

Readout

HORIBA Technical Reports

特集 自動車をはかる

January 1993 ■ No.6

トランジェント運転に対応する 自動エンジン計測システム

Model HERT-380 Engine Performance Test
System

三輪清和・木村信治

Kiyokazu MIWA, Shinji KIMURA

(Pages 67-72)

株式会社 堀場製作所

トランジェント運転に対応する自動エンジン計測システム

Model HERT-380 Engine Performance Test System

三輪 清和・木村 信治

Kiyokazu Miwa, Shinji Kimura

要旨

近年、自動車業界ではより一層の高品質・高性能化と同時に省人化、効率化が大きな課題となっている。排出ガス測定装置もまたより使い易いものが求められている。とくに米国環境保護庁(EPA)が規定している大型重量エンジン(Heavy Duty Engine: HDE)排出ガス試験では、1秒毎のエンジン速度とトルクを連続的に定めた走行モードを、エンジンダイナモメータ上で再現させることを規定しており、手動で運転する事は困難であった。

今回、フィードフォワード制御を応用した新しい制御手法を考案し、エンジンの開発時間の短縮を図り、かつ高精度の過渡試験を既存の設備を使って行える制御計測システムを開発した。

本稿では、この制御方法を中心として自動運転装置と計測/データ処理装置の構成、機能について紹介する。

Abstract

In recent years, two major concerns of the auto industry have been (1) increased labor savings and efficiency and (2) higher quality and performance. The here are also demands to make emission measurement methods easier to use. In particular, the heavy duty engine (HDE) emission test specified by the Environmental Protection Agency (EPA) uses an engine dynamometer to simulate the drive mode in which the engine speed and torque-per-second are continuously specified. This test is difficult to perform manually and requires an expensive system. In order to shorten the engine development time, we have devised a new control method using a feed forward control. Based on this method, we have developed a controlled measurement system which allows accurate transient tests to be made using conventional equipment. This paper describes the configurations and capabilities of the automatic operation system and the measurement / data processing system, focusing on the use of the new control method.

1. はじめに

当社では、台上エンジン*1の汎用性能試験や耐久試験の自動運転、自動計測およびデータ処理を行うシステム(HERT-100/300シリーズ)を開発し、定常状

*1 台上エンジン
エンジンダイナモメータに接続された供試エンジン
吸排気装置等の付属装置の使用は、
通常試験方法によって定義

態での台上エンジン開発の自動化を図ってきた。

一方、エンジンの研究開発が進むにつれて過渡状態の計測が必要とされ、過渡計測システム (HERT-500) を開発してその要求に答えてきたが、さらに今回、トランジェント運転^{*2}を含む台上エンジンの排出ガス規制モードを走行できる自動運転装置と、各種排出ガス試験に完全に対応できる計測/データ処理装置、およびこれを組み合わせたエンジン計測システム (HERT-380) を開発した。

*2 トランジェント運転
刻々とエンジンの状態を変化させていく運転方法

2. システムの概要

本システムの装置外観を図1に、システムブロック図を図2に示す。

本システムは、各国の代表的な規制モードを忠実に再現する事はもちろん、制御が難しいと言われる渦電流式ダイナモ (Eddy-Current Dynamometer : EC-DY) においても、同等の精度を得る事ができる。また、粒子状物質 (Particulate Matter : PM) の計測をはじめ、各種の自動車排出ガス規制試験に定められる計測・データ処理も行いう事もできる。

このシステムの大きな特徴は、①自動運転装置とデータ計測装置の連動による排出ガス試験の簡素化と効率化、②エンジンを交換する度に発生する運転パターンの再設定作業をなくす、③オペレータによる分析機器の操作・データ収集を必要としない、④試験結果の出力まで全てが自動化されている事である。

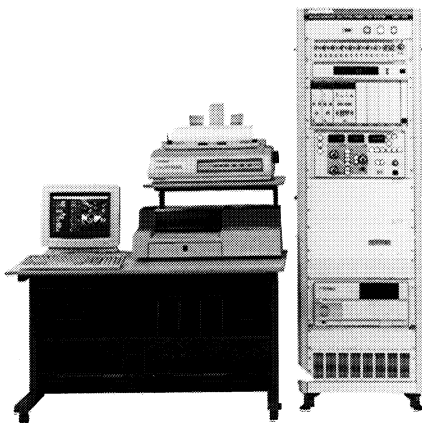


図1 自動エンジン計測システム (HERT-380)
Engine performance test system (HERT-380)

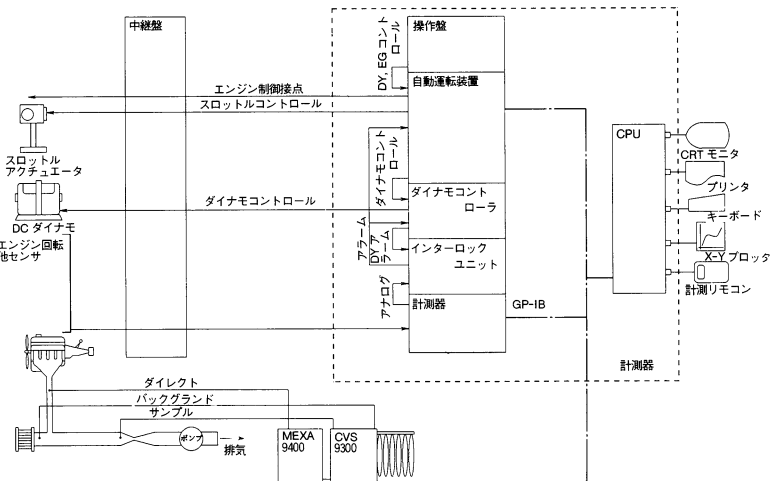


図2 HERT-380のシステムブロック
HERT-380 : System blockdiagram

3. 制御方法

本システムでは、新しく用いたダイナミックフィードフォワード方式^{*3}によるエンジン制御と、エンジン・マップ^{*4}を利用したエンジンとダイナモを同時に制御する方式を用いており、あわせてダイナモ固有の制御遅れとダイナモ慣性量の項を考慮する事により、EPA 1199モードなどのトランジェント運転を可能にした。エンジンに対しては、定常かトランジェントかの運転モードにより2種類の制御方法を、ダイナモにはその慣性を考慮した目標値を算出して制御する方式を用意した。

また、ダイナモ自体のもつ種々の特性に合致させるために、エンジン制御指令値とダイナモ制御指令値の間に遅れ時間を発生させ、この値を調整すること

*3 ダイナミック・フィードフォワード方式
フィードフォワード値を基にリアルタイムの加速度による制御手法切り換えも可能であるフィードバック制御方式
*4 エンジン・マップ
フィードフォワード値として制御に使用する予測値のデータ群

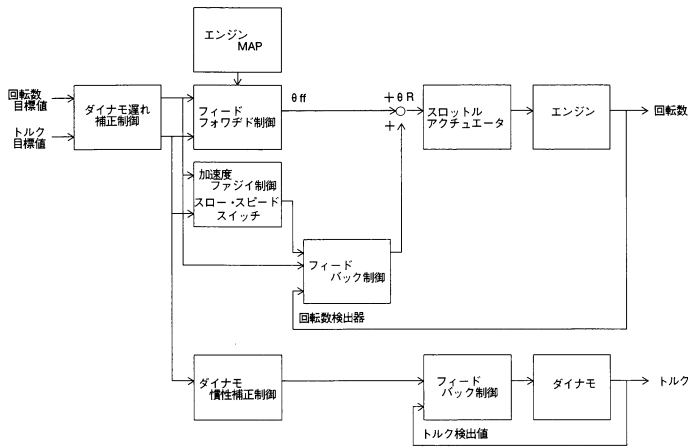


図3 HERT-380の制御ブロック図
HERT-380: Control blockdiagram

による補正方法を導入した. HERT-380の制御ブロック図を図3に示す.

3.1 スロットル制御(エンジン制御)

まず, 図4に示すように運転パターンで設定された目標回転数と目標トルクから加速増加分を演算し, この値と各目標値によりエンジン・マップから予測スロットル開度を求め, これをフィードフォワード値として制御に使用する. EPA 1199モードや汎用トランジェント排出ガス試験のような追従性を重視した運転モードでは, 図5に示すようにフィードフォワード値を基にリアルタイムでフィードバック制御する方式を用いている.

日本の13モードや汎用定常排出ガス試験のような定常状態での安定性を重視した運転モードでは, フィードフォワード値を基にリアルタイムに加速度の大小で判断し, 最急降下法または比例制御に自動的に切り替えてフィードバック制御する方式を用いている.

このフィードフォワード値を得るために, モード運転を行う前にあらかじめ学習運転を行いエンジンマップを次のように作成する. ダイナモをトルク制御, エンジンを回転数制御の定常状態にして, 各点のエンジン回転数, 軸出力トルク, スロットル開度のデータを採取しエンジン・マップに展開する.

3.2 ダイナモ制御

本システムは既存設備を使用することを前提にしており, ダイナモ制御はダイナモコントローラにて行うため, 目標値出力に補正をする必要がある. また, ダイナモにはそれぞれ固有の慣性があるために, コントローラに目標値に用いるダイナモトルクと軸トルクとは加減速時に相違が発生する.

この慣性力を打ち消すために, ダイナモに与える指令値は, 目標値の加速度演算によりダイナモコントローラの慣性量からリアルタイムに補正し, ダイナモ出力軸目標値として出力する. これらの関係を次式に示す.

$$T_y = T_x - I \cdot \omega + T \omega$$

ここで, T_y : トルク指令値, I : 慣性モーメント
 T_x : トルク目標値, ω : 角加速度
 $T\omega$: 摩擦損失トルク

3.3 ダイナモとエンジンの制御

ダイナモには, 本体固有の動作遅れと立ち上がり遅れ(トルクゼロ付近から

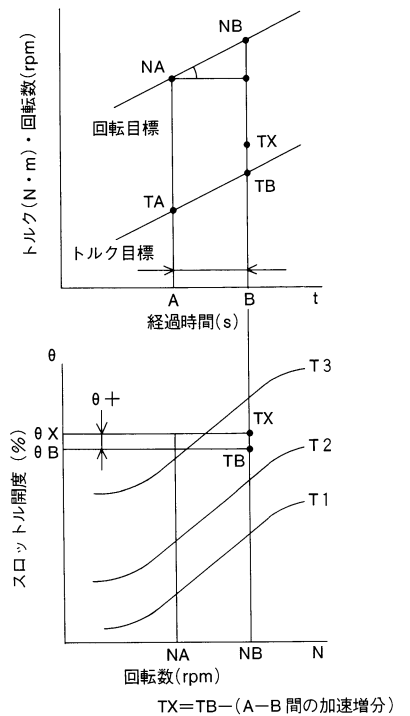


図4 エンジンマップの使用方法
How to use engine-map

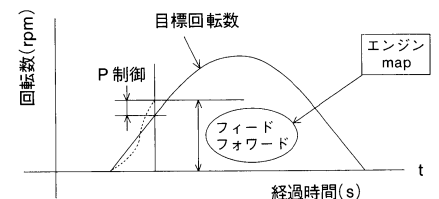


図5 ダイナミックフィードフォワードの制御概念
Concept of dynamic feedforward control

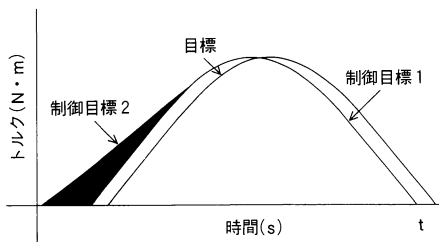


図6 ダイナモの遅れ補正の制御概念
Concept of lag time compensation on chassis dynamometer

の立ち上がり)があり、エンジンと同時に制御しても同期しない場合が多い。そこで、エンジンおよびダイナモの各制御指令値の間に遅れ時間を発生させ、この時間を調整することによって遅れ分を補正し(図6)、運転精度の向上を図ると同時に、ダイナモの種別等に関係なく制御できるようにした。

4. 自動運転装置

本装置は、前述した制御方法を用いてトランジェント運転を行い、かつその運転結果から検証データを算出し、精度を判定するものである。

本装置を用いて EPA 1199モードを運転した結果(チャート出力)を図7に、日本の13モードを運転した結果を図8に、EPA 1199モードの検証データを表1にそれぞれ示す。

	EPA	EPAの1/2	実測データ	
回 轉 数	回帰直線の 勾配 m	0.90~1.030	0.985~1.015	0.9992
	回帰直線の y切片 b	±50min ⁻¹	±25min ⁻¹	8.736min ⁻¹
	標準偏差 SE	100min ⁻¹	50min ⁻¹	47.86min ⁻¹
	相関係数 r ²	min. 0.9700	min. 0.9850	0.9992
トル ク	回帰直線の 勾配 m	ホット 0.83~1.03 コールド 0.77~1.03	ホット 0.915~1.015 コールド 0.885~1.015	0.9569
	回帰直線の y切片 b	±15ft·lbs (20.33N·m)	±7.5ft·lbs (10.16N·m)	1.752N·m
	標準偏差 SE	パワーマップの最大 エンジントルクの13%	パワーマップの最大 エンジントルクの6.5%	5.734%
	相関係数 r ²	ホット min. 0.8800 コールド min. 0.8500	ホット min. 0.930 コールド min. 0.975	0.9815

表1 回帰直線の公差
Deviation from linear regression

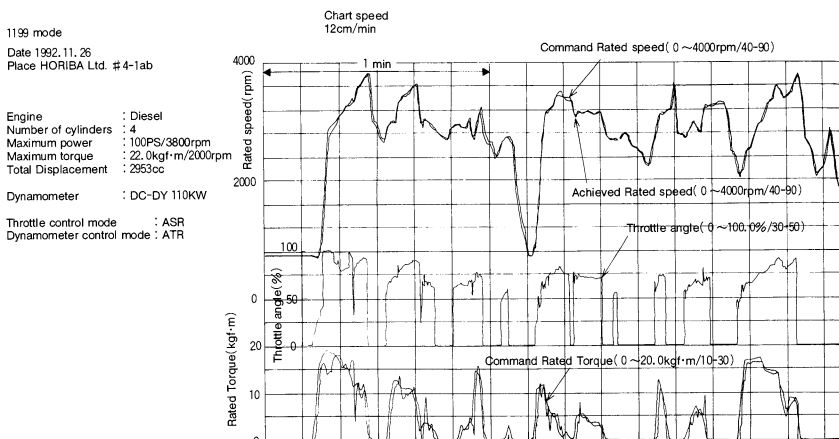


図7 EPA1199モードによる運転例
An example of driving-pattern in EPA 1199 mode

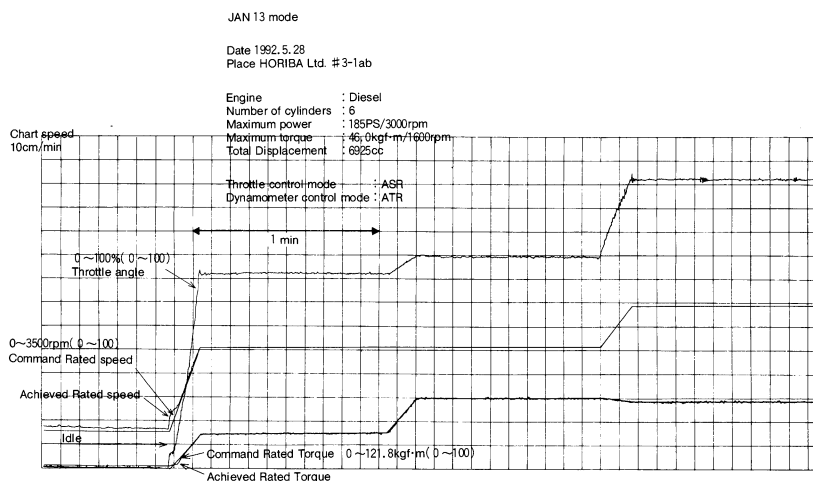


図8 日本の13モードによる運転例
An example of driving-pattern in Japan 13 mode

EPA 1199モードおよび日本の13モードはEC-DY上で運転したものであるが、何れの場合もほぼ目標値通りに制御されていることがわかる。また、検証データはEPAに定められた除外項目を含んだものであるにもかかわらず、開発目標としたEPAの1/2以内の誤差(2倍の精度)に納まっており、除外項目を入れると、さらに高い精度がでることがわかる。

本装置は単独でも動作させることが可能で、その場合は運転パターン設定用の CRT とキーボードが付属する。

本装置は、実際に運転制御を行う指令発生/制御装置の他に、以下のユニットで構成されている。

- ①操作ユニット：手動運転を行うための装置
- ②インターロック・ユニット：エンジンおよびダイナモの異常監視装置
- ③スロットルアクチュエータ：トランジェント運転用高応答アクチュエータ
- ④ダイナモ・インターフェイス：既設ダイナモとの信号取り合い部

5. 計測/データ処理装置

排出ガス試験を自動化するには、その規制モードを自動運転するだけでなく、各規制試験に従ってデータを収集し処理する必要がある。とくに、日本の13モードや ECE-R49モードでは排出ガスのサンプリング・タイミングや演算が複雑であり、この部分の自動化の意義は大きい。

本装置は、基本的には自動運転装置と組み合わせて1つのシステムを構成するが、それぞれ独立した装置となっているため、既に自動運転装置があるユーザには、この計測/データ処理装置のみ納入することもできるようになっている。

また本装置は、新型自動車審査関係基準集(Traffic Safety and Nuisance Research Institute's Automotive Type Approval Test Standards: TRIAS, 日本)や CFR(Code of Federal Regulations, 米国)などの規制に準拠した自動計測とデータの出力を基本にしているが、顧客による独自の試験も、2種類の汎用排出ガス計測と汎用帳票・作図処理で行えるように考慮されている。

さらに本装置は、規定された排出ガス試験を簡単にまちがいをなく行うために、自動運転装置側で目標値の非正規化(最大値の%で示される値を絶対値に変換する)を行えるようにし、運転目標値を正規設定とすることによりエンジンの乗せ換え時などに運転パターンを再設定する必要性をなくした。

5.1 対象試験

本装置でデータ処理可能な排出ガス試験としては、①日本の6モード(ディーゼル/ガソリン)、②日本の13モード(ディーゼル/ガソリン)、③ECE R49モード、④EPA 1199モードとなっているが、この他に ISO 8モードや13モード、CARB 6モードにも対応可能(オプション)である。

また、次のような汎用排出ガス計測モードも用意し、新しい規制や各顧客独自のモードでも、計測/データ収集ができるように考慮した。

- ①汎用トランジェント排出ガス試験
- ②汎用定常排出ガス試験
- ③一般性能試験(原動機負荷試験, 出力試験)

5.2 主な機能

本装置の持つ主な機能を次に示す。

- ①ミニトンネル*5分流比の計算
CO₂ガストレース法*6、またはベンチュリ流量比法
- ②サンプル重量の計算
計測周期毎に希釈濃度と CVS 流量を収集して積算するか、またはサンプルバッグから測定

*5 トンネル
粒子状物質を均一に採取する為の筒状の希釈装置のことで、排出ガスを全て希釈する全量希釈法で使用するフルダイリュージョントンネルと一部分を希釈する部分希釈法で使用するミニダイリュージョントンネルがある

*6 CO₂ガストレース法
分流前の CO₂濃度と分流・希釈後の CO₂濃度から、分流の比率を計算する手法

③帳票出力

日本の13モードやECE-R49モード等の定常排出ガス試験用として、各モード毎のデータに総排出重量やPM等を付加した標準タイプ(図9)と、1199モード等の過渡排出ガス試験用に印字開始終了時間を指定して出力

④作図

定常排出ガス/性能試験とトランジェント排出ガス試験(図10)

⑤データ管理

データの修正、および市販のワープロや表計算ソフトで本システムの計測演算データおよび試験結果が利用できるASCII変換*7

⑥運転パターン設定

汎用試験の運転パターン設定

*7 ASCII変換

データファイルを市販のエディターや表計算ソフトで使用できるようにASCII形式に変換すること

1-# No.	エンジン 回転数 rpm	エンジン トルク kgf-m	燃料供給 流量 l/h	吸入空気 流量 m ³ /min	調停温度 度 °C	CO (%)	THC (%)	NOx (%)	CO2 (%)	排出ガス 温度 °C	燃料温度 °C	C.V.S.値 時速度
1	389	1.43	1.25	1.95	29.54	4.2	5.4	1.4	0.058	74	28.19	15.13
2	1151	9.78	4.43	3.67	42.13	8.5	9.0	4.8	0.109	146	28.20	15.13
3	1153	19.33	4.62	3.65	44.43	7.1	9.1	9.3	0.146	213	28.19	15.13
4	587	1.59	1.25	1.93	43.22	3.6	5.4	1.4	0.057	88	28.20	15.13
5	1728	9.97	7.27	5.52	49.52	12.0	11.5	5.8	0.153	192	28.20	15.14
6	1728	19.89	10.73	5.48	49.29	9.5	9.8	11.6	0.211	279	28.19	15.14
7	2261	19.07	15.17	7.44	53.35	12.6	11.0	14.7	0.287	337	28.19	15.15
8	2261	28.62	19.93	7.40	55.72	9.9	11.0	23.0	0.369	426	28.18	15.15
9	1728	27.07	13.36	5.44	53.78	7.7	9.2	17.1	0.256	300	28.18	15.13
10	1728	29.79	16.09	5.37	54.70	5.1	7.8	26.2	0.346	400	28.19	15.14
11	1727	46.00	21.92	5.32	55.51	12.3	6.4	28.3	0.399	582	28.19	15.13
12	2008	37.90	25.68	7.34	58.31	13.1	8.1	30.2	0.463	565	28.20	15.14
13	1728	3.55	4.96	5.50	54.08	12.7	11.6	3.5	0.114	184	28.20	15.14

測定	Sample	CO	9.101 ppm	CO2	0.228 %	T-HC	8.867 ppmC	NOx	13.640 ppm
Air	CO	0.300 ppm	CO2	0.040 %	T-HC	2.836 ppmC	NOx	0.013 ppm	
Net	CO	8.801 ppm	CO2	0.188 %	T-HC	6.031 ppmC	NOx	13.626 ppm	

排出重量	CO	3.18877 g/kw-h	CO2	881.279 g/kw-h	T-HC	1.17718 g/kw-h	NOx	5.32943 g/kw-h	Particulate	0.72438 g/kw-h
------	----	----------------	-----	----------------	------	----------------	-----	----------------	-------------	----------------

図9 定常排出ガス試験結果の印字例
An example of emission test result

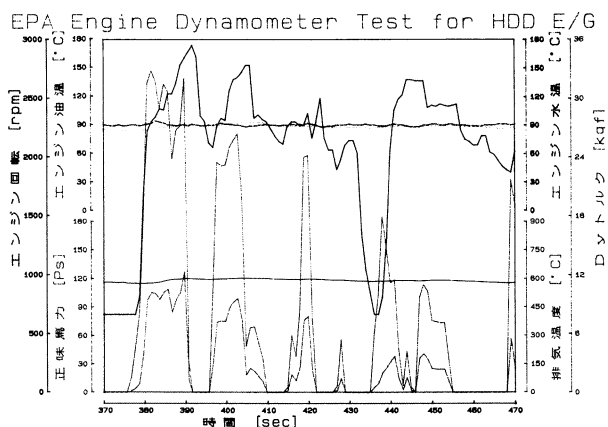
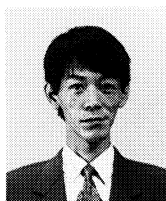


図10 EPA1199モードによる試験結果の作図例
An example of engine dynamometer test result on EPA 1199 mode

6. おわりに

以上、ディーゼル・トランジェント計測システムを主体に、その制御方法と機能の概略を述べた。本システムは、新しい制御手法を用いて飛躍的に精度を高め、かつ計測/データ処理装置とのデータ・リンクによる大型エンジンの排出ガス試験の効率向上を狙うものである。今後、汎用エンジンを中心とした制御ならびに計測精度の一層の向上、より高機能の計測/データ処理の開発をすすめ、ユーザの皆様の効率向上にお役に立ちたいと願っている。



三輪清和
Kiyokazu Miwa
生産本部自動車計測開発部 主任
1957年6月23日生
関西大学
工学部金属工学科卒業



木村信治
Shinji Kimura
生産本部自動車計測開発部
1962年12月10日生
同志社大学
工学部機械工学科卒業

