



低燃費エンジンの研究 ～詳細な燃焼計算による燃費向上の検討～

研究・開発機関 : 自動車用内燃機関技術研究組合 (AICE)
 利用施設 : スーパーコンピュータ「富岳」
 計算規模 : 8千コアを用いた乱流、噴霧、燃焼反応計算
 利用ソフトウェア : HINOCA

Before

- 自動車用のエンジンは燃費向上のための研究、開発が進められていますが、効率を高めようとすると、ノッキングなどの問題が発生してしまいます。
- ノッキング現象を再現、予測するためには、乱流、噴霧、燃焼反応を簡素化しない計算手法を用いて非常に細かなメッシュで計算をする必要がありますが、莫大な計算能力が必要となります。

After

- 高い精度の計算手法で作られたソフトウェアHINOCAを研究、開発し、富岳を使って大規模なコア数でも効率よく計算できました。
- その結果、ノッキングの現象を再現することが可能となり、原因究明、対策を講じることによって、ノッキングの発生を低減することができました。

背景と目的

自動車のエンジンは、二酸化炭素(CO₂)を排出します。このCO₂は地球温暖化の一因とされており、その排出量を減らすためには、燃費の良いエンジンの開発が求められています。さらに、エンジンに対しては、高出力化や有害ガスの排出低減といったさまざまな要求があります。これらの課題を解決するには、エンジン内部で起こる現象を正確に把握し、適切な対策を取る必要があります。そのために、容易に形状や運転条件が変更でき、解析ができる計算機シミュレーションが有効です。

エンジン内部では、ピストンやバルブが高速で動き、空気や燃料の噴射や燃焼反応が起こるため、それらの物理計算は非常に難易度が高くなります。そこで、「戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)」のプロジェクトで開発されAICEで進化させたソフトウェア「HINOCA」を使用しました。HINOCAを使った計算では、計算格子(メッシュ)生成を容易にし、乱流モデルで小さな渦の影響も考慮しながらサイクルごとの流動の変化を再現し、音速の影響を正確に計算しエンジン内で発生する衝撃波をとらえるようにしています。

図1には、HINOCAによって計算された排気バルブ近傍の衝撃波が表示されています。

また、エンジン内部で発生するノッキング(異常な燃焼でエンジンにダメージを与える現象)のような細かい現象をとらえるためには、膨大な計算能力が必要であり、スーパーコンピュータ「富岳」を活用しました。

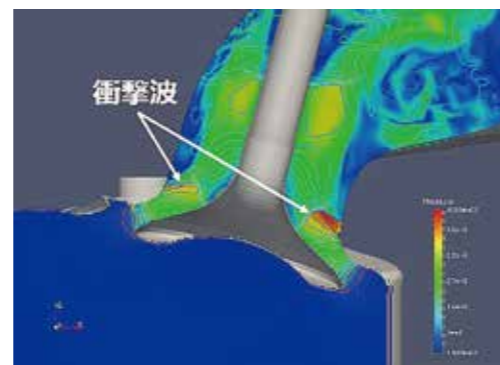


図1 排気バルブ近傍の衝撃波

利用成果

一例として、「ノッキング現象」の予測計算を紹介します。図2は、エンジンの燃焼室周りを示しており、燃焼プロセスは次のように進みます。燃料と空気の混合気が吸気ポートを通して燃焼室とシリンダーへ流入し、ピストンで圧縮され、プラグにより点火し、着火・燃焼・膨張してエネルギーを生み、排気ポートを通じて排出ガスとして流出します。

計算条件は以下の通りです。計算領域を分割する基本の格子サイズであるベースメッシュは0.5mm、バルブ周辺の詳細メッシュサイズは0.25mmに設定し、総メッシュ数は620万(計算領域全体の格子数)、計算機の使用コア数は8,500、計算時間は1サイクルあたり5日間で4サイクル計算を行います。

図3は燃焼室を図2の上から下へ見た図であり、図4はこの方向から見たシリンダー内部のOHラジカル分子の濃度を表しています。OHラジカルはノッキングが発生した箇所に現れる分子であり、赤の破線部分にノッキングが発生したことがわかります。これらの結果からは、次のことが確認できます。

吸気ポートAでは、吸気側でノッキングが発生しているのに対して、吸気ポートBでは、排気側でノッキングが発生しています。この傾向は実際の測定結果と一致しており、HINOCAによるシミュレーションが正確であることが証明できました。この現象把握により、ノッキングが発生しやすい箇所の特定が可能になり、その部分の冷却を強化することでノッキングを低減することができました。



図2 エンジンの燃焼室まわりの部品

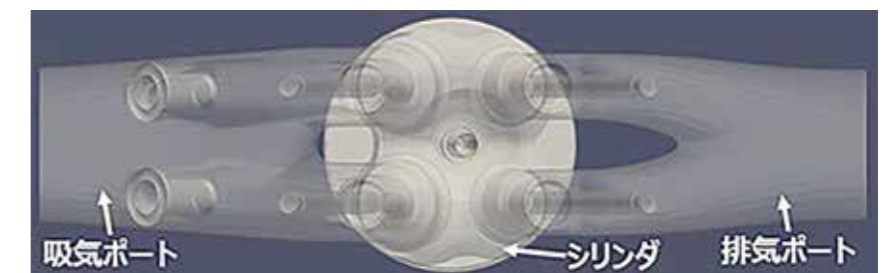


図3 上方から見たエンジンの燃焼室

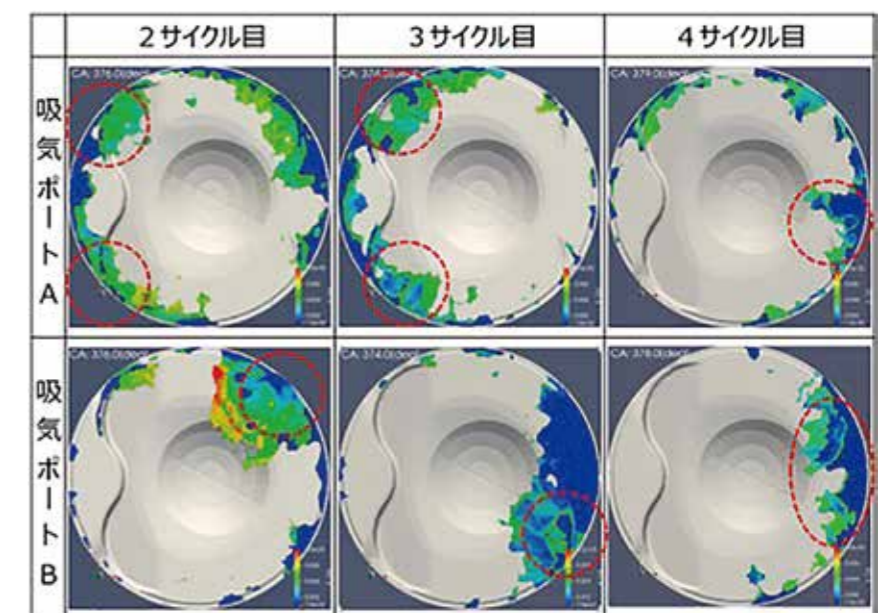


図4 吸気ポート形状違いによるOHラジカル分布とノッキング発生箇所