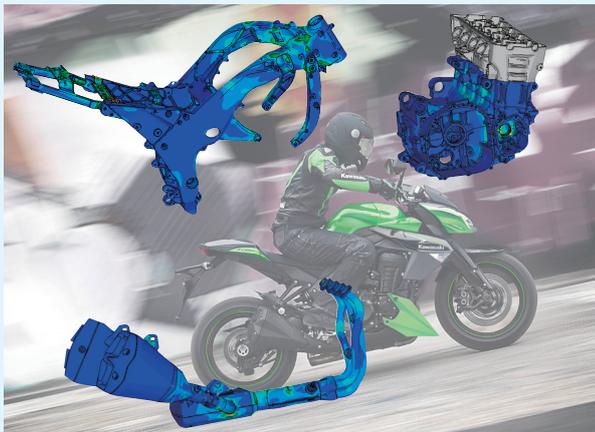


開発のフロントローディングを実現する高度シミュレーション技術 Advanced Simulation Technology that Enables Front-loading of Development



川崎 卓巳① Takumi Kawasaki
西尾 研二② Kenji Nishio
道上 雅史③ Masashi Michiue
井原 栄治④ Eiji Ihara
山崎 明行⑤ Akiyuki Yamasaki

魅力的なモーターサイクルを効率良く開発するためには、設計自由度が高い開発プロセスの上流段階で、品質と性能の徹底的な作り込みが非常に重要である。そこで、このような「開発のフロントローディング」を可能とする高度な数値シミュレーション技術と実証技術の開発に取り組んでいる。

本稿では、特に耐久性の検討として、仮想耐久シミュレーション、車体軽量化、耐久試験用ロードシミュレータを取り上げ、その適用事例について述べる。

In order to develop attractive motorcycles with greater efficiency, it is extremely important to achieve high quality and performance upstream in the development process when there is greater freedom for design study. To enable such front-loading of the development process, Kawasaki has been developing advanced numerical simulation technology and validation technology.

This paper will focus on aspects that concern durability, and examine how such technologies are actually applied in virtual simulation, body weight reduction and road simulator testing.

まえがき

魅力的なモーターサイクルを開発するには、品質を確保しつつ、高い性能と商品性を達成することが重要である。これを効率的に進めるためには、図1に示すように、設計自由度が高い開発プロセス上流で品質・性能の作り込みを行い、後半の開発では、試作車を用いることでしかできないフィーリングなどの作り込みに注力できるようにする。このような「開発のフロントローディング」により、期間短縮と低コスト化を目指す。

開発プロセス上流の実車がない状態で図2に示すさまざまな検討をより正確に評価するためには、これまで以上に高精度な数値シミュレーション技術および評価技術が必要である。また、それらの技術の構築には、現象を理論的に解明するための高度な実験・計測技術も必要である。

本稿では、特に耐久性の検討事例として、モーターサイクルの重要部品であるエンジンのクランクケース、マフラー、フレーム、および耐久試験用ロードシミュレータについて述べる。

1 仮想耐久シミュレーション

(1) エンジン (クランクケース)

高回転・高出力化と軽量化の両立は、モーターサイクルのエンジンにとって特に重要である。これらの両立を達成するためには、設計の初期段階でエンジンの耐久性を精度高く評価する必要があり、当社では、高精度な仮想耐久シ

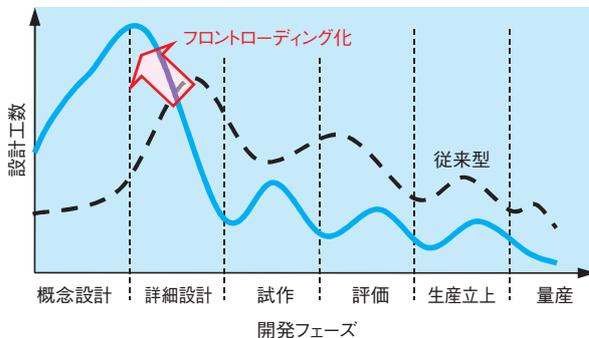


図1 開発のフロントローディングによる設計工数削減
Fig. 1 Front-loading of development for design workload reduction

ミュレーション技術を開発している¹⁾。

エンジンの実稼動状態では、ピストン・クランク機構が往復・回転運動しており、クランクケースにエンジン燃焼により発生する力や慣性力が繰り返して作用する。これらの力の大きさと方向は時間とともに変化するため、クランクケースは時々刻々変化する複雑な応力状態となる。

このようなことからクランクケースの数値シミュレーションは、動解析が望ましい。しかし、計算負荷や結果容量が大きいと、設計効率の観点から、動解析の適用は現実的でない。そこで、図3に示すモデルを用いた機構解析結果から、エンジンにとって強度的に厳しい複数の荷重条件を選定し、その結果から耐久性の評価を行うこととした。

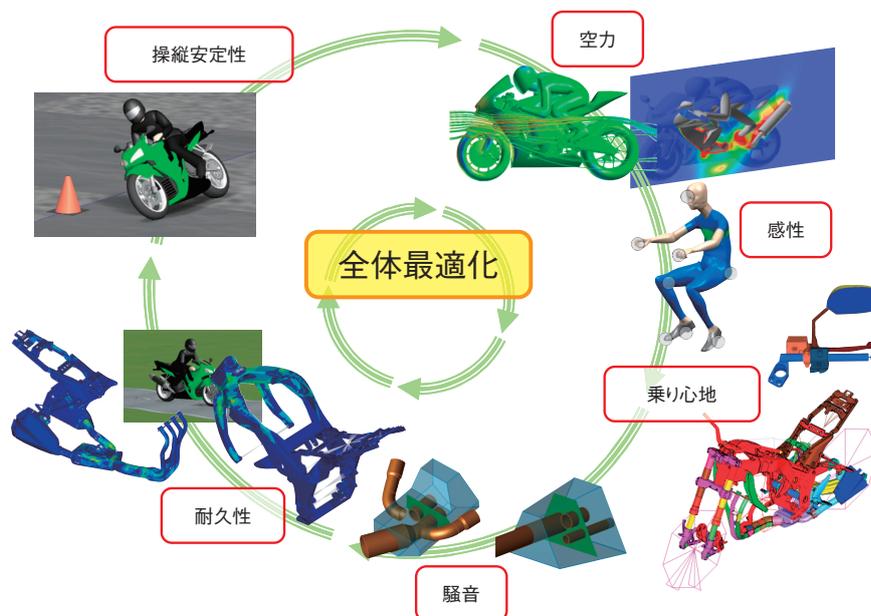


図2 相互連携による全体最適化
Fig. 2 Total optimization through mutual cooperation

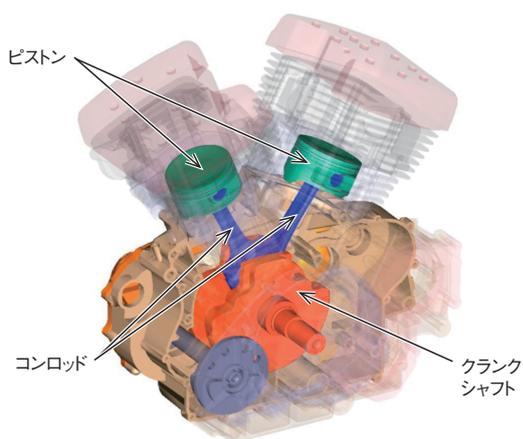


図3 エンジンの機構解析モデル
Fig. 3 Dynamic simulation model for engine

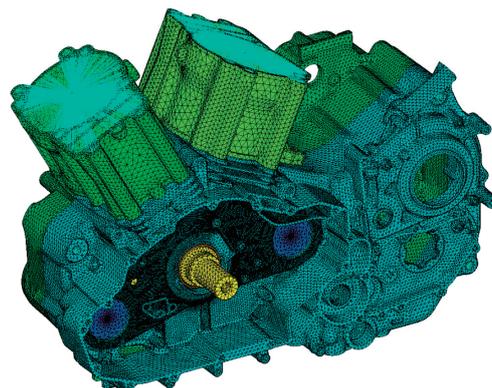


図4 エンジンの静解析モデル
Fig. 4 Static analysis model for engine

これらの荷重条件を図4に示すモデルに与え、得られた個々の解析結果から疲労損傷度を求めた（耐久性評価）、評価結果例を図5に示す。

この技術を用いることで仮想的にエンジン耐久試験を行うことが可能となり、作り込みに向けた多くの設計検討が可能となった。

(2) マフラ

マフラの耐久性を精度良く予測するためには、加振源となるエンジン振動の精度良い推定、評価対象であるマフラの適切なモデル化（振動特性）、溶接部の適切な耐久性評価法が必要である。

- ① エンジン振動は機構解析を用いて算出する。モーターサイクルにおけるエンジン振動は広い帯域にわたるので、周波数領域で評価を行う。

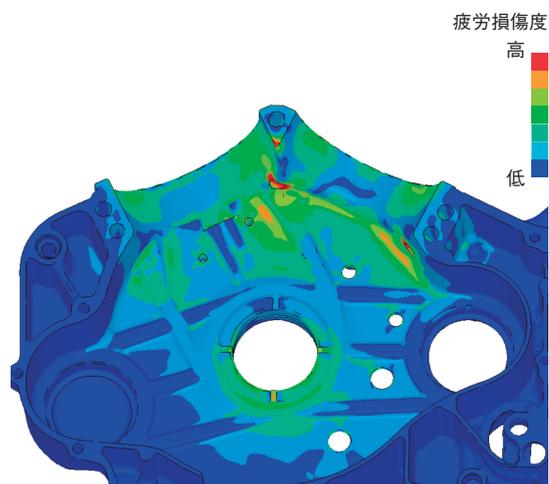


図5 右クランクケース内側の疲労損傷度分布
Fig. 5 Distribution of fatigue damage inside the right crankcase

- ② マフラの振動特性の推定に関しては、エンジンとの接続部のガスケットやフレームへの取り付け部のゴムブッシュを含めた図6に示すような振動解析モデルを用いることで解析精度を高めている。また図7に示すマフラ振動試験で振動解析の精度を検証している。
- ③ 溶接部の耐久性評価では、溶接の継手形式に依存しない統一した評価が行えるホットスポット応力による評価方法を適用している。ホットスポット応力は、溶接ビードによる局所的な応力集中を含まず、構造的な

応力集中によるものとして定義される。この方法は、船舶や鉄道車両で用いられるような厚板部材を主な適用対象として開発されたものであるが、マフラのような薄板部材に対しても適用できる手法を開発した。なお、エンジンから伝わる熱の影響も考慮している。

これらの方法を用いた耐久性評価技術を実機マフラに適用した結果（溶接部の疲労損傷度）を図8に示す。

このように、実際の耐久試験を仮想的に実施することが可能となり、効率的な設計検討ができるようになった。

2 車体軽量化

フレームでは、適切な剛性と強度を保持しつつ軽量化が要求される。そこで、フレームの剛性・強度の要件を満足させ、効率的な形状および部材配置を検討するための最適化技術を開発した。

フレームの最適化解析モデルを図9に示す。メインフレームの部材を配置できる範囲を設計空間とし、エンジンやリアフレーム、スイングアームなどについてもモデル化している。最適化解析から得られた形状と、その後のフレーム最適化プロセスを図10に示す。最適化解析から得られた

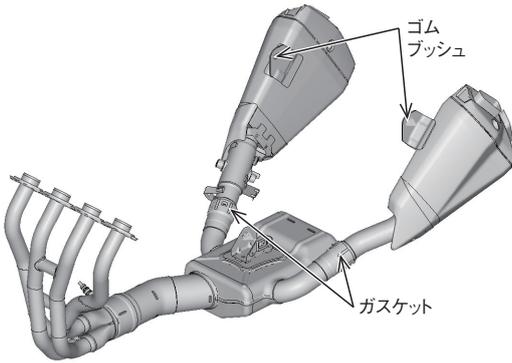


図6 マフラの振動解析モデル
Fig. 6 Vibration analysis model for exhaust system



図7 マフラ振動試験
Fig. 7 Vibration test for exhaust system

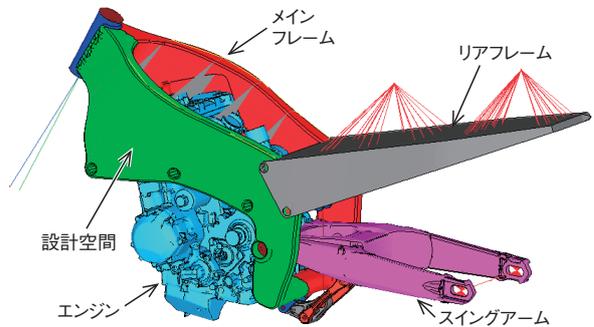


図9 フレームの最適化解析モデル
Fig. 9 Optimization analysis model for frame

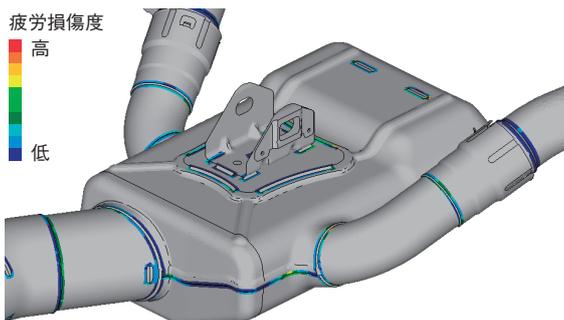


図8 マフラ溶接部の疲労損傷度分布
Fig. 8 Distribution of fatigue damage in exhaust system welds

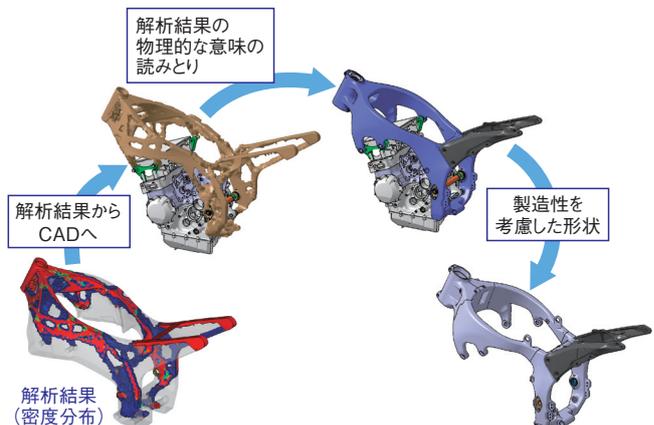


図10 フレーム最適化のプロセス
Fig.10 Frame optimization process

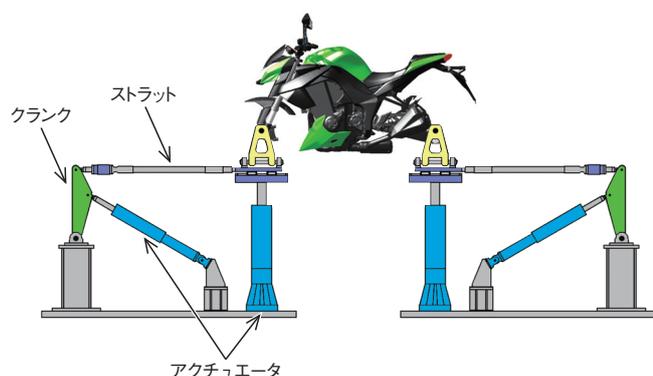


図11 ロードシミュレータの装置構成
Fig.11 Equipment composition of road simulator



図12 ロードシミュレータによる耐久試験
Fig.12 Durability test using road simulator

形状を参考にフレームのリブ配置などを決定する。これにより、フレームに求められる剛性・強度と軽量化を満足した効率的な設計が可能になる。

3 耐久試験用ロードシミュレータの開発

仮想耐久シミュレーションの活用により、数値シミュレーション技術が主流になりつつあるが、試作車を用いた実使用条件下での実証試験は必要不可欠である。

そこで、製品が目標とする耐久性が満足できていることを合理的かつ効率的に実証するために、実際の耐久試験用のコースの走行状態（車体負荷）を再現できる台上加振システム（ロードシミュレータ）の活用を進めている。

モーターサイクルの各開発工程において、試作車での耐久実証試験を実施しているが、試験期間が長いばかりでなく、天候に左右されたり、昼夜連続試験が困難であったり、ライダーに対する負荷も高い。さらに開発の最終工程であるため、そこで不具合が生じると目標開発期間を守ることが難しくなる。

このため、実走行耐久試験を補完する、より簡便で期間の短い試験手法を確立し、耐久実証の効率化を図ることが不可欠である。そこで、実走行耐久試験の条件を精度よく再現できる台上試験手法として、図11、図12に示すモーターサイクル用ロードシミュレータを開発した。

ロードシミュレータでは、複数本のアクチュエータをコントロールして、実際の耐久試験のコースを走った時に受ける車体のダメージを忠実に再現することができる。

あとがき

モーターサイクルにおける開発のフロントローディング技術とその適用例として耐久性評価に関する事例を紹介した。

今後もフロントローディング技術の高精度化に取り組み、開発の効率化に貢献するとともに、商品価値の作り込みに向けた技術開発にも取り組んでいく。

参考文献

- 1) K. Nishio, T. Kawasaki, F. Inamura, G. Matsubara, D. Kano, A. Yamasaki: "Prediction of Fatigue Failure in Multiaxial Stress States for Motorcycle Engines", Small Engine Technology Conference, SAE, 2010-32-0031 (2010)



川崎 卓巳



西尾 研二



道上 雅史



井原 栄治



山崎 明行