

溶接管理技術者の体験紹介

圧力容器設備の維持管理への提言と そこから期待される展開活動の効果について

東レバッテリーセパレータフィルム株式会社
経営支援部門 購買部
竹原 毅

1. 背景および問題提起

溶接施工管理技術者として取組んだ問題について、3つの事例で説明する。

1) エチレン製造装置分解炉輻射管の溶接施工方法の改善

エチレン装置の輻射管は1本ものの押出管が開発される迄、遠心铸造管を溶接接続して使用していた。そのため、運転（炭化水素を熱分解）中に溶接部の裏波を起点に乱流が生じ、酸化クロムの被膜層が破壊され浸炭を受けやすくなり、局部的にコーキングが進行し輻射管の熱流束が低下、クリープラプチャーによるシャットダウンを余儀なくされた。この対策として図1に示す裏波が生じにくい継手方法を適用することで酸化クロムの被膜（耐浸炭層）の安定化が図られ、その結果、均一に浸炭が進行することで輻射管全体の延命化に繋がった。

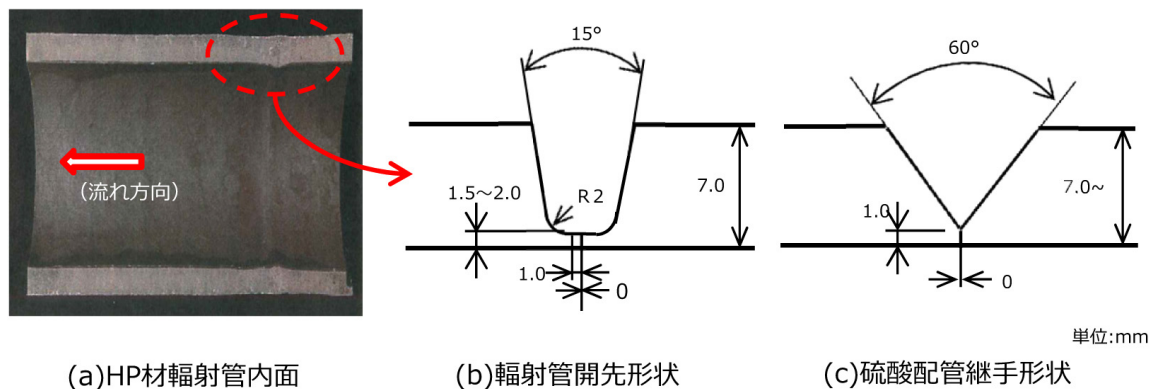


図1 エチレン製造装置分解炉 輻射管 及び 硫酸配管の継手形状例

この継手方法は、図2に示す硫酸装置の配管の溶接継手の対策に似ている^{1) 2) 3)}。図2(a)は濃硫酸環境で炭素鋼の耐食性が上がることを示しており、濃硫酸の酸化力により鉄が不動態（被膜）化し硫酸鉄が不溶性を示すことによるとされている。しかしながら、流速が上がると配管内表面の硫酸鉄の濃度に比べて流体内部の濃度が低下し溶液中に硫酸鉄が溶出することで腐食速度が増加するとされている（図2(b)）。

このように硫酸鉄の被膜の状態により腐食が左右され易い硫酸装置の炭素鋼配管の溶接継手の対

策同様に、損傷の特性を理解した上で溶接施工方法（開先形状、入熱量、ルートギャップゼロ、1層目溶接棒を使用しない等）を確立した。

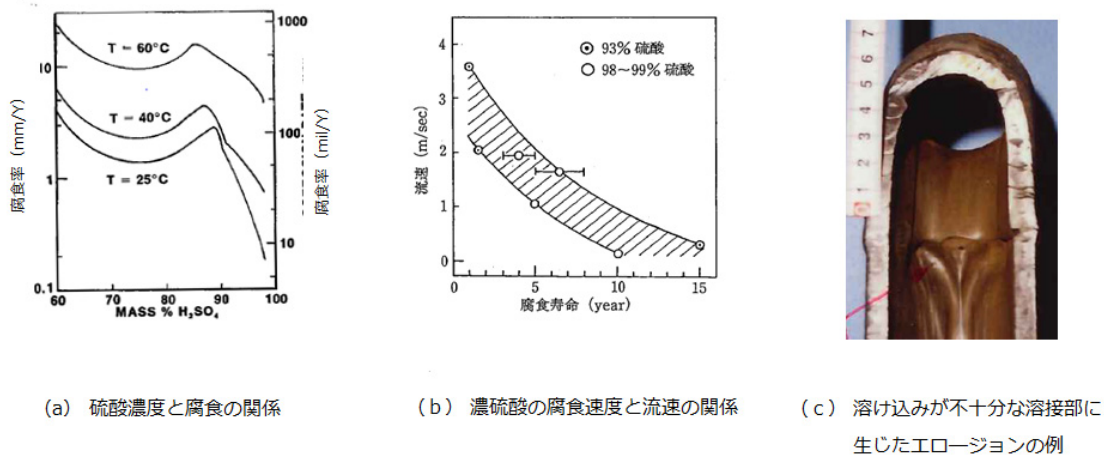


図2 硫酸装置の配管継手の対策（硫酸濃度と腐食速度の関係）

2) 圧力設備技術診断士としての現場溶接補修管理

エチレン製造装置のプロセスは、高温から極低温へと幅広い範囲で材料が使用されることから特殊材料の使用も比較的多く、溶接施工環境がよくない現場での補修を要求されることもある。深冷工程にあるアルミニウムプレートフィン熱交換器（ALEX：Aluminium Plate-Fin Heat Exchanger⁴⁾）では、ヘッダー（図3：ALEXの6ヘッダー）周りの複雑な溶接線内部にブローホール等の微細なきずが点在することがある。また、マルチ流路の構造のため温度勾配による熱応力の負荷も比較的大きい特徴があり、内在するきず等が経年的に進行し運転に支障をきたすことがある。現地で工事を行った際には、熱処理等製造方法の確認、熱拡散による溶接条件範囲の管理等を配慮し、現場施工管理を実施した。また、内在欠陥の有無を非破壊的に確認し、品質保証の確認も合わせて実施した。

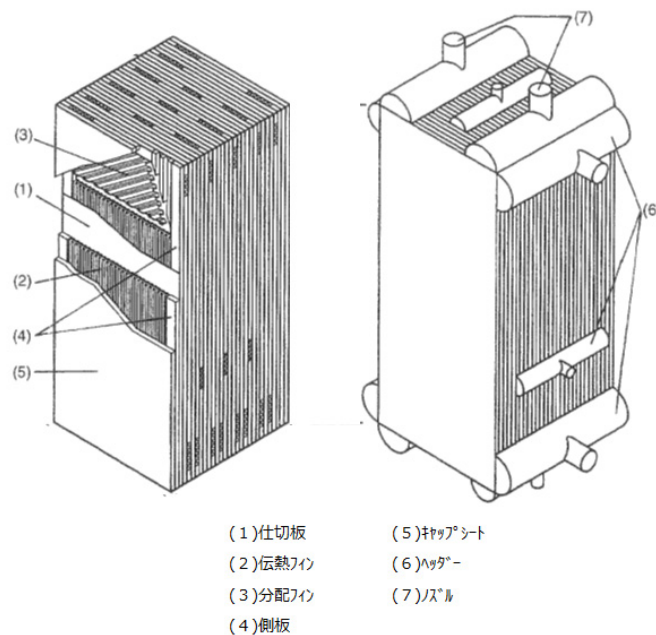


図3 アルミニウムプレートフィン熱交の構造と部品名称

3) リチウムイオンバッテリー用セパレータフィルム製造装置における溶接管理レベル

LiB（リチウムイオンバッテリー）用セパレータフィルム製造装置は、取り扱う物質や使用条件が一部の取扱物資を除くと石油化学工場と比べて、従業員に対する安全や健康面・工場周辺の環境・公共・経済的な側面での影響度が極めて小さい製造装置である。また取り扱う製品の利益率や海外との競争の面から、建設保守への投資コストは石油・石油化学工場に比べ低減することが求められる。その経験から、溶接構造を有する設備についても石油・石油化学工場における压力容器等に比べて溶接品質レベルを下げて管理を実施している。例えば、法令に係る廃液処理装置等を除く冷却水系の配管や低圧スチーム系の配管や適用法規のない压力容器類については、溶接士有資格者による施工を除いて WPS や PQR による品質確認や検査工程の簡素化等によるコストダウンが実施された。その後の使用において、低圧スチーム系の配管に溶接施工不良を起因とする漏洩が生じたものの、運転中の補修による対応で稼働への影響は生じていない。安全面においても圧力レベルから事故に至るリスクは小さく、現在においても設備管理上支障は生じていない。このように、リスクレベルに応じた施工管理方法を適用することは設備の信頼性と投資コストのバランスを取る上で有意義である。

以上より、設備の重要度やリスクに応じた施工方法の選択は、各社でも既に行われているものの、法的な制約を除くと各社各様にて運用管理されているのが実態と思われる。

2. 問題への対応（リスク管理手法の調査および適用による評価）

調査の結果、1項で取組んだ課題のリスクを各溶接施工部に想定する劣化モードが発現する可能性と、その際の影響度を総合的に評価し管理する手法として米国石油学会 API RP580（Recommended Practice）による RBI/M（Risk Based Inspection / Maintenance）が対象に挙げられた。

初めに管理手法の概要について説明する。図4は、縦軸は劣化モードが発現する発生確率（P）を上から高い順位に A,B,C,D,E の5段階にし、横軸は劣化発生による影響度（E）を左から大きい順位に I、II、III、IV の4段階にした。管理レベルはマトリクスから高い順位にレベル1、レベル2、レベル3、レベル4とし、対応方法を各レベルにより実施する。このように従来から行われている管理手法を、定量化（または定性化）および可視化することで管理が明確になる。



図4 RBI / M (Risk Based Inspection / Maintenance) による管理

つぎに、1項で取組んだ課題のリスクを各溶接施工部に想定する劣化モードが発現する可能性とそ
 の際の影響度を定性的に算定し適用した事例を示す。

最もリスクが高く算定されるのは、課題2)のエチレン製造装置（製造装置の特徴から一旦停止さ
 せると通常運転に回復するまでに1週間以上の期間を要する）のALEXの損傷であり、エチレン製
 造装置全体の停止による逸失利益（経済的な影響）からリスクレベルはHigh（レベル1）若しくは
 Medium（レベル2）と算定される。次は、課題1)の分解炉輻射管の浸炭による損傷であり影響度は
 小さく、その発生頻度からもリスクレベルはLow（レベル3）と算定した。最もリスクが低いのは、
 課題3)のLiB用セパレータフィルム製造装置であり、取扱っている物質の危険度より影響度が低く
 且つその発生頻度からリスクレベルはLowest（レベル4）と算定できる。図5に各事例がマトリク
 スのどのレベルにあるかを示す。

この様に各事象の発生頻度と影響度でリスクは異なり、そのリスクに応じて設備の保守方法を選定
 することは合理的な対応方法と言える。



取組んだ課題	発生確率：P	影響度：E	リスク レベル
1) エチレン製造装置分解炉輻射管の溶接施工方法の改善	エチレン分解炉装置内で比較 的頻繁に発生していた	A 複数炉があり、製品タンクがあることから生 産への影響はなかった 漏洩は燃焼装置内であり、SHEの面でも影響 は小さい	IV 3 (A-IV)
2) 圧力設備技術診断士としての現場溶接補修管理	能増に伴う取替実績より	C 予定外に発生した場合、エチレン装置全体の 停止を想定。装置の規模によるが機会損失は IないしIIと想定される	I or II 1 (C-I) or 2 (C-II)
3) ローリスク製造装置における溶接管理レベル	過去に経験がある	C 安全、環境、経済面ともに影響は 小さい	IV 4 (C-IV)

図5 RBI / Mによる各事例の評価

3. 課題（圧力容器の溶接補修における法令手続きと品質保証）

規制緩和は進んできたものの、高圧ガス保安法、電気事業法、労安法、消防法等が適用される圧力
 容器等は、定期整備中に劣化・損傷が検出され溶接補修が必要と判断された場合、その殆どが官庁へ
 の事前の申請と補修後の現場確認を経て再使用が認められる。この手続きは、管理に重点が置かれて
 おり、補修に対する品質保証は施工側に責任があつて、圧力容器の健全性は施工側の施工技術と品質
 管理で担保されている。

一方、石油コンビナート等の製造装置は、法定点検による停止期間中の逸失利益を最小限にするた
 め、連続運転による高稼働を指向しているものの、定期整備時中に検出した劣化・損傷の補修に必要

な法令手続きに係る時間は稼働率に大きな影響を与えている。また設備を補修し健全な状態で維持管理を行うためには、劣化・損傷状態を適切に診断し、その原因と材料特性を理解した上で補修が行われることが原則である。そのための手順を示したのが下記であり、この手順を回すための仕組みが必要と考える。つまり、技術基準を構築するための仕組み（技術を標準化するためのプロセス^{5) 6) 7)}と設備の維持・管理を確実にを行うための仕組み（業務プロセス^{5) 6) 7)}の双方を機能させることで、保安の確保と競争力の強化の双方を管理できると考える。

- 1) 設備補修に至る可能性のある劣化原因の特定
製造プロセス（組成、運転条件等）の理解、プロセスと材料から想定される劣化要因を特定できる知識・技術及び情報
- 2) 劣化原因に応じた適切な検出技術と補修技術の選定
材料特性と劣化因子、劣化の検知技術及び補修時の溶接技術に係る知識・技術及び情報
- 3) 補修を行った後の品質保証と余寿命評価
健全性の評価及び確認、劣化を監視するためのモニタリング方法や余寿命を予測する知識・技術及び情報
- 4) 補修時及び補修後のリスクの算定評価
劣化が発現した後に想定されるリスクとリスク規模を算定する知識・技術及び情報

既に日本溶接協会においては、圧力容器の供用中の劣化・損傷を加味した評価手法を取り入れ、維持基準の策定を進めている。例えば、WES 2820 圧力設備の供用適正評価方法-減肉評価は、供用中に生じた腐食や摩食により生じた減肉（全面減肉、局部減肉）と発生部位で評価を行い、使用の継続可否を判断する規格であり、腐食サービスに供用される装置の減肉評価に適用可能である。この評価の結果、不合格と判断された圧力容器の溶接補修方法として WES 7700 圧力設備の溶接補修が制定され、WES 7700-1（第1部：一般）、-2（第2部：きず除去と肉盛溶接補修）、-3（第3部：窓形溶接補修）、-4（第4部：外面当て板溶接補修）の4つの規格として利用できる様になっている。このような知識や技術・技能は、溶接施工に限らず、各職種（装置、機械、計装、電気、土木等）の設備維持管理に対して必要と考え、相互に関係性を有することが俯瞰的管理の面で重要と考える。

4. 設備維持管理の仕組みの提案

（溶接施工管理者の知識を必要とする圧力容器を主体とする設備の維持管理の仕組みについて）

3項の1)～4)で述べた圧力容器の供用中維持管理手順を仕組みとして示すと図6の構成となる。診断から補修、品質評価、リスク算定評価が1つのサイクルとして完結することにより品質が確認され、設備を維持管理する考えである。そして、ISO等のマネジメントシステムの様に、要件を規定し登録認定制度を導入することで公的機能として認められることが期待できる。

例えば、米国の OSHA（労働安全衛生庁）では、装置産業の安全管理を PSM（プロセス安全管理）

において14のエレメントで構成する業務プロセスを実行することで業務を安全に遂行する考え方を示し、API（米国石油学会）やAIChE（米国化学工学会）など学協会が、これらエレメントの実装に向けたガイドラインを発行している。このように製造業の安全管理の例としてOSHAのPSM規格が挙げられるが、製造業の品質管理であればISO 9001「品質マネジメントシステム」、自動車業界のサプライチェーンを主体にした品質管理においてはISO/TS16949として認定規格がある。

表1&2に弊社が以前導入していた業務プロセス（OIMS:Operation Integrity Management System⁸⁾）とPSM、ISO/TS16949との関連性を示す⁹⁾¹⁰⁾。OIMSはエクソンモービル社が安全操業のために独自に開発した手法で、PSMは主に装置産業を主体としたマネジメントシステムで安全に力点が置かれている。ISO/TS16949は、顧客満足を目的に品質に重点を置いている。このように業界毎に重点の置き方の違いや特徴はあるものの、業務プロセスを遂行するに必要な共通のキーワードがあり、これをコアに要求事項が構成されていることから、業務プロセスの標準化が期待できる。

同様に技術情報も、技術基準・技術データとして構築していく共通の仕組み（技術を標準化するためのプロセス）が必要であるとともに、情報の有効活用（IoT）の手段として重要な課題である。最近では、熟練技術者の知見や経験に係らずに情報科学と材料科学を融合した材料設計手法（マテリアルインフォマティクス：MI）によるもの作りの検討もされていることから、ノウハウを技術へ転換する仕組み作りは重要である。

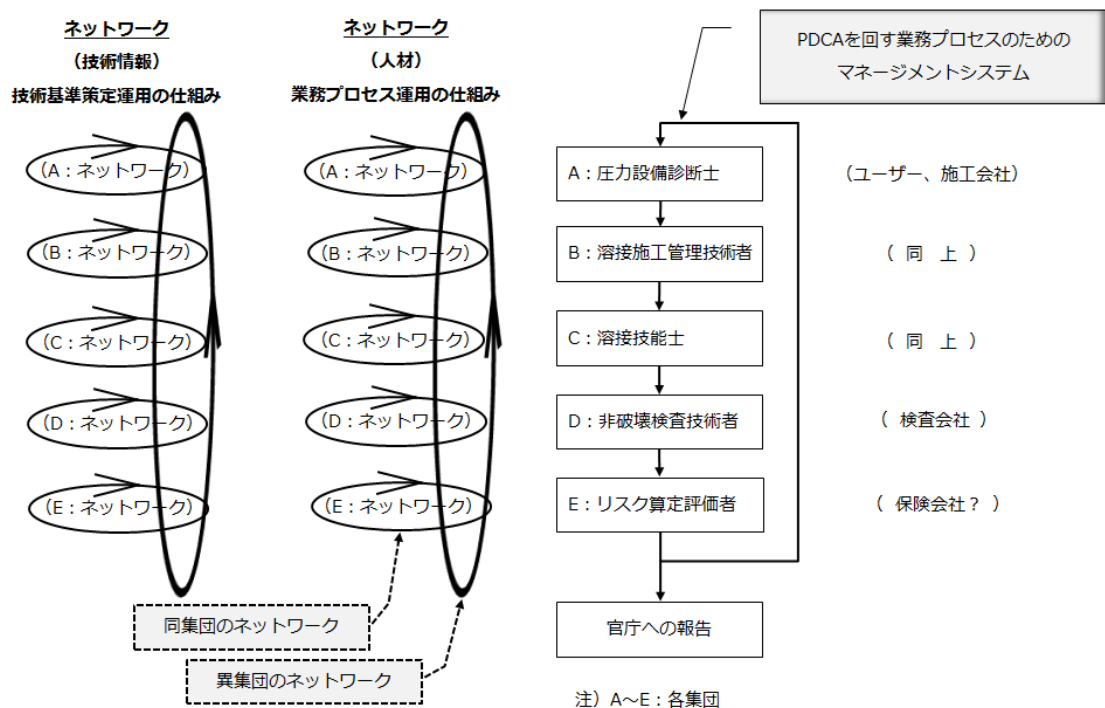


図6 圧力容器の設備維持管理の仕組（案）

表 1 業務プロセスと PSM、ISO/TS16949 との関連性

		OIMS										
		マネージメントのルーティング	リスクアセスメントと管理	設備設計と建設	情報 / 文書化	従業員と教育訓練	運輸と保全	製品の管理	協力会社によるサービス	事故調査と分析	地域社会の理解と緊急対応計画	OIMSアセスメントと改善
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
PSM (OSHA3132)												
1	Process Safety Information (プロセス安全情報の整備)		X		X							
2	Process Hazard Analysis (プロセス危険解析の実施)		X									
3	Operating Procedures (運転手順書の作成)						X					
4	Employee Participation (従業員のPMSへの参加)											X
5	Traing (教育、訓練)					X						
6	Contractors (請負業者の責任と教育)								X			
7	Pre-Startup Safety Review (試運転前の安全レビュー)			X								
8	Mechanical Integrity (機器の健全性)			X			X					
9	Hot Work Permit (火気使用許可)						X					
10	Management of Change (変更の管理)							X				
11	Incident Investigation (事故調査)									X		
12	Emergency Planning and Response (緊急時の対応)										X	
13	Compliance Audits (法令遵守)						X					
14	Trade Secrets (企業秘密管理)	X			X							X
ISO/TS16949												
4.1	General requirements (一般要求事項)				X							X
4.2	Documentation requirements (文書化に関する要求事項)				X		X					
5.1	Management commitment (経営者の責任)	X										
5.2	Customer focus (顧客重視)	X										
5.3	Quality Policy (品質方針)	X										
5.4	Planning (計画)	X										
5.5	Responsibility, authority and communication (責任、権限、コミュニケーション)	X										
5.6	Management review (マネジメントレビュー)	X										
6.1	Provision of resources (資源の提供)											X
6.2	Human resources (人間資源)					X						
6.3	Infrastructure (インフラストラクチャー)			X			X				X	
6.4	Work environment (作業環境)						X					
7.1	Planning of product realization (製品実現の計画)						X	X				
7.2	Customer-related process (顧客関連のプロセス)		X				X					
7.3	design and Development (設計開発)			X			X	X		X		
7.4	Purchasing (購買)		X		X		X		X			
7.5	Production and service provision (製造及びサービス提供)			X			X			X		
7.6	Control of monitoring and measuring devices (監視機器及び測定機器の管理)						X					
8.1	General (一般)											X
8.2	Monitoring and measurement (監視及び測定)											X
8.3	Control of nonconforming product (不適合製品の確認)				X		X					
8.4	Analysis of data (データ分析)											X
8.5	Improvement (改善)											X

備考：X:各エレメントの要求事項の関係

表2 業務プロセスを構成するキーエレメント

業務プロセスのキーエレメント	概要	キーワード
マネージメントのリーダーシップ、決意及び責務	マネージメントのリーダーシップ、決意、責務のもとに基本方針の確立、展望、期待項目を定めて、経営資源を提供する	リーダーシップ
リスクアセスメントと管理	意思決定に不可欠な情報を提供し、安全・健康・環境・セキュリティのリスクを低減、事故の影響を緩和する	リスクマネージメント
設備設計と建設	設備の設計、建設、スタートアップに対する適切な基準、手順、マネージメントシステムを用い、リスクを最小限にする	適切な基準、手順、マネージメントシステム
情報 / 文書化	リスク管理に必要なプロセス及びメカの仕様、製品の仕様、運転に潜む危険性、法令に関する情報の管理	情報・文書の管理
従業員と教育・訓練	人に依存する管理に対して適正な人選、配置、業績評価、教育・訓練、労働衛生の管理	教育・訓練
運転と保全	条件内での設備の運転管理、そのための作業手順、設備管理プログラム、重要機器の運用及び管理	設備の運転と設備の保全 品質の管理
変更の管理	運転、手順、基準、設備、人の変更は許容されるリスク内で管理	変更の管理
協力会社によるサービス	協力会社は、当社の方針と事業目標に合うように業務を遂行する	協力会社の管理
事故調査と分析	事故調査とフォローアップにより事故からの教訓を学び是正対策、再発防止を図る	事故調査、品質不具合調査
地域社会の理解と緊急対応計画	社会的信頼の維持と地域社会、環境、従業員、資産を守るための緊急対応計画とその準備	緊急対応
アセスメントと改善	システムの維持と改善のためのPDCAサイクルの実効	システムの実効管理

3項4)のリスクの算定評価においては、リスクの概念に馴染みが少ない国内にこの考えを受け入れてもらうことは、ハードルが高い課題であると想像される。保険会社が実施している損害の算定評価手法、化学会社のセーフティーエンジニアの経験に基づく事故の想定や化学的な算定技術、HAZOPの安全評価手法、それらの情報や評価技術等を用いてリスク算定方法の構築は可能と思われるが、公知のものとしての標準化が今後の課題と考える。

現在の技術者の分布を見れば、A：圧力設備診断士は各石油・石化製造会社にも居るが、B：溶接施工管理技術者、C：溶接技能士、D：非破壊検査技術者も含めて技術者の多くはメーカーやゼネコン会社に属している。そのため、活動もバラバラであるが標準化が進むと一体で機能を働かせられると考えている。このように業務プロセスと技術を標準化するプロセスが標準化されると、各団体の技術者、技能者のネットワーク、技術やノウハウ等のデータベースも構築できると思われる。各団体にネットワークが構築されると、集団間のネットワークの構築へと広がることも期待できる。

5. 仕組みの運用による期待効果

4項で述べた機能が動き始めると、各団体、技術者、技能者、ITのネットワークが構築されて下記の期待効果が生まれると考えており、既存の産業界への展開など業界を超えた活動の広がりや再生可能エネルギー等の新規分野への展開・応用も期待している。

- 1) 各団体の技術者、技能者の異なる業界への流動による活性化
- 2) 各団体が保有する技術情報のネットワーク化による情報及び技術の有効活用

3) マネージメントシステムのコアの標準化による他業界との融合及び新規分野への展開

謝辞

本原稿作成にあたり、アドバイス、ご指導頂いた化学工学会 安全部会 設備保全管理研究会のメンバー及び情報提供を頂いた方々にこの場を借りてお礼申し上げます。

参考文献

- 1) NACE1985 : Corrosion of carbon steel by concentrated sulfuric acid
- 2) 腐食防食協会：腐食・防食ハンドブック
- 3) 吉江謙三著：濃硫酸による炭素鋼の腐食（材料と環境）
- 4) Standards of The Brazed Aluminium Plate Fin Heat Exchanger Manufacture's Association
- 5) 仲勇治編著：「統合学入門」工業調査会
- 6) 渇野哲郎：安全業務管理の見える化（問題解決へのアプローチ）
- 7) 渇野哲郎：プロセス安全管理の課題
- 8) OIMS 完全操業のマネージメントシステム
- 9) Process Safety Management OSHA3132
- 10) ISO/TS16949

竹原 毅（たけはら つよし） 溶接管理技術者特別級

<略歴>

- 1986年 東京理科大学 理工学部 機械工学科 卒業
1986年 東燃石油化学株式会社 入社 技術部機械技術課配属
1997年 同社 生産技術部 保全技術課へ
設備保全技術の開拓・導入、高圧ガス保安法等の連続運転認定取得のための取組等、設備の信頼性向上のための取組に従事
2000年 エクソンモービルジャパングループとして集約
2007年 東燃化学那須株式会社 エンジニアリング部へ
LiB用セパレータフィルム製造装置の保守管理に従事
2012年 東レ株式会社資本出資償還による東レバッテリーセパレータフィルム株式会社へ
2015年 同社 エンジニアリング部門を経て、経営支援部門 購買部門購買課長
現在に至る