

Refining equipment

📅 Fri. Oct 31, 2025 9:15 AM - 11:30 AM JST | Fri. Oct 31, 2025 12:15 AM - 2:30 AM UTC 🏢 Room-E(3FChuou)

[2E01-08] Refinery maintenance(3)

Chair:

Satoru Okamoto(ENEOS Corp.) 9:15~10:15

Shu Kodama(Idemitsu Kosan Co.

Ltd.) 10:30~11:30

🇯🇵 Japanese

9:15 AM - 9:30 AM JST | 12:15 AM - 12:30 AM UTC

[2E01]

Introduction of Improvement Cases for Inlet Attack of Seawater Heat Exchanger

○masashi yanai¹ (1. TOA OIL CO.,LTD INSPECTION & RELIABILITY SECTION)

🇯🇵 Japanese

9:30 AM - 9:45 AM JST | 12:30 AM - 12:45 AM UTC

[2E02]

Examination of the mechanism of lightning damage in our oil refineries and measures to reduce lightning damage.

○Kentaro Higuchi¹ (1. FUJI OIL COMPANY,LTD. SODEGAURA REFINERY INSTRUMENT & ELECTRICITY MAINTENANCE SECTION CONSTRUCTION & FACILITY MAINTENANCE DEPARTMENT)

🇯🇵 Japanese

9:45 AM - 10:00 AM JST | 12:45 AM - 1:00 AM UTC

[2E03]

Optimization of maintenance methods through evaluation of partial discharge occurrence in generator stator

○Mitsuaki Komiya¹ (1. Idemitsu Kosan Co.,Ltd)

🇯🇵 Japanese

10:00 AM - 10:15 AM JST | 1:00 AM - 1:15 AM UTC

[2E04]

Study on Remaining Creep Life Assessment Using the Omega Method in Accordance with API 579

○Yuki Nakamura¹, Teppei Suzuki¹ (1. Idemitsu Kosan Co., Ltd.)

10:15 AM - 10:30 AM JST | 1:15 AM - 1:30 AM UTC

break

🇯🇵 Japanese

10:30 AM - 10:45 AM JST | 1:30 AM - 1:45 AM UTC

[2E05]

Introduction of MITSUI E&S approach for carbon neutrality

○Kei Yashiki¹ (1. MITSUI E&S Co.,Ltd. Reciprocating Compressor Group, Decarbonization Solution Dept., New Business Development Div.)

🇯🇵 Japanese

10:45 AM - 11:00 AM JST | 1:45 AM - 2:00 AM UTC

[2E06]

Hybrid Type CO₂ Separation System Combining Membrane and Adsorption

○Keiichi Okuyama¹, Kentaro Chiba¹ (1. JFE Engineering Corporation Research Center of Engineering Innovation)

◆ Japanese

11:00 AM - 11:15 AM JST | 2:00 AM - 2:15 AM UTC

[2E07]

Process Design and Evaluation of Wastewater Treatment Systems for Sustainable Aviation Fuel (SAF) Production

○TAKAHIRO NAKAGAWA¹, NAOYUKI UEDA¹, DAISUKE MORI¹ (1. Idemits Kosan Co.,Ltd.)

◆ Japanese

11:15 AM - 11:30 AM JST | 2:15 AM - 2:30 AM UTC

[2E08]

Introduction of drones for safety and inspection of outdoor storage tanks area

○Shogo Inoue¹, Hiroyuki Yanagimoto¹, Satoru Okamoto¹ (1. ENEOS Corp.)

海水熱交換器のインレットアタックの改善事例

（東亜石油（株）京浜製油所工務部 設備管理課） 野内 雅史^{やない まさし}

1. 緒言

特殊形状の海水熱交換器で海水側入口の伝熱管管束の管板面に顕著な減肉を認めた。流動解析の結果、流入配管の直管長が短いことと熱交換器が特殊形状であることから、流れの乱れと局部的な高流速部が生じ、インレットアタックによる減肉の原因になったと判明した。これらの原因究明と改善策の検討事例を紹介する。

2. 設備概要

対象設備はU字管式熱交換器であり、胴側的高温流体をU字管側の低温流体である海水によって冷却する構造である。

U字管側の水室中心と流入配管中心が偏心しており、水室スペースが極めて狭い特殊構造となっている。また、流入配管は直管長が短い構造となっている。

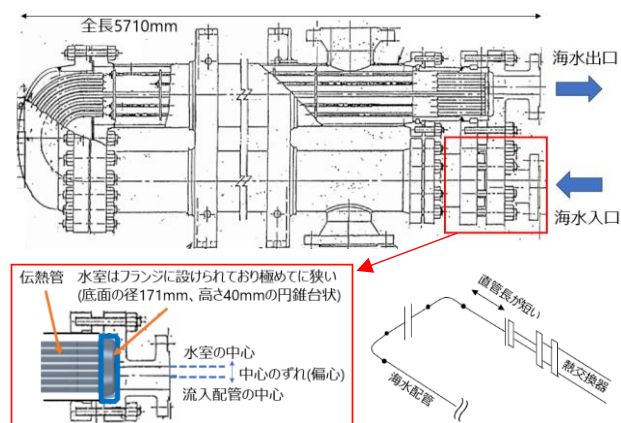


図1 熱交換器の構造

図2 流入配管の構造

3. 海水側U字管の減肉状況

海水流入入口側の管板及びU字管内面の管端近傍に顕著な減肉が認められた。管板の減肉形態は虫食い状の減肉であった。一方、海水留出側では顕著な減肉は確認されなかった。

減肉形態は潰食であり、流入配管の構造や熱交換器の特殊構造から局所的な高流速や流れの

乱れによる減肉の可能性が高いと推定された。

このため、原因の詳細解析と対策立案を目的として流動解析を実施した。

4. 流動解析結果

熱交換器及び流入配管の形状と実際の運転条件を再現した流動解析モデルを作成し、解析を行った。図3左側に水室部から伝熱管へ流入する海水速度分布を示す。解析結果は、実際の減肉位置と高流速領域の位置がおおむね一致することを示した。この結果を踏まえ、図4の改良モデルを作成し再解析した結果、図3右側のとおり海水流速の偏流が改善し高流速部が抑制されることを確認した。

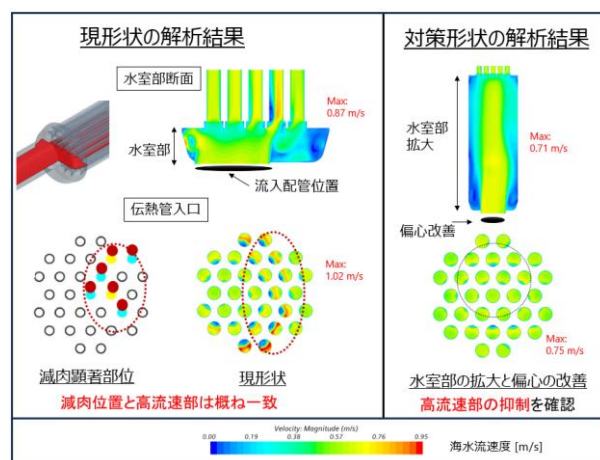


図3 水室部及び伝熱管流入部流速分布

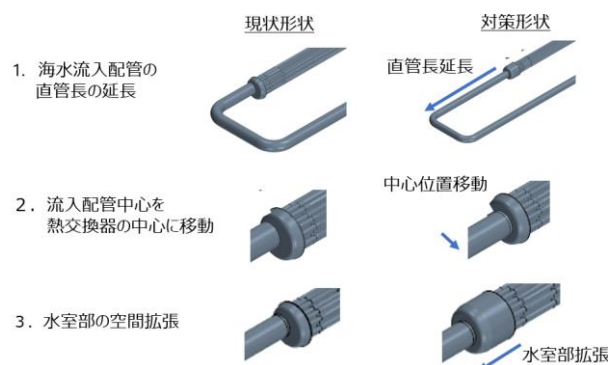


図4 現形状と対策形状

製油所における雷害メカニズムの検討と被害低減に向けた対策

（富士石油株式会社 袖ヶ浦製油所）工務部 計電課 ○樋口 健太郎

1. 緒言

2024年7月に当製油所に大規模な落雷があり、所内全域にわたり多数の計装機器が故障した。原因については、落雷箇所を起点に誘導雷・逆流雷が生じ、これら雷サージが現場計器および制御装置に流入したことで故障に至ったと推定する。当製油所では今後も起こり得る落雷に備え、雷害のメカニズムについて検討し、雷害低減に向けた対策を実施した。本稿では上述した一連の検討および対策の概要について紹介する。

2. 雷害の発生状況

Fig.1 は落雷箇所および被害箇所をプロットした図である。落雷およびその被害は製油所全域で発生したが、図中央の四角で囲われたエリア（以降、特定エリアと呼ぶ）で特に大きな被害を受けた。現場計器では指示不良、基板故障、保護ヒューズ裁断など、また制御室ではDCS・SISでIOM（入出力モジュール）の故障が多数認められた。



Fig.1 落雷箇所および被害概要

3. 雷害メカニズムの検討および雷害低減への対策

故障の原因と推定した雷害メカニズムは次による。

- ・ 誘導雷：直撃雷がもたらす電磁界の急変により周辺の制御配線に起電力が誘導され、現場計器および制御装置に雷サージが流入、破壊したと推定。
- ・ 逆流雷：直撃雷がもたらす大地電位の上昇で現場計器と制御装置に電位差が生じ、高電位の現場計器から低電位の制御装置へ雷サージが流入、破壊したと推定。

Fig.2 に誘導雷および逆流雷の概要を示すが、雷サージからの保護手段として、次の二つの対策を考えた。

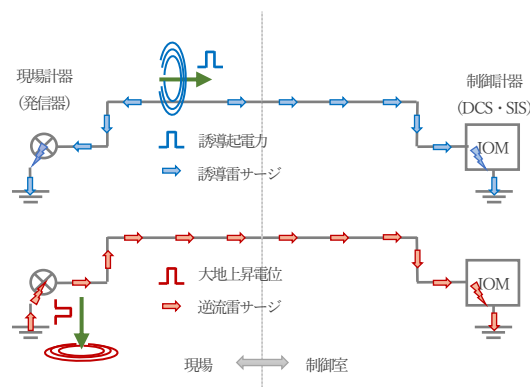


Fig.2 誘導雷および逆流雷の概要

- ①現場計器および制御装置への雷サージ流入を防ぐこと
 - ②現場計器と制御装置に電位差を発生させないこと
- ①の具対策として、被保護機器の直近に SPD（サージ保護デバイス）を設け、SPD を介して大地に雷サージを放電することで機器を保護する仕組みを採用した。
- ②の具対策として、現場計器と制御機器の接地間に SPD を設け、SPD を介して接地電位を等電位にすることで雷サージを低減し機器を保護する仕組みを採用した。
- ①、②の対策概要を Fig.3 に示す。

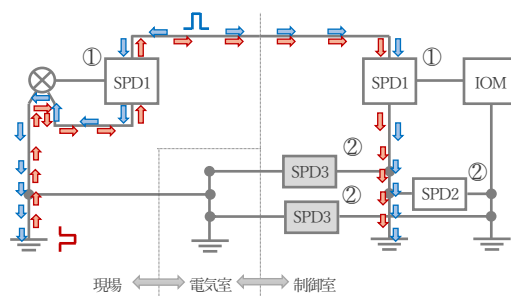


Fig.3 SPD による雷害低減の概要

4. まとめ

Fig.3 に示す対策の内、SPD3 は雷サージ以外の外乱（地絡事故、高調波など）に対する懸念が残るため、投入を留保したが、その他の対策は 2025 年定修期に実施した。要所に SPD を設置したことにより雷害低減の効果が期待できる。また、雷害低減に向けた取り組みの中で、落雷に関する多くの知見を得ることができた。これらの知見を基に今後も継続的に検討を重ね、リスクに応じて適時対策していくことで、製油所の安全性と安定性の向上を目指していく。

発電機固定子部分放電発生部位の評価による保全方法の適正化

こみや みつあき
(出光興産) 小宮 満明

1. はじめに

高圧・特別高圧大型発電機の突発停止は長期停止に繋がることが多い。そのため定期的にオフライン絶縁診断を行い、劣化程度を把握・評価して設備信頼性を確保する。オフライン絶縁診断は、一般的に絶縁抵抗測定・誘電正接試験・交流電流試験・部分放電試験から構成される。各試験の特性を踏まえた総合的な評価が行われる。

このうち部分放電試験は絶縁物の剥離やボイドを検出する試験であるが、部分放電量のみでは劣化部位の推定は困難である。そのため絶縁診断結果から補修方針を決定するには回転子拔出しを伴う内部点検が必要のため、復旧期間の長期化・コスト増加が課題である。

2017年 IEC 60034-27-1: Off-line partial discharge measurements on the winding insulation⁽²⁾ (以下 IEC 60034-27-1) によって、放電部位・パターンに応じた放電位相特性が公開された。実験室レベルで放電部位・パターンを模擬して採取されたものであり長期稼働した実機への適用には懸念があった。そのため弊社では IEC 60034-27-1 を補完する活用方法を具体化した。これによりオフライン絶縁診断結果、部分放電量の増加が見られた機器に実機適用し、部分放電発生部位の見極めを行い、これまでの問題点が解決したので報告する。

2. 発電機固定子部分放電発生時の保全上の問題とその解決

2.1 部分放電発生部位を見極める上での課題解決

発電機固定子において絶縁劣化により部分放電が発生する部位は、非修理系（スロット内部の巻線主絶縁など）、修理系（スロット出口部の電界緩和層など）に分類される。部分放電試験で得られる部分放電量は劣化部位の合計値であり、部分放電発生部位を特定し非修理系・修理系を分類するのは困難である。そこで、保全経歴・内部点検結果を踏まえた総合的な評価により部位の推定、及び次回整備内容・時期を決定している。しかし部分放電量が前回測定時から急増すると、運転再開迄に部分放電量低減処置を完了する必要があるが、補修範囲を決定するのに時間を要していた。

そこで、IEC 60034-27-1 に基づく放電部位・パ

ターンに応じた放電位相特性を適用し、劣化部位の特定を行った。その結果、部分放電量が急増した機器においても修理系の場合は部分補修（スロット出口部の電界緩和層への放電防止塗料塗布など）により部分放電量を軽減させ早期復旧が可能となった。ただし、IEC 60034-27-1 では実験室レベルでの例示が示されているため、パターン通りの放電位相特性測定結果が得られることは稀である。よって弊社では「①複数の放電パターン候補との比較」、「②保全経歴を踏まえた評価」を行って実機適用した。

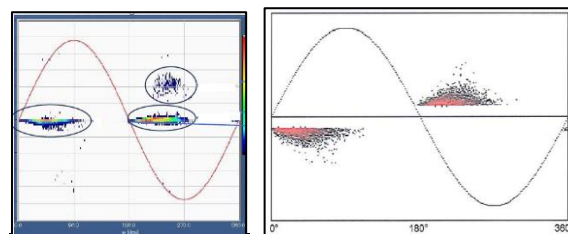


図1 位相特性実機測定結果（左）と IEC 60034-27-1 による放電パターン²⁾（右）

2.2 保全方式の見直しによる中期計画精度の改善

高圧・特別高圧発電機の機能維持に関わる費用は極めて高額であるため精度の高い修繕費計画が求められる。IEC 60034-27-1 を適用して部分放電発生部位を特定し非修理系・修理系に分類することにより、修理系の劣化は計画的な予防保全や補修による寿命延長が可能となった。

今後は非修理系の絶縁劣化に着目して寿命管理することによって修繕費計画の精度向上が期待される。

3. おわりに

各事業所に設置されている高圧・特別高圧発電機の多くが更新を検討する時期にある。今回得られた新たな知見を実機に適用し、更新時期の最適化・計画精度向上に貢献する。

参考文献

- 1) 江原由泰、江藤計介、末長清佳、電気設備の絶縁診断入門、コロナ社、2022年
- 2) IEC 60034-27-1: Off-line partial discharge measurements on the winding insulation、2017年

API579 による Omega 法を活用したクリープ余寿命評価の検討

なかむら ゆうき すずき てっぺい
(出光興産株式会社) ○中村 優樹・鈴木 哲平

1. 緒言

API 579/ASME FFS Fitness-for-Service (以下 API 579)¹⁾は、減肉や割れ状欠陥など多様な損傷に対する評価手法を体系化した維持規格である。この規格は海外のみならず国内でも減肉評価を中心に使用例が増加している。API 579 Part 10 には、クリープ評価の手法が規格化されており、国内で広く知られる Larson-Miller パラメータ(以下 LMP)を用いた手法に加え、Omega 法(以下Ω法)のマスターデータを利用した手法など、複数の方法が標準化されている点が特徴である。Ω法は、図 1 に示すように、クリープひずみとひずみ速度の関係を基にクリープ寿命を予測する手法であり、①クリープひずみを直接推定できる、②破断試験データが少ない場合でも評価可能であるなど LMP 法にはない利点を有する。国内では 2000 年代に Ω 法を含む API 579 のクリープ評価に関する研究が行われたものの、実機設備への具体的な適用事例はほとんど報告されていない。一方、海外では API 579 を用いたクリープ評価の研究・適用例が数多く報告されており、規格自体も 2016 年及び 2021 年の改訂により材料データが大幅に拡充された。

以上の背景を踏まえ、本研究では今後の国内適用を見据え、最新版 API 579 に基づく Ω 法を用いたケーススタディを実施し、Ω 法と LMP 法による評価結果の差異を整理した。また、実機サンプルの破断試験データを用いた Ω 法による余寿命の詳細評価手法についても検討した。

2. 評価方法及び結果

以下の 3 ケースについて LMP 法(API 530-2008)及びΩ法によるクリープ寿命評価を実施した。いずれの評価にも下限強度の材料データを採用した。Ω法における評価では、材料データ強度のバラつきを考慮した補正係数としてクリープ延性補正係数 Δcd とひずみ速度補正係数 Δsr があり、これらの調整して下限強度が設定されるが、本検討では API 579 及び、過去の検討方法²⁾を参考に、 $\Delta cd = 0$ 、 $\Delta sr = -0.5$ を下限強度相当として採用した。

(1) 加熱炉管チューブ (SUS321H 製)

クリープ検査の要否及び検査時期を確認するため、設計条件を基に API 579 Level 2 評価を実施した。その結果、両手法において余寿命が 100 年以上であることが確認された。

(2) ボイラ過熱器管 (2.25Cr-1Mo 製)

既設管の更新時期を検討するため、非破壊検査結果を参考に API 579 Level 2 評価を実施した。評価では、まずチューブ内面に形成された水蒸気酸化スケールの厚さと運転時間から放物線則を用いてメタル温度を推定した。次に、今後のスケール成長を考慮し、段階的にメタル温度が上昇すると仮定した上で、API 579 の LMP 法及びΩ法を適用することで寿命消費を算出した。その結果、推定余寿命は LMP 法を Base として、Ω法で 0.75 倍の余寿命が得られた(表 1)。

(3) 配管 (1.25Cr-0.5Mo 製)

API 579 Level 2 を用いて設計条件に基づく机上評価とサンプル破断試験データを反映した評価の二つを実施した。まず、設計条件に基づく評価では、推定余寿命は LMP 法を Base として、Ω 法で 0.99 倍の余寿命が得られた(表 1)。次に、23 年間使用された材料のクリープ破断試験結果を反映した評価を実施した。この試験では、応力・温度条件を変化させた、合計 8 条件で得られた最小ひずみ速度及び破断時間を基に、API 579 における材料係数 Δsr 及び Δcd を補正し、経年劣化を考慮し

た実運転条件での余寿命を算出した。補正後の破断試験結果は概ね再現可能であったが、試験条件によって得られた材料補正係数のばらつきが大きく、クリープ余寿命は最短値を 1 とした場合でおよそ 1 倍～35 倍と幅広い結果となった。また、破断試験データを基に LMP の回帰曲線を作成し、API 579 を用いて推定余寿命を算出した。

3. 考察

ケース(1)～(3)から、API 579 のΩ法と LMP 法の材料データを用いて推定した余寿命は、factor of 2 の範囲内で概ね一致した。また、Ω 法の方がやや安全側の値を示した。本検討では、Ω法の下限強度評価に $\Delta sr = -0.5$ を適用したが、この設定は LMP 法の下限強度と比較して妥当であると判断された。一方、破断試験データから算出した余寿命は試験条件によって大きくばらついた。Ω法は原理上、LMP よりも少ない破断試験データから実機条件での余寿命推定が可能であるが、今回の結果から推定結果は試験条件に強く依存する可能性があり、試験条件の選定が重要であると考えられた。先行研究では、Ω法に破断試験データを適用する際の試験条件として、最小ひずみ速度 $2 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-5} \text{ h}^{-1}$ に相当する条件が推奨されている⁴⁾。本検討で使用したデータはこの範囲外であったが、比較的近いひずみ速度(1.87×10^{-5} , $2.25 \times 10^{-5} \text{ h}^{-1}$)のデータを採用した場合、余寿命は LMP 法を Base として、Ω法で 1.12～1.80 倍の余寿命となり、LMP 法の結果と概ね一致した。

以上より、Ω法と LMP 法はいずれも実機クリープ寿命の推定に有効であり、両手法による寿命推定値は概ね一致した。また、破壊試験データを併用することで評価精度の向上が期待できることが示されたが、応力レベルや温度区分など試験条件の整備が今後の課題として残った。さらに、得られたパラメータを用いた解析により実験のクリープ曲線を概ね再現できたことから、ひずみを考慮した弾塑性解析などへの展開が可能であると考えられる。

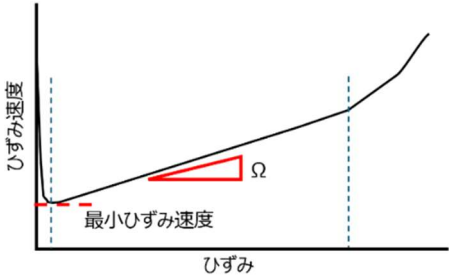


図 1 Ω法の模式図

表 1 API 579 による余寿命評価結果

	LMP法	Ω法
ケース(1)	100年以上	100年以上
ケース(2)	Base	Base×0.75年
ケース(3)	Base	Base×0.99年

(1) API 579/ASME FFS 2021 Fitness-For-Service
(2) 石崎他：クリープ域で外圧を受ける圧力容器の余寿命評価例 (JHPI Vol.56、2018)
(3) 藤林、遠藤：長時間使用された 1.25Cr-0.5Mo 鋼のクリープ変形の Ω 法による解析 (鉄と鋼、2002)
(4) Prager M：The Omega Method—An Engineering Approach to Life Assessment (Journal of Pressure Vessel Technology Vol. 122、2000)

三井E & Sのカーボンニュートラルに向けた取り組みの紹介

(株)三井E & S 成長事業推進事業部脱炭素ソリューション部レシプログループ ○屋敷 ^{やしき} ^{けい} 溪

1. 緒言

(株)三井E&Sは1917年に創業、あらゆる業界、産業を内側から支える総合重工メーカーである。祖業である造船業を始め、船用推進事業(船用ディーゼルエンジン及び周辺装置)、港湾物流事業(港湾クレーンなど)といった中核事業において世界の海上物流輸送をリードしてきた。本稿ではカーボンニュートラルへ向けて当社の目指す姿に基づいた取り組みを紹介する。

2. 当社の目指す姿

当社は2023年に持株会社体制を解消し、社名を「株式会社三井E & S」へ変更した。社名の“E & S”にはEngineering & Service for Evolution & Sustainabilityの意味が込められており、持続可能な社会の実現に向け、エンジニアリングとサービスで貢献していくという当社の存在意義が込められている。2030年までに、マリンの領域を軸に、脱炭素社会の実現と人口縮小社会の課題解決を目指すことを当社の目指す姿として掲げ、中核事業である船用推進事業・港湾物流事業をグリーン技術とデジタル技術の切り口で発展させていく。

3. 当社の優先課題・取り組み

1) 脱炭素社会の実現

脱炭素に向けた世界的な潮流の中、海運からの温室効果ガス排出量への規制は各産業に先んじて進んでいる。従来重油を燃料としていた船用ディーゼルエンジンは重油と代替燃料による二元燃料化が進んでおり、当社は2015年のメタノールを皮切りに世界に先んじて代替燃料による二元燃料エンジンを市場投入している。2024年には大型船用エンジンでの水素燃焼試験を実施(図1参照)、現在はアンモニア炊きの二元燃料エンジンの開発を進めており、国内トップシェアを誇るエンジンサプライヤーとして環境対応を進めている。



図1 水素燃焼試験を実施した船用エンジン

港湾物流事業の主力製品である港湾クレーンも同様に重油を燃料としていたが、燃費効率に優れたハイブリッド式(重油+電気)の市場投入に続き、2024年には水素燃料電池を動力源とし、ゼロ・エミッションを達成したトランステナー(コンテナ用ヤードクレーン)の商用運転を開始している。

中核事業以外の分野においても脱炭素社会の実現に向けた製品を多数市場投入している。従来、石油精製・化学向けに多くの納入実績のある往復動圧縮機においては欧米を中心とした高圧水素圧縮のニーズに応えるべく水素サプライチェーン向けの高圧大流量水素圧縮機VD4-250GH-OLを2024年より販売開始した。(図2参照)この圧縮機は当社グループ会社の(株)加地テックが国内水素ステーション向けに50台以上の納入実績がある圧縮機をベースに開発されたものである。本機の開発により、従来の低圧領域で使用している圧縮機と併せて、水素サプライチェーンのプロセスである“つくる”、“はこぶ”、“つかう”の全てにおいて顧客ニーズに合わせた圧縮機の提供が可能となった。



図2 高圧大流量水素圧縮機VD4-250GH-OL

2) 人口縮小社会の課題解決

日本の総人口は年々減少傾向にあり、2050年代には1億人を割り込み、生産年齢人口の割合も人口の約5割に落ち込む見通しである。そのような状況下において生産活動を維持するための製品・サービスの提供にも取り組んでいる。港湾クレーンの自動化・遠隔保守の実現、港湾ターミナルの効率化・船用エンジン遠隔保守の高度化の推進により、人口縮小社会の課題解決を目指している。船用エンジンの遠隔監視システムについては基幹システムの転用により、船用エンジン以外の陸上機器への転用も可能であり、分野を限定せず、広範囲の産業において予防保全効率の精度向上に寄与することが可能である。その他ドローン監視、船体汚染コントロール、港湾管理システムなどのサービスの提供も進めている。

4. まとめ

本稿で取り上げた製品はいずれも新規に開発されたものではなく、従来当社及び当社グループにおいて製造・提供されてきたものである。当社が長年培ってきた技術力を活かし、当社の目指す姿の実現により、持続可能な社会の実現に貢献していく。

以上

膜と吸着を組み合わせたハイブリッド型 CO₂ 分離回収

(JFEエンジニアリング) ○奥山 契一¹⁾・千葉 健太郎

1. 緒言

カーボンニュートラル実現のために、燃焼排ガスからの CO₂ 分離回収の取り組みが進められている。アミン系水溶液による化学吸収法が主流だが、小規模設備も含め対応できる低消費エネルギープロセスの開発が望まれている。

当社では、膜分離と物理吸着を組み合わせたハイブリッド型 CO₂ 分離回収技術を開発し¹⁾、実証試験を進めている。商品は燃焼排ガスに含まれる 10vol%程度の CO₂ を 99.5vol%以上に濃縮して分離回収するもので、パッケージ型設備の GX-Marble[®]と、プラント型設備の GX-Opal[®]の二形態である。本報ではハイブリッド型 CO₂ 分離回収システムにつき基本構成を確立した経緯を述べる。

2. 実験

図1にハイブリッド型 CO₂ 分離回収システムの概要図を示す。膜分離プロセスは、低濃度 CO₂ を中濃度に濃縮するのに適し、物理吸着を利用した圧力スイング吸着(PSA)分離プロセスは、中濃度の CO₂ を高濃度に精製するのに適している。

膜分離条件はメーカー試作膜を組み込んだ膜ユニットで確認した。N₂ に 10vol%の CO₂ を混合した模擬ガスを所定温度に調整し 60Nm³/h で供給し、膜透過側を真空ポンプで所定圧力に減圧し、回収ガスの CO₂ 濃度を測定した。

膜分離後に PSA に投入する CO₂ 濃度を最適化するため、CO₂ 吸着剤を充填した吸着塔を用い、回収可能な CO₂ 濃度を把握した。CO₂ 吸着剤としてゼオライト F-9HA を 3.5kg 充填した吸着塔に、N₂ と CO₂ の混合ガスを供給し、投入 CO₂ 濃度を変化させ回収される CO₂ 濃度を測定した。このとき吸着塔には CO₂ を飽和吸着させ、回収 CO₂ 濃度を最大化した。

3. 結果および考察

膜ユニットの温度と透過側圧力を変更した際の回収 CO₂ 濃度を図2に示す。ガス温度 40℃、透過側圧力-90kPaG で濃度 50vol%の CO₂ を回収できた。

投入ガスの CO₂ 濃度を変化させ、吸着塔に飽和吸着させた CO₂ を回収した際の CO₂ 濃度を図3に示す。投入ガスの CO₂ 濃度を増加させると回収される CO₂ 濃度は増加し、投入ガスの CO₂ 濃度を 50vol%にすれば、回収ガスの CO₂ 濃度は 99.5vol%以上になった。これより本システムに

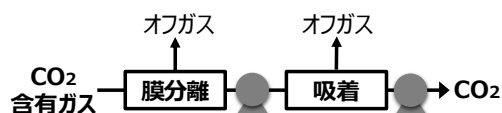


図1 ハイブリッド型 CO₂ 分離回収システム

においては、膜分離による一次濃縮で CO₂ 濃度を 50vol%に調整し、PSA 分離による二次濃縮で 99.5vol%の CO₂ を回収するバランスで運転制御を行うとした。

飽和吸着を実現する PSA として、図4に示すプロセスを構築した。吸着塔 3 塔のうち 2 塔を直列に連結して吸着を、残り 1 塔を真空ポンプで減圧して回収を行う。連結した上流側の 1 塔が CO₂ を飽和吸着した後に切り離し、その CO₂ を減圧回収することにより、高純度 CO₂ を得た。また、下流側に連結する1塔によって、吸着を終えた排出ガス中に含まれる CO₂ は最小限に抑えられた。この2塔連結式3塔型 PSA により、CO₂ の高い回収率と高い回収濃度の両立が実現されている。

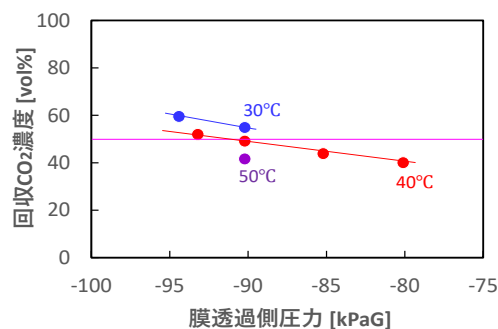


図2 膜分離条件と回収 CO₂ 濃度

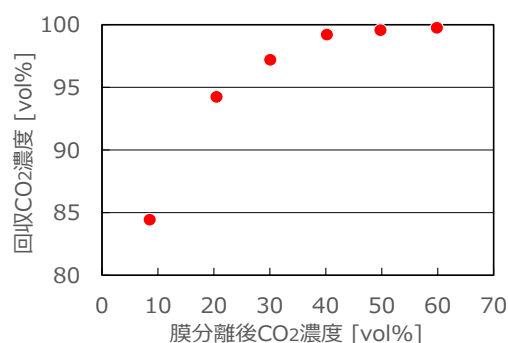


図3 膜分離後 CO₂ 濃度と回収 CO₂ 濃度

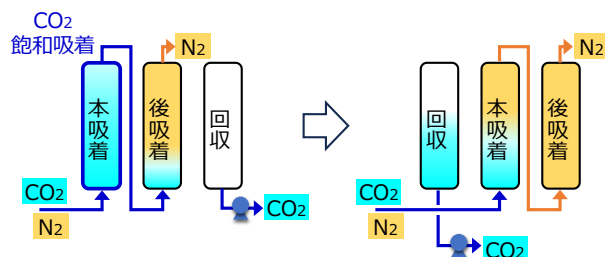


図4 2塔連結式3塔型 PSA

1) 奥山契一, 膜, 50, 4, 186-188 (2025)

SAF製造装置における排水処理設備のプロセス検討

なかがわ たかひろ うえだ なおゆき もり だいすけ
(出光興産*)○中川 貴裕*・植田 直幸*・森 大輔*

1. 緒言

出光興産は、2050年のカーボンニュートラル実現を目指し、JET燃料のCO₂排出量削減に取り組んでいる。その一環として、エタノールからSAF（Sustainable Aviation Fuel、以下 SAF）を製造する技術・プロセス（Alcohol to Jet、以下 ATJ）を採用した設備の設計を進めている。ATJプロセス由来の排水は従来の石油精製プロセスから排出される排水と特徴が異なり、高COD（Chemical Oxygen Demand、以降COD）で廃触媒由来の金属分、NH₃を含む高pH排水である。本発表では、ATJプロセス由来の排水を放流基準まで処理するプロセスの構築に向けて実施した実験やシミュレーションの内容について紹介する。

2. 前提条件

2. 1 排水性状と特徴

- 各排水の性状と特徴は以下の通り。
- 排水①：有機酸由来の高COD排水
- 排水②：軽質炭化水素由来の高CODかつNH₃・金属分を含む高pHのアルカリ洗浄水
- 排水③：冷却塔ブロー水

2. 2 従来プロセス排水との比較

各排水の特徴的な性状は以下の通り。

表 1. ATJ由来排水と従来排水との特徴比較表

項目	ATJ由来排水	従来プロセス排水
pH	12-14	7-9
COD	数千mg/L	数百mg/L
総窒素	数万mg/L	数十mg/L
金属分濃度	数千mg/L	数mg/L

3. プロセス検討のポイント

3. 1 処理方針

既設の総合排水処理設備では放流基準まで処理するのは難しく、個別にATJプロセス由来の排水を処理する方針とした。

3. 2 実験

曝気槽で有機酸由来のBOD（Biochemical Oxygen Demand、以下BOD）の活性汚泥による分解速度を測定し、BOD容積負荷を算出することで、生物処理にて放流基準以下まで処理できることを確認した。

3. 3 シミュレーション

pHに対する金属分の溶解度をシミュレーションした。その結果、ストリッピングでNH₃を除去すると排水pHが低下し、金属分の析出領域に入るとストリッパー内で析出物が生じ、運転に支障が生じる可能性が示唆された。そこで本プロセスでは、ストリッピング時に金属分が析出しない高pH域で

pHを維持するよう制御し、NH₃が除去出来ることを確認した。（図 1）

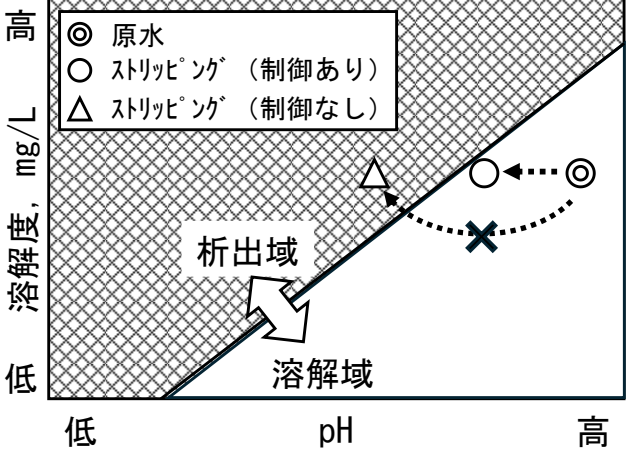


図 1. pH変化に応じた金属分の溶解度

また、モデル液を用いた実験を行い、シミュレーション結果の妥当性を検証した。

4. 結論

ATJプロセスから排出される排水について実験、およびシミュレーションによる検討を通じて、放流基準まで処理するプロセスを構築した（図 2）。

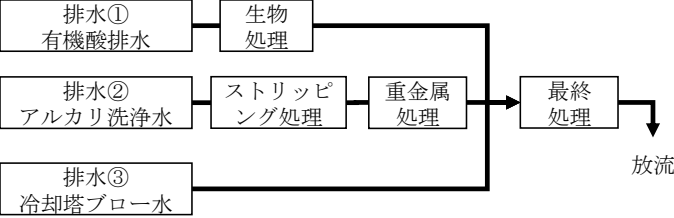


図 2. 一式新設ケース

また、既設の総合排水処理設備に余力があれば、以下のように排水処理プロセスの更なる簡素化も可能である（図 3）。但し、産業廃棄物の排出量が増加し運転コストが上昇するため、建設費と運転費を考慮したプロセスを選択する。

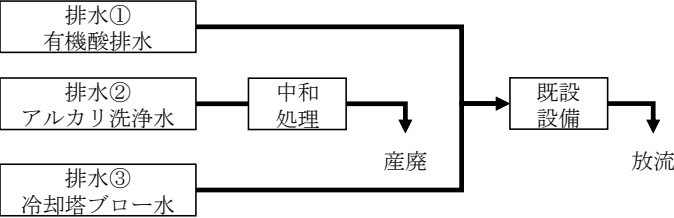


図 3. 既設活用ケース

この成果はNEDO（国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）の助成事業（JPNP21014）の結果得られたものです。

屋外貯蔵タンクへのドローン運用開始による 安全確保と点検の効率化事例の紹介

いのうえ しょうご やなぎもと ひろゆき おかもと さとる

(ENEOS 株式会社 川崎製油所*・本社**)○井上彰悟*・柳本寛之*・岡本悟**

1. 緒言

石油精製プラントは、安全かつ安定的に操業を継続する必要がある。原料となる原油を大量に輸入・貯蔵し、生産した製品を効率的に出荷するために、石油精製プラントは沿岸部に立地することが多く、その敷地は広大である。そのため、プラント設備は潮風や風雨にさらされ、設備の経年劣化が激しい。また、ベテラン運転員の引退に伴い、運転員の若年化が進んでおり、保安力の低下も課題となっている。そこで、運転員の力量に依存することなく、広大な敷地を効率的かつ汎用的に検査できる手法が求められている。その解決策として川崎製油所では、ドローンに着目し、屋外貯蔵タンクエリアのスマート保安を推進している。

2. ドローン導入における課題

石油精製プラントの設備検査へのドローン導入は、初期コストの観点から、非防爆ドローンの採用が現実的である。非防爆ドローンは技術検討が進んでおり、豊富な選択肢と知見がある。しかし、可燃性ガスが爆発の危険がある濃度に達するおそれがある区域(以下、危険区域)では使用できない。また、危険区域*1は広めに設定されているケースが多く、川崎製油所でも、設備の属するエリア全体を一括して危険区域に設定していたため、屋外貯蔵タンクエリアでの設備検査のドローン使用は事実上困難であった。

3. ドローン導入の方策

2020年に経済産業省から発行されたガイドライン(プラント内における危険区域の精緻な設定方法に関するガイドライン)に準じ、放出源*3の開口部面積を設定し、内部流体の物性、運転条件ならびに気象条件等から危険区域の見直しを行った。危険区域に該当した油種については、危険距離を算出しドローン飛行可能な保安距離を定量評価した。その上で、現地の状態を確認し、事業所のマップに非危険区域および危険距離を反映した。

4. 改善効果

エリアの見直しや危険距離に基づき、ドローン飛行可能エリアを図示した結果を Fig.1 に示す。一連の検討結果を消防申請し、ドローンの飛行可能エリア拡大を実現した。



Fig. 1 ドローン飛行可能エリア緩和前後比較

その後の効果検証により、ドローンによる空撮映像に基づく検査で、従前実施していたタンク開放前の目視検査と、遜色ない精度の検査を実施できることが確認できた。結果的に、必要な足場を組むコストおよび人件費を削減できた。ドローンの空撮写真を Fig.2 に示す。

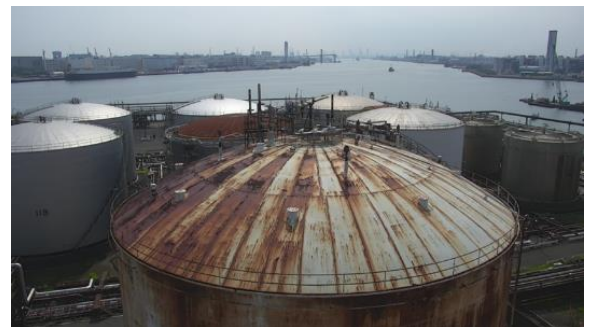


Fig.2 ドローンによる空撮写真

また、大雨後のフローティングルーフトankの安全確認で、従来は人海戦術によりタンク 43 基を 10 時間以上かけて実施していたが、ドローンを駆使することで 1.5 時間に抑えられ、省力化に寄与した。地震発生時等の緊急事態における点検への適用も予定している。

5. 今後の展望

現在はマニュアル操作によるドローン飛行であり、飛行可能エリアも川崎製油所の限定された区画にとどまる。今後は、ドローンの完全自動飛行化や、AI の自動画像診断機能の付加等で徹底したスマート保安を追求する。

ドローンの高機能化については、事前に決められた飛行ルートに従い、一定周期でドローンが自動的に飛行し、検査できるシステムの構築を目指している。GPS により点検で毎回同じ画角の空撮映像を保存可能となり、推移が分かりやすく経過観察に有効である。画像診断にて、異常を検知すると自動的に検査員に通知し、予防保全の強化を図る。また、川崎製油所全体の屋外貯蔵タンクエリアのドローン飛行緩和申請を 2025 年 11 月頃予定しており、製油所全体の体系的な設備検査方法の確立を見込む。

*1 労安研指針ユーザーのための工場防爆設備ガイド TR-44 付属書 2-B.1 危険力所設定フローチャート等により設備建設・改造時に設定した区域。

*2 経済産業省プラント内における危険区域の精緻な設定方法に関するガイドラインにより定義される、ガス状の爆発性雰囲気形成され得るほどの可燃性ガス、蒸気又は液体が待機中に放出(「漏えい」を含む。)する可能性がある箇所又は位置。