

「カーボンリサイクル・次世代火力等技術開発／
②高効率ガスタービン技術実証事業／
1) 1700℃級ガスタービン」
(事後評価)

(2019年度～2020年度 2年間)

プロジェクトの概要 (公開)

NEDO

環境部

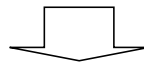
2021年7月15日

1. 事業の位置付け・必要性 (1) 事業の目的の妥当性

◆事業実施の背景と事業の目的

社会的背景

温暖化対策は世界的課題



高効率発電技術開発によるCO2排出量削減の必要性

事業の目的

火力発電の熱効率向上によるCO2排出量の抑制



ガスタービン火力発電用途として、発電効率を大きく向上させ得る
新型ガスタービンの先進技術開発と、その技術の実証事業を行う。

◆政策的位置付け

○気候変動に関する首脳会議（サミット）（2021年4月 政府発表）

日本は、2030年に向けた温暖化ガスの排出削減目標として、13年度比で46%減らすと表明。

○第5次エネルギー基本計画（2018年7月 閣議決定）

「利用可能な最新技術の導入による新陳代謝を促進することに加え、発電効率を大きく向上し、発電量当たりの温室効果ガス排出量を抜本的に下げるとともに、パリ協定を踏まえ、世界の脱炭素化をリードしていくため、相手国のニーズに応じ、再生可能エネルギーや水素等も含め、CO2排出削減に資するあらゆる選択肢を相手国に提案し、「低炭素型インフラ輸出」を積極的に推進する」ことが示されている。

○エネルギー関係技術開発ロードマップ（2014年12月 経済産業省）

・技術開発プロジェクトの必要性と社会への実装化に向けた課題をあわせて整理し、「10. 高効率天然ガス火力発電」を含む、各技術課題のロードマップを提示。

○低炭素社会づくり行動計画（2008年7月 閣議決定）

2050年までに二酸化炭素の排出を現状から60～80%削減するという長期目標が掲げられている。

○総合科学技術会議の環境エネルギー技術革新計画(2008年5月 内閣府)

○Cool Earth エネルギー革新技術計画（2008年3月 経済産業省）

○エネルギー技術戦略（2007年4月 資源エネルギー庁）

高効率天然ガス発電技術のロードマップが示されている。

◆技術戦略上の位置付け

次世代火力発電に係るロードマップ 抜粋

METI 次世代火力発電の早期実現に向けた協議会 2016年6月

5. 2030年度に向けた取組の中心となる石炭、LNG火力に関する方針③

- 石炭、LNG火力のいずれも第1世代、第2世代技術の性能向上を追求しつつ、究極的な発展段階の第3世代技術の早期確立を目指す

火力発電の高効率化に向けた技術開発の進展

	第1世代	第2世代	第3世代
共通要素	シングルサイクル 単一ガスタービン(GT) /単一蒸気タービン(ST)	コンバインドサイクル (複合発電) ガスタービン+蒸気タービン	トリプルコンバインドサイクル (燃料電池複合発電) 燃料電池+ガスタービン+蒸気タービン
LNG火力	GT/ST(1950s~) AHAT(2010s~) ※ AHAT: 高温空気を利用したガスタービン	1100℃級GTCC(1980s~) 1700℃級GTCC(2020s~) 1800℃超級GTCC	GTFC(2020s~)
石炭火力	SUB-C(1950s) SC(1970s) USC(1990s) A-USC(2010s~)	1300℃級IGCC(2010s~) 1800℃級IGCC 革新的IGCC	IGFC(2020s~)

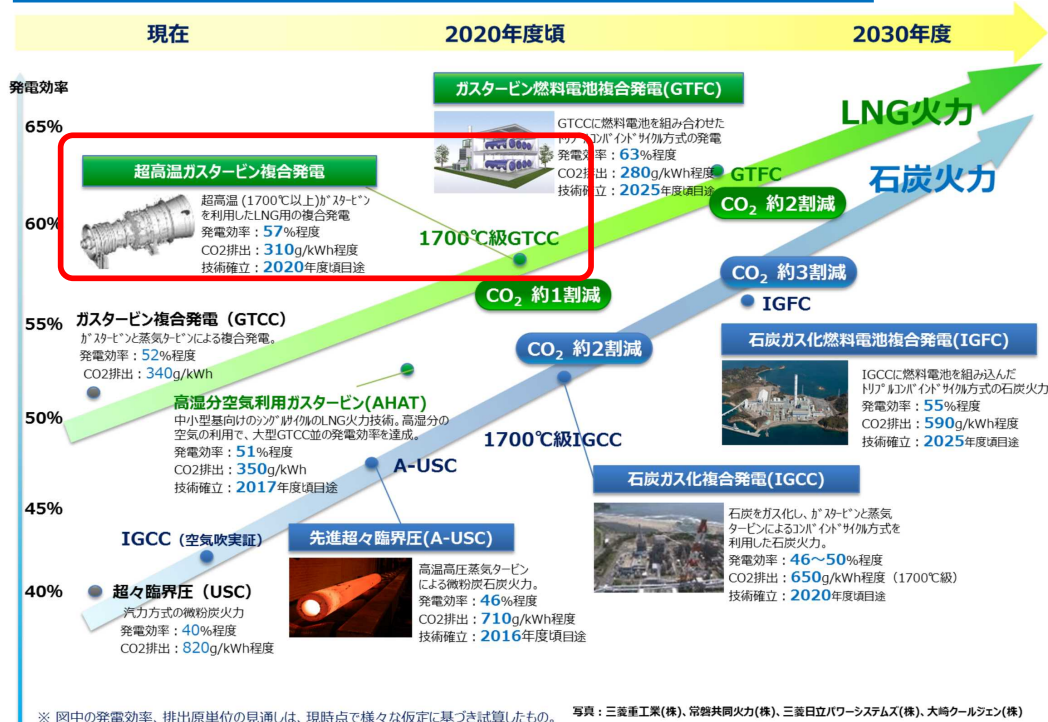
8. 個別技術の開発方針 -2030年度に向けた取組の中心となる技術-

①LNG火力発電技術

- AHAT 2017年度技術確立、発電効率51%、従来機並のインシヤルコストを実現
2017年度に要素実証事業を終了し、技術確立。／将来的にGTFCの成果の活用も検討。
- 超高温GTCC (1700℃級) 2020年度頃技術確立、発電効率57%、量産後従来機並のインシヤルコストを実現
2030年度頃に向けて、段階的に高温化を図り、大型GTCCの効率を向上を進める。

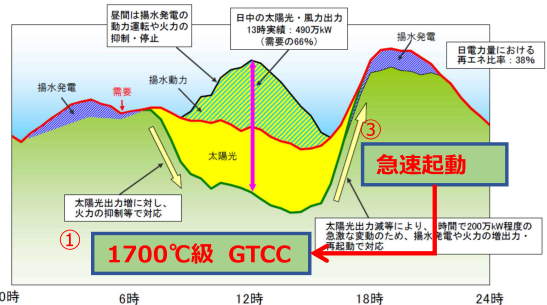
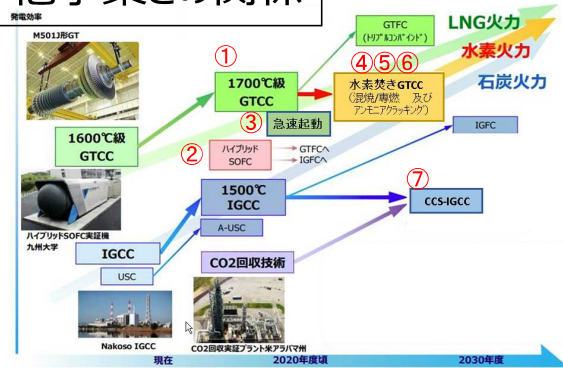
◆技術戦略上の位置付け

次世代火力発電に係るロードマップ 抜粋



経済産業省「次世代火力発電に係る技術ロードマップ/技術参考資料集」(2016年6月)を元にNEDO作成

◆他事業との関係



再エネの導入状況と至近の需給状況について 平成28年7月21日 九州電力(株)に1700℃級 急速起動GTの位置づけをNEDOで追記 <https://www.kyuden.co.jp/var/rev0/0055/4201/2ntja6f6cpd.pdf>

狙い	プロジェクト	開発内容
高効率化によるCO ₂ 削減	① (NEDO) 高効率ガスタービン技術実証事業 (1700℃級 ガスタービン) 【本P】	効率向上のための高温化技術の開発 NOx低減、TBC等の要素技術、タービン、圧縮機性能向上
	② (NEDO) ガスタービン燃料電池複合発電技術の開発	
再エネ増加時の電力安定供給	③ (NEDO) 機動性に優れた広い負荷帯高効率ガスタービン (急速起動ガスタービン)	運用可能な最低負荷のCO低減、制御システム、急速起動を可能とするクリアランスコントロール
水素利用 (再エネ増加時の余剰電力他)	④ (NEDO) 低炭素社会実現に向けた水素・天然ガス混焼ガスタービン発電設備の研究開発	水素混焼燃焼技術 (~30%) (水素インフラ導入期)
	⑤ (NEDO) 水素専焼対応 Dry Low NOx高温ガスタービンの研究開発	水素専焼燃焼器の開発 (水素インフラ成熟期)
	⑥ JST SIP (NEDO) アンモニア利用ガスタービン	アンモニアクラッキングシステムの開発
CCS	⑦ (NEDO) CO2回収型クローズドIGCC技術開発	クローズドIGCCシステム、低カロリーでの燃焼技術の開発

◆事業概要と目標

【概要】

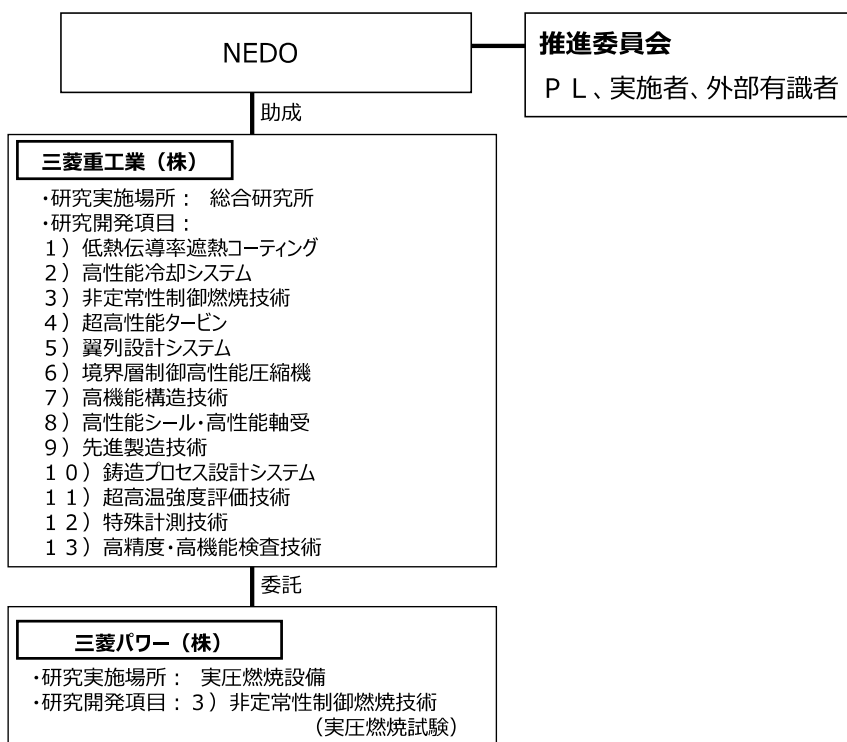
高温ガスタービンを用いたコンバインドサイクル発電では、大容量機の高効率化が求められている。また、CO₂排出量削減の達成と我が国の国際競争力の維持のために、1700℃級ガスタービンの性能向上、信頼性向上に関する要素技術開発を実施する。

【事業目標】

1700℃級ガスタービンの実証試験データの取得、及び評価を実施し、送電端効率58%HHV達成の見通しを得る。

※ HHV : 高位発熱量基準

◆研究開発の実施体制



2. 研究開発マネジメント (2) 研究開発計画の妥当性

◆プロジェクト費用

(単位：百万円)

研究開発項目	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	合計
①低熱伝導率遮熱コーティング	83	98	99	53	53	386
②高性能冷却システム	41	180	169	100	90	580
③非定常性制御燃焼技術	771	531	487	495	437	2,721
④超高性能タービン	117	140	59	84	112	512
⑤翼列設計システム	18	18	22	15	15	88
⑥境界層制御高性能圧縮機	193	243	311	317	273	1,337
⑦高機能構造技術	16	70	11	29	27	153
⑧高性能シール・高性能軸受	43	42	38	25	27	175
⑨先進製造技術	209	279	454	412	228	1,582
⑩鋳造プロセス設計システム	9	11	12	7	9	48
⑪超高温強度評価技術	33	25	32	30	45	165
⑫特殊計測技術	23	36	52	25	27	163
⑬高精度・高機能検査技術	31	35	29	14	22	131
合計	1,587	1,708	1,775	1,606	1,365	8,041

2. 研究開発マネジメント (2) 研究開発計画の妥当性

◆研究開発のスケジュール

	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度
①低熱伝導率遮熱コーティング技術	TBC※1の組成制御技術の改良・高度化			(a)TBCの皮膜構造制御技術の更なる高度化	
	TBCの耐環境特性評価			(b)更なるTBCの改良・開発	
	耐環境性に優れたTBCの改良・開発				(c)TBCの実用化・施工技術開発
	TBCの実用化技術開発				
	TBCの寿命評価技術の開発				(d)経年劣化を考慮したTBCの寿命評価技術の開発
②高性能冷却システム	非定常性の評価技術開発		検証試験		
	基本要素試験	改良要素試験			
	高性能冷却システムの開発	シミュレーション技術の高度化		(a)高性能冷却システム開発	
	基本コンセプト検討 要素解析				
	基本要素試験①	装置設計・製作	総合性能検証試験①	基本要素試験②	(c)供試体設計・製作 (d)総合性能検証試験③
③非定常性制御燃焼技術	燃焼器内部非定常計測技術				
	光学計測法の導入	光学計測法の改良	光学計測法の高度化	(a)光学計測法の改良②	光学計測法の高度化②
	NOx※2の抑制技術 (コンセプト検証)	実燃焼器での検証①	実燃焼器での検証②	(b)実燃焼器での検証③	実燃焼器での検証④
	燃焼振動の抑制技術			(c)燃焼振動抑制コンセプト改良①	燃焼振動抑制コンセプト改良②
	低NOx燃焼器の開発 (実機条件検証)	シミュレーション技術の開発		(d)改良燃焼器③	改良燃焼器④
	コンセプト燃焼器設計・製作	改良燃焼器①	燃焼試験	改良燃焼器②	燃焼試験
			(e)燃焼振動評価技術の開発		

※1 遮熱コーティング (TBC : Thermal Barrier Coatings)
 ※2 窒素酸化物 (NOx : Nitrogen Oxide)

2. 研究開発マネジメント (2) 研究開発計画の妥当性

	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度
④超高性能タービン	タービン性能向上検討・要素解析 改良検討 要素試験 計画	要素解析 要素試験①	改良検討・要素解析 要素試験②	(a)タービン後方改良検討 (b)排気ディフューザ要素検証試験	
⑤翼列設計システム	設計手法の構築 設計手法案検討 設計システムの構築 仕様検討	改良案検討① システム試作	改良案検討② システム改良①	(a)構造最適化手法調査 (b)構造最適化システム計画	(c)構造最適化計算 (d)構造最適化システム構築
⑥境界層制御高性能圧縮機	シミュレーション技術の精度向上 圧縮機性能向上策策定 性能向上策策定	シミュレーション技術の精度向上 試験装置 設計・製作 試験装置 設計・製作 (改造)	性能向上策 検証 試験	(a)シミュレーション技術の精度向上 (b)性能向上策策定 (c)試験装置 設計・製作 (改造)	(d)性能向上策検証試験

2. 研究開発マネジメント (2) 研究開発計画の妥当性

	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度
⑦高機能構造技術	クリアランスコントロール構造の検討 要素試験検証 高温・高圧下応力低減構造検討 応力低減構造計画	実機適用計画 要素試験検証	実機検証準備、検証 実機検証	(a)シミュレーション精度向上検討 (b)ロータ信頼性向上検討 (c)大規模解析による評価精度向上検討	
⑧高性能シール・高性能軸受	高温対応高性能シールの開発 高負荷対応高性能軸受の開発 コンセプト検討 適用性評価 (計測・解析)	詳細設計検討 要素解析・特性要素試験①	特性試験 装置製作 実機模擬 特性試験①	(a)性能・信頼性向上検討 (b)要素解析・特性要素試験②	(c)特性試験 装置製作 (d)実機模擬 特性試験②
⑨先進製造技術 (1/2)	鋳造【合金】 特性評価 鋳造プロセス 量産技術検討 【シミュレーション】 実プロセス検証	改良検討 量産プロセス確認 高度化検討	詳細特性確認 改良検討・効果確認 改良検討・効果確認	(a)長時間特性確認 (b)検証翼製造プロセス検討 (b)検証翼製造プロセス検討	(c)検証翼試作・評価 (c)検証翼試作・評価

2. 研究開発マネジメント (2) 研究開発計画の妥当性

	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度
⑨ 先進製造技術 (2/2)	溶接 【溶接接合プロセス】 溶接接合技術検討	溶接部評価とプロセス改良	効果確認	(d)実部品接合プロセス検討	(e)接合プロセス高度化および評価
	肉盛補修プロセス 肉盛補修プロセス検討	肉盛補修部評価とプロセス改良	効果確認	(f)実部品補修プロセス検討	(g)補修プロセス高度化および評価
	孔あけ 【加工計測制御】 特性把握 量産向けシステム検討	量産向け システム安定性確認	改良検討・効果確認		
	3次元積層 【積層造形プロセス】 造形技術検討	製造プロセス検討	改良検討・効果確認	(h)特性要素試験 設計手法へ反映	(i)実機検証
				成膜 【成膜】 (j)高性能成膜技術の開発	
⑩ 鋳造プロセス設計 システム	従来プロセス設計技術の問題点抽出・設計手法検討 問題点抽出	設計手法検討			
		システム仕様検討・試作・評価 システム仕様検討	システム試作・評価	(a)改良案検討	(b)システム改良・評価

2. 研究開発マネジメント (2) 研究開発計画の妥当性

	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度
⑪ 超高温強度評価技術	実機模擬劣化材料強度評価 劣化模擬材作成 組織・強度評価	組織・強度評価	組織・強度評価 設計手法へ反映		
	実機温度・応力場強度評価手法構築 計画 試験装置製作	試験	設計手法へ反映 ガスタービンでの検証	(a)構築した設計手法に必要な材料データ取得 (c)設計手法の妥当性検証・改善	
⑫ 特殊計測技術	翼振動計測技術 (BVM※) 改良・要素試験	改良案検討・要素試験	改良案検討	(a-2)不具合箇所はの是正	
	クリアランス計測技術 改良・要素試験	改良案検討・要素試験	改良案検討	(a-1)タービン後方段での要素試験及び検証	
	タービン変形・クリアランス計測技術 検討	要素試験・実機適用検討	改良案検討	(b)実機条件下での耐久確認	更なる高度化に向けての改良検討・検証試験
	大規模特殊計測データ処理・通信技術・センサ計測技術 検討・調査	要素試験・実機適用検討	改良案検討	(c)大規模特殊計測 検証試験	バックアップ技術の 検討・要素試験
				高精度流量計測技術 (c-1)高精度流量計測 検証試験	
				(c-2)センサの開発 検証試験	改良要素試験・検証試験
			(c-3)3Dプリンタを用いた手法 検討	要素試験	

※ 翼振動監視 (BVM : Blade Vibration & Monitoring)

2. 研究開発マネジメント (2) 研究開発計画の妥当性

	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度
⑬ 高精度・高機能検査技術	(1)内部欠陥検査技術の開発 基本コンセプト検討 → 要素試験 → 高速化検討 センサ設計 → センサ製作 → 平板試験体製作 信号処理手法検討	装置部品製作 → 検証試験 美翼形状試験体製作	装置設計 → 装置製作 信号処理手法改良 EDM試験体製作 → 疲労試験体製作	性能試験 (a)母材き裂検査方法の検討 母材き裂検査手法検討	(b)精度向上・検証試験 精度向上、高速化 → 検証試験
	(2)ワイヤレスセンシング技術の開発 手法検討 → 要素試作評価試験 システム仕様策定	要素モジュール開発 検証システム試作改良	検証試験 → 装置設計 → 装置製作	(a)性能評価・改良設計製作	(b)性能評価・検証試験
	(3)再結晶検出技術の開発 装置コンセプト検討 → ユーザーインターフェイス設計 装置仕様確定	検出性能向上 アルゴリズム検討 過剰検知低減 アルゴリズム検討	検証 → 装置設計 → 装置製作	(a)柱状結晶検査の撮像機構検証	(b)FPT画像記録方法の検討

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

本事業（要素技術開発）

- 要素技術の13の研究開発目標はすべて達成し、送電端効率58%HHV達成の見通しを得た。
- 今後の大風量化、高効率化、高信頼性化に向けた要素技術開発も進め、シミュレーション技術、実験技術、計測技術の高度化を図ることができた。
- 本PJによる技術検証を確実に実施することにより、1700℃級ガスタービンの信頼性を高めることができ、欧米の競合に対して確実なアドバンテージになっている。

成果を反映

事業者自主事業（実証）

- 1700℃級ガスタービンの実証発電設備（CC出力56.6万kW）で、2020年4月までに定格条件まで運転することに成功し、実証運転を開始した。本機種（JAC形※1）は**世界最高クラスの発電端効率58%HHV※2（送電端効率57%HHV）に達し、事業目標の効率達成の見通しを得られる成果を示した。**なお本実証設備では、2020年7月1日以降の長期実証運転で大きなトラブルを発生させることなく、現在に至るまで安定して運転を継続出来ている。

※1 JAC形：1700℃級ガスタービンの導入機種として、現状1650℃で運転
 ※2 %HHVと%LHVの換算式は資料末ページに記載

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆研究開発項目毎の目標と達成状況

◎ 大きく上回って達成、○達成、△達成見込み(中間) / 一部達成(事後)、×未達

研究開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
①低熱伝導率遮熱コーティング	実機検証結果の確認と、多層皮膜の製造プロセス簡易化および安定化を図り、実機適用を開始する。	候補皮膜の遮熱性・耐久性が目標を満足し、且つ高温環境を模擬した要素試験によって経年劣化特性に問題無い結果が得られた。既に実機検証を開始しており健全な結果が得られている。	○	
②高性能冷却システム	実機相当環境下での総合性能を検証し、高性能冷却システム実用化の目途を得る。	3Dプリンタ技術や耐熱複合材を適用した高温部品を設計・製作し、その総合性能検証試験を実施することで、冷却性能達成及び構造成立性の目途を得た。	○	
③非正常性制御燃焼技術	燃焼器内部非正常計測技術、多圧燃焼振動抑制技術を活用して、更なる低NOx化が可能な燃焼器を開発する。	燃焼器内部計測技術の検証、多圧連成燃焼振動の燃焼振動評価手法の開発。音響ダンパや短縮燃焼器等による燃焼振動/NOx抑制手法を開発した。	○	
④超高性能タービン	1700℃級タービンにおいて、タービン効率を高いレベルで実現するための要素技術の更なる高度化と要素試験を実施し、大風量タービンの開発の目途を得る。	排気ディフューザ要素試験を実施し、従来よりも大風量・高マッハ数条件の詳細な空力データを取得し、大風量タービンの性能予測を可能とした。	○	

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

研究開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
⑤翼列設計システム	構造強度と振動強度の制約条件を満足させるため翼の外表面形状と内表面形状を最適化する翼列設計システムを構築する。	静応力と振動応力を考慮して翼の外表面形状と内表面形状を最適化する翼列設計システムを構築し、構造強度と振動強度の制約条件を満足する形状を導出できることを確認した。	○	
⑥境界層制御高性能圧縮機	圧縮機前方段、中後方段の内部流動の計測の実施、翼の改良検討を行い、更なる性能向上策の目途を得る。	中後方段用の改良チップクリアランス形状の性能を試験で確認し更なる効率向上の目途を得た。また、大出力用大流量圧縮機の性能と信頼性両立を単段試験装置で確認した。	○	
⑦高機能構造技術	・要素試験等による、疲労寿命向上を検証する。 ・タービン 前方段動翼の非線形振動応答の予測技術の向上。 ・タービン 後方段の空力減衰・構造減衰の予測技術の向上。	・実機ロータひずみ計測により解析の妥当性検証。打ち手の検討・選定完了。 ・タービン前方段動翼の非線形振動応答の予測技術の向上を達成した。 ・タービン後方段の空力減衰・構造減衰の予測技術の向上を達成した。	○	

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

研究開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
⑧高性能シール・高性能軸受	新型シール、新型軸受の更なる性能・信頼性向上が可能な改良構造案を策定し、実機模擬条件での性能検証を行う。	・従来高性能シールより変形に対するロバスト性を向上させたAM※1、ハニカムシールの実機製作性の検証と強度・摺動性の有効性を確認した。 ・従来軸受より更に高面圧条件での信頼性を向上させた。	○	
⑨先進製造技術	・ 鋳造プロセス、シミュレーションの高度化・改良検討、検証翼試作。 ・ 造形品単体、接合前後加工も含めた製造プロセス高度化。開発補修技術の実部品への適用検討。 ・ 3D 積層造形のさらなる高精度化、高強度化技術を開発するとともに、実証試験による製品信頼性評価を行う。	・ 開発合金の高温強度試験にて目標達成。単結晶翼鋳造検証試験完了した。 ・ 3D 造形材のレーザー接合技術を確立し、補修技術の実部品への適用評価を行った。 ・ 3D 積層材の高温強度を改善し複雑冷却構造部品の造形技術を確立した。	○	
⑩鋳造プロセス設計システム	システムの対象翼種拡大により、大型動翼の解析期間を短縮する。	システム改良を完了し、大型動翼（全鋳型方案）の鋳造、脱ろう解析モデルの作成期間を90%低減可能とした。	○	
⑪超高温強度評価技術	構築した評価手法について既存機種での適用性を確認するとともに、さらなる性能向上のための評価手法の合理化を検討する。	・ 長時間実機模擬環境で劣化させた材料の強度確認を行い、超高温環境での設計指針を明確にした。 ・ 長翼化により厳しくなる、タービン後方段動翼翼根のLCF ※2強度を向上できる手法としてショットピーニングを選定し、寿命が2倍以上に向上する施工条件を見出した。	○	

※1 積層造形（AM：Additive Manufacturing） ※2 低サイクル疲労（LCF：Low Cycle Fatigue）

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

研究開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
⑫特殊計測技術	・タービン後方段での非接触翼振動計測技術を開発する。 ・総合監視機能を拡張し、実プラント運転にて検証する。 ・タービンチップクリアランス計測技術を開発する。 ・高精度流量計測技術を開発する。 ・熱電対以外の多点温度計測の要素試験及び検証試験を行う。	・実機タービン最終段にBVMセンサを装着し、タービン翼振動を精度よく計測できることを確認した。 ・チップクリアランスセンサを開発し、実機条件での試験で有効性を確認した。 ・実機の数千点の信号をモニターし、異常検知信号を容易に把握できるシステムを開発した。 ・光ファイバーによる温度分布および燃焼発熱量の計測システムを開発した。	○	
⑬高精度・高機能検査技術	・実機部品の検査に適用可能な内部欠陥検査技術を開発する。 ・ワイヤレスセンシングのための無線給電装置を開発する。	・表面欠陥検査手法として、周密配置ECT※プローブにより0.5mmの微小き裂を検出できる技術を開発した。 ・受電モジュールの20%小型化を実現し、実回転数3600rpmでの給電試験により100%の通信成功率を実証した。	○	

※ 渦流探傷試験（ETC：Eddy Current Testing）

◆成果の普及

	2016 年度	2017 年度	2018 年度	2019 年度	2020 年度	計
論文	0	1	2	4	2	9
研究発表・講演	9	3	2	11	9	34
受賞実績	0	0	0	0	1	1
新聞・雑誌等への掲載	0	0	0	0	1	1
展示会への出展	0	0	0	0	0	0

※2021年5月17日現在

◆知的財産権の確保に向けた取組

戦略に沿った具体的取組

○他社特許や論文等を調査分析。

報告会を定期的に行い、業界動向や他社特許について協議/共有。

○パテントクリアランスチェックを実施し、性能向上/信頼性向上/先進製造/検査について基本特許を出願。

○周辺特許についても、オープン/クローズ戦略を意識して出願可否を判断。

	2016 年度	2017 年度	2018 年度	2019 年度	2020 年度	計
特許出願 (うち外国出願)	28(8)	20(15)	12(10)	7(7)	6(0)	73(40)件

※2021年5月7日現在

◆ 実用化・事業化に向けた戦略



1700℃級 (1650℃) GT

実証設備複合サイクル発電所第2号発電設備 (第二地点) の検証試験にて、タービン入口温度1650℃でコンバインド出力56.6万kw、GTCCとしての世界最高クラスの**発電端効率58%HHV*(64%LHV) (送電端効率57%HHV)**の機種開発に成功。2020/7より長期信頼性を検証中。

本事業終了後においても、GE社とほぼ同性能となる見込みである。

- ・GE 7HA.03 C/C効率 57.4%HHV (63.4%LHV)
- ・三菱パワー M501JAC C/C効率 57.9%HHV (64.0%LHV) (いずれも発電端効率)

大風量かつ1700℃級 (1650 + α °C) GT

圧縮機、タービンの大風量化要素試験により、実機目標性能達成の目途をおおよそ得ている。燃焼器は単体実機条件試験で燃焼性能は確認済み。耐久性の確認は、実証設備に部分的に技術適用し、成立性を検討する。

水素燃焼ガスタービン

・1700℃級で開発した各要素技術を、水素燃焼ガスタービンに適用可能

○**水素混焼**…要素①～⑬のすべての成果を活用

○**水素専焼**…要素①～⑬のすべての成果を活用

ただし要素③燃焼器は、NOx低減技術、燃焼振動対策技術、燃焼計測技術のみ活用

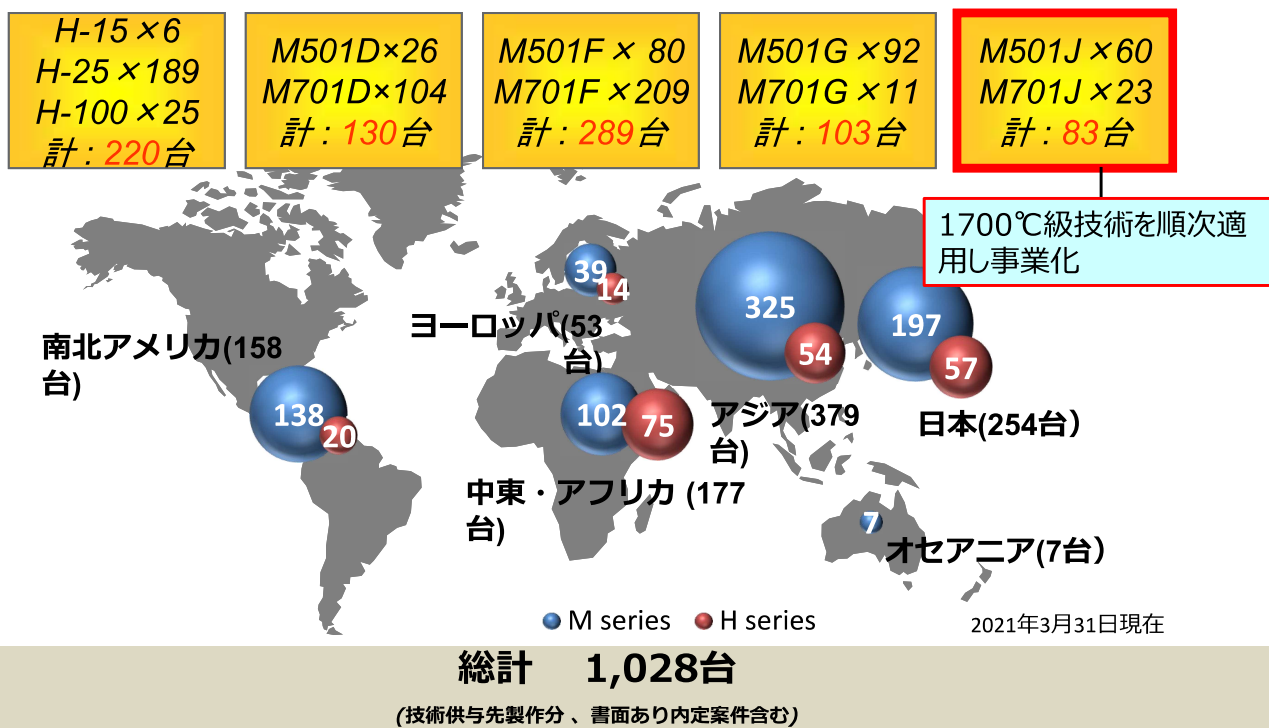
* %HHVと%LHVの換算式は別ページに記載

◆ 実用化・事業化に向けた具体的取組

	2000	2005	2010	2015～	2020～	2025～
先端要素技術開発		Phase I 要素技術 '04～'07	Phase II 実用化技術 '08～'11	Phase III 1700℃級GT 実証事業 '12～'15	Phase IV 1700℃級GT 超高効率化 '16～'20	
要素技術の実用化		1700℃級GTを実現するキー技術として、以下の主要5項目を開発 ・燃焼 ・伝熱 ・遮熱コーティング ・タービン ・圧縮機		1700℃級GTの要素技術開発に加え、実証に必要な、設計、製造、試運転に関する技術を開発		
1700℃級実機開発と実用化		1600℃級開発	1600℃級商用化	1700℃級機種設計・製作※ 実証発電所建設※	1700℃級商用化 1650℃付のタービン機種	大風量 1650 + α °C
超耐熱材料開発		物質機構委託研究 '04～'10 (基礎研究)	NEDO研究 '04～'10 (先導研究)	※自社費用にて実施		
		優れた特性を有する画期的な材料成分を発見 (特許出願済み)	組成範囲決定 製造条件確率			

◆ガスタービン受注実績

・本事業の成果により、三菱パワー(株)は1700℃級の導入機種である1650℃ガスタービンを実用化し、J形ガスタービンは、累計83台 (J形1600℃、JAC形1600℃、1650℃を含む) を受注済み。



概要

		最終更新日	2021年6月16日
プロジェクト名	高効率ガスタービン技術実証事業	プロジェクト番号	P161003
担当推進部/ PMまたは担当者	環境部 PM：園山 希（2021年6月現在） 環境部 PM：山中 康朗（2017年4月～2020年3月） 環境部 PM：佐藤 順（2016年4月～2017年3月）		
0. 事業の概要	<p>2018年7月に閣議決定された、第5次エネルギー基本計画（2018年7月閣議決定）において、「利用可能な最新技術の導入による新陳代謝を促進することに加え、発電効率を大きく向上し、発電量当たりの温室効果ガス排出量を抜本的に下げるとともに、「パリ協定を踏まえ、世界の脱炭素化をリードしていくため、相手国のニーズに 応じ、再生可能エネルギーや水素等も含め、CO2 排出削減に資するあらゆる選択肢を相手国に提案し、「低炭素型インフラ輸出」を積極的に推進する」ことが示されている。</p> <p>また、第5次エネルギー基本計画の5.化石燃料の効率的・安定的な利用に示されている、（1）高効率石炭・LNG火力発電の有効活用の推進 において、「困難な課題を根本的に解決するためには、エネルギー関連技術の開発とそのような技術を社会全体で導入していくことが不可欠となるが、そのためには、長期的な研究開発の取組みと制度の改革を伴うような包括的な取組が必要」として、2014年12月 経済産業省エネルギー関係技術開発ロードマップに言及している。本ロードマップは、技術開発プロジェクトの必要性と社会への実装化に向けた課題をあわせて整理し、「10. 高効率天然ガス火力発電」を含む、各技術課題のロードマップを提示したものであり、本事業である、高効率ガスタービン技術実証事業はロードマップならびに方針に従ったものである。</p> <p>この他、長期エネルギー需給見通しにおいては、3E+S（安全性、安定供給、経済効率性、環境適合）を同時達成しつつ、バランスの取れた電源構成を実現していく方針が示されており、火力分野においては、「石炭火力発電及びLNG火力発電の高効率化を図り、環境負荷の低減と両立しながら、有効活用を推進する」ことを示している。この中で火力発電の高効率化は、再生可能エネルギーの最大限の導入促進、安全性の確認された原子力発電の活用と合わせ、「温室効果ガス削減目標積み上げの基礎となった対策・施策」として位置づけられている。本対策・施策を踏まえ、2016年6月に官民協議会で策定した「次世代火力発電に係る技術ロードマップ」においては、火力発電の高効率化・CO2 削減を実現するため、次世代の火力発電技術の早期確立を目指すこととしている。</p> <p>本事業は、我が国の電源構成の約7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ものである。</p>		
1. 事業の位置 付け・必要性について	<p>2008年3月に閣議決定された「Cool Earth—エネルギー革新技術計画」において、天然ガスタービンの高効率化が環境負荷低減の実現のための重要な技術開発であると位置づけられている。また、2011年8月に制定された「第4期科学技術基本計画」においては、安定的なエネルギー供給と低炭素化の実現のため火力発電の高効率化に資する技術開発は重点的な取組として位置づけられている。</p> <p>欧米は、巨額の研究開発費を投じており、厳しい国際競争の中で我が国の優位性を維持するため、また電力産業の保守高度化とリプレース需要にあった大容量機の高効率化を目指し、コンバインド効率向上、CO2 排出量削減を達成するため、1700℃級に必要な革新的技術開発に取り組み、早期に実用化する事が必要である。</p> <p>これらの政策を実現するために、発電規模に応じた発電熱効率の一層の向上が必要であり、ガスタービン高温部品の技術向上と発電サイクルの工夫が必要不可欠である。また、環境負荷の少ない発電システムを開発することは、電力の安定的かつ低廉な供給を確保する上で極めて重要な対策である。</p> <p>さらに、石炭ガス化複合発電（IGCC）や石炭ガス化燃料電池複合発電（IGFC）における更なる効率向上には、将来的に1700℃級ガスタービンの導入が不可欠である。</p>		
2. 研究開発マネジメントについて			
事業の目標	<p>[中間目標（2018年度）] 1700℃級ガスタービンの性能向上、信頼性向上に関する要素技術開発により、商用機 に適用できる見通しを得た上で、設計・製作の仕様を決定する。</p> <p>[最終目標（2020年度）] 1700℃級ガスタービンの実証試験データの取得、および評価を実施し、送電端効率58%（高位発電熱量基準）達成の見通しを得る。</p>		

事業の計画内容	主な実施事項	2016fy	2017fy	2018fy	2019fy	2020fy		
	(1) 低熱伝導率遮熱コーティング							
	(2) 高性能冷却システム							
	(3) 非定常性制御燃焼技術							
	(4) 超高性能タービン							
	(5) 翼列設計システム							
	(6) 境界層制御高性能圧縮機							
	(7) 高機能構造技術							
	(8) 高性能シール・高性能軸受							
	(9) 先進製造技術							
	(10) 鋳造プロセス設計システム							
	(11) 超高温強度評価技術							
	(12) 特殊計測技術							
	(13) 高精度・高機能検査技術							
事業費推移 (会計・勘定別にNEDOが負担した実績額(評価実施年度については予算額)を記載) (単位:百万円)	会計・勘定	2016fy	2017fy	2018fy	2019fy	2020fy	総額	
	一般会計							
	特別会計 (需給)							
	1700℃級ガスタービン	1,586.5	1,708.3	1,774.8	1,606.3	1,365.0		
	開発成果促進財源							
	総 NEDO 負担額							
	助成 (助成)							
開発体制	経産省担当原課	資源エネルギー庁資源・燃料部 石炭課						
	プロジェクトリーダー	三菱重工業株式会社 石坂浩一						
	プロジェクトマネージャー	環境部 園山 希						
	助成先	三菱重工業株式会社						
情勢変化への対応	<p>2018年7月に閣議決定された、第5次エネルギー基本計画(2018年7月閣議決定)において、2030年に向けた政策対応として、化石燃料の効率的・安定的な利用のために、「温室効果ガスの排出を抑制する利用可能な最新鋭の技術を活用するとともに、エネルギーミックス及びCO2削減目標と整合する排出係数を目標としている電力業界の自主的な枠組みの目標達成に向けた取組を促す。」ことが示されており、本方針に対応するものとして、エネルギー供給事業者による非化石エネルギー源の利用及び化石エネルギー原料の有効な利用の推進に関する法律(高度化法)において規制措置を導入している。具体的には、販売電力の低炭素化を図るため、高度化法において、2030年度に販売電力の44%を非化石電源とすることが規定されている。</p>							

	<p>また、省エネ法に基づいて発電効率の向上を求めており、「水素等の混焼の評価も含め、石炭火力発電の新設は最新鋭の USC 相当の発電効率、LNG 火力発電についても最新鋭の発電効率を求めるとともに、2030 年度発電事業者ごとの火力発電の全体平均発電効率を 44.3%以上とすること」を求めている。</p> <p>更に、パリ協定を踏まえて世界の脱炭素化をリードしていくため、「相手国のニーズに応じ、再生可能エネルギーや水素なども含め、CO2 排出削減に資するあらゆる選択肢を相手国に提案し、その選択に応じた支援を行う。その際、我が国としては、再生可能エネルギー・水素の促進に積極的に取り組むとともに、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」ことが規定されている。</p> <p>これらを踏まえると、本事業の対象としている高効率ガスタービンの重要性が、なお増していることが明らかである。</p> <p>一方で、ガスタービン市場において、大型ガスタービンの競合企業である GE 等が最新機種を投入し、競争環境が厳しくなっている状況変化がある。例えば GE 社製 7HA.03 ガスタービンでは、63.4%LHV^[※] (57.4%HHV 程度) のコンバインドサイクル発電効率を達成している。しかしながらこの情勢を踏まえても、当時設定した、「大型ガスタービンの高効率化を目指し、1700℃級ガスタービンにおいて各要素技術を開発することで、コンバインドサイクル発電効率 58%HHV (64.0%LHV) 以上を達成する」という目標は、未だ十分に価値のある目標値であり、開発の着実な進展が必要となる。</p> <p>また、世界的な再生可能エネルギー導入の進展に従い、ガスタービンの市場についても一定の影響を受けるとともに不確実性が増していることは事実であるが、大型ガスタービンについては引き続き重要な電源である。</p> <p style="text-align: center;">※ Gas Turbine World 誌 2020 GTW Handbook に記載の公表値</p>
<p>中間評価結果への対応</p>	<p>中間評価でのコメント</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) 維持管理の費用や回数、期間なども運用上重要な点であるので、維持管理に関する目標も必要である。 (2) 実用化・事業化の担い手となるユーザーの関与は要検討である。 (3) 長期的ビジョンに立った要素技術開発の種を仕込んでおくことも望まれる。材料分野では、欧米にて航空機エンジンで培われた技術の転用が見受けられるため、ガスタービンのみの動向調査に留まることなく、より広い視点での調査と分析が実施されることが望ましい。 (4) 個々の要素技術開発が統合され、システム化された場合に想定される取り組むべき課題が明確ではない。 (5) 論文発表については今後の努力を期待する。 (6) 1700℃ガスタービンについては維持管理性の容易さに目を向ける必要がある。 (7) 本事業終了後の世界全体を視野に置いた市場展開について、マーケット調査や展開すべきターゲットの明確化をおこなう必要がある。特に、高効率化と再生可能エネルギーの高度普及に伴う負荷変動対応性との役割分担の明確化が重要と考える。 (8) 市場規模の想定や市場ニーズの検討には、その分野の専門家をいれて、更に深い分析をおこなった方が良い。 <p>コメントへの対応</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) 1700℃までの高温条件での運用について、従来機同等以上の寿命を確保することを目標として、セラミック系遮熱コーティング (TBC) の寿命ターゲット等を設定し、「維持管理に関する目標」としている。(①低熱伝導遮熱コーティング) また、外部給電非接触計測等、設備の保守に関連した研究開発も実施しており、本項目は「維持管理を向上させるための開発」と考える。 (2) 実用化・事業化の担い手となる三菱パワーを体制に組み込んでいる。受注活動を通して、ユーザーの意見を聴取し、製品開発に反映している。電気事業者向け NEDO 火力発電技術開発成果発表会 (協力：電気事業連合会) を開催し、電気事業者へ本事業の成果を発信した。 (3) 2018 年度 7 月から開始した別プロジェクトの中で、新たな超耐熱材料のガスタービンへの適用調査を実施している。今後も航空機エンジンに関する最新技術の転用も含めた、より広い視点での調査と分析を継続する。 (4) 本事業の全体管理者と実用化・事業化の担い手である三菱パワーの設計部門において、本事業で開発された要素技術を統合して製品化する際の課題を整理し、製品としての最適適用を検討している。 (5) 1700℃級ガスタービンについては知財管理を進めながら論文発表を増やすよう取り組む。(2016～2018 年度：1 本/年、2019～2020 年度：3 本/年) (6) 運用中の翼振動計測、クリアランス計測を高精度に行う特殊計測 (⑩特殊計測) と、ワイヤレスセンシングや実機部品の検査技術 (⑪高機能検査技術) 等、「維持管理を容易とする技術」についても取り組んでいる。 (7) 大容量機の高効率化を目指したものとして 1700℃級ガスタービンの開発を行っている (負荷応答性については、既存ガスタービンと同等)。一方で、再生可能エネルギーの高度普及に伴う負荷変動対応性向上を目指したガスタービンの開発を別プロジェクト (機動性に優れた広負荷帯高効率ガスタービン複合発電の要素研究) で行うかたちで役割分担している。 (8) 営業活動を開始しており、その一環として市場規模の想定や市場ニーズに関する市場調査も行っている。
<p>事前評価</p>	<p>本事業は、経済産業省 (METI) が直接実施した、「高効率ガスタービン技術実証事業」を継承して開始した事業である。METI 事業では、2011 年度に事業開始前の事前評価、</p>

評価に関する事項		<p>2013 年度に中間評価を行い、また 2015 年度に総合科学技術会議からの指摘を受け、第 2 回中間評価を実施済み。NEDO にて本事業を継承するにあたっては、第 2 回中間評価の指摘を反映した計画にて事業を継承した。</p> <p><第 23 回評価 WG 総合評価 -第 2 回中間評価 主要な指摘反映事項-></p> <p>(1) 1700℃級実証発電設備は、ガスタービン本体含めすべて事業者自前費用で建設し、補助事業に含めないこととする。</p> <p>(2) 2016 年度以降の補助申請対象範囲は、発電に直接寄与しない 1700℃の実証に関連する研究開発 および さらに高性能化を目指すための、より難易度とリスクの高い要素技術研究に関連する費用に限定する。</p> <p>なお、NEDO への事業継承の狙いは以下となる。</p> <p>石炭火力、L N G 火力は共通する要素技術が多く、火力発電全体の技術開発を加速するために、次世代火力発電技術に係る事業を一元管理し、一体的に進めることで、開発成果を共有しつつ、技術開発に係るリソースを最適化する。これにより、次世代火力発電技術の開発を加速し、早期の技術確立及び実用化を狙う。</p>
	中間評価	2018 年度 中間評価実施
	事後評価	2021 年度 事後評価実施
3. 研究開発成果について	<p>テーマ（１）：低熱伝導率遮熱コーティング 候補皮膜の遮熱性・耐久性が目標を満足し、且つ高温環境を模擬した要素試験によって経年劣化特性に問題無い結果が得られた。既に実機検証を開始しており健全な結果が得られている。</p> <p>テーマ（２）：高性能冷却システム 3D プリント技術や耐熱複合材を適用した高温部品を設計・製作し、その総合性能検証試験を実施することで、冷却性能達成及び構造成立性の目途を得た。</p> <p>テーマ（３）：非定常性制御燃焼技術 燃焼器内部計測技術の検証、多缶連成燃焼振動の燃焼振動評価手法の開発。音響ダンパや短縮燃焼器等による燃焼振動／NOx 抑制手法を開発した。</p> <p>テーマ（４）：超高性能タービン 排気ディフューザ要素試験を実施し、従来よりも大風量・高マッハ数条件の詳細な空力データを取得し、大風量タービンの性能予測を可能とした。</p> <p>テーマ（５）：翼列設計システム 静応力と振動応力を考慮して翼の外表面形状と内表面形状を最適化する翼列設計システムを構築し、構造強度と振動強度の制約条件を満足する形状を導出できることを確認した。</p> <p>テーマ（６）：境界層制御高性能圧縮機 中後方段用の改良チップクリアランス形状の性能を試験で確認し更なる効率向上の目途を得た。また、改良形状を解析ベースで検討、評価した。また、大出力用大流量圧縮機の性能と信頼性両立を、単段試験装置で検証した。</p> <p>テーマ（７）：高機能構造技術 ・実機ロータひずみ計測により解析の妥当性検証。打ち手の検討・選定完了。 ・タービン前方段動翼の非線形振動応答の予測技術の向上を達成した。 ・タービン後方段の空力減衰・構造減衰の予測技術の向上を達成した。</p> <p>テーマ（８）：高性能シール・高性能軸受 ・従来高性能シールより変形に対するロバスト性を向上させた AM ハニカムシールの実機製作性の検証と強度・摺動性の有効性を確認した。 ・従来軸受より更に高面圧条件での信頼性を向上させた。</p> <p>テーマ（９）：先進製造技術</p>	

- ・開発合金の高温強度試験にて目標達成。単結晶翼鋳造検証試験完了した。
- ・3D 造形材のレーザー接合技術を確立し、補修技術の実部品への適用評価を行った。
- ・3D 積層材の高温強度を改善し複雑冷却構造部品の造形技術を確立した。

テーマ（10）：鋳造プロセス設計システム
システム改良を完了し、大型動翼（全鋳型方案）の鋳造、脱ろろ解析モデルの作成期間を90%低減可能とした。

テーマ（11）：超高温強度評価技術
・長時間実機模擬環境で劣化させた材料の強度確認を行い、超高温環境での設計指針を明確にした。
・長質化により厳しくなる、タービン後方段動翼翼根の LCF 強度を向上できる手法としてショットピーニングを選定し、寿命が2倍以上に向上する施工条件を見出した。

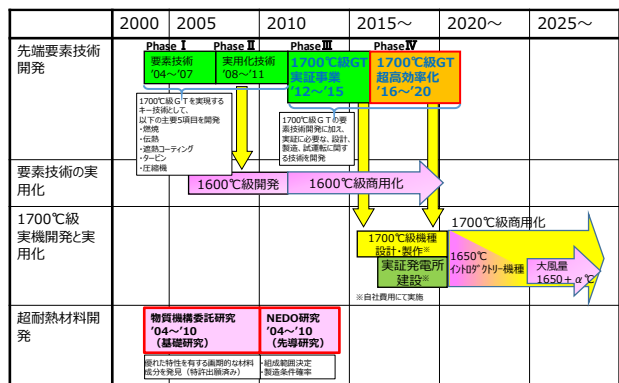
テーマ（12）：特殊計測技術
・実機タービン最終段に BVM センサを装着し、タービン翼振動を精度よく計測できることを確認した。
・チップクリアランスセンサを開発し、実機条件での試験で有効性を確認した。
・実機の数千点の信号をモニターし、異常検知信号を容易に把握できるシステムを開発した。
・光ファイバーによる温度分布および燃焼発熱量の計測システムを開発した。

テーマ（13）：高精度・高機能検査技術
・表面欠陥検査手法として、周密配置 ECT プロブにより0.5mmの微小き裂を検出できる技術を開発した。
・受電モジュールの20%小型化を実現し、実回転数3600rpmでの給電試験により100%の通信成功率を実証した。

投稿論文	9 件
特 許	「出願済」73 件（うち国際出願 40 件） （2016 年度 28 件（うち国際出願 8 件）、2017 年度 20 件（うち国際出願 15 件）、2018 年度 12 件（うち国際出願 10 件）、2019 年度 7 件（うち国際出願 7 件）、2020 年度 6 件（うち国際出願 0 件））
その他の外部発表 （プレス発表等）	「学会等発表」34 件、「受賞実績」1 件、「研究報告・雑誌投稿」1 件

4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて

1700℃級ガスタービン技術は、事業者自主費用により実証発電設備（第二丁地点）を建設し、1650℃次世代高効率ガスタービン JAC 形と新開発の高効率蒸気タービンを組み合わせた出力 566MW の最新鋭 GTCC 設備として、2020 年 1 月から試運転を開始し、2020 年 4 月 2 日にコンバインド定格出力 566MW 到達後、発電プラント運用に必要な諸試験・調整を実施し、発電設備としての機能確認を全て完了した後、2020 年 7 月 1 日より商業運転を開始している。



5. 基本計画に関する事項	作成時期	2016 年（H28）1 月 作成
	変更履歴	2016 年（H28）4 月改訂（実施体制，PM，評価時期等の変更） 2016 年（H28）4 月改訂（評価時期，研究開発スケジュール等の変更） 2017 年（H29）2 月改訂（研究開発項目の追加，PM・PL の修正，評価実施時期の修正等） 2017 年（H29）6 月改訂（中間目標の設定，中間評価時期の修正） 2018 年（H30）2 月改訂（研究開発項目の追加，PM・PL の修正，評価実施時期の修正等）

		2018年（H30）7月改定（研究開発項目の追加，PM・PLの修正等） 2019年（H31）3月改定（助成事業の終了年月日の変更，助成事業の総費用の変更，補助率の変更，助成金交付申請額の変更，研究体制の変更） 2020年（H32）7月改定（PM・PLの修正等）
--	--	--