

フランジ締付け作業の可視化を目指す ガスケット締付けサポートシステムの紹介

1. はじめに

2019年6月1日に、国立研究開発法人 産業技術総合研究所（以下「産総研」）と当社は、「バルカー - 産総研 先端機能材料開発連携研究ラボ」（以下「連携研究ラボ」）を設立した（Figure1）。連携研究ラボでは、従来の技術を深掘りし、差別化する技術開発を行うだけでなく、産総研の保有する技術を幅広く活用し、当社のコア技術と組み合わせ、オープンイノベーションによる技術開発を行っている。連携研究ラボは、産総研のつくばセンター、九州センターなど複数に拠点を置き、様々な研究領域からなる「エコシステム」な研究開発を実行出来る体制を取っている。

今回、産総研九州センターで保有しているセンシング・可視化による診断技術と、当社が保有するシール技術を融合することにより、新たな技術開発である「フランジ締付け作業を可視化したガスケット締付けサポートシステム」を紹介する。本システムは、ガスケット近傍にセンサーを設置し、開発プログラムと連動させることにより、ガスケットの締結状態を直接モニタリング出来るシステムである。



Figure1 連携研究ラボの概要

2. プラント市場の現状と課題

ガスケットが多く使用されているプラント市場において、プラントの安全操業を行うにあたり、高圧力容器の適切な維持管理は必要不可欠である。取り扱う流体は可燃性、引火性、爆発性、毒性などの性質を持つ場合もあるため、漏えいが災害や事故につながる恐れがある。そのため、プラント従事者はプラント内にある多数のフランジ締結部が適切に締め付けられているか、日々管理をしている。

しかしながら、フランジ締結が起因の災害・事故はいまだに多く発生している。国内における高圧ガス事故の原因別推移をTable1に示す。これらの統計が示すとおり、設備の維持管理の不良による災害事故の総件数はやや増加傾向にあり、更にその構成要因の約30%を「フランジ締結起因」が占めている。そのためメンテナンス時の適切なフランジ締結はプラントの安全操業を行う上で重要な課題の一つである。

また、近年保全スキルを持った労働者は減少傾向にある。フランジ締結における技術と知識の底上げのため、ASME PCC-1に代表されるガスケットの施工に関する規格の整備や、シールトレーニングセンターのようなガスケットの締付け作業の教育プログラムが注目され始めている。併せて作業者の技能によらないフランジ締付け管理も重要である。

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
2020年	104	72	22	37	14	249
2019年	155	84	13	35	10	297
2018年	124	99	19	35	13	290
2017年	113	97	29	30	8	277
2016年	109	109	20	42	10	290
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」

更に、一般的に現在使用されている締付け管理方法は間接的な管理方法であり、精度の高い締付け管理を行うには、ガスケットにかかる面圧を直接計測し管理する手法がより良いと考える。今回開発したシステムは、ガスケットにセンサーを設置し、ガスケットを締め付ける際の物性値の変化を計測し、締付け完了を発信するシステムである。

3. ガスケット締付けサポートシステム

3-1) システム概要

Figure2は、本システムの原理を用いた評価システムの概略図を示す。ふっ素樹脂圧延シートガスケットNo.GF300にセンサーを組み込み、締付け状態を画面上で表示する機構である。Figure3は、本システムを用いて管フランジ締結体の締付け状態を可視化したシステム画面例を示す。各ボルトの締付け状態を○・△・×の3段階で判定しており、ボルトごとに締付け不足の箇所を判別することが出来る。

管フランジ締結体は多数本ボルトにて締め付けられ、締付け作業はボルト一本ずつ行われる。ガスケットの呼び径が大きい場合はボルト本数も多く、ボルトの締め忘れも起こりやすくなる。また、長期的に高温で使用されたフランジはフランジ面が歪んでいることが多く、たとえ均等にボルトを締め付けても部分的に締付け不足が起きることがある。本システムはボルトごとに締付け状態を判定することが出来るので、このような場合にも有効であると考えられる。

Figure4は、本システムにおけるセンシング値とそのガスケット面圧における漏れ量との関係の例を示す。Figure4より、センシング値の変化点(赤矢印部分)でガスケットの漏れ量が大きく減少しており、センシング値から適切な締付け状態を判定出来ることが分かる。プラントにおける漏れ量の判定基準であるカニ泡はおおよそ $3.0 \times 10^{-4} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ であり、変化点を超えると安定したシール性能が得られると言える。

3-2) 既存締付け管理方法との比較実験

ガスケットの定量的な締付け管理方法として、トルク法、回転角法、超音波軸力計及びボルトテンショナーによるボルト軸力管理などがある。いずれの方法も一長一短があり、作業性、施工精度などのバランスを総合的に判断し選択している。しかしながら、これらの管理手法はガスケットに負荷される面圧を直接管理してはいない。締付けトルクやボルト軸力はボルトにかかる力を管理しているため、実際にガスケットにかかる面圧と異なる場合がある。例えばトルク法の場合、各部材の摩擦特性によりばらつきが生じやすい。ボルトが錆つ

いていたり、無潤滑であったりした場合は、トルク係数が高くなりガスケットにかかる面圧は低くなる。ボルト軸力管理の場合は、各部材の摩擦を考慮する必要はないが、フランジ面間が広い場合や面間が平行でない場合は、ガスケットにかかる面圧を適切に計測出来ない恐れがある。

本システムの有効性を確認するため、二つの実証実験を行った。一つ目は、錆び付いたボルトを用いたトルク法での締付けについて検証した。Figure5に、潤滑剤を塗布したボルト

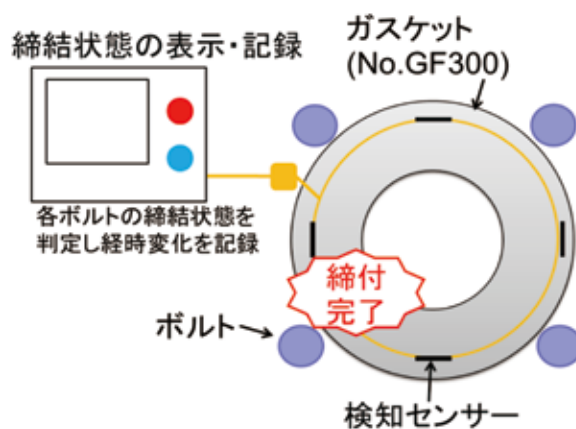


Figure2 評価システムの概略図

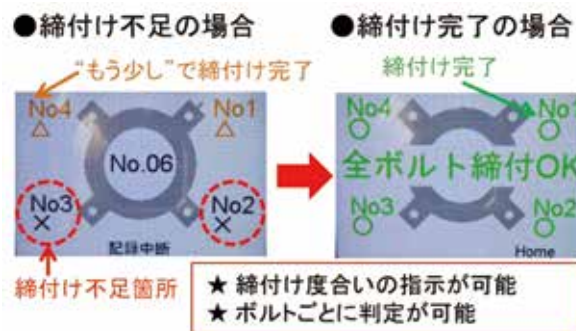


Figure3 締付け状態判定システム

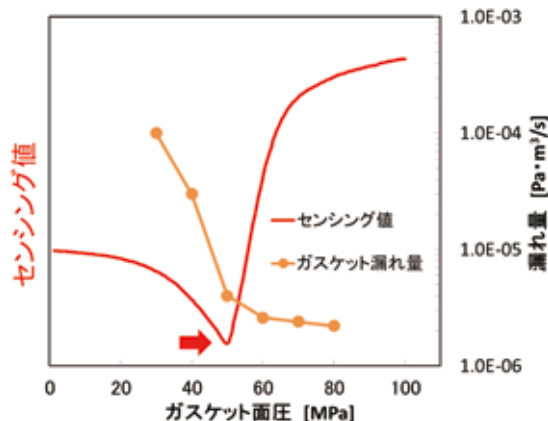


Figure4 センシング値と漏れ量の関係例

トと錆ついたボルトを使用した場合の比較実験結果を示す。センサーを組み込んだガスケットをフランジに設置し、締付けトルク30、50、70N・mで段階的に締め付けている。Figure5より、ボルトに潤滑剤を塗布した場合は、締付けトルク30N・mからセンサーが反応し始め、締付けトルク50N・mですべてのボルトが締付け完了となった。一方、錆ついたボルトを使用した場合、高い締付けトルクを负荷してもすべてのボルトでセンサーが反応しなかった。

なお、締付け後のガスケットの表面状態を確認した結果をFigure5に示す。ボルトに潤滑剤を塗布した場合は、フランジ面の跡が明確であったが、錆ついたボルトの場合はフランジ面の跡は見られず、ガスケットに適正な荷重が負荷されていないことが分かる。

二つ目の実験として、既存の締付け管理手法と精度及び締付け時間を比較した。Figure6にその実験結果を示す。既存締付け管理手法は、トルクレンチを用いたトルク法、スパナを用いた数値管理をしない手法、及び超音波軸力計を用いた軸力管理法とした。スパナを用いる手法については、締付け作業の経験が多い熟練者と初心者で実施した。同一寸法のフランジ締結体をそれぞれの締付け手法で締め付けた際のフランジ面間の距離、ばらつき(最大値-最小値)、締付け完了までの時間を測定した。なお、締付け手順はすべての手法ともJIS B 2251に沿った手順とした。

Figure6より、フランジ面間の平均値はすべての手法で同程度であったが、ばらつきを示す最大値と最小値の差分については、本システムを用いた手法が、最もばらつきが少な

いと信頼されている超音波軸力計と同程度に小さい結果となった。また、締付け完了までにかかる時間は、超音波軸力計が最も長いのに対し、本システムが最も短い結果となった。このように本システムを用いると、ばらつきが少ない締付けを短時間でできることが実験で実証出来た。

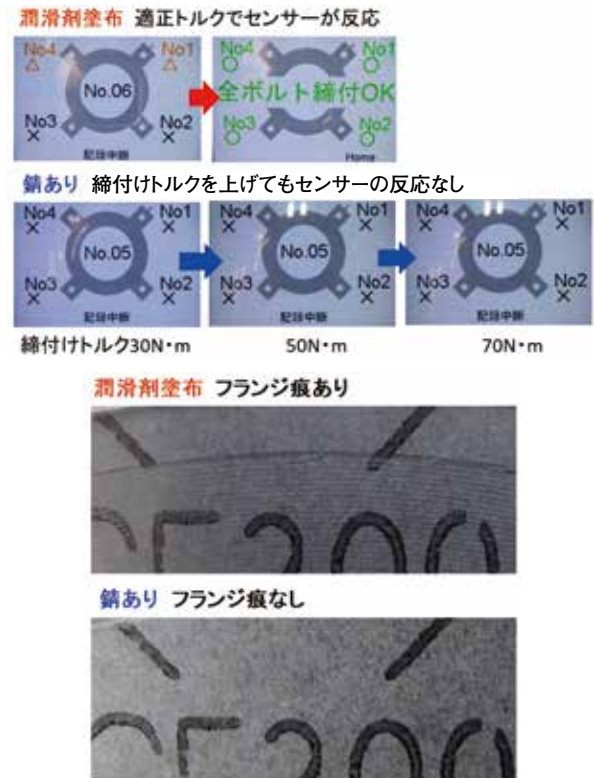


Figure5 ボルトの状態による影響評価結果

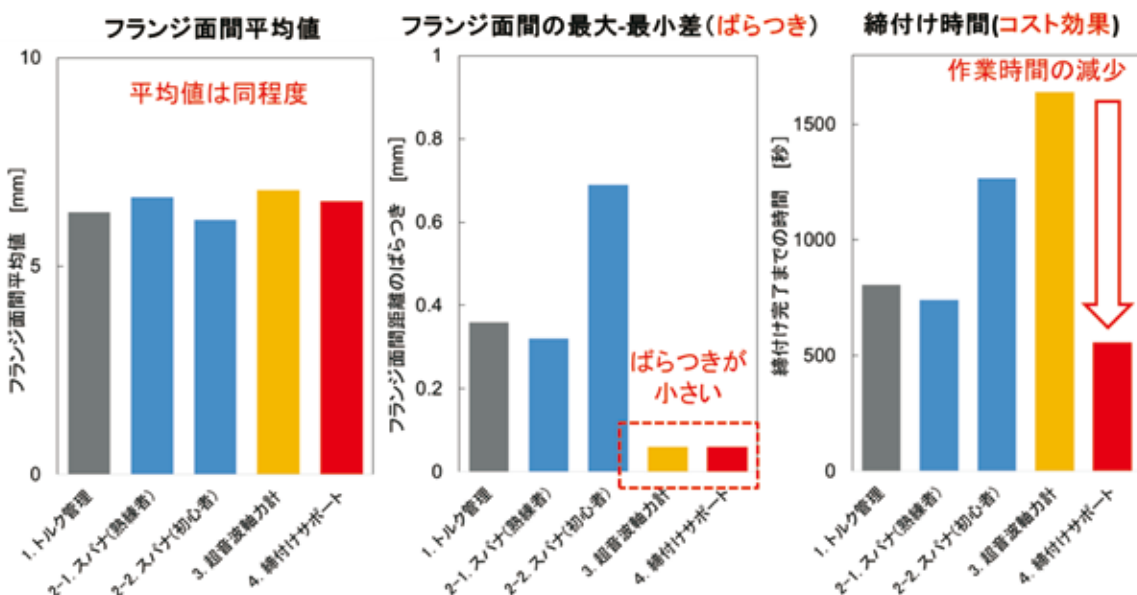


Figure6 既存管理手法との比較実験結果

4. 今後の取り組み

国内大手プラント会社より、本システムのコンセプトについて共感をいただいている。今後は本システムの実証機を用いて、フィールドテストを重ねながら、ブラッシュアップを行い、市場投入を進める予定である。

その第一弾として、実証試験装置を用いたフィールドテストの運用実験を始める。Figure7は実証試験装置を示す。この実証試験装置はうず巻形ガスケットにおける締付け状態をボルトごとに判定する装置である。作業者がリアルタイムで締



Figure7 実証試験装置

付け状態を確認出来ることはもちろん、その挙動を記録することも出来る。締付け作業時だけでなく、締付け後の確認作業などにも有効であると考えられる。今後は実証試験装置を用いて、フィールドテストを行い、より市場ニーズに沿った商品化を進める。

5. おわりに

今回、産総研と協業で進めている連携研究ラボの取り組みの一つとして、メンテナンス時のフランジ締付け作業の可視化を目指す「ガスケット締付けサポートシステム」を紹介した。将来的にはプラント操業中の締結状態を監視出来るシステムの実用化を目指して、更なる連携研究ラボでの研究を進めている。

この協業を行うことで、ハード製品及びサービス(H&S)による、スピーディーな顧客ソリューションの最大化を目指す。更に、安心・安全な産業界の活動を実現することで、広く社会に貢献していく所存である。



戸田 清華
技術総合研究所



高橋 聡美
H&S事業本部
商品開発部
ガスケット開発チーム



寺崎 正
国立研究開発法人
産業技術総合研究所
センシングシステム研究センター
4Dビジュアルセンシング研究チーム
チーム長



坂田 義太郎
国立研究開発法人
産業技術総合研究所
センシングシステム研究センター
4Dビジュアルセンシング研究チーム
主任研究員