

トランスミッションハウジングの軽量化のための最適化手法

Optimization Method for Reduction of Transmission Housing Weight

緒 方 友 治*
Yuji OGATA

鈴 木 覚*
Satoru SUZUKI

飯 島 康 友*
Yasutomo IJIMA

要 旨

軽量かつ高剛性な自動車用トランスミッションハウジングを設計するため、設計の熟成度合いに応じて、最適化の適用段階を3段階に分類し、位相最適化および形状最適化計算を使い分ける設計手法を確立した。

この手法を用い、ハウジングの骨格構想段階から位相最適化計算を実施した結果、目標剛性値を満足しながら10%の軽量化を実現した。

また、最適化により予測された形状を、応力の発生状況の観点で考察し、ベアリング荷重の伝達経路に添って剛性部材となるリブが効率よく設計されていることを確認した。

ABSTRACT

An optimization method has been developed as a tool to contribute to the design of lightweight and high-rigidity automotive transmission housings. The method is divided into topology optimization and shape optimization and can be applied at any of three different stages depending on the maturity of the design.

The application of topology optimization from the framework conception stage in the design of an actual automotive transmission enabled rigidity targets to be met with a reduction in weight of 10%.

Study of the generation of stress in the optimized shapes predicted by the method indicated that the placement of ribs along the paths of transmission of bearing load to increase rigidity was highly efficient.

1. まえがき

近年、地球環境保護および省資源への関心の高まりから、自動車用トランスミッション開発において、軽量化および小型化の要求が高まっている。

トランスミッションにおいて、ハウジングは、総重量に占める割合が高いため、軽量化ニーズの高い部品である。

従来の解析技術⁽¹⁾では、設計段階でハウジング剛性および強度の予測は可能であったが、入力荷重の伝達経路が複雑なため、検討しなければならない設計パラメータが多く、計算モデルの容量が大きくなり、予測計算に時間がかかった。したがって、短い開発期間の中で多数の案別検討をおこなない、軽量化の目標値を満足する形状を求めることが困難であった。

軽量の製品の形状を求めるために、市販の有限要素法解析アプリケーションに付加された位相最適化機能の適用が実用化段階に入りつつある。しかし、位相最適化の理論⁽²⁾⁻⁽⁵⁾の報告や、梁形状⁽⁶⁾およびプレス部品^{(7),(8)}のような単純な形状への適用事例は報告されているが、トランスミッションハウジングのような複雑な形状への

適用例は見当たらない。

そこで、本研究では、トランスミッションハウジングの設計において、位相最適化および形状最適化手法の適用により、剛性を考慮した上で軽量化を実現したので、その内容を報告する。

2. ハウジングに対する位相最適化計算時の条件設定手法

位相最適化計算の実施にあたっては、荷重条件、制約条件(設計パラメータの許容範囲)、および最適化の対象空間の設定が必要である。

これら3項目について、トランスミッションハウジングへの位相最適化計算に適用する条件の設定手法について検討をおこなった。

2.1. 荷重の設定手法

エンジントルクは、ギヤおよびシャフトを介し、それらを支持するベアリングから、ハウジングへの荷重(以下ベアリング荷重)として伝達される。

* 栃木研究所

位相最適化計算において、エンジントルクを伝達する部品を全てモデル化し、ギヤの歯の接触によるトルク伝達も考慮した計算モデルを作成して、実用的な時間内でベアリング荷重を計算させることは非常に困難である。

そこで、本手法においては、ベアリング荷重方向に対し、2次元の弾性体要素を作成し、端点のベアリング中心点に対して荷重を設定した(Fig. 1)。

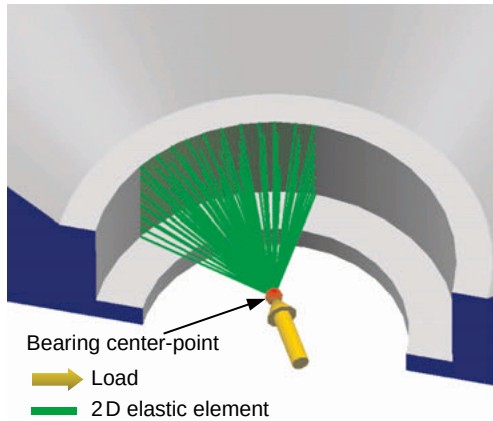


Fig. 1 Definition of load

2.2. 制約条件の設定手法

ハウジング剛性の評価に際しては、ベアリング荷重によって、ベアリング中心点が、無負荷の状態からどれだけ変位したかが重要である⁽¹⁾。

そこで、ベアリング中心点に対し、変位量を目標値内に収めることを制約条件として設定した(Fig. 2)

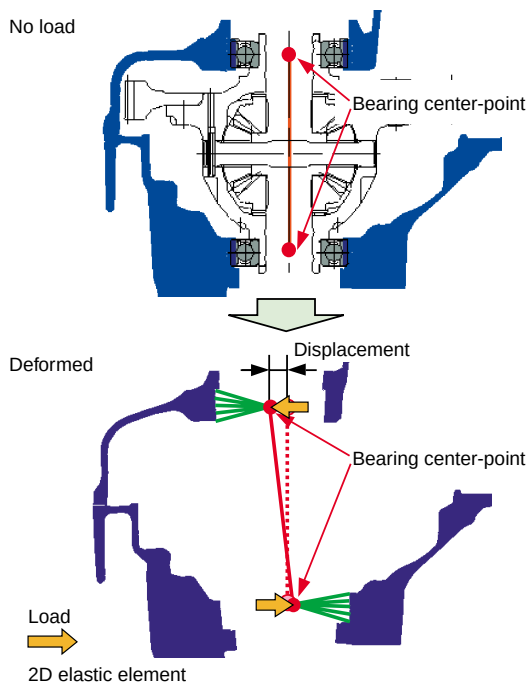


Fig. 2 Displacement of bearing center-point as limiting condition for design responses

2.3. 最適化対象空間の設定手法

最適化の対象となる設計空間については、設定する空間の体積が多いと、メッシュ数が増加し、現在のコンピュータリソースでは計算できない場合があり、設定する空間をある程度絞り込む必要がある。

ベアリング荷重によってトランスミッションハウジングに発生する応力は、全体に均一ではなく、部分的に集中する。そこで、静解析を実施し、高い応力が発生している部分(Fig. 3)、および変位量の多い部分(Fig. 4)に着目し、設計空間を設定した(Fig. 5)。

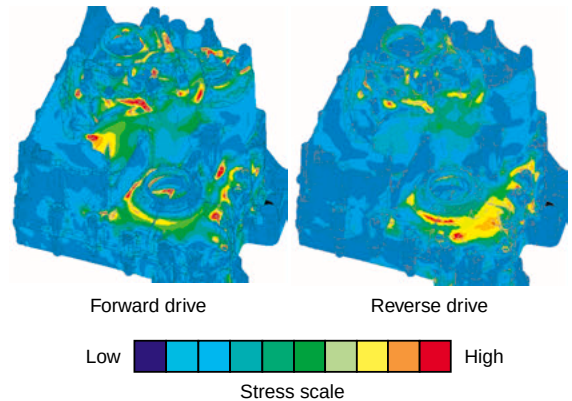


Fig. 3 Example of static analysis : stress

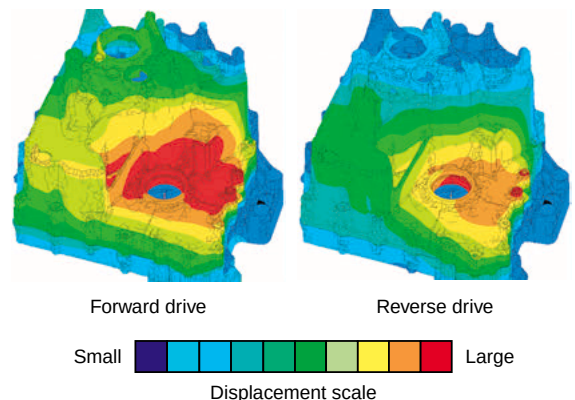


Fig. 4 Example of static analysis : displacement

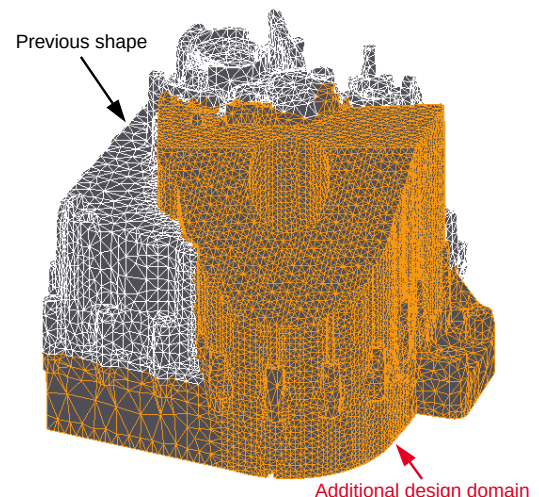


Fig. 5 Defining design domain

3. ハウジング設計への最適化適用手法

3.1. 最適化を用いたハウジング設計プロセス

一般的に設計初期段階では、使用可能な空間の自由度は高く、仕様の熟成が進むにつれて空間の自由度は減るため、最適化による軽量化効果は、設計初期では高く、設計後期では低くなる。

そこで、設計の熟成度合いに応じて、最適化手法を使い分ける設計プロセスが必要であり、設計段階を以下の3段階に分類して、それぞれに対する最適化手法を検討した。

- (1) 開発初期の設計自由度の高い骨格構想段階
- (2) ハウジング外部のリブ形状を検討する段階
- (3) リブの幅や高さ等の小変更のみをおこなう段階

3.1.1. 骨格構想段階での位相最適化

軸配置、主断面とハウジングの合わせ面のレイアウト段階で、取り得る最大の空間を最適化の対象となる設計領域として設定し(Fig. 6)、位相最適化計算を実施することで、ベアリング荷重に対抗する剛性部材(Fig. 7)を予測することができた。

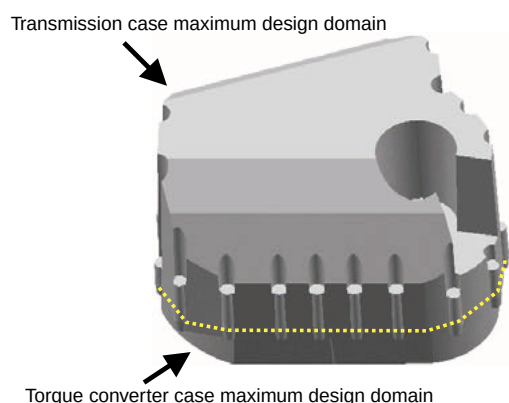


Fig. 6 Maximum design domain in early design stage

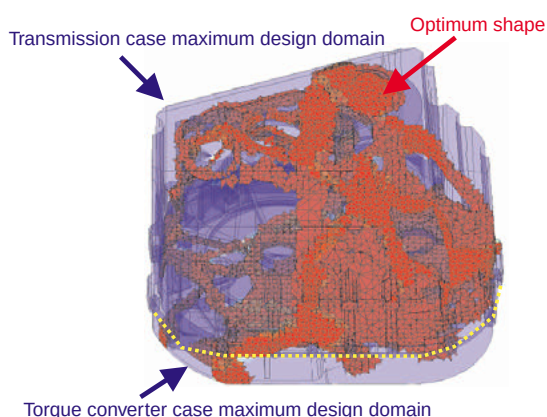


Fig. 7 Result of topology optimization using maximum design domain

骨格構想段階では、ギヤ、シャフトおよび油圧制御系等の内部部品と、ハウジングのレイアウト作業が並行しておこなわれるため、位相最適化により予測された剛性部材を有効に活用できるように、ハウジング内部のレイアウトの熟成をおこなった。

3.1.2. ハウジング外部のリブ形状を検討する位相最適化

内部部品のレイアウトがほぼ確定した段階では、ハウジング外部のリブ形状の検討が、主な設計作業となる。

ここでは、第2項で述べたように、応力や変位の状態に着目し、ハウジング外部のエンジンルーム内のフレームやマウントブラケット等との干渉を避けた空間を、最適化の設計領域に設定し、位相最適化計算を実施した。その際、壁(潤滑油を密閉するために、ハウジング全体を覆う一定の厚さの部分)の剛性を考慮するため、ハウジングの内壁形状を最適化の対象外の非設計領域としてモデル化をおこなった(Fig. 8)。また、トランスミッションハウジングはダイキャスト法により製造されるため、型抜き方向の指定もおこなった。

これらにより 3D 図(正式出図をおこなう3次元モデルの名称)へ採用可能なリブ形状を予測することができた(Fig. 9)。

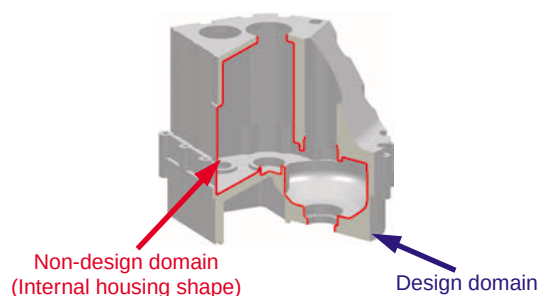


Fig. 8 Defining domain in external housing rib shape optimization phase

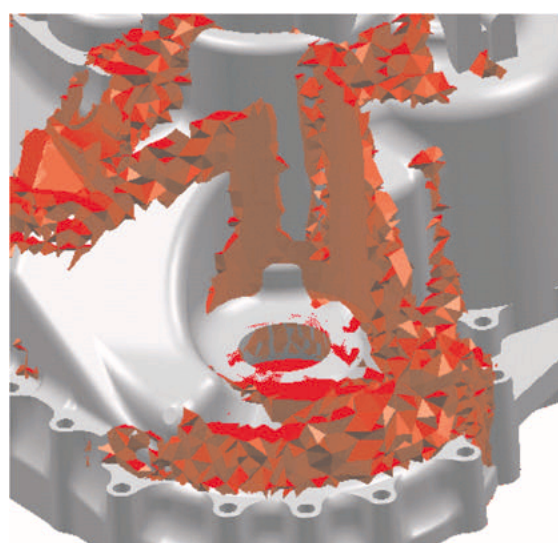


Fig. 9 3D drawing with optimum shape

3.1.3. リブの幅や高さ等の小変更時の形状最適化

位相最適化で予測された形状は、一つのメッシュが最小単位で表示される。現在のコンピュータリソースでは、ある程度大きなサイズでメッシュを作成する必要がある。位相最適化の計算でスムーズな形状を予測することができず (Fig. 9)、形状を精度よく 3D 図に反映することが困難であった。

設計の熟成度合いが高い段階で軽量化を実施する場合、リブの幅や高さ等の小変更が主な設計作業となるため、最適化によって予測される形状に高い寸法精度が要求される。そこで、メッシュを変形(モーフィング)させることにより最適な形状を予測する形状最適化を適用することで、寸法値の変化量で結果を得ることができ、高い精度で 3D 図に反映可能となった (Fig. 10)。

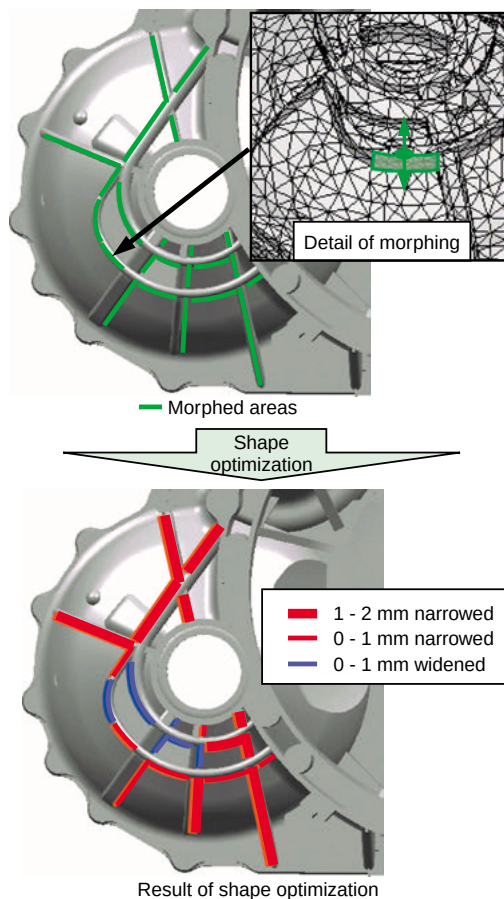


Fig. 10 Morphing and result of shape optimization

4. 適用結果

4.1. 軽量化効果の確認と剛性の検証

本手法を横置きオートマチックトランスミッションへ適用し、軽量化を実施した。

ハウジングの骨格構想段階から位相最適化計算を実施し、剛性部材のレイアウト空間をもっとも効率よく確保できた場合、10%の軽量化を実現した。

最適化の適用開始が、ハウジング外部のリブ形状を検討する段階から、リブの幅や高さ等の小変更をおこなう段階へと、設計の自由度の低い開発後期になるにつれて、軽量化の効果が減少することも確認できた (Fig. 11)。

また、最適化により予測された形状の剛性を検証するため、4機種のトランスミッションハウジングについて、ハウジング合わせ面の接触や摩擦を考慮した解析技術⁽¹⁾を用いて、ベアリング中心点の変位量を計算した。その結果、Fig. 12 に示すように、最適化適用前の形状と同等剛性であることが確認できた。

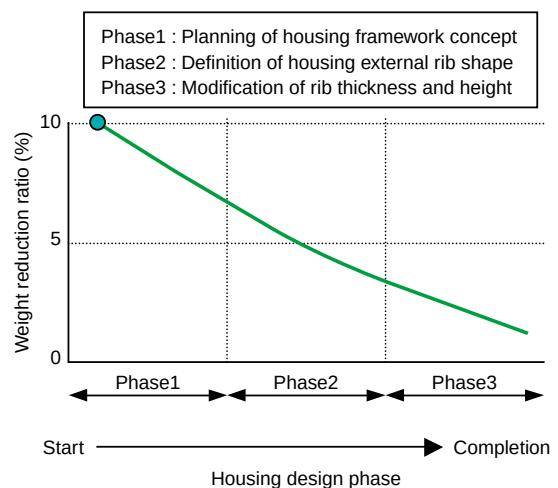


Fig. 11 Reduction of housing weight by optimization

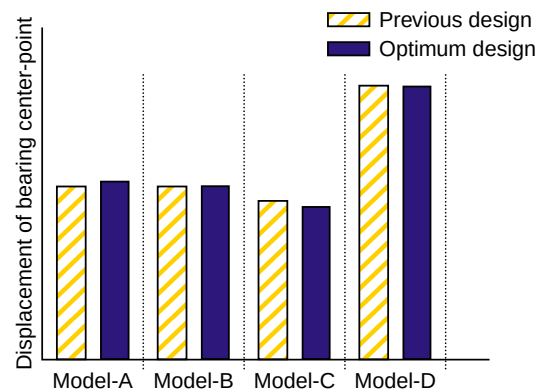


Fig. 12 Example of stiffness calculation

4.2. 最適化形状に対する考察

最適化により予測された形状が、ベアリング荷重の伝達経路に対して効率的な形状であるかどうかを確認するため、最適化適用前後の形状に対して静解析を実施し、応力分布を算出した。

トランスミッション全体の変形はデフのベアリング荷重が支配的である⁽¹⁾ことから、デフベアリングを支持するハウジング部の形状について考察する。

Fig. 13に示す様に、トランスミッションケースの最適化適用前の形状については、リブでの応力の発生状況が一様でなく、効率のよい形状ではない。

これに対して、最適化を適用した形状は、リブに添って応力が一様に発生しており、ベアリング荷重の伝達経路に添って剛性部材が効率よく設計されていることが確認できた。

また、Fig. 14に示す様に、トルクコンバータケースについても、最適化前の形状は応力の発生状況が一様でなく、剛性部材として機能していない部分がある。

これに対して、最適化適用後の形状はリブに添って応力が発生し、壁部の応力は低いことから、効率的な形状であることが確認できた。

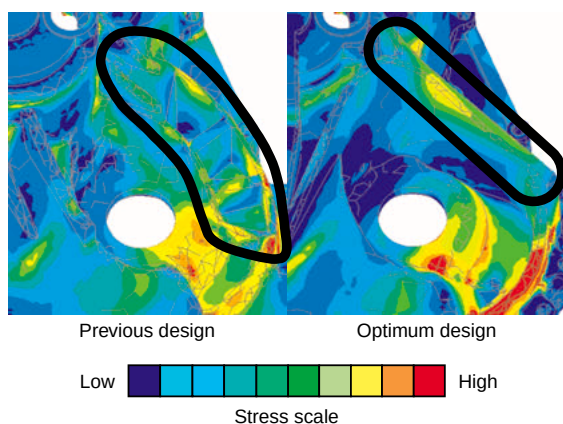


Fig. 13 Example of static analysis of transmission case

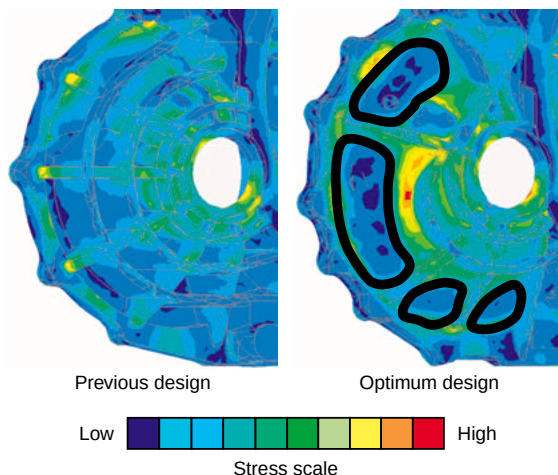


Fig. 14 Example of static analysis of torque converter case

5. まとめ

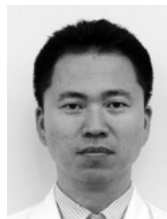
トランスミッションハウジングの設計において、位相最適化および形状最適化手法の適用により、以下の成果を得た。

- (1) 軽量かつ高剛性な自動車用トランスミッションハウジングを設計するため、設計の熟成度合いに応じて、最適化の適用段階を3段階に分類し、位相最適化および形状最適化計算を使い分ける設計手法を確立した。
- (2) ハウジングの骨格構想段階から位相最適化計算を実施した結果、目標剛性値を満足しながら10%の軽量化を実現した。
- (3) 最適化により予測された形状を、応力の発生状況の観点で考察し、ベアリング荷重の伝達経路に添って剛性部材となるリブが効率よく設計されていることを確認した。

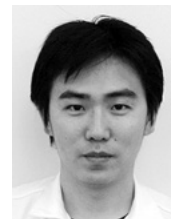
参考文献

- (1) 平岡昌巳，富田好一，鈴木覚，飯島康友，笹原千嘉江：トランスミッションハウジングの剛性解析技術の構築，Honda R&D Technical Review, Vol.14, No.2, p.115-122
- (2) 藤井大地ほか：ボクセル有限要素法を用いた構造物の位相最適化，Transactions of JSCEs, Paper No.20000010
- (3) 中西康彦：ホモロジー群による位相制約下における構造最適化，日本機械学会論文集(A編)69巻687号，p.86-92(2003)
- (4) 金祐永ほか：三次元構造物の自動最適化のための生長変形法の開発，Transactions of JSCEs, Paper No.20020019
- (5) 弓削康平ほか：耐衝突部材の3次元トポロジー最適設計，日本機械学会論文集(A編)69巻687号，p.93-100(2003)
- (6) 西脇真二：離散化要素に基づいた構造最適化，豊田中央研究所 R&D レビュー Vol.37, No.1, p.17-24(2002)
- (7) 早川要：シミュレーション技術の現状と今後，デンソーテクニカルレビュー Vol.5, No.1, p.9-15(2000)
- (8) 吉村允考ほか：遺伝的アルゴリズムを用いた車両骨格構造の断面形状初期設計法，日本機械学会論文集(C編)70巻689号，p.235-242(2004)

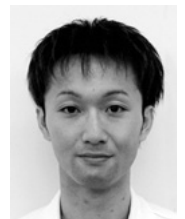
■ 著 者 ■



緒方友治



鈴木 覚



飯島康友