

学 位 論 文 内 容 の 要 旨	
学位論文題目	Optimization of Three-Layer Corrugated Metal Gasket Based on Contact Width and Contact Stress (積層型メタルガスケットの最適形状に関する研究)
氏 名	I Made Gatot Karohika
<p>Metal gaskets are used extensively as static seal in many industries due to resistance to heat and chemicals, capability to withstand pressure, recyclable, and reliability in critical situations. However, the high axial force is required to deform the solid metal gasket and the loss of tightness of the bolted flange due to the effect of the relaxation of joint. Nurhadiyanto et al. optimized the corrugated metal gasket SUS304 based on an elastic contact stress (0-MPa mode) and plastic contact stress (400-MPa mode) considering forming effect. The research found that gasket 400-MPa mode design better than gasket 0-MPa mode. Haruyama et al. clarified that flange surface roughness effect the sealing performance of the corrugated metal gasket. The main problem in this regard is the fact that a metal gasket SUS304 performance decrease when contact with flange having high surface roughness. This is because when gasket SUS304 in contact with a flange that has high surface roughness, contact width containing plastic contact stress condition is reduce so that the sealing performance of the gasket also decreased. Based on this reason, improvement of metal gasket performance continues researched to increase contact width having high plastic contact stress therefore not leakage when contact with flange having high surface roughness. In this research, we laminate the soft metal as surface layer at the top and bottom of the SUS304 gasket therefore when contact with the flange having high surface roughness the soft metal will be deformed plastically and fill the gap of the imperfect flange surface. Thereby increase the contact width in plastic condition and reduced the axial force for tightening. However, the relationship of the parameters affecting the sealing performance of the three-layer metal gasket is not yet well understood.</p> <p>In this research, parameter and surface roughness which affect the leakage prevention in three-layer corrugated metal gasket with spring effect is examined. This has lead to the clarification of gasket shape optimization.</p> <p>Research outline of this paper contains the problems mentioned in previous research and the investigation on the application scope and the performance of each gasket. (Chapter 1). 2. The influence of surface roughness in leakage is big, process design for obtaining the optimal shape has become clear when factors that affect the leakage performance of 25A-size metal gasket has been clarified. (Chapter 2). 3. The gasket shape design 0MPa-mode and 400MPa-mode used to clarify using FEM that utilization soft metal as the surface layer and SUS304 as base material produce contact width in plastic contact stress condition larger than single layer SUS304, therefore the sealing performance will improve. (Chapter 3). 4. The effect of modulus elasticity ratio and thickness ratio with previous design for fix model on contact width and contact stress was also clarified. By using the material with lower modulus elasticity ratio, will increase contact width in contact stress plastic condition. In addition increase thickness ratio produces increase contact width in plastic contact stress condition. (Chapter 4). 5. The influence of flange surface roughness on contact stress and contact width for gasket</p>	

three-layer with the no-fix model by numerical and experiment were clarified. Gasket three-layer 400MPa mode with C1020 as the surface layer and SUS304 as base material show better sealing performance than single layer SUS304 in contact with the high surface roughness of flange because has large contact width in plastic contact stress condition at low axial force. Gasket three-layer 400MPa mode with thinner surface layer show better sealing performance than the thicker. (Chapter 5). 6. The optimum design was clarified by numerical analysis for fix model and no-fix model metal gasket three-layer under each factor and level design. The optimum design has larger contact width in plastic contact stress condition than single layer. Based on this we can assume our optimum gasket design will give better sealing performance than single layer SUS304. (Chapter 6). 7. To summarize the result, even though it is known that flange surface roughness is hardly affect the optimal shape conditions in the leakage performance of corrugated metal gasket, in the future it is essential to examine it by considering the surface disposition effect and creep property in high temperature environment. (Final Chapter).

# 学位論文審査の結果及び最終試験の結果報告書

## (博士後期課程博士用)

山口大学大学院理工学研究科

報告番号	理工博甲 第 727 号	氏 名	I Made Gatot Karohika
最 終 試 験 担 当 者	主 査 審 査 委 員 審 査 委 員 審 査 委 員 審 査 委 員	上 西 研 合 田 公 一 陳 献 古 賀 毅 春 山 繁 之	
【論文題目】 Optimization of Three-Layer Corrugated Metal Gasket Based on Contact Width and Contact Stress (積層型メタルガスケットの最適形状に関する研究)			
【論文審査の結果及び最終試験の結果】 <p>本研究ではまず、産業界で広く使用されてきたアスベスト含有ガスケットが安全性の観点から使用中止となった歴史的背景、次に非金属ガスケット、セミメタリックガスケット、金属ガスケットの性能・適用範囲について調査し、金属ガスケットは、高温性、耐圧性に優れるため、アスベスト代替ガスケットとして最も有望であるものの非常に高い締め付け力が必要である問題点を有することを示した。その問題解決のために円弧の凹凸を直線でつなぎ、ばね効果と応力集中を利用した金属ガスケットについての研究を調査し、実使用環境で非常に重要となるフランジの表面粗さの影響を十分に解決することができない問題点を指摘した。そこで、これまでの凹凸と直線部を有する金属ガスケットの設計では、同一金属 (SUS304) のみで成形がなされていることに着目し、新たに積層型 (三層) の金属ガスケットをフランジ表面粗さの影響を解決する方法として提案した。さらに、接触面積と接触応力が漏れ性能に与える影響が大きいことを考慮し、3層金属ガスケットの表層部材として降伏応力を母材に対し0.2, 0.35, 0.5とより柔らかい材料を適用し、降伏応力の変化が接触応力、接触面積に与える影響を数値解析により明らかにした。</p> <p>次に3層金属ガスケットの表層部材と母材の厚さによる影響を評価する為、数値解析により表層部材と母材の厚さ比が接触応力、接触面積に与える影響を明らかにし、降伏応力の低い材料を使用することにより、接触幅は増加するが接触応力の低下が見られ、厚さ比を増加させると接触幅の増加に反し平均接触幅が減少することを示した。さらに3層金属ガスケットにおける積層部材間の境界条件が接触応力、接触面積に影響を与えることを示し、非固定モデルと固定モデルの各接触条件における最適形状の数値解析による検討から接触応力が主に弾性領域、主に塑性領域となるそれぞれの条件における最適な厚さ比を明らかにした。その結果から得られたガスケットを製作し、漏れの評価試験により漏洩性能と締め付け力の関係から塑性領域が主となる3層金属ガスケットは単層金属ガスケットよりフランジの表面粗さの影響を受けにくく、高い漏洩性能を有することを示した。さらに最適条件として得られた厚さ比、締め付け時の接触部領域の塑性域が主となる基本的な条件から品質工学手法の1つであるタグチメソッドを用い、フランジ粗さの影響を受けにくい3層金属ガスケットの最適形状を明らかにした。</p> <p>以上のように、本研究で得られたフランジ表面粗さの影響を受けにくい最適な3層金属ガスケット及び設計評価プロセスは、実使用環境での適用可能性を示したものであり、今後の金属ガスケットの開発に大きく貢献することが期待できる。</p> <p>本審査会では、予備審査会において指摘された数値解析におけるフランジとガスケットの接触条件に関する影響パラメータの効果と接触解析理論、ガスケットの特徴であるバネ効果のメカニズムとバネ効果が漏洩メカニズムに与える影響、三層金属ガスケットの実態評価での表層材の選定方法等についての質問事項に対する明確な回答があった。</p>			

公聴会における主な質問内容は、接触応力及び接触幅の評価方法に関するもの、表層材の材料特性に関するもの、開発したガスケットの適用産業に関するものなどであった。いずれの質問に対しても発表者からの確かな回答がなされた。

以上により本研究は新規性、有用性、信頼性、実用性ともに優れ、博士（工学）の論文に十分値するものと判断した。

論文内容および審査会、公聴会での質問に対する応答などを総合的に判断して、最終試験は合格とした。

なお、主要な関連論文の発表状況は下記の通りである。（関連論文 計4編）

(a) 査読のある雑誌等

- 1) Didik Nurhadiyanto, Shigeyuki Haruyama, Ken Kaminishi, I Made Gatot Karohika, Mujiyono, Contact Stress and Contact Width Analysis of Corrugated Metal Gasket, Applied Mechanics and Materials, Vol 799-800(2015), pp. 765-769, 2015.
- 2) Shigeyuki Haruyama, I Made Gatot Karohika, Akinori Sato, Didik Nurhadiyanto, Ken Kaminishi, Development of 25A-Size Three-Layer Metal Gasket by Using FEM Simulation, International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering, Vol. 10 No. 3 pp. 577-583, 2016.
- 3) I Made Gatot Karohika, Shigeyuki Haruyama, Ken Kaminishi, Okc Oktavianity, Didik Nurhadiyanto, Analysis of Contact Width and Contact Stress of Three-Layer Corrugated Metal Gasket, International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering Vol.11, No.4, pp.870-879, 2017.

(b) 査読のある国際会議の会議録等

- 1) I Made Gatot Karohika, Shigeyuki Haruyama, Ken Kaminishi, Optimization of Three-Layer Corrugated Metal Gasket by Using Finite Element Method, Proceeding of International Conference on Mechanical Engineering and Mechatronics 19 (4) Part XXII, pp. 2842-2846, 2017.