

オフロード四輪車の開発効率化を実現するシミュレーション技術 Simulation Technologies for Efficient Development of Off-road 4x4 Vehicles



加藤 秀幸① Hideyuki Kato
 久村 隆② Takashi Hisamura
 原田 崇広③ Takahiro Harada
 野崎 琢磨④ Takuma Nozaki
 長坂 和哉⑤ Kazuya Nagasaka
 大邊 優⑥ Yu Obe
 宮本 大樹⑦ Daiki Miyamoto

カワサキモーターズでは2030年ビジョンにおいて、オフロード四輪事業を中核とした売上高1兆円の目標を掲げている。

目標達成のためには魅力的なNewモデルを断続的に市場へ投入することが必要であり、タイヤ荷重推定技術・バーチャル強度解析・バーチャル走行試験などシミュレーション技術を活用して効率的に機種開発を進めている。

In our Vision 2030 statement, we at Kawasaki Motors set a sales target of one trillion yen, primarily through our off-road four-wheel drive vehicles.

To achieve this target, we need to periodically launch new, attractive models on the market. We are utilizing simulation technologies, including measurement technology of the tyre force, virtual durability testing, and virtual test driving, to streamline the development process.

まえがき

北米においてオフロード四輪車（Side×Side）は、農業・林業・狩猟・レクリエーションなど、さまざまな用途で使用されており、図1に示す通りその市場は近年急激に拡大している。そのため、多くのメーカーが参入して市場競争も激しくなっており、競合他社との差別化や新たな市場セグメントの開拓が求められている。

1 背景

カワサキモーターズでは2030年ビジョンとして、2030年度に売上高1兆円達成の目標を掲げており、オフロード四

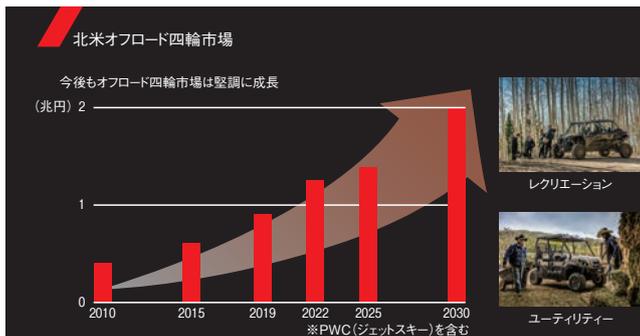


図1 北米オフロード四輪市場¹⁾
 Fig. 1 North America Off-Road Four-Wheelers Market

輪事業をその中核に据えている。ビジョン達成に向けてオフロード四輪事業の飛躍的な成長が求められている。

2 方針

オフロード四輪事業成長のためには、他社に先駆けて魅力的な製品を開発して、早期に市場投入することが重要である。そこで当社では、設計自由度の高い初期計画段階で性能や品質の作りこみを行うことで試作車製作以降の検証フェーズの手戻りを減らし、全体の開発工数の削減および開発期間の短縮（開発のフロントローディング）に取り組んでいる。

3 課題

耐久評価でのフロントローディング取組みのイメージを図2に示す。検証フェーズにおける実車評価での耐久性確認を設計フェーズの詳細設計でのバーチャルシミュレーションで実施することで、検証フェーズの手戻りが減少して全体の工数削減が実現できる。

フロントローディングによる工数削減イメージを図3に示す。初期設計段階の検証が増えることで概念設計・詳細設計の設計フェーズの工数は増加するが、試作・評価以降の検証フェーズのトラブルが減少することで、開発全体の工数削減が期待できる。

このようなフロントローディングを実現する手法の確立が現時点の課題となっている。

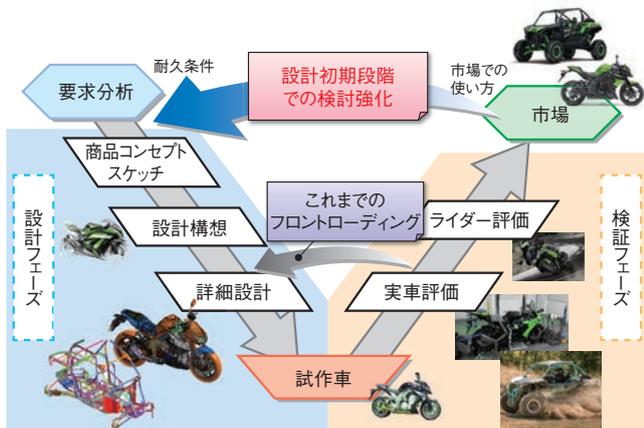


図2 耐久評価でのフロントローディングの取組み
Fig. 2 Front-loading of durability evaluations

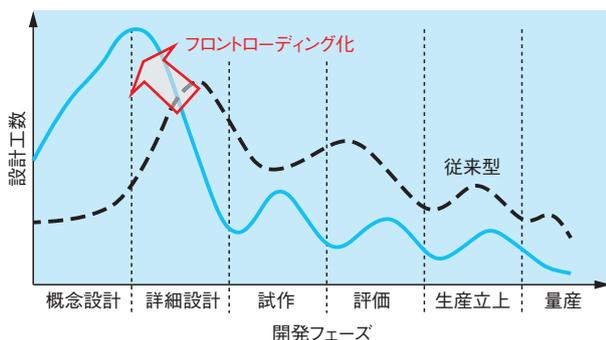


図3 フロントローディングによる工数削減
Fig. 3 Reduction in man-hours achieved by front-loading

4 取組事例

フロントローディング実現に向けた課題に対する現状の取組事例を示す。

(1) タイヤ荷重推定技術

走行中はタイヤを経由して外力が車体に加わるため、タイヤ荷重により車体の耐久走行試験条件が設定される。タイヤ荷重の推定を初期段階で見誤ると、試作車の耐久性確認段階で車体強度の不足などによりフレーム改修などの手戻りが生じる。そのため、車体強度評価を行うにあたり、高精度なタイヤ荷重推定が必要不可欠となってくる。

モーターサイクルでは平坦なオンロード走行が主体のため、タイヤ荷重推定は比較的容易であるが、オフロード四輪車は不整地凹凸路での高速走行・ロックセクションの乗り越え・ジャンプ着地など走行条件が多岐にわたり、オンロード以上にタイヤ荷重推定が困難であった。そこで、オフロード環境における四輪タイヤ荷重推定技術を構築した。

タイヤ荷重推定手法を図4に示す。車両に搭載した姿勢角センサなどの情報から、タイヤ荷重を推定するロジックを構築している。

タイヤ荷重推定イメージを図5に示す。凹凸路通過、ジャンプ着地などの悪路環境走行においても、四輪の各成分(前後・左右・上下)のタイヤ荷重を推定できる手法を構築している。

(2) バーチャル強度解析

オフロード環境走行中のタイヤ荷重を推定した後、そのタイヤ荷重を用いて車体のバーチャル強度解析をおこなうことで、実車評価時のトラブル予防が期待できる。

タイヤ荷重取得後の車体フレーム応力計算から寿命推定までの一連の流れを説明する。応力解析イメージを図6に示す。タイヤ荷重が入力された際のタイヤ荷重と車体慣性



図4 タイヤ荷重推定手法²⁾
Fig. 4 Measurement method of the tyre force

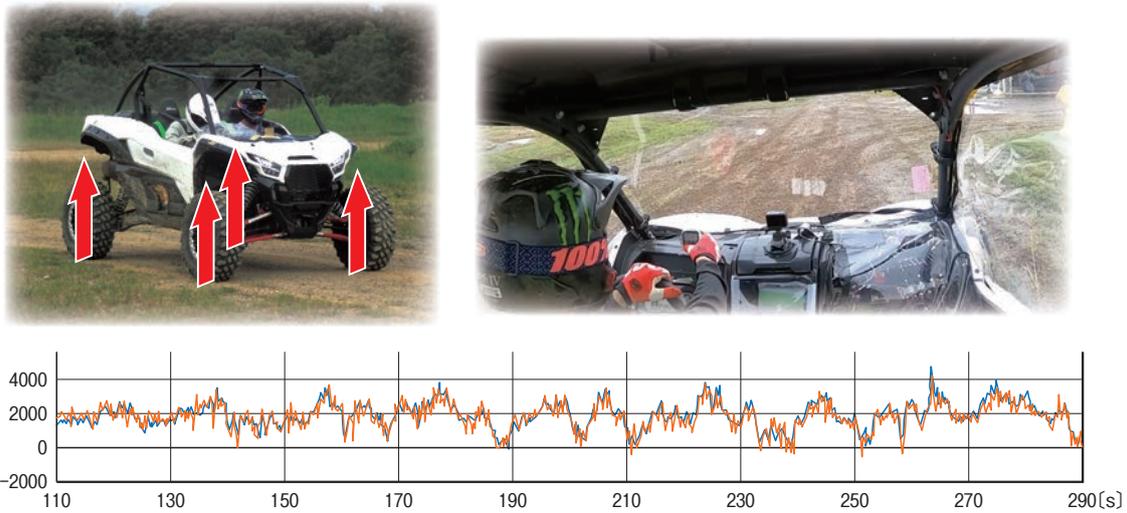


図5 タイヤ荷重推定のイメージ図
Fig.5 Measurement of the tyre force in action



図6 応力解析イメージ図
Fig.6 Image of stress analysis

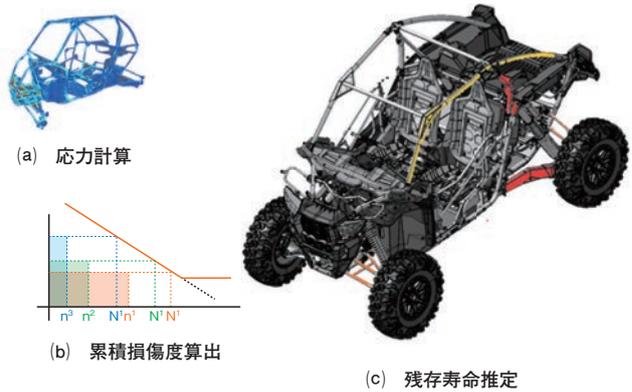


図7 フレーム損傷度算出イメージ図
Fig.7 Image of frame damage calculation

の釣り合いを解くことで、フレーム応力の算出をおこなうことができる。タイヤ荷重は悪路走行した際の時刻歴データであるため、フレーム応力も時刻歴データとして求めている。フレーム応力時刻歴導出後は、各パーツに対して累積損傷度算出をおこなっており、図7に示すように最終的に各パーツの残存寿命推定を行うことができる。

(3) バーチャル走行試験

図2の検証フェーズでは、実車を用いたドライバーの感性評価により車体の作りこみをおこなっている。ドライバーによる評価対象は、振動・乗り心地、操縦安定性、シートポジション、スイッチ操作性など多岐にわたる。ドライバー評価でNGが生じた場合、車体改修に多くの工数と期間を要する。そこで、実車によるドライバー評価をバーチャル走行試験へ置き換えることにより、フロントローディングに取り組んでいる。

バーチャル走行試験の概要を図8に示す。シミュレーション上で四輪車の車両モデルを構築し、新機種の車両挙動をバーチャル上で再現できる環境となっている。ドライバーは、6軸モーションテーブル上に設置した操作端末で新機種のバーチャル走行が可能な状態となっている。操作端末では、アクセル・ブレーキ・ステアリング操作が可能であり、6軸モーションのフィードバックにより、ロール・ピッチ・加減速などの車両運動をドライバーが体感可能となっている。既存車両と新機種の乗り比べをバーチャル上で実現可能であり、新機種の操縦フィーリングの味付けなどに活用している。

バーチャル走行試験での感性評価結果を図9に示す。ロール運動に関して評価の高い車体の作りこみを行う際、どのような車体諸元が望ましいかを検討するためバーチャル走行試験の利用が期待できる。



(a) 感性評価シミュレータ



(b) 走行シミュレーションイメージ図

図8 バーチャル走行試験^{3,4)}
Fig.8 Virtual test driving

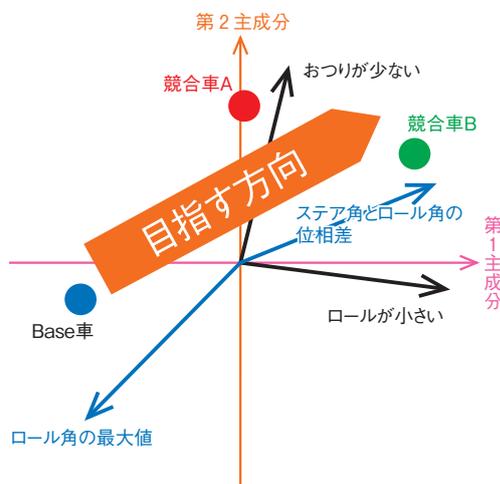


図9 感性評価手法イメージ図
Fig.9 Example of sensory evaluation method application

あ と が き

カワサキモーターズ2030年ビジョンの達成に向け、オフロード四輪車の開発効率化を実現するシミュレーション技術とその取組事例を紹介した。

現状では各事例のシミュレーションによる推定精度の向上に取り組んでいる最中である。

今後は、これらの取り組みを取り入れた上で開発プロセス全体の改善を図ることで、2030年時点で1機種当たりの開発工数・期間を大幅に低減させることを目標に活動を進めていく。

参 考 文 献

- 1) 2023年度グループビジョン2030進捗報告資料
https://www.khi.co.jp/ir/library/other_presen_231212.html
- 2) H. Tokunaga, K. Ichikawa, T. Kawasaki, A. Yamasaki, T. Ichige, T. Ishimori, Y. Sansho, Development of the Compact and Light Wheel Forces and Moments Sensor for Motorcycles, SAE Technical Paper, 2016, 32-0053
- 3) K. Nagasaka, K. Ichikawa, A. Yamasaki, H. Ishii, Development of a Riding Simulator for Motorcycles, SAE Technical Paper, 2018, 32-0031
- 4) T. Terada, K. Ichikawa, H. Tokunaga, S. Hagio, Y. Utsumi (2020). Development of Techniques to Control Steering Feeling for Motorcycle. Symposium on the Dynamics and Control of Single Track Vehicles.



加藤 秀幸



久村 隆



原田 崇広



野崎 琢磨



長坂 和哉



大邊 優



宮本 大樹