試作開発
＋
設備投資

事業計画名　誤動作を回避し障害時の復旧が容易な制御プログラムの実用化開発

実機にてホワイト及びブラック・ボックス・テストを行い、プログラムの信頼性をチェックし、既存の方法に比べ約30%の時間短縮

概要　制御プログラムの不具合により、機械を破損させ、ユーザーに多大な損害を与えた経験をしたことから、可逆ステップ教示運転を具備し、ホワイト及びブラック・ボックス・テストの完結が可能な、可逆パターン制御システムを開発し、実際のCNC設備に、リスクを抑制し、復旧が容易な、可逆パターン自動工具交換（ATC）制御プログラムを組み込み、稼働した。

日晃オートメ株式会社

代表取締役　花田　伸
岐阜県各務原市上戸町７丁目１番地22
http：//www.nikko-fa.co.jp
TEL058-383-3737
e-mail：soumu@nikko-fa.co.jp

代表取締役
花田　伸

企業概要

FAトータルコンピュータ開発として、機械事業・電気事業・システム事業を軸にさまざまな技術開発を行っている。多次元的な技術の融合により、自動制御装置、NC装置電装、製造ライン電装からコンピュータによる生産管理などのシステム開発、さらには自動化設備・産業機械の設計製作など多様なニーズに応え、各分野の企業に自動化・省力化を提供している。

本事業への取組の経緯

制御プログラムの不具合により、機械を破損させ、ユーザーに多大な損害を与えた。

自動制御生産設備（以下「設備」）は、その数十年のライフサイクルの間に、誤操作、経年劣化に伴う配線不具合、アクチュエータ・センサ類の故障、ノイズによる誤作動など、様々な要因で信号の異常が発生する。従来の必要条件で制御する方法では、この異常信号が引き金となり、制御プログラムに潜む不適切なプログラムが実行され、重大な事故や故障（以下「リスク」）が希に発生する。設備の信号の想定される状態数が２の信号数乗という膨大な数の信号状態を全てチェックすることは、時間的にも物理的にも経済的にも困難である。

そこで、可逆ステップ教示運転を具備し、ホワイト及びブラック・ボックス・テストの完結が可能な、可逆パターン制御システムを開発し、実際のCNC設備に、リスクを抑制し、復旧が容易な、可逆パターン自動工具交換（ATC）制御プログラムを組み込み稼働した。

事業概要

可逆パターン制御システムは、それぞれの系統の信号パターンが設備の物理的拘束により、特定のパターンで遷移する特徴から、可逆制御パターン遷移テーブルを作成する。機械はその正/逆順しか動作出来ないことから、ホワイト・ボックス・テストを容易とし、変化予定信号以外の想定外の信号変化を異常とする事により、ブラック・ボックス・テストのパターン数を削減し、実機にてホワイト及びブラック・ボックス・テストを完結し、プログラムのリスクを低減した。

さらに、可逆ステップ教示運転により、運転が停止した場合、即座に停止状況を再現でき、ホワイト及びブラック・ボックス・テスト、運転調整、修理、交換、及び停止位置の微調整の教示が効率的にできる。

他の効果として、本可逆パターン制御システムの特徴に、不安定信号やアクチュエータの作動時間等の、故障予知データを記憶することができる。ユーザが、設備が故障する前に、計画的に、故障予知保全を行うという、故障メカニズムのモデルを考案しシミュレーションしたところ、リスクも低減し、ライフ・サイクル・コストの低減も期待できるという結果を得た。

【可逆パターン制御システム】

可逆パターン制御システムの構成は、図１の様になっている。

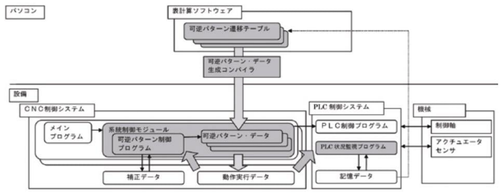

図１．可逆パターン制御システムの構成図

１）可逆制御パターン遷移テーブルの設計

それぞれの系統の制御モジュールが担当する範囲の信号について、設備の物理的拘束による特定の信号パターンを、図２のような可逆制御パターン遷移テーブルに設計します。１つの遷移動作をステップと呼ぶ。

次に、可逆パターン・データ生成コンパイラにて、可逆パターン・データを作成しCNC制御装置に転送する。

図２．可逆制御パターン遷移テーブルの例

２）可逆パターン制御プログラムの動作

可逆パターン制御プログラムは、可逆制御機能、起動機能、可逆ステップ教示機能、及びPLC状況監視プログラムに通知機能を具備する。

可逆制御機能は、可逆パターン・データに書かれた前進又は後退順にステップ動作の制御を司る。

起動機能は、自動運転及びステップ運転モードの開始時、起動条件をチェックし、再開可能か判断する。これにより停止時からの再開が容易となる。

可逆ステップ教示機能は、停止した場合、即座に停止状況を再現できる。また、制御軸の位置を教示変更できる。従って、次に述べるホワイト/ブラック・ボックス・テスト、及び自動運転中の運転調整、修理、交換、及び位置の教示が効率的にできる。

また、現ステップ（n）の信号パターン（S［n］）と次ステップの信号パターン（S［n±１］）と、無視信号パターン（Sd［n±１］）の変化予定をPLC状況監視プログラムに通知する。

３）PLC状況監視プログラムの動作

PLC状況監視プログラムは、機械の信号状態の監視機能、及び動作時間計測機能を具備する。

機械の信号状態の監視機能は、可逆パターン制御中に、不安定信号パターン（Se＝（現在信号パターン（Sc）XOR S［n］）AND NOT（（S［n］XOR S［n±１］）OR Sd［n±１]））の論理演算（図３）を行い、結果が０以外の場合に異常とする。これにより想定外の信号変化による、リスクが低減する。

動作時間計測機能は、ステップ逗留時間と正常運転時のステップ時間との差が許容値以上の場合、アクチュエータが不測の事態にあると推測して停止するため、タイミングのリスクが低減する。

さらに、この異常（不安定）信号の回数を記憶する事により、故障予知データとなる。

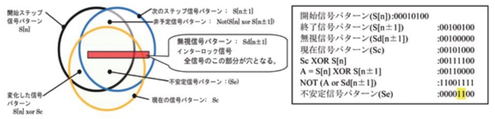

図３．不安定信号パターンの包含図

４）ホワイト・ボックス・テスト

実機ホワイト・ボックス・テストは、可逆パターン遷移テーブルの全領域において、条件毎に、どの方向でも、どのステップでも、可逆パターン遷移テーブルと機械の信号パターンが連続して動作する事を確認するため、正順ステップ２回分、逆順ステップ１回を繰り返す。この単純な操作により系統の可逆パターン遷移テーブルの全領域の、実機ホワイト・ボックス・テストが完了する。これにより目的の手順プログラムの不具合による、リスクが低減する。

本ATCの工具交換のステップ数は135で、概ね135×３×２＝810回、条件を設定し単純なステップ操作を行えば実機ホワイト・ボックス・テストが完了した。

５）ブラック・ボックス・テスト

系統の実機ブラック・ボックス・テストは、PLC状況監視プログラムが、不安定信号パターン（Se）を監視しているため、無視信号パターン、インターロック信号、及び変化しない信号が適切に処理されている事を確認すれば良く、ブラック・ボックス・テストのチェック・パターン数を激減し完結する。ただし、手動介入なので十分注意する必要がある。

本ATCの工具交換の信号は、制御軸：５、アクチュエータ：７、制御センサ：16、圧力センサ：２、干渉チェック・センサ：３、インターロック信号：１で構成され、総パターン数は２の29（＝７＋16＋２＋３＋１）乗→536870912通りであるが、チェックすべき信号は、２×（無視信号（２）＋干渉チェック・センサ（３）＋インターロック信号（１）＋変化しない信号（０））＝12パターンの条件を揃えて問題が無い事を確認すれば完了する。

事業成果

本ATCの、実際の運転調整の時間は、実機にてホワイト及びブラック・ボックス・テストを完結し、プログラムの信頼性をチェックしても、既存の方法に比べ30%位の時間短縮であった。

本ATCは、2014年12月から2015年10月までに、３台の設備が延べ21ヶ月経過したが、問題は発生していない。今後も継続して注視する。

成果の活用状況
（補助事業実施後の取り組み）

設備のユーザが、事故や故障する前に、故障予知データから故障確率の高い箇所を、計画的に、修理/交換/調整を行うと、故障率が低下し停止時間も短縮する。従って、リスクを抑制し、ライフ・サイクル・コストの抑制も期待できる。さらに、ラインの様に停止設備が他の正常な設備に悪影響を与える様な場合、停止時間の短縮は、損害額をより低減する。今後、可逆パターン制御システムは、実用的な故障予知対策ができるよう、充実する予定である。

協　力

岐阜大学工学部機械工学科　山本秀彦教授
㈱ナガセインテグレックス