

発電分野におけるアンモニアの利用と課題



日鉄総研株式会社 常務取締役 小野 透

はじめに

従来から中東では、豊富な天然ガスを原料としたアンモニアが生産されてきた。主たる用途は肥料原料であるが、近年、アンモニアの水素キャリアとしての可能性が注目されている。また、発電分野においては、アンモニアのCO₂フリー燃料としての活用に向けた期待が高まっている。本報では、発電分野におけるアンモニアの利用と課題について概説する。

燃料としてのアンモニア

アンモニアは可燃性の物質であることから、燃料として利用することができる。加えてアンモニアは燃焼してもCO₂を生成しないため、いわゆるカーボンフリー燃料としての期待が高まっている。また、冷却や圧縮によって容易に液化することができるため、輸送や貯蔵に適している。一方、アンモニアを燃料とし利用する場合、いくつかの考慮すべき特徴を有している。

表1にアンモニアを含む各種燃料の物性値を示す。

表1 各種燃料の物性値

燃料種	アンモニア	水素	メタン	プロパン	一般炭
高位発熱量 (MJ/kg)	22.5	141.8	55.5	50.4	26.1
高位発熱量 (MJ/Nm ³)	17.1	12.7	39.6	99.0	NA
CO ₂ 排出係数 (kg-CO ₂ /MJ)	0	0	0.0503	0.0596	0.0913
空気中燃焼速度 (m/sec)	0.09	2.65	0.37	0.43	NA
空気中燃焼範囲 (vol%)	15.5~27	4.0~75.0	5.3~14.0	2.4~9.5	NA
引火点/発火点 (°C)	132/651	-/571.2	-187.7/650	-104.4/493	NA
ガス比重 (空気=1)	0.597	0.07	0.56	1.562	NA
大気圧における沸点 (°C)	-33.3	-252.9	-161.6	-42.1	NA
20°Cにおける液化圧力 (MPa)	0.857	NA	NA	0.86	NA

出典：各種文献より筆者作成

まず、他の炭化水素系気体燃料に比べて体積当たりの発熱量が小さく、また空气中燃焼速度も遅い。燃焼範囲も高濃度側にずれていることから、炭化水素系気体燃料との混焼には工夫を要する。また一般の天然ガス焚きガスタービンの場合、燃料を高圧に圧縮する必要があるが、メタンを主成分とする天然ガスは気体状態を維持できるのに対して、同様の圧力ではアンモニアは液化してしまう可能性がある。

筆者紹介

1981年に新日本製鉄株式会社（現日本製鉄）に入社。君津製鉄所エネルギー工場長、本社エネルギー技術グループリーダー、技術総括部部長などを経て、2018年に日鉄総研に移籍、2020年より現職位。

日本鉄鋼連盟特別顧問、経団連資源エネルギー対策委員会企画部会部会長代行、日本商工会議所エネルギー・環境専門委員会学識委員として、また、総合資源エネルギー調査会原子力小委員会委員、新エネルギー小委員会委員、持続可能な電力システム構築小委員会委員、脱炭素社会に向けた電力レジリエンス小委員会委員など、多数のエネルギー関連審議会委員として活動中。

慶應義塾大学工学部機械工学科卒業、ペンシルベニア州立大学セラミック科学修了（MS）。

熊本県出身。

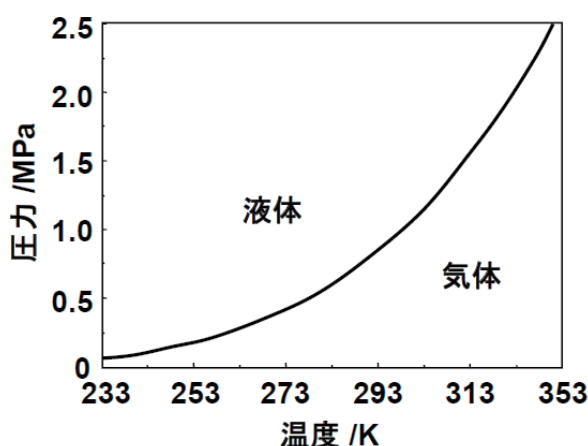


図1 アンモニアの気液平衡線

出典：小島，坪田他，アンモニアを利用した水素貯蔵・輸送，水素エネルギーシステム Vol.33, No.4 (2008)

アンモニアを燃料として利用する場合、最も重視しなければならないことは窒素酸化物(NO_x)の生成抑制である。アンモニアには窒素が含まれているため、フュエル NO_x 、サーマル NO_x いずれの生成も起こりえる。 NO_x は健康被害や環境汚染につながるのみならず、一部の NO_x は温室効果も CO_2 よりもはるかに大きく（ N_2O は CO_2 の265倍）、本来目的であるアンモニア利用による温暖化対策も減殺してしまう。 NO_x を生成させない、または十分に除去できるレベルまで NO_x 生成を抑制する燃焼技術が必要となる。このことはアンモニア専焼の場合も、化石燃料との混焼の場合にも同様の考慮事項である。

石炭火力発電設備におけるアンモニア混焼

石炭火力においては、蒸気条件の向上（亜臨界圧⇒臨界圧⇒超臨界圧⇒超々臨界圧）と NO_x 生成抑制の両立が重要な開発テーマであった。微粉炭を完全燃焼させるには、空燃比（燃料完全燃焼に要する理論空気量に対する空気量）を1より高めにする必要がある（完全燃焼させなければ、熱効率が低下するとともに排ガス中に有毒の未燃COが残存する）。こ

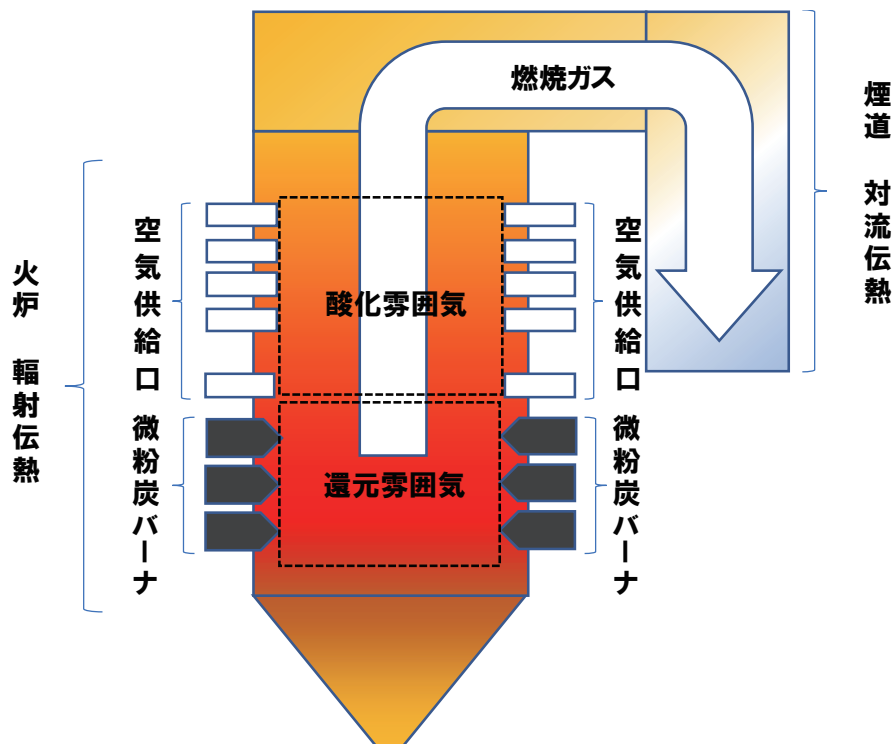


図2 微粉炭ボイラにおける二段燃焼

出典：筆者作成

の場合、微粉炭は完全燃焼するが、高温の残留酸素と燃料中の窒素の反応による NO_x 生成を抑制する必要がある。このため、近年の微粉炭ボイラでは、最も高温となるバーナ近傍の領域では空燃比 1 未満で燃焼させることにより、残留酸素のない還元雰囲気とすることで NO_x 生成を抑制し、後流で追加の空気を供給することによって、未燃成分を完全燃焼させる二段燃焼方式が採用されている（図2）。また、微粉炭燃焼の場合、高温輝炎燃焼による火炉における輻射伝熱の比率が、後流の対流伝熱に比べて大きいという特徴がある。

微粉炭バーナにも、石炭の完全燃焼と NO_x 生成抑制のための燃焼技術が採用されている。図3は低 NO_x バーナにおける火炎内脱硝の概念図である¹。火炎の軸方向の温度並びに空燃比を制御することによって、火炎内での NO_x 生成を抑制している。

以上のような特徴を持つ微粉炭ボイラでのアンモニア混焼を図る場合、より一層の NO_x 生成抑制策が必要となる。また、微粉炭とアンモニアでは燃料としての特性（発熱量、燃焼速度等）や形成される火炎の特徴（温度、輝度等）が異なることから、既設微粉炭ボイラでの混焼比率には一定の制約があるものと考えられる。

2016年～2019年に実施された戦略イノベーション創造プログラム（SIP）において、既設石炭火力発電設備でのアンモニア混焼の検討が行われた²。具体的な検討対象としては、国内最大規模の超々臨界圧（USC: Ultra Super Critical）発電設備であるJERA碧南火力

1 木山他、微粉炭炊きボイラにおける最新の低 NO_x 燃焼技術、日立評論 Vol.91, No.03 (2009)

2 稲垣秀樹、既設火力発電所におけるアンモニア混焼に関する検討、SIP 終了報告書 (2019)

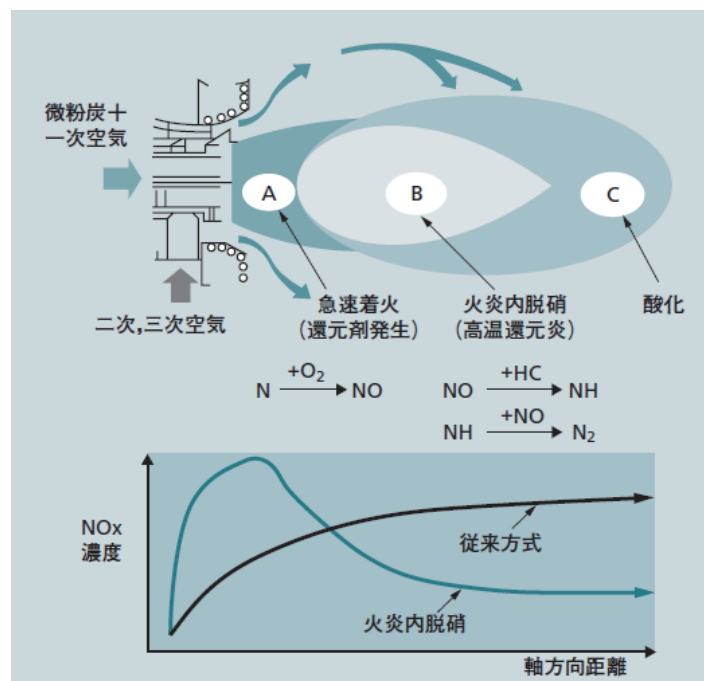


図3 微粉炭バーナの火炎内脱硝の原理

出典：微粉炭吹きボイラにおける最新の低 NO_x 燃焼技術，日立評論 Vol.91，No.03（2009）

表2 碧南火力発電所100万 kW 級発電設備諸元

項目	単位	諸元
発電出力	MW	1,000
ボイラ形式	—	放射再熱貫流型
蒸気条件（主蒸気温度/再熱温度/主蒸気圧力）	°C/°C/MPa	566/593/24.1
燃焼方式	—	対向燃焼
バーナ数	—	48本（前後3段×8列）
燃焼域温度	°C	1,400～1,600
総空気比	—	1.15

出典：既設火力発電所におけるアンモニア混焼に関する検討，SIP 終了報告書（2019）表2より転記

発電所の100万 kW 級微粉炭火力発電設備（表2）とすることとされた。

アンモニアの混焼率や供給ポイント（図4）決定にあたっては，下記に関する事項が検討課題とされている。

- ✓ NO_x 生成への影響
- ✓ 燃焼温度低下や火炎輻射低下によるボイラ収熱量の変化
- ✓ 無触媒脱硝効果の評価
- ✓ 硫安生成の可能性評価
- ✓ 燃焼用及び搬送用空気ファンの容量変化及び容量増加許容範囲
- ✓ 燃焼用空気系統へのアンモニア投入の場合，空気予熱器の上流側か下流側かによって影響が異なる。上流側ならば空気予熱器からアンモニアが排ガス系統へ漏洩することによる硫安生成，下流側ならば予熱空気の温度低下

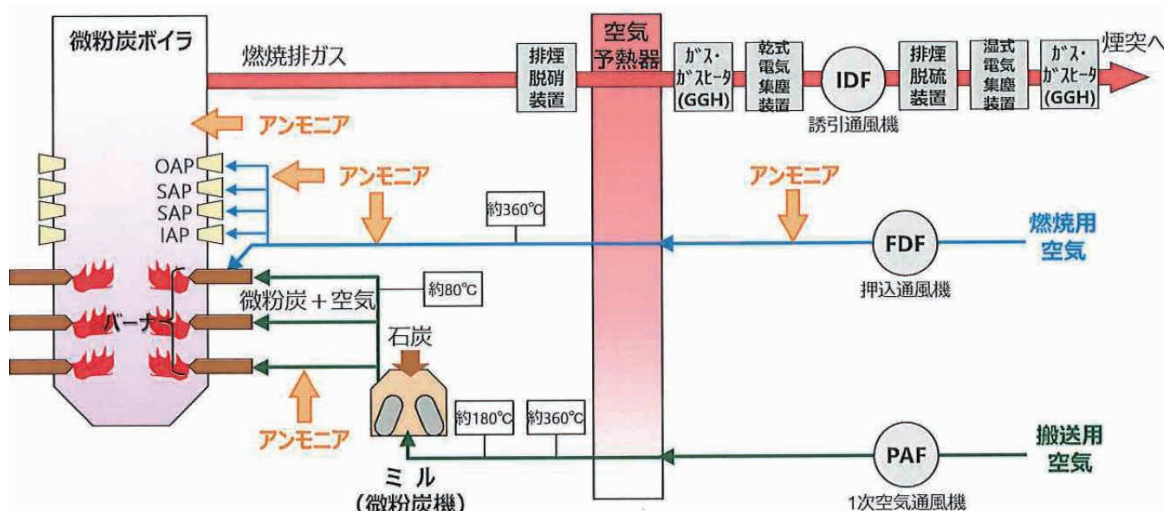


図4 想定されるアンモニア供給ポイント

出典：既設火力発電所におけるアンモニア混焼に関する検討，SIP 終了報告書（2019），図5

アンモニア混焼率については、CO₂削減効果と発電性能など設備側への影響と照らして、発熱量ベースで20%（以下 cal%と表記）を基準として検討を進めることとされた。また、アンモニアの混焼方法としては、微粉炭バーナで形成される還元雰囲気にある火炎領域にアンモニアを供給できれば、アンモニア由来のNO_x生成量が比較的強く抑えられることが見出された。これを碧南火力100万 kW 級発電設備に適用する方法として、既設微粉炭バーナ中心部（3次エアライン）にアンモニア専用バーナを挿入する形が考案された（図5）。アンモニアバーナノズルから噴射されたアンモニア（ガス体）は微粉炭燃焼火炎（還元域：Mixing Zone）へ直接投入させることができ、アンモニア由来のNO_x生成を抑制させることが期待されるとしている。

100万 kW 級石炭火力発電設備での20cal%のアンモニア混焼を実施する場合、年間約

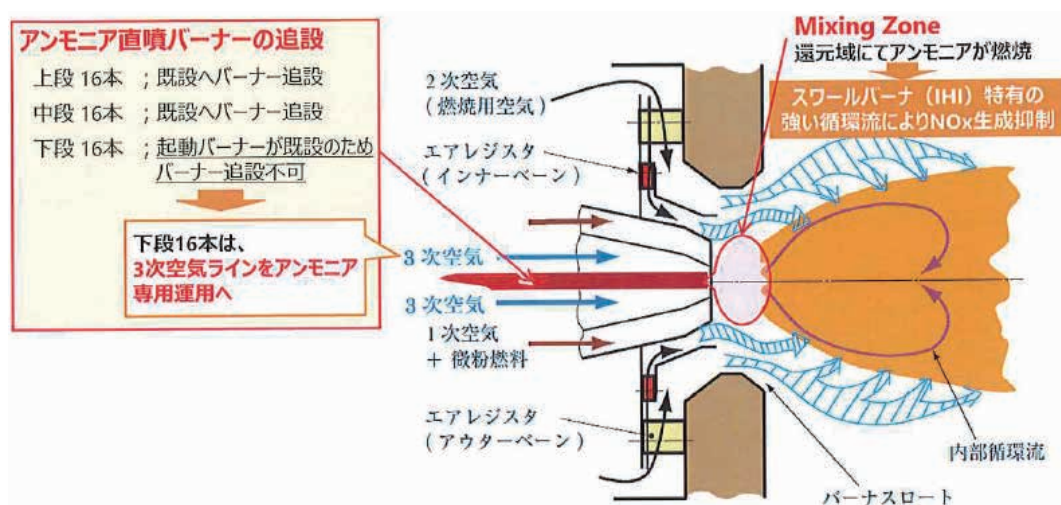


図5 微粉炭バーナへのアンモニアバーナ追設

出典：既設火力発電所におけるアンモニア混焼に関する検討，SIP 終了報告書（2019），図17

50万tのアンモニア供給が必要となる（利用率70%前提）。このための受け入れ、貯蔵、蒸発等，アンモニアのボイラへの供給設備が必要となる。碧南火力発電所では，アンモニア専用外航船（2.4万 t-DWT）からローディングアームにて揚液し，16インチ配管にて貯蔵タンクに移送，気化器を経てボイラに供給されるアンモニア供給システムが検討されている（図6）。アンモニア貯蔵タンクは金属二重殻方式（タンク容量3.3万 t：アンモニア船2.4万 t+ 数日分）を基本線としつつ，LNG 用に実績のある PC タンクについても検討するとしている。PC タンクが採用できれば，金属二重殻方式のような防液堤が不要となり，設置スペースが有効に利用できるとともに，同スペースで5.4万tまで貯蔵が可能となるとしている。

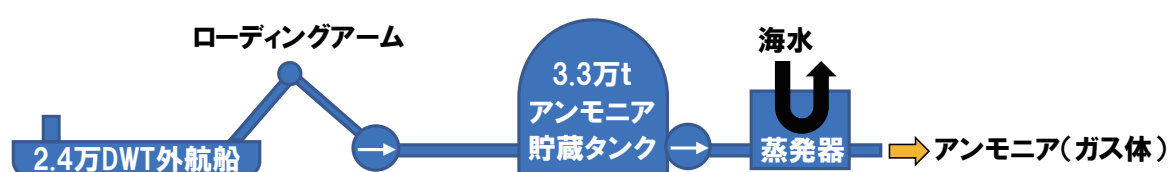


図6 アンモニア供給設備

出典：既設火力発電所におけるアンモニア混焼に関する検討，SIP 終了報告書（2019）をもとに筆者作成

図7に碧南火力100万 kW 級石炭火力発電設備におけるアンモニア20cal%混焼の場合のアンモニア供給概略系統を示す。

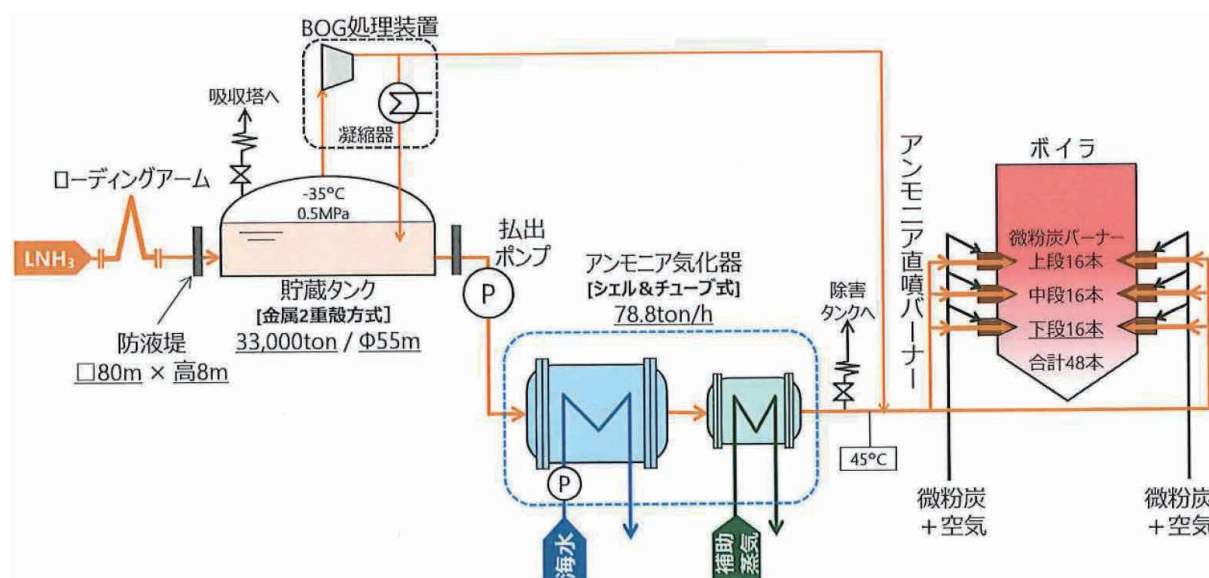


図7 アンモニア供給概略系統

出典：既設火力発電所におけるアンモニア混焼に関する検討，SIP 終了報告書（2019），図18

2020年3月，碧南火力100kW 級発電設備のボイラメーカーである IHI は，JERA，丸紅，Woodside Energy とともに，「アンモニア混焼火力発電技術の先導研究」を NEDO（国

立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）の委託業務として取り組むと発表³，アンモニア混焼率60cal%を目指すとしている⁴。

SIP におけるアンモニア混焼の検討対象となった碧南火力発電所を有する JERA は、2020年10月に公表⁵した「JERA ゼロエミッション2050日本版ロードマップ」（図8）において、碧南火力発電所におけるアンモニア混焼の実証と2030年までの本格運用，さらに2030年代前半には JERA が保有する全石炭火力発電所における20cal%混焼率の達成，その後も混焼率を拡大して2040年代には発電所リプレースに伴ってアンモニア専焼に移行するとしている。

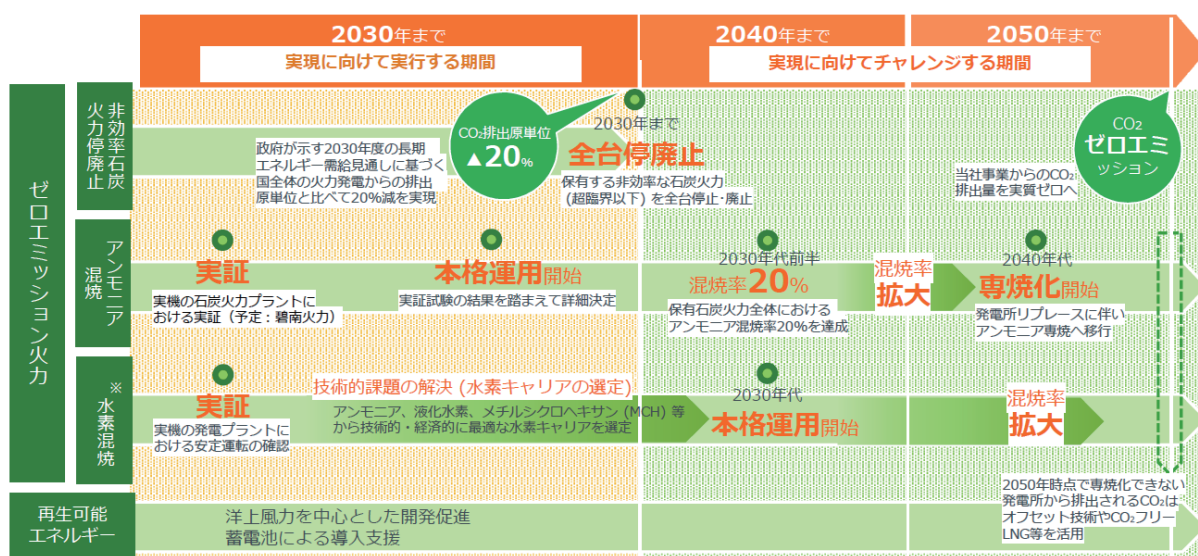


図8 JERA ゼロエミッション2050ロードマップ

出典：JERA ホームページ

ガスタービンにおけるアンモニア混焼・専焼

ガスタービン複合発電設備（GTCC）の基本構成を図9に示す。回転機は空気圧縮機，ガスタービン，発電機，蒸気タービンが一軸でつながっている。燃焼器では圧縮空気と燃料を燃焼させることによって高温高压ガス（～1,650℃）を発生させ、このガスによってガスタービンを駆動する。ガスタービン排ガス（600～650℃）は排熱ボイラに誘導され、蒸気を発生させる。蒸気は蒸気タービンを駆動させる。ガスタービンの排気は比較的高温であるため、ガスタービン排気を利用した蒸気タービンを複合することによって、高効率に発電することが可能となる。

図10に三菱パワー株式会社製ガスタービンの、タービン入口温度とコンバインド効率の

3 IHI，火力発電設備におけるアンモニア混焼を目的とした NEDO 委託業務への参画について，2020年3月27日プレスリリース

4 IHI へのヒアリング

5 JERA，2050年におけるゼロエミッションへの挑戦について，2020年10月13日プレスリリース

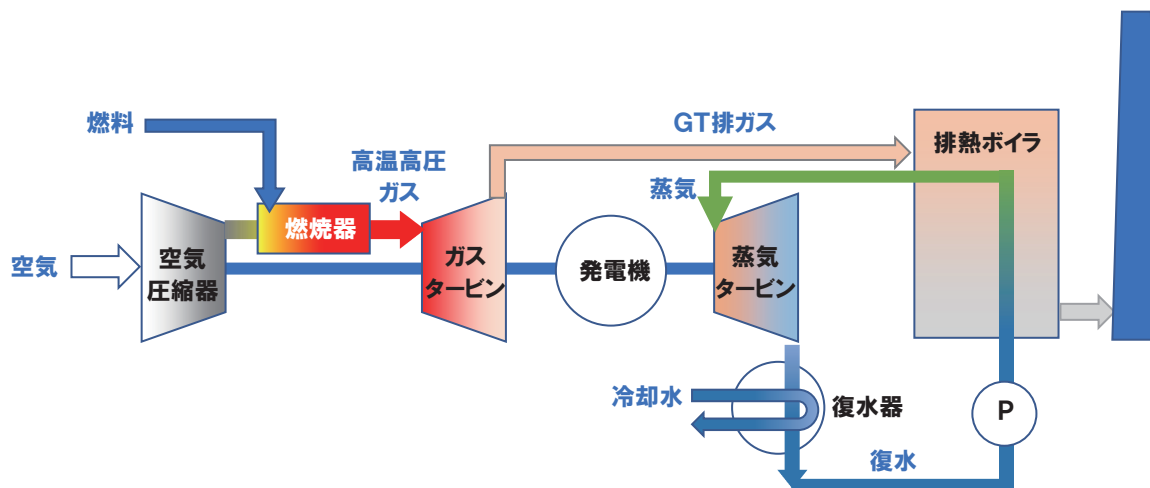


図9 ガスタービン複合発電設備の基本構成

出典：筆者作成

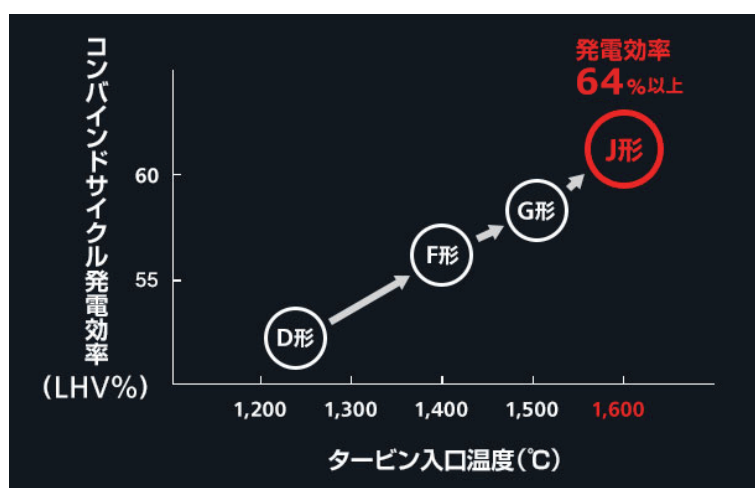


図10 タービン入り口温度とコンバインドサイクル発電効率

出典：三菱パワー株式会社ホームページ

関係を示す。熱機関では作動流体の温度が高いほどエクセルギー率（系の持つエネルギーの内、仕事として取り出せる比率）が高まるため、発電用ガスタービン開発ではひたすら高温・高圧化による高効率化を志向してきた。しかしこれはNO_x生成抑制との戦いでもあった。表3に、現在商業的に利用されているガスタービン複合発電設備（1,650℃級）の仕様を示す。

ガスタービンは石炭よりもCO₂排出係数の小さい天然ガスを燃料とし、また高温化、コンバインド化によって発電効率も石炭火力発電設備よりも高い。近年は変動型再エネの大量導入に伴い、起動停止が速やかという特性を生かして、調整電源としての機能にも期待が寄せられている。

ガスタービンにおいても、アンモニアの混焼、あるいは専焼の可能性があり、SIPにおいてもガスタービンにおけるアンモニア利用の検討が行われた⁶。ガスタービンでアンモニ

6 谷村聡，アンモニア利用ガスタービンの技術開発，SIP 終了報告書（2019）

表3 1,650℃級ガスタービンの諸元

GT型式	M701JAC (50Hz)	M501JAC (60Hz)
燃焼ガス温度 (°C級)	1650	1650
GT出力 (MW)	448	425
GT本体熱効率 (LHV基準%)	44.0	44.0
排ガス流量 (kg/sec)	765	738
排ガス温度 (°C)	663	649
コンバインド出力 (MW)	650	614
コンバインド熱効率 (LHV基準%)	64.0	64.0

出典：アンモニア利用ガスタービンの技術開発，SIP 終了報告書（2019），表1を編集

アを燃料とする際には次のような課題があるとしている。

1) 燃焼速度が遅い（メタンの約1/5）

- ・燃焼完了に必要な時間を確保するため，燃焼器のサイズが大きくなる
- ・大型ガスタービンは多缶式燃焼器のため燃焼器サイズ拡大に制約あり

2) 燃料中に窒素を含む

- ・フュエル NO_x が発生するが，大型ガスタービンはサーマル NO_x が許容する範囲で燃焼ガス温度を高温化しており，フュエル NO_x を許容する余地は少ない
- ・二段燃焼による低 NO_x 化が考えられるが，大型ガスタービンの場合，燃焼器の大型化や複雑化など技術課題が多い

SIP でアンモニア利用ガスタービンの技術開発を担当した三菱日立パワーシステム株式会社（現三菱パワー株式会社）は，これらの課題を克服するために，すでに実用化されている水素混焼ガスタービン燃焼器あるいは今後実用化される水素専焼燃焼器を活用することを前提として，アンモニアを燃焼前に水素と窒素に熱分解したものをガスタービン燃料とする方法（図11）を選択した。またアンモニア分解のために必要な熱エネルギー（46kJ/mol-NH₃）は，ガスタービンの排熱を利用するが（専焼の場合はアンモニアの部分燃焼も選択肢としている），この熱は燃料の化学エネルギーの増加という形で再生されるため，この熱分解反応に利用した後の排ガスが従来の排熱ボイラ出口温度レベルの低温まで利用できれば，基本的に効率の低下はないとしている。

ガスタービンにおいても NO_x の生成抑制が重要な課題の一つである。NO_x 生成量は，熱分解後の燃料中の残留アンモニア濃度が高いほど，また混焼率が大きいほど，高まると予測された（図12）。このため，混焼率を高めるためには，残留アンモニアの低減が重要となる。ガスタービン排ガスによるアンモニア分解モデルと温度変化想定を図13に示す。

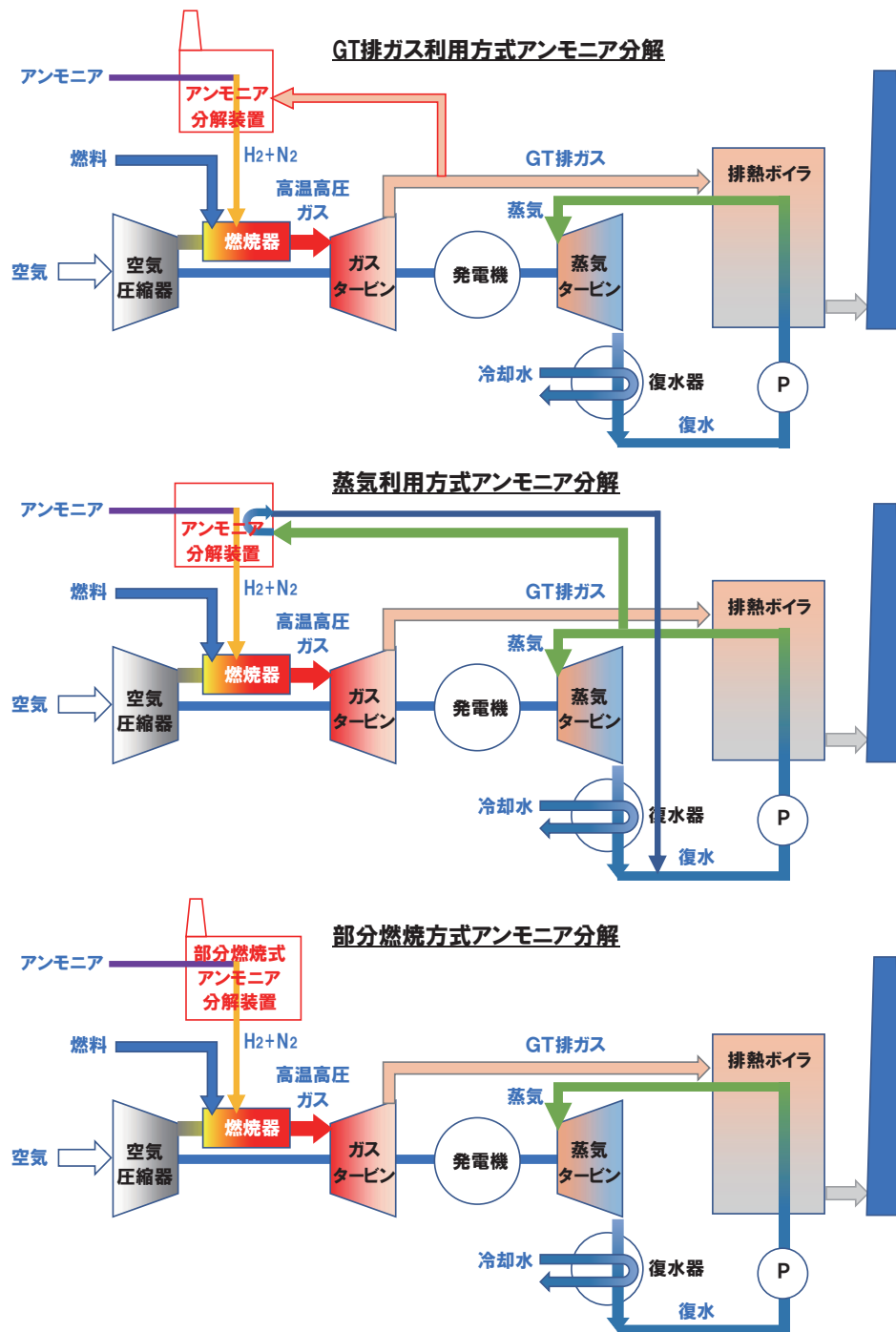


図11 アンモニア熱分解方式

出典：アンモニア利用ガスタービンの技術開発，SIP 終了報告書（2019）をもとに筆者作成

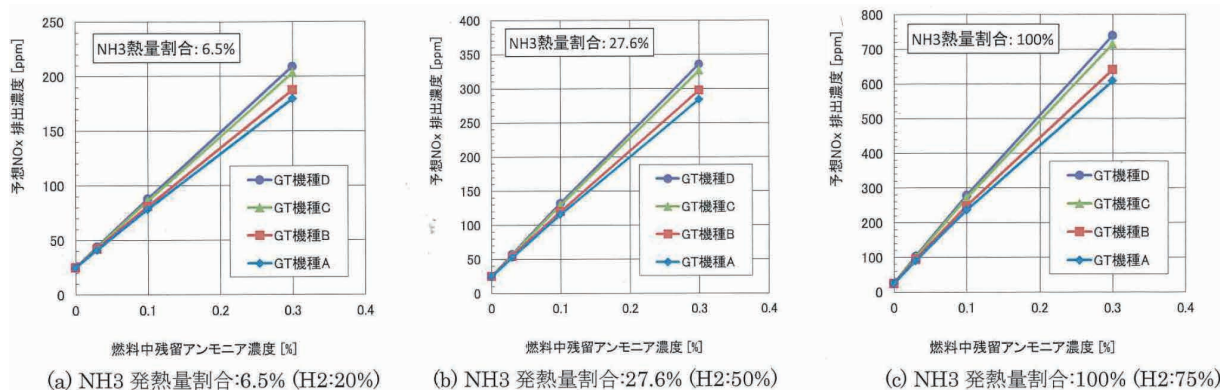


図12 各混焼率における残留アンモニア濃度と NO_x 生成量の関係

出典：アンモニア利用ガスタービンの技術開発，SIP 終了報告書（2019），図5

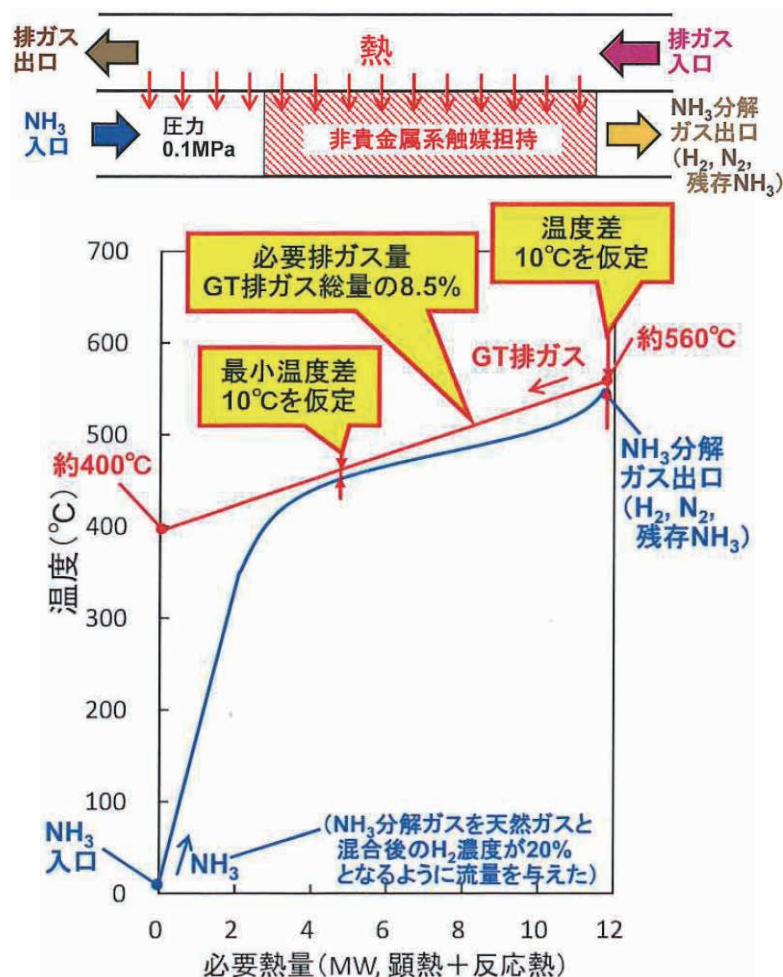


図13 ガスタービン排ガスによるアンモニア分解モデルと温度変化想定

出典：アンモニア利用ガスタービンの技術開発，SIP 終了報告書（2019），図10，図11

図14はアンモニア分解プロセスにおける，分解圧力／温度と残留アンモニア濃度の関係の計算値である。分解温度が高いほど，また分解圧力が低いほど，残留アンモニア濃度を低減することができる。ガスタービン排熱を利用する以上，分解温度をガスタービン排気温度以上にすることはできず，また，熱分解圧力を低下させた場合には，燃料圧縮機の動力が増えることになるため NO_x 排出許容範囲の中で最適値を見出す必要がある。

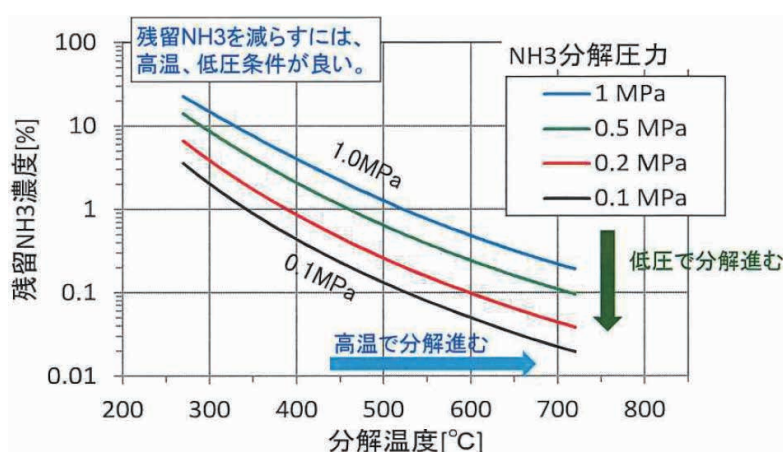
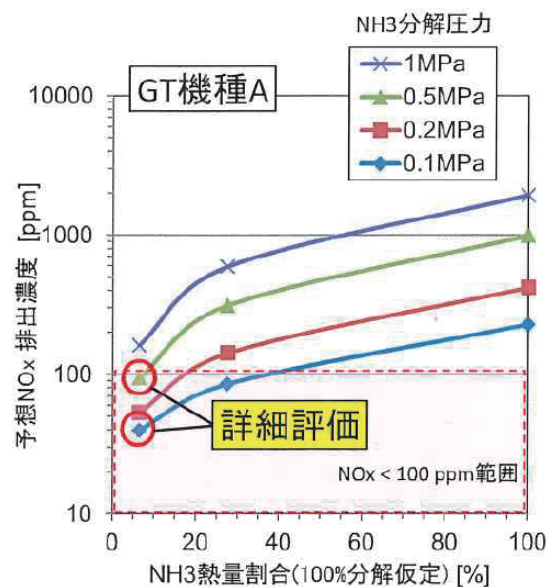


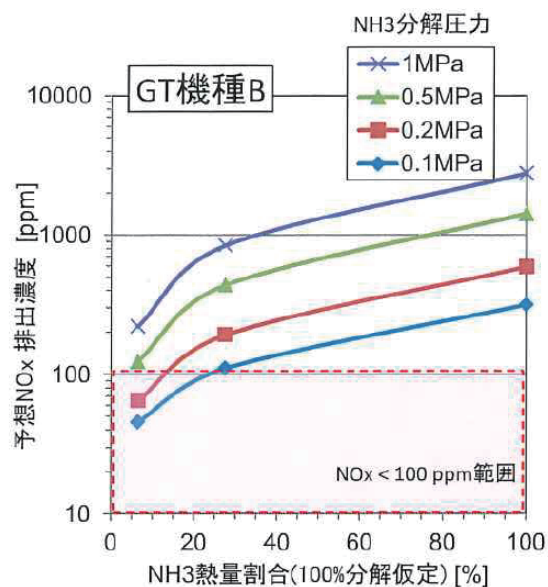
図14 アンモニア分解圧力，分解温度に対する残留アンモニア濃度の計算結果

出典：アンモニア利用ガスタービンの技術開発，SIP 終了報告書（2019），図 3

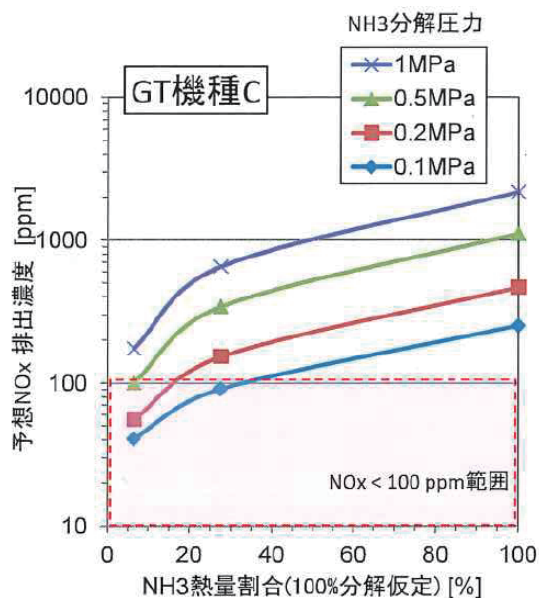
図15は、タービン入り口ガス温度の異なる各機種における計算によって予想されるNO_x排出濃度の、アンモニア分解圧力（残留アンモニアに影響）と混焼割合の影響を示しているが、この予測結果から、GT 機種による影響（燃焼ガス温度、廃ガス温度）よりも、アンモニア分解圧力、アンモニア混焼割合の影響が大きく、GT 出口NO_x<100ppmを目安とした場合、アンモニア混焼率40～50cal%が限界と考えられ、またアンモニア分解圧力0.1～0.5MPaが条件であること、アンモニア専焼とする場合のNO_xは200ppm以上と予想され、システムの工夫が必要であることがわかるとしている。



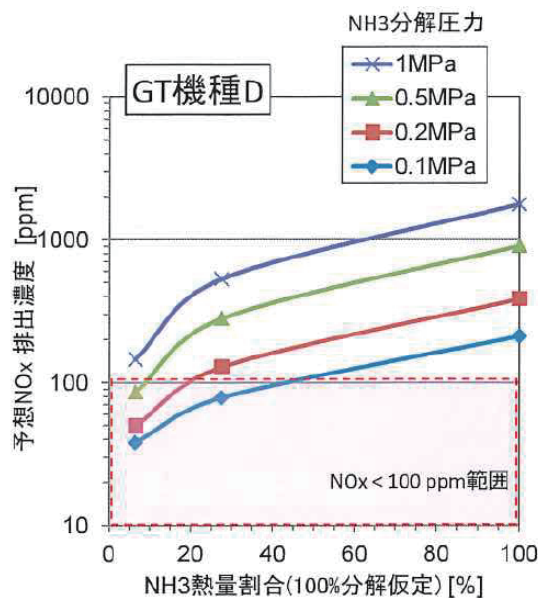
(a) GT 機種 A(1400℃級)



(b) GT 機種 B(1500℃級)



(c) GT 機種 C(1600℃級)



(d) GT 機種 D(>1600℃級)

図15 ガスタービン (GT) 機種 A～D の、アンモニア利用割合とアンモニア分解圧力を変化させた場合の燃焼器出口のNO_x濃度予測結果

出典：アンモニア利用ガスタービンの技術開発，SIP 終了報告書（2019），図6

アンモニア専焼に際しては、アンモニア分解のためのエネルギーが大きくなり、また残留アンモニアの低減が必要となるなど、追加検討が必要となる。

熱分解については、蒸気をエネルギー源とするケースとアンモニアの部分燃焼によるケースが検討されたが、蒸気を分解熱源とした場合、天然ガス専焼の場合よりも高効率になる試算結果が得られた（図17）。

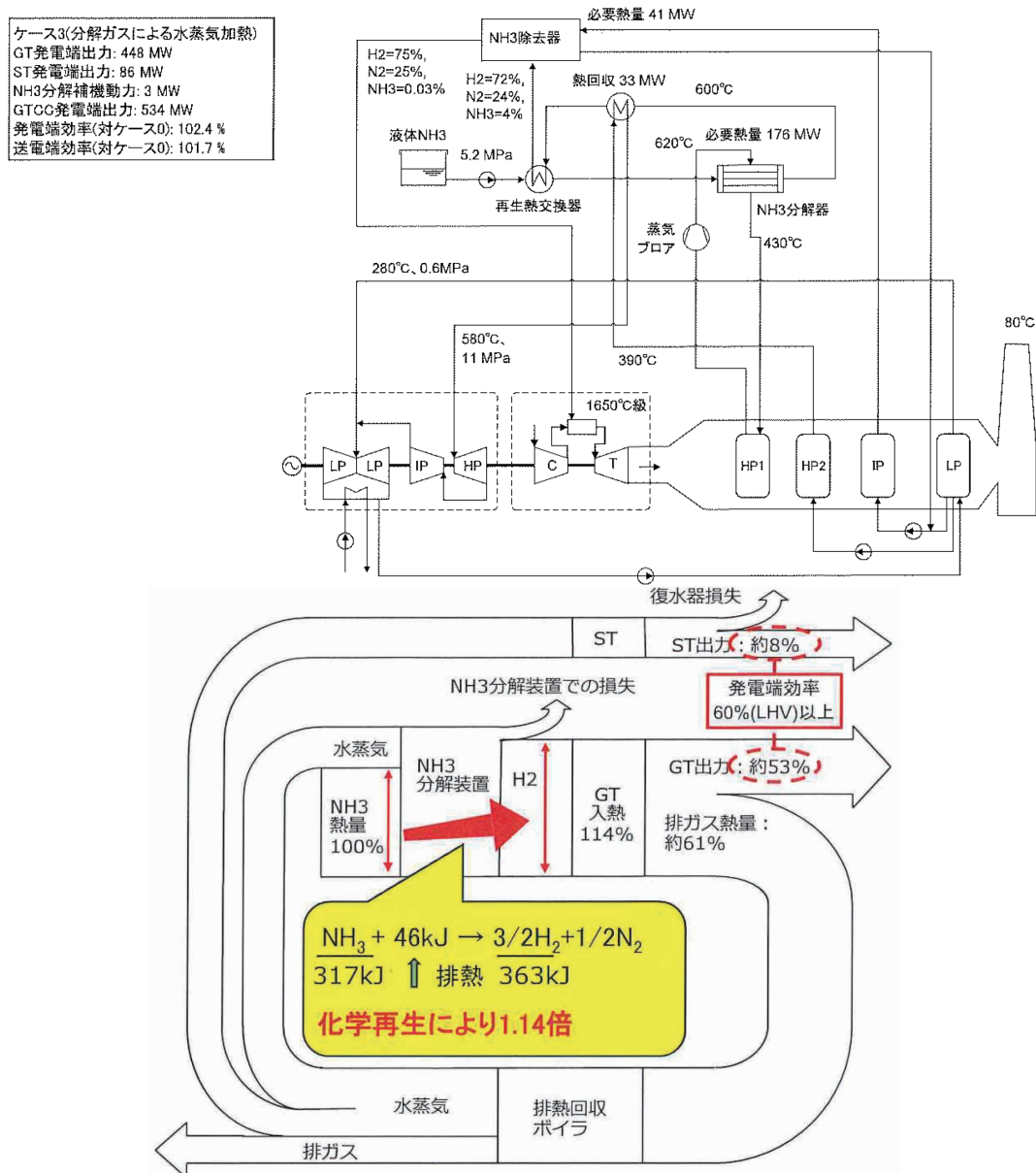


図17 アンモニア専焼における蒸気によるアンモニア熱分解のヒートフロー

出典：アンモニア利用ガスタービンの技術開発，SIP 終了報告書（2019），図20，図24

また、残留アンモニア除去には、高温熱分解法、低圧分解反応促進法、化学分離法が検討され、総合熱効率、機器コストの観点から、化学分離法（図18）が有利と判断された。

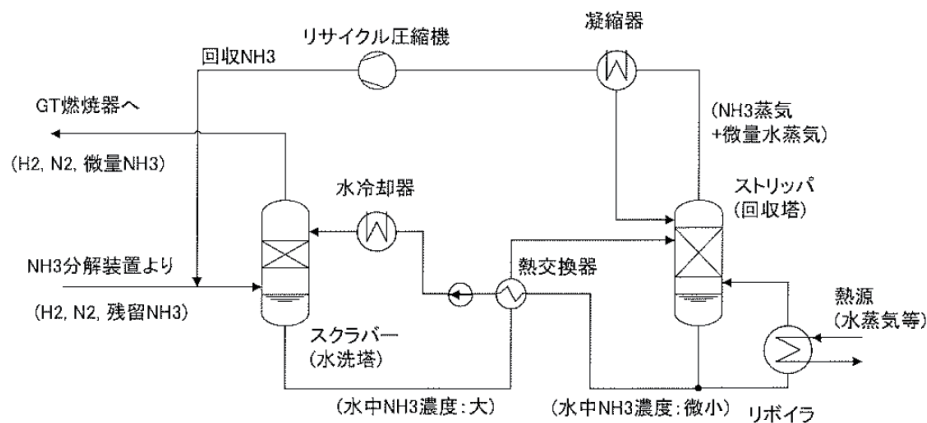


図18 アンモニア除去器の概略図

出典：アンモニア利用ガスタービンの技術開発，SIP 終了報告書（2019），図23

アンモニア発電利用に関する官民の動向

1) 燃料アンモニア導入官民協議会

2020年10月，経済産業省は，SIPの結果などを受けて，燃料用途で活用されるアンモニアの導入及び活用拡大に対応するための技術的・経済的な課題や，その解決に向けたタイムラインを官民で共有し，一体となって取組を進めることを目的とした「燃料アンモニア導入官民協議会」⁷を設置，3回の会議を経て2021年2月に中間とりまとめ⁸を公表した。

その中で，2030年に国内で年間300万トン（水素換算で約50万トン），2050年には国内で年間3,000万トン（水素換算で約500万トン）のアンモニア需要を想定するとし，また，アンモニア価格については，現状 Nm^3 あたり20円台前半（熱量等価での水素換算）であるところ，2030年までに Nm^3 あたり10円台後半（熱量等価での水素換算）での供給を目指す（現在の天然ガス価格等を前提とする）としている。

また，燃料アンモニアの製造においては，短期的（～2030年）には低廉なアンモニア供給を実現するために技術的な効率性向上を追求し，長期的（～2050年）には新たなアンモニア合成技術や合理的なコストで高効率に CO_2 排出を抑制する技術，再生可能エネルギー由来の燃料アンモニア製造にかかる技術の導入を進めていくとし，「グリーンアンモニア」については2050年までに実現を目指す技術としている。

7 https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/nenryo_anmonia/index.html

8 https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/nenryo_anmonia/pdf/20200208_1.pdf

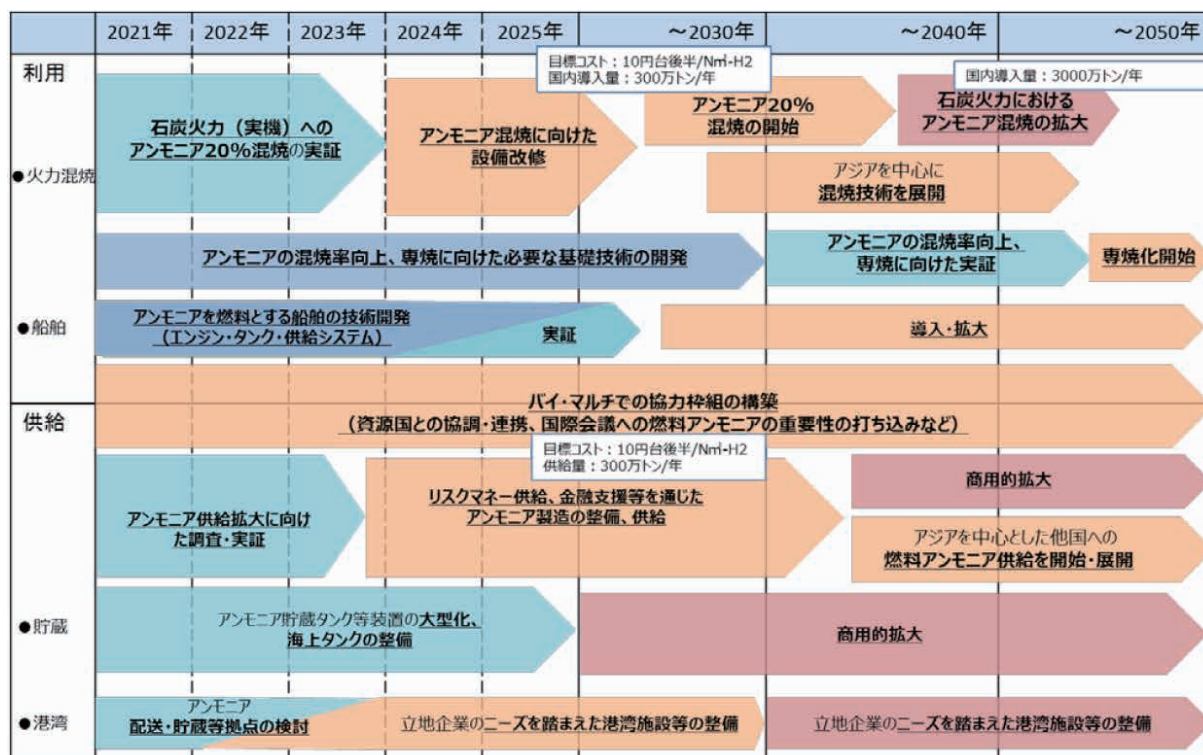


図19 燃料アンモニア導入に向けたロードマップ

出典：燃料アンモニア導入官民協議会中間とりまとめ（2021）

2）総合資源エネルギー調査会

2020年10月の菅総理による施政方針演説で2050年カーボンニュートラルが宣言されたことから、CO₂フリーの燃料として水素、アンモニアに脚光が当たった。2030年並びに2050年の日本のエネルギー需給の姿を検討する総合資源エネルギー調査会基本政策分科会⁹において、発電用アンモニア燃料が明確に位置付けられ、今後のエネルギーミックス検討にあたっても、輸入アンモニアが一定比率織り込まれることになる。

カーボンニュートラルに向けた主要分野における取組①				
脱炭素技術		克服すべき主な課題		コストバリエーション
		※薄赤色のエリアは技術的なイノベーションが必要なもの		
電力部門	発電	再エネ	導入拡大に向け、系統制約の克服、コスト低減、周辺環境との調和が課題	
		原子力	安全最優先の再稼働、安全性等に優れた炉の追求、継続した信頼回復が課題	
		火力+CCUS/カーボンリサイクル	CO ₂ 回収技術の確立、回収CO ₂ の用途拡大、CCSの適地開発、コスト低減が課題	
		水素発電	水素専焼火力の技術開発、水素インフラの整備が課題	水素価格 約13円/Nm ³
		アンモニア発電	アンモニア混焼率の向上、アンモニア専焼火力の技術開発が課題	

図20 総合資源エネルギー調査会における発電燃料アンモニアの位置づけ

出典：第33回基本政策分科会資料抜粋

⁹ https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/

3) グリーンアンモニアコンソーシアム（2021年1月クリーン燃料アンモニア協会¹⁰に名称変更）

2017年7月、CO₂フリーアンモニアの燃料及び原材料として利用を中心としたバリューチェーンの構築を目指し、戦略の策定、関連技術開発及びその社会実装化に向けた取り組みを推進することを目的として、発電事業者、プラントメーカー、商社、エネルギー事業者などをメンバーとする「グリーンアンモニアコンソーシアム」が発足した。

【理事会員】 11社		【賛助会員(外国企業)】 14社		【特別会員】 3名、20機関
(株) IHI	鹿島建設(株)	(株) 東レ	A-Enviro Chile GmbH - AustriaEnergy -	秋鹿研一(元SIPサブPD)
宇部興産(株)	川崎汽船(株)	(株) トヨタエンジニアソリューションズ	(オーストリア)	塩沢文朗(元SIPサブPD)
(株) JERA	関西電力(株)	(株) 豊田自動織機	Baker Hughes (英&米)	橘川武郎(国際大学)
住友化学(株)	九州電力(株)	(株) 豊田中央研究所	CF Industries (米)	秋田県産業技術センター
東京ガス(株)	国際石油開発帝石(株)	日揮触媒化成(株)	DNV GL (ノルウェー)	(国研)海上・港湾・航空技術研究所
東洋エンジニアリング(株)	JFEエンジニアリング(株)	日本オイルエンジニアリング(株)	Engie - Hydrogen Business Unit (仏)	(株) 国際協力銀行(JBIC)
日揮(株)	シェルジャパン(株)	(一財)日本海事協会	Equinor ASA (ノルウェー)	(一財)石炭エネルギーセンター
丸紅(株)	清水建設(株)	(株)日本触媒	Fortescue Metals Group (豪州)	(独法)石油天然ガス・金属鉱物資源機構
三井物産(株)	(株)商船三井	日本郵船(株)	The Hydrogen Utility (豪州)	(一財)電力中央研究所
三菱重工業(株)	昭和電工(株)	バルチラジャパン(株)	Kellogg Brown & Root Asia Pacific Pte. Ltd.	新居浜市
三菱商事(株)	鈴与商事(株)	北陸電力(株)	(シンガポール)	(一財)日本エネルギー経済研究所
	住友商事(株)	北海道電力(株)	NW Interconnected Power Pty Ltd	四日市市
	双日(株)	(株)三井E&Sマシナリー	- Asian Renewable Energy Hub - (豪州)	(駐日)ニュージーランド大使館
【一般会員】 53社	ダイヤモンド電機(株)	(株)三井住友銀行	Origin Energy Limited (豪州)	(駐日)ノルウェー大使館
IMIジャパン(株)	太陽日酸(株)	三菱ガス化学(株)	Stanwell Corporation (豪州)	Ammonia Energy Association (米国)
味の素(株)	(株)竹中工務店	三菱パワー(株)	Woodside Energy (豪州)	Austrade Tokyo Office (大使館)
アラムコ・アジア・ジャパン(株)	中外炉工業(株)	三菱マテリアル(株)	Yara International ASA (ノルウェー)	CSIRO (豪州)
(株)安藤・ハザマ	中国電力(株)	ヤンマーホールディングス(株)		EJAAD (オマーン)
飯野海運(株)	千代田化工建設(株)			Electric Power Research Institute
出光興産(株)	ティンセングループ・ウーデ	【賛助会員(個人)】 8名		[EPRI] (米国)
伊藤忠商事(株)	・クロリンエンジニアズ(株)	赤松史光(大阪大学)	小島由継(広島大学)	Government of Queensland (豪州)
上野トランステック(株)	電源開発(株)	梅沢順子(元科学技術振興機構)	小林秀昭(東北大学)	Government of South Australia (豪州)
ENEOS(株)	東電設計(株)	江口浩一(京都大学)	中江清彦(元住友化学)	Government of West Australia (豪州)
大阪ガス(株)	東邦ガス(株)	久保田純(福岡大学)	中村徳彦(元トヨタ自動車)	The New Zealand Hydrogen Association(NZHA)
(株)大林組	東北電力(株)			

図21 グリーンアンモニアコンソーシアム会員リスト

出典：グリーンアンモニアコンソーシアムホームページ

10 <https://www.greenammonia.org/>

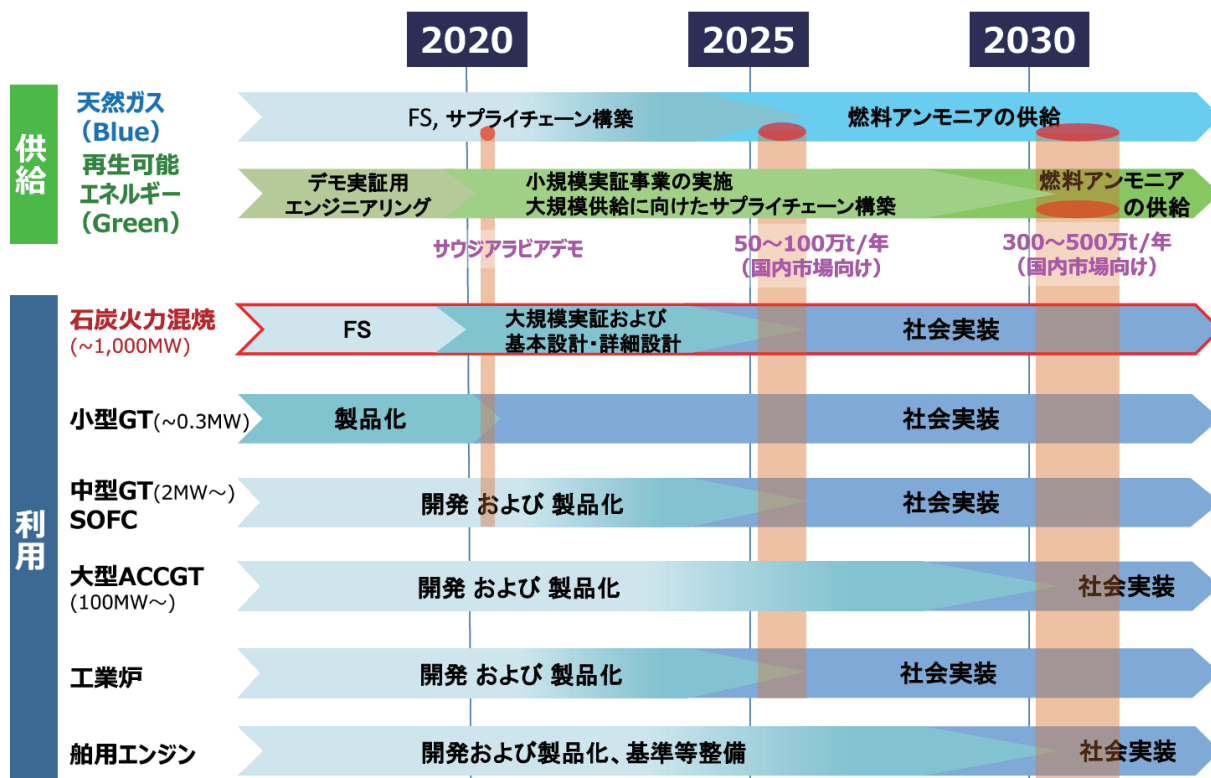


図22 グリーンアンモニアコンソーシアムによるアンモニア導入に向けたロードマップ
出典：グリーンアンモニアコンソーシアムホームページ

おわりに

温室効果ガスの2030年46%削減や2050年ネットゼロに向けては、非化石電源である原子力や再生可能エネルギー比率を拡大することが重要であるが、いずれも2030年までに現状想定を超える大幅な比率拡大には難がある。また CCS についても、様々な制約要件や経済性の克服が必要となる。そのような中で、本報で紹介した火力発電設備でのアンモニア利用は、少なくとも技術的には現実的な選択肢であると考えられる。実際、本報を書いているさなかに、JERA が碧南火力4号機におけるアンモニア混焼実証計画を発表するなど、具体的な動きも出てきた。

実証段階から本格的な商業規模に移行するためには、大量かつ安価なアンモニア製造に関連する資源開発／確保と、サプライチェーンの構築が前提となるが、天然ガスに加え、再エネ資源にも恵まれた中東は、将来の日本に向けての水素、アンモニアの有力な供給源候補であることは間違いない。