

# イミュニティ試験における誤動作判断支援システムの開発（第2報）

中村卓・木島一広・清水章良・小谷信司

## Development of Malfunction Judgement Support System in Immunity Testing (2nd Report)

Takashi NAKAMURA, Kazuhiro KIJIMA, Akio SHIMIZU and Shinji KOTANI

### 要 約

電子機器の電磁両立性（EMC）に関する試験の一つに電磁波を印加して誤動作しないかを検査するイミュニティ試験があるが、供試体や試験条件によって誤動作の定義が異なる。そのため、試験者は試験の様子をカメラなどで見て誤動作を確認し続ける必要がある。本研究では、試験者の負担軽減と誤動作の見逃し防止を目的として、誤動作が疑わしい動作（非正常動作）を検出・通知するシステムの構築を行う。今年度は、昨年度までに作成した非正常動作検出手法に加え、新たな検出手法の作成、及び誤動作判断を支援するためのアプリケーション作成を行った。

### 1. 緒 言

EMC に関する試験の一つに電磁ノイズを印加するイミュニティ試験がある。イミュニティ試験では、電磁ノイズを印加した際に電子機器が誤動作したか否かを試験者が判断する必要がある。誤動作の判断を行うために、試験者は試験中ずっと供試体を観察し続ける、もしくは試験の様子を録画して試験後に確認するなどしなければならない。イミュニティ試験によっては一回の試験に長時間要することもあり、試験者も長時間観察し続ける必要があるため、試験者への負担も大きく、誤動作の見逃しも起こりうる。そのため、誤動作が疑わしい箇所を検出・提示するシステムの要望が本センターでイミュニティ試験を行っている企業から多く寄せられている。

本研究では、イミュニティ試験補助のため、動作が疑わしい箇所（非正常動作）を検出し、その結果を試験者に提示するためのシステムの構築を行った。本システムを用いることで、試験者の負担を軽減することができ、製品開発に関する作業効率の向上が期待される。また、小さな非正常動作も検出することが可能であるため、誤動作の見逃し防止や試験全体の精度向上に繋がる。今年度は、昨年度の成果である非正常動作検出手法<sup>1)</sup>に加えて、新たな非正常動作検出手法を作成し、それらの検出手法を用いて非正常動作箇所を検出・通知するためのアプリケーションの作成を行った。

### 2. 誤動作判断支援システムの概要

我々が開発を行ってきた誤動作判断支援システムの

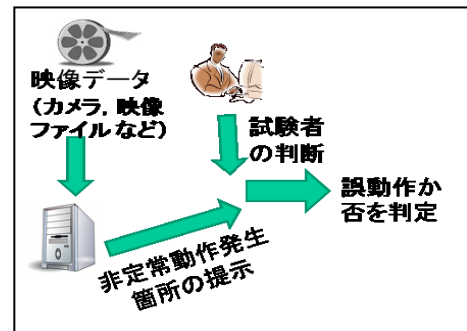


図1 誤動作判断支援システムの概要

概要は図1のとおりである。本システムでは、カメラや映像データなどを用いてイミュニティ試験中のデータを取得する。取得した映像データの各フレームに対して画像処理を施し、前後のフレームで変化がある箇所を検出する（検出器）。検出器の結果から非正常動作か否かの最終的な判断を行い（判定器）、その結果を試験者に通知する。試験者は通知された結果を確認し、誤動作か否かの最終的な判断を行う。

検出器と判定器については、検出する非正常動作に応じて作成する必要があるため、昨年度は「画像の乱れ」などの検出手法の作成を行った。今年度は、昨年度作成した検出手法に加えて、「回転速度の変化」と「Hパターンの乱れ」の検出手法を作成した。3章では回転速度の変化の検出手法について、4章ではHパターンの乱れの検出手法について説明し、5章では作成した非正常動作検出手法を用いた誤動作判断支援アプリケーションについて説明する。

### 3. 回転速度の変化の検出手法

当センターでは、モータなどの回転体をイミュニティ試験の供試体として用いることがある。モータを用いた試験では、定速回転で回転していたものが試験中に回転速度が変化しないかを検査することが多い。本稿では、定速回転中のモータを対象とし、その回転数変化の判定手法として、定速回転時に発生するパターンの周期性に着目した<sup>2)</sup>。カメラでマーカ（図2左）を装着したモータ（図2右）の様子を撮影した際、定常状態では各画素の画素値の変化に時間的な周期性がある一方で、非常状態ではその周期性が乱れやすい。我々は、これに着目し、画素値の時間変化による周期性の乱れが大きい画素（非周期ブロック）の割合からモータの回転数変化の判定が可能ではないかと考えた。モータの回転数変化の判定を行うためには、映像中の画素毎の周期性を判断する検出器と、検出器の結果から定常状態か非常状態かを判定する判定器を作成する必要がある。我々は非周期ブロックの検出についてアルゴリズムを作成し、その結果を基に回転数変化の判定を行った。

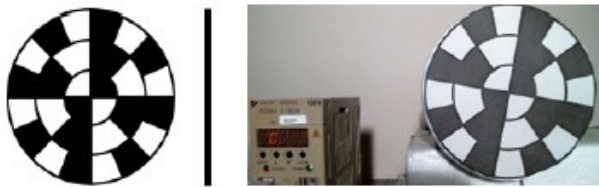


図2 使用したマーカ（左），モータにマーカを装着した様子（右）

#### 3-1 非周期ブロック検出アルゴリズム

モータの回転数の変化を検出するにあたり、非周期ブロックを検出し、画面中の非周期ブロックが占める割合  $p$  を計算する必要がある。非周期ブロックの検出アルゴリズム及び、 $p$  の算出方法の概要は以下のとおりである。

1.  $t$  フレーム目 ( $t=0,1,2,\dots$ ) のカメラ画像（図3左）を取得し、走査領域を設定する。走査領域中の各画素の輝度値を基にブロックサイズ  $M \times M$  のモザイク画像を作成する（図3右）。
2.  $t$  フレーム目と  $t-1$  フレーム目のモザイク画像の差分を取り、その結果を  $\Delta m_t$  とする。
3.  $\Delta t$  フレーム毎に、 $\Delta m_t$  の各ブロック  $(x, y)$  に対して過去  $T$  フレーム分の  $\Delta m_t$  を用いて時間軸でのフーリエ変換を行い、その結果を  $F_{t(x,y)}$  とする。
4.  $F_{t(x,y)}$  について、 $\Delta t$  フレーム前に実施した  $F_{t-T(x,y)}$  の各スペクトルとの差分の平均  $d_{ave}(x,y)$  とする。
5.  $d_{ave}(x,y)$  が閾値  $th_{ave}$  以上の場合 ( $d_{ave}(x,y) \geq th_{ave}$ )、

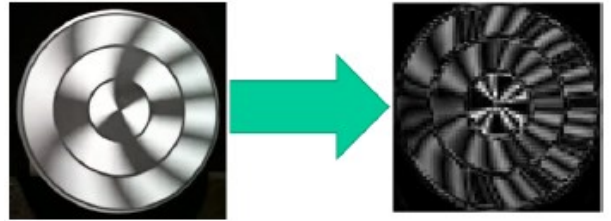


図3 入力画像（左），モザイク画像差分結果（右）

そのブロックを非周期ブロックと判断する。

6. 非周期ブロックの割合  $p$  を（非周期ブロック数） / （全ブロック数）として算出する。
- アルゴリズム中の  $M, T, \Delta t, th_{ave}$  は任意の値を設定することができる。

本アルゴリズムを用いて 5 秒間隔で 500rpm と 800rpm の間で定速回転と加減速回転を繰り返すモータの回転パターンについて、非周期ブロックの割合  $p$  を算出した結果が図4である。なお、図4では  $M=10, T=8, th_{ave}=1.0, \Delta t=8$  として算出を行った。

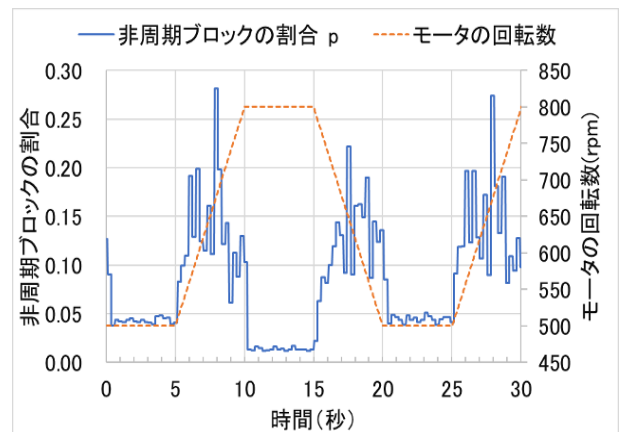


図4 モータの回転数変化による非周期ブロックの検出結果

#### 3-2 回転数変化の判定

回転数変化の判定手法について、図4の非周期ブロックの割合の発生傾向から定速回転の場合には、 $p$  は一定の割合で安定し、加減速状態の場合には、 $p$  は上昇する傾向があり、ばらつきも大きいことがわかる。これらの特徴より、回転数変化の判定にはその時刻の  $p$  のみではなく、過去の一定フレームの  $p$  より分散を計算し、これらの結果から定速回転（定常動作）か加減速状態（非常動作）かを判定する。

### 4. H パターンの乱れの検出手法

H パターンは、ディスプレイ上に'H'の文字を打ち続けるディスプレイ表示方法のひとつであり、ディスプレ

イがある電子機器などで用いられることが多い。イミューニティ試験においても、電子機器やディスプレイに適度な負荷がかかる表示手法であるため、試験の際に用いられる。H パターンの乱れの例としては、違う文字が出力されて表示される、文字が一部消去される、‘H’が出力されないことにより文字の出力速度が変化するなどが考えられる。我々はこれらの現象を検出するための手法の作成を行った。

#### 4-1 出力文字の変化の検出

出力文字が‘H’以外の文字が出力されたときの検出方法として、現在出力されている行ではなく、すでに出力された一行分の‘H’の文字列に着目した(図5参照)。正しく出力された一行分の‘H’をテンプレート画像とし、そのテンプレート画像と出力された一行分の文字列(図5中の点線で囲まれた領域)とのテンプレートマッチングを行う。マッチングを行い、算出された類似度が閾値以下であれば、‘H’以外の文字が入力されたと判断し、非定常動作であると判定する。具体的なアルゴリズムは以下のとおりである。

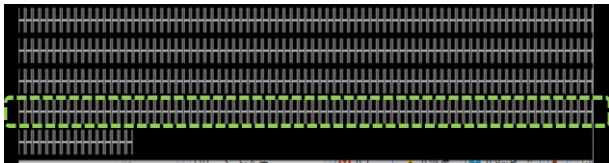


図5 H パターンの出力例

1. テンプレートマッチングを行うための領域を映像中から範囲指定する。
2. 1 フレーム目は定常動作であると仮定し、1 フレーム目のマッチング領域中の画像をテンプレート画像として保持する。
3. 2 フレーム目以降の画像について、各フレームのマッチング領域の画像を取り出す。
4. 3. で取り出した画像と 2. の画像でテンプレートマッチングを行い、類似度を計算する。
  - 類似度は、相関係数を正規化したもので算出する(1に近いほど類似度が高い)。
5. 類似度が閾値以下であれば、非定常動作と判定する。

類似度の閾値については、すべて‘H’の場合には、テンプレート画像とほぼ同じになるため、限りなく1に近づく。そのため、閾値を高く設定(0.95以上)することで、数文字の乱れでも検出することが可能である。

#### 4-2 出力文字の変化の検出

非定常動作を検出するためには、出力文字の変化以外に‘H’出力速度の変化も捉える必要がある。‘H’の出力速

度を検出するためには、4-1とは異なり、出力中の行(図5の点線で囲まれた領域の下の方)に注目する必要がある。出力中の行はフレーム毎に‘H’の右端の位置が変化する。我々は、この右端の位置を検出し、その位置変化から出力速度を算出し、定常動作か非定常動作かの判定を行った。検出アルゴリズムについては、以下のとおりである。

1. 映像中から H パターン出力の最下段の領域を指定する。
2. 各フレームに対し、指定した領域の画像を取り出し、二値化処理を行う。
  - ‘H’の周辺が白く強調されるようにする。
3. 2. の画像に対し、膨張処理を行い、その後収縮処理を行う。
  - 膨張処理した回数だけ、収縮処理も行う。
4. 3. の画像の中央の行を走査し、白い箇所と黒い箇所の境界を探索し、境界の位置(ピクセル)を‘H’右端の位置として決定する。
5. 直前のフレームでの右端の位置との差分から出力速度をピクセル単位で算出する。
  - ‘H’の出力が新しい行(=‘H’の右端が走査領域の左端付近)となった場合には、(走査領域の右端) - (直前フレームでの右端位置) + (現在のフレームでの右端位置) から出力速度を算出する。
6. 前後のフレームでの出力速度を比較し、その差が大きき場合には、非定常動作と判定する。

H パターンにおいて、最終的な非定常動作の判定は出力文字が変化、もしくは出力速度が変化したのどちらかを検出した場合に非定常動作と判定する。

### 5. 誤動作判断支援アプリケーション

作成した非定常動作検出手法を用いて、非定常動作箇所を検出し、試験者に提示するためのアプリケーションを作成した。作成したアプリケーションの概観は図6である。本アプリケーションは映像の読み込みや検出条件などの設定を行う「条件設定部」、検出した非定常動作を提示する「非定常動作箇所提示部」、読み込んだ映像を再生する再生部から構成される。条件操作部はウィンドウの上部から下に「読み込み」ボタン、「検出動作設定」メニュー(プルダウンメニュー)、「条件設定」ボタン、「非定常動作検出」ボタン、「ファイル出力」ボタン、「終了ボタン」で構成されている。再生部には再生ウィンドウと「Play/Stop」ボタン、シークバーが配置されている。

本アプリケーションでは、条件設定部から試験映像ダ

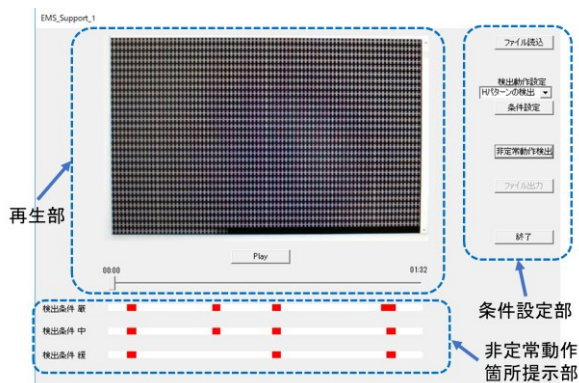


図6 誤動作判断支援アプリケーションの概観

ータを読み込み、検出したい非正常動作や範囲などを指定することで、映像中の非正常動作箇所を検出し、その箇所を非正常動作提示部の時間軸上に提示する。試験者は提示された箇所を選択することで、その時の試験の様子を再生部で確認することができ、その時の様子から誤動作か否かの判定を行う。本アプリケーションを用いた誤動作判定までの流れは以下のとおりである。

1. 条件設定部にある「読み込み」ボタンから映像を読み込む。
2. 検出したい非正常動作を 1.のボタンの下にあるプルダウンメニューから選択する。
3. 「条件設定」ボタンを押して走査範囲などの条件を設定する。
  - 設定項目については、検出する非正常動作によって異なるが、ウィザード形式で進められるため、試験者は指示されたとおりに設定を進めていく。
4. 「非正常動作検出」ボタンを押して、非正常動作の検出を行い、その結果を非正常動作箇所提示部の時間軸上に提示する。
5. 提示された非正常動作箇所を選択して、その時の試験の様子を映像で確認する。
6. 映像から、試験者は誤動作か否かの判定を行う。確認した映像については、「ファイル出力」ボタンを選択することで、非正常動作箇所の前後のみを切り取った映像ファイルとして保存ができる。

試験者が操作を行いやすいようにするために、条件設定部の各ボタンについては常に選択できる状態ではなく、手順を進めていくことで、次の操作に必要なボタンを選択できるようにすることで、試験者が手順通りに操作できるようにしている。非正常動作の検出については、閾値を3種類（厳しい、普通、緩い）予め設定しており、3種類の閾値で検出した結果を非正常動作箇所提示部に表示している。複数の閾値を用いた結果を提示して比較

できることで、例えば3つの閾値すべてで非正常動作であると判断された場合には誤動作である可能性が高いと判断したり、厳しい閾値のみで検出されている場合にはその箇所を再確認したりすることができるなど、試験者による誤動作か否かの判定の補助を行うことができる。

## 6. 結 言

我々は、イミュニティ試験における誤動作判断を支援するためのシステムの開発を行ってきた。システムを構築するにあたり、誤動作が疑わしい箇所である非正常動作を検出するための検出手法の作成と、試験者に非正常動作箇所を提示するための誤動作判断支援アプリケーションの作成を行った。非正常動作の検出手法については、想定される非正常動作の種類に応じた検出手法を作成し、それらの検出手法を誤動作判断支援アプリケーションに適用することで、様々な非正常動作の検出・提示を可能にした。今後の展望として、本システムを当センターでイミュニティ試験設備を利用される企業等に利用してもらい、その結果をシステムに反映させることが挙げられる。非正常動作の検出手法についても、生産現場における製造機器の異常検知システムや製品検査など、イミュニティ試験以外の分野への適用していく予定である。

## 参考文献

- 1) 中村卓, 木島一広, 清水章良, 河野裕. イミュニティ試験における誤動作判断支援システムの開発. 平成 28 年度山梨県工業技術センター研究報告, pp. 74-77 (2017)
- 2) 中村卓, 木島一広, 清水章良, 小谷信司, イミュニティ試験におけるモータの回転数変化の検出, 第 22 回知能メカトロニクスワークショップ (2017)