

エンジン点火・燃焼系シミュレーション技術

橋場敏彦*

Simulation Technology for Ignition and Combustion System of Automotive Engine

Toshihiko Hashiba

要旨

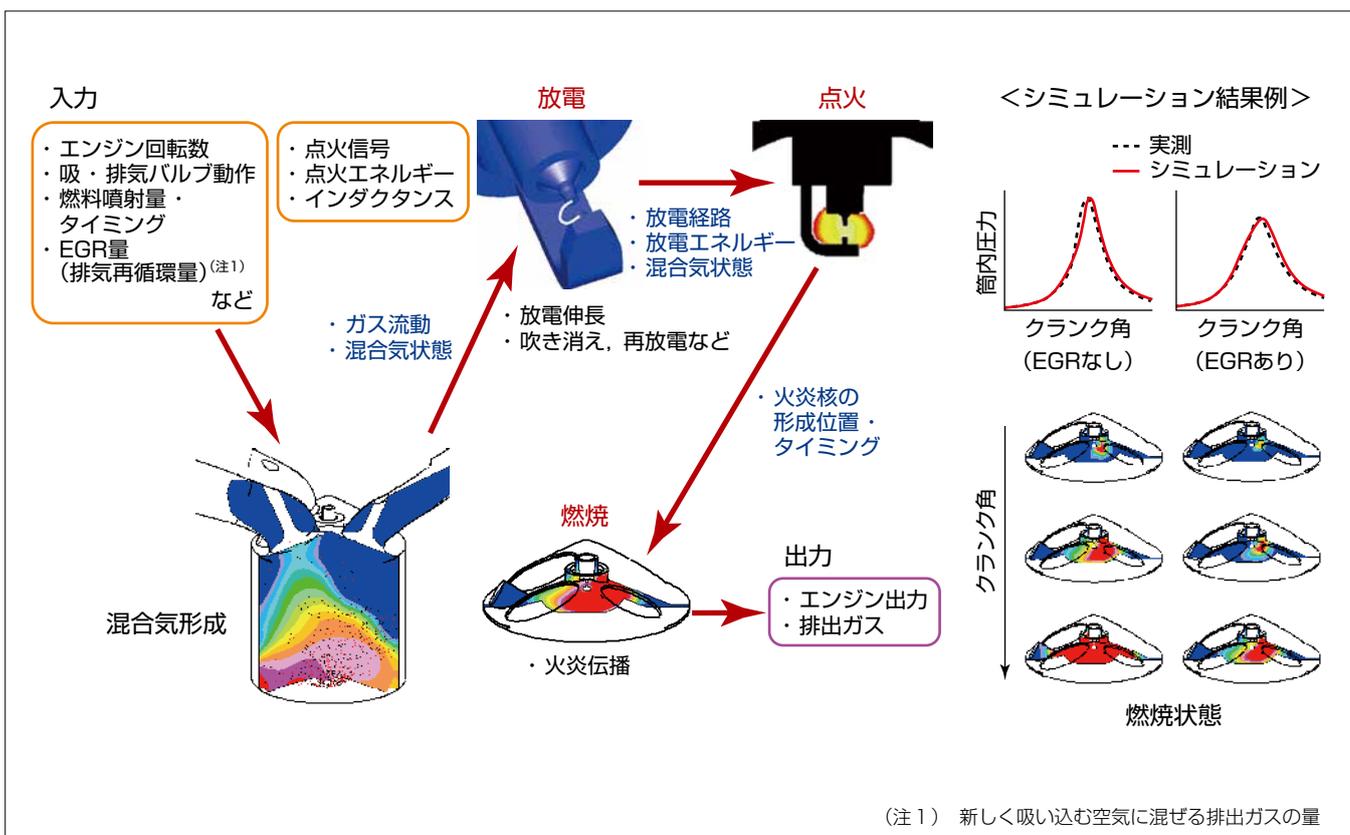
近年、省エネルギー意識の高まりや地球環境保護の観点から、自動車の燃費向上や排出有害ガスの低減が強く求められている。自動車のパワートレインシステムは、このような要望に応えるため年々高度化が進んでおり、今後もシステムは一層大規模かつ複雑なものへ推移していくと考えられる。

今後複雑化していくシステムを、限られたリソースでタイムリーに開発していくためには、従来の試作と評価の繰り返しによる実物ベースの開発では限界があるとされており、システムの効率的な開発手法として、近年シミュレーションを活用したモデルベース開発が注目されている。

このような背景の下、三菱電機ではパワートレインシ

ステムの開発効率化を狙い、パワートレインシステムの構成要素の一つであるエンジン点火・燃焼系を対象とするシミュレーション技術を構築した。このシミュレーション技術は、市販ソフトウェアに当社オリジナルモデルを組み込んでおり、点火プラグでの放電挙動を含めたエンジン筒内の一連の挙動を高精度で予測できる。この技術によってバーチャル環境での点火・燃焼系の最適化が可能になり、開発期間の短縮や試作コストの削減に利用している。

今後は、点火・燃焼系以外へのモデルベース開発の適用を目指して取組みを継続していくとともに、燃費向上に有効と言われるスーパーリーンバーン(超希薄燃焼)に適した放電仕様様の検討などにこの技術を活用していく予定である。



点火・燃焼系シミュレーション技術

このシミュレーション技術では運転条件を入力すると、エンジン筒内のガス流動、混合気状態、放電・点火・燃焼の一連の現象及び筒内圧力などのエンジン出力を求めることができる。市販ソフトウェアSTAR-CD(CD-adapco社)をベースに放電・点火・燃焼の各計算部に当社オリジナルモデルを組み込むことでシミュレーション精度を向上させており、この技術によってバーチャル環境での点火・燃焼系の最適化を可能にした。

1. ま え が き

近年、省エネルギー意識の高まりや地球環境保護の観点から、自動車の燃費向上や排出有害ガスの低減が強く求められている。自動車のパワートレインシステムは、このような要望に応えるため年々高度化が進んでおり、今後もシステムは一層大規模かつ複雑なものへ推移していくと考えられる。

今後複雑化していくシステムを、限られたリソースでタイムリーに開発していくためには、従来の試作と評価の繰り返しによる実物ベースの開発では限界があるとされており、システムの効率的な開発手法として、近年シミュレーションを活用したモデルベース開発が注目されている。

このような背景の下、当社ではパワートレインシステムの開発効率化を狙い、パワートレインシステムの構成要素の一つであるエンジン点火・燃焼系を対象とするシミュレーション技術を構築した。このシミュレーション技術は、市販ソフトウェアに当社オリジナルモデルを組み込んでおり、点火プラグでの放電挙動を含めたエンジン筒内の一連の挙動を高精度で予測できる。この技術によってバーチャル環境での点火・燃焼系の最適化が可能になり、開発期間の短縮や試作コストの削減に利用している。

本稿では、構築した点火・燃焼系シミュレーション技術の概要と、その適用事例について述べる。

2. 点火・燃焼系シミュレーション技術

図1に点火・燃焼系シミュレーション技術を示す。このシミュレーション技術では、エンジン回転数などの運転条件を入力すると、エンジン筒内のガス流動、混合気状態、放電・点火・燃焼の一連の現象がシミュレーションされて筒内圧力などのエンジン出力を得ることができる。

放電計算部では、点火信号や点火エネルギーに応じて点

火プラグの電極間に放電が形成されるとともに、放電がガス流動などによって湾曲状に伸長する挙動や、伸長した放電が吹き消えたり、電極間に再放電する挙動を模擬できる。点火計算部では、この放電挙動に応じて初期火炎核の形成位置・タイミングが変化し、燃焼計算部での火炎の拡がり方に影響を及ぼす。このように放電挙動が、エンジン出力に与える影響を考慮できることが特長である。

このシミュレーションは市販ソフトウェアSTAR-CD (CD-adapco社)をベースに、放電・点火・燃焼の各計算部に当社オリジナルモデルを組み込むことでシミュレーション精度を向上させている。この精度向上に際しては、各現象を当社試験設備で可視化計測し、その実測結果を参考に物理モデルを改良した。本稿では改良内容の詳細な説明は割愛するが、その一例を表1に示す。また図2に、モデル改良後の点火計算部のシミュレーション結果の一例を示す。図に示すように、シミュレーション結果は、混合気条件違いでの初期火炎の大きさや形状を良好に模擬できている。

表1. モデル改良内容の一例

改良点	狙い
電磁力効果の組み込み	放電伸長の予測精度向上
任意放電波形モデルの組み込み	多重放電などの多様な放電パターンに対応
燃焼素反応モデルの組み込み	高EGR率や、希薄燃焼(リーンバーン)条件の予測精度向上

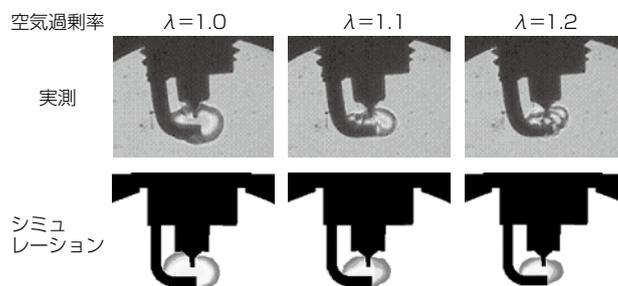


図2. 点火計算部のシミュレーション結果の一例

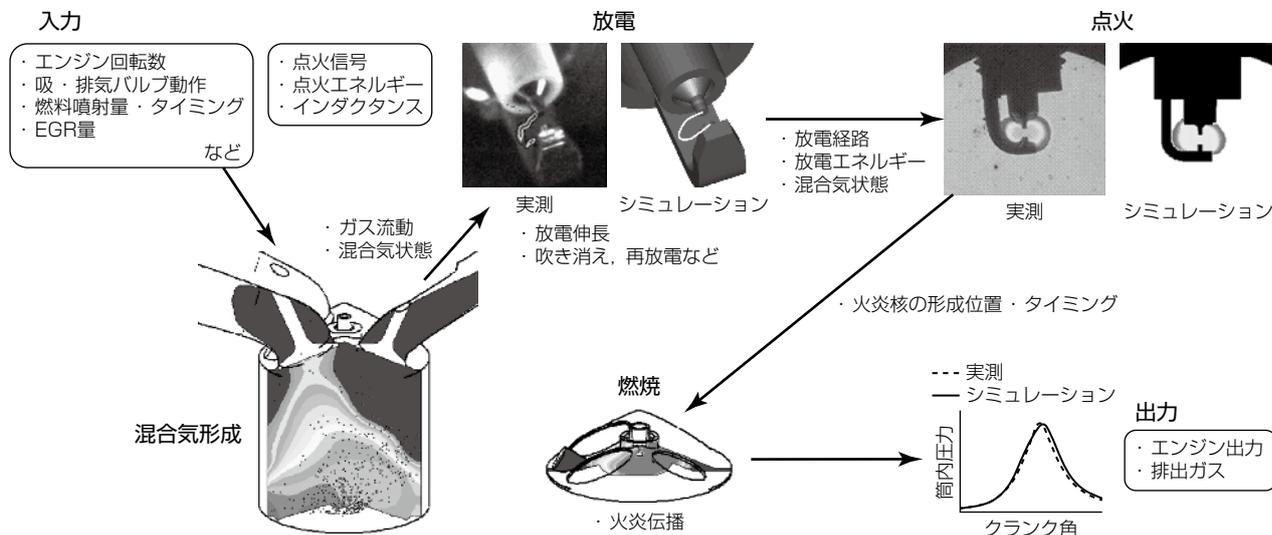


図1. 点火・燃焼系シミュレーション技術

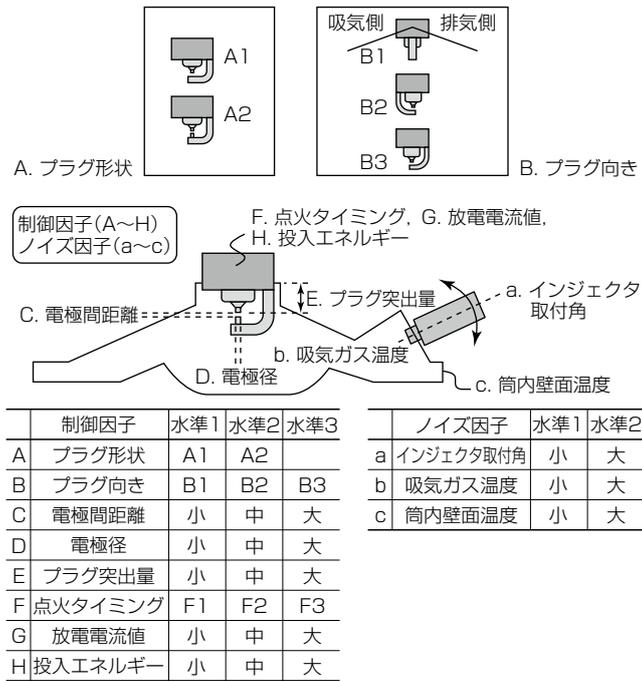


図3. バーチャル品質工学で考慮したパラメータ

3. 点火・燃焼系シミュレーション技術の適用事例

構築したシミュレーション技術の適用事例として、点火系の仕様最適化に活用した例について述べる。

3.1 仕様最適化の狙い

今回の事例では、エンジン筒内の混合気状態がばらついても、エンジン出力が変動しにくい点火系の仕様を求めることを狙いとしました。この検討では、シミュレーション技術を用いた品質工学(バーチャル品質工学)によって、点火系の仕様最適化を図った。

3.2 バーチャル品質工学

バーチャル品質工学で考慮したパラメータを図3に示す。制御因子(最適化する設計パラメータ)は、点火プラグの形状、プラグの向き、電極間距離、電極径、プラグ突出量、点火タイミング、放電電流値、投入エネルギーとした。

またノイズ因子は、インジェクタ取付角、吸気ガス温度、筒内壁面温度とし、これらのパラメータで混合気状態のばらつきを与えた。

各因子をL18直交表に割り付けてバーチャル品質工学を実施し、その結果(図4)から、制御因子の最適な組合せを抽出した。

3.3 確認実験

バーチャル品質工学で求めた点火系仕様の効果を、実機試験で確認した結果の一例を図5に示す。図に示す筒内圧力はエンジンの動作300サイクルのアンサンブル(サイクル周期)平均であり、点火系最適化前(従来仕様)と最適化後とで、混合気状態のばらつきに伴う変動を比較した。なお比較評価に際しては、筒内圧力をエンジン出力に換算して行った。

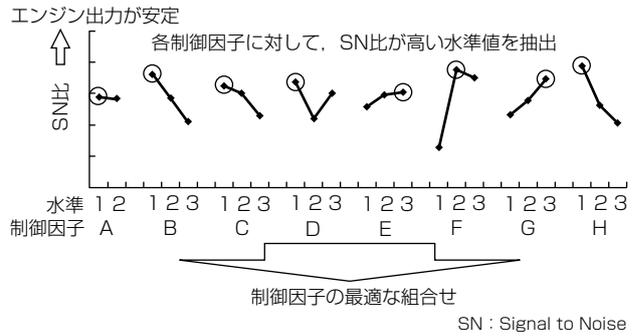


図4. バーチャル品質工学の結果(要因効果図)

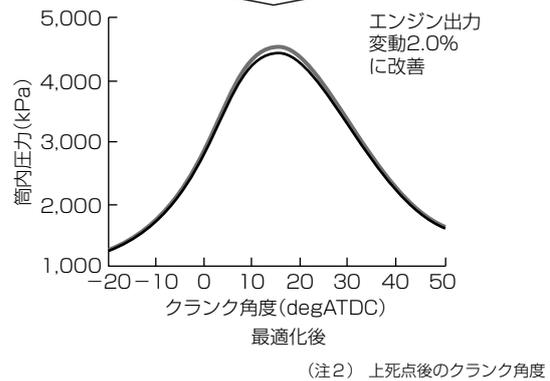
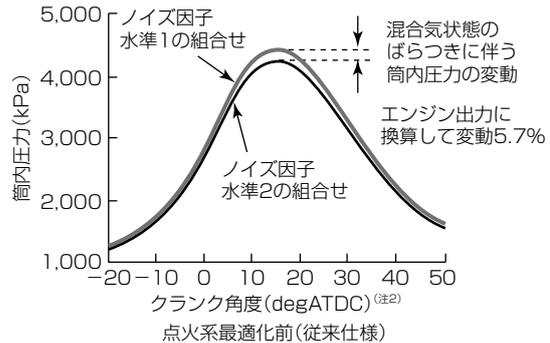


図5. 確認実験の結果

図から、従来仕様は混合気状態のばらつきに伴ってエンジン出力に5.7%の変動が見られたが、点火系最適化後は2.0%となり、エンジン出力の変動を改善できている。

混合気状態のばらつきに強い点火系を狙ってバーチャル品質工学で仕様の最適化を図った結果、実機でその効果を確認できた。この例は、シミュレーション技術を用いたバーチャル品質工学の有効性を示せた例と考えている。

4. むすび

今回、大規模かつ複雑化していく自動車のパワートレインシステムの開発効率化を狙い、パワートレインシステムの構成要素の一つであるエンジン点火・燃焼系を対象とするシミュレーション技術を構築した。

今後は、点火・燃焼系以外へのモデルベース開発の適用を目指して取組みを継続していくとともに、燃費向上に有効と言われるスーパーリーンバーン(超薄燃焼)に適した放電仕様の検討などにこの技術を活用していく。