

排ガス測定におけるモード走行運転の自動化

Automation of Mode Driving Operation for Exhaust Gas Measurement

阿部 良治*
Yoshiharu ABE

小林 吉彦**
Yoshihiko KOBAYASHI

要 旨

自動車の排ガス測定の工数削減をねらいとして、自動運転装置(ロボット)によるモード走行運転の自動化が実施されている。特に高地排ガスエミッションテストにおいては、作業員を労働負荷の高い作業環境から開放するという点でロボットによる無人化の利点は大きい。

本システムは高地条件でのロボット運転による無人化の課題である「冷却ファンの作動と停止の自動化」および「フード開閉の自動化」システムを構築し、全ての作業手順を完全自動運転化することを可能にした。またテスト室内の気圧変化に対する車速トレース精度については、低地用と高地用で別の加速力データを使用し、さらに制御定数を最適化して人の運転による走行状態と同等の精度を実現した。これにより、要員とテスト時間を削減するとともに、労働負荷の高い業務を無くすことができた。

ABSTRACT

Mode driving operation is being automated using automatic driving units (robots) with the aim of reducing the number of man-hours needed for the measurement of automobile exhaust gases. Particularly in high-altitude exhaust gas emissions tests, automation using robots offers significant advantages in terms of liberating workers from a hard work environment.

This system makes it possible to fully automate all work procedures by constructing automatic cooling fan start/stop and automatic hood opening/closing systems, which were issues for automation by robot driving under high- altitude conditions. In addition, the same vehicle speed trace accuracy relative to changes in atmospheric pressure inside the test chamber as for driving with a human driver was realized by using separate acceleration parameters for low- and high-altitude conditions and optimizing the control parameters. These improvements made it possible to reduce the number of staff and time required for tests and to eliminate tasks in hard work environments.

1. はじめに

自動車はさまざまな環境において使用される。従って自動車の環境へのインパクトを定量化するための測定は実にさまざまなモードや環境条件で行う事が法規により規定されている。これらの規制に適合するための確認テスト数も増加している。これらテスト数の増加に対応するために、排ガスおよび燃費試験の自動化による作業工数の削減の要求が高まっている。

自動化の要求は省力化はもちろんであるが、運転の再現性の向上や低温、日射、負圧室等の労働負荷の高い条件下より作業員を解放するという点にある。自動化を実現する技術の発展は最近めざましく、試験車両を人間の代わりに運転する自動運転装置(ロボット)は自動化にたいへん有効な手段である。この装置は車両のエンジン耐久試験で多く使

われている。さらに車両のエアコンを作動させた条件での排ガスおよび燃費試験において使用されている。エアコン作動させた条件でのテストではテスト室を35℃の高温に保ち、さらに日射装置を使用して、カリフォルニアの真夏の条件を再現した厳しい作業環境である。

標高1600m相当の高地排ガスエミッションテスト(高地テスト)は低地排ガスエミッションテスト(低地テスト)に比べ多くの人的工数を取られている。

従来の装置では、ロボットがモード走行を人間に変わって運転する事が目的であり、運転する以外の作業を人に代わって行う事を想定していない事から、高地テストでは十分なメリットを得ることが出来ない。その理由は、低地テストは人間がフードの開閉やエンジン冷却ファン操作を行なえるが、高地テストはロボットがこれらの操作を行えないからである。

* 栃木研究所

** (株)PSG

著者らは高地テストにロボットを適用し、また装置の改良により全自動テストを実現した。本稿では改良した装置と高地のロボットの走行性能について紹介する。

2. 開発のねらいと目標要件

標高 1600 m 相当の高地テストは低地テストに比べ多くの工数が取られていることから、この業務の効率向上と労働負荷低減のため、高地テストをロボットに置き換えることを検討した。しかしながら、ロボットは運転機能のみを代替するよう作られている。従来は負圧状態のテスト室で担当員が運転および冷却ファン停止やフードの開閉を行っており、単にロボットにモード走行を代行させることでは達成できない。これらの操作を自動化することで、業務の効率向上と作業負荷低減の目的を達成することができる。

基本要件は下記 4 項目である。

- (1) 法規で定められた正規テスト法に準じたテストが出来ること。
- (2) LA4 モードにおいて、ロボット走行で低地と高地で走行性能を同等にする。また人間とロボットで同等の車速追従であること。
- (3) 非常時に危険回避がされること。
- (4) 実用面から限られた車両だけでなく汎用性があること。

解決すべき課題は下記 4 項目である。

- (1) 負圧環境下でフードの開閉と冷却ファンの On/Off を行なう
- (2) 走行中の低地と高地でのスロットル開度変化に対応する
- (3) 人間と同等の走行性能をロボットに設定する
- (4) 故障の検知と故障時の危険回避をおこなう

3. 概要

条件は標高 1600 m 相当の負圧テスト室を基準とする。テスト室の温度は $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 以内、湿度 $50\% \pm 10\%$ 以内に調整されている。シャシダイナモはダブルローラ方式を使用する。

ロボットは制御装置が操作室に設置され、メカニカルユニットのみが車載される。このメカニカルユニットは他の環境条件での併用が前提であり、装置がマイナス 25°C に放置された場合でも問題がおこらないようヒーターにより加熱保温する構造にした。メカニカルユニット単体を Fig.1 に、車載状態は Fig.2 に示す。

人間が運転してテストを行なう従来の方法では安全確保からテスト室内に 2 名、操作室に 2 名でテストを担当する。テスト室、操作室に各 2 名必要な理由は、負圧環境で、もし運転手が健康状態等の悪化で動けなくなった場合にもう 1 名が救出するためである。操作室の場合は、テスト室での異常発生時に 1 名が救出に行き、もう 1 名が設備の操作を行

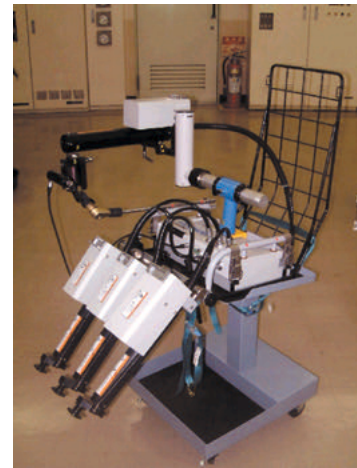


Fig.1 Mechanical unit



Fig.2 Mechanical unit with vehicle

うためである。ロボットによるテストではテスト室は無人で、操作室は 1 名の作業で問題は無い。

負圧状態で操作室からテスト室へ人間が移動する場合は時間を掛けて身体を気圧に慣らす必要がある。よって、負圧のテスト室の出入りには片道 12 分の移動時間が必要である。1600 m の場合は 12 分であるが、さらに標高が高い場合は標高に比例して時間を長くする必要がある。Fig.3, Fig.4 に概要を示す。無人化する前にはこのように人的、時間的な工数が余分に必要であったわけである。

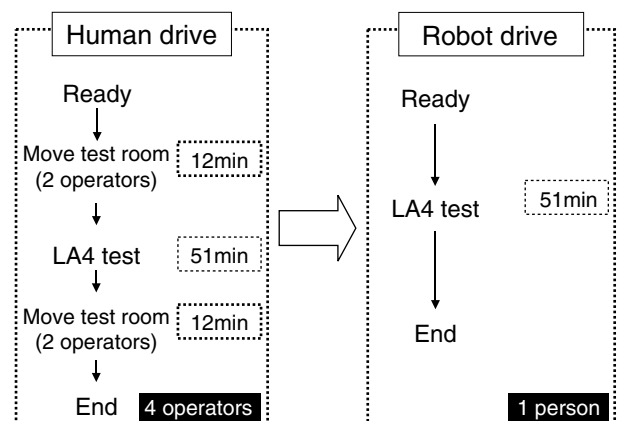


Fig.3 High altitude test schedule

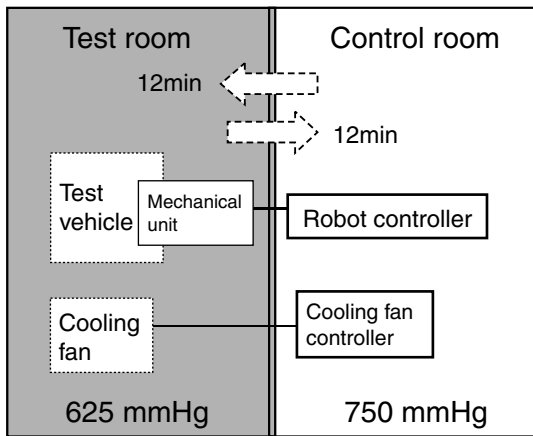


Fig.4 Test room layout

試験車両は米国向け ULEV カテゴリ ACCORD のオートマチックトランスミッション車を使用した。

ロボットの運転精度を議論する基準として、運転手はテスト経験が3年以上の熟練ドライバの運転の仕方を基準にした。しかしながら運転手により運転状態も個人差がある。細かく基準車速を追跡する乗り方や、将来予測をして滑らかに追従する乗り方がある事から、一般的な運転をするドライバを基準として選定した。

4. 問題解決策

4.1. 課題1 装置の改善

高地の従来システムの障害は 10 分間のエンジン停止条件(ソーク)が設定されているところにある。Fig.5 に示す LA4 モードではCT(Cold Transition), CS(Cold Stabilized),

HT(Hot Transition)の3種の走行モードがあるが、CSとHTのモード間にソークが設定されている。ソーク開始時はエンジンを停止しフードを閉じる、エンジン冷却ファンを停止させる。またソーク終了時はエンジンを始動しフードを開け、エンジン冷却ファンを作動させる。このように従来では高地テスト時においても上記作業を運転手が行っていたため、無人にはできなかった。

Fig.6 は LA4 モードにおける排気エミッション測定のソーク中にフード開閉の比較を行ったものである。フードを開けた状態では NOx エミッション値が増加する傾向があり、正規テストに対して NOx エミッションに違いが出てしまう。原因は触媒温度と吸気管内の温度が変化するからである。

また、エンジン冷却ファンをソーク中に停止しない場合は、フード開閉の影響以上に排気エミッションに差が出てしまう。これはエンジン冷却風が直接触媒までの排気管に当たり触媒温度が低下するからである。

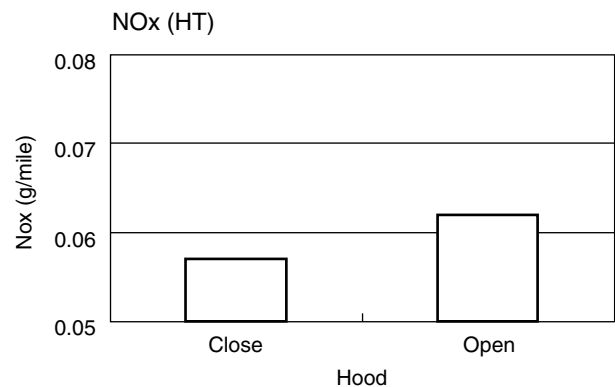


Fig.6 Comparison of emission between close and open (LA4 HT)

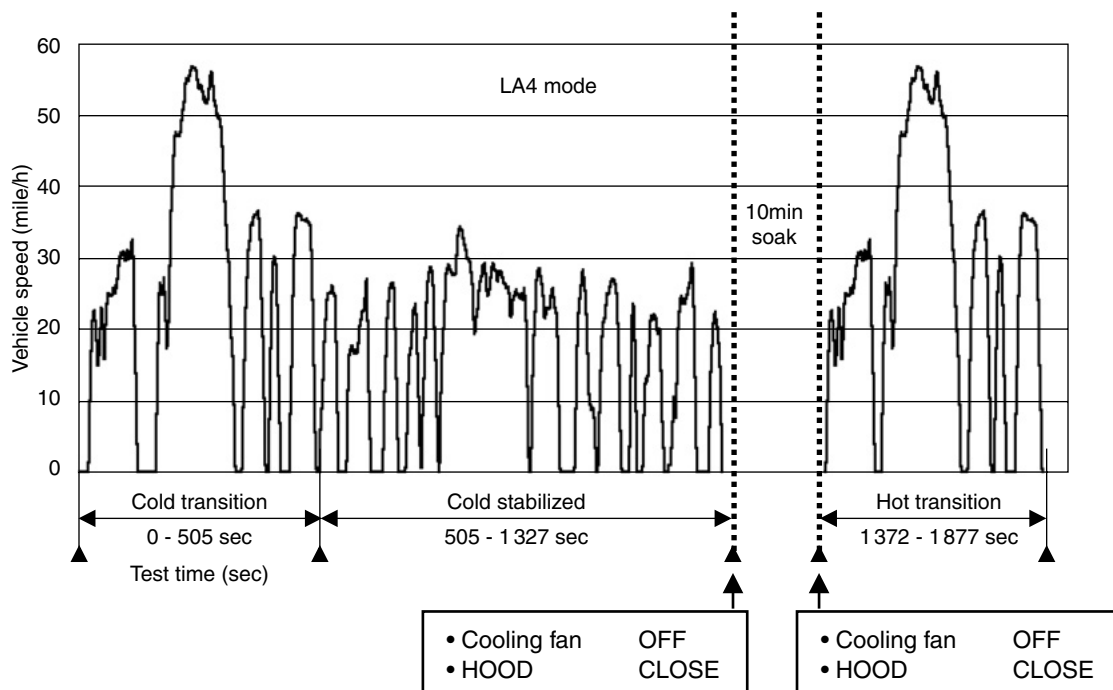


Fig.5 LA4 test mode

このようにフード開閉の影響が排気エミッションに影響が少なからずあるため、この操作もテスト手順にのっとり自動化させなければロボットによる全自動化は達成できない。要求される動作はソーク中のフード開閉であることから、フードの先端にワイヤーロープを取り付け、天井部にはこのロープを巻き取り上下する装置を新たに設置する。Fig.7に装置を示す。また、事前にフードの開口位置学習を行い、異常が起きた場合は安全策として、上限トルクを設定し車両が持ち上げられる事を防止する。

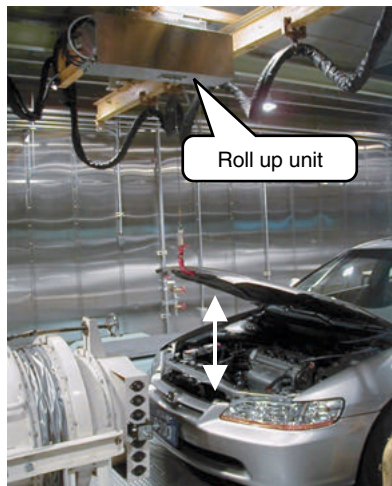


Fig.7 Automatic hood open-close system

エンジン冷却ファンのスイッチはテスト室内に設置していることから、そのスイッチを分岐し、ロボットの運転と同期して On/Off するよう改修した。同じくフード開閉装置も連動させた。

4.2. 課題2 標高による空気密度差

低地と高地では空気密度の違いから同一走行においてもスロットルの開度が大幅に変化する。ロボットはエンジン出力とスロットル開度を基に加速基準値が設定されている。低地のスロットル開度を基準に高地で加速を行うと高地では空気密度が低下しエンジン出力(加速度)が減少しているため要求の加速度が得られない。高地で同一加速度を得るためには低地よりスロットル開度を大きく設定する必要がある。高地で低地の加速基準値を使用すると、車速追従が遅れるため走行性能と排ガスエミッション値に悪影響をおよぼす。

そのため事前に低地と高地でスロットル開度学習を別に行ない、低地と高地用データに分けて管理する必要がある。これによりロボット走行での低地と高地の排ガスエミッション値に違いがなくなった。

Fig.8に低地と高地での燃費比較、人間走行とロボット走行の燃費比較を示す。低地と高地の走行の違いによる差異

を燃費差で検討をおこなったが、低地と高地ともに、人間走行とロボット走行での差は非常に小さく実用上問題ないことが確認された。

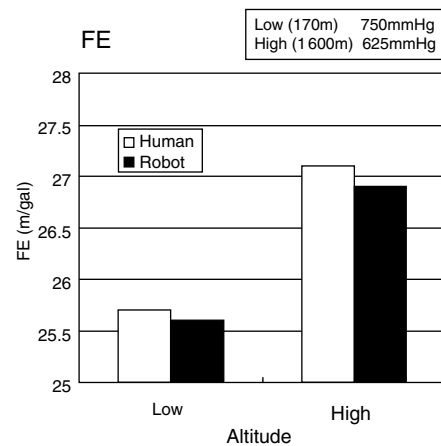


Fig.8 Comparison of low and high altitude FE between human and robot

4.3. 課題3 運転者による車速追従に個人差

運転手により車速追従手法に個人差がある。法規では基準車速に対してある許容幅が設定され、その範囲内であれば追従性は問題無いと規定されている。しかし、車速追従性の違いは排ガスエミッション値や燃費に影響を与える。そのためになんらかの運転基準が必要である。そこでテスト経験が3年以上で一般的な車速追従性能の持ち主を基準として選択した。車速追従性能の大切な要素はスロットル開度の動きである。運転手のスロットルの動きは大別すると3つの動きがある。

一般的な車速追従性能の持ち主の基準を Standard Trace とここで定める。車速追従する際に目標車速と現在の目標車速の偏差に対してゆっくりスロットルを動かす人もいれば敏感にスロットルを動かす人もいる。前者を Slow Trace、後者を Quick Trace、両者の中間の者を Standard Trace とここで定める。

我々はロボットの車速追従性能を Standard Trace と同等性能に設定することにした。そのためスロットルの追従用制御定数の調整を行った。

調整した内容を説明する。許容幅の車速範囲内で目標車速に鈍感に追従する制御定数で走行させた制御定数を Slow Trace 設定とする、反対に目標車速に極力近づける様に敏感に反応する制御定数で走行させた制御定数を Quick Trace 設定とする。両者の中間の制御定数を Standard Trace 設定とした。テスト法で規定された基準車速を Trigger Speed と定める。Fig.9 に各トレースでの車速追従性能の比較を示す。範囲は LA4 モード開始 55 秒から 65 秒の間の車速追従性能を比較したものである。Trigger Speed に対して偏差

が比較的小さいのが Quick Trace である。また Fig.10 でスロットルの動きを比較するため、吸気負圧を示す。Quick Trace はスロットルの踏み込みを頻繁に行うという無駄な動きになる。Slow Trace は将来予測を行いできるだけ少ないアクセル操作で走行することから、スロットルの動きは無駄が少ない。よって車速追従性能とスロットルの動きの観点から両定数の中間を Standard Trace 設定としロボット運転の基準制御定数に決定した。

車速追従性能と排ガスエミッション値の関係を Fig.11 に示す。

車速追従性能による排ガスエミッション値への影響は少ない。燃費については Quick Trace が 0.6%悪化しているが、Standard Trace では排ガス値と燃費の双方において安定した結果がえられた。

さらに決定した制御定数を使用し ACCORD 以外の車両で確認を行った。結果は決定した制御定数で車速追従の要求を満足していた。

制御定数に問題ない事を確認した車両を以下に示す

- (1) NSX 6速トランスミッション車
- (2) LEGEND 4速オートマチックトランスミッション車
- (3) S2000 6速トランスミッション車

スタータのボタン始動もあわせて確認した

- (4) CIVIC 5速トランスミッション車と CVT
- (5) INSGHT(ハイブリット車)5速トランスミッション車と CVT

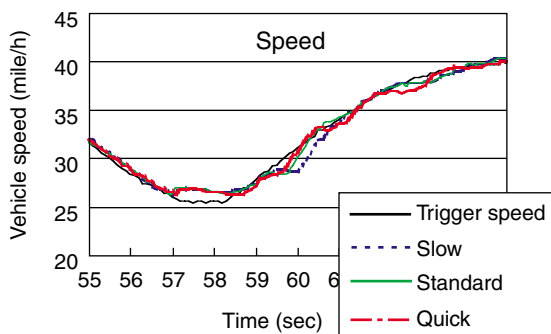


Fig.9 Vehicle speed trace

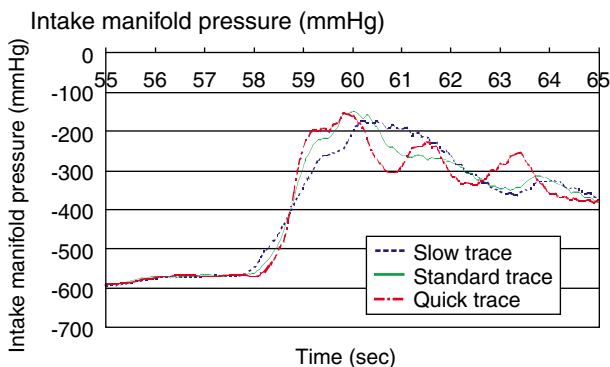


Fig.10 Intake manifold pressure

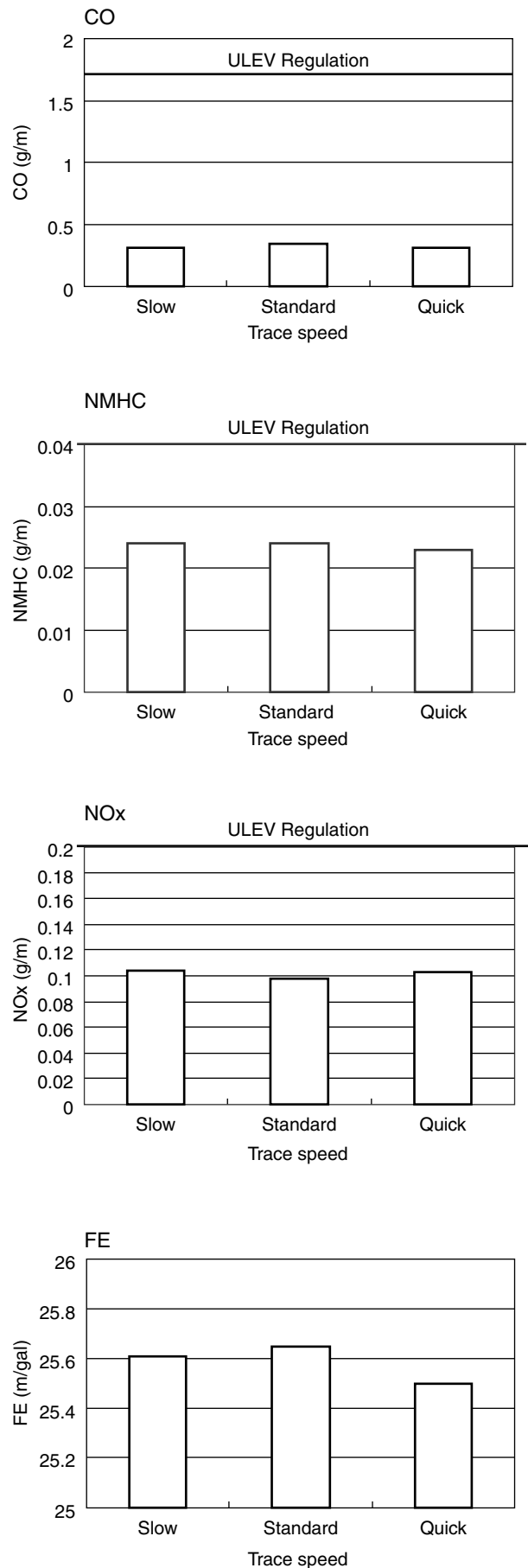


Fig.11 Comparison of emission and FE between slow and quick trace speed

4.4. 課題4 異常時の対応

テスト室では無人状態でテストを行う事を前提にしている事から、タイヤのパンク等の車両異常が発生した場合は、異常検知するモニタを取り付ける必要がある。よって車両異常は車両位置検知用センサを取り付け車両の上下、左右の挙動を監視する。またエンジン異常はエンジン回転数を監視しエンジン停止状態や設定を越える高回転で異常と判断する。異常が発生した場合は警報によって操作室に知らせる、また同時に非常停止機能を作動させ事故防止をおこなう。

5. 効果

5.1. 労働負荷の高い作業からの開放

負圧室での担当者作業および運転をロボット置き換えた事により、労働負荷の高い環境テストから開放された。標高の高いところへ短時間で移動すると普段健康な人でも体調を崩す原因になる。負圧環境への入室テストを無くす事はエンジン開発者の従来からの要求であった。

5.2. 省力化

従来の高地テストでは安全対策から負圧テスト室に2名、操作室に2名の合計4名での作業基準であったがロボット運転により1名でのテストが可能となり、1回のテストで3名の人員削減が可能となった。

5.3. 時間短縮

低地から高地へのテスト担当の移動に往復 24 分掛かっていたがその時間が不要になり 30%の時間短縮が可能となった。負圧室への移動時間は工夫や努力では短縮できなかったが自動化により1日のテスト回数の増加が可能となった。

5.4. その他

近年は排ガスの浄化性能が向上し大気濃度と排出ガス濃度の差がすくなくなっている。触媒が活性する前のエンジン始動直後の発進で排出される高濃度の排ガスエミッションが測定モード全体に対して大きなウエイトを占めるようになっている。ロボットによる自動化されたテストではエンジン始動直後の運転の再現性が良いことから排ガス測定値の測定精度が向上してデータの価値が高くなった。

6. まとめ

高地テストにおいて運転をロボットに置き換え、フード開閉ならびに冷却ファンの on/off を自動で行なう事により、負圧環境での人間の作業を無くした。走行性能は低地と高地でデータを持ち替える事で対応し、車速追従性能は制

御定数の最適化を行うことにより達成した。テスト結果で有人と無人の差が無いことが証明された。

よって、「労働負荷の高い作業からの解放」「省力化」「時間短縮」が可能になり業務効率が大幅に改善された。さらに排ガス、燃費の再現性の向上も得られ測定データの価値を高めた。将来はさらに環境の悪い条件のテストやテスト効率向上のために用途を拡大して展開していきたい。

謝 辞

本装置を導入するにあたり、協力をいただいた(株)堀場製作所の関係者の皆様に感謝いたします。

参考文献

- (1) 井上 勇ほか：予測制御を用いた車両運転装置の開発と排出ガス試験への応用，ONO SOKKI TECHNICAL REPORT NO.12, p.29-33 (1999)
- (2) 野口 進治ほか：シャシダイナモメータ上における自動運転装置，HORIBA Technical Report Readout NO.6, p.63-66 (1993)
- (3) 小川 恭広：シャシダイナモメータ上における自動運転装置，計測自動制御学会関西支部シンポジウム，1998 年 10 月
- (4) Wolfgang,T.et al.: Investigations on Robot Drivers for Vehicle Exhaust Emission Measurements in Comparison to the Driver Strategies of Human Drivers, SAE Paper 982642

■ 著 者 ■



阿部 良治



小林 吉彦