

# イオン電流を用いた燃焼制御システムの開発

- 空燃比制御及びノック制御への応用 -

浅野 守人 梶谷 勝之 九間 哲雄 竹内 学 福村 義之  
(ダイハツ工業株式会社) (ダイヤモンド電機株式会社)

Development of New Combustion Control System by Ion Current

- Application to Air Fuel Ratio and Knock Control -

Morito Asano Katsuyuki Kajitani Tetsuo Kuma Manabu Takeuchi Yoshiyuki Fukumura  
(DAIHATSU Motor Co.,LTD.) (Diamond Electric Mfg. Co.,LTD.)

We have developed a new combustion control system by adpoting the ion current , so we described the configuration and performance of the system in this paper. To be brief, the plug gap is used to detect the ion current. And the air fuel ratio is controlled to desired value by detecting the combustion fluctuation, and also the ignition timing is controlled to prevent from knock by detecting the knock signal.

Key word : Gasoline Engine , Combustion Control System , Ion Current

## 1. ま え が き

排出ガス低減、燃費向上及び出力向上等の益々増大するエンジンへの厳しい要求を満足させるには、エンジン自身もつ性能を最大限に引き出すことが必要不可欠となる。そのためには、運転条件に応じて燃焼を最適に制御することが最も有効と考えられる。

そこで、原価及び搭載性等の観点より優れていると考えられるイオン電流（点火プラグを電極として検出）を用いた新しい燃焼制御システムの開発を行ったので、システムの概要と制御能力について報告する。

## 2. 制御システムの概要

### 2.1. 供試エンジンの主要諸元

本制御システムの開発に供試したエンジンの燃焼に関する諸元を表1に示す。

Table 1 Engine Specification

Combustion chamber	Pent-roof / 4 valves
Intake port	Tumble port
Fuel System	Electronic Controlled Injection system
Ignition System	Electronic Controlled Ignition system

### 2.2. システム構成

本燃焼制御システムの構成を次頁の図2に示す。

点火のアーキ放電終了後に、点火コイル1次側のチャージ電圧を点火プラグの中心電極に印加することにより、燃焼中に発生するイオン電流を検出するようにしている。しかし、このようにして検出されるイオン電流は微小出力であるため、ECU内のチャージアンプにて電圧変換し、かつ、増幅している。その典型的な出力波形を図1に示す。

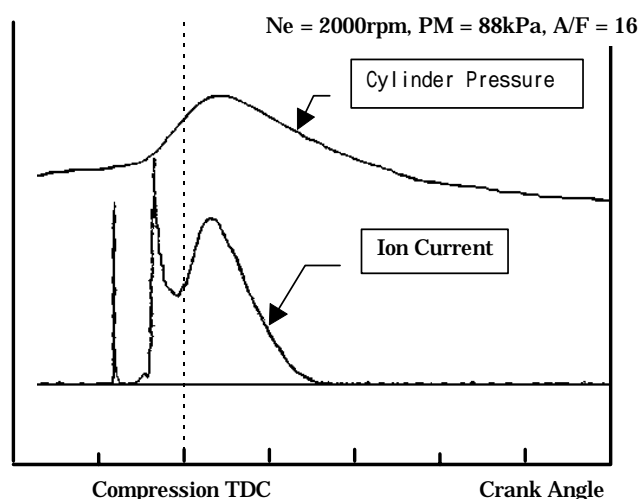


Fig.1 Ion Current

次に、増幅された信号を空燃比制御のための燃焼信号及びノック制御のためのノック信号にそれぞれアナログ処理した後にCPUに入力し、噴射量及び点火時期の制御を行っている。各処理回路の構成については後述することにし、ここでは本システム構成にあたり留意した点を述べる。

#### 印加電圧の極性

イオン電流の流れは正イオンの移動量に影響される。つまり正イオンの捕集電極となる負電極の面積により制限されるので<sup>(1)</sup>、点火プラグの中心電極が+になるように印加電圧を

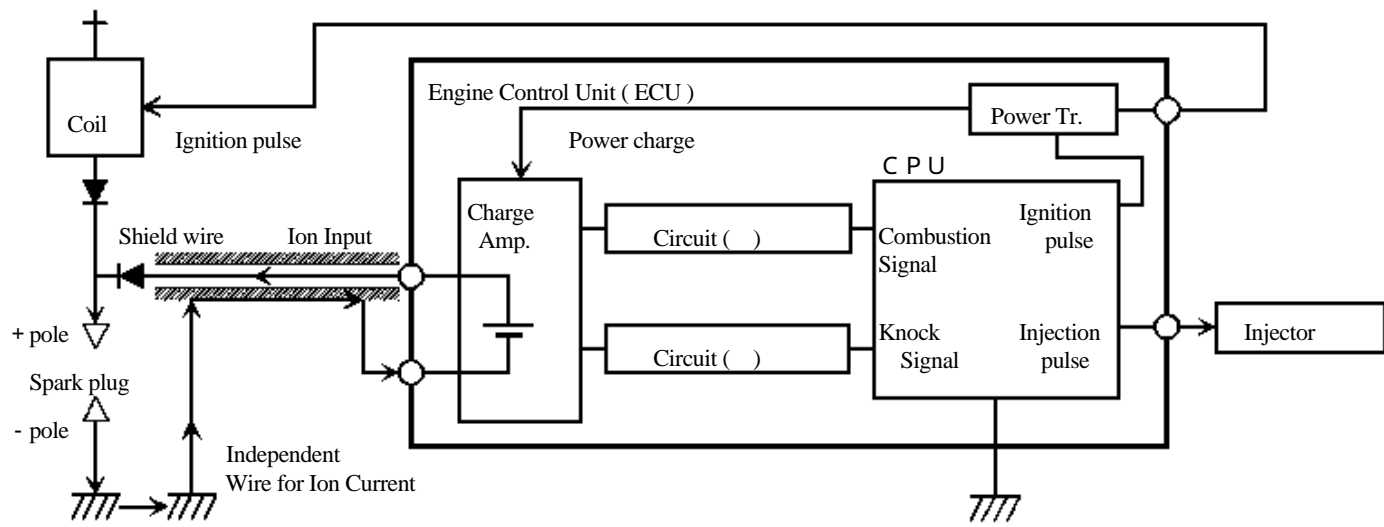


Fig.2 Combustion Control System

かけるようにした。これにより負電極は燃焼室壁全体となり、燃焼終了までイオン電流を検出できるようになった。

コイル仕様

点火プラグでイオン電流を測定する場合、点火のアーク放電期間とイオン電流の発生期間が重複した場合、イオン電流の検出が不可能となる。そこで、放電時間が短くなるようにコイル仕様の見直しを図り、高回転まで検出できるようにした。

配線

前述したようにECUまでは微小信号であるため、ノイズ及び電気負荷等によるグランド電位の変動の影響を受けないように専用配線とした。

3. 空燃比制御及びノック制御への応用

前記のシステムを用いたエンジン制御への応用例を示す。

3.1. 空燃比制御

本制御の狙いは、イオン電流により燃焼変動を検出し、変動を起さない直前の目標空燃比に制御することにある。以下に、本制御を行うためのアナログ処理回路、制御方法及び制御能力を述べると共に、適用限界についても述べる。

(1) アナログ処理回路

空燃比を変更した時のイオン電流波形について解析した結果を図3に示す。燃焼時間に相当すると考えられるイオン電流発生時間(燃焼していると考えられる基準値を越えている時間)の変動率が燃焼変動率(図示平均有効圧の変動率)と非常に良い相関を示すことが判明したため、図4に示す処理回路とした。

イオン電流をコンパレータで基準値と比較し、燃焼信号としてCPUに入力している。尚、燃焼信号の発生時間、即ち、燃焼時間はCPUで計算している。

(2) 制御方法

制御方法の概念を図5のブロック線図を用いて説明する。操作量である噴射量を、制御量(燃焼時間の変動率)と目標値

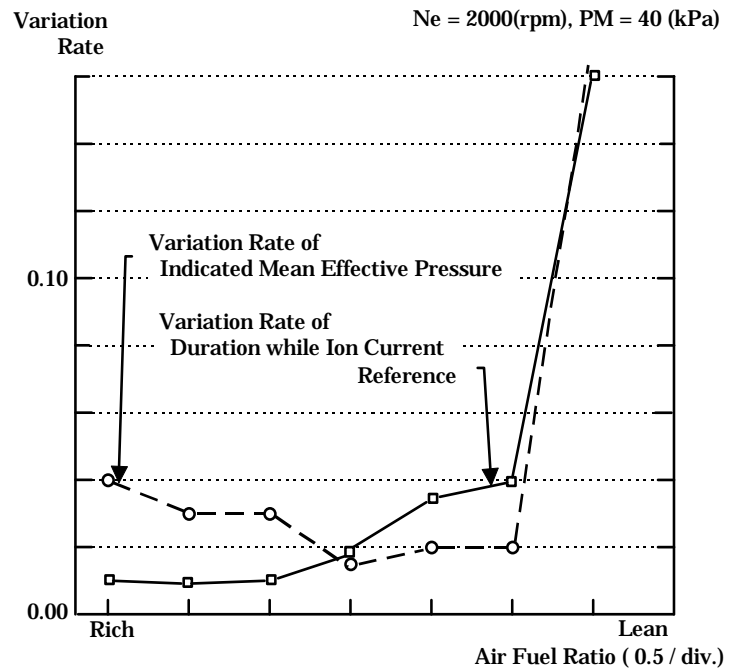


Fig.3 Analysis of Ion Current

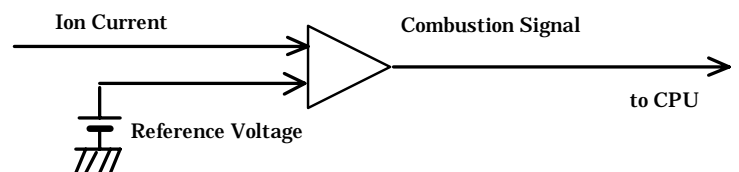


Fig.4 Circuit ( ) Block Diagram

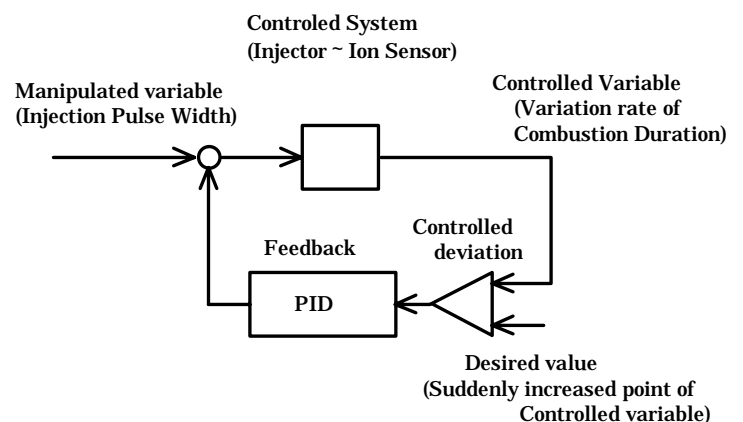
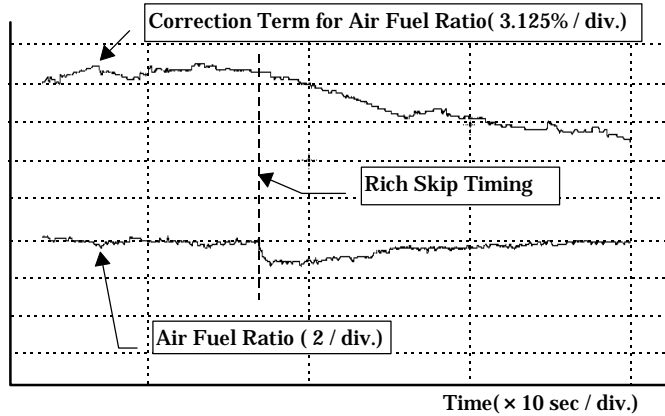


Fig.5 Block Diagram of Control Strategy

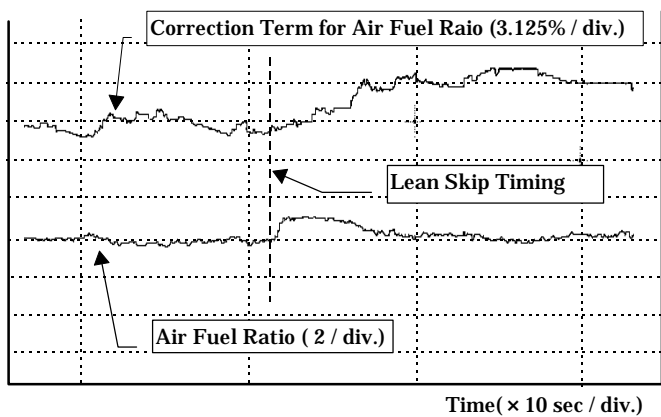
(制御量の急増点)との偏差に応じて、PID制御にてフィードバック補正するようにした。

(3) 制御能力

基本噴射量を±6%のステップ変化させた場合における制御能力を図6に示す。優れた応答性と収束性にて目標空燃比に制御できている。



(1) 6% Skip to Rich side



(2) 6% Skip to Lean side

Fig.6 Air Fuel ratio Control

(4) 適用限界

一般的に希薄限界空燃比を伸ばす手段の一つとして、吸入ポートのタンプル強化あるいはスワール強化の手法がとられ

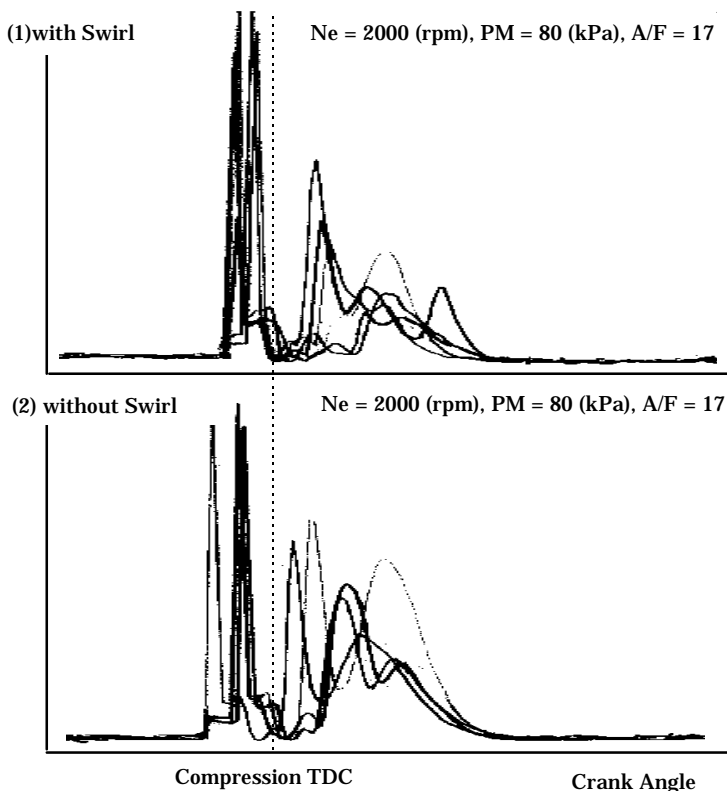


Fig.7 Ion Current ( with swirl and without swirl )

る。そこで、スワール強化ポートにも本システムを適用してみたところ、図7に示すように、正常燃烧しているにもかかわらずイオン電流出力は低下し、かつ、ばらつきも多くなっている。これは、スワールが強くなると、火炎伝播の方向や火炎面の形状が変化するためと考える<sup>(2)</sup>。

3.2. ノック制御

本制御の制御能力を左右するのは、一重に、如何に精度良くノックを検出するかにあると考える。そこで、以下に、ノックを検出するためのアナログ処理回路と検出能力について述べる。

(1) アナログ処理回路

図8に示すように、ノック発生時にはイオン電流の波形にも燃焼圧と同様の振動が見られる。<sup>(3)(4)</sup>この振動成分を抽出するために、図9に示す処理回路とした。

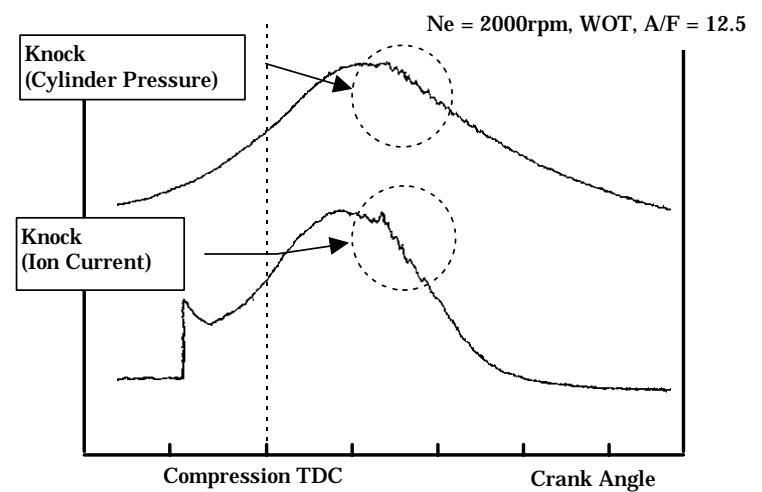


Fig.8 Knock Signal

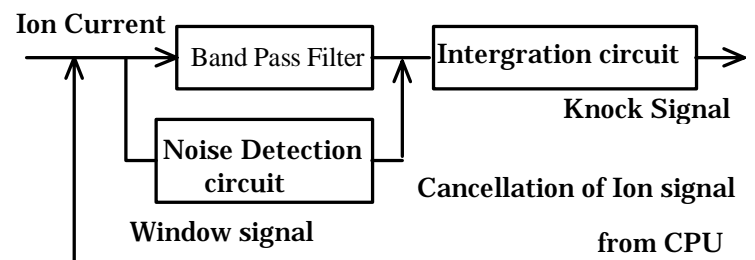


Fig.9 Circuit ( ) Block Diagram

基本構造としては、バンドパスフィルタにてノック周波数成分を抽出した後に、積分する単純な構造であるが、耐ノイズ性向上を図るために下記工夫を加えている。

検出ウィンドウの設定

点火終了後のノックが発生し得る一定期間のみ、イオン電流の検出を行うようにした。尚、この期間は回転に応じてCPUにて可変にしている。

ノイズキャンセル機能の設定

上記ウィンドウ期間内においても、ノック信号波形と異なるノイズ信号を検出した場合、ノック判定を中止するようにした。

(2) 検出性能

ノックが発生している時の信号レベル(S)とノックが発生していない時の信号レベル(N)の比(S/N)にて、検出性能を図10に示す。また図には従来の振動式ノックセンサの検出性能も併せて示す。

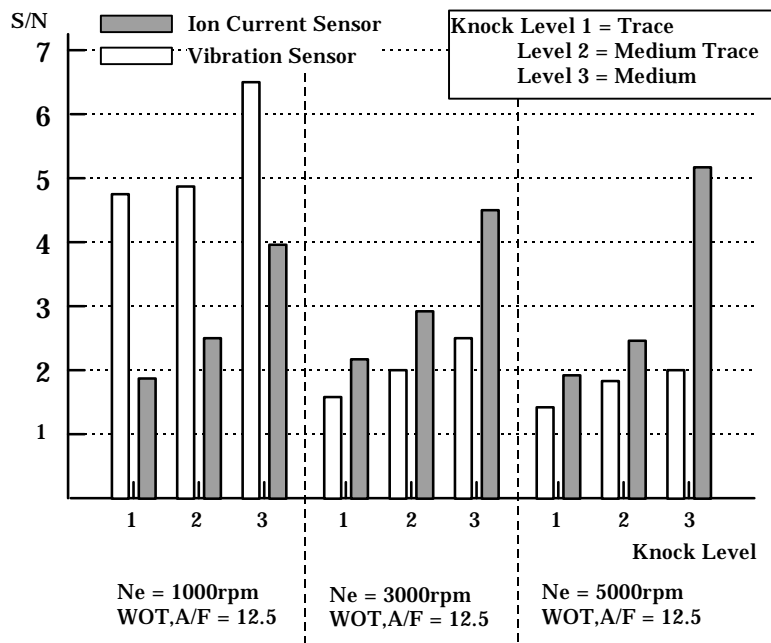


Fig.10 Knock detect performance

イオン電流は各回転とも良好かつ安定したS/Nのノック検出性能を有している。また、高回転域では振動式センサに比べS/Nが向上している。

(3) 適用限界

前述のように、耐ノイズ性向上を図るために色々な対策を施しているが、ノイズキャンセル時にノックが発生した場合等を考慮すると、確実にノックを検出することは困難と推測する。

よって、実用化にあたってはハードウェアだけでなく、更にソフトウェアについても保護対策を行う必要があると考える。

4. まとめ

点火プラグを電極として検出するイオン電流にて、下記燃焼制御を行える確認を得た。

(1) イオン電流発生時間の変動率にて、優れた応答性と収束性にて目標空燃比に制御できる。但し、スワール強化エンジンへの適用は困難である。

(2) イオン電流のノック周波数成分を抽出することにより、高回転域まで良好な検出性能が得られる。但し、耐ノイズ性向上を図るには、ハードウェア及びソフトウェアの両方より保護対策を施す必要がある。

<参考文献>

1. 浜本 嘉輔 ほか：点火電極イオンプローブによる燃焼診断，日本機学会 論文集（B編）60巻572号，p388-394（1994-4）
2. 浜本 嘉輔 ほか：点火電極イオンプローブによる燃焼診断，日本機学会 中国四国支部 第31回総会 講演会 講演論文集 No.935-1，p61-63（1993-3）
3. 寺田 耕 ほか：イオン電流を応用した点火と燃焼に関する測定方法，内燃機関，Vol.17，No.212，p64-72（1978-7）
4. M.Kamer ほか：Approaches to Gasoline Engine Control Involving the Use of Ion Current Sensor Analysis，SAE 905007，p679-86（1990）