

レース最強モトクロスサー「KX450」の開発

Development of the Most Powerful Racing Motocrosser, KX450



厚味亮輔① Ryosuke Atsumi
松下充② Mitsuru Matsushita

当社では、レースで勝つことに対して一切の妥協を許さず、世界最速を目指したモトクロスサーの開発を続けている。

今回フルモデルチェンジした「KX450」では、フィンガーフォロワーロッカーアームの採用によりエンジン性能を向上させるとともに、車体の剛性バランス変更により車体性能を向上させた。

With an uncompromising attitude toward winning races, we have been continuously engaged in development with the aim of creating the fastest motocrosser in the world.

KX450, which has undergone a full model change, provides improved engine performance with finger-follower rocker arms and improved chassis performance with modified chassis stiffness balance.

まえがき

モトクロスは土や砂からなる未舗装の周回コース（モトクロスレーストラック）で速さを競うモータースポーツであり、モトクロスサーが横一線から一斉にスタートして第1コーナーに飛び込んでいくシーンは大迫力である。また、コースには直線やコーナーだけでなく大きなジャンプや連続したコブなどもあり、それらをいかに攻略していくかが勝敗を分けるカギになる。

モトクロスサーは、長い間2ストローク（2st）エンジンが主流であったが、2000年前半に4ストローク（4st）エンジン搭載モデルが発売された。その扱いやすいトルク特性から、熟練者のみならず初心者にも支持を受け、2stからの乗り換えだけにとどまらず、モトクロスサー全体の市場拡大にまでつながった。

1 背景

当社ではその業界動向に対応すべく、2005年にフラッグシップである「KX」のエンジンを2st250cm³から4st450cm³に変更した後、エンジンの出力向上に努めてきた。また、他社に負けない製品をつくり続ける必要があり、絶えず技術開発を続けている。

2 開発コンセプト

「レース最強モトクロスサー」を開発コンセプトとした。レースで年間タイトルを獲得するためには、マシンの戦闘力向上に加えて、安定してポイントを獲得するための装備も重要である。

戦闘力向上についてはエンジンの出力向上と車体の操縦安定性およびコーナリング性能向上を、安定したポイントの獲得についてはクラッチレバーの操作負担軽減と始動性の向上を、それぞれ図ることとした。

3 エンジンの出力向上

モトクロスサーの発売以来、各社ともにエンジンの出力向上を続けており、今も年々上がり続けている。また、単にピーク出力が向上すれば良いというものではなく、ライダーが扱いやすいトルク特性も併せ持つエンジンが必要である。レースにおいて横一線からのスタートでライバルに競り勝ち、第1コーナーにトップで進入（ホールショット）するためにはエンジン高回転域の伸びが重要となる。また、コーナー直後のジャンプを飛ぶためには、低回転からのレスポンスが重要となる。

今回のモデルチェンジでは、タペット式直打バルブ機構に代えて図1に示すフィンガーフォロワーロッカーアーム



図1 フィンガーフォロワーロッカーアーム
Fig. 1 Finger-follower rocker arm

機構を採用することで、大幅なエンジン性能の向上を果たした。

フィンガーロッカーアーム機構の最大の恩恵は、動弁系の往復部質量を抑制できることである。これは揺動運動するロッカーアームは、従来の往復運動するタペットと比較して、往復部質量が圧倒的に少ないためである。質量を抑制したことで、以下の性能向上が図れた。

①吸気・排気バルブ径の拡大

吸気バルブ径をφ36からφ40へ、排気バルブ径をφ31からφ33へ、それぞれ拡大することで、高回転時の吸入効率を向上させて高出力化した。

②バルブオーバーラップの減少

最大リフトおよび加速度が高いカムプロフィールを採用し、吸気と排気ともに作動角を狭くして、図2に示すオーバーラップを76°から68°へ減少させることで、低速域の掃気効率を向上させて低速域性能向上を図った。

③エンジンの最高回転数の引き上げ

質量の抑制により、最高回転数を11,500min⁻¹から11,700min⁻¹へ200min⁻¹引き上げると、最高回転数までエンジンを回してシフトアップした後のエンジン回転数もより高くなるため、加速のつながりが良くなり

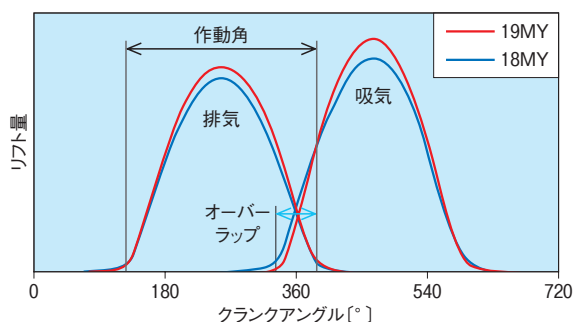


図2 カムプロフィール
Fig. 2 Cam profile

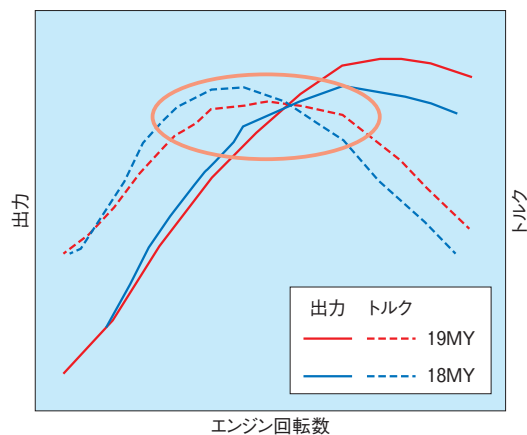


図3 エンジンパフォーマンスカーブ
Fig. 3 Engine performance curve

スタート時もコース走行時も大きなアドバンテージとなる。

最終的なエンジン性能は、吸気・排気部品とのマッチングを行い、図3に示すようにフラットトルクでパワーバンドが広くライダーに扱いやすいトルク特性を持たせることができた。

4 車体の操縦安定性およびコーナリング性能の向上

モトクロスレーストラックのようなラフロード（凹凸のある不整地路面）において、安定した加減速やコーナリングを行うためには、車体の剛性が高ければ良いというものではない。剛性が高すぎると路面の凹凸からの衝撃をダイレクトに受けて車体が弾かれ、逆に剛性が低すぎると車体が大きく変形してしまい、どちらの場合も車体の挙動が不安定になる要因となる。車体の挙動を安定させるためには、適度に車体がしななってサスペンションとともに衝撃を吸収することが極めて重要である。

そこで、メインフレームやスイングアームなどの車体構成部品について強度・剛性解析を実施し、構成部材に鍛造材・鋳造材・押出成形材を適切に組み合わせることでバランスのとれた剛性を実現した。

(1) メインフレーム

衝撃吸収性の向上および前後トラクションの向上を目的に、車体の骨格であるメインフレームの剛性バランスを変更した。剛性解析結果の一例を図4に示す。

このような剛性解析を繰り返しながら、製法・形状・材質を変更して、図5に示すように力を吸収する部位と剛性を上げる部位にメリハリをつけ、衝撃吸収性と前後トラクションの両方を向上させた。

(2) スイングアーム

リヤトラクションの向上を目的に、後輪とメインフレー

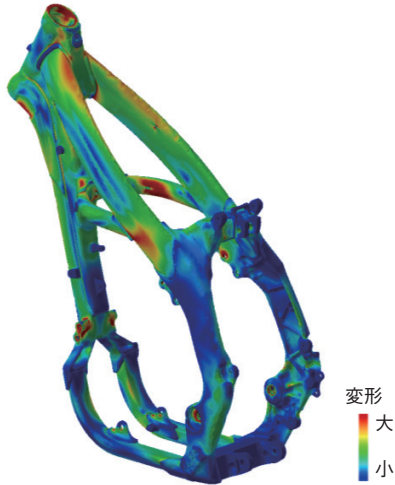


図4 メインフレームの剛性解析結果
Fig. 4 Stiffness analysis results for main frame

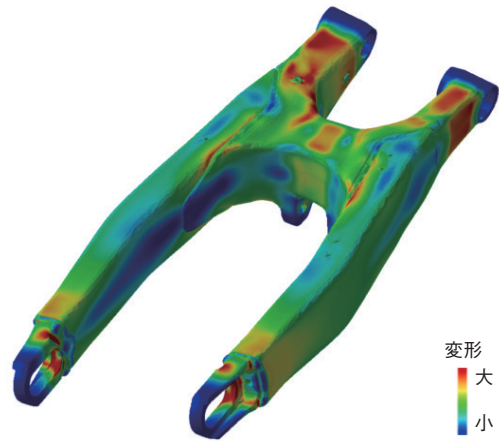


図6 スイングアームの剛性解析結果
Fig. 6 Stiffness analysis results for swing arm

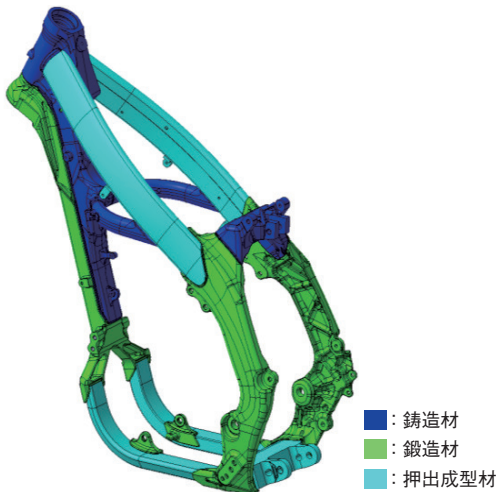


図5 メインフレームの構成部材の製法
Fig. 5 Manufacturing methods for main frame components

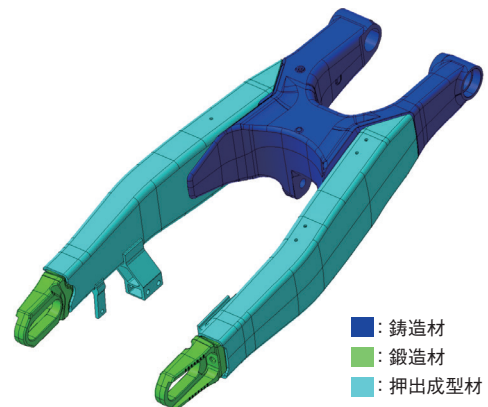


図7 スイングアームの構成部材の製法
Fig. 7 Manufacturing methods for swing arm components

ムをつなぐスイングアームの剛性バランスを変更した。剛性解析結果の一例を図6に示す。

このような剛性解析を繰り返しながら、製法・形状・材質を変更して、図7に示すようにパイプの最大拡管部の高さを上げることで縦剛性を増加させた。同時にねじり剛性が増加したため、車軸を支持するアクスルブラケットの剛性を下げることで、ねじり剛性の増加量を抑えてコーナリング性能を維持した。これらにより、直進時と旋回時の両方でリヤトラクションを向上させた。

メインフレームやスイングアーム以外に、リヤフレーム・エンジンマウント・フロントフォーク・トリプルクランプ・アクスル・アクスルシャフトなどの剛性変更も行うことで、加減速・コーナリング時の安定性を高め、車体取り回し時の軽快感も両立した車体を開発した。

5 クラッチレバーの操作負担軽減

モトクロスでは、発進時やギアチェンジ時だけではなく走行時にマシンコントロールのためにクラッチを操作するなど、路面コンディションによってクラッチを多用する場面がある。特にサンド質(砂)路面や泥濘(水気の多い泥)路面のレースでは頻繁にクラッチを操作する。頻繁なクラッチ操作はクラッチ本体の温度上昇を招き、軸方向に膨張することによりプッシュロッドの押す位置が変わって、レバー遊びが変化する。軽量でメンテナンス性の良さにより採用されてきた従来のケーブル構造クラッチでは、そのような場合に対応するために遊びの変化を調整する機構をレバーの手元に設けてある。しかし、レース中にレバー遊びを調整することはライダーにとって負担は小さくない。

一方、油圧クラッチはオイルを介してプッシュロッドを押す構造であり、レバー操作に伴ってオイルの量が自動調

整されるため、プッシュロッドの押す位置が変化しても自動的に追従する。つまりライダーはレース中にレバー遊びを調整する必要がなくなることになり、これが油圧クラッチ採用における最大のメリットである。しかし、油圧クラッチは、その特性上ケーブル式と比較すると、クラッチのつながり幅が少なくなる。これはレースのスタート時においてクラッチミートのコントロールを難しくし、安定した素早いスタートが出来ないことを意味する。そこで、クラッチ本体にジャダースプリングを採用することで、クラッチのつながり幅を確保した。

「KX」初採用となる油圧クラッチは、つながり幅を確保しながらレバー遊びの調整を不要とすることで、ライダーに扱いやすい装備とした。

6 始動性の向上

モトクロスレースでは、スキルの高いトップライダーでも転倒を100%回避することはできない。横一線のスタート直後に他者との接触による転倒もよく見られ、単独走行中であっても1周ごとに変わりゆく路面コンディションでは時に転倒が発生する。転倒時に一番重要なことは、最短時間でレースに復帰することである。転倒してエンジン停止となったマシンを起こし、エンジンを再始動させてレースに復帰する状況においては、軽量ではあるが始動に時間がかかるキックスタータよりもボタンを押すだけで始動するエレクトリックスタータの方が大きなアドバンテージを得ることができる。

本機種では、当社製モーターサイクル初となるリチウムイオンバッテリーの採用と主電源回路の工夫により、質量増を最小限に留めつつ安全性と優れた始動性を確保した。

(i) リチウムイオンバッテリー

コンパクトで軽量なりチウムイオンバッテリーは、携帯電話などの電化製品を筆頭に、世の中に普及が始まっている。しかし、モーターサイクルでの採用例はまだ少なく、当社としては初採用となるため、慎重に仕様選定を行う必要があった。始動能力や機械的な信頼性については従来のモーターサイクル開発と同様の確認を実施し、リチウムイオンバッテリー特有の次の3項目の試験を実施して確認した。

①過充電試験

過充電時、バッテリーに付属の保護回路により過電圧を検知し、回路を遮断して充電を停止させること

②過放電／再充電試験

バッテリーに付属の保護回路により過放電を防止するとともに、その後の再充電も安全に行えること

③外部短絡

バッテリーに付属の保護回路の一部回路を断線させる

ことで、安全にバッテリーを使用不可にできること

(ii) 主電源回路

一般のモーターサイクルと異なり、競技車両である「KX」には従来からメインスイッチ機能が無い。本機種では、ユーザーがスタートボタンを押すことで、メインスイッチをONする代わりにメインリレーによる主電源回路保持を行うシステムを構築した。エンジン停止時は、メインスイッチをOFFする代わりに、電子制御装置ECU (Electronic Control Unit) のセルフシャットダウン制御により一定時間経過後に主電源回路を遮断する。また、このセルフシャットダウン制御は転倒時のECUリセットを瞬時に行えるため、転倒してエンジン停止となった後、マシンを起こしながらエンジンを再始動することもできる。メインスイッチ式の場合はECUリセットを手動で行う必要があるが、今回採用したリレー式は自動で行われるため、より早くレースに復帰できることになる。

あとがき

当社は、「モトクロスレーストラックで無敵」のモーターサイクル開発を目標に掲げて、「KX」の開発を継続してきた。そして、これまでメインクラスで多くのタイトルを獲得して、カワサキブランドのイメージアップに貢献している。AMAスーパークロス史上で2人しかいない4連覇を成し遂げるなど圧倒的なレース勝利数を誇っている(2006年から2018年のスーパークロスにおいて、レース勝利数84回、表彰台148回)。今回投入した技術により勝利数がさらに伸びると確信している。

今後も一切の妥協を許さず積極的に新技術の開発に挑戦し、“モトクロッサーのトレンドは「KX」が創造する”という使命を感じながら、ライバルメーカーに負けないモーターサイクルを開発していく。

参考文献

- 1) 友森・甲斐 他：“最速モトクロッサー「KX450F」”川崎重工技報, No.162, p.16-19 (2006)
- 2) 高須・松下 他：“圧倒的パフォーマンスのモトクロッサー「KX250F」”, 川崎重工技報, No.174, p.26-29 (2014)



厚味 亮輔



松下 充