

大型高性能LMW用フロントフォークの開発

牧野 公昭

1 はじめに

4輪の自動車や2輪のモーターサイクル同様、3輪の車両も過去から様々なものが提案・実現されてきた。近年では、2013年にヤマハ発動機株式会社（以下YMC）様がリーニングマルチホイール（以下LMW）という車両システムを発表し、大きな注目を集めている。このLMWは3輪あるいはそれ以上の車輪を持ち、2輪車と同じように車輪を含めてリーンさせる（傾ける）事でバランスをとりコーナーを曲がる事を特徴としている。その結果、2輪車の使い勝手の良さとしながら、2輪車より高い安定性を持つ車両となる。LMWを採用した車両として、2014年にTRICITY 125、2016年にTRICITY 155（写真1）を発売。スクータータイプのシティコミュータとして、高く評価されている。

今回YMC様が開発した新型LMWのNIKEN（写真2）は、TRICITYと異なりスポーツタイプの大型高性能車両である。エンジン出力、タイヤのグリップといった性能が極めて高く、走行速度域がスクータータイプの車両を大きく上回る。前の2輪を支えるフロントフォークも、TRICITYや従来の2輪車

と大きく異なる仕様となっている。KYBモーターサイクルサスペンション株式会社（以下KMS）はNIKENのフロントフォークの開発を担当した。本報はその開発について、ポイントとなったいくつかの内容について紹介する。



写真2 NIKEN

※「LMW」、「TRICITY」および「NIKEN」は、ヤマハ発動機株式会社の商標です。



写真1 TRICITY 155

2 新規性と課題

今回の開発品フロントフォークは、特に骨格となる部分に多くの新規要素がある。以下に主なものを挙げる。

- ① 2本の脚がタイヤの片側から支える片持ち（後脚をダンパASSY、前脚をガイドASSYと呼ぶ）
 - ② アップブラケット無しの全長が短い倒立構造
 - ③ 大径のステアリングシャフト
 - ④ アウタチューブ2本を連結するブラケット追加
 - ⑤ 2本の脚が1個のアクスルブラケットで結合
- その骨格に対し、ダンパASSYの内部には、既存の高性能倒立フロントフォーク用オイルダンパカートリッジ／スプリング構造を採用した。内部構造の新規性を抑える事で、骨格部分の開発に専念した。

ガイドASSY側にはオイルダンパやスプリング等はなく、作動油のみが入ったシンプルな構造となっている。

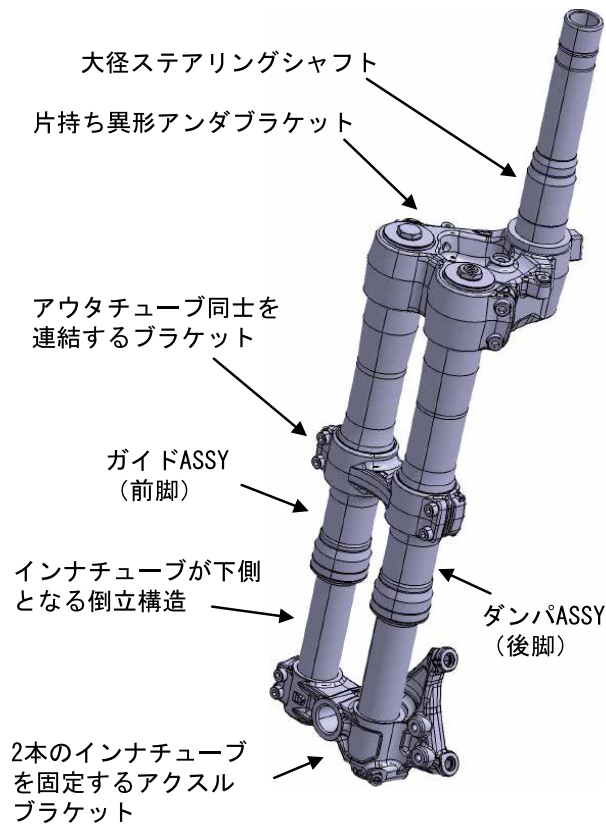


図1 概要

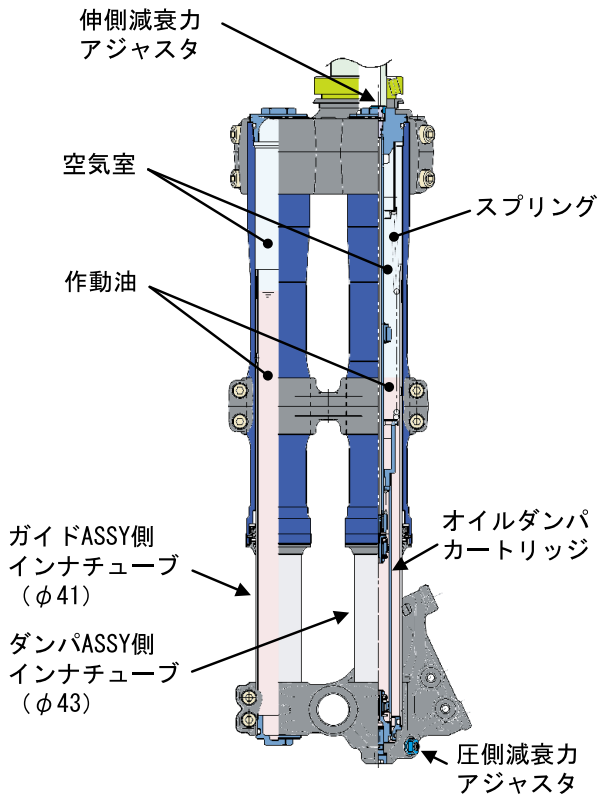


図2 内部構造

最終仕様について概要を図1、内部構造を図2に示す。

このフロントフォークを実現するために、強度・耐久性、性能、量産性、設備投資を含むコストなど、多くの課題があった。中でも「量産性と設備投資抑制の両立」と「強度・耐久性の確保」は、本製品の特殊性から重要であった。

3 量産性と設備投資抑制の両立

3.1 ステアリングシャフト塑性加工

本開発品のステアリングシャフトは、強度上の要件からφ50という前例の無い大径である。一方でステアリングシャフトの上部は、車両側のレイアウト都合上、小径とする必要がある。これはこれまでに量産実績が無い仕様であり、高額な設備投資が予想された。

そこで開発の初期段階で、KMS生産技術とKYB(株)生産技術研究所での塑性加工の解析(図3)を実施し、設備投資無しで加工可能な限界となる形状を求めた。その結果をYMC様の車両設計に反映することで、車両側の要求と量産性を両立させた(写真3)。

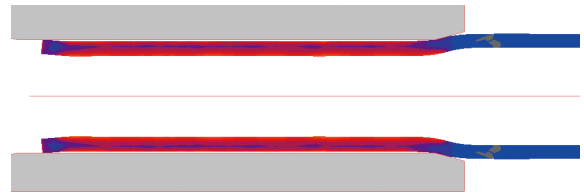


図3 塑性加工の解析例



写真3 塑性加工したステアリングシャフト素材

3.2 ステアリングシャフト圧入設計

大径のステアリングシャフトは塑性加工だけでなく、アンダブラケットへの圧入工程にも量産性への大きな課題があった。

本開発品の圧入部には、圧入荷重に大きな影響を与える以下2点の特徴がある。

- ①大径化に伴い、圧入嵌合部外周が長い
- ②アンダブラケット厚み寸法が大きい
(圧入嵌合部が長くなる)

通常の2輪車向け圧入寸法の相似設計を適用した場合、圧入荷重が過大となり、大型の新規圧入設備が必要となってしまいます。また本開発品の素材は、穴が

アルミ、軸が鉄である。圧入代をむやみに減らして圧入荷重を低減した場合、線膨張係数の違いから、温度上昇時に圧入が緩んで固定できなくなってしまう。

そこで圧入部の設計全体を見直した。まず圧入代については、温度上昇時でも圧入代が確保できる設定を計算で求めた。次に上下の端部のみが圧入嵌合部となる形状とし、強度に影響の無い中央部は隙間を明け、圧入荷重を低減した。その結果、既存設備で圧入可能となった。加えて、上下の圧入径に差をつけることで、圧入ストロークを短くし、圧入時間も短縮した。圧入部を工夫する事で、設備投資を抑えながら、必要な強度と量産性を両立させた(図4)。

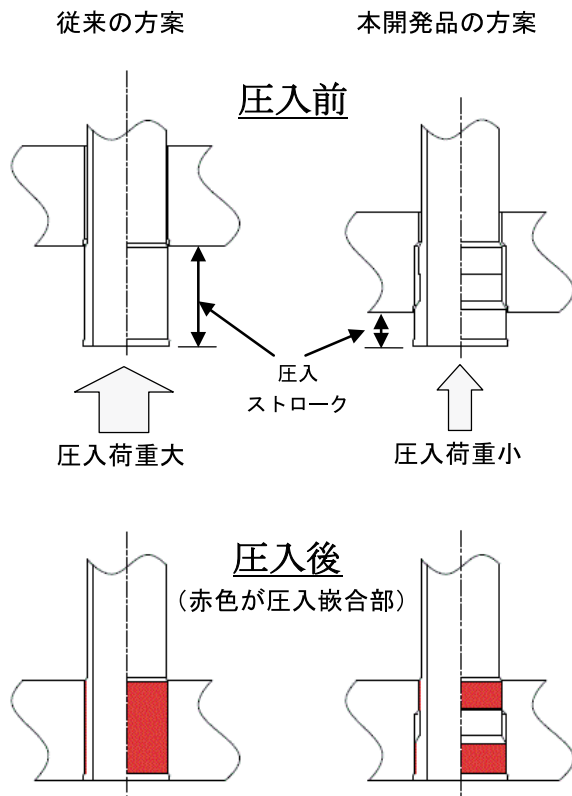


図4 圧入部の変更内容

3.3 組立工程への対応

本開発品の初期の試作品では、ダンパASSYとガイドASSYのインナチューブが両方アクスルブラケットに直接ねじ結合されていた。この構造では最初にアクスルブラケットとインナチューブ2本が一体となり、その上で2本の脚を同時に組立てなければならない(図5)。通常の2輪車用フロントフォークは、2本のダンパASSYを1本ずつ組立した後、それをブラケットに組付けるという組立順序である。よってこの構造のままでは、既存のダンパASSYラインで生産できず、専用組立ラインが必要となる。

そこでアクスルブラケットとガイドASSYの組付け部をクランプ結合とし、分割可能とした(写真4)

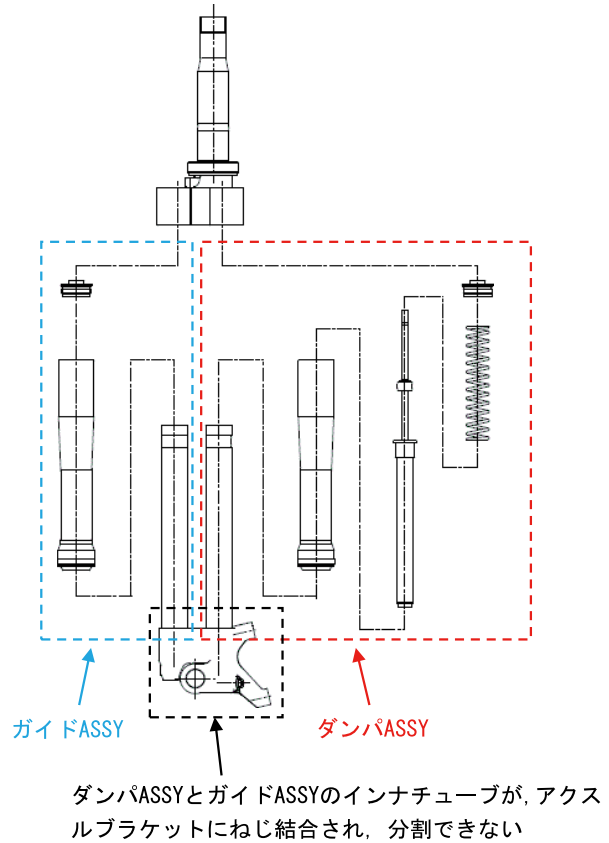


図5 初期試作品の構造

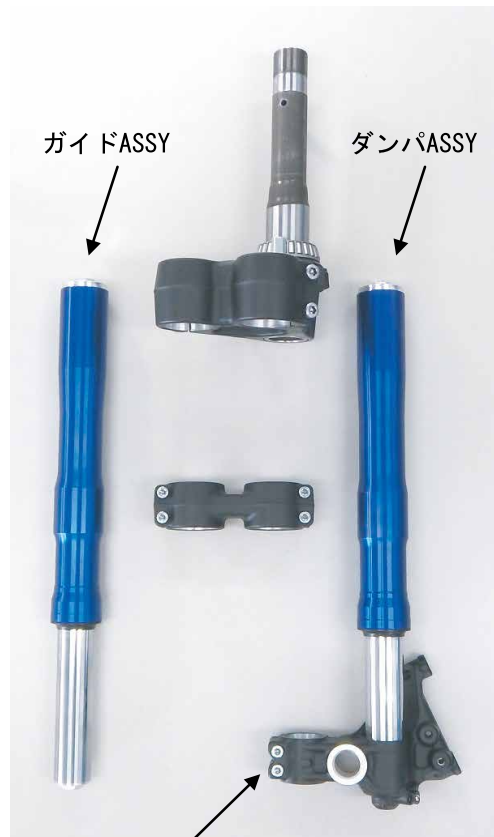


写真4 最終仕様の構造

結果、ダンパASSY及びガイドASSYは、それぞれ通常の2輪車と同じダンパASSYラインで組立可能となった。新規設備はブラケット類とダンパ・ガイドASSYを組み上げる最終工程のみとし、設備投資を抑制した。

3.4 ダンパASSYインナチューブ結合部の設計

ダンパASSYのインナチューブとアクスルブラケット結合部は、アクスルブラケット内側の溝にOリングを入れて密封するのが標準構造である(図6)。しかし本開発品のアクスルブラケットはアンバランス形状でサイズも大きく、従来工法での内側Oリング溝加工ができない。そこでOリングを保持するカラーを挟む事で内径Oリング溝加工を無くし、量産可能な仕様とした(図7)。

このカラーを用いる構造は、薄肉のインナチューブを採用した特殊な機種で量産されている。ただし本開発品は片持ち構造であり、インナチューブとアクスルブラケット結合部に高い負荷がかかる。そこでインナチューブ端面から高い面圧を受けるカラーの材質を、アルミ合金から炭素鋼に変更した。さらにアルミ合金製アクスルブラケットとの座面を大きくして、面圧を低く抑えた。結果、生産上の課題解

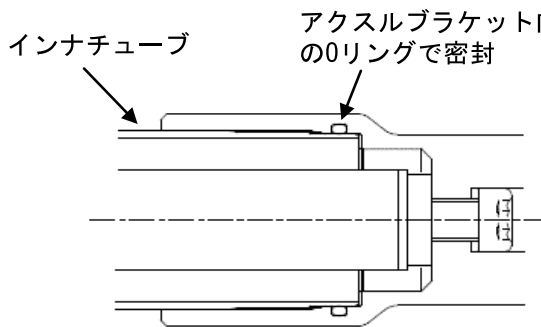


図6 標準構造の締結部

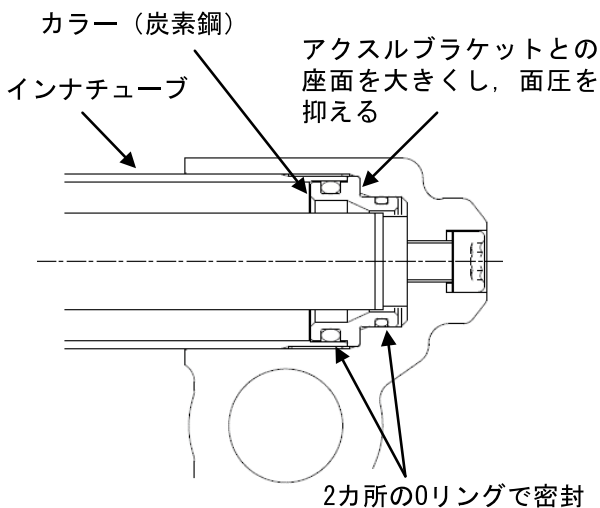


図7 本開発品の締結部

決と同時に、高い負荷にも対応させる事ができた。

4 強度・耐久性

4.1 初期検討

YMC様での強度検討と並行して、KYB(株)CAE推進部にてFEM解析(図8)を行った。開発初期段階での強度検討は、これで目処をつけた。

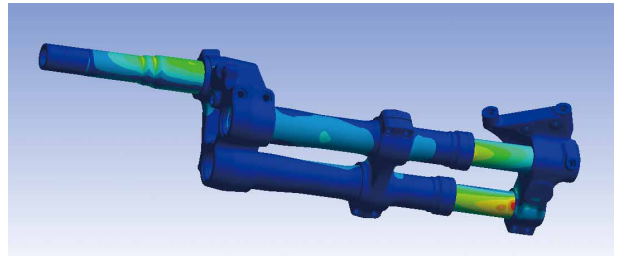


図8 FEM解析(例)

4.2 疲労寿命の確保

単純な強度は解析や強度試験で確認できるが、疲労強度を確認するには十分ではない。そこでYMC様で実施いただいた実車計測から解析した応力頻度と、KMSで測定した各部品のS-N線図を使用し、部品ごとに疲労強度要件を満たしているかを計算で確認した。通常の2輪車での実車計測は、例えばアウトチューブでは前後方向の応力が高いことは明確であり、その方向だけを測定すれば良い。しかし本製品は片持ちであり、解析の荷重付与前後の変形具合(図9)を見ても分かるように、フォークには前後方向だけでなく振じれや曲げの複雑な入力がある。そこで応力を45°刻みの8カ所で全周測定し、応力全体像を把握した(写真5)。

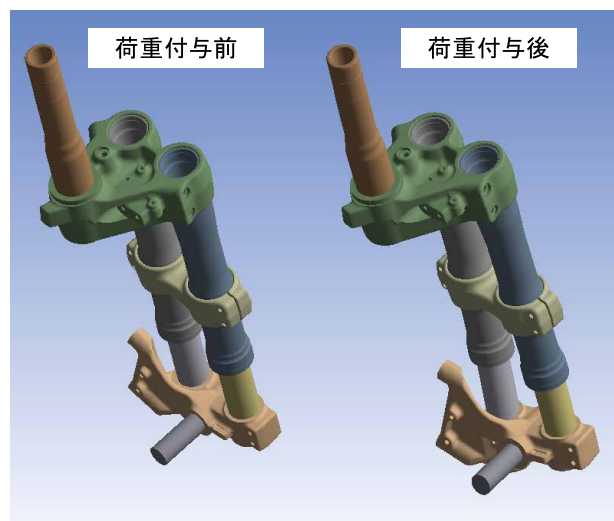


図9 FEM解析, 変形比較
(変形を増幅して表示したもの)



写真5 応力測定用のゲージ（例）

4.3 耐久試験

各部品の疲労寿命を確認した後、フロントフォーク全体での耐久試験を実施した。YMC様での実車計測データを基に、その応力をベンチ上で再現できるテスト条件を新規に設定した。

この新たに設定した耐久試験をクリアすることで、フロントフォーク全体としての疲労強度が必要要件を満たしていることが確認できた。

5 おわりに

今回の開発品は特殊な機種ではあったものの、開発内容自体は基本に則った手法をそのまま適用したものである。しかしここまで新規性要素の多い機種は珍しく、その開発を基本に立ち返って携わることが出来たのは、とても良い経験であった。また基本とはいうものの、フロントフォーク開発に関わるKMSのノウハウと言える内容も多くあり、YMC様が求めるフロントフォークの実現に大きく貢献できたと思う。

最後に、本製品の開発にあたりご指導、ご協力頂いた関係部署、協力会社の皆様に、この場を借りて厚くお礼申し上げます。

著者



牧野 公昭

2006年入社。KYBモーターサイクルサスペンション(株)技術部。2輪車用サスペンションの設計・開発に従事。