

「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」
中間評価報告書

平成30年12月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会

平成30年12月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
理事長 石塚 博昭 殿

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会 委員長 小林 直人

NEDO技術委員・技術委員会等規程第34条の規定に基づき、別添のとおり評価結果について報告します。

「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」
中間評価報告書

平成30年12月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会

目 次

はじめに	1
審議経過	2
分科会委員名簿	3
評価概要	4
研究評価委員会委員名簿	6
研究評価委員会コメント	7
第1章 評価	
1. 総合評価	1-1
2. 各論	
2. 1 事業の位置付け・必要性について	
2. 2 研究開発マネジメントについて	
2. 3 研究開発成果について	
2. 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	
3. 評点結果	1-13
第2章 評価対象事業に係る資料	
1. 事業原簿	2-1
2. 分科会公開資料	2-2
参考資料 1 分科会議事録	参考資料 1-1
参考資料 2 評価の実施方法	参考資料 2-1
参考資料 3 評価結果の反映について	参考資料 3-1

はじめに

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構においては、被評価プロジェクトごとに当該技術の外部専門家、有識者等によって構成される研究評価分科会を研究評価委員会によって設置し、同分科会にて被評価対象プロジェクトの研究評価を行い、評価報告書案を策定の上、研究評価委員会において確定している。

本書は、「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」の中間評価報告書であり、NEDO技術委員・技術委員会等規程第32条に基づき、研究評価委員会において設置された「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」（中間評価）研究評価分科会において評価報告書案を策定し、第57回研究評価委員会（平成30年12月10日）に諮り、確定されたものである。

平成30年12月
国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会

審議経過

● 分科会（平成30年9月10日）

公開セッション

1. 開会、資料の確認
2. 分科会の設置について
3. 分科会の公開について
4. 評価の実施方法について
5. プロジェクトの概要説明

非公開セッション

6. プロジェクトの詳細説明
7. 全体を通しての質疑

公開セッション

8. まとめ・講評
9. 今後の予定、その他、閉会

● 現地調査会（平成30年9月3日）

三菱重工業(株) 総合研究所高砂

● 第57回研究評価委員会（平成30年12月10日）

「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」

中間評価分科会委員名簿

(平成30年9月現在)

	氏名	所属、役職
分科 会長	まつはし りゅうじ 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	なるせ いちろう 成瀬 一郎	名古屋大学 未来材料・システム研究所 教授
委員	あかまつ ふみてる 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 燃焼工学領域 教授
	さとう つとむ 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
	たつみ たかお 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 ーター
	つじた まこと 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
	よしみ きょうすけ 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

敬称略、五十音順

評価概要

1. 総合評価

高効率ガスタービンとして、機能、市場ニーズの両面で、非常に対照的な特徴を有する2つの技術実証事業を行っており、ともに昨今の国際的な政策動向、市場の情勢に合致している。また、信頼性が確保された技術の開発手法が取られており、大変合理的な実証事業であると評価できる。海外メーカーとの技術力競争が激化する中、国内メーカーがこれらと並ぶ技術力を保持できているのは、自身の努力に加え NEDO 事業を通じた後押しの効果も大きい。本事業では適切なスケジュールが組まれており、目標達成に必要な多くの要素技術も網羅されている。研究開発目標の達成度は非常に高く、研究成果の知財化の状況も良好である。

今後は、最終評価に向けて、商用化を前提とした周到な準備が必要になろう。タービン単品での性能向上のみならず、周辺機器も含めたシステムとしての性能向上、さらには、維持管理を含めた総合的な視点での性能向上も重要な開発目標になる。また、1700℃級ガスタービンは超高温技術の結集であり、本事業は我が国における超高温技術開発の牽引者という側面を有することから、周辺の基礎科学の発展にも貢献していただきたい。

2. 各論

2. 1 事業の位置付け・必要性について

高効率のガスタービン技術開発は、国際競争力の観点からも非常に重要であり、現在、米国や独国と並び、最先端技術を有しているのは実施者の努力と NEDO 事業による後押しによるものである。世界のさらなる人口増加の中で、二酸化炭素排出量の抑制と来るべき化石燃料の枯渇に対する技術開発は公共性も高く、NEDO の事業として望ましい課題である。

本事業が成功すれば、高い費用対効果が得られるはずである。大型の 1700℃ガスタービンについては、より排出原単位の低い電源開発を、また小型の AHAT については、再生可能エネルギーの増加に対応した、負荷変動抑制を目指すものであり、本事業のそれぞれのテーマの目的は、パリ協定締結後の低炭素化の流れに合致しており、非常に適切と考えられる。

2. 2 研究開発マネジメントについて

国内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、熱効率の最大化ならびに再生可能エネルギー大量導入による負荷変動にも対応できる技術開発を行っており、高く評価できる。また、適切なスケジュールが組まれており、目標達成に必要な多くの要素技術も網羅されている。

一方、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。また、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。

今後は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。

2. 3 研究開発成果について

研究開発目標の達成度は非常に高く、また、ベースロード電源としての非常に高い熱効率を有する 1700℃級ガスタービン、ならびに、再生可能エネルギー大量導入に対応するための負荷変動機能を有する高温分空気利用ガスタービン(AHAT)の両者について研究開発が行われており、研究成果は非常に良好である。研究成果の知財化の状況も良好である。1700℃級ガスタービン開発技術の一部を適用した 1650℃級ガスタービンを既に採用し運用予定の電力会社もあり、最終目標を達成できる見通しはある。

一方、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。また、論文発表については今後の努力を期待する。

2. 4 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて

1700℃ガスタービンについては、従来品の延長上にある高性能品として事業化の障害は小さいものと考えられ、ユーザーに受け入れやすい。AHAT については、新商品であるが、現在の再生可能エネルギー比率の増大に対応する分散型電源に近い性質を有し、市場ニーズに見合ったものと考えられる。

一方、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。AHAT については国外のマーケットの視点がやや欠けている感がある。国外に目を向けると燃料種の多様性等も考慮する必要があるであろう。加えて、商用化の道筋を明確化する必要がある。

今後、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役割分担の明確化が重要と考える。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。

研究評価委員会委員名簿

(平成30年12月現在)

	氏 名	所属、役職
委員長	こばやし なおと 小林 直人	早稲田大学 研究戦略センター 副所長・教授、 研究院 副研究院長
委員	あさの ひろし 浅野 浩志	一般財団法人電力中央研究所 エネルギーイノベーション 創発センター 研究参事
	あたか たつあき 安宅 龍明	先端素材高速開発技術研究組合 (ADMAT) 専務理事
	いなば ようじ 稲葉 陽二	日本大学 法学部／大学院 法学研究科 教授
	かめやま ひでお 亀山 秀雄	東京農工大学 名誉教授／シニア教授
	ごないかわひろし 五内川 拓史	株式会社ユニファイ・リサーチ 代表取締役社長
	さく まいちろう 佐久間 一郎	東京大学大学院 工学系研究科 附属医療福祉工学開発評 価研究センター センター長／教授
	たからだ たかゆき 宝田 恭之	群馬大学 特任教授
	ひらお まさひこ 平尾 雅彦	東京大学大学院 工学系研究科 化学システム工学専攻 教授
	まつい としひろ 松井 俊浩	情報セキュリティ大学院大学 情報セキュリティ研究科 教授
	まるやま まさあき 丸山 正明	技術ジャーナリスト／横浜市立大学大学院非常勤講師
	よしかわ のりひこ 吉川 典彦	名古屋大学 名誉教授

敬称略、五十音順

研究評価委員会コメント

第57回研究評価委員会（平成30年12月10日開催）に諮り、以下のコメントを評価報告書へ附記することで確定した。

- メンテナンスを含むトータルコストの視点からの市場性の評価が必要である。今後は1700℃級に関してはユーザーの開拓を視野に入れた開発、AHATについては事業化のフォローアップにそれぞれ注力していただきたい。

第1章 評価

この章では、分科会の総意である評価結果を枠内に掲載している。なお、枠の下の箇条書きは、評価委員の主な指摘事項を、参考として掲載したものである。

1. 総合評価

高効率ガスタービンとして、機能、市場ニーズの両面で、非常に対照的な特徴を有する 2 つの技術実証事業を行っており、ともに昨今の国際的な政策動向、市場の情勢に合致している。また、信頼性が確保された技術の開発手法が取られており、大変合理的な実証事業であると評価できる。海外メーカーとの技術力競争が激化する中、国内メーカーがこれらと並ぶ技術力を保持できているのは、自身の努力に加え NEDO 事業を通じた後押しの効果も大きい。本事業では適切なスケジュールが組まれており、目標達成に必要な多くの要素技術も網羅されている。研究開発目標の達成度は非常に高く、研究成果の知財化の状況も良好である。

今後は、最終評価に向けて、商用化を前提とした周到な準備が必要になる。タービン単品での性能向上のみならず、周辺機器も含めたシステムとしての性能向上、さらには、維持管理を含めた総合的な視点での性能向上も重要な開発目標になる。また、1700℃級ガスタービンは超高温技術の結集であり、本事業は我が国における超高温技術開発の牽引者という側面を有することから、周辺の基礎科学の発展にも貢献していただきたい。

<肯定的意見>

- ・ 高効率ガスタービンとして、機能、市場ニーズの両面で、非常に対照的な特徴を有する 2 つの技術実証事業を行っているが、ともに近時の国際的な政策動向、市場の情勢に合致している。
また、現実的で信頼性が確保された慎重な技術の開発手法が取られており、大変合理的な実証事業であると評価できる。
- ・ 本研究開発プロジェクトは非常に高く評価できると考えている。
- ・ 全体として、国家的に重要な技術であり、また、将来の需要も期待でき、また概ね予定通りに進捗していることから、本開発を高く評価できる。
- ・ 高効率ガスタービン開発については、海外メーカーとの技術力競争が激化する中、本事業の選定者もこれらと並ぶ技術力を有している。本事業における開発・実証技術が、これらの保持に与える影響は大きく、更には商業機への活用も含め、大きな成果を生んでいることは大いに評価できる。
- ・ すべてに関し概ね順調に推移しているものと評価できる。
- ・ 次世代火力発電の技術開発として難易度は高かったが、商業化の見通しをほぼ得ていることに高く評価したい。
- ・ 本事業は、取り組むに値する社会的要請が強く、期待も大きい。進捗状況は、事業計画に沿って着実に成果を挙げつつあると思われる。

<改善すべき点>

- ・ 1600℃級の運用実績に基づいて、各々の要素技術開発を統合していくための具体的なプランを検討して欲しい。

- ・ 発電設備の寿命は概ね 30-40 年あり、それまでの設備の有効性を我が国のエネルギー戦略に沿った形で整理願う。
国内外の代表的な事例で比較検討頂き、リプレースあるいは新設を喚起できるように配慮願う。
- ・ 高効率化を前提として、近年では自然エネルギーの需要も多く、市場ニーズが変化し始めている。これらに対応しつつ、性能面・コスト面で競合する製品に対抗できるような検討も必要である。

<今後に対する提言>

- ・ 今回の事業とは正反対なアプローチとして、研究技術開発としてのリスクは高まるが、既存の技術とは全く異なる新規性のある技術開発を、大学・研究機関等と連携し、基礎研究も併せた総合的・戦略的な技術開発アプローチについても、必要に応じて検討してほしい。
- ・ 最終評価までに向けて、商用化を前提とした周到な準備が必要になろう。タービン単品での競争ではなく、周辺機器も含めたシステムとしての性能向上、さらには、維持管理を含めた長期的な視点での性能も重要な開発目標になる。
- ・ 1700℃級ガスタービンは、超高温技術の結集である。したがって本事業は、我が国における超高温技術開発の牽引者でもある。周辺の基礎科学も含めて、その発展に貢献していただきたい。

2. 各論

2. 1. 事業の位置付け・必要性について

高効率のガスタービン技術開発は、国際競争力の観点からも非常に重要であり、現在、米国や独国と並び、最先端技術を有しているのは実施者の努力と NEDO 事業による後押しによるものである。世界のさらなる人口増加の中で、二酸化炭素排出量の抑制と来るべき化石燃料の枯渇に対する技術開発は公共性も高く、NEDO の事業として望ましい課題である。本事業が成功すれば、高い費用対効果が得られるはずである。大型の 1700℃ガスタービンについては、より排出原単位の低い電源開発を、また小型の AHAT については、再生可能エネルギーの増加に対応した、負荷変動抑制を目指すものであり、本事業のそれぞれのテーマの目的は、パリ協定締結後の低炭素化の流れに合致しており、非常に適切と考えられる。

<肯定的意見>

- ・ 第五次エネルギー基本計画では 2030 年の長期エネルギー需給見通しのエネルギーミックスの実現と 2050 年を見据えたシナリオを核として、化石燃料の効率化や再生可能エネルギー普及拡大により CO2 削減を推進している。今回の事業では火力発電の効率化、CO2 削減を目的とした高効率ガスタービン技術実証事業であり、極めて難易度の高い事業と思われ、NEDO 事業として妥当と考える。
- ・ 高効率のガスタービン技術開発は、国際競争力の観点からも非常に重要であり、現在、米国や独国と並び、最先端技術を有しているのは本事業も含めた実施者の努力の結果であるため、今後の国際競争力の保持の観点から、事業の継続は必要である。
またこれらの技術開発には、各種要素研究も含め多額の費用が必要となるため、民間活動のみではカバーしきれないことから、NEDO の関与は必要な事業である。
- ・ 米国では GE、欧州では Siemens が同様の研究開発を行っているが、やはり国家プロジェクトとしての研究支援を受けており、日本においても、世界的な競争力を保持した研究開発を行うためには、企業の民間活動のみでは不可能なレベルの研究開発がなされており、本事業は非常に有益かつ重要なものと考えられる。
- ・ 将来の高効率なベースロード電源、負荷変動型電源の確保に向けて取り組むべき事業であり、本事業目的は極めて妥当である。
世界のさらなる人口増加の中で、二酸化炭素排出量の抑制と来るべき化石燃料の枯渇に対する技術開発は公共性も高く、NEDO の事業として望ましい課題である。本事業が成功すれば、高い費用対効果が得られるはずである。
- ・ 世界的な CO2 削減の動向と熾烈な国際競争の現状からして、純粋な民間の事業としてのみならず、NEDO が国家の関与の下、本研究開発を支援することは妥当である。

- ・ 国内外の環境面、エネルギー需給動向の現状ならびに将来動向を鑑みれば、当該事業は、必要不可欠な事業であると評価できる。かつ、国の関与がなければならぬリスクも有しており、NEDO 事業としての妥当性も理解できる。
- ・ 燃料種としてのガスは、今後も多くの国で重要な電力構成となることが考えられるところ、大型発電についてはベースロード電源の熱効率の向上に資する事業として、また小型発電についてはいっそうの機動性を追求するものであり、ともに非常に意義が高い。

パリ協定締結後、途上国も含めた各国の電力セクターにおいては、「低炭素化」の流れの下、大型の 1700℃ガスタービンについては、より排出原単位の低い電源開発として、また小型の AHAT については、再生可能エネルギーの増加に対応した、負荷変動への追従性を旨とするものであり、本事業はそれぞれの目的に合致しており、目的は非常に適切と考えられる。

<改善すべき点>

- ・ NEDO がどのように関与しているか、今後、どのような点で関与されるかに関する具体性がやや乏しい。
- ・ 基本的な適用はベースロードであるが、近い将来に拡大しつつある再生可能エネルギーとの協調性を円滑にできる様に考慮してほしい。現在並行して進みつつある高負荷帯高効率ガスタービンの要素研究と組み合わせることを留意願う。国際的な競合他社と比較して競争力があるとの説明であるが、最新の動向を常時把握して、先んじる事を念頭に置くように願う。
- ・ 本事業開発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行なう必要がある。特に、高効率化と（再生可能電源の高度普及に伴う）負荷変動対応性との役割分担の明確化が重要と考える。

2. 2. 研究開発マネジメントについて

国内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、熱効率の最大化ならびに再生可能エネルギー大量導入による負荷変動にも対応できる技術開発を行っており、高く評価できる。また、適切なスケジュールが組まれており、目標達成に必要な多くの要素技術も網羅されている。

一方、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。また、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。

今後は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。

<肯定的意見>

- ・ 目標、研究開発計画、実施体制、進捗管理については、すべて妥当であると評価できる。
- ・ 国際的な技術動向を踏まえると目標設定は妥当である。
- ・ 全体的に達成度、スケジュール、費用等に関して順調に進んでいることは適正な管理ができていると評価できる。
- ・ 国内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、熱効率の最大化ならびに再生可能エネルギー大量導入に対応するための負荷変動にも対応できる技術開発を行っており、高く評価できる。
- ・ 米国及び欧州においても、公的な助成によってガスタービンの研究開発が進められており、これに対抗して本事業を行うことは産業政策上の観点から極めて適切と考えられる。
- ・ (1)研究開発目標の妥当性～(5)知的財産等に関する戦略の妥当性までの内容については、全体としては、目標設定、スケジュール、研究開発費、実施体制、進捗管理、知財戦略なども概ね妥当といえる。
- ・ 海外の技術動向からしても研究開発目標は極めて妥当であり、1700℃級実現に向けて、達成度を判定できるいくつかの明確な数値目標が設定されている。
- ・ 1700℃ガスタービン、AHAT とともに、製品としてはシステム技術として性質を有するところ、本事業における研究開発自体は個別の要素技術毎に進められているが、かかる要素技術毎の開発マネジメントは十分に円滑に行われている。
- ・ 現在まで蓄積された技術は、一部の商用機に適用するなどの実用化が既に実施されており、活用は図られている。
- ・ スケジュール、費用等に関して順調に進んでいる。
- ・ 研究開発計画においては、必要と考えられる要素技術のすべてが網羅されていると考えられ、年度毎の計画も連続性・継続性が考慮されており妥当である。

- ・ 全体としては、スケジュール、研究開発費なども概ね妥当といえる。
 - ・ 目標達成のために適切なスケジュールが組み立てられており、目標達成に必要な多くの要素技術も網羅されている。
 - ・ 研究開発計画については妥当であると評価できる。
 - ・ 現状、国内において海外との競争力がある技術力及び事業化能力を有する実施者は少なく、本事業においては国内唯一の実施者を選定されている。
 - ・ 全体としては、実施体制なども概ね妥当といえる。
 - ・ 技術力・事業化能力を有する適正な実施者を選定している。また、必要に応じて、実施者間の連携も取られているものと評価できる。
 - ・ 実施体制については妥当であると評価できる。
 - ・ 全体的に達成度、スケジュール、費用等に関して順調に進んでいることは適正な管理ができていると評価できる。
- 1700℃という極めて難易度の高い技術領域に入ってきたが、技術開発要素を10項目以上に分割しほぼ計画通りの進捗となっている点は高く評価出来る。各々先端的なシミュレーションから実証が行われている事も確認できた。新規性があるAHATも同様、目標はほぼ達成できている。
- ・ 進捗管理については妥当であると評価できる。
 - ・ 社会・経済の情勢変化、政策・技術の動向等に関しては、概ね適切に把握できているようである。
 - ・ 全体としては、進捗管理なども概ね妥当といえる。
 - ・ 全体としては、知財戦略なども概ね妥当といえる。

<改善すべき点>

- ・ 研究開発目標の設定については、ターゲット市場の明確化がなされた上では、さらに優れたものになる可能性もあると考える。
- ・ 現在、各要素の開発が完了しつつある。最終目標計測精度が明示されている項目があるが、ユーザーにとって最先端の設備になるので、安定した部品や装置などの品質保証体制、特に管理基準を今後構築出来るように願いたい。(ユーザーと共同作業となる)
- ・ 指揮命令系統、責任体制に関して、提供資料あるいは事業原簿等からは理解しにくい、あるいは不明瞭である。また、実用化・事業化の担い手又はユーザーが関与する体制の構築という点ではもう一歩という感があり、今後の展開に期待したい。
- ・ 中間の評価基準が「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」あり、ほぼ商用機の全体仕様の見通しが立ったと思われるが、仕様一覧が見当たらない。最終時には開示可能な範囲で重要な仕様を開示頂きたい。
- ・ 社会・経済の情勢変化、政策・技術の動向等に対し、それらの影響を検討し、必要な処置が講じられているか否かは不明である。

- ・ 知財の問題もあるのである程度理解できるが、論文化が可能であるのであれば進めて頂きたい。

<今後に対する提言>

- ・ 高性能－高価格の設備となれば、普及が困難になると思われる。特に海外では厳しい判断となる。海外のみならず国内の既設のリプレースを狙うのであれば、昨今の再生可能エネルギー志向も鑑みて、設備投資に躊躇出来ない様な、従来機以上に低価格で且つ機動性が向上し、メンテナンスが容易になる方向に願う。更なる高効率を追求するのが原則であるが、一方で再生可能エネルギーによる発電原価が低下している事を鑑みて、価格競争力の高い発電設備を研究開発する必要性を議論する必要があると思われる。
- ・ 研究開発を開始する前に、ターゲットの設定については、クローズドな専門家の会合などにより、明確に定める支援になると考えられる。このような研究開発開始前のクローズドな専門家の会合を提案する。
- ・ 短期勝負の要素技術開発となっている感があるが、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。
- ・ 実用化・事業化の担い手又はユーザーの関与は要検討である。
- ・ 将来的に **NEDO** で開発成果を共有化するとの表記があるが、その一方で守秘義務が強く課されている成果が多い。この点矛盾があるように感ずる。
維持管理に関する目標も必要ではないか。すなわち、維持管理の費用が高価になったり、あるいは、維持管理の年間回数や期間も、運用上、重要な点である。

2. 3. 研究開発成果について

研究開発目標の達成度は非常に高く、また、ベースロード電源としての非常に高い熱効率を有する 1700℃級ガスタービン、ならびに、再生可能エネルギー大量導入に対応するための負荷変動機能を有する高湿分空気利用ガスタービン(AHAT)の両者について研究開発が行われており、研究成果は非常に良好である。研究成果の知財化の状況も良好である。1700℃級ガスタービン開発技術の一部を適用した 1650℃級ガスタービンを既に採用し運用予定の電力会社もあり、最終目標を達成できる見通しはある。

一方、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。また、論文発表については今後の努力を期待する。

<肯定的意見>

- すべての大項目について順調に推移しているものとする。
- 中間目標については達成しており、最終目標についても達成できる見通しがある。
- 燃焼温度、火炎の形状等の計測、起動時間等の動特性解析、長期信頼性等の技術面の数値上の成果について、中間目標が達成されている。
既存の技術を活用し、現実的でリスクの少ない技術開発のアプローチを採用しており、ユーザーにおいても研究開発は受け入れやすいと考えられる。
- 成果は概ね中間目標を達成できているようである。幾つかの要素技術、例えば 1700℃級を達成する上で極めて重要な役割を果たす燃焼器では、測定技術を含む先駆的技術が開発・導入されており、高く評価できる。
- 中間目標は達成されている。
- 研究開発目標の達成度は非常に高く、また、ベースロード電源としての非常に高い熱効率を有する 1700℃級ガスタービン、ならびに、再生可能エネルギー大量導入に対応するための負荷変動機能を有する高湿分空気利用ガスタービンの両者について研究開発が行われており、研究成果は非常に良好である。
- 共に高効率なガスタービン発電設備としての見通しは立ったと評価できる。
- 1700℃級ガスタービン開発技術の一部を適用した 1,650℃級ガスタービンを既に採用し運用予定の電力会社もあり、最終目標を達成できる見通しはある。
- 個々の要素技術開発の進捗状況から、最終目標を達成できる可能性を感じる。
- 成果の普及に関して、適宜論文・学会発表等が行われており、評価できる。
- 知的財産権等の確保に向けた取り組みについても、相応の数の出願がなされている。
- 研究成果の知財化の状況も良好である。

<改善すべき点>

- 個々の要素技術開発がアセンブルされ、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ない。

- ・ 本技術開発の成果が世界最高水準に近いことは間違いないが、世界の競争状況を見ると、主たる競争相手との関係においては、ほぼ互角の開発水準と推測される。真に世界最高と言い切るには、ターゲットの明確化が必要と考えられる。
- ・ 成果の普及という点で、国内外の市場に対して将来の見通しを立てて、どう進めていくか、明示してほしい。
- ・ 成果の普及、論文発表については今後の努力を期待する。
- ・ 成果の普及が必要な段階にあるとは思わないが、先駆的な測定技法や測定結果などは、公表できる内容に関しては折を見て論文等で公表すべきと考える。また、論文、学会発表等は雑誌名や学会名、タイトル、発表者等をリスト化し提示するのが望ましい。

<今後に対する提言>

- ・ 研究開発開始前のクローズドな専門家の会合を提案する。
- ・ 現段階は個々の要素技術開発で最適化を図っている状態で、すべての要素技術がアSEMBLされた状態での最適化には、乗り越えなければならない一層高いハードルが想定される。各要素技術の相互連携・調整をどのように実施していくか、具体的なプランが欲しい。
- ・ 中長期的な観点としては、必要に応じて技術のブレークスルーを実現するべく、基礎研究（例えば素材開発等）の必要性についても、必要に応じて検討することも重要と思われる。
- ・ 中間評価までに至った訳であるので、今後、最終目標を達成するために、ある程度の課題が明確になっているはずである。もしそれらの課題をうまく克服できなかった場合を想定した対策も事前に練って頂きたい。
- ・ 現在広く普及している同等の汎用設備との性能、仕様、コストを明示し、設備更新を促進できるようなデータを作成頂きたい。
- ・ 知財に関して、出願や秘匿の可否を明確にして、推進する事を期待する（委員会では確認できませんでした）。

2. 4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて

1700℃ガスタービンについては、従来品の延長上にある高性能品として事業化の障害は小さいものと考えられ、ユーザーに受け入れやすい。AHATについては、新商品であるが、現在の再生可能エネルギー比率の増大に対応する分散型電源に近い性質を有し、市場ニーズに見合ったものと考えられる。

一方、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。AHATについては国外のマーケットの視点がやや欠けている感がある。国外に目を向けると燃料種の多様性等も考慮する必要があるであろう。加えて、商用化の道筋を明確化する必要がある。

今後、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役割分担の明確化が重要と考える。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。

<肯定的意見>

- ・ 成果の実用化・事業化の戦略は、当事業で開発・実証された技術が一部の商用機で既に適用されているなど、明確かつ妥当と判断できる。
 - ・ 1700℃級およびAHATともに順調に進捗しているものと判断する。
 - ・ 1700℃級ガスタービンの研究開発では、既に商用運転がなされている1600℃級ガスタービンの高性能化に資する技術として実際に技術導入がなされており、実際の実証試験を実施する形での確実な研究開発がなされており、成果の実用化ならびに事業化については非常に高いレベルで実現可能であると考えられる。また、再生可能エネルギー大量導入に対応するための負荷変動機能を有する高湿分空気利用ガスタービンについても、水の供給便がよくない砂漠などの乾燥地域、河川や湖沼のない山岳地域などへの展開が可能であるとともに、蒸気タービンが不要となることからシステムの低価格化の可能性も高く、成果の実用化ならびに事業化に関して有望であると考えられる。
 - ・ 安定的かつ高効率で大容量の発電は、我が国のみならず海外も含めて今後も一定規模で市場が拡大していくものと考えられる。これに対して、これまでの実績や長期運用データの蓄積に基づいて開発技術の信頼性向上を期待することができ、成果の実用化・事業化に向けた戦略として適切に検討されている。
- 実用化・事業化に向けては、実施者の自主費用による実証運転が具体的に計画されており、検討は着実に進んでいる。
- 成果の実用化・事業化の見通しに関しては、技術的には実用化・事業化を達成できる可能性は高い。再生可能エネルギーによる発電のための機器製造には、化石燃料を使った安定的かつ高効率で大容量の発電システムによる電力供給が必要となることは、熱力学の観点からも不可避と考えられ、本事業の必要性は極めて高い。

こういった背景からも成果の実用化・事業化が達成される可能性は高い。超高温技術の創製・育成にも大きな期待が持てる。

- ・ 特に成長著しい開発途上国において、想定する市場の規模は拡大しており、期待できる。
- ・ 本事業の実用化・事業化に向けた具体的取組はデモプラントにて実証し、信頼性を得た上で商業化へ進めるスケジュールが明確になっており、評価できる。
- ・ 1700℃ガスタービンについては、従来品の延長上にある高性能品として事業化の障害は小さいものと考えられ、ユーザーに受け入れやすい。

AHAT については、新商品であるが、現在の再生可能エネルギー比率の増大に対応する分散型電源に近い性質を有し、市場ニーズに見合ったものと考えられる。

<改善すべき点>

- ・ ターゲットの明確化および市場規模の定量的推定については、更に深く分析する必要がある。現状の市場想定分析は十分とはいえない。
- ・ 競合する製品と比較し、性能面では同等であると考えられるが、今後の市場ニーズとして考えられる起動回数増加に対して、コスト面で優位を確保するためには、耐久性（主に等価運転時間による保守的な管理）での改善が望まれる。
- ・ 国外のマーケットの視点がやや欠けている感がある。国外に目を向けると燃料種の多様性等も考慮する必要があるであろう。加えて、維持管理性の容易さも重要な点である。

AHAT については商用化の道筋が明確ではないような感がある。また、維持管理計画についても明確化する必要がある。

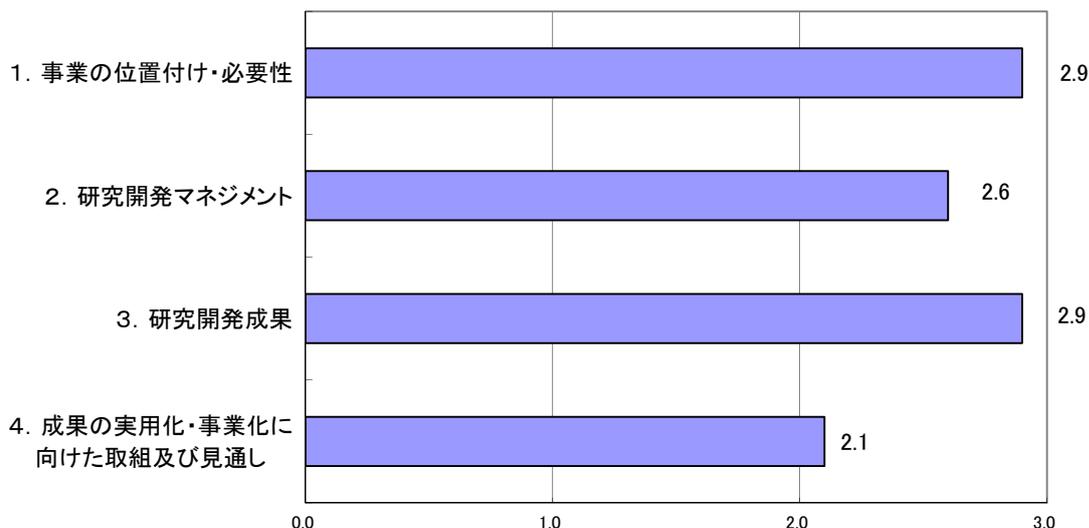
- ・ エネルギー事情の変化や技術の突然のステップアップによって、この分野の市場の先読みは非常に難しいのではないかと推察する。誤った予測に陥らない慎重さも求められる。
- ・ 各々の市場見通しを可能な範囲で精度を上げてほしい。

<今後に対する提言>

- ・ コスト面での従来技術と比した相対的なメリットについては、さらにユーザーに目に見える形で表現、アピールして行く必要がある。
- ・ 実用化が近づいているからこそ補助金を削減してはいけないと考える。技術の死の谷を克服できたことが明らかになるまで支援は必要であろう。もし不可ならば、事業者が必要最低限な費用を申告したうえで補助を精査してはどうか。
- ・ 化石燃料の多様化への対応を今後検討していく必要がある。
- ・ 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ほうがよい。このような市場分析の深化は、人工知能などの発達に伴う今日の産業界の常識となりつつある。

- ・ 不安定電源の再生可能エネルギー（太陽光や風力）との比較は基準に問題があるが、特定の条件下で設備費用、電力単価が競争力を持てるように期待する。（難易度の高いことを認識しているが、本研究開発の具現化を加速するため）

3. 評点結果



評価項目	平均値	素点 (注)							
		A	A	A	A	B	A	A	
1. 事業の位置付け・必要性について	2.9	A	A	A	A	B	A	A	
2. 研究開発マネジメントについて	2.6	A	B	A	A	B	A	B	
3. 研究開発成果について	2.9	A	A	A	A	A	A	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	2.1	C	B	A	B	C	A	A	

(注) 素点：各委員の評価。平均値は A=3、B=2、C=1、D=0 として事務局が数値に換算し算出。

〈判定基準〉

- | | |
|--------------------|------------------------------|
| 1. 事業の位置付け・必要性について | 3. 研究開発成果について |
| ・非常に重要 →A | ・非常によい →A |
| ・重要 →B | ・よい →B |
| ・概ね妥当 →C | ・概ね妥当 →C |
| ・妥当性がない、又は失われた →D | ・妥当とはいえない →D |
| 2. 研究開発マネジメントについて | 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 |
| ・非常によい →A | ・明確 →A |
| ・よい →B | ・妥当 →B |
| ・概ね適切 →C | ・概ね妥当 →C |
| ・適切とはいえない →D | ・見通しが不明 →D |

第2章 評価対象事業に係る資料

1. 事業原簿

次ページより、当該事業の事業原簿を示す。

「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」

事業原簿

担当部	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
-----	--------------------------------------

目次

次世代火力発電等技術開発」事業一覧	- 4 -
概 要	- 5 -
プロジェクト用語集	- 12 -
1. 事業の位置付け・必要性について	- 15 -
1.1. 事業の背景・目的・位置づけ	- 16 -
1.2. NEDO の関与の必要性・制度への適合性	- 20 -
1.2.1 NEDO が関与することの意義	- 20 -
1.2.2 実施の効果（費用対効果）	- 21 -
2. 研究開発マネジメントについて	- 25 -
2.1. 事業の目標	- 25 -
2.2. 事業の計画内容	- 25 -
2.2.1 研究開発の内容	- 25 -
2.2.2 研究開発の実施体制	- 26 -
2.2.3 研究開発の運営管理	- 28 -
2.2.4 研究開発成果の実用化に向けたマネジメントの妥当性	- 28 -
2.3. 情勢変化への対応	- 28 -
2.4. 評価に関する事項	- 32 -
3. 研究開発成果	- 33 -
3.1 1700℃ 開発成果	- 33 -
3.1.1 1700℃事業全体の評価	- 33 -
3.1.2 1700℃研究開発項目毎の成果	- 36 -
3.2 AHAT 開発成果	- 51 -
3.2.1 AHAT 事業全体の評価	- 51 -
3.2.2 AHAT 研究開発項目毎の評価	- 51 -
4. 成果の実用化に向けた取組み及び見通しについて	- 59 -
4.1. 1700℃ 成果の実用化に向けた取組み及び見通しについて	- 59 -
4.2. AHAT 成果の実用化に向けた取組み及び見通しについて	- 60 -
添付資料-1. プロジェクト基本計画	- 61 -
別紙. 研究開発項目① 「石炭ガス化燃料電池複合発電実証事業」	- 69 -
別紙. 研究開発項目② 「高効率ガスタービン技術実証事業」	- 73 -
別紙. 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」	- 75 -
別紙. 研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」	- 76 -
1) 次世代ガス化システム技術開発	- 76 -
別紙. 研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」	- 78 -
2) 燃料電池向け石炭ガスクリーンナップ技術要素研究	- 78 -
別紙. 研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」	- 79 -
3) ガスタービン燃料電池複合発電技術開発	- 79 -
別紙. 研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」	- 80 -
4) 燃料電池石炭ガス適用性研究	- 80 -
別紙. 研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」	- 82 -
5) CO ₂ 分離型化学燃焼石炭利用技術開発	- 82 -
研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」	- 84 -
6) 石炭火力の競争力強化技術開発	- 84 -
研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」	- 85 -

7) CO ₂ 有効利用技術開発.....	- 85 -
研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」	- 86 -
8) 流動床ガス化燃焼を応用した石炭利用技術開発	- 86 -
研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」	- 88 -
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	- 88 -
研究開発項目⑤ 「CO ₂ 回収型次世代IGCC技術開発」	- 90 -
研究開発項目⑥ 「次世代火力発電技術推進事業」	- 92 -
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」	- 93 -
研究開発スケジュール	- 94 -

次世代火力発電等技術開発」事業一覧

◇中間評価、◆事後評価

年度(平成)	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
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) CO2分離・回収型酸素吹IGCC実証(2/3、1/3助成) 3) CO2分離・回収型IGFC実証(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 1) 1700℃級ガスタービン(2/3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 先進超々臨界圧実用化要素火力発電技術開発(2/3助成)															
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) 燃料電池向け石炭ガスクリーナップ技術要素研究(委託)															
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) CO2分離型化学燃焼石炭利用技術開発(委託)															
6) 石炭火力の競争力強化技術開発(委託)															◆
7) CO2有効利用技術開発(委託)															◆
8) 流動床ガス化燃焼を応用した石炭利用技術開発(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 CO2回収型次世代IGCC技術開発(委託)															◆
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)															◆

※1 経済産業省にて実施したプロジェクトでH28年度からNEDOへ移管
 ※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

概要

		最終更新日	平成 30 年 9 月 26 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：山中 康朗（平成 30 年 9 月現在） 佐藤 順（平成 28 年 4 月～平成 29 年 3 月）		
0. 事業の概要	<p>2018 年 7 月に閣議決定された、第 5 次エネルギー基本計画（2018 年 7 月 閣議決定）において、「利用可能な最新技術の導入による新陳代謝を促進することに加え、発電効率を大きく向上し、発電量当たりの温室効果ガス排出量を抜本的に下げるとともに、パリ協定を踏まえ、世界の脱炭素化をリードしていくため、相手国のニーズに 応じ、再生可能エネルギーや水素等も含め、CO₂ 排出削減に資するあらゆる選択肢を相手国に提案し、「低炭素型インフラ輸出」を積極的に推進する」ことが示されている。</p> <p>また、第 5 次エネルギー基本計画の 5. 化石燃料の効率的・安定的な利用に示されている、（1）高効率石炭・LNG 火力発電の有効活用の推進 において、「困難な課題を根本的に解決するためには、エネルギー関連技術の開発とそのような技術を社会全体で導入していくことが不可欠となるが、そのためには、長期的な研究開発の取組みと制度の改革を伴うような包括的な取組が必要」として、2014 年 12 月 経済産業省エネルギー関係技術開発ロードマップに言及している。本ロードマップは、技術開発プロジェクトの必要性と社会への実装化に向けた課題をあわせて整理し、「10. 高効率天然ガス火力発電」を含む、各技術課題のロードマップを提示したものであり、本事業である、高効率ガスタービン技術実証事業はロードマップならびの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、平成 28 年 6 月に官民協議会で策定した「次世代火力発電に係る技術ロードマップ」においては、火力発電の高効率化・CO₂削減を実現するため、次世代の火力発電技術の早期確立を目指すこととしている。</p> <p>本事業は、我が国の電源構成の約 9 割を占める火力発電の高効率化を図り、エネルギーセキュリティの確保及び地球環境問題双方に対応すべく、世界をリードする高効率ガスタービンの実用化に向けた技術開発を実施するものである。</p>		
1. 事業の位置 付け・必要性 について	<p>平成 20 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、平成 23 年 8 月に制定された「第 4 期科学技術基本計画」において、安定的なエネルギー供給と低炭素化の実現のため火力発電の高効率化に資する技術開発は重点的な取組として位置づけられている。これらの政策を実現するために、ガスタービン技術においても、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となる。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選択肢となる。</p> <p>欧米はこの技術分野に巨額の研究開発費を投じており、厳しい国際競争に晒されている。このガスタービン市場において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適合した大容量機の高効率化を目指し、コンバインド効率向上、CO₂排出量削減を達成するために、1700℃級ガスタービン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。</p> <p>この他、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り、波及効果も大きい事業分野となる。</p>		

2. 研究開発マネジメントについて

事業の目標	<p>1) 1700℃級ガスタービン [中間目標 (平成30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 (平成32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58%達成(高位発熱量基準)の見通しを得る。</p> <p>2) AHAT [最終目標 (平成29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)</p>
-------	---

事業の計画内容 (1700℃級ガスタービン)	主な実施事項	H28fy	H29fy	H30fy	H31fy	H32fy	
	(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	→			→		

事業の計画内容 (AHAT)	主な実施事項	H28fy	H29fy	H30fy	H31fy	H32fy	
	(1) 総合試験装置による検証	→					
	(2) 実証機による長期信頼性	→					
	(3) 商用機スケールの概念設計	→					

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))	会計・勘定	H28fy	H29fy	H30fy	H31fy	H32fy	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	1,740.0	1,500.0	

を記載) (単位:百万円)	A H A T (MHPS)	960.9	337.8	—	—	—	1,298.7
	A H A T (電中研)	2.9	4.2	—	—	—	7.1
	A H A T (住友精密工業)	0.7	0.7	—	—	—	1.3
	開発成果促進財源	—	—	—	—	—	—
	総 NEDO 負担額	—	—	—	—	—	—
	(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	1) 1700℃級ガスタービン 三菱重工業株式会社 石坂浩一 2) A H A T 三菱日立パワーシステムズ株式会社 吉田正平					
	プロジェクトマネージャー	環境部 山中 康朗					
	助成先	3) 1700℃級ガスタービン 三菱重工業株式会社 4) A H A T 三菱日立パワーシステムズ株式会社 一般財団法人電力中央研究所 住友精密工業株式会社					
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)において規制の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。例えばフランスの発電所に導入されたGE社製9HAガスタービンでは送電端効率56%程度(HHV:高位発熱量基準-LHV基準にて62.22%)を記録したとの発表がなされている。しかしながらこの情勢を踏まえても、大型ガスタービンの高効率化を目指す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達成する目標として定めた「送電炭効率58%以上(HHV:高位発熱量基準)の効率目標」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ことは明らかであり、また中小型ガスタービン市場を対象とした、高温分空気利用ガスタービンで高い運用性を示すことができれば、十分な競争力を維持できるものと想定できる。</p>						

評価に関する事項	事前評価	<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、平成 23 年度に事業開始前の事前評価、平成 25 年度に中間評価を行い、また平成 27 年度に総合科学技術会議からの指摘を受け、第 2 回中間評価を実施済み。NEDO にて本事業を継承するにあたっては、第 2 回中間評価の指摘を反映した計画にて事業を継承した。</p> <p><第 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-> 1700℃級ガスタービン (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) 平成 28 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>高温分空気利用ガスタービン（AHAT） (1) ユーザーに求められる起動・停止数 50 回/年以上を上回る 100 回/年以上の起動・停止数での運転の実証試験を実施することに加えて、等価運転時間目標 10,000 時間以上を目標とする。</p> <p>なお、NEDOへの事業継承の狙いは以下となる。 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、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（1700℃級ガスタービン）
	事後評価	2018 年度 事後評価（AHAT） 2020 年度 事後評価（1700℃級ガスタービン）
3. 研究開発成果について	<p>1700℃級ガスタービン テーマ（1）：低熱伝導率遮熱コーティング 耐環境性に優れた TBC の開発を実施した。また TBC の各種物性を取得すると共に経年劣化特性を把握し、寿命評価の基礎データを得た。</p> <p>テーマ（2）：高性能冷却システム 高性能冷却システム実現に向けた検討を行い、静翼前縁部冷却構造（シャワーヘッド冷却構造）に対する改良構造に関する要素試験を行った結果、改良構造（シェイブド孔）を採用することで、空気流量を削減できる可能性が高いことがわかった。</p> <p>テーマ（3）：非定常性制御燃焼技術 燃焼器内部の非定常性を評価可能な計測技術の開発及び、低 NOx 燃焼器の改良及び・燃焼試験における検証を行った。計測技術の開発では、実機スケール燃焼器を対象に火炎と速度の同時計測を行い非定常的な流れ場の変動が火炎に与える影響を評価するための技術を開発した。</p> <p>テーマ（4）：超高性能タービン 空力性能向上と冷却・シール空気量低減の相反する課題を両立するために、シール空気流量削減案及び動翼チップ端形状最適化による冷却空気削減案を考案し、試験にて検証・改良効果を確認した。</p> <p>テーマ（5）：翼列設計システム タービンシュラウド動翼の 3 次元 CAD モデリング手法の高度化・標準化として、定型的な設計プロセスを立案し、CAD モデリング期間短縮の可能性を得た。翼構造設計における多制約問題（重量、応力、固有振動数）の同時最適化手法の開発としては、最適化ソフトウェアの選定・翼設計への適用性検証により最適化手法の開発の目途を得た。</p> <p>テーマ（6）：境界層制御高性能圧縮機 後方で効率向上する為の改良翼列の検討および全段 CFD での解析評価を行い、動静翼の負荷バランス・翼形状を最適化する事で、段圧力比を増加しつつ、動翼チップ漏れ渦を低減することで、更に効率向上する事を確認した。又、空力性能を検証する為の、試験装置を設計した。</p>	

テーマ（7）：高機能構造技術
 温度調整式（暖機式）アクティブ・クリアランス・コントロール（ACC）構造について検討し、数値シミュレーション（FEM 解析、CFD）を用いたクリアランス改善量の検証を行った結果、静翼保持環での変形をコントロールでき、現行のガスタービン（ACC なし）と比較して改善できることを数値シミュレーションにより検証した。

テーマ（8）：高性能シール・高性能軸受
 高温対応高性能シールおよび高負荷対応軸受のコンセプト設計を実施し、またシール及び軸受特性の予測解析ならびに要素検証を行い、詳細設計に反映した。

テーマ（9）：先進製造技術
 9-1 鋳造技術の更なる高度化
 既往研究における単結晶試作翼の結晶欠陥発生状況と発生原因を評価し、鋳型設計の改良を行った上で、試作を実施した。翼面に欠陥が無く、翼面とプラットフォーム部も同一結晶方位からなる単結晶翼が得られ、改良設計の有効性を確認できた。

9-2 溶接技術の更なる高度化
 溶接接合プロセスとして、3D 造形品の共金 LMD 接合技術を開発し、静翼を対象とした接合可能性検討を実施したうえで、変形抑制用治具を試作し、良好な接合結果を得た。

9-3 孔あけ加工技術の更なる高度化
 タービン翼（鋳造材）の高精度冷却孔加工技術について in-situ での孔位置計測および加工制御手法の実用化に必要な複数の孔を同時に計測する量産向け加工システムの開発、検証を行った。

9-4 3 次元層造形技術確立および応用技術の高度化
 GT 高温部品の冷却性能向上を狙いとし、高温クリープ特性を向上させる材料組成改良材と高温熱処理プロセスを用いて GT 分割環の実機造形技術を開発し、2017 年秋から実証発電設備で実機検証試験を実施中。

テーマ（10）：鋳造プロセス設計システム
 従来の鋳造プロセス設計では解析モデル作成工程がボトルネックとなっていたことから、解析モデル・メッシュ自動生成システムの仕様を決定するとともに、鋳込み工程の解析である凝固-FEM 連成解析について、先行してシステム開発を完了させ、作成期間を短縮するだけでなく、作成したモデルの寸法変更も短時間で実施可能となる見通しを得た。

テーマ（11）：超高温強度評価技術
 実機では複雑な冷却構造が採用され、複雑な応力分布となるが、これらに対し、Critical Distance 法を用いて、合理的に疲労寿命が評価できる手法を提案した。さらに、提案した手法を、想定される構造に適用し、疲労寿命が精度良く評価出来ることを確認した。

テーマ（12）：特殊計測技術
 特殊計測センサ（クリアランス計測）の国内調達を検討し、調査会社、および社内取引先を利用して、調査を実施。面接を経て試作センサを製作した。クリアランス出力が海外メーカーと同等であることを確認しが、耐久性に難があり、改善するための構造再検討を実施した。

高湿分空気利用ガスタービン（AHAT）

テーマ（1）：総合試験装置による検証
 AHAT システムが目標としている効率を達成するために必要な燃焼ガス温度の条件で、40MW 級総合試験装置のガスタービンを運転して機械的信頼性を確認した

テーマ（2）：実証機による長期信頼性
 起動回数 100 回以上、等価運転時間 10,000 時間以上の実証機の運転を行い、各機器の安定性、機械的信頼性を確認した

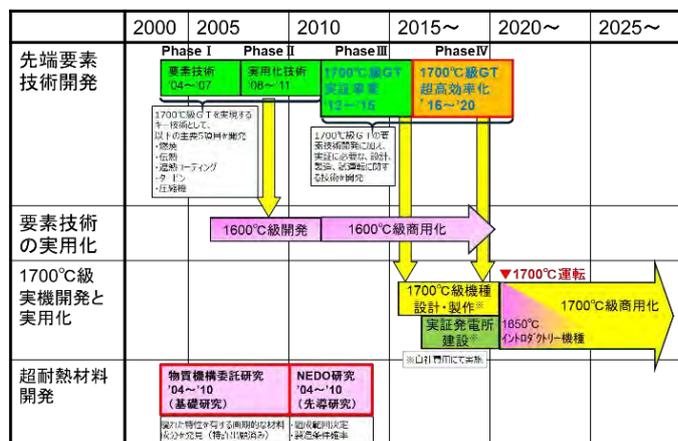
テーマ（3）：商用機スケールの概念設計
 ガスタービン及びシステムの基本仕様の検討、動特性解析による AHAT 商用機の運用性評価、商用機向け再生熱交換器の概念設計を実施した

投稿論文	1700℃級ガスタービン	3 件
	高湿分空気利用ガスタービン（AHAT）	0 件

特 許	<p>1700℃級ガスタービン 「出願済」47件（うち国際出願8件） （2016年度28件（うち国際出願1件）、2017年度19件（うち国際出願7件）） 「出願予定」3件（うち国際出願0件）</p> <p>高湿分空気利用ガスタービン（AHAT） 「出願済」5件（うち国際出願0件） （2016年度2件（うち国際出願0件）、2017年度3件（うち国際出願0件）） 「出願予定」1件（うち国際出願0件）</p>
その他の外部発表 （プレス発表等）	<p>1700℃級ガスタービン 「学会等発表」11件、「受賞実績」0件、「研究報告・雑誌投稿」0件</p> <p>高湿分空気利用ガスタービン（AHAT） 「学会等発表」3件、「受賞実績」0件、「研究報告・雑誌投稿」0件</p>

1700℃級ガスタービン
1700℃級ガスタービン技術は、2020年度（H32年度）に事業者自主費用により建設する実証発電設備において、1700℃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（H34年度）から販売を開始する計画である。

表 2.1 1700℃ガスタービン 実用化スケジュール



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

高湿分空気利用ガスタービン（AHAT）

AHATシステムは、本事業により長期信頼性を確認するとともに、本事業で実施中の商用機の概念設計により運用性、経済性、環境性などを明らかにした。今後、ユーザー候補とのFS(事業性評価)を実施しユーザーニーズと合致していることを確認して製品化することを目指している。想定している事業化スケジュールを表 2.2 に示す。

表 2.2 AHAT 実用化スケジュール



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）年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月改定（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）

プロジェクト用語集

名称	略号	意味
ヘビーデューティガスタービン		あらかじめ陸用及び船用に設計されており、定格負荷で長時間連続運転することを前提としたガスタービン。
航空転用（形）ガスタービン		航空機用エンジンを設計変更して陸用及び船出力タービンと組み合わせて陸用及び船用に用いるガスタービン。
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。再熱用の燃焼器もある。
排熱回収装置		ガスタービンの排気又は冷却水の保有熱から有用な熱を回収するための装置。
自立運転		通常、ガスタービンの起動過程の一つの運転状態を表す用語として用い、ガスタービンが、起動装置からの回転トルクを受けなくとも加速を維持できる状態をいう。
冷却運転		ガスタービン停止前に、高温部分の急激な冷却を避けるため、一定時間アイドル又は低負荷で保持する運転。
暖気運転		ガスタービン高温部品の急激な温度上昇を避けるため、起動後、アイドル速度付近で一定時間保持する運転。
起動時間		発電用ガスタービンでは、静止の状態から無負荷定格速度に達するまでに要する時間。機械駆動用などの用途においては、あらかじめ定められた最低負荷及び速度に到達するのに要する時間。
昇負荷時間		負荷運転可能時点から全負荷に達するまでの時間。

名称	略号	意味
通常停止		規定の操作によって行うガスタービンの停止。
非常停止		人体への危険又は差し迫った機器の損傷の危険を回避するか又は最小限度のものにするために、即座に手動又は自動で行うガスタービンの停止。
コールドスタート		ガスタービンの金属温度がほぼ常温の状態からの起動。
ホットスタート		ガスタービンの停止直後など、ガスタービンの金属温度が高い状態からの起動。
ストール		圧縮機の動翼・静翼の空気流れのはく離によって、圧縮機の作動が不安定になる現象。
高温腐食		燃料中のバナジウム、ナトリウム若しくは硫黄化合物又は空気中の塩分が、燃焼器において比較的低融点の化合物を形成し、タービンブレードなどの表面に付着・積し、金属を腐食させる現象。
エロージョン		作動流体中の固体粒子の機械的衝撃による材料の磨耗。
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、又は仕上げ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。
一方向凝固翼		一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。

名称	略号	意味
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部的に加熱して、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。
空気冷却 Air cooling		タービン、燃焼器などの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、燃焼器などの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 tip clearance 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、加熱するなどの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NO _x 燃焼器 Lower emissions combustor (dry) low NO _x 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。
DSS運転 Daily start and stop	DSS	ガスタービンを 1 日に 1 回程度停止する運転方式。
週末停止運転 Weekly start and stop	WSS	ガスタービンを週に 1 回程度停止する運転方式。
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。
排熱回収式コンバインドサイクル		ガスタービンの排気を排熱回収装置に導き、その熱回収によって蒸気を発生する方式のコンバインドサイクル
蒸気噴射式ガスタービン		出力を増加させる目的、若しくは、排気中の窒素酸化物 (NO _x) を減少させる目的、又は、この両方の目的から、排熱回収装置で発生した蒸気の一部又は全部を、ガスタービンの燃焼器又はタービンに噴射し、燃焼ガスと蒸気との混合ガスによってタービンを作動させるガスタービン。
吸気冷却装置 intake air cooler		ガスタービンの吸気の温度を下げ、出力及び熱効率の向上を図る装置。通過する空気と水とを接触させ、水の蒸発熱によって吸入空気の温度を下げる蒸発式冷却器と冷凍機で冷却した媒体を通す吸気ダクト内の熱交換器によって吸入空気の温度を下げる冷凍式冷却器とがある。

名称	略号	意味
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。
レーザ粉末肉盛 レーザメタルデポジション	LMD	必要な部分にのみレーザ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

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みが必要」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統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。

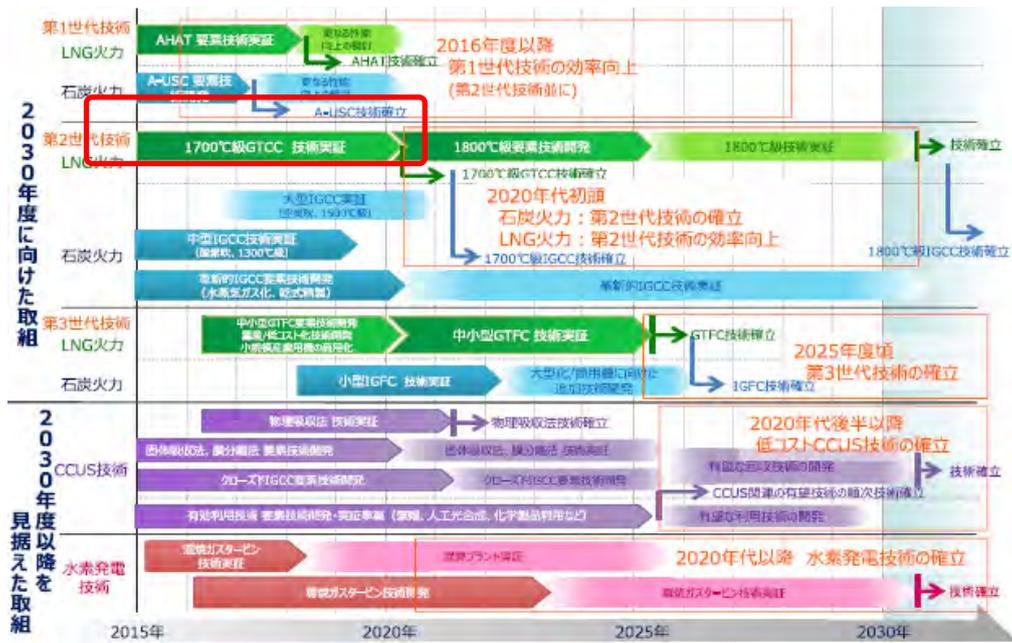


図 1.1-1 次世代火力発電に係る技術ロードマップ



図 1.1-2 次世代火力発電に係る技術ロードマップ（次世代火力発電技術）

10. 高効率天然ガス火力発電

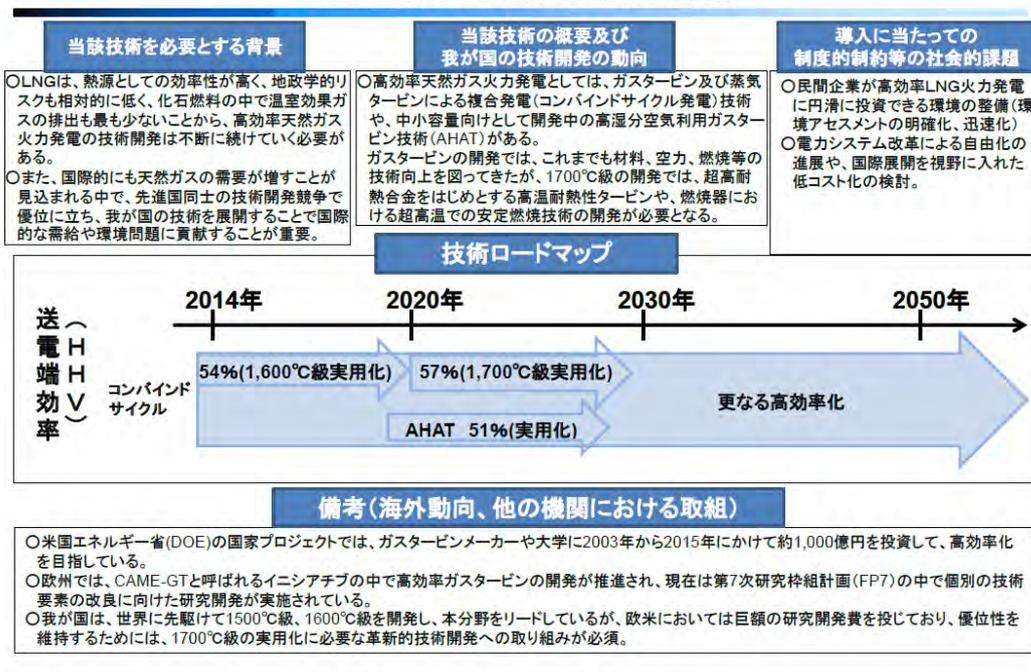


図 1.1-3 エネルギー関係技術開発ロードマップ (平成26年12月)

(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、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。

一方で、本事業の対象としているガス燃料焼きガスタービンの市場環境に関して、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。例えばフランスの発電所に導入された GE 社製 9HA ガスタービンでは送電端効率 56%程度 (HHV : 高位発熱量基準 -LHV 基準にて 62.22%) を記録したとの発表がなされている。この情勢を踏まえても、大型ガスタービン各要素技術の開発達成目標である「送電端効率 58%以上 (HHV : 高位発熱量基準)」の効率は未だ十分に価値のある目標値であり、本事業を通じた開発を着実に進展することが必要となる。

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状況であるが、高効率大型ガスタービンはベースロード電源として一定の需要が存在し、また中小型ガスタービン市場を対象として開発を進めた高温分空気利用ガスタービンにおいて、高い運用性を示すことができれば、十分な競争力を維持できるものと想定できる。

(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。(図. 1. 1-4 および図 1. 1-5 参照)

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。

米国のガスタービン関連技術開発の例

・米国ではエネルギー省 (DOE) 傘下の National Energy Technology Laboratory (NETL) の主導で各種ガスタービン研究開発を活発に実施。

(1) 先進水素タービン

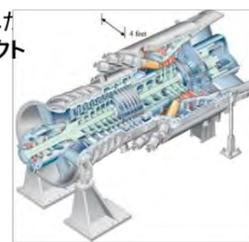
・ガスタービンメーカーに出資し、2005～2014年度に「先進水素タービン開発」を実施し、ゼネラルエレクトリックとのプロジェクト

予算総額: 134.3百万\$
DOEの出資: 81.5百万\$



・シーメンスとのプロジェクト

予算総額: 135.2百万\$
DOEの出資: 82.1百万\$



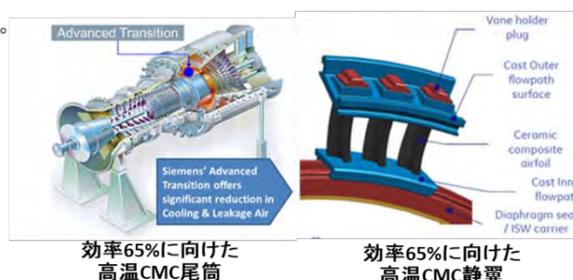
(2) 先進燃焼タービン

・ガスタービンメーカー等に出資し、2014～2015年度 (一部研究は2020年度まで) に効率65%を目指し技術開発を実施。
・予算総額: 19.2百万\$, DOEの出資: 14.9百万\$

(3) その他

上記以外にも、以下のガスタービン関連研究開発を実施。

- ・超臨界圧CO₂サイクルの関連研究 (2014年10月～2019年3月、総額22.7百万\$, DOE出資18.1百万\$)
- ・国立研究機関による先進研究プロジェクト (2004年10月～2016年9月、総額20.7百万\$(ほぼ全額DOE出資))
- ・中小のベンチャー企業によるガスタービン関連研究プロジェクト (2010年7月～2018年7月、総額10.5百万\$(全額DOE出資))
- ・大学によるガスタービン研究プロジェクト (UTSR) (2010年10月～2018年9月、総額21.0百万\$(DOE出資16.4百万\$))



効率65%に向けた
高温CMC尾筒

効率65%に向けた
高温CMC静翼

(情報・図の出典: NETLホームページ: <https://www.netl.doe.gov/research/coal/energy-systems/turbines/hydrogen-turbines>)

図 1. 1-4. 米国における取組状況

欧州のガスタービン関連技術開発の例

・EUは研究開発プロジェクト“FP7”、及び、後継の“Horizon 2020”の中で、エネルギーについても研究開発を実施。“Horizon 2020”のエネルギー関連の予算は2014～2020年の7年間で総額59.3億ユーロ(*)。

(*) EU, 2014, “Horizon 2020 in Brief”

(1) 発電用高温部品のための酸化物分散強化材料 (略称: OXIGEN)

新しい酸化物分散強化材料用の粉末、及び、製造技術、モニタリング用の埋込センサーを開発する。

2013年2月～2017年1月

・予算総額: 5.7百万ユーロ
・EU負担: 4.0百万ユーロ



写真: http://cordis.europa.eu/home_en.html

(2) 燃焼器の熱音響及び空力音響非線形性の研究 (略称: TANGO)

燃焼器の燃焼安定性を確保するため、音響、振動、滴の3-Way連成現象を理解し、燃焼制御手法を開発する。

2012年11月～2016年10月

・予算総額: 3.7百万ユーロ
・EU負担: 3.7百万ユーロ

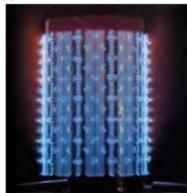


写真: <http://www.scm.keele.ac.uk/Tango/>

(注)本資料の研究開発例には一部、発電用ガスタービンにも転用可能な航空用エンジンの研究開発も含む。

(3) 空力-熱、燃焼器-タービン相互作用の研究 (略称: FACTOR)

燃焼器とタービンを一体で扱うことにより、航空エンジンの高性能化、低コスト化、長寿命化を可能とする。

2010年12月～2016年11月

・予算総額: 7.2百万ユーロ
・EU負担: 4.9百万ユーロ



写真: <http://www.factor-fp7.eu/>

(4) 先進タービン技術によるフレキシブル火力発電 (略称: FLEXTURBINE)

再生可能エネルギーの増大により、時間帯や天候に合わせて供給する必要のある電力が増加している。そこで、火力発電のフレキシビリティ増大のため、以下の技術を開発する。

・運転可能出力範囲を広げるためのサージ予測制御技術

・劣化、損傷を防止し、寿命と効率を高めるための、シール、ベアリング技術

・計画外停止を防止し、稼働率、フレキシビリティを高めるための、主要部品予測、制御技術。

2016年1月～2018年12月

・予算総額: 9.6百万ユーロ
・EU負担: 6.5百万ユーロ

図 1. 1-5. 欧州における取組状況

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℃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激しい競争下において、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り、また国家間の開発競争は熾烈を極め、これまでの開発競争の中、更なる高温化・高効率化技術の開発が可能な国は、米・独・日の3カ国に絞られつつある状況を踏まえて、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。

また、高湿分空気利用ガスタービンA H A Tについては、世界初となる新型ガスタービン発電システムである。増湿装置、再生熱交換器など新たな機器を統合した全体システム特性や、高湿分圧縮機、高湿分燃焼器、高湿分冷却翼などで構成されるA H A Tに適合したガスタービンは、未知なところが多く世界初の難度が高い技術であり、新型ガスタービンシステムであることから、商用機の実現にはフィージビリティスタディ(F S)や環境

アセスメントを含めてリードタイムが長く、投資回収に時間がかかる技術である。このためNEDOの関与のもとで実用化技術開発を推進するべきである。

これらのことから、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）

1.2.2-1 1700℃級ガスタービン

（1）経済性効果

ガス価格が17USD/MMBtu程度の場合、500MWの発電設備を年間8,000Hr運用する場合を想定すると、発電効率を52%→57%に高めることにより、年間39億円程度の燃料代の節約となる。

（2）売上効果

図. 1.2.2-1-1. にH28METI 調査報告書「重電産業分野における競争力強化策の検討に向けたグローバルベンチマーク分析等調査」に基づく、大型GTCCの年間販売量に関する資料を示す。200MW以上の大型GTCCの販売量は40GW/年程度であり、建設費単価12万円/kW*1とすると、市場規模は4.8兆円/年となる。

この場合一例として5%のシェア向上（⇒29%）を実現できれば、240億円/年の売上向上が見込まれることとなる。

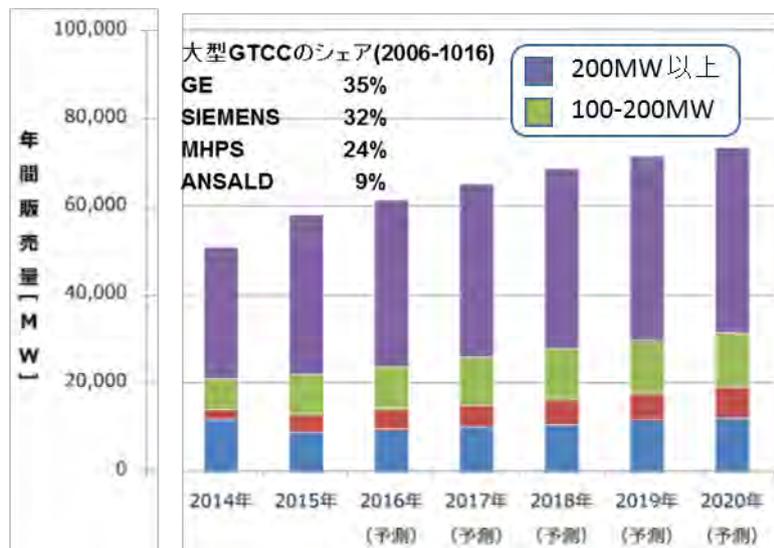


図. 1.2.2-1-1. ガスタービン市場：サイズ別導入量推移

出展：H28METI 調査報告書

重電産業分野における競争力強化策の検討に向けたグローバルベンチマーク分析等調査

昨今の自然エネルギーの普及等によりガスタービン市場の予想において不安定性が増していることは事実であるが、IEA World Energy Outlook2017によると、図.

1.2.2-1-2 に示すように、2017-2040 年間で世界市場にガス火力は安定して導入が進み、図. 1.2.2-1-3 のように 2017-2040 年間で平均 68GW/年の新規ガス火力が導入されるとの見通しが示されている。

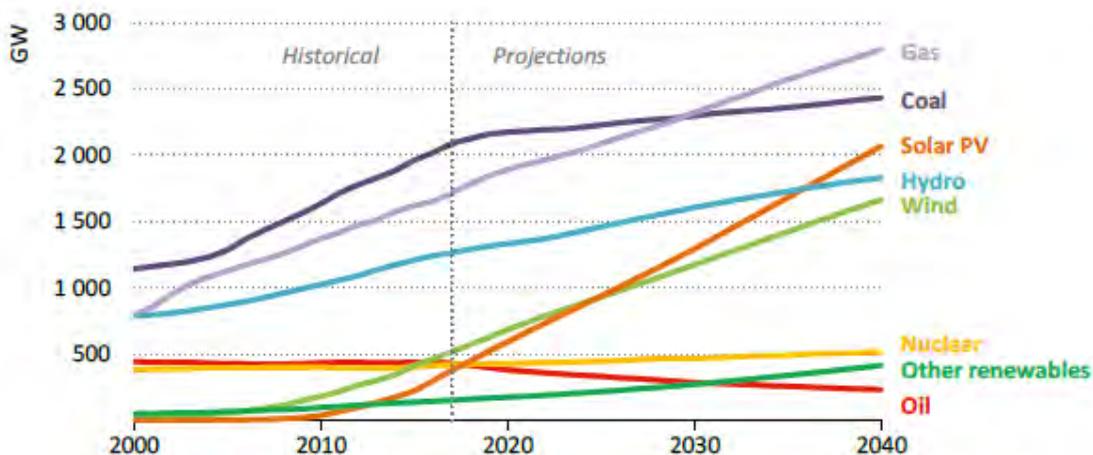


図. 1.2.2-1-2 New Policies Scenario における、発電機種毎の設備導入見通し
出展：IEA World Energy Outlook 2018

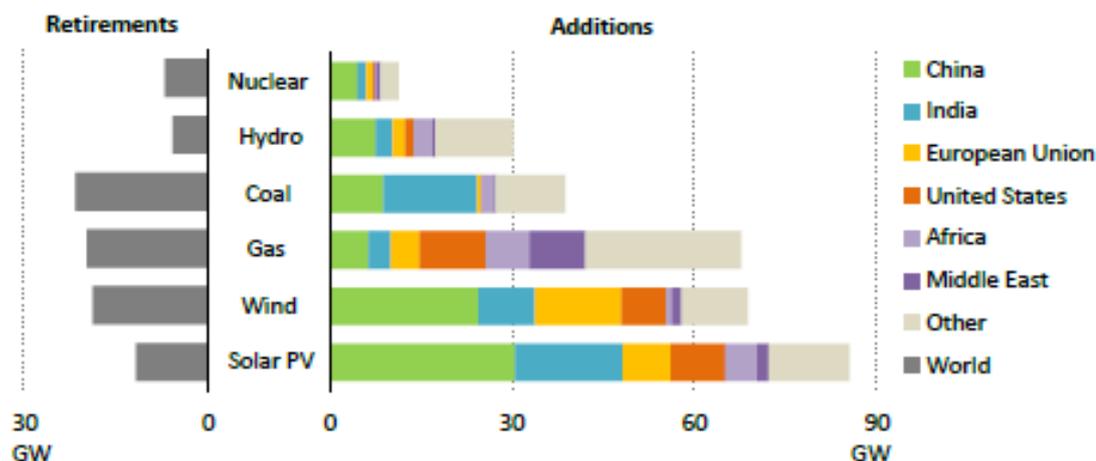


図. 1.2.2-1-3 2017-40 発電機種・地域毎の発電設備導入見通し
出展：IEA World Energy Outlook 2018

このように大型ガスタービンは巨大な市場規模を有しており技術開発により競争力を高めることができれば、大きな費用対効果が期待できる。

(3) CO₂ 削減効果

既存の老朽火力発電所の 50%を 1700°Cガスタービンコンバインドサイクルに置き換えた場合の CO₂ 削減効果は 6700 万 ton/年（日本全体の CO₂ 排出量の約 5%に相当）、省エネ効果は原油換算で 2200 万トン、と莫大な CO₂ 削減効果を得ることが可能となる。

現状のLNG(平均発電効率45%), 石油および石炭火力を置き換えた場合の効果

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

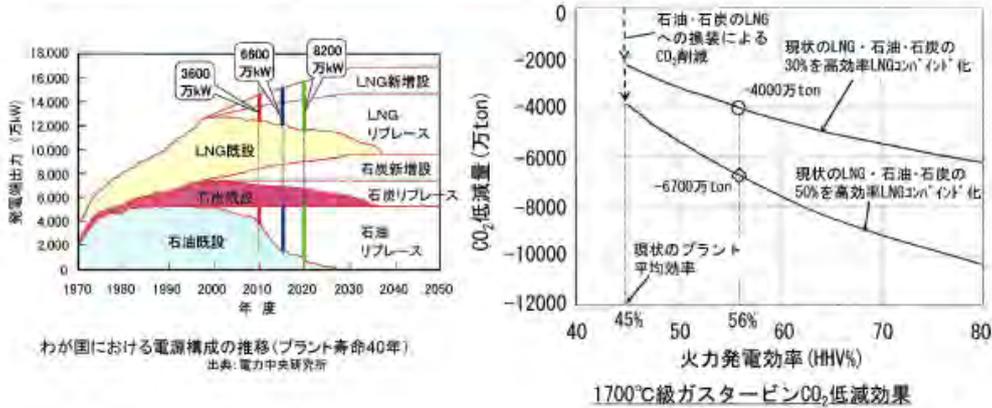


図 1. 2. 2-1-2. 既存の火力発電所を 1700°C級ガスタービンコンバインドサイクルに置き換えた場合のCO₂低減および省エネ効果

1. 2. 2-2 高湿分空気利用ガスタービン (A H A T)

(1) 経済性効果

2023年(H35年)の50~125MWのクラスの高湿分空気利用ガスタービンの出荷台数は約100台/年と予測※、本システムのベースGTと合致する出力レンジ100~125MWの台数は、その1/3の約33台/年と仮定し、本システム(約160MW)のフルターンキー建設単価を102[k¥/kW](GTCCと同等と仮定)と仮定すると、市場としては5,400億円/年となり、一例として2.5%のシェア向上(11⇒13.5%)で135億円/年の売り上げ向上が見込まれる。

※出典: Turbomachinery International, Vol. 54, No. 7 (2013)

(2) CO₂削減効果

効率45%HHVの中容量CCを効率51%HHV、出力160MWのAHATでリプレイスして年間3000時間運転する場合、年間のCO₂削減量は以下となる。

$$160 \text{ MW} \times 3000 \text{ h/年} \times (0.40 - 0.35) \text{ kgCO}_2/\text{kWh} = 24,000 \text{ tCO}_2/\text{年}$$

表 1. 2. 2-2-1 AHATへのリプレイスによるCO2削減効果

	燃料	送電端効率 (%HHV)	CO2排出原単位 (kg-CO2/kWh)	AHAT導入時の CO2削減率
中容量AHAT	LNG	51	0.35	—
従来中容量CC	LNG	45	0.40	12%
油焚き汽力	油	39	0.70	50%

2. 研究開発マネジメントについて

2.1. 事業の目標

1) 1700℃級ガスタービン

[中間目標（平成30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（平成32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58%達成（高位発熱量基準）の見通しを得る。

2) A H A T

[最終目標（平成29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）

2.2. 事業の計画内容

2.2.1 研究開発の内容

2.2.1-1 1700℃級ガスタービン

1700℃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℃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。

表2.2.1-1-1 1700℃級ガスタービン 研究開発実施項目

実施項目(技術開発)	概要
①低熱伝導率遮熱コーティング	耐エロージョン性/耐溶融塩性の評価・改良、製造技術高度化、寿命評価技術の開発を行う。
②高性能冷却システム	高精度熱境界条件予測技術、高性能冷却構造の開発を行う。
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、低NOx燃焼技術の開発を行う。
④超高性能タービン	高温タービンの更なる性能向上案の策定と設計技術の開発を行う。
⑤翼列設計システム	開発期間短縮を可能とする翼列設計システムの開発を行う。
⑥境界層制御高性能圧縮機	圧縮機のシミュレーション技術の精度向上、性能向上策の検討を行う。
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、高温・高圧下での応力低減構造の検討を行う。
⑧高性能シール・高性能軸受	高温対応高性能軸シール、高負荷対応高性能軸受の開発を行う。
⑨先進製造技術	単結晶翼の材料特性評価および鑄造技術開発、レーザ溶接接合・肉盛補修技術改良、冷却孔加工技術の安定性向上検討、3次元積層造型技術の開発を行う。
⑩鑄造プロセス設計システム	開発期間短縮を可能とする鑄造プロセス設計システムの開発を行う。
⑪超高温強度評価技術	実機条件を考慮した劣化模擬材の強度評価と、実機温度・応力場強度評価手法の構築を行う。
⑫特殊計測技術	実機特殊計測に必要な計測技術を開発する。
⑬高精度・高機能検査技術	内部欠陥検査、ワイヤレスセンシング、再結晶検出技術の開発を行う。

2.2.1-2 高湿分空気利用ガスタービン（A H A T）

高湿分空気利用ガスタービン（A H A T）においては、総合試験装置を用いて実証機に用いるガスタービン本体の高温での機械的信頼性を確認する。また実証機を用いて長期信頼性評価を実施し、ガスタービンの加湿によるシステム熱効率の変化、大気温度条件の変化による出力、効率の変化等の諸特性を明らかにする。さらに商用機スケールの高湿分空気利用ガスタービン(AHAT)の概念設計を実施するとともに、シミュレーションを用いて、期待できる起動時間、負荷変化率などの運用性を評価する。更にはキーコンポーネントの一つである、再生熱交換器の概念設計を行い、システムの起動停止時に予想される再生熱交換器の部位ごとのひずみ振幅値から運転寿命(年数)を検討する。

表2.2.1-2-1 A H A T 研究開発実施項目

大項目	中項目	研究開発目標	根拠
総合試験装置	(1)総合試験装置による検証(MHPS)	既存の40MW級総合試験装置のガスタービンを改造し、実証機に用いるガスタービン本体の高温での機械的信頼性を確認する。	前年度まで開発してきた高信頼性化要素技術適用ガスタービンを実証機に適用するための前段目標。
実証機による長期信頼性	(2)実証機による長期信頼性(MHPS)	高湿分空気利用ガスタービン(AHAT)の実証機を建設、運転して機器類の健全性のデータを取得し、商用機の長期信頼性を評価する。実証機の運転時間は、100回/年以上の起動・停止回数、等価運転時間 [※] で10,000時間以上の運転を目標とする。	週間起動WSS(Weekly Start and Stop)の約2倍の100回/年以上の起動・停止と、起動停止による機器の寿命への影響を考慮した等価運転時間で10,000時間を目標とした。
	(3)商用機スケールの概念設計(MHPS)	商用機スケールの高湿分空気利用ガスタービン(AHAT)の概念設計を実施する。	商用機スケールのAHATシステムの機器仕様等を把握するため。
	(4)システム評価(電中研)	<ul style="list-style-type: none"> ● ガスタービンの加湿によるシステム熱効率の変化、大気温度条件の変化による出力、効率の変化等の諸特性を明らかにする。 ● AHATシステムに期待できる起動時間、負荷変化率などの運用性を明らかにする。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 重構造ガスタービンに対する全量加湿の効果を把握するため。 ● 電力網への系統連系を想定して、商用機スケールの運用性を把握するため。
	(5)再生熱交換器の概念設計(住精)	<ul style="list-style-type: none"> ● 再生熱交換器の概念設計を実施する。 ● システムの起動停止時に予想される再生熱交換器の部位ごとのひずみ振幅値から運転寿命(年数)を検討する。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 商用機スケールの概念設計に機器仕様などを反映するため。 ● 再生熱交換器のメンテナンス計画を策定するため。

※等価運転時間：機械装置は、起動・停止や出力の変動によって通常の連続運転よりも負荷がかかるため、寿命に影響するこれらの回数を考慮し同等の連続運転時間とみなせる運転時間のこと。

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2.2.2-1 および図2.2.2-2 に実施体制を示す。

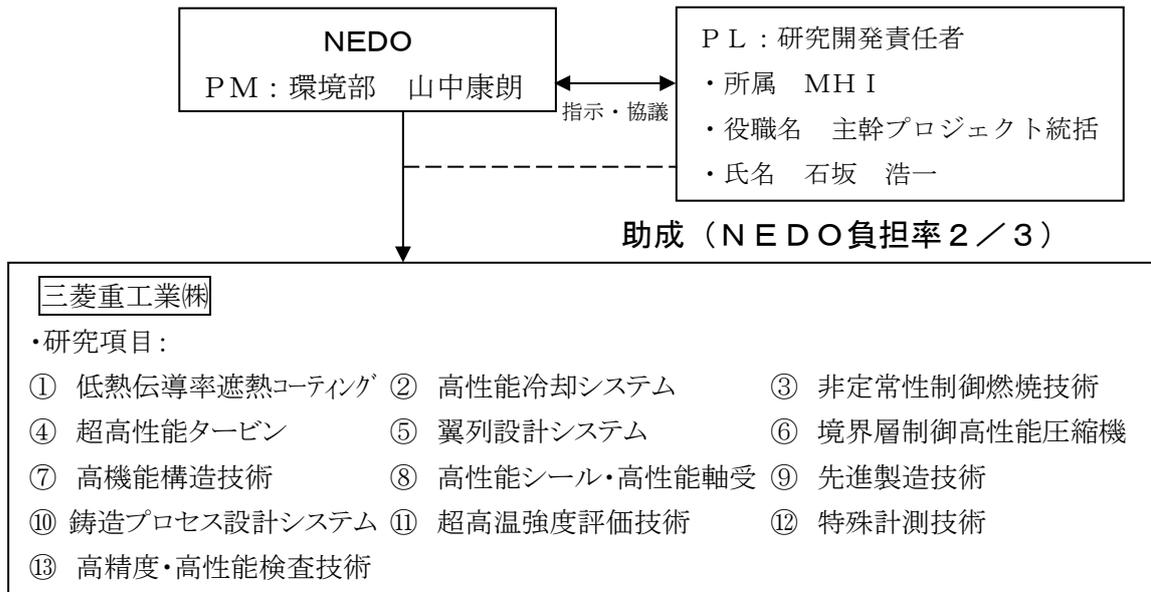


図 2.2.2-1 1700°Cガスタービンの実施体制

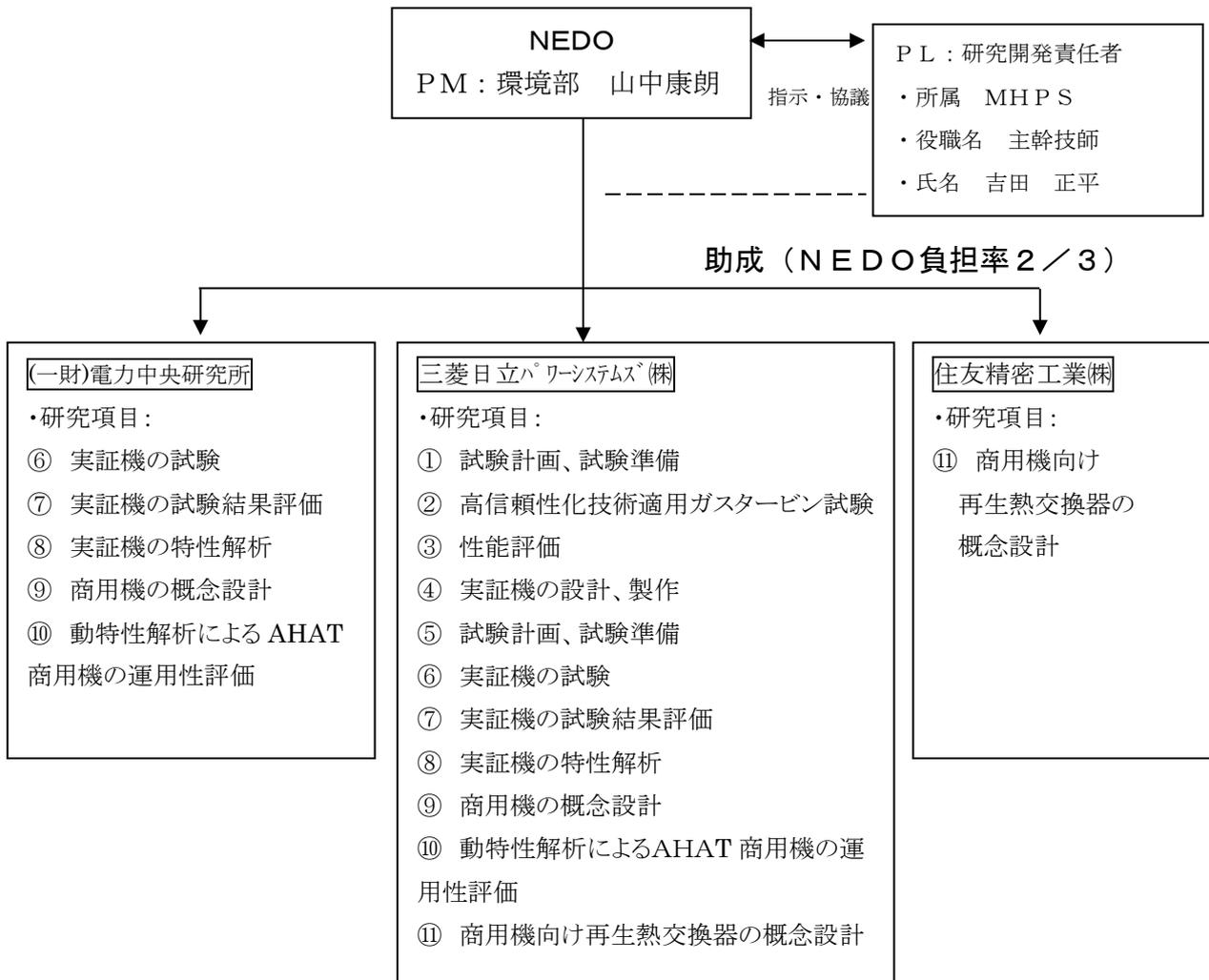


図 2.2.2-2 高温分空気利用ガスタービン（AHAT）の実施体制

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に向けたマネジメントの妥当性

1700℃級ガスタービンの開発にあたっては、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MHI中央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、MHIの石坂 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。

AHAT技術開発にあたっては、実施者である三菱日立パワーシステムズ(MHPS)、電力中央研究所、住友精密工業のそれぞれが有する専門技術を最大に発揮できる体制として、それぞれの専門性が発揮できる項目を担当し、3社連携の協力体制の基で遂行する。マネジメントにあたってはMHPS 吉田正平 主幹技師がPLとして責任をもって研究開発を推進し、NEDO環境部 PMが適時PLと協議して、必要に応じて指示・サポートする体制である。

AHAT開発成果の実用化・商用時においては、MHPSが事業の実施主体となることから、本事業における商用プラントの概念設計についてはMHPSが担当するものとしている。

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(平成28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-CO₂/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-CO₂、2030年度に約1,100万t-CO₂のCO₂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。

CO₂削減目標と実績

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-CO₂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-CO₂/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-CO₂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 2.3-1. 電気事業低炭素社会協議会 国内の企業活動における取組み CO₂削減目標

火力発電の高効率化等

- 高経年化火力のリプレイス・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. 2.3-2. 協議会 国内の企業活動における取組み 火力発電の高効率化

(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°Cより十分低く保持すること、1.5°Cに抑える努力を追求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。例えばフランスの発電所に導入されたGE社製9HAガスタービンでは送電端効率56%程度（HHV：高位発熱量基準 -LHV基準にて62.22%）を記録したとの発表がなされている。この情勢を踏まえても、大型ガスタービン各要素技術を開発することでの達成目標である、送電端効率58%以上（HHV：高位発熱量基準）の効率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。

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が、中小型ガスタービン市場を対象とした、高湿分空気利用ガスタービンで高い運用性を示すことができれば、十分な競争力を維持できるものと想定できる。

(4) 環境問題への対応

本事業で開発する1700°C級ガスタービン技術は、高効率で低CO₂排出原単位（0.31kg-CO₂/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。1700°C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。

○「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」
（2018~4年間を計画）

○水素（アンモニア；水素キャリア）対応技術

また、高湿分空気利用ガスタービン（AHAT）は、冷態起動/温態起動や負荷変化速度が迅速で、より低い最低負荷での運用ができるシステムとして、自然エネルギーの普及に伴い必要となる高負荷吸収能力を有する電源として、国内外で活用できる可能性を有する技術である。

2.4. 評価に関する事項

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、平成 23 年度に事業開始前の事前評価、平成 25 年度に中間評価を行い、また平成 27 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-＞

1700℃級ガスタービン

- （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）平成 28 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。

高温分空気利用ガスタービン（AHAT）

- （1）ユーザーに求められる起動・停止数 50 回/年以上を上回る 100 回/年以上の起動・停止数での運転の実証試験を実施することに加えて、等価運転時間目標 10,000 時間以上を目標とする。

なお、NEDO への事業継承の狙いは以下となる。

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、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。

3. 研究開発成果

3.1 1700℃ 開発成果

3.1.1 1700℃事業全体の評価

下表 3.1.1-1 に示すように、交付申請書記載の工程通り、遅滞なく進捗している。また研究成果の概要を表 3.1.1-1 に示す。

表 3.1.1-1 表 研究開発日程と現状

研究 開発項目	年度	H28年度	H29年度	H30年度	H31年度 (予定)	H32年度 (予定)
				▼現状		
①低熱伝導率遮熱コーティング		TBCの組織制御技術の改良 TBCの耐環境性評価	TBCの組織制御技術の高度化 耐環境性評価に優れたTBCの開発	TBCの実用化技術開発 TBCの寿命評価技術	TBCの更なる信頼性向上と製造技術高度化 経年劣化を考慮したTBC寿命評価技術開発	TBCの実用化技術の高度化と反映
②高性能冷却システム		基本要素試験	装置設計・製作 総合性能検証試験①	改良装置設計・製作 総合性能検証試験②	基本コンセプト再検討 基本要素試験②	装置設計・製作 総合性能検証試験③
③非定常性制御燃焼技術		非定常計測技術の導入 燃焼振動、NOx抑制技術の導入 低NOxコンセプト燃焼器の開発	非定常計測技術の改良 燃焼振動、NOx抑制技術の改良① 低NOx燃焼器の改良①	非定常計測技術の高度化 燃焼振動、NOx抑制技術の改良② 低NOx燃焼器の改良②	非定常計測技術の高度化③ 燃焼振動、NOx抑制技術の改良③ 低NOx燃焼器の改良③	非定常計測技術の高度化④ 燃焼振動、NOx抑制技術の改良④ 低NOx燃焼器の改良④
④超高性能タービン		性能向上案検討・要素解析 要素試験計画	性能向上案検討・要素解析 要素試験①	要素解析 要素試験②	性能向上案検討・要素解析 要素試験③	性能向上案検討・要素解析 要素試験④
⑤翼列設計システム		設計手法案検討 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	改良案検討③ システム改良②	改良案検討④ システム改良③
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 性能向上策検討	試験装置設計/製作(改造)	検証試験	シミュレーション技術の精度向上 性能向上策検討	シミュレーション技術の精度向上 性能向上策検討 検証試験
⑦高機能構造技術		クリアランスコントロール要素検証 応力低減構造計画	実機適用に向けた計画 応力低減構造の検証計画・要素検証	機環境下検証	信頼性向上検討 改良構造検討 シミュレーション高度化 改良構造検討	要素試験・実機検証 改良構造検証
⑧高性能シール・高性能軸受		コンセプト検討 適用性評価	詳細設計検討 計測・解析 要素解析・特性要素試験	特性試験 実機模擬装置製作 特性試験	改良設計検討 要素解析・特性試験②	特性試験 実機模擬装置製作 特性試験②
⑨先進製造技術		特性評価・量産技術検討 技術検討 特性把握・量産システム検討 造型技術検討	改良検討・量産プロセス確認 適合部評価とプロセス改良 量産システム安定性確認 造型プロセス検討	改良検討・効果確認 効果確認(部品での施工) 改良検討・効果確認	検証翼製造プロセス検討 部品施工技術高度化① 究極マルチヘッド化検討 特性要素試験設計手法へ反映	検証翼試作・評価 部品施工技術高度化② 計測システム小型化検討 実機検証
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抽出	設計手法検討 システム仕様検討 システム試作	システム仕様検討 システム試作・評価	システム仕様検討 システム試作・評価	システム仕様検討 システム試作・評価
⑪超高温強度評価技術		実機模擬劣化材作成・試験 試験装置設計・製作	実機模擬試験	設計手法へ反映	性能向上を見据えた追加試験 既存機種への適用・検証	
⑫特殊計測技術		実機適用不具合改良(BVMなど)のCT変形・クリアランス計測技術検討 センサ計測技術調査・検討	改良案検討(BVMなど) 要素試験・実機適用検討 要素試験・実機概要検討	改良案検討 改良案検討 改良案検討	要素試験 要素試験 要素試験・検証試験	更なる高度化の改良検討・検証試験 更なる高度化の改良検討・検証試験 本証試験のバックアップ技術検討・要素試験
⑬高精度・高機能検査技術		内部欠陥検査 要素試験 ワイヤレスセンシング 仕様策定 再結晶検出 コンセプト仕様確定	高速化・試作・検証 要素モジュール開発・検証	装置設計・製作・性能試験 装置設計・製作	機能拡張検討・検証 検号品質向上・広帯域化手法検討 試験結果データベースシステム設計構築	装置改良 拡張機能製作 検証試験 実機検証・改良設計及び改良後の検証

表 3.1.1-1 研究成果の概要

開発項目	中間 (H29 年度) 目標	中間目標達成状況	最終 (H30 年度) 目標	最終目標達成見通し
①低熱伝導率遮熱コーティング	皮膜の耐環境性を評価し改良方向性を把握する。また皮膜組織制御と複雑形状施工技術を確立する。	○	耐環境性まで考慮した皮膜を実機に装着し信頼性評価を実施する。	把握した皮膜改良方針に従い、組織制御・施工技術向上により達成可能
②高性能冷却システム	高性能冷却システム実現に向けた熱境界条件の要素試験実施、予測精度向上	○	高性能冷却システムの総合検証を実機相当環境下で行い、成立性を確認	装置の改修・改良により試験を実機相当環境で行うことにより、達成可能
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、低 NOx 燃焼技術の開発を行う。	○	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、低 NOx 燃焼器を開発する。	非定常計測技術、解析技術の改良により達成見込み。
④超高性能タービン	昨年度に検討した性能向上案を試験にて検証し、改良効果を確認する	○	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	各種性能向上案の検討を実施し、要素解析及び要素試験による検証により達成可能
⑤翼列設計システム	翼設計プロセスの高度化 ・複雑翼形状の 3 次元 CAD モデリングについて標準手法を確立し、翼形状設計の QCD 向上を図る。 ・翼構造設計における多制約条件問題（重量，応力，固有振動数）に対し、最適化手法を開発する。	○	実績設計 DB、ノウハウを継続活用しつつ、最新設計ソフトウェア群を取り込み高度化した、開発期間短縮を可能とする翼列設計システムの仕様検討及び試作、ならびに検証を継続する。	・ H29 年度までの開発分については、システム実装を進めることで達成可能。 ・ H30 年度も、既開発分と n 整合性を取りつつ、開発期間短縮に向けた更なる設計手法の高度化を継続する。
⑥境界層制御 高性能圧縮機	試験計測データとの比較によりシュミレーション技術の精度を向上し、更なる性能向上策を検討する。	○	1700℃級ガスタービン圧縮機の性能向上、運用性を両立する為の、対策案を策定する。	改良対策翼列により達成可能。又、性能を試験装置で確認する。
⑦高機能構造技術	クリアランスコントロール構造のシュミレーション検証により、実機での成立性を目途付けする。	○	実機もしくはそれに準ずる設備でクリアランスコントロール構造を検証する。	クリアランス計測技術の確立、および構造の適正化により達成可能
⑧高性能シール・高性能軸受	高温対応高性能シール及び高負荷対応軸受の詳細設計を実施する	○	実機模擬条件下でのシール及び軸受特性の健全性を評価可能とする	装置改良による実機模擬条件への対応により達成可能
⑨先進製造技術	・再結晶抑制のための単結晶翼鋳型形状検討 ・GT 材のレーザー接合・補修技術検討と評価・改良。 ・鋳造材の加工孔位置	○	・単結晶翼製造 ⁷ 開発 ・GT 部品でのレーザー接合・補修の効果確認。 ・複数孔同時加工す	・解析・試作による鋳型改良設計装置により達成可能 ・装置・条件改良により達成可能。 ・UT 信号の孔位置抽

	計測において、計測不可(欠測、誤抽出)要因を明確化、複数孔同時計測を可能とするセンサ走査手法の開発を完了。 ・実機部品の3次元積層技術を確立し、実機検証の目途を得る。		る実翼において、孔位置計測を可能とする。 ・3次元積層の実機製造プロセスを確立	出ヅク改良による計測の安定化、装置改良による複数孔計測対応により達成可能 ・造形パラメータの適正化と3次元積層用の材料組成改良により達成可能
⑩ 鋳造プロセス設計システム	新規鋳造プロセス設計システムの仕様を決定する、凝固解析のシステムは先行で開発して検証する	○	解析の短期間化を実現する新規鋳造プロセス設計システムを構築する	解析モデル・メッシュ自動生成システムの開発により達成可能
⑪ 超高温強度評価技術	・実機条件を模擬できる強度試験手法の構築と試験を開始する。 ・実機高温環境での設計に向けた、強度劣化評価手法を構築。	○	高温環境での材料劣化を考慮した実機温度・応力場における強度評価手法を明確にする。	H29年度に提案した手法について、次年度検証を行うことで、目標は達成できる見込み。
⑫ 特殊計測技術	クリアランスセンサの国内調達を行い、要素試験、検証試験を行う。	○	提案した改良案の製作・検証試験を実施し、耐久性の向上を確認する。	低コストかつ耐久性のあるセンサでの計測を達成できる。
⑬ 高精度・高機能検査技術	⑬-1: 内部欠陥検査技術の開発 ・実翼形状試験体での欠陥検出性の検証 ⑬-2: ワイヤレスセンシング技術の開発 ・要素モジュール開発・試作及び検証 ⑬-3: 異結晶検査技術の開発 ・検証用装置の試作及びそれを使用した異結晶検出アルゴリズムの開発	○	⑬-1: 内部欠陥検査技術の開発 ・実翼形状試験体での欠陥検出性の検証 ⑬-2: ワイヤレスセンシング技術の開発 ・無線給電装置の詳細設計・製作及びシステム検証 ⑬-3: 異結晶検査技術の開発 ・検査装置の詳細設計・製作及び実機検証	⑬-1: 内部欠陥検査技術の開発 ・小型 PAUT センサにより目標達成可能 ⑬-2: ワイヤレスセンシング技術の開発 ・詳細設計による給電性能向上により達成可能 ⑬-3: 異結晶検査技術の開発 ・実機適用可能な装置を開発して目標達成目途

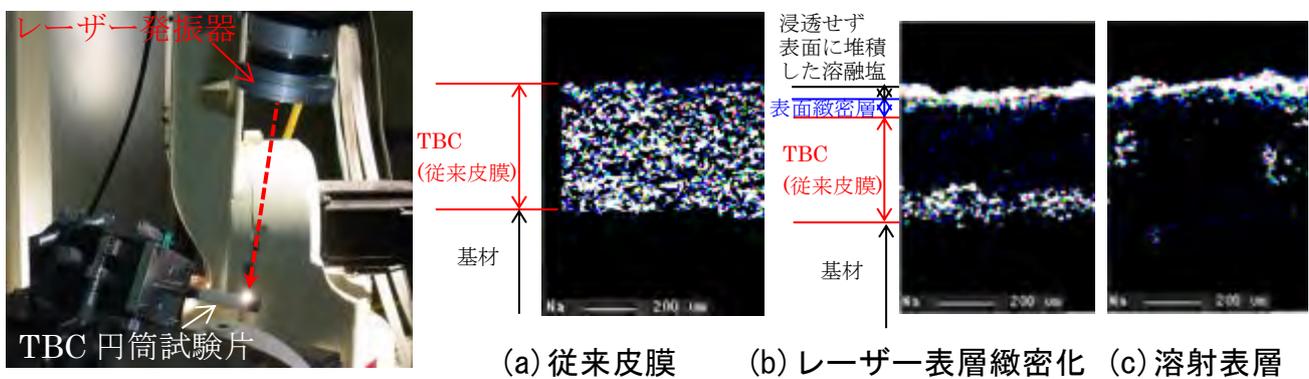
3.1.2. 1700℃研究開発項目毎の成果

3.1.2-① 低熱伝導率遮熱コーティング

平成 29 年度は TBC の組織制御技術を高度化し、耐環境性に優れた TBC の開発を実施した。また TBC の各種物性を取得すると共に経年劣化特性を把握し、寿命評価の基礎データを得た。

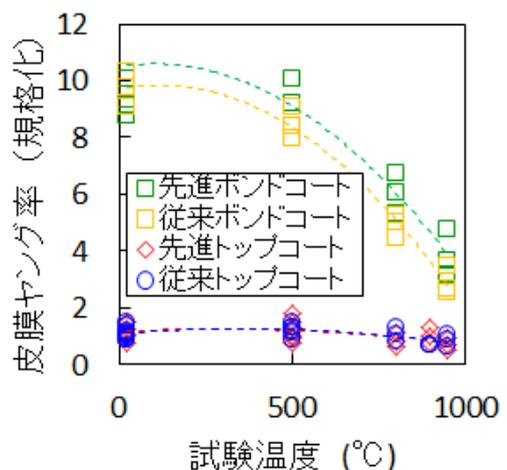
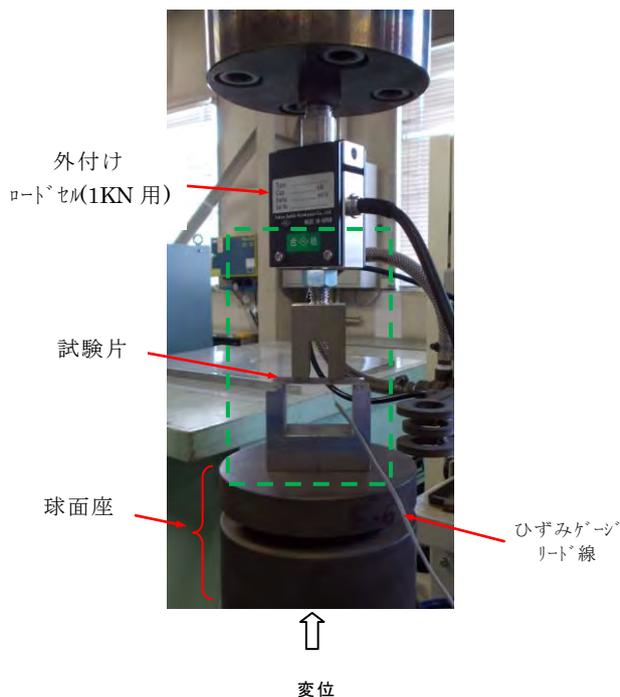
耐環境性に優れた TBC の皮膜組織は、表層のみを緻密な組織へと制御する皮膜設計を行い、表層を高出力のレーザーで溶融・凝固させる（図①-1）、もしくは表層側の溶射粉末および溶射パラメータを変更することで、狙いの皮膜構造を得た。これらの皮膜に対して熱伝導率計測と溶融塩暴露試験を実施した結果、低熱伝導性を保ちながら溶融塩浸透を大幅に抑制できることを確認した（図①-2）。

TBC の各種物性は、JIS 規格に則り、4 点曲げ試験（図①-3）によって室温から高温までのヤング率等を取得した。これらはデータベース化され、今後の寿命評価に活用される（図①-4）。



緻密化

図①-1 レーザーによる TBC 表層緻密化 図①-2 溶融塩環境暴露後の浸透有無確認結果



図①-3 4 点曲げによるヤング率計測装置

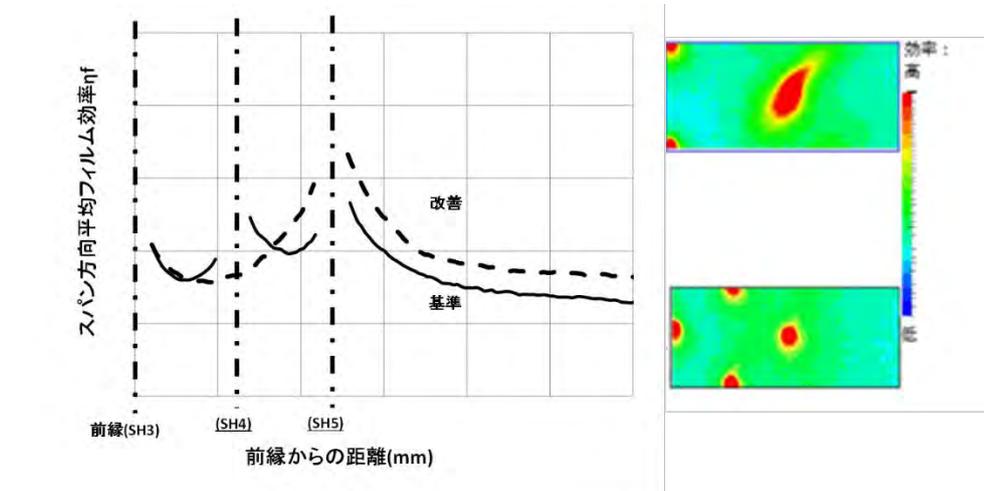
図①-4 4 点曲げによるヤング率計測結果

3.1.2-② 高性能冷却システム

平成 29 年度は、平成 28 年度に引き続き、高性能冷却システム実現に向けた検討を行い、静翼前縁部冷却構造（シャワーヘッド冷却構造）に対する改良構造に関する要素試験を行った。

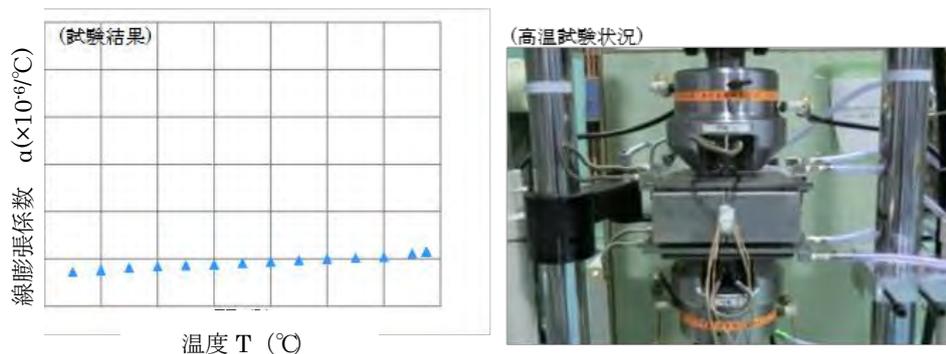
高性能冷却システムを実現するには、冷却空気流量を削減させることが必須である一方、冷却孔一個あたりの流量が減るため、冷却性能が低下することが危惧される。そこで本試験では、冷却孔個数を削減（ピッチを増加）したうえで、改良構造（シェイプド孔）に関する伝熱試験を行った（図②-1）。孔個数を削減しても、改良構造を採用することで同等の冷却性能（フィルム効率）となることがわかり、空気流量を削減できる可能性が高いことがわかった。

一方、更に流量を削減するには、既存の金属翼よりも更に耐熱性が高い材料（CMC, Ceramic Matrix Composite）を採用することが有効である。上記材料を設計に採用するに当たり、必要となる基礎データを取得した（図②-2）。今後、本データを利用して、高温部品向けの詳細な熱構造設計を進めていく。



図②-1 シャワーヘッド冷却部冷却性能 計測結果

(試験結果)



図②-2 高耐熱性材料を用いた熱構造設計向け 基礎データ

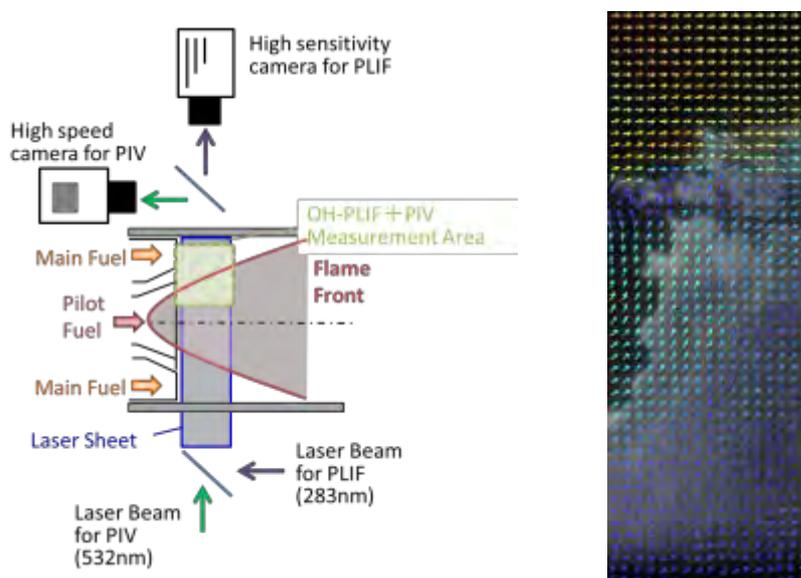
3.1.2-③ 非定常性制御燃焼技術

燃焼温度の上昇に伴い、燃焼不安定のリスクが大幅に高まるため、1700℃級ガスタービン実証試験を成功させるためには、より高温条件に対して安定燃焼可能な施策を継続して検討・準備しておく必要がある。本項目では、これらの燃焼器開発に向けた要素技術の開発を行った。

H29年度は、燃焼器内部の非定常性を評価可能な計測技術の開発及び、低NO_x燃焼器の改良及び・燃焼試験における検証を行った。計測技術の開発では、実機スケール燃焼器を対象に火炎と速度の同時計測を行い非定常的な流れ場の変動が火炎に与える影響を評価するための技術を開発した。

さらに、精度が確認された解析手法等を用いて、燃焼筒の短縮化を行い、従来形状に比べて、NO_x排出量が低減することを実機条件の燃焼試験で確認した。

H30年度はこれらの技術を活用し、より一層の低NO_x化を図る。



図③-1 燃焼器内部計測技術(左)計測装置概略、(右)計測結果例

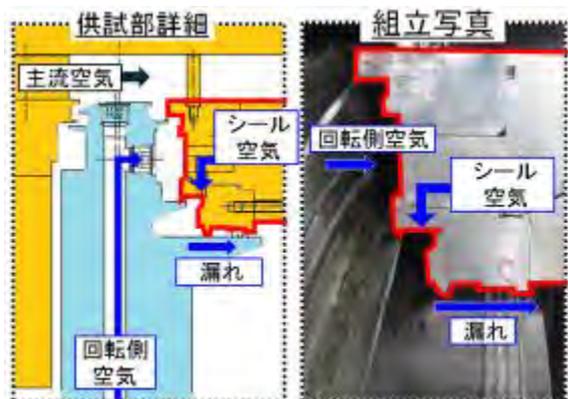
3.1.2-④ 超高性能タービン

高温・高負荷となる1700℃級ガスタービンでは、空力・冷却の協調設計により、空力性能向上と冷却・シール空気量低減の相反する課題を両立する必要がある。H28年度は、昨年度に検討した、シール空気流量削減案、及び動翼チップ端形状最適化による冷却空気削減案を試験にて検証し、改良効果を確認した。

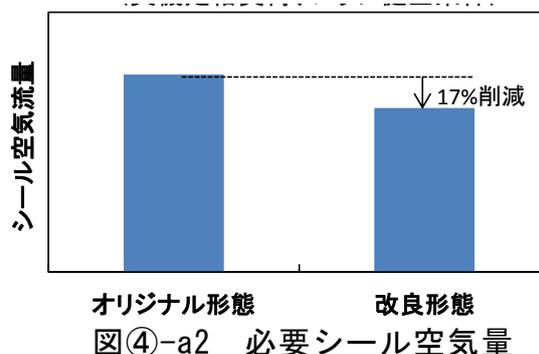
図④-a1は、高温燃焼ガス(主流)が回転部と静止部の隙間内径側へ侵入して回転ディスクが損傷する事象を抑制するための実機シール構造を再現したシール試験装置である(本年度製作)。この試験装置を用いたシール空気量の計測により、新たに考案したエアカーテン効果を利用したシール構造では、従来に比べてシール空気量を最大で17%削減できる可能性がある事を確認した。

図④-b1は、本年度製作した、動翼チップ端面の表面(フィルム)冷却効果を評価するための風洞である。風洞試験では、冷却空気の変わりに異種ガスを吹き出し、その

濃度分布により冷却効果を模擬した画像計測を行った。図④-b2 に、計測したチップ端面のフィルム冷却効果を示す。改良形態は、空力性能に影響する動翼先端のチップシニングは維持したまま（空力性能は維持したまま）、より少ない空気でも冷却可能な形状・構造を考案した。試験の結果、改良形態ではより高いフィルム冷却効果が確認でき、動翼チップ端面の冷却空気量を 20%削減可能な目途を得た。



図④-a1 シール試験装置



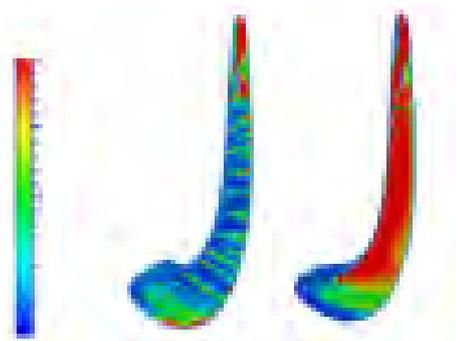
オリジナル形態

改良形態

図④-a2 必要シール空気量



図④-b1 翼チップ端計測風洞・装置



図④-b2 翼チップ端面の冷却効果計測

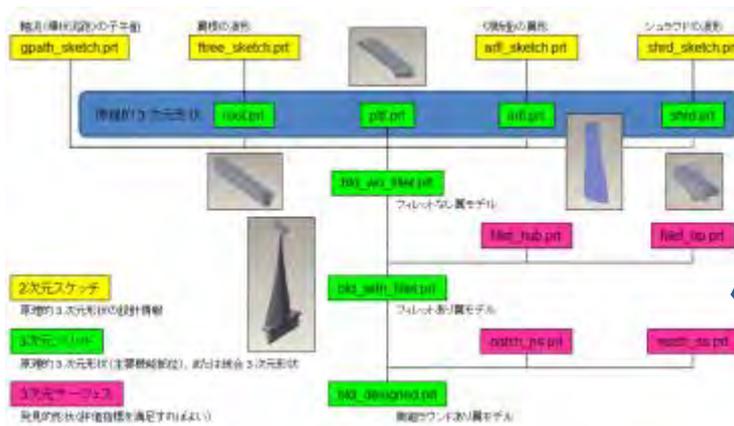
3.1.2-⑤ 翼列設計システム

平成 29 年度は、設計システムの以下 2 項目について取り組んだ。

- a. タービンシュラウド動翼の 3 次元 CAD モデリング手法の高度化・標準化
 - b. 翼構造設計における多制約（重量、応力、固有振動数）の同時最適化手法の開発
- 数値解析・形状修正を反復する翼構造設計において、3 次元 CAD モデリングと翼構造解析の工数が大きいことはボトルネックの一つである。

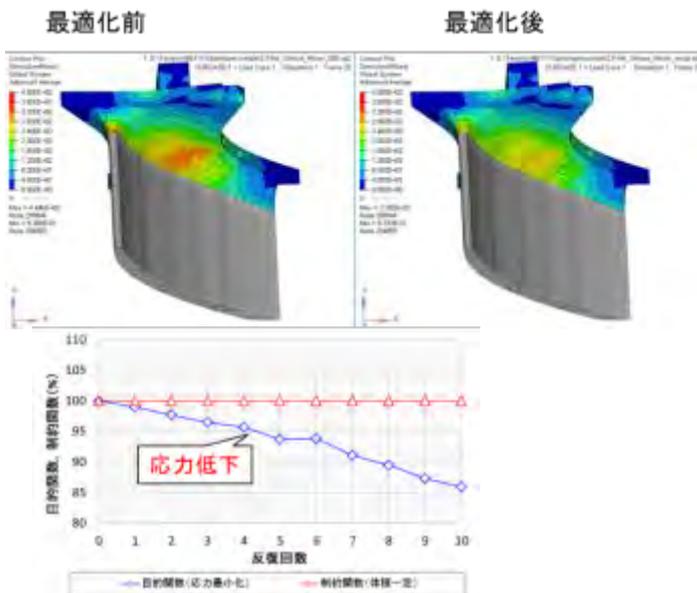
項目 a に対しては、1) 標準 3 次元 CAD モデル構成の定義、2) 各部位の設計・モデリング範囲の定義、3) CAD フィーチャーの標準使用要領の定義により定型的な設計プロセスを立案した（図⑤-1. a）。この結果、当該 CAD モデリング工数は 2 人日以下となった。さらに、各部位の設計・モデリング範囲の依存関係を見える化したことにより、複数名が協同で並行に作業すれば、CAD モデリング期間を 1 日以内に短縮することもできる。

項目 b に対しては、1) 翼設計に適する最適化ソフトウェアの選定、2) サンプル翼の最適化解析による翼設計への適用性検証により最適化手法の開発の目途を得た（図⑤-1. b）。



- 1) 標準 3 次元 CAD モデル構成を定義
- 2) 各部位の設計・モデリング範囲を定義
- 3) CAD フィーチャー標準使用要領を定義
(使用する CAD フィーチャー群は、工学的実績のあるものに限って要領を定義)
⇒ CAD モデリング工数を 2 人日以下に短縮できた。

(a) 3次元 CAD モデリングの高度化・標



- 1) 最適ソフトウェアの選定
- 2) 翼設計への適用性検証
⇒ 翼構造設計における、多制約問題（重量・応力・固有振動数）に対する最適化手法の開発の目的を得た。

(b) 翼構造設計における多制約問題（重量・応力・固有振動数）の最適化手法の開発

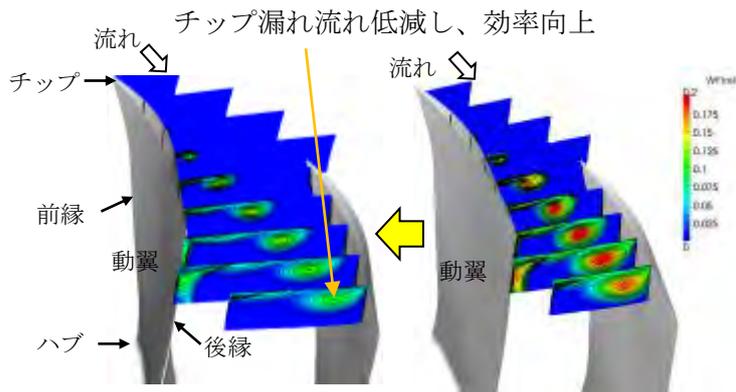
図⑤-1 翼列設計プロセスの高度化

3.1.2-⑥ 境界層制御高性能圧縮機

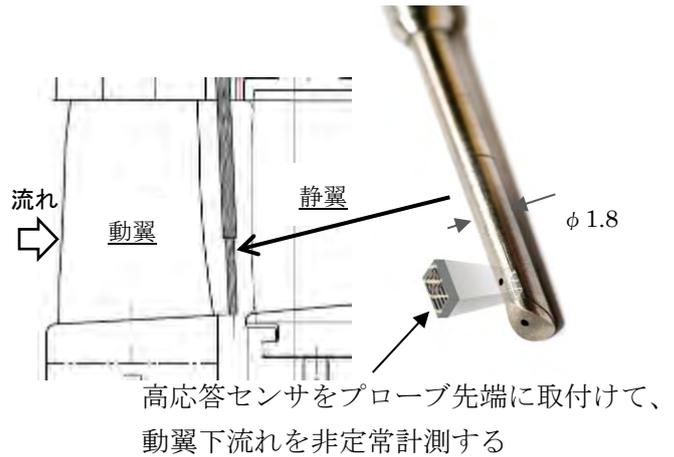
H29 年は、後方で効率向上する為の改良翼列を検討し、全段 CFD で解析評価し、又、空力性能を検証する為の、試験装置を設計した。

圧力比を増加した場合、境界層が発達し、効率低下するリスクあるが、各段、及び、動静翼の負荷バランス、翼形状を最適化する事で、段圧力比を増加しつつ、動翼チップ流れ渦を低減し、更に効率向上する事を CFD で評価した。

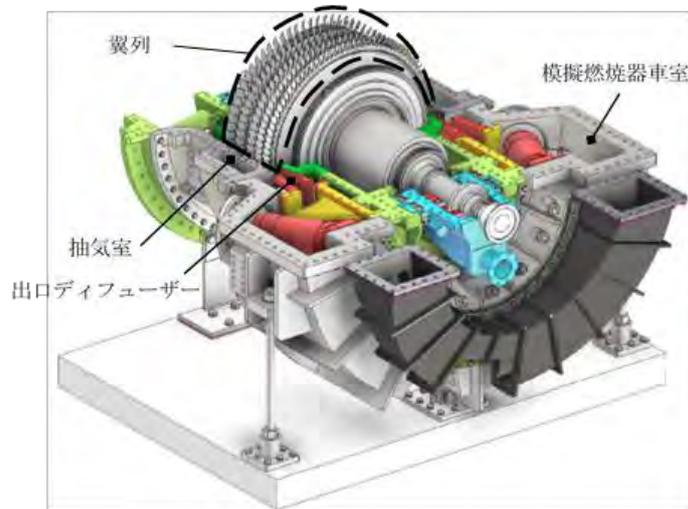
改良翼の効率、サージ裕度を検証する為、試験装置を設計した。実機後方の流れ場を精度よく模擬する為、駆動力の範囲内で段数を多くし（5 段）、高圧抽気室、出口ディフューザー等は実機と同じ構造とした。圧縮機の空力性能を詳細に計測する為、過去の試験装置は実機の 1/3~1/4 倍スケールであったが、約 7/10 倍スケールとした。動翼下流の非定常圧力を計測する為、先端にセンサを取り付けた高応答プローブの計測を計画し、又、翼面の詳細圧力を計測する為、3D プリンタを使った特殊計測翼を設計した。



改良翼 従来翼
 図⑥-1 動翼チップ無次元相対流速(CFD 予
 測)



図⑥-2 動翼下流 高応答プローブ計測計画



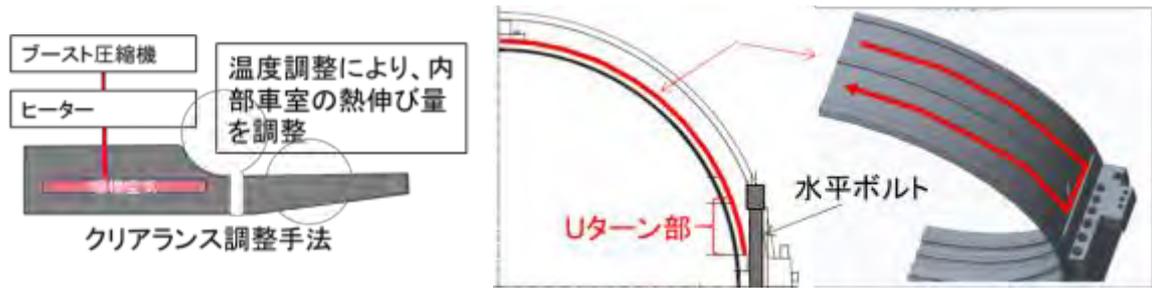
図⑥-3 後方段模擬試験装置

3.1.2-⑦ 高機能構造技術

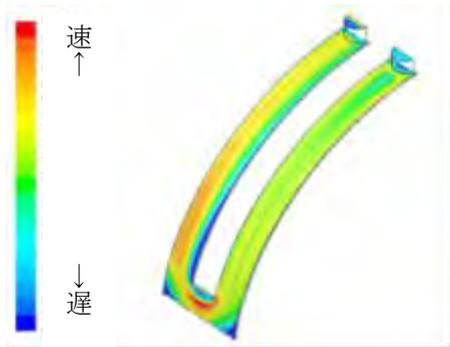
平成 29 年度は、昨年度選定した温度調整式（暖機式）アクティブ・クリアランス・コントロール（ACC）構造の計画を見直し、製造性やコスト面で優れた構造とした。更に、新構造について数値シミュレーション（FEM 解析、CFD）を用いたクリアランス改善量の検証を行った。

その結果、新構造についても、静翼保持環での変形を想定通りコントロールでき、現行のガスタービン（ACC なし）と比較して 0.5mm クリアランスが改善できることを数値シミュレーションにより検証した（図⑦-2、図⑦-3）。

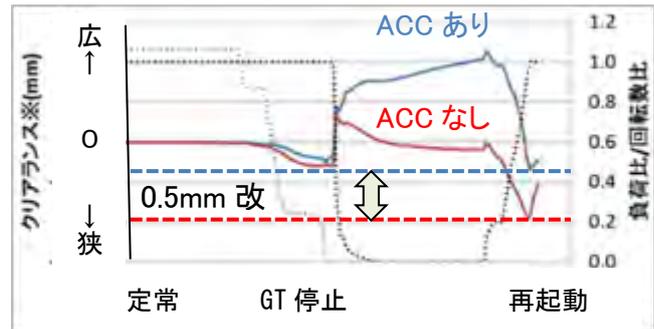
またクリアランスコントロールに加えて、正しく初期クリアランスを計測し、全周を均一に調整しておくことがクリアランス改善のためには必須であるため、初期クリアランス計測手法の検証に取り組んだ。その結果、接触式・非接触式の計測手法いずれについても目標精度（±0.1mm）を達成できることを実翼および T 地点（実機）にて検証した。



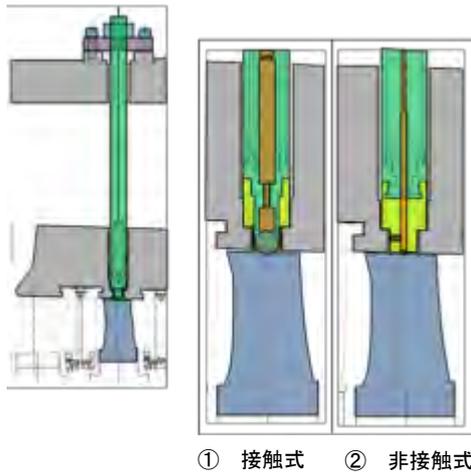
図⑦-1. クリアランスコントロール構造



図⑦-2 内部流路の流速分



図⑦-3. クリアランス履歴



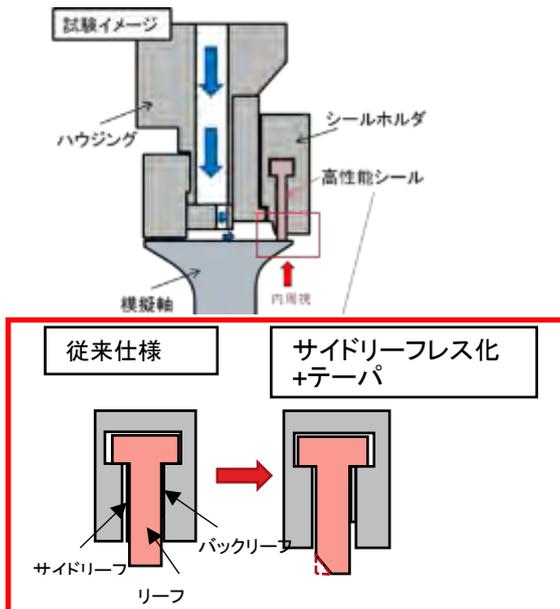
実翼を用いた計測精度検証の

図⑦-4 初期クリアランス計測手法の検証

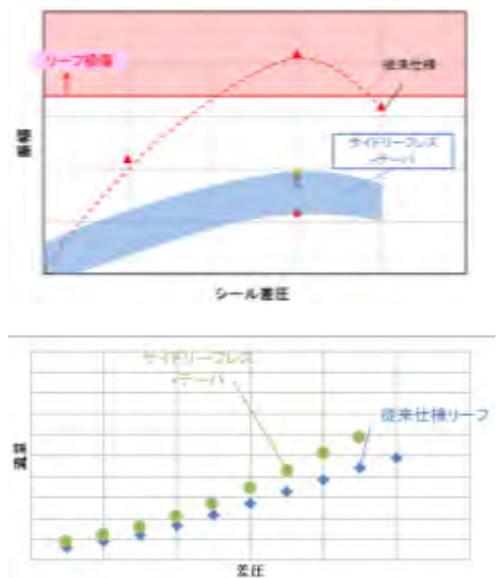
3.1.2-⑧ 高性能シール・高性能軸受

平成 29 年度は、昨年度実施した高温対応高性能シールおよび高負荷対応軸受のコンセプト設計に基づいてシール及び軸受特性の予測解析ならびに要素検証を行い、詳細設計に反映した。

高性能シール開発では、高温対応高性能シールの 1700℃級ガスタービンへの適用にあたって昨年度新たに考案した新コンセプト設計の設計パラメータの詳細検討を行い、それらのシール特性への影響評価を実施した。本年度は従来の仕様よりクリアランス変化が大きい部分への高性能シール適用が可能な新コンセプトのシール性能を図⑧-1 に示すような要素試験により明らかにし、図⑧-2 に示すような従来仕様よりも振幅が小さく、流量特性もほぼ同等のシール性能を実現していることを確認した。



図⑧-1 シール要素試験



図⑧-2 要素試験結果

また、高性能軸受開発では、高負荷対応時の課題である極低回転数域での軸受メタル損傷（塑性流動）事象分析のため、低速回転試験による摩擦係数、軸受メタル温度等の基礎データの取得（図⑧-3）を行うとともに、塑性流動改善構造の検討および試験評価を行った。試験では、1700℃級ガスタービン適用にあたって想定されるロータ表面うねりの有無および軸受パッド背面支持構造の違いによる軸受特性への影響も合わせて明らかにし、塑性流動抑制設計成立の目途を得た。（図⑧-4）

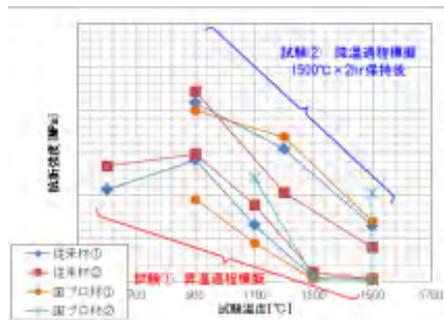
3.1.2-⑨

⑨-1 鑄造技術の更なる高度化

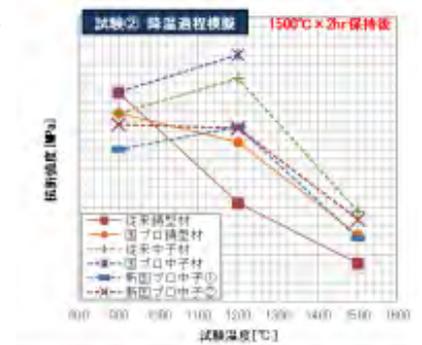
平成 29 年度は既往研究における単結晶試作翼の結晶欠陥発生状況と発生原因を評価し、鑄型設計の改良を行った上で、試作を実施した。翼面に欠陥が無く、翼面とプラットフォーム部も同一結晶方位からなる単結晶翼が得られ、改良設計の有効性を確認できた（図⑨-1-1）。更に、これまで開発した高強度鑄型材については鑄造プロセス中の強度特性変化を把握した（図⑨-1-2）。高強度中子材については、鑄物再結晶を抑制すべく、降温時の強度を低下させる組成調整手法を検討し、その効果を確認した（図⑨-1-3）。解析については鑄造時鑄物ひずみ計算の収束性を向上させるとともに試作翼の再現解析を行った（図⑨-1-4）。



図⑨-1-1 単結晶試作翼



図⑨-1-2 鑄型スラリ特性変化



図⑨-1-3 中子焼成時膨張量

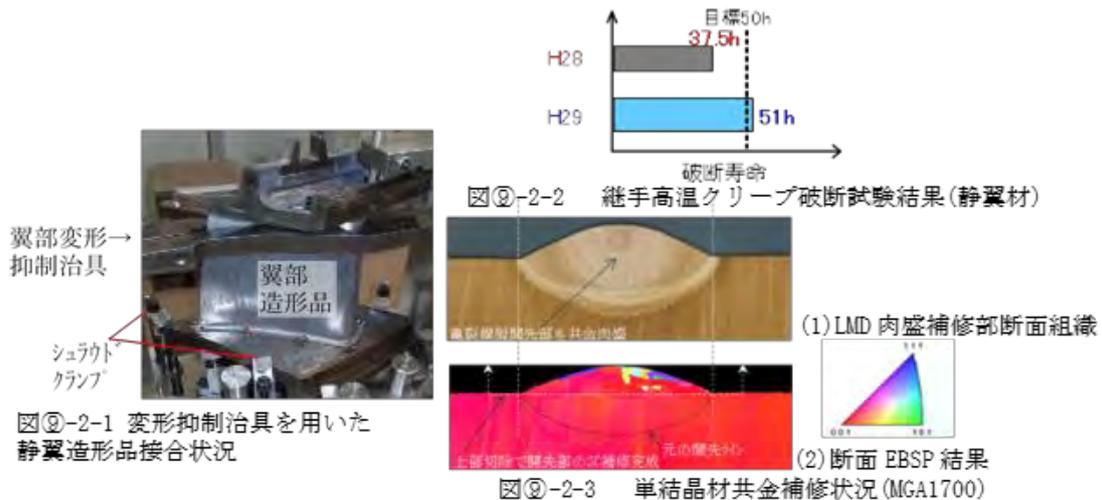


図⑨-1-4 ひずみ予測計算結果

3.1.2-⑨-2 溶接技術の更なる高度化

平成 28 年度は、溶接接合プロセスとして、3D 造形品の共金 LMD 接合技術を開発し、静翼を対象とした接合可能性検討を実施した。平成 29 年度は変形抑制用治具を試作し、良好な接合結果を得た (図⑨-2-1)。クリープ強度も良好な結果が得られつつある。(図⑨-2-2)

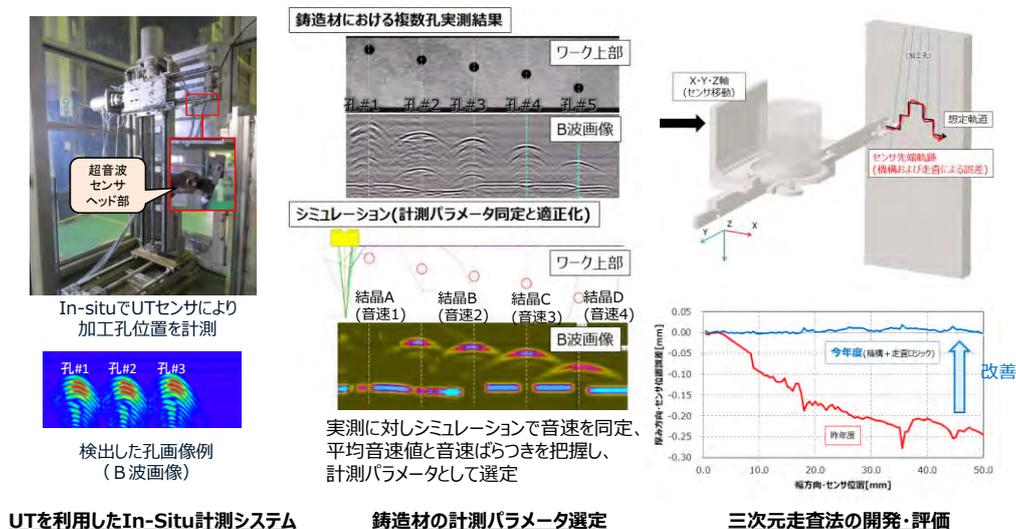
肉盛補修プロセスとして、単結晶材の共金 LMD 補修性検討を実施した。施工ヘッドや、条件の改良により、図⑨-2-3 のような良好な単結晶補修部を得た。補修部の引張強度は、同方位の鋳造母材と比較して、同程度であった。



3.1.2-⑨-3 孔あけ加工技術の更なる高度化

タービン翼(鋳造材)の高精度冷却孔加工技術については、これまで開発した in-situ での孔位置計測(図⑨-3 左)および加工制御手法の実用化に必要な複数孔を同時に計測する量産向け加工システムの開発, 検証を行った。

鋳造材に対する UT センサ信号のバラつきが最小となる計測パラメータ(音速等)の選定(図⑨-2 中)、及び複数孔同時計測向けの UT センサ 3 次元走査法の開発(図⑨-3 右)により計測安定性が向上し、実用化目途を得た。



図⑨-3 複数孔同時計測システムの開発

3.1.2-⑨-4 3次元層造形技術確立および応用技術の高度化

3次元積層技術では、GT 高温部品の冷却性能向上を狙いとし、昨年度開発した高温クリープ特性を向上させる材料組成改良材と高温熱処理プロセスを用いて GT 分割環の実機造形技術を開発し、2017 年秋から実証発電設備で実機検証試験を実施中である。具体的には、3D 積層造形物の物性値と強度データを取得して積層方向による異方性を考慮した設計線図を構築し、3D 積層造形した GT 分割環が実機使用環境でも要求強度を満足することを確認した。また、GT 分割環の造形から、熱処理、機械加工、コーティング、溶組までの一連の製造プロセスに対しても要求性能を満足することが確認できたため、2017 年秋から実証発電設備で 1620℃の世界最高レベルの温度環境での実機検証試験を開始した。2018 年 3 月の定期検査で、約 6 ヶ月間の運転による損傷や変形などの異常は認められず健全な状態であることを確認した。次年度は、3次元積層技術ならではの先進冷却構造を有する分割環や静翼の造形技術の開発を進める。



図⑨-4-1 3次元積層造形した GT 分割環



図⑨-4-2 実機検証中の GT 分割環

3.1.2-⑩ 鋳造プロセス設計システム

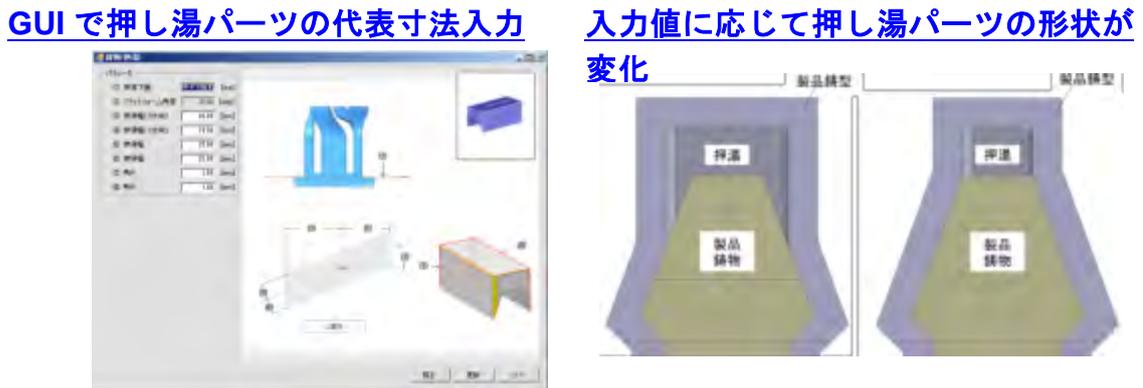
昨年度までの検討で、従来の鋳造プロセス設計では解析モデル作成工程がボトルネックとなっており、解析モデル・メッシュ自動生成システムの開発により、解析期間を大幅に短縮できる目処を得た。

平成 29 年度は、解析モデル・メッシュ自動生成システムの仕様を決定するとともに、鋳込み工程の解析である凝固-FEM 連成解析について、先行でシステム開発を完了させた。図⑩-1 に、凝固-FEM 連成解析モデル・メッシュ自動生成システムの全体フローと、自動生成メッシュを用いた凝固伝熱解析実施例を示す。開発したシステムでは、翼設計モデルを一部簡略化したモデルをインプットデータとして、中子や湯道等、全解析パーツの代表寸法とメッシュ分割幅を入力すれば、約 0.5 hr でモデル・メッシュが自動生成される。翼設計モデルの形状簡略化や、GUI 上での入力作業に要する時間は最大でも合計 5 hr 程度のため、本システムの開発により、従来約 2 週間を要していた凝固-FEM 連成解析モデル・メッシュ作成を、約 1 日に大幅短縮した。



図⑩-1 凝固-FEM 連成解析モデル・メッシュ自動生成システムのフローと解析結果例

開発したシステムでは、図⑩-2 に例を示すように、GUI 上でモデル寸法を入力するだけで、容易にモデル形状を変化させることができる。そのため、最初のモデル作成期間を短縮するだけでなく、作成したモデルの寸法変更も短時間で実施可能である。次年度には、他の鋳造プロセス（WAX 射出解析等）に対しても同様のシステム開発を実施し、鋳造プロセス全体の解析期間短縮に取り組む。



図⑩-2 凝固-FEM 連成解析モデルの寸法変更例

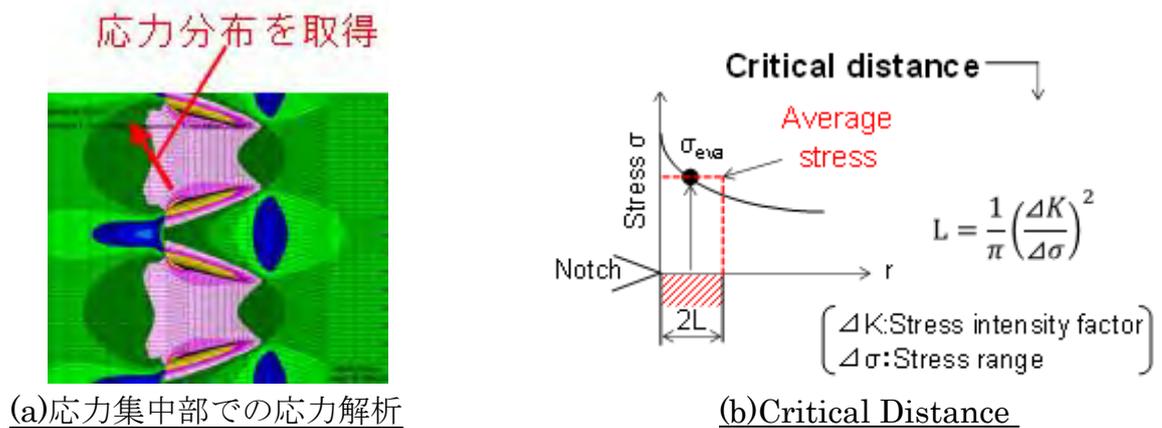
3.1.2-⑪ 超高温強度評価技術

平成 29 年度は、実機の複雑な冷却構造に伴い想定される応力場での疲労評価手法の提案を行うと共に、実機運転で予想される過酷な環境で想定される劣化を評価できる手法を提案した。

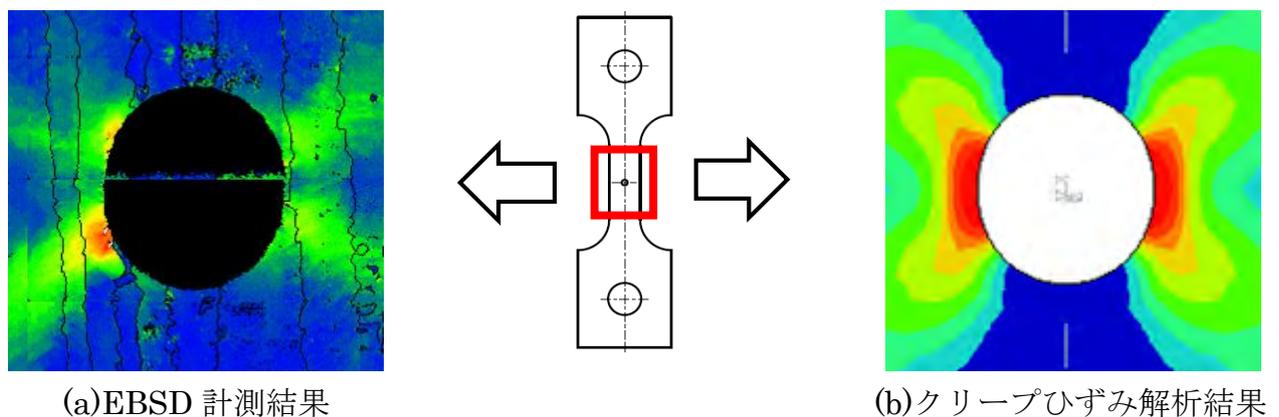
実機では複雑な冷却構造が採用され、複雑な応力分布となるが、これらに対し、Critical Distance 法を用いて、合理的に疲労寿命が評価できる手法を提案した。さらに、提案した手法を、想定される構造に適用し、疲労寿命が精度良く評価出来ることを確認した。(図 1)

また、ガスタービン高温部品では高温状態に長時間晒され、疲労やクリープのダメージも受けることから、劣化状態を確認しながら使用することが必要となる。これに対し、今年度は、 γ 相のラフト化に着目したクリープ劣化評価手法やEBSDを用いたクリープ劣化手法の提案を行った。(図 2)

H29 年度に提案した手法について、次年度検証を行うことで、目標とした、高温環境での材料劣化を考慮した実機温度・応力場における強度評価手法の構築は達成できる見込み。



図⑪-1 実機応力集中部での疲労評価手法



図⑪-2 EBSD を用いたクリープ劣化評価手法 (応力集中付クリープ試験片での)

3.1.2-⑫ 特殊計測技術

平成 28 年度は、T 地点で使用している海外センサを使用していたが、センサを国内メーカーで製作できないかを検討した。センサを国内製とすることで現状ネックとなっている、価格減、納期短縮について改善し、安定供給を可能にする。

センサ作成の仕様書を元に、調査会社、および社内取引先を利用して、調査を実施。面接を経て試作センサを製作した。

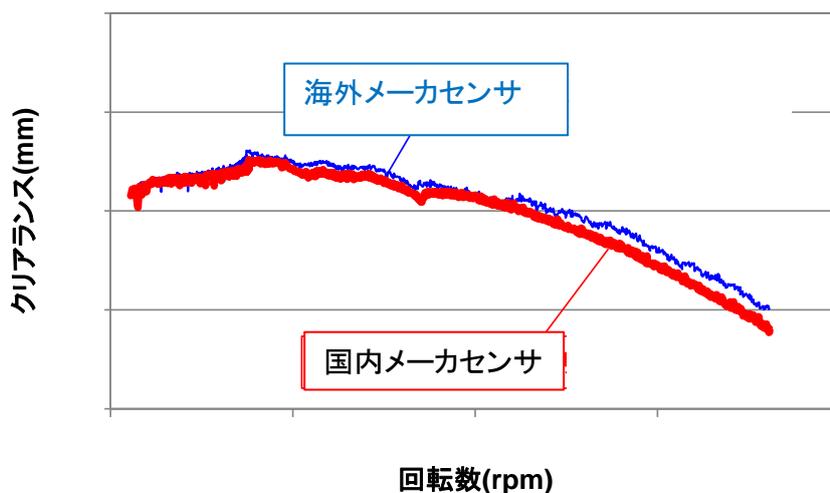
製作後、クリアランスセンサは電極間の絶縁の絶縁低下、短絡状態では計測ができないこと等の製作上の課題はあるが、部品構成や組立手順から、コストと納期の目標まで低減可能となった。

平成 29 年度は、改良を重ね、クリアランスセンサを製作し、検証試験を実施した。その結果、クリアランス出力が海外メーカーと同等であることを確認した。(図⑫-1、図⑫-2)

また、耐久性に難があり、絶縁不良発生を改善するために構造の再検討を実施した。今後製作・検証を実施する予定である。



図⑫-1 クリアランスセンサ



図⑫-2 クリアランス計測結果

⑬高精度・高機能検査技術

(1) 内部欠陥検査技術の開発

- ・平成 29 年度は、実翼形状の試験体に付与した欠陥を検出可能な手法の開発を行った。
- ・曲面への倣い性改善のため、曲率を考慮し小型化を図った ECT プローブ及び UT プローブ（マトリクスフェーズドアレイプローブ：PAUT）を適用した（図⑬-（1）-1）。
- ・表層部の欠陥に対しては、ECT 法及び表面ノイズ低減を図った PAUT 法（大屈折角 PAUT）を適用し、内部の欠陥に対しては、超音波の減衰低減を図った PAUT 法（小屈折角 PAUT）を適用した。
- ・検出性検証試験の結果、試作プローブにより付与した欠陥を検出可能であることを確認した。

欠陥位置	検出手法
表層部	 小型 ECT ← 大屈折角 PAUT
内部	 小屈折角 PAUT

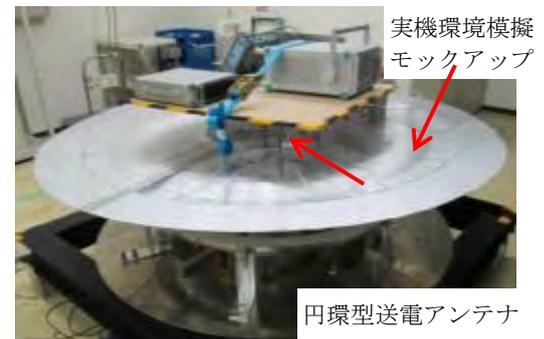
図⑬-（1）-1 小型欠陥検出プローブ

(2) ワイヤレスセンシング技術の開発

- ・平成 29 年度は無線給電装置のための要素モジュール開発として高出力発振装置の設計及び製作、送電アンテナの設計及び製作を行い、性能検証を行った。
- 1) 高出力発振装置として注入同期方式を適用し周波数の安定化を図ったマグネトロンを用いた発振装置の開発
 - 2) 回転するテレメータに常時給電するための円環型送電アンテナの開発
 - 3) 実機環境模擬モックアップを用いて、実機環境下で安定してワイヤレス給電装置が動作するか検証試験により確認した。



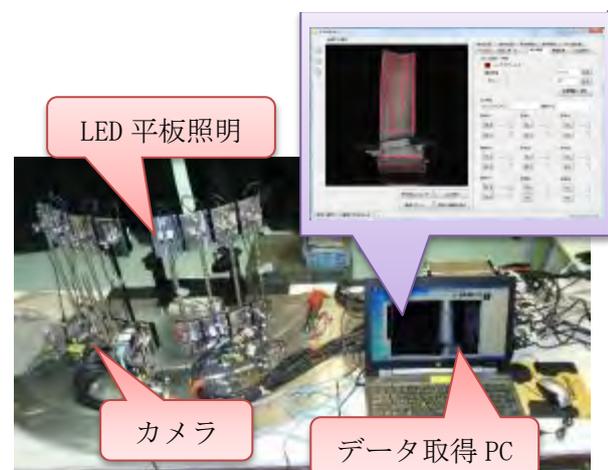
図⑬-（2）-1 マグネトロン発振装置



図⑬-（2）-2 実機環境下検証システム

(3) 再結晶検査技術

- ・平成 29 年度は、結晶配向性検査のための撮像部の設計及び試作機の製作を行い、検出アルゴリズムの検討を行った。具体的には、以下の 2 項目の開発を行った。
- 1) 複数方向から照明を照射し自動撮影する検証システムの設計及び装置開発（図⑬-（3）-1）。
 - 2) 複数の方向から照明を照射した画像において、輝度変化から結晶境界候補部を抽出し、それぞれの照射方向が異なる画像の処理結果を重ね合わせるにより結晶境界候補部を判定するアルゴリズムを開発



図⑬-（3）-1 試作した検証システム

3.2 AHAT 開発成果

3.2.1. AHAT 事業全体の評価

図 3.2.1-1 に、本事業の研究開発の計画及び実績日程を示す。

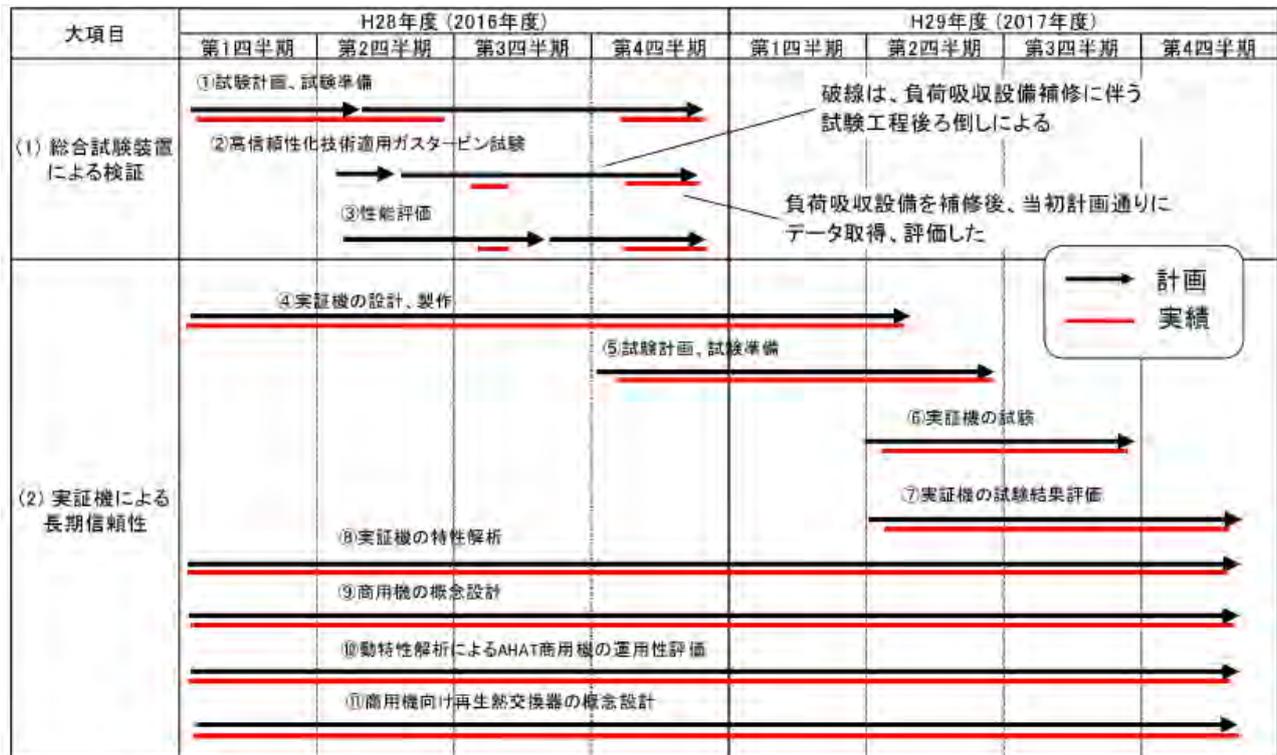


図 3.2.1-1 研究開発の計画及び実績日程

3.2.2. AHAT 研究開発項目毎の評価

3.2.2-① 総合試験装置による検証

H27 年度までの事業で高信頼性化要素技術として開発してきた技術を適用して、既存の 40MW 級総合試験装置のガスタービンを改造し、AHAT システムの商用機と同等の燃焼ガス温度条件で運転することにより、実証機に用いるガスタービン本体の高温での機械的信頼性を確認した。

3.2.2-①-① 試験計画、試験準備(主担当：MHPS)

ガスタービン本体の組み立て、据付工事を実施するとともに、試験内容の検討、性能分析に必要な計器類の検討、計器類の設置を行った。

3.2.2-①-②高信頼性化技術適用ガスタービン試験(主担当：MHPS)

高信頼性化技術を適用したガスタービンを AHAT システムの商用機と同等の燃焼ガス温度条件で運転し、ガスタービンに設置した計測機器により各部の温度、圧力、流量、振動値などの物理量を測定、収集するとともに、実証機に用いるガスタービン本体の高温での機械的信頼性を確認した。

2-①-③性能評価(主担当：MHPS)

収集したガスタービンの運転データを基に、計算プログラムなども活用し、ガスタービンの効率、出力等の性能を評価した。

3.2.2-② 実証機による長期信頼性

本テーマでは、実証機を建設することにより、ガスタービン本体の起動停止、負荷変化に伴う機械的信頼性、プラント機器の乾湿の繰り返しによる耐腐食性、排ガスからの回収水の処理方法と再利用を継続した場合の水質維持の確認、水系配管の耐腐食性を検証した。

3.2.2-②-① 実証機の設計、製作(主担当：MHPS)

図 3.2.2-②-①-1 に示す構成の高湿分空気利用ガスタービンの実証機を設計・製作し、平成 29 年 7 月に試運転を完了させた。図 3.2.2-②-①-2 に、実証機のプラント全景写真を示す。

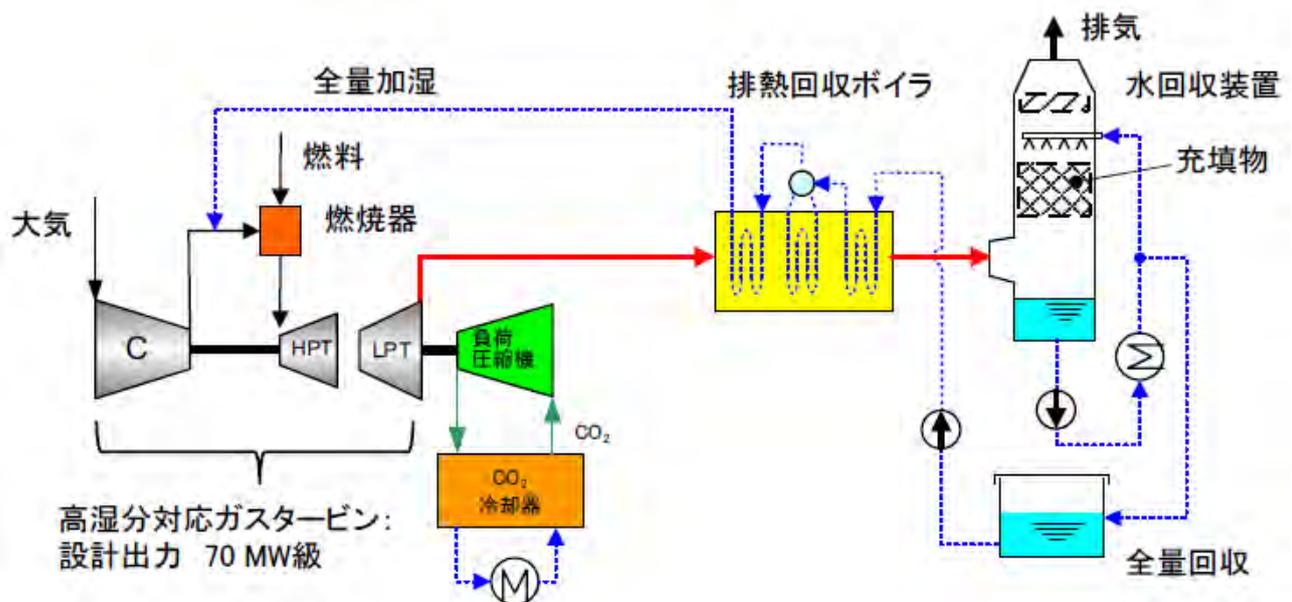




図 3. 2. 2-②-①-2 実証機のプラント全景写真（平成 29 年 7 月）

3. 2. 2-②-② 試験計画、試験準備（主担当：MHPS）

試験内容の検討、性能分析に必要なガスタービン本体の温度、圧力、流量、振動値などの計器類を検討し、これら計器類を設置した。

3. 2. 2-②-③ 実証機の試験（主担当：MHPS、協力：電中研）

実証機の運転日数、起動回数、等価運転時間等を表 3. 2. 2-②-③-1 に示す。H29/6/26 にガスタービンを初点火し、6/29 までに点火試験、排熱回収ボイラの温水洗浄および蒸気系統のフリーブローを行なった。その後プラント配管を復旧し、7/7 から 7/23 まで負荷試験を行なった。負荷試験では蒸気投入時の各部挙動の確認および制御調整、無負荷 (FSNL; Full Speed No Load) 条件および 20MW (ボトミング設備容量計画負荷) 条件での性能確認を行った。その後、8/7~10/25 まで長期信頼性を実施した後、11/12、16、17 に負荷試験を行ない、負荷変化率を大きくした場合にも安定した負荷変化が可能なことを確認した。

6/26-11/17 の累積起動回数は 121 回、等価運転時間は 10,461 時間となった。

プラント系の運転時間(循環水ポンプを運転した時間)は約 350 時間であり、水系の配管内に設置した材料試験片が循環水の環境に浸漬された時間は 3,500 時間となった。

表 3.2.2-②-③-1 実証機の運転日数、起動回数、等価運転時間等

月	運転日数等	備考
平成 29 年 6 月	4 日	プラント試運転
7 月	8 日	負荷試験
8 月	7 日	長期信頼性試験
9 月	15 日	〃
10 月	13 日	〃
11 月	3 日	急速起動/負荷変化試験
起動回数	121 回	当初目標値：100 回
ガスタービン等価運転時間	10,461 時間	当初目標値：10,000 時間
プラント累積運転時間	350 時間	7 時間/日
材料試験片浸漬時間	3,500 時間	水系配管内で材料試験片が循環水等に浸漬された時間

3.2.2-②-④ 実証機の試験結果評価(主担当：MHPS、協力：電中研)

実証機の運転により、当初計画した実証項目に関し、表 3.2.2-②-④-1 に示す結果を得た。

表 3.2.2-②-④-1 実証機の試験結果まとめ

機器	実証内容	結果
圧縮機	乾燥⇄加湿切替時のサージ安定性の確認	無負荷および定格負荷でガスタービンに蒸気注入する試験により、圧縮機の動作点は高圧力比側へ変化するが、サージマージンは、無負荷、20MW 負荷それぞれで設計許容値以上を確保でき、安定に運転できることを確認した。
燃焼器	乾燥⇄加湿切替時の燃焼安定性の確認	無負荷状態から加湿し定格負荷に至る段階で燃焼振動などの異常は発生せず NOx、CO 値も計画範囲内にあることを確認した。
	水蒸気酸化、高温腐食	実証機試験の前後に燃焼器内部をボアスコープ点検し、外観上の異常無しを確認した。
タービン	高湿分排ガスによる翼の熱負荷の確認	<ul style="list-style-type: none"> ・H28 年度に製作した高信頼性化技術適用ガスタービンの翼冷却技術(シェイプト孔)により、実証機のタービン翼は冷却空気量を削減しつつ、許容温度以下まで冷却できていることを確認。 ・実証機の試験結果を用いて定格燃焼ガス温度の場合のタービン翼メタル温度を推定した結果、高湿分条件では従来よりも熱負荷が大きいものの、許容温度以下に冷却できる見込みを得た。
	水蒸気酸化、高温腐食	実証機試験の前後にタービン動静翼全 4 段をボアスコープ点検し、外観上の異常無しを確認した。
排熱回収機器	排ガス側の乾湿の繰り返しによる腐食	排ガス側は、121 回の乾湿の繰り返しの結果、フィンの端部に薄い発錆が見られたがチューブ外面には発錆は見られなかった。
	水側の腐食	<ul style="list-style-type: none"> ・循環水系統、給水系統に設置した試験片のスケール(被膜)の分析の結果、排ガスからの回収水固有の不純物である硝酸イオン、亜硝酸イオン、硫酸イオン由来の成分は無いことが判った。 ・スケール除去後の質量変化から導出した腐食量は、炭素鋼、アルミ合金鋼、低合金鋼に関し、最大でも 0.2 mm/年以下であり従来のボイラ用の材料が適用可能と考えられる。
水系配管	腐食	<ul style="list-style-type: none"> ・水回収循環水はアミン系中和剤で pH 調整した結果、初回に中和剤を添加することにより、その後の運転期間中は中和剤の添加無しで目標 pH、電気伝導率に維持できることが確認できた。 ・回収水およびボイラ給水の導電率、不純物イオン濃度は、ボイラ給水基準に適合しており、ボイラ給水基準に規定の無い硫酸イオン、亜硝酸イオン、硝酸イオン濃度は濃度が低いとともにスケール(被膜)中の成分にも含まれておらず腐食に影響は無しと判断する。
水質変化	排ガスからの回収水の処理方法と再利用を継続した場合の水質維持の確認	<ul style="list-style-type: none"> ・水回収循環水はアミン系中和剤で pH 調整した結果、初回に中和剤を添加することにより、その後の運転期間中は中和剤の添加無しで目標 pH、電気伝導率に維持できることが確認できた。 ・回収水およびボイラ給水の導電率、不純物イオン濃度は、ボイラ給水基準に適合しており、ボイラ給水基準に規定の無い硫酸イオン、亜硝酸イオン、硝酸イオン濃度は濃度が低いとともにスケール(被膜)中の成分にも含まれておらず腐食に影響は無しと判断する。

3.2.2-②-⑤ 実証機の特性解析(主担当：電中研、協力：MHPS)

実証機試験から、ガスタービンへの加湿により出力と熱効率が向上することを確認した。これらの向上分が熱効率解析シミュレーション結果と同程度であったため、理論通りの加湿効果が得られることを実証できた。また、大気温度変化による出力と熱効率の変化について、大気温度が高くなると、ガスタービンの一般的な特性により低下が見られたが、加湿しなかった場合の熱効率解析シミュレーション結果に比べて低下が少なかったため、加湿により大気温度上昇による出力や熱効率の低下を抑制できることを示すことができた。

3.2.2-②-⑥ 商用機概念設計(主担当：MHPS、協力：電中研)

商用機スケールの AHAT システムの概念設計を実施した。H28 年度はシステムの系統構成の検討、機器仕様の検討、機器外形の検討などを実施した。表 3.2.2-②-⑥-1 に、概念設計で検討した AHAT システムの主要機器仕様を示す。H29 年度は、これらの系統構成や機器仕様、外形を基に、システムの運用性(電力中央研究所担当)、再生熱交換器の検討(住友精密工業担当)、プラントの配置の検討(MHPS)などの概念設計を実施した。

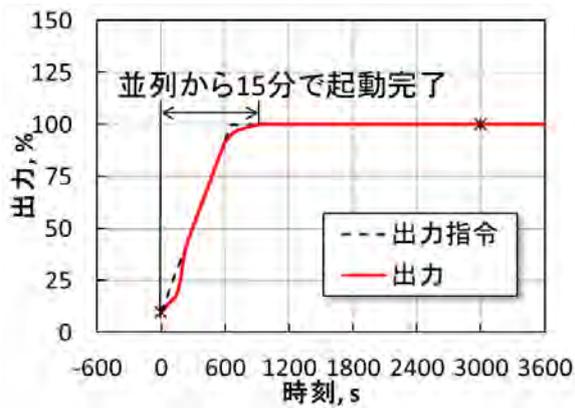
本検討では、10 万 kW クラスのガスタービンをベースとしたプラント機器仕様を想定しており、システムとしての発電端出力は約 160MW、発電端効率は約 57.0%(LHV 基準)と評価した。

表 3.2.2-②-⑥-1 概念設計で検討した AHAT システムの主要機器仕様

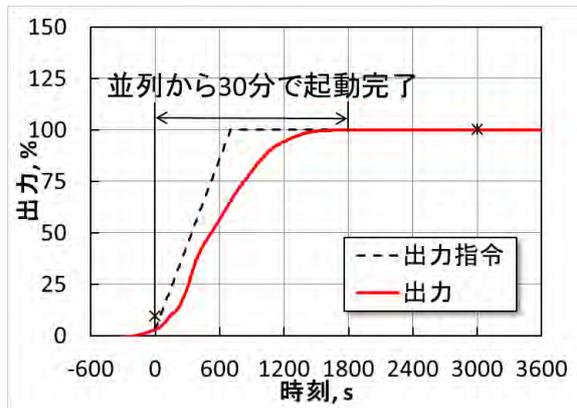
機器名	項目	仕様
ガスタービン	形式	開放単純サイクル型
	容量	100 MW級(シンプルサイクル時)
	圧縮機	・軸流圧縮機 ・吸気噴霧冷却付き
	燃焼器	多缶式燃焼器 (高温分対応)
	タービン	軸流タービン
発電機	形式	3相交流同期発電機
	容量	162 MW
再生熱交換器	形式	プレートフィン式
	容量	100% × 1台
増湿塔	形式	形式
	容量	50% × 2塔
水回収装置	形式	充填物式
	容量	100% × 1塔
	放熱方式	水冷式および空冷式を検討

3.2.2-②-⑦ 動特性解析による AHAT 商用機の運用性評価（主担当：電中研、協力：MHPS）

商用機スケールの動特性解析モデルによるシミュレーションから、並列から定格負荷までの起動時間について、ガスタービン出口ガス温度等の各種制限値を超えることなく、図 3.2.2-②-⑦-1 に示すようにホットスタートの場合 15 分、コールドスタートの場合 30 分を達成できることを示し、従来のガスタービンコンバインドに比べ、1/2 および 1/3 程度の起動時間と評価した。また、負荷変化率について、50%~90%負荷においては 15%/分で負荷追従可能と評価した。



(1) ホットスタート



(2) コールドスタート

図 3. 2. 2-②-⑦-1 動特性解析シミュレーションによる商用機スケール AHAT の起動特性

3. 2. 2-②-⑧ 商用機向け再生熱交換器の概念設計 (主担当：住友精密、協力：MHPS)

大容量かつ低コストを図るために、中間に配置する中間コアを大型化してコア積層数を低減しつつ大型のブロックとする構造を検討した。

GT の起動停止の動特性シミュレーション結果と熱応力解析結果から、低サイクル疲労が蓄積する位置と時期を予測し、メンテナンス計画を策定した。

4. 成果の実用化に向けた取組み及び見通しについて

4.1. 1700℃ 成果の実用化に向けた取組み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。H32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℃実証運転を行い、その後、長期検証試験を実施しながら、H34年度から販売を開始し、H35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*	売上	収益 (利益率15%)
1年目 (H34年度)	500億円	5台	2,500億円	375億円
2年目 (H35年度)	500億円	10台	5,000億円	750億円
3年目 (H36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1600℃級⇒1700℃級の中間の機種として1650℃級ガスタービンの実用化を計画している。発電端効率は、C/C効率63%LHV(57.1%HHV)超を計画している。現状実力を以下に示す。GE社も今後数年内に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 9HA.02	C/C効率 62.7%LHV (56.8%HHV)	出力 755MW	
MHI M701J	C/C効率 61.7%LHV (55.9%HHV)	出力 680MW	(LHV:低位発熱量 HHV:高)

位発熱量 基準)

注：記載の効率は発電端効率。送電端効率は通常この値より1～2%低い。

4.2. AHAT 成果の実用化に向けた取組み及び見通しについて

(1) 成果の事業化計画

AHAT システムは、本事業により長期信頼性を確認するとともに、本事業で実施中の商用機の概念設計により運用性、経済性、環境性などを明らかにした。今後、ユーザー候補とのFS(事業性評価)を実施しユーザーニーズと合致していることを確認して製品化することを目指している。想定している事業化スケジュールを表4.2-1に示す。販売開始をH35年度(2023年度)とした場合の製品の売上台数の見通しを表4.2-2に示す。世界全体のガスタービン発電市場は国内発電市場の10倍以上の規模があり、輸出の見通しとしては同表に記載した売上台数の90%以上の見通しとなる。

表4.2-1 事業化のスケジュール

年度	H30年度 (2018年度)	H31年度 (2019年度)	H32年度 (2020年度)	H33年度 (2021年度)	H34年度 (2022年度)	H35年度 以降
製品PR、 ユーザー候補とのFS	ユーザー候補とのFS(事業性評価)					
詳細設計			詳細設計			
設備投資			設備投資			
生産				生産		
販売						販売
収益発生						収益発生

表 4.2-2 販売開始を H35 年度 (2023 年度) とした場合の売上台数見通し

年度	売上台数の見通し [台/年]
1年目(H35年度)	1
2年目(H36年度)	2
3年目(H37年度)	3
4年目(H38年度)	5
5年目(H39年度)	6

P 1 6 0 0 2
P 1 0 0 1 6
P 9 2 0 0 3

「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

平成27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、平成28年6月に官民協議会で策定した「次世代火力発電に係る技術ロードマップ」においては、火力発電の高効率化、CO₂削減を実現するため、次世代の火力発電技術の早期確立を目指すこととしている。

②我が国の状況

我が国の火力発電の熱効率の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CO₂削減を実現しうるCO₂の回収・貯留・利用（CCUS）の技術の開発・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が進められている。

③世界の取組状況

地球温暖化問題の対策として、CO₂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 I G C C や先進的超々臨界圧火力発電（A-U S C）、高効率ガスタービン等の開発が進められている。また、大幅な C O₂削減を達成するため、C O₂分離・回収を行った I G C C や C S-E O R（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。

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（I G F C）の実証事業をはじめ、石炭火力、L N G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 C O₂排出量をゼロに近づける切り札となる技術として、火力発電所から発生する大量の C O₂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、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。

（2）研究開発の目標

①アウトプット目標

本事業を通じて、発電効率の大幅向上や C O₂分離・回収後においても高効率を維持すること及び C O₂有効利用等、C O₂排出の削減に寄与する革新的な次世代火力発電技術の確立を目指す。

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 L N G火力においては、将来のガスタービン燃料電池複合発電（G T F C）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、I G F C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、C C U Sの実現に向け、C O₂分離・回収コスト1,000円台/t-C O₂という大幅な低減を達成する。また、C O₂有効利用の一例として、天然ガスパイプラインの許容圧力変動による、負荷変動対応能力は、6,000万kWと推定される。そのうち、1割を C O₂由来のメタンで代替すると、1,300億円を獲得する。

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、L N G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。

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分離・回収・有効利用等に関する調査、開発及び実証を実施する。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。

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IGCC実証 (1/3助成)
- 2) CO₂分離・回収型酸素吹IGCC実証 (1/3, 2/3助成)
- 3) CO₂分離・回収型IGFC実証 (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 (2/3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) 石炭火力の競争力強化技術開発
- 7) CO₂有効利用技術開発
- 8) 流動床ガス化燃焼を応用した石炭利用技術開発 (新規)
- 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 (新規)

研究開発項目⑤ CO₂回収型次世代IGCC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)]

3. 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 高橋洋一、PL：大崎クールジェン株式会社 木田淳志

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 山中康朗、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 高橋洋一、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 高橋洋一、PL：電源開発株式会社 早川宏

5) CO₂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) 石炭火力の競争力強化技術開発

PM：NEDO 中元崇、PL：契約毎に設置

7) CO₂有効利用技術開発

PM：NEDO 村上武、PL：NEDOにおいて選定

8) 流動床ガス化燃焼を応用した石炭利用技術開発

PM：NEDO 名久井博之、PL：NEDOにおいて選定

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 中元崇、PL：NEDOにおいて選定

研究開発項目⑤ CO₂回収型次世代IGCC技術開発

PM：NEDO 足立啓、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 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

(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。

4. 研究開発の実施期間

本事業の実施期間は、平成28年度から平成33年度までの6年間とする。なお、研究開発項目①及び②は平成24年度から平成27年度、研究開発項目③は平成20年度から平成27年度まで経済産業省により実施したが、平成28年度からNEDOが実施している。

5. 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う。

評価の時期については、研究開発項目①は、中間評価を平成29年度及び平成31年度、事後評価を平成34年度に実施する。研究開発項目②は、中間評価を平成30年度、事後評価を平成33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)は事後評価を平成30年度に実施し、3)、4)、6)及び8)は、事後評価を平成32年度に実施し、5)は中間評価を平成29年度、事後評価を平成30年度に実施し、7)は前倒し事後評価を平成31年度に実施し、9)は前倒し事後評価を平成33年度に実施する。研究開発項目⑤は、中間評価を平成29年度、前倒し事後評価を平成32年度に実施する。研究開発項目⑥は、その調査内容に応じて研究開発項目①から⑤、⑦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、事後評価を平成33年度に実施する。

6. 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④次世代火力発電基盤技術開発は、「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④次世代火力発電基盤技術開発8)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

PMI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) 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。

7. 基本計画の改訂履歴

(1) 平成28年1月、基本計画制定。

(2) 平成28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) 平成28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) 平成29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) CO₂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) 平成29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) 平成29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、平成29年度に中間評価を実施する。

(7) 平成30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) 機動性に優れた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

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)平成30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)、6)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)。

別紙 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、燃焼時の単位発電量当たりのCO₂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CO₂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CO₂排出量削減の観点から本事業を実施する必要性がある。

平成26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、平成26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CO₂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CO₂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CO₂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CO₂分離・回収を組合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) CO₂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CO₂分離・回収設備を組み合わせ、CO₂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、CO₂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。

3) CO₂分離・回収型IGFC実証（1／2助成）

CO₂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CO₂分離・回収型IGFCシステムの実証を行う。

2. 達成目標

[実施期間]

酸素吹IGCC実証：平成24年度～30年度（うち平成24年度～27年度は経済産業省において実施）

CO₂分離・回収型酸素吹IGCC実証：平成28～32年度

CO₂分離・回収型IGFC実証：平成30年度～33年度

[中間目標（平成29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_x<8ppm」、 「NO_x<5ppm」、 「ばいじん<3mg/Nm³」を達成する（O₂=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) CO₂分離・回収型酸素吹IGCC実証

CO₂分離・回収設備の詳細設計を完了する。

[最終目標（平成30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 I G C C 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 I G C C 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。

[最終目標（平成32年度）]

2) CO₂分離・回収型酸素吹 I G C C 実証

(a) 基本性能（発電効率）：新設商用機において、CO₂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。

CO₂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、CO₂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。また、実証試験における数値目標を明確化する。

(b) 基本性能（回収効率・純度）：CO₂分離・回収装置における「CO₂回収効率>90%」、「回収CO₂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CO₂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。CO₂地中貯留から求められる可能性があるCO₂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：CO₂分離・回収型 I G C C 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、CO₂分離・回収型酸素吹 I G C C 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、I G C C 本体に追従したCO₂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CO₂分離した場合の I G C C 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CO₂分離・回収の費用原単位を評価する。

CO₂分離・回収型酸素吹 I G C C 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、CO₂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) I G C C プラント運用性：

CO₂分離・回収装置を追設した場合の I G C C 運転への影響を確認し、運用性を検証する。

[最終目標（平成33年度）]

3) CO₂分離・回収型IGFC実証

500MW級の商業機に適用した場合に、CO₂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。

別紙 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：平成24年度～32年度（うち平成24年度～27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（A H A T）：平成24年度～29年度（うち平成24年度～27年度は経済産業省において実施）

1. 研究開発の必要性

平成20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、平成23年8月に制定された「第4期科学技術基本計画」においては、安定的なエネルギー供給と低炭素化の実現のため火力発電の高効率化に資する技術開発は重点的な取組として位置づけられている。

欧米は巨額の研究開発費を投じており、厳しい国際競争の中で我が国の優位性を維持するため、また電力産業の保守高度化とリプレース需要にあった大容量機の高効率化を目指し、コンバインド効率向上、CO₂排出量削減を達成するため、1700℃級に必要な革新的技術開発に取り組み、早期に実用化する事が必要である。

また、高温分空気利用ガスタービン（A H A T）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A H A T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（I G C C）や石炭ガス化燃料電池複合発電（I G F C）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A H A T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) A H A T

A H A T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（平成30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（平成32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) A H A T

[最終目標（平成29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）

別紙. 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]平成20年度～28年度（うち平成20年度～27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（平成28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。

別紙 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]平成27年度～30年度（うち平成27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（平成26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（平成29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（平成30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。

平成30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。

別紙. 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]平成27年度～29年度（うち平成27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る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（平成29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。

別紙. 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]平成28年度～31年度

1. 研究開発の必要性

平成27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、CO₂排出原単位：280g-CO₂/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、2020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

[最終目標（平成31年度）]

中小型GTFC（10万kW）の要素技術を確立する。

- ・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（燃料器、燃料／空気差圧制御系、排燃料・排空気・空気抽気）。

別紙 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]平成28年度～31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、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、CO₂分離・回収を行わないIGFCとCO₂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H₂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

[最終目標（平成31年度）]

（1）IGFCシステムの検討

IGFC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

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。

別紙 研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

5) CO₂分離型化学燃焼石炭利用技術開発

[実施期間]平成27年度～29年度（うち平成27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（平成26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CO₂の分離・回収技術の開発が進められているが、CO₂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、CO₂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CO₂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、CO₂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、CO₂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CO₂の分離・回収が可能である。

さらに、CO₂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CO₂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（平成29年度）]

分離・回収コスト1,000円台／t- CO_2 を見通せるキャリアを選定する。

[最終目標（平成32年度）]

分離・回収コスト1,000円台／t- CO_2 を見通せる CO_2 分離型化学燃焼石炭火力発電システムを提示する。

平成29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、基本的に研究開発を見直す必要があると考えた。従って平成29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) 石炭火力の競争力強化技術開発

[実施期間]平成29年度～31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。

そこで、日本の高効率発電技術と共にユーザーニーズに的確にマッチングした日本の高いO&M品質を長期保守契約（LTSA）で提供するビジネスモデルを構築することで、結果として日本の石炭火力発電所の競争力が向上すると考えられることから、LTSAを実現するために必要な技術開発を実施する。

2. 具体的研究内容

LTSAを実現するために必要な各種モニタリング・センシング・解析等の要素技術を特定、開発し、発電所における技術実証に活用する。

3. 達成目標

[最終目標（平成31年度）]

LTSAを実現するために必要な各種モニタリング・センシング・解析等の要素技術を確立する。

研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

7) CO₂有効利用技術開発

[実施期間]平成29年度～31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CO₂排出量が比較的多く、将来的にCO₂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CO₂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CO₂有効利用技術=CCU (Carbon Capture and Utilization) 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CO₂ (99%以上)を、エネルギーとして工業的に活用可能な国産の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CO₂の適用性を評価する。

3. 達成目標

[最終目標 (平成31年度)]

事業終了時に本事業として実施するCO₂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) 流動床ガス化燃焼を応用した石炭利用技術開発

[実施期間]平成30年度～32年度

1. 研究開発の必要性

エネルギー基本計画（平成26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。

石炭火力からのCO₂排出抑制技術としては、CO₂の分離・回収技術があるが、エネルギー損失が大きいことから、発電システムとしてCO₂を分離・回収できる流動床ガス化燃焼を適用した技術が有望視されている。

本技術の適用先としては、枯渇油田の増加に伴いCO₂-EOR市場が拡大傾向にあることから、その市場への導入を目指し、実機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

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、CO₂、水蒸気、煤塵となる。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CO₂ガスのみが分離回収できる。

本技術は流動床を用いていることから多様な燃料（低品位炭、バイオマス等）に活用でき、中小規模（100MW級）の発電に適用できる。また、別置きのCO₂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CO₂の分離・回収が可能となる。

これまでの試験で、有望な流動材（酸素キャリア）の選定に見通しが得られていることから、実機設計技術の確立を目指し、以下の課題を実施する。

(1) 煤発生抑制技術開発

ガス化炭化水素からの煤発生に対して、ガス化触媒(CaO)による生成抑制を検証する。

(2) プラント設計に向けた検討

実機運転を想定した起動、停止、負荷変化時の運転・制御性の検討、排ガスや廃棄流動材（酸素キャリア）の環境影響評価、並びに長時間運転時の課題検討を実施する。

3. 達成目標

[最終目標（平成32年度）]

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

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]平成30年度～33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、起動時間が長い、出力変化速度が遅い、最低負荷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機動力（起動時間10分、出力変化速度20%/分、最低負荷引き下げにより所内単独運転可能）と再エネ出力不調時のバックアップ電源（定格効率は現状レベルを維持、かつ1/2負荷時の定格からの効率低下が相対値で-7%）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、実機に組み込む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。

3. 達成目標

[最終目標（平成33年度）]

- ・GTCCで起動時間10分、出力変化速度20%/分、定格効率は現状レベルを維持、かつ、1/2負荷時の定格から効率低下が相対値で-7%を実現の目途を得るために、燃焼器単缶試験により、無負荷から定格まで5分で到達することを確認する。
- ・レトロフィットによる実証サイトにおける課題抽出を完了。

研究開発項目⑤ 「CO₂回収型次世代IGCC技術開発」

[実施期間]平成27年度～32年度（うち平成27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（平成26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CO₂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を効率でしのご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CO₂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CO₂を一部系統内にリサイクルすることにより、CO₂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、CO₂の100%回収が可能であるため、CO₂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。CO₂回収型クローズドIGCCの実現に向けては、平成20年度から平成26年度まで実施した「CO₂回収型次世代IGCC技術開発」において、石炭投入量3t/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CO₂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50t/d規模のガス化炉を用いた、O₂/CO₂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。

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

3. 達成目標

[中間目標 (平成29年度)]

CO₂回収型クローズドIGCC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 (平成32年度)]

CO₂回収型クローズドIGCCについては、平成31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、平成30年度までに既存の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。

両技術の相乗効果として、平成32年度までにCO₂回収型クローズドIGCC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]平成28年度～33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CO₂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、そして、CO₂の回収、貯留・利用の推進が重要である。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、国内外の石炭利用技術分野における最新技術の普及可能性及び技術開発動向等の調査や新規技術開発シーズ発掘のための、CCT関連やCCS関連の調査を実施する。また、IEA/CCC（Clean Coal Centre）、IEA/FBC（Fluidized Bed Combustion）、GCCSI（Global CCS Institute）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石炭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、低コスト高効率石炭火力発電システム実現に向けた検討や石炭火力発電へのバイオマス利用拡大のための調査および先導研究を進める。

3. 達成目標

[最終目標（平成33年度）]

石炭利用技術分野において、CO₂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CCTの導入に向けた取組を行う。

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]平成29年度～32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

[最終目標（平成32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。

研究開発スケジュール

◇ 中間評価、◆ 事後評価

年度(平成)	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	
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) CO2分離・回収型酸素吹IGCC実証(2/3、1/3助成) 3) CO2分離・回収型IGFC実証(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(2/3助成) 2) 高温分空気利用ガスタービン(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) CO2分離型化学燃焼石炭利用技術開発(委託)										※2						
6) 石炭火力の競争力強化技術開発(委託)																◆
7) CO2有効利用技術開発(委託)																◆
8) 流動床ガス化燃焼を応用した石炭利用技術開発(委託)																◆
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(委託)																◆
研究開発項目⑤ CO2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)																◆

※1 経済産業省にて実施したプロジェクトでH28年度からNEDOへ移管
 ※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

2. 分科会公開資料

次ページより、プロジェクト推進部署・実施者が、分科会においてプロジェクトを説明する際に使用した資料を示す。

「次世代火力等技術開発 /②高効率ガスタービン技術実証事業」 (中間評価)

(平成28年度～平成32年度 5年間)
プロジェクトの概要 (公開)

NEDO
環境部
平成30年9月10日

0

次世代火力発電等技術開発 評価テーマ



※1 経済産業省にて実施したプロジェクトでH28年度からNEDOへ移管
※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

1

移管前事業との関係

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、平成23年度に事業開始前の事前評価、平成25年度に中間評価を行い、また平成27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->

1700°C級

- (1) 1700°C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) 平成28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。

AHAT

- (1) ユーザーに求められる起動・停止数50回/年以上を上回る100回/年以上の起動・停止数での運転の実証試験を実施することに加えて、等価運転時間目標10,000時間以上を目標とする。

<NEDOへの事業継承の狙い>

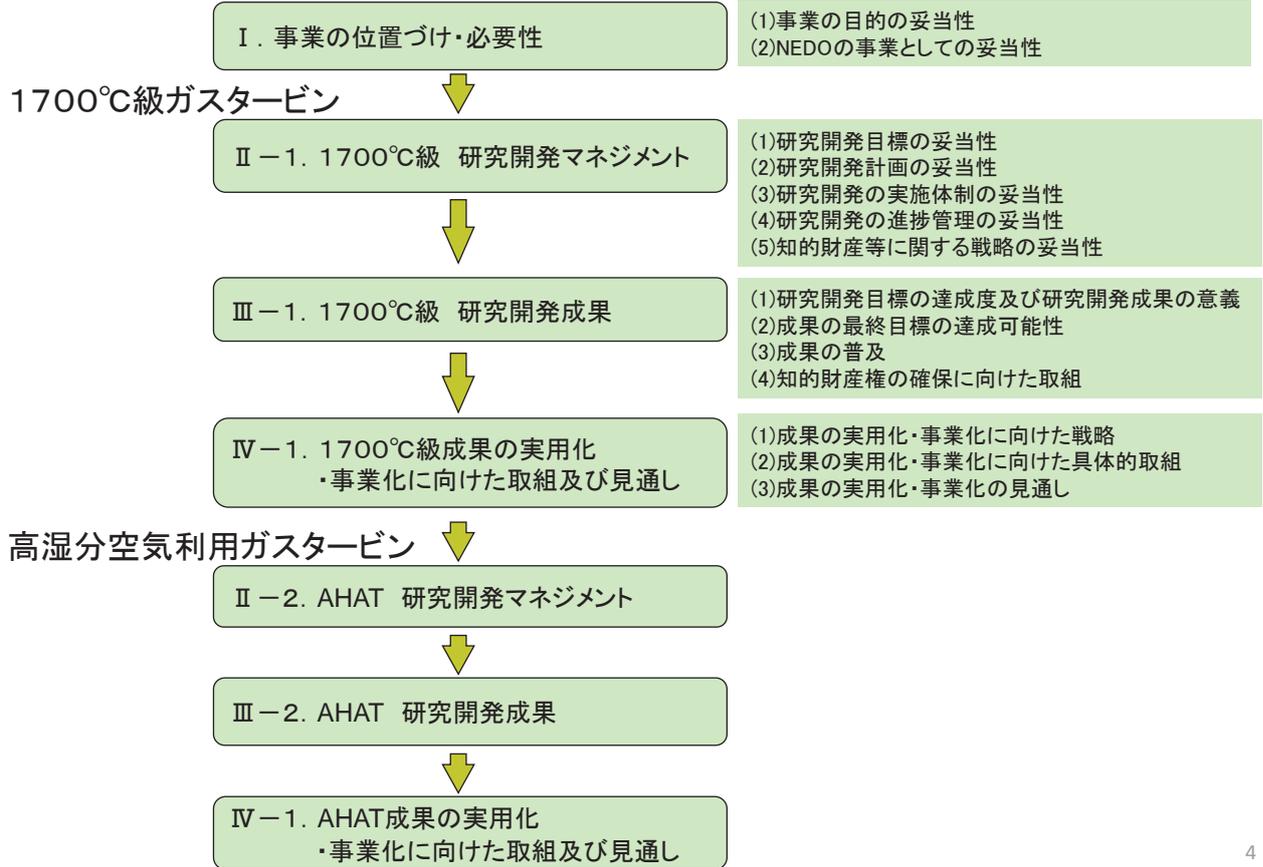
石炭火力、LNG火力は共通する要素技術が多く、火力発電全体の技術開発を加速するために、次世代火力発電技術に係る事業を一元管理し、一体的に進めることで、開発成果を共有しつつ、技術開発に係るリソースを最適化する。これにより、次世代火力発電技術の開発を加速し、早期の技術確立及び実用化を狙う。

平成31年以降の変更(案)について

平成29年度6月に、次世代火力発電の技術開発事業 については、平成29年度 経済産業省行政事業レビューにより、外部有識者の評価及び公開プロセスにおける評価を受けた。本評価で受けた指摘他を考慮し、平成31年度から以下の変更を計画中。

	指摘	反映方針	H31年度以降の方針(案)
1	各研究テーマの開発状況を精査し、国の支援がなければ開発の進捗が著しく遅れるテーマに絞るなど、更なる重点化を図るべき。	研究テーマの重点化、当該事業の位置付けについては、省エネ効果の大きいIGFCと1700度級ガスタービンに重点化し、CO2分離回収技術は縮減する方向で検討する。	1700度級ガスタービンを重点事業として位置付け、研究計画を維持する。
2	実機導入に向け具体的なタイムラインを事業主体からヒアリング、アップデートを行い、補助率についても適宜見直しを行っていただきたい。 実用化に近い技術開発テーマは、民間企業にもメリットが大きいはずなので、実用化への期間を勘案して適正な補助率に見直すべき。	技術確立・実用化後の事業計画や適正な補助率の見直しについては、NEDOにおいて事業者に対し、導入普及計画を定めた企業化計画書の提出を求めるとともに、国にも報告する方針で検討する。 また、中間評価のタイミングでその評価結果を踏まえ補助率の引き下げを検討する。	技術開発が実用化に近づくことを考慮し、H31年度以降の補助率を、2/3から1/2に引き下げるとともに、商用時に事業実施主体となるMHPSを研究体制に組み込む変更を行う方針。

高効率ガスタービン技術実証事業(統一)

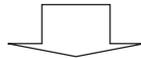


1. 事業の位置付け・必要性 (1)事業の目的の妥当性

高効率ガスタービン技術実証事業
◆事業実施の背景と事業の目的

社会的背景

温暖化対策は世界的課題



高効率発電技術開発によるCO2排出量削減の必要性

事業の目的

火力発電の熱効率向上によるCO2排出量の抑制



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

高効率ガスタービン技術実証事業

◆政策的位置付け

○第5次エネルギー基本計画(2018年7月 閣議決定)

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

○エネルギー関係技術開発ロードマップ(2014年12月 経済産業省)

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

○低炭素社会づくり行動計画(2008年7月 閣議決定)

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

○総合科学技術会議の環境エネルギー技術革新計画(2008年5月 内閣府)

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

○エネルギー技術戦略(2007年4月 資源エネルギー庁)

高効率天然ガス発電技術のロードマップが示されている

高効率ガスタービン技術実証事業

◆技術戦略上の位置付け-1

METI 次世代火力発電の早期実現に向けた協議会 2016年6月

次世代火力発電に係るロードマップ 抜粋

5. 2030年度に向けた取組の中心となる石炭、LNG火力に関する方針③

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

火力発電の高効率化に向けた技術開発の進展

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

8. 個別技術の開発方針 -2030年度に向けた取組の中心となる技術-

①LNG火力発電技術

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

高効率ガスタービン技術実証事業

◆技術戦略上の位置付け-2

次世代火力発電に係るロードマップ 抜粋

資源エネルギー庁 石炭課
火力発電に関する技術ロードマップ
2016年6月



高効率ガスタービン技術実証事業

◆国内外の研究開発の動向と比較-1

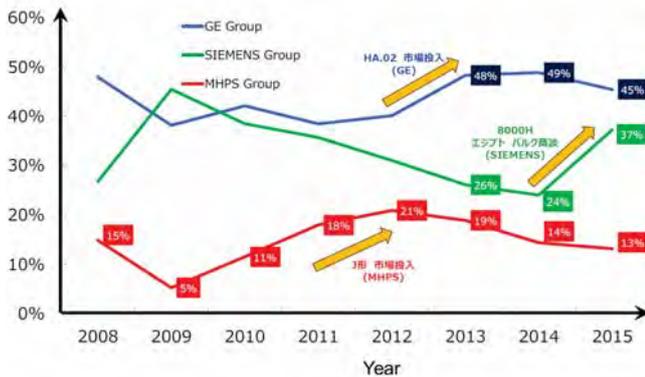
ガスタービン市場は、日米欧で世界シェアの大半を占めている。

他国も政府の支援を受けながら開発を進めており、その競争は激化している。

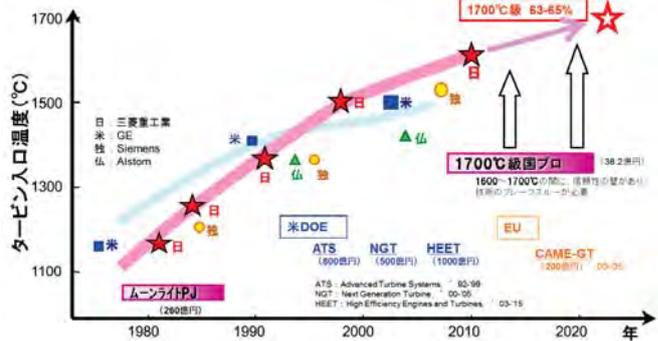
我が国の国際競争力の強化のためには、世界に先んじて次世代の技術を早期に確立・実用化し、いち早く海外市場を獲得することが必要である。

なお、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。(※)

大型ガスタービンの世界シェア



世界のガスタービン開発状況



※ (参考) 諸外国政府の支援状況

ガスタービンは、米国では政府がこれまでに総額2300億円を投入し開発を支援している。

出典: H29行政レビュー 公開プロセス 参考資料 (METI 資源エネルギー庁)より抜粋

1. 事業の位置付け・必要性 (1)事業の目的の妥当性

高効率ガスタービン技術実証事業
◆国内外の研究開発の動向と比較-2

米国のガスタービン関連技術開発の例

・米国ではエネルギー省 (DOE) 傘下の National Energy Technology Laboratory (NETL) の主導で各種ガスタービン研究開発を活発に実施。3100F (1704°C) 以上の燃焼温度、65% (LHV) のCC実現他 がターゲット

(1) 先進水素タービン

・ガスタービンメーカーに出資し、2005～2014年度に「先進水素タービン開発」を実施した。

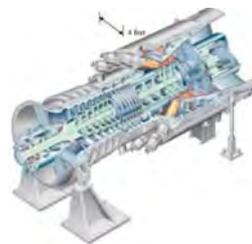
・ゼネラルエレクトリックとのプロジェクト

予算総額: 134.3百万\$
DOEの出資: 81.5百万\$



・シーメンスとのプロジェクト

予算総額: 135.2百万\$
DOEの出資: 82.1百万\$

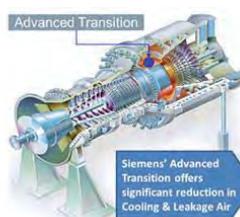


(2) 先進燃焼タービン

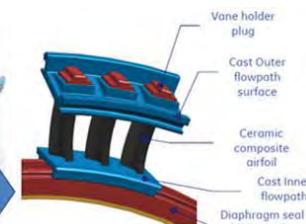
・ガスタービンメーカー等に出資し、2014～2015年度

(一部研究は2020年度まで)に効率65%を目指し技術開発を実施。

・予算総額: 19.2百万\$, DOEの出資: 14.9百万\$



効率65%に向けた
高温CMC尾筒



効率65%に向けた
高温CMC静翼

(3) その他

上記以外にも、以下のガスタービン関連研究開発を実施。

- ・超臨界圧CO₂サイクルの関連研究 (2014年10月～2019年3月、総額22.7百万\$, DOE出資18.1百万\$)
- ・国立研究機関による先進研究プロジェクト (2004年10月～2016年9月、総額20.7百万\$(ほぼ全額DOE出資))
- ・中小のベンチャー企業によるガスタービン関連研究プロジェクト (2010年7月～2018年7月、総額10.5百万\$(全額DOE出資))
- ・大学によるガスタービン研究プロジェクト (UTSR) (2010年10月～2018年9月、総額21.0百万\$(DOE出資16.4百万\$))

(情報・図の出典: NETLホームページ: <https://www.netl.doe.gov/research/coal/energy-systems/turbines/hydrogen-turbines>)

1. 事業の位置付け・必要性 (1)事業の目的の妥当性

高効率ガスタービン技術実証事業
◆国内外の研究開発の動向と比較-3

欧州のガスタービン関連技術開発の例

・EUは研究開発プロジェクト"FP7"、及び、後継の"Horizon 2020"の中で、エネルギーについても研究開発を実施。"Horizon 2020"のエネルギー関連の予算は2014～2020年の7年間で総額59.3億ユーロ(*)。

(*) EU, 2014, "Horizon 2020 in Brief"

(1) 発電用高温部品のための酸化物分散強化材料 (略称: OXIGEN)

新しい酸化物分散強化材料用の粉末、及び、製造技術、モニタリング用の埋込センサーを開発する。

2013年2月～2017年1月
・予算総額: 5.7百万ユーロ
・EU負担: 4.0百万ユーロ



写真: http://cordis.europa.eu/home_en.html

(2) 燃焼器の熱音響及び空力音響非線形性の研究 (略称: TANGO)

燃焼器の燃焼安定性を確保するため、音響、振動、渦の3-Way達成現象を理解し、燃焼制御手法を開発する。

2012年11月～2016年10月
・予算総額: 3.7百万ユーロ
・EU負担: 3.7百万ユーロ

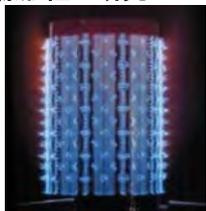


写真: <http://www.scm.keele.ac.uk/Tango/>

(3) 空力-熱、燃焼器-タービン相互作用の研究 (略称: FACTOR)

燃焼器とタービンを一体で扱うことにより、航空エンジンの高性能化、低コスト化、長寿命化を可能とする。

2010年12月～2016年11月
・予算総額: 7.2百万ユーロ
・EU負担: 4.9百万ユーロ



写真: <http://www.factor-fp7.eu/>

(4) 先進タービン技術によるフレキシブル火力発電 (略称: FLEXTURBINE)

再生可能エネルギーの増大により、時間帯や天候に合わせて供給する必要のある電力が増加している。そこで、火力発電のフレキシビリティ増大のため、以下の技術を開発する。

- ・運転可能出力範囲を広げるためのサージ予測制御技術
- ・劣化、損傷を防止し、寿命と効率を高めるための、シール、ベアリング技術
- ・計画外停止を防止し、稼働率、フレキシビリティを高めるための、主要部品予測、制御技術。

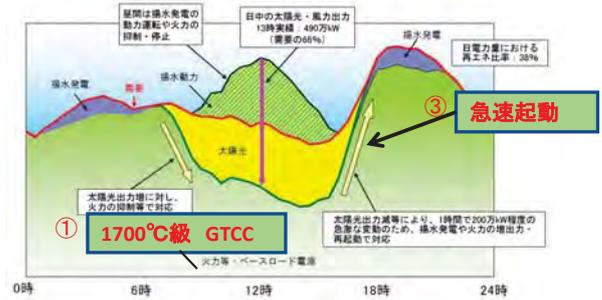
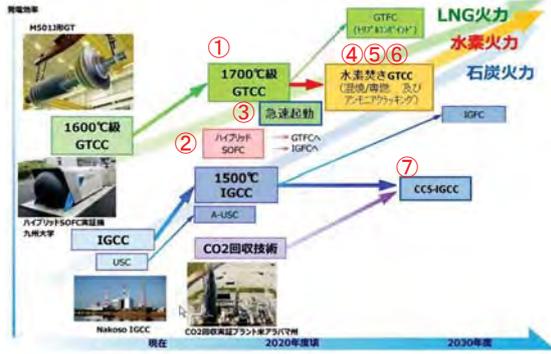
2016年1月～2018年12月
・予算総額: 9.6百万ユーロ
・EU負担: 6.5百万ユーロ

(注) 本資料の研究開発例には一部、発電用ガスタービンにも転用可能な航空用エンジンの研究開発も含む。

1. 事業の位置付け・必要性 (1)事業の目的の妥当性

高効率ガスタービン技術実証事業

◆他事業との関係



再生エネの導入状況と至近の需給状況について 平成28年7月21日 九州電力(株) に1700°C級 急速起動GTの位置づけをNEDOで追記
<https://www.kyuden.co.jp/var/rev/0055/4201/2nija6f6cpd.pdf>

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

1. 事業の位置付け・必要性 (2)NEDOの事業としての妥当性

高効率ガスタービン技術実証事業

◆NEDOが関与する意義

○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社会的・技術的意義は更に重要である一方で、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°Cガスタービンにおいては、海外との激しい競争下において、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。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ため、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。また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、米・独・日の3カ国に絞られつつある状況。

○高湿分空気利用ガスタービンAHATについては、世界初となる新型ガスタービン発電システムであり、増湿装置、再生熱交換器など新たな機器を統合した全体システム特性や、高湿分圧縮機、高湿分燃焼器、高湿分冷却翼などで構成されるAHATに適合したガスタービンは、未知なところが多く世界初の難度が高い技術であり、新型ガスタービンシステムであることから、商用機の実現にはFSや環境アセスを含めてリードタイムが長く、投資回収に時間がかかる技術である。このためNEDOの関与のもとで実用化技術開発を推進するべきである



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

1. 事業の位置付け・必要性 (2)NEDOの事業としての妥当性

高効率ガスタービン技術実証事業

◆実施の効果 (費用対効果-経済性効果-)

<1700℃級ガスタービン>

○プロジェクト費用の総額

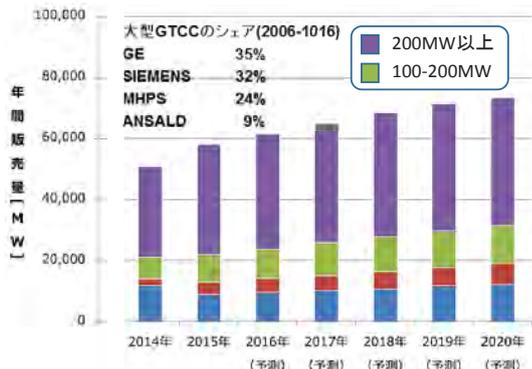
83億円(H28-32年 5年間)

○経済性効果

ガス価格が17USD/MMBtu程度の場合、500MWの発電設備を年間8,000Hr 運用する場合を想定すると、**発電効率を52%→57%に高めることにより、年間39億円程度の燃料代の節約となる。**

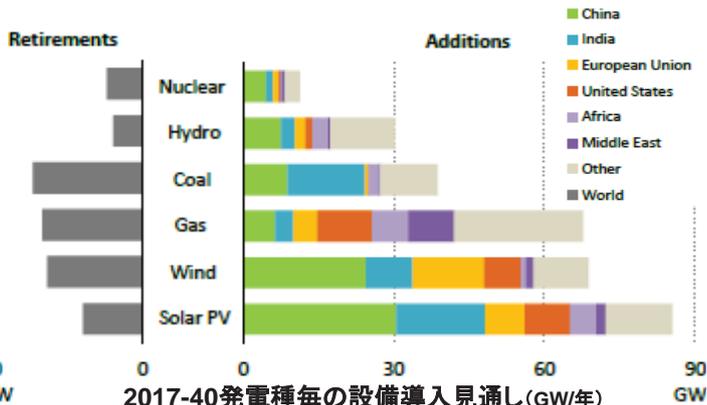
○売上効果

- 200MW以上の大型GTCCの販売量は40GW/年程度と想定。建設費単価12万円/kW*1とすると、市場規模は4.8兆円/年。一例として**5%のシェア向上(24⇒29%)で240億円/年の売上向上が見込まれる。**(*1: コスト等検証委員会報告書 LNG火力の建設費:12万円/kW)
- IEA World Energy Outlook 2017によると、**2040年にかけて、年平均68GW/年で新規ガス火力の導入が進む見込み。**
- MHPSより、2018上期に世界シェア1位を獲得したとの報道有り(2018/8/8)。通期・長期にわたるシェア向上のためR&Dが必要。



ガスタービン市場: サイズ別導入量推移

出展: H28 METI調査報告書
重電産業分野における競争力強化策の検討に向けたグローバルベンチマーク分析等調査



出展: IEA WEO2017

1. 事業の位置付け・必要性 (2)NEDOの事業としての妥当性

高効率ガスタービン技術実証事業

◆実施の効果 (費用対効果-経済性効果-)

<高温分空気利用ガスタービン(AHAT)>

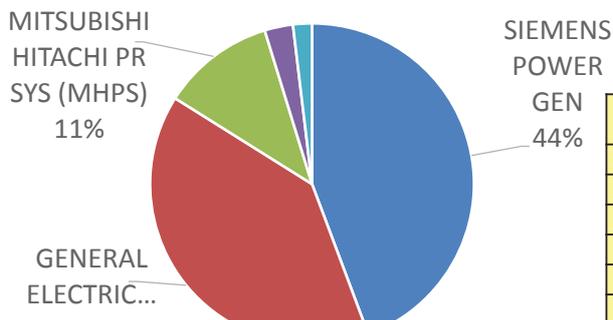
○プロジェクト費用の総額

13億円(H28-29年 2年間)

○経済性効果

2023年(H35年)の50~125MWのクラスのガスタービンの出荷台数は約100台/年と予測※、本システムのベースGTと合致する出力レンジ100~125 MWの台数は、その1/3の約33台/年と仮定し、本システム(約160MW)のフルターンキー建設単価を102 [k¥/kW](GTCCと同等と仮定)と仮定すると、**市場としては5,400億円/年となり、一例として2.5%のシェア向上(11⇒13.5%)で135億円/年の売り上げ向上が見込まれる。**

※出典: Turbomachinery International, Vol. 54, No. 7 (2013)



中小型ガスタービン市場シェア (2016年以降)

TECHNOLOGY OWNER	Total QTY	シェア
SIEMENS POWER GEN	47	44%
GENERAL ELECTRIC	42	40%
MITSUBISHI HITACHI PR SYS (MHPS)	12	11%
MAPNA TURBINE (TUGA)	3	3%
ANSALDO ENERGIA	2	2%
Total	106	100%

高効率ガスタービン技術実証事業

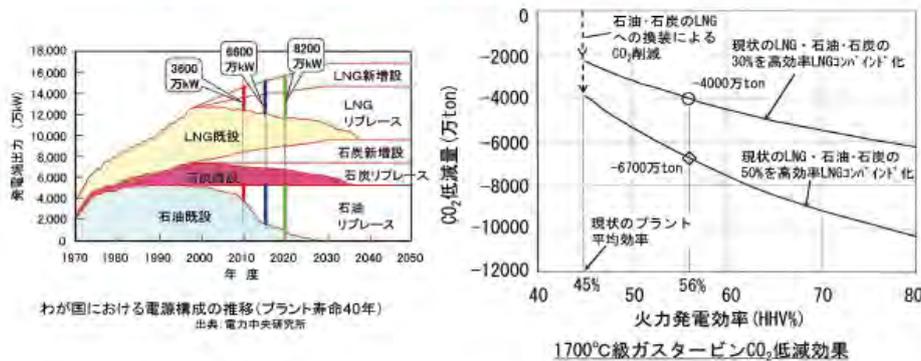
◆実施の効果 (費用対効果 -CO2削減効果-)

<1700°C級ガスタービン>

○既存の老朽火力発電所の50%を1700°Cガスタービンコンバインドサイクルに置き換えた場合のCO2削減効果は6,700万ton/年(日本全体のCO2排出量の約5%に相当)、省エネ効果は原油換算で2,200万トン、と莫大なCO2削減効果を得ることが可能となる。

現状のLNG(平均発電効率45%), 石油および石炭火力を置き換えた場合の効果

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



高効率ガスタービン技術実証事業

◆実施の効果 (費用対効果 -CO2削減効果-)

<高湿分空気利用ガスタービン(AHAT)>

○効率45%HHVの中容量CC を効率51%HHV、出力160MWのAHATでリプレイスして年間3000時間運転する場合、年間のCO2削減量(1基あたり)は以下となる。

$$160 \text{ MW} \times 3000 \text{ h/年} \times (0.40-0.35) \text{ kgCO}_2/\text{kWh} = 24,000 \text{ tCO}_2/\text{年}$$

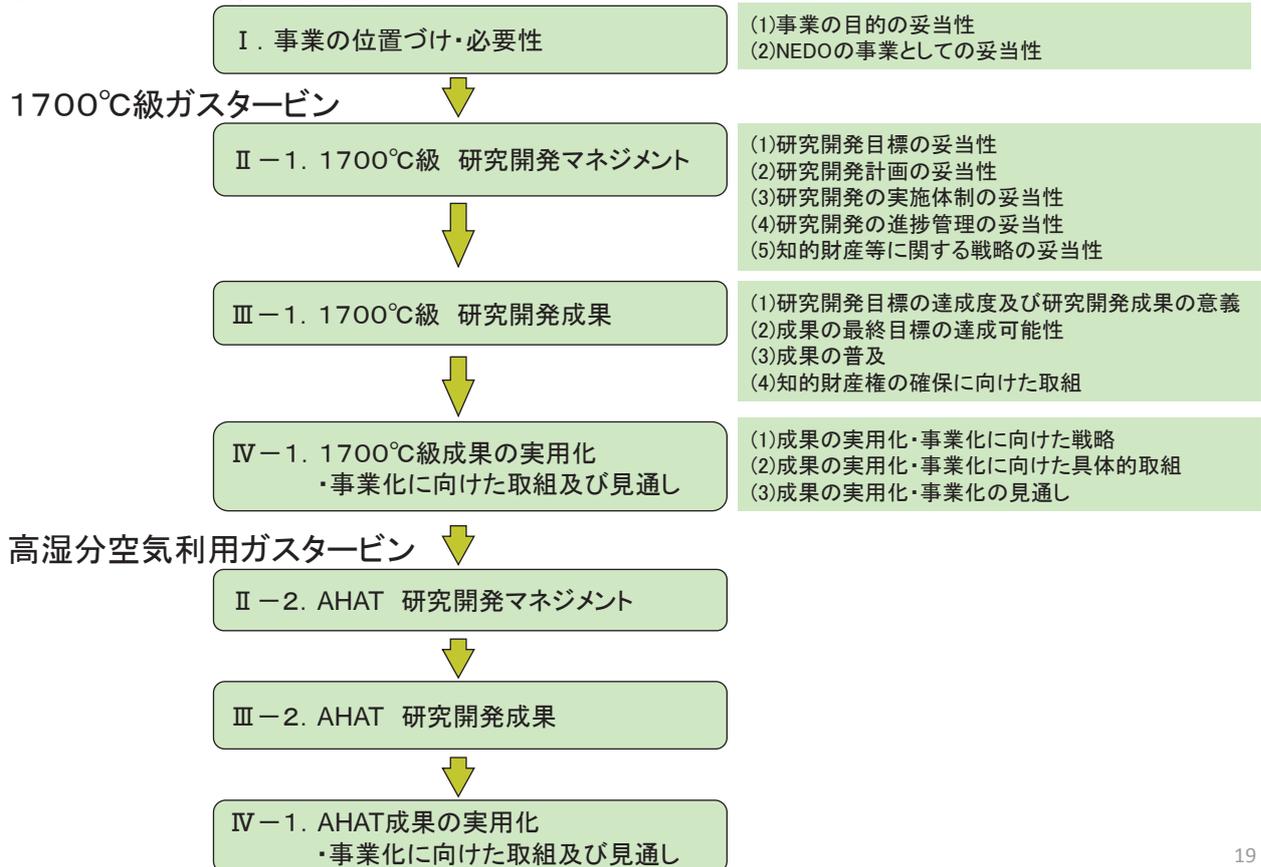
AHATへのリプレイスによるCO2削減効果

	燃料	送電端効率 (%HHV)	CO ₂ 排出原単位 (kg-CO ₂ /kWh)	AHAT導入時の CO ₂ 削減率
中容量AHAT	LNG	51	0.35	—
従来中容量CC	LNG	45	0.40	12%
油焼き汽力	油	39	0.70	50%

1700°C級ガスタービン(中間評価) 平成28年度～平成32年度 5年間

発表内容

高効率ガスタービン技術実証事業(統一)



2. 研究開発マネジメント (1)研究開発目標の妥当性

1700℃級ガスタービン

◆事業の目標

[中間目標(平成30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(平成32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% (高位発熱量基準)達成の見通しを得る

2. 研究開発マネジメント (1)研究開発目標の妥当性

1700℃級ガスタービン

◆研究開発目標と根拠(1/3)

実施項目(技術開発)	内容
①低熱伝導率遮熱コーティング	耐エロージョン性/耐溶融塩性の評価・改良、製造技術高度化、寿命評価技術の開発を行う。
②高性能冷却システム	高精度熱境界条件予測技術、高性能冷却構造の開発を行う。
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、低NOx燃焼技術の開発を行う。
④超高性能タービン	高温タービンの更なる性能向上案の策定と設計技術の開発を行う。
⑤翼列設計システム	開発期間短縮を可能とする翼列設計システムの開発を行う。
⑥境界層制御 高性能圧縮機	圧縮機のシミュレーション技術の精度向上、性能向上策の検討を行う。
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、高温・高圧下での応力低減構造の検討を行う。
⑧高性能シール ・高性能軸受	高温対応高性能軸シール、高負荷対応高性能軸受の開発を行う。
⑨先進製造技術	単結晶翼の材料特性評価および鑄造技術開発、レーザ溶接接合・肉盛補修技術改良、冷却孔加工技術の安定性向上検討、3次元積層造型技術の開発を行う。
⑩鑄造プロセス設計 システム	開発期間短縮を可能とする鑄造プロセス設計システムの開発を行う。
⑪超高温強度評価技術	実機条件を考慮した劣化模擬材の強度評価と、実機温度・応力場強度評価手法の構築を行う。
⑫特殊計測技術	実機特殊計測に必要な計測技術を開発する。
⑬高精度・高機能検査技術	内部欠陥検査、ワイヤレスセンシング、再結晶検出技術の開発を行う。

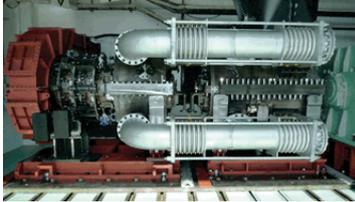
2. 研究開発マネジメント (1) 研究開発目標の妥当性

1700°C級ガスタービン

◆研究開発目標と根拠(2/3) - 性能向上のアイデアと検証

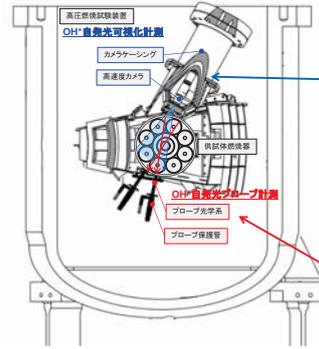
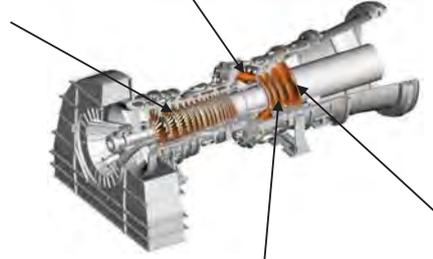
⑤境界層制御高性能圧縮機

8段圧縮機試験装置を用いて、圧縮機内部流動計測試験を実施



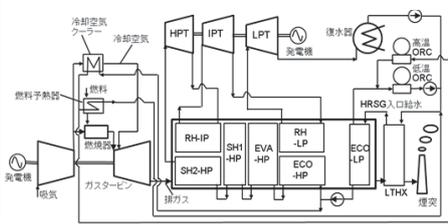
③非定常性制御燃焼技術

高圧試験条件下におけるOH*自発光プローブ計測及び自発光可視化計測装置を開発



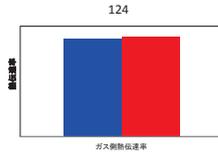
⑥超高性能サイクル

発電効率57%超(HHV)が得られる超臨界圧ボトムギンサイクルを考案



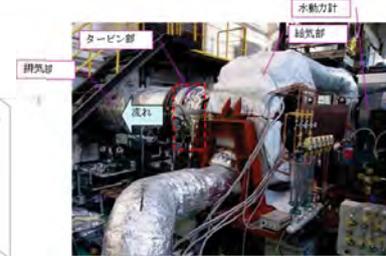
②高性能冷却システム

実機環境下で熱伝達率を計測し、予測値(要素試験結果)との整合性を確認



④高性能タービン

タービン翼/排気ディフューザの改良形状を検討し、性能向上効果を検証



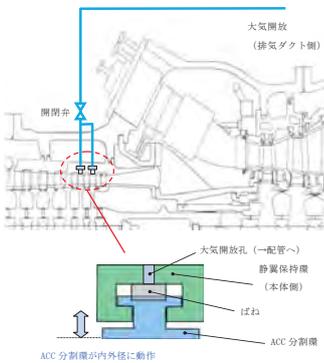
2. 研究開発マネジメント (1) 研究開発目標の妥当性

1700°C級ガスタービン

◆研究開発目標と根拠(3/3) - 信頼性向上技術-

⑦高性能構造技術

動翼の接触を回避しクリアランスを低減する構造を開発



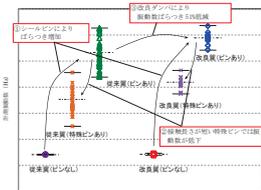
①低熱伝導率遮熱コーティング

低質燃料環境下でも信頼性向上効果を実機にて確認

	現用YSZ	国プロTBC-B
1段静翼		
状況	TBC一部損傷	TBC健全

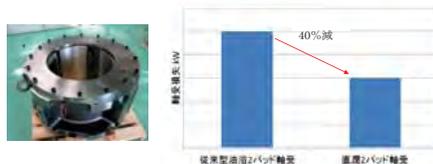
⑬高性能ダンパ・振動制御技術

振動数ばらつき低減のための改良ダンパ構造を考案し、その有効性を確認した



⑧高性能シール・高性能軸受

軸受損失を従来に比べて約40%低減



⑩超高温強度評価技術

1700°C級ガスタービンで想定される温度域での材料強度を把握



検証・検査技術

⑩特殊計測技術

BVMセンサの高温環境に対する耐久性も確認



⑫高精度・高機能検査技術

GT翼狭隙部の再結晶検出に対応した小型撮影プローブを開発



先進製造技術

⑨先進製造技術

各種先進製造技術の高度化・検証を実施



2. 研究開発マネジメント (2) 研究開発計画の妥当性

1700°C級ガスタービン
◆研究開発のスケジュール(1/2)

研究開発項目	H28年度	H29年度	H30年度	H31年度 (予定)	H32年度 (予定)
①低熱伝導率遮熱コーティング	TBCの組織制御技術の改良 TBCの耐環境性評価	TBCの組織制御技術の高度化 耐環境性評価に優れたTBCの開発	TBCの実用化技術開発 TBCの寿命評価技術	TBCの更なる信頼性向上と製造技術高度化 経年劣化を考慮したTBC寿命評価技術開発	TBCの実用化技術の高度化と反映
②高性能冷却システム	基本要素試験	装置設計・製作 総合性能検証試験①	改良装置設計・製作 総合性能検証試験②	基本コンセプト再検討 基本要素試験②	装置設計・製作 総合性能検証試験③
③非定常性制御燃焼技術	非定常計測技術の導入 燃焼振動、NOx抑制技術の導入 低NOxコンセプト燃焼器の開発	非定常計測技術の改良 燃焼振動、NOx抑制技術の改良① 低NOx燃焼器の改良①	非定常計測技術の高度化 燃焼振動、NOx抑制技術の改良② 低NOx燃焼器の改良②	非定常計測技術の高度化② 燃焼振動、NOx抑制技術の改良③ 低NOx燃焼器の改良③	非定常計測技術の高度化③ 燃焼振動、NOx抑制技術の改良④ 低NOx燃焼器の改良④
④超高性能タービン	性能向上案検討・要素解析 要素試験計画	性能向上案検討・要素解析 要素試験①	要素解析 要素試験②	性能向上案検討・要素解析 要素試験③	性能向上案検討・要素解析 要素試験④
⑤翼列設計システム	設計手法案検討 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	改良案検討③ システム改良②	改良案検討④ システム改良③
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 性能向上策検討	試験装置設計/製作(改造) 検証試験	シミュレーション技術の精度向上 性能向上策検討	シミュレーション技術の精度向上 性能向上策検討	シミュレーション技術の精度向上 性能向上策検討 検証試験
⑦高機能構造技術	クリアランスコントロール要素検証 応力低減構造計画	実機適用に向けた計画 要素検証	実機環境下検証 要素検証	信頼性向上検討 改良構造検討 シミュレーション高度化 改良構造検討	要素試験・実機検証 改良構造検証

2. 研究開発マネジメント (2) 研究開発計画の妥当性

1700°C級ガスタービン
◆研究開発のスケジュール(1/2)

研究開発項目	H28年度	H29年度	H30年度	H31年度 (予定)	H32年度 (予定)
⑧高性能シール・高性能軸受	コンセプト検討 適用性評価	詳細設計検討 計測・解析 要素解析・特性要素試験	特性試験 実機模擬装置製作 特性試験	改良設計検討 要素解析・特性試験②	特性試験 実機模擬装置製作 特性試験②
⑨先進製造技術 <small>(注) [1] 2次元 [2] 3次元 [3] 次元</small>	特性評価・量産技術検討 技術検討 特性把握・量産システム検討 造型技術検討	改良検討・量産プロセス確認 接合部評価とプロセス改良 量産システム安定性確認 製造プロセス検討	改良検討・効果確認 効果確認(部品での施工) 改良検討・効果確認 改良検討・効果確認	検証翼製造プロセス検討 部品施工技術高度化① 量産マルチヘッド化検討 特性要素試験設計手法へ反映	検証翼試作・評価 部品施工技術高度化② 計測システム小型化検討 実機検証
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抽出	システム仕様検討 システム試作・評価	システム仕様検討	システム仕様検討 システム試作・評価	システム仕様検討 システム試作・評価
⑪超高温強度評価技術	実機模擬劣化材作成・試験 試験装置設計・製作	実機模擬試験	設計手法へ反映	設計手法へ反映 既存機種への適用・検証	性能向上を見据えた追加試験
⑫特殊計測技術	実機適用不具合改良(BVMなど)のCT変形・クリアランス計測技術検討 センサ計測技術調査・検討	改良案検討(BVMなど) 要素試験・実機適用検討 要素試験・実機概要検討	改良案検討	要素試験 要素試験 要素試験・検証試験	要素試験 要素試験 要素試験のバックアップ技術検討・要素試験
⑬高精度・高機能検査技術	内部欠陥検査 要素試験 ワイヤレスセンシング 仕様策定 既結晶検出 コンセプト仕様確定	高速化・試作・検証 要素モジュール開発・検証	装置設計・製作・性能試験 装置設計・製作	機能拡張検討・検証 機体品質向上・広帯域化 手法検討	装置改良 拡張機能 検証試験 実機検証・改良設計及び改良後の検証

2. 研究開発マネジメント (2) 研究開発計画の妥当性

1700℃級ガスタービン

◆プロジェクト費用

(単位:百万円)

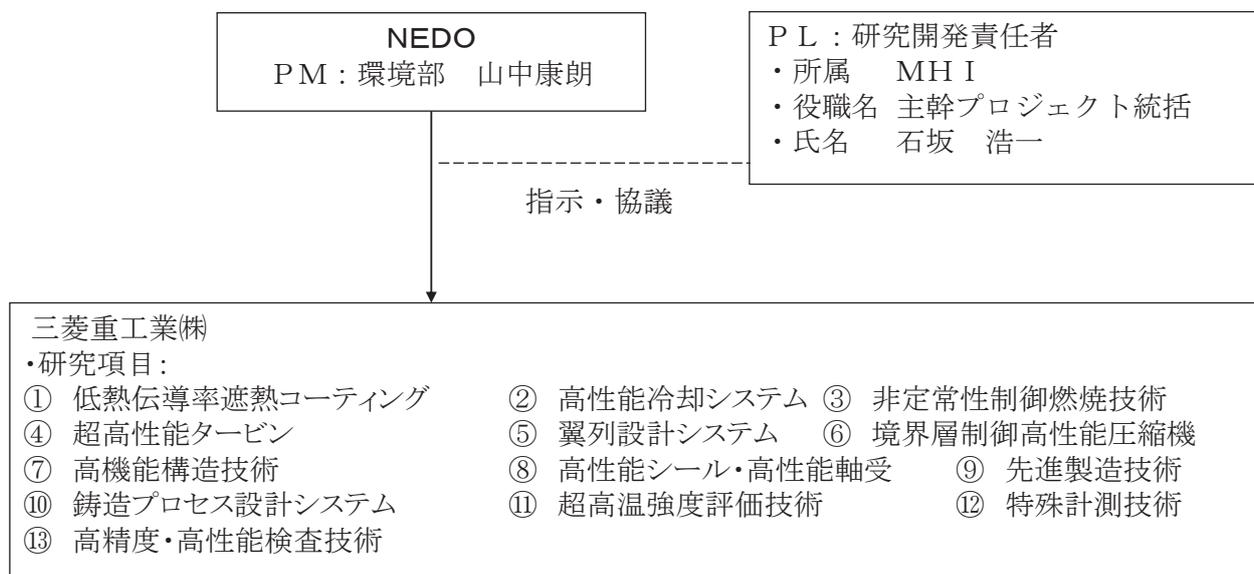
研究開発項目	平成28年度	平成29年度	平成30年度	合計	比率
①低熱伝導率遮熱コーティング	124	147	149	420	5.5%
②高性能冷却システム	60	270	246	576	7.6%
③非定常性制御燃焼技術	1,158	797	715	2,670	35.1%
④超高性能タービン	174	210	143	527	6.9%
⑤翼列設計システム	27	28	38	93	1.2%
⑥境界層制御高性能圧縮機	291	364	380	1,035	13.6%
⑦高機能構造技術	24	106	22	152	2.0%
⑧高性能シール・高性能軸受	64	62	63	189	2.5%
⑨先進製造技術	312	418	668	1,398	18.4%
⑩鑄造プロセス設計システム	14	17	20	51	0.7%
⑪超高温強度評価技術	49	37	57	143	1.9%
⑫特殊計測技術	35	53	107	195	2.6%
⑬高精度・高機能検査技術	47	53	54	154	2.0%
合計	2,379	2,562	2,662	7,603	100.0%

26

2. 研究開発マネジメント (3) 研究開発の実施体制の妥当性

1700℃級ガスタービン

◆研究開発の実施体制



27

1700°C級ガスタービン
◆研究開発の進捗管理

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。

PM、PLによる進捗把握・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。

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。

1700°C級ガスタービン
◆動向・情勢の把握と対応

情勢変化/予測	現状及び対応
<ul style="list-style-type: none"> 国際エネルギー機関(IEA) World Energy Outlookによると、天然ガス需要は2040年に向けて世界で+45% アジアで2倍と予想 大型ガスタービンは、GE, Siemens, 三菱による上位3社での大容量、高性能機での競争がさらに激化。 長期エネルギー需給見通しの実現に向けて、電力業界は2030年度の0.37kg-CO₂/kWhの排出係数目標値を設定。電気事業者等は「電気事業における低炭素社会実行計画」を策定。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、2020年度に約700万t-CO₂、2030年度に約1,100万t-CO₂のCO₂削減を見込む。 再エネ増加による系統安定のためのガスタービンニーズの増加 ⇒ 運用性重視 	<ul style="list-style-type: none"> 高効率で低CO₂排出原単位(0.31kg-CO₂/kWh程度)のベースロード運用を基本用途とした、1700°Cガスタービン開発の必要性は、より高まる。(計画に変更なし) NEDOでは別事業として、以下の技術開発に着手している。これらを並行して進めることで、幅広いニーズへの対応が可能となる。1700°Cガスタービンの事業の位置付けは維持される。(計画に変更なし) <ul style="list-style-type: none"> ○「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」(2018~4年間を計画) ○水素(アンモニア;水素キャリア)対応技術 <p>【電力事業者の自主的な枠組と支える仕組み】</p> <p>①電力の自主的枠組の強化を、②省エネ法と③高度化法による措置で支え、「実効性」と「透明性」を確保。</p> <p>①【電力事業者の自主的な枠組】 排出係数0.37kg-CO₂/kWh(2030年度)というエネルギーミックスと整合的な目標を設定 ※「電気事業低炭素社会協議会」を創設し、PDCAを図る。</p> <p>②【省エネ法】(発電段階) ○発電事業者に火力発電の高効率化(USC水準等)を求める。</p> <p>③【高度化法】(小売段階) ○小売事業者に高効率な電源の調達(非化石電源4%)を求める。</p> <p>実績を踏まえ、経産大臣が、指導・助言、勧告、命令。</p>

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

1700℃級ガスタービン

◆研究開発項目毎の目標と達成状況(1/5)

開発項目	中間(H29年度)目標	中間目標 達成状況	最終(H30年度)目標	最終目標 達成見通し
①低熱伝導率遮熱コーティング	皮膜の耐環境性を評価し改良方向性を把握する。また皮膜組織制御と複雑形状施工技術を確立する	○	耐環境性まで考慮した皮膜を実機に装着し信頼性評価を実施する。	把握した皮膜改良方針に従い組織制御・施工技術向上により達成可能
②高性能冷却システム	高性能冷却システム実現に向けた熱境界条件の要素試験実施、予測精度向上。	○	高性能冷却システムの総合検証を実機相当環境下で実施し成立性を確認。	装置の改修・改良により試験を実機相当環境で行うことにより達成可能
③非正常性制御 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、低NOx燃焼技術の開発を行う。	○	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、低NOx燃焼器を開発する	非定常計測技術、解析技術の改良により達成見込み。
④超高性能タービン	昨年度に検討した性能向上案を試験にて検証し、改良効果を確認する。	○	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	各種性能向上案の検討を実施し、要素解析及び要素試験による検証により達成可能

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

30

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

1700℃級ガスタービン

◆研究開発項目毎の目標と達成状況(2/5)

	中間(H29年度)目標	中間目標 達成状況	最終(H30年度)目標	最終目標 達成見通し
⑤翼列設計システム	翼設計プロセスの高度化・複雑翼形状の3次元CADモデリングについて標準手法を確立し、翼形状設計のQCD向上を図る。 ・翼構造設計における多制約条件問題(重量, 応力, 固有振動数)に対し、最適化手法を開発する。	○	実績設計DB、ノウハウを継続活用しつつ、最新設計ソフトウェア群を取り込み高度化した開発期間短縮を可能とする翼列設計システムの仕様検討及び試作、ならびに検証を継続する。	・H29年度までの開発分については、システム実装を進めることで達成可能。 ・H30年度も、既開発分とn整合性を取りつつ、開発期間短縮に向けた更なる設計手法の高度化を継続する。
⑥境界層制御 高性能圧縮機	試験計測データとの比較によりシミュレーション技術の精度を向上し、更なる性能向上策を検討する	○	1700℃級ガスタービン圧縮機の性能向上、運用性を両立する為の、対策案を策定する。	改良対策翼列により達成可能又、性能を試験装置で確認する。
⑦高機能構造技術	クリアランスコントロール構造のシミュレーション検証により、実機での成立性を目途付ける。	○	実機もしくはそれに準ずる設備でクリアランスコントロール構造を検証する。	クリアランス計測技術の確立、および構造の適正化により達成可能

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

31

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

1700℃級ガスタービン

◆研究開発項目毎の目標と達成状況(3/5)

	中間(H29年度)目標	中間目標 達成状況	最終(H30年度)目標	最終目標 達成見通し
⑧高性能シール ・高性能軸受	高温対応高性能シール及び高負荷対応軸受の詳細設計を実施する	○	実機模擬条件下でのシール及び軸受特性の健全性を評価可能とする	装置改良による実機模擬条件への対応により達成可能
⑨先進製造技術	<ul style="list-style-type: none"> 再結晶抑制のための単結晶翼鑄型形状検討 GT材のレーザ接合・補修技術検討と評価・改良。 鑄造材の加工孔位置計測において、計測不可(欠測、誤抽出)要因を明確化、複数孔同時計測を可能とするセンサ走査手法の開発を完了 実機部品の3次元積層技術を確立し、実機検証の目的を得る。 	○	<ul style="list-style-type: none"> 単結晶翼製造プロセス開発 GT部品でのレーザ接合・補修の効果確認。 複数孔同時加工する実翼において、孔位置計測を確立する。 3次元積層の実機製造プロセスを確立 	<ul style="list-style-type: none"> 解析・試作による鑄型改良設計装置により達成可能 装置・条件改良により達成可能 UT信号の孔位置抽出ロジック改良による計測の安定化、装置改良による複数孔計測対応により達成可能 造形パラメータの適正化と3次元積層用の材料組成改良により達成可能

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

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

1700℃級ガスタービン

◆研究開発項目毎の目標と達成状況(4/5)

開発項目	中間(H29年度)目標	中間目標 達成状況	最終(H30年度)目標	最終目標 達成見通し
⑩鑄造プロセス設計システム	新規鑄造プロセス設計システムの仕様を決定する、凝固解析のシステムは先行で開発して検証する	○	解析の短期間化を実現する新規鑄造プロセス設計システムを構築する	解析モデル・メッシュ自動生成システムの開発により達成可能
⑪超高温強度評価技術	<ul style="list-style-type: none"> 実機条件を模擬できる強度試験手法の構築と試験を開始する。 実機高温環境での設計に向けた、強度劣化評価手法を構築。 	○	高温環境での材料劣化を考慮した実機温度・応力場における強度評価手法を明確にする。	H29年度に提案した手法について次年度検証を行うことで、目標は達成できる見込み。
⑫特殊計測技術	クリアランスセンサの国内調達を行い、要素試験、検証試験を行う。	○	提案した改良案の製作・検証試験を実施し、耐久性の向上を確認する。	低コストかつ耐久性のあるセンサでの計測を達成できる。

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

3. 研究開発成果 (1)研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

1700℃級ガスタービン

◆研究開発項目毎の目標と達成状況(5/5)

開発項目	中間(H29年度)目標	中間目標 達成状況	最終(H30年度)目標	最終目標 達成見通し
⑬高精度・高機能 検査技術	<p>⑬-1: ・内部欠陥検査技術の開発 ・実翼形状試験体での欠陥検出性の検証</p> <p>⑬-2: ・ワイヤレスセンシング技術の開発 ・要素モジュール開発・試作及び検証</p> <p>⑬-3: 異結晶検査技術の開発 ・検証用装置の試作及びそれを使用した異結晶検出アルゴリズムの開発</p>	○	<p>⑬-1: ・内部欠陥検査技術の開発 ・実翼形状試験体での欠陥検出性の検証</p> <p>⑬-2: ・ワイヤレスセンシング技術の開発 ・無線給電装置の詳細設計・製作及びシステム検証</p> <p>⑬-3: ・異結晶検査技術の開発 ・検査装置の詳細設計・製作及び実機検証</p>	<p>⑬-1: ・内部欠陥検査技術の開発 ・小型PAUTセンサにより目標達成可能</p> <p>⑬-2: ・ワイヤレスセンシング技術の開発 ・詳細設計による給電性能向上により達成可能</p> <p>⑬-3: ・異結晶検査技術の開発 ・実機適用可能な装置を開発して目標達成目途</p>

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

3. 研究開発成果 (1)研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

1700℃級ガスタービン

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

- 現在開発中13要素の研究は計画通り進んでおり、成果を反映した1700℃級ガスタービンは58%HHV達成の見込み。
- 本PJによる技術検証を確実に実施することにより、1700℃級ガスタービンの信頼性を高めることができている、欧米の競合に対して確実なアドバンテージになっている。

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

1700°C級ガスタービン

◆各個別テーマの成果と意義

大項目	成果	成果の意義
③非定常性制御燃焼技術	燃焼器内部の非定常性を評価可能な計測技術の開発及び、低NOx燃焼器の改良及び燃焼試験における検証を行った。精度が確認された解析手法等を用いて、燃焼筒の短縮化を行い、従来形状に比べて、NOx排出量が低減することを実機条件の燃焼試験で確認した。	燃焼温度の上昇に伴い、燃焼不安定のリスクが大幅に高まるとともにNOx排出量が増加する。このため低Nox化技術と安定燃焼可能な施策の検討を順調に進展中。
⑥境界層制御 高性能圧縮機	全段CFDで解析評価し、後方段の改良翼列を検討・評価し、設計を最適化する事で、段圧力比を増加しつつ、更に効率向上する事をCFDで評価できた。改良翼の効率、サージ裕度を検証する為、従来より大型(1/3-1/4⇒約7/10スケール)の後方段模擬試験装置を製作。	圧力比が増加した場合、境界層が発達し、効率が低下するリスクがあるため、これを改善する設計の確立と検証が必要。  後方段模擬試験装置
⑨先進製造技術	単結晶試作翼の結晶欠陥原因を評価し、鋳型設計の改良を行った上で、翼面に欠陥が無く、翼面とプラットフォーム部も同一結晶方位からなる単結晶翼が得られた。溶接接合プロセスとして、3D造形品の共金LMD接合技術を開発し、静翼を対象とした接合可能性検討を実施し、良好な接合結果を得た。	翼面に欠陥が無く、翼面とプラットフォーム部も同一結晶方位からなる単結晶翼が得られ、改良設計の有効性を確認できた。  単結晶試作翼  翼部変形抑制治具を用いた静翼造形品接合

36

3. 研究開発成果 (3) 成果の普及

1700°C級ガスタービン

◆成果の普及(1/2)

	平成28年度	平成29年度	平成30年度	計
論文	2	1	0	3
研究発表・講演	9	2	0	11
受賞実績	0	0	0	0
新聞・雑誌等への掲載	0	0	0	0
展示会への出展	0	0	0	0

※平成30年度8月31日現在

1700℃級ガスタービン

◆成果の普及(2/2)

三菱重工技報 2017年Vol.54 No3月号 掲載

2018年3月13日 日本経済新聞 掲載

三菱重工技報 Vol.54 No.3 (2017) 三菱日立パワーシステムズ特集 16

J形ガスタービンの運転実績と JAC の開発

Development of Next Generation JAC Gas Turbine based on J Experience



由里 雅則*1
Massanori Yuri
正田 淳一郎*2
Junichiro Masada
羽田 哲*3
Satoshi Hada
若岡 進**
Susumu Wakazono

GTCC の高効率化にはガスタービンの高温化が重要な役割を果たしており、三菱日立パワーシステムズ(株)(MHPS)は2004年から参画した国家プロジェクト“1700℃級超高温ガスタービン要素技術開発”の開発成果を活用して、世界初のタービン入口温度 1600℃の高効率機 M501J 形を開発、その運転実績を着実に積み重ねてきている。GTCC の更なる高効率化と運用性改善のため、高温ガスタービンの空冷化を可能とする強制空冷システムを考案した。この強制空冷システムを2015年にMHPS高砂工場内の実機検証設備にて検証し、運用に問題ないことを確認、現在まで長期運転されている。現在この強制空冷システムを中核とした 1650℃級次世代機種である JAC ガスタービンの開発を進めており、既設のT地点実証設備を廃止し、新たな設備にて2020年実証開始予定である。

ガスタービン高効率に
三菱日立パワー、22年投入

1700℃級ガスタービン

◆知的財産権の確保に向けた取組

戦略に沿った具体的取組

- 他社特許や論文等を調査分析。
報告会を定期的に関催し業界動向や他社特許について協議/.共有。
- パテントクリアランスチェックを実施し、性能向上/信頼性向上/先進製造/検査について基本特許を出願。
- 周辺特許についても、オープン/クローズ戦略を意識して出願可否を判断。

	平成28 年度	平成29 年度	平成30 年度	計
特許出願(うち外国出願)	28(1)	19(7)	3	50(8)件

※平成30年度8月28日現在

1700°C級ガスタービン

◆本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方

当該研究開発に係る試作品、サービス等の社会的利用(顧客への提供等)が開始されることであり、さらに、当該研究開発に係る商品、製品、サービス等の販売や利用により、企業活動(売り上げ等)に貢献することを言う。

具体的には、当事業で開発・実証した技術が組み込まれた新設ガスタービンや保守交換のための関連製品が上市され、従来機を超える性能や経済性等、高い競争力により受注を得ること。

1700°C級ガスタービン

◆実用化・事業化に向けた戦略

○これまでガスタービンに関係したナショナルプロジェクトを通じて得られた、技術を用いて、1989年に実用化した「1,350°C級F形」、1997年に実用化した「1,500°C級G形」、そして最新の「1,600°C級J形」等、大型ガスタービンの高性能化を実現してきた実績がある。現在では、欧米勢を上回る高性能な大型ガスタービンを開発するに至り、国内外から高い信頼を得ている。

○これまでの開発成果の実用化・事業化手法を踏襲し、本事業にて開発された技術は、十分な技術検討や実証・検証を行う。有効性が確認された最新技術の一部は1600°C級J形ガスタービンや次期高効率ガスタービンの開発に順次適用するとともに、得られた長期運用データを研究内容に反映することにより、開発した技術の信頼性向上を図っていく。

1700℃級ガスタービン

◆実用化・事業化に向けた具体的取組

○1700℃級ガスタービン技術は、2020年度(H32年度)に事業者自主費用により建設する実証発電設備において、1700℃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(H34年度)から販売を開始し、2023年度(H35年度)から収益が発生する計画。

	2000	2005	2010	2015~
先端要素技術開発		要素技術 '04~'07	実用化技術 '08~'11	実機適用技術 '12~
要素技術の実用化		1600℃級開発	1600℃級複合発電	
実機開発と実証			実機開発・実証	1700℃級複合発電
次世代技術				1700℃級IGCC SOFC+GTCC
超耐熱材料開発		物材機構委託研究('04~'10) (挑戦的基礎研究) ・優れた特性を有する画期的な材料成分を発見(特許出願済み)	NEDO研究(先導研究) ・組成範囲決定 ・製造条件確立	実用化研究(量産技術確立)

・ GEの最新機 (HAシリーズ) 投入による競争激化

・ GT高性能機の前倒し投入
→ 1650℃級次世代GTの開発加速
2019年度出荷 (1.5年前倒し)

・ コスト競争力強化



(2020年更新完了予定)

1700℃級ガスタービン

◆成果の実用化・事業化の見通し

○これまで得られた成果から、最終目標を達成できる見通しであり、技術面において実用化・事業化を達成できる可能性は高い。

○今後再生エネルギーの導入が進む見通しであるが、系統安定化のためには一定規模の安定電源が必要であり、高効率大容量GTCCの必要性は高い。

○本事業で開発する技術を適用した、高効率大容量GTCCは、事業者の事業戦略の中核をなすものとして位置づけており、成果の実用化・事業化の見通しは十分に明るいものと判断する。

3-1. 火力発電プラント (4/7)



施策③ GT高性能機種の前倒し投入
: 主力市場である300MW超で、競合他社に比して性能競争優位

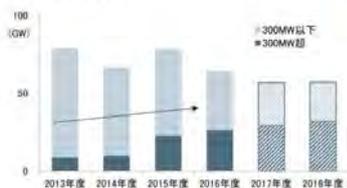
GTCC

事業環境 GT市場は横這いも300MW超市場は拡大。今後の主力市場

課題 当社が先行した300MW超市場に競合が最新機種を投入

- 施策
- 他社機より性能の勝る1650℃級次世代ガスタービンを2021年度から1.5年前倒して2019年度に投入
 - 現在より商談対応開始
 - 300MW超市場のトップシェアを奪還

【GT市場規模】



【コンバインド熱効率(LHV)】

他社最新機種	当社次世代
63%以上	64%以上

【投入時期】 (年度)



パワードメイン 事業戦略説明会

副社長執行役員
F&E/CEO
パワードメイン長 兼 三菱日立パワーシステムズ(株)社長
安藤 健司
2017年6月15日
三菱重工株式会社

1700°C級ガスタービン

◆波及効果

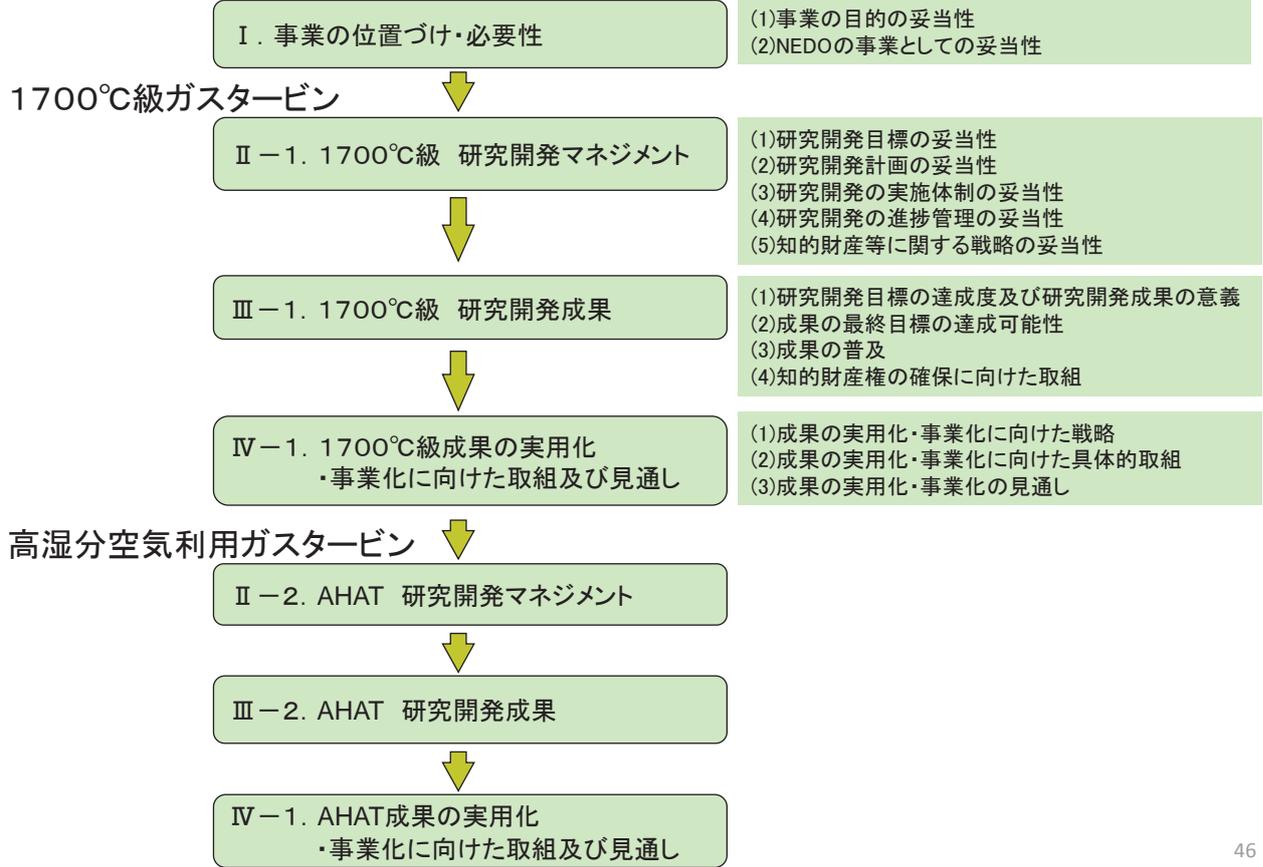
○本事業で開発する要素技術は、新設ガスタービンだけの適用に限定されるのではなく、**既設ガスタービンの定期点検・保守等に適用**することで、効率や運用性の向上や、交換インターバルの延長に貢献できる。

○高効率高温ガスタービンは、**石炭ガス化発電IGCCの主機の一つとして、適用可能**である。

1700°C級ガスタービン技術を適用した、IGCCが実現すれば、燃料の多様化によるエネルギーセキュリティ上のメリットに加え、発電効率50%（現状約42%）の実現が期待できる。

高湿分空気利用ガスタービン(終了評価)
平成28年度～平成29年度 2年間

高効率ガスタービン技術実証事業(統一)



2. 研究開発マネジメント (1)研究開発目標の妥当性

AHATシステムの概要

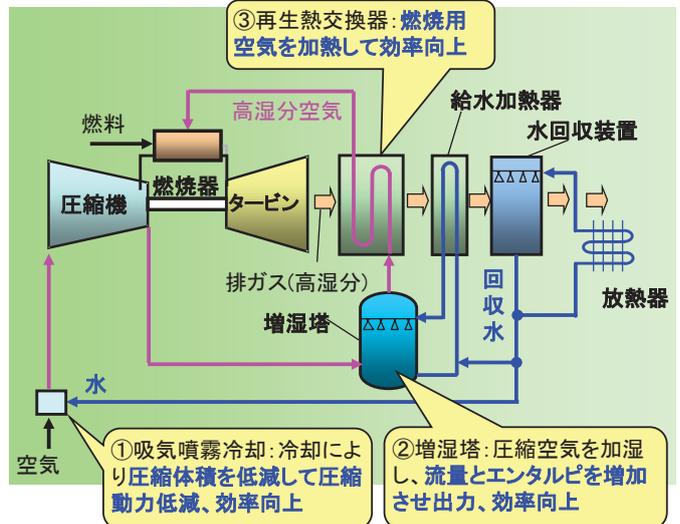
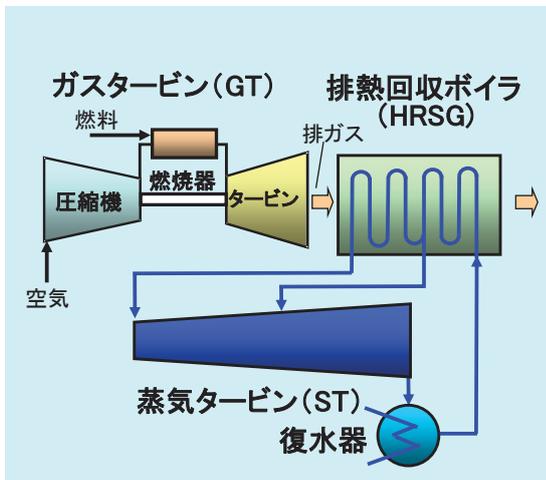
AHATが中小容量機の高効率化に適する理由

- 中小容量では経済性の観点からGTの高温化やHRSG、STの高性能化には制約
- 中小容量では起動停止や負荷変化等の運用性向上のニーズが高い

AHATの特徴

- 経済性: 同一出力規模のCC並み効率(①,②,③)
- 運用性: 起動時間、負荷変化率、最低負荷
- 環境性: 高湿分燃焼による低NO_x化

AHAT: Advanced Humid Air Turbine



(a) GTCC(ガスタービンコンバインドサイクル)

(b) AHAT(高湿分空気利用ガスタービン)

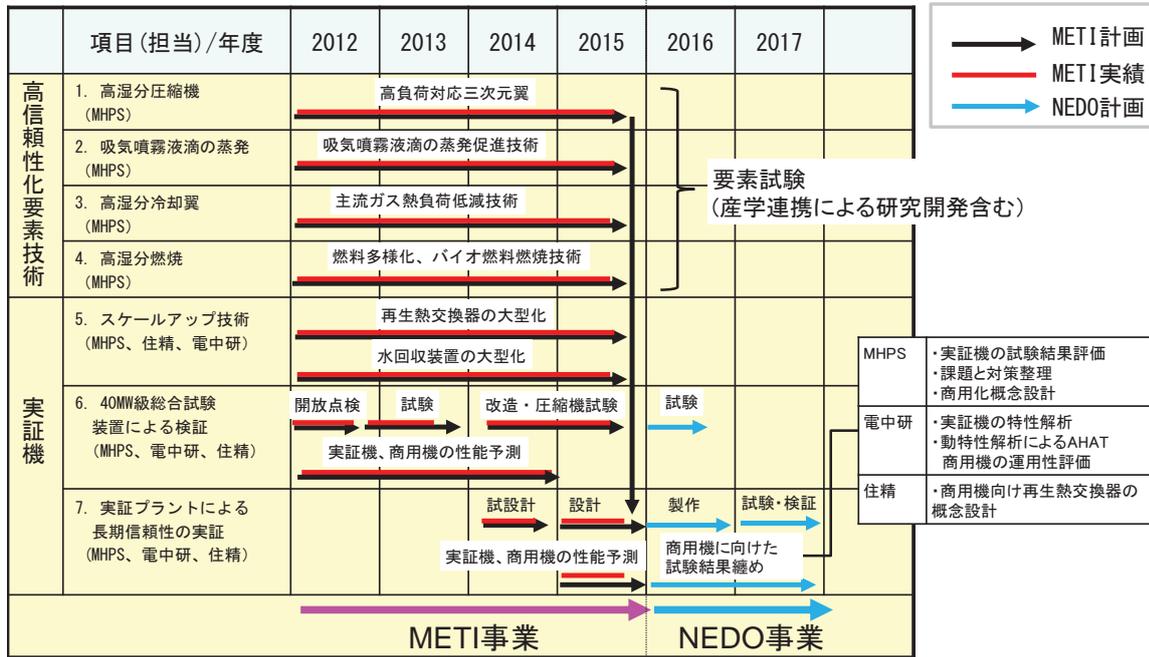
図 GTCCとAHAT発電システムの比較

2. 研究開発マネジメント (1)研究開発目標の妥当性

高湿分空気利用ガスタービン

◆事業の目標

- 高湿分空気利用ガスタービン(AHAT)の実証機を建設、運転して機器類の健全性のデータを取得し、商用機の長期信頼性を評価する。



2. 研究開発マネジメント (1)研究開発目標の妥当性

高湿分空気利用ガスタービン

◆研究開発目標と根拠

大項目	中項目	研究開発目標	根拠
総合試験装置	(1)総合試験装置による検証 (MHPS)	既存の40MW級総合試験装置のガスタービンを改造し、 実証機に用いるガスタービン本体の高温での機械的信頼性を確認する。	前年度まで開発してきた 高信頼性化要素技術適用ガスタービンを実証機に適用するための前段目標。
実証機による長期信頼性	(2)実証機による長期信頼性 (MHPS)	高湿分空気利用ガスタービン(AHAT)の 実証機を建設、運転して機器類の健全性のデータを取得し、商用機の長期信頼性を評価する。 実証機の運転時間は、100回/年以上の起動・停止回数、等価運転時間*で10,000時間以上の運転を目標とする。	週間起動WSS(Weekly Start and Stop)の約2倍の100回/年以上の起動・停止と、起動停止による機器の寿命への影響を考慮した等価運転時間で10,000時間を目標とした。
	(3)商用機スケールの概念設計 (MHPS)	商用機スケールの高湿分空気利用ガスタービン(AHAT)の概念設計を実施する。	商用機スケールのAHATシステムの機器仕様等を把握するため。
	(4)システム評価 (電中研)	● ガスタービンの加湿によるシステム熱効率の変化、大気温度条件の変化による出力、効率の変化等の諸特性を明らかにする。 ● AHATシステムに期待できる 起動時間、負荷変化率などの運用性を明らかにする。	● 重構造ガスタービンに対する全量加湿の効果を把握するため。 ● 電力網への系統連系を想定して、商用機スケールの運用性を把握するため。
	(5)再生熱交換器の概念設計 (住精)	● 再生熱交換器の概念設計を実施する。 ● システムの起動停止時に予想される再生熱交換器の部位ごとのひずみ振幅値から 運転寿命(年数)を検討する。	● 商用機スケールの概念設計に機器仕様などを反映するため。 ● 再生熱交換器のメンテナンス計画を策定するため。

*等価運転時間:機械装置は、起動・停止や出力の変動によって通常の連続運転よりも負荷がかかるため、寿命に影響するこれらの回数を考慮し同等の連続運転時間とみなせる運転時間のこと。

高湿分空気利用ガスタービン
◆プロジェクト費用

◆費用

(単位:百万円)

研究開発項目	H28年度	H29年度	合計	比率
総合試験装置による検証	20.8	-	20.8	1.1
実証機による長期信頼性	1419.5	498.6	1918.1	97.8
商用機スケールの概念設計	1.0	8.1	9.1	0.5
システム評価	4.4	6.3	10.7	0.5
再生熱交換器の概念設計	1.0	1.0	2.0	0.1
合計	1,446.7	514.0	1,960.7	100.0%

高湿分空気利用ガスタービン
◆研究開発の進捗管理

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。

PM、PLによる進捗把握・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。

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. 研究開発マネジメント (4)研究開発の進捗管理の妥当性

高湿分空気利用ガスタービン

◆動向・情勢の把握と対応

情勢	対応
電力市場における自然エネルギー普及に伴い、 ガスタービン発電に対する負荷変動運用ニーズが高まった。	<p>当初計画では、実証試験の1日あたりのガスタービンの起動停止回数を1回/日として計画していたが、総合試験装置で起動手順を検証した結果を反映し、1日当たりの起動停止回数を2～3回/日に変更して評価を実施。</p> <p>本計画変更により、当初計画よりも短い試験期間で起動・停止回数、等価運転時間目標を達成し、試験運転費を削減した。</p> <p>AHATの冷態起動/温体起動や、負荷変化速度が迅速で、より低い最低負荷での運用ができることを確認した。(計画に変更なし)</p>

54

3. 研究開発成果 (1)研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

高湿分空気利用ガスタービン

◆研究開発項目毎の目標と達成状況

大項目	中項目	研究開発目標	成果	達成度
総合試験装置	(1)総合試験装置による検証(MHPS)	既存の40MW級総合試験装置のガスタービンを改造し、 実証機に用いるガスタービン本体の高湿での機械的信頼性を確認する。	高信頼性化要素技術として開発してきた技術を適用して 総合試験装置のガスタービンを改造し、商用機の燃焼ガス温度条件で必要な機械的信頼性を有することを確認した。	○
実証機による長期信頼性	(2)実証機による長期信頼性(MHPS)	高湿分空気利用ガスタービン(AHAT)の実証機を建設、運転して機器類の健全性のデータを取得し、 商用機の長期信頼性を評価する。 実証機の運転時間は、100回/年以上の起動・停止回数、等価運転時間*で10,000時間以上の運転を目標とする。	排熱回収で生成した水蒸気の全量をガスタービンに加湿し、水回収装置で全量回収、再び加湿に利用する 実証機を建設し、起動回数100回以上、等価運転時間10,000時間以上の実証機の運転を行い、各機器の安定性、機械的信頼性を確認した。	○
	(3)商用機スケールの概念設計(MHPS)	商用機スケールの高湿分空気利用ガスタービン(AHAT)の概念設計を実施する。	10万kWクラスのガスタービンをベースとしたAHATシステムの系統構成、機器仕様、プラント配置を、想定される技術課題を考慮して検討した。	○
	(4)システム評価(電中研)	<ul style="list-style-type: none"> ガスタービンの加湿によるシステム熱効率の変化、大気温度条件の変化による出力、効率の変化等の諸特性を明らかにする。 AHATシステムに期待できる起動時間、負荷変化率などの運用性を明らかにする。 	<ul style="list-style-type: none"> ガスタービンへの加湿による出力と熱効率の向上効果、大気温度特性の改善効果を確認した。 商用機スケールの起動時間(並列～定格負荷)はホット15分、コールド30分、また、50%～90%負荷での負荷変化率15%/分で追従可能と評価。 	○
	(5)再生熱交換器の概念設計(住精)	<ul style="list-style-type: none"> 再生熱交換器の概念設計を実施する。 システムの起動停止時に予想される再生熱交換器の部位ごとのひずみ振幅値から運転寿命(年数)を検討する。 	<ul style="list-style-type: none"> 中間コアを大型化してコア積層数を低減しつつ大型のブロックとする構造を検討した。 GTの起動停止の動特性シミュレーション結果と熱応力解析結果から、再生熱交換器の低サイクル疲労が蓄積する位置と時期を予測した。 	○

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

55

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

計画した試験・評価を成功裏に完了し、技術的な検証を行うことができ、既存のガスタービンコンバインドサイクルと比較して、以下の優位性を確認することができた。

- ◆ 熱効率
高湿分空気再生サイクルにより、中容量機ながら、定格および部分負荷での効率が高い
- ◆ 大気温特性
吸気冷却採用と復水器不要のため出力と効率が 大気や海水温度に影響されにくい
- ◆ 環境性
高湿分空気燃焼により脱硝装置が無くても低NOx達成。復水器不要のため温排水なし
- ◆ 経済性と立地自由度
ST系がないため 冷却水が不要、構成がシンプルで建設コストが低い
- ◆ 運用性
ST系がないため、起動速度および負荷応答性が速い

高湿分空気利用ガスタービン
◆各個別テーマの成果と意義(1/2)

大項目	中項目	成果	成果の意義
総合試験装置	(1)総合試験装置による検証(MHPS)	高信頼性化要素技術として取組んできた技術を適用して総合試験装置のガスタービンを改造し、 <u>商用機の燃焼ガス温度条件で必要な機械的信頼性を有することを確認した。</u>	改造を実施した総合試験装置ガスタービンにて、商用機スケールの温度条件での機械的信頼性確認を完了した。本評価・確認により、 <u>実証機による長期信頼性試験を行うための検証を成功裏に終了した。</u>
実証機による長期信頼性	(2)実証機による長期信頼性(MHPS)	実証機において、 <u>起動回数100回以上、等価運転時間10,000時間以上の実証機の運転を行った後、各機器の安定性、機械的信頼性を確認した。</u> また、燃料である天然ガスの燃焼で生ずる、水蒸気の全量を、ガスタービン排ガスの排熱を用いて加湿し、水回収装置で全量回収、再び加湿に利用する	実際の商用機に相似の運転条件下で、水の全量回収を含むシステムの長期信頼性評価を実施し、 <u>目標運転値を満足した。</u>
	(3)商用機スケールの概念設計(MHPS)	<u>10万kWクラスのガスタービンをベースとしたAHATシステム商用機を、系統構成、機器仕様、プラント配置を検討した。</u> また商用機実現に向けて、想定される技術課題を考慮して検討した。	商用機スケールのAHATシステムの実施し、 <u>特に空冷冷却塔を用いる場合等では、本システムの事業性が得られる評価を得た。</u>
	(4)システム評価(電中研)	<ul style="list-style-type: none"> ● ガスタービンへの加湿による出力と熱効率の向上効果、大気温度特性の改善効果を確認した。 ● <u>商用機スケールの運用評価を実施し、起動時間(並列～定格負荷)はホット15分、コールド30分、また、50%～90%負荷にて負荷変化率15%/分で追従可能と評価した。</u> 	<ul style="list-style-type: none"> ● 重構造ガスタービンに対して全量加湿可能であり、また、出力と熱効率の向上および大気温度特性の改善に効果があることを検証できた。 ● <u>商用機スケールAHATは、既存コンバインドサイクルよりも高い運用性を示すことが評価できた。</u>
	(5)再生熱交換器の概念設計(住精)	<ul style="list-style-type: none"> ● <u>商用熱交換器の中間コアを大型化してコア積層数を低減しつつ大型ブロックとする構造検討実施。</u> ● <u>GTの起動停止の動特性シミュレーション結果と熱応力解析結果から、再生熱交換器の低サイクル疲労が蓄積する位置と時期を予測した。</u> 	実際の商用機に近い運転条件のパラメータで性能評価をすることができ、設計の精度をより高めることができた。

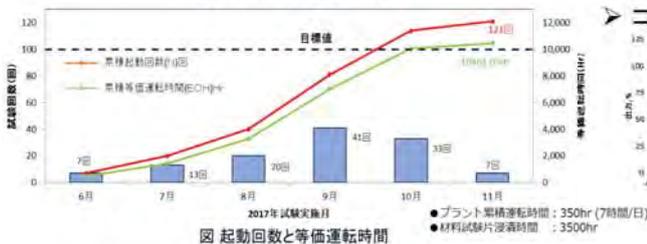
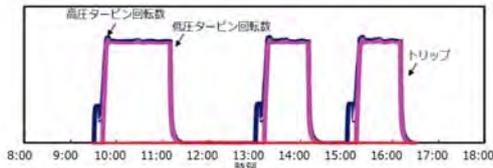
3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

高湿分空気利用ガスタービン

◆各個別テーマの成果と意義(2/2)

(2) 実証機による長期信頼性(MHPS)

再生可能エネルギー導入に起因して近年火力発電に求められる運転パターンを考慮し、2~3回/日の起動、トリップ停止により等価運転時間=10,000時間以上の運転を達成することができた。

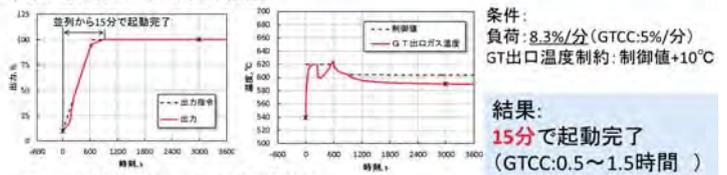


(4) システム評価(電中研)

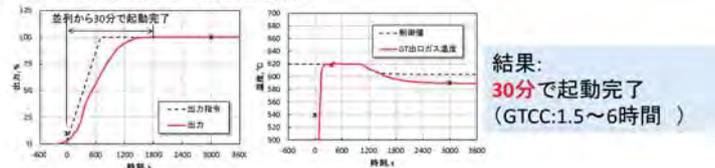
解析結果(起動時間: 並列から定格出力)

起動時間は15分(ホット起動)、30分(コールド起動)と評価され、既存GTCCのよりも速い起動時間が得られる見通しを得た。

▶ ホット状態からの起動性



▶ コールド状態からの起動性



3. 研究開発成果 (2) 成果の普及

高湿分空気利用ガスタービン

◆成果の普及

- H28-29年度は実証機の建設/試験評価に注力していた。成果発表についてはH30以降に計画する。

分類/年度	METI事業				NEDO事業		合計
	H24	H25	H26	H27	H28	H29	
論文	3	1	3				7
研究発表・講演	6	17	10	1	1	2	37
受賞実績			1				1

※平成30年9月10日現在

高湿分空気利用ガスタービン

◆ 成果の普及

H28-29年度は実証機の建設/試験評価に注力していたことから、成果報告会・シンポジウムの開催、新聞報道等については未実施。
今後実施を検討する。

高湿分空気利用ガスタービン

◆ 知的財産権の確保に向けた取組

- 高湿分空気利用ガスタービンの特徴(高湿分対応燃焼器, 水回収/水質管理等)となる技術を中心に、国外にも積極的に特許出願し、国内外での特許網を構築している。

	～23年 度	24年度	25年度	26年度	27年度	28年度	29年度
特許取得(件)	15	8	11	3	3	2	3
うち国際特許取得(件)	2	1	4	0	1	0	0
特許申請(件)	51	6	3	2	6	0	1
うち国際特許申請(件)	14	3	0	1	3	0	0

高湿分空気利用ガスタービン

◆本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方

当該研究開発に係る試作品、サービス等の社会的利用(顧客への提供等)が開始されることであり、さらに、当該研究開発に係る商品、製品、サービス等の販売や利用により、企業活動(売り上げ等)に貢献することを言う。

具体的には、当事業で開発・実証した技術が組み込まれた新設ガスタービンや保守交換のための関連製品が上市され、従来機を超える性能や経済性等、高い競争力により受注を得ること。

4. 成果の実用化・事業化に向けての取組及び見通し (1)成果の実用化・事業化に向けた戦略

高湿分空気利用ガスタービン

◆実用化・事業化に向けた戦略

- 国内は、再生可能エネルギーの導入により、**起動時間や負荷変化率、最低負荷等の運用性に関するAHATの魅力**をアピールし、FSを経て導入を目指す
- 輸出は、欧米など再エネ導入が多い地域その他、**立地の自由度を生かし、中東、西アジア、アフリカ等の内陸部、グリッド未整備地域を中心に導入提案する**

市場	特徴	戦略	状況
国内	<ul style="list-style-type: none"> ・再生可能エネルギーとの連携 ・エネルギーセキュリティ考慮した分散電源 ・電力全面自由化に伴う新電力会社の参入 	<ul style="list-style-type: none"> ・LNG火力リプレース、石油火力の燃料転換などのリプレース市場 ・内陸立地の分散電源 ・産業ユーザー向けの発電容量、熱電併給仕様の提案 	<ul style="list-style-type: none"> ・実証完了後のFS(導入可能性調査)実施にむけ国内電力会社にPR中 ・ユーザーの要求を調査済み
輸出	<ul style="list-style-type: none"> ・再生可能エネルギーとの連携 ・高気温地域 ・水が乏しい地域 ・グリッド未整備地域 ・将来の石炭ガス化との連携 	<ul style="list-style-type: none"> ・起動時間、負荷変化率のメリット生かし再生可能エネルギーとの連携 ・高気温時の出力低下が少ない利点 ・補給水が少ないまたは不要な利点 ・グリッド未整備地域の分散電源 ・石炭ガス化、CO2回収への発展 	<ul style="list-style-type: none"> ・実証試験で検証した水回収装置を適用可能な派生システム(S-AHAT)でPR中 ・導入に向けた調査FSをMETI支援で実施済み

4. 成果の実用化・事業化に向けての取組及び見通し (3) 成果の実用化・事業化の見通し

高湿分空気利用ガスタービン

◆成果の実用化・事業化の見通し、波及効果

- 実証機により長期信頼性を確認できたことから、ユーザー獲得を目指す
- 開発技術の一部は既に製品に適用済(燃焼器、タービンの冷却構造)

年度	2004	2008	2012	▼現在	今後
経産省* 高効率GT 補助事業 (* 2016～はNEDO)	フェーズ1 (’04～06年) AHATシステムの 原理的な成立性 確認	フェーズ2 (’08～11年) 中容量AHATの GT要素技術	フェーズ3 (’12～17年) 高信頼性化技術の開発と AHATシステムの長期信 頼性実証		
検証/実証機	3MW級検証機	40MW級総合試験設備	実証機		
技術の波及、 派生システム 等	<p>S-AHAT (Smart-AHAT™ : Simple heat and water recovery tri-generation Advanced Humid Air Turbine)</p> <p>・高湿分燃焼器、高湿分翼冷却 →MHPSのガスタービンに適用済 ・再生熱交換器 →SOFC(開発品)用空気予熱器へ適用済</p> <p>高湿分燃焼による低NOx 燃料 蒸気 排ガス 高湿分対応GTにより、広範囲な熱/電併給可能 排ガスからの水回収・再利用技術</p>			概念設計	<p>AHAT</p> <p>S-AHAT</p> <p>CO2回収型クローズドサイクルAHAT</p> <p>CO2回収型IGHAT</p> <p>・再生熱交換器の大型化技術 →石油化学プラントに適用</p>

4. 成果の実用化・事業化に向けての取組及び見通し (2) 成果の実用化・事業化に向けた具体的取組

高湿分空気利用ガスタービン

◆実用化・事業化に向けた具体的取組

- 本事業により高湿分空気利用ガスタービンシステムの長期信頼性を確認するとともに、商用機の概念設計により運用性、経済性、環境性などを明らかにした。
- 今後、ユーザー候補とのFS(事業性評価)を実施しユーザーニーズと合致していることを確認して製品化することを目指している。

年度	H30年度 (2018年度)	H31年度 (2019年度)	H32年度 (2020年度)	H33年度 (2021年度)	H34年度 (2022年度)	H35年度 以降
製品PR、 ユーザー候補とのFS	ユーザー候補とのFS(事業性評価)					
詳細設計			詳細設計			
設備投資				設備投資		
生産				生産		
販売						販売
収益発生						収益発生

参考資料 1 分科会議事録

研究評価委員会
「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」
(事後評価) 分科会 議事録

日 時 : 平成 30 年 9 月 10 日 (月) 10 : 00～16 : 10

場 所 : WTC コンファレンスセンター Room A

出席者 (敬称略、順不同)

<分科会委員>

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 燃焼工学領域 教授
委員	佐藤 勉	(株)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) 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) 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

<推進部署>

田中 英明	NEDO	環境部	部長
在間 信之	NEDO	環境部	統括研究員
山中 康朗(PM)	NEDO	環境部	主査
今村 宏暁	NEDO	環境部	主査

<実施者>

斉藤 圭司郎 (PL代理)	三菱重工業(株)	総合研究所 燃焼研究部	燃焼第二研究室 室長
檜山 貴志	三菱重工業(株)	総合研究所	ターボ機械第二研究室 主席研究員
小熊 英隆	三菱重工業(株)	総合研究所	製造技術第一研究室 主席研究室
吉田 正平 (PL)	MHPS(株)	(三菱日立パワーシステムズ(株))	ガスタービン技術総括部 日立ガスタービン技術部 主幹技師
麻尾 孝志	MHPS(株)	エンジニアリング本部	エンジニアリング総括部 プラント技術部 主席技師
荒木 秀文	MHPS(株)	エンジニアリング本部	電力プロジェクト統括部 電力計画部 主席技師
辻井 潤一	住友精密工業(株)	熱エネルギー部	担当部長
高橋 徹	(一財)電力中央研究所	エネルギー技術研究所	次世代火力発電領域 上席研究員

<評価事務局>

保坂 尚子	NEDO	評価部	部長
塩入さやか	NEDO	評価部	主査
前澤 幸繁	NEDO	評価部	主査

議事次第

(公開セッション)

1. 開会、資料の確認
2. 分科会の設置について
3. 分科会の公開について
4. 評価の実施方法について
5. プロジェクトの概要説明
 - 5.1 事業位置付け・必要性、研究開発マネジメント
 - 5.2 研究開発成果、成果の実用化に向けた取組及び見通し

(非公開セッション)

6. プロジェクトの詳細説明
 - 6.1 1,700℃級ガスタービン
 - 6.2 高温分空気利用ガスタービン
7. 全体を通しての質疑

(公開セッション)

8. まとめ・講評
9. 今後の予定
10. 閉会

議事内容

(公開セッション)

1. 開会、資料の確認
 - ・開会宣言 (評価事務局)
 - ・配布資料確認 (評価事務局)
2. 分科会の設置について
 - ・研究評価委員会分科会の設置について、資料1に基づき事務局より説明。
 - ・出席者の紹介 (評価事務局、推進部署)
3. 分科会の公開について

評価事務局より資料2及び3に基づき説明し、議題6.「プロジェクトの詳細説明」及び議題7.「全体を通しての質疑」を非公開とした。
4. 評価の実施方法について

評価の手順を評価事務局より資料4-1～4-5の要点をまとめたパワーポイント資料に基づき説明した。
5. プロジェクトの概要説明
 - 5.1 事業位置付け・必要性、研究開発マネジメント
推進部署より資料5に基づき説明が行われた。
 - 5.2 研究開発成果、成果の実用化に向けた取組及び見通し
実施者より資料5に基づき説明が行われた。

5.1及び5.2の説明内容に対し以下の質疑応答が行われた。

【松橋分科会長】 ありがとうございます。

技術の詳細につきましては議題 6 で扱いますので、ここでは主に、事業の位置付け、必要性、マネジメントについて議論します。ただし、そうは言っても、技術の本質についても、簡単には御説明を頂いていますので、そこについて確認の御質問等がありましたら、それもお受けすることにはいたしたいと思えます。

全体として、ただいまの御説明につきまして、御意見、御質問等お願いいたします。

【異委員】 先ず、3 ページですが、平成 31 年以降の変更ということで、1700°C のガスタービン、中間評価のタイミングを見計らって、補助率を下げるとお聞きしました。2/3 から 1/2 に、平成 31 年以降は下げるところ、これは説明いただいたところでは、実用化に対する年数を考えて、方向としては理解できるのですけれども、2/3 から 1/2 の実用化という点、大体、何年ぐらいの見通しのイメージでこれを下げようとしているのでしょうか。そこをちょっと教えてください。

【山中 PM】 まず一つが、この技術を適用した 1650°C のガスタービンにつきましては、新聞報道でも、2022 年度に投入すると報道がなされております。更には、先ほど少し話しましたが、2022 年度からこの技術を適用したガスタービンの販売を開始していく形が、具体的に出てきています。これらを勘案しますと、かなり実用化に近付いたものとして位置付けるべきかと考えております。

それから、もう一つ、補助率の考え方につきましては、特に大企業に関しては 1/2 が適切だというお話等もございますので、今回の事案については、1/2 に変更するのが適切ではないか考えております。

【松橋分科会長】 よろしいですか。

今の補助率につきまして、実証実験の計測中に、実際に発電をして、系統に売るというか、そのこととの関連は全く関係ないのでしょうか。

【山中 PM】 もともと、売電収益が上がるというところにつきましては、私の認識では、先の METI の平成 27 年度の総合開発技術会議の中で議論したポイントではないかと思っています。この総合技術会議の中では、当初、この 1700°C 級実証発電設備については補助対象の中に入っていたのですけれども、今の売電収益について考慮する必要があるとかということが指摘されました。

これを受けて、実証発電設備そのものについては、この補助事業の範疇から外しております。外した上で、事業者自らの費用で、この実証発電設備を建設して運転するということが決定しております。

このことから、今の売電収益に関しては、補助率の判断の中からは対象とすべきではないかと思っております。

【吉見委員】 特に海外の研究開発動向の中で触れていらっしゃいましたが、米国あるいは EU というのは、非常に先進的な素材も組み込んだ形でのかなり画期的なタービンの開発に乗り出しているかと思われませんが、御説明の中には、例えば 13 ページ、高効率ガスタービン技術実証事業に関しての意義として、燃焼や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おっしゃられている中において、今回、ちょっと欧米のような踏み込んだ新型の材料を、なかなかハンドリングし切れていないという感がしないわけでもないのですが、非常に難しいことなので、それはいたし方ないと思いますが、こういった今回のこの組立ての経緯というのはどういうことと考えればよろしいのでしょうか。

【山中 PM】 ごめんなさい、組立ての経緯と言いますと。

【吉見委員】 つまり、あえて、余りチャレンジングな新材料というよりは、どちらかという、機械の方の性能をより高度化していくという方向にかじを切られたように見受けられるのですが、そうなった経緯というのはどういうふうに考えればよろしいでしょうか。

【在間統括研究員】 詳細技術説明の後でもよろしいですか。

[吉見委員] はい、結構です。

[斉藤 PL 代理] 今の質問を少し簡単にお答えさせていただきますと、材料開発の方は、前 METI の時代に行っておりまして、今回の NEDO 事業においては、実用化、2020 年度に実証、商用化ということを狙って、施工技術の開発ということにステージを分けてやっておりますので、今回はあくまでも実用化を狙った施工技術ということに的を絞ってやっております。

[吉見委員] もう一つあるのですが、今度は後ろ側の AHAT の方なのですが、これは非常に細かなところで恐縮なのですが、日本語の問題と言えば、日本語の問題かもしれないのですが、例えば、56 ページ、環境性におきまして、低 NO_x を達成したということでありまして、脱硝装置がなくても、低 NO_x が達成されたという意味は、これ、依然、脱硝装置は必要だというふうに読めばよろしいのでしょうか。程度の問題として。

[吉田 PL] 御指摘の通り、脱硝装置は必要と考えておりますが、例えば、都市地域でも、煙突出口の NO_x が 10ppm 以下とか、そういうふうに規定されておりますが、今回は、その 10ppm 相当を目標として開発しておりますので、定格条件での NO_x レベルは非常に低くございますが、部分負荷レベルではまだ NO_x が出るということもありますので、脱硝設備としては必要と考えてございます。

[吉見委員] 分かりました。それから、58 ページのところなのですが、システム評価のところ、既存の GTCC のものよりも速い起動時間が得られる見通しを得たという表現をされていらっしゃるんですが、これは得られるということではなくて、なぜ、見通しを得たというふうに表現されたのか、得られたなら、得られたとおっしゃっていただいて結構かと思っておりますけれども。

[吉田 PL] 得られました。

[山中 PM] 今の事は実証設備で確認できたというのが一つと、それから、それを踏まえて、実機を、シミュレーターベースで評価した結果、その数値が達成できるという見通しが得られたので、こういう形にしています。

[巽委員] 先ほどのガスタービンのところの先進技術に関連するのですが、10 ページの中で、他国、特に GE とか Siemens の研究開発を説明いただいて、理解したのですが、例えば、水素はともかく、先進燃焼タービンというのは、これは 2015 年度に終わっているのですよね。65%というのは、HHV では 57% でほぼ同等ということを知っているのですが、それ以外に、Siemens も GE も含めて、いろいろな方向でやっておりますけれども、その後、現在ではどういう形になっているのでしょうか。なかなか先進のところなので、分かりにくいのですが、ちょっと 2 社の競合というイメージで、おおむね説明できる範囲で教えてください。

[山中 PM] 不確かです。申し訳ないのですが、この先進燃焼タービンの開発につきましては、この後、水素ガスタービンと一緒にプログラムが別で走っている筈でございます。そういう意味で、すみません、ちょっとこのデータが古いものでございまして、確か、現状も高効率化を目指したプログラムというのは進んでいる筈です。

[巽委員] というのは、御存じのとおり、水素のカロリーが天然ガスの 1/3 ぐらいで低くて、水素タービンというのは同じ温度でやろうと思うと、結構難しいという理解があるのですが、1700℃の水素タービンをやるということは物すごく難しいことをやっているようにも理解できます。

逆に言えば、チャレンジングで、できないというか、なかなか難易度が高いのではないかなと思ってはいるのですが、今の段階では、そうしたら、三菱さんの方で今やっているこの 1700℃というのは一番難しいというか、トップランナーというぐらいに認識してよろしいのでしょうか。分かる範囲でお願いします。

[斉藤 PL 代理] 天然ガス焚きという点では、確かに 1700℃をトップランナーと認識しております。今、環境部の方ではないのですが、新エネ部の方で、水素混焼、それから専焼の方のプロジェクトもやっております、特に燃焼器の開発は、水素では全くとらえなくとも変えなくてはいけなくて、その辺は水

素という意味では、そちらのプロジェクトで一応先端を走っているというつもりではございます。

[異委員] 水素でも先端と思いますが、

[齊藤PL代理] はい、水素ガスタービンの主に燃焼器の開発で、そこにはタービンとか圧縮機は、今の1700°Cのものをそのままスライドして使えるのですけれども、新エネ部さんでやっている方は、燃焼器だけの開発ということで、水素の方でやっております。組み合わせれば、水素ガスタービンの、彼ら欧米がやっていることとほぼ同じ成果が出せるものと認識しております。

[松橋分科会長] 恐らくこれ、水素は、基本的には再生可能がヨーロッパも非常な勢いで増えておりますから、その、例えば、出力抑制とか、インバランス分を水素にするという頭があると思うのですよね。そうでなければ、天然ガスから水素を作るということは無駄とか、それだったら、そのままガスタービンに入れればいいわけで、おっしゃるように、カロリーも天然ガスの方がはるかに高いわけですので、再生可能が増えるという前提で水素をやって、温度を上げるためには、恐らく普通の空気ではなくて、純酸素とか酸素富化で燃焼するというを前提にして開発されているのだと思うのですね、想像としては、

そうでなければ、わざわざ水素をやる意味が余りないと思います。日本もそういう観点で30%まで水素を今後できるというあれは、そういうこと、あるいはCO₂を回収するという場合もありますね。いろいろな意味で、CO₂削減、再生可能、そういったことが背景にあって、これを行っているのだと推測されます。もしちょっと間違っていれば、御指摘いただければと思いますが。

[異委員] ありがとうございます。

[松橋分科会長] 他はいかがでしょうか。特に御質問はございませんでしょうか。

ちょっと、2点だけ確認をさせていただきたいのですが、これ、大きく分けて、1700°C級のガスタービンと、それから後半はAHATの御説明だったのですが、お話を伺っておりますと、1700°C級は、原則としては余り頻繁に、例えば、DSSをやるとか、頻繁に負荷変化を行うようなものというよりは、ベースロード電源としての位置付けであって、それに対して、AHATの方は、さっきも話が出た、昨今の再生可能の急激な増加に伴って、負荷に変動させる、あるいはDSS、あるいはそれ以上のことを要求される可能性もあるので、どちらかと言うと、AHATは負荷変動対応、再生可能との組合せも考慮に入れるというようなもので、1700°C級の方は、ベースロード級のガスタービン、コンバインドサイクル、こういう位置付けであると、このように考えてよろしいですか。

[山中PM] 基本的には、その考えだと私も思っております。既存機の1600°C級のガスタービンにつきましても、それに近い運用がなされております。ただし、確か、1600°C級のガスタービン、スペック上はDSS運用可能というような形になっておりますので、同等の運用は、やろうと思えばできるかと思えます。

ただし、やはり経済的な観点で、それが適切かどうかということに、マーケットとして引っ張られるかなというふうに思っております。

[松橋分科会長] 分かりました。

ちなみにですが、今、運用されているという1600°C級のガスタービンもやはり1700°C級と同様に、いわゆる遮熱コーティングがされているということですよ。

[齊藤PL代理] はい、そうです。

[松橋分科会長] 分かりました。

[成瀬分科会長代理] 二、三、質問も含めてコメントさせていただきますと、まず、ちょっとくだらない質問なのですが、1700°C級にされた理由とか、既に海外が1700°C級やっているから、日本も1700°C級であるのでしょうか。何となく3100°Fで、1700°Cという。何で1750°Cとか、そういうもっと上を狙ったことを、課題設定しないのかなというふうに半分冗談で思うのですけれども、何か1700°Cにこだわった理由を、もしあれば。

[斉藤 PL 代理] 温度から先に出たと言いますか、効率から先に出ていて、57%を達成しようと思ったら、逆算すると1700°Cだったということでございます。ちょっと誤差はあるのですけれども、切りのいいところで切ったということなんです。

[成瀬分科会長代理] それから、温度が高温化するの、確かに、熱力学的にすばらしいことなのですが、よく言われるのが維持管理、1万時間、もちろん書いてありますけれども、タービン点検が法律で1年に1回でしたっけ、ちょっとガスタービンはよく分かっていないのですけれども、例えばそれを、本来、性能があるから2年に1回にするとか、そんな発想みたいなものがあったとしても良いのかなと思うのですが、いわゆる高温になればなるほど、維持管理費が非常に高価になるとか、あるいは維持管理するための期間が1か月では終わらないとか、そんなことが、今回はもちろん明確にする必要はないのですけれども、その辺、最終的にどのような目標を持たれているのか。

[斉藤 PL 代理] 年に1回の定期点検がございます。今回の1700°Cのプロジェクトの中でも、検査、メンテナンスの検査技術という項目も入っております、そこで今まで、人が目で、目視でやっていたものを自動化して、その点検期間をいかに短縮して、availability、稼働率を上げるといったことも項目として入っております。

結果、あと、更に、TBCとか、それからクリープの強度評価技術とか、そういった精度も高まってくると、インターバルの期間も少しずつ長くなっていくという、動かせる期間を長くする、若しくは点検期間を短くするという、両方のアプローチをとってやっております。

[成瀬分科会長代理] 最後なのですが、NEDOさんなのですが、ここに一応、NEDO事業としてという評価項目があって、資料を拝見すると、NEDOさんでは何をされたのかという、その辺を、どこをどう見ればいいのかというの、ちょっと今、探すのが結構大変なのですが、NEDO事業としては、もちろん良く理解はできるのですが、NEDOさんとして、では何をされたのかというのがちょっと見えてこないのですけれども、いかがでしょうか。

[山中 PM] R&D そのもの、技術的なところにつきましては、やはり PL、プログラムリーダーをメインとして取りまとめて進めていただくということを実施しております。プロジェクトの推進に係りましては、

一方で、NEDOのPMとしましては、この実施状況をきちんとフォローするということ、それから、費用的な面なりで必要な措置をとるというようなところがNEDOのタスクかと思っております。更には、この技術分野における市場動向とか、技術動向、政策動向等をきちんとフォローして、必要に応じて方針転換を図るということがNEDOとしてやらなければいけないところかと思っております。

[松橋分科会長] よろしいですか。今、実は成瀬委員の御指摘に関連して、踏み込んでしまっただけで申し訳ないのですが、見学の際も遮熱コーティングの熱ひずみに関して、1,000回のスタート、ストップに耐えられるような試験をされていたと思うのですが、もし定期点検、年1回か2回の定期点検の時だけ止めるような形で、そういった熱ひずみがほとんど生じないような形であれば、もう少し高い温度でも可能であるというふうに考えられるのでしょうか。答えられる範囲で結構です。

[斉藤 PL 代理] 高温化のためには、サーマルバリアコーティングだけではなくて、材料の冷却、材料のクリープ特性の正確な把握とか、それからあと、冷却技術もありますので、全部更に温度を上げていくようなアプローチをとっていけば、まだ可能だとは思いますが。

[佐藤委員] 13ページでございます、AHATの方につきましては、世界初となる新型ガスタービン発電システムという記述がありまして、どちらかと言うと、1700°C級事業よりも、よりシステム全般で新規性が高いということだと思います。この未知のところが多く、世界初の難度が高い技術と言うことであると、恐らく国内でも海外でも、なかなか技術的にブルーベンではないというか、あるいは商用機の実現までに、まだまだ課題があるというか、実績を重ねて行かないということだと思います。その辺、比較

的まだまだ課題があるということだと思いますけれども、具体的には、どのような実績作りをしていくようなイメージかということと、時間軸はどのようになりますでしょうか。

[吉田 PL] おっしゃる通り、例えば、この後の技術的な内容の中でも御紹介いたしますけれども、一つ例に挙げますと、再生熱交換器みたいな多量のガスを熱交換するようなシステムというのはまだ実績がございませんので、こういうものについては、解析等、そういうものを適用して、どのぐらいのメンテナンス時間が必要だとか、あるいはどのぐらいの期間で点検しなければいけないのかというようなところは、今後詰めていくことで考えております。

それから、商用化ということになりますけれども、今回、この評価委員会を実施いたしまして、ある一定の成果が認められれば、FSを開始して、2年あるいは3年後程度に、商用化のために進めていきたいなというふうに考えてございます。

[巽委員] 14 ページの方の経済性というか、将来の見通しですが、民間としてはやはり、この市場とか見通しのところに触れざるを得ないのです。2015年度のデータは、実際のベースでNEDOさんへの質問かも知れませんが、2020年以降は予想と思っています。この5年で15%ずつぐらい、年間2、3%ずつ伸びているようになっているのですが、見込みというのはあるのでしょうか。

というのは、GEとかSiemensが結構マイナス要因的なプレスも実際見えています。我々としては伸びて欲しいと思っていますが、その辺の見込みをお願いします。

[山中 PM] すみません、ここのところはかなり粗っぽいことをしております、これ、Mc Coy Reportの2017年までのデータをもとにして、外挿して、先を引いているというのが実情でございます。

ですので、ごくごく最近のマーケットの状況とかというのは反映されていない形で引いております。更には、McCoy Reportのデータというのは、何MWが何基売れたとか、市場に導入されたとかという形で、台数ベースでデータは計上されているのですけれども、それに対して、コスト検証委員会で使われたガスタービンコスト、キロワット当たりのコストを掛けて、マーケット規模を出すというようなやり方で出されているデータでございます。

私もこれはちょっと、マーケットの先行きを見るものとしては、アバウトなものになっていると思っています。実際はここまでは上がってはいない、上がって行くことはないのではないかと。

ただし、やはりマーケット規模としましては、やはりこの数兆円規模のマーケットは十分あるかと思っていますので、この経済性効果に関しての評価としては、それでも十分に経済性があるという評価をして良いのではないかと考えております。

[巽委員] 期待しております。

[松橋分科会長] そういう意味では、ちょっとこのグラフは気を付けて見ないといけませんし、もしそんな短い期間のものを外挿するのだったら、さっき、IEAのレポートで2050年までに4割増加でしたっけ、あちらから内挿した方がまだ本当な感じがしますが、いずれにしても、数兆円オーダーのマーケットがあるということは間違いないですね。そういうことで、少し御留意いただければと思いますが、よろしいですか。時間が来ておりますので、もし、どうしても御質問があれば、1件承りますが、よろしいですかね。

ありがとうございます。それでは、とりあえず一旦、ここで終了いたしまして、休憩ということにさせていただきます。

(非公開セッション)

6. プロジェクトの詳細説明

省略

7. 全体を通しての質疑

省略

(公開セッション)

8. まとめ・講評

[松橋分科会長] それでは、よろしいですかね。はい。

それでは、実施者の方が御入場されましたので、議事の8番、まとめ・講評を頂きたいと思います。

まず、吉見委員から始めまして、最後に私という順番で講評させていただきます。それでは、吉見委員、お願いいたします。

[吉見委員] 本日はいろいろと現在取り組まれている状況あるいは得られた成果につきましてお話を伺うことができて、大変勉強にもなりましたし、大きく前進しているという感じを強く受けまして、大変結構だったと思います。

それで、特に私は材料屋でございますので、二つのプロジェクトともいろいろと質問はさせていただきましたけれども、材料を取り扱う上での難しさ、困難とか、それから解決課題のようなこともしっかりと実はよく吟味されていらっしゃるという実は感想を持っておりまして、それだけになかなか解決しにくい部分も幾つか実は表に出てきているのではないかなというふうな気がしております。特に使用環境が厳しくなればなるほど取扱いがどんどん難しくなってきました、今回のプロジェクト、成果としてなかなか社外にオープンにできないという事情があたりだというのもよく分かるのですが、一方で、課題が難しくなればなるほど恐らくこのプロジェクト内の内側だけで解決するのは非常に難しいというのが幾つも出てきているのではないかなという気がいたしております。そういった部分に関してはできるだけその専門家と言われている国内の公的な研究機関あるいは大学の機関と密に連携をしながら問題の解決に当たっていただければいいのではないかなというふうに感じたところでございます。私からは以上です。

[辻田委員] 辻田です。今日はどうもありがとうございました。私もいろいろと勉強になりました。

私はユーザーの立場というか電力会社の立場からいきますと、特に私の立場からいくと、いろいろと他のメーカーさんともやり取りさせていただくことがあって、なので今回の1700℃クラスとか要素研究から商用化に向けて他社との比較も当然ありますし、日本としての独自性ですかね、その辺のところをちょっと肩入れはできないのですけれども、期待しているところでございます。

あと、弊社の場合は1650℃クラスのJAC (J-series Air-Cooled) も採用していることもありまして、今後その辺のところの実用に向けたところと、あと1700℃クラスからのレトロフィットというのですかね、そちらの方も期待しているところでございます。

あとは、今日何度かお話しさせていただきましたけれども、高性能なものというのは当然なのですが、運用性というところですかね、定検のインターバルの期間延伸とか、定検そのものの工期の短期化というのも非常に重要です。あとは、これからいろいろと電源、特に太陽光とか増えていく中で、設備のフレキシビリティ、アジリティというところはとても重要になるので、そういう対応ができるような新型のマシンというか機種を開発していただければ非常に有り難いと思いますので、是非よろしくお願いいたします。

[巽委員] 今日はどうもありがとうございました。先週、三菱重工さんの方の研究所にも見学させていただきましたし、今日もかなりクリアになり、よく分かってきました。

各要素については 13 以上あるということで、非常に確実に進んでいるということが理解できました。あとは商業化についてちょっと細かいところを聞かせてもらったのですが、実際 1650℃のゾーン、それと 1700℃級ということで、何年のどこから予定と、もしくはここからやるぞというようなことをもう少し明示いただいたら、ユーザーとしては導入のところについて意識してくるのではないかなと思っております。

あとは、説明されましたとおり、再エネとの協調ですね、これも聞いていましたらかなりの部分で機動性も発揮できるのではないかなと淡い期待を持っていますけれども、あるところへ行けばやはりベースロードとミドル電源とかそのピークの対応ということでやはり一緒になってくるのではないかな、もしくはそういうニーズが増えてくると思っておりますので、それについてもまた将来念頭に置いていただきたいと思っています。

それと、個別のコストは上がると思っておりますけれども、効率が上がった分の出力も上がりますから、全体的にはkW 当たりといったら非常に大ざっぱな言い方ですが、コストが従来より下がると期待しておりますので、そのあたりも含めて将来の方向性ということで明示いただければすごく普及も加速していくのではないかなと思っております。

あと、AHAT についても、もともと非常にユニークなガスタービンなので、後ろのスチームタービンが要りませんので、すごく良い、それも 50%は出ているということで期待しておりますけれども、期待ということは若干不安というのもありまして、8,000 時間とか 1 万時間とか運転されていますけれども、一般的なユーザーとしては、より長期的な運転性の実績できれば良いので、商業機の 1 号機、2 号機のところでこれから御苦労されると思いますが、ひと踏ん張りして頂きたい。

それと、スチームタービンが要りませんので、コストがかなり下がるのではないかなと期待しております。従来よりは下がりますよというのがあれば一つのドライビングフォースになると思っておりますので、両方とも期待しております。よろしくお願いいたします。

[佐藤委員] 私の方は公的ファイナンスの立場からということになります。公的ファイナンスの方は政府のシステムインフラ輸出において多方面に活動しておるわけですが、やはり海外における電力案件は他分野以上に実績があつて、競争力があるところと思っております。

他方で、電力分野は釈迦に説法になりますけれども、パリ協定に基づいて国際的に技術や、燃料種に対する非常に高い要求が年々大きくなっております。そうした中で、本日のこの二つの案件は共に非常に時節にかなった大変すばらしい案件だと思います。1700℃ガス火力コンバインドサイクルにつきましても、引き続き電力需要の大きな途上国の中でのベースロード電源に対する要求がございますので、そうした中で発電効率、原単位が高まるというのは非常に説得力がある事業だと思います。

2 点目の AHAT もやはり、これだけ再エネが普及し続ける中でそうした調整力、負荷変動性というのは非常にタイムリーなものだと思っておりますので、共に将来売れていく商品というような認識を持ちました。どうもありがとうございます。

[赤松委員] 1700℃級ですけれども、既に実用化されている 1600℃級の高性能化とか、それも含めて非常に多くの開発項目をクリアに実施されていると思えました。この技術については恐らく再生可能エネルギー源の水素やアンモニア並びに CCS で得られた CO₂ を原料としてメタネーションにより生成されたメタンの燃焼にも利用可能であると思っておりますので、非常に有望であると考えております。

あと、AHAT の方ですけれども、蒸気タービンが必要無くなり、更に水の便がない地域でも使用で

き、更に負荷変動にも対応できるということで、こちらについてはまだ技術課題もあるのかも知れませんが、非常に有望な技術であると思いました。

今日は様々な技術開発に関して教えていただきまして、誠にありがとうございました。

[成瀬分科会長代理] 大変御苦労さまでございました。二、三、私の思うところを申し上げます。

これは先週も申し上げたのですが、やはり今回 13 の個別テーマ持たれていて、やはり個別最適をかなり今日は強調されていたと。しかし、それが全体最適につながらないといけない、その手法に何らかの論理的な、経験的に組み上げる最適化もあると思うのですが、やはり是非論理的な手法で最終までに全体最適化を目指して実用化、商用化を目指していただきたいという気持ちが 1 点目でございます。

それから 2 点目は、1700°C級のこのガスタービンがライフサイクル的にどうなのだということはやはり非常に重要な点でございまして、先ほどある委員がおっしゃったように、30 年もつのかと、40 年もつのかという。金さえ積めばもつのかもかもしれませんが、やはりその辺は経済合理性という考え方もあるのですが、我々はやはりそういう意味ではエネルギー的な観点から言うと、せっかく開発されるのであれば持続性を担保するような技術というものも目指していただきたいというのが二点目でございます。

三つ目は、私は名古屋大学の未来材料システム研究所におるのですが、実はガリウムナイトライドの天野先生がお隣にいらっしゃいます。彼のガリウムナイトライドの例のランプで、彼が技術の死の谷を超えて実用化に至ったのだというふうにおっしゃったわけですね。技術はもうあったわけですね。しかし、実用化に大きなデスバレーがあったとこれも説明されて。まさしく良いところまでいって、一步死の谷を超えないといけないという、それが技術の谷なのか、先ほどの議論で言うと、政策で谷ができてしまっているなという印象も持つのですが。それはともかくとして、そういうことも含めていろいろな谷がありますので、それも考えて商用化目指していただきたい。

やはりエネルギーと資源ですね、それから環境。ものづくりというのは実は大事な視点でして、再エネの話がさっきちょっと議論出ましたけれども、太陽光発電にはシリコンが使われているわけですね。シリコンは地球上にないわけです。シリカはありますけれども。シリカを使ってシックスナインのシリコンにしているわけですね。それから、鉄も地球上にはないわけです。酸化鉄はあるのですけれども。我々は石炭を還元剤にして酸化鉄を鉄にしているわけですね。化石資源が絶対にいるわけです。ものづくりに絶対に要ります。ガスタービンのタービン翼でも多分レアメタルをいっぱい使っていると思いますね。レアメタルどう回収リサイクルするのだということも含めて、やはりトータルの視点で考えるということも大事だなと思っています。以上です。

[松橋分科会長] ありがとうございました。

今、色々の委員の先生方から大変貴重な御意見が出ましたので、是非これらを今後に活かしていただきたいと思います。

もうほとんどの論点は出そろっていると思うのですが、1700°C級のガスタービン、私も専門は電力システムでございまして不勉強な点が多々あったのですが、もろもろの極限技術の集積であるということを経験とそれから見学も通じまして大変勉強させていただきました。成瀬委員から御指摘があったように、個別最適という意味ではもろもろの技術がそれぞれ極限ですので、まさに個別に非常に深く探究されているということは十分勉強させていただきました、その一方で、確かに全

体システムとしてのシミュレーションが、AHATの方は電中研さんがされていますけれども、こちら1700℃級も恐らく後ろではバックでは全体システムのシミュレーションをされていると思うのですが、今回は見えなかった。私たちとしては、それは後ろできちんとされているだろうという前提で考えさせていただきますが、そこはもし機会があれば今後どういうふうに発電システム全体としては最適になっているのだという姿は見せていただきたいと思います。

AHATの方は、かつてチェーンサイクルとかスチームインジェクションガスタービンというものがあったけれども、これは水蒸気の潜熱も利用しているという意味で大変ユニークだと思いますし、水が十分ないところでも利用できるという意味でも非常に面白い技術であると。しかも、今日的な負荷変動にも耐えられるということで、必ずそのマーケットがあるというふうに私たちも期待しておりますし、今後、是非社会実装、ビジネスとして生きることを是非見たいというふうに思っております。

そういう意味では、電力システムというのが今日非常に複雑になっておりまして、制度そのものも、ヨーロッパ、アメリカは先にいろいろな周波数調整であるとか予備力の市場が既にできていて、日本も少し始まりましたが、2020年ごろから本格的に始まって、そういった市場をにらみながら、これらの技術がどのように生かされるのかという戦略を作って、そして是非これを生かせるように。そして、そこからまた開発の方にフィードバックしていくところもあると思います。

そういう意味では技術の死の谷もありますし、確かに成瀬先生のおっしゃった制度、電力制度のいろいろな、悪く言うと落とし穴みたいなものもあるのですけれども、うまく利用すれば必ずこういう技術が生きる場所がある筈ですので、そこを是非つかまえていただいて、我が国の技術が国内においても世界においても非常に多く活躍、貢献できるようにしていただきたい。それを私たちも少しでも後押しできる場所がもしありましたら是非力を尽くしたいと思っておりますので、よろしく願いいたします。そんなところでございます。

[田中部長] 今日は朝から長時間にわたりまして御議論いただきまして、本当にありがとうございます。ちょっと私は午前中別の会議に出ておりまして午後からの参加になりましたけれども、議論を聞いていて、1700℃のガスタービンとあとAHATについて、いずれも非常にユニークな技術だなという実感を持ちましたし、また最後のコメントでも先生方からも非常に期待できるのではないかと、そういう有り難いお言葉をちょうだいしたところでございます。そういった意味では、NEDOといたしましては今日頂いた御意見を十分踏まえながら今後の展開に生かしていきたいというふうに考えております。

また、特にやはり松橋先生からもありましたけれども、やはり実用化ですよ、これにつながっていくことがNEDOとしても非常に大事だというふうに思っておりますし、それは事業者さんも同じではないかなというふうには思っておりますので、この後、これをどうやってこの技術を世の中に実際に使えるものにしていくって、国内及び海外のいろいろな環境面への貢献ですね、CO2が主だと思いますけれども、そういったところに貢献につながっていくようにNEDOとしても努力したいなというふうに思っております。

また、このプロジェクトの若干外というか、も含めて、政策面の話も含めていろいろな御意見も頂きましたので、それにつきましては今後のNEDOもしくはその外の経産省との議論とか他省庁との議論も含めてどういうことができるのかということにつながっていくように留意しながら考えていき

たいなというふうに思っているところでございます。

いずれにいたしましても今日はありがとうございました。

【齊藤 PL 代理】 本日は長時間にわたりありがとうございました。

先ほど各先生、各委員さんの方々から頂きましたお言葉で、特に全体最適化とかその辺が確かにちょっと弱かったかなというふうに私どもは思っております。でも、1700℃に関しては基本的にはベースの 1500℃級、1600℃級から大きく足を踏み出さずに確実に商品になるというターゲットでやらせていただいたというのがありまして、基本システムとしては結構シュアなシステムの上に乗っかっている技術かなというふうには思っております。ただ、背反事象もおっしゃるとおりあって、背反事象の中でそういったところで個別最適化すると全体としては最適ではないのかというところも当然ございますと思いますので、今後残り 2 年ちょっとでございますけれども、その中でそういった取りこぼしのないように開発の方を務めさせていただこうと思います。

本日はどうもありがとうございました。

【吉田 PL】 本日は長い間どうもありがとうございました。

この AHAT システムとしてはこれで一旦終了になりますので、皆様から頂いた御意見参考に、是非商用化に向けて今後努力してまいりたいと思いますので、今後とも引き続き御指導よろしく願いいたします。今日はありがとうございました。

【松橋分科会長】 以上で、議題 8 を終了させていただきます。

9. 今後の予定

10. 閉会

配布資料

資料 1	研究評価委員会分科会の設置について
資料 2	研究評価委員会分科会の公開について
資料 3	研究評価委員会分科会における秘密情報の守秘と非公開資料の取り扱いについて
資料 4-1	NEDO における研究評価について
資料 4-2	評価項目・評価基準
資料 4-3	評点法の実施について
資料 4-4	評価コメント及び評点票
資料 4-5	評価報告書の構成について
資料 5	プロジェクトの概要説明資料（公開）
資料 6-1	プロジェクトの詳細説明資料（非公開） 1700℃級ガスタービン
資料 6-2	プロジェクトの詳細説明資料（非公開） 高温分空気利用ガスタービン
資料 7-1	事業原簿（公開）（配布なし）
資料 7-2	事業原簿（非公開）
資料 8	今後の予定

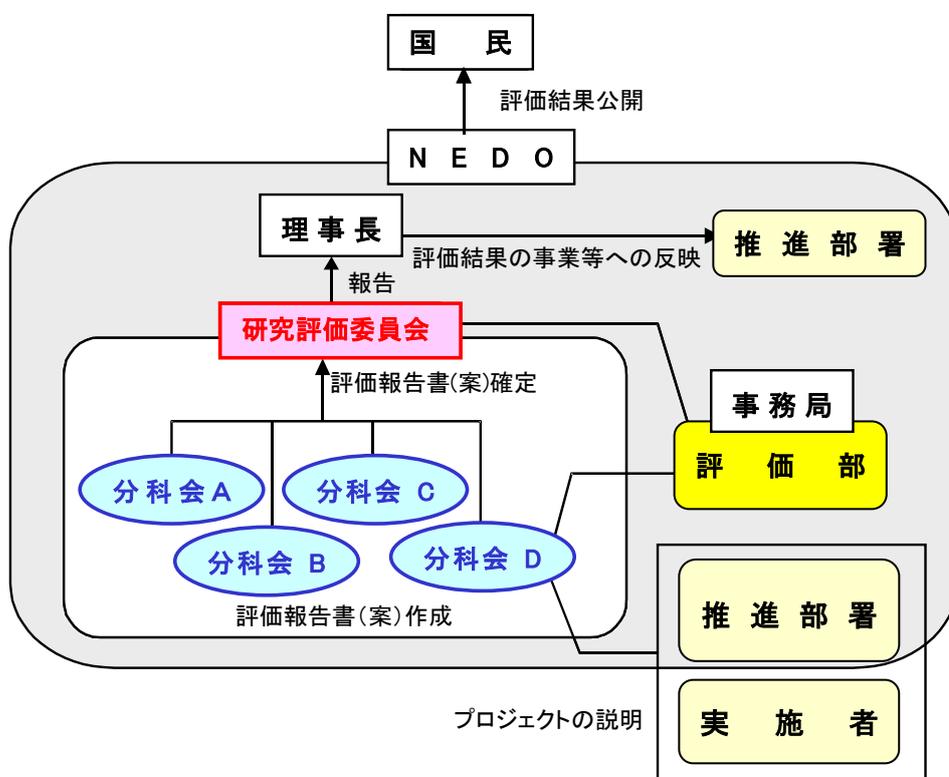
以上

参考資料 2 評価の実施方法

本評価は、「技術評価実施規程」（平成 15 年 10 月制定）に基づいて実施する。

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)における研究評価では、以下のように被評価プロジェクトごとに分科会を設置し、同分科会にて研究評価を行い、評価報告書（案）を策定の上、研究評価委員会において確定している。

- 「NEDO 技術委員・技術委員会等規程」に基づき研究評価委員会を設置
- 研究評価委員会はその下に分科会を設置



1. 評価の目的

評価の目的は「技術評価実施規程」において

- 業務の高度化等の自己改革を促進する
 - 社会に対する説明責任を履行するとともに、経済・社会ニーズを取り込む
 - 評価結果を資源配分に反映させ、資源の重点化及び業務の効率化を促進する
- としている。

本評価においては、この趣旨を踏まえ、本事業の意義、研究開発目標・計画の妥当性、計画を比較した達成度、成果の意義、成果の実用化の可能性等について検討・評価した。

2. 評価者

技術評価実施規程に基づき、事業の目的や態様に即した外部の専門家、有識者からなる委員会方式により評価を行う。分科会委員は、以下のような観点から選定する。

- 科学技術全般に知見のある専門家、有識者
- 当該研究開発の分野の知見を有する専門家
- 研究開発マネジメントの専門家、経済学、環境問題、国際標準、その他社会的ニーズ関連の専門家、有識者
- 産業界の専門家、有識者

また、評価に対する中立性確保の観点から事業の推進側関係者を選任対象から除外し、また、事前評価の妥当性を判断するとの側面にかんがみ、事前評価に関与していない者を主体とする。

これらに基づき、委員を分科会委員名簿の通り選任した。

なお、本分科会の事務局については、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構評価部が担当した。

3. 評価対象

「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」を評価対象とした。

なお、分科会においては、当該事業の推進部署から提出された事業原簿、プロジェクトの内容、成果に関する資料をもって評価した。

4. 評価方法

分科会においては、当該事業の推進部署及び実施者からのヒアリング及び実施者側等との議論を行った。それを踏まえた分科会委員による評価コメント作成、評点法による評価により評価作業を進めた。

なお、評価の透明性確保の観点から、知的財産保護の上で支障が生じると認められる場合等を除き、原則として分科会は公開とし、実施者と意見を交換する形で審議を行うこととした。

5. 評価項目・評価基準

分科会においては、次に掲げる「評価項目・評価基準」で評価を行った。これは、NEDOが定める「標準的評価項目・評価基準」をもとに、当該事業の特性を踏まえ、評価事務局がカスタマイズしたものである。

評価対象プロジェクトについて、主に事業の目的、計画、運営、達成度、成果の意義、実用化に向けての取組や見通し等を評価した。

「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」
に係る評価項目・評価基準

1. 事業の位置付け・必要性について

(1) 事業目的の妥当性

- ・ 内外の技術動向、国際競争力の状況、エネルギー需給動向、市場動向、政策動向、国際貢献可能性等の観点から、事業の目的は妥当か。
- ・ 上位の施策・制度の目標達成のために寄与しているか。

(2) NEDOの事業としての妥当性

- ・ 民間活動のみでは改善できないものであること又は公共性が高いことにより、NEDOの関与が必要とされる事業か。
- ・ 当該事業を実施することによりもたらされると期待される効果は、投じた研究開発費との比較において十分であるか。

2. 研究開発マネジメントについて

(1) 研究開発目標の妥当性

- ・ 内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、戦略的な目標を設定しているか。
- ・ 達成度を判定できる明確な目標を設定しているか。

(2) 研究開発計画の妥当性

- ・ 目標達成のために妥当なスケジュール及び研究開発費（研究開発項目の配分を含む）となっているか。
- ・ 目標達成に必要な要素技術の開発は網羅されているか。
- ・ 計画における要素技術間の関係、順序は適切か。
- ・ 継続または長期の「プロジェクト」の場合、技術蓄積を、実用化の観点から絞り込んで活用を図っているか。

(3) 研究開発の実施体制の妥当性

- ・ 技術力及び事業化能力を有する実施者を選定しているか。
- ・ 指揮命令系統及び責任体制は明確であり、かつ機能しているか。
- ・ 成果の実用化・事業化の戦略に基づき、実用化・事業化の担い手又はユーザーが関与する体制を構築しているか。
- ・ 目標達成及び効率的実施のために実施者間の連携が必要な場合、実施者間の連携関係は明確であり、かつ機能しているか。

(4) 研究開発の進捗管理の妥当性

- ・ 研究開発の進捗状況を常に把握し、遅れが生じた場合に適切に対応しているか。
- ・ 社会・経済の情勢変化、政策・技術の動向等を常に把握し、それらの影響を検討し、必要に応じて適切に対応しているか。

(5) 知的財産等に関する戦略の妥当性

- ・ 知的財産に関する戦略は、明確かつ妥当か。
- ・ 知的財産に関する取扱（実施者間の情報管理、秘密保持及び出願・活用ルールを含む）を整備し、かつ適切に運用しているか。

3. 研究開発成果について

(1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

- ・ 成果は、中間目標を達成しているか。
- ・ 中間目標未達成の場合、達成できなかった原因を明らかにして、解決の方針を明確にしているか。
- ・ 成果は、競合技術と比較して優位性があるか。
- ・ 世界初、世界最高水準、新たな技術領域の開拓、汎用性等の顕著な成果がある場合、積極的に評価する。
- ・ 設定された目標以外の技術成果がある場合、積極的に評価する。

(2) 成果の最終目標の達成可能性

- ・ 最終目標を達成できる見通しはあるか。
- ・ 最終目標に向けて、課題とその解決の道筋は明確かつ妥当か。

(3) 成果の普及

- ・ 論文等の対外的な発表を、実用化・事業化の戦略に沿って適切に行っているか。
- ・ 成果の活用・実用化の担い手・ユーザーに向けて、成果を普及させる取組を実用化・事業化の戦略に沿って適切に行っているか。
- ・ 一般に向けて、情報を発信しているか。

(4) 知的財産権等の確保に向けた取組

- ・ 知的財産権の出願・審査請求・登録等を、実用化・事業化の戦略に沿って国内外で適切に行っているか。

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

「実用化・事業化」の考え方

当事業で開発・実証した技術が組込まれた新設ガスタービンや保守交換のための関連製品が上市され、従来機を超える性能や経済性により高い競争力により受注を得ることをいう。

(1) 成果の実用化・事業化に向けた戦略

- ・ 成果の実用化・事業化の戦略は、明確かつ妥当か。
- ・ 想定する市場の規模・成長性等から、経済効果等を期待できるか。

(2) 成果の実用化・事業化に向けた具体的取組

- ・ 実用化・事業化に取り組む者について検討は進んでいるか。
- ・ 実用化・事業化の計画及びマイルストーンの検討は進んでいるか。

(3) 成果の実用化・事業化の見通し

- ・ 実用化・事業化に向けての課題とその解決方針は明確か。
- ・ 想定する製品・サービス等は、市場ニーズ・ユーザーニーズに合致する見通しがあるか。
- ・ 競合する製品・サービス等と比較して性能面・コスト面等で優位を確保する見通しはあるか。
- ・ 顕著な波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）を期待できる場合、積極的に評価する。

「プロジェクト」の中間評価に係る標準的評価項目・基準

※「プロジェクト」の特徴に応じて、評価基準を見直すことができる。

「実用化・事業化」の定義を「プロジェクト」毎に定める。以下に例示する。

「実用化・事業化」の考え方

当該研究開発に係る試作品、サービス等の社会的利用(顧客への提供等)が開始されることであり、さらに、当該研究開発に係る商品、製品、サービス等の販売や利用により、企業活動(売り上げ等)に貢献することをいう。

なお、「プロジェクト」が基礎的・基盤的研究開発に該当する場合は、以下のとおりとする。

- ・「実用化・事業化」を「実用化」に変更する。
- ・「4. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて」は該当するものを選択する。
- ・「実用化」の定義を「プロジェクト」毎に定める。以下に例示する。

「実用化」の考え方

当該研究開発に係る試作品、サービス等の社会的利用(顧客への提供等)が開始されることをいう。

1. 事業の位置付け・必要性について

(1) 事業の目的の妥当性

- ・内外の技術動向、国際競争力の状況、エネルギー需給動向、市場動向、政策動向、国際貢献可能性等の観点から、事業の目的は妥当か。
- ・上位の施策・制度の目標達成のために寄与しているか。

(2) NEDO の事業としての妥当性

- ・民間活動のみでは改善できないものであること又は公共性が高いことにより、NEDO の関与が必要とされる事業か。
- ・当該事業を実施することによりもたらされると期待される効果は、投じた研究開発費との比較において十分であるか。

2. 研究開発マネジメントについて

(1) 研究開発目標の妥当性

- ・内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、戦略的な目標を設定しているか。
- ・達成度を判定できる明確な目標を設定しているか。

(2) 研究開発計画の妥当性

- ・目標達成のために妥当なスケジュール及び研究開発費(研究開発項目の配分を含む)となっているか。
- ・目標達成に必要な要素技術の開発は網羅されているか。
- ・計画における要素技術間の関係、順序は適切か。
- ・継続または長期の「プロジェクト」の場合、技術蓄積を、実用化の観点から絞り込んで活用を図っている

か。【該当しない場合、この条項を削除】

(3) 研究開発の実施体制の妥当性

- ・技術力及び事業化能力を有する実施者を選定しているか。
- ・指揮命令系統及び責任体制は明確であり、かつ機能しているか。
- ・成果の実用化・事業化の戦略に基づき、実用化・事業化の担い手又はユーザーが関与する体制を構築しているか。
- ・目標達成及び効率的実施のために実施者間の連携が必要な場合、実施者間の連携関係は明確であり、かつ機能しているか。【該当しない場合、この条項を削除】
- ・目標達成及び効率的実施のために実施者間の競争が必要な場合、競争の仕組みがあり、かつ機能しているか。【該当しない場合、この条項を削除】
- ・大学または公的研究機関が企業の開発を支援する体制となっている場合、その体制は企業の取組に貢献しているか。【該当しない場合、この条項を削除】

(4) 研究開発の進捗管理の妥当性

- ・研究開発の進捗状況を常に把握し、遅れが生じた場合に適切に対応しているか。
- ・社会・経済の情勢変化、政策・技術の動向等を常に把握し、それらの影響を検討し、必要に応じて適切に対応しているか。

(5) 知的財産等に関する戦略の妥当性

- ・知的財産に関する戦略は、明確かつ妥当か。
- ・知的財産に関する取扱(実施者間の情報管理、秘密保持及び出願・活用ルールを含む)を整備し、かつ適切に運用しているか。
- ・国際標準化に関する事項を計画している場合、その戦略及び計画は妥当か。【該当しない場合、この条項を削除】

3. 研究開発成果について

(1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

- ・成果は、中間目標を達成しているか。
- ・中間目標未達成の場合、達成できなかった原因を明らかにして、解決の方針を明確にしているか。
- ・成果は、競合技術と比較して優位性があるか。
- ・世界初、世界最高水準、新たな技術領域の開拓、汎用性等の顕著な成果がある場合、積極的に評価する。
- ・設定された目標以外の技術成果がある場合、積極的に評価する。

(2) 成果の最終目標の達成可能性

- ・最終目標を達成できる見通しはあるか。
- ・最終目標に向けて、課題とその解決の道筋は明確かつ妥当か。

(3) 成果の普及

- ・論文等の対外的な発表を、実用化・事業化の戦略に沿って適切に行っているか。
- ・成果の活用・実用化の担い手・ユーザーに向けて、成果を普及させる取組を実用化・事業化の戦略に沿って適切に行っているか。

・一般に向けて、情報を発信しているか。

(4) 知的財産権等の確保に向けた取組

- ・知的財産権の出願・審査請求・登録等を、実用化・事業化の戦略に沿って国内外に適切に行っているか。
- ・国際標準化に関する事項を計画している場合、その計画は順調に進捗しているか。【該当しない場合、この条項を削除】

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 【基礎的・基盤的研究開発の場合を除く】

(1) 成果の実用化・事業化に向けた戦略

- ・成果の実用化・事業化の戦略は、明確かつ妥当か。
- ・想定する市場の規模・成長性等から、経済効果等を期待できるか。

(2) 成果の実用化・事業化に向けた具体的取組

- ・実用化・事業化に取り組む者について検討は進んでいるか。
- ・実用化・事業化の計画及びマイルストーンの検討は進んでいるか。

(3) 成果の実用化・事業化の見通し

- ・実用化・事業化に向けての課題とその解決方針は明確か。
- ・想定する製品・サービス等は、市場ニーズ・ユーザーニーズに合致する見通しがあるか。
- ・競合する製品・サービス等と比較して性能面・コスト面等で優位を確保する見通しはあるか。
- ・顕著な波及効果(技術的・経済的・社会的効果、人材育成等)を期待できる場合、積極的に評価する。

4. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて 【基礎的・基盤的研究開発の場合】

(1) 成果の実用化に向けた戦略

- ・成果の実用化の戦略は、明確かつ妥当か。

(2) 成果の実用化に向けた具体的取組

- ・実用化に向けて、課題及びマイルストーンの検討は進んでいるか。

(3) 成果の実用化の見通し

- ・想定する製品・サービス等に基づき、市場・技術動向等の把握は進んでいるか。
- ・顕著な波及効果(技術的・経済的・社会的効果、人材育成等)を期待できる場合、積極的に評価する。

【基礎的・基盤的研究開発の場合のうち、知的基盤・標準整備等を目標としている場合】

(1) 成果の実用化に向けた戦略

- ・知的基盤・標準の整備及び活用の計画は、明確かつ妥当か。

(2) 成果の実用化に向けた具体的取組

- ・知的基盤・標準を供給・維持するための体制の検討は進んでいるか。

(3) 成果の実用化の見通し

- ・整備する知的基盤・標準について、利用の見通しはあるか。
- ・顕著な波及効果(技術的・経済的・社会的効果、人材育成等)を期待できる場合、積極的に評価する。

参考資料 3 評価結果の反映について

評価のポイント	反映（対処方針）のポイント
<p>【1】<u>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。</u></p> <p>【2】<u>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。</u></p> <p>【3】<u>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、<u>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。</u></u></p> <p>【4】<u>個々の要素技術開発が統合され、<u>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。</u></u></p> <p>【5】<u>論文発表については今後の努力を期待する。</u></p>	<p>【1】1700℃級ガスタービンの平成 31 年度実施計画に、「維持管理に関する目標」の検討を追加するよう指導する。</p> <p>【2】実用化・事業化の担い手となるMHP Sを次期体制に組み込むこととし、実施方針に反映する。 ユーザーの関与に関しては、技術検討委員会等にて、電力事業関係者に委員を務めて頂くことでユーザー側の意見を研究開発マネジメントに取り入れており、今後も継続する。</p> <p>【3】今年度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。</p> <p>【4】1700℃級ガスタービンにおいて多岐に亘る研究開発を統合し、システムとしての課題を検討する専門グループを設ける方針とする。</p> <p>【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指導する。AHATについては得られた実証試験の成果に関する論文を、今後発表していく予定。</p>

評価のポイント	反映（対処方針）のポイント
<p>【6】 1700℃ガスタービンについては<u>維持管理性の容易さに目を向ける必要がある。</u></p> <p>【7】 AHAT については<u>国外のマーケットの視点がやや欠けている感がある。国外に目を向けると燃料種の多様性等も考慮する必要があるであろう。加えて、商用化の道筋を明確化する必要がある。</u></p> <p>【8】 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、<u>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。</u></p> <p>【9】 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、<u>更に深い分析をおこなった方が良い。</u></p>	<p>【6】 1700℃級ガスタービン研究の中で、運用中の翼振動計測、クリアランス計測・制御等を高精度に行う特殊計測と、ワイヤレスセンシング等、「維持管理を容易とする技術」についても取り組んでいる。今後も維持管理性に関する視点での研究管理を進める。</p> <p>【7】 AHAT の国外マーケットへの展開や天然ガス以外の燃料への適用は、事業者が行うユーザー候補との事業性評価（FS）の中で検討することを指導していく。</p> <p>【8】 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で行うかたちで役割分担している。今後も両プロジェクトが担う役割分担を明確にしつつ、NEDOでの研究開発マネジメントを実施していく。</p> <p>【9】 1700℃級ガスタービンは実施者が既に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。今後も市場状況調査の結果を NEDO の研究開発マネジメントに取り込んでいく。</p>

本研究評価委員会報告は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）評価部が委員会の事務局として編集しています。

NEDO 評価部

部長 保坂 尚子

担当 前澤 幸繁

*研究評価委員会に関する情報はNEDOのホームページに掲載しています。

(https://www.nedo.go.jp/introducing/iinkai/kenkyuu_index.html)

〒212-8554 神奈川県川崎市幸区大宮町1310番地

ミュージア川崎セントラルタワー20F

TEL 044-520-5160 FAX 044-520-5162