

令和３年度新エネルギー等の保安規制高度化事業委託調査
（水素・アンモニア発電設備等新しい発電設備に関する
保安技術等動向調査事業）

報告書

2022 年 2 月



みずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社

(空白ページ)

<目次>

第1章	本検討の目的及び調査実施体制.....	1
1.1	本検討の背景と目的.....	1
1.2	実施項目.....	1
1.3	実施体制.....	2
第2章	水素・アンモニア発電設備に係る調査検討.....	5
2.1	水素・アンモニア発電をとりまく現状.....	5
2.2	水素発電に係る調査.....	6
2.2.1	水素発電に関する導入ニーズ・技術開発等動向.....	7
2.2.2	水素発電に関する保安技術動向.....	27
2.2.3	水素発電に関する保安規制動向.....	33
2.3	アンモニア発電に係る調査.....	42
2.3.1	アンモニア発電に関する導入ニーズ・技術開発等動向.....	42
2.3.2	アンモニア発電に関する保安技術動向.....	51
2.3.3	アンモニア発電に関する保安規制動向.....	66
2.4	水素・アンモニア発電に係る保安規制改正の提案.....	81
2.5	水素・アンモニア発電に係る今後の課題.....	91
第3章	ORC 発電設備に係る調査検討.....	94
3.1	ORC 発電の概要.....	94
3.2	ORC 発電設備に係る現状の規制と事業者の要望.....	95
3.3	ORC 発電設備に係る保安規制動向調査.....	98
3.3.1	発電設備に係る技術基準の国内外の比較.....	98
3.3.2	発電設備における国内外の運用要件について.....	100
3.3.3	ORC 発電設備等における事故事例.....	103
3.4	ORC 発電設備に関する保安規制改正の提案.....	105
3.5	ORC 発電設備に係る今後の課題.....	109
第4章	まとめ.....	110

(空白ページ)

第1章 本検討の目的及び調査実施体制

1.1 本検討の背景と目的

今般、日本政府は「2050年カーボンニュートラル、脱炭素社会の実現を目指す」ことを宣言した。温暖化への対応を従来の発想から転換し、積極的に対策を行うことが、産業構造や社会経済の変革をもたらし、次なる大きな成長に繋がっていく。さらに、こうした経済と環境の好循環を作っていく産業政策を掲げた「グリーン成長戦略」も発表したところである。

電力分野の脱炭素化は大前提である。わが国が目標として掲げる 2050 年までに温室効果ガスを実質ゼロにすることに寄与すべく、特に火力発電については排出される温室効果ガスの削減や回収を目指し、石炭の代わりとなる燃料として、水素やアンモニアを用いた混焼発電、将来的には専焼発電を目標としている。水素発電やアンモニア発電の普及に向けて、発電設備の技術開発や実証実験は積極的に進められている。

この他、温暖化対応に資するバイオマス発電設備の一形態である高分子有機媒体を蒸発させて利用する有機ランキンサイクル（Organic Rankine Cycle : ORC）システムを用いた発電方式が、主にヨーロッパにおいて普及されており、今後日本国内においても普及の可能性も見込まれる。

このように従来技術等ではない新しい発電設備の導入が見込まれることにかんがみ、これら新しい発電設備のニーズや海外事例、技術動向等の実態調査を行うとともに、技術基準はじめ現在の保安規制の対応可能性の有無に係る課題を抽出し、その対応策等を整理・検討することを目的とする。

1.2 実施項目

1.1 に示す調査目的を踏まえ、以下の①から④の項目について実施する。

水素及びアンモニアを燃料とする発電方式並びに ORC システム等を用いた新しい発電設備について、以下の事項について調査・検討する。

① 導入ニーズ等動向調査

国内外で実施又は検討されている主として火力発電設備に係る新しい発電設備について、文献及び事業者等ヒアリング等により、最新動向を調査する。

② 技術開発等動向調査

新しい発電設備等に対し国内外の技術開発動向や将来見込み等について、文献及び事業者等ヒアリング等により、最新動向を調査する。

③ 現行保安規制等の調査

新しい発電設備等に関連する現行の電気事業法はじめ保安に係る諸規制について、調査・整理する。

④ 現行規制の対応の有無等諸課題の抽出と対応策の整理・検討

上記①～③を踏まえ、新しい発電設備等と技術基準はじめ現行の保安規制との関係を整理し、現行規制の対応の有無等諸課題を抽出し、その対応策（技術基準等）を整理・検討する。

1.3 実施体制

本検討の実施にあたっては、水素やアンモニアを活用した発電設備、また ORC 発電設備は、爆発性ガスや毒性ガス等を燃料とする発電設備であることから、発電設備の設計、構造、材料といった専門家に加え、化学プロセスや危険物の取扱いといった専門家、発電設備・高圧ガスの規制行政関係者、さらに電力事業・メーカーからなる「水素・アンモニア発電設備等新しい発電設備に関する保安技術等動向調査検討会」（以下、「検討会」という。）を設置し検討を実施した。

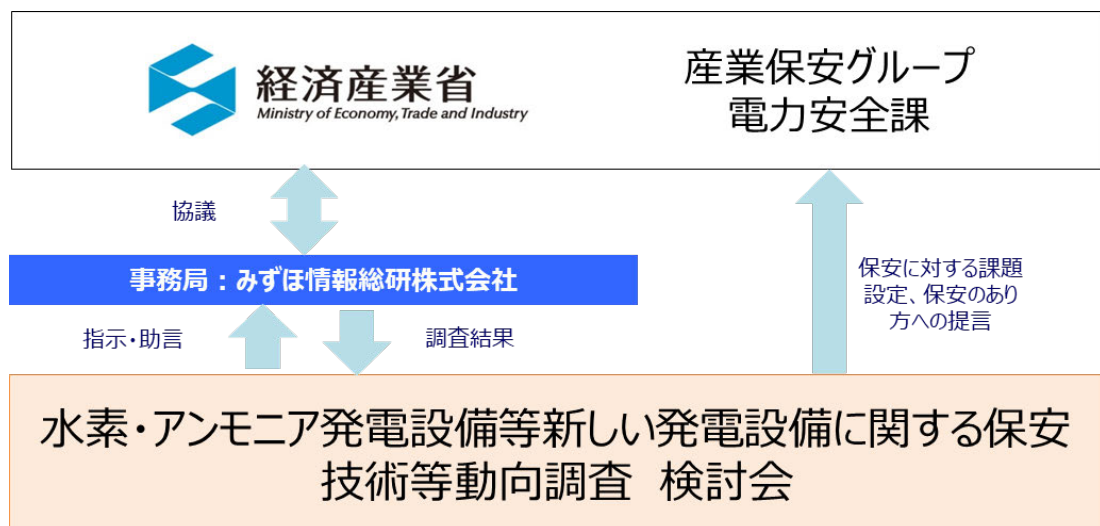


図 1.1 実施体制図

表 1.1 水素・アンモニア発電設備等新しい発電設備に関する保安技術等動向調査
検討会 委員名簿

座長（敬称略）

吉川 暢宏 東京大学 生産技術研究所 革新的シミュレーション研究センター 教授

委員（五十音順、敬称略）

明樂 光家 電源開発株式会社 開発室（開発）統括マネージャー
伊里 友一朗 横浜国立大学 大学院環境情報研究院 人工環境と情報部門 准教授
市川 和芳 一般財団法人電力中央研究所 エネルギートランスフォーメーション研究本部 研究統括室 上席研究員
一柳 真規 株式会社 JERA O&M エンジニアリング本部 技術部 脱炭素エンジニアリングユニット ユニット長
大隅 慶明 一般社団法人日本電機工業会 新事業・標準化推進部長
門脇 敏 長岡技術科学大学 大学院工学研究科 システム安全工学専攻 教授、技術経営研究科長
金子 祥三 東京大学生産技術研究所 エネルギー工学連携研究センター 研究顧問
高木 愛夫 一般社団法人 火力原子力発電技術協会 理事 技術部長
竹花 立美 高圧ガス保安協会 総合研究所／総合企画部 水素チームアドバイザー
土橋 律 東京大学 大学院工学系研究科 教授
南條 信一郎 関西電力株式会社 火力事業本部 脱炭素技術グループ マネージャー
福島 俊則 一般財団法人 発電設備技術検査協会 法定業務室 室長

オブザーバ（五十音順、敬称略）

池田 明弘 三菱重工業株式会社 エナジードメイン エナジートランジション&パワー事業本部 GTCC 事業部 プラント計画部 主席技師
岡島 裕一郎 一般社団法人 クリーン燃料アンモニア協会 事務局次長
鹿島 淳 一般社団法人カーボンリサイクルファンド イノベーション部
千代 亮 川崎重工業株式会社 水素戦略本部 技術総括部 HSE 部 副部長
齋藤 知久 電気事業連合会 立地電源環境部 副部長

園山 希	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 環境部次世代火力・CCUS グループ 主査
長井 雅史	千代田化工建設株式会社 水素事業部 部長代行 SPERA 技術セクション セクションリーダー
平山 功一	株式会社 IHI 資源・エネルギー・環境事業領域 カーボンソリューション SBU 技術センター 基本設計部 主幹

表 1.2 検討会開催状況

	開催日	主な議題
第1回	令和3年8月12日	・検討会設置主旨 ・過年度における検討状況の報告 ・具体的な調査方針・課題に対する論点出し
第2回	令和3年10月22日	・水素・アンモニア発電、ORC 発電に係る事業者からの情報提供 ・水素・アンモニア発電、ORC 発電設備のニーズ・開発動向の調査結果、規制動向の調査結果、保安上の課題の抽出
第3回	令和4年1月27日	・保安規制に係る具体的な改正方針の提案 ・今後の課題の提案

第2章 水素・アンモニア発電設備に係る調査検討

2.1 水素・アンモニア発電をとりまく現状

第6次エネルギー基本計画(令和3年10月)では、カーボンニュートラル時代を見据え、水素を新たな資源として位置づけ、社会実装を加速することを明記した。その中において、発電部門において2030年までにガス火力への30%混焼や水素専焼、石炭火力への20%アンモニア混焼の導入・普及が目標になっている。加えて、2030年の電源構成において、水素、アンモニアで1%程度を賄うことを想定する等が示されており、水素やアンモニア等を活用した新たな発電設備のニーズの拡大が見込まれる。

これらの発電形式については、現在実証事業計画が進められており、事業によっては早ければ2023年度にも設備工事が開始される見込みであることから、それまでに十分な設備上の安全性を確保するため、商用規模の発電を見据えた保安規制を整備する必要がある。

このため、水素・アンモニア発電設備に関する保安規制について、今年度中に技術的課題を洗い出し、事業者による小ロットでの実証試験の結果等を踏まえ、2022年度上期をめぐり改正を行うため、本検討にて、ニーズ、技術動向、保安規制動向の調査を行い、技術基準の改正の検討を行う。

2.2 水素発電に係る調査

水素を燃料とする発電設備については、平成 27 年度時点におけるニーズに合わせて、「平成 27 年末利用エネルギー等活用調査（水素発電に関する安全性調査）」を実施し、技術基準の見直しを実施した。平成 27 年度における水素発電に関するニーズとしては、有機ハイドライド方式、液化水素方式の 2 つの方式を想定し、技術基準の見直しを行った。

本検討においては、2050 年カーボンニュートラルを目指した新たな動向が確認されたことから、本検討において、新たなニーズ、技術動向の調査を実施し、現行の保安動向、さらに今後の保安規制に係る対応策について整理・検討を実施する。

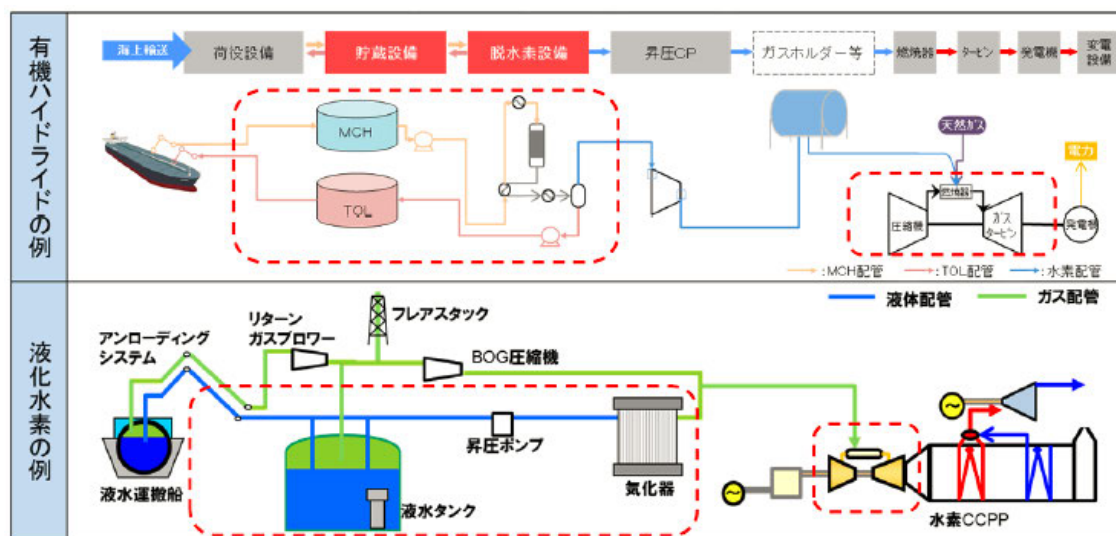


図 2.1 平成 27 年度の検討時において想定した水素の供給方式¹⁾

¹ 「水素発電に関する検討会 報告書 平成 27 年 3 月 19 日（水素発電に関する検討会）」 資源エネルギー庁委託事業

2.2.1 水素発電に関する導入ニーズ・技術開発等動向

(1) 平成 27 年時点における導入ニーズ・技術開発動向

ここでは、「平成 27 年度未利用エネルギー等活用調査（水素発電に関する安全性調査）」にて調査された、平成 27 年時点における水素発電に係る事例や技術開発動向を示す。

(a) 製鉄所での副生ガス火力発電事例

(i) 製鉄所の副生ガスの性状

製鉄所では製造過程において、水素を含む副生ガスとしてコークス炉ガス、高炉ガス、転炉ガスの 3 種類のガスが発生する。表 2.1 にそれぞれのガス組成を示す。

これら製造過程で発生する 3 種類のガスの発生量は大きく異なり、高炉ガスが 1500Nm³/t から 2000Nm³/t と発生量がコークス炉ガス、転炉ガスを大きく上回る。こうした要因から実際に発電用燃料としては高炉ガスが最も多く用いられているが、必要に応じてコークス炉ガスや転炉ガスなどを用いる場合もある。

高炉ガスは水素を体積割合として 2.9%程度含むガスであり、他のガスとの混合を考えた場合にも実際に燃料として用いられる副生ガスの水素濃度は数%に留まる。ただし、コークス炉ガスと高炉ガスなどといった性状の異なる副生ガスを混合して燃焼している実績は存在するため、水素と他のガスの混焼が行われていると考えることも可能である。

表 2.1 製鉄所における副生ガスの組成²⁾

	コークス炉ガス	高炉ガス	転炉ガス
H ₂ (vol%)	55.6	2.9	3.0
CO (vol%)	5.3	21.9	71.4
CO ₂ (vol%)	2.5	21.0	8.9
N ₂ (vol%)	4.2	53.2	13.9
CH ₄ (vol%)	30.0	0.0	0.0
発生量 (Nm ³ /t)	300	1500～2000	75～80

(ii) 製鉄所の副生ガス火力発電設備構成の例

製鉄所における副生ガス火力発電所の設備構成の例を以下に示す。

(7) ガスタービン発電の事例

まず、ガスタービン発電を行っている鹿島共同発電所 5 号機の設備構成を示す。鹿島共同発電所は新日鐵住金株式会社（以下「新日鐵住金」という）と東京電力株式会社（以下「東京電力」という）の共同出資により設立された企業である鹿島共同火力発電株式会社（以下「鹿島共同火力」という）が保有する発電所であり、新日鐵住金鹿嶋製鉄所で発生した副生

²⁾ 水素の有効利用ガイドブック（国立研究開発法人 新エネルギー・産業研究開発機構）

ガス（高炉ガス、コークス炉ガス）を燃料として発電している。

鹿島共同発電所 5 号機は出力 30 万 kW のガスタービンコンバインドサイクルの発電機を有している。製鐵所構内にはガスホルダーを設け、運転状況に応じて出力の変動が生じないように燃料となる副生ガス（高炉ガス、コークス炉ガス等）の貯蔵を行っており、燃料としてガスタービンに供給される。発電で得られた電力は所内での消費用途に加え、IPP 用としても使用されている。

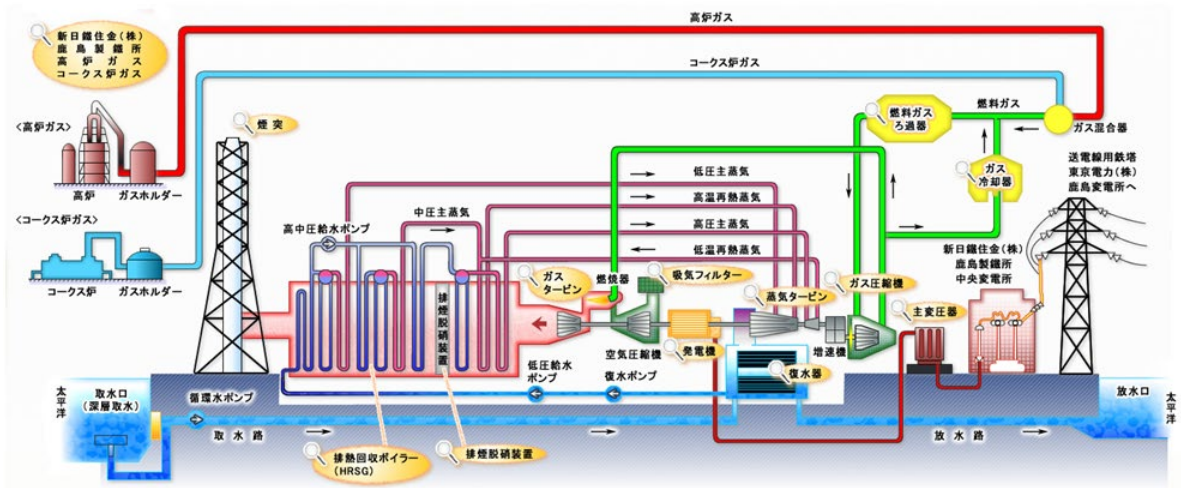


図 2.2 鹿島共同火力鹿島共同発電所 5 号機の設備構成³⁾

表 2.2 鹿島共同火力鹿島共同発電所 5 号機主要設備概要³⁾

項目	5 号ユニット	
出力	300MW	
発電方式	コンバインドサイクル発電	
ガスタービン	燃料	高炉ガス、コークス炉ガス
	出力	269MW（ガス圧縮機動力を含む）
蒸気タービン	出力	119MW
ガス圧縮機	軸動力	84MW
排熱回収ボイラー	型式	排熱回収三圧再熱 自然循環型
	蒸発量	375t/h
排煙脱硝装置	種類	乾式アンモニア接触還元法
	脱硝率	80%以上

(イ) ボイラーによる副生ガス火力発電事例

新日鐵住金室蘭製鐵所では、副生ガス専焼によるボイラー火力発電を行っている。設備概要を図 2.3 に示す。

³⁾ 出所：鹿島共同火力 HP

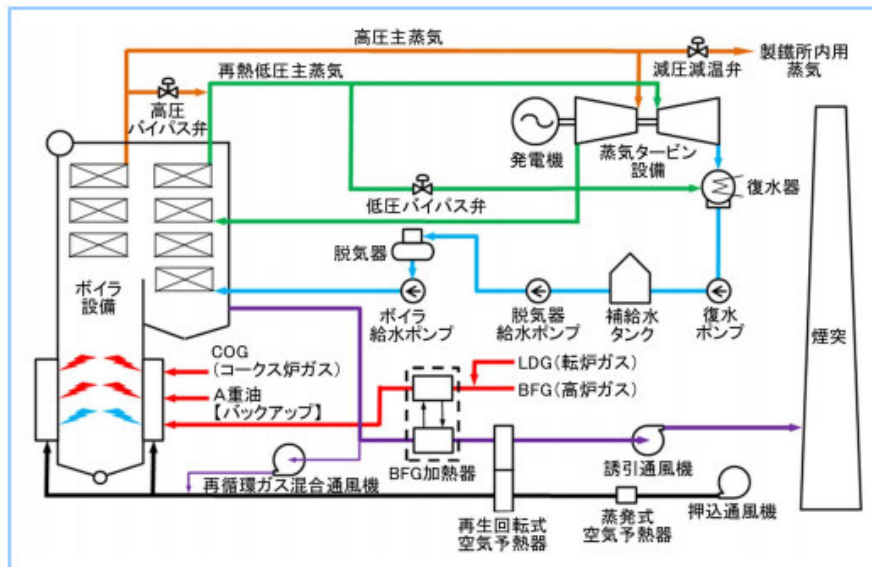


図 2.3 新日鐵住金室蘭製鐵所発電設備の構成⁴⁾

当該火力発電は副生ガス燃焼ボイラーと蒸気タービンから成るものであり、出力は125,000kW 級である。燃料としては、高炉ガス、コークス炉ガス及び転炉ガスを用いているため水素含有量としては数%程度と予想される。表 2.3 に主要な設備概要を示す。

表 2.3 新日鐵住金室蘭製鐵所発電設備の主要設備概要⁴⁾

ボイラ主要仕様	(1) 型式	三菱強制循環ボイラ単胴放射再熱型
	(2) 数量	1 缶
	(3) 最大連続蒸発量	400 t/h
	(4) 最大工場送気流量	100 t/h
	(5) 主蒸気圧力	17.1 MPaG
	(6) 蒸気温度	569/541 °C
	(7) 燃料	BFG (高炉ガス), COG (コークス炉ガス), LDG (転炉ガス), A重油【バックアップ用】
	(8) 燃焼方式	旋回燃焼
	(9) NOx 低減対策	再循環ガス混合燃焼方式
タービン主要仕様	(1) 型式	三菱串型二車室衝動式軸流排気型再燃復水タービン
	(2) 数量	1 台
	(3) 定格出力	125MW
	(4) 主蒸気圧力	16.6 MPaG
	(5) 蒸気温度	566/538 °C
	(6) 回転数	3000rpm
	(7) 排気圧力	-97.5 kPa (731 mmHg)
	(8) 冷却方式	海水
制御システム	(1) 型式	DIASYS Netmation

⁴⁾ 出所：「新日鐵住金(株)室蘭製鐵所向け 125MW 副生ガス焚き発電設備の完成」三菱重工技報 Vol.50 No.3 (2013) 発電技術特集

(b) 製油所での副生ガス火力発電事例

(i) 製油所での副生ガス火力発電における燃料の性状

製油所では製造過程において水素を含む余剰ガスが大量に発生しており、これらを燃料として発電が行われている例が複数ある。製油所で発生する副生ガスの組成としては、最大で 99.4%体積割合の水素が含まれているという報告もある。

表 2.4 製油所における副生ガスの平均組成及び圧力^{5)、6}

	平均	最大	最小
温度[℃]	31.9	140.0	15.0
圧力[MPa]	1.5	8.6	0.2
組成[%]			
H2	51.1	99.4	7.0
C1	20.8	39.1	0
C2～C4	26.9	—	—
CO	0.3	—	—
CO2	0	—	—
N2	0.8	—	—
O2	0.1	—	—

大規模な発電の例として、JX エネルギー株式会社（現、ENEOS 株式会社）の根岸製油所における残渣油ガス化複合発電（残渣油 IGCC）がある。残渣油 IGCC では、燃料となるガスは超重質油のガス化設備における燃焼と、生成ガスからの硫化水素の除去（以下、「パージ」という）を経て、最終的に水素と一酸化炭素が主成分のものとして作られる。ガス化を経て得られた燃料ガスは水素を 45%、一酸化炭素を 49.5%程度含むものとなっている。

実際に燃焼器内での燃焼の際には、NO_x 排出量の低減を目的に上述の燃料ガスに窒素を加えることで希釈を行っており、水素の割合としては 23.5%程度となる。一方で、起動停止時などには水素割合が 100%に近いガスでの運用も行われている。

(ii) 製油所での副生ガス火力発電の設備構成

製油所自家発電所の燃焼設備としては、ボイラーによるガス燃焼やガスタービンによるガス燃焼がある。

特に比較的新しい設備では、残渣油をガス化した燃料を用いてガスタービンと蒸気タービンを組み合わせたコンバインドサイクルによる発電する残渣油ガス化複合発電（IGCC）

⁵ 出所：「製油所の副生水素の発生実態と利活用技術」（「Best Value No.20」2008.9）株式会社価値総合研究所

⁶ C1、C2-C4 は炭素とその原子数を示す

という形態もみられる。製油所における副生ガス火力発電所の設備構成の一例として、JX エネルギー株式会社根岸製油所における残渣油 IGCC の設備構成を図 2.4 に示す。

根岸製油所では 2003 年から残渣油 IGCC による発電所の営業運転を開始しており、これは日本で初めての残渣油 IGCC 設備である。発電能力は 43.1 万 kW であり、発電した電力は東京電力への IPP 用として利用されている。

残渣油 IGCC では余剰の残渣油を酸素と高圧蒸気により部分的に酸化することで、燃料ガスを生成している。生成された燃料ガスはガス洗浄設備において硫化水素を取り除いた後に、燃料として供給される。この時、生成された燃料ガスは水素を多く含み断熱火炎温度が高いため、直接燃料として利用すると NO_x が多量に発生する。これを防ぐため、根岸製油所の残渣油 IGCC では燃料ガスは窒素による希釈をした上で燃焼器に供給されている。

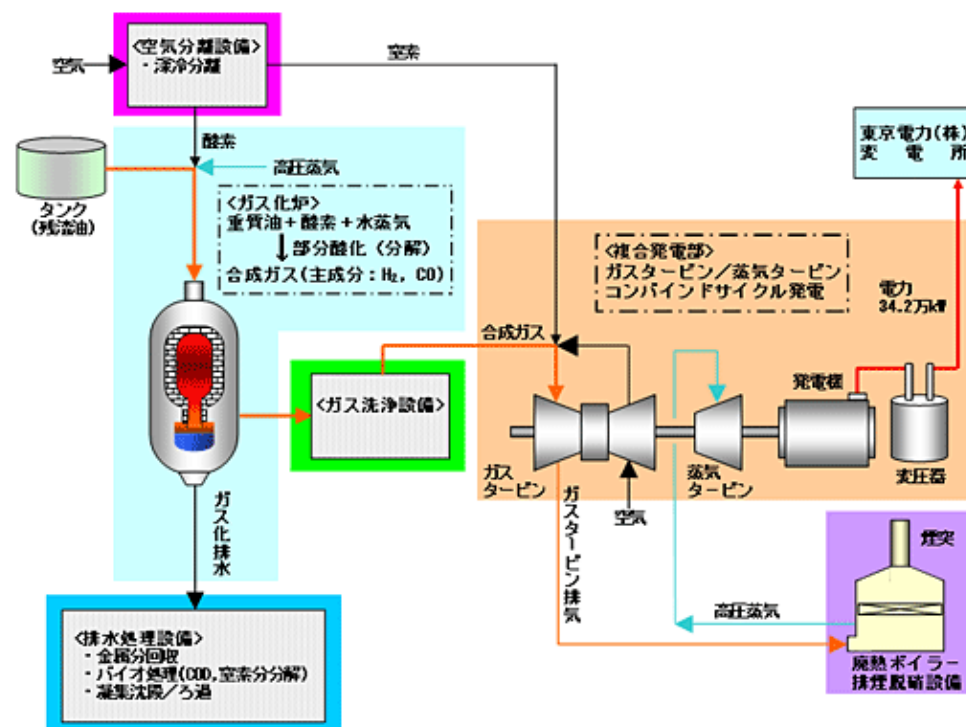


図 2.4 根岸製油所 IGCC 工程図⁷⁾

⁷⁾ 出所：平成 27 年度未利用エネルギー等活用調査（水素発電に関する安全性調査）

表 2.5 根岸製油所 発電設備の主要設備概要 7)

発電所総合	発電能力	43.1 万 kW (効率 46%)
	送電能力	34.2 万 kW (効率 36%)
ガス化設備	燃料	残渣油 (アスファルト)
複合発電設備	発電方式	一軸型コンバインドサイクル
ガスタービン	主燃料	合成ガス (主成分: CO, H ₂)
	燃焼温度	1350℃級 (一段静翼入口)
	排ガス温度	570℃
	動翼材質	Ni 基超合金
	高温部品 冷却方式	空気冷却
蒸気タービン	蒸気圧力	9.8(高圧)/2.9(中圧)/0.7MPaG(低圧)の 3 系統

(c) イタリア Enel 社における水素発電の事例

(i) Enel 社の概要

Enel 社はイタリア最大の電力・ガス会社であり、40 か国において発電、分配、売電を手掛けている。再生可能エネルギーを利用した発電にも積極的に携わっているがそれと同時に、Enel 社は IGCC や CCS などの環境性に優れた火力発電技術の研究開発を進めている。

Enel 社は 2007 年から 2013 年まで水素を燃料とした火力発電に関するプロジェクトを進めており、プラントの設計・建設・運転はベネチア付近の Fusina 発電所で行われた。



図 2.5 (左) Fusina 発電所の場所 (右) Fusina 発電所全景 7)

(ii) Enel 社における水素発電プロジェクトの概要

Fusina Hydrogen Project では、2007 年～2013 年まで Enel 社の Fusina 発電所において pre-combustion 型の CCS を IGCC と組み合わせた発電を想定して、水素リッチガスを用いた発電の実証を行うとともに低 NO_x 排出の水素燃焼ガスタービンの開発や、高温ガスが燃焼器やタービン翼へ与える影響の究明を目的とした研究開発を進めていた。

プロジェクトは大きく Fusina 発電所における水素発電プラントの設計、建設、運転に関するものと、燃焼器の開発があった。燃焼器開発の主な目的は水素燃焼ガスタービンにおい

て問題となる NO_x 排出量の低減であった。また、水素燃焼が材料に与える影響については、欧州連合の FP7 プロジェクトである H₂IGCC に参画して研究を行っていた。

しかし、経済的な問題から当初予定されていた 2014 年以降の Fusina 発電所におけるプロジェクトの継続は困難になり、現状 Enel 社において水素発電プロジェクトは再開の計画はない。

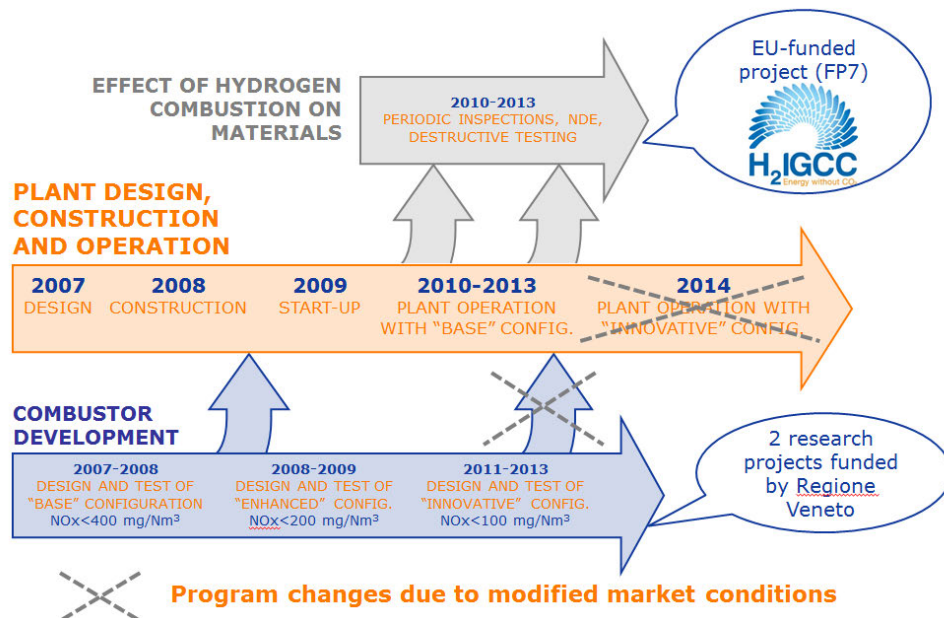


図 2.6 Enel 社の水素発電プロジェクト計画 7)

(iii) 水素ガスの供給と配管設備

水素発電プロジェクトでは、Fusina 発電所に隣接する石油化学プラントからパイプラインを用いて水素リッチガスを発電所に供給することを行った。

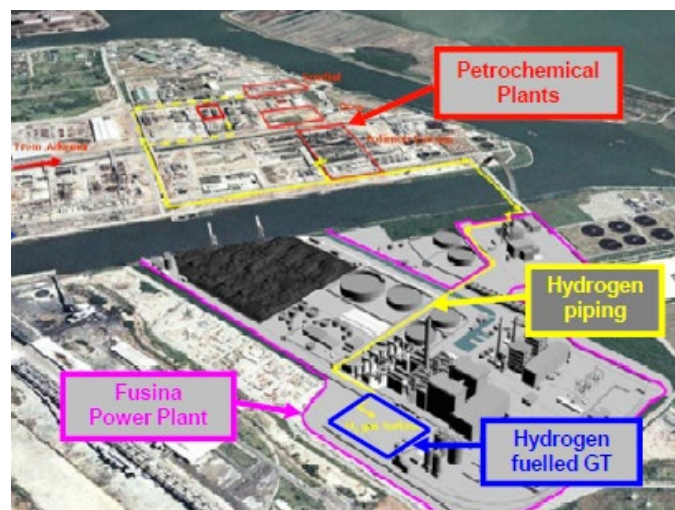


図 2.7 Fusina 発電所の構成 7)

石油プラントから供給されている副生ガスの性状は以下の通りである。水素の割合は 96%と副生ガスの大半を占めるが、メタン等その他のガス種も成分として含まれている。

表 2.6 石油プラントから Fusina 発電所に供給される副生ガスの性状⁷⁾

ガス種	体積割合[%]
水素	96%[94-99%]
メタン	<4%
窒素	<1.5%
一酸化炭素	<0.2%
エチレン	<0.01%

供給パイプラインの長さは 4 km におよぶ。パイプラインの鋼材としては、ASTM International（米国試験材料協会）規格（以下「ASTM」という）の炭素鋼 ASTM A333 GR. 6 Seamless Pipe を用いている。ASTM A333 GR.6 Seamless Pipe は低温配管用炭素鋼であり、対応する JIS 規格材料として STPL380 がある。当該材料を使用している理由としては、水素脆化の影響を受けづらい材料として引張強さの低いものを選択し、配管の設計圧力は 4MPa、使用圧力は 2.5MPa から 2.9MPa とのことであった。また配管の設計温度は -10℃から 90℃、実際の使用温度は 0℃から 50℃で、配管は事前に窒素パージを行った上で、すべて溶接で接合しているとのことである。

表 2.7 水素供給パイプラインの材料と使用条件⁷⁾

材料	圧力[MPa]		温度[℃]	
	設計圧力	使用圧力	設計温度	使用温度
A333 GR.6 (炭素鋼)	4	2.5～2.9	-10～90	0～50

(iv) ガスタービン

Fusina 発電所ではガスタービンコンバインドサイクルで発電がなされている。ガスタービンとしては、GE (Nuovo Pignone) 製の 12MW 級のものを用いており、蒸気タービンの 4MW の発電と組み合わせて全体で 16MW の発電が可能である。燃焼器としては拡散燃焼方式を採用している。蒸気タービンと組み合わせたコンバインドサイクル全体の効率は 41.6%となる。

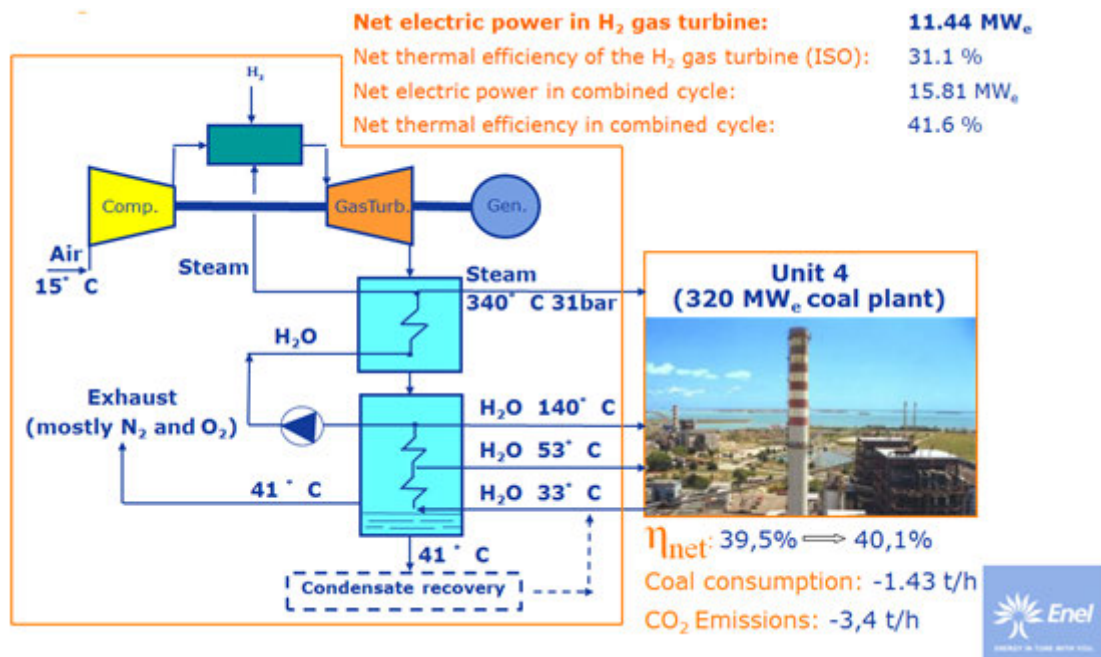


図 2.8 : Enel 社 Fusina Plant の設備構成図 7)

Fusina 発電所で使用されていた燃料は水素と天然ガスの混合物であり、性状は水素 76%、メタン 22%であった。Fusina 発電所では水素濃度が 80%を超える運転は行っていないとのことであった。

ただし、Enel 社は Sesta Lab では燃焼器の開発では、水素濃度 80%よりさらに高濃度の水素を燃料として用いていた。Sesta Lab はガスタービン燃焼の研究所であり、1995 年に Enel 社によって設立された。現在研究所は政府企業である Consorzio per lo Sviluppo delle Aree Geotermiche が所有するものとなっている。

ガスタービンの使用条件については、圧力は 1.5MPa、温度は 1030℃とのことであった。ガスタービンの材料としては主に Ni ベースの合金を用いている。

表 2.8 水素燃焼ガスタービンの使用条件 7)

材料	ガス性状	圧力[MPa]	温度[°C]	水素標準流量 [Nm ³ /h]
Ni ベース 合金	水素 : 76% メタン : 22%	1.5	1030	12000

水素割合の高い燃料の利用に伴う逆火については、空気や蒸気を注入して火炎の逆流の対策を行っていた。一方で、高温状況では蒸気がタービン材料に与える影響は無視できないというコメントもあった。水素燃焼に伴い注入する蒸気量が多くなるとタービン温度が上昇するために耐久性能に影響するとのことであった。

発電所の保安規制については水素燃焼ガスタービンについて特別に課されるものは確認

できなかった。

なお、ガスタービン以外で水素燃焼ボイラーによる発電を検討していたかについては、ボイラーではガスタービンコンバインドサイクルに比べて効率がかなり低くなるため検討はしていないとのことであった。現在の Fusina 発電所での効率は 40%とボイラー発電に大きく効率で勝るものではないが、設備規模を大きくすることと排熱回収ボイラーを改善することで 60%程度の効率実現が可能であると考えており、従って効率の観点からガスタービンコンバインドサイクル発電がボイラー発電に比べて勝ると考えているということが理由として挙げられた。

(2) 水素発電に関する主な実証事業事例

水素発電については、平成 28 年に実施された火力発電に係る技術基準の改訂以降、国内において水素発電の実証事業が実施され、様々な技術開発が行われた。ここでは平成 28 年以降の主な実証事業や技術開発の事例を示す。

(a) NEDO 事業における川崎重工・大林組等の実証事例

NEDO 事業にて、平成 29 年より神戸市市街地において純水素によるガスタービン発電による熱電供給を実施。当初は天然ガスとの混焼発電での実証であったが、令和 2 年に水素 100%での発電を実現した。また、ガスタービンは 1,100kW、熱供給は 2,800kW であり、近隣の病院、スポーツセンター、展示場等に、熱及び電気を供給。また、令和元年に新たに開始した「水素社会構築技術開発事業」では、ドライ低 NOx 水素専焼ガスタービンの技術実証試験を開始し、成功した。



図 2.9 実証実験を実施した神戸ポートアイランドに設置した実証プラント⁸⁾

⁸⁾ 出所：NEDO HP

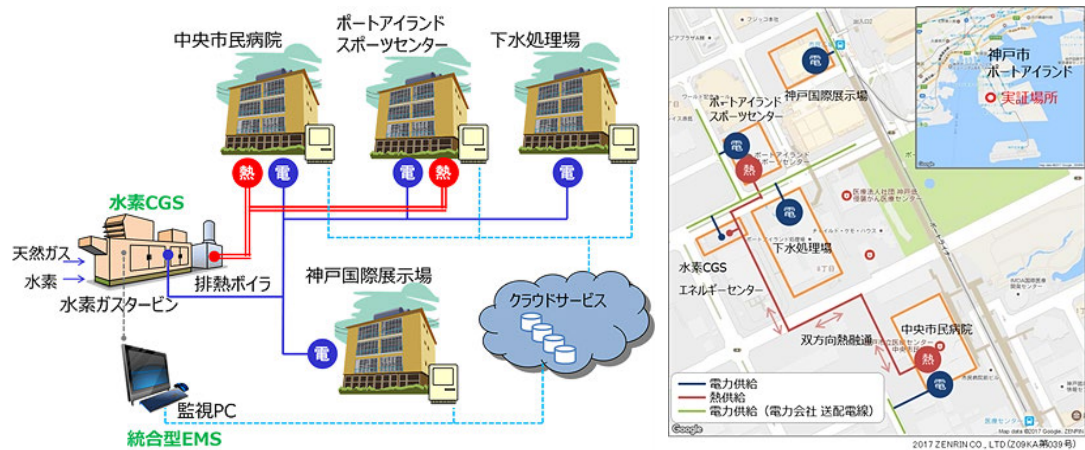


図 2.10 水素 CGS の概要 ⁷⁾

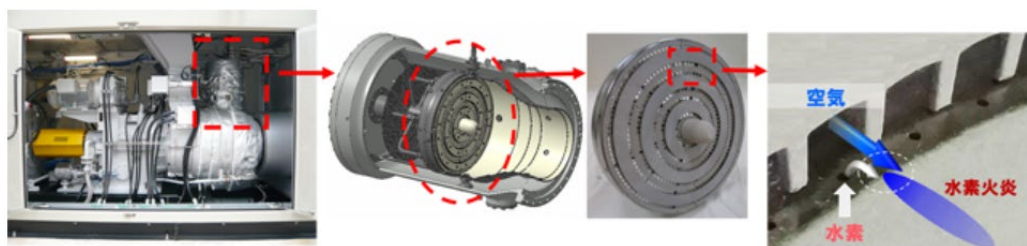


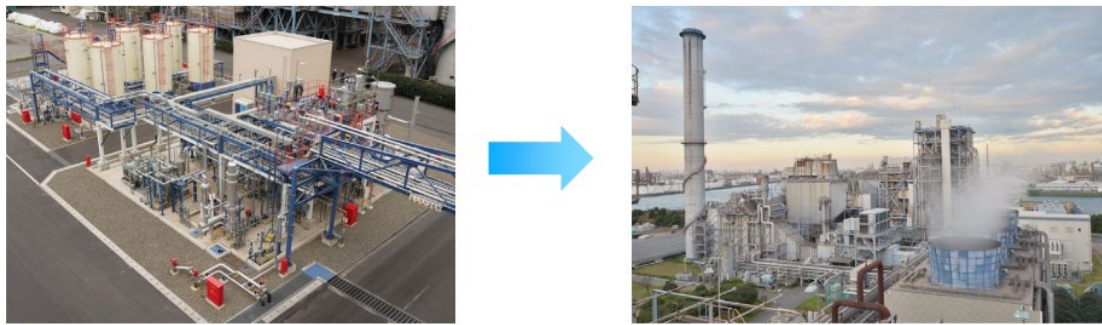
図 2.11 ドライ低 NOx 水素専焼ガスタービンと「マイクロミックス燃焼」 ⁹⁾

⁹⁾ 出所：NEDO ニュースリリース
(https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101337.html)

(b) MCH 方式による水素発電の実証事例

千代田化工建設では、2013 年～2014 年にかけてデモプラントにおいてメチルシクロヘキサン（MCH）から水素の分離を 10,000 時間達成した。

MCH を活用した水素発電を含むサプライチェーンの実証実験を 2020 年に実施。水素は、ブルネイにて生産を行い、MCH として日本国内に輸入することを想定。水素発電の実証実験は、東亜石油株式会社の京浜製油所のガスタービン発電（80MW）にて実施。



川崎臨海部脱水素プラント

水素供給先ガスタービン

図 2.12 MCH 方式による水素発電の実証事例 ¹⁰⁾

(c) 三菱重工業における水素混焼・専焼ガスタービンの開発

三菱重工業株式会社においては、脱炭素社会に向けた動きの中で、水素焚きガスタービン複合発電（GTCC）の開発を行っている。その中で、大型ガスタービンで天然ガスに水素を 30%混ぜて使用できるガスタービンの燃焼器を完了し、今後、水素専焼方式ガスタービンの開発を行っている。

水素混焼用の Dry Low NO_x（DLN）マルチノズル燃焼器の開発として、水素混焼による逆火リスク上昇を目的に従来の燃焼器をベースに開発を実施し、新型燃焼器では、ノズル先端から空気を噴射し、渦芯の流速を上昇させ、低流速領域を補い、逆火を抑制することに成功した。本開発において、水素混焼 30%では、逆火が確認されない成果を得ることができた。

水素専焼用マルチクラスタ燃焼器の開発においては、水素濃度が高くなると、旋回流による燃料と空気の混合方式では、低流速域で発生する逆火のリスクが高くなる。そのため旋回流を利用せず、IGCC 用マルチクラスタ燃焼器をベースに開発を実施し、より多くのノズルを有しノズル孔を小さくし、分散することで高い逆火耐性と低 NO_x の可能性を有し、今後の開発が期待される。

¹⁰⁾ 出所：次世代水素エネルギーチェーン技術研究組合資料

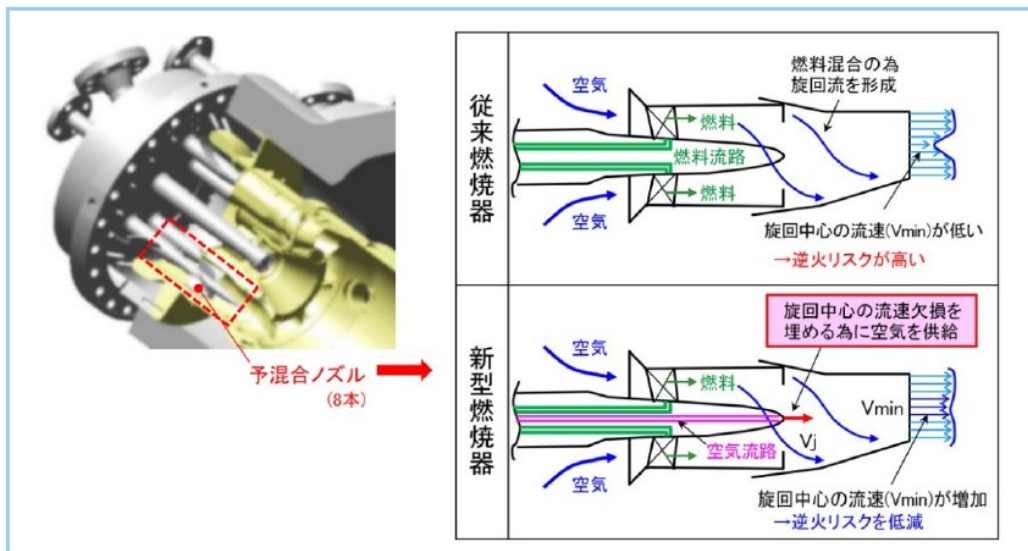


図 2.13 水素混焼燃焼器の開発¹¹⁾

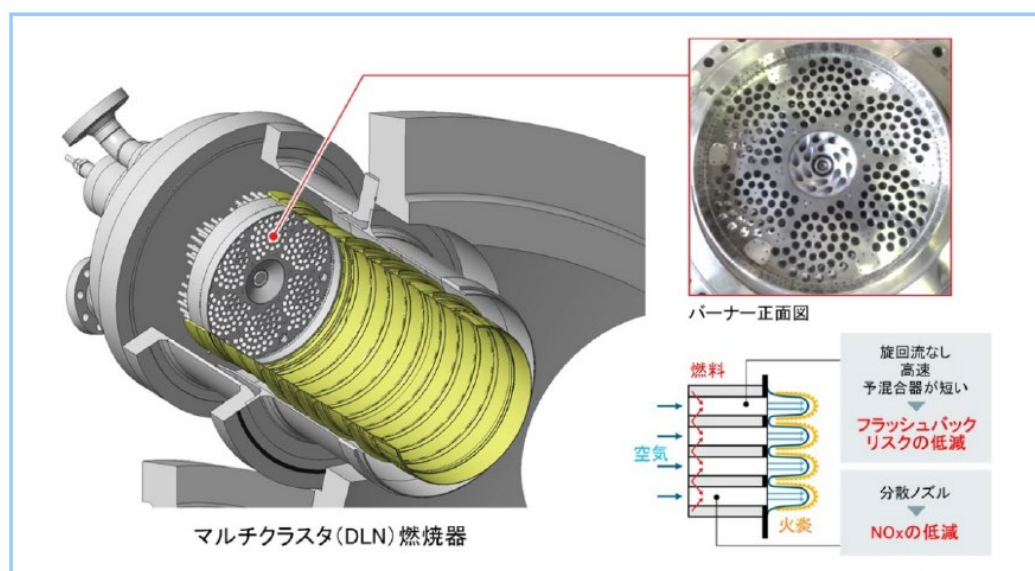


図 2.14 水素専焼混焼機の開発¹¹⁾

¹¹⁾ 出所：脱炭素社会に向けた水素・アンモニア焚きガスタービンの開発（三菱重工技報 Vol.58 No.3 (2021) 三菱パワー特集）

(3) 今後の水素発電のニーズ・技術動向

今後のカーボンニュートラルの実現に向けては、大規模水素発電、さらに自家用発電に関する技術開発のニーズが確認された。また、技術的な動向としては、大規模水素発電に向けた技術開発・実証事業の計画のほか、液化水素関連機器の研究開発に資する材料評価基盤の整備が期待されている。

以下の表に主な水素発電のニーズや技術動向を示す。

表 2.9 今後の水素発電のニーズ・技術開発動向

テーマ	主なプレイヤー	概要
大規模水素サプライチェーンの構築	日本水素エネルギー、ENEOS、岩谷産業	複数の水素キャリア（液化水素、MCH）で、水素の輸送設備の大型等の技術開発、大規模輸送の実証を実施
水素発電の実機実証（混焼・専焼）	JERA、関西電力、ENEOS、三菱重工業	事業用発電への水素利用を睨み、水素ガスタービン発電技術の開発を行うべく、実証運転を実施
石炭火力発電からの水素の分離利用	大崎クールジェン、Jパワー	石炭ガス化炉で生成される合成ガスから、水素を取り出し、燃料電池で発電を実施、将来的には、水素発電まで拡大する計画
大規模液化水素貯槽の技術開発	川崎重工業、トーヨーカネツ	大規模液化水素貯槽の技術の研究開発を実施
大規模液体水素貯槽の技術基準作成	高圧力技術協会	高圧力技術協会にて大規模水素貯槽の技術基準の策定
液化水素関連機器の研究開発に資する材料評価基盤の整備	物質・材料研究機構	液化水素の製造、輸送、貯蔵、利用に係る機器等の価格低下に資する極低温水素での材料の機械特性等の評価基盤の整備、金属母材や溶接部材等の機械特性等を評価し、材料 DB を構築
小型水素発電の実証	イーレックス	360kW 規模の発電設備の実証実験を 2022 年 3 月に開始予定、発電方式はガスエンジン発電であり、水素供給は、Hydrogen Technology 社が担当

(a) 大規模水素サプライチェーンの構築と水素発電の実機実証

2030 年 30 円/Nm³（船上引き渡しコスト）の水素供給コストを達成するための海上輸送技術を確認すべく、既存事業等で開発された大型化技術を実装し、大規模水素商用サプライチェーン構築のための商用化実証事業が計画されている。

上記のサプライチェーンと連携し、水素ガスタービン発電技術（混焼（体積混焼比率 30%）、専焼）を 2030 年までに商用化すべく、複数事業者が燃焼器を実際の発電所に実装し、実証運転を行い、燃焼安定性等を検証する。



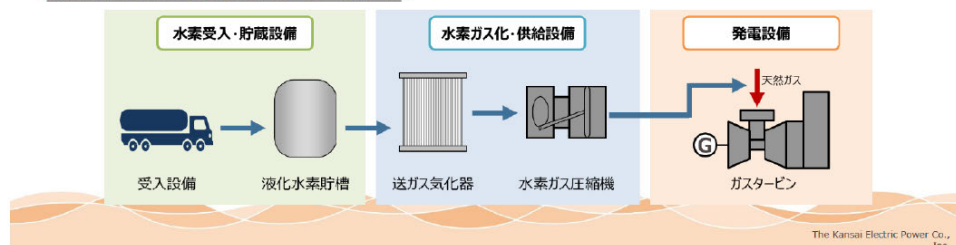
図 2.15 グリーンイノベーション基金による大規模水素サプライチェーンの大規模実証
革新的液化技術開発¹²⁾

○既設火力発電所（ガスタービン発電設備）を活用し、水素の混焼発電および専焼発電を実現するために、水素発電に関する運転・保守・安全対策などの運用技術の確立を目指すもの。
（NEDO公募の「グリーンイノベーション基金事業」※に採択） ※応募件名：既設火力発電所を活用した水素混焼/専焼発電実証

<スケジュールと実施内容>

- ① F S フェーズ（2021年度～2022年度）
・水素発電実証にかかる検証項目や、想定される技術課題およびその解決方法、事業費、既設火力発電所の改造範囲等、詳細検討を実施。
- ② 設計・製作フェーズ（2023年度～2024年度）
・F S フェーズを踏まえ、プラントメーカーの技術開発状況等に応じて、水素発電実証に必要な関連設備の詳細設計や製作、据付。
- ③ 実証フェーズ（2025年度～2026年度）
・水素の受入・貯蔵からガス化、発電まで一連にわたる水素発電の運転・保守・安全対策等、水素発電に関する運用技術について実証。

<水素の受入から混焼・専焼発電までのイメージ>



（出所：関西電力資料）

図 2.16 水素発電技術（混焼、専焼）の実機実証¹³⁾

¹²⁾ 出所：第 27 回水素・燃料電池戦略協議会資料

¹³⁾ 出所：第 8 回 産業構造審議会 保安・消費生活用製品安全分科会 電力安全小委員会 電気保安制度ワーキンググループ資料

(b) 石炭火力を活用した水素利用

大崎クールジェンプロジェクト¹⁴⁾においては、石炭火力発電所から排出されるCO₂を大幅に削減させるべく、石炭ガス化炉で生成される合成ガスを取り出し、シフト反応させることにより、水素リッチなガスを取り出し、燃料電池で発電する実証事業を実施中である。また、Jパワーでは、これらの成果を活用し、既設石炭火力発電から生成されるガスを活用し、水素発電に活用する構想を計画している。

図 2.17 に大崎クールジェンの概要、図 2.18 に J-POWER GENESIS の拡張構想を示す。

大崎クールジェンプロジェクトの概要

- 大崎クールジェン(株) (出資比率：中国電力(株)50%、電源開発(株)50%)にて実証中のプロジェクト
- 石炭火力発電から排出されるCO₂を大幅に削減させるべく、究極の高効率発電技術であるIGFCとCO₂分離・回収を組み合わせた革新的低炭素石炭火力発電の実現を目指す。
- プロジェクトは3段階で構成され、第1段階は2012年度から経済産業省補助事業として開始し、2016年度からは第2段階と合わせて国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の助成事業として実施。
- 年明けの実証試験実施に向け、現在は主に第2段階の追加設備と第3段階設備の据付工事中

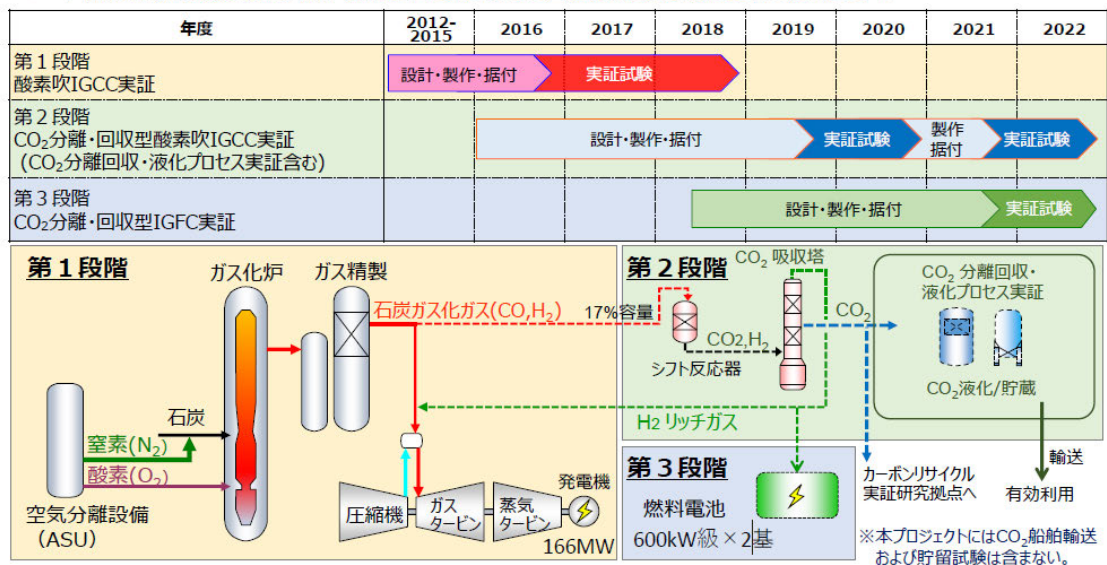


図 2.17 大崎クールジェンの概要¹⁵⁾

¹⁴⁾ 大崎クールジェン株式会社（出資企業：中国電力株式会社、電源開発株式会社）によるIGCC（石炭ガス化複合発電プラント）

¹⁵⁾ 出所：J パワー提供資料

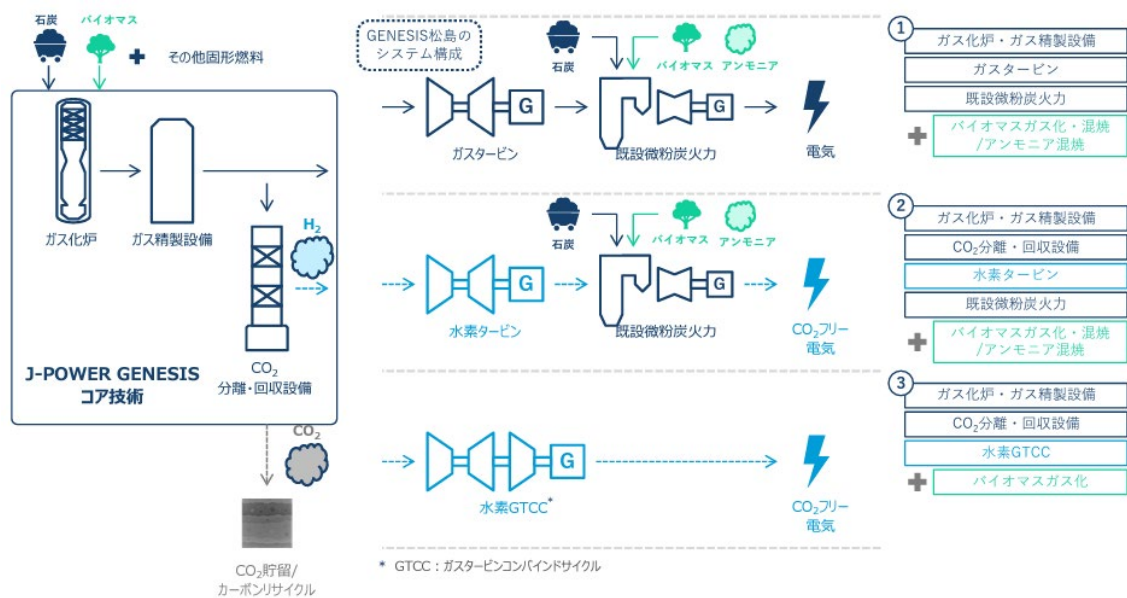


図 2.18 J-POWER GENESIS の拡張構想 ¹⁶⁾

(c) 大規模液化水素貯槽の技術開発と技術基準の作成

現状の国内における液化水素貯槽は、種子島宇宙センターの 540m³ 規模が最大であったが、NEDO 事業「未利用褐炭由来水素大規模海上輸送サプライチェーン構築実証事業」（パイロット実証）として、液化水素運搬船の輸送容量が商用の 1/100 程度のスケールの水素サプライチェーンの構築に着手し、特に技術開発要素の高い、船舶のカーゴタンクと陸上タンクとの間の液化水素の荷役（積荷/揚荷）に関する技術の実証を実施。液化水素貯蔵タンクは、2,500m³ と、種子島宇宙センターのタンクのスケールアップ（約 5 倍）で開発。

液化水素貯槽の開発の動向として、川崎重工業では、11,200m³ の球形液化水素貯槽の基本設計を完了し、今後平底の大型液化水素タンクの開発を実施することを公表。また、トヨーカネツでは、NEDO 事業にて平底の 1 万 m³ クラスの液化水素貯槽の開発を実施。

大規模な液化水素貯槽を想定した技術基準については、現状課題がある状況であるが、現在高圧力技術協会が中心となり、検討を行っている状況である。

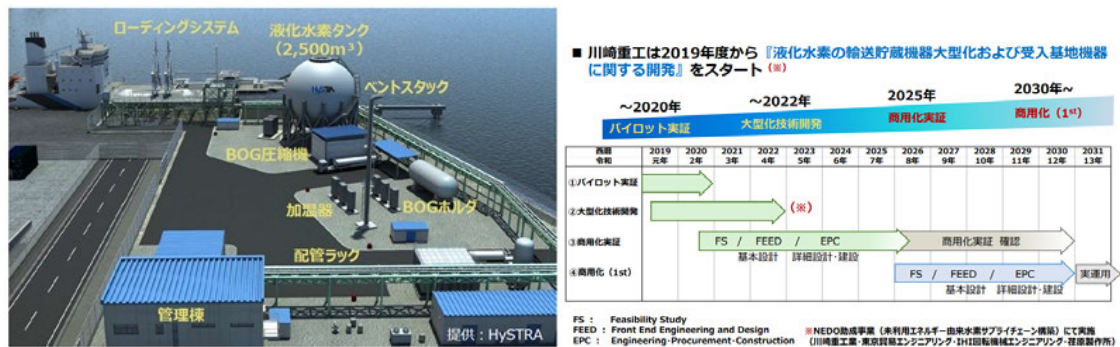


図 2.19 川崎重工における液化水素貯槽開発に係る取り組み ¹⁷⁾

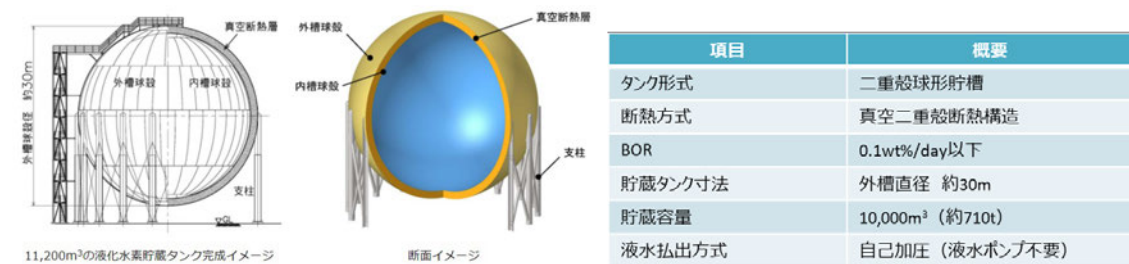


図 2.20 川崎重工における液化水素貯槽開発に係る取り組み ^{18), 19)}

¹⁷⁾ 出所：国際水素サプライチェーン構築に向けた取り組み（川崎重工業）

¹⁸⁾ 出所（左図）：川崎重工業 HP

¹⁹⁾ 出所（右図）：川崎重工業 HP を参考にみずほリサーチ&テクノロジーズが作成

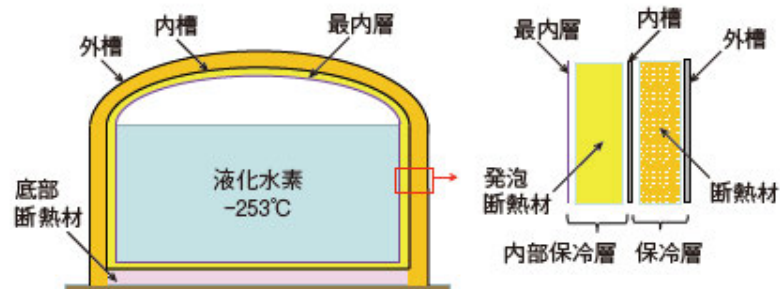


図 2.21 川崎重工業における大型タンクの構造図案 ²⁰⁾

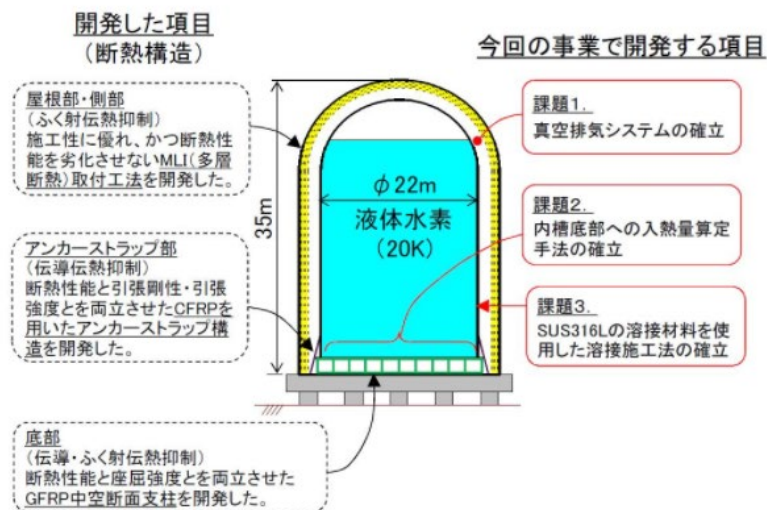


図 2.22 トーヨーカネツにおける液化水素貯槽の案と NEDO 事業における開発項目 ²¹⁾

²⁰⁾ 水素をためる ―液化水素基地の開発― (川崎重工業)

²¹⁾ Challenge Zero HP

(d) 材料評価技術

物質・材料研究機構（NIMS）では、グリーンイノベーション基金を活用し、国内の国の機関として液化水素の材料評価を行うことができる試験設備の開発を行い、材料データベース基盤を構築する。材料試験については、液化水素の製造、輸送・貯蔵、利用に関わる機器等の低価格化に資する極低温水素雰囲気での材料の金属母材や溶接部材等の機械特性等を統一的に評価する上で基盤となる設備を整備する。

温度の範囲としては、20K～350K、圧力は常圧～10MPaで、中実試験片、CT試験片で可能な試験設備を想定（中空試験片を用いた場合には、100MPaまで対応可能を想定）。

この設備については、民間事業者が活用することを想定し、今後の多様な材料に対して、材料試験を実施し、海外に先んじて技術開発を行うことができる環境を整備する。

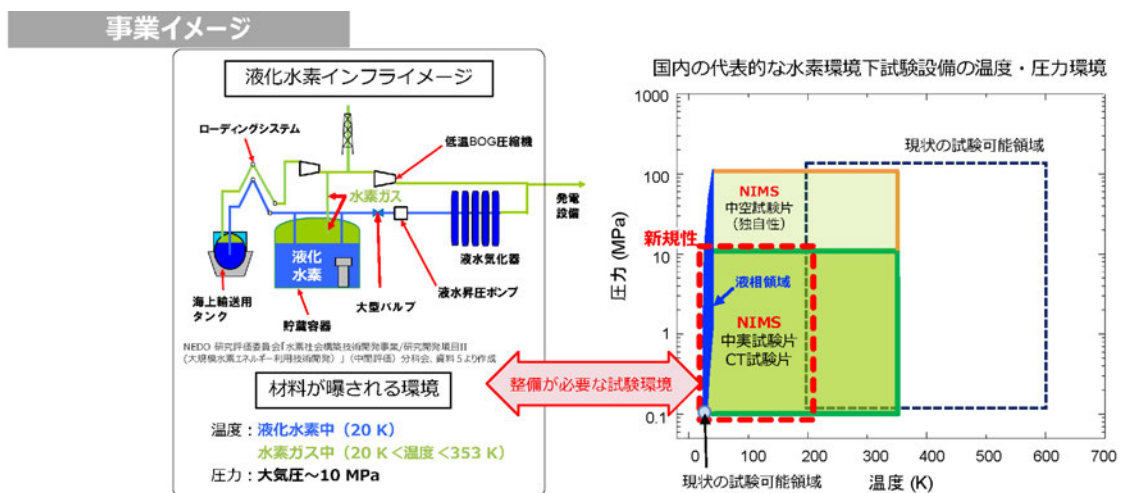


図 2.23 液化水素関連機器の研究開発を支える材料評価基盤の整備¹²⁾

(e) 小型水素発電設備の開発

イーレック社においては、国内で初となる水素専焼発電所の商業運転化を山梨県富士吉田市で実施（富士吉田水素発電所）する。本発電の発電方式は、ガスエンジン発電方式、出力は 360kW の小型の発電設備であり、2022 年 3 月に運転開始予定である。

2.2.2 水素発電に関する保安技術動向

(1) 液化水素貯槽型圧縮水素スタンドの火気隔離距離及び敷地境界距離についての検討

平成 25 年度～29 年度の NEDO 事業「水素ステーションの設置・運用等における規制の適正化に関する研究開発」において、液体水素による貯蔵・水素スタンド規制・基準の整備に関する検討がなされた。その中で液化水素貯槽型圧縮水素スタンドの火気隔離距離及び敷地境界距離についての検討を以降に整理する。

まず、検討における火気隔離距離、敷地境界距離の定義の概要を以下に整理する。

◆ 火気隔離距離（火気取り扱い施設までの距離）

火気隔離距離は開口径 0.2mm のピンホール開口から大気中へ漏洩する水素の水素濃度が 1% となる距離と定義し検討がなされた。開口径の設定は、CNG スタンド、LPG スタンドにおける検討を参考に設定された。

◆ 敷地境界距離（高圧ガス設備から敷地境界までの距離）

敷地境界距離は、開口径 1.0mm を想定し、漏洩した水素に着火した結果形成される、①火炎長、②爆風圧が 1kPa となる距離、③輻射熱が 1.26kW/m² となる距離、のうち最も大きいものの距離と定義し検討がなされた。開口径の設定は、代表的な開口径 0.2 mm に対し、直径 5 倍、水素漏洩量で 25 倍の安全率を考慮し 1.0mm と設定された。

上記の定義に従い、実験、シミュレーション、過去の検討との比較を実施し火気隔離距離及び敷地境界距離の検討がなされた。以降に各検討の概要を示す。

(a) 実験

岩谷産業株式会社中央研究所において、液化水素噴出流量測定実験、液化水素漏洩拡散実験が実施された。以下に各実験の概要を示す。

(i) 液化水素噴出流量測定実験

敷地境界距離の検討で必要となる爆風圧、火炎長及び火炎による輻射熱を評価するために実施した。実験のフローを図 2.24 に示す。シミュレーションを実施する上で重要となるデータである噴出流量の測定は、噴出口径 0.2 mm 及び 1.0 mm で実施している。また、噴出流量は、一次側の液化水素圧力に比例しており、気体の水素が噴出していると推測される。

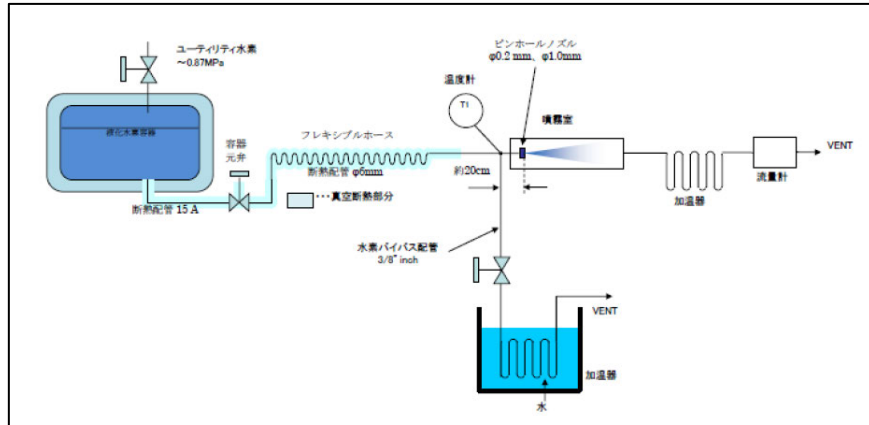


図 2.24 液化水素噴出量測定実験フロー²²⁾

(ii) 液化水素漏洩拡散実験

火気離隔距離の検討で必要となる漏洩、拡散状況を評価するために実験を実施した。実験のフローを図 2.25 に示す。噴出口径は 0.2 mm で実施している。

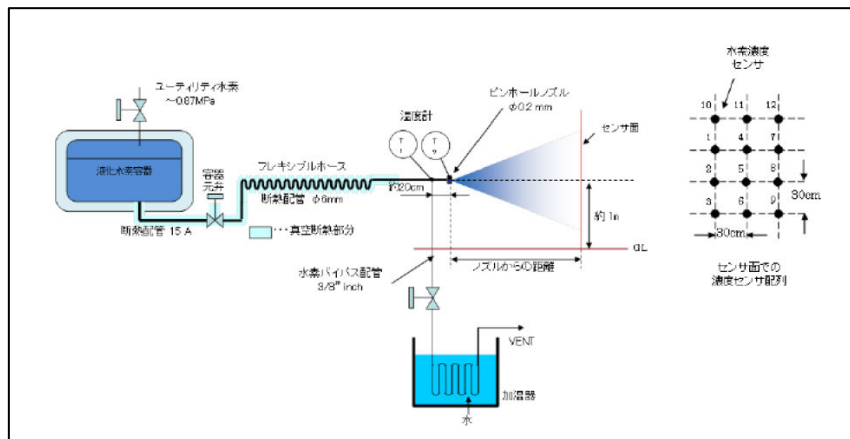


図 2.25 液化水素漏洩拡散実験フロー²²⁾

(b) シミュレーション

実験で得られた数値を利用し、シミュレーションを実施した。利用したソフトウェアは、DNV 社製影響解析ソフトウェア PHAST6.7 である。PHAST は、火災や爆発、急性中毒などの物理的影響の評価ツールであり、プラント設計や各種のアセスメント、事故発生時の影響予測を目的として世界的にも広く使われているツールである。

シミュレーションの前提を表 2.10、結果を図 2.26 に示す。結果より、開口径 0.2 mm の 1%濃度距離が 0.99MPa（設計圧力）の際に 1.7m であることから、火気離隔距離について

²² 出所：「平成 25 年度～平成 29 年度成果報告書 水素利用技術研究開発事業／燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発／水素ステーションの設置・運用等における規制の適正化に関する研究開発」（NEDO）

は 2m を提案した。また、開口径 1.0 mm、液化水素貯槽設計圧力時の火炎、暴風圧、輻射熱を比較すると、6m で 746Pa であることから敷地境界距離は 6m を提案した。

表 2.10 シミュレーションの前提²²⁾

項目	値
温度	20.4K（大気圧下の沸点、状態は気体）
一次圧	0.99MPa（液化水素貯槽の設計圧力）等
ソフト	PHAST6.7

			φ0.2mm				φ1.0mm			
			0.4MPa	0.84MPa (常用圧)	0.99MPa (設計圧)	40MPa	0.4MPa	0.84MPa (常用圧)	0.99MPa (設計圧)	40MPa
1%濃度距離	H15実験		2m以遠で検知せず	-	-	6m	4m	-	-	15m以上
	本検討	実験 (約70K)	-	1.35m	-	-	-	-	-	-
		計算 (65K)	0.86m	1.36m	1.50m	-	-	-	-	-
		計算 (20.4K)	0.99m	1.54m	1.70m	-	4.60m	5.24m	5.28m	-
火炎長	H15実験		着火せず	-	-	-	1.2m	-	-	2.2m
	本検討	計算 (20.4K)	0.20m	0.28m	0.30m	-	2.04m	2.35m	2.37m	-
爆風圧 @6m	H15実験		着火せず	-	-	-	45Pa	-	-	250Pa
	本検討	計算 (20.4K)	爆発生じず	爆発エネルギー過小	爆発エネルギー過小	-	723Pa	745Pa	746Pa	-
輻射熱 1,256W/m ² 距離	H15実験		-	-	-	-	-	-	-	-
	本検討	計算 (20.4K)	0.30m	0.41m	0.44m	-	3.02m	3.48m	3.51m	-

図 2.26 シミュレーション結果²²⁾

(c) 提案と追加実験

実験とシミュレーションの結果を踏まえ、火気離隔距離として 2m、敷地境界距離として 6m を提案したが、火気離隔距離の提案に用いられたシミュレーション結果は気体の漏洩物を前提としていたため追検討が要請された。それに対して、配管ピンポールからの放出水素の入熱計算を実施することで対応し最終的には、提案は承認された。

(2) 液化水素貯槽型圧縮水素スタンドにおける安全対策の検討

平成 25 年度～29 年度の NEDO 事業「水素ステーションの設置・運用等における規制の適正化に関する研究開発」において、液体水素による貯蔵・水素スタンド規制・基準の整備に関する検討がなされた。その中で実施された、液化水素貯槽型圧縮水素スタンドの安全対策の検討について整理する。

安全対策の検討にあたっては、圧縮水素スタンドの安全対策の検討に用いたリスクアセスメント手法を採用し、リスクを算定・評価しリスク低減の実施を実施している。

まず初めに、安全対策の検討のために実施したリスクアセスメントの基本検討フローを

図 2.27 に示す。以降に各ステップにおける概要を整理する。

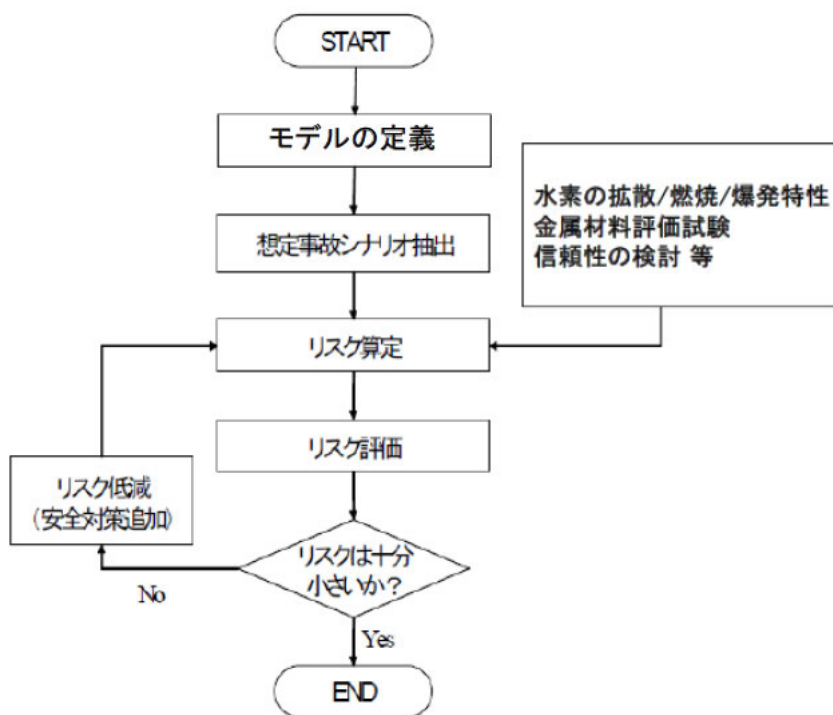


図 2.27 リスクアセスメントによる基本検討フロー²²⁾

(a) モデル定義

リスク評価を行うために液化水素貯蔵型圧縮水素スタンドのモデルを作成した。モデル作成では、一般性確保するために必要最低限の機器構成とし、将来性確保するために十分大きな処理能力を有するモデルを想定した検討を行うように留意した。

(b) 想定事故シナリオの抽出

HAZOP、FEMA を用いて、121 件の想定事故シナリオを抽出した。

(c) リスク評価

リスク評価では、評価対象事故シナリオのリスクがしかるべき安全対策のもとで十分小さくなるかを判断した。判断の基準としてリスクマトリクスを作成した。リスク評価のマトリクスを図 2.28、リスクランクの概要と必要な対応を表 2.11 に示す。

		可能性			
		A	B	C	D
		ほとんど 起こりえない	起こり にくい	可能性 がある	十分 起こりえる
影響度	I 極めて重大な災害	H	H	H	H
	II 重大な災害	M	H	H	H
	III 中規模災害	M	M	H	H
	IV 小規模災害	L	L	M	H
	V 軽微な災害	L	L	L	M

図 2.28 リスクマトリクス ²²⁾

表 2.11 リスクランクと必要な対応 ²²⁾

リスクランク		取るべき処置
H (High)	高い	許容できない。更なる安全対策を講じなければならない。
M (Medium)	中程度	原則として許容できない。更なる安全対策が可能かどうか検討し、現実的な対策が見つからない場合に限ってこれを許容する。
L (Low)	低い	許容できる。更なる安全対策は必ずしも必要でない。

(d) 安全対策

安全対策では以下の対策を検討し、再度リスク評価を実施した。

(i) 本質的対策

本質的に事故の発生を防止する対策。本質的対策を取ることができれば、懸念している想定事故は発生しえず、その事故のリスクをゼロとすることができる。

(ii) 可能性を低減する対策

事故が発生する可能性を低減する対策。

(iii) ハザードの大きさを低減する対策（影響度を低減する対策）

ハザードの大きさを低減することにより、事故の影響度を引き下げる対策。（爆発／噴出火炎に寄与する水素量を低減することにより、爆発／噴出火炎の規模を小さくする対策）

(iv) ハザードの影響を軽減する対策（影響度を軽減する対策）

ハザードが顕在化した場合に、それらの人／設備に及ぼす影響を軽減することにより、事故の影響度を引き下げる対策。

(e) 結果

121 件の想定事故シナリオのリスク評価を行った結果、57 件の安全対策を実施することで一部の事故シナリオを除き、リスクを M ランク以下に低減することができた。リスク対策の結果を図 2.29 に示す。

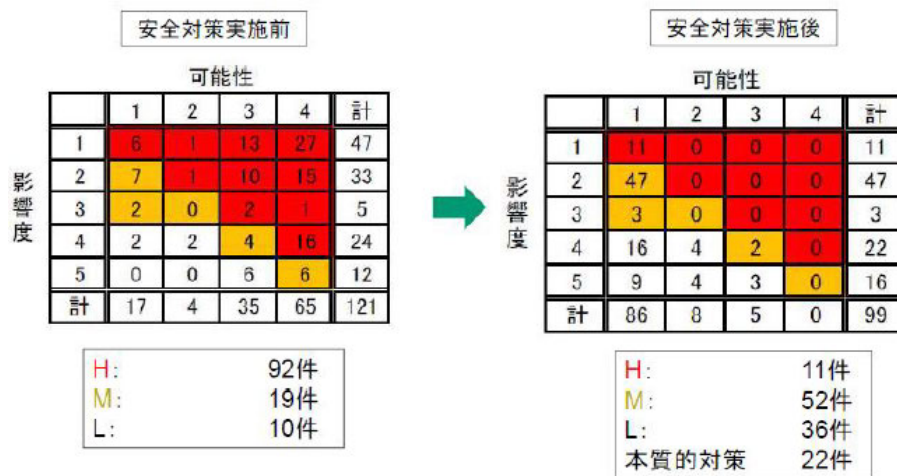


図 2.29 安全対策実施前後でのリスクマトリクス ²²⁾

一方、安全対策後もリスクが H ランクとなった 11 件の事故シナリオのリスクは保有することを提案された。保有するリスクの一部を以下に示す。

- ◆ バイオネット継ぎ手クランプ取り付け不良・外れ→液化水素の漏洩
- ◆ 水素スタンドに隣接設置されたクレーンが倒壊→液化水素貯槽の破壊→液化水素が大気に飛散
- ◆ 水素スタンドにヘリ/航空機が墜落→液化水素貯槽の破壊→液化水素が大気に飛散
- ◆ 地震により液化水素ローリー移動→フレキホースの破断→液化水素が漏洩
- ◆ 暴走車両が水素スタンドに飛込み→フレキホースの破断→液化水素が漏洩

2.2.3 水素発電に関する保安規制動向

(1) 平成 27 年度における水素発電の技術基準の見直し状況

「平成 27 年度未利用エネルギー等活用調査（水素発電に関する安全性調査）」における検討により、以下の技術基準の見直しが行われた（表 2.12 参照）。一方で、平成 27 年度の検討においては、大規模貯槽、開発中のガスタービンのリスク等、今後の課題として整理した項目も存在する（表 2.13 参照）。

表 2.12 平成 27 年度における水素発電に係る技術基準の見直し状況

対象	項目	技術基準の見直し内容
電気事業法施行規則	別表 2、3	・ 工事計画の届出等の際に提出すべき設備として、「脱水素設備」を追加。
発電用火力設備の技術基準の解釈	①水素脆化対策	・ 20MPa を超える水素を用いる場合には、高圧ガス保安法の水素ステーションの材料を用いる。 ・ 20MPa 以下の水素を用いる場合には、技術基準上の見直しは実施しないが、水素に適した材料を用いることに留意する。
	②低温脆化対策	・ -196℃未満の水素を用いる場合には、高圧ガス保安法における「特定設備検査規則の機能性基準の運用について」の別添 7「第二種特定設備の技術基準の解釈」における材料及び許容応力を適用する。
	③液化水素に対応した	・ 液化水素貯槽の支持物の設計については、高圧ガス保安法に準拠する。
	④液化水素に対応した防液堤の設計	・ 性能規定化を実施し、「液状の当該ガスが漏えいした場合には、その流出を防止するための措置を講ずる」とする。
	⑤水素に対応した断熱	・ 断熱指数については、高圧ガス保安法に規定されている指数を適用する。
	対象設備	・ 対象設備は、①については、ボイラー、ガスタービン、液化ガス設備を対象。 ・ ②～⑤については、液化ガス設備を対象。
	有機ハイドライド方式に適用する技術基準について	・ MCH/TOL のタンクについては、消防法に規定される設備であり、電気事業法での技術基準については規定しないこととした（石油タンクと同様）。 ・ 脱水素設備における各種機器については、高圧ガス保安法、労働安全衛生法の圧力容器等で規定されることから、上記と同様の対応とした。

表 2.13 平成 27 年度における水素発電に係る課題と対応方針

水素特有の課題	課題への対応
20MPa を超える水素の活用について	・20MPa を超える水素を用いる場合には、高圧ガス保安法の水素ステーションでの材料を用いることとしたが、水素ステーションの材料は、最大 82MPa、純水素の活用を想定した材料であり、火力発電での適用にあたっては保守的な状況である。 ・今後は、材料の水素脆化に関する新たな知見や新たなデータが得られ場合には、適宜技術基準の改定を行い、適宜水素に対応した材料の見直しを行うことが望まれる。
離隔距離について	・液化ガス設備における離隔距離の算定にあたっては、火技解釈別表 5 に示すガスの物性値である K 値を用いるが、水素については温度に依らず一定値を用いることとなっている。 ・そのため、液化水素設備については、LNG 設備に比べて 2 倍程度異なることとなる。 ・この K 値については、一般に温度依存性がある物性値であることから、将来的に新たな情報や知見が得られた際に、水素の物性値である K 値の温度依存性データについて見直すことが望まれる。
防液堤について	・液化水素貯槽の防液堤の設計については、現行の LNG 地上式貯槽指針（日本ガス協会）を用いると想定されるが、形状は円筒平底形状であり、物性値等については LNG の利用が前提である。 ・今後、液体水素貯槽として 1,000t 以上の規模の貯槽の必要が生じた際には、液化水素貯槽の容器の形状、水素の物性値等を考慮した設計指針の検討を行うことが望まれる。
ガスエンジン等の発電設備への適用について	・技術基準の見直しは、汽力発電やガスタービン発電を対象としたが、ガスエンジン発電やガスコジェネ発電については、ニーズが確認されなかったことから、見直さなかった。 ・今後、ガスエンジン発電や内燃力発電等の発電設備について、新たな知見や要望が得られた場合には、適宜技術基準の改定を行うことが望まれる。
燃焼器の課題	・ガスタービン発電においては、高濃度の水素を燃料として利用した場合、予混合燃焼方式の燃焼器を用いると、逆火のリスクが高まり、拡散燃焼方式を用いた場合には、逆火の可能性は低いものの、NOx の発生量が大きく増加するという課題がある。 ・今後水素発電の実施に向け、水素発電に適した予混合燃焼方式に関する技術開発が行われるものと思われる。今後、これらの技術開発の進捗により、新たなリスク等の情報が得られた場合には、適宜技術基準に反映することが望まれる。

(2) 保安距離の算定について

(a) K 値の概要

平成 27 年度の検討における課題として、離隔距離についての課題が得られたが、ここでは離隔距離の算定に用いる K 値の考え方について整理した。

保安上必要な距離とは、以下の計算式により算出される L であり、50m 未満の場合は、50m となる。

$$L = C^3 \sqrt{KW}$$

ここで、C：係数（地下式貯槽：0.24、地下式貯槽以外：0.576）

K：ガス又は液化ガスの種類及び常圧の温度区分による定める値

W：当該貯槽の貯蔵能力（単位：t）の値の平方根の値

なお、ここで K 値は、以下の表に示す値となり、一般に温度が低い場合は値が小さい傾向にあるが、水素の場合は一定となる。

図 2.30 K 値²³

1	メタン	常用の温度	-110未満	-110以上 -80未満	-80以上	-	-	-
		k	143	357	714	-	-	-
2	エタン	常用の温度	-20未満	-20以上 10未満	10以上 40未満	40以上	-	-
		k	272	417	650	905	-	-
3	プロパン又は プロピレン	常用の温度	10未満	10以上 40未満	40以上 70未満	70以上 100未満	100以上	-
		k	178	328	497	737	888	-
4	ブタン又は ブチレン	常用の温度	40未満	40以上 70未満	70以上 100未満	100以上 130未満	130以上	-
		k	128	229	360	503	640	-
5	アンモニア	常用の温度	40未満	40以上 70未満	70以上 100未満	100以上 130未満	130以上	-
		k	29	43	59	89	144	-
6	ペンタン	常用の温度	40未満	40以上 70未満	70以上 100未満	100以上 130未満	130以上 160未満	160以上
		k	65	84	240	401	550	648
7	一酸化炭素	常用の温度	全ての温度	-	-	-	-	-
		k	240	-	-	-	-	-
8	水素	常用の温度	全ての温度	-	-	-	-	-
		k	2860	-	-	-	-	-
9	硫化水素	常用の温度	40未満	40以上 70未満	70以上 100未満	100以上 130未満	-	-
		k	158	221	304	525	-	-

ここで、液化水素と LNG で離隔距離の試算を行った結果を以下の表に示す。

以下の表に示すように、50,000m³の液化水素と LNG を比較した場合、離隔距離が約 2 倍となる結果となった。

表 2.14 液化水素と LNG とでの離隔距離の試算

液化ガス種	タンク貯蔵量 m ³ /基	タンク貯蔵重量 t/基	W 貯蔵能力の平方根	C	K	離隔距離 m
液化水素	50,000	3,500	59	0.576	2,860,000	約320
LNG	50,000	23,000	151	0.576	143,000	約160

²³ 発電用火力設備の技術基準の解釈

(b) 保安距離算定式の根拠とフラッシュ率

続いて、ここでの保安距離の算定式の考え方について、整理した。

保安距離の算定については、TNT 等価モデルが用いられ、爆風圧と距離の相関式となっている²⁴。

$$L = \lambda^3 \sqrt{WTNT} = \lambda^3 \sqrt{\frac{WGf\psi QG\gamma}{QTNT}}$$

ここで、L：爆発中心からの距離 (m)

λ ：換算距離 (m/kg^{1/3})

W_{TNT}：等価の TNT 火薬量 (TNT 当量：kg)

W_G：可燃性ガス（液体）の流出量 (kg)

Q_G：可燃性ガスの燃焼熱量 (J/kg)

Q_{TNT}：TNT 火薬の燃焼熱量 (4.184×10⁶J/kg)

f：流出したガスの気化率（フラッシュ率）

Ψ ：爆発係数（一般に 0.1 が用いられる）

γ ：TNT 収率（一般に 0.064 を用いれば安全側と考えられている）

上記の式に示す、 γ 及び Q_{TNT} については、同参考資料に、 $\gamma=0.064$ 、Q_{TNT}=1,000Kcal として、次式のように扱っているとの記載があった。

$$L = 0.04\lambda^3 \sqrt{KWG}, K = f\psi QG \times 103$$

ここで、上記の式の中で、 Ψ （爆発係数）及び Q_G（可燃性ガスの燃焼熱量）は温度依存性のない値であり、f（フラッシュ率）は温度依存性がある値であることが分かる。

以下のフラッシュ率の算定式²⁵を示す。

$$f = \frac{H - Hb}{hb} = Cp \frac{T - Tb}{hb}$$

ここで、T：ガスの貯蔵温度 (K)

H：ガスの貯蔵温度・圧力におけるエンタルピー (J/kg)

Tb：液体の大気圧での沸点 (K)

Hb：液体の沸点におけるエンタルピー (J/kg)

Cp：液体の比熱 (Tb～T の平均：J/kg K)

hp：沸点での蒸発潜熱 (J/kg)

²⁴ 石油コンビナートの防災アセスメント指針の改訂（財団法人消防科学総合センター、平成 24 年 11 月 21 日）を参考にみずほリサーチ&テクノロジーズが作成

²⁵ 宮城県石油コンビナート等防災計画、参考資料 1：災害現象解析モデル

宮城県の参考資料²⁵によると、高圧ガス保安法では、既存施設に対しては $\lambda=12.0$ （爆風圧 11.76kPa）、新規施設に対しては $\lambda=14.4$ （爆風圧 9.8kPa）を限界強度として保安距離を確保するものとしている。

(c) K 値の根拠の推定

これまでの算定式を用いて、現状LNG、水素で用いられているK値から適用しているフラッシュ率の推定、さらにLNG、水素の物性値から推定したK値の相関について算定した。

表 2.15 にメタンで用いられている K 値からフラッシュ率を逆算した結果及び表 2.16 にメタンの物性値からフラッシュ率を算定し K 値を推定した結果²⁶⁾を示す。

表 2.15 メタンで用いられている K 値からフラッシュ率を逆算した結果

代表温度	K値	燃焼熱	QTNT	爆発係数 ψ	γ	燃焼熱 Q_G	フラッシュ率
	10^3	kJ/kg	kJ/kg			kcal/kg	
-115	143	55,670	4,184	0.1	0.064	13305.13	0.1075
-95	357	55,670	4,184	0.1	0.064	13305.13	0.2683
-80	714	55,670	4,184	0.1	0.064	13305.13	0.5366

表 2.16 メタンの熱物性値からフラッシュ率を算定し K 値を推定した結果

代表温度	沸点	比熱 C_p	蒸発潜熱 h_p	温度差	フラッシュ率 f	比熱から計算 したK値
		J/kg/K	J/kg			10^3
-145	-161.5	3,470	509,900	16.5	0.1123	149
-115	-161.5	3,470	509,900	46.5	0.3164	421
-95	-161.5	3,470	509,900	66.5	0.4525	602
-80	-161.5	3,470	509,900	81.5	0.5546	738

以上の結果より、以下の推察を得ることができた。

- ◆ -80℃の条件における現状のK値とフラッシュ率の相関と、文献等をもとに算定したフラッシュ率とK値は、同等である（なお、メタンの臨界温度は-82.5℃であり、これらより臨界温度のフラッシュ率を約 0.5 と考えている可能性が考えられる）。
- ◆ 一方、-95℃、-115℃におけるK値とフラッシュ率の相関については、現状適用されている値と、メタンの物性値から推定して値とで異なる結果が得られた。
- ◆ また、Kを逆算した結果からみると、現状の条件で設定されている-80℃の K=714 に対して、温度-95、-115℃に対しての K 値が、-80℃に対して 1/2、1/5 となっている

²⁶⁾（注意）熱物性については、HPで公開されている情報より引用したが、想定されている比熱の条件となる圧力等の条件について不明であり、正確性に課題がある可能性があり、ここではあくまで参考値として取り扱っていただきたい

状況を見ると、何等かの仮定がある可能性がある。

続いて、水素の K 値の根拠について推察を行った。

表 2.17 にメタンで用いられている K 値からフラッシュ率を逆算した結果及び表 2.18 にメタンの物性値からフラッシュ率を算定し K 値を推定した結果²⁶⁾を示す。

表 2.17 水素で用いられている K 値からフラッシュ率を逆算した結果

K値	燃焼熱	QTNT	爆発係数 ψ	γ	燃焼熱	フラッシュ率
10^3	kJ/kg	kJ/kg			kcal/kg	
2860	141800	4184	0.1	0.064	33890.2	0.8439

表 2.18 水素の熱物性値からフラッシュ率を算定し K 値を逆算した結果

代表温度	沸点	比熱 Cp	蒸発潜熱 hp	温度差	フラッシュ率 f	比熱から計算 したK値
		J/kg/K	J/kg			10^3
-230	-252.77	9771.8	445,982	22.77	0.4989	1,691
-220	-252.77	9771.8	445,982	32.77	0.7180	2,433
-215	-252.77	9771.8	445,982	37.77	0.8276	2,805
-210	-252.77	9771.8	445,982	42.77	0.9371	3,176
-200	-252.77	9771.8	445,982	52.77	1.1562	3,918

以上の結果より、以下の推察を得ることができた。

- ◆ 上記の結果より、水素の K 値（全温度）として用いられている 2,860 という値がフラッシュ率を推定し、代表温度を逆算した場合-215℃となった。
- ◆ 一方で水素の臨界温度が-240℃であることを考えると、上記の値の算定にあたっての想定した熱物性等に何等かの課題があることが推察される
- ◆ いずれにしろ、信頼性が高い K 値の考え方を再整理するためには、信頼性が高い熱物性データベースの整備が必要となるものと考えられる。

(d) 今後の課題

本業務においては、離隔距離の算定に用いている K 値の考え方について、現状の知りうるデータから推察を行い、その根拠が明確ではない可能性があることが分かった。

今後、液化水素貯槽のリスクアセスメントを行い、液化水素の離隔距離の考え方を整理するとともに、必要に応じてこの K 値のデータベースについて、新しい知見に基づき、再度評価を行うことを提案する。

(3) 水素発電に係る新たなニーズに応じた規制の在り方について

本検討においては、水素発電に係る新たなニーズとして、大規模液化水素貯槽や内燃機関を動力とする小型水素発電のニーズが確認された。今後のユースケースも含め、火力発電設備の技術基準のあり方についての提案を行う。

本検討において、新たな動向としては、主に以下の動向が確認された。

- ◆ 今後の事業用発電への水素活用を睨み、大規模液化水素貯槽の技術開発が行われており、今後の保安確保に向けての技術基準の検討が必要
- ◆ 内燃機関による小型の水素発電設備のニーズが確認され、今後の自家用発電設備に活用される可能性があることが確認できた

以上の状況を鑑み、本検討においては、以下の対応を行うことを提案する。

- ◆ 事業用発電設備の動向を踏まえた提案
 - 事業用発電設備に向けた大規模貯槽については、現在技術開発中であること、またその技術基準についても、日本高圧力技術協会において検討中である
 - これらの状況を鑑み、大規模貯槽の実現に向けての技術基準の検討においては、今後の課題として整理する
 - 上記と同様に、水素利用にあたっての溶接部の技術基準についても、今後の対応として、整理する
- ◆ 自家用発電設備の動向を踏まえた提案
 - 300kW クラスの内燃機関の発電設備のニーズが確認された
 - 上記の動向を睨み、内燃機関においても、20MPa 以上の超高压水素利用にあたっては、平成 27 年度の技術基準改正の方針に従い、高压ガス保安法における材料及び許容応力を適用することを明記する
 - 小型の水素利用のガスタービン、内燃機関においては、一定の出力以下においては、工事計画の届出、運用面における管理責任者の選任の必要はない状況である（汽力発電の場合は、熱媒体として不活性ガスを用いる場合のみ、工事計画の届出、ボイラー・タービン（以下、「BT」という。）主任技術者の選任が免除されている）
 - 水素は爆発の危険性を伴う可燃性ガスであることから、水素を用いるガスタービン、内燃機関は、出力の要件に限らず、当面は、工事計画の届出、BT 主任技術者の選任を要件とすることを提案する
 - なお、水素を活用する圧縮水素スタンドにおいては、保安の監督に係る保安監督者の選任を要求している
 - また、第 3 章に示す ORC 発電に係る規制要望の対応のためも含め、BT 主任技術者選任の要件の緩和に、温泉法を適用する小型の汽力の発電設備においてのみ経済産業省が実施する講習の修了者等を選任することの拡大として、水素を

活用した小型の自家用発電設備まで拡大することを提案する

表 2.19 に火力発電設備の技術基準における見直しに関する提案及び表 2.20 にユースケース別、技術基準への対応と今後の課題を示す。

表 2.19 火力発電設備の技術基準における見直しに関する提案

章	項目	要求内容	○/×	内容
第 2 章	ボイラー等 及びその附 属設備	ボイラー等及び その附属設備の 材料、構造、等	×	・新たな動向がないことから、現状での見直しの 必要性なしと判断
第 4 章	ガスタービン 及びその 附属設備	ガスタービンの 附属設備の材 料、ガスタービ ン等の構造、等	×	・ガスタービンについては、現状も技術開発中で あり、今後の開発の過程において新たなリスク が確認された場合には、検討する必要がある が、現状での見直しの必要性なしと判断 ・自家用発電での活用を睨み、ガスタービンを原 動力とする火力発電所のうち、水素を燃料とす る場合には、工事計画の届出、BT 主任技術者 の選任をする旨を追記
第 5 章	内燃機関及 びその附属 設備	内燃機関の附属 設備の材料、内 燃機関等の構 造、等	○	・ガスエンジンを活用した水素発電の建設を確 認、材料については、平成 27 年度の成果を参 考に、20MPa 以上の超高圧の場合における材 料の考え方について技術基準の見直しを実施 することを提案 ・自家用発電での活用を睨み、内燃力を原動力と する火力発電所のうち、水素を燃料とする場合 には、工事計画の届出、BT 主任技術者の選任 をする旨を追記
第 6 章	燃料電池設 備	燃料電池設備の 材料、燃料設備 の構造、等	×	・平成 27 年段階では、燃料電池の場合には、高 圧での利用がないことから見直しの必要はない と評価される ・現状も変化がないことから、見直しの必要性は ないのではないかと評価される
第 7 章	液化ガス設 備	離隔距離、保安 区画、設備の設 置場所、液化ガ ス設備の材料・ 構造、ガスの漏	○	・平成 27 年度の検討において、離隔距離、防液 堤等、液化水素貯槽の課題については、明確な 技術が存在しないことから、今後の課題と整理 した ・現状においても、明確な技術的な考え方がない

		洩対策、防消化設備、計測装置、等		ことから、今後の課題として整理する
第 8 章	ガス化炉設備	離隔距離、保安区画、ガス化炉設備の材料・構造、ガスの漏洩対策、防消火設備、等	×	・IGCC 等では、平成 27 年段階で既に水素が活用されている関係で、20MPa の超高压での利用も想定できないことから、技術基準の見直しを行わなかった ・新たな動向として大崎クールジェンでの水素の割合を増やす動向があるが、20MPa の超高压での活用等の動向もないことから、見直しの必要性はないと評価した
第 10 条	溶接部	溶接部の形状等	—	溶接については、次年度の課題に明記。

表 2.20 ユースケース別技術基準への対応と今後の課題

ユースケース	技術基準への対応と今後の課題
事業用発電設備	・ボイラー、ガスタービンにおいて、水素に対応した材料、許容応力については、対応済み ・液化ガス設備での課題である、離隔距離、防液堤等に係る課題については、平成 27 年度と同様、課題解決に向けての検討が必要な状況であり、次年度の課題として明記する ・水素を扱うことによる、検査項目や溶接に係る事項については、次年度以降の課題として明記する
自家用発電設備	・現状、内燃機関の水素発電の事例が確認されたことから、内燃機関の各条文の見直しを実施 ・ガスタービンでは 1,000kW 未満、内燃機関では 10,000kW 未満の発電設備の設置にあたっては、工事計画の届出が免除されており、導入が進むと、水素の貯蔵方法や供給方法、各種対策について事前に確認することができない状況である ・水素は爆発の危険性を伴う可燃性ガスであることから、管理面の保安体制の確保も含め、水素を用いるガスタービン、内燃機関については、出力規模にかかわらず、BT 主任技術者の選任、工事計画の届出を当面は必須とする ・水素を活用する小型の自家用発電設備に対し、BT 主任技術者の選任を要求する一方で、現在温泉法を適用する小型の汽力の発電設備においてのみ経済産業省が実施する講習の修了者等を選任することを、本自家用発電設備にまで拡大する

2.3 アンモニア発電に係る調査

アンモニアを燃料とする発電設備については、平成 26 年～平成 30 年にかけて内閣府が実施した戦略的イノベーション総合プログラム（SIP）である、「エネルギーキャリア」の中で、アンモニアを活用した直接燃焼や燃料電池といった研究テーマで様々な取り組みが行われた。

本検討においては、SIP における技術開発等を把握し、将来的な発電設備に係るニーズを踏まえ、保安のあり方について検討を行う。

2.3.1 アンモニア発電に関する導入ニーズ・技術開発等動向

(1) SIP におけるアンモニア発電の技術開発動向

SIP におけるアンモニア発電の技術開発として、50kW クラスから、400MW クラスのガスタービンの開発、さらに既設石炭火力への混焼技術、さらに燃料電池への活用等、様々な技術開発が行われている。

表 2.21 SIP におけるアンモニア発電の技術開発動向

プレイヤー	概要
IHI	・ IHI では、SIP を活用して、2014 年よりアンモニア直接燃焼となる 2MW のガスタービン（IM270、液化アンモニアを燃焼）の開発及び 2016 年より 1kW のアンモニア燃料電池（SOFC）の開発を実施 ・ また、アンモニアと、石炭火力発電の燃料である微粉炭を混合燃焼する実証試験を、相生工場（兵庫県相生市）内の大容量燃焼試験設備（投入熱量 10MW）で 2017 年 12 月に実施し、熱量比率 20%のアンモニア混焼に成功
三菱パワー	・ 三菱日立パワーソリューション（現、三菱重工業）では、SIP を利用して、2017 年より 400MW クラスのアンモニア混焼、専焼のガスタービンの開発を実施 ・ 燃料は液化アンモニアであるが、液化アンモニアをガス化して利用する
トヨタエナジーソリューション	・ 2013 年に SIP のプロジェクトにて、産総研に 50kW アンモニア燃焼マイクロガスタービン、ガス圧縮機を導入 ・ その後、アンモニア 30%から、アンモニア 100%までの燃焼テストを実施し、2018 年製品パッケージとして開発 ・ 2019 年以降、独自開発を実施し、2021 年、液化アンモニアによる MGT の開発に着手。
電力中央研究所	・ 電力中央研究所では、2015 年より、既設火力発電所におけるアンモニア利用について検討を実施 ・ 既設火力発電所におけるアンモニア混焼時の主な課題の提案を実施。

(a) IHI における開発事例

IHI においては、既設石炭火力へのアンモニア混焼技術を開発するとともに、ガスタービンの開発及び燃料電池（SOFC）の技術開発が行われている。

石炭火力への混焼技術については、技術的課題である微粉炭焚きボイラーのマルチバーナーに対応したアンモニア混焼技術を目指し開発が行われてきた。

また、ガスタービンの開発においては、NEDO 事業にて液体アンモニアを燃焼器内に直接噴霧し、天然ガスと混焼させる技術開発を行い、2MW クラスのガスタービンにて、液体アンモニア 70%混焼に成功した。

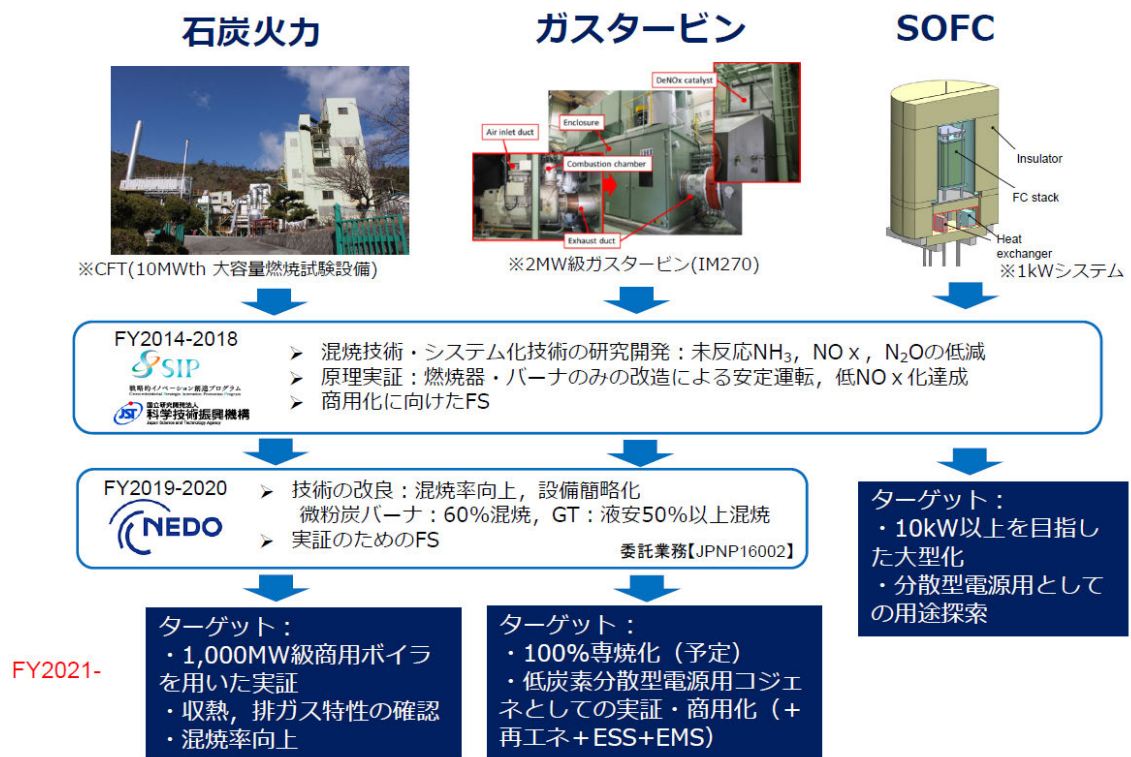


図 2.31 IHI における技術開発動向 ²⁷⁾

²⁷⁾ IHI 提供資料

(b) 三菱重工業における技術開発事例

三菱重工業においては、平成 29 年より SIP を活用して、アンモニア直接燃焼のガスタービンの開発を実施してきた。

400MW クラスのアンモニア混焼、専焼のガスタービンの開発を実施。燃料は液化アンモニアを活用するが、アンモニアのガス化を行い、ガスタービンで活用する技術である。

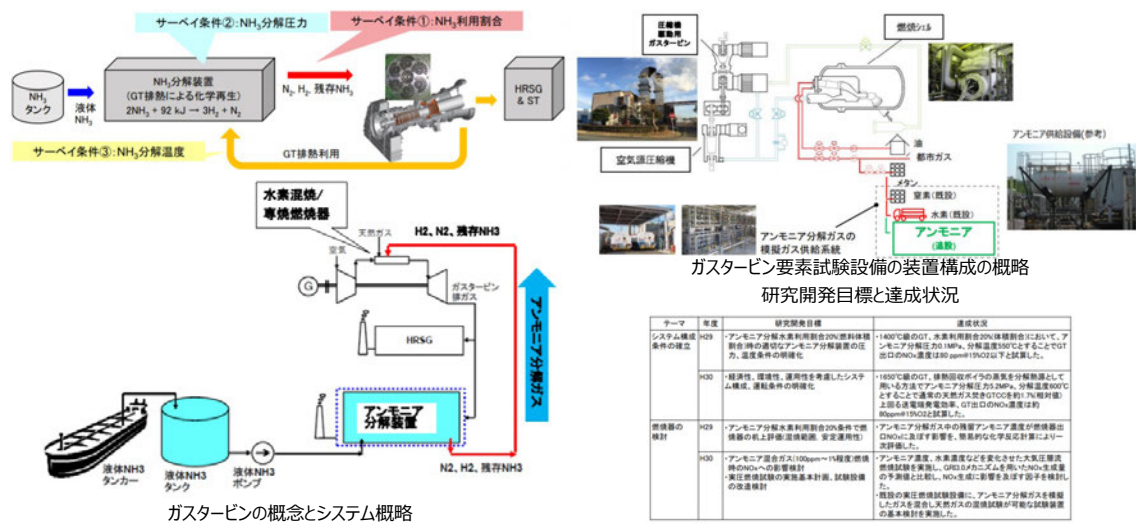


図 2.32 三菱重工業における技術開発事例 ²⁸⁾

(c) トヨタエナジーソリューションにおける技術開発事例

トヨタエナジーソリューションにおいては、平成 27 年度度、SIP における技術開発において、50kW 級のアンモニア専焼発電に成功した。平成 30 年より、300kW 級の発電設備の技術開発に着手。現状は、起動時にメタンを活用しているが、今後は液化アンモニアを燃料として活用するシステムの開発を行うとのことである。

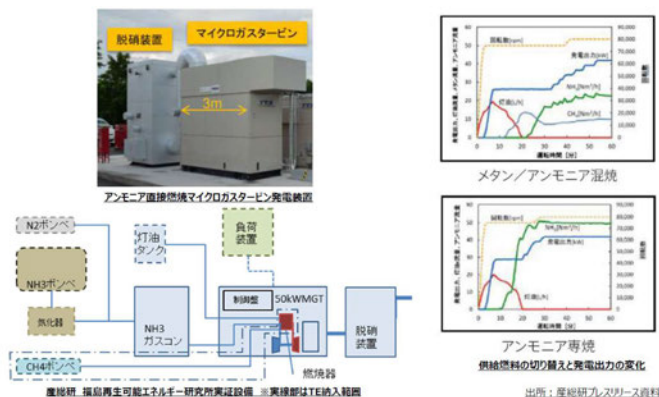


図 2.33 トヨタエナジーソリューションにおけるアンモニア発電の技術開発事例 ²⁹⁾

²⁸⁾ SIP「アンモニア利用ガスタービンの技術開発（システム及び燃焼器）」

²⁹⁾ 産業技術総合研究所プレスリリース

(d) 電力中央研究所

電力中央研究所においては、SIP 事業において、既設火力発電所でのアンモニア利用時における課題の抽出、微粉炭燃焼場でのアンモニア利用による環境改善の検討を行ってきた。

今後、既設火力発電所へのアンモニア混焼のニーズがある中において、これらの課題が保安面での課題解決に向けて参考になるものと思われる。

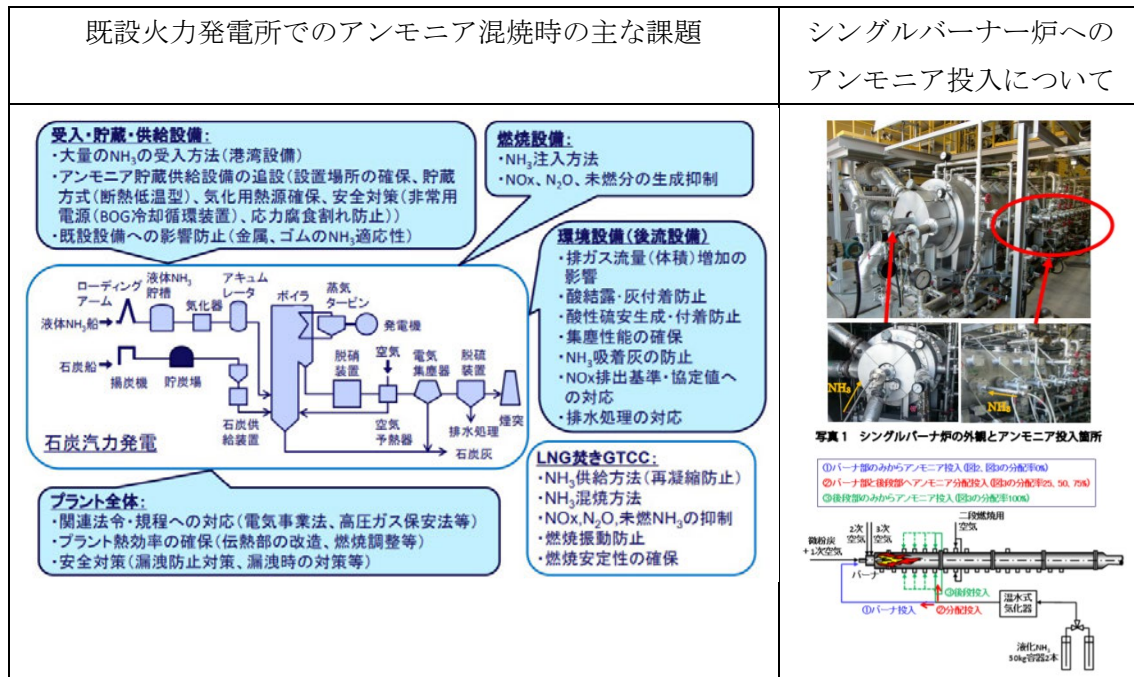


図 2.34 電力中央研究所におけるアンモニア発電に係る検討事例

(2) 今後のアンモニア発電のニーズ・技術動向

今後のカーボンニュートラルの実現に向けては、大規模アンモニア発電、さらに自家用発電に関する技術開発のニーズが確認された。また、技術的な動向としては、大規模アンモニア発電に向けた技術開発・実証事業の計画のほか、自家用発電設備に用いられる 50～300kW クラスの発電設備の技術開発が行われている。

表 2.9 に主なアンモニア発電のニーズや技術動向を示す。

表 2.22 今後のアンモニア発電のニーズ・技術開発動向

テーマ	主なプレイヤー	概要
大規模発電事業	JERA、IHI	・ JERA の碧南火力発電所 4 号機（100 万 kW）において 2024 年度にアンモニア 20%の混焼を実施予定 ・ JERA はアンモニア貯蔵タンクや気化器等の付帯設備の建設を担当、IHI は実証用のバーナの開発を担当
火力発電所での CO ₂ フリーアンモニア燃料利用拡大	J パワー、中外炉工業、電力中央研究所、大阪大学、産業技術総合研究所	・ 既設石炭火力発電所における燃料アンモニア利用に向けた研究開発の実施 ・ CO₂ フリー燃料アンモニアの火力発電所への初期導入に向けた調査研究の実施
自家発用の発電設備の実証事業	トヨタエナジーソリューション	・ トヨタエナジーソリューションでは、環境省事業を活用し、50kW のガスタービン発電設備にて熱電供給の実証を開始 ・ 今後は液化アンモニアを燃料とした 300kW クラスの発電設備の技術開発を実施
ガスエンジンの開発	大阪ガス・豊田自動織機	・ 大阪ガスは豊田自動織機と共同で、環境省事業を活用し、アンモニア燃料用小型エンジンシステムの技術開発及び実証を開始

(a) アンモニア発電の実機での実証事業

JERA、IHI では、NEDO の助成事業「カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発／アンモニア混焼火力発電技術研究開発・実証事業」で採択され、JERA の碧南火力発電所 4 号機（発電出力：100 万 kW）において、2024 年度にアンモニア 20%混焼を計画している。事業においては、JERA はアンモニア貯蔵タンクや気化器等の付帯設備の建設やアンモニアの調達、IHI は実証用バーナの開発を担当している。

図 2.35 に碧南火力発電所におけるアンモニア発電の実証事業の概要を示す。



図 2.35 碧南火力発電所における実証事業の概要と発電用ボイラーの概要 ^{30),31)}

³⁰⁾ 第 8 回 産業構造審議会 保安・消費生活用製品安全分科会 電力安全小委員会 電気保安制度ワーキンググループ資料

³¹⁾ JERA プレスリリース

(b) J パワーにおける CO₂ フリーアンモニア燃料利用拡大に向けた研究開発

J パワーにおいては、中外炉工業、電力中央研究所、大阪大学及び産業技術研究所と協力により、石炭火力における燃料アンモニア利用に向けた研究開発及び CO₂ フリー燃料アンモニアの導入に向けた調査研究を開始した。

本研究では、アンモニアバーナの大型化を図り、既設の石炭ボイラーでアンモニア混焼に向けた技術開発を行うものである。また、本研究では、燃料アンモニアの利用拡大を図るため、利用側のみではなく、アンモニアの供給側における CO₂ フリーのアンモニアの初期導入に向けた調査研究を実施する。

<概 要>

既設石炭ボイラーでのCO₂フリー燃料アンモニアの初期導入を効率的に行うため、アンモニアの利用側と供給側を一体的に検討し、燃料アンモニアの利用拡大を図ることを目的とする。

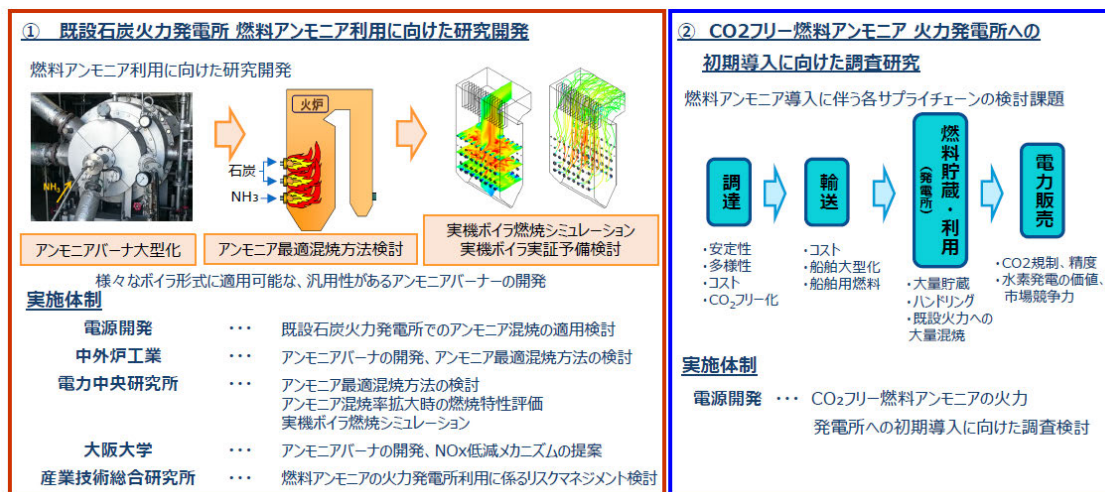


図 2.36 J パワーにおける火力発電所での CO₂ フリーアンモニア燃料利用拡大に向けた研究開発 ³²⁾、³³⁾

³²⁾ 出所：J パワー提供資料

³³⁾ 本研究は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）事業「カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発／アンモニア混焼火力発電技術研究開発・実証事業」に採択されたものである

(c) トヨタエナジーソリューションにおけるアンモニア発電の実証事業

トヨタエナジーソリューションにおいては、環境省事業である、令和 3 年度環境省CO₂排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業「アンモニアマイクロガスタービンのコージェネレーションシステムを活用したゼロエミッション農業の技術実証」プロジェクトを開始した。

農業用ハウス栽培では、周年化に伴う暖房用の灯油や冷房用の電力消費によるCO₂排出が課題となっている。本事象事業ではカーボンフリーのアンモニア燃料によるマイクロガスタービンのコージェネレーションを活用した周年ハウス農業の最適栽培管理システムを開発し、農業分野におけるカーボンフリー燃料への転換と電化促進を実現することで、農作物の生産性向上とCO₂排出削減に貢献するものである。

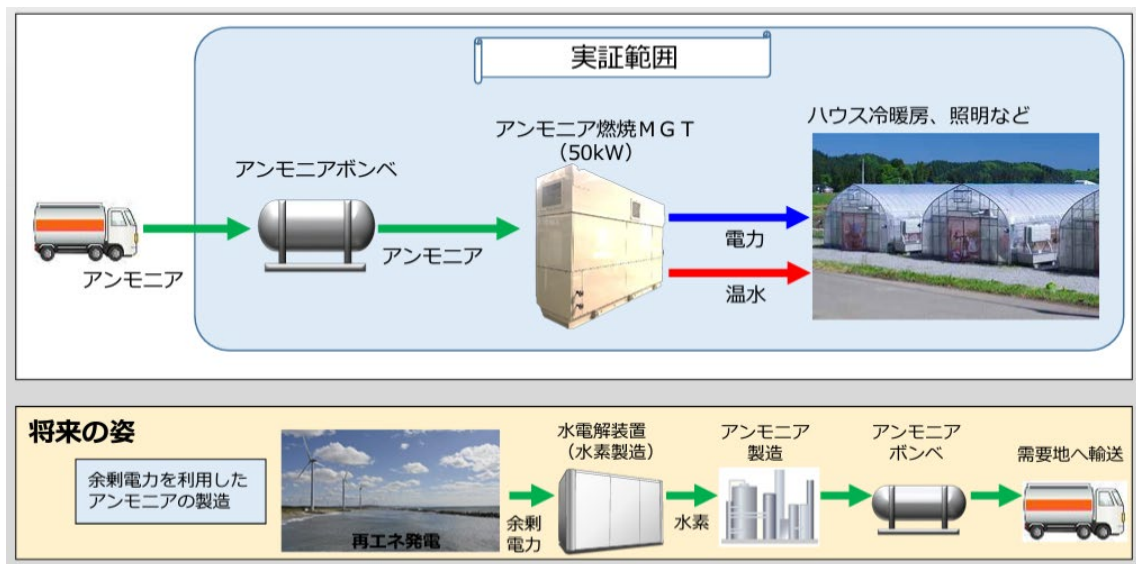


図 2.37 環境省実証事業の範囲と将来のイメージ³⁴⁾

³⁴⁾ トヨタエナジーソリューションプレスリリース

(d) 大阪ガス・豊田自動織機におけるアンモニアガスエンジンの開発

大阪ガスは豊田自動織機と共同で、環境省事業CO₂排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業「各種産業活動における脱炭素に向けたアンモニアを燃料とする小型内燃機関利用技術開発」にて、アンモニアガスエンジンの開発を活用し、アンモニア燃料用小型エンジンシステムの技術開発及び実証を開始した。

コージェネレーションやGHP向けのガスエンジン開発を活用し、アンモニアを燃料としたエンジンの技術開発を実施する。

アンモニア燃焼の技術課題			
	都市ガス(13A)	アンモニア(NH ₃)	技術課題
発熱量 (単位)	45 MJ/Nm ³	17 MJ/Nm ³ 小さい	トルク低下
最少着火 エネルギー	0.28 mJ	680 mJ 着火しにくい	失火
燃焼速度	40 cm/s	20 cm/s 遅い	出力低下
			参考: 水素(H ₂)
			12.8 MJ/Nm ³ 小さい
			0.011 mJ 着火しやすい
			300 cm/s 非常に速い

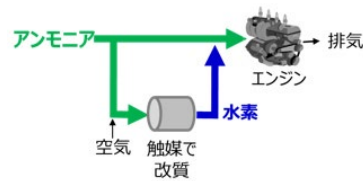


図1. エンジンシステムの概要

図2. エンジンシステムの外観

図 2.38 アンモニアガスエンジンの概要等 ³⁵⁾

2.3.2 アンモニア発電に関する保安技術動向

(1) 工学システムに対する社会の安全目標

平成 26 年に日本学術会議において工学システムに対する社会の安全目標の基本的な考え方がガイドラインとしてまとめられている。その中から安全目標についての基本的な考え方及び化学プラントにおける安全目標の考え方を以降に整理する。

(a) 安全目標策定に関する前提

安全の定義としては、ISO/IEC Guide 51 の定義である「受容できないリスクがないこと」を採用し、対象となる事項としては、生命、心身の健康、財産、環境、に加え、情報（喪失、漏洩）、経済、物理的被害、社会的混乱等としている。

安全目標の策定における前提を以下に引用する。

- ① 安全目標は時代と共に変化するという認識に立ち、理想的な社会状況を目指した理念的なものではなく、現代社会において実現が可能なものとする。なお、実現可能ということは、現状追認ではなく、今後の努力により技術的にも経済的にも達成可能なものという意味である。
- ② 安全目標の設定においては、経験した事故の再発防止はもちろんのこととして、未然防止の考え方を重視する。ここでいう未然防止とは、発生防止のみならず事象が拡大して避けたい影響に及ぶことを防ぐ概念も含まれる。
- ③ 安全目標は、人命に加え、社会リスクの観点も考慮に入れて対象のシステムの稼働・不稼働がもたらす人・社会・環境への多様なリスクを勘案して決定すべきものである。ここでいう多様なリスクの勘案とは、多様な価値観が存在する状況下で許容できるリスクのバランスのあり方を考え、社会的合意を得るための概念である。以下ではこの概念を最適化という言葉で表すことがある。ただし、ここでいう最適化とは、特定の最適化方程式で解を一意的に定めるという意味ではなく、あくまで上で述べた多様なリスクの特徴を勘案し、そのバランスをとることをいう。
- ④ 本安全目標は、各工学システムの特徴を検証しつつ、工学システム全体を包括するものとする。
- ⑤ 製造者、運用者と利用者の責任をバランスよく考える必要がある。

(b) 安全目標の設定

安全目標の設定は、「人命を対象とした目標」と「社会リスクに対する目標」に対して検討した。また、目標に対する基準として、達成出来ない場合は許容されない基準として「対象とする工学システムが如何に社会に対して有効な機能を有していても安全の確保のために最低限満足すべき要求」、更なる改善を必要としない基準として「満足すれば無条件で許容できると考えられるすなわち更なる改善を必要としない」を定め検討を実施した。

(i) 人命を対象とした目標

人命を対象にした目標においては、範囲や規模によって一律に定められるわけではないことを明確にする必要がある。また、不特定の個人に影響を与える工学システムについては、そのシステムの事故による個人の生涯死亡リスクとして、達成できない場合は許容されない基準値を少なくとも 10^{-3} /年 $\sim 10^{-4}$ /年にすること、更なる改善を必要としない基準値は、 10^{-5} /生涯 $\sim 10^{-6}$ /生涯以下であるものを当面の目標とすることを提案している。

(ii) 社会的リスクに対する目標

社会的リスクに対する目標においては、大きい工学システムの対象となる事故の発生確率と事故が発生した際の被害軽減対策により、望ましくない事象の結果を小さくして提案する安全目標を達成することを求めている。事故が発生した際の被害軽減対策の実効性が検証できない場合は望ましくない事象の起こる頻度を小さくすることが求められる。

(c) 工学システム安全に対する要求事項

工学システムの要求事項として、(b) に加え、工学システムの現状リスク算定の際にチェックすべき 15 の事項を提案している。以降にチェックすべき 15 の事項を示す。

- ① 経験した災害・事故・トラブルに限定することなく、可能性を洗い出すように努めること
- ② 安全性評価にとどまらず、どこまでいけば危険かという危険性を評価し限界を見極めること
- ③ 対象とする製品・システムに関しては、製造から廃棄までのリスクを総合的に評価すること
- ④ 設備・部材・製品の故障・経年劣化を反映すること
- ⑤ ヒューマンファクタを考慮すること
- ⑥ ソフトウェアリスクを考慮すること
- ⑦ 変更管理によるリスクを考慮すること
- ⑧ 不確定性の高いパラメータは、その設定の考え方について明らかにすること（原則として、希望的観測にもとづきリスクを小さく評価しないように注意すること）
- ⑨ 最新の知識や環境の変化を反映すること
- ⑩ 自然災害等との複合事象も想定すること
- ⑪ 非定常作業時のリスク評価も行うこと
- ⑫ 事故拡大防止対策の失敗確率を考慮すること
- ⑬ 影響の大きさに関しては、人身への影響、物理的被害の影響のほか、環境（生態系、動物）・社会・地域・生活・組織等への影響も評価すること
- ⑭ 使用する情報の公開性・検証性を確保すること
- ⑮ リスク論的目標設定を行うのは、対象システム等の現状リスクが検証できる範囲に限るものとする。

(d) 化学プラントにおける安全目標やリスクの考え方

化学プラントにおける安全目標（案）として以下が挙げられる。以降に各項目の概要を示す。

- ① 「事故ゼロ」は理念目標であるが、現実実現可能な目標とする。
- ② 危害評価は、労働安全、経済的損失並に社会への影響を含めて評価する。
- ③ 重大事故の防止を図る。
- ④ リスクアセスメントを実施し、評価に基づいて、優先順序をつけて対応する。
- ⑤ 社会的に許容されない事故（致命的リスク）は、たとえ、発生確率が小さくとも避ける。その際に、地域社会に影響を及ぼさないようにする。
- ⑥ 仮に事故が起きても、被害を最小化するように、設計段階から取り組む。
 - 危険物保有量の最小化
 - 影響の及ぶ範囲を局所化

(i) 危害の大きさの考え方

危害の大きさは、労働安全に加え、事故が社会にもたらす影響を含めて設定をする必要がある。社会への影響を含めて評価をしている例として、石油化学工業協会（石化協）の事故評価基準（CCPS 評価法）を表 2.23 に、野口和彦氏によるリスク管理基準を図 2.39 に示す。

石化協の事故評価基準においては、「人の健康」、「火災・爆発」、「漏洩の潜在的影響」、「社会環境への影響」の4項目を5段階で評価した総合ポイント数で評価している。

野口和彦氏によるリスク管理基準においては、化学プラントの事故における損害額と年間発生確率との関係をまとめており、ポイントは2点ある。1点は、災害に伴う危害の大きさを経済的数値で評価している点である。2点目は、リスクの大きさは、通常、「危害の大きさ」×「発生確率」として評価するが、年間発生確率 10^{-5} 以下の確率は、数値としては算出できるが、発生確率の妥当性を現実には評価することが難しいとしている点である。

表 2.23 石化協事故評価基準（CCPS 評価法）³⁶⁾

強度 レベル (ポイント)	人の健康	火災・爆発	漏洩の潜在的影響	環境への影響 (環境対応費用)	社会への影響 (参考データ)
1(27)	複数死亡	直接被害額 10億円超	複数死亡の可能性 のある放出	2.5億円超	(参考;レベル2)
2(9)	1名死亡	1億～10億円	構外で死亡の可能 性のある放出	1億～2.5億円	
3(3)	休業災害	1千万～1億円	敷地内放出	1億円未満	(参考;レベル3)
4(1)	応急手当	250万～1千万円	放出が二次防護施 設内でしきい値以 上	短期的な改善対 応	(参考;レベル4)
5(0.3)	レベル4未満	250万円未満	レベル4未満	レベル4未満	—

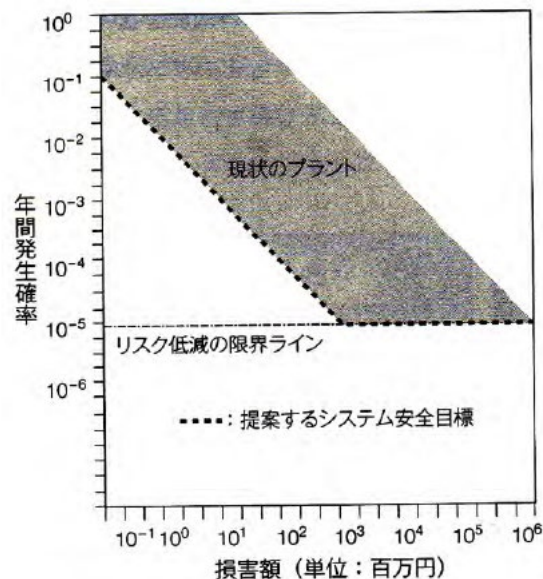


図 2.39 化学プラントの事故リスク状況とリスク基準³⁶⁾

(ii) 重大事故に対する考え方

英国安全衛生庁では、個々の事象のリスクの大きさを見積もり、その評価結果に基づいて、優先順序をつけてリスク低減措置、すなわち、重大事故の防止に重点を置いた安全管理を実施している。日本でも、「化学プラントにかかるセーフティ・アセスメントに関する指針」でリスクアセスメントが義務付けられており、英国安全衛生庁と同様の考え方を採用している。リスクアセスメントの考え方は、危険性または有害性等の調査等に関する指針・同解説（リスクアセスメント指針）に整理されている。

リスクアセスメント指針では、事故防止はリスク評価結果に基づき実施し、リスクのランクの高い重大事故は優先的にリスク低減措置を実施し、リスクのランクが低いリスクに対

³⁶⁾ 出所：工学システムに対する社会の安全目標（平成 26 年 9 月 17 日、日本学術会議，総合工学委員会，工学システム に関する安全・安心・リスク検討分科会）

しては必要に応じてリスク低減措置を実施することとしている。また、致命的事故は発生可能性の度合いがほとんどない場合においても、高いランクと評価し、直にリスク低減を講じるか、講ずるまでは使用しないことが望ましいとしている。

(iii) 社会に許容されない事故の考え方

社会的に許容されない事故は発生確率が小さくとも避ける必要がある。米国労働安全衛生庁における緊急事態のアクションレベル表や英国安全衛生庁の土地利用計画においては、事故が起きた場合に影響の及ぶ範囲が自社の敷地内に納まっているかどうか、社会的に許容されるか否かの基準となっている。

(iv) 被害の最小化の考え方

リスク低減対策を講じてもリスクをゼロにすることはできないので、安全対策を講じてもなお事故はあり得ると考えて、起きた場合の影響を極力小さくし、局所化する必要がある。例えば、設計段階から、仮に、爆発事故が起きたとしても、装置内に内在する危険物質の保有量を極力小さくすることで影響が小さくて済むように取り組むといった考え方や、リスクを完全に抑え込むと考えるのではなく、大事に至らぬように意図的に装置内に弱い箇所等を作るといった考え方が重要である。

(2) 影響評価ツールを活用した安全対策の検討例

住友化学の宮田氏らの論文³⁷⁾をもとに化学プラントにおける影響評価ツール（特に大気拡散ツール）を活用した安全対策について以降に整理した。

始めに影響評価の大まかな流れを図 2.40 に示す。影響評価は、評価対象を選定し、条件を付したうえで、評価ツールを利用し計算を実施し、計算結果に応じて安全対策を実施するといった流れで実施されている。以降に各ステップの概要を示す。

³⁷⁾ 影響評価ツールを活用した安全対策の検討例（2005 年、宮田栄三郎）、大気拡散計算ツールを活用したガス検知器設置位置の最適化（2011 年、宮田栄三郎、繁樹）

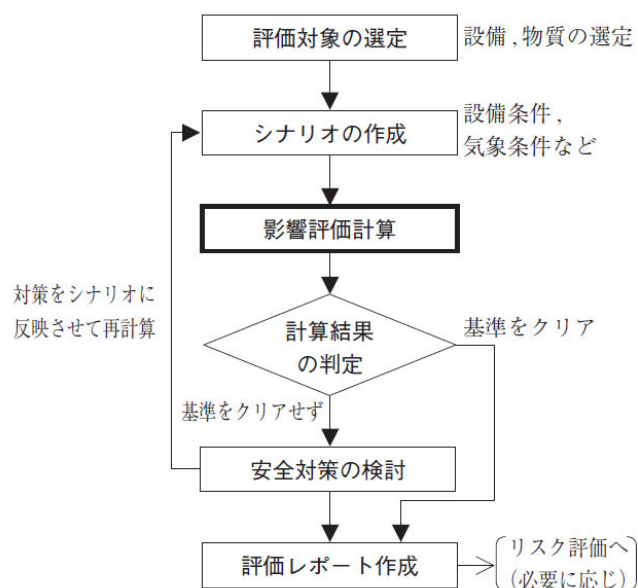


図 2.40 影響評価の概略フロー³⁸⁾

(a) 評価対象の選定

取り扱い物質の性質や取り扱いの量等に応じて、評価対象の選定を実施する。

(b) シナリオの作成

シナリオの作成では、想定する被害の種類を定義し、具体的な計算条件の設定をする。計算条件には、取り扱い条件（温度、圧力、保有量等）、発生源の条件（漏洩口径、高さ等）、気象条件などがある。住友化学の毒性物質取り扱いにおいて、条件の特定が困難である場合には、表 2.24 に示した標準シナリオを利用している。

表 2.24 住友化学における毒性ガスの標準シナリオ³⁹⁾

項目	条件等
漏洩口径	・ 25.4 mm φ（1 インチ）（配管からの漏洩や機器本体からの漏洩の場合）、または ・ 全断面開孔（内径 1 インチ未満の配管及びホース類の場合）
漏洩時間	・ 15 分、または ・ 15 分以内に内容物全てが漏洩する場合にはそれまでの時間
気象条件	・ 気温 25 度 ・ 風速 3m/s ・ 地表面粗さ 10cm（郊外を想定した） ・ 大気安定度 A、D、F

³⁸⁾ 出所：影響評価ツールを活用した安全対策の検討例（2005 年、宮田栄三郎）

³⁹⁾ 出所：大気拡散計算ツールを活用したガス検知器設置位置の最適化（2011 年、宮田栄三郎、繁樹）

漏洩口径は、米国石油協会（API）による化学プラントの漏洩事故の統計解析（一般破損確率推奨値）において口径毎の漏洩頻度が最も高いケースは 1 インチであったことを受けて設定されている。

(c) 影響評価

設定した評価対象及びシナリオに沿って影響評価を実施する。計算で得られるデータは発災事象の種類より異なる。大気拡散（急性暴露）の場合は濃度、暴露時間、死亡率のデータが得られる。大気拡散の影響評価ツールは大まかに分けて 3 種類に分類される。以下に概要を整理する。

(i) 簡易計算法

化学物質の漏洩量から簡易的に影響距離や面積を算出する方法である。計算ツールの例としては、Risk Management Program（EPA）、Risk Based Inspection（API）、化学物質暴露指数（DOW 社）が挙げられる。

(ii) 拡散式

正規分布型プルームモデル等の拡散式に従って大気中の濃度分布を算出する方法である。計算ツールの例としては、Risk Manager（日本化学工業会）、METI-LIS（経済産業省）、TRACE（SAFER Systems 社）、Real-Time（SAFER Systems 社）、PHAST（DNV 社）、EFFECTS, DAMAGE（TNO）が挙げられる。

(iii) 数値解析（3D CFD）

3 次元流体コードにより運動方程式や拡散方程式を数値的に解いて気流や大気中の濃度分布を算出する方法である。計算ツールの例としては、Auto ReaGas（Century Dynamics 社）、fluidyn（TRANSOFT 社）、FLACS（Gexcon 社）が挙げられる。

(d) 計算結果の判定

結果の判定として、環境評価ツールを用いて計算した結果と設定した評価基準を比較し基準をクリアしているか判定し、クリアしていない場合は、安全対策を検討する。評価の基準としては、定常排出のシナリオの際には労働者に対する許容濃度を評価基準とすることが多く、許容濃度の値には日本産業衛生学会の勧告値、ACGIH（米国産業衛生専門家会議）の TLV-TWA が広く使われている。また、非定常時（意図せぬ漏洩等）を想定したシナリオの際には、急性暴露に対する評価基準を用いることが多い。

住友化学では毒性物質の敷地外（事業所内）の最大到達濃度が EPRG-2 とならないことを基準としている。EPRG-2 とは米国工業衛生協会（AIHA）の基準であり、最大 60 分間の暴露で殆ど全ての人々が不可逆的な健康障害、あるいは保護具着用等の行動能力の低下を生じない最大濃度と規定されている。

(e) 計算例（臭素タンクからの液漏洩の場合）

影響評価ルールを利用した安全対策の具体的な検討例を以下に示す。

- ① 対象機器：臭素の液化タンク
- ② シナリオ：タンク本体に腐食等によってピンホールが発生して臭素が防液堤内に漏洩し、蒸発によって大気に放出される

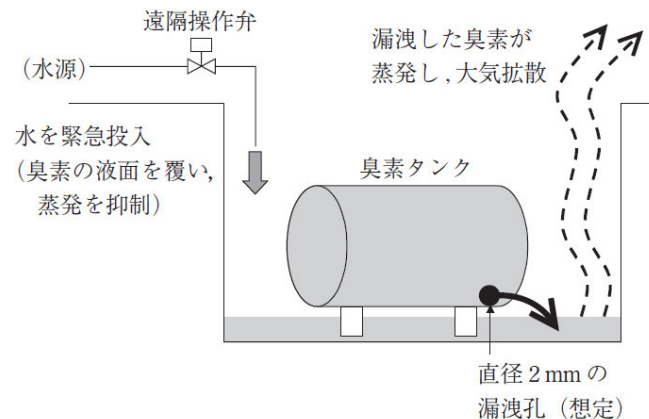


図 2.41 想定シナリオ ³⁸⁾

③ 計算条件：

(ア) 漏洩条件

タンク：直径 1 m 長さ 3m、臭素保有量：5 トン、液温：25℃

タンク内圧：大気圧、漏洩口の直径：2 mm、漏洩口の位置：タンク最下面

防液堤面積：20 m²、蒸発時間：20～60 分

(イ) 放出源モデル タンク漏洩（およびプール蒸発）

(ウ) 気象条件 気温：25℃、風速：1.5m/s、大気安定度：中立

(エ) 着目濃度 0.5ppm

臭素の ERPG-2（最大 60 分間の暴露で殆どすべての人が不可逆的な健康障害あるいは保護服着用等の行動能力の低下が生じない最大濃度）

(オ) その他 敷地境界までの距離：350m

④ 計算結果：

計算結果を表 2.25 に示す。蒸発時間が 30 分となったときに ERPG-2 の到達距離が敷地境界距離の 350m に達する。

表 2.25 蒸発時間と EPRG-2 到達距離の関係³⁸⁾

蒸発時間 (分)	EPRG-2 到達距離 (m)
20	310
25	330
30	350
60	480

⑤ 安全対策：

計算結果より、漏洩開始から漏洩検知～水投入～表面被覆までの一連の流れを 30 分で完了する必要がある。

(3) アンモニアの急性毒性に対する予備的リスク評価事例⁴⁰⁾

S I P (戦略的イノベーション創造プログラム) において、産業技術総合研究所が実施した「アンモニア直接利用におけるリスク評価のための予備調査」においては、アンモニアの拡散評価を伴う予備的なリスク評価を実施しており、ここで整理した。

図 2.42 にリスク評価の枠組みを示す。

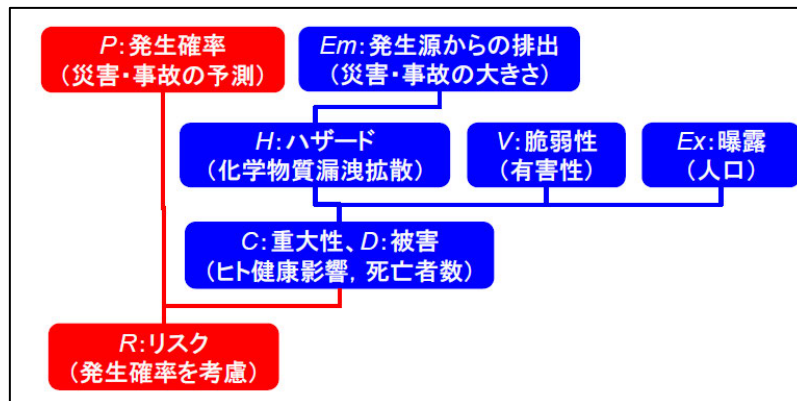


図 2.42 リスク評価の枠組み⁴⁰⁾

(a) 事故シナリオ

事故シナリオ⁴¹⁾は以下の通りである。

- ◆ ある地域に立地する液化アンモニア貯蔵工程の貯槽（15 トン）および配管からアンモニアが漏洩して、防液堤の液だまりから蒸発拡散すると仮定
- ◆ 漏洩規模をそれぞれ very small、minor、medium、major、rupture の 5 段階に

⁴⁰⁾ 「アンモニア直接利用におけるリスク評価のための予備調査」(産業技術総合研究所)

⁴¹⁾ 米国 Sandia 国立研究所 (SNL) では、構成機器の漏洩頻度の推定モデルとして、漏洩サイズと漏洩孔面積比 (FLA (Flow Leak Area)) の二つで表現するモデルが提案されており、それが活用されている

分けた。すなわち、工程の配管断面積に対する漏洩孔面積の割合（Flow Leak Area: FLA）をそれぞれ 0.01%、0.1%、1%、10%、100%と設定（LaChance, 2009）

- ◆ 各設備からアンモニアが漏洩した時に、大気圧になるまで漏洩し続けると仮定

(b) シミュレーション

産総研（AIST）で開発中のツール（吉田と吉田、2018）を用いて、アンモニア漏洩後の液だまりからの大気への揮散後の大気拡散シミュレーションを実施（ただし重ガス非対応）。

気象条件は、近隣観測所の 1 時間ごとの風向・風速別の大気安定度出現頻度データを使用し、発生源から半径 700m 周辺までの空間範囲、地上 1.5 m の観測高さにて、気象条件に応じた漏洩後 30 分間の平均大気中濃度を空間 10m メッシュごとに推定。

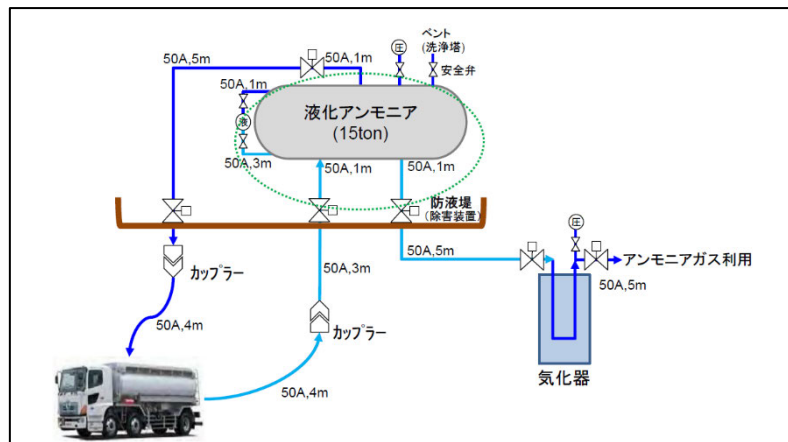


図 2.43 液化アンモニア貯蔵工程のモデルフロー⁴⁰⁾

(c) 事故発生確率と脆弱性

事故発生確率は、木原ら（2017）の方法を用いて、設備・機器ごとのアンモニアの漏洩頻度をベイズ推論により推定。Sandia National Laboratories（2009）が報告している漏洩頻度の推定結果を事前分布として設定し、国内の圧縮天然ガス（CNG）スタンド事故事例データ（高压ガス保安協会）から得られた漏洩頻度を更新データとした。

各事故シナリオの設備・機器の構成をもとに、事故シナリオごと、漏洩規模ごとに漏洩頻度が推定された。

アンモニア吸入による致死の被害関数（死亡確率）は複数あるが、ワーストケースシナリオとなるデータをリスク評価に使用した。

図 2.44 にアンモニア漏えい頻度とアンモニア吸入によるヒト致死の被害関数を示す。

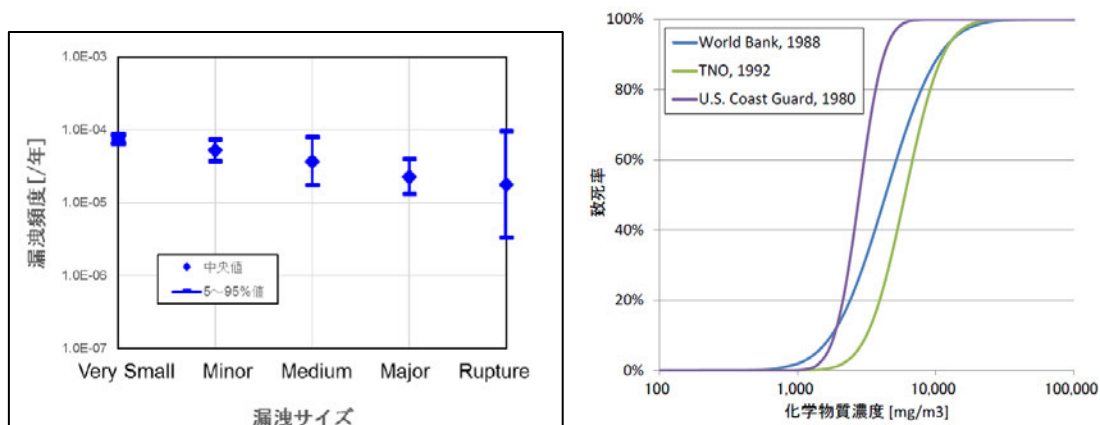


図 2.44 アンモニア漏えい頻度とアンモニア吸入によるヒト致死の被害関数⁴⁰⁾

(d) リスク評価に用いた閾値

プロセス安全管理の立場からは、Kolluru et al. (1995) に示されている、公衆の平均個人致死リスクの許容レベルとして年間 10^{-6} 未満として評価された。

SIP において産業技術総合研究所が実施した水素ステーションのリスク評価では、ISO で検討されている基準 (ISO (2018) Draft international standard ISO 19880-1, Gaseous hydrogen - Fueling stations -) が使用された (ただし、アンモニアに同様の基準はない)。このリスク許容基準は、ステーション外部の住民、通行者等のヒト死傷リスクが 10^{-6} (/年間) 未満、ステーション内の労働者、スタンド利用者のヒト死傷リスクが 10^{-4} (/年間) 未満と仮定された。

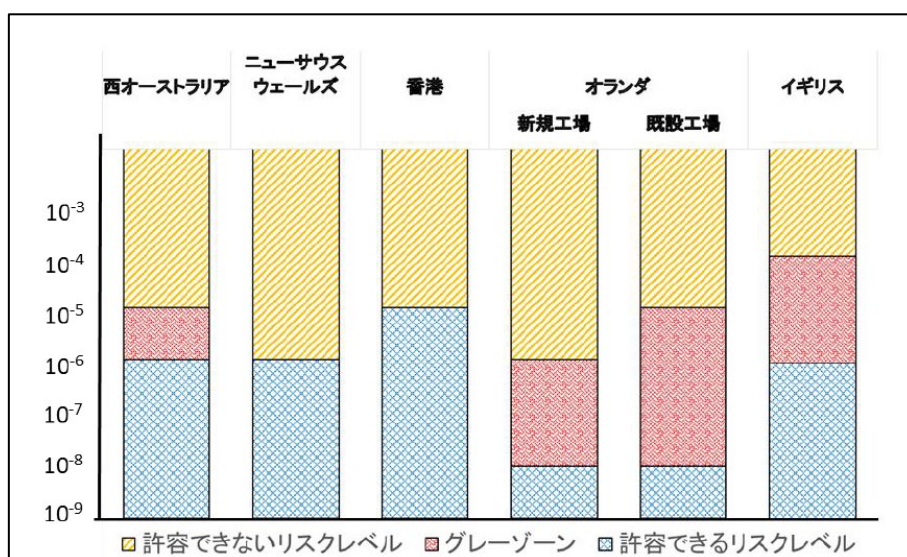


図 2.45 化学プラント周辺環境におけるリスク許容基準の例⁴²⁾

⁴²⁾ Quest Consultants Inc., 2009

(e) リスク評価結果

リスク評価結果として、漏洩源から 320m の距離までは許容レベルを満たさない懸念がある結果が得られた。

今後の課題として、以下の課題が挙げられた。

- ◆ 発生確率推定が CNG スタンドの事故データにもとづいた解析のため、アンモニア取扱施設に特化したデータ解析が今後必要である
- ◆ 漏洩条件によってはアンモニアが重ガスの挙動を示すが、本解析で使用した急性影響評価ツールは重ガス対応ではないため、重ガス対応のモデルを今後活用する必要がある
- ◆ 降雨時のアンモニアの濃度低減の程度を示す必要がある
- ◆ 退避可能時間に応じた曝露時間の設定が必要である。現在は 30 分の設定としたが、アンモニアは臭気が強いので退避時間は短い可能性があり、適切な設定が今後必要である

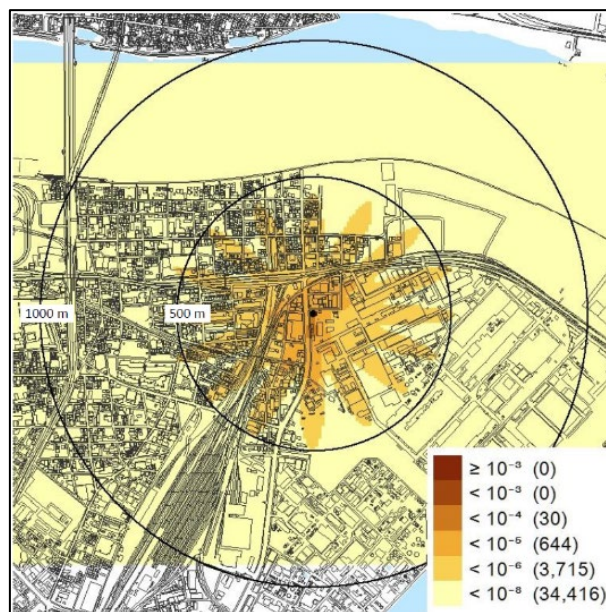


図 2.46 アンモニア漏えい確認による個人リスクの空間分布 ⁴⁰⁾

(4) アンモニアに係る事故事例の調査

高圧ガス保安協会の事故事例データベースの情報をもとにアンモニアに係る事故分析を実施した。1965 年以降のアンモニアに係る事故件数の推移を図 2.47、アンモニア事故に係る人的被害の推移を図 2.48 に示す。事故事例は 2000 年以降拡大傾向があり、2020 年には過去最大の 44 件の事故が発生している。一方、人的被害は 1970 年の 46 名（死者 1 名、軽傷 45 名）を最大に、2009 年の 10 名（死者 1 名、重傷者 1 名、軽傷者 8 名）以降、毎年 1 ～2 名の重傷者、軽傷者のみで死亡者はおらず、減少傾向にある。

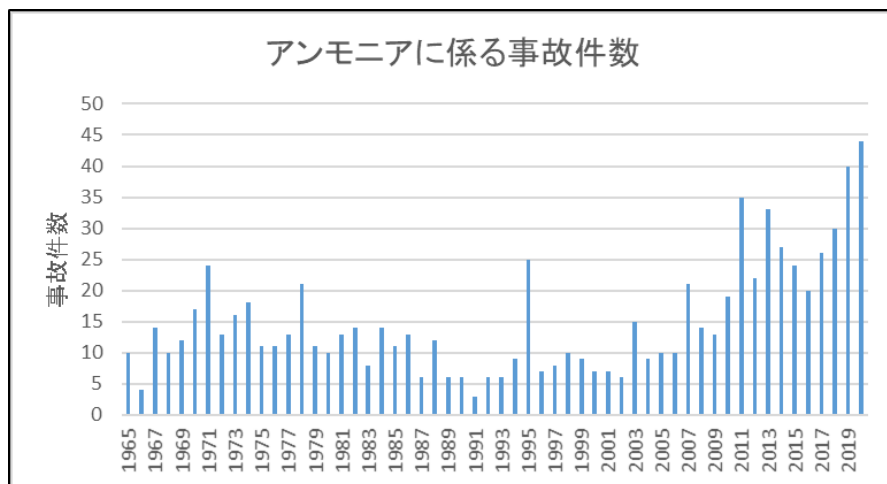


図 2.47 アンモニアに係る事故件数 ⁴³⁾

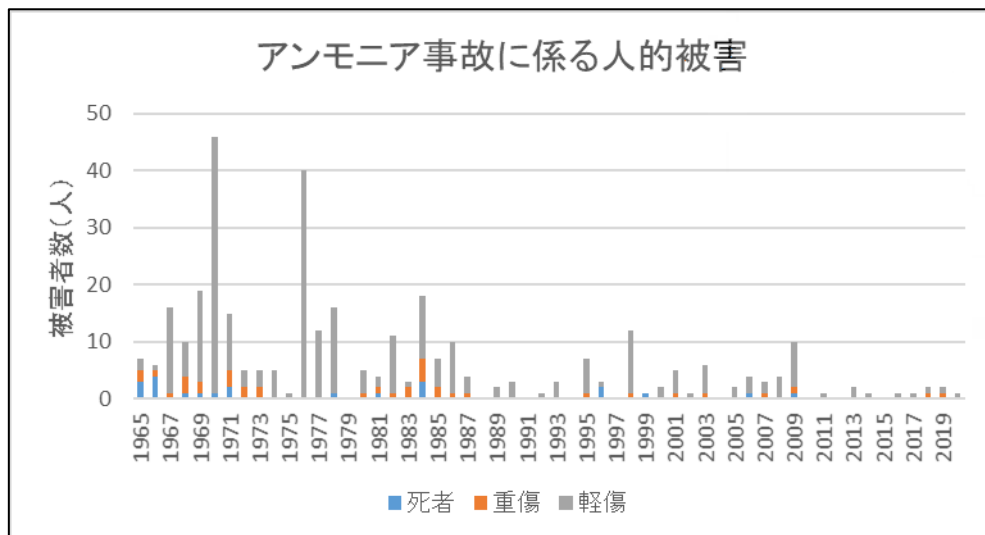


図 2.48 アンモニアに係る事故被害 ⁴³⁾

次に、アンモニアの事故事例の概要を分析した。事故の 1 次事象別の割合、2011 年以降

⁴³⁾ 高圧ガス保安協会 事故事例データベースの情報をもとにみずほリサーチ&テクノロジーが作成

の漏洩量、業種別割合、事故発生箇所の詳細分析結果を図 2.49 に示す。1 次事象としては漏洩事故が全体の約 80%を占めている。また、2011 年以降の漏洩量は、微量が大多数を占めている一方で、10t 以上の大規模漏洩事例も 3 件発生している。また漏洩量不明なものの中にも大規模漏洩のものも含まれている可能性がある。業種としては、食品が最も多く、大規模な事業者と想定される石油化学、石油精製では 23 件（約 3%）の割合である。事故発生箇所としては、配管が多く、次いで冷凍設備、バルブであり、発電設備では配管、バルブに留意が必要だと想定される。

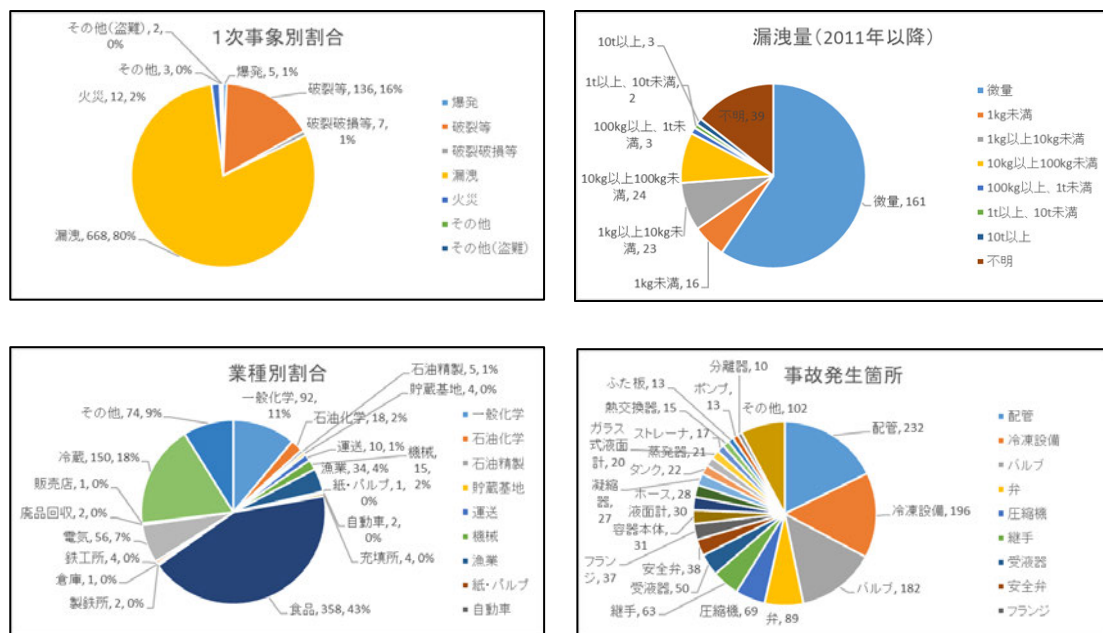


図 2.49 アンモニアの事故事例の概要分析 ⁴³⁾

以下に 1965 年～2020 年において大規模漏洩が生じた事例を以下に整理する。

(a) 他事業所からの飛来物で配管が破損、火災（2011 年 千葉県 漏洩量 49m³）

東北地方太平洋沖地震および茨城県沖地震により、コスモ石油千葉製油所で爆発事故が発生し、円盤状の飛来物が事業所内に落下したことにより、スタクションが破壊され、敷設されていたプロピレン配管が破断し、開口部から漏洩着火した。APP(アタクチックポリプロピレン)置場の火災によりプロピレン及び水素配管のフランジ部から出火したことにより発生した。事故の原因としては、火災による熱膨張で配管が変形しフランジ部から漏洩着火したと思われる。着火の原因は、飛来物が高温であったために引火したか、またはプロピレン漏洩時の静電気によると推定されている。

(b) アンモニア冷凍機の安全弁作動（2011 年 青森県 漏洩量 50m³）

事業所内の冷蔵設備で、冷却水の補給不良が発生し、圧力が上昇したため、安全弁が作動し、アンモニアが漏洩した。事故の原因としては、ブラインである冷却水を補給する井戸ポ

ンプの脱落によると推定されている。

(c) 冷凍設備の安全弁からのアンモニア漏洩（2013 年 群馬県 漏洩量 25m³）

アンモニア冷凍設備からアンモニアが漏洩した。直ちに冷凍設備の電源を遮断して、漏洩防止処置を実施後、水でアンモニアを希釈して、アンモニア濃度の低下を図った。事故の原因としては、経年劣化による、安全弁シート面の傷が原因で、安全弁が誤動作したものと推定されている。

2.3.3 アンモニア発電に関する保安規制動向

(1) 現状における保安規制

発電用火力設備においては、脱硝用のアンモニアが用いられることから、現行技術基準においても、一部記載されている。

表 2.26 に現行技術基準におけるアンモニアに関する事項を示す。

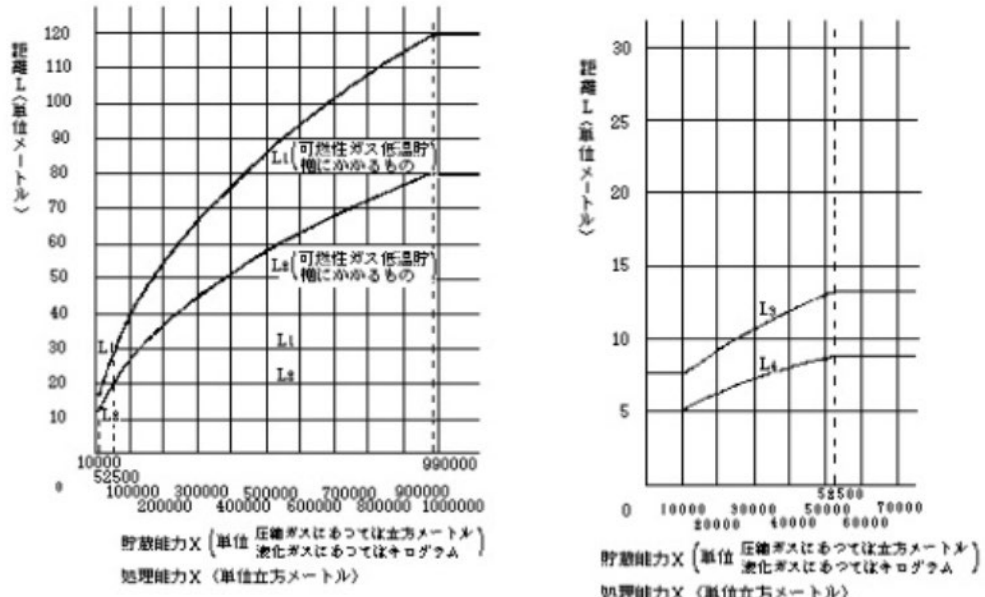
一方で、高圧ガス保安法においては、アンモニアについては毒性ガスとして LNG や水素等の可燃性ガスと異なる要求がされており、現行の電気事業法における技術基準に記載されていない事項があることが確認された。

表 2.27 に高圧ガス保安法における可燃性ガスと毒性ガスとで要求事項が異なるものについて整理した。

表 2.26 現行技術基準におけるアンモニアに関する事項

対象	項目	技術基準の見直し内容
電気事業法施行規則	別表 3	・ 工事計画の届出の際に、ばい煙処理設備の項目にアンモニアの注入量及びアンモニア注入により発生するばいじんに係るばい煙濃度を示すことが記載済み
発電用火力設備の技術基準の解釈 (液化ガス設備)	①設備の設置場所	・ 防災作業上必要となる距離の確保（1,000t 以上は 10m）
	②液化ガス設備の材料	・ 高圧ガス保安法に規程される材料を適用する
	③貯槽及び支持物並びに基礎	・ 高圧ガス保安法に準拠する
	④接合	・ アンモニアを通ずる管にあつては、溶接による接合であること（ただし、溶接によることが適当でない場合は、保安上必要な強度を有するフランジ又はねじによること）
	⑤ガスの漏えい対策	・ アンモニア設備には、ガスが漏えいしたときの除外のための措置を講ずること ・ 漏えいしたガスの拡散 ・ ガスの吸収のための設備及び適切な吸収剤 ・ 防毒マスクその他の保護具の保管と適切な維持

表 2.27 高圧ガス保安法（コンビナート等保安規則・一般高圧ガス保安規則）における毒性ガスと可燃性ガスにおいて異なる要求項目

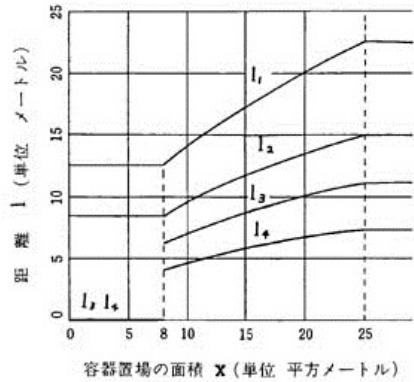
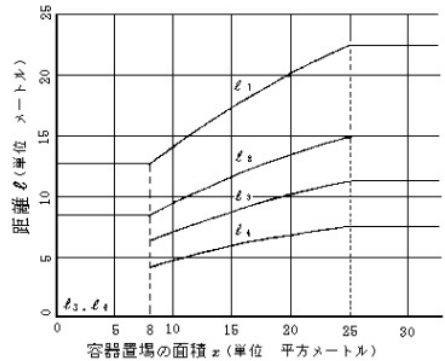
項目	コンビナート等保安規則		一般高圧ガス保安規則		電気事業法
	毒性ガス	可燃性ガス	毒性ガス	可燃性ガス	
保安物件に対する設備距離	【第5条第1項第四号】 毒性ガスの製造施設は、次に掲げる距離以上の距離を有すること。 イ 製造施設（ロに掲げるガス設備及び第六十五号に規定する容器置場並びに経済産業大臣が定める設備及び施設を除く。）の外面から当該特定製造事業所の境界線（特定製造事業所が複数の事業所に分割される（製造施設、設備及び製造の方法が変更されていない場合に限る。）ことに伴って、新たに設けられた境界線のうち経済産業大臣が定めるものを除く。）まで 二十メートル ロ ガス設備（経済産業大臣が定めるものを除く。）の外面から保安物件まで 当該ガス設備に係る貯蔵設備又は処理設備の貯蔵能力又は処理能力に対応する距離であつて、次に掲げる算式により得られたもの （イ） $0 \leq X < 1,000$ の場合 $L = 70 + 4\sqrt{10}$ （ロ） $1,000 \leq X < 10,000$ の場合 $L = 70 + 2\sqrt{5X}$ （ハ） $10,000 \leq X$ の場合 $L = 110$ 備考 これらの式において、L及びXは、それぞれ次の数値を表すものとする。 L ガス設備の外面から保安物件までの距離（単位 メートル） X 貯蔵能力（単位 圧縮ガスにあつては立方メートル、液化ガスにあつてはキログラム）又は処理能力（単位 立方メートル）	【第5条第1項第二号】 可燃性ガスの製造施設は、その貯蔵設備（地盤面下に埋設されたジメチルエーテルの貯蔵設備であつて、経済産業大臣が保安距離（保安物件に対し、五十メートル又は次に掲げる算式により得られた距離（可燃性ガス低温貯槽について当該得られた距離が液化石油ガス保安規則（昭和四十一年通商産業省令第五十二号）第六条第一項第二号若しくは第八条第一項第一号又は一般高圧ガス保安規則（昭和四十一年通商産業省令第五十三号）第六条第一項第二号の規定の例による距離（第一種保安物件に対するものに限る。）に満たない場合にあつては、当該規定の例による距離）のいずれか大なるものに等しい距離以上の距離をいう。以下この号において同じ。）を有することと同等の安全性を有するものとして認めた措置を講じているものを除く。）及び処理設備（経済産業大臣が定めるものを除く。）の外面から、保安距離（液化石油ガス岩盤貯槽にあつては、水封機能により気密性を有する部分に囲まれた空間に通じる金属製の配管（以下「金属管」という。）を設けた坑（以下「配管堅坑」という。）の内面から保安物件に対し五十メートル以上の距離）を有すること。ただし、経済産業大臣がこれと同等の安全性を有するものと認めた措置を講じている場合は、この限りでない。 $X = 0.4803\sqrt{(K \cdot W)}$ この式において、X、K及びWは、それぞれ次の数値を表すものとする。 X 有しなければならない距離（単位 メートル）の数値 K ガスの種類及び常用の温度の区分に応じて別表第二に掲げる数値 W 貯蔵設備又は処理設備の区分に応じて次に掲	【第6条第1項第二号】 製造施設は、その貯蔵設備及び処理設備の外面から、第一種保安物件に対し第一種設備距離以上、第二種保安物件に対し第二種設備距離以上の距離を有すること。 ＜参考1：第一種設備距離、第二種設備距離の考え方＞ 【第2条第1項第十九号】 第一種設備距離 次の図における貯蔵能力（単位 圧縮ガスにあつては立方メートル、液化ガスにあつてはキログラム）又は処理能力（単位 立方メートル）に対応する距離（単位 メートル）であつて、可燃性ガス及び毒性ガスの貯蔵設備、処理設備及び減圧設備にあつてはL1、酸素のものにあつてはL2、その他のものにあつてはL3によつて表されるもの  備考 1.Xは、貯蔵能力（単位 圧縮ガスにあつては立方メートル、液化ガスにあつてはキログラム）又は処理能力（ディスペンサーにあつては、当該設備に接続する処理設備の処理能力をいう。単位 立方メートル）を表わすものとする。 2. L1、L2、L3及びL4とXとの関係は、それぞれ次の表のとおりとする。	【火技解釈（コンビナート地域）第50条第1項】 一 液化ガス設備（管及びその附属設備を除く。）は、その外面から発電所の境界線（境界線が海、河川、湖沼等の場合は、当該海、河川、湖沼等の外縁）に対し、3 m 以上の距離を有するものであること。ただし、次に定めるものは、それぞれに定める距離を有するものであること。 イ ガスホルダー及び液化ガス用気化器であつて、ガスの最高使用圧力が 1 MPa 以上のものは 20 m 以上、ガスの最高使用圧力が 1 MPa 未満のものは 10 m 以上 ロ コンビナート等保安規則（昭和61年通商産業省令第88号）第2条第1項第二十二号の特定製造事業所に該当する発電所（以下「特定発電所」という。）に設置する液化ガス設備（イに規定する以外の設備であつて、液化ガスを通ずるもの又は最高使用圧力が 1 MPa 以上のものに限る。）であつて、燃焼熱量の数値（次号ニに掲げる式中の K と W の積をいう。以下同じ。）が 3.4×10^6 以上のもの又は毒性ガスを通ずるものにあつては、20 m 以上 【火技解釈（コンビナート地域）第50条第2項二】 二 特定発電所においてイに定める設備にあつては、その外面から発電所の境界線又はハに定める外縁に対し、ニに定める距離を有するものであること。 イ 発電用火力設備に関する技術基準の細目を定める告示（平成12年通商産業省告 34 示第479号）第1条に規定する液化ガス設備のうち、次に掲げるものを除く設備 （イ） ガスホルダー （ロ） 液化ガス用ポンプ及び圧縮機（専らガス若しくは液化ガスを当該発電所から送り出し、又は受け入れるために用いられる以外の場合にあつて	

項目	コンビナート等保安規則		一般高圧ガス保安規則		電気事業法				
	毒性ガス	可燃性ガス	毒性ガス	可燃性ガス					
					省令第三十七条第二項に規定する距離は、特定発電所に属する設備（毒性ガス又は毒性液化ガスを通ずるものに限る。）については、次の表の上欄に掲げる貯蔵能力又は処理能力に応じ、それぞれ同表の下欄に掲げる離隔距離以上とする。 <table><tr><td>貯蔵能力又は処理能力 （ガスにあつては立方メートル、液化ガスにあつてはキログラムを単位とする。）</td><td>離隔距離（メートルを単位とする。）</td></tr><tr><td>一万以上</td><td>120</td></tr></table> 前二項に規定する貯蔵能力は、貯槽にあつては第一号に掲げる計算式、ガスホルダーにあつては第二号に掲げる計算式により計算した値とする。 一X=CWV₁ X貯槽の貯蔵能力（キログラムを単位とする。） C〇・九（低温貯槽にあつては、その幾何容積に対する液化ガスを貯蔵する部分の容積の比の値） W貯槽の通常の使用状態での温度における液化ガスの液密度（キログラム毎立方メートルを単位とする。） V₁幾何容積（立方メートルを単位とする。） 二X=（10P+1）V₂ Xガスホルダーの貯蔵能力 （立方メートルを単位とする。） P最高使用圧力（メガパスカルを単位とする。） V₂幾何容積（立方メートルを単位とする。）	貯蔵能力又は処理能力 （ガスにあつては立方メートル、液化ガスにあつてはキログラムを単位とする。）	離隔距離（メートルを単位とする。）	一万以上	120
貯蔵能力又は処理能力 （ガスにあつては立方メートル、液化ガスにあつてはキログラムを単位とする。）	離隔距離（メートルを単位とする。）								
一万以上	120								
液化ガスの流出防止	【第5条第1項第三十五号】 可燃性ガス、毒性ガス又は酸素の液化ガスの貯槽（可燃性ガスの液化ガスの貯槽（液化石油ガス岩盤貯槽を除く。）にあつては貯蔵能力が五百トン以	【第5条第1項第三十五号】 可燃性ガス、毒性ガス又は酸素の液化ガスの貯槽（可燃性ガスの液化ガスの貯槽（液化石油ガス岩盤貯槽を除く。）にあつては貯蔵能力が五百トン以	【第6条第1項第七号】 可燃性ガス、毒性ガス又は酸素の液化ガスの貯槽（可燃性ガス又は酸素の液化ガスの貯槽にあつては貯蔵能力が千トン以上のもの、毒性ガスの液化	【第6条第1項第七号】 可燃性ガス、毒性ガス又は酸素の液化ガスの貯槽（可燃性ガス又は酸素の液化ガスの貯槽にあつては貯蔵能力が千トン以上のもの、毒性ガスの液化	【火技解釈第76条第3項】 貯槽（液化空気又は不活性液化ガスに係る貯槽、地下式貯槽及び地盤面下に貯槽の全部を埋設するものを除く。）の周囲には、次に掲げる規定に適合する防				

項目	コンビナート等保安規則		一般高圧ガス保安規則		電気事業法						
	毒性ガス	可燃性ガス	毒性ガス	可燃性ガス							
止 措 置	上、 <u>毒性ガスの液化ガスの貯槽にあつては貯蔵能力が五トン以上、酸素の液化ガスの貯槽にあつては貯蔵能力が千トン以上のものに限る。）の周囲には、液状の当該ガスが漏えいした場合にその流出を防止するための措置を講ずること。</u>	上、毒性ガスの液化ガスの貯槽にあつては貯蔵能力が五トン以上、酸素の液化ガスの貯槽にあつては貯蔵能力が千トン以上のものに限る。）の周囲には、液状の当該ガスが漏えいした場合にその流出を防止するための措置を講ずること。	<u>ガスの貯槽にあつては貯蔵能力が五トン以上のものに限る。）の周囲には、液状の当該ガスが漏えいした場合にその流出を防止するための措置を講ずること。</u>	ガスの貯槽にあつては貯蔵能力が五トン以上のものに限る。） <u>の周囲には、液状の当該ガスが漏えいした場合にその流出を防止するための措置を講ずること</u>	液堤を設けること（貯槽の外槽と防液堤が一体となった構造（内槽と防液堤が強度的に独立したものに限る。）の貯槽については、ハ、ニ（ニ）及びホの規定は適用しない。）。ただし、貯蔵能力 1,000 t（特定発電所にあつては 500 t）未満の可燃性の液化ガスに係る貯槽、又は貯蔵能力 5t 未満のアンモニア貯槽にあつてはこの限りでない。 イ 1 の貯槽に対し 1 の防液堤を設置する場合の当該防液堤の容量は、貯槽内の液化ガスが瞬時に流出した場合に液体として残留する量（以下「貯蔵能力相当容量」という。）を全量収容できるものであること。 ロ 2 以上の貯槽に対し 1 の防液堤を設置する場合（貯槽ごとに間仕切りを設けた場合に限る。）の当該防液堤の容量は、当該防液堤内の貯槽のうち最大貯槽の貯蔵能力相当容量に他の貯槽の貯蔵能力相当容量の合計の 10%を加えて得られた容量以上を全量収容できるものであること。 ハ 防液堤は、貯槽の外面对し十分な保守点検及び防災活動ができる距離を有すること。						
防 液 堤 内 外 の 設 置 措 置	【第 5 条第 1 項第三十六号】 前号に規定する措置のうち、防液堤又は施設を設置する場合には、その内側及びその外面から十メートル（貯蔵能力が千トン未満の可燃性ガスの液化ガスの貯槽に係るものにあつては八メートル、 <u>毒性ガスの液化ガスの貯槽に係るものにあつては毒性ガスの種類及び貯蔵能力に応じて経済産業大臣が定める距離）以内には、当該貯槽の付属設備その他の設備又は施設であつて経済産業大臣が定めるもの以外のものを設けないこと。</u> ただし、配管（当該貯槽に係るものを除く。）であつて、経済産業大臣がこれと同等の安全性を有するものと認めた措置を講じているものについては、この限りでない。	【第 5 条第 1 項第三十六号】 前号に規定する措置のうち、防液堤又は施設を設置する場合には、その内側及びその外面から十メートル（ <u>貯蔵能力が千トン未満の可燃性ガスの液化ガスの貯槽に係るものにあつては八メートル、</u> 毒性ガスの液化ガスの貯槽に係るものにあつては毒性ガスの種類及び貯蔵能力に応じて経済産業大臣が定める距離）以内には、当該貯槽の付属設備その他の設備又は施設であつて経済産業大臣が定めるもの以外のものを設けないこと。ただし、配管（当該貯槽に係るものを除く。）であつて、経済産業大臣がこれと同等の安全性を有するものと認めた措置を講じているものについては、この限りでない。	【第 6 条第 1 項第八号】 前号に規定する措置のうち、防液堤を設置する場合は、その内側及びその外面から十メートル（ <u>毒性ガスの液化ガスの貯槽に係るものにあつては、毒性ガスの種類及び貯蔵能力に応じて経済産業大臣が定める距離）以内には、当該貯槽の付属設備その他の設備又は施設であつて経済産業大臣が定めるもの以外のものを設けないこと。</u>	【第 6 条第 1 項第八号】 <u>前号に規定する措置のうち、防液堤を設置する場合は、その内側及びその外面から十メートル</u> （毒性ガスの液化ガスの貯槽に係るものにあつては、毒性ガスの種類及び貯蔵能力に応じて経済産業大臣が定める距離） <u>以内には、当該貯槽の付属設備その他の設備又は施設であつて経済産業大臣が定めるもの以外のものを設けないこと。</u>	【火技解釈第 53 条】 省令第 39 条第 1 項に規定する「防災作業のために必要となる距離」とは、10 m（特定発電所に設置する貯蔵能力が 1,000t 未満の可燃性ガスの液化ガスの貯槽に係るものにあつては 8 m）をいう。ただし、アンモニアの貯槽に係るものにあつては、次の表の左欄に掲げる貯蔵能力に応じ、同表の右欄に掲げる値をいう。（ X は、貯蔵能力（t を単位とする。）） <table><tr><td>貯蔵能力（t を単位とする。）</td><td>距離（m を単位とする。）</td></tr><tr><td>5 以上 1,000 未満</td><td>4/995（X・5）+6</td></tr><tr><td>1,000 以上</td><td>10</td></tr></table>	貯蔵能力（t を単位とする。）	距離（m を単位とする。）	5 以上 1,000 未満	4/995（X・5）+6	1,000 以上	10
貯蔵能力（t を単位とする。）	距離（m を単位とする。）										
5 以上 1,000 未満	4/995（X・5）+6										
1,000 以上	10										

項目	コンビナート等保安規則		一般高圧ガス保安規則		電気事業法
	毒性ガス	可燃性ガス	毒性ガス	可燃性ガス	
配管等の接合	【第5条第1項第四十一号】 <u>毒性ガスのガス設備に係る配管、管継手及びバルブの接合は、溶接により行うこと。</u> ただし、溶接によることが適当でない場合は、保安上必要な強度を有するフランジ接合又はねじ接合継手による接合をもつて代えることができる。	<u>可燃性ガスは対象外</u>	【第6条第1項第三十五号】 <u>毒性ガスのガス設備に係る配管、管継手及びバルブの接合は、溶接により行うこと。</u> ただし、溶接によることが適当でない場合は、保安上必要な強度を有するフランジ接合又はねじ接合継手による接合をもつて代えることができる。	<u>可燃性ガスは対象外</u>	【火技解釈 第69条第2項】 アンモニアを通ずる管にあつては溶接による接合であること。ただし溶接によることが適当でない場合であつて、保安上必要な強度を有するフランジ又はねじにより接合する場合にあつてはこの限りでない。
二重配管及び漏えい検知措置	【第5条第1項第四十二号】 アルシン等、亜硫酸ガス、 <u>アンモニア</u> 、塩素、クロルメチル、酸化エチレン、シアン化水素、ホスゲン又は硫化水素の <u>ガス設備に係る配管は、これらのガスの種類、性状及び圧力並びに当該配管の周辺の状況</u> （当該配管が設置されている事業所の周辺における第一種保安物件及び第二種保安物件の密集状況を含む。） <u>に応じて必要な箇所を二重管とし、当該二重管には、当該ガスの漏えいを検知するための措置を講ずること。</u> ただし、当該配管をさや管その他の防護構造物の中に設置することにより、配管の破損を防止し、かつ、漏えいしたガスが周辺に拡散することを防止する措置を講じている場合には、この限りでない。	<u>可燃性ガスは対象外</u>	【第6条第1項第三十六号】 特殊高圧ガス、五フッ化ヒ素等、亜硫酸ガス、 <u>アンモニア</u> 、塩素、クロルメチル、酸化エチレン、シアン化水素、ホスゲン又は硫化水素の <u>ガス設備に係る配管は、これらのガスの種類、性状及び圧力並びに当該配管の周辺の状況</u> （当該配管が設置されている事業所の周辺における第一種保安物件及び第二種保安物件の密集状況を含む。） <u>に応じて必要な箇所を二重管とし、当該二重管には、当該ガスの漏えいを検知するための措置を講ずること。</u> ただし、当該配管をさや管その他の防護構造物の中に設置することにより、配管の破損を防止し、かつ、漏えいしたガスが周辺に拡散することを防止する措置を講じている場合は、この限りでない。	<u>可燃性ガスは対象外</u>	<u>電気事業法及び関連規則に記載なし</u>
漏えい時の除害措置	【第5条第1項第四十六号】 アルシン等、亜硫酸ガス、 <u>アンモニア</u> 、塩素、クロルメチル、酸化エチレン、シアン化水素、ホスゲン又は硫化水素の <u>製造設備には、当該ガスが漏えいしたときに安全に、かつ、速やかに除害するための措置を講ずること。</u>	<u>可燃性ガスは対象外</u>	【第6条第1項第三十七号】 特殊高圧ガス、五フッ化ヒ素等、亜硫酸ガス、 <u>アンモニア</u> 、塩素、クロルメチル、酸化エチレン、シアン化水素、ホスゲン又は硫化水素の <u>製造設備には、当該ガスが漏えいしたときに安全に、かつ、速やかに除害するための措置を講ずること。</u>	<u>可燃性ガスは対象外</u>	【火技解釈 第76条第2項ハ】 ガスの滞留を防止するため次に掲げる措置を講じたものであること。 ハ アンモニアを通ずる容器を設置する場所には、当該ガスが漏えいしたときの除害のための措置を講じたものであること。 【火技解釈 第76条第5項】 アンモニア設備には、次に掲げる規定により、ガスが漏えいしたときの除害のための措置を講ずること。 イ 漏えいしたガスの拡散を適切に防止できるものであること。 ロ ガスの吸収のための設備及び吸収剤は、適切なものであること。 ハ 除害のための作業に必要な防毒マスクその他の

項目	コンビナート等保安規則		一般高圧ガス保安規則		電気事業法
	毒性ガス	可燃性ガス	毒性ガス	可燃性ガス	
					保護具を安全な場所に保管し、かつ、適切な状態に維持すること。
電 気 設 備 の 防 爆 性 能	【第5条第1項第四十八号】 可燃性ガス（ <u>アンモニア及びブロムメチルを除く。</u> ）の高圧ガス設備に係る電気設備は、その設置場所及び当該ガスの種類に応じた防爆性能を有する構造のものであること。ただし、ジメチルエーテルに係る試験研究施設に係る電気設備であつて、経済産業大臣がこれと同等の安全性を有するものと認めた措置を講じているものについては、この限りでない。	【第5条第1項第四十八号】 <u>可燃性ガス</u> （アンモニア及びブロムメチルを除く。）の 高圧ガス設備に係る電気設備は、その設置場所及び当該ガスの種類に応じた防爆性能を有する構造のものであること。ただし、ジメチルエーテルに係る試験研究施設に係る電気設備であつて、経済産業大臣がこれと同等の安全性を有するものと認めた措置を講じているものについては、この限りでない。 	【第6条第1項第二十六号】 可燃性ガス（アンモニア及びブロムメチルを除く。）の高圧ガス設備に係る電気設備は、その設置場所及び当該ガスの種類に応じた防爆性能を有する構造のものであること。可燃性ガス（ <u>アンモニア及びブロムメチルを除く。</u> ）の高圧ガス設備に係る電気設備は、その設置場所及び当該ガスの種類に応じた防爆性能を有する構造のものであること。	【第6条第1項第二十六号】 <u>可燃性ガス</u> （アンモニア及びブロムメチルを除く。）の 高圧ガス設備に係る電気設備は、その設置場所及び当該ガスの種類に応じた防爆性能を有する構造のものであること。 	【電気設備に関する技術基準を定める省令の解説第69条】 可燃性のガス又は引火性物質の蒸気が存在する場所や、火薬類が存在する場所等に施設する電気設備は、電気設備が点火源となり、爆発又は火災の発生のおそれがないようにそれぞれの場所に応じて工事方法及び電気機械器具の構造を選定し、施設することを規定している。第一号を例にとると、可燃性ガスは、常温において気体であり、空気とある割合の混合状態であるときに点火源があれば爆発・火災を起こす。このような場所の電気設備におけるアーク（火花）の発生や著しい温度上昇等は、点火源となりやすいため、これを避けることを必要としている。
製 造 設 備 の 識 別 措 置	【第5条第1項第五十二号】 <u>毒性ガスの製造施設には、他の製造施設と区分して、その外部から毒性ガスの製造施設である旨を容易に識別することができるような措置を講ずること。</u> この場合において、ポンプ、バルブ及び継手その他 <u>毒性ガスが漏えいするおそれのある箇所には、その旨の危険標識を掲げること。</u>	<u>可燃性ガスは対象外</u>	【第6条第1項第三十三号】 <u>毒性ガスの製造施設には、他の製造施設と区分して、その外部から毒性ガスの製造施設である旨を容易に識別することができるような措置を講ずること。</u> この場合において、ポンプ、バルブ及び継手その他 <u>毒性ガスが漏えいするおそれのある箇所には、その旨の危険標識を掲げること。</u>	<u>可燃性ガスは対象外</u>	<u>電気事業法及び関連規則に記載なし</u>
容 器 置 場	【第5条第1項第六十五号ハ】 毒性ガスの容器置場（貯蔵設備であるものを除く。）は、その外面から保安物件に対し次に掲げる算式により得られた値以上の距離を有すること。 （イ） $0 \leq X < 9$ の場合 $m = 5.4$ （ロ） $9 \leq X < 25$ の場合 $m = 18\sqrt{X}$ （ハ） $25 \leq X$ の場合 $m = 90$ 備考 m 容器置場の外面から保安物件までの距離（単位 メートル） X 容器置場の面積（単位 平方メートル） 【第5条第1項第六十五号リ】	【第5条第1項第六十五号ロ】 可燃性ガス及び酸素の容器置場（充填容器等が断熱材で被覆してあるもの及びシリンダーキャビネットに収納されているものを除く。）は、一階建とする。ただし、圧縮水素（充填圧力が二十メガパスカルを超える充填容器等を除く。）のみ又は酸素のみを貯蔵する容器置場（不活性ガスを同時に貯蔵するものを含む。）にあつては、二階建以下とする。 【第5条第1項第六十五号二】 毒性ガス以外のガスの容器置場（貯蔵設備であるものを除く。）であつて、次の表に掲げるもの以外のものは、その外面から、第一種保安物件に対し第	【第6条第1項第四十二号チ】 特殊高圧ガス、五フッ化ヒ素等、亜硫酸ガス、 <u>アンモニア</u> 、塩素、クロルメチル、酸化エチレン、シアン化水素、ホスゲン又は硫化水素の <u>容器置場には、当該ガスが漏えいしたときに安全に、かつ、速やかに除害するための措置を講ずること。</u>	【第6条第1項第四十二号ロ】 可燃性ガス及び酸素の容器置場（充填容器等が断熱材で被覆してあるもの及びシリンダーキャビネットに収納されているものを除く。）は、一階建とする。ただし、圧縮水素（充填圧力が二十メガパスカルを超える充填容器等を除く。）のみ又は酸素のみを貯蔵する容器置場（不活性ガスを同時に貯蔵するものを含む。）にあつては、二階建以下とする。 【第6条第1項第四十二号ハ】 容器置場（貯蔵設備であるものを除く。）であつて、次の表に掲げるもの以外のものは、その外面から、第一種保安物件に対し第一種置場距離以上の距離	<u>電気事業法及び関連規則に記載なし</u>

項目	コンビナート等保安規則		一般高圧ガス保安規則		電気事業法																																																
	毒性ガス	可燃性ガス	毒性ガス	可燃性ガス																																																	
	アルシン等、亜硫酸ガス、<u>アンモニア</u>、塩素、クロルメチル、酸化エチレン、シアン化水素、ホスゲン又は硫化水素の<u>容器置場</u>には、<u>当該ガスが漏えいしたときに安全に、かつ、速やかに除害するため</u>の措置を講ずること。	一種置場距離以上、第二種保安物件に対し第二種置場距離以上の距離を有すること。(表は資料2を参照) ＜参考2 置場距離の考え方＞ 【第2条第1項第二十五号】 第一種置場距離 次の図における容器置場の面積（単位 平方メートル）に対応する距離（単位 メートル）であつて、11によつて表されるもの  備考 1 xは、容器置場の面積（単位 平方メートル）を表すものとする。 2 11、12、13及び14とxとの関係は、それぞれ次の表のとおりとする。 <table><tr><td>X</td><td>0 ≦ X < 8</td><td>8 ≦ X < 25</td><td>25 ≦ X</td></tr><tr><td>L</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>L1</td><td>9√2</td><td>4.5√x</td><td>22.5</td></tr><tr><td>L2</td><td>6√2</td><td>3√x</td><td>15</td></tr><tr><td>L3</td><td>0</td><td>2.25√x</td><td>11.25</td></tr><tr><td>L4</td><td>0</td><td>1.5√x</td><td>7.5</td></tr></table> 【第2条第1項第二十六号】 第二種置場距離 前号の図における容器置場の面積（単位 平方メートル）に対応する距離（単位 メートル）であつて、12によつて表されるもの	X	0 ≦ X < 8	8 ≦ X < 25	25 ≦ X	L				L1	9√2	4.5√x	22.5	L2	6√2	3√x	15	L3	0	2.25√x	11.25	L4	0	1.5√x	7.5		を、第二種保安物件に対し第二種置場距離以上の距離を有すること。(表は資料3を参照) ＜参考3 置場距離の考え方＞ 【第2条第1項第二十一号】 第一種置場距離 次の図における容器置場の面積（単位 平方メートル）に対応する距離（単位 メートル）であつて、11によつて表されるもの  備考 1 xは、容器置場の面積（単位 平方メートル）を表わすものとする。 2 11、12、13及び14とxとの関係は、それぞれ次の表のとおりとする。 <table><tr><td>X</td><td>0 ≦ X < 8</td><td>8 ≦ X < 25</td><td>25 ≦ X</td></tr><tr><td>L</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>L1</td><td>9√2</td><td>4.5√x</td><td>22.5</td></tr><tr><td>L2</td><td>6√2</td><td>3√x</td><td>15</td></tr><tr><td>L3</td><td>0</td><td>2.25√x</td><td>11.25</td></tr><tr><td>L4</td><td>0</td><td>1.5√x</td><td>7.5</td></tr></table> 【第2条第1項第二十二号】 第二種置場距離 前号の図における容器置場の面積（単位 平方メートル）に対応する距離（単位 メートル）であつて、12によつて表されるもの 【第6条第1項第四十二号二】	X	0 ≦ X < 8	8 ≦ X < 25	25 ≦ X	L				L1	9√2	4.5√x	22.5	L2	6√2	3√x	15	L3	0	2.25√x	11.25	L4	0	1.5√x	7.5	
X	0 ≦ X < 8	8 ≦ X < 25	25 ≦ X																																																		
L																																																					
L1	9√2	4.5√x	22.5																																																		
L2	6√2	3√x	15																																																		
L3	0	2.25√x	11.25																																																		
L4	0	1.5√x	7.5																																																		
X	0 ≦ X < 8	8 ≦ X < 25	25 ≦ X																																																		
L																																																					
L1	9√2	4.5√x	22.5																																																		
L2	6√2	3√x	15																																																		
L3	0	2.25√x	11.25																																																		
L4	0	1.5√x	7.5																																																		

項目	コンビナート等保安規則		一般高圧ガス保安規則		電気事業法
	毒性ガス	可燃性ガス	毒性ガス	可燃性ガス	
		【第5条第1項第六十五号ホ】 ニの表に掲げる容器置場（１）及び（２）には、第一種置場距離内にある第一種保安物件又は第二種置場距離内にある第二種保安物件に対し厚さ十二センチメートル以上の鉄筋コンクリート造り又はこれと同等以上の強度を有する構造の障壁を設けること。 【第5条第1項第六十五号ト】 <u>可燃性ガス</u>及び特定不活性ガスの容器置場は、当該ガスが漏えいしたとき滞留しないような構造とすること。 【第5条第1項第六十五号ル】 可燃性ガス、特定不活性ガス、酸素又は三フッ化窒素の容器置場には、その規模に応じ、適切な消火設備を適切な箇所に設けること。		ハの表に掲げる容器置場（イ）及び（ロ）には、第一種置場距離内にある第一種保安物件又は第二種置場距離内にある第二種保安物件に対し厚さ十二センチメートル以上の鉄筋コンクリート造り又はこれと同等以上の強度を有する構造の障壁を設けること。 【第6条第1項第四十二号へ】 可燃性ガス及び特定不活性ガスの容器置場は、当該ガスが漏えいしたとき滞留しないような構造とすること。 【第6条第1項第四十二号ヌ】 可燃性ガス、特定不活性ガス、酸素及び三フッ化窒素の容器置場には、その規模に応じ、適切な消火設備を適切な箇所に設けること。	
液化ガス充填時の容量制限	【第5条第2項第二号イ】 貯槽に液化ガスを充填するときは、当該液化ガスの容量が当該貯槽の常用の温度においてその内容積の九十パーセント（液化石油ガス岩盤貯槽にあつては、液化石油ガスの貯蔵が可能な部分の内容積の九十七パーセント）を超えないようにすること。この場合において、<u>毒性ガスの液化ガスの貯槽については、当該九十パーセントを超えることを自動的に検知し、かつ、警報するための措置を講ずること。</u>	【第5条第2項第二号イ】 貯槽に液化ガスを充填するときは、当該液化ガスの容量が当該貯槽の常用の温度においてその内容積の九十パーセント（液化石油ガス岩盤貯槽にあつては、液化石油ガスの貯蔵が可能な部分の内容積の九十七パーセント）を超えないようにすること。	【第6条第2項第二号イ】 貯槽に液化ガスを充填するときは、当該液化ガスの容量が当該貯槽の常用の温度においてその内容積の九十パーセントを超えないように充填すること。この場合において、<u>毒性ガスの液化ガスの貯槽については、当該九十パーセントを超えることを自動的に検知し、かつ、警報するための措置を講ずること。</u>	【第6条第2項第二号イ】 貯槽に液化ガスを充填するときは、当該液化ガスの容量が当該貯槽の常用の温度においてその内容積の九十パーセントを超えないように充填すること。	<u>電気事業法及び関連規則に記載なし</u>
連絡方法の通知	【第11条第五項】 コンビナート製造者は、次の表の上欄に掲げる設備をこれに隣接するコンビナート製造事業所の境界線から同表の下欄に掲げる距離以内に設置するとき（大規模な改修をするときを含む。）は、あらかじめ、当該隣接するコンビナート製造事業所に連絡しなければならない。	【第11条第五項】 コンビナート製造者は、次の表の上欄に掲げる設備をこれに隣接するコンビナート製造事業所の境界線から同表の下欄に掲げる距離以内に設置するとき（大規模な改修をするときを含む。）は、あらかじめ、当該隣接するコンビナート製造事業所に連絡しなければならない	<u>一般高圧ガス保安規則には記載なし</u>	<u>一般高圧ガス保安規則には記載なし</u>	<u>電気事業法及び関連規則に記載なし</u>

項目	コンビナート等保安規則		一般高圧ガス保安規則		電気事業法
	毒性ガス	可燃性ガス	毒性ガス	可燃性ガス	
	毒性ガスの製造設備（第一項に掲げる設備を除く。）：百メートル	可燃性ガス及び酸素の製造設備（処理能力が千立方メートル以上の処理設備を有する製造設備に限り、第一項に掲げる設備を除く。）：五十メートル			

【資料 1】 コンビナート等保安規則 第 5 条第 1 項第三号 表

製造施設の区分	読み替えられる字句	読み替える字句
一 既存製造施設のうち、防護壁を設置しているもの（第四項に規定する貯槽を除く。）	0.480	0.290
二 新設製造施設（次項から第五項までに規定する貯槽を除く。）	保安物件	当該特定製造事業所の境界線（当該境界線に接続する海、河川、湖沼その他経済産業大臣が定める施設（以下この表において「施設等」という。）又は当該特定製造事業所において高圧ガスの製造をする者が所有し、若しくは地上権、貸借権その他の土地の使用を目的とする権利を設定している土地がある場合にあっては、当該施設等又は土地の外縁）
	0.480	0.576
三 新設貯槽のうち、防護壁を設置するもの（次項に規定する貯槽を除く。）	保安物件	当該特定製造事業所の境界線（当該境界線に接続する施設等又は当該特定製造事業所において高圧ガスの製造をする者が所有し、若しくは地上権、貸借権その他の土地の使用を目的とする権利を設定している土地がある場合にあっては、当該施設等又は土地の外縁）
	0.480	0.348
四 可燃性ガスの液化ガスの貯槽であつて、その全部又はその一部を地盤面下に埋設するもの	保安物件	当該特定製造事業所の境界線（当該境界線に接続する施設等又は当該特定製造事業所において高圧ガスの製造をする者が所有し、若しくは地上権、貸借権その他の土地の使用を目的とする権利を設定している土地がある場合にあっては、当該施設等又は土地の外縁）
	0.480	液化天然ガスにあつては 0.177、液化石油ガスにあつては 0.240
五 液化石油ガス岩盤貯槽	保安物件	当該特定製造事業所の境界線（当該境界線に接続する施設等又は当該特定製造事業所において高圧ガスの製造をする者が所有し、若しくは地上権、貸借権その他の土地の使用を目的とする権利を設定している土地がある場合にあっては、当該施設等又は土地の外縁）
備考		
一 この表において既存製造施設とは、コンビナート等保安規則（昭和五十年通商産業省令第三十八号。以下「旧省令」という。）の施行の際現に設置されている製造施設及び旧省令の施行の際現に法第五条第一項又は第十四条第一項の許可を受けて設置又は変更の工事に着手している製造施設並びにこれらの製造施設について旧省令の施行後法第十四条第一項の許可を受けて行われる軽易な変更の工事に係る製造施設をいう。		
二 この表において新設製造施設とは、旧省令の施行後法第五条第一項又は第十四条第一項の許可を受けて設置される製造施設（軽易な変更に係るものを除く。）であつて特定製造事業所（当該製造施設の設置により特定製造事業所となる製造事業所を含む。）に係るものをいう。		
三 この表において新設貯槽とは、旧省令の施行後法第五条第一項又は第十四条第一項の許可を受けて設置される貯槽（軽易な変更に係るものを除く。）であつて専ら高圧ガスの充填を行う特定製造事業所（工業専用地域又は工業地域内にあ		
るものに限る。）に係るものをいう。		
四 この表において可燃性ガスの液化ガスの貯槽であつてその全部又は一部を地盤面下に埋設するものとは、旧省令の施行後法第五条第一項又は第十四条第一項の許可を受けて設置される貯槽であつて特定製造事業所（当該貯槽の設置により特定製造事業所となる製造事業所を含む。）に係るものをいう。		
五 防護壁は、用地の取得、製造施設の移転等を行うことが極めて困難であるため、前号（新設貯槽について、この号の規定により読み替えられる場合を含む。）の規定によることが困難であることについて経済産業大臣の認定を受けた製造施設について、経済産業大臣が適切と認める構造で、経済産業大臣が適切と認める場所に設置するものに限る。		

【資料 2】 コンビナート等保安規則 第 5 条第 1 項第六十五号二 表

容器置場の区分	容器置場の外面から最も近い第一種保安物件までの距離	容器置場の外面から最も近い第二種保安物件までの距離
---------	---------------------------	---------------------------

容器置場		
(1) ((3) に掲げるものを除く。)	1 ₁ 以上	1 ₄ 以上1 ₂ 未満
(2) ((3) に掲げるものを除く。)	1 ₃ 以上1 ₁ 未満	1 ₄ 以上
(3) 面積が二十五平方メートル未満の容器置場であつて、 可燃性ガス以外のガスのみのもの		
(i)	1 ₁ 未満	1 ₂ 以上
(i i)	1 ₁ 以上	1 ₂ 未満
(i i i)	1 ₁ 未満	1 ₂ 未満
備考 1 ₁ 、1 ₂ 、1 ₃ 及び1 ₄ は、それぞれ第二条第一項第二十五号に規定する1 ₁ 、1 ₂ 、1 ₃ 及び1 ₄ を表すものとする。		

【資料3】 一般高圧ガス保安規則 第6条第1項第四十二号ハ 表

容器置場の区分	容器置場の外面から最も近い第一種保安物件までの距離	容器置場の外面から最も近い第二種保安物件までの距離
容器置場		
(イ) ((ハ) に掲げるものを除く。)	1 ₁ 以上	1 ₄ 以上 1 ₂ 未満
(ロ) ((ハ) に掲げるものを除く。)	1 ₃ 以上 1 ₁ 未満	1 ₄ 以上
(ハ) 面積が二十五平方メートル未満の容器置場であつて、 可燃性ガス及び毒性ガス以外のガスのみのもの		
(1)	1 ₁ 未満	1 ₂ 以上
(2)	1 ₁ 以上	1 ₂ 未満
(3)	1 ₁ 未満	1 ₂ 未満
備考 1 ₁ 、1 ₂ 、1 ₃ 及び1 ₄ は、それぞれ第二条第一項第二十一号に規定する1 ₁ 、1 ₂ 、1 ₃ 及び1 ₄ を表す		

(2) アンモニア発電に係る新たなニーズに応じた規制の在り方について

本検討においては、アンモニア発電に係る新たなニーズとして、大規模液化アンモニア貯槽や小型のガスエンジン発電のニーズが確認された。今後のユースケースも含め、火力発電設備の技術基準のあり方についての提案を行う。

本検討において、新たな動向としては、主に以下の動向が確認された。

- ◆ 2024 年の実証試験を睨み、事業用発電設備において 20%のアンモニア混焼発電の実証事業が実施される計画である（発電期間は 2 カ月であり、アンモニア使用量は 3 万～4 万 t で大規模貯槽の建設はなし）
- ◆ 上記の実証事業の成果に応じ、2025 年以降、大規模貯槽の計画が検討されるものと推察
- ◆ 50kW～300kW クラスの内燃機関による発電設備のニーズが確認され、今後の自家用発電設備に活用される可能性があることが確認できた

以上の状況を鑑み、本検討においては、以下の対応を行うことを提案する。

- ◆ 事業用発電設備の動向を踏まえた提案
 - 2024 年度の実証試験の計画を睨み、早期の技術基準の見直しが可能な範囲として、高圧ガス保安法の整合性をとる
 - 現状のコンビナート等保安規則の毒性ガス設備からの離隔距離は、毒性ガス量の上限が 10t（この場合の離隔距離は 110m）であることから、数万 t に応じた離隔距離の考え方について改めて整理する必要がある（コンビナート地域以外については、一般高圧ガス保安規則と発電用火力設備に関する技術基準の細目を定める告示の整合性は確認済み）
 - 上記に示す離隔距離の考え方も含め、事業用発電設備の商用化に向けた大規模貯槽の設計については、今後の検討課題として整理する
- ◆ 自家用発電設備の動向を踏まえた提案
 - 50～300kW クラスのガスタービン、内燃機関の発電設備のニーズが確認された
 - 水素発電と同様に小型のアンモニア利用の発電設備においては、一定の出力以下においては、工事計画の届出、運用面における管理責任者の選任の必要はない状況である（汽力発電の場合は、熱媒体として不活性ガスを用いる場合のみ、工事計画の届出、BT 主任技術者の選任が免除されている）
 - アンモニアは毒性のあるガスであることから、アンモニアを用いるガスタービン、内燃機関においては、出力の要件に限らず、当面は、工事計画の届出、BT 主任技術者の選任を要件とすることを提案する。
 - なお、特定化学物質障害予防規則においては、アンモニアを取り扱う作業所においては、作業主任者の選任を要求している。
 - また、第 3 章に示す ORC 発電に係る規制要望の対応のためも含め、BT 主任技

術者選任の要件の緩和に、温泉法を適用する小型の汽力の発電設備においてのみ経済産業省が実施する講習の修了者等を選任することの拡大として、2.2.3 章に示した水素に加え、アンモニアを活用した小型の自家用発電設備まで拡大することを提案する

表 2.19 に火力発電設備の技術基準における見直しに関する提案及び表 2.20 にユースケース別、技術基準への対応と今後の課題を示す。

表 2.28 火力発電設備の技術基準等における見直しに関する提案（アンモニア発電）

章	項目	要求内容	○/×	内容
第 2 章	ボイラー等及びその附属設備	ボイラー等及びその附属設備の材料、構造、等	○	・ボイラー及びその附属設備においてアンモニアを活用するため、高圧ガス保安法と整合するよう見直しを実施
第 4 章	ガスタービン及びその附属設備	ガスタービンの附属設備の材料、ガスタービン等の構造、等	○	・ガスタービン及びその附属設備においてアンモニアを活用するため、高圧ガス保安法の整合するよう見直しを実施 ・自家用発電での活用を睨み、ガスタービンを原動力とする火力発電所のうち、アンモニアを燃料とする場合には、工事計画の届出、BT 主任技術者の選任をする旨を追記
第 5 章	内燃機関及びその附属設備	内燃機関の附属設備の材料、内燃機関等の構造、等	○	・内燃機関及びその附属設備においてアンモニアを活用するため、高圧ガス保安法と整合するよう見直しを実施 ・自家用発電での活用を睨み、内燃力を原動力とする火力発電所のうち、アンモニアを燃料とする場合には、工事計画の届出、BT 主任技術者の選任をする旨を追記
第 6 章	燃料電池設備	燃料電池設備の材料、燃料設備の構造、等	○	・燃料電池設備においてアンモニアを活用するため、高圧ガス保安法の整合するよう見直しを実施
第 7 章	液化ガス設備	離隔距離、保安区画、設備の設置場所、液化ガス設備の材料・構造、ガスの漏洩対策、防消化設備、計測装置、	○	・液化ガス設備においては、脱硝用のアンモニアについて一部の規定が整備済み ・上記以外の項目について、高圧ガス保安法と整合するよう見直しを実施

		等		
第 8 章	ガス化炉設備	離隔距離、保安区画、ガス化炉設備の材料・構造、ガスの漏洩対策、防消火設備、等	×	・現状、アンモニアを活用したガス化炉に関する情報はなことから見直しの必要はないと判断
第 10 条	溶接部	溶接部の形状等	—	検査や溶接については、次年度の課題に明記。

表 2.29 ユースケース別技術基準への対応と今後の課題

ユースケース	技術基準への対応と今後の課題
事業用発電設備	・ボイラー、ガスタービン、内燃機関及び燃料電池設備に、高圧ガス保安法との整合性を確保するため、以下の見直しを実施する ・アンモニアに対応した材料 ・配管の溶接 ・二重配管の適用（保安物件周辺） ・漏えいしたときの除害対策（拡散防止、ガス吸収設備・吸収剤、防護具） ・毒性ガス対応の識別措置 ・周辺事業者への周知 ・毒性ガスに対応した離隔距離の見直し（コンビナート地域に設置される特定発電所のみ） ・コンビナート等保安規則では、10t 以上のアンモニアを貯蔵する場合には、離隔距離を一律 110m とすることとなっているが、10,000t を超えるような大規模貯槽の離隔距離等、リスクの考え方について検討が必要であり、次年度の課題として明記する ・アンモニアを扱うことによる、検査項目や溶接に係る事項については、次年度以降の課題として明記する。
自家用発電設備	・50～300kW クラスのガスタービン、内燃機関の発電設備のニーズが確認された ・ガスタービンでは 1,000kW 未満、内燃機関では 10,000kW 未満の発電設備の設置にあたっては、工事計画の届出が免除されており、導入が進むと、アンモニアの貯蔵方法や供給方法、各種対策について事前に確認することができない状況である ・アンモニアは毒性のあるガスであることから、管理面の保安体制の確保も含め、アンモニアを用いるガスタービン、内燃機関については、出力規模にかかわらず、BT 主任技術者の選任、工事計画の届出を当面は必須とする ・アンモニアを活用する小型の自家用発電設備に対し、BT 主任技術者の選任を要求する一方で、現在温泉法を適用する小型の汽力の発電設備においてのみ経済産業省が実施する講習の修了者等を選任することを、本自家用発電設備にまで拡大する

2.4 水素・アンモニア発電に係る保安規制改正の提案

(1) 水素・アンモニア発電に係る保安規制の改正方針

本検討においては、水素・アンモニア発電に関して、新たな動向が確認されたことから、現段階で可能な技術基準をはじめとした保安規制の改正について提案を行う。

水素発電、アンモニア発電における保安規制改正の方針は、以下のとおりである。

① 水素発電に係る保安規制改正見直しの方針

- 新たに内燃機関の発電設備のニーズが得られたことから、平成 27 年度に実施した技術基準の改正方針に従い、20MPa を超える水素を用いる場合の材料、許容応力の考え方を適用する
- 新たに 300kW 未満の自家用発電設備のニーズが確認され、水素は爆発の危険性を伴う可燃性ガスであることから、水素を用いるガスタービン、内燃機関は、出力の要件に限らず、当面は、工事計画の届出、BT 主任技術者の選任を要件とすることを提案する
- 水素を活用する小型の自家用発電設備に対し、BT 主任技術者の選任を要求する一方で、現在温泉法を適用する小型の汽力の発電設備においてのみ経済産業省が実施する講習の修了者等を選任することを、本自家用発電設備にまで拡大する
- また、工事の変更を行う際に、一定の出力条件等を満たすことにより工事計画の届出が必要ないが、燃料として水素を用いる場合には、工事計画の届出を必須とすることを提案する

② アンモニア発電に係る保安規制改正見直しの方針

- 2024 年に事業用発電設備にて実証事業が行われることから、高圧ガス保安法との整合性の観点から、高圧ガス保安法におけるアンモニアに係る要求事項を技術基準に取り込む
- 新たに 50kW～300kW クラスの自家用発電設備のニーズが確認され、アンモニアは毒性のあるガスであることから、アンモニアを用いるガスタービン、内燃機関においては、出力の要件に限らず、当面は、工事計画の届出、BT 主任技術者の選任を要件とすることを提案する。
- アンモニアを活用する小型の自家用発電設備に対し、BT 主任技術者の選任を要求する一方で、現在温泉法を適用する小型の汽力の発電設備においてのみ経済産業省が実施する講習の修了者等を選任することを、本自家用発電設備にまで拡大する
- また、工事の変更を行う際に、一定の出力条件等を満たすことにより工事計画の届出が必要ないが、燃料としてアンモニアを用いる場合には、工事計画の届出を必須とすることを提案する

表 2.30 に電気事業法における発電用火力設備の保安規制の改訂方針（案）を示す。

表 2.30 電気事業法における発電用火力設備の技術基準類の改訂方針（案）

各技術基準	各保安規制への対応と今後の課題
発電用火力設備の技術基準を定める省令に追記すべき事項	・毒性ガスを用いる場合において、高圧ガス保安法における要求事項と整合を図る ・毒性ガスに係る漏えい対策、過圧防止対策、容器置き場等を規定する
発電用火力設備に関する技術基準の細目を定める告示	・火力発電設備に関する技術基準の細目を定める告示においては、コンビナート地域外における保安物件との離隔を定めており、現行の一般高圧ガス保安規則との整合しており、見直しの必要はない
発電用火力設備の技術基準の解釈	・技術基準省令の改正に伴う追記、修正を行う ・現行の技術基準において、アンモニアを活用する場合の技術基準解釈が規定されているが、整合が取れていない箇所（コンビナート内の発電設備の離隔等）の見直しの実施
電気事業法施行規則（別表を含む）	・小規模の内燃力及びガスタービンの主任技術者制度、工事計画の届出に関する規則の見直しを実施 ・工事の変更を行う場合の工事計画の届出に関する規制の見直しを実施
小型の発電設備に係る告示（告示第 100 号）	・小規模の内燃力及びガスタービンの主任技術者制度、工事計画の届出に関する規則の見直しを実施
主任技術者制度の解釈及び運用（内規）	・現状、温泉法を適用する小型の汽力発電においてのみ経済産業省が実施する講習の修了者等を選任することを可能としているが、この要件について「温泉法を適用する小型の汽力発電」以外にまで、拡大する見直しを実施
主要電気工作物を構成する設備を定める告示（告示第 238 号）	・大規模なアンモニア貯槽について、現行の技術基準で想定していないが、貯槽の設備構成は、液化ガス設備と同等であるが、水素や毒性ガスといった爆発性ガスや、毒性ガスを扱うことから、漏えい対策、除害対策に必要な設備について、明記する

(2) 発電用火力設備の技術基準を定める省令の改正方針（案）

発電用火力設備の技術基準を定める省令においては、主に以下の項目について見直しを行うことを提案する。

- ◆ 安全弁・過圧防止対策として、安全弁が噴出されるガスによる危害が生じないように施設する旨を明記する
 - ◆ ガスの漏えい対策が明記されていない設備に対して、ガスの漏えい対策について明記する（漏えいの危険性がある箇所の危険標識も含み）
 - ◆ 小型の発電設備が想定されるガスタービン、内燃機関及び燃料電池においては、容器を用いることが想定されることから、容器置場と保安物件の離隔距離の考え方を明記する
- ※ なお、材料及び許容応力については、それぞれ安全なものを使用することを性能規定しており、詳細は解釈で行っていることから、省令の見直しの必要はないと判断した。

表 2.31 に発電用火力設備の技術基準を定める省令の改正方針（案）を示す。

表 2.31 発電用火力設備の技術基準を定める省令の改正方針（案）

章	大項目	小項目	改正内容
第2章	ボイラー等 及びその附 属設備	第7条 安全弁	・安全弁が作動時に、安全弁から吹き出されるガスによる危害が生じないように施設しなければならない、旨を追記
		（新設） ガスの漏えい 対策	・毒性ガスを通ずるボイラー等及びその附属設備等（液化ガス設備を除く）には、当該設備からの毒性ガスが漏洩した場合の危害を防止するための適切な措置を講じなければならない、旨を追記 ・ボイラー及びその附属設備等が屋内その他ガスの滞留のおそれのある場所に設置するときには、給排気部を適切に施設するとともに除害対策を講じなければならない ・ガスの漏洩の可能性がある箇所は危険標識を行う。
第4章	ガスタービン及びその 附属設備	第22条 過圧防止装置	・過圧防止装置によりガスが吹き出される場合には、吹き出されるガスにより危害が生じないように施設しなければならない、旨を追加（基本的には、第2章を参照）
		（新設） ガスの漏えい 対策	・燃料ガス（or 爆発性ガス又は毒性ガス）を通ずるガスタービン等及びその附属設備等（液化ガス設備を除く）には、当該設備からの燃料ガスが漏洩した場合の危害を防止するための適切な措置を講じなければならない。 ・ガスタービン及びその附属設備等が屋内その他ガスの滞留のおそれのある場所に設置するときには、給排気部を適切

章	大項目	小項目	改正内容
			に施設するとともに除害対策を講じなければならない。 ・ガスの漏洩の可能性がある箇所は危険標識を行う。
		(新設) 容器置場	・ガスタービン及びその附属設備等の付近に毒性ガス容器を置く場合は、保安物件からの離隔を確保する、旨を追記。
第5章	内燃機関及びその附属設備	第28条 過圧防止装置	・過圧防止装置によりガスが吹き出される場合には、吹き出されるガスにより危害が生じないように施設しなければならない、旨を追加（基本的には、第2章を参照）
		(新設) ガスの漏えい対策	・燃料ガスを通ずる内燃機関及びその附属設備等（液化ガス設備を除く）には、当該設備からの燃料ガスが漏洩した場合の危害を防止するための適切な措置を講じなければならない。 ・内燃機関及びその附属設備等が屋内その他ガスの滞留のおそれのある場所に設置するときには、給排気部を適切に施設するとともに除害対策を講じなければならない。 ・ガスの漏洩の可能性がある箇所は危険標識を行う。
		(新設) 容器置場	・内燃機関及びその附属設備等の付近に毒性ガス容器を置く場合は、保安物件からの離隔を確保する旨、を追記。
第6章	燃料電池設備	第32条 安全弁	・（吹き出しガス危害防止規定は整備済）（火技解釈にアンモニア利用を反映予定）
		(新設) ガスの漏えい対策	・（既に整備済）（火技解釈にアンモニア利用を反映予定）
		(新設) 容器置場	・燃料電池設備の付近に、毒性ガス容器を置く場合は、保安物件からの離隔を確保する、旨を追記。
第7章	液化ガス設備	—	・（既にアンモニア利用（脱硝設備）を想定した規定が整備済）
		(追記) ガスの漏えい対策	・漏えいの可能性がある箇所には危険標識を行う。

(3) 発電用火力設備の技術基準の解釈の改正方針（案）

発電用火力設備の技術基準の解釈においては、主に以下の項目について見直しを行うことを提案する。

<水素>

- ◆ （内燃機関の材料）20 MPa を超える水素を通ずるものにあつては、「一般高圧ガス保安規則の機能性基準の運用について」の「9. ガス設備等に使用する材料」の定めるところによるものとする。
- ※ 上記の規則においては、20MPa を超える水素を用いる場合に、利用しなければいけない材料を明記していることから、「ところによるもの」としている

<アンモニアの場合>

- ◆ （材料）アンモニアを通ずる場合には、「一般高圧ガス保安規則の機能性基準の運用について」の「9. ガス設備等に使用する材料」に規定するものを除く旨を追記（現状の液化ガス設備と同様の対応）する
- ※ 上記の規則においては、毒性ガスを用いる場合に、利用してはいけない材料を明記していることから、「除く」としている
- ◆ （管・構造）アンモニアを通ずる場合、配管、バルブの接合部は溶接とすること、保安物件周辺の配管は2重配管とし、ガス検知を実施することを追記する
- ◆ （安全弁）アンモニアを通ずる場合、安全弁には放出管を設けることを追記する
- ◆ （ガスの漏えい対策）アンモニアを通ずる場合ガスの漏えい対策として、除害のための措置（漏えいの危険性のある箇所には危険標識の掲示、ガスの拡散防止、ガスの吸収のための設備・吸収剤、防毒マスク等の保護具の保管）を講ずる

表 2.32 に発電用火力設備の技術基準の解釈の改正方針（案）を示す。

表 2.32 発電用火力設備の技術基準の解釈の改正方針（案）

章	大項目	小項目	改正内容
第2章	ボイラー等 及びその附 属設備	第2条 材料	・アンモニアを通ずる場合には、「一般高圧ガス保安規則の機能性基準の運用について」の「9. ガス設備等に使用する材料」に規定するものを除く旨を追記。
		第12条 管及び管台	・水素・アンモニアを通ずる場合、配管、バルブの接合部は溶接（溶接が適切でない場合であつて、保安上必要な強度を有するフランジ又はねじによる接合する場合を除く）とすること ・アンモニアを通ずる場合、保安物件周辺の配管は2重配管とし、ガス検知を実施することを追記。

章	大項目	小項目	改正内容
		第 1 5 条 安全弁	・アンモニアを通ずる場合、安全弁には放出管を設けることを追記。
		(新設) ガスの漏 えい 対策	・アンモニアを通ずる場合ガスの漏えい対策として、漏えいの危険性のある箇所の危険標識の掲示、除害のための措置（ガスの拡散防止、ガスの吸収のための設備・吸収剤、防毒マスク等の保護具の保管）を講ずる。 ・ボイラー及びその附属設備等が屋内その他ガスの滞留のおそれのある場所に設置するときには、給排気部を適切に施設するとともに除害対策を講じなければならない
第 4 章	ガスタービン及びその 附属設備	第 2 8 条 材料	・アンモニアを通ずる場合には、「一般高圧ガス保安規則の機能性基準の運用について」の「9. ガス設備等に使用する材料」に規定するものを除く旨を追記。
		第 3 2 条 構造	・(変更なし) ガスタービンの附属設備の構造については、第 2 章の 1 2 条を準用するため、配管、バルブの溶接（水素を含む）、2 重配管の適用（アンモニアのみ）についても準用される。
		第 3 4 条 過圧防止対策	・(変更なし) ガスタービンの附属設備の過圧防止装置については、第 2 章の 1 5 条を準用するため、安全弁からの放出対策についても準用される。
		(新節) ガスの漏 えい 対策	・アンモニアを通ずる場合ガスの漏えい対策として、漏えいの危険性のある箇所の危険標識の掲示、除害のための措置（ガスの拡散防止、ガスの吸収のための設備・吸収剤、防毒マスク等の保護具の保管）を講ずる。 ・ガスタービン及びその附属設備等が屋内その他滞留の可能性のおそれのある場所に設置するときには、給排気部を適切に施設するとともに除害対策を実施する。
		(新設) 容器置場	・ガスタービン及びその附属設備等の付近に容器を置く場合は、容器置場から保安物件までの距離をとして、高圧ガス保安法で規程されている距離を確保する。
第 5 章	内燃機関及びその附属 設備	第 3 6 条 材料	・(水素対応) 20 MPa を超える水素を通ずるものにあつては、「一般高圧ガス保安規則の機能性基準の運用について」の「9. ガス設備等に使用する材料」の定めるところによるものとする。 ・(アンモニア対応) アンモニアを通ずる場合には、「一般高圧ガス保安規則の機能性基準の運用について」の「9. ガス設備等に使用する材料」に規定するものを除く旨を追記す

章	大項目	小項目	改正内容
			る。
		第 3 9 条 構造	・(変更なし) 内燃機関及びその附属設備の構造については、第 2 章の 1 2 条を準用するため、配管、バルブの溶接（水素を含む）、2 重配管の適用（アンモニアのみ）についても準用される。
		第 4 1 条 過圧防止対策	・(変更なし) 内燃機関及びその附属設備の過圧防止装置については、第 2 章の 1 5 条を準用するため、安全弁からの放出対策についても準用される。
		(新節) ガスの漏 えい 対策	・アンモニアを通ずる場合ガスの漏えい対策として、漏えいの危険性のある箇所の危険標識の掲示、除害のための措置（ガスの拡散防止、ガスの吸収のための設備・吸収剤、防毒マスク等の保護具の保管）を講ずる。 ・内燃機関及びその附属設備等が屋内その他滞留の可能性のおそれのある場所に設置するときには、給排気部を適切に施設するとともに除害対策を実施する。
		(新設) 容器置場	・内燃機関及びその附属設備等の付近に容器を置く場合は、容器置場から保安物件までの距離をとして、高圧ガス保安法で規程されている距離を確保する
第 6 章	燃料電池設備	第 4 3 条 材料	・アンモニアを通ずる場合には、「一般高圧ガス保安規則の機能性基準の運用について」の「9. ガス設備等に使用する材料」に規定するものを除く旨を追記する。
		第 4 4 条 構造	・(変更なし) 燃料電池設備の構造については、第 2 章の 1 2 条を準用するため、配管、バルブの溶接、2 重配管の適用についても準用される
		第 4 7 条 安全弁	・アンモニアを通ずる場合、安全弁には放出管を設けることを追記する。
		第 4 8 条 ガスの漏 えい 対策	・アンモニアを通ずる場合ガスの漏えい対策として、漏えいの危険性のある箇所の危険標識の掲示、除害のための措置（ガスの拡散防止、ガスの吸収のための設備・吸収剤、防毒マスク等の保護具の保管）を講ずる。 ・燃料電池設備が屋内その他滞留の可能性のおそれのある場所に設置するときには、給排気部を適切に施設するとともに除害対策を実施する。
		(新設) 容器置場	・燃料電池設備等の付近に容器を置く場合は、容器置場から保安物件までの距離をとして、高圧ガス保安法で規程されている距離を確保する

章	大項目	小項目	改正内容
第7章	液化ガス設備	第50条 離隔距離	・アンモニア貯槽の場合の離隔については、高圧ガス保安法における毒性ガスの離隔を適用する（大規模貯槽対応については、今後の課題）。
		第69条 接合	・アンモニアを通ずる場合、保安物件周辺の配管は2重配管とし、ガス検知を実施することを追記（溶接については対応済み）
		第74条 安全弁	・アンモニアを通ずる場合、安全弁には放出管を設けることを追記
		第76条 ガスの漏えい 対策	・液化アンモニア貯槽の防液堤について、当該ガスが漏えいした場合に、その流出を防止し、除害のための措置を講ずる旨追記（水素、アンモニアとも、大規模貯槽対応については、今後の課題） ・漏えいの可能性がある箇所には危険標識を行う旨を追記

(4) 電気事業法施行規則の改正方針（案）

電気事業法施行規則（別表を含む）においては、主に以下の項目について見直しを行うことを提案する。

- ◆ 水素・アンモニアを燃料とする汽力に加え、内燃機関及びガスタービンについては、出力によらず、BT 主任技術者の選任、工事計画の届出を必須とすることとする。

表 2.33 に電気事業法施行規則の改正方針（案）を示す。

表 2.33 電気事業法施行規則の改正方針（案）

大項目	小項目	改正内容
第 5 2 条 主任技術者 の選任	表第二号、 第五号	・ 現行、内燃力・出力 1 万 kW 未満のガスタービン等を原動力とする火力発電所については、BT 主任技術者の選任が免除されているが、水素・アンモニアを燃料とする発電を行う場合には、BT 主任技術者の選任が必要とする旨に修正。
別表第 2	一 設置の 工事	・ 1 (3)「出力 1,000kW 以上の火力発電所であってガスタービンを原動力とするもの」が規定されているが、水素・アンモニアを燃料とする場合には、すべてを対象とする旨を追記する。
		・ 1 (4)「出力 10,000kW 以上の火力発電所であって内燃力を原動力とするもの」が規定されているが、水素・アンモニアを燃料とする場合には、すべてを対象とする旨を追記する。
	二 変更の 工事 (一)発電設 備の設置	・ (3)「出力 1,000kW 以上の火力発電所であってガスタービンを原動力とするもの」が規定されているが、水素・アンモニアを燃料とする場合には、すべてを対象とする旨を追記
		・ (4)「出力 10,000kW 以上の火力発電所であって内燃力を原動力とするもの」が規定されているが、水素・アンモニアを燃料とする場合には、すべてを対象とする旨を追記
	二 変更の 工事	・ 変更の工事に係る、すべての水素、アンモニアを燃料とする汽力発電、内燃機関、ガスタービンについては、BT 主任技術者の選任、工事計画の届出を対象とする旨を追記

(5) 小型の発電設備に係る告示（告示第 99 号）の改正方針（案）

小型の発電設備に係る告示（告示第 99 号）については、以下の項目について見直しを行うことを提案する。

◆ 第 8 条：小型のガスタービンに係る規定

- ボイラー・タービン主任技術者の選任、工事計画の届出等が免除されている小型の設備の要件に対して、水素、アンモニアを通ずるものについては除外する

(6) 主任技術者制度の解釈及び運用（内規）の改正方針（案）

主任技術者制度の解釈及び運用（内規）については、ボイラー・タービン主任技術者の選任要件を拡大することを提案する。

◆ （3）ボイラー・タービン主任技術者に係る法第 4 3 条第 2 項の許可

- 現状、温泉法を適用する小型の汽力発電においてのみ経済産業省が実施する講習の修了者等を選任することを可能としているが、この要件について「温泉法を適用する小型の汽力発電」以外にまで、拡大する（具体的には、水素、アンモニアを活用する小型のガスタービン、内燃機関を含む）

(7) 主要設備を定める告示（告示第 238 号）の改正方針（案）

主要設備を定める告示（告示第 238 号）については、以下の項目について見直しを行うことを提案する。

- ◆ 漏えい検知、除害設備及び安全弁（放出管を含む）、防液堤等の漏えい対策に係る設備を、主要設備として位置付け、同告示に明記する

2.5 水素・アンモニア発電に係る今後の課題

本検討においては、水素発電、アンモニア発電に係るこれまでの技術開発動向、さらに現状のニーズや今後の実証実験等の情報収集を行い、加えてリスク評価等の安全規制面での技術動向等の調査を行うとともに、現状の保安規制について把握を行った。その結果、現状～1年先程度のニーズ、5年程度先のニーズ等に分けて、主に以下のニーズを把握した。

① 現状～1年先程度のニーズ

- 水素を活用した内燃機関の発電設備のニーズが確認された
- 水素発電、アンモニア発電とも、50kW～300kW クラスの自家用発電設備のニーズが確認された
- 2024年に事業用発電設備にてアンモニア発電の実証事業を実施するニーズが確認された

② 5年先程度のニーズ

- 水素発電、アンモニア発電とも 2030年には、大規模な事業用発電を実施するため、50,000m³クラスの大規模貯槽の設計・施工のニーズが確認された

上記の①に示す、現状～1年先程度のニーズに対しては、本検討にて技術基準をはじめとする保安規制の改正の提案を行った。今後、2022年度上期を目途に、以下の内容を実施することが望まれる。

- ◆ 水素・アンモニア発電の実証事業に向けて、本提案に沿って技術基準等保安規制に対する所要の改正の実施
- ◆ BTに係る大臣許可選任要件で必要となる講習のプログラムの作成等（水素・アンモニア・ORCで使用する可燃性ガス・毒性ガスの取り扱い含む）の準備、実施方法及び周知

一方で、②に示す5年先程度の事業用水素・アンモニア発電の商用化に向けては、大規模貯槽に関する課題が残った状況である。これらの課題については、2024年程度までに実施される実証試験の成果に応じ、ニーズが現実となる可能性がある。そのためには、事業者のニーズを把握し、5年程度先まで、課題解決に向けた検討、更に技術基準等の確立・整備が必要になる可能性がある。

具体的な大規模貯槽に向けての課題を以下に示す。

- ◆ 現状設置されているLNGタンクを、例えば同量の50,000m³の大規模水素貯槽の立替を想定した場合、現行の技術基準等をそのまま当てはめると、離隔距離が従来の約160mから300mを超えてしまい置き換えが困難である。
- ◆ また、大規模アンモニア貯槽を想定した場合、現状のコンビナート等保安規則を用い

た場合 10t 以上のアンモニアに対しては離隔距離 110m といった技術基準等となっているが、これを 10,000t 以上に適用してよいか判断が困難である一方、石炭火力を置き換える場合の用地制限があり、離隔距離 110m とした場合でも設置が困難な発電所が存在する可能性がある。

- ◆ 上記を含め、いずれにせよ、50,000m³クラスの大規模な水素・アンモニア貯槽は、世界で初めての試みであること、万が一、水素やアンモニアの大規模漏えいが生じた場合には甚大な事故が生じる可能性が懸念される。

上記の対応のため、今後、以下のような検討を行い、具体的リスクや対策、設計の考え方について整理、検討を行うことが望まれる。

- ◆ 大規模貯槽に向けた適正な離隔距離の検討

- 現在の離隔距離に係る算定式は数十年前に LNG を想定して設定したものであり、これを将来想定される大型の液化水素タンク（数万m³相当）に適用すると保守的な可能性が考えられる。
- 水素においては、離隔距離算定式を用いた場合には、離隔距離が 300m を超える値となるが、今回の調査（2.2.3(2)）に示したように、離隔距離算定に用いる K 値の根拠が不明であり、液化水素の離隔距離の評価を改めて検討する必要がある。
- 必要に応じて、K 値のデータベースの根拠、妥当性の評価を行うことも考えられる。
- また、アンモニアの場合には、コンビナート等保安規則で用いられている毒性ガスの離隔距離の考え方が、10t を上限に 110m としているが、事業用発電設備に用いる液化アンモニアは 10,000t を超える量となることが想定され、現状の想定と 10t と大きく乖離し、その適用性については検討が必要である。
- 一方で、今後アンモニアを石炭の代替とする場合、用地面積に限界があることから、距離に変わる対策、例えば漏れない対策ができないか検討する必要がある。

- ◆ 離隔距離の適正化のためのリスクアセスメントの実施

- 適正な保安物件からの離隔距離を算定するためには、安全性効果検証を含むリスクアセスメントを実施する方法が考えられる。
- 具体的な検討内容は以下の通りである。
 - ✧ モデルとなる大規模貯槽の設定（防液堤、防災設備を含む）
 - ✧ 事故シナリオの設定（漏えいシナリオ等）
 - ✧ リスク評価手法の設定
 - ✧ シミュレーション（ガスの拡散範囲想定、火災発生時の輻射熱到達範囲想定、防災設備の効果想定等）の実施
 - ✧ 事故影響評価（敷地境界でのリスク評価）の実施

- ◇ 適正な離隔距離の評価、考え方の整理（K 値での評価方法の適用性も含む）
- 上記のリスク評価結果を踏まえ、技術基準等の見直しを検討する。
- ※ 液化水素においては、信頼性のある熱物性値のデータベースがないことから、液化水素の物性試験を行う必要がある。
- ※ 事故シナリオには、大量漏えいといったシナリオを考える必要があるとの指摘があった。
- ※ リスク評価事例においては、死亡確率で評価される事例がみられるが、“社会的影響がでないように”という観点では臭気も重要であり、運用面から過去の事故事例からも考える必要があるとの指摘があった。

◆ 防災対策指針の作成の提案

- 世界初の大規模水素貯槽、大規模アンモニア貯槽の開発に伴い、万が一の大規模漏えい等の発生に備えて、事業者の保安規程等（災害その他非常の場合に採るべき措置）において盛り込むべき内容について検討を行う。
- 具体的には、非常時の組織・体制、緊急時連絡先・体制、非常時の対応手順（拡散防止等）、事故・安全評価の手法、防災備品・備蓄（防毒マスク等）、防災教育、防災訓練等に対する検討を行い、ガイドランスを作成する。

◆ 検査や溶接に係る検証等

- 使用前自主検査や定期事業者検査、溶接事業者検査については、国がそれぞれ検査方法の解釈やガイドを定めているところである。
- 水素・アンモニアを取り扱うに当たって、検査項目や検査方法の検証を行うとともに、留意点等を取りまとめる。
- ※ 燃料アンモニア導入後、経年使用により低温常圧のアンモニアタンクの腐食の可能性が否定されていないとのご指摘があった。

第3章 ORC 発電設備に係る調査検討

3.1 ORC 発電の概要

有機ランキンサイクルシステム（ORC : Organic Rankine Cycle）発電設備とは、水と蒸気の代わりに高分子有機媒体⁴⁴⁾を蒸発させてタービンを回転し発電する方式であり、欧米を中心に熱源に地熱、排熱及びバイオマス燃料とする小型～中型の発電設備として活用されており、カーボンニュートラルな発電設備として近年多く導入されている。

ORC 発電設備は国内の電気事業法の保安規制においては、「汽力発電」という位置づけであることから、国内では熱媒体等を一定の条件を満たすことにより 300kW 未満の発電設備に対しては、工事計画の届出や、BT 主任技術者の選任等が緩和される一方で、近年では熱媒体に可燃性ガスを用いるもの、300kW 以上のもの、更に欧州で開発された発電設備等のニーズが国内で確認され、一部の要件の規制緩和と要望に諮られた。

本検討においては、国内外の ORC 発電設備の状況を確認するとともに、国内外の保安技術、保安規制の動向を確認するとともに、規制緩和と要望への対応について検討を行う。

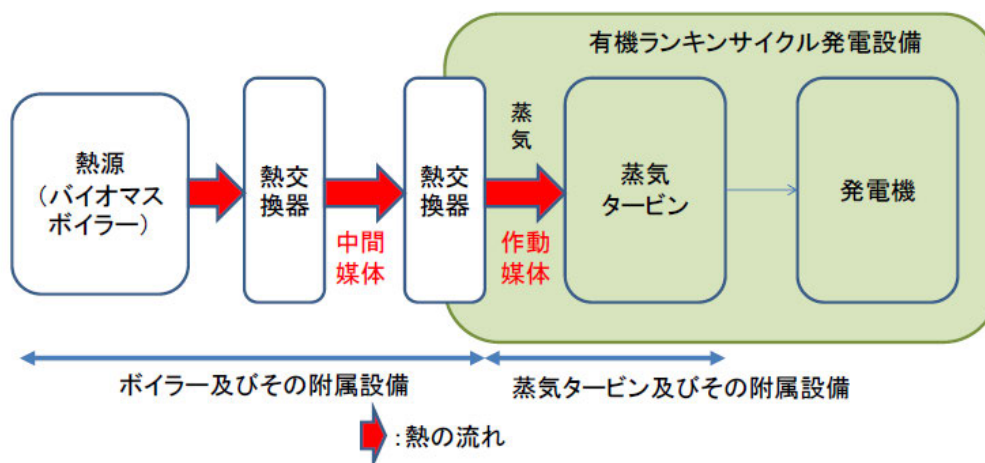


図 3.1 ORC 発電設備の概略図⁴⁵⁾

⁴⁴⁾ 一般的にペンタン やトルエンなどの可燃性の低沸点の有機液体を使用する場合が多い

⁴⁵⁾ 熱源については、バイオマスボイラーのほか、地熱や排熱の利用も可能

3.2 ORC 発電設備に係る現状の規制と事業者の要望

(1) 現状の規制

ORC 発電設備は、発電用火力設備の技術基準をはじめ電気事業法の保安規制においては、「汽力発電」という位置付けであり、熱源をバイオマスボイラーとする場合、ボイラー及び蒸気タービンの技術的要件を満たす必要がある。ここでは、設計技術面、運用技術面において、欧州の ORC 発電設備に要求される規制要件を示す。

(a) 設計技術面での規制

発電用火力設備の技術基準の解釈（以下、「火技解釈」）においては、ボイラー及び蒸気タービンの附属設備に用いる 0MPa を超える耐圧材料は、別表 1（鉄鋼材料の各温度における許容引張応力）に示す材料、許容応力を用いなければいけないが、この中には JIS 材料のほか米国機械学会（以下、「ASME」という。）材料が明記されているが、欧州規格（以下、「EN」という。）の材料は明記されていないことから、欧州材料は使用することが困難である。また、設計規格自体も国内の技術基準と欧州の技術基準とは異なっていることから、欧州で設計・開発された発電設備を国内で用いることは困難な状況である⁴⁶⁾。

(b) 運用面等での規制

設備の許認可や運用面においても、一定の条件を満たすことにより、工事計画の届出及びボイラー・タービン主任技術者（以下、「BT 主任技術者」という。）の選任等に関する規制が緩和されている。

表 3.1 に小型の発電設備に係る告示第 99 号（以下、「小型告示」という。）における蒸気タービンの主任技術者の選任、工事計画の届出等に係る要件を示す。

表 3.1 に示すように、主に、出力 300kW、最高使用温度 250℃、また液化ガスの蒸気を原動力とする場合は、熱媒体として不活性ガスを用いること等の条件を満たす場合には、工事計画の届出、BT 主任技術者の選任等に係る規制が異なることが分かる。

これらの背景をもとに、国内の ORC 発電設備は、300kW 未満、不活性ガスを用いる ORC 発電設備が普及してきたが、1～2MW の ORC 発電設備の国内への導入が進まない要因の 1 つになっているものと思われる。

⁴⁶⁾（注意）火技解釈には、「省令に定める技術的要件を満たすべき技術内容は、この解釈に限定されるものではなく、省令に照らし合わせて十分な保安水準の確保が達成できる技術的根拠があれば、省令に適合するものと判断するものである。」と明記されており、必ずしも導入ができないということではない。しかし、日本の技術基準と欧州の技術基準を比較する方法が確立していないことから、その説明は非常に困難である。

表 3.1 小型告示における汽力発電に係る要件

	出力条件等	保安 規程 届出	主任技術者 選任		工事計 画届	使用前自 主検査 定期事業 者検査	溶接事 業者検 査
			電気	BT			
現 行 規 制	●以下の①～⑥に掲げる条件のいずれにも該当するもの。 ① 電気の出力が300kW未満のもの ② 最高使用圧力が2MPa未満のもの ③ 最高使用温度が250℃未満のもの ④ 人体に危害を及ぼさないように、蒸気タービン本体が発電機と一体のものとして筐体に収められているもの又は通行制限のための措置が講じられているもの ⑤ 蒸気タービン本体の損壊その他の事故が発生した場合にも、当該蒸気タービン車室又はこれが収められている筐体の外部に飛散しない構造を有するもの ⑥ 同一の火力発電所の構内に設置された労働安全衛生法の適用を受けるボイラーから蒸気の供給を受け、当該蒸気の汽力を直接その原動力とするもの又は同一の火力発電所の構内以外から電気事業法、労働安全衛生法又は熱供給事業法の適用を受けるボイラーから蒸気の供給を受けるもの ●液化ガス用気化器により気化した熱媒体の蒸気の汽力をその原動力とするものであって以下のすべての条件を満たす場合 ・液化ガス用気化器により気化した熱媒体に係る加熱用熱源が輻射熱を用いたものであること又は水若しくは蒸気を用いたものであること。 ・熱媒体として一般高圧ガス保安規則（昭和四十一年通商産業省令第五十三号）第二条第一項第四号に規定する不活性ガス（同項第二号に規定する毒性ガスを除く。）を用いたものであること。 ・熱媒体が漏えいした場合の窒息その他の危害を防止するため適切な措置が講じられていること。	要	要	不要	不要	不要	不要
	上記以外(可燃性ガス・毒性ガス（一般高圧ガス保安規則第二条第一項第二号を含む）を用いる場合等)	要	要	要	要	要	要

(2) 国内バイオマス発電事業者等からの要望

(1)に示す状況を鑑み、国内バイオマス発電事業者等から、規制緩和に関する要望があることが確認された。

表 3.2 に規制改革実施計画（令和 3 年 6 月 18 日閣議決定）における緩和要望を示す。

表 3.2 規制改革実施計画における緩和要望

事項名	規制緩和要望の内容
バイナリー発電設備 （有機ランキンサイ クル方式）の主任技 術者選任方法等に係 る見直し	有機ランキンサイクル方式のバイナリー発電設備は、電気事業法の汽力発電設備に分類され、発電設備等の工事、維持及び運用に関する保安の監督をさせるため、ボイラー・タービン主任技術者の選任が必要とされているところ、そのリスクや他国における保安規制を調査するとともに、ボイラー・タービン主任技術者の選任方法等について検討を行い、結論を得る。

また、事業者からは、以下の要望が得られた。

- ◆ 発電所の監視方法について、遠隔常時監視制御方式に加えて、随時監視方式等も認めてほしい。
- ◆ 1,000kW 未満の発電設備について、欧州（EN 等）規格で製作される設備・機器が容易に導入できるような措置を講じてほしい。

本検討においては、これらの緩和要望に対する実施の可能性について、調査検討を実施し

た。

以下に第2回検討会における事業者からの具体的な要望を示す。

表 3.3 バイオマス発電事業者等からの具体的な要望⁴⁷

1. 監視方法の規定について ・ 今年春の電気設備の技術基準の改定により、汽力発電所の監視方法は、常時監視から、常時遠隔監視に規制が緩和されたが、発電出力の規模、方式に関わらず、一律の緩和となったため、ユニット化されている ORC 発電方式は、現時点においても、大規模な蒸気タービン発電施設と、同等の監視体制の構築を要求されている。 ・ 欧州においてバイオマス熱電併給施設で採用が多い ORC 方式ではあるが、日本市場においては、この常時（遠隔）監視の規制により、そのメリットが抑制され、市場への導入が阻害されている。 ・ 今回の改定要請では、汽力発電方式一律の緩和だけでなく、発電方式、規模用件による、更なる規制緩和を求めたい。 ・ 具体的には、「遠隔常時監視」から、「巡回監視」への緩和を求めたい。 2. 国内市場への普及についての阻害要因として、圧力容器に対する材質・溶接審査の規定がある。ORC ユニット は、その大半のメーカーが欧州にあるため、金属材料は EN 規格、圧力容器設計規格は PED で製作されている。現 状導入施設は、ASME 材や JIS 材を使用し、ASME 規格又は電気事業法の規格で製作しているため、製作コスト が倍増している。規模用件として、4 年ごとの定期検査が不要となる 1,000kW 未満の発電施設について、欧州規 格で製作される装置の導入が可能になる緩和を求めたい。 3. 補足として、ORC 発電施設では、ORC ユニット内で使用するシリコンオイルを始め、多種多様な危険物（サーマルオイル、発電機の燃料としての重油、作動油など）があるため、消防法の危険物の指定数量をオーバーする。発電規 模により、指定数量の倍数は異なるが、この倍率により、多様な規制を受けるため、施設の安全管理について、電気事業法との過重規制にならないよう、留意することを求めたい。

⁴⁷ 出所：第2回検討会に事業者等からの要望（公益財団法人自然エネルギー財団、エクシオグループ株式会社、第一実業株式会社資料）

3.3 ORC 発電設備に係る保安規制動向調査

3.3.1 発電設備に係る技術基準の国内外の比較

(1) 欧州における技術基準と国内技術基準について

欧州においては、分野別の製品に関する安全指令が策定され、その整合化の1つとして、欧州圧力機器指令（Directive 97/23/EC Pressure Equipment Directive）が1997年に採択され、その後2014年に改定され、Directive 2014/68/EU Pressure Equipment Directive（以下「PED」という。）となり、一部改訂された。

PEDは定量的な要求を行っていない性能規定であり、これに整合した様々な技術基準が存在し、ボイラーであれば、EN12952（水管ボイラー）、EN12953（シェルボイラー）、高圧ガス容器であればEN13445等のEN規格のほか、各国の国内技術基準（ドイツではAD2000など）が適用可能である。

PEDは日本においては、省令に相当し、EN規格等は、技術基準の解釈に相当する。

表3.2に日本とドイツにおける技術基準の体系の比較、表3.3に日本とドイツにおける発電設備の検査・点検体系の比較を示す

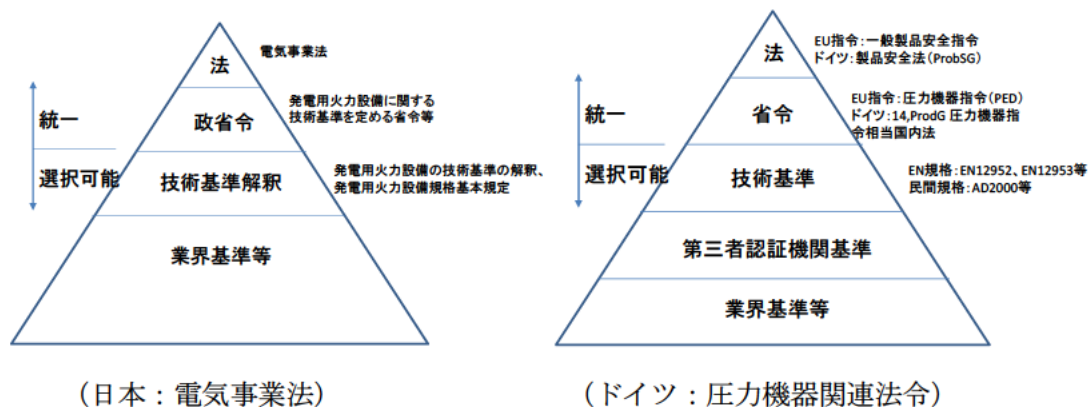


図 3.2 日本とドイツにおける技術基準の体系の比較⁴⁸

⁴⁸ 出所：平成28年度電気施設保安制度等検討調査（配管減肉強度評価等調査）、みずほ情報総研株式会社

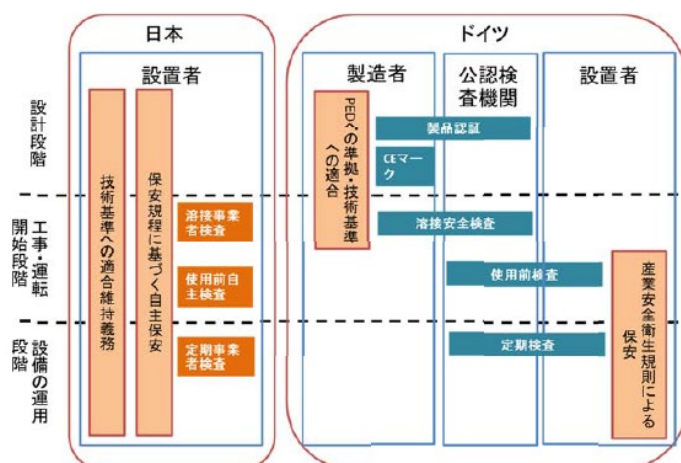


図 3.3 ドイツと日本における発電設備の検査・点検体系の比較 ⁴⁸⁾

欧州の技術基準の導入について、「成 2 8 年度電気施設保安制度等検討調査（配管減肉強度評価等調査）」において具体的な分析を実施しており、ここで得られた知見を以下に示す。

- ◆ 発電設備に係る技術基準は、日本と欧州では、その歴史や経緯が異なり、保安水準を維持する体系や主体も異なるが、火技省令で要求している技術的要求項目及び PED で要求している技術的要求項目については、大きく差があるとは言い切れないことを確認した。
- ◆ しかし、法令や技術基準で求めている要求レベルは、技術項目毎で異なり、それぞれ比較した場合には、保安水準が高いものがあれば低いものもあり、トータルの規格のパッケージとしてとらえた場合には、安全規制を行う目的が異なるため、どちらの保安水準が高いという比較は難しいことが分かった。
- ◆ 日本と欧州の技術基準では、設計段階～工事・運転開始段階～設備の運用段階とすべての段階での考え方、保安水準を維持する体系や主体が異なることを鑑みると、それぞれの技術基準の要求項目の一部を加えたり、要求内容を入れ替えることにより、同一の保安水準にすることは困難であり、それぞれの技術基準や材料も含めトータルの規格パッケージとして、評価すべきである。

また、上記の結果を受け、以下の整理を行っている。

- ◆ 欧州の技術基準で製造された発電設備が、電気事業法で要求している保安水準を満たすことを確認する方法が確立していない。
- ◆ 欧州の技術基準で製造された発電設備が、電気事業法に基づく技術基準省令で要求する保安水準を満たすかどうかを確認する方法については、事業者のニーズを踏まえながら、必要に応じて更なる検討が行われることが望まれる。

(2) 米国における技術基準と国内技術基準について

米国における発電設備の設計・製造に係る技術基準としては、米国機械学会規格（ASME 規格）が用いられている例が多く、多くの州で法的に要求している。

国内技術基準については、火技解釈においては、第 11 章（その他規格等の適用）において ASME 規格に準ずる日本機械学会（JSME）規格に適合するボイラー・圧力容器に限定して、省令に定める技術的要件を満たすものとしている。ただし、ORC 発電設備を全体パッケージとして国内への導入を考える場合には、技術基準省令への適合性を的確に説明する必要がある。

以上から、ASME 規格で設計・製造された米国製の ORC 発電設備については、材料を含む技術基準の一部を満たすことから、欧州の発電設備に比べ導入は容易であり、既に国内に 125kW～2MW（合計 10 か所以上）の地熱を熱源とする発電設備が導入され、その他、工場等の排熱を熱源とした発電設備としても利用されている。

一方、欧州の発電設備のうち、日本に導入されている事例も数例見られるが、これらは我が国技術基準省令への適合性に対する説明の容易性から、敢えて ASME 規格（一部日本の JIS 規格）で設計・製造されており、欧州規格そのもので製作されるものよりも、コストが 1.5 倍程度になっているとの指摘もある。

3.3.2 発電設備における国内外の運用要件について

国内においては、3.2.1 に示すように、一定の条件に応じて、要求する運用要件が異なることが分かった。運用要件（主に、管理責任者の要件、監視体制）について、海外の要求事項について調査を実施した。

(1) 欧州における ORC 発電設備の運用要件について

(a) ドイツにおける管理資格制度

ドイツの電気保安システムの中で、事業者の配置が必要となる技術資格所有者については、国が法的に義務付けられていないものの、電気保安分野の労働安全基準を定める保険組合（BG-ETEM）などが法的に認められた規程に基づき、事業者は業務内容や職位に応じて公的な資格や職業訓練過程修了を条件とした者を求められている。

BG-ETEM が定める「電機システム・機器に関する事故防止規則（BGV-A3）」では、設備安全に関する検査員として、「電気技術者（Skilled Person）が実施すること」が定められている。この Skilled Person とは、特定の資格を持つものではなく、一定の技術力を持つものと考えられる一定水準以上の資格を有するあるいは、同程度の技能を有するものあるいは同程度の技能を有するものである。

ドイツ国内企業である EnBW を始めとした電力会社では、電気技師（Elektrofachkraft）という資格所有者（職業訓練課程修了者）が設備責任者を担うこととしている。

この電気技師は公的資格ではないが、DIN-VDE 0105 に電気技師になるための基本条件が定められており、各電力会社は DIN-VDE 0105 を基本として自社基準を策定し運用し

ている。職場の上司が当該者のキャリアなどを参考に電気技師としての適性を判断する。作業現場においては、電気技師は設備責任者を担い、一定の職業訓練課程を修了した者を対象に作業責任者を指名する。

なお、国内における BT 主任技術者に相当する機械設備の管理資格に係る要件は確認できなかった。

(b) 発電設備の管理者に係る要件等⁴⁹⁾

ユニット化された ORC 発電設備を有する発電所（ドイツやスイスでは）、平日の昼間は管理者が発電所に常駐しているが、深夜は無人運転を行っている。また、イタリアでは平日は 24 時間、3 交代制で管理者が発電所に常駐しているが、休日は無人運転を行っている。なお、管理者の不在時にトラブルが生じた際には、プラントは自動停止を行い、管理者が 30 分程度で現地に到着し、対応する（30 分は各発電所の規定であり、法令での要求ではない）。

(c) 発電設備の監視体制について

管理者不在の要件については、ドイツの蒸気ボイラーの場合は、ドイツの蒸気ボイラー技術規則である TRD 604（以下、「TRD604」という。）に規定がある（EN12953 にも同様の規定あり）。TRD604 では、運転中、24 時間以内にボイラーの適正状態を自ら点検し、流量、水位及び圧力を確認する必要がある。ただし、一定の条件（温度、給水等の状況等に応じ、自動的にロックする機能を有する）を満たすことにより、24 時間は 72 時間に延長することが可能であり、運転の再開については、現地で立ち合いのもと実施する必要がある。

なお、TRD604 では、プラントの監視基準は、専門家、運転者及びボイラーメーカーの間で合意するものとし、特に日常点検の資格については、明記していない。また、TRD604 では、専門家やメーカーによる定期点検を年に 2 回実施し、障害が生じた場合にも実施することを要求している。

また、バイオマスボイラーを活用した ORC 発電設備が普及しているオーストリアについても、その監視体制に係る要求について調査を実施した。

オーストリアにおける「Verordnung des Bundesministers für Wirtschaft, Familie und Jugend über den automatisierten Betrieb von Dampfkesseln（蒸気ボイラーの自動運転に関する、経済・家族・青少年省規則）」において、管理者が常時監視せずに蒸気ボイラーを運転する規定（Betrieb von Dampfkesseln ohne ständige Beaufsichtigung BosB）が定められている。

ここには、ボイラー設置場所の蒸気ボイラー係員による安全システムの機能の定期的な制御に関する要件があり、この要件を満たすことにより 72 時間の監視がないことによる運転が許容されている

具体的には、以下の条件を満たす必要がある

⁴⁹⁾ 出所：平成 28 年度電気施設保安制度等検討調査（配管減肉強度評価等調査）、みずほ情報総研株式会社

- ◆ 温度、圧力、水位、流量等に応じて、自動的にロックする機能を有している
 - ◆ ロックした後に、残留熱の除去は自動的（人的な作業が行われる必要なし）に行われる
 - ◆ ロックされた場合には、自動的に再開されず、現場（人的に）でロック解除する必要がある
 - ◆ 蒸気ボイラー係員による機能試験の確認なしに 72 時間の連続運転が行われた場合、蒸気ボイラーは 2 時間後に障害メッセージとともに自動的かつ安全に停止を実施する
 - ◆ 運転に関する記録（ログ）が必要とされている
- などである。

(2) 米国における ORC 発電設備の運用要件について

(a) 米国におけるボイラーの資格制度・選任制度

米国においては、ボイラーを用いる発電設備の運用について、州や自治体（郡、市）の制度において、管理者の選任を行っている。

ボイラーの管理者には、技術者としての資格制度が設けられており、国が保安規制として求めている日本と異なるが、保安制度として機能させるために、資格制度を設けている点が日本と類似しているものと思われる。

米国におけるボイラーの資格制度、選任制度についての法体系を以下に示す。

表 3.4 米国におけるボイラーの資格制度、選任制度

	州の資格制度		市・郡の資格制度		備考
	資格制度	選任制度	資格制度	選任制度	
パターン 1	あり	あり	—	—	マサチューセッツ州、ミネソタ州、メリーランド州等約 10 の州
パターン 2	なし	なし	あり	あり	ニューヨーク州※、ニューヨーク市 カリフォルニア州、ロサンゼルス市

- ※ ニューヨーク州には、資格制度、選任制度は存在しないが、州内のボイラー所有者とオペレーターに対する要件があり、安全かつ効率的な方法でボイラーを操作するための十分な知識を得ることができるように十分な訓練を提供されなければならないと明記されている

(b) 米国におけるボイラーを活用する発電設備の監視体制

ここでは、州法で確認されたメリーランド州、ミネソタ州の州法での規定内容を示す。

メリーランド州では、30 馬力（約 22kW）以上のボイラーの管理には、資格を有した技術者が 24 時間に 1 回、目視点検する必要がある（馬力によって技術者のランクが異なる）、一方で 24 時間の監視システムが存在する場合には、1 週間に 1 回、目視点検する必要がある

る。

ミネソタ州では、300 馬力（約 220kW）以上のボイラーの管理には、資格を有している技術者（チーフエンジニア）を指名し、1 日 4 時間、週 5 日（休暇、病欠、休日等を除く）、敷地内で作業する。また、ミネソタ州では、24 時間常時監視の要求はなく、24 時間に 1 回目視点検を実施することが要求されている（資格者に限定していない）

以上から、一部の州であるが、労働の観点から、選任された技術者の作業時間まで明記されているが、要求内容からは、24 時間の常時監視については要求されていないものと推察される。

3.3.3 ORC 発電設備等における事故事例

国内外の ORC 発電設備における事故事例について調査を実施した。

欧州においては、可燃性ガスを熱媒体としている ORC 発電設備において、オイルの漏洩による火災事故事例（火災）が 3 例確認されている⁵⁰⁾。また、これらの事故については、事故の要因が確認されており、対策が施され、それ以降は事故が発生していないとのことである。具体的には、1 例がフランジ部でのオイル漏えい、2 例がポンプシール部でのオイル漏えいであり、溶接や、マグネット式のポンプを用いる等で対応ができているとのことである。

また、国内外の公開情報ベースの調査結果において、上記以外の ORC 発電設備に関する事故事例については、確認することができなかった。

一方、国内のバイオマスを燃料とした発電設備について、近年 4 例程度発生していることが確認された。

表 3.5 に、国内におけるバイオマス発電に係る事故事例について示す。

表 3.5 国内におけるバイオマス発電に係る事故事例

地域	発生日	事故概要	被害状況	備考
山形県	2019/2/6	内燃力の発電設備で、試運転中にレシーバタンクの燃料ガスが爆発、改質ガスのレシーバタンクの上部が吹き飛び、爆風により周辺住宅、窓ガラス等が破損	人的被害あり、周辺民家への物的損害あり	再開に向けて工事中
宮崎県	2019/10/16	未利用木材を粉砕しておが粉にし、乾燥工程を経てペレットに成形するが、おが粉乾燥設備内から発火し、排気ファン及び乾燥設備内部後方に延焼	人的被害なし	再開
静岡県	2020/7/4	建屋外の軒下の壁側に設置された飛灰を貯めておく容器から出火と推察	人的被害なし	再開
福岡県	2020/10/13	燃料（木質ペレット）搬送用ベルトコンベヤー内のローラ設備の摩擦等により発熱し、燃料に着火、コンベヤー内を延焼	人的被害なし	再開

⁵⁰⁾ 出所：平成 27 年度未利用エネルギー等活用調査（発電用火力設備に関する保安技術等動向調査）にて実施されたヒアリング調査結果

国内においては、メタンガス発酵ガスのようなバイオガスを用いた発電設備の導入が増加している一方、2019年2月には、山形県においてバイオガス発電設備で人身災害を伴う事故が発生した（図 3.4 参照）。

また、上記の事例以外にもバイオマス発電設備に関係した火災事例が3事例発生していることが確認された。

◆事故概要

- 平成31年2月、山形県上山市において、木質バイオマスをガス化して、内燃力発電設備で使用する施設において、試運転時にレシーバータンク内の燃料ガスが爆発。
- この爆発により、改質ガスのレシーバータンクの上部が吹き飛び、約10.0m離れた住宅の2階を直撃し、その衝撃により落下した家財で住民がケガをして病院に搬送された。
- また、爆風により周辺住宅及び事業場の窓ガラス等が破損した。

（出所：第21回電力安全小委員会資料4）

2019年2月7日
山形新聞より



◆事故原因

- ・可燃性ガスに関する危機意識や知識が不十分
- ・試運転マニュアルが不十分
- ・試運転を施工業者に任せきり
- ・配管内の初期パージが不十分
- ・酸素濃度の常時監視装置が未設置
- ・逆火防止装置の性能・構造が不十分 等

◆再発防止策

- ・可燃性ガスに関する知識や取扱の習得
- ・試運転要領書の作成
- ・初期パージや濃度管理のハート・リフトの見直し 等

（出所：設置者による電気関係事故報告）

15

図 3.4 2019年に発生したバイオマスガス発電に係る事故事例⁵¹

⁵¹ 第21回安全小委員会資料を参考に、みずほリサーチ&テクノロジーズが加筆・修正

3.4 ORC 発電設備に関する保安規制改正の提案

(1) ORC 発電設備に関する技術規制改正方針の提案

ORC 発電設備に係る事業者からの規制緩和要望について、これまでの調査結果を踏まえ、以下の提案を行うこととする。

① 欧州規格の製造設備の導入について

- 規制緩和に関する要望においては、欧州で設計・製造された発電設備の国内への導入についての要望が確認された。
- 欧州における技術基準にて設計・製造された発電設備については、電気事業法における技術基準の要求を満足していることを的確に説明することができず、その導入には困難を要した。
- また、欧州における ORC 発電設備の事故事例は 3 事例確認⁵²⁾されたが、これについては技術上の課題解決が行われ、近年の ORC 発電設備については、公開文献上における重大事故の発生を確認することができなかった。
- 過年度で行われた委託業務⁵³⁾においては、日本と欧州の技術基準では、設計段階～工事・運転開始段階～設備の運用段階と全ての段階での考え方、保安水準を維持する体系や主体が異なることを鑑みると、それぞれの技術基準の要求項目の一部を加えたり、要求内容を入れ替えることにより、同一の保安水準にすることは困難であり、それぞれの技術基準や材料も含めトータルの規格パッケージとして、評価すべきであるとの意見があった。
- 以上を鑑みると、規制緩和要望対象である欧州で設計・製造された 1MW 未満の発電設備については、材料も含め欧州の技術基準（EN,PED）を満たし、第三者認証機関の認証を受けた発電設備という条件を付した上で、我が国の技術基準への適用を制度的に可能とすることを提案する。

② BT 主任技術者の選任制度と選任方法

- 規制緩和要望においては、ボイラー・タービン主任技術者の選任制度に係る再検討が要望されているが、欧州においても同様の公的資格制度はないものの、近年バイオマス発電において事故事例が発生していること、米国のボイラーや、国内他法令である労安ボイラーにおいても一定の条件を超える設備においては、資格者を要件とすることから、現状、緩和するに当たっての検討を行うための情報がない。
- 以上の理由により、BT 主任技術者の選任制度については、現状維持とすること

⁵²⁾ 平成 27 年度未利用エネルギー等活用調査（発電用火力設備に関する保安技術等動向調査）報告書

⁵³⁾ 平成 28 年度電気施設保安制度等検討調査（配管減肉強度評価等調査）報告書

を提案したい。

- 一方で、水素・アンモニアを燃料とする発電設備と同様、BT 主任技術者の選任制度は維持しつつも、その運用を見直し、BT 主任技術者の選任方法の一つである大臣許可選任の要件に、経済産業省が実施する講習の修了者等を選任することを可能とする選択肢を拡大することを提案したい。
- 同時に、現行の大臣許可選任制度（高等学校以上の機械工学課程の卒業者等が要件）の利用を促すよう、積極的に周知されることが望まれる。

③ 発電設備に係る監視方式の多様化

- 国内における汽力を原動力とする発電所（地熱発電所を除く）においては、一定の要件を満たす場合に、常時監視ではなく、遠隔常時監視が可能である。
- 一方、欧州においては、蒸気タービンは一般に 24 時間に 1 回の点検が要求されているが、一定の要件を満たすことにより 72 時間に 1 回の点検に緩和されている。また、米国においても州で異なるが、常時監視を要求されている州を確認することが確認できなかった。また、国内他法令である労安ボイラーにおいても、一定の条件を満たすことにより、通常 24 時間に 1 回の点検を、72 時間に 1 回とすることが可能となる。
- スマート保安の観点からも、ボイラー異常時に安全に自動停止を行い、その情報を技術者が受信することができ、現地対応が可能等の一定の条件を満たすことにより、常時監視から随時監視等を可能とすることを提案する。
- 例えば、事故発生時においては、ボイラー・タービン主任技術者や事業所の管理責任者等が 1 時間程度で発電所に駆け付け、現場にて直接事故対応が可能な状態を常に構築する等である。

(2) ORC 発電設備に係る保安規制の改正方針に沿った具体的な改正案の提案

本検討においては、ORC 発電設備に係る規制緩和要望を受け、現状の技術動向や、海外の規制等の調査結果を踏まえ、以下の具体的な提案を行った。

- ① 欧州で設計・製造された 1MW 未満の発電設備において、材料も含め欧州の技術基準 (EN,PED) を満たし、第三者認証機関の認証を受けた発電設備については、国内での適用を制度的に可能とする。
- ② BT 主任技術者の選任制度は維持しつつも、その運用を見直し、BT 主任技術者の選任方法の一つである大臣許可選任の要件に、経済産業省が実施する講習の修了者等を選任することを可能とする選択肢を拡大する。同時に、現行の大臣許可選任制度（高等学校以上の機械工学課程の卒業者等が要件）の利用を促すよう、積極的に周知する。
- ③ ボイラー等異常時に安全に自動停止を行い、その情報を技術者が受信することができ、現地対応が可能な設備においては、随時監視制御方式等とすることも可能とする。（保安規程の中で、随時監視制御方式等の具体的な監視方法、技術者が監視していない場

合の対応方法を明確にする必要あり。)

表 2.30 に電気事業法における発電用火力設備の技術基準類の改正方針（案）を示す。

表 3.6 電気事業法における発電用火力設備の技術基準類の改正方針（案）

各技術基準	技術基準への対応と今後の課題
発電用火力設備の技術基準を定める省令に追記すべき事項	・ 変更なし
発電用火力設備に関する技術基準の細目を定める告示	・ 変更なし
発電用火力設備の技術基準の解釈	・ 第 1 1 章 その他の規格の適用に、1,000kW 未満の発電用火力設備において欧州の技術基準に適合していることを証明（第三者認証機関の認証が必要）された設備に対しては、省令に定める技術的要件を満たすものとする旨を明記する。
電気事業法施行規則（別表を含む）	・ 変更なし
小型の発電設備に係る告示（告示第 100 号）	・ 変更なし
主任技術者制度の解釈及び運用（内規）	・ BT 主任技術者の大臣許可選任の要件に、経済産業省が実施する講習の修了者を選任することを可能とする要件を加える。
主要電気工作物を構成する設備を定める告示（告示第 238 号）	・ 変更なし
電気設備の技術基準の解釈	・ 随時監視制御方式等を認めている設備に、一定の要件（1,000kW 未満、自動停止機能、異常情報を技術者が受信可能等）を満たす汽力発電を追加する。

(3) 発電用火力設備の技術基準の解釈の改正方針（案）

発電用火力設備の技術基準の解釈においては、主に以下の項目について見直しを行うことを提案する。

表 3.7 発電用火力設備の技術基準の解釈の改正方針（案）

章	大項目	小項目	改正内容
第 11 章	第 167 条 その他規格 の適用	—	・現状、1,000kW 未満の設備のうち欧州の技術基準に適合するものを、省令に定める技術的要件を満たすものとして、追記する。 ※ 欧州の技術基準に適合するかの確認は、運用上、工事計画の届出の際に第三者認証機関の適合証明を確認する

(4) 主任技術者制度の解釈及び運用（内規）の改正方針（案）

主任技術者制度の解釈及び運用（内規）については、BT 主任技術者に係る大臣選任要件を拡大することを提案する。

- ◆ （3）ボイラー・タービン主任技術者に係る法第 43 条第 2 項の許可
 - 現状、温泉法を適用する小型の汽力発電においてのみ経済産業省が実施する講習の修了者等を選任することを可能としているが、この要件について「温泉法を適用する小型の汽力発電」以外にまで、拡大する（具体的には、汽力発電を含む）

(5) 電気設備の技術基準の解釈の改正（案）

電気設備の技術基準の解釈については、随時監視制御方式等を拡大することを提案する。

- ◆ 第 47 条の 2【常時監視をしない発電所の施設】（省令第 46 条第 2 項）
 - 現状、一定の要件（1,000kW 未満、自動停止機能、異常情報を技術者が受信可能等）を満たす汽力発電を追加する。
 - 随時監視等の具体的な方法については、運用上、保安規程届出の際、国が確認する。

3.5 ORC 発電設備に係る今後の課題

本検討においては、ORC 発電設備に係る規制緩和要望を受け、以下の要件緩和についての検討を行った。

- ① 欧州規格で設計・製造された発電設備の導入
- ② 工事計画届出及び BT 主任技術者の選任の免除要件等の拡大
- ③ 随時監視制御方式等の要件の拡大

本検討においては、ORC 発電設備の国内外の保安動向等を鑑み、上記の①～③の要件緩和について検討を実施した。

①及び③の要件については、1,000kW 未満等の要件を満たすことにより、要件を緩和することを提案した。一方、②の工事計画の届出、BT 主任技術者の選任免除要件の拡大については、近年、バイオマス発電に係る火災事例等が発生していること、国内外の規制状況を鑑み、BT 主任技術者に係る大臣選任要件の緩和を行うものの、制度としては維持することを提案した。その際、BT に係る大臣許可選任要件で必要となる講習のプログラムの作成等（ORC で使用する可燃性ガス・毒性ガスの取り扱い含む）に係る準備、実施方法及び周知が重要である。

今後、新たな保安技術や安定かつ安全な運転実績等の動向が確認された場合には、②の要件等も含め、適宜見直すことが期待される。

第4章 まとめ

国は、令和3年10月、第六次の「エネルギー基本計画」を、気候変動問題への対応と日本のエネルギー需給構造の抱える課題の克服という二つの大きな視点を踏まえて策定された。このうち、気候変動問題は、人類共通の喫緊の課題として認識されており、我が国としても、「2050年カーボンニュートラル」を目指すことを宣言したところ。この実現に向けて電力分野においては、電源の脱炭素化を進める上でも火力発電に水素・アンモニアをはじめとする新たなイノベーションをもたらす新たな発電は、将来を担う有力な選択肢と位置付けられている。

こうした中、今年度、本調査においては、水素・アンモニア発電、ORC発電のニーズ・技術開発動向、さらに国内外の保安動向の調査を行い、現段階での技術・ニーズ動向より、電気事業法における技術基準をはじめとした保安規制の改正提案を行った。

規制当局におかれては、本提案の速やかな実現が望まれる。

他方、水素・アンモニア発電については、将来的な事業用発電の商用化に向けて有望な発電であるものの、水素及びアンモニアの大規模貯槽の実現などには様々な課題が残された。本調査においては、これらの課題解決に向けて、今後実施すべき事項として、以下の検討を行うことを提案した。

- ① 大規模貯槽に向けた適正な離隔距離の検討
- ② 離隔距離の評価のためのリスクアセスメントの実施
- ③ 防災対策指針の作成
- ④ 検査や溶接に係る検証等

今後、水素・アンモニア発電のリスク評価を検討する上で、大変参考となる示唆をいただいた。そのあらましを紹介する。

- ◆ 高圧ガス保安法の所掌する「水素ステーション」や「化学プラント」においては事業所敷地内に事故の被害をとどめることが大前提である。
- ◆ 被害を敷地内にとどめるために離隔距離を設定する。
- ◆ これまでは、離隔距離は合理性をもって設定されているはずであり、被害を敷地内にとどめるための対策は施されていることから、敷地外に被害が及ぶことは想定外とされていた。
- ◆ 原子力の分野では、現行安全規制上、原子炉と敷地境界との間の離隔距離に係る明示規定はないが、事業者は事故時を含め法令上要求されている基準を十分満足するよう敷地外への放射性物質の放出防止等の安全対策（原子炉格納容器破損防止等ハード的な対策のみならず、確率論的リスク評価を含む）を実施している。
- ◆ 最近の潮流としては、単に事業者が自社内のみでリスク評価を行うことにとどまらず、リスクコミュニケーションの重要性が挙げられ、あらかじめリスクに対する社会との合意の重要性が指摘された。社会の合意を得ることにより、仮に事故が生じた場

合においても、地域住民の理解が得られやすいケースもあることが示された。

事業者においては、これら燃料に係る大規模事故が発生しないよう、あらかじめ設計、製造、日頃の保守管理等が実施されることとなる。

しかしながら、万が一、燃料の大量漏洩等の大規模事故というリスクケースをあらかじめ想定する必要があり、その際の基本的な考え方として、事故の被害を敷地内に留めればよいということだけではなく、被害が敷地外に及ぶことも想定したリスクアセスメントと実際の離隔距離との合理的な設定方法に関する検討の必要性を再認識したところ。

また、これらのリスクアセスメントの実施と合わせて、万が一の大規模漏えいに備えた、適切な防災対策を施すため、防災教育・防災訓練等も含む、防災対策指針を作成し、社会の合意を得ることが重要であるとの認識に至った。

水素・アンモニアを燃料として活用する発電は、これまであまり実績がなく、本格導入に備えこれらを安全に取り扱い・監督することができる人材の育成は喫緊の課題である。安全対策と併せて、人材育成が期待される。

水素発電、アンモニア発電については、2020年代後半にも本格的な商用クラスのものの実現が見込まれ、これに併せて世界初となる大規模貯槽の開発も見込まれるところ。これら大規模貯槽については、単に電力専用のみならず、多目的な貯槽としての利用も見込まれる。

これらに対する安全性の検討は非常に重要でかつ一つの分野にとどまるものでもない。このことから、我が国の英知を結集して新たな課題に取り組むことが不可欠である。国も水素社会実現に向けた「水素保安の全体戦略」を例えば、2022年度中目途に策定されることから、本調査で得られた課題については、その全体戦略に取り込み官民一体となって精力的・集中的に取り組まれることを大いに期待する。

カーボンニュートラル実現に向け、水素・アンモニアをエネルギーとしての活用については、途に就いたばかりである。来るべき水素・アンモニアの本格社会に向け、すべての者が安全を第一にそれぞれの分野のプロジェクトに邁進されることを願ってやまない。

最後に、本調査に携わっていただいた委員・オブザーバーはじめとする関係者の皆様、この場を借りて謝意を申し上げる。