

ディーゼルフォークリフト用黒煙除去フィルタ制御システム

Black Smoke Removal Filter Control System for Diesel Fork-Lift

金沢	博敬	<i>Hiroataka Kanazawa</i>
太地	陽介	<i>Yosuke Taichi</i>
前原	弘明	<i>Hiroaki Maehara</i>
楠本	潤一	<i>Junichi Kusumoto</i>
西脇	伸幸	<i>Nobuyuki Nishiwaki</i>



要 旨

ディーゼルエンジンは、低燃費・高出力の特徴から輸送用・産業用・発電用等広範に使用されている。一般に、ディーゼルエンジンは、燃焼温度が高くなることにより、窒素酸化物が多いという問題点をEGR(排ガス再循環)システムで克服し、今では低燃費に由来する排気中の二酸化炭素が少ない理由から、地球温暖化を促進させない環境に優しいエンジンとして注目されている。

一方、ディーゼルエンジンは、黒煙(ディーゼル微粒子=パティキュレート)を排出することが問題視されており、特に屋内作業等の閉所で使用される時、黒煙除去の要求が高まっている。

この要求に応えるため、フォークリフト用黒煙除去フィルタ制御システムを開発・量産化したので紹介する。

Abstract

Diesel engine is prevalently used for transportation, industry and generation of electric power, because of low fuel consumption and high generating power characteristics.

Diesel engine which has overcome the point of a great deal of nitrogen oxides in its exhaust gas caused by high combustion temperature with using EGR(Exhaust Gas Recirculation) system, recently attracts attention as an environmental safe engine not to promote earth warm for the reason of less carbon dioxide due to low fuel consumption.

Meanwhile, diesel engine has an issue of black smoke(diesel corpuscle-particulate) in the exhaust gas, and demand of black smoke reduction is getting increase especially for indoor operation. We would like to introduce the black smoke removal filter control system for fork-lift so that we developed and made it for mass-production.

1. はじめに

自動車の排出ガス規制は、自動車の普及と共に年々厳しくなっている。これに対応するため、当社では自動車メーカーと協力し、エミッションコントロール、EFI、ディーゼル車用EGR等の制御コンピュータを開発量産してきた。最近では、地球環境保護の観点から、排出ガス規制を先取りした自主規制を業界が取り決めて対応したり、規制を超越した究極のシステムが望まれている。

ディーゼル車から排出される黒煙対策についても各社'80年代より研究開発を進めているが、技術的な問題から、汎用で完成されたシステムはない。一方、限定的な使われ方の市場（特にフォークリフト）では、完全自動ではないがメンテナンス付DPF（Diesel Particulate Filter）という任意の捕集量でユーザが手動再生するシステムで一部海外市場に出ている。

今回、フォークリフトに搭載し、メンテナンス付DPFのシステムとして、ディーゼル車の排気から黒煙を完全に除去できる制御システムの開発に着手し、量産化に成功した。

2. システム概要

ディーゼルエンジンから排出される黒煙をDPFで捕集し、捕集量は運転席前部に搭載したディスプレイのLED

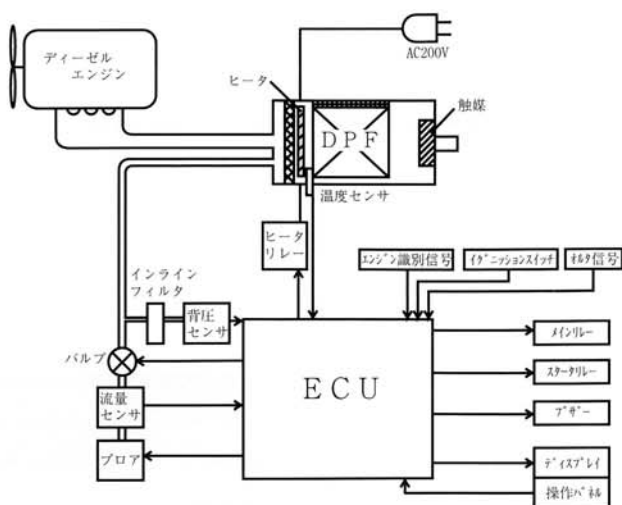


図-1 DPFシステム図
Fig.1 System diagram of DPF

により表示する。運転者はその表示により判断し、黒煙を燃焼除去（再生）する。再生作業は、エンジンを停止し、外部交流電源を車両に接続させ操作パネルの再生スイッチを押せば1時間程度で完了する。

本システムは、ヒータの熱とプロアから送られる空気により、黒煙を燃焼させる方式であり、フィルタ温度は温度センサにより、プロアからの供給空気量は流量セン

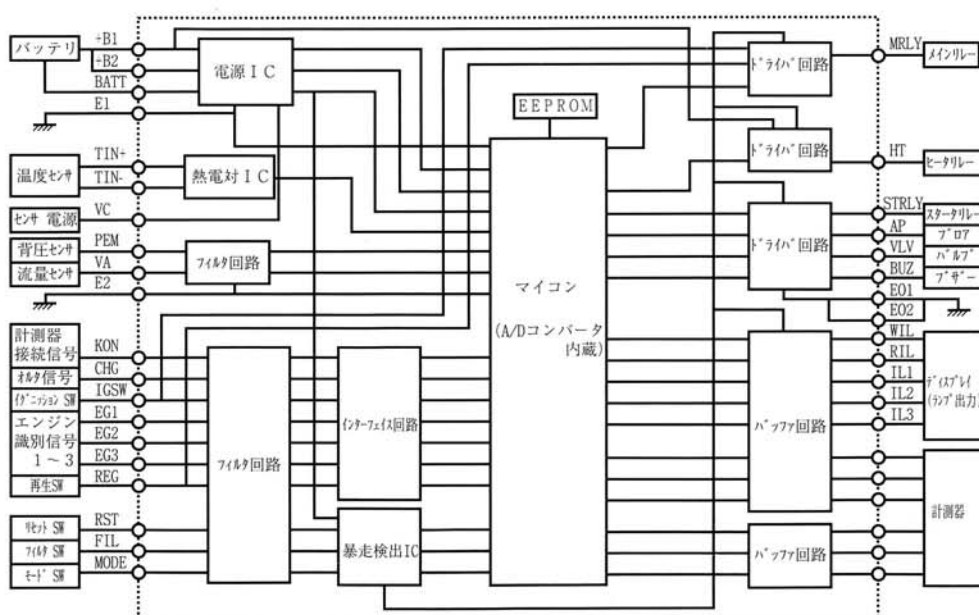


図-2 ECUブロック図
Fig.2 Block diagram of electronic control unit

サにより計測され、あらかじめ決められた設定値になるようフィードバック制御する。

なお、再生中はエンジンが廻らないようスタータリレーをカットしている。また、システムの異常発生時には警告ブザーを鳴らすと共にフェイルセーフを働かせ、操作パネルのスイッチ操作により、ダイアグコード（異常箇所コード）をディスプレイのLEDに表示するようになっている。（図-1,2）

2. 1 黒煙除去原理

捕集率が高く、圧力損失が低く、かつ耐熱性の高い自動車用セラミック材料であるコーゼライト製多孔質ハニカム方式DPFを採用した。ディーゼルエンジンより排出される黒煙の微粒子は、排気マフラ内に内蔵されたDPFの多孔質セル壁で捕集される。DPFは断熱排気シール緩衝材により、エンジンの振動等で破損しないように保持されている。（図-3）

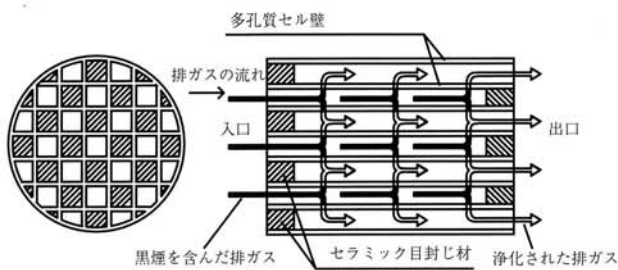


図-3 DPFの構造

Fig.3 Structure of diesel particulate filter

2. 2 捕集量の検出

2. 2. 1 捕集量推定制御技術

DPFの耐久性を確保するためには再生時のフィルタ最高温度を所定値内に抑える事が必要である。そのためにはDPFの正確な捕集量推定制御が必要となる。現在までに背圧をエンジン吸入空気量で補正する方法や電磁波法が検討されている。フォークリフトでは、エンジン回転数をガバナリングによって一定の最高回転数になるように設定されており、通常の使用では最高回転数を使用したエンジン運転モードで稼働される。本システムではシステムの簡素化のため、フォークリフトの運転モードを利用し、最高回転数時の背圧のみを捕集量推定制御に採用した。

2. 2. 2 捕集量推定制御方法

DPFの黒煙捕集状況は逐次ECU(Electronic Control Unit)

により推定される。黒煙の捕集は背圧センサの信号とECUに格納されている一次元定数マップを使用し、補間計算により捕集量を推定する。捕集量の計算に背圧センサ出力値の最高値をメモリーした値（ピークホールド値）を用いる。

背圧センサは自動車用EGRセンサに使用されている絶対圧センサを採用した。背圧センサのセンサ感圧部は半導体ダイアフラムで構成されており、ディーゼル微粒子等の汚染より保護するためセンサ配管中に自動車でも採用されているインラインフィルタを採用した。本センサは排気凝縮水による凍結にて破壊しないセンサであり、センサ自身もフィルタを有し対汚染性に優れた画期的センサである。（図-4）

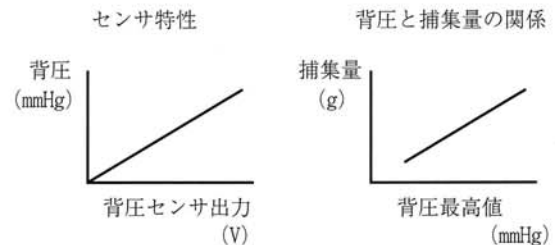


図-4 センサによる捕集量推定

Fig.4 Trapped mass inference by sensor

2. 2. 3 捕集量表示方法

ECUにより推定された捕集量はディスプレイ上へ出力される。イグニッションスイッチをONにするとECUに電源が投入されディスプレイのLEDチェックモードに入る。ここで捕集状況を表示する緑・黄・赤色のLEDと警告用の赤色のLEDが1秒間点灯する。その後、捕集状況を表示するLEDが点灯する。この時、今までの捕集量をECUが記憶している捕集量に合わせて点灯する。捕集状況を表示する緑・黄・赤色の3つのLEDの役割は、黒煙の捕集量が進むにつれ、緑→黄→赤と点灯数が増えていく。DPFは、捕集した黒煙を再生により焼却除去しなければ再使用できないため、黄色のLEDの点灯の間で再生を必要としている。

赤色が点灯する程の捕集量では捕集黒煙の焼却時に異常高温になりDPFが割れたり（クラック）、溶けたり（溶損）する。赤色へ到達する前に2段階の警告処理を行うことにより再生不可能状態に陥らないようにしている。再生必要時の黄色LED点灯中のDPFの捕集量は稼働時間として4～8時間分（注：エンジン型式・経年変化・車

両重量・アクセルワーク等により稼働時間は変わる）あり、再生は作業の区切り・休憩・作業終了時のいずれかに実施できるようになっている。

以上のように黒煙の捕集状況を推定制御することで再生時期の限界まで捕集でき、長時間稼働が可能になった。またディスプレイにより捕集状況を随時表示、またはブザーによる警告等で再生時期の見落とし運転を防止した。

2. 2. 4 機種判別方法

ハーネスEG 1～3の信号(High レベル又はLow レベル)の組み合わせにより機種を判別するシステムとした。信号線の本数をnとすると、 2^n 機種に対応することができる。機種判別結果は、ECU 内、EEPROMに記憶され、システムが起動される度に、その結果とハーネス情報とを照合する。一致しなければ故障と判断し、警告を行う。ハーネスの半嵌合時等、どちらの情報が正しいのか分からない時は、過捕集を防止する目的で、捕集量検出が早くなる方の機種のマップを用いて捕集量を推定する。つまり、機種1>機種2>機種3の優先順位となる。(図-5)

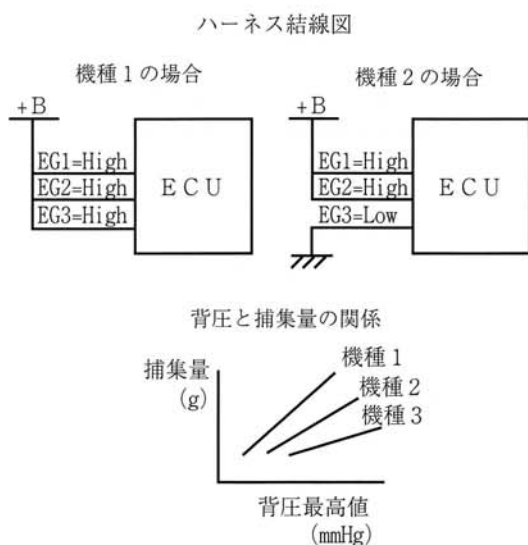


図-5 ハーネス信号による捕集量推定
Fig.5 Trapped mass inference by wiring harness EG signal

3. 再生処理

3. 1. 1 再生手順

黒煙が一定量以上DPFへ捕集されると、捕集された黒煙を除去してDPFの圧力損失を元に戻す再生が必要である。手順は次の通りである。

①外部電源を使用できる場所に車両を停止させ、イグ

ニッションスイッチをOFFにする。

②インパネの右端にある外部電源接続端子へ外部電源(AC200V)コンセントプラグを接続する。

③ディスプレイ上の再生スイッチを押す。

④ブザーが0.5秒鳴ると同時にディスプレイ上のLEDが警告LEDを除き全て点灯し、再生が開始したことを知らせる。

⑤捕集状況を表示するLEDは時間進行とともに、1つずつ消灯していく。

⑥再生が終了すると全てのLEDが消灯し、ECUの電源が自動的に切れる。再生時間は約1時間必要である。途中でコンセントを抜いた時、または停電時、ECUは異常を検知し、警告LEDを点灯し、ブザーを5秒間鳴らす。

3. 1. 2 作動機構

再生中のECUと各機能部品の作動機構を説明する。

①ヒータリレーをONし、ヒータに通電を開始する。

②バルブを開けてプロアを動作させ黒煙の燃焼に必要な空気を送る。

③流量センサにより実際に供給されている空気量を検知し、黒煙の燃焼に最適な量を送るようにプロアポンプを制御する。

④温度センサによりフィルタの温度を検知し、黒煙の燃焼に最適な温度になるようにヒータリレーを制御する。

以上のように黒煙の燃焼の制御は温度センサによるフィードバック制御と流量センサによるフィードバック制御により行われ、電源電圧に依存しない安定な燃焼エネルギーを供給することによる燃焼熱のコントロールと空気流量の微調整が可能になり、DPFの異常過熱による破損を防ぐ。本制御では初期にプロアを大量送風し、DPF

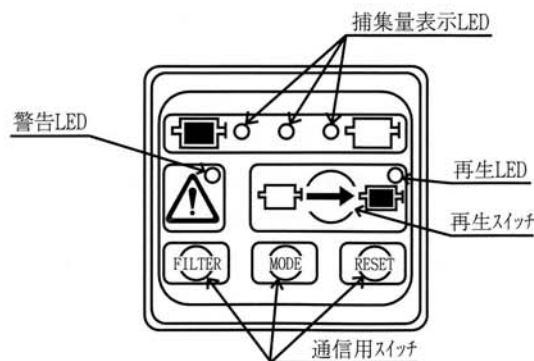


図-6 ディスプレイ
Fig.6 Display

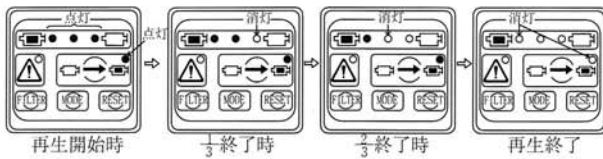


図-7 再生中の表示

Fig.7 Indication while regeneration

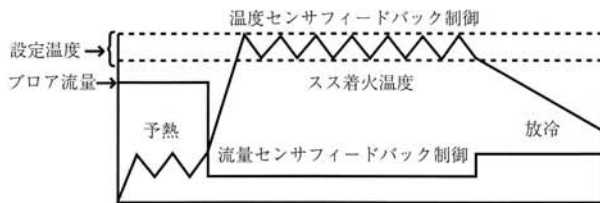


図-8 黒煙燃焼パターン

Fig.8 Pattern of black smoke combustion

を予熱後、黒煙の着火温度になるとブロー流量を絞りヒータ温度を制御する。燃焼が終わると再びブロー大量送風してDPFを放冷し、エンジン始動による熱衝撃を防止している。(図-6、7、8)

3. 1. 3 バルブ駆動方法

バルブの耐久性を向上させ、かつ確実に動作させるため、平均印加電圧を一定に保つようバッテリー電圧によるフィードバックデューティ制御を採用した。そうすることにより、バッテリー電圧よりも定格電圧の低い安価なバルブを使用可能とし、さらに、再生中、バッテリー電圧が

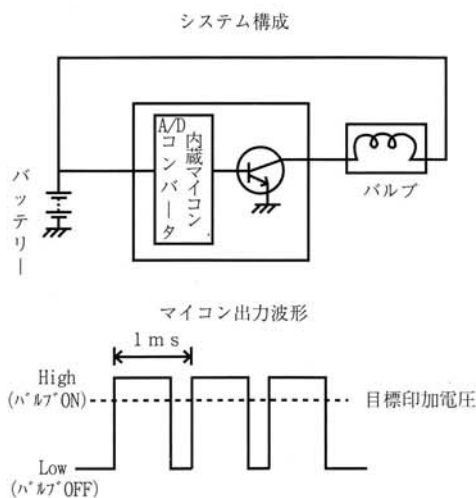


図-9 バルブ駆動方法

Fig.9 Valve driving method

下がってきても、デューティ比を上げることにより、安定した動作を維持できるようにした。(図-9)

駆動デューティ比 = 目標印加電圧 / バッテリー電圧

3. 1. 4 ブロー駆動方法

ブローポンプの印加電圧が一定でも、車両毎に、通気抵抗が異なるため吐出空気流量が異なる。さらに経時変化によっても、空気流量が異なってくる。これを一定値に制御するため、熱線式流量センサによるフィードバックデューティ制御を採用した。そうすることにより、再生中、二次空気を精度良く供給することができ、スムーズに燃焼させることができた。(図-10)

駆動デューティ比 = 基本デューティ + 補正デューティ

(500ms毎に次の処理を行っている。)

[目標空気流量 > 流量センサ] → 補正デューティ 0.5% 増加

[目標空気流量 < 流量センサ] → 補正デューティ 0.5% 減少

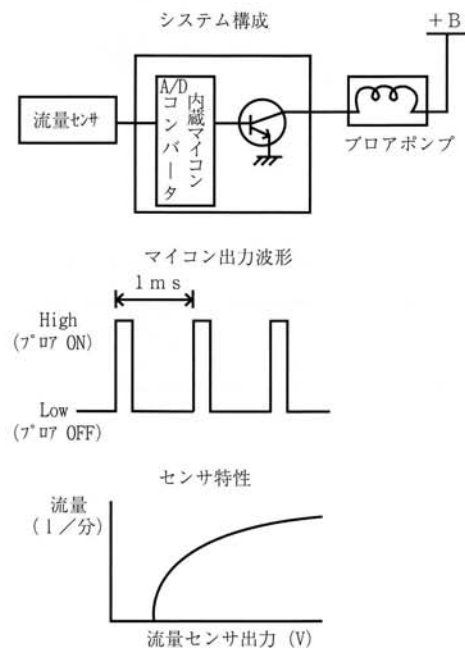


図-10 ブロー駆動方法

Fig.10 Blower driving method

3. 2 自己故障診断方法

マイコン電子制御によるダイアグノーシス（自己故障診断機能）を採用した。システムの異常や部品の故障を自己診断し、ディスプレイとブザーで知らせる。この機能により、システムの異常によるエンジントラブルや部品故障の誘発を防止できる。ダイアグノーシスによりマイコンが故障を検知した時、警告LEDが点灯し、ブザーが5秒間鳴る。故障がどの部位で発生したかは、ディス

プレイ上のモードスイッチの操作によりディスプレイ上へ表示する。システムの故障部位はディスプレイの捕集量表示LED 3つを用いて、7秒間－3秒間計10秒間のサイクルで第1表示－第2表示のダイアグコードで表現する。システムに異常が無い時はディスプレイの捕集量表示の3つのLEDを10秒間消灯させる。(図-11、12、表-1)

番号	ディスプレイ表示方法 ●：点灯
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	

図-11 コード番号対照表

Fig.11 Comparative table of code number

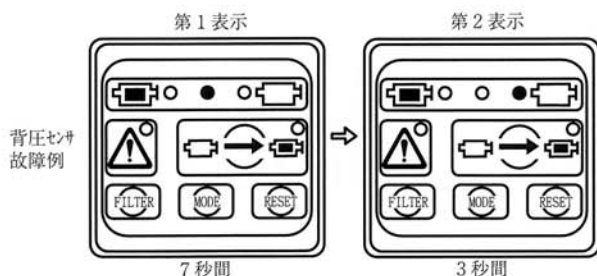


図-12 ダイアグコード表示

Fig.12 Indication of diagnosis. code

4. おわりに

今回、開発したシステムをトヨタフォークリフト用2Zエンジンに搭載することにより、黒煙濃度は、(無負荷加速時、ボッシュスモークメータ値で) 20%から0%にできた。また、2Z, 1DZ (国内仕様)、1DZ (欧州仕様)の3種類のエンジンに対し、1種類のECUで適合できた。今後は、他のエンジンへの適合を進め、汎用性の有るシステムを開発していきたい。

なお、今回の製品開発は株式会社豊田自動織機製作所と共同で進めてきた。開発にあたり、協力を賜りましたトヨタ自動車株式会社および関係会社の皆様に深くお礼申し上げます。

表-1 ダイアグコード一覧表

ダイアグコードは以下の17項目であり、故障の警告だけでなく、フェイルセーフも行う。

ダイアグコード	故障内容	目的	フェイルセーフ
1-1～5	ヒータ・温度センサ故障	異常過熱による車両火災等の防止	再生禁止 (再生中) ヒータOFF
2-1, 2	背圧センサ故障	DPF過捕集によるエンストの防止	標準値 (大気圧値) の採用
3-1	オルタネータハーネス信号故障	DPF再生不能による過捕集エンスト防止	—
4-1～3	アフロ・流量センサ故障	異常流量による火の粉の放出の防止	再生禁止 (再生中) アフロ出力の流量フィードバック制御禁止
5-1, 2	DPF故障	DPF過捕集によるエンストの禁止	—
5-3, 4	ハーネス故障	DPF過捕集によるエンストの禁止	一番捕集検出の早い機種種の制御採用
6-1	ECU内メモリ故障	DPF過捕集によるエンストの禁止	—
7-1	バッテリー故障	バッテリー上がり等による異常制御の防止	再生禁止 (再生中 再生中断)

[参考文献]

- 1) セラミックDPFによるディーゼル微粒子の後処理技術、応用技術出版 (1993)
- 2) 大気汚染防止に活躍するハニカムセラミックス、第27回高温材料技術講習会資料
- 3) 路線バス用DPFの開発、自動車技術会学術講演会前刷集、9632136 (1996)
- 4) 自動再生式DPFシステムの開発、自動車技術会学術講演会前刷集、9534531 (1995)
- 5) ディーゼル黒煙除去装置を搭載した路線バス、自動車研究、第17巻、第11号 (1995)
- 6) Y Kumagai, A Particulate Trap System Using Electric Heating Regeneration for Small Trucks, SAE Paper 920141.
- 7) Frank B. Walton, A One-Point Calibration Method for the On-Line Measurement of Diesel Particulate Loading in Ceramic Filters, SAE Paper 930366.

筆者紹介



金沢 博敬 (かなざわ ひろたか)

1983年株式会社豊田自動織機製作所入社。以来ディーゼル排気浄化技術開発に従事。現在産業車両事業部技術部開発第二室担当員。



太地 陽介 (たいち ようすけ)

1983年入社。以来自動車用電子機器の開発・設計に従事。現在モータロニクス本部第一技術部第12技術課在籍。



前原 弘明 (まえはら ひろあき)

1985年入社。以来自動車用電子機器の開発・設計に従事。現在モータロニクス本部第二技術部第21技術課在籍。



楠本 潤一 (くすもと じゅんいち)

1987年入社。以来自動車用電子機器の開発・設計に従事。現在モータロニクス本部第一技術部第12技術課在籍。



西脇 伸幸 (にしわき のぶゆき)

1990年入社。以来自動車用電子機器の開発・設計に従事。現在モータロニクス本部第一技術部第12技術課在籍。