

石油精製・石油化学プラントにおける 溶接補修の最前線

株式会社 高田工業所

中野 正大 Masahiro Nakano

レイズネクスト 株式会社

津野 和裕 Kazuhiro Tsuno

1. はじめに

石油精製・石油化学プラントのような産業インフラでは、設備の高経年化、保安人材の高齢化、国際競争の激化、維持管理費の増大、保安検査の高度化、スマート保安の導入、国内の生産年齢人口の減少など、構造的な課題や様々な環境変化への対応が必要である¹⁾。設備の高経年化の一例として、エチレン生産設備の使用年数を図1に示す¹⁾。また、製造事業所における高圧ガス設備の事故発生原因

は、図2のように設備の設計・製作不良よりも設備の維持管理の不良が多く、その中でも腐食管理不良が圧倒的に多い²⁾。腐食管理不良の要因は設備の老朽化の影響が大きいため、古くなった設備を次々に更新することが望ましいが、国内の経済事情から設備の大規模な更新は難しい。

石油精製プラントや石油化学プラントでは、2000年代から維持管理の規格が整備され始め、事業者が自主的にプラントを管理する考え方が広がっており、適切な維持管理を

図1 国内のエチレン生産設備の使用年数¹⁾

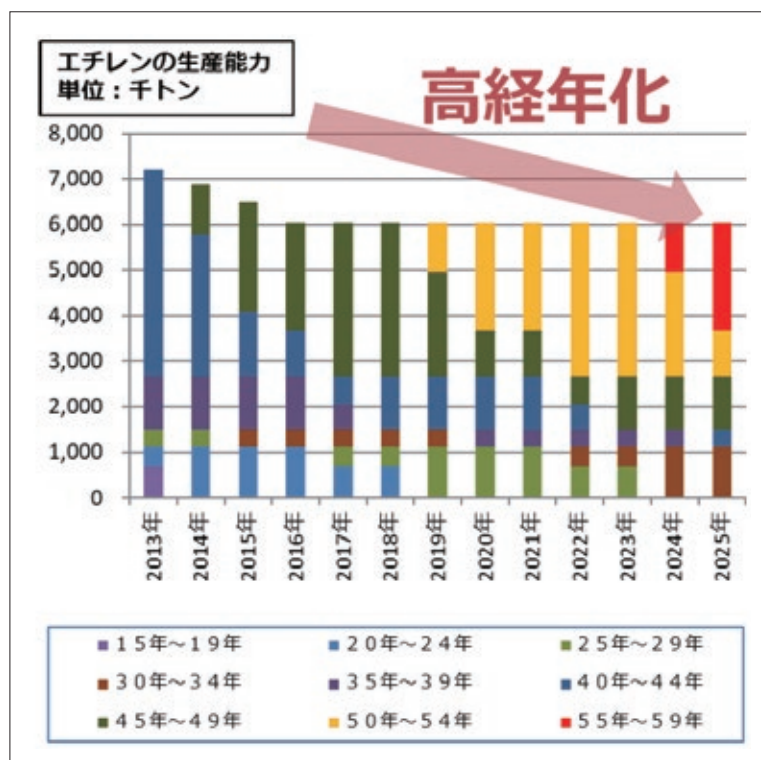
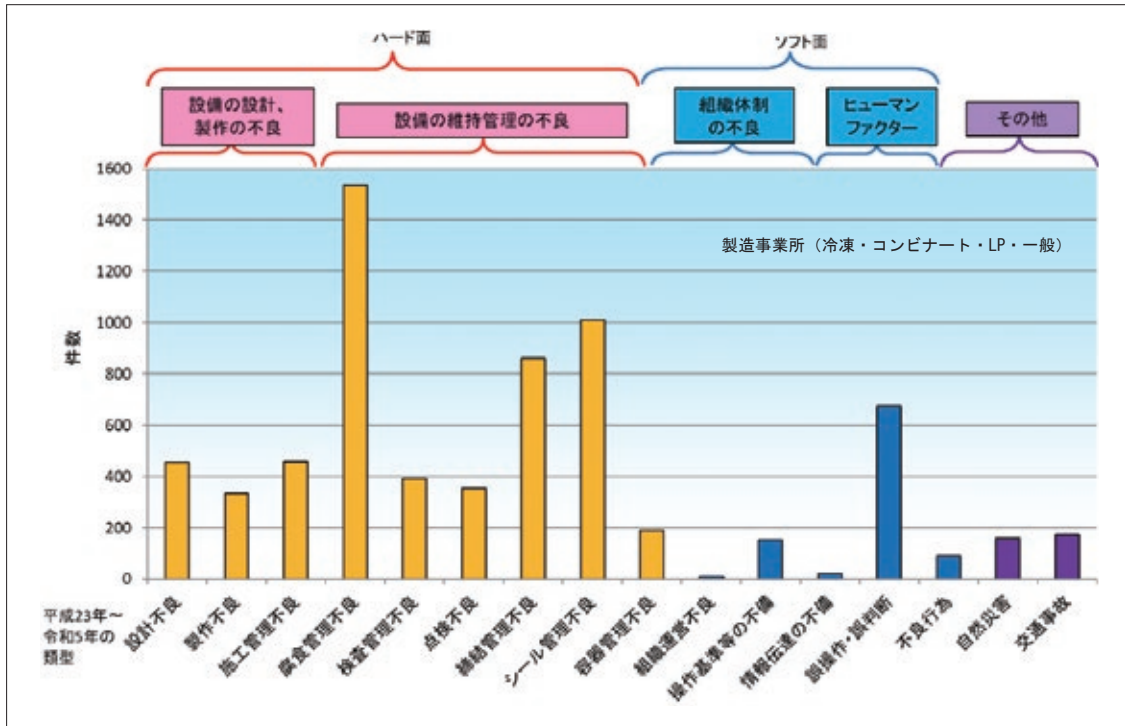


図2 製造事業所における高圧ガス設備の事故発生原因²⁾



行うことで、設備の開放検査周期の延長などが進んでいる。維持管理には、検査、供用適性評価及び補修の三つが必要不可欠であり³⁾、中でも補修は、腐食減肉などが生じ、供用適性評価により継続使用不可と判断された場合の強度回復措置として位置づけられ、老朽化した設備の長寿命化に大きく寄与する。ここでは、石油精製プラント・石油化学プラントにおける溶接補修に関する主な法規・規格・指針について紹介する。

2. 国内の溶接補修に関する法規・規格・指針

石油精製プラント・石油化学プラントにおける国内の溶接補修に関する主な法規・規格・指針を表1に示す。ここでは、高圧ガス設備、ボイラー及び圧力容器、並びに屋外貯蔵タンクに対して溶接補修を行う場合の要件を(1)～(3)で示すとともに、補修方法を検討する上で参考となる規格及び指針についての概要を(4)～(6)で紹介する。

(1) 高圧ガス設備 (高圧ガス保安法)

高圧ガス設備に対して供用開始後に溶接補修を行う場合、設置者は都道府県に変更許可申請や軽微変更届の提出が必要になる。溶接補修工事が、変更許可申請になる場合は事前に都道府県知事への申請を、軽微な変更工事になる場合は完成後に都道府県知事へ届出を行う。溶接補修工事が軽微な変更工事になるかの取扱いについては例を示している県がある⁴⁾。また、補修対象が特定設備(法第五十六条の三第一項)に該当する場合、都道府県から高圧ガス保安協会の委託検査を受けるように指導される場合がある⁵⁾。

近年の溶接補修に関連する高圧ガス保安法の改正として、2017年4月1日に認定事業者制度が創設された⁶⁾。これによりスーパー認定事業者は、安全確保を前提にその保安確保能力に応じて保安規制に係る手続・検査を合理化するなど、様々なインセンティブを受けることができる。さらに、2023年12月21日に認定高度保安実施者制度が創設された⁷⁾。これにより高度な技術力を持つ特定認定高度保安実施者(A認定事業者)に対して、民間

表1 国内の溶接補修に関する主な法規・規格・指針

法規・団体	名称	規格番号 他	
高圧ガス保安協会	保安検査基準（コンビナート等保安規則関係）	KHKS 0850-3（2017）	
高圧ガス保安協会、石油連盟、石油化学工業協会	高圧ガス設備の供用適性評価に基づく耐圧性能及び強度に係る次回検査時期設定基準	KHK/PAJ/JPCA S 0851（2022）	
日本エルピーガスプラント協会	LPガスプラント検査技術者必携（第6分冊：溶接補修実施要領）	発行：2001年	
高圧ガス保安協会	補修技術ハンドブック＜高圧ガス保安に関する情報紹介 No.100＞	発行：1986年	
労働安全衛生法	ボイラー及び压力容器の肉盛溶接補修について	基安安発0926第1号（令和5年9月26日）	
消防法	危険物の規制に関する規則の一部を改正する省令等の施行について	消防危第73号（平成6年9月1日）	
	屋外タンク貯蔵所等のタンク本体の変更に係る溶接工事の手續きに関する運用について	消防危第36号（平成9年3月26日）	
	危険物の規制に関する規則の一部を改正する省令等の施行について	消防危第29号（平成9年3月26日）	
	屋外タンク貯蔵所に係る水張検査の代替に関する運用等について	消防危第117号（令和元年8月27日）	
石油学会	配管維持規格	JPI-8S-1-2023	
	設備維持規格	JPI-8S-2-2021	
	溶接補修	JPI-8R-16-2020	
日本溶接協会	圧力設備の溶接補修	第1部：一般	WES 7700-1：2019
		第2部：きず除去と肉盛溶接補修	WES 7700-2：2019
		第3部：窓形溶接補修	WES 7700-3：2019
		第4部：外面当て板溶接補修	WES 7700-4：2019
	特定認定高度保安実施者による保安検査基準（コンビナート等保安規則関係）	WES 9801：2024	
	圧力設備の維持管理基準	WES 9802：2024	
	プラント圧力設備溶接補修指針	JWES-CP-0902、発行：2009年	

規格（WES 9801、WES 9802など）の採用を許可し、従来にはない多くの特例を得ることできる。なお、この制度が適用できる事業所は前出の認定事業者制度とのどちらかを選択することができる。

KHKS 0850-3（2017）では、4.3.5項に溶接補修後の耐圧試験の要否判定に関する規定（いわゆる6点法）がある⁸⁾。一方、KHK/PAJ/JPCA S 0851（2022）では、認定事業者を対象としており、6.4.1項、6.4.2項及び6.4.6項に補修を行う場合の規定が、附属書15に溶接補修後の耐圧試験の省略に関する規定がある⁹⁾。2022年版では、設備の設計時の最小厚さ未満となるような減肉に対して、評価区分Ⅱの減肉評価法が追加され、深い減肉があった場合に補修を行うことなく設備の継続運転が可能かどうかの判断ができるようになった。また、溶接補修後の耐圧試験の要否に対して、KHKS 0850-3のいわゆる6点法に加えて6点法以外の基準が追加され、合理的な耐圧試験の要否の判断を行うことができる

ようになり、耐圧試験が省略できる対象範囲が広がった。

WES 9801: 2024では、A 認定事業者又は特定認定事業者（スーパー認定事業者）が行う高圧ガス保安法の第35条に定められた保安検査規格として、KHKS 0850-3（2017）を基に、国際的に広く活用されている API 規格及び ASME 規格の維持管理手法を取入れて制定された¹⁰⁾。一方、WES 9802: 2024では、国際的に広く活用されている API 規格及び ASME 規格の維持管理手法を体系的に国内向けに整理し、高圧ガス保安法が適用される設備を含めた圧力設備の適切な維持管理を達成するために制定された¹¹⁾。圧力設備の補修に関する事項は API 510: 2022及び API 570: 2016に、補修の具体的な方法は ASME PCC-2: 2018又は WES 7700規格群による。

(2) ボイラー及び圧力容器（労働安全衛生法）

ボイラー又は圧力容器の溶接補修を行う場合は、変更工事として所轄労働基準監督署に届け出て、補修内容に関しての指導を受ける。ボイラー又は圧力容器の部分取替工事の場合は、取替部位と取替範囲によって所轄労働基準監督署への申請手続きが異なる。例えば、第一種圧力容器については、胴の3分の1以上又は鏡板もしくは管板の全部を改修しようとする場合には、当該第一種圧力容器を廃止し、改修して製造するものとして取り扱う¹²⁾。肉盛溶接補修やノズル取替、狭い範囲の部分取替の場合は、変更届を行って補修工事後の変更検査を受ける。

ボイラー又は圧力容器の欠陥除去後の残存厚さが最小厚さを下回った場合、切り取り板継溶接補修、切り取り当て金溶接補修、肉盛溶接補修のいずれかを選択することができる。肉盛溶接補修では、以前は肉盛溶接部の厚さを強度計算に必要となる厚さに算入できなかったが¹³⁾、2023年9月26日の通達より算入できるようになった¹⁴⁾。

(3) 屋外貯蔵タンク（消防法）

屋外貯蔵タンクでは、腐食減肉に対して肉盛溶接補修が多用され、その基準は総務省消防庁から各自治体（市町村）の消防に対して通達されている。特定屋外貯蔵タンクでは、開放検査周期の延長要件として補修基準の規定がある¹⁵⁾。屋外タンク貯蔵所等のタンク本体に係る溶接工事では、小規模な溶接工事の要件を満たすものは、資料の提出を要する軽微な変更工事として取り扱ふとされている¹⁶⁾。水張検査では、屋外タンク貯蔵所に係る水張検査の特例¹⁷⁾、水張検査の代替要件¹⁸⁾などの規定がある。

(4) 維持規格（石油学会）

維持規格は基盤規格と共通技術基準で構成されている。基盤規格の JPI-8S-1-2023¹⁹⁾ 及び JPI-8S-2-2021²⁰⁾ では、順に6.2項と6.4項、及び3.2項と3.4項に、溶接補修と応急補修についての規定がある。溶接補修では JPI-8R-16 が参照されている。共通技術基準の JPI-8R-16-2020²¹⁾ では、石油精製装置の圧力設備に対する標準的な溶接補修要領、溶接補修の留意事項などの規定がある。

(5) 圧力設備の溶接補修（日本溶接協会）

WES 7700-1～4: 2019規格群²²⁾ は、プラント圧力設備の維持規格のひとつとし、溶接補修を設備保全・診断の観点から、損傷原因の推定、損傷対策の検討、溶接補修の検討、溶接補修の実施、安全性の確認などを総合的に体系化した規格である。この規格群は後述する JWES-CP-0902を基に2012年に制定され、2019年に改正された。

(6) プラント圧力設備の溶接補修指針（日本溶接協会）

日本溶接協会の化学機械溶接研究委員会では、1987年に補修溶接施工法指針を、1993年にはその改訂版を発行するなど、以前から溶接補修技術の重要性に着目し、溶接補修技術の体系化を行っている。2004年に圧力設備溶接補修小委員会を発足し、2009年に JWES-CP-0902を発行している²³⁾。現在は2020年に溶接補修 WG を発足して改訂作業を行っており、2025年に改訂版を発行予定である。2009年版は海外での活用を目的に、2016年に英訳版 WRC Bulletin 566が発行されている²⁴⁾。

3. 米国の溶接補修に関する法規・規格・指針

ボイラーや圧力容器の規制は州法が適用されているが、民間団体である ASME (The American Society of Mechanical Engineers)、NBBI (The National Board of Boiler and Pressure Vessel Inspectors) 及び API (The American Petroleum Institute) の規格・基準が事実上の法規として採用されている。供用中の検査については、州によって認可されたボイラーや圧力容器の所有者／使用者が実施することが認められている。基本的に所有者／使用者が適合を宣言する制度であり、自己責任に立脚している。

ここでは、米国の溶接補修に関する主な規格・指針を表2に示すとともに、補修方法を検討する上で参考となる ASME PCC-2及び NBIC についての概要を紹介する。

(1) ASME PCC-2

ASME は1995年に PCC (Post-Construction Committee) を発足し、供用中の圧力設備の維持規格の作成に着手した。ASME PCC-2は2007年に初版が発行され、2011年、2015年、2018年及び2022年に改定されている。ASME PCC-2は ASME BPVC (Boiler and Pressure Vessel Code) と同様に任意規格であるが、米国において多くの州で採用されている。

ASME PCC-2-2022は、一般事項、溶接補修、

機械的補修、非金属及び接着補修、試験検査の5つの Part で構成されており、39種類の規格がある²⁵⁾。規格には適用可能な損傷区分が示されており、損傷の種類、状況などに応じて最も適した補修方法を選択するようになっている。ASME PCC-2-2022の規格構成(和訳)を表3に示す。

(2) NBIC

NBIC (National Board Inspection Code)は、NBBI によって1946年に初版が発行され、多くの改定が行われている。当初はボイラー及び圧力容器の検査と補修の規格であったが、1995年版では適用範囲を配管とその他の圧力設備の検査、補修、改造に拡大し、全面改定された。NBIC-2023は、設置、検査、補修と変更、圧力逃がし装置の4つの Part で構成されている²⁶⁾。

4. おわりに

石油精製プラント及び石油化学プラントにおける溶接補修に関する主な法規・規格・指針について紹介した。適切な溶接補修により老朽化した設備の長寿命化に寄与するとともに、溶接補修の技術検討や技術向上の一助になれば幸いである。

参考文献

- 1) スマート保安官民協議会 高圧ガス保安部会：資料2-1高圧ガス保安分野 スマート保安アクションプラン，2020年7月，1，2020.
- 2) 経済産業省 産業保安グループ 高圧ガス保安室：高圧ガス

表2 米国の溶接補修に関する規格・指針

団体	名称	規格番号 他
ASME	Repair of Pressure Equipment and Piping	ASME PCC-2-2022
NBBI	National Board Inspection Code	NBIC-2023
API	Pressure Vessel Inspection Code	API 510-2022
	Piping Inspection Code	API 570-2024
	Welding of Pipelines and Related Facilities	API 1104-2021
Welding Research Council, Inc.	Guidelines for Repair Welding of Pressure Equipment in Refineries and Chemical Plants	WRC Bulletin 566 Published in 2016

表3 ASME PCC-2-2022 の規格構成 (和訳)

Part 1	一般事項 (適用範囲、構成、および目的)	Part 3	機械的補修
Article 101	序論	Article 301	圧力設備の更新
Part 2	溶接補修	Article 302	フリーズプラグ (凍結栓)
Article 201	耐圧部材の窓形突合せ溶接	Article 303	タップ穴のねじ山の損傷
Article 202	内面減肉に対する外面溶接肉盛	Article 304	欠陥除去と溶接補修
Article 203	漏れ止め溶接ねじ継手と漏れ止め溶接修理	Article 305	フランジの補修と取替
Article 204	漏れ止めボックス溶接補修	Article 306	メカニカルクランプ補修
Article 205	溶接リングガスケット (溶接リップシール)	Article 307	管の矯正と曲げ
Article 206	配管の全周スリーブ溶接	Article 308	コンクリート内部の損傷アンカー
Article 207	補強プラグを伴うすみ肉当て板溶接	Article 309	圧力シールタイプのバルブ (作成中)
Article 208	従来の予熱の代替法	Article 310	ホットボルティング (作成中)
Article 209	PWHT の代替法	Article 311	ホットボルティング取り外し手順
Article 210	稼働中の炭素鋼製圧力設備又はパイプラインへの溶接	Article 312	多管式熱交換器の検査と補修
Article 211	溶接肉盛、溶接オーバーレイとクラッドの復旧	Article 313	金属管の塞ぎ
Article 212	すみ肉当て板溶接	Part 4	非金属及び接着補修
Article 213	ねじ又は溶接プラグによる補修	Article 401	非金属複合材による補修: 高リスク
Article 214	容器の現場熱処理	Article 402	非金属複合材による補修: 低リスク
Article 215	Cr-Mo 鋼製圧力容器の補修溶接	Article 403	管内面非金属ライニング
Article 216	圧力設備又はパイプラインの溶接ホットタップ	Article 404	内面非金属ライニングパイプ: 高リスク埋設パイプ (作成中)
Article 217	水システムの漏れ止め溶接	Article 405	非金属複合材による補修の認定
		Part 5	試験検査
		Article 501	配管及び設備の耐圧及び気密試験
		Article 502	圧力試験の NDI による代用
		Article 503	溶接補修部の部分耐圧又は気密試験のジグ

事故の状況について (2024年3月26日), 2024.

3) 山本栄一: プラント圧力設備の溶接補修, 溶接学会誌, 81 (8), 650-657, 2012.

4) 千葉県高圧ガス保安協会: 高圧ガス保安法に基づく第一種製造者 (冷凍を除く) が製造施設等を変更する場合の手続きフローチャート, 2023.

5) 高圧ガス保安協会: 委託検査マニュアル [機-90102-13].

6) 経済産業省: 認定事業者制度, https://www.meti.go.jp/policy/safety_security/industrial_safety/sangyo/hipregas/sp-nintei/index.html (参照日: 2024年11月29日).

7) 経済産業省: 認定高度保安実施者制度について, https://www.meti.go.jp/policy/safety_security/industrial_safety/sangyo/hipregas/sinnintei/index.html (参照日: 2024年11月29日).

8) 高圧ガス保安協会: 保安検査基準 (コンビナート等保安規則関係) KHKS 0850-3, 2017.

9) 高圧ガス保安協会・石油連盟・石油化学工業協会: 高圧ガス設備の供用適性評価に基づく耐圧性能及び強度に係る次回検査時期設定基準 KHK/PAJ/JPCA S 0851, 2022.

10) 日本溶接協会: 特定認定高度保安実施者による保安検査基準 (コンビナート等保安規則関係). 日本溶接協会規格 WES 9801. 2024.

11) 日本溶接協会: 圧力設備の維持管理基準 WES 9802, 2024.

12) ボイラー及び圧力容器 安全規則の解説 (2022年改訂版), 日本ボイラ協会, 2022.

13) 日本ボイラ協会: 全国工作責任者大会質疑応答集 総集編 [増補改訂第2版], 2020.

14) 厚生労働省: ボイラー及び圧力容器の肉盛溶接補修について 基安発0926第1号 (令和5年9月26日), 2023.

15) 消防庁: 危険物の規制に関する規則の一部を改正する省令等の施行について, 消防危第73号, 平成6年9月1日, 1994.

16) 消防庁: 屋外タンク貯蔵所等のタンク本体の変更に係る溶接工事の手術に関する運用について, 消防危第36号, 平成9年3月26日, 1997.

17) 消防庁: 危険物の規制に関する規則の一部を改正する省令等の施行について, 消防危第29号, 平成9年3月26日, 1997.

18) 消防庁: 屋外タンク貯蔵所に係る水張検査の代替に関する運用等について, 消防危第117号, 令和元年8月27日, 2019.

19) 石油学会: 配管維持規格 JPI-8 S-1-2023, 2023.

20) 石油学会: 設備維持規格 JPI-8 S-2-2021, 2021.

21) 石油学会: 溶接補修 JPI-8R-16-2020, 2020.

22) 日本溶接協会: 圧力設備の溶接補修 (第1部~第4部) WES 7700-1~4, 2019.

23) 日本溶接協会: プラント圧力設備溶接補修指針, JWES-CP-0902, 2009.

24) Guidelines for Repair Welding of Pressure Equipment in Refineries and Chemical Plants, Welding Research Council, Inc., WRC Bulletin 566, 2016.

25) Repair of Pressure Equipment and Piping, ASME, ASME PCC-2-2022, 2022.

26) National Board Inspection Code, NBBI, NBIC-2023, 2023.

なかの●まきひろ

株式会社高田工業所に入社 (1997年)。プラント圧力設備の材料と溶接に関連する損傷調査、技術指導、補修対応、研究・開発、学協会活動 (日本溶接協会、溶接学会など) に従事。技術士 (金属部門) (2012年)。部長 (主席) (2019年)。九州工業大学に意向、特任准教授 (2021年)。

つの●かずひろ

株式会社新潟鉄工所に入社 (1981年)。新興プランテック株式会社 (現・レイズネクスト株式会社) に入社 (2002年)。材料・溶接技術部門に所属し、製油所や工場設備の定期修理工事で溶接補修、学協会活動 (日本溶接協会など) に従事。材料・溶接技術部長 (2013年)。職位を退き勤務 (2023年)。