

# 原子力発電プラント用 監視計装制御システムの自動試験技術

## Automatic Testing Technologies for I&C Systems for Nuclear Power Plants

吉田 元子      杉尾 崇行      小西 唯夫

■ YOSHIDA Motoko      ■ SUGIO Takayuki      ■ KONISHI Tadao

原子力発電プラント用 監視計装制御 (I&C: Instrumentation and Control) システムのグローバル展開に向けた競争力を強化するため、試験工数の削減と試験品質の向上に取り組んでいる。I&Cシステムで実施している画面表示試験には、定型的で、多くの試験員を必要とする試験があり、このような試験を自動化することで大幅な試験効率の向上が期待できる。

そこで東芝は、試験対象装置を変更せずに画面表示試験を自動化できる技術を開発し、試験工数の削減と試験品質の向上を実現させた。

With the aim of enhancing the global competitiveness of instrumentation and control (I&C) systems for nuclear power plants, Toshiba has been making efforts to reduce the worker hours required for the testing of such systems and improve the quality of the tests. Display screen tests, which include many routine, repetitive tests and manual tests requiring a large number of operators to monitor multiple screen displays of the I&C system, are an essential element of the testing process. The introduction of automatic testing technologies is expected to substantially improve the efficiency of such display screen tests.

We have now developed automatic testing technologies for display screen tests that can be applied without the need to change the I&C system. These technologies contribute to both the reduction of worker hours for testing and improvement of the quality of the tests.

## 1 まえがき

東芝は原子力発電プラント用 監視計装制御 (I&C: Instrumentation and Control) システムのグローバル展開に向けた競争力強化のため、試験工数の削減と試験品質の向上に取り組んでいる。試験工数を削減させるためには、試験の効率化や試験期間の短縮が必要である。一方、試験品質を向上させるためには、試験員による操作ミスや確認ミスなどヒューマンエラーの防止が必要である。

そこで当社では、定型的で時間の掛かる画面表示試験を自動化することで、試験工数の削減と試験品質の向上を同時に実現し、当社及び東芝グループのウェスチングハウス社が行っているI&Cシステム試験に適用した。ここでは、I&Cシステムにおける試験の自動化に向けた課題と方針、及び開発した自動試験技術の適用事例について述べる。

## 2 I&Cシステム試験の考え方と自動化に向けた課題

原子力発電プラント用 I&Cシステムでは、画面表示を用いて、多くのプラント情報を運転員に提供している。そのためプラント装置やシステムの操作に伴い、その操作に応じた情報が画面上に正しく表示されることが信頼性のうえで重要である。そのため、それを確認する画面表示試験を実施することが必須である。このような画面表示試験における主要な課題

として、以下が挙げられる。

- (1) 多数のプラント状態に対応した多くの試験パターンが必要であり、多くの試験工数を要する
- (2) 試験中の操作ミス、確認ミスなどのヒューマンエラーが発生しやすい
- (3) 試験対象装置の画面表示を確認するために装置に変更が加えられることがある

例えば、原子力発電プラントの停止時に炉心と燃料プールの燃料集合体を自動で交換する常用系設備の燃料交換機 (FHM: Fuel Handling Machine) では、交換対象の燃料集合体や炉内の制御棒などをシンボル形状や色の変化を用いて画面に表示している。画面表示試験では、試験員がFHMの操作に応じてこれらシンボルの状態変化を確認している。試験員が全ての試験パターンを確認するため、多くの試験工数が必要であるとともに、試験中に操作ミスや確認ミスが生じるおそれがあり、ヒューマンエラー防止のためダブルチェックなどが必要であった。

また、原子力発電プラントの安全系システムでは、単一の故障による機能喪失を防ぐため、相互に独立した多区分構成をとっており、各区分に複数の画面表示器を持っている。画面表示試験では、全ての画面表示を試験員が同時に確認しなくてはならないため、例えば8台の画面表示器に対しては同時に8人の試験員が必要であるなど、多くの試験員が必要である。このような試験の最中には操作ミスや確認ミスが生じる

おそれがあった。

一方、このようなI&Cシステムの画面表示試験では、画面確認のためにI&Cシステム内に画面確認用のソフトウェアを導入することも考えられるが、できるだけI&Cシステムの装置構成やソフトウェアに変更を加えずに試験を行うことが望ましい。なぜなら、ソフトウェアに変更を加えた場合には、その変更の影響評価や、変更作業、試験後に変更内容を元に戻す作業、更にそれらの管理など、試験以外の作業が必要になるからである。

### 3 自動試験技術の開発方針

前述した画面表示試験における課題を解決するために、まず、リモートデスクトップ機能を用いた自動化試験技術を検討した。リモートデスクトップ機能では、ネットワークで接続された試験対象装置（ホスト側）の画面を他の装置（クライアント側）に表示し、クライアント側からホスト側を遠隔操作することができる。リモートデスクトップ機能を用いることにより、次の利点がある。

- (1) 新規のソフトウェアを導入することなく、ホスト側の設定の変更をするだけでその機能が利用できる
- (2) クライアント側からホスト側の操作及びホスト側の画面を確認できる

画面表示試験では、試験対象装置の操作及び画面の確認を行うが、そのどちらもクライアント側で行うことができ、更に画面データの取得を行うことで、画面表示試験の自動化を実現できる。

次に、リモートデスクトップ機能を利用できない装置について、ハードウェアを用いた試験の自動化を検討した。ここでは、試験対象装置のマウス・キーボード操作を、外部装置でマウスやキーボードと同じ信号を発生させて遠隔入力する。また、画面データの取得は、試験対象装置の画像出力信号を直接取得できる画像取得装置を利用している。ハードウェアを用いることにより、試験対象のシステムに変更を加えずに画面表示試験の自動化を実現できる。

以下に、リモートデスクトップ機能を用いた自動試験技術とハードウェアによる自動試験技術について適用事例を述べる。

### 4 リモートデスクトップ機能を用いた自動試験技術

リモートデスクトップ機能を用いた自動試験技術の例として、FHMの監視制御操作卓の画面表示試験用自動試験ツールの概要を図1に示す。この自動試験ツールは次の四つのツールで構成される。

- (1) 試験パターンファイル作成ツール
- (2) 自動操作ツール

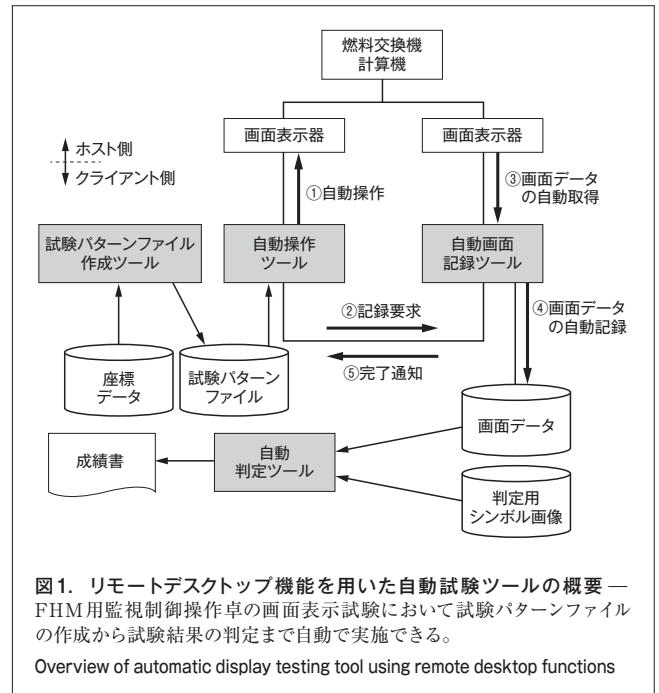


図1. リモートデスクトップ機能を用いた自動試験ツールの概要 — FHM用監視制御操作卓の画面表示試験において試験パターンファイルの作成から試験結果の判定まで自動で実施できる。

Overview of automatic display testing tool using remote desktop functions

- (3) 自動画面記録ツール
- (4) 自動判定ツール

#### 4.1 試験パターンファイル作成ツール

試験パターンファイル作成ツールは、燃料交換機計算機の座標データから燃料集合体の座標と制御棒の座標を抽出して、抽出した座標をもとに試験パターンを作成し、試験パターンを網羅した操作手順を試験パターンファイルとして出力する。

このツールを用いることで、試験パターン作成の工数を削減できるとともに、試験網羅性を確保し、試験員による試験パターン抽出のばらつきを防ぐことができる。

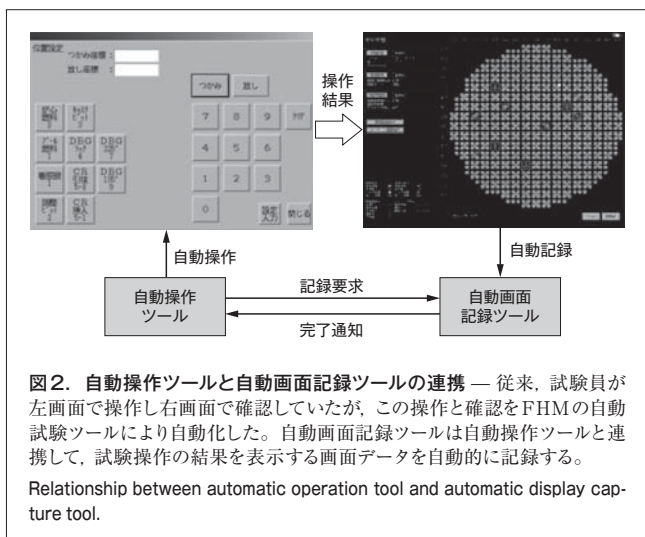
#### 4.2 自動操作ツールと自動画面記録ツール

自動操作ツールは、試験パターンファイルの手順に従って、ネットワークで接続された操作対象装置に対するマウスの操作入力を、リモートデスクトップ機能を用いて行う（図1の①）。自動画面記録ツールは、自動操作ツールと連携して動作する。自動操作ツールから画面記録要求を受け（図1の②）、リモートデスクトップ機能を用いて確認対象装置の画面データを自動的に取得し（図1の③）記録し（図1の④）、自動操作ツールに完了通知を送信する（図1の⑤）。自動操作ツールと自動画面記録ツールが連携して動作するようすを図2に示す。自動操作ツールは、完了通知受信後、試験パターンファイルに基づき次の自動操作を実施する。

これらのツールを用いることで、試験員による操作ミスを防止するとともに、試験工数及び試験員の削減を図ることができる。

#### 4.3 自動判定ツール

自動判定ツールは、自動画面記録ツールが記録した画面データの判定を行う。まず、判定対象となるシンボルの座標と



操作に応じたシンボルの形状を認識し、形状からシンボルが示す装置の状態を判断する。次に、各シンボルの状態ごとに定められた判定用シンボル画像と、記録した画面内の確認対象シンボル画像を比較して判定を行う。全ての画面データの判定完了後に、その判定結果を試験成績書として出力する。

このツールを用いることで、試験結果の確認ミスを防止するとともに試験結果の判定作業工数と試験成績書の作成工数を短縮することができる。

#### 4.4 適用効果

この自動試験ツールを用いて、FHMの試験工数の90%削減を実現するとともに、ヒューマンエラーの防止により試験品質の向上を実現した。

## 5 ハードウェアによる自動試験技術

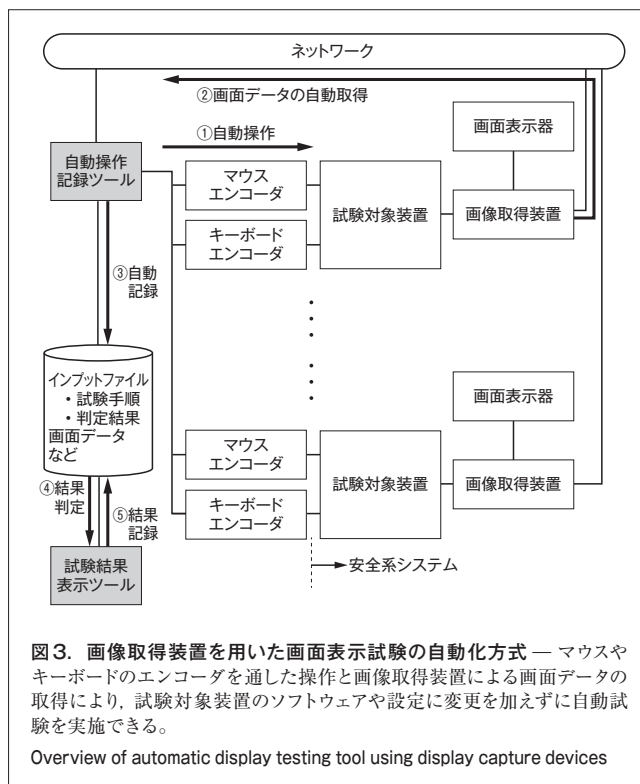
リモートデスクトップ機能が利用できない装置に対して、ハードウェアを利用した自動試験技術を実現した例として、安全系システムの画面表示試験用自動試験ツールの概要を図3に示す。この自動試験ツールは、次の二つのツールで構成される。

- (1) 自動操作記録ツール
- (2) 試験結果表示ツール

### 5.1 自動操作記録ツール

自動操作記録ツールは、あらかじめ試験手順が記録されているインプットファイルの手順に従って、試験対象装置を自動的に操作して(図3の①)、その結果表示される画面データをネットワーク経由で取得し(図3の②)、自動的に記録する(図3の③)。

自動操作機能は、インプットファイルから試験手順としてマウスの移動量やキーボードの文字入力情報を入力し、マウス・キーボードエンコーダに出力する。この出力信号は、マウス・キーボードエンコーダによりマウス・キーボード操作信号に変



換され試験対象装置に入力される。これによって、試験対象装置のソフトウェア及び設定を変更することなく、マウスやキーボードの操作信号を外部から自動的に与えることができる。

画面データの自動記録機能は、画像取得装置が試験対象装置の画像出力信号を直接取り込み、画面データとしてネットワーク上に送信することにより、リモートデスクトップ機能を使用せずに、ネットワークを介して複数の画面データを取得し記録することができる。また、画面データ記録時に、インプットファイルの試験手順と関連付けて記録しており、試験手順に対応した試験結果の確認を容易にしている。

このツールを用いることで、試験対象装置の操作から画面データの記録までを自動で行うことができ、画面表示器上で画面データ確認をする試験員が不要となり、大幅な試験工数及び試験員の削減を図ることができる。

### 5.2 試験結果表示ツール

試験結果表示ツールは、自動操作記録ツールで記録した画面データと、あらかじめ用意した判定画像とを比較して試験結果を判定し(図3の④)、判定結果をインプットファイルに記録する(図3の⑤)。

試験結果表示ツールのユーザーインターフェースを図4に示す。このインターフェースは、試験手順表示部と画面データ表示部から成る。

試験手順表示部は、インプットファイルの試験手順を表示するとともに、確認したい試験手順を選択することにより(図4の①)、その試験手順に関連付けられた画面データを画面

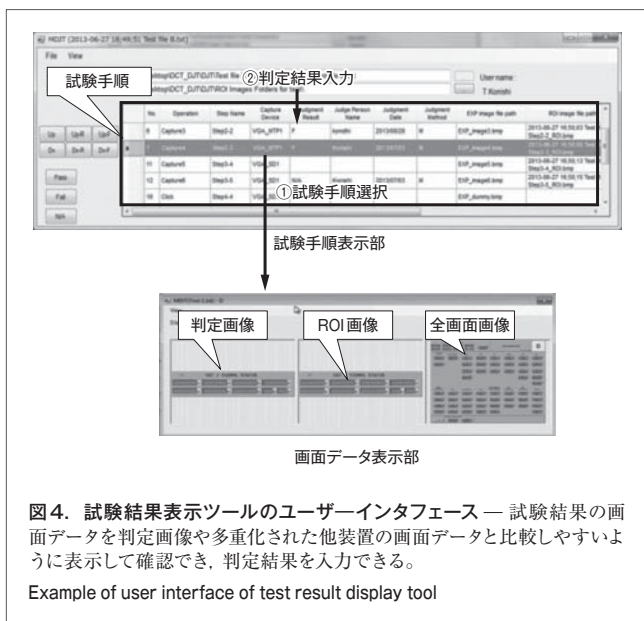


図4. 試験結果表示ツールのユーザーインターフェース — 試験結果の画面データを判定画像や多重化された他装置の画面データと比較しやすいように表示して確認でき、判定結果を入力できる。

Example of user interface of test result display tool

データ表示部に表示する。

画面データ表示部では、自動操作記録ツールで記録した画面データと判定画像を表示する。自動操作記録ツールで保存される画面データは、画面全体の画像と、試験対象範囲だけのROI (Region of Interest) 画像の2種類がある。ROI画像は、インプットファイルで試験手順ごとに範囲を指定できる画面データである。試験で確認すべきシンボルなどを含む範囲をROI画像として指定することで、確認箇所を明確化できる。また判定画像は、確認対象箇所がどのような状態であるべきかを示した画像で、あらかじめ用意しておく画像データである。

試験員は、試験で記録された画面データと判定画像や他装置の関連付けられた画面データを見て試験の判定を行い、判定結果をユーザーインターフェースに入力する(図4の②)。試験結果表示ツールはその判定結果をインプットファイルの試験手順に追加データとして記録する。

このツールを用いることで、複数の画面表示器の画面を1か所で確認できる。また、ROI画像で確認箇所が明確化されるため、確認ミスなどのヒューマンエラーを容易に防止することができ、試験品質を向上させることができる。

### 5.3 適用効果

自動操作記録ツールと試験結果表示ツールを用いて、安全系システムの画面表示試験の試験員数を70%削減し、試験工数の削減を実現した。

## 6 あとがき

I&Cシステムの試験工数の削減と試験品質の向上を図るため、試験対象となるシステムには変更を加えることなく、実機のソフトウェアをそのまま用いた試験を可能とする画面表示試

験の自動化技術を開発した。

第一に、リモートデスクトップ機能を利用することで、画面表示試験の自動化を実現した。FHMの監視制御操作卓の画面表示試験にこの技術を適用し、試験工数の削減と試験品質の向上を実現した。

第二に、マウス・キーボードエンコーダや画像取得装置などのハードウェアを利用することで、リモートデスクトップ機能が利用できない装置の画面表示試験の自動化を実現した。現在、この自動試験ツールを原子力発電プラントの安全系システムの工場試験に適用し、試験工数の削減と試験品質の向上を実現している。今後は設計データを活用した試験手順の自動生成方法などを検討し、更なる効率化及び適用するシステムの拡大に取り組んでいく。

I&Cシステムの画面表示試験は、システムへの入力に対する画面表示を確認するという一般的な試験である。この自動試験技術は、任意のI&Cシステムの画面表示試験において試験工数の削減と試験品質の向上に寄与できる。今後、他のI&Cシステムの画面表示試験への適用を拡大していく。



吉田 元子 YOSHIDA Motoko

電力システム社 府中電力システム工場 原子力プロセス監視制御システム部。原子力プロセス監視制御システムの品質保証業務に従事。

Fuchu Operations - Power Systems



杉尾 崇行 SUGIO Takayuki

電力システム社 府中電力システム工場 原子力プロセス監視制御システム部。燃料交換機監視・制御システムの設計・開発に従事。

Fuchu Operations - Power Systems



小西 唯夫 KONISHI Tadao, Ph.D

電力システム社 府中電力システム工場 原子力プロセス監視制御システム部主務、博士(医学)。原子力プロセス計算機システムの設計に従事。

Fuchu Operations - Power Systems