

高効率ガスタービン技術実証事業
中間評価報告書
(案)

平成 2 7 年 7 月

産業構造審議会産業技術環境分科会
研究開発・評価小委員会評価ワーキンググループ

はじめに

研究開発の評価は、研究開発活動の効率化・活性化、優れた成果の獲得や社会・経済への還元等を図るとともに、国民に対して説明責任を果たすために、極めて重要な活動であり、このため、経済産業省では、「国の研究開発評価に関する大綱的指針」（平成24年12月6日、内閣総理大臣決定）等に沿った適切な評価を実施すべく「経済産業省技術評価指針」（平成26年4月改正）を定め、これに基づいて研究開発の評価を実施している。

経済産業省において実施している高効率ガスタービン技術実証事業は、省エネルギー及びCO₂削減の観点から、電力産業用高効率ガスタービンの実用化技術開発のための信頼性向上等を目的とした実証試験を支援するため、平成24年度から平成32年度を実施期間として行われているものである。本事業については、大容量機（出力40万kW程度（コンバインド出力60万kW以上））の高効率化を目的とした1700℃級ガスタービン技術実証事業と中小容量機（出力10万～20万kW程度）の高効率化を目的とした高湿分空気利用ガスタービン技術実証事業の2つの事業から構成される。

本事業については、平成23年度に事業開始前の事前評価、平成25年度に中間評価を行っているが、平成28年度以降は実証試験に移行する予定であることから、総合科学技術会議からの指摘を受け、平成27年度に2回目の中間評価を行うものである。実際の評価に際しては、省外の有識者からなる高効率ガスタービン技術実証事業中間評価検討会（座長：大山 力 横浜国立大学大学院工学研究院教授）を開催した。

今般、当該検討会における検討結果が評価報告書の原案として産業構造審議会産業技術環境分科会研究開発・評価小委員会評価ワーキンググループ（座長：渡部 俊也 東京大学政策ビジョン研究センター教授）に付議され、内容を審議し、了承された。

本書は、これらの評価結果を取りまとめたものである。

平成27年7月

産業構造審議会産業技術環境分科会

研究開発・評価小委員会評価ワーキンググループ

産業構造審議会産業技術環境分科会研究開発・評価小委員会評価ワーキンググループ

委 員 名 簿

座長	渡部 俊也	東京大学政策ビジョン研究センター教授
	大島 まり	東京大学大学院情報学環教授 東京大学生産技術研究所教授
	太田 健一郎	横浜国立大学工学研究院グリーン水素研究センター長 ・特任教授
	亀井 信一	株式会社三菱総合研究所人間・生活研究本部長
	小林 直人	早稲田大学研究戦略センター副所長・教授
	高橋 真木子	金沢工業大学虎ノ門大学院工学研究科教授
	津川 若子	東京農工大学大学院工学研究院准教授
	西尾 好司	株式会社富士通総研経済研究所主任研究員
	森 俊介	東京理科大学理工学研究科長 東京理科大学理工学部経営工学科教授

(座長除き、五十音順)

事務局：経済産業省産業技術環境局研究開発課技術評価室

高効率ガスタービン技術実証事業中間評価検討会
委員名簿

座 長	大山 力	横浜国立大学 大学院 工学研究院 教授
	太田 有	早稲田大学 基幹理工学部 機械科学・航空学科 教授
	藤井 俊英	電気事業連合会 技術開発部長

(敬称略、五十音順)

事務局：経済産業省資源エネルギー庁電力基盤整備課

高効率ガスタービン技術実証事業の評価に係る省内関係者

【中間評価時】

(平成27年度) 【今回】

資源エネルギー庁 電力基盤整備課電力需給・流通政策室長 江澤 正名 (事業担当室長)

大臣官房参事官 (イノベーション推進担当)

産業技術環境局 研究開発課 技術評価室長 福田 敦史

(平成25年度)

資源エネルギー庁 電力基盤整備課電力需給・流通政策室長 井上 悟志 (事業担当室長)

産業技術環境局 産業技術政策課 技術評価室長 飯村 亜紀子

【事前評価時】 (事業初年度予算要求時)

資源エネルギー庁 電力基盤整備課電力需給・流通政策室長 吉川 徹志 (事業担当室長)

高効率ガスタービン技術実証事業中間評価

審 議 経 過

○第1回中間評価検討会（平成27年6月4日）

- ・評価の方法等について
- ・プロジェクトの概要について
- ・評価の進め方について

○第2回中間評価検討会（平成27年6月23日：書面審議）

- ・評価報告書(案)について

○産業構造審議会産業技術環境分科会研究開発・評価小委員会評価ワーキンググループ（平成27年7月10日）

- ・評価報告書(案)について

目 次

はじめに

評価ワーキンググループ委員名簿

評価検討会委員名簿

高効率ガスタービン技術実証事業の評価に係る省内関係者

審議経過

	ページ
評価報告書概要	i
第1章 評価の実施方法	1
1. 評価目的	2
2. 評価者	2
3. 評価対象	3
4. 評価方法	3
5. 評価項目、評価基準	3
第2章 プロジェクトの概要	7
A. 1700℃級高効率ガスタービン技術実証事業	
1. 事業の目的・政策的位置付け	9
2. 研究開発等の目標	17
3. 成果、目標の達成度	25
4. 事業化、波及効果について	67
5. 研究開発マネジメント・体制等	75
6. 費用対効果	78
7. 事前評価及びフォローアップにおける指摘事項に対する対応状況	82
7-1 総合科学技術会議（現、総合科学技術・イノベーション会議）指摘事項に対する対応状況	82
7-2 産構審評価小委員会（現、評価WG）指摘事項に対する対応状況	85
B. 高湿分空気利用ガスタービン技術実証事業	
1. 事業の目的・政策的位置付け	95
2. 研究開発等の目標	100
3. 成果、目標の達成度	106
4. 事業化、波及効果について	135
5. 研究開発マネジメント・体制等	145
6. 費用対効果	149
7. 中間評価（H25）及びフォローアップにおける指摘事項に対する対応状況	150
7-1 総合科学技術会議（現、総合科学技術・イノベーション会議）指摘事項に対する対応状況	150
7-2 産構審評価小委員会（現、評価WG）指摘事項に対する対応状況	151
第3章 評価	153
A. 1700℃級高効率ガスタービン技術実証事業	
1. 事業の目的・政策的位置付けの妥当性	154
2. 研究開発等の目標の妥当性	155
3. 成果、目標の達成度の妥当性	156
4. 事業化、波及効果についての妥当性	157
5. 研究開発マネジメント・体制等の妥当性	158
6. 費用対効果の妥当性	159
7. 中間評価（H25）及びフォローアップにおける指摘事項に対する対応状況の妥当性	160

(1) 総合科学技術会議（現、総合科学技術・イノベーション会議）指摘事項に対する対応状況の妥当性	160
(2) 産構審評価小委員会（現、評価WG）指摘事項に対する対応状況の妥当性...	162
8. 総合評価	163
9. 今後の研究開発の方向等に関する提言	164
 B. 高湿分空気利用ガスタービン技術実証事業	
1. 事業の目的・政策的位置付けの妥当性	165
2. 研究開発等の目標の妥当性	166
3. 成果、目標の達成度の妥当性	167
4. 事業化、波及効果についての妥当性	169
5. 研究開発マネジメント・体制等の妥当性	170
6. 費用対効果の妥当性	171
7. 中間評価及びフォローアップにおける指摘事項に対する対応状況の妥当性 ...	172
(1) 総合科学技術会議（現、総合科学技術・イノベーション会議）指摘事項に対する対応状況の妥当性	172
(2) 産構審評価小委員会（現、評価WG）指摘事項に対する対応状況の妥当性...	173
8. 総合評価	175
9. 今後の研究開発の方向等に関する提言	177
 第4章 評点法による評点結果	179

参考資料

- 参考資料1 経済産業省技術評価指針
- 参考資料2 経済産業省技術評価指針に基づく標準的評価項目・評価基準
- 参考資料3 次世代電力供給システム分野に係る技術に関する施策・事業評価報告書
- 参考資料4 総合科学技術会議が実施する国家的に重要な研究開発の評価
「高効率ガスタービン技術実証事業費補助金」の評価結果
- 参考資料5 「高効率ガスタービン技術実証事業費補助金」の事前評価の
フォローアップ結果

中間評価報告書概要

中間評価報告書概要

プロジェクト名	高効率ガスタービン技術実証事業 A. 1700℃級ガスタービン技術実証事業																							
上位施策名	省エネルギーの推進																							
事業担当課	資源エネルギー庁 電力基盤整備課																							
<u>プロジェクトの目的・概要</u> 電力産業の保守高度化とリプレイス需要にあった大容量機の高効率化を目指し、目標コンバインド効率 57%以上を達成するために必要な、1700℃級ガスタービンの実用化を図る。 そのため、1700℃級ガスタービンの実用化に必要な要素技術開発と実証機の開発・製作・実証運転を行う。																								
予算額等（補助（補助率：2/3）） （単位：千円） <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <th style="width: 20%;">開始年度</th><th style="width: 20%;">終了年度</th><th style="width: 20%;">中間評価時期</th><th style="width: 20%;">事後評価時期</th><th style="width: 20%;">事業実施主体</th></tr> <tr> <td>平成 2 4 年度</td><td>平成 3 2 年度</td><td>平成 2 5 年度 平成 2 7 年度 平成 3 0 年度</td><td>平成 3 3 年度</td><td>三菱重工業</td></tr> <tr> <td>H24FY 予算額</td><td>H25FY 予算額</td><td>H26FY 予算額</td><td>総予算額</td><td>総執行額</td></tr> <tr> <td>1, 225, 048</td><td>1, 180, 585</td><td>1, 953, 333</td><td>15, 108, 966</td><td>3, 639, 121</td></tr> </table>					開始年度	終了年度	中間評価時期	事後評価時期	事業実施主体	平成 2 4 年度	平成 3 2 年度	平成 2 5 年度 平成 2 7 年度 平成 3 0 年度	平成 3 3 年度	三菱重工業	H24FY 予算額	H25FY 予算額	H26FY 予算額	総予算額	総執行額	1, 225, 048	1, 180, 585	1, 953, 333	15, 108, 966	3, 639, 121
開始年度	終了年度	中間評価時期	事後評価時期	事業実施主体																				
平成 2 4 年度	平成 3 2 年度	平成 2 5 年度 平成 2 7 年度 平成 3 0 年度	平成 3 3 年度	三菱重工業																				
H24FY 予算額	H25FY 予算額	H26FY 予算額	総予算額	総執行額																				
1, 225, 048	1, 180, 585	1, 953, 333	15, 108, 966	3, 639, 121																				

目標・指標及び成果・達成度

(1) 全体目標に対する成果・達成度

要素技術	目標・指標 (H27/6 評価時点)	成果 (H27/6 評価時点)	達成度
①低熱伝導率 遮熱コーティング	・厚さ 0.5mm 以上で試作し、熱疲労寿命が従来並みであることを確認する。 ・エロージョン試験装置製作および試験着手。 ・大容量ガンの長溶射距離条件での厚膜 DVC (Dense Vertical Crack; 緻密縦割れ膜)成膜技術を開発する。	・厚さ 0.5mm 以上の成膜条件で、熱疲労寿命が従来並みであることを確認した。 ・エロージョン試験装置を製作し、試験に着手した。 ・大容量ガンの長溶射距離条件により、1mm の厚膜 DVC の成膜を確認した。	達成
②高性能冷却システム	・実機燃焼器を上流に設置した状態で、タービン翼列の気流・伝熱試験による端壁面での詳細データ取得。 ・動翼フィルム効率の計測技術の開発と応答性確認。	・実機燃焼器を上流に設置した状態でタービン翼列の気流試験・伝熱試験による端壁面での詳細データを取得した。 ・高応答フィルム検出塗料の応答性を確認した。	達成
③非定常性制御燃焼技術	・排ガス再循環有の条件で、NOx 40ppm 以下を確認した。 ・レーザーによる気流計測による燃焼器内速度分布データの取得。 ・レーザー計測による実機燃焼器形態での火炎形状の把握。 ・火炎形状と圧力変動計測を同時計測し、燃焼を不安定にする領域を特定する。 ・燃焼振動予測精度の向上 ・燃料多様化技術の開発	・排ガス再循環有の条件で、NOx 16ppm を確認した。 ・レーザーによる気流計測による燃焼器内気流データを取得した。 ・レーザー計測により実機燃焼器形態での火炎形状を把握した。 ・火炎形状と圧力変動計測を同時計測し、燃焼を不安定にする領域を特定した。 ・各種パラメタの燃焼振動モードに対する予測精度影響を把握した。 ・燃料多様化に伴う、フラッシュバック耐性の確認試験方法を開発した。	達成
④超高性能タービン	・高負荷タービン翼列の成立性を解析で確認する。 ・排気ディフューザの改良を行い、排	・タービン効率向上コンセプトを抽出し、それらを盛り込んで試設計を行い、シミュレーションによりそ	達成

	気の圧力損失を50%低減する。 ・可視化試験により、ストラットとの干渉を把握する。 ・モデルタービン試験データによる、動翼-静翼間の翼列干渉効果による励振力発生メカニズムの考察	の妥当性を確認した。 ・高速回転試験により、排気ディフューザの形状変更の効果を確認、現状より50%圧力損失低減を確認した。 ・ディフューザストラットの流況を可視化し、ディフューザ効率改善の指針を得た。 ・モデルタービン試験により、動翼-静翼間の翼列干渉効果による励振力のデータを取得した。シミュレーションと比較することにより、現象のメカニズムを考察した。	
⑤境界層制御 高性能圧縮機	・モデル圧縮機試験により、前方段の負荷を約10%高めた条件で、段効率+1%向上を確認する。 ・中後方段に対し、モデル圧縮機試験により、多段条件での動翼チップクリアランス流れデータを取得・評価する。 ・多段モデル圧縮機試験装置の製作	・モデル圧縮機試験により、前方段の負荷を約10%高めた条件で、段効率+1%向上を確認した。 ・モデル圧縮機試験により、多段条件での動翼チップクリアランス流れデータを取得し、シミュレーションと比較することにより評価を行った。 ・多段モデル圧縮機試験装置を製作・組立し、試験を実施中。	達成
⑥超高性能サイクル	・発電効率57%以上のサイクルを実現するための、エクセルギ分析・評価をし、アイデア検討	・基本的なサイクル構成にて熱サイクル評価を行い、発電効率57%以上の達成目途を得た。 ・エクセルギ分析により、損失が発生している部位を定量的に評価し、優先的に性能向上すべき部位を評価・特定した。 ・低温熱源を利用した効率改善のアイデアを提案できた。	達成
⑦高機能構造技術	・各種構造コンセプトの比較検討 ・1600℃級ガスタービンにおける詳細クリアランスデータを取得する。 ・圧縮機ロータベンチレーション構造計画	・構造コンセプトを考案し、その比較検討を実施した。 ・1600℃級ガスタービンにおける詳細クリアランスデータを取得した。 ・圧縮機ロータベンチレーション構	達成

		造計画の構造計画を行い、試験装置製作中	
⑧ 高性能シー ル・軸受	・リーフシールの適用に向けた基礎 試験装置の製作とデータ取得 ・直潤 2 パッド軸受の採用による軸 受損失 40%低減	・リーフシールの適用に向け、基 礎試験装置を製作した。試験を実 施し、基礎データ取得した。 ・軸受損失が 47%低減した。	達成
⑨ 先進製造技 術	・長穴加工 L/D>250 ・溶接変形の 20%以上低減 ・高強度の中子・鋳型を製作し、鋳 型強度、鋳造性の確認 ・3D 造形装置により、GT 部品の Additive Manufacturing 技術を開発 する。	・長穴加工を実施し、L/D>250 を 達成した。 ・レーザー溶接工法の静翼冷却 通路への適用により、変形を 20%低減する目途を得た。 ・複数候補材の組成について、鋳 型原料調整・スラリー調整条件等 決定し、特性評価用鋳型試験体 の候補材を抽出した。 ・3D 造形で、タービン翼、圧縮 機、燃焼器ノズルの試作を行っ た。	達成
⑩ 超高温強度 評価技術	・高温域での設計に向けた材料デー タの取得 ・超高温域長時間使用後の健全性 確認のための材料データ取得に着 手	・高温域での材料データを取得し た。 ・超高温域での長時間使用後の 条件を模擬するため、加熱時効 処理試験に着手した。10,000hr 以上のデータを取得した。	達成
⑪ 特殊計測技 術	・高温での動翼振動計測技術(非接 触)の開発と実機計測 ・高温での動翼チップクリアランス計 測技術の開発と、実機計測準備の 実施 ・現地データの遠隔監視システムの 開発	・実機ガスタービンで、燃焼器着 火後の高温条件での、タービン動 翼振動計測技術を開発し、データ を取得した。 ・高温での動翼チップクリアランス 計測のためのセンサーを開発し、 実機計測に成功した。	達成
⑫ 高精度・高機 能検査技術	・センサ試作 ・試計測により、0.5mm のき裂に対 し、検知可能であることを確認する。	・直径 ϕ 0.7mm の極小ファーマー スコープを用いたき裂検知極小セ ンサーを試作した。 ・直径 0.5mm のき裂検知の目途 を得た。	達成
⑬ 高性能・ダン パ振動制御技	・ダンパの基礎試験を実施し、振動 数やダンピングの基礎データを取得	・ダンパ試験装置を製作し、振動 数やダンピングの基礎データを取	達成

術	する。	得した。これらのデータを基に改良ダンパを開発し、バラつき低減効果を同試験装置にて確認した。	
---	-----	---	--

(2) 目標及び計画の変更の有無

なし

<共通指標>

論文数	投稿	特許等件数 (出願を含む)	発表
10	7	57	15

評価概要

1. 事業の目的・政策的位置付けの妥当性

火力発電技術の高効率化によって環境に対する負荷の低減を指向する本事業は、長いスパンの基礎技術の確立と実証試験を必要とし、国として取り組む必要のある施策であると考えられる。海外との激的な競争下において、更なる性能向上を目指した新しい目標も設定されており、本事業の社会的・技術的意義は更に重要になっている。

なお、今後5年間以上に及ぶ長期の実施期間と当初より増額された予算総額、得られた知見や最新技術、情報等を効果的に実用化・事業化するための具体的施策が必要であるとする。

2. 研究開発等の目標の妥当性

効率57% (HHV) を達成するために掲げられた14項目に及ぶ個別要素課題は全て達成され、実証試験の開始に向けて問題となっている項目は見当たらない。また、更なる性能向上を指向した要素技術研究も計画され、目標は適切かつ妥当に定められている。さらに、システム構成機器そのものの開発のみならず、実証試験に欠かせない機器健全性の確認手法に関する技術開発も考慮されており、技術的および経済的優位性を有した目標であり妥当である。

なお、平成28年度以降に計画されている実証機試験期間に、1700℃での実証に関する研究計画と並行して更なる高性能化を目指した要素技術研究の必要性が提案されている。この具体的な目標が不明確であると共に、本事業の最終目的である1700℃級GT商用機への普及促進との関連性が不明である。また、メンテナンス時の各基準（部品取替周期、寸法許容値など）を確立するための手法の検討が、目標に設定されていればなお望ましい。今後の研究内容に期待したい。

3. 成果、目標の達成度の妥当性

1700℃級GT実現に向けた事前の技術検証指標として掲げられている14項目に及ぶ技術課題は、概ね達成され、有益な成果が得られている。実証試験の開始に向けての準備は順調に整っているように見える。更なる性能向上を指向した新たな目標も設置され、今後も挑戦的な研究・開発が期待できる。

なお、超高性能サイクルの検討結果で発案された、低温排ガス熱回収サイクルについて、実証機（商用機）に適用するのであれば、低温ガス雰囲気であることを考慮した設計を実施し、耐久性を確保し

てほしい。

4. 事業化、波及効果の妥当性

事業化に向けては、当初の計画通りに進展している。圧縮機に関する最新の試験設備を新たに構築するなど、圧縮機やタービンなどの個別構成要素に関する最新の研究成果や計測技術も特筆すべきものがあり、実用化は十分に期待できる。1600℃級 GT (J 形) で蓄積された技術を背景にした、環境問題にも配慮した高効率 CC 発電システムの開発と実用化は現実的になりつつあり、本事業の将来性と波及効果は極めて大きい。

なお、海外競合メーカーとの競争激化のため、実用化のための技術開発を加速する必要性が感じられる。

5. 研究開発マネジメント・体制等の妥当性

各研究開発課題に対して、どの時期までにどの段階まで研究開発を進めるべきかが明確に設定されている。また、プロジェクトリーダーを中心として、各分野の専門家へ必要な研究開発の委託・共究が広範囲になされており、より高い成果を得るための配慮がなされており、研究開発計画および実施体制・運営は適切かつ妥当である。また、海外メーカーとの激しい競争により、更なる性能向上を目指した研究・開発が必至であり、それを含めた実証計画の見直しを行っていることは評価できる。

なお、実証段階において、発電に直接寄与する実証発電設備は、ガスタービン本体も含めて事業者が負担し、発電に直接関与しない 1700℃級の実証に関する研究開発と更なる高性能化を目指した要素技術研究に限定することは、予算総額の著しい増加を抑制するためには不可避な政策ではあるが、事業全体としての予算が縮小されている訳ではない。

6. 費用対効果の妥当性

海外競合メーカーとの技術開発競争を見据え、1700℃級 GT 開発の先を見通した技術開発、研究調査を行う計画であり、巨費を投入するに見合う十分な成果を我が国に及ぼすことが期待できる。また、G 型よりさらに効率の低い老朽コンベンショナルプラントとの比較となれば、更なる経済的効果が期待できる。

なお、事業の最終目標がかなり挑戦的な内容であるため、長期にわたる研究・開発期間と巨額の費用が必要となる。1600℃級 GT をはじめとする従来からの技術を有効的に援用して、少しでも費用を節減する努力が望まれる。

7. 中間評価（平成 25 年度）及びフォローアップにおける指摘事項に対する対応状況の妥当性

（１）総合科学技術会議（現、総合科学技術・イノベーション会議）指摘事項に対する対応状況

4 年間の要素技術開発期間が概ね終了し、平成 28 年度以降の事業計画が一部見直されている。大きな変更点は、海外の関連メーカーによる技術開発が急速に進行しているという背景があり、1700℃級 GT の先を見越して更なる高効率を目指した基礎技術の開発に重点が置かれた点が挙げられる。燃焼器やタービン、圧縮機など個別構成要素のバックアップ技術、大規模シミュレーションや各種センシング技術に焦点が当てられ、高度でリスクの高い要素技術開発に集中的に取り組む体制へと計画が変更されている。

一方で、実証発電設備を事業者が自前費用で建設し、補助対象から除外することで、増大する研究費を抑制することが試みられている。当該事業を継続的に実施し、競合する海外メーカーとの開発競争において優位を保っていくためには、現在の補助率を維持することが不可欠であると考えられる。

なお、H28 年度以降の予算はバックアップ技術、シミュレーションの精緻化、特殊計測技術の必要性に応じて適切に見直すべきである。また、本事業の目標の一つが 1700℃級 GT 実証機の運転であることを鑑みると、実証段階で十分な時間と予算を確保して発電・送電試験を長期にわたって継続的に行うことが必要とされる。その意味において、発電に直接関与しない 1700℃での実証に関する研究開発に補助金を限定支出することについては、検討が必要と考えられる。

(2) 産構審評価WG指摘事項に対する対応状況の妥当性

特にコメントなし。

8. 総合評価

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

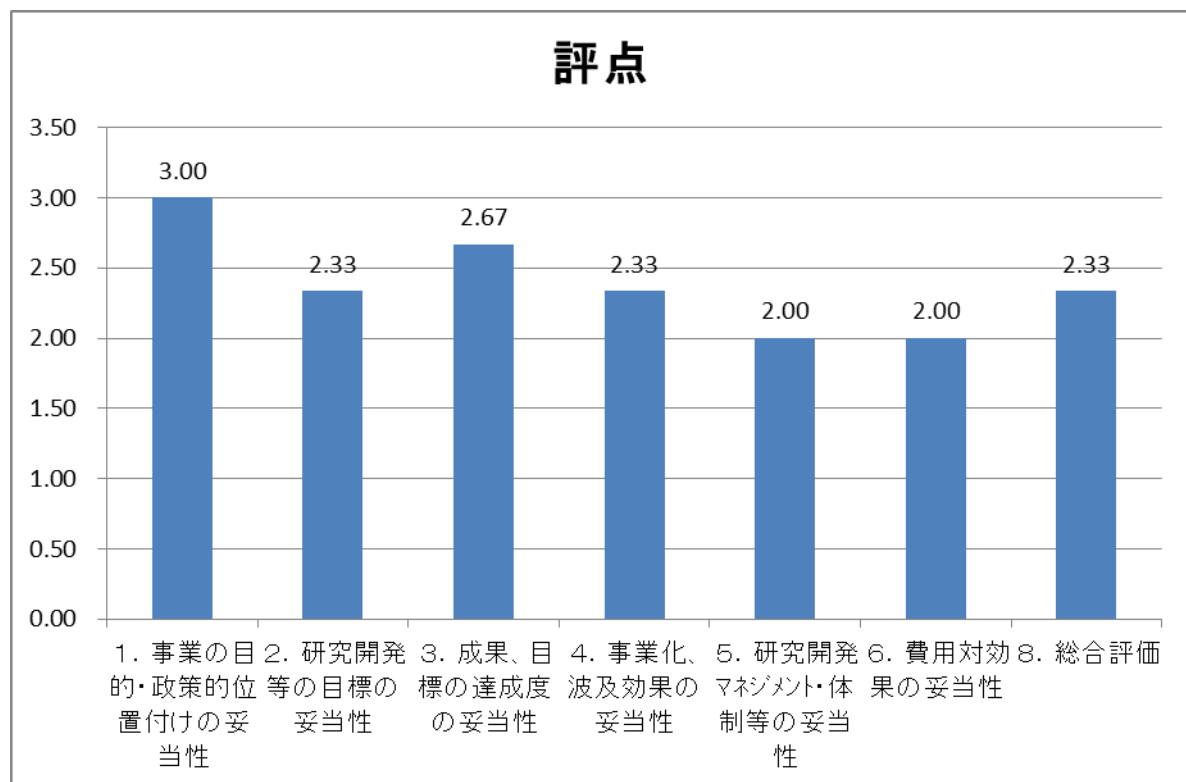
9. 今後の研究開発の方向等に関する提言

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

評点結果

高効率ガスタービン技術実証事業： A. 1700℃級ガスタービン

	評点	A 委員	B 委員	C 委員
1. 事業の目的・政策的位置付けの妥当性	3.00	3	3	3
2. 研究開発等の目標の妥当性	2.33	3	2	2
3. 成果、目標の達成度の妥当性	2.67	3	3	2
4. 事業化、波及効果の妥当性	2.33	2	3	2
5. 研究開発マネジメント・体制等の妥当性	2.00	2	2	2
6. 費用対効果の妥当性	2.00	2	2	2
8. 総合評価	2.33	2	3	2



中間評価報告書概要

プロジェクト名	高効率ガスタービン技術実証事業 B. 高湿分空気利用ガスタービン技術実証事業			
上位施策名	省エネルギーの推進			
事業担当課	資源エネルギー庁 電力基盤整備課			
<u>プロジェクトの目的・概要</u> 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。				
予算額等（補助（補助率：2/3））				（単位：千円）
開始年度	終了年度	中間評価時期	事後評価時期	事業実施主体
平成 24 年度	平成 32 年度	平成 25 年度 平成 27 年度 平成 30 年度	平成 33 年度	三菱日立パワーシステムズ等
H24FY 予算額	H25FY 予算額	H26FY 予算額	総予算額	総執行額
714,527	1,072,600	1,486,000	5,842,311	2,900,876

目標・指標及び成果・達成度

(1) 全体目標に対する成果・達成度

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

(2) 目標及び計画の変更の有無

なし

<共通指標>

論文数	特許（公開）	国際会議発表	国内会議発表
30	86	30	45

評価概要

1. 事業の目的・政策的位置付けの妥当性

高湿分ガスタービンは新規性および独創性に優れており、未知の部分が多い新しい技術であるが、研究開発の進展は技術分野に飛躍的な進歩をもたらすことが期待できる。技術の新規性や海外競合メーカーとのし烈な開発競争を鑑み、国が積極的に関与・支援することで国際競争力を高めることが不可欠である。

2. 研究開発等の目標の妥当性

世界をターゲットにした日本独自技術であり、目標は適切である。また、要素技術開発が概ね終了した現時点では、設定されていた 7 項目に及ぶ開発テーマが詳細に検討され、全ての項目で当初の目標値が達成されている。40MW 級試験装置による検証と 70MW 級実証プラントによる信頼性実証試験の 2 段階に分けられ実証を行っていく今後の計画設定も妥当であると考えられる。

なお、GT システムの長期信頼性検証は、特に新しい技術を用いた AHAT のような発電システムには必須であるが、本事業計画での実証時間で十分な基礎データが蓄積や信頼性を示すことができるかについて検討が必要と考えられる。

3. 成果、目標の達成度の妥当性

高湿分圧縮機や燃焼器に代表される各要素における個別の問題は、概ね検討され十分な成果を挙げている。得られた研究成果や新技術は、事業者の実用ガスタービンや派生システムにも応用された実績を有している。この意味においても、平成 28 年度以降の実証機試験準備は整った状態にあると考えられる。また、天然ガス需要が世界的に拡大すると共に、シェールガスをはじめとする新燃料の掘削技術が開発されているのも、本事業にとっての追い風になっている。AHAT 技術に関しては、国内外の学会から高い評価を得ており、研究成果も積極的に学会や国際会議で発表されている。3MW 検証機、40MW 試験装置ともに国内外多くのユーザが関心を持っている。

なお、高湿分であるが故に発生する各構成要素の様々な技術的課題に対して、十分な評価と対策が練られているのかが問題点として挙げられる。また、40MW 試験装置での 200 時間総合試験にて各部に損傷が発生しなかったことが、70MW 実証試験へ移行するための十分な成果といえるか、検討が必要と考えられる。さらにミドル運用を前提に設計するのであれば、ベース運用とは違う観点のシビアコンディションを想定するべきである。

4. 事業化、波及効果の妥当性

高湿分燃焼技術、高湿分翼冷却技術等の一部の技術は製品に適用されている。また、寿命を迎える火力プラントの増加に伴うリプレースという市場の拡大が予想され、新機種需要と相まって事業化に向けての見通しは十分期待できる。さらに、高速起動などの運用性が優れていると共に、機器構成がシンプルであるため建設費などの初期コストが低減できるなどの利点を有しており、従来のシステムと比較しても優位性が認められる。

なお、発電を含めた検証は行われないこととなっており、また、本ロードマップに設定された試験内容でユーザーの信頼獲得等、実用化への波及効果が得られるか、検討が必要と考えられる。

5. 研究開発マネジメント・体制等の妥当性

AHAT は世界初の新技術であるが故に、構成要素の高信頼性を獲得するための技術開発に十分時間をかけて実証試験を行うという基本方針は妥当であり、現在までほぼ計画通り着実に実行されてきている。研究体制や運営体制についても役割分担を含め、特に問題点は見受けられない。大規模かつ長期間にわたる実証試験を予定していた当初は事業予算規模も莫大であったが、本来、巨額の予算を必要としても開発すべき新技術であると考えられる。予算規模や事業期間は大幅に見直されて縮小されたが、事業の目標と商用化に向けての開発体制を変えることなく進行させる計画が提示されている。

大幅な予算削減と期間の短縮に伴う研究・開発規模の縮小や遅れ、十分な試験期間を確保できないことによる高信頼性評価の不確かさなどが懸念される。縮小された予算及び期間によって、従前の計画と比して、何がどこまで可能なかを明確にする必要がある。また、一部の機器で担当メーカーが異なるため、十分な調整がなされていると思われるが、機器納入メーカーに設計・品質管理を一任せず、全体まとめ担当が主体的に協調をとって、適切な管理を維持するよう今後も配慮すべきである。

6. 費用対効果の妥当性

産構審からの指摘を受け、早期実証開始と開発コストの圧縮を鑑み、実証期間の短縮と大幅な事業予算の見直しを行い、事業の目標変更を行うことなく、研究開発を妥当に実施する新たな計画を策定したことは高く評価できる。

期間及び予算の大幅な縮小により、AHAT 各構成要素の更なる高信頼性試験の実施規模の縮小や、実証機による運転期間の短縮、フル構成機器の相互作用を同時に検証する代わりに動特性シミュレーションで代用するなど、今後の研究開発に際して問題となるような変更がないか、検討すべきと思われる。また、コスト比較について、比較のベースのシステムを検討しつつ、AHAT 採用によるコストメリットを例示すべきと考えられる。

7. 中間評価（平成 25 年度）及びフォローアップにおける指摘事項に対する対応状況の妥当性

（１）総合科学技術会議（現、総合科学技術・イノベーション会議）指摘事項に対する対応状況の妥当性

発電規模に対する開発コストの圧縮については、今回の見直しにより大幅に改善されている。また、実証機の出力を限定する試みや、高信頼性機能検証を２段階で実施するなどの新たな対策が検討されており評価に値する。また、発電事業に関する具体的な数値目標を設定することも検討されている。

なお、事業予算総額は大幅に削減されたにもかかわらず、事業の目標に変更はなく、研究開発の妥当性も確保されているとの主張であるが、実証機システム構成の２段階実証への変更や、発電機の代わりに負荷圧縮機で動力回収を行うため売電事業が期待できないこと、実証機運転期間を計画の２年から１年間に短縮し、しかも約 1000 時間程度しか確保できないことなど、多くの問題点が指摘できる。AHAT は新しく革新的な技術であるが故に、長い検証時間と構成要素の信頼性向上に向けた多くの研究・開発が必要であるにもかかわらず、期間の大幅な短縮が行われたことは大きな問題になるのではないかと懸念される。

（２）産構審評価WG指摘事項に対する対応状況の妥当性

AHAT の特殊性や新規性、中小容量 GT の世界的な状況を鑑みると、補助率を削減して国際競争力を失わせることは我が国にとって大きな問題となる。売電による収入が見込めない状況下において、検証規模をできる範囲で縮小して費用総額の大幅削減と、早期の市場投入を指向した実証期間の大幅削減を指向した努力については評価できる。

なお、早期の市場投入を指向する為に実証期間を大幅に短縮する試みは、単に AHAT システム全体の長期信頼性を失わせるだけではなく、各構成要素の最新技術を研究・開発する貴重な環境を損なう結果にもなりかねない。国際競争力の強化を考えて市場投入を急ぐ一方で、技術開発の飛躍的な進歩によって新たな小中容量 GT 市場を獲得する戦略を検討すべきである。AHAT システムの有する経済性、

耐環境性能、高効率、高い負荷変化率、低い建設コストなどの利点を実証試験により評価し、事業化に向けた具体案を検討することが急務である。また、信頼性や運用性の実証試験において、補助金削減などの要因により十分な試験内容を実施しないまま市場へ投入すれば、ユーザーが AHAT を安心して採用できなくなり、結果的に国の政策に沿った環境対策効果を得られなくなることが懸念される。早期市場投入や試験に必要な燃料費等を低減するという趣旨は理解できるが、実証機運転時間について、1,000 時間で長期信頼性を本当に証明できるのか検討が必要と考えられる。さらに、コスト面および試験環境の理由で、発電機ではなく負荷圧縮機を用いて試験した場合、負荷追従性が優れていることについて、説得力をもって説明できるのか検討が必要と考えられる。

8. 総合評価

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

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

9. 今後の研究開発の方向等に関する提言

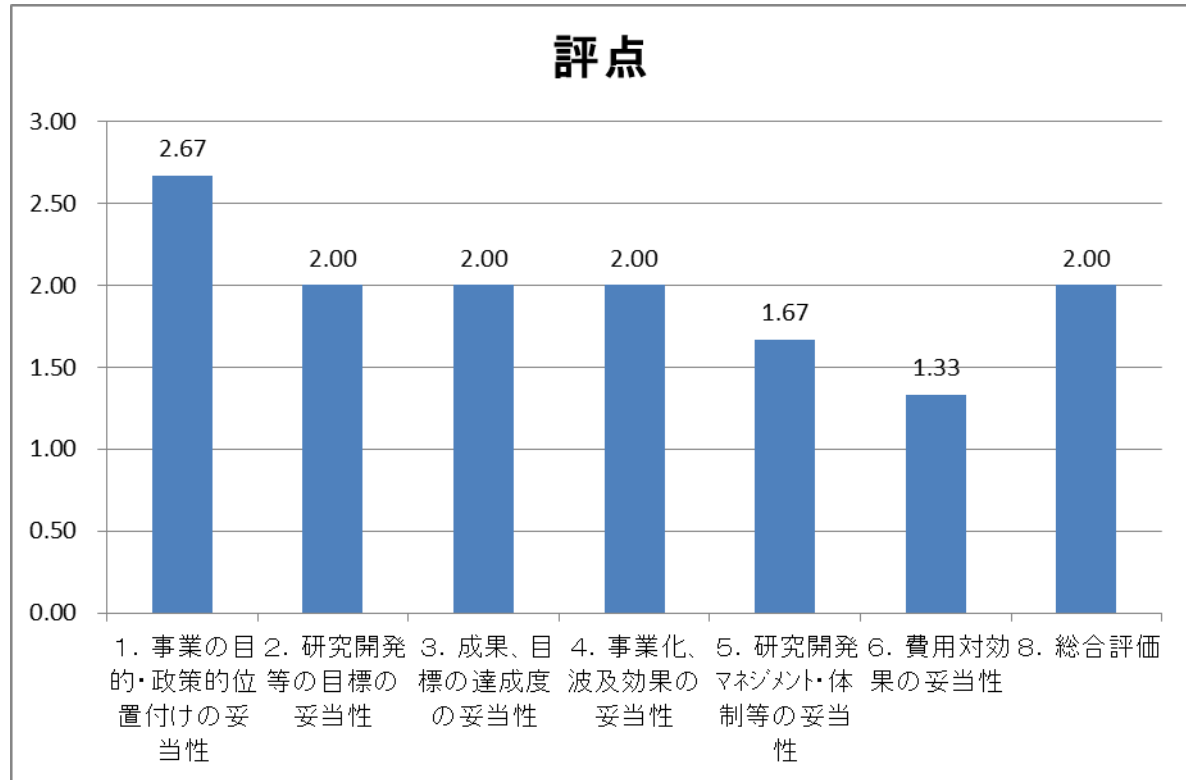
- ・事業総額と研究開発の大幅な変更について、その妥当性に大きな検討の余地があると考えられる。開発コストの圧縮は当然の方向性としても、実証完成年度の 3 年間前倒しと、実証機運転時間の大幅な削減は、本事業の商用化に向けた今後の計画にどのような影響を及ぼすか、十分な検討が必要であるとする。また、各構成要素の更なる技術課題克服に向けた継続的な検討を実施していく具体的な体制の構築と計画策定が必要であると考えられる。
- ・事業総額の大幅な縮小と研究期間の短縮にも拘わらず、事業の目標に変更はなく、従来通りの研究開発の妥当性も確保するという説明は説得力に欠ける。この事業規模での事業遂行が可能であるのならば、従来の予算総額と試験期間の算出根拠に大いに疑義が生じる。事業の縮小に伴い、今後問題となる可能性を有している点の早急な洗い出しと追加検討の必要がある。
- ・信頼性や運用性の実証試験において、補助金削減などの要因により十分な試験内容を実施しないまま市場へ投入すれば、ユーザーが AHAT を安心して採用できなくなり、結果的に国の政策に沿った

環境対策効果を得られなくなることが懸念される。早期市場投入や試験に必要な燃料費等を低減するという趣旨は理解できるが、実証機運転時間について、1,000時間で長期信頼性を本当に証明できるのか検討が必要と考えられる。さらに、コスト面および試験環境の理由で、発電機ではなく負荷圧縮機を用いて試験した場合、負荷追従性が優れていることについて、説得力をもって説明できるのか検討が必要と考えられる。

評点結果

(高効率ガスタービン技術実証事業: B. 高湿分空気利用ガスタービン)

	評点	A 委員	B 委員	C 委員
1. 事業の目的・政策的位置付けの妥当性	2.67	2	3	3
2. 研究開発等の目標の妥当性	2.00	2	2	2
3. 成果、目標の達成度の妥当性	2.00	2	2	2
4. 事業化、波及効果の妥当性	2.00	2	2	2
5. 研究開発マネジメント・体制等の妥当性	1.67	2	1	2
6. 費用対効果の妥当性	1.33	2	1	1
8. 総合評価	2.00	2	2	2



第 1 章 評価の実施方法

第1章 評価の実施方法

本プロジェクト評価は、「経済産業省技術評価指針」（平成26年4月改定、以下「評価指針」という。）に基づき、以下のとおり行われた。

1. 評価目的

評価指針においては、評価の基本的考え方として、評価実施する目的として

- (1) より良い政策・施策への反映
- (2) より効率的・効果的な研究開発の実施
- (3) 国民への技術に関する施策・事業等の開示
- (4) 資源の重点的・効率的配分への反映

を定めるとともに、評価の実施にあたっては、

- (1) 透明性の確保
- (2) 中立性の確保
- (3) 継続性の確保
- (4) 実効性の確保

を基本理念としている。

プロジェクト評価とは、評価指針における評価類型の一つとして位置付けられ、プロジェクトそのものについて、同評価指針に基づき、事業の目的・政策的位置付けの妥当性、研究開発等の目標の妥当性、成果、目標の達成度の妥当性、事業化、波及効果についての妥当性、研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等の妥当性の評価項目について、評価を実施するものである。

その評価結果は、本プロジェクトの実施、運営等の改善や技術開発の効果、効率性の改善、更には予算等の資源配分に反映させることになるものである。

2. 評価者

評価を実施するにあたり、評価指針に定められた「評価を行う場合には、被評価者に直接利害を有しない中立的な者である外部評価者の導入等により、中立性の確保に努めること」との規定に基づき、外部の有識者・専門家で構成する検討会を設置し、評価を行うこととした。

これに基づき、評価検討会を設置し、プロジェクトの目的や研究内容に即

した専門家や経済・社会ニーズについて指摘できる有識者等から評価検討会委員名簿にある3名が選任された。

なお、本評価検討会の事務局については、指針に基づき経済産業省〇〇課が担当した。

3. 評価対象

高効率ガスタービン技術実証事業（実施期間：平成24年度から平成32年度）を評価対象として、研究開発実施者（三菱重工業株式会社、三菱日立パワーシステムズ株式会社）から提出されたプロジェクトの内容・成果等に関する資料及び説明に基づき評価した。

4. 評価方法

第1回評価検討会においては、研究開発実施者からの資料提供、説明及び質疑応答、並びに委員による意見交換が行われた。

第2回評価検討会においては、それらを踏まえて「プロジェクト評価における標準的評価項目・評価基準」、今後の研究開発の方向等に関する提言等及び要素技術について評価を実施し、併せて4段階評点法による評価を行い、評価報告書(案)を審議、確定した。

また、評価の透明性の確保の観点から、知的財産保護、個人情報で支障が生じると認められる場合等を除き、評価検討会を公開として実施した。

5. プロジェクト評価における標準的な評価項目・評価基準

評価検討会においては、経済産業省産業技術環境局技術評価室において平成25年4月に策定した「経済産業省技術評価指針に基づく標準的評価項目・評価基準について」のプロジェクト評価（中間・事後評価）に沿った評価項目・評価基準とした。

1. 事業の目的・政策的位置付けの妥当性

（1）事業目的は妥当で、政策的位置付けは明確か。

- ・事業の政策的意義（上位の施策との関連付け等）
- ・事業の科学的・技術的意義（新規性・先進性・独創性・革新性・先導性等）
- ・社会的・経済的意義（実用性等）

(2) 国の事業として妥当であるか、国の関与が必要とされる事業か。

- ・ 国民や社会のニーズに合っているか。
- ・ 官民の役割分担は適切か。

2. 研究開発等の目標の妥当性

(1) 研究開発等の目標は適切かつ妥当か。

- ・ 目的達成のために具体的かつ明確な研究開発等の目標及び目標水準を設定しているか。特に、中間評価の場合、中間評価時点で、達成すべき水準（基準値）が設定されているか。
- ・ 目標達成度を測定・判断するための適切な指標が設定されているか。

3. 成果、目標の達成度の妥当性

(1) 成果は妥当か。

- ・ 得られた成果は何か。
- ・ 設定された目標以外に得られた成果はあるか。
- ・ 共通指標である、論文の発表、特許の出願、国際標準の形成、プロトタイプの作製等があったか。

(2) 目標の達成度は妥当か。

- ・ 設定された目標の達成度（指標により測定し、中間及び事後評価時点の達成すべき水準（基準値）との比較）はどうか。

4. 事業化、波及効果についての妥当性

(1) 事業化については妥当か。

- ・ 事業化の見通し（事業化に向けてのシナリオ、事業化に関する問題点及び解決方策の明確化等）は立っているか。

(2) 波及効果は妥当か。

- ・ 成果に基づいた波及効果を生じたか、期待できるか。
- ・ 当初想定していなかった波及効果を生じたか、期待できるか。

5. 研究開発マネジメント・体制等の妥当性

(1) 研究開発計画は適切かつ妥当か。

- ・ 事業の目標を達成するために本計画は適切であったか（想定された課題への対応の妥当性）。
- ・ 採択スケジュール等は妥当であったか。

- ・選別過程は適切であったか。
- ・採択された実施者は妥当であったか。

(2) 研究開発実施者の実施体制・運営は適切かつ妥当か。

- ・適切な研究開発チーム構成での実施体制になっているか、いたか。
- ・全体を統括するプロジェクトリーダー等が選任され、十分に活躍できる環境が整備されているか、いたか。
- ・目標達成及び効率的実施のために必要な、実施者間の連携／競争が十分に行われる体制となっているか、いたか。
- ・成果の利用主体に対して、成果を普及し関与を求める取組を積極的に実施しているか、いたか。

(3) 資金配分は妥当か。

- ・資金の過不足はなかったか。
- ・資金の内部配分は妥当か。

(4) 変化への対応は妥当か。

- ・社会経済情勢等周辺の状況変化に柔軟に対応しているか（新たな課題への対応の妥当性）。
- ・代替手段との比較を適切に行ったか。

6. 費用対効果の妥当性

(1) 費用対効果等は妥当か。

- ・投入された資源量に見合った効果が生じたか、期待できるか。
- ・必要な効果がより少ない資源量で得られるものが他にないか。

7. 事前評価及びフォローアップにおける指摘事項に対する対応状況の妥当

- (1) 総合科学技術会議（現、総合科学・イノベーション会議）指摘事項に対する対応状況は妥当か。
- (2) 産構審評価評価WGの指摘事項に対する対応状況は適切か。

8. 総合評価

9. 今後の研究開発の方向等に関する提言

第2章 プロジェクトの概要

A. 1700℃級ガスタービン技術実証事業

1. 事業の目的・政策的位置付け

1-1 事業目的

本事業は、我が国の電源構成の約9割を占める火力発電の高効率化を図り、エネルギーセキュリティの確保及び地球環境問題双方に対応すべく、世界をリードする高効率ガスタービンの実用化に向けた技術開発を実施する。

高効率天然ガス火力発電は、他の化石燃料に比べて環境負荷が少ない天然ガスを燃料とし、ガスタービンと蒸気タービンの双方を利用する複合発電技術に代表される。ガスタービン技術の性能向上により、発電効率が現状の1500℃級複合発電の52%程度、さらに運用が始まった最新の1600℃級複合発電の54%レベルから57%（送電端、HHV基準）まで向上すれば、二酸化炭素排出量はさらに約6%の削減が可能である。

（1）事業の科学的・技術的意義

本事業は、複合発電の熱サイクル温度を現状の1600℃級から世界初の1700℃級に高める。これにより、高温化でリードしている我が国のリードを確保する。前例がない未知の領域での技術開発となるため、燃焼技術、冷却技術、遮熱コーティング、空力技術などで、独創性の高い新技術の開発が必要となる。また、排熱再循環システムを用いた燃焼器については、排ガス中のCO₂濃度が約8%となり、CO₂回収が効率的に実施可能な濃度レベルとなる。これが可能となれば、元々CO₂排出原単位が一般の火力発電の中で最も小さい複合発電のCO₂排出量（発電効率52%で、0.34kgCO₂/kWh）を約0.03kgCO₂/kWhと現状比の約1/10以下に出来る可能性がある。

さらに1700℃級ガスタービンが実現できれば、石炭ガス化発電IGCCにも応用可能であり、1700℃級IGCCが実現可能となる。このほかに、燃料電池とガスタービンの組合せによるハイブリッドサイクルや、原子力発電の夜間電力を利用し手製造した水素燃料を用いた複合発電も可能となる。これらは、エネルギーセキュリティ上重要な将来技術であるが、多様な燃料を使用可能な高温ガスタービンは、これらの革新的な技術に実用化において中核となる技術である。

（2）社会的・科学的意義

（CO₂削減効果）

地球温暖化問題に対応するCO₂削減効果は、前述のとおりである。

（高温化技術の波及効果）

超高温・1万Gを超える高遠心力の厳しい条件下で1年以上の連続運用が求められる発電用ガスタービンは、ロケットエンジンなどと同様、あらゆる機械製品の中でも最も技術の裾野が広く、且つ、先進性の高い機械のうちのひとつであり、高い完成度が求められる。従って、燃焼、伝熱、材料、空力など複数の分野に跨る本プロジェクトの波及効果は非常に大きい。特に高温化技術は科学技術的に、その実用的な目標を与えるという観点でも重要である。

1-2 政策的位置付け

1-2-1 低炭素社会づくり行動計画（2008年7月閣議決定）

世界の温室効果ガスの排出を2050年までに半減するという長期目標を達成するため、革新的な技術開発の重要性が掲げられており、2008年7月に閣議決定された「低炭素社会づくり行動計画」において、2050年までに二酸化炭素の排出を現状から60～80%削減するという目標が掲げられている。このような2050年に向けた削減努力に対して、経済産業省では「Cool Earth－エネルギー革新技术計画」を設定し、「高効率天然ガス火力発電」を含む21分野の技術の開発による目標達成を目指している。これを受け、本計画では、技術開発ロードマップの着実な実施が必要とされている。

1-2-2 エネルギー基本計画（2010年6月18日閣議決定）

また、エネルギー基本計画(2010年6月18日閣議決定)において、「その他の火力発電については、新增設・更新の際には、原則としてその時点における最先端の効率を有する設備の導入を目指す。」と謳われており、1700℃級ガスタービンに代表される超高温高効率ガスタービンは、現状最も高効率の火力発電技術として、リプレイスにおける大容量機のエネルギー効率向上に寄与できる技術である。

1-2-3 日本再興戦略（2013年6月14日閣議決定）

「日本再興戦略 -JAPAN is BACK-」(2013年6月14日閣議決定)において、成長戦略を実行・実現するものとして、政権を挙げて優先的に取り組むべき施策を厳選し、3つのアクションプランが打ち出された。

このうちの、「戦略市場創造プラン」は、課題先進国としての現状を攻めの姿勢で捉え、社会課題を世界に先駆けて解決することで新たな成長分野を切り開こうとする、未来を睨んだ中長期戦略である。プランの実行により、課題克服による不安の解消と、成長産業の育成の同時達成を目指すとされている。

より具体的には、エネルギー制約などの社会課題は、今後確実に巨大なグローバル市場を形成。日本はこれら課題の先進国であり、高度な技術力で市場を獲得する潜在力を有するが、

ー規制制度や慣習に縛られていること、
ービジネスを展開するインフラが未整備であること、
などにより市場形成に至っていない。世界でも最先端の研究開発でしのぎを削っている分野での取組の遅れは、容易に取り戻すことが困難である。

このため、世界や我が国が直面している社会課題のうち、「日本が国際的に強み」を持ち、「グローバル市場の成長が期待」でき、「一定の戦略分野が見込めるテーマ」として、4テーマのうちの一つとして、「クリーンかつ経済的なエネルギー需給の実現」を選定し、集中改革期間経過後の「2020 年」、中期的な政策展開の観点から「2030 年」を時間軸とし、研究開発から規制緩和に至るまで政策資源を一気通貫で集中投入するための「ロードマップ」を策定することとなった。

(1) 2030 年の在るべき姿

アジアを始めとする新興国での需要の増大、シェールガス革命を経た供給構造の変化、世界及び各地で高まる環境負荷など、変わりゆくエネルギー情勢の中で、低廉な価格で必要なときに必要な量のクリーンなエネルギーを安心して利用できる社会を実現する。また、時間・場所の制限を越え、エネルギー需給の無駄を省き、エネルギーを余すことなく徹底的に活用することにより、環境負荷を減らし、日本全体で最適なエネルギー利用を実現する。

次の3つの社会像を実現したエネルギー最先進国を目指す。

- ① クリーンで経済的なエネルギーが供給される社会
- ② 競争を通じてエネルギーの効率的な流通が実現する社会
- ③ エネルギーを賢く消費する社会

このため、今後取り組むエネルギー構造改革の中で、新たに生まれる技術や事業の芽を着実に育て、大きく発展させることにより、確実に果実を生み、成長を支える環境・エネルギー産業を創造するとともに、多様・双方向・ネットワーク化によるクリーン・低廉なエネルギー社会の構築を目指す。

また、深刻化する地球環境問題の解決にも積極的に貢献していくため、我が国の優れた環境・エネルギー技術の展開を通じて、新興国を始め、世界全体で急速に拡大する環境・エネルギー関連市場を獲得していく。

(2) 個別の社会像と実現に向けた取組

- ① クリーンで経済的なエネルギーが供給される社会

I) 社会像と現状の問題点

エネルギー源の供給途絶や価格の乱高下等、予期せぬエネルギー情勢の変化があったとしても、国民や企業が、いつもと変わらず、低廉な価格で必要な時に必要な量のクリーンなエネルギーを安心して利用できる「エネルギーが身近

で使いやすい環境」を目指す。

一方、東日本大震災以降、老朽火力のたき増し等により、火力発電の燃料コストが大幅に増加している。

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

高効率火力発電を徹底活用し、エネルギーコストを低減させる。火力電源の新增設・リプレースを原則入札にして効率性・透明性を高めるとともに、環境アセスメントの明確化・迅速化を図り、民間企業が高効率な火力発電（石炭・LNG）に円滑に投資できる環境を整備する。同時に、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。

○火力発電の技術開発支援

LNG 火力について、2020 年頃までに 1700 度級ガスタービンの実用化を目指す（発電効率：現状 52%程度→改善後 57%程度）。

1－2－4 総合科学技術会議 環境エネルギー技術革新計画

また、総合科学技術会議の環境エネルギー技術革新計画において、高効率天然ガス発電技術のロードマップが示された(図 1－1 参照)。この中でも 2020 年をターゲットに、57%の発電効率を目指すことが記載されている。



図1-1 技術ロードマップ（高効率天然ガス発電）

1-3 国の関与の必要性

火力発電の高効率化のためには、燃焼、材料等の革新的な技術開発が必要で産学の連携が必要であるが、研究開発成果の商業性や投資回収可能性に係るリスクが大きく、民間企業のみではできない研究開発分野である。実用化まで長期のリードタイムと多大な研究開発投資を必要とする技術開発を推進するには、官民がその方向性を共有する事が不可欠である(図1-2参照)。

（1）国家エネルギー戦略における位置づけと開発競争のスピード

各国家において、エネルギーセキュリティ・経済性・環境問題の解決の全てに深く関係するため、その先進性・困難性にかかわらず、ガスタービンの高温化はスピードが非常に速く、国家間の開発競争は熾烈を極める。発電用ガスタービンは、1980年代初頭の複合発電システムの導入以降、年間約20℃という早いペースで燃焼温度の高温化が進み、熱効率が改善してきた。熾烈な開発競争の中、高温化に対して技術的に開発が可能な国は、米・独・日の3カ国に絞られてつつある(図1-3参照)。



図1-2 発電用大型ガスタービンの特徴と、国の関与の必要性

(2) 本技術分野における我が国の優位性

我が国は、世界に先駆けて 1500℃級のガスタービンを実用化し、発電効率 52% を達成しており、本分野をリードしている。しかし、世界市場でのシェアは欧米メーカーが大きく、積極的な技術開発を進めている中で、我が国の優位性は予断を許さない状況にある。

したがって、厳しい国際競争の中でわが国のリードを保つためには、一刻も早く革新的な技術を実用化して実機に展開する必要がある。このため、1700℃級ガスタービンの開発に取り組むことにより、発電効率 57%の実用化を目指し、革新的な技術開発を推進する必要がある。

（３）米国 DOE 支援による技術開発

1700℃級ガスタービンの開発は、石炭ガス化複合発電等、他の発電技術にも適用可能な重要技術であり、米国においてもエネルギー省（DOE）の High Efficiency Engines and Turbines Programs により国家的な支援の下で技術開発が進められている(図 1－3 参照)。

我が国においても、産学官の連携の下、着実な技術開発により早期の実用化、実証運転による信頼性の確立等を図ることが必要である。

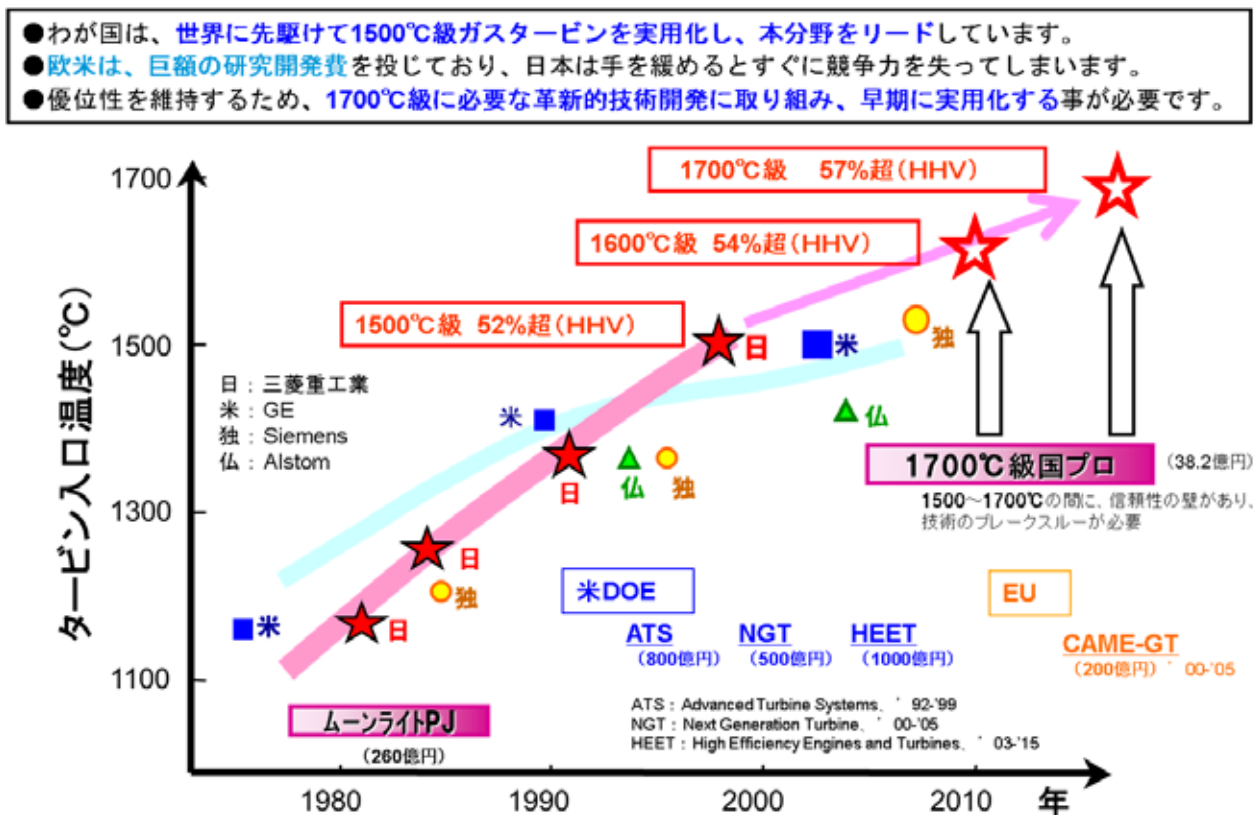


図 1-3 ガスタービンの高温化と各国の開発競争

(4) 補助率の妥当性

本事業は、4年間の要素技術開発（技術開発事前技術検証）とそれを基にした5年間の実証試験の計9年間の計画となっている。

4年間の要素技術開発（技術開発事前技術検証）では、更なる高性能化を狙う（目標を従来の56%⇒57%に1ポイント向上）ために、

- 主要コンポーネントの先端要素技術のさらなる高度化
- を狙う。これに加え、以下の要素技術開発が必要となる（図1－4参照）。
- 主要コンポーネント以外で、設計に必要な先端要素技術
 - 製造に先立ち準備しておくべき、先端製造技術や検査技術
 - 試運転時にガスタービン内部の温度や振動を計測するための特殊計測技術

これらは、いずれも最先端の要素技術であり、実用化のリスクも高いため、産学の連携が必要となる。また、開発には数年間のリードタイムが必要であり、信頼性確保のためには、試行錯誤が必要となるため、最初の4年間の要素技術開発に対しては、2／3の補助率が妥当である。

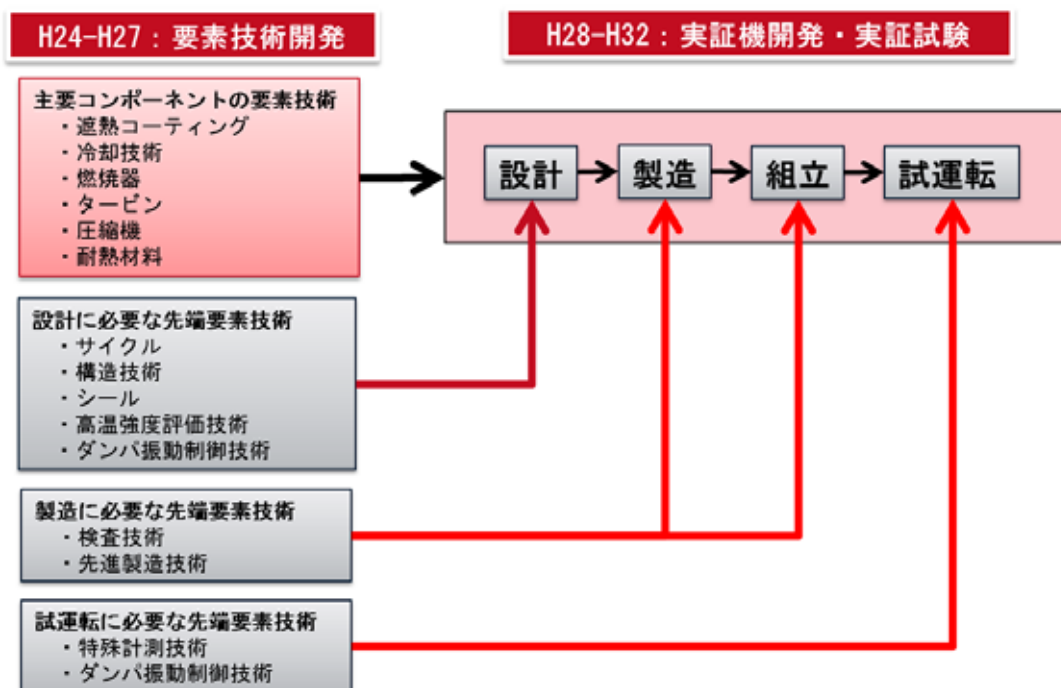


図1－4 要素技術開発と実証機開発・実証運転の関係

2. 研究開発目標

2-1 研究開発目標

2-1-1 全体の目標設定

電力産業の保守高度化とリプレイス需要にあった大容量機（コンバインド出力 40 万 kW 以上）の高効率化を目指し、目標送電端効率 57%以上（HHV：高位発熱量基準）を達成するために必要な、1700℃級ガスタービンの技術開発を行い、実証試験により、実用化を図る。

H24 年度以降の事業では、技術開発の進展や 1600℃級ガスタービンの実績を通して、より効率を高められる可能性が高まったため、目標値を従前の 56%から 57%に改めるに至った。57%は、2020 年市場導入時に世界最高効率で、海外メーカーに確実に先行できる発電効率レベルである。

そのため、1700℃級ガスタービンの実用化に必要な以下の要素技術開発（事前技術検証）を行い、システムの成立性をシミュレーション等により確認する。

- ・低 NO_x 燃焼器の開発
- ・高性能冷却システムの開発
- ・低熱伝導率遮熱コーティング（TBC：Thermal Barrier Coating）の開発
- ・高負荷・高性能タービンの開発
- ・高圧力比高性能圧縮機の開発
- ・超耐熱材料の開発

中間評価時点での目標は以下である。（表 2-1）

表 2-1 全体の目標

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

2-1-2 個別要素技術の目標設定

個別要素技術の目標を表2-2に示す。

表2-2 個別要素技術の目標

要素技術	目標・指標	目標・指標 (H27/6 評価時点)	設定理由・根拠等
①低熱伝導率遮熱コーティング	遮熱性を+30%向上 (従来: 1600℃級ガスタービン)	・厚さ 0.5mm 以上で試作し、熱疲労寿命が従来並みであることを確認する。 ・エロージョン試験装置製作および試験実施により耐久性 50% 向上。 ・大容量ガンと長溶射距離条件での厚膜 DVC (Dense Vertical Crack; 緻密縦割れ膜)成膜技術を開発する。	【超高温での遮熱性の大幅向上と、耐久性の両立】 ・遮熱コーティング厚 0.3mm (従来) ⇒0.5mm 以上を狙う。一方で、熱疲労寿命は従来並みを確保する必要がある。 【エロージョン/コロージョンの発生防止】 ・発電用ガスタービン特有のエロージョン/コロージョンに対し、耐久性向上 (従来比減耗量 Δ 50%) を実現する。 【大型 3 次元翼の高品質確保】 ・航空用 GT の 3 倍以上の大型翼で、溶射ガンの近接距離の制約が大きく、翼の熱変形も大きい条件下で、高品質な被膜を実現する溶射技術 (または蒸着技術) を開発する。
②高性能冷却システム	冷却空気量を 10%低減 (従来: 1600℃級ガスタービン)	・実機燃焼器を上流に設置した状態でのタービン翼列の気流・伝熱試験による端壁面での詳細データ取得。	【冷却空気流量の大幅削減】 ・ガス温度を約 100℃高めつつ、従来より少ない冷却空気流量で、高温部品の金属表面/コーティング表面の温度レベルを、従来並みに抑える冷却構造を開発する。 【複雑な現象の実験データ取得とシミュレーション技術の開発】 ・燃焼器下流の強い乱れの下で、翼表面近傍での高温ガス流れの挙動や、伝熱への影響を予測可能なシミュレーション技術を開発する。 局所流速精度 ±10%以内

			熱伝達率精度 ±30%以内 ・冷却翼の内部冷却通路内の流れと、翼外部の高温ガス流れの連成効果を考慮し、最大限の冷却効果を得る伝熱評価/冷却設計技術を開発する。 圧力予測精度 ±10%以内
③非定常性制御燃焼技術	NO_x 40ppm（排ガス再循環有り） （従前の目標は 50ppm） 50ppm（排ガス再循環無し）	・排ガス再循環有の条件で、NO_x 40ppm 以下を確認した。 ・レーザーによる気流計測による燃焼器内速度分布データの取得。 ・レーザー計測による実機燃焼器形態での火炎形状の把握。 ・火炎形状と圧力変動計測を同時計測し、燃焼を不安定にする領域を特定する。 ・燃焼振動予測精度の向上 ・燃料多様化技術の開発	【排ガス再循環を最小限として、超高温での低 NO_x 化を実現】 ・排ガス再循環を最小限（従来 30%⇒5%～0%）とした条件で、NO_x 50ppm を達成する燃焼制御技術を開発する。 【超高温での不安定燃焼発生防止】 ・サイクルの高圧力比化に伴い燃焼用空気温度が高くなる（従来 450℃⇒500℃程度）場合の、燃料の自己着火や逆火などの発生防止。 【燃焼振動の発生メカニズムの理解と発生防止】 ・燃焼振動現象のメカニズムの解明と、評価技術の開発を行う。 ・車室や、流体/燃焼の影響を考慮した音響特性のシミュレーション技術を開発する。 【燃料多様化技術】 ・超高温燃焼で顕著となる燃料成分変化の影響を把握するとともに、油燃料も使用可能な燃料ノズルを開発する。
④超高性能タービン	一軸タービンで、効率 92%以上 （従前の目標は 91%以上）	・高負荷タービン翼列の成立性を解析で確認する。 ・高速回転試験	【超高温・高負荷条件での高効率の実現】 ・従来並みの 4 段もしくは 5 段で、目標効率 92%を達成する空力設計技術を開発する。

		装置により、排気ディフューザの改良効果として、排気の流体損失 50%低減を確認する。 ・可視化試験により、ストラットとの干渉を把握する。 ・モデルタービン試験データによる、動翼-静翼間の翼列干渉効果による励振力の評価メカニズムの考察	【排気損失低減】 ・ガスタービン出口から排熱回収ボイラまでの流体損失を最小とするディフューザコンセプトを開発する。 圧力損失を従来比Δ50% 【シール空気量を低減】 ・高温ガスの混入を防ぎつつ、従来より 10%以上シール空気を低減する流動制御技術を開発する。 【超高負荷での励振力低減】 ・タービン翼に加わる流体変動力が数 10%大きくなるため、励振メカニズムを解明し、励振力の低減を図る。従来比Δ10%。
⑤境界層制御高性能圧縮機	一軸圧縮機で、圧力比約 30 効率 90%以上 (従前の目標は 89%以上)	・モデル圧縮機試験により、前方段の負荷を約 10%高めた条件で、段効率+1%向上を確認する。 ・中後方段に対し、モデル圧縮機試験により、多段条件での動翼チップクリアランス流れデータを取得・評価する。 ・多段モデル圧縮機試験装置の製作・組立・試験を実施する。	【一軸圧縮機で高圧力比 30 程度の高効率を実現】 ・発電用一軸 15 段程度で、圧力比約 30 の高圧力比を実現する。 ・高圧力比・多段条件での損失発生メカニズムを考察し、最適な境界層コントロールなどにより 3 次元翼形状を開発し、損失を低減する。 効率 90%以上 【一軸・高圧力比圧縮機の安定な起動特性の確保】 ・従来に比べ、起動時に旋回失速やサージなどの不安定事象が発生しやすい。シミュレーション技術の開発適用により、安定な起動特性を実現する。
⑥超高性	発電効率 57%	・発電効率 57%	【エクセルギ分析による効率最大

能サイクル	以上（高位発熱量基準、送電端）を達成可能なシステム構成を考案する。 （従前の目標は56%以上）	以上のサイクルを実現するための、エクセルギ分析・評価をし、効率向上案の立案・評価	化】 ・エクセルギ理論を活用した新しい視点でのプラント効率最大化技術を開発する。 ・2020年時点で、欧米他社を確実にリードできる57%を目標とする。 【超高性能サイクル最適化】 ・現状世界最高の1600℃級ガスタービンのデータを活用して、超高性能サイクルを実現する。
⑦高機能構造技術	クリアランス周方向偏差1.0mm以下	・構造コンセプトの比較検討 ・1600℃級ガスタービンにおける詳細クリアランスデータを取得する。 ・圧縮機ロータの熱応答性30%以上向上する構造の計画	【超高温構造の熱変形の制御】 ・回転部と静止部の隙間（クリアランス）を、直径4m以上の車室において、周方向偏差が殆どない状態（1.0mm以下）で制御する技術を開発する。 ・半割れ構造の車室の変形制御技術を開発する。 周方向偏差1.0mm以下 ・過渡運転時のピンチポイントを無くし、定格運転時のクリアランスを低減させる。
⑧高性能シール・軸受	・従来ラビリンスシールに比べもれ量を1/3に低減 ・シール空気量10%以上低減	・リーフシールの適用に向けた基礎試験データ取得 ・直潤2パッド軸受の採用による軸受損失40%低減	【大変形追従高性能シールの開発】 ・従来は適用が難しいとされていた大変形部に採用可能な、大変形追従型高性能シール技術を開発する。 【高性能軸受の開発】 ・従来軸受から、新型軸受に変更することで、軸受損失を低減させる。
⑨先進製造技術	・長穴加工L/D>250（従前の目標L/D>200） ・孔位置誤差	・長穴加工L/D>250 ・溶接変形の20%以上低減 ・高強度の中	【タービン長翼の細部を冷却する長穴加工技術】 ・タービン長翼の前縁/後縁のような薄肉部を冷却可能な長穴加工を高精度（1.0mm以下）で可能とす

	1.0mm 以下 ・溶接時の変形 50%以上低減 ・鋳造歩留り 90%以上	子・鋳型を製作し、鋳型強度、鋳造性の確認 ・3D 造形装置により、GT 部品の Additive Manufacturing 技術を開発する。 ・高速製造技術開発（タービンディスク加工・組立時の精度向上と工程短縮）	る製造技術を開発する。 【溶接時の変形低減技術】 ・航空用エンジンの 3 倍以上の大きさがあり、溶接時の変形がガスタービン組立時の各部隙間の原因となっている。溶接変形の予測可能なシミュレーション技術を開発し、変形低減する溶接施工法を開発する。 変形を従来比 50%以上低減 【精密鋳造技術の品質確保】 ・大型の精密鋳造翼の形状精度を確保するために、中子（セラミクスコア）や鋳型の強度を向上するために、新しい素材を探索・開発する。 ・従来に比べ複雑かつ大型の精密鋳造翼では、鋳造条件のコントロールが難しくなるために、鋳造欠陥や強度不足が発生しやすくなる。品質確保のためにシミュレーション技術を駆使して、量産可能なレベルに鋳造技術を高度化する。 【3D 造形】 ・従来、精密鋳造で実現できなかった冷却構造や、複雑な溶接組立構造の燃焼器ノズルを製造する。 【高速製造技術】 ・組立時のボルト締め付けバラつきなどによる当たりの面変形や芯ずれを低減し、高精度かつ高品質を実現する。
⑩超高温強度評価技術	方向凝固翼の強度評価手法の構築	・高温域での設計に向けた材料データの取得 ・超高温域長時	【方向凝固翼の強度評価技術の確立】 ・超高温ガスタービンの冷却翼に用いられる方向凝固翼（単結晶、

		間使用後の健全性確認のための材料データ取得に着手	一方向凝固翼)では、設計応力が高く、結晶方位の局所応力への影響などを無視できなくなる。 ・クリティカル部位(フィルム孔回りや形状の変化が大きい部分)の高温強度評価技術については、一般的な評価手法では十分な評価ができない。このため、設計/運用条件や製造方法などを考慮した総合的な評価手法が必要である。
⑪特殊計測技術	・高温部計測センサーの耐用時間 100hr 以上 ・現地データの遠隔監視	・高温での動翼振動計測の開発と実機計測 ・高温での動翼チップクリアランス計測準備 ・現地データの遠隔監視システムの開発	【特殊計測用センサーの開発】 ・超高温ガスタービンでは、従来に比べ高温/高圧/高流速であり、試運転時に必要不可欠な以下の計測技術・センサーは、現状のままでは使用できない。 ・タービン翼の表面メタル温度計測(放射温度計) 実適用済み ・クリアランス計測 ・動翼振動計測 それぞれが実機で使用可能なレベルの信頼性を確保する技術開発を行う。 【大規模データ処理技術】 実機での大量な運転データを遠隔でリアルタイムに確認・評価を可能とする。
⑫高精度・高機能検査技術	・翼内面の複雑形状部の欠陥検知 0.5mm 以下	・センサ試作 ・試計測により、0.5mm のき裂に対し、検知可能である目途を得る。	【タービン翼の内面の欠陥検知技術】 ・冷却構造が従来に比べ複雑になるため、製造時や運転後の検査において、特にタービン翼のクリティカル部位における欠陥検知が必要となる。このために、複雑形状に適用可能で、高精度な欠陥検知技術を新たに開発する。
⑬高性能ダンパ振	翼振動数のバラツキ 50%低	・ダンパの基礎試験を実施し、	【バラツキの小さいダンパ技術】 ・超高温ガスタービンでは、励振

動制御技術	減	振動数やダンピングの基礎データを取得する。	力自体が従来に比べ大きくなるため、確実な共振回避と一定レベル以上のダンピング確保を可能とする高性能ダンパ・振動制御技術を開発する。
-------	---	-----------------------	---

3. 成果、目標の達成度

3-1 成果

3-1-1 全体成果

9年間の最初の4年間は、実証機開発の成功確率を高めるために、以下のような基礎的な要素基礎研究を中心に技術開発を行っている。

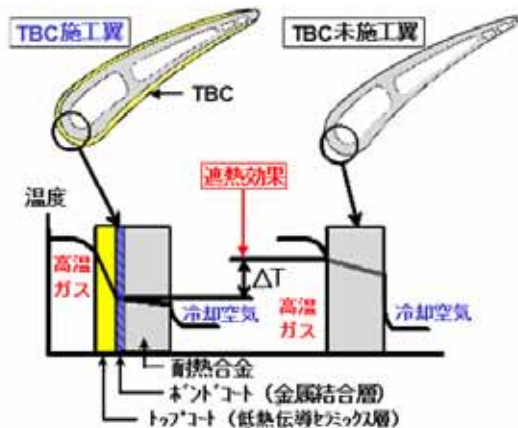
- (1) 1700℃級ガスタービンの主要コンポーネント（圧縮機、タービン、燃焼器）の完成度を高めるための要素技術研究
- (2) 主要コンポーネント以外ではあるが、ガスタービン全体のインテグレーションとして必要な機械要素や技術要素について、1700℃級での実機作動に耐えられる必要不可欠な性能向上や信頼性向上を実現するための、基礎研究
- (3) 実証機を製作・運転を支える周辺技術であり、ガスタービンに特化して研究開発が必要な、製造技術や計測技術などの基礎研究やセンサー開発
これらは、事象のメカニズムが不明なものが多く、基礎研究としてリスクが高い技術開発が全体の殆どを占める。

平成27年6月の段階としては、すべての項目で順調に進捗しており、予定通り、平成28年度から実証機の開発、実証に向けた準備に着手できる予定である。

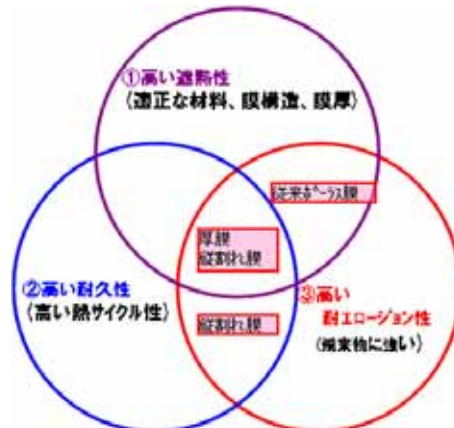
3-1-2 個別要素技術成果

(1) 低熱伝導率遮熱コーティング

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



図(1)-1 遮熱効果イメージ



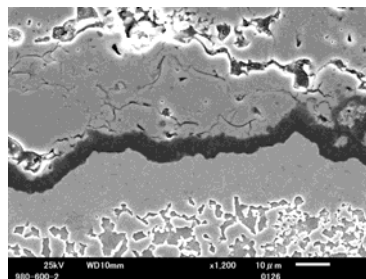
図(1)-2 遮熱コーティングに要求される機能

① トップコート材料/皮膜構造の開発

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

② 高耐酸化ボンドコートの開発

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



図(1)-3 耐酸化性と延性のバランスを確保した CoNiCrAlY ベースの新素材ボンドコート

③ TBC はく離強度評価及び高精度耐久性評価技術

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



図(1)-4 レーザー熱サイクル試験

④高温エロージョン試験技術の開発

TBCのエロージョンに対する耐久性・信頼性評価するため、実機条件での評価が可能なエロージョン試験装置により耐久性を高めたコーティングを開発した。



図(1)-5 高温エロージョン試験

⑤油焚き GT 用 TBC 環境模擬試験技術の開発

低質燃料を使用する際に問題となる有害成分が TBC の耐久性に及ぼす影響を調査するため、実機の燃焼環境を模擬する試験装置を開発し、試験実数中である。

⑥溶射施工技術の開発

①高遮熱性、②高耐久性、③高エロージョン性に優れる TBC 膜として、厚膜の DVC(Dense Vertical Crack；緻密縦割れ膜)の成膜技術を中心に、製造面からの TBC 改善検討を行った。

(2) 高性能冷却システム

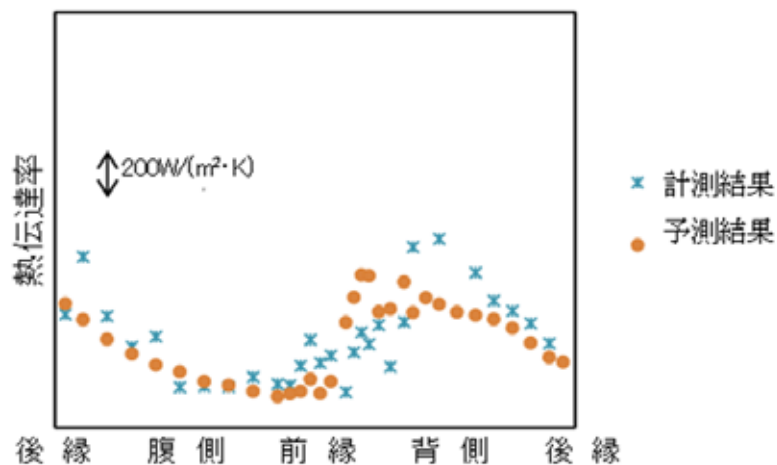
冷却翼の温度を所定温度以下を保ちつつ冷却空気流量を低減するためには、熱伝達率分布等を詳細に把握し、冷却空気の配分を調整する必要がある。

① 初段静翼シュラウド周りの流動熱伝達率計測

実機燃焼器を上流に設置した状態でのタービン翼列の気流・伝熱試験を実施し、シュラウド面（端壁面）での詳細データを取得した。特に壁近傍で渦や乱れの強い領域での境界層（壁面からの距離が2-3mm以内の領域の流れ）を詳細計測し、捩れ境界層が熱伝達率に与える影響を、微視的に調査検討した。



図(2)-1 燃焼器-タービン第一段静翼で構成される、燃焼ガス流れ詳細計測試験装置



図(2)-2 外側シュラウド近傍の翼面熱伝達率分布

ガスタービン初段静翼内側シュラウド面においてオイルフロー計測を実施し、シュラウド面の詳細な流線分布を取得した。

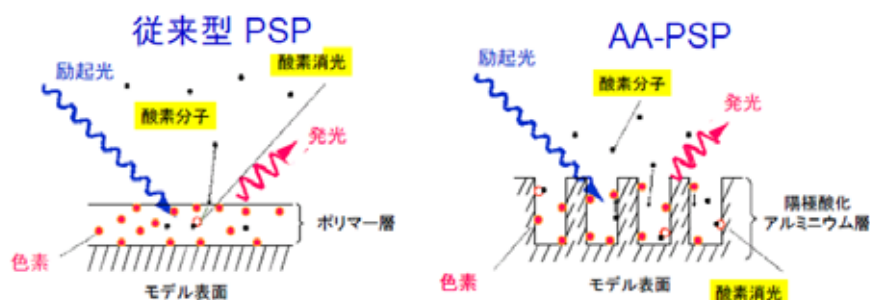
主流加熱ヒーター及び高応答赤外線カメラ(IR カメラ)を用いた非定常法熱伝達率計測手法を用いて、ガスタービン初段静翼内側シュラウド面の詳細な熱伝達率分布を取得した。

②前方段回転翼列試験

動翼先端部に対向する静止部品である分割環の熱境界条件の予測精度向上を目的に前方段回転試験装置を用いて、伝熱試験を行った。また、CFDを実施し、予測精度を把握した。

③動翼フィルム効率計測技術の検討

高速回転条件する動翼のフィルム冷却試験を行うに当たり、高応答性感圧塗料 PSP (Pressure-Sensitive Paint) を開発し、試作品の製作を行い、健全性と応答性を確認した。来年度以降、実証機を想定した高速回転条件でのフィルム冷却試験を行う予定である。

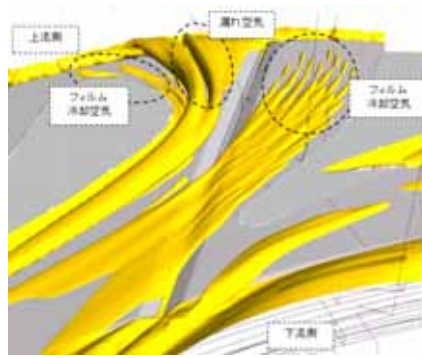


図(2)-3 PSP 施エイメージ

④実機の熱境界条件のシミュレーション

1700℃級の要素技術開発と並行して、1600℃級ガスタービンを用いて、長期運用と開放点検を繰り返しながら、長期データを取得している。

1700℃級の実証では、このような実機での運用状況を精度良く予測する必要がある。そこで、翼端壁・隙間周辺部につき、主流部の燃焼ガスと、冷却・漏れ空気の詳細な流れと温度場の把握を目的とし、部品レベルでの詳細な3次元形状を再現したシミュレーション技術の適用・評価、予測結果の検証を行った。また、これらの技術を信頼性・性能向上案の検討へ展開した。



図(2)-4 1 段静翼シュラウド面周方向隙間近傍の漏れ
冷却空気の割合（濃度）の等値面

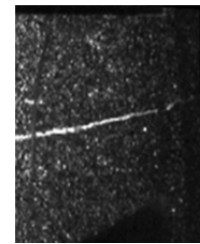
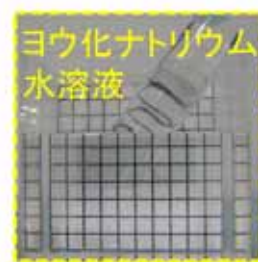
(3) 非定常性制御燃焼技術

① 燃焼器内部計測手法の開発

燃焼器内部の速度分布を精度良く計測するために屈折率一致法 PIV 手法の開発を行った。詳細な速度分布の計測を実施中である。



図(3)-1 屈折率一致法



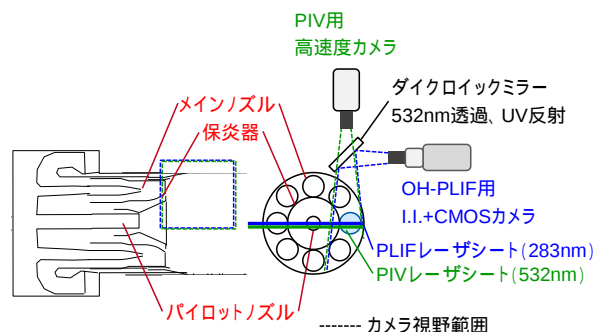
図(3)-2 ノズル内流動可視化

② 燃焼場の光学計測手法の開発

火炎において放出される OH^* (水酸基) からの紫外光を計測し、燃焼振動などの火炎の非定常性を評価するうえで重要な指標となる。高圧場に適用可能な光学計測装置の設計を行った。H27 年度に実際に高圧装置に組み込み、可視化試験を行う。また、PIV による速度計測と組み合わせ、速度と火炎の同時計測を行うため、装置の設計を行い計測データを取得した。



図(3)-3 高圧化可視化計測装置



図(3)-4 速度・火炎同時計測試験装置

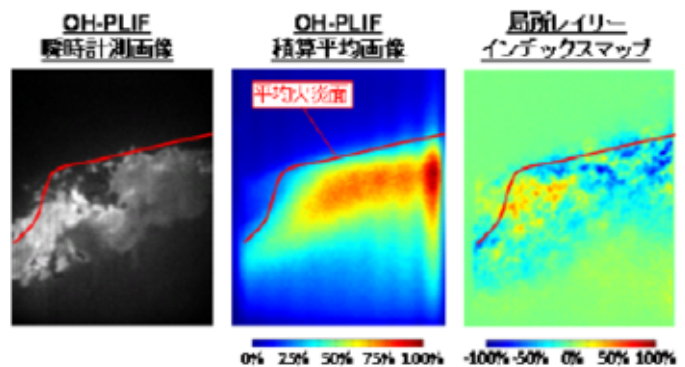
③ 燃焼振動予測精度の向上

燃焼振動抑制のためには、発生する燃焼振動を正確に予測する必要がある。多缶燃焼器では車室連成燃焼振動が発生し、実機運転まで、正確に予測することが難しい。そこで、実機の音響モードと相似な条件を模擬できる16缶モデル燃焼器音響試験装置により、燃焼振動モードや固有値に与える種々の影響データを取得し、評価した。

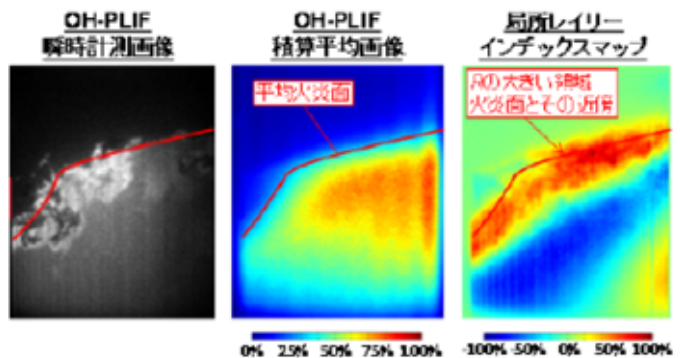
図(3)-5 実燃焼器でのレーザーによる火炎計測状況
(I.I : Image Intensifier)



上：安定燃焼時



下：燃焼振動発生時
(不安定燃焼時)
右の赤い部分が
不安定燃焼領域



図(3)-6 燃焼を不安定にする領域の特定

④ 高温・高圧燃焼技術の開発

実機燃焼器のフラッシュバック耐性を適正に評価する手法として、実機フルスケール燃焼器を用いたパーミアウト試験装置を開発し、実機条件においてパーミアウト可能なことを確認した。

⑤ 燃料多様化技術の開発

多不活性分ガス燃料などのために、単体パーミアウト試験及び実圧フルスケール実圧燃焼試験を実施し燃焼性を確認した。H27 年度は、多不活性分ガス燃料については実際の運用を考慮に入れたノズルコンセプトを検討中である。

(4) 超高性能タービン

ガスタービンの高温化に伴い、圧力比も併せて増加する為、出力を取り出すタービンでは単位流量当りの負荷が増大する。タービン各段での空力負荷が従来タービンに対して1.3倍程度と高く、1%以上の効率の低下が予想されるなか、目標効率を達成する必要がある。

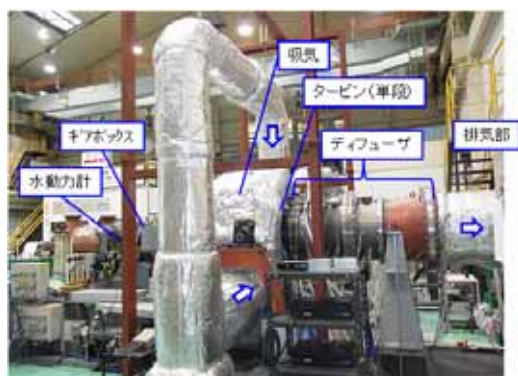
① 高速翼列試験

タービン翼の高負荷化が空力性能に与える影響について、解析により評価し、高負荷タービン翼の空力成立性の目途を得た。

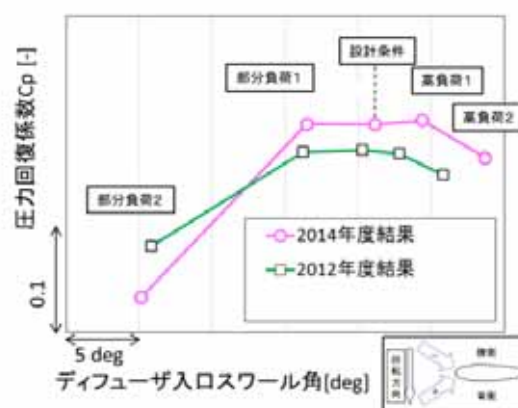
高速翼列試験装置を用いて高負荷化したタービン翼の翼列試験を実施し、フローパターン及び空力性能の詳細データを取得した。出口マッハ数が高く衝撃波が生じる条件にて、損失係数の増加量を最小化し、高負荷化に対応可能な翼型を開発した。

② 後方段・ディフューザ試験

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



図(4)-1 試験装置



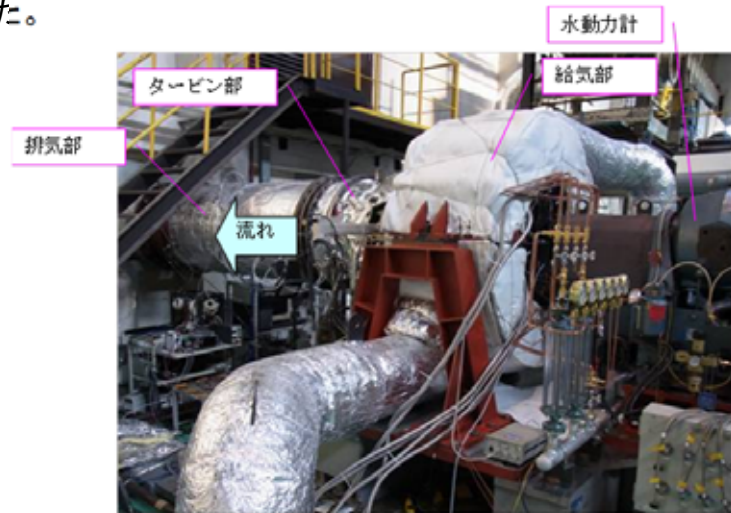
図(4)-2 圧力回復係数(Cp)比較

③動翼に加わる流体加振力の予測精度向上

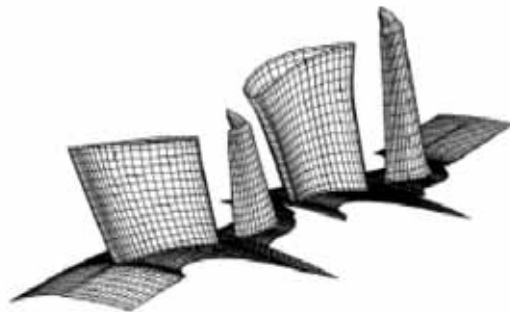
1700℃級の高負荷条件では、従来より大きな流体加振力が動翼に加わる。

また、高速回転試験装置を用いたモデルタービン試験で、回転している動翼の翼面上の圧力変動を詳細計測し、動翼-静翼間の翼列干渉効果により生じる動翼の励振力（動翼に加わる加振力）の発生メカニズムを考察・評価した。

その結果、翼面圧力変動の、振幅・位相のいずれも、流動解析で、精度良く予測可能となった。

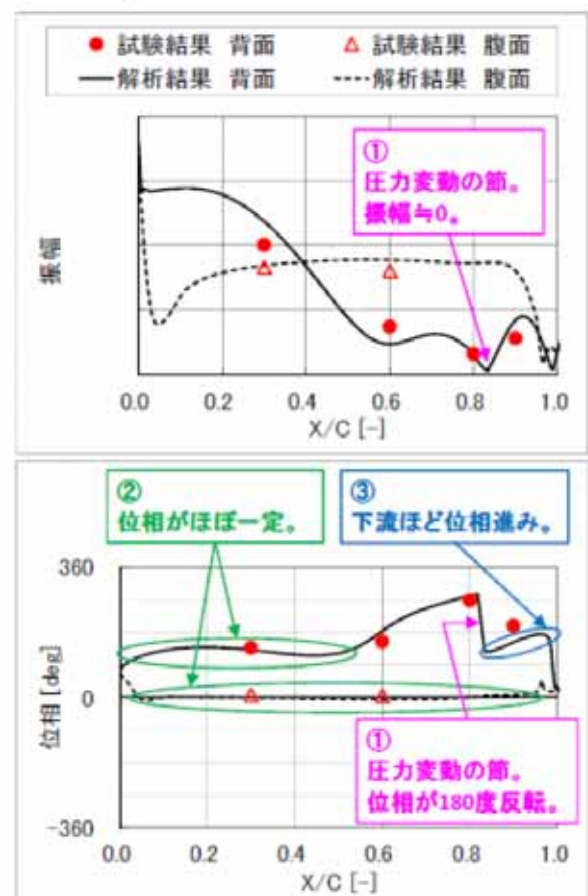


図(4)-3 高速回転翼列試験装置



図(4)-4 流動解析用メッシュ
(メッシュは間引いて表示)

図(4)-5 1段動翼の圧力変動データ
計測値と解析値の比較
上：振幅、下：位相



(5) 境界層制御高性能圧縮機

海外メーカーの圧縮機に対して効率面で凌駕する、効率 90%以上を目指す。

① 中間・後方段の動翼チップクリアランス漏れ損失の低減

昨年度取得した中間 4 段モデル圧縮機のクリアランス変化試験結果と三次元流動解析結果の比較にもとづき、乱流モデルを改良して圧縮機の内部流動と性能の予測精度を向上した。

動翼のチップ漏れ流れ損失の低減を狙い、翼負荷分布をアフトラードイングとした翼型設計、ならびに、反動度・仕事係数の最適化を行った新型翼で、漏れ損失低減効果を流動解析により評価した。

② 中・後方段への三次元翼設計の適用

後方段を対象に端壁部の境界層が厚い流動場における三次元翼（スリープ・ボウ）の効果を流動解析で確認した。

③ 広作動域高効率前方段翼列の開発

最低運用回転数近傍の静翼剥離の抑制と定格負荷運転時（設計点）における効率向上のため、圧縮機前方段を対象に翼型と可変静翼のクリアランス部の形状最適化、負荷配分の最適化を流動解析により検討し、効率が約 0.3%増加する結果を得た。

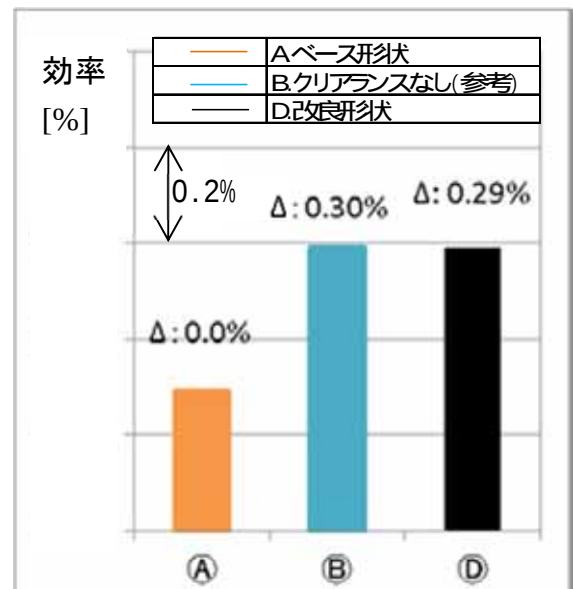
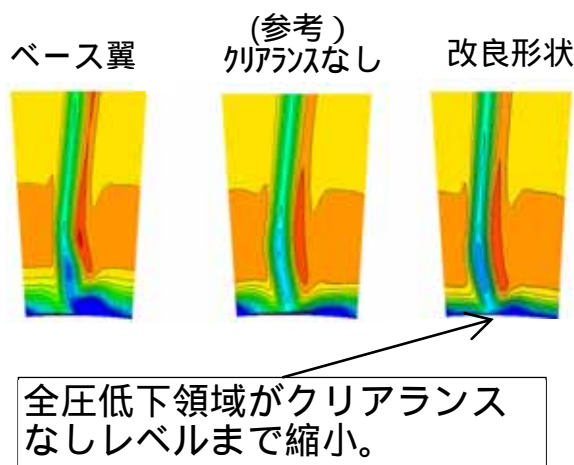
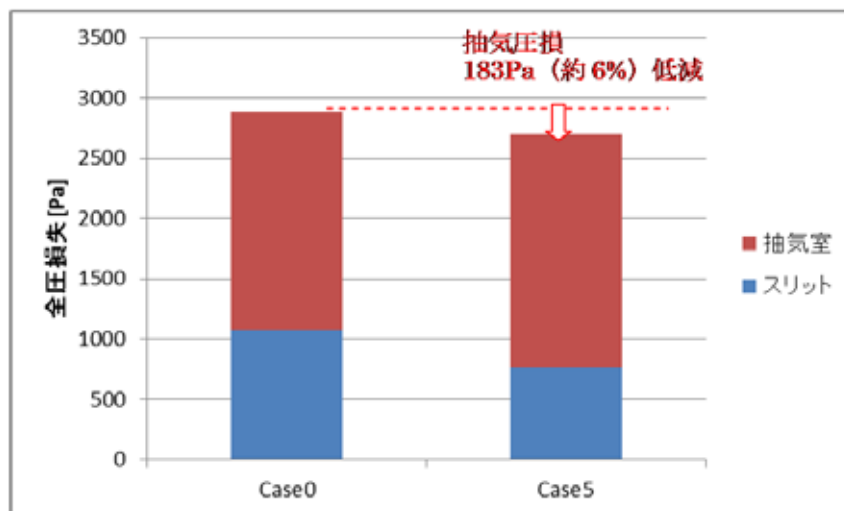


図 (5)-1 可変静翼下流全圧コンタ

図 (5)-2 効率の比較

④ 抽気最適化による性能向上

流動解析を実施し、抽気スリット幅を現状よりも半減し、形状を最適化することで、効率が約0.1%向上することを確認した。



図(5)-3 起動条件での抽気圧損

⑤ 前方8段リグ試験装置を製作

三次元流動解析の精度検証と新設計コンセプト適用による効率向上の検証を目的として前方8段リグ試験装置を製作・組立完了し、試験データを取得中である。



図(5)-4 試験装置全体

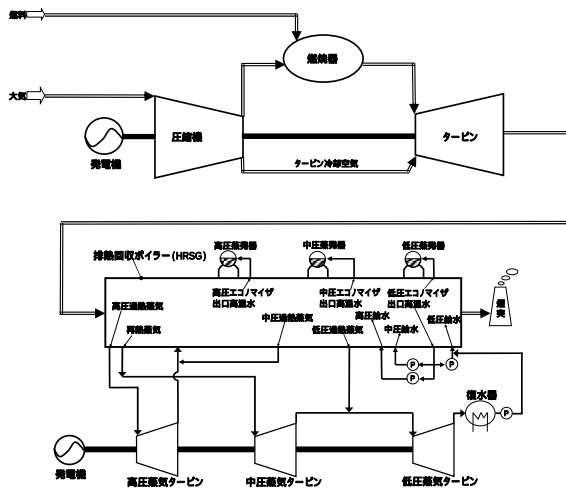
(6) 超高性能サイクル

エクセルギ理論を活用し、プラントの各コンポーネントにおけるエクセルギ一損失を定量評価し、損失低減策を検討し、プラント構成や圧力・温度などの条件を最適化することにより、効率の最大化を図る。

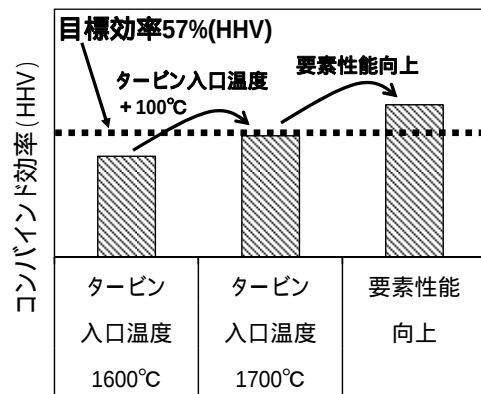
この分析結果をベースに、効率向上のための、熱サイクル技術を検討した。

① 一次サイクル検討

目標発電効率 57% (HHV) を達成可能な境界条件を得るため、ガスタービンコンバインドサイクルについて、コンバインド効率（コンバインドサイクルの発電効率）及び、境界条件を検討した。



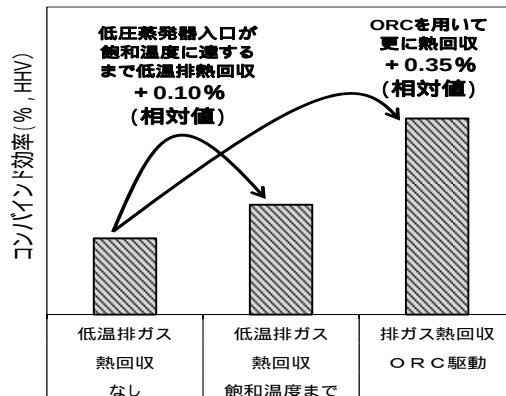
図(6)-1 検討対象としたサイクル



図(6)-2 一次サイクル検討
コンバインド効率検討結果

② サイクル高効率化アイデアの一例

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



図(6)-3 低温排ガス熱回収サイクルのコンバインド効率増大効果

(7) 高機能構造技術

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

① クリアランスコントロール翼環

空冷式タービン ACC 翼環に対し、高性能断熱材をタービン翼環に設置する構造について計画を行った。今後は、高圧化での断熱材検証試験を実施し、ガスタービン実機検証試験に向けた準備を進めていく予定である。



図(7)-1 空気冷却式 ACC 翼環によるクリアランスコントロールの概要

② 圧縮機ロータ熱応答向上

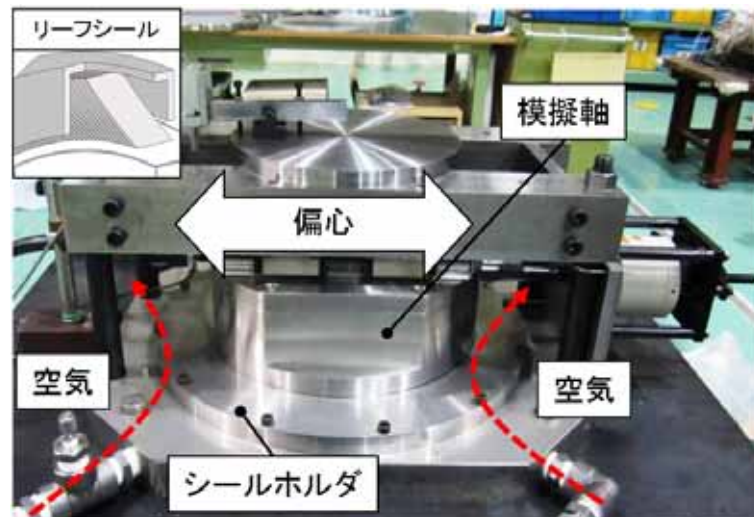
圧縮機ロータの熱応答向上のためのセカンダリーフロー流路について構造計画を行った。過渡運転時のピンチポイントを無くし、定格運転時のクリアランスを低減できる目途を得た。

(8) 高性能シール・軸受

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

① 高性能シール

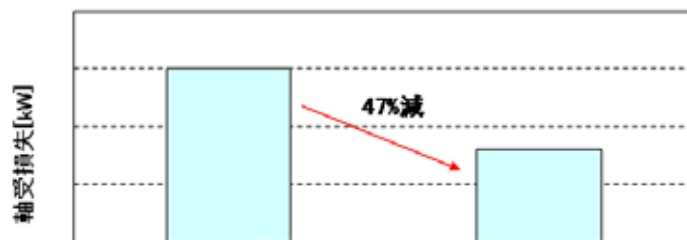
シール周りの流体条件とリーフシールの設計形状のシール特性に対する影響を検証するための要素試験を実施した。リーフシールの設計形状及び流体条件パラメータについて、要素試験にてその影響を定量化できた。



図(8)-1 高性能回転シール試験装置

②高性能軸受

実機ロータによる軸受特性計測データなどを用いて、低損失直潤軸受を開発した。要素試験装置による計測データと解析により、損失をおよそ半減できることを確認した。



図(8)-2 低損失軸受による損失の低減

さらに、実機検証の結果、軸受損失は従来軸受に比べて約40%低減（メーカー比）できることを確認した。



図(8)-3 試験後の軸受開放検査結果

(9) 先進製造技術

(9-1) 鑄造技術の高度化

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

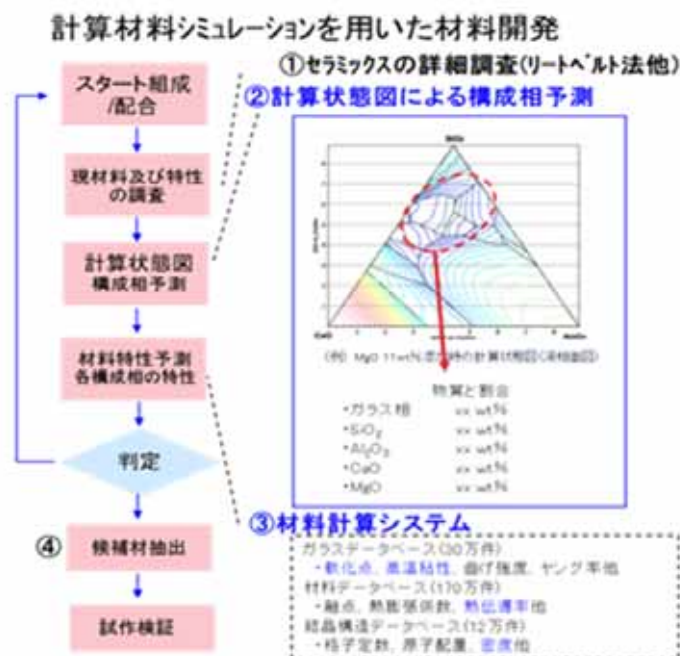
① 結晶性欠陥（フレックル）の予測技術の開発

鑄造欠陥であるフレックルをシミュレーションにより予測する技術を開発し、基礎試験体のフレックル発生状況をよく表現する事ができた。

② 高強度鑄型材の開発

方向凝固翼（単結晶翼および一方向凝固翼）の精密鑄造時の結晶性欠陥を抑制するためには結晶健全性改善を狙った高強度（薄肉化）鑄型の開発が不可欠である。計算材料シミュレーションにより、セラミックスの特性予測を行い、試作候補組成の抽出を行う手法を構築した。

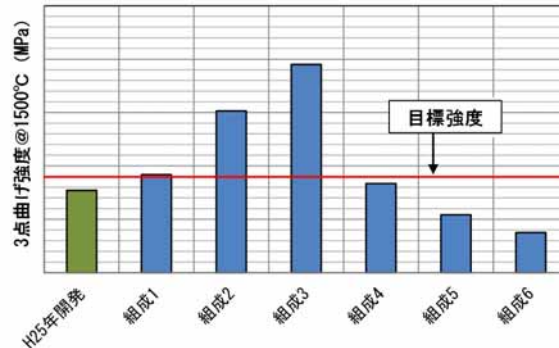
複数候補材の組成について、鑄型原料調整・スラリー調整条件等決定し、特性評価用鑄型試験体の製作プロセスを構築した。



図(9-1)-1 材料シミュレーションを用いた材料開発

このプロセスを用いて、スラリーの成分検討を行い、鑄型試験片を作製・評価することにより開発を行った。シリカゾルを中心とするバインダ

一と、各種成分を組合わせた試験を行い、鋳型の抗折強度目標を大きく上回る鋳型強度を達成した。選定した材料を用いて、大型実翼形状の試作鋳造用単結晶用鋳型を試作し、問題なく造型・鋳造できることを確認した。



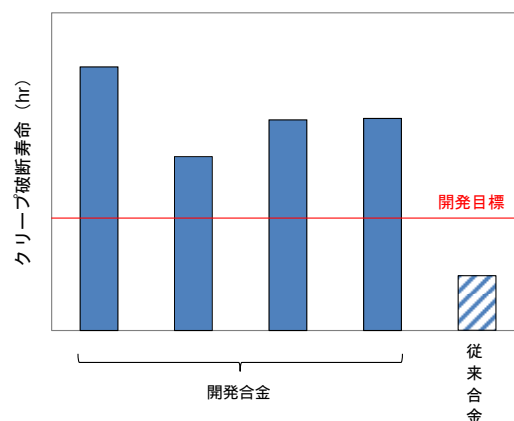
図(9-1)-2 高温高強度中子材の3点曲げ強度試験結果 (1500℃)

③ 先進鋳造法の開発

方向凝固翼における課題は、鋳造欠陥の抑制技術であり、特に単結晶翼では鋳造欠陥が許容できない。鋳造欠陥を抑制するのに効果的な技術である先進鋳造法の評価を行った。鋳造時の凝固界面近傍の冷却を強化することにより、凝固時温度勾配を高めることができることを解析にて確認し、試作試験により、組織微細化が達成されていることが確認できた。

④ 単結晶合金の材料データ構築と単結晶翼鋳造技術の開発

開発した複数の単結晶合金について、量産相当の大型溶解材（マスターインゴット）製作、供試体鋳造、実翼試作評価を行った。クリープ破断試験および熱疲労試験を実施した結果、いずれも開発目標を満足することが確認できた。また、高強度鋳型/中子の材質および製造方法や、凝固解析を活用し、単結晶翼を試作鋳造した。試作翼には異結晶やフレックル等の結晶欠陥は発生しておらず、鋳造割れも認められなかった。



図(9-1)-3 開発合金のクリープ破断試験結果

（９－２）精密鑄造技術の高度化

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

① 金属積層造形に関する技術課題の明確化

- ・ガスタービン高温部品に用いられる材料は、市販されていない為、材料粉末から開発する必要がある、材料強度評価データを取得する必要がある。
- ・各種形状の試作により、3D 造形技術では造形出来ない・造形しにくい形状があることを把握した。造形後の熱処理、表面粗度・穴形状等の寸法精度向上が必要であり、引き続き検討を行う。

② 気流試験用モデルの試作

3D 造形技術+機械加工により圧縮機特計翼の製作を実施した。

④ 3D 造形技術の応用

(a) 複雑冷却構造のタービン翼の試製造

タービン翼は、鑄造による冷却制限（コア強度、コア抜き）があり、自由な冷却構造は実現できていない。そこで、3D 造形技術で従来工法では実現困難な複雑冷却構造を設計し 3D 造形技術で一体造形の試作を実施した。

試作した結果、寸法精度について設計要求品質を満足する事が確認できた。複雑冷却構造の実現性に目処付けが出来た。

(b) 燃焼器ノズルの試製造

Dual 焚き用燃焼器のノズルは、油流路とガス流路の間に空気断熱層を形成する必要があるが従来製造法ではノズル先端まで断熱層を形成できない。そこで、3D 造形技術で一体造形する事により溶接箇所を無くしノズル先端まで断熱層を形成する事により、コーキング防止が図れる燃焼器 Dual ノズルの試作を実施した。

試作した結果、造形方向により形状精度や表面粗度等に差はあるものの、Dual ノズルの一体製造及び形状成立性の目処付けが出来た。

（９－３）先進製造技術（高品質・高精度溶接）

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

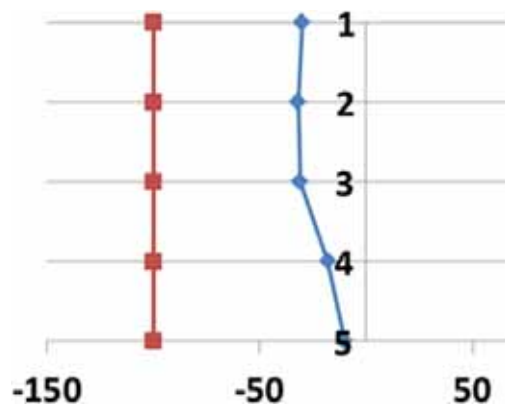
① 静翼シュラウド部の冷却通路溶接

母材の溶融量を最小として、一方で融合不良を起こさない、レーザ法による自動溶接法を開発した。ロボットに付帯させたレーザセンサを用いて溶接部の自動位置決めを行うことで、全自動で冷却通路を良好に施工できることが確認できた。

② 静翼付着部品溶接

製造性検証装置を用いて、リモート光学系による高精度位置決めと低入熱溶接工法により、従来の量産に用いている製造手法に対し、変形を半減できる目途を得た。

変形 (%) (従来手法を 100%とする)



(a) リモート光学系による低入熱溶接工法例 (b) 変形抑制効果の例

図(9-3)-1 低入熱溶接手法による変形抑制の例

③ 新単結晶合金の補修

開発中の新単結晶合金の溶接補修技術の検討を開始した。強度的に最も理想的な単結晶材を単結晶のまま補修する技術を検討している。肉盛部を単結晶化させる条件選定のため、熱流動解析手法を用いて最適化し、肉盛施工を実施した。その結果、界面の異結晶を最小とし、かつ、割れを生じない肉盛施工プロセス条件の確立にむけ、基礎データを取得した。

(9-4) 先進製造技術 (高アスペクト比穿孔加工技術)

タービン翼の冷却孔はアスペクト比が高く、ドリル等の機械加工が適用できず、電解加工という加工技術を用いている。従来、冷却孔のアスペクト比は120程度が限界である。が、今後のタービン翼の長大化に対応するため、実翼対応のための高アスペクト比穿孔加工技術を開発し、治具設計製作・試作を行った。

加工系と計測系を同期・制御する統合システムをベースに、実翼対応の為の計測装置、治工具設計、試作を行い、 $L/D > 250$ を可能とした。

(10) 超高温強度評価技術

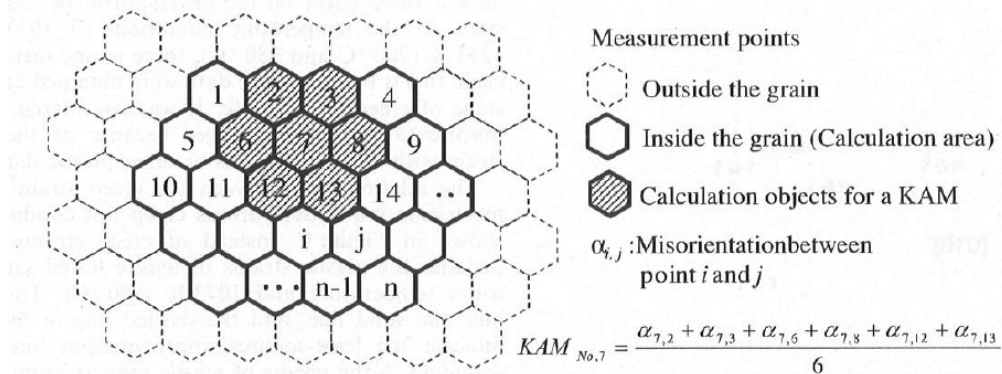
従来を超える高温域においては、長時間使用の材料強度データがない。また、大きな温度勾配を有する場合のクリープ評価手法が明確ではない。さらに、翼根部のような多軸応力場における疲労評価の精度向上が必要である。

このため、超高温域での材料データを取得し、温度勾配が存在する場合のクリープ強度評価手法及び多軸応力場での疲労評価手法精度の向上を目的とした。

①EBSDによるクリープ損傷判定手法の検討

局所クリープ損傷の定量評価の手法として、EBSD(Electron Backscatter Diffraction:電子線後方散乱回折)法を用いた損傷評価の適用性を確認した。

NI 基合金材試験片を用い、クリープひずみと、EBSDにより計測した方位パラメータ KAM (Kernel Average Misorientation) との間の相関を把握した。

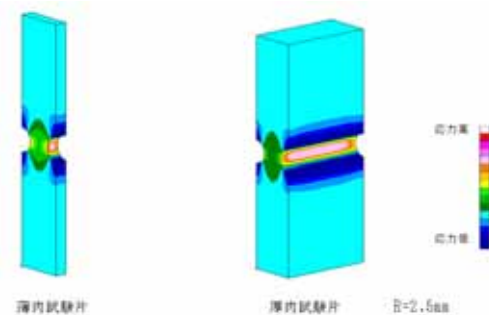


図(10)-1 方位パラメータ KAM の算出手法概要図

②タービン翼 翼根模擬切欠き低サイクル疲労試験

翼根部のような多軸応力場における疲労評価手法の精度向上のための検討を行った。

試験片は翼根部を模擬した切欠き形状とし、多軸応力場の影響を確認するため、ほぼ単軸応力場の薄肉試験片と、厚み方向の拘束が大きく、多軸応力場となる厚肉試験片の2種類で低サイクル疲労試験を実施した。



図(10)-2 翼根模擬試験片軸方向応力コンター図

試験の結果、従来より使用している Ni 合金では、薄肉試験片、厚肉試験片間に有意な寿命差は認められなかったことから、多軸応力状態でも、単軸状態と比較して大きな強度低下はないことが確認できた。

③実機環境模擬クリープ試験装置の開発

1000℃までの超高温域で試験可能な長時間クリープ試験装置を開発するとともに、空冷タービン翼で発生し得る温度勾配を模擬し、遠心力に相当する一次応力を負荷できるクリープ試験装置を開発した。

H27 度に、10000hr 時効材での組織、強度劣化特性の確認、切欠き部のクリープ損傷の EBSD による評価、今期開発したクリープ試験機によるデータを取得中である。

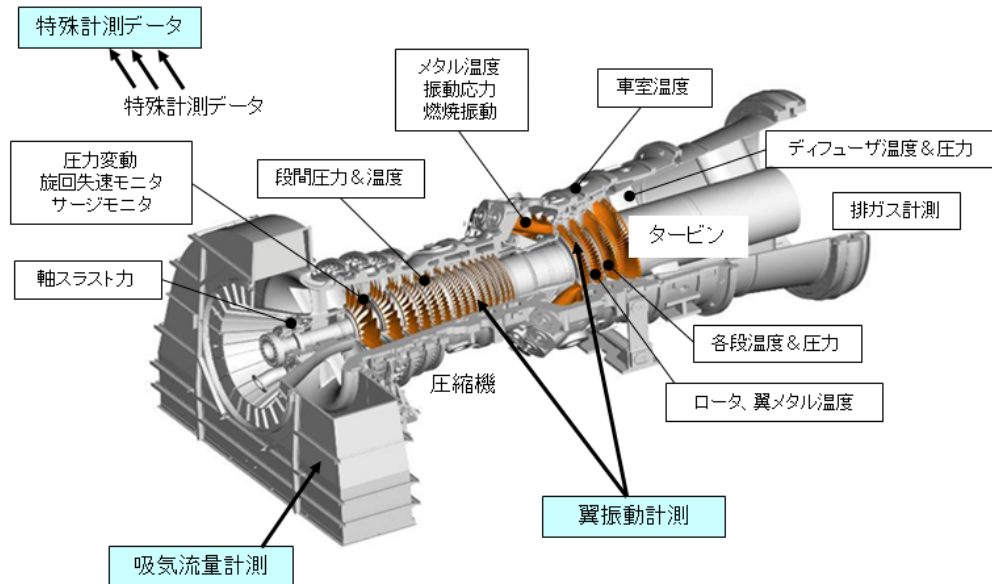


図(10)-3 実翼模擬中空冷却クリープ試験装置概要

(11) 特殊計測技術

従来の常設監視計器に加え、特殊計測と呼ばれる仮設的に取り付けられたセンサーで、各部の温度、圧力変動、振動、クリアランス等を計測する必要がある。

本研究では、超高温環境下での振動計測、データ処理技術、流量計測技術などについて、改良・新技術の要素検証を実施し、実機への適用評価を行った。

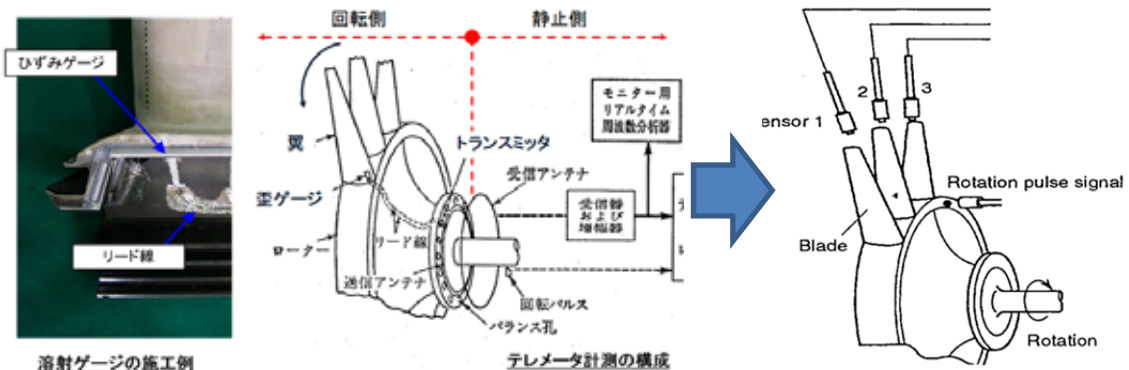


図(11)-1 1600℃級ガスタービン試運転時の特殊計測項目

(11-1) 特殊計測技術（翼振動計測技術）

ガスタービン動翼の実機運転時における翼振動応答を確認するため、従来のひずみゲージ+テレメータ方式に代わり、回転体に直接接触することなく静止側から計測する非接触翼振動計測技術（BVM：Blade Vibration Monitor）を開発した。

実機実証試験設備のタービン1段動翼の計測にBVMを適用し、以下のプロセスを経て、当社では初めて高温・高圧環境下における実機BVM計測に成功した。



(従来) ひずみゲージ+テレメータ計測

(新) 非接触 BVM 計測

図(11)-1-1 高温タービンの非接触翼振動計測技術

①タービン1段動翼・翼通過パルス特性確認要素試験

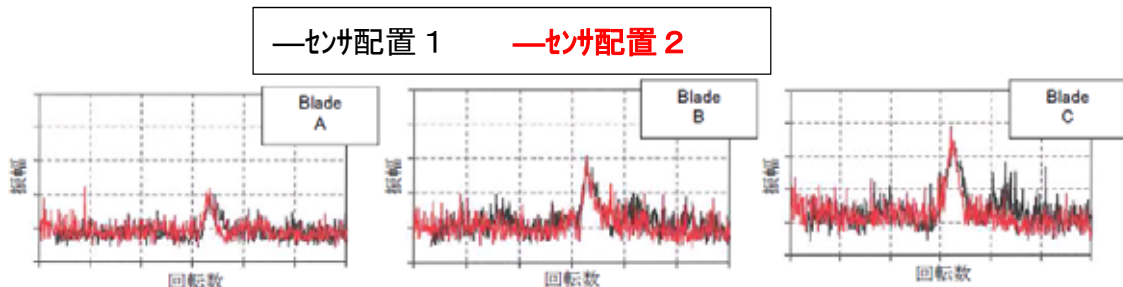
センサがタービン1段動翼を通過する軸方向位置や翼先端の状態の変化が翼通過パルスの形状へ及ぼす影響を確認するための要素試験を実施した。

タービン動翼の表面の状態による翼通過パルスの形状の特徴などを把握することができた。

②負荷運転時翼振動計測・監視技術の開発

負荷運転時のタービン動翼の振動監視のため、BVM システムの開発、冷却強化による BVM センサ信号劣化対策を実施した。

実証発電設備において、タービン1段動翼の様な小さい振幅の共振応答を実機環境下において計測できることが確認できた。

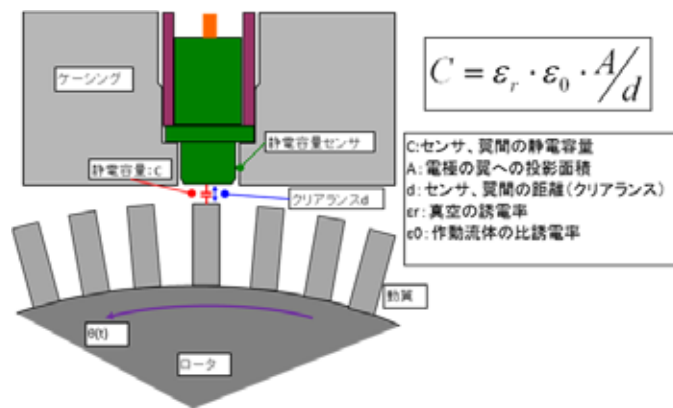


図(11-1)-2 BVM 分析システムを用いたタービン1段動翼の実機計測例

この他に、1700℃級の超高温条件で、試運転時に必要不可欠な計測項目（燃焼ガス温度／タービン翼の表面メタル温度／回転動翼と静止しているケーシングとの隙間（チップクリアランス）など）に対して、センサの開発や計測技術の改良を行った。



図(11-1)-3 ファイバー式ガス温度計測プローブ



図(11-1)-4 チップクリアランス計測概要

(11-2) 特殊計測技術(大規模データ処理技術)

既開発のシステムを社内工場試験に試適用して課題を洗い出し、多地点対応、監視機能高度化、セキュリティ機能の強化の3点に取り組んだ。

①多地点対応

複数現地毎に所内サーバを準備し、各クライアントからはサーバのIPアドレスを切り替えることで対処することとした。

②監視機能高度化

701J形ガスタービンの社内工場試験に試適用し、明らかになった改良点及び新規機能の改良設計・制作を実施した。

③セキュリティ機能の強化

現地ネットワークと社内ネットワーク間送受信する通信プログラムを開発し、社内より現地の運転状況をリアルタイムに監視、評価可能となった。

(12) 高精度・高機能検査技術

(12-1) 高精度・高機能検査技術(内部欠陥検査技術の開発)

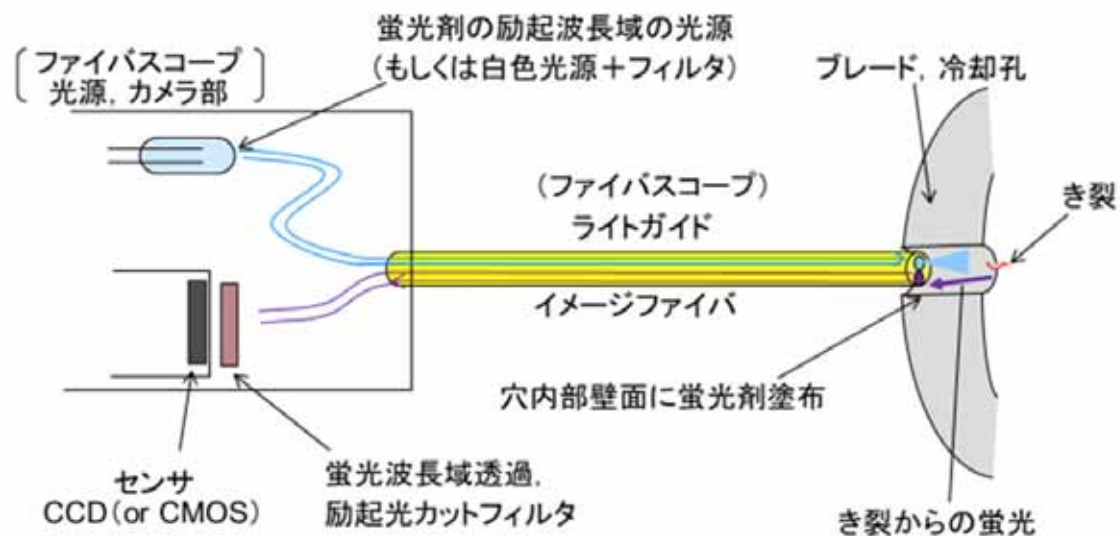
動翼の冷却通路内部等の見えない位置の欠陥を見逃すことなく検出することが重要である。先進の検査技術を適用し、冷却通路内の微小欠陥や、微小なTBC剥離を検出・識別可能な手法を開発した。

① 冷却通路内欠陥検査

冷却通路側の欠陥検出のため、翼の外表面から超音波を送受信して内部を検査する超音波探傷法の検討を行った。

超音波音場シミュレーションを用いて縦波および横波の専用PAプローブを設計・試作した。製作した超音波プローブを用いて、目標き裂長さ2mmの試験体に対して検証試験を実施し、S/N比2以上で検出可能であること確認できた。

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



図(12-1)-1 ファイバースコープによるき裂蛍光観察のイメージ

(12-2) 高精度・高機能検査技術(DS 翼再結晶検査技術の開発)

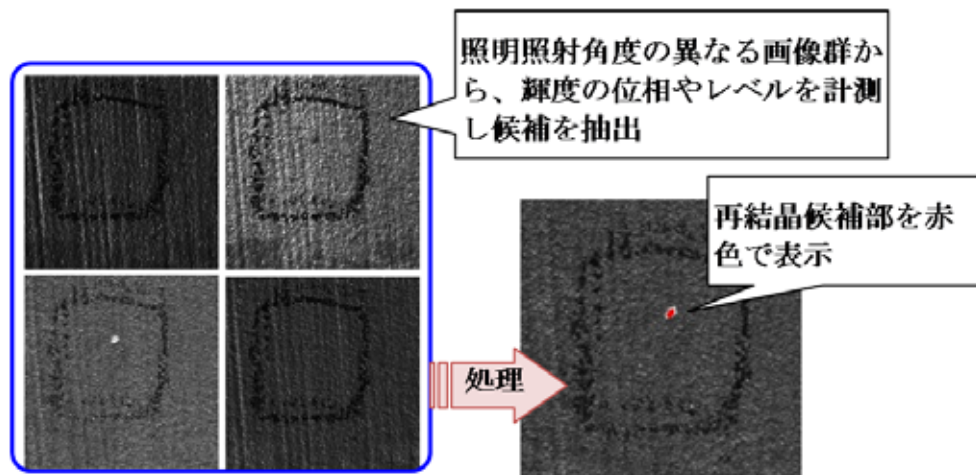
一方向凝固翼(以下 DS 翼)の翼面の再結晶検査では、現状目視にて実施しているが、小さな再結晶では見落としやすく、検査のシステム化が課題となっている。そこで、翼面の再結晶検出システムの概要設計を行った。

①再結晶検出方法の検討

検査手法としては、照明方向を変えた場合に生じる明暗差を利用して画像計測手法（マクロエッチング観察法）を検討した。実際の翼での再結晶検出目標を $\phi 0.2\text{mm}$ 以上とした。

②再結晶検出性の確認

ガスタービン翼の再結晶において、S/N比2以上で計測可能なことを確認し、再結晶を自動検出可能なことを確認した。



図(12-2)-1 再結晶部自動抽出結果

（12-3）高精度・高機能検査技術（ワイヤレスセンシング技術の開発）

最新の有線・無線ネットワーク技術を活用し、ガスタービンにおける高温・高速環境下の特殊計測・モニタリングの効率化手法を開発する。

センサと無線通信を組み合わせた回転体内を含むプラント全体の包括的なモニタリングシステムによるシステム監視・制御として、アナログ・デジタルの組合せ最適化による配線省線化ができる方法を構築するとともに、アンテナ通信の受信電力を向上する方法を構築することを目的としている。

① 通信仕様の調査

特殊計測で使用するセンサ、本数、計測周期等については、例えば、振動・応力計測は最大 100 チャンネル以上のセンサ出力のアナログ信号をそのまま計測器に取り込んでいて省線化の余地がある。



図(12-3)-1 現状の振動応力計測通信系

②振動応力計測系の通信仕様の改良

省線化効果が最も期待できる振動応力計測系について改良仕様を検討し、ラボ試験を行った。高速通信型多チャンネルロギング技術を適用し、有線、無線の両方式にて通信速度 60Mbps（振動応力計測 150CH 分に相当）以上、通信距離 50m を達成した。

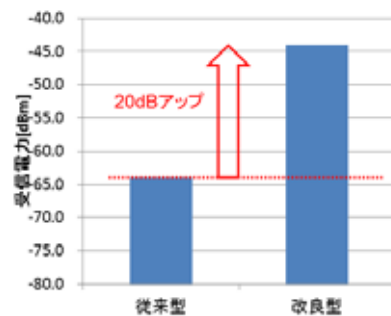
構築した計測通信系を実証発電設備に持込み、実証試験を実施した。距離 50m、遅延 1 秒以下で、ラボ試験の結果と同等の性能が発揮できることを確認できた。この技術により、データ転送距離 50m で配線省線化により、実機エンクロージャの複雑な配管や構造物の制約条件の中で、計測できる目途を得た。

③動翼振動応力計測テレメータの通信仕様の改良

高周波通信回路の観点からテレメータの送信アンテナを最適化し、設計試作してラボ試験を行った。受信電力 20dB 向上することが確認できた。



図(12-3)-2 テレメータ改良型アンテナ



図(12-3)-3 アンテナ改良による受信電力特性向上

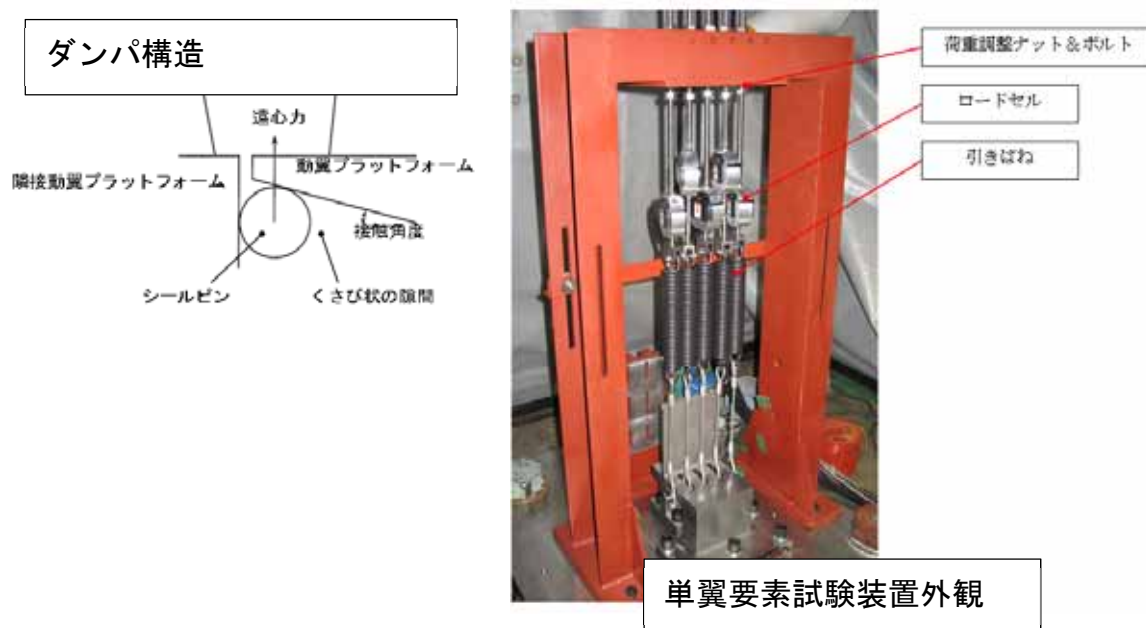
試作したアンテナを実証発電設備に持込み実証試験を実施した。実運転回転速度 3600rpm にてラボ試験と同等の性能を確認できた。

(13) 高性能ダンパ振動制御技術

高負荷タービンにおいては、高温ガスから受ける流体力が大きくなり、タービン翼の振動強度は一層厳しい条件となる。動翼の振動を低減するためには、ダンパの振動特性（ダンパ翼の振動数及びダンピング）の定量予測技術を構築し、安定したダンピングが得られる高性能ダンパ構造の設計技術の確立が必要である。

①タービン前方段動翼振動技術

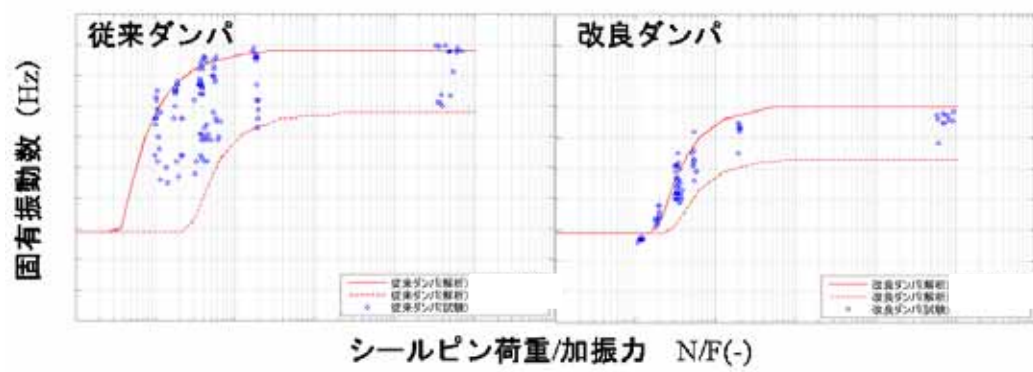
改良ダンパ構造を提案し、振動数ばらつき低減効果を検証するため、単翼要素試験を行った。改良ダンパの振動数ばらつき低減効果を確認した。



図(13)-1 シールピンダンパ構造の比較

当たり方の変化がダンパ効果に及ぼす影響を把握するために、スイープ加振試験を実施し、シールピン効果を求めた。

試験結果は解析結果と概ね一致し、予測手法の妥当性が確認された。また、想定したダンパのメカニズム通り、重要変数に対して、振動数の変化が小さく、当たり方の変化に対してロバストである改良ダンパを開発し、従来ダンパと比較で有効性を確認できた。



図(13)-2 ダンパ効果の解析と試験の比較
(固有振動数のバラつき低減効果)

3-1-3 特許出願状況等

表彰、特許、論文、投稿、発表回数などを以下に示す。

本事業開始後約3年で、国内外の電力会社などに120回のご視察を頂いた。

表3-1 特許・論文等件数

要素技術	表彰	論文	投稿	発表	特許	電力会社 ご視察
件数	1件	10件	7件	37件	57件	120回

表3-2 表彰・論文・投稿・発表などのリスト

	題目・メディア等	時期
表彰	産官学連携推進会議 日本経団連会長賞 「1700℃級ガスタービン 冷却技術の開発」	H25.9
論文	日本ガスタービン学会誌 第40巻6号「ガスタービンの主要コンポーネントや吸排気のCFDと最適化」	H24.11
	三菱重工技報 Vol.50 No.1 (2013) 新製品・新技術特集 「1700℃級ガスタービン排ガス再循環による低NOx燃焼器システムの開発」	H25.1
	日本ガスタービン学会誌 「発電用ガスタービンの高温・高効率化の進展と将来展望」	H25.1
	電気協会報 「超高温ガスタービンの現状」	H25.1
	日本ガスタービン学会誌 「タービンにおける可視化技術の活用」	H25.8
	三菱重工技報 Vol.50 No.3 (2013) 発電技術特集「1600℃級J形技術を適用した発電用高効率ガスタービンの開発」	H25.9
	三菱重工技報 Vol.51 No.1 (2014) 発電技術特集「ガスタービンの信頼性を支える動翼の非接触翼振動計測」	H26.1
	三菱重工技報 Vol.52 No.1 (2015) 発電技術特集「発電用ガスタービン圧縮機の高性能化・信頼性向上を支える流動解析技術」	H26.1
	日本燃焼学会誌 第57巻179号 「1700℃級燃焼器の開発 ～高温ガスタービンの燃焼技術～」	H27.2
	三菱重工技報 Vol.52 No.2 (2015) 三菱日立パワーシステムズ特集「超高温ガスタービンの要素技術の開発」	H27.5

投稿	日刊工業新聞社 「進化する火力発電」	H24. 10
	電気新聞「長期実証 8000 時間超え、J 形高信頼性を実証」	H24. 12
	電気新聞「空冷式 J 形商用化」	H24. 12
	NEDO HP 「NEDO ドキュメントサイトシリーズ」	H24. 12
	電気新聞「台湾から GTCC 受注」	H25. 9
	電気新聞「最新鋭火力の建設、MACC II プロジェクト」	H25. 9
	MPSA プレスリリース「J-Series Update」	H25. 9
発表	日本ガスタービン学会 40 周年記念講演会 「産業用ガスタービンの最新技術動向と展望」	H24. 4
	13th World Conference on Investment Casting & Exposition 「 Hot parts of MHI industrial gas turbine by precision casting 」	H24. 4
	ASME TurboExpo2012 「 Future Gas Turbine Products and Their Enabling Technologies」	H24. 6
	Global R&D Forum 2012 「MHI status and Trends of Gas Turbine」	H24. 7
	ACGT 「Yesterday, Today and Tomorrow of Gas Turbines 」	H24. 8
	日本金属学会 H24 年度秋季大会 「 γ' 相析出強化型 Ni 基合金の開発・実用化」	H24. 9
	第 40 回日本ガスタービン学会定期講演会「1700℃級ガスタービン排ガス再循環システムの燃焼器開発」	H24. 10
	日本ガスタービン学会 2012 年度ガスタービンシンポジウム パネルディスカッション	H24. 10
	日本溶射学会 中部支部第 11 期・第 8 回溶射技術研究会 「高温環境への溶射技術適用」	H25. 3
	日本材料学会 第 61 期第 5 回 高温強度部門委員会 「高温ガスタービン用先進遮熱コーティングの開発状況」	H25. 5
	ASME TurboExpo2013 「 Future Gas Turbine Products and Their Enabling Technologies」	H25. 6
	第 41 回日本ガスタービン学会定期講演会 「高温ガスタービンタービン動翼の振動強度検証」	H25. 10
	第 41 回日本ガスタービン学会定期講演会 「ウェーク干渉を受けるタービン動翼の圧力変動評価」	H25. 10
	第 41 回日本ガスタービン学会定期講演会 「ガスタービン燃焼器内の火炎変動可視化技術の開発」	H25. 10
	The 3 rd Annual Gas Turbine World China Summit	H25. 10

	「Key Technology Development for Next Generation High Temperature Gas Turbines (NGGT)」	
	第 42 回日本ガスタービン学会定期講演会 「主流加熱ヒーター及び I R カメラを用いた熱伝達率計測手法の高精度化検討」	H26. 10
	第 42 回日本ガスタービン学会定期講演会 「高効率ガスタービン動翼用ニッケル基超合金の開発」	H26. 10
	第 42 回日本ガスタービン学会定期講演会 「高効率ガスタービン用遮熱コーティングの開発状況」	H26. 10
	第 42 回日本ガスタービン学会定期講演会 パネルディスカッション「大規模・中規模 GT の発電量制御、効率維持技術」	H26. 10
	第 43 回日本ガスタービン学会定期講演会 「実機相当環境下における静翼シュラウド熱伝達率に関する計測結果と解析結果の比較検討」	H27. 9
	International Gas Turbine Congress 2015 Tokyo 「Development of a Stage Stacking Procedure for Evaluation of Axial Compressor Off-Design Performance」	H27. 11
	International Gas Turbine Congress 2015 Tokyo 「Numerical and Experimental Investigation on the Effect of Tip Clearance of a Multi-Stage Axial Compressor」	H27. 11
	International Gas Turbine Congress 2015 Tokyo 「Laser welding repair for single crystal blades」	H27. 11
	International Gas Turbine Congress 2015 Tokyo 「Development of TBC Film Thickness Measuring system by Non-contact Measurement」	H27. 11
	International Gas Turbine Congress 2015 Tokyo 「Development of the advanced thermal barrier coating for high efficiency gas turbine」	H27. 11
	International Gas Turbine Congress 2015 Tokyo 「Development and operating experience of the 1600deg. C J class gas turbine」	H27. 11
	International Gas Turbine Congress 2015 Tokyo 「An Investigation of Flashback Phenomena into the vortex core of Swirling Premixed Gas Flow」	H27. 11
	International Gas Turbine Congress 2015 Tokyo	H27. 11

	「Advanced Gas Turbine Monitoring & Diagnostic Service」	
	International Gas Turbine Congress 2015 Tokyo 「Development of low loss direct lubricated two pads　journal bearing」	H27. 11
	International Gas Turbine Congress 2015 Tokyo 「GT Blade Inside Crack Inspection Using Ultrasonic Matrix Phased Array Technique」	H27. 11
	International Gas Turbine Congress 2015 Tokyo 「Laser drilling for cooling holes of blade with TBC」	H27. 11
	International Gas Turbine Congress 2015 Tokyo 「Evaluation of Low Cycle Fatigue Strength on Directionally Solidified Ni-Base Superalloys for High Efficiency Gas Turbine」	H27. 11
	International Gas Turbine Congress 2015 Tokyo 「Development of Ni-base Single-Crystal Superalloy and casting technology for High Efficiency Gas Turbine blade」	H27. 11
	International Gas Turbine Congress 2015 Tokyo 「Numerical and Experimental Investigation of the Flame Transfer Function in the Full-Scale Gas Turbine Combustor」	H27. 11
	International Gas Turbine Congress 2015 Tokyo 「Predicting compressor performance sensitivity to tip clearance」	H27. 11
	International Gas Turbine Congress 2015 Tokyo 「Prediction of blade frequency change in consideration of damper contact line」	H27. 11
	International Gas Turbine Congress 2015 Tokyo 「Investigation of Heat Transfer of Vane Endwall at Equivalent Condition of Real Gas Turbine Using Measurement and Analysis」	H27. 11

表 3－3 特許リスト

H24 年度～H26 年

	出願番号、特許名称	状況 (H27.6)
特許	特願 2012-237136 号 「ガスタービン設備」	未請求 (公開)
特許	特願 2012-240847 号 「加工孔の位置測定装置」	未請求 (公開)
特許	特願 2013-009027 号 「渦電流探傷プローブ及び検査方法」	未請求 (公開)
特許	特願 2013-057782 号 「ガスタービンコンバインドプラント、及びガスタービンにおける高温部品の冷却方法」	未請求 (公開)
特許	特願 2013-057882 号 「タービン、及びこれを備えた回転機械」	未請求 (公開)
特許	特願 2013-060141 号 「高温部品の冷却装置、ガスタービンコンバインドプラント、及び高温部品の冷却方法」	未請求 (公開)
特許	特願 2013-062277 号 「ガスタービン用燃料の予熱装置、これを備えているガスタービンプラント、及び…」	未請求 (公開)
特許	特願 2013-064714 号 「ガスタービンプラント、及びガスタービンプラントの運転方法」	未請求 (公開)
特許	特願 2013-064715 号 「ガスタービンプラント、及びガスタービンプラントの運転方法」	未請求 (公開)
特許	特願 2013-071075 号 「軸流回転機械、及びディフューザ」	未請求 (公開)
特許	特願 2013-105263 号 「精密鋳造用鋳型材料、精密鋳造用鋳型及びその製造方法」	未請求 (公開)
特許	特願 2013-113127 号 「精密鋳造用中子及びその製造方法、精密鋳造用鋳型」	未請求 (公開)
特許	特願 2013-113128 号 「精密鋳造用中子及びその製造方法、精密鋳造用鋳型」	未請求 (公開)
特許	特願 2013-113129 号 「精密鋳造用中子及びその製造方法、精密鋳造用鋳型」	未請求 (公開)

	出願番号、特許名称	状況 (H27.6)
特許	特願 2013-113130 号 「精密鑄造用中子及びその製造方法、精密鑄造用鑄型」	未請求 (公開)
特許	特願 2013-113131 号 「精密鑄造用中子及びその製造方法、精密鑄造用鑄型」	未請求 (公開)
特許	特願 2013-113132 号 「精密鑄造用中子及びその製造方法、精密鑄造用鑄型」	未請求 (公開)
特許	特願 2013-115838 号 「タービン翼およびその製造方法」	未請求 (公開)
特許	特願 2013-139375 号 「加工孔位置の測定装置」	未請求 (公開)
特許	特願 2013-181925 号 「蒸気タービンプラント、これを備えているコンバインドサイクルプラント、及び…」	未請求 (公開)
特許	特願 2013-185752 号 「検査装置及び検査方法」	未請求 (公開)
特許	特願 2014-003384 号 「中子補修剤、中子、及び中子の補修方法」	未請求 (未公開)
特許	特願 2014-003427 号 「鑄型形成用スラリー、鑄型の製造方法、鑄型、及び鑄型形成用スラリーの製造方法」	未請求 (未公開)
特許	特願 2014-013617 号 「画像補正方法、これを用いる検査方法及び検査装置」	未請求 (未公開)
特許	特願 2014-036757 号 「クリアランス調整装置、タービン装置」	未請求 (未公開)
特許	特願 2014-036758 号 「クリアランス調整装置、タービン装置」	未請求 (未公開)
特許	特願 2014-045480 号 「鑄造装置」	未請求 (未公開)
特許	特願 2014-045481 号 「中子の製造方法、及び中子」	未請求 (未公開)
特許	特願 2014-045629 号 「中子材、中子、及び中子材の製造方法、中子の製造方法」	未請求 (未公開)

	出願番号、特許名称	状況 (H27.6)
特許	特願 2014-049225 号 「鋳型の製造方法、鋳型形成用スラリー、および、鋳型」	未請求 (未公開)
特許	特願 2014-049226 号 「鋳型形成用スラリー、鋳型、および、鋳型の製造方法」	未請求 (未公開)
特許	特願 2014-050599 号 「シュラウド、動翼体、及び回転機械」	未請求 (未公開)
特許	特願 2014-053609 号 「遮熱コーティング材、これを有するタービン部材及び遮熱コーティング方法」	未請求 (未公開)
特許	特願 2014-055233 号 「電解加工工具」	未請求 (未公開)
特許	特願 2014-056525 号 「電解加工システム及び電解加工方法」	未請求 (未公開)
特許	特願 2014-060606 号 「排熱回収システム、これを備えているガスタービンプラント、排熱回収方法…」	未請求 (未公開)
特許	特願 2014-060838 号 「給水予熱装置、これを備えているガスタービンプラント、及び給水予熱方法」	未請求 (未公開)
特許	特願 2014-060839 号 「排熱回収装置、これを備えているガスタービンプラント、及び排熱回収方法」	未請求 (未公開)
特許	特願 2014-060840 号 「排熱回収システム、これを備えているガスタービンプラント、及び排熱回収方法」	未請求 (未公開)
特許	特願 2014-060841 号 「排熱回収システム、これを備えているガスタービンプラント、及び排熱回収方法」	未請求 (未公開)
特許	特願 2014-212011 号 「遮熱コーティング層及び遮熱コーティング方法」	未請求 (未公開)
特許	特願 2014-228812 号 「遮熱コーティング、および、タービン部材」	未請求 (未公開)
特許	特願 2014-228813 号 「エロージョン試験装置、加速器、および、エロージョン試験方法」	未請求 (未公開)
特許	特願 2014-229595 号 「タービンの冷却構造及びガスタービン」	未請求 (未公開)

	出願番号、特許名称	状況 (H27.6)
特許	特願 2014-244642 号 「溶射皮膜形成方法、タービン用高温部品、タービン、溶射皮膜形成用マスキングピン及び」	未請求 (未公開)
特許	特願 2015-009351 号 「熱荷重試験装置及び熱荷重試験方法」	未請求 (未公開)
特許	特願 2015-013140 号 「タービン翼及びタービン並びにタービン翼の製造方法」	未請求 (未公開)
特許	特願 2015-044952 号 「ガスタービンのシール装置及びガスタービン」	未請求 (未公開)
特許	特願 2015-053283 号 「吸気冷却方法、この方法を実行する吸気冷却装置、これを備える排熱回収設備及び…」	未請求 (未公開)
特許	特願 2015-066237 号 「ガスタービン及びその運転方法、並びにコンバインドサイクルプラント」	未請求 (未公開)
特許	特願 2015-068704 号 「電解加工システム及び電解加工方法」	未請求 (未公開)
特許	特願 2015-068705 号 「電解加工工具」	未請求 (未公開)
特許	特願 2015-069530 号 「中子用コーティング材料、中子の製造方法、及び中子」	未請求 (未公開)
特許	特願 2015-069905 号 「一方向性凝固物の異結晶検査装置及び検査方法」	未請求 (未公開)
特許	特願 2015-069949 号 「非破壊検査装置及び非破壊検査方法」	未請求 (未公開)
特許	特願 2015-073189 号 「加工孔の測定装置」	未請求 (未公開)
特許	特願 2015-073700 号 「ボイラー、これを備える蒸気発生プラント、及びボイラーの運転方法」	未請求 (未公開)

3-2 目標の達成度

研究開発の目標（表2-2）に対する達成度を以下（表3-4）に示す。
現時点での中間目標は全て達成した。

表3-4 目標に対する成果・達成度の一覧表

要素技術	目標・指標 (H27/6 評価時点)	成果 (H27/6 評価時点)	達成度
①低熱伝導率遮熱コーティング	・厚さ 0.5mm 以上で試作し、熱疲労寿命が従来並みであることを確認する。 ・エロージョン試験装置製作および試験着手。 ・大容量ガンの長溶射距離条件での厚膜 DVC (Dense Vertical Crack; 緻密縦割れ膜) 成膜技術を開発する。	・厚さ 0.5mm 以上の成膜条件で、熱疲労寿命が従来並みであることを確認した。 ・エロージョン試験装置を製作し、試験に着手した。 ・大容量ガンの長溶射距離条件により、1mm の厚膜 DVC の成膜を確認した。	達成
②高性能冷却システム	・実機燃焼器を上流に設置した状態で、タービン翼列の気流・伝熱試験による端壁面での詳細データ取得。 ・動翼フィルム効率の計測技術の開発と応答性確認。	・実機燃焼器を上流に設置した状態でタービン翼列の気流試験・伝熱試験による端壁面での詳細データを取得した。 ・高応答フィルム検出塗料の応答性を確認した。	達成
③非定常性制御燃焼技術	・排ガス再循環有の条件で、NOx 40ppm 以下を確認した。 ・レーザーによる気流計測による燃焼器内速度分布データの取得。 ・レーザー計測による実機燃焼器形態での火炎形状の把握。 ・火炎形状と圧力変動計測を同時計測し、燃焼を不安定にする領域を特定する。 ・燃焼振動予測精度の向上	・排ガス再循環有の条件で、NOx 16ppm を確認した。 ・レーザーによる気流計測による燃焼器内気流データを取得した。 ・レーザー計測により実機燃焼器形態での火炎形状を把握した。 ・火炎形状と圧力変動計測を同時計測し、燃焼を不安定にする領域を特定した。 ・各種パラメタの燃焼振動	達成

	・燃料多様化技術の開発	モードに対する予測精度影響を把握した。 ・燃料多様化に伴う、フラッシュバック耐性の確認試験方法を開発した。	
④超高性能タービン	・高負荷タービン翼列の成立性を解析で確認する。 ・排気ディフューザの改良を行い、排気の圧力損失を50%低減する。 ・可視化試験により、ストラットとの干渉を把握する。 ・モデルタービン試験データによる、動翼-静翼間の翼列干渉効果による励振力発生メカニズムの考察	・タービン効率向上コンセプトを抽出し、それらを盛り込んで試設計を行い、シミュレーションによりその妥当性を確認した。 ・高速回転試験により、排気ディフューザの形状変更の効果を確認、現状より50%圧力損失低減を確認した。 ・ディフューザストラットの流況を可視化し、ディフューザ効率改善の指針を得た。 ・モデルタービン試験により、動翼-静翼間の翼列干渉効果による励振力のデータを取得した。シミュレーションと比較することにより、現象のメカニズムを考察した。	達成
⑤境界層制御高性能圧縮機	・モデル圧縮機試験により、前方段の負荷を約10%高めた条件で、段効率+1%向上を確認する。 ・中後方段に対し、モデル圧縮機試験により、多段条件での動翼チップクリアランス流れデータを取得・評価する。 ・多段モデル圧縮機試験装置の製作	・モデル圧縮機試験により、前方段の負荷を約10%高めた条件で、段効率+1%向上を確認した。 ・モデル圧縮機試験により、多段条件での動翼チップクリアランス流れデータを取得し、シミュレーションと比較することにより評価を行った。 ・多段モデル圧縮機試験装	達成

		置を製作・組立し、試験を実施中。	
⑥超高性能サイクル	・発電効率 57%以上のサイクルを実現するための、エクセルギ分析・評価をし、アイデア検討	・基本的なサイクル構成にて熱サイクル評価を行い、発電効率 57%以上の達成目途を得た。 ・エクセルギ分析により、損失が発生している部位を定量的に評価し、優先的に性能向上すべき部位を評価・特定した。 ・低温熱源を利用した効率改善のアイデアを提案できた。	達成
⑦高機能構造技術	・各種構造コンセプトの比較検討 ・1600℃級ガスタービンにおける詳細クリアランスデータを取得する。 ・圧縮機ロータベンチレーション構造計画	・構造コンセプトを考案し、その比較検討を実施した。 ・1600℃級ガスタービンにおける詳細クリアランスデータを取得した。 ・圧縮機ロータベンチレーション構造計画の構造計画を行い、試験装置製作中	達成
⑧高性能シール・軸受	・リーフシールの適用に向けた基礎試験装置の製作とデータ取得 ・直潤2パッド軸受の採用による軸受損失 40%低減	・リーフシールの適用に向け、基礎試験装置を製作した。試験を実施し、基礎データ取得した。 ・軸受損失が 47%低減した。	達成
⑨先進製造技術	・長穴加工 L/D>250 ・溶接変形の 20%以上低減 ・高強度の中子・鋳型を製作し、鋳型強度、鋳造性の確認 ・3D 造形装置により、GT 部品の Additive Manufacturing 技術を開発する。	・長穴加工を実施し、L/D >250 を達成した。 ・レーザー溶接工法の静翼冷却通路への適用により、変形を 20%低減する目途を得た。 ・複数候補材の組成について、鋳型原料調整・スラリ	達成

		一調整条件等決定し、特性評価用鋳型試験体の候補材を抽出した。 ・3D造形で、タービン翼、圧縮機、燃焼器ノズルの試作を行った。	
⑩超高温強度評価技術	・高温域での設計に向けた材料データの取得 ・超高温域長時間使用後の健全性確認のための材料データ取得に着手	・高温域での材料データを取得した。 ・超高温域での長時間使用後の条件を模擬するため、加熱時効処理試験に着手した。10,000hr以上のデータを取得した。	達成
⑪特殊計測技術	・高温での動翼振動計測技術（非接触）の開発と実機計測 ・高温での動翼チップクリアランス計測技術の開発と、実機計測準備の実施 ・現地データの遠隔監視システムの開発	・実機ガスタービンで、燃焼器着火後の高温条件での、タービン動翼振動計測技術を開発し、データを取得した。 ・高温での動翼チップクリアランス計測のためのセンサーを開発し、実機計測に成功した。	達成
⑫高精度・高機能検査技術	・センサ試作 ・試計測により、0.5mmのき裂に対し、検知可能であることを確認する。	・直径φ0.7mmの極小ファークラスコープを用いたき裂検知極小センサーを試作した。 ・直径0.5mmのき裂検知の用途を得た。	達成
⑬高性能・ダンパ振動制御技術	・ダンパの基礎試験を実施し、振動数やダンピングの基礎データを取得する。	・ダンパ試験装置を製作し、振動数やダンピングの基礎データを取得した。これらのデータを基に改良ダンパを開発し、バラつき低減効果を同試験装置にて確認した。	達成

4. 事業化、波及効果について

4-1 事業化の見通し

(平成 23 年度までの研究開発の成果と実用化状況)

1700℃級ガスタービン実用化に当たっては、1500℃級ガスタービンの開発で得られた知見の延長線上での開発が困難であり、全く未知の領域での開発が必要となることから、以下の実用化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てきた。

これまでの検討を通じて、1700℃級ガスタービンの実現の為に必要となる燃焼、材料等の革新的な要素技術の完成度を、各要素試験や解析検討、より実機に近いモジュール試験（H23 年度に実施）を通じて、実用可能なレベル、すなわち、実機ガスタービンの設計に着手可能なレベルに引き上げた。

一方で、およそ 700℃～900℃の高温・1 万 G を超える高遠心力の厳しい条件下で 1 年以上の連続運用が求められる発電用ガスタービンは、あらゆる機械製品の中でも最も技術の裾野が広く、かつ先進性の高い機械のうちのひとつであり高い完成度が求められる。

したがって、1500℃級から 1700℃級に、一足飛びに 200℃高温化することは大きなリスクを伴うことも事実である。そこで、ガスタービンの高温化における我が国のリードを保ち、かつ、1700℃級ガスタービンの実現の足掛かりとするために、本プロジェクトと並行して、1600℃級ガスタービンの開発を実施した。すなわち、我が国の 1500℃級の経験を基礎としつつ、本プロジェクトの要素試験・解析・モジュール試験を経てその有効性や信頼性が確認できた革新的要素技術を活用して、世界で初めてとなる 1600℃級 J 形ガスタービンを開発した。

本プロジェクトの成果を活用・実用化した 1600℃級 J 形ガスタービンを用いて、現状の 1500℃級から 100℃高温化した未知の世界での運用実績を蓄積すると共に、実運用を通じてしか知ることの出来ない技術課題の抽出を行った。（Step-2 である実用化技術開発と並行して、三菱重工業(株)にて、平成 23 年 2 月に試運転を実施した。）

引き続き、平成 24 年度から、実証事業として、実証機の開発の準備を進めている。平成 28 年度より 1600℃級での運用実績を蓄積しつつ 1700℃級の実証機の設計・開発を行い、平成 32 年度に 1700℃級での実証試験を行なう。

図 4-1 に、1700℃級ガスタービン実用化のロードマップを示す。

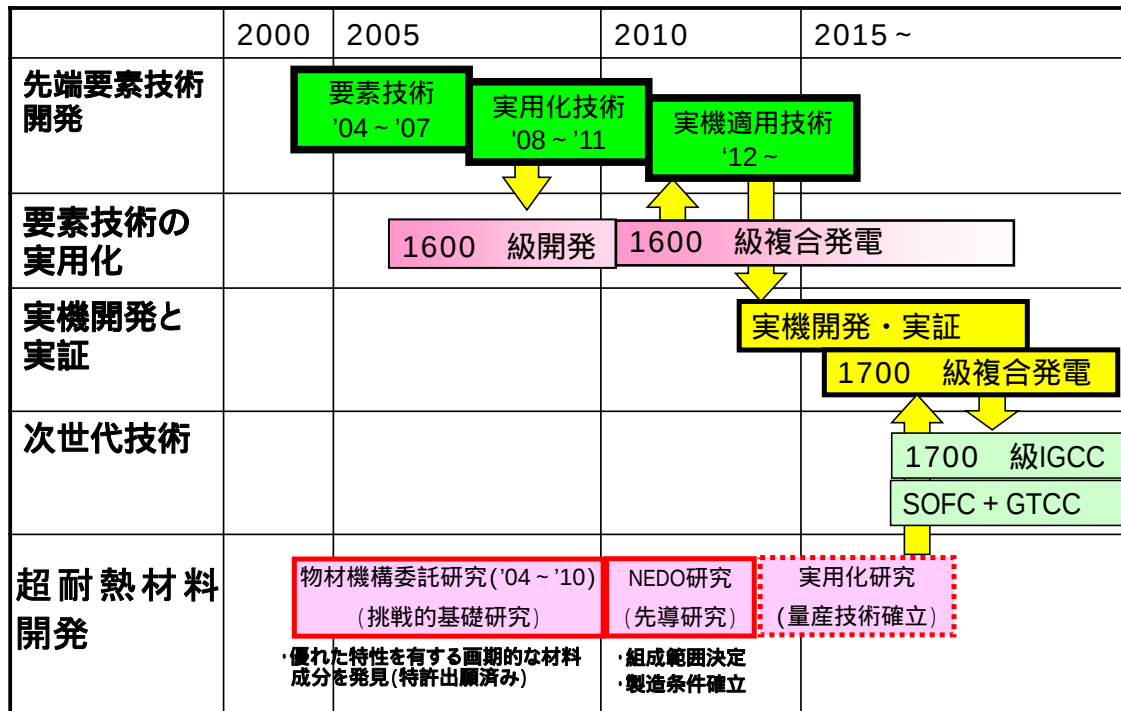


図 4 - 1 1700℃級ガスタービン実用化のロードマップ

4 - 1 - 1. 要素技術開発成果の既存機種への適用、実用化について

高性能冷却システムや、低熱伝導率遮熱コーティングなどについては、既存機へ適用する場合の改良範囲が比較的少ないため、三菱日立パワーシステムズ（株）高砂工場内実証発電設備の 1600℃級ガスタービンにて、平成 25 年度より一部試験適用し、実績を評価した上で量産機に展開予定である。

他の要素についても、複数の既存機種への適用を予定しており、1700℃級の実用化に先立ち、以下の大きな効果を期待している。

- 国プロ技術導入効果により、効率向上が加速

1400℃～1600℃級ガスタービンへ新技術を展開することにより、H20 年度からの 10 年間で平均約 2%発電効率を向上する。

- CO2 削減効果（国内）

ガスタービン効率向上分約 450 万トン（10 年間）

微粉炭焚火力からガスタービンコンバインドへ置換約 1500 万トン

（10 年間で 5 プラントと仮定した場合）

- 経済効果

上記効率向上により、技術開発競争が熾烈な市場において、大型ガスタービン 20 台/年から 30～50 台/年に競争力が向上するため、3000 億円～5000 億円の経済効果が期待できる。

4-1-2. 1700℃級ガスタービンの事業化の見通しについて

（市場規模）

先進国および途上国のいずれも、電力需要が伸びており、引き続き、ガスタービンの市場規模は 40GW レベルで拡大傾向である。また、非在来ガスが利用できるようになり、算出国では燃料価格が低下、一方、ガスを輸入に頼るアジア諸国では、燃料価格の高騰と高止まりと、環境問題の深刻化により、クリーンで経済的な高効率ガスタービンの需要が伸びている。

日本、米国、アジアを中心に、1400℃級→1500℃級→1600℃級へ主力機が移行しつつある。引き続き、超高性能機へ移行していくことは確実であり、大型ガスタービンの台数で年間 200 台程度の市場規模は十分期待できる。したがって、現在高温化で世界をリードしているわが国が、先行開発をしていくことは需要側からの期待も大きい。

（環境適合性）

ここ数年、地球温暖化に対するニーズが高まっており、CO₂ 排出原単位で比較すると、1500℃級複合発電は 0.34 kg-CO₂/kWh に対して、1700℃級複合発電では、0.31 ～ 0.32kg-CO₂/kWh であり、既存複合発電の CO₂ 排出原単位を下回る初の火力発電システムとなる。

さらに、1700℃級で検討している EGR（排ガス再循環システム）を用いることにより、排ガス中の CO₂ 濃度を高くすることができるため、CO₂ 回収を他のどの火力発電システムより、安価に実現することが可能となる。

（信頼性確保）

従来機と比較して、1700℃級複合発電設備の実用化に対しての懸念事項として、信頼性確保が挙げられる。

信頼性確保については、

- 主要コンポーネントの先端要素技術の高度化

に加え、以下の三種類の要素技術開発を並行して進める。

- 主要コンポーネント以外で、設計に必要な先端要素技術

- 製造に先立ち準備しておくべき、先端製造技術や検査技術

- 試運転時にガスタービン内部の温度や振動を計測するための特殊計測技術

これらを、実施中の 4 年間で事前検討することにより、実設計に入る前のリスク低減を図る（図 1-4 参照）。

さらに、上述のように

- 1600℃級 J 形ガスタービンに新技術を先行適用

することにより、総合的な信頼性向上が可能となる。

(経済性)

- ・ 超高効率機は、主にベースロード運用されるために、特に有利となる。
 - ・ シェア拡大の具体的なマーケットとして、特に、燃料価格の高い地域で、超高効率機の需要が高い。
 - ・ これに相当する地域として、東アジア（日本含む）、東南アジアが有望である。特にアジアでの電力需要の伸びが予測されており、超高効率ガスタービンの市場としても大きい。一例として、既に、国プロ技術を適用した 1600℃級 J 形ガスタービンは、現状 2015/5 時点で合計 36 台（日、韓、台、米など）の受注を得ている。
 - ・ 日本メーカーは、特に、このアジア市場で最も高いシェアを有しており、実績と顧客からの信用面で有利である。
 - ・ 一方、シェールガスの影響で、天然ガス価格が低下した北米でも、大電力事業者を中心に、ベースロード運用を前提とした超高効率機の需要が高まってきている。
 - ・ 発電事業者の視点で、経済性を具体的な数字で評価すると以下となる。
- 尚、コンバインドサイクルの発電所の建設費は、Gasturbine World 誌に記載されている代表的な数字を用いて評価する。

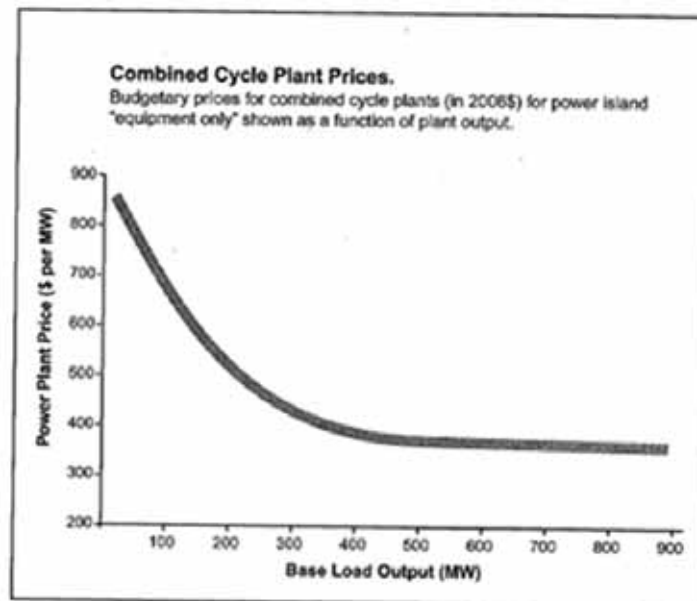


図 4-2 発電設備コストの比較(コンバインドサイクル)
(出典) Gas turbine World 2008 より

- ・ 超高効率ガスタービンを用いた発電設備は、従来の複合発電設備を含む、あらゆる火力発電設備よりも効率面で優れているため、系統運用上も運用優先順位は高いものと考えられ、ベースロード運用されることが多い。この場合の利用率は、一般に年間約 90% に達する。

本プロジェクトのガスタービンは
超高効率機なのでベースロード運用を基本とする。

効率機を
優先的に運転

	運転パターン							年利用率
	月	火	水	木	金	土	日	
ベースロード運用								90%
WSS (Weekly Start Stop) 運用								70%
DSS (Daily Start Stop) 運用								50%

運転パターンの条件

計画停止期間: 30日とします。

ベースロード運転: 100%負荷運用。

WSS運用: 平日100%負荷運用。週末32時間停止。

DSS運用: 平日16時間は100%負荷運用、平日夜間8時間停止。週末32時間停止。

図 4 - 3 運転パターンの違いによる利用率比較

・図 4 - 2 より、 仮に 500MW の発電設備を想定すると、固定費は約 200 億円。

図 4 - 3 より、年間 8000hr のベースロード運用を想定すると、

- ・ 年間総発電量は 4×10^6 MWh。
- ・ 効率 57%HHV での燃料発熱量は、年間 7×10^6 MWh = 24×10^6 MMBtu
- ・ 天然ガスの価格を、仮に 10\$/MMBtu = 1000 ¥ / MMBtu (1\$ = 100 ¥) とする。

(注) 平成 25 年の夏季のガス価格は、

ガス価格が高い日本・韓国などでは、17\$/MMBtu 程度

ガス価格が低い米国（シェールガス）では、3\$/MMBtu 程度

とされており、その平均値は、10\$/MMBtu = 1000 ¥ / MMBtu となる。

この場合、年間の燃料代は、約 240 億円/年と計算される。

すなわち、固定費に比べ、燃料代が相対的に高く、超高効率発電では、燃料代節約の効果が圧倒的に大きいことがわかる（表 4 - 1 参照）。我が国のように、ガス価格が高い場合は、500MW の発電設備を年間 8000hr 運用すると、発電効率を 52% → 57% に高めることにより、年間 39 億円程度の燃料代の節約となる。

表 4 - 1 発電効率を 52% → 57% とした場合の年間の燃料代の差

燃料価格	発電効率 52%	発電効率 57%	燃料代の差
17 \$ / MMBtu	447 億円	408 億円	Δ 39 億円
10 \$ / MMBtu	263 億円	240 億円	Δ 23 億円

4-1-3 実証試験実施場所の候補地について

これまで、1500℃級ガスタービン（G 形）、1600℃級ガスタービン（J 形）の実証発電を実施した、兵庫県高砂市の三菱日立パワーシステムズ(株)の実証設備複合サイクル発電所（実証発電設備）における試験実施が候補地の一つとして考えられる。現在、更新計画に係る環境影響評価方法書（環境アセス）をまとめ、環境影響評価を終了し、工事に着手した。



図 4-4 実証試験実施の候補地
(三菱重工(株)／三菱日立パワーシステムズ 高砂工場)

図 4-5 実証設備の概要(現状と更新後)

4-2 波及効果

本技術開発により、世界最高効率の 1700℃級ガスタービン技術確立に向けて順調に技術開発が進んでいる。

本技術により、既成ガスタービンより化石燃料単位の発電電力量を高めることが可能となり、限られた化石燃料の有効利用、発生 CO₂ 量の削減に貢献することが出来る。

上述のように、開発した革新的な技術のうち、実証適用可能と判断されたものは、世界初の 1600℃級 J 形ガスタービンの開発に適用された。これにより、我国のコンバインド発電技術の優位性を保つことが出来る。また、1500℃級をはじめとする既存のガスタービンへの技術的適用も進められており、大型の発電用ガスタービン全体の競争力強化の点で波及効果は大きい。

さらに、高効率高温ガスタービンは、石炭ガス化発電 IGCC の主機の一つとして、そのまま適用可能である。1700℃級の IGCC が実現すれば、燃料の多様化によるエネルギーセキュリティ上のメリットに加え、発生 CO₂ 量の大幅な削減が期待できる。

・高効率ガスタービンの開発により、国家的に補助されて伸長している欧米のメーカに対して、高い競争力を有する高性能ガスタービンの製造が可能になり、国内・海外の新規プラントに対して国産機の受注増大、外貨獲得が見込めるので、国内関連産業への波及効果も含めて国益になる。(米国エネルギー省(DOE)の国家プロジェクトでは米国ガスタービンメーカ、大学に 1992 年から 10 年間で約 800 億円を投資。また、EU でも、要素技術開発を実施中。)

・現在急拡大する中国市場への進出の代償として、中国メーカへの技術移転を要求される。将来中国との競争で生き残るためには、ガスタービンに適用される高度総合機械技術のエッセンスである要素技術を次のステップに進化させる国家プロジェクトが、日本産業界にとっても重要な意味を持つ。

・本プロジェクトで開発される超高温ガスタービン技術は、本技術は、LNG 複合発電以外に、

・ IGCC 用ガスタービンの高効率化

・ 将来の水素(*)燃焼ガスタービン

(*)IGCC からの水素製造、原子力夜間電力による水素製造

に展開可能である。いずれに対しても総合効率を決めるキーテクノロジーであり、今後の燃料多様化、エネルギーのベストミックスに対して有効な技術となるため、日本産業界の競争力強化のために非常に価値がある。

図1-2や表4-1に示すように、発電用ガスタービンは、経済性が高く、かつ、効率改善の経済効果（燃料代低減効果）が大きい。一方で、効率改善には、高度な技術が必要なため、技術開発の達成度が市場シェアに直結する場合が多い。

その一例として、国プロ技術を活用して開発した1600℃級J形ガスタービンの市場導入が、我が国の市場シェアに与えた効果を、図4-6に示す。

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

図4-6から、最先端技術の市場シェアへの波及効果は、一目瞭然である。

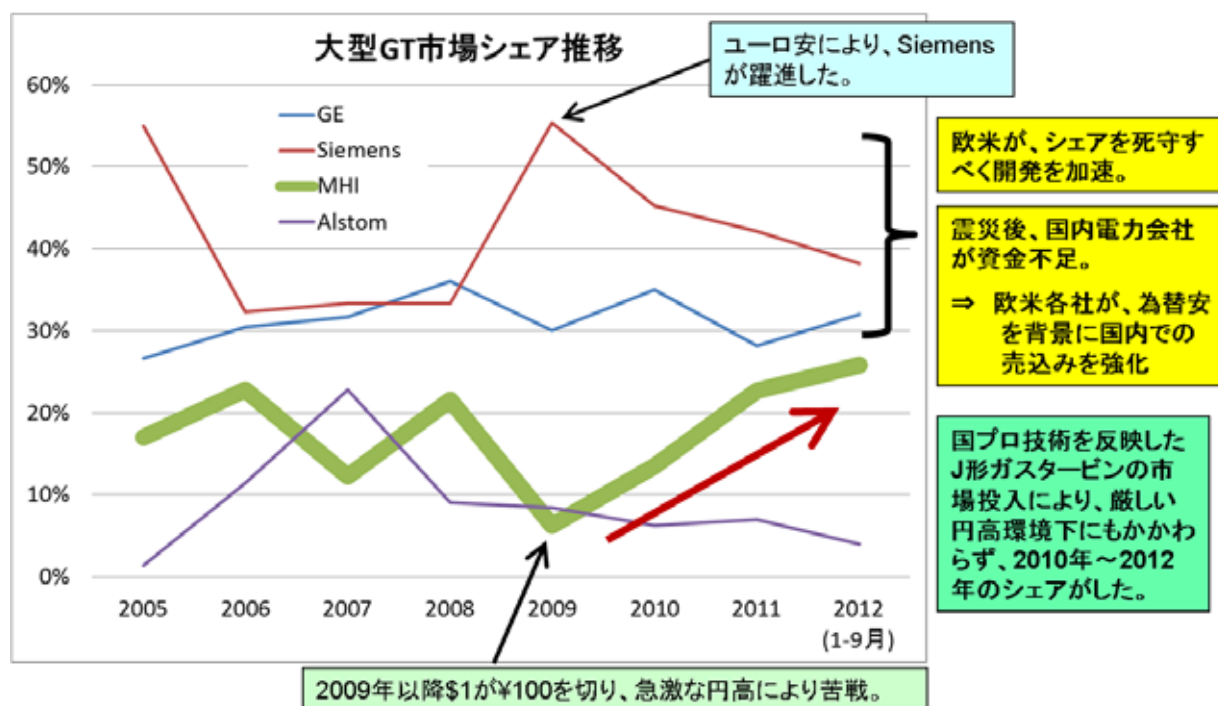


図4-6 我が国のシェアの推移

《ガスタービン事業以外の波及効果》

本技術開発が、ガスタービン事業以外にも多くのスピンオフ効果をもたらしている。たとえば、各種ターボ機械の流動解析技術や計測技術への適用、また、ロケットエンジンの燃焼安定化やフィルム冷却開発、その他製品への製造技術にも貢献している。

5. 研究開発マネジメント・体制等

5-1 研究開発計画

本事業の研究開発計画について、以下に示す（図5-1、表5-1参照）。

本事業は、4年間の要素技術開発（技術開発事前技術検証）とそれを基にした5年間の実証試験の計9年間の計画となっていた。事業開始4年目の実証機建設前に中間評価を行い、補助率も含め事業の見直しを行う時期となっている。。

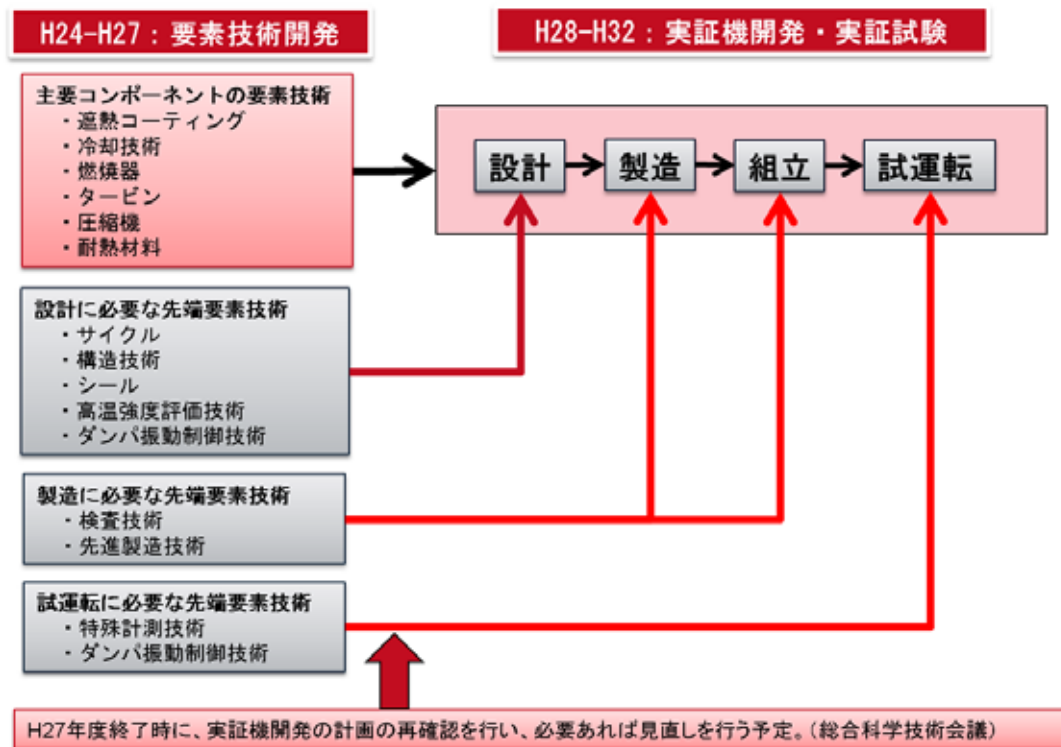


図5-1 4年間の要素技術開発と5年間の実証試験

（参考）総合科学技術会議「高効率ガスタービン技術実証事業費補助金」の評価結果：平成23年11月より抜粋

「事業の開発フェーズに応じた的確な計画の見直しについて」

本事業は、4年間の要素技術開発（技術開発事前技術検証）とそれを基にした5年間の実証試験（約1年間の実証機設計、約2年間の実証機建設、約2年間の実証試験検証）の計9年間の計画となっている。（注：当初の計画）

経済産業省においては、産業構造審議会評価小委員会で、3年ごとの中間評価と事業終了時の事後評価を実施し、また、これとは別に、事業原課が主体となって事業評価検討会を設置して事業開始4年目の実証機建設前に中間評価を行い、補助率も含め事業の見直しを行うとしている。

表 5 - 1 研究開発計画 (H24 年度～H27 年度の要素技術開発)

	H24 年度	H25 年度	H26 年度	H27 年度
①低熱伝導率 遮熱コーティング	材料改良基礎検討 皮膜構造改良 コンセプト検討	材料計算・粉末試作 熱応力解析・ 密着力評価	TBC 試作・基本特性評価 短時間劣化評価	皮膜構造適正化 長時間劣化評価 燃焼試験翼施工
②高性能冷却 システム	基本コンセプト検討 コンセプト検証 解析・試験	システム概念設計・解析 要素検証試験	システム詳細設計・解析 冷却システム検証試験	改良設計 装置製作 燃焼翼列試験
③非定常性 制御燃焼技術	基本コンセプト検討 要素解析・ 気流試験	要素燃焼試験 要素解析・気流試験	装置設計・燃焼試験 製作 解析・気流試験	改良・製作 燃焼試験 解析・気流試験
④超高性能 タービン	基本コンセプト 要素解析 翼列試験 検討	要素解析・翼列試験 改良コンセプト検討	要素解析 翼列試験 モデルタービン 設計製作 試験	改良設計 製作 モデルタービン 試験
⑤境界層制御 高性能圧縮機	境界層制御 要素解析・ モデル翼試験 コンセプト検討	境界層制御 モデル圧縮機 改良検討 試験	多段圧縮機 多段圧縮機 設計製作 試験	改良設計 製作 多段圧縮機 試験
⑥超高性能 サイクル	基本コンセプト検討	基本サイクル解析	改良サイクル解析	最終サイクル解析
⑦高機能構造技術	基本コンセプト 要素解析・ クリアランス計測 試験 検討	要素解析・クリアランス計 測試験 クリアランス制御装置設計	設計・ 製作 クリアランス制 御試験	改良設計・ 製作 クリアランス制 御試験
⑧高性能シール・ 高性能軸受	基本コンセプト 要素解析 検討 検証試験	要素解析・検証試験 改良コンセプト検討	要素解析 検証試験 改良設計	試験装置 製作 実機模擬 特性試験
⑨先進製造技術	施工法 コーティング・溶接 基礎試験 検討	コーティング・シミュレーション 成膜状態基礎評価 溶接シミュレーション、 施工状態基礎評価	条件最適化、膜性能評価 実部品成膜プログラム開発 条件最適化、溶接性能評価 実部品施工プログラム開発	実部品成膜検証・評価 実部品施工検証・評価
⑩超高温強度 評価技術	基本コンセプト 要素解析・ 材料試験 検討	要素解析・疲労試験 損傷評価基礎試験	要素解析・疲労試験 損傷評価検証試験	構造モデル試験・解析
⑪特殊計測技術	調査研究 基本コンセプト 要素試験 検討	特殊計測システム設計製作 検証試験	改良検討 実機適用	改良製作 高圧燃焼翼列試験適用
⑫高精度・高機能 検査技術	基本コンセプト 要素技術 基礎試験 検討	解析評価 センサ試作 センサ性能 評価試験	センサ設計・ 製作 モックアップ 検証試験	センサ改良・ 製作 実機検証 試験
⑬高性能ダンパ・ 振動制御技術	基本コンセプト 要素解析・要素試験 検討	要素解析・要素試験	改良コンセプト 振動解析・振動試験 検討	振動解析・振動試験

5-2 研究開発実施者の実施体制・運営

本研究開発は、公募による選定審査手続きを経て、三菱重工業(株)が経済産業省資源エネルギー庁より補助金を受けて実施した。また、再委託先として大阪大学、九州大学、北海道大学、大阪工業大学が参加した(図19 参照)。

また、研究開発の実施に当たっては、研究開発を統括するためのプロジェクトリーダー(三菱重工業(株))を任命した。

さらに、超耐熱材料の開発にあたっては、他の要素技術に比べてより基礎的な研究からスタートする必要があること、技術開発に時間がかかることなどの理由により、省庁間連携として文部科学省と(独)物質・材料研究機構が、委託先である三菱重工業(株)と研究を実施した。

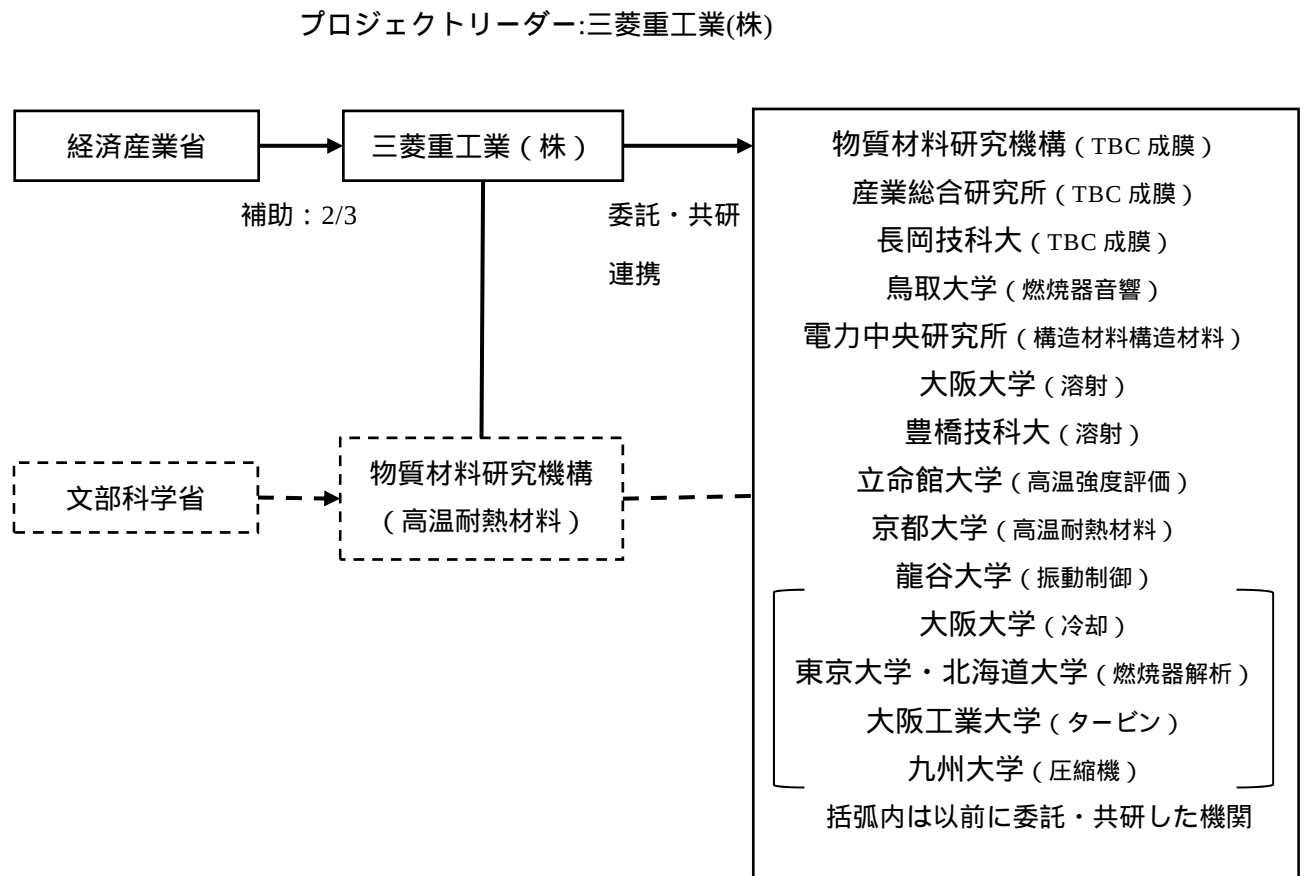


図5-2 研究開発実施体制

6. 費用対効果

6-1 資金配分

本事業の資金配分の当初計画を以下に示す（表6-1、表6-2参照）。一方、平成23年11月20日の総合科学技術会議第103回評価専門調査会での議事録に対するアクションと、最近の事業環境の変化への対応として、今回新たに、実施計画の変更案（メーカー希望案）を作成した。（表6-3、表6-4参照）

表6-1. 資金の年度配分（当初計画）（単位：百万円）

年度：平成	24	25	26	27	28	29	30	31	32	計
要素技術開発	1,255	1,181	1,880	2,000						6,316
設計					1,010	240	240	240	240	1,970
製作						1,500	1,500	1,500		4,500
試運転									1,260	1,260
合 計	1,255	1,181	1,880	2,000	1,010	1,740	1,740	1,740	1,500	14,046

このうち、最初の4年間の各要素技術開発の資金配分の当初計画を以下に示す。

表6-2. 資金の年度配分（当初計画）（単位：百万円）

年度：平成	24	25	26	27
低熱伝導率遮断コーティング	142	128	128	136
高性能冷却システム	140	127	127	135
非定常性制御燃焼技術	147	133	366	389
超高性能タービン	147	132	365	388
境界層制御高性能圧縮機	146	143	376	400
超高性能サイクル	19	18	18	19
高機能構造技術	49	44	44	47
高性能シール・高性能軸受	78	70	70	74
先進製造技術	146	170	170	181
超高温強度評価技術	47	42	42	45
特殊計測技術	98	87	87	93
高精度・高機能検査技術	47	43	43	46
高性能ダンパ・振動制御技術	49	44	44	47
合 計	1,255	1,181	1,880	2,000

今回新たに作成した、実施計画の変更案（メーカー希望案）を表６－３に示す。主な変更点は、実証運転の成功確率を高め（海外との競合に打ち勝つための）革新要素技術開発を平成２８～３２年度に設計の一部として実施し、製作は全てメーカー負担としている。（表中の下線が平成２８年度以降の変更箇所）

表６－３ 資金の年度配分（計画変更案）（単位：百万円）

年度：平成	２４	２５	２６	２７	２８	２９	３０	３１	３２	計
要素技術開発	1,255	1,181	1,880	2,000						6,316
設計					1,010	<u>1,740</u>	<u>1,740</u>	<u>1,740</u>	240	<u>6,470</u>
製作	製作は、メーカーが全額負担 試運転は、特殊計測のデータ取得のみに限定									
試運転									1,260	1,260
合 計	1,255	1,181	1,880	2,000	1,010	1,740	1,740	1,740	1,500	14,046

このうち、最初の４年間の各要素技術開発の資金配分を以下（表６－４）に示す。火力燃料の輸入増加を踏まえ、高効率化の研究開発加速のため、平成２６年度と２７年度は交付決定額が増額になっている。（表中の下線が変更箇所）

表６－４ 資金の年度配分（交付決定額）（単位：百万円）

年度：平成	２４	２５	２６	２７
低熱伝導率遮断コーティング	142	128	<u>140</u>	<u>180</u>
高性能冷却システム	140	127	<u>140</u>	<u>169</u>
非定常性制御燃焼技術	147	133	<u>384</u>	<u>430</u>
超高性能タービン	147	132	<u>380</u>	<u>440</u>
境界層制御高性能圧縮機	146	143	376	<u>450</u>
超高性能サイクル	19	18	18	<u>23</u>
高機能構造技術	49	44	44	<u>57</u>
高性能シール・高性能軸受	78	70	70	<u>90</u>
先進製造技術	146	170	<u>185</u>	<u>210</u>
超高温強度評価技術	47	42	42	<u>65</u>
特殊計測技術	98	87	87	<u>105</u>
高精度・高機能検査技術	47	43	43	<u>65</u>
高性能ダンパ・振動制御技術	49	44	44	<u>66</u>
合 計	1,255	1,181	<u>1,953</u>	<u>2,350</u>

6-2 費用対効果

本事業には4年間で約63.2億円の補助金が投じられ、ガスタービンを用いたコンバインドサイクルとしては世界最高の発電効率である57%（HHV）の達成に向けた技術開発に目処をつけるなどの成果をあげた。

さらに、老朽化した石炭、石油、LNG 火力発電設備の高効率コンバインドサイクル発電設備へのリプレース需要が高まっており、この場合は、効率の向上が大きくなるため、さらに大きな燃料削減効果が期待できる。

【CO₂削減量】

1700℃級の高効率ガスタービンを開発した場合、既設の石炭、石油、LNG 火力発電の30%～50%の発電出力を1700℃級複合発電に置き換えると、発電所から発生するCO₂発生量の10～17%（*）が削減可能である。（表6-5、図6-1参照）

表6-5 既存LNG(平均発電効率45%)火力、石油・石炭火力を
1700℃級ガスタービンに置き換えた場合の効果

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

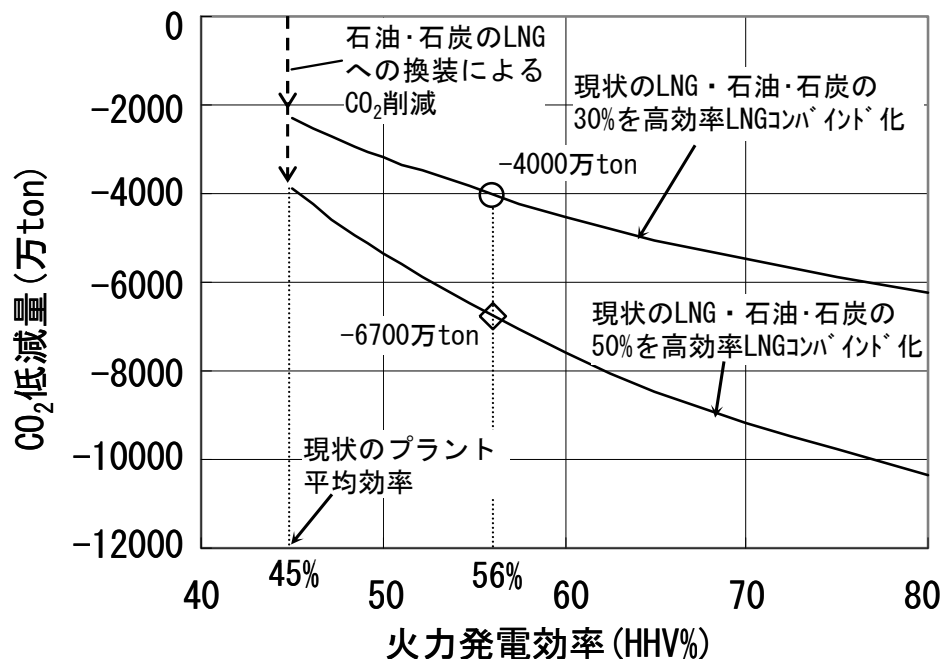


図6-1 1700℃級ガスタービンCO₂低減効果

（*）我が国の電気事業全体からのCO₂排出量約4億トンとの比較。なお、ベ

ースは、(財)電力中央研究所出典の「わが国における電源構成の推移(図6-2)」に基づいている。

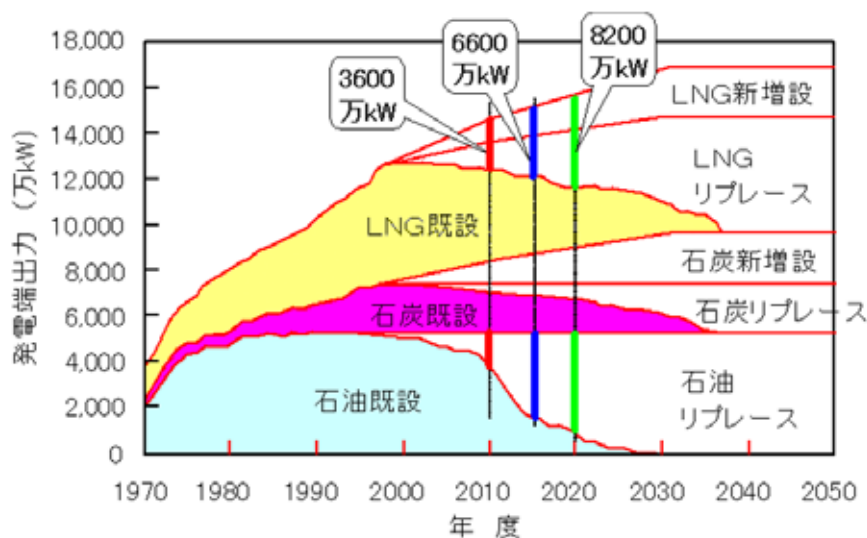


図6-2 わが国における電源構成の推移(プラント寿命40年)

出典: 電力中央研究所

また、排ガス再循環システムではCO₂回収が、他のシステムより低コストで実現可能となる可能性がある。この場合は、CO₂排出原単位は0.03kg-CO₂/kWh程度とできる。

【省エネ効果】

既設の火力発電所の30%~50%を1700℃級ガスタービン高効率コンバインドプラントに置き換えると、原油換算で1300万~2200万トン/年の省エネ効果がある。

我が国のように、ガス価格が高い場合(17\$/MMBtu程度)は、500MWの発電設備を年間8000hr運用する場合を想定すると、発電効率を52%→57%に高めることにより、ガスタービン1台当たり年間39億円程度の燃料代の節約となる。

7 事前評価及びフォローアップにおける指摘事項に対する対応状況

7-1 総合科学技術会議（平成 23 年 11 月 20 日）（現、総合科学技術・イノベーション会議）指摘事項に対する対応状況

<http://www8.cao.go.jp/cstp/tyousakai/hyouka/haihu103/siryo4-1.pdf>

同会議議事録

<http://www8.cao.go.jp/cstp/tyousakai/hyouka/haihu103/gijiroku103.pdf>

※高効率ガスタービンについて 15 ページ～23 ページにご指摘あり。

添付資料－1 に関係部位の抜粋を記載

ご指摘事項の要旨は以下である。

- ① 事業原課が主体となって事業評価検討会を設置して、事業開始 4 年目の実証機建設前に中間評価を行い、補助率も含めて事業の見直しを行う
- ② 中間評価に基づく事業の見直しの一環として、補助率の見直しを行うに当たっては、その段階では既に要素技術の開発は基本的に終了していることや、実証機については実証試験終了後には商用機として活用できること等を考慮して、適切な補助率を設定する必要がある。
- ③ 8 年目から 9 年目の実証試験、検証段階においては、実証機による連続運転が行われ、商用機と同様に売電による収入が得られるということも想定される。これを考慮して、段階的に補助率を引き下げていくという対応を検討するとともに、事業開始までに売電による収入の見込みを反映する形で国の予算計画の見直しが必要である。

（1）“事業の見直し”について実施事業者（メーカー）としての希望

事業の見直しにつきまして、以下の、①事業環境の変化、②技術開発の進捗状況、③実証フェーズでの送電必要性 の 3 点を考慮する必要がある。

①事業環境の変化

海外競合メーカーが想定より早く高効率機を公表しました。国際競争を勝ち抜くため、さらなる要素効率向上研究が必要な状況となっている。

（参考） Gas Turbine World 誌 に記載の公表値

GE 9HA.02 C/C 効率 62.7%LHV (56.8%HHV) 出力 755MW

MHI M701J C/C 効率 61.7%LHV (55.9%HHV) 出力 680MW

（LHV：低位発熱量 HHV：高位発熱量 基準）

注 1：記載の効率は発電端効率。送電端効率は通常この値より 1～2%低い。

注 2：平成 27 年 6 月時点での商用機としての運用実績は、

GE 9HA.02 は、ゼロであるのに対し、

MHI M501J（60Hz 機。M701J は相似設計の 50Hz 機）は、

平成 23 年以降 4 年間で 20,000 時間以上の運用実績を有する。
従って、運用実績では我が国が数年分リードしている。

注 3 : MHI は、1600℃級⇒1700℃級の中間の機種として
1650℃級ガスタービンの実用化を計画している。
発電端効率は、C/C 効率 63%LHV (57.1%HHV)

②技術開発の進捗状況

一方、H24-H27 年度の要素技術開発は順調に進んでいること、先行する 1600℃級 GT の長期運用データが蓄積されつつあることから、1700℃級実証機の設計、製造、試運転については、具体案を推進できる状況となってきた。ただし、バックアップ技術の開発やシミュレーション技術、実証後に必要な性能向上技術の開発は、実証運転そのものを成功に導くためにも必要不可欠である。

③実証フェーズでの送電必要性

実証フェーズでは発電・送電する（さらに補助対象期間終了後も同じ設備を用いて長期の運用データを取得する必要がある）ことに対して、「本来補助事業自体で収入を得ることを前提としていない」という条項があり（添付資料－２）、事前に補助対象と補助対象外の範囲を明確に分けておくことが必要である。

以上より、実施事業者（メーカー）としては、以下の対応方針を希望する。

- ・ 実証試験自体は当初の予定通り進めるが、「本来補助事業自体で収入を得ることを前提としていない」ということを考慮し、発電に直接寄与する実証発電設備は、ガスタービン本体含めすべて弊社自前費用で製造・建設し、補助対象に含めないこととする。
- ・ 平成 28 年度以降の補助事業申請対象範囲は、発電に直接寄与しない 1700℃での実証のために必要な（さらに高性能化を目指すためのより難易度とリスクの高い要素技術研究に関係するものも含む）費用に限定する。

具体的には、以下のような費目を補助対象として申請する。

《補助事業(平成 28 年度～平成 32 年度)申請範囲の案》

- ・ 設計アイデアを実現するための製造技術・検査技術の研究
- ・ 超高温燃焼器のバックアップ技術の開発研究

- ・ 超高温高負荷タービンの性能信頼性を確保するためのバックアップ技術の研究
 - ・ 圧縮機作動安定実現のための運用方法及びバックアップ技術の研究
 - ・ 過酷環境下で確実にデータを取得するための特殊計測技術の研究
 - ・ 発電実証試験の作動状態量を事前に予測する大規模数値シミュレーション
 - ・ 発電実証試験における特殊計測実施
 - センサ設計／製造、実機部品への取付作業、
 - 計測作業及びデータ分析／評価
 - ・ 試運転データを評価・分析し、商用化を加速するための改良検討
 - ・ 更に競争力を高めるための性能向上／信頼性向上研究
 - 現在実施中の 14 項目の要素技術に対し、より難易度とリスクの高い海外他社が容易に追従できない要素技術の研究
 - (これは、上述の実証試験を成功させるためのバックアップ技術にもなる)
- 他

(2) “補助率の見直し” について実施事業者（メーカー）としての希望

将来的には、海外に対するシステム輸出が、国内の市場が伸び悩むと予想されている我が国の産業の維持・発展の観点と、今後電力需要が伸びるアジア各国で我が国が世界最高レベルの発電技術で経済面と環境面でリード貢献するという観点の両方で重要である。このような背景の元、上述の諸事情を考慮し、1700℃級実証機の設計・製造・試運転と、さらなる要素効率開発を並行して進める必要がある。後者の要素技術開発のリスクを考慮すると、メーカー単独では負担が大きく、カバーできないと危惧する。

従って、最先端の要素技術開発を設計に含むという位置付けで、従来通りの補助率で研究実施させていただくことを希望いたします。

補助率が現状より低く設定された場合の影響度としては、研究の規模を縮減し、実施項目を大幅に絞り込む必要があり、米国、欧州いずれも多額の補助金(*)で国がメーカーを支援している状況を考慮すると、現状世界で3か国(米・独・仏は脱落)しか新規開発できない状態から、我が国は脱落する事態に陥る恐れがある。

(*) 海外の補助金は、補助率が公表されていないものが多いが、内容によって 2/3～1/2 と推定される。

(3) 平成 31 年度及び平成 32 年度に売電収入が発生する場合の実施スキーム

1700℃級実証機の試運転では、発生電力の送電を行う必要がある。試運転終了後も、長期実証のため、継続して運転・送電を行い、データを取得し続ける必要がある。

- ・実証試験自体は当初の予定通り進めますが、「本来補助事業自体で収入を得ることを前提としていない」ということを考慮し、発電に直接寄与する実証発電設備は、ガスタービン本体含めすべて弊社自前費用で建設し、補助対象に含めない。
- ・平成28年度以降の補助事業申請対象範囲は、発電に直接寄与しない1700℃での実証に関連する設計開発の一環としての研究開発（さらに高性能化を目指すためのより難易度とリスクの高い要素技術研究を含む）と、試運転時の特殊計測のデータ取得に係る費用に限定します。

7－2 産構審評価小委員会（平成26年2月27日）（現、評価WG）指摘事項に対する対応状況

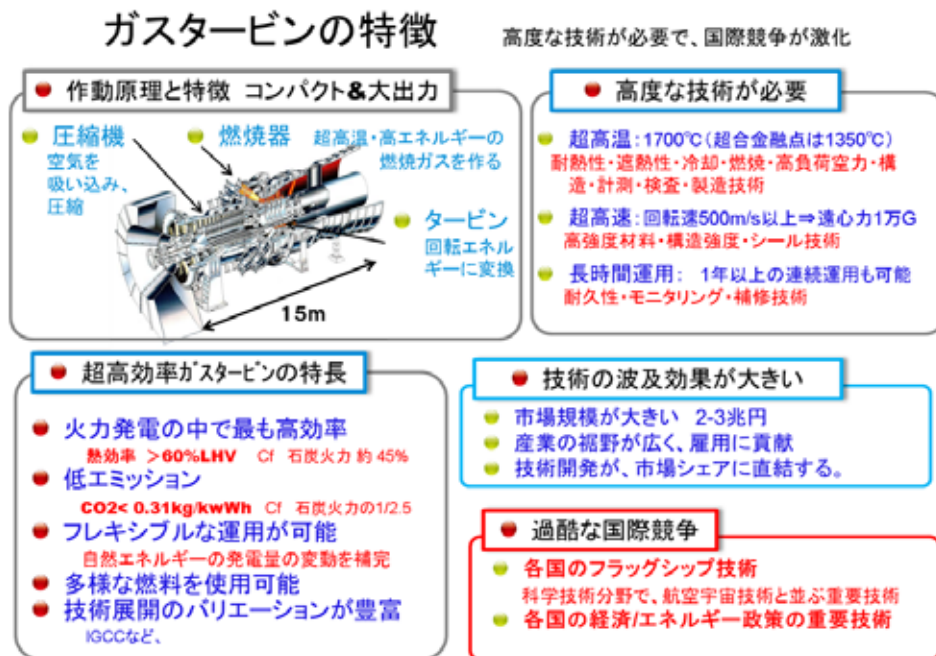
http://www.meti.go.jp/policy/tech_evaluation/c00/C0000000H25/140227_wg7/140227wg7.htm

1700℃級ガスタービン事業については、コメントなし。

（補足説明1）事業の見直しについて

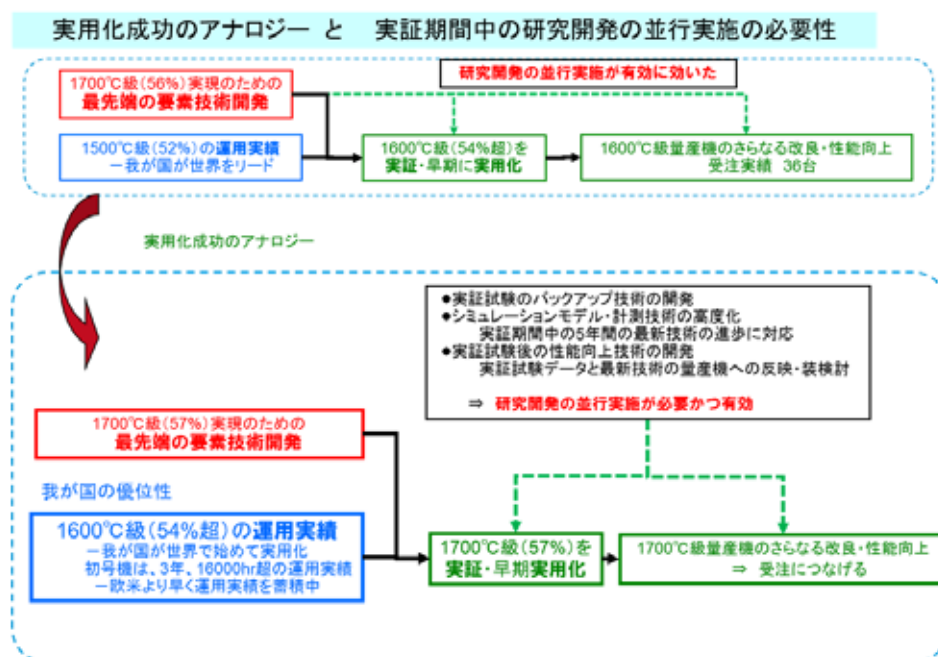
これまで、発電用ガスタービンの技術力については、我が国が海外に対しリードしてきたが、海外メーカーも技術開発スピードを開発している。このため、当初実証フェーズとして実施する内容を大幅に変更し、新たな要素技術の開発に着手する必要が生じた。

一方、ガスタービンのハイエンド機は、各国で航空宇宙技術と並んで重要技術と位置付けられており、多額の補助金が投じられています。現在、米独日の3か国のみが開発可能であり、補助率が低く設定された場合、我が国の生き残りは大変難しくなるものと考えられる（図（補足1）－1（図1－2と同じ））。



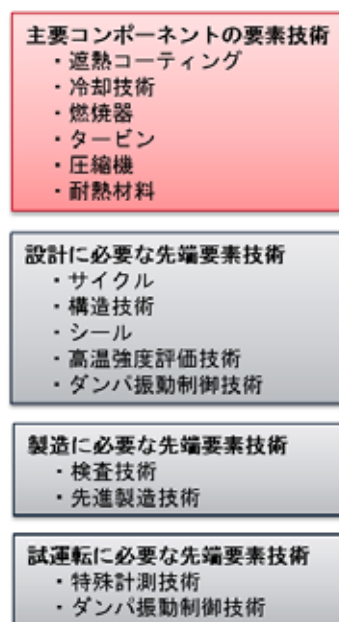
図（補足1）－1 各国におけるガスタービンのハイエンド機の位置付け

ただし、我が国は、世界に先駆けて 1600℃級ガスタービンの運用実績を3年以上蓄積しており、米国の最新機種が未だ運用実績を有していないことと比べると、現時点ではまだリードしているとも言える。ここで、最先端の要素技術開発の手を緩めず、継続して実施して先行機である 1600℃級ガスタービンの運用経験と組み合わせることで、1700℃級（発電効率 57%）の成功確率を高め、1700℃以降のさらなる高性能化につなげることができる（図（補足1）－2）



さらに高性能化を達成するためには、現在実施中の14項目（図(補足1)－3）の開発項目に対し、新しいアイデア・最新技術を投入しレベルアップを図る必要がある。

図(補足1)－3 14項目の要素技術
(耐熱材料は文科省物材機構と連携して開発)



一方、実証に当たっては、予想外の挙動や不測の事態も発生しうるため、予めバックアップ技術を用意する必要もある。またガスタービンの実証試験については、以下の点に注意して進める必要がある。

- ・ 複数の技術分野に跨るため、システムとしての高度なインテグレーションが必要とされる。例えば、部品間の圧力バランスが崩れたり、弱い技術分野があると、定格条件に到達できない。

- ・実証機のハードウェアを用いての計測（流量や振動数など）と、数値シミュレーションモデルへのデータの反映、それを用いた試運転状態量の予測が必要である。
- ・極限の作動条件での実証試験となり、想定外の温度・振動などが発生すると、機器損傷までの時間が短いため、リアルタイムの計測モニタが必要である。

また、技術革新のスピードが速く、実証試験期間中も海外の競合他社は技術開発を絶え間なく進めており、実証試験終了直後から性能向上のための改良が必要と言える。

従って、実証期間中も、以下の三つの観点で研究を継続する必要があると考える。

① バックアップ技術の開発

実証試験準備中・試験実施期間中の未知の事象や予期せぬ不具合の早期解決に備えてのバックアップ技術やバックアップ部品の研究開発

② シミュレーションモデル・計測技術の高度化

実証試験の準備期間中の最新技術と、実証機のハードウェアの実測データを、シミュレーションモデルへの反映することにより、予測精度の向上を図る。

③ 実証試験後に備えた性能向上技術の開発

実証試験データを踏まえた量産機の作り込みと、実証試験期間中に開発された最新技術を量産機へ実装するための要素技術検討を行う。

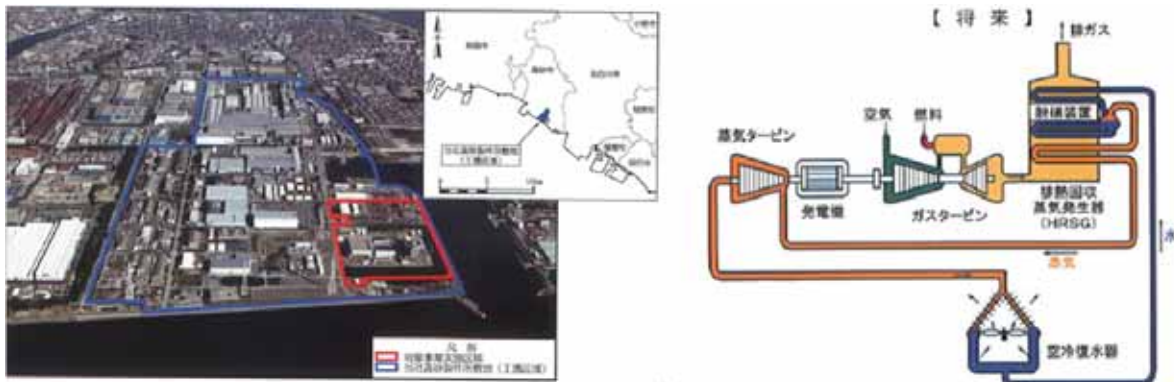
（この項目は①のバックアップ技術にもなる。）

実証期間中に並行して、設計・開発検討の一環として、研究を実施することにより、実証試験の成功確率を高め、さらに実証試験後の性能・信頼性の両面で競争力を格段に高めることができます。

(補足説明2)「高効率ガスタービン技術実証事業(1700℃級GT)」の実証の進め方
弊社の過去の新型ガスタービンの実証試験の経験を基に、現状案を記載する。

(1) 実証試験実施場所・設備について

兵庫県高砂市の三菱日立パワーシステムズ(株)社内に、新たに設置する実証発電設備(出力約 51 万kW、環境影響度評価中)を使用する案を進めている。次世代ガスタービンは、従来ガスタービンを超える更に厳しい条件を課しての長期検証を実施する予定であり、実証設備は、設計的には 1700 級の運用でも耐えうるものである。但し、排ガス温度上昇による HRSG への影響が皆無ではないことや Emission の制約などが想定されるため、今回の実証試験ではデータ取得のための最小限の運転時間とする。



図(補足2)－1 実証試験実施場所・設備

(2) 実証試験の運転時間について

H32 年度の実証試験では、従来のガスタービンの場合と同様に、以下のような内容で試験予定である。

- ・ 起動昇速試験、負荷上昇試験などを経て、定格条件のデータを取得する。
- ・ 燃焼温度は、データを監視しながら徐々に上げていく。

例えば、1500℃⇒1600℃⇒1650℃⇒1700℃と徐々に上げていく。(仮)

- ・ 予期せぬ不具合も想定し、1700℃条件での運用は、データ取得のための必要最小限の運転時間とします。
- ・ その後、取得データを確認・評価します。

表(補足2)－1 H32 年度の実証試験での実施工程概略

H32 年度	4 月～9 月	10 月～3 月
実証試験	負荷上昇試験(～約 1650℃) ■■■■■	1700℃実証試験 ■■■■■
長期実証	仮：約 1600℃ ■■■■■	仮：約 1650℃ ■■■■■

（３）発電効率の評価方法について

新たに設置する実証発電設備は、瀬戸内海に面して設置されることから、通常の複合発電設備と異なる仕様（空冷復水器など）となっているため、標準的な仕様における発電効率を直接計測することができない。

目標効率 57%(HHV)の達成度の定量的な評価を行うためには、計測データを基にして、「標準仕様における発電効率」への換算が必要となる。換算は、前提条件や考え方を示したうえで、十分に実績のある確実な方法で行う。

（４）実証試験終了後の長期実証について

実証試験では、技術的に可能なあらゆる手段を駆使してガスタービンの内部状態量の計測・把握に努める一方、長期実証運用では予期せぬ不具合が発生する場合がある。このため、長期実証では、機器損傷を回避するため、若干低い燃焼温度から運用を開始し、数回の定期検査を経て、徐々に燃焼温度を高めていく。

以上は、過去のガスタービンの開発と同様の実証試験の進め方であり、同じやり方を踏襲してく計画である。

**（補足説明３）「高効率ガスタービン技術実証事業」全体の予算総額の大幅な減額
についての確認事項**

25 年 7 月の総合科学技術会議では、高効率ガスタービン実証事業の総額について約 529 億円で説明しているのに対し、昨年の予算要求時では、総額が約 216 億円としており、大幅に総額が下がっているため、以下に基づき確認する。

**■事前評価後に予算額が減額された大規模研究開発の扱いについての確認事項
（案）（平成 22 年 5 月 7 日評価専門調査会）**

資料 3

<http://www8.cao.go.jp/cstp/tyousakai/hyouka/haihu83/siry03.pdf>

議事録（27 ページ下～29 ページ）

<http://www8.cao.go.jp/cstp/tyousakai/hyouka/haihu83/giji83.pdf>

（１）事前評価のフォローアップの扱い

予算額の減額に伴い変更された研究開発目標、研究開発内容等の意義や妥当性についてフォローアップを行う。

（２）事後評価の扱い

事前評価を行った研究開発の実施結果についての総合科学技術会議としての説明責任を果たすとともに、実施府省に対し次の段階への P D C A サイクルの実施を促す観点から、フォローアップの際に確認された研究開発目標、研究開発内容等に基づき事後評価を行う。

①予算額の変更で研究開発目標、研究開発内容が具体的にどのように変わったか。

（確認結果）予算額の変更は、本事業の内、1700℃級ガスタービンの事業以外によるものであり、1700℃級ガスタービンの事業については、研究開発目標・研究開発内容自体は、基本的に変更はありません。むしろ、海外との競争激化のため、加速して実施する必要があります。

②変更後の研究開発目標、研究開発内容の影響、意義、妥当性について具体的にどのようにとらえているか。

（確認結果）1700℃級ガスタービンにつきましては、変更はありません。

(添付資料－１) 総合科学技術会議評価専門調査会 (平成 23 年 11 月 20 日)

議事録

総合科学技術会議 第 103 回評価専門調査会

議事録

日 時：平成 25 年 11 月 20 日 (水) 14:01～16:20

場 所：中央合同庁舎第 4 号館 共用第 4 特別会議室 (4 階)

出席者：久間会長、原山議員、橋本議員、

相澤委員、天野委員、上杉委員、上野委員、河合委員、白井委員、

高橋委員、竹中委員、玉起委員、福井委員、松橋委員

欠席者：平野議員、石田委員、伊藤委員、射場委員、長我部委員、

中村委員、松岡委員、村越委員

事務局：中野審議官、森本審議官、山岸審議官、田中参事官、

中川参事官、井上企画官、西尾ディレクター、野尻補佐、山向補佐

説明者：文部科学省 下間 康行 研究振興局参事官 (情報担当)

川口 悦生 研究振興局参事官 (情報担当)

付計算科学技術推進室室長

議 事：

1. 国家的に重要な研究開発の事前評価のフォローアップ結果について
 - ・石炭ガス化燃料電池複合発電実証事業費補助金
 - ・高効率ガスタービン技術実証事業費補助金
2. 国家的に重要な研究開発の事前評価結果について
 - ・エクサスケール・スーパーコンピュータ開発プロジェクト
3. その他

《関係部位抜粋：15～23 ページ》

経済産業省におきましては、産業構造審議会評価小委員会で3年ごとの中間評価と事業終了時の事後評価を実施し、またこれとは別に事業原課が主体となつて事業評価検討会を設置して、事業開始4年目の実証機建設前に中間評価を行い、補助率も含めて事業の見直しを行うとしております。

その場合の評価について、どのような体制で行うのかということを含めて、産業構造審議会評価小委員会が実施する評価との役割分担が必ずしも明確になっていない。このためあらかじめこれらの点を明確にし、4年目に行う中間評価の具体的な評価項目、実施時期、実施方法、評価結果の事業見直しへの反映手順等について、全体の事業計画の中で明確に位置づける必要があるということでございます。

それから、中間評価に基づく事業の見直しの一環として、補助率の見直しを行うに当たっては、その段階では既に要素技術の開発は基本的に終了している

ことや、実証機については実証試験終了後には商用機として活用できること等を考慮して、適切な補助率を設定する必要があるという指摘をさせていただいております。

それから、3つ目のポツでございますが、8年目から9年目の実証試験、検証段階におきましては、実証機による連続運転が行われ、商用機と同様に売電による収入が得られるということも想定されます。これを考慮しまして、段階的に補助率を引き下げていくという対応を検討するとともに、事業開始までに売電による収入の見込みを反映する形で国の予算計画の見直しが必要であるという御指摘をさせていただきました。

対応といたしまして、事業開始4年目である、平成27年度におきまして、次年度からの実証機設計、製造への移行に先立ち、産業構造審議会、研究開発・評価小委員会、評価ワーキンググループにおいて中間評価を行い、補助率も含めた事業の見直しを行うこととしている、ということでございます。

事業原課が設置する評価検討会におきましては、当該分野に関する科学技術的な深い知見や見識のある外部専門家による科学技術的な観点からの実施内容の評価、助言を行う。他方、研究開発・評価小委員会、評価ワーキンググループにおきましては、政策的、経済社会的、国際的観点も踏まえつつ、中間評価を行うこととしております。また、中間評価の実施に向けて評価項目実施時期、実施方法、評価結果の事業見直し等について、必要な検討を進めて行く予定ということでございます。

2つ目の指摘について、本事業が実施段階に入る平成28年度予算要求において、中間評価の結果を踏まえ、また将来の事業の進め方を考慮し、本事業に対する適切な補助率を検討する予定である。

3つ目の指摘について、平成31年度及び平成32年度の予算要求において、売電収入が発生する場合、その場合におきましては、補助率のあり方も含め、実証実施試験の実施スキームについてさまざまな観点から検討する予定であるという回答をいただきました。

(添付資料－２) 交付要綱（平成 24・02・28 財資第 3 号）関連条項

要綱第 17 条（取得財産等の管理等）

1 補助事業者は、補助事業により取得し、又は効用の増加した財産（以下「取得財産等」という。）については、補助事業完了後においても、善良な管理者の注意をもって管理し、補助金交付の目的に従って、その効率的運用を図らなければならない。

2 補助事業者は、取得財産等について、様式第 11 による取得財産等管理台帳を備え、管理するとともに、当該年度に取得財産等があるときは、様式第 12 による取得財産等明細表を第 11 条第 1 項に定める報告書に添付して提出するものとする。

3 大臣は、補助事業者が取得財産等を処分することにより収入があり、又は収入があると認められるときは、その収入の全部又は一部を国に納付させることができるものとする。

要綱第 20 条（補助金の収益納付）

1 補助事業者は、補助事業終了後一定期間内に、補助事業の成果に基づく産業財産権の譲渡又はそれらの実施権の決定により収益があったときは、様式 14 による収益状況報告書を大臣に提出しなければならない。

2 補助事業者は、大臣が前項の報告書の提出に基づき相当の収益を生じたと認定したときには、大臣が別に定めるところにより、交付された補助金の全部又は一部に相当する金額を国に納付しなければならない。

B. 高湿分空気利用ガスタービン技術実証事業

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 AHAT*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。AHATは1980年に日本で考案された HAT*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 AHAT 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ーエネルギー革新技術計画」（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術」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、AHAT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が

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。

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。

平成26年4月に閣議決定されたエネルギー基本計画では、高効率LNG火力発電の技術開発、効率的な利用や輸出を促進するとあり、技術開発プロジェクトを全体として整合的に進めていくための戦略をロードマップとして策定することが定められた。

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

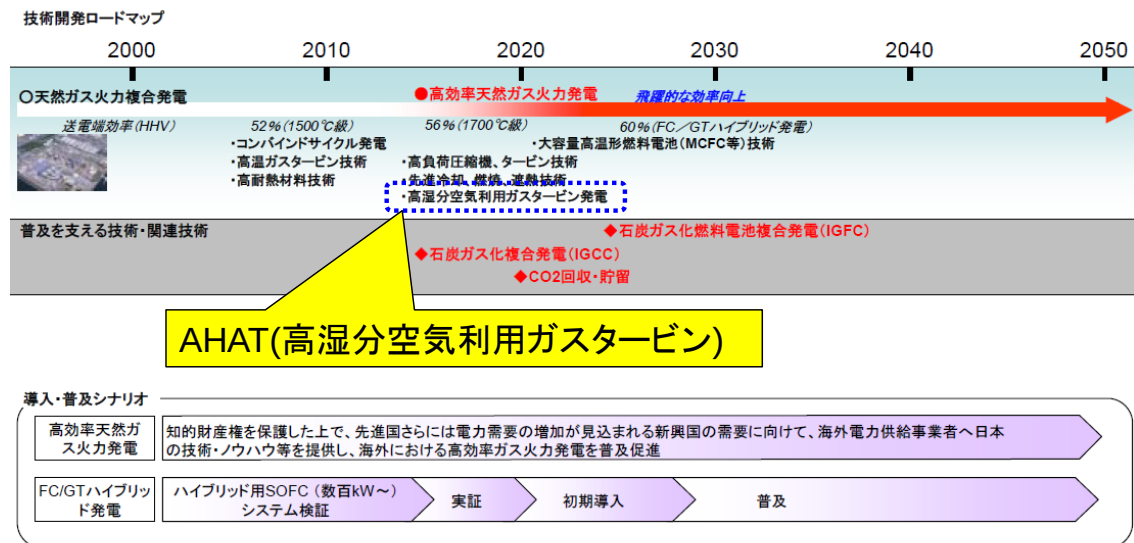


図 1-1 「Cool Earth - エネルギー革新技術計画」(平成 20 年 3 月、経済産業省)におけるロードマップ

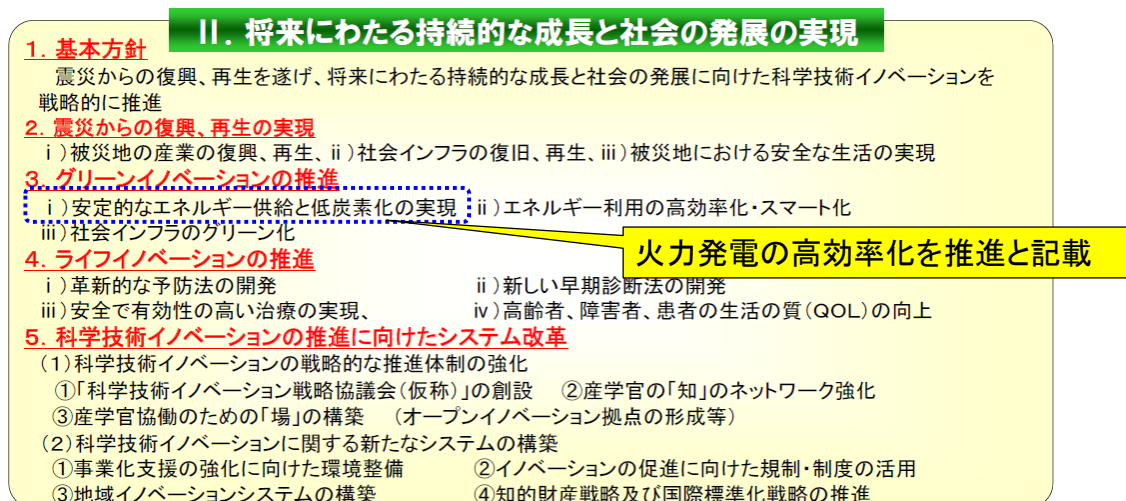


図 1-2 「第 4 期科学技術基本計画」(平成 23 年 8 月、文部科学省)における火力発電の高効率化の位置づけ

- 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。**

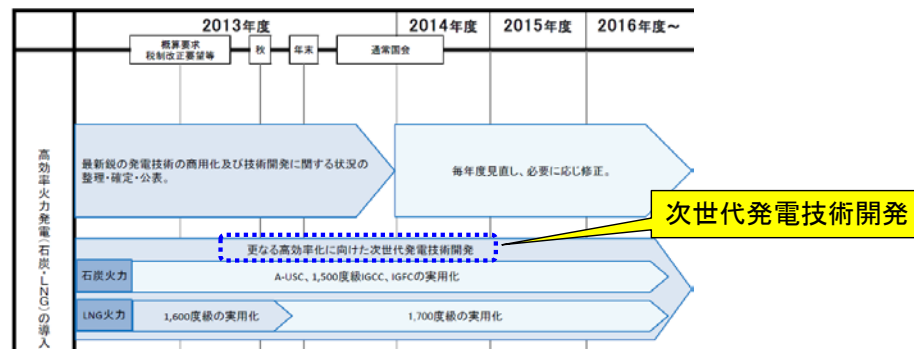
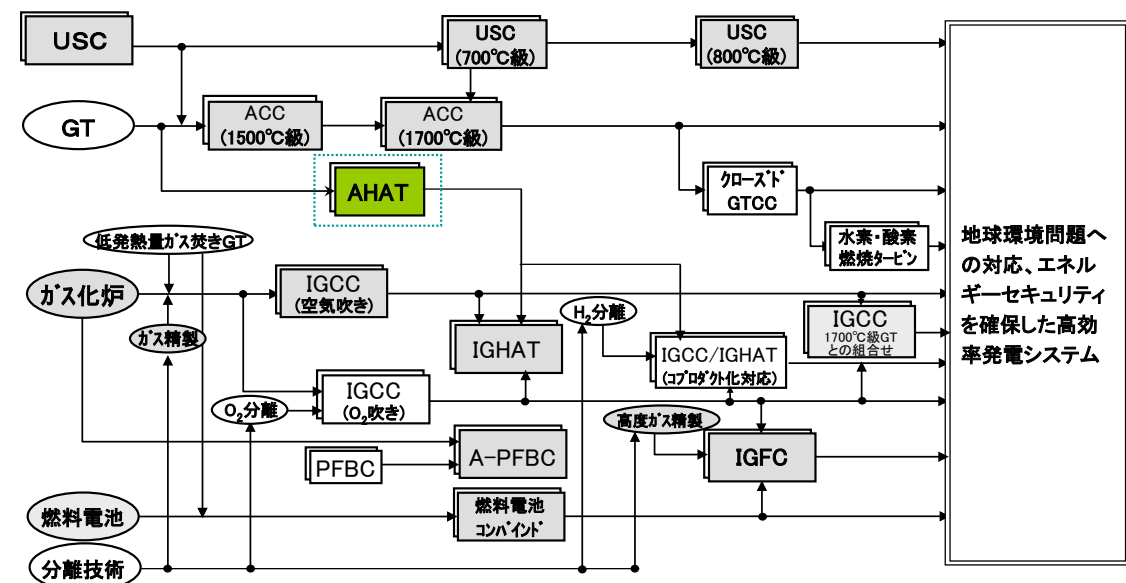


図 1－3 「日本再興戦略」(平成 25 年 6 月、内閣府)における高効率火力発電の位置づけ



□ : 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 AHAT の位置づけ

1-3 国の関与の必要性

AHAT は、世界初の新型ガスタービン発電システムである。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 AHAT 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確立することができる。

我が国はエネルギー資源に乏しく、海外に対するシステム輸出が外貨獲得と資源権益の確保の観点で重要である。海外では、米国 DOE が、Advanced Hydrogen Turbine Development (2005-2015 年)で General Electric 社に補助額 81M\$(補助率 60%)、SIEMENS 社に補助額 82M\$(補助率 60%)の補助を行うなど、ガスタービンの世界的な有力メーカーが、高い水準の政府補助を受けて開発を加速している。我が国が国内の事業者と同等の補助を行わないことは、我が国の国際競争力を削ぐことに繋がる。

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。また、火力発電の中で、ガスタービンシステムは最もエネルギー変換効率が高く、環境への負荷も少ないため、今後も国産技術で維持可能とすることが、国家安全の観点からも強く望まれる。ガスタービンは、高度な技術、ノウハウの塊であり、現段階では、欧米、日本など限られた先進国しか製作技術を有していないが、開発の勢いを緩めた場合、先進国以外の企業にキャッチアップされ、エネルギーセキュリティの確保等が不可能となるリスクがある。

本事業は、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。本事業はまもなく実証の段階となるものの、以下の技術的、事業的なリスクを同時に有しており、民間企業が安定して開発を継続するには、2/3の補助率が必要である。

(1) 実証機では、要素開発機器の組み合わせだけでなく、排ガスからの回収水の再利用など従来にない技術開発内容を含んでおり、開発リスクが要素研究と同等程度に大きい。

(2) 次世代電力供給システムは、開発、建設リードタイムが長く、技術実証期間も含めると投資回収に時間を要する。民間事業者が投資リスクを負ったまま実証事業を継続するために、補助率を高く維持することが必要である。

(3) 実証機の出力規模の抑制、二段階に別けた実証方式、発電機等の削除により合理的に実証することを計画しており、実証期間だけでなく実証終了後も売電による収入が得られないため、事業者の投資のリスクが相当に大きい。

2 研究開発目標

2-1 研究開発目標

2-1-1 全体の目標設定

(1) AHAT の概要

AHAT 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、その概略系統を図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。

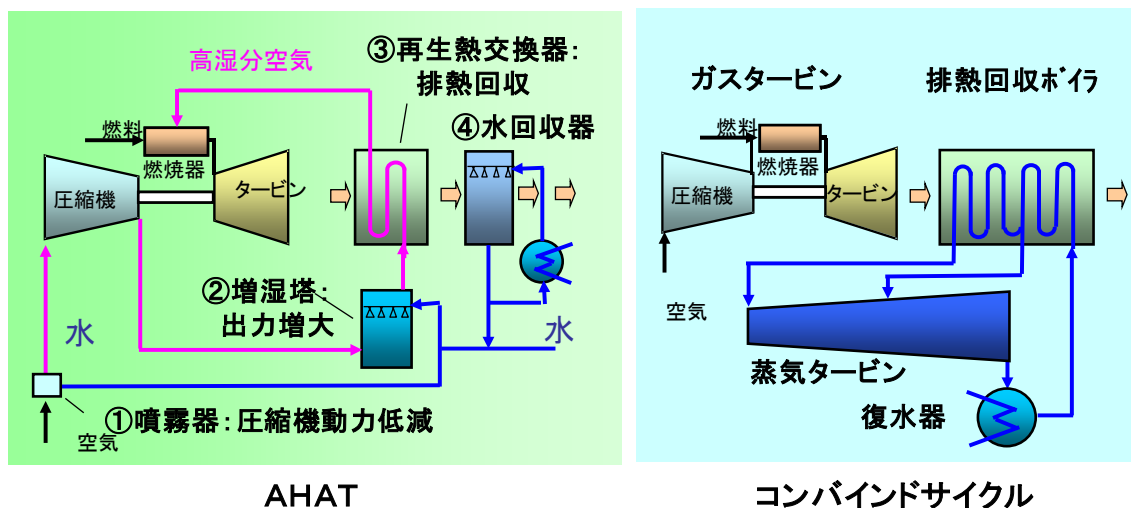


図2-1 AHAT およびコンバインドサイクルの概略系統

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。

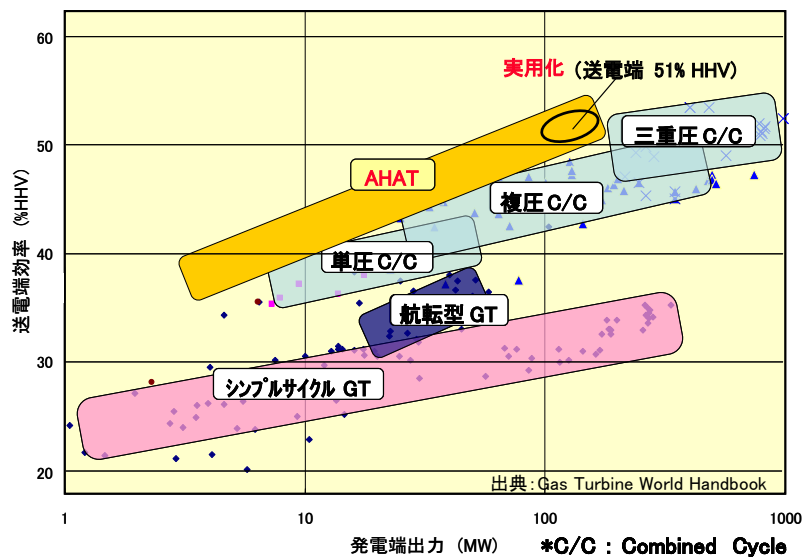


図 2-2 各種発電システムの出力—効率特性

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℃程度の比較的高い温度の回収水を 30℃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℃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 AHAT 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 級中容量高温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): 高温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): 高温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温分燃焼技術の開発

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

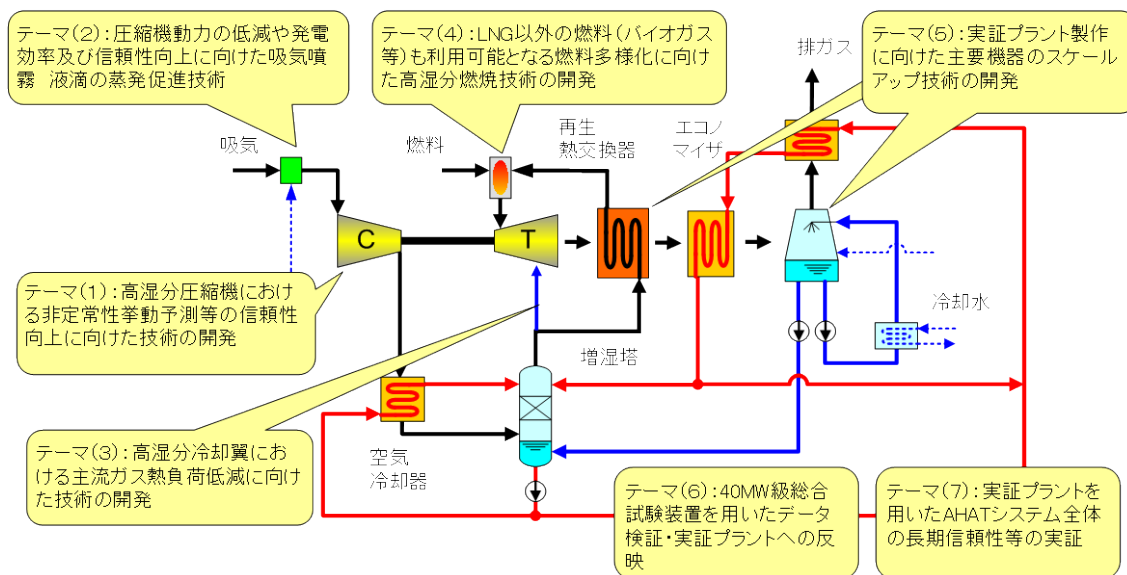


図 2－3 AHAT の開発課題と本事業の目的

2－1－2 個別要素技術の目標設定

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の方法として、圧縮機の吸込流量を低減する技術が要求される。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。既存のガスタービン圧縮機をベースとして、この流量低減を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流量削減技術が必要となる。

○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流量削減技術を確立する。

（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

吸気への噴霧量液滴量 3.5wt%の場合の、液滴蒸発に起因する圧縮機内翼負荷分布変化に対する空力的信頼性を確認する。

（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

熱負荷低減構造およびタービン内部流れ制御構造の最適化を実施する。

（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を評価する。また、燃焼器冷却促進構造の性能を評価する。

(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

大容量化を実現するために、40MW 機用 1 段モデルコアでの耐食処理試験と、商用機仕様コアを大型化したコアの試作およびコア接続溶接の高速化検討を行う。実証機向け水回収装置の基本仕様検討を行う。

(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

総合試験の運転により、高湿分ガスタービンの構成機器の基本的な健全性を確認する。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、部分負荷を評価する。また、シミュレーションにより負荷追従性について評価する。

(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

実証機の機器構成と機器仕様を検討する。

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

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。流量削減技術の一つとして、既存のベース圧縮機に対してガスパス外径部を縮小する、チップカット技術がある。平成 25 年度まで、外径部を縮小するだけでなく、翼型や翼の取り付け角度を最適化した場合のチップカット技術を検討したが、開発コスト低減と設計検討期間短縮のため、ベース圧縮機の翼型、翼の取付角度等を同一としフローパターンを維持した流量削減手法を検討した。図 3-1-A にガスパス流路の

改造結果の概略図を示す。ベース圧縮機のフローパターンを維持して目標性能およびサージマージンの低下を最小限に抑制するためには、図3-1-Aのようにチップ径縮小とハブ径を拡大することが有効である。図3-1-Bに流量削減手法を適用したときの圧力比-断熱効率比特性を示す。単純なチップカットに比べてチップカットとハブアップのガスパスでは、僅かではあるが効率向上とサージマージンの拡大が達成できることを確認できた。また、図3-1-Cにチップカットとハブアップのガスパスにおける圧力比-断熱効率比の大気温度特性結果を示す。詳細設計の結果、大気温度変化に対してサージ裕度があり、流量削減手法による圧縮機の信頼性を確保できることが確認できた。

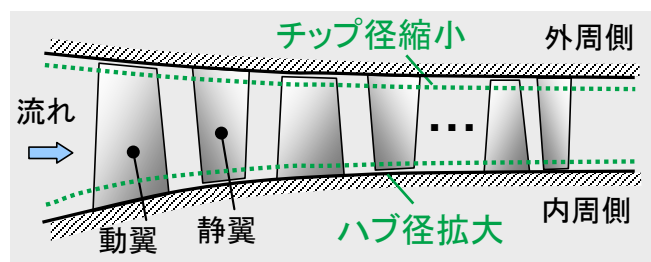


図3-1-A 流量削減手法の流路形状改造概略図

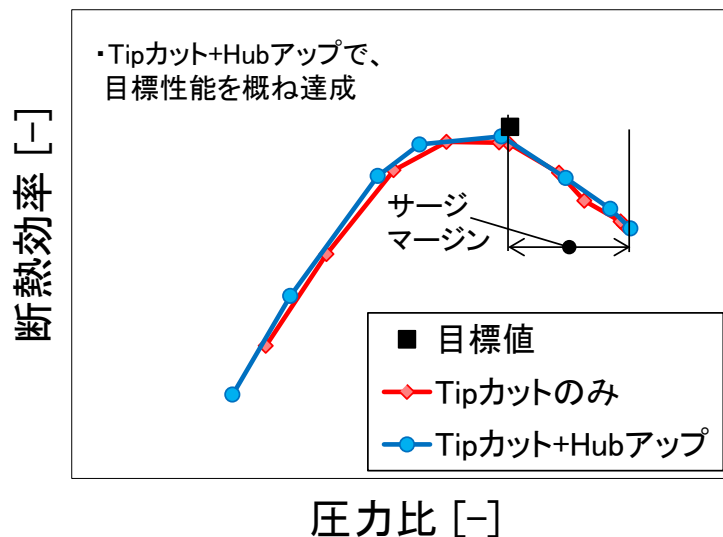


図3-1-B 流量削減手法における圧力比-断熱効率比特性

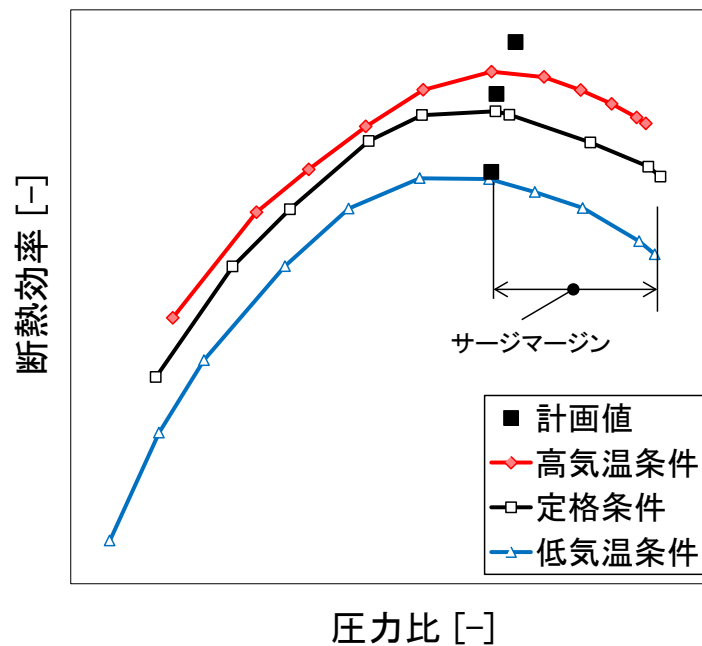


図 3－1－C 大気温度変化時の圧力比-断熱効率比特性

次に、空力的な翼信頼性については、チップカットとハブアップの流量削減手法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流れの剥離による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減し、部分負荷時において後段翼で失速する可能性が高まる。今後は翼列風洞試験による後段翼を対象とした失速特性の評価や、実機試験装置を用いて、圧縮機の後段翼に対して高負荷条件で試験して、翼信頼性を評価することで高温分圧縮機の開発技術の妥当性を確認する計画である。

(2) 吸気噴霧液滴の蒸発促進技術

圧縮機入口空気および圧縮機内部の空気を冷却する機能である吸気噴霧冷却 (WAC: Water Atomization Cooling) に関しては、ガスタービンが定格負荷の状態 で最大 2.5 wt%(対吸気質量流量)、ガスタービンが部分負荷の状態 で最大 3.1wt%(同)の噴霧試験を実施した。表 3－2－A に、ガスタービンが定格負荷の状態 で最大 2.5 wt%(対吸気質量流量)噴霧した場合の圧縮機出入り口の温度低下量、吸込空気流量の増加割合を示す。この温度低下量、空気流量の増加量は、噴霧なし時の同一の運転条件 (大気温度/湿度、IGV(入口案内翼)開度、圧力比等) の測定結果が存在しないため、圧縮機の特 性計算から予測した噴霧なし時の出口温度等の計算結果から推定した。

圧縮機入口空気温度は、吸気ダクト内で微細な液滴が、空気の相対湿度が

100%近くなるまで蒸発し、蒸発潜熱を奪うことにより、7.5℃低下している。圧縮機出口空気温度は、圧縮機の内部で圧縮空気の温度上昇に伴い液滴が蒸発して空気から蒸発潜熱を奪う中間冷却効果により 67℃低下している。軸流圧縮機は、回転数が同一であれば吸込体積流量が一定となる性質があり、空気が冷却されて密度が増加し、吸込空気流量(質量)は 6.7%増加している。

図 3-2-A に、WAC 試験時の流量-圧力比特性の測定結果を示す。同図には、WAC 実施前後の吸込流量と圧力比の増加が示されており、WAC 実施により流量と圧力比が増加するのが判る。また、同図の右端の四角(□)が表 3-2-A の 2.5 wt%噴霧時の試験結果であり、同図の右端の丸印(●)は性能予測アルゴリズムにより圧縮機内の蒸発分布などを評価して予測した動作点の計算結果である。これらの値がほぼ合致することから、本事業の性能予測アルゴリズムは圧縮機内の液滴蒸発挙動や圧縮機段ごとの温度変化を妥当に予測できていると考えられる。

本性能予測アルゴリズムを用いて噴霧割合 3.5wt%の場合の圧縮機内部の翼負荷分布を評価した結果を図 3-2-B に示す。同図によると、噴霧割合 3.5wt%の場合でも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領域が大部分である。一方、下流側では噴霧なし時よりも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。本事業で開発した性能予測アルゴリズムにより吸気噴霧冷却時の翼負荷分布を予め考慮して圧縮機翼の取り付け角度等を設計・製作することにより、空力上の信頼性を確保可能となることを確認した。

表 3-2-A 定格出力で 2.5 wt%噴霧時の試験結果

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

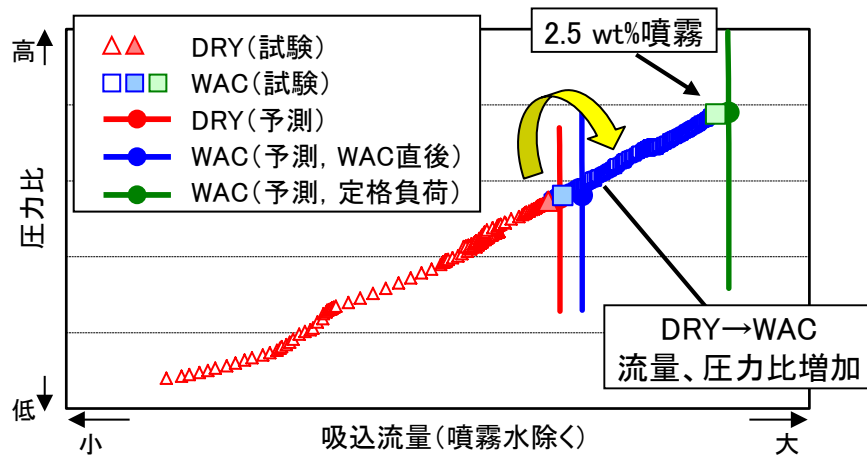


図 3 - 2 - A WAC 試験時の流量-圧力比特性の測定結果

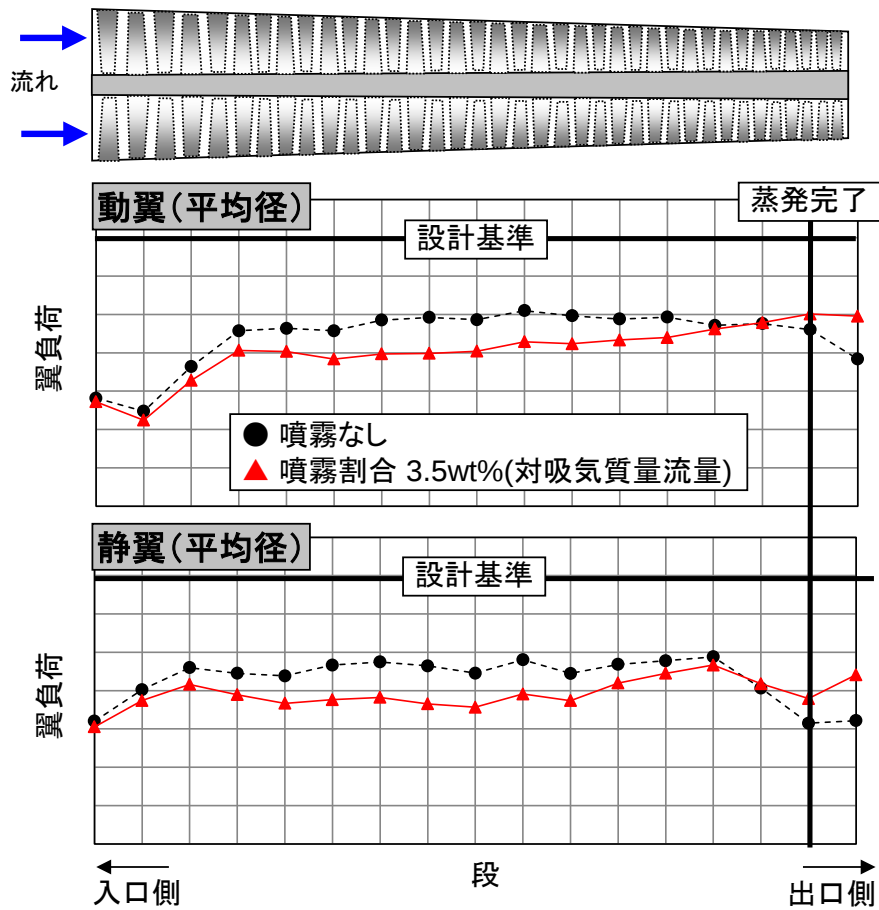


図 3 - 2 - B 翼負荷分布の計算結果 (噴霧割合 3.5wt%)

(3) 高湿分冷却翼

平板要素試験にて開発を進めてきた主流制御型フィルム冷却構造をタービン翼に適用し、翼列風洞試験でフィルム冷却性能を確認した。図3-3-A に試験装置の計測部を示す。試験翼表面に加工が容易な単純円孔（直径d）があり、その上流側に主流制御デバイスを設けてフィルム冷却空気を翼面に押し付ける効果のある渦を発生させてフィルム冷却性能を向上する。ヒータで加熱した二次空気を風洞内の計測翼に供給して翼表面のフィルム冷却孔から吹き出させ、風洞上面に設けてある計測窓を通して外部から赤外線カメラで翼表面温度を計測した。

図3-3-B にデバイス高さ(h)を変えたときの翼面の背側と腹側のフィルム冷却効率(η)の計測結果を示す。フィルム冷却効率は以下の式で表される。

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

T_g :主流温度、 T_c :冷却空気温度、 T_f :断熱壁面温度

主流制御デバイスを設けることでフィルム冷却効率が向上し、背側では $h=d$ 、腹側では $h=0.5d$ のデバイス高さで効果が顕著であることがわかった。図3-3-C にデバイス高さ(h)と吹き出し比(BR)を変えたときの平均フィルム冷却効率分布の比較を示す。吹き出し比は以下の式で表される。

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

ρ_g :主流密度、 ρ_c :冷却空気密度、 u_g :主流速度、 u_c :冷却空気速度

この結果から主流制御デバイスの効果により、円孔の約2～4倍の冷却性能を達成可能であることを確認した。

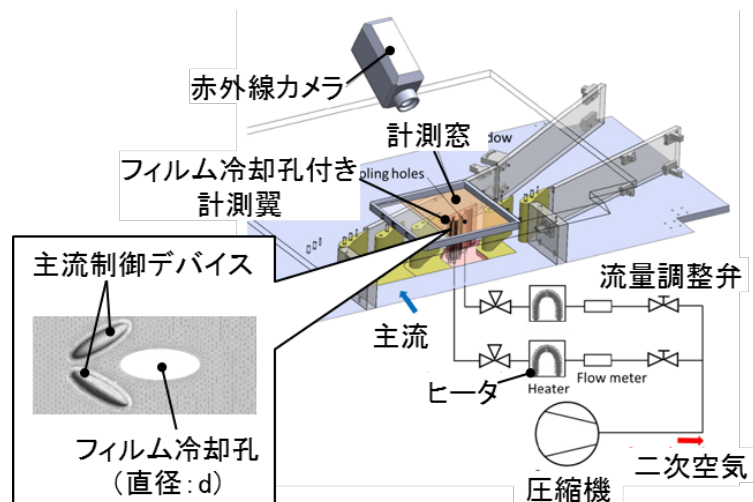


図3-3-A 翼列風洞試験装置計測部

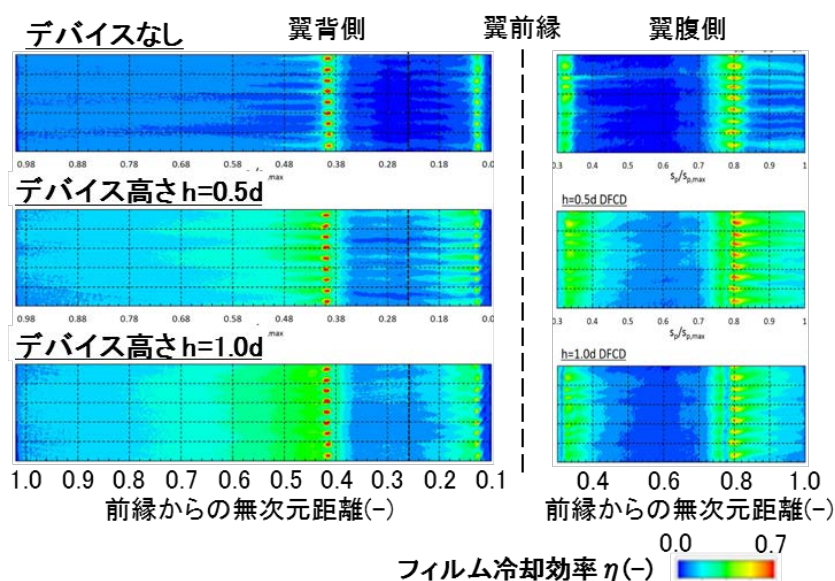


図 3-3-B フィルム冷却効率の計測結果

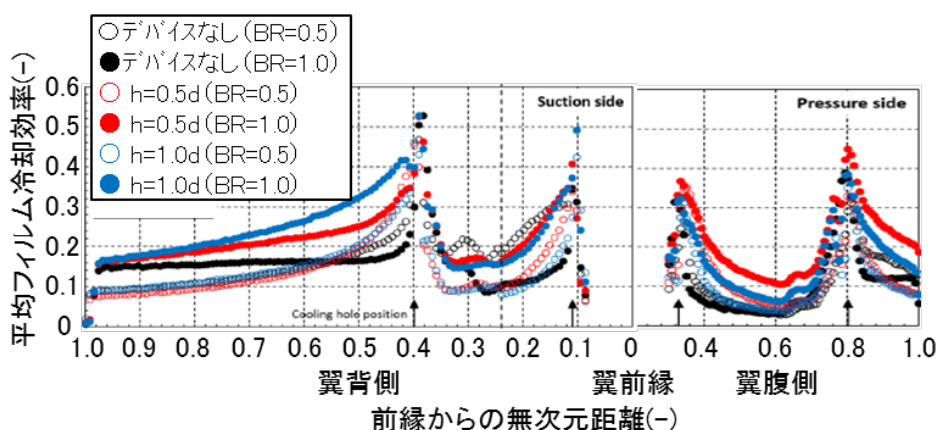


図 3-3-C 平均フィルム冷却効率分布の比較

次に空力損失を低減する構造として、動翼の内周側の側壁に凹凸を設定し、側壁近傍の渦の発生を抑制するタービン内部流れ制御構造を開発した。制御構造の最適化にあたり、図 3-3-D に示すようなモーフィング技術を用いた空力設計技術を開発した。モーフィング技術とは、最初に設定した解析モデルの変形に解析格子が追従するように格子点を動かす技術であり、最適化ルーチンが高速化できる。本技術を用いて側壁構造を最適化した結果を図 3-3-E に示す。動翼と静翼の段間内周側から漏れ込む空気を考慮して、3次元乱流解析により単段の全圧損失を評価した。この結果、側壁に凹凸を設けて流れを制御し、動翼の前縁での流れの衝突を抑制して整流化することにより、内周側の二次流れ損失を抑制できることを確認した。動翼下流側の相対全圧分布の比較から、側壁面に凹凸をつけることで全圧損失が約 20%削減していることを確認し、目

標性能を達成した。

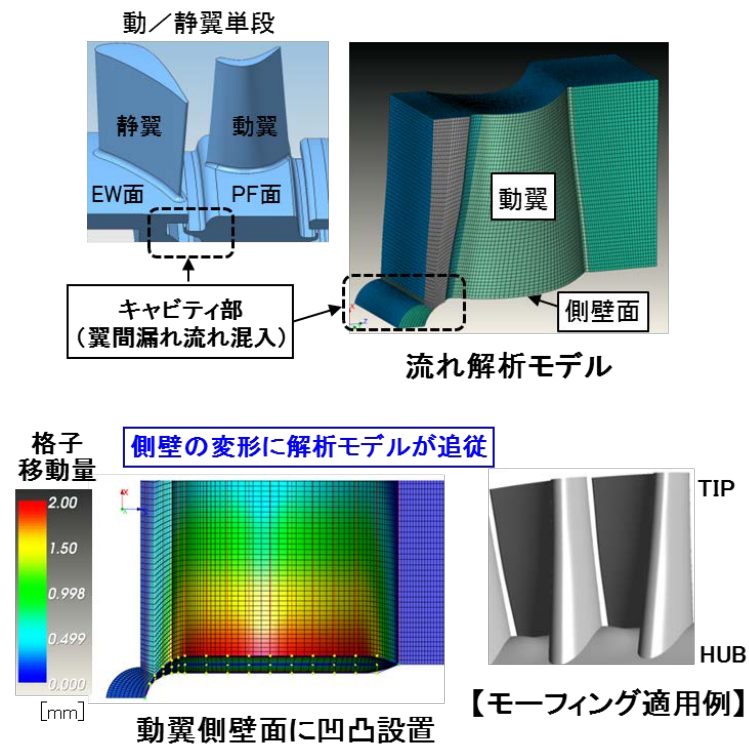


図 3 - 3 - D 最適化設計に使用したモーフィング技術

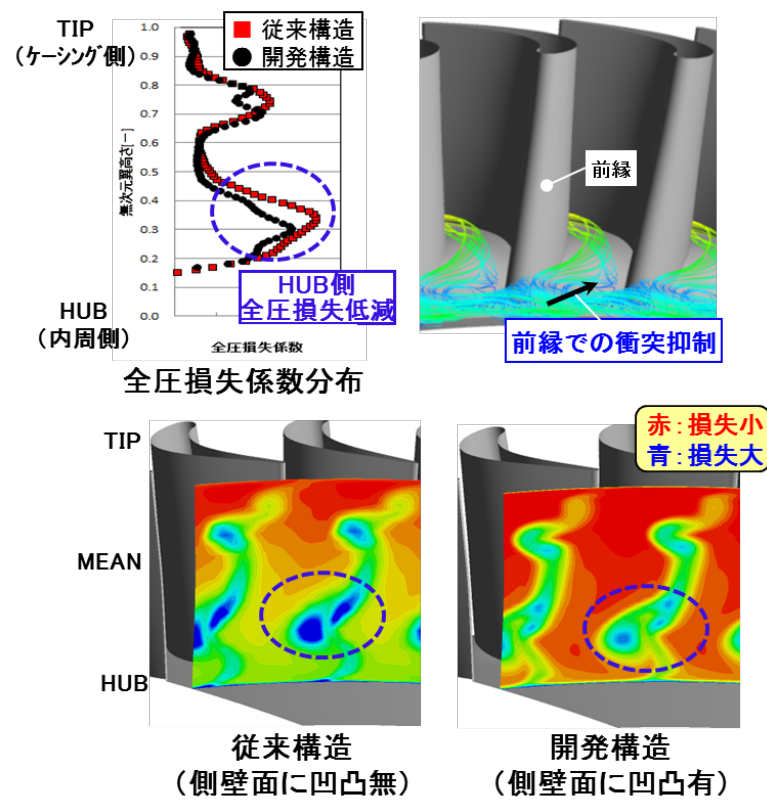


図 3 - 3 - E 動翼下流相対全圧分布

(4) 高湿分燃焼器

図 3-4-A に供試要素バーナの概略断面図を示す。燃料ノズルボディは2重管構造で、内外周それぞれに分けて燃料を供給することができる。試験では、バーナに供給した全燃料に対する内周燃料比率をパラメータに試験した。空気孔はバーナ中心軸に対し傾斜しており、バーナ下流に旋回流を形成し、図 3-4-B に示す円錐状の火炎が形成される。

図 3-4-C に結果を示すように、NO_x 排出量は内周燃料比率の低下とともに減少し、また、同じ内周燃料比率で比較した場合、燃料に含まれる水素の割合が大きいほど NO_x 排出量が多い。これは、水素の割合が大きいほど燃料の燃焼速度が速く火炎が上流のバーナに近づくため、バーナ空気孔出口から火炎までの燃料と空気の混合距離が短縮し局所的に燃空比が高い領域が生じるためである。

以上の結果から、水素濃度 20% 以下であれば、燃料および空気の配分を調整することにより、LNG 燃料と同様 NO_x < 10 ppm のバーナを設計できる見通しを得た。水素濃度 20% 以上では、空気孔の傾斜角度を調整して火炎位置を下流側に維持する必要がある。

燃料加温装置を用いて燃焼安定性に対する燃料温度の影響を調べた結果を図 3-4-D に示す。○は安定燃焼、●は不安定を示し、実線より左下の領域が安定燃焼範囲である。破線で示した常温燃料に比べて 300℃ 加温燃料の場合は安定燃焼範囲が拡大する。ガス化炉や燃料昇圧機の影響によってガス温度が加温される際は、燃焼安定性に対する設計の自由度が大きくなると考えられる。

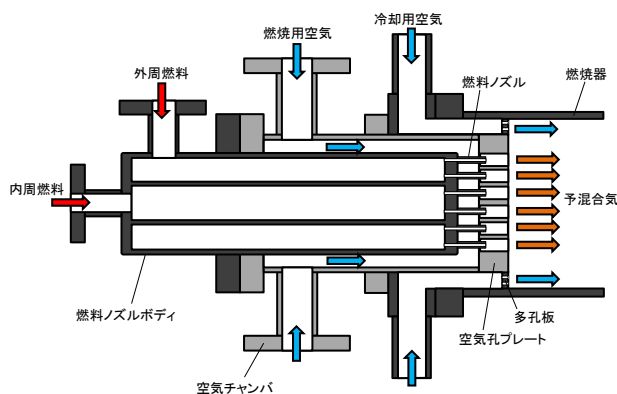


図 3-4-A 供試バーナ断面図

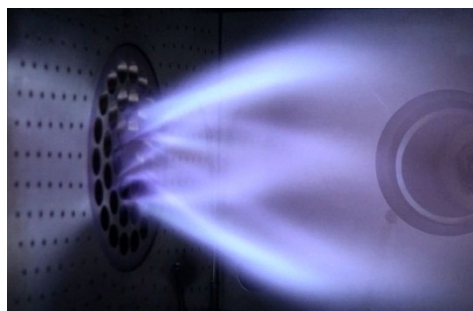


図 3-4-B 火炎写真

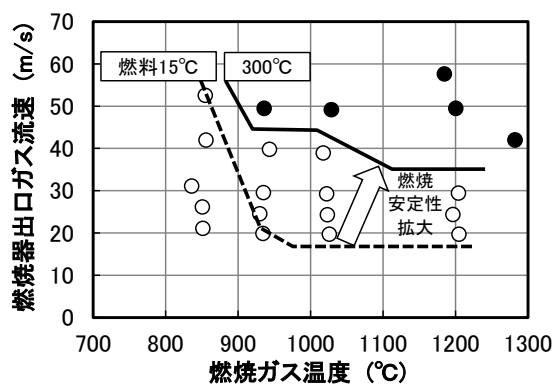


図 3-4-C 水素濃度の影響

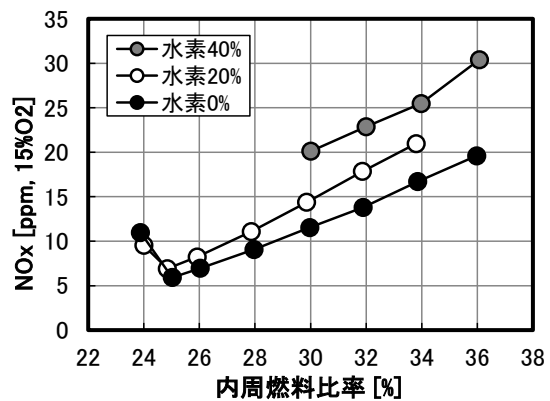


図 3-4-D 燃料温度の影響

NO_x 抑制とライナ熱負荷軽減を両立するため、フィルム冷却空気を用いないライナの対流冷却促進技術として、実機相当の高レイノルズ数冷却空気流れを模擬できる試験装置（図 3-4-D）により、大小の乱流促進リブを組み合わせた構造とフロースリーブ縮小による冷却空気加速による燃焼器ライナ冷却熱伝達特性を評価した。その結果、乱流促進リブとフロースリーブ縮小を組み合わせることにより局所的な熱伝達促進を図ることができる。さらにその下流に複数の乱流促進リブを配置することにより平滑流路の 2 倍以上の熱伝達促進効果を得られることを確認し、フィルムレス対流冷却が可能となる見通しを得た。

図 3-4-E に伝熱性能を、図 3-4-F に粒子画像計測（PIV）による流速分布計測結果を示す。

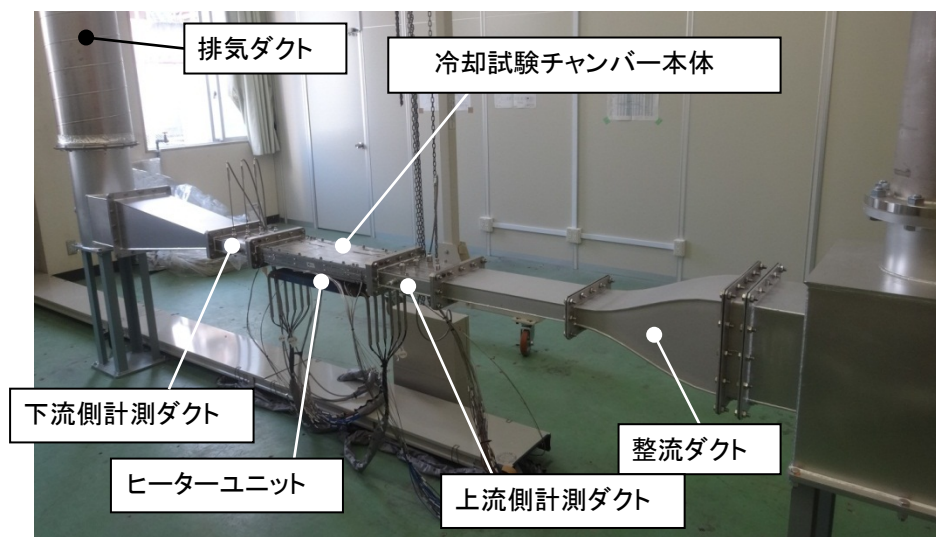


図 3-4-D ライナ冷却要素試験装置

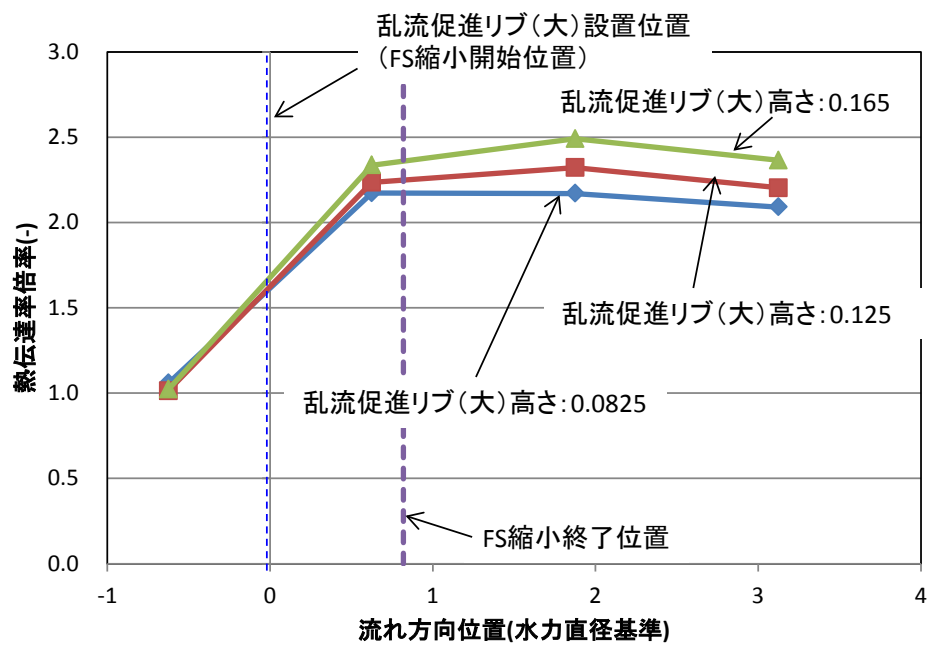


図 3-4-E 伝熱特性

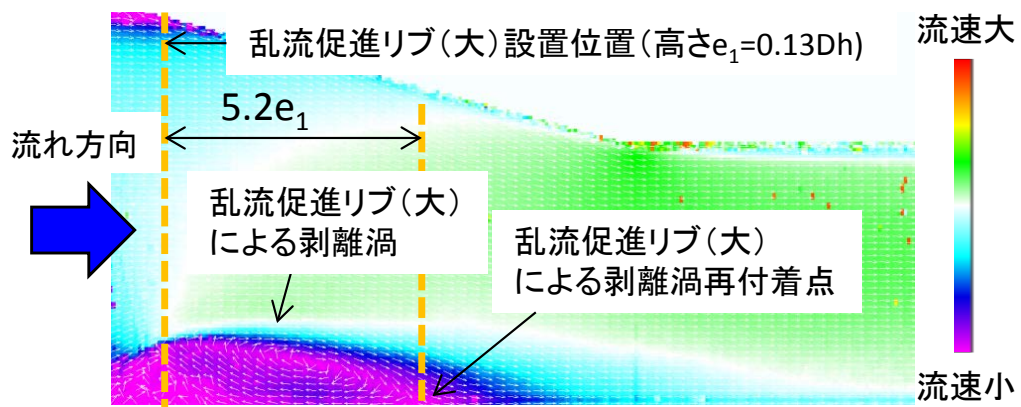


図 3-4-F 流速分布

(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

材料面での大容量化に対する技術開発を目的として、LPD 法による TiO_2 の表面処理技術開発を行った。LPD 法は、構造が複雑なプレートフィン型熱交換器内面も溶液に浸漬すれば基材の材質に殆ど関係なく酸化皮膜を成膜することができる表面処理方法である。 TiO_2 は約 800°C までは化学的に安定であり、高温環境に耐性を有する酸化皮膜であることから処理皮膜に選定した。LPD 法による TiO_2 皮膜の成膜は、図 3-5-A に示す反応式で表され、チタンのフッ化物と水との加水分解反応により生成した TiO_2 がステンレス鋼などの基材表面に析出することで起きる。

実際の再生熱交換器用コアでの処理が部位に関わらず均一に処理できることを確認するため、開発した循環式 LPD 処理装置での可視化モデルによる処理試験を行った。試験体は、処理中の処理液の流れと処理後の皮膜状況の観察ができるように上面プレートをステンレスの代わりに透明アクリル板を用いた 40MW 機用コアの 1 段モデルを作成した。試験開始当初は気泡などにより処理液が流れない箇所も観察されたが、流速やコアの姿勢を調整して通路全体に処理液を供給することが可能となった。処理後のフィン表面はステンレス鋼の銀色から全体に青みがかかった干渉色に変化したことからほぼ均一に皮膜が形成されたことが確認できた。(図 3-5-B) SEM-EDS での表面分析により、フィンの凹凸部や側部など部位に関わらず TiO_2 の成分である Ti と O が検出された。(図 3-5-C) 深さ方向の元素分布と断面 SEM 写真から TiO_2 皮膜の膜厚を測定した結果、厚さにばらつきは見られるが薄い箇所でも 200 nm 程度あり、LPD 法による耐食処理皮膜として必要な膜厚を確保していることが分かった。(図 3-5-D)

これらのことから、LPD 法による再生熱交換器コア通路への TiO_2 皮膜は均一に成膜できることを確認した。今回の試験で得られた皮膜の耐食性を評価するため、実雰囲気模擬した条件下での高温繰り返し水蒸気酸化試験を行い、耐食性向上効果を確認する。また、40MW 機コアを用いた LPD 法による表面処理試験を行い、商用機への適用が可能であることを確認する。

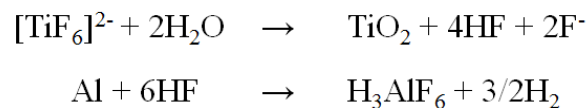


図 3-5-A 成膜反応式

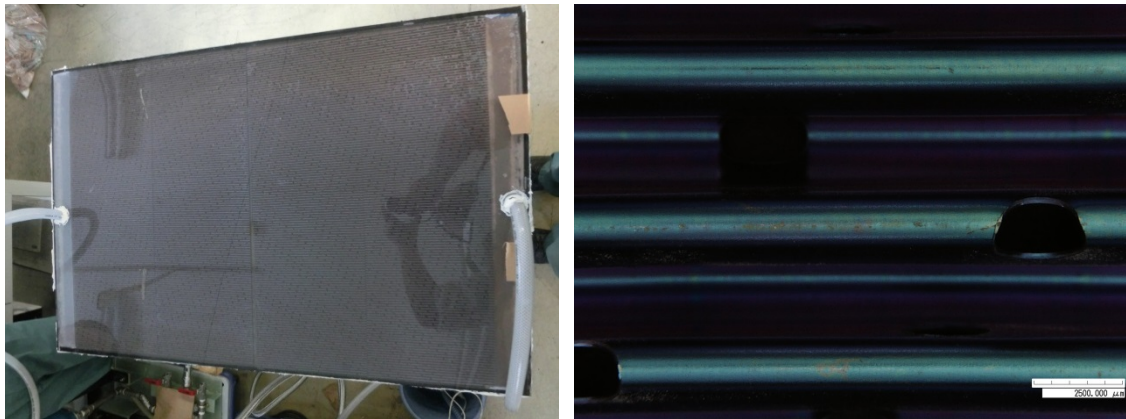


図 3-5-B 40MW 機用 1 段コアモデル外観(左: 全体、右: 拡大)

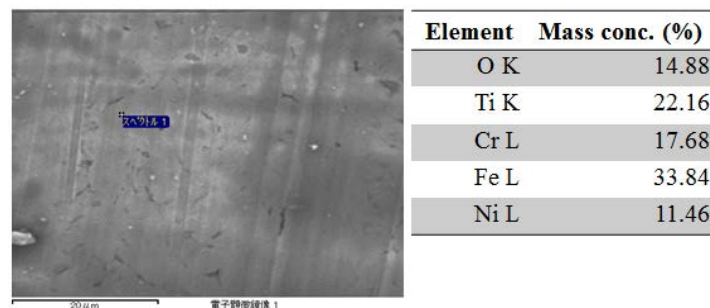


図 3-5-C 表面分析結果 (SEM-EDS 分析)

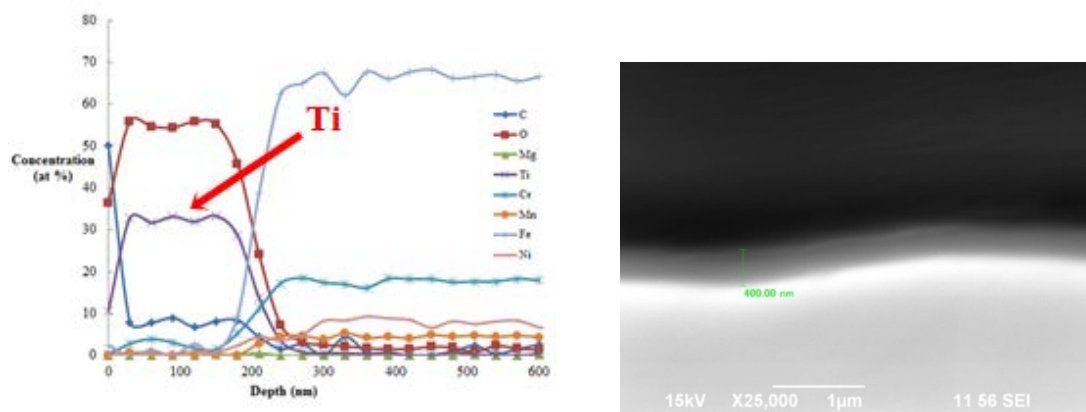


図 3-5-D TiO_2 皮膜の膜厚測定結果
(左: XPS 分析、 右: 断面 SEM 画像)

構造面での大容量化技術開発として、商用機を想定したコアの大型化とコア接続技術の研究開発を行った。商用機仕様再生熱交換器コアのコア幅を 600mm から 800mm に拡大した大型コアの設計とろう付試作を行った。コア構造は、従来構造に加えてコア高さを大きくして接続コア数を減らしたコストダウン構造も検討し、いずれも問題なく製作ができることを確認した。(図 3-5-F) 最終

的にはこれらのコアを全て溶接接合して商用機の製作が可能であることを確認する。
(図3-5-G)

また、製品の量産化に向けて溶接品質の安定と高速化を図るために自動溶接機によるコア接続溶接の検討を行った。(図3-5-H)試験の結果、作業者による最適溶接条件でも同等の溶接品質が可能であることを確認した。更に、試験体における自動溶接の最適条件では、手動に比べて溶接速度を3倍程度にあげることが可能なが分かった。これにより、商用機製作時におけるコア接続溶接の品質の安定と高速化を図ることができる見込みを得た。

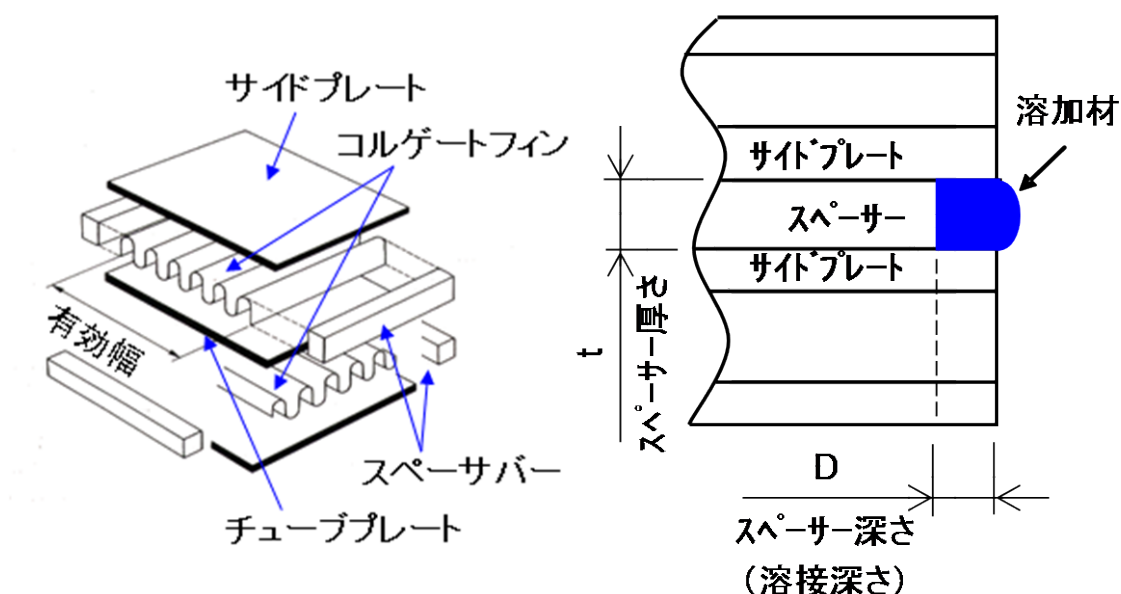


図3-5-E プレートフィン式熱交換器とコア接続溶接部開先形状



① 従来構造



②コストダウン構造

図3-5-F 商用機仕様コア (大型化開発品)

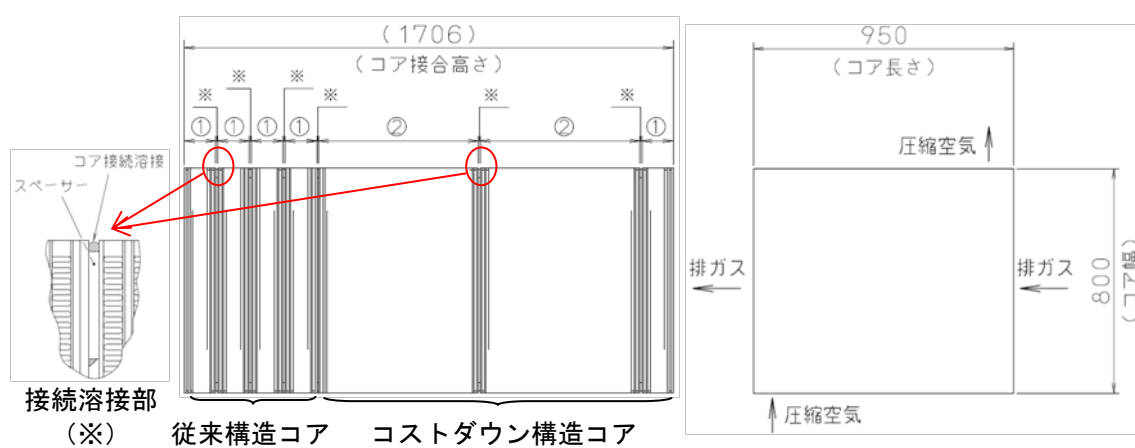


図 3 - 5 - G 商用機仕様コア接続溶接試験

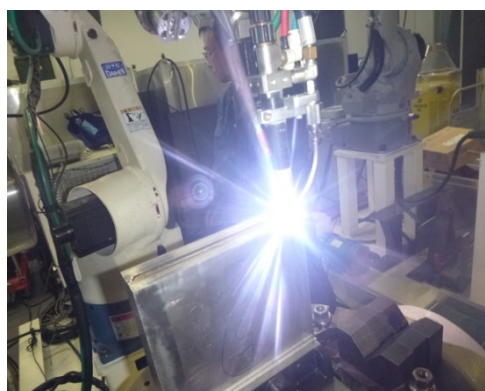


図 3 - 5 - H 自動溶接試験(コア接合模擬試験)

（５－２）水回収装置のスケールアップ

水回収装置の方式に関しては、3MW 級検証機で、独自のスプレイ式を開発し、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、排ガスとスプレイ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、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-I 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 級総合試験装置の運転時に毎回運転し、異なる排ガス条件に対する回収性能を測定した。図 3-5-J に主要な試験における回収水量の予測値と測定値を比較して示す。回収水量の予測値とは、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。同図によると、回収水量の測定結果は、熱・物質移動モデルによる予測値の約 97%であり、開発したモデルにより十分な精度で水回収装置の性能予測が可能である。

次に、本開発モデルにより、実証機向け水回収装置の基本仕様を検討した結果を表 3-5-A に示す。同表には、排ガス中の湿分割合に対して最も高い回収割合を要求される条件での回収性能の予測結果を併記してある。水温 33℃の水を 325 kg/s 散布することにより、ガスタービンへの加湿量の 106%に相当する湿分を回収することができ、外部からの補給水を大幅に低減できる見通しである。

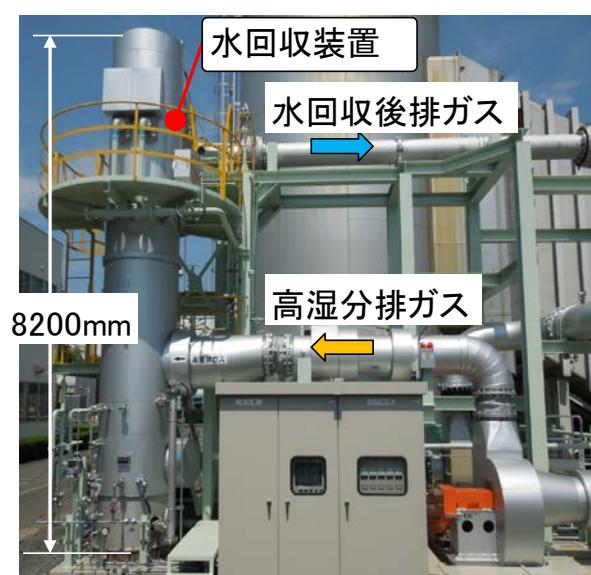


図 3-5-I 水回収試験装置の外観

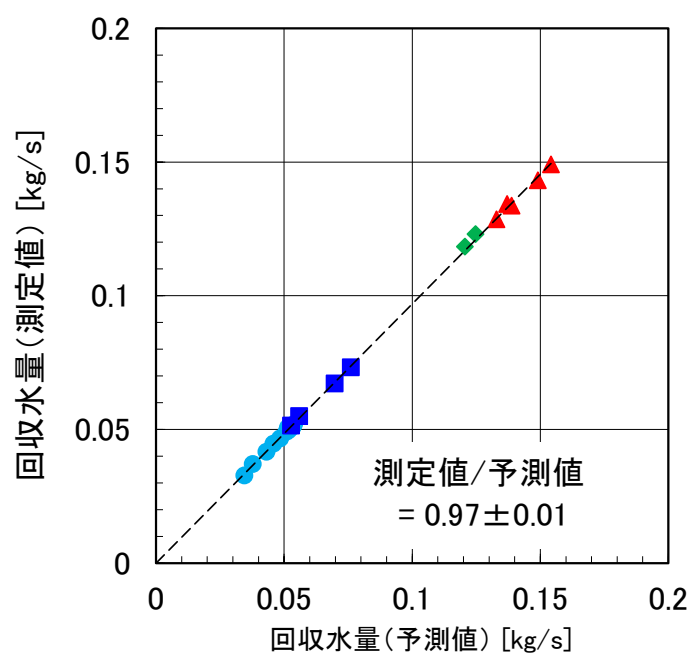


図 3－5－J 回収水量の測定結果、解析との比較、加湿量との比較

表 3－5－A 実証機向け水回収装置の基本仕様と性能予測結果例

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

(6) 40MW 級総合試験

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。

表3-6-Aに、40MW 級総合試験装置の試験工程と運転実績を示す。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)。平成25年度は、排ガスの一部を分岐して処理する、直径約1/8(排ガス流量約1/60)の水回収試験装置を追設する管路を実施し、年度内に約90時間運転した。この時、加湿および再生サイクルによる効率向上効果を確認する目的で、システム構成をシンプルサイクル構成に変更して運転する試験も実施した。平成26年度は、再びガスタービンの内部開放点検を実施するとともに、圧縮機の特性試験を実施した。このように累計200時間以上の運転、2回のガスタービン内部解放点検を実施し、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、エコマイザなどの排熱回収システムを省略しており、エコ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。

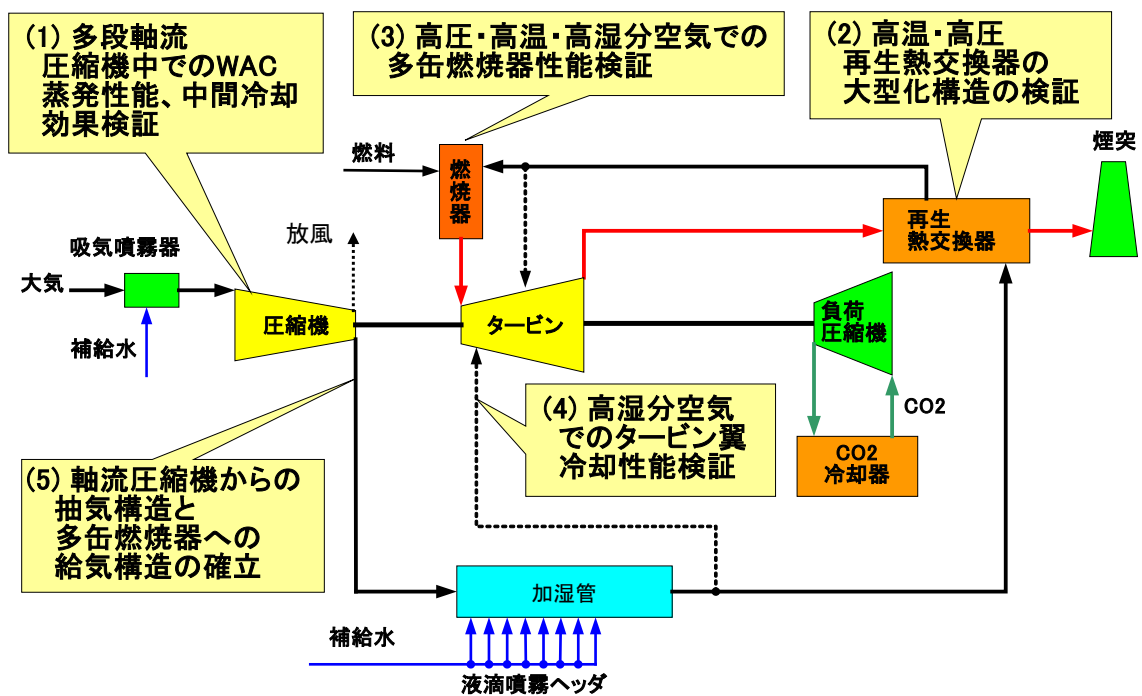


図 3 - 6 - A 40MW 級総合試験装置の構成と主な検証内容

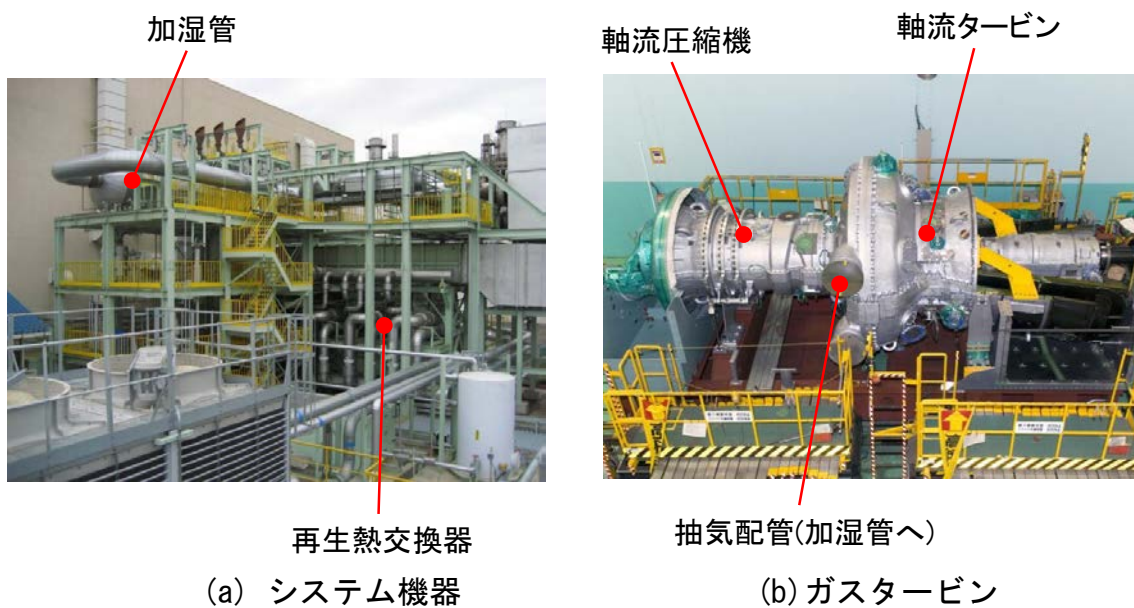


図 3 - 6 - B 40MW 級総合試験装置のシステム機器とガスタービンの外観

表 3－6－A 40MW 級総合試験装置の試験工程と運転実績

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

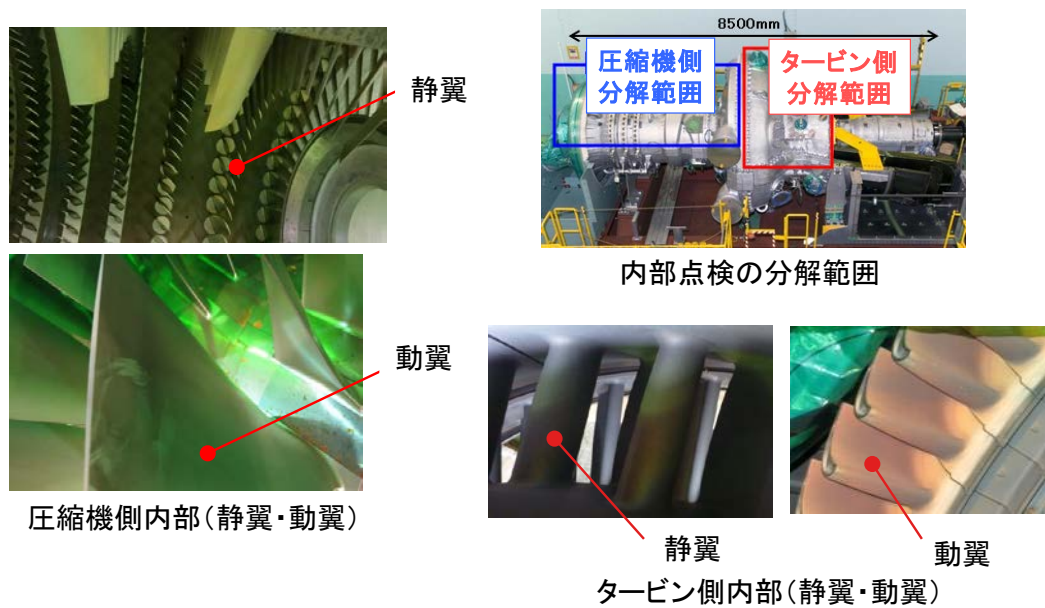


図 3－6－C ガスタービンのケーシング内部開放点検の結果

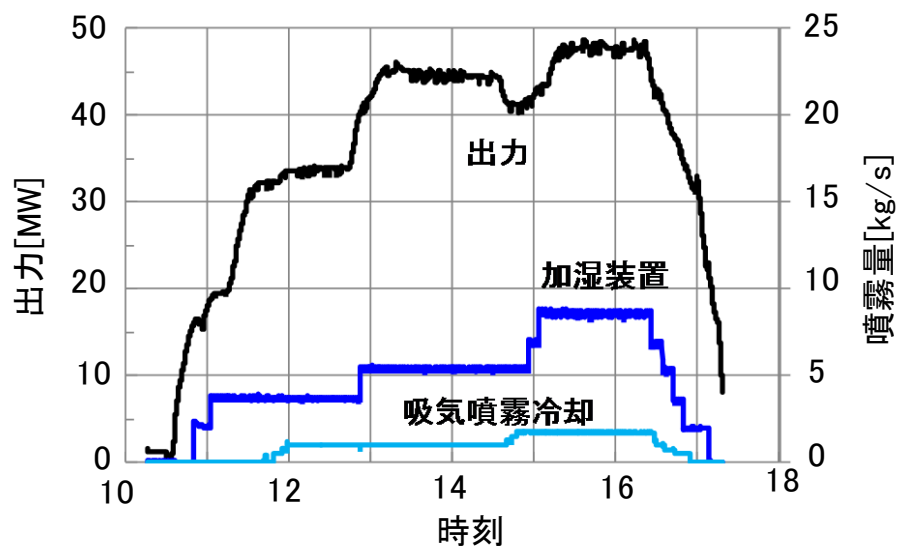


図 3－6－D 初めて定格負荷を達成した日の運転曲線(2012 年 12 月 4 日)

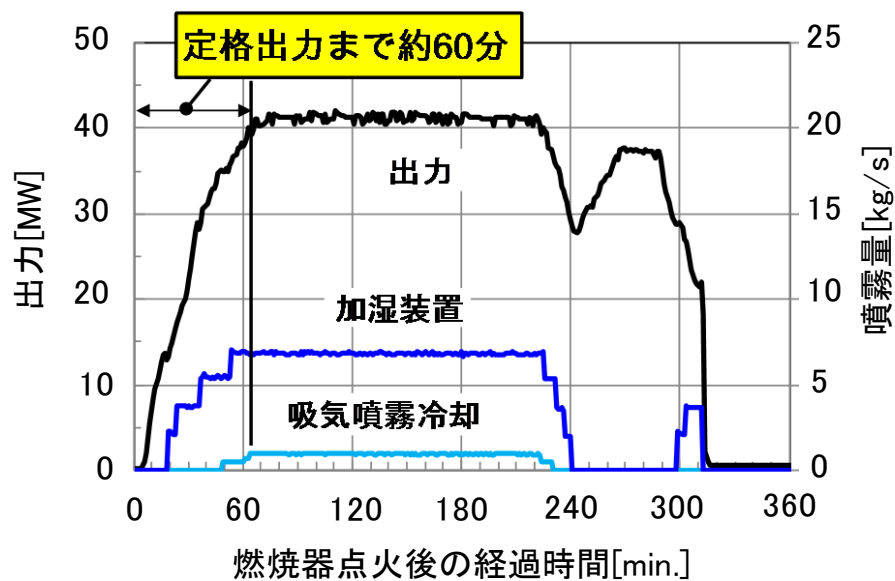


図 3－6－E コールド状態からの起動特性を示す例 (2012 年 12 月 13 日)

(6－2) 40MW 級総合試験のシステム評価

熱効率について、AHAT 運転（圧縮空気への加湿、WAC、再生熱交換器による熱回収有）時とシンプルサイクル（SC）試験時の結果を比較した。図 3－6－F が示すように、同じ圧力比において AHAT 運転の方が 100℃から 150℃程度燃焼温度が低いにもかかわらず 10%程度高い熱効率を示しており、加湿や排熱回収を行うことにより熱効率向上が図れることを実データから検証できた。

図 3－6－G は、40MW 級総合試験装置の試験結果による部分負荷特性と、3MW 級検証機の試験結果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、主に熱効率への影響が大きい燃焼温度による負荷制御であったため、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が、40MW 級総合試験装置では比較的熱効率への影響が小さい吸込空気流量による負荷制御が可能となったため、部分負荷での熱効率の低下が 3MW 級検証機より小さく、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。

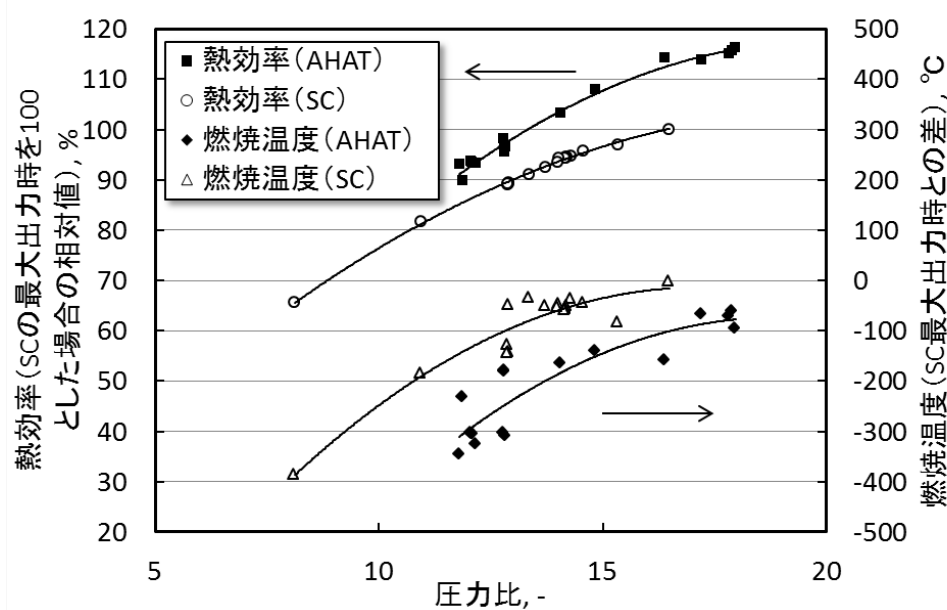


図 3 - 6 - F AHAT 運転と SC 運転の熱効率の比較

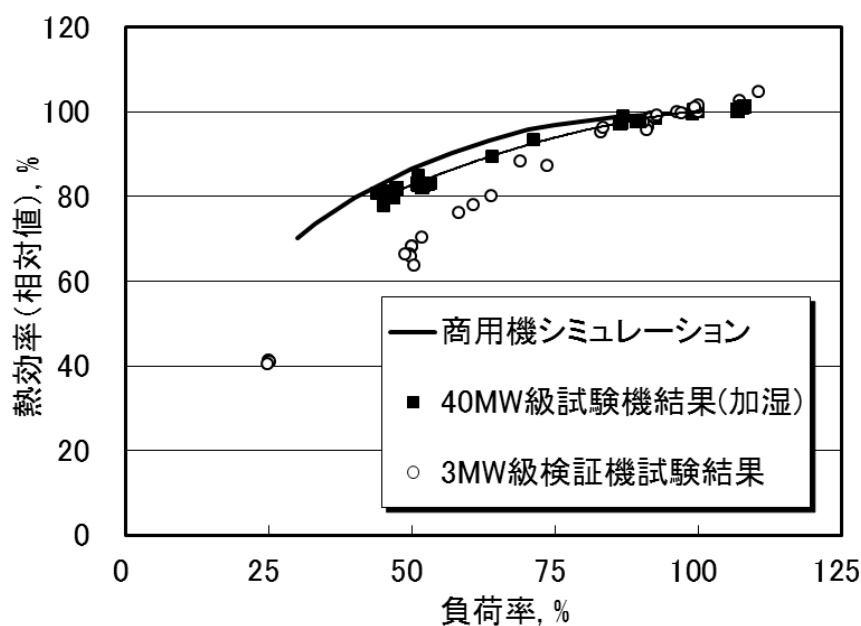
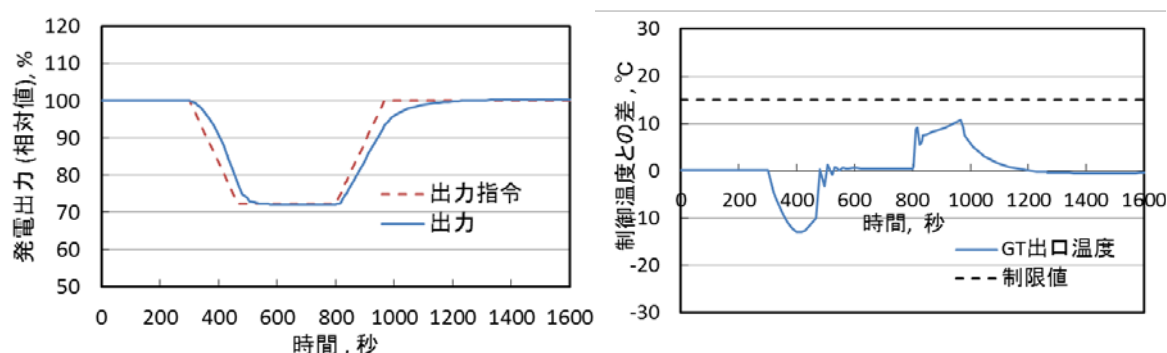


図 3 - 6 - G 部分負荷特性の比較

(6-3) 負荷追従性予測

AHAT システムは、蒸気タービン系を必要としないため、GTCC(ガスタービンコンバインドサイクル)に比べて負荷変化速度を高められる可能性がある。一方、圧縮機から燃焼器までの経路が長いため、空気流量の変化が燃焼器に至るまで時間を要し、GT 出口ガス温度が不安定になる可能性も考えられる。そこで、AHAT システムの動特性解析モデルを開発し、負荷追従性について解析・評価を行った。

現状 GTCC の負荷変化率として仮定した 5%/min の場合では問題なく追従し、GT 出口ガス温度も制限値（今回の検討では制御値+15℃とした）を超えることはなかった。負荷変化率 10%/min とした場合でも、5%/min の場合に比べて負荷追従性はやや低下したが、図 3-6-H に示すように、GT 出口ガス温度が制限値を超えずに制御可能である結果が得られた。



(1) 出力指令と発電出力

(2) GT 出口ガス温度

図 3-6-H AHAT システムの負荷追従性シミュレーション結果
(負荷変化率 10%/分)

(7) 実証機試験

事業開始時は、長期信頼性を検証するための実証機として、電気事業者や産業用ユーザーの参画を得て商用機規模のものの建設を視野に入れていた。しかし、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たこと等から、開発事業者が既存の敷地内に早期に実証を開始する目的で、図 3-7-A に示す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 級総合試験装置で実施する。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、直径約 1/8、排ガス流量約 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、第一実証の結果と表面処理による耐食性改良で長期信頼性を評価できる。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。

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。

図 3-7-B に、実証機の仕様検討結果を示す。ガスタービンで発生した負荷は、既設の 40MW 級総合試験装置の負荷圧縮機を活用し建設費を低減する。ガスタービンの設計出力は 70MW 級とし、ガスタービン排ガスの全量を排熱回収ボイラへ導き、生成した水蒸気をガスタービンの燃焼用空気に全量加湿可能な構成とする。本構成によりガスタービンへの加湿と排ガスからの全量回収、再利用を検証でき、燃焼器の燃焼安定性、水回収装置の成立性が評価可能である。表 3-7-A に、実証機の目的と検証方法の検討結果を示す。本構成により、乾燥⇔加湿切替等の非定常状態でのシステム運用の実証、個々の機器の長期信頼性の実証が可能である。ユーザーニーズの調査結果より、商用機の運用方法としてミドル運用以上（年間 50 回以上の起動・停止）を想定しており、実証機の運転回数としてはその 2 倍の 100 回/年以上の起動停止、延べ運転時間として 1,000 時間程度を計画する。

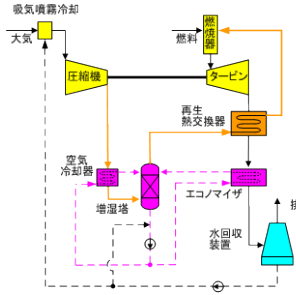
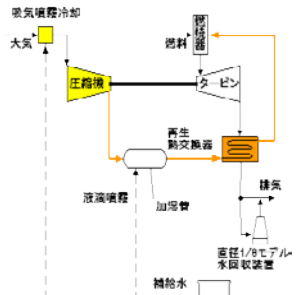
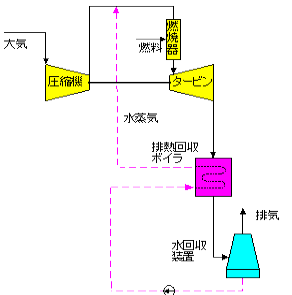
時期 商用機/ 実証機	2020年代 商用機 AHAT	2012/4-2016/3 実証機(二段階で実証)	2016年度 開始予定	
		第一実証	第二実証	
系統構成				
実証目的 (網掛)	ガスタービン (A)	圧縮機	高湿分圧縮機の健全性	圧縮機-タービン流量マッチング技術
		吸気噴霧冷却	軸流圧縮機における吸気噴霧冷却	
		タービン	健全性、翼冷却性能 (加湿量約半分)	高湿分(全量加湿)での健全性、 翼冷却性能
		燃焼器	燃焼安定性 (加湿量約半分)	・高湿分(全量加湿)での燃焼安定性 ・最低(25%)負荷での燃焼安定性
	再生 サイクル(B)	ガスタービン本体構造	全量抽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

図 3 - 7 - A 実証機の形態の検討の検討結果

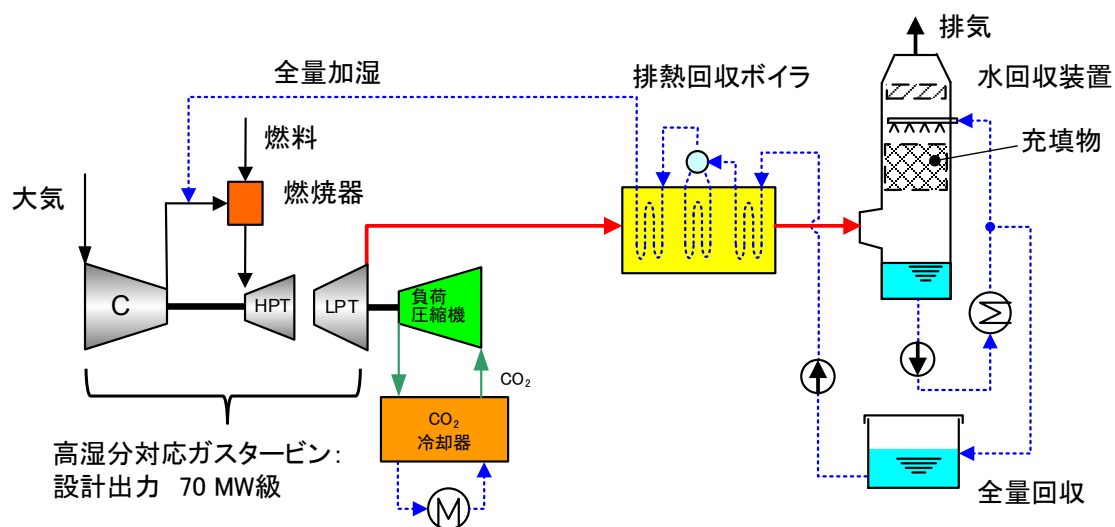


図 3 - 7 - B 実証機の仕様検討結果

表 3-7-A 実証機の目的と検証方法

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

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。AHATは、国内外の学会等で高い評価を得ており、海外発表で5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

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

3-2 目標の達成度

各項目の成果を示す。

(1) 高温分軸流圧縮機

既存のガスタービン圧縮機に対する流量低減案として、ベース圧縮機の翼型、翼の取付角度等を同一としフローパターンを維持した流量削減手法を検討した。同手法において大気温度が変化した場合でも効率等の目標性能を概ね達成、空力的信頼性（サージマージン）が確保できることを確認した。

(2) 蒸発促進技術

ガスタービンが定格負荷の状態ですべて最大 2.5 wt%(対吸気質量流量)、部分負荷の状態ですべて最大 3.1wt%(同)の吸気噴霧試験を実施し、圧縮機出入り口の温度低下量、吸込空気流量の増加等の効果を確認した。吸気噴霧時の性能予測アルゴリズムにより圧縮機内の蒸発分布などを評価して予測した動作点と、試験時の動作点がほぼ合致し、性能予測アルゴリズムの妥当性を確認した。本性能予測アルゴリズムを用いて噴霧割合 3.5wt%の場合の圧縮機内部の翼負荷分布を評価した結果、各段の翼負荷の指標は設計基準以下であり圧縮機翼の空力信頼性が確保できていることを確認した。

(3) 高温分多缶燃焼器

これまでに開発した要素燃焼試験装置、燃焼加温設備を用いて燃焼性能に対する燃料中の水素濃度および燃料温度の影響を評価した。また、ライナ冷却要素試験装置を用いてフィルムレス冷却促進構造の伝熱性能を評価した。

(4) 高温分冷却翼の開発

主流制御型フィルム冷却構造をタービン翼に適用し、翼列風洞試験により円孔の 2～4 倍の冷却性能が達成可能であることを確認した。また動翼の内周側壁近傍の渦生成を抑制する内部流れ制御構造を開発した。3次元乱流解析により全圧損失を約20%削減できることを確認し、目標性能を達成した。

(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、構造面での大容量化技術開発を行った。材料面では、40MW 機用 1 段モデルでの LPD 法による表面処理を実施することで商用機に適用できる見通しを得た。

構造面では、40MW 機用コアを更に大型化した商用機仕様コアの試作を行い、このコアの接続溶接組立を行うことで商用機コアの製造が出来る見通しを得た。

充填物式水回収装置の試験により、回収水量の測定結果は、熱・物質移動モデルによる予測値の約 97%であり、開発したモデルにより十分な精度で水回収装置の性能予測が可能であることが判った。本開発モデルにより、実証機向け

水回収装置の基本仕様を検討し、充填物への散布水温、散布水量などを評価した。

（６）40MW 級総合試験

40MW 級総合試験装置を累計 200 時間以上運転し、ガスタービン内部を解放点検することにより、損傷などは確認されず、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、AHAT 運転時とシンプルサイクル試験時の結果を比較し、同じ圧力比において AHAT 運転の方が燃焼温度が 100℃から 150℃程度低いにもかかわらず高い熱効率を示すことと、加湿や排熱回収を行うことにより熱効率向上が図れることを実データから検証した。さらに、動特性モデルを開発し、AHAT の負荷追従性について解析・評価を行い、負荷変化率を変えた場合にガスタービン排気温度が制限値を超えない条件を検討した。

（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。実証を前倒しで完了させ、早期に実用化することと、事業経費を低減するために、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。実証機のシステム構成と機器仕様等を検討した。

以上の成果により、各項目は H27/6 の中間評価時点の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

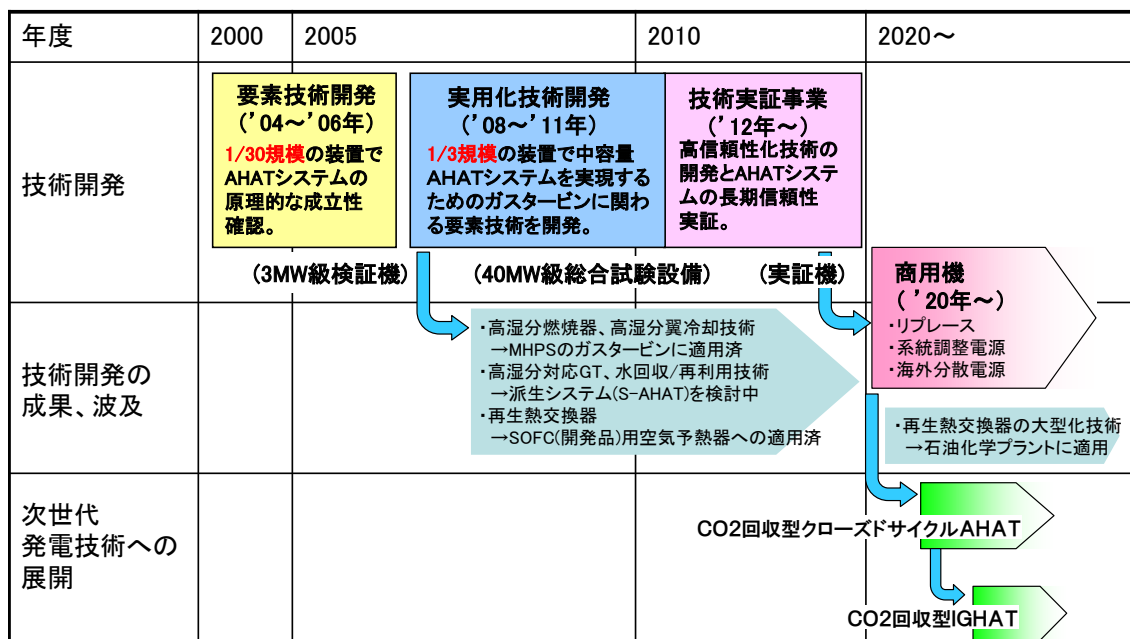
要素技術	目標・指標(中間評価)	成果	達成度
(1)高湿分 圧縮機	既存の圧縮機に対して適用可能な流量削減技術の確立	既存のベース圧縮機のフローパターンを維持し、チップカットとハブアップすることで目標性能およびサージマージンの低下を最小限に抑制できることを確認した。	達成
(2)蒸発 促進技術	軸流圧縮機での吸気噴霧試験による主流温度低下および空力上の信頼性の確認	最大3.1wt%噴霧を実施し吸気噴霧冷却時の特性を取得、主流温度低下等の効果を確認し、性能予測アルゴリズムにより3.5wt%噴霧時の空力上の信頼性を確認した。	達成
(3)高湿分 冷却翼	・熱負荷低減構造の最適化検討 ・タービン内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

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



(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。3 MW 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カスタム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得られることを確認した。3 MW 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 100 MW 級の中容量のヘビーデュー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、実証の早期完了、早期実用化の観点と事業経費の低減の観点から、AHAT の構成要素を二段階に分けて実証する方法を計画した。

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、3 MW 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三菱日立パワーシステムズのパワーシステムの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三菱日立パワーシステムズのパワーシステムの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。

また、高湿分対応ガスタービン本体、排ガスからの水回収と再利用技術は、派生システムである S-AHAT への適用を検討中である。高湿分対応の再生熱交換器、熱交換器コアの大型化技術は、それぞれ住友精密工業により SOFC(開発品)用空気予熱器へ適用されるとともに、石油化学プラントへの適用を検討中である。

AHAT システムの商用機が導入された後、石炭ガス化技術、クローズドサイクル

ルガスタービン技術が実用化されれば、これらを組み合わせた CO₂ 回収型クローズドサイクル AHAT へ展開することも可能となる。同システムは、CO₂ 回収型石炭ガス化発電システムにおいて、コンバインドサイクルに対する AHAT の利点(運用性、経済性など)を有するシステムになると考えられる。

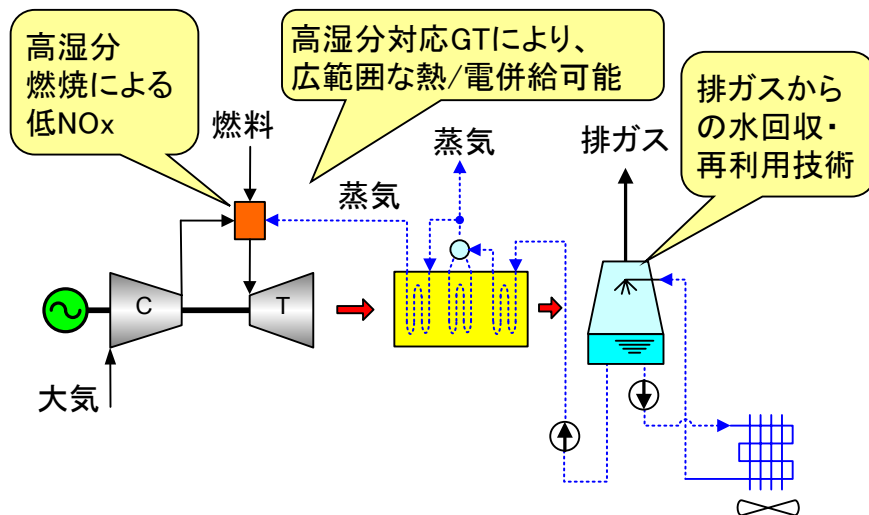


図 4-1 高湿分対応 GT、水回収/再利用技術を適用した派生システム (S-AHAT)

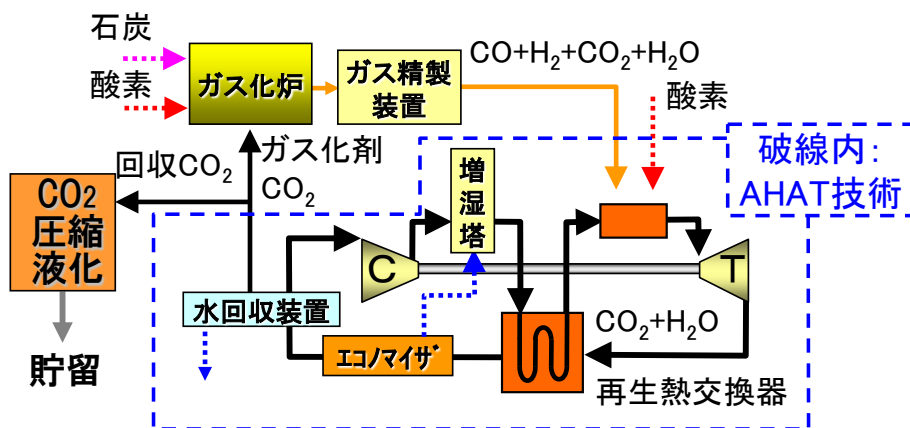


図 4-2 CO₂ 回収型クローズドサイクル AHAT (出典：日本ガスタービン学会 第 37 回定期講演会論文集 pp. 171-176 (2009))

IEA による世界エネルギー需要予測を図 4-3 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 4-4 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ー

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 AHAT システムは、新增設需要に加え、次のようなリ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）

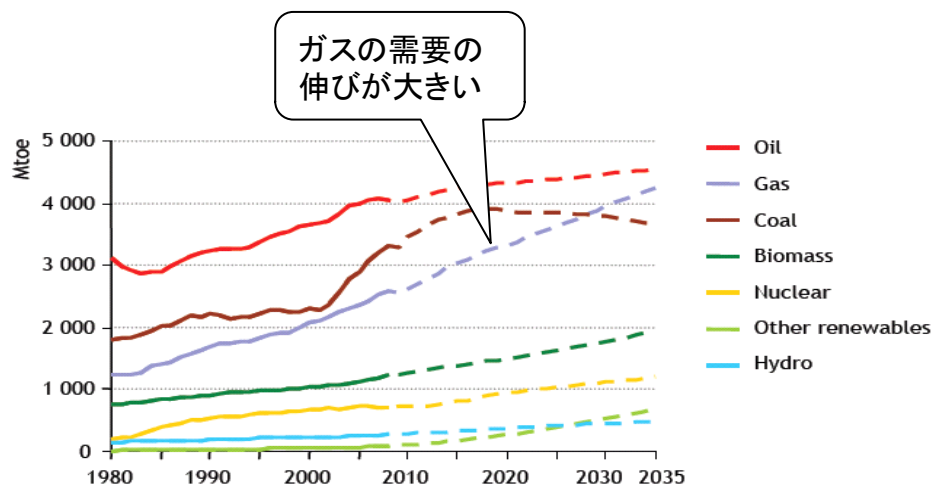


図 4－3 世界エネルギー需要予測 (出典：IEA World Energy Outlook (2011))

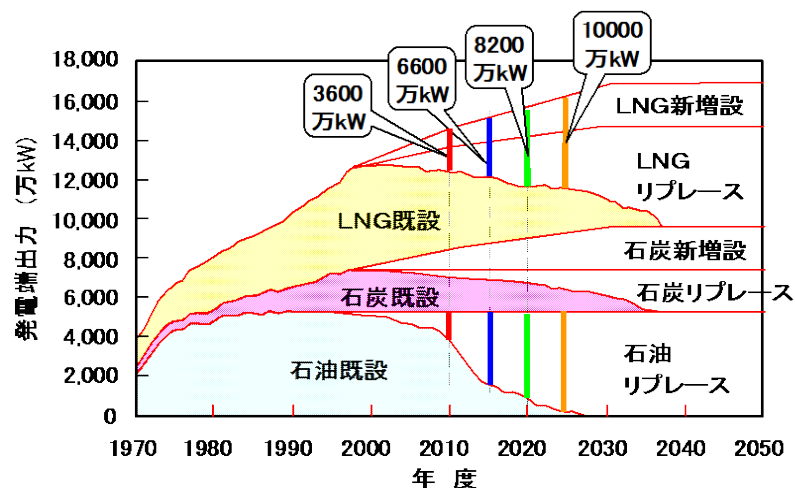


図 4－4 日本における電源構成の推移推定例(寿命 40 年)
(出典：電力中央研究所「第 18 回エネルギー未来フォーラム」(1999))

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。100 MW 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。

次に、図4-5に、中小容量(50-200MW)ガスタービンの台数シェア(2009-2013年運開分)を示す。同図によると、現在の同出力帯での台数シェア1位はGE社(56%)、2位がSIEMENS社(24%)で合計80%を占めており、国内メーカーの世界台数シェアは約4%に留まる。ガスタービンの製造・販売やメンテナンス事業を安定して継続するには、一定の生産台数、売り上げを確保し、該当出力帯での標準機種として内外から位置づけられることが必要である。そのため、他社からシェアを奪い、第2位のポジションを獲得することが必須と考えられ、シェア数値としては20%を目標とする。

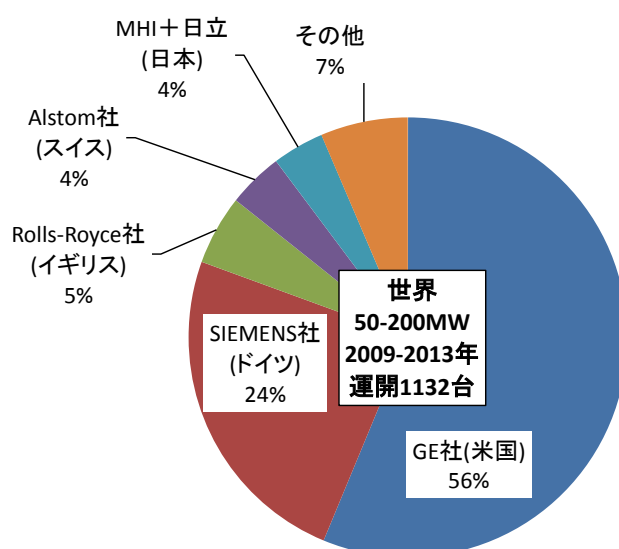


図4-5 中小容量(50-200MW)ガスタービンの台数シェア(2009-2013年運開分、出典：三菱日立パワーシステムズ)

目標とした市場シェアを獲得するために、AHATのセールスポイントとユーザーのメリットを検討した結果を表4-2に示す。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は、前記したように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)

高湿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、建設費などのイニシャルコストと、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 4-6 に、発電端出力 160 MW 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 50 m²/MW となり、従来のコンバインドサイクルの約 60~90 m²/MW(三菱日立パワーシステムズ、100 MW 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) ベース	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		・日本、欧米: CO ₂ 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	NO _x (窒素酸化物) 排出濃度	○	脱硝装置無しで 10ppm以下 (高湿分燃焼)	脱硝装置必須	日本、欧米: 低NO _x 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

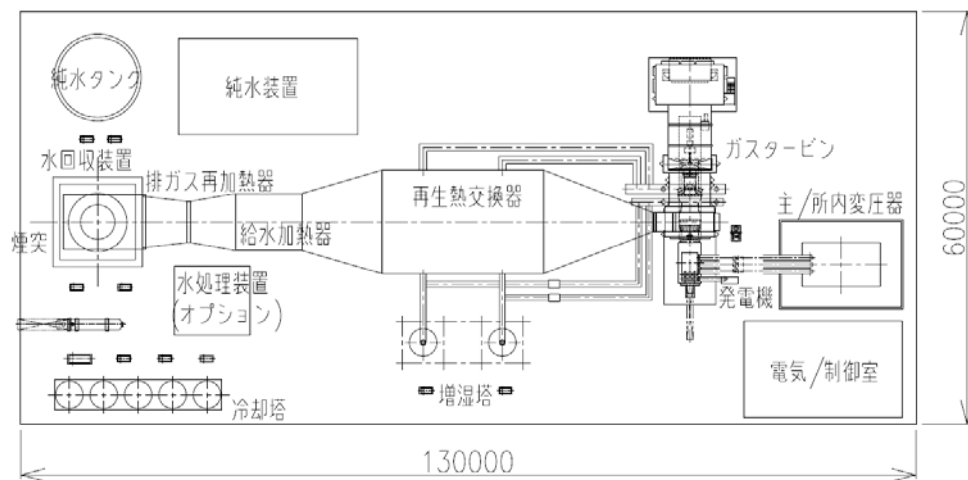


図 4－6 発電端出力 160MW の AHAT の配置検討結果例

次に、2010 年に運開した出力 50 MW～200 MW 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 4－7 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 火力リプレース、石油火力の燃料転換にも対応したリプレース市場だけでなく、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。また、H28 年の電力小売りの全面自由化に伴い、熱電併給仕様を付加した製品を導入提案する
- (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化を狙う。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。

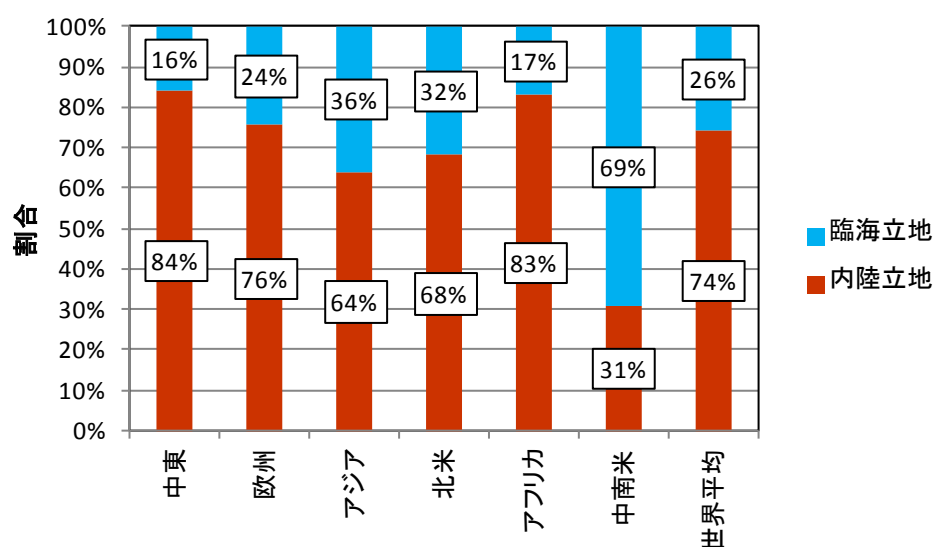


図 4-7 地域別立地点の割合(2010 年運開分)(出典：日立製作所)

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 ・電力小売り全面自由化に伴う新電力会社の参入	・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 ・産業ユーザー向けの発電容量、熱電併給仕様の提案
2	欧米	再生可能エネルギーとの連携ニーズ大	起動時間、負荷変化率のメリット生かし再生可能エネルギーとの連携向けを狙う
3	中国、東南アジア	・中国の内陸部の発展 ・高気温	・内陸立地の分散電源の案件を狙う ・高気温地域に、出力低下が少ない点をアピールする
4	中東、西アジア、アフリカ	・高気温 ・水が乏しい ・グリッド未整備地域多い	・高気温地域に、出力低下が少ない点をアピールする ・水が乏しい地域に、補給水が少ないまたは不要な点をアピールする ・グリッド未整備の内陸立地の分散電源の案件を狙う

さらに、AHAT システムのコスト目標に関して検討した。表 4-4 に示すように、GT(ガスタービン)本体に関して、AHAT のガスタービン本体のコストは、CC の場合とほぼ同等と考えられる。理由は、AHAT では吸気噴霧冷却による圧縮機の圧縮動力の削減と、高湿分空気によるタービン出力の増大により、同一

サイズのガスタービンのみで、CC の GT+ST(蒸気タービン))の出力を取り出すことが可能なためである。

ST 関連は、CC では蒸気タービン、復水器、プラント補機、配管、弁類であるが、AHAT は ST も復水器も持たないため、CC の方が高価である。

熱交換器類として、CC は排熱回収ボイラがあり、AHAT は、再生熱交換器、エコマイザ、増湿塔、空気冷却器、水回収装置、プラント補機・配管・弁類である。これらの比較では、AHAT には従来に設置実績のない機器が多く含まれるリスクもあり、AHAT の方が高価になると考える。

電気設備は、変圧器、遮断器、計装・制御設備などであり、AHAT は機器構成が CC に比べシンプルな為、計装・制御設備の構成が簡易となり、安価になると考えられる。

これらの比較により、AHAT は CC よりも簡易な機器構成であり、量産時の機器価格は、CC 以下となることを目標とする。なお、CC の機器価格は図 4－8 に示すように、たとえば送電端出力 100 MW の場合、約 700 \$/kW である。

次に、発電設備のユーザーにとって重要な運転コストであるが、AHAT 固有のコストとして、排ガスからの回収水の水質維持に必要なコストがある。これに関しては机上検討だけではなく、実証試験において確認する計画である。

表 4－4 AHAT と CC の機器コストの検討

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

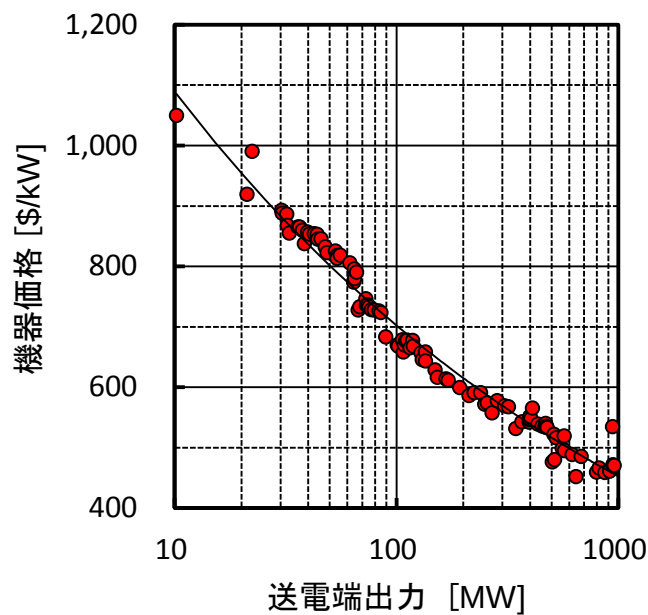


図 4－8 コンバインドサイクルの機器価格 (据付工事費除く、データ出典：Gas Turbine World 2012 Handbook)

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。

・ IGCC 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 IGCC と高湿分空気利用ガスタービン技術を組み合わせた IGHAT が提案されている。IGHAT 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 IGCC 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。

CO₂ 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 AHAT を組合せることで AHAT の作動流体は CO₂ と水蒸気が主成分となり、水回収装置で水を除去すれば、CO₂ 分離動力を必要とすることなく低温度の CO₂ を回収することができ、高効率 CO₂ 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 CO₂ 回収型クローズド AHAT 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、AHAT 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、実証の早期完了、早期実用化の観点、事業経費の低減の観点から、既存40MW級総合試験装置の改造によりAHATの構成要素を二段階に分けて実証する方式で設計を開始している。

表5-1 AHATの研究開発計画

		→ 計画 → 実績					
項目(担当)/年度		H24	H25	H26	現在 H27	H28	H29
高信頼性化要素技術	(1) 高湿分圧縮機(MHPS)	高負荷対応三次元翼					
	(2) 吸気噴霧液滴の蒸発(MHPS)	吸気噴霧液滴の蒸発促進技術					
	(3) 高湿分冷却翼(MHPS)	主流ガス熱負荷低減技術					
	(4) 高湿分燃焼(MHPS)	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(MHPS、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(MHPS、電中研、住精) (二段階実証の1/2)	開放点検	試験	改造・圧縮機試験	試験		
	(7) 実証プラントによる長期信頼性の実証(MHPS、電中研、住精) (二段階実証の2/2)			試験設計	設計	製作	試験・検証
	予算(事業総額、百万円)	1,072	1,609	2,229	1,028	2,130	690
							合計

要素試験
(産学連携による研究開発含む)

MHPS	・実証機の試験結果評価 ・課題と対策整理 ・商用化概念設計
電中研	・実証機の特長解析 ・動特性解析によるAHAT 商用機の運用性評価
住精	・商用機向け再生熱交換器の 概念設計

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三菱日立パワーシステムズが担当し、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：三菱日立パワーシステムズ(株) 吉田 正平

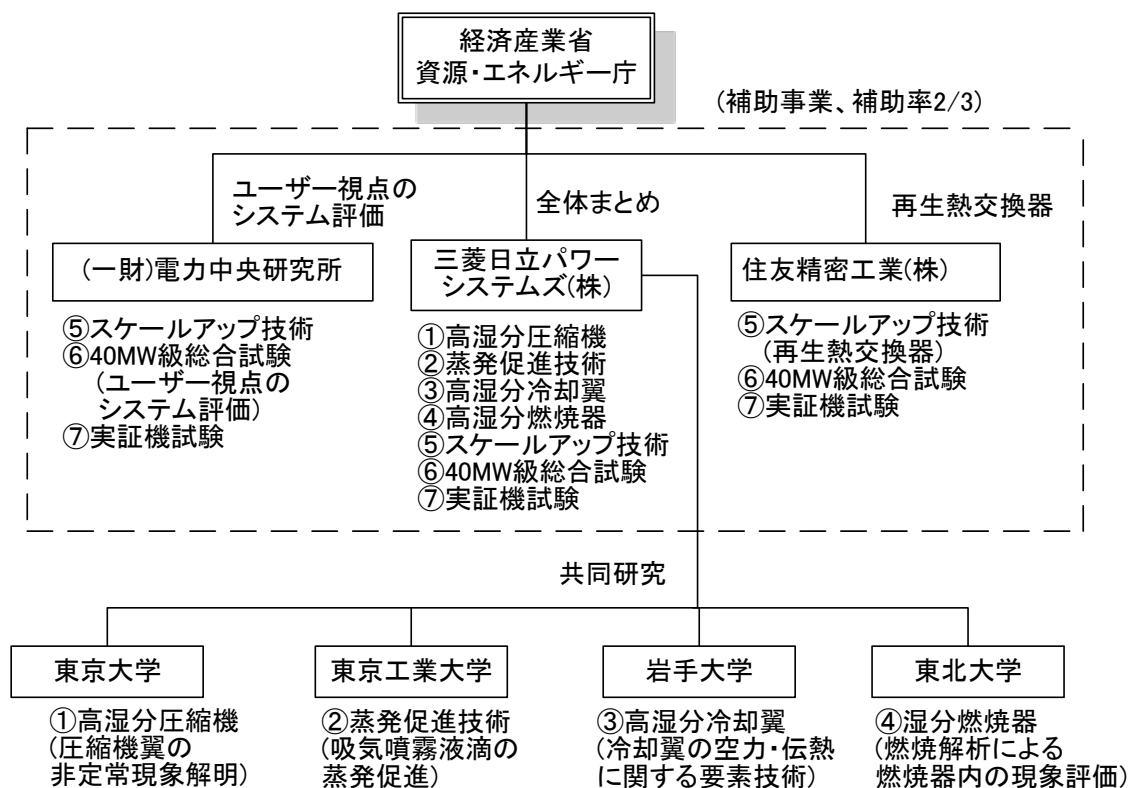


図5-1 AHAT 研究開発体制

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 37% 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	合計
①高湿分圧縮機	93	429	144	12			678
②吸気噴霧液滴の蒸発	40	48	48	4			140
③高湿分冷却翼	62	78	112	11			262
④高湿分燃焼	150	285	101	13			549
⑤スケールアップ技術	166	183	1,048	22			1,419
⑥40MW級総合試験	563	586	776	165	378		2,468
⑦実証機による長期信頼性				800	1,752	690	3,242
合計	1,072	1,609	2,229	1,028	2,130	690	8,757

5-4 事業総額の変更と研究開発の関係

実証機の構成の検討において、日本再興戦略を受け、高効率火力発電のさらなる開発加速のため、既存装置を改造した二段階実証を検討した。これにより実証完了を H32 年度から H29 年度に早める。同時に、実証機の出力規模の縮小、運転期間の短縮等により事業経費の予算総額を 383 億円(補助額)から、58.4 億円(補助額)へ変更する。表 5-4 に、研究開発の変更内容と影響、意義、妥当性の検討結果を示す。研究開発の変更内容と影響、意義、妥当性事業の目標は変更なく、研究開発の妥当性も確保されている。

表 5-4 研究開発の変更内容と影響、意義、妥当性

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

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、油焚き 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。

平成 28 年に電力小売りの全面自由化が予定されており、新たに特定規模電気事業者等による電源設備の需要が想定される。産業ユーザー向けの発電容量や、熱電併給機能を付加した仕様を検討することが事業化戦略として有効である。

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。

6. 費用対効果

本事業には、6 年間で 58.4 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温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 年および 2014 年には米国機械学会 ASME Turbo EXPO のそれぞれ Cycle Innovation 部門および Industrial and Cogeneration 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 5 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。

表 5-3 CO₂ 削減効果

	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

7. 事前評価及びフォローアップにおける指摘事項に対する対応

7-1 総合科学技術会議指摘事項に対する対応状況

総合科学技術会議 第103回評価専門調査会(平成25年11月20日)
での指摘事項は、以下である。

特に中小容量機(AHAT)に関しては、実用化による新たな市場への投入を行うものであり、かつ、これにより我が国の世界市場獲得における現状(4%)を大きく上回るシェア目標(20%)を目指すものであることから、早期の市場投入等、海外の競合技術に対する競争力強化の方策を含め、より具体的な市場獲得戦略の検討を行う必要がある。

これに対しては、4-1に記載した通り、市場獲得戦略として、以下の戦略を検討した。

- ・ 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。
- ・ H28年の電力全面自由化に伴い新電力会社(特定規模電気事業者)向けに導入提案する。
- ・ 海外は、欧米など再生可能エネルギーの導入が多い地域その他、立地の自由度のメリットを生かし、中東、西アジア、アフリカ等の内陸部、グリッド未整備地域を中心に導入提案する。

7-2 産構審評価小委員会指摘事項に対する対応状況

産構審第7回評価WG(平成26年2月27日)のコメントは以下である。

本事業は、中小容量機の高効率化に有望とされる高湿分空気利用のガスタービンの実用化技術開発、実証を行うものであり、蒸気タービンを用いずコンパクトで省スペースな利点があることから、設置地点としては、取水に制約のある内陸部、海外では中東地域や連係系統が不十分な発展途上国等を想定している。本技術により蒸気タービン用の水は不要となるが、高湿分燃焼用の水の確保は必要であり、また発電規模に対する相当のコスト圧縮の必要性も指摘されている。このため、現在実施中の実証事業において、水の確保を含めたランニングコスト、市場、事業戦略、コスト目標等について、事業化に向けて具体的に検討することが必要。

これに対しては、発電規模に対する相当のコスト圧縮の目的で、3-1-2に記載した通り、発電規模に対する開発コスト圧縮を考慮し、実証機の出力を当初計画の約1/3に縮小し、かつ、二段階実証で合理的に高信頼性の機能検証を進めて行く。

事業化に向けた市場、事業戦略、コスト（含む水確保）目標等については、実証機の試験結果評価と商用化の概念設計で、発電事業の具体的な数値目標を設定し進めて行く。

第 3 章 評価

第3章 評価

A. 1700℃級ガスタービン技術実証事業

1. 事業の目的・政策的位置付けの妥当性

火力発電技術の高効率化によって環境に対する負荷の低減を指向する本事業は、長いスパンの基礎技術の確立と実証試験を必要とし、国として取り組む必要のある施策であると考えられる。海外との激しい競争下において、更なる性能向上を目指した新しい目標も設定されており、本事業の社会的・技術的意義は更に重要になっている。

なお、今後5年間以上に及ぶ長期の実施期間と当初より増額された予算総額、得られた知見や最新技術、情報等を効果的に実用化・事業化するための具体的施策が必要であるとする。

【肯定的意見】

- ・環境影響を軽減する重要技術であり、国際的競争も激しい。
- ・本事業に代表される超高効率ガスタービンの実用化技術開発分野は、現在までの絶え間ない技術開発によって我が国が世界をリードしてきた分野であり、1700℃級 GT の開発・実用化事業においても、1500℃、1600℃級 GT で培われた技術やノウハウの蓄積が大きな推進力となっている。この意味においても、火力発電技術の高効率化によって環境に対する負荷の低減を指向する本事業は、長いスパンの基礎技術の確立と実証試験を必要とし、国として取り組む必要のある施策であるとする。4年間の要素技術開発期間が概ね終了し、事業はほぼ計画通りに進行している。また、海外との激しい競争下において、更なる性能向上を目指した新しい目標も設定されており、本事業の社会的・技術的意義は更に重要になっている。
- ・世界レベルでのガスタービン高効率化競争のなか、多額の費用が必要かつ長期にわたる研究開発である。先進的に環境問題に対応しており国際競争力の強化および国際貢献度の高い研究であることから、国が実施すべき研究開発であると考えられる。

【問題点・改善すべき点】

- ・本事業の目的や位置付けについては特に問題点は認められない。今後5年間以上に及ぶ長期の実施期間と当初より増額された予算総額、得られた知見や最新技術、情報等を効果的に実用化・事業化するための具体的施策が必要であるとする。

2. 研究開発等の目標の妥当性

効率 57% (HHV) を達成するために掲げられた 14 項目に及ぶ個別要素課題は全て達成され、実証試験の開始に向けて問題となっている項目は見当たらない。また、更なる性能向上を指向した要素技術研究も計画され、目標は適切かつ妥当に定められている。さらに、システム構成機器そのものの開発のみならず、実証試験に欠かせない機器健全性の確認手法に関する技術開発も考慮されており、技術的および経済的優位性を有した目標であり妥当である。

なお、平成 28 年度以降に計画されている実証機試験期間に、1700℃での実証に関する研究計画と並行して更なる高性能化を目指した要素技術研究の必要性が提案されている。この具体的な目標が不明確であると共に、本事業の最終目的である 1700℃級 GT 商用機への普及促進との関連性が不明である。また、メンテナンス時の各基準（部品取替周期、寸法許容値など）を確立するための手法の検討が、目標に設定されていればなお望ましい。今後の研究内容に期待したい。

【肯定的意見】

- ・ 国際的競争もあり、目標は適切に設定されている。
- ・ 実用化技術開発において設定されていた送電端効率56%(HHV)という高い目標は、研究開発が順調に進行したこともあり更に1%高い目標に設定し直され、挑戦的な研究・開発が進行中である。今回の中間評価においても、効率57% (HHV) を達成するために掲げられた14項目に及ぶ個別要素課題は全て達成され、実証試験の開始に向けて問題となっている項目は見当たらない。また、更なる性能向上を指向した要素技術研究も計画され、目標は適切かつ妥当に定められている。
- ・ 全体目標が従来のガスタービン効率水準を大幅に上回っており、その全体目標達成に必要な個別目標についても、従来水準を上回るような部品性能が数値目標として設定されている。また、システム構成機器そのものの開発のみならず、実証試験に欠かせない機器健全性の確認手法に関する技術開発も考慮されており、技術的および経済的優位性を有した目標であり妥当である。

【問題点・改善すべき点】

- ・ 平成 28 年度以降に計画されている実証機試験期間に、1700℃での実証に関する研究計画と並行して更なる高性能化を目指した要素技術研究の必要性が提案されている。この具体的な目標が不明確であると共に、本事業の最終目的である 1700℃級 GT 商用機への普及促進との関連性が不明である。
- ・ メンテナンス時の各基準（部品取替周期、寸法許容値など）を確立するための手法の検討が、目標に設定されていればなおよかった。今後の研究内容に期待したい。

3. 成果、目標の達成度の妥当性

1700℃級GT実現に向けた事前の技術検証指標として掲げられている14項目に及ぶ技術課題は、概ね達成され、有益な成果が得られている。実証試験の開始に向けての準備は順調に整っているように見える。更なる性能向上を指向した新たな目標も設置され、今後も挑戦的な研究・開発が期待できる。

なお、超高性能サイクルの検討結果で発案された、低温排ガス熱回収サイクルについて、実証機（商用機）に適用するのであれば、低温ガス雰囲気であることを考慮した設計を実施し、耐久性を確保してほしい。

【肯定的意見】

- ・ 中間目標は達成されている。
- ・ 1700℃級GT実現に向けた事前の技術検証指標として掲げられている14項目に及ぶ技術課題は、概ね達成され、有益な成果が得られている。実証試験の開始に向けての準備は順調に整っているように見える。更なる性能向上を指向した新たな目標も設置され、今後も挑戦的な研究・開発が期待できる。論文発表や特許出願も十分に行われており、120回にも及ぶ電力会社の視察回数は、本事業に向けてのユーザサイドの期待度の大きさが伺える。
- ・ タービン翼のコーティング技術など、高効率ガスタービン実証機の設計・製作および機器健全性の評価に必要な技術について、目標数値を含め達成している。

【問題点・改善すべき点】

- ・ 現在までの要素技術開発期間内に得られた成果は顕著であり、特に問題点や改善すべき点は見当たらない。
- ・ 超高性能サイクルの検討結果で発案された、低温排ガス熱回収サイクルについて、実証機（商用機）に適用するのであれば、低温ガス雰囲気であることを考慮した設計を実施し、耐久性を確保してほしい。

4. 事業化、波及効果の妥当性

事業化に向けては、当初の計画通りに進展している。圧縮機に関する最新の試験設備を新たに構築するなど、圧縮機やタービンなどの個別構成要素に関する最新の研究成果や計測技術も特筆すべきものがあり、実用化は十分に期待できる。1600℃級 GT (J 形) で蓄積された技術を背景にした、環境問題にも配慮した高効率 CC 発電システムの開発と実用化は現実的になりつつあり、本事業の将来性と波及効果は極めて大きい。

なお、海外競合メーカーとの競争激化のため、実用化のための技術開発を加速する必要性が感じられる。

【肯定的意見】

- ・ 自前で実証事業を行う段階に達している。
- ・ 4 年間の要素技術開発期間が概ね終了し、現時点では実証機の開発・運転に向けての準備は整っているように見える。事業化に向けては、当初の計画通りに進展している。圧縮機に関する最新の試験設備を新たに構築するなど、圧縮機やタービンなどの個別構成要素に関する最新の研究成果や計測技術も特筆すべきものがあり、実用化は十分に期待できる。1600℃級 GT (J 形) で蓄積された技術を背景にした、環境問題にも配慮した高効率 CC 発電システムの開発と実用化は現実的になりつつあり、本事業の将来性と波及効果は極めて大きい。
- ・ 実用化に向けたロードマップが実証段階を含めて作成されており、実証機の建設にすでに着手できている。波及効果は、現時点での成果のアウトプットからすれば、十分期待できると考える。

【問題点・改善すべき点】

- ・ 本事業の実用化に向けた検討については、特に問題点は認められない。ただ、海外競合メーカーとの競争激化のため、実用化のための技術開発を加速する必要性を感じる。

5. 研究開発マネジメント・体制等の妥当性

各研究開発課題に対して、どの時期までにどの段階まで研究開発を進めるべきかが明確に設定されている。また、プロジェクトリーダーを中心として、各分野の専門家へ必要な研究開発の委託・共究が広範囲になされており、より高い成果を得るための配慮がなされており、研究開発計画および実施体制・運営は適切かつ妥当である。また、海外メーカーとの激しい競争により、更なる性能向上を目指した研究・開発が必至であり、それを含めた実証計画の見直しを行っていることは評価できる。

なお、実証段階において、発電に直接寄与する実証発電設備は、ガスタービン本体も含めて事業者が負担し、発電に直接関与しない 1700℃級の実証に関する研究開発と更なる高性能化を目指した要素技術研究に限定することは、予算総額の著しい増加を抑制するためには不可避な政策ではあるが、事業全体としての予算が縮小されている訳ではなく、売電による収入見込みが無くなるなどの問題点がある。

【肯定的意見】

- ・ マネジメント・体制は妥当であったと考える。
- ・ 研究開発計画は概ね適切かつ妥当であると判断する。採択された実施者は、我が国で当該計画を実施できる唯一の事業者であり、従来からの業績も顕著である。実施体制に関しても問題は認められない。海外メーカーとの激しい競争により、更なる性能向上を目指した研究・開発が必至であり、それを含めた実証計画の見直しを行っていることは評価できる。
- ・ 各研究開発課題に対して、どの時期までにどの段階まで研究開発を進めるべきかが明確に設定されている。また、プロジェクトリーダーを中心として、各分野の専門家へ必要な研究開発の委託・共究が広範囲になされており、より高い成果を得るための配慮がなされており、研究開発計画および実施体制・運営は適切かつ妥当である。

【問題点・改善すべき点】

- ・ 実証段階において、発電に直接寄与する実証発電設備は、ガスタービン本体も含めて事業者が負担し、発電に直接関与しない 1700℃級の実証に関する研究開発と更なる高性能化を目指した要素技術研究に限定することは、予算総額の著しい増加を抑制するためには不可避な政策ではあるが、事業全体としての予算が縮小されている訳ではなく、売電による収入見込みが無くなるなどの問題点がある。

6. 費用対効果の妥当性

海外競合メーカーとの技術開発競争を見据え、1700℃級 GT 開発の先を見通した技術開発、研究調査を行う計画であり、巨費を投入するに見合う十分な成果を我が国に及ぼすことが期待できる。また、G 型よりさらに効率の低い老朽コンベンショナルプラントとの比較となれば、更なる経済的効果が期待できる。

なお、事業の最終目標がかなり挑戦的な内容であるため、長期にわたる研究・開発期間と巨額の費用が必要となる。1600℃級 GT をはじめとする従来からの技術を有効的に援用して、少しでも費用を節減する努力が望まれる。

【肯定的意見】

- ・額は大きい価値のある成果が得られている。
- ・実証発電設備を事業者が自前費用で負担する計画変更により、更なる高性能化を目指すためのリスクの高い要素技術研究に従事することが可能になり、本事業の目的達成および多くの研究成果が期待できる状況になった。海外競合メーカーとの技術開発競争を見据え、1700℃級 GT 開発の先を見通した技術開発、研究調査を行う計画であり、巨費を投入するに見合う十分な成果を我が国に及ぼすことが期待できる。
- ・G 型での燃料費との比較を具体的な運用例をもとに算定し、当研究開発の定量的な経済的効果を提示できている。G 型よりさらに効率の低い老朽コンベンショナルプラントとの比較となれば、更なる経済的効果が期待できる。

【問題点・改善すべき点】

- ・本事業の最終目標がかなり挑戦的な内容であるため、致し方ない部分はあるが、長期にわたる研究・開発期間と巨額の費用が必要となる。1600℃級 GT をはじめとする従来からの技術を有効的に援用して、少しでも費用を節減する努力が望まれる。

7. 事前評価及びフォローアップにおける指摘事項に対する対応状況の妥当性

(1) 総合科学技術会議（現、総合科学技術・イノベーション会議）指摘事項に対する対応状況の妥当性

4年間の要素技術開発期間が概ね終了し、平成28年度以降の事業計画が一部見直されている。大きな変更点は、海外の関連メーカーによる技術開発が急速に進行しているという背景があり、1700℃級GTの先を見越して更なる高効率を目指した基礎技術の開発に重点が置かれた点が挙げられる。燃焼器やタービン、圧縮機など個別構成要素のバックアップ技術、大規模シミュレーションや各種センシング技術に焦点が当てられ、高度でリスクの高い要素技術開発に集中的に取り組む体制へと計画が変更されている。

一方で、実証発電設備を事業者が自前費用で建設し、補助対象から除外することで、増大する研究費を抑制することが試みられている。当該事業を継続的に実施し、競合する海外メーカーとの開発競争において優位を保っていくためには、現在の補助率を維持することが不可欠であると考えられる。

なお、H28年度以降の予算はバックアップ技術、シミュレーションの精緻化、特殊計測技術の必要性に応じて適切に見直すべきである。また、本事業の目標の一つが1700℃級GT実証機の運転であることを鑑みると、実証段階で十分な時間と予算を確保して発電・送電試験を長期にわたって継続的に行うことが必要とされる。その意味において、発電に直接関与しない1700℃での実証に関する研究開発に補助金を限定支出することについては、検討が必要と考えられる。

【肯定的意見】

- ・発電に直接寄与する実証発電設備は自前費用で建設し、補助対象に含めないとしていることから、補助率の引き下げは必要ないとする。また、売電による収入も生じないのでそれを反映する必要も無い。
- ・今後の実用化のためのバックアップ技術、シミュレーションの精緻化、特殊計測技術は将来のための重要技術である。
- ・4年間の要素技術開発期間が概ね終了し、平成28年度以降の事業計画が一部見直されている。大きな変更点は、海外の関連メーカーによる技術開発が急速に進行しているという背景があり、1700℃級GTの先を見越して更なる高効率を目指した基礎技術の開発に重点が置かれた点が挙げられる。燃焼器やタービン、圧縮機など個別構成要素のバックアップ技術、大規模シミュレーションや各種センシング技術に焦点が当てられ、高度でリスクの高い要素技術開発に集中的に取り組む体制へと計画が変更されている。一方で、実証発電設備を事業者が自前費用で建設し、補助対象から除外することで、増大する研究費を抑制することが試みられている。当該事業を継続的に実施し、競合する海外メーカーとの開発競争において優位を保っていくためには、現在の補助率を維持することが不可欠であると考えられる。

- ・実証機の建設に関わる費用を補助対象から除外した点について、限られた予算の中で計画を見直し一部に自社の資金を投入した上で、自立的に研究開発を推進しようという姿勢は評価できる。ただし、新たな補助事業申請事項については、その内容と予算額との妥当性を確認する必要があり、確認できれば、提案通りの補助金額で問題ないとする。

また、高効率ガスタービン事業全体で考えると、

- ①補助総額自体が当初要求の約4割となっていること
- ②ガスタービン事業については、環境問題などから、今後も全世界的な有望事業であるが、国家間の競争環境が厳しくなっており、相応の国の関与が必要であること。
- ③東日本大震災の影響により電力需給構造が激変し、電気事業者、開発事業者による民間負担が厳しい状況にあり、これ以上の補助額の低減は、本技術開発の停滞に繋がる懸念があること

などから、事業者提案どおりの補助率は妥当であるとする。

【問題点・改善すべき点】

- ・H28年度以降の予算はバックアップ技術、シミュレーションの精緻化、特殊計測技術の必要性に応じて適切に見直すべきである。)
- ・本事業の目標の一つが1700℃級GT実証機の運転であることを鑑みると、実証段階で十分な時間と予算を確保して発電・送電試験を長期にわたって継続的に行うことが必要とされる。その意味において、発電に直接関与しない1700℃での実証に関する研究開発に補助金を限定支出することは、妥当な判断であるのかが疑問視されます。これにより、売電による収入も期待できなくなり、事業費用を著しく増大させる要因になっているのではないのでしょうか。

(2) 産構審評価小委員会（現、評価WG）指摘事項に対する対応状況の妥当性

※1700℃級ガスタービン技術実証事業に係る更新評価 WG の宿題事項は該当なし。

【肯定的意見】

- ・
- ・
- ・

【問題点・改善すべき点】

- ・
- ・
- ・

8. 総合評価

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

【肯定的意見】

- ・環境影響を軽減する重要技術であり、国際競争も激しいが、順調に成果が得られている。
- ・送電端効率57%(HHV)という挑戦的な目標に対して、従来から蓄積されている1500℃級GT、1600℃級GT(J形)などの技術を有効的に援用することで実証化さらには商用化に向けての見通しが得られたことは意義深い。4年間に及ぶ要素技術開発期間が概ね終了し、問題視されていた14項目に及ぶ技術課題に関してもほぼ問題点を克服し、平成28年度以降に予定されている実証機の開発・製作・実証運転に向けての準備は整っているように見える。4年間に及ぶ要素開発において、新たに開発・研究された数多くの先進技術は、当該GTの分野のみならず、広く機械工学分野全般の著しい進歩を促す結果になっている。更に、海外メーカーとの激しい開発競争を勘案し、今後の研究計画を見直し、更なる高効率化を目指した高度でリスクの高い要素技術の開発を積極的に推進していく姿勢は評価できる。当該分野において、今後も我が国が指導的役割を担っていくためには、国の補助による本事業の更なる加速が必要と考える。
- ・1700℃実証試験に向けて着実に事業が進行しており、早い段階で1700℃タービン実用化の目処がたてられるよう、引き続き計画を進めてほしい。

【問題点・改善すべき点】

- ・事業経費が著しく巨額であることを除けば、特に問題点や改善すべき点は見受けられない。

9. 今後の研究開発の方向等に関する提言

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

【各委員の提言】

- ・今後のさらなる高効率化競争に勝ち残るためにも、H28 年度以降の予算はバックアップ技術、シミュレーションの精緻化、特殊計測技術の必要性に応じて適切に配分すべきである。
- ・現在までの研究開発計画はほぼ予定通りに進行しており、問題点は認められない。
1700℃級GTの商用化という最終的な目標に対して、各構成要素の技術的課題および、GTシステム全体としての問題点を、従来までの1500℃級、1600℃級で整理・検討し、1700℃級へと応用する仕組みと、技術情報や知的資産として公開し、産業界で有効に活用する方法を構築して頂きたい。これにより、動力・エネルギー分野の技術開発を大きく牽引することが期待できる。
1700℃級GTの更に先を見越し、更なる性能向上と技術革新を図るために不可欠な要素技術の絞り込みと解決策や新技術の提案を積極的に行い、産学官が連携した研究体制を構築することが必要であろう。
- ・低カロリー燃料（軽質 LNG などの比較的廉価な燃料）に対応させることで商品性を高めたいと資料に記載はあったが、高効率化以外の観点からも、ランニングコスト低減につながる研究開発目標を具体的に盛り込んでほしい。

B. 高湿分空気利用ガスタービン技術実証事業

1. 事業の目的・政策的位置付けの妥当性

高湿分ガスタービンは新規性および独創性に優れており、未知の部分が多い新しい技術であるが、研究開発の進展は技術分野に飛躍的な進歩をもたらすことが期待できる。技術の新規性や海外競合メーカーとのし烈な開発競争を鑑み、国が積極的に関与・支援することで国際競争力を高めることが不可欠である。

【肯定的意見】

- ・ シンプルな構成かつ負荷追従性が良く小回りのきく電源は国際的に重要である。
- ・ 国際競争において厳しい販売状況が続いている中小容量 GT 分野において、AHAT は高効率化と環境へ配慮した新しい発電システムとして我が国で開発された特有の技術で、当該分野での競争力を獲得するためにも積極的に技術開発を促進したい分野である。高湿分 GT は新規性および独創性に優れており、未知の部分が多い新しい技術であるが、研究開発の進展は技術分野に飛躍的な進歩をもたらすことが期待できる。技術の新規性や海外競合メーカーとのし烈な開発競争を鑑み、国が積極的に関与・支援することで国際競争力を高めることが不可欠である。
- ・ これまで自他国においてシステムの提案はされたものの実現に至っていない、世界初の発電システム実用化に必要となる研究開発であるため、多額の研究開発費用がかかるうえに技術的難易度も高い。さらに、復水器用の海水が不要で、内陸部に位置する国・地域にも建設可能であり、環境問題の先進的対応を通じて国際貢献ができる日本発の技術であるため、国が実施すべき事業である。

【問題点・改善すべき点】

- ・ 長期間にわたる要素技術開発が概ね計画通りに終了し、今後 2 年間で実証機による試験が実施される計画であり、本事業の目的や位置付けについては大きな問題は認められない。

2. 研究開発等の目標の妥当性

世界をターゲットにした日本独自技術であり、目標は適切である。また、要素技術開発が概ね終了した現時点では、設定されていた7項目に及ぶ開発テーマが詳細に検討され、全ての項目で当初の目標値が達成されている。40MW級試験装置による検証と70MW級実証プラントによる信頼性実証試験の2段階に分けられ実証を行っていく今後の計画設定も妥当であると考えられる。

なお、GTシステムの長期信頼性検証は、特に新しい技術を用いたAHATのような発電システムには必須であるが、本事業計画での実証時間で十分な基礎データが蓄積や信頼性を示すことができるかについて検討が必要と考えられる。

【肯定的意見】

- ・世界をターゲットにした日本独自技術であり、目標は適切である。
- ・送電端効率51%(HHV)という目標は、当該容量機においてCCを凌ぐ高い発電効率であり、新型ガスタービンとしてのAHATの設定目標として妥当であると考え。要素技術開発が概ね終了した現時点では、設定されていた7項目に及ぶ開発テーマが詳細に検討され、全ての項目で当初の目標値が達成されている。40MW級試験装置による検証と70MW級実証プラントによる信頼性実証試験の2段階に分けられ実証を行っていく今後の計画設定も妥当であると考え。
- ・既存のガスタービン用構成部品を改造してAHATに適用する技術など、実用化に向けて克服しなければならない問題の解決が目標として設定されており、その目標を達成することで実証試験段階へ事業を進めることができるため、目標として妥当である。

【問題点・改善すべき点】

- ・GTシステムの長期信頼性検証は、特に新しい技術を用いたAHATのような発電システムには必須であるが、本事業計画で十分な基礎データが蓄積できるかが疑問である。わずか1年間1000時間程度の実証機運転期間は高信頼性評価に十分であるか、合わせて疑問である。

3. 成果、目標の達成度の妥当性

高湿分圧縮機や燃焼器に代表される各要素における個別の問題は、概ね検討され十分な成果を挙げている。得られた研究成果や新技術は、事業者の実用ガスタービンや派生システムにも応用された実績を有している。この意味においても、平成 28 年度以降の実証機試験準備は整った状態にあると考えられる。また、天然ガス需要が世界的に拡大すると共に、シェールガスをはじめとする新燃料の掘削技術が開発されているのも、本事業にとっての追い風になっている。AHAT 技術に関しては、国内外の学会から高い評価を得ており、研究成果も積極的に学会や国際会議で発表されている。3MW 検証機、40MW 試験装置ともに国内外多くのユーザが関心を持っている。

なお、高湿分であるが故に発生する各構成要素の様々な技術的課題に対して、十分な評価と対策が練られているのかが問題点として挙げられる。また、40MW試験装置での200時間総合試験にて各部に損傷が発生しなかったことが、70MW実証試験へ移行するための十分な成果といえるか、検討が必要と考えられる。さらにミドル運用を前提に設計するのであれば、ベース運用とは違う観点のシビアコンディションを想定すべきである。

【肯定的意見】

- ・ 目標は達成されている。
- ・ 高湿分圧縮機や燃焼器に代表される各要素における個別の問題は、概ね検討され十分な成果を挙げている。得られた研究成果や新技術は、事業者の実用ガスタービンや派生システムにも応用された実績を有している。この意味においても、平成 28 年度以降の実証機試験準備は整った状態にあると考える。また、天然ガス需要が世界的に拡大すると共に、シェールガスをはじめとする新燃料の掘削技術が開発されているのも、本事業にとっての追い風になっている。AHAT 技術に関しては、国内外の学会から高い評価を得ており、研究成果も積極的に学会や国際会議で発表されている。3MW 検証機、40MW 試験装置ともに国内外多くのユーザが関心を持っている。
- ・ 実用化に向けて克服しなければならない問題を解決するための目標を達成できており、得られた成果は妥当である。

【問題点・改善すべき点】

- ・ 運転時間が 200 時間であり、耐久性の検証はこれからである。
- ・ 現在までの要素技術開発は概ね順調である。しかし、高湿分であるが故に発生する各構成要素の様々な技術的課題に対して、十分な評価と対策が練られているのかが問題点として挙げられる。例えば、高湿分圧縮機の流量削減案として圧縮機流路のTipカットおよびHubアップが挙げられているが、効率向上とサージマージンの拡大効果は

僅かで有意な差とは言えない程度にとどまっている。更に、圧縮機動翼にとって最も有効的にエネルギー変換を行っている動翼先端部をカットすることで、翼間流れがより3次元化し、流れの剥離や乱れの増大、二次流れの増長などの悪影響が発生することが懸念される。

- ・既存のガスタービン部品を改造・流用しているため、ある程度の信頼性はあるのかもしれないが、40MW試験装置での200時間総合試験にて各部に損傷が発生しなかったことが、70MW実証試験へ移行するための十分な成果といえるか、疑問である。また、ユニット起動停止の繰り返し試験等、ミドル運用を想定した試験は実施しているのか。ミドル運用を前提に設計するのであれば、ベース運用とは違う観点のシビアコンディションを想定するべきである。

4. 事業化、波及効果の妥当性

一部の技術は製品に適用されている。また、寿命を迎える火力プラントの増加に伴うリプレースという市場の拡大が予想され、新機種需要と相まって事業化に向けての見通しは十分期待できる。さらに、高速起動などの運用性が優れていると共に、機器構成がシンプルであるため建設費などの初期コストが低減できるなどの利点を有しており、従来のシステムと比較しても優位性が認められる。

なお、発電を含めた検証は行われないこととなっており、また、本ロードマップに設定された試験内容でユーザーの信頼獲得等、実用化への波及効果が得られるか、検討が必要と考えられる。

【肯定的意見】

- ・一部の技術は製品に適用済み。
- ・AHATは世界初の革新的技術であり、事業化までの開発リスクも大きいことから、段階的な技術開発が提案されている。本事業では、高信頼性化技術の開発と長期信頼性の実証を目的とした試験計画が提案されている。事業化までの道のりはまだ相当遠いと思われるが、寿命を迎える火力プラントの増加に伴うリプレースという市場の拡大が予想され、新機種需要と相まって事業化に向けての見通しは十分期待できる。また、高速起動などの運用性が優れていると共に、機器構成がシンプルであるため建設費などの初期コストが低減できるなどの利点を有しており、従来のシステムと比較しても優位性が認められる。
- ・商用機化へのロードマップを作成し、実証機設計段階まで進行している点は、事業化への見通しがあるといえるため、妥当である。

【問題点・改善すべき点】

- ・発電を含めた検証は行われない。
- ・本事業の実用化に向けた検討については、特に問題は認められない。
- ・本ロードマップに設定された試験内容でユーザーの信頼獲得等、実用化への波及効果が得られるか、疑問である。

5. 研究開発マネジメント・体制等の妥当性

AHAT は世界初の新技術であるが故に、構成要素の高信頼性を獲得するための技術開発に十分時間をかけて実証試験を行うという基本方針は妥当であり、現在まではほぼ計画通り着実に実行されてきている。研究体制や運営体制についても役割分担を含め、特に問題点は見受けられない。大規模かつ長期間にわたる実証試験を予定していた当初は事業予算規模も莫大であったが、本来、巨額の予算を必要としても開発すべき新技術であると考えられる。予算規模や事業期間は大幅に見直されて縮小されたが、事業の目標と商用化に向けての開発体制を変えることなく進行させる計画が提示されている。

なお、大幅な予算削減と期間の短縮に伴う研究・開発規模の縮小や遅れ、十分な試験期間を確保できないことによる高信頼性評価の不確かさなどが懸念される。縮小された予算及び期間によって、従前の計画と比して、何がどこまで可能なかを明確にする必要がある。また、一部の機器で担当メーカーが異なるため、十分な調整がなされていると思われるが、機器納入メーカーに設計・品質管理を一任せず、全体まとめ担当が主体的に協調をとって、適切な管理を維持するよう今後も配慮すべきである。

【肯定的意見】

- ・ マネジメント・体制は妥当であったと考える。
- ・ AHAT は世界初の新技術であるが故に、構成要素の高信頼性を獲得するための技術開発に十分時間をかけて実証試験を行うという基本方針は妥当であり、現在まではほぼ計画通り着実に実行されてきている。研究体制や運営体制についても特に問題点は見受けられない。大規模かつ長期間にわたる実証試験を予定していた当初は事業予算規模も莫大であったが、本来、巨額の予算を必要としても開発すべき新技術であると考えている。予算規模や事業期間は大幅に見直されて縮小されたが、事業の目標と商用化に向けての開発体制を変えることなく進行させる計画が提示されている。
- ・ 必要な研究開発ごとに、各分野の専門家との共同研究がなされており、より効果が上がるような役割分担がなされていることから、実施体制・運営は適切かつ妥当である。

【問題点・改善すべき点】

- ・ 大幅な予算削減と期間の短縮に伴う研究・開発規模の縮小や遅れ、十分な試験期間を確保できないことによる高信頼性評価の不確かさなどが懸念される。縮小された予算及び期間によって、従前の計画と比して、何がどこまで可能なかを明確にする必要性を感じている。
- ・ 一部の機器で担当メーカーが異なるため、十分な調整がなされているとは思いますが、機器納入メーカーに設計・品質管理を一任せず、全体まとめ担当が主体的に協調をとって、適切な管理を維持するよう今後も配慮していただきたい。

6. 費用対効果の妥当性

産構審からの指摘を受け、早期実証開始と開発コストの圧縮を鑑み、実証期間の短縮と大幅な事業予算の見直しを行い、事業の目標変更を行うことなく、研究開発を妥当に実施する新たな計画を策定したことは高く評価できる。

なお、期間及び予算の大幅な縮小により、AHAT各構成要素の更なる高信頼性試験の実施規模の縮小や、実証機による運転期間の短縮、フル構成機器の相互作用を同時に検証する代わりに動特性シミュレーションで代用するなど、今後の研究開発に際して問題となるような変更がないか、検討すべきと思われる。また、コスト比較について、比較のベースのシステムを検討しつつ、AHAT採用によるコストメリットを例示すべきと考えられる。

【肯定的意見】

- ・ 実用化を加速するため予算を縮小しており、妥当であると考ええる。
- ・ 産構審からの指摘を受け、早期実証開始と開発コストの圧縮を鑑み、実証期間の短縮と大幅な事業予算の見直しを行い、事業の目標変更を行うことなく、研究開発を妥当に実施する新たな計画を策定したことは高く評価できる。

【問題点・改善すべき点】

- ・ 期間及び予算の大幅な縮小により、AHAT各構成要素の更なる高信頼性試験の実施規模の縮小や、実証機による運転期間の短縮、フル構成機器の相互作用を同時に検証する代わりに動特性シミュレーションで代用するなど、今後の研究開発に際して問題となるような変更があるのではないか。
- ・ AHAT 採用によるコストメリットを例示したほうがよいと考える。ただし、比較のベースをどのシステムにするかは検討の余地がある。

7. 事前評価及びフォローアップにおける指摘事項に対する対応状況の妥当性

(1) 総合科学技術会議（現、総合科学技術・イノベーション会議）指摘事項に対する対応状況の妥当性

発電規模に対する開発コストの圧縮については、今回の見直しにより大幅に改善されている。また、実証機の出力を限定する試みや、高信頼性機能検証を2段階で実施するなどの新たな対策が検討されており評価に値する。また、発電事業に関する具体的な数値目標を設定することも検討されている。これにより、産構審第7回評価WGで指摘されている水の確保を含めたランニングコストの問題についても、具体的な検討が期待できる。

なお、事業予算総額は大幅に削減されたにもかかわらず、事業の目標に変更はなく、研究開発の妥当性も確保されているとの主張であるが、実証機システム構成の2段階実証への変更や、発電機の代わりに負荷圧縮機で動力回収を行うため売電事業が期待できないこと、実証機運転期間を計画の2年から1年間に短縮し、しかも約1000時間程度しか確保できないことなど、多くの問題点が指摘できる。AHATは新しく革新的な技術であるが故に、長い検証時間と構成要素の信頼性向上に向けた多くの研究・開発が必要であるにもかかわらず、期間の大幅な短縮が行われたことは大きな問題になるのではないかと懸念される。

【肯定的意見】

- ・コスト圧縮して実用化を加速している点は評価できる。
- ・発電規模に対する開発コストの圧縮については、今回の見直しにより大幅に改善されている。また、実証機の出力を限定する試みや、高信頼性機能検証を2段階で実施するなどの新たな対策が検討されており評価に値する。また、発電事業に関する具体的な数値目標を設定することも検討されている。これにより、産構審第7回評価WGで指摘されている水の確保を含めたランニングコストの問題についても、具体的な検討が期待できる。
- ・発電機の設置を取りやめガスタービン出力を縮小し、さらに実証機運転時間を短縮したことは、必要最小限の設備構成、規模および費用で試験を実施し、開発コストを最小化しようとする姿勢の表れであり、評価できる。

【問題点・改善すべき点】

- ・加速によって必要な技術検証が行われなくなることがないようにしてほしい。
- ・事業予算総額は383億円から58.4億円へと大幅に削減されたにもかかわらず、事業の目標に変更はなく、研究開発の妥当性も確保されているとの主張であるが、実証機システム構成の2段階実証への変更や、発電機の代わりに負荷圧縮機で動力回収を行う

ため売電事業が期待できないこと、実証機運転期間を計画の2年から1年間に短縮し、しかも約1000時間程度しか確保できないことなど、多くの問題点が指摘できる。AHATは新しく革新的な技術であるが故に、長い検証時間と構成要素の信頼性向上に向けた多くの研究・開発が必要であるにもかかわらず、期間の大幅な短縮が行われたことは大きな問題になるのではないかと懸念される。

（２）産構審評価小委員会（現、評価WG）指摘事項に対する対応状況の妥当性

AHAT の特殊性や新規性、中小容量GT の世界的な状況を鑑みると、補助率を削減して国際競争力を失わせることは我が国にとって大きな問題となる。売電による収入が見込めない状況下において、検証規模をできる範囲で縮小して費用総額の大幅削減と、早期の市場投入を指向した実証期間の大幅削減を指向した努力については評価できる。

なお、早期の市場投入を指向する為に実証期間を大幅に短縮する試みは、単にAHAT システム全体の長期信頼性を失わせるだけではなく、各構成要素の最新技術を研究・開発する貴重な環境を損なう結果にもなりかねない。国際競争力の強化を考えて市場投入を急ぐ一方で、技術開発の飛躍的な進歩によって新たな小中容量GT 市場を獲得する戦略を検討すべきである。AHAT システムの有する経済性、耐環境性能、高効率、高い負荷変化率、低い建設コストなどの利点を実証試験により評価し、事業化に向けた具体案を検討することが急務である。また、信頼性や運用性の実証試験において、補助金削減などの要因により十分な試験内容を実施しないまま市場へ投入すれば、ユーザーがAHAT を安心して採用できなくなり、結果的に国の政策に沿った環境対策効果を得られなくなることが懸念される。早期市場投入や試験に必要な燃料費等を低減するという趣旨は理解できるが、実証機運転時間について、1,000 時間で長期信頼性を本当に証明できるのか検討が必要と考えられる。さらに、コスト面および試験環境の理由で、発電機ではなく負荷圧縮機を用いて試験した場合、負荷追従性が優れていることについて、説得力をもって説明できるのか検討が必要と考えられる。

【肯定的意見】

- ・ 思い切ったコスト削減が行われており、補助率を減少させる必要はないと考える。
- ・ 発電が計画されていないので売電による収入はない。
- ・ AHATの特殊性や新規性、中小容量GTの世界的な状況を鑑みると、補助率を削減して国際競争力を失わせることは我が国にとって大きな問題となる。売電による収入が見込めない状況下において、検証規模をできる範囲で縮小して費用総額の大幅削減と、早期の市場投入を指向した実証期間の大幅削減を指向した努力には敬意を表する。
- ・ 発電機の設置を取り止めガスタービン出力を縮小し、さらに実証機運転時間を短縮したことは、限られた予算の中で、必要最小限の設備構成、規模および費用で試験を実施しようとする姿勢の表れであり、評価できる。

【問題点・改善すべき点】

- ・世界市場獲得のためにはコスト面での対応がさらに必要になる。
- ・早期の市場投入を指向する為に実証期間を大幅に短縮する試みは、単にAHATシステム全体の長期信頼性を失わせるだけではなく、各構成要素の最新技術を研究・開発する貴重な環境を損なう結果にもなりかねない。国際競争力の強化を考えて市場投入を急ぐ一方で、技術開発の飛躍的な進歩によって新たな小中容量GT市場を獲得する戦略を検討すべきである。AHATシステムの有する経済性、耐環境性能、高効率、高い負荷変化率、低い建設コストなどの利点を実証試験により評価し、事業化に向けた具体案を検討することが急務である。
- ・信頼性や運用性の実証試験において、補助金削減などの要因により十分な試験内容を実施しないまま市場へ投入すれば、ユーザーがAHATを安心して採用できなくなり、結果的に国の政策に沿った環境対策効果を得られなくなることが懸念される。
早期市場投入や試験に必要な燃料費等を低減するという趣旨は理解できるが、実証機運転時間について、1,000時間で長期信頼性を本当に証明できるのか疑問である。
海外のIGCC実証プラントでの最大連続運転時間は1,100～1,300時間程度であり、高い連続運転時間が達成されていないとの評価に基づき、日本のIGCC実証機では2,000時間連続運転を目標に掲げて開発が進められたという実績がある。
メーカーが1,000時間で長期信頼性に問題ないと確信していることと、ユーザー側がその結果で安心できることとは別の問題であると考ええる。
上述の事例を参考にすると、最低2,000時間以上は連続または断続運転して信頼性を検証しないと、ユーザーに対し信頼性のアピールができないのではないかと考える。
コスト面および試験環境の理由で、発電機ではなく負荷圧縮機を用いて試験した場合、負荷追従性が優れていることについて、説得力をもって説明できるのか疑問である。

8. 総合評価

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

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

【肯定的意見】

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

【問題点・改善すべき点】

- ・運転時間が短いため、耐久性に不安が残る。
- ・当初の計画より事業期間および事業規模が大幅に短縮され、平成29年度までの残り約2年半の期間内に十分な高信頼性実証試験が実施できるかが大いに疑問である。のべ1000時間程度の運転時間で十分な制度のデータが蓄積できるのでしょうか。また、フル構成機器の相互作用を同時に検証する予定が、3MW級検証器の実績と動特性シミュレーションに代用された問題はないのでしょうか。

- ・ 本事業において、実証機運転時間を1,000時間で計画するのであれば、メーカー主体またはユーザーと共同で、長期耐久試験を兼ねた営業運転が別途必要になると考える。そのような運転実績がないと、ユーザーが安心してAHATを選択できなくなるのではないか。100MW程度のLNG発電システムにおいては近年、高効率レシプロガスエンジン十数基で構成されたユニットを設置するユーザーもあり、冷却水用以外の熱交換器も必要ないためAHATよりさらにシンプルなシステムのように見えるが、このようなシステムに対するAHATの優位性について、説明するべきではないか。

9. 今後の研究開発の方向等に関する提言

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

【各委員の提言】

- ・世界に売するためにはさらなるコストダウンが求められる。
- ・事業総額と研究開発の大幅な変更について、その妥当性に大きな疑問が残る。開発コストの圧縮は当然の方向性としても、実証完成年度の3年間前倒しと、実証機運転時間の大幅な削減は、本事業の商用化に向けた今後の計画にどのような影響を及ぼすか、十分な検討が必要であると考ええる。また、各構成要素の更なる技術課題克服に向けた継続的な検討を実施していく具体的な体制の構築と計画策定が必要であると考ええる。

事業総額の大幅な縮小と研究期間の短縮にも拘わらず、事業の目標に変更はなく、従来通りの研究開発の妥当性も確保するという説明は説得力に欠ける。この事業規模での事業遂行が可能であるのならば、従来の予算総額と試験期間の算出根拠に大いに疑義が生じる。事業の縮小に伴い、今後問題となる可能性を有している点の早急な洗い出しと追加検討の必要を感じる。
- ・信頼性や運用性の実証試験において、補助金削減などの要因により十分な試験内容を実施しないまま市場へ投入すれば、ユーザーがAHATを安心して採用できなくなり、結

果的に国の政策に沿った環境対策効果を得られなくなることが懸念される。

早期市場投入や試験に必要な燃料費等を低減するという趣旨は理解できるが、実証機運転時間について、1,000時間で長期信頼性を本当に証明できるのか疑問である。

海外のIGCC実証プラントでの最大連続運転時間は1,100～1,300時間程度であり、高い連続運転時間が達成されていないとの評価に基づき、日本のIGCC実証機では2,000時間連続運転を目標に掲げて開発が進められたという実績がある。

メーカーが1,000時間で長期信頼性に問題ないと確信していることと、ユーザー側がその結果で安心できることとは別の問題であると考える。

前述の事例を参考にすると、最低2,000時間以上は連続または断続運転して信頼性を検証しないと、ユーザーに対し信頼性のアピールができないのではないかと考える。

コスト面および試験環境の理由で、発電機ではなく負荷圧縮機を用いて試験した場合、負荷追従性が優れていることについて、説得力をもって説明できるのか疑問である。

第 4 章 評点法による評点結果

第4章 評点法による評点結果

「高効率ガスタービン技術実証事業」に係るプロジェクト評価の実施に併せて、以下に基づき、本評価検討会委員による「評点法による評価」を実施した。その結果は「3. 評点結果」のとおりである。

1. 趣 旨

評点法による評価については、産業技術審議会評価部会の下で平成 11 年度に評価を行った研究開発事業（39 プロジェクト）について「試行」を行い、本格的導入の是非について評価部会において検討を行ってきたところである。その結果、第 9 回評価部会（平成 12 年 5 月 12 日開催）において、評価手法としての評点法について、

(1) 数値での提示は評価結果の全体的傾向の把握に有効である、

(2) 個々のプロジェクト毎に評価者は異なっても相対評価はある程度可能である、との判断がなされ、これを受けて今後のプロジェクト評価において評点法による評価を行っていくことが確認されている。

これらを踏まえ、プロジェクトの中間・事後評価においては、

(1) 評価結果をできる限りわかりやすく提示すること、

(2) プロジェクト間の相対評価がある程度可能となるようにすること、

を目的として、評価委員全員による評点法による評価を実施することとする。

本評点法は、各評価委員の概括的な判断に基づき点数による評価を行うもので、評価報告書を取りまとめる際の議論の参考に供するとともに、それ自体評価報告書を補足する資料とする。また、評点法は研究開発制度評価にも活用する。

2. 評価方法

- ・ 各項目ごとに 4 段階（A（優）、B（良）、C（可）、D（不可）〈a，b，c，d も同様〉）で評価する。
- ・ 4 段階はそれぞれ、A（a）＝3 点、B（b）＝2 点、C（c）＝1 点、D（d）＝0 点に該当する。
- ・ 評価シートの記入に際しては、評価シートの《判定基準》に示された基準を参照し、該当と思われる段階に○を付ける。
- ・ 大項目（A，B，C，D）及び小項目（a，b，c，d）は、それぞれ別に評点を付ける。
- ・ 総合評価は、各項目の評点とは別に、プロジェクト全体に総合点を付ける。

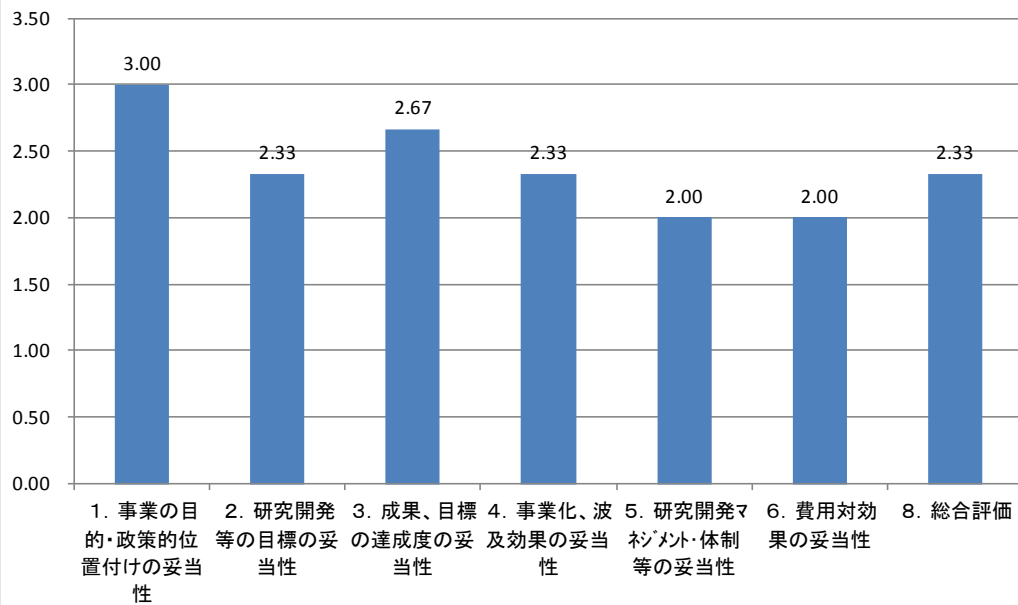
3. 評点結果

評点法による評点結果

(高効率ガスタービン技術実証事業: 1700℃級ガスタービン)

	評点	A 委員	B 委員	C 委員
1. 事業の目的・政策的位置付けの妥当性	3.00	3	3	3
2. 研究開発等の目標の妥当性	2.33	3	2	2
3. 成果、目標の達成度の妥当性	2.67	3	3	2
4. 事業化、波及効果の妥当性	2.33	2	3	2
5. 研究開発マネジメント・体制等の妥当性	2.00	2	2	2
6. 費用対効果の妥当性	2.00	2	2	2
8. 総合評価	2.33	2	3	2

評点

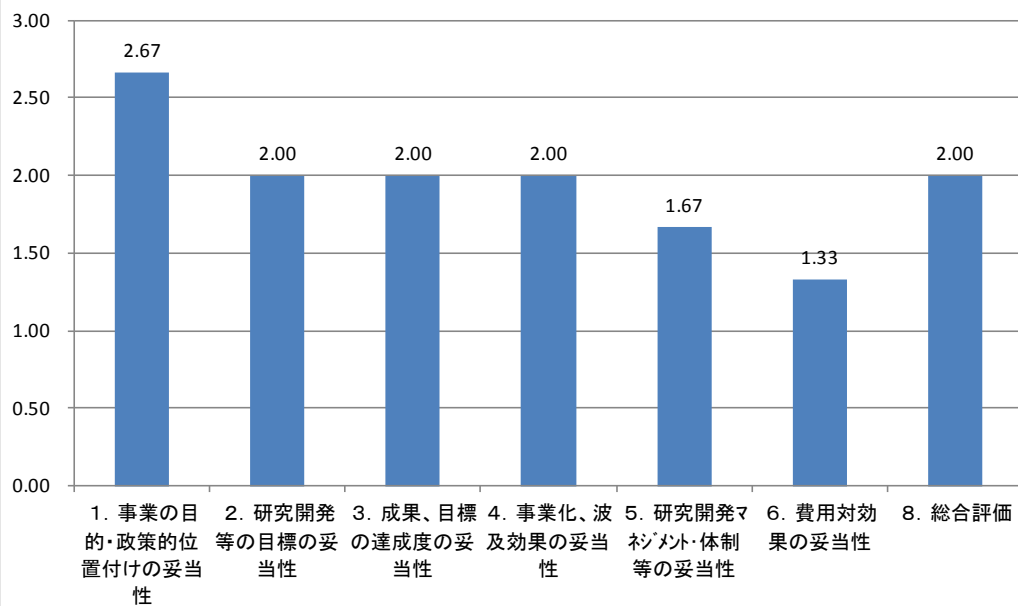


評点法による評点結果

(高効率ガスタービン技術実証事業:高温分空気利用ガスタービン)

	評点	A 委員	B 委員	C 委員
1. 事業の目的・政策的位置付けの妥当性	2.67	2	3	3
2. 研究開発等の目標の妥当性	2.00	2	2	2
3. 成果、目標の達成度の妥当性	2.00	2	2	2
4. 事業化、波及効果の妥当性	2.00	2	2	2
5. 研究開発マネジメント・体制等の妥当性	1.67	2	1	2
6. 費用対効果の妥当性	1.33	2	1	1
8. 総合評価	2.00	2	2	2

評点



經濟産業省技術評価指針

平成 2 6 年 4 月

目次	1
経済産業省技術評価指針の位置付け	2
I. 評価の基本的考え方	6
1. 評価目的	6
2. 評価の基本理念	6
3. 指針の適用範囲	7
4. 評価の類型・階層構造及びリンケージ	7
5. 評価方法等	8
6. 評価結果の取扱い等	9
7. 評価システムの不断の見直し	9
8. 評価体制の充実	9
9. 評価者（外部有識者）データベースの整備	9
10. 評価における留意事項	10
II. 評価の類型と実施方法	12
1. 研究開発プログラムの評価	12
1－1. 複数の研究開発課題によって構成されるプログラムの評価	12
(1) 事前評価	12
(2) 中間評価	12
(3) 終了時評価	13
1－2. 競争的資金制度等の研究資金制度プログラムの評価	14
(1) 事前評価	14
(2) 中間評価	14
(3) 終了時評価	15
2. 研究開発課題（プロジェクト）の評価	16
(1) 事前評価	16
(2) 中間評価	16
(3) 終了時評価	17
3. 追跡調査・追跡評価	18
3－1. 追跡調査	18
3－2. 追跡評価	18

経済産業省技術評価指針の位置付け

経済産業省技術評価指針（以下、「本指針」という。）は、経済産業省が、経済産業省における研究開発プログラム及び研究開発課題（以下、「研究開発プログラム・課題」という。）の評価を行うに当たって配慮しなければならない事項を取りまとめたものである。

本指針は、「産業技術力強化法」（平成12年法律第44号）第10条の規定、「科学技術基本計画」（平成23年8月閣議決定）、「研究開発システムの改革の推進等による研究開発能力の強化及び研究開発等の効率的推進等に関する法律」（平成20年法律第63号）第34条の規定及び「国の研究開発評価に関する大綱的指針」（平成24年12月内閣総理大臣決定）（以下、「大綱的指針」という。）に沿った適切な評価を遂行するための方針を示す。

同時に、「行政機関が行う政策の評価に関する法律」（平成13年法律第86号）（以下、「政策評価法」という。）に基づく「経済産業省政策評価基本計画」（以下、「政策評価基本計画」という。）に沿った、経済産業省政策評価のうち研究開発に関する部分の実施要領としての性格を持つ。したがって、研究開発プログラム・課題についての評価の結果は、政策評価基本計画に基づき実施される事前評価及び事後評価に適切に反映・活用を図る。

技術評価は、政策評価法上要請される評価を含め政策評価の一環としての位置付けを有することから、本指針は、研究開発プログラム・課題の成果や実績等を厳正に評価し、それを後の研究開発プログラム・課題の企画立案等に反映させる政策サイクルの一環としての評価の在り方について定めるものである。

ただし、研究開発プログラム・課題に係る評価は、研究開発の内容や性格、実施体制等の態様に応じた評価方法に拠るべきであるとともに、評価の厳正さと効率性を両立するためには、評価をとりまく様々な状況に応じた臨機応変な評価手順を設定する必要がある。さらに、評価手法は日進月歩であり、今後よりよい評価手法が提案されることも十分考えられる。したがって、本指針では共通的なルール及び配慮事項を取り上げることとし、より詳細な実施のプロトコルは評価マニュアルの作成等により記述することで、機動的な実施を図ることとする。

当省研究開発機関が自ら実施する評価をその機関の自己改革の契機とするような自律的なシステムの構築に努め、研究開発を実施する当省研究開発機関が、大綱的指針及び本指針に沿って、研究開発評価の実施に関する事項について、明確なルールを定め、研究開発評価の実施及び評価結果の活用が適切かつ責任を持って行うよう、所管官庁としての責務を果たすものとする。

◎本指針における用語については、次に定めるところによる。

- ・研究開発プログラム： 「上位施策の目標達成に向けて複数の研究開発課題を含む各手段を組み立てた計画や手順に基づく取組」及び「上位施策目標との関連性を明確にし、検証可能な目標を設定した研究資金制度」をいう。

（注１）「政策評価の実施に関するガイドライン」（平成１７年１２月１６日政策評価各府省連絡会議了承。以下「政評ガイドライン」という。）においては、各行政機関が所掌する政策を、「政策（狭義）」、「施策」及び「事務事業」の三階層に区分整理するところであり、その定義は次のとおり。

- ・政策（狭義）： 特定の行政課題に対応するための基本的な方針の実現を目的とする行政活動の大きなまとまり。
- ・施策： 上記の「基本的な方針」に基づく具体的な方針の実現を目的とする行政活動のまとまりであり、「政策（狭義）」を実現するための具体的な方策や対策ととらえられるもの。
- ・事務事業： 上記の「具体的な方策や対策」を具現化するための個々の行政手段としての事務及び事業であり、行政活動の基礎的な単位となるもの。

（注２）第４期科学技術基本計画においては、研究開発の政策体系は、「政策」、「施策」、「プログラム・制度」及び「研究開発課題」の四階層に区分整理するところである。政評ガイドラインとの関係では、当該「プログラム・制度」及び「研究開発課題」は、ともに政評ガイドラインにおける「事務事業」に該当するものと整理されているところである。

- ・研究開発課題（プロジェクト）： 具体的に研究開発を行う個別の実施単位であり、当省が定めた明確な目的や目標に沿って実施されるものをいう。

なお、大綱的指針においては、競争的資金制度等の「研究資金制度」における個々の採択課題も「研究開発課題」と称呼されているところであるが、本指針においては、混同を避けるため、当該各採択課題は「研究課題」と称呼するものとする。

- ・研究資金制度： 資金を配分する主体が研究課題を募り、提案された中から採択した研究課題に研究開発資金を配分する制度をいう。競争的資金制度は、これに含まれる。

なお、「上位施策目標との関連性を明確にし、検証可能な目標を設定した研究資金制度（以下、「研究資金制度プログラム」という）」については、大綱的指針における整理に従い、本指針においても「研究開発プログラム」の一つとして取り扱うものとする。

- ・競争的資金制度： 資金を配分する主体が、広く一般の研究者（研究開発に従事している者又はそれらの者から構成されるグループをいう。）、企業等又は特定の研究者、企業等を対象に、特定の研究開発領域を定め、又は特定の研究開発領域を定めずに研究課題を募り、研究者、企業等か

ら提案された研究課題の中から、当該課題が属する分野の専門家（当該分野での研究開発に従事した経験を有する者をいう。）を含む複数の者による、研究開発の着想の独創性、研究開発成果の先導性、研究開発手法の斬新性その他の科学的・技術評価又は経済的・社会的評価に基づき研究課題を採択し、当該研究課題の研究開発を実施する研究者等又は研究者等が属する組織若しくは企業等に研究開発資金を配分する制度をいう。

- ・ 当省研究開発機関： 国からの出資、補助等の交付を受けて研究開発を実施し、又は研究開発の運営管理を行う機関のうち、当省所管の独立行政法人をいう。
- ・ 政策評価書： 本指針において用いる「政策評価書」とは経済産業省政策評価実施要領を踏まえた評価書をいう。
- ・ 政策サイクル： 政策の企画立案・実施・評価・改善（plan-do-check-action）の循環過程をいう。
- ・ 評価システム： 評価目的、評価時期、評価対象、評価方法等、評価に係るあらゆる概念、要素を包含した制度、体制の全体をいう。
- ・ 推進課： 研究開発プログラム・課題を推進する課室（研究開発担当課室）をいう。
- ・ 主管課： 研究開発プログラム・課題の企画立案を主管する課室及び予算等の要求事項を主管する課室をいう。
- ・ 査定課： 予算等の査定を行う課室（大臣官房会計課、資源エネルギー庁総合政策課等）をいう。
- ・ 有識者： 評価対象となる研究開発プログラム・課題について知見を有する者及び研究開発成果の経済的・社会的意義につき評価できる者（マスコミ、ユーザ、人文・社会学者、投資家等）をいう。
- ・ 外部評価者： 経済産業省に属さない外部の有識者であって、評価対象となる研究開発プログラム・課題の推進に携わっていない者をいう。
- ・ 外部評価： 外部評価者による評価をいい、評価コメントのとりまとめ方法としてパネルレビュー（評価者からなる委員会を設置（インターネット等を利用した電子会議を含む。）して評価を行う形態）による場合とメールレビュー（評価者に対して郵便・FAX・電子メール等の手段を利用して情報を提供し、評価を行う形態）による場合とがある。
- ・ 評価事務局： 研究開発プログラム・課題の評価の事務局となる部署をいい、評価者の行う評価

の取りまとめ責任を負う。

- ・評価者： 評価の責任主体をいい、パネルレビューによる場合には外部評価者からなる委員会が責任主体となり、メールレビューによる場合には、各外部評価者がそれぞれ責任主体となる。また、評価の結果を踏まえて、資源配分の停止や変更、研究開発プログラム・課題の内容の変更に責任を有するのは研究開発プログラム・課題の推進課及び主管課である。
- ・終了時評価： 事業終了時に行う評価であり、事業が終了する前の適切な時期に行う終了前評価と事業の終了直後に行う事後評価がある。
- ・アウトプット指標： 成果の現象的又は形式的側面であり、主として定量的に評価できる、活動した結果の水準を測る指標をいう。
- ・アウトカム指標： 成果の本質的又は内容的側面であり、活動の意図した結果として、定量的又は定性的に評価できる、目標の達成度を測る指標をいう。

I. 評価の基本的考え方

1. 評価目的

(1) より良い政策・施策への反映

評価を適切かつ公正に行うことにより、研究者の創造性が十分に発揮されるような、柔軟かつ競争的で開かれた研究開発環境の創出など、より良い政策・施策の形成等につなげること。

(2) より効率的・効果的な研究開発の実施

評価を支援的に行うことにより、研究開発の前進や質の向上、独創的で有望な優れた研究開発や研究者の発掘、研究者の意欲の向上を促すことにより、研究開発を効果的・効率的に推進すること。

(3) 国民への技術に関する施策・事業の開示

高度かつ専門的な内容を含む研究開発プログラム・課題の意義や内容について、一般国民にわかりやすく開示すること。

(4) 資源の重点的・効率的配分への反映

評価の結果を研究開発プログラム・課題の継続、拡大・縮小・中止など資源の配分へ反映させることにより資源の重点化及び効率化を促進すること。

また、評価の結果に基づく適切な資源配分等を通じて、研究開発を次の段階に連続してつなげることなどにより、その成果の利用、活用に至るまでの一体的、総合的な取組を推進し、研究開発成果の国民・社会への還元の効率化・迅速化に資すること。

2. 評価の基本理念

評価の実施に当たっては、以下の考え方を基本理念とする。

(1) 透明性の確保

推進課、主管課及び当省研究開発機関は、積極的に研究開発成果を公開し、その内容について広く有識者等の意見を聴くこと。評価事務局においては、透明で公正な評価システムの形成、定着を図るため、評価手続、評価項目・評価基準を含めた評価システム全般についてあらかじめ明確に定め、これを公開することにより、評価システム自体を誰にも分かるものとするとともに、評価結果のみならず評価の過程についても可能な限り公開すること。

(2) 中立性の確保

評価を行う場合には、被評価者に直接利害を有しない中立的な者による外部評価の導入等により、中立性の確保に努めること。

(3) 継続性の確保

研究開発プログラム・課題においては、個々の評価がそれ自体意義を持つだけではなく、評価とそれを反映した研究開発プログラム・課題の推進というプロセスを繰り返していく時系列のつながりにも意義がある。したがって、推進課及び主管課にとって評価結果を後の研究開発プログラム・課題の企画立案等に反映させる際に有用な知見を抽出し、継続性のある評価方法で評価を行うこと。

(4) 実効性の確保

政策目的に照らし、効果的な研究開発プログラム・課題が行われているか判断するための効率的評価が行われるよう、明確で実効性のある評価システムを確立・維持するとともに、研究開発プログラム・課題の運営に支障が生じたり、評価者及び被評価者双方に過重な負担をかけることのない費用対効果の高い評価を行うこと。

3. 指針の適用範囲

(1) 本指針においては、多面的・階層的な評価を行う観点から、経済産業省における研究開発プログラム・課題を基本的な評価対象とする。

(2) 国費（当省予算）の支出を受けて研究開発プログラム・課題を実施する当省研究開発機関、民間企業、大学・公設試験研究機関等について、当該研究開発プログラム・課題の評価の際に、これら機関における当該研究開発プログラム・課題に係る研究開発実施体制・運営面等に関し、国費の效果的・効率的執行を確保する観点から、必要な範囲で評価を行う。

(3) 上記(1)及び(2)の規定にかかわらず、当省研究開発機関が運営費交付金により自ら実施し、又は運営管理する研究開発プログラム・課題については、独立行政法人通則法（平成11年法律第103号）及び大綱的指針に基づいて実施されるものであることから、原則として本指針による評価の対象としない。その他、公的第三者機関において技術的事項も含めて事業内容の評価検討等がなされることとなった研究開発プログラム・課題についても、原則として本指針による評価の対象としない。

(4) 評価の種類としては、この他に当省研究開発機関における研究者等の業績の評価が存在するが、これは当該機関の長が評価のためのルールを整備した上で、責任を持って実施することが基本であり、本指針による評価の対象としない。

4. 評価の類型・階層構造及びリンクージ

(1) 実施時期による類型

評価はその実施時期により、事前評価、中間評価、終了時評価及び追跡評価に類型化される。

(2) 評価の階層構造及び施策階層における評価

経済産業省における技術評価は、「研究開発プログラム」階層又は「研究開発課題」階層における評価を基本とするが、政策効果をあげるために特に必要があると認められるときには、「施策」階層において、関連する複数の研究開発プログラム・課題が有機的に連携をとって体系的に政策効果をあげているかを評価することとする。当該「施策（階層における）評価」は、それを構成する研究開発プログラム又は研究開発課題における評価結果を活用し、研究開発プログラムの評価に準じて実施するものとする。

(3) 実施時期による評価のリンケージ

中間評価、終了時評価は、研究開発プログラム・課題の達成状況や社会経済情勢の変化を判断し、計画の見直しや後継事業への展開等の是非を判断するものである。また、事前評価での予想が実際にどのような結果となったか、予算措置は妥当であったか等を確認することにより、事前評価の方法を検証し得るものである。したがって、中間評価、終了時評価の結果をその後の産業技術政策・戦略の企画立案や、より効果的な事前評価の評価手法の確立に反映させるよう努めるものとする。

5. 評価方法等

厳正な評価を行うためには、評価方法、評価項目等に客観性を持たせることが必要であることから、本指針をはじめ評価実施に係る諸規程等を整備の上、公開するものとする。

技術評価室は本指針を踏まえ、評価マニュアル等を策定するとともに、円滑な評価の実施のための指導及び評価システムの維持管理を行う。

(1) 事業原簿

研究開発プログラム・課題の基本実施計画書、政策評価書等をもって事業原簿とする。推進課又は主管課は、事業原簿を作成・改定した場合は、速やかにその写しを技術評価室へ提出する。

(2) 評価項目・評価基準

評価の類型及び研究開発プログラム・課題の態様に応じて標準的な評価項目・評価基準を技術評価室が別に定めることとする。

(3) 評価手法

評価の類型に応じた適切な評価手法を用いるものとする。

(4) 評価の簡略化

評価の実施に当たっては、評価コストや被評価者側の過重な負担を回避するため、研究開発プログラムの評価においては、合理的と考えられる場合には、研究開発課題の評価を省略又は簡略化することができるものとする。また、評価対象となる事業に係る予算額が比較的小額である場合には、評価項目を限定する等の簡略化を行うことができるものとする。

なお、省略及び簡略化の標準的な方法については技術評価室が別に定める。

6. 評価結果の取扱い等

(1) 評価結果の取扱い

評価事務局は、評価終了後速やかに評価書の写しを技術評価室に提出する。技術評価室は全ての評価結果について、これまでに実施された関連調査及び評価の結果、評価の実施状況等を踏まえつつ意見をまとめ、査定課及び政策評価広報課に報告する。

主管課、推進課は、評価結果を踏まえ、必要に応じ、研究開発プログラム・課題の運営見直し・改善等を図るものとする。

(2) 予算査定との関係

査定課は、技術評価室から事前評価、中間評価及び終了前評価の評価書の提出を受けた場合は、技術評価室の意見を踏まえつつ研究開発プログラム・課題の査定等を行う。

(3) 評価結果等の公開の在り方

評価結果及びこれに基づいて講ずる又は講じた措置については、機密の保持が必要な場合を除き、個人情報や企業秘密の保護、知的財産権の取得等に配慮しつつ、一般に公開することとする。

なお、事前評価については、政策立案過程の透明化を図る観点から、評価事務局は予算が経済産業省の案として確定した後に、公開するものとする。

7. 評価システムの不断の見直し

いかなる評価システムにおいても、評価は評価者の主観的判断によってなされるものであり、その限りにおいては、完璧な客観性、公平性を求めることは困難である。したがって、評価作業が終了するごとにその評価方法を点検し、より精度の高いものとしていく努力が必要である。また、本指針については、こうした一連の作業を踏まえ、原則として毎年度見直しの要否を検討する。

8. 評価体制の充実

評価体制の充実を図るため、研究者を評価者として活用するなどにより、評価業務に携わる人材を育成・確保するとともに、評価の実施やそれに必要な調査・分析、評価体制の整備等に要する予算を確保する。

9. 評価者（外部有識者）データベースの整備

技術評価室は、国内外の適切な評価者を選任できるようにするため、及び個々の評価において普遍性・信頼性の高い評価を実現するため、研究開発プログラム・課題に係る外部有識者（評価者）データベースを整備する。

10. 評価における留意事項

(1) 評価者と被評価者との対等性

① 評価者と被評価者との関係

評価作業を効果的に機能させるためには、評価者と被評価者の双方が積極的にその知見と情報を提供し合うという協調的関係と、評価者もその評価能力を評価されるという意味で、評価者と被評価者とが相互に相手进行评估するという緊張関係とを構築し、この中で、討論を行い、評価を確定していく必要がある。この際、評価者は、不十分な成果等を被評価者が自ら進んで提示しない事実があるかどうかを見極める能力が要求される。一方、被評価者は、評価対象の研究開発プログラム・課題の位置付けを明確に認識するとともに、評価結果を正確に理解し、確実にその後の研究開発プログラム・課題の創設、運営等に反映させていくものとする。

② 評価者に係る留意事項

研究開発成果を、イノベーションを通じて国民・社会に迅速に還元していく観点から、産業界の専門家等を積極的に評価者に選任する。

③ 被評価者に係る留意事項

被評価者は、評価を事業の質をより高めるものとして積極的に捉え、評価は評価者と被評価者の双方の共同作業であるとの認識の下、真摯な対応を図ることが必要である。

(2) 評価の不確実性

評価時点では見通し得なかった技術、社会情勢の変化が将来的に発生し得るという点で評価作業は常に不確実性を伴うものである。したがって、評価者は評価の精度の向上には、必然的に限界があることを認識した上で、評価時点で最良と考えられる評価手法をとるよう努めることが必要である。かかる観点からは、厳正さを追求するあまりネガティブな面のみを過度に減点法で評価を行うこととなると、将来大きな発展をもたらす技術を阻害するおそれがある点にも留意する必要がある。また、成果に係る評価において、目標の達成度合いを評価の判定基準にすることが原則であるが、併せて、副次的成果等、次につながる成果を幅広い視野からとらえる。

(3) その他の留意事項

① 評価人材としての研究者の活用

研究者には、研究開発の発展を図る上で専門的見地からの評価が重要な役割を果たすものであることから、評価者としての評価への積極的参加が求められる。一方、特定の研究者に評価実施の依頼が集中する場合には、評価への参加が大きな負担となり、また、評価者となる幅広い人材の養成確保にもつながらないことから、海外の研究者や若手研究者も評価者として積極的に参加させることなどにより評価者確保の対象について裾野の拡大を図るよう努める。

② 所期の成果を上げられなかった研究開発

研究開発は必ずしも成功するとは限らず、また、失敗から貴重な教訓が得られることもある。したがって、失敗した場合には、まずその原因を究明し、今後の研究開発にこれを活かすことが重要であり、成果を上げられなかったことをもって短絡的に従事した研究者や組織、機関を否定的に評価すべきものではない。また、評価が野心的な研究開発の実施の阻害要因とならないよう留意しなければならない。

③ アウトプット指標及びアウトカム指標の活用等

評価の客観性を確保する観点から、アウトプット指標やアウトカム指標による評価手法を用いるよう努める。ただし、論文の被引用度数、特許の申請状況等による成果の定量的評価は一定の客観性を有するが、研究開発プログラム・課題においては研究分野や内容により、その意味は大きく異なり得るものであり、必ずしも研究開発成果の価値を一義的に表すものではない。したがって、これらを参考資料として有効に活用しつつも、偏重しないよう留意すべきである。

④ 評価結果の制度間での相互活用

研究開発をその評価の結果に基づく適切な資源配分等を通じて次の段階の研究開発に連続してつなげるなどの観点から、関係府省、研究開発機関及び制度を越えて相互活用するよう努める。

⑤ 自己点検の活用

評価への被評価者等の主体的な取組を促進し、また、評価の効率的な実施を推進するため、推進課及び主管課は、自ら研究開発プログラム・課題の計画段階において具体的かつ明確な目標とその達成状況の判定基準等を明示し、研究開発プログラム・課題の開始後には目標の達成状況、今後の発展見込み等の自己点検を行い、評価者はその内容の確認などを行うことにより評価を行う。

⑥ 評価の国際的な水準の向上

研究開発の国際化への対応に伴い、評価者として海外の専門家を参加させる、評価項目に国際的なベンチマーク等を積極的に取り入れるなど評価に関して、実施体制や実施方法などの全般にわたり、評価が国際的にも高い水準で実施されるよう取り組む。

Ⅱ．評価の種類と実施方法

1．研究開発プログラムの評価

1－1．複数の研究開発課題によって構成される研究開発プログラム（以下「複数課題プログラム」）の評価

(1) 事前評価

① 評価者

外部評価者

② 被評価者

推進課及び主管課

③ 評価事務局

推進課及び主管課。ただし、必要に応じて技術評価室が行うこともできる。

④ 評価手法

外部評価を行う。

⑤ 評価項目・評価基準

技術評価室が定める標準的な評価項目・評価基準又は評価者が定めるものとする。

⑥ 実施時期

「複数課題プログラム」の創設時（プログラム構成要素として最初に実施する「研究開発課題（プロジェクト）」の初年度予算要求時）に、当該プログラム全体に係る「事前評価」を実施する。

これに加え、既に実施中の複数課題プログラムにおいて、新たな「研究開発課題」を実施する前（初年度予算要求時）に、当該研究開発課題に係る「事前評価」を実施するものとする。

(2) 中間評価

① 評価者

外部評価者

② 被評価者

推進課及び主管課

③ 評価事務局

推進課及び主管課。ただし、必要に応じて技術評価室が行うこともできる。

④ 評価手法

外部評価を行う。

⑤ 評価項目・評価基準

技術評価室が定める標準的な評価項目・評価基準又は評価者が定めるものとする。

⑥ 実施時期

複数課題プログラムを構成する各「研究開発課題」が終了する各年度中に、当該プログラム全体に係る中間評価を実施する。（ただし、当該研究開発課題の終了をもって複数課題プログラム全体が終了する場合にあっては、当該プログラム全体の終了時評価（終了前評価又は事後評価）を行うものとし、前記中間評価は実施しない。）

なお、複数課題プログラムを構成する一の「研究開発課題」の実施期間が5年以上である場合にあっては、必要に応じ、上記中間評価の実施に加え、当該研究開発課題事業の開始から3年程度ごとを目安として、当該プログラム全体に係る中間評価を行うものとする。

(3) 終了時評価

① 評価者

外部評価者

② 被評価者

推進課及び主管課

③ 評価事務局

推進課及び主管課。ただし、必要に応じて技術評価室が行うこともできる。

④ 評価手法

外部評価を行う。

⑤ 評価項目・評価基準

技術評価室が定める標準的な評価項目・評価基準又は評価者が定めるものとする。

⑥ 実施時期

複数課題プログラム全体の終了時に実施する。

ただし、当該プログラムの成果を切れ目なく次の研究開発プログラム等につなげていく場合には、当該プログラムが終了する前の適切な時期に終了時評価（終了前評価）を行うこととし、その他の場合には、当該プログラムの終了直後に終了時評価（事後評価）を行うものとする。

1－2．競争的資金制度等の研究資金制度プログラムの評価

(1) 事前評価

① 評価者

外部評価者

② 被評価者

推進課及び主管課

③ 評価事務局

推進課及び主管課。ただし、必要に応じて技術評価室が行うこともできる。

④ 評価手法

外部評価を行う。

⑤ 評価項目・評価基準

技術評価室が定める標準的な評価項目・評価基準又は評価者が定めるものとする。

⑥ 実施時期

新規の研究資金制度プログラムの創設時（初年度予算要求時）に行う。

(2) 中間評価

① 評価者

外部評価者

② 被評価者

推進課及び主管課

③ 評価事務局

推進課及び主管課。ただし、必要に応じて技術評価室が行うこともできる。

④ 評価手法

外部評価を行う。

⑤ 評価項目・評価基準

技術評価室が定める標準的な評価項目・評価基準又は評価者が定めるものとする。

⑥ 実施時期

実施期間が5年以上の研究資金制度プログラム又は実施期間の定めのない研究資金制度プログラムについて、3年程度ごとに行う。

(3) 終了時評価

① 評価者

外部評価者

② 被評価者

推進課及び主管課

③ 評価事務局

推進課及び主管課。ただし、必要に応じて技術評価室が行うこともできる。

④ 評価手法

外部評価を行う。

⑤ 評価項目・評価基準

技術評価室が定める標準的な評価項目・評価基準又は評価者が定めるものとする。

⑥ 実施時期

研究資金制度プログラムの終了時に実施する。

ただし、当該研究資金制度プログラムの成果を切れ目なく次の研究資金制度プログラム等につなげていく場合には、当該研究資金制度プログラムが終了する前の適切な時期に終了時評価（終了前評価）を行うこととし、その他の場合には、当該研究資金制度プログラム終了直後に終了時評価（事後評価）を行うものとする。

2. 研究開発課題（プロジェクト）の評価

(1) 事前評価

① 評価者

外部評価者

② 被評価者

推進課及び主管課

③ 評価事務局

推進課及び主管課。ただし、必要に応じて技術評価室が行うこともできる。

④ 評価手法

外部評価を行う。

⑤ 評価項目・評価基準

技術評価室が定める標準的な評価項目・評価基準又は評価者が定めるものとする。

⑥ 実施時期

新規の研究開発課題（プロジェクト）の創設時（初年度予算要求時）に行う。

(2) 中間評価

① 評価者

外部評価者

② 被評価者

推進課及び主管課

③ 評価事務局

推進課及び主管課。ただし、必要に応じて技術評価室が行うこともできる。

④ 評価手法

外部評価を行う。

⑤ 評価項目・評価基準

技術評価室が定める標準的な評価項目・評価基準又は評価者が定めるものとする。

⑥ 実施時期

実施期間が5年以上の研究開発課題（プロジェクト）又は実施期間の定めのない研究開発課題（プロジェクト）について、3年程度ごとに行う。

(3) 終了時評価

① 評価者

外部評価者

② 被評価者

推進課及び主管課

③ 評価事務局

推進課及び主管課。ただし、必要に応じて技術評価室が行うこともできる。

④ 評価手法

外部評価を行う。

⑤ 評価項目・評価基準

技術評価室が定める標準的な評価項目・評価基準又は評価者が定めるものとする。

⑥ 実施時期

研究開発課題（プロジェクト）の終了時に実施する。

ただし、当該研究開発課題（プロジェクト）の成果を切れ目なく次の研究開発課題（プロジェクト）等につなげていく場合には、当該研究開発課題（プロジェクト）が終了する前の適切な時期に終了時評価（終了前評価）を行うこととし、その他の場合には、当該研究開発課題（プロジェクト）終了直後に終了時評価（事後評価）を行うものとする。

3. 追跡調査・追跡評価

3－1. 追跡調査

終了した研究開発プログラム・課題を対象として、終了後数年間にわたり、その研究開発活動や研究開発成果が産業、社会に及ぼした効果等について調査を行う。

3－2. 追跡評価

終了して数年経った国費（当省予算）投入額の大きな研究開発プログラム・課題を対象として、その研究開発活動や研究開発成果が産業、社会に及ぼした効果等について外部評価を行う。

(1) 評価者

外部評価者

(2) 被評価者

評価対象となる研究開発プログラム・課題に携わった推進課及び主管課

(3) 評価事務局

推進課及び主管課。ただし、必要に応じて技術評価室が行うこともできる。

(4) 評価手続・評価手法

過去の事業原簿等の文献データ、関連部署・機関及びその他関係者等からの聞き取り調査等による情報を基にパネルレビュー又は第3者機関への委託による外部評価を行う。

(5) 評価項目・評価基準

技術評価室が定める標準的な評価項目・評価基準又は評価者が定めるものとする。

(6) 実施時期

研究開発プログラム・課題終了後、成果の産業社会への波及が見極められる時点とする。

経済産業省技術評価指針に基づく
標準的評価項目・評価基準

平成27年4月

経済産業省産業技術環境局

技術評価室

目 次

ページ

はじめに	1
I . 研究開発プログラム(複数課題プログラム、研究資金制度プログラム) の評価項目・評価基準	3
I－1. 複数課題プログラムの評価項目・評価基準	3
I－1－(1) 事前評価	3
I－1－(2) 中間評価	4
I－1－(3) 終了時評価	6
I－2. 研究資金制度プログラムの評価項目・評価基準.....	8
I－2－(1) 事前評価	8
I－2－(2) 中間評価	9
I－2－(3) 終了時評価	10
II . 研究開発課題(プロジェクト)の評価項目・評価基準	13
II－(1) 事前評価	13
II－(2) 中間評価	14
II－(3) 終了時評価	16
III . 追跡評価の評価項目・評価基準	18

はじめに

研究開発評価に当たっては、公正性、信頼性さらには実効性の観点から、その対象となる研究開発の特性や評価の目的等に応じて、適切な評価項目・評価基準を設定して実施することが必要である。

本標準的評価項目・評価基準は、経済産業省における技術に関する施策及び技術に関する事業の評価を行うに当たって配慮しなければならない事項を取りまとめたガイドラインである経済産業省技術評価指針に基づき、評価方法、評価項目等に一貫性を持たせるために、標準的なものとして、技術評価室が定めるものである。

用語の解説

本規程における用語については、「国の研究開発評価に関する大綱的指針」(平成 24 年 12 月 6 日内閣総理大臣決定)及び同解説書並びに「経済産業省技術評価指針」(平成 26 年 4 月)に従い、次に定めるところによる。

・研究開発プログラム:「上位施策の目標達成に向けて複数の研究開発課題を含む各手段を組み立てた計画や手順に基づく取組」及び「上位施策目標との関連性を明確にし、検証可能な目標を設定した研究資金制度」をいう。

・研究開発課題(プロジェクト):具体的に研究開発を行う個別の実施単位であり、当省が定めた明確な目的や目標に沿って実施されるものをいう。

なお、大綱的指針においては、競争的資金制度等の「研究資金制度」における個々の採択課題も「研究開発課題」と称呼されているところであるが、混同を避けるため、当該各採択課題は「研究課題」と称呼するものとする。

・研究資金制度:資金を配分する主体が研究課題を募り、提案された中から採択した研究課題に研究開発資金を配分する制度をいう。競争的資金制度は、これに含まれる。

なお、「上位施策目標との関連性を明確にし、検証可能な目標を設定した研究資金制度(以下「研究資金制度プログラム」という。)」については、大綱的指針における整理に従い、「研究開発プログラム」の一つとして取り扱うものとする。

・競争的資金制度:資金を配分する主体が、広く一般の研究者(研究開発に従事している者又はそれらの者から構成されるグループをいう。)、企業等又は特定の研究者、企業等を対象に、特定の研究開発領域を定め、又は特定の研究開発領域を定めずに研究課題を募り、研究者、企業等から提案された研究課題の中から、当該課題が属する分野の専門家(当該分野での研究開発に従事した経験を有する者をいう。)を含む複数の者による、研究開発の着想の独創性、研究開発成果の先導性、研究開発手法の斬新性その他の科学的・技術評価又は経済的・社会的評価に基づき研究課題を採択し、当該研究課題の研究開発を実施する研究者等又は研究者等が属する組織若しくは企業等に研究開発資金を配分する制度をいう。

(注1)「政策評価の実施に関するガイドライン」(平成17年12月16日政策評価各府省連絡会議了承。以下「政評ガイドライン」という。)においては、各行政機関が所掌する政策を、「政策(狭義)」、「施策」及び「事務事業」の三階層に区分整理するところであり、その定義は次のとおり。

・政策(狭義):特定の行政課題に対応するための基本的な方針の実現を目的とする行政活動の大きなまとまり。

・施策:上記の「基本的な方針」に基づく具体的な方針の実現を目的とする行政活動のまとまりであり、「政策(狭義)」を実現するための具体的な方策や対策ととらえられるもの。

・事務事業:上記の「具体的な方策や対策」を具現化するための個々の行政手段としての事務及び事業であり、行政活動の基礎的な単位となるもの。

(注2)第4期科学技術基本計画においては、研究開発の政策体系は、「政策」、「施策」、「プログラム・制度」及び「研究開発課題」の四階層に区分整理するところである。政評ガイドラインとの関係では、当該「プログラム・制度」及び「研究開発課題」は、ともに政評ガイドラインにおける「事務事業」に該当するものと整理されている。

I. 研究開発プログラム(複数課題プログラム、研究資金制度プログラム)の評価項目・評価基準

I-1. 複数課題プログラムの評価項目・評価基準

研究開発プログラム(複数課題プログラム)の評価については、以下によるものの他、当該プログラムの構成要素である個別の研究開発課題の評価については、「Ⅱ. 研究開発課題(プロジェクト)の評価項目・評価基準」によるものとする。

I-1-1(1) 事前評価

【事前評価項目1】	事業アウトカムの妥当性
事前評価基準1-1	複数課題プログラムの目的を踏まえた事業アウトカム(指標及び目標値)が明確であり妥当であること。
	(注)事業アウトカムが実現した場合の日本経済や国際競争力、問題解決に与える効果が優れていること。 当該複数課題プログラムの事業アウトカムと関連性のある省内外の事業と重複がなく、適切に連携等が取れていること。 事業アウトカムを踏まえ、次年度以降に技術開発を実施することが合理的であること。
	(注)市場規模・シェア、エネルギー・CO2削減量などの事業アウトカムを計測できる定量的な指標が設定されるとともに、目標値及び達成時期が適切に設定されていること。

【事前評価項目2】	複数課題プログラムの内容及び事業アウトプットの妥当性
事前評価基準2-1	複数課題プログラムの内容が明確かつ妥当であること。
	(注)当該複数課題プログラムを構成する個々の事業それぞれの研究開発要素が明確であること。 国内外他者において実施されている類似の研究開発や競合する研究開発等の現状が把握されており、本事業によって、技術的優位性(特許取得等)及び経済的優位性(上市・製品化、市場規模・シェア等)を確保できるものであること。
事前評価基準2-2	事業アウトプット指標及び目標値が明確かつ妥当であること。
	(注)中間評価時点及び終了評価時点において、複数課題プログラムの進捗状況を客観的に評価検証し得る、定量的な事業アウトプット指標が提示されるとともに、目標値が適切に設定されていること。

【事前評価項目3】	当省(国)が実施することの必要性
事前評価基準3	次の①から⑤のいずれかを満たすものであるなど、当省(国)において、当該複数課題プログラムを実施することが必要であることが明確であること。 ①多額の研究開発費、長期にわたる研究開発期間、高い技術的難度等から、民間企業のみでは十分な研究開発が実施されない場合。 ②環境問題への先進的対応等、民間企業には市場原理に基づく研究開発実施インセンティブが期待できない場合。 ③標準の策定、データベース整備等のうち社会的性格が強いもの(知的基盤)の形成に資する研究開発の場合。 ④国の関与による異分野連携、産学官連携等の実現によって、研究開発活動に新たな

	付加価値をもたらすことが見込まれる場合。 ⑤その他、科学技術的価値の観点からみた卓越性、先導性を有しているなど、国が主体的役割を果たすべき特段の理由がある場合。
--	---

【事前評価項目4】	事業アウトカム達成に至るまでのロードマップの妥当性
事前評価基準4	事業アウトカム達成に至るまでのロードマップは、以下の点を踏まえて作成されていること。 ・知財管理の取扱い ・実証や国際標準化 ・性能や安全性基準の策定 ・規制緩和等を含む実用化に向けた取組 ・成果のユーザー

【事前評価項目5】	複数課題プログラムの実施・マネジメント体制等の妥当性
事前評価基準5-1	複数課題プログラムの実施・マネジメント体制が明確かつ妥当であること。
事前評価基準5-2	事業の目的及び事業アウトカムを踏まえ、知財の取扱いについての戦略及びルールが十分検討されていること。

【事前評価項目6】	費用対効果の妥当性
事前評価基準6	投入する予定の国費総額に対して、事業アウトプット及び事業アウトカムが妥当であること。

I-1-(2) 中間評価

【中間評価項目1】	事業アウトカムの妥当性
中間評価基準1-1	中間評価時点においてなお、複数課題プログラムの目的を踏まえた事業アウトカムが明確であり妥当であること。
	(注)事業アウトカムが実現した場合の日本経済や国際競争力、問題解決に与える効果が優れていること。
中間評価基準1-2	中間評価時点においてなお、事業アウトカム指標及び目標値が明確かつ妥当であること。
	(注)市場規模・シェア、エネルギー・CO2削減量などの事業アウトカムを計測できる定量的な指標が設定されるとともに、目標値及び達成時期が適切に設定されていること。

【中間評価項目2】	複数課題プログラムの内容及び事業アウトプットの妥当性
中間評価基準2-1	中間評価時点においてなお、複数課題プログラムの内容が明確かつ妥当であること。
	(注)研究開発要素が明確であること。 国内外他者において実施されている類似の研究開発や競合する研究開発等の現状が把握されており、本事業によって、技術的優位性(特許取得等)及び経済的優位性(上市・製品化、市場規模・シェア等)を確保できるものであること。
中間評価基準2-2	中間評価時点においてなお、事業アウトプット指標及び目標値が明確かつ妥当であること。
中間評価基準2-3	中間評価時点での事業アウトプットの目標値が達成されているとともに、関連する論文

	発表、特許出願、国際標準の形成、プロトタイプの実現等が実施されていること。
	(注)未達成の場合はその原因や今後の見通しについて適切に説明されていること。

【中間評価項目3】	当省(国)が実施することの必要性
中間評価基準3	中間評価時点においてなお、次の①から⑤のいずれかを満たすなど、当省(国)において、当該複数課題プログラムを実施することが必要であることが明確であること。 ①多額の研究開発費、長期にわたる研究開発期間、高い技術的難度等から、民間企業のみでは十分な研究開発が実施されない場合。 ②環境問題への先進的対応等、民間企業には市場原理に基づく研究開発実施インセンティブが期待できない場合。 ③標準の策定、データベース整備等のうち社会的性格が強いもの(知的基盤)の形成に資する研究開発の場合。 ④国の関与による異分野連携、産学官連携等の実現によって、研究開発活動に新たな付加価値をもたらすことが見込まれる場合。 ⑤その他、科学技術的価値の観点からみた卓越性、先導性を有しているなど、国が主体的役割を果たすべき特段の理由がある場合。

【中間評価項目4】	事業アウトカム達成に至るまでのロードマップの妥当性
中間評価基準4	中間評価時点においてなお、事業アウトカム達成に至るまでのロードマップは、以下の点を踏まえて作成され、必要に応じて改定されていること。 ・知財管理の取扱い ・実証や国際標準化 ・性能や安全性基準の策定 ・規制緩和等を含む実用化に向けた取組 ・成果のユーザー

【中間評価項目5】	複数課題プログラムの実施・マネジメント体制等の妥当性
中間評価基準5-1	複数課題プログラムの実施・マネジメント体制等が、事業の目的及び事業アウトカムを踏まえ、以下の点について明確かつ妥当であること。 ・研究開発計画 ・研究開発実施者の適格性 ・研究開発の実施体制(チーム構成、プロジェクトリーダー、連携や競争を図るためのフォーメーション等) ・国民との科学・技術対話の実施などのコミュニケーション活動 ・資金配分 ・社会経済情勢等周囲の状況変化への柔軟な対応
中間評価基準5-2	事業の目的及び事業アウトカムを踏まえ、知財の取扱いについての戦略及びルールが十分検討され、具体化されていること。

【中間評価項目6】	費用対効果の妥当性
中間評価基準6	中間評価時点においてなお、投入する予定の国費総額に対して、事業アウトプット及び事業アウトカムが妥当であること。

I－1－(3) 終了時評価

【終了評価項目1】	事業アウトカムの妥当性
終了時評価基準1－1	終了時評価時点においてなお、複数課題プログラムの目的を踏まえた事業アウトカムが明確であり妥当であること。
	(注)事業アウトカムが実現した場合の日本経済や国際競争力、問題解決に与える効果が優れていること。
終了時評価基準1－2	終了時評価時点においてなお、事業アウトカム指標及び目標値が明確かつ妥当であること。
	(注)市場規模・シェア、エネルギー・CO2削減量などの事業アウトカムを計測できる定量的な指標が設定されるとともに、目標値及び達成時期が適切に設定されていること。

【終了時評価項目2】	複数課題プログラムの内容及び事業アウトプットの妥当性
終了時評価基準2－1	終了評価時点においてなお、複数課題プログラムの内容が明確かつ妥当であること。
	(注)研究開発要素が明確であること。 国内外他者において実施されている類似の研究開発や競合する研究開発等の現状が把握されており、本事業によって、技術的優位性(特許取得等)及び経済的優位性(上市・製品化、市場規模・シェア等)を確保できるものであること。
終了時評価基準2－2	終了評価時点においてなお、事業アウトプット指標及び目標値が明確かつ妥当であること。
終了時評価基準2－3	終了時評価時点での事業アウトプットの目標値が達成されているとともに、関連する論文発表、特許出願、国際標準の形成、プロトタイプの作成等が実施されていること。
	(注)未達成の場合はその原因や今後の見通しについて適切に説明されていること。

【終了時評価項目3】	当省(国)が実施することの必要性
終了時評価基準3	終了時評価時点においてなお、次の①から⑤のいずれかを満たすなど、当省(国)において、当該複数課題プログラムを実施することが必要であることが明確であること。 ①多額の研究開発費、長期にわたる研究開発期間、高い技術的難度等から、民間企業のみでは十分な研究開発が実施されない場合。 ②環境問題への先進的対応等、民間企業には市場原理に基づく研究開発実施インセンティブが期待できない場合。 ③標準の策定、データベース整備等のうち社会的性格が強いもの(知的基盤)の形成に資する研究開発の場合。 ④国の関与による異分野連携、産学官連携等の実現によって、研究開発活動に新たな付加価値をもたらすことが見込まれる場合。 ⑤その他、科学技術的価値の観点からみた卓越性、先導性を有しているなど、国が主体的役割を果たすべき特段の理由がある場合。

【終了時評価項目4】	事業アウトカム達成に至るまでのロードマップの妥当性
終了時評価基準4－1	終了時評価時点においてなお、事業アウトカム達成に至るまでのロードマップは、以下の点を踏まえて作成され、必要に応じて改定されていること。 ・知財管理の取扱 ・実証や国際標準化 ・性能や安全性基準の策定 ・規制緩和等を含む実用化に向けた取組 ・成果のユーザー
【終了時評価項目5】	複数課題プログラムの実施・マネジメント体制等の妥当性
終了時評価基準5－1	事業実施中における、複数課題プログラムの実施・マネジメント体制等が、事業の目的及び事業アウトカムを踏まえ、以下の点について明確かつ妥当であること。 ・研究開発計画 ・研究開発実施者の適格性 ・研究開発の実施体制（チーム構成、プロジェクトリーダー、連携や競争を図るためのフォーメーション等） ・国民との科学・技術対話の実施などのコミュニケーション活動 ・資金配分 ・社会経済情勢等周囲の状況変化への柔軟な対応
終了時評価基準5－2	事業の目的及び事業アウトカムを踏まえ、知財の取扱についての戦略及びルールが十分検討され、事業アウトカム達成までの間も含め、具体化されていること。
【終了時評価項目6】	費用対効果の妥当性
終了時評価基準6	投入された国費総額に対して、事業アウトプット及び事業アウトカムが妥当であること。

I-2. 研究資金制度プログラムの評価項目・評価基準

I-2-(1) 事前評価

【事前評価項目1】	事業アウトカムの妥当性
事前評価基準1-1	制度の目的を踏まえた事業アウトカムが明確であり妥当であること。
	(注)事業アウトカムが実現した場合の日本経済や国際競争力、問題解決に与える効果が優れていること。 当該「制度」の事業アウトカムと関連性のある省内外の事業と重複がなく、適切に連携等が取れていること。 事業アウトカムを踏まえ、次年度以降に技術開発を実施することが合理的であること。
事前評価基準1-2	事業アウトカム指標及び目標値が明確かつ妥当であること。
	(注)市場規模・シェア、エネルギー・CO2削減量などの事業アウトカムを計測できる定量的な指標が設定されるとともに、目標値及び達成時期が適切に設定されていること。

【事前評価項目2】	制度内容及び事業アウトプットの妥当性
事前評価基準2	事業アウトプット指標及び目標値が明確かつ妥当であること。
	(注)中間評価時点及び終了評価時点において、事業の進捗状況を客観的に評価検証し得る、定量的な事業アウトプット指標が提示されるとともに、目標値が適切に設定されていること。

【事前評価項目3】	当省(国)が実施することの必要性
事前評価基準3	次の①から⑤のいずれかを満たすものであるなど、当省(国)において、当該制度を実施することが必要であることが明確であること。 ①多額の研究開発費、長期にわたる研究開発期間、高い技術的難度等から、民間企業のみでは十分な研究開発が実施されない場合。 ②環境問題への先進的対応等、民間企業には市場原理に基づく研究開発実施インセンティブが期待できない場合。 ③標準の策定、データベース整備等のうち社会的性格が強いもの(知的基盤)の形成に資する研究開発の場合。 ④国の関与による異分野連携、産学官連携等の実現によって、研究開発活動に新たな付加価値をもたらすことが見込まれる場合。 ⑤その他、科学技術的価値の観点からみた卓越性、先導性を有しているなど、国が主体的役割を果たすべき特段の理由がある場合。

【事前評価項目4】	事業アウトカム達成に至るまでのロードマップの妥当性
事前評価基準4	事業アウトカム達成に至るまでのロードマップは、以下の点を踏まえて作成されていること。 ・知財管理の取扱 ・実証や国際標準化 ・性能や安全性基準の策定 ・規制緩和等を含む実用化に向けた取組 ・成果のユーザー

【事前評価項目5】	当該制度の実施・マネジメント体制等の妥当性
事前評価基準5-1	制度の実施・マネジメント体制等が、事業の目的及び事業アウトカムを踏まえ、以下の点について明確かつ妥当であること。 ・制度の運営体制・組織 ・個々のテーマの採択プロセス ・事業の進捗管理（モニタリングの実施、制度関係者間の調整等） ・制度を利用する対象者 ・個々の制度運用の結果が制度全体の運営の改善にフィードバックされる仕組み ・成果の利用主体に対して、成果を普及し関与を求める取組 ・国民との科学・技術対話の実施などのコミュニケーション活動 ・資金配分 ・社会経済情勢等周囲の状況変化への対応
事前評価基準5-2	事業の目的及び事業アウトカムを踏まえ、知財の取扱についての戦略及びルールが十分検討され、具体化されていること。

【事前評価項目6】	費用対効果の妥当性
事前評価基準6	投入する予定の国費総額に対して、事業アウトプット及び事業アウトカムが妥当であること。

I-2-(2) 中間評価

【中間評価項目1】	事業アウトカムの妥当性
中間評価基準1-1	中間評価時点においてなお、制度の目的を踏まえた事業アウトカムが明確であり妥当であること。
	(注)事業アウトカムが実現した場合の日本経済や国際競争力、問題解決に与える効果が優れていること。
中間評価基準1-2	中間評価時点においてなお、事業アウトカム指標及び目標値が明確かつ妥当であること。
	(注)市場規模・シェア、エネルギー・CO2削減量などの事業アウトカムを計測できる定量的な指標が設定されるとともに、目標値及び達成時期が適切に設定されていること。

【中間評価項目2】	制度内容及び事業アウトプットの妥当性
中間評価基準2-1	中間評価時点においてなお、事業アウトプット指標及び目標値が明確かつ妥当であること。
	(注)中間評価時点及び終了評価時点において、研究開発の進捗状況を客観的に評価検証し得る、定量的な事業アウトプット指標が提示されるとともに、目標値が適切に設定されていること。
中間評価基準2-2	中間評価時点での事業アウトプットの目標値が達成されているとともに、関連する論文発表、特許出願、国際標準の形成、プロトタイプ作成等が実施されていること。
	(注)未達成の場合はその原因や今後の見通しについて適切に説明されていること。

【中間評価項目3】	当省(国)が実施することの必要性
中間評価基準3	中間評価時点においてなお、次の①から⑤のいずれかを満たすものであるなど、当

	省(国)において、当該制度を実施することが必要であることが明確であること。 ①多額の研究開発費、長期にわたる研究開発期間、高い技術的難度等から、民間企業のみでは十分な研究開発が実施されない場合。 ②環境問題への先進的対応等、民間企業には市場原理に基づく研究開発実施インセンティブが期待できない場合。 ③標準の策定、データベース整備等のうち社会的性格が強いもの(知的基盤)の形成に資する研究開発の場合。 ④国の関与による異分野連携、産学官連携等の実現によって、研究開発活動に新たな付加価値をもたらすことが見込まれる場合。 ⑤その他、科学技術的価値の観点からみた卓越性、先導性を有しているなど、国が主体的役割を果たすべき特段の理由がある場合。
--	---

【中間評価項目4】	事業アウトカム達成に至るまでのロードマップの妥当性
中間評価基準4	中間評価時点においてなお、事業アウトカム達成に至るまでのロードマップは、以下の点を踏まえて作成され、必要に応じて改定されていること。 ・知財管理の取扱 ・実証や国際標準化 ・性能や安全性基準の策定 ・規制緩和等を含む実用化に向けた取組 ・成果のユーザー

【中間評価項目5】	制度の実施・マネジメント体制等の妥当性
中間評価基準5-1	中間評価時点においてなお、制度の実施・マネジメント体制等が、事業の目的及び事業アウトカムを踏まえ、以下の点について明確かつ妥当であること。 ・制度の運営体制・組織 ・個々のテーマの採択プロセス ・事業の進捗管理(モニタリングの実施、制度関係者間の調整等) ・制度を利用する対象者 ・個々の制度運用の結果が制度全体の運営の改善にフィードバックされる仕組み ・成果の利用主体に対して、成果を普及し関与を求める取組 ・国民との科学・技術対話の実施などのコミュニケーション活動 ・資金配分 ・社会経済情勢等周囲の状況変化への対応
中間評価基準5-2	事業の目的及び事業アウトカムを踏まえ、知財の取扱いについての戦略及びルールが十分検討され、具体化されていること。

【中間評価項目6】	費用対効果の妥当性
中間評価基準6	中間評価時点においてなお、投入する予定の国費総額に対して、事業アウトプット及び事業アウトカムが妥当であること。

I-2-(3) 終了時評価

【終了時評価項目1】	事業アウトカムの妥当性
終了時評価基準1-1	終了時評価時点においてなお、制度の目的を踏まえた事業アウトカムが明確であり妥当であること。
	(注)事業アウトカムが実現した場合の日本経済や国際競争力、問題解決に与える効果が優れていること。
終了時評価基準1-2	終了時評価時点においてなお、事業アウトカム指標及び目標値が明確かつ妥当であること。
	(注)市場規模・シェア、エネルギー・CO2削減量などの事業アウトカムを計測できる定量的な指標が設定されるとともに、目標値及び達成時期が適切に設定されていること。

【終了時評価項目2】	制度内容及び事業アウトプットの妥当性
終了時評価基準2-1	終了評価時点においてなお、事業アウトプット指標及び目標値が明確かつ妥当であること。
	(注)中間評価時点及び終了評価時点において、研究開発の進捗状況を客観的に評価検証し得る、定量的な事業アウトプット指標が提示されるとともに、目標値が適切に設定されていること。
終了時評価基準2-2	終了時評価時点での事業アウトプットの目標値が達成されているとともに、関連する論文発表、特許出願、国際標準の形成、プロトタイプの実成等が実施されていること。
	(注)未達成の場合はその原因や今後の見通しについて適切に説明されていること。

【終了時評価項目3】	当省(国)が実施することの必要性
終了時評価基準3	終了時評価時点においてなお、次の①から⑤のいずれかを満たすものであるなど、当省(国)において、当該制度を実施することが必要であることが明確であること。 ①多額の研究開発費、長期にわたる研究開発期間、高い技術的難度等から、民間企業のみでは十分な研究開発が実施されない場合。 ②環境問題への先進的対応等、民間企業には市場原理に基づく研究開発実施インセンティブが期待できない場合。 ③標準の策定、データベース整備等のうち社会的性格が強いもの(知的基盤)の形成に資する研究開発の場合。 ④国の関与による異分野連携、産学官連携等の実現によって、研究開発活動に新たな付加価値をもたらすことが見込まれる場合。 ⑤その他、科学技術的価値の観点からみた卓越性、先導性を有しているなど、国が主体的役割を果たすべき特段の理由がある場合。

【終了時評価項目4】	事業アウトカム達成に至るまでのロードマップの妥当性
終了時評価基準4-1	終了時評価時点においてなお、事業アウトカム達成に至るまでのロードマップは、以下の点を踏まえて作成され、必要に応じて改定されていること。 ・知財管理の取扱 ・実証や国際標準化 ・性能や安全性基準の策定

	・規制緩和等を含む実用化に向けた取組 ・成果のユーザー
終了時評価基準4-2	あらかじめ設定されていた事業アウトカムの達成時期における目標値の達成が見込まれていること。
	(注)達成が見込めない場合はその原因や今後の見通しについて適切に説明されていること。

【終了時評価項目5】	制度の実施・マネジメント体制等の妥当性
終了時評価基準5-1	終了時評価時点においてなお、制度の実施・マネジメント体制等が、事業の目的及び事業アウトカムを踏まえ、以下の点について明確かつ妥当であること。 ・制度の運営体制・組織 ・個々のテーマの採択プロセス ・事業の進捗管理(モニタリングの実施、制度関係者間の調整等) ・制度を利用する対象者 ・個々の制度運用の結果が制度全体の運営の改善にフィードバックされる仕組み ・成果の利用主体に対して、成果を普及し関与を求める取組 ・国民との科学・技術対話の実施などのコミュニケーション活動 ・資金配分 ・社会経済情勢等周囲の状況変化への対応
終了時評価基準5-2	事業の目的及び事業アウトカムを踏まえ、知財の取扱いについての戦略及びルールが十分検討され、事業アウトカム達成までの間も含め、具体化されていること。
終了時評価基準5-3	事業終了後における、事業アウトカム達成までの間の研究開発の実施・マネジメント体制等が明確かつ妥当であること。

【終了時評価項目6】	費用対効果の妥当性
終了時評価基準6	投入された国費総額に対して、事業アウトプット及び事業アウトカムが妥当であること。

Ⅱ. 研究開発課題(プロジェクト)の評価項目・評価基準

Ⅱ－(1) 事前評価

【事前評価項目1】	事業アウトカムの妥当性
事前評価基準1－1	事業の目的を踏まえた事業アウトカムが明確であり妥当であること。
	(注)事業アウトカムが実現した場合の日本経済や国際競争力、問題解決に与える効果が優れていること。 当該事業の事業アウトカムと関連性のある省内外の事業と重複がなく、適切に連携等が取れていること。 事業アウトカムを踏まえ、次年度以降に技術開発を実施することが合理的であること。
事前評価基準1－2	事業アウトカム指標及び目標値が明確かつ妥当であること。
	(注)市場規模・シェア、エネルギー・CO2削減量などの事業アウトカムを計測できる定量的な指標が設定されるとともに、目標値及び達成時期が適切に設定されていること。

【事前評価項目2】	研究開発内容及び事業アウトプットの妥当性
事前評価基準2－1	研究開発内容が明確かつ妥当であること。
	(注)研究開発要素が明確であること。 国内外他者において実施されている類似の研究開発や競合する研究開発等の現状が把握されており、本事業によって、技術的優位性(特許取得等)及び経済的優位性(上市・製品化、市場規模・シェア等)を確保できるものであること。
事前評価基準2－2	事業アウトプット指標及び目標値が明確かつ妥当であること。
	(注)中間評価時点及び終了評価時点において、研究開発の進捗状況を客観的に評価検証し得る、定量的な事業アウトプット指標が提示されるとともに、目標値が適切に設定されていること。

【事前評価項目3】	当省(国)が実施することの必要性
事前評価基準3	次の①から⑤のいずれかを満たすものであるなど、当省(国)において、当該研究開発課題(プロジェクト)を実施することが必要であることが明確であること。 ①多額の研究開発費、長期にわたる研究開発期間、高い技術的難度等から、民間企業のみでは十分な研究開発が実施されない場合。 ②環境問題への先進的対応等、民間企業には市場原理に基づく研究開発実施インセンティブが期待できない場合。 ③標準の策定、データベース整備等のうち社会的性格が強いもの(知的基盤)の形成に資する研究開発の場合。 ④国の関与による異分野連携、産学官連携等の実現によって、研究開発活動に新たな付加価値をもたらすことが見込まれる場合。 ⑤その他、科学技術的価値の観点からみた卓越性、先導性を有しているなど、国が主体的役割を果たすべき特段の理由がある場合。

【事前評価項目4】	事業アウトカム達成に至るまでのロードマップの妥当性
事前評価基準4	事業アウトカム達成に至るまでのロードマップは、以下の点を踏まえて作成されていること。 ・知財管理の取扱 ・実証や国際標準化 ・性能や安全性基準の策定 ・規制緩和等を含む実用化に向けた取組 ・成果のユーザー

【事前評価項目5】	研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性
事前評価基準5－1	研究開発の実施・マネジメント体制等が明確かつ妥当であること。
事前評価基準5－2	事業の目的及び事業アウトカムを踏まえ、知財の取扱いについての戦略及びルールが十分検討されていること。

【事前評価項目6】	費用対効果の妥当性
事前評価基準6	投入する予定の国費総額に対して、事業アウトプット及び事業アウトカムが妥当であること。

Ⅱ－(2) 中間評価

【中間評価項目1】	事業アウトカムの妥当性
中間評価基準1－1	中間評価時点においてなお、事業の目的を踏まえた事業アウトカムが明確であり妥当であること。
	(注)事業アウトカムが実現した場合の日本経済や国際競争力、問題解決に与える効果が優れていること。
中間評価基準1－2	中間評価時点においてなお、事業アウトカム指標及び目標値が明確かつ妥当であること。
	(注)市場規模・シェア、エネルギー・CO2削減量などの事業アウトカムを計測できる定量的な指標が設定されるとともに、目標値及び達成時期が適切に設定されていること。

【中間評価項目2】	研究開発内容及び事業アウトプットの妥当性
中間評価基準2－1	中間評価時点においてなお、研究開発内容が明確かつ妥当であること。
	(注)研究開発要素が明確であること。 国内外他者において実施されている類似の研究開発や競合する研究開発等の現状が把握されており、本事業によって、技術的優位性(特許取得等)及び経済的優位性(上市・製品化、市場規模・シェア等)を確保できるものであること。
中間評価基準2－2	中間評価時点においてなお、事業アウトプット指標及び目標値が明確かつ妥当であること。
	(注)中間評価時点及び終了評価時点において、研究開発の進捗状況を客観的に評価検証し得る、定量的な事業アウトプット指標が提示されるとともに、目標値が適切に設定されていること。
中間評価基準2－3	中間評価時点での事業アウトプットの目標値が達成されているとともに、関連する論文発表、特許出願、国際標準の形成、プロトタイプの実成等が実施されていること。
	(注)未達成の場合はその原因や今後の見通しについて適切に説明されていること。

	と。
--	----

【中間評価項目3】	当省(国)が実施することの必要性
中間評価基準3	中間評価時点においてなお、次の①から⑤のいずれかを満たすものであるなど、当省(国)において、当該研究開発課題(プロジェクト)を実施することが必要であることが明確であること。 ①多額の研究開発費、長期にわたる研究開発期間、高い技術的難度等から、民間企業のみでは十分な研究開発が実施されない場合。 ②環境問題への先進的対応等、民間企業には市場原理に基づく研究開発実施インセンティブが期待できない場合。 ③標準の策定、データベース整備等のうち社会的性格が強いもの(知的基盤)の形成に資する研究開発の場合。 ④国の関与による異分野連携、産学官連携等の実現によって、研究開発活動に新たな付加価値をもたらすことが見込まれる場合。 ⑤その他、科学技術的価値の観点からみた卓越性、先導性を有しているなど、国が主体的役割を果たすべき特段の理由がある場合。

【中間評価項目4】	事業アウトカム達成に至るまでのロードマップの妥当性
中間評価基準4	中間評価時点においてなお、事業アウトカム達成に至るまでのロードマップは、以下の点を踏まえて作成され、必要に応じて改定されていること。 ・知財管理の取扱 ・実証や国際標準化 ・性能や安全性基準の策定 ・規制緩和等を含む実用化に向けた取組 ・成果のユーザー

【中間評価項目5】	研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性
中間評価基準5-1	研究開発の実施・マネジメント体制等が、事業の目的及び事業アウトカムを踏まえ、以下の点について明確かつ妥当であること。 ・研究開発計画 ・研究開発実施者の適格性 ・研究開発の実施体制(チーム構成、プロジェクトリーダー、連携や競争を図るためのフォーメーション等) ・国民との科学・技術対話の実施などのコミュニケーション活動 ・資金配分 ・社会経済情勢等周囲の状況変化への柔軟な対応
中間評価基準5-2	事業の目的及び事業アウトカムを踏まえ、知財の取扱についての戦略及びルールが十分検討され、具体化されていること。

【中間評価項目6】	費用対効果の妥当性
中間評価基準6	中間評価時点においてなお、投入する予定の国費総額に対して、事業アウトプット及び事業アウトカムが妥当であること。

Ⅱ－(3) 終了時評価

【終了評価項目1】	事業アウトカムの妥当性
終了時評価基準1－1	終了時評価時点においてなお、事業の目的を踏まえた事業アウトカムが明確であり妥当であること。
	(注)事業アウトカムが実現した場合の日本経済や国際競争力、問題解決に与える効果が優れていること。
終了時評価基準1－2	終了時評価時点においてなお、事業アウトカム指標及び目標値が明確かつ妥当であること。
	(注)市場規模・シェア、エネルギー・CO2削減量などの事業アウトカムを計測できる定量的な指標が設定されるとともに、目標値及び達成時期が適切に設定されていること。

【終了時評価項目2】	研究開発内容及び事業アウトプットの妥当性
終了時評価基準2－1	終了評価時点においてなお、研究開発内容が明確かつ妥当であること。
	(注)研究開発要素が明確であること。 国内外他者において実施されている類似の研究開発や競合する研究開発等の現状が把握されており、本事業によって、技術的優位性(特許取得等)及び経済的優位性(上市・製品化、市場規模・シェア等)を確保できるものであること。
終了時評価基準2－2	終了評価時点においてなお、事業アウトプット指標及び目標値が明確かつ妥当であること。
	(注)終了評価時点において、研究開発の進捗状況を客観的に評価検証し得る、定量的な事業アウトプット指標が提示されるとともに、目標値が適切に設定されていること。
終了時評価基準2－3	終了時評価時点での事業アウトプットの目標値が達成されているとともに、関連する論文発表、特許出願、国際標準の形成、プロトタイプの実現等が実施されていること。
	(注)未達成の場合はその原因や今後の見通しについて適切に説明されていること。

【終了時評価項目3】	当省(国)が実施することの必要性
終了時評価基準3	終了時評価時点においてなお、次の①から⑤のいずれかを満たすものであるなど、当省(国)において、当該研究開発課題(プロジェクト)を実施することが必要であることが明確であること。 ①多額の研究開発費、長期にわたる研究開発期間、高い技術的難度等から、民間企業のみでは十分な研究開発が実施されない場合。 ②環境問題への先進的対応等、民間企業には市場原理に基づく研究開発実施インセンティブが期待できない場合。 ③標準の策定、データベース整備等のうち社会的性格が強いもの(知的基盤)の形成に資する研究開発の場合。 ④国の関与による異分野連携、産学官連携等の実現によって、研究開発活動に新たな付加価値をもたらすことが見込まれる場合。

	⑤その他、科学技術的価値の観点からみた卓越性、先導性を有しているなど、国が主体的役割を果たすべき特段の理由がある場合。
--	---

【終了時評価項目4】	事業アウトカム達成に至るまでのロードマップの妥当性
終了時評価基準4-1	終了時評価時点においてなお、事業アウトカム達成に至るまでのロードマップは、以下の点を踏まえて作成され、必要に応じて改定されていること。 ・知財管理の取扱 ・実証や国際標準化 ・性能や安全性基準の策定 ・規制緩和等を含む実用化に向けた取組 ・成果のユーザー
終了時評価基準4-2	あらかじめ設定されていた事業アウトカムの達成時期における目標値の達成が見込まれていること。
	(注)達成が見込めない場合はその原因や今後の見通しについて適切に説明されていること。

【終了時評価項目5】	研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性
終了時評価基準5-1	事業実施中における、研究開発の実施・マネジメント体制等が、事業の目的及び事業アウトカムを踏まえ、以下の点について明確かつ妥当であること。 ・研究開発計画 ・研究開発実施者の適格性 ・研究開発の実施体制(チーム構成、プロジェクトリーダー、連携や競争を図るためのフォーメーション等) ・国民との科学・技術対話の実施などのコミュニケーション活動 ・資金配分 ・社会経済情勢等周囲の状況変化への柔軟な対応
終了時評価基準5-2	事業の目的及び事業アウトカムを踏まえ、知財の取扱についての戦略及びルールが十分検討され、事業アウトカム達成までの間も含め、具体化されていること。
終了時評価基準5-3	事業終了後における、事業アウトカム達成までの間の研究開発の実施・マネジメント体制等が明確かつ妥当であること。

【終了時評価項目6】	費用対効果の妥当性
終了時評価基準6	投入された国費総額に対して、事業アウトプット及び事業アウトカムが妥当であること。

Ⅲ. 追跡評価の評価項目・評価基準

【追跡評価項目1】	技術波及効果(事業アウトカムを含む。)
【追跡評価項目1-1】	プロジェクトの直接的・間接的技術成果の実用化の進展度合
追跡評価基準1-1	①プロジェクトの終了後に実用化した又は今後実用化が期待される製品やサービスがあること。 ②具体化された知財の取り扱いについての戦略及びルールに基づき、国内外での特許取得等が行われたこと。
【追跡評価項目1-2】	プロジェクトの直接的・間接的技術成果のインパクト
追跡評価基準1-2	①関連技術分野に非連続なイノベーションをもたらしたこと。 ②多くの派生技術が生み出されていること ③適用分野が多岐にわたっていること。 ④直接的・間接的技術成果を利用した研究主体が多いこと。 ⑤直接的・間接的技術成果を利用した研究主体が産業界や学会に広がりを持っていること。 ⑥研究開発の促進効果や期間短縮効果があったこと。
【追跡評価項目1-3】	国際競争力への影響
追跡評価基準1-3	①我が国における当該分野の技術レベルが向上したこと。 ②外国企業との間で技術的な取引が行われ、それが利益を生み出したこと。 ③外国企業との主導的な技術提携が行われたこと。 ④国際標準等の協議において、我が国がリーダーシップをとれる等のメリットもたらしたこと。 ⑤外国との技術交流の促進や当該分野での我が国のイニシアチブの獲得につながったこと。

【追跡評価項目2】	研究開発力向上効果(事業アウトカムを含む。)
【追跡評価項目2-1】	知的ストックの活用状況
追跡評価基準2-1	①プロジェクトの成果である知的ストックを活用した研究開発が行われていること。 ②知的ストックが画期的な新製品やサービスを生み出す可能性を高める工夫がなされていること。
【追跡評価項目2-2】	研究開発組織・戦略への影響
追跡評価基準2-2	①組織内、更には国内外において高く評価される研究部門となったこと。 ②関連部門の人員・予算の拡充につながったこと。 ③技術管理部門・研究開発部門の再構成等、社内の組織改変につながったこと。 ④組織全体の技術戦略・知財戦略の見直しや強化に寄与したこと。 ⑤他の企業や研究機関との共同研究の推進、ビジネスパートナーとの関係の強化・改善等、オープンイノベーションのきっかけになったこと。 ⑥プロジェクトが学会、フォーラム等の研究交流基盤の整備・強化のきっかけになったこと。
【追跡評価項目2-3】	人材への影響
追跡評価基準2-3	①組織内、更には国内外において高く評価される研究者が生まれたこと。 ②論文発表、博士号取得が活発に行われたこと。 ③他の企業や研究機関との研究者の人的交流のきっかけになったこと。

【追跡評価項目3】	経済効果(事業アウトカムを含む。)
【追跡評価項目3-1】	市場創出への寄与
追跡評価基準3-1	新しい市場の創造及びその拡大に寄与したこと。
【追跡評価項目3-2】	経済的インパクト
追跡評価基準3-2	①製品やサービスの売り上げ及び利益の増加に寄与したこと。 ②雇用創出に寄与したこと。
【追跡評価項目3-3】	産業構造転換・産業活性化の促進
追跡評価基準3-3	①既存市場への新規参入又は既存市場からの撤退等をもたらしたこと。 ②生産性・経済性の向上に寄与したこと。 ③顧客との関係改善に寄与したこと

【追跡評価項目4】	国民生活・社会レベルの向上効果(事業アウトカムを含む。)
評価基準4	①エネルギー問題の解決に寄与したこと。 ②環境問題の解決に寄与したこと。 ③情報化社会の推進に寄与したこと。 ④安全・安心や国民生活の質の向上に寄与したこと。

【追跡評価項目5】	政策へのフィードバック効果
追跡評価基準5-1	プロジェクトの成果、改善提案、反省点等がその後のプロジェクトのテーマ設定や体制構築へ反映されたこと。
追跡評価基準5-2	プロジェクトの直接的・間接的技術成果が産業戦略等に影響したこと。

【追跡評価項目6】	以上の評価結果を踏まえた、プロジェクト終了時の事後評価の妥当性																				
追跡評価基準6	終了時評価(事後評価を含む。)の結果が妥当であること。																				
	(注)今後の終了時評価において改善すべき点、考慮すべき点等があれば提案する。 <参考> <table border="0"> <tr> <td>(平成25年度までの評価項目)</td> <td>(平成26年度からの評価項目)</td> </tr> <tr> <td>①目的・意義の妥当性</td> <td>①事業アウトカムの妥当性</td> </tr> <tr> <td>②目標の妥当性</td> <td>②研究開発内容及び事業アウトプットの妥当性</td> </tr> <tr> <td>③計画内容の妥当性</td> <td>③当省(国)が実施することの必要性</td> </tr> <tr> <td>④国のプロジェクトであることの妥当性</td> <td>④事業アウトカム達成に至るまでのロードマップの妥当性</td> </tr> <tr> <td>⑤研究開発体制・運営の妥当性</td> <td>⑤研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性</td> </tr> <tr> <td>⑥研究開発成果の計画と比較した達成度</td> <td>⑥費用対効果の妥当性</td> </tr> <tr> <td>⑦実用化の見通し(成果普及、広報体制、波及効果)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>⑧総合評価</td> <td></td> </tr> <tr> <td>⑨今後の提言</td> <td></td> </tr> </table>	(平成25年度までの評価項目)	(平成26年度からの評価項目)	①目的・意義の妥当性	①事業アウトカムの妥当性	②目標の妥当性	②研究開発内容及び事業アウトプットの妥当性	③計画内容の妥当性	③当省(国)が実施することの必要性	④国のプロジェクトであることの妥当性	④事業アウトカム達成に至るまでのロードマップの妥当性	⑤研究開発体制・運営の妥当性	⑤研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性	⑥研究開発成果の計画と比較した達成度	⑥費用対効果の妥当性	⑦実用化の見通し(成果普及、広報体制、波及効果)		⑧総合評価		⑨今後の提言	
(平成25年度までの評価項目)	(平成26年度からの評価項目)																				
①目的・意義の妥当性	①事業アウトカムの妥当性																				
②目標の妥当性	②研究開発内容及び事業アウトプットの妥当性																				
③計画内容の妥当性	③当省(国)が実施することの必要性																				
④国のプロジェクトであることの妥当性	④事業アウトカム達成に至るまでのロードマップの妥当性																				
⑤研究開発体制・運営の妥当性	⑤研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性																				
⑥研究開発成果の計画と比較した達成度	⑥費用対効果の妥当性																				
⑦実用化の見通し(成果普及、広報体制、波及効果)																					
⑧総合評価																					
⑨今後の提言																					

【追跡評価項目 7】	プロジェクト終了後のフォローアップ方法
追跡評価基準7	プロジェクトの成果の実用化や普及に向けた、ロードマップや体制、後継事業の検討など、プロジェクト終了後のフォローアップ方法が適切であったこと。
	(注)フォローアップ方法について改善すべき点、より効果的な方策等があれば提案する。

次世代電力供給システム分野に
係る技術に関する施策・事業
評価報告書

平成２６年２月

産業構造審議会産業技術環境分科会
研究開発・評価小委員会評価ワーキンググループ

技術に関する施策・事業評価報告書概要

技術に関する施策

技術に関する 施策名	次世代電力供給システム分野に係る技術に関する施策・事業
担当課	資源エネルギー庁 電力基盤整備課
<u>技術に関する施策の目的・概要</u> 昨今、気候変動問題への対応が地球規模の課題となっている中、化石エネルギーの利用に伴う温室効果ガスの排出抑制に関する関心が高まっている。 特に我が国では、東日本大震災以降、原子力発電所の定期検査入りに伴い、国内電源構成に占める火力発電の割合は、約9割まで上昇しており、2030年以降も火力発電は我が国の電源構成の中で重要な位置づけを占める予定である。 石炭は他の化石燃料と比べ、可採年数が約143年と長く、世界各国に幅広く分布する等、供給安定性が高く、経済性に優れることから、我が国にとって、今後とも石油代替エネルギーの重要な柱の一つとなる。また、天然ガスは化石燃料の中で、安定的かつクリーンなエネルギーであり、環境規制の厳しい都市圏での大気汚染防止対策上、極めて有効な発電用燃料として導入されている。 しかし、発電時に発生する単位当たり二酸化炭素排出量は他の電源に比べて大きく、地球環境問題での制約要因が多いという課題を抱えている。 また、我が国は世界最大の石炭および天然ガス輸入国であり、資源のほぼ100%を海外に依存している。よって、エネルギーの有効利用と環境負荷の低減に努めるため、我が国は長年にわたり化石エネルギーの利用技術の効率化に積極的に取り組むとともに、環境に適した世界最高水準の火力発電技術の開発・利用を実現してきたところである。 一方、温室効果ガスの排出抑制・エネルギー自給率向上、エネルギー源多様化、環境関連産業育成等の観点から、我が国は太陽光発電等の再生可能エネルギーの導入を進めているが、電力系統上の課題として、①余剰電力の発生や、②出力変動に伴う周波数変動調整力の不足、③配電系統における電圧上昇 等が指摘されているところである。よって、再生可能エネルギーの導入拡大に伴う電力系統上の課題への対策を進めなければ、我が国の電力の安定供給を阻害するおそれがある。 したがって、今後、再生可能エネルギーが導入拡大されることで電源が多様化する電力を効率かつ安定的に供給するため、送配電系統や発電運用技術の高度化を行い、送電効率の向上、余剰電力対策等の系統安定化対策を行うことで、環境対策および電力の安定供給を可能とする強靱な電力供給システムを確立していく必要がある。 将来に向けた世界的な気候変動問題の制約下で、環境負荷を低減させることを目的とした電力の安定供給にかかる技術開発は、我が国の環境及びエネルギー政策上極めて重要な施策である。	

技術に関する事業一覧

- A. 高効率ガスタービン実用化技術開発
 - A1 1700℃級ガスタービン実用化技術開発
 - A2 高温分空気利用ガスタービン実用化技術開発
- B. 高効率ガスタービン実証事業
 - B1 1700℃級ガスタービン実証事業
 - B2 高温分空気利用ガスタービン実証事業
- C. 先進超々臨界圧火力発電実用化技術開発
- D. 次世代型双方向通信出力制御実証事業
- E. 太陽光発電出力予測技術開発実証事業

技術に関する施策評価の概要

1. 施策の目的・政策的位置付けの妥当性

(1) 施策の目的の妥当性

原子力発電の将来性が不透明な現状では、再生可能エネルギーの本格的導入に先立ち、火力発電設備の高効率化および環境負荷の低減化は不可欠の技術課題であり、その意味においても本施策の目的の妥当性は明らかである。また、上述のように諸情勢が大きく変化する中で、安定供給を確保し、温室効果ガスの排出抑制を進めるためには、電力供給システムの技術向上を図ることが極めて重要であり、目的の妥当性は高い。

なお、すべてが即座に国内外に適用できるものであるかは、疑問があるところ。現在取り組んでいる技術・研究が、どういった条件・環境において、その成果を発揮するのか、あるいはどういった条件が成立したときに経済的有利になるか、そして具体的な適用先・時期についてはどういった考え方なのか(どういった仮説を設定しているのか)、条件を明確にする必要があると考える。また、ライフサイクルコストを踏まえた検討も加えていただければ、より適用先が明確になると考える。そこに何らかの課題がある場合はそこを明確にした上で整理し、将来の技術開発につなげるしくみが必要でないか。

(2) 施策の政策的位置付けの妥当性

本施策の位置付けは、2013年の「日本再興戦略」にも合致するもので、火力発電技術の高効率化と効率的なエネルギー流通技術の開発に関して、世界の中で主導的役割を果たしてきた我が国の開発・研究スタンスを一層確固たるものにする効果が期待できる。これにより国際的な施策動向を我が国が先導する立場に立てる可能性がある。

また、環境エネルギー技術革新計画に基づき、中長期的な技術ロードマップを見据えた上で背景やわが国の技術開発の動向・課題を整理し計画されており妥当と考える。

さらに、国内はもちろんのこと、電力分野における日本発の最先端技術を海外に展開し、エネルギー問題や温暖化対策等で貢献していく姿もしっかり示されており妥当であると考え。

なお、すべてが即座に国内外に適用できるものであるかは、疑問があるところ。現在取り組んでいる技術・研究が、どういった条件・環境において、その成果を発揮するのか、あるいはどういった条件が成立したときに経済的有利になるか、そして具体的な適用先・時期についてはどういった考え方

なのか(どういった仮説を設定しているのか)、条件を明確にする必要があると考える。また、ライフサイクルコストを踏まえた検討も加えていただければ、より適用先が明確になると考える。そこに何らかの課題がある場合はそこを明確にした上で整理し、将来の技術開発につなげるしくみが必要でないか。

(3) 国の施策として妥当であるか、国の関与が必要とされる施策か。

本施策のような電力・エネルギー関連分野は、長期にわたる研究開発期間と多額の資金を必要とするもので、その事業化を考えても、国として取り組むべき施策であると考え。また、本施策はエネルギー政策上、重要な施策であり、関連する産業・企業が多く、また、海外への事業展開が可能な分野でもあることから、国が積極的に関与する必要があると考えられる。

なお、概ね妥当であると考えるが、一部に国が関与するには、まだ時期尚早の技術があるように感じる。

2. 施策の構造及び目的実現の見通しの妥当性

(1) 現時点において得られた成果は妥当か。

一部のプロジェクトはすぐに活用に至らないものもあるが、国内外の情勢変化に対応できるように開発が行われている。また、いずれの技術分野においても当初設定された計画通り、あるいは、計画を上回る成果が得られている。

なお、震災以降、電力供給システムをめぐる環境は大きく変化したし、リスクの捉え方も異なってきた。本案件に置き換えれば、高効率火力発電に対する期待は、従前より大きくなっており、技術開発については、より加速する必要があると考える。また、一部の技術において、情報不足のため、成果の妥当性が評価できないものがある。

(2) 技術に関する施策の目的を実現するために技術に関する事業(プロジェクト等)が適切に配置されているか。

火力発電技術開発と送配電技術開発が適切に配置されている。火力発電技術に関しては、大容量機と小中容量機の2つの側面から事業が進展しており、既に実施期間が終了しているIGCCを含めて、また、いずれもの分野においても着実に成果が上がっていることから、配置は適切であると考え。

なお、送配電網の高度化については、さらなる事業の追加等による施策の拡充が期待される。また、電力供給システムを巡る環境の大きな変化を踏まえた場合、事業配置の見直し評価が期中であっても良かったのではないかと考える。

3. 総合評価

東日本大震災によって明らかになった既存の電力供給システムの問題、原子力情勢の変化、国際資源情勢の変化、地球環境問題の深刻化などを考慮すると、電力供給システムの技術向上を図ることは国の施策上極めて重要な課題と考えられる。中でも、火力発電、送配電に関わる技術開発は、エネルギーコストの低減、供給安定性の向上、環境性の向上などにつながる上に、日本の優位性を高め、事業の国際展開を容易にするといった効果も期待できる。本年度の対象事業は、火力発電の高効率化に関わる技術開発分野を中心に、設定された目的に関して、計画通り、あるいは、計画を上回る成果を上げており、高く評価できる。

なお、事業開始以降に事業目的の前提となる状況に変化が生じた場合は、事業の内容や実施方法を適時修正していただきたい。また、計画時点に比較して、本技術に対する社会の期待はより大きくなるなど、社会環境の変化が大きい時代である。そういった時代の中で、必要に応じて研究を加速・減速できる（させる）仕組みが必要であると考ええる。

今後の研究開発の方向等に関する提言

今後も地球温暖化対策に資する技術（再生可能エネルギーの導入促進、効率改善）を推進していただきたい。

火力発電技術開発と送配電技術開発については、施策の目的と位置付けは明確に示されており、今後も継続的な研究・開発を行っていく必要がある。特に火力発電技術は、1700℃級GTの開発やAHATが、例えば石炭ガス化技術IGCCの事業化を推し進める役割を果たすように、様々な個別技術を統合・連携する施策が必要である。このためにも国が積極的に関与・支援して、エネルギー対策を推し進めていただきたいし、それにより、各企業や大学の研究レベルも向上し、ひいては我が国の技術レベルの底上げが期待できる。

また、優位性のある国産技術の海外展開に資する最先端の技術開発分野に優先的に取り組んでいただきたい。例えば、本年度の主な対象事業にもなっている高効率発電は、わが国の企業群が、素材の開発・製造・加工、部品・部材の設計・製造、プラントの設計・施工・運営、メンテナンス、改良などを一貫体制で実施でき、また、国内での新增設やリプレイス需要だけでなく、市場規模がきわめて大きい海外での事業展開も期待できるだけに、今後も、国が主導して技術開発を推進していただきたい。

さらに、日本のビームやレーザを使った最新の評価技術を駆使して、材料開発の成果を確かめることができる。評価することが出来れば、そこに進歩する方法が見つかる。基礎的開発はこの評価が大きなコストになるが必要となる。

機械工学、電気工学、情報工学などの大きな進歩が総合的に組み合わせられて大きな進歩になる。

その分野の専門家ばかりではなく、異分野との交流が思わぬ発展のもとになる。例えば、化学工学が加われば、電気は貯蔵しにくいので水素やアンモニアとかの化学物質にかえて貯蔵と輸送することが可能となる。

技術に関する事業

技術に関する 事業名	A. 高効率ガスタービン実用化技術開発 A1. 1700℃級ガスタービン実用化技術開発
上位施策名	省エネルギーの推進
担当課	資源エネルギー庁 電力基盤整備課

事業の目的・概要

電力産業の保守高度化とリプレイス需要にあった大容量機の高効率化を目指し、目標コンバインド効率 56%以上、CO2 排出量 8 %削減（現状同容量機比）を達成するために必要な、1700℃級ガスタービンの実用化を図る。

そのため、1700℃級ガスタービンの実用化に必要な要素技術開発を行い、システムの成立性をシミュレーションにより確認する。

予算額等（補助（補助率：2/3））

（単位：千円）

開始年度	終了年度	中間評価時期	事後評価時期	事業実施主体
平成 2 0 年度	平成 2 3 年度	平成 2 2 年度	平成 2 5 年度	三菱重工業
H21FY 予算額	H22FY 予算額	H23FY 予算額	総予算額	総執行額
559, 194	615, 315	689, 110	2, 187, 619	1, 878, 273

目標・指標及び成果・達成度

(1) 全体目標に対する成果・達成度

要素技術	目標・指標	成 果	達成度
全体目標	コンバインド効率56%以上（送電端、HHV）	最新のデータを反映した予想値は56%（HHV）を上回る目途を得た。	達成
①排ガス再循環システム／低NOx燃焼器の開発	NOx排出量50ppm以下	実機相当圧力でNOx排出量16ppmを確認した。	達成
②高性能冷却システムの開発	冷却空気量30%低減（事業発足時比）	冷却空気量30%低減（事業発足時比）の目処を得た。	達成
③低熱伝導率TBCの開発	遮熱効果を現状材（YSZ）より20%向上	遮熱効果を現状材（YSZ）より20%向上低減した。	達成
④高負荷・高性能タービンの開発	1500℃級ガスタービンに比べ30%高い負荷条件において、1軸タービン、段数従来並みで、効率91%以上	回転翼列試験により91.3%の効率達成の目処が得られた。	達成
⑤高圧力比高性能圧縮機の開発	圧力比30以上において、1軸圧縮機、段数従来並みで、効率89%以上	回転翼列試験により、89.3%の効率達成の目処が得られた。	達成

(2) 目標及び計画の変更の有無

なし

<共通指標>

論文数	投稿	発表	特許等件数 （出願含）
5	10	42	37

総合評価概要

多くの技術的課題を克服して 1700℃級 GT 実用化に向けた多くの成果を得ると共に、数多くの技術的知見を得て、当該分野の発展に大きく寄与したことは高く評価できる。特に本事業の開発成果は、関西電力姫路第二発電所に設置された世界最高温度レベルである 1600℃級ガスタービンに導入され、技術的成果、目標の達成度は十分実証されている。

なお、成果、目標の達成度について、すべて「達成」と説明されているが、達成に至るまでの過程で問題や課題が生じていた場合は、その内容や対処状況なども報告していただきたい。また、

高効率化とともに保守合理化によるコスト低減も視野に入れて対応いただくとともに、現在ある、1300℃および 1500℃級のガスタービン発電での課題について明確にした上で、その課題に対して、どのような技術進歩・改良を行っているか明確する必要があると考える。

今後の研究開発の方向等に関する提言

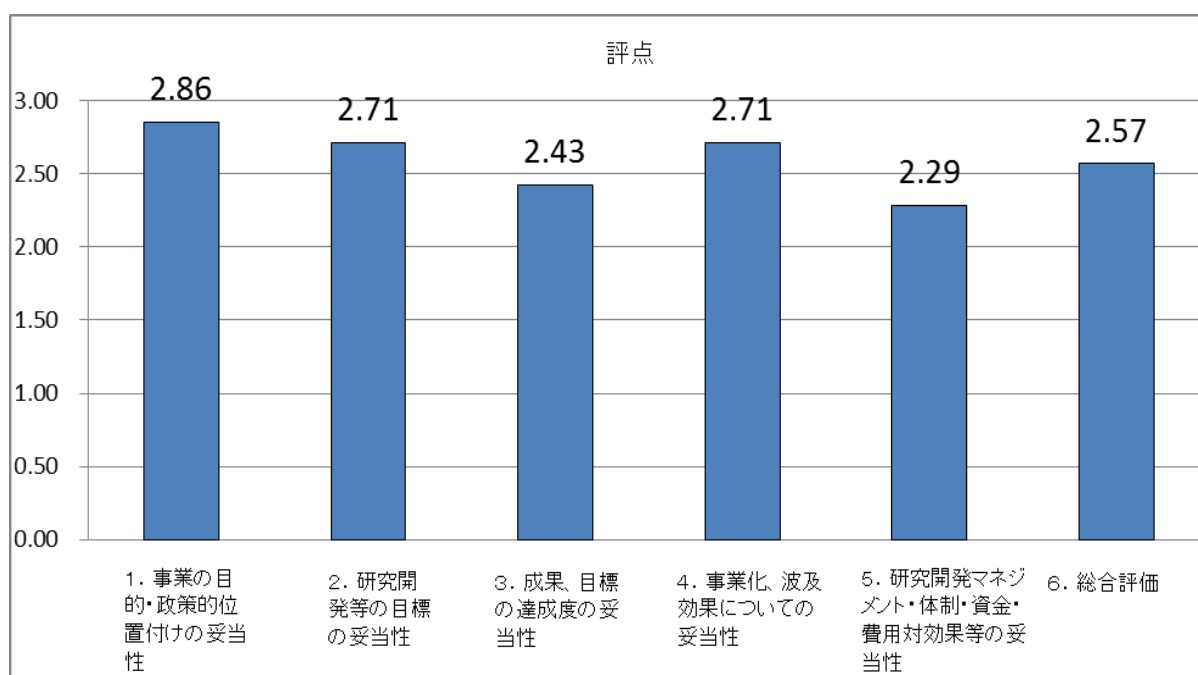
なし

評点結果

評点法による評点結果

(A1 1700℃級ガスタービン実用化技術開発事業)

	評点	A 委員	B 委員	C 委員	D 委員	E 委員	F 委員	G 委員
1. 事業の目的・政策的位置付けの妥当性	2.86	3	2	3	3	3	3	3
2. 研究開発等の目標の妥当性	2.71	2	3	3	3	3	3	2
3. 成果、目標の達成度の妥当性	2.43	2	2	3	3	3	2	2
4. 事業化、波及効果についての妥当性	2.71	3	3	3	3	3	2	2
5. 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等の妥当性	2.29	2	2	3	3	2	2	2
6. 総合評価	2.57	3	2	3	3	3	2	2



技術に関する事業

技術に関する 事業名	A. 高効率ガスタービン実用化技術開発 A2. 高湿分空気利用ガスタービン実用化技術開発
上位施策名	省エネルギーの推進
担当課	資源エネルギー庁 電力基盤整備課

事業の目的・概要

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、多缶燃焼機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。

予算額等（補助（補助率：2/3））

（単位：千円）

開始年度	終了年度	中間評価時期	事後評価時期	事業実施主体
平成 2 0 年度	平成 2 3 年度	平成 2 2 年度	平成 2 5 年度	日立製作所等
H21FY 予算額	H22FY 予算額	H23FY 予算額	総予算額	総執行額
1, 085, 495	2, 465, 865	1, 032, 121	4, 799, 481	4, 571, 171

目標・指標及び成果・達成度

(1) 全体目標に対する成果・達成度

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 ² /m ³ 以上	高性能フィンの開発により伝熱面密度1160m ² /m ³ 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

(2) 目標及び計画の変更の有無

なし

< 共通指標 >

論文・ 解説	特許 (公開)	国際会議 発表	国内会議発 表
18	41	12	10

総合評価概要

高湿分空気を利用してシングルサイクル発電の高効率化を図る実証技術は、全く未知であった分野に積極的に挑戦して、3MW 級実証試験および 40MW 級試験で着実に成果を上げており、これまでの進捗状況は高く評価できる。短期間でこれ程まで実証試験が遂行され、高湿分空気の圧縮機、熱交換器、燃焼器、冷却翼に対する影響が詳細に調査され、貴重な実験データも蓄積された。開発・研究のスピードも迅速であり、液滴工学や微粒化技術、その関連分野の急速な発展も誘起した。本技術は同規模のコンバインド発電と比較して、高い効率が安価で得られることが期待できる。10 万 kW 程度の小中容量発電の実用化技術として、今後の成果や実証が望まれる。

また、本事業が実用化されれば、国内で中小容量機の新増設やリプレースやスマートエネルギーシステムの中核発電機などとしての新規導入が期待され、海外でも幅広い国・地域に展開が期待できる有望技術と考えられる。

なお、予想される用途、設置条件、経済条件などを勘案すると、国内外で事業展開を図るためには、報告書で説明された内容に加え、小型化・省スペース化、メンテナンス性の向上、コストなどが課題になると思われる。より高い事業成果につなげるため、これらの目的に関する技術開発及び成果についてもご報告いただきたい。

また、本技術は、現在の延長で考える条件下では、経済的な有利性・効果に疑問が生じる。どういった条件・環境になった場合、本技術開発が有益なのか・経済的なのか、適用できるのか、前提条件を十分に示した上で、その条件の評価を含めた全体評価を行う必要があると考える。また、研究開始前と現在との条件の変化も含めた自己評価をいただきたい。

今後の研究開発の方向等に関する提言

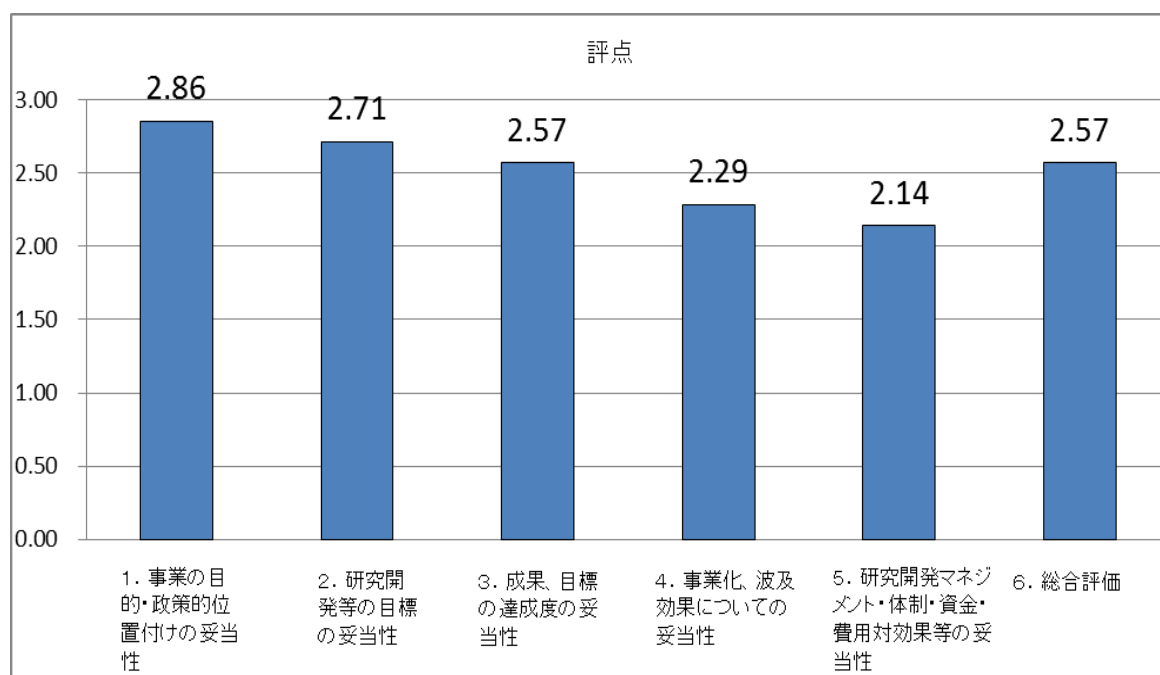
なし

評点結果

評点法による評点結果

(A2 高湿分空気利用ガスタービン実用化技術開発事業)

	評点	A 委員	B 委員	C 委員	D 委員	E 委員	F 委員	G 委員
1. 事業の目的・政策的位置付けの妥当性	2.86	3	3	3	3	3	2	3
2. 研究開発等の目標の妥当性	2.71	2	3	3	3	3	2	3
3. 成果、目標の達成度の妥当性	2.57	2	2	3	3	3	2	3
4. 事業化、波及効果についての妥当性	2.29	3	2	3	3	2	1	2
5. 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等の妥当性	2.14	2	2	3	3	2	1	2
6. 総合評価	2.57	3	2	3	3	3	2	2



技術に関する事業

技術に関する 事業名	B. 高効率ガスタービン実証事業 B1. 1700℃級ガスタービン実証事業
上位施策名	省エネルギーの推進
担当課	資源エネルギー庁 電力基盤整備課

事業の目的・概要

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

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

予算額等（補助（補助率：2/3））

（単位：千円）

開始年度	終了年度	中間評価時期	事後評価時期	事業実施主体
平成 24 年度	平成 32 年度	平成 25 年度	—	三菱重工業
H24FY 予算額	H25FY 予算額	—	総予算額	総執行額
1,255,048	1,180,585	—	14,050,000	1,009,716

目標・指標及び成果・達成度

(1) 全体目標に対する成果・達成度

要素技術	目標・指標（中間評価時点）	成果（中間評価時点）	達成度
①低熱伝導率遮熱コーティング	・厚さ0.5mm以上 ・熱疲労寿命が従来並み ・エロージョン試験装置製作および試験着手。	・厚さ0.5mm以上の成膜条件で、熱疲労寿命が従来並みであることを確認した。 ・エロージョン試験装置を製作し、試験に着手した。	達成
②高性能冷却システム	・実機燃焼器＋タービン翼列の気流・伝熱試験による端壁面での詳細データ取得。	・タービン翼列の気流試験・伝熱試験による端壁面での詳細データを取得した。	達成
③非定常性制御燃焼技術	・排ガス再循環有、NOx 40ppm以下を確認する。 ・燃焼器内気流データの取得。 ・実機燃焼器形態での火炎形状の把握。 ・燃焼を不安定にする領域を特定する。	・排ガス再循環有、NOx 16ppmを確認した。 ・燃焼器内気流データを取得した。 ・実機燃焼器形態での火炎形状を計測した。 ・燃焼を不安定にする領域を特定した。	達成
④超高性能タービン	・タービン効率向上コンセプトの抽出 ・排気ディフューザの改良を行い、圧力損失50%低減 ・励振力発生メカニズムの考察・解明	・タービン効率向上コンセプトを抽出し、試設計とシミュレーションで妥当性を確認した ・排気50%圧力損失低減を確認した。 ・励振力データを取得し現象のメカニズムを考察・解明した。	達成
⑤境界層制御高性能圧縮機	・前方段の負荷を+10%高めた条件で、段効率+1%向上 ・中後方段に対し、多段条件での動翼チップクリアランス流れデータを取得。 ・多段モデル圧縮機試験装置の計画	・前方段の負荷を約10%高め、段効率+1%向上を確認した。 ・多段条件での動翼チップクリアランス流れデータを取得。 ・多段モデル圧縮機試験装置の計画、一部製造に着手した。	達成

要素技術	目標・指標（中間評価時点）	成果（中間評価時点）	達成度
⑥超高性能サイクル	・エクセルギ分析・評価	・発電効率57%以上の達成目途。 ・エクセルギ損失の発生部位を定量評価した。	達成
⑦高機能構造技術	・各種構造コンセプトの比較検討 ・1600℃級でクリアランスデータの取得準備	・構造コンセプトを考案し、比較検討を実施。 ・データ取得準備完了。11月に計測予定。	達成
⑧高性能シール	・リーフシール基礎試験装置の製作とデータ取得	・リーフシールの基礎データを取得した。	達成
⑨先進製造技術	・長穴加工L/D>250 ・溶接変形の20%以上低減 ・高強度の中子・鋳型の候補材抽出	・長穴加工を実施し、L/D>250を達成した。 ・レーザー溶接工法最適化で、変形を20%低減目途を得た。 ・鋳型原料・スラリー条件を決定し、候補材を抽出した。	達成
⑩超高温強度評価技術	・高温域での設計に向けた材料データ取得 ・超高温域長時間使用後データ取得に着手	・高温域での材料データを取得した。 ・試験に着手。5000hr後のデータはH25年度末に完了予定。	達成
⑪特殊計測技術	・高温での動翼振動計測技術（非接触）の開発と計測実施 ・高温での動翼チップクリアランス計測準備	・実機ガスタービンで、翼振動データを取得した。 ・チップクリアランスセンサーを開発、11月に計測予定	達成
⑫検査技術	・直径φ0.7mmのき裂検知極小センサの試作 ・試計測の実施により、検知精度0.5mm	・直径φ0.7mmの極小ファースコープセンサーを試作。 ・0.5mmのき裂検知の目途を得た。	達成
⑬ダンパ振動制御技術	・振動数やダンピングの基礎データ取得	・基礎データを取得し改良ダンパの検討に着手した。	達成

(2) 目標及び計画の変更の有無

なし

< 共通指標 >

論文数	投稿	発表	特許
6	7	15	22

総合評価概要

1600℃級GT（J形）で培った技術をベースとして1700℃級の実証を行う事業であるが、その前半の4年間で要素技術開発を行う計画であり、技術的課題を着実に整理・解決しながら開発を行っていく姿勢は高く評価できる。特に TBC 技術、非定常計測に基づく不安定燃焼の制御技術、特殊計測技術などは世界に誇れる日本の革新的技術となるだけでなく、この開発過程において解決される技術的課題は、関連学問分野を大きく牽引することが期待できる。

1700℃級ガスタービンの実用化技術開発では、送電端効率56%（HHV）という高い目標を設定していたが、研究開発が順調に進展し、実証事業ではさらに高い効率に目標を設定し直し、挑戦的開発が続いている。各種試験結果が定量的に評価されてきた成果であると考ええる。

経済性にも優れ、将来的には石炭や固体バイオマス燃料をガス化することで、例えば IGCC の主機としての適用も期待される技術で、事業として早い完成が期待される。

また、超高効率ガスタービンに係る技術分野では、日本企業が素材の開発・加工から、部品・部材の設計・製造、プラントの設計・施工・運営の各分野で世界をリードしているが、1700℃級ガスタービンを諸外国に先駆けて実用化できれば、きわめて大きな事業成果につなげることができると考えられる。また、各要素技術の開発が計画通り順調に進んでおり、高く評価できる。

さらに、高効率ガスタービンは、今後の火力発電効率化の鍵を握る主要技術であるとともに、環境負荷低減につながる技術でもある。実証事業の加速化も視野に入れて対応いただきたい。

なお、送電端効率57%（HHV）という非常に挑戦的な目標を定めているので、実証事業で予期せぬトラブルの発生により、研究・開発速度の遅れを危惧している。実証機の開発と製造およびその実証試験で十分なデータを取得するのに、5年間の実施期間で十分であるか疑問がある。

また、実用化技術開発段階での目標（送電端効率56%）に比べて、1%高い目標設置を可能とした技術的根拠を明らかにしていただきたい。

成果、目標の達成度について、すべて「達成」と説明されているが、達成に至るまでの過程で当初想定されていなかった問題点や課題が生じていた場合は、その内容や対処状況なども報告していただきたい。

保守コスト低減に向けた取り組みも必要。実際に運用するにあたっては、取替基準等の評価が課題となるため、高温部品の損傷・劣化機構の解明と余寿命評価、保守管理手法等に関する開発も視野に入れて対応いただきたい。

今後の研究開発の方向等に関する提言

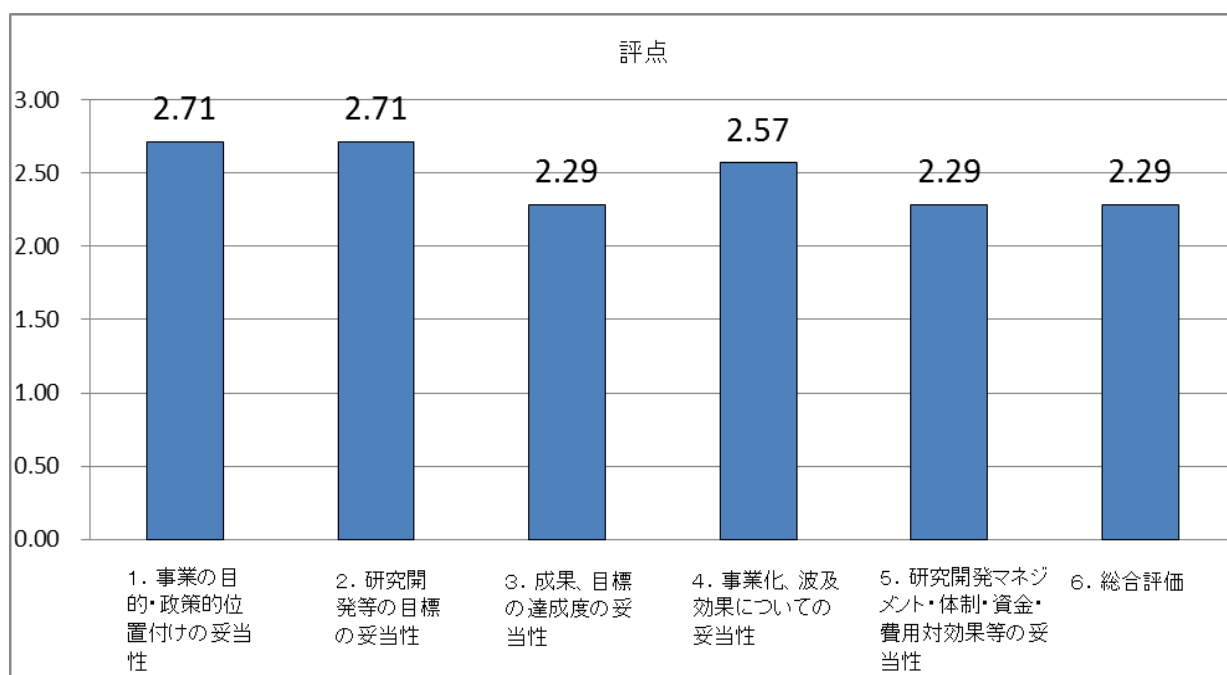
タービンなどの寿命がメンテナンスコストを決めるので効率ばかり追わないで総合的に捉える必要がある。オリジナルな技術が1つでも必要である。特許作戦で差を付ける。そして、国際プロジェクト化して日本はリーダーとなること。

評点結果

評点法による評点結果

(B1 1700℃級ガスタービン実用化技術開発事業)

	評点	A 委員	B 委員	C 委員	D 委員	E 委員	F 委員	G 委員
1. 事業の目的・政策的位置付けの妥当性	2.71	2	2	3	3	3	3	3
2. 研究開発等の目標の妥当性	2.71	2	3	3	3	3	3	2
3. 成果、目標の達成度の妥当性	2.29	2	2	3	3	2	2	2
4. 事業化、波及効果についての妥当性	2.57	3	3	3	3	2	2	2
5. 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等の妥当性	2.29	2	2	3	3	2	2	2
6. 総合評価	2.29	2	2	3	3	2	2	2



技術に関する事業

技術に関する 事業名	B. 高効率ガスタービン実証事業 B2. 高湿分空気利用ガスタービン実証事業
上位施策名	省エネルギーの推進
担当課	資源エネルギー庁 電力基盤整備課

事業の目的・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。

予算額等（補助（補助率：2/3））

（単位：千円）

開始年度	終了年度	中間評価時期	事後評価時期	事業実施主体
平成 24 年度	平成 32 年度	平成 25 年度	—	日立製作所等
H24FY 予算額	H25FY 予算額	—	総予算額	総執行額
714, 527	1, 072, 600	—	38, 271, 127	679, 447

目標・指標及び成果・達成度

(1) 全体目標に対する成果・達成度

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

(2) 目標及び計画の変更の有無

なし

< 共通指標 >

論文数	投稿	発表	特許
6	7	15	22

総合評価概要

現在までに3MW級実証試験および40MW級試験装置を用いてデータの取得と実証試験を行ってきた経緯があり、最終的な目標である10万kW級の小中容量機の高効率化実証に向けて準備は整っていると考える。ただし、実用化に向けて必要となる技術課題は依然として多く残されており、それをH27までの期間に集中して行い、その後、実証試験に移るという計画も概ね妥当であると考ええる。

本事業の実用化段階では、既設の同容量機と比して10%程度も高い効率の実現が期待できるため、我が国における需要は高く、費用対効果も極めて高いと考える。

また、本事業は将来的に水素燃焼ガスタービンやIGHATへ応用することも検討されており、高い波及効果を有している。現在までに、国内外から高い評価を得ている国産の技術であり、事業化も期待されているので、現在までの開発速度を落とすことなく開発・研究が進展することを期待する。

なお、バイオマス起源のガス燃料への適用技術など、ガスタービンの燃料多様化技術は重要である。バイオガスは一般的に発熱量が低いため、ことに高湿分空気中での燃焼特性はLNGとは大きく異なることが予想されることから、基礎的燃焼特性の把握など、大学などとの共同研究が望まれる。

また、発電規模に対する開発コストを勘案すると、相当の費用圧縮が必要と思われる。

さらに、本技術については日本オリジナルな技術であるところから、世界から孤立する恐れがある。世界をリードする意味でプロジェクトの国際化をするべきで、その結果が世界標準となる。

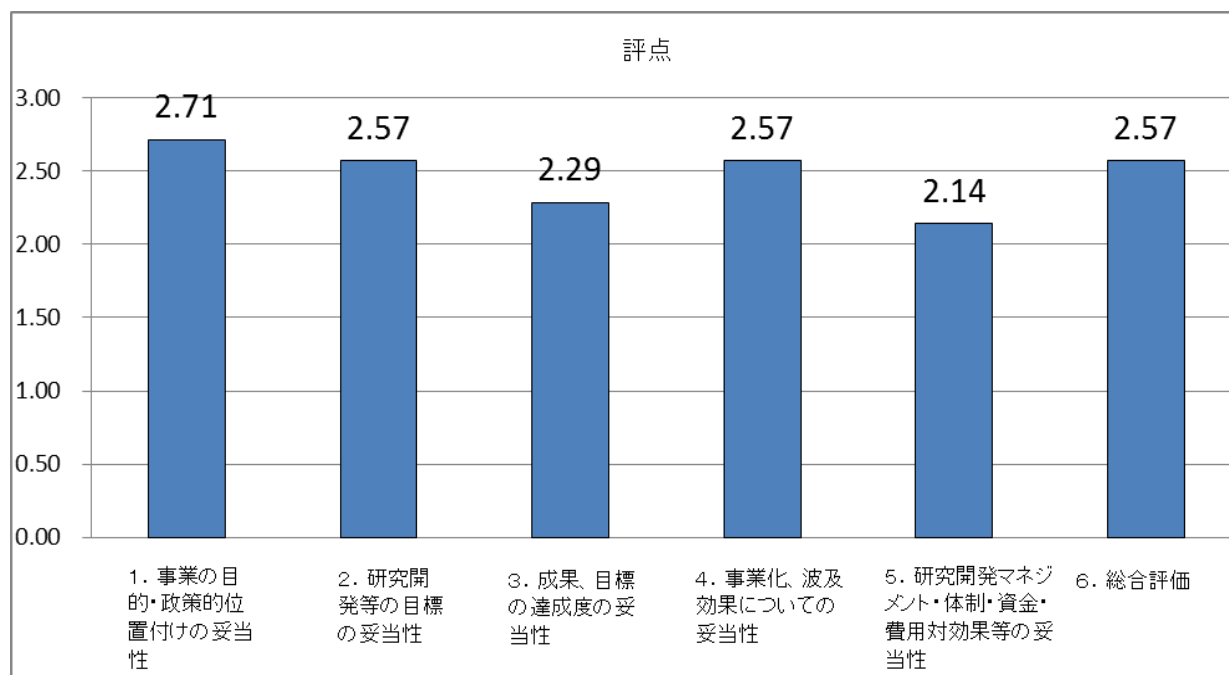
今後の研究開発の方向等に関する提言

なし

評点結果

評点法による評点結果 (B2 高湿分空気利用ガスタービン実証事業)

	評点	A 委員	B 委員	C 委員	D 委員	E 委員	F 委員	G 委員
1. 事業の目的・政策的位置付けの妥当性	2.71	2	3	3	3	3	2	3
2. 研究開発等の目標の妥当性	2.57	2	3	3	3	3	2	2
3. 成果、目標の達成度の妥当性	2.29	2	2	3	3	2	2	2
4. 事業化、波及効果についての妥当性	2.57	3	3	3	3	2	1	3
5. 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等の妥当性	2.14	2	2	3	3	2	1	2
6. 総合評価	2.57	2	3	3	3	2	2	3



技術に関する事業

技術に関する事業名	C. 先進超々臨界圧発電実用化要素技術開発
上位施策名	エネルギー源の多様化・エネルギーの高度利用
担当課	資源エネルギー庁 電力基盤整備課

事業の目的・概要

従来型石炭火力発電の中で最高効率である超々臨界圧火力発電（USC）は、蒸気温度の最高温度は、630℃程度（送電端熱効率 42～43%）が限界と言われてきた。しかしながら、近年の材料技術の進歩により、700℃以上の蒸気温度を達成できる可能性が見えてきたことから、これらの材料を活用した先進超々臨界圧火力発電（A-USC）の開発を行う。

A-USC は、蒸気温度 700℃級で 46%、750℃級で 48%の高い送電端効率の達成が可能な技術であり、2020 年以降増大する経年石炭火力発電のリプレース及び熱効率向上（二酸化炭素排出量低減）需要に対応するため、早急に技術開発を進める必要がある。

予算額等（補助（補助率：2/3））

（単位：千円）

開始年度	終了年度	中間評価時期	中間評価時期	事業実施主体
平成 20 年度	平成 28 年度	平成 22 年度	平成 25 年度	民間事業者 10 社
H23FY 予算額	H24FY 予算額	H25FY 予算額	総予算額	総執行額
1,099,942	1,102,598	1,524,469	9,000,000	3,595,042

目標・指標及び成果・達成度

(1) 全体目標に対する成果・達成度

①システム設計、設計技術開発

要素技術	目標・指標	成 果	達成度
システム設計 設計技術	システム設計により熱効率46%以上、発電コストが従来 USC と同等	熱効率46%を確認した。 従来のUSC並み以下の発電コストであることを確認した。	達成

②ボイラ要素技術開発

要素技術	目標・指標	成 果	達成度
ボイラ要素技術	6種類のNi基合金と3種類の9Cr鋼で大径管、小径管を試作し、3万時間程度の材料試験を実施した。	3万時間程度の試験結果を10万時間まで外挿することにより、材料強度の目標を達成できる見通しを得た。 今後、実際に10万時間まで試験を継続し、確認をする。	達成

③タービン要素技術開発

要素技術	目標・指標	成 果	達成度
タービン要素技術	ロータ、ケーシング候補材料について、3万時間程度の材料試験を実施した。	3万時間程度の試験結果を10万時間まで外挿することにより、材料強度の目標を達成できる見通しを得た。 今後、実際に10万時間まで試験を継続し、確認をする。	達成

④高温弁要素技術開発

要素技術	目標・指標	成 果	達成度
高温弁要素技術	要素試験により材料選定作業を行う。	弁材料の摺動試験、水蒸気酸化試験等を実施し、700℃条件下で使用できる材料の組合せがあることを見出した。実機高温弁の設計を実施し、鑄造による大型弁ケーシングの製造性を確認した。	達成

⑤実缶試験・回転試験

要素技術	目標・指標	成 果	達成度
実缶試験・回転試験	試験設備の基本設計を完了する。	試験設備の基本設計を完了した	達成

(2) 目標及び計画の変更の有無

なし

<共通指標>

論文数	学会誌等 投稿数	発表数	特許件数
10	7	59	1

総合評価概要

A-USC技術は、我が国の昨今のエネルギー事情を考えると不可欠の技術であり、着実に計画に則った成果を挙げていると判断する。蒸気温度を 700℃以上に上昇させることで高温となるボイラ、タービン、高温弁の材料開発を中心とした試験時間の長い開発・研究を継続的に行っており、現在までに得られたデータは貴重である。特に 3～7 万時間にも及ぶ材料の長期高温試験からは、貴重な成果と知見が得られることと考える。これらの基礎データから 10 万時間の材料特性を外挿によって推定する過程の不確かさが懸念であったが、試験データを見る限り、現在までは妥当な結果が得られていると評価できる。

本事業の波及効果としては、ガスタービンコンバインドサイクルへの導入による高効率化が挙げられ十分に大きいと判断できる。

以上より現時点での中間評価としては十分な成果であり、これを基にした今後の実証機検証を期待したい。

なお、現在のUSC火力で用いられている高クロム鋼の溶接部で発生している損傷事例も踏まえ、Ni基材の経年化に伴うクリープ強度評価や寿命診断技術などにも取り組んでもらいたい。

また、蒸気温度の上昇に伴う高温対策と評価を、ボイラ、タービン、高温弁を中心に行っているが実証に向けて他の部材への影響評価を十分に行って頂くとともに、材料評価にとどまらず、例えばタービンの性能や効率、信頼性や運用性に関する評価や検証を期待したい。

さらに、経済性に優れるとともに長期信頼性を有した材料の開発が必要となる。検証を確実に実施しながら材料開発をお願いしたい。

今後の研究開発の方向等に関する提言

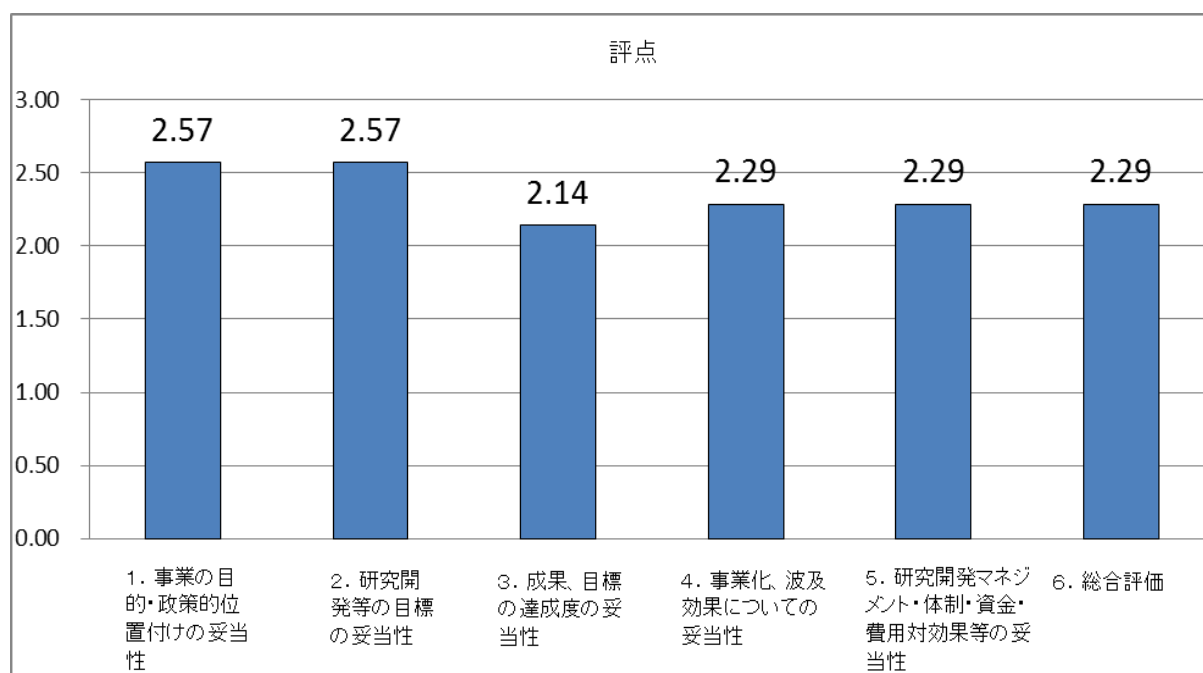
なし

評点結果

評点法による評点結果

(C 先進超々臨界圧火力発電実用化要素技術開発事業)

	評点	A 委員	B 委員	C 委員	D 委員	E 委員	F 委員	G 委員
1. 事業の目的・政策的位置付けの妥当性	2.57	2	2	3	3	3	3	2
2. 研究開発等の目標の妥当性	2.57	2	2	3	3	3	3	2
3. 成果、目標の達成度の妥当性	2.14	2	2	3	2	2	2	2
4. 事業化、波及効果についての妥当性	2.29	2	2	3	3	2	2	2
5. 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等の妥当性	2.29	2	2	3	3	2	2	2
6. 総合評価	2.29	2	2	3	3	2	2	2



技術に関する事業

技術に関する 事業名	D. 次世代型双方向通信出力制御実証事業
上位施策名	再生可能エネルギーの安定供給確保
担当課	資源エネルギー庁 電力基盤整備課

事業の目的・概要

太陽光発電の大量導入に備え、系統状況によって外部からの通信信号に応じて出力をコントロールできる太陽光発電用 PCS (Power Conditioning System: 直流交流変換装置) を開発するとともに、通信と組み合わせた実証試験を実施する。

予算額等 (補助 (補助率: 1/2))

(単位: 千円)

開始年度	終了年度	事前評価時期	中間評価時期	事業実施主体
平成 23 年度	平成 25 年度	平成 22 年度	平成 25 年度	東京大学等
H23FY 予算額	H24FY 予算額	H25FY 予算額	総予算額	総執行額
800,000	459,158	108,000	1,367,158	491,329

目標・指標及び成果・達成度

(1) 全体目標に対する成果・達成度

要素技術	目標・指標	成 果	達成度
①通信による出力制御が可能な太陽光PCS(住宅用、事業用)	・通信機能付き太陽光発電用PCSの開発 ・通信信号に応じて出力をコントロールできること	通信による出力制御実証試験を行う機能を検討し、通信装置とのインターフェースの共通仕様を取り纏め、それらを具備する機器開発を実施し、開発機器の動作試験および通信装置との接続試験を実施した。また現在、実環境へPCSを設置しフィールド試験を実施中であり、結果は良好である。事業終了時には全評価が完了する見込みである。	達成

要素技術	目標・指標	成 果	達成度
②通信による出力制御が可能な蓄電池用PCS	・通信機能付き蓄電池用PCSの開発 ・通信信号に応じて出力をコントロールできること	充・放電電力制御方法や主回路定格などの基本仕様ならびに通信機能仕様を検討し、それらを具備する機器開発を実施し、開発機器の動作試験および通信装置との接続試験を実施しており結果は良好である。今後は、実フィールドにおける試験および評価を実施し、事業終了時には完了する見込みである。	達成

要素技術	目標・指標	成 果	達成度
③電圧調整機能付きPCS	・シミュレーション等の検討で選定された最適な制御方式を具備したPCSの開発 ・安定的に動作すること	各種シミュレーションを実施した上で、電圧上昇抑制効果やSVR(Step Voltage Regulator: 電圧調整器)タップ動作への影響、SVC(Static Var Compensator: 静止型無効電力補償装置)制御機能への影響、制御の安定性などを評価項目として、定力率制御方式、電圧依存型定力率制御方式を実証器に具備する制御方式として選定するとともに、基本制御仕様を検討・確定した。さらに前者を組み込んだ3kW級PCSおよび後者を組み込んだ50kW級PCSを製作し、工場試験を実施した。今後は、実フィールドにおける試験および評価を実施し、事業終了時には完了する見込みである。	達成

要素技術	目標・指標	成 果	達成度
④双方向通信機器	・PCSの出力制御を実現する種々の双方向通信機器の開発 ・安定的かつ確実に動作すること	センターサーバ～PCS間の構成、通信手順、電文形式等を議論のうえ取り纏め、PCSの制御を目的とした各種双方向通信において必要となる機器を開発した。また、開発した機器を実証フィールドおよび各社敷地内等において試験を実施した。現在、年間を通じたデータの取得や各種条件下における試験および評価を実施中であり、結果は良好である。事業終了時には全評価が完了する見込みである。	達成

要素技術	目標・指標	成 果	達成度
⑤サイバーセキュリティ関連機器	・通信ネットワークに内在する脆弱性の検討・セキュリティ技術の開発 ・想定される攻撃からネットワークを保護できること	スマートグリッドシステムのセキュリティに関わる文献調査などにより、セキュリティリスクに対する対策方針について検討を行った。また、開発した侵入検知システムを青森フィールドに導入し、作成した対策方針を参考に、複数の検知方法で評価を実施し、その結果より検知率の向上方策を検討した。今後はシステムの試験を引き続き実施し、事業終了時には評価を完了する見込みである。	達成

(2) 目標及び計画の変更の有無

なし

<共通指標>

論文数
6

総合評価概要

4つの要素技術に対して明確な目標を定め、計画に従って着実に成果を挙げており、現在までの経緯は高く評価できる。特に、住宅用、事業用 PCS に関しては実環境下に設置したフィールド試験を実施中であり、良好な成果が得られている。また、蓄電池用 PCS や電圧調整機能付き PCS の開発に関しても、それぞれ接続試験や工場試験を実施済みであり、実フィールド試験を残すのみとなっている。PCS 出力の制御を行うための種々の双方向通信機器の開発も各種行われており、試験データが蓄積されている。さらに、サイバーセキュリティ関連機器の開発に関しては、検知システムのフィールド試験を既に実施している。このように4つの要素技術各々についての進捗状況は概ね良好であると評価する。

この技術は、明確な目標と実施計画に基づき、企業、大学および電力会社が有機的に協力して展開されており、その研究・開発体制も適切であり、今後の発展が期待できる。

更に、本実証事業に留まらず太陽光発電の大量導入に関連する「次世代送配電系統最適制御技術実証」ならびに「太陽光発電出力予測技術開発実証」とも密に連携が図れている点も評価できる。

なお、本事業で得られた成果（開発された技術）を社会に適用していくためには、政策が中心となって例えば採用すべき通信方式の決定などを行っていく必要があり、政策当局による、本事業の成果の活用を期待する。また、実際に事業化するか否かについては、国の政策面での後押しが必要。さらに、このようなシステムではサイバーセキュリティが重要なので、サーバーを守るだけではなく、システム全体のセキュリティを考えてほしい。

今後の研究開発の方向等に関する提言

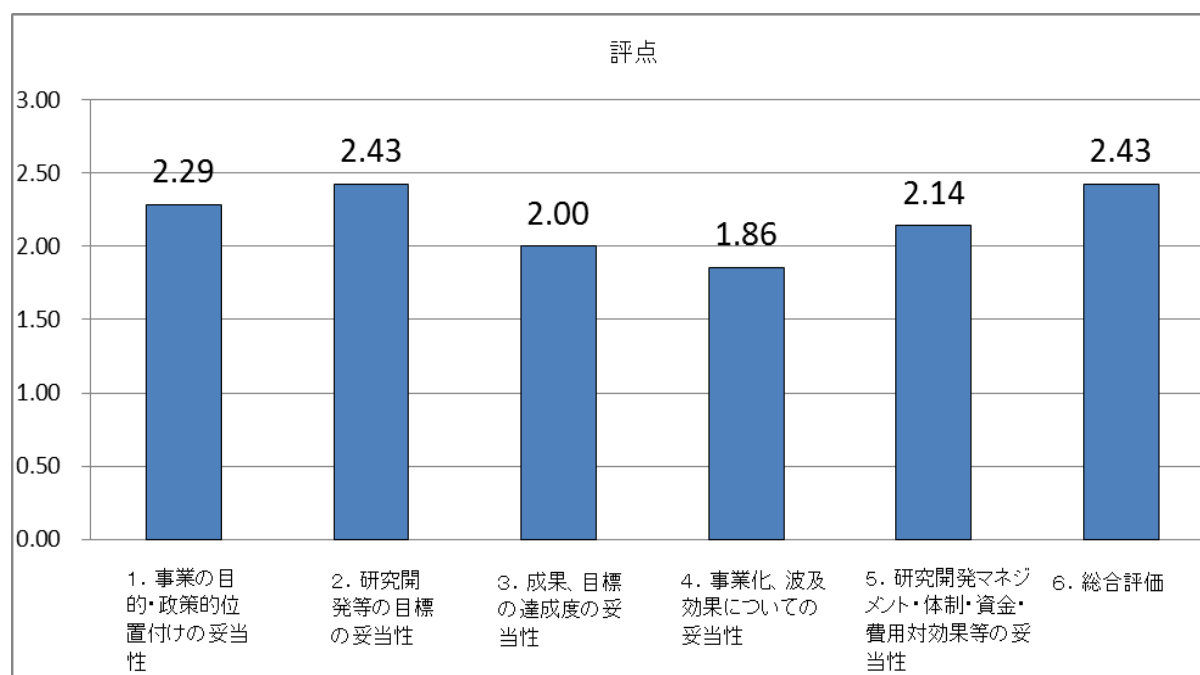
産官学の様々な実施者によるオープンイノベーションの促進、公的資金による研究の成果は公共財であるとの認識による成果・データに対するオープンアクセスの提供などの実現を期待する。

評点結果

評点法による評点結果

(D 次世代型双方向通信出力制御実証事業)

	評点	A 委員	B 委員	C 委員	D 委員	E 委員	F 委員	G 委員
1. 事業の目的・政策的位置付けの妥当性	2.29	3	2	2	3	2	3	1
2. 研究開発等の目標の妥当性	2.43	3	1	3	3	2	3	2
3. 成果、目標の達成度の妥当性	2.00	3	1	3	2	2	2	1
4. 事業化、波及効果についての妥当性	1.86	2	2	2	3	1	2	1
5. 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等の妥当性	2.14	2	1	3	3	2	3	1
6. 総合評価	2.43	3	2	3	3	2	3	1



技術に関する事業

技術に関する 事業名	E. 太陽光発電出力予測技術開発実証事業
上位施策名	再生可能エネルギーの安定供給確保
担当課	資源エネルギー庁 電力基盤整備課

事業の目的・概要

太陽光発電大量導入時に必須となる、太陽光発電の出力状況把握や出力予測のための技術開発を行う。

予算額等（補助（補助率：1/2））

（単位：千円）

開始年度	終了年度	事前評価時期	中間評価時期	事業実施主体
平成 23 年度	平成 25 年度	平成 22 年度	平成 25 年度	東京大学等
H23FY 予算額	H24FY 予算額	H25FY 予算額	総予算額	総執行額
100,000	90,000	33,000	223,000	137,765

目標・指標及び成果・達成度

(1) 全体目標に対する成果・達成度

要素技術	目標・指標	成 果	達成度
日射量観測データや気象衛星データからの日射量推定 (課題⑧-1)	統合日射量データベースを構築する。	気象衛星画像から日射量を推定する手法を、需給運用上のニーズに合うよう改良した。 衛星推定日射量に日射計観測値を用いた誤差補正を行うことで精度向上を図った。	達成
空間線形回帰法(クリギング)に基づく空間補間による日射量推定 (課題⑧-2)	リアルタイムの日射量マップの作成を目指し、地球統計学の空間線形回帰法(クリギング)に基づく日射の空間補間法を地域PV発電出力把握に適した手法に改良する。	これまでの10km四方位程度を推定する空間補間法を、電力系統の需給エリアで適用できるよう、面的広がり大きさの違いによる変動平滑化効果を考慮して改良した。 日射量の空間補間法を元に、気温に関する空間補間を行う技術を開発した。	達成
気象衛星データを用いた日射量推定 (課題⑧-3)	水平スケール別・天気パターン別に作成した日射量の評価指標値より、水平スケール別・天気パターン別の日射量推定手法の適用範囲を明確にする。	面的な日射特性の把握に必要な評価指標を選定し、天気区分別やエリアの広さ別等各状態における最大変化幅等を見積もることを可能とした。 衛星画像から推定した面的な日射量(東京大学竹中特任研究員作成)に対し観測値で補正し推定精度を向上する手法を構築した。	達成

要素技術	目標・指標	成 果	達成度
時間スケールに応じた日射量予測 (課題⑧-4)	日本気象協会保有の数値予報モデル(SYNFOS-3D)や統合日射量データベースなどを用いて日射量予測手法を開発する。	数時間先の予測は気象モデルではなく移動予測手法を用いるなど、予測する時間スケールにより予測手法を変えた。 翌日予測では、気象モデルに統計的手法を組み合わせて、精度の向上を図った。	達成
気象モデルによる日射量の予測 (課題⑧-5)	電力中央研究所保有の気象予測・解析システム(NuWFAS)をベースとして、当日・翌日の気温・風速・日射量を予測する。	既開発の気象予測・解析システムを、翌日・当日の日射量を予測するシステムに改良し、予測を行った。	達成
気象予測モデルおよび統計手法を用いた日射量の予測 (課題⑧-6)	数値予報データを利用した統計学的手法により日射量を予測するモデルを構築する。	気象庁数値予報データ(GPV)の雲量を入力データとし、統計解析により日射量予測値を出力するモデルを作成した。	達成

要素技術	目標・指標	成 果	達成度
地域の太陽光発電導入状況に対応した太陽光発電出力推定 (課題⑧-7)	地域PV導入状況の違いを考慮可能な推定法を検証し、実運用時に地域毎に予め調査が必要なPV設置状況の要素を整理する。	地域のPV導入状況に対応したPV出力推定を可能とする個別PVの発電出力推定手法の精度評価を行い、出力推定に影響を与える要素(パネルの方位、角度など)を整理した。	達成
統計手法を用いた太陽光発電出力推定 (課題⑧-8)	日射量推定・予測値を元に、過去の実測データによる学習および補正などを適用しPV出力を推定する手法を開発する。	需給計画・運用のニーズに基づきPV出力を推定する時間・空間解像度を決定した。 PV出力に大きな影響を与える日影および積雪について、推定精度向上のための評価を行った。	達成
日射量推定結果からの太陽光発電出力推定 (課題⑧-9)	太陽光パネル設置地点の位置、パネルの方位・角度・温度、さらにはパネルの種類やPCSの変換効率ほか様々な要因が、日射量から太陽光発電出力への推定に与える影響を整理する。	PVパネル設置方向と傾きを推定する手法を検討し、ほぼ正しく推定できる見込みが得られた。 PVの出力推定および出力予測アルゴリズムの開発のための誤差要因を分析し、観測地点毎と、複数の観測地点があるエリアのPV出力推定モデルに適用し、精度を確認した。	達成
各種統計モデルと配電線潮流を用いた配電-全体系統の太陽光発電出力推定 (課題⑧-10)	配電線レベルの広さのPV出力の推定を行う手法を開発する。	PV出力と日射量・気温、需要の関係をモデル化するために計測データの分析を行い、相関を求めた。 配電(地域)レベルのPV出力推定機能の開発を行い、需要モデルを利用することで、精度が上がることを確認した。	達成
統計処理による太陽光発電電力量推定 (課題⑧-11)	簡易的な手法により、地域の日射強度から発電電力量を推定する手法を開発する。	簡易な統計手法を用いた発電電力量推定モデルを構築した。	達成

要素技術	目標・指標	成 果	達成度
日射量データ分析 (課題⑧－１２)	太陽光発電の大量普及時に、太陽光発電電力量の予測や出力を推定する技術の観点から、用途・目的に応じて日射量や太陽光発電の発電量データがどの程度の空間密度、計測サンプリングで必要であるかを考察する。	PV300で設置した日射計のデータを様々な角度から分析し、太陽光発電の大量普及時に太陽光発電電力量の予測や出力を推定する技術の観点から、電力システムの運用という用途・目的に応じて日射量や太陽光発電の発電量データがどの程度の空間密度、計測サンプリングで必要であるかを考察するための基礎分析を行った。	達成

(2) 目標及び計画の変更の有無

なし

<共通指標>

論文数
18

総合評価概要

将来的な再生可能エネルギーの有効利用に備えて、太陽光発電に不可欠な出力予測技術の開発は重要であり、本技術の必要性や有効性は高く評価できる。また、大学や企業に加えて電力10社が参加する実施体制も十分であると考える。

太陽光発電の出力の予想精度が向上すると、太陽光発電の供給力への参入がより正確にできるようになり、系統容量に対する太陽光発電の導入可能量の拡大、系統全体の効率化などの成果が期待できることから、国策として推進されている再生可能エネルギーの導入拡大策の一環として、国が取り組むべき

技術開発分野と考えられる。

なお、本技術の最終目標である発電出力の予測は、日射量などの気象データから推定されるもので、長期間にわたる高精度な観察が不可欠であり、3年間という短時間に信頼できる日射量データベースの構築が可能であるのかがまず疑問である。また、気象モデルから日射量を推定する技術に関しても、特に新規性は認められず、一つの組織で考案・検討された成果が中心であり、大掛かりな実施体制を必要とする成果であるとは判断できない。実施者間の連携が有効に機能しているのか疑問が残る。

当該研究は先行研究が多数存在することが考えられ、それらの成果がどのように利用されているのか、あるいはこれからどのように利用しようとしているのかも不明である。基礎研究が多く、事業化に向けての道のりはまだ相当長いと考えられる。

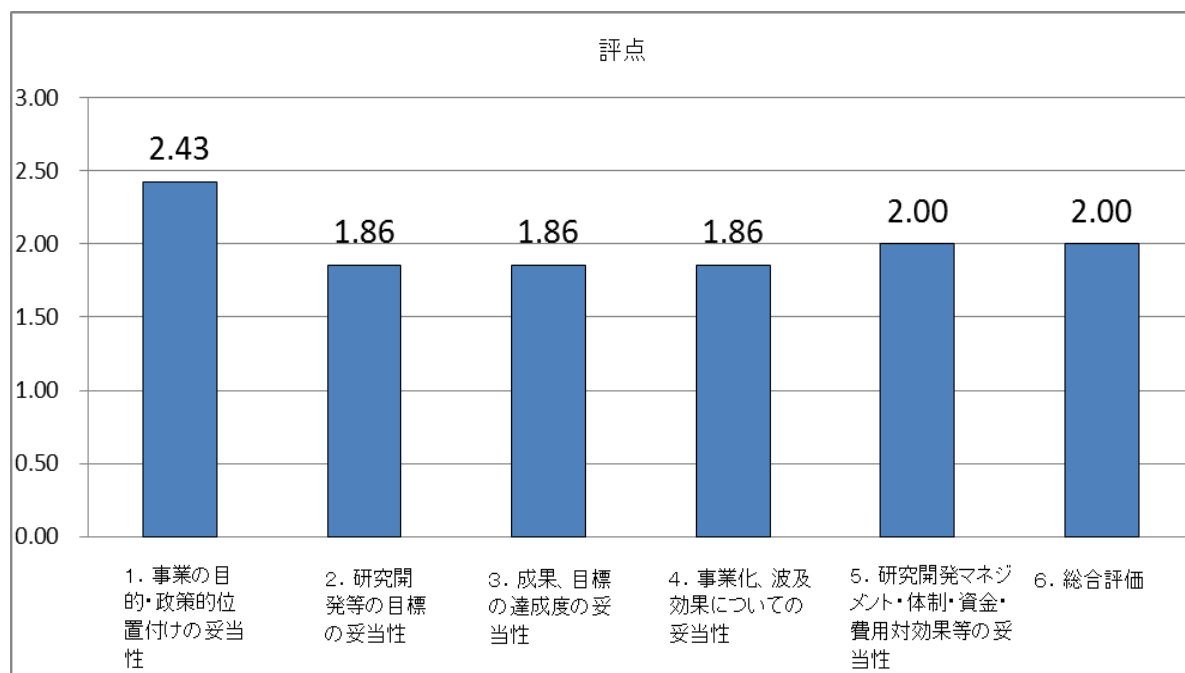
今後の研究開発の方向等に関する提言

産官学の様々な実施者によるオープンイノベーションの促進、公的資金による研究の成果は公共財であるとの認識による成果・データに対するオープンアクセスの提供などの実現を期待する。

評点結果

評点法による評点結果 (E 太陽光発電出力予測技術開発実証事業)

	評点	A 委員	B 委員	C 委員	D 委員	E 委員	F 委員	G 委員
1. 事業の目的・政策的位置付けの妥当性	2.43	3	2	3	2	2	3	2
2. 研究開発等の目標の妥当性	1.86	2	1	2	2	2	3	1
3. 成果、目標の達成度の妥当性	1.86	2	1	2	2	2	2	2
4. 事業化、波及効果についての妥当性	1.86	2	2	2	3	1	2	1
5. 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等の妥当性	2.00	2	2	3	2	1	3	1
6. 総合評価	2.00	2	2	2	2	2	3	1



総合科学技術会議が実施する
国家的に重要な研究開発の評価

「高効率ガスタービン技術
実証事業費補助金」
の評価結果

平成 23 年 12 月 15 日

総合科学技術会議

目 次

1.	はじめに	1
2.	評価の実施方法	2
2.1.	評価対象の概要	2
2.2.	評価目的	2
2.3.	評価方法	3
3.	評価結果	6

参考1 評価専門調査会 名簿

参考2 評価検討会 名簿

参考3 審議経過

参考4 第1回検討会 経済産業省提出資料【省略】

参考5 第2回検討会 経済産業省提出資料【省略】

1. はじめに

総合科学技術会議は、大規模な研究開発その他の国家的に重要な研究開発について、国の科学技術政策を総合的かつ計画的に推進する観点から、自ら評価を行うこととされている（内閣府設置法第26条）。

このため、総合科学技術会議では、新たに実施が予定される国費総額が約300億円以上の研究開発について評価を行い、その結果を公開するとともに、評価結果を推進体制の改善や予算配分に反映させることとしている。評価にあたっては、あらかじめ評価専門調査会が、必要に応じて専門家・有識者の参加を得て、府省における評価の結果も参考に調査・検討を行い、総合科学技術会議はその報告を受けて結果のとりまとめを行うこととしている。

「高効率ガスタービン技術実証事業費補助金」は、平成24年度予算概算要求において、経済産業省が新たに実施することとした事業であり、平成24年から平成32年までの9年間の国費総額約536億円（全体事業費約804億円）を見込む大規模研究開発である。総合科学技術会議では、評価専門調査会に当該研究開発に関係する分野の専門家・有識者を交えて調査・検討を行った。その結果を踏まえて評価を行い、その結果をここにとりまとめた。

総合科学技術会議は、本評価結果を関係大臣に通知し、実施計画や推進体制の改善、予算配分への反映を求めるとともに、評価専門調査会において、その実施状況をフォローアップすることとする。

2.3. 評価方法

(1) 評価検討会の設置

評価に必要な調査・検討を行うため、評価専門調査会[参考 1]の有識者議員1名、専門委員 3 名に、外部より当該分野の専門家・有識者 4 名の参加を得て、評価検討会を設置した[参考 2]。

当該分野の専門家、有識者の選任においては、評価専門調査会会長がその任に当たった。

(2) 評価時期

評価結果を推進体制の改善や予算配分に反映させる必要があるため、予算概算要求提出後、10 月より調査・検討を開始し、年内に評価結論を得ることとした[参考 3]。

(3) 調査・検討方法

ア. 過程

- ・ 第 1 回評価検討会において、経済産業省の担当室長他から研究開発等の内容について説明を受け[参考 4]、質疑を行い、イ. の調査・検討項目を念頭に問題点や論点候補について議論した。その後、この議論と評価検討会委員から提出された追加質問に基づく追加説明依頼項目について、経済産業省へ対応を依頼した。また、評価検討会委員からの評価コメントを踏まえ、論点を整理した。
- ・ 第 2 回評価検討会において、追加説明依頼項目について経済産業省から説明を受け[参考 5]、質疑を行い、問題点や論点を議論した。

(2)調査・検討に係る基本的な項目

A. 科学技術上の意義

科学技術上の目的・意義・効果等。

B. 社会・経済上の意義

社会・経済上の目的・意義・効果等。

C. 国際関係上の意義

国際貢献・役割分担、国益上の意義・効果等。

D. 計画の妥当性

目標・期間・予算・体制・人材や安全・環境面等からの妥当性。

E. 運営等

事前評価の実施状況、評価結果の反映の仕組等。

ウ. その他

評価検討会は非公開としたが、資料は公表に適さないとされた部分を除き検討会終了後に公表。また、議事概要については発言者による内容確認後に非公表情報、発言者の氏名を除き公表。

た、中小容量機についても、高湿分燃焼という他に類を見ない新たなシステムであるため、液滴によるエロージョン対策等、長期信頼性を確保する技術開発が必要であり、国の支援の下で取り組む意義がある。

以上のとおり、本事業は、その実施意義や必要性は高いと認められ、また、国際的に激しい技術開発競争下にあることから、国として早急に取り組むべきものと判断される。なお、本事業の実施に当たっては、以下の指摘事項を踏まえた対応を求めるものである。

(2) 指摘事項

①事業の開発フェーズに応じた的確な計画の見直しについて

本事業は、4 年間の要素技術開発(技術開発事前技術検証)とそれを基にした 5 年間の実証試験(約 1 年間の実証機設計、約 2 年間の実証機建設、約 2 年間の実証試験検証)の計 9 年間の計画となっている。

経済産業省においては、産業構造審議会評価小委員会で、3 年ごとの中間評価と事業終了時の事後評価を実施し、また、これとは別に、事業原課が主体となって事業評価検討会を設置して事業開始 4 年目の実証機建設前に中間評価を行い、補助率も含め事業の見直しを行うとしている。その場合の評価について、どのような体制で行うのかということを含め、産業構造審議会評価小委員会が実施する評価との役割分担が必ずしも明確になっていない。

このため、予め、これらの点を明確にし、4 年目に行う中間評価の具体的な評価項目、実施時期、実施方法、評価結果の事業見直しへの反映手順等について、全体の事業計画の中で明確に位置付ける必要がある。これらについては、要素技術開発を開始するに当たって事業実施主体を募集する際の公募要領等にも明示する必要がある。

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

《参考資料》

(参考 1) 評価専門調査会 名簿

(参考 2) 評価検討会 名簿

(参考 3) 審議経過

(参考 4) 第 1 回評価検討会 経済産業省提出資料【省略】

(参考 5) 第 2 回評価検討会 経済産業省提出資料【省略】

参考 1 評価専門調査会 名簿

会長	奥村 直樹	総合科学技術会議	議員
	相澤 益男	同	
	本庶 佑	同	
	白石 隆	同	
	今榮 東洋子	同	
	青木 玲子	同	
	中鉢 良治	同	
	大西 隆	同	

(専門委員)

浅見 泰司	東京大学空間情報科学研究センター長 教授
阿部 啓子	東京大学大学院農学生命科学研究科 特任教授
飯島 貞代	三菱化学株式会社 三菱化学フェロー、ヘルスケア企画室部長
伊藤 恵子	専修大学経済学部准教授
上杉 邦憲	独立行政法人宇宙航空研究開発機構 名誉教授
上野 裕子	三菱UFJリサーチ&コンサルティング 株式会社 主任研究員
尾形 仁士	三菱電機エンジニアリング株式会社相談役
長我部 信行	株式会社日立製作所中央研究所長
河合 誠之	東京工業大学大学院理工学研究科教授
来住 伸子	津田塾大学学芸学部教授
高橋 真理子	朝日新聞編集委員
中馬 宏之	一橋大学イノベーション研究センター教授
中杉 修身	元上智大学教授
中村 崇	東北大学多元物質科学研究所教授
福井 次矢	聖路加国際病院院長
松橋 隆治	東京大学大学院工学系研究科教授
村上 輝康	株式会社野村総合研究所シニア・フェロー

参考 2 評価検討会 名簿

奥村 直樹	総合科学技術会議 議員
座長 松橋 隆治	評価専門調査会 専門委員
伊藤 恵子	同
中杉 修身	同
君島 真仁	芝浦工業大学 システム理工学部 機械制御システム学科 教授
佐藤 義久	大同大学 工学部 電気電子工学科 教授
松村 幾敏	JX 日鉱日石エネルギー 顧問
吉識 晴夫	帝京平成大学 健康メディカル学部 教授

参考 3 審議経過

- | | |
|--------|--|
| 10月11日 | 評価専門調査会
評価検討会の設置、評価時期の確認等 |
| 10月28日 | 第1回評価検討会
経済産業省から事業内容のヒアリング、質疑、論
点の検討
⇒追加質問を整理し、経済産業省へ対応を依頼
⇒委員からの評価コメントに基づき論点を整理 |
| 11月11日 | 第2回評価検討会
追加質問事項に対する追加ヒアリング、評価の骨
子の検討
⇒評価に係る調査・検討結果をとりまとめ |
| 11月29日 | 評価専門調査会
検討会座長から評価に係る調査・検討結果の報
告、評価結果案の検討
⇒評価報告書案のとりまとめ |
| 12月15日 | 総合科学技術会議
評価結果案に基づく審議と評価結果の決定 |

**「高効率ガスタービン技術実証事業費補助金」
のフォローアップ結果**

平成 25 年 11 月 20 日

評価専門調査会

総合科学技術会議では、内閣府設置法第 26 条第 1 項第 3 号に基づき、国の科学技術政策を総合的かつ計画的に推進する観点から、大規模な研究開発その他の国家的に重要な研究開発の評価を実施している。

評価の実施に関しては、「総合科学技術会議が実施する国家的に重要な研究開発の評価について」(平成 17 年 10 月 18 日 総合科学技術会議決定、以下「評価に関する本会議決定」という。)において、国費総額が約 300 億円以上の新規の大規模研究開発については事前評価を行うこととされている。

また、この事前評価を実施した研究開発については、研究開発が開始された後に、評価専門調査会が、事前評価で指摘した事項への対応状況等の確認を行うためのフォローアップを行うこととされている。

総合科学技術会議は、平成 23 年度に、「評価に関する本会議決定」に基づき、経済産業省が実施する「高効率ガスタービン技術実証事業費補助金」について事前評価を実施した。

本事業は、天然ガス火力発電用の高効率ガスタービンにおける先進技術の開発及び長期信頼性の検証を行うための実証試験を行うものである。

総合科学技術会議が平成 23 年 12 月に実施した事前評価では、「事業の開発フェーズに応じた的確な計画の見直し」、「将来の市場獲得に向けた戦略的な取組」等の指摘事項に対応することを前提に、本実証事業を実施すべきとした。

今般、事前評価における指摘事項への対応状況等の確認を行うフォローアップを実施した。

1. 事業の概要

事業名	担当府省名
高効率ガスタービン技術実証事業費補助金	経済産業省

本事業は、天然ガス火力発電用の高効率ガスタービンにおける先進技術の開発及び長期信頼性の検証を行うための実証試験を行うものである。

すなわち、大容量機(40 万 kW 相当)の高効率化のために、1700℃級ガスタービンの実用化に必要な要素技術を適用した各要素モジュールの実証及び実証機による実証試験を実施する。

また、中小容量機(10-20 万 kW 相当)の高効率化で有望とされる高湿分空気利用ガスタービン(AHAT:Advanced Humid Air Turbine)の実用化に必要な高湿分圧縮機等の開発を行うと同時に、システムの長期信頼性を検証するための実証試験を実施する。

本事業は、平成 24 年度から平成 32 年度までの 9 年で実施する計画である。平成 24 年度から平成 27 年度までの 4 年間が要素技術開発(技術開発事前技術検証)、平成 28 年度から平成 32 年度までの 5 年間がそれを基にした実証試験(約 1 年間の実証機設計、約 2 年間の実証機建設、約 2 年間の実証試験検証)の計画となっている。

事業費については、平成 25 年 11 月時点で、9 年間での国費総額約 529 億円(全体事業費約 794 億円:補助率 2/3)が見込まれ、平成 24 年度は約 16.9 億円で実施された。

2. フォローアップの方法等

2.1. フォローアップの方法

評価専門調査会に、評価専門調査会長が指名する専門委員、同会長が選考した専門家から構成するフォローアップ検討会を設置し、経済産業省から、現時点までの事業の実施状況や、事前評価において示された指摘事項への対応状況等を聴取し、その確認を行うとともに今後の課題等を把握した。これに基づき評価専門調査会がフォローアップ結果をとりまとめた。

2.2. ヒアリング項目

- ① 事業の実施概要(目的・目標、事業の体制・計画及び経費、取組状況及び今後の予定・課題等)
- ② 事前評価における指摘事項等への対応状況
- ③ その他

3. フォローアップ結果

事前評価で指摘した事項について、一部を除き、必要な対応が概ね図られているものと認められる。

特に、将来の市場の獲得に関する目標設定や、その実現のための戦略が必要との指摘に対して、世界市場における獲得シェアの目標値を定めるとともに、本事業のコスト試算や競合他社との競争力分析を行い、これらを踏まえた市場獲得に向けた戦略に関する検討が行われている。

しかしながら、こうした対応についても、今後、より具体的な市場獲得戦略の検討等が求められるなど、対応すべき課題が残されている。

以下のとおり、詳細な対応状況を確認するとともに、今後の研究開発の実施に当たり指摘事項への対応を求めるものである。

3.1. 事業の開発フェーズに応じた的確な計画の見直し

3.1.1. 国の予算計画の見直し

(事前評価での指摘事項)

・経済産業省においては、産業構造審議会評価小委員会で、3年ごとの中間評価と事業終了時の事後評価を実施し、また、これとは別に、事業原課が主体となって事業評価検討会を設置して事業開始4年目の実証機建設前に中間評価を行い、補助率も含め事業の見直しを行うとしている。

その場合の評価について、どのような体制で行うのかということを含め、産業構造審議会評価小委員会が実施する評価との役割分担が必ずしも明確になっていない。

このため、予め、これらの点を明確にし、4年目に行う中間評価の具体的な評価項目、実施時期、実施方法、評価結果の事業見直しへの反映手順等について、全体の事業計画の中で明確に位置付ける必要がある。

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

・8年目～9年目の実証試験検証段階においては、実証機による連続運転が行われ、商用機と同様に売電による収入が得られることも想定されることから、これを考慮して段階的に補助率を引き下げていくなどの対応を検討す

るとともに、事業開始までに売電による収入の見込みを反映する形で国の予算計画の見直しが必要である。

【対応状況】

・事業開始4年目である平成 27 年度において、次年度からの実証機設計・製造への移行に先立ち、産業構造審議会研究開発・評価小委員会評価ワーキンググループにおいて中間評価を行い、補助率も含めた事業の見直しを行うこととしている。

事業原課が設置する評価検討会においては、当該分野に関する科学技術的な深い知見や見識のある外部専門家による、科学技術的な観点からの実施内容の評価・助言を行うこととしている。

他方、研究開発・評価小委員会評価 WG においては、政策的、経済・社会的、国際的観点も踏まえつつ、中間評価を行うこととしている。

また、中間評価の実施に向けて、評価項目、実施時期、実施方法、評価結果の事業見直し等について、必要な検討を進めていく予定である。

・本事業が実証段階に入る平成 28 年度予算要求において、中間評価の結果を踏まえ、また、将来の事業の進め方を考慮し、本事業に対する適切な補助率を検討する予定である。

・平成 31 年度及び平成 32 年度の予算要求において、売電収入が発生する場合の補助率のあり方も含め、実証試験の実施スキームについてさまざまな観点から検討する予定である。

【指摘事項】

事業開始 4 年目に行う中間評価の評価項目、実施方法、評価結果の事業見直しへの反映手順等について、現段階で必ずしも明確なものとなっていないことから、中間評価の実施に向けて、その具体化を図る必要がある。

3.2. 将来の市場獲得に向けた戦略的な取組について

3.2.1. 市場獲得について

（事前評価での指摘事項）

ガスタービンの世界総生産額の予測に基づけば、2019 年において、大容量機で年間約 5,000 億円、中小容量機では、年間約 4,000 億円の市場が見込まれるとしているが、本事業の実施を通じて、この市場をどの程度獲得し

ていくかといった目標やその達成に向けた道筋は明確にされていない。

このため、市場調査や海外の技術開発動向の把握を行いつつ、ターゲットとなる市場、競争相手、機器又は技術のセールスポイント、タイムスケジュール等を踏まえた戦略について、検討し示していく必要がある。

【対応状況】

市場や海外での開発動向を踏まえ、本事業におけるコストの試算や、競合他社との競争力の比較分析、これらを踏まえた市場獲得戦略について、検討を行いつつ、研究開発を進めている。

(1) 大容量機

我が国の大容量機の世界市場獲得の目標値として 30%(2020 年代)を設定している。(現状 24%)

このため、設備コストを従来のものと同等程度に抑えつつ、高効率化による燃料費の低減により競争力を高め、シェアを高めていくことを想定している。

1700℃級ガスタービンの実用化後、圧倒的な高効率により国際シェアを高めることに加えて、短期的には、1700℃級ガスタービンのために開発した技術を既存の 1500℃、1600℃級ガスタービンに適用し、高効率化を図って国際競争力を高めることを想定している。

(2) 中小容量機

我が国の中小容量機の世界市場獲得の目標値として 20%(2020 年代)を設定している(現状 4%)。

これは、2006-2010 年の中小容量機の世界シェアにおいて、大手 2 社が全体の約 80%のシェアを占め、該当出力帯での標準機種として国内外から位置づけられるには、少なくとも 20%程度のシェアを獲得する必要があるとの考えに基づく。

本目標の達成に向け、AHAT 技術のエッセンスと世の中の既存技術を組み合わせ、競争力の高いシステムとすることを想定している。

また、ターゲット市場毎に標準モデルを構築し、ガスタービン及び AHAT 技術は国産とするが、付帯設備については幅広く調達先を求めることで競争力を高めるとしている。

【指摘事項】

特に中小容量機(AHAT)に関しては、実用化による新たな市場への投入を行うものであり、かつ、これにより我が国の世界市場獲得における現状(4%)

を大きく上回るシェア目標(20%)を目指すものであることから、早期の市場投入等、海外の競合技術に対する競争力強化の方策を含め、より具体的な市場獲得戦略の検討を行う必要がある。

3.2.2. 派生技術の他分野への応用について

(事前評価での指摘事項)

本事業の成果をガス火力発電の効率向上だけでなく、次世代の石炭火力発電技術であるIGCC等の効率向上につなげることや、耐熱材料やエンジン等の関連する産業へ展開することで、本事業の成果を最大化することにも留意しつつ、開発・実証を進める必要がある。

【対応状況】

経済産業省においては、本事業に関連する派生技術の他分野への応用、展開について、積極的に進めていくこととしている。

エンジンなどの製品への波及は、製品の形態が異なるものの、流体・伝熱・燃焼などのシミュレーション技術や、過酷な環境下での計測技術などについては、応用可能なものもあると考えられることから、その適用可能性についても検討を進めるとしている。

また、燃焼器、再生熱交換器の技術は、高効率な燃料電池システムにも適用可能と考えている。

(参考1) 評価専門調査会 名簿

(議員:4名)

会長	久間 和生	総合科学技術会議議員
	原山 優子	同
	橋本 和仁	同
	平野 俊夫	同

(専門委員:18名)

相澤 彰子	国立情報学研究所コンテンツ科学研究系教授
天野 玲子	鹿島建設株式会社知的財産部長
石田 東生	筑波大学システム情報系社会工学域教授
伊藤 恵子	専修大学経済学部教授
射場 英紀	トヨタ自動車株式会社電池研究部部長
上杉 邦憲	独立行政法人宇宙航空研究開発機構名誉教授
上野 裕子	三菱UFJリサーチ&コンサルティング株式会社 主任研究員
長我部 信行	株式会社日立製作所中央研究所所長
河合 誠之	東京工業大学大学院理工学研究科教授
白井 俊明	横河電機株式会社常務執行役員 イノベーション本部長
高橋 真理子	朝日新聞編集委員
竹中 章二	株式会社東芝執行役常務待遇 スマートコミュニティ事業統括部首席技監
玉起 美恵子	アステラス製薬株式会社研究本部研究推進部課長
中村 崇	東北大学多元物質科学研究所教授
福井 次矢	聖路加国際病院院長 京都大学名誉教授
松岡 厚子	独立行政法人医薬品医療機器総合機構 規格基準部テクニカルエキスパート
松橋 隆治	東京大学大学院工学系研究科教授
村越 千春	株式会社住環境計画研究所取締役副所長

平成 25 年 11 月 20 日現在

(参考2) フォローアップ検討会名簿

久間 和生	評価専門調査会 会長
竹中 章二	株式会社東芝執行役常務待遇 スマートコミュニティ事業統括部首席技監 (評価専門調査会専門委員)
座長 松橋 隆治	東京大学大学院工学系研究科 電気系工学専攻教授 (評価専門調査会専門委員)
君島 真仁	芝浦工業大学システム理工学部 機械制御システム学科教授
松村 幾敏	元 JX 日鉱日石エネルギー顧問
吉識 晴夫	東京大学名誉教授

(参考3) 審議経過

平成 25 年

5 月 13 日 評価専門調査会

- 経済産業省から研究開発の概要等のヒアリング
- フォローアップの進め方について(決定)

7 月 24 日 フォローアップ検討会

- フォローアップ検討会における調査検討の進め方
- 経済産業省から研究開発の詳細等のヒアリング及びそれに対する質疑

11 月 20 日 評価専門調査会

- フォローアップ検討会の調査結果の報告
- フォローアップ結果のとりまとめ
- フォローアップ結果を経済産業省に通知

