

目次

第2章 年間約10万トン規模でのCO ₂ 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
2.1.3 DCS 更新工事検討	3
2.2 日常保全および定期保全（SDM [※] ）；D1-2/D0 基地	4
2.2.1 保全業務内容	4
2.2.2 保全業務体制	5
2.2.3 日常保全業務結果	5
2.2.4 定期保全業務（SDM）結果	6
2.2.5 点検対応補修業務結果	10
2.2.6 設備休止対応	12
2.2.7 設備機能改善工事	13
2.2.8 係員による停止設備管理と保全	14
2.2.9 総合的な点検補修	15
2.3 安全・環境管理	15
2.3.1 安全管理	15
2.3.2 環境管理	18
2.4 CCS コストの推算	19
2.4.1 部分負荷運転時の分離・回収エネルギー	19
2.4.2 起動移行・停止移行運転時の分離・回収エネルギー	21
2.5 設備の信頼性検討	23
2.5-1 分離回収設備機能改善／セミリーンアミン配管材質変更工事	23
2.5-2 分離回収設備機能改善／腐食浸食データ収集のための準備	25

第2章 年間約10万トン規模でのCO₂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CO₂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CO₂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、2021年度の点検保全業務の結果について記述する。

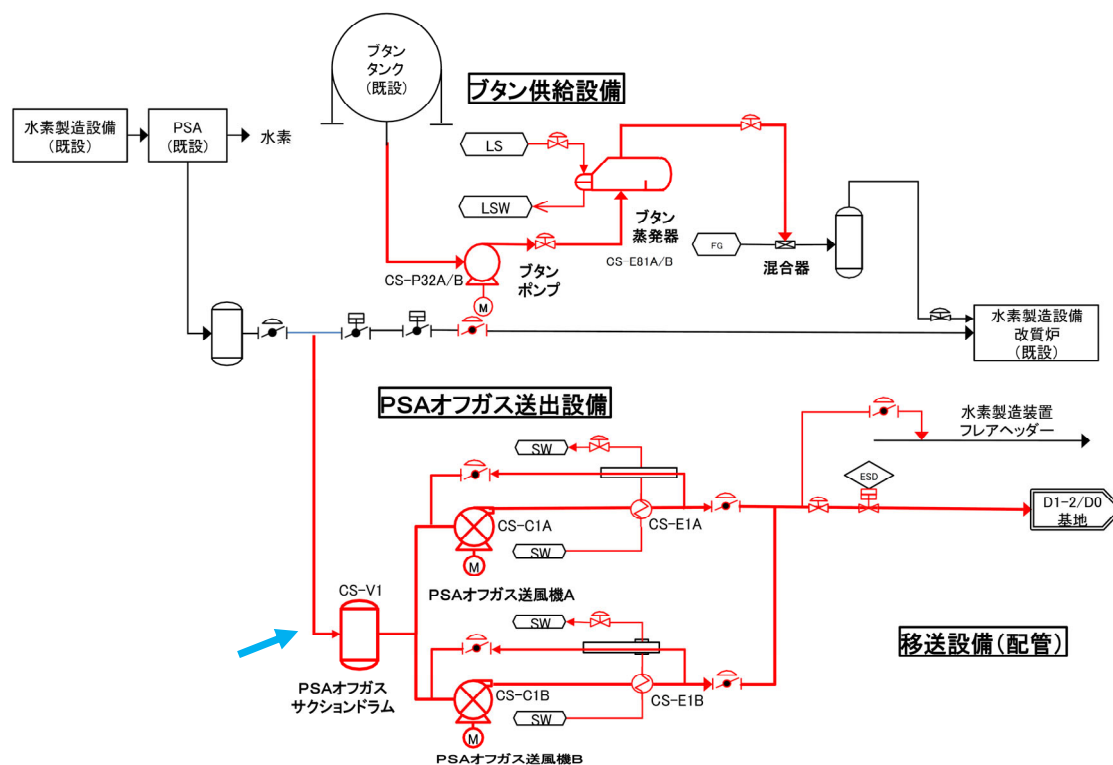


図 2.1-1 D1-1 基地の設備構成図（赤表示箇所）

(1) スチームマニホールドフランジ漏れ補修

PSA オフガスサクシヨンドラム (CS-V1 ; 図 2.1-1) のヒーティングコイルへのスチーム供給ライン接続フランジ (スチームマニホールドフランジ) の減肉を確認したため、フランジ取替を行った。組付け後、耐圧試験および気密試験を実施し、洩れがないことを確認した。(図 2.1-2)



フランジ取替前



フランジ取替後



保温復旧完了後

図 2.1-2 スチームマニホールドフランジ漏れ補修

(2) CCS 設備配管検査

PSA オフガスには CO_2 が含まれており、凝縮水が発生した場合、炭酸腐食が発生する可能性がある。そこで、凝縮水が生成、滞留する可能性が最も高いと考えられるオフガス配管ライン底部(図 2.1-1 青矢印部)を対象として JIS Z 3104-1995 に基づく放射線透過検査を実施し、CCS 設備保存期間中における PSA オフガス配管の健全性を検証した。

図 2.1-4(1)および図 2.1-4(2)に結果の一部を示す。放射線透過検査の結果、最小肉厚は 4.3 mm であった(図 2.1-4(2))。元厚は 4.5 mm であり、減肉速度は 0.03 mm/年であることから著しい減肉は発生しておらず、取替管理基準肉厚の 1.8 mm に対して十分な安全性が確保できていることを確認した。

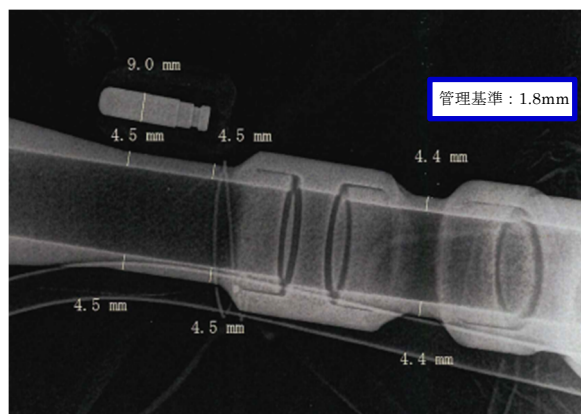


図 2.1-4(1) CCS 設備配管検査；放射線透過試験 (RT) 結果①

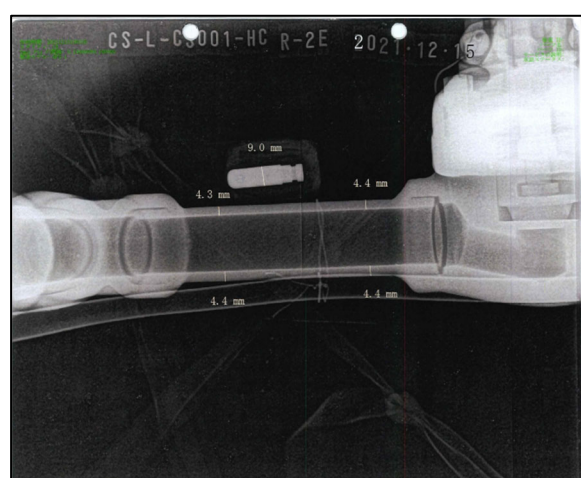


図 2.1-4(2) CCS 設備配管検査；放射線透過試験 (RT) 結果②

2.1.3 DCS 更新工事検討

現行 DCS メーカー の保守期間終了に伴い、D1-1 基地関係の DCS 制御機器の更新が必要である。2021 年度に更新に関わる工事内容・工程検討を完了させ、ハードおよびソフトの設計業務を開始する計画であったが、2021 年度は工事内容・工程の検討まで実施し、ハードおよびソフトの設計業務は 2022 年度に実施することとした。2022 年度以降のスケジュールは図 2.1-5 に示す。DCS 更新期限への影響はない。



図 2.1-5 DCS 更新工事工程

2.2 日常保全および定期保全 (SDM^{※1}) ; 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 CO₂ 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 CO₂ 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。2021 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) の推奨点検検査項目の内、必要と認めた項目も含む。

(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 が検討の上実施する補修業務をいう。

¹ Shut Down Maintenance

(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。保全業務を請負う協力会社は、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空室を業者作業員詰所として活用し、統括管理者を設置した体制で実施した。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事事用）をJCCSが工事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、2021年度は34件、主な内容は、32F-701A/B（純水設備混合ブロアー）分解点検整備、31P-002（処理水排水ポンプ）固着ターニング不良分解点検整備、潤滑油ランダウタンク遮断弁作動不良点検補修、計装空気配管ワンタッチ継手補修、サイドフィルター自動弁作動不具合点検補修、CO₂ベント燃焼装置の制御弁不具合点検、排水加圧浮上設備の自動弁不具合点検補修、11T-002（アミンタンク）ブリーザーバルブ内部点検整備、管理棟空調外調機点検補修、主変圧器放熱器漏れ補修、モニタリング装置電源系統切替え工事（非常用発電機撤去）、管理棟プレゼンテーションルーム雨漏り補修、30P-001A（循環冷却水ポンプ）分解点検補修、20PV-502B調節弁チェックバルブ空気漏れ補修、道路灯ランプ交換工事、各種配管腐食状況調査（保温解体・検査・復旧）、計装設備の経年劣化不具合と健全性の調査、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。

窒素設備ベーパーライザーへ送水する仮設上水ライン保温材補修、放水銃格納BOXおよび正面ゲート電源BOX補修、純水設備計装機器不具合補修、倉庫保管とした高圧電動機のベース養生、発錆の激しい防火ポンプ制御盤BOXおよび管理棟浄化槽制御盤BOXの塗装、不具合バルブ等の交換作業等を実施した。

2.2.4 定期保全業務 (SDM) 結果

(1) 定期保全業務 (SDM) 工程

2021年度のSDM実施時期は製油所の定期保全時期に合わせ、2021年6月17日～7月3日の工期で実施した。

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

2021年度の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、配管気密検査等を実施した。

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 (6/17, 6/18)

窒素製造設備検査の実施状況を図2.2-1に示す。



窒素製造設備検査

法に基づくフレキシブルチューブ耐圧試験

図 2.2-1 窒素製造設備検査

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

フロンガス圧力測定・漏洩の有無確認

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

定期点検およびベンダー推奨点検整備検査では、高圧電気設備、直流電源装置設備、計装空気設備、DCS 設備、地震計、遮断弁定期検査、安全弁・調節弁点検検査、ガス検知器点検検査、分離・回収設備熱交換器の点検整備、発電機および高圧電動機点検検査、分離回収設備のポンプ点検整備、圧縮機ローターの精度出し検査等について実施した。実施状況の一部を図 2.2-3(1)～(14)に示す。



屋外機器 (C-GIS) 点検のための雨養生

C-GIS 点検

図 2.2-3(1) 高圧電気設備検査



仮設発電機設置

直流電源装置・無停電電源装置点検

図 2.2-3(2) 発電設備検査



高压配電盤点検



配電盤接地抵抗測定



保護連動試験

図 2.2-3(3) 直流電源装置設備の検査



計装空気ドライヤー点検



計装空気圧縮機整備



計装空気圧縮機整備部品

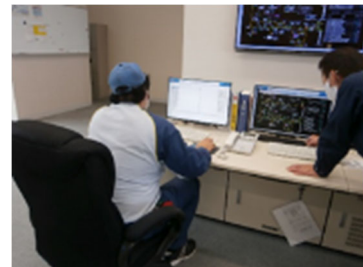
図 2.2-3(4) 計装空気圧縮機



オペレーションシステム点検整備



図 2.2-3(5) DCS 設備



制御室機器の点検整備



地震計センサー点検取り外し



図 2.2-3(6) 地震計



検査ツールによる診断実施



全開・全閉作動時間の確認

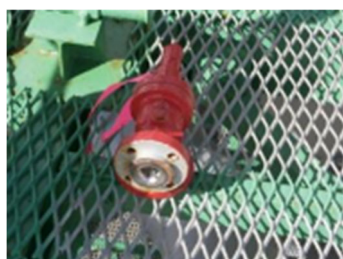


計装空気配管漏洩確認



空気ホルダー回り漏洩確認

図 2.2-3(7) 遮断弁の定期点検



取り外した安全弁



調節弁取り外し



点検検査のため工場搬出

図 2.2-3(8) 安全弁・調節弁の点検検査



アラーム確認



圧入井 CO₂ 計標準ガス試験



標準ガス試験



センサー交換(新品&旧品)

図 2.2-3(9) ガス検知器の定期点検検査



チューブバンドル抜出し



チューブバンドル



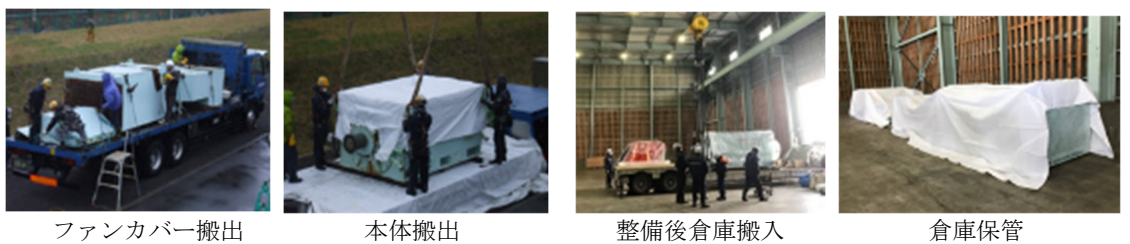
チャンネルカバー

図 2.2-3(10) 分離・回収設備 熱交換器の定期点検検査



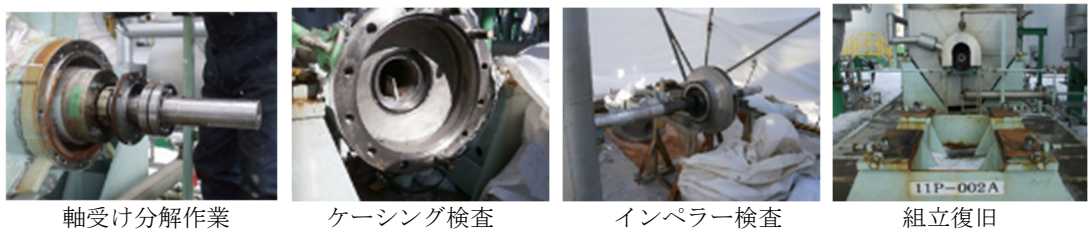
エンクロージャー開放 発電機本体取り外し 回転子吊り出し作業 点検整備後の回転試験

図 2.2-3(11) 発電機の定期点検検査



ファンカバー搬出 本体搬出 整備後倉庫搬入 倉庫保管

図 2.2-3(12) 高圧電動機の定期点検検査



軸受け分解作業 ケーシング検査 インペラー検査 組立復旧

図 2.2-3(13) 分離・回収設備のポンプ点検整備



ローター格納箱 ドライガスシール格納箱 精度出しのため工場へ搬出



精度出し整備報告書(抜粋)

図 2.2-3(14) 圧縮機インペラ・シャフトの精度出し(搬出・搬入)

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、32F-701A/B
 (純水設備混合ブロアー) 分解点検整備、31P-002(処理水排水ポンプ) 固着ターニング
 不良分解点検整備、計装空気配管ワンタッチ継手補修、サイドフィルター自動弁作動不具
 合点検補修の実施状況を図2.2-4(1)~(4)に示す。



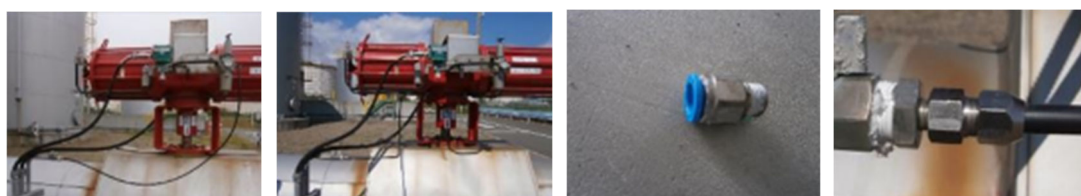
整備前ブロアー 錆びたルーツ 整備後ルーツ組込み ルーツ組込み完了

図2.2-4(1) 32F-701A/B(純水設備混合ブロアー) 分解点検整備



縦型ポンプ取り外し 整備前 整備後 組付け完了

図2.2-4(2) 31P-002(処理水排水ポンプ) 固着ターニング不良分解点検整備



導管交換前 導管交換後 プラスチック製継手 金属製継手

図2.2-4(3) 計装空気配管ワンタッチ継手補修



交換前 交換後 交換前 交換後

図2.2-4(4) サイドフィルター自動弁作動不具合点検補修

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。

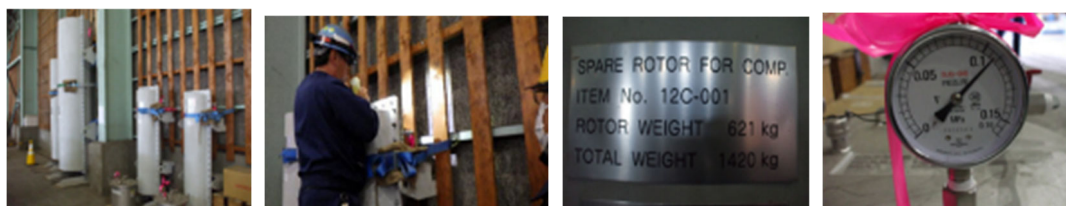
(1) 窒素封入管理

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0~0.02 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。
ただし、発電機本体は工場へ 2 箇月間持出し分解点検整備を実施後に据付けを行った。
- 2) ポンプ類は手回しターニングを行い、ブロア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。高低圧ボイラー給水ポンプの各 1 台、およびアミン系のポンプ 8 台は、分解点検整備を実施した。
- 3) PSA コンプレッサー、CO₂ 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に確認し、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。



メタルコンテナ コンテナの漏洩確認 銘板 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と精度出し

2.2.7 設備機能改善工事

設備機能を確保し向上させるため、機能改善工事を実施した。主な内容を以下に示す。

(1) アミン腐食に伴う配管材質変更工事

CO₂分離・回収設備において、アミン溶液による腐食・減肉漏洩トラブルが発生したため、当該配管を炭素鋼から耐食性のあるステンレス鋼へ変更し、防食対策を図った(図 2.2-6(1))。

(2) PAS 圧縮機機能改善工事

① アンチサージ弁閉塞対策工事として、調節弁の更新

低騒音弁の小径穴が鉄さび等のスケールにより閉塞するため、閉塞し難い内弁形状の調節弁に変更し、機能改善を図った(図 2.2-6(2)①)。

② 手動バイパス弁の設置

調節弁の閉塞時において対応可能なように、手動バイパス弁を設置した(図 2.2-6(2)②)。

③ 気液分離槽液面制御改善

PSA 圧縮機の気液分離槽(10V-003)の排水は、入口の気液分離槽(10V-002)に戻しており、10V-002 滞留水の濃縮対策として 10V-003 の排水を排水設備の排水槽に直接排水するよう排水経路を変更し、吹抜け防止対策として遮断弁を設置した(図 2.2-6(3))。

(3) ボイラー設備機能改善、給水ポンプシステムの更新工事

脱気器入口配管をエロージョン浸食対応として炭素鋼からステンレス鋼へ材質変更、圧力計設置、および自動再循環弁の交換工事を実施した(図 2.2-6(4))。



既設炭素鋼配管 交換後ステンレス鋼配管 新規フランジ設置 溶接施工部の焼鈍処理

図 2.2-6(1) アミン腐食に伴う配管材質変更



既設弁取り外し 配管切込み ①新規アンチサージ弁 ②手動バイパス弁設置

図 2.2-6(2) PSA 圧縮機機能改善/アンチサージ弁閉塞対策弁取り付け



配管経路変更 新設遮断弁 新設遮断弁設置 サポートおよび保温施工

図 2.2-6(3) 気液分離槽液面制御改善



脱気器入口配管材質変更 圧力計設置 更新前自動再循環弁 更新後

図 2.2-6(4) ボイラー設備機能改善 給水ポンプシステムの更新

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、対象バルブをリスト化し開閉確認を実施した。

調節弁や遮断弁の計装空気導管と継手がポリエチレン等のプラスチック製であり経年劣

化により破損し計装空気漏れや作動不良の原因となり得るため、銅製の被覆導管と金属製継手に交換した。

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挙げられる。総合点検として、これらを次年度以降に行うために、その計画策定のための事前点検（プレ点検検査）を実施した。確認できた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を総合点検の視点に反映する。

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、2021年度も無事故・無災害を達成することができた。なお、当センターは2016年2月10日の開設以来、2021年度末時点で2241日連続無事故・無災害を継続中である。

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

当センターでは、2019年11月22日にCO₂圧入量が目標の30万tに達したことにより、CO₂の圧入は停止し、実証試験設備は休止状態となった。これに伴い従業員数も18名となった。従業員数は減少したが、引き続き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。

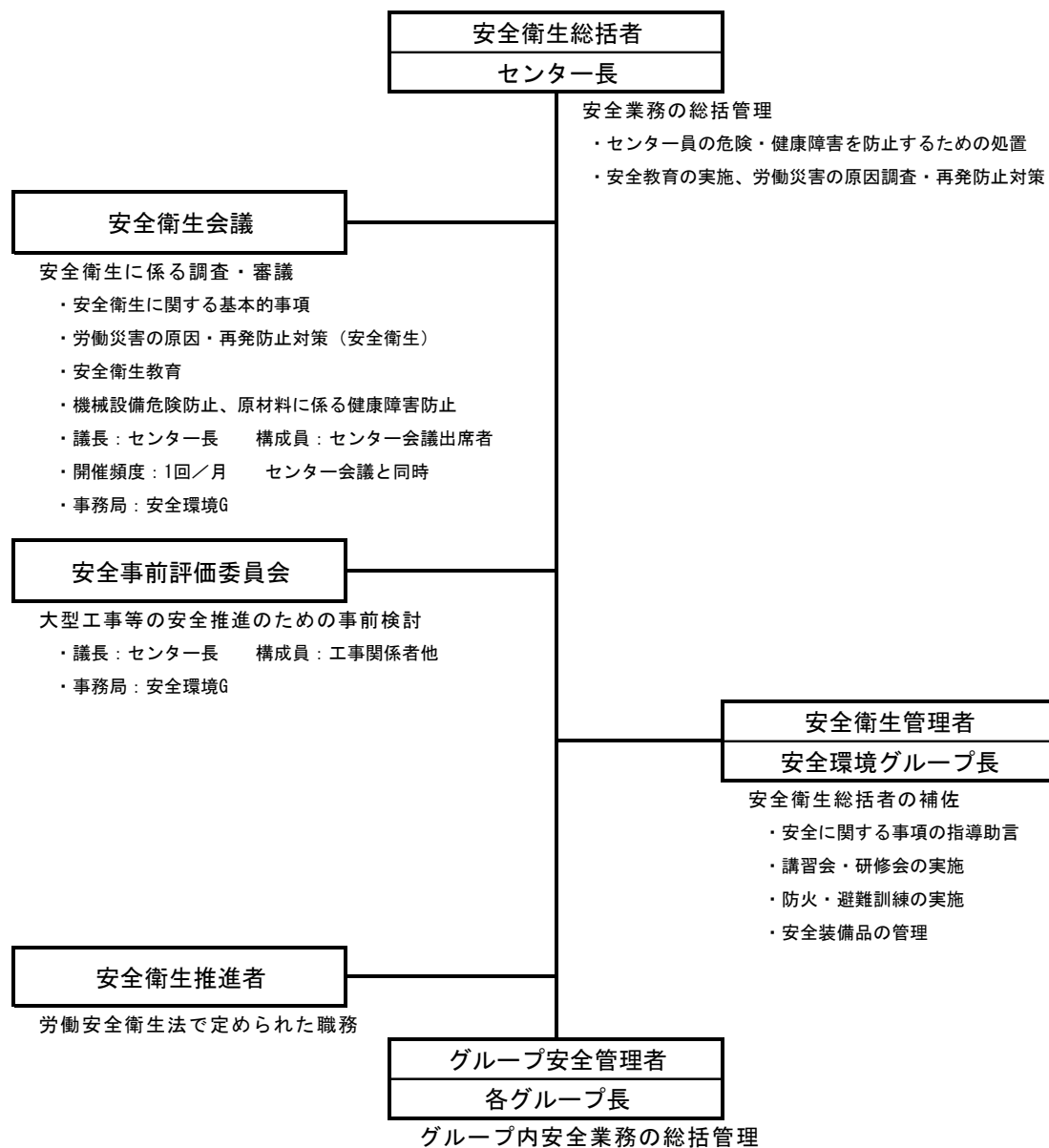


図 2.3-1 当センターの安全管理体制図

(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するために、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。）を設置している。

本会議は、原則として毎月1回開催した。2021年度は、特に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について追加施策として取り組んだ。

(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。

2021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
2021.6.15	2021年度定期点検工事
2021.9.1	安全弁・調節弁点検工事
2021.10.5	熱交換器定期点検工事
2021.10.19	高圧電動機点検工事
2021.10.28	アミン腐食に伴う配管材料変更工事
2021.11.11	ボイラー給水ポンプ点検工事
2021.11.24	発電機点検工事
2021.11.30	塗装工事
2021.12.9	ポンプ点検工事
2022.2.8	ボイラー設備機構改善/配管更新工事 PSA 圧縮機機能改善/アンチサージ弁点検整備工事 PSA 圧縮機機能改善/アンチサージ弁閉塞対策閉止弁取換工事 PSA 圧縮機機能改善/気液分離槽液面制御改善工事

(4) 安全パトロール

2021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にも実施した。

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、公共安全を確保することを目的に保安教育を実施した。

保安教育の実施は、2021年8月25日に保安規定（電気事業法）に基づく保安教育を、9月7日に一般取扱所予防規程（消防法）に基づく保安教育を、10月27日に危害予防規程（高圧ガス保安法）に基づく保安教育を、それぞれ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。

2021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

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並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、2021年9月14日に避難訓練（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

休日・夜間に事故が発生したことを想定し、2021年12月17日に緊急連絡訓練を実施した。

2.3.2 環境管理

2021年度の環境管理は、実証試験設備の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、公害の発生のおそれのある工事に対し、必要に応じその対策を協議し、この結果を反映したうえで工事を実施した。その結果、2021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。

2021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 2021 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
廃プラスチック	0.54	空知興産(株)	空知興産(株)
可燃混合物	1.53	空知興産(株)	空知興産(株)
金属くず	0.94	空知興産(株)	空知興産(株)
汚泥	56.12	(株)レンテック	(株)レンテック

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。具体的には、50 万 t 設備 2 系列 (100 万 t 設備) の実用化モデルに対し、CCS コストに関わる分離・回収、圧縮等各プロセス単位で、苫小牧 20 万 t (設備設計能力) 設備での運転実績からエネルギー効率・損失(熱・電力)の見直し、設備保全項目・周期の適正化、運転体制の最適化等を反映して、100 万 t 圧入規模での運転コストを推算した。さらには諸外国の CCS 実績データ (100 万 t 規模) を調査・分析し、実用化モデルでの CCS コストの試算結果と比較・考察した。

2021 年度は、100 万 t 規模の実用化モデルについて、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 CCS コスト削減の検討に着手した。特に、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 CO₂ 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 3 点のうち、1) および 3) について、運転操作方法見直しによる運転コスト削減に関し、運転実績データに基づく机上検討を開始した。

2.4.1 部分負荷運転時の分離・回収エネルギー

部分負荷運転時の分離・回収エネルギーについて考察を行うため、表 2.4-1 に示すとおり、部分負荷時運転実績データをまとめた。

表中の 2 ケースのように、CO₂ 回収量が 50% 以下の場合は、リーンアミン溶液 (以下、「LA」と称する。) およびセミリーンアミン溶液 (以下、「SLA」と称する。) の循環量

は設計値の60%程度に抑えることが運転要領書に記載されている。その理由は、60%以下ではアミン溶液が吸収塔充填層内で均一に分散しなくなる傾向があり、CO₂吸収性能が低下する恐れがあるからである。2 ケース共にSLAの循環量は設計値の60%以下であるが(コスト低減に寄与)、吸収塔上段のLAで捕獲することによって吸収塔出口のCO₂濃度は通常上限の0.1%以下に保持されたと考える。

一方、結果としてリボイラー熱量はLA循環量にほぼ比例して設計値の60%程度となり、妥当な値と評価する。

将来的に、SLA循環量を設計値の60%とし、LA循環量を60%以下(例えば、40~45%)に低下させた場合の吸収塔出口のCO₂濃度を0.1%以下に保持できるか否かの確認を計画する必要がある。0.1%以下の保持が可能であれば、リボイラー熱量も装置負荷程度に低下できると考えられる。

なお、吸収塔下段のSLA循環量は設計値の45~48%で運転指針の60%に満たないが、吸収塔下段出口(吸収塔内中間位置)でのガス中CO₂濃度は3.08~4.47%であり、設計値の26%から大幅に低下した。これは、LA循環量が部分負荷率より多めで、かつ放散塔で加熱再生していることにより、放散塔塔頂からCO₂に同伴する水蒸気の割合も多くなり、LPフラッシュ塔でのCO₂フラッシュ効果も増進されたためと考えられる。

表 2.4-1 部分負荷時運転データ

年/月/日		2017/8/9	2019/1/15
CO ₂ 回収量	t/h	12.2	10.3
装置負荷 (設計値 5.3t/h)	%	48.2	40.7
リーンアミン溶液	t/h	81	81
設計値: 123t/h	%	66	66
セミリーンアミン	t/h	351	376
設計値: 785t/h	%	45	48
リボイラー熱量	GJ/h	13.65	14.07
設計値: 21.83GJ/h	%	63	64
	GJ/t-CO ₂	1.119	1.366
ポンプ電気量	kWh/t	30.7	37.7
分離・回収エネルギー	GJ/t-CO ₂	1.51	1.84
設計値 : 1.13GJ/t-CO ₂	%	133	163
(参考) 吸収塔出口 CO ₂ 濃度	mol%	0.03	0.01
(参考) 吸収塔下段出口 CO ₂ 濃度	mol%	3.08	4.47

2.4.2 起動移行・停止移行運転時の分離・回収エネルギー

起動移行・停止移行運転時の分離・回収エネルギーについて考察を行うため、表 2.4-2 に示すとおり、本事業における起動移行・停止移行運転時実績データをまとめた。なお、起動移行期間および停止移行期間の定義については表注記に記述したが、一義的な定義は困難であるため、起動移行・停止移行に係る累計値は参考値とする。

その結果、停止移行期間のエネルギー消費は、起動移行期間のエネルギー消費よりも相対的に大きく、経年による減少も見られないことが分かった。今後、特に 2019 年度の停止移行期間のエネルギー消費の内容について、詳細に検討し対策を講じる予定である。なお、表中の超過分の削減検討により、停止移行期の計算値からの超過分のエネルギー消費を起動移行時と同等の 1.1%程度に低減できれば（累積対象延べ日数の短縮）、両移行時の計算値からの超過分の合計エネルギーを全体の 2.5%程度（停止時の 1 回あたりの累積対象延べ日数を起動時と同様の 1.3 日≒2 日目標とすると、停止時の超過分は $3.5 \times 2 / 5 = 1.4\%$ で、合計 2.5%）に維持することができ、年 2 回（起動・停止 1 回で 5 日）の起動・

停止エネルギー消費が計算値 1.5% (=10/330×50%) に接近するので、現実的な作業工程上のエネルギー消費と見なすことができる(起動時移行は 1.25 日/回(2019 年実績)、停止時移行は 2 日/回(上記目標)~3.75 日/回(2019 年実績))。

(参考) 表 2.4-2 起動移行・停止移行運転時の分離・回収エネルギー

年度		2017	2018	2019	合計
CO ₂ 回収エネルギーの累計	GJ	194,802	150,102	113,796	458,700
起動移行期間中に、計算値を超過した	GJ	5,050	1,447	1,982	8,479
日の CO ₂ 回収エネルギーの累計	%	2.6	1.0	1.7	1.8
うち超過分の累計	GJ	2,873	219	1,982	5,074
	%	1.5	0.1	1.7	1.1
累計対象延べ日数	日	15	4	5	24
起動移行期間の回数	回/年	3	3	4	10
(1 期間を 1 回としてカウント)					
停止移行期間中に、計算値を超過した	GJ	7,142	6,926	6,692	20,760
日の CO ₂ 回収エネルギーの累計	%	3.7	4.6	5.9	4.5
うち超過分の累計	GJ	5,350	5,370	5,245	15,965
	%	2.7	3.6	4.6	3.5
累計対象延べ日数	日	15	15	15	45
停止移行期間の回数	回/年	3	3	4	10
(1 期間を 1 回としてカウント)					

注 1) 2019 年度は、4/1~11/22

注 2) ” 起動移行期間” の定義 ; 1 日あたりの回収 CO₂ 流量を A(t/d)、CO₂回収エネルギー (全投入エネルギー) を B(GJ/d)とした時、A または B が増加傾向にある期間であり、「A=0 かつ B≠0」を含む。

注 3) ” 停止移行期間” の定義 : A,B は同上。A または B が減少傾向にある期間であり、「A=0 かつ B≠0」を含む。

注 4) 計算値 ; 定常状態の上記 A,B から比例計算される値

2.5 設備の信頼性検討

本検討の目的は、圧入試験終了後の設備の保全、利活用に伴う開放点検の結果や運転データの比較検証から抽出された実用化のための対策・改善策の検討、設備の信頼性の検証である。

2.5-1 分離回収設備機能改善／セミリーンアミン配管材質変更工事

当該設備については、2019年度～2020年度にCO₂吸収塔(11V-001)、CO₂放散塔(11V-003)、低圧フラッシュ塔(11V-004)、低圧フラッシュ塔塔頂受槽(11V-005)、アミンリボイラー(11E-004)の各塔槽機器および接続配管の内部を調査し、アミン漏洩箇所以外の健全性を確認した。また、セミリーンアミン配管の漏洩メカニズムを検討した。その結果、漏洩箇所およびその近傍において速い流れによって保護被膜(炭酸鉄)の生成・剥離が繰り返された状態から、エロージョン、コロージョンによる局所的な減肉が進行し開孔、漏洩に至ったと解析した。これを受け、2021年度は設備の耐腐食性を向上するため、漏洩が懸念される箇所として、「セミリーンアミン配管の調節弁(11FV-002)および下流配管(配管サイズ12B～16B)」(図2.5-1 ※1)と「セミリーンアミンポンプ(20P-002A/B)バイパス配管(配管サイズ3/4B)」(図2.5-1 ※2)を特定し、改善が必要な箇所については、配管類の材質を炭素鋼からステンレス鋼に変更する対策工事を実施した。なお、対策工事後は窒素封入による次期稼動時までの保管処置を施している。

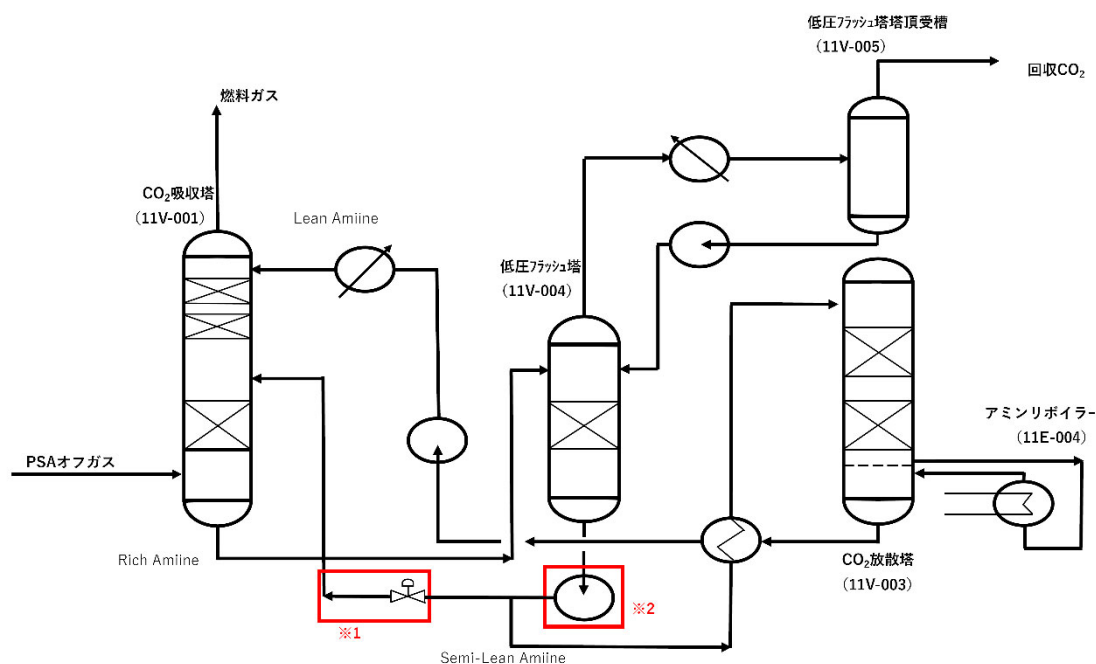


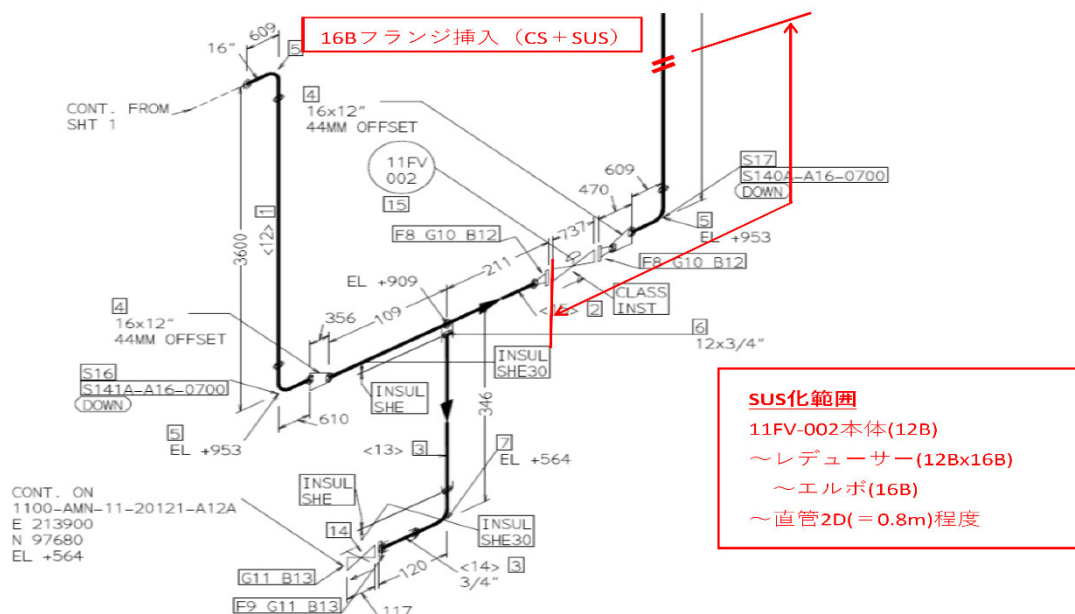
図 2.5-1 分離回収設備フロー図/材質変更箇所

(1) セミリーンアミン配管材質変更内容

アミン腐食懸念箇所の材質変更は、図 2.5-2 および 2.5-3 に示す範囲で行い、圧力用炭素鋼鋼管 (STPG 材) から配管用ステンレス鋼鋼管 (SUS304LTP) への改善対策を実施した(表 2.5-1)。

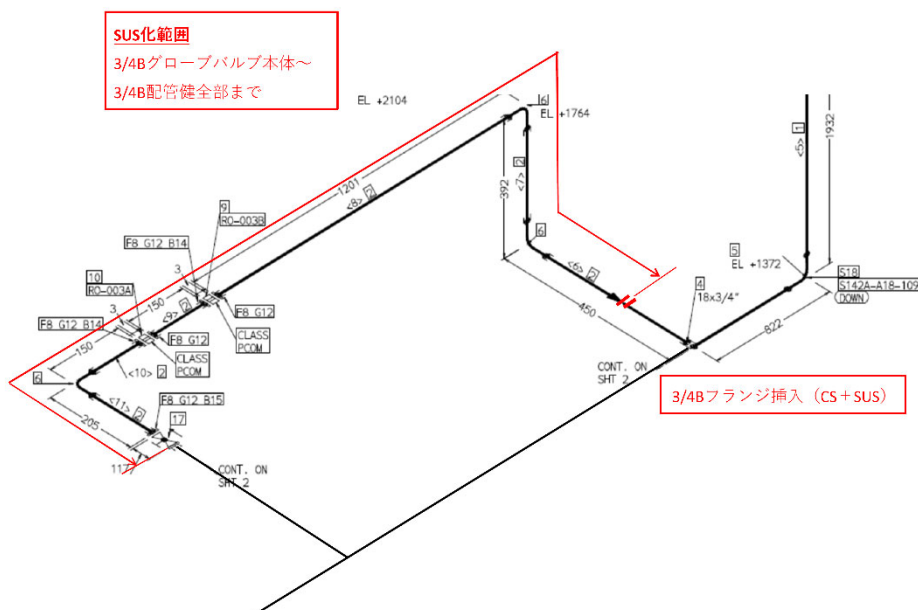
表 2.5-1 材質変更一覧表

材質変更内容				材質変更内容	
項目	サイズ	変更前/炭素鋼		変更後/ステンレス鋼	
パイプ	16B	STPG370-S	➡	SUS304LTPY	
	1B	STPG370-S		SUS304LTP-S	
	3/4B	STPG370-S		SUS304LTP-S	
エルボ	16B	PG370		SUS304L	
レジューサ	12B×16B	PG370		SUS304L	
フランジ	12B	SFVC2A		SUSF304L	
	16B	SFVC2A		SUSF304L	
	1B	SFVC2A		SUSF304L	
	3/4B	SFVC2A		SUSF304L	
バルブ	12B	SCPH2		SCS13A	
	1B	SFVC2A	SUSF304L		
	3/4B	SFVC2A	SUSF304L		



11FV-002 廻り材質変更範囲図 (図 12.1-1 ※1 拡大)

図 2.5-2 セミリーンアミン配管 16B 調節弁



バイパス配管 3/4B 材質変更範囲図 (図 12.1-1 ※2 拡大)

図 12.1-3 セミリーンアミンポンプ 20P-002A/B

2.5-2 分離回収設備機能改善／腐食浸食データ収集のための準備

腐食浸食についての現象データ収集に向け、流れが乱れる箇所を特定し、複数素材テストプローブによる実機試験のための取り付け用治具を設置した。試験位置については、セ

ミリーンアミン配管 11FV-002 の下流 12B フランジの溶接部付近と、更に下流の 16B 配管部 (図 2.5-4) とし、将来の実機運転のタイミングに合わせて素材ごとの腐食状況や腐食速度の分析検証を計画する。

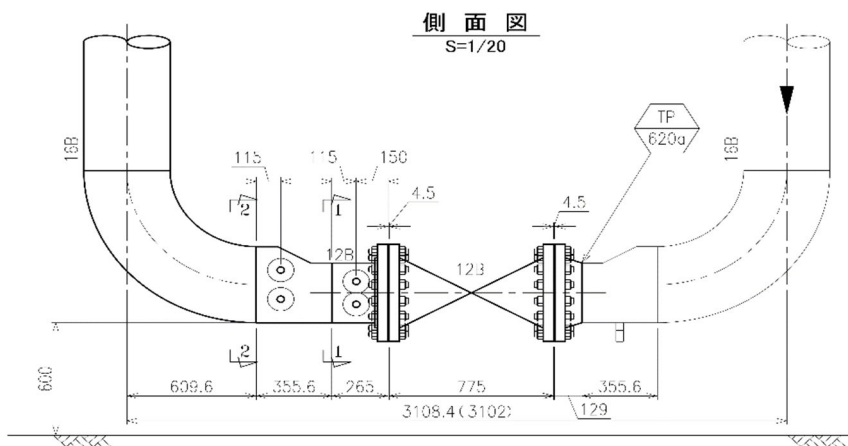


図 2.5-4 セミリーンアミン配管／テストプローブ取り付け位置図 (側面図)

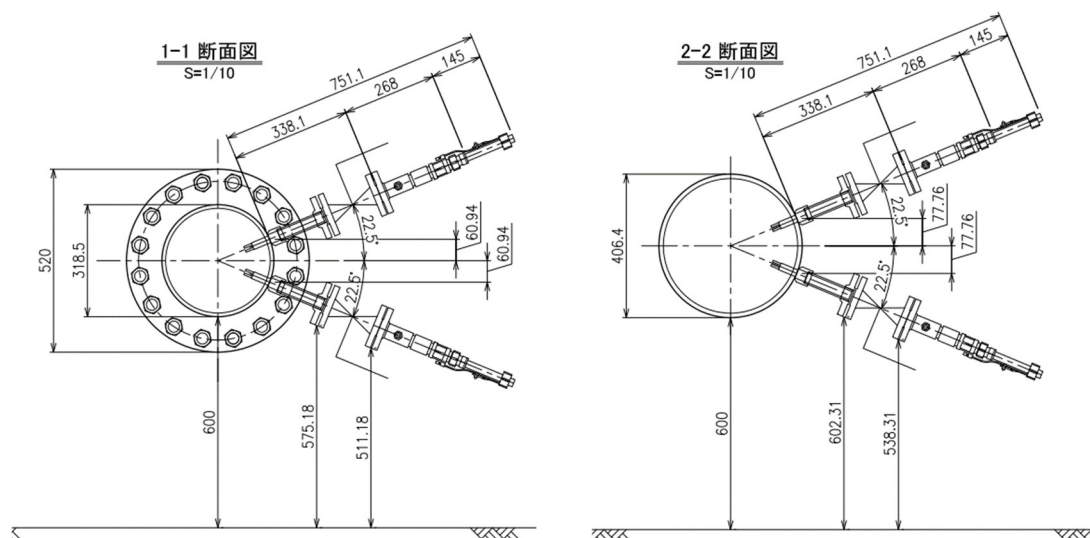


図 12.2-2 12B セミリーンアミン配管／テストプローブ取り付け位置図 (断面図)

(1) 腐食実機試験テストプローブ取り付け用治具の設置状況

テストプローブの取り付け用治具は、セミリーンアミン配管 11FV-002 の下流 12B フランジの溶接部付近と 16B 配管部 (図 2.5-6) に各 2 箇所 (計 4 箇所) とし、稼動中でもテストプローブの取り外し作業が可能な背面スペースを確保した。



図 12.2-3 テストプローブ取り付け用治具の設置状況

(2) 腐食実機試験テストプローブの検討状況

当該テスト機器は、実機運転中に行う腐食測定のため、CO₂分離回収運転中、設備の停止をすることなくテストプローブの交換作業を行える構造を検討した。テストプローブの素材選定（炭素鋼およびステンレス鋼）については今後の検討課題とするが、テストプローブの型式は、電気抵抗（ER）型プローブと減量クーポンの2種類を検討する。電気抵抗（ER）型プローブは、電気抵抗により減量の測定を行うため微量の変化に対して有効な結果を確認できる。また、重量減少クーポンは、腐食速度の速い素材に有効な結果を得ることができる。

この双方の特性を持つプローブ、クーポンを設置することで、腐食浸食についての有意なデータ収集が可能となることを見込まれる。