

# 高効率ガスタービン実用化技術 開発 (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[中間]評価結果

# 1. プロジェクトの概要

<p>概 要</p>	<p>小中容量機(10万kW程度)の高効率化(45%→51%)のために有望とされている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信頼性等の検証を実施する。</p>										
<p>実施期間</p>	<p>平成20年度～平成23年度(4年間)</p>										
<p>予算総額</p>	<p>48億円(補助(補助率:2/3))</p> <table border="1" data-bbox="705 772 1375 893"> <thead> <tr> <th>年度</th> <th>H20</th> <th>H21</th> <th>H22</th> <th>H23</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>億円</td> <td>2.2</td> <td>10.9</td> <td>24.7</td> <td>10.3</td> </tr> </tbody> </table>	年度	H20	H21	H22	H23	億円	2.2	10.9	24.7	10.3
年度	H20	H21	H22	H23							
億円	2.2	10.9	24.7	10.3							
<p>実施者</p>	<p>(株)日立製作所、(一財)電力中央研究所、住友精密工業(株)</p>										
<p>プロジェクトリーダー</p>	<p>(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</p>										

## 2. プロジェクトの目的・政策的位置付け

### 目的

天然ガスは、世界各国に幅広く分布しており、中東依存度は約2割と低いいため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、環境負荷が少ないクリーンなエネルギーである。

そのため、天然ガスの利用拡大を図るべく、さらなる二酸化炭素排出量の削減が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。

高湿分空気利用ガスタービン(AHAT\*<sup>1</sup>)は、中小容量機(10万kW程度)の高効率化(45%(HHV)既設複圧CC\*<sup>2</sup>→51%(HHV)以上)を目的に、日本オリジナルの技術であり、世界初となるAHATの実用化に必要な技術開発を行う。

\* 1:AHAT:Advanced Humid Air Turbine

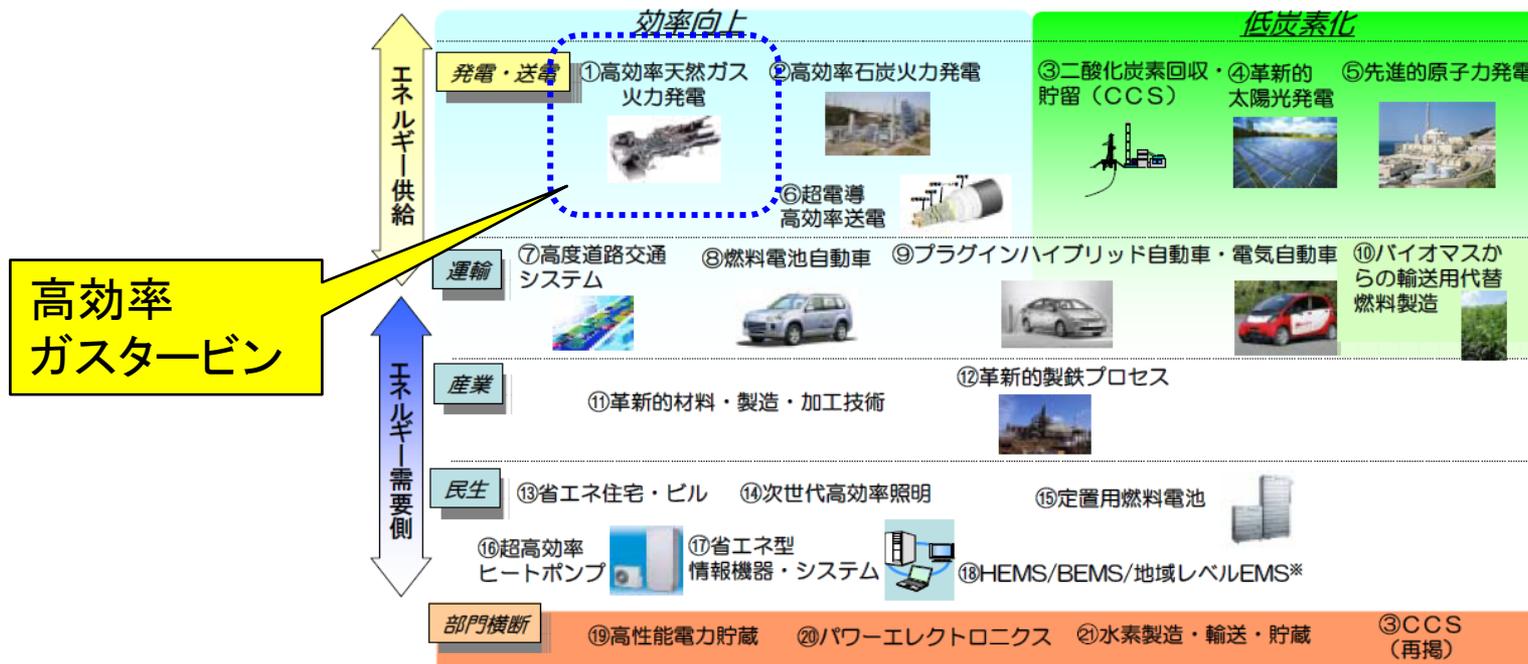
\* 2:CC:Combined Cycle

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 - エネルギー革新技術計画」において、「重点的に取り組むべきエネルギー革新技術」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術 —

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。



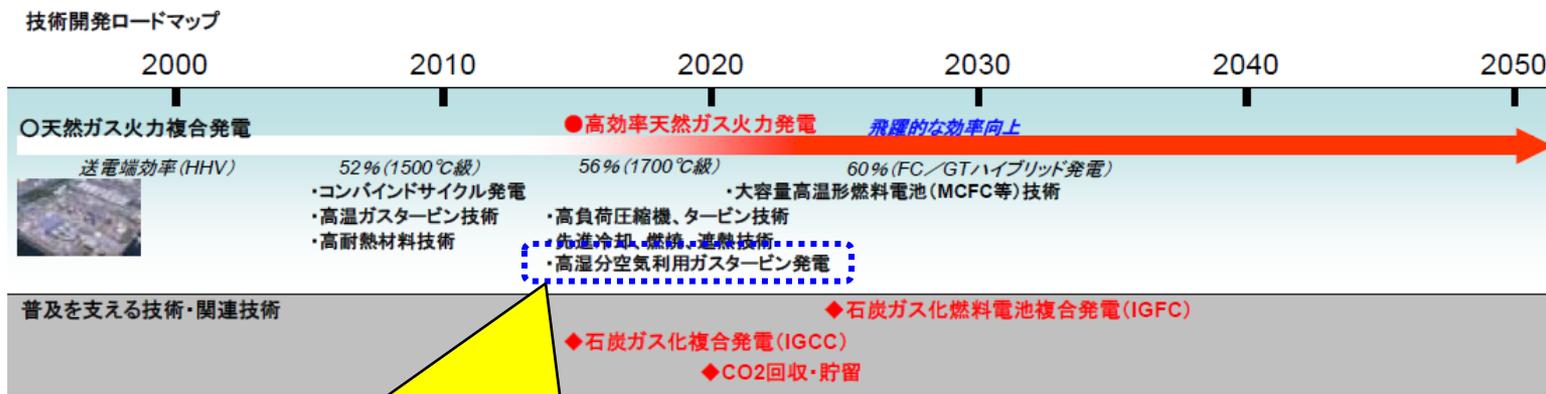
※EMS : Energy Management System、HEMS : House Energy Management System、BEMS : Building Energy Management System

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



AHAT(高湿分空気利用ガスタービン)

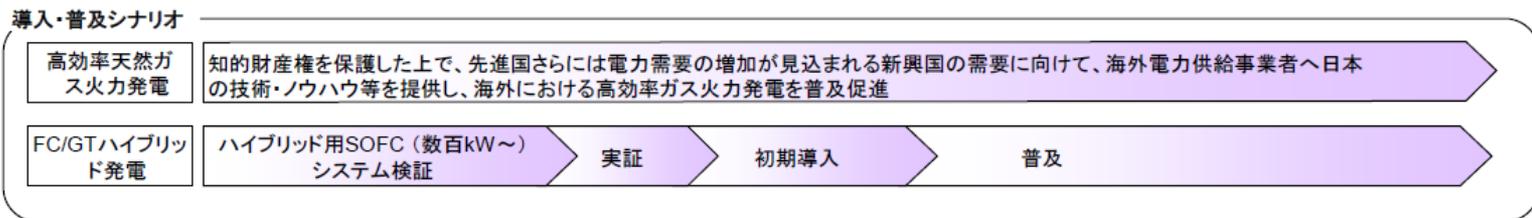


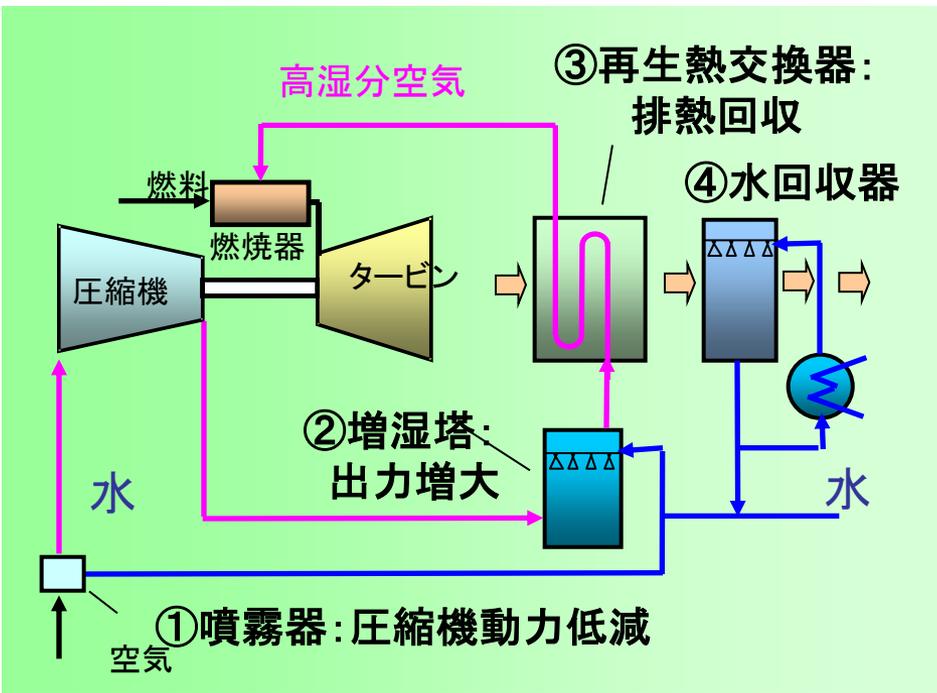
図 「Cool Earth –エネルギー革新技術計画」(平成20年3月、経産省)におけるロードマップ



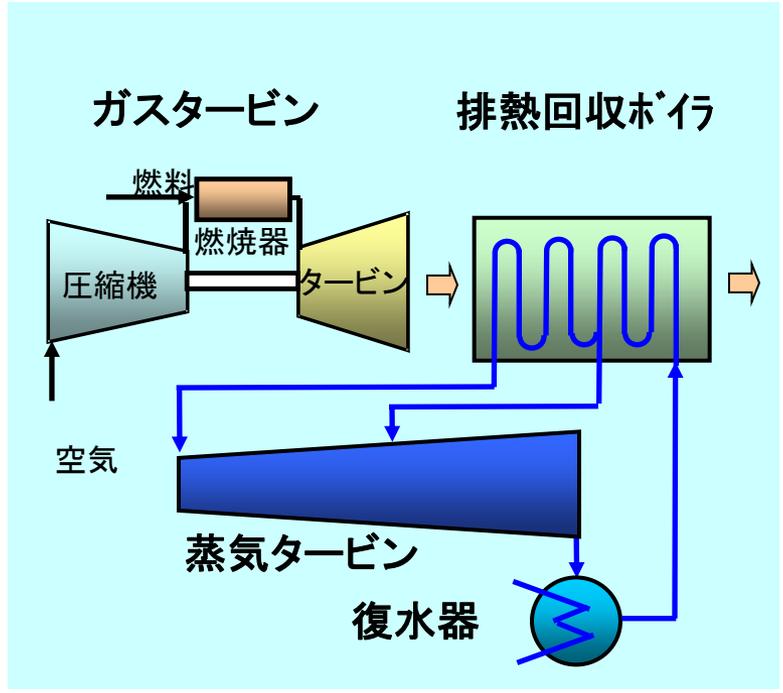
# 3. 目標

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

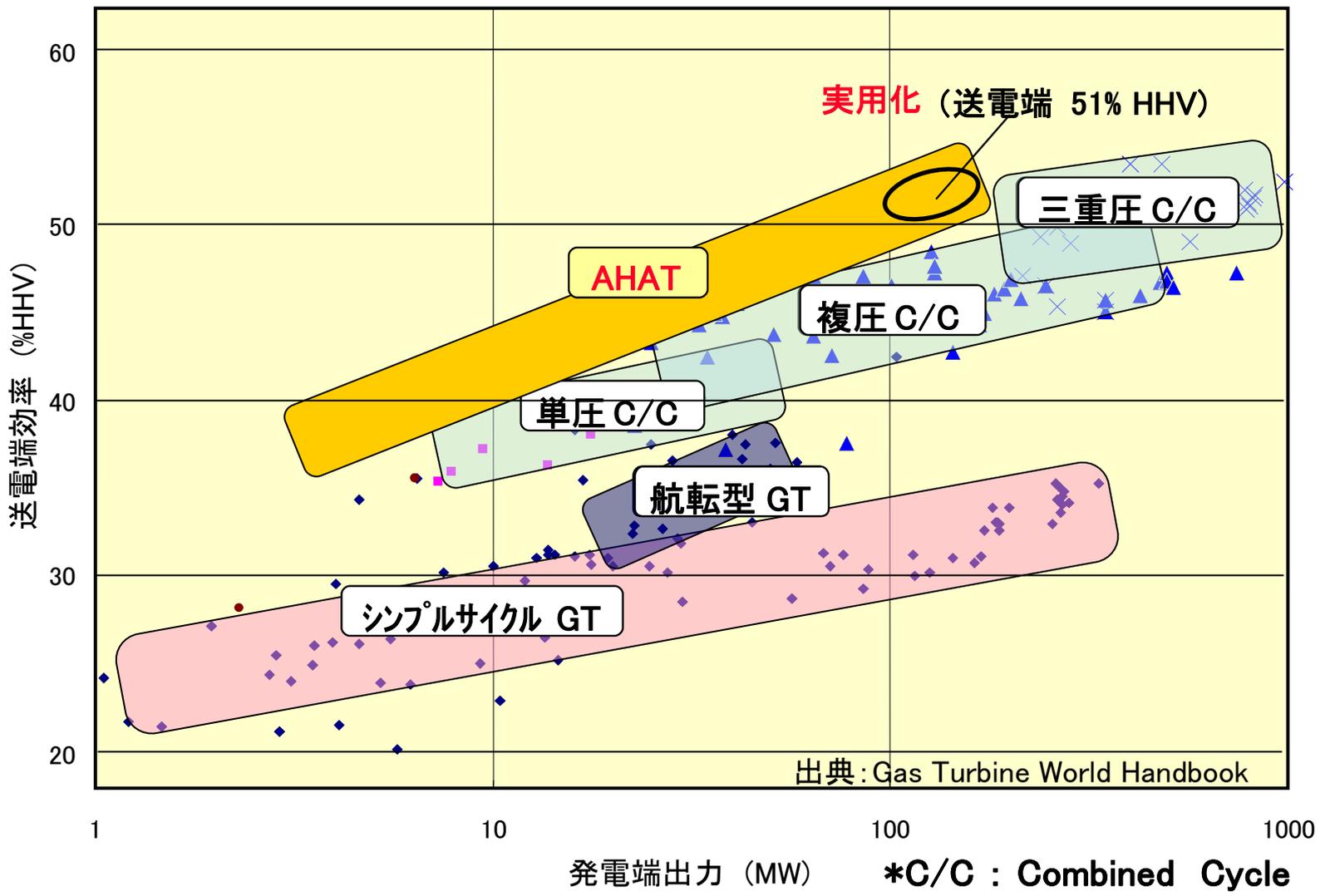


コンバインドサイクル

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 <sub>x</sub> 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 <sub>x</sub> 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 <sub>x</sub> 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

## AHATの研究課題

本事業におけるAHATの研究課題は以下の3点である。

- 1) ①～⑤: 高湿分空気に関係した実用化技術
- 2) ⑥: 実用化技術(①～④)を組合せた総合試験装置による機器の相互作用確認
- 3) ⑦: ユーザー視点に立ったシステム評価

## ③-2高湿分燃焼器

- ・圧縮機から全量抽気し燃焼器へ導入
- ・多缶燃焼器に対する低圧損構造

## ③-1高湿分燃焼器

- ・構造変更(単缶→多缶)
- ・更なる低NO<sub>x</sub>化

## ②高湿分再生熱交換器

- ・高温・高圧・高湿分対応の高効率熱交換器
- ・伝熱コアの大型化
- ・構造最適化(圧損低減/偏流防止)

## ⑤3MW級検証機

- ・様々な運転条件による性能検証
- ・水回収技術
- ・信頼性・耐久性評価

## ①-2高湿分軸流圧縮機

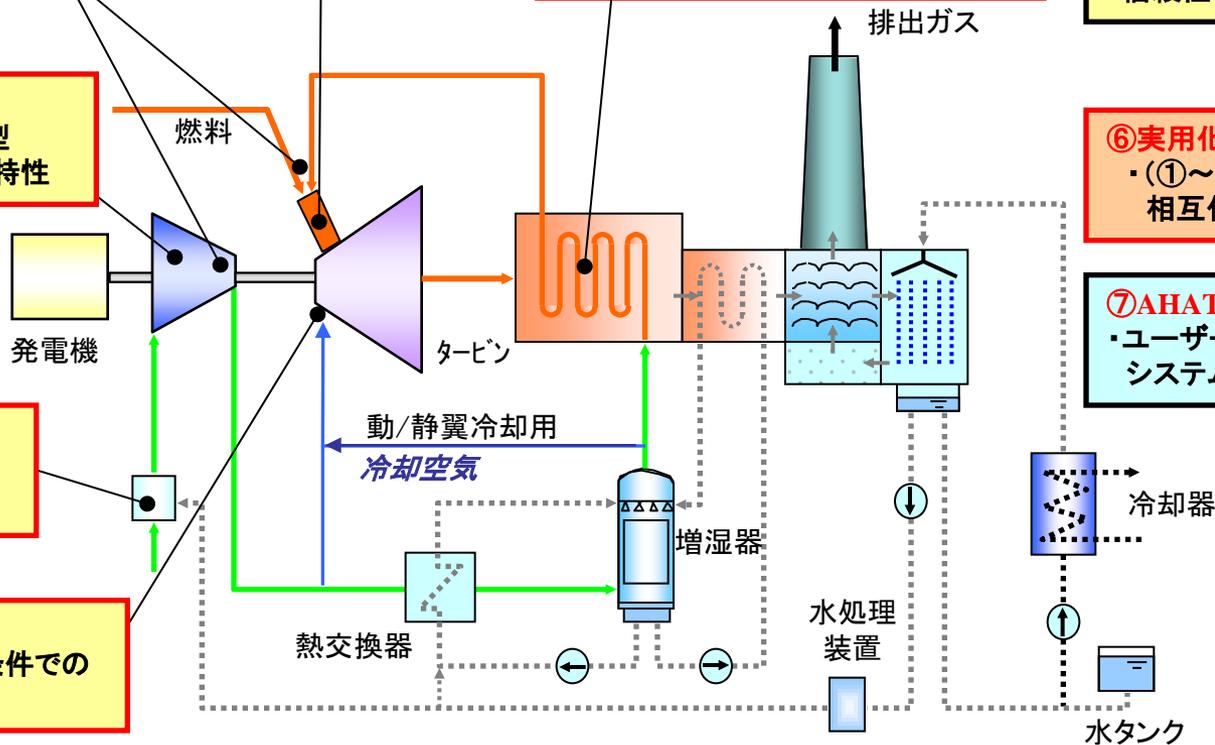
- ・方式: 遠心型→軸流型
- ・中間冷却効果 & 圧縮特性

## ①-1高湿分軸流圧縮機

- ・噴霧液滴の微粒化
- ・噴霧量の増大

## ④高湿分冷却翼

- ・高温高湿分主流ガス条件での高性能冷却構造



## ⑥実用化技術総合試験

- ・(①～④)を組合せた相互作用確認

## ⑦AHAT特性解析

- ・ユーザー視点に立ったシステム評価

## 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%O<sub>2</sub>)を達成可能にする。

要素技術	目標・指標	妥当性・設定理由・根拠等
①高湿分軸流圧縮機	・吸気噴霧量:3.5%以上	圧縮機内部での水滴蒸発効果を積極的に活用できる噴霧量を設定した。
②高湿分再生熱交換器	・温度効率:90%以上 ・伝熱面密度:1000m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> 以上	熱交換器のコアの大型化(コスト)と性能を勘案して設定した。温度効率90%は高温で作動する再生器にとって極めて高い値に相当する。
③高湿分多缶燃焼器	・NOx:10ppm以下	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。
④高湿分冷却翼	・冷却効率 静翼:70%以上 動翼:60%以上	高湿分により主流ガス側の熱伝達率が大きくなり熱負荷が増大することを勘案し設定した。
⑤3MW級検証機	・AHATプラント側の特性把握	3MW機試験を実施し、AHATシステム特性、機器性能の向上、主要機器の経時変化を確認する。
⑥実用化技術総合試験	・発電用ヘビーデューティーガスタービンにAHATを適用	開発した要素技術を組合せ、高圧、高湿分環境における高湿分軸流圧縮機、高湿分再生熱交換器、高湿分多缶燃焼器、高湿分冷却翼の相互作用を確認する。
⑦AHAT特性解析	・ユーザ視点からのシステム評価	技術開発においては、開発側のみならず、ユーザの視点に立って客観的に特性を評価することが重要。

## 4. 成果、目標の達成度

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%O<sub>2</sub>)を達成可能な見通しが得られた。

要素技術	目標・指標	成果	達成度
①高湿分 軸流圧縮機	・吸気噴霧量:3.5%以上	最大1.7%の噴霧試験によりアルゴリズムの妥当性を確認した。そのアルゴリズムを用いて3.5%噴霧時の信頼性を確認した。	達成
②高湿分 再生熱交換器	・温度効率:90%以上 ・伝熱面密度:1000m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> 以上	高性能フィンの開発により伝熱面密度1160m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> を実現した。総合試験で温度効率91.3%、圧力損失は仕様値以内を達成した。	達成
③高湿分 多缶燃焼器	・NOx:10ppm以下	点火、昇速、加湿、吸気噴霧時の安定燃焼を確認した。湿分が飽和条件となるフルAHATシステムの条件で、NOx濃度10ppm以下の見通しを得た。	達成
④高湿分冷却翼	・冷却効率 静翼:70%以上 動翼:60%以上	高湿分低温空気を利用したハイブリッド冷却静翼を製作し、冷却効率70%以上を確認した。	達成
⑤3MW級検証機	・AHATプラント側の特性把握	システム特性、機器性能の向上、主要機器の経時変化ないことを確認した。	達成
⑥実用化技術 総合試験	・発電用ヘビーデューティー ガスタービンにAHATを適用	累計65時間運転し、吸気噴霧冷却、加湿管、再生熱交換器、高湿分冷却翼などの相互作用(性能)を確認、課題摘出した。	達成
⑦AHAT特性解析	・ユーザ視点からの システム評価	定格出力時の性能だけでなく、大気温度変化特性、部分負荷・起動特性を明らかにした。	達成

# ①高湿分軸流圧縮機

**③-2高湿分燃焼器**

- ・圧縮機から全量抽気し燃焼器へ導入
- ・多缶燃焼器に対する低圧損構造

**③-1高湿分燃焼器**

- ・構造変更(単缶→多缶)
- ・更なる低NO<sub>x</sub>化

**②高湿分再生熱交換器**

- ・高温・高圧・高湿分対応の高効率熱交換器
- ・伝熱コアの大型化
- ・構造最適化(圧損低減/偏流防止)

**⑤3MW級検証機**

- ・様々な運転条件による性能検証
- ・水回収技術
- ・信頼性・耐久性評価

**①-2高湿分軸流圧縮機**

- ・方式：遠心型→軸流型
- ・中間冷却効果 & 圧縮特性

**①-1高湿分軸流圧縮機**

- ・噴霧液滴の微粒化
- ・噴霧量の増大

**④高湿分冷却翼**

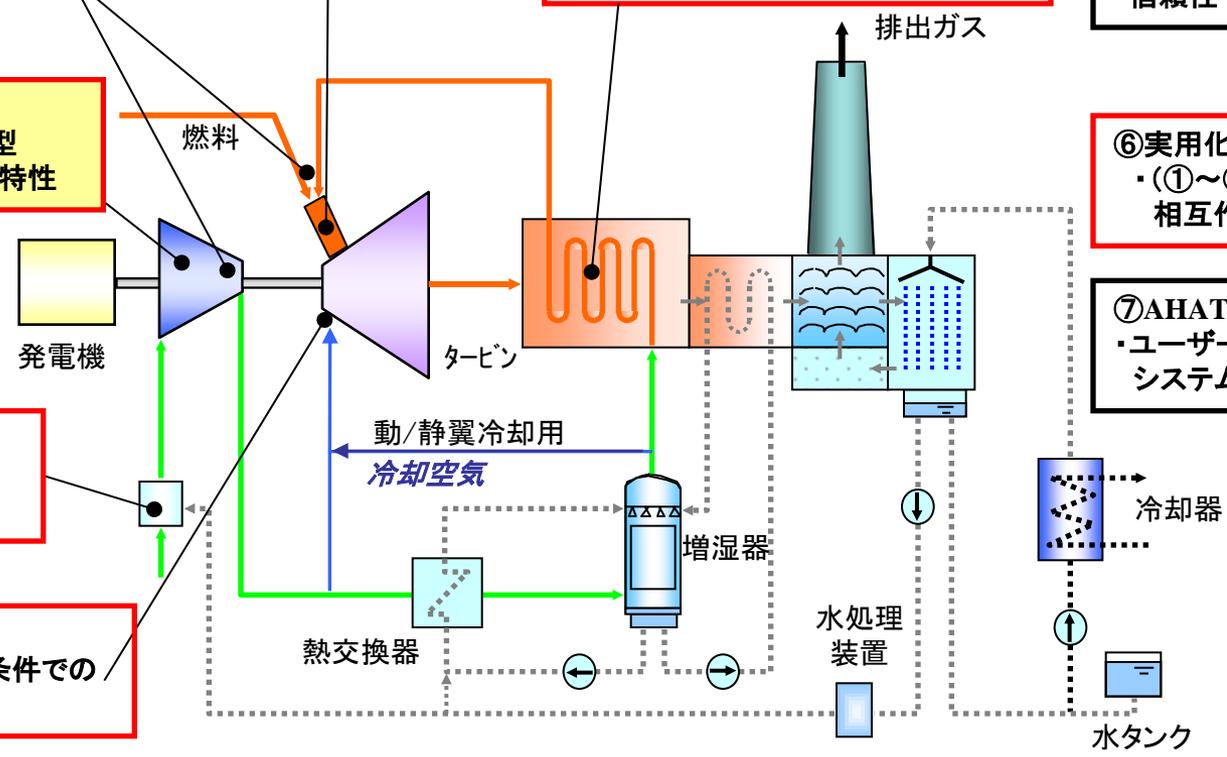
- ・高温高湿分主流ガス条件での高性能冷却構造

**⑥実用化技術総合試験**

- ・(①~④)を組合せた相互作用確認

**⑦AHAT特性解析**

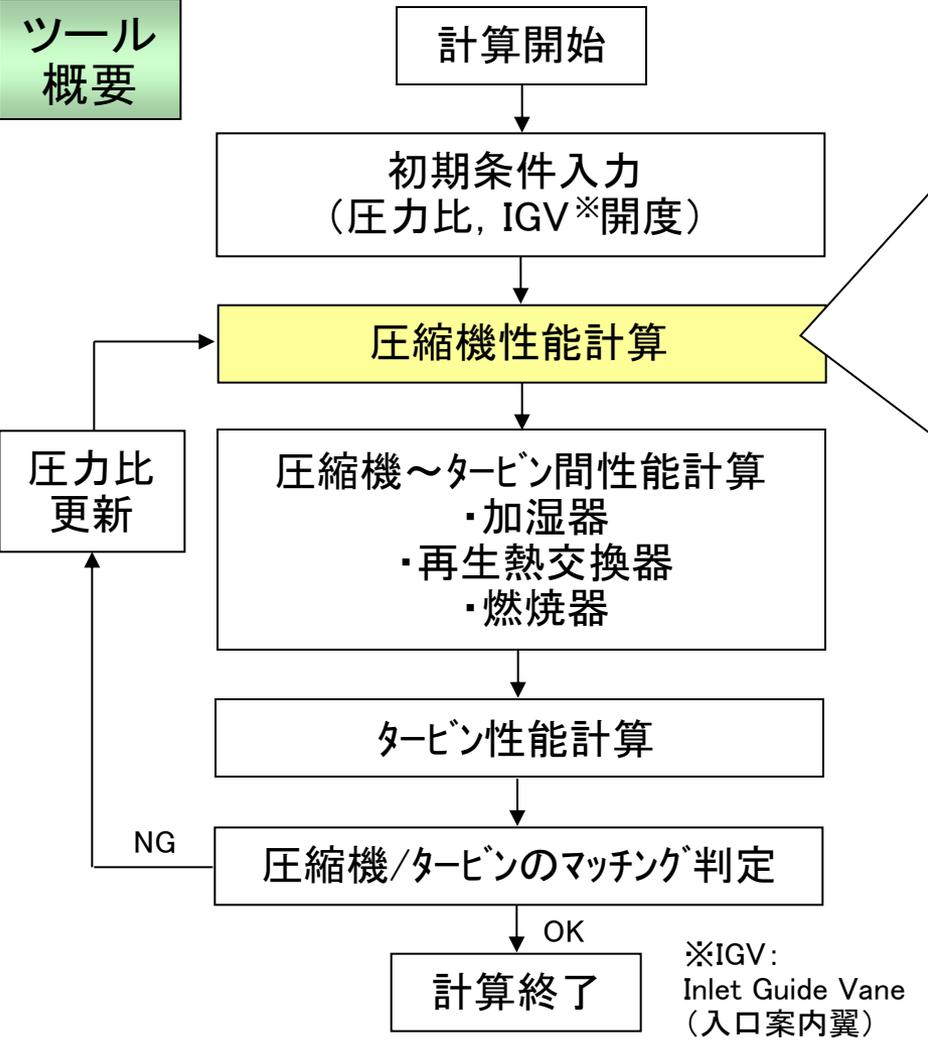
- ・ユーザー視点に立ったシステム評価



# ①高湿分軸流圧縮機：蒸発予測モデルの高度化

蒸発予測アルゴリズムを以下の(1)~(3)の項目について高度化、ガスタービン全体のヒートバランス設計ツールに実装し、圧縮機内部蒸発予測を可能にした

## ツール概要



### 高度化した蒸発予測アルゴリズムを実装

**特徴**

- (1) 吸気ダクト蒸発による流量増加を考慮
- (2) 翼面での液滴捕集を模擬
- (3) 液滴径分布を考慮

流れ 吸気ダクト ケーシング ベルマウス IGV※ 動翼 静翼 ロータ

### 実装時の計算時間短縮のため 圧縮機特性をデータベース化

圧力比  $\pi$   
IGV※開度  $\xi_{igv}$

データベース

$$P_{out} = f_1(\pi, \xi_{igv})$$

$$G_{out} = f_2(\pi, \xi_{igv})$$

⋮

出口圧力  $P_{out}$   
出口流量  $G_{out}$

⋮

# ①高湿分軸流圧縮機：吸気噴霧試験結果

吸気噴霧量が最大1.7% (吸込空気質量比)となる噴霧試験を実施し、噴霧による性能向上(流量、圧力比、圧縮動力)を確認した。また開発した蒸発予測アルゴリズムの妥当性も確認した。

表 試験結果まとめ

項目	単位	内容
噴霧量	wt%	1.7
吸気温度低下量	°C	1.6
出口温度低下量	°C	36.7
吸込流量(DRY比)	-	1.018
圧力比(DRY比)	-	1.011
単位流量当たりの圧縮動力(DRY比)	-	0.970

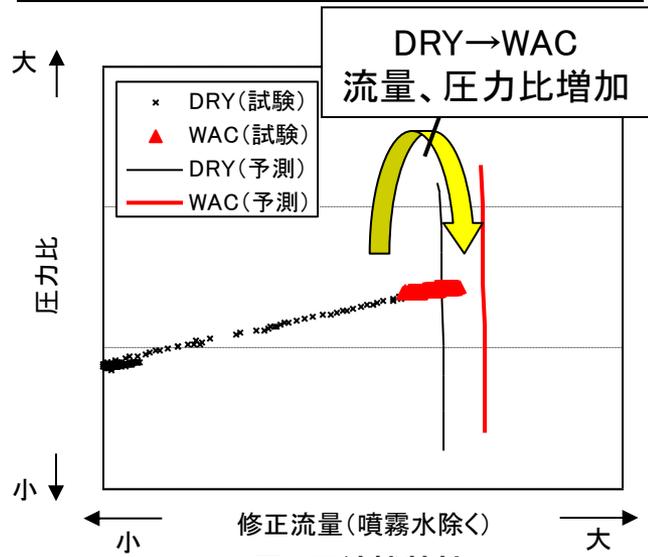
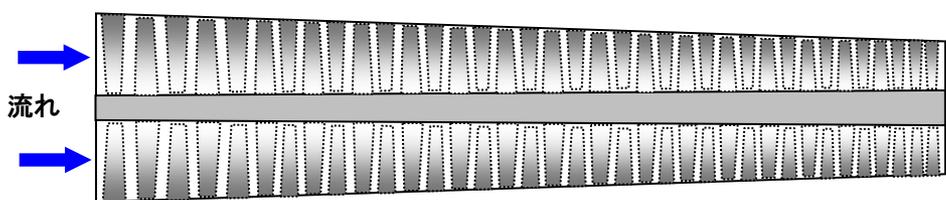


図 圧縮機特性

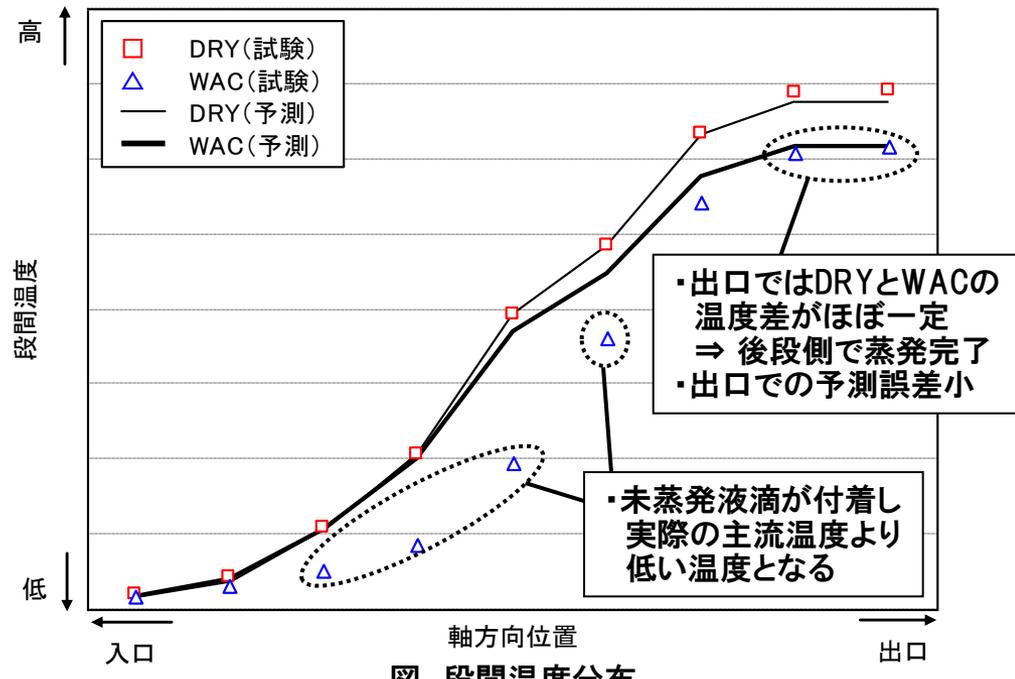


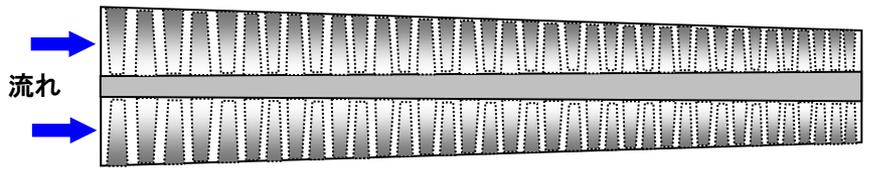
図 段間温度分布

①高湿分軸流圧縮機：3.5%噴霧時の性能予測

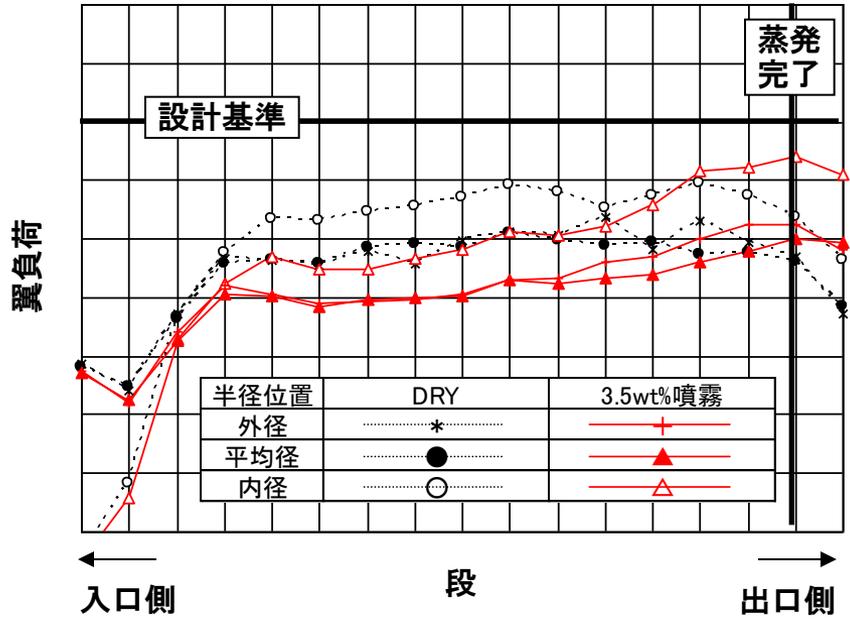
蒸発予測アルゴリズムにより、吸気噴霧量が3.5%（吸込空気質量比）となる場合の圧縮機性能を予測した。その結果噴霧時に全液滴が蒸発し、翼負荷が設計基準を満たすことが確認された。

表 検討条件

項目	単位	内容
大気温度	°C	15
相対湿度	RH%	60
吸気噴霧量	wt%	3.5



動翼負荷



静翼負荷

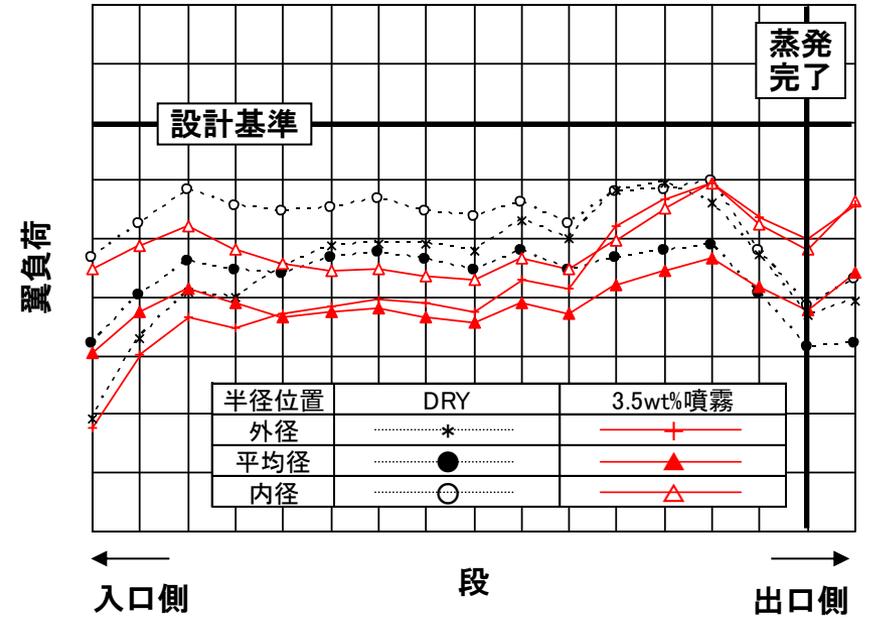
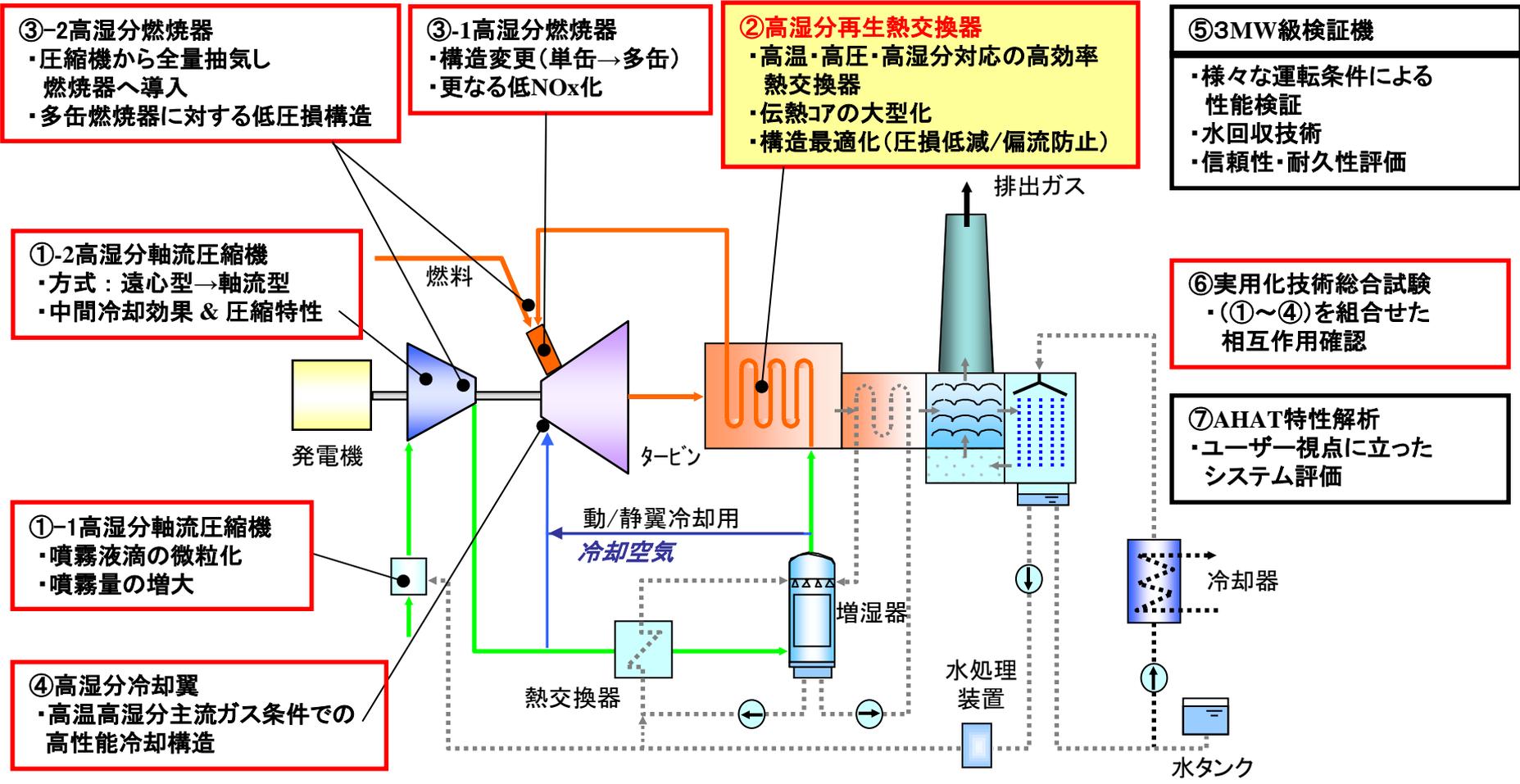


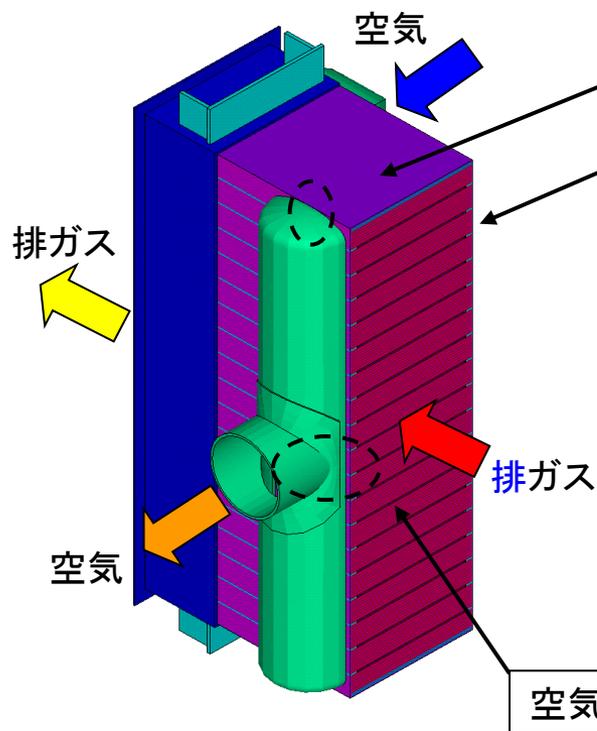
図 翼負荷分布

## ②高湿分再生熱交換器



## ②高湿分再生熱交換器：材料選定、耐久性向上

- 材料は、高性能かつ低コスト、耐水蒸気酸化性を考慮してステンレスを選定した。
- 構造は、構造解析とスケールモデルによる耐久試験により耐久性の向上を確認した。
- 総合試験用の試験体として、モジュール構造を採用した再生熱交換器を製作した。



ヘッダー端部形状の改良

排ガス入口開口部見直し



再生熱交換器本体



再生熱交換器モジュール

空気出口開口位置の変更

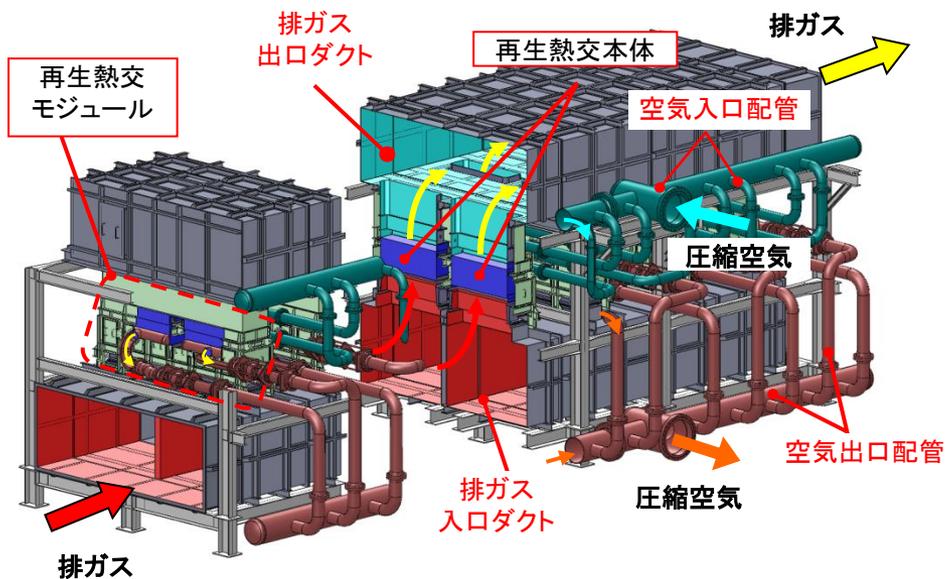
再生熱交換器本体の構造を  
見直して耐久性を向上

伝熱面密度： $1160\text{m}^2/\text{m}^3$   
( $>1000\text{m}^2/\text{m}^3$ 目標)

## 4. 成果、目標の達成度

②高湿分再生熱交換器：・温度効率：90%以上 伝熱面密度：1000m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>以上

- 総合試験運転により、温度効率は91.3%、圧力損失は仕様値以下を達成した。
- 再生熱交本体間の温度分布は、燃焼排ガス側入口2℃／出口11℃、圧縮空気側入口2℃／出口5℃となり、10基の熱交換器本体での偏流は最小限とすることが出来た。



40MW用再生熱交換器ユニット フロー図



再生熱交換器全体ASSY外観

### ③高湿分燃焼器

**③-2高湿分燃焼器**

- ・圧縮機から全量抽気し燃焼器へ導入
- ・多缶燃焼器に対する低圧損構造

**③-1高湿分燃焼器**

- ・構造変更(単缶→多缶)
- ・更なる低NO<sub>x</sub>化

**②高湿分再生熱交換器**

- ・高温・高圧・高湿分対応の高効率熱交換器
- ・伝熱コアの大型化
- ・構造最適化(圧損低減/偏流防止)

**⑤3MW級検証機**

- ・様々な運転条件による性能検証
- ・水回収技術
- ・信頼性・耐久性評価

**①-2高湿分軸流圧縮機**

- ・方式：遠心型→軸流型
- ・中間冷却効果 & 圧縮特性

**①-1高湿分軸流圧縮機**

- ・噴霧液滴の微粒化
- ・噴霧量の増大

**④高湿分冷却翼**

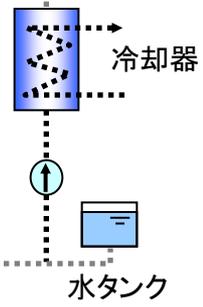
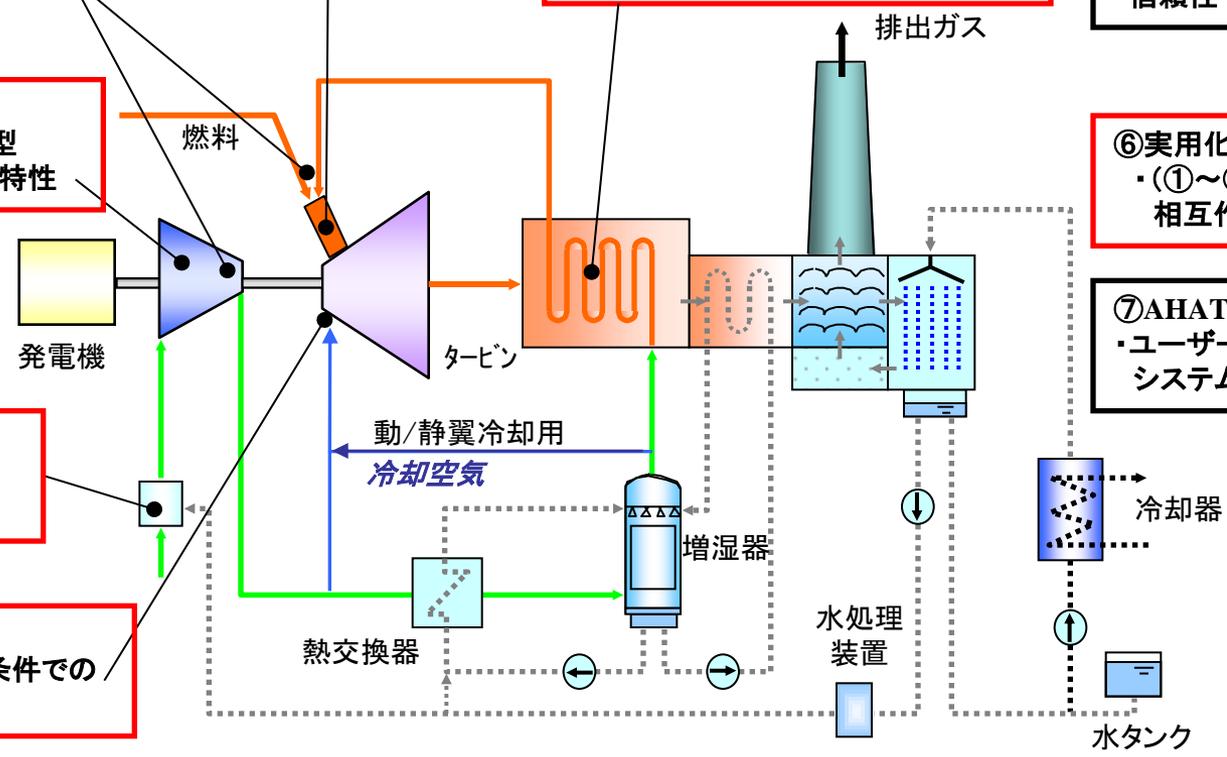
- ・高温高湿分主流ガス条件での高性能冷却構造

**⑥実用化技術総合試験**

- ・(①~④)を組合せた相互作用確認

**⑦AHAT特性解析**

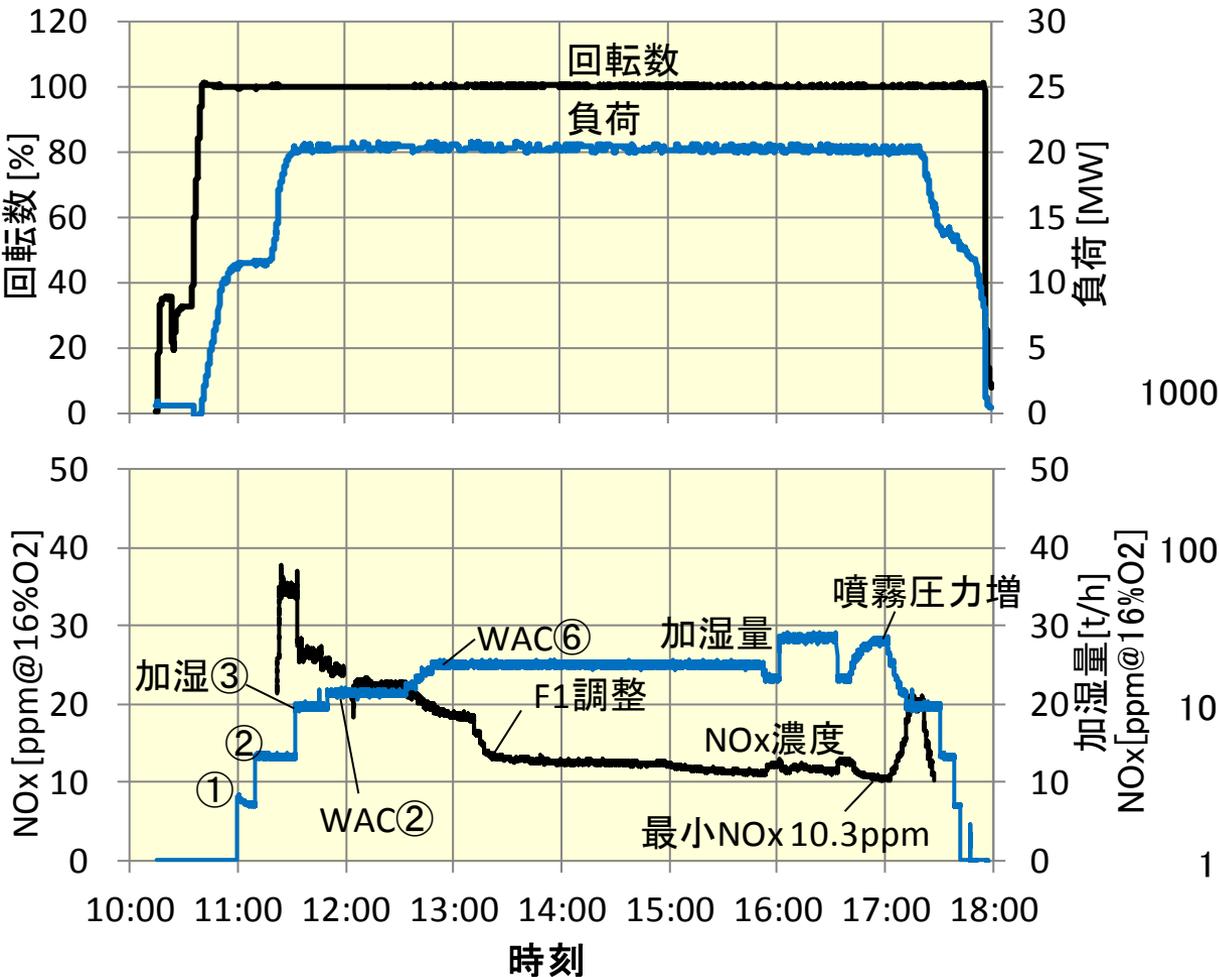
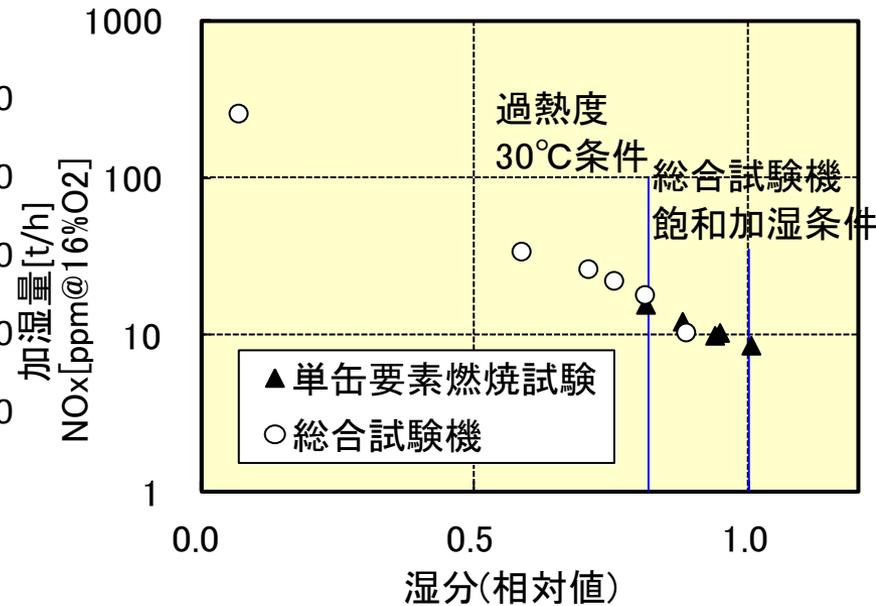
- ・ユーザー視点に立ったシステム評価



## 4. 成果、目標の達成度

③高湿分多缶燃烧器：低NO<sub>x</sub>性能

最大負荷条件でNO<sub>x</sub>=10.3ppmを確認し，総合試験機飽和加湿条件でNO<sub>x</sub><10ppmの見通しを得た。

図1 加湿量とNO<sub>x</sub>排出量図2 NO<sub>x</sub>に対する湿分の影響

### ③高湿分多缶燃烧器：湿分を考慮した安定燃烧制御

運転条件から湿分を推算して、保炎に寄与するF1バーナの燃料を制御するロジックを総合試験機に組み込み、安定燃烧が維持できることを実証した。

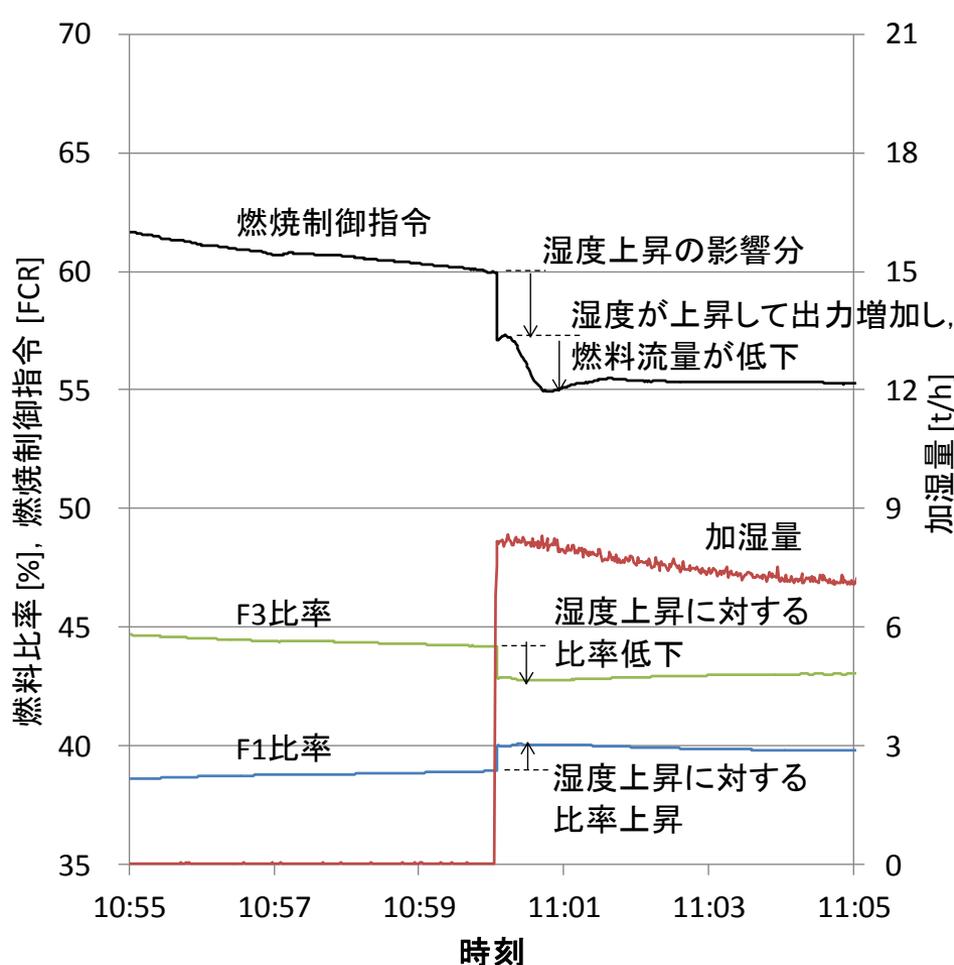


図1 加湿時の燃料比率制御

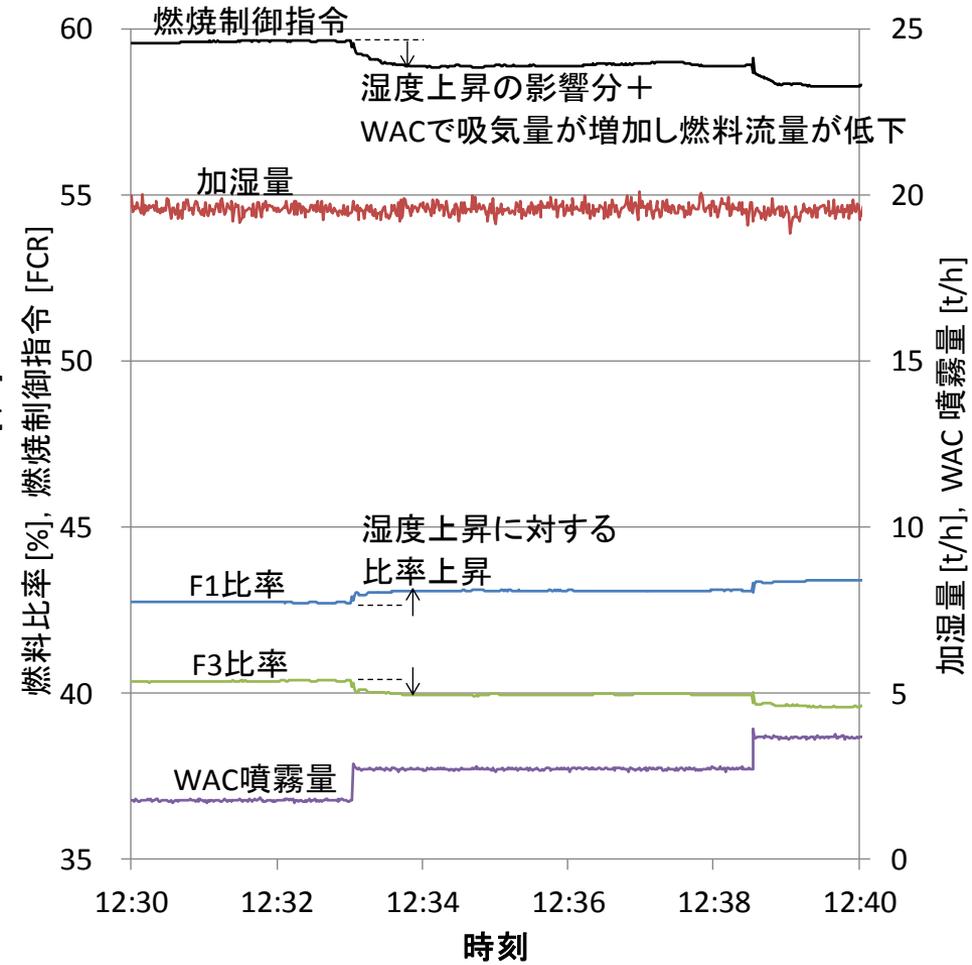


図2 WAC時の燃料比率制御

### ③高湿分多缶燃烧器：AHAT抽気注入構造の多缶燃烧器への影響

各缶の燃烧安定性の比較により、圧縮空気の**抽気構造**、加湿、再生後の圧縮空気の**注入構造**が燃烧器に及ぼす影響が小さいことを確認した。

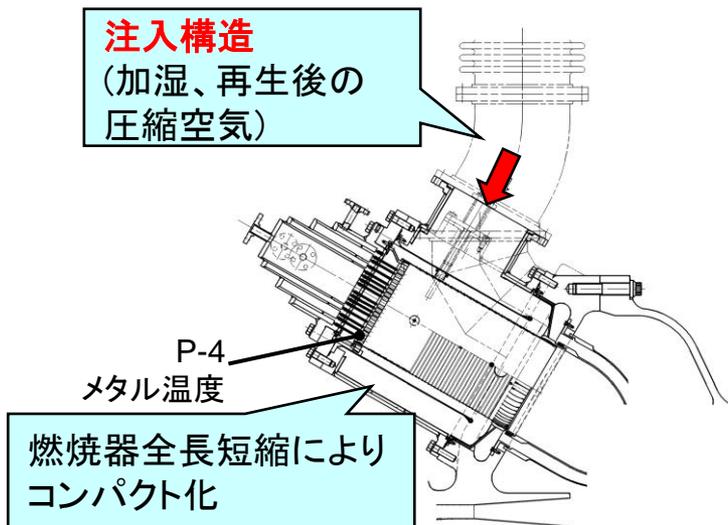
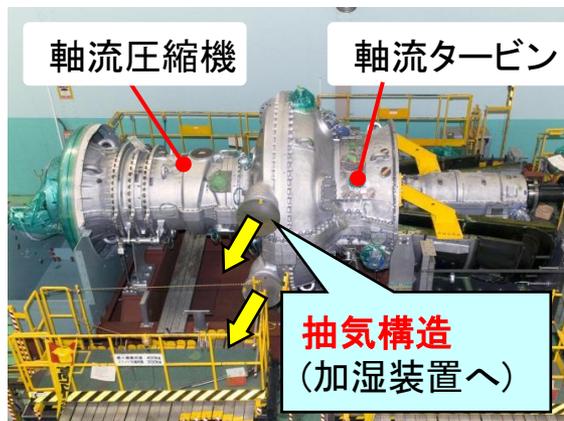


図1 圧縮空気の抽気構造(上)と燃烧器への注入構造(下)

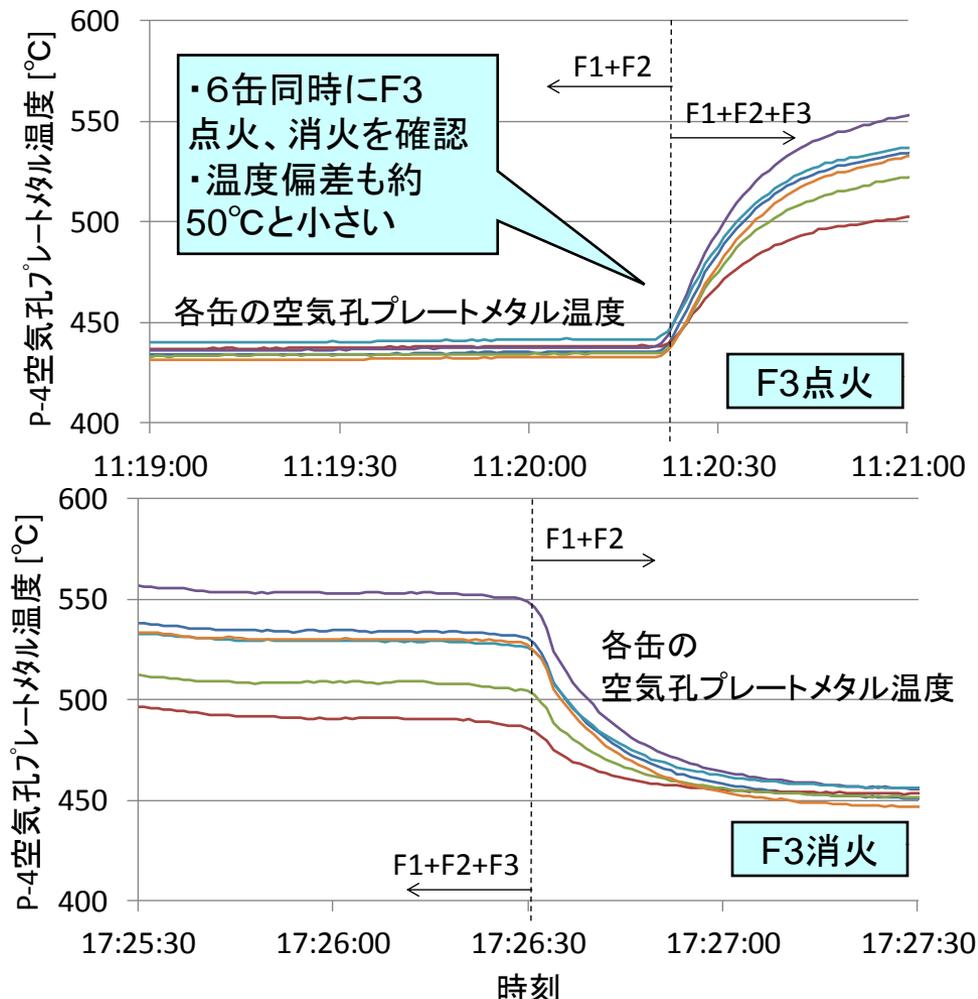


図2 燃料切替え時の各缶のメタル温度変化



## ④高湿分冷却翼：ハイブリッド冷却翼※試験

ハイブリッド冷却翼※を製作し、総合試験装置により従来冷却翼より少ない冷却空気量で、冷却効率70%以上達成できることを確認した。

※ハイブリッド冷却翼：低温の高湿分空気と、高温の圧縮機吐出空気を併用した新しい冷却構造のタービン翼



図1 ハイブリッド冷却翼組込写真

- ・第2・第3冷却流路に高湿分空気を使用する冷却構造を採用し、熱応力を緩和
- ・ハイブリッドカバーを設置して、高湿分空気をハイブリッド冷却静翼に供給

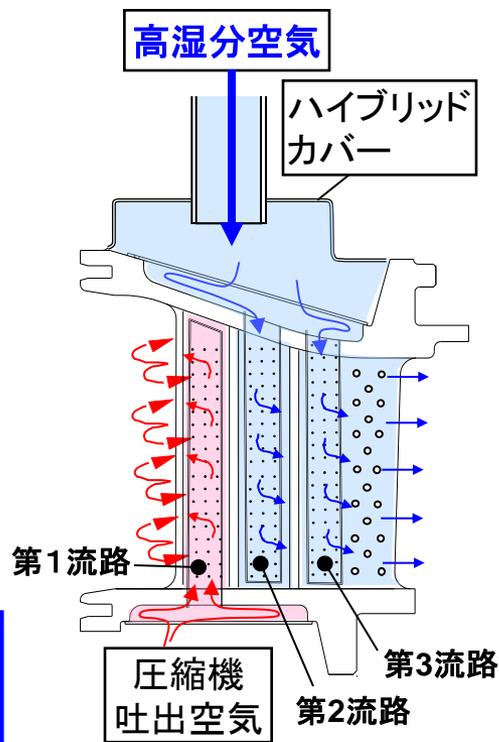


図2 内部冷却構造

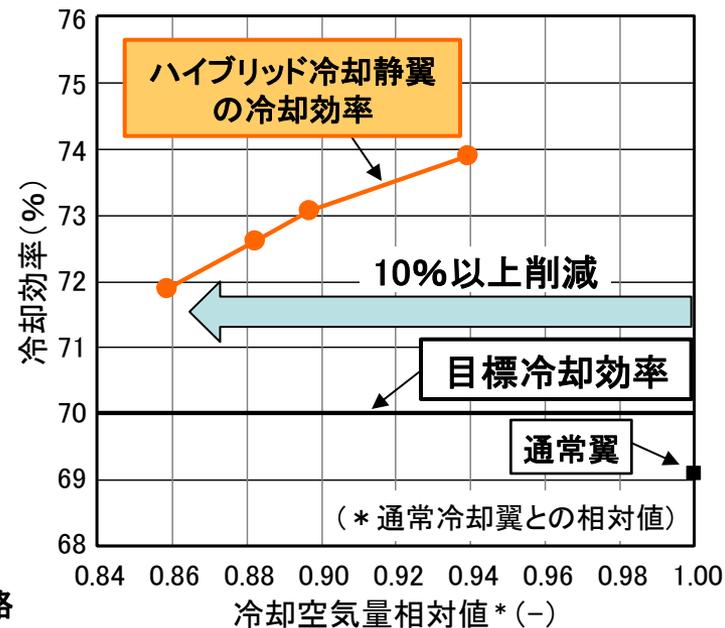


図3 ハイブリッド冷却翼の冷却効率

### ⑤ 3MW級検証機

#### ③-2高湿分燃焼器

- ・圧縮機から全量抽気し燃焼器へ導入
- ・多缶燃焼器に対する低圧損構造

#### ③-1高湿分燃焼器

- ・構造変更(単缶→多缶)
- ・更なる低NO<sub>x</sub>化

#### ②高湿分再生熱交換器

- ・高温・高圧・高湿分対応の高効率熱交換器
- ・伝熱コアの大型化
- ・構造最適化(圧損低減/偏流防止)

#### ①-2高湿分軸流圧縮機

- ・方式：遠心型→軸流型
- ・中間冷却効果 & 圧縮特性

#### ①-1高湿分軸流圧縮機

- ・噴霧液滴の微粒化
- ・噴霧量の増大

#### ④高湿分冷却翼

- ・高温高湿分主流ガス条件での高性能冷却構造

#### ⑤ 3MW級検証機

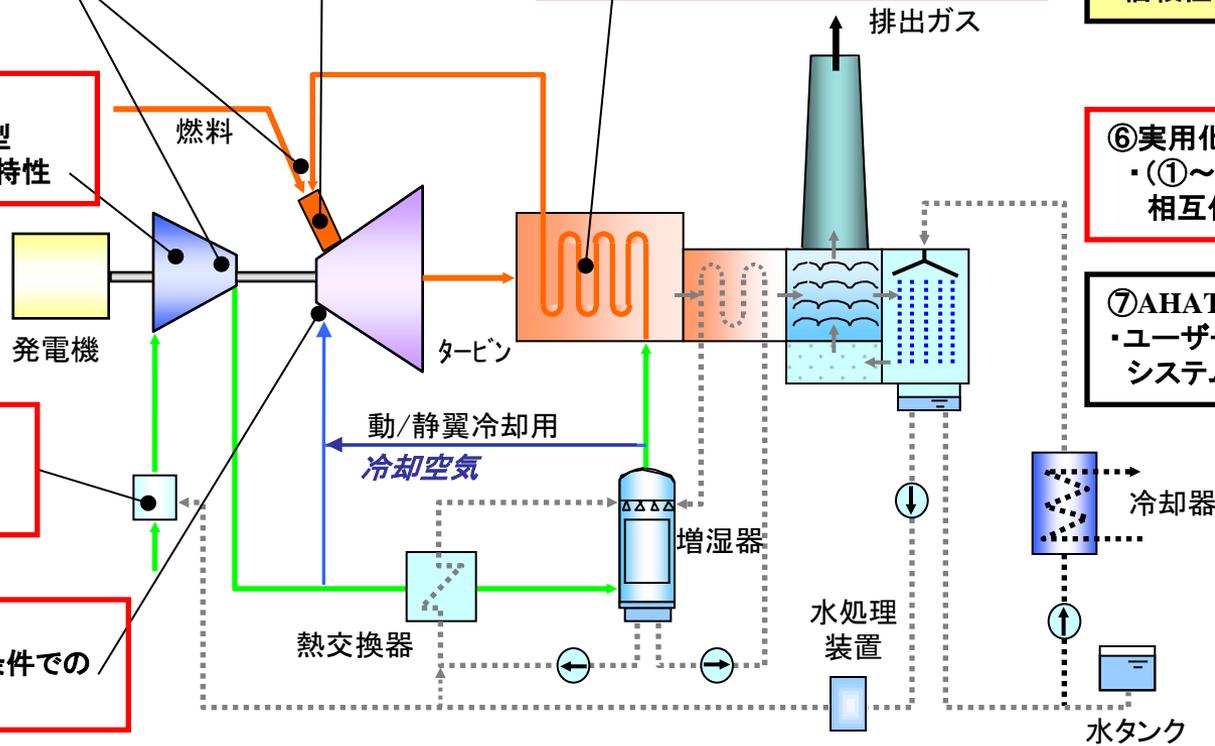
- ・様々な運転条件による性能検証
- ・水回収技術
- ・信頼性・耐久性評価

#### ⑥ 実用化技術総合試験

- ・(①~④)を組合せた相互作用確認

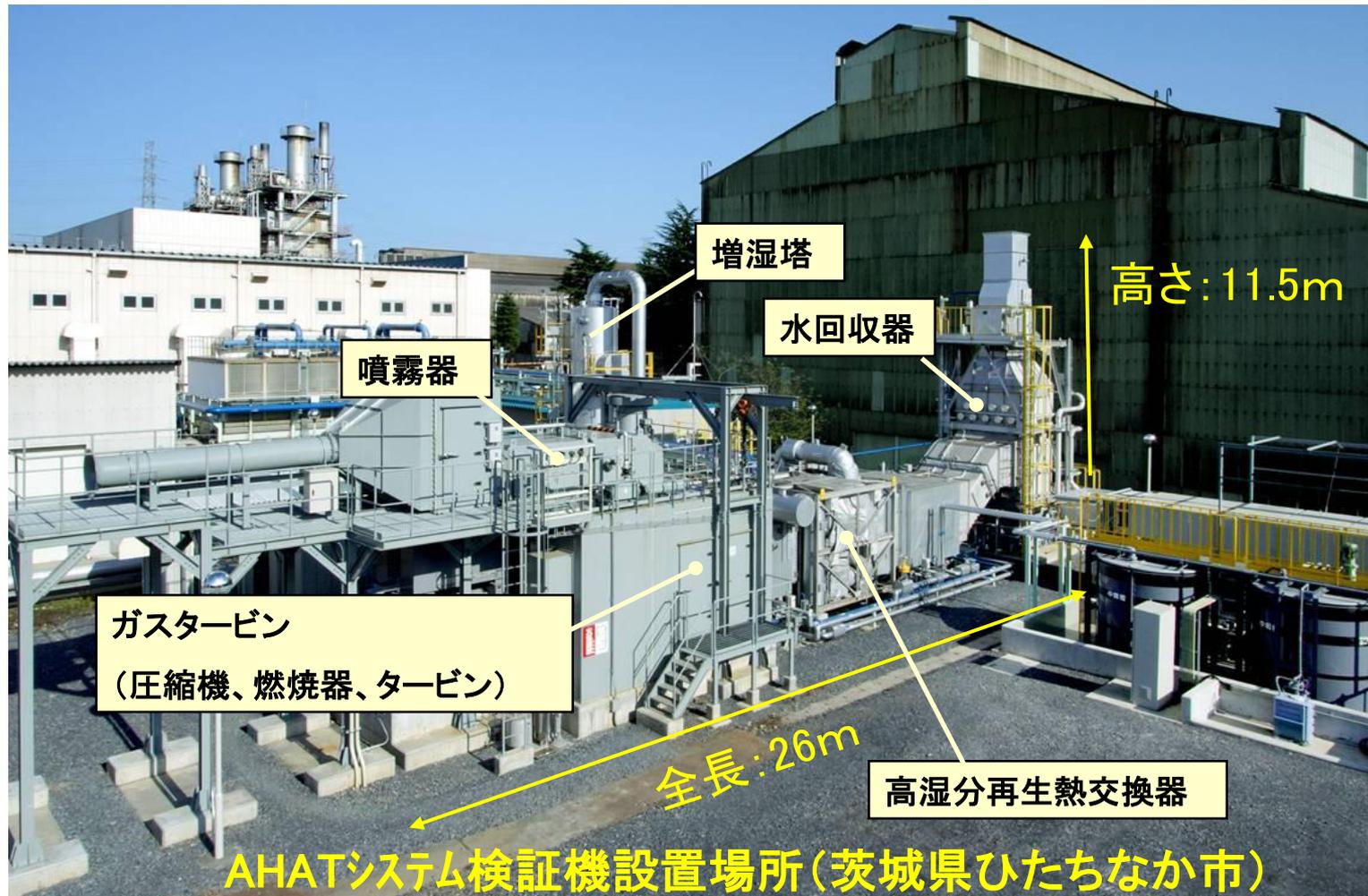
#### ⑦ AHAT特性解析

- ・ユーザー視点に立ったシステム評価



## ⑤3MW級検証機：AHATプラント側の特性把握

AHATシステムの成立性を確認する目的で、要素技術開発(04～06年)にて製作した。この装置を用いて、AHATシステム特性、機器性能の向上、主要機器の経時変化を確認した。



### ⑤ 3MW級検証機：AHATプラント側の特性把握（性能検証）

大気温度特性は予測値と同様な傾向を示し、気温が低いほど高出力、高効率になっている。コールド起動は、起動開始後約60分でフル負荷に到達し、高速起動できることを確認した。

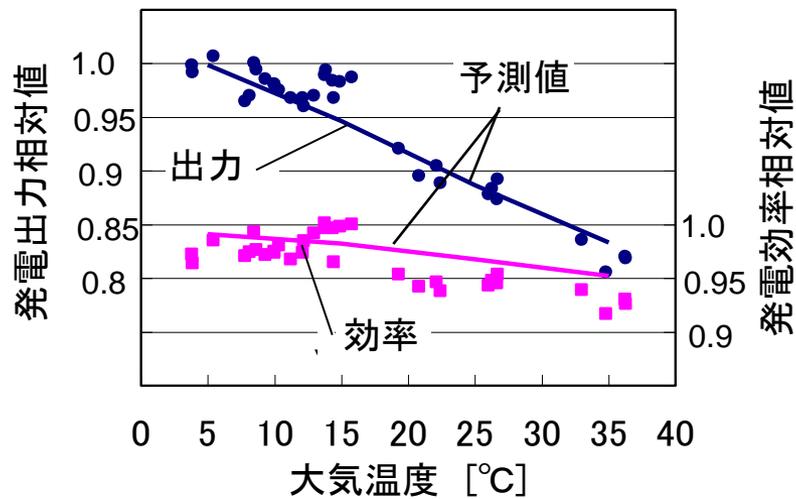


図 大気温度特性の測定結果

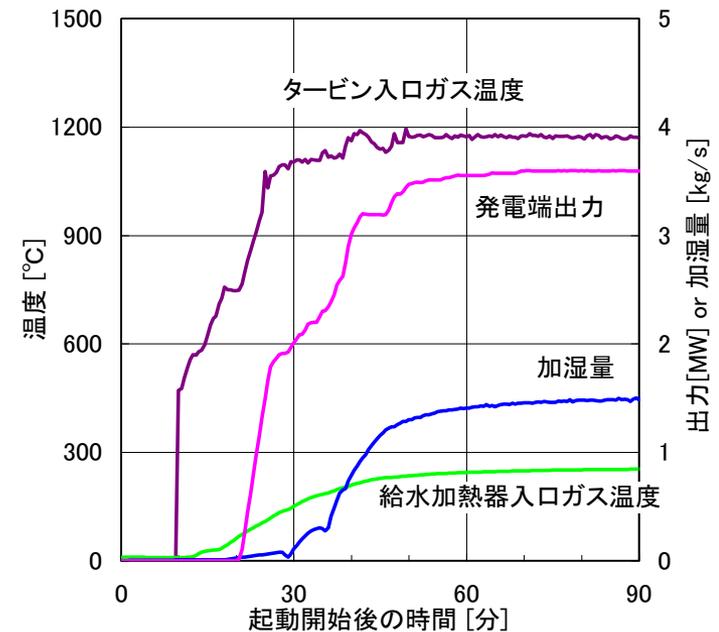


図 コールド起動特性の測定結果

## 4. 成果、目標の達成度

## ⑤ 3MW級検証機：AHATプラント側の特性把握（水回収技術）

スプレインズル配置の工夫により、液滴空間分布が均一化し、回収率が向上、増湿塔加湿量のほぼ100%を回収可能となった。

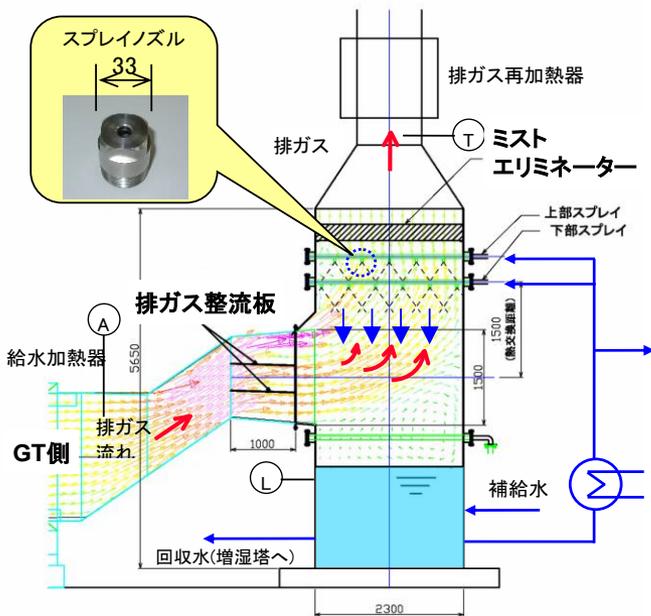
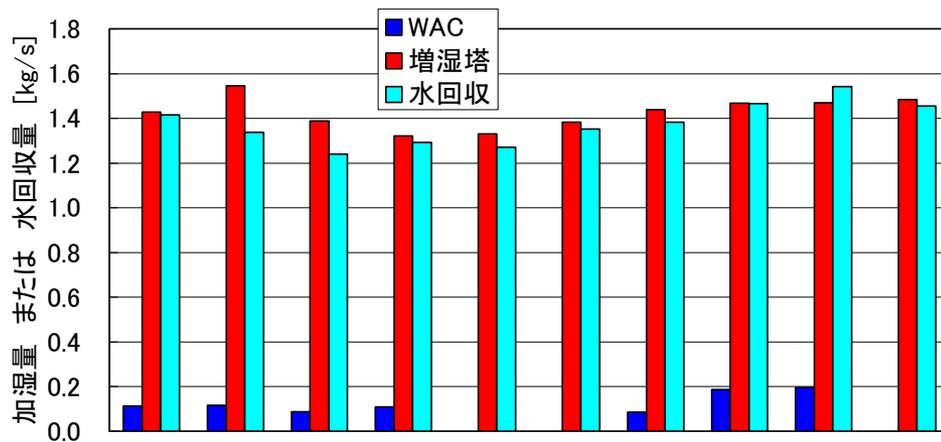


図 水回収装置の断面図



試験ケース名		WR1	WR2	WR3	WR4	WR5	WR6	WR7	WR8	WR9	WR10
機器状態	排ガス整流板	従来		GT側に100mm移動							
	スプレインズル	従来			微細化				分布均等 I		分布均等 II
	ミストエリミネーター	従来					微細化				

図 増湿塔による加湿量と、水回収装置による回収量の比較

### ⑤ 3MW級検証機：AHATプラント側の特性把握（耐久性）

高湿分再生熱交換器の温度効率、排ガス側圧力損失、空気側圧力損失の経時変化は特に見られなかった。制限値を満足している。

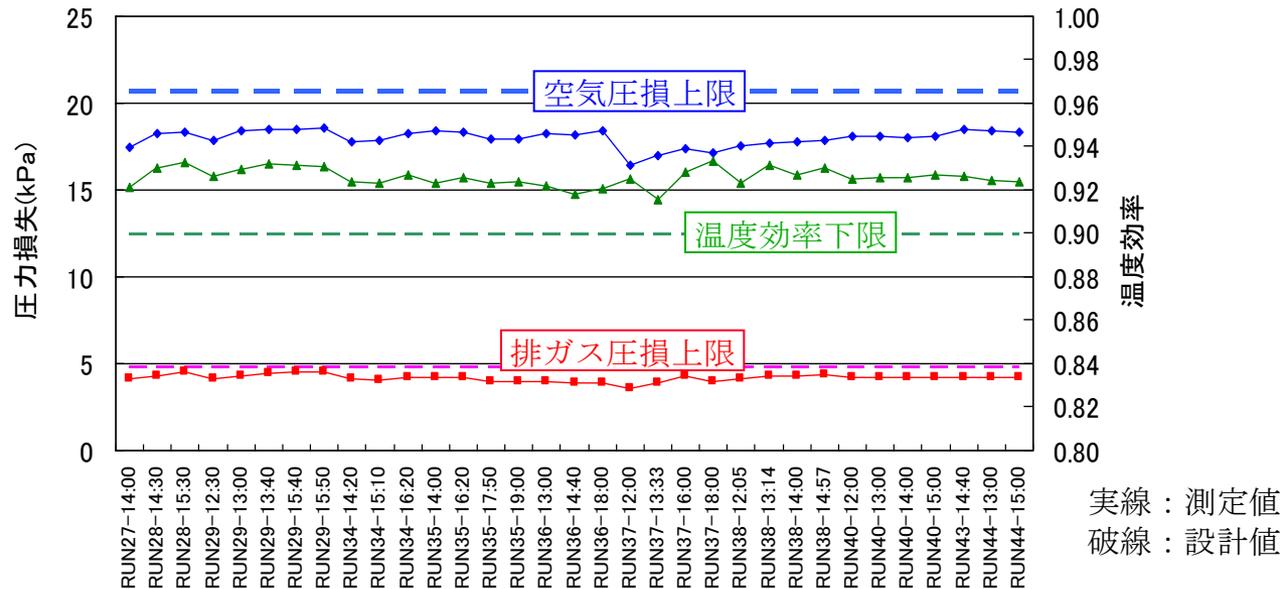


図 高湿分再生熱交換器の経時変化（圧損、温度効率）

## ⑥ 実用技術総合試験

### ③-2 高湿分燃焼器

- ・圧縮機から全量抽気し燃焼器へ導入
- ・多缶燃焼器に対する低圧損構造

### ③-1 高湿分燃焼器

- ・構造変更(単缶→多缶)
- ・更なる低NO<sub>x</sub>化

### ② 高湿分再生熱交換器

- ・高温・高圧・高湿分対応の高効率熱交換器
- ・伝熱コアの大型化
- ・構造最適化(圧損低減/偏流防止)

### ⑤ 3MW級検証機

- ・様々な運転条件による性能検証
- ・水回収技術
- ・信頼性・耐久性評価

### ①-2 高湿分軸流圧縮機

- ・方式：遠心型→軸流型
- ・中間冷却効果 & 圧縮特性

### ①-1 高湿分軸流圧縮機

- ・噴霧液滴の微粒化
- ・噴霧量の増大

### ④ 高湿分冷却翼

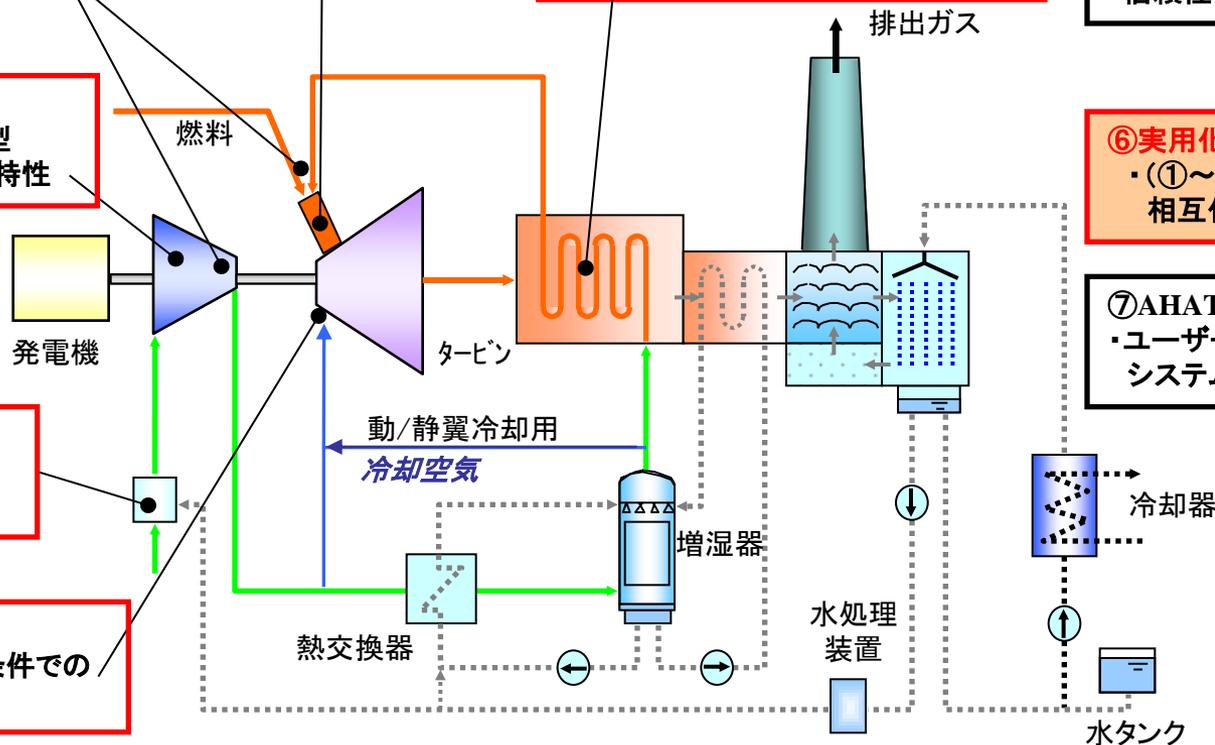
- ・高温高湿分主流ガス条件での高性能冷却構造

### ⑥ 実用化技術総合試験

- ・(①~④)を組合せた相互作用確認

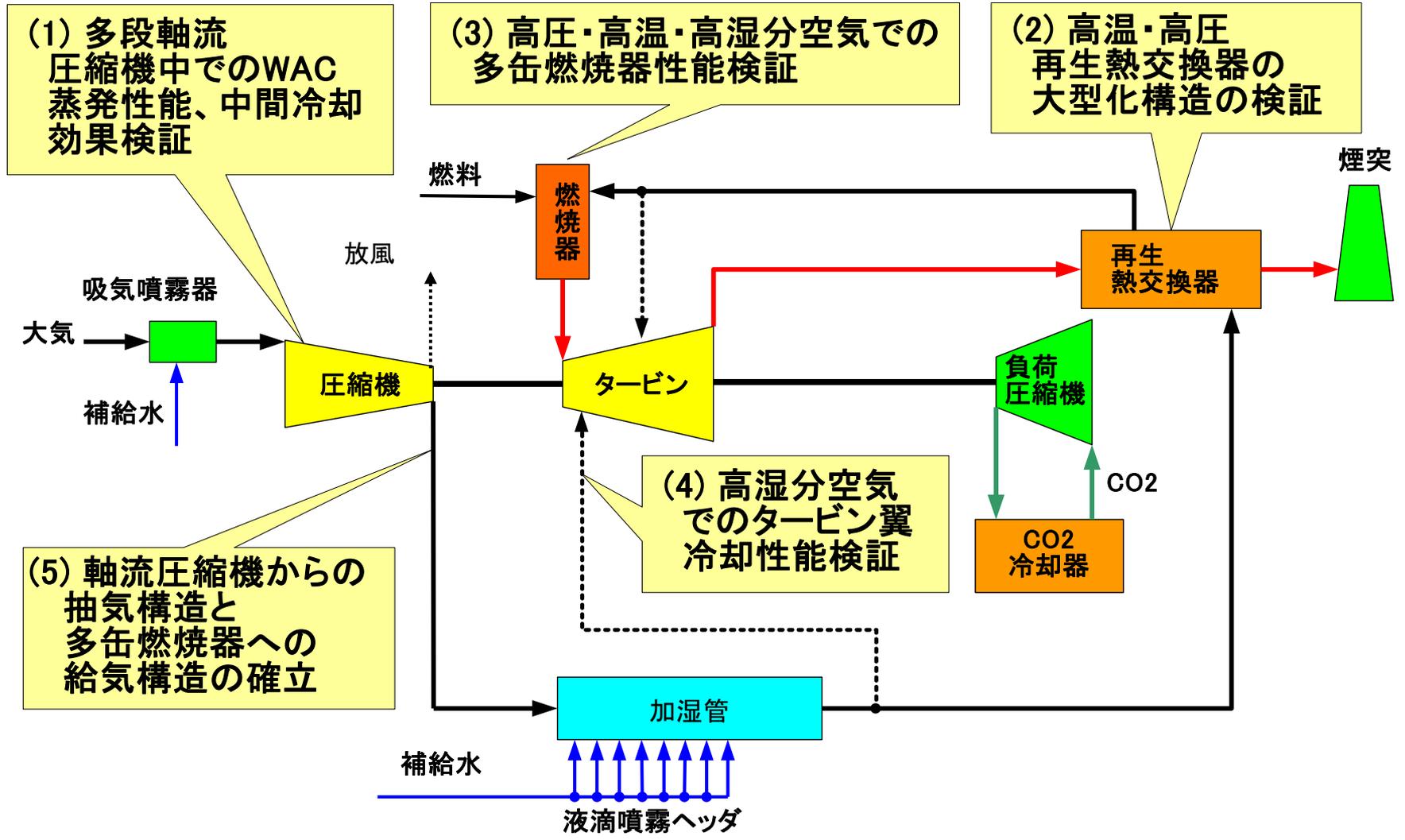
### ⑦ AHAT特性解析

- ・ユーザー視点に立ったシステム評価



### ⑥ 実用技術総合試験：目的

重構造(ヘビーデューティ)ガスタービンを用いて、高圧・高湿分環境における、軸流圧縮機、再生熱交換器、多缶燃焼器、冷却翼の相互作用を確認する。



⑥ 実用技術総合試験：40MW級総合試験装置

加湿管

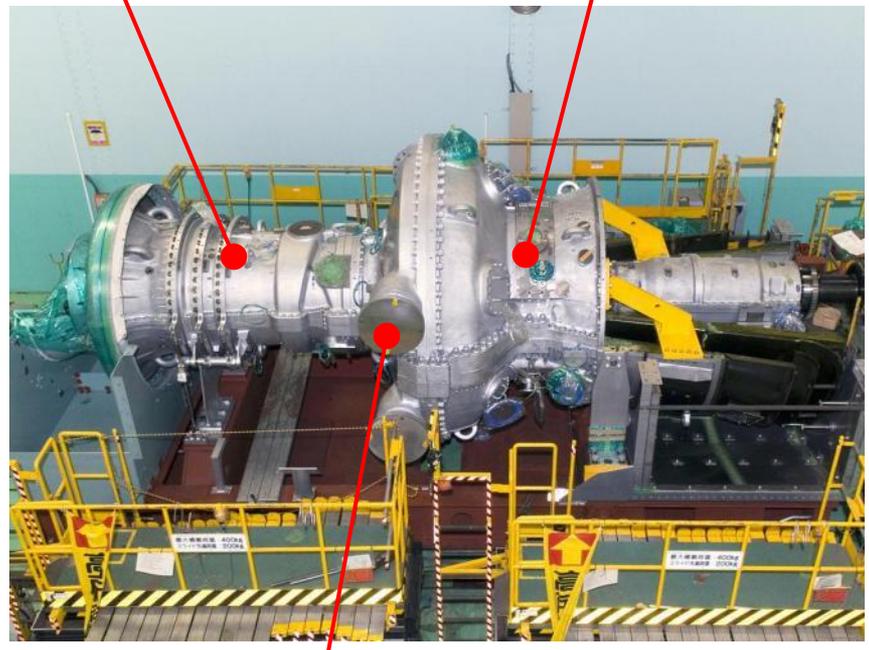


再生熱交換器

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 実用技術総合試験: 40MW級総合試験装置の熱物質収支

- ・2012/1に運転開始し、2012/2に、負荷20MWまで到達した。
- ・吸気噴霧冷却、加湿管、再生熱交換器、高湿分冷却翼など、運転動作確認した。

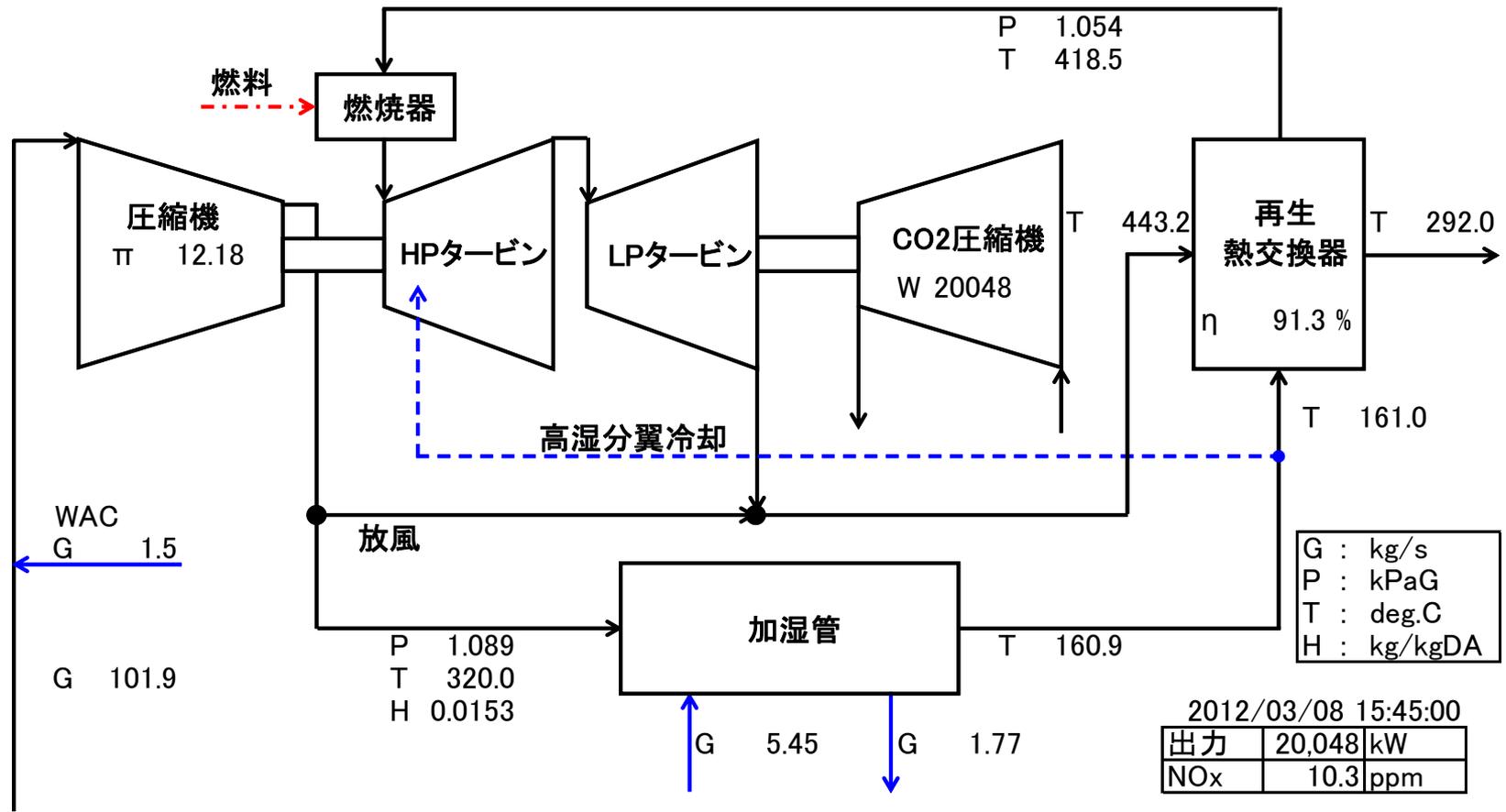


図 ヒートラン試験(RUN45)のプラント状態量測定結果

## ⑥ 実用化技術総合試験：総合試験装置の運転結果

2012/1～3の期間に、29回の起動、累計65時間運転し、吸気噴霧冷却、加湿管、再生熱交換器、高湿分冷却翼などの相互作用(性能)を確認、課題抽出した。

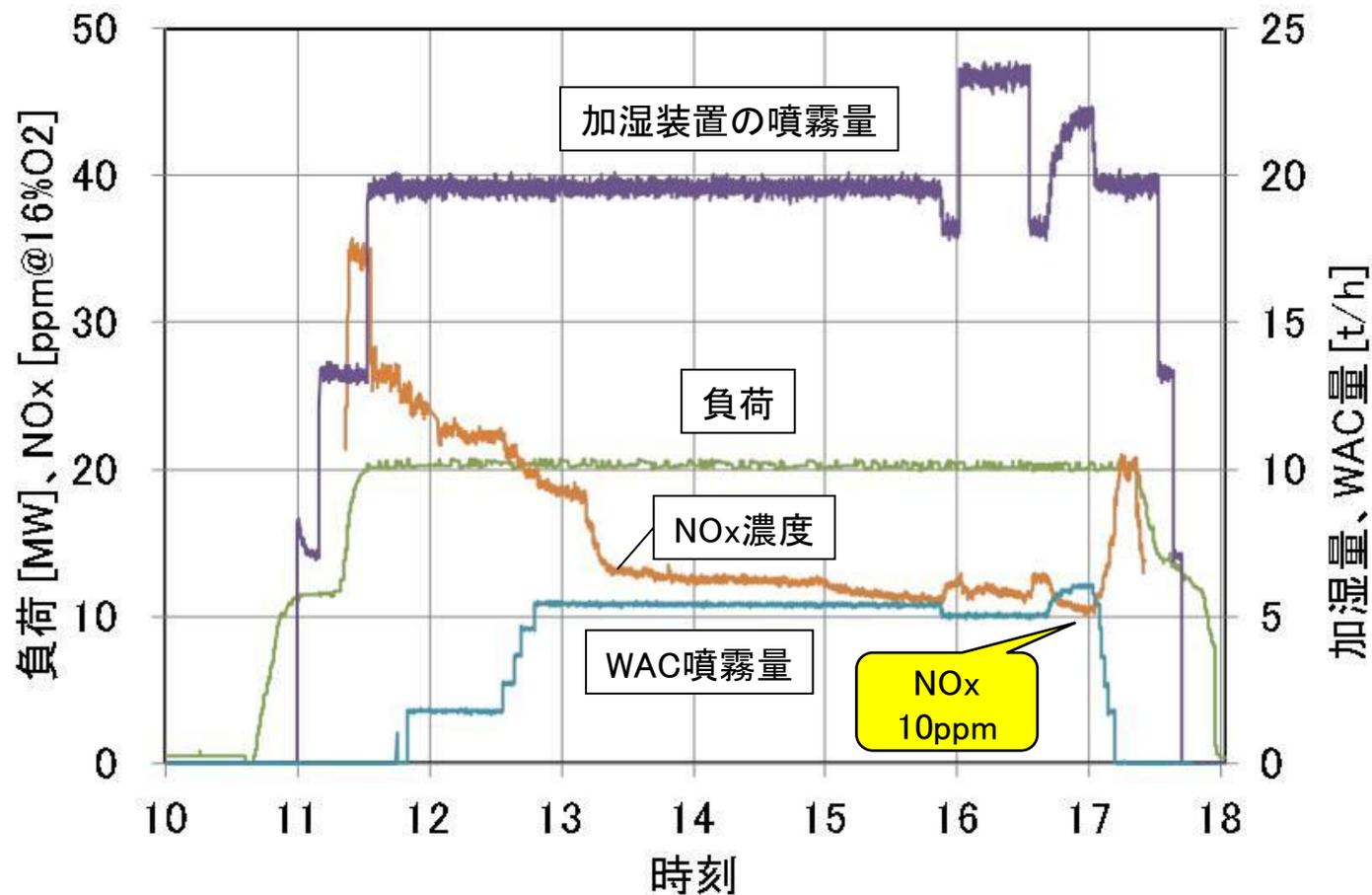
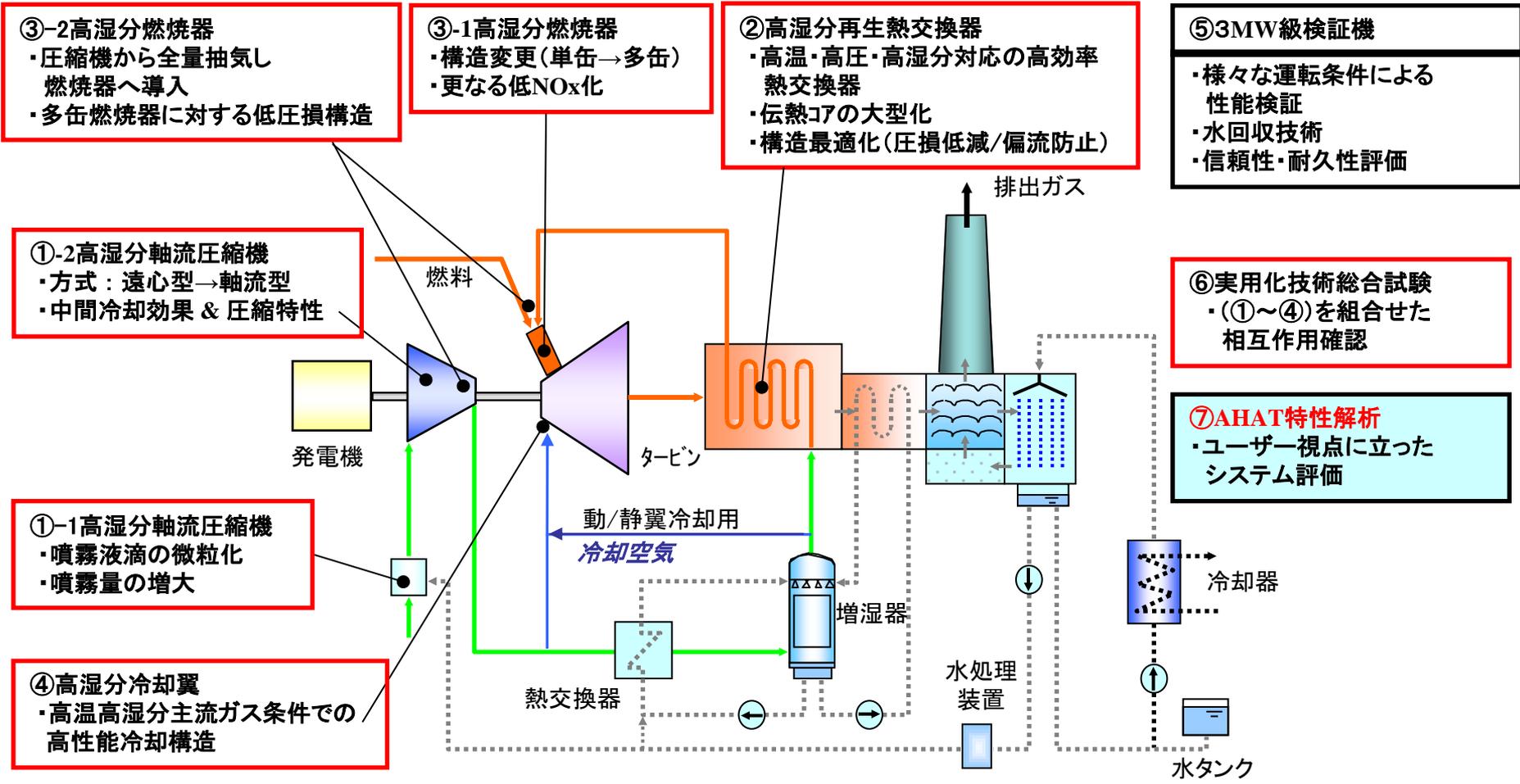


図 40MW級総合試験装置の運転曲線(2012年3月8日)

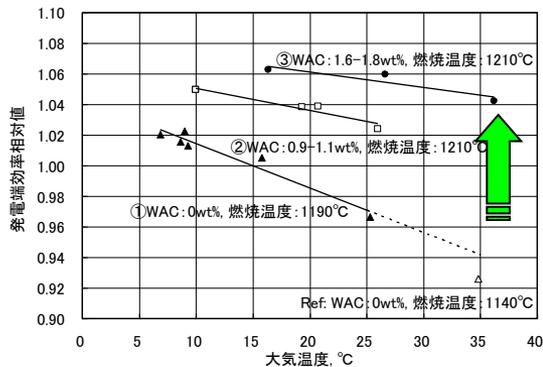
# ⑦AHAT特性解析



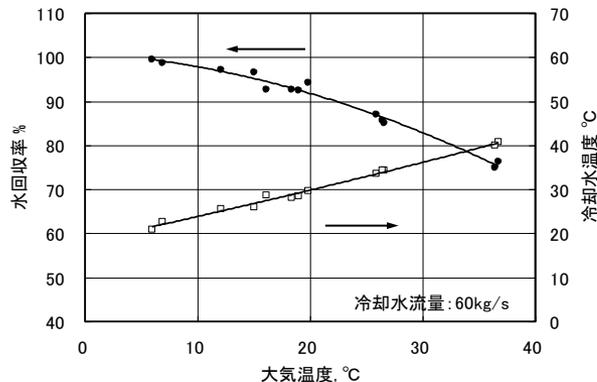
## 4. 成果、目標の達成度

## ⑦AHAT特性解析: 3MW級検証機評価

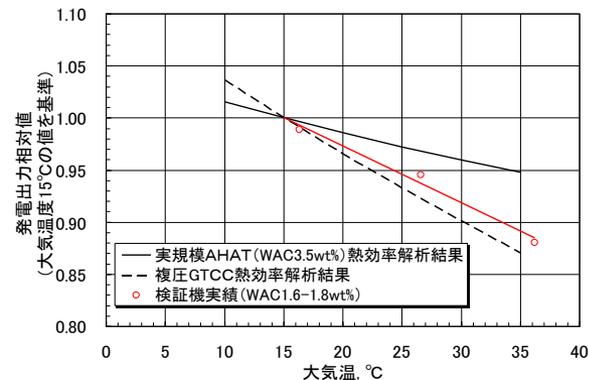
- 吸気水噴霧による効率向上が確認できた。
- 大気温度上昇による出力低下がGTCCより小さいことが確認できた
- 水回収効率が大気温度上昇により低下したため改善が必要である。
- 部分負荷特性もスケールアップ機での検証が必要である。



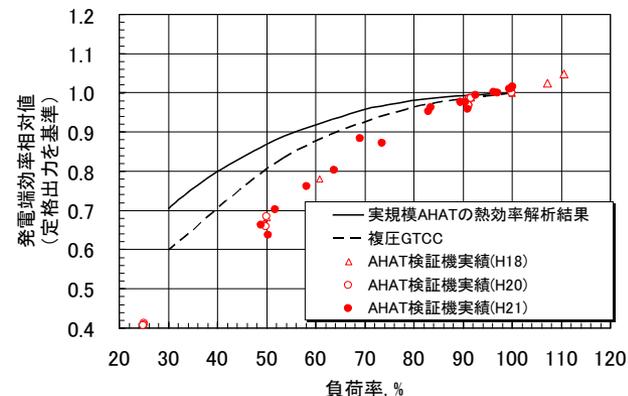
(1) 吸気湿分率および大気温度変化に対する発電端効率の変化



(3) 大気温度変化に対する水回収率および冷却水温度の変化



(2) AHATとGTCCの大気温度変化に対する出力への影響の比較



(4) AHATとGTCCの部分負荷効率の比較

## 4. 成果、目標の達成度

## ⑦AHAT特性解析：3MW級検証機評価

- コールドスタート時の起動時間が約60分と第1フェーズ試験から大幅に短縮、向上できた。
- 既存複合発電の起動時間、負荷変化率を上回る結果を得た。

## 【各種運用性の比較】

項目	検証機実績(第1フェーズ)	検証機実績(第2フェーズ)	既存一軸型GTCC発電	課題
起動時間	-	-	約60分	
ホットスタート				
コールドスタート	約2時間40分 (静定、データ採取時間含む)	<b>約60分</b> (水系統起動時の場合)	約180分 (復水器真空保持の場合)	水系統の自動化
負荷変化率	燃焼による負荷変化 3.3%/分 加湿による負荷変化 2.3%/分	燃焼による負荷変化 <b>15%/分</b> (自動化) 加湿による負荷変化 <b>3.3%/分</b> (手動操作)	5.0%/分	加湿による負荷変化率向上
負荷制御	燃焼温度制御 増湿塔加湿量あり、なし WACあり、なし	燃焼温度制御 増湿塔加湿量 WAC流量	IGV開度制御 燃焼温度制御	IGVの設置 低負荷での水噴霧

※WAC:  
Water Atomization Cooling  
(吸気噴霧冷却)

※IGV:  
Inlet Guide Vane  
(入口案内翼)

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 Innovations 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				合計
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	
論文・解説	0	2	1	2	3	3	4	8	23
特許(公開)	3	10	12	7	8	11	6	6	63
国際会議 発表	1	2	1	2	4	1	1	6	18
国内会議 発表	2	0	5	7	5	1	3	1	24

# 5. 事業化、波及効果

## 事業化(商用化)の計画

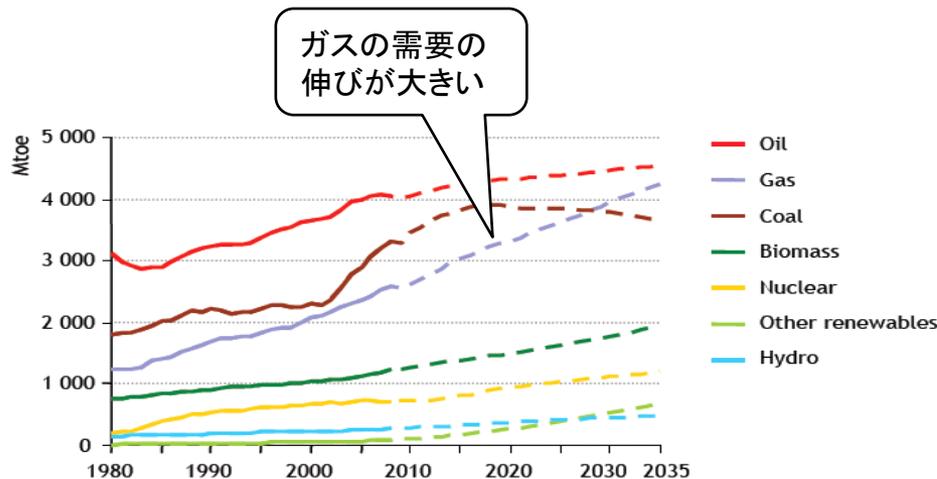
- 本技術は実用化技術開発の段階にあり、本技術完成後は実証機による熱、環境、運転性能、長期信頼性を評価し商用機につなげていく必要がある。
- 本技術の一部は既に製品に適用済であり、ガスタービンの高性能化に寄与している。

項目 \ 年度	2000	2005	2010	2020～	
技術開発		<p><b>要素技術開発</b> ( '04～'06年)</p> <p>1/30規模の装置でAHATシステムの原理的な成立性確認。</p>	<p><b>実用化技術開発</b> ( '08～'11年)</p> <p>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。</p>	<p><b>技術実証事業</b> ( '12年～)</p> <p>高信頼性化技術の開発とAHATシステムの長期信頼性実証。</p>	<p>商用機 ( '20年～)</p>
		(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			<p>・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</p>	<p>・リプレース ・系統調整電源 ・海外分散電源</p>	
次世代発電技術への展開				<p>CO2回収型クローズドサイクルAHAT</p> <p>CO2回収型IGHAT</p>	

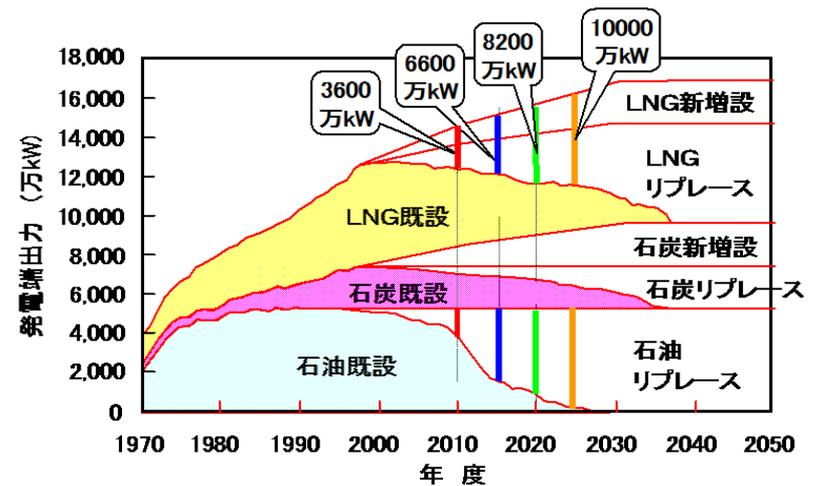
## 5. 事業化、波及効果

## 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火力発電のリプレース潜在需要は、2020年に約8,000万kWと見込まれ、これらの国内リプレース市場に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	

## 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。
- 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	<ul style="list-style-type: none"> <li>再生可能エネルギーとの連携ニーズ大</li> <li>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</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> <li>内陸立地の分散電源の案件を狙う</li> </ul>
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	<ul style="list-style-type: none"> <li>中国の内陸部の発展</li> <li>高気温</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>内陸立地の分散電源の案件を狙う</li> <li>高気温地域に、出力低下が少ない点をアピールする</li> </ul>
4	中東、西アジア、アフリカ	<ul style="list-style-type: none"> <li>高気温</li> <li>水が乏しい</li> <li>グリッド未整備地域多い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>高気温地域に、出力低下が少ない点をアピールする</li> <li>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</li> <li>グリッド未整備の内陸立地の分散電源の案件を狙う</li> </ul>

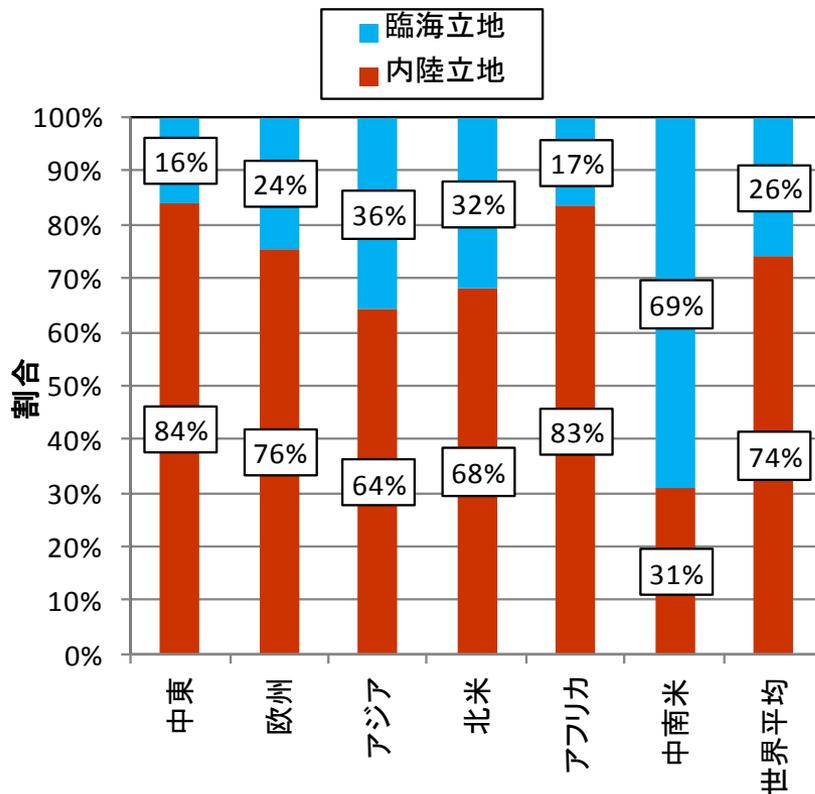


図 ガスタービン発電設備の地域別立地点  
(2010年運開分、出典：日立製作所)

# 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

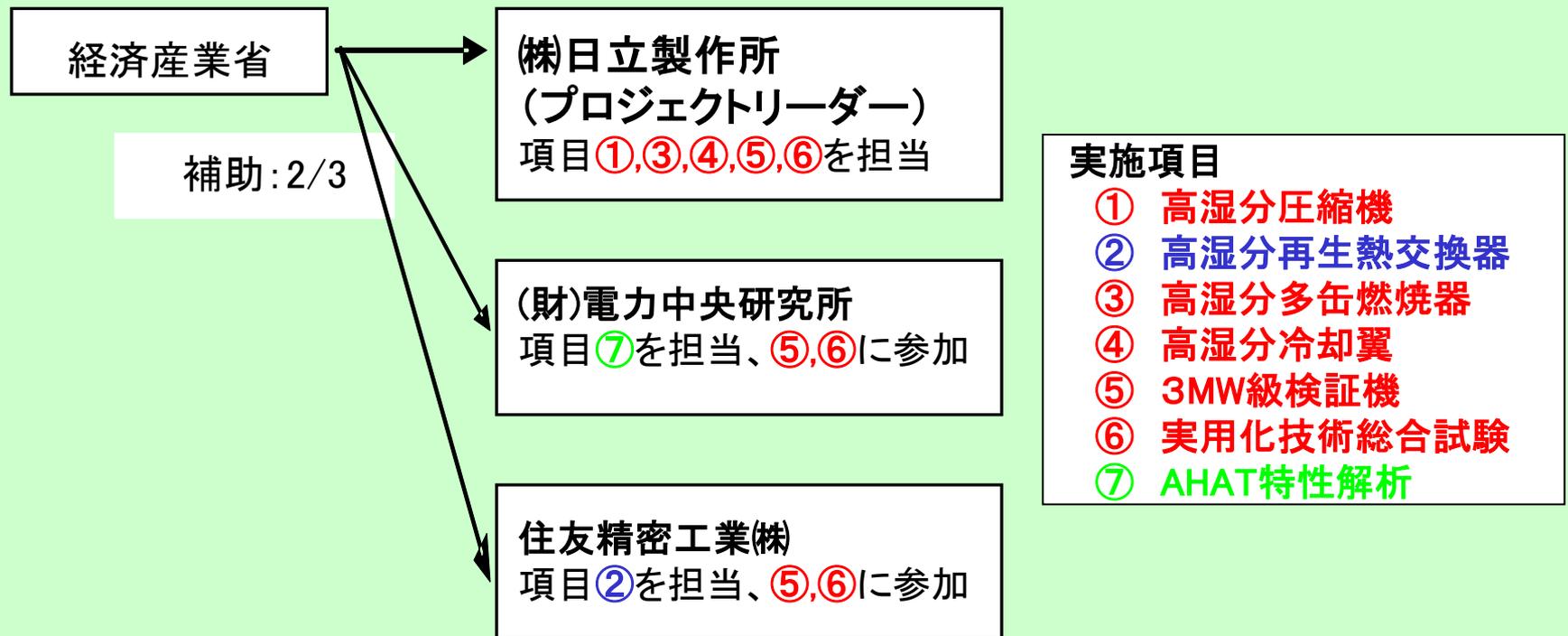
各項目とも当初の目的を完遂した。

→ 計画  
— 実績

	項目（主担当）	平成20年度	平成21年度	平成22年度	平成23年度
技術開発要素	①高湿分圧縮機 （日立）	評価モデル高度化、微粒化技術			総合試験評価
	②高湿分再生熱交換器 （住友精密）	材料試験・小型試験、コアの大型化			総合試験評価
	③高湿分多缶燃焼器 （日立）	バーナー要素試験・単缶燃焼試験			総合試験評価
	④高湿分翼冷却 （日立）	ハイブリッド冷却翼、高性能冷却試験			総合試験評価
試験	⑤3 MW級検証機 （日立、住友精密、電中研）	試験		中間評価	
	⑥実用化技術総合試験 （日立、住友精密、電中研）	設計		製作	総合試験
解析	⑦A T A H特性解析 （電中研）	3 MW級検証機評価		他システム評価	総合試験評価
	予算 （補助金ベース、百万円）	216	1085	2465	1032

## 6. 研究開発マネジメント・体制等

本事業は、(株)日立製作所、(財)電力中央研究所、住友精密工業(株)の3社で実施しており、プロジェクトリーダーを(株)日立製作所に設置している。(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としてAHAT特性解析を担当、住友精密工業(株)は高湿分再生熱交換器を担当し、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。



## 7. 中間評価の結果

No.	事業評価報告書(平成23年3月、産構審評価小委員会(第34回))における提言、指摘事項	対応方針、対応状況
1	<p>高湿分空気利用ガスタービン実用化技術は商用機規模での実証試験の前フェーズであり、説得力を持って実証試験につなげるためにも今後計画されている1/3スケールの実用化技術総合試験で長期信頼性、効率、経済性などをしっかり確認していただきたい。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●実用化技術開発の期間中は、平成24年1月～3月に40MW級総合試験装置の運転により性能確認した。</li> <li>●平成24年度からの技術実証事業でも、40MW級総合試験装置での試験を4年間の計画で実施中である。</li> </ul>
2	<p>また、研究開発体制について、大学のポテンシャルを有効活用し、産学官で事業に取り組むことにより国際性のある人材の育成にも貢献できるため、より一層の体制の構築に努めていただきたい。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●実用化技術開発の期間中の平成24年3月までに、大学との共同研究の内容、体制を検討した。</li> <li>●平成24年度からの技術実証事業で、複数の大学との共同研究を開始した。</li> </ul>