



CAE 特集

二輪車の流体力学

Fluid Dynamics of Motorcycles

大滝 尚 Takashi Ootaki

● MC 事業本部 技術開発室

The motorcycles and the other important products we produce are at once a tool to get out into nature and a trusted friend to share the experience with. The high quality we have developed at YMC in order not to betray the strong trust placed in us is a source of pride and an irreplaceable asset for us. The "flow" which can be experienced in the wind or a babbling stream found by taking just one step beyond the everyday is a pleasure which makes one feel surrounded by nature, and helping to provide this experience is a major concept in our products.

This phenomenon of flow is also an important element in the reliability and safety of products and is studied at every step of the developmental process. Thanks to the incredible advances in computer hardware in recent years, low-cost, fast and effective simulation of this flow value is now possible and detailed analysis of the flow aspect is performed from the early stages of development. Here, we will take the example of motorcycle development and present an actual case of the use of simulation in examining engine cooling and high-speed rider wind-protection values.

1 はじめに

モーターサイクルをはじめとする当社の主要な商品群は、大自然に分け入るための道具であると同時に、それを共に体験する心強い友人でもある。人々がよせる全幅の信頼を裏切らない高い品質は、当社の誇りであり、かけがえのない財産である。日常を一步踏み出した先で出会う風や川のせせらぎのような「流れ」は、人々が自然につつまれていることを実感するのに欠くことのできない恵みであり、それらとの出会いは当社製品の重要なコンセプトとなっている。

一方でこのような流れ現象は、製品の信頼性や安全性にかかわる重要な要素でもあり、開発の随所において検討がなされている。近年のコンピュータハードウェアのめざましい性能向上によって、安価で速かつ十分な分解能をもった流れの数値シ



図1 Touching Your Heart

ミュレーションが可能となり、開発の早い段階から流れの問題を詳細に解析できるようになってきた。本稿では、モーターサイクル開発を例にとり、エンジンの冷却と高速走行時の乗員ウィンドプロテクションを数値シミュレーションによって検討した事例を紹介する。

2 エンジン冷却

現在世界中で消費されるエネルギーの4分の3は化石エネルギーである。化石エネルギーには石油や石炭、天然ガスなどがあるが、これらは数億年も前に地球に降り注いだ太陽の光エネルギーが動植物によって吸収され化石となって地中に閉じ込められたもので、エネルギーのタイムカプセルと言える。約500ccのガソリンが持っているエネルギーは、家庭の風呂一杯を沸かすことができる程度の熱量に相当する。エンジンは、石油に閉じ込められた太古のエネルギーを取り出し、動力に変えて車やモーターサイクルを動かしているのである。

ところが、燃料が持っているエネルギーからエンジンが動力として取り出せるのは高々25%程度しかなく、それ以外のエネルギーは排気ガスで排出されたり、熱に形を変えてしまう。エンジンに伝わった熱は、エンジン部品の強度を落とすなど様々な問題を起こすため、適切に冷却してやる必要がある。そのため、エンジン内部には冷却水を通す通路を設けてある。エンジンの熱は、ここを通った冷却水によって車体に取り付けられたラジエタに運ばれ、走行風や電動ファンによってラジエタを通過する空気に排出される。ラジエタで冷やされた冷却水は、再びエンジン内部にポンプで送られる。このように冷却システムは1つのサーキットになっており、どこか一箇所でも機能低下があるとシステム全体の性能低下につながってしまう。

冷却水通路はエンジン冷却システムの最上流にある（図2）。固体から流体への熱伝達は、壁際の流速が速いほど活発である。人が風にあたると涼しいと感じるのは、速い空気の流れが肌から熱をさかんに取り去っているからである。エンジンから冷却水への熱伝達を多くするには冷却水の流量を増やせばよいが、むやみに増やしても壁から離れたところにある冷却水は熱伝達に寄与せず通りすぎるだけなので、ポンプの損失にしかならない。固体を伝わる熱にも経路があり、エンジンの熱が溜まりやすい部分に冷却水を流してやる必要がある。また冷却水通路形状を変更することは、同時に固体の熱伝達経路を変更することでもある。さらにエンジン部品の材料であるアルミニウムに対し水の比重は半分以下であるため、冷却機能としてではなく軽量化の手段として通路が使われることもある。

一方、冷却システムの最下流にあるのがラジエタである。ラジエタの放熱能力はその面積や体積に



図2 エンジン冷却水通路

よって決まるが、それは空気が一定の流速で通過するということが前提になっている。モーターサイクルのラジエタは、通常車体のエンジン前部に取り付けられている（図3）。これは走行風があたりやすいようにと考えられたレイアウトであるが、エンジンがすぐ後ろにあることで逆に空気が通過しにくいという状況になってしまうことがある。通常ラジエタを通過する空気の平均流速は、走行速度の15～20%程度であると言われているが、よく設計されたものは25%を越えている。これはラジエタを小さくできることを意味しており、軽量化や暖気時間の短縮などメリットは多い。

冷却水通路形状とラジエタレイアウトは、開発早期の段階で設計する部分である。この部分を後で変更することは、全体のバランスに影響を及ぼすとともに多額の費用を要するため、この時期に詳細な解析を行うことは価値がある。また数値シミュレーションでは、実測では困難な熱の流れの評価なども行えるため、具体的な数値による品質の裏付けが可能となった。図4に数値シミュレーションによる冷却水通路形状の検討例を示す。エンジンの熱伝導と冷却水による対流熱伝達を計算した。熱負荷が高いエンジン排気側の温度が高くなっていることがわかる。図5はラジエタを通過する空気流れの検討結果である。前輪とフロントサスペンションの影響が現れている。



図3 モーターサイクルのラジエタ



図4 シリンダヘッドの温度分布
(手前が排気側、赤色は温度が高い部分)

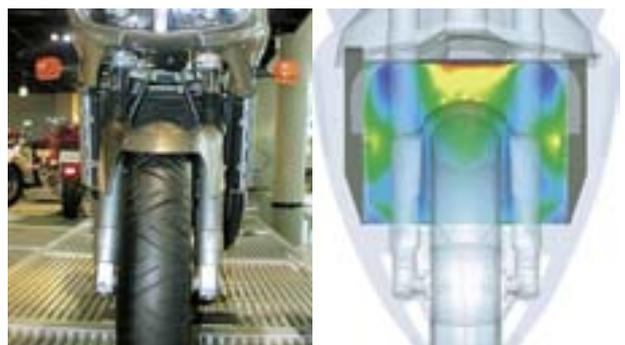


図5 ラジエタ通過風速（赤色は流速が大きい部分）

3 ウィンドプロテクション

地球をとりまく大気圏の厚みは約 50km と 100km とも言われている。しかし、地球の直径が約 6,400km であることを考えると、それは非常に薄い膜のようなものであると言える。空気にも質量があり地球の引力によって地表に押し付けられている。その圧力は地上で1平方メートルあたり 10t にもなり、密度は1立方メートルあたり 1.2kg ある。モーターサイクルで走行したときに乗員にかかる風圧は、この空気の質量によるもので、その大きさは走行速度の2乗に比例する。

モーターサイクルのカウリングはデザインの一部であり、乗り手に訴える形状美を備えると同時に、クルージング時には心地よい走行風を導き入れ、高速走行時にはしっかりと乗員を風から守る機能が要求される。時速 100km で走行するカウリングのないモーターサイクルの乗員の上半身には約 100N 強の力が加わるが、乗車時にはやや前傾姿勢をとることもあって、この程度の風圧はそれほどシビアなものではない。一方、この時の乗員の耳元での騒音は、長時間の乗車には大きな負荷となる。騒音発生の原因は、ヘルメットのまわりで発生する小さな渦にある。渦音の音圧は渦からの距離の3乗に反比例するため、耳のすぐ近くで渦が発生すると大きな騒音となる。カウリングによりヘルメットまわりの空気の流速を下げれば、渦の強さが弱くなり騒音を下げることができる。またエンジン冷却の例でも触れたが、固体から流体への熱伝達は、壁際の流速が速いほど活発であるため、寒さに敏感な指先や膝などへ風が直接当たると、そこが局所的に冷やされてしまう。そのため、これらの部分への風当たりもカウリング設計の重要な検討項目である。

図6 にスクーター乗員前面の空気流速分布を示す。青い領域は空気流速が遅くなっていることを示しており、カウリングの効果がわかる。このスクーターのスクリーンにはエアインテークが採用されている。図7 にエアインテークを開いた場合と閉じた場合のヘルメット表面での渦強度の比較を示す。エアインテークを開いた場合、閉じた場合よりヘルメット表面の渦強度が弱くなっている。渦は流れに速度差がある場合に発生するが、エアインテークからスクリーン内側に入った空気が、スクリーンを越えてヘルメット前面側に入り込もうとする流れを押し広げているため、速度差が小さくなっているからである。

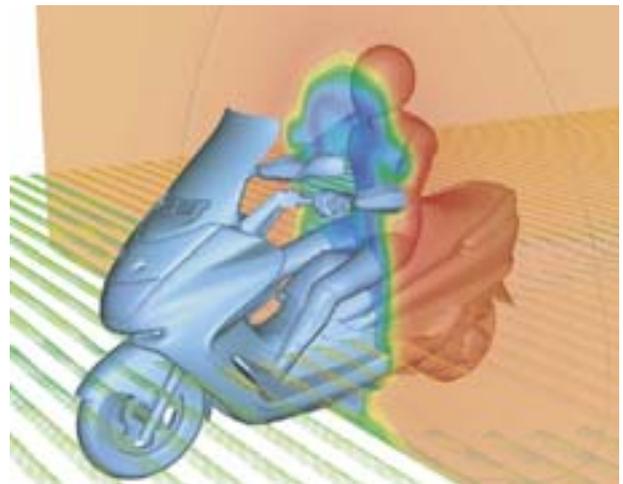


図6 スクーターのウィンドプロテクション
(青色は流速が小さい領域)



エアインテーク閉 エアインテーク開
図7 エアインテーク開閉によるヘルメット表面の渦強さの比較 (赤色は渦が強い領域)

4 おわりに

物理現象は、さまざまな要因が影響し合ったり引き金となって我々の前に現れる。ここで示した2つの事例は、いずれも直接の課題は熱や騒音などであったが、これらが流れと密接に関係しているということがわかりになったと思う。商品が壊れるか壊れないかというのは、目に見える現象として絶対に守らなければならない最下限の品質であるが、商品に係わる問題要因は、このように必ずしも陽的な事象として表れるわけではない。商品の品質、特に安全性と信頼性は、それらをいかに多くの要因から検討し、どれだけのマージンが確保されているかを定量的に示そうとする努力によって保証される。商品の付加価値は、お客様が商品を快適に楽しくお使いいただけるような工夫を創造することで高められるが、それには様々な事象をさらに積極的に観察し考察することが求められる。

数値シミュレーションは、そのための強力な道具として発展しつつあるが、あくまでもコンピュータ上で行う実験であり、回答を出してくれる魔法の箱ではない。商品の品質と付加価値を高めるのは、好奇心と観察力そして誇りである。