試験の自動化

——自動車台上シミュレーション試験の自動化——

高 井 敏 夫*
Toshio TAKAI

1. 試験自動化の発展

自動車工業における試験の自動化の第一ステップは、他の工業でも同じであったように計測の自動化であった。これはコンピュータが極めて高価であったころからデータログにより実現されている。プロセス工業などでは、その後ミニコンピュータなどを用いて比較的スムーズに試験の全自動化をラボラトリオートメーションの分野で実現したのに対し、自動車工業における試験の全自動化は今なお容易ではない。これは製品である自動車能動的な機械であり、その人間による走行試験に代わり得る室内設備による走行シミュレーションが困難なことによる。

しかし、自動車の普及と共に顕在化した排ガス、騒音振動、燃料消費などの技術的諸問題を解決するために必要とする試験の種類、ひん度、緊急度など、従来の開発とはけた違いに大きなものとなり、試験の自動化は必須の条件となってきた。このような要求より、近年、走行シミュレーションの技術も著しく進歩し、限定された試験には広く使用されるようになった。

一方約10年前に出現したミニコンピュータは急速にその性能が向上し、適用範囲が拡大した。自動車工業においても出現後間もなく適用例がみられるが、本格的な適用は、ミニコンピュータのセンサベースコンピュータとしての評価が確定した昭和40年代後半で、この時期から著しく適用が増加した。初期のデータ収集・処理装置から、自動運転装置を取り入れた自動試験設備となり、さらに近年は大形コンピュータとリンクして階層を構成し、研究開発の管理、情報検索をも含めた総合試験システムへと発展しつつある。

このようなシステムが急速に発展した理由は、

* 明電舎技術本部 (☎ 141 東京都品川区大崎 5-5-5)。

先に述べた社会問題化した排ガス対策が引き金になったことは事実であるが、高品質、低コストを要求される自動車工業の本質に適合したシステムであるからという見方が妥当であろう。

自動車工業における試験は多岐多様であるが、本稿では、最も特徴があり、かつ自動化が最も効果的であると考えられる実走行試験の室内台上シミュレーション試験の自動化に限定して述べる。

2. 試験自動化の効果

(1) 試験の質的向上の面より

- a) 測定精度の向上 試験条件の設定精度の向上、個人差の排除、エラーの防止、再現性の向上、データの同時性の向上、計測器の自動較正のひん度の増加などによる
- b) 試験範囲の拡大 高速度現象の測定、測定点の増加、測定量の増加、過渡現象の測定、限界性能の測定など

- c) 新しい試験手法の開発の可能性
- d) 質の高いアウトプット

(2) 生産性向上の面より

- a) 試験時間の短縮
 - b) 試験人員の削減
 - c) 研究開発力の増大
 - d) リソースの共用による省資源化
- など直接的な効果のほかに、

(3) 労働管理の面より

- a) 危険の防止
- b) 肉体的、精神的疲労の防止

(4) 情報利用面より

- a) 試験結果データの研究室間での相互利用
- b) 情報検索

(5) 試験管理の面より

- a) 研究・試験の進ちょく情況の管理
- b) マネジメントへの企画情報の提供

(a) 自動運転装置の構成

c) 研究・試験資材の管理
などの効果, 機能が期待できる。

3. 走行シミュレーション技術

自動車工業における試験の自動化は走行シミュレーション技術(自動運転装置)があって, はじめて可能となるものであるから, ここにその現状を紹介する。

自動車の試験は, フリートあるいはテストコースによる実車走行試験と, 室内台上におけるシミュレート試験に大別されるが, 最終的な総合機能試験に対しては, 現在のところ人間の運転する実路走行に代わる完全なシミュレーションは実現されていない。実路上の無人操縦も一部で行われているが, 実路走行では試験の再現性に乏しく, 車載計測装置が重量から制限され, 十分な計測ができないし得られたデータの分析が繁雑である。従って特定の試験では室内シミュレーションによるほうがはるかに精度の高いデータが得られる場合が多い。

自動運転装置の代表的な構成を図1(a)に, 制御方式の一例を同図(b)に, 運転例を同図(c)に示す。

(b) 自動制御方式の一例

(c) シミュレーション運転例

図1 自動運転装置

加速時および定速走行時に駆動輪に発生する力は、シャシダイナモメータのドラムを介して動力計および慣性円板によって模擬し、車速指令には、ドラム軸の回転数が追従するようスロットル制御装置によりエンジンを制御する。減速時には、スロットルは全閉とし、動力計およびブレーキを制御して車速（ドラム回転数）を車速指令に追従させる。この間、変速制御装置は、変速位置判別装置よりの変速指令により変速機を自動的に切替える。

以上よりわかるように、自動運転装置の機能としては、走行抵抗シミュレーションと運転シミュレーションがある。実際の試験に当たっては、走行風ならびに環境条件のシミュレーションも併用される。

表1は実走行とシミュレーションの対応を示す。

3・1 走行抵抗シミュレーション 自動車が走行時に負荷される走行抵抗をシミュレートする機能である。走行抵抗 F は一般に次式で与えられる。

$$F = \mu W + W \sin \theta + BV^2 + \frac{W}{g} \frac{dV}{dt}$$

μ ：タイヤころがり抵抗， W ：車両総重量， θ ：走路のこう配， B ：車両の風損係数， V ：車両速度， g ：重力の加速度。

上式右边1, 2, 3項の和を定常走行抵抗といい、4項を慣性抵抗と呼ぶ。定常走行抵抗は通常動力計により制御し、慣性抵抗は慣性円板（フライホイール）で模擬させる。実際には動力計でトルク制御系を構成し、その指令として上記定常走行抵抗を設定すればよい。慣性抵抗は、大、小いくつかの慣性円板の組合せにより等価慣性重量に合わせる。直流式動力計によれば機械的慣性円板に代わる電氣的な慣性抵抗シミュレーションも可能である。

3・2 運転シミュレーション 装置は、アクチュエータ（スロットル用、クラッチ用、シフト用、セレクト用、ブレーキ用）、自動制御装置、プログラム指令装置、変速制御装置（変速点自動判別装置を含む）よりなる。アクチュエータとしては、油圧サーボ式、電気サーボ式、空気シリンダ式があるが、追従性、耐久性を重視する高度のシ

表 1 実走行とシミュレーションの対応

シミュレート項目	制 御 項 目	台上置換装置
定常走行抵抗 ころがり抵抗 μW こう配抵抗 $W \sin \theta$ 風損抵抗 BV^2 ブレーキ力	ドラム径・電気動力計トルク 電気動力計トルク 電気動力計トルク ブレーキトルク	ドラム・電気動力計 電気動力計 電気動力計 ブレーキ
慣性抵抗 車両全重量 $\frac{W}{g} \frac{dV}{dt}$	等価慣性重量 (電気動力計トルク)	慣性円板 (電気動力計)
車両冷却	冷却風速	車速追従ブロワ
環境条件	周囲温度・湿度・大気圧・天候など	環境制御設備
車両運転 発進 加速 (変速) 一定速 減速 停止 アクセル クラッチ 変速シフト 変速セレクト ブレーキ	発進指令 車速指令 発進シーケンス 変速指令 変速シーケンス スロットル開度 クラッチストローク 変速シフト位置 変速セレクト位置 ブレーキトルク	コンピュータ・プログラム指令装置 データレコーダなど コンピュータ・プログラム指令装置 データレコーダなど 変速シーケンサ 変速位置自動判別装置 変速シーケンサ 油圧サーボアクチュエータ 油圧サーボアクチュエータ 油圧サーボアクチュエータ 油圧サーボアクチュエータ 油圧サーボアクチュエータ

ミュレーションにはもっぱら電気・油圧サーボ式が用いられる。

3・2・1 発進シミュレーション 発進はクラッチとスロットルの操作で行われる。人間の運転では共に足の操作であるが、クラッチの感覚、エンジン音の変化、加速度の感覚など瞬時に総合的に判断し、それに適応した巧みな制御（非線形である）が行われており、さらに経験による予測制御が加味されている。これに対し、自動運転装置では、人間の運転動作を分析することによって、操作のパターン、操作量、操作速度などを忠実に模擬するように制御する。クラッチの操作には、半クラッチを有効に利用した制御を行い、エンストの防止、ショックの少ない発進を実現している。またクラッチの接続の前後でスロットル制御系の利得を変えるなどある種の非線形制御は取り入れている。

3・2・2 変速シミュレーション 変速操作は、スロットル、クラッチ、シフト、セレクトの四つのアクチュエータを一定の制御条件の下で定められた秩序あるタイミングで操作しなければならない。自動装置では、動作完了信号を確認した後、次の信号を出すようなシーケンス制御を行っている。人間の場合、これらのシーケンスは一部重複して行われる。これは経験的に行われる予測制御であり、予測に反する結果に対しての対策は常に用意されている。制御は、力制御、位置制御の組合せで、これらも明らかに非線形制御である。現在、自動装置でも、一步人間の運転に近づけ、相互の動作を一部重複して行い、操作完了信号が返ってこない場合、それ以前までステップをもどして、繰返し操作を行うような方式が研究され一部実施されている。

3・2・3 スロットル制御 車速制御方式が最も一般的に用いられ、ストローク制御、エンジン速度制御が発進あるいは変速時に部分的に用いられる。また吸気負圧制御方式が排ガス耐久試験時に採用されている。

一般にエンジン特性は大きな非線形特性を示しエンジン形式、変速位置によっても特性値が変化する。制

御の方法も単に速度を指令に追従させるだけではなく、吸気負圧変動を最少にするとか、発進および変速中のエンジン回転数の変化を少なくすることなど種々の要求がある。このため制御増幅部に非線形利得特性をもたせる必要がある。

3・2・4 減速シミュレーション 動力計が一種のブレーキであるから、これを利用する。動力計に速度制御機能をもたせておけば、減速指令によって動力計の制御を走行抵抗制御から速度制御に切換え速度指令に追従させる。要求される減速度に対して動力計のトルクが不足する範囲では、ブレーキトルクによる車速制御を行い車速指令に追従させる〔図1(b)参照〕。

4. コンピュータによる試験自動化の形態

試験自動化に対するコンピュータ適用の初期においては、1台のコンピュータを中心に試験機器、車両の運転装置、計測機器が接続されている集中形〔図2(a)〕が多かった。この形は、センサとか制御対象、監視装置を増加すると入出力に必要な配線が増加し、測定点、制御点とコンピュータの距離が長い場合にはコスト高になってしまう。

集中形は一般に小規模の試験自動化に適用され、各種のデータも1箇所に集中されるため、デ

CPU: コンピュータ, L: カプラ

A, B, C: 試験機器, 運転アクチュエータ, 計測装置など

R, S, Q: 制御装置, シーケンサ, データロガなどハード機器

図2 試験自動化の形態

ータの分析処理、管理面で優れているが、すべての機能をコンピュータに実行させようとする、小規模のシステムでも比較的高性能のコンピュータを必要とする。またコンピュータが故障した場合すべての試験機能が停止してしまう危険性をはらんでいる。

集中形において、コンピュータの機能の一部を専用のハードウェアで実行させることによりコンピュータを小形化するか、同一コンピュータの場合、実行できるジョブまたはタスクを増加させ性能/コスト比の増大をはかる場合がある〔図2(b)〕。自動車工業の実施例としては、この種のものが多い。最近はこちらの専用ハードには小形のセンサベースコンピュータ（今日ではマイクロコンピュータ）が一つのコンポーネントとして組み込まれるケースがふえている。例えば、リモートターミナル、CRT ディスプレイ、プログラム指令装置、簡易データ収集装置など既に多くの実用例がみられる。

多量のデータ転送、大容量ファイル機能、複雑なデータ処理、情報の検索あるいは、それらの結果による試験条件の設定などを可能とするためには、大形のホストコンピュータとオンラインでリンクする。ホストコンピュータには複数のサテライトコンピュータが接続されるケースが多く、階層を構成する〔図2(c)〕。上述の機能のほか、全体のリソースの有機的使用が可能となる。この形の最も重要な利用法の一つは、ターミナルオリエン

テッドコンピュータの考え方である。技術者は、おのおの自分の部屋におかれたターミナルから全く自由にホストコンピュータと情報交換を可能とするオペレーションシステムを有するもので、プログラムの開発などに極めて便利である。

前述のように、多数のジョブを1台のコンピュータで実行することは、システムを複雑化し、変化に対する柔軟性が失われる。一つのジョブに対し、1台のコンピュータが用意され、各コンピュータが、相互にネットワークで結合されていれば、ジョブの拡張に対するレスポンスは容易に得られる。この形態を分散形と呼ぶ〔図2(d)〕。このシステムは企業内の研究所、研究室相互間の情報交換、研究管理などの機能の必要性から生まれたもので、リソースの共用、コンピュータ故障時のバックアップ、システム変更、拡張の柔軟性、プログラム開発の容易さなど多くの利点を有する。

5. 実施例

5.1 例1〔図3〕 完成車台上試験設備の自動化の例で、試験ベンチ（シャシダイナモ）の制御、被試験車の走行シミュレーション、排ガスサンプラ・分析計操作の自動化、計測の自動化、データ収集・処理などを行った集中形システムである。

5.2 例2〔図4(a), (b)〕 階層構成の初期の適用である。サテライトコンピュータ meidacs-8 L をホストコンピュータ IBM 1800 とオンラ

図3 完成車自動試験設備構成例

(a) ハードウェアの構成

インリンクし、サテライトはホストからの指令により、エンジンおよび試験機器を運転制御し、データを収集してホストに送信する。

ここでホストのジョブは、

- a) 運転のスケジューリング
- b) 運転パラメータの管理
- c) サテライトに対する運転指令
- d) データの処理、作表

であり、サテライトのジョブとしては、

- a) 運転指令の解釈
- b) 制御装置のパラメータ設定、制御
- c) データの収集
- d) データのホストへの送信

である。本システムのソフトウェアの構成を図4(b)に示す。管理プログラムのコマンドチャンネルのサービスルーチンによりホストからのコマンドを解釈し、サテライトはプログラムを実行する。

5.3 例3 (図5) meidacs-11/35 を用い、

航空機用エンジンの運転データおよび燃焼試験機の試験データをオンラインで自動計測し、データ処理を行った例である。結合装置により既設の振動解析用コンピュータ PDP-11/35 と連絡し、リソースの共用、情報の交換などシステムの効率化をはかっている。特に振動、音響解析の場合には、meidacs で収集したデータを PDP 側に送り、解析結果を再び meidacs 側に転送出力するなど業務の分担を行っている。さらにシリアル伝送制御回路を付加し、リモートターミナル、別のコンピュータシステムとの連携を可能としたものである。

(b) ソフトウェアの構成

図4 階層形自動試験システム

6. 現状の問題点と今後の動向

自動車を人間が運転する場合の動作を詳細に分析し、機械によって、その動作に限りなく近い動作をさせることは可能である。しかも機械（自動制御装置を含めて）は、力、応答速度、制御精度では人間よりはるかに優れたものをもっている。しかし人間の運転する場合とすべての点で同じ運転を機械で行わせることは現在では不可能である。人間の運転が最良の運転か、という疑問もあるが、少なくとも人間が運転して使用する目的で

作られた機械である以上、人間がよいと思って運転する状態、そのフィーリングが最良であるとしなければならないだろう。

人間は、フィーリングを媒体として、巧妙な非線形制御、ある種の予測制御、慣れ（一種の学習制御）などを使って巧妙な運転をする。われわれは現在のところ、人間のフィーリングを具体的な物理量に変換する確実な方法を知らない。この面でのセンサ、パターン認識の技術の確立、自動制御系への要求機能の概念が適格にはあくされれば、シミュレーションの技術は格段に進歩するといえる。

現在のシミュレーション装置は、前述のように排ガス対策の研究開発促進のため、主として耐久試験用として用いられ、性能、信頼性、耐久性など十分な評価を得、実用性を立証し、排ガス対策の促進におおいに貢献した。

最近では、これを性能試験用として使用する計画があり、一部で使用され始めているが、ここで問題となるのは試験の準備時間の短縮である。耐久試験では問題とならなかったセッティング、自動制御系の調整などの時間が性能試験では問題となる。性能試験用としての準備時間としては10分以内が望ましい。

現在の台上シミュレーションは良路、直線走行に限られているが、悪路走行ならびに操だ性能試験などの要求も生じている。加振装置のシミュレーション装置への組込みとか、自動運転装置とOdierのシャシダイナモメータの組合せなどが考えられる。

コンピュータにおけるGroschの法則は安価なミニコンピュータ、マイクロコンピュータの分野では通用しないことは、よく知られている。研究開発は地域的に分散的傾向にあり、その試験内容も多岐にわたる。これを1台のコンピュータで実行することは、システムを複雑化し、オペレーションシステムのオーバーヘッドも大きくなり、自動車工業における応用ではレスポンスが問題となる場合を生じ、融通性、拡張性に乏しいシステムになってしまう。そこでミニコンピュータの特徴を利用し、複数のミニコンピュータを用いてシステムの分散化をはかれる。散在する既存の小規模集中システムもコンピュータ間の結合により分散システム化することにより著しい効率向上が期待される。

これらのシステムで処理しきれないときは、さらに大形のはん用コンピュータとのオンラインリンクした形態を取れば、システム的能力は累乗的

図5 マルチプロセッサシステム

に拡大される。

一方装置メーカーによるマイクロコンピュータの利用の発展は、センサベースコンピュータのプログラムによって実行される機能のうち、あるものを計測器あるいは試験機器に内蔵した形で表れてくると思われる。さらにマイクロコンピュータの応用としては、ターミナルその他のマンマシンインタフェースのインテリジェンスとしてサテライトコンピュータのジョブの拡大に貢献するだろう。

システムのソフト面での期待は試験用の会話形言語の開発であろう。現在プログラムの開発には多大の時間を要し、システム価格の 30% を占めると言われている。会話形言語にアナログ計測、

ディジタル入出力制御、プログラムの起動、リアルタイム・マルチプログラミング機能をもたせることで、この時間を大幅に短縮することができる。

よりよい自動試験システムを作るための努力は常に続けられているが、これを実現するためには、より詳細な自動車特性の分析、シミュレーション装置の高精度化、不足機能の付与が必要であり、さらにコンピュータもオートマトンとして、より高度の使い方を研究する必要がある。ここは、自動車工業と装置工業との知際 (interdisciplinary) の分野である。

(原稿受付 昭和 51 年 11 月 8 日)

原 子 力 白 書 発 表

科学技術庁ではこのほど原子力白書を発表した。注目すべき事項はつぎのとおり。

〔原子力開発利用の現状と課題〕

▽原子力開発利用の 20 年＝わが国の原子力開発利用は、昭和 31 年 1 月 1 日施行された原子力基本法に基づいて、平和目的に限り、民主、自主、公開の原則のもとに進められてきた。

その間、昭和 30 年代の揺らん期、昭和 40 年代の実用化期を経て、現在は期待と批判の時代にはいつてきている。わが国の経済社会発展と国民福祉の向上をはかるには、安定したエネルギーの供給を確保することが不可欠である。

現在、わが国のエネルギー源は主として石油だが、オイルショック以来、石油に代わる新エネルギー源として、原子力、太陽熱、地熱などの研究開発が進められており、なかでも原子力は熱量、経済性などの面で多くのメリットを持っている。

しかし、一方で、原子力機器のトラブルなど開発利用を進める上でのいろいろな問題も残されており、あらゆるトラブルに適切に対処しながら慎重な運転に努める必要がある。

原子力開発利用への期待が高まる中で、これに反対する意見が高まっていることも否定できない。

これら反対運動の論点は、従来の原子力発電所の安全性の問題に加えて、使用済み燃料の輸送、再処理プルトニウム利用、放射性廃棄物の処理処分など核燃料サイクル全般についての安全性の問題、原子力発電のエネルギー源としての評価の問題にまで広がってきている。

このようにわが国の原子力開発利用をめぐる現状は厳しく、国際的にも極めて流動的な状況となってきた

おり、(1) 安全対策を強化する、(2) 核燃料サイクルを確立する、(3) 国民の理解と協力を得る——などが国に課せられた責務と考えられる。

〔研究開発の推進〕

まず、当面の最重要研究課題としては、軽水炉、環境放射能に関する安全研究、ウラン濃縮、再処理、放射性廃棄物処理処分など核燃料サイクルの確立のための研究開発を進め、安全で整合性のとれた原子力発電体系を確立して、原子力発電の定着化をはかる。

つぎに中期目標として新形転換炉、高速増殖炉、多目的高温ガス炉、原子力船の開発など原子力利用の飛躍的拡大をはかる。

さらに長期目標として核融合の研究開発を進め、エネルギー源としての可能性の実証を行う。

これらのうち、とくに課題となる高レベル放射性廃棄物の処理処分技術については現在、ガラス固化などの研究を進めており、今後 10 年程度のうちに実証試験を行うことを目標としている。

また、原子力エネルギーの非電力部門への利用をはかるための多目的高温ガス炉については昭和 50 年代末までに実験炉を運転することを目標に研究を進めている。

一方、海外で開発が進められている新形炉のわが国への導入については、安全性、経済性、核燃料サイクルに及ぼす効果などについて、今後とも調査、検討を行う。

原子力船については“むつ”の修理港について地元との理解と協力を得よう努力を重ねているが、原子力委員会としてはエネルギー政策だけでなく、造船、海運政策の観点から原子力船開発を今後とも積極的に推進していく。

〔服部 敏夫〕