

九州産業保安監督部 令和4年度ボイラー・タービン主任技術者会議(九州)
講演会
アンモニア焚きガスタービンの技術開発

2023.02.14

三菱重工業(株)

ガスタービン技術部

ガスタービン燃焼器Gr

安部 直樹

1. 会社紹介

2. ガスタービンコンバインドサイクル(GTCC)の概要

3. ガスタービン市場動向

4. アンモニア焼きガスタービンについて

- a). アンモニア焼きガスタービンの役割
- b). アンモニア利用ガスタービンの開発状況
- c). アンモニア焼きガスタービンの実装計画

5. まとめ

1. 会社紹介

2. ガスタービンコンバインドサイクル(GTCC)の概要

3. ガスタービン市場動向

4. アンモニア焼きガスタービンについて

a). アンモニア焼きガスタービンの役割

b). アンモニア利用ガスタービンの開発状況

c). アンモニア焼きガスタービンの実装計画

5. まとめ

1. 会社紹介

三菱重工は、エンジニアリングとものづくりのグローバルリーダーとして、1884年の創立以来、社会課題に真摯に向き合い、人々の暮らしを支えてきました。

**MITSUBISHI
HEAVY
INDUSTRIES
GROUP**

下表は、グループ内の水素に関連する企業と製品を掲載したものです。

総合研究所・ICTソリューション本部 etc.

エナジードメイン



水素ガスタービン・燃料電池
(エナジートランジション&パワー事業本部)

ジェットエンジン
(三菱重工航空エンジン株式会社)

洋上風力発電設備
(MHIベスタスジャパン株式会社)

圧縮機
(三菱重工コンプレッサ株式会社)

プラント・インフラドメイン



製鉄機械
(Primetals Technologies, Ltd)

**CO₂回収
アンモニア・メタノール設備**
(三菱重工エンジニアリング株式会社)

燃料運搬船
(三菱造船株式会社)

民間機セグメント 防衛・宇宙セグメント



航空機
(三菱航空機株式会社)

H-IIAロケット

1. 会社紹介

～エナジートランジション&パワー事業～

三菱重工は、革新的な発電技術とソリューションにより、エネルギーの脱炭素化と電力の安定供給に世界中で貢献し、持続可能な未来の実現に取り組んでいます。

大型ガスタービン



中小型ガスタービン



発電プラント

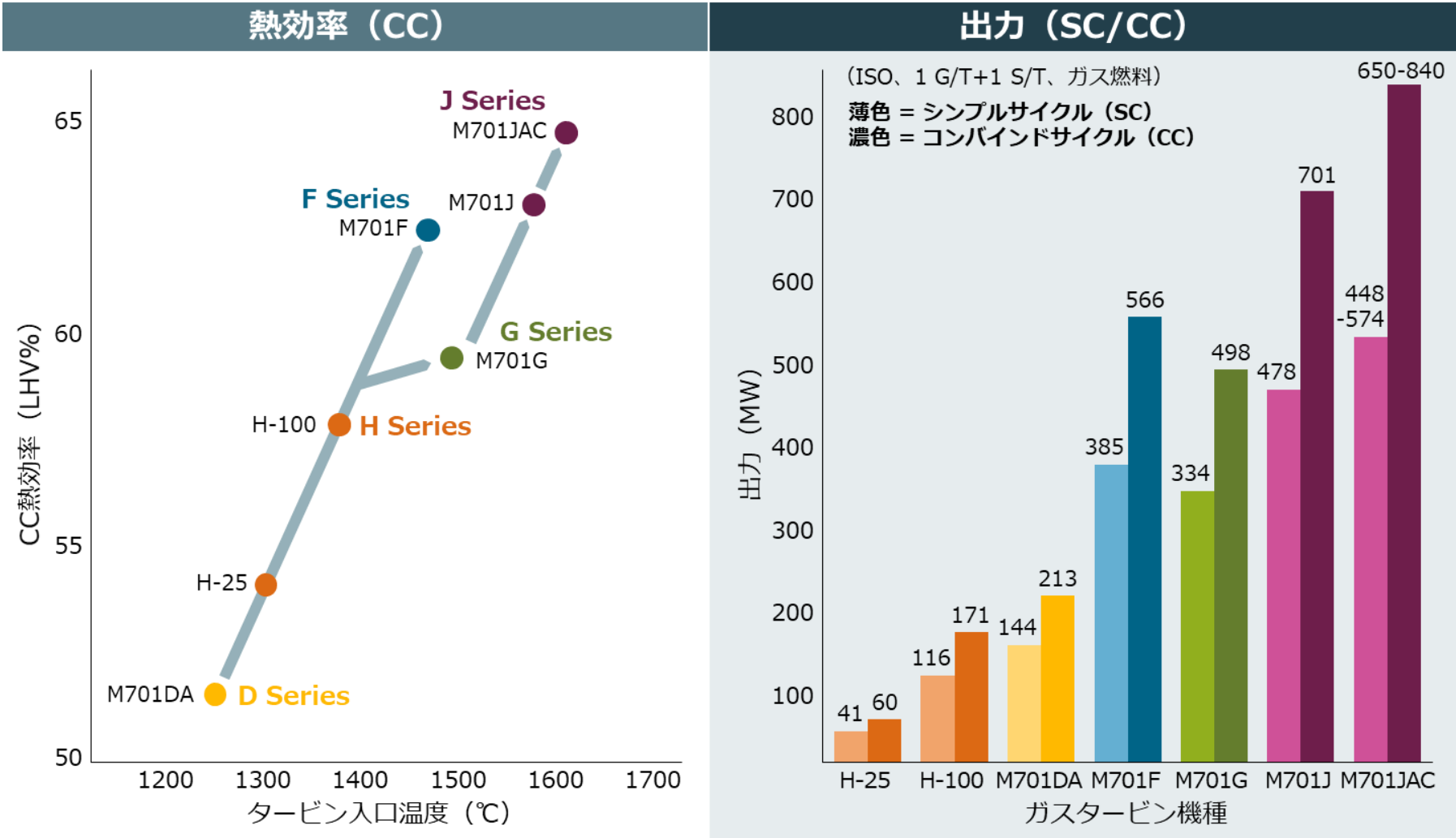


1. 会社紹介

～三菱重工のガスタービン技術（50Hz）～



三菱重工は小型から大型まで、幅広いラインアップでお客様の様々なニーズに対応します。

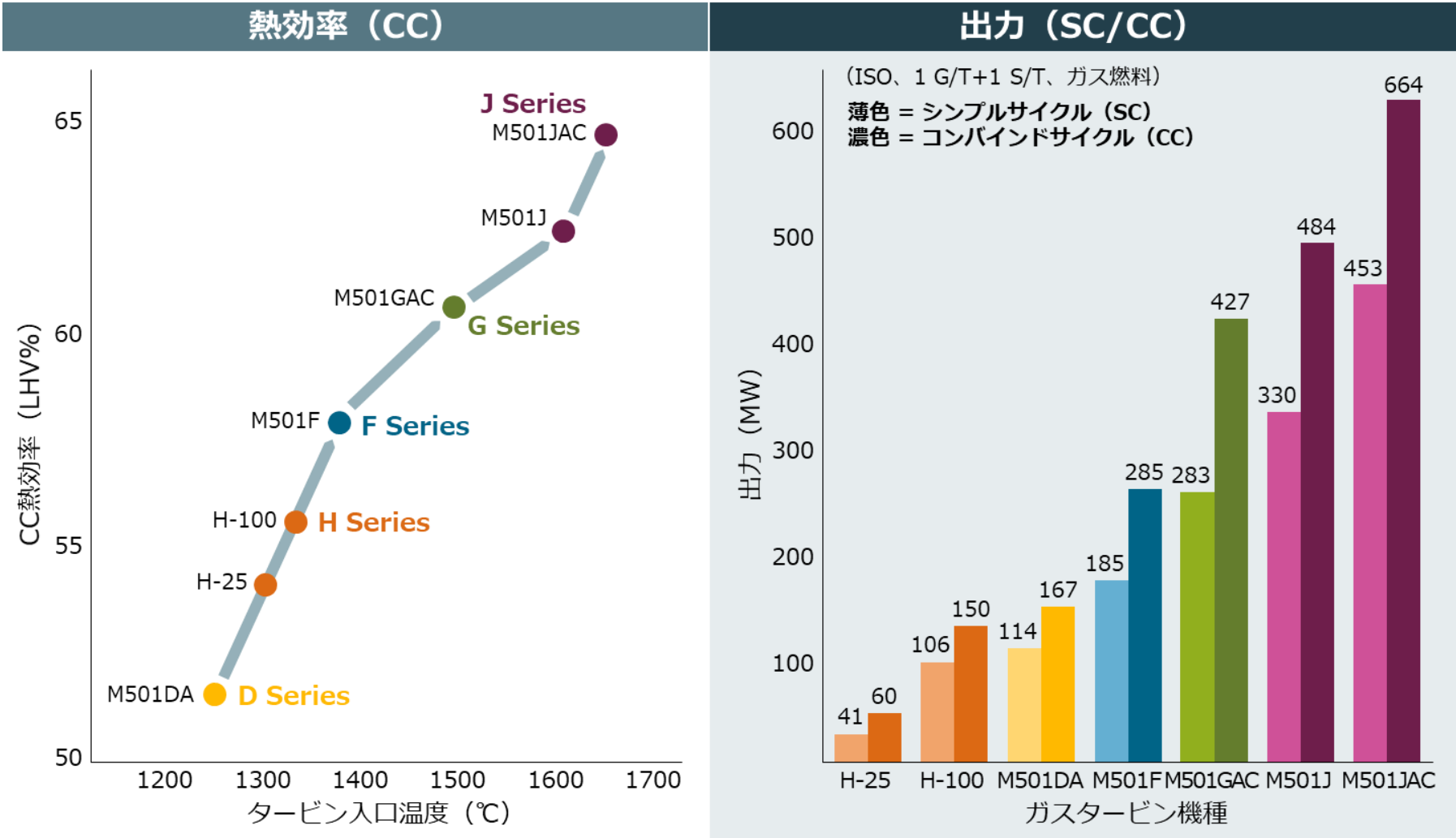


1. 会社紹介

～三菱重工のガスタービン技術（60Hz）～

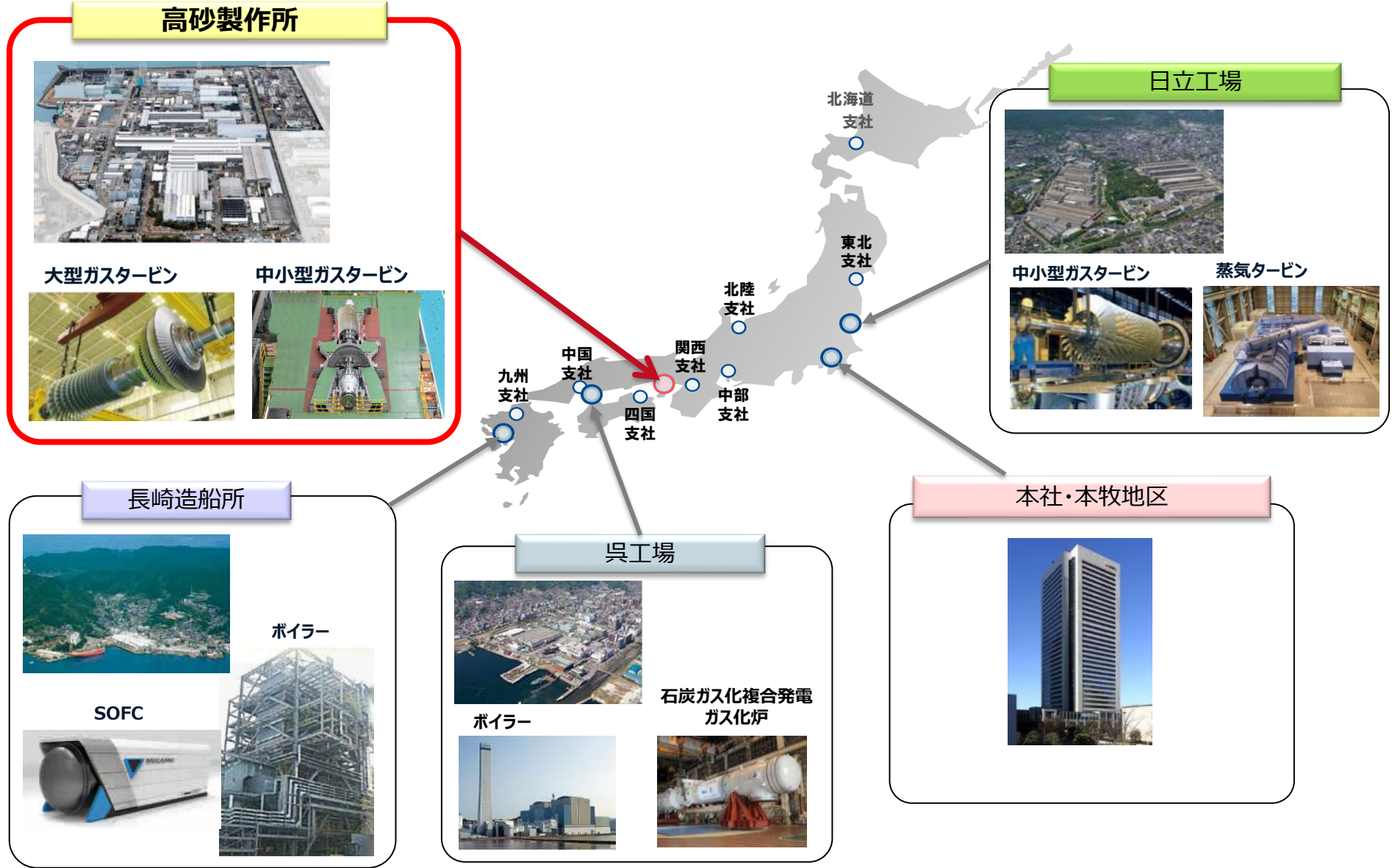


三菱重工は小型から大型まで、幅広いラインアップでお客様の様々なニーズに対応します。



1. 会社紹介

～国内拠点～



1. 会社紹介

2. ガスタービンコンバインドサイクル(GTCC)の概要

3. ガスタービン市場動向

4. アンモニア焼きガスタービンについて

a). アンモニア焼きガスタービンの役割

b). アンモニア利用ガスタービンの開発状況

c). アンモニア焼きガスタービンの実装計画

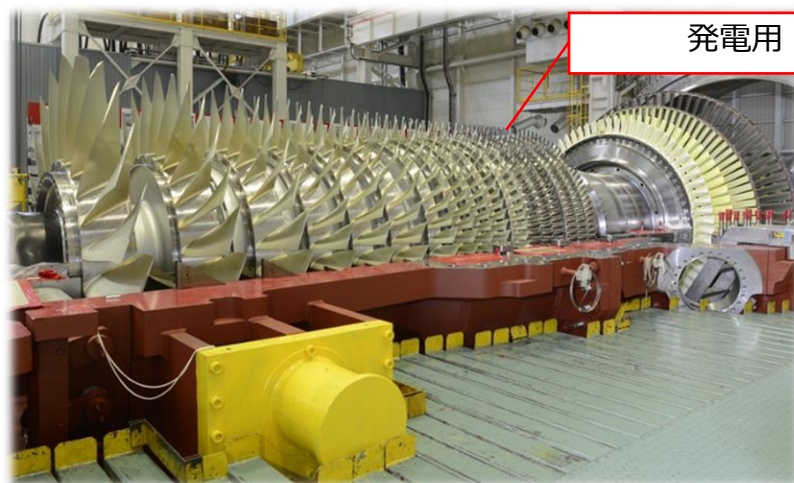
5. まとめ

2. ガスタービンコンバインドサイクル(GTCC)の概要

～発電ガスタービンとは～

飛行機のジェットエンジンと基本構造は同じ、**圧縮機・燃焼器・タービン**の3要素から構成。

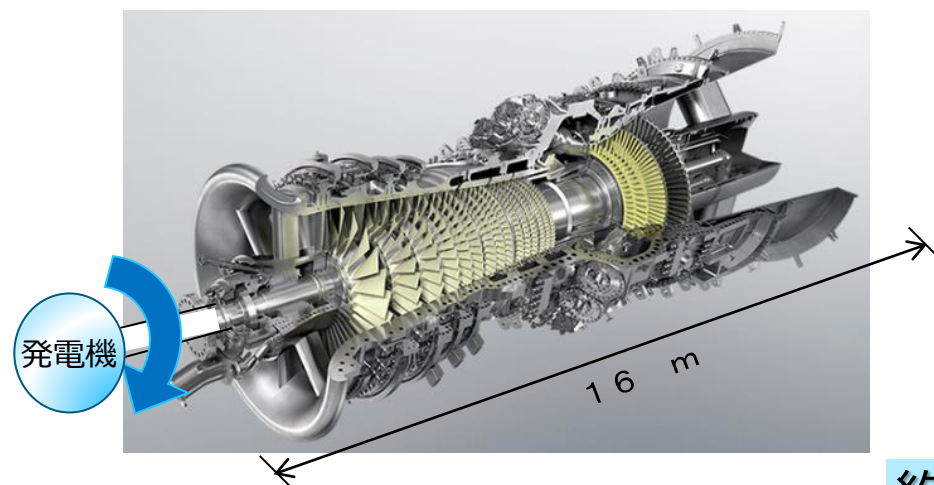
飛行機はファンの駆動にパワーを使う、ガスタービンは発電機駆動にパワーを使う。



発電用



航空用

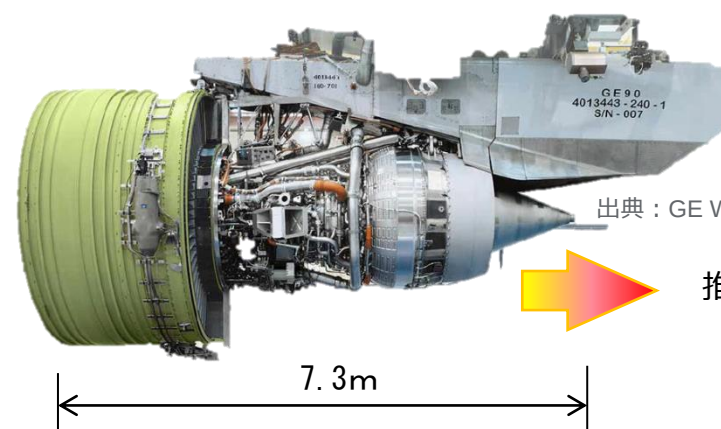


発電機

16 m

出力 M701J形で約480MW

約5倍



出典：GE Web

推力

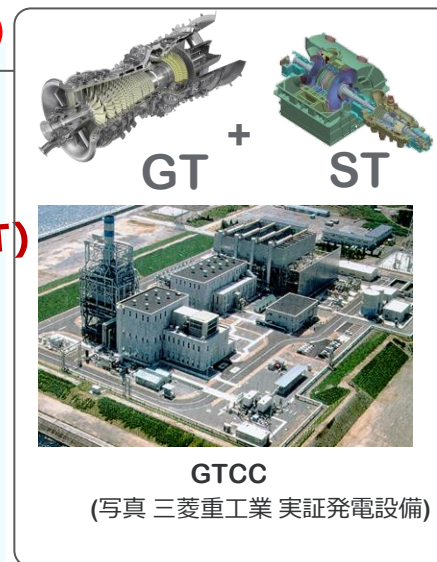
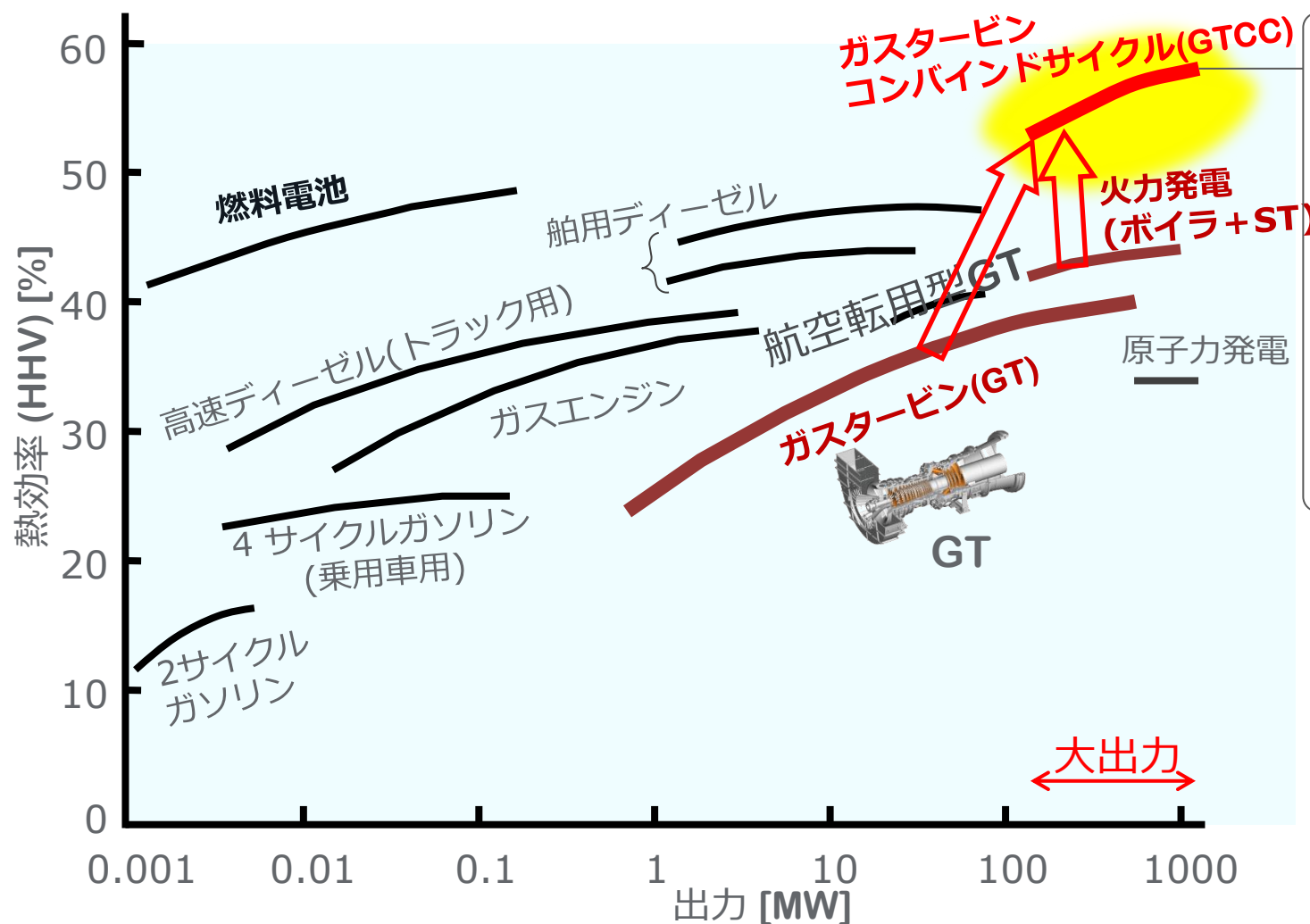
7.3m

出力 約100MW

2. ガスタービンコンバインドサイクル(GTCC)の概要

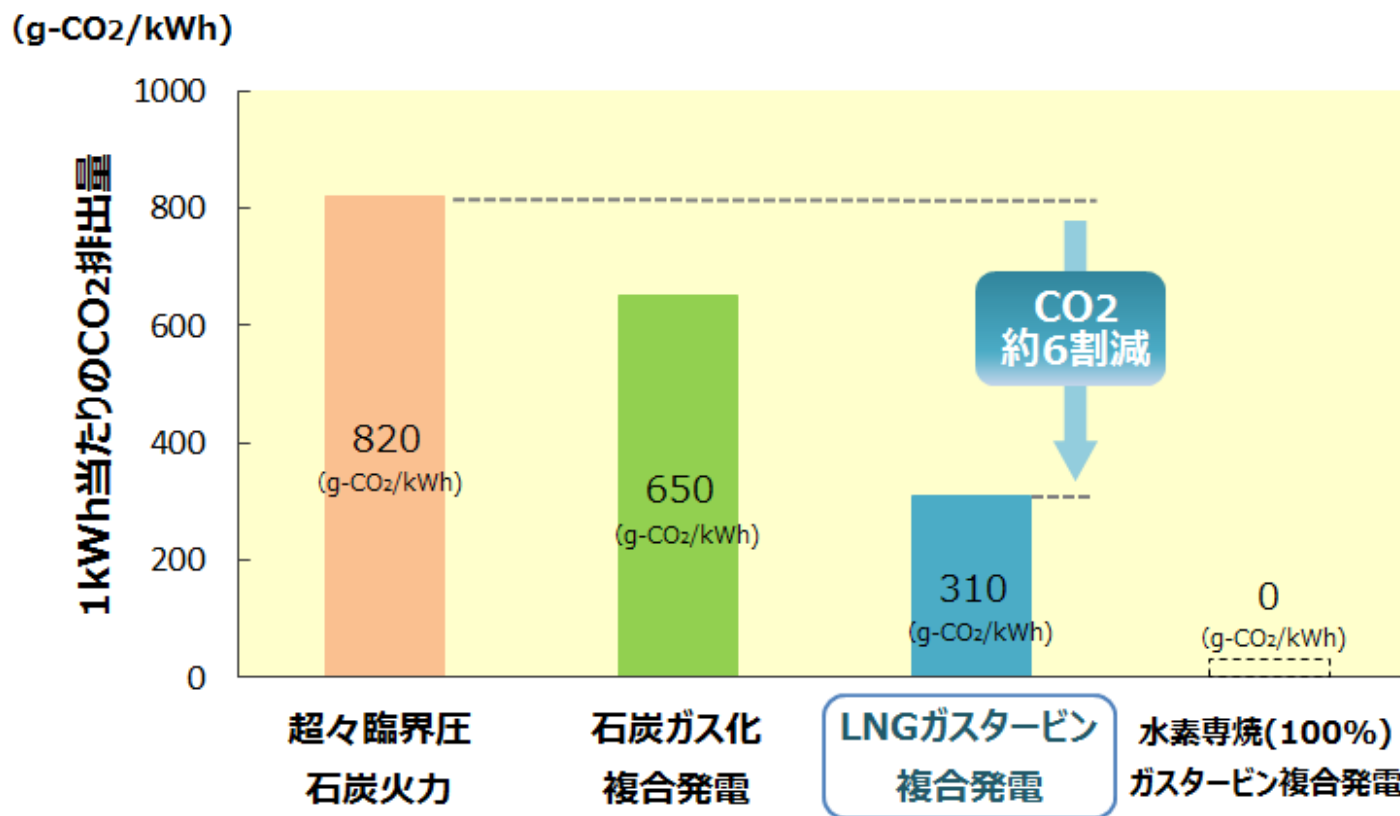
～熱機関と効率～

ガスタービンと蒸気タービンの組み合わせで **高効率**かつ**大出力**を実現



2. ガスタービンコンバインドサイクル(GTCC)の概要 ～発電方式別CO2排出量～

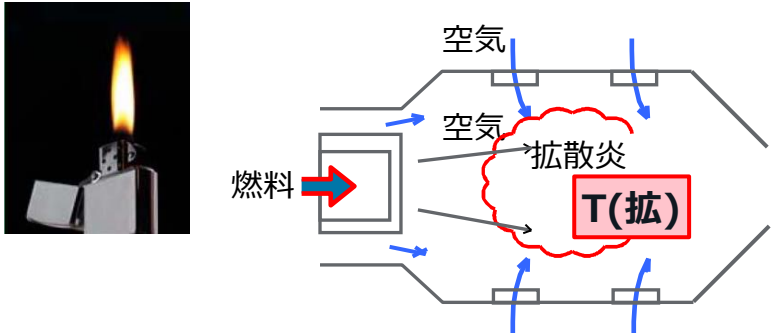
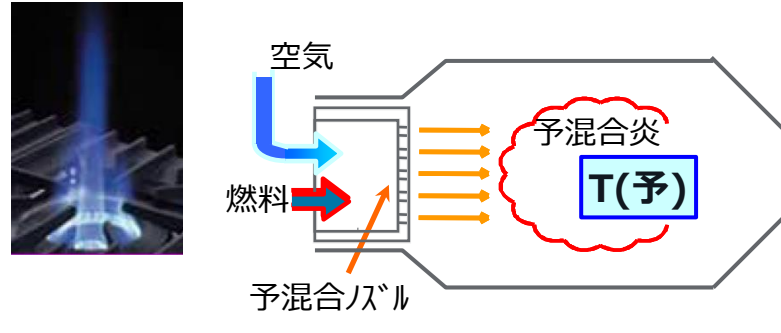
天然ガス(LNG)を燃料とするガスタービン複合発電は、火力発電の中ではCO2排出量が最も低く、低炭素社会実現には必要な発電設備

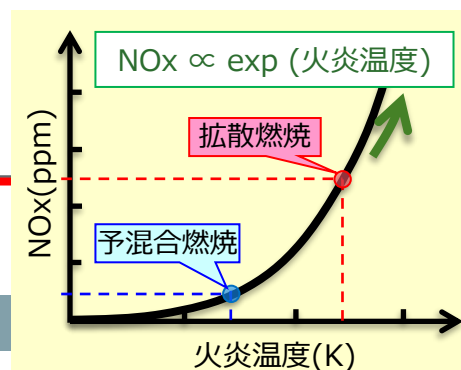


(経済産業省Webサイト記載の数字を引用)

2. ガスタービンコンバインドサイクル(GTCC)の概要 ～燃焼器低NOx化技術(拡散方式と予混合方式)～

予混合方式 … 多くの大型プラントに適用、燃焼ガス温度を下げることでNOx低減が可能
一方で、火炎の位置が不安定になる場合があり、**フラッシュバックリスク**を伴う

形式	拡散方式	予混合方式
構造		
燃焼特性	- 燃料と燃焼用空気を別々に噴射 - 高温スポットが生じやすい (NOx高) - 火炎が安定	- 燃料は空気と混合され噴射 - 高温スポットが生じにくい (NOx低) - 火炎の位置が不安定: フラッシュバックリスク
特徴	- 燃料性状変動への許容範囲が大きい - 燃料系統が簡素 - NOx対策(蒸気/水噴射)による性能低下	- CO2削減(高効率)と低NOx化を両立 - 燃料系統が複雑

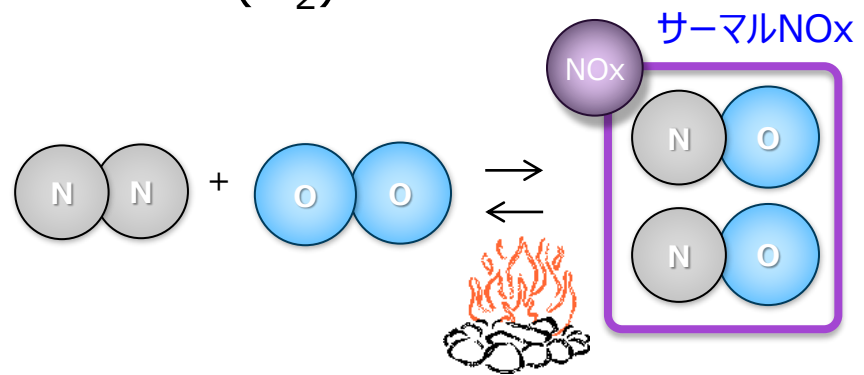


2. ガスタービンコンバインドサイクル(GTCC)の概要

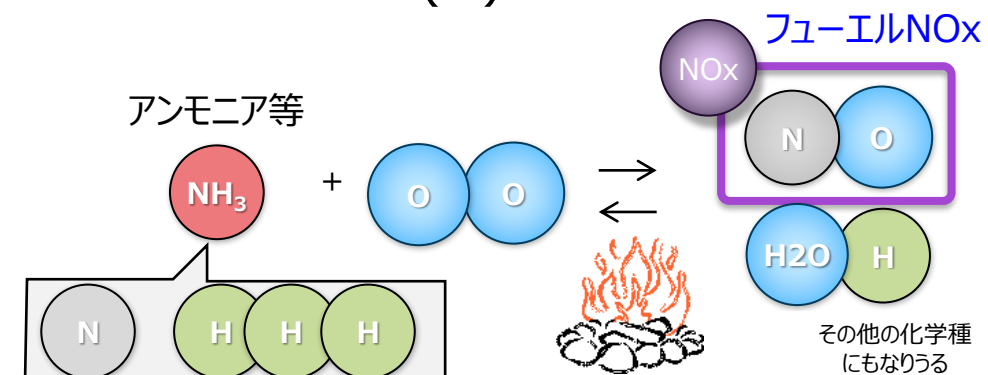
水素燃焼技術の課題 ～窒素酸化物(NOx)～

- 燃焼時に『空気』または『燃料中』の窒素(N₂,N)と反応し、NOxが生成
- 水素含有時は火炎位置が上流に移動し、空気と十分に混合する前に高い火炎温度で燃焼するため、NOxが増加する

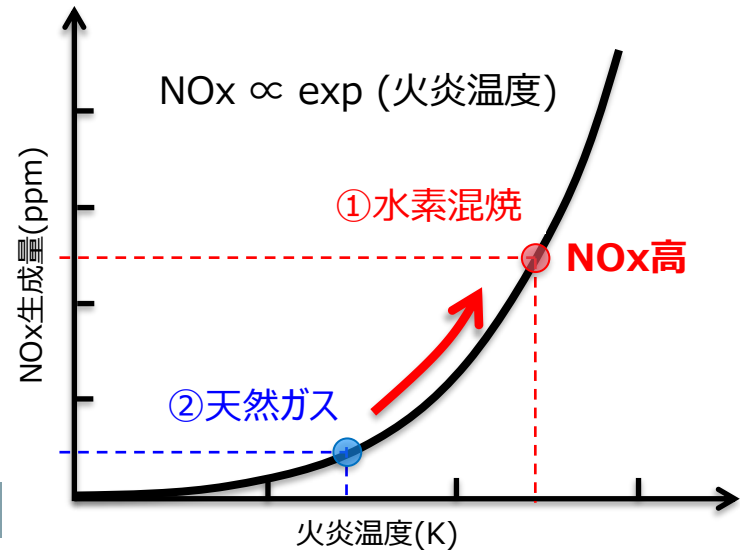
『空気の窒素(N₂)から生成』



『燃料中の窒素成分(N)から生成』



サーマルNOxの特徴 : NOxは火炎温度高で増加



1. 会社紹介

2. ガスタービンコンバインドサイクル(GTCC)の概要

3. ガスタービン市場動向

4. アンモニア焼きガスタービンについて

a). アンモニア焼きガスタービンの役割

b). アンモニア利用ガスタービンの開発状況

c). アンモニア焼きガスタービンの実装計画

5. まとめ

3. ガスタービン市場動向 ～2040年 カーボンニュートラル宣言～

MISSION NET ZERO

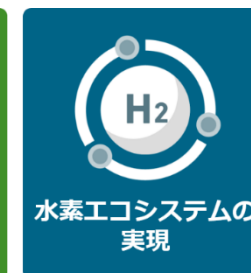
三菱重工グループは、CO₂削減に貢献できる当社グループの製品・技術・サービス、世界中のパートナーとの新しいソリューション、イノベーション等により、グローバル社会全体のNet Zero実現に貢献していきます。

そのために、私たちは、グループ員一人ひとりが、「Mission Net Zero」を胸に、NET ZEROの未来に向けて行動していきます。



カーボンニュートラル社会実現に向けた取り組み

カーボンニュートラル社会実現に向け 革新的なエコシステムを構築する



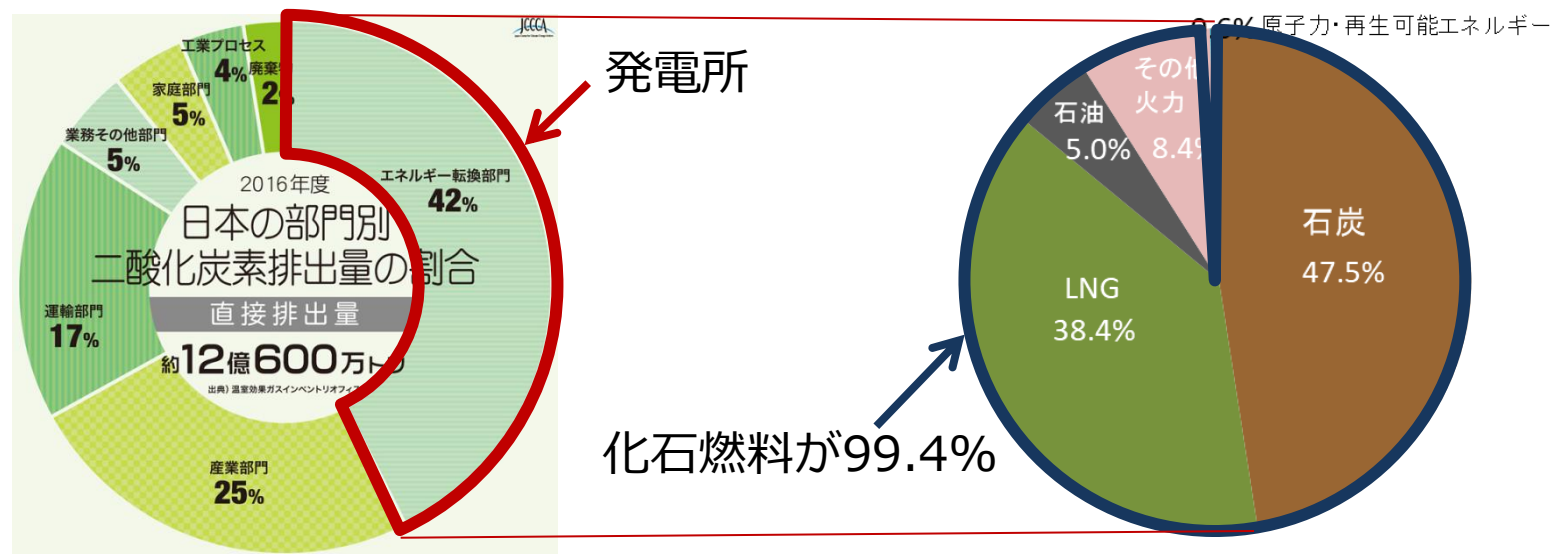
目標年	当社グループのCO ₂ 排出削減 Scope1,2	バリューチェーン全体を通じた社会への貢献 Scope 3 + CCUS削減貢献
2030年	▲50% (2014年比)	▲50% (2019年比)
2040年	Net Zero	Net Zero

※ Scope1,2：算出基準は、GHGプロトコルに準じる。
Scope3：算出基準は、GHGプロトコルに準じる。但しこれに独自指標のCCUSによる削減貢献分を加味。

GHG：温室効果ガス (Greenhouse Gas) CCUS：Carbon dioxide Capture,Utilization and Storage

3. ガスタービン市場動向 ～CO2削減のために～

日本のCO2発生のうち42%は発電部門から・・・
(自動車他運輸は17%に過ぎない)
→CO2削減のために電力部門のパラダイムシフトが必要

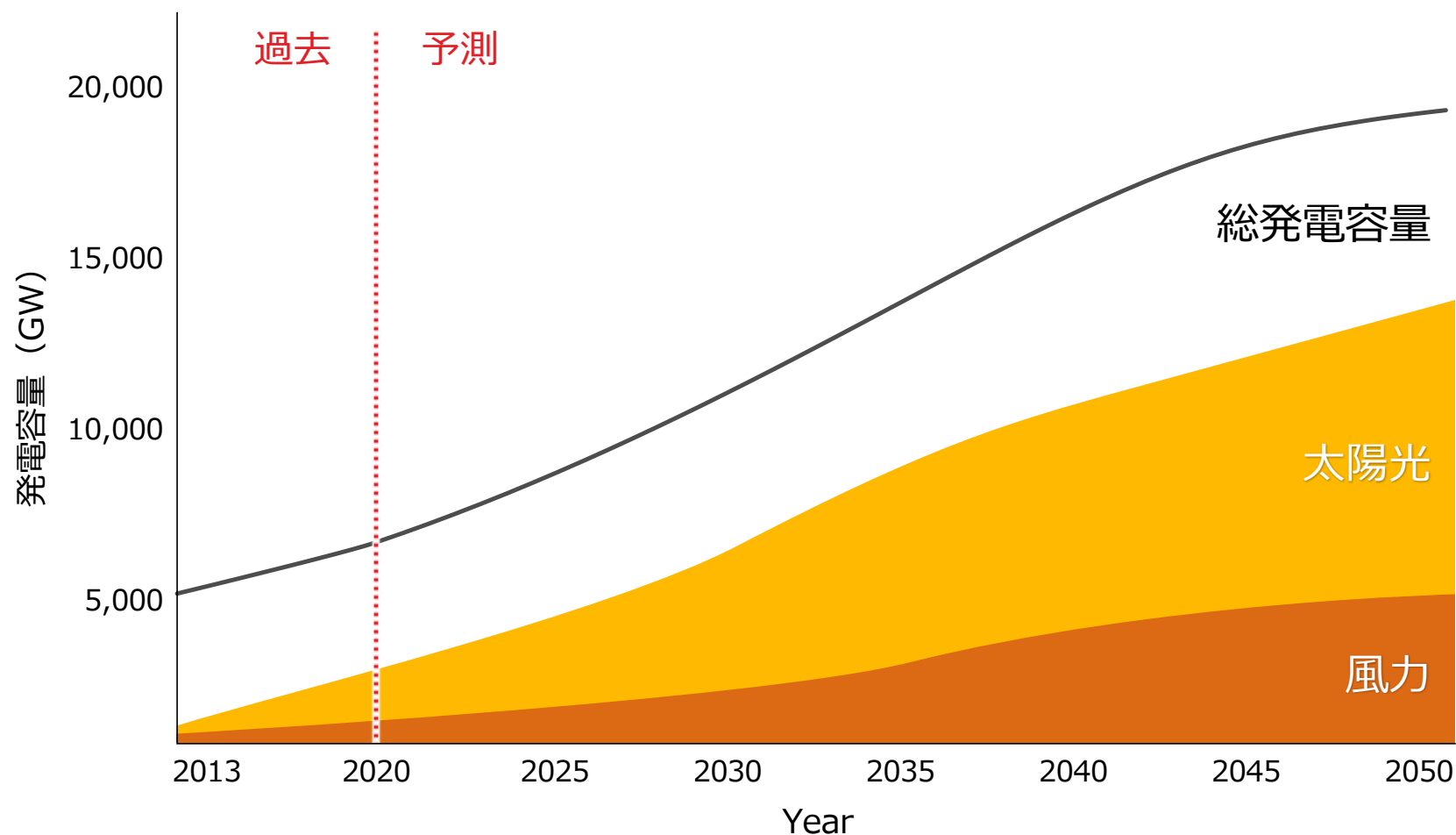


日本の部門別CO2排出量(2016年度)⁽¹⁾

電源別CO2排出量割合⁽²⁾

3. ガスタービン市場動向 ～エネルギー変遷におけるガスタービンの役割～

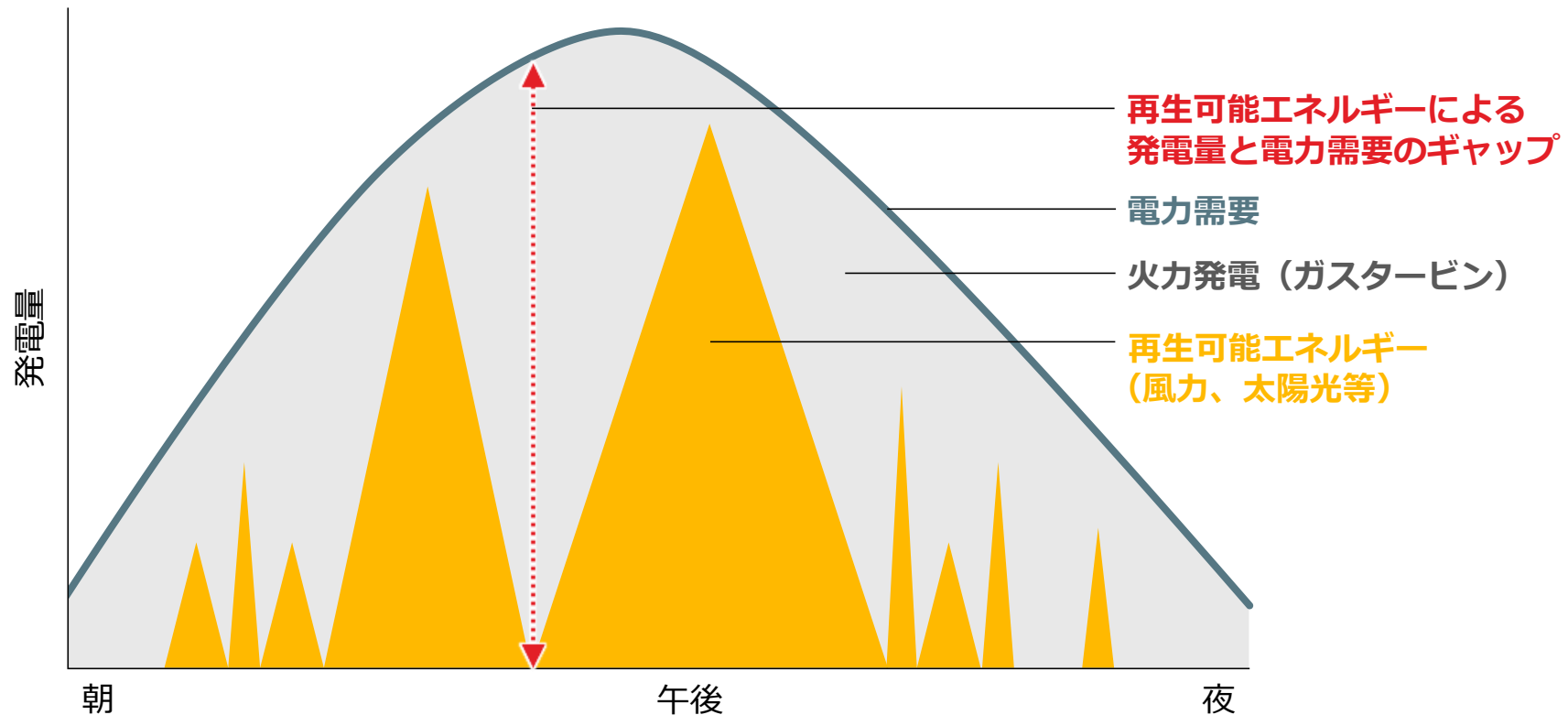
風力や太陽光発電を中心に、再生可能エネルギーは今後も普及拡大が予想されます。



出典：Bloomberg New Energy Finance (2019年)

3. ガスタービン市場動向 ～エネルギー変遷におけるガスタービンの役割～

一方、再生可能エネルギーの発電量は天候に左右されるため、再生可能エネルギーだけでは、すべての電力需要を満たすことはできません。



ガスタービンは、柔軟なエネルギー源として、
電力需要と再生可能エネルギーのギャップを埋めることが可能です。

出典: 経済産業省

3. ガスタービン市場動向 ～エネルギー変遷におけるガスタービンの役割～

世界的な脱炭素化の潮流と、これに応じたサプライチェーンの発展に伴い、電力セクターにおいてもクリーンエネルギーの利用が進むシナリオが想定されます。

電力セクターにおける水素・アンモニア利用シナリオ

天然ガス焼き火力発電

水素混焼

水素専焼（100%）

石炭焼き火力発電

アンモニア混焼

CCUSの利用

2030

2040

2050

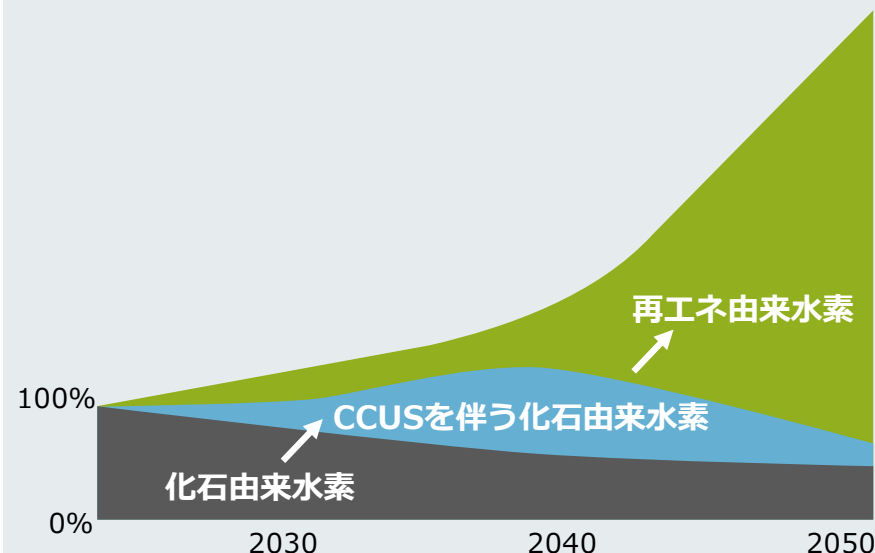
展望1（中期）

CO₂フリーの水素およびアンモニアの混焼

展望2（長期）

再エネ由来水素を用いた水素専焼発電および石炭火力+CCUSによる火力発電の脱炭素化

水素サプライチェーンの変遷シナリオ



展望1（中期）

水素社会実現の起爆剤および促進剤として、CCUSを伴う化石燃料由来の水素が普及

展望2（長期）

継続的な技術革新と大幅なコスト削減により再エネ由来の水素（CO₂フリー水素）が主流

3. ガスタービン市場動向 ～水素ガスタービンの利点～

水素ガスタービンには、複数の環境的・経済的メリットがあります。

1	2	3
投資コストの抑制  最小限の改造により、既設発電所の低・脱炭素化が可能です。 * 詳細の改造範囲は個別プラントでの評価が必要です。	キャリアへの柔軟性 液化水素／メチルシクロヘキサン LH₂/MCH → 水素 H₂ アンモニア NH₃ → 水素 H₂ N₂ 窒素ガス → 水素 H₂ 水素ガスタービンは、あらゆるキャリアで輸送される水素を燃料とすることが可能です。 燃料自動車等に比して低純度な水素の利用が可能であり、水素コストの低減にも貢献します。	水素需要の喚起  大規模な水素需要を喚起することで水素サプライチェーンの拡大、コスト削減を促進します。

1. 会社紹介

2. ガスタービンコンバインドサイクル(GTCC)の概要

3. ガスタービン市場動向

4. アンモニア焼きガスタービンについて

a). アンモニア焼きガスタービンの役割

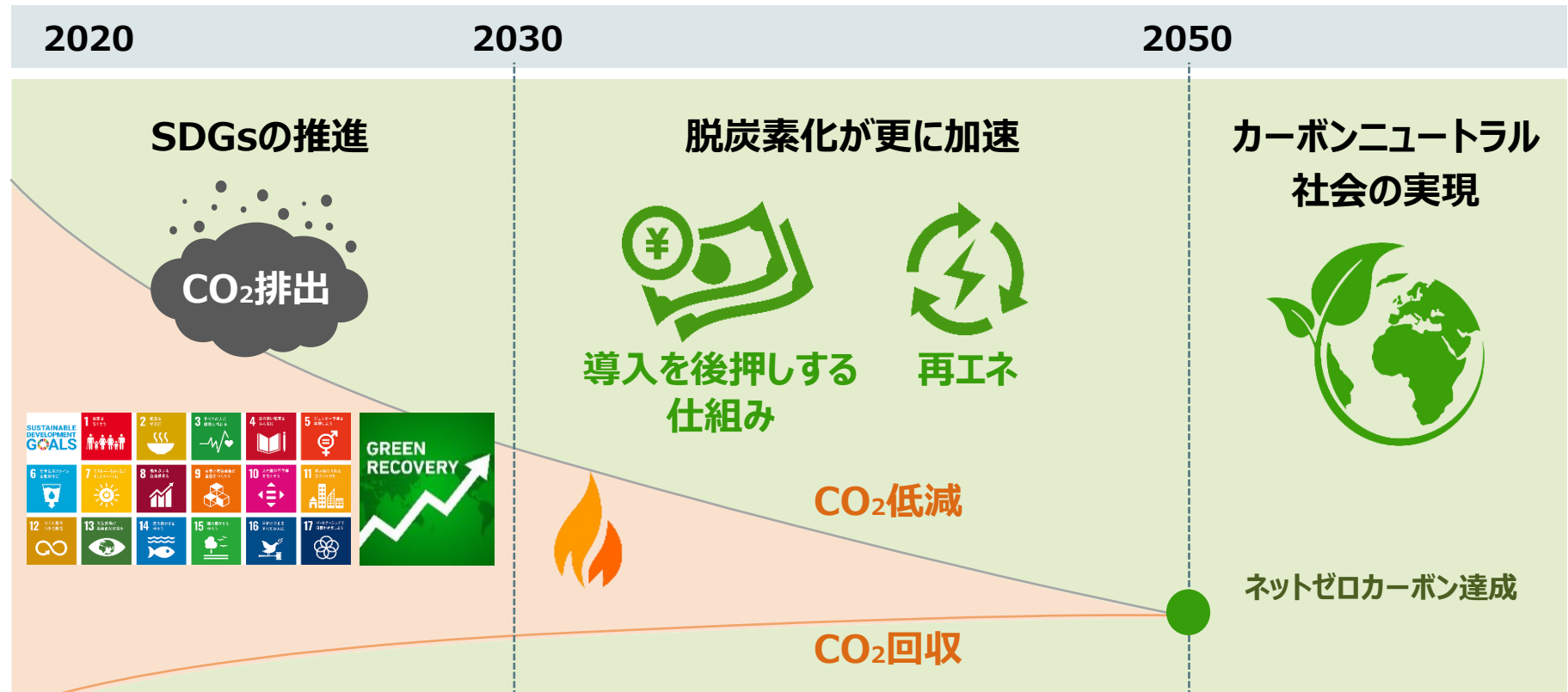
b). アンモニア利用ガスタービンの開発状況

c). アンモニア焼きガスタービンの実装計画

5. まとめ

4-a). アンモニア焼きガスタービンの役割 ～社会動向～

- 世界はカーボンニュートラル社会へ移行
- CO₂低減・回収を推進し、2050年までに達成



4-a). アンモニア焚きガスタービンの役割 ～ネットゼロカーボンに向けたエナジートランジション～

2050年のカーボンニュートラル社会実現に向け
脱炭素化技術と水素バリューチェーン構築で貢献

ネットゼロカーボンの
達成

水素バリューチェーンの構築

カーボンリサイクルの推進

産業用エネルギーの効率的な活用

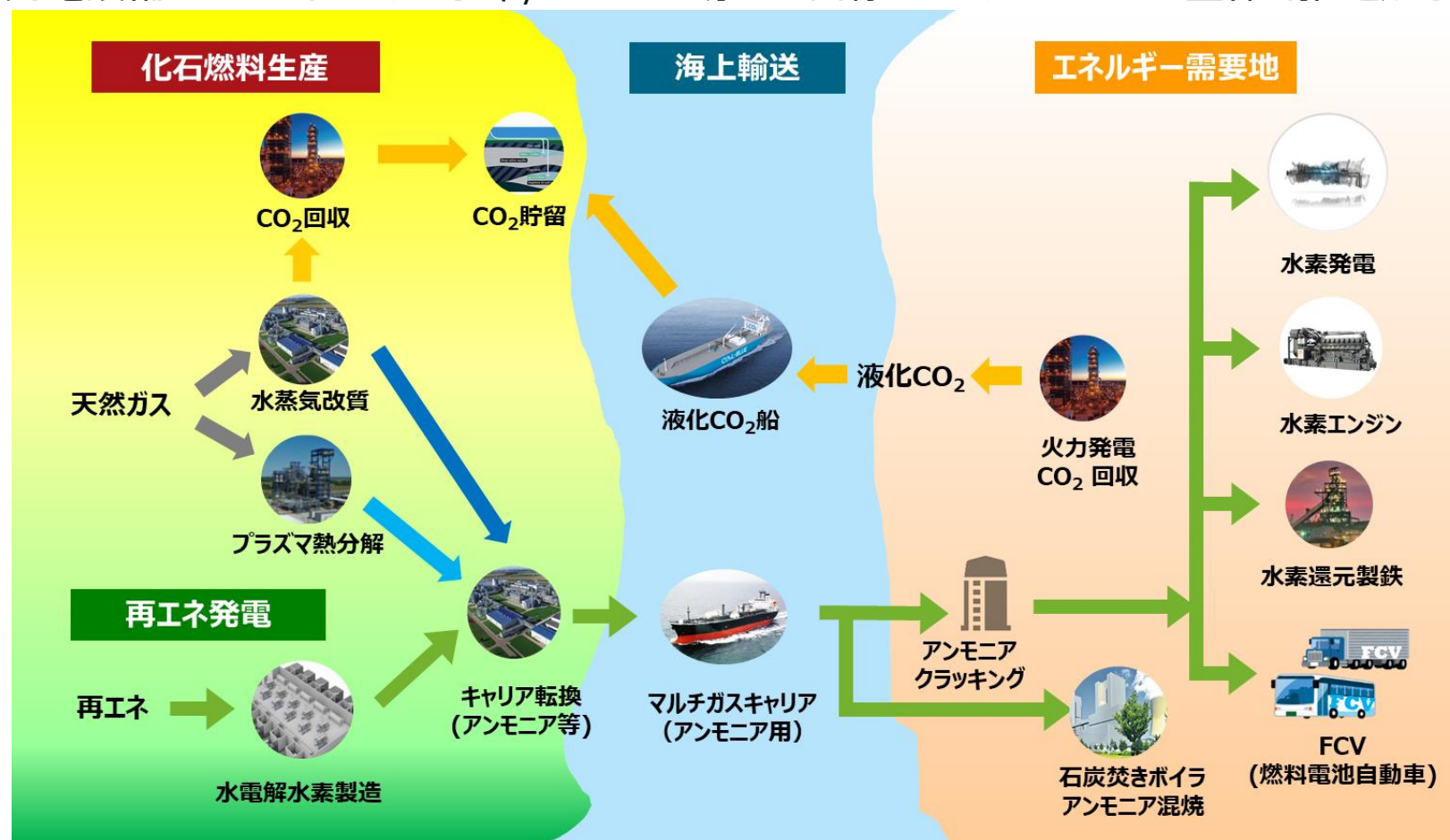
火力発電の脱炭素化
原子力によるCO₂削減



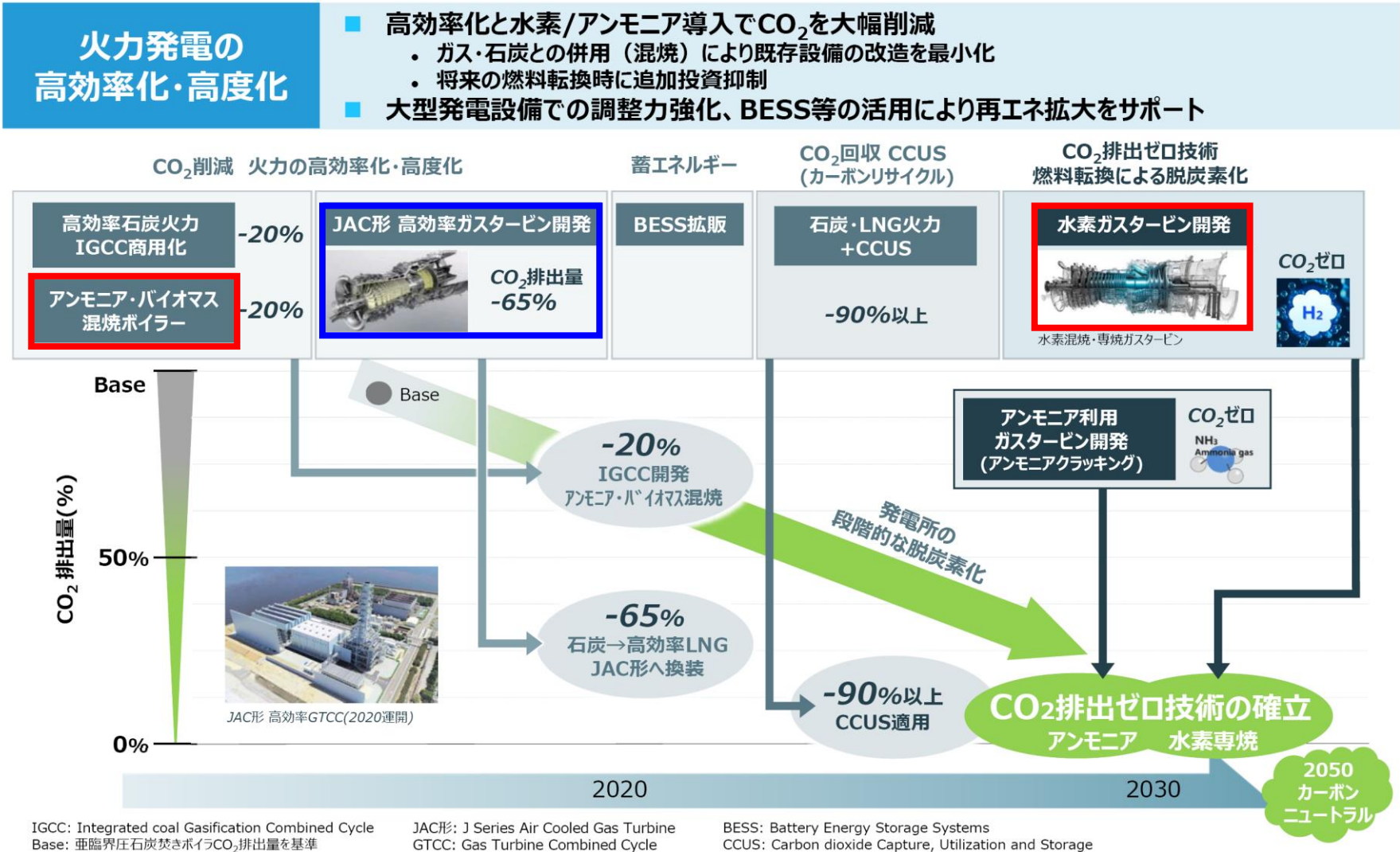
2020年11月26日発表 三菱重工 エナジートランジション説明会資料

4-a). アンモニア焼きガスタービンの役割 ～バリューチェーン構築～

- 脱炭素社会実現にむけ、地域のニーズに合わせたカーボンフリー燃料の製造・貯蔵・供給および利用の一貫したサプライチェーンの構築が重要
- 発電設備へのカーボンフリー水素/アンモニア導入を目標に、バリューチェーン全体で推進が必要



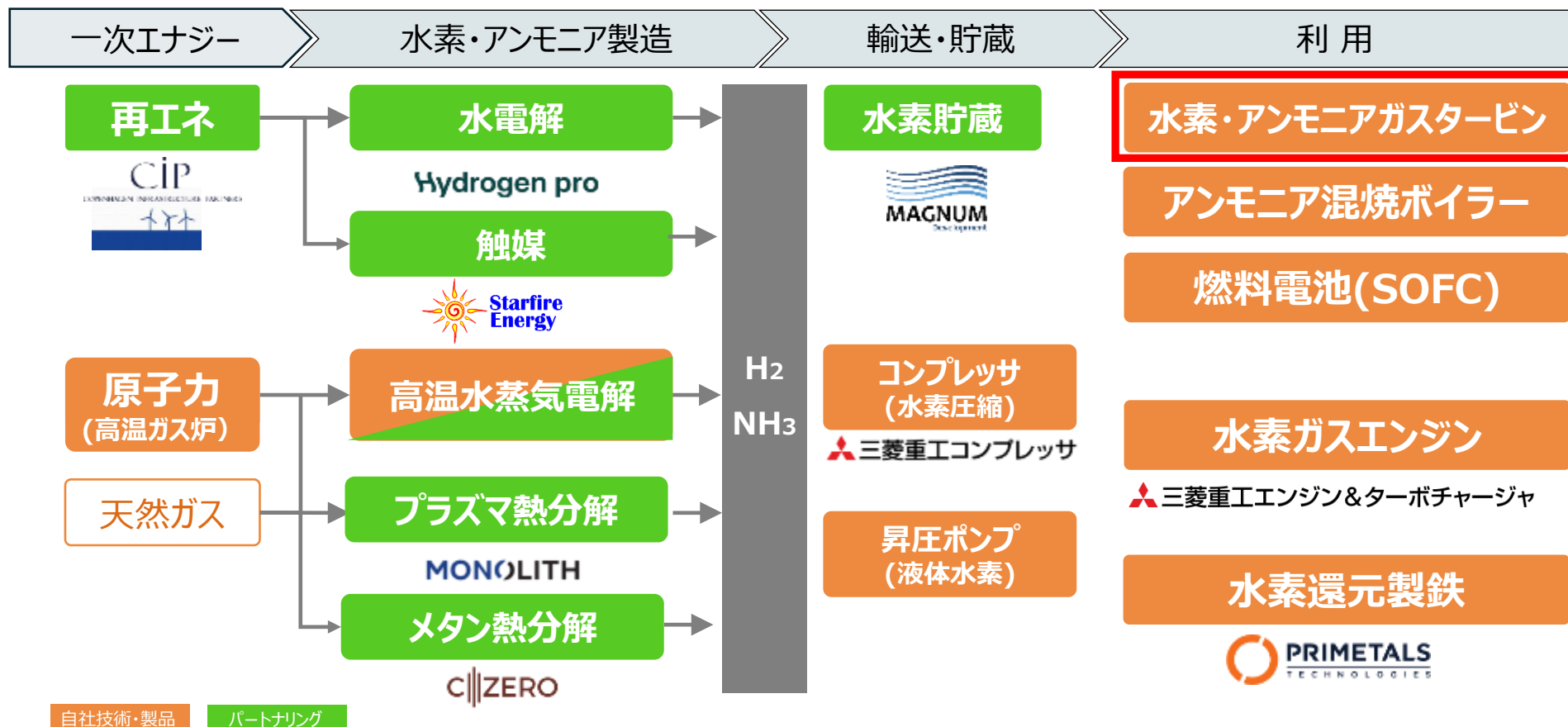
4-a). アンモニア焼きガスタービンの役割
～火力発電の脱炭素化技術開発ロードマップ～



2020年11月26日発表 三菱重工 エナジートランジション説明会資料

4-a). アンモニア焼きガスタービンの役割 ～水素社会に向けたMHIグループの取り組み～

- CO₂フリー水素・アンモニア市場確立のため、上流～下流まで幅広く、社外とのパートナーリング含め、面を広げる戦略を推進
- これらの技術を元に、海外でのFEEDに参画し、事業性評価、事業化に向け推進

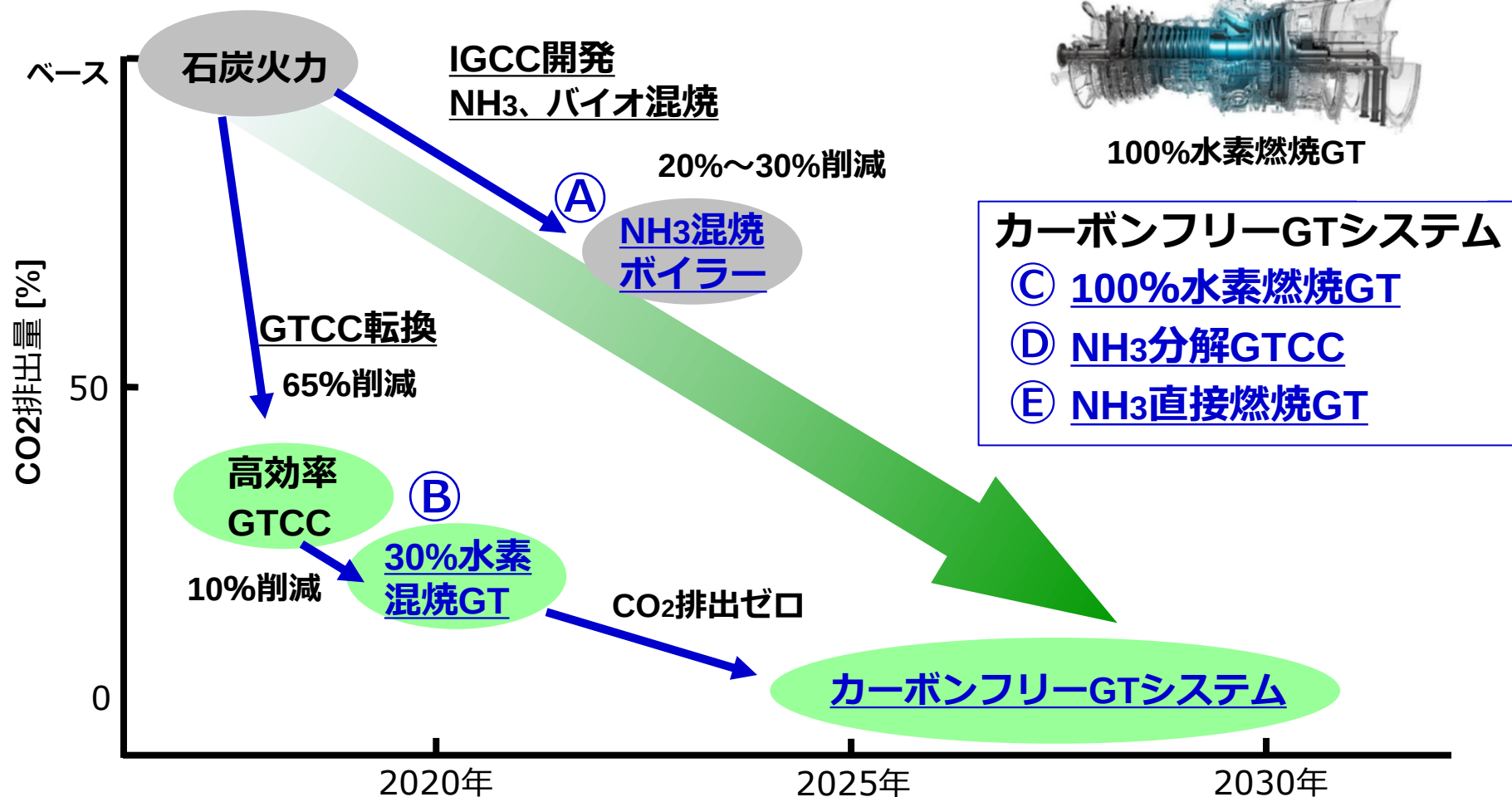


FEEDへの参画（豪州南オーストラリア/独ハンブルク/英国等）

FEED : Front End Engineering Design (EPCの前段階として設計を通して技術的課題や概略費用などを検討)

4-a). アンモニア焼きガスタービンの役割 ～脱炭素化に向けた三菱重工の取り組み～

- 水素(H_2)、アンモニア(NH_3)が燃焼可能なガスタービンを開発中
- 2030年までに燃料転換による脱炭素化を目指す



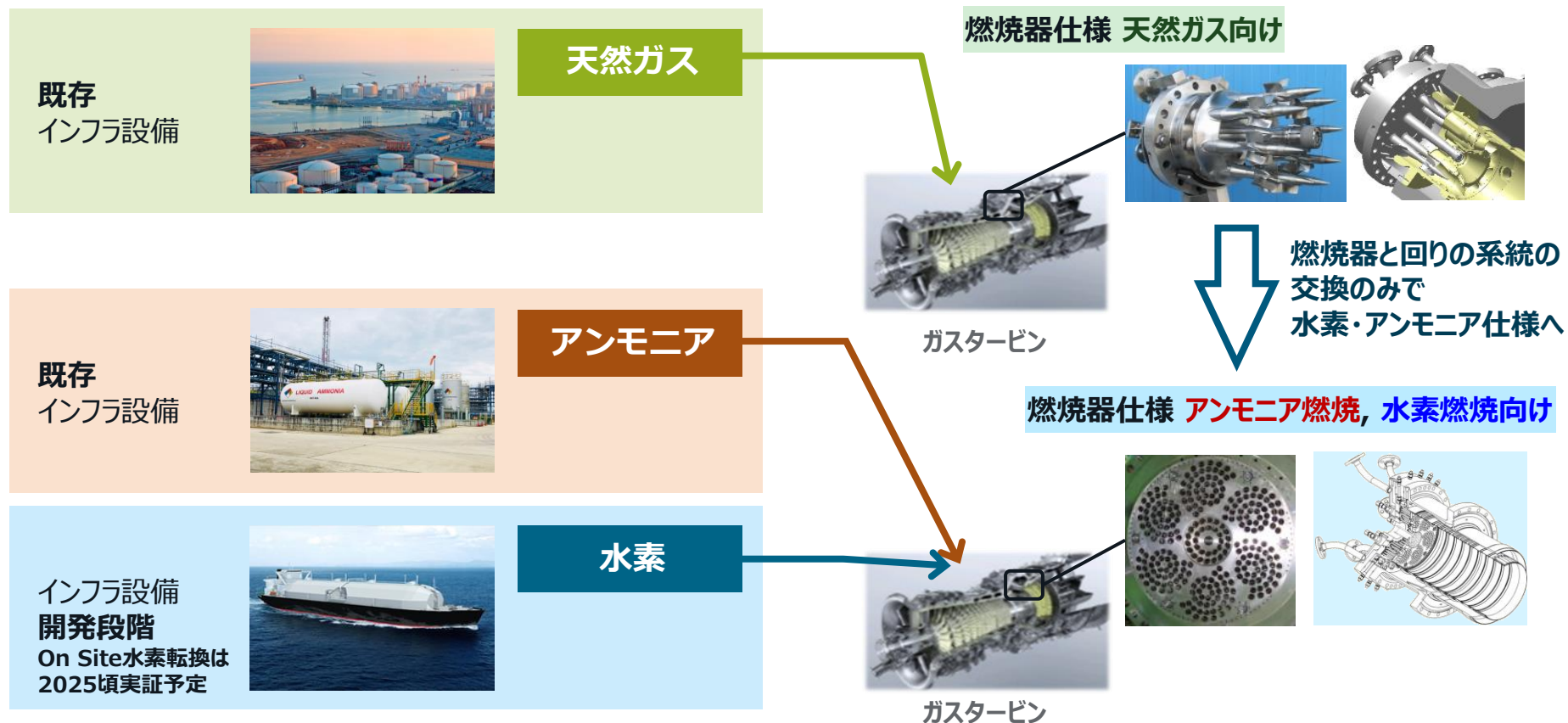
4-a). アンモニア焚きガスタービンの役割
～三菱重工の脱炭素関連機器～

カーボンフリー発電システムの**ラインアップ**を拡充しました。

機器		概要	適用時期
① アンモニア混焼ボイラー		石炭焚きボイラーに20-30%(エネルギー)のアンモニアを混焼しCO2発生量を減らすもの。	2023実証開始予定
水素GT	② 30%混焼	天然ガス焚き低NOx燃焼器に30%volの水素混合天然ガスを供給するもの。既設GTをそのまま、あるいは最小の改造で適用可能。	2018開発完了
	③ 専焼	マルチクラスタ燃焼器による100%水素燃焼器を開発中。	開発完了予定 大型機：2025 小型機：2023
④ アンモニア分解GTCC		GTの排熱を利用しアンモニアを分解し、それをGTの燃料とする。排ガス温度の高い大型機に向く。	開発中
⑤ アンモニア直接燃焼GT		分解装置が不要でありシステムが簡素になる。アンモニア燃焼に伴うNOxの発生量が多く、専用燃焼器の開発が必要。また、排ガス脱硝装置も必須となる。	2024年に開発を完了し、実証を目指す。

4-a). アンモニア焼きガスタービンの役割 ～水素/アンモニア燃焼 ガスタービン～

天然ガス・ガスタービン(GT)から水素ガスタービンへの改造は、燃焼器部品、周囲の系統の入れ替えのみで対応可能。
本体はそのまま使用するため、改造が容易であることが特徴。



1. 会社紹介

2. ガスタービンコンバインドサイクル(GTCC)の概要

3. ガスタービン市場動向

4. アンモニア焼きガスタービンについて

a). アンモニア焼きガスタービンの役割

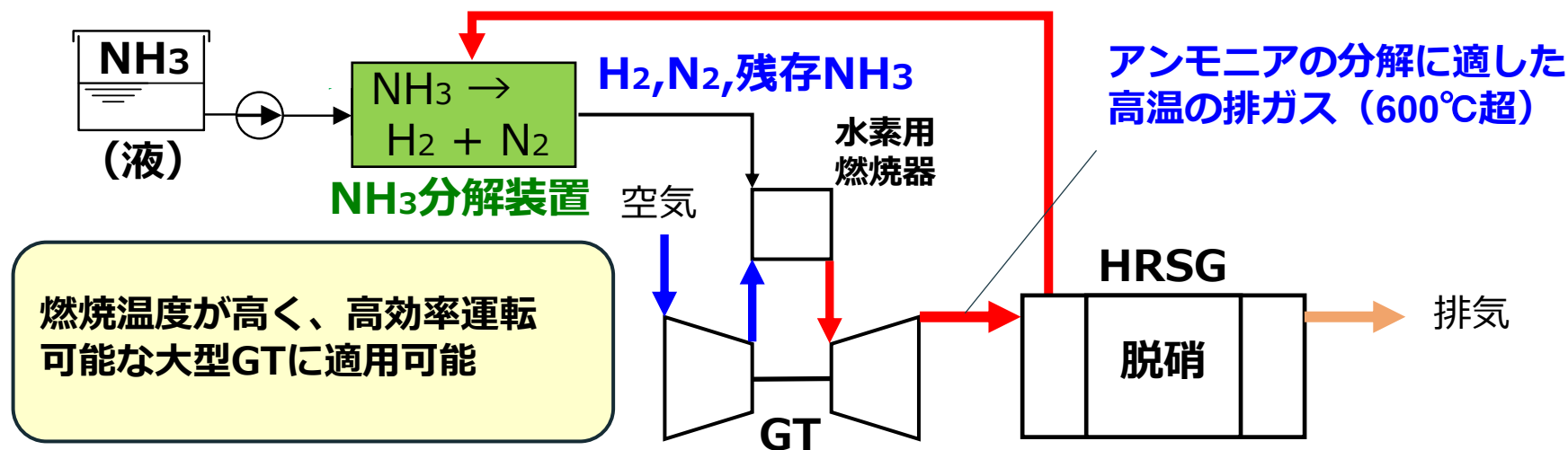
b). アンモニア利用ガスタービンの開発状況

c). アンモニア焼きガスタービンの実装計画

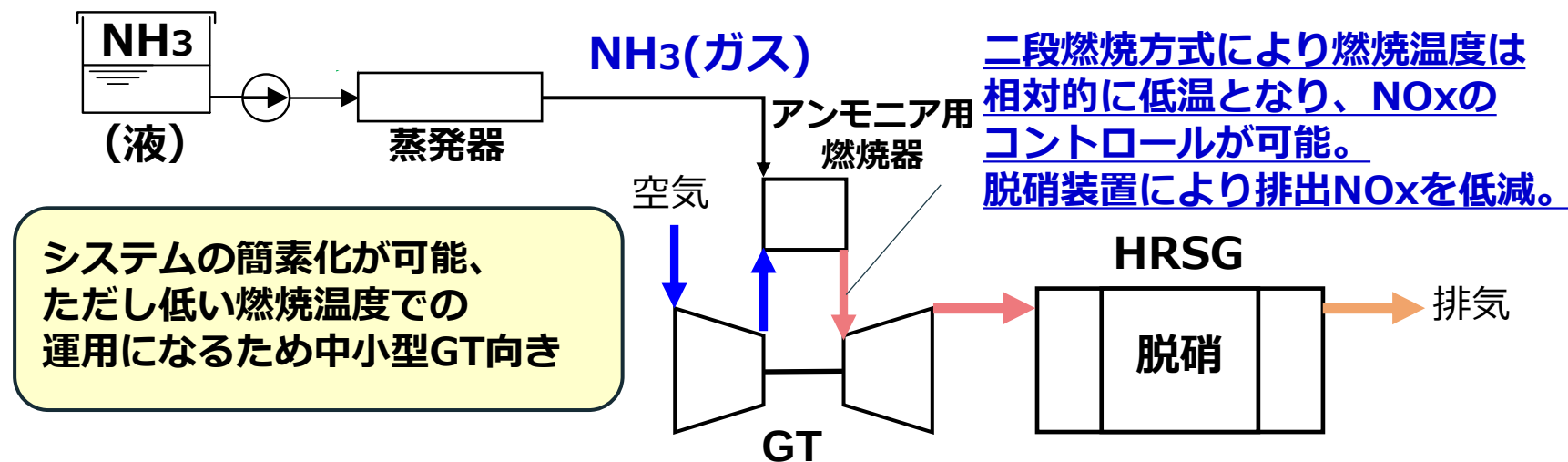
5. まとめ

4-b). アンモニア利用ガスタービンの開発状況 ～アンモニア燃料を利用したガスタービン～

■ アンモニア分解GTCC：大型高効率ガスタービン



■ アンモニア直接燃焼GT：中小型ガスタービン



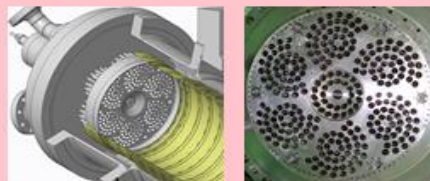
4-b). アンモニア利用ガスタービンの開発状況

～アンモニア分解ガスによるガスタービンシステムの開発～

- ガスタービンの排熱を利用してアンモニアを水素と窒素に分解し、水素混焼ガスタービンへ適用
- 将来的には水素専焼ガスタービンを適用し、燃料すべてをアンモニア分解水素とすることも可能

水素専焼, 100%H₂

マルチクラスタ燃焼器をベースに
1600℃以上の高温化にむけ
開発中



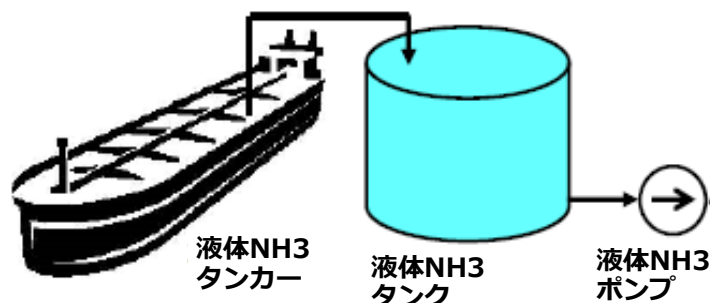
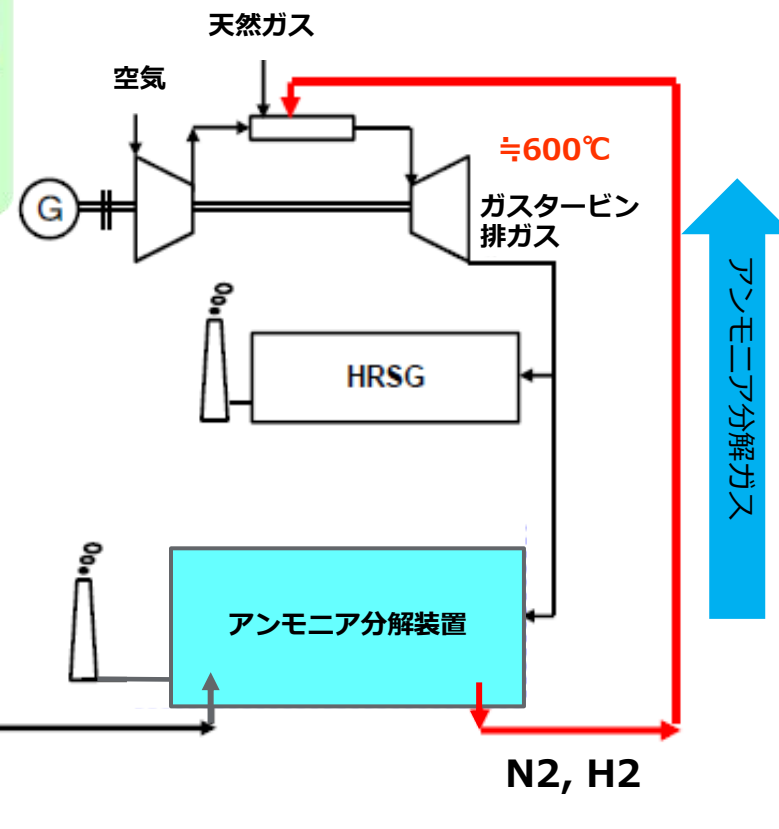
水素混焼 ～30vol% H₂

実績のあるDLN燃焼器を適用



<大型GTCCへの適用メリット>

- ・高効率発電（CC効率60%超）
- ・アンモニアの大量消費が可能
（CO₂排出量削減への貢献）



- ・ H-25 (4万kW級) を対象として、アンモニア(100%)直接燃焼ガスタービンの開発に着手
- ・ 直接燃焼の課題である燃料中の窒素(N)分由来で発生するNOxの排出量を低減する燃焼器を開発
- ・ カーボンフリー発電システムのラインアップを拡充



PRESS RELEASE

2021 年 3 月 1 日

世界初となるアンモニア焚き 4 万 kW 級ガスタービンシステムの開発に着手 カーボンフリー発電のラインアップを拡充、2025 年以降の実用化を目指す

- ◆ アンモニア 100%直接燃焼技術の確立により、燃料アンモニアのサプライチェーン構築に貢献
- ◆ 産業分野や離島などの中小規模発電所における脱炭素化メニューの提案も可能に

三菱パワーは、世界中で高まるエネルギーの脱炭素化に対する機運の高まりを受け、アンモニア (NH₃) をガスタービン発電の燃料として 100%直接利用する 4 万 kW 級ガスタービンシステムの開発に着手しました。アンモニアを専焼する本方式は、燃料の利用時に二酸化炭素 (CO₂) が発生しないことから発電におけるカーボンフリーを実現するものです。今後、燃焼試験などを経て 2025 年以降の実用化を目指します。この出力規模におけるアンモニア 100%燃料を用いた直接燃焼ガスタービンの実用化は世界でも例がなく、産業分野や離島などといった中小規模の発電所における脱炭素化の推進に貢献することができます。

当社は、高効率な発電技術の開発による環境負荷軽減に取り組んでおり、火力発電の中で現在最も CO₂ 排出量の少ない

H-25ガスタービン

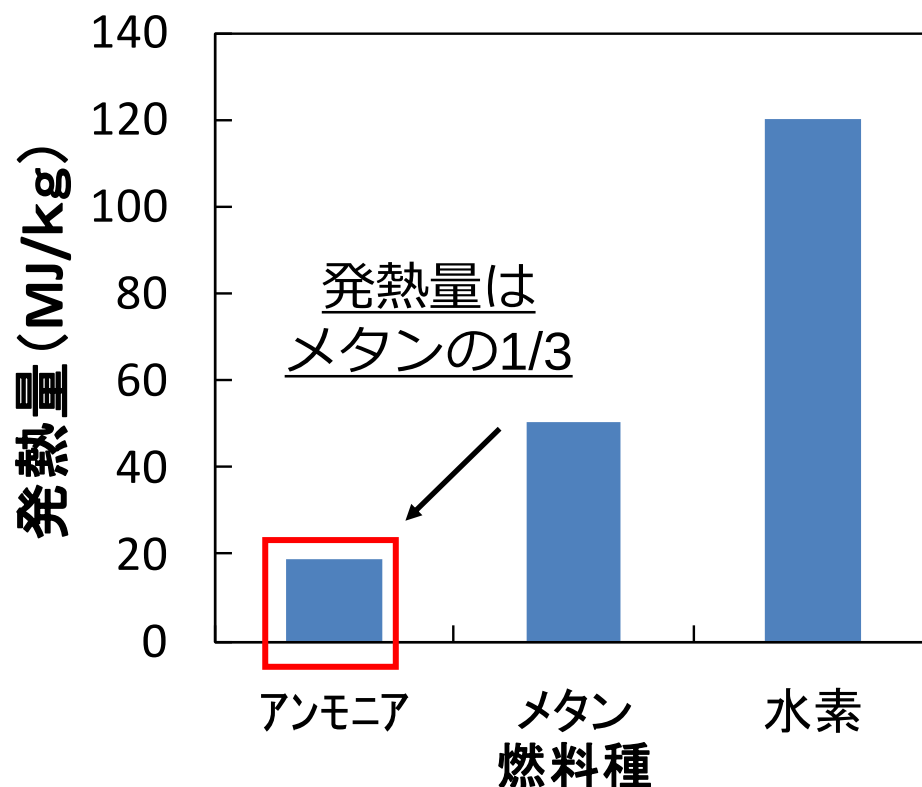
- ・ 出力：41.0MW
- ・ 効率：
36.2% (SC)
80%超 (コージェネ)
- ・ 受注実績：約190台



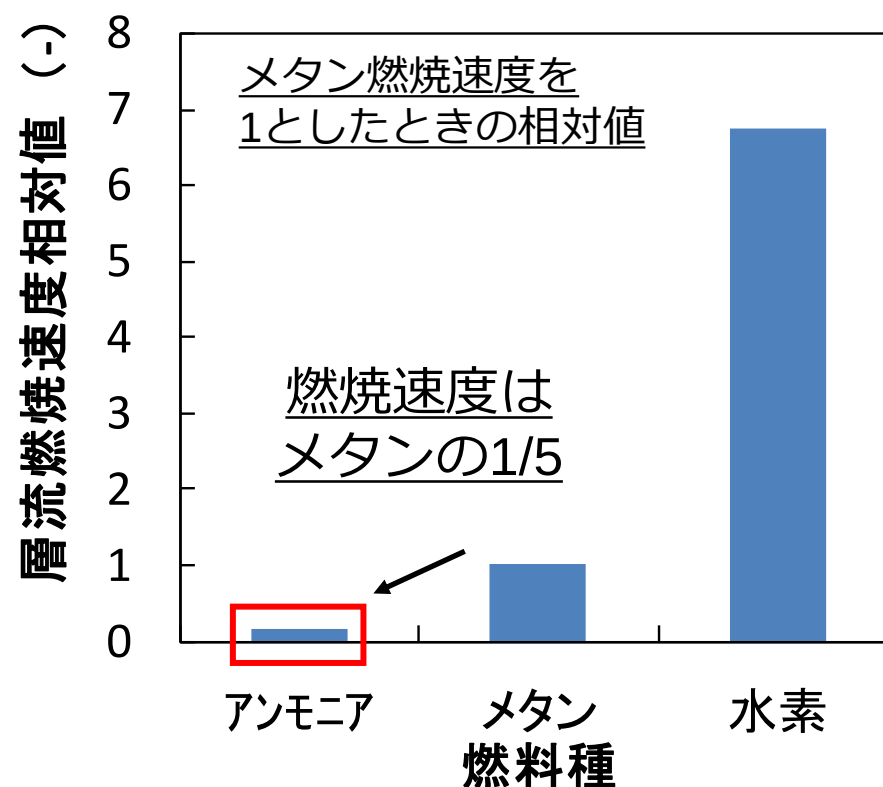
4-b). アンモニア利用ガスタービンの開発状況 ～アンモニア直接燃焼の課題 ①難燃性～

- アンモニア燃料は一般的な燃料と比較して発熱量が低い
- アンモニアの燃焼速度は低く、火炎の保持が難しい

低位発熱量



燃焼速度



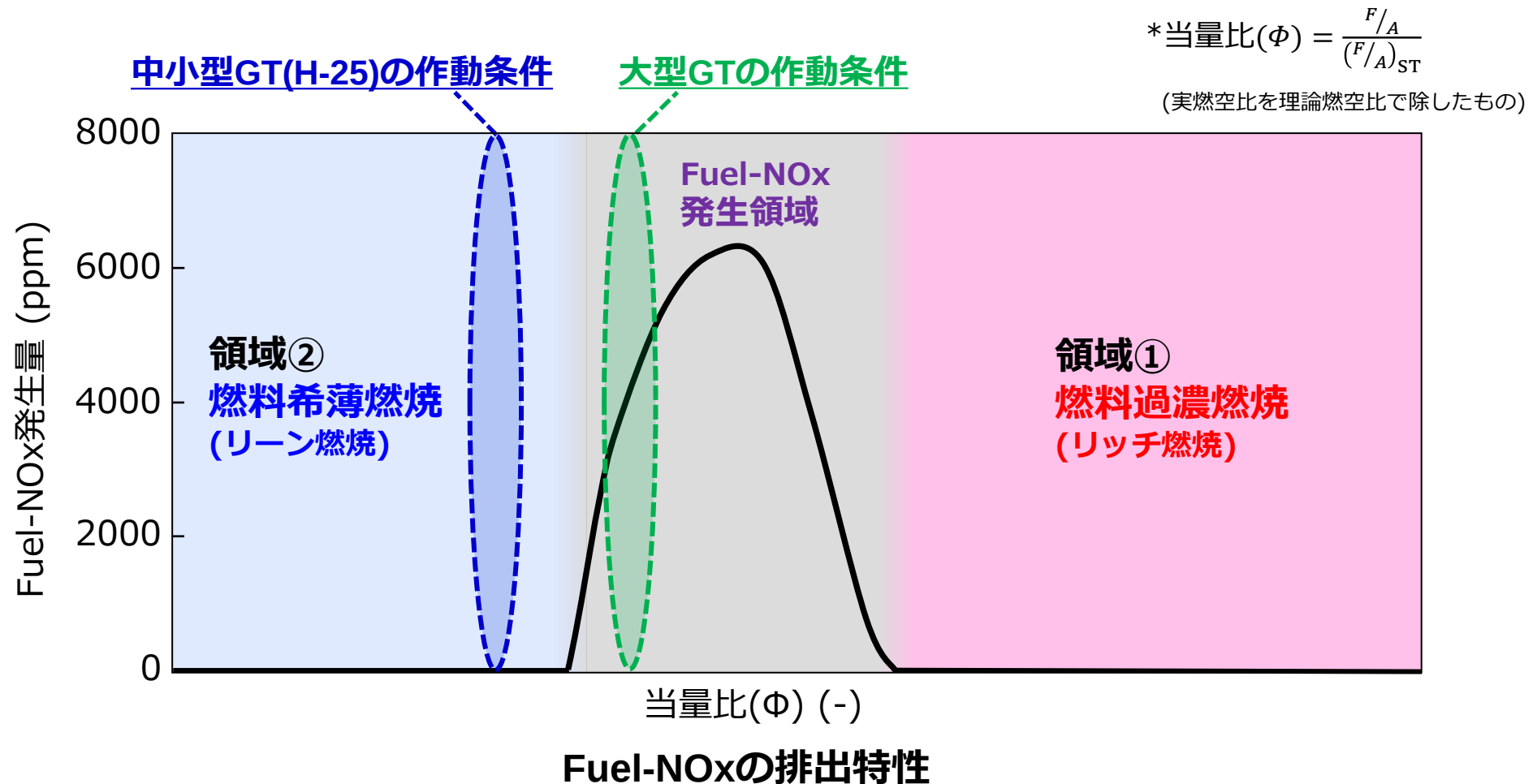
4-b). アンモニア利用ガスタービンの開発状況
～アンモニア直接燃焼の課題 ②Fuel NOx～

- アンモニア燃料はN分を含んでおり、燃焼過程でFuel-NOxが発生
- Fuel-NOxの発生量は通常燃料で発生するNOxに比べオーダーが桁違いに大きい
- NOx発生メカニズムが通常燃料と異なるため、従来技術の対策で効果が得られない

燃料	NOx発生メカニズム	NOx発生量 (未対策時)	対策技術
通常燃料 (LNG等)	高温燃焼場にて空気中の窒素が酸化反応することで窒素酸化物が生成 (Thermal-NOx) $N_2 \text{ (空気)} + O_2 \rightarrow NOx$ ※NOx発生要因はN₂の熱分解	数百ppm オーダー	・ 水/蒸気噴射(従来技術) → 局所温度上昇の回避 ・ 予混合燃焼(従来技術) → 火炎温度の均一化
アンモニア (NH ₃)	燃料の酸化反応により窒素酸化物が生成 (Fuel-NOx) $NH_3 \text{ (燃料)} + O_2 \rightarrow N_2 + H_2O + NOx$ ※NOx発生要因は燃料の化学反応	数千ppm オーダー	上記の対策は効果無し アンモニア直接燃焼に適した<u>2段燃焼技術</u>を採用

4-b). アンモニア利用ガスタービンの開発状況 ～アンモニア燃焼時のFuel NOx排出特性～

- 三菱重工の大型GT作動領域の当量比は高く、Fuel-NOxの発生領域内
- アンモニア直接燃焼ではFuel-NOx発生領域を避ける必要あり
- 中小型GTの作動領域は燃料希薄領域にあり、アンモニア直接燃焼向き



4-b). アンモニア利用ガスタービンの開発状況 ～アンモニア直接燃焼 2段燃焼の適用～

- ・ 中小型ガスタービン燃焼器に2段燃焼方式を適用し、Fuel NO_xを抑制
- ・ 低カロリー燃料のため燃焼安定性が課題

【アンモニア燃焼の課題】

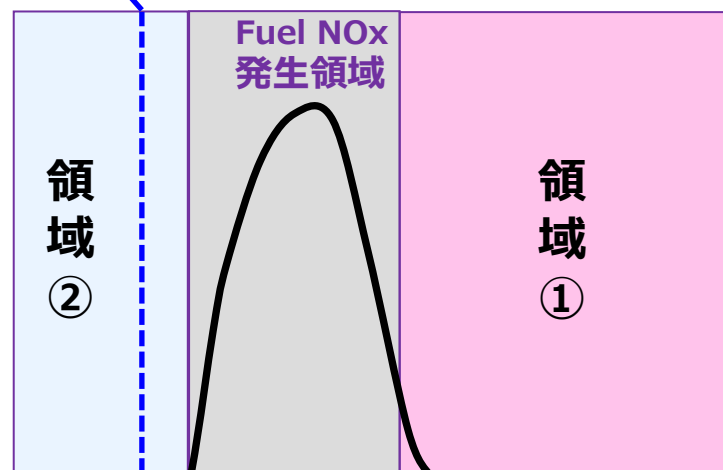
燃料由来の窒素酸化物（NO_x）生成が課題

作動条件として燃焼器出口温度が低い

中小型GT（H-25）はNO_x生成が抑制可能

低カロリー燃料のため燃焼安定性が課題

H-25の 作動条件



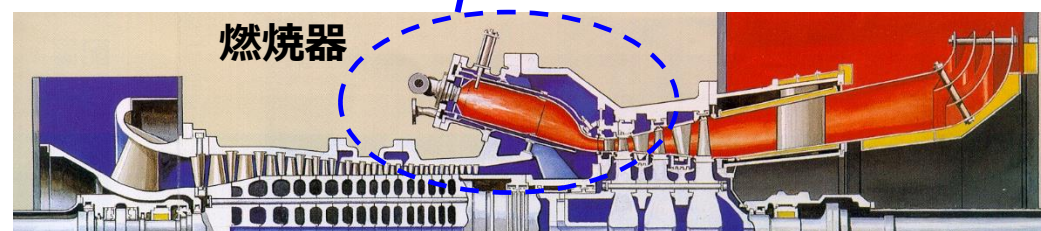
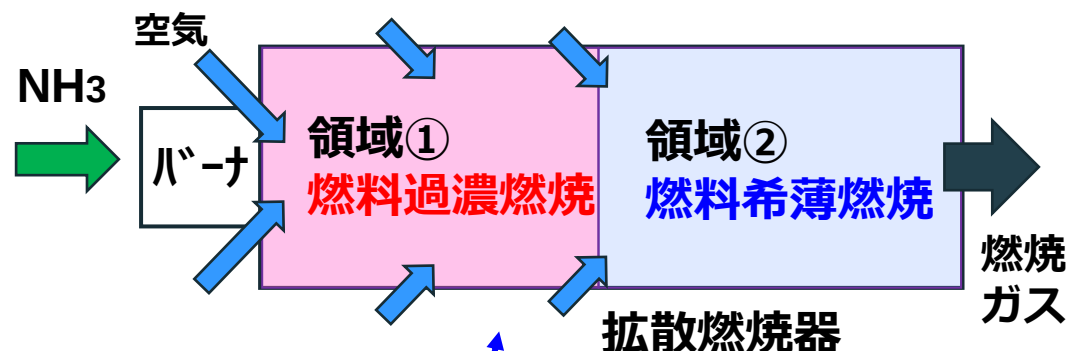
燃料希薄(リーン)

燃料過濃(リッチ)

Fuel-NO_xの排出特性

【H-25燃焼器でのFuel-NO_x生成制御】

NO_x生成が抑制できる①燃料過濃と②希薄燃焼領域を用いて、NO_x生成を制御

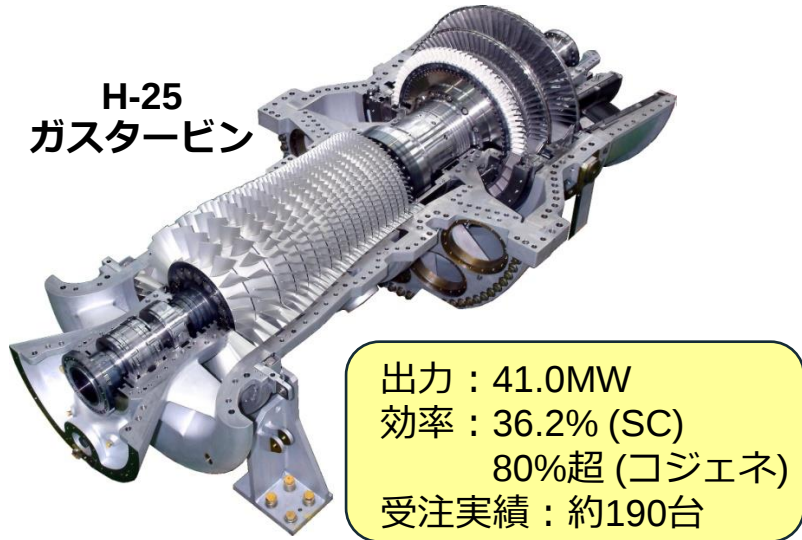


H-25ガスタービン

4-b). アンモニア利用ガスタービンの開発状況
～開発スケジュール～

三菱重工は水素燃焼方式に加え、アンモニア
直接燃焼方式の開発によりカーボンフリー発電
システムのラインアップをさらに拡充します。

- 👉 H-25ガスタービン向け低NOx燃焼器の
開発に着手します。
- 👉 2024年にシステム実証を計画します。
- 👉 2025年からの実用化を目指します。



開発工程

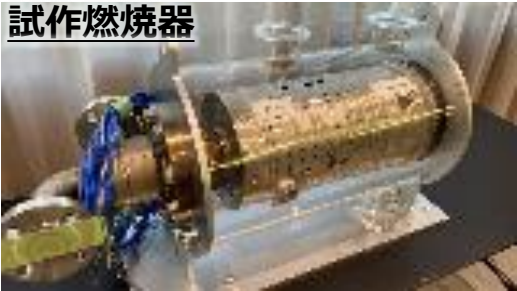
年	2021	2022	2023	2024	2025
燃焼器 開発					
脱硝開発					
システム 検討					
実証					
実用化					

4-b). アンモニア利用ガスタービンの開発状況 ～アンモニア焚き燃烧器 開発進捗～

アンモニア焚き燃烧器による燃烧試験を大気圧条件にて実施中



アンモニア燃烧試験装置



リッチン二段燃烧方式の燃烧器



アンモニア火炎の様子

スケジュール

2021	2022	2023	2024	2025
Design(NG Start-up)		High pressure Rig test (Katsuta)	Design Fixed	Demonstration under survey
	7/E Rig test (Nagasaki)			
	Test facility plan and construction(Katsuta)			

1. 会社紹介

2. ガスタービンコンバインドサイクル(GTCC)の概要

3. ガスタービン市場動向

4. アンモニア焼きガスタービンについて

a). アンモニア焼きガスタービンの役割

b). アンモニア利用ガスタービンの開発状況

c). アンモニア焼きガスタービンの実装計画

5. まとめ

4-c). アンモニア焚きガスタービンの実装計画 ～社会実装計画 @インドネシア～



H-25 1on1 x2、80MW

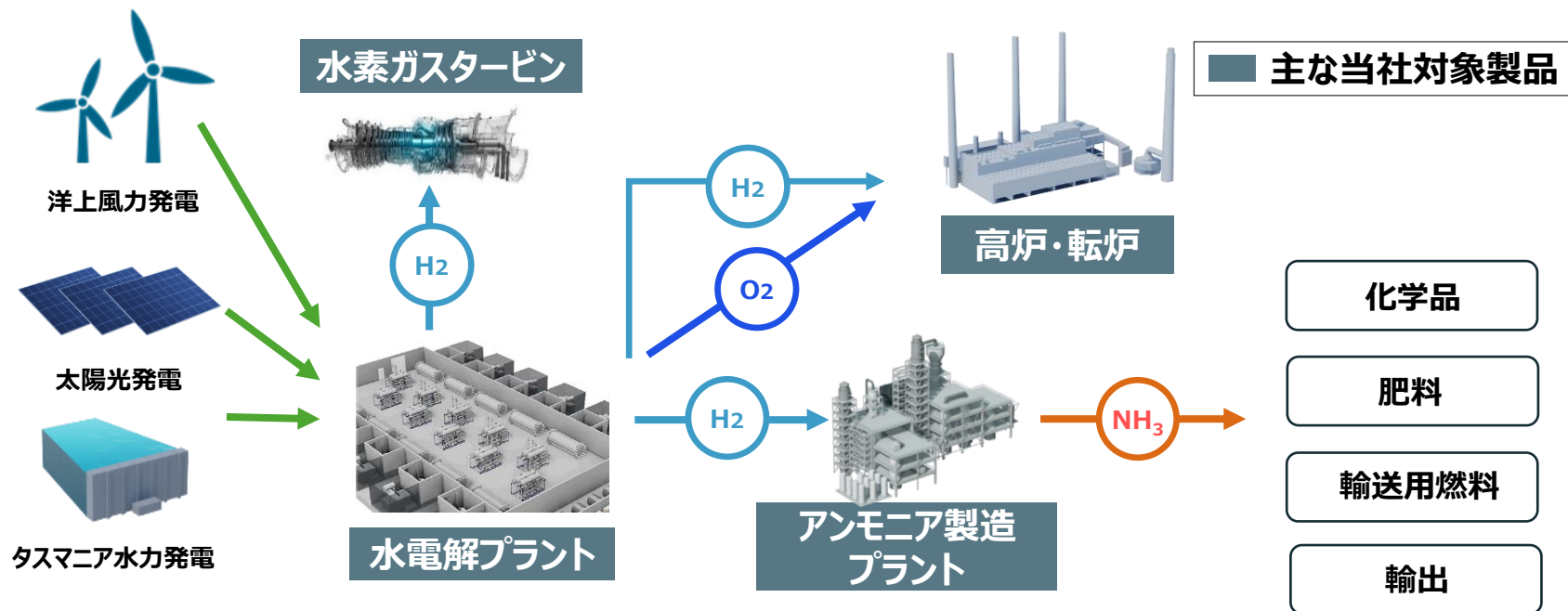


- ・ インドネシア スマトラ島パレンバンに当社H25発電所と隣接してアンモニア製造工場（肥料工場）あり。
- ・ 国立バンドン工科大学との共同研究FSからの提案プロジェクト。
- ・ 昨年12月1日、日本国大使館(田村次席公使)にも現地ご視察頂いた。
- ・ COP26にて岸田首相が発表したAETI (Asia Energy Transition Initiative)を活用したアンモニア焚ガスタービン化を検討。
(本年度METI質高FSに採択された)



4-c). アンモニア焼きガスタービンの実装計画 ～豪州グリーンアンモニア事業開発に参画～

- 南オーストラリア州でグリーンアンモニア事業開発を行うH2U Investments社に資本参加を決定
- 豊富な再生電力を利用しグリーン水素・アンモニアを生産、近隣製鉄所を始めとした産業分野の脱炭素化に貢献すると共に、グリーンアンモニアの輸出を目指す



1. 会社紹介

2. ガスタービンコンバインドサイクル(GTCC)の概要

3. ガスタービン市場動向

4. アンモニア焼きガスタービンについて

- a). アンモニア焼きガスタービンの役割
- b). アンモニア利用ガスタービンの開発状況
- c). アンモニア焼きガスタービンの実装計画

5. まとめ

5. まとめ

三菱重工グループは水素サプライチェーンの上流から下流まで、
多岐に渡るコア技術を有しており、水素社会の実現に貢献

製造

輸送

需要



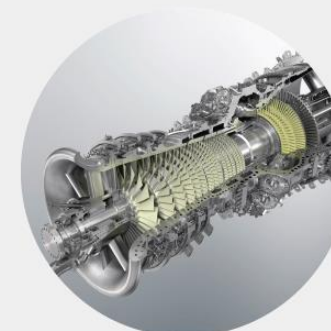
ガス化設備



CO2回収設備



アンモニア・メタノール併産設備



ガスタービン



洋上風力発電設備



圧縮機



燃料運搬船



燃料電池



MOVE THE WORLD FORWARD

mitsubishi
heavy
industries
group

SL2, ECT: N/A