

精錬炉における非定常信号問題の扱いについての一考察 —ファジィ平均、ウィグナー分布解析法の適用を中心として—

田宮 稔士*, 高 崙山**, 河原田 秀夫**, 宮武 悟***, 北川 孟***

*川鉄テクノリサーチ(株), **千葉大学工学部, ***豊橋技術科学大学工学部

A consideration on calculation of nonstationary signal problems in a smelting furnace —Adoption of fuzzy average and Wigner distribution analysis

Abstract. In this paper, adoption of fuzzy average to a smelting furnace to harmonize process computer and operators, and adoption of Wigner distribution analysis to permeability index (nonstationary signal) of smelting furnace, are reported.

1. 緒言

精錬炉の操業に際して、プラント専用の電子計算機を使った操業者支援システムがしばしば活用されている [1]。システムの代表的な考え方は、各種センサー等の計測値を物理・化学的演算ないし統計的演算を基に、電子計算機の出力として操業方針を大まかに表示する。例えば操業方針として、前進操業 (GO)、現状維持操業 (STOP) または後退操業 (BACK) で表示して操業者を支援する。このシステムの問題点の一つに電子計算機の出力と操業者の操業感覚がいつも一致するとは限らないことがある。この両者の差異が大きいとき、操業者がどのように操業するかが問題になる。さらに前述各種演算が多変量解析法等の定常信号処理手法に依存しているために、精錬炉の持つ複雑さを十分に記述されないのではと懸念されている。

本報では、精錬炉の操業者の操業感覚と電子計算機出力の融合にファジィ平均を適用すること、ならびに精錬炉の重要な操業指数の一つである通気性指数（これは非定常信号と考えられている）にウィグナー分布解析法を適用して、それぞれ一定の評価を得たことを報告する。

2. ファジィ平均 [2] の適用

精錬炉の操業者の操業感覚とプラント専用電子計算機出力の融合にファジィ平均を適用する手段は次のようになっている。

(1). 入力パラメータの選択: 操業者の感覚的なプラント指数 (主観的データ) $x_1 (x_1 \in [0, 1])$ と計算機出力の定量的プラント指数 (客観的データ) $x_2 (x_2 \in [0, 1])$ を入力パラメータとし、もっともらしいプラント指数 $x_f (x_f \in [0, 1])$ を出力パラメータとする。主観的データ x_1 の数値化に対しては種々なる方法が存在する。例えば、プラントのベテラン操業者の経験に基づいて、プラントの状態がよいとき、 $x_1 \in [0.7, 1]$; まあまあするとき、 $x_1 \in [0.3, 0.7]$; 悪いとき、 $x_1 \in [0, 0.3]$ とすることが主観データ x_1 の一つの決定方法である。また、AHP (Analytical Hierarchy Process) [3] を用いて、人間の感覚を数値データに変換することも主観データ x_1 の一つの決定方法である。

(2). 意志決定モデルの作成: ここで考えている意志決定モデルとは、主観的データと客観的データとを融合させるものである。例えば、操業者は現状維持操業 (STOP) で、計算機は前進操業 (GO) の場合、二通りの結果がある。一つは主観的データを重視した現状維持操業

(STOP)である。もう一つは客観的データを重視した前進操業 (GO) である。これらをまとめて書くと、それぞれ Table2.1, Table2.2 及び Table2.3 のようになる。Table2.1 は主観的データ x_1 を重視した意志決定モデルであり、Table2.2 は客観的データ x_2 を重視した意志決定モデルである。また、Table2.3 は Table2.1 と Table2.2 の特徴を併せたものである。

Table 2.1 Decision-Making Model 1.

Objectivity \ Subjectivity	GO	STOP	BACK
GO	GO	STOP	STOP
STOP	GO	STOP	BACK
BACK	STOP	STOP	BACK

Table 2.2 Decision-Making Model 2.

Objectivity \ Subjectivity	GO	STOP	BACK
GO	GO	GO	STOP
STOP	STOP	STOP	STOP
BACK	STOP	BACK	BACK

Table 2.3 Decision-Making Model 3.

Objectivity \ Subjectivity	GO	STOP	BACK
GO	GO	GO	STOP
STOP	STOP	STOP	BACK
BACK	STOP	STOP	BACK

(3). ファジィ数の設定: ファジィ数は Fig.2.1 と Fig.2.2 のように三角型ファジィ数を設定する。ファジィ数 $O_i (i = 1, 2, 3)$ は主観的データに対応させ、ファジィ数 $Q_i (i = 1, 2, 3)$ は客観的データに対応させる。また BACK の度合いは O_1, Q_1 に、STOP の度合いは O_2, Q_2 に、GO の度合いは O_3, Q_3 に対応させる、すなわち、BACK はファジィ数 O_1 または Q_1 の代表値 0.0 に、STOP はファジィ数 O_2 または Q_2 の代表値 0.5 に、GO はファジィ数 O_3 または Q_3 の代表値 1.0 に対応させる。

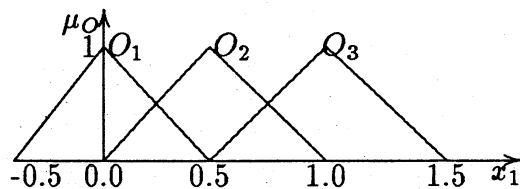


Fig.1 T.F.Ns for Operators.

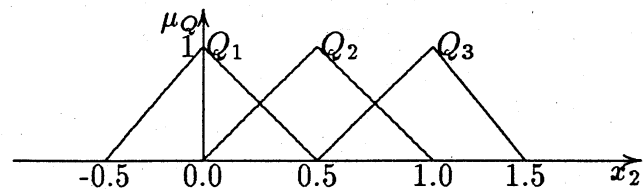


Fig.2 T.F.Ns for Quantitative Data.

$$\mu_{O_i}(x_1) = \begin{cases} 2x_1 - (i-2), & x_1 \in [\frac{i-2}{2}, \frac{i-1}{2}] \\ -2x_1 + i, & x_1 \in [\frac{i-1}{2}, \frac{i}{2}] \\ 0, & \text{その他} \end{cases}, \mu_{Q_j}(x_2) = \begin{cases} 2x_2 - (j-2), & x_2 \in [\frac{j-2}{2}, \frac{j-1}{2}] \\ -2x_2 + j, & x_2 \in [\frac{j-1}{2}, \frac{j}{2}] \\ 0, & \text{その他} \end{cases}$$

($i, j = 1, 2, 3$).

(4). ファジィ相関行列 $(M_{i,j}^n)^{[2]}$ の構成: $(M_{i,j}^3)$ の各要素はモデルの各要素に対応している。各 3 次のファジィ相関行列 $(M_{i,j}^3)$ の主対角線 $(M_{i,i}^3, i=1,2,3)$ 上の値は 1.0, 0.5, 0.0 であり、従対角線 $(M_{i,3-i+1}^3, i=1,2,3)$ 上の $M_{i,j}^3$ の値は 0.5, 0.5, 0.5 である。対角線以外の要素 $M_{i,j}^3$ の値は、主観的データと客観的データとどちらを重視するかによって決定される。例えば、操業者が前進操業 (GO) で、計算機が現状維持操業 (STOP) である場合、モデル 1 では主観的データを重視するため、前進操業 (GO) になっている、それに応じて $M_{2,1}$ の値を前進操業 (GO) に対応するファジィ数の代表値 1.0 を取る。モデル 2 では客観的データを重視するため、現状維持操業 (STOP) になっている、それに応じて $M_{2,1}$ の値を現状維持操業 (STOP) に対応するファジィ数の代表値 0.5 を取る。すなわち、モデル 1、モデル 2 及びモデル 3 に対応する 3 次のファジィ相関行列 $(M_{i,j}^3)$ はそれぞれ

$$\begin{bmatrix} 1.0 & 0.5 & 0.5 \\ 1.0 & 0.5 & 0.0 \\ 0.5 & 0.5 & 0.0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1.0 & 1.0 & 0.5 \\ 0.5 & 0.5 & 0.5 \\ 0.5 & 0.0 & 0.0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1.0 & 1.0 & 0.5 \\ 0.5 & 0.5 & 0.0 \\ 0.5 & 0.5 & 0.0 \end{bmatrix}$$

である。

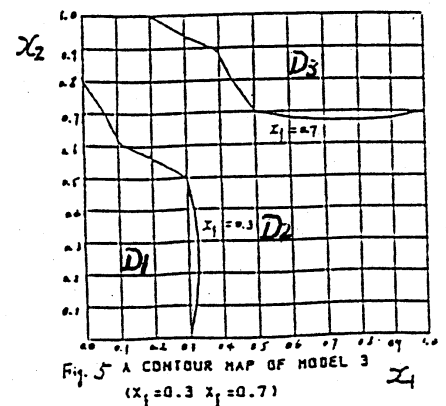
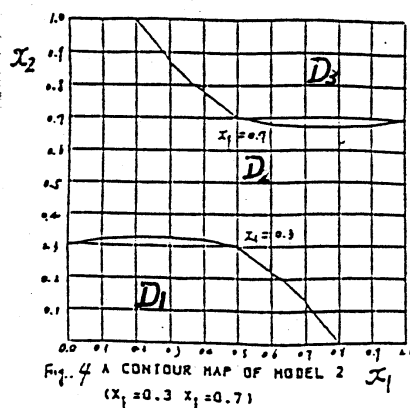
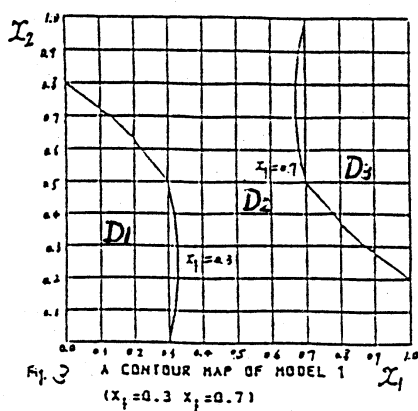
(5). ファジィ平均の計算と意志決定のアプローチ: ファジィ平均の計算結果に基づいて、意志決定を具体化するには通常行動と行動との間に境界という数値をあらかじめ定めると考え易い。例えば、後退操業 (BACK) と現状維持操業 (STOP) との間の境界を 0.3 とし、現状維持操業 (STOP) と前進操業 (GO) との間の境界を 0.7 とすることが境界の一つの選び方である。もちろん、これに限らない。そうすると、ファジィ平均 x_f に基づく意志決定は次のように表現することができる。

もし $x_f \in [0.0, 0.3]$ ならば、後退操業 (BACK) を行う。

もし $x_f \in (0.3, 0.7]$ ならば、現状維持操業 (STOP) を行う。

もし $x_f \in (0.7, 1.0]$ ならば、前進操業 (GO) を行う。

ファジィ平均を計算し、その分布に対する等高線 $x_f = 0.3, x_f = 0.7$ を Fig.3, 4, 5 に示した。 D_1 は後退操業 (BACK), D_2 は現状維持操業 (STOP), D_3 は前進操業 (GO) の領域を表す。 Model 1, 2, 3 により領域が変わっている様子がよくわかる。



3. 精錬炉プロセス状態変数「通気性指数」へのウィグナー分布解析法の適用

精錬炉プロセスの状態変数の一つである通気性指数(時間連続データ)に(a)Spectrogram(短時間フーリエ変換法のエネルギー表現)、(b)RID(干渉項を低減した自己ウィグナー分布)^[4]、(c)Scalogram(Gabor関数を用いたウェーブレット変換)を適用し、それらの計算結果が精錬炉の好調時、不調時とどの程度対応するか調査した。結果を要約すると次のようになる。

(1). 直流成分除去処理した信号について(a),(b),(c)を適用したところ、炉の好、不調時によって差異が認められたのは(a)と(c)である(P5, Fig.6)。

(2). 直流成分除去処理をし、さらにハイパスフィルター処理した信号について(a),(b),(c)を適用した計算結果に、物理的考察に基づく若干の演算処理^[5]を施した計算結果 Z_i と炉の好、不調時によって差異が認められたのは(b)で(a),(c)はあまりその差異がでなかった(P6, Fig.7)。ただし、 Z_i は

$$Z_i = y_i^{(35 \sim 40)} - y_i^{(40 \sim 45)}, \quad (i = 1, 2, \dots, 128)$$

$$y_i^{(pl-ph)} = \sum_{j=pl}^{ph} E_{i,j}$$

pl, ph はそれぞれ任意の周波数、 $E_{i,j}$ は時間-周波数解析のエネルギー分布を表す。

4. 結言

精錬炉における非定常信号問題の扱いについて研究した。ファジィ平均は Fig.3,4,5 を工夫次第では精錬炉操業の実用になる。時間連続のプロセス状態変数へのウィグナー分布解析法(RID)はデータの数をもう少し増やして調査することが実用化には必要と思われる。

参考文献

- [1]. 前田, 銑鉄分野における計測と制御, 第105回西山記念技術講座(日本鉄鋼協会編)(1993), p. 148.
- [2]. 高ら, ファジィ平均の提案, 本研究集会予稿(1994).
- [3]. 刀根 薫, “ゲーム感覚意志決定法,” 日科技連, 東京, 1990, p. 33-46.
- [4]. 石光ら, “京大数理解析研究所講究録 746,” 1991, p. 88.
- [5]. 堀畑ら, 精錬炉プロセス状態変数の時間-周波数解析とそれによる操業評価, 日本応用数学会平成6年度年会講演予稿集(1994), p. 46-47.

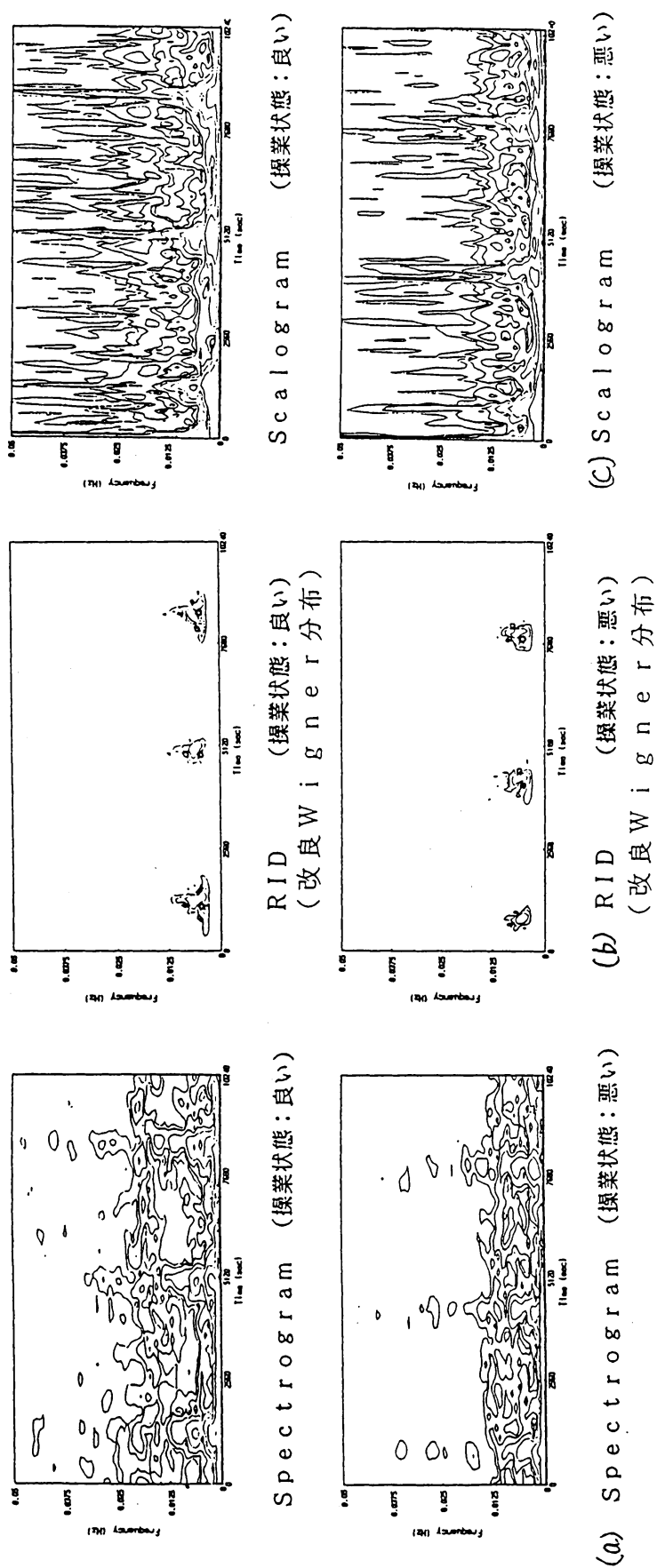
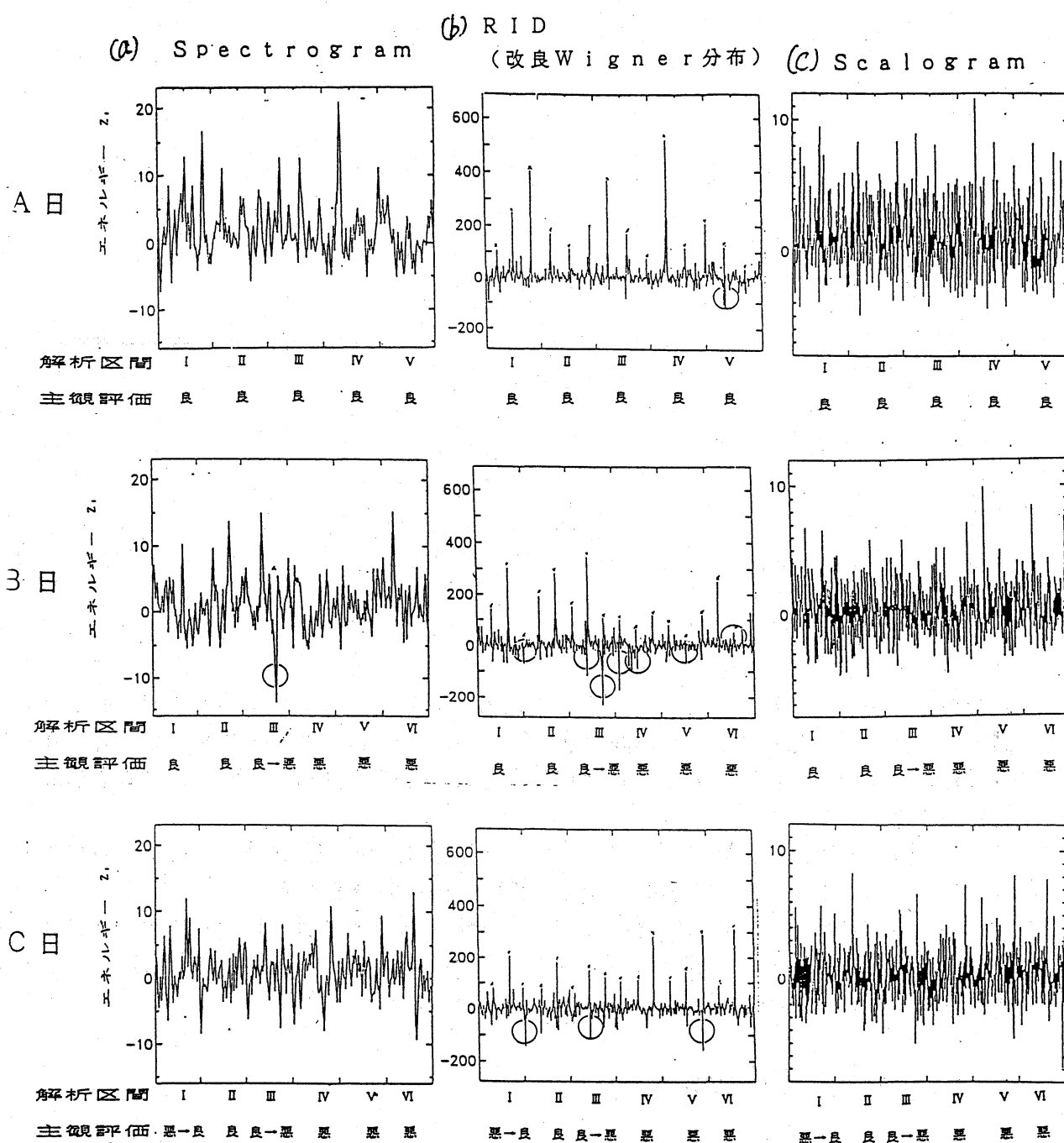


Fig.6 各操業状態における各時間一周波数分布



×部：注目点（周期的なエネルギー Z_i ）
 ○部：周期的なエネルギー Z_i → 正の方向に小
 周期的なエネルギー Z_i → 負の方向に大

Fig. 7 エネルギー Z_i と主観評価の関係