

不安定な初期状態に対するロバスト熱容量推定法

鈴木 新*・杉本 謙 二**

Robust Heat Capacity Estimation for Unstable Initial State

Arata SUZUKI* and Kenji SUGIMOTO**

This paper proposes a method for the estimation of heat capacities by using the response to ON-OFF control as a feature quantity. The ON-OFF control is based on a single threshold irrespective of the heat capacity to be estimated. Then the response changes with the heat capacity, but the estimation is difficult only from the response, because the initial state is not stable. The proposed method collects multiple response changes as a feature quantity and improves the precision of estimation via weighted average where feature quantities with higher reproducibility are more weighted. The effectiveness of the proposed method is verified through experiment with a cooking household appliance.

Key Words: ON-OFF control, system estimation, heat capacity, T-method (Mahalanobis-Taguchi system), temperature measurement

1. はじめに

家庭内で用いられる熱システムにおいて、熱負荷を正しく推定することは非常に重要な技術とされる。それは推定した負荷に基づいて、その後の制御パターンが実行されるためである¹⁾。特に加熱調理においては適切なタイミングで適切な熱量を加えることが、美味しく調理する上で非常に重要な要素とされている^{2), 3)}。そのため本格的に熱量を加えていく前段階で負荷にあたる調理量を推定しなければ、適切なタイミングを逸して調理物を台無しにすることになる。

筆者らはこのような負荷推定に対して多変量解析の適用を試み、その手法の有効性を確認してきた^{4) - 6)}。これらの手法の基本的な考え方は、対象に一定の熱量を入力した時の温度応答から負荷を推定することであり、ステップ応答法の各特徴量を多変量解析したものであった。

しかしステップ状の信号で加熱を一定時間続けると温度が上昇し過ぎ、調理対象によっては焦げなどにより美味しく出来上がらないことも十分に考えられる。他にも調理初期に弱火をじっくりと与えることによって、調理物の成分変化を促進させるような調理対象も多く^{7), 8)}、調理初期に負荷推定が出来なければ調理対象の量によらず一定の加熱しか出来ない

ことになる。より美味しく料理が出来る調理器具の実現には、「調理の出来」を左右する加熱状態の巧みな調節（いわゆる火加減）を調理初期から実行することが必要となる。

そのような要求を実現するために本論文では、調理初期の比較的短時間で負荷の推定を試みる。調理初期では、容器や温度センサーへの水分の付着、調理対象とそれらを浸す水分の温度が一定ではないなどの「初期状態の不安定」とそのような影響をキャンセル出来るような大きな入力を与えられないことが、負荷推定の最大の難関となる。そこで調理対象に焦げなどの損傷を与えない任意の温度を閾値として ON-OFF 制御を行い、その時の温度上昇と温度降下を特徴量として複数取得し、これらの特徴量を加重平均することで調理初期においても負荷推定が可能となる手法を提案する。つまり本論文の課題は家庭用調理器具の非常に大きな問題とされるさまざまな初期状態においても、調理フローを実行しながら正しく調理量を推定すること、特に多変数を扱うことで初期水温の影響を受けないロバストな調理量（熱容量）の推定方法を提案することである。このように制御しながら対象の負荷を推定する本論文の方法は一種の閉ループ同定と考えられる⁹⁾。

以下、本論文で対象とする熱システムの構成とその負荷の増減が ON-OFF 制御系でどのような温度波形となるのか考察し、特徴量選択の根拠を説明する。つぎに初期状態の不安定な対象における特徴量の事前選択法と負荷推定のアルゴリズムを説明し、提案手法による効果を確認するための実験とその結果について説明する。

* 象印マホービン（株） 大阪市北区天満 1-20-5

** 奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科
生駒市高山町 8916-5

* ZOJIRUSHI Corporation, 1-20-5, Kitaku tenma, Osaka

** Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology, 8916-5, Takayama-cho, Ikoma, Nara

(Received October 27, 2009)

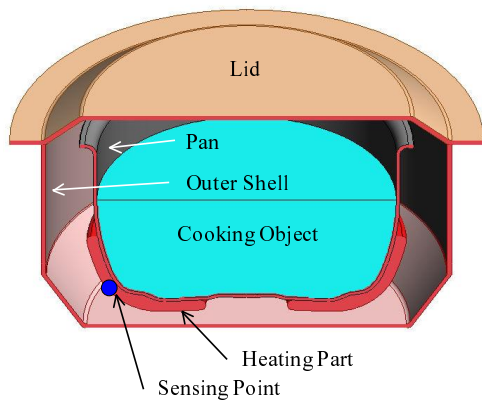


Fig. 1 A Cross Section of Objective Thermal System

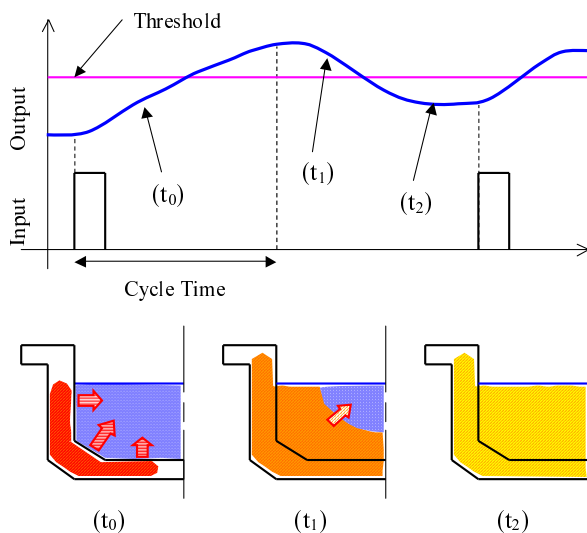


Fig. 2 (Upper) Image of ON-OFF Control vs Sensor Output and (Lower) Heat Flux in the Cross Section

2. 対象とする熱システムと特徴量

2.1 熱流に関する考察

本論文で対象とする熱システムの断面図を Fig. 1 に示す。このような構造は調理器具や反応釜に一般的に見られるが、以下、対象を調理器具として説明していく。Fig. 1 では、容器内部に調理対象を入れ、容器外面に取り付けたヒーターによって（もしくは Induction Heating: IH によって直接）容器を加熱し、その温度変化を容器外面に取り付けたセンサーによって計測する。センサーは衛生上の問題から容器外面に取り付けることが一般的であり、調理対象温度を直接計測できない。このような容器外面の温度計測では、容器温度が調理対象温度より上昇しやすいために調理量の変化がセンサーに表われにくく、センサー応答から負荷（調理量）推定を行うことが困難になる。

この現象の説明のため、熱流の移動過程を Fig. 2 に示す。Fig. 2 の上部は入熱（Input）と計測値（Output）の時間変化であり、サイクルタイムごとに Output が閾値より低温か

否かで入熱を ON-OFF する様子を示し、下部の横断面図は ON-OFF 制御の矩形入熱が容器からどのように移動するのを示している。矩形入熱が容器に加えられると直ちに容器温度が上昇する（Fig. 2 中の t_0 時点）。このとき、センサーの熱容量は小さいために容器の熱はすぐにセンサーに伝わりセンサー温度を上昇させるが、それに対して調理対象の熱容量は大きく温度上昇に時間がかかる。この結果、センサー温度と調理対象温度にずれが生じて、センサー温度は実際に計測したい調理対象温度を正しく計測していないことになる。そのため、単に温度センサー波形を計測しても調理量の推定が行いにくいこととなる。

この後、容器温度は熱流が調理対象へと移動することによって急速に低下する（Fig. 2 中の t_1 時点）。このように熱流は高温部から低温部へと移動を繰り返し、温度分布がなくなれば熱流は静止する（Fig. 2 中の t_2 時点）。目標温度とセンサー温度に偏差があればつぎの入熱が行われるために、容器温度と調理対象温度が目標温度に達し熱流の移動がなくなれば温度センサーもほとんど変化しないことになる。この現象は調理量の熱容量を目標温度にするまでに見合った熱流を加えたことによって、熱の移動が緩やかになったことを表わしており、この性質を利用すれば調理量の推定が可能となる。

2.2 特徴量

2.1 における考察より ON-OFF 制御における応答波形の特徴的な動きは、調理量が多いときには調理開始初期は容器の熱がより多く調理対象へ奪われるために「温度降下」が早い。同じく調理量が多いときには被加熱物の熱容量も大きいために「温度上昇」に時間がかかる。これは容器外面にて温度を計測しているために「温度降下」ほど調理量の違いに対して顕著な差ではないが、複数の温度上昇曲線を見ることで十分に特徴量として活用できる。またこれらの性質から調理量が多くなれば、特に「温度降下」の影響が強く表われて「ON-OFF 周期」が短い、すなわち温度上昇ピークの数が多いことがわかる。

これらの結果より調理初期における調理量の推定には、「温度上昇」「温度降下」「ON-OFF 周期（温度上昇ピークの数）」を特徴量とすれば良いことがわかる。これらの関係を Fig. 3 にまとめる。

3. 推定方法

本論文では、特徴量から調理量を推定するためのアルゴリズムとして Mahalanobis-Taguchi System (MTS)¹⁰⁾ の T-Method¹¹⁾ を用いる。MTS は品質検査を代表的な適用例として、他にもさまざまな認識問題に適用されて効果をあげている^{12)~16)}。従来の MTS はマハラノビスの距離を用いるために数学的な制約があったが、T-Method ではそれらの制約が少なく扱いやすいために適用範囲も広がっている^{17), 18)}。以下、T-Method について説明する。

3.1 T-Method

T-Method は、特徴量とそれ以外の外部変数を持つ対象に

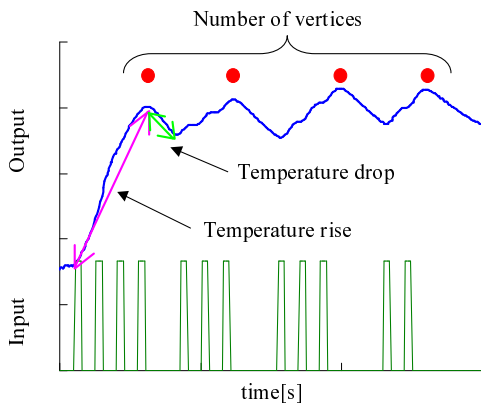


Fig. 3 Characteristic Data

対して、特徴量を加重平均することで外部変数の推定を行う手法である。本論文の例では、特徴量は2.2で説明した温度上昇などであり、それ以外の外部変数とは調理量である。

この関係をもとに T-Method の基本的なアイデアを簡単に説明する。特徴量 i の実測値 x_{ji} 、調理量を u_j とすれば、その線形回帰式は、

$$x_{ji} = \beta_i u_j, \quad (1)$$

と表される。ここで i は特徴量の数 $i = 1, \dots, I$ 、 j は外部変数の水準数 $j = 1, \dots, J$ とする。

それぞれの特徴量において、その傾き β_i が求めれば、特徴量の実測値 x_{ji} より調理量が推定できる。このとき I 個の特徴量を用いれば推定調理量 \hat{u} は、

$$\hat{u} = \frac{\sum w_i \sum x_{ji}}{\sum w_i \beta_i}, \quad (2)$$

となる。ここで w_i は重み係数であり T-Method では SN 比を用いている。算出の方法については 3.2 にて説明する。

このように複数の特徴量を用いれば特徴量のいくつかはノイズの影響を受けても精度が下がりにくいこと、温度や圧力などの次元の異なる複数の信号を縮約して取り扱えることなどの利点が考えられる。他にもマハラノビスの距離を用いる従来の MTS では、特徴量の個数 I 以上の教師データを収集しなければ相関行列が求められないが、T-Method ではそのような制約がないことも実用上の大きな利点となっている。

3.2 熱容量（調理量）の推定法

T-Method の推定に用いる重み係数 SN 比の算出は、判定値と特徴量実測値から行われるために正確な実測値が必要となる。本論文のように初期状態の不安定から再現性の低い実測値が得られる場合には、推定を誤る可能性もある。このような再現性、繰り返し精度の低いデータを扱うときの対策として、直交表を使った特徴量の事前選択が有効と考える^{19), 20)}。事前選択によって繰り返し精度の低い特徴量を削除し、多少の条件変化でも安定した値が得られる特徴量を使って推定を行うことで、不安定な初期状態の影響を受けないロバストな推定が可能となる。

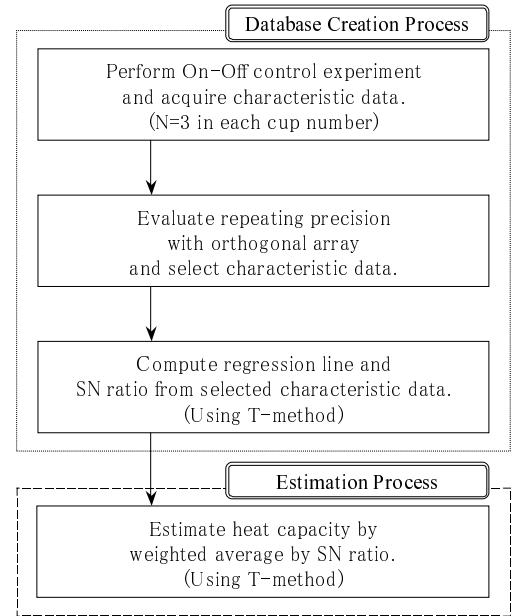


Fig. 4 Flow Chart of Proposed Method

具体的な熱容量（調理量）の推定法を説明する前に、全体フローを Fig. 4 にて確認する。Fig. 4 より本推定法では、まず最初に実験によって特徴量を取得する。これらは水温などの初期状態が安定していないために繰り返し精度が低い特徴量も含まれるため、直交表を用いた特徴量の選択を行う。選択された特徴量から T-Method によって重み係数を算出する。ここまでがオフライン計算であり、後は対象の調理量をオンラインで加重平均により推定する。

以下、調理量の推定法を具体的に説明する。

(1) 基準とする調理量を決定する。基準調理量は調理器具の調理可能な量であれば自由に設定できるが、本論文では実験材料費の無駄を少なくするために最小調理単位である 1 [cup] とする。

基準調理量 1 [cup] を調理器具に入れ、任意の閾値にて ON-OFF 制御したときの応答波形から特徴量を取得する（特徴量については 2.2 参照）。特徴量は温度上昇と温度降下がそれぞれ 3 個と調理初期の任意の時間内の頂点の数として合計 7 個取得する。ON-OFF 制御の閾値は 40 [] として同じ条件で 3 回取得する。同様に 3 [cup]、5 [cup] でも特徴量を取得する。Table 1 にまとめる。

(2) Table 1 の特徴量は初期状態の不安定によって大きな誤差を含んでいるものもある。そのため 3 回取得したデータを単純に平均せず、それぞれ取得したデータでどの程度の繰り返し誤差が存在しているのかを確認し、繰り返し誤差の大きいデータを削除するために L9 直交表 (Table 2) を用いた特徴量選択を行う。T-Method では、調理量と特徴量から得られる比例関係によって重み係数が決まるために、取得したデータがばらついていても 3 回の平均データが比例関係に一致していた場合に、その特徴量には大きな重みが付くので推定精度を悪化させることになる。このよ

Table 1 Original Characteristic Data for Calculating SNR (C. D. stands for Characteristic Data)

	C. D. 1	C. D. 2	...	C. D. 7
1cup 1	x_{111}	x_{112}	...	x_{117}
1cup 2	x_{121}	x_{122}	...	x_{127}
1cup 3	x_{131}	x_{132}	...	x_{137}
3cup 1	x_{311}	x_{312}	...	x_{317}
3cup 2	x_{321}	x_{322}	...	x_{327}
3cup 3	x_{331}	x_{332}	...	x_{337}
5cup 1	x_{511}	x_{512}	...	x_{517}
5cup 2	x_{521}	x_{522}	...	x_{527}
5cup 3	x_{531}	x_{532}	...	x_{537}

Table 2 L9 Orthogonal Array

	A	B	C	D
L_1	1	1	1	1
L_2	1	2	2	2
L_3	1	3	3	3
L_4	2	1	2	3
L_5	2	2	3	1
L_6	2	3	1	2
L_7	3	1	3	2
L_8	3	2	1	3
L_9	3	3	2	1

うな繰り返し誤差を招く主な要因は、センサーへの水分付着などによって温度上昇を遅らせ、さらに温度降下を進ませることによる。

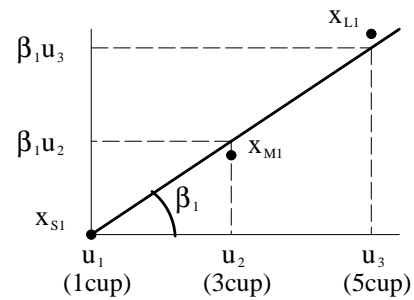
特徴量選択の方法は、直交表の列に調理量を割り付けて各行の水準には3回のデータをそれぞれ指定する。本論文の例ではA列に1 [cup], C列に3 [cup], D列に5 [cup]を割り付け、 L_1 行では1cup 1のデータセット、3cup 1のデータセット、5cup 1のデータセットの組み合わせで、全特徴量の調理量と特徴量の回帰直線を求める。同様にすべての行で回帰直線を求め、全特徴量の傾きを算出する。

全特徴量の傾きからばらつきの割合を算出して、ばらつきの大きな特徴量を削除する。特徴量1においてばらつきの割合 v_1 の算出は、直交表によって求めた9個の回帰直線の傾きの平均値 $\bar{\alpha}_1$ と標準偏差 σ_1 から、

$$v_1 = 100 \frac{\sigma_1}{\bar{\alpha}_1}, \quad (3)$$

によって行う。同様にすべての特徴量においてばらつきの割合を算出し、ばらつきの大きな特徴量を削除する。直交表の使用目的はデータ収集の時間や計算回数を減らすためであり、データ収集時間においては沢山のデータ取得してその分布から使用する特徴量を選択するよりもはるかに少ないデータで特徴量を選択でき、また計算時間においてはすべての組み合わせを実行した場合に $3^3 = 27$ 回の計算が9回で済むことになる。直交表を用いることで従来のMTSよりも開発期間の短縮を図る。

(3) 残った特徴量の調理量ごとに平均値を求める。 n を特徴量選択後に残った特徴量の個数として基準調理量平均ベクトルを、

**Fig. 5** Graph of Regression Line

$$x_S = (x_{S1}, x_{S2}, \dots, x_{Sn}), \quad (4)$$

とし、同様に3 [cup] を x_M , 5 [cup] を x_L とする。

基準調理量平均ベクトル x_S をもとに規格化を行う。 x_M の規格化ベクトル x'_M は、

$$x'_M = x_M - x_S, \quad (5)$$

で表わされる。同様に x_S, x_L も規格化し、 x'_S, x'_L を求める。 x'_S は零ベクトルになる。

つぎにそれぞれの特徴量の回帰直線を求める。特徴量1では規格化後の $x'_{S1}, x'_{M1}, x'_{L1}$ を用いて、横軸に調理対象の量を縦軸に特徴量をとる。これによって回帰直線は Fig. 5 となり、このときの傾きを β_1 とする

(4) Fig. 5 の回帰直線への一致度を表わす SN 比を算出する。取得した特徴量データの全エネルギー成分(2乗和)は、

$$S_{T1} = \sum_{i=S}^L x_{i1}^2, \quad (6)$$

と表わされる (i は S, M, L)。それに対して誤差の影響のない回帰直線をもとにしたエネルギー成分(回帰変動)は、

$$S_{\beta_1} = \beta_1^2 \sum_{j=1}^3 u_j^2, \quad (7)$$

と表わされる (j は調理量 u の水準数で今回の例では3)。(5) SN 比の誤差 (N) は不偏分散、

$$V_{e1} = \frac{S_{T1} - S_{\beta_1}}{3 - 1}, \quad (8)$$

で表わされる。分母は調理量 u_j の自由度である。

(6) 以上から信号(感度(S))は β_1^2 の推定であるので、

$$S_1 = \frac{S_{\beta_1} - V_{e1}}{\sum u_j^2}, \quad (9)$$

となり、誤差 (N) は分散であるので(8)式となり、

$$\eta_1 = \frac{S_1}{V_{e1}}, \quad (10)$$

が重み付けのための SN 比となる。同様にしてすべての特徴量の傾き β と SN 比 η を求める。なお SN 比 η が負の値になるとき、つまり、

$$S_{\beta_1} - V_{e1} < 0, \quad (11)$$

となるときは、信号よりも誤差が大きく推定に悪影響を及ぼすために $\eta = 0$ とする。ここまでが推定のためのデータベース算出ステップである。

(7) 推定は回帰直線を利用した逆算で行う。特徴量 1 での推定値を \hat{u}_1 として取得した特徴量 1 の規格化値を x'_1 とすると、

$$\hat{u}_1 = \frac{x'_1}{\beta_1}, \quad (12)$$

によって算出される。同様に n 個の推定値を算出し、これらに SN 比による重み付けを行い、

$$\hat{u} = \frac{\sum \eta_n \hat{u}_n}{\sum \eta_n}, \quad (13)$$

の加重平均によってすべての特徴量を総合した推定値 \hat{u} を得る。ただし \hat{u} は Fig. 5 のように基準量を 1 [cup] としたときの推定値であるので、実際には推定値に +1 した cup 数となる。

4. 実験

4.1 実験の手順

(1) 【推定のためのデータベース算出】

推定のためのデータベースを算出するために Fig. 1 の実験装置を用いて、1, 3, 5 [cup] でそれぞれ 3 回、合計 9 回の ON-OFF 制御実験を行い、それぞれの調理量において 7 個の特徴量を取得する。これらの特徴量から SN 比と基準量のデータベクトルを作成する。

(2) 【推定精度の確認】

上記のデータベースを使って推定実験を行う。データベース作成に用いた特徴量とは別に標準的な条件となる初期水温 15 [] 前後にて 1, 3, 5 [cup] の特徴量を取得し、調理量を推定する。さらに初期状態の不安定化を再現するために、調理対象の初期水温を低温条件 5 [] と高温条件 25 [] の 2 条件で 1 から 5 [cup] まで 1 [cup] 刻みに 10 個のデータを取得する。初期水温 15 [] の標準的な条件において 2, 4 [cup] の実験を行わない理由は、最低条件と最高条件を満たしていれば標準条件をクリアーすると考えて実験の合理化を図るためである。初期水温が安定しない条件においても正しく推定することができれば、提案手法は不安定な初期温度に対してもロバストな推定が可能といえる。

4.2 実験結果

(1) 【推定のためのデータベース算出】

1, 3, 5 [cup] のそれぞれの ON-OFF 制御実験において 7 個の特徴量を取得した。取得した特徴量から直交表を用いて、傾きのばらつきの割合を算出した。特徴量の一例とばらつきの割合を Table 3 に示す。ここで特徴量 1 はハンチング周期(温度上昇ピークの数)、特徴量 2, 4, 6 は印加電力で規格化した温度上昇の傾き、特徴量 3, 5, 7 は温度降下の傾きである。Table 3 からわかるように、特徴量

Table 3 Experimental Result of Characteristic Data and Slope's Variance (v) (C. D. stands for Characteristic Data)

	1 [cup]	3 [cup]	5 [cup]	v
C. D. 1	5	5	8	18.0
C. D. 2	0.643	0.261	0.463	12.7
C. D. 3	0.200	0.179	0.204	270.9
C. D. 4	0.398	0.235	0.198	7.7
C. D. 5	0.150	0.118	0.150	701.9
C. D. 6	0.532	0.351	0.237	4.0
C. D. 7	0.088	0.087	0.156	9.6

Table 4 Signal to Noise Ratio (η) and Regression Line's Slope (β)

	SNR	β
C. D. 1	7.505	0.867
C. D. 2	0.113	-0.059
C. D. 4	1.866	-0.053
C. D. 6	26.749	-0.079
C. D. 7	0.939	0.017

3 と 5 では傾きに大ききばらつきがある。また温度上昇の特徴量である 2, 4, 6 では後半の方がばらつきが小さいことがわかる。温度降下の特徴量でも似た傾向があり、最後の特徴量 7 が最もばらつきが小さくなっている。これらの理由は ON-OFF 制御にて熱量を一定時間入力することにより、誤差の要因となる容器外面の水分が乾燥したり初期状態の差が小さくなってきたことを表わしている。

つぎに、ばらつきの大きい特徴量を削除した残りの特徴量をもとに、推定のための SN 比と回帰直線の傾きを算出する。算出した SN 比と回帰直線の傾きを Table 4 にまとめる。Table 4 から特徴量 6 の SN 比が 26.749 と群を抜いて高く、ついで特徴量 1, 4 の順になっている。これは繰り返し精度を評価した Table 3 のばらつきとは完全に一致していない。SN 比は (10) 式で求められるので個々の繰り返し精度のばらつきを評価しているのではなく、回帰直線からのばらつきを評価した値となっているためである。このことを確認するため SN 比の大きな特徴量 1, 4, 6 の「SN 比算出に用いた規格化した特徴量」と「回帰直線および 2 次の回帰曲線」を Fig. 6 に示す。Fig. 6 より特徴量 6 の回帰直線との一致度が最も高く、ついで特徴量 1, 4 の順になっており Table 4 の結果と一致している。

(2) 【推定精度の確認】

推定精度の確認のため、初期水温を 5, 15, 25 [] と幅を持たせて ON-OFF 制御実験を行った。前述のように、実験は初期水温 5 および 25 [] の低温、高温条件では 1 [cup] から 5 [cup] まで 1 [cup] きざみで実施し、初期水温 15 [] の標準的な条件では 1, 3, 5 [cup] のみ実施している。1 例として調理量 3 [cup] の応答波形を Fig. 7 に示す。同じ調理量であっても初期水温が低温の場合には緩やかな温度上昇となり、調理量が多いときと似たような傾向を示していることがわかる。

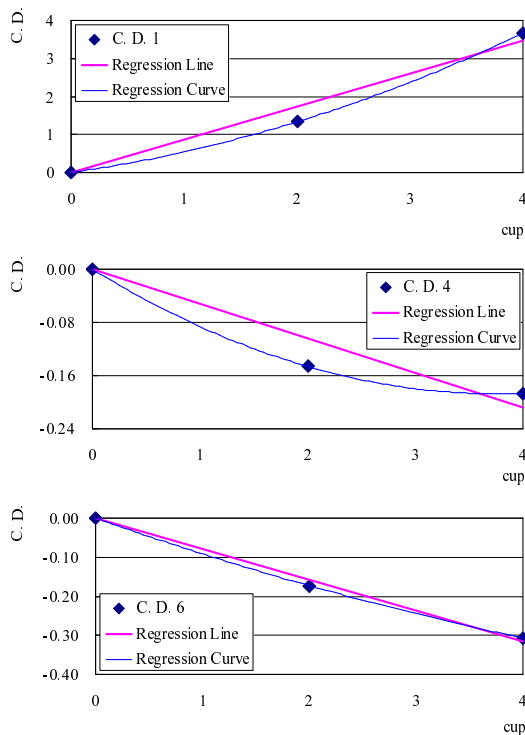


Fig. 6 Comparison between Regression Line and Characteristic Data (C. D. stands for Characteristic Data)

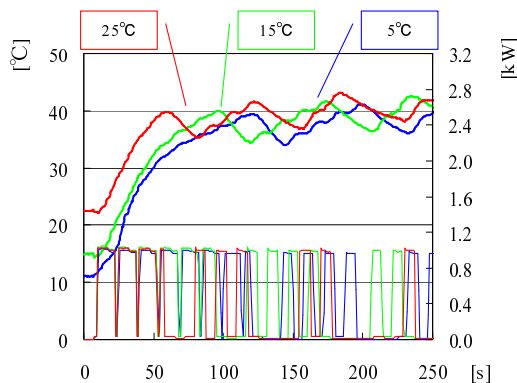


Fig. 7 Comparison with Water Temperature 5 Degree's, 15 Degree's, 25 Degree's Waveforms

Table 5 Experimental Result of Cooking Load (cup) Estimation

	5 []	15 []	25 []
1 [cup]	1.21	0.94	0.66
2 [cup]	2.24	—	2.10
3 [cup]	3.17	3.03	2.92
4 [cup]	3.96	—	4.08
5 [cup]	5.20	4.90	4.98

つぎに取得したデータから調理対象量の推定を行った結果を Table 5 に示す。Table 5 ではそれぞれの cup 数を前述の初期水温条件において推定した結果を示しており、例えば 1 [cup] であれば推定値が 1 に近いほど正確な推定が出来ていることになる。1 [cup] の初期水温 25 [] の

推定結果が 0.66 と 1 に対して小さな値となっているが、それ以外の推定はおおむね正しく出来ており実用上は十分な結果と考えられる。

以上のように提案手法は、実際に推定が困難な条件下でも実用上十分な推定精度を示すことが出来た。

5. まとめ

本論文では熱システム、特に調理器具において、調理の初期段階で ON-OFF 制御を行いながら取得した複数の特徴量から負荷推定する手法を提案した。提案手法は負荷の増減が応答に及ぼす影響を複数の特徴量として捉え、これらの特徴量に MTS の T-Method を適用し負荷を推定した。提案手法の効果を確認するために、特に調理初期において大きな外乱となる初期水温を変化させた条件で実験を行い、問題なく推定できることを示した。同様の方法は運転開始時や段取り換え時に状態が変化しやすい加熱型生産設備(熱溶着設備など)にも有効と考える。

ON-OFF 制御での応答はモデルベース制御などに比べればハンチングも大きく、比較的特徴量を取得しやすいと考えられるが、本論文のように多変数を扱う方法は閉ループ同定の新しいひとつの方向性と考えられる。

今後の方針としては、熱負荷の推定以外への推定問題への適用や閉ループ同定としての拡張などの新しい手法の開発を進めていく必要がある。

謝辞 貴重なご意見をいただいた AE および査読者に感謝します。

参考文献

- 調理機器-調理の省力化から安全・快適、そして更なるおいしさと健康調理へ、松下テクニカルジャーナル, 51-3, 216/223 (2005)
- 貝沼 やす子: 加水量が異なる米飯から調製した粥の性状, 日本家政学会誌, 57-4, 199/207 (2006)
- 渋川 祥子: 調理における加熱の基本, 日本食生活学会誌, 17-2, 89/93 (2006)
- 鈴木 新, 杉本 謙二: MT システムによる加熱対象の熱容量同定, 電気学会論文誌 D (産業応用部門誌), 127-12, 1247/1248 (2007)
- A. Suzuki and K. Sugimoto: Heat Capacity Identification via Mahalanobis Taguchi System, SICE Annual Conference 2008, 1873/1876 (2008)
- 鈴木 新, 杉本 謙二: 熱システムの負荷推定と擬似データを用いた基準群作成法, 計測自動制御学会産業論文集, 8-12, 47/53 (2009)
- 西本 芳夫: 超高級炊飯器, 伝熱, 48-204, 33/36 (2009)
- 進化する IH ジャー炊飯器-「吸水工程」にノウハウあり 浸し時間と温度に「隠し味」-, 技術営業, 35-11, 50/57 (2008)
- 芳谷 直治: 二元予測制御(同定と制御の同時最適化)の周辺, 電気学会論文誌 C (電子・情報・システム部門誌), 123-6, 1045/1048 (2003)
- G. Taguchi and R. Jugulum: The Mahalanobis-Taguchi Strategy -A pattern technology system, John Wiley & Sons (2002)
- 田村 希志臣: 方向判定のできる MT システム -TS 法, T 法, 標準化と品質管理, 62-2, 48/58 (2009)

- 12) 鈴木 新, 杉本 謙二: マハラノビスの距離と熱流の動特性計測を用いた断熱品質評価システム, システム制御情報学会論文誌, **19-4**, 150/156 (2006)
- 13) 長尾 光悦, 山本 雅人, 鈴木 恵二, 大内 東: 表情識別に対する MTS 法の適用, 電気学会論文誌 C (電子・情報・システム部門誌), **120-8**, 1157/1164 (2000)
- 14) C-T. Su, Y-H. Hsiao: An Evaluation of the Robustness of MTS for Imbalanced Data, IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, **19-10**, 1321/1332 (2007)
- 15) M. Asada: Wafer yield prediction by the Mahalanobis-Taguchi system, IEEE International Workshop on Statistical Methodology, 25/28 (2001)
- 16) E A. Cudney, K. Paryani and K M. Ragsdell: Applying the Mahalanobis-Taguchi System to Vehicle Handling, Concurrent Engineering, **14-4**, 343/354 (2006)
- 17) 吉野 荘平, 矢野 耕也, 石井 ちはる, 和田 唯司: MT システムによる不動産価格の予測 (3) -単位空間が 1 データの場合のシュミットの直交展開を使用しない価格予測-, 品質工学, **14-1**, 68/76 (2006)
- 18) 兼高 達貳, 鴨下 隆志, 矢野 宏: MT システムと肝疾患の診断 (2)-T 法 (3) を利用した特殊健康診断の場合-, 品質工学, **15-4**, 638/643 (2007)
- 19) 田口 玄一: 品質工学の数理, 日本規格協会 (1999)
- 20) M. Miyakawa: Resampling Plan using Orthogonal Arrays and its Application to Influence Analysis, JUSE, **38-2**, 1/10 (1991)

.....

[著 者 紹 介]

鈴木 新



1998 年和歌山大学卒業。同年象印マホービン(株)入社。現在に至る。2006 年奈良先端科学技術大学院大学博士後期課程修了。博士(工学)。電熱器具, 生産設備などの研究, 開発, 設計業務とばらつきに強い計測制御システムの研究に従事。IEEE, ISCIE の会員。2007 年 ISCIE 奨励賞受賞。

杉本 謙二 (正会員)



1982 年京都大学大学院修士課程修了後, 三菱電機, 京都大学, 岡山大学, 名古屋大学を経て奈良先端科学技術大学院大学教授となり現在に至る。制御理論に関する研究に従事。工学博士。IEEE, ISCIE, IEICE などの会員。2007 年 SICE 論文賞受賞。

.....