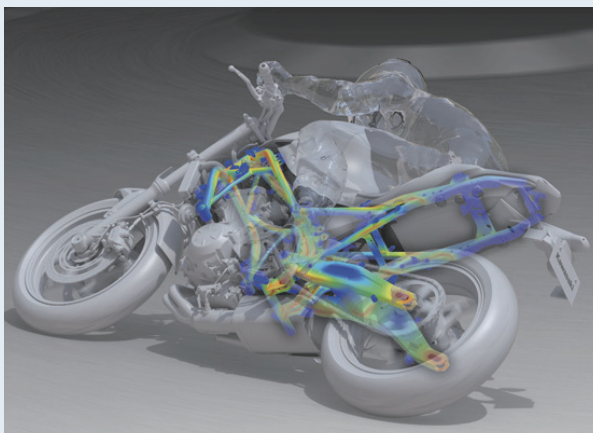


圧倒的な軽量車体の実現

Achievement of an Extremely Lightweight Frame



井高賢士① Kenji Idaka
市川和宏② Kazuhiro Ichikawa
長坂和哉③ Kazuya Nagasaka

モーターサイクルの軽量化は、扱いやすさや運動性能など車両の特徴を決定付ける要素に大きく影響を与える。「Z650」と「Ninja 650」の開発では、新たな軽量車体開発手法に取り組み、剛性・強度・運動性能のバランスを最適化しつつ、大幅な軽量化を実現した。

Motorcycle weight reduction has a great impact on the factors that determine vehicular characteristics, such as ease of handling and maneuverability. During the development of the Z650 and Ninja 650, we worked on new techniques to develop lightweight frames, optimized the balance among stiffness, durability and maneuverability, and achieved significant weight reduction.

まえがき

モーターサイクルの車体開発において、車両の質量は扱いやすさや運動性能に大きく影響を与える重要な要素である。

初心者にとって車両の質量が軽ければ軽いほど引き起こしや取り回しなどにおいて安心感を得ることができる。その一方で、軽量化しすぎると車両の剛性が犠牲となり、走行時の安定性や運動性能（操縦安定性）が低下するため、中上級者にとって満足できる走行性能を達成することが難しくなる。また、信頼性に関わる車体そのものの強度の低下にもつながる。

1 背景

軽量車体の開発においては、剛性・強度・運動性能の3つの要素のバランスが最も重要な課題であり、車両の特徴を決定づけるものとなる。

車体構成部品の中でも軽量化に最も寄与度の高いメインフレームおよびスイングアームの開発では、特に、設計→静的剛性試験→走行試験→評価→設計のように実機を伴ったサイクルでつくりこみを行っており、改良による組換え作業や実走行テストなど、モーターサイクルの開発工数の大半をこの課題への取り組みに費やしている。

2 軽量車体の開発方針

当社独自の車体剛性評価方法を開発して車体開発に適用することで、軽量化と剛性・強度・運動性能のバランスを同時に実現した量産車の効率的な開発を目指すこととした。

3 従来の開発フローと課題

従来の車体開発においては、フレームの静的剛性を基にした設計と、走行試験によるライダーのフィードバックによるつくりこみが行われてきた。しかし、静的剛性はフレームを治具に固定した静荷重試験から算出しており、実走時の荷重条件や拘束条件との相違が生じていた。このように走行フィーリングを静的変位のみで説明することが難しい場合もあり、必ずしも大幅な軽量化を実現できていなかった。

4 新たな軽量車体開発手法

(1) 新しい車体剛性評価方法

走行中の車体の変形を、図1に示すようにモーターサイクルの運動理論に基づいた数値シミュレーションで再現して、その変位量により車体の剛性を評価することとした。

走行中の車両は、前輪もしくは後輪のタイヤ力と車体の

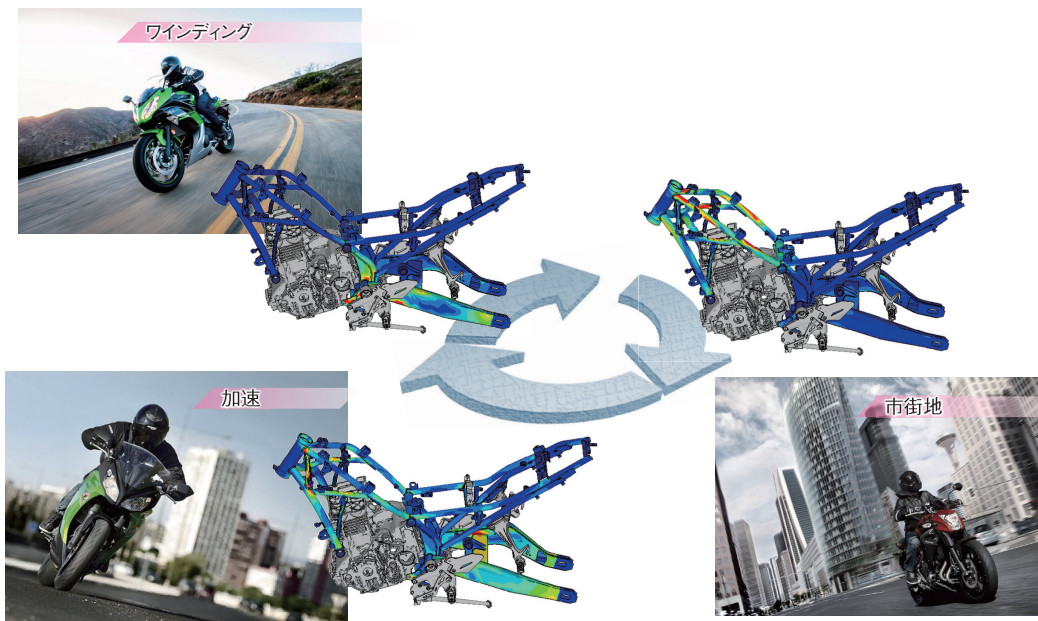


図1 走行中の車体変形の数値化
Fig.1 Quantification of frame deformation during vehicle running

慣性力が常に釣り合っている¹⁾。そこで、タイヤ接地点に荷重を加えて、車体の慣性力が釣り合う状況を数値シミュレーションで忠実に再現した。

なお、詳細なレイアウトのない開発初期段階においても効率的なシミュレーションを可能とするため、フレーム・スイングアーム・エンジンの3点のみの簡易モデルを採用する。エンジンは車体の変形にほとんど寄与しないが、車体の慣性力の大部分を生み出すため、モデル化が不可欠と考えた。その他の部材は剛体で置き換え、車体の変形への影響を除外する。

また、モーターサイクルの部品の中で最も剛性の高いエンジンとタイヤとの相対変形量より、車体の剛性を算出する。

(2) 剛性評価対象の走行シチュエーション

車体の剛性の影響が顕著に表れる、次の3つの走行シチュエーションを剛性評価の対象とする。

(i) 制動

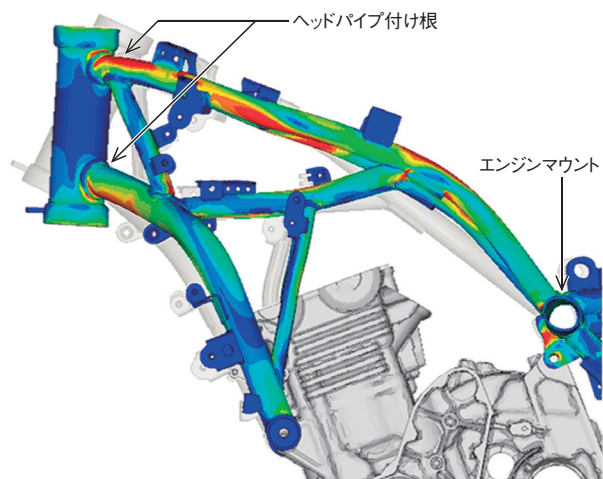
図2に示すように前輪タイヤの制動力と車体の慣性力が釣り合いながら走行する状況であり、制動力によるモーメントでヘッドパイプが曲げられる。ヘッドパイプ付け根および前方エンジンマウントに高い応力が発生する。

(ii) 旋回

図3に示すように前後輪タイヤの横力と車体の遠心力が釣り合いながら走行する状況であり、ヘッドパイプおよびスイングアームが横方向にねじられる。ヘッドパイプ付け根およびスイングアーム左右連結部に高い応力が発生する。



(a) 力の釣り合い

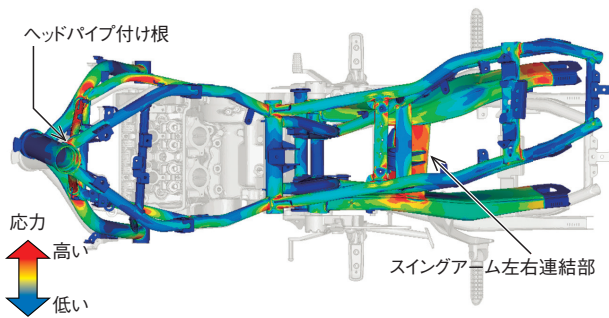


(b) 解析結果(側面)

図2 制動中の車体変形
Fig.2 Frame deformation with brake applied



(a) 力の釣り合い

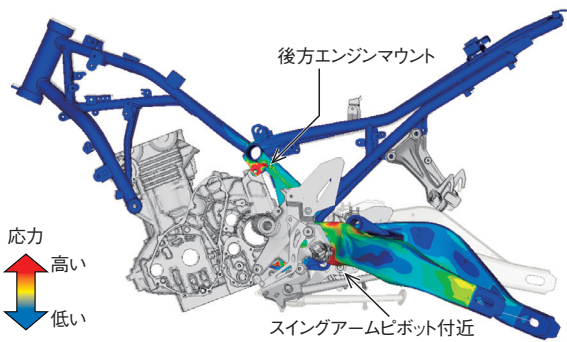


(b) 解析結果(上面)

図3 旋回中の車体変形
Fig. 3 Frame deformation during steady turning



(a) 力の釣り合い



(b) 解析結果(側面)

図4 加速中の車体変形
Fig. 4 Frame deformation during acceleration

(iii) 加速

図4に示すように後輪タイヤの駆動力と車体の慣性力が釣り合いながら走行する状況であり、チェーン張力によりスイングアームが曲げられる。スイングアームのピボット付近および後方エンジンマウントに高い応力が発生する。

5 適用結果

世界戦略車²⁾として広く展開している中型モデルである図5に示す「Z650」と「Ninja 650」は、初心者から中上級者に「Fun to Ride」・「Ease of Riding」を提供する機種である。

新たな軽量車体開発手法を用いてこれらの機種のメインフレームとスイングアームをつくりこむことで、大幅な開発工数の削減を実現するとともに、高い次元でバランスされた従来モデルの運動性能はそのままに大幅な軽量化を達成した。

(i) 軽量化

適切なフレーム形状および最適なパイプ径や板厚を数値シミュレーションで導出した。そして図6に示すようなメインフレームとスイングアームにすることで、合計10kg以上の軽量化を実現した。モデルチェンジ前の車体である「ER-6n」との質量比較を表1に示す。



(a) 「Z650」



(b) 「Ninja 650」

図5 軽量車体開発手法の適用車両

Fig. 5 Models developed with new frame weight reduction technique

† 前モデルER-6n/6fに対し、WMTC（世界統一・二輪専用）モード燃費7%向上。排ガスレベルはCO 63%, THC 56%, NOx 50%低減。

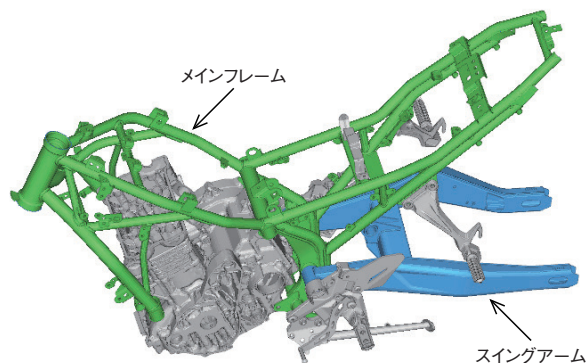


図6 軽量化対象部材
Fig. 6 Components subjected to weight reduction

表1 従来機種との質量比較
Table 1 Weight comparison with existing model

項目	「Ninja 650」	「ER-6n」
フレーム [kg]	17.9	28.1
メインフレーム [kg]	12.9	20.5
スイングアーム [kg]	5.0	7.6

(ii) 剛性

車体剛性の指標値を図7に示す。圧倒的な軽量フレームである「Z650」と「Ninja 650」は、前機種の「ER-6n」と「Ninja 650」と同等の剛性を確保している。

(iii) ライダー評価

ライダー評価においても、軽量化による運動性能の低下に関するコメントはなく、各走行シチュエーションで適切な剛性になっていることを確認した。

本手法により、大幅な軽量化と剛性・強度・運動性能の両立を達成できている。

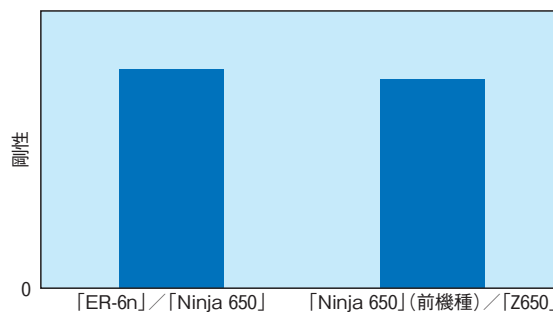


図7 剛性評価 (旋回中)
Fig. 7 Stiffness evaluation (during steady turning)

あとがき

新たな軽量車体開発手法により、「Z650」と「Ninja 650」で従来機種に比べて19kgの軽量化が図れた。開発した手法は、その後の新機種である「Ninja 250」と「Ninja 400」にも適用しており、今後はすべての機種に展開していく。

参考文献

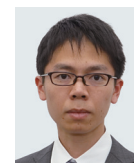
- 1) Y. Nakamura, K. Ichikawa, T. Kawasaki, Y. Okabe, H. Ishii, A. Yamazaki: "Development of Technology for Measuring Dynamic Deformation of Motorcycle Bodies", 19th Small Engine Technology Conference (2013)
- 2) 田中: "クラスを超越する世界戦略車「Ninja 250 / 300」", 川崎重工技報, No.174, pp.14-17 (2014)



井高 賢士



市川 和宏



長坂 和哉