

33 ウェーブレット極値表現による異常燃焼振動の解析

田辺 誠 菊池 久和 佐々木 重信 渡辺 弘道 渡辺 悟*
新潟大学工学部 *ユニシアジェックス

1. まえがき

異常燃焼とは、点火時期を早めることにより発生し、内燃機関の圧力上昇によって、未燃焼混合気が自然発火する現象である。異常燃焼が発生すると、爆発が完全に行われなため、ハイドロカーボン等の大気汚染物質を空气中に排気することになる。ウェーブレットを利用し、燃料の点火時期を制御する研究^[1,2]が行われている。本稿では、異常燃焼の発生を検出するために、エンジンブロックが発生する振動信号をウェーブレット極値表現を用いて解析し、異常燃焼振動の特徴を調べることを目的とする。

2. ウェーブレット極値表現

ウェーブレット変換は、ウェーブレット関数 $\psi_{a,b}(t)$ と信号 $s(t)$ の内積

$$W(a,b) = \langle \psi_{a,b}(t), s(t) \rangle \quad (1)$$

として定義される。その基底関数は、時間と周波数で局在する関数に a 倍のスケールと並進 b を施した、

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (2)$$

で表される。ここでは、基底ウェーブレットとして^[3]平滑化関数の一階導関数を用いた。

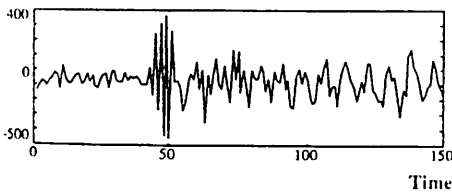


図1 原信号波形

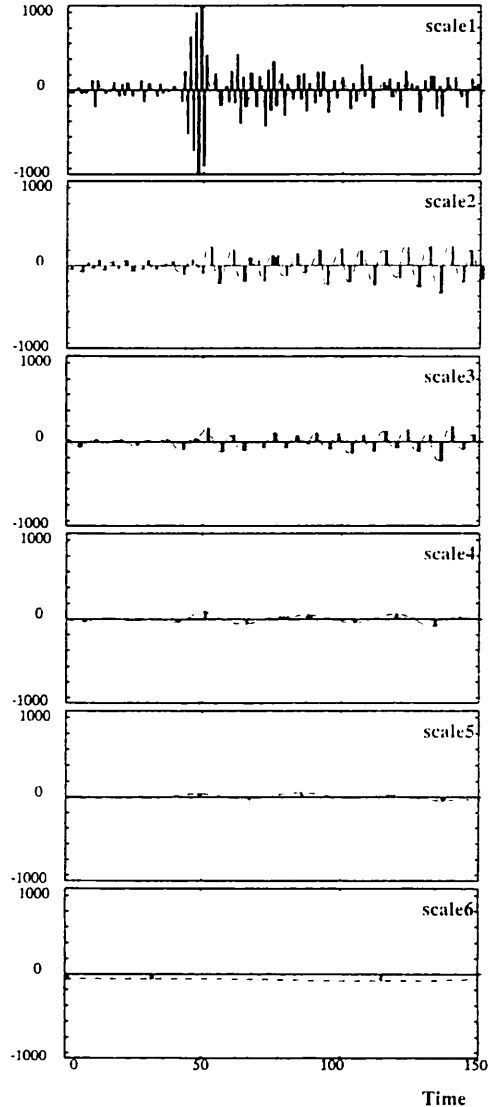


図2 ウェーブレット展開係数の極値表現

式(1)で得られたウェーブレット展開係数 $W(a,b)$ は、情報量が多く、計算量も多くなる。したがって、計算量の減少・情報圧縮のために、 $W(a,b)$ の情報量を減らし、信号を復元する方法^[3,4]がいろいろ提案されている。

その中の一つに、ウェーブレット極値表現^[5]がある。ウェーブレット極値表現の定義は、ウェーブレット展開係数 $W(a,b)$ の極大値・極小値とその座標によって求まる。極値表現はその極値の取りかたの例として、図1の原信号波形をウェーブレット変換し、そのウェーブレット展開係数 $W(a,b)$ を極値表現を使ってあらわした様子を図2に示す。図2の点線は、ウェーブレット展開係数 $W(a,b)$ 、実線がそれを極値表現した場合である。見てわかるとおり、スケール4~6において、情報量が明らかに減っていることがわかる。

次に、ウェーブレット極値表現から原信号 $s(t)$ を再構成する方法を考える。極値表現は、ウェーブレット展開係数 $W(a,b)$ から極値だけを取り出し、それ以外を切り捨てた部分的な情報をもった集合である。このように、部分的な情報から原信号 $s(t)$ を復元する方法に、凸射影法がある。凸射影法とは、反復射影法の一つで、画像の復元などでよく用いられている手法である。このとき、極値表現の集合は、よく閉じられた空間であるため、再構成における射影操作の回数が減る。

また、極値には信号の不連続な部分や過渡的な現象に関する重要な情報が含まれており、ウェーブレット極値表現は、信号の特徴抽出に最適であると思われる。

3. 異常燃焼の解析

解析した信号は、V型8気筒エンジンのエンジンブロックの外壁に取り付けた圧電素子から、1200rpm時に発生した振動波形を50kHzでサンプリングしたものである。

文献^[1,2]では、異常燃焼の振動信号の特徴が、時間的には[40~120]の区間、そして、機械振動に異常燃焼による突発性振動を加えた信号であることから、周波数的に高い周波数領域に存在することが報告されている。本研究は、その期間とスケールに着目し、スケールごとに再構成を行い、どのスケールに一番依存しているのかを調べた。また、その特徴を明確にするために、異常燃焼を含む振動信号と正常な燃焼振動信号の二種類の信号を用いた。ウェーブレット極値表現は、原信号 $s(t)$ を5オク

ターブのウェーブレット変換を行い、極値表現に変換し、区間[40~120]に存在する極値を取り出した。その後、全スケールを用いて再構成をした $r(n)$ と、1スケールだけを用いて再構成をした $r_s(n)$ の間で、 $r(n)$ と $r_s(n)$ の相互相関 $\phi_{r_s}(m)$ と $r(n)$ の自己相関 $\phi_r(m)$ の比

$$\frac{\phi_{r_s}(m)}{\phi_r(m)} \quad (3)$$

を取った。なお、再構成を行うための射影操作は、10回行った。

4. 結果

今回、約200種類の信号の中から、異常燃焼を含む信号(sig1,sig2,sig3)と、正常燃焼の振動信号(sig4,sig5,sig6)を前節で説明したように行った。表1から、異常燃焼振動を含む信号は、スケール1, 2において、正常燃焼の振動信号と比べて、値が大きく、このスケールに依存していることが確認できた。このことから、極値表現を用いた解析において、スケール1, 2を特に注目して、解析する必要があると考えられる。

scale	sig1	sig2	sig3	sig4	sig5	sig6
scale1	0.942	0.911	0.854	0.828	0.854	0.844
scale2	0.051	0.077	0.088	0.113	0.087	0.113
scale3	0.006	0.009	0.031	0.038	0.033	0.025
scale4	0.001	0.002	0.020	0.010	0.009	0.005
scale5	0.000	0.000	0.003	0.001	0.002	0.001
scale6	0.000	0.001	0.004	0.011	0.014	0.014

表1 各スケールと全スケールの比

<参考文献>

- [1] H.Kikuchi, M.Nakasizuka, H.Watanabe, S.Watanabe, and N.Tomizawa, "Fast wavelet transform and its application to detecting detonation," *IEICE Trans. on Fundamentals*, E75-A, 8 pp. 980-987(1992)
- [2] 菊池, 阿部, "ウェーブレットによる振動解析", 日本応用数理学会年会, pp.45-46, 1993年9月.
- [3] S. Mallat, and S.Zhong, "Characterization of Signals from Multiscale Edges," *IEEE Trans. PAMI-14*, July 1992, 710-732
- [4] Z.Cvetkovic and M.Vetterli, CTR Technical Report350-93-30, Columbia University(1993).