

共通フランジ締結認定制度による 施工品質改善の取り組み

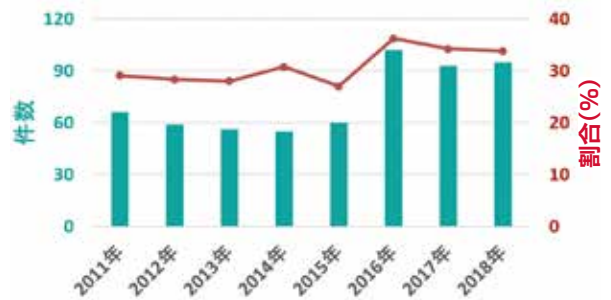
1. はじめに

石油・石油化学工場の操業において、地域社会の一員として安心かつ高品質な製品を安定供給するには、設備の適切な維持管理が不可欠である。

取り扱う流体は気体・液体・固体問わず多岐にわたるが、それらの一部には可燃性・引火性・爆発性、あるいは人体・環境への毒性を有するものも含まれるため、フランジ締結部の不具合から生じる漏洩は絶対に避けなければならない。

一方、工場内には何十万箇所ものフランジ締結部が存在し、日常点検において不具合の早期検知に努めているが、フランジ締結時の適切な締付管理によって、将来的な漏洩災害を防止しなければならない。

しかしながら、現実的には国内における「フランジ締結起因」の災害・事故は、増加傾向にある。Table1 及びFigure1 に示す通り、設備の維持管理の不良による災害・事故の総件数は年々増加しており、その構成要因として、30%強を占める「フランジ締結起因」の災害・事故については、件数・割合ともに増加し、近年は、高止まりの傾向にある。



出典：経済産業省「高圧ガス関係事故集計」

Figure1 フランジ締結起因災害の件数・割合

近年、フランジ締結起因トラブルが増加している要因としては、「資格制度」と「産業構造」の問題が考えられる。

前者は、フランジ締結作業に関して、公的な資格制度がなく、施工者内の技術伝承に依存しているという課題がある。例えば、溶接作業、非破壊検査作業、玉掛け作業、足場作業、酸欠作業など、工場での危険かつ重要な作業についてはいずれも公的資格制度があり、座学教育・実技講習など知識・技能を体系的に得る仕組みがある。しかしながら、フランジ締結作業は重要な作業であるにもかかわらず公的資格制度はなく、現状、知識・技能の有無に関わらず、誰でもあっても実施可能な作業となっている。

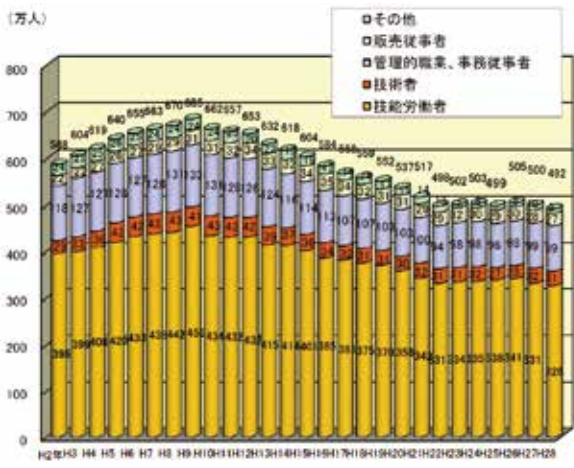
後者については、国内建設業に従事する就業者数自体が年々減少傾向にあり、かつ高齢化していることが問題となっている。Figure2に示す通り、建設業就業者数は、この20年間で約3割減少している。また、Figure3に示す通り、配管従事者の年齢構成は、55歳以上の割合が3割を占めていることから、これまでその知識・経験に依存してきたベテランが近い将来急減することが不可避な状況となっている。

以上の状況を踏まえ、特に若手作業員、外国人作業員、スポット作業員の安全確保と施工品質向上のためにフランジ締結教育体系の構築が急務である。

Table1 設備の維持管理の不良による災害件数

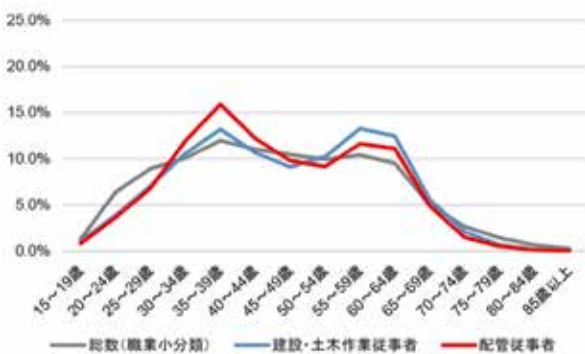
西暦	腐食管理 不足	フランジ 締結起因	検査管理 不良	点検不良	容器管理 不良	計
2018年	121	95	18	34	13	281
2017年	113	93	29	30	7	272
2016年	109	102	20	41	10	282
2015年	93	60	31	17	21	222
2014年	78	55	19	11	16	179
2013年	80	56	28	16	20	200
2012年	65	59	65	8	11	208
2011年	67	66	66	8	20	227

出典：経済産業省「高圧ガス関係事故集計」



出典：国土交通省「建設業及び建設工事従事者の現状」

Figure2 建設業就業者数の推移



出典：総務省統計局「国勢調査抽出詳細集計」

Figure3 配管従事者の年齢構成

ENEOS(株)水島製油所では、2019年4月1日より、近隣コンビナート各社と「水島フランジ締結委員会」(Table2)を立ち上げ、地域共通のフランジ締結認定制度を構築しており、効率的かつ効果的に運用されている。水島の教育体系・認定制度を踏襲する形で同川崎製油所及び根岸製油所においても共通認定制度を導入すべく、レイズネクスト(株)、(株)バルカーと京浜地区フランジ締結連絡会を発足し、2020年度の定期修理工事(以下「定修」)にてテスト導入し、共通認定制度構築の検討を進めている。

Table2 水島フランジ締結委員会構成事業所

・旭化成株式会社 製造統括本部 水島製造所
・日本ゼオン株式会社 水島工場
・三菱ガス化学株式会社 水島工場(MGC)
・三菱ケミカル株式会社 岡山事業所(MCC)
・ENEOS株式会社 水島製油所

本報では、2020年3月実施の定修においてテスト導入した川崎製油所におけるフランジ締結認定制度の概要・結果・効果検証について記載した。

2. フランジ締結認定制度の概要

フランジ締結の品質向上のためにはフランジを締結する作業者の技量(スキル)とその作業を指示する監督者の知識が重要である。そのため、フランジ締結認定制度では「技量教育(実技)」と「知識教育(座学)」の2つの教育軸を作り、教育内容を統一し、教育水準の共通化を行うことで効率的に教育が行える体系とした。

また、認定された監督者・作業者には認定証を発行し、他の事業所においてフランジ締結作業を行う場合は、認定証の提示だけで作業が可能となり、重複した教育が不要となることで効率化が可能となる。

2-1) 技量教育(実技)

技量教育は、フランジ締結時のフランジ挙動を学び、自身の技量を理解してもらうことを目的としている。これまでは、監督者からの経験に基づく指導等により感覚をつかむ教育であったが、ボルティングシミュレーター (Figure4) を作業者自身が体感することにより、定量的に技能レベルを確認することが出来る。本シミュレーターにより、定性的であった技量を定量的に評価することが可能となる。

本シミュレーターは、「ガスケットに十分な締付力を与えている」「各ボルトの締付軸力バラつきがない」「ガスケットに不均一な潰れを起こしていない」などを判断基準としている。

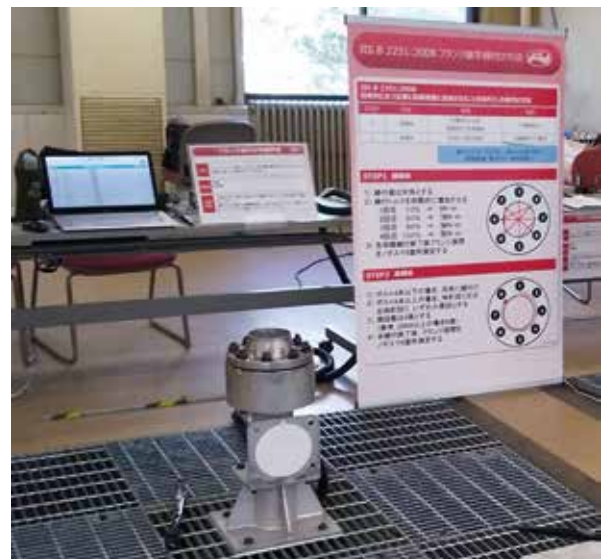


Figure4 ボルティングシミュレーター

2-2) 知識教育(座学)

知識教育は、2018年9月に発行されたHPI TR Z110(フランジ締結作業トレーニング指針)を基に作成された、水島フランジ締結委員会における教育資料を活用した。また、同委員会と同様に教育レベルを4段階に設定(Table3)し、レベルごとに教育項目と教育対象者を明確にすることで効率的な教育体系とした。

Table3 フランジ締結認定制度の知識教育レベル分け

教育レベル	対象者	教育項目	教育時間
レベルⅣ	教育講師	HPI TR Z110“管理者”準拠	4hr
レベルⅢ		HPI TR Z110“作業員”準拠	2hr
レベルⅡ	監督・棒心	ENEOS基準(座学+実技)	1hr
レベルⅠ	作業員	ENEOS基準(実技)	5-20min

3. 取り組みの効果

3-1) 制度運用の概要

2019年11月、川崎製油所において、レベルⅢ教育を実施した(受講人数:17名)。レベルⅢ教育とは、教育講師を認定するものであり、教育項目は、HPI TR Z110に基づき、座学教育を実施した(教育時間:2時間)。

教育内容は「締結体としてのガスケット・ボルト締付管理」「締付荷重・目標トルク設定と手順」「耐圧気密試験」「締結体の開放」「トラブル事例」などとなる。

また、技量教育(実技)として、ボルテイングシミュレーターを用いて、JIS B 2251に準拠した「締付手順の講習」、フランジ締結における注意事項として、弾性相互作用や片締めの原因と対策について、実技前講習を行ったうえで各自の技量(合否)を判定した。

その後、川崎製油所の定修(2020年3月)において、本制度のテスト運用を開始した。静機器工事におけるフランジ作業に従事する監督、作業員全員を対象として、レベルⅠ教育を実施した(受講人数:411名)。この教育は、上記レベルⅢ認定を取得した講師が下記の流れに基づき教育を実施した。

この教育の流れとしては、最初に集合教育(10~20分程度)にて「対角締め/周回締めを実施した時のフランジ挙動」「セットアップの重要性」「弾性相互作用・片締めの説明」などの説明を行う。そのうえで各作業員は、ボルテイングシミュレーターを用いて各自の技量を評価し合否を判定した。合格者には、認定証を発行し、現場でのフランジ締結作業を行うことが可能となる。

3-2) 教育受講者へのヒアリング結果

レベルⅢ教育受講者からは、フランジ締結に対する意識が向上したという回答が9割、講習内容が現場作業に活かせるという回答が8割と、全体的に良好な結果であった。また、教育講師向けの講習内容が、初めて知った内容があるという回答が6割あり、改めて学習する機会としても効果的であることが分かった。

レベルⅠ教育受講者からは、集合教育内容が分かりやすかったとの回答が7割、実技認定の方法が良かったとの回答が8割であった。「フランジ締結時の各ボルトの軸力変化が分かり易く、短時間で実施できたことが良かった」などの意見をいただいた。

3-3) 作業員の技量分析結果

ボルテイングシミュレーターを用いて、作業員の技量を分析した。本シミュレーターは、締結過程のログが残るため、作業員の締結における癖(締付過剰、締付不足、片締め)を確認することが可能である。そのため、その癖に対する適切なアドバイスが可能となり、効率的なスキルアップにつながる。

今回の作業員の技量を分析した結果、締付不足よりも締付過剰の割合が高く、約2倍程度であった。更に締付過剰を分析した結果、全体的に締付過剰よりも一部のボルトが締付過剰である割合が高い結果であった。これは作業体勢によりボルト間の軸力に差異が発生していると考ええる。また、片締め(フランジ面間のばらつきが大きい)については、初期段階のセッティングの重要性と締付手順を適切に行う必要があると考ええる。

3-4) 総合気密試験における教育効果の検証

定修の最終盤においては、機器・配管フランジなどの開放箇所や、その他装置全体の健全性確認を目的として、系内に窒素を導入して総合気密試験を行う。具体的には、窒素導入・昇圧後に各フランジなどの開放箇所の窒素漏洩の有無をソープテストにて確認し、漏洩を検知した場合は、フランジ増締めを行う。増締めしても漏洩が停止しない場合は、系内の窒素を一度脱圧し、フランジ再開放・ガスケット面整備・ガスケット交換を行ったのち、再昇圧試験を行う。

教育効果の検証としては、「フランジ締結起因の再昇圧系統数」を調査し、前回、2016年度定修での再昇圧実績と比較をした。Table4に示す通り、前回実績と比べ、再昇圧系統数を約半分に削減することが出来、一定の教育効果が認められたとともに、作業工数や工程延長リスクを低減することが出来た。

Table4 フランジ締結起因の再昇圧系統数調査

総合気密試験 系統数	再昇圧系統数		2020年度定修 仕切箇所数 (参考値)
	2020年度定修	2016年度定修 (前回同規模定修実績)	
307	6	11	4520

次に、再昇圧に至る要因となった漏洩フランジ(6系統中のフランジ14箇所)について、フランジ・ガスケット仕様、漏洩原因、現場レイアウトなどを調査した結果をTable5に示す。漏洩原因の主たるものは、以下2点であることが分かった。

- ・フランジ開放時、フランジ間クリアランスが確保出来ない配管レイアウトであったため、ガスケット面の清掃が不良となった。
- ・障害物などにより締付レイアウトが悪く、片締めとなった。

これらの原因への対策としては、適切な作業が実施出来るように作業要領・教育内容の見直しを行うことで再昇圧試験ゼロに向けた取り組みを継続する。

4. まとめと今後の展望

4-1)まとめ

- ・フランジ締結認定制度により教育の共通化が可能となるため、ユーザー及び施工者ごとの重複した教育が不要となる。
- ・ボルテイングシミュレーターを用いることで技量の定量的評価が可能となることと締結過程のログにより作業員への適切な指導が可能となる。
- ・制度運用(レベルⅢ、レベルI)による受講者へのヒアリング結果は、「講習内容が分かりやすく」「フランジ締結に関する意識向上」「現場作業に活かせる」という良好な結果であった。
- ・総合気密試験において、前回(2016年)定修と比較して、再昇圧系統数を削減することが出来た。

Table5 再昇圧要因フランジの詳細調査

系統 No.	サイズ(B)	クラス(ポンド)	常用圧力 (MPa)	フランジ漏洩原因	フランジ向き	締付レイアウト	フランジ間クリアランス
1	11/2	300	3.35	片締め	縦	不良	あり
	18	—	3.35	ガスケット面清掃不良	横	不良	あり
	11/2	300	3.35	片締め	縦	不良	あり
	18	—	3.35	ガスケット面清掃不良	横	不良	あり
	6	600	3.35	RJT 擦り合わせ不良	横	良好	なし
2	18	—	2.3	ガスケット面の経年使用によるすわり悪化	縦	良好	あり
3	6	300	1.48	ガスケット面清掃不良	横	良好	なし
	6	300	1.48	ガスケット面清掃不良	横	良好	なし
	8	300	1.48	ガスケット面清掃不良	横	良好	なし
4	6	150	0.42	ガスケット面清掃不良	縦	良好	なし
	12	150	0.42	ガスケット面清掃不良	縦	不良	なし
	11/2	150	0.42	片締め	縦	不良	なし
5	18	150	1.08	ガスケット面清掃不良	縦	不良	なし
6	1	300	0.35	片締め	横	不良	あり

4-2) 今後の展望

ENEOS(株)では、今後全製油所においてフランジ締結認定及びボルテイングシミュレーター導入による教育の体系化を計画している。

企業単独でなく国内共通の認定制度を構築することで作

業者融通を効率的に運用することが可能となるが、作業者技能データの一元管理や管理者等、課題も多い。

将来の日本のフランジ締結起因のトラブルをゼロにすることを目標として、本取り組みへの協力を継続していく。



古賀 洋介
ENEOS株式会社
川崎製油所
定修計画グループ



坂井 重夫
株式会社バルカー
H&S営業本部