

令和4年度沖縄型クリーンエネルギー導入促進調査事業
沖縄地域におけるクリーン燃料アンモニア地産地消に関する調査事業

— 報告書 —

2023年3月
沖縄電力株式会社

目 次

要約	P.3
1-1. 調査の背景及び目的	P.4
1-2. 調査の全体像及び実施体制	P.8
2-1. 具志川火力発電所における地産地消アンモニア混焼可能性に関する調査	P.10
(ア) : アンモニア混焼率の調査	P.12
(イ) : アンモニア混焼による燃料アンモニア必要量の整理	P.14
(ウ) : 具志川火力発電所でのアンモニア混焼全体構成検討	P.15
(エ) : アンモニア混焼における運用への影響要素の洗い出し	P.24
(オ) : アンモニア混焼発電のパリティコストの算定	P.25
2-2. 地産アンモニア製造・供給に関する調査	P.28
(ア) : 県内再エネ及びLNGを活用した水素調達ポテンシャルの調査	P.30
(イ) : 地産アンモニア製造プラントの検討	P.36
(ウ) : 地産アンモニア製造プラントによるアンモニア供給検討	P.37
2-3. 具志川火力発電所におけるアンモニア混焼改造に関する調査	P.50
(ア) : アンモニア混焼実証フェーズ1における既設設備流用検討	P.52
(イ) : アンモニア混焼実証フェーズ1における既設(ボイラ)等改造検討	P.55
(ウ) : アンモニア混焼実証フェーズ2に向けた検討	P.60
3. まとめ	P.65

要 約

要約

沖縄地域の火力電源において、CO₂排出量削減が課題となる中、石炭火力発電所におけるアンモニア混焼が脱炭素に向けた有効な手段として期待されている。本調査では、再エネ由来電力等を用いたアンモニア製造（地産）で再エネ利用に貢献しつつ、石炭火力発電所でアンモニアを混焼（地消）する、クリーン燃料アンモニア地産地消の実現可能性及び事業採算性について以下のとおり①～③の調査を行った。

①具志川火力発電所における地産地消アンモニア混焼可能性に関する調査

後述②、③の検討結果を踏まえて、具志川火力発電所 1号機での石炭・アンモニア混焼設備構成等を検討し、各種課題の洗い出し及びアンモニア混焼の概算コスト検討を行った。発電所利用率60%として熱量比30%のアンモニア混焼を行う場合で、20万トン/年規模のCO₂削減量が期待できる。一方、現時点での地産CO₂フリーアンモニア製造を行う場合、必要量全量調達は難しく少量・高額の調達となる可能性が高い。

②地産アンモニア製造・供給に関する調査

地産CO₂フリーアンモニアについて、少量であれば製造できる可能性があるが、大量製造するには再エネの確保が課題となる。現時点での地産CO₂フリーアンモニア製造を行う場合、少量・高額の調達となる可能性が高い。

本調査ではアンモニア製造の原料である水素について、再エネ電力による水電解に加えて天然ガス（化石燃料）改質による水素製造についても検討した。

③具志川火力発電所におけるアンモニア混焼改造に関する調査

具志川火力発電所1号機での石炭・アンモニア燃焼技術について、今回の机上検討では実現が期待できることが分かった。各種課題については実証試験等を行い詳細検討が必要であるため、その手法について2段階での実証試験計画を作成した。

（フェーズ1）改造範囲を絞り込んだ、少量混焼試験

（フェーズ2）アンモニア貯槽などの付帯設備を含め、実運用を想定した設備構築後の混焼試験

1 - 1. 調査の背景及び目的

背景

日本のエネルギー需給構造の変革

気候変動問題に関して世界的な関心が高まる中、日本のエネルギー需給構造は大きな変革の途上にあり、我が国は2020年10月に「2050年カーボンニュートラル」を目指すことを宣言するとともに、2021年4月には、2030年度の新たな温室効果ガス排出削減目標として、2013年度から46%削減することを目指し、さらに50%の高みに向けて挑戦を続けるという新たな方針が示された。第6次エネルギー基本計画において、ガス火力への水素混焼・専焼や、石炭火力へのアンモニア混焼の導入・普及を目標に、2030年度の電源構成において水素・アンモニア1%が新たに位置づけられている。

沖縄県における脱炭素社会実現に向けた取り組み

沖縄県においても、今後10年間のエネルギー計画である「沖縄県クリーンエネルギー・イニシアティブ」を2021年3月に策定し、より高い目標の設定やアクションプランの拡充を織り込んだ改定案を2022年3月にとりまとめるなど、2050年の脱炭素社会の実現に向けた取り組みが活発化している。沖縄地域における電源については、地理的・地形的・需要規模の制約から、原子力発電や大規模水力発電の導入が物理的に困難な状況にあり、石油や石炭といった化石燃料に対する依存度が全国と比較して高い。電源構成比率では石炭火力発電所の占める割合が最も大きく、当該火力電源のCO₂排出削減は急務の課題となっている。

沖縄電力における脱炭素社会実現に向けた取り組み

地球温暖化対策への社会的な要請が一層高まる中、長期的な指針となる「沖縄電力ゼロエミッションへの取り組み」を2020年12月に策定、2050年CO₂排出ネットゼロの実現に向け、「再エネ主力化」及び「火力電源のCO₂排出削減」の2つの方向性に基づく施策をロードマップとして示し、グループ一体となって取り組みを推進している。



1 - 1. 調査の背景及び目的

背景

沖縄電力における脱炭素社会実現に向けた取り組み

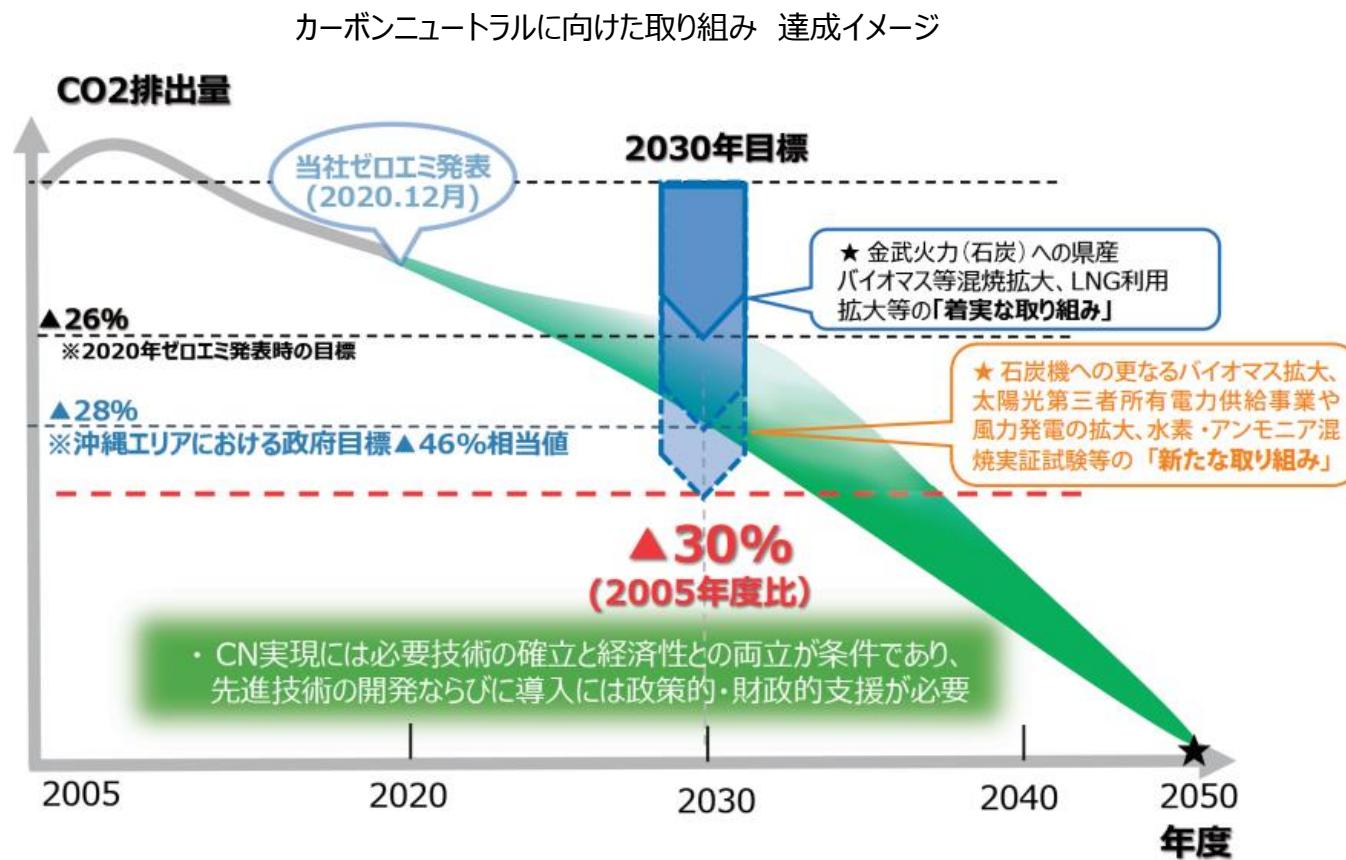
2050 CO₂ 排出ネットゼロに向けた取り組み ロードマップ Ver.1(2022.10)



1 - 1. 調査の背景及び目的

背景

沖縄電力における脱炭素社会実現に向けた取り組み

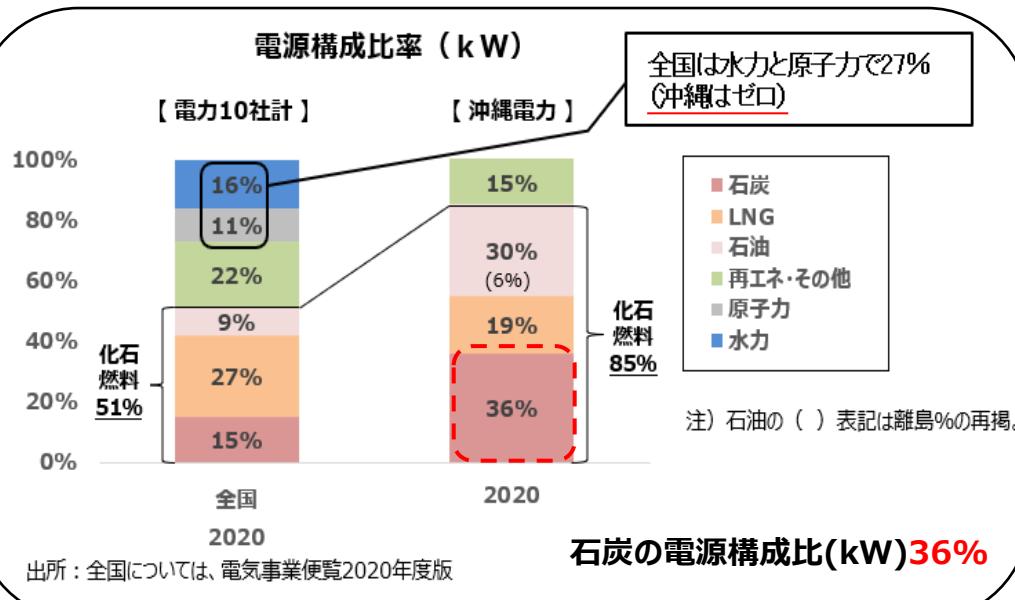


出典 おきでんグループ統合報告書2022

1-1. 調査の背景及び目的

燃料アンモニアは石炭火力への混焼燃料等として全国大で導入の検討が進められている。火力電源に頼らざるを得ない沖縄地域において石炭火力は不可欠な電源であるが、CO₂排出量が比較的多く対策が必要である。沖縄電力では既に石炭火力での県産木質バイオマス混焼を行っているが、石炭火力へのアンモニア混焼は地域のさらなる脱炭素化に大きく寄与する取組みとなる。

沖縄電力は地理的・地形的・需要規模の制約により水力・原子力発電等の開発が困難なことから、石油・石炭・LNGといった化石燃料（火力電源）に頼らざるを得ない電源構成となっている。

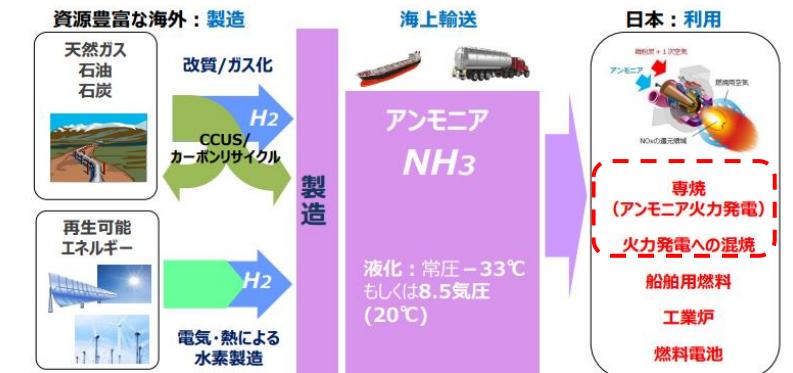


火力電源、特にCO₂排出量が多いとされ、沖縄地域の主たる電源構成比率を占める石炭火力のCO₂排出削減が急務の課題。

アンモニアは燃焼時にCO₂を排出せず、石炭の燃焼速度と親和性があるため、石炭火力におけるアンモニア混焼が脱炭素化に有効な手段として考えられている。

燃料アンモニアの重要性

- アンモニアは、CO₂を排出せずに天然ガスや再生可能エネルギー等から製造することが可能であり、燃焼してもCO₂を排出しないため、温暖化対策の有効な燃料の一つ。
- さらに、アンモニアは、水素キャリアとしても活用でき、（水素に変換せざとも）燃料として直接利用が可能。水素と比べ、既存インフラを活用することで、安価に製造・利用できることが特長。



特に沖縄地域において、石炭火力へのアンモニア混焼は取り組み意義が高い。

1 - 2. 調査の全体像及び実施体制

石炭・アンモニア混焼を行う発電所として、共同実施者である川崎重工業の石炭焚きボイラを有する具志川火力発電所1号機を選定し検討を行った。

具志川火力発電所概要

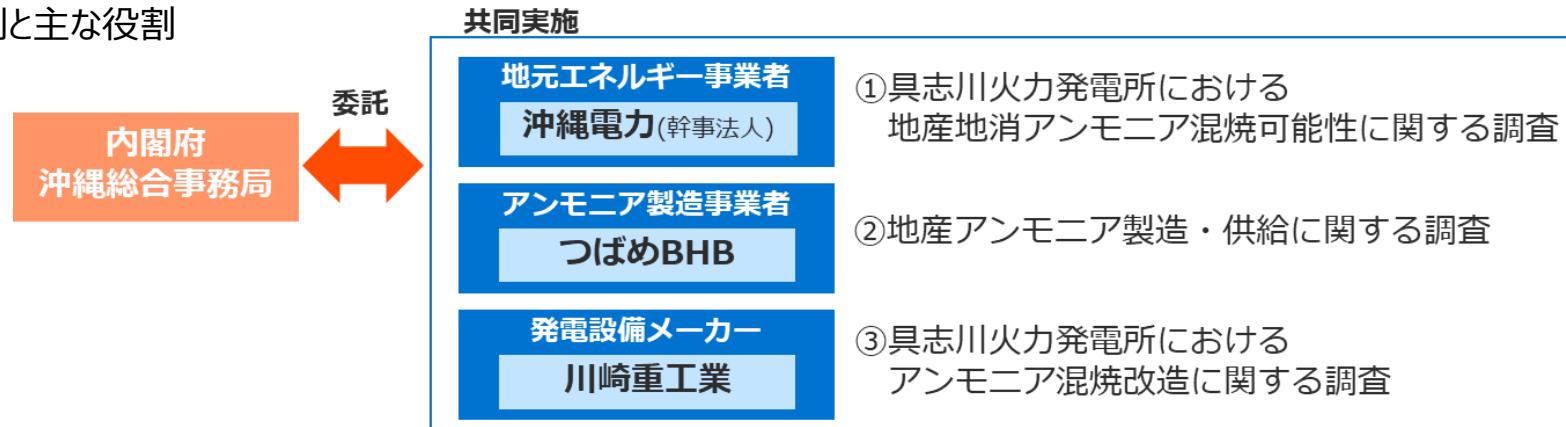


号機	定格出力[MW]	運用開始
1号機	156	1994年3月
2号機	156	1995年3月

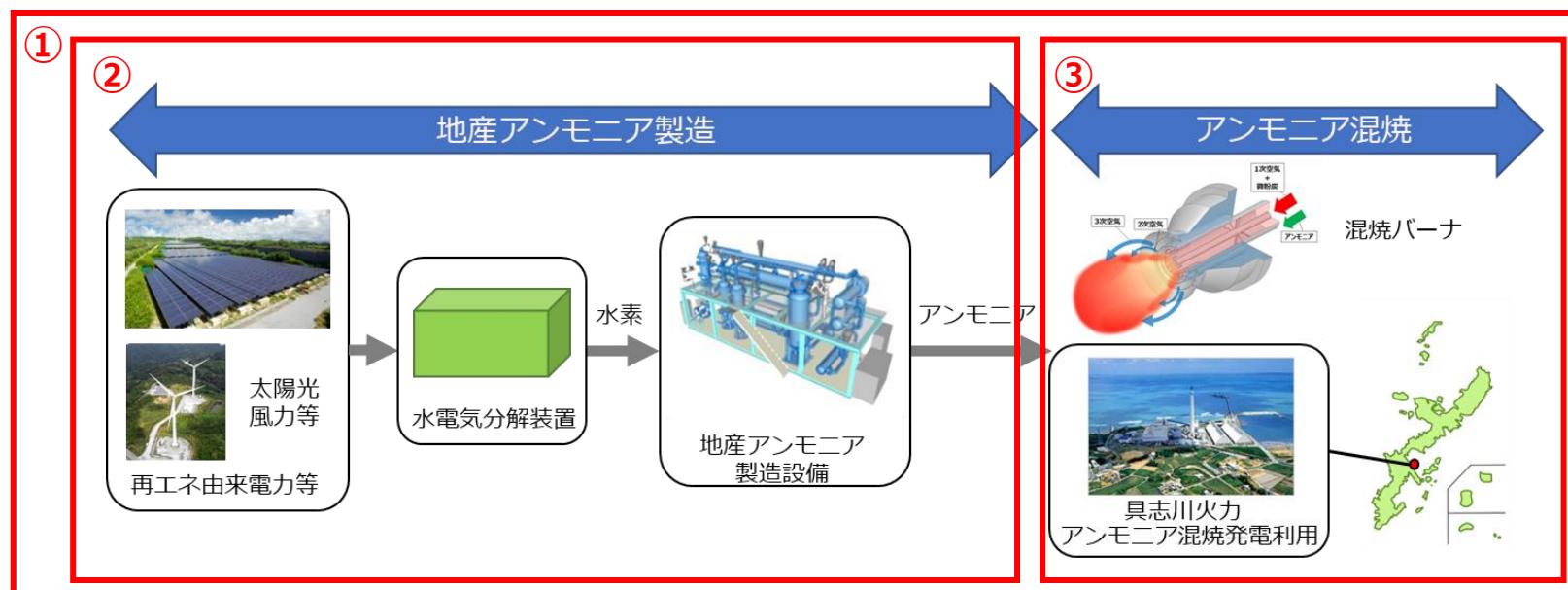
1 - 2. 調査の全体像及び実施体制

以下に図示するクリーン燃料アンモニアの導入に関する一連の調査を実施することで、具志川火力発電所1号機におけるアンモニア混焼発電の実現可能性、事業採算性を検討した。

実施体制と主な役割



調査の全体像

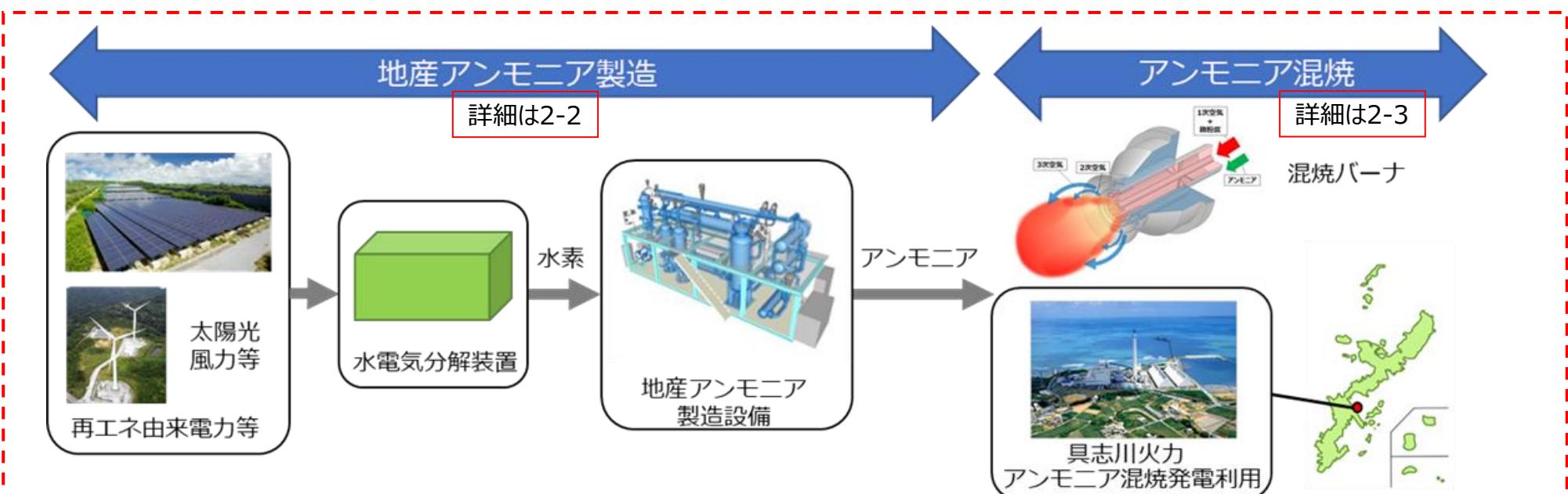


2-1. 具志川火力発電所における地産地消アンモニア混焼可能性に関する調査

2-1. 具志川火力発電所における地産地消アンモニア混焼可能性に関する調査

後述する燃料調達の検討や、燃焼技術の検討結果を踏まえ、具志川火力1号機を対象としたアンモニア混焼発電の全体検討を行った。アンモニア混焼発電の基本条件（混焼率、必要貯蔵量等）や、運用への影響要素について整理するとともに、アンモニア混焼発電のコストを試算した。

調査の全体像における本調査項目該当範囲（赤枠点線部）



調査項目(ア) : アンモニア混焼率の調査

調査項目(イ) : アンモニア混焼による燃料アンモニア必要量の整理

調査項目(ウ) : 具志川火力発電所でのアンモニア混焼全体構成検討

調査項目(エ) : アンモニア混焼における運用への影響要素の洗い出し

調査項目(オ) : アンモニア混焼発電のパリティコストの算定

2-1. 具志川火力発電所における地産地消アンモニア混焼可能性に関する調査

(ア) アンモニア混焼率の調査

1. 先行事例調査

- ・中国電力株式会社の水島発電所におけるアンモニア混焼試験

水島発電所 2号機（石炭火力、所在地：岡山県倉敷市、定格出力 15.6 万 kW）において、アンモニア混焼試験を実施。アンモニア混焼率は低めではあるものの、本試験にてアンモニアの完全燃焼を確認するとともに、混焼による既設プラントへの影響が無いことを確認。また、NOx値についても、石炭専焼時と大きな差異が無いことを確認している。

中国電力(株) 水島発電所 アンモニア混焼試験概要

試験期間	試験出力	アンモニア混焼率
2017年7月（7日間）	155MW、120MW	約0.6、0.8%相当（1MW相当）

【参照：日本燃焼学会誌 第61巻198号（2019年）】

- ・株式会社JERAの碧南火力発電所におけるアンモニア混焼計画（NEDOプロジェクト）

碧南火力発電所 4号機（石炭火力、所在地：愛知県碧南市、定格出力 100 万 kW）において、2023年度にアンモニア混焼率20%での実証試験を開始予定。また、2028年度までに碧南火力発電所5号機（石炭火力、所在地：愛知県碧南市、定格出力 100 万 kW）等において、混焼率50%以上の高混焼試験を実施予定。同混焼率での商用運転を目指している。

【参照：株式会社JERA プレスリリース 2022/05/31】

大規模でのアンモニア混焼については、上記記載の(株)JERAの碧南火力発電所における計画が先行しているが、ボイラ毎に燃焼の特性は異なる為、具志川火力発電所でアンモニア混焼を実施するにあたって個別の調査・検討や実証は必要である。

2-1. 具志川火力発電所における地産地消アンモニア混焼可能性に関する調査

(ア) アンモニア混焼率の調査

2. 目指す混焼率の選定

・アンモニア混焼の実装（商用運転）で目指す混焼率

先述したNEDOプロジェクト等で先行して行われる予定の実証試験の混焼率熱量比20%を基本とし、更なるCO₂排出量削減を目指し、最大で熱量比30%程度の混焼率についての実施可能性を調査することとした。各混焼率におけるCO₂排出削減量は、発電所利用率を60%とした場合以下の通りとなる。

アンモニア混焼によるCO₂削減量

アンモニア混焼率（熱量比）	20%	30%
CO ₂ 排出削減量	約165,000t/年	約250,000t/年

※石炭削減量×一般炭排出係数2.33t-CO₂/t-石炭

・アンモニア混焼実装に向けた実証試験における混焼率

本章では机上検討での設備構成検討等を行うが、アンモニア混焼の実装にあたっては、机上検討での確認後に具志川火力発電所1号機における実証試験の実施が必要である。机上検討後のスケジュールとして実証試験を想定し検討を行う。

第一段階として一部の石炭バーナをアンモニア混焼バーナに改造し、熱量比最大7.5%までアンモニアを混焼させ、各種データを採取する。（フェーズ1）

第二段階では、フェーズ1で得られた知見を踏まえながら、すべてのバーナをアンモニア混焼バーナに改造し、熱量比最大30%までアンモニアを混焼させ、実運用を想定した制御システムや導入機器の動作確認等を行う。（フェーズ2）

※実証試験の詳細については、後述の2-3. 具志川火力発電所におけるアンモニア混焼改造に関する調査を参照。

アンモニア混焼実証試験の試験内容

	試験内容	アンモニア混焼率（熱量比）
フェーズ1	バーナ及びボイラ設定の最適化及び整定試験を行う	5.0～7.5%
フェーズ2	フェーズ1の結果を踏まえ最適化したバーナや、付帯設備を恒久設備として実装し、実運用を想定した動作確認等を行う	20～30%

2-1. 具志川火力発電所における地産地消アンモニア混焼可能性に関する調査

(イ) アンモニア混焼による燃料アンモニア必要量の整理

1. アンモニア混焼による燃料アンモニア消費量試算

具志川1号機（156MW）にて、熱量比20%及び30%のアンモニア混焼を行った場合の燃料アンモニア消費量を試算した。

各アンモニア混焼率における燃料消費量

ユニット出力	156 MW			
	アンモニア混焼率	石炭専焼	熱量比20%	熱量比30%※3
石炭供給量※1	68 t/h	54 t/h	48 t/h	
アンモニア消費量	-	14 t/h 73,600 t/年※2	21 t/h※4 110,400t/年※2	

※1 後述の炭種Aでの値。

※2 年間運転時間8,760時間(24時間×365日) × 発電所利用率60%として算出。

※3 アンモニア供給設備最大混焼率。

※4 アンモニア供給設備容量は裕度を考慮して24t/hとした。

2. アンモニア混焼による燃料アンモニア貯蔵量試算

発電所の敷地の制約や設備コスト削減の観点から、燃料アンモニア貯蔵タンクは1基の設置とした。アンモニア貯蔵タンクの容量は、発電所利用率100%、熱量比30%でのアンモニア混焼に必要な供給量の約2週間分として、12,000m³（約8,000t）と試算した。

※陸送での調達の場合は少量高頻度での受け入れ、県外・国外産を含め船受入れの場合は月に1～2回程度と想定。ただし、燃料アンモニアの受け入れ頻度や一回当たりの受け入れ量は、今後の燃料アンモニア調達の検討の中で決定されるものであり、アンモニア貯蔵量（タンク容量）もそれらに合わせて決定されることに留意。

2-1. 具志川火力発電所における地産地消アンモニア混焼可能性に関する調査

(ウ) 具志川火力発電所でのアンモニア混焼全体構成検討

アンモニア混焼全体構成の整理 - (1) 発電所内設備(ボイラ設備)

・検討の基本条件

本検討におけるボイラ及び燃料の基本条件を下表に示す。

ボイラ及び燃料の基本条件

項目	数値	備考
ユニット定格出力	156 MW	発電量定格
発電所利用率	60 %	
石炭(炭種A)発熱量	18.8 MJ/kg	到着低位発熱量
石炭(炭種B)発熱量	25.3 MJ/kg	到着低位発熱量
アンモニア発熱量	18.6 MJ/kg	低位発熱量

・燃料消費量

上記条件による燃料消費量は以下の通りである。(再掲)

各アンモニア混焼率における燃料消費量

ユニット出力	156 MW		
アンモニア混焼率	石炭専焼	熱量比20%	熱量比30% ^{※3}
石炭供給量 ^{※1}	68 t/h	54 t/h	48 t/h
アンモニア消費量	-	14 t/h 73,600 t/年 ^{※2}	21 t/h ^{※4} 110,400t/年 ^{※2}

※1 炭種Aでの値。

※2 年間運転時間8,760時間(24時間×365日) × 発電所利用率60%として算出。

※3 アンモニア供給設備最大混焼率。

※4 アンモニア供給設備容量は裕度を考慮して24t/hとした。

2-1. 具志川火力発電所における地産地消アンモニア混焼可能性に関する調査

(ウ) 具志川火力発電所でのアンモニア混焼全体構成検討

アンモニア混焼全体構成の整理 - (1) 発電所内設備(ボイラ設備)

- フローシート及びマテリアルバランス

以下に、本検討におけるボイラフロー図を記載する。

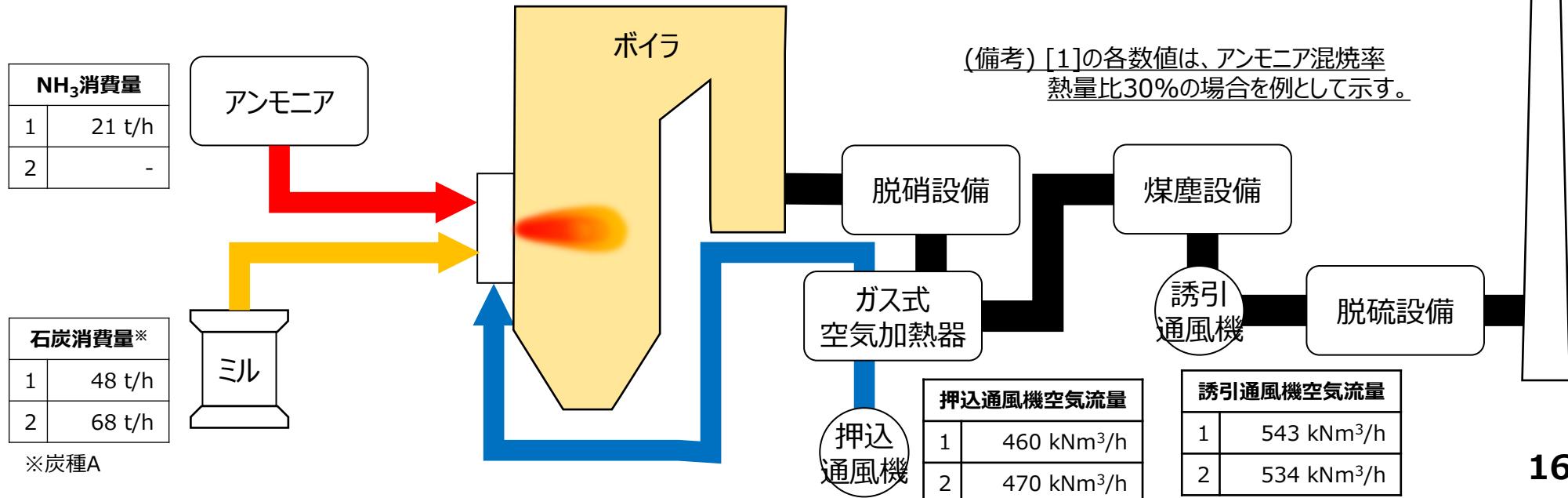
なお、フロー中の各数値はボイラ負荷156MW運転時の値であり、[1]は石炭に熱量比率30%のアンモニア混焼時、[2]は石炭専焼時を示す。

機器フロー

既設のボイラ設備に対して、アンモニア供給配管、バルブ及び流量調整装置を増設し、各々のバーナにアンモニア配管を接続する。アンモニア燃焼設備以外の設備構成に変更は無い。

マテリアルバランス

アンモニア混焼時の空気比は石炭専焼時と同じとした。アンモニア混焼により、燃焼に必要な空気は減少する一方、排ガス量は増加傾向となり、アンモニアを熱量比30%混焼させた場合に約2%排ガス量が増加する。



2-1. 具志川火力発電所における地産地消アンモニア混焼可能性に関する調査

(ウ) 具志川火力発電所でのアンモニア混焼全体構成検討

アンモニア混焼全体構成の整理 - (1) 発電所内設備(ボイラ設備)

・主要機器仕様

アンモニア燃焼設備

アンモニア燃焼設備の概要を下表に示す。

発電所設備内(ボイラ設備) 設備概要

項目	数量	備考
アンモニア混焼バーナ		
バーナ本数	16本	4本×4段
最大石炭燃焼量	86 t/h	石炭専焼時、既設石炭ミル定格×4基
最大アンモニア燃焼量	24 t/h	設備裕度含む
アンモニア供給設備 (うちボイラエリア内機器)		
アンモニア配管	1式	アンモニア気化器出口配管～アンモニアバーナ
上記遮断弁・調節弁・計器	1式	
制御装置		
アンモニア燃焼制御装置	1式	既設中央制御室への増設

2-1. 具志川火力発電所における地産地消アンモニア混焼可能性に関する調査

(ウ) 具志川火力発電所でのアンモニア混焼全体構成検討

アンモニア混焼全体構成の整理 - (1) 発電所内設備(ボイラ設備)

- 既設設備の改造要否検討

石炭燃焼設備 <改造不要>

アンモニア混焼により、石炭供給量は減少する。またアンモニア混焼は石炭ミル下限以上の範囲で行うなどソフトにて対応するものとし、石炭ミルを含めた給炭系統のハード改造は不要とした。

ボイラ <改造不要>

アンモニア混焼時の検討において、ボイラ各所の収熱状況は石炭専焼時に近似しており、アンモニア混焼によるボイラ耐圧部の改造は不要とした。事前予測値と実機データの差異については、実証試験での確認事項とする。

通風設備 <改造不要>

アンモニア混焼において、下記検討結果から、押込通風機、誘引通風機、1次通風機、空気予熱器の改造は不要とした。

押込通風機：燃焼空気は石炭専焼時より減少する傾向にあり、下限値含めて既設での運用可能範囲に収まる見込みである。

誘引通風機：熱量比30%アンモニア混焼にて燃焼ガス量が約2%増加し、機器負荷は増加するが、既設機器裕度の範囲内に収まる見込みである。

1次通風機：給炭系統にハード改造は実施せず、既設運用範囲内で使用されるため、1次通風機も改造なく既設流用可能の見込みである。

空気予熱器：アンモニア混焼時は、石炭専焼時より燃焼空気量は減少し燃焼ガス量は増加するため、空気予熱器出口ガス温度は若干上昇する傾向になるが、既設での運転可能範囲に収まる見込みである。

脱硝設備 <実証試験の結果から改造要否判断>

アンモニア混焼によるNOxの上昇に備えて、脱硝用アンモニア供給量の増加が必要になる可能性があるが、混焼バーナの低NOx性能によるため、実証試験での確認事項とする。

煤煙処理設備 <改造不要>

アンモニア混焼により、石炭灰由来の煤塵量は石炭燃焼量減少により明らかに減少するため、煤煙処理設備は改造することなく既設流用可能の見込みである。

脱硫設備 <改造不要>

アンモニア混焼により、投入燃料全体に含有する硫黄分が減少することにより、SOx発生量は明らかに減少するため、脱硫設備は改造することなく既設流用可能の見込みである。

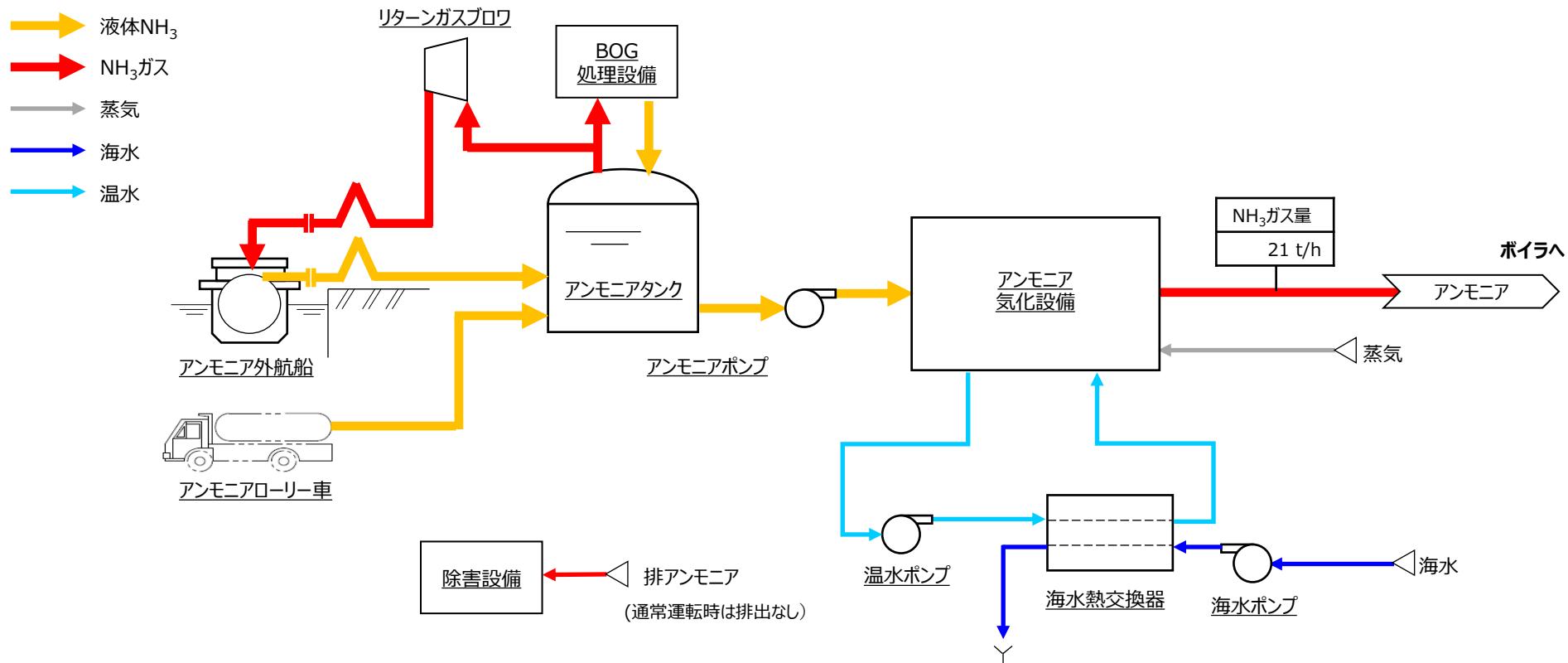
2-1. 具志川火力発電所における地産地消アンモニア混焼可能性に関する調査

(ウ) 具志川火力発電所でのアンモニア混焼全体構成検討

アンモニア混焼全体構成の整理 - (2) 発電所内設備(アンモニア供給設備)

・設備フロー

アンモニア供給設備容量は、ボイラ運転負荷が156MWの時のバーナ全数に熱量比30%でアンモニアを混焼させた時のアンモニア燃焼量21t/hに対応するものとする。



2-1. 具志川火力発電所における地産地消アンモニア混焼可能性に関する調査

(ウ) 具志川火力発電所でのアンモニア混焼全体構成検討

アンモニア混焼全体構成の整理 - (2) 発電所内設備(アンモニア供給設備)

- ・アンモニア供給プロセスの説明

液体アンモニアの受入

液体アンモニアは陸送分はローリー車、海送分は外航船からローディングアームにて受け入れる。

液体アンモニアの貯蔵

アンモニアは金属二重殻低圧平底タンクに貯蔵する。タンク外槽の耐圧強度を内槽と同等以上としてアンモニアの流出を防止することとし、防液堤の設置を省略する。

アンモニアタンクの容量はアンモニア混焼に必要な供給量の約2週間分とし、12,000m³（約8,000t）とする。

液体アンモニア受入時に発生する蒸発ガス及びタンク液面上昇により押しのけられる気相の一部はリターンガスプロワを用いて外航船タンクの圧力を保持に利用され、残りはBOG処理設備にて再液化されタンクに回収される。

液体アンモニアの気化

アンモニアタンクより取り出される液体アンモニアはアンモニアポンプにて昇圧されアンモニア気化設備へと送られる。

アンモニア気化設備の最大気化容量は24ton/hとし、熱源として海水と蒸気を利用する。

アンモニア気化器の腐食対策として、海水を直接気化器へ導入せず、中間熱媒として循環温水を利用する。

液体アンモニアには微量の水分が含まれる為、海水により温められた循環温水の温度では完全に蒸発させることができない。

その為、温水にて可能な飽和温度まで液体アンモニアを蒸発、水分を濃縮させ、残留する液を蒸気にて蒸発させる。

また気化設備後流でのアンモニアの再凝縮を避ける為に蒸気を利用して気液飽和温度以上に昇温させる。

アンモニア除害設備

メンテナンス時及び緊急放風時に排出されるアンモニアはアンモニア除害設備に送られる。

アンモニア除害設備は除害タンクとスクラバーで構成される。

アンモニア気化設備から排出される有圧のアンモニアは除害タンクにて吸収される。

アンモニアタンクから排出される低圧のアンモニアは排圧の小さいスクラバーにて吸収される。

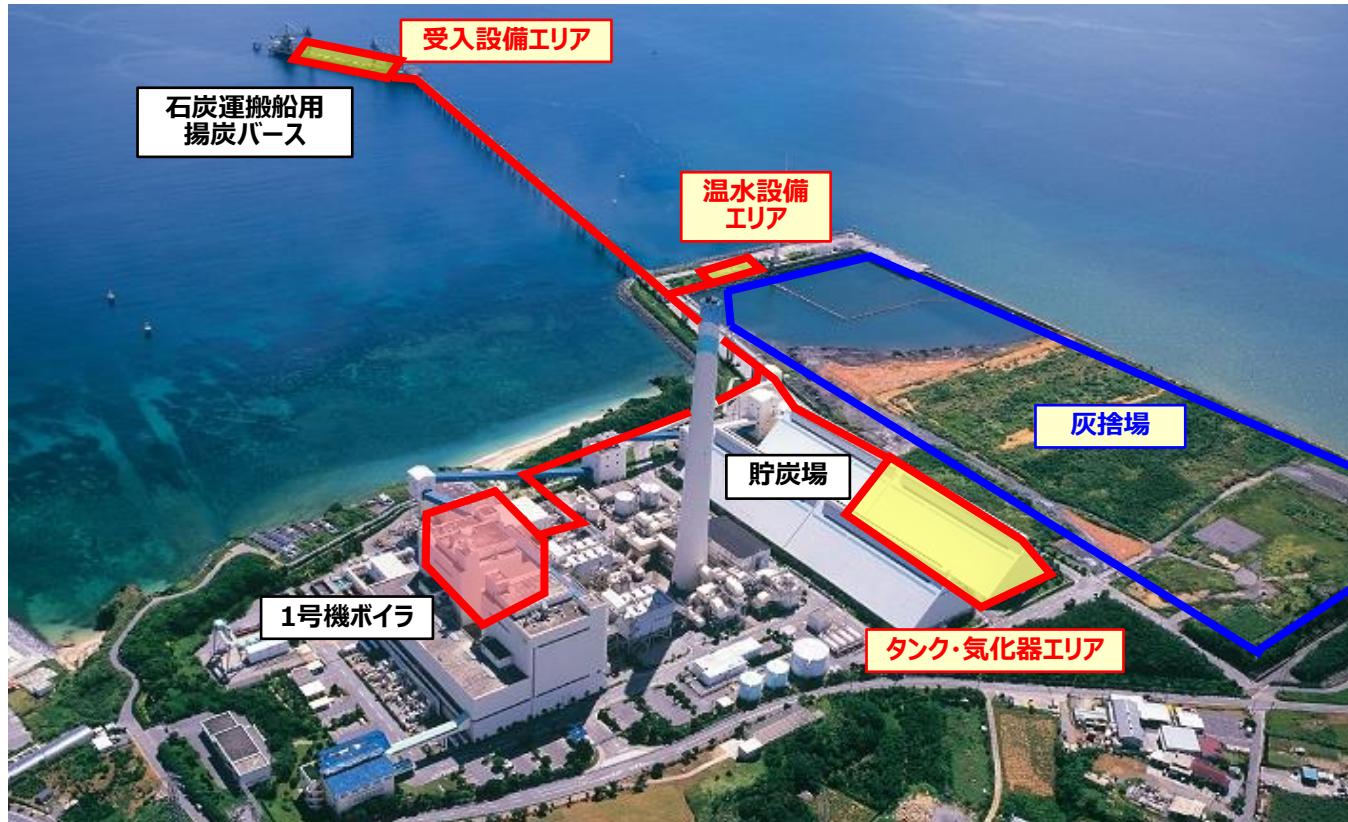
2-1. 具志川火力発電所における地産地消アンモニア混焼可能性に関する調査

(ウ) 具志川火力発電所でのアンモニア混焼全体構成検討

アンモニア混焼全体構成の整理 - (2) 発電所内設備(アンモニア供給設備)

- ・全体配置

全体配置図を下記の通り示す。石炭燃料の一部をアンモニアに代替する為、貯炭場の一部を撤去しアンモニアタンクを設置する想定で検討した。なお、将来的に図右側の灰捨場を活用するには、廃掃法(廃棄物の処理及び清掃に関する法律)や公有水面埋立法の条件を満たす必要がある。



2-1. 具志川火力発電所における地産地消アンモニア混焼可能性に関する調査

(ウ) 具志川火力発電所でのアンモニア混焼全体構成検討

アンモニア混焼全体構成の整理 - (2) 発電所内設備(アンモニア供給設備)

・主要機器リスト

以下に、アンモニア供給設備（うちボイラエリア外機器）の主要機器リストを記載する。

発電所内設備(アンモニア供給設備) 設備概要

設備名称	機器名称	基數
アンモニア液受入設備	アンローディングアーム/リターンガスアーム	1/1
	リターンガスプロワ	1
アンモニア液貯蔵設備	アンモニアタンク（金属二重殻低圧平底タンク）	1
BOG処理設備	受入用BOG冷凍圧縮機	1
	BOG冷凍圧縮機	1+予備1
アンモニア気化設備	アンモニアポンプ	1+予備1
	アンモニア気化設備	1式
アンモニア除害設備	アンモニア除害タンク	1
	アンモニアスクラバー	1
海水・温水設備	海水熱交換器	2
	海水ポンプ	2+予備1
	温水ポンプ	2+予備1

2-1. 具志川火力発電所における地産地消アンモニア混焼可能性に関する調査

(ウ) 具志川火力発電所でのアンモニア混焼全体構成検討

アンモニア混焼全体構成の整理 - (3) アンモニア製造・輸送設備

・アンモニア調達の検討

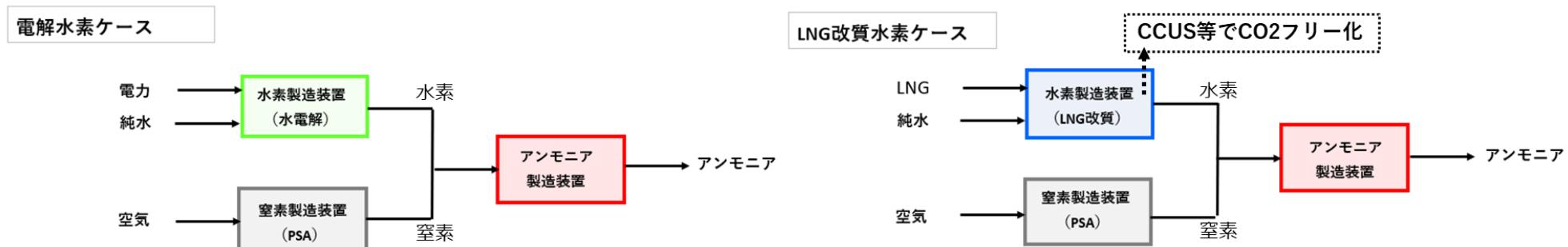
アンモニア製造装置はつばめBHBのオンサイトアンモニア製造装置を想定して検討した。（詳細は2-2.に記載）

アンモニア混焼による燃料アンモニアの年間消費量は（イ）で示した通り、熱量比20%混焼で約7万4千トン/年、熱量比30%混焼で約11万トン/年である。これら全量を再エネ由来電力で地産するには、アンモニアの原料となる水素製造の為に膨大な再エネの調達が必要となり、現状の沖縄県における再エネの導入量を考慮すると早々に大量製造を行うことは困難である。

そのため、今回の検討では地産アンモニアの製造規模について小規模製造を想定して、つばめBHBの数千t/年×1基のプラントを想定する。これは具志川火力発電所1号機の利用率60%を想定した場合、石炭に対し熱量比1%弱の混焼量に相当する。

なお、早期にCO₂フリーアンモニアをクリーン燃料として大量に調達する場合は「海外で製造されたCO₂フリーアンモニアの輸入」が具体的なプランとなる。

また、今回検討では、再エネによる水の電気分解により水素を製造する場合と、LNGから水素を製造する(改質)場合について検討した。



2-1. 具志川火力発電所における地産地消アンモニア混焼可能性に関する調査

(工) アンモニア混焼における運用への影響要素の洗い出し

アンモニア混焼における運用への影響要素の洗い出し(NOx値、その他設備への影響検討)

詳細は実証試験等による検討が必要であるが運用への影響要素の例について以下に示す。

・脱硝用アンモニア使用量の増加

アンモニア混焼時には、石炭専焼時に比べてNOxが増加し、脱硝用アンモニア使用量が増加する可能性がある。一方でSOx及び煤塵量は減少するため、脱硫設備及び集塵機の負荷は低下する。

・誘引通風機（IDF）負荷の上昇

アンモニアは石炭に比べて単位熱量当たりの理論燃焼空気量が少なく理論排ガス量が多い。そのため、アンモニア混焼時には押込通風機（FDF）の負荷は低下するが、誘引通風機（IDF）の負荷は上昇する。

・アンモニア配管ページの実施

アンモニア点火前（目的：点火時逆火対策）と消火後（目的：腐食/漏洩対策）にはアンモニア配管ページを行う必要がある。天然ガス等であれば大気放出可能であるが、アンモニアは有毒ガスであるため、アンモニア除害装置にて処理する必要があり、従来とは配管系統構成とページ手順が異なる。また、除害装置ではアンモニア含有排水が発生するため、従来排水に追加して排水処理設備による処理が必要となる。

・実証試験における排ガス手動採取の必要性と適切な排ガスサンプリング要領の策定

実証試験においてアンモニア混焼時にリーカアンモニアとN₂Oが発生しないことを確認する必要があるが、常設のアンモニア測定装置は無いため、仮設計器を設置し手動にて排ガスをサンプリングする必要がある。広い煙道断面を漏れなく測定するため、サンプリング箇所の適切なトラバースを行う必要がある。

2-1. 具志川火力発電所における地産地消アンモニア混焼可能性に関する調査

(オ) アンモニア混焼発電のパリティコストの算定

アンモニア混焼発電に係る概算コストの取り纏め

調査の結果、アンモニア混焼に必要なボイラ設備、アンモニア供給設備や調達コスト等は下表のとおりとなった。

次ページにて、海外産アンモニアを約11万トン/年で調達しつつ、地産アンモニアも数千トン/年調達しアンモニアを石炭に対し熱量比30%で混焼するシナリオで概査コストを算定する。

※石炭(炭種A)に対し熱量比30%でアンモニア混焼を行う、発電所設備利用率60%とする

(年間発電電力量819,936千kWh/年のうち、アンモニア分245,981千kWh/年)

※海外アンモニア35円/kg×10.7万t/年、地産アンモニア価格200円/kg×3千t/年とし、石炭価格は10円/kg、40円/kgの2パターンで検討する

※設備費200億円は主要工事のみであり、整地等の土木工事費や付帯工事等を含まない(コスト増加見込み)

※ユーティリティコスト、メンテナンスコスト等について詳細設計と合わせて適宜見直検討が必要

項目		概算金額	内 容
CAPEX	<u>ボイラ設備及び アンモニア供給設備</u>	約200億円 ※主要設備工事のみ (整地等の土木工事費用及び 付帯工事等は除く)	アンモニア混焼バーナ、アンモニア燃焼設備配管及び弁類、アンモニア燃焼設備制御装置、 アンモニア液受入設備、アンモニア液貯蔵設備(アンモニアタンク)、BOG処理設備、アンモニア気化設備、アンモニア除害設備、海水・温水設備、設備内配管及び弁類、アンモニア供給設備制御装置
	<u>アンモニア製造設備</u>	10～16億円	アンモニア製造装置(数千t/年)、水素・窒素製造設備、輸送設備 (詳細な内容は、2-2. 地産アンモニア製造・供給に関する調査に記載)
OPEX	<u>燃料アンモニアコスト (海外調達)</u>	約35円/kg-NH ₃ (10円台後半/Nm ³ -H ₂)	アンモニア単価は10円代後半//Nm ³ -H ₂ を採用(2030年における国 の目標単価)
	<u>地産アンモニアコスト</u>	再工ネ由来：150～250円/kg 天然ガス由来：70～150円/kg	2-2. 地産アンモニア製造・供給に関する調査に記載 天然ガス由来製造はCO ₂ 回収なしで検討した価格
	<u>その他コスト</u>	約4億円/年	運転員、ユーティリティコスト、メンテナンスコスト

2-1. 具志川火力発電所における地産地消アンモニア混焼可能性に関する調査

(オ) アンモニア混焼発電のパリティコストの算定

アンモニア混焼発電に係る概算コストの取り纏め

以下条件で試算した結果、(1),(2)のとおりとなった。

(1)石炭価格10円/kg : アンモニア混焼による発電単価増加額は石炭専焼に比べ + 20.4円/kWh、CO₂削減コスト約20,000円/t-CO₂

(2)石炭価格40円/kg : アンモニア混焼による発電単価増加額は石炭専焼に比べ + 7.3円/kWh、CO₂削減コスト約7,200円/t-CO₂

アンモニア調達価格が海外アンモニア35円/kg×10.7万t/年 + 地産アンモニア200円/kg×3千t/年の平均価格÷40円/kg程度の場合、石炭価格がおよそ60円/kgより高い場合、アンモニア燃料利用の方が安くなるため混焼を行うと発電単価を下げつつCO₂削減が可能になる。

【試算条件】

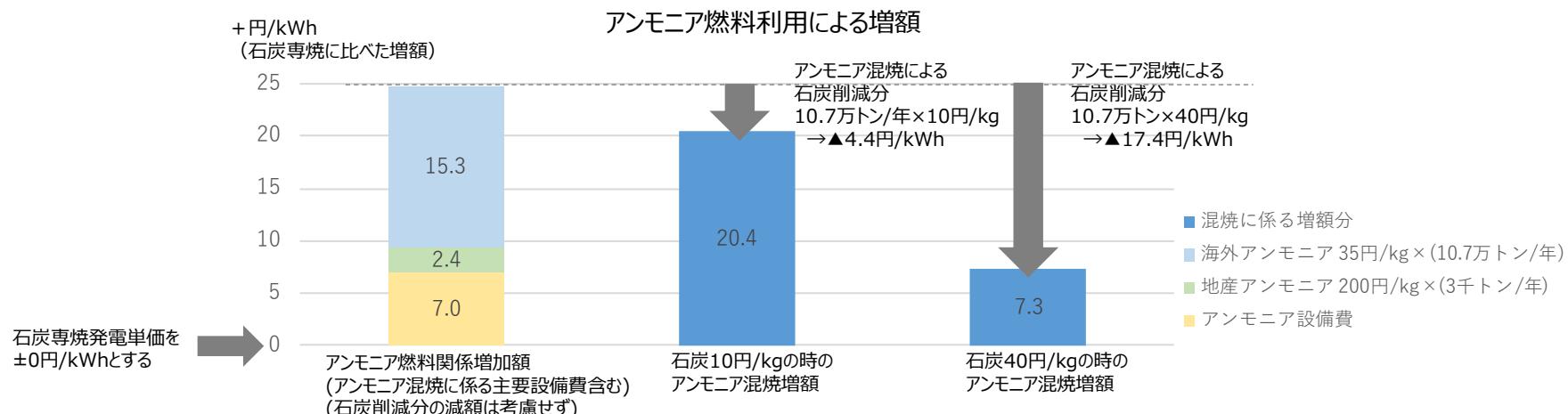
※石炭(炭種A)に対し熱量比30%でアンモニア混焼を行う、発電所設備利用率60%とする

(年間発電電力量819,936千kWh/年のうち、アンモニア分245,981千kWh/年)

※海外アンモニア35円/kg×10.7万t/年、地産アンモニア価格200円/kg×3千t/年とし、石炭価格は10円/kg、40円/kgの2パターンで検討する

※設備費200億円は主要工事のみであり、整地等の土木工事費や付帯工事等を含まない(コスト増加見込み)

※ユーティリティコスト、メンテナンスコスト等について詳細設計と合わせて適宜見直検討が必要



2-1. 具志川火力発電所における地産地消アンモニア混焼可能性に関する調査

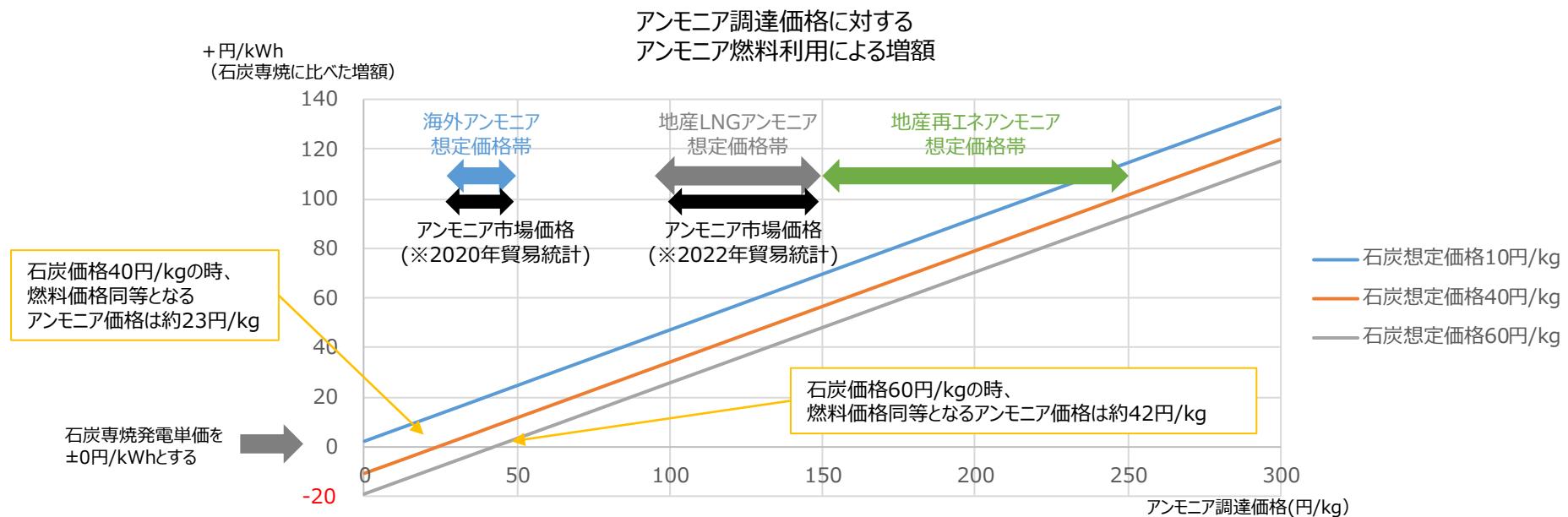
(オ) アンモニア混焼発電のパリティコストの算定

アンモニア混焼発電に係る概算コストの取り纏め

次に、アンモニア調達価格想定35円/kg～250円/kgに対し、アンモニア燃料の増額分についての試算結果を示す。

【試算条件】

- ※基本的な条件設定は前頁と同一として、熱量比30%混焼(245,981 kWh相当)に必要なアンモニア11万トン/年の調達価格に対する石炭専焼に比べた増額分をグラフに示す
- ※石炭価格10円/kg、40円/kg、60円/kgの場合の、アンモニア調達価格に対する燃料費増額分について試算した

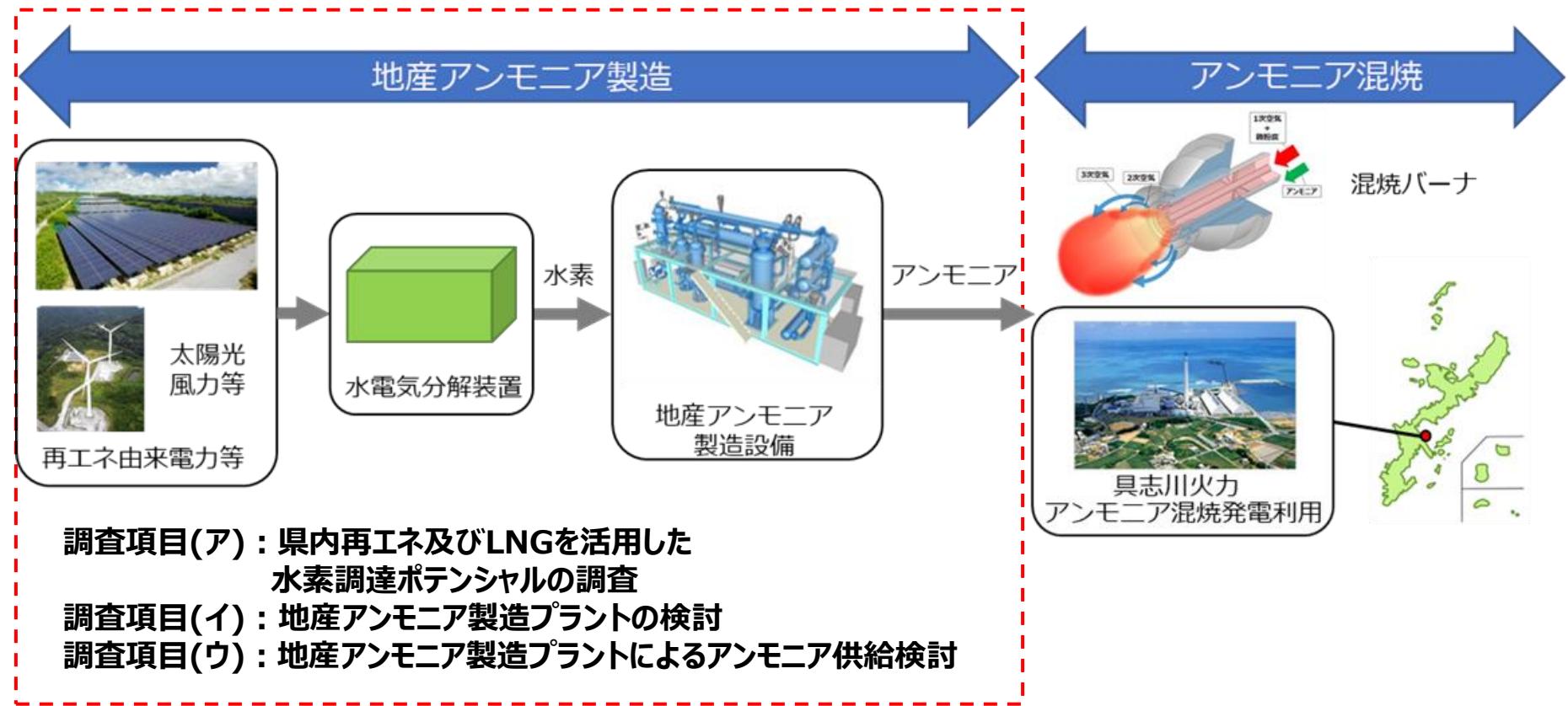


2-2. 地産アンモニア製造・供給に関する調査

2-2. 地産アンモニア製造・供給に関する調査

沖縄県内の再生可能エネルギー及び天然ガス改質等による水素製造可能量を調査し、地産燃料アンモニアの製造・供給実現可能性を検討した。また、アンモニア製造プラントの仕様や基本運用方案を検討し、概算コスト（イニシャル・ランニング）を試算した。

調査の全体像における本調査項目該当範囲（赤枠点線部）



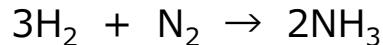
2-2. 地産アンモニア製造・供給に関する調査

(ア) 県内再エネ及びLNGを活用した水素調達ポテンシャルの調査

再エネ導入ポテンシャル等を踏まえた水素製造可能量試算

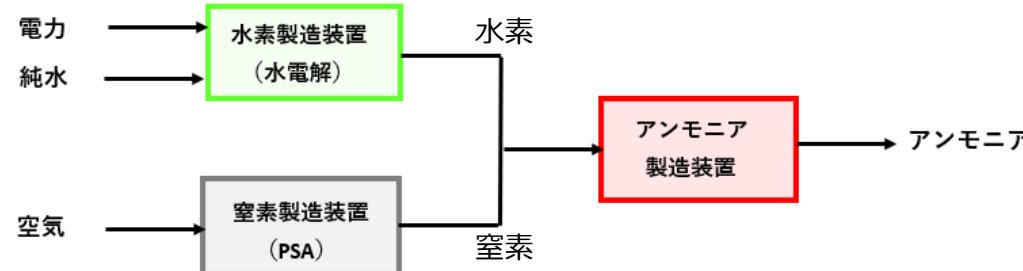
・ アンモニア製造全体概要

アンモニアの製造には、原料となる水素を調達する必要がある。

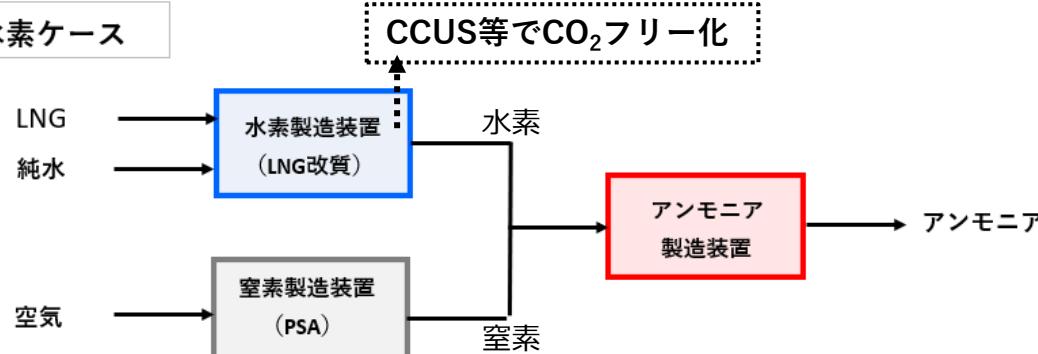


本調査では再エネによる水の電気分解により水素を製造する場合と、LNG(液化天然ガス)から水素を製造(LNG改質)する場合について検討する。

電解水素ケース



LNG改質水素ケース



2-2. 地産アンモニア製造・供給に関する調査

(ア) 県内再エネ及びLNGを活用した水素調達ポテンシャルの調査

再エネ導入ポテンシャル等を踏まえた水素製造可能量試算

・ アンモニア製造原料水素量

具志川火力発電所1号機においてアンモニアを熱量比20～30%で混焼する場合に必要なアンモニア74,000ton/年～110,000ton/年の製造に必要な原料水素量は19,000Nm³/hr～29,000Nm³/hrとなる。

再エネによる水の電気分解により水素を製造する場合と、LNGから水素を製造（LNG改質）する場合の必要原料量を下表のとおり試算した。

燃料アンモニア製造に必要な水素原料量について

原料水素製造法	項目	単位	熱量比20～30%混焼ケース
-	NH ₃ 必要量	(ton/年)	74,000 – 110,000
-	必要水素量	(Nm ³ /hr)	19,000 – 29,000
水電解	必要再エネ電力	(MWh/年)	874,000 – 1,330,000
水電解	必要太陽光設備	(MW)	665 – 1,015
LNG改質	必要LNG量	(Nm ³ /年)	74,000,000 – 110,000,000

（※：太陽光の発電効率は15%と仮定）

2-2. 地産アンモニア製造・供給に関する調査

(ア) 県内再エネ及びLNGを活用した水素調達ポテンシャルの調査

再エネ導入ポテンシャル等を踏まえた水素製造可能量試算

• 再エネ電力による水電解

再エネ電力による水電解を行う場合、太陽光設備換算で665MW～1,015MW必要であり、1kWあたり必要面積を10m²～15m²程度とする
と、合計で10km²～15km²の敷地が必要となり設置場所の確保が困難である。（参考：浦添市面積約19km²）

風力発電について、極値風速の制約により現在は沖縄県内では大型風車の導入が難しい。将来的に強風に耐える大型風力導入が可能になつた場合は、余剰電力としての再エネ利用が考えられるが、現時点で大量の電力の確保は困難である。

太陽光や風力以外の再生可能エネルギーは、沖縄県内において大きくは展開されておらず、水素製造に利用できる再生可能エネルギーの余剰電力量も少ない状況である。

• LNG改質

LNG改質の場合、下表の通り膨大な量のLNGが必要となり、大型LNG受け入れ設備が必要となる。また、CO₂フリーアンモニアを製造するには原料水素製造時（LNG改質時）に発生するCO₂の回収についても併せて検討する必要がある。

燃料アンモニア製造に必要な水素原料量について

原料水素製造法	項目	単位	熱量比20～30%混焼ケース
-	NH ₃ 必要量	(ton/年)	74,000 – 110,000
-	必要水素量	(Nm ³ /hr)	19,000 – 29,000
水電解	必要再エネ電力	(MWh/年)	874,000 – 1,330,000
水電解	必要太陽光設備	(MW)	665 – 1,015
LNG改質	必要LNG量	(Nm ³ /年)	74,000,000 – 110,000,000

（※：太陽光の発電効率は15%と仮定）

2-2. 地産アンモニア製造・供給に関する調査

(ア) 県内再エネ及びLNGを活用した水素調達ポテンシャルの調査

再エネ導入ポテンシャル等を踏まえた水素製造可能量試算

• CO₂フリーアンモニア調達可能量の検討

沖縄県内の太陽光発電設備の導入状況を参考に、最大数十MW程度の太陽光発電設備を想定した場合、製造できるアンモニアの量は数千トン/年の規模、石炭との混焼率は熱量比1%程度となる。

以上より、今回検討では数千トン/年程度のアンモニア地産を想定する。

燃料アンモニア製造に必要な水素原料量について

原料水素製造法	項目	単位	a. 20～30%混焼	b. 1%程度混焼
-	NH ₃ 必要量	(ton/年)	74,000 – 110,000	数千トン/年
-	必要水素量	(Nm ³ /hr)	19,000 – 29,000	500 – 1,000
水電解	必要再エネ電力	(MWh/年)	874,000 – 1,334,000	30,000 – 40,000
水電解	必要太陽光設備	(MW)	665 – 1,015	20 – 35
LNG改質	必要LNG量	(Nm ³ /年)	74,000,000 – 110,000,000	2,500,000 – 3,500,000

沖縄県内のメガソーラー発電所（参考）

発電所名	事業者	発電量 (MW)	敷地 (m ²)
(株)パームロイヤル	(株)パームロイヤル	1.5	18,000
いちご名護二見ECO発電所	いちごECOエナジー	8.44	146,294
うるまメガソーラー	JX	12	160,000

※各種公表資料を基につばめBHBにて作成

2-2. 地産アンモニア製造・供給に関する調査

(ア) 県内再エネ及びLNGを活用した水素調達ポテンシャルの調査

再エネ導入ポテンシャル等を踏まえた水素製造可能量試算

- 沖縄県における今後の再生可能エネルギー導入の見通し

先述した通り、現状として沖縄県における水素製造に利用できる余剰の再生可能エネルギー電力量は少ない状況であるが、2023年1月1日には、沖縄本島エリアにおいて再エネの出力制御が行われた実績もある。下記の再生可能エネルギーについては、将来的な導入ポテンシャルが大きく、これらによる発電量が今後拡大し、余剰電力量が生み出されれば水素製造に有効活用できる可能性がある。

①太陽光発電

建物の屋根等に太陽光パネルを設置する、自家消費型を中心に導入拡大が見込まれる。

②太陽熱利用

太陽光発電と競合することや、適切な選択ができるほどの多様な製品が入手可能でないことから、導入が進んでいない現状にあるが、太陽光発電と同様にポテンシャルは大きく、初期投資の優位性もあるため、今後の導入ポテンシャルは高いと考えられる。

③風力発電

沖縄県の沿岸は安定した風力発電が可能な6.0m/s以上の風速地域となっており、導入ポテンシャルは大きい。安全のための技術や制度を確保した上で、極値風速等をクリアする技術開発の取組みへの支援や規制緩和に向けた働きかけが必要。

④海洋再生可能エネルギー

島嶼県の沖縄は、海洋温度差発電、波力発電、潮流発電などの海洋再生可能エネルギーのポテンシャルは大きい。一方で初期投資の大きさや効率性の問題があり、技術も実証段階であるため、長期的な導入拡大を目指した取組を進める必要がある。

参考資料：沖縄県クリーンエネルギー・イニシアティブ【改訂版】～2050年度 脱炭素社会の実現に向けて～

2-2. 地産アンモニア製造・供給に関する調査

(ア) 県内再エネ及びLNGを活用した水素調達ポテンシャルの調査

再エネ導入ポテンシャル等を踏まえた水素製造可能量試算

- 水素調達ポテンシャルに関するまとめ

現状では、熱量比20%～30%混焼に必要なCO₂フリーアンモニアの約10万トン/年全量を地産することは困難であり、初期目標としては、数千トン/年規模の製造が考えられる。

早期にCO₂フリーアンモニアをクリーン燃料として大量に調達する場合は「海外で製造されたCO₂フリーアンモニアの輸入」が具体的なプランとなると考えられる。

再エネ水電解による水素を用いた大量のCO₂フリーアンモニア生産実現については、再生可能エネルギー量の導入拡大や超大型の水電気分解装置の調達が課題として挙げられる。

熱量比20～30%混焼に必要なアンモニアの原料となる水素を天然ガスから製造する場合は、天然ガスの消費量が膨大な為、大型のLNG貯蔵設備を増設する必要があり、加えてCO₂回収についても検討が必要となる。

LNG改質についてLNGタンクのある沖縄電力吉の浦火力発電所での製造が考えられる。発電用燃料とする場合はアンモニア燃料を製造して使用するよりもLNGのまま使用する方が効率的であり、LNG改質で製造したアンモニアを燃料利用する場合、その意義として原料水素製造時（LNG改質時）に発生するCO₂の回収は必須となる。

2-2. 地産アンモニア製造・供給に関する調査

(イ) 地産アンモニア製造プラントの検討

地産アンモニア製造プラントの概案・課題整理

• 地産アンモニア製造プラント

アンモニア製造装置は共同実施者のつばめBHBのオンサイトアンモニア製造装置として計画する。

地産アンモニアの製造規模について、小規模製造を想定しつばめBHBの数千t/年×1基のプラントを想定する。これは具志川火力発電所1号機の利用率60%を想定した場合、石炭に対し熱量比1%弱の混焼量に相当する。

アンモニア貯蔵は常温高圧若しくは低温常圧で行われる。沖縄電力具志川火力発電所の既設脱硝用アンモニアタンクは常温高圧の仕様であるが、海外で製造されたCO₂フリーアンモニアの輸入を行う場合は低温常圧で輸送されることが想定される。地産アンモニア製造後、輸送設備、貯蔵設備の要求に合わせて適宜変換が必要となる。

なお、混焼の実証試験計画のフェーズ1ではアンモニア貯蔵タンクとして具志川火力発電所の脱硝用アンモニアタンク1基(50ton、常温高圧)の利用を計画し、フェーズ2や実運用で用いる新設の貯蔵タンク(8,000ton)は低温常圧として計画している。

(フェーズ1) 改造範囲を絞り込んだ、少量混焼試験

(フェーズ2) アンモニア貯槽などの付帯設備を含め、実運用を想定した設備構築後の混焼試験

燃料アンモニア製造に必要な水素原料量について

原料水素製造法	項目	単位	a. 20~30%混焼	b. 1%程度混焼
-	NH ₃ 必要量	(ton/年)	74,000 – 110,000	数千トン/年
-	必要水素量	(Nm ³ /hr)	19,000 – 29,000	500 – 1,000
水電解	必要再エネ電力	(MWh/年)	874,000 – 1,334,000	30,000 – 40,000
水電解	必要太陽光設備	(MW)	665 – 1,015	20 – 35
LNG改質	必要LNG量	(Nm ³ /年)	74,000,000 – 110,000,000	2,500,000 – 3,500,000

2-2. 地産アンモニア製造・供給に関する調査

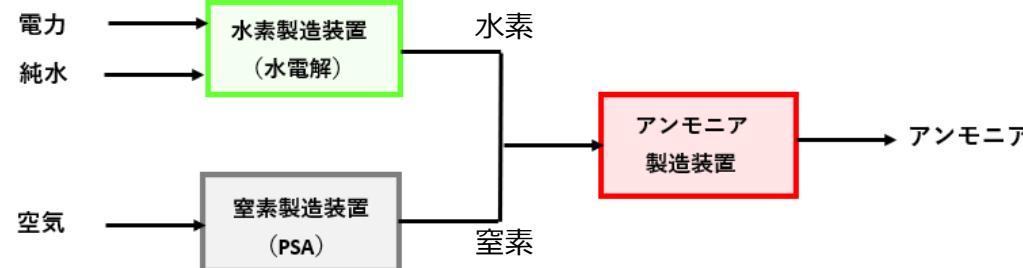
(ウ) 地産アンモニア製造プラントによるアンモニア供給検討

地産アンモニア製造プラントの仕様検討

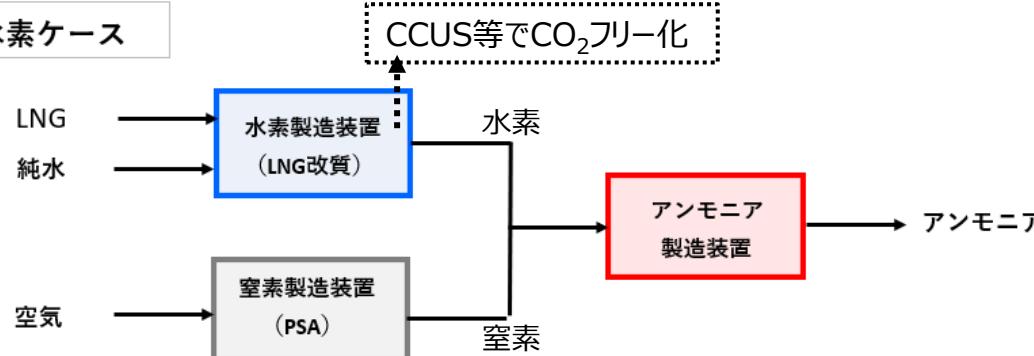
- アンモニア製造フローを以下に示す

主要装置の原理、装置仕様及び特長について次ページ以降に示す。（数千トン/年のアンモニア製造を念頭に整理）

電解水素ケース



LNG改質水素ケース



2-2. 地産アンモニア製造・供給に関する調査

(ウ) 地産アンモニア製造プラントによるアンモニア供給検討

地産アンモニア製造プラントの仕様検討

※各種公表資料を基につばめBHBにて作成

- 主要装置の原理、装置仕様及び特長（水素）

（イメージ）

原理

装置仕様

備考

アルカリ水電解方式



- 原料水を電気分解して水素を取り出す
- $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$

- 原料：水
- 品質：H₂ 99.999vol%以上
- 運転圧力：アルカリ電解方式

- Purification Unitにより水素を高純度化
- 同時に精製される酸素は大気放出する

水素製造装置

LNG水蒸気改質方式



- LNGと水蒸気をNi触媒を用い900°Cで反応させ水素を製造する
- $\text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{H}_2 + \text{CO}_2$

- 原料：LNG
- 品質：H₂ 99.999vol%
- 運転圧力：0.7MPaG

- 水素製造コストが最も安価
- 多数商業化されていて完成度が高い

2-2. 地産アンモニア製造・供給に関する調査

(ウ) 地産アンモニア製造プラントによるアンモニア供給検討

地産アンモニア製造プラントの仕様検討

- 主要装置の原理、装置仕様及び特長（窒素、NH₃）

窒素製造装置

PSA式（圧力変動吸収式）

（イメージ）



原理

- 吸着剤への酸素と窒素の吸着速度の違いで空気を酸素と窒素に分離する

装置仕様

- 窒素製造能力：276Nm³/hr
- 原料：空気
- 品質：N₂ 99.99vol%以上
- 吐出圧力：0.65MPaG

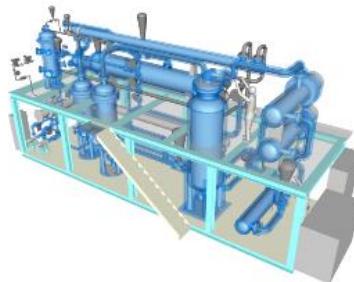
備考

- 窒素製造コストが最も安価
- 装置の構造がシンプルでメンテが容易

※各種公表資料を基につばめBHBにて作成

アンモニア製造装置

つばめBHB式



- 水素と窒素を貴金属触媒を用い5MPaGかつ375°Cで反応させアンモニアを合成する
- $3\text{H}_2 + \text{N}_2 \rightarrow 2\text{NH}_3$

- NH₃ 製造能力：数千ton/year
- 原料：水素、窒素
- 品質：NH₃ 99.8mol%以上
- 運転圧力：5MPaG
- 通常運転温度：350 - 400°C (反応塔入口)

- 低温・低圧のため建設費が安価
- HB法と比べ構造が単純
- 触媒の取り扱いが容易

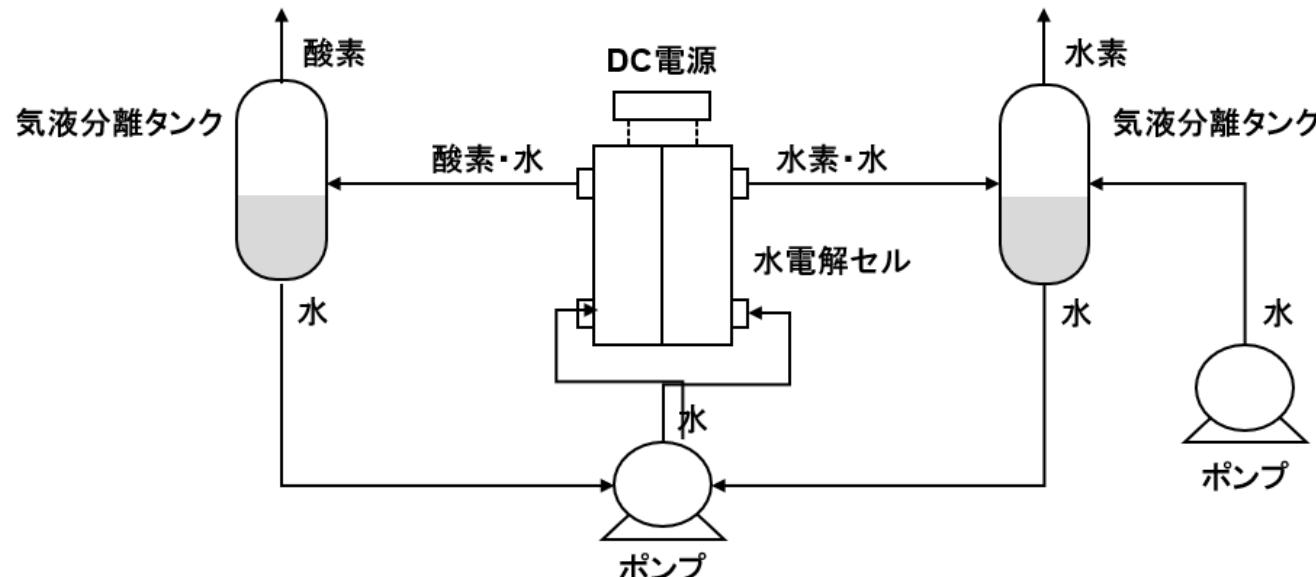
2-2. 地産アンモニア製造・供給に関する調査

(ウ) 地産アンモニア製造プラントによるアンモニア供給検討

地産アンモニア製造プラントの仕様検討

※各種公表資料を基につばめBHBにて作成

- 主要装置フロー； 水素製造装置（アルカリ水電解）



- ① 水電解セルにて水に直流電圧を印可することで、酸素・水素を発生させる
- ② 発生した水素と酸素はそれぞれ別々に電解液と一緒にセルの上部から取り出され、後段の気液分離タンクで電解液から分離され次工程に送る
- ③ 電解液は消費した分の水を追加して、循環ラインから電解槽の各電解セルへ再び供給される

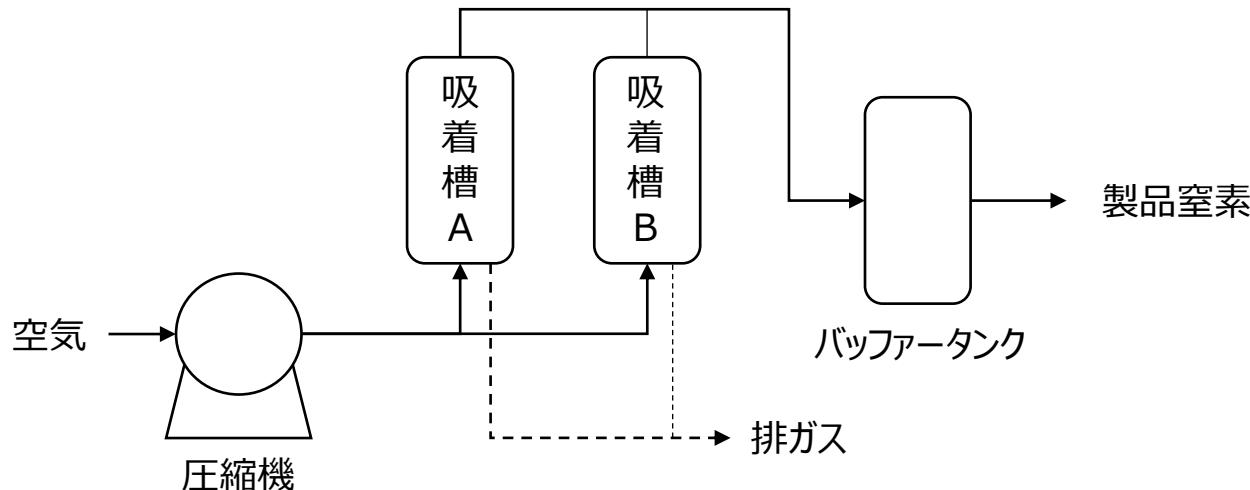
2-2. 地産アンモニア製造・供給に関する調査

(ウ) 地産アンモニア製造プラントによるアンモニア供給検討

地産アンモニア製造プラントの仕様検討

※各種公表資料を基につばめBHBにて作成

- 主要装置フロー； 窒素製造装置 (PSA式)



- ① Step-1
原料空気を吸着層Aに送ると、O₂は吸着剤に吸着しN₂のみが選択的に排出される。
一部のN₂ガスを吸着槽Bに流し前回のサイクルでO₂を吸着した吸着材を再生する
- ② Step-2
吸着槽AのO₂吸着能が低下し吸着槽A出口ガスにO₂が排出される前に原料空気を
吸着槽Aから吸着槽Bに切り替える
- ③ 上記①・②の操作を繰り返すことで高純度窒素を製造する。

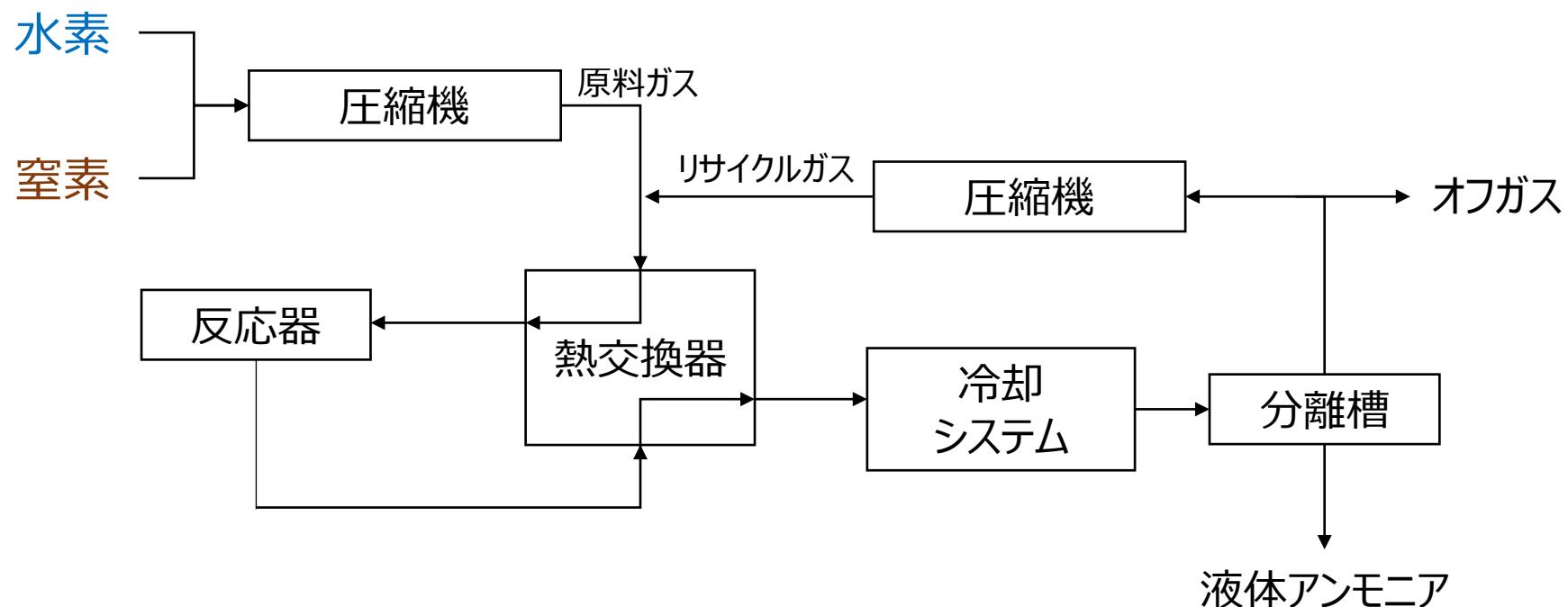
2-2. 地産アンモニア製造・供給に関する調査

(ウ) 地産アンモニア製造プラントによるアンモニア供給検討

地産アンモニア製造プラントの仕様検討

- アンモニアの合成は下記のプロセスで行われる（一部抜粋）

ブロックフロー図



2-2. 地産アンモニア製造・供給に関する調査

(ウ) 地産アンモニア製造プラントによるアンモニア供給検討

地産アンモニア製造プラントの仕様検討 (数千t-NH₃/年)

- アンモニア製造装置の通常運転時の全体ユーティリティ消費量は以下のとおりである

アンモニア製造装置ユーティリティ消費量

	電気 (kW)	冷却水 (Ton/hr) * つばめプラント内にて循環	制御空気 (Nm ³ /hr)	工水 (Ton/hr)
合計	600 - 1,000	100 - 300	数十	Max. 10

※上記消費量に含まれる装置

- 水素製造装置
- 窒素製造装置
- アンモニア製造装置
- ユーティリティ設備

2-2. 地産アンモニア製造・供給に関する調査

(ウ) 地産アンモニア製造プラントによるアンモニア供給検討

地産アンモニア製造プラントの仕様検討

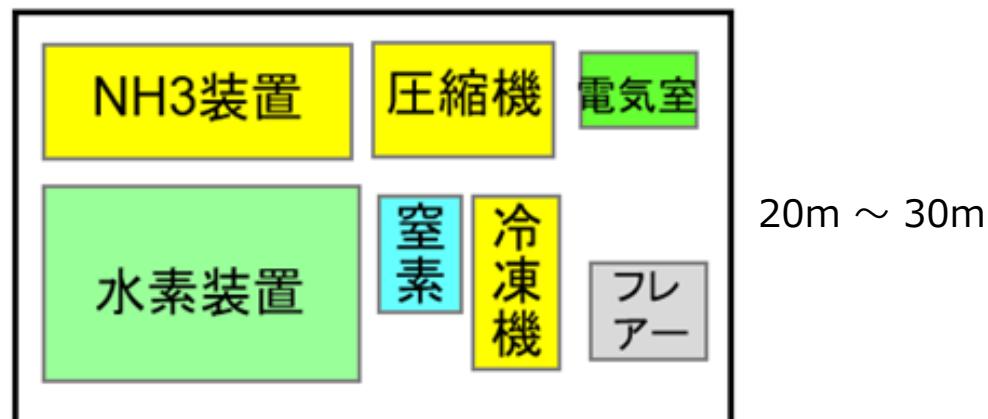
- プロットプラン

数千t/年のNH₃製造装置及び付帯設備の基本プロットプランの必要面積は500 – 1000 m²となる。

水素製造装置はLNG改質式と水電解式があるが、面積はほぼ同等。

配置イメージの例

30m~40m



2-2. 地産アンモニア製造・供給に関する調査

(ウ) 地産アンモニア製造プラントによるアンモニア供給検討

地産アンモニア製造プラントの仕様検討

- 地産アンモニア製造価格の検討に際し、前提条件は下記の通りに設定した

アンモニア混焼の検討対象発電所は具志川火力発電所であるが、今回は再エネ由来水電解と合わせて、LNG由来水素を用いたアンモニア製造の検討を行うため、設置場所はLNGタンクを持つ吉の浦火力として検討した。

地産アンモニア製造価格検討条件

前提条件	内 容
設置対象発電所	吉の浦火力発電所
アンモニア生産量	数千トン/年
水素製造装置	水電気分解／LNG水蒸気改質
液体アンモニア性状	99.8 mol%
基本運転条件	年間稼働時間7,920時間(330日／年) 定修1回/年

2-2. 地産アンモニア製造・供給に関する調査

(ウ) 地産アンモニア製造プラントによるアンモニア供給検討

地産アンモニア製造プラントの仕様検討

【再エネ由来の水素原料とした場合】

- ・ 前提条件として再生可能エネルギーの価格を10~20円/kWhとする。
- ・ アンモニア 1kg当たりのOPEXは150~250円/kg-NH₃となる。
- ・ OPEXは再エネ価格の影響が大きく、天然ガス原料時よりも割高になる。
- ・ CAPEXは水素・窒素製造設備・輸送設備を含め、10~16 億円となる。

地産アンモニア製造コスト（再エネ由来水素）

項目		金額	備考
OPEX	水素製造コスト	100円~200 円/kg-NH ₃	原料となる再生可能エネルギー価格により変動
	その他コスト	40~50 円/kg-NH ₃	(窒素製造コスト、アンモニア製造コスト、輸送費コスト、保険補修コスト、人件費含む) 電気料金等により変動
CAPEX		10~16億円	(水素製造装置、窒素製造装置、輸送設備含む) 資材市況等により変動

2-2. 地産アンモニア製造・供給に関する調査

(ウ) 地産アンモニア製造プラントによるアンモニア供給検討

地産アンモニア製造プラントの仕様検討

【天然ガスを水素原料とした場合】

- ・ アンモニア 1kg当たりのOPEXは70~150円/kg-NH₃となる。
- ・ OPEXは水素製造コストの影響が大きく、天然ガスの価格に大きく左右される。
- ・ CAPEXは水素・窒素製造設備、輸送設備を含め、10~16 億円となる。
- ・ 今回検討ではCO₂回収に必要なCCUS設備費用は含まない。設備費用が増えるためCAPEX増額となるが、CO₂関連製品の販売が可能な場合はOPEXは低下すると考えられる。

地産アンモニア製造コスト（天然ガス由来水素）

項目		金額	備考
OPEX	水素製造コスト	30円~100 円/kg-NH ₃	原料となる天然ガス市場価格(2020~2022年で約800~3,000円/MMBTU)に連動して変動
	その他コスト	40~50 円/kg-NH ₃	(窒素製造コスト、アンモニア製造コスト、輸送費コスト、保険補修コスト、人件費含む) 電気料金等により変動
CAPEX		10~16億円	(水素製造装置、窒素製造装置、輸送設備含む) 資材市況等により変動

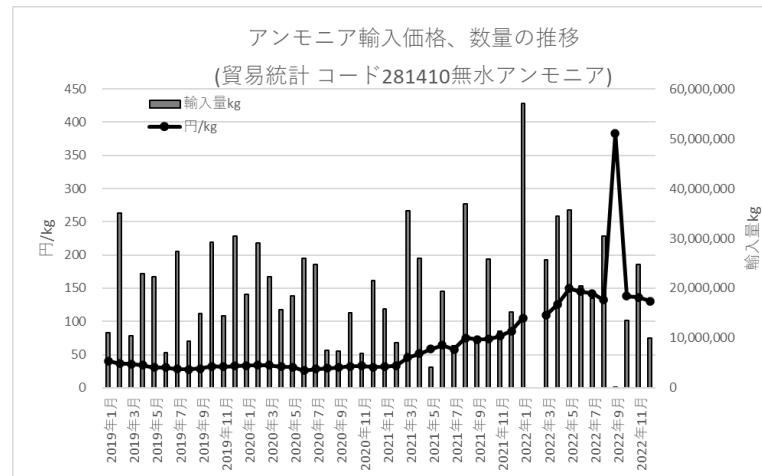
2-2. 地産アンモニア製造・供給に関する調査

(ウ) 地産アンモニア製造プラントによるアンモニア供給検討

地産アンモニア製造プラントの仕様検討

経済性に関する考察

- 地産アンモニア価格の目標値を検討した結果以下のとおりとなった。
 - 燃料として石炭同等となる目標価格（熱量あたりの価格同等）
※概算価格算定のため石炭とアンモニアの保有熱量を同等とした
2020年頃石炭 10円/kg程度 ⇄ 地産アンモニア目標価格 10円/kg
 - アンモニア市場価格同等価格を目標とする場合
2020年頃アンモニア 30～35円/kg程度（=地産アンモニア目標価格）
2022年頃アンモニア 100～150円/kg程度（=地産アンモニア目標価格）
※2022年9月は輸入数量が少なく参考対象から除外
将来目標（海外輸入） 35円/kg程度（=地産アンモニア目標価格）
- 数千トン/年規模の地産アンモニア生産の経済性について、水素原料は再エネ電力価格や天然ガス由来価格等に大きく依存する。足元で石炭価格、LNG価格が安定しておらず、定量的な比較が困難であるが、条件次第で地産アンモニアにも優位性ができる可能性がある。
- 生産量が小さいと製造設備費を主に、補修費・保険費・輸送費等の固定費が割高となるが、つばめBHBのアンモニア製造設備についてはコスト改善を継続で検討されていることも踏まえ、適宜各種条件を更新し検討したい。



※貿易統計情報を基に作成

2-2. 地産アンモニア製造・供給に関する調査

(ウ) 地産アンモニア製造プラントによるアンモニア供給検討

地産アンモニア製造プラントから既設脱硝用アンモニア設備への供給検討

- 沖縄電力の発電所では排ガス脱硝用途等にアンモニアを使用しており、燃料用途に加え脱硝用途での利用が考えられる。
- 輸送計画のイメージとして距離や輸送の所要時間を下のとおり示す。
- 脱硝用途利用については、比較対象が石炭等の燃料価格ではなく市場アンモニア価格との比較になることに加え、沖縄県内ではアンモニアは製造されておらず輸送費がかさむことなどから、地産アンモニアの活用についても今後経済性を検討したい。

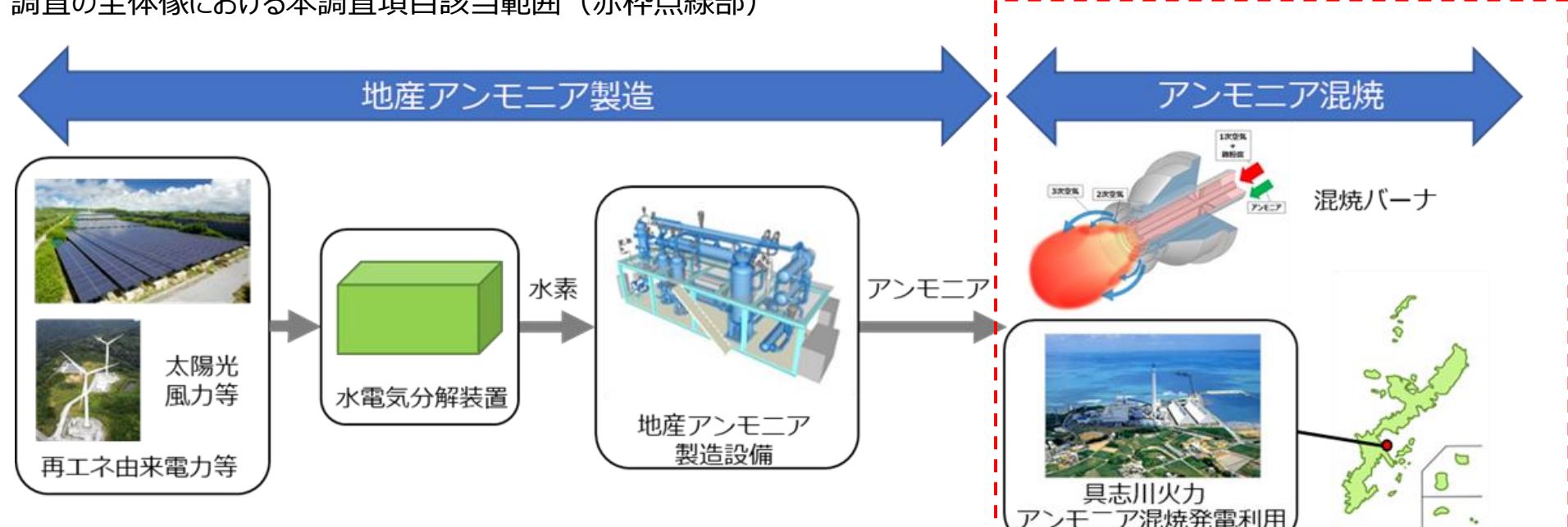


2-3. 具志川火力発電所におけるアンモニア混焼改造に関する調査

2-3. 具志川火力発電所におけるアンモニア混焼改造に関する調査

アンモニア混焼発電においてはその貯蔵・供給・混焼システムについて開発中の技術となる。本調査項目では、具志川火力発電所における初期の実機実証試験フェーズ1を目指し、アンモニア混焼発電に必要な改造設備等の基本仕様及び概算コストについて検討を行った。なお、初期実機実証においては既設設備を最大限活用したアンモニア混焼実証試験を検討した。また、次のステップである実証試験フェーズ2について、課題の整理や工程の検討を行った。

調査の全体像における本調査項目該当範囲（赤枠点線部）



調査項目(ア)：アンモニア混焼実証フェーズ1における既設設備流用検討

調査項目(イ)：アンモニア混焼実証フェーズ1における既設(ボイラ)等改造検討

調査項目(ウ)：アンモニア混焼実証フェーズ2に向けた検討

2-3. 具志川火力発電所におけるアンモニア混焼改造に関する調査

(ア) アンモニア混焼実証フェーズ1における既設設備流用検討

脱硝用アンモニア設備等既設設備を最大限活用した混焼用アンモニア供給に関する検討

具志川火力発電所1号機での石炭・アンモニア燃焼技術について、今回の机上検討では実現が期待できることが分かった。各種課題については実証試験等を行い詳細検討が必要であるが、その手法について2段階(フェーズ1、フェーズ2)での実証試験計画を検討する。

- (フェーズ1) 改造範囲を絞り込んだ、少量混焼試験
- (フェーズ2) アンモニア貯槽などの付帯設備を含め、実運用を想定した設備構築後の混焼試験

フェーズ1では不確定要素が多い段階での投資額抑制の為、設備改造範囲が小さくなるよう既設設備の流用や試験内容を検討した。フェーズ1での試験結果が良好であればアンモニア混焼実証フェーズ2に進み、その後の実運用を目指す。

・脱硝用アンモニア設備のアンモニア使用可能量の検討

既設脱硝用アンモニア貯蔵設備としては、具志川1号機及び2号機共用として、常温加圧型液化アンモニアタンクが50ton × 4基ある。アンモニア混焼実証試験フェーズ1は、1号機及び2号機共運用中に実施するため、十分な脱硝設備用のアンモニアを確保しておく必要がある。更に、実証試験による脱硝用アンモニアの制御性に影響しないよう、実証試験用のアンモニアタンクと、脱硝用アンモニアタンクは切り分けた方が良く、既設アンモニアタンク4基の内1基を実証試験で使用する燃料アンモニア用として使用し、残り3基を燃料アンモニア系統とは切り分けて脱硝アンモニア用として使用することとした。

・実証試験フェーズ1におけるアンモニア混焼率の設定及びアンモニア使用量の算出

既設脱硝用アンモニアタンクの容量から、実証試験におけるアンモニア混焼はバーナ全4段のうち1段(4本)にて実施することとし、本検討における各種設備容量は、ボイラ運転負荷156MWの時にバーナ1段(4本)に対して熱量比20～30%のアンモニアを混焼させた場合のアンモニア燃焼量を基に決定した。

2-3. 具志川火力発電所におけるアンモニア混焼改造に関する調査

(ア) アンモニア混焼実証フェーズ1における既設設備流用検討

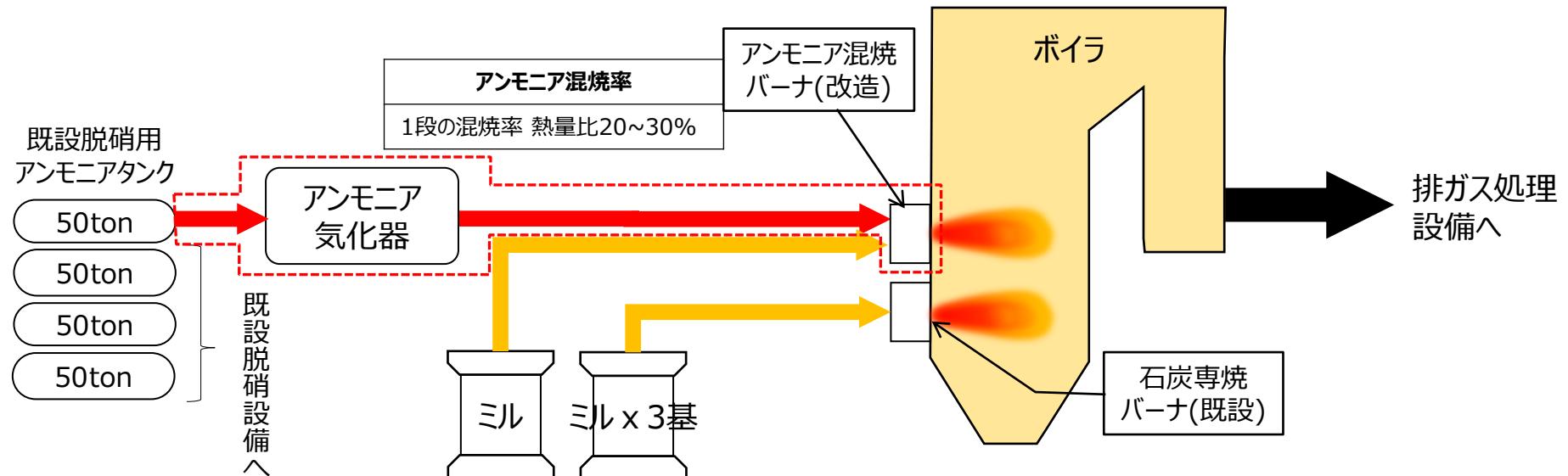
脱硝用アンモニア設備等既設設備を最大限活用した混焼用アンモニア供給に関する検討

- ・フローシート

以下に、本検討におけるボイラフロー図を記載する。

機器フロー

既設のボイラ設備に対して、破線部のアンモニア気化器、アンモニア供給配管、バルブを流量調整装置新設し、全4段の内1段の石炭専焼バーナをアンモニア混焼バーナに改造する。アンモニア混焼率はバーナ1本当たり熱量比20～30%とし、アンモニア混焼量合計はバーナ1段(4本)当たり熱量比20～30%に相当する。



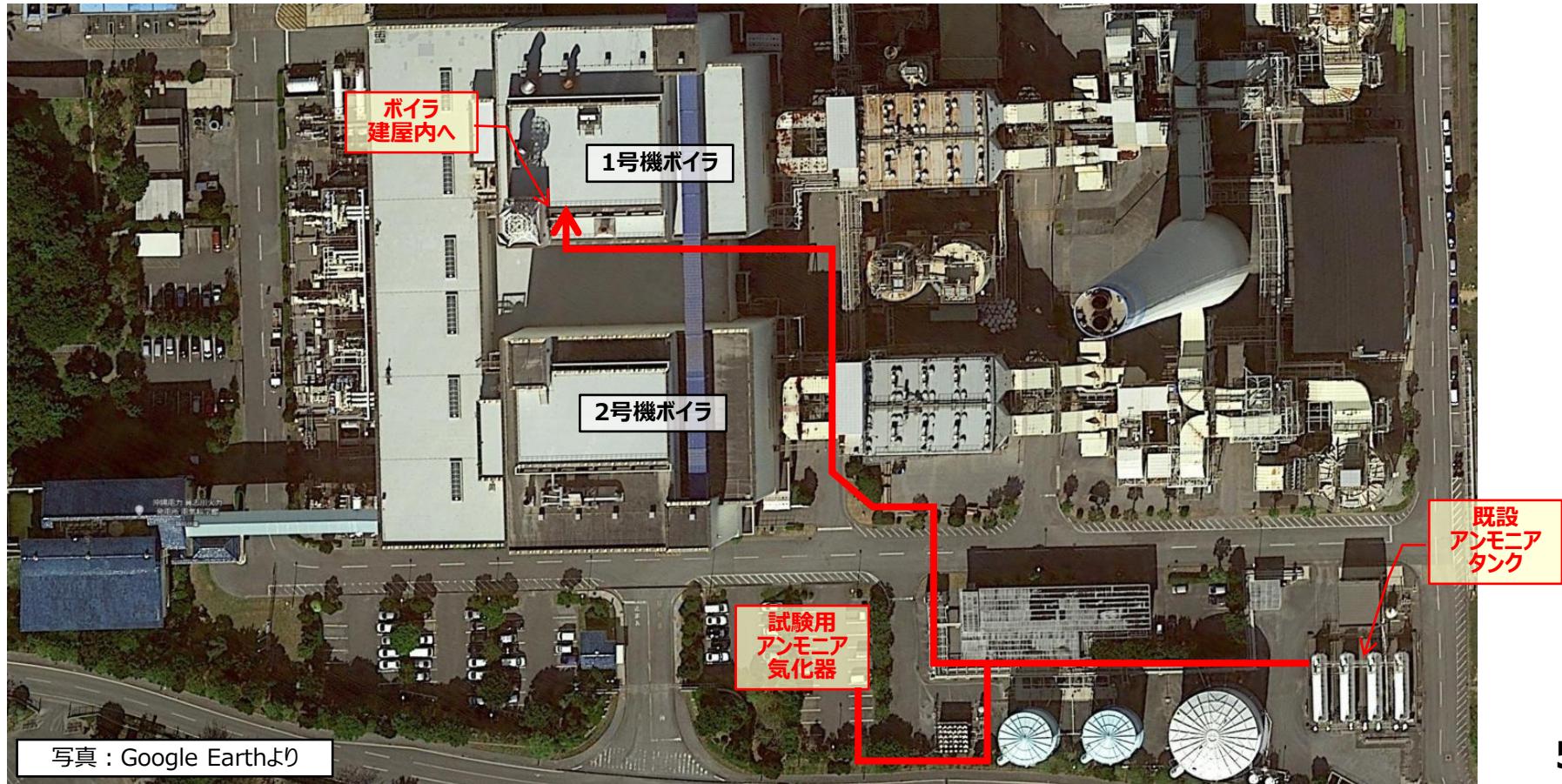
2-3. 具志川火力発電所におけるアンモニア混焼改造に関する調査

(ア) アンモニア混焼実証フェーズ1における既設設備流用検討

脱硝用アンモニア設備等既設設備を最大限活用した混焼用アンモニア供給に関する検討

- ・機器配置

以下に、アンモニア供給設備の機器配置を示す。既設機器からの消防上の保有空地を確保するため、実証試験フェーズ1用のアンモニア気化器は、現在の駐車場部に設置し、アンモニアガス配管は、既設の地下配管ピットを通りボイラ建屋内に通す配置とする。



2-3. 具志川火力発電所におけるアンモニア混焼改造に関する調査

(イ) アンモニア混焼実証フェーズ1における既設(ボイラ)等改造検討

1. アンモニア混焼における既設(ボイラ)改造範囲の整理及び追加設備の洗い出し

改造・追加機器及びその仕様を下表に示す。

2-3.(ア)フローシートに示す通り、実証試験用のアンモニアは既設脱硝用アンモニアタンクから供給するが、アンモニア気化器については、既設脱硝用アンモニア気化器では容量が不足するため、実証試験フェーズ1専用として新たな気化器を設置することとした。

バーナについては、リークアンモニアが発生しやすい最上段（最後流段）の1段をアンモニア混焼バーナに改造することとした。

また、短期的な試験で使用する設備であることから、中央制御装置との信号授受は行わないものとし、緊急遮断機能を要するアンモニア供給設備については現場盤から操作可とし、ボイラエリア内燃焼設備については現場盤からの操作または手動操作のいずれかとする。

アンモニア混焼実証フェーズ1 設備概要

項目	数量	区分	備考
アンモニア混焼バーナ			
バーナ本数	4本	改造	4本×1段（最上段＝最後流段）
アンモニア混焼率	熱量比 20~30%	-	バーナ1本当の混焼率
アンモニア供給設備			
アンモニアタンク	1基(50ton)	既設流用	既設4基中1基を実証試験に使用
アンモニア気化設備	1式	新設	最大気化量はバーナ1段(4本)当の混焼率熱量比30%相当量、蒸気気化方式
アンモニア配管	1式	新設	アンモニアタンク～アンモニア気化設備～バーナ
上記遮断弁・調節弁・計器	1式	新設	
制御装置			
アンモニア気化器制御装置	1式	新設	現場盤による制御/手動操作
アンモニア燃焼制御装置	1式	新設	現場盤による制御/手動操作

2-3. 具志川火力発電所におけるアンモニア混焼改造に関する調査

(イ) アンモニア混焼実証フェーズ1における既設(ボイラ)等改造検討

2. アンモニア混焼による既設設備への影響要素の洗い出し

- 既設設備の改造要否検討

石炭燃焼設備<改造不要>

アンモニア混焼により、石炭供給量は減少する。またアンモニア混焼運転は石炭ミル下限以上の範囲で行うものとし、石炭ミルを含めた給炭系統の改造は不要とした。

ボイラ<改造不要>

アンモニア混焼時の検討において、ボイラ各所の収熱状況は石炭専焼時に近似しており、アンモニア混焼によるボイラ耐圧部の改造は不要としたが、事前予測値と実機データの差異については、実証試験での確認事項とする。

通風設備<改造不要>

アンモニア混焼において、下記の傾向はあるが、押込通風機、誘引通風機、1次通風機、空気予熱器の改造は不要とした。

押込通風機：燃焼空気は石炭専焼時より減少する傾向にあり、下限値含めて既設での運用可能範囲である。

誘引通風機：アンモニア混焼にて燃焼ガス量が約0.4%増加し、負荷は増加するが、既設機器裕度の範囲内である。

1次通風機：石炭ミル系統は既設を流用するため既設流用可能の見込みである。

空気予熱器：石炭専焼時より空気が減少し燃焼ガスは増加するため、空気予熱器出口ガス温度は若干上昇する傾向にあるが、既設での運転可能な範囲である。

脱硝設備<改造不要>

アンモニア混焼によりNOxは上昇するものの、アンモニア混焼バーナの低NOx性能を低く見積もった最悪ベースでも既設設備能力の範囲内に収まる見込みであり、改造は不要とした。

煤煙処理設備<改造不要>

アンモニア混焼により、石炭灰由来の煤塵量は石炭燃焼量減少により明らかに減少するため、煤煙処理設備は改造することなく既設流用可能の見込みである。

脱硫設備<改造不要>

アンモニア混焼により、投入燃料全体に含有する硫黄分が減少することにより、SOx発生量は明らかに減少するため、脱硫設備は改造することなく既設流用可能の見込みである。

2-3. 具志川火力発電所におけるアンモニア混焼改造に関する調査

(イ) アンモニア混焼実証フェーズ1における既設(ボイラ)等改造検討

3. アンモニア混焼実証フェーズ1に必要な改造概算費用試算

ボイラ設備・アンモニア供給設備 概算改造費

以下に、ボイラ設備及びアンモニア供給設備の概算改造費を記載する。

アンモニア混焼実証フェーズ1 概算改造費

項目	概算金額	内 容
<u>機器改造費・試験費</u>	約15 億円	アンモニア混焼バーナ、アンモニア気化器、アンモニア燃焼設備配管及び弁類、アンモニア燃焼設備制御装置、試験費

※主要設備改造費等の概算金額
実証試験実施の際は、別途燃料アンモニアの調達費用や
運転監視、各種検討に係る人件費等が必要

2-3. 具志川火力発電所におけるアンモニア混焼改造に関する調査

(イ) アンモニア混焼実証フェーズ1における既設(ボイラ)等改造検討

4. 実証試験内容

実証試験の内容を以下に示す。

【実証試験目的】

①バーナ設定最適化試験

アンモニア混焼バーナ単体としての性能（着火性能、保炎性能）を実機で確認し、空気ダンパ等のバーナ設定を最適化する。

②ボイラ設定最適化試験

アンモニア混焼によるボイラへの影響（未燃アンモニア、NOx、N₂O、燃焼温度、石炭の未燃率、水/蒸気系への影響）を実機で確認し、二段燃焼空気比率等のボイラ設定を最適化する。

【実証試験概要】

実証試験期間	：約1か月
ボイラ負荷	：ECR50～100%
ミル運転台数	：2～4台
アンモニア混焼バーナ同時点火本数	：1～4本
アンモニア混焼率（バーナ1本当たり）	：熱量比20～30%
アンモニア使用量	：50ton（既設脱硝用アンモニアタンク1基分）× 最大4回

2-3. 具志川火力発電所におけるアンモニア混焼改造に関する調査

(イ) アンモニア混焼実証フェーズ1における既設(ボイラ)等改造検討

5. アンモニア混焼実証試験実施工程

アンモニア混焼実証試験フェーズ1 実施に向けての、機器設計・調達、各種工事及び実証試験実施の工程例を下表に示す。

アンモニア混焼実証フェーズ1 試験実施 概算工程

年度	初年度												翌年度												翌々年度			
月	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	
設計																												
機器調達																												
土建据付工事・試運転																												
実証試験																												

※バーナ周りの工事など発電所停止中にしかできない工事を含むため、
詳細工程検討時には各種調整を行い必要に応じて期間見直しが必要

2-3. 具志川火力発電所におけるアンモニア混焼改造に関する調査

(ウ) アンモニア混焼実証フェーズ2に向けた検討

1. アンモニア混焼実証課題の整理 - 発電所内設備(ボイラ設備・アンモニア供給設備)

アンモニア混焼実証フェーズ2においては、フェーズ1で得られた知見を踏まえながら、アンモニア貯槽等の付帯設備を含め、実運用を想定した設備改造を実施し、制御システムや導入機器等の運用調整を行う。

・アンモニア燃焼設備における課題の整理

アンモニア混焼バーナの最適化

ボイラ負荷変動時やミル台数変更時など、定格条件以外も含め、実運用を想定した様々な条件において、アンモニア混焼バーナの燃焼特性を確認し、空気ダンパ開度や旋回ベーン開度などのバーナ設定と、全空気比や二段燃焼空気割合などのボイラ設定を最適化する必要がある。

・排ガス処理設備における課題の整理

脱硝設備増強に関する詳細検討

アンモニア混焼によるNOx增加に備えた既設脱硝設備増強の詳細仕様について検討する必要がある。本調査事業では、アンモニア混焼バーナの低NOx性能が低い場合を想定し、脱硝設備については、脱硝触媒の改造は不要であるものの、脱硝用アンモニア供給量を増加させる改造が必要であるとの結論とした。ただし、NOx発生量はバーナの低NOx性能によるため、実証試験フェーズ1の結果を精査して改造要否を判断する必要がある。

アンモニア混焼に適した選炭基準の明確化

アンモニア混焼を行うと、石炭専焼時の同じボイラ負荷よりも、誘引通風機（IDF）と脱硝設備の負荷は増加する。

今回は特定炭種を想定して検討を行ったが、実運用においては、石炭の調達状況に応じて別炭種が使用されることも想定されるため、炭種毎個別に各機器の裕度評価を行うとともに、アンモニア混焼に適した選炭基準を明確化する必要がある。

2-3. 具志川火力発電所におけるアンモニア混焼改造に関する調査

(ウ) アンモニア混焼実証フェーズ2に向けた検討

1. アンモニア混焼実証課題の整理 - 発電所内設備(ボイラ設備・アンモニア供給設備)

・アンモニア供給における課題の整理

国内外における燃料アンモニアサプライチェーン構築の動向を注視しながら、沖縄への安定的なアンモニア調達、供給について検討を行う必要がある。沖縄のような島嶼地域においては、スケールメリットが活かしづらく、燃料アンモニアの流通価格が本土と比較して高価になることが想定される為、地産アンモニアの可能性も含めて、規模感に応じたサプライチェーンの構築が必要となる。

・アンモニア受入における課題の整理

既設揚炭バースへのアンモニア受入設備設置の実現性確認

混焼用の燃料アンモニアは1回あたりの受入量が数千トンになるため、大型輸送船(外航船)によるアンモニアの受入が必要となる。

本調査事業では、石炭輸送船(積載量60,000トン級)用の既設の揚炭バースを兼用とし、揚炭バース上にローディングアーム等の受入設備を設置する計画である。今後は、大型輸送船の揚炭バースへの着岸可否、揚炭バースの強度・改造要否の確認やバース上の運用等の詳細検討が必要である。

アンモニアの受入設備と貯蔵設備間の配管設置の実現性の確認

海側の受入設備と陸側の貯蔵設備をつなぐ配管は、石炭の受入コンベア用チューブギャラリ上に配管サポートを追加して設置する計画とされている。追加設置する配管やサポートの荷重に対するチューブギャラリの強度・改造要否の確認等の詳細検討が必要である。

・アンモニア気化システムにおける課題の整理

ボイラ負荷変動時やアンモニア混焼率変動時などの非定常運転条件におけるアンモニア気化システムの追従性の確認やアンモニア供給量の制御指針の確定等、アンモニア気化システムの運用方法について詳細検討が必要である。

2-3. 具志川火力発電所におけるアンモニア混焼改造に関する調査

(ウ) アンモニア混焼実証フェーズ2に向けた検討

1. アンモニア混焼実証課題の整理 - 発電所内設備(ボイラ設備・アンモニア供給設備)

・配置(敷地)における課題の整理

液体アンモニア貯蔵・気化設備の設置場所として貯炭場の一部を削減して設置場所として利用をすることを想定しているが、貯炭場を用地転用するための法規対応、さらに発電所の稼働を維持したまま貯炭場の改造を実施するための工事要領に関する詳細検討を行う必要がある。

・設備運用に対する課題の整理

本調査事業では、既設ボイラ制御システムに適合したアンモニア燃焼量制御システム構成を構築した。

今後は詳細設計を行うとともに、アンモニア混焼の実証試験において以下に取り組む必要がある。

- ・ボイラ負荷変動時など非定常状態でのアンモニア供給量制御指針の確定
- ・アンモニア供給量制御と既設燃焼制御システムとの連動性確認
- ・アンモニア混焼率によらず低NOxを維持するためのアンモニア混焼量に応じた燃焼空気量制御指針の確定

2-3. 具志川火力発電所におけるアンモニア混焼改造に関する調査

(ウ) アンモニア混焼実証フェーズ2に向けた検討

1. アンモニア混焼実証課題の整理 - 発電所内設備(ボイラ設備・アンモニア供給設備)

・その他

本調査事業では、既設脱硝用アンモニア設備の適用法規に従い、現行の高圧ガス保安法に則って設備設計を行ったが、電気事業法等の他法規でも同設備を規程する法規があり、最終的な適用法規に対する詳細検討が必要である。特に以下について注意を要する。

政府による法規整備への対応

政府によるアンモニア燃焼設備・供給設備に関する法規整備の動向調査を継続し、要求変更に伴う追加検討を行う必要がある。

保安防災対策の詳細検討

本調査事業では、現行の高圧ガス保安法に則った設備計画としているが、今後の政府によるアンモニア供給設備に関する法規整備の動向調査や所轄消防機関への確認など詳細検討が必要である。

アンモニアタンクのアンモニア流出防止措置の確認

本調査事業では、現行の高圧ガス保安法に則った措置としているが、今後の政府によるアンモニア供給設備に関する法規整備の動向を調査し、必要に応じて対応措置の見直しを行う。

2-3. 具志川火力発電所におけるアンモニア混焼改造に関する調査

(ウ) アンモニア混焼実証フェーズ2に向けた検討

2. アンモニア混焼実証計画の策定

アンモニア混焼実証試験フェーズ2実施に向けての、機器設計・調達、各種工事及び実証試験実施の工程例を下表に示す。

アンモニア混焼実証フェーズ2 試験実施 概算工程

年度	初年度												翌年度											
月	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
設計																								
機器調達																								
土建据付工事・試運転																								
実証試験																								

年度	翌々年度												翌々年度以降											
月	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
設計																								
機器調達																								
土建据付工事・試運転																								
実証試験																								

※バーナ周りの工事など発電所停止中にしかできない工事を含むため、
詳細工程検討時には各種調整を行い必要に応じて期間見直しが必要

3. まとめ

まとめ

- 調査結果

具志川火力発電所1号機での石炭・アンモニア燃焼技術について、今回の机上検討では実現が期待できることが分かった。

各種課題については、実証試験等を行い詳細検討が必要であるため、その手法について2段階での実証試験計画を作成した。

（フェーズ1）改造範囲を絞り込んだ、少量混焼試験

（フェーズ2）アンモニア貯槽などの付帯設備を含め、実運用を想定した設備構築後の混焼試験

具志川火力発電所1号機の利用率60%として石炭に対し熱量比30%のアンモニア混焼を行う場合で、20万トン/年規模のCO₂削減量が期待できることが分かった。

一方、現時点では地産CO₂フリーアンモニア製造を行う場合、少量・高額の調達となる可能性が高い。地産CO₂フリーアンモニアについて、少量であれば製造できる可能性があるが、大量製造するには再エネの確保が課題となる。現状では、熱量比20%～30%混焼に必要なCO₂フリーアンモニアの約10万トン/年全量を地産することは困難であり、初期目標としては、数千トン/年規模の製造が考えられる。

早期にCO₂フリーアンモニアをクリーン燃料として大量に調達する場合、「海外で製造されたCO₂フリーアンモニアの輸入」が具体的なプランとなる。地産アンモニアの活用プランとしては、海外産アンモニアを数万t/年規模で調達しつつ、地産アンモニアも数千t/年規模で調達しアンモニアを石炭に対し熱量比30%で混焼するシナリオが考えられる。

- 謝辞

地理的・地形的及び電力需要規模の制約がある沖縄県において、水力・原子力発電の開発が困難な状況であることもあり、石炭火力は不可欠な電源ですが、CO₂排出量が比較的多く対策が必要です。沖縄電力では既に石炭火力での県産木質バイオマス混焼を行っていますが、石炭火力へのアンモニア混焼は地域のさらなる脱炭素化に大きく寄与する取組みとなります。調査にあたりご協力頂きました関係者の皆さんに深く感謝します。