

目次

第2章 年間約10万トン規模でのCO <sub>2</sub> 分離・回収設備	1
2.1 D1-1 基地(供給設備)の保全点検	1
2.1.1 D1-1 基地設備の点検保全業務	1
2.1.2 DCS 更新検討	4
2.2 日常保全および定期保全(SDM*) ; D1-2/D0 基地	5
2.2.1 保全業務内容	5
2.2.2 保全業務体制	6
2.2.3 日常保全業務結果	6
2.2.4 定期保全業務(SDM) 結果	7
2.2.5 点検対応補修業務結果	12
2.2.6 設備休止対応	13
2.2.7 設備機能改善工事	14
2.2.8 係員による停止設備管理と保全	16
2.2.9 総合的な点検補修	16
2.3 安全・環境管理	16
2.3.1 安全管理	16
2.3.2 環境管理	20
2.4 CCS コストの推算	21
2.4.1 低CO <sub>2</sub> 回収率運転におけるエネルギー	21
2.4.2 圧縮機、調節弁等からのCO <sub>2</sub> の大気放出損失量の推量	22
2.5 設備の信頼性検討	23
2.5.1 アミン腐食対策の検証	23
2.5.2 実機による腐食試験の準備・検証	27
2.6 まとめ	30
2.6.1 成果の概要	30
2.6.2 今後の課題	31

## 第2章 年間約10万吨規模でのCO<sub>2</sub>分離・回収設備

### 2.1 D1-1基地(供給設備)の保全点検

#### 2.1.1 D1-1基地設備の点検保全業務

D1-1基地のCO<sub>2</sub>含有ガス供給設備とその関連設備については、2019年11月のCO<sub>2</sub>含有ガス供給終了後も、今後の利活用に向けて、継続して設備機能の維持管理に必要な点検保全を行っている。以下に、2022年度の点検保全業務の結果について記述する。

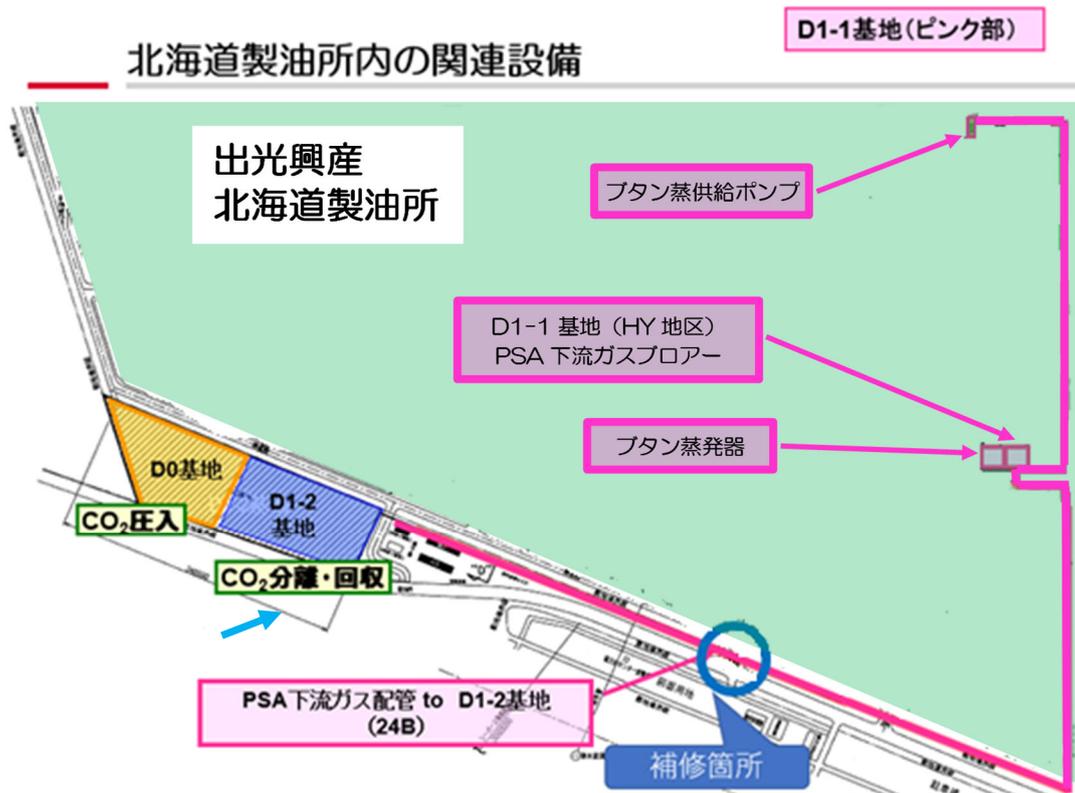


図 2.1-1 D1-1基地の設備構成図と修理箇所

#### (1) ロードヒーティングおよび道路舗装の不具合箇所補修

検査の結果、図 2.1-1 の丸を付けた箇所において、配管を通したカルバート部分(蓋付きの溝)の両サイドの舗装部分にひび割れが発生するとともに、その地下に埋設されたロードヒーティング用配管(融雪、凍結防止を目的とした道路の加温システム)からの加熱用蒸気の漏れが発見された。

図 2.1-2 の写真の白い部分がカルバートの蓋にあたる部分で、その両サイドのアスファルト部分に生じているひびが不具合箇所である。放置すると、カルバートの蓋の脱落、お

よびその下の24インチ配管の損傷を招く恐れがあるため、地表部のアスファルト部分と、その地下にあるロードヒーティング部分の修理を行った。



図 2.1-2 補修前の不具合箇所(アスファルト部のひび)

図 2.1-3 に補修箇所を、図 2.1-4 から図 2.1-6 にそれぞれ、修理中、および修理後の写真を示す。この補修工事により必要な保温温度の確保と道路表面の割れが改善していることを確認した。

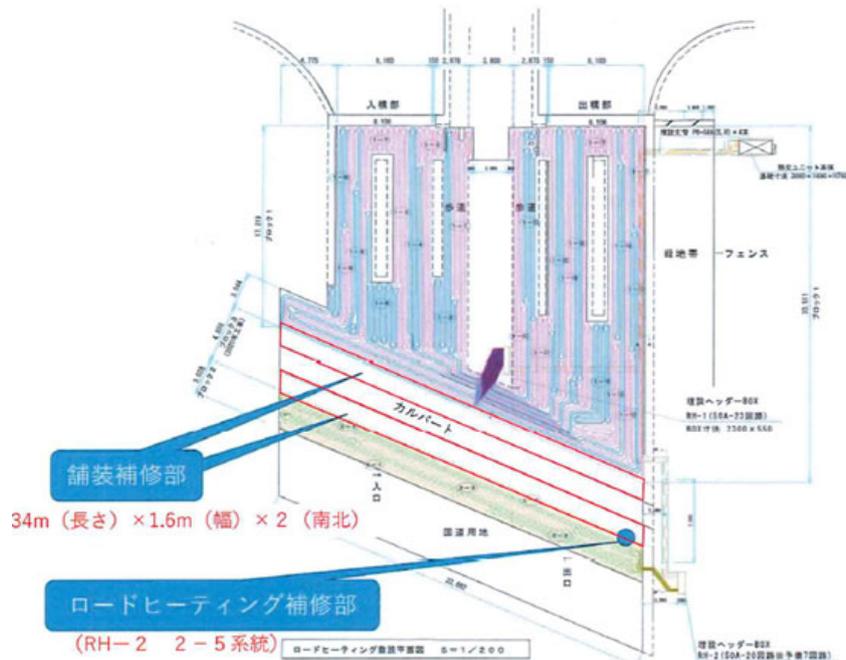


図 2.1-3 ロードヒーティングおよび道路舗装補修箇所



図 2.1-4 修理中(その1)



図 2.1-5 修理中(その2)



図 2.1-6 修理完了後道路状況

(2) 外灯不具合箇所の補修

D1-1 基地に設置されている外灯 1 基に曲りを発見した。放置すると、本体の目的である階段部分を照明できないため、適切な位置を照らすように補修した。図 2.1-7 に補修箇所を、図 2.1-8 と図 2.1-9 に修理前および修理後の写真を示す。



図 2.1-7 設置場所の図面(図 2.1-1 に上書き)



図 2.1-8 外灯修理前状況



図 2.1-9 外灯修理完了後

その他、点検により運転再開時に支障となるような不具合は認められず、設備全体が保全されていることを確認した。

### 2.1.2 DCS 更新検討

D1-1 基地関係の現行 DCS のメーカー保守期間が終了したので、DCS 制御機器の更新が必要である。2022 年度はメーカーでの機器製作を行った。2023 年度以降に現場への設置とつなぎ込みを行う計画で進めている。

#### (1) DCS 設計工事

2022 年度は計画に従い更新用 DCS 機器の設計と製作を行い完了した。この間、適宜設計図書の点検・確認を行い、機器の製作状況の管理・把握を行った。

#### (2) DCS 工事スケジュール

2022 年度以降の DCS 工事スケジュールを図 2.1-10 に示す。工事は計画通り進んでおり、2023 年度以降、現場への設置、作動確認を行っていく。

	2022年度				2023年度				2024年度		
	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q
工事発注	★										
ハード	設計	→	製作	→							
ソフト	設計	→	製作	→							
納入					北製納入						
事前工事					事前工事	システム立上げ	検査・システム修正				
更新工事									工事に向けた	切替工事	
検収									検討・準備		装置立上げ
											★

図 2.1-10 DCS 更新工事工程

## 2.2 日常保全および定期保全 (SDM<sup>\*1)</sup>) ; D1-2/D0 基地

苫小牧 CCS 実証試験センター（以下、「当センター」と称する。）内 D1-2/D0 基地の CO<sub>2</sub> 含有ガス分離・回収/圧縮設備についても、D1-1 基地と同様、2019 年 11 月の CO<sub>2</sub> 含有ガス供給終了後も、今後の利活用に向けて、継続して設備機能の維持管理に必要な点検保全を行っている。2022 年度の日常保全業務および定期保全業務 (SDM) ならびに点検対応補修業務について記述する。

### 2.2.1 保全業務内容

#### (1) 日常保全業務

日常保全業務とは、計画に基づく日常的な点検・保全作業、および現場巡回において確認した設備等の不具合や故障・作動不良の保全作業をいう。

#### (2) 定期保全業務 (SDM)

SDM とは、設備を停止して毎年実施する定期点検検査および定期保全作業をいう。SDM は法定点検検査項目を含み、ベンダー（プラント建設における工事業者、メーカーの総称、以下同様）との協議の上、必要と認めた推奨点検検査項目も含む。

#### (3) 点検対応補修業務

点検対応補修業務は、現場巡回において確認した設備等の不具合や故障・作動不良の保全作業を行う上で、通常必要な作業要員や資機材等を超える動員が必要な場合、および SDM において当初予定を超える要員や資機材等の動員が必要な場合で、事前に JCCS が

\*1) Shut Down Maintenance

検討の上実施する補修業務をいう。

#### (4) 機能改善工事

長期停止中の設備維持管理工事や再稼働に向け設備機能を改善する工事をいう。

#### 2.2.2 保全業務体制

当センターの保全業務を設備管理グループが担当し、グループ長を含めて11名の体制で実施した。保全業務を請負者は、所長および技術員2名の3名常駐体制により日常保全業務を実施した。

SDMは、工事量が多く、業種が多岐にわたることから保全事務所の一部を業者作業員詰所として活用し、統括管理者を定めた体制で実施した。点検対応補修工事は、発生の都度対応できる体制を組んだ。

なお、日常保全業務は、工事指図書(小補修作業を含む点検対応工食用)をJCCSが請負者に発行して保全業務を行い、SDMは、あらかじめJCCSが工事仕様書を作成・提示して実施内容を確定して実施した。

#### 2.2.3 日常保全業務結果

##### (1) 工事指図書

工事指図書発行件数は、2022年度は22件、主な内容は、窒素ペーパーライザーA用電気ヒーター交換、窒素ペーパーライザー行工業用水仮設配管施工、管理棟外壁不良箇所補修、90XT-045(ガス検知器)点検補修、絶縁抵抗不良箇所調査、遮断弁作動不良補修、工業用水ポンプモーター軸受け補修、資材倉庫電動シャッター修理、RTO希釈空気流量計点検補修、電気トレース接続箱補修、高圧ボイラー煙道塗装補修、主変圧器放熱器絶縁油しみ漏れ補修、30P-001A(循環冷却水ポンプ)分解点検整備等であった。

##### (2) 日常保全作業員による工事

協力会社の日常保全作業員2名により下記工事を実施した。

消火器格納箱の架台製作および交換、分析計キャリアガスボンベ用架台製作交換、放流口点検通路および圧入井エリアの草刈り作業、倉庫保管中の高圧電動機ターニング作業、圧縮機ローター保圧管理作業、アミンサンプル用仮設ボイラー設置に伴う蒸気配管等の設置作業、発錆の激しい架構や発電機建屋内チェッカープレートの塗装、不具合バルブ等の整備、構内縁石除雪目印ポールの設置・撤去作業等を実施した。

## 2.2.4 定期保全業務(SDM)結果

### (1) 定期保全業務(SDM)工程

2022年度SDM実施時期は、出光興産(株)北海道製油所(以下、「製油所」と称する。)と定期保全時期を合わせる必要がないため、2022年6月20日～11月30日の期間で工事を平準化し実施した。

SDM着工前の6月15日に安全事前評価委員会を開催し、工事体制や安全体制、工程等について、工事や作業の安全を確保できる仕組みが確立されていること、新型コロナウイルス感染防止対策および熱中症予防対策等が的確に実施されること等を確認・評価した。

### (2) 法定点検検査業務結果

2022年度SDMにおける法定点検検査は、高圧ガス保安法に基づく窒素製造設備の安全弁分解点検検査、フレキシブルホースの耐圧検査、配管気密検査等の自主検査を実施した。その後、高圧ガス保安法に基づく保安検査(1回/3年)を8月30日に受審した。

なお、その他の高圧ガス保安法対象設備および労働安全衛生法に基づく第1種圧力容器検査、低圧ボイラー設備検査、電気事業法に基づく高圧ボイラー検査は、対象施設が休止中であるため実施を要しなかった。

#### ① 高圧ガス保安法に基づく法定点検検査

窒素製造設備検査の実施状況を図2.2-1に示す。



窒素設備設備保安検査



安全弁セット圧力検査



貯槽不等沈下測定等

図 2.2-1 窒素製造設備保安検査

所轄官庁(北海道胆振総合振興局 産業振興部)の保安検査(1回/3年)を受審した。

#### ② 労働安全衛生法に基づく法定点検検査

第1種圧力容器検査および低圧ボイラー設備検査は、設備休止届中のため対象外であった。

③ 高圧ボイラー法定点検検査

高圧ボイラー設備は設備休止中のため、法定点検検査は対象外であった。

④ 改正フロン排出抑制法定期点検検査

管理棟空調室外機の法定点検を実施し管理表を作成した。実施状況を図 2.2-2 に示す。



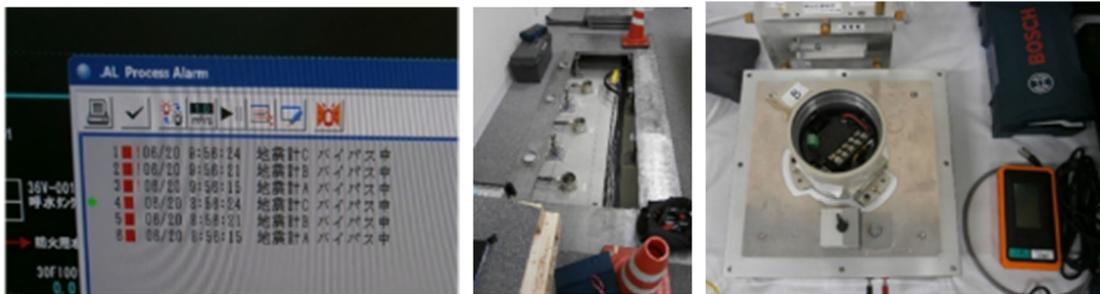
室外機外観点検風景（カバー取外し）冷媒圧力確認

冷媒漏洩検査

図 2.2-2 管理棟空調室外機の法定点検

(3) 定期点検およびベンダー推奨点検整備検査業務（6/20～11/30）

定期点検およびベンダー推奨点検整備検査では、地震計、計装空気設備、DCS 設備、高圧電気設備、直流電源装置設備、ITV、放送設備、防火ポンプ点検、高低圧ボイラー定期点検、ガス検知器点検検査、防消火設備点検、計装設備定期点検、冷却塔設備定期点検等について実施した。実施状況の一部を図 2.2-3(1)～(12)に示す。

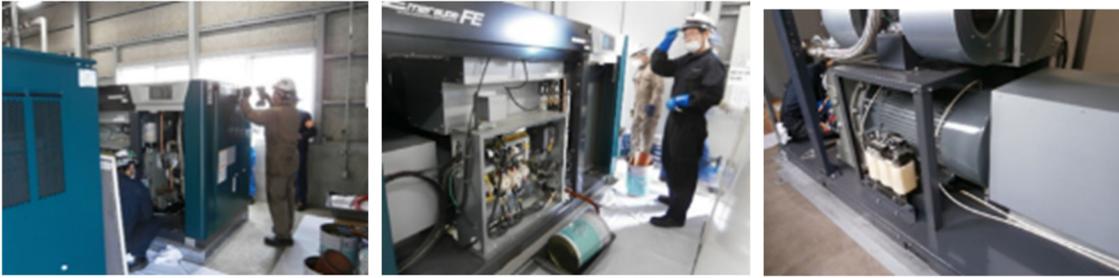


緊急停止シケンスバypassして点検

3基のセンサー取外し

検査ツールによる診断実施

図 2.2-3(1) 地震計定期点検



圧縮機カバーの取外し      制御ユニットの点検      計装空気圧縮機電動機の点検

図 2.2-3(2) 計装空気圧縮機の点検整備



点検作業前 KY 活動板      DCS ハード設備点検(1)      制御室機器の点検(2)

図 2.2-3(3) DCS 設備の点検整備



作業前ミーティング      変圧器点検作業      変圧器端子点検

図 2.2-3(4) 高圧電気設備点検検査



無電圧確認      制御盤点検      無停電電源装置点検

図 2.2-3(5) 無停電設備点検検査



高所作業者による点検

ITVカメラの点検・整備

放送設備の点検

図 2.2-3(6) ITV/放送設備の点検検査



駆動用エンジン点検整備

制御盤およびバッテリー点検

試運転時の表示

図 2.2-3(7) 防火ポンプの点検整備



煙道足場架設・保温解体

外面腐食状況

ケレン塗装後保温施工



入槽前酸素濃度確認

ボイラー胴内部作業

節炭器パネル取外し点検

図 2.2-3(8) 高低圧ボイラーの点検整備



標準ガスを検知器センサーに吹きかけ、所定濃度で警報が出ることを確認

図 2.2-3(9) ガス検知器の点検整備



火災報知器点検

誘導灯点検

旧消火器回収および廃棄

新消火器配備

図 2.2-3(10) 防消火設備の点検



自圧弁の作動点検

液面計の点検作業

圧力発信機の不具合(例)

図 2.2-3(11) 計装設備の定期点検



減速機内部点検

潤滑油の更油

ファンブレード点検

図 2.2-3(12) 計装設備の定期点検

### 2.2.5 点検対応補修業務結果

点検対応補修は現場巡回や運転監視において確認した設備等の不具合や故障・作動不良に対する工事指図書【2.2.3 項(1)】を発行して対応した。一例として、工業用水ポンプのモーター軸受け補修、遮断弁の補修(11HXC-002)、特高受電変圧器放熱板絶縁油滲み漏れ補修、循環冷却水ポンプ点検整備の実施状況を図 2.2-4(1)~(4)に示す。



電気ケーブル開線

電動機取外し

モーターコイル

軸受け(交換前)

図 2.2-4(1) 工業用水ポンプモーター軸受け補修



取り外し作業

整備前遮断弁

補修中仕切り板挿入

点検整備後復旧

図 2.2-4(2) 遮断弁(11HXC002) 取外し点検整備



図 2.2-4(3) 特高受電変圧器放熱板絶縁油しみ漏れ補修

特高受電設備については、2019年から放熱板絶縁油のしみ漏れ補修を繰り返し施しているが、2022年度は改めて、設備の耐久性、安全性、操作性等の観点から改善事項を考察し、既述のしみ漏れ補修に加え、特高受電設備更新工事の検討（長納期品のための発注業務）および発電機保護協調の検討（変圧器仕様変更に伴う発電機側の保護装置間の作動値、作動時間の調整検討）も実施した。



図 2.2-4(4) 循環冷却水ポンプ点検整備

## 2.2.6 設備休止対応

既設設備を活用した次期実証試験が実施されるまでの間、地上設備は休止した状態で維持管理を行う。

### (1) 窒素封入管理

プロセス系統および水・蒸気系統について、0.02 MPaG まで窒素昇圧を行い、封入管理を実施した。なお、封入圧力は 0.02 MPaG になるように日常点検により確認し、圧力が低下した際は窒素の増し入れを実施した。

## (2) 自家発タービン等の動機械の管理

ポンプ、モーター、タービン類の回転摺動部は潤滑油の被膜で覆われ防錆と潤滑性能を維持しているが、長期休止状態では潤滑油被膜が切れ発錆や固着の要因となる。そのため手回しターニングや短時間の無負荷運転を行うことにより、潤滑油皮膜を形成し防錆機能を維持した。なお、コンプレッサーのローターは、長期保管中の自重による軸の撓みが懸念されるため、本体より取り外し、下記3)の保管管理とした。

- 1) 自家発タービンおよび発電機は月1回の頻度でターニングを実施した。
- 2) ポンプ類は手回しターニングを行い、ブロワーやファンは短時間運転をそれぞれ3箇月に1回の頻度で実施した。
- 3) PSAコンプレッサー、CO<sub>2</sub>コンプレッサーのローターは取り外し、メタルコンテナに格納し、窒素封入による防錆と軸を縦置きとして、撓みを防止した。窒素封入圧力は定期的を確認し、規定圧を下回った場合は、増し入れを実施した。ローターの保管状況を図2.2-5に示す。
- 4) 潤滑油システムおよび増速機には、防錆油を添加し、定期的に防錆運転を実施した。



ロータ格納容器

ドライガスシール格納保圧容器

保圧管理圧力計

図 2.2-5 圧縮機ローターメタルコンテナ等の窒素封入管理

### 2.2.7 設備機能改善工事

長期停止中の設備維持管理と再稼働に向け、設備機能を改善する工事を実施した。主な作業内容を以下に示す。実施状況の一部を図2.2-6(1)～(2)に示す。

#### (1) 東西パイプラックの塗装工事

当所の設備は海塩粒子濃度が高く塩害腐食環境にあるため、計画的に設備の塗装補修を行い外面腐食の低減を図っている。



足場架設工事(西側)

足場架設工事(東側)

脱気器架台仮設足場



足場上でケレン作業

配管塗装作業

塗膜厚検査

図 2.2-6(1) 東西パイラック塗装補修

## (2) タンクアミン性状確認サンプル採取

施設停止時、リーンアミン・セミリーンアミン全量をタンクに回収した。性状分析および新規購入に時間がかかるため、ライセンサー(BASF社)にて分析を行い再使用可能か判断する。サンプル採取は、蒸気ボイラーを仮設しアミン温度を添加剤の溶解温度以上に加熱し実施した。

アミン濃度の設計値が50wt-%のところ、タンクアミンの分析結果は、Total amineとして、39.5wt-%であった。アミン補充の必要性については、濃度低下の原因も含めて今後精査するが、アミン自体の劣化はなく、タンクアミンの再使用は可能であると見解を同社より得た。



ボイラー仮設

燃料タンク設置

燃料配管の気密テスト



蒸気配管の仮設

蒸気配管の仮保温

タンクアミンの採取

図 2.2-6(2) タンクアミン採取(仮設ボイラー設置/撤去)

## 2.2.8 係員による停止設備管理と保全

長期間停止状態で使用しない調節弁は固着により作動不良を起こす可能性があるため、定期的に、DCS等から開・閉信号を出し、正常動作することを点検検査した。また、手動バルブにおいても固着による不具合を防止するため、対象バルブの開閉確認とバルブステム(ネジ部)にグリース塗布を実施した。

## 2.2.9 総合的な点検補修

停止状態の設備は運転時のように設備異常が顕在化することが少ないため、潜在的な設備不具合を検出する必要がある。静機器(配管・塔槽・熱交換器等)においては、塩害による外面腐食等の点検、計装機器や電気機器においては、機能低下や損傷状況の点検等があげられる。2021年度に実施した事前点検(プレ点検検査)の結果を基に小径配管の外面腐食や保温材シール施工の劣化、計装機器の塩害劣化不具合等、総合的な点検を実施した。外面腐食検査対象は漏洩時の影響度を考慮し可燃性流体と薬品の配管とし、比較的肉厚の薄い4インチ以下の小径配管を対象に保温板金を解体して、目視検査・肉厚測定による外面腐食検査、および放射線撮影検査による内面腐食検査を合わせて303箇所実施した。その結果、2インチ以下の小径配管において、補修を必要とする1mm以上の減肉が22箇所抽出された。電気計装設備点検は機種毎に抜取りとし、検査機種を①電子式差圧・圧力電送機、②差圧・圧力スイッチ、③液面計器・液面スイッチ、④温度計器、⑤調節弁・自動弁、⑥自力式弁の6機種99台とした。各機種ともに経年劣化や外面腐食等が確認され、合わせて16台に不具合が抽出されたため、今後の保全計画に反映する。

## 2.3 安全・環境管理

### 2.3.1 安全管理

当センターでは労働災害の未然防止、健康の保持増進および快適な職場環境の形成を図り、安全衛生水準の向上に努めることを目標に種々安全管理活動を実施した。その結果、

2022年度も無事故・無災害を達成することができた。

当センターでの安全管理活動は以下のとおりである。

#### (1) 安全管理体制

2019年11月22日、CO<sub>2</sub>圧入量が目標の30万tに達したことより、CO<sub>2</sub>の圧入は停止した。実証試験設備は休止状態となり、これに伴い現在の当センター従業員数は19名となった。従業員数は減少したが、将来の設備再稼働を前提として、安全衛生水準の向上を目標に従来通りの安全管理体制とした。

当センターの安全管理体制を、図2.3-1に示す。

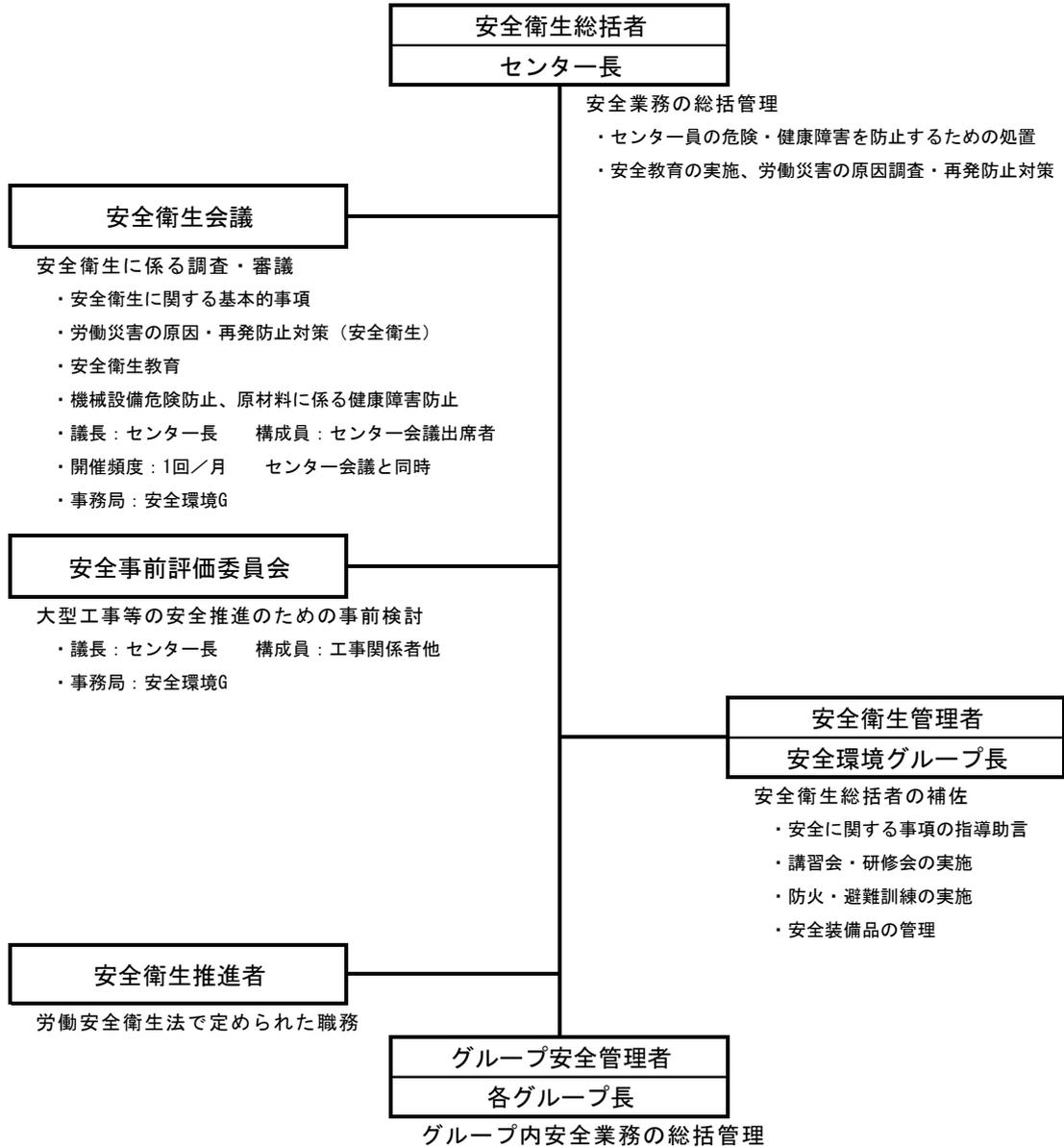


図 2.3-1 苫小牧 CCS 実証試験センター安全管理体制図

## (2) 安全衛生会議

当センターでの安全衛生活動を円滑に推進し、安全衛生に関する事項(危険防止、労働災害の原因・再発防止対策、安全衛生教育等)について調査・審議するために、センター長を議長とする「安全衛生会議」(以下、「本会議」と称する。)を設置した。

本会議は、原則として毎月1回開催した。2022年度は、昨年引き続き当センターでの新型コロナウイルス感染防止対策の周知徹底および大地震・大津波対策の見直し検討について図った。

### (3) 安全事前評価委員会

当センターにおいて実施される工事等の安全推進のため、センター長を委員長とする「安全事前評価委員会」(以下、「本委員会」と称する。)を設置した。

本委員会では工事受注者より提示された工事の安全管理体制、工事の特殊性、危険有害作業の安全対策(重機使用・足場設置、火気使用等)、安全衛生対策、公害発生防止対策等について工事施工前に審議・評価を実施し、それぞれの工事の安全対策等が万全であることを確認した。

2022年度に開催した委員会は表 2.3-1 のとおりである。

表 2.3-1 安全事前評価委員会開催実績

開催日	対象工事
2022.5.30	パイプラック塗装補修工事
2022.6.15	2022年度定期点検工事
2022.6.22	2022年度高低圧ボイラー点検整備工事
2022.8.23	設備腐食総合点検工事
2022.9.6	冷却塔設備定期点検工事
2022.10.6	仮設ボイラー設置工事
2022.2.8	高圧ボイラー煙道保温保守工事

### (4) 安全パトロール

2022年度に実施した全工事を対象に、安全対策が確実に実施されているかなどを確認することを目的とした工事現場の安全パトロールを定期的実施した。

安全パトロールは工事受注者とその協力会社および当センター(センター長、設備管理グループ員および安全管理グループ員)の三者の合同で、原則として工事期間中1回/週の頻度で実施した。

安全パトロールで確認された危険・不適合行為などについては、その場で指摘し是正指示することを原則とし、翌日の工事受注者による安全朝礼等の場で作業員全員に周知させ再発防止に努めた。また、現場で作業員に積極的に声をかけることに努め、これらは現場の緊張感と連帯感を維持させることに効果があった。

## (5) 保安教育および防災訓練

### ① 保安教育

当センターの人的および物的被害を防止し、公共の安全を確保することを目的に保安教育を実施した。

2022年度の保安教育は、7月5日に危害予防規程(高圧ガス保安法)に基づく教育を、8月2日に保安規定(電気事業法)に基づく教育を、10月25日に一般取扱所予防規程(消防法)に基づく教育を、それぞれ当センター員全員を対象に実施した。

### ② 防災訓練

設備異常時等災害発生時の人的および物的被害の拡大防止等の防災能力を向上することを目的に防災訓練等を実施した。

2022年度に実施した防災訓練等の内容を下記に示す。

#### a. 大地震・大津波を想定した避難訓練

2022年10月25日に、苫小牧で震度6弱の地震が発生し、大津波警報が発令されたとの想定で、従業員および協力会社ならびに見学者が安全に避難するとともに、各自の役割の再確認と対応力の強化を図ることを目的に避難訓練(初動・護身、集合安否確認、対策本部設置、屋上避難)を実施した。

#### b. 緊急連絡訓練

2022年12月23日、休日・夜間に事故が発生したことを想定し、緊急連絡訓練を実施した。

## 2.3.2 環境管理

2022年度の環境管理は、実証試験設備休止中に実施される工事に伴う公害の発生を未然に防止する目的で実施した。具体的には、前述の安全事前評価委員会において、公害の発生の恐れのある工事に対し、必要に応じその対策を協議し、工事を実施した。その結果、2022年度に実施した工事において公害の発生はなかった。

また、当センターで発生する産業廃棄物については、「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」に従い適正に処理を行った。

2022年度に処理された産業廃棄物は表2.3-2のとおりである。

表 2.3-2 2022 年度産業廃棄物処理量

産業廃棄物の種類	処理量 (t)	運搬受託者	処理受託者
可燃混合物	0.75	空知興産(株)	空知興産(株)
金属くず	0.71	空知興産(株)	空知興産(株)

## 2.4 CCS コストの推算

CCS コストについては、2019 年度に、本事業における 3 年半の実証試験期間に蓄積された運転データ、運転コスト情報を基に、年間 100 万 t 圧入の実用化モデルを想定し、分離・回収コスト、圧縮コスト、圧入コスト等に細分化し算出した。続いて、2021 年度は、2019 年度に算出した一般的な条件からさらに踏み込んで、実際の運転を考慮した条件も含む形でのコスト算出の検討に着手し、1) 部分負荷運転時(最低 40%負荷)におけるエネルギー効率改善、2) 低 CO<sub>2</sub>回収率運転におけるエネルギー効率改善、3) 起動移行・停止移行運転時におけるエネルギー効率改善のうち、1) および 3) について、実績データを解析し、運転コスト削減に向けた指針を示した。

2022 年度は、上記 2) の実績データを検討するとともに、CO<sub>2</sub> 損失抑制による CCS コストへの影響を定量化するため、圧縮機、調節弁等からの CO<sub>2</sub> の大気放出損失量を推定した。

### 2.4.1 低 CO<sub>2</sub> 回収率運転におけるエネルギー

CO<sub>2</sub> 回収率と分離・回収エネルギーの関係については、経済産業省 平成 28 年度二酸化炭素削減技術実証試験事業 成果報告書(第 2 章第 10 節) および 2020 年 5 月の「総括報告書」の中で、当センターの設備において、リーンアミン流量を上下させることで CO<sub>2</sub> 回収率を変化させた場合の結果を示した。両者の関係を整理したものが図 2.4-1 である。詳細は上記報告書によるが、結論としては、CO<sub>2</sub> 回収率が高い領域においては、CO<sub>2</sub> 回収率をわずかに下げることで、分離・回収エネルギーを効率良く下げることができること、また、回収率を代表組成ケースの設定値 99.9% から 95% に減少させた場合は、回収 CO<sub>2</sub> トン当たりの分離・回収エネルギーを約 9.5% (=1-86/95) 低減できる見込みであることを確認した。なお、吸収塔出口でのオンライン CO<sub>2</sub> 分析計(赤外線式)の測定上限値が 5% であるため、回収率が 95% 以下の試験はできなかった。そこで、2022 年度は、コストミニマムの観点から、回収率 95% 以下の領域については公開文献<sup>1)</sup>、<sup>2)</sup> を参照し考察を行った。回収率の低下とともに回収 CO<sub>2</sub> トン当たりの分離・回収エネルギーは低下、し、CO<sub>2</sub> 回収率 94~95% 付近で極小値の約 86% を持つと結論づけられた(図 2.4-1)。このことか

ら、CO<sub>2</sub>回収率を94~95%に調節すれば、分離・回収エネルギーは最大で10%程度低下すると推定した。

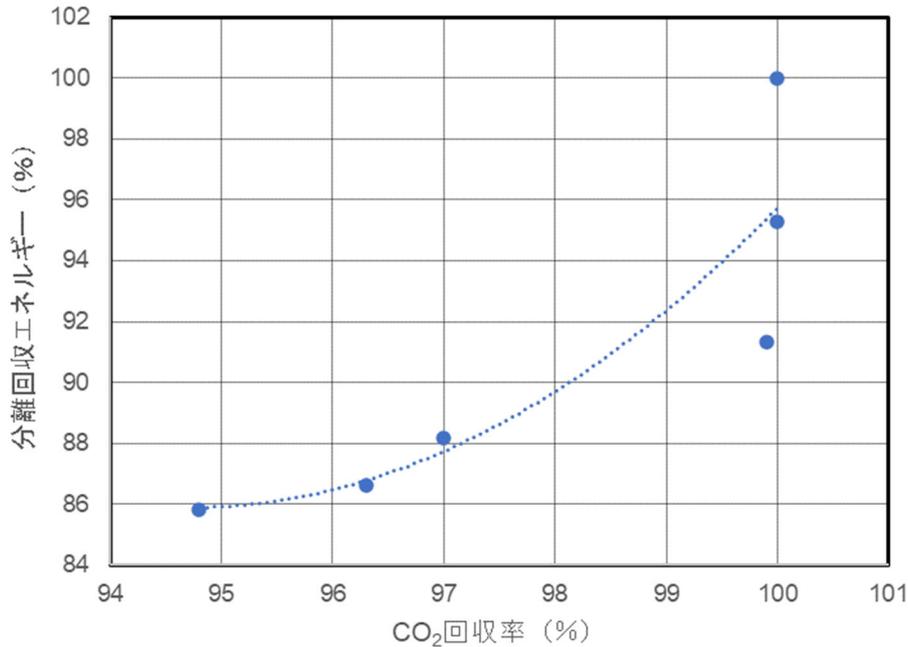


図 2.4-1 リーンアミンの流量に応じた CO<sub>2</sub> 回収率と分離・回収エネルギーの変化

#### 2.4.2 圧縮機、調節弁等からの CO<sub>2</sub> の大気放出損失量の推量

分離・回収/圧入設備において、意図的な大気放出を除外すると、CO<sub>2</sub> が損失する原因は2つに大別される。一つは、運転開始および停止に伴う放出であり、もう一つは、CO<sub>2</sub> 圧縮機の運転変動やトラブル、および圧縮機の構造自体に由来する放出、損失である。前者は、起動移行または停止移行運転時に、一連の装置を順次立ち上げまたは停止していく過程のタイムラグにより生じるため、運転停止/運転再開の回数を少なくすることで、CO<sub>2</sub> 損失量を減らすことができる。一方、後者は、システムの改善により、CO<sub>2</sub> 損失を抑制できるようになった。

図 2.4-2 には、運転停止/運転再開以外の CO<sub>2</sub> 損失量として、圧縮機に由来する CO<sub>2</sub> 放出損失量の目安と考えられる、回収 CO<sub>2</sub> 量のうち「ベント燃焼装置への流量」(月別累計)の推移を示す。データ採取期間は、圧入実証試験期間のうち、圧入初期を除いた 2017 年度期首から圧入完了までとした(回収 CO<sub>2</sub> 量がゼロの月のプロットはなし)。ただし、起動移行または停止移行運転時の期間は除外した(当該期間の定義については、2021 年度報告書 2.4.2 項参照)。

本グラフから、起動移行または停止移行運転時の期間を除くと、CO<sub>2</sub>圧縮機の制御システムの改善を検討した2017年度期中以降、ベント装置からの放出損失量(割合)は、各月0.00~0.08%と極めて少なく(2017年7月から2019年11月までの総量で31t)、分離・回収されたCO<sub>2</sub>のほぼ全量が圧入されていたことが分かる。よって、今後、CO<sub>2</sub>の損失を抑制し、コストの低減に資するためには、運転停止/運転再開の頻度を少なくすることがいっそう重要となる。

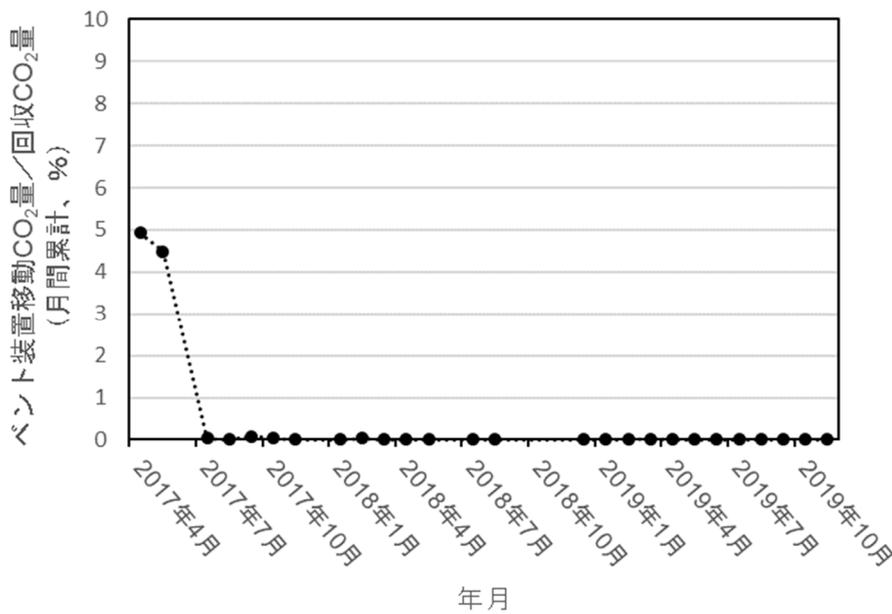


図 2.4-2 回収 CO<sub>2</sub> 量のうちベント燃焼装置への流量 (月別累計) の割合の推移 (起動移行または停止移行運転時の期間を除く)

## 2.5 設備の信頼性検討

### 2.5.1 アミン腐食対策の検証

#### (1) 実機試験計画

CO<sub>2</sub>分離・回収設備でアミン溶液の漏洩が発生したセミリーンアミン溶液配管の腐食メカニズム解明とその対策を検討している。2022年度は、腐食発生箇所(図 2.5-1、図 2.5-2)を対象にした、複数材質のテストピースによる実機での腐食試験を実施するため、試験方法の検討を行った。今回の検討で、計画通り、現地試験スケジュール以外の試験方法の検討については完了した。

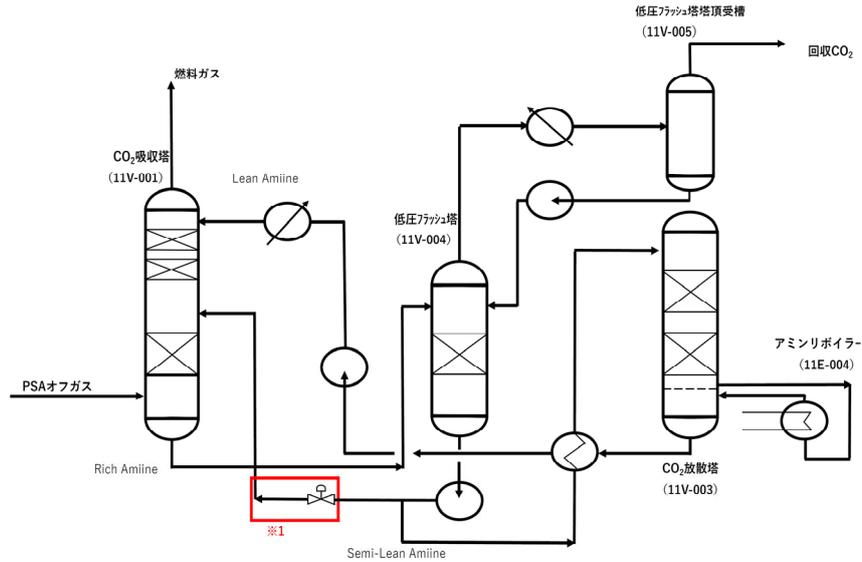


図 2.5-1 分離・回収設備フロー図/実機試験箇所

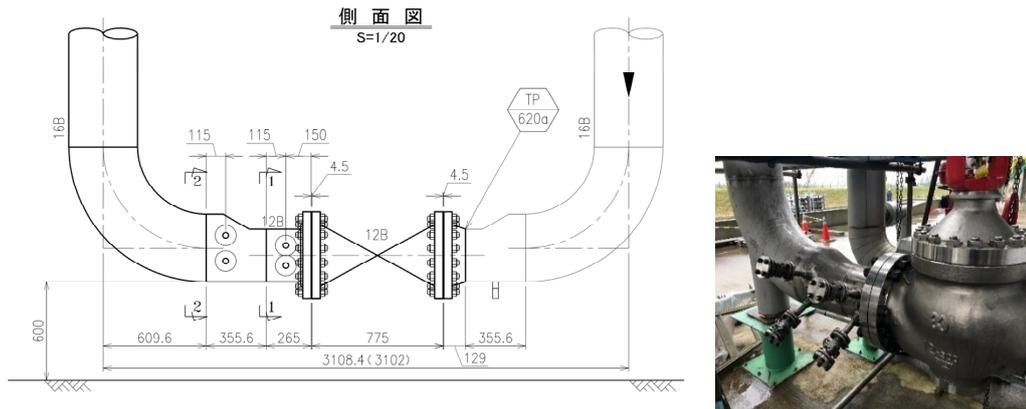


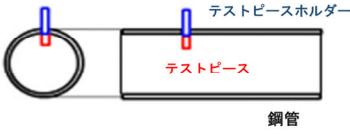
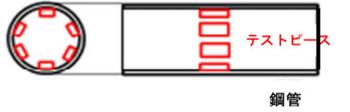
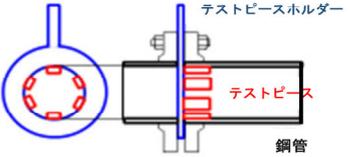
図 2.5-2 腐食センサー取付け状況

## (2) 実機腐食試験用テストプローブの検討

### ① 実機腐食試験用テストピースの設置検討

エロージョン・コロージョンが発生したセミリーンアミン溶液配管での腐食の実機テストを計画するためのテストピースの設置方法について検討した(表2.5-1)。鋼管を貫通する孔を設けてテストピースを配管外から挿入する「差し込み」方法が、テストピースホルダーの制約からテストピースの大きさや数が制限されるものの、運転中のテストピース脱着交換が可能であり、実機運転への影響が比較的小さいので、最も有効と考えた。

表 2.5-1 試験方法検討図

設置方法	設置状況	特徴
a) 差し込み	 <p>テストピースホルダー テストピース 鋼管</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 運転中のテストピース脱着が可能。</li> <li>○ 腐食モニタリングセンサとの兼用も可能。</li> <li>△ 鋼管の貫通孔が必要。</li> </ul>
b) 直接固定	 <p>テストピース 鋼管</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>△ 鋼管内の内面加工を必要とする。</li> <li>× テストピースの脱着が困難。</li> <li>△ ホルダーとテストピースの絶縁が必要。</li> </ul>
c) 挟み込み	 <p>テストピースホルダー テストピース 鋼管</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>△ 運転中のテストピース確認は不可能。</li> <li>△ ホルダーとテストピースの絶縁が必要。</li> </ul>

## ② 材質毎の腐食速度の検討

実機腐食試験においては、テストピースの素材材質ごとにその腐食速度が異なることが予想されるため、精度が高い腐食速度の評価が可能な測定方法について検討した(表 2.5-2)。テストピース(減量クーポン)と腐食モニタリング(腐食センサー)を併用することによって、炭素鋼腐食メカニズムの解明と対策としてのステンレス鋼適用の有効性が明らかになると考えた。腐食モニタリングのための腐食センサーは、腐食による断面積の減少を電気抵抗の低下で検出する電気抵抗法(ERプローブ)が、高精度な市販のセンサー・計測器が充実していることから有効と考えた。また、実機テストにおけるテストピースおよびモニタリングによる腐食評価は、予備的なラボ試験によって、より適切な実機試験条件を設定できる可能性もあり、検討を要する。

表 2.5-2 腐食モニタリングと腐食速度の検討

腐食モニタリングとして電気抵抗法(ER)を選定:実機プラントへの適用実績があり、センサーや計測器が充実する。

原理	名称	方法	特徴
電気抵抗	電気抵抗法(ER)	浸食による断面積の減少を、電気抵抗の低下で検出する。	○ センサー選定により高精度の測定が可能。 ○ 市販のセンサーや計測器が充実する。
	電位指紋照合法	外面複数センシングピン間の抵抗変化を解析する。	△ 直流電位差法の原理。 × 局部腐食も対象となり市販品は無い。
電気化学	腐食電位測定法(FSM)	照合電極に対する対象部位の電位を測定する。	△ 照合電極の選定と配置がポイントとなる。 △ 腐食メカニズムに依存する。
	分極抵抗法	腐食電位域でわずかに分極された分極抵抗を算出する。	○ 腐食速度を評価する。 △ 腐食メカニズムに依存する。
	交流インピーダンス法	交流インピーダンス低周波域の抵抗成分を解析する。	△ 高比抵抗溶液に適用する。 △ 腐食メカニズムに依存する。
	電気化学ノイズ法(ECN)	腐食電位の経時的ノイズを解析する。	△ 応力腐食割れなどの局部腐食に適用する。 △ 腐食メカニズムに依存する。

### ③ テストピース素材の検討

実機試験において適用が可能な、テストピースの素材および加工・調整方法について検討した。炭素鋼の腐食対策としてステンレス鋼が推奨されたことから、テストピース素材は、炭素鋼およびステンレス鋼とし、加工・調整方法について検討した。炭素鋼テストピース(減量クーポン)については、母材と溶接部を含めたものを作製使用することで、腐食メカニズムのより精密な解析が可能と考えられる(表 2.5-3)。

表 2.5-3 減量クーポンテストピースの検討

鋼種：炭素鋼，ステンレス鋼（SUS304L,SUS316L）

溶接：溶接部は金属組織や化学組織が異なるので、選択的に腐食される可能性がある。

そのため、炭素鋼のテストピースは実機の溶接接手から採取を検討する。

溶接部腐食	腐食状況	特徴
a) 母材腐食		母材の耐食性が低い ・溶接金属がオーバーマッチング
b) 溶接金属腐食		溶接金属の耐食性劣化 ・孔食，粒界腐食の発生 ・酸化皮膜下の隙間腐食 ・溶加棒のミスマッチ
c) 熱影響部腐食Ⅰ		ウェルドディケイ ・クロム炭化物析出による粒界腐食
d) 熱影響部腐食Ⅱ		ナイフラインアタック (安定型γ系ステンレス鋼) 粒界腐食 (フェライト系ステンレス鋼)
e) 熱影響部腐食Ⅲ		異材接手部の腐食 ・ガスバニック腐食

## 2.5.2 実機による腐食試験の準備・検証

セミリーンアミン溶液配管の材質変更（炭素鋼→ステンレス鋼）の対策効果を確認するための実機による試験方法の準備・検討において、減量クーポンおよび腐食センサーを一基分購入し、外部で機能確認テストを行うとともに、苫小牧CCS実証試験センターに設置して遠隔操作での稼働確認・検証を行った。

### (1) 実機による試験方法

腐食の進行状況を確認するシステムでの腐食モニタリングデータの取得方法を以下に示す。

- 1) 腐食センサー（ERプローブ）からの電気抵抗値をトランスミッタで受ける。
- 2) 防爆規制区域から非規制区域への無線通信によりデータを送信する。
- 3) それを無線アンテナで受けゲートウェイよりデータロガーおよび操作室 PC へデータを送信し保存する。

## (2) 腐食センサーの稼働検証

実機腐食試験では、減量クーポンと腐食速度を経時的に計測するための腐食センサー(ERプローブ)を組み合わせて使用する。実機試験に適用できる減量クーポンおよび腐食センサーを一基分購入し、腐食センサーの性能を確認するための機能確認テスト(室内テスト、図2.5-3)および苫小牧CCS実証試験センターでの稼働検証(現地通信テスト、図2.5-4)を実施した。

### ① 腐食センサーの性能を確認するための機能確認テスト(室内テスト)

苫小牧CCS実証試験センターでの現場確認に先立って、機能確認テストを行った。テストでは、ERプローブのデータを送信し、その出力データの受信状況、詳細出力データ内容を確認した。機能確認テストの結果は以下のとおり(図2.5-4)で、計画通り作動することが確認できた。

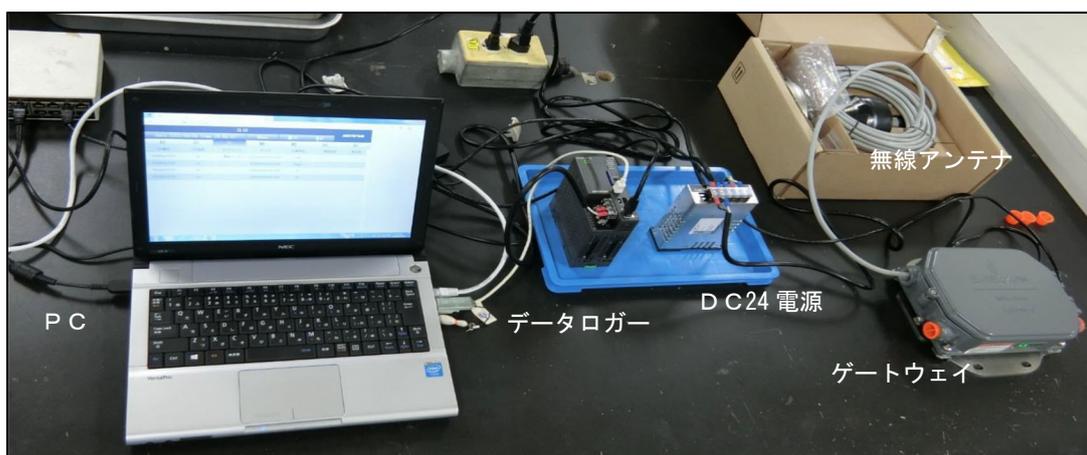
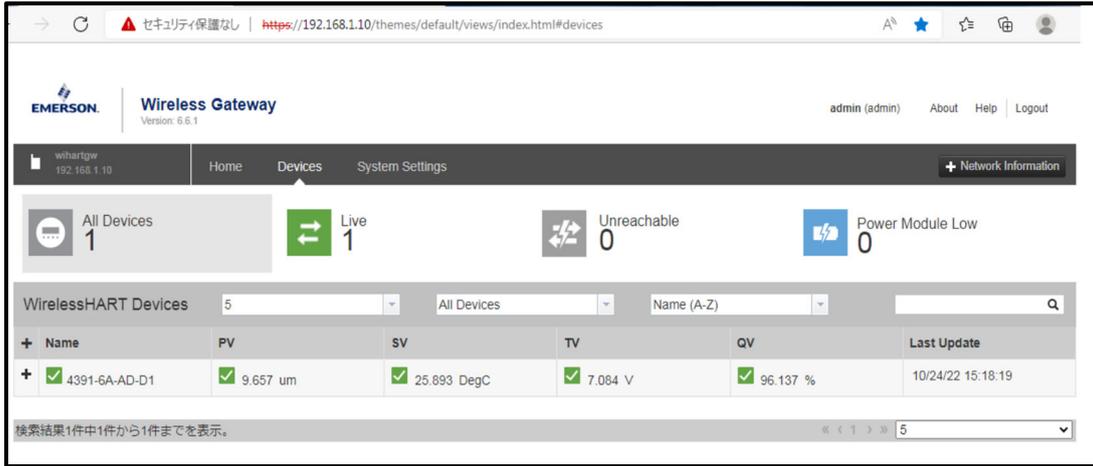


図 12.2-2 室内テスト状況



PV 値はセンサーの減肉を示している (9.657  $\mu\text{m}$  = 当初 500  $\mu\text{m}$  から 9.657  $\mu\text{m}$  減)。SV は温度 (25.893degC)、TV はバッテリー残量 (7.084V)、QV は=センサー余寿命 (96.137%) をそれぞれ示している。

図 2.5-4 室内テスト/ゲートウェイ出力画面

(2) 苫小牧 CCS 実証試験センターでの稼働検証 (現地通信テスト)

苫小牧 CCS 実証試験センターにおいて実機試験の計測状況を再現し、通信テストによる稼働検証を実施した (図 2.5-5)。通信テストの結果は以下のとおり (図 2.2-6) で、受信アンテナに対するデータ送信機の適切な条件が確認できた。



※トランスミッタから室内ゲートウェイまで約 70mの通信テスト

図 2.5-5 現地通信テスト状況



PV=センサー厚み (-0.02 μm=ER センサー未接続)、SV=温度 (23.776degC)、  
TV=バッテリー残量 (6.993V)、QV=センサー余寿命 (100.008%=ER センサー未接続)

図 2.5-6 現地通信テスト/ゲートウェイ出力画面

## 2.6 まとめ

### 2.6.1 成果の概要

#### (1) 設備運転および性能検証（供給設備の運転検証）；D1-1 基地

2022 年度は継続して休止中の D1-1 基地設備の点検保全業務を行った。検査の結果、カルバート脇道路舗装およびその地下にあるロードヒーティング部の不具合、ならびに階段部分の外灯に曲がりが見つかったため、これらの補修を行い、設備の機能維持と安全性を確保した。また、DCS 制御機器の更新のため 2022 年度は設備の設計と製作を行った。

#### (2) 日常保全および定期保全（SDM）；D1-2/D0 基地

設備保全に関する管理規程および要領を適切に運用し、日常保全、定期保全、点検対応補修、および機能改善工事等を遂行した。さらに、2021 年度に実施した事前点検（プレ点検検査）の結果を基に、比較的肉厚の薄い小径配管の外表面腐食点検を行い、2 インチ以下の小径配管において、補修を必要とする減肉箇所を抽出した。また、計装機器の機能点検や塩害劣化による不具合状況の点検を行い、経年劣化や外表面腐食等の不具合を確認した。今回確認したこれらの不具合は、2023 年度に一部補修を行う他、再稼働を視野に保全計画に反映し補修を行う予定である。

#### (3) 安全・環境管理

現在当センターの実証試験設備は、CO<sub>2</sub> 圧入量が目標の 30 万 t に達したことにより、

CO<sub>2</sub>の圧入は停止し、休止状態である。安全管理においては、前述した安全管理活動を行い、2022年度も無事故・無災害を達成することができた。なお、無事故・無災害は当センター開業(2016年2月10日)以来継続している(2023年3月31日で連続無災害日数2605日)。一方、環境管理においては、産業廃棄物の適正な処理等を実施したことにより、環境汚染につながる公害の発生はなかった。

#### (4) CCSコストの推算

設備稼働中に検証できなかった95%以下の低CO<sub>2</sub>回収率時の分離・回収エネルギー値の変化について、公開文献を基に推論した。分離・回収エネルギーは、CO<sub>2</sub>回収率に対応して極小値を有し、CO<sub>2</sub>回収率100%から回収率を下げることによる低下割合は、最大で10%前後と推定した。

一方、CO<sub>2</sub>損失抑制によるCCSコストへの影響を定量化するため、圧縮機、調節弁等からのCO<sub>2</sub>の大気放出損失量を設備稼働時のデータから推定したところ、CO<sub>2</sub>圧縮機の制御システムの改善を検討した2017年度期中以降、ベント装置からの放出損失量は極めて少なく(2017年7月から2019年11月までの総量で31t)、分離・回収されたCO<sub>2</sub>のほぼ全量が圧入されていたことが判明した。今後、CO<sub>2</sub>の損失を抑制し、コストの低減に資するためには、運転停止/運転再開の頻度を少なくすることがいっそう重要となる。

#### (5) 設備の信頼性検討

2019年度以降、運転終了後にD1-2/D0分離・回収設備塔槽類の内部異常や腐食状況およびスケール等の付着による設備劣化状況を評価し、設備に接続する機器や配管の開放点検検査を実施することで、付着物生成のメカニズムを特定し、発生原因の推定と低減対策を検討した。その結果を基に2021年度は、耐腐食性を維持するための対策として、エロージョンコロージョンによる激しい腐食を経験した、セミリーンアミン溶液配管の一部の材質を炭素鋼鋼管からステンレス鋼鋼管に変更をする工事を実施し、あわせて将来の実機運転時に、当該箇所において実機腐食試験を行うべく、試験用のテストピース取付け治具の準備を実施した。

2022年度は、実機腐食試験で使用する腐食センサー(国内初の防爆認定品)の作動確認および実機試験位置からの通信テストを実施し、機器の健全性を確認した。

### 2.6.2 今後の課題

#### (1) 設備運転および性能検証(供給設備の運転検証); D1-1基地

今後も引き続き休止中のD1-1基地設備の点検保全業務を行うことで、確実に設備の機

能維持と安全性を確保していく。また、DCS制御機器の更新のため、製作した設備の現場への設置、ケーブル敷設、電源投入、システムセットアップ、作動確認、および関連図書確認等を行っていく。

## (2) 日常保全および定期保全(SDM) ; D1-2/D0 基地

総合的な点検で判明した不具合および再稼働に合わせて補修予定の不具合への対応が必要である。また、装置停止状況においては異常状態が顕在化しにくく発見が困難である。安全、確実に再稼働を実施するためには、更なる詳細な点検検査と保全工事が必要である。さらに補修機材の納期が長期化する状況にあるため、再稼働準備の長期化が予想される。

## (3) 安全・環境管理

2023年度当センターでは、設備の信頼性向上のための設備改良工事や長期休止に伴う点検・検査工事があり、高所作業・重機作業等災害リスクの高い工事も計画されている。また、当センター職場の特異性として高年齢者の多い人員構成(平均年齢67歳)となっており、労働災害発生リスクのいっそうの低減努力が必要な状況である。

以上の状況を踏まえ、安全管理においては、2023年度の安全衛生目標を「協力会社と共に無事故・無災害の継続」、「フィジカルとメンタル両面の健康維持」と定め、目標に達成のため安全管理活動を展開していく計画である。

一方、環境管理においては、設備稼働中は環境保全対策の一環として北海道、苫小牧市、当社の三者で締結し、2020年1月21日以降廃止となっている「公害防止協定書」(以下「協定書」と称する)に関して、今後、実証試験設備の再稼働が決定した場合は、北海道、苫小牧市と協定書締結に関する協議を実施する計画である。

## (4) CCSコストの推算

95%以下の低CO<sub>2</sub>回収率時の分離・回収エネルギー値の変化について、設備再稼働時の実証を検討する。また、CO<sub>2</sub>の損失を抑制し、コストの低減を目指す上では、運転停止／運転再開の頻度を少なくすることが重要であるため、安定運転を阻害する要因について、総合的な見直しを検討する。

## (5) 今後の課題

現地試験スケジュールは、苫小牧実証設備の再稼働スケジュールを視野に入れ、2023年度以降、試験法案を検討予定。

**【参考文献】**

- 1) Anand B. Rao and Edward S. Rubin, "Identifying Cost-Effective CO<sub>2</sub> Control Levels for Amine-Based CO<sub>2</sub> Capture Systems", Ind. Eng. Chem. Res. 2006, 45, 2421-2429
- 2) Maximilian Biermann, Fredrik Normann, Filip Johnsson, and Ragnhild Skagestad, "Partial Carbon Capture by Absorption Cycle for Reduced Specific Capture Cost", Ind. Eng. Chem. Res. 2018, 57, 15411-15422