

# 作業手順モデルに基づいた実施作業推定手法

齊藤 啓太<sup>†</sup> 鈴木 清彦<sup>‡</sup> 小貫 淳史<sup>‡</sup>

三菱電機(株)情報技術総合研究所<sup>‡</sup>

## 1. はじめに

保守作業の必要な設備（発電所など）では、定められた手順に従い、人が機械を操作する。しかし人の作業では、作業の抜けや手順間違いの生じる危険がつきまとう。作業手順の誤りは、重大な事故につながる可能性もある。

こうした課題に対して本稿では、作業環境に存在するセンサや電子機器から得られる電子データに着目し、作業員が実施した作業手順を電子データから推定する手法を提案する。該手法の推定結果を元に作業手順の誤りを検出することで、上記の課題を解決することが可能となる。

## 2. 作業手順の推定

ここでいう作業手順とは、作業員が実施した作業項目を順に組み合わせたものである。

作業手順を推定するために、該手法では、図 1 のように、電子データを作業項目ごとの区間に区切る。区切りには、作業項目の最後のみ発生するような電子データの変化を用いる。それが無い場合には、作業者に音声で合図出してもらいなどの強制的なマーカーを用いる。推定を開始する時刻も同様に、保守作業中を示す電子データの変化か、音声かによると想定する。

区切った後、区間ごとに作業項目を推定する。この推定結果をつなぎ合わせることで作業手順を推定できる。

## 3. 作業項目の推定

作業項目を推定するためには、セミマルコフモデル (SMM) を用いた推定[1]を導入する。

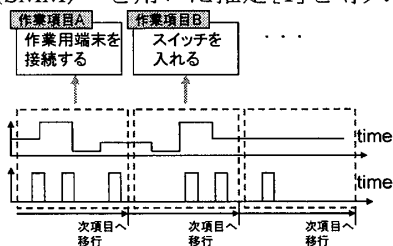


図 1：作業手順の推定。

Work Sequence Estimation by Work Procedure Model

<sup>†</sup> Keita SAITO, Kiyohiko SUZUKI, Atsushi ONUKI

<sup>‡</sup> Information Technology R&D Center, Mitsubishi Electric Corporation



図 2：参照する SMM の作成

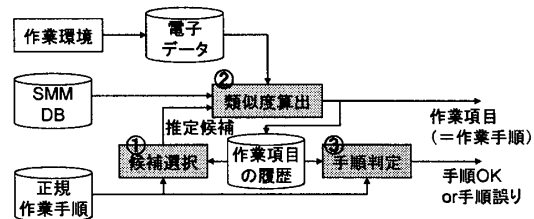


図 3：SMM と電子データの照合

SMM はマルコフモデルの一種であり、遷移確率が滞在時間の関数となる確率モデルである。滞在時間を考慮することで、滞在時間が長すぎるときに、推定候補から除外するような動作をさせることが可能である。

該手法では、SMMと電子データを照らし合わせることで推定を行うが、このためには事前に SMMを作成しておく必要がある。従って作業項目の推定は、図 2に示す参照する SMMの作成と、図 3に示す SMMと電子データの照合の、2つのフェーズに分かれる。

### 3. 1. 参照する SMM の作成

まず、どの作業項目を実施したかわかっている電子データ（以下、学習データ）を用意する。次に、電子データから値の変化点を抽出する。本稿ではこれをイベントと呼ぶ。その後、イベントと状態遷移を対応付け、SMMを作成する（図 4）。イベントによる遷移から状態遷移図を、また、イベントの間隔を集計し、最大エントロピー原理[1]を用いて、遷移確率関数を設定する。作成した SMMは、作業項目と対応付けて、SMMデータベース (SMMDB) に保存する。

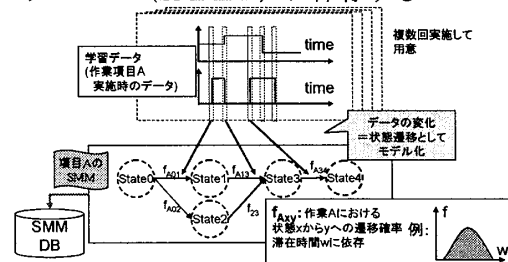


図 4：SMM の作成。

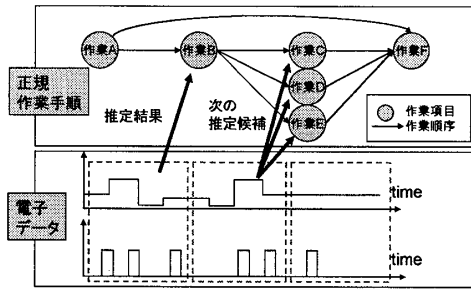


図 5：推定候補の選択.

### 3. 2. SMMと電子データの照合

作成したSMMと電子データを照合し、作業項目を推定する。入力として、電子データ、SMM、正規の作業手順の 3 つを与える。正規の作業手順は、「作業グラフ」という形式で扱う。作業グラフの例を図 5の正規作業手順に示す。作業グラフの定義は以下である。すなわち、「ノードが一つの作業項目、エッジが作業の前後制約を表す有向グラフで、同じ作業は 2 度実行されない」とする。作業項目の順序関係と、作業の分岐が分かれば、作業グラフは作成可能である。

#### 3. 2. 1. 候補選択

推定の候補を選択する (図 2 ①)。候補とは作業項目の集合で、後述の類似度を算出する範囲である。すべての作業項目を候補とすると、似た電子データを出力する作業項目があった場合に、誤った推定をする可能性がある。そのため該手法では、正規作業手順と作業項目の履歴から指定する方法をとる。

推定の候補とする作業は、図 5に示すように、1つ前の作業項目の、次に実施すべき作業とする。初期状態では、最初に実施される作業項目を推定候補とする。

#### 3. 2. 2. 類似度算出

候補選択の後、候補内の作業項目の類似度を算出する (図 2 ②)。

まず、候補となった作業項目に対応する SMM を読み出す。次に、電子データの対象区間からイベントを抽出する。イベントを見つける度に、SMM の状態遷移を辿ることで、事後確率が算出できる。該手法では、この事後確率を SMM と電子データの類似度として利用する。

候補内の全ての作業項目について事後確率を計算し終わったら、事後確率を比較し、事後確率が最大となる作業項目を推定結果とする。

表 1：作業項目の分類と優先度.

候補群 ID	条件	優先度
0	次に実施される作業 (図4ではC,D,Eが該当)	0
1	次の次に実施される作業 (図4ではFが該当)	1
2	今までに省略された作業	1
3	推定結果から、 Nステップ以内にある作業 (N=2のとき、図4ではA,Bが該当)	2
4	全ての作業	3

#### 3. 2. 3. 推定失敗時の動作

推定失敗とは、候補内の全ての作業項目の事後確率が、全て同程度の値になることである。電子データが、候補内のどの作業項目にも類似していない場合に発生する。ただし、推定失敗の条件は、遷移確率関数の設定方法にもよるため、実験に基づいた議論が必要であり、今後の課題とする。

推定失敗の場合は、一度候補選択に戻る。その後は、表 1に示す候補群について、優先度の順に候補として選択肢、推定を実施する。全ての候補群を対象としても推定失敗であれば、結果は不明な作業とする。

#### 3. 2. 4. 手順判定

推定が成功した場合と、推定結果が不明な作業となった場合は、作業判定処理に移る (図 2 ③)。この処理では、正規の作業手順と作業履歴から、推定結果が正しい作業手順に則っているかを判定し、結果を出力する。

手順判定が終了することで、1項目分の作業項目の推定が完了する。最初の候補選択に戻り、次の区間を対象とした推定に移る。

### 4. まとめ

本稿では、電子データから人の作業項目と手順を推定する手法を提案した。今後の課題は、提案手法の実装・評価である。また、作業項目を推定する手法として、SMM を用いた手法以外については検討できていないため、他手法との比較もあわせて行う。

### 参考文献

[1] 齋藤光生, 鈴木達也, 稲垣伸吉, “時間付きマルコフモデルを用いた事象駆動系の故障診断”, 計測自動制御学会論文集, vol. 42, no. 9, pp. 189-194, (2006).