

**「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

次世代火力発電等技術開発 評価テーマ



◇ 中間評価、◆ 事後評価

高効率ガスタービン技術実証事業 平成28年度～平成32年度 5年間

・1700℃級ガスタービン(中間評価)
平成28年度～平成32年度 5年間

・高温分空利用ガスタービン(終了評価)
平成28年度～平成29年度 2年間

※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

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℃級

- (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。

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。

次世代火力発電等技術開発 評価テーマ

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)

I. 事業の位置づけ・必要性

- (1)事業の目的の妥当性
- (2)NEDOの事業としての妥当性

1700°C級ガスタービン

II-1. 1700°C級 研究開発マネジメント

- (1)研究開発目標の妥当性
- (2)研究開発計画の妥当性
- (3)研究開発の実施体制の妥当性
- (4)研究開発の進捗管理の妥当性
- (5)知的財産等に関する戦略の妥当性

III-1. 1700°C級 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
- (2)成果の最終目標の達成可能性
- (3)成果の普及
- (4)知的財産権の確保に向けた取組

IV-1. 1700°C級成果の実用化
・事業化に向けた取組及び見通し

- (1)成果の実用化・事業化に向けた戦略
- (2)成果の実用化・事業化に向けた具体的取組
- (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

II-2. AHAT 研究開発マネジメント

III-2. AHAT 研究開発成果

IV-1. AHAT成果の実用化
・事業化に向けた取組及び見通し

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

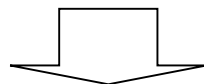
温暖化対策は世界的課題



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%、従来機並のイニ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ニ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
火力発電に関わる技術ロードマップ
2016年6月

次世代火力発電技術の高効率化、低炭素化の見通し



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-1

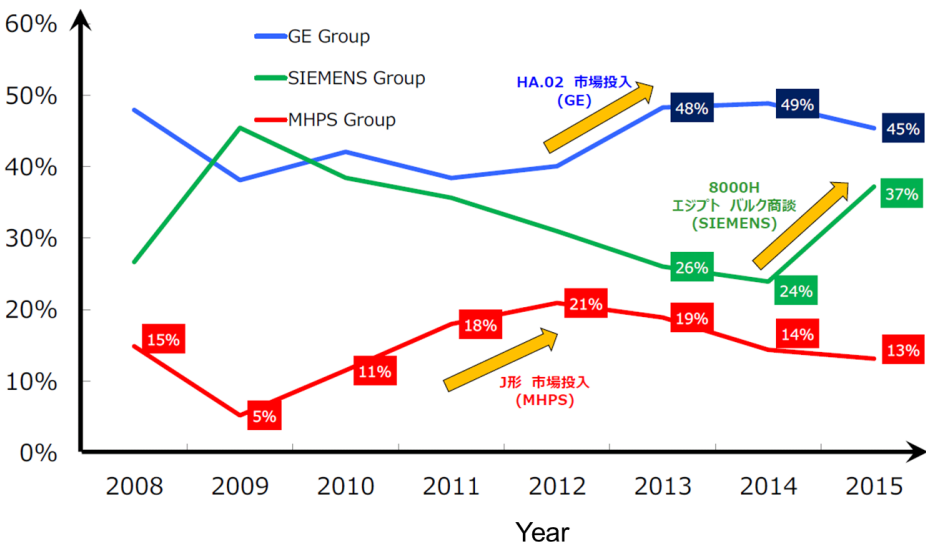
ガスタービン市場は、日米欧で世界シェアの大半を占めている。

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。

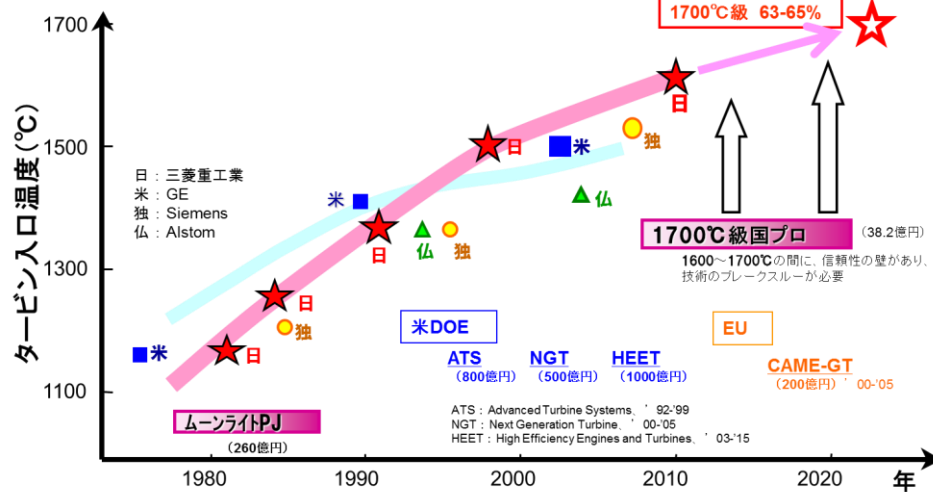
我が国の国際競争力の強化のためには、世界に先んじて次世代の技術を早期に確立・実用化し、いち早く海外市場を獲得することが必要である。

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

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

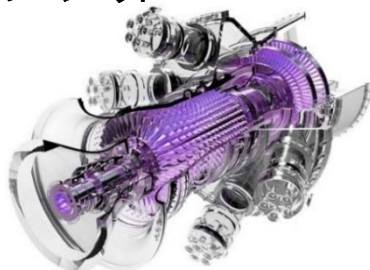
- ・米国ではエネルギー省(DOE)傘下のNational Energy Technology Laboratory (NETL)の主導で各種ガスタービン研究開発を活発に実施。3100F(1704°C)以上の燃焼温度、65%(LHV)のCC実現他がターゲット

(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。

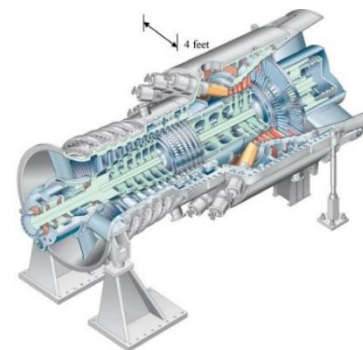
- ・ゼネラルエレクトリックとのプロジェクト

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

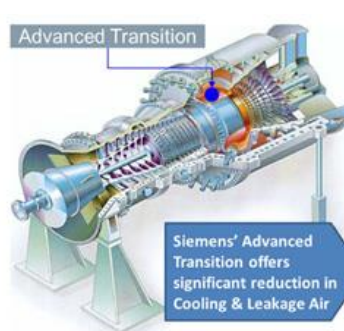
予算総額: 135.2百万\$
DOEの出資: 82.1百万\$



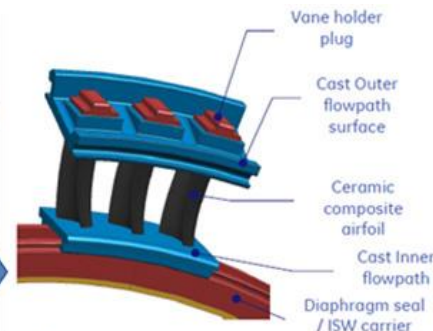
(2) 先進燃焼タービン

- ・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\$))

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

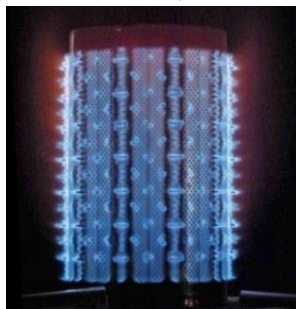


写真: <http://www.scm.keele.ac.uk/Tango/>

(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。

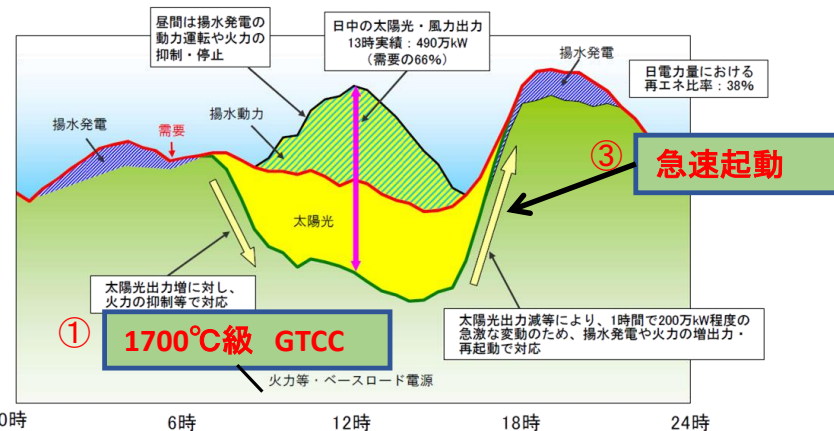
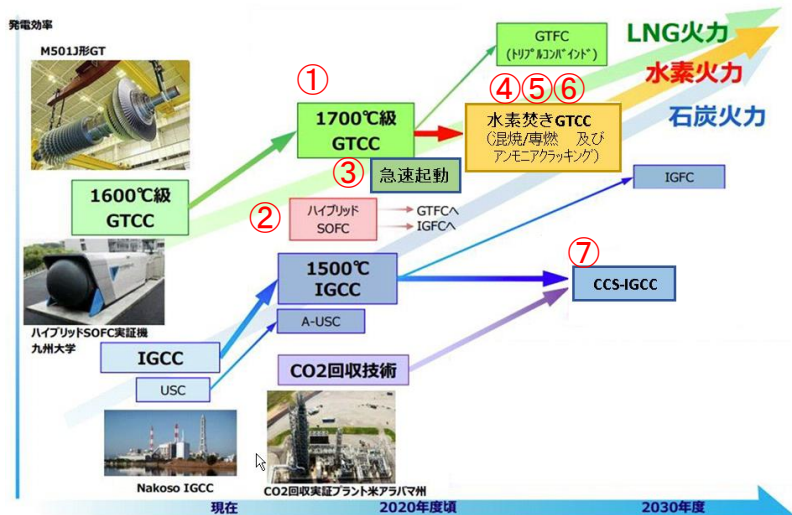
- ・運転可能出力範囲を広げるためのサージ予測制御技術
- ・劣化、損傷を防止し、寿命と効率を高めるための、シール、ベアリング技術
- ・計画外停止を防止し、稼働率、フレキシビリティを高めるための、主要部品予測、制御技術。

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

高効率ガスタービン技術実証事業

◆他事業との関係



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

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

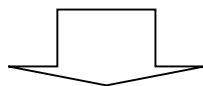
高効率ガスタービン技術実証事業

◆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

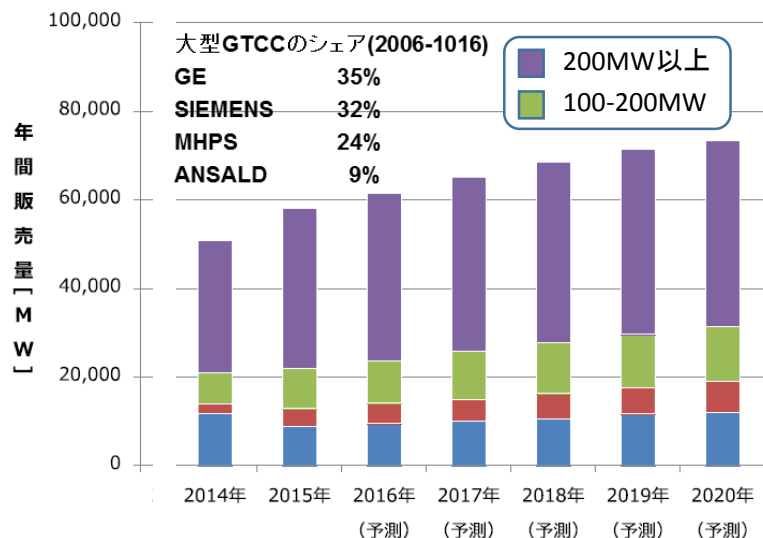
83億円(H28-32年 5年間)

○経済性効果

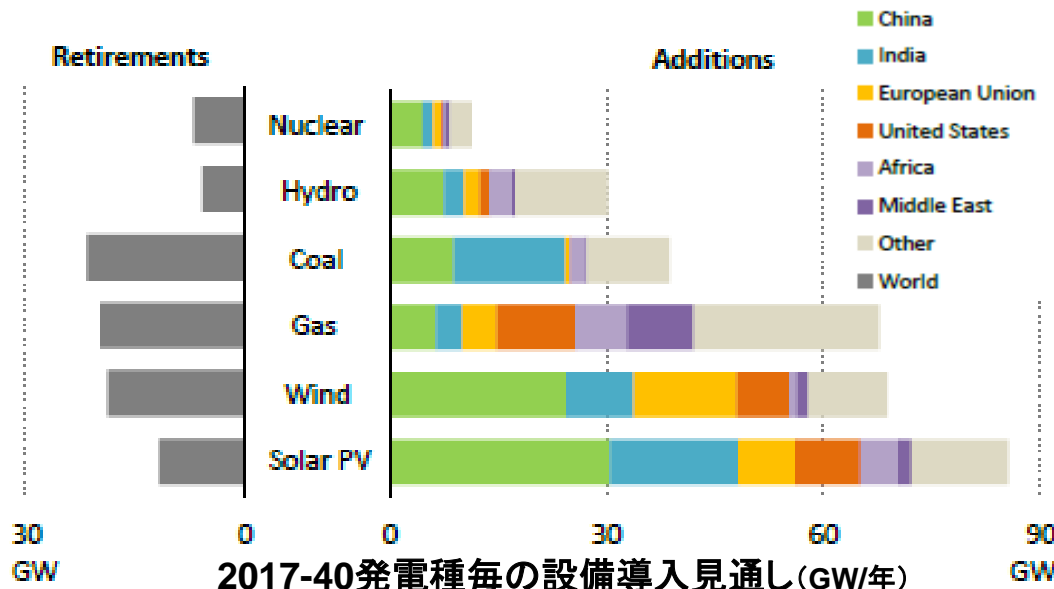
ガス価格が17USD/MMBtu程度の場合、500MWの発電設備を年間8,000Hr 運用する場合を想定すると、**発電効率を52%→57%に高めることにより、年間39億円程度の燃料代の節約となる。**

○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



2017-40発電種毎の設備導入見通し(GW/年)

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-）

<高湿分空気利用ガスタービン(AHAT)>

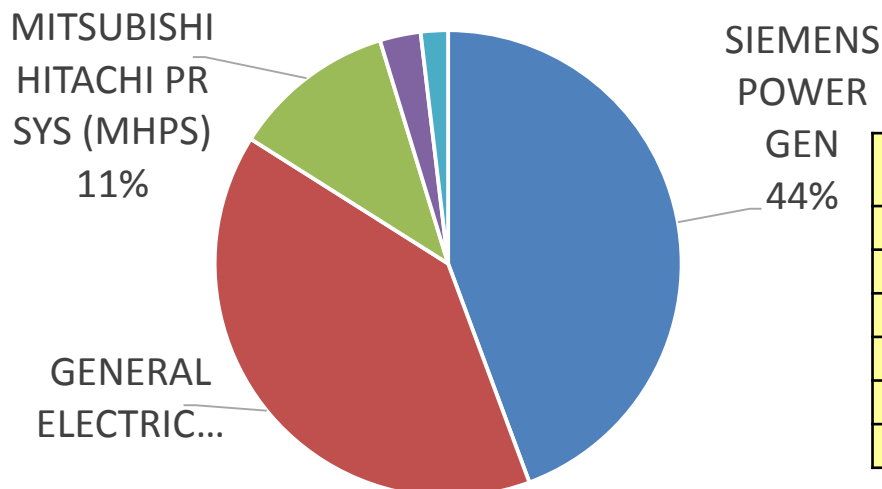
○プロジェクト費用の総額

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)



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%

中小型ガスタービン市場シェア（2016年以降）

高効率ガスタービン技術実証事業

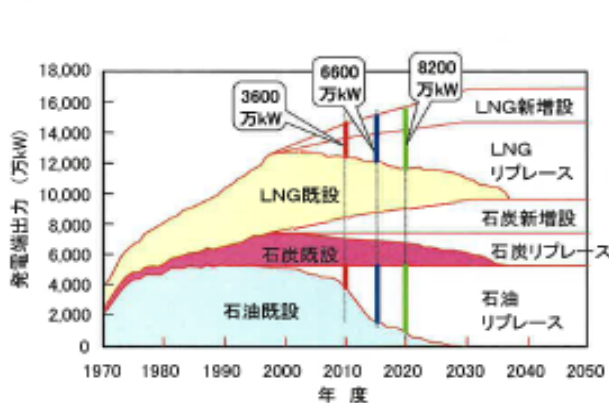
◆実施の効果 (費用対効果 -CO2削減効果-)

<1700℃級ガスタービン>

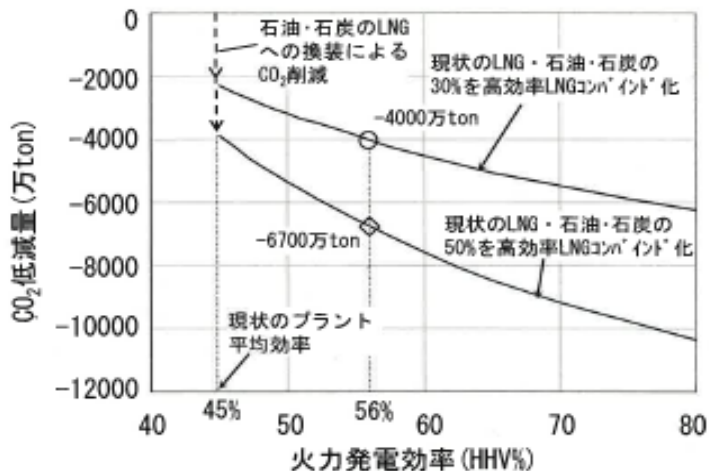
○既存の老朽火力発電所の50%を1700℃ガスタービンコンバインドサイクルに置き換えた場合のCO2削減効果は6,700万ton/年(日本全体のCO2排出量の約5%に相当)、省エネ効果は原油換算で2,200万トン、と莫大なCO2削減効果を得ることが可能となる。

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



わが国における電源構成の推移(プラント寿命40年)
出典: 電力中央研究所



1700℃級ガスタービンCO₂低減効果

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)	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%

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

高効率ガスタービン技術実証事業(統一)

I. 事業の位置づけ・必要性

- (1)事業の目的の妥当性
- (2)NEDOの事業としての妥当性

1700°C級ガスタービン

II-1. 1700°C級 研究開発マネジメント

- (1)研究開発目標の妥当性
- (2)研究開発計画の妥当性
- (3)研究開発の実施体制の妥当性
- (4)研究開発の進捗管理の妥当性
- (5)知的財産等に関する戦略の妥当性

III-1. 1700°C級 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
- (2)成果の最終目標の達成可能性
- (3)成果の普及
- (4)知的財産権の確保に向けた取組

IV-1. 1700°C級成果の実用化
・事業化に向けた取組及び見通し

- (1)成果の実用化・事業化に向けた戦略
- (2)成果の実用化・事業化に向けた具体的取組
- (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

II-2. AHAT 研究開発マネジメント

III-2. AHAT 研究開発成果

IV-1. AHAT成果の実用化
・事業化に向けた取組及び見通し

1700°C級ガスタービン

◆事業の目標

[中間目標(平成30年度)]

1700°C級ガスタービンの性能向上、信頼性向上に関する要素技術開発により、商用機に適用できる見通しを得た上で、設計・製作の仕様を決定する。

[最終目標(平成32年度)]

1700°C級ガスタービンの実証試験データの取得、および評価を実施し、送電端効率 58% (高位発熱量基準) 達成の見通しを得る

2. 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(1/3)

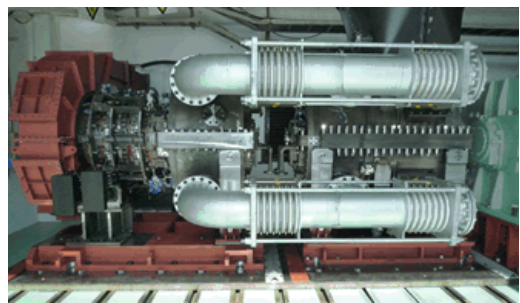
実施項目(技術開発)	内容
①低熱伝導率遮熱コーティング	耐エロージョン性/耐溶融塩性の評価・改良、製造技術高度化、寿命評価技術の開発を行う。
②高性能冷却システム	高精度熱境界条件予測技術、高性能冷却構造の開発を行う。
③非定常性制御燃焼技術	燃焼器内部非定常計測技術、多缶燃焼振動抑制技術、低NOx燃焼技術の開発を行う。
④超高性能タービン	高温タービンの更なる性能向上案の策定と設計技術の開発を行う。
⑤翼列設計システム	開発期間短縮を可能とする翼列設計システムの開発を行う。
⑥境界層制御 高性能圧縮機	圧縮機のシミュレーション技術の精度向上、性能向上策の検討を行う。
⑦高機能構造技術	クリ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鋳造技術開発、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鋳造プロセス設計 システム	開発期間短縮を可能とする鋳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。

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

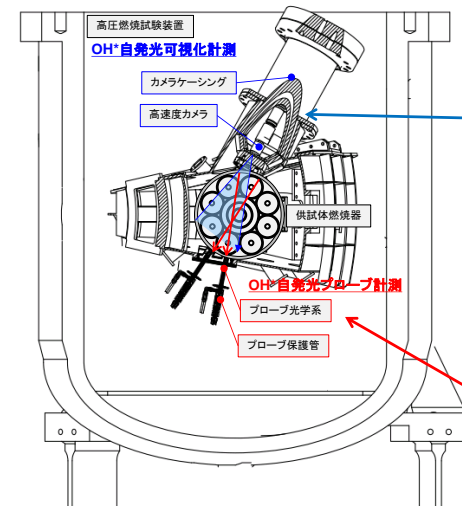
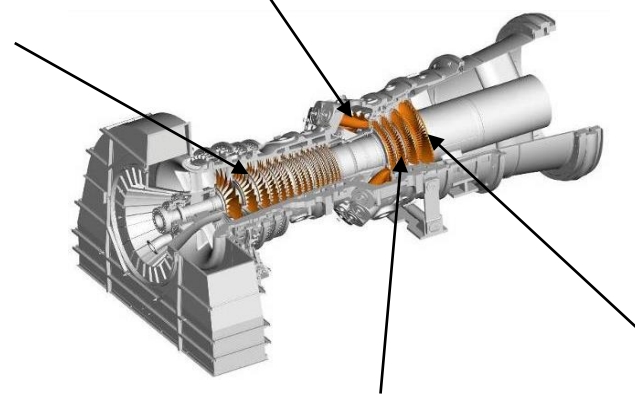
⑤ 境界層制御高性能圧縮機

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



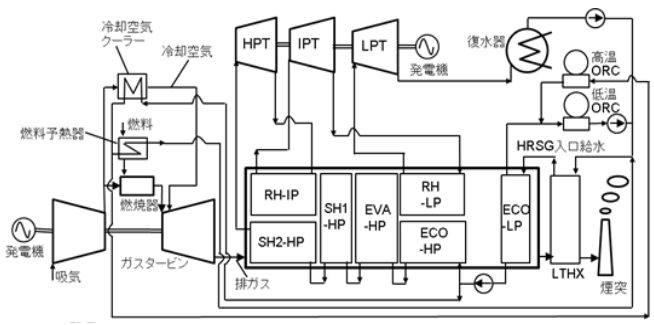
③ 非定常性制御燃焼技術

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



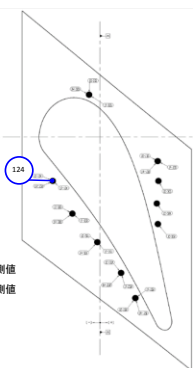
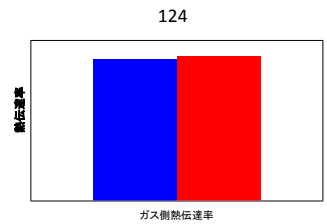
⑥ 超高性能サイクル

発電効率57%超 (HHV) が得られる超臨界圧ボトムングサイクルを考案



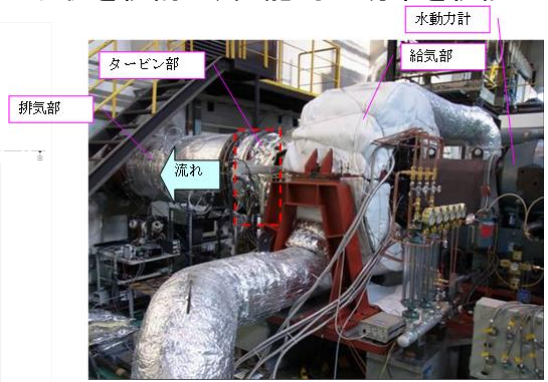
② 高性能冷却システム

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



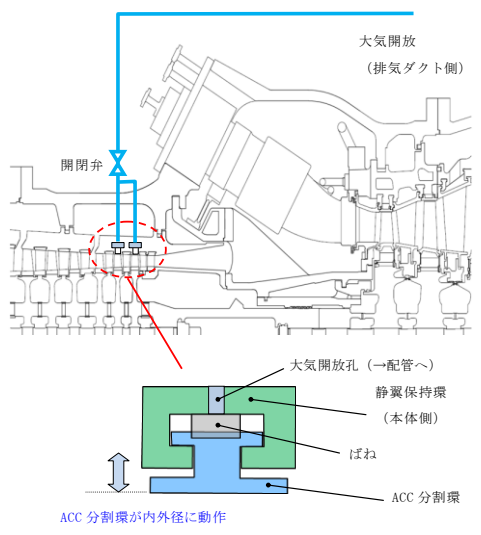
2. 研究開発マネジメント (1) 研究開発目標の妥当性

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



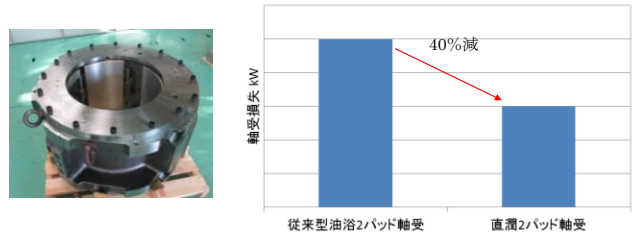
① 低熱伝導率遮熱コーティング

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

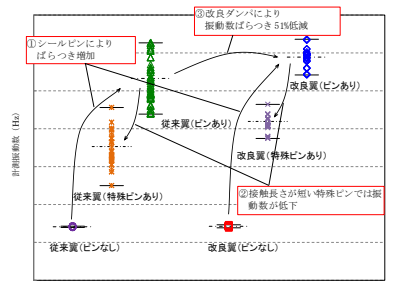
⑧ 高性能シール・高性能軸受

軸受損失を従来に比べて約40%低減



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



⑩ 超高温強度評価技術

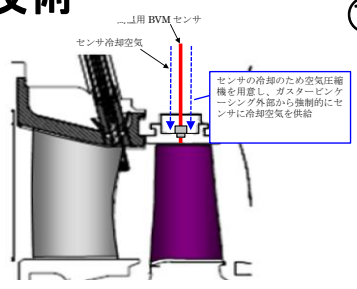
1700°C級ガスタービンで想定される温度域での材料強度を把握



検証・検査技術

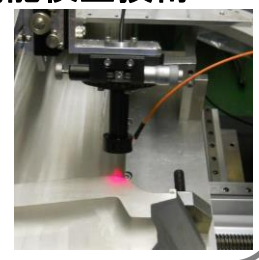
⑪ 特殊計測技術

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	年度	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る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 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	実機環境下 検証 実機環境下 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

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

◆研究開発のスケジュール(1/2)

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)
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 装置製作 実機模擬 特性試験	改良設計検討 要素解析・特性試験②	特性試験 装置製作 実機模擬 特性試験②
⑨ 先進製造技術 <small>【溶接】 【孔あけ】 【3次元積層】</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 電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点抽出	設計手法検討 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	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	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) GT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・実機提要検討	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 実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 装置設計・製作	機能拡張検討・検証 番号品質向上・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

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

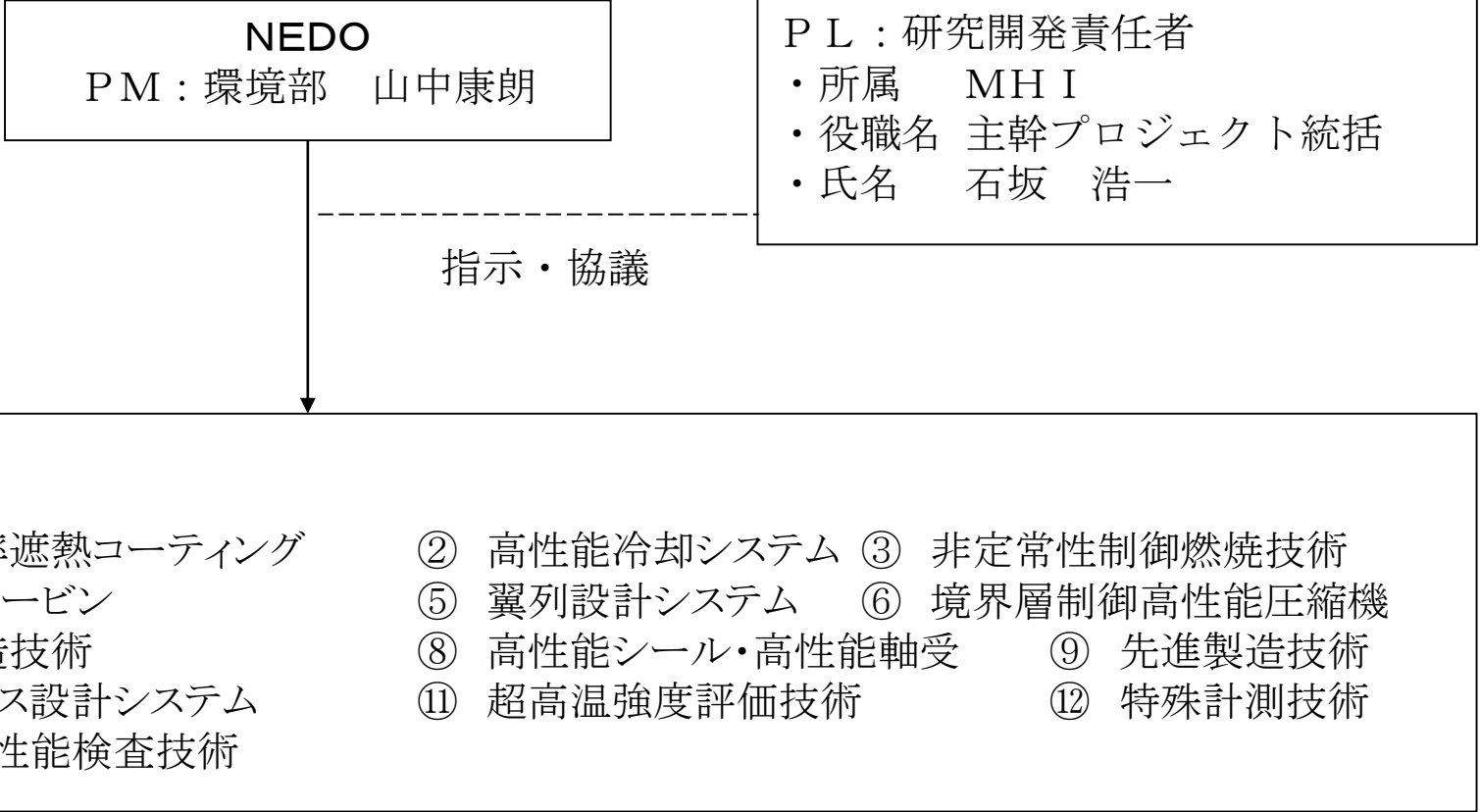
◆プロジェクト費用

(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鋳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%

1700°C級ガスタービン

◆研究開発の実施体制



1700℃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

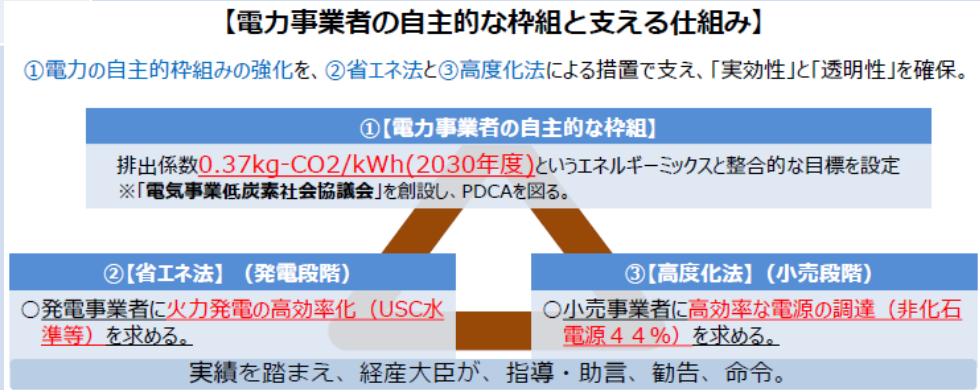
・PMは、プロジェクトで取り組む技術分野について、内外の技術開発動向、政策動向、市場動向等について調査し、技術の普及方策の分析及び検討を行う。

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, Siemense, 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。 	<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

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



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

◆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NO _x 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NO _x 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°C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

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

◆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°C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

◎ 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°C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材のレーザー接合・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、実機検証の目途を得る。 	○	<ul style="list-style-type: none"> 単結晶翼製造プロセス開発 GT部品でのレーザー接合・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°C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 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。

◎ 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°C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

1700°C級ガスタービン

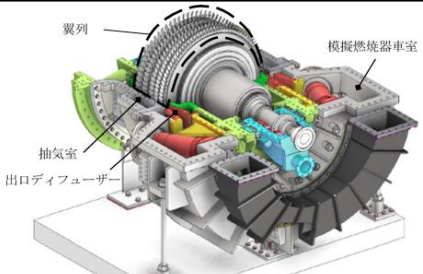


◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

- 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°C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°C級ガスタービンの信頼性を高めることができている。欧米の競争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  変形抑制治具を用いた静翼造形品接合

1700℃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°C級ガスタービン

◆成果の普及(2/2)

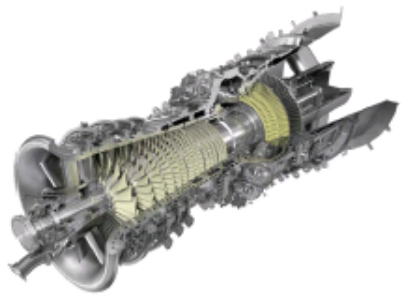
三菱重工技報 2017年Vol.54 No3月号 掲載

2018年3月13日 日本経済新聞 掲載

技術論文 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 Masanori Yuri	正田 淳一郎*2 Junichiro Masada
羽田 哲*3 Satoshi Hada	若園 進*4 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°C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°C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°C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°C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。
報告会を定期的に開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

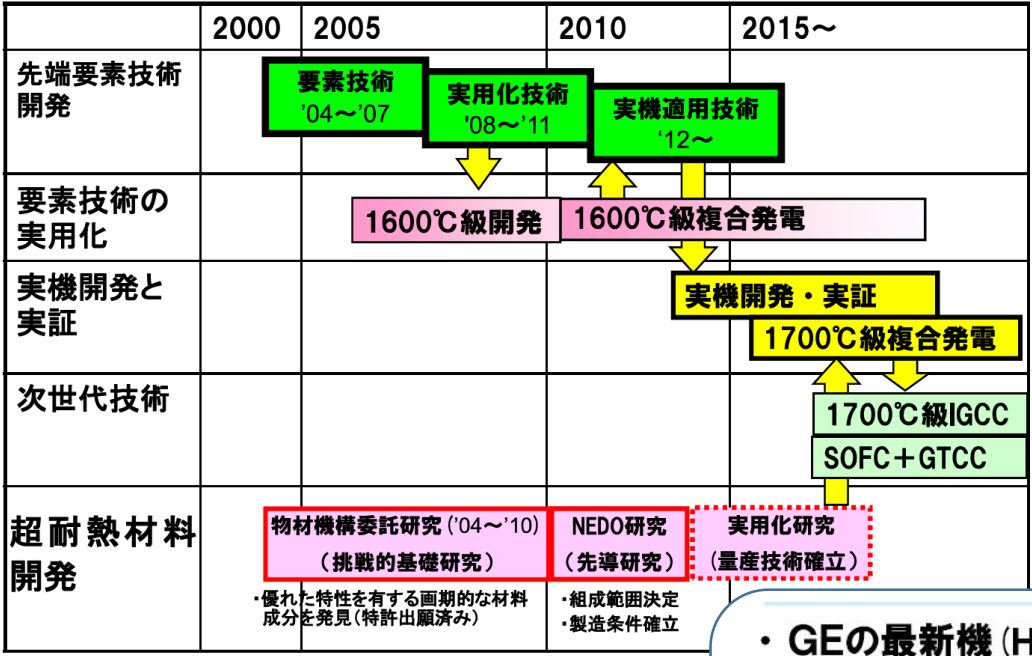
○これまでガスタービンに関係したナショナルプロジェクトを通じて得られた、技術を用いて、1989年に実用化した「1,350°C級F形」、1997年に実用化した「1,500°C級G形」、そして最新の「1,600°C級J形」等、大型ガスタービンの高性能化を実現してきた実績がある。現在では、欧米勢を上回る高性能な大型ガスタービンを開発するに至り、国内外から高い信頼を得ている。

○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°C級ガスタービン

◆実用化・事業化に向けた具体的取組

○1700°C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°C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。**



- **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°C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**



複合サイクル発電プラント
実証設備(T地点)

(2020年更新完了予定)

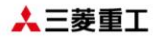
4. 成果の実用化・事業化に向けての取組及び見通し (3) 成果の実用化・事業化の見通し

1700°C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

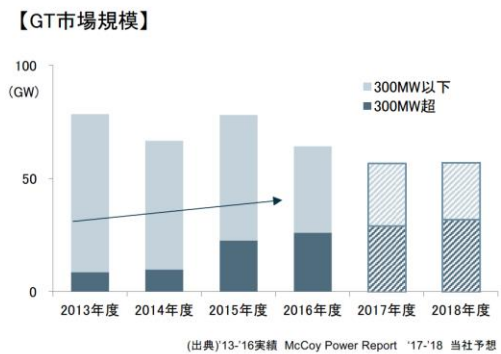
GTCC

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

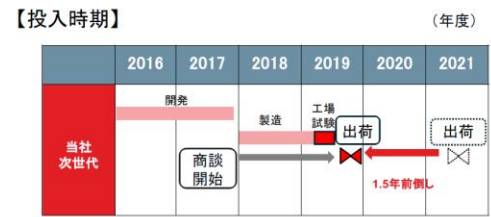
施策

- 他社機より性能の勝る1650°C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



【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



パワードメイン
事業戦略説明会

副社長執行役員
ドメイン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12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)

I. 事業の位置づけ・必要性

- (1)事業の目的の妥当性
- (2)NEDOの事業としての妥当性

1700°C級ガスタービン

II-1. 1700°C級 研究開発マネジメント

- (1)研究開発目標の妥当性
- (2)研究開発計画の妥当性
- (3)研究開発の実施体制の妥当性
- (4)研究開発の進捗管理の妥当性
- (5)知的財産等に関する戦略の妥当性

III-1. 1700°C級 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
- (2)成果の最終目標の達成可能性
- (3)成果の普及
- (4)知的財産権の確保に向けた取組

IV-1. 1700°C級成果の実用化
・事業化に向けた取組及び見通し

- (1)成果の実用化・事業化に向けた戦略
- (2)成果の実用化・事業化に向けた具体的取組
- (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

II-2. AHAT 研究開発マネジメント

III-2. AHAT 研究開発成果

IV-1. AHAT成果の実用化
・事業化に向けた取組及び見通し

AHATシステムの概要

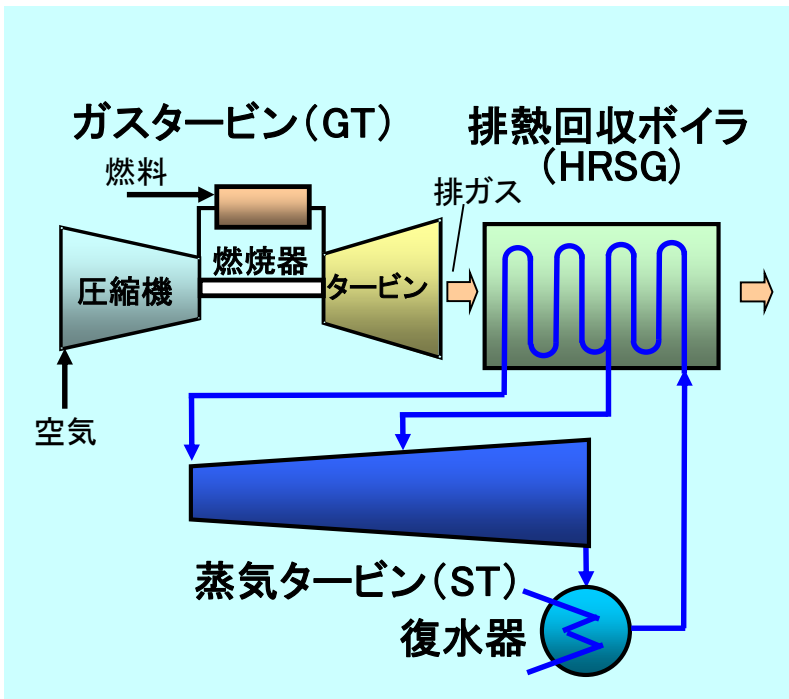
AHATが中小容量機の高効率化に適する理由

- 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

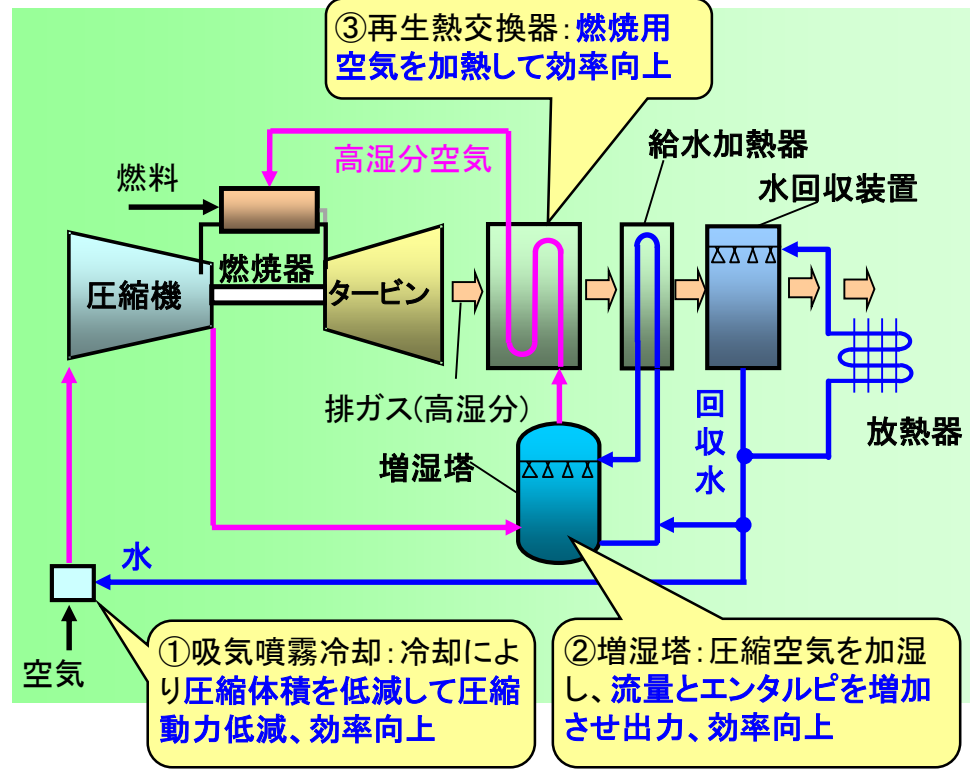
AHATの特徴

- 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)



①吸気噴霧冷却: 冷却により圧縮体積を低減して圧縮動力低減、効率向上

②増湿塔: 圧縮空気を加湿し、流量とエンタルピを増加させ出力、効率向上

③再生熱交換器: 燃焼用空気を加熱して効率向上

(b) AHAT(高湿分空気利用ガスタービン)

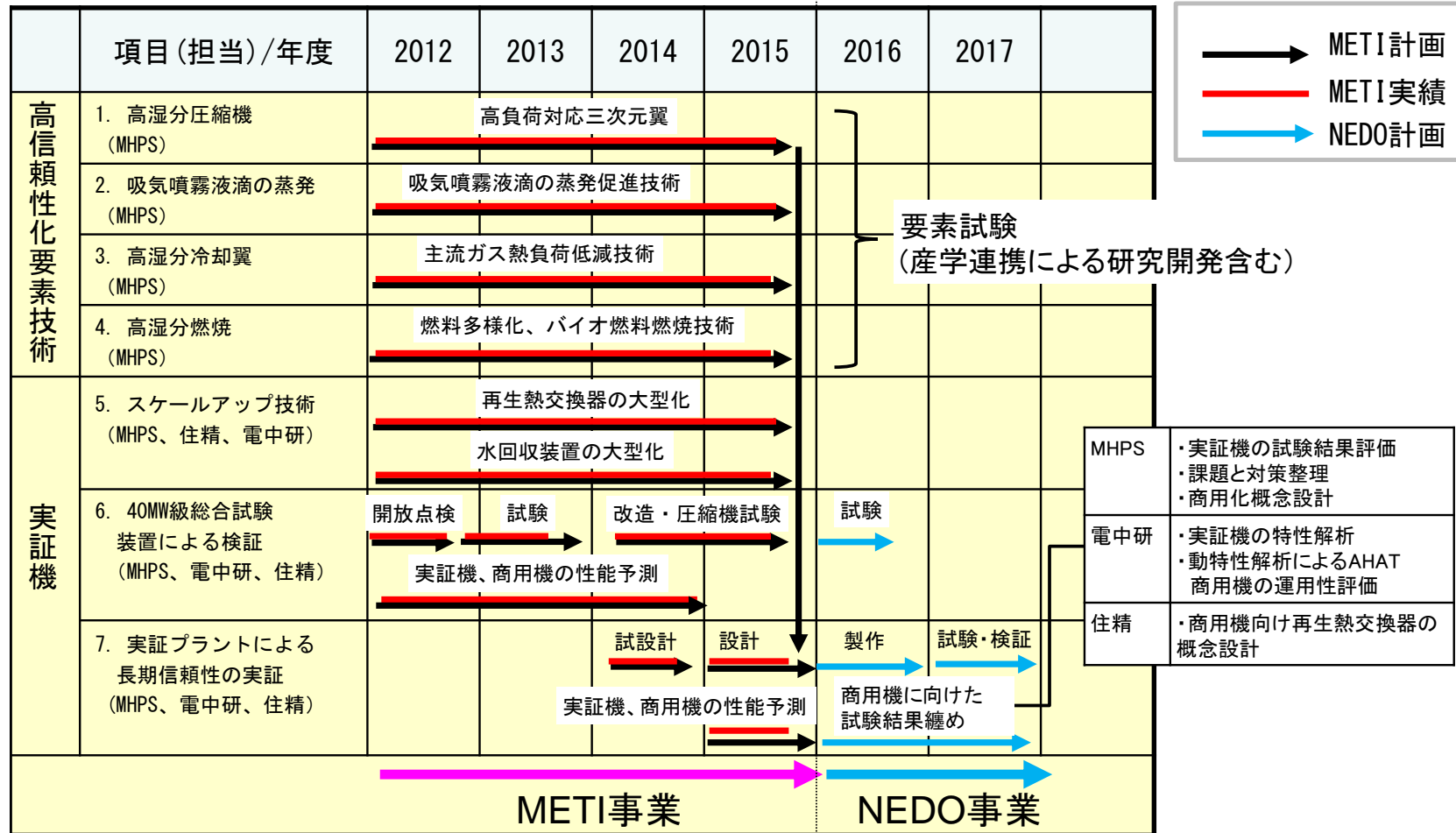
図 GTCCとAHAT発電システムの比較

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

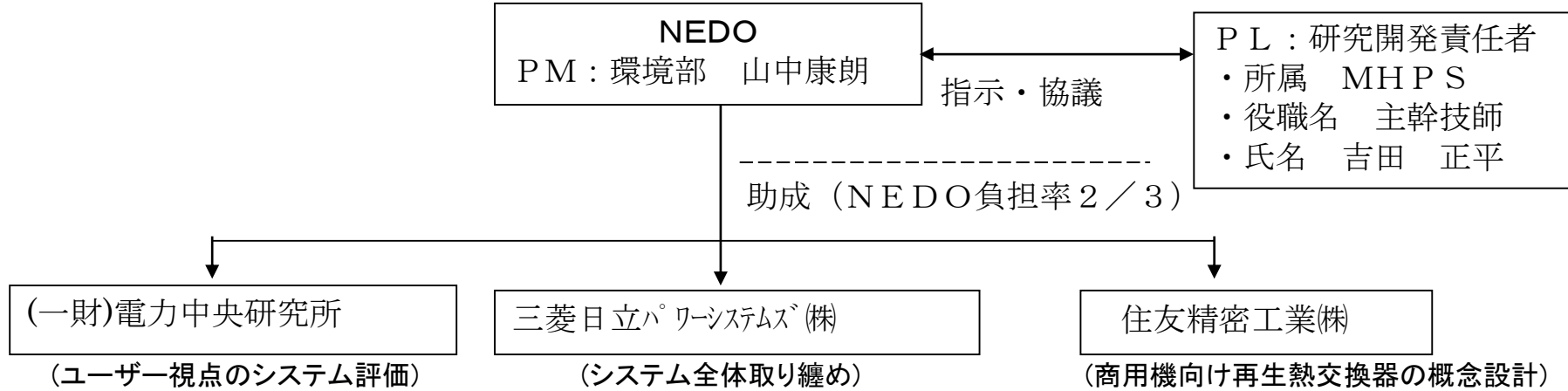
大項目	中項目	研究開発目標	根拠
総合試験装置	(1)総合試験装置による検証 (MHPS)	既存の40MW級総合試験装置のガスタービンを改造し、 実証機に用いるガスタービン本体の高温での機械的信頼性を確認する。	前年度まで開発してきた 高信頼性化要素技術適用ガスタービンを実証機に適用するための前段目標。
実証機による長期信頼性	(2)実証機による長期信頼性 (MHPS)	高湿分空気利用ガスタービン(AHAT)の 実証機を建設、 運転して機器類の健全性のデータを取得し、 商用機の長期信頼性を評価する。 実証機の運転時間は、100回/年以上の起動・停止回数、等価運転時間 [*] で10,000時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)	<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. 研究開発マネジメント (3) 研究開発の実施体制の妥当性

高湿分空気利用ガスタービン

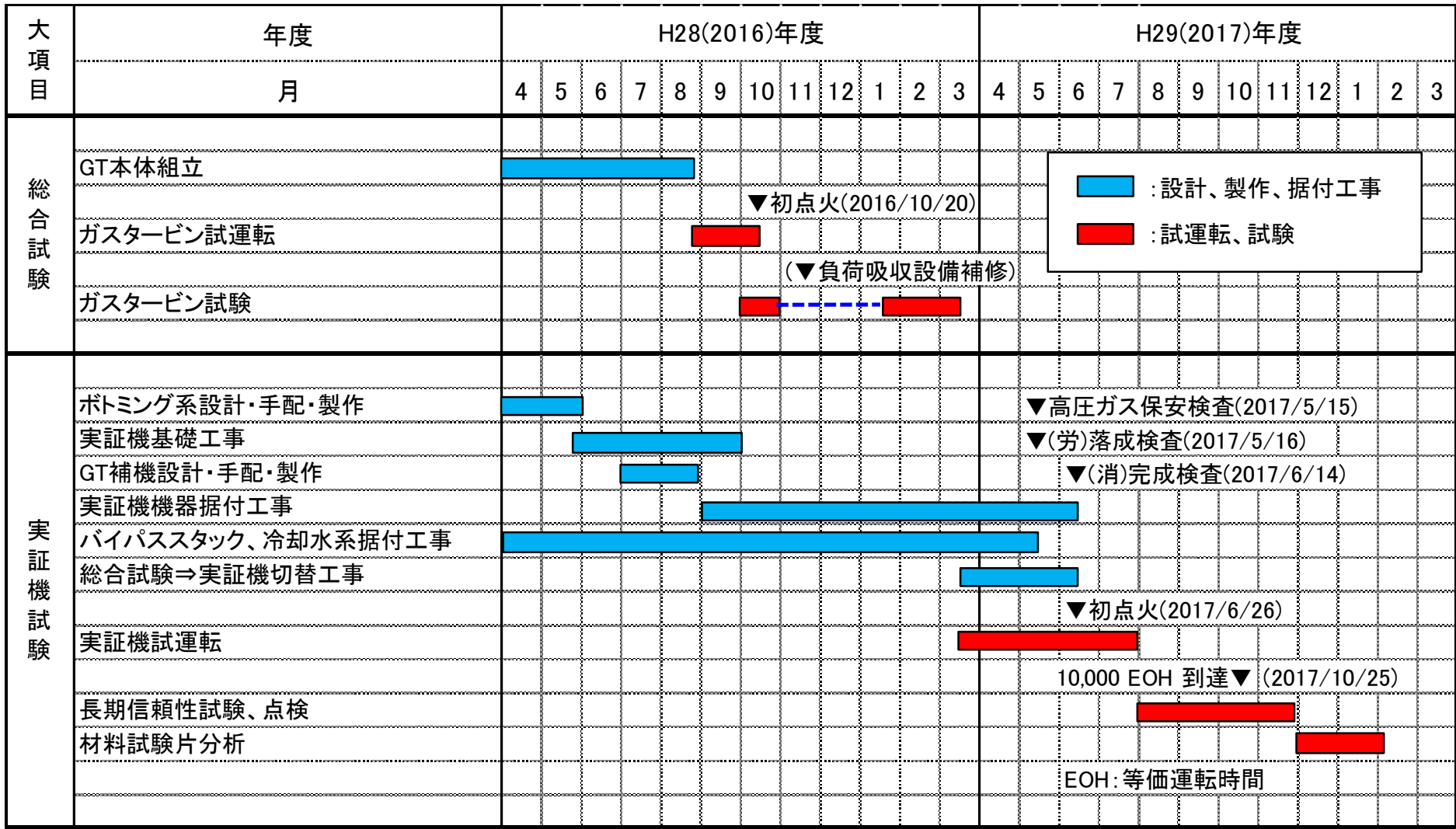
◆ 研究開発の実施体制



大項目	中項目	実施内容	担当(◎: 主担当、○: 協力)		
			MHPS	電力中央 研究所	住友精密 工業
総合試験装置による検証	(1) 総合試験装置による検証	①試験計画、試験準備	◎		
		②高信頼性化技術適用ガスタービン試験	◎		
		③性能評価	◎		
実証機による長期信頼性	(2) 実証機による長期信頼性	④実証機の設計、製作	◎		
		⑤試験計画、試験準備	◎		
		⑥実証機の試験	◎	○	
		⑦実証機の試験結果評価	◎	○	
	(3) 商用機スケールの概念設計	⑨商用機概念設計	◎	○	
	(4) システム評価	⑧実証機特性解析	○	◎	
		⑩動特性解析によるAHAT商用機の運用性評価	○	◎	
	(5) 再生熱交換器の概念設計	⑪商用機向け再生熱交換器の概念設計	○		◎

2. 研究開発マネジメント (2) 研究開発計画の妥当性

高湿分空気利用ガスタービン
◆研究開発のスケジュール



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。

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
<p>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>	<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>

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温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

◆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

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(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、 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。	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、 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。
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、 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。 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、 目標運転値を満足した。
	(3)商用機スケールの概念設計(MHPS)	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。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 概念設計を実施し、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。
	(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。 ● 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。 	<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。 ● 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。
	(5)再生熱交換器の概念設計(住精)	<ul style="list-style-type: none"> ● 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。 ● 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。 	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。

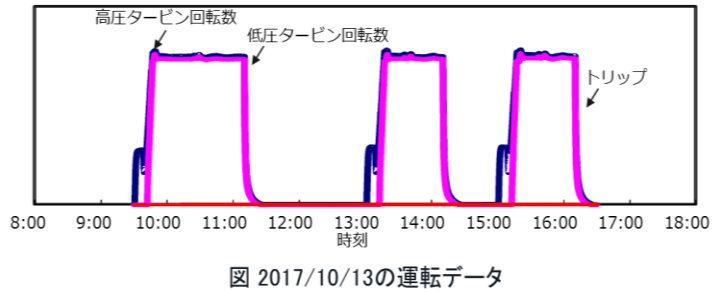
3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

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。

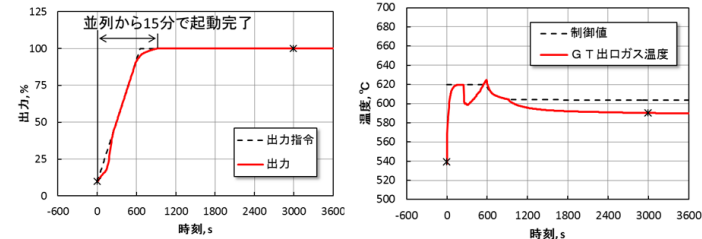


(4) システム評価(電中研)

解析結果(起動時間: 並列から定格出力)

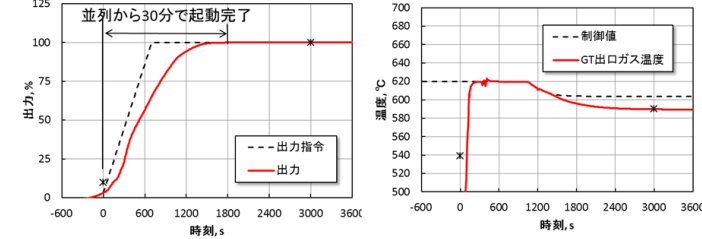
起動時間は15分(ホット起動)、30分(コールド起動)と評価され、既存GTCCのよりも速い起動時間が得られる見通しを得た。

▶ ホット状態からの起動性



結果:
15分で起動完了
 (GTCC: 0.5~1.5時間)

▶ コールド状態からの起動性



結果:
30分で起動完了
 (GTCC: 1.5~6時間)

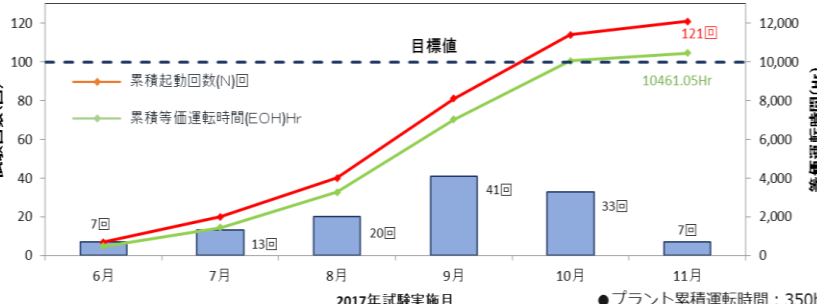


図 起動回数と等価運転時間

●プラント累積運転時間: 350hr (7時間/日)
 ●材料試験片浸漬時間: 3500hr

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。

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

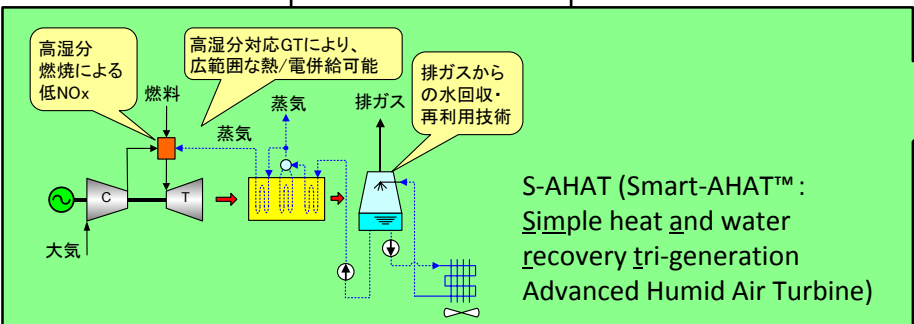
4. 成果の実用化・事業化に向けての取組及び見通し (3) 成果の実用化・事業化の見通し

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		<ul style="list-style-type: none"> ・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 	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>	



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