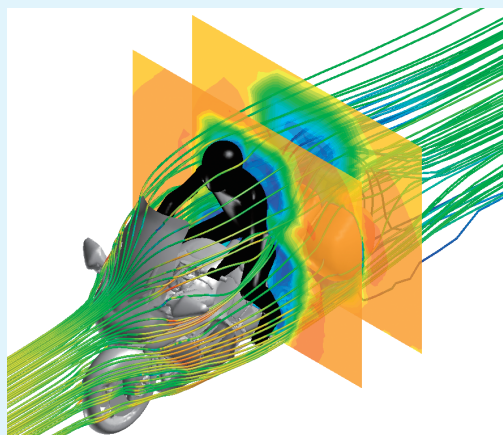


スケッチ段階での空力・冷却性能・快適性の作り込み

Engineering Riding Comfort and Aerodynamic and Cooling Performance in the Sketching Stage



坂川 佳司① Keiji Sakagawa
 井原 栄治② Eiji Ihara
 宇積 陽一③ Yoichi Utsumi
 原口 貴行④ Takayuki Haraguchi
 森川 学⑤ Manabu Morikawa
 堀之内裕規⑥ Yuuki Horinouchi

モーターサイクルの開発においては、性能だけでなくデザインも重要な要素となる。そのため、スケッチ段階でデザインと性能のバランスを最適化させる技術が不可欠である。本稿では、スケッチ段階での車体開発評価手法として、空力・冷却性能・快適性向上への取り組み事例を紹介する。

In the development of a motorcycle, design is as important an element as performance. Therefore, a technology for achieving the optimal balance between design and performance during the sketching stage is vital. This paper will examine development evaluation methods for the chassis during the sketching stage aimed at improving aerodynamic and cooling performance as well as riding comfort.

まえがき

モーターサイクルの車体開発において、商品性の向上のため、走行性能や乗り心地などの性能向上に加えてデザインも開発の重要な要素となる。開発の最上流工程において多数のスケッチが描かれ、その中から商品コンセプトを実現するデザインが決定される。また、加速性能向上や燃費改善には特に高速域での空力抵抗（CD値）低減が必要である¹⁾が、空力抵抗は車体を覆うカウリングの意匠形状によるところが大きい。

長距離走行に利用されるツアラータイプの製品では、風防性の向上、夏場の体感温度低減による快適性向上が、走りの楽しさに寄与する。ライダーの風当たりである風防性の向上ではウィンドシールドの形状、感性的な評価となる体感温度低減ではサイド部の形状がそれぞれ重要となる。また、エンジン性能向上の観点から、いかにうまくエンジンを冷やすか、すなわち放熱器であるラジエータに効率的に風を導く必要がある。このためには、エンジンを覆うカウリングの形状の適正化が必要となる。このようにモーターサイクルでは、車体形状が、空力・風防・体感温度・エンジン冷却といった機能面と密接に関係している。

一方、形状のデザインは開発の最上流工程であるスケッチおよび、スケッチを反映したクレイモデル（クレイモック）段階で決定され、その後の変更はデザインと機能の要請から極めて小規模なものに限られる。そのため、空力・冷却といった性能面の開発もスケッチ段階でシミュレーションにより多くの仕様に対する検討を実施し、あらかじめデザインへ反映し最適化しておく必要がある（図1）。

本稿では、モーターサイクル車体開発におけるスケッチ

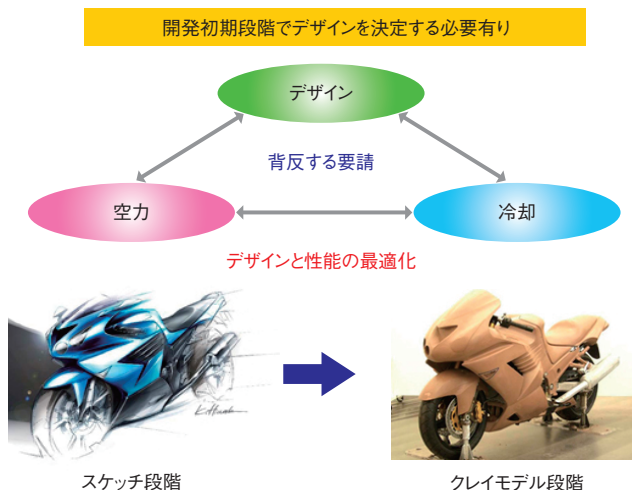


図1 スケッチ段階での最適バランス
 Fig. 1 Optimal balance in the sketching stage

段階での空力、冷却性能向上、快適性向上への取り組み事例と、効率化、迅速化した解析の活用について紹介する。

1 ツアラーモデルの開発への適用

ツアラーモデル「1400GTR」では、長距離のツーリングに対応すべく風防性や、夏場の体感温度低減による快適性などの性能を向上させることで走りの楽しさを高めている。また、1,400cm³という自動車並みの排気量のエンジンを幅の狭いエンジンルームに配置するため、エンジンをいかに効率よく冷やすかも課題となっている。風防性、熱的な快適性、エンジン冷却性は、カウリングのような意匠面

の形状決定と密接に関係するため、開発の最上流工程であるスケッチ、クレイモック段階で全車の数値流体力学(CFD)解析および風洞試験を活用している。

特に、風洞試験は空力性能を向上しながらデザインとの最適化を実施する重要なステージとなるので、デザイン性、空力性能の向上のため、世界でも例の少ない二輪車専用の実車風洞設備を2009年に設置した²⁾。

検討した「1400GTR」の2008年モデルと2010年モデルを図2に示す。印象としてはカウルサイドの形状が変更され、より機能的なデザインとなっている。

(1) エンジン冷却性の向上

開発においては、まずモーターサイクルとしての性能向上に大きく寄与するエンジン冷却性を高めることを目標に取り組んだ。エンジン冷却のためには、効率的にラジエーターに風を導く必要がある。一見、ラジエーターの前側を広げる方法が良いと考えがちであるが、ラジエーターの通過風量を増やすためには、空気の入力であるフロント周りよりも、出口側のスペースを確保することが重要となる。この出口側のスペースは、サイドカウルの形状と密接に関係する。スケッチ段階でデザインを成立させ、かつ冷却性能を向上できる形状の検討のため、エンジンルーム内の全ての

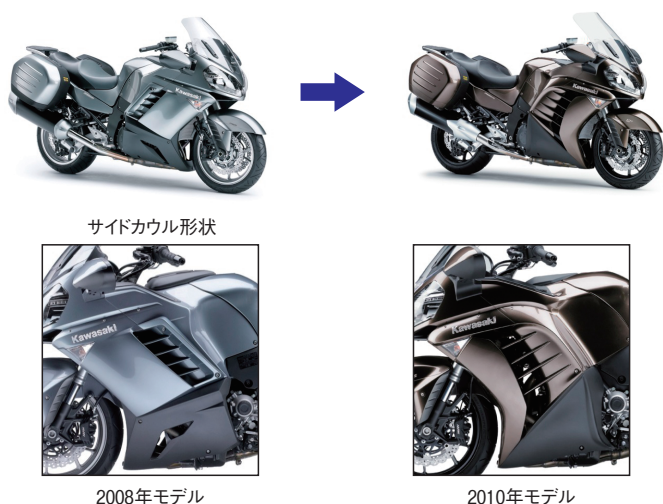


図2 1400GTRのデザイン変更
Fig. 2 Design change of 1400GTR

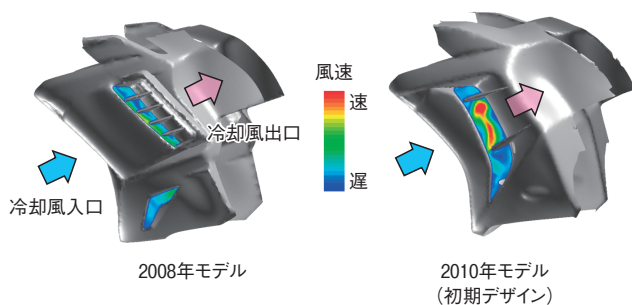


図3 スケッチ段階でのエンジン冷却予測
Fig. 3 Engine cooling prediction during the sketching stage

パーツを含む車体をモデル化した全車CFD解析により冷却性能を予測した。

従来は、デザイン段階のものをまず試作し、実験によって冷却性能を確認するという手法をとっていたが、「1400GTR」の開発では、スケッチ形状を3次元CADで起こした設計モデルから解析した。

開発初期段階に実施したアイドリング時のサイドカウルからの冷却風の流れを図3に示す。2008年モデルでは風速が遅い青い領域が目立つが、2010年モデルでは風速の速い赤い領域が大きくなり、ラジエーターを通過した冷却風を効率的に排出できていることが分かる。2010年モデルの初期デザイン(図3)と量産になったもの(図2)と比べるとリップの本数は2本から4本に増えているが、サイドカウル形状は初期デザインと同じであり、開発の最上流工程でデザインと冷却性能を両立させたカウル形状を実現することができた。

(2) ライダー脚部の温度低減

前項(1)の取り組みにより、エンジン冷却性能向上の目途を得たが、熱の流れが良くなった反面、サイドカウルからの熱風温度が高くなりライダーの脚部に当たる可能性があることが新たな課題となった。そのため、全車CFD解析から脚部の温度低減の検討を実施した。ライダーへの熱風の流れとライダー温度の解析結果を図4に示す。2008年モデルでは熱風が比較的脚部に当たりやすい傾向があったが、カウル形状の工夫で熱風を外側へ飛ばすことでライダー脚部の温度を低減することができた。

(3) ライダーへの圧力の低減

風防性を良くするためにはウインドシールドの工夫が必要となるが、ウインドシールドを大きくすることなく、かつ風防性に優れたデザインが求められる。ヘルメット部の流線の比較を図5(b)に示す。2010年モデルはヘルメットに沿って流線がスムーズに流れて、2008年モデルの圧力の高い領域が低減されている。肩部についても圧力が低くなりライダーの快適性が向上していることが分かる(図5(c))。

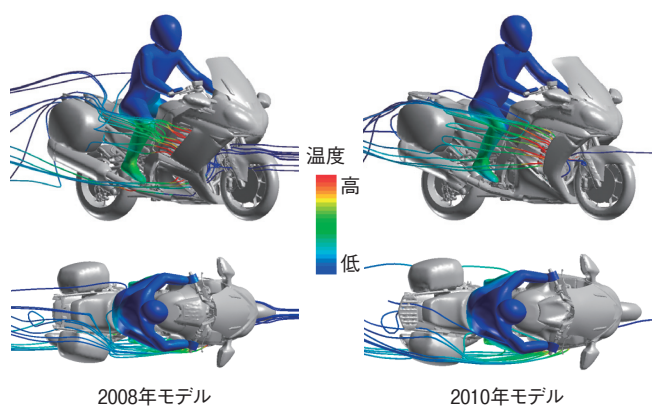


図4 ライダーの熱的快適性評価
Fig. 4 Evaluation of the rider's thermal comfort

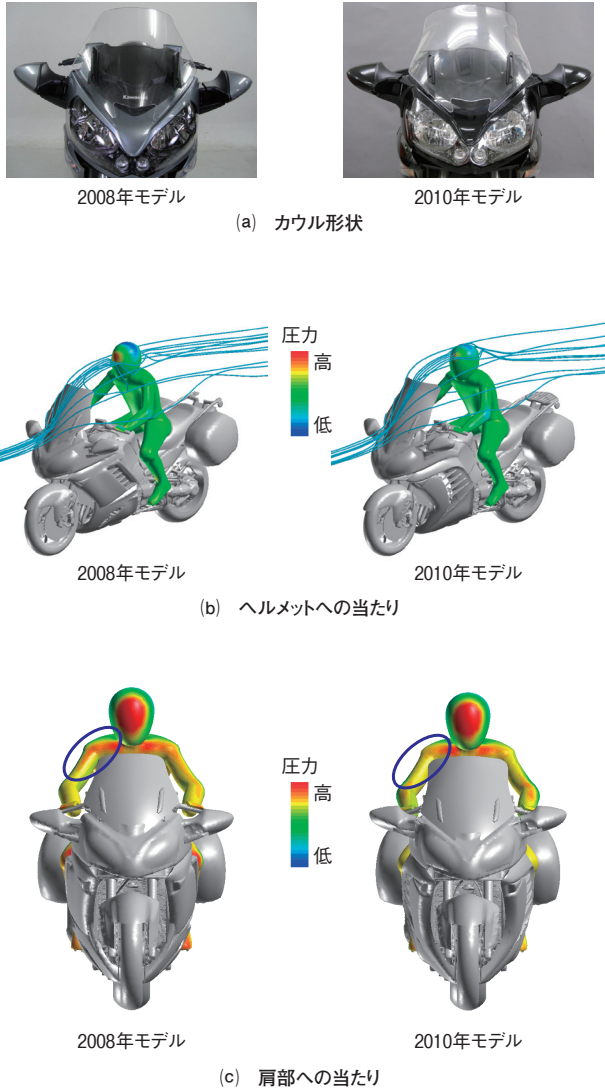


図5 1400GTR風防性評価
Fig. 5 Wind protection evaluation of 1400GTR

2 風洞での空力, 冷却予測手法の高度化

全車CFD解析を実施するにあたり風洞設備にて検証データを取得し, 解析モデルの高度化も実施している. 風洞設備での煙試験と全車CFD解析の流線図の比較を図6に示す. 対象は600cm³のスポーツ「ZX-6R」の2005年および2009年モデルである. 2005年モデルはカウルの上部が比較的大きくグリップ部で風を飛ばす思想である. 2009年モデルは比較的コンパクトなデザインとなっている. 風洞試験ではくし形ノズルからの複数の煙で流れを可視化したところ, グリップ部の風の飛ばし方に両者で違いがあり, CFD解析でも同様に再現できていることが分かる.

エンジン冷却性能評価については, クレイモデル (模型) では直接水温計測はできないが, デザインとの最適化を考慮すると, 風洞試験時に予測, 検証できることが望ましい. そのため, 水温に影響を与えるラジエータの通過風量を, 小型風速計を多点で設置することにより, 天秤による空力六分力と同時に計測し, 空力との最適化ができる技術を開発している.

3 熱風評価予測手法の高度化

夏場の体感温度低減のため, 試作段階でエンジンを実際に回すことができるシャーシ試験にて実走を模擬したライダーの温度計測を実施している. しかし, 熱風は見えないため経路を予測することが難しいので, 試験によるトライ&エラーでの開発になりがちである. 熱風対策には, 全車CFD解析で熱的な快適性を上流工程で評価する必要があり, 風の流れだけでなく温度分布までを精度良く予測することが重要となる. シャーシ試験ではライダー全身の温度を計測するため, 表面を輻射率が1になるように黒色塗装した熱風評価用人形を製作し, 熱電対およびサーモグラフィーにより温度を計測した (図7(a)). サーモグラフィー

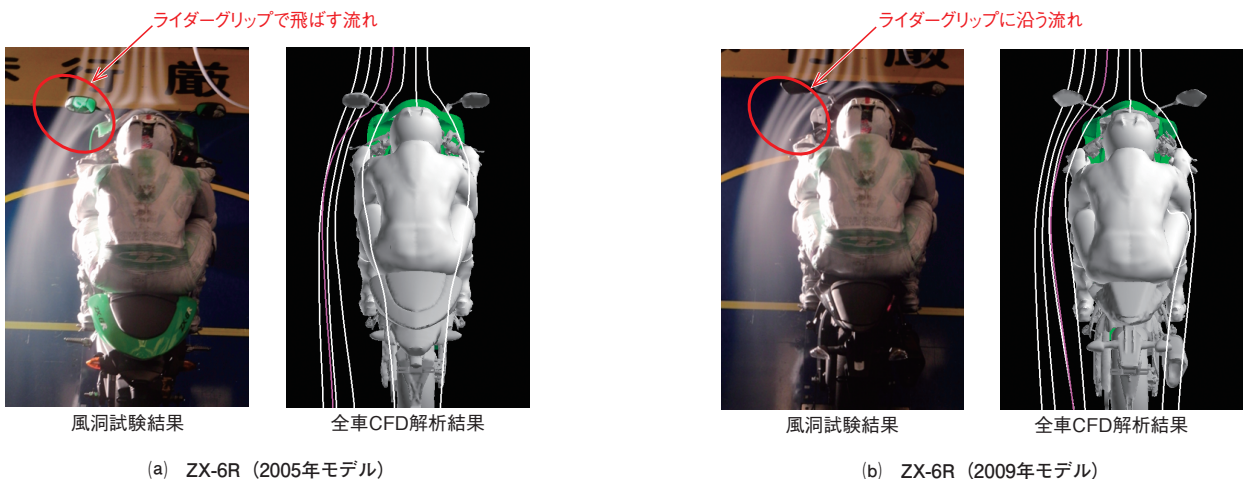
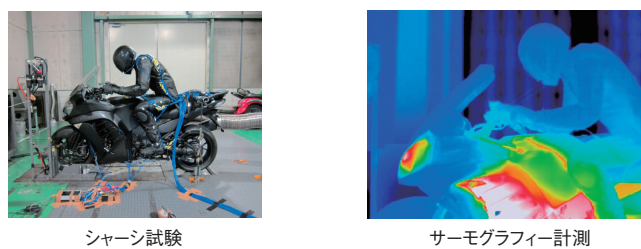
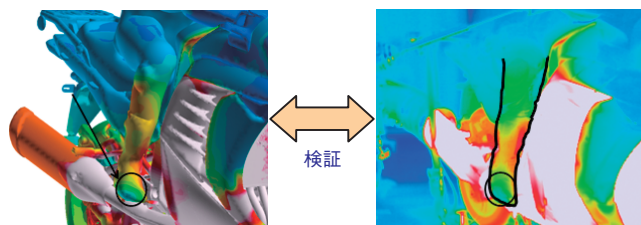


図6 風洞設備での空力検証
Fig. 6 Aerodynamic test in a wind tunnel facility



(a) シャーン試験による温度計測



(b) 計測と解析結果の比較

図7 熱風検証と解析モデルの高度化
Fig. 7 Hot air test and advanced analysis model

によるライダー脚部のシャーン試験での計測と解析結果の比較を図7(b)に示す。脚部の温度分布が再現できている。本解析では、対流による熱伝達だけでなく、排気管などの高温部からの輻射の影響もモデル化することにより、温度に関して比較的精度良く予測できるようになった。

4 スケッチ段階での全車CFD解析の自動化

以上で述べたように、全車CFD解析技術の高度化により、実車設計プロセスにおける空力、冷却・熱風の事前予測が可能となったが、より効率的な設計のために、スケッチ段階での全車CFD解析の自動化を進めている(図8)。自動化にあたっては、オリジナルの3次元モデルに手を加えることなく、CFD解析用のデータに利用できるようにすることがポイントとなる。オリジナルの3次元モデルには、CFD解析には不必要な、各パーツの隙間や重なり、さらに、パーツ内構造などの情報が含まれており、CFD解析のための格子データ作成の障害となる。従来、これらの修正作業を手作業で行っていたが、ラッピング技術などを駆使することで、修正作業を無くし、格子生成を自動化できるようになった。この全車CFD解析の自動化技術により、CFD解析用モデルの生成から解析を大幅に効率化し、短時間で多くのケースを比較検討することで、スケッチ段階で、デザインと、空力・冷却性能の最適化を図ることができるようになった。

あとがき

スケッチ段階で、デザインと空力、冷却性能のバランスを最適化させる技術を開発した。本技術をスケッチ段階で

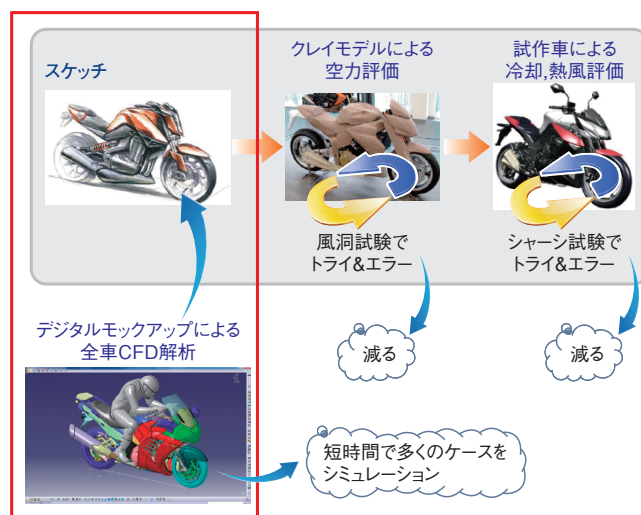


図8 スケッチ段階での全車CFD解析の適用
Fig. 8 Application of total-vehicle CFD analysis in the sketching stage

設計に適用するため、検証による高度化およびシステム化を実施した。モーターサイクルではエンジン冷却のような性能面に加え、快適性も商品性向上のため、今後もさらに重要になっていく。本技術を今後、より多くの新機種開発に適用し、デザインと商品性の高い次元でのバランスがとれた開発を進めるとともに、本技術の一層の高度化を図っていく所存である。

参考文献

- 1) K. Sakagawa, H. Yoshitake, E. Ihara : "Computational Fluid Dynamics for Design of Motorcycles (Numerical Analysis of Coolant Flow and Aerodynamics)", SAE, 2005-32-0033 (2005)
- 2) 山本, 帆刈, 坂川, 白銀 : "風洞試験設備による空力とデザインの最適化", 川崎重工技報, No.174, pp.50-51 (2014)



坂川 佳司



井原 栄治



宇積 陽一



原口 貴行



森川 学



堀之内裕規