

製品紹介

シミュレータ用新型内圧コントローラの開発

芳村 友起

1 はじめに

近年、疲労破壊による事故や不正検査問題など製品の安全性を脅かすニュースが世間を騒がせている。こうした製品の安全を根幹の部分で保証するのに欠かせないのがカヤバ システム マシナリー株式会社（以下 KSM）が取り扱っている疲労試験機である。疲労試験機としては材料試験機等の定常波負荷を与える耐久試験機が多いが、製品や試験ニーズの多様化で、より精度の高い現実に則した試験波形による試験の要求が高まっている。その中で、油圧ホース等の供試体に圧力負荷をかける内圧試験機がある。

KSMでは内圧試験機専用のコントローラを使用して各種供試体に対応した内圧試験機を取り扱っており、特にJIS波形^{注1)}の再現精度では市場でも定評がある。本報ではその最新型の内圧コントローラを紹介する。

注1) 旧JIS K6330-8で規定されるホース等の衝撃圧力試験で使用される鋭いピークを持つ試験波形。

2 内圧試験機とは

KSM製内圧試験機の一般的構成を図1に示す。圧力を発生させる仕組みとしてはブーストシリン

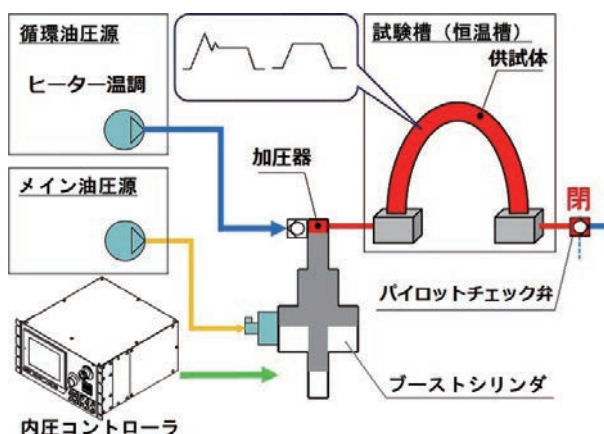


図1 内圧試験機の構成

ダと呼ばれる先端に加圧器が一体化された特殊なシリンダを用いて供試体内部の流体を圧縮することによって任意の圧力を発生させている。

構成要素としてはブーストシリンダを駆動させるためのメイン油圧源、使用流体を循環させるための循環油圧源、供試体を格納して試験を行うための試験槽などがある。そしてブーストシリンダを制御し、供試体に規定の圧力波形を再現させるのに用いられるのが本開発対象の内圧コントローラである。

3 開発の背景

KSM製内圧疲労試験機で使用されている制御コントローラとしては写真1に示す旧型のModel 2107（以下、旧型）が存在するが、開発から長い期間が経過し、使用部品の廃番等で製造が困難となってきた。

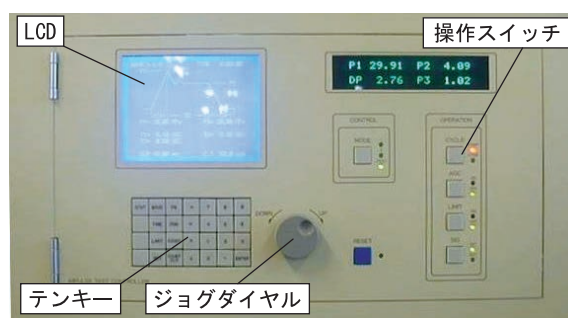


写真1 旧型外観

また、旧型ではカスタム仕様対応に内蔵ROMの変更が必要のため、開発環境の維持管理や品質・費用等の問題で、多様化する顧客の試験ニーズへの対応も困難となってきた。そのため昨今性能向上の著しい汎用プログラマブルロジックコントローラ（以下PLC）を制御に使用した新型のModel 3100（以下、新型）を開発することになった。

4 新型のコンセプトと概要

機能性・操作性・カスタマイズ性を向上させ、旧型でも評価の高かった波形再現精度を更に向上させることで他社の追従を許さない性能の実現を目指して開発を行った。また、旧型とサイズや外部インターフェースは同一とし、完全な後方互換性を確保することで試験機本体はそのままコントローラのみで置換更新にも対応する。写真2に新型の外観を示す。



写真2 新型外観

フロント面には大型のタッチパネル液晶を搭載することで、快適な操作性とカスタマイズ性を実現させている。試験設定は各種数値を直接入力またはジョグダイヤルにより設定することが可能で、ジョグダイヤルはブーストシリンダの中立位置調整の操作にも使用でき直感的な操作が可能となっている。温調器や各種計測器接続用のBNC端子もフロント面にまとめて搭載することで、ほぼすべての操作や計測との接続をこのパネル上で一括して行うことが可能となっている。

5 内部構造

ハードウェアはアナログアンプ回路を必要最小限として機能毎にモジュール化を行った。試験機の規模に合わせて必要な基板とPLCユニットの組み合わせを選択して最適設計が可能となっている(写真3)。

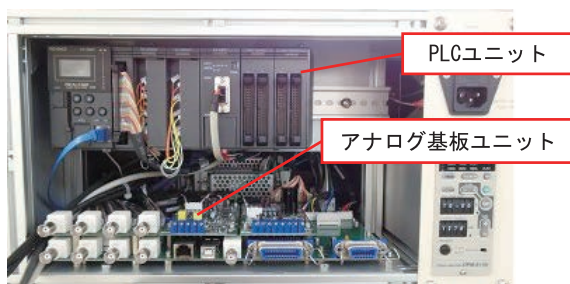


写真3 内部構造

また、これにより故障時も現場でユニット単位の交換が可能となり復旧までの時間短縮に貢献する。

6 制御ソフトウェア

メインの制御器はPLCをベースとしているが、ラダー言語^{注2)}だけでなくBASIC言語やC言語に似たスクリプトと呼ばれる記述を併用することでシリンダの変位制御や供試体の圧力制御といった複雑な制御処理が可能となっている。

旧型とは異なりサーボ弁駆動用アンプや圧力アンプなどの物理的最終段以外の制御処理は全てPLC上の計算で行っており、完全なソフトウェア制御のコントローラとなっている。そのためPID制御^{注3)}以外の後述の誤差補正制御といった拡張的な制御を実装することが出来た。また、各種試験機に合わせた修正や顧客独自の試験への対応といった後付のカスタマイズも容易となっている。更に以前は別置きPLCが行っていた油圧源などの周辺機器の制御機能もコントローラに統合することで旧型と比べ制御盤の必要スペースの削減による省資源化や省電力化にも貢献する。

注2) 電気リレー回路を記号化し、梯子のような図形で表した主にPLCで採用されるプログラム言語。

注3) 古典的フィードバック制御手法の1つで、制御量を現在値と目標値の偏差に比例した出力(P)と偏差の積分値に比例する出力(I)と偏差の微分値に比例した出力(D)の3つの要素によって行う制御。

7 JIS波形の再現

内圧試験機における要求事項としてJIS波形の再現がある。圧縮性のある流体を充満させた膨張性のある供試体の内圧を図2青線に示すような突出したピークと平坦部を持つJIS1波と呼ばれる圧力波形で高速・高精度に制御しようとした場合、通常のPID

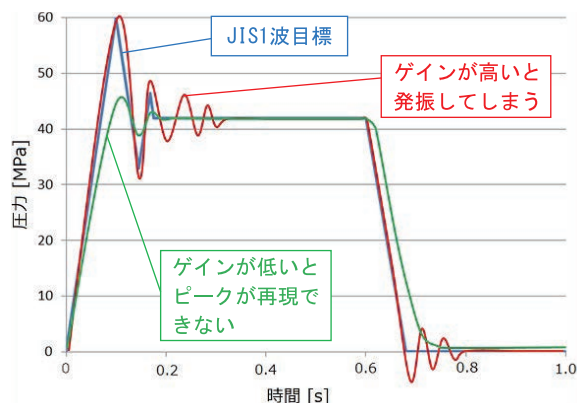


図2 PID制御によるJIS1波の再現

制御のみでは供試体の特性による圧力応答性の問題などでぴったりと一致した波形を再現させることは非常に困難である。

8 誤差補正制御

そこで、新型では1波毎に目標波と応答波の誤差を時系列データとして保存し、そのデータを次の1波の目標波に重ね合わせて加算することでフィードフォワード^{注4)}的に応答波をより本来の目標に近づける処理を繰り返す誤差補正制御と呼ぶ新しい制御方法を考案して実装した。図3にJIS1波に対する誤差補正制御の一連の流れを示す。

注4) 制御系に入る外乱等の情報を事前に計測し、前もってそれを考慮した制御量を決定する制御方式。

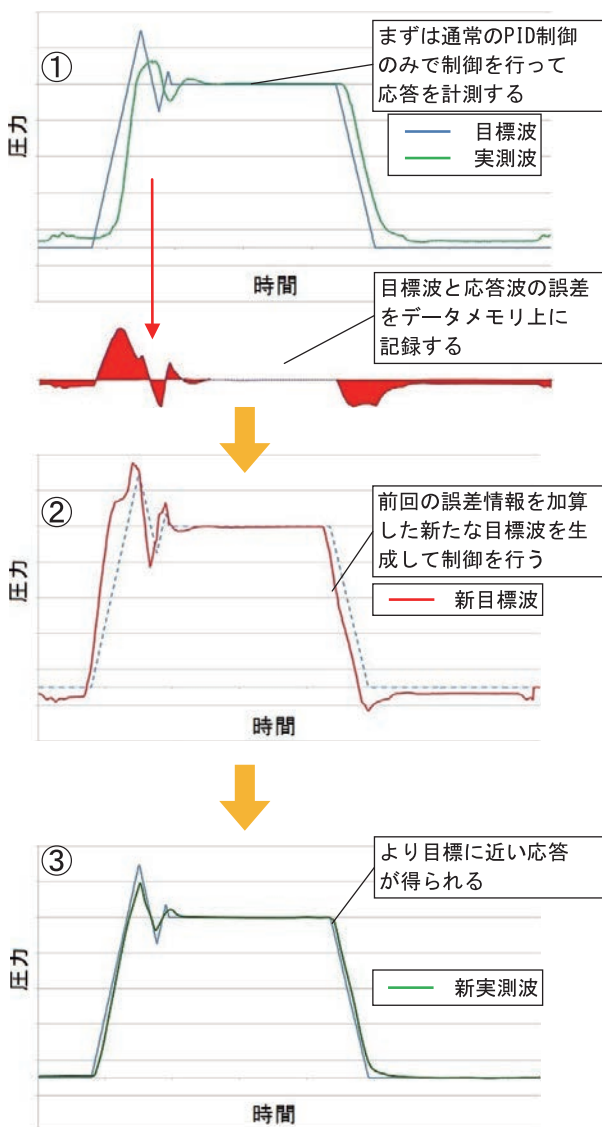


図3 誤差補正制御

また、このJIS1波形では計測される最も高い圧力ピークの値が安定して目標と一致していることが試

験として重要であるため、PIDおよび誤差補正とは独立したピーク値のみを一定に保つための制御も別途行うことにより安定したピーク値の生成を実現した。

更に、誤差補正制御はピーク値の一致度合いから自動的に補正ゲインの調整が行われており、波形がある程度一致した時点で補正処理を一時停止状態にすることで安定した動作を実現している。

旧型では大量のアナログボリュームを試行錯誤で調整しながら波形を合わせていたが、新型では誤差補正制御によりほぼ自動的に精度の高い圧力波形を再現できるようになった。試験画面上で一度パラメータ設定を行えば供試体の特性が大きく変わらない限り誤差補正をONにするだけで補正処理を行うことができる。



図4 試験画面

9 実機での計測結果

表1に示すスペックの試験機にてコントローラのみを新型/旧型で入れ替えて同じ試験条件の波形を計測して応答波形の比較を行った。その結果を図5に示す。

表1 試験機スペックおよび試験条件

供試体最大容積	6000cm ³
供試体膨張量	9 cm ³ MAX
動的最大圧力	25MPa
静的最大圧力	30MPa
供試体	油圧ホース
使用流体	オートマチックトランスミッションフルード ^{注5)}
試験条件	ピーク圧力：30MPa 試験周期：1サイクル/秒

注5) 変速機を持つ乗り物で歯車の潤滑やバルブ操作、トルクコンバータの作動などに用いられるギアオイルの一種。

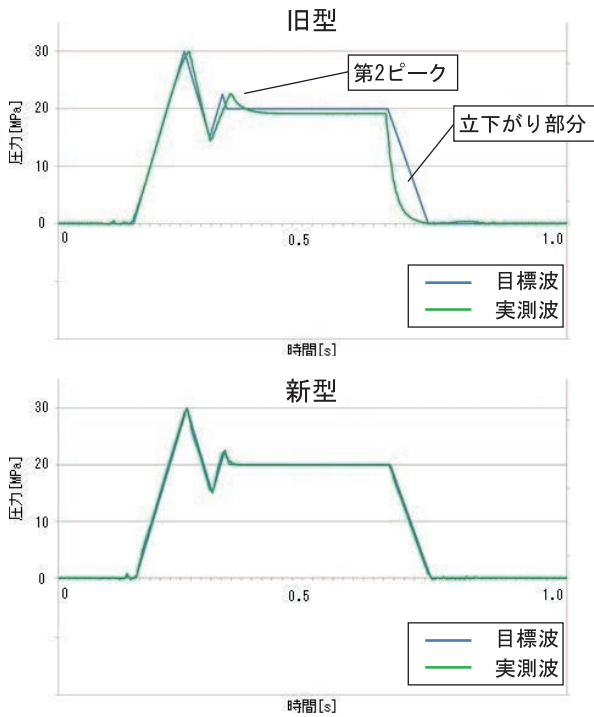


図5 実機波形比較

旧型では第2ピークや立下り部分で目標波から外れている箇所があるが、新型では全領域において目標波と実測波がぴったりと一致していることが分かる。

新型ではコントローラ自身が自動的に波形の合わせ込みを行ってくれるため、だれが設定を行っても上図のような誤差の小さい波形を得ることが出来、試験品質の安定という点において非常に大きなメリットがある。

10 今後の展開

本開発によりPLCをベースとした構成で疲労試験機の制御が十分に行えることが実証できた。今後は本技術を様々な試験機に展開していく。また、今回提案した誤差補正制御は内圧試験機のみでなく他の

試験機にも応用が可能で、例えばまだ実験段階ではあるがショックアブソーバー (SA) 試験機において変位制御に適応することで速度波形の改善などでも効果をj確認している (図6)。

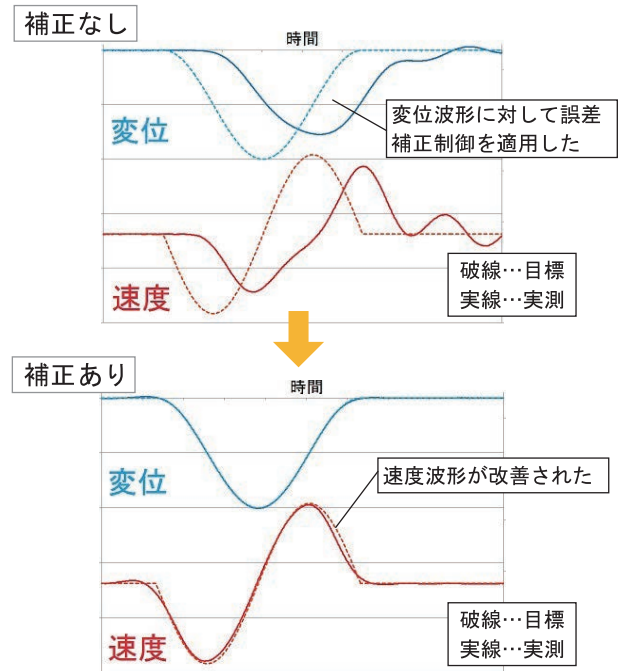


図6 SA試験機jの速度波形改善

11 おわりに

フィールドテストにおけるお客様からの評判は上々で、既に多数の引き合いを頂いている。カスタマイズ性を活かして新規市場も開拓していくことで今後の発展も期待できる。

最後に、今回の開発にあたってフィールドテストにご協力いただいた皆様、KSM社内各部門と関連協力業者の皆様jに深く感謝申し上げます。

著者



芳村 友起

2013年入社。カヤバシステムマシナリー(株)三重工場技術部。シミュレータ製品用制御装置の設計、開発に従事。