

令和 4 年 6 月 16 日現在

機関番号：15301

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K14877

研究課題名（和文）次世代エネルギーラインにおけるジョイント部ナノリークのマカニズム解明

研究課題名（英文）Mechanism of Nano-leakage at Joint Interfaces in Next-generation Energy Line

研究代表者

大宮 祐也（OMIYA, YUYA）

岡山大学・自然科学学域・助教

研究者番号：40717203

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：近年，化学プラントなどから排出される有害物質の排出規制が世界的に厳しくなっており，配管接合部などで高い密封性能が求められている．このため，ガスケット（メタルシール）表面で生じるナノリークメカニズムを明らかにする必要がある．そこで，ガスケット表面の圧縮変形挙動およびナノリークメカニズムを明らかにすることを目指した．その結果，金属表面の粗さを形成する突出山部，コア部，突出谷部の変形は，金属の硬度差や圧縮荷重量によってそれぞれ異なる挙動を示した．また，初期表面粗さが大きいメタルガスケットほどガスケット外周部で谷部が多く残存し，谷部残存量とナノリークに関係があることを示した．

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では，精密治具を作成しメタル表面の変形挙動を測定し，接合面の未接触領域を明らかにした．このように表面性状を有するメタル表面の接触について実験結果をベースに評価することは，従来，行われていた理論的な議論に対して，実験的知見を示した．

また，メタルシールガスケットのナノリークメカニズムに関する結果は，ナノリークを考慮した合理的なフランジ寸法，ボルト初期締付け力の決定など設計因子の合理的決定に貢献した．

研究成果の概要（英文）：Recently, the emission control of harmful substances emitted from chemical plants have become stricter worldwide. High sealing performance is required for pipe joints. Therefore, it is necessary to clarify the nano-leakage mechanism that occurs on the surface of metal gaskets. The purpose of this study is to clarify the compression deformation behavior at the surface and Nano leakage mechanism of the metal seal gasket. As a result, the deformation of the protruding peaks, cores, and protruding valleys that form the roughness of the metal surface showed different behaviors depending on the hardness difference of the metal and the compressive load. In addition, the valleys remained at the outer of the gasket as the initial surface roughness of the gasket was increased. It was shown that there is a relationship between the residual amount of valley and Nano leak.

研究分野：機械要素

キーワード：漏えい ガスケット シール 表面粗さ 塑性変形

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

- (1) 高効率、環境負荷低減を目指す次世代エネルギープラントや水素燃料ラインには、配管-配管のジョイント部または機器ジョイント部が、多数とある。このようなジョイント部からのリークが問題視されている。現状のシーリング技術においても、事故発生が報告されており、いまだ十分とはいえないことがわかる。これはリーク量と密接に関係があるシールガスケットの圧縮荷重が地震、経年、使用環境過酷化に伴う極低高温、高圧力等により変化することや、シールガスケット接触面のリーク特性が十分に理解できていないためである。したがって、上記の点を明らかにし、ジョイント部設計において考慮する必要がある。
- (2) さらに大きな問題として、従来想定していない分子レベルのナノリークが常に発生していることである。ジョイント面の微小な凸凹を埋めることで、内部流体のリークは小さくなるが、分子レベルで考えれば、1分子に対してジョイント面は十分に透過可能であることが理解できる。分子量の最も小さい水素は特にこのナノリークが極めて問題となる。実際に、このナノリークは測定可能となり、米国の大気清浄法(CAA)のようにグローバルの動向では、プラント内部流体のナノリーク量を規制しつつある。しかし、このような法規制が施行された場合、従来設計法では全く対応できない。したがって、完全密封：ゼロナノリークの可能性が十分にあるメタルシールガスケットを用いたナノリークメカニズムの解明が急務であった。

2. 研究の目的

本研究では、メタルシールガスケットを用いた各種ジョイント部のゼロナノリークを達成するために、メタルシールガスケットを用いたジョイント部の密封特性および内部流体のナノリークメカニズムを明らかにすると共に、メタルシールガスケットを用いたジョイント部からのリーク量の推定方法およびナノリークを考慮したジョイント部設計方法を確立することを目指す。

- (1) メタルシールガスケットを用いる場合、リークはメタル同士の接合面における微小に存在する非接触領域から発生する。したがって、ナノリークを理解するためには、粗さ、硬さなどの表面性状を有するメタル表面の変形挙動を明らかにすることが大前提である。しかしながら、粗さを有するメタル表面の変形挙動について、多くの仮定のもと理論的に議論されるのみであり、あまり実験的評価はなされていない。そこで精密治具を作成しメタル表面の変形挙動を測定し、接合面の未接触領域を明らかにする。
- (2) 使用条件で変化するメタル接触状態の把握、ナノリークの形態変化さらにはナノリーク量の変化については、まだ十分に明らかになっていない。あらかじめ解析により未接触領域を予測したナノリーク試験により、ナノリーク量の変化を測定するとともにナノリークの流れ挙動の変化について明らかにする。

3. 研究の方法

- (1) 自作した精密圧縮試験機を用い、金属試験片にボールを押し当てその前後の表面粗さを測定した。金属試験片の表面粗さ、金属試験片の種類およびボールの種類を変更し接触の硬度差を変化させた。表面粗さに関して、金属試験片に無酸素銅(C1020)を用い、表面粗さをRaで約0.4 μ mから1.6 μ mまで変化させた。この時用いたボールは軸受鋼(SUJ2)とした。表面硬度差に関して、金属試験片に無酸素銅(C1020)、ステンレス鋼(SUS304)、クロムモリブデン鋼(SCM440)を用い、表面粗さをRaで約0.6 μ mとした。また、ボールに軸受鋼(SUJ2)、ステンレス鋼(SUS304)を用いた。
- (2) 異なる表面粗さを有するメタルシールガスケットを用いて簡易漏えい試験を行い、ナノリーク量をヘリウムリークディテクターにより測定する。ナノリーク量を測定する前後でメタルシールガスケット表面をレーザ顕微鏡により表面観察を行い、表面性状の変化を確認する。メタルシールガスケットの材質はアルミニウム合金(A1070)とした。メタルシールガスケットの表面粗さはRaで0.4 μ mから2.6 μ mまで変化させた。

4. 研究成果

- (1) 図1は精密圧縮試験機を用いて圧縮された金属試験片の観察結果(試験前後)の一例を示す。金属試験片は無酸素銅(C1020)表面粗さ0.6 μ mRa、ボールは軸受鋼(SUJ2)の結果である。このように従来検討が難しいとされた金属接触部の表面粗さ変化を検討できる結果を得ることができた。これらの結果から、表面粗さを大きくすると、表面の最大変形量(高さ方向)が大きくなることが分かった。

(2) 金属試験片の種類を変えた変化させた結果から、比較的低強度の無酸素銅と高強度のクロムモリブデン鋼の変形挙動を見比べるとすべての荷重量においてクロムモリブデン鋼の方が、最大変形量が小さくなっており、大変形が起き谷部の最も深い地点が低くなっていることが観察された。

(3) ボール表面の圧縮前後の Ra 値、表面観察結果から、ボール表面には試験片側の表面粗さによる1方向の圧痕が転写されている場合もあった。このことから硬度の比較的大きいボール側にも塑性変形が生じることが確認された。

(4) 試験片側の Rpk (突出山部) は硬度差が増大するにつれて Rpk の変化量が增大した Rk (コア部) は変化量は Rpk よりは全硬度差において少量であるが、Rpk と同様に硬度差が増加すれば変化量も増加した。また、Rvk (突出谷部) は粗さパラメータの中で最も全硬度差で変化量が小さく、硬度差の増加にしたがって変化量が増加しなかった (図2)。

(5) ボール側の Rpk (突出山部) と Rvk (突出谷部) の突出部に関しては、硬度差が小さい領域において荷重量による変形挙動に違いが見られた。コア部である Rk に関してはすべての硬度差で荷重量による変形挙動に違いはなかった。

(6) ボール側の Rpk, Rk, Rvk のグラフにおいて硬度差の値が大きくなるほど粗さパラメータの圧縮前後の変化量は0付近に漸近していく。

(7) 初期表面粗さが大きいガスケットほどガスケット外周部で谷部が多く残存した。図3は簡易漏えい試験より得られたナノリーク量とその時のメタルシールガスケット表面の粗さ谷部残存を示す。横軸は平均圧縮応力をガスケットの降伏応力で除している。この結果から、ナノリーク量の変化挙動と谷部残存率の変化に相関がみられた。このことから、ナノリーク量を表面性状変化から予測できる可能性が示唆された。

<引用文献>

日本工業規格, JIS B 2490: 管フランジ用ガスケットの密封特性試験方法, (2008)

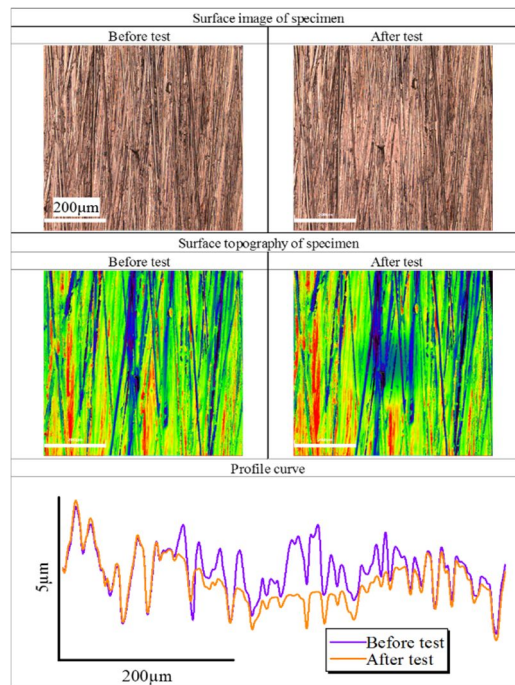


図1 圧縮後の表面粗さ変化 (圧縮荷重: 40N)

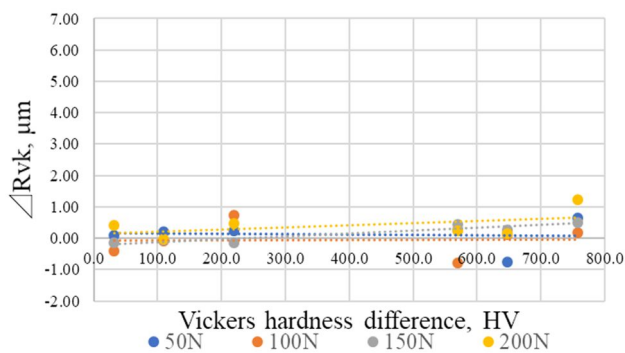


図2 表面硬度差と表面粗さ変化 (突出谷部) の関係

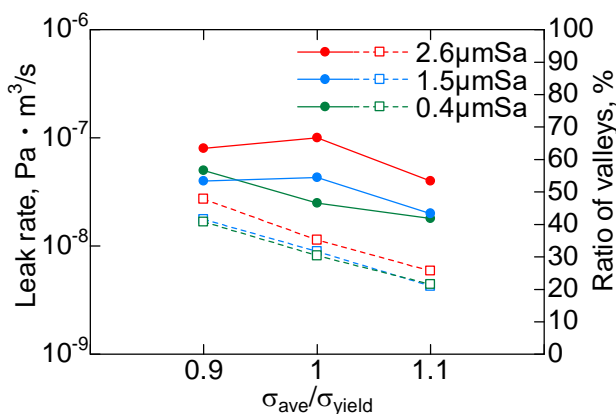


図3 ナノリーク量測定結果およびナノリーク量測定後のメタルシールガスケットの谷部残存率

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 林大雅, 大宮祐也, 塩田忠, 藤井正浩
2. 発表標題 金属平型ガスケット表面の微細観察に基づく微小漏えいメカニズムの考察
3. 学会等名 トライボロジー会議2021 秋 松江
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuya OMIYA
2. 発表標題 LEAK BEHAVIOR AND PREDICTION OF METAL RING JOINT GASKETS IN SIMPLIFIED LEAK TEST WITH GROOVED PLATEN
3. 学会等名 Pressure Vessels & Piping Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------