

試験用エンジンの開発

—軽負荷・希薄燃焼時における実験条件の確立—

宮崎大学工学部教育研究支援技術センター
木村 正寿

はじめに

地球規模での環境保全のために内燃機関への更なる高効率化が望まれており、燃焼に関する基礎的な研究がますます重要になってきている。しかし、これまでの試験用のエンジンは、限られた特別な研究機関にて多額の予算にて、研究が進められているのが現状である。そこで、市販されているオーバイ用のエンジンをベースに、これまでに得られた知識やアイデアを投入することで、燃焼に大きな影響を与えるとされるガス流動を変化させ、燃焼室内の流れ場を把握し、各条件下における燃焼圧力等を計測して、得られた結果を基に火花点火機関におけるガス流動と燃焼性との関係を明らかにすることを目的としている。これまでの試験用エンジンを用いた中・高負荷、希薄燃焼での条件における実験の再現性は問題無いレベルにあり、信頼性の高いデータが収録できている。しかし、軽負荷・希薄燃焼時の実験における収録データでは、実験の再現性に問題を抱えている。その条件における実験は、回数を数多くこなし、収録された多くのデータから平均的な代表データを求めることになり、かなりの時間を割いて信頼性の高いデータを選別してきた。このような状態でガス流動と燃焼との関係を正確に明らかにすることは困難であるとの見解に達し、軽負荷・希薄燃焼時における実験の再現性について問題となる個所について検討することにした。

キーワード：内燃機関、ガス流動、軽負荷、希薄燃焼、再現性

1. 供試機関

燃焼実験の再現性に用いた試験用エンジンには、吸気ポートの燃焼室側最終端にガス流動可変機構が取り付けられており、変化に富んだガス流動を燃焼室内に発生させることができる。また、燃焼室内のガス流動も把握できるように計測用シリンダライナも設置されている。この試験用エンジンの主要諸元を表1に示し、エンジンの概略を図1に示す。

表1 試験用エンジンの主要諸元

種類	4サイクル・ガソリン
シリンダ数	単気筒
燃焼室形状	ペントルーフ形
弁機構	SOHC チェーン駆動 吸気1・排気2バルブ
内径×行程 (mm)	φ79.0×71.2
総排気量 (cc)	348
圧縮比	6.38
潤滑方式	ドライサンプ方式

2. 燃焼圧力計測システム

燃焼実験時における圧力計測システムを図2に示す。燃焼室内の圧力は、計測用シリンダライナにひずみゲージ式の圧力ピックアップを取り付け、その圧力ピックアップからの信号をひずみアンプにて増幅し、A/D変換器を介してパソコンにデータを収録した。また、燃焼室に供給される混合気は、電子制御式のインジェクタにて燃料の供給量が制御され、空気の量は絞り弁にて制御している。

3. 燃料供給システム

試験用エンジンに採用している燃料供給システムは、燃料圧送タイプのもので、電子制御式のインジェクタにて燃焼室内に供給している。燃料供給システムを図3に示す。燃料

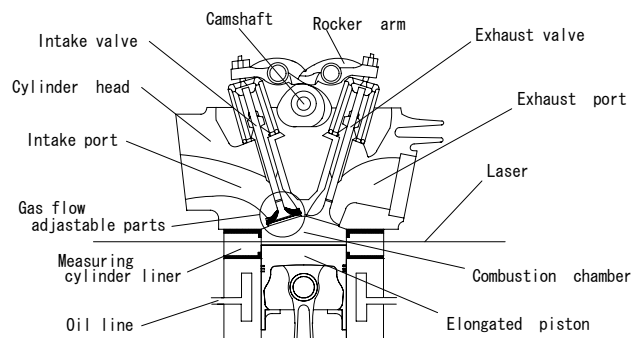


図1 試験用エンジン概略図

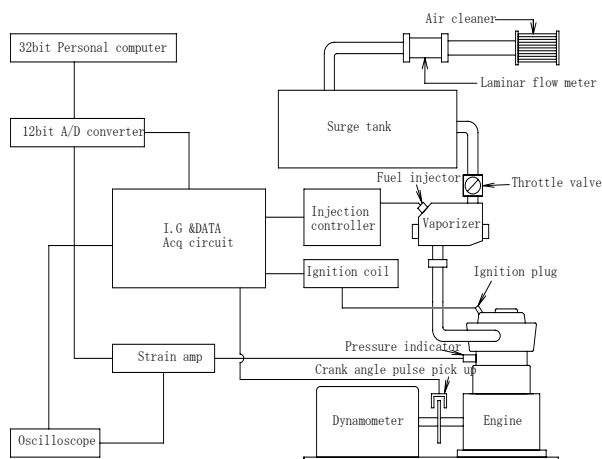


図2 燃焼圧力計測システム

ポンプは、高压管路内に圧力を発生させ、ポンプの性能に左右されないようにその回路内に設置されたレギュレータにて高压管路内は一定圧力に自動調整される。電子制御式インジェクタには、パルス状の比較的短い時間の高電圧がかけられ、インジェクタの電磁弁がそのパルス幅に応じた弁の開放を行い、燃焼室内に設定量の燃料が供給される。

この供給システムでの燃料の安定供給に欠かせない条件を挙げると、

- ①燃料の噴射圧力
- ②供給ガソリンの温度
- ③インジェクタの正確な動作

となり、上記3項目について調査を行い、実験条件を確立していくことにした。

4. 試験用エンジンの再現性

これまでの試験用エンジンでの燃焼実験では、実験前に燃料噴射量の検定を行い、実験中はその検定結果をもとに燃料噴射量を想定していた。しかし、実験終了後に燃料噴射量を確認すると、実験前と変化していない場合も有るが、変化している時もある。このような状態では、前後にて一致していれば、燃料供給量は問題無いと推測できるが、変化していた場合には、実験中にどのような条件にて燃料が供給されたのか予測がつかない。

開発中の試験用エンジンを用いた軽負荷・希薄燃焼時の実験においては、0.1cc/min程度の燃料噴射量の変化は、実験条件の空燃比に換算すると0.5もの変化となる。試験用エンジンに要求される重要な因子は、燃焼状態を変化させ、かつその燃焼状態に再現性があ

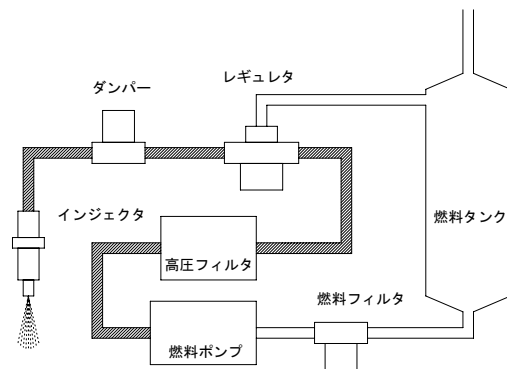


図3 燃料供給システム概略図

ることが特に重要となる。そこで、燃焼実験の再現性は、燃焼室内の圧力計測から得られたデータより、図示仕事と図示仕事の変動率（図示仕事の標準偏差を図示仕事の平均で除した値）を求め、その条件下におけるエンジンの燃焼状態を数値化して再現性を判断することにした。

理論空燃比付近における燃焼実験の再現性については問題なく、度重なる実験において収録されたデータは信頼性の高いものであった。しかし、実験条件が軽負荷・希薄燃焼時の実験を行った際の収録データには再現性に問題が起こっており、その実験条件における実験時間には、かなりの時間を費やして代表データの選出を行ってきている。この状況を改善するためには、軽負荷・希薄燃焼時のエンジンに供給する混合気の空燃比が一定の状態に保たれているかどうかを調査することが重要だと考えられた。試験用エンジンに供給する混合気の空燃比が変化すれば、燃焼の状態も変化し、収録データに影響がでることになり、同一実験条件下における信頼性の高いデータを得ることはできない。そこで、燃料の噴射量について安定している状態であるのかを調査することにした。

4-1 燃料噴射圧力の影響

燃料の噴射圧力は、燃料噴射量に大きな影響を与えるものであるため、この燃料噴射圧力について調査することにした。燃料の噴射圧力の計測には、低压用ひずみ式の圧力ピックアップを用いてデータを収録した。実験は、噴射圧力を一定条件にして数十回の燃料噴射実験を行った。また、噴射圧力を意図的に変化させた燃料噴射実験も行った。その時の代表的なデータを図4に示す。この結果より、燃料噴射圧力が約0.13kg/cm²変化することに

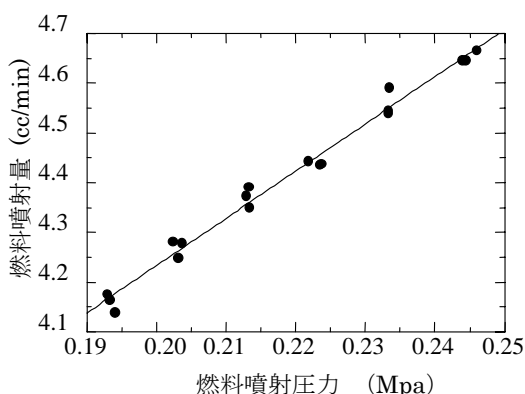


図4 燃料噴射量と噴射圧の関係

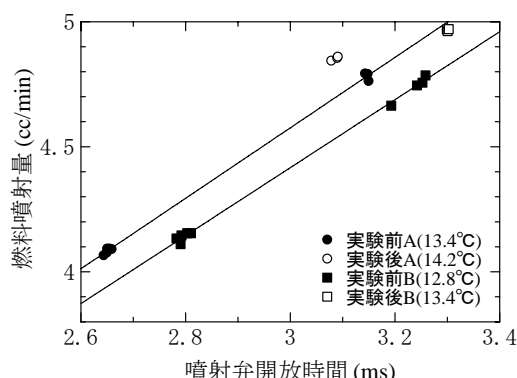


図6 燃料温度と噴射量との関係

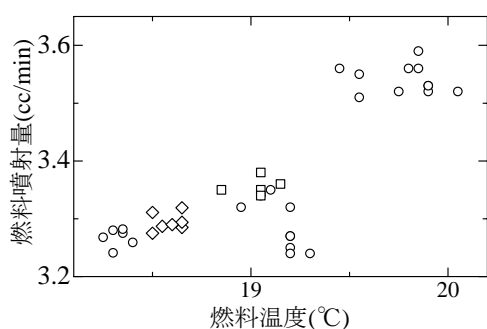


図5 ガソリン温度と噴射量

よって噴射量は 0.1cc/min程度変化する事が解るが、燃料噴射圧力を一定に保った燃焼実験中に圧力が 0.1kg/cm²も変化することは起こりえないため、燃料の噴射圧力だけが原因で、燃料噴射量に変化が起こるとは考えにくい結果となった。

4-2 燃料温度と噴射量との関係

燃料噴射時の燃料温度は、燃料の粘性に影響を与え、噴射量に影響を与えることも考えられるので、この燃料温度と噴射量についても調査することにした。

燃料の温度検出は、熱電対を用いてインジェクタ入り口の温度を調査した。その結果を図5に示す。全体的には燃料温度が上昇すれば、噴射量が増加する傾向がみれるが、温度制御のみで燃料噴射量の変化を押さえることはできないことが解った。また、図6より検定曲線を算出する時の燃料温度と実験時の温度に差が生じると、検定曲線の切片に変化が起こるため、噴射量の検定曲線を実験に用いるには温度補正が必要であることが解った。

4-3 インジェクタの駆動電圧

燃焼実験時における燃料噴射量を把握する

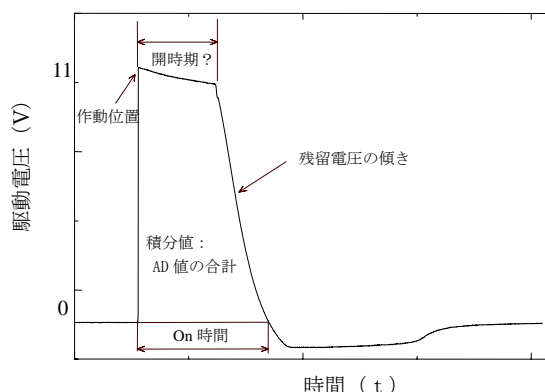


図7 インジェクタにかかる電圧波形

ためにインジェクタにかかる電圧の状態から燃料噴射量を予測できないものか調査してみることにした。

燃料噴射量は、インジェクタにかかる電圧が不安定で燃料供給が変化するのではないかと考え、インジェクタにかかる電圧をA/D変換器を介して、パソコンに収録した。その時の代表的なインジェクタ駆動電圧波形のデータを図7に示す。この電圧波形の0Vからの立ち上がりから0Vに下がるまでの電圧の積分値や、電圧が急激に下がるまでの時間をインジェクタ開放時間として噴射量との関係を調査したが、直接的な関係を見出すことはできなかった。表2にその結果を示す。また、電圧作動位置・開放時間・残留電圧の傾き等も調査したが誤差はほとんど無いことも解った。よって、燃料噴射量はインジェクタにかかる作動電圧から把握することはできない事が確認された。

4-4 インジェクタに流れる電流

インジェクタにかかる作動電圧よりも、インジェクタの駆動コイルへ流れる電流値のほ

表2 燃料噴射量と作動電圧波形との関係

噴射量		AD 積分値		開放時間	
4.857	①	999683	④	1.7051	②
4.848	②	999505	⑥	1.7049	⑧
4.844	③	1000390	①	1.7049	⑤
4.841	④	1000170	③	1.7049	⑥
4.840	⑤	998946	⑩	1.7048	⑨
4.837	⑥	998984	⑨	1.7048	⑩
4.837	⑦	999624	⑤	1.7050	③
4.804	⑧	999456	⑦	1.7049	⑦
4.804	⑨	1000230	②	1.7049	④
4.786	⑩	999248	⑧	1.7057	①

(単位 噴射量 : cc/min 開放時間 : ms)

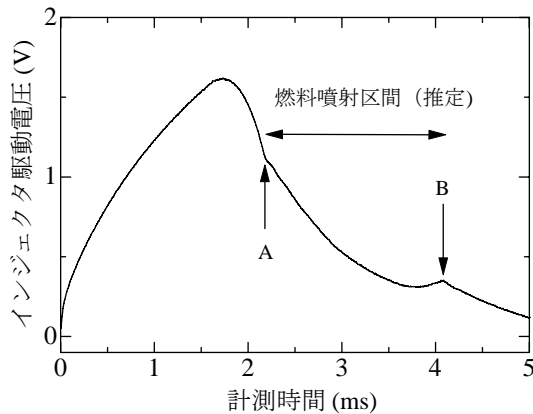


図8 インジェクタ駆動電流波形

うが燃料噴射量に大きく影響を与えるものではないかと考え、インジェクタに流れる電流値を計測することにした。図8にその時の代表的なインジェクタ駆動電流波形を示す。この図に示すA点では、本来なだらかに変化すべき点と考えられるが、急激に電流が下がり、その直後なだらかに変化しており、この特異変化地点を燃料噴射開始点と推定し、B点も本来なだらかに低下すべきところだと考えられるため、この地点を燃料遮断地点と推定してみた。この2点間の燃料噴射区間は、インジェクタにかけているパルス電圧の時間とほぼ一致し、この噴射弁開放時間から燃料の安定供給が検証できるものと予測した。図8は、インジェクタへ流れる電流と噴射量との関係を示す。軽負荷・希薄燃焼実験時の燃料噴射量の制御状況を示す。この結果より、インジェクタにかかる駆動電流は、燃料噴射量に関係があるものと考えられる結果となり、燃料噴射量を把握することが可能と判断した。

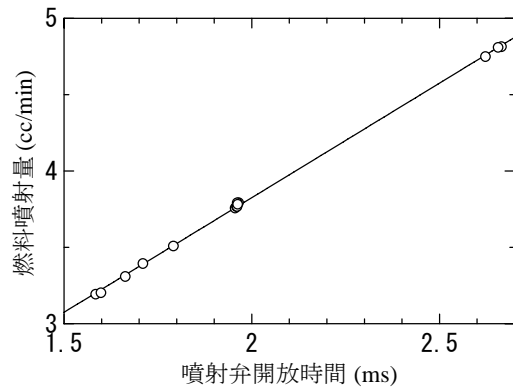


図9 噴射弁開放時間と噴射量

5. 結論

試験用エンジンの軽負荷・希薄燃焼実験における混合比の変動について検討を行った結果以下の結論を得た。軽負荷・希薄燃焼実験時の混合比は、インジェクタの駆動コイルに流れる電流計測を行い、インジェクタの燃料噴射開放時間を求めることで、燃料噴射量の把握が可能となり、混合気の空燃比が一定に保たれていることの確証を得ることができた。しかし、検定曲線を算出する時の燃料温度と実験時の燃料温度に差が起これば検定曲線にずれが発生するので、噴射量検定曲線を実験に用いるには温度補正を行う必要があることが解った。また、軽負荷・希薄燃焼実験状態での再現性という観点では、今後さらに改善を行い、信頼性の高いデータが短時間に収録可能となるように今後、努力すべきである。

謝辞

この報告は、宮崎大学工学部機械システム工学科 エネルギーシステム工学講座 (熱部門) 田坂英紀教授からの予算的な配慮とご指導の下、平成4年度よりこの研究テーマに携われることができました。ここに深く感謝の意を表します。また、これまでに本研究テーマに関係された当研究室の教官ならびに学生諸君にもあわせて感謝の意を表します。

参考文献

- (1) 田坂 英紀/佐藤 忠教、内燃機関、森北出版 (1995)
- (2) 八田 桂三/浅沼 強/松木 正勝、内燃機関計測ハンドブック、朝倉書店 (1984)