

高効率ガスタービン技術実証 事業（AHAT）の概要について

平成25年11月13日
日立製作所株式会社
住友精密工業株式会社
(財)電力中央研究所

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. 事前評価結果

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32年度(9年間)

予算総額

383億円(補助(補助率:2/3))

年度	H24	H25	H26	H27	H28	H29	H30	H31	H32
億円	7.2	10.7	8.9	5.5	36.4	82.1	28.5	101.7	101.7

実 施 者

(株)日立製作所、(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

(株)日立製作所 日立研究所 ターボ機械研究部 部長 圓島信也

2. プロジェクトの目的・政策的位置付け

目的

平成20年3月に閣議決定された「Cool Earth ―エネルギー革新技術計画」において、天然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。

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^{*1})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。

* 1:AHAT:Advanced Humid Air Turbine

国のエネルギー技術開発戦略における高効率ガスタービンの位置づけ

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、「Cool Earth－エネルギー革新技术計画」において、「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。

－重点的に取り組むべきエネルギー革新技术－

エネルギー源毎に、供給側から需要側に至る流れを俯瞰しつつ、効率の向上と低炭素化の両面から、CO₂大幅削減を可能とする「21」技術を選定。

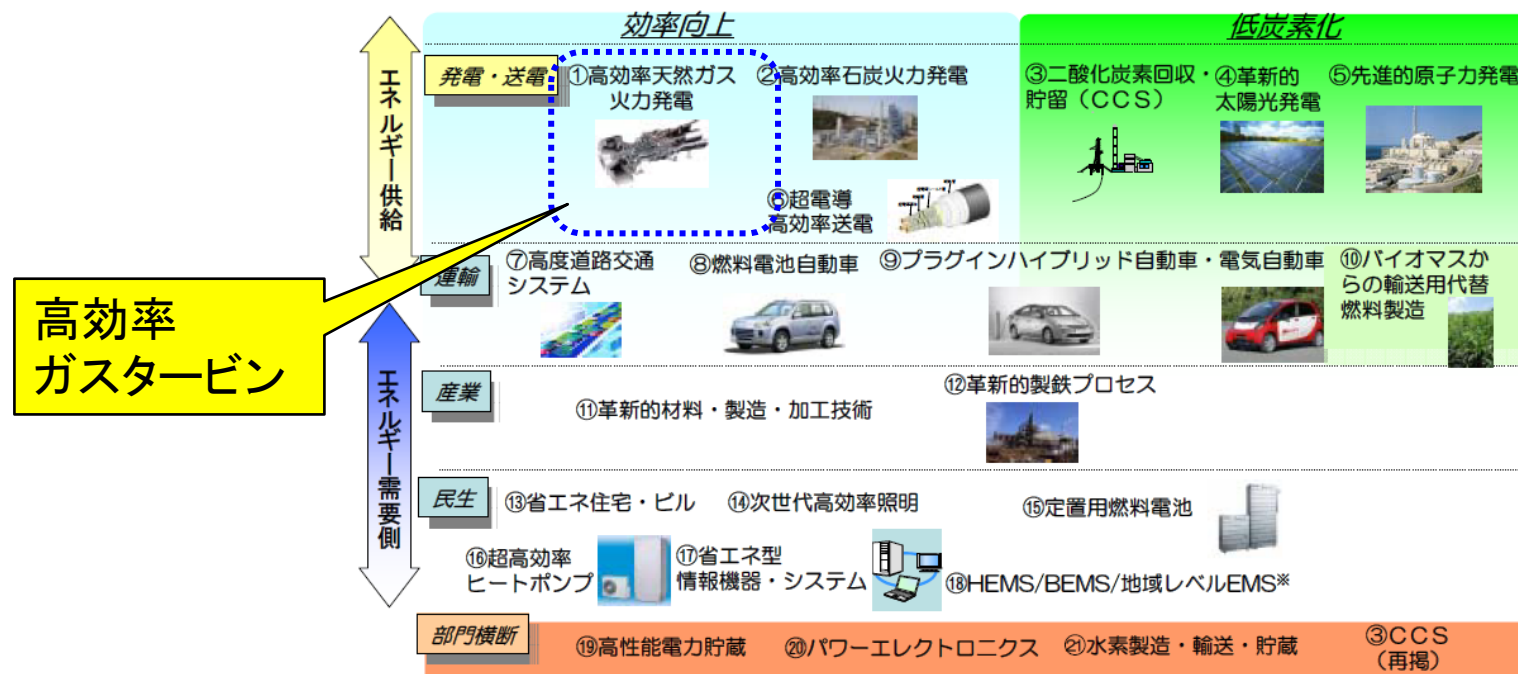
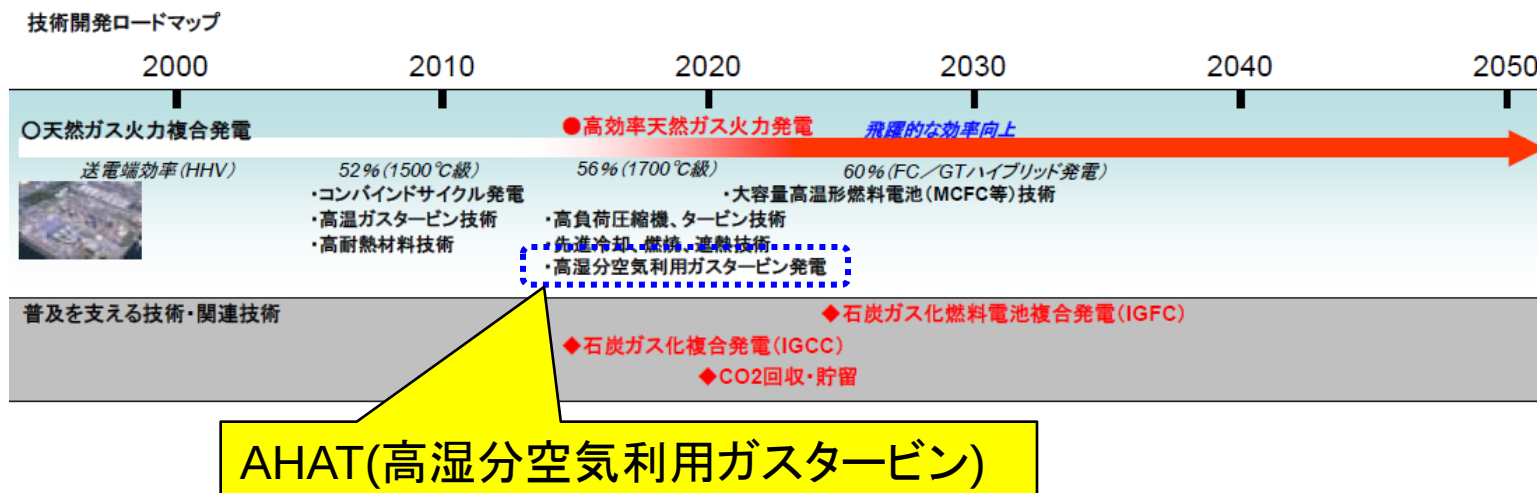


図 「Cool Earth－エネルギー革新技术計画」(平成20年3月、経産省)における高効率天然ガス火力発電の位置づけ

国のエネルギー技術開発戦略におけるAHATの位置づけ

AHAT(高湿分空気利用ガスタービン)は、「Cool Earth ―エネルギー革新技術計画」の高効率天然ガス火力発電のロードマップにおいて、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。

① 高効率天然ガス火力発電



導入・普及シナリオ

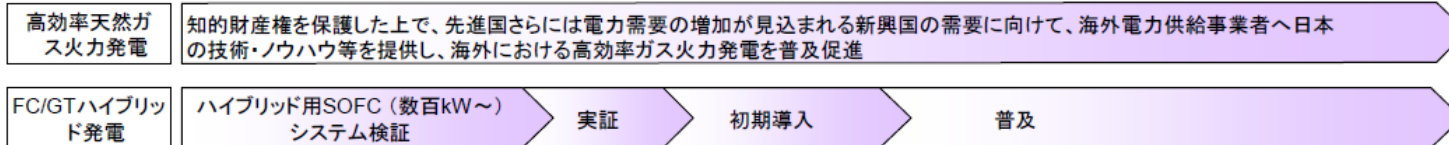


図 「Cool Earth ―エネルギー革新技術計画」(平成20年3月、経産省)におけるロードマップ

国の科学技術戦略における高効率火力発電の位置づけ

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。

II. 将来にわたる持続的な成長と社会の実現

1. 基本方針

震災からの復興、再生を遂げ、将来にわたる持続的な成長と社会の実現に向けた科学技術イノベーションを戦略的に推進

2. 震災からの復興、再生の実現

i) 被災地の産業の復興、再生、ii) 社会インフラの復旧、再生、iii) 被災地における安全な生活の実現

3. グリーンイノベーションの推進

i) 安定的なエネルギー供給と低炭素化の実現 ii) エネルギー利用の高効率化・スマート化
iii) 社会インフラのグリーン化

4. ライフイノベーションの推進

i) 革新的な予防法の開発 ii) 新しい早期診断法の開発
iii) 安全で有効性の高い治療の実現、 iv) 高齢者、障害者、患者の生活の質(QOL)の向上

5. 科学技術イノベーションの推進に向けたシステム改革

(1) 科学技術イノベーションの戦略的な推進体制の強化

- ①「科学技術イノベーション戦略協議会(仮称)」の創設 ②産学官の「知」のネットワーク強化
- ③産学官協働のための「場」の構築 (オープンイノベーション拠点の形成等)

(2) 科学技術イノベーションに関する新たなシステムの構築

- ①事業化支援の強化に向けた環境整備 ②イノベーションの促進に向けた規制・制度の活用
- ③地域イノベーションシステムの構築 ④知的財産戦略及び国際標準化戦略の推進

火力発電の高効率化を推進と記載

図 「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

日本再興戦略における高効率火力発電の位置づけ

「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。

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。

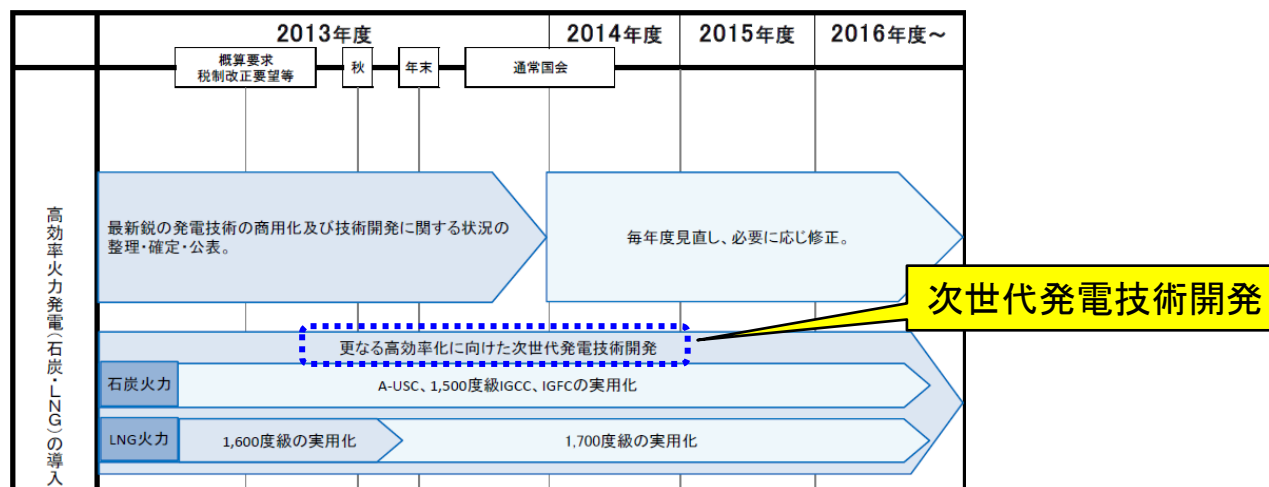


図 「日本再興戦略」(平成25年6月、内閣府)における高効率火力発電の位置づけ

「環境エネルギー技術革新計画」におけるAHATの位置づけ

- 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※。
- 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※。

※出典：総合技術会議「環境エネルギー技術革新計画」(平成25年7月、内閣府)

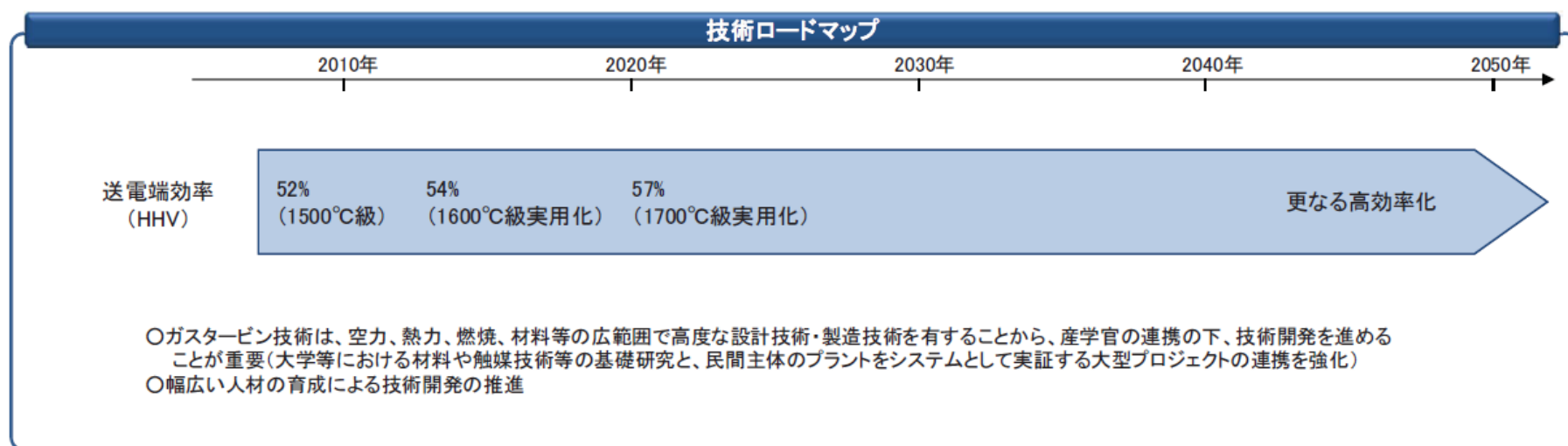
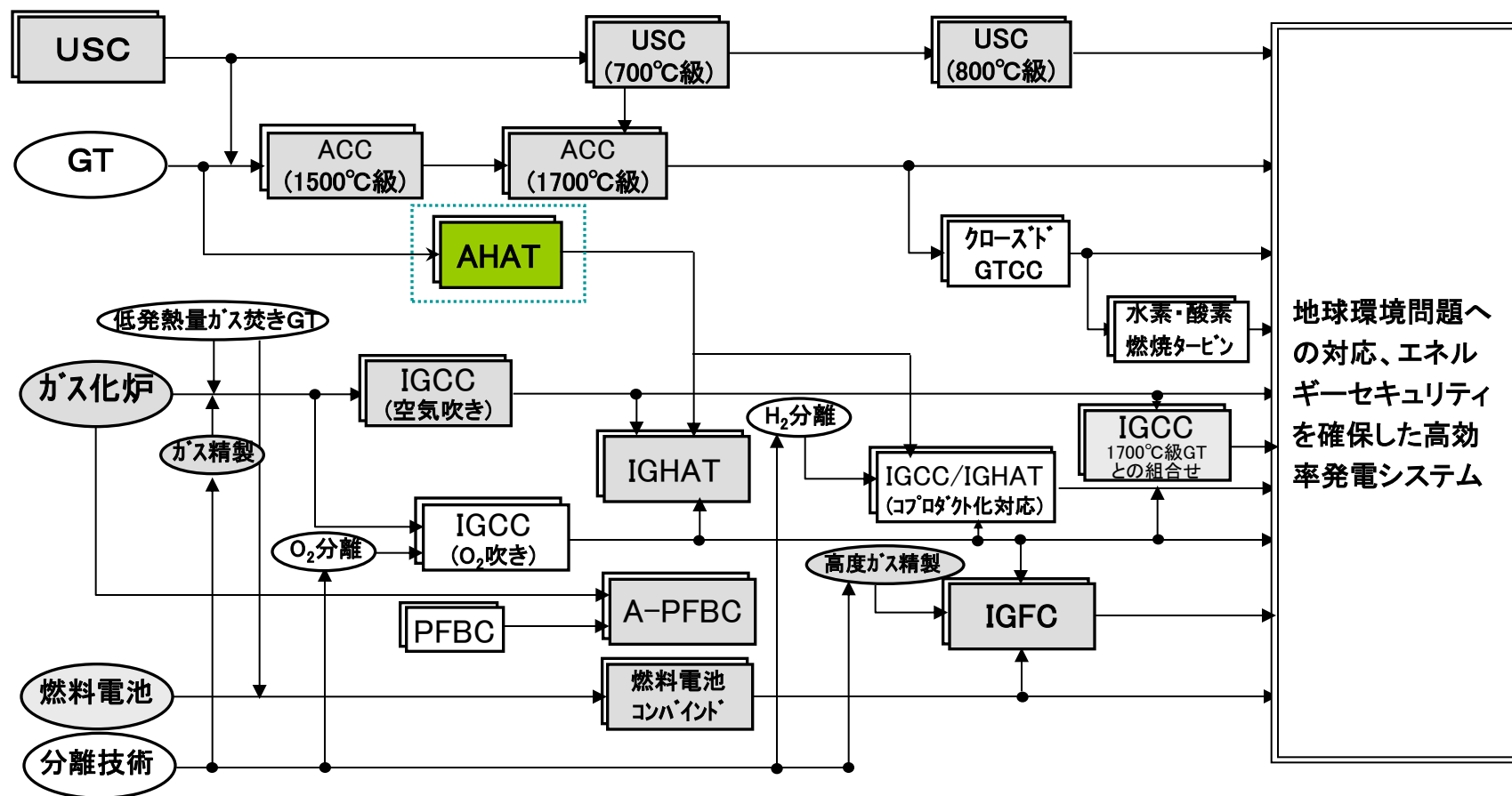


図 総合技術会議「環境エネルギー技術革新計画」(平成25年7月、内閣府)
における高効率天然ガス発電のロードマップ

他の発電システムとAHATの位置づけ

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。



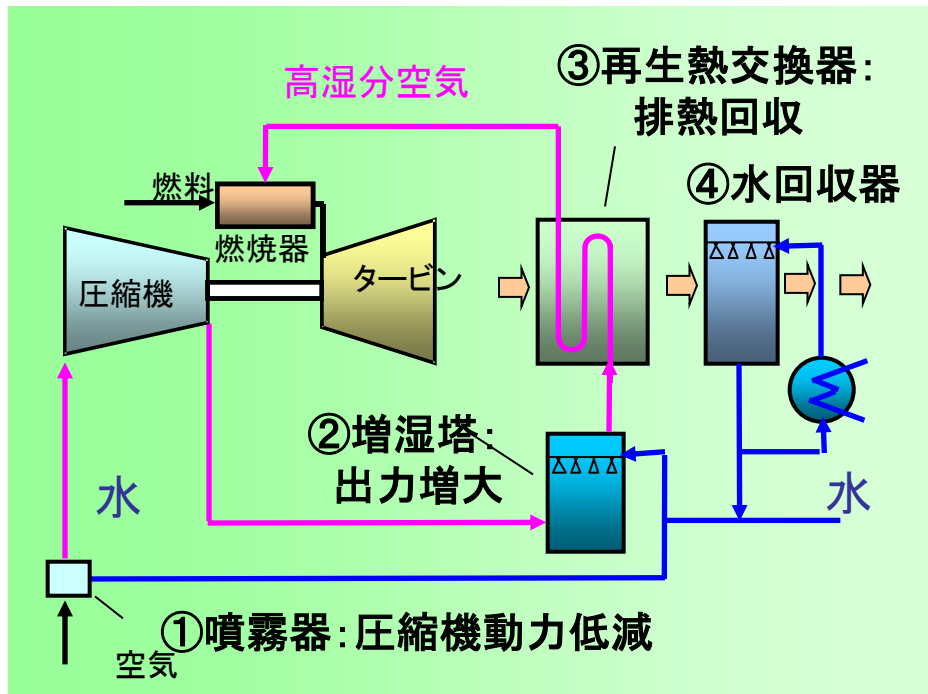
□ : 発電システム ○ : 要素技術 網掛 : 調査対象技術 □ : 目的

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

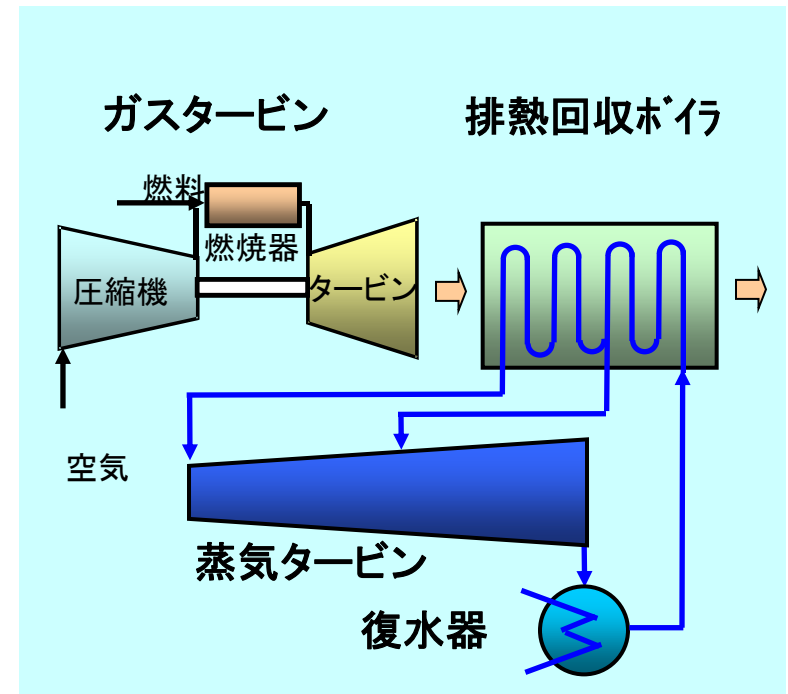
3. 目標

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に加え、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

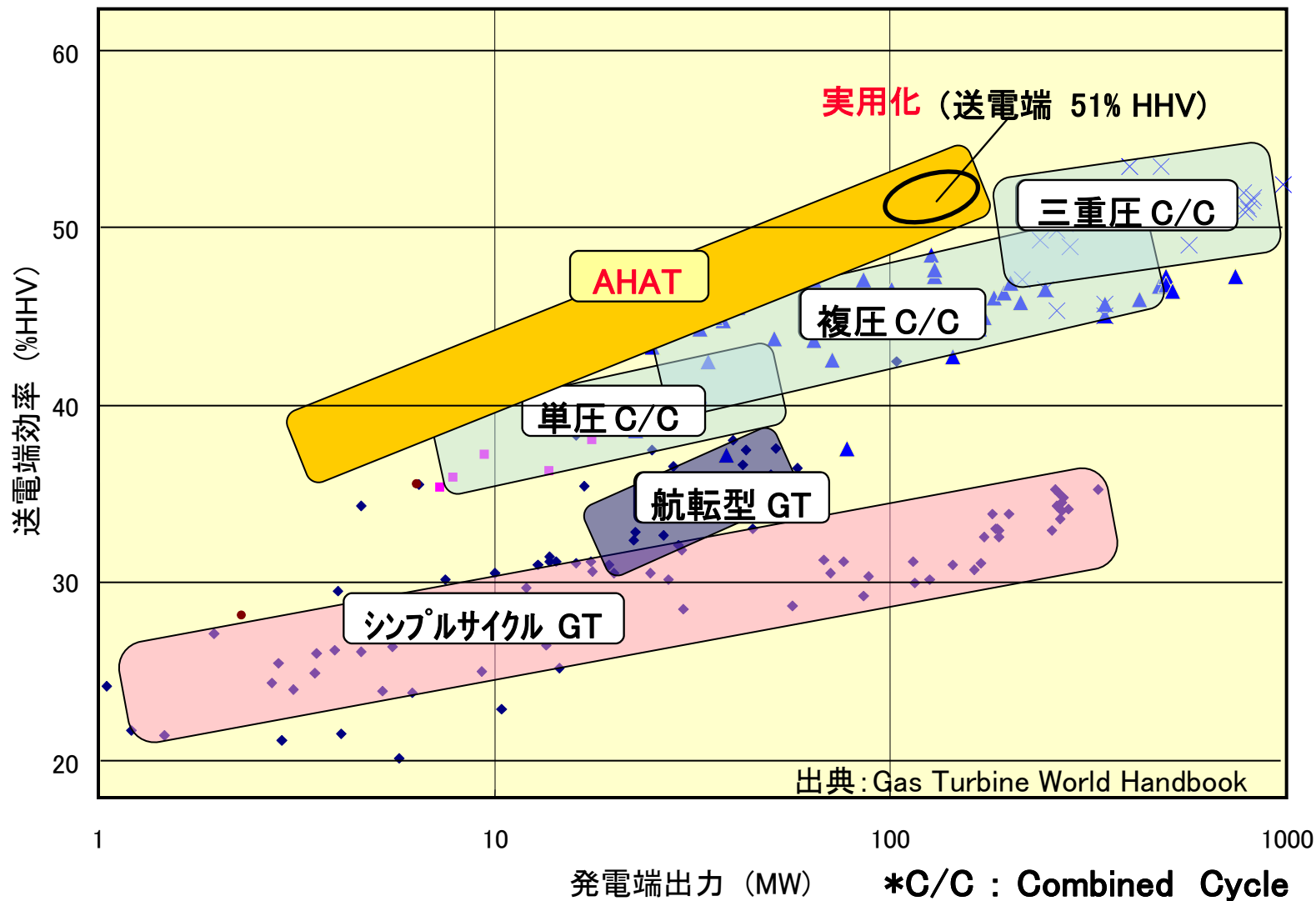


コンバインドサイクル

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

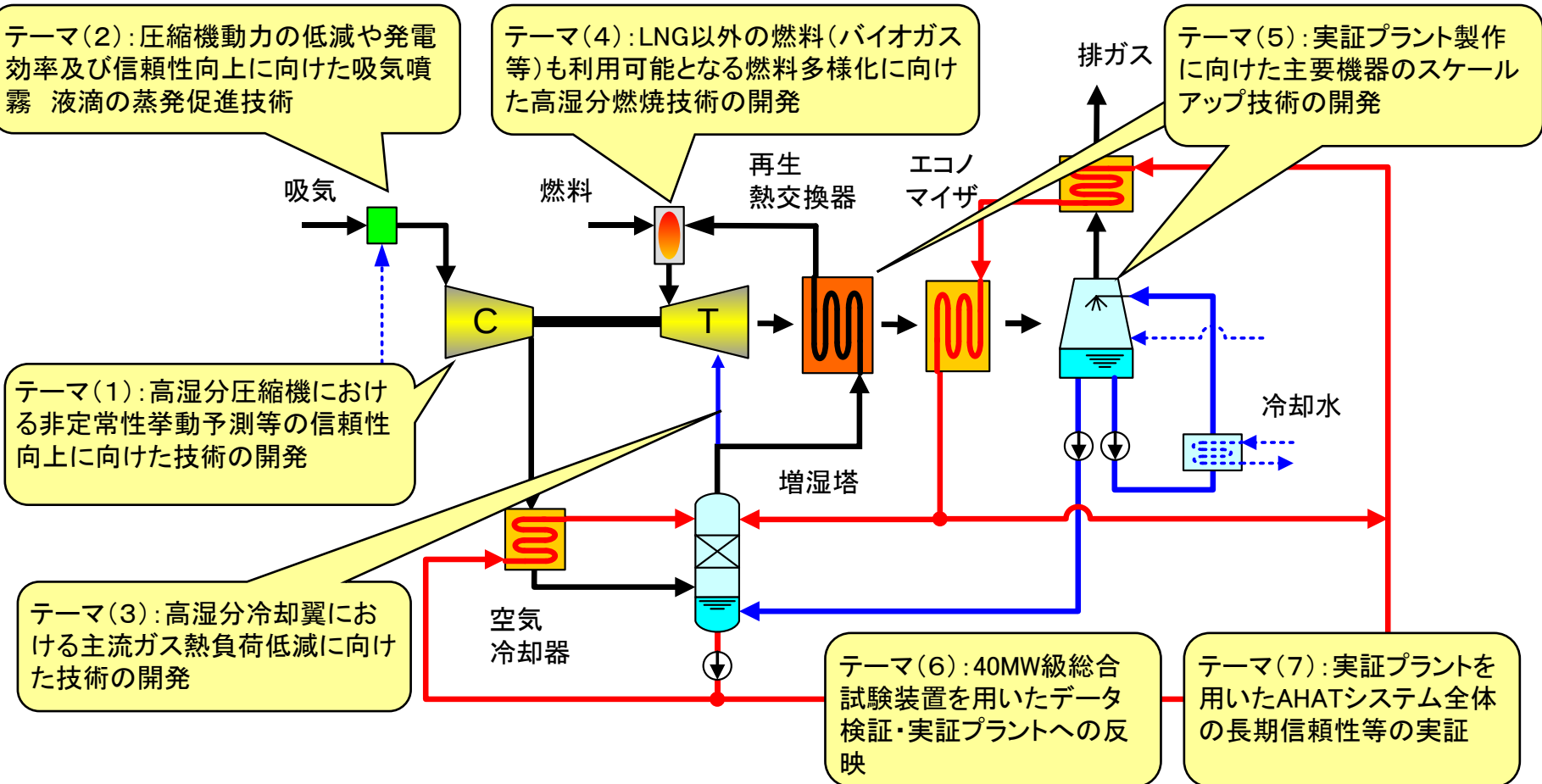


図 AHATの開発課題と本事業の目的

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	チップカット技術※の確立 (※翼先端部をカットして吸込み流量を削減する技術)	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	・多様化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。

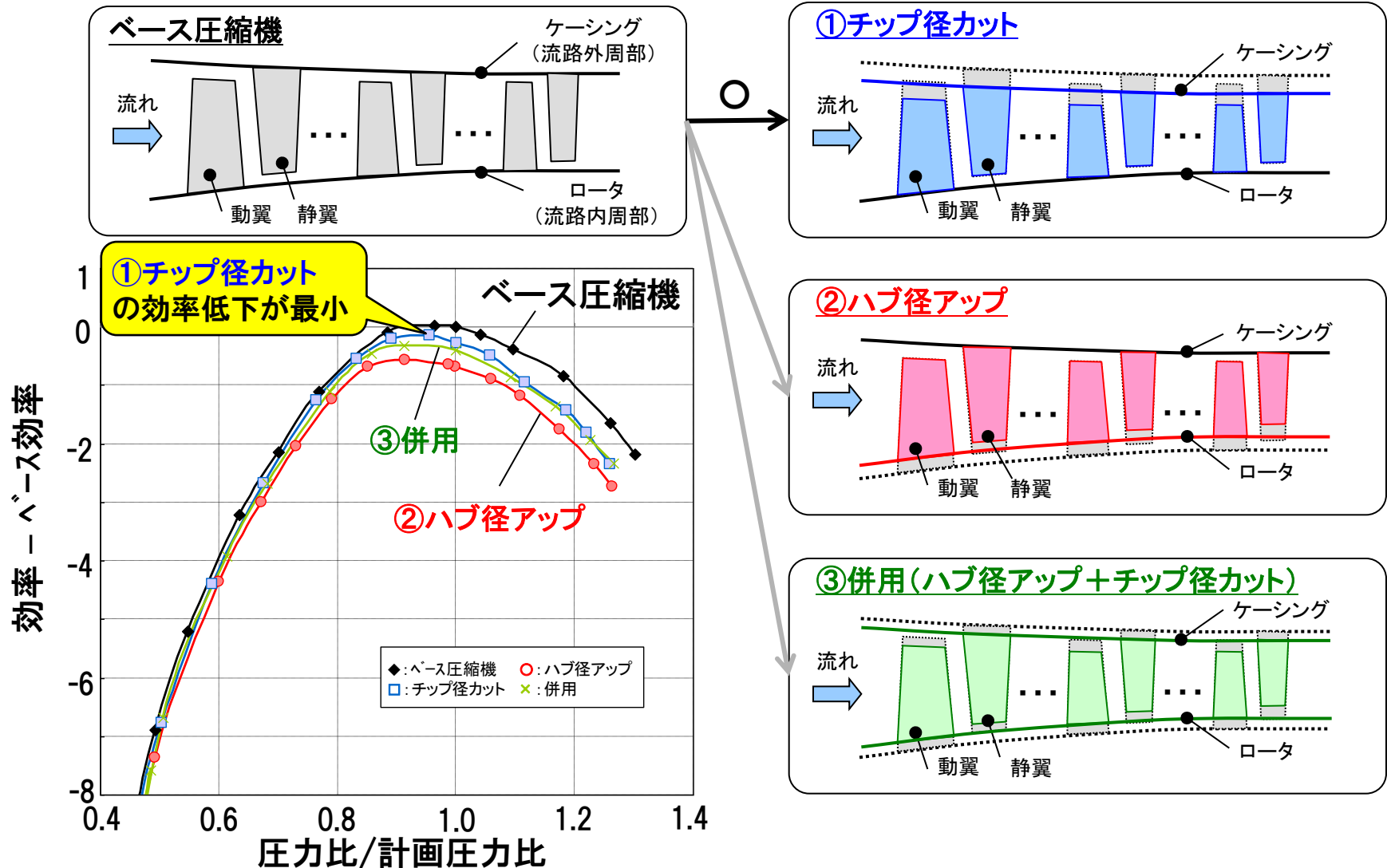
4. 成果、目標の達成度

本事業での実施項目は達成しており(中間評価)予定ど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	チップカット技術※の確立 (※翼先端部をカットして吸込み流量を削減する技術)	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)高湿分 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)高湿分 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

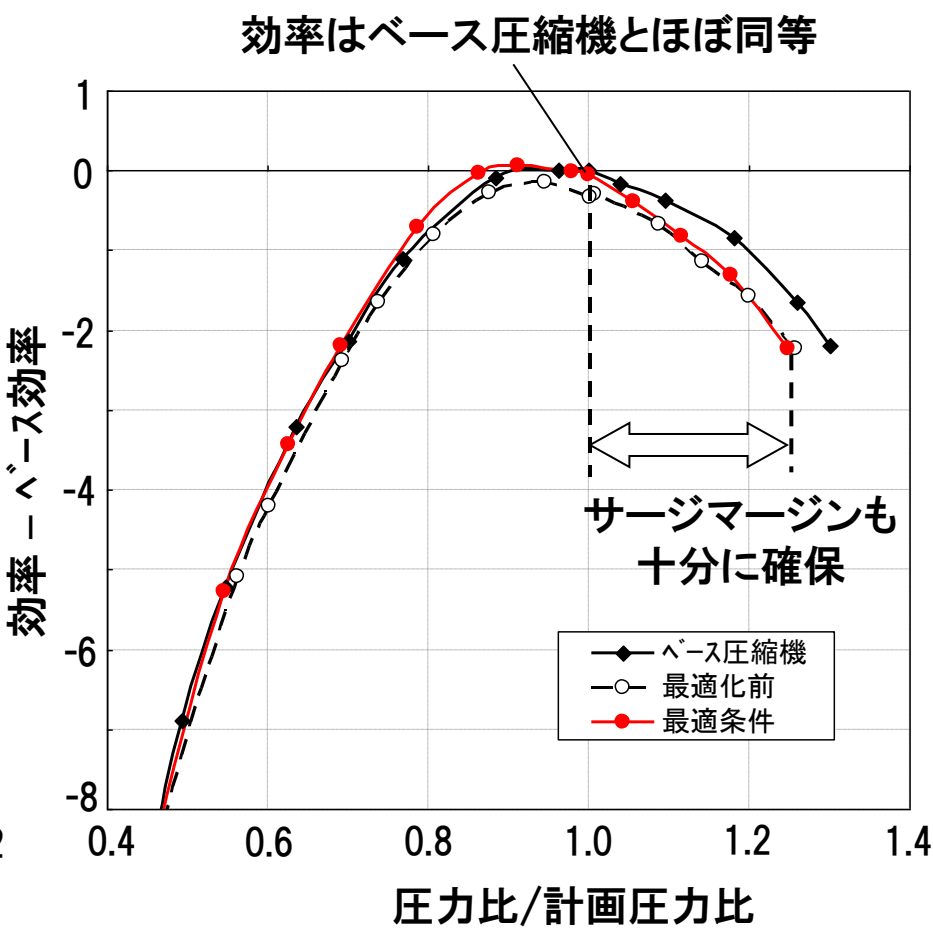
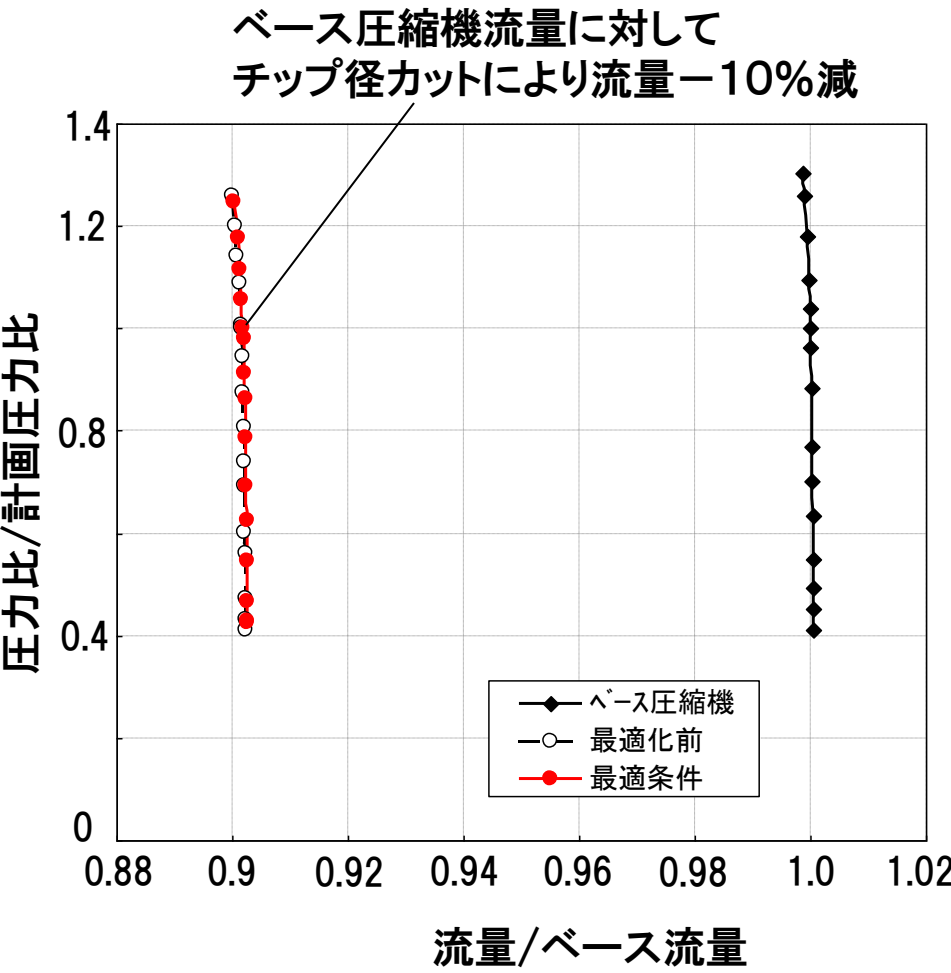
(1) 高湿分圧縮機：流量削減方法検討

チップ径カットを含む3種類の流量削減方法について既存の圧縮機を対象に検討し、外周側の翼をカットするチップ径カットの有用性を確認した。



(1) 高湿分圧縮機：大気温度特性を考慮したチップカット圧縮機設計

大気温度特性を考慮してチップカット圧縮機の最適設計を実施し、目標効率を達成しつつサージマージン(信頼性の指標)を確保できる見通しを得た。



(2) 蒸発促進技術：3次元数値解析の適用性検討

主流と液滴の相互作用をモデル化した3次元数値解析手法の適用性を検討した。液滴蒸発実験や性能予測アルゴリズムと比較し、妥当性を確認した。

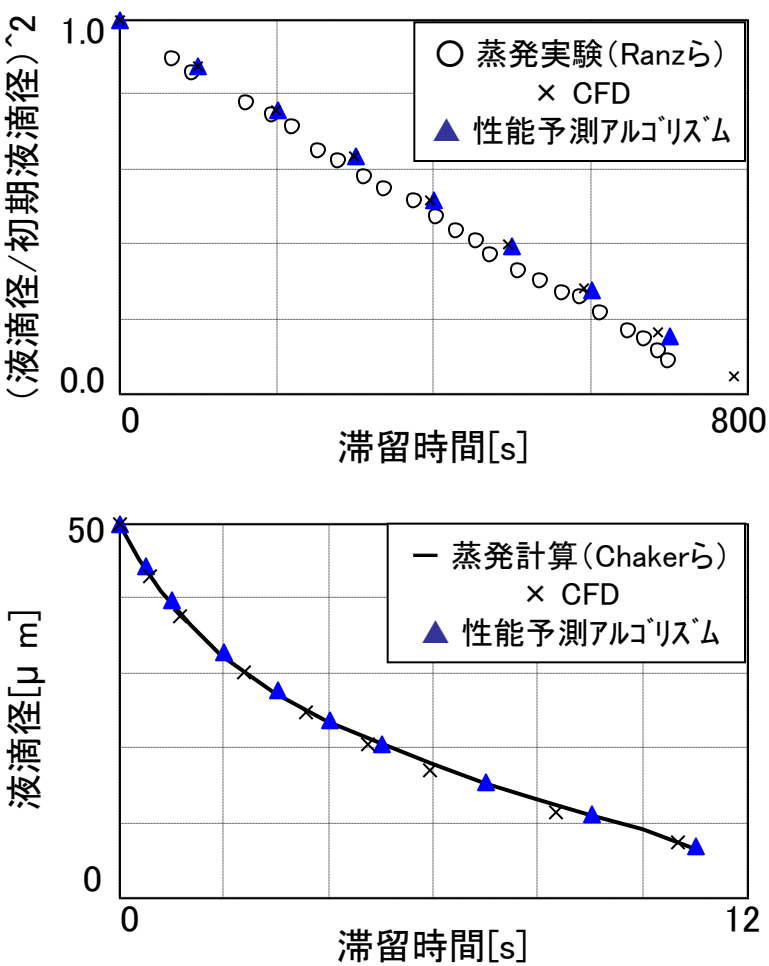
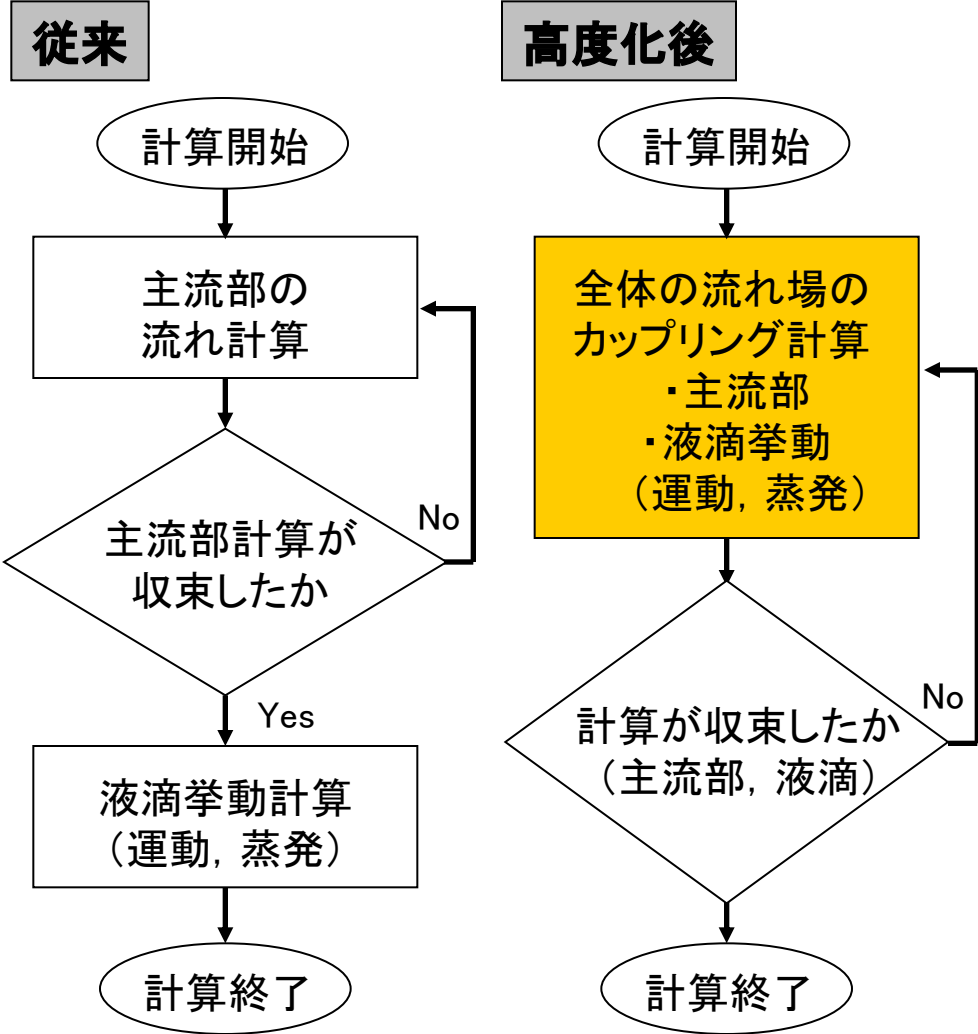


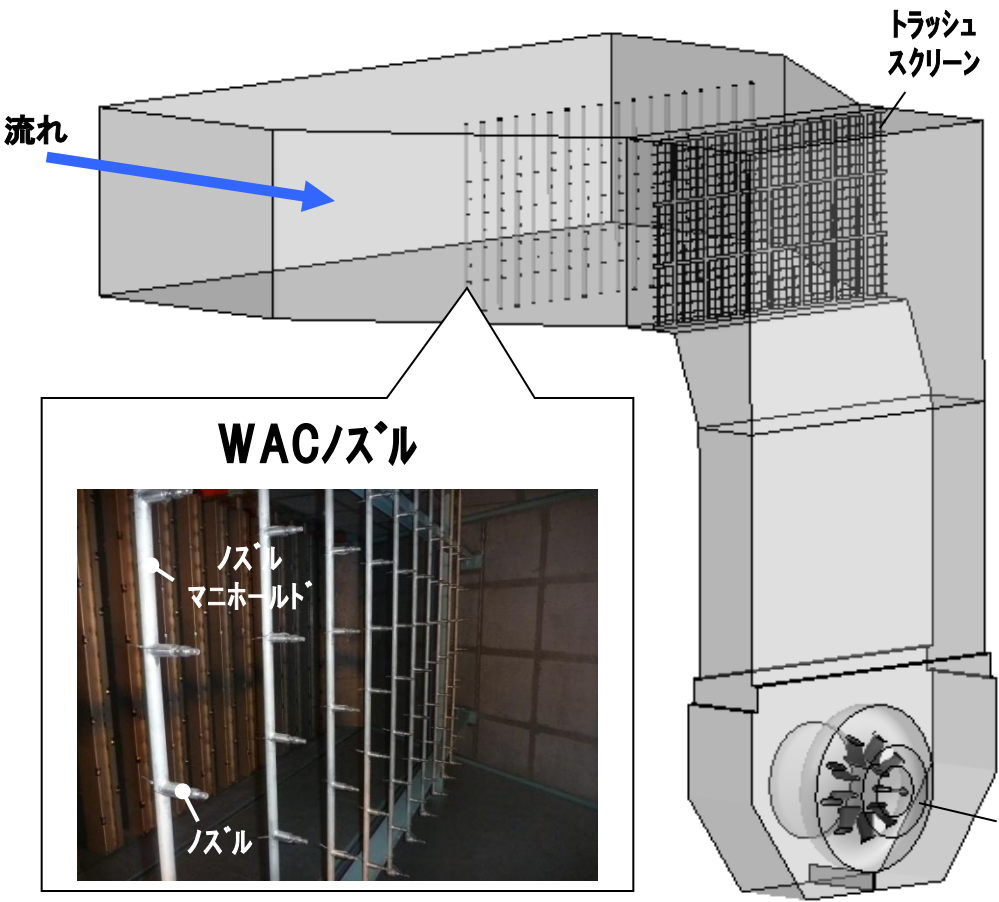
図 解析フローチャート比較

図 液滴径分布比較

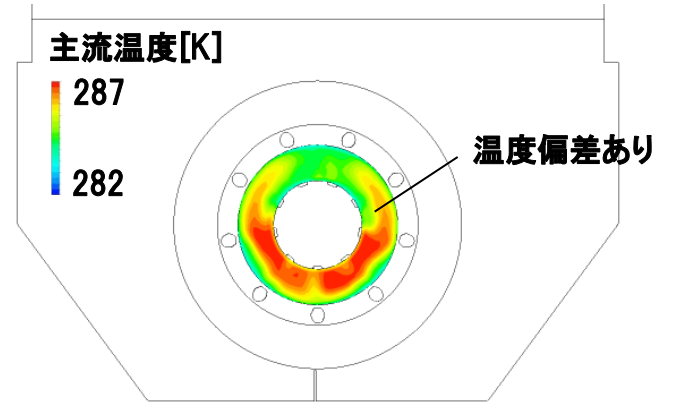
(2) 蒸発促進技術：3次元数値解析を用いた吸気部解析

3次元数値解析により40MW級総合試験装置の吸気部の流れ場を解析し、噴霧ノズル数が圧縮機入口（温度分布等）に及ぼす影響を検討した。

解析領域



ノズルマニホールド4セット噴霧



ノズルマニホールド9セット(全数)噴霧

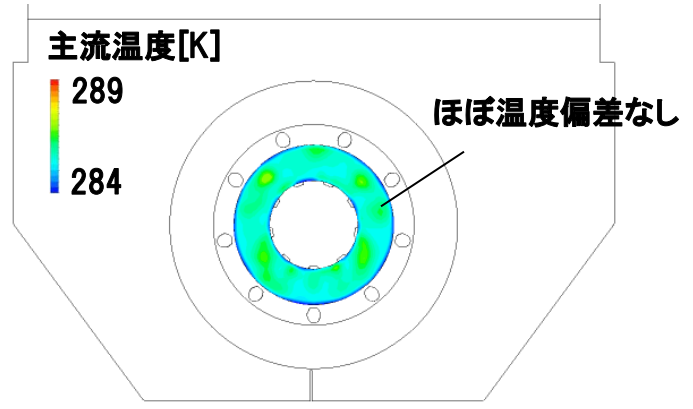


図 圧縮機入口温度分布

(3) 高湿分冷却翼：熱負荷低減構造の有効性確認

- 流れ制御構造とフィルム冷却孔を組合せた高性能冷却構造を考案した。
- 従来円孔の約4倍の平均フィルム冷却効率達成の見通しを得た。

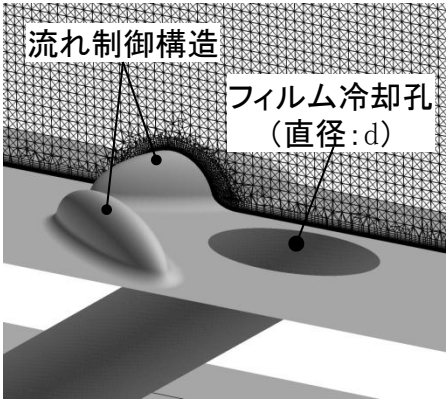


図1 高性能フィルム冷却構造と計算格子

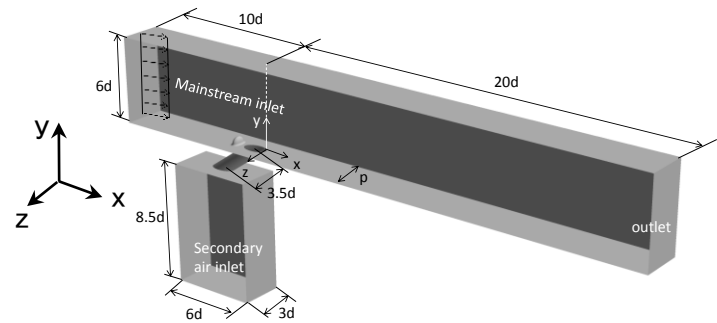


図2 数値解析領域

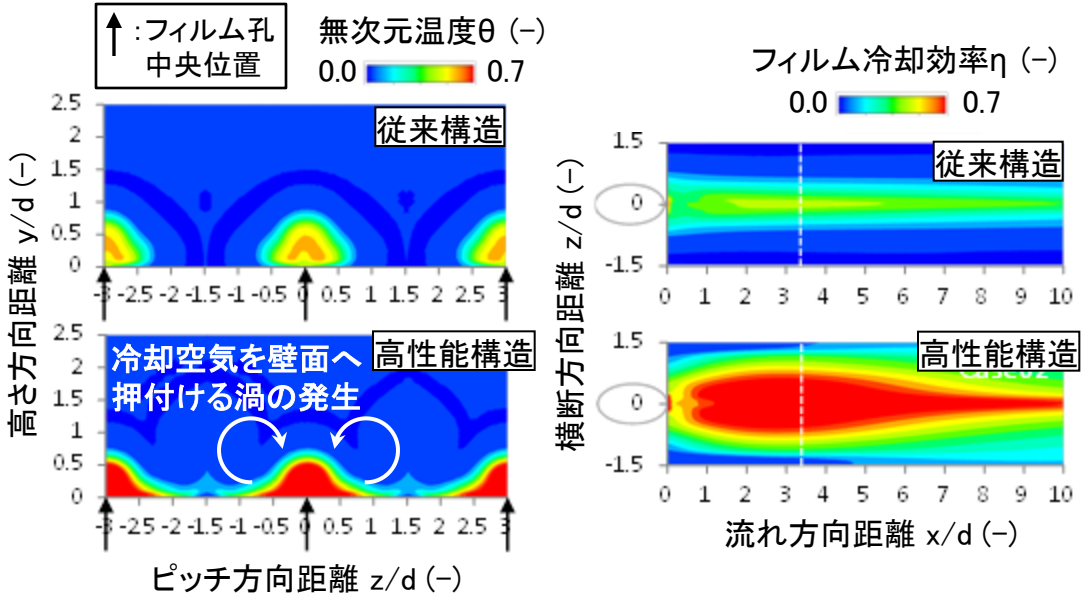


図3 数値流体解析結果(BR=0.5)

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

T_g : 主流温度(K)
 T_c : 冷却空気温度(K)
 T_m : 混合ガス温度(K)
 T_f : 断熱壁面温度(K)

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

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)

(3) 高湿分冷却翼：タービン内部流れの詳細計測技術の開発

翼周りの複雑な流れ場と温度場、フィルム冷却効率と熱伝達率を計測可能な環状セクター試験装置を設計・製作した。

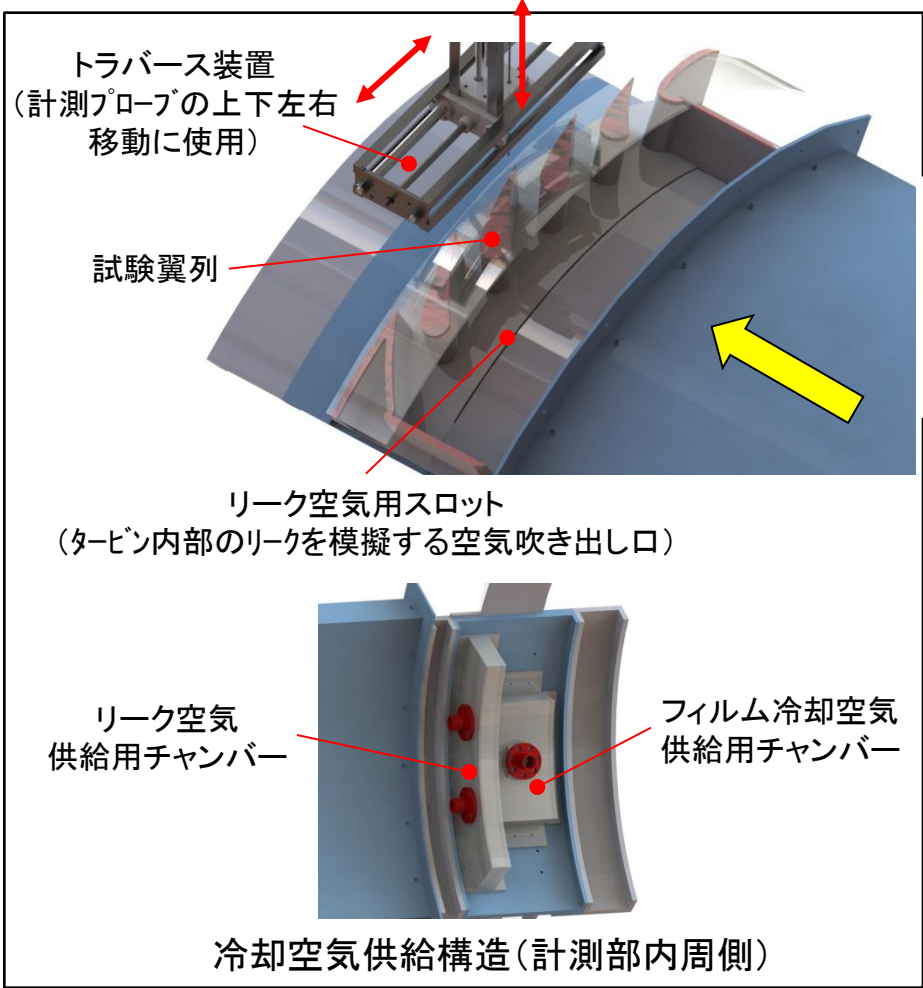


図2 計測部拡大図

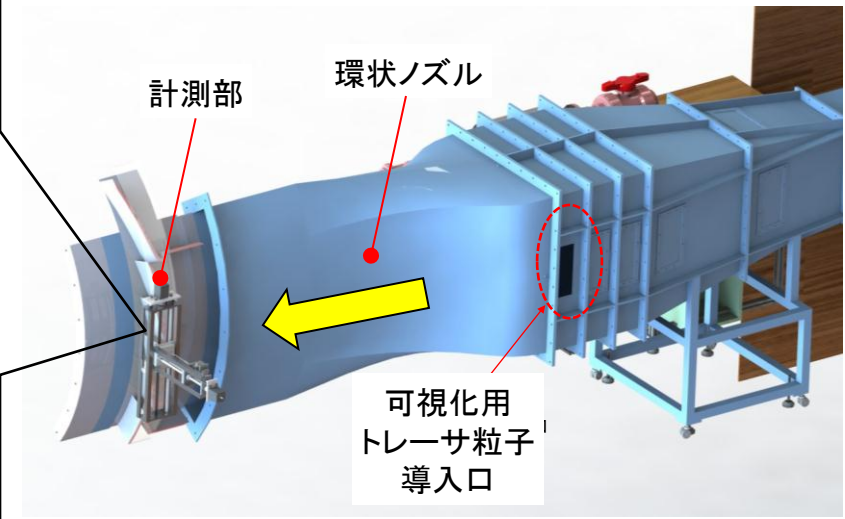


図1 環状セクター翼列試験装置

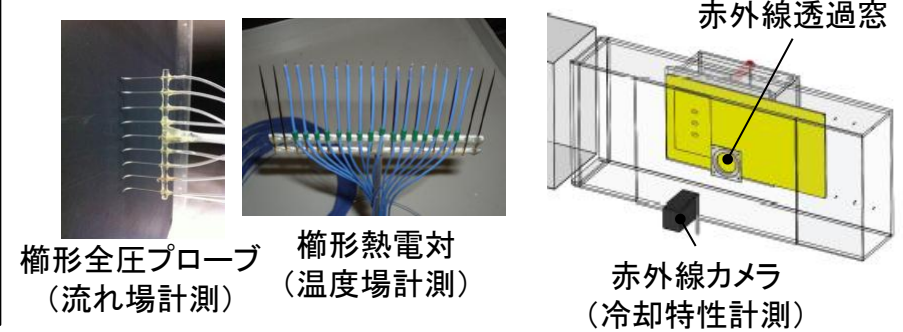
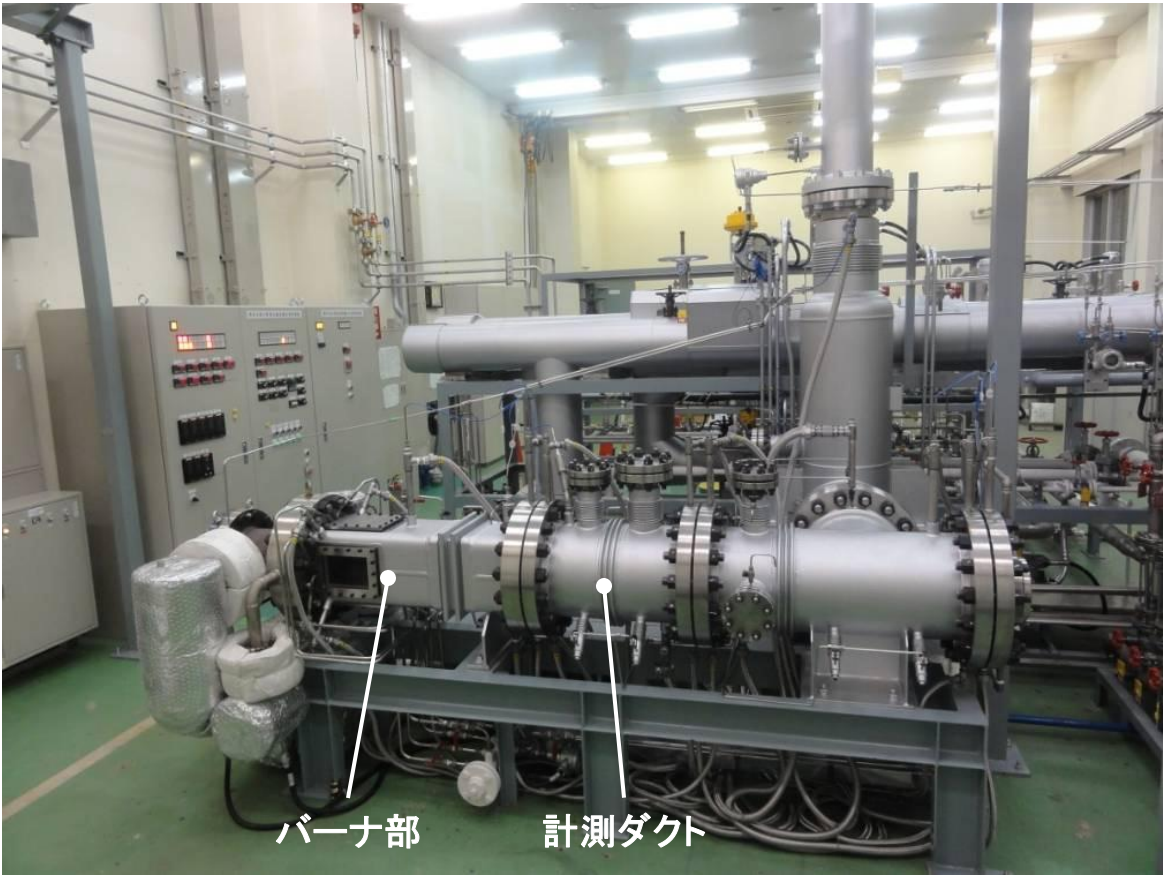


図3 計測装置

(4) 高湿分燃焼器：燃料多様化試験装置の設計、製作

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。



(4) 高湿分燃焼器：燃焼解析技術の高度化

燃焼試験回数の低減（多様化燃料の入手，貯蔵，取扱い上の制約）のため，CO排出量を評価可能な燃焼解析技術を開発した。

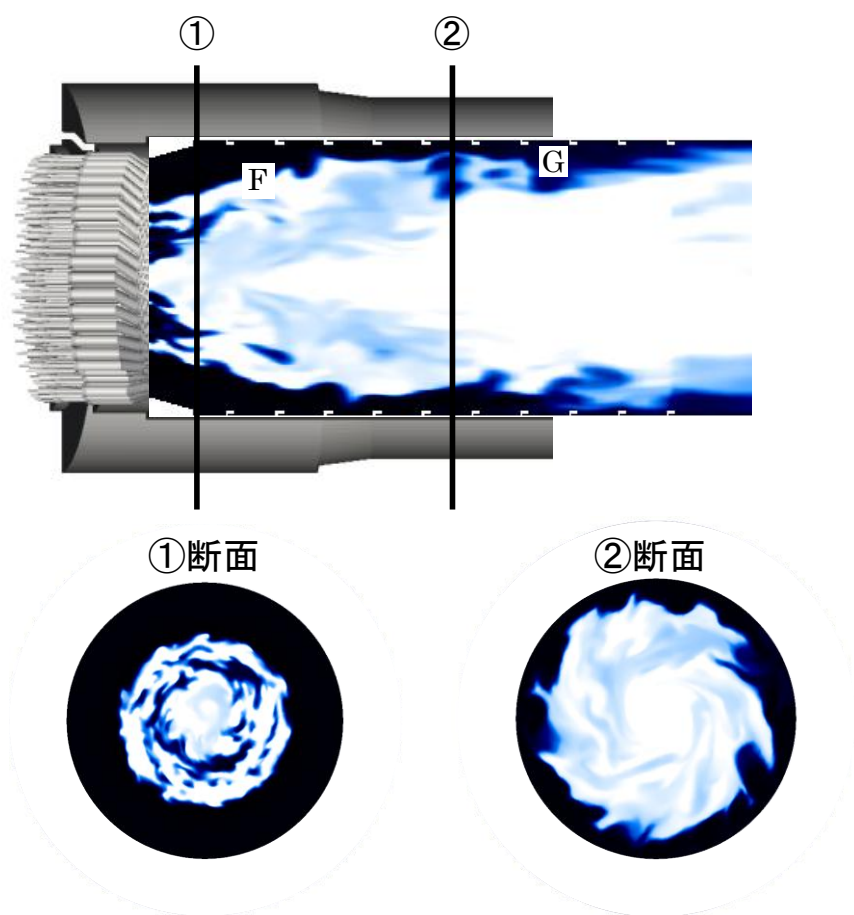


図1 温度分布

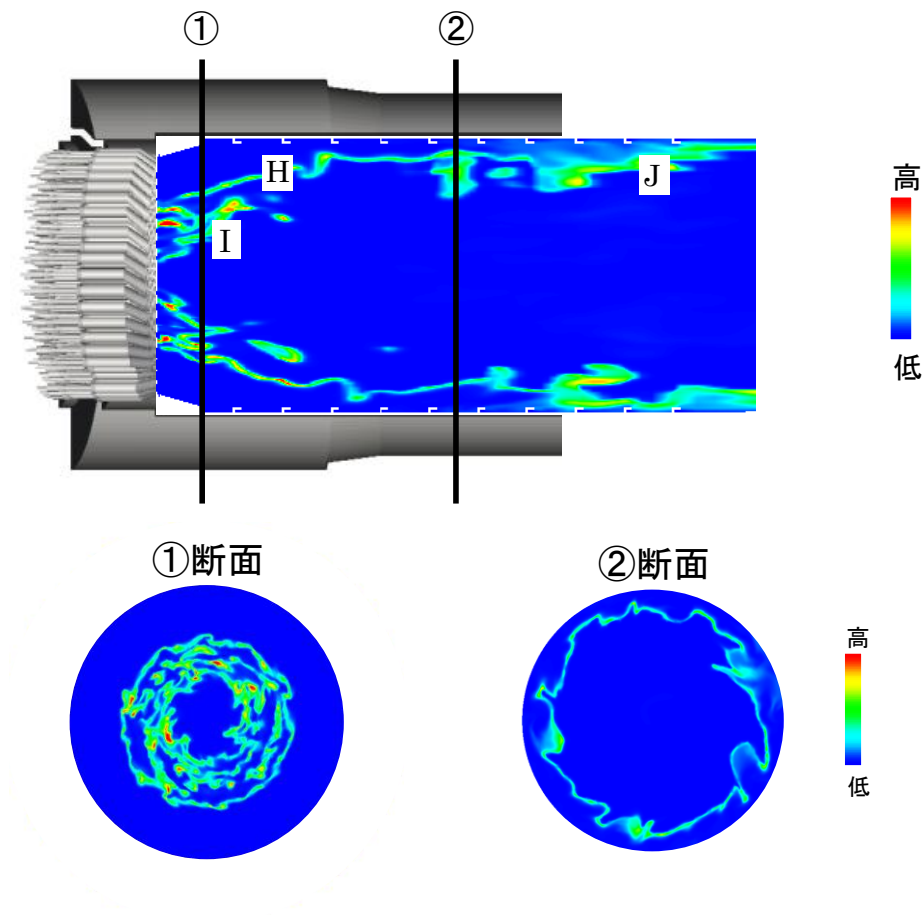


図2 CO濃度分布

(4) 高湿分燃焼器：燃焼器冷却促進構造の検討

冷却空気削減，燃焼空気増加による低NO_x化，および入熱量増加に対応可能な対流冷却促進構造を検討するため，縦渦による流路内攪拌効果を検討した。

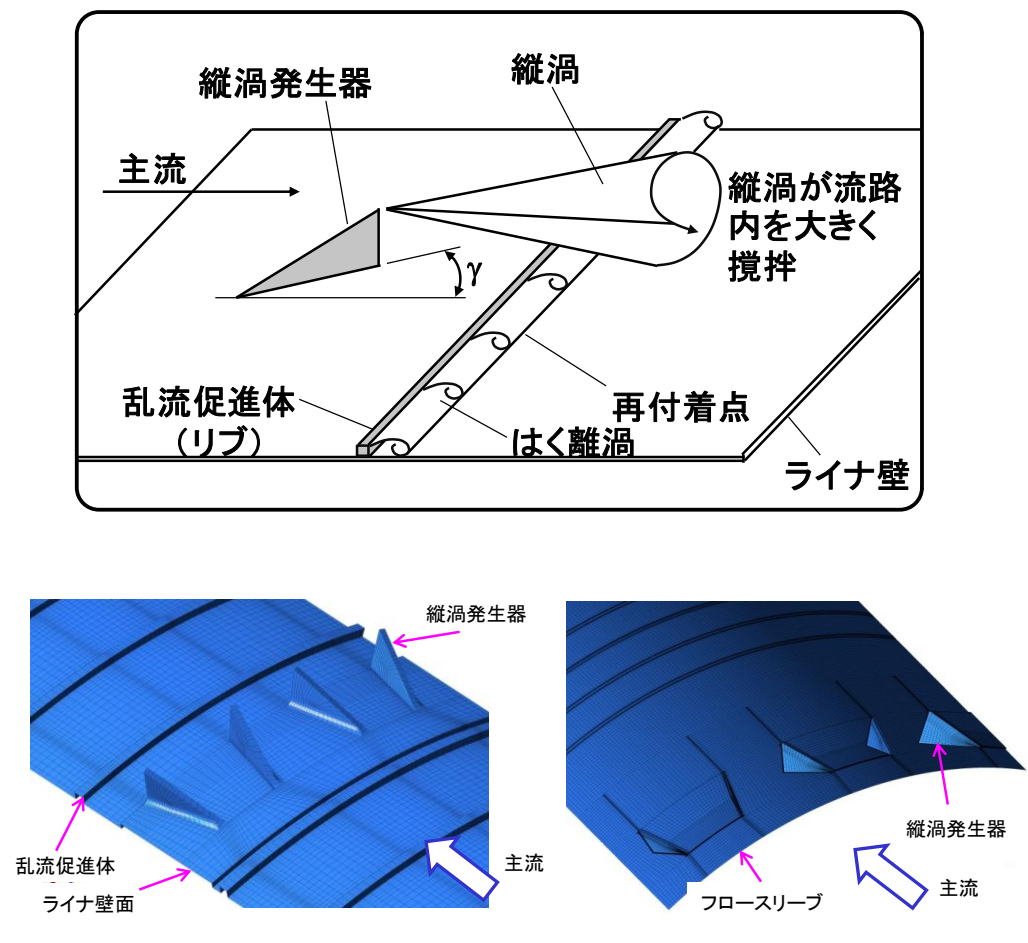


図1 解析形状

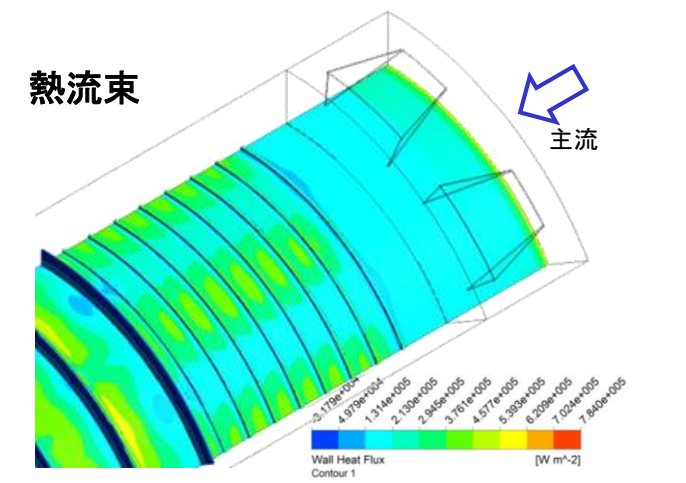
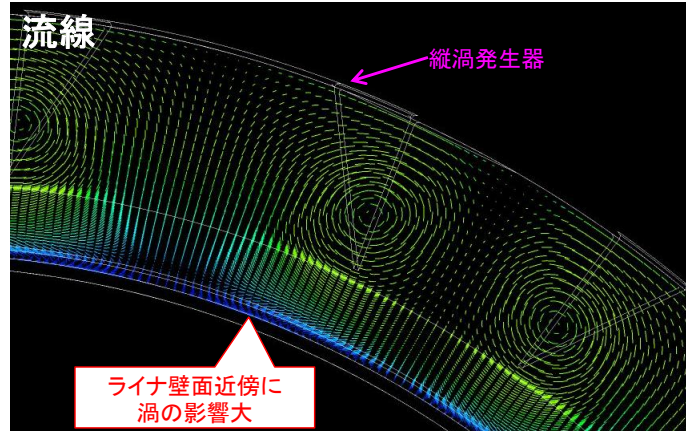


図2 数値解析結果

(4) 高湿分燃焼器：40MW級総合試験

48MW最大加湿条件でNO_x排出量24ppmを確認し，総合試験機飽和加湿条件でNO_x<10ppmの見通しを得た。

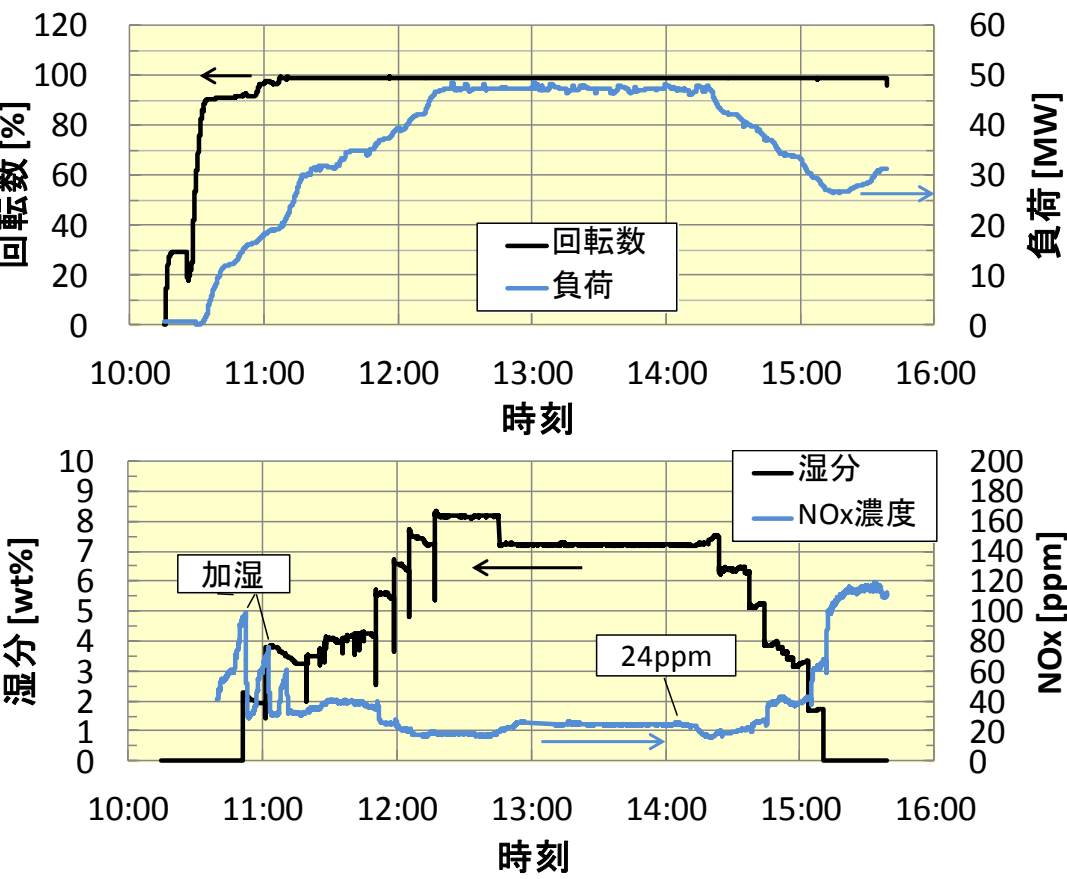


図1 加湿量とNO_x排出量

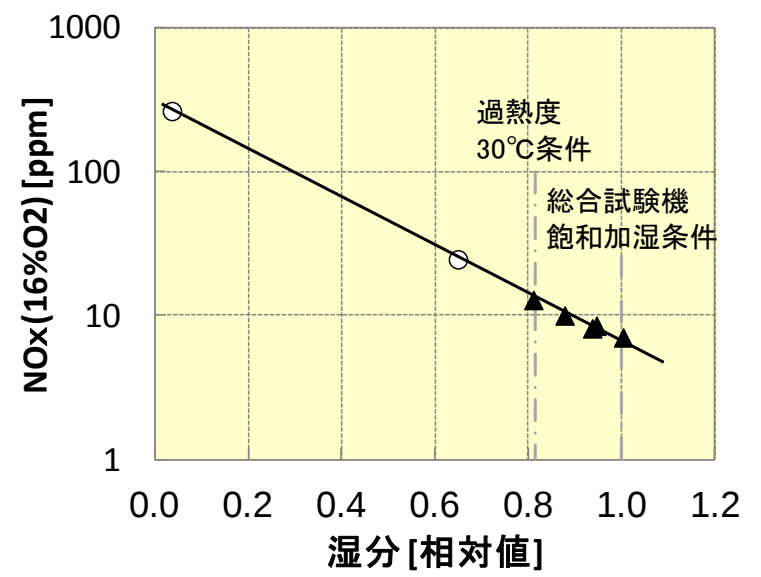
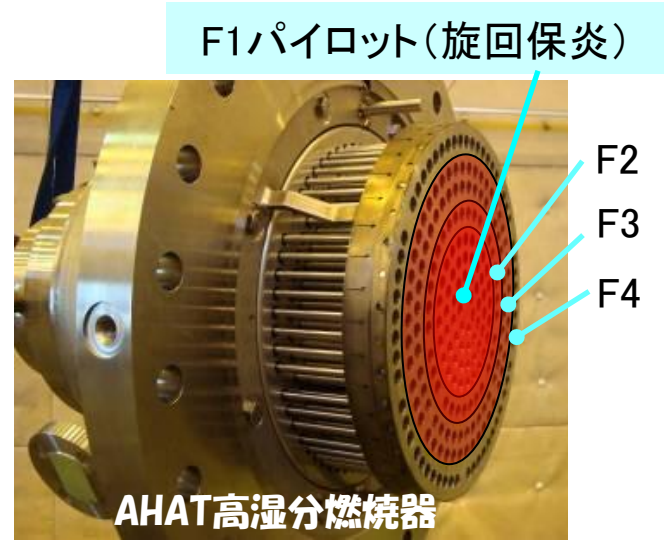
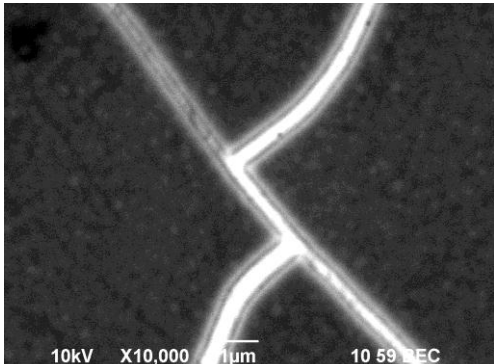


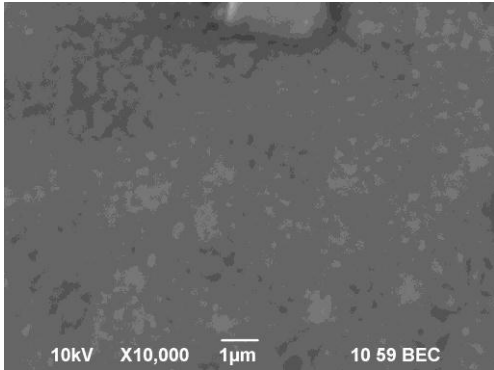
図2 NO_xに対する湿分の影響

(5) スケールアップ技術：再生熱交換器の材料面での信頼性確保技術開発

成膜の安定と改良を検討し、キレート剤※¹の添加と液の攪拌により、LPD法※²による酸化皮膜のクラック発生を低減した。熱交換器内面へ表面処理を行うことにより材料面での長期信頼性向上が期待出来る。



(a) キレート剤なし(攪拌)



(b) キレート剤あり(攪拌)

※¹ キレート剤: 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。
金属封鎖剤, 変質防止剤として洗剤, 化粧品等への添加、
重金属処理やメッキ処理等に利用。

※² LPD法: 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)と、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)を利用して酸化物膜を析出させる反応。

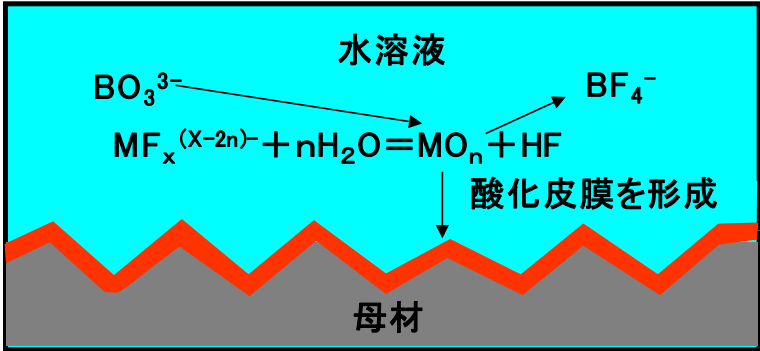


図: LPD法のメカニズム

図 LPD法による酸化皮膜の比較

(5) スケールアップ技術：再生熱交換器の構造面でのスケールアップ技術開発

- 熱交換器本体コアの溶接接続を行うのに最適な条件（材質、寸法等）の検討を行い、組合せにより最適条件が異なるが3mmのスペースを空けることで接続部の溶接品質を健全と出来ることが分かった。
- この結果、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ることが出来た。

表 コア接合溶接試験結果
(SUS310Sの例)

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

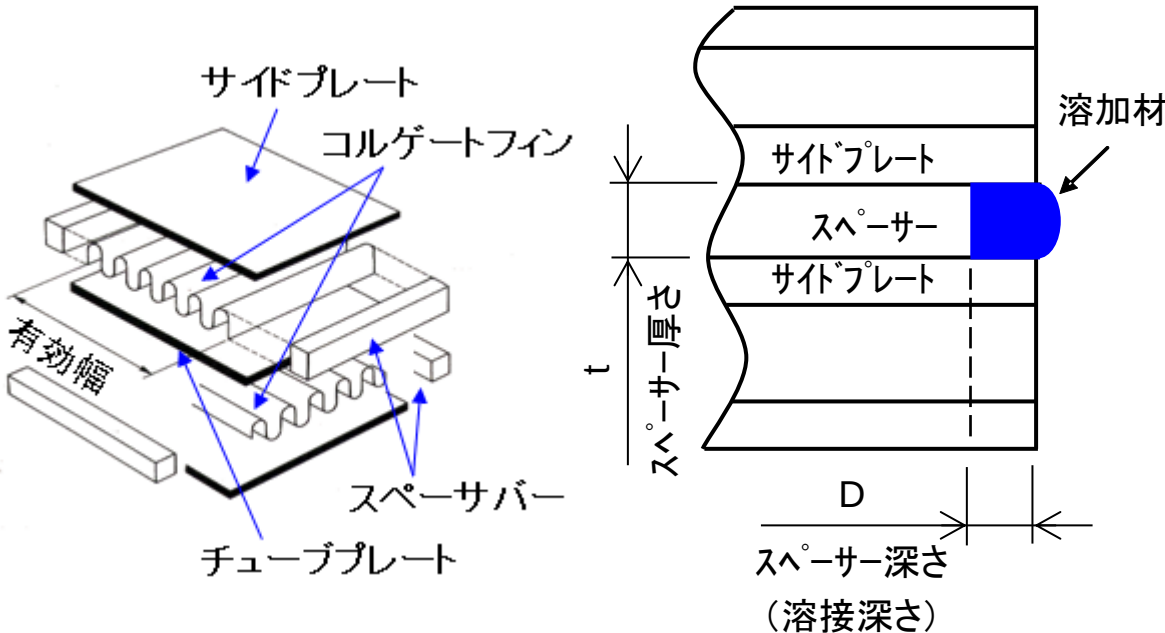
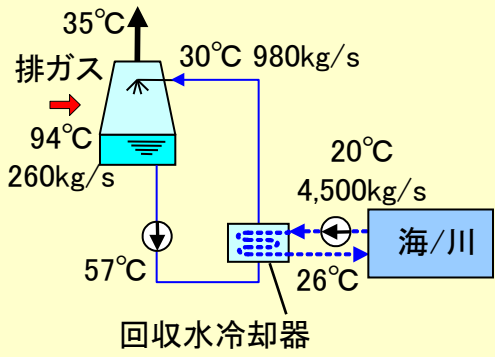
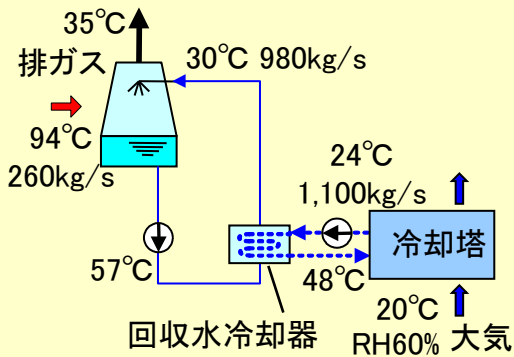
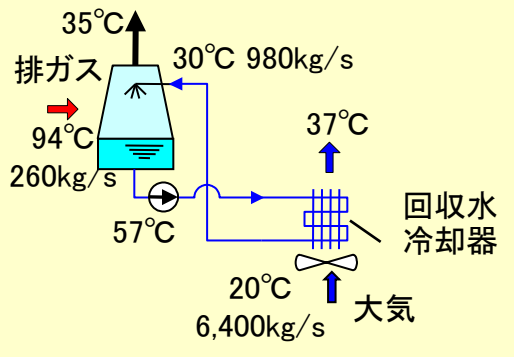


図 プレートフィン式熱交換器とコア接続溶接部開先形状

(5) スケールアップ技術: 水回収装置の冷却方式の検討

水回収装置の冷却に空冷式を採用した場合、熱交換器の伝熱面積が大きく発電コストも若干上昇するが、海水や工業用水が不要であり内陸部に立地可能なメリットが大きい。

表 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 (スプレイ水ポンプ: 840kW 循環水ポンプ: 3,100kW その他: 290kW)	0.016 kW/発電kW (スプレイ水ポンプ: 840kW 循環水ポンプ: 770kW 空冷ファン他: 1,020kW)	0.021 kW/発電kW (スプレイ水ポンプ: 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

(5) スケールアップ技術: 水回収試験装置の目的と概要

- 大型化に適した充填物式の検証のため、40MW級総合試験装置の排気ダクトに、約1/60規模の水回収装置を追設した。
- 放熱は空冷式であり、内陸立地への適用性を検証可能である。

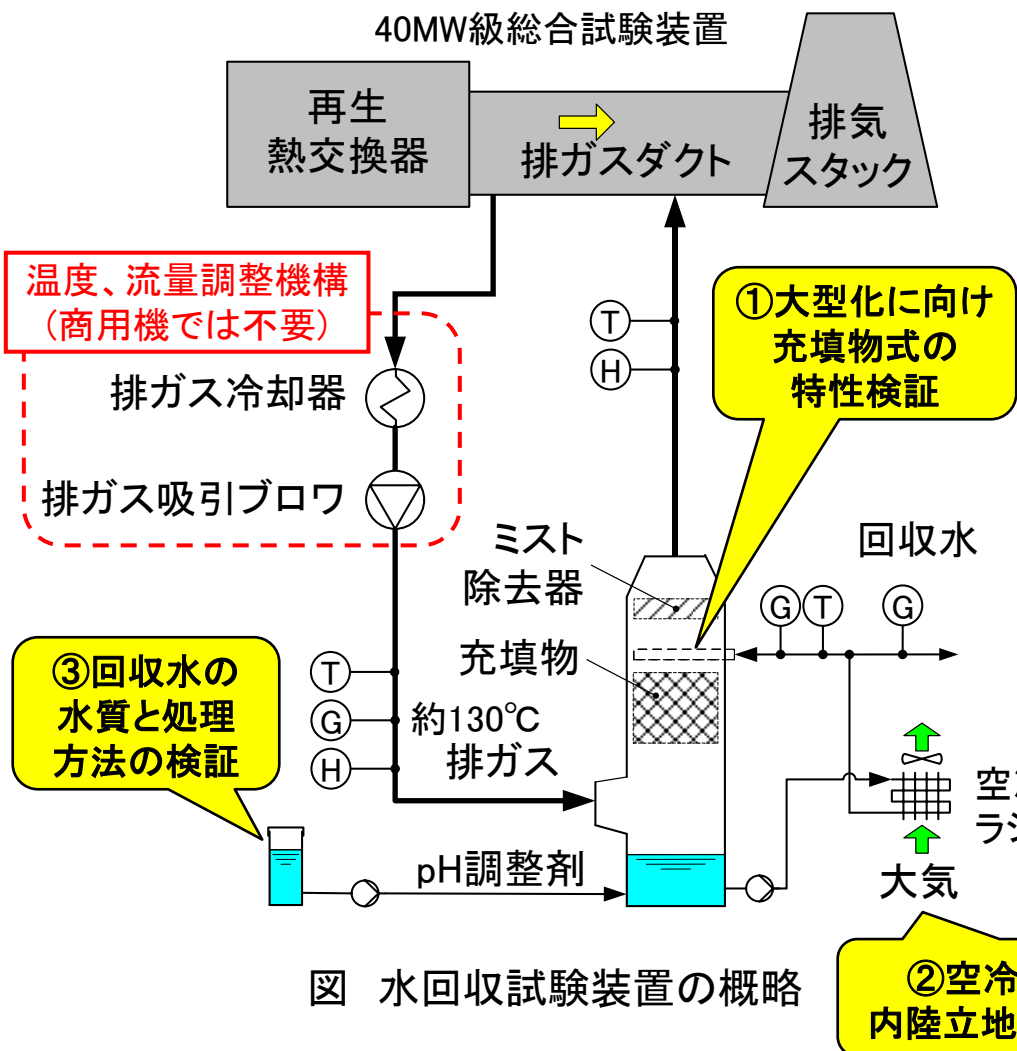


図 水回収試験装置の概略

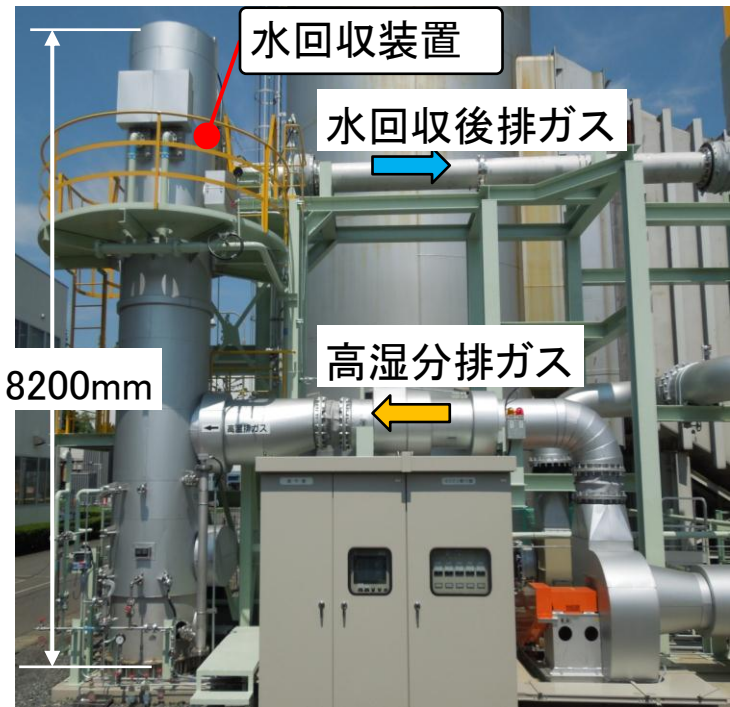


図 水回収試験装置の外観

(5) スケールアップ技術：水回収試験装置の測定結果

- 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
- 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

表 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	℃	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	℃	125		130		エコノマイザ出口想定
	絶対湿度	g/kg'	93	104	117	124	
測定結果	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：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

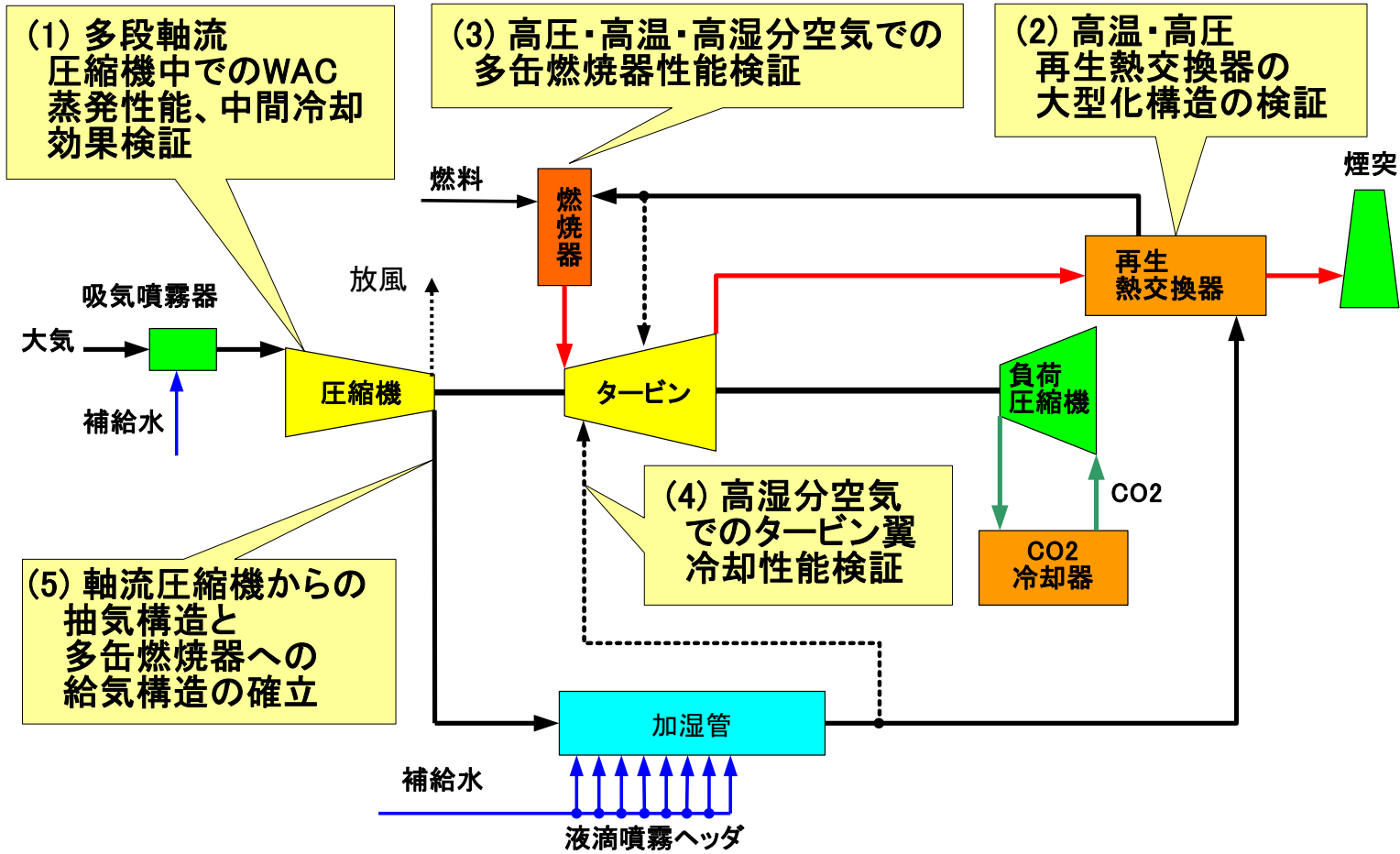


図 40MW級総合試験装置の構成と主な検証内容

(6) 40MW級総合試験：40MW級総合試験装置の外観

- スプレイ式の加湿管により、圧縮空気への加湿量を変化可能
- 圧縮機吐出空気をプラント側に抽気するガスタービンケーシング構造も検証する

加湿管

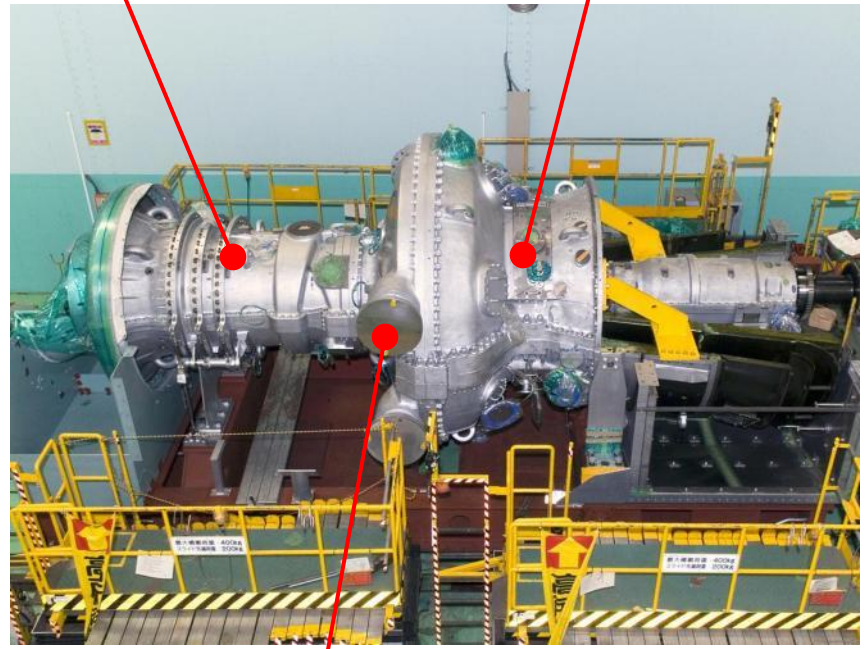


再生熱交換器

図 システム機器

軸流圧縮機

軸流タービン

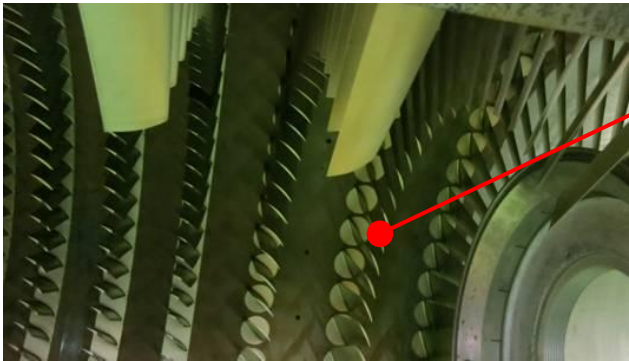


抽気配管(加湿管へ)

図 ガスタービン本体

(6) 40MW級総合試験:ガスタービン本体内部開放点検

ガスタービン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。

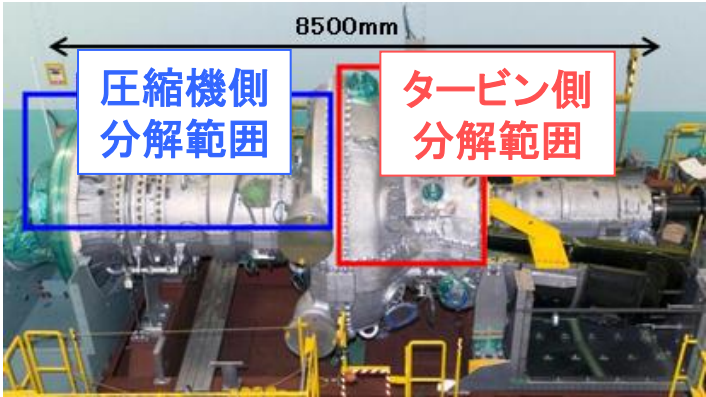


静翼

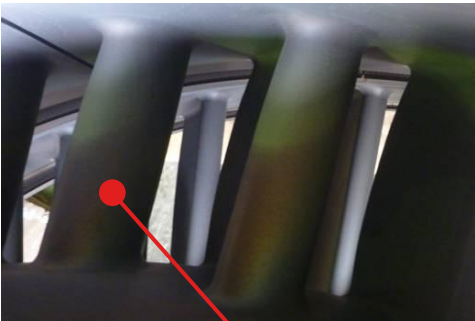


動翼

圧縮機側内部(静翼・動翼)



内部点検の分解範囲



静翼



動翼

タービン側内部(静翼・動翼)

(6) 40MW級総合試験：定格出力への到達

- 開放点検後に装置復旧し、38回の起動、累計50時間の運転実施した。
- 45MW、48MW出力でヒートランを実施、重構造GTのAHATへの適用性を確認した。
- 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、GTCCの約1/3に相当する。

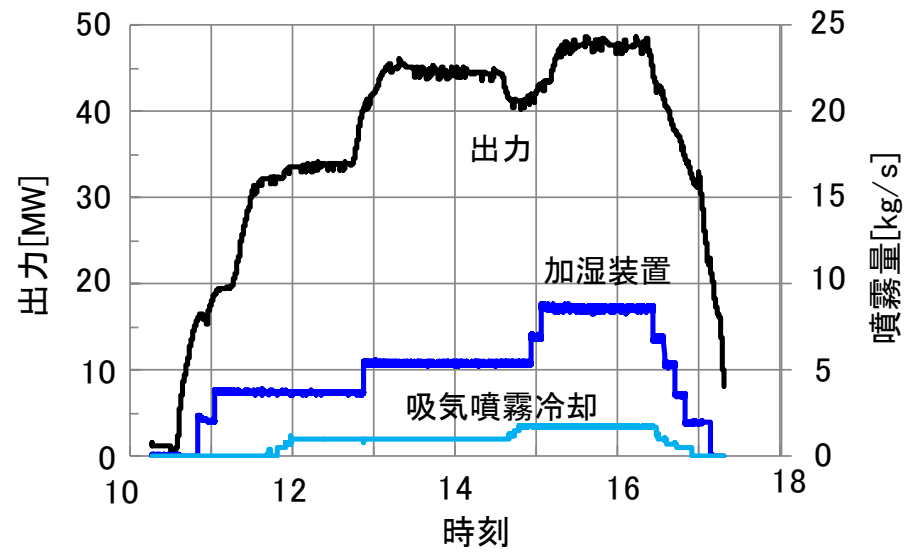


図 初めて定格負荷を達成した日の
運転曲線(2012年12月4日)

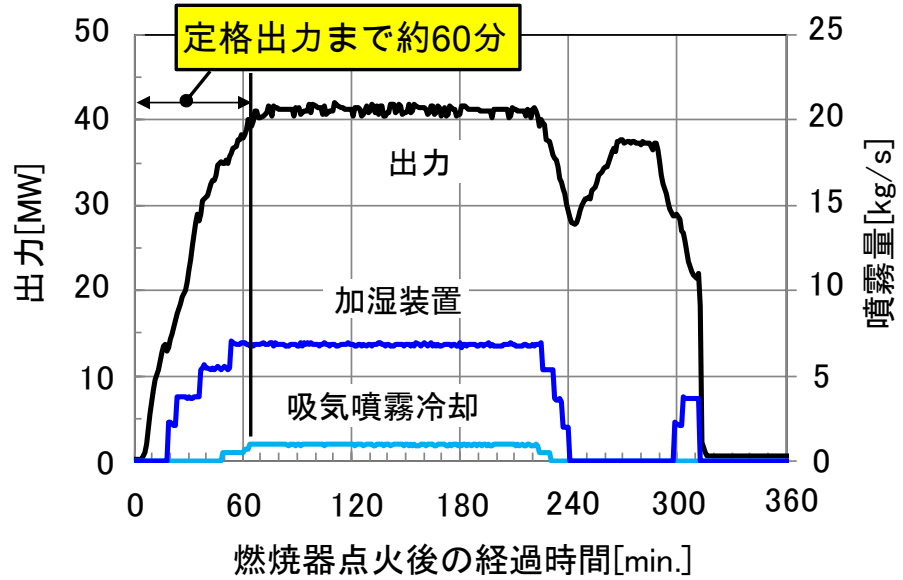
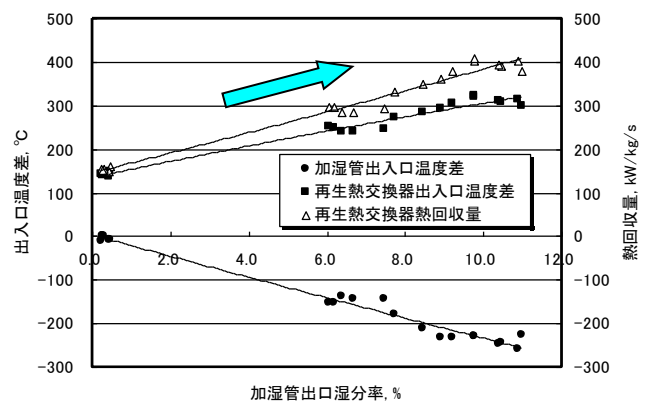


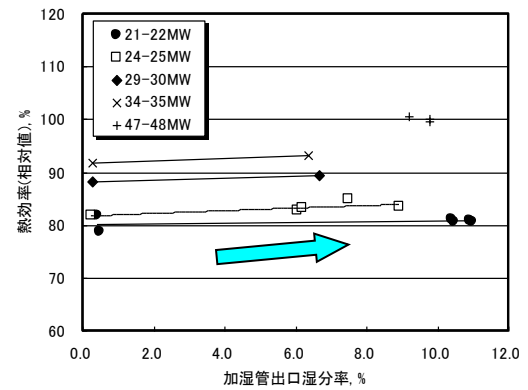
図 コールド状態からの起動特性を示す例
(2012年12月13日)

(6) 40MW級総合試験：データ検証

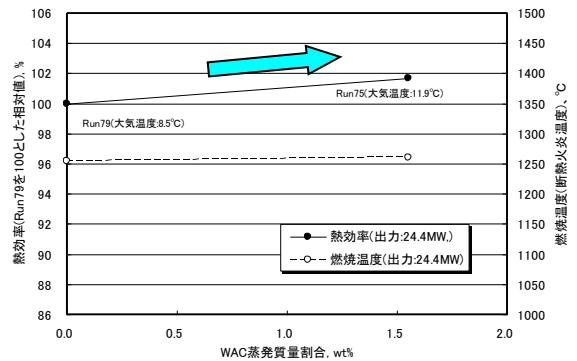
- 加湿により排熱回収量増加し、各負荷で熱効率が向上することを確認した。
- 吸気水噴霧により圧縮動力が低減され熱効率が向上することを確認した。
- 吸気流量による負荷制御により、高い部分負荷特性が得られた。



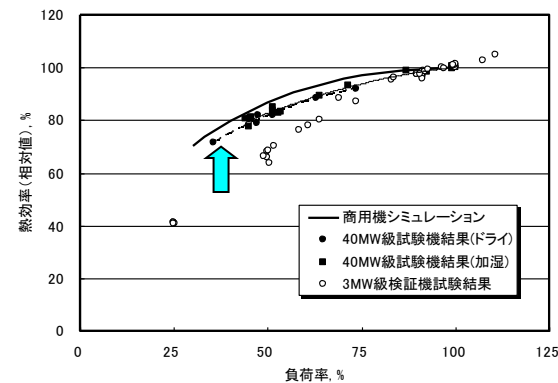
(1) 加湿による再生熱交換器での熱回収量の変化



(2) 加湿による各負荷での熱効率の変化

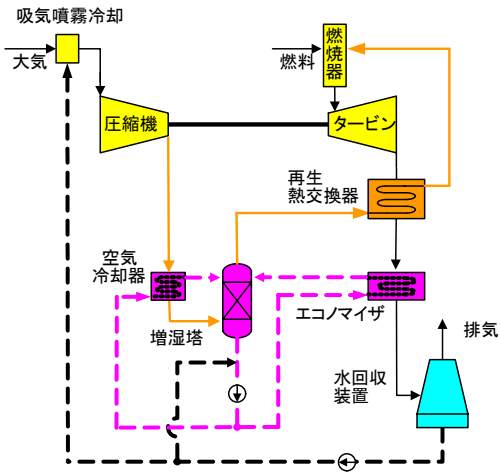
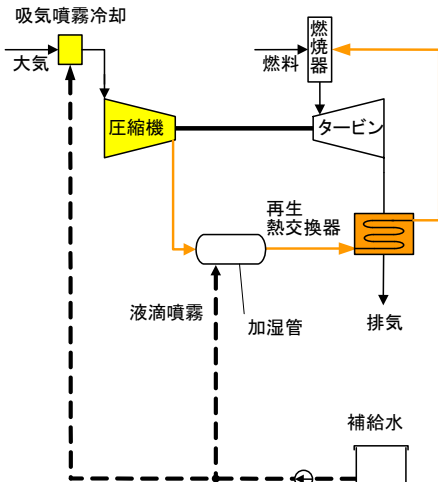
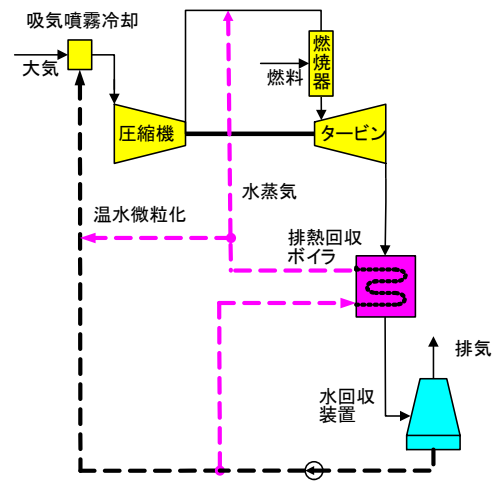


(3) 吸気水噴霧による熱効率の変化



(4) 部分負荷特性の比較

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る実証の前倒しを検討した。

システム構成		AHATフルシステム		実証機の計画(二段階実証)	
系統構成					
実証内容 (網掛)	(A)高湿分 ガスタービン	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	
		タービン	(加湿量約半分)	全量加湿条件	
		燃焼器	(加湿量約半分)	全量加湿条件	
	(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)	

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4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, 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	
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

5. 事業化、波及効果

事業化(商用化)の計画

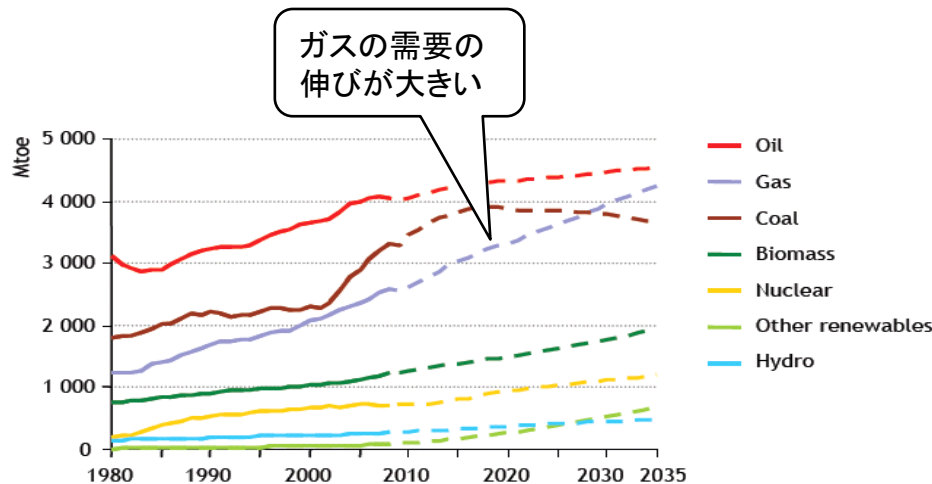
- 本事業の前半で計画している高信頼性化要素技術の開発後に、実証機の建設、運転により、AHATシステムの長期信頼性を評価し商用機につなげていく必要がある。
- 本技術の一部は既に製品に適用済であり、ガスタービンの高性能化に寄与している。

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～)
	(3MW級検証機)	(40MW級総合試験設備)	(実証機)	
技術開発の成果、波及		・高湿分翼冷却翼技術 ・高湿分燃焼器技術 →日立ガスタービンに適用		・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

5. 事業化、波及効果

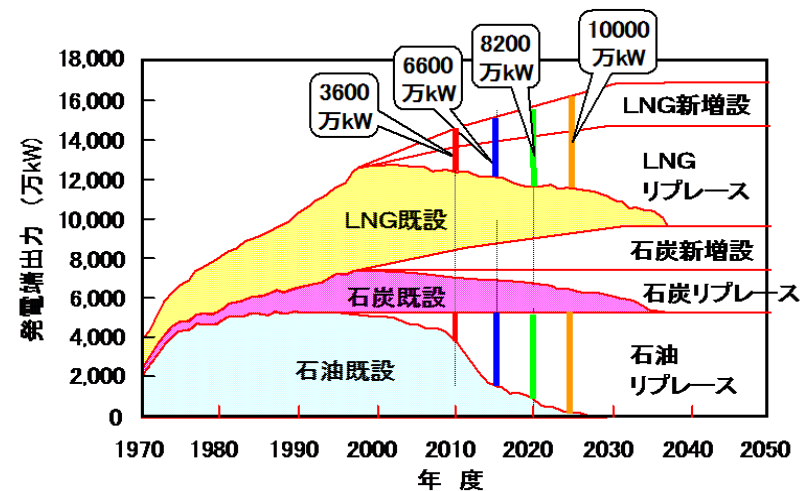
ガス火力発電の今後の見通しと市場規模

- 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火力リプレイス、石油火力の燃料転換等のリプレイス市場と、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。
- 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。

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 ・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

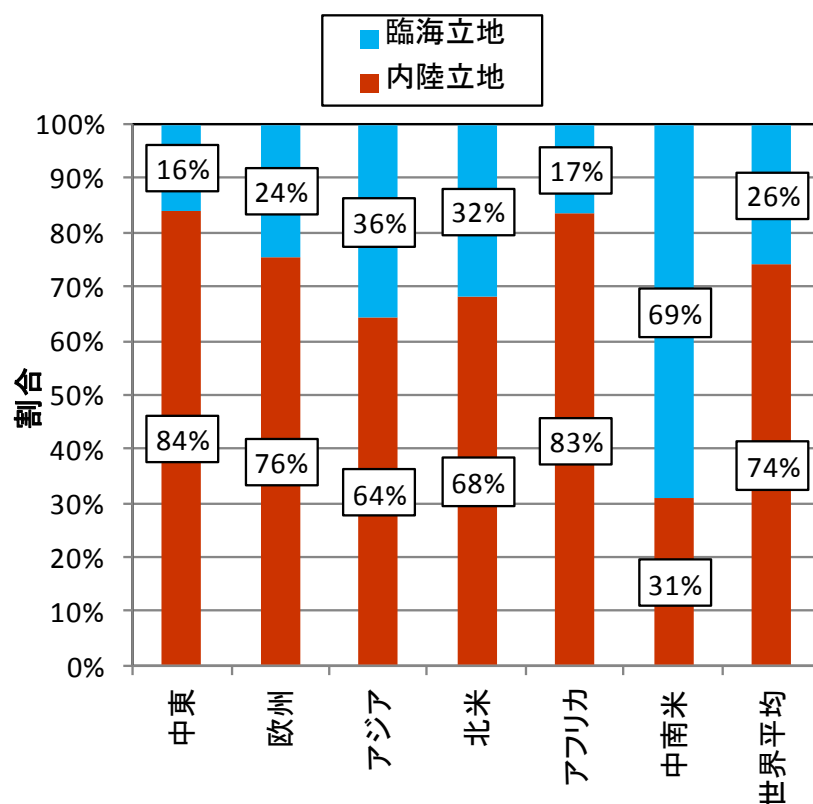


図 ガスタービン発電設備の地域別立地点
(2010年運開分、出典：日立製作所)

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

	項目(担当)/年度	H24	現在 H25	H26	H27	H28	H29	H30	H31	H32	
高信頼性化要素技術	(1) 高湿分圧縮機 (日立)		高負荷対応三次元翼								
	(2) 吸気噴霧液滴の蒸発 (日立)		吸気噴霧液滴の蒸発促進技術								
	(3) 高湿分冷却翼 (日立)		主流ガス熱負荷低減技術								
	(4) 高湿分燃焼 (日立)		燃料多様化、バイオ燃料燃焼技術								
実証機	(5) スケールアップ技術 (日立、住精、電中研)		再生熱交換器の大型化								
			水回収装置の大型化								
	(6) 40MW級総合試験 装置による検証 (日立、電中研、住精) (二段階実証の1/2)	開放点検	試験	Tip Cut改造	試験						
			実証機、商用機の性能予測								
	(7) 実証プラントによる 長期信頼性の実証 (日立、電中研、住精)			試設計	設計	製作			試験・検証		
					(二段階実証の2/2)						合計
	予算(事業総額、百万円)	1,072	1,609	1,329	828	5,462	12,318	4,280	15,255	15,255	57,407

要素試験
(産学連携による研究開発含む)

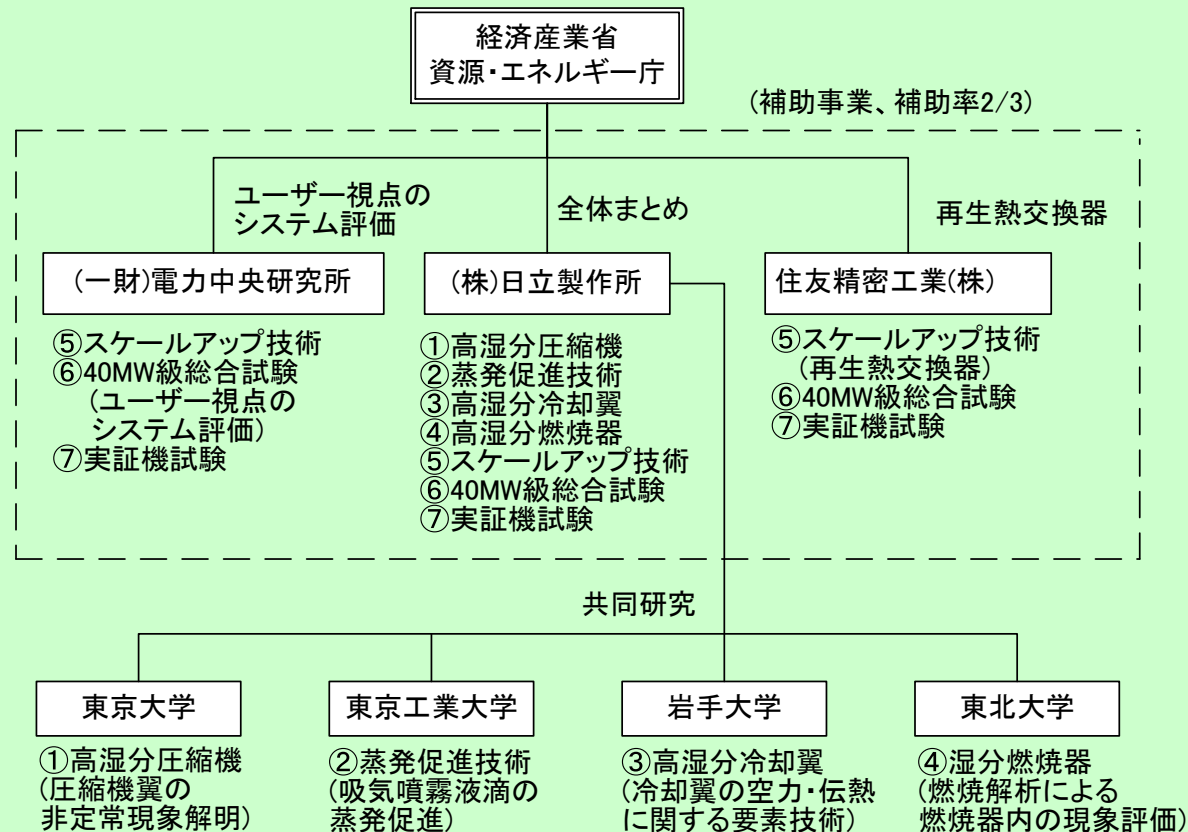
設計開始時期を1年前倒しし、早期実用化を目指す

二段階実証の場合、早期に実証完了が可能

6. 研究開発マネジメント・体制等

体制

- 本事業は、(株)日立製作所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。



7. 事前評価の結果

No.	事前評価報告書(平成23年7月、評価小委員会)における提言、指摘事項	対応方針、対応状況
1	商用化には、目標の発電効率達成のための技術確立だけでなく、長期信頼性、経済性、メンテナンス性等も大きな要素となる。これらについても、数値目標を明確にして技術開発を進めることが望ましい。また、長期信頼性を検証するために、実証試験の運転時間は十分に取る計画にすることを提案する。	長期信頼性、経済性、メンテナンス性等については、コンバインドサイクルに比べて同等以上を目標としている。早期実用化と信頼性確保を両立するのに必要な運転時間を検討中である。
2	ユーザ視点の改良が重要であるが、中小容量機においてはユーザが大手電力会社とは限らないので、自家発電ユーザなどの多様な潜在市場のニーズを取り込む工夫が必要である。	電力だけでなく、自家発電ユーザにPRを進めている。潜在市場として、国内外の内陸部、水不足地域のニーズの掘り起こしを進めている。
3	震災後の発電容量の不足について対応する観点からは、既設ガスタービンの出力向上の緊急性が高いと考えられるが、これまでの事業で開発された技術について既設ガスタービンへの適用が可能であれば、その方策について検討することも重要である。	高湿分燃焼器の急速混合燃焼技術を適用し、出力増加したガスタービンを導入し、震災後の発電容量増に貢献している。
4	中小容量機においては燃料多様化の開発を進めていく観点からは、水素リッチガス燃焼・噴霧燃焼についての取り組みを強化する必要があると考えるが、これまでの開発の経緯を見るとそのような体制はとられておらず、今後の課題である。	開発テーマの一つに多種燃料対応の高湿分燃焼器を加え、水素リッチガスの高湿分燃焼特性を評価する計画である。
5	革新的な新技術であるが故に、実証試験までには依然として多くの課題が残され、まだ時間が必要と思われる。特に、要素試験規模で実施が検討されている各要素の高性能化やスケールアップ、燃料多様化などの基礎試験期間が、1/3スケールの総合試験装置を用いた運転特性の評価と併せてわずか2年間で計画されていることは、実現上問題ではないかと考えている。	高信頼性化要素技術開発はH24年度～H27年度の4年間で計画しており、うち試験実施期間は1～2年程度である。総合試験装置を用いた試験も並行して4年間で計画している。この4年間の要素技術開発の成果を反映して詳細設計した実証機の運転により、長期信頼性を検証する。
6	中小型ガスタービンのAHATは、我が国独自の技術であり世界で初めての実証であることから、水分の蒸発の不均一さや再凝縮によって発生する非定常流体力の効果などの、高湿分のために発生が予想される非定常現象問題に特に留意して実証を進める必要がある。	大学の専門的知見を有効活用し、共同研究で非定常現象問題に取り組んでいる。