

**「カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発／  
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」**

**事業原簿**

**公開版**

<b>担当部</b>	<b>国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 環境部</b>
------------	---

## 概 要

### プロジェクト用語集

<b>1. 事業の位置付け・必要性について</b> .....	1-1
1.1. 事業の背景・目的・位置づけ.....	1-1
1.2. NEDO の関与の必要性・制度への適合性.....	1-4
1.2.1 NEDO が関与することの意義.....	1-4
1.2.2 実施の効果（費用対効果）.....	1-4
<b>2. 研究開発マネジメントについて</b> .....	2-1
2.1. 事業の目標.....	2-1
2.2. 事業の計画内容.....	2-1
2.2.1 研究開発の内容.....	2-1
2.2.2 研究開発の実施体制.....	2-3
2.2.3 研究開発の運営管理.....	2-4
2.2.4 研究開発成果の実用化・事業化に向けた マネジメントの妥当性.....	2-4
2.3. 情勢変化への対応.....	2-5
2.4. 中間評価結果への対応.....	2-7
2.5. 評価に関する事項.....	2-8
<b>3. 研究開発成果について</b> .....	3-1
3.1. 事業全体の成果.....	3-1
3.2. 研究開発項目毎の成果（非公開版に記載）.....	3-5
<b>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</b> .....	4-1
4.1. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて.....	4-1

（添付資料）

- ・特許論文等リスト
- ・プロジェクト基本計画

# 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たための技術等の開発を更に進める」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、CO<sub>2</sub>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・CO<sub>2</sub>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—エネルギー革新技术計画」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イ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、CO<sub>2</sub>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	<p>事業の目標</p> <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 年度の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<sup>[※]</sup> (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"> <li>(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。</li> <li>(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。</li> <li>(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。</li> <li>(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。</li> <li>(5) 論文発表については今後の努力を期待する。</li> <li>(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。</li> <li>(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。</li> <li>(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。</li> </ol> <p>コメントへの対応</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(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。</li> <li>(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。</li> <li>(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。</li> <li>(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。</li> <li>(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)</li> <li>(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。</li> <li>(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。</li> <li>(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。</li> </ol>
<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>&lt;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-&gt;</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。

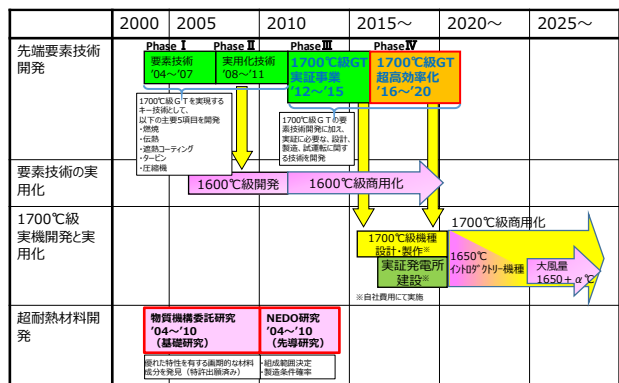
テーマ（12）：特殊計測技術  
・実機タービン最終段に BVM センサを装着し、タービン翼振動を精度よく計測できることを確認した。  
・チップクリアランスセンサを開発し、実機条件での試験で有効性を確認した。  
・実機の数千点の信号をモニターし、異常検知信号を容易に把握できるシステムを開発した。  
・光ファイバーによる温度分布および燃焼発熱量の計測システムを開発した。

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。

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

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。

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



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）
--	--	--



## プロジェクト用語集

名称	略号	意味
タービン		ガスタービンの構成要素であって、作動流体の膨張によって動力を発生させる回転機械。
圧縮機		ガスタービンの構成要素であって、作動流体の圧力を上昇させる回転機械。
燃焼器		燃料を燃焼させて作動流体を直接的に加熱する装置。
精密鑄造		ロストワックス法などによって、仕上げ加工が不要か、又は仕上代の少ない鑄造品を作る方法で、機械加工の困難な材料を用いるガスタービンの高温部品の製造に用いる。
多結晶翼		いろいろな向きの結晶からなり、多くの結晶粒界をもつタービン翼。
一方方向凝固翼		一方方向に凝固させた柱状晶からなるタービン翼。精密鑄造によって製造する。
単結晶翼		結晶粒界がなく、全体が一つの結晶からなるタービン翼。精密鑄造によって製造する。
複合材料		単一材料では得られない高比強度などの諸種の特性をもたせることができるように、複数の材料を複合化した材料。 長繊維又は短繊維による繊維強化形及び粒子強化形がある。ガスタービン構造部品には長繊維による繊維強化形複合材料が多く使用される。
繊維強化金属（複合材料） fiber reinforced metal metal matrix composite	FRM, MMC	アルミニウム、チタニウムなどの金属の母材を炭素などの繊維で強化した複合材料。ガスタービンの低温部分又は中高温部分の部品に使用される。
繊維強化セラミック fiber reinforced ceramics, ceramics matrix composite	FRC, CMC	セラミックスを母材に、金属セラミックスなどの繊維で強化した複合材料。ガスタービンの高温部分の部品に使用される。
繊維強化超合金（複合材料）		超合金を母材に、金属などの繊維で強化した複合材料。ガスタービンでは非常に高温な部分の部品に使用される。
電子ビーム溶接		金属などの部品の接合面を、細い高速の電子流ビームで局所的に加熱して、溶接によってつなげる接合方法。
遮熱コーティング thermal barrier coating	TBC	タービン、燃焼器などの高温部品の表面に施し、その熱抵抗によって金属温度を低減するコーティング。

名称	略号	意味
空気冷却 Air cooling		タービン、燃焼器など的高温部品を空気を媒体として冷却する冷却方法。
蒸気冷却 Steam cooling		タービン、燃焼器など的高温部品を蒸気を媒体として冷却する冷却方法。コンバインドサイクルでは通常、冷却を終えた高温蒸気をボトムグサイクルへ導き排熱を回収する。
クリアランスコントロール tipclearance control		タービン動翼先端と静止側との間げき（隙）（チップクリアランス）を静止側を冷却、加熱する方法によって機械的に制御すること。タービンの性能向上のために行う。圧縮機にも適用することがある。
（乾式）低NOx燃焼器 (dry) low NOx Combustor		窒素酸化物の形成を抑えるため、燃焼温度を低く抑えた燃焼器。予混合燃焼、希薄燃焼、二段燃焼、触媒燃焼などがある。
複合サイクル、コンバインドサイクル		ガスタービンなど内燃機関のサイクルと蒸気サイクルとを結合させて、熱効率の向上を図った熱力学的サイクル。
燃焼振動		燃焼器内の火炎発熱変動と音響的な変動（速度・圧力変動）との相互干渉によって発生し、多くの場合大振幅の圧力振動を伴う。エンジン構造部品の疲労破壊や致命的な破損につながる恐れがあるため、圧力振動レベルを許容値以下に収めることが、エンジン開発に必須の要求性能となっている。燃焼振動は現象の性質から熱音響不安定とも呼ばれる。
タービン動翼チップ		タービン動翼の先端。回転するタービン動翼における径方向外側の端部。
3Dプリンタ		3次元積層造形（AM: Additive Manufacturing）の俗称であり、複雑形状の部材を短時間に製造できる造形手法。AM装置ともいう。選択的レーザー溶融法(Selective Laser Melting、SLM)と呼ばれる手法が一般的によく知られており、薄く敷いた原料粉末に、造形したい箇所のみレーザーを照射して固化し、これを繰り返して積層造形する方法である。
レーザー粉体肉盛 レーザーメタルデポジション	LMD	必要な部分にのみレーザーを照射するとともに、原料粉末を連続的に供給しながらレーザーで溶融・固化していく施工方法。
超音波センサ UT センサ		非破壊検査の一つである超音波探傷試験（UT：Ultrasonic Testing）で使用するセンサのこと。音波探傷プローブ（UTプローブ）ともいう。
ETCプローブ		非破壊検査の一つである渦電流探傷試験（Eddy Current Testing/Electromagnetic Testing）で使用するセンサのこと。

# 1. 事業の位置付け・必要性について

## 1.1. 事業の背景・目的・位置づけ

### (1) 政策的重要性

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。2018年7月に閣議決定された第五次エネルギー基本計画において、「長期的に安定した持続的・自律的なエネルギー供給により、我が国経済社会の更なる発展と国民生活の向上、世界の持続的な発展への貢献を目指す」とされており、そのために必要となる技術開発の推進においては、「革新的な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り、長期的な研究開発の取組と制度の変革を伴うような包括的な取組が必要」とされている。また「困難な課題を根本的に解決するためには、革新的なエネルギー関係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と制度の変革を伴うような包括的な取組が必要である。」とされており、そうした様々な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、「環境エネルギー技術革新計画（2013年9月総合科学技術会議決定）」等も踏まえつつ、2014年12月に策定された「エネルギー関係技術開発ロードマップ」に言及されており、高効率ガスタービンの開発は本ロードマップにおける中核技術の一つである。また2016年4月に、2030年のエネルギーミックスの実現を図るため、省エネルギー、再生可能エネルギーをはじめとする関連制度を一体的に整備する「エネルギー革新戦略」が策定されている。さらには2016年4月に、現状の温室効果ガスの削減努力を継続するだけでなく、抜本的な削減を実現するイノベーション創出が不可欠であるとの認識の下、「エネルギー・環境イノベーション戦略」が策定されている。これら「エネルギー革新戦略」や「エネルギー・環境イノベーション戦略」においても高効率ガスタービンの開発は中核技術の一つである。

これらの政策を実現するために、発電規模に応じた発電熱効率の一層の向上が必要であり、ガスタービン高温部品の技術向上と発電サイクルの工夫が必要不可欠である。また、環境負荷の少ない発電システムを開発することは、電力の安定的かつ低廉な供給を確保する上で極めて重要な対策である。

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）におけるさらなる効率向上には、将来的に1700℃級ガスタービンの導入が不可欠である。

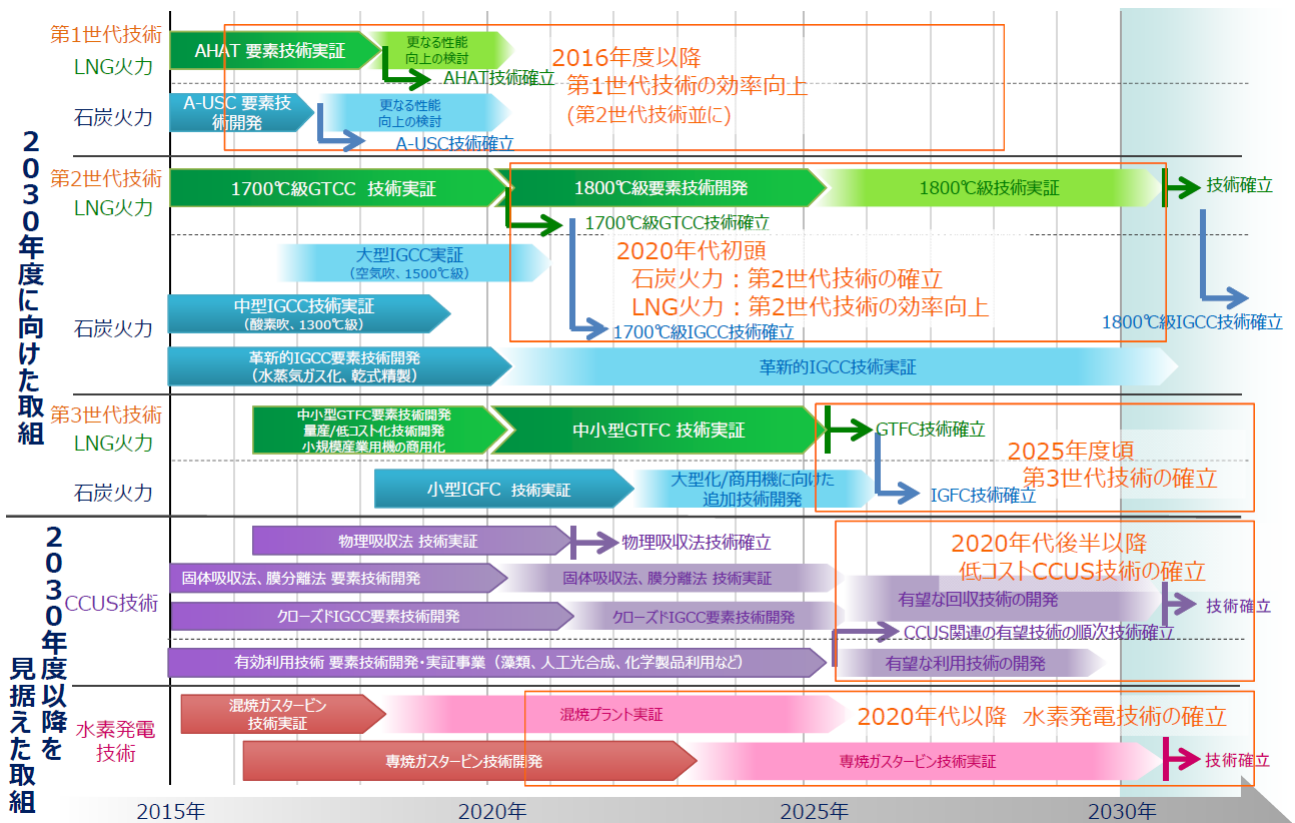


図 1.1 次世代火力発電に係る技術ロードマップ（出典：次世代火力発電の早期実現に向けた協議会、次世代火力発電に係る技術ロードマップ、2016年6月）

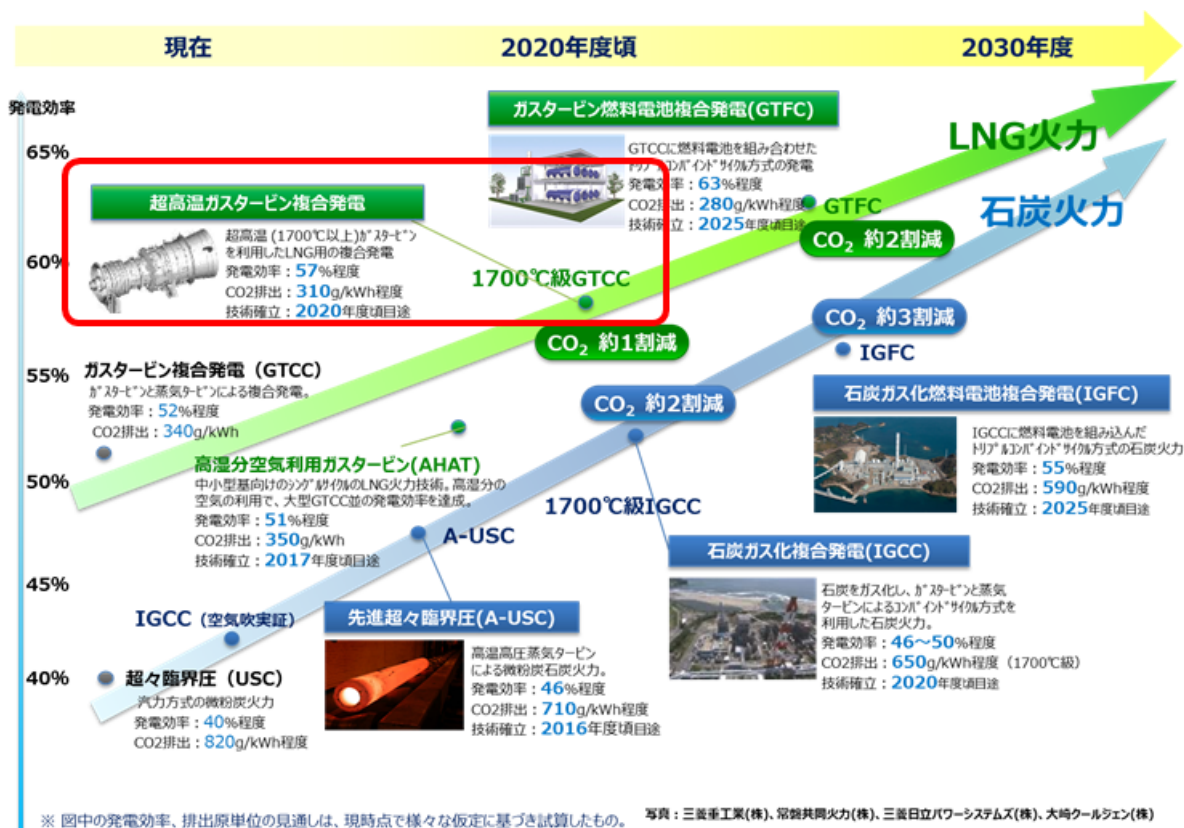


図 1.2 次世代火力発電に係る技術ロードマップ（2016年6月次世代火力発電の早期実現に向けた協議会「次世代火力発電に係る技術ロードマップ／技術参考資料集」を元に作成）

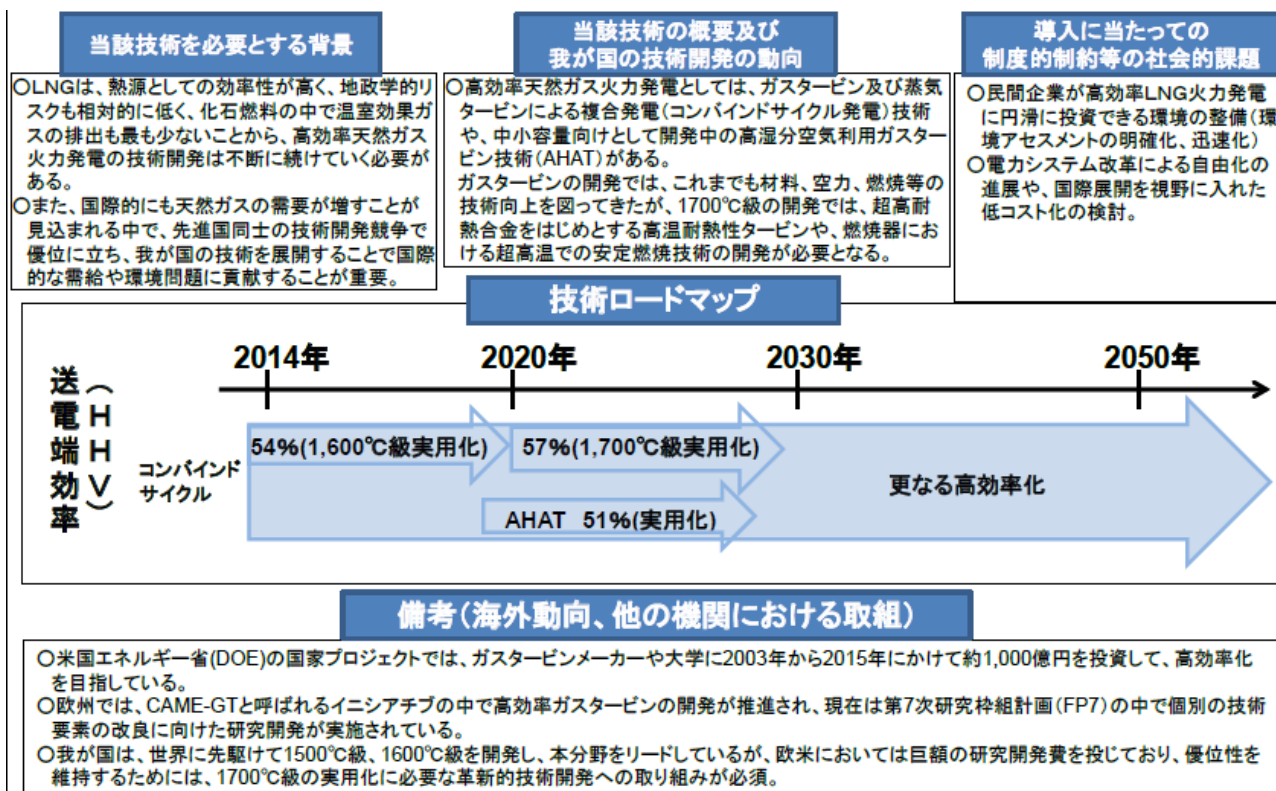


図 1.3 エネルギー関係技術開発ロードマップ/高効率天然ガス火力発電 (出典：経済産業省、エネルギー関係技術開発ロードマップ、2014年12月)

## (2) 我が国の状況

2018年7月に閣議決定された第五次全国エネルギー基本計画における、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CO<sub>2</sub>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%を非化石エネルギー源とすることが規定されている。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年度の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。

更に、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なども含め、CO<sub>2</sub>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。

また、2021年4月に開催された気候変動に関する首脳会議では、日本は、2030年に向けた温暖化ガスの排出削減目標として、2013年度比で46%削減を表明している。

これらを踏まえて、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増していることが明らかである。

## (3) 世界の取組状況

ガスタービン市場は、日米欧で世界シェアの大半を占めている。他国の競合他社も政府の支援を受けながら開発を進めており、その開発競争は激化している。例えば米国では DOE（米国エネルギー省）からの支援により GE とシーメンスが高効率のガスタービンを開発中である。

このため、我が国の国際競争力の強化のためには、世界に先んじて次世代の技術を早期に確立・実用化し、いち早く海外市場を獲得することが必要である。

我が国の火力発電の熱効率は世界最高水準を保っている。効率向上に大きく寄与するガスタービンにおいて、1600℃級という高温化を世界に先駆けて実現する等、熾烈な国際競争の中においても、我が国の高効率火力発電システムは、トップレベルを維持しており、世界をリードしている。しかしながら、燃料資源を他国に大きく依存する我が国にとっては、限られた資源の有効利用を図ることは至上命題であり、今後とも、更なる効率化を図っていく必要がある。

また、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、CO<sub>2</sub> 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。

## 1.2. NEDO の関与の必要性・制度への適合性

### 1.2.1 NEDO が関与することの意義

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、広範囲にわたる革新的な技術開発を通じた基礎技術の確立と実証試験を必要とする。1700℃級ガスタービンにおいては、事業用ガスタービンに係る 海外との熾烈な競争下において、開発には燃焼、材料等を含む幅広い技術分野を横断する革新的な技術開発が必要となるが、研究開発の難易度が高く、多大な研究開発投資を必要とする本技術開発の特性を考慮すると、民間企業だけではリスクが高く、官民がその方向性を共有する事が不可欠である。国家間の開発競争は熾烈を極め、更なる高温化・高効率化技術の開発が可能な国は、現状、米・日・独・伊の 4 カ国である。一方で、中・韓では国家を上げてガスタービンの国産化を支援しており、今後、競合相手となる可能性が高い。したがって、本事業は NEDO がもつこれまでの知識、実績を活かして推進すべき事業と位置付けている。

### 1.2.2 実施の効果（費用対効果）

#### （1）経済性効果

ガス価格が 10US\$/mmbtu 程度において、650MWの発電設備を運用する場合（設備利用率 70%、負荷 100%）を想定すると、送電端効率を 52%HHV から 58%HHV に高めることにより、年間 24 億円程度の燃料代の節約となる。

また、高効率機の開発により、我が国の市場シェアを大きく向上させ、これによりサプライヤへの経済波及効果も期待できる。既存の火力発電の 30～50%を高効率 GTCC に置き換えると、原輸換算で 1300～2200 万トン/年の省エネ効果がある。燃料代の節約となるため、電力事業者への経済メリットが大きい。

#### （2）CO<sub>2</sub> 削減効果

ガスタービンコンバインドサイクルを 1500℃級ガスタービンから 1700℃級ガスタービンへ高効率化を図ることにより、CO<sub>2</sub> 排出原単位は、0.35kg-CO<sub>2</sub>/kWh から 0.31kg-CO<sub>2</sub>/kwh に改善する。既存の火力発電の 30～50%を高効率ガスタービンコンバインドサイクルに置き換えると、発電所から発生する CO<sub>2</sub> 発生量の 10～17%を削減可能である。

## 2. 研究マネジメントについて

### 2.1. 事業の目標

[中間目標 (2018 年度) ]

1700°C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。

[最終目標 (2020 年度) ]

1700°C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% (高位発熱量基準) 達成の見通しを得る。

### 2.2. 事業の計画内容

#### 2.2.1 研究開発の内容

1700°C級ガスタービンの性能向上、信頼性向上に関する 13 項目の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とともに、1700°C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% (高位発熱量基準) 達成の見通しを得ることを目指す。

例として、製造技術・検査技術の開発、超高温高負荷タービンの信頼性向上、過酷環境下でのデータ取得のための特殊計測技術開発等を実施する。また、1700°C級での実証運転時における特殊計測の実施、試運転データの評価・分析を行い、商用化の検討を実施する。

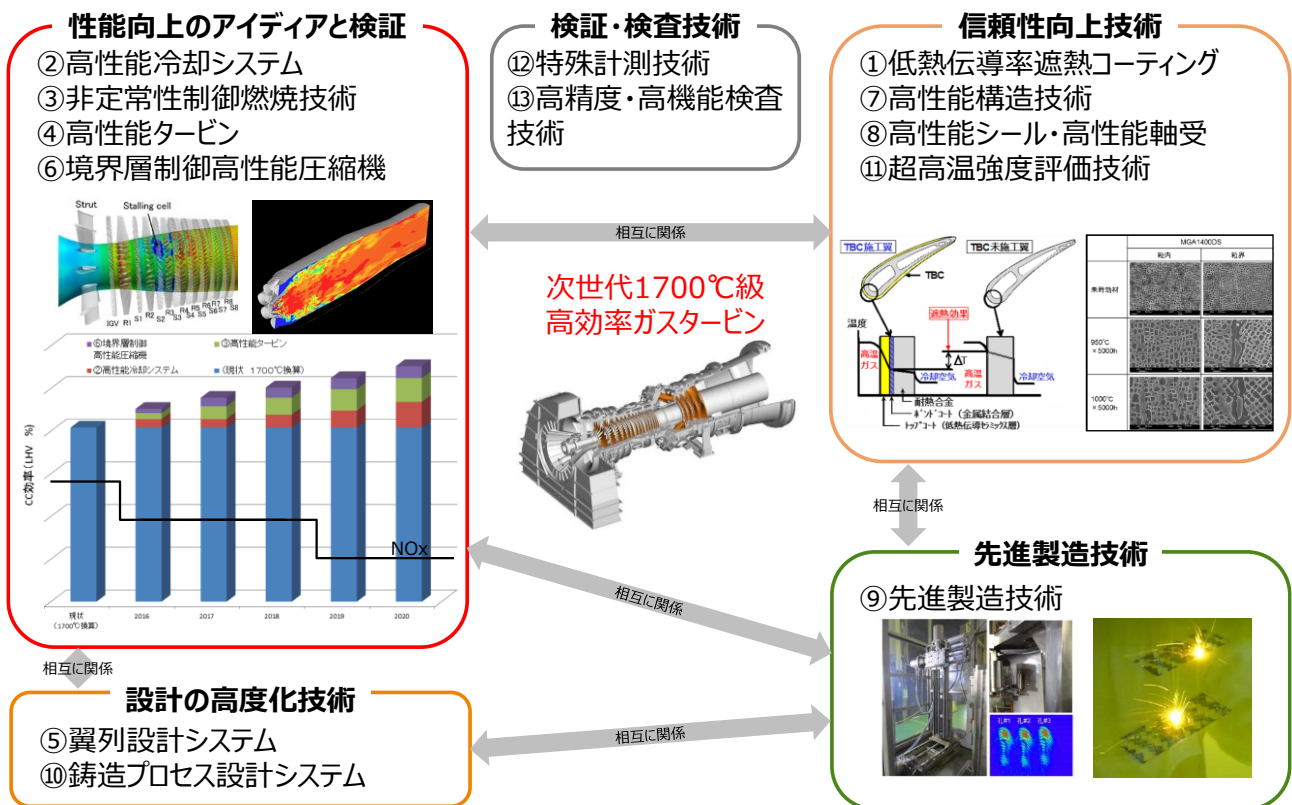


図 2.1 研究開発項目の相関図

表 2.1 研究開発目標と根拠（研究開発項目①～⑥）

研究開発項目	研究開発目標	根拠
①低熱伝導率遮熱コーティング (信頼性向上)	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。	先進TBC（多層型、超厚膜型）の皮膜特性の確保のためには、製造プロセスの安定化が必要である。また、実機は高温・高応力・高流速であり、先進TBCの信頼性・遮熱性の実証のためには、実機検証が必要である。
②高性能冷却システム (性能向上のアイデアと検証)	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。	ガスタービンコンバインドサイクルの更なる性能向上には、高温部品の冷却に用いる冷却空気を最小限とするタービン冷却翼を実現する必要があるため。
③非定常性制御燃焼技術 (性能向上のアイデアと検証)	燃焼器内部非定常計測技術、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。	実機では燃焼器を複数具備することで燃焼不安定リスクが大幅に高まるため、低NOx化と安定燃焼を両立させる施策を継続して検討・準備しておく必要があるため。
④超高性能タービン (性能向上のアイデアと検証)	1700℃級タービンにおいて、タービン効率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する。	市場動向から更なる高出力化が望まれており、タービン負荷が高い条件で更なる高効率化が必要であるため。また、運用面から、定格条件のみならず幅広い出力帯での性能・運用性も求められており、タービン開発に要求される技術レベルが非常に高くなっているため。
⑤翼列設計システム (設計の高度化技術)	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。	従来の設計システムでは1700℃級ガスタービンの構造強度と振動強度の制約条件を満足させる翼形状を見出すことが困難であり、開発期間が長期化する恐れがあるため。
⑥境界層制御高性能圧縮機 (性能向上のアイデアと検証)	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。	ガスタービンコンバインドサイクルの更なる性能向上の為に高圧力比化する必要がある。圧縮機中後方段は、チップクリアランス/翼高さの比率が増加する為、チップクリアランス損失による効率低下を抑制する必要がある。また、更なる大出力化の為に、大風量圧縮機用の前方段翼列を開発する必要がある。

表 2.2 研究開発目標と根拠（研究開発項目⑦～⑪）

研究開発項目	研究開発目標	根拠
⑦高機能構造技術 (信頼性向上)	・要素試験等による、疲労寿命向上の検証 ・GT 前方段動翼の非線形振動応答の予測技術の向上 ・GT 後方段の空力減衰・構造減衰の予測技術の向上	1700℃級ガスタービンの性能向上のために高温・高圧化する際、構造信頼性、特に疲労強度に問題が生じる可能性があるため。また、設計段階でタービン前方段、および、後方段動翼の非線形性を含む翼振動応答の高精度な予測技術が必要であるため。
⑧高性能シール・高性能軸受 (信頼性向上)	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。	ガスタービンの高出力化・高効率化のため、シールには高温環境への対応や熱伸び等の変形への追従、軸受については高負荷対応が求められており、そのためには新たな改良構造の設計・製造技術確立が不可欠であるため。
⑨先進製造技術 (先進製造技術)	・ casting 0.1mm、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 0.1mm 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。	1700℃級タービンの性能向上・信頼性確保のためには、タービン翼をはじめとする高温部品への複雑冷却構造の適用が必要とされるが、これを実現するためには casting、溶接、3次元積層造形技術などに関する先進的な製造技術が不可欠であるため。
⑩ casting プロセス設計システム (設計の高度化技術)	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期間化する。	空力/冷却効率の要求から形状が複雑化する精密 casting 翼铸件を、短期間で開発することが求められるが、そのためには casting プロセス解析期間を短縮する必要があるため。
⑪超高温強度評価技術 (信頼性向上)	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。	ガスタービンの効率向上を目的としたタービン入口温度の上昇や、冷却空気量の削減、ガスパス構造の変更等に伴い、タービン翼材はこれまでに知見のない超高温域での使用となる。これに対し、熱サイクルによる疲労、クリープ変形等の信頼性に関する問題が生じることが懸念されるが、従来の設計手法では高温域での設計を成立させることが難しいため合理化が必要。



表 2.3 研究開発目標と根拠（研究開発項目⑫、⑬）

研究開発項目	研究開発目標	根拠
⑫特殊計測技術 (検証・検査)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・タービン後方段での非接触翼振動計測技術を開発する。</li> <li>・総合監視機能を拡張し、実プラント運転にて検証する。</li> <li>・タービンチップクリアランス計測技術を開発する。</li> <li>・高精度流量計測技術を開発する。</li> <li>・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。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・超高温ガスタービンの性能・信頼性検証のための実機特殊計測には、高精度・高信頼性を有する計測技術の開発が必要であり、特に初号機性能検証、長期運用時の異常診断に適用するため。</li> </ul>
⑬高精度・高機能検査技術 (検証・検査)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・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。</li> <li>・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。</li> </ul>	<p>ガスタービン入口温度の上昇や、冷却空気量の削減、ガスパス構造の変更等に伴い、熱疲労やクリープの要求強度が厳しくなり、タービン翼の初期製造品質並びに運転中の信頼性向上がより要求されるため。データ送信用無線機（テレメータ）、電力受電モジュールの長時間安定した送受電技術が要求されるため。</p>

### 2.2.2 研究開発の実施体制

プロジェクトの進行全体の企画・管理やプロジェクトに求められる技術的成果及び政策的効果を最大化させるため、必要に応じてプロジェクトマネージャー（以下「PM」という。）を任命する。また、各実施者の研究開発ポテンシャルを最大限に活用し、効率的かつ効果的に研究開発を推進する観点から、必要に応じて研究開発責任者（プロジェクトリーダー、以下「PL」という。）を指名する。図 2.2 に実施体制を示す。

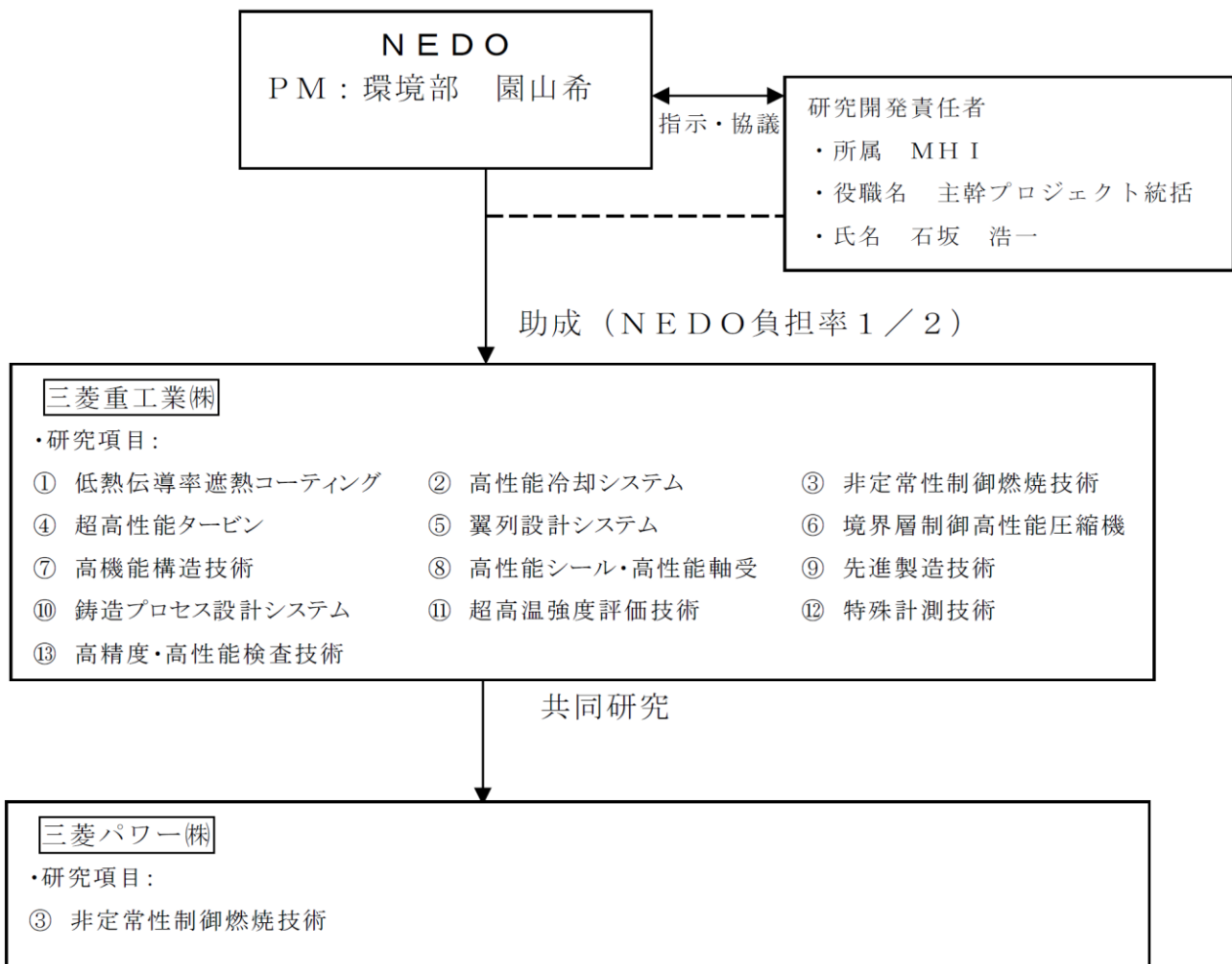


図 2.2 実施体制

### 2.2.3 研究開発の運営管理

NEDO は、研究開発全体の管理及び執行に責任を負い、研究開発の進捗のほか、外部環境の変化等を適切に把握し、必要な措置を講じるものとする。運営管理は、効率的かつ効果的な方法を取り入れることとし、次に掲げる事項を実施する。

#### (1) 進捗把握・管理

PM は、PL や研究開発実施者と密接に連携し、研究開発の進捗状況を把握する。従事日誌、月間工程表、執行管理表および現地調査並びに適宜ヒアリングにより実施状況をチェックし、目標達成の見通しを常に把握することに努める。

#### (2) 技術分野における動向の把握・分析

PM は、プロジェクトで取り組む技術分野について、内外の技術開発動向、政策動向、市場動向等について調査し、技術の普及方策の分析及び検討を行う。

### 2.2.4 研究開発成果の実用化・事業化に向けたマネジメントの妥当性

多様な技術分野にわたる開発が必要となることから、高度な専門技術を有する三菱重工業株式会社総合研究所の各部門をまとめる形で研究開発を遂行する方針とし、三菱重工業株式会社 石坂 浩一 主席プロジェクト統

括が PL として、責任をもって研究開発を推進するとともに、NEDO 環境部 PM が適時 PL と協議して、必要に応じて指示・サポートする体制とした。本事業における、実用化・事業化につなげる知財戦略・標準化戦略については、ノウハウとして保有する方が有利な技術は出願せず、知財として確保する方が有利な技術については積極的に特許として出願する方針とする。

## 2.3. 情勢変化への対応

事業開始である 2016 年度以降、下記のような情勢変化があり、本実証事業の重要性が一層強くなったと考えられる。

### (1) エネルギー基本計画

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。

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 年度の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。

更に、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。

これらを踏まえても、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増していることが明らかである。

### (2) 電力システム改革

電気事業の自由化は、卸電力自由化は 1995 年より、小売供給自由化は 2000 年の大口需要家を対象に実施されて以降、段階的に実施され、2016 年 4 月より全面自由化されている。

現在、国が進めている電力システム改革において、2016 年に小売全面自由化、2018 年～2020 年目途に小売料金規制撤廃の法整備がなされている。電力自由化に向けては、安全性、経済性、安定供給性ととも環境性、いわゆる 3E+S は我が国のエネルギー政策の基本であり、環境性に優れた安定電源として本技術の早期実用化が一層重要になってくる。

また長期エネルギー需給見通しの実現に向けて、電力業界では電気事業者等にて 2030 年度の 0.37kg-CO<sub>2</sub>/kWh の排出係数目標値を設定した。電気事業者等は本目標を達成するため「電気事業低炭素社会協議会」を設立するとともに、「電気事業における低炭素社会実行計画」を策定している。本実行計画においては、「火力発電所の新設等にあたり、プラント規模に応じて、経済的に利用可能な最良の技術(BAT)を活用すること等により、2020 年度に約 700 万 t-CO<sub>2</sub>、2030 年度に約 1,100 万 t-CO<sub>2</sub> の CO<sub>2</sub> 削減を見込む」とされている。

本事業で開発する高効率ガスタービンは、今後「経済的に利用可能な最良の技術（BAT）」になり得る技術であり、着実に成果を得るべく進めていくことが必要である。

## 目標

- 安全確保(S)を大前提とした、エネルギー安定供給、経済性、環境保全(3つのE)の同時達成を目指す「S+3E」の観点から、最適なエネルギーミックスを追求することを基本として、電気の需給両面での取組み等を推進し、引き続き低炭素社会の実現に向けて努力していく。

### 【2020年度目標】

- 火力発電所の新設等に当たり、プラント規模に応じて、経済的に利用可能な最良の技術(BAT)を活用すること等により、最大削減ポテンシャルとして約700万t-CO<sub>2</sub>の削減を見込む。※1※2

### 【2030年度目標】

- 政府が示す2030年度の長期エネルギー需給見通しに基づき、2030年度に国全体の排出係数0.37kg-CO<sub>2</sub>/kWh程度(使用端)を目指す。※1※3
- 火力発電所の新設等に当たり、プラント規模に応じて、経済的に利用可能な最良の技術(BAT)を活用すること等により、最大削減ポテンシャルとして約1,100万t-CO<sub>2</sub>の削減を見込む。※1※2

※1 エネルギー・環境政策や技術開発の国内外の動向、事業環境の変化等を踏まえて、PDCAサイクルを推進する中で、必要に応じて本「目標・行動計画」を見直していく。

※2 2013年度以降の主な電源開発におけるBATの導入を、従来型技術導入の場合と比較した効果等を示した最大削減ポテンシャル。

※3 本「目標・行動計画」が想定する電源構成比率や電力需要は、政府が長期エネルギー需給見通しで示したものであり、政府、事業者及び国民の協力により、2030年度に見通しが実現することを前提としている。

図 2.3 国内企業における取組み CO2 削減目標 (出典：電気事業低炭素社会協議会、2017 年度第 1 回 産業構造審議会 産業技術環境分科会 地球環境小委員会 資源・エネルギーワーキンググループ、資料 4-1 電気事業のける温暖化対策の取組、2017 年 12 月)

- 高経年化火力のリプレース・新規設備導入時の高効率設備の導入や、熱効率を可能な限り高く維持できるように既設設備の適切なメンテナンスや運用管理に努めることで、引き続き熱効率の維持向上に努めている。

## 【BAT導入に関する考え方】

- 様々な検討要素も総合的に勘案しつつ、プラント規模に応じて、経済的に利用可能な最良の技術(BAT)の導入に努めていく。

### ＜LNGコンバインドサイクル発電の導入＞

- 世界最高水準の約61%(低位発熱量基準:LHV)という高い熱効率を実現(2015年度末時点)。
- 今後も熱効率が60%程度の世界最高水準のコンバインドサイクル発電の計画・建設に努める。

### ＜超々臨界圧火力発電等の高効率設備の導入＞

- 熱効率の向上のため蒸気条件(温度、圧力)の向上を図っており、現在、最新鋭である600℃級の超々臨界圧石炭火力発電(USC)が導入されている。
- 従来型の石炭火力発電では利用が困難な灰融点の低い石炭も利用可能な、1200℃級の石炭ガス化複合発電(IGCC)を開発導入し、高効率化と併せて利用炭種の拡大も図る。

図 2.4 国内の企業活動における取組み 火力発電の高効率化等 (出典：電気事業低炭素社会協議会、2017 年度第 1 回 産業構造審議会 産業技術環境分科会 地球環境小委員会 資源・エネルギーワーキンググループ、資料 4-1 電気事業のける温暖化対策の取組、2017 年 12 月)

### (3) 海外における火力発電を取り巻く情勢

2015年12月開催予定の気候変動枠組条約締約国会議（COP21）において京都議定書に代わる温室効果ガス排出削減等のための新たな国際枠組みとして「パリ協定」が採択され、主要排出国を含むすべての国が削減目標を5年ごとに提出・更新すること、その実施状況を報告し、レビューを受けることが合意された。また世界共通の長期目標として、気温上昇を2℃より十分低く保持すること、1.5℃に抑える努力を迫及することにも言及された。世界的に環境負荷低減に向けた規制が厳しくなっている。

また、市場面において、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。例えば、GE社製7HA.03ガスタービンでは、63.4%LHV[Gas Turbine World誌2020 GTW Handbookに記載の公表値]（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。

### (4) 環境問題への対応

本事業で開発する1700℃級ガスタービン技術は、高効率で低CO<sub>2</sub>排出原単位（0.31kg-CO<sub>2</sub>/kWh程度）のベースロード運用を基本用途とした運用において、環境問題へ対応する技術として、その必要性は依然高い状態である。

一方で、環境問題の高まりにより自然エネルギーの普及に拍車がかかっており、ガスタービンなどの高負荷吸収能力を有する電源の必要性が増しており、運用性に重点を置いた以下の事業・技術開発が別途着手される。

○「機動性に優れる広い負荷帯高効率ガスタービン複合発電の要素研究」（2018～2021年度）

また、2050年カーボンニュートラル、脱炭素社会への機運も急速に高まっており、IEAのEnergy Technology Perspective 2020やNet Zero by 2050 Roadmap for the Global Energy Sectorに描かれている2050年カーボンニュートラル達成への道筋では、2050年以降天然ガス火力は縮小される一方で、電力部門の水素利用が求められている。発電による水素直接利用を想定した以下の事業・技術開発も別途着手されている。

○「低炭素社会実現に向けた水素専焼対応型Dry Low NO<sub>x</sub>高温ガスタービン発電設備の研究開発」

上記のような環境問題の高まりに対しても、1700℃級ガスタービン技術開発と並行してこれらを進めることで、幅広いニーズへの対応が可能となる。

## 2.4. 中間評価結果への対応

### (1) 研究開発マネジメント

(指摘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。

(対応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。

(指摘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。

(対応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。

(指摘 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。

(対応 3) 2018 年度 7 月から開始した別プロジェクト（機動性に優れる広負荷帯高効率ガスタービン複合発電の要素研究）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。

## (2) 研究開発成果

(指摘 1) 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。

(対応 1) 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。

(指摘 2) 論文発表については今後の努力を期待する。

(対応 2) 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）

## (3) 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通し

(指摘 1) 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。

(対応 1) 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（⑫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（⑬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。

(指摘 2) 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。

(対応 2) 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（機動性に優れる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。

(指摘 3) 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。

(対応 3) 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を行っている。

## 2.5. 評価に関する事項

### (1) 事前評価

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、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。

<第 2 3 回評価 WG 総合評価 第 2 回中間評価 主要な指摘反映事項>

(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。

(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 °C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。

なお、NEDO への事業継承の狙いは以下となる。

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。

## (2) 中間評価

①評価の実施時期：2018 年 9 月

②評価手法：外部評価

③評価事務局：評価部

④評価項目・基準

「事業の目的・政策的位置付け」

「研究開発マネジメントについて」

「研究開発成果について」

「成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて」

⑤評価委員

分科会長 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

分科会長代理 成瀬 一郎 名古屋大学 未来材料・システム研究所 教授

委員 赤松 史光 大阪大学 工学研究科 機械工学専攻 マイクロ機械科学部門 燃烧工学領域 教授

委員 佐藤 勉 株式会社国際協力銀行 インフラ・環境ファイナンス部門 電力・新エネルギー第2部 次長 兼 地球環境ユニット長

委員 巽 孝夫 国際石油開発帝石株式会社 再生可能エネルギー・電力事業本部 事業企画ユニット シニアコーディネータ

委員 辻田 誠 東京電力フュエル&パワー株式会社 O & M本部技術サービス部 発電設備技術センター タービン 技術担当

委員 吉見 享祐 東北大学 工学研究科 知能デバイス材料学専攻 教授

### 3. 研究開発成果

#### 3.1. 事業全体の評価

下表 3.1 に示すように、交付申請書記載の工程通り、遅滞なく完了している。また、研究成果の概要を表 3.2 に示す。

表 3.1 研究開発日程 (1/2)

	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 <sup>※1</sup> の組成制御技術の改良・高度化 耐環境性に優れたTBCの改良・開発 TBCの実用化技術開発 TBCの寿命評価技術の開発			(a)TBCの反熱電導制御技術の更なる高度化 (b)更なるTBCの改良・開発 (c)TBCの実用化・施工技術開発 (d)短寿命化を考慮した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 基本要素試験	改良要素試験 シミュレーション技術の高度化	検証試験	(a)高性能冷却システム開発	(c)供試体設計・製作 (d)総合性能検証試験②
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 NOx <sup>※2</sup> の抑制技術 (コンセプト検証) 燃焼振動の抑制技術 低NOx燃焼器の開発 (実機条件検証) コンセプト燃焼器 燃焼試験 設計・製作	光学計測法の改良 燃焼器での検証① シミュレーション技術の開発 (実機条件検証) 改良燃焼器① 燃焼試験 設計・製作	光学計測法の高度化 燃焼器での検証② 燃焼器での検証②	(a)光学計測法の改良② (b)燃焼器での検証③ (c)燃焼振動抑制コンセプト改良 (d)改良燃焼器② (e)燃焼振動評価技術の開発	光学計測法の高度化③ 燃焼器での検証③ 燃焼振動抑制コンセプト改良③ 改良燃焼器③ 燃焼振動評価技術の改良
④ 超高性能タービン	タービン性能向上検討・要素解析 要素試験 計画	改良検討 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 (改進)	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 (改進) (d)性能向上策検証試験	
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	高温対応高性能軸シールの開発 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



表 3.1 研究開発日程 (2/2)

	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度		
⑨ 先進製造技術	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 溶接 【溶接接合プロセス】 溶接接合技術検討 【肉盛補修プロセス】 肉盛補修プロセス検討 孔あけ 【加工計測制御】 特性把握 量産向けシステム検討 3次元積層 【積層造形プロセス】 造形技術検討	改良検討 量産プロセス確認 高度化検討 溶接部評価とプロセス改良 肉盛補修部評価とプロセス改良 量産向けシステム安定性確認 製造プロセス検討	詳細特性確認 改良検討・効果確認 改良検討・効果確認 効果確認 効果確認 改良検討・効果確認	(a)長時間特性確認 (b)検証異製造プロセス検討 (c)検証異試作・評価 (b)検証異製造プロセス検討 (c)検証異試作・評価 (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 (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 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 (j)高性能成形技術の開発			
	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			(a)改良案検討 システム試作・評価 (b)システム改良・評価		
	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 追傷・強度評価 追傷・強度評価 追傷・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			(a)構築した設計手法に必要な材料データ取得 (b)新規設計手法での実証評価 (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 (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	
		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			
		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 高精度流量計測技術 (c-1)高精度流量計測 検証試験 (c-2)センサの融合 検証試験 (c-3)3Dプリンタを用いた手法 検討	パワーフック技術の検討・要素試験 改良要素試験・検証試験 要素試験	
	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 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	要素試験 高速化検討 装置部品試作 検証試験 装置設計 装置製作 実機形状試験体製作 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 材料き裂検査手法検討	(a)母材き裂検査方法の検討		
		(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)精度向上・検証試験 精度向上、高速化 検証試験		
(3)再結晶検出技術の開発 基本コンセプト 検討 ユーザ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)柱状結晶検査の画像機構検証 (b)FFT画像記録方法の検討				

表 3.2 研究成果の概要

研究開発項目	目標	成果	達成度
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。	○
③非定常性制御燃焼技術	燃焼器内部非定常計測技術、多缶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。	○
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する。	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。	○
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。	○
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 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	・ casting 3D、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 3D 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。単結晶翼製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。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・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。</li> <li>・長翼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。</li> </ul>	○
⑫ 特殊計測技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>・タービン後方段での非接触翼振動計測技術を開発する。</li> <li>・総合監視機能を拡張し、実プラント運転にて検証する。</li> <li>・タービンチップクリアランス計測技術を開発する。</li> <li>・高精度流量計測技術を開発する。</li> <li>・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。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・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。</li> <li>・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。</li> <li>・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。</li> <li>・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。</li> </ul>	○
⑬ 高精度・高機能検査技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>・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。</li> <li>・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。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・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。</li> <li>・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。</li> </ul>	○

### 3.2. 研究開発項目毎の成果

非公開資料に開発項目毎の成果を示す。

## 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

### 4.1. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて

#### (1) 成果の事業化計画

下表に事業化までの工程を示す。2020 年度に自社費用により建設した実証発電設備において 1700℃級実証運転を行い、その後、長期検証試験を実施しながら、2022 年度から販売を開始し、2024 年度から収益が発生する計画である。

表 4.1 1 事業化工程計画

年度	H31 年度	H32 年度	H33 年度	H34 年度	H35 年度
研究開発		→			
設計・製作	→				
1700℃級実証試験		→			
長期検証				→	→
販売					→
収益発生					→

#### (2) 企業化の規模・量産化したときの製品の価格

以下にプラント単価および売上見通しを示す。

	プラント単価	販売数	受注	収益 (利益率 15%)
1 年目 (2022 年度)	500 億円	5 台	2,500 億円	375 億円
2 年目 (2023 年度)	500 億円	10 台	5,000 億円	750 億円
3 年目 (2024 年度)	500 億円	15 台	7,500 億円	1,125 億円

※1600℃級の改良、1650 1700℃級を合わせた超高効率機

#### 《売上見通し設定の考え方》

過去の実績では、1600℃級は 2011～2015 年の間で 41 台受注しており、平均して約 10 台/年の受注として売上高を算出した。収益は当社内の標準粗利率から換算。

#### (3) 輸出見通し

①見込数量、金額： 上記 (2)記載の 50%。

②主たる仕向地： アジア、北米

③海外製品との比較：MHPS は 1700℃級 (1650℃) ガスタービンを実用化済みである。現状実力を以下に示す。GE 社もさらに性能を伸ばしてくるものと予測されるため、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。

※ 現状性能比較 (Gas Turbine World 誌 に記載の公表値 )

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)

(LHV:低位発熱量 HHV:高位発熱量 基準)

注：記載の効率は発電端効率。送電端効率は通常この値より絶対値 1%程度低い。

## ●特許論文等リスト

【特許】

番号	出願者	出願番号	国内外 国 PCT	出願日	状態	名 称	発明者
1	三菱重工業株式会社	特願 2019-535489	国内	2017/8/8	登録	三次元積層造形装置、三次元積層造形方法、及び、三次元積層造形物	成田竜一、他
1	三菱重工業株式会社	PCT/JP2017/028845	PCT	2017/8/8	各 国 移 行 済	三次元積層造形装置、三次元積層造形方法、及び、三次元積層造形物	成田竜一、他
1	三菱重工業株式会社	CN)201780090892	外国	2017/8/8	出願	三次元積層造形装置、三次元積層造形方法、及び、三次元積層造形物	成田竜一、他
1	三菱重工業株式会社	US)16/613565	外国	2017/8/8	出願	三次元積層造形装置、三次元積層造形方法、及び、三次元積層造形物	成田竜一、他
1	三菱重工業株式会社	DE)112017007840.7	外国	2017/8/8	出願	三次元積層造形装置、三次元積層造形方法、及び、三次元積層造形物	成田竜一、他
2	三菱重工業株式会社	特願 2017-037689	国内	2017/2/28	打切り	タービン及びガスタービン	藤村大悟、他
3	三菱重工業株式会社	特願 2017-062063	国内	2017/3/28	みなし 取下げ	高温溶融塩環境下に耐える T B C 被膜	工藤大祐、他
3	三菱重工業株式会社	PCT/JP2018/012944	PCT	2018/3/28	各 国 移 行 済	高温溶融塩環境下に耐える T B C 被膜	工藤大祐、他
3	三菱重工業株式会社	CN)201880020863.1	外国	2018/3/28	出願	遮熱コーティング皮膜およびタービン部材	工藤大祐、他
3	三菱重工業株式会社	US)16/497067	外国	2018/3/28	出願	遮熱コーティング皮膜およびタービン部材	工藤大祐、他
3	三菱重工業株式会社	DE)112018001695.1	外国	2018/3/28	出願	遮熱コーティング皮膜およびタービン部材	工藤大祐、他
4	三菱重工業株式会社	特願 2016-252008	国内	2016/12/26	登録	タービン及びガスタービン	永井尚教、他
4	三菱重工業株式会社	PCT/JP2017/046634	PCT	2017/12/26	各 国 移 行 済	タービン及びガスタービン	永井尚教、他
4	三菱重工業株式会社	CN)201780042574.7	外国	2017/12/26	特 許 査 定	タービン及びガスタービン	永井尚教、他
4	三菱重工業株式会社	US)16/316519	外国	2017/12/26	特 許 査 定	タービン及びガスタービン	永井尚教、他
4	三菱重工業株式会社	DE)112017006555	外国	2017/12/26	出願	タービン及びガスタービン	永井尚教、他
5	三菱重工業株式会社	特願 2017-069008	国内	2017/3/30	出願	レーザ肉盛溶接装置、レーザ肉盛溶接方法、および溶接補修方法	妻鹿雅彦、他
6	三菱重工業株式会社	特願 2016-252020	国内	2016/12/26	登録	ディフューザ、タービン及びガスタービン	永井尚教、他
7	三菱重工業株式会社	特願 2017-071920	国内	2017/3/31	登録	遮熱コーティング、タービン翼及び遮熱コーティングの製造方法	三井裕之、他
8	三菱重工業株式会社	特願 2017-037690	国内	2017/2/28	登録	タービン及びガスタービン	藤村大悟、他
8	三菱重工業株式会社	PCT/JP2018/007511	PCT	2018/2/28	各 国 移 行 済	タービン及びガスタービン	藤村大悟、他
8	三菱重工業株式会社	CN)201880012940.9	外国	2018/2/28	出願	タービン及びガスタービン	藤村大悟、他
8	三菱重工業株式会社	US)16/486720	外国	2018/2/28	特 許 査 定	タービン及びガスタービン	藤村大悟、他
9	三菱重工業株式会社	特願 2016-251455	国内	2016/12/26	登録	遮熱コーティングの試験方法及び試験片	岡嶋芳史、他
9	三菱重工業株式会社	PCT/JP2017/046686	PCT	2017/12/26	各 国 移 行 済	遮熱コーティングの試験方法及び試験片	岡嶋芳史、他
9	三菱重工業株式会社	CN)201780079867.2	外国	2017/12/26	出願	遮熱コーティングの試験方法及び試験片	岡嶋芳史、他
9	三菱重工業株式会社	US)16/473337	外国	2017/12/26	出願	遮熱コーティングの試験方法及び試験片	岡嶋芳史、他
9	三菱重工業株式会社	DE)112017006563.1	外国	2017/12/26	出願	遮熱コーティングの試験方法及び試験片	岡嶋芳史、他
10	三菱重工業株式会社	特願 2016-230979	国内	2016/11/29	登録	ガスタービン	青山邦明
11	三菱重工業株式会社	特願 2016-243697	国内	2016/12/15	出願	回転機械	青山邦明、他

12	三菱重工業株式会社	特願 2016-233326	国内	2016/11/30	登録	燃焼器ノズル、及びガスタービン	青山邦明
13	三菱重工業株式会社	特願 2016-250120	国内	2016/12/22	登録	圧縮機ディフューザ、及びガスタービン	青山邦明, 他
14	三菱重工業株式会社	特願 2016-235224	国内	2016/12/2	出願	静翼セグメント、これを備えるガスタービン及びガスタービン設備	青山邦明
15	三菱重工業株式会社	特願 2017-013713	国内	2017/1/27	出願	三次元積層造形用金属粉末の製造方法、三次元積層造形方法及び三次元積層造形物	谷川秀次, 他
16	三菱重工業株式会社	特願 2017-052724	国内	2017/3/17	登録	タービン動翼、及びガスタービン	伊藤竜太, 他
17	三菱重工業株式会社	特願 2017-064847	国内	2017/3/29	出願	Ni 基合金積層造形体の熱処理方法、Ni 基合金積層造形体の製造方法、積層造形体用 Ni 基合金粉末、および Ni 基合金積層造形体	種池 正樹, 他
17	三菱重工業株式会社	PCT/JP2018/011982	PCT	2018/3/26	各 国 移 行 済	積層造形用ニッケル基材料	種池 正樹, 他
17	三菱重工業株式会社	CN)201880020741.2	外国	2018/3/26	出願	Ni 基合金積層造形体の熱処理方法、Ni 基合金積層造形体の製造方法、積層造形体用 Ni 基合金粉末、および Ni 基合金積層造形体	種池 正樹, 他
17	三菱重工業株式会社	US)16/495949	外国	2018/3/26	出願	Ni 基合金積層造形体の熱処理方法、Ni 基合金積層造形体の製造方法、積層造形体用 Ni 基合金粉末、および Ni 基合金積層造形体	種池 正樹, 他
17	三菱重工業株式会社	DE)112018001690	外国	2018/3/26	出願	Ni 基合金積層造形体の熱処理方法、Ni 基合金積層造形体の製造方法、積層造形体用 Ni 基合金粉末、および Ni 基合金積層造形体	種池 正樹, 他
18	三菱重工業株式会社	特願 2017-063266	国内	2017/3/28	登録	試験片の物性値測定方法及び遮熱コーティング層のヤング率測定方法	武野和馬, 他
19	三菱重工業株式会社	特願 2017-058334	国内	2017/3/24	特 許 査 定	テイルテイングパッド軸受用の軸受パッド、テイルテイングパッド軸受及び回転機械	吉峰千尋, 他
19	三菱重工業株式会社	PCT/JP2018/003378	PCT	2018/2/1	各 国 移 行 済	テイルテイングパッド軸受用の軸受パッド、テイルテイングパッド軸受及び回転機械	吉峰 千尋, 他
19	三菱重工業株式会社	CN)201880019122.1	外国	2018/2/1	登録	テイルテイングパッド軸受用の軸受パッド、テイルテイングパッド軸受及び回転機械	吉峰 千尋, 他
19	三菱重工業株式会社	US)16/494434	外国	2018/2/1	出願	テイルテイングパッド軸受用の軸受パッド、テイルテイングパッド軸受及び回転機械	吉峰 千尋, 他
19	三菱重工業株式会社	DE)112018001578.5	外国	2018/2/1	出願	テイルテイングパッド軸受用の軸受パッド、テイルテイングパッド軸受及び回転機械	吉峰 千尋, 他
20	三菱重工業株式会社	特願 2017-015275	国内	2017/1/31	登録	金属成形品の熱処理方法及び製造方法	藤原宏介, 他
20	三菱重工業株式会社	PCT/JP2018/003083	PCT	2018/1/31	各 国 移 行 済	金属成形品の熱処理方法及び製造方法	藤原宏介, 他
20	三菱重工業株式会社	CN)201880004353.5	外国	2018/1/31	出願	金属成形品の熱処理方法及び製造方法	藤原宏介, 他
20	三菱重工業株式会社	US)16/466797	外国	2018/1/31	出願	金属成形品の熱処理方法及び製造方法	藤原宏介, 他
20	三菱重工業株式会社	DE)112018000608.5	外国	2018/1/31	出願	金属成形品の熱処理方法及び製造方法	藤原宏介, 他
21	三菱重工業株式会社	特願 2017-019057	国内	2017/2/3	登録	三次元積層造形用のスライスデータ生成方法、三次元積層造形方法及び三次元積層造形用のスライスデータ生成プログラム	北村仁, 他
22	三菱重工業株式会社	特願 2017-023510	国内	2017/2/10	特 許 査 定	三次元積層造形装置およびその制御方法並びにビーム走査パターン生成プログラム	原口英剛, 他
23	三菱重工業株式会社	特願 2017-032370	国内	2017/2/23	打切り	異結晶検査装置、異結晶検査方法及びプログラム	竹田英哲, 他
24	三菱重工業株式会社	特願 2017-071921	国内	2017/3/31	登録	回転機械、計測装置及び計測方法	藤田真治, 他
25	三菱重工業株式会社	特願 2017-023511	国内	2017/2/10	登録	三次元積層造形装置	原口英剛, 他
26	三菱重工業株式会社	特願 2017-069315	国内	2017/3/30	出願	圧縮機ロータ、圧縮機及びガスタービン	岡部能幸, 他
27	三菱重工業株式会社	特願 2017-063692	国内	2017/3/28	登録	樹脂一体型中子の製造方法、鋳型製造方法、及び樹脂一体型中子	沖本 良太, 他
28	三菱重工業株式会社	特願 2018-055294	国内	2018/3/22	出願	ガスタービンの燃料ノズル及び燃焼器並びにガスタービン	橋口 和明, 他

28	三菱重工業株式会社	PCT/JP2019/002209	PCT	2019/1/24	出願	ガスタービンの燃料ノズル及び燃焼器並びにガスタービン	橋口 和明, 他
29	三菱重工業株式会社	特願 2017-067492	国内	2017/3/30	登録	ワイヤレス給電装置、テレメータ計測システム及び回転機械	大山 直樹, 他
29	三菱重工業株式会社	PCT/JP2017/018428	PCT	2017/5/16	各 国 行 移 済	回転体へのワイヤレス給電システムおよびタービンシステム	大山直樹, 他
29	三菱重工業株式会社	CN)201780029866.7	外国	2017/5/16	出願	回転体へのワイヤレス給電システムおよびタービンシステム	大山直樹, 他
29	三菱重工業株式会社	US)16/301540	外国	2017/5/16	登録	回転体へのワイヤレス給電システムおよびタービンシステム	大山直樹, 他
29	三菱重工業株式会社	DE)112017002491.9	外国	2017/5/16	出願	回転体へのワイヤレス給電システムおよびタービンシステム	大山直樹, 他
30	三菱重工業株式会社	特願 2018-055126	国内	2018/3/22	出願	ガスタービン燃焼器及びそれを備えるガスタービン、並びに、ガスタービン燃焼器の燃焼振動抑制方法	木村 勇一朗, 他
31	三菱重工業株式会社	特願 2017-067363	国内	2017/3/30	登録	遮熱コーティング方法、翼セグメントの製造方法	妻鹿 雅彦, 他
32	三菱重工業株式会社	特願 2018-064577	国内	2018/3/29	出願	チップニングを備えたタービン動翼チップ形状と冷却方法	飯田 耕一郎, 他
32	三菱重工業株式会社	US)16/366327	外国	2019/3/27	出願	タービン動翼、及びガスタービン	飯田 耕一郎, 他
33	三菱重工業株式会社	特願 2017-229611	国内	2017/11/29	登録	計測システム、加工システム、計測方法及びプログラム	小林 哲平, 他
33	三菱重工業株式会社	CN)201811438252.7	外国	2018/11/28	出願	計測システム、加工システム、計測方法及びプログラム	小林 哲平, 他
33	三菱重工業株式会社	US)16/202709	外国	2018/11/28	登録	計測システム、加工システム、計測方法及びプログラム	小林 哲平, 他
33	三菱重工業株式会社	DE)102018009406.6	外国	2018/11/29	出願	計測システム、加工システム、計測方法及びプログラム	小林 哲平, 他
34	三菱重工業株式会社	特願 2018-064578	国内	2018/3/29	出願	タービン動翼チップ部の冷却方法	伊藤 竜太, 他
34	三菱重工業株式会社	PCT/JP2019/013176	PCT	2019/3/27	出願	タービン動翼、及びガスタービン	伊藤 竜太, 他
34	三菱重工業株式会社	CN)201980017150.4	外国	2019/3/27	出願	タービン動翼、及びガスタービン	伊藤 竜太, 他
34	三菱重工業株式会社	KR)1020207025625	外国	2019/3/27	出願	タービン動翼、及びガスタービン	伊藤 竜太, 他
34	三菱重工業株式会社	US)16/978998	外国	2019/3/27	出願	タービン動翼、及びガスタービン	伊藤 竜太, 他
34	三菱重工業株式会社	DE)112019001666	外国	2019/3/27	出願	タービン動翼、及びガスタービン	伊藤 竜太, 他
35	三菱重工業株式会社	特願 2018-059893	国内	2018/3/27	出願	遮熱コーティング、タービン部材、ガスタービン及び遮熱コーティングの製造方法	工藤 大祐, 他
36	三菱重工業株式会社	特願 2018-178659	国内	2018/9/25	出願	ガスタービン用燃焼器	瀧口 智志, 他
37	三菱重工業株式会社	特願 2017-179332	国内	2017/9/19	出願	部材の接合方法	谷川 秀次, 他
37	三菱重工業株式会社	CN)201811091103.8	外国	2018/9/18	出願	部材の接合方法及びタービン構成部品	谷川 秀次, 他
37	三菱重工業株式会社	US)16/134415	外国	2018/9/18	出願	部材の接合方法及びタービン構成部品	谷川 秀次, 他
37	三菱重工業株式会社	EP)18195306.8	外国	2018/9/18	出願	部材の接合方法及びタービン構成部品	谷川 秀次, 他
38	三菱重工業株式会社	特願 2018-061315	国内	2018/3/28	打切り	ポンプ吸込水槽	飯野 真成, 他
39	三菱重工業株式会社	特願 2018-042942	国内	2018/3/9	登録	加工位置補正装置および電解加工装置	小野寺 祥, 他
39	三菱重工業株式会社	CN)201811579213.9	外国	2018/12/21	特 許 査 定	加工位置補正装置および電解加工装置	小野寺 祥, 他
39	三菱重工業株式会社	US)16/233838	外国	2018/12/27	出願	加工位置補正装置および電解加工装置	小野寺 祥, 他
39	三菱重工業株式会社	DE)102018010114.3	外国	2018/12/21	出願	加工位置補正装置および電解加工装置	小野寺 祥, 他
40	三菱重工業株式会社	特願 2018-043386	国内	2018/3/9	出願	インペラ、遠心圧縮機、ガスタービン及びインペラの製造方法	枅谷 穰, 他
40	三菱重工業株式会社	CN)201910175100	外国	2019/3/7	出願	インペラ、遠心圧縮機、ガスタービン及びインペラの製造方法	枅谷 穰, 他
40	三菱重工業株式会社	US)16/294213	外国	2019/3/6	特 許 査 定	インペラ、遠心圧縮機、ガスタービン及びインペラの製造方法	枅谷 穰, 他
40	三菱重工業株式会社	DE)102019001588.6	外国	2019/3/7	出願	インペラ、遠心圧縮機、ガスタービン及びインペラの製造方法	枅谷 穰, 他
41	三菱重工業株式会社	特願 2018-050966	国内	2018/3/19	出願	ガスタービンの燃料ノズル及び燃焼器並びにガスタービン	宮崎 洸治, 他
41	三菱重工業株式会社	PCT/JP2019/002093	PCT	2019/1/23	出願	ガスタービンの燃料ノズル及び燃焼器並びにガスタービン	宮崎 洸治, 他



42	三菱重工業株式会社	特願 2018-037532	国内	2018/3/2	出願	皮膜のヤング率分布算出方法及び試料ホルダ	岡嶋 芳史, 他
43	三菱重工業株式会社	特願 2018-087475	国内	2018/4/27	出願	ガスタービン静翼とロータ隙間のシール方法	飯田 耕一郎, 他
43	三菱重工業株式会社	CN)201910337733.7	外国	2019/4/24	出願	ガスタービン	飯田 耕一郎, 他
43	三菱重工業株式会社	US)16/384278	外国	2019/4/15	出願	ガスタービン	飯田 耕一郎, 他
43	三菱重工業株式会社	DE)102019002930.5	外国	2019/4/23	出願	ガスタービン	飯田 耕一郎, 他
44	三菱重工業株式会社	特願 2018-057716	国内	2018/3/26	出願	遮熱コーティング、タービン部材、ガスタービン及び遮熱コーティングの製造方法	鳥越 泰治, 他
44	三菱重工業株式会社	PCT/JP2019/004158	PCT	2019/2/6	出願	遮熱コーティング、タービン部材、ガスタービン及び遮熱コーティングの製造方法	鳥越 泰治, 他
44	三菱重工業株式会社	CN)201980021203.X	外国	2019/2/6	出願	遮熱コーティング、タービン部材、ガスタービン及び遮熱コーティングの製造方法	鳥越 泰治, 他
44	三菱重工業株式会社	KR)1020207027049	外国	2019/2/6	出願	遮熱コーティング、タービン部材、ガスタービン及び遮熱コーティングの製造方法	鳥越 泰治, 他
44	三菱重工業株式会社	TH)2001005340	外国	2019/2/6	出願	遮熱コーティング、タービン部材、ガスタービン及び遮熱コーティングの製造方法	鳥越 泰治, 他
44	三菱重工業株式会社	US)16/979971	外国	2019/2/6	出願	遮熱コーティング、タービン部材、ガスタービン及び遮熱コーティングの製造方法	鳥越 泰治, 他
44	三菱重工業株式会社	EP)19776808.8	外国	2019/2/6	出願	遮熱コーティング、タービン部材、ガスタービン及び遮熱コーティングの製造方法	鳥越 泰治, 他
45	三菱重工業株式会社	特願 2018-042501	国内	2018/3/9	みなし 取下げ	一方向性凝固物の検査装置、及び、一方向性凝固物の検査方法	竹田 英哲, 他
45	三菱重工業株式会社	特願 2019-043197	国内	2019/3/8	出願	一方向性凝固物の検査装置、及び、一方向性凝固物の検査方法	竹田 英哲, 他
46	三菱重工業株式会社	特願 2018-065213	国内	2018/3/29	出願	蒸気タービンプラント	上地 英之, 他
46	三菱重工業株式会社	US)16/366166	外国	2019/3/27	出願	ボイラープラント、及びその運転方法	上地 英之, 他
47	三菱重工業株式会社	特願 2018-065575	国内	2018/3/29	出願	クローズド空気冷却による排ガス加熱	青山 邦明, 他
48	三菱重工業株式会社	特願 2018-042458	国内	2018/3/9	登録	金属成形品の製造方法	谷川 秀次, 他
48	三菱重工業株式会社	CN)201910089481	外国	2019/1/29	出願	金属成形品の製造方法	谷川 秀次, 他
48	三菱重工業株式会社	US)16/266322	外国	2019/2/4	出願	金属成形品の製造方法	谷川 秀次, 他
48	三菱重工業株式会社	DE)102019000869.3	外国	2019/2/6	出願	金属成形品の製造方法	谷川 秀次, 他
49	三菱重工業株式会社	特願 2018-079987	国内	2018/4/18	出願	ディフューザ	青山 邦明, 他
49	三菱重工業株式会社	CN)201910301678.6	外国	2019/4/15	特許 査定	圧縮機ディフューザ、ガスタービン	青山 邦明, 他
49	三菱重工業株式会社	US)16/385694	外国	2019/4/16	出願	圧縮機ディフューザ、ガスタービン	青山 邦明, 他
49	三菱重工業株式会社	DE)102019002800.7	外国	2019/4/16	出願	圧縮機ディフューザ、ガスタービン	青山 邦明, 他
50	三菱重工業株式会社	特願 2018-045419	国内	2018/3/13	出願	セラミックコーティングの補修方法、セラミックコーティング、タービン部材及びガスタービン	谷川 秀次, 他
50	三菱重工業株式会社	US)16/285699	外国	2019/2/26	出願	セラミックコーティングの補修方法、セラミックコーティング、タービン部材及びガスタービン	谷川 秀次, 他
50	三菱重工業株式会社	DE)102019001482	外国	2019/3/1	出願	セラミックコーティングの補修方法、セラミックコーティング、タービン部材及びガスタービン	谷川 秀次, 他
51	三菱重工業株式会社	特願 2018-046425	国内	2018/3/14	出願	セラミックコーティング、タービン部材、ガスタービン及びセラミックコーティングの製造方法	谷川 秀次, 他
51	三菱重工業株式会社	US)16/255193	外国	2019/1/23	出願	セラミックコーティング、タービン部材、ガスタービン及びセラミックコーティングの製造方法	谷川 秀次, 他
51	三菱重工業株式会社	DE)102019000558.9	外国	2019/1/25	出願	セラミックコーティング、タービン部材、ガスタービン及びセラミックコーティングの製造方法	谷川 秀次, 他
52	三菱重工業株式会社	特願 2018-080140	国内	2018/4/18	出願	ガスタービンシステム	青山 邦明, 他

52	三菱重工業株式会社	CN)201910302749.4	外国	2019/4/15	出願	ガスタービンシステム	青山 邦明, 他
52	三菱重工業株式会社	US)16/376054	外国	2019/4/5	出願	ガスタービンシステム	青山 邦明, 他
52	三菱重工業株式会社	DE)102019002712.4	外国	2019/4/12	出願	ガスタービンシステム	青山 邦明, 他
53	三菱重工業株式会社	特願 2019-045288	国内	2019/3/12	出願	タービン動翼及びコンタクト面製造方法	岡嶋 芳史, 他
53	三菱重工業株式会社	PCT/JP2020/006318	PCT	2020/2/18	出願	タービン動翼及びコンタクト面製造方法	岡嶋 芳史, 他
54	三菱重工業株式会社	特願 2019-054229	国内	2019/3/22	出願	積層造形用合金粉末、積層造形物及び積層造形方法	種池 正樹, 他
54	三菱重工業株式会社	PCT/JP2019/039493	PCT	2019/10/7	出願	積層造形用合金粉末、積層造形物及び積層造形方法	種池 正樹, 他
55	三菱重工業株式会社	特願 2019-051032	国内	2019/3/19	出願	一方向凝固物、タービン動翼及び一方向凝固物の補修方法	妻鹿 雅彦, 他
55	三菱重工業株式会社	CN)201911155923.3	外国	2019/11/22	出願	一方向凝固物、タービン動翼及び一方向凝固物の補修方法	妻鹿 雅彦, 他
55	三菱重工業株式会社	US)16/680752	外国	2019/11/12	出願	一方向凝固物、タービン動翼及び一方向凝固物の補修方法	妻鹿 雅彦, 他
55	三菱重工業株式会社	DE)102019008167.6	外国	2019/11/25	出願	一方向凝固物、タービン動翼及び一方向凝固物の補修方法	妻鹿 雅彦, 他
56	三菱重工業株式会社	特願 2019-062046	国内	2019/3/28	出願	遮熱コーティング、タービン部材、ガスタービン及び遮熱コーティングの製造方法	妻鹿 雅彦, 他
57	三菱重工業株式会社	特願 2019-123678	国内	2019/7/2	出願	遮熱コーティング部品および遮熱コーティング部品の製造方法	岡嶋 芳史, 他
57	三菱重工業株式会社	PCT/JP2020/023137	PCT	2020/6/12	出願	遮熱コーティング部品および遮熱コーティング部品の製造方法	岡嶋 芳史, 他
58	三菱重工業株式会社	特願 2019-065811	国内	2019/3/29	登録	高温部品、高温部品の製造方法及び流量調節方法	徳武 太郎, 他
58	三菱重工業株式会社	TW)109105683	外国	2020/2/21	出願	高温部品、高温部品の製造方法及び流量調節方法	徳武 太郎, 他
58	三菱重工業株式会社	PCT/JP2020/006527	PCT	2020/2/19	出願	高温部品、高温部品の製造方法及び流量調節方法	徳武 太郎, 他
59	三菱重工業株式会社	特願 2019-065821	国内	2019/3/29	出願	高温部品及び高温部品の製造方法	飯田 耕一郎, 他
59	三菱重工業株式会社	TW)109105648	外国	2020/2/21	特許査定	高温部品及び高温部品の製造方法	飯田 耕一郎, 他
59	三菱重工業株式会社	PCT/JP2020/006544	PCT	2020/2/19	出願	高温部品及び高温部品の製造方法	飯田 耕一郎, 他
60	三菱重工業株式会社	特願 2019-067242	国内	2019/3/29	出願	計測システム、回転機械および計測方法	飯塚 健二, 他
60	三菱重工業株式会社	CN)201911178872.6	外国	2019/11/26	出願	計測システム、回転機械および計測方法	飯塚 健二, 他
60	三菱重工業株式会社	US)16/697395	外国	2019/11/27	出願	計測システム、回転機械および計測方法	飯塚 健二, 他
60	三菱重工業株式会社	DE)102019008240	外国	2019/11/27	出願	計測システム、回転機械および計測方法	飯塚 健二, 他
61	三菱重工業株式会社	特願 2019-065817	国内	2019/3/29	登録	高温部品及び高温部品の製造方法	谷川 秀次, 他
61	三菱重工業株式会社	TW)109105595	外国	2020/2/21	特許査定	高温部品及び高温部品の製造方法	谷川 秀次, 他
61	三菱重工業株式会社	PCT/JP2020/006559	PCT	2020/2/19	出願	高温部品及び高温部品の製造方法	谷川 秀次, 他
62	三菱重工業株式会社	特願 2019-072827	国内	2019/4/5	出願	燃焼器及びガスタービン	青木 虹造, 他
62	三菱重工業株式会社	PCT/JP2020/011786	PCT	2020/3/17	国内移行取止	燃焼器及びガスタービン	青木 虹造, 他
63	三菱重工業株式会社	特願 2019-072829	国内	2019/4/5	出願	燃焼器及びガスタービン	青木 虹造, 他
63	三菱重工業株式会社	PCT/JP2020/011530	PCT	2020/3/16	出願	燃焼器及びガスタービン	青木 虹造, 他
64	三菱重工業株式会社	特願 2020-058245	国内	2020/3/27	出願	受電モジュール型テレメータ送信機、テレメータ計測システム、回転機械、およびテレメータ送信方法	飯塚 健二, 他
64	三菱重工業株式会社	PCT/JP2021/012279	PCT	2021/3/24	出願	受電モジュール型テレメータ送信機、テレメータ計測システム、回転機械、およびテレメータ送信方法	飯塚 健二, 他
65	三菱重工業株式会社	特願 2020-059326	国内	2020/3/30	出願	セラミックスコーティング、タービン部材及びガスタービン	岡嶋 芳史, 他
65	三菱重工業株式会社	PCT/JP2021/012809	PCT	2021/3/26	出願	セラミックスコーティング、タービン部材及びガスタービン	岡嶋 芳史, 他
66	三菱重工業株式会社	特願 2020-061730	国内	2020/3/31	出願	造形物の製造方法	妻鹿 雅彦, 他
66	三菱重工業株式会社	CN)202110065559.2	外国	2021/1/18	出願	造形物の製造方法	妻鹿 雅彦, 他

66	三菱重工業株式会社	US)17/152275	外国	2021/1/19	出願	造形物の製造方法	妻鹿 雅彦, 他
66	三菱重工業株式会社	EP)21152533.2	外国	2021/1/20	出願	造形物の製造方法	妻鹿 雅彦, 他
67	三菱重工業株式会社	特願 2021-001605	国内	2021/1/7	出願	積層造形用合金粉末、積層造形体及び積層造形方法	種池 正樹, 他
68	三菱重工業株式会社	特願 2020-050646	国内	2020/3/23	出願	燃焼器、及びこれを備えるガスタービン	松村 嘉和, 他
68	三菱重工業株式会社	PCT/JP2021/011391	PCT	2021/3/19	出願	燃焼器、及びこれを備えるガスタービン	松村 嘉和, 他
69	三菱重工業株式会社	特願 2020-168965	国内	2020/10/6	出願	動翼	石田 智広, 他
70	三菱重工業株式会社	特願 2020-182710	国内	2020/10/30	出願	ハニカムシール、及び回転機械	吉田 亜積, 他
71	三菱パワー株式会社	特願 2021-039173	国内	2021/3/11	出願	クリアランスセンサ	植田 元春, 他
72	三菱重工業株式会社	特願 2021-083983	国内	2021/05/18	出願	付加造形物の製造方法	谷川 秀次, 他
73	三菱重工業株式会社	特願 2021-087364	国内	2021/05/25	出願	無線計測システム、表面弾性波素子および無線計測方法	森下 慶一, 他

(Patent Cooperation Treaty: 特許協力条約)

### 【論文】

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
1	石坂浩一	三菱重工	1700℃級超高温ガスタービンの要素技術の開発	三菱重工技報、Vol.54、No.3	有	2017
2	吉岡真一	三菱重工	1700℃級発電用ガスタービン技術の開発について	一般社団法人日本動力協会「エネルギーと動力」第 291 号	有	2018
3	齋藤亮祐	三菱重工	Application of 3D Printing Measurement Blades for Oil Flow Visualization in High Speed Axial Compressor	アジアガスタービン学会-ACGT2018	有	2018
4	野田純司	三菱重工	デュアル燃焼ガスタービン向け油燃焼器の開発を支える実験解析技術	三菱重工技報、Vol.57、No.1	有	2019
5	飯塚健二	三菱重工	ワイヤレスセンシングを可能とする回転体への電力伝送技術	三菱重工技報、Vol.57、No.1	有	2019
6	木村泰徳	三菱重工	見聞記 2019 ASME 国際会議 5.1.2 タービン	日本ガスタービン学会誌、47巻、5号 P.341	無	2019
7	三戸良介	三菱重工	PREDICTION OF ROTATING STALL DURING STARTUP FOR AXIAL COMPRESSORS	ASME TURBO EXPO 2019 PROCEEDINGS PAPER	有	2019
8	岡嶋芳史	三菱重工	世界最高温度 1650℃級 JAC 形ガスタービン向け先進遮熱コーティングの開発	三菱重工技報、Vol.58、No.1	有	2020
9	甲田貴也	三菱重工	燃焼振動低減と NOx 排出抑制を両立する新型音響ダンパ	三菱重工技報、Vol.58、No.1	有	2020

### 【外部発表】

#### (a) 学会発表・講演

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	福場信一	三菱重工	高温・高圧条件におけるガスタービン燃焼器内の火災発熱変動の計測	日本ガスタービン学会 第 44 回 定期講演会	2016 年 10 月
2	上野真次	三菱重工	ガスタービン圧縮機 多段高速試験装置の開発	日本ガスタービン学会 第 44 回 定期講演会	2016 年 10 月
3	山下知志	三菱重工	Application of 3D printing measurement blades for high speed axial compressor test rig	アジアガスタービン学会	2016 年 11 月
4	岡部能幸	三菱重工	Study of Heat Transfer in Rotor-rotor Cavity	The Asian Congress on Gas Turbines (ACGT-2016) (インド・ボンベイ)	2016 年 11 月
5	永井尚教	三菱重工	Study on Reduction of Boundary Layer Separation at Exhaust Diffuser Wall	The Asian Congress on Gas Turbines (ACGT-2016) (インド・ボンベイ)	2016 年 11 月

6	トーマス・ウオーカー	三菱重工	Prediction of Rotating Stall during Start Up for Axial Compressors	The Global Power and Propulsion Society's Inaugural Forum	2017年1月
7	福場信一	三菱重工	Measurement of Flame Fluctuation in Gas Turbine Combustors at high pressure and temperature conditions	The Global Power and Propulsion Society's Inaugural Forum	2017年1月
8	岡嶋芳史	三菱重工	世界最高タービン入口温度への遮熱コーティングの挑戦	日本溶射学会関東支部	2017年3月
9	鳥越泰治	三菱重工	ガスタービン用先進材料の開発状況	日本学術振興会 耐熱金属材料第123委員会 平成29年3月期 研究発表会	2017年3月
10	渡邊 浩史	三菱重工	タービン前方段のチップクリアランス損失低減	第45回日本ガスタービン学会定期講演会	2017年10月
11	正田淳一郎	三菱パワー	Asian Energy Outlook and Gas Turbine Development	GPPS 2018	2018年1月
12	石坂浩一	三菱重工	1700℃級超高温ガスタービンの要素技術の開発	第46回ガスタービンセミナー	2018年1月
13	藤原宏介	三菱重工	Analysis Techniques for Investment Casting Process of Ni-Base Superalloy Components	TMS2019	2019年3月
14	伊藤 竜太	三菱重工	タービン冷却翼チップ部のフィルム冷却効率に関する研究	第46回日本ガスタービン学会定期講演会	2018年10月
15	谷川 秀次	三菱重工	Development of Additive Manufacturing Technology for Gas Turbine Components	LAMP2019	2019年5月
16	斉藤圭司郎	三菱重工	State-of-the-art Gas Turbine Technologies and Hydrogen-fired Combustion Technologies	KEPCO GT Conference 2019	2019年6月
17	三戸良介	三菱重工	PREDICTION OF ROTATING STALL DURING STARTUP FOR AXIALCOMPRESSORS	ASME TURBO EXPO 2019:Phoenix, Arizona USA	2019年6月
18	吉峰 千尋	三菱重工	ティルティングバッド軸受の極低速域における軸受特性	国際トライボロジー会議 ITC Sendai 2019	2019年9月
19	北村仁	三菱重工	Development of Additive Manufacturing Technology for Gas Turbine Hot Parts.	The International Gas Turbine Congress 2019	2019年11月
20	山下知志	三菱重工	Investigation of unsteady compressor behavior under transient conditions	The International Gas Turbine Congress 2019	2019年11月
21	武野和馬	三菱重工	Evaluation of the TBC from 1700℃ GT type to be applied in real applications	The International Gas Turbine Congress 2019	2019年11月
22	岡部能幸	三菱重工	Consideration about non-dimensional numbers of rotating cavity flow	The International Gas Turbine Congress 2019	2019年11月
23	大山直樹	三菱重工	Power Transmission Technology for Wireless Sensing under Harsh Environment	The International Gas Turbine Congress 2019	2019年11月
24	宮崎洸治	三菱重工	Flame diagnostics method for oil fired industrial gas turbine combustors under high pressure conditions	The International Gas Turbine Congress 2019	2019年11月
25	谷川 秀次	三菱重工	ガスタービン部品の金属 3D 積層造形技術の開発	第92回レーザ加工学会講演会	2019年12月
26	関亮介	三菱重工	EVALUATION OF A FLOW MEASUREMENT PROBE INFLUENCE ON THE FLOW FIELD IN HIGH SPEED AXIAL COMPRESSORS	ASME TurboExpo 2020	2020年6月
27	吉田 亜積	三菱重工	ADDITIVE MANUFACTURING を用いたハニカムシールの開発	トライボロジー会議 2020 秋 別府	2020年9月
28	岩谷淳二	三菱重工	多段軸流圧縮機後方段 チップクリアランス変化における性能検証	日本ガスタービン学会講演会	2020年10月
29	北村仁	三菱重工	ガスタービン高温部品への適用に向けた AM 技術開発	第48回 日本ガスタービン学会定期講演会	2020年10月
30	谷川 秀次	三菱重工	ガスタービン部品の AM 実用化技術の開発	第252回溶接法研究委員会	2020年11月
31	赤間 大地	三菱重工	レニウムフリー単結晶 Ni 基合金の熱疲労特性	日本金属学会 第168回 講演大会	2021年3月

32	坊野 匠	三菱重工	プラズマ援用エアロゾルデポジション法によるセラミック多孔質上へのセラミック緻密膜成膜技術	国際セラミクス学会	2021年4月
33	岡嶋芳史	三菱重工	世界最高温度 1650℃級 JAC 形ガスタービン向け先進遮熱コーティングの開発	国際溶射学会 (ITSC2021)	2021年5月
34	竹田泰成	三菱重工	高温部品用ニッケル基 AM 材の組織制御技術	第 245 回溶接冶金研究会	2021年5月

(b)新聞・雑誌等への掲載

番号	所属	タイトル	掲載誌名	発表年月
1	三菱パワー	T-Point 2 Is a Proving Ground for Gas Turbine Advancements	PowerMagazine	2020年6月

## ●プロジェクト基本計画

P 1 6 0 0 2

P 1 6 0 0 3

P 1 0 0 1 6

P 9 2 0 0 3

### 「カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発」基本計画

環境部

#### 1. 研究開発の目的・目標・内容

##### (1) 研究開発の目的

###### ①政策的な重要性

2015年7月に決定された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こととしており、火力発電分野においては、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としている。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。これを踏まえ、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、CO<sub>2</sub>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。2050年に向けて化石燃料の利用に伴うCO<sub>2</sub>の排出を大幅に削減していくためには、あらゆる技術的な選択肢を追求していく必要があることから、CO<sub>2</sub>を炭素資源（カーボン）と捉え、これを回収し、多様な炭素化合物として再利用するカーボンリサイクルを推進することとしており、2019年6月に策定された「カーボンリサイクル技術ロードマップ」において、カーボンリサイクル技術の確立、普及を目指していくこととしている。2020年3月に策定された「新国際資源戦略」では、CO<sub>2</sub>排出削減に向け、液体アンモニアの混焼を含めて着実に技術開発等を進めることが必要とされている。石炭利用に伴って発生するCO<sub>2</sub>、SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>、ばいじん等への対応や、石炭需要の拡大に伴って、増大する石炭灰及びスラグの有効利用方策を確立することが大きな課題である。そのため、今後とも石炭を活用し、エネルギー需給安定化に貢献していくためにも、より高度なクリーンコールテクノロジーの開発が必要である。

###### ②我が国の状況

我が国の火力発電の熱効率は世界最高水準を保っている。世界で初めて超々臨界圧火力発電（USC）を商用化し、さらには高効率な空気吹石炭ガス化複合発電（IGCC）が既に実用化段階であり、酸素吹IGCCにおいても実証フェーズにある。また、効率向上に大きく寄与するガスタービンにおいて、1600℃級という高温化を世界に先駆けて実現する等、熾烈な国際競争の中においても、我が国の高効率火力発電システムは、トップレベルを維持しており、世界をリードしている。しかしながら、燃料資源を他国に大きく依存する我が国にとっては、限られた資源の有効利用を図ることは至上命題であり、今後とも、更なる効率化を図っていく必要がある。また、中長期的な視点では、大幅なCO<sub>2</sub>削減を実現しうるCO<sub>2</sub>の回収・貯留・利

用（CCUS）やCO<sub>2</sub>フリー燃料の利用技術の開発・推進も重要なテーマであり、国内でのCCS（二酸化炭素の回収・貯留）大規模実証事業や貯留ポテンシャル調査等に加え、CO<sub>2</sub>を炭素資源と捉え、これを回収し、多様な炭素化合物として再利用するカーボンリサイクルを推進する取組や石炭火力発電におけるアンモニア混焼試験が進められている。

また、我が国においては、石炭の排ガスに関して、世界的に見ても非常に厳しい環境基準（環境保全協定値）が定められ、その基準が遵守されている。そのような背景から、脱硫、脱硝、ばいじん処理技術等、高度な環境保全技術が過去から培われており、日本の強みが発揮できる分野のひとつである。一方、石炭利用に伴い排出する石炭灰については、主にセメントの原料として、これまでは有効利用されてきたが、近年セメント生産量は減少傾向にあり、セメント原料に代わる石炭灰の利用方法の確立が喫緊の課題である。

### ③世界の取組状況

地球温暖化問題の対策として、CO<sub>2</sub>排出量の削減が強く求められている中で、米国や欧州においても国家レベルで巨額の研究開発費を投じ、基礎研究から技術開発、実証研究等の様々な取組が行われており、日本と同様にIGCCや先進的超々臨界圧火力発電（A-USC）、高効率ガスタービン、CO<sub>2</sub>有効利用技術等の開発が進められている。また、大幅なCO<sub>2</sub>削減を達成するため、CO<sub>2</sub>分離・回収を行ったIGCCやCCS-EOR（石油増進回収）の実証といったプロジェクトも進められている。近年の世界的な環境志向の高まりを受け、環境装置の需要は急激に高まっている。特に、中国では環境規制が大幅に見直されており、他国で開発された環境装置を新たに導入している他、自国において、低コスト環境装置の開発が盛んに行われている。

### ④本事業のねらい

長期エネルギー需給見通しの実現に向けて、火力発電の高効率化に関しては、石炭火力の発電効率を大幅に引き上げる石炭ガス化燃料電池複合発電（IGFC）の実証事業をはじめ、石炭火力、LNG火力の双方につき、新たな火力発電技術の開発等を実施する。また、火力発電から発生するCO<sub>2</sub>排出量をゼロに近づける切り札となる技術として、CO<sub>2</sub>フリー燃料の利用及び火力発電所から発生する大量のCO<sub>2</sub>を効率的に分離・回収・有効利用するための技術開発等を実施する。これまでの火力発電に係る技術開発は、個別の技術ごとに進められていたが、石炭火力、LNG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は、個別技術開発を統合し、包括的かつ一体的に推進することが有効である。そこで、次世代火力発電技術に係る事業を本事業において統合し、関連事業を一元管理し、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。また、LCA的な観点も含めたCO<sub>2</sub>の利用に係るカーボンリサイクル技術開発を一元的に進めることで、火力発電プロセスの更なる効率化を図るとともに、CO<sub>2</sub>排出削減に向けた取り組みの効率化を図る。

石炭の効率的利用、環境対応等を目的として、石炭利用の環境対策に関する調査・技術開発を実施する。これらの取組により、石炭の安定調達性が増し、石炭を安価で安定的に使用することが可能となり、我が国におけるエネルギーセキュリティの向上に資する。また、インフラ輸出による日本の輸出拡大に貢献できる他、石炭消費国の産業活性化にも貢献できる。

## （2）研究開発の目標

### ①アウトプット目標

本事業を通じて、発電効率の大幅な向上や CO2 分離・回収後においても高効率を維持する技術及び CO2 フリー燃料の利用、CO2 有効利用技術（カーボンリサイクル等）により、CO2 排出の削減に寄与する革新的な次世代火力発電技術の見通しを得る。また、石炭灰の有効利用率为 100%まで向上させるなど、石炭の有効利用技術を確立する。

研究開発項目ごとの目標については、別紙にて定める。

### ②アウトカム目標

本事業の開発成果により、2030年頃にLNG火力においては、将来のガスタービン燃料電池複合発電（GTFC）商用機として送電端効率63%（高位発熱量基準）を達成し、さらには、IGFC商用機へと繋げることで、石炭火力として送電端効率55%（高位発熱量基準）を達成する。また、世界の火力発電市場は、今後、2040年にかけて石炭火力では約520兆円、LNG火力では約270兆円で、累計790兆円の規模が見込まれる。年平均では約30兆円であり、このうちのシェア1割、約3兆円の次世代火力技術の市場を獲得する。また、2040年頃に燃料としての年間アンモニア利用量1,000万トンを達成し、アンモニア35,000円/tを想定した場合において、3,500億円相当の燃料アンモニア市場を創出する。CCUSの実現に向け、CO2分離・回収コスト1,000円台/t-CO2という大幅な低減を達成する。また、CO2有効利用の一例として、CO2由来のメタンで天然ガスパイプラインの許容圧力変動幅の1割を活用して負荷変動対応に供する場合として、1,300億円相当の天然ガス代替を獲得する。

また、カーボンリサイクルの観点からは、2030年頃に短期的に実現可能な技術（ポリカーボネートなどの化学品、バイオジェットなどの液体燃料、道路ブロックなどのコンクリート製品など）を既存のエネルギー・製品と同等のコスト実現を目指すとともに、2050年以降に実現をめざした需要の多い汎用品（オレフィンやBTXなどの化学品、ガス、液体などの燃料、汎用コンクリート製品など）へ拡大する。

### ③アウトカム目標達成に向けての取組

市場ニーズを見極めつつ、各技術開発プロセスの進捗管理を行い、開発優先度の調整、開発スケジュールの最適化、技術開発の相互連携を図り、中長期の火力発電技術開発の全体プロセスの最適化・効率化を図る。そして、技術開発のプロセスにおけるコスト低減の取組と信頼性の確保により、商用機導入を早期に拡大する。

## (3) 研究開発の内容

火力発電の効率化及びCO2フリー燃料の利用、CO2分離・回収・有効利用等に関する調査、開発及び実証、石炭灰や溶融スラグの有効利用及び削減に関する調査及び技術開発並びに排煙処理技術等の環境対策に関する調査等を実施する。実施に当たっては、各事業の性質に合わせ、委託事業又は助成事業（NEDO 負担1/3、2/3、1/2）により実施するとともに、必要に応じてステージゲート審査を用いる。

なお、個別研究開発項目の研究開発内容の詳細については、別紙にて記載する。

研究開発項目① 石炭ガス化燃料電池複合発電実証事業 [助成事業]



- 1) 酸素吹 I G C C 実証 (1 / 3 助成)
  - 2) CO2 分離・回収型酸素吹 I G C C 実証 (1 / 3, 2 / 3 助成)
  - 3) CO2 分離・回収型 I G F C 実証 (1 / 2 助成)
  - 4) 信頼性向上、低コスト化 (1 / 3 助成)
  - 5) CO2 分離・回収負荷変動対応ガスタービン要素技術開発 (1 / 2 助成)
- 研究開発項目② 高効率ガスタービン技術実証事業 [助成事業]
- 1) 1700℃級ガスタービン  
(2016～2018年度: 2 / 3 助成、2019～2020年度: 1 / 2 助成)
  - 2) 高温分空気利用ガスタービン (AHAT) (2 / 3 助成)
- 研究開発項目③ 先進超々臨界圧火力発電技術開発 [助成事業 (2 / 3 助成)]
- 研究開発項目④ 次世代火力発電基盤技術開発 [委託事業]
- 1) 次世代ガス化システム技術開発
  - 2) 燃料電池向け石炭ガスクリーンナップ技術要素研究
  - 3) ガスタービン燃料電池複合発電技術開発
  - 4) 燃料電池石炭ガス適用性研究
  - 5) CO2 分離型化学燃焼石炭利用技術開発
  - 6) 石炭火力の負荷変動対応技術開発
  - 7) CO2 有効利用技術開発
  - 8) CO2 分離・回収型ポリジェネレーションシステム技術開発
  - 9) 機動性に優れる広負荷帯高効率ガスタービン複合発電の要素研究
- 研究開発項目⑤ CO2 回収型次世代 I G C C 技術開発 [委託事業]
- 研究開発項目⑥ 次世代火力発電技術推進事業 [委託事業]
- 研究開発項目⑦ 次世代技術の早期実用化に向けた信頼性向上技術開発 [助成事業 (1 / 2 助成)]
- 研究開発項目⑧ CO2 有効利用拠点における技術開発 [委託・助成事業]
- 1) CO2 有効利用拠点化推進事業 [委託・助成事業]
  - 2) 研究拠点における CO2 有効利用技術開発・実証事業 [委託・助成事業]
- 研究開発項目⑨ CO2 排出削減・有効利用実用化技術開発 [委託・助成事業]
- 1) 化学品への CO<sub>2</sub> 利用技術開発 [委託・助成事業]
  - 2) 液体燃料への CO<sub>2</sub> 利用技術開発 [委託・助成事業]
  - 3) 炭酸塩、コンクリート製品・コンクリート構造物への CO<sub>2</sub> 利用技術開発 [委託・助成事業]
  - 4) 気体燃料への CO2 利用技術開発 [委託・助成事業]
- 研究開発項目⑩ 石炭利用環境対策事業 [委託・助成事業]
- 1) 石炭利用環境対策推進事業 [委託事業]
  - 2) 石炭利用技術開発 [助成事業 (2 / 3 助成)]
- 研究開発項目⑪ アンモニア混焼火力発電技術研究開発・実証事業 [委託・助成事業]
- 1) 要素研究 [委託事業]
  - 2) 実証研究 [助成事業 (1 / 2 助成)]
- ※1) の実施者を公募した後の、1) から 2) への移行の可否は、外部有識者で構成される委員会の審査 (ステージゲート審査) を経て決定する。

## 2. 研究開発の実施方式

### (1) 研究開発の実施体制

本事業は、NEDO が単独又は複数の企業、大学等の研究機関（原則、国内に研究開発拠点を有していること。ただし、国外企業の特別の研究開発能力、研究施設等の活用あるいは国際標準獲得の観点から国外企業との連携が必要な部分はこの限りではない。）から、原則公募によって実施者を選定し実施する。ただし、移管事業に関してはこの限りではない。

NEDO は、プロジェクトの進行全体の企画・管理やプロジェクトに求められる技術的成果及び政策的効果を最大化させるため、必要に応じてプロジェクトマネージャー（以下「PM」という。）を任命する。また、各実施者の研究開発ポテンシャルを最大限に活用し、効率的かつ効果的に研究開発を推進する観点から、必要に応じて研究開発責任者（プロジェクトリーダー、以下「PL」という。）を指名する。

なお、研究開発項目ごとのPM、PLは以下のとおり。また、研究開発項目④2）、3）、4）は、推進にあたって、燃料電池に関する情報共有と開発戦略の整合性を図るため、プロジェクトチーム（PT）にNEDO 新エネルギー部を加える。

#### 研究開発項目① 石炭ガス化燃料電池複合発電実証事業

PM：NEDO 戸島正剛、PL：大崎クールジェン株式会社 木田一哉

#### 研究開発項目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

PM：NEDO 園山希、PL：三菱重工業株式会社 石坂浩一

##### 2) 高温分空気利用ガスタービン（AHAT）

PM：NEDO 山中康朗、PL：三菱日立パワーシステムズ株式会社 吉田正平

#### 研究開発項目③ 先進超々臨界圧実用化要素火力発電技術開発

PM：NEDO 足立啓、PL：一般社団法人高効率発電システム研究所 福田雅文

#### 研究開発項目④ 次世代火力発電基盤技術開発

##### 1) 次世代ガス化システム技術開発

PM：NEDO 中田博之、PL：一般財団法人電力中央研究所 牧野尚夫

##### 2) 燃料電池向け石炭ガスクリーンナップ要素研究

PM：NEDO 春山博司、PL：電源開発株式会社 早川宏

##### 3) ガスタービン燃料電池複合発電技術開発

PM：NEDO 福原敦、PL：三菱日立パワーシステムズ株式会社 北川雄一郎

##### 4) 燃料電池石炭ガス適用性研究

PM：NEDO 福原敦、PL：電源開発株式会社 大畑博資

##### 5) CO<sub>2</sub>分離型化学燃焼石炭利用技術開発

PM：NEDO 中田博之、PL：一般財団法人石炭エネルギーセンター 原田道昭

##### 6) 石炭火力の負荷変動対応技術開発

PM：NEDO 野原正寛、PL：契約毎に設置

##### 7) CO<sub>2</sub>有効利用技術開発

PM：NEDO 天野五輪磨、PL：日本大学工学部客員教授 坂西欣也

##### 8) CO<sub>2</sub>分離・回収型ポリジェネレーションシステム技術開発

PM：NEDO 森匠磨

#### 9) 機動性に優れる広負荷帯高効率ガスタービン複合発電の要素研究

PM: NEDO 新郷正志、PL: 一般財団法人電力中央研究所 渡辺 和徳

#### 研究開発項目⑤ CO2回収型次世代IGCC技術開発

PM: NEDO 青戸冬樹、PL: 一般財団法人電力中央研究所 牧野尚夫

#### 研究開発項目⑦ 次世代技術の早期実用化に向けた信頼性向上技術開発

PM: NEDO 西里友志、PL: 一般社団法人高効率発電システム研究所 福田雅文

#### 研究開発項目⑧CO2有効利用拠点における技術開発

PM: NEDO 戸島正剛

#### 研究開発項目⑨ CO2排出削減・有効利用実用化技術開発

PM: NEDO 荒川純

#### 研究開発項目⑩ 石炭利用環境対策事業

PM: NEDO 菅本比呂志

#### 研究開発項目⑪ アンモニア混焼火力発電技術研究開発・実証事業

PM: NEDO 園山希

### (2) 研究開発の運営管理

NEDO は、研究開発全体の管理及び執行に責任を負い、研究開発の進捗のほか、外部環境の変化等を適切に把握し、必要な措置を講じるものとする。運営管理は、効率的かつ効果的な方法を取り入れることとし、次に掲げる事項を実施する。

#### ①進捗把握・管理

PMは、PLや研究開発実施者と密接に連携し、研究開発の進捗状況を把握する。また、外部有識者で構成する技術検討委員会を組織し、定期的に技術的評価を受け、目標達成の見通しを常に把握することに努める。

#### ②技術分野における動向の把握・分析

PMは、プロジェクトで取り組む技術分野について、内外の技術開発動向、政策動向、市場動向等について調査し、技術の普及方策の分析及び検討を行う。

### 3. 研究開発の実施期間

本事業の実施期間は、2016年度から2025年度までの10年間とする。なお、研究開発項目①及び②は2012年度から2015年度、研究開発項目③は2008年度から2015年度まで経済産業省により実施したが、2016年度からNEDOが実施している。

### 4. 評価に関する事項

NEDO は、技術的及び政策的観点から、事業の意義及び目標達成度や成果に係る技術的意義及び将来の産業への波及効果等について、評価を実施する。研究開発項目①～⑤、⑦～⑨、⑪については、技術評価実施規程に基づき、プロジェクト評価を行い、⑩については事業評価を行う。

評価の時期については、研究開発項目①は、中間評価を2017年度、2020年度及び2023年度に、前倒し事後評価を2025年度に実施する。研究開発項目②は、中間評価を2018年度、事後評価を2021年度に実施する。研究開発項目④1)は、研究開発項目⑤と統合の上、評価を行う。研究開発項目④2)は、事後評価を2019年度に実施する。研究開発項目④3)、4)は、中間評価を2019年度に、事後評価を2022年度に実施する。研究開発項目

④5) は中間評価を2017年度に実施し、研究開発項目④6) は、中間評価を2020年度に、前倒し事後評価を2022年度に実施し、研究開発項目④7) は前倒し事後評価を2021年度に実施し、研究開発項目④8) は中間評価を2022年度に、事後評価を2025年度に実施し、研究開発項目④9) は前倒し事後評価を2021年度に実施する。研究開発項目⑤は、中間評価を2017年度、前倒し事後評価を2020年度に実施する。研究開発項目⑥は、調査事業については内容に応じて研究開発項目①から⑤、⑦～⑩の中間評価、事後評価の際に合わせて評価を実施し、共通基盤技術開発については研究開発項目⑨の中間評価、事後評価の際に合わせて評価を実施、先導研究については内容に応じて研究開発項目⑨、⑩の中間評価、事後評価の際に合わせて評価を実施する。研究開発項目⑦は、中間評価を2019年度、事後評価を2022年度に実施する。研究開発項目⑧および研究開発項目⑨は、中間評価を2022年度、前倒し事後評価を2025年度に実施する。研究開発項目⑩は、中間評価を2019年度、2022年度、前倒し事後評価を2025年度に実施する。研究開発項目⑪は、中間評価を2023年度、前倒し事後評価を2025年度に実施する。

## 5. その他の重要事項

### (1) 委託事業成果の取扱い

#### ①成果の普及

得られた事業成果については、NEDO、実施者とも普及に努める。

#### ②標準化等との連携

得られた事業成果については、標準化等との連携を図り、我が国の優れたカーボンリサイクル・次世代火力発電等技術を普及させるために、標準化への提案等を積極的に行う。

#### ③知的財産権の帰属

事業成果に関わる知的財産権については、「国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー・産業技術業務方法書」第25条の規定等に基づき、原則として、全て委託先に帰属させることとする。

なお、海外動向や国際展開を見据えた知財管理を行うとともに、海外における知財の確保を積極的に推進する。

#### ④知財マネジメントに係る運用

本プロジェクトのうち、研究開発項目①石炭ガス化燃料電池複合発電実証事業3) 4) 5)、研究開発項目④次世代火力発電基盤技術開発及び研究開発項目⑥次世代火力発電技術推進事業、研究開発項目⑧CO<sub>2</sub>有効利用拠点における技術開発、研究開発項目⑨CO<sub>2</sub>排出削減・有効利用実用化技術開発、研究開発項目⑩石炭利用環境対策事業及び研究開発項目⑪アンモニア混焼火力発電技術研究開発・実証事業は、「NEDOプロジェクトにおける知財マネジメント基本方針」を適用する。

#### ⑤データマネジメントに係る運用

本プロジェクトのうち、研究開発項目①石炭ガス化燃料電池複合発電実証事業3) 4) 5)、研究開発項目④次世代火力発電基盤技術開発8)、研究開発項目⑥次世代火力発電技術推進事業、研究開発項目⑧CO<sub>2</sub>有効利用拠点における技術開発、研究開発項目⑨CO<sub>2</sub>排出削減・有効

利用実用化技術開発、研究開発項目⑩石炭利用環境対策事業及び研究開発項目⑪アンモニア混焼火力発電技術研究開発・実証事業のうち2018年度以降に公募を行う事業は、「NEDOプロジェクトにおけるデータマネジメント基本方針」を適用する。

(2) 基本計画の変更

PMは、当該事業の進捗状況及びその評価結果、社会・経済的状況、国内外の研究開発動向、政策動向、研究開発費の確保状況等、事業内外の情勢変化を総合的に勘案し、必要に応じて目標達成に向けた改善策を検討し、達成目標、実施期間、実施体制等、基本計画を見直す等の対応を行う。

(3) 根拠法

本事業は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第十五条第一号ハ、第三号及び第六号イに基づき実施する。

(4) 委託先等以外の第三者の土地に設置した資産の処分方法

研究開発項目⑧においては委託先等以外の第三者の土地に拠点整備インフラを設置する予定である。第三者の土地に設置した資産であっても、委託先は、委託事業終了後、有償により、NEDOに帰属する資産をNEDOから譲り受けることとなっている（約款第20条の2①）。ただし、以下の要件を満たすものに限り、委託事業内における当該資産の解体撤去を実施できる。

・事業目的達成後に、取得資産を設置した第三者の敷地等の速やかな原状回復を必要とし、かつ、その時点で利活用できない資産（機能が著しく低下している、移設するとその機能を失う等、物理的に使用できない資産）である場合

(5) その他

最新の技術動向や政策上の必要性に鑑み、必要に応じた研究開発項目の追加や見直しを行うことがある。本事業の実施を通じて、イノベーションの担い手として重要な若手研究員及び女性研究員の育成や中堅・中小・ベンチャー企業等を支援することとする。

6. 基本計画の改訂履歴

(1) 2016年1月、基本計画制定。

(2) 2016年4月、3. 研究開発の実施方式（1）研究開発実施体制 研究開発項目③、④ 1）と2）、⑤のPMの変更。

5. 評価に関する事項、研究開発項目④ 5）中間評価、事後評価の年度を1年後ろ倒し。  
別紙 研究開発項目④ 5）の3. 達成目標、中間目標年度と最終目標年度を1年後ろ倒し。  
研究開発スケジュールは研究期間を1年延長し、中間評価と事後評価を1年後ろ倒し。

(3) 2016年9月、5. 評価に関する事項、研究開発項目④ 5）中間評価、事後評価の年度を1年後ろ倒ししたが、当初計画通りに戻す。

別紙 研究開発項目④ 5）の3. 達成目標、中間目標年度と最終目標年度を1年後ろ倒ししたが、当初計画通りに戻す。

研究開発スケジュールは研究期間を1年延長し、中間評価と事後評価を1年後ろ倒ししたが、当初計画通りに戻す。

(4) 2017年2月

1. 研究開発の目的・目標・内容の(2)研究開発の目標並びに(3)研究開発の内容に、研究開発項目④次世代火力発電基盤技術開発6)石炭火力の競争力強化技術開発、7)CO<sub>2</sub>有効利用技術開発及び研究開発項目⑦次世代技術の早期実用化に向けた信頼性向上技術開発の内容を追加した。

3. 研究開発の実施方式のPM及びPLを追記・修正した。

5. 評価に関する事項の①及び⑥の実施時期を修正し、並びに④1)、5)の前倒しの区分を明確化し、④6)、7)、⑦を追加した。

6. その他の重要事項の(1)委託事業成果の取扱い③知的財産権の帰属に知財マネジメント適用プロジェクト名を追記した。

(5) 2017年5月

3. 研究開発の実施体制(1)研究開発実施体制 研究開発項目②の1)と2)及び④の6)のPMの変更。

(6) 2017年6月

研究開発項目④の1) 3. 達成目標に中間目標を設定し、2017年度に中間評価を実施する。

(7) 2018年2月

1. 研究開発の目的・目標・内容の(3)研究開発の内容のうち、研究開発項目①の2)、3)の助成率を変更した。また、研究開発項目④次世代火力発電基盤技術開発8)流動床ガス化燃焼を応用した石炭利用技術開発、9)機動性に優れる広付加帯高効率ガスタービン複合発電の要素研究の内容を追加した。また、研究開発項目④次世代火力基盤技術開発1)次世代ガス化システム技術開発を、研究開発項目⑤に統合し、研究開発項目⑤の名称を変更した。

3. 研究開発の実施方式のPM及びPLを追記・修正した。

5. 評価に関する事項の④1)、6)、8)、9)の評価時期を追記・修正した。

6. その他の重要事項の(1)委託事業成果の取扱い③知的財産権の帰属に注釈を追記した。

(8) 2018年7月

3. 研究開発の実施方式(1)研究開発実施体制 研究開発項目④2)、8)のPMの変更、及び、研究開発項目④5)のPLの変更、研究開発項目④6)のPLの記載変更。別紙 研究開発項目⑥ 1. 研究開発の必要性、2. 具体的研究内容にかかる記載を一部変更した(バイオマスに係る記載の追記)。

(9) 2018年9月

3. 研究開発の実施方式において、研究開発項目①及び研究開発項目④7)、9)のPLの変更、4. 研究開発の実施期間の変更、5. 評価に関する事項の研究開発項目①の中間評価時期及び事後評価時期の変更、研究開発項目④2)の評価時期変更、研究開発項目④5)の事後評価を削除。6. その他の重要事項のデータマネジメントに係る運用に研究開発項目①3)を追記。また、別紙 研究開発項目①について、期間の延長および、2)CO<sub>2</sub>分離・回収型酸素吹IGCC実証の最終目標を詳細な記載に変更。別紙 研究開発項目④9)について、目標値を補足。研究開発スケジュール表の修正。

(10) 2019年1月

1. 研究開発の目的・目標・内容の(3)研究開発の内容において、研究開発項目②1)の助成率の変更。5. 評価に係る事項において、研究開発項目⑦の中間評価の追加及び事後評価時期の変更、研究開発項目④8)の前倒し事後評価時期の変更。別紙 研究開発項目④8)の実施

期間の変更。別紙 研究開発項目④9)の最終目標を詳細な記載に変更。別紙 研究開発項目⑥の2. 具体的研究内容に燃料多様化に係る記載を追記。別紙 研究開発項目⑦の実施期間の変更及び中間目標の策定、最終目標年度の変更。研究開発スケジュール表の修正。

(11) 2019年7月

和暦から西暦へ表記修正。3. 研究開発の実施方式において、研究開発項目④6)、7)、9)、⑤及び⑦のPMの変更。5. 評価に関する事項において、研究開発項目④3)、4)の中間評価の追加及び研究開発項目④2)、3)、4)の事後評価時期の変更。別紙 研究開発項目④3)、4)について、実施期間の延長、中間目標の策定及び最終目標の修正。研究開発項目⑥の文言修正。研究開発スケジュール表の修正。その他誤記修正。

(12) 2020年2月

改訂： 基本計画の名称変更、基本計画「クリーンコール技術開発」の統合による記載内容の移管、1. 研究開発の目的・目標・内容(1)(2)において内容の追加、1. 研究開発の目的・目標・内容(3) 研究開発の内容及び2. 研究開発の実施方式(1) 研究開発の実施体制において名称変更と項目の追加、3. 研究開発の実施期間において期間変更及び追加、4. 評価に関する事項において評価時期の変更及び追加、5(1)④知財マネジメントに係る運用⑤データマネジメントに係る運用において対象研究開発項目の追加、研究開発項目④3)4)において中間評価結果反映のため最終目標を追記。研究開発項目⑧⑨の追加、研究開発項目⑩の移管。

(13) 2020年3月

5. その他重要事項(4) 委託先等以外の第三者の土地に設置した資産の処分方法、(5)その他において追記。

(14) 2020年7月

2. 研究開発の実施方式(1) 研究開発の実施体制 研究開発項目②2) ④3)、4)、8) ⑧、⑨のPMと研究開発項目④8)の名称を変更。別紙 研究開発項目④8) 1. 研究開発の必要性、2. 具体的研究内容、3. 達成目標の記載から噴流床ガス化技術に係る記載を追加 別紙 研究開発項目⑤ 2. 具体的研究内容の記載から噴流床ガス化技術(ポリジェネレーション)に係る記載を削除。研究開発スケジュール表の修正。その他誤記修正。

(15) 2020年9月

2. 研究開発の実施方式(1) 研究開発の実施体制 研究開発項目①、④6)、⑧のPMを変更、④4)のPLを変更、⑧と⑨のPLに関する記載を削除。

(16) 2020年10月

2. 研究開発の実施方式(1) 研究開発の実施体制 研究開発項目①、⑧のPMを変更。

(17) 2021年1月

1. 研究開発の目的・目標・内容(1)(2)において内容の追加、1. 研究開発の目的・目標・内容(3) 研究開発の内容及び2. 研究開発の実施方式(1) 研究開発の実施体制において項目の追加、3. 研究開発の実施期間において期間変更、4. 評価に関する事項において評価時期の変更及び追加、5(1)④知財マネジメントに係る運用⑤データマネジメントに係る運用において対象研究開発項目の追加、研究開発項目①2)の内容拡充、研究開発項目①4)5)、⑨4)の追加。研究開発項目⑩の追加。

(18) 2021年5月、2. 研究開発の実施方式(1) 研究開発実施体制 研究開発項目④3)、4)、6)、7)及び8)、研究開発項目⑦、研究開発項目⑩のPMの変更。

## 研究開発項目① 「石炭ガス化燃料電池複合発電実証事業」

## 1. 研究開発の必要性

石炭は、他の化石燃料と比べ、可採年数が約110年と長く、かつ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、エネルギー自給率が極めて低い我が国にとって重要な一次エネルギー源であり、発電の分野においても石炭火力発電は発電電力量の約3割を占める重要な電源の一つである。

一方で、石炭は他の化石燃料と比べ、燃焼時の単位発熱量当たりのCO<sub>2</sub>排出量が多く、地球環境面での制約要因が多いという課題を抱えており、石炭火力発電についてもさらなるCO<sub>2</sub>排出量の抑制が求められている。

したがって、石炭火力発電の高効率化及びCO<sub>2</sub>排出量削減の観点から本事業を実施する必要性がある。

2014年4月に閣議決定されたエネルギー基本計画においても、石炭火力発電は、「安定供給性や経済性に優れた重要なベースロード電源」と評価されている一方、「温室効果ガスの排出量が多いという課題がある」と指摘され、その課題を解決すべく、次世代高効率石炭火力発電技術として、石炭ガス化複合発電（IGCC）の開発・実用化を進めるとともに、2020年頃の二酸化炭素回収貯留（CCS）の実用化を目指した研究開発を行うことが盛り込まれている。

その後、エネルギー基本計画を踏まえ、2014年12月にまとめられた「エネルギー関係技術開発ロードマップ」において、「高効率石炭火力発電」、「二酸化炭素回収・貯留技術」が国際展開も見据えた形で整理されている。

以上のとおり、石炭火力発電におけるCO<sub>2</sub>排出量の課題を克服していくことが一層重要となっており、石炭火力発電の高効率化及びCO<sub>2</sub>排出量削減を目指す本事業の必要性は大きい。

## 2. 具体的研究内容

本事業では、石炭火力発電から排出されるCO<sub>2</sub>を大幅に削減させるべく、究極の高効率石炭火力発電技術である石炭ガス化燃料電池複合発電（IGFC）とCO<sub>2</sub>分離・回収を組み合わせた実証試験を行い、革新的低炭素石炭火力発電の実現を目指す。

## 1) 酸素吹IGCC実証（1／3助成）

IGFCの基幹技術である酸素吹IGCCの実証試験設備により、性能（発電効率、環境性能）、運用性（起動停止時間、負荷変化率等）、経済性及び信頼性に係る実証を行う。

2) CO<sub>2</sub>分離・回収型酸素吹IGCC実証（1／3、2／3助成）

酸素吹IGCC実証試験設備とCO<sub>2</sub>分離・回収設備を組み合わせ、CO<sub>2</sub>分離・回収型石炭火力システムとしての性能、運用性、信頼性及び経済性に係る実証を行う。また、CO<sub>2</sub>分離・回収装置を追設した場合のIGCC運用性について実証を行う。更に、CO<sub>2</sub>分離・回収と組み合わせたCO<sub>2</sub>液化プロセスを構築する。加えて、IGCCの負荷変動に対応したCO<sub>2</sub>分離・回収装置とIGCC設備の運用性について実証を行う。

3) CO<sub>2</sub>分離・回収型IGFC実証（1／2助成）

CO<sub>2</sub>分離・回収型酸素吹IGCCシステムと燃料電池を組み合わせ、石炭ガス化ガスの燃料電池への利用可能性を確認し、最適なCO<sub>2</sub>分離・回収型IGFCシステムの実証を行う。



#### 4) 信頼性向上、低コスト化(1/3助成)

酸素吹IGCCシステムの早期商用化を実現すべく、設備信頼性の向上及び経済性の改善に係る実証を行う。

#### 5) CO<sub>2</sub>分離・回収負荷変動対応ガスタービン要素技術開発(1/2助成)

CO<sub>2</sub>分離・回収型IGCCシステム及びIGFCシステムのCO<sub>2</sub>分離・回収設備の負荷変動に対応すべく、CO<sub>2</sub>分離・回収負荷変動対応ガスタービンの環境性能、安定性、信頼性に係る要素技術開発を実施する。

### 3. 達成目標

#### [実施期間]

- 1) 酸素吹IGCC実証：2012年度～2018年度（うち2012年度～2015年度は経済産業省において実施）
- 2) CO<sub>2</sub>分離・回収型酸素吹IGCC実証：2016年度～2022年度
- 3) CO<sub>2</sub>分離・回収型IGFC実証：2018年度～2022年度
- 4) 信頼性向上、低コスト化：2021年度～2022年度
- 5) CO<sub>2</sub>分離・回収負荷変動対応ガスタービン要素技術開発：2021年度～2025年度

#### [中間目標(2017年度)]

##### 1) 酸素吹IGCC実証

- (a) 発電効率：40.5%程度（送電端効率、高位発熱量基準）を達成する。

商用機の1/2～1/3倍の規模で、1300℃級ガスタービンを採用する実証試験設備により送電端効率（高位発熱量基準）40.5%を達成すれば、1500℃級ガスタービンを採用する商用機（石炭処理量2,000～3,000t/d）で送電端効率約46%を達成する見通しが得られる。

- (b) 環境性能：「SO<sub>x</sub><8ppm」、 「NO<sub>x</sub><5ppm」、 「ばいじん<3mg/Nm<sup>3</sup>」を達成する（O<sub>2</sub>=16%）。

我が国における最新の微粉炭火力は世界的に見ても最高水準の環境諸元を達成しており、酸素吹IGCCを導入する場合には同等の環境諸元を達成することが求められる。

##### 2) CO<sub>2</sub>分離・回収型酸素吹IGCC実証

CO<sub>2</sub>分離・回収設備の詳細設計を完了する。

#### [中間目標(2020年度)]

##### 1) 酸素吹IGCC実証

- (a) プラント制御性運用性：事業用火力発電設備として必要な運転特性及び制御性を確認する。

我が国における微粉炭火力はベースからミドル電源として運用されており、酸素吹IGCC商用機を導入する場合にも同等の制御性、運用性を確保する。

- (b) 設備信頼性：商用機において年間利用率70%以上の見通しを得る。

我が国における微粉炭火力は年間利用率70%以上で運用されており、酸素吹IGCC商用機を導入する場合にも同等の設備信頼性を確保する。

(c) 多炭種適用性：灰融点の異なる数種類の炭種で適合性を確認する。

酸素吹IGCC商用機には、微粉炭火力に適合し難い灰融点の低い亜瀝青炭から、微粉炭火力に適合する比較的灰融点の高い瀝青炭までの適用炭種の広さが求められる。商用化に向け、実用化時期や日本への供給可能性も考慮に入れつつ、性能と経済性を評価する。

(d) 経済性：商用機において発電原価が微粉炭火力と同等以下となる見通しを得る。

国内外において酸素吹IGCC商用機の普及を促進するためには、発電原価を微粉炭火力と同等以下とすることが求められる。また、海外普及を目的としたマイルストーンを検討する。

## 2) CO<sub>2</sub> 分離・回収型酸素吹IGCC実証

(a) 基本性能（発電効率）：新設商用機において、CO<sub>2</sub>を90%回収しつつ、発電効率40%（送電端効率、高位発熱量基準）程度の見通しを得る。

CO<sub>2</sub>回収時のエネルギーロスによる発電効率の低下という課題に対し、CO<sub>2</sub>を90%回収（全量ガス処理）しながらも、現状の微粉炭火力と同等レベルの発電効率40%程度の見通しを得る。これを実現するために、実証機プラントにおいて、CO<sub>2</sub>分離回収にかかるエネルギー原単位「0.90GJ/t-CO<sub>2</sub>（電気エネルギー換算）」を発電効率に係る性能として確認する。

(b) 基本性能（回収効率・純度）：CO<sub>2</sub>分離・回収装置における「CO<sub>2</sub>回収効率>90%」、「回収CO<sub>2</sub>純度>99%」を達成する。

革新的低炭素型石炭火力の実現のためにCO<sub>2</sub>分離・回収装置単体における回収効率は90%以上を目標とする。CO<sub>2</sub>地中貯留から求められる可能性があるCO<sub>2</sub>純度について、湿式物理吸収法を使って定常運転時、体積百分率99%以上を目標とする。

(c) プラント運用性・信頼性：CO<sub>2</sub>分離・回収型IGCCシステムの運用手法を確立し、信頼性を検証する。

商用機において、CO<sub>2</sub>分離・回収型酸素吹IGCCシステムを構築するには、プラントの起動停止や、発電所特有の負荷変動等に対し、IGCC本体に追従したCO<sub>2</sub>分離・回収装置の運用手法を確立し、信頼性を検証する。また、生成ガスの全量をCO<sub>2</sub>分離した場合のIGCC運転との相互影響やガスタービン性能についても検証する。

(d) 経済性：商用機におけるCO<sub>2</sub>分離・回収の費用原単位を評価する。

CO<sub>2</sub>分離・回収型酸素吹IGCCを普及させるに当たっては、費用原単位評価が必要であり、CO<sub>2</sub>分離・回収装置建設時期や発電所敷地等の制約に応じた評価を実施する。また、実用化・事業化に向けたマイルストーンを検討する。

(e) IGCCプラント運用性：

CO<sub>2</sub>分離・回収装置を追設した場合のIGCC運転への影響を確認し、運用性を検証する。

## 3) CO<sub>2</sub> 分離・回収型IGFC実証

C02 分離・回収型 I G F C 実証設備の詳細設計を完了する。また、機器製作に着手する。

[最終目標（2022年度）]

2) C02 分離・回収型酸素吹 I G C C 実証

C02 液化プロセス開発：C02 分離・回収型 I G C C と C02 液化を組み合わせた場合の最適プロセスを構築する。

C02 分離・回収負荷変動対応 I G C C 運用性向上：I G C C の負荷変動に伴う C02 分離・回収設備の追従性を確認し、運用性を検証する。

3) C02 分離・回収型 I G F C 実証

500MW級の商業機に適用した場合に、C02 回収率90%の条件で、47%程度の発電効率（送電端効率、高位発熱量基準）達成の見通しを得る。

4) 信頼性向上、低コスト化

信頼性向上により5,000時間以上の長期運転の達成、また経済性向上により早期商用化の見通しを得る。

[中間目標（2023年度）]

5) C02 分離・回収負荷変動対応ガスタービン要素技術開発

水素濃度の変動に対応した燃焼試験を開始する。

[最終目標（2025年度）]

5) C02 分離・回収負荷変動対応ガスタービン要素技術開発

C02 分離・回収の負荷変動に伴う、経時的な水素濃度変化に対応したガスタービン燃焼技術を確立する。

## 研究開発項目② 「高効率ガスタービン技術実証事業」

### [実施期間]

1700℃級ガスタービン：2012年度～2020年度（うち2012年度～2015年度は経済産業省において実施）

高温分空気利用ガスタービン（AHAT）：2012年度～2017年度（うち2012年度～2015年度は経済産業省において実施）

### 1. 研究開発の必要性

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。

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、CO<sub>2</sub>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。

また、高温分空気利用ガスタービン（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、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（45%（高位発熱量基準）→51%（高位発熱量基準）以上）を目的とした日本オリジナルの技術であり、世界初となるAHATの実用化は急務である。

これらの政策を実現するために、発電規模に応じた発電熱効率の一層の向上が必要であり、ガスタービン高温部品の技術向上と発電サイクルの工夫が必要不可欠である。また、環境負荷の少ない発電システムを開発することは、電力の安定的かつ低廉な供給を確保する上で極めて重要な対策である。

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℃級ガスタービンやAHATシステムの導入が不可欠である。

### 2. 具体的研究内容

#### 1) 1700℃級ガスタービン

1700℃級ガスタービンにおける性能向上、信頼性向上に関する要素技術開発を実施する。例として、製造技術・検査技術の開発、超高温高負荷タービンの信頼性向上、過酷環境下でのデータ取得のための特殊計測技術開発等を実施する。また、1700℃級での実証運転時における特殊計測の実施、試運転データの評価・分析を行い、商用化の検討を実施する。

#### 2) AHAT

AHATシステムについては、ユーザーニーズとしてミドル運用以上（年間50回以上の起動・停止）における長期信頼性が求められていることから、既存40MW級総合試験装置の改造による実証機製作、実証試験による長期信頼性評価を実施する。また、実証機試験結果を用いて商用機化の検討を実施する。

### 3. 達成目標

#### 1) 1700℃級ガスタービン

[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。

[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、及び評価を実施し、送電端効率57%達成(高位発熱量基準)の見通しを得る。

#### 2) AHAT

[最終目標 (2017年度)]

実証機を用いた試験により、長期信頼性の実証として以下を達成する。

・ミドル運用(年間50回以上の起動・停止)の2倍である年間100回以上の起動・停止での実証試験を実施し、等価運転時間 10,000時間以上を確保する。

(等価運転時間とは、起動・停止等の機械装置の寿命を考慮し、同等の連続運転時間とみなせる運転時間)

### 研究開発項目③ 「先進超々臨界圧火力発電実用化要素技術開発」

[実施期間] 2008年度～2016年度（うち2008年度～2015年度は経済産業省において実施）

#### 1. 研究開発の必要性

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先進超々臨界圧火力発電実用化要素技術開発（A-USC）の実現可能性が見えてきた。

本事業では2020年以降に増大する経年石炭火力のリプレース及び熱効率向上需要に対応するため、高い発電効率を実現できるA-USCの開発を行う。

#### 2. 研究開発の具体的内容

##### （1）システム設計、設計技術

基本設計、配置最適化、経済性の試算

##### （2）ボイラ要素技術

700℃級候補材料について、耐久試験により、10万時間の長期信頼性を確保する

##### （3）タービン要素技術

大型鋼塊の製造性を確認するとともに10万時間の長期信頼性を確保する

##### （4）高温弁要素技術

実缶試験・回転試験に組み込み、信頼性を確認する

##### （5）実缶試験・回転試験

実缶試験、回転試験により、ボイラ要素及びタービン要素の信頼性の実証を行う。

#### 3. 達成目標

[最終目標（2016年度）]

蒸気温度を700℃へ高めるための要素技術開発を実施し、2020年以降において商用プラントでの送電端熱効率46%（高位発熱量基準）達成の技術的見通しを得る。

## 研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

### 1) 次世代ガス化システム技術開発

[実施期間] 2015年度～2018年度（うち2015年度は NEDO ゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクトにて実施）

#### 1. 研究開発の必要性

エネルギー基本計画（2014年4月閣議決定）においては、石炭火力発電は重要なベースロード電源として位置づけられているが、温室効果ガスの大気中への排出をさらに抑えるため、石炭ガス化複合発電（IGCC）等の次世代高効率石炭火力発電技術等の開発及び実用化を推進することとされている。中長期的には、さらなる高効率化に向けて、現在開発中のIGCCを効率でしのぐ次世代高効率石炭火力発電技術等の開発を実施する必要がある。

#### 2. 具体的研究内容

次世代高効率石炭ガス化発電システムについて、冷ガス効率及び送電端効率の向上並びに実用化に向けた技術開発を実施する。

酸素吹石炭ガス化においては、ガス化炉にガス化剤として酸素を供給して石炭を部分燃焼させ、石炭を熱分解しているが、投入された石炭が一部燃焼して消費されること、酸素製造装置等の所内動力の増加により送電端効率が低下することが効率向上のための課題となっている。

そこで、熱分解の一部を、ガスタービン排熱を利用して作る水蒸気を用いた石炭ガス化反応に置き換えることにより、冷ガス効率の向上を図るとともに、酸素供給量の低減を図り、送電端効率の向上を目指す。

これまでのシミュレーションによる検討結果では、①噴流床型IGCCガス化炉への高温の水蒸気の注入による冷ガス効率及び送電端効率の向上、②エネルギー効率の高い酸素製造技術を組み込んだIGCCシステムの構築による更なる送電端効率の向上、の可能性があると分かった。そこで、これらの可能性を検証及び評価するため、以下の項目を実施する。

##### (1) 水蒸気添加による冷ガス効率向上効果の検証

噴流床型ガス化炉への高温の水蒸気の注入による冷ガス効率の向上について、小型ガス化炉での検証を行う。

##### (2) エネルギー効率の高い酸素製造装置の適用性評価

エネルギー効率の高い酸素製造装置の適用性を評価する。

##### (3) IGCCシステム検討

エネルギー効率の高い酸素製造装置を組み込んだIGCCの最適化システム試設計及び経済性検討を行う。

冷ガス効率の向上及び試設計を踏まえて、送電端効率を精査する。

#### 3. 達成目標

[中間目標（2017年度）]

既存のIGCC（1500℃級GTで送電端効率46～48%）を凌ぐ高効率石炭ガス化発電システムの見通しを得るため、小型ガス化炉による水蒸気添加ガス化試験方法を確立する。

[最終目標（2018年度）]

既存のIGCC（1500℃級GTで送電端効率46～48%）を凌駕する高効率石炭ガス化発電システムの見通しを得る。

2018年度以降については研究開発項目⑤CO2回収型クローズドIGCC技術開発と統合して、  
新名称 研究開発項目⑤CO2回収型次世代IGCC技術開発とする。



## 研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

### 2) 燃料電池向け石炭ガスクリーンナップ技術要素研究

[実施期間] 2015年度～2017年度（うち2015年度は NEDO ゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクトにて実施）

#### 1. 研究開発の必要性

石炭ガス化燃料電池複合発電（IGFC）は石炭をガス化させ、燃料電池、ガスタービン、蒸気タービンの3種の発電形態を組み合わせてトリプル複合発電を行うもので、究極の高効率発電技術として、実現が望まれている。

クールアースエネルギー革新技術開発ロードマップにおいても2025年頃の高効率石炭火力発電技術として55%の送電端効率を目指すIGFCが位置づけられている。

IGFCにおいては、燃料である石炭ガス化ガスに多種類の微量成分が含まれており、この微量成分の一部が燃料電池の劣化を招き、長期信頼性を損なう可能性があることが懸念されている。

そのため、IGFCの実現に向けては、石炭ガス化ガス中の微量成分の燃料電池への影響を把握するとともに、燃料電池の被毒成分に対するガス精製技術を確立することが必要である。

#### 2. 具体的研究内容

燃料電池用ガス精製技術と燃料電池を組み合わせ、石炭ガス化ガスの模擬ガス試験により燃料電池の被毒耐性を確認する。また、特定された被毒成分に対して、成分を許容レベルまで除去するガス精製技術を検討し、模擬ガスによる性能評価を行う。

#### 3. 達成目標

[最終目標（2017年度）]

- ・模擬ガス試験により燃料電池の被毒耐性を評価する。
- ・模擬ガス試験により燃料電池用ガス精製技術性能を評価し、ガス精製技術を確立する。

## 研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

### 3) ガスタービン燃料電池複合発電技術開発

[実施期間] 2016年度～2021年度

#### 1. 研究開発の必要性

2015年7月に経済産業省における「次世代火力発電の早期実現に向けた協議会」により策定された「次世代火力発電に係る技術ロードマップ」において、ガスタービン燃料電池複合発電（GTFC）については、小型GTFC（1,000kW級）の商用化、量産化を進め、SOFCのコスト低減を図り、中小型GTFC（10万kW級）の実証事業を経て、発電効率63%程度、CO<sub>2</sub>排出原単位：280g-CO<sub>2</sub>/kWh程度を達成し、2025年頃に技術を確立することが示されている。また、量産後は従来機並の発電単価を実現することとされている。

さらには、同ロードマップにおいて、IGFCの技術を確立するためには、GTFCの開発成果を活用していくことが示されており、次世代火力発電技術の早期確立に向けて、本事業の必要性は高い。

#### 2. 具体的研究内容

小型GTFC（1,000kW級）の商用化及び量産化を進め、SOFCのコスト低減を図る。さらに、中小型GTFC（10万kW）の要素技術を開発し、2022年度から開始する中小型GTFCの技術実証に活用する。

#### 3. 達成目標

[中間目標（2019年度）]

中小型GTFC（10万kW）の要素技術を開発する。

- ・ 高圧SOFCモジュールを開発する。
- ・ ガスタービンとの関係技術を確立する（燃焼器、燃料/空気差圧制御系、排燃料・排空気・空気抽気）。

[最終目標（2021年度）]

中小型GTFC（10万kW）の要素技術を確立する。

- ・ 燃料電池の高性能化による中小型GTFCシステムの最適化を行う。
- ・ 小型GTFC（出力1,000kW級）において、57%LHV（低位発熱量基準）の発電効率（送電端）の見通しを得る。

## 研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

### 4) 燃料電池石炭ガス適用性研究

[実施期間] 2016年度～2021年度

#### 1. 研究開発の必要性

石炭ガス化燃料電池複合発電（IGFC）は、石炭をガス化し、燃料電池、ガスタービン、蒸気タービンの3種類の発電形態を組み合わせるとトリプル複合発電を行うもので、究極の高効率石炭火力発電技術として、その実現が望まれている。

「次世代火力発電に係る技術ロードマップ」において、IGFCの開発方針として、2025年度頃技術確立、発電効率55%及び量産後従来機並の発電単価の実現を目指すことが示された。

IGFCを構成する高温型燃料電池については、現在、天然ガスを燃料とした燃料電池の開発が進んでいるが、石炭ガスを燃料とした場合の適用性についての検証及びシステムの検討を行う必要性がある。

燃料を石炭ガスとした場合に、燃料電池の劣化を引き起こすガス中被毒成分濃度の確認と被毒成分の除去技術についての研究は、すでに着手されている。

IGFCを構成する燃料電池モジュールについては、石炭ガスを燃料とした場合の運用性や性能を把握する必要があることから、実燃料電池モジュールを用いた石炭ガス燃料の適用性試験を行い、その結果を踏まえて、IGFCの技術確立に必要な実証機に係るシステム検討を行う必要性がある。

#### 2. 具体的研究内容

##### (1) IGFCシステムの検討

国内外における高温型燃料電池及びIGFCの技術開発動向をレビューすることにより、最新情報を入手し、IGFCの実用化に向けた課題の整理を行う。商用機システムとして、CO<sub>2</sub>分離・回収を行わないIGFCとCO<sub>2</sub>分離・回収型IGFCについて、ケーススタディを行い、送電端効率とコストの試算を行う。IGFCの実用化に向けた課題、商用化システムの検討結果及び(2)の成果を踏まえて、IGFC実証システムについて検討を行い、実証機の容量を決定のうえ、試設計を行う。

##### (2) 燃料電池モジュールの石炭ガス適用性研究

石炭ガス燃料の適用性試験に供する高温型燃料電池モジュールについては、天然ガス燃料で既に実用化されている燃料電池モジュールとする。本試験に係る設計、製作、据付け等を行い、まず、天然ガスを燃料とした試運転を行う。次いで、天然ガスをH<sub>2</sub>リッチガスに改質した燃料を用い、燃料電池モジュールの運用性、性能等を把握するとともに、天然ガス燃料の場合との比較から課題を抽出する。さらに、石炭ガス化の実ガスを燃料として、燃料電池の被毒成分をガス精製によりクリーンアップしたうえで燃料電池モジュールに供給し、その運用性、性能等を把握するとともに、石炭ガス適用時の課題を抽出する。さらに、これまで実績のない石炭ガスによる運転を行うことから、燃料電池セル及びモジュール内部構造への影響を把握するため、装置の解体調査を行い、石炭ガス適用時の課題を抽出する。

#### 3. 達成目標

##### (1) IGFCシステムの検討

[最終目標 (2019年度)]

I G F C実証機の容量を決定し、実証機の試設計を完了する。

## (2) 燃料電池モジュールの石炭ガス適用性研究

[中間目標 (2019年度)]

H<sub>2</sub>リッチガスを燃料とした場合の燃料電池モジュールの基本性能を確認するとともに、発電性能を最適化するための運用性を確立する。また、石炭ガスを燃料とした場合の燃料電池モジュールの基本性能を確認する。

[最終目標 (2021年度)]

石炭ガスを燃料とした場合の燃料電池モジュールの運用性と性能を把握し、課題を抽出する。また、石炭ガス適用時の燃料電池出力変化率を天然ガスと同等の1%/min程度とする石炭ガス化炉連係システムを構築する。

## 研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

### 5) CO<sub>2</sub> 分離型化学燃焼石炭利用技術開発

[実施期間] 2015年度～2017年度（うち2015年度は NEDO ゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクトにて実施）

#### 1. 研究開発の必要性

エネルギー基本計画（2014年4月閣議決定）においては、石炭火力発電は重要なベースロード電源として位置づけられているが、温室効果ガスの大気中への排出をさらに抑えるため、環境負荷の一層の低減に配慮した石炭火力発電の導入を進めることとされている。

現在、石炭の燃焼排ガス又は石炭ガス化プラントの石炭ガス化ガスからの CO<sub>2</sub> の分離・回収技術の開発が進められているが、CO<sub>2</sub> 分離・回収工程において多くのエネルギー損失が発生することが課題となっている。これを解決するため、エネルギー損失のない高効率でありながら、CO<sub>2</sub> の分離・回収が可能な化学燃焼石炭利用技術について、実用化に向けた開発を実施する。

#### 2. 具体的研究内容

従来、石炭の燃焼時の排気ガス又は石炭ガス化プラントの石炭ガス化ガスからの CO<sub>2</sub> 分離・回収に当たっては、この過程における多くのエネルギー損失が課題となっているが、CO<sub>2</sub> 分離型化学燃焼石炭利用技術においては、酸素キャリアとなる金属を媒体とする石炭の燃焼反応と金属の酸化反応を二つの反応器で別個に発生させることにより、CO<sub>2</sub> の分離・回収装置及び空気分離装置が不要となり、エネルギー損失のない CO<sub>2</sub> の分離・回収が可能である。

さらに、CO<sub>2</sub> 分離型化学燃焼石炭火力発電は、流動床燃焼技術を用いることから多様な燃料（低品位炭、バイオマス等）が活用でき、IGCCやA-USCが大規模プラントであるのに対して、中小規模プラント（10～50万kW）におけるCO<sub>2</sub>の分離・回収に適しているといった特長がある。

しかしながら、実用化に向けては、酸素キャリアのコスト抑制及び反応塔の小型化に向けた酸素キャリアの反応性の向上という課題がある。

そこで、有望な酸素キャリアの評価と選定並びにプラント構築を目的として、以下の項目を実施する。

##### (1) 酸素キャリアの評価と選定

酸素キャリアの反応性、耐久性及び流動性等について要素試験にて評価を行い、コストを踏まえて選定する。

##### (2) プラント試設計及び経済性検討

酸素キャリアの反応性からプロセス解析を行うとともに酸素キャリアの流動や循環を検討し、プラント試設計を行う。この結果をもとに経済性検討を行う。

##### (3) ベンチ試験装置によるプロセス検証

酸素キャリアの反応性、耐久性及び流動性等並びに流動や循環を含むプラントの成立性を検証するため、ベンチ試験装置を製作し、試験・評価を行う。

#### 3. 達成目標

[中間目標（2017年度）]

分離・回収コスト1,000円台/t-CO<sub>2</sub>を見通せるキャリアを選定する。

[最終目標（2020年度）]

分離・回収コスト1,000円台/t-CO<sub>2</sub>を見通せるCO<sub>2</sub>分離型化学燃焼石炭火力発電システムを提示する。

2017年度の間評価で、中間目標は達成したものの「データ解釈の精密化と実用的な設計提案の立案についてより深く検討する」ことが求められたことから、研究開発体制を見直す必要があると考えた。従って2017年度で本研究を中止し、研究開発の内容を見直し、ラボ試験を行いデータを蓄積し精度向上を図ると共に、実用的な設計立案に向け、実機設計技術の確立を目指した要素研究を「研究開発項目④8）流動床ガス化燃焼技術を応用した石炭利用技術開発」で実施する。

## 研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

### 6) 石炭火力の負荷変動対応技術開発

[実施期間] 2017年度～2022年度

#### 1. 研究開発の必要性

日本の石炭火力発電所は、長年の技術開発の成果により、高い発電効率や排出ガス対策で、世界的に最高レベルの技術を有している。しかしながら、日本の技術を採用したプラント価格は、他の国のプラントに比べて高価であるため、国際市場に於いて必ずしも高い競争力を有しておらず、海外での導入事例も限られているのが現状である。日本の石炭火力発電所が受注に至った地域では、厳しい技術要件が定められており、日本の高効率発電技術が入札時に評価されている一方、他国性の石炭火力発電所を導入した諸外国のユーザーの多くが、稼働率の低下をはじめとしたオペレーション上の様々な課題を抱えている。

また、2019年7月に閣議決定された「第5次エネルギー基本計画」において、石炭は「現状において安定供給性や経済性に優れた重要なベースロード電源の燃料として評価されているが、再生可能エネルギーの導入拡大に伴い、適切に出力調整を行う必要性が高まると見込まれる」とされている。今後とりわけ自然変動電源（太陽光・風力）の導入が拡大する中で、電力の需給バランスを維持し周波数を安定化するために、火力発電等による調整力の一層の確保と信頼性・運用性の向上が求められている。

そこで本事業では、石炭火力発電による調整力の一層の確保と信頼性・運用性を向上させるための先進的な技術開発を実施する。そのことにより、日本の石炭火力発電プラントの競争力向上にも寄与する。

#### 2. 具体的研究内容

負荷変動対応に伴う事故リスクと保守コスト低減に必要な故障予知・寿命予測等の保守技術および石炭火力発電による調整力の一層の確保と信頼性・運用性を向上させるための先進的な技術開発を実施する。

#### 3. 達成目標

[中間目標（2020年度）]

長期保守契約（L T S A）等に寄与できる各種モニタリング・センシング・解析等の要素技術を確立する。

[最終目標（2022年度）]

負荷変動対応に伴う事故リスクと保守コスト低減に必要な故障予知・寿命予測等の保守技術および石炭火力発電による調整力の一層の確保と信頼性・運用性を向上させるための先進的な技術の見通しを得る。

## 研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

### 7) CO<sub>2</sub> 有効利用技術開発

[実施期間] 2017年度～2021年度

#### 1. 研究開発の必要性

供給安定性及び経済性に優れた天然資源である石炭を利用した火力発電は、将来的にも、国内の発電供給量の26%を担う重要な電源である。

しかし、これら石炭火力発電ではCO<sub>2</sub>排出量が比較的多く、将来的にCO<sub>2</sub>分離回収有効利用：Carbon Capture and Utilization (CCU) が検討されている。現時点ではCO<sub>2</sub>の大規模処理が困難であるものの、有価物の製造等により利益を創出する可能性がある。

2030年度以降を見据え、将来の有望なCCU技術の確立を目指して、我が国の優れたCCT (Clean Coal Technology) 等に、更なる産業競争力を賦与する事が可能なCCU技術について、実用化に向けた開発を実施する。

#### 2. 具体的研究内容

短～中期において大規模且つ高濃度のCO<sub>2</sub> (99%以上)を、エネルギーとして工業的に活用可能な技術開発を実施する。一例として、メタネーション技術については石炭火力発電所等から回収した高濃度CO<sub>2</sub>の適用性を評価する。

#### 3. 達成目標

[最終目標 (2021年度) ]

事業終了時に本事業として実施するCO<sub>2</sub>有効利用技術の適用性を確認する。一例としては、将来的に天然ガス代替では0.9円～1.4円/MJ (LHV)を見通す経済性を評価する。



## 研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

### 8) CO<sub>2</sub> 分離・回収型ポリジェネレーションシステム技術開発

[実施期間] 2020年度～2024年度

#### 1. 研究開発の必要性

エネルギー基本計画において、石炭火力は、安定供給性と経済性に優れたベースロード電源の燃料として評価されているものの、温室効果ガスの排出量が多いという問題があるため、高効率化およびCO<sub>2</sub> 排出削減が望まれている。

石炭火力からのCO<sub>2</sub> 排出抑制技術としては、CO<sub>2</sub> の分離・回収技術があるが、エネルギー損失が大きいため、発電システムとしてCO<sub>2</sub> を分離・回収できるガス化技術を適用した技術が有望視されている。また、この技術は、バイオマスや炭素系廃棄物等を燃料として発電することによるCO<sub>2</sub> 排出削減や有価な生産物（水素や化学品等）の製造に応用できる技術として期待されている。

本事業ではガス化技術を適用して、燃料を多様化するとともに、有価な生産物を併産することで、CO<sub>2</sub> 分離・回収コストの低減を目指したCO<sub>2</sub> 分離・回収型ポリジェネレーションシステムを構築する火力発電設備設計技術の確立に向けた技術開発を実施する。

#### 2. 具体的研究内容

CO<sub>2</sub> 分離・回収型ポリジェネレーションシステムを構築可能な技術として、流動床ガス化燃焼技術と噴流床ガス化技術がある。

##### (1) 流動床ガス化燃焼技術の適用

流動床ガス化燃焼技術は、流動床技術をベースとして、空気燃焼塔、揮発分（可燃性ガス）反応塔、石炭反応塔（ガス化）で構成され、流動材（酸素キャリア）を媒介として空気燃焼塔で流動材を酸化し、酸化された流動材を揮発分反応塔、石炭反応塔に供給し、酸化された流動材の酸素を用いて石炭をガス化し、発生した可燃性ガスを燃焼させるシステムで、窒素が揮発分反応塔や石炭反応塔に同伴されないことから、石炭は燃焼後、CO<sub>2</sub>、水蒸気、ばいじんとなる。煤塵を集塵機で捕集し、ガス温度を下げることで水蒸気を凝縮するとCO<sub>2</sub> ガスのみが分離回収できる。

本技術は中小規模（100MW級）の発電プラントにも適用でき、多様な燃料（低品位炭、バイオマス等）に活用できる。また、水素反応器を追加することにより、水素併産が期待できる。また、別置きCO<sub>2</sub> 分離・回収装置や空気分離装置が不要であることから、エネルギー損失がないCO<sub>2</sub> 分離・回収および水素製造が可能となる。

具体的研究内容としては、水素併産に最適な流動材の選定およびシステム開発、プラント構成の最適化を実施し、流動床ガス化燃焼を適用した火力発電設備設計技術確立のための研究開発を実施する。例えば、流動材を利用した水素製造技術の最適化、バイオマス燃焼の適用性、長期運転における課題検討などを実施する。

##### (2) 噴流床ガス化技術の適用

酸素吹き石炭ガス化においては、ガス化炉にガス化剤として酸素を供給して石炭を部分燃焼させ、石炭を熱分解しているが、投入された石炭が一部燃焼して消費されること、酸素製造装置等の所内動力の増加により送電端効率が低下することから、熱分解の一部をガスタービン排熱等を利用して作る水蒸気を用いた石炭ガス化反応に置き換えることにより、冷ガス効率の向上を図るとともに酸素供給量の低減を図り、送電端効率の向上が可能となる。このようなO<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O吹き噴流床ガ

ス化技術をベースとし、燃料として石炭だけでなく炭素系廃棄物等を利用することで CO2 排出量を削減し、化学品を併産することで CO2 分離・回収コストの低減が期待できる。

具体的研究内容としては、炭素系廃棄物燃焼の適用性検証、ガス化ガスからの化学合成技術の選定、システム構成の最適化を実施し、噴流床ガス化技術を適用した火力発電設備設計技術確立のための研究開発を実施する。

### 3. 達成目標

[中間目標（2022年度）]

CO2 分離・回収型ポリジェネレーションシステムの実証設備設計に必要な要素技術の確立に目途をつける。

[最終目標（2024年度）]

CO2 分離・回収型ポリジェネレーションシステムにより分離・回収コスト 1,000 円台/t-CO2 を見通せる火力発電設備の設計技術確立および経済性を評価する。

## 研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

### 9) 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

[実施期間] 2018年度～2021年度

#### 1. 研究開発の必要性

我が国では、2050年に温室効果ガス80%削減の目標が掲げられており、その達成に向けた手段の一つとして、再生可能エネルギー電源（以下、再エネ電源）の増加が見込まれている。2015年7月に公表された、長期エネルギー需給見通しにおいて示された2030年度の電源構成比では、太陽光発電が7%の発電電力量を占めることになる。太陽光発電の利用率を平均の13%とすると、約6400万kWの設備容量を必要とし、これは国内事業用の全発電設備容量の1/4程度に相当する。一方で、普及の拡大が予測される太陽光発電や風力発電の出力は天候に大きく影響を受けるため、電力の安定供給を考えた場合、系統安定化が必要不可欠である。

火力機は、大量に導入される再エネ電源に対応して、需給調整や周波数調整など重要な役割を果たしている。例えば、太陽光発電の日中に生じる急激な天候変動等による大幅な出力変動に対応するには、ガスタービン複合発電（以下、GTCC）を用いることが有望な手段の一つであるが、現状の性能では起動時間が長い、出力変化速度が遅い、最低出力が高い等の課題がある。

そこで本研究開発では、再生可能エネルギー電源の大量導入時の電力安定供給とCO2排出量削減の両立を狙い、既存の火力発電設備へのレトロフィットやリプレース向けに定格時の効率を維持したうえで、機動力と再エネ出力不調時のバックアップ電源の両機能を具備した、機動性に優れた広負荷帯高効率GTCCを開発するため、中核機器であるガスタービン（以下、GT）の負荷変動対応に係る要素技術を開発し、実機に組み込める目処を得ることを目的とする。

#### 2. 具体的研究内容

急速起動・出力変動時のGTCCの安定運転の実現に向け、GTの数値解析技術、材料技術、燃焼技術、制御技術、冷却・シール技術などの要素技術開発を行う。具体的には、試験設備を用いて、燃焼器の急速起動・燃焼負荷変動・ターンダウン等の試験、軽量化したタービンロータの設計と翼の試作、クリアランスや冷却・シール空気の能動制御機構の設計等を行い、実証に進める目処を得る。

並行して、発電事業者にとって重要となる設備信頼性の確保に向けて、合理的な設備保守技術の開発研究に取り組むとともに、実機レトロフィットによる機器実証の準備を行う。

表 先行研究で設定されたGTCCとしての目標性能

	起動時間 (ホットスタート)	出力変化速度	1/2負荷における定格からの 効率低下（相対値）	最低出力（一軸式）
開発目標	10分	20%/分	10%	10%
(参考) 現状性能	60分	5%/分	15%	45%程度

#### 3. 達成目標

[最終目標（2021年度）]

- ・先行研究で設定した目標性能（上表）を実現する目処を得るために、実規模の燃焼器を設計・試作し、単缶実圧燃焼試験により、無負荷から定格まで5分で到達すること、最低負荷条件においても安定燃焼が可能であることを確認する。

- ・急速起動、出力変化速度向上、最低負荷引き下げ、部分負荷時の効率低下抑制を含む、GTCCシステムとしての運転制御技術とGT後流（HRSG－蒸気タービン側）の成立性・性能評価、急速起動に寄与する動翼・ロータの軽量化については、実プラントの設計に反映できる目処を得る。
- ・合理的な設備運用保守を行うために、従来の考え方からの違いを整理する。
- ・対象GTCCと他の調整力電源（揚水発電、蓄電池など）の経済性を比較評価し、事業として成立するための課題を整理する。
- ・既存設備のレトロフィットによる実証研究計画を立案し、実証試験の仕様を明らかにする。

## 研究開発項目⑤ 「CO<sub>2</sub>回収型次世代IGCC技術開発」

[実施期間] 2015年度～2020年度（うち2015年度は NEDO ゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクトにて実施）

### 1. 研究開発の必要性

エネルギー基本計画（2014年4月閣議決定）においては、石炭火力発電は重要なベースロード電源として位置づけられているが、温室効果ガスの大気中への排出をさらに抑えるため、石炭ガス化複合発電（IGCC）等の次世代高効率石炭火力発電技術等の開発及び実用化を推進することとされている。石炭は他の化石燃料と比べ利用時の二酸化炭素排出量が大きく、地球環境問題での制約要因が多いという課題を抱えており、石炭火力発電についても更なる二酸化炭素排出量の抑制が求められている。今後 CO<sub>2</sub> 排出量抑制のためには、さらなる高効率化に向けて、現在開発中の IGCC を効率でしのぐ次世代高効率石炭火力発電技術等の開発に加え、CCS による低炭素化を図っていく必要がある。

しかしながら、CCS は多大な付加的なエネルギーが必要であり、効率の低下や発電コストの上昇を招く。そのためエネルギー資源を海外に依存する我が国では、資源の有効利用と発電コストの抑制のため、このエネルギーロスを可能な限り低減する必要がある。

### 2. 具体的研究内容

本技術開発においては CO<sub>2</sub> 回収型クローズド IGCC の開発、水蒸気を添加した次世代ガス化システム及び両技術の相乗効果確認を実施する。とりわけ相乗効果については、既存の IGCC へ両要素技術の適用性についても効果を検証する。クローズド IGCC システムは、排ガス CO<sub>2</sub> を一部系統内にリサイクルすることにより、CO<sub>2</sub> 回収型石炭ガス化発電システムの効率を大幅に向上することのできる、世界でも例のない次世代 IGCC システムである。本システムは高効率に加え、CO<sub>2</sub> の 100% 回収が可能であるため、CO<sub>2</sub> を排出しないゼロエミッション石炭火力の実現が期待できる。また、次世代ガス化システムは、冷ガス効率及び送電端効率の向上並びに実用化に向けた技術開発に向けて、酸素吹石炭ガス化においては、ガス化炉にガス化剤として酸素を供給して石炭を部分燃焼させ、石炭を熱分解しているが、投入された石炭が一部燃焼して消費されること、酸素製造装置等の所内動力の増加により送電端効率が低下することが効率向上のための課題となっていることから、熱分解の一部を、ガスタービン排熱を利用して作る水蒸気を用いた石炭ガス化反応に置き換えることにより、冷ガス効率の向上を図るとともに、酸素供給量の低減を図り、送電端効率の向上を目指す。CO<sub>2</sub> 回収型クローズド IGCC の実現に向けては、2008年度から2014年度まで実施した「CO<sub>2</sub>回収型次世代IGCC技術開発」において、石炭投入量 3 t/d の小型ガス化炉を活用し、送電端効率 42%（高位発熱量基準）以上を達成可能とする基盤技術を開発してきた。

本事業では、この基盤技術開発の成果を活用し、実機により近い大型のサイズのガス化炉において検証を行い、システム実現に向け、基盤技術をより確実な技術として発展させるとともに、他の CO<sub>2</sub> 分離・回収技術と比較した本システムの経済的優位性を確認することを狙いとする。

具体的には、石炭投入量 50 t/d 規模のガス化炉を用いた、O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> ガス化技術の実証や乾式ガス精製システムの実証といった高効率発電を可能とする各要素技術を開発する。また、セミクローズド GT については、燃焼試験と CFD 解析を通し、実スケールの燃焼器の特性評価を行う。

次世代ガス化システムのこれまでのシミュレーションによる検討結果では、①噴流床型 IGCC ガス化炉への高温の水蒸気の注入による冷ガス効率及び送電端効率の向上、②エネルギー効率の高

い酸素製造技術を組み込んだ I G C C システムの構築による更なる送電端効率の向上、の可能性が  
あることが分かった。そこで、これらの可能性を検証及び評価するため、以下の項目を実施する。

(1) 水蒸気添加による冷ガス効率向上効果の検証

噴流床型ガス化炉への高温の水蒸気の注入による冷ガス効率の向上について、小型ガス化炉での  
検証を行う。

(2) エネルギー効率の高い酸素製造装置の適用性評価

エネルギー効率の高い酸素製造装置の適用性を評価する。

(3) I G C C システム検討

エネルギー効率の高い酸素製造装置を組み込んだ I G C C の最適化システム試設計及び経済性検  
討を行う。

冷ガス効率の向上及び試設計を踏まえて、送電端効率を精査する。

また、両技術の相乗効果確認及び既存の I G C C へ適用した場合の効果を検証する。

### 3. 達成目標

[中間目標 (2017年度)]

C02回収型クローズド I G C C については、送電端効率42% (高位発熱量基準) を見通すための  
要素技術確立の目途を得る。

次世代ガス化システムについては、既存の I G C C (1500℃級GTで送電端効率46~4  
8%) を凌ぐ高効率石炭ガス化発電システムの見通しを得るため、小型ガス化炉による水蒸気添加  
ガス化試験方法を確立する。

[最終目標 (2020年度)]

C02回収型クローズド I G C C については、2019年度までに送電端効率42% (高位発熱量基  
準) を見通すための要素技術を確立する。

次世代ガス化システムについては、2018年度までに既存の I G C C (1500℃級GTで送  
電端効率46~48%) を凌駕する高効率石炭ガス化発電システムの見通しを得る。

両技術の相乗効果として、2020年度までにC02回収型クローズド I G C C の目標効率から更  
に0.5ポイント程度の向上の見通しを得る。

## 研究開発項目⑥ 「次世代火力発電技術推進事業」

[実施期間] 2016年度～2024年度

### 1. 研究開発の必要性

長期エネルギー需給見通しにおける基本方針は、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することである。2030年以降、中長期的に火力発電から排出されるCO<sub>2</sub>を一層削減するには、次世代技術の普及による更なる高効率化や再生可能エネルギーの利用拡大、並びにカーボンリサイクルの推進が重要である。これらの推進を実現するには中長期的な研究開発も重要であるため、革新的技術の先導研究や調査が必要となる。また、日本の優れた火力発電技術を海外に展開していくことにより、地球規模での温暖化問題の解決を推進していく必要がある。

### 2. 具体的研究内容

最新の技術動向や社会情勢、社会ニーズに合わせ、国内外の火力発電技術分野およびカーボンリサイクルにおける最新技術の普及可能性、技術開発動向、産業間連携等の調査や、新規技術開発シーズ発掘のための調査を実施する。また、IEA/CCC（Clean Coal Centre）、IEA/FBC（Fluidized Bed Combustion）、等に参画し、技術情報交換・各種技術情報収集を行うとともに、国内関係者への情報提供を行う。また、今後の国際市場における日本の火力発電所受注に向けて、高い競争力を発揮できる戦略及びビジネスモデルを構築する。さらに、低コスト高効率次世代火力発電システム実現に向けた検討や次世代火力発電における燃料多様化（バイオマス、アンモニア等）のための調査および先導研究を進める。また、カーボンリサイクルにおいては、要素技術検討のための共通基盤技術開発（CO<sub>2</sub>還元、炭酸塩化等）を進める。

### 3. 達成目標

[最終目標（2024年度）]

火力発電技術分野において、CO<sub>2</sub>排出量低減、環境負荷低減及び国際競争力の強化を図るために必要となる基礎的情報や、最新情報の収集・解析及び将来における次世代火力の技術開発や導入可能性について、関連技術の適応性、課題等の調査を行う。また、海外との協力を通して、我が国の優れたCC<sub>T</sub>の導入に向けた取組を行う。カーボンリサイクル分野において、先導研究や調査の成果を俯瞰して、関連技術の経済性や導入可能性、CO<sub>2</sub>削減効果に関する基礎的情報や課題を整理する。

## 研究開発項目⑦ 「次世代技術の早期実用化に向けた信頼性向上技術開発」

[実施期間] 2017年度～2021年度

### 1. 研究開発の必要性

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℃程度が限界と言われてきた。700℃以上の高温蒸気へ適用されるボイラ・タービン適用材料開発については、長期高温環境下での使用を想定したクリープ試験を実施する等、更なる信頼性の向上が必要である。本事業では2020年以降に増大する経年石炭火力のリプレース及び熱効率向上需要に対応するため、高温材料信頼性向上及び保守技術開発を行う。

### 2. 研究開発の具体的内容

#### (1) 高温材料信頼性向上試験

信頼性向上のため、クリープ疲労試験、異種材料溶接部健全性評価、材料データベースの拡充、表面処理技術開発等を実施する。

#### (2) 保守技術開発

タービンロータ超音波探傷試験（UT検査）等の精度向上、高効率化、適用箇所の拡大を目的とした非破壊検査技術開発を実施する。

### 3. 達成目標

[中間目標（2019年度）]

長時間クリープ疲労試験、材料データベースの拡充については、各種データの取得を行い、2021年度末までの試験計画を策定する。

表面処理技術開発等の高温材料信頼性向上及びタービンロータ超音波探傷試験（UT検査）精度向上等の保守技術については、技術確立の見通しを得る。

[最終目標（2021年度）]

事業終了時において送電端熱効率46%（高位発熱量基準）達成可能な商用プラントへ適用する長時間クリープ疲労試験、材料データベースの拡充、表面処理技術開発等の高温材料信頼性向上及びタービンロータ超音波探傷試験（UT検査）精度向上等の保守技術を確立する。

### 4. その他重要事項

本事業については、他の事業との連携を図りながら、ユーザー及び外部有識者等の意見を適切に反映し、着実な運営を図る。情報発信及び知財化についても、技術の流出防止と適宜知財化を適切に助成先へ指導する。



## 研究開発項目⑧「CO<sub>2</sub>有効利用拠点における技術開発」〔委託・助成事業〕

[実施期間] 2020年度～2024年度

### 1. 研究開発の必要性

供給安定性及び経済性に優れた天然資源である石炭を利用した火力発電は、将来的にも、国内の発電供給量の26%を担う重要な電源であるが、これら石炭火力発電ではCO<sub>2</sub>排出量が比較的多い課題がある。このような石炭火力を中心とした産業部門から生成するCO<sub>2</sub>を削減するため、2019年6月に経済産業省において策定された「カーボンリサイクル技術ロードマップ」において、CO<sub>2</sub>を資源として捉え、これを分離・回収し、鉱物化や人工光合成、メタネーションによる素材や燃料への利用等とともに、大気中へのCO<sub>2</sub>排出を抑制していく方針が示された。

2019年9月に開催されたカーボンリサイクル産学官国際会議において、経済産業省より、カーボンリサイクル3Cイニシアティブ、すなわち、3つのCのアクションとして、①相互交流の推進（"C"aravan）、②実証研究拠点の整備（"C"enter of Research）、③国際共同研究の推進（"C"ollaboration）に取り組むことが示された。

カーボンリサイクル技術の開発を効率的に進めるためには、CO<sub>2</sub>の分離・回収が行われている場所において、カーボンリサイクル技術開発を重点的に進める必要がある。

### 2. 具体的研究内容

#### 1) CO<sub>2</sub>有効利用拠点化推進事業

CO<sub>2</sub>が得られる広島県大崎上島を研究拠点に、複数の企業や大学等が要素技術開発および実証試験等を行うための拠点化に向けた検討および整備を行い、拠点の運営業務、要素技術開発および実証試験の総括的な評価等を行う。

#### 2) 研究拠点におけるCO<sub>2</sub>有効利用技術開発・実証事業

2030年の実用化に向け広島県大崎上島の研究拠点において、CO<sub>2</sub>有効利用に係る要素技術開発および実証試験を実施する。

### 3. 達成目標

[中間目標（2022年）]

複数の企業や大学等が要素技術開発および実証試験等を行うための拠点化に向けた検討および整備を行う。また、CO<sub>2</sub>有効利用に係る要素技術開発を行い、実現可能性を検討し、拠点候補地で行うべき事業を選定する。

[最終目標（2024年度）]

2030年の実用化に向け、広島県大崎上島の研究拠点にて個々の技術開発および実証試験を行い、各CO<sub>2</sub>有効利用技術の経済性、CO<sub>2</sub>削減効果等を評価する。

## 研究開発項目⑨ 「CO2 排出削減・有効利用実用化技術開発」 [委託・助成事業]

### 1) 化学品への CO2 利用技術開発

[実施期間] 2020年度～2025年度

#### 1. 研究開発の必要性

供給安定性及び経済性に優れた天然資源である石炭を利用した火力発電は、将来的にも、国内の発電供給量の26%を担う重要な電源であるが、これら石炭火力発電ではCO2排出量が比較的多い課題がある。2019年6月に経済産業省において策定された「カーボンリサイクル技術ロードマップ」において、CO2を資源として捉え、これを分離・回収し、鉱物化や人工光合成、メタネーションによる素材や燃料への利用等を通じて、大気中へのCO2排出を抑制していく方針が示された。

化学品へのCO2利用技術については、既存の化石燃料由来化学品に代替可能でありCO2削減・CO2固定化に繋がること、高付加価値品製造に利用可能であること、新規技術導入による効率向上やコスト低減の可能性があること等から、カーボンリサイクル技術として実現への期待は大きい。一方で、現状では基礎研究レベルに留まる研究も多く、今後重点的に技術開発に取り組むべき分野である。

#### 2. 具体的研究内容

CO2を原料とした化学品の合成においては、CO2やH<sub>2</sub>Oから基幹物質であるCO、H<sub>2</sub>の合成ガスあるいはメタノール等を製造する技術、これら基幹物質から汎用物質であるオレフィンやBTX（ベンゼン・トルエン・キシレン）等を製造する技術やバイオマス由来の化学品を製造する技術などが必要である。これらについて高効率な製造技術の開発や、全体システムの最適化を行う。

#### 3. 達成目標

[中間目標（2022年）]

CO2を原料とした化学品合成の各技術について、要素技術開発および全体システムの構築を行う。

[最終目標（2025年度）]

CO2を原料とした化学品合成の各技術について技術開発もしくは実証事業を実施し、全体システムを最適化するとともに、プロセス全体のCO2削減効果および経済性評価を実施する。

## 2) 液体燃料へのCO2利用技術開発

[実施期間] 2020年度～2025年度

### 1. 研究開発の必要性

供給安定性及び経済性に優れた天然資源である石炭を利用した火力発電は、将来的にも、国内の発電供給量の26%を担う重要な電源であるが、これら石炭火力発電ではCO2排出量が比較的多い課題がある。2019年6月に経済産業省において策定された「カーボンリサイクル技術ロードマップ」において、CO2を資源として捉え、これを分離・回収し、鉱物化や人工光合成、メタネーションによる素材や燃料への利用等を通じて、大気中へのCO2排出を抑制していく方針が示された。

CO2由来の液体燃料については、既存の石油サプライチェーンを活用でき液体燃料の低炭素化を促進する技術であることから、カーボンリサイクル技術としての実現への期待は大きい。一方で、現状では生産効率やコストなどの面で課題が大きいことから、普及に向けて技術開発に取り組む必要がある。

### 2. 具体的研究内容

液体燃料（CO2由来燃料またはバイオ燃料（微細藻類由来を除く））製造に関するFT合成やその他合成反応など製造プロセスの改善、バイオエタノールなど微生物利用合成ガス製造プロセスの最適化検討などに取り組む。

### 3. 達成目標

[中間目標（2022年）]

CO2を原料とした液体燃料合成の各技術について、要素技術開発および全体システムの構築を行う。

[最終目標（2025年度）]

CO2を原料とした液体燃料合成の各技術について技術開発もしくは実証事業を実施し、全体システムを最適化するとともに、プロセス全体のCO2削減効果および経済性評価を実施する。

### 3) 炭酸塩、コンクリート製品・コンクリート構造物へのCO2利用技術開発

[実施期間] 2020年度～2025年度

#### 1. 研究開発の必要性

供給安定性及び経済性に優れた天然資源である石炭を利用した火力発電は、将来的にも、国内の発電供給量の26%を担う重要な電源であるが、これら石炭火力発電ではCO2排出量が比較的多い課題がある。2019年6月に経済産業省において策定された「カーボンリサイクル技術ロードマップ」において、CO2を資源として捉え、これを分離・回収し、鉱物化や人工光合成、メタネーションによる素材や燃料への利用等を通じて、大気中へのCO2排出を抑制していく方針が示された。

炭酸塩、コンクリート製品・コンクリート構造物へのCO2利用については、CO2固定化ポテンシャルが高いこと、生成物が安定していること、土壌改質などへの適用も見込めることなどから、カーボンリサイクル技術としての実現への期待は大きく、早期の社会実装が望まれる分野である。

#### 2. 具体的研究内容

鉄鋼スラグ、廃コンクリート、石炭灰等の産業副産物、廃鉱物、海水（かん水）等からの有効成分（CaやMgの化合物）の分離や微粉化等の前処理の省エネ化、湿式プロセスにおける省エネ化、安価な骨材や混和材等の開発などの要素技術を開発する。また、CO2発生源から製造・供給までの一貫システム構築・プロセスの最適化、用途拡大と経済性の検討を行い事業性について検討する。

#### 3. 達成目標

[中間目標（2022年）]

炭酸塩、コンクリート製品・コンクリート構造物への各CO2利用技術について、要素技術開発および全体システムの構築を行う。

[最終目標（2025年度）]

炭酸塩、コンクリート製品・コンクリート構造物への各CO2利用技術について技術開発もしくは実証事業を実施し、全体システムを最適化するとともに、プロセス全体のCO2削減効果および経済性評価を実施する。

#### 4) 気体燃料へのCO2利用技術開発

[実施期間] 2021年度～2025年度

##### 1. 研究開発の必要性

供給安定性及び経済性に優れた天然資源である石炭を利用した火力発電は、将来的にも、国内の発電供給量の26%を担う重要な電源であるが、これら石炭火力発電ではCO2排出量が比較的多い課題がある。2019年6月に経済産業省において策定された「カーボンリサイクル技術ロードマップ」において、CO2を資源として捉え、これを分離・回収し、鉱物化や人工光合成、メタネーションによる素材や燃料への利用等を通じて、大気中へのCO2排出を抑制していく方針が示された。

気体燃料へのCO2利用技術については、既存の化石燃料を代替可能であり既存燃料市場へ適応した場合、大規模なCO2削減を実現する可能性を持つことや、既存のインフラを活用可能な点から技術確立後のCO2削減効果の波及のしやすさが大きく期待される等、カーボンリサイクル技術として実現への期待は大きい。一方で、現状では基礎研究レベルに留まる研究も多く、今後重点的に技術開発に取り組むべき分野である。

##### 2. 具体的研究内容

CO2を原料とした気体燃料製造技術においては、触媒長寿命化や活性マネージメント、熱マネージメント、スケールアップ検討、電解技術等を活用した基盤技術等の開発が必要である。これらについて高効率な製造技術の開発や全体システムの最適化、またそれらを通じた低コスト化検討等を行う。

##### 3. 達成目標

[中間目標(2022年)]

CO2を原料とした気体燃料製造の各技術について、要素技術開発および全体システムの構築を行う。

[最終目標(2025年度)]

CO2を原料とした気体燃料製造の各技術について技術開発もしくは実証事業を実施し、全体システムを最適化するとともに、プロセス全体のCO2削減効果および経済性評価を実施する。

## 研究開発項目⑩ 「石炭利用環境対策事業」

[実施期間] 2016年度～2025年度

### 1. 研究開発の必要性

石炭は、経済性、供給安定性に優れた重要なエネルギー資源であり、「エネルギー基本計画」においても、重要なベースロード電源と位置付けられており、今後とも新興国を中心に世界的に利用が拡大していくと見込まれている。一方、石炭利用に伴い発生するCO<sub>2</sub>、SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>、ばいじん等への対策や、石炭需要の拡大により増大する石炭灰やスラグの有効利用方を確立することが喫緊の課題である。

### 2. 具体的研究内容

石炭利用に伴い発生する環境影響の低減等に貢献する技術の開発を行う。

#### 1) 石炭利用環境対策推進事業

石炭利用時に必要な環境対策に関わる調査を実施する。また、今後のCCT開発を効率的に支援するコールバンクの拡充及び石炭等の発熱性に係る調査・技術開発を行う。

石炭灰の発生量や有効利用に関する実態調査等を行う。具体的には、国内石炭灰排出量・利用量を把握するとともに、海外の石炭灰利用技術及び利用状況等を調査する。また、石炭等の燃焼灰利用及び削減に係る技術開発を行う。

さらに、石炭ガス化溶融スラグ有効利用技術を開発し、工業製品として規格化することにより、スラグ製品として新しい販路を開拓し、石炭等の燃焼灰有効利用の用途を広げる。

#### 2) 石炭利用技術開発

石炭等の燃焼灰の利用用途拡大に関する技術開発を行う。

セメントを使用しないフライアッシュコンクリート製造技術の開発を実施する。加えて、低品位フライアッシュの硬化体原材料としての適用範囲を把握し、有望視される用途（土木分野、建築分野、環境分野等）に適した硬化体製造技術を確立する。

石炭ガス化溶融スラグを利用したコンクリート構造物を製造し、強度、組成、耐久性などに関する評価試験を実施し、信頼性・性能の確認を行う。また、コンクリートを使用する際のガイドラインとなる設計・施行指針を作成する。

### 3. 達成目標

[中間目標（2019年度）]

#### 1) 石炭利用環境対策推進事業

石炭利用環境対策に関わる調査、コールバンクの拡充及び石炭等の発熱性を把握することにより、石炭の有効利用技術の確立に向けた知見を得る。

石炭等の燃焼灰の有効利用、及び削減に寄与する技術の確立に向けた知見を得る。

また、新たな石炭ガス化溶融スラグ有効利用技術を開発し、工業製品としての規格化の見通しを得る。

石炭の有効利用に資する国内石炭灰排出量・利用量等の共通基盤データをとりまとめる。

#### 2) 石炭利用技術開発

石炭等の燃焼灰の利用拡大技術として、セメントを使用しないフライアッシュコンクリート製造技術を確立し、製品化に向けた用途を提案する。

[中間目標（2022年度）]

1) 石炭利用環境対策推進事業

石炭等の発熱性を把握すると共に、石炭管理の指針に資する知見を得る。石炭等の燃焼灰の有効利用、削減及び用途拡大に寄与する技術の確立に向けた知見を得る。

2) 石炭利用技術開発

石炭等の燃焼灰の利用拡大技術として、セメントを使用しないコンクリート製造技術を確立、製品性能の見通しを得る。また、石炭ガス化溶融スラグを使用したコンクリートの信頼性・性能を示し、また設計・施工指針を作成するための知見を得る。

[最終目標（2025年度）]

1) 石炭利用環境対策推進事業

石炭利用環境対策に関わる調査、コールバンクの拡充及び石炭等の発熱性を把握することにより、石炭の有効利用技術確立の見通しを得る。

石炭等の燃焼灰の有効利用、及び削減及び用途拡大に寄与する技術確立の見通しを得る。

また、新たな石炭ガス化溶融スラグ有効利用技術を開発し、工業製品としての規格化の見通しを得る。

石炭の有効利用に資する国内石炭灰排出量・利用量等の共通基盤データをとりまとめる。

2) 石炭利用技術開発

石炭等の燃焼灰の利用拡大技術として、セメントを使用しないフライアッシュコンクリート製造技術を確立し、製品化に向けた用途を提案する。加えて、石炭ガス化溶融スラグを使用したコンクリートの信頼性・性能を示し、設計・施工指針を作成する見通しを得る。

## 研究開発項目⑩「アンモニア混焼火力発電技術研究開発・実証事業」 [委託・助成事業]

[実施期間] 2021年度～2025年度

### 1. 研究開発の必要性

2018年7月「第5次エネルギー基本計画」では、石炭は、経済性、供給安定性に優れた重要なエネルギー資源であり、重要なベースロード電源と位置付けられている。また、既存のインフラを有効利用した脱炭素化のための技術開発として、アンモニアを燃料として直接利用する技術開発が挙げられている。

2020年3月に策定された「新国際資源戦略」では、CO<sub>2</sub>排出削減に向け、液体アンモニアの混焼を含めて着実に技術開発等を進めることが必要とされている。

CO<sub>2</sub>フリーアンモニアは、水素を輸送・貯蔵できるエネルギーキャリアとして、火力発電の燃料として直接利用が可能であり、燃焼時にはCO<sub>2</sub>を排出しない燃料として、温室効果ガスの排出量削減に大きな利点がある。

火力発電等におけるアンモニアの燃料としての利用は、2030年以降、中長期的に火力発電から排出されるCO<sub>2</sub>を一層削減し、アンモニアをはじめとする水素エネルギーの社会実装に繋がる技術開発である。

### 2. 具体的研究内容

火力発電等におけるアンモニアの燃料としての利用技術を実証すべく、設備費、運転費並びにアンモニアの製造・輸送コストを考慮した経済性検討、実証試験に必要な技術検討などを実施する。

1) 要素研究 [委託事業]

2) 実証研究 [助成事業 (1/2助成)]

※1)の実施者を公募した後の、1)から2)への移行の可否は、外部有識者で構成される委員会の審査(ステージゲート審査)を経て決定する。

### 3. 達成目標

[中間目標 (2023年)]

火力発電等におけるアンモニアの燃料としての利用技術の見通しを得る。

[最終目標 (2025年度)]

火力発電等におけるアンモニアの燃料としての利用技術を確立する。



研究開発スケジュール

◇中間評価、 事後評価

年度(西暦)	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	
研究開発項目① 石炭ガス化燃料電池複合発電実証事業 1) 酸素吹IGCC実証(1/3助成) 2) CO <sub>2</sub> 分離・回収型酸素吹IGCC実証(2/3、1/3助成) 3) CO <sub>2</sub> 分離・回収型IGFC実証(1/2助成) 4) 信頼性向上、低コスト化(1/3助成) 5) CO <sub>2</sub> 分離・回収負荷変動対応ガスタービン要素技術開発(1/2助成)					※1														◇
研究開発項目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(1/2助成) 2) 高温分空利用ガスタービン(AHAT)(2/3助成)					※1														◇
研究開発項目③ 先進超々臨界圧実用化要素火力発電技術開発(2/3助成)					※1														
研究開発項目④ 次世代火力発電基盤技術開発																			
1) 次世代ガス化システム技術開発(委託)									※2										
2) 燃料電池向け石炭ガスクリーナップ技術要素研究(委託)									※2										
3) ガスタービン燃料電池複合発電技術開発(委託)																			
4) 燃料電池石炭ガス適用性研究(委託)																			
5) CO <sub>2</sub> 分離型化学燃焼石炭利用技術開発(委託)									※2										
6) 石炭火力の負荷変動対応技術開発(委託)																			
7) CO <sub>2</sub> 有効利用技術開発(委託)																			
8) CO <sub>2</sub> 分離・回収型ポリジェネレーションシステム技術開発(委託)																			
9) 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(委託)																			
研究開発項目⑤ CO <sub>2</sub> 回収型次世代IGCC技術開発(委託)									※2										
研究開発項目⑥ 次世代火力発電技術推進事業(委託)																			
研究開発項目⑦ 次世代技術の早期実用化に向けた信頼性向上技術開発(1/2助成)																			

年度(西暦)	1982	~	14	15	16	17	18	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
研究開発項目⑧ CO <sub>2</sub> 有効利用拠点における技術開発(委託・助成)											◇			◆
									CO <sub>2</sub> 有効利用拠点化推進事業					
									研究拠点におけるCO <sub>2</sub> 有効利用技術開発・実証事業					
研究開発項目⑨ CO <sub>2</sub> 排出削減・有効利用実用化技術開発(委託・助成)														
1) 化学品へのCO <sub>2</sub> 利用技術開発(委託・助成)											◇			◆
									化学品へのCO <sub>2</sub> 利用技術開発					
2) 液体燃料へのCO <sub>2</sub> 利用技術開発(委託・助成)											◇			◆
									液体燃料へのCO <sub>2</sub> 利用技術開発					
3) 炭酸塩、コンクリート製品・コンクリート構造物へのCO <sub>2</sub> 利用技術開発(委託・助成)											◇			◆
									炭酸塩、コンクリート製品・コンクリート構造物へのCO <sub>2</sub> 利用技術開発					
4) 気体燃料へのCO <sub>2</sub> 利用技術開発(委託・助成)											◇			◆
									気体燃料へのCO <sub>2</sub> 利用技術開発					
研究開発項目⑩ 石炭利用環境対策事業(委託・助成)								◇			◇			◆
1) 石炭利用環境対策推進事業(委託)				※ 2	石炭発熱性調査・先導研究、スラグの規格化、石炭灰発生量及び有効利用実態調査、石炭灰利用・削減技術開発等									
2) 石炭利用技術開発(2/3補助)				※ 1	セメント不使用フライアッシュ製造技術開発									
					石炭ガス化熔融スラグのコンクリート実規模性能試験									
⑪アンモニア混焼火力発電技術研究開発・実証事業(委託・補助)												◇		◆
									アンモニア混焼火力発電技術研究開発・実証事業					

※1 経済産業省にて実施

※2 NEDO ゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクトにて実施