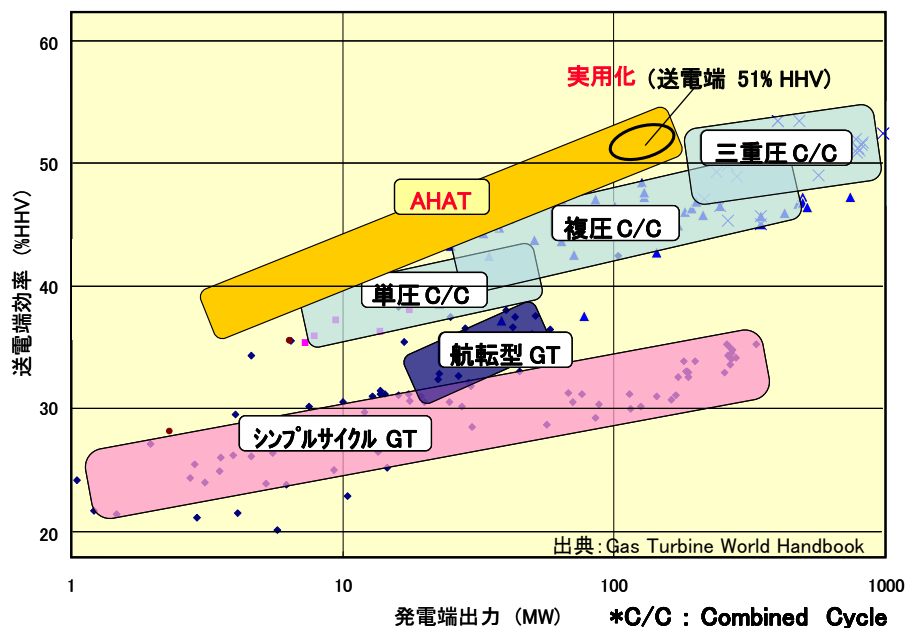


図 2-2 各種発電システムの出力—効率特性

表 2-1 にコンバインドサイクルとの特徴比較を示す。

まず、運用性に関して、蒸気タービンや排熱回収ボイラの暖機運転が不要のため起動時間が短くできる。高湿分燃焼により NO_x 低減できるため、低負荷で加湿開始することで運用負荷帯を広くすることができる。吸気噴霧冷却により高気温時の出力低下を抑制し大気温度特性が改善し、制御もガスタービン制御が主でシンプルである。

環境性については、高湿分燃焼により低 NO_x を図り、脱硝のためのアンモニア消費をなくす、もしくは消費を抑制できる。また、AHAT は 60°C 程度の比較的高い温度の回収水を 30°C 程度に冷却するので、冷却方式に空冷のクーリングタワーを使用することができる。コンバインドサイクルでは蒸気タービン出口で 30°C 程度と低温であり空冷では設備が大規模になるため、海水を用いた復水器を使用している。AHAT では復水器がないので沿岸でなければならないなどの設置場所の制約がなく、内陸部にも設置可能である。

経済性については、蒸気タービン系統が無いので構成がシンプルで工期も短く、メンテナンス費用も少なくできる。配管、水質管理、ユーティリティ消費がコンバインドサイクルと同等とみなしたとしても、AHAT は運用性、環境性、経済性に優れたシステムであるといえる。

表 2-1 A H A T とコンバインドサイクルとの特徴比較

◎: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	◎	高温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:高温分空気燃焼、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

(2) 開発目標の設定

AHATの最終目標は、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%、NO_x排出濃度10ppm以下(16%O₂)を達成することにある。

これを達成するための本事業におけるAHATの研究課題を図2-3に示す。テーマ(1)～(4)はAHATの信頼性を確保する以下のガスタービン技術の開発(高信頼性化技術)である。

(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

(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

(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

(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)～(7)は、AHAT システムの長期信頼性等の実証を行うための、以下の技術開発(実証機による長期信頼性の検証)である。

(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

(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

(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

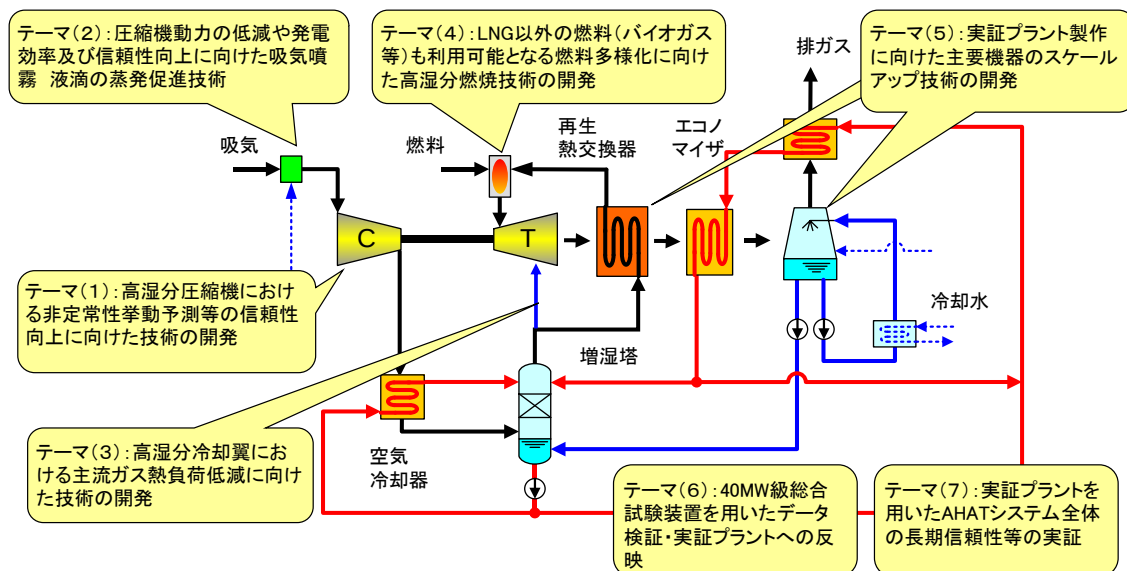


図2-3 AHATの開発課題と本事業の目的

最終目標を達成するためにこれらテーマで開発すべき革新的技術の内容とそ

の具体的数値目標、及び中間評価時点の目標を以下に示す。

(1) 高湿分圧縮機

○目標値：吸込流量 20%削減と圧縮機信頼性確保の両立

AHAT システムではシステム性能向上のため、圧縮機吐出空気に対して加湿を実施する必要があるが、この際流量バランスを維持するために圧縮機の吸込流量を低減する必要がある。ここで流量低減量としては加湿時に圧縮機吐出空気が飽和湿り空気となる、約 20%を想定している。この流量低減を既存のガスタービン圧縮機をベースとして達成するには圧縮機流路の改造が必要となるが、その際の有力な手法に圧縮機翼のケーシング側（外周側）をカットするチップカット技術がある。ただしチップカットによって翼高さが減少し、全体の流れに対して内周側と外周側の壁面部によって発生する流れの乱れの影響が大きくなるため、圧縮機の性能および空力的信頼性（サージマージン等）が低下する傾向にある。このため、圧縮機性能低下を抑制し、かつ信頼性を確保するチップカット技術が必要となる。チップカット技術を 40MW 級総合試験装置に適用し、実機試験によって開発技術の妥当性を確認することを目標とする。

○中間評価時点の目標

既存のガスタービン圧縮機に対して適用可能なチップカット技術を確立する。

(2) 吸気噴霧液滴の蒸発促進技術

○目標値：噴霧量 3.5wt%以上と圧縮機信頼性確保の両立

ガスタービン圧縮機に対し、現状の最大実績である 1.5～2%以上の吸気噴霧を実施すると、吸気部での液滴蒸発による吸気冷却効果だけでなく、圧縮機内部での蒸発による中間冷却効果が十分に得られる。ただし噴霧量が 2%以上の場合、圧縮機内部への流入液滴増加による信頼性確保や、噴霧水量の増加による運用性確保が必要となる。このため、以下の(a)～(c)の技術開発が必要となる。(a)液滴衝突による減肉の抑制、(b)液滴蒸発に起因する圧縮機内翼負荷分布変化(図 3)に対する翼信頼性の確保、(c)および未蒸発液滴の低減による圧縮機下流側機器の熱応力低減。これら(a)～(c)に対する検討を実施し、検討結果を 40MW 級総合試験機に反映した上で 3.5%の噴霧試験を実施して妥当性を確認する。

○中間評価時点の目標

上記(a)～(c)に対する検討を実施するための、3 次元数値解析と蒸発予測アルゴリズムを併用した予測手法を構築する。

(3) 高湿分冷却翼

○目標値：冷却効率静翼：70%以上、動翼：60%以上、かつ空力損失 10%低減
AHAT では、タービンの作動流体である主流ガスが約 20～25vol%の湿分を含

んでおり、タービン翼との熱伝達率が大きいことと、比熱比 γ が小さいことからタービン排ガス温度が従来ガスタービンよりも高温となる傾向がある。そのようにタービン翼の熱負荷が大きい状況で、冷却空気の使用量を低減するだけでなく、空力損失の低減も満足することにより、タービンの熱効率をさらに向上して、AHAT システムの優位性を図る技術を開発する必要がある。

○中間評価時点の目標

熱負荷低減構造の考案と有効性の確認、およびタービン内部流れの詳細計測技術を開発する。

(4) 高湿分燃焼器

○目標値： NO_x 10ppm 以下

AHAT 高湿分空気燃焼による低 NO_x 効果を LNG 以外の多様な燃料に適用できれば、AHAT システムで利用する燃料の選択肢の幅が広がり、システムの普及を加速することができる。そのため、LNG 以外の多様な燃料に対する AHAT 高湿分燃焼器の設計技術開発が必要である。また、燃料の性状によって火炎温度、燃焼速度および燃焼ガスの比熱が変化し、燃焼器ライナへの熱負荷が増加することが考えられるため、それに対応できる冷却技術開発が必要である。

○中間評価時点の目標

多様化燃料の燃焼特性評価技術および燃焼器冷却技術を開発する。

(5) スケールアップ技術

○目標：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

再生熱交換器には、高温、高圧かつ高湿度の環境で、ガスタービンの起動停止、負荷変動に伴う温度・応力が変動する条件で十分な耐久性と高い温度効率が必要。小型ガスタービンでは実用化されているが、それ以上のサイズでは実用化の例は僅かで(軍事用 WR-21(約 20MW)が最大)、更なる大容量にむけて大型かつ十分な耐久性を持つ再生熱交換器を開発する必要がある。

水回収装置に関しては、3 MW 級検証機で独自のスプレイ式を開発し、加湿量の 95%以上を回収できたが、大容量化にあたっては、排ガスとスプレイの流れの空間的な均一化が開発課題となっていた。水回収装置の大容量化に適した方式を、放熱方式も含めて検討することが必要である。

○中間評価時点の目標

再生熱交換器の大容量化を実現するために、製造技術の開発および長期耐久性を確保するための耐食性改良の検討を行う。大容量に適した充填物式の水回収装置を検討し、要素試験により水回収性能と、性能予測手法を検証する。

(6) 40MW 級総合試験

○目標：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

40MW 級総合試験装置の運転により、各機器の運転特性、信頼性を確認して、実証機の設計に反映する。特に、圧縮機翼長短縮や圧縮機吸気噴霧に影響される圧縮機翼、高湿分条件で運転するタービン翼、再生熱交換器などの特性および信頼性の確認が必要である。また、運転データを分析し、実証機の性能を予測する。

○中間評価時点の目標

総合試験の運転試験データを解析し、加湿のプラント性能への効果、部分負荷および起動特性を評価する。

(7) 実証機試験

○目標：システム全体の長期信頼性の実証

要素技術開発による機器の信頼性、性能の向上を反映して、実証機を設計、製作、運転により、システム全体の長期信頼性を実証する。

○中間評価時点の目標

実証機の体制、方法の検討。

表 2-2 A H A T の研究目標・指標

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	チップカット技術の確立	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	3次元数値解析と蒸発予測アルゴリズムの併用による予測手法の構築	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	・熱負荷低減構造の有効性確認 ・タービン内部流れの詳細計測技術の開発	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	・多様な燃料の燃焼特性評価技術 ・燃焼器冷却技術	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、構造面での信頼性確保技術の開発 ・充填物式水回収装置の性能検証、予測手法確立	・大型化により熱応力等が増大し、従来以上に材料、構造の検討が必要。 ・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	・開放点検による機器健全性確認 ・定格出力による運転 ・部分負荷、起動特性の評価	・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	実証機の体制、方法の検討	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。

3 成果、目標の達成度

3-1 成果

3-1-1 全体成果

実施テーマ（１）～（４）の高信頼性要素技術開発、実施テーマ（５）のスケールアップ技術は、実証機の設計・製作に反映する目的で、それぞれの計画通り進められている。実施テーマ（６）の総合試験装置による試験は、内部開放点検の後、定格出力に到達することができ、運転データの分析を実施している。実施テーマ（７）の実証機試験は、日本再興戦略（内閣府、H25 年 6 月）による火力発電のさらなる開発加速に対応し、実証を前倒しで開始する方法を検討した。

3-1-2 個別要素技術成果

（１）高湿分圧縮機

AHAT システムではシステム性能向上のため、圧縮機吐出空気に対して加湿を実施する必要があるが、この際、圧縮機とタービンの流量バランスを維持するために圧縮機の吸込流量を低減する必要がある。そこで既存のガスタービン圧縮機に対する流量低減案として、図 3-1-A に示す 3 つの流路形状改造案（(1) チップ径カット、(2) ハブ径アップ、(3) 両者の併用）を検討した。検討結果として、図 3-1-B に圧力比－効率特性を示す。図 3-1-B より、チップ径カットによる流量削減は他の方法に比べて設計点圧力比におけるベース圧縮機からの効率低下が小さく、チップ径カットの有用性を確認することができた。

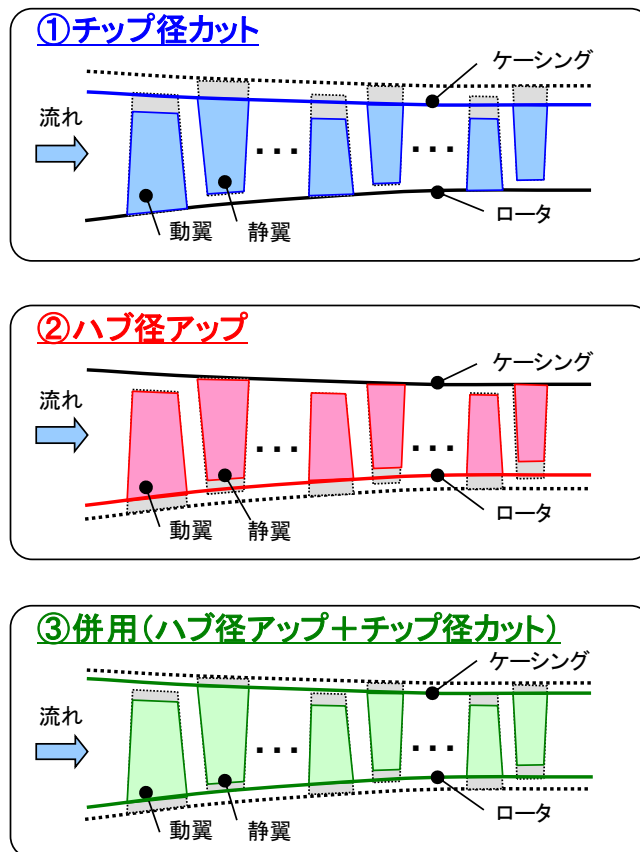


図 3 - 1 - A 流量低減を目的とした流路形状改造案

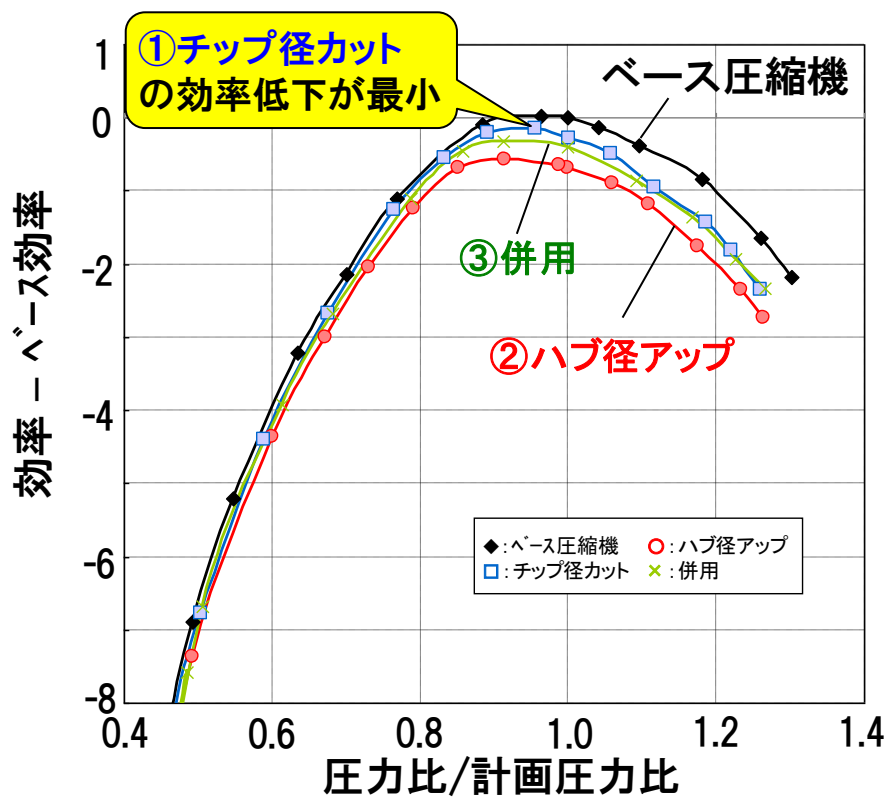


図 3-1-B 流路形状改造案の圧力比－効率特性比較

以上の検討からチップ径カットの有用性が確認できたので、次にチップカット圧縮機に対して大気温度特性を考慮した最適設計を実施した。検討対象は前述の検討同様既存のガスタービン圧縮機（ベース圧縮機）で、チップカットによる流量削減量は 40MW 級総合試験装置の現在の加湿量とほぼ同量の 10%とした。結果として図 3-1-C に流量－圧力比特性を、図 3-1-D に圧力比－効率特性を示す。まず図 3-1-C および図 3-1-D より、最適化前はベース圧縮機に対する効率低下が大きかったが、最適設計を実施することでほぼ効率を維持することが可能となった。

空力的な信頼性については、チップカットにより翼高さが減少することで流路の内外周壁面部の流れの乱れが大きくなり、特に圧縮機の後段側では翼負荷が増加することで圧縮機全体のサージマージンの低下と翼振動の増加が課題になる。さらに AHAT システムでは圧縮機吐出から燃焼器までの圧力損失の増加により圧力比が増加するため、通常のシンプルサイクルガスタービンに比べてサージマージンが低下する。サージマージンは図 3-1-C に示すように、サージ圧力比と計画圧力比との裕度を表す指標であり、最適設計したチップカット圧縮機のサージマージンは、後段側で翼負荷が増加することでベース圧縮機より低減するが、実用上問題ない範囲で維持できる見込みである。今後は本開発技術を 40MW 級総合試験装置に適用し、実機試験によって開発技術の妥当性を確認する予定である。

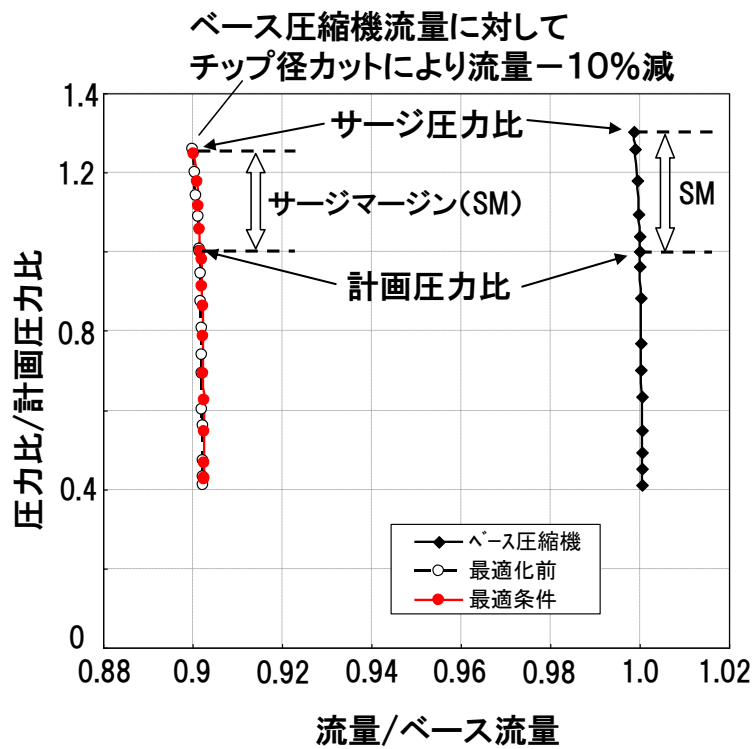


図 3 - 1 - C 最適設計時の流量－圧力比特性

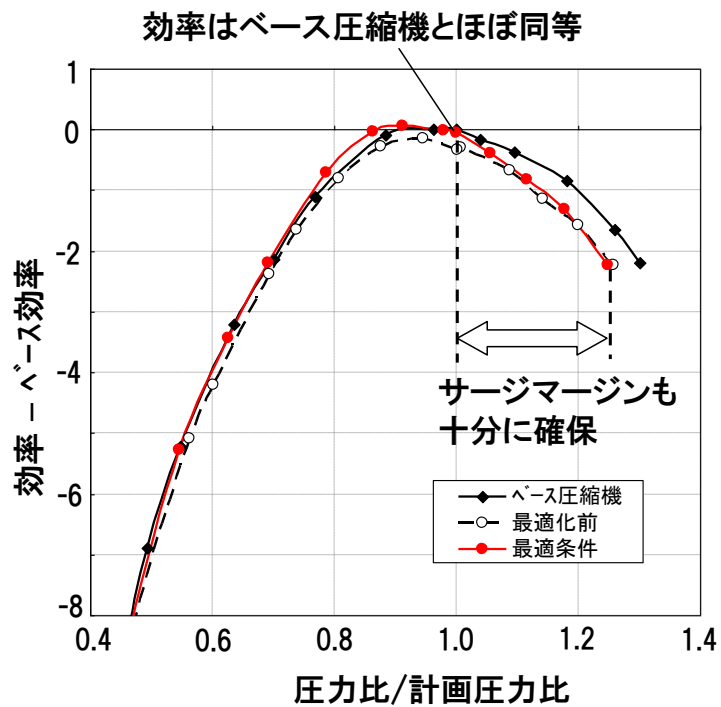


図 3 - 1 - D 最適設計時の圧力比－効率特性

(2) 吸気噴霧液滴の蒸発促進技術

平成 23 年度までの実用化技術開発で構築した蒸発予測アルゴリズムでは考慮できなかった詳細な現象（例：圧縮機翼面に付着した液滴挙動）が模擬できるように、主流と液滴の総合作用をモデル化した 3 次元数値解析（CFD）の適用性を検討した。検討として単一液滴の蒸発実験と蒸発計算に対するトレース計算を実施した。結果として、液滴径の時間履歴を図 3-2-A、3-2-B に示す。これより、CFD の解析結果は実験結果や解析結果、および性能予測アルゴリズムと良く一致しており、CFD を実機設計や検討に使用可能な見通しを得ることができた。

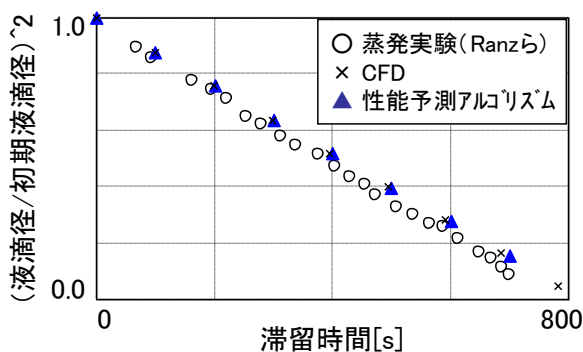


図 3-2-A 液滴径時間履歴
(Ranz らの蒸発実験との比較)

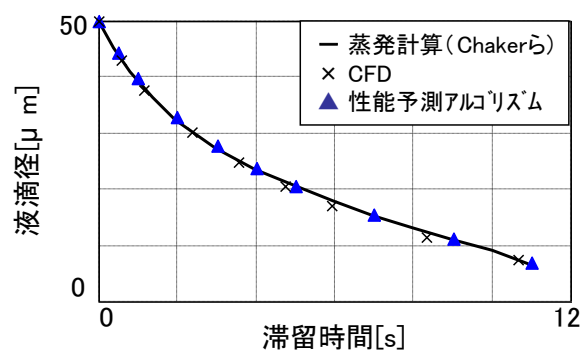


図 3-2-B 液滴径時間履歴
(Chaker らの蒸発計算との比較)

前述の CFD を用い、40MW 級総合試験装置の圧縮機吸気ダクト部の液滴蒸発解析を行った。解析対象は図 3-2-C に示す通り吸気部の消音用のサイレンサダクト下流から圧縮機入口直前の吸気プレナムまでの範囲で、運転条件は定格出力（40MW）で吸気噴霧を実施した条件（Run69）とした。また噴霧条件としては全噴霧ノズルマニホールド（9 セット）を使用したケースと、そのうち 4 セットのみを使用したケースについて検討した。検討結果として、図 3-2-D に圧縮機入口部の温度分布を示す。図 3-2-D より、ノズルマニホールドを 4 セットのみ使用したケースでは噴霧液滴が局在化して圧縮機入口部に温度偏差が発生するが、ノズルマニホールドを 9 セット使用したケースでは前述の温度偏差はほぼなくなることが分かる。つまり噴霧量が少ない場合は噴霧液滴の局在化により吸気部での蒸発が不十分になる可能性があるため、これらの局在化を抑制する噴霧方法が必要なが示された。今後は前述の噴霧方法だけでなく、ノズル配置やダクト形状が及ぼす影響も開発手法で検討し、3.5wt% 噴霧時の蒸発性能の向上や発生ドレン量の低減を達成する予定である。同時に本手法を圧縮機内部流れに対しても適用し、液滴付着位置の予測による減肉対策の実施等によって圧縮機に対する信頼性向上も同時に達成する予定である。

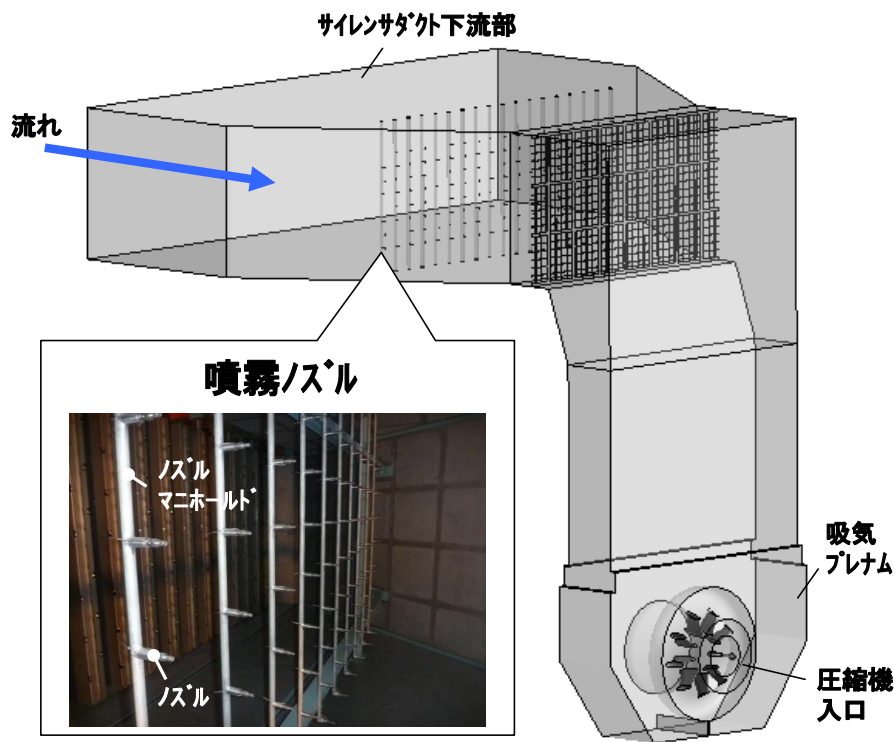


図 3-2-C 吸気ダクト部解析領域

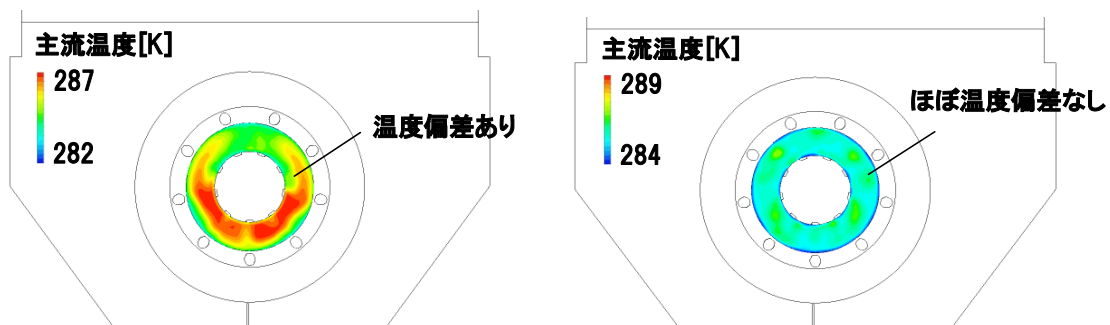


図 3-2-D 圧縮機入口温度分布

(左：マニホールド 4 セット、右：マニホールド 9 セット)

次に、本開発している蒸発予測アルゴリズムを用いて 40MW 級総合試験の定格負荷 (40MW) における、現状の最大液滴噴霧条件 (1.6wt%噴霧) のトレース計算を実施し圧縮機内部流れ場を評価した。図 3-2-E にドライと液滴噴霧時の動静翼の翼負荷分布を示す。液滴は圧縮機内部で完全に蒸発完了しており、蒸発完了段より上流側では蒸発効果によりドライ時に比べて翼負荷が低減している。一方、下流側では翼負荷が増加する傾向にあるが、翼負荷の指標は基

準以下であり液滴を最大噴霧したときでも空力信頼性は確保できていることが確認できる。

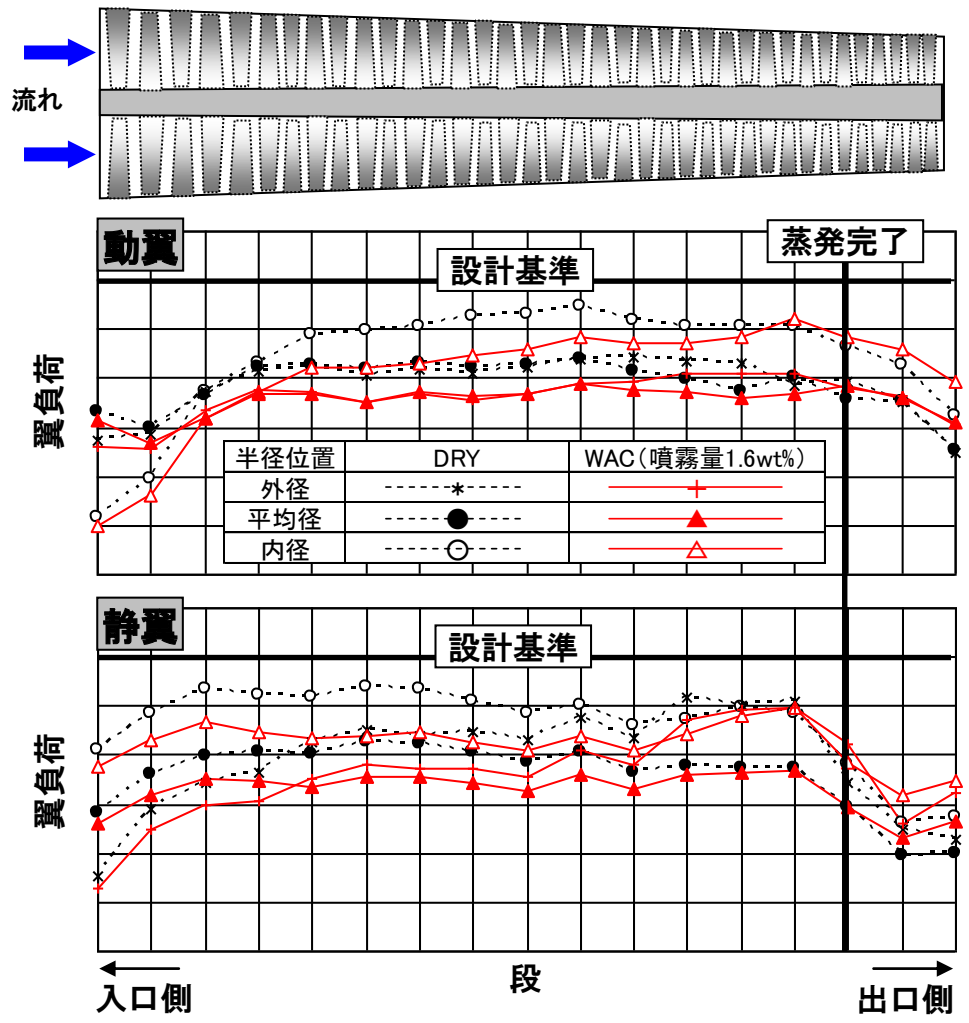


図 3 - 2 - E 翼負荷分布（定格負荷時の最大噴霧条件（噴霧量 1.6wt%））

(3) 高湿分冷却翼

高湿分化によるタービン翼への熱負荷増大に対処するため、主流ガスの流れを制御することによりフィルム冷却性能を向上する高性能冷却構造を考案した。

図3-3-Aに、基本冷却構造と数値流体解析に使用した計算格子を示す。流れ制御構造は回転楕円体の曲面からなる三次元形状となっており、フィルム冷却孔上流に設置することで主流中に渦対を発生させ、冷却空気の壁面への付着性を改善することを期待している。

図3-3-Bに、吹出比(BR)=0.5の条件での数値流体解析結果を示す。フィルム冷却孔だけのケースと比較して、流れ制御構造付きのケースではフィルム冷却効率が高くなり、スパン方向への拡がりも大きくなっている。この結果、本構造では従来型円孔の約4倍のフィルム冷却効率を達成できる見通しを得た。

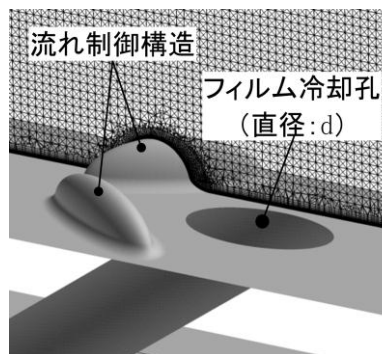


図3-3-A 基本冷却構造と計算格子

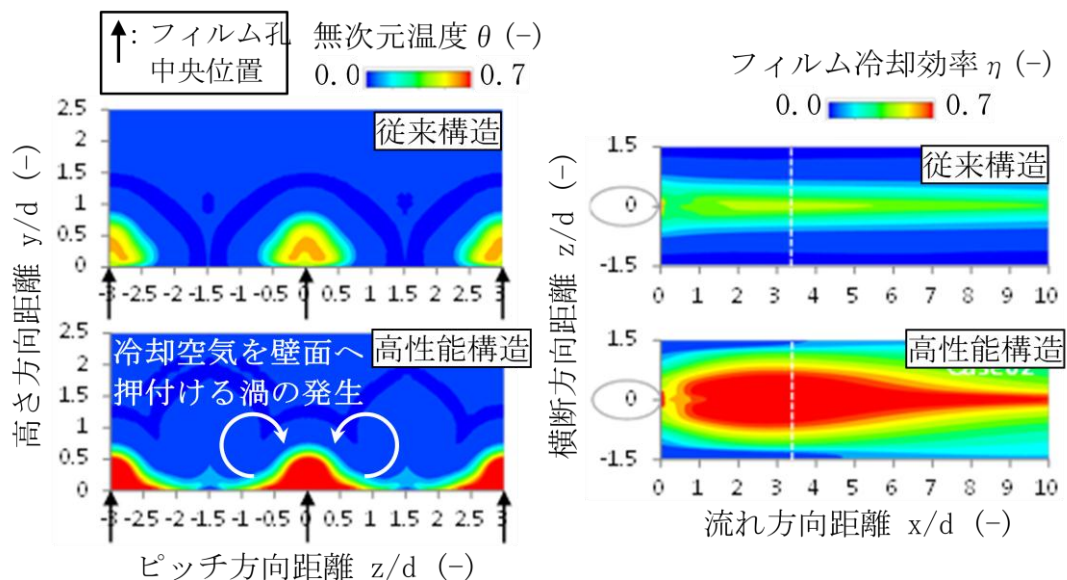


図3-3-B 数値流体解析結果 (BR=0.5)

次に、冷却空気量と空力損失の低減を両立できる冷却技術の開発を目的として、ガスパス内の流れ場を正確に把握するため、図3-3-Cに示すような実機に近い形状の環状セクター翼列試験装置を設計・製作した。図3-3-Dに、計測装置を示す。本試験装置では、シール・リーク空気を考慮した翼周りの複雑な流れ場のと温度場の計測と、過渡応答法による表面熱伝達率とフィルム冷却効率の同時計測が可能である。今後、本試験装置を用いて、開発した冷却構造の冷却性能と空力性能を確認する予定である。

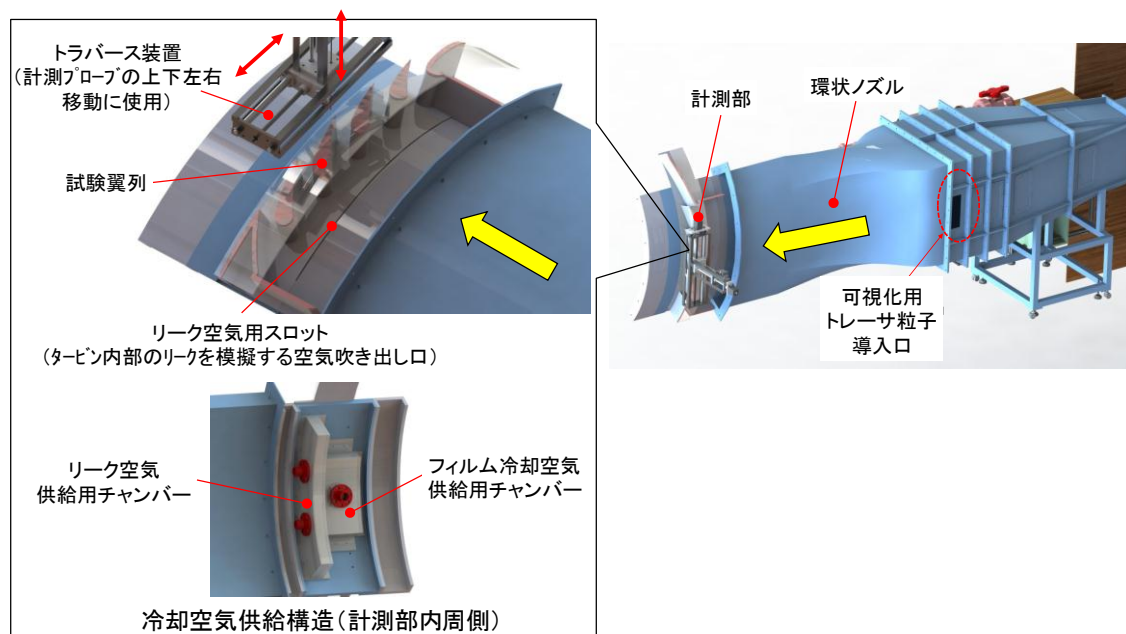


図3-3-C 環状セクター翼列試験装置

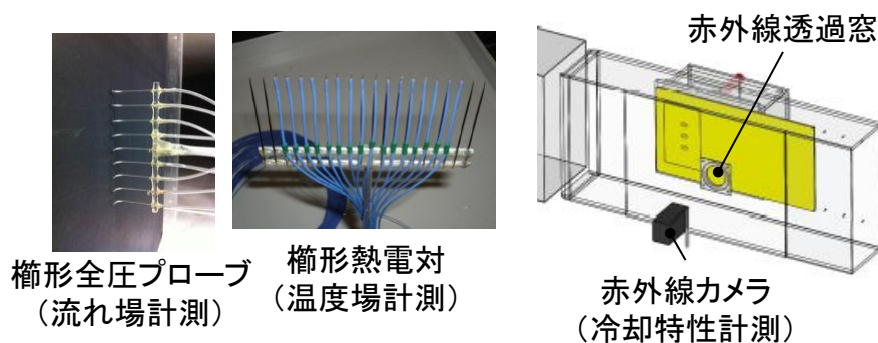


図3-3-D 計測装置

（４）高湿分燃焼器

燃焼器の開発に際しては、設計した燃焼器が設計どおりの性能を備えていることを燃焼試験で確認することが欠かせない。実際のガスタービンで燃焼試験を行なうことは費用、時間の面から制約があり、これまでは実寸単缶試験によって各種性能を評価してきた。燃料を多様化する場合、燃料の組成に応じた燃焼器設計技術を確立する必要がある。ところがそれを検証する際に、各種燃料の確保やそれぞれ流量を計測した後に混合して混合燃料とする設備の規模の制約があるため、実寸燃焼器の試験を繰り返すことは難しい。そこで、比較的小規模な試験で燃焼器各部の寸法パラメータサーベイを完了しておくことが必要となり、本事業では、多様な燃料に対する燃焼試験が可能な小規模バーナの大気圧試験装置を設計製作した。

本装置は、燃料を燃焼させ特性を評価できる燃焼スタンドとそれに付随する燃料供給系統、空気供給系統、蒸気供給系統、制御盤等から構成される。



図 3-4-A 燃焼スタンド外観写真 図 3-4-B 燃料供給系統外観写真

また、燃焼解析を用いて、燃焼器内部の燃焼状況を詳細に分析し、燃焼器の性能予測及び形状の影響を評価することで、燃焼試験前に試験パラメータを絞り込むことも重要である。さらに、CO を含む多様化燃料を用いる場合は、定格負荷条件だけでなく、部分負荷条件においても十分な燃焼効率を確保して CO の排出を抑制する必要がある。そこで、CO 排出量を評価可能な燃焼解析法を開発した。

図 3-4-C に瞬時の燃焼器内の CO 濃度分布を示すが、本解析法を用いることで、ガスタービン燃焼器内の燃焼状態を詳細に分析し、性能に関わる CO の発生位置について検討することが可能となった。

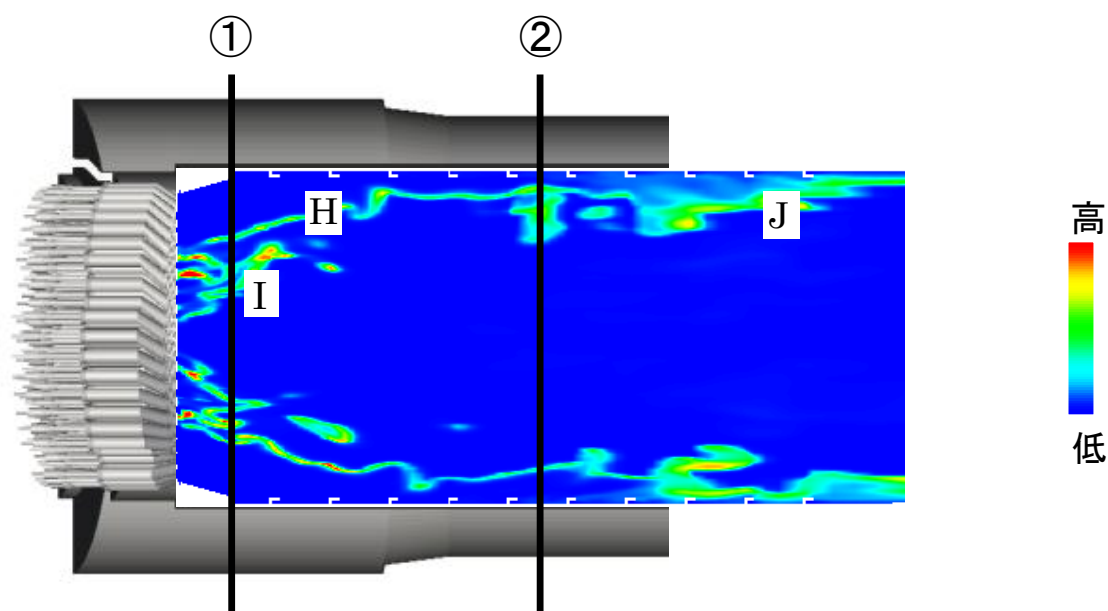


図 3 - 4 - C 燃焼器内 CO 濃度分布の解析例

水素含有量の増加や、放射熱が増大する輝炎の発生など、燃料多様化によってライナへの熱負荷が増加する。また、燃料組成の変化によって発熱量、断熱火炎温度が変化し、 NO_x が増加する可能性があり、 NO_x 発生を抑制するためにはライナ冷却空気を削減して燃焼空気に余裕を持たせる必要がある。そこで NO_x 抑制とライナ熱負荷軽減を両立するため、フィルム空気レスのライナ冷却促進技術が重要となる。本研究では、対流のみによるライナ冷却促進技術として、縦渦発生器を用いたリブ冷却構造について、数値流体解析により検討した。図 3 - 4 - D に示すように、ライナ壁面近傍にまで及ぶ縦渦の影響によって、周方向に熱流束の大きな領域が現れ、縦渦による冷却促進効果があることが判った。

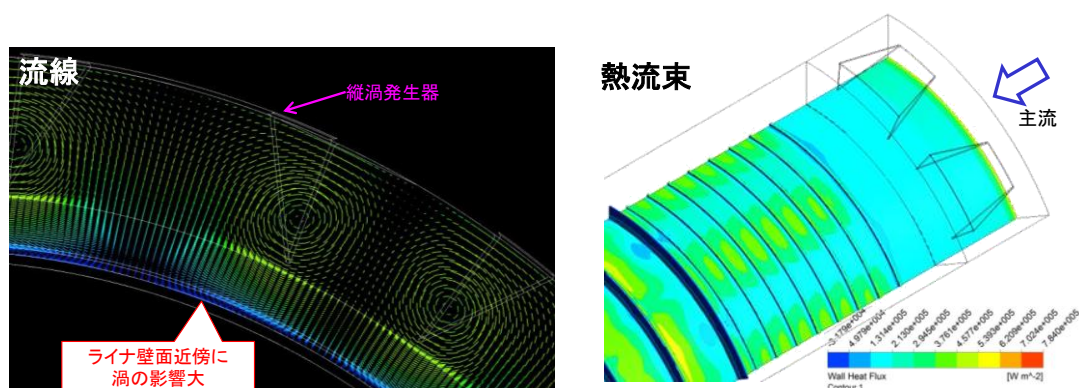


図 3 - 4 - D 数値解析結果

最後に、総合試験装置による試験運転については、長時間運転や大気温度変化に対する多缶燃焼器の信頼性検証を目的として、運転を継続中である。これまでガスタービンの負荷を増加させることにより、計画条件までの燃焼器運転を行なうことができた。その中で、短期間ながら燃焼性能および信頼性が維持できていることを確認でき、今後の信頼性試験が継続可能である見通しが得られた。

また、低 NO_x 性能については、図 3-4-E に示すように、最大負荷 48MW において約 1.5 時間のヒートランを実施した際の NO_x 排出量は 24ppm であり、図 3-4-F に示す湿分-NO_x の相関から、本結果は要素試験を再現しており、総合試験装置で加湿装置の湿分が飽和条件となる条件や、フル AHAT システムの増湿塔方式では、目標としている 10ppm 以下を達成できる見通しを得た。

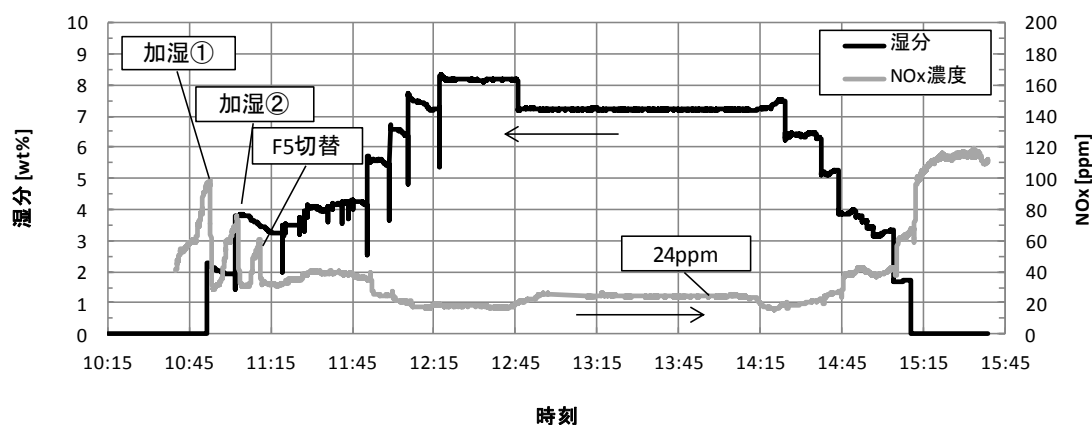


図 3-4-E 最大負荷試験での湿分と NO_x のトレンド

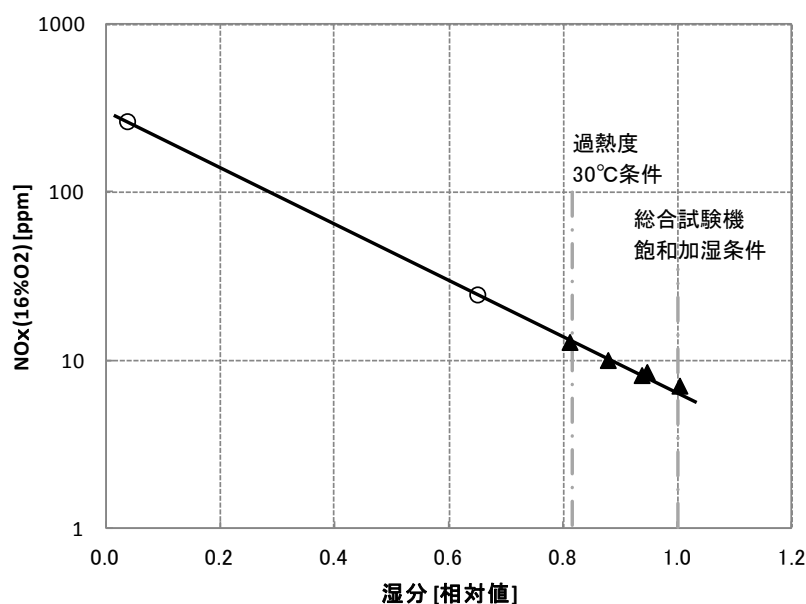


図 3-4-F NO_x に対する湿分の影響

(5) スケールアップ技術

(5-1) 再生熱交換器のスケールアップ

高湿分条件下で運転される再生熱交換器の材料面での信頼性確保技術開発として、熱交換器内面への表面処理開発を行った。プレートフィン型熱交換器の構造は複雑で一般的な表面処理が適用出来ないため、溶液に浸漬するだけで基材の材質に殆ど関係なく酸化物皮膜を成膜することができる液相析出法（LPD 法）での成膜開発を行った。

LPD 法は、図 3-5-A に示すように、金属フッ化物（金属フルオロ錯体）の加水分解反応（析出反応）を、アルミ、ホウ酸などのフッ素イオン捕捉反応（析出駆動反応）を利用して加速し酸化物膜を析出させる反応で、成膜に対する制約は少ないが、金属へのコーティングは殆ど研究されていない。

表面処理したサンプルを、40MW 総合試験運転条件を模擬した高温繰り返し水蒸気酸化試験（580℃-1 時間保持×3000 回）を行った結果、40MW 総合試験用試験体に採用した UNS S31060 では高温酸化による重量増加が半減する効果が確認出来た。（図 3-5-B）

一方、ステンレス表面に酸化チタン皮膜を成膜する条件は、従来行われているガラス等のセラミックスとは異なり、密着性や熱膨張収縮による微細クラックの発生や剥離の問題などが新たに確認された。（図 3-5-C 左）

そこで、成膜の安定と改良を図るために検討を行い、キレート剤の添加と液の攪拌を行うことで、成膜の安定と成膜層のクラック発生を低減することが出来ることを確認した。キレート剤とは、金属イオンに対して複数の結合を形成して金属イオンを挟み込むような形で結合する薬剤である。（図 3-5-C 右）

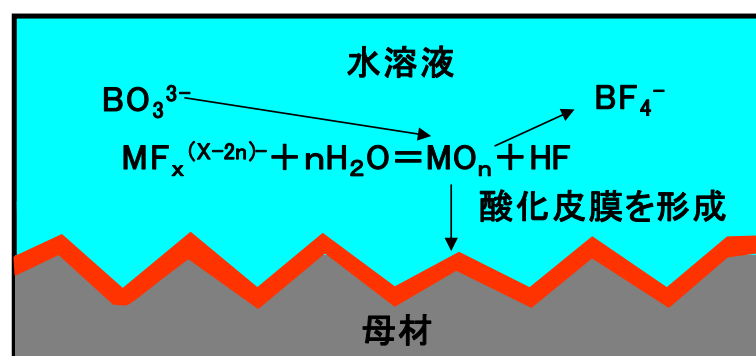


図 3-5-A LPD 法のメカニズム

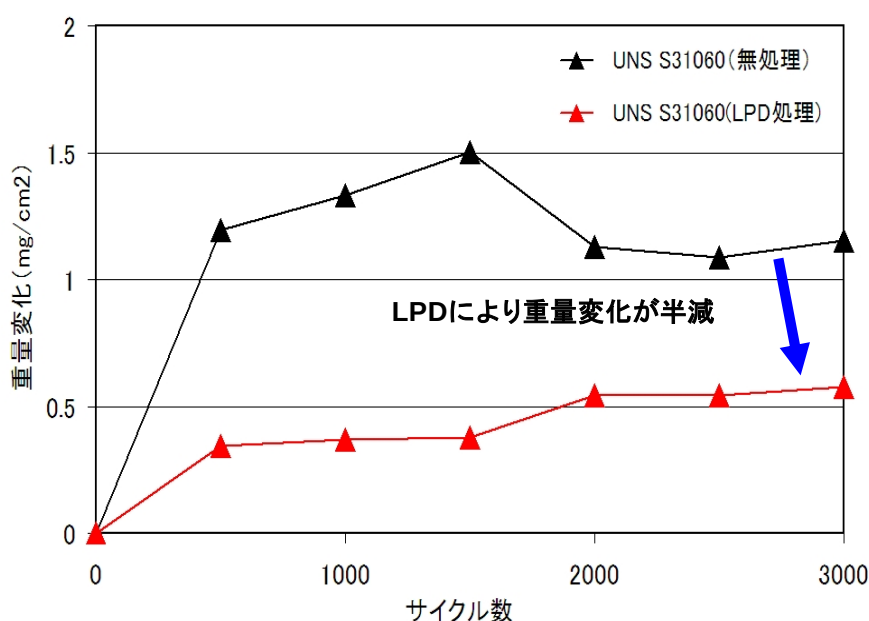
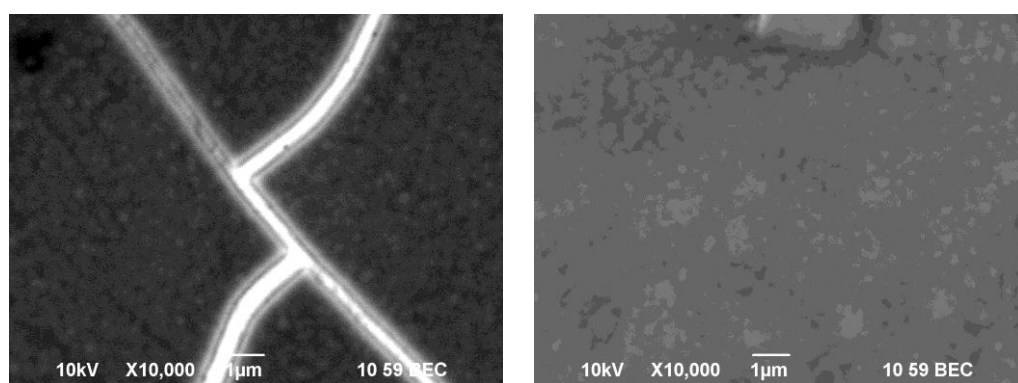


図 3-5-B 高温繰り返し水蒸気酸化試験結果



キレート剤なし (攪拌)

キレート剤あり (攪拌)

図 3-5-C キレート剤の有無による LPD 法酸化皮膜の比較

構造面でのスケールアップ技術開発として、コア接続技術の研究開発を行った。熱交換器コアの製作段階における複数のコアを溶接で接続する工程でコア接続溶接部に溶接割れが発生してしまうと漏洩に至る可能性があり、品質および生産コストにインパクトを与える。製品の量産化に向けて、コスト、強度等の条件から材質の組合せも変わってくる可能性がある。そこで、材質を変えて開先形状や溶接条件の検討を試作コアによる溶接試験を行った。

試験の結果、溶接材質(母材・溶加材)の違いによる溶接割れの感受性が異なると最適組合せも異なることから、使用する条件での最適条件を事前に確認する必要があることが分かった。スペーサー深さは深くなるほど、またスペーサ

一板厚は厚くなるほど、割れの発生は低くなる傾向が見られるが、スペーサー板厚 3mm で溶接条件の見直しや造り込みにより溶接割れを低減できる見込みを得た。

これにより、熱交換器本体高さを従来の 2000mm から 3000mm へスケールアップすることで増加するコア溶接接合部分の信頼性向上を図れることを確認した。

表 3-5-A 材質によるコア接合溶接試験結果比較（例）

			スペーサー厚さ t (mm)		
			2	3	5
SUS310S	スペーサー深さ D (mm)	2	○	○	△
		3	○	○	△
			スペーサー厚さ t (mm)		
			2	3	5
SUS304	スペーサー深さ D (mm)	2	○	○	○
		3	○	○	◎

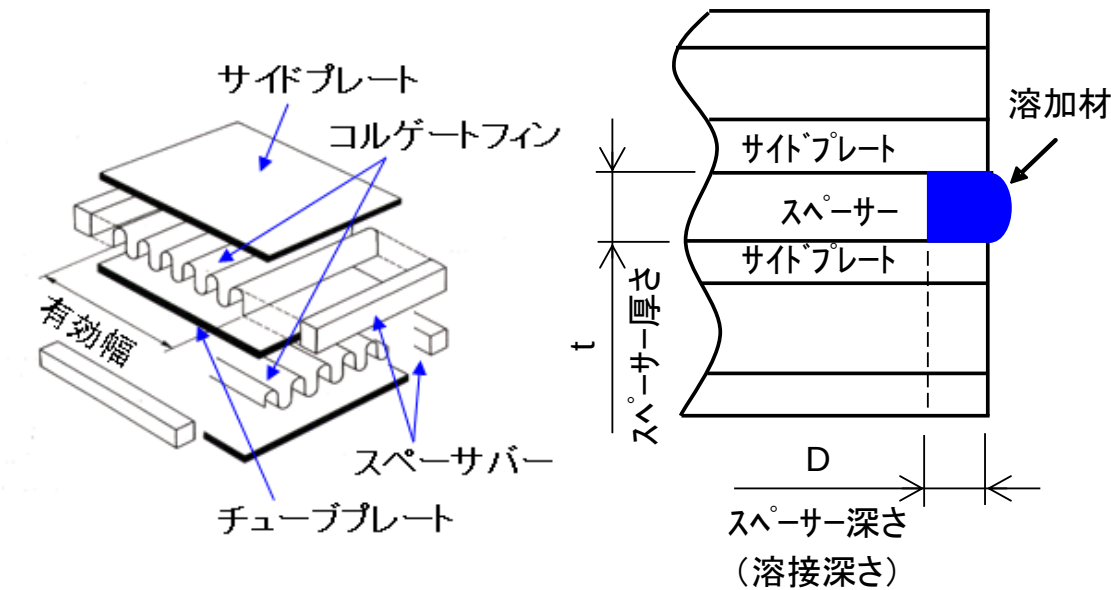


図 3-5-D プレートフィン式熱交換器とコア接続溶接部開先形状

（５－２）水回収装置のスケールアップ

コンバインドサイクルは、蒸気タービンの復水器の真空度を高めて、効率と出力を高めるために、復水器へ供給する冷却水をより低温にする必要がある。一方、AHAT は蒸気タービンと復水器を有しておらず、外部への必要な放熱は、ガスタービン排ガスからの水回収のための凝縮潜熱が大部分となる。この排熱温度は、排ガスの露点温度で決まり、AHAT の定格運転条件では 50～60℃の高温となるため、放熱先との温度差を大きく取ることができ、大気によるラジエータ冷却（空冷）が比較的容易になる。その結果、AHAT の設置場所は、沿岸部以外に内陸部設置も設置可能となるため、海水冷却、冷却塔冷却、ラジエータ冷却（空冷）の場合の熱交換器のサイズなどを検討した。表 3－5－B に示すように、国内で大部分の事業用発電設備に用いられる海水冷却と比較して、大気によるラジエータ冷却（空冷）は、熱交換器の伝熱面積は多く、機器コストが高価となり、発電コストに換算した場合は 0.17¥/kWh 程度の上昇となった。空冷式は、海水や工業用水が不要であるだけでなく、温排水も排出しないため、内陸部に AHAT を設置する場合の選択肢として有望であると考ええる。

表 3－5－B 水回収装置の冷却方式比較（出力 150MW 想定）

冷却方式	(a) 海水/河川水	(b) 冷却塔	(c) 空冷（ラジエータ）
メリット	・冷却水補給不要	・温排水不要	・冷却水補給不要 ・内陸設置可
デメリット	・取水源、取水工事要 ・取放水温度差制限	・蒸発、飛散水補給要 ・水質調整、排水処理要	・伝熱面積（設置面積）大
構成			
伝熱面積	3,300 m ² （プレート面片面）	8,400 m ² （プレート面片面）	28,000 m ² （チューブ内面）
熱交コスト	0.37 k¥/kW	0.93 k¥/kW	7.16 k¥/kW
所内動力	0.026 kW/発電kW （スプレー水ポンプ：840kW 循環水ポンプ：3,100kW その他：290kW）	0.016 kW/発電kW （スプレー水ポンプ：840kW 循環水ポンプ：770kW 空冷ファン他：1,020kW）	0.021 kW/発電kW （スプレー水ポンプ：840kW 空冷ファン：2,140kW その他：420kW）
発電コスト*	ベース	－0.07 ¥/kWh	＋0.17 ¥/kWh

* 機器コストと所内動力の影響による増減のみを評価

水回収装置の方式に関しては、3MW 級検証機で、独自のスプレー式を開発し、加湿量の 95%以上を回収することができた。しかしながら、回収割合を高めるためには、排ガスとスプレーの流れの空間的に均一な気液接触が必要であり、大型化の開発課題となっていた。大型化にあたり、ガスや散布水の流量分布が均等になり易い充填物式を選定し、性能検証のため、40MW 級総合試験装置の排

気ダクトに、図3-5-Eのような約1/60規模の水回収試験装置を追加設置した。放熱系統は空冷式とし、内陸立地への適用性を検証可能とした。図3-5-Fに水回収試験装置の外観写真を示す。この装置は平成25年6月から40MW級総合試験装置とともに運転を開始し、測定データを取得開始した。

平成25年6月に取得した4ケースの運転条件と、水回収装置入口での排ガス条件、水回収量の測定結果、予測結果、回収量と加湿量の比較を表3-5-Cに示す。水回収量の予測結果とは、水回収装置内部の充填物表面での熱・物質移動をモデル化して計算したものである。同表によると、水回収量の測定結果は、熱・物質移動モデルによる予測値の約97%であり、十分な精度で水回収装置の性能予測が可能である。また、回収量と加湿量の比較によると、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を得た。

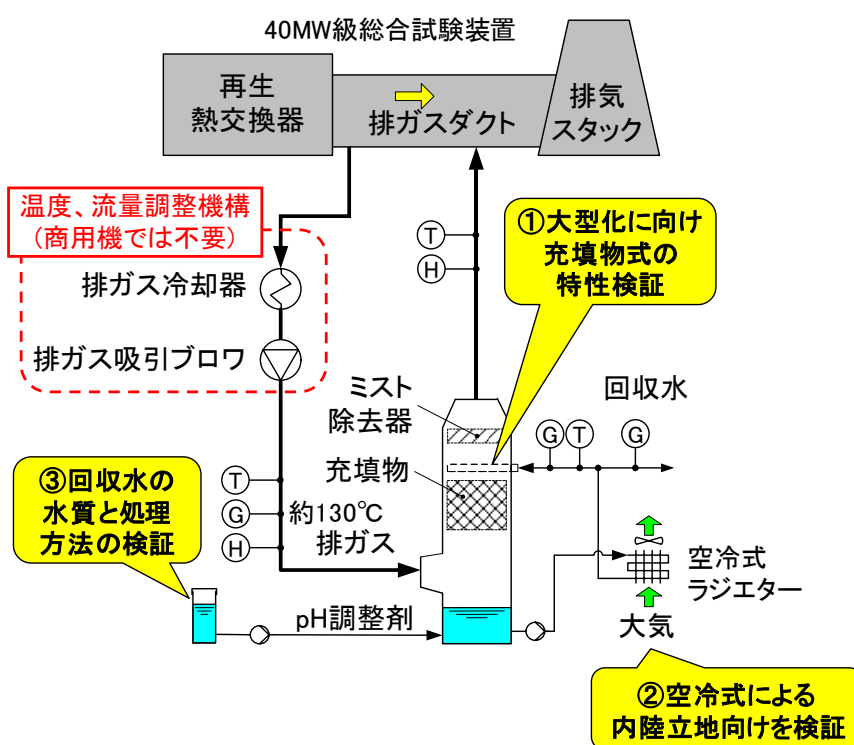


図3-5-E 水回収試験装置の概略

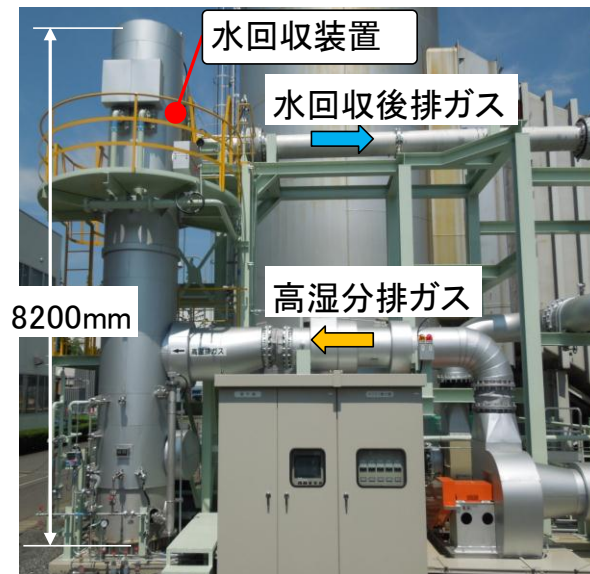


図 3 - 5 - F 水回収試験装置の外観

表 3 - 5 - C 回収水量の測定結果、解析との比較、加湿量との比較

ケース名			C1	C2	C3	C4	備考
ガスタービン	出力	MW	22	25	43	51	
	加湿量 (WAC蒸発量+加湿管蒸発量)	g/kg'	57	65	72	74	排ガス絶対湿度基準
水回収装置 散布水	流量	kg/s	7.7				
	温度	°C	33		38		
水回収装置 排ガス入口	流量	kg/s	2.2		2.1		全ガス量の約1/60
	温度	°C	125		130		エコノマイザ出口想定
測定結果	絶対湿度	g/kg'	93	104	117	124	
	測定結果 (排ガス絶対湿度基準)	g/kg'	60	69	70	79	
熱・物質移動 モデルによる 予測結果	予測結果 (排ガス絶対湿度基準)	g/kg'	61	71	73	82	
	回収量の実測/予測	%	98%	97%	96%	96%	平均97%
加湿量との 比較	回収割合 (回収量 / 加湿量)	%	104%	105%	97%	106%	平均103%

（６）４０ＭＷ 級総合試験

４０ＭＷ 級総合試験の目的は、高湿分ガスタービンの構成機器の健全性確認と、総合試験装置の運転特性確認による実証機の性能予測である。

（６－１）４０ＭＷ 級総合試験の運転結果

図３－６－Ａ に、４０ＭＷ 級総合試験装置の構成と、本装置の主な検証内容を示す。図３－６－Ｂ に、システム機器とガスタービンの外観を示す。本装置は、事業用の重構造ガスタービンの高湿分空気利用ガスタービンへの適用性を検証することが主目的であり、加湿装置や再生熱交換器の能力は必要最小限に抑えてあり、空気冷却器、エコノマイザ、水回収装置などのプラント機器の設置は省略してある。加湿管は、スプレイ式の簡易なものであり、加湿量は増湿塔の場合の半分程度である。また、ガスタービン本体には、同図に示すように、圧縮機吐出空気をプラント側に抽気する配管も設けられており、この構造を確立することも検証項目の一つである。本装置は、平成２４年１月から運転開始し、同３月に５０％負荷まで到達したが、負荷の上昇に先立ち、平成２４年４月から９月まで、ガスタービンの内部開放点検を実施した。図３－６－Ｃ に示すように、内部開放点検の結果、加湿運転や過度な温度上昇による損傷は確認されず、健全性に問題無いことを確認した。この内部開放点検の後に、７５％負荷の段階を経て、平成２４年１２月４日に初めて定格負荷以上に到達した（図３－６－Ｄ）。その後、３８回の起動、累計５０時間の運転を実施し、高湿分ガスタービンの構成機器の健全性を確認した。

プラントの起動時間に関しては、図３－６－Ｅ に示すように、コールド状態で燃焼器点火から定格負荷の４０ＭＷ 到達まで約６０分であった。これは、コンバインドサイクルの起動時間の約１／３に相当する。本装置は、エコノマイザなどの排熱回収システムを省略しており、エコノマイザを備えた商用機では起動時間が長くなる可能性があるが、一方、この時の運転は、負荷上昇や加湿量の操作が手動であり、自動化により起動時間が短縮される余地も残されている。今後、シミュレーションなどにより商用機の起動時間を評価する計画である。

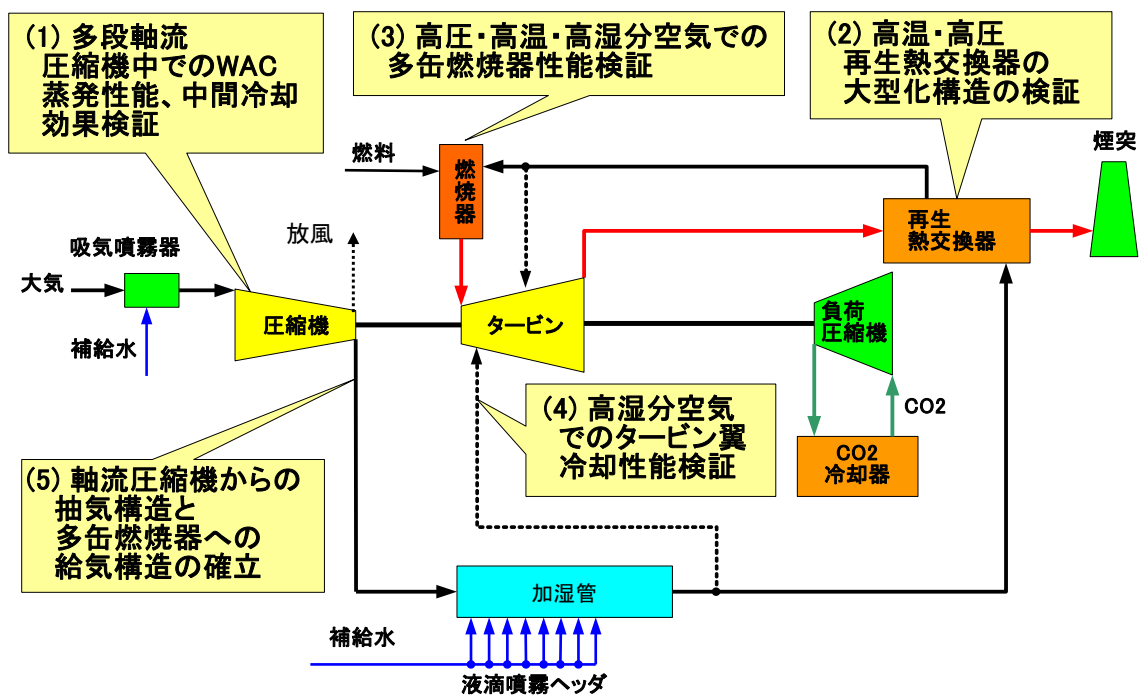


図 3 - 6 - A 40MW 級総合試験装置の構成と主な検証内容

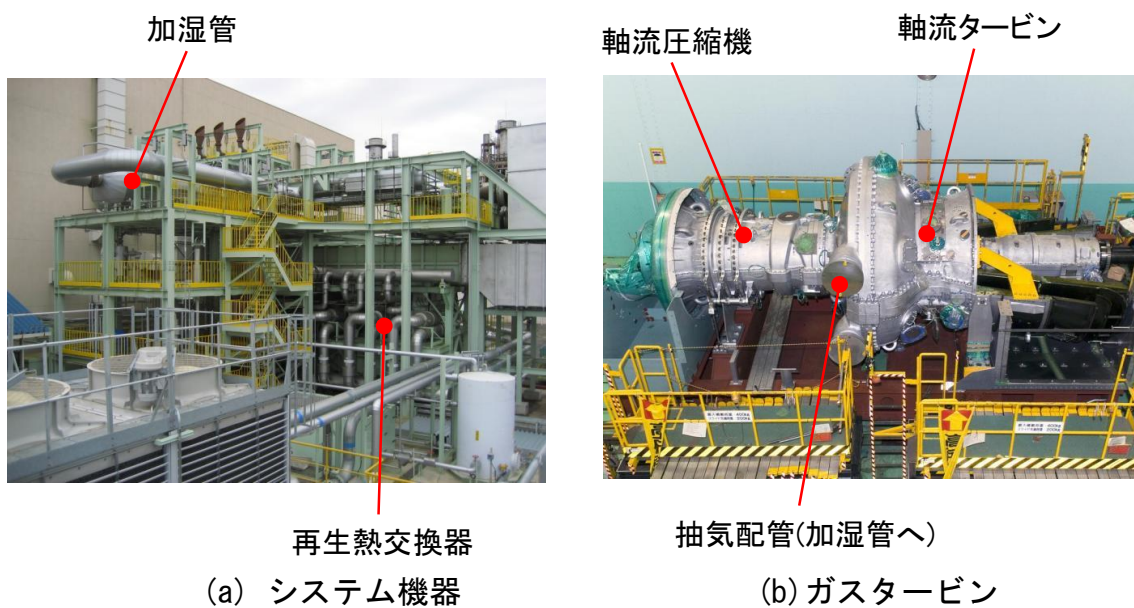


図 3 - 6 - B 40MW 級総合試験装置のシステム機器とガスタービンの外観

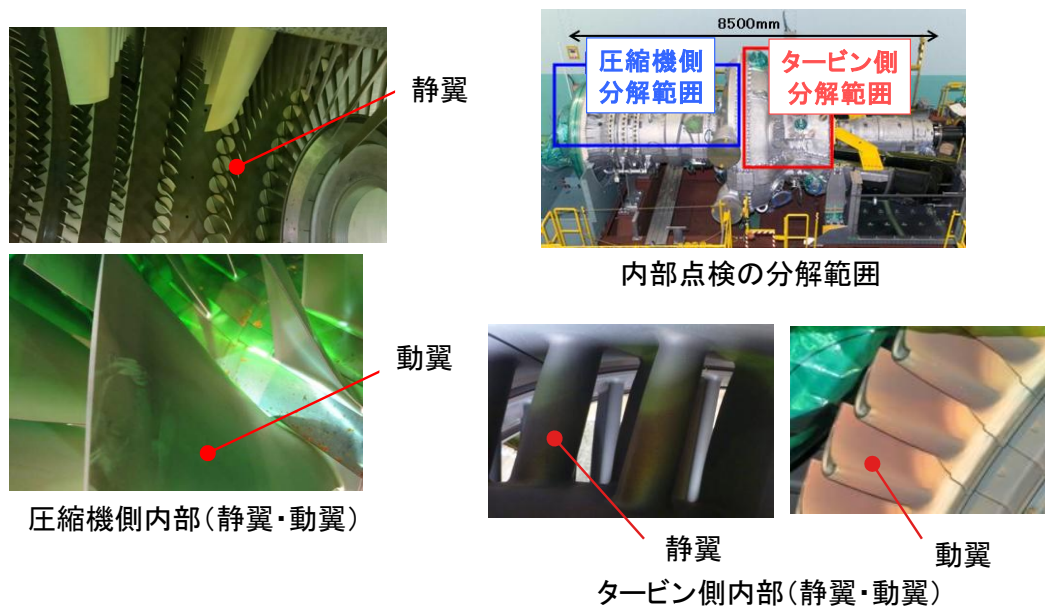


図 3 - 6 - C ガスタービンのケーシング内部開放点検の結果

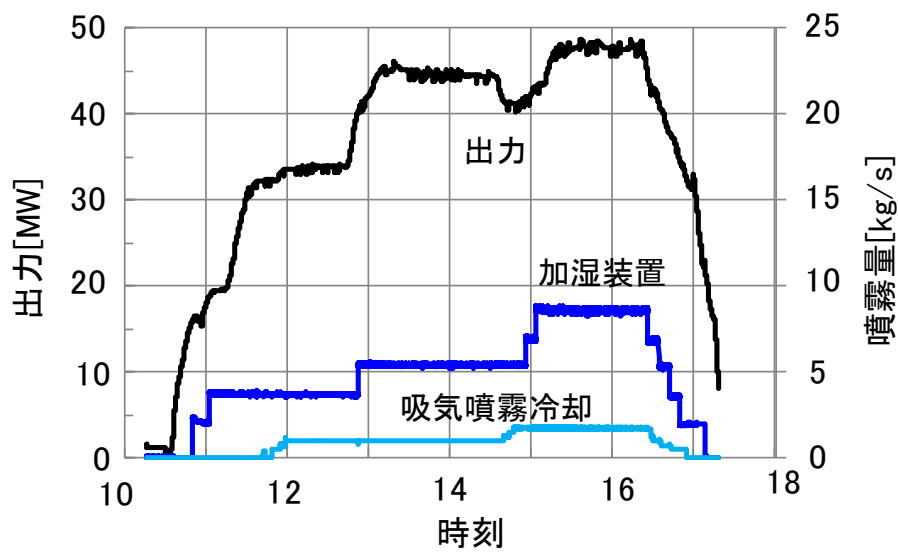


図 3 - 6 - D 初めて定格負荷を達成した日の運転曲線(2012 年 12 月 4 日)

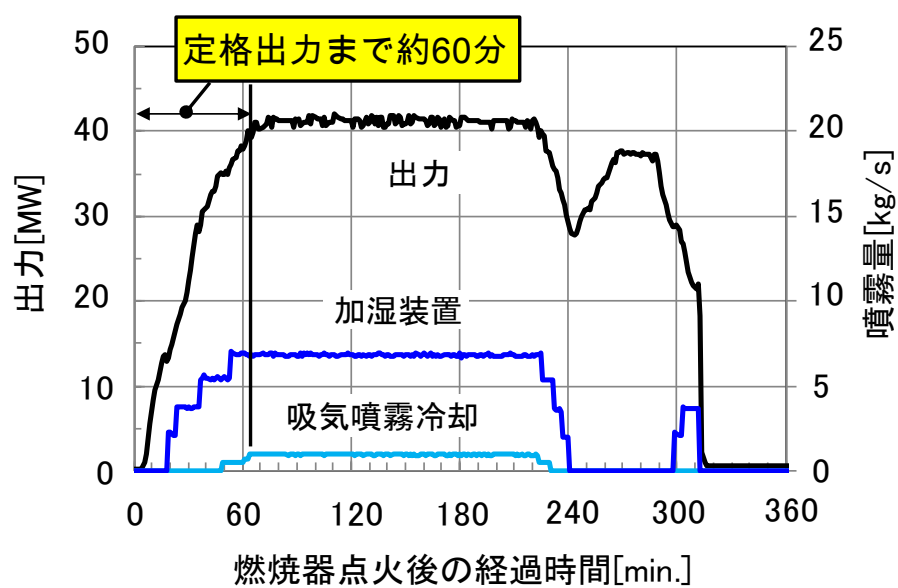


図 3-6-E コールド状態からの起動特性を示す例 (2012 年 12 月 13 日)

(6-2) 40MW 級総合試験のシステム評価

まず、加湿によるプラント性能への効果の検証を行った。図 3-6-F に、水噴霧による加湿管出口空気中の湿分率増加に伴う、加湿管出入口温度差、再生熱交換器出入口空気温度差および再生熱交換器での熱回収量の変化を示す。本図が示すように、加湿による蒸発潜熱により加湿管出口温度（再生熱交換器入口空気温度）が低下し、再生熱交換器での伝熱が促進されて伝熱量が増加し、再生熱交換器出入口温度差が上昇している。湿分率が上昇するほど、これらへの効果が大きくなっており、加湿を行うことで熱回収量が増加することが分かった。

図 3-6-G に、各負荷における加湿による湿分率変化が熱効率に与える影響を示す（RUN67 の 48MW 出力時の熱効率を 100%とした場合の相対値）。47-48MW 出力時では湿分率の変化範囲が狭いため明確な変化は見られないが、それ以外の負荷ではどの負荷においても、湿分率の増加に伴い熱効率が向上している。負荷一定の条件で加湿を行った場合、燃焼温度が低下する。燃焼温度が低下すると、サイクルとしては熱効率が低下する方向にあるが、加湿による作動流体の重量と比熱の増加、また、図 3-6-F に示したように、再生熱交換器における熱回収量の増加により熱効率が向上したと考えられる。また、各負荷帯を比較すると、負荷が高いほど圧力比ならびに燃焼温度が高くなるため、熱効率は高いものとなっている。

吸気水噴霧冷却（WAC）のプラント性能への影響・効果を評価した。吸気水噴霧を行うことにより温度の低下が見られ、吸気の冷却効果が確認できた。また、WAC によって圧縮機出口空気温度の低下も見られ、圧縮機内部での冷却効果が確認できた。これらの効果による圧縮動力低減により、図 3-6-H に示すように、熱効率が約 2%向上することが確認できた。

図 3-6-I は、40MW 級総合試験装置の平成 24 年度試験結果による部分負荷特性と、3MW 級検証機および商用機を想定したシミュレーション結果を比較した図である。3MW 級検証機では、大きさの制約から遠心式圧縮機を用いたため IGV がなく、吸込空気流量による負荷制御ができなかった。そのため、熱効率に影響の大きい燃焼温度による負荷制御が主であった。また、約 50%以下の低負荷においては部分加湿モードであったこと、さらに、吸気水噴霧を定格出力付近に行ったことなどにより、シミュレーション結果より部分負荷での熱効率の低下が大きかった。一方、40MW 級総合試験装置では、IGV を備えており、吸込空気流量による負荷制御ができるため、部分負荷での熱効率の低下が 3MW 級検証機より小さいものとなり、また、商用機を想定したシミュレーション結果と近い結果が得られた。

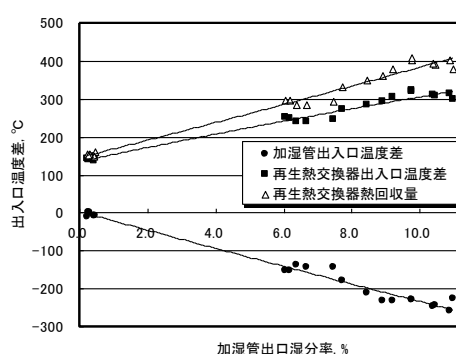


図 3-6-F 湿分率増加に伴う加湿管および再生熱交換器の出入口空気温度差、再生熱交換器での熱回収量の変化

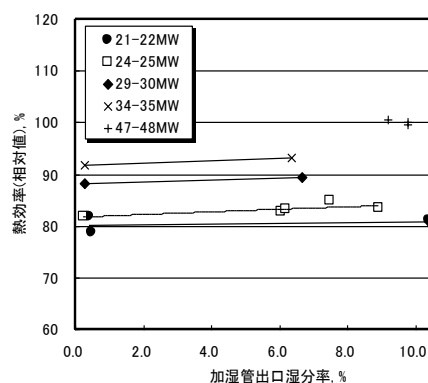


図 3-6-G 各負荷における湿分率増加による熱効率の変化

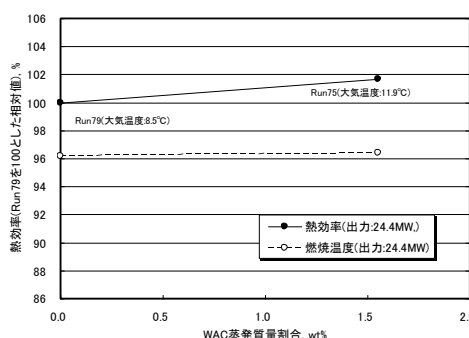


図 3-6-H WAC 蒸発質量割合に対する熱効率と燃焼温度の変化

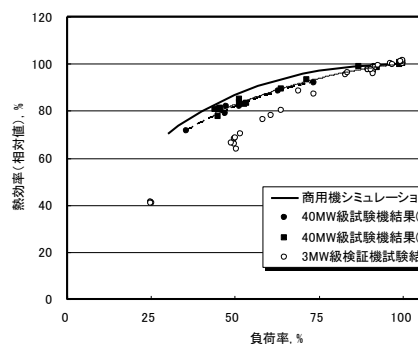


図 3-6-I 部分負荷特性の比較

(7) 実証機試験

長期信頼性を検証するための実証機は、当初の計画では、平成 28 年度に詳細設計開始し、平成 30 年度中に完成し、平成 31 年度と 32 年度に運転する計画であった。実証機は、建設費が高額になるために、電気事業者や産業用ユーザーの参画が必要であるが、震災による民間企業の設備投資の抑制もあり、平成 25 年 11 月の中間評価の段階では、実証機の建設費を負担可能なユーザーは未定である。

そのような状況の中、日本再興戦略(内閣府、H25 年 6 月)が閣議決定され、高効率火力発電のさらなる開発加速が求められている。事業経費を低減し、実証を前倒しで完了させる方法として、図 3-7-A の二段階実証を検討した。

AHAT の構成要素は、(A)高湿分ガスタービン、(B)再生サイクル、(C)加湿、(D)水回収 に分類され、これら 4 つの基本構成要素を同時ではなく二段階に分けて実証する方法である。第一実証では、(A)高湿分ガスタービン、(B)再生サ

イクルを実証し、第二実証では(A)高湿分ガスタービン、(C)加湿、(D)水回収を実証する。この第一実証は、建設済みの 40MW 級総合試験装置を改造して実施する。その際、排熱回収系を省略しているため、ガスタービンへの加湿量は AHAT フル構成の場合の半分程度であり、燃焼器やタービンの検証を充分に行うため、第二実証で排熱回収ボイラを追加設置して AHAT フル構成に匹敵する水蒸気を生成し、ガスタービンを検証する。また、第一実証に用いる 40MW 級総合試験装置には、1/60 規模の水回収装置が併設されているが、排ガスからの全量回収、水の再利用の実証のため、第二実証でフルスケールの水回収装置を設置する。ガスタービンの規模は、第一実証では 40MW 級であるが、第二実証ではガスタービンの高出力化により 70MW 級となり、商用機により近い規模となる。

増湿塔は実証機には設置されず、加湿管や排熱回収ボイラによる加湿になるが、増湿塔は化学プラントでスケールアップ実績のある塔槽機器であり、3MW 級検証機での実績からスケールアップ可能と考える。再生熱交換器は実証機の第二実証では非設置となるが、湿分に対する耐久性の影響は要素試験で確認済みであり、第一実証の結果と小型アセンブリによる熱サイクル試験結果で長期信頼性を評価できると考える。従って、この二段階実証により実質的に AHAT システム全体の長期信頼性を確認可能であると考ええる。

二段階実証の場合の工程は、平成 27 年度までは(A)高湿分ガスタービン、(B)再生サイクルを実証する第一実証を実施し、平成 28 年度から第二実証として(A)高湿分ガスタービン、(C)加湿、(D)水回収を実証するための建設、運転を実施する計画である。

40MW 級総合試験装置を一部活用した二段階実証により、出力規模とシステム構成が簡素化され、開発予算を圧縮でき、電気事業者や産業用ユーザーの参画が得やすくなると考えている。また、二段階実証では、建設期間が短縮でき、実証完了と実用化時期も早まり、日本再興戦略の開発加速要求に応えることができる。

システム構成		AHATフルシステム		実証機の計画(二段階実証)	
				第一実証 (ガスタービン構造、再生サイクルの実証)	第二実証 (全量加湿、全量水回収の実証)
系統構成					
実証内容 (網掛)	(A)高湿分	圧縮機	高湿分圧縮機、吸気噴霧冷却	高湿分圧縮機、吸気噴霧冷却	
	ガスタービン	タービン	(加湿量約半分)	タービン	
		燃焼器	(加湿量約半分)	燃焼器	
	(B)再生サイクル	再生サイクル配管	全量抽気構造	-	
		再生熱交換器	全量熱交換	-	
	(C)加湿	全量加湿	(加湿量約半分)	全量加湿	
	(D)水回収	全量回収	(ガス量約1/60)	全量回収	
実証の実現方法		電気事業者、産業用ユーザーの参画が必要 (開始時期未定)	本事業の40MW級総合試験装置で実証可能 (～H27まで実証完了可能)	・本事業の40MW級総合試験装置を改造すれば 早期に実証可能(H28～建設開始) ・電気事業者、産業用ユーザーの参画でも早期 に実証可能(H28～建設開始)	

図 3-7-A 実証機の形態の検討の検討結果

3-1-3 特許出願状況等

要素技術開発(2004年度から2006年度)、実用化技術開発(2008年度から2011年度)から通算した件数を表3-8に示す。A H A Tは、国内外の学会等で高い評価を得ており、海外発表で4回、国内発表で2回表彰されている。その中で、2010年6月にはアメリカ機械学会(ASME)から年間最優秀論文としてJ. P. Davis賞を与えられた。また、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。

表3-8 特許・論文等件数

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	
論文・解説	0	2	1	2	3	3	4	8	3	1	27
特許(公開)	3	10	12	7	8	11	6	6	10	3	76
国際会議 発表	1	2	1	2	4	1	1	6	1	6	25
国内会議 発表	2	0	5	7	5	1	3	1	5	11	40

3-2 目標の達成度

各項目の成果を示す。

(1) 高湿分軸流圧縮機

既存のガスタービン圧縮機に対する流量低減案を検討し、チップ径カットによる流量削減方法の有用性を確認した。さらにチップカット圧縮機に対して大気温度特性を考慮した最適設計を実施し、目標効率の達成と空力的信頼性(サージマージン)の確保を両立できる見通しを得た。

(2) 蒸発促進技術

主流と液滴の総合作用をモデル化した3次元数値解析(CFD)の適用性を検討し、CFDを実機設計や検討に使用可能な見通しを得ることができた。さらにCFDを40MW級総合試験装置の圧縮機吸気ダクト部の液滴蒸発解析に適用し、噴霧量による噴霧状態の相違について検討した。

(3) 高湿分多缶燃焼器

多様化燃料使用時のバーナ燃焼特性を評価するため、模擬燃料(メタン、水素、窒素混合燃料)を燃焼可能な要素燃焼試験装置を開発した。また、燃料多様化燃焼器の開発に必要な燃焼解析技術、冷却促進技術を開発した。

（４）高湿分冷却翼の開発

高性能フィルム冷却構造を考案し、数値流体解析により従来構造の約 4 倍の平均フィルム冷却効率達成の見通しを得た。またタービン内部流れの詳細計測が可能な試験装置を設計・製作した。

（５）スケールアップ技術

再生熱交換器のスケールアップ技術開発として、材料面での信頼性確保技術開発である LPD 法による表面処理の改良を行い成膜厚さの増加とクラックの低減を実現した。構造面でのスケールアップ技術開発としてコア接続技術の研究開発を行い、材質を変えて開先形状や溶接条件の組合せによる最適なコア接続溶接の条件を確認した。

（６）40MW 級総合試験

ガスタービンの内部開放点検により、加湿運転後の健全性に問題ないことを確認した。定格出力により一定時間(ヒートラン)運転し、高湿分ガスタービンの構成機器の健全性を確認した。

システム評価では、加湿により排熱回収量増加し、各負荷で熱効率が向上することを確認した。また、吸気水噴霧により圧縮動力が低減され熱効率が向上することも確認できた。さらに、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。

（７）実証機試験

長期信頼性を検証するための実証機の形態を検討した。事業経費を低減し、実証を前倒しで完了させ、早期に実用化するために、AHAT の 4 つの基本構成要素を二段階に分けて実証する方法を検討した。

以上の成果により、中間目標を達成することができたと考えており、達成度一覧を表 3-9 に示す。

表 3-9 目標の達成度一覧

要素技術	目標・指標(中間評価)	成果	達成度
(1)高温分 圧縮機	チップカット技術の確立	既存の圧縮機に対する流量削減方法を検討し、チップ 径カットによって効率達成と信頼性確保を両立する見通 しを得た。	達成
(2)蒸発 促進技術	3次元数値解析と蒸発予測アルゴリズムの 併用による予測手法の構築	液滴挙動の影響を組み込んだ3次元数値解析手法の妥 当性を確認し、吸気部の解析に適用した。	達成
(3)高温分 冷却翼	・熱負荷低減構造の有効性確認 ・タービン内部流れの詳細計測技術の開発	・熱負荷低減のための基本構造を考案し、解析により有 効性を確認した。 ・タービン内部流れを模擬する環状セクター試験装置と 計測装置を製作した。	達成
(4)高温分 燃焼器	・多様化燃料の燃焼特性評価技術 ・燃焼器冷却技術	・要素燃焼試験装置を開発した。 ・燃焼解析、冷却促進技術を開発した。	達成
(5)スケール アップ技術	・材料面、構造面での信頼性確保技術の開 発 ・充填物式水回収装置の性能検証、予測手 法確立	・コア接合溶接の最適条件を検討、確認した。耐食処理 条件を検討し、成膜品質の改良を確認した。 ・1/60規模の水回収試験装置を設計製作しデータ取得、 性能予測手法を確立した。	達成
(6)40MW級 総合試験	・開放点検による機器健全性確認 ・定格出力による運転 ・部分負荷、起動特性の評価	・ガスタービンの内部開放点検により、加湿運転後の健 全性を確認した。 ・定格出力により一定時間(ヒートラン)運転した。 ・加湿による効率向上、3MWより高い部分負荷特性が 得られた。	達成
(7)実証機試験	実証機の体制、方法の検討	実証機の実施形態を検討した。	達成

4 事業化、波及効果について

4-1 事業化の見通し

高湿分空気利用ガスタービンの実用化に当たっては、世界で初めて実用化されるシステムであり、開発リスクが大きいことから、表4-1の商用機までのロードマップに示すように、段階を踏んで開発を進めることによりリスク低減を図り、確実に技術開発を進めることが必要である。

表4-1 ロードマップ

項目 \ 年度	2000	2005	2010	2020 ~
技術開発	要素技術開発 ('04~'06年) 1/30規模の装置でAHATシステムの原理的な成立性確認。	実用化技術開発 ('08~'11年) 1/3規模の装置で中容量AHATシステムを実現するためのガスタービンに関わる要素技術を開発。	技術実証事業 ('12年~) 高信頼性化技術の開発とAHATシステムの長期信頼性実証。	商用機 ('20年~)
技術開発の成果、波及		(3MW級検証機)	(40MW級総合試験設備) (実証機)	・リプレース ・系統調整電源 ・海外分散電源
次世代発電技術への展開			CO2回収型クローズドサイクルAHAT	CO2回収型IGHAT

(1) 技術開発について

2004年度から2006年度まで3年間の要素技術開発を予定通り実施し目標を達成できた。3MW級の検証機を建設し、ガスタービンと吸気噴霧冷却、増湿塔、再生熱交換器、水回収装置等を組み合わせたAHATシステムが原理的に成立することを確認した。効率は小容量クラスの高湿分空気利用ガスタービンシステムで最高レベルの36.4%(HHV)(40%(LHV))以上を達成した。また、シミュレーションにより中容量AHATシステムで従来の同出力機より高い発電効率が見込まれることを確認した。3MW級検証機は高湿分空気を利用した再生型ガスタービンとして世界初のシステムであるため、要素技術開発ではシステムの成立性確認を最優先項目とし、ガスタービンはシステムを原理的に検証するために必要最小規模の小容量クラスで実施した。

実用化技術開発については、2008年度から2011年度までの4年間に、予定通りに完了した。商用機のAHATシステムは出力100MW級の中容量のヘビーデ

ユーティティー型ガスタービンであり、ガスタービンは小容量に比べて圧力が高く、多段軸流圧縮機、多缶燃焼器、冷却タービンの構成となるため、小容量クラスのガスタービンとは異なる。よって、中容量ガスタービンでAHATシステムを実現するため、各ガスタービン要素の実用化技術開発とそれらの技術を組合せた商用機の1/3スケールの総合試験装置によりガスタービンにかかわる技術を開発した。

2012年度からの技術実証事業の前半では、AHATの信頼性を確保するガスタービン技術として、高信頼性化技術の開発を順調に進めている。技術実証事業の後半では、AHATシステムの長期信頼性等の実証のため、実証機を建設して実際に発電することにより、運用性、環境性、経済性の観点からAHATを評価するとともに長期信頼性を確認する。実証機の形態としては、事業経費の低減と実証の早期完了、早期実用化の観点から、AHATの構成要素を二段階に分けて実証する方法を検討中である。

なお、高湿分空気を利用したガスタービンシステムは、システム改良に主眼をおいた高効率化技術であり、1980年に日本で考案された航空機転用型ガスタービンを利用する日本生まれの技術であるHATシステムが基礎になっている。その後、米国でシステム研究が行われ多くの派生システムが提案された後、1990年代から電力事業用に使用されているヘビーデューティガスタービンに適用するように日本で再検討され、3MW級のAHATシステム検証機によりシステム成立を世界に先駆け確認したことで日本が再び世界をリードしている。

AHATシステムは、夏季の出力低下が少ない（吸気噴霧冷却の効果）、部分負荷効率が高い（再生システムの効果）、起動時間が短い（蒸気タービン系が不要）、水回収により補給水が不要、設備費が低い、等の環境や電力需要への即応性が高いという点で好ましい特性を有しているが、日本独自の技術であるため前例がなく、商用機にいたるまでの技術課題が多い。産業界のみで本技術開発を進めていくにはリスクが高く、引き続き国の関与と支援が必要である。

（２）技術開発の成果、波及について

要素技術開発で開発した高湿分翼冷却技術については、対流冷却での伝熱促進技術を日立ガスタービンの冷却翼に適用しており、冷却空気量削減による高効率化、CO₂削減に寄与している。また、要素技術開発で開発した高湿分燃焼技術についても、多孔同軸噴流技術を日立ガスタービンの燃焼器に適用しており、低NO_x化による環境負荷低減に寄与している。

IEAによる世界エネルギー需要予測を図4-1に示す。天然ガスは、シェールガスなど非在来型ガスの掘削技術が開発され、世界的な需要拡大が見込まれる。また、電力中央研究所による、わが国の電源構成推移を想定した図を図4-2に示す。電力需要の増加に伴うLNGおよび石炭火力の新設、増設に加え、2010年

頃からは 40 年を寿命と考えた場合、寿命を迎えるプラントが急増しリプレイス市場が活発化すると考えられる。ピーク・ミドル運用に適した中容量 A H A T システムは、新增設需要に加え、次のようなりプレイス市場への導入も見込まれる。

- ・ LNG 火力リプレイス市場
- ・ 石油火力リプレイス市場（燃料転換にも対応、ガス焚き、油焚き）

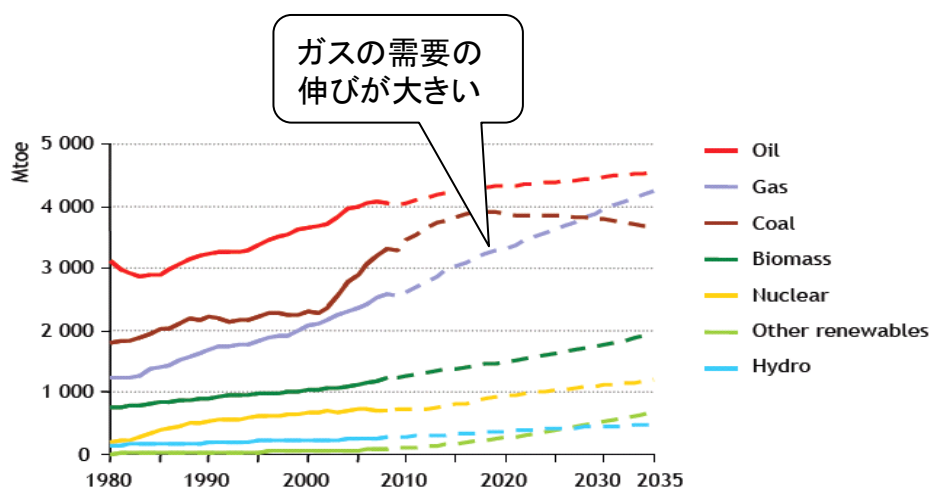


図 4-1 世界エネルギー需要予測（出典：IEA World Energy Outlook (2011)）

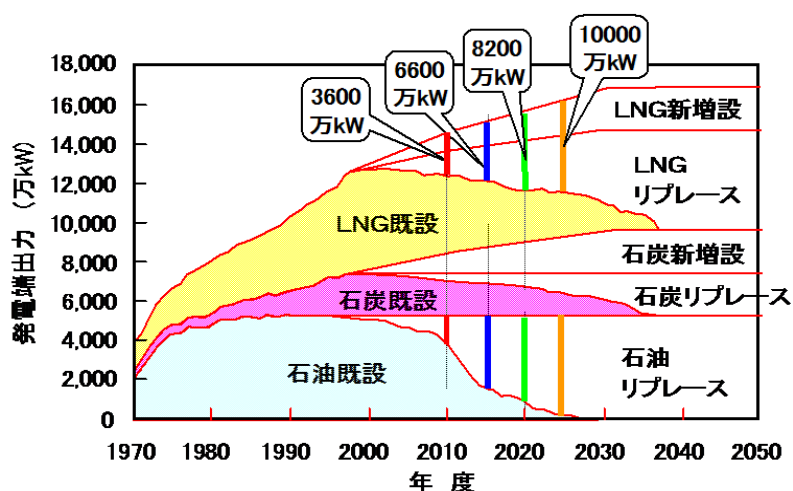


図 4-2 日本における電源構成の推移推定例(寿命 40 年)
(出典：電力中央研究所「第 18 回エネルギー未来フォーラム」(1999))

また、世界全体のガスタービン発電市場は国内発電市場の 10 倍以上の規模があり、世界に先駆け、中容量の高効率発電システムが日本で実用化できれば海

外展開として市場が開ける。100MW 級以下の高効率中小容量発電システムは送電網システムのインフラ整備が不十分な地域、特にエネルギー需要が急増している中国等アジア地域において、分散電源として地域の電源供給に貢献できる。また、分散電源としての海外への市場展開を図ることにより、外貨獲得および国内産業への波及効果が期待できる。

表 4-2 に、AHAT のセールスポイントとユーザーのメリットを示す。

効率は中小容量クラスでは GTCC と同等以上であるが、このクラスのガスタービン、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。そこで、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、事業化する戦略とする。

(運用性)

蒸気タービンがなくコンバインドサイクルに比べて高いフレキシビリティ(起動速度、負荷変化速度)が期待できる。特にコールド起動時間(ガスタービンや蒸気タービン、プラント機器が常温状態からの起動時間)は、排熱回収ボイラと蒸気タービンの暖機が不要のため、GTCC よりも高速な 60 分を目標としている。

(環境性)

高温分燃焼によって燃焼温度分布の均一化が可能であり、低 NO_x 化が可能である。プラントの排熱において高温側と低温側の温度差を約 2 倍取れるため、空冷式とした場合でもコンバインドサイクルの場合の約半分の伝熱面積とすることを目標としている。空冷式の採用により、冷却水が利用できない内陸部への立地が容易となり、温排水の制約も緩和できる。

(経済性)

蒸気タービンがないことから機器構成がシンプルで設置工事の工期が短くて済み、建設費を低減できる。発電コストは、建設費などのインシヤルコストと、主に燃料費に依存するランニングコストで決まる。本システムが、建設費および発電効率においてコンバインドサイクルと同等以上の優位性を示せば、ライフサイクルコストにおいても従来システム以上の優位性を示すことができる。図 4-3 に、発電端出力 160MW の場合の AHAT の配置検討結果例を示す。単位出力当たりの敷地面積は約 50m²/MW となり、従来のコンバインドサイクルの約 60~90m²/MW(日立製作所、100MW 級コンバインドサイクル実績)よりも小さな敷地面積で立地可能である。また、水回収により、補給水ゼロも可能となり、水資源が希少な地域で経済性メリットが大きい。

表 4-2 AHAT のセールスポイントとユーザーのメリット

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: インitial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

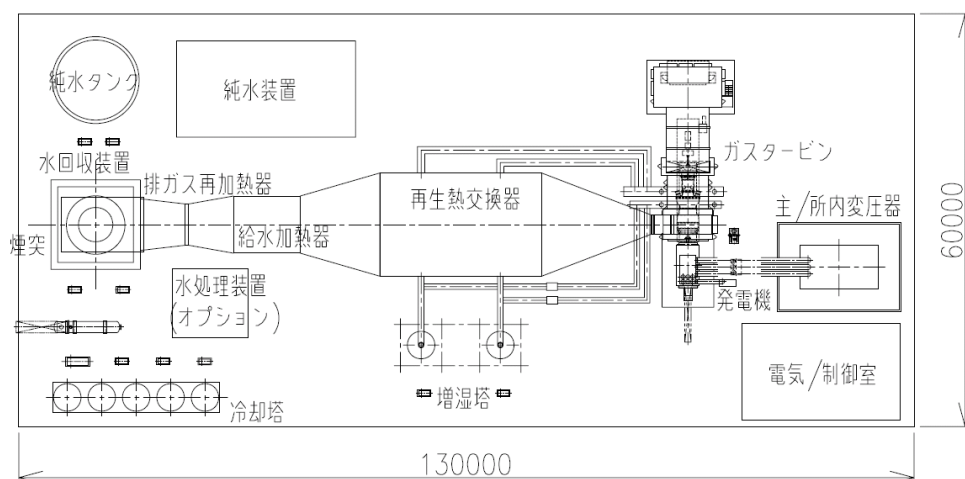


図 4-3 発電端出力 160MW の AHAT の配置検討結果例

次に、2010年に運開した出力50MW～200MWの中小容量ガスタービンの立地点に関し、地域別に臨海部か内陸部か分類した結果を図4-4に示す。同図によると、海に囲まれている我が国と異なり、世界全体でも内陸立地の割合は大きく、特に中東、アフリカの内陸立地の割合は大きい。発電効率がコンバインドサイクルと同等以上に高く、内陸立地も容易なAHATシステムが実用化されれば、これらの地域に導入できると考える。

ターゲット市場と戦略を、地域別に整理して表4-3に示す。同表に記載した主な戦略をまとめると、以下となる。

- (a) 国内は、従来からターゲットとしてきたLNG火力リプレイス、石油火力の燃料転換にも対応したリプレイス市場だけでなく、エネルギーセキュリティ確保を目的とした自治体、発電事業者を新たなターゲットとする。
- (b) 海外では、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シェア拡大を狙う。これらの国に導入することで、我が国には資源権益確保が可能となり、双方にメリットが生じる。

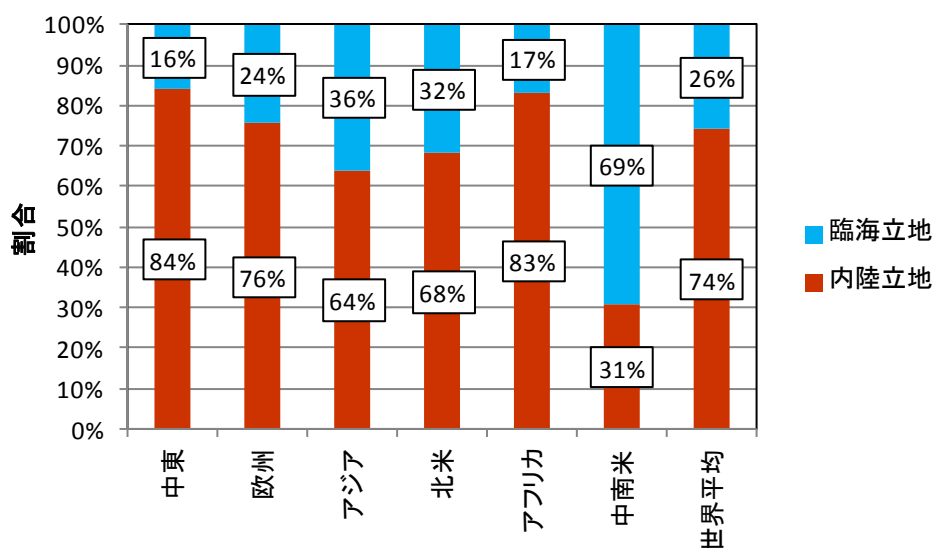


図4-4 地域別立地点の割合(2010年運開分)(出典:日立調査結果)

表 4-3 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 ・震災以降、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	・LNG火力リプレイス、石油火力の燃料転換などのリプレイ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
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

4-2 波及効果

高湿分空気利用ガスタービン技術は下記次世代システムの基盤技術になり、開発を推進していくことは重要である。

・ I G C C と高湿分空気利用ガスタービン技術の融合

石炭ガス化複合発電 I G C C と高湿分空気利用ガスタービン技術を組み合わせた I G H A T が提案されている。I G H A T は石炭ガス製造時の排熱を水蒸気としてガスタービンに取り込むことができるため I G C C よりも効率が高く、単位出力あたりの設備コストも安くなると評価されている。

C O 2 をガス化剤とする酸素吹きガス化炉とクローズドサイクル A H A T を組合せることで A H A T の作動流体は C O 2 と水蒸気が主成分となり、水回収装置で水を除去すれば、C O 2 分離動力を必要とすることなく低温度の C O 2 を回収することができ、高効率 C O 2 回収システムが実現できる。また、ガス化ガスの代わりに天然ガスとすることで C O 2 回収型クローズド A H A T を実現できる。

・ 水素燃焼ガスタービン

水素は高い燃焼温度が得られ、燃焼生成物は水蒸気である。水素燃焼ガスタービンの実現には超高温ガスタービンの技術とともに、高湿分空気利用ガスタービン技術も有効な基盤技術となることが期待される。

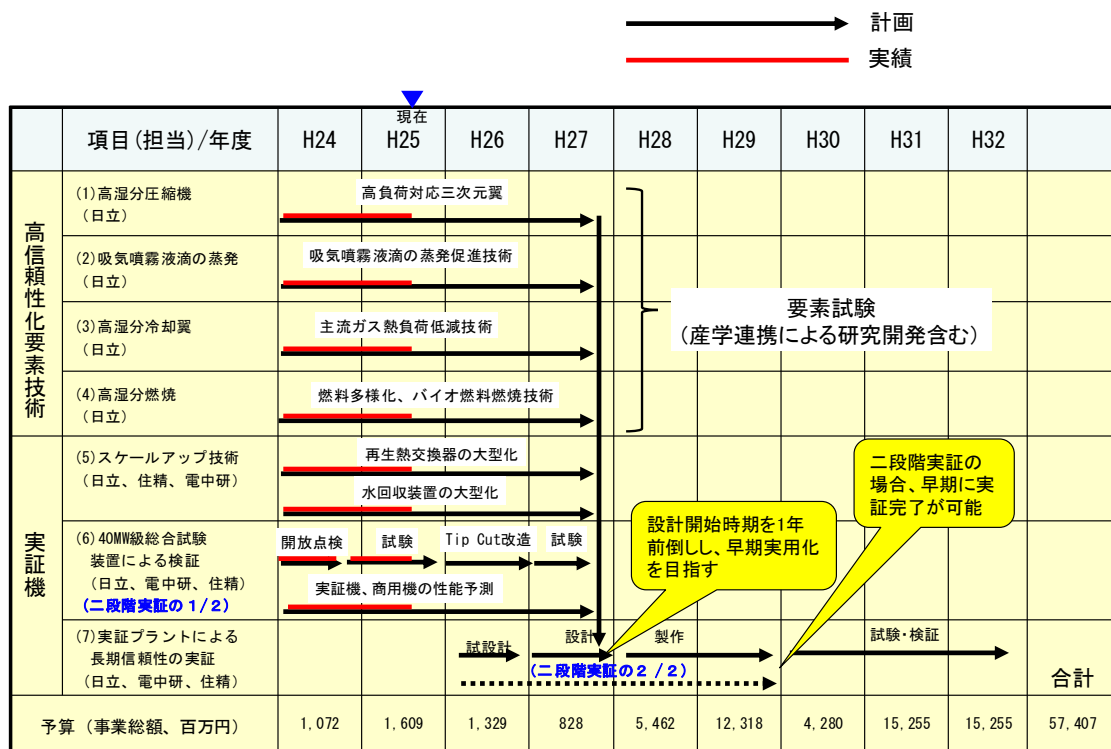
以上示したように、A H A T システムは極めて重要な技術開発といえる。

5. 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等

5-1 研究開発計画

表5-1に、各実施項目の工程に関し、計画と実績を示す。AHATの信頼性を確保する高信頼性化要素技術の開発は、順調に進められている。AHATシステムの長期信頼性実証のための実証機は、平成26年度から試設計を開始する計画であり、事業経費の低減と実証の早期完了、早期実用化の観点から、AHATの構成要素を二段階に分けて実証する二段階実証を検討中である。

表5-1 AHATの研究開発計画



5-2 研究開発実施者の実施体制・運営

円滑な推進と最大限の成果を達成するため、図5-1に示す3事業者で分担し開発を推進している。ガスタービンシステム及び全体取りまとめを日立製作所が担当し、新型システムの実用化にあたって重要な、電力等のユーザーの視点に基づくシステム評価を電力中央研究所が担当、再生熱交換器のスケールアップ技術は、高温熱交換器の専門メーカーである住友精密工業が担当している。40MW級総合試験は3事業者が協力して実施し、研究の加速と事業の適正な推進を図っている。

国内の4つの大学(東京大学、東京工業大学、岩手大学、東北大学)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、本開発の加速を図っている。①高湿分圧縮機の圧縮機翼の非定常現象解明には東京大学、②蒸発促進技術の吸気噴霧液滴の蒸発促進には東京工業大学、③高湿分冷却翼の、冷却翼の空力・伝熱に関する要素技術には岩手大学、④湿分燃焼器の燃焼解析による燃焼器内の現象評価には東北大学が参画している。これらの大学との共同研究は、本事業の開発加速だけでなく、国内の大学の研究水準向上にも寄与している。

○ プロジェクトリーダー： (株)日立製作所 圓島 信也

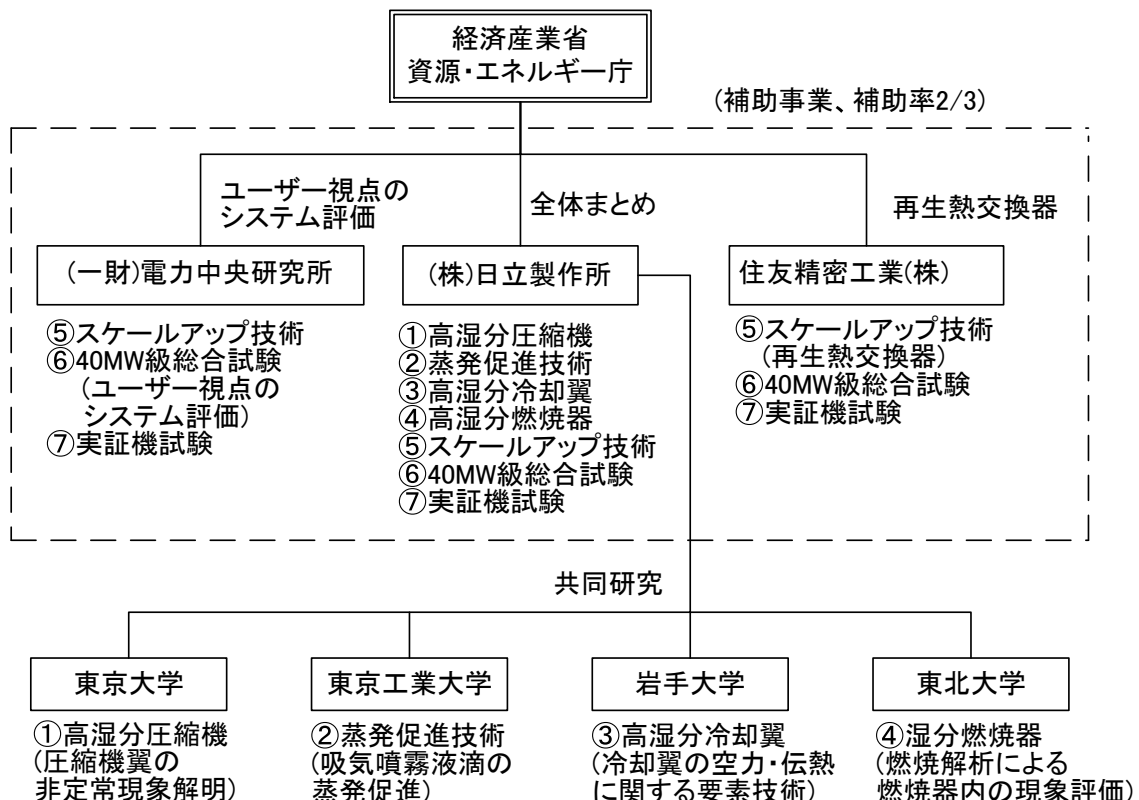


図5-1 AHA T研究開発体制

5-3 資金配分

高信頼性にむけた要素技術開発、40MW 級総合試験、実証機による長期信頼性試験の各段階において適切に資金を配分し、事業の円滑な推進に努めている。長期信頼性を確認する実証機の設計、製作、運転に、全体の約 92% の配分を計画している。

表 5-2 資金の年度配分（事業費ベース）

（単位：百万円）

実施テーマ\年度	H24	H25	H26	H27	H28	H29	H30	H31	H32	合計
①高湿分圧縮機	93	429	167	50						739
②吸気噴霧液滴の蒸発	40	48	56	50						193
③高湿分冷却翼	62	78	159	80						379
④高湿分燃焼	150	285	195	48						678
⑤スケールアップ技術	166	183	343	100						892
⑥40MW級総合試験	563	586	410	400						1,959
⑦実証機による長期信頼性				100	5,462	12,318	4,280	15,255	15,255	52,569
合計	1,072	1,609	1,329	828	5,462	12,318	4,280	15,255	15,255	57,407

5-4 費用対効果

本事業には、9年間で383億円の補助金が投じられる予定であり、いままでにAHATシステムの有効性を確認しシステムの成立性の目処をつけるなどの成果をあげてきている。

AHATシステムは世界初の高湿分再生型ガスタービンシステムとして国内外の学会では高い関心を寄せられており、2008年日本ガスタービン学会から技術賞を受賞した。2009年米国機械学会ASME Turbo EXPOのCycle Innovation 部門からBest Paper Awardを受賞し、さらに2010年米国機械学会ASME Turbo EXPOでは、全部門の中から唯一与えられるJ. P. Davis賞を受賞した。これらを含め、海外4回、国内2回の表彰を受けている。

(CO₂削減効果)

天然ガス火力発電設備のCO₂排出量は、発電効率に反比例する。効率が低い発電設備をAHATに更新することにより、CO₂排出が削減できる。

	燃料	送電端効率 (%HHV)	CO ₂ 排出量
中容量 AHAT	LNG	51	-12%
既存中容量 CC	LNG	45	ベース

5-5 変化への対応

燃料価格の高騰、電力の安定供給を背景に燃料多様化へのニーズが拡大しており、ピーク運用に関し、燃料をLNGだけでなく油まで対象を拡大し、油焼きAHATシステムを開発しておくことが有効である。

太陽光発電の大量導入計画により、火力発電には運用性が見直しがもたられてきており、運用性に優れたAHATは調整用電源として有効である。

さらに火力発電にはCO₂排出抑制が強く求められており、CCS Ready の要求が将来的には広がってくると予想される。AHATはクローズドサイクルにすることでCO₂分離動力なしに高効率にCO₂を回収できる特長を備えている。