

平成29年度

戦略的基盤技術高度化・連携支援事業

戦略的基盤技術高度化支援事業

「エンジンの軽量化に貢献するシリンダヘッドガスケット応力制御技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成29年 3月

担当局 関東経済産業局

補助事業者 日本メタルガスケット株式会社

目 次

第1章 研究開発の概要

- 1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 3
- 1-2 研究体制・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 4
- 1-3 成果概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 6
- 1-4 当該研究開発の連絡窓口・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 6

第2章 本論

- 2-1 ビード亀裂原因の把握（研究）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 7
- 2-2 微小領域のX線応力測定手法・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 8
- 2-3 ウェットブラスト処理による応力制御技術の開発・・・・・・・・・・・・ 9

第3章 全体総括・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 11

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

板金加工の業界においては、エンジンの軽量化に伴う部材の低剛性化といった課題が起きており、これによりビードの疲労破壊という問題が生じている。

そのため、エンドユーザーであるヤマハ株式会社からは、低剛性エンジンでも耐クラック性と高シール性を両立しうるニーズが多く寄せられている。また、自動車等、商用トラックに使われるエンジンでは100万km以上ノーメンテナンスで使用できることを標榜しており、ガスケットの金属疲労対策が重要な要件となっている。

そこで本提案事業の研究開発を通して、より精度の高い成形技術である金属ガスケットのピード内部応力制御技術を開発し疲労破壊といった問題を解消し、低応力ガスケット（LSG）の実現を図る。

本研究では、ガスケット技術の根幹である、ビード塑性加工成形時の残留応力を金属組織学的に検討し、シミュレーションモデルの構築と検証、更に、成形品の付加荷重下における疲労強度を測定することで、疲労要因を明らかにし、ビード加工時の塑性加工条件を最適化し、ビード加工後の残留応力の除去を行うことで、ガスケット使用時に発生する亀裂破壊を改善する

燃費向上に対応したエンジンの耐久性向上に向けて、応力制御したビード形成技術を確立するために、亀裂の要因の分析、疲労強度の評価と計算シミュレーションの精度向上を行い、応力低減技術の評価データから高耐久のガスケットを設計し製造技術を開発することによって実現する。

1-2 研究体制

シリンダヘッドガスケット応力制御技術開発によるエンジンの耐久性向上事業 体制図

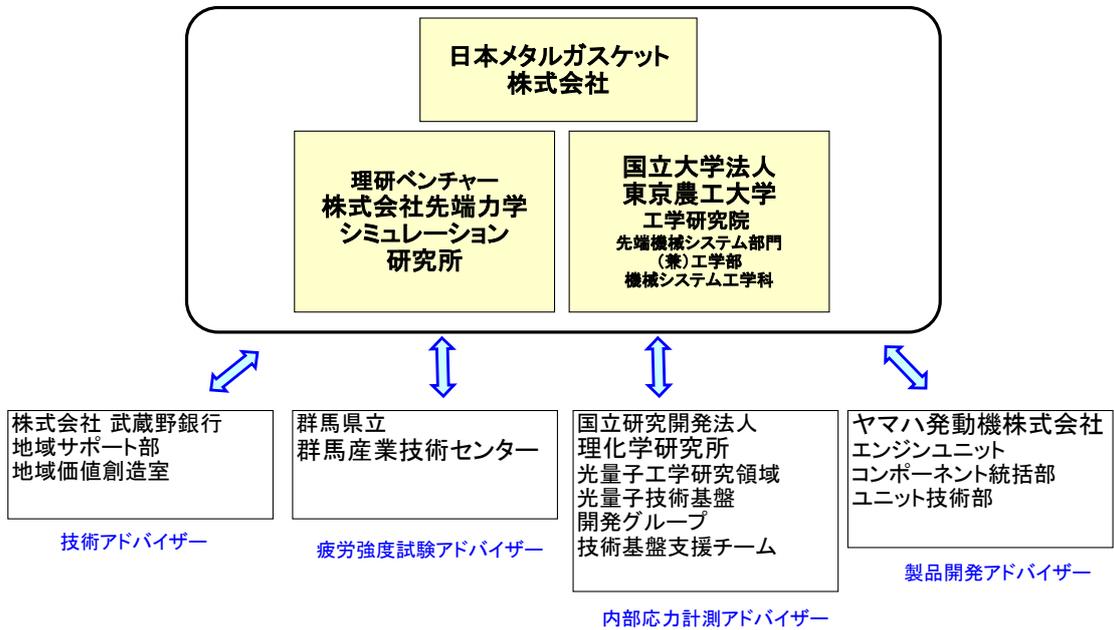


図1 研究組織体系図

(1) 研究者氏名

株式会社日本メタルガスケット（事業機関、研究実施機関）

氏名	所属・役職
相澤 収	開発技術部長、統括研究代表者(PL)
永野 勲	開発技術部開発課長、副統括研究代表者(SL)
小林 信秀	開発技術部開発課設計係長、基盤技術研究室
金原 豊	開発技術部開発課設計係長
早瀬 匠吾	開発技術部開発課設計係
田端 俊哉	開発技術部開発課設計係主任
十文字 英隆	開発技術部開発課設計係主任
鈴木 力	開発技術部開発課設計係主任
河田 明広	開発技術部開発課設計係主任

株式会社先端力学シミュレーション研究所（研究実施機関）

氏名	所属・役職
三好 雄司	技術開発部
蒔田 憲典	商品開発室
伊勢谷 健司	技術開発部
山下 耕平	技術開発部

国立大学法人東京農工大学（研究実施機関）

氏名	所属・役職
桑原 利彦	工学研究院 先端機械システム部門 教授

(2) 協力者（アドバイザー）

株式会社武蔵野銀行（技術アドバイザー）

氏名	所属・役職
山本 碩徳	特別顧問

国立研究開発法人理化学研究所（応力計測アドバイザー）

氏名	所属・役職
山形 豊	光量子工学研究領域光量子技術基盤研究開発グループ技術基盤支援チーム

群馬県立産業技術センター（疲労試験アドバイザー）

氏名	所属・役職
荻野 直彦	応用機械係 独立研究員
加部 重好	金属材料係 主任研究員
矢澤 歩	金属材料係 独立研究員

ヤマハ発動機株式会社（製品開発アドバイザー）

氏名	所属・役職
中平 泰之	グループリーダー

1-3 成果概要

応力制御技術の確立を目指し、ビード加工時に応力を制御する方法とビード加工後に応力制御を行う方法を検討した。具体的には前者は金型成形シミュレーションにより応力が低減する条件を検討し、また後者はビード成形後にウェットブラスト処理を行う方法とコイニング加工により圧縮応力を付与する方法を検討した。

前者の成形金型の工夫により応力低減を図るべくシミュレーションで最適な金型形状を探った。コイニング加工をビード成形時に行う方法を検討したところビード屈曲部の領域で応力低減の効果が見られた。

後者ではビード加工後の処理として検討であり、4軸サーボプレスにより精密なコイニング加工を行い、ビード屈曲部に圧縮応力を付与した試験片の製作に至ったが、疲労試験での確認結果では効果が見られなかった。

さらにビード加工後の処理としてウェットブラストを行う手法を検討したところ、耐疲労性向上に効果があり、ウェットブラストの研磨材、噴射ガン速度、処理回数を変えることにより任意の加工量と疲労性向上効果を得ることができた。許容応力振幅量が拡大するのでガスケットの長寿命化を図ることができ、ガスケット積層枚数を低減したりエンジン剛性を下げることやボルト軸力を低減することができエンジン全体の軽量化を図ることができる

1-4 当該研究開発の連絡窓口

日本メタルガスケット株式会社

基盤技術研究室 渡辺秀男

FAX : 048-532-0941

Email : watanabe-h@jmg.co.jp

第2章 本論

2-1 ビード亀裂原因の把握（研究）

(1) 概要

ビード成形の有無で疲労限度に影響があると考えられ、試験片を製作し疲労試験により S-N 限度線図を求めた。その結果ビード成形によって疲労限度が低下することが判明した（図2 素材の疲労限度線図よりも70%低い）。

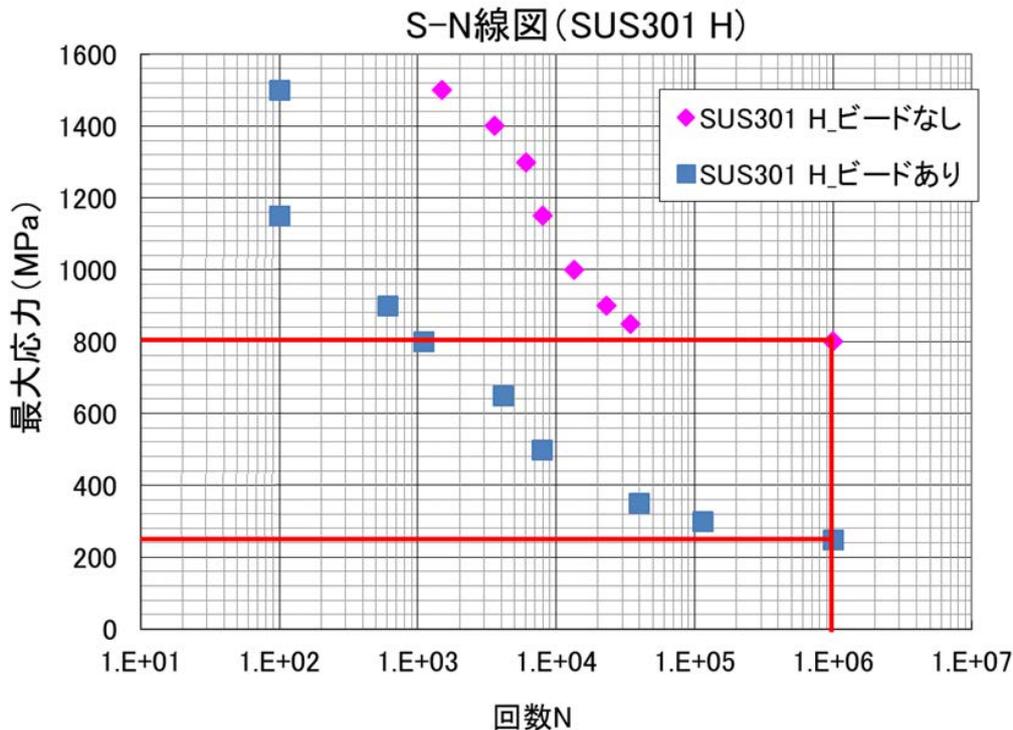


図2 疲労限度 ビード成形の影響

亀裂はビードの屈曲部から発生するが、その屈曲部の金属観察を行った結果オーステナイト、フェライト、マルテンサイト相が混在している可能性が示されたものの、金属組織相と亀裂の因果関係は明確にはならなかった。

(2) 成果

ビードの成形状態を詳細に観察すると（図3）ビード屈曲部の近傍に深さ5 μ m程度のシワ（荒れ）が形成されており、ガスケット使用時の応力振幅によりシワ部から板材の深さ方向に亀裂が進行することが判明した。このシワは金属の塑性加工に伴う表面「荒れ」が局所的に表れたものと見られる。特に屈曲の内側では表面が波打った山谷となっており、ガスケット使用時にはその谷が開くような変形がおり、応力集中および応力振幅によって疲労に至ると推定された。すなわち、屈曲部のシワ（荒れ）の削減、屈曲部の応力低減を図ることによりビード亀裂を防止できると考えられた。

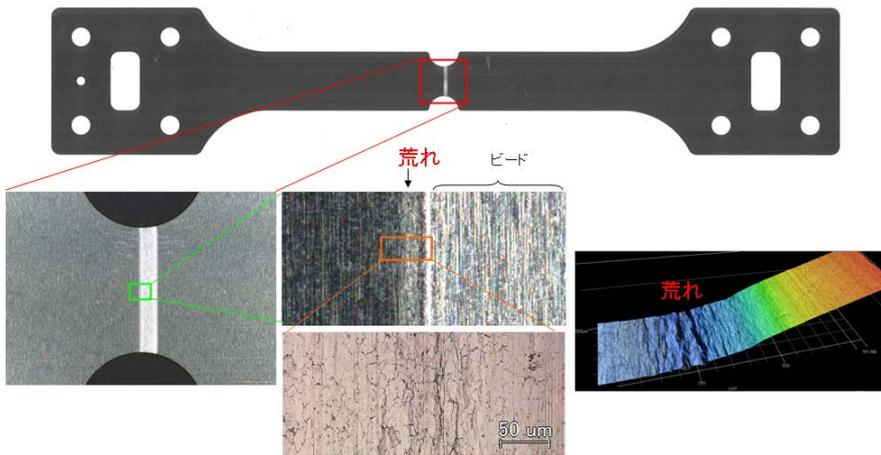


図3 ビード屈曲部のシワ（荒れ）

2-2 微小領域のX線応力測定手法

(1) 開発概要

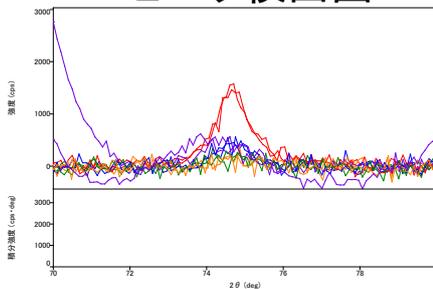
上記のようにビードの亀裂はビード屈曲部の応力値と密接に関連していると考察されたが、実際に従来の歪ゲージによって応力を測定するためにはビード寸法が小さく、狭い領域で応力集中しているため実測が困難である。

しかし微小な領域であっても X 線回折装置によるアプリケーションを利用することにより応力測定が可能であり（図4）、XY テーブルを組み合わせることでビードの平坦部から屈曲部にかけての応力分布を得ることが可能になった。

X線回折装置



ピーク検出図



2θ - sin²φ 図

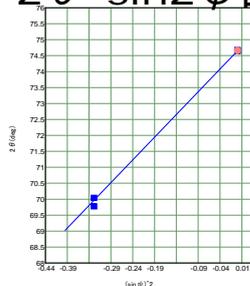


図4 X線回折装置 応力測定

(2)開発成果

ビード成形された微小領域の応力測定方法としてX線応力測定法を利用することが現実的である。

具体的にはビードの屈曲部を含む7.5mmの範囲を0.5mm間隔で測定し応力分布を得た。

X線回折の他に、FEM解析による方法も検討した。ビード金型を解析モデル化してビード成形プロセスをシミュレートすることによりビードの応力を求めたところ、応力集中が起きている部分については応力分布の一致性が得られた(図5)。これにより最大応力は計算による推定が可能になった。

なお、応力集中部以外の値が一致しない理由として、ビード基材は主に圧延時に板厚方向に歪を生じさせた冷間圧延鋼板であり、初期段階から表面に圧縮応力がかかっていたためと考えられる。

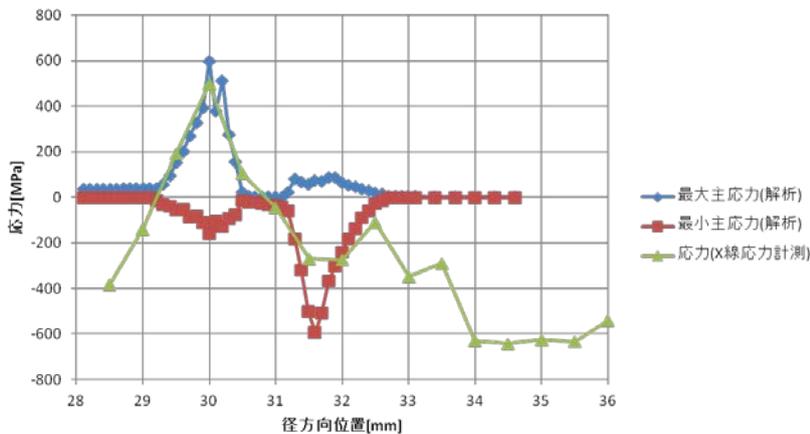


図5 ハーフビード応力実測とFEM解析結果

2-3 ウェットブラスト処理による応力制御技術の開発

(1)開発概要

ガスケットの亀裂の原因としてビード屈曲部の表面状態が関係していることが推定されたことから、表面処理手法として電解研磨が検討された。ビード成形後に電解研磨を行ったサンプルで疲労試験を実施したところ耐疲労性が向上する可能性が示された。ただし、処理のコスト、ガスケットのシール性を鑑みて実用性は低いと考えられた。

また、ビード成形後にコイニング加工を行い圧縮応力場を付与する金型を製作し疲労試験を行ったが、耐疲労性にほとんど影響がないことが判明した。

一方ウェットブラストは微細なメディアを液体に分散させて表面処理を行うもので、ガスケットのコーティング層に悪影響を与えにくいこと、製造ライン化が容易である。

(2)開発成果

ウェットブラストのメディア種類、ガン速度を変えて試験片を作成し、疲労試験を行った。作成サン

ブルのうち、最大で疲労限度が1.8倍に増大し、疲労許容レベルが拡大した（図6）。この亀裂対策手法はシワ（荒れ）に対して表面の山谷をなだらかにする効果と同時に圧縮応力を付与する効果があり、これが応力集中の緩和と全体的な応力低減に関与しているものと考えられる（図7）。

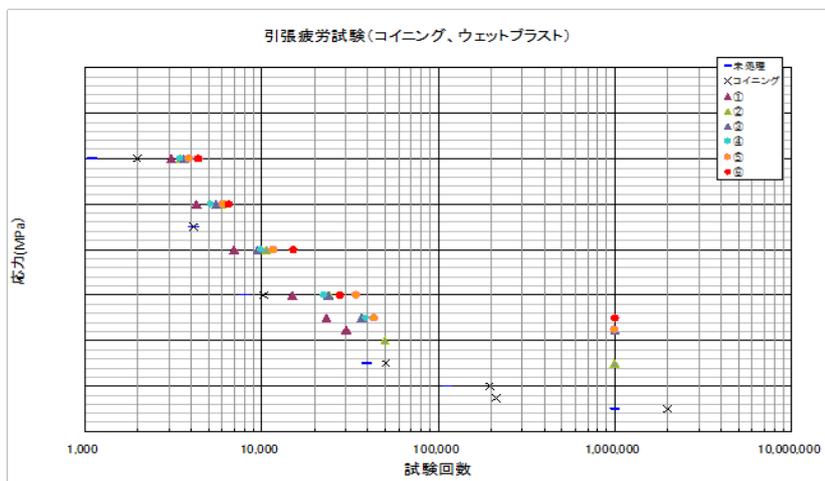


図6 疲労試験 S-N 線図（ウェットブラストの効果）

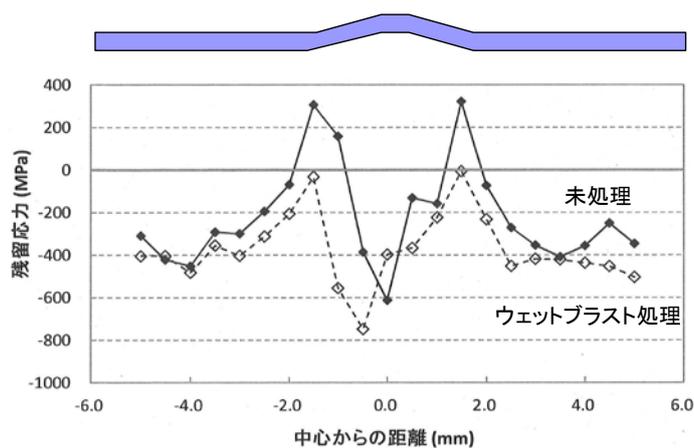


図7 ウェットブラストの応力低減効果

本研究開発の成果をまとめると下記の3つである。

1. 金属ガスケットのビード亀裂の要因として屈曲部のシワ（荒れ）を特定した。
2. 微小領域の応力測定手法としてX線回折が有効で、成形プロセスからFEM解析を行うことにより最大応力については計算結果が利用できることを明確にした。
3. ビード成形後処理としてウェットブラストを行うことによりビード屈曲部のシワ（荒れ）の平坦化と応力の低減が図れ、耐疲労性向上に効果があることを明確にした。

今後の研究課題はウェットブラスト処理条件のさらなる最適化を行い、またエンジン組み込み用のガスケットへ適用し自社エンジン運転ベンチでの実証評価を進めていく。また本研究ではビードの成形後に処理を行うことで応力制御を行ったが、今後はビードの成形時に応力制御を行う手法も検討する。

本事業は、ヤマハ発動機が川下ユーザーとしてアドバイザー参画しているプロジェクトであり、また当社の販売提携先、および主要取引先など、エンドユーザーたちからの強いニーズと要請に基づくものである。従って試作品の評価など今後ヤマハ発動機の意向を汲み取り販路開拓をヤマハ発動機グループ内で実践する予定となっている。そして本事業完成後は当社の販売提携先の各社、主要取引先各社へと従来の販路を活用し今回の成果をPRし、その後新たな顧客を開拓していく予定である。