

研究成果報告書

研 究 題 目		ウェーブレットパケット変換の学習能力を利用した、分電盤電流からの稼働電気機器の識別と電力量の推定	実 施 年 度
			平成25年度
代 表 研 究 者	所 属	弓削商船高等専門学校・情報工学科	
	氏 名	葛 目 幸 一 印	

1. 研究の目的・背景

地球温暖化防止の観点から、再生可能エネルギーの利用や節電の重要性が認識され、有限のエネルギーを需給バランスをとりながら有効に供給する *EMS (Energy Management System)* が注目されている。*EMS*では、エネルギーの消費構造を把握し予測することができれば、電気機器の計画的な運転の立案が可能となるとともに、待機電力などの無駄なエネルギー消費を抽出する上でも非常に重要である。エネルギーの消費構造を把握する手段として、各々の電気機器の消費電流を一括して分電盤で計測し、機器ごとの稼働状況を推定する研究が行われている[1-3]。

分電盤での消費電流データをもとに電気機器の稼働状況を把握する先行研究として、実効値電流から自己組織化マップ (*SOM*) を用いて識別する方法や消費電流波形の実効値や平均値、最大値等の特徴パラメータを識別に利用する方法が提案されている[1-2]。しかし、識別精度が低かったり、識別可能な機器に制約がある等の問題があり、未だ実用化には至っていない。

上記の背景をふまえ、本研究では信号識別能力に優れた「学習能力を持つウェーブレットパケット」を提案し、「消費電流波形から稼働機器の識別と消費電力量を推定するシステム」を開発する。

ウェーブレット変換は、低周波フィルタ h と高周波フィルタ g とからなる直交フィルタにより、信号の帯域を2分割する変換である。しかしながら、低周波成分のみを分解する通常の離散ウェーブレット変換では周波数分解能が低く、またシフト普遍性を持たない等の欠点がある。そこで、*Wickerhauser* らは低周波成分のみならず高周波成分も分解するシフト不変性を持つウェーブレットパケット (*WP*) 変換を提案し、指紋データの圧縮や雑音除去などに応用した[4]。しかし、使用するウェーブレットは、*Haar*, *Coifman*, *Daubechies* 等の既存のウェーブレットをもとに、信号に適応して最適基底ウェーブレットを組み立てる手法で、必ずしも信号の特徴を反映したウェーブレットになっていない。本研究では、個々の機器の消費電流を最も効率よく識別する為の *WP* 処理を開発することを目的に、まず電気ポットの消費電流波形を電力テスターで測定し、既存のウェーブレットパケット解析をおこなった。解析では、ダウンサンプリング型のウェーブレットパケット変換と *Dyadic* 型のウェーブレットパケット変換により、ウェーブレット変換係数のエネルギー分布やウェーブレット最良基底のツリー構造について、ウェーブレット関数の依存性について検討を行なった。研究では、ウェーブレット変換等の全ての数値計算は、*Wolfram Research* 社の *Mathematica Ver. 9.0* を用いて行なった。

3. 消費電流波形の計測

消費電流の計測には、Hioki 社製の電力品質計測装置(クランプオンパワーテスター 3169)を用いた。サンプリング周期は、10 秒、計測時間は約 3 時間である。図 1 に計測の様子を示す。消費電流は、付属のクランプ型電流センサを用いたが、使用した電力品質テスターは電力の品質評価に用いる主な指標である、電圧、電流、皮相電力、力率、周波数精度などを計測し、記憶する機能も持っている。なお、研究では、保温機能つき電気ポットの消費電流を測定し、図 2 に消費電流波形の測定結果を示す。消費電流波形の変化からわかるように、電気ポットは保温時には、短い周期で電源の ON/OFF を繰り返していることがわかる。

4. 実験・解析結果

4. 1 ウェーブレット解析のパラメータ

信号のウェーブレット解析を行う場合、様々な選択肢(パラメータ)があり、応用目的に応じてパラメータを選択する必要がある。本研究では、稼働電気機器の消費電流波形の特徴を効果的に捉えるためのパラメータを求めるために、次に示す項目について検討した。

(1) ウェーブレット変換の種類

- 離散ウェーブレット packets 変換
- Dyadic ウェーブレット packets 変換

(2) ウェーブレット関数の種類

- *Haar, Daubechies Family* のウェーブレット
- *Biorthogonal Spline Family* のウェーブレット

(3) 評価指標

- ウェーブレット packets 変換係数のエネルギー比の分布
- ウェーブレット *Best Basis* により最適分解ツリー
- 評価関数 (*Shannon* のエントロピー関数と *Norm1*)

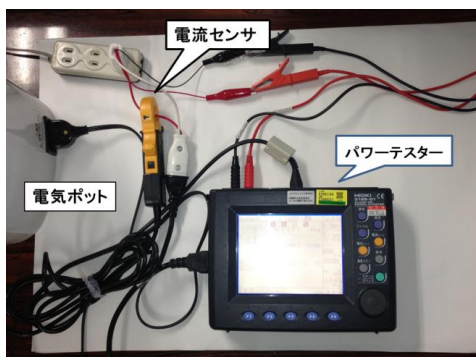


図 1 クランプオンパワーテスタによる消費電流の計測

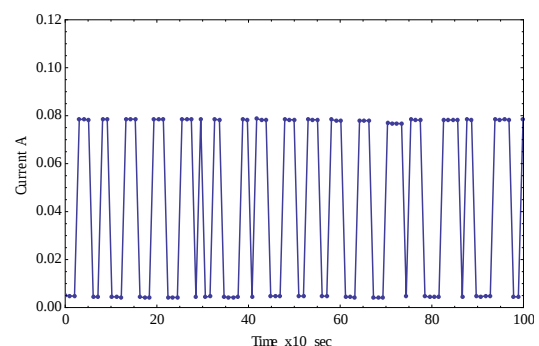


図 2 電気ポットの消費電流波形

4. 2 解析結果

図3, 図4はそれぞれ *Discrete* ウェーブレット packets 変換, *Dyadic* ウェーブレット packets 変換のスカログラムである. ウェーブレットスカログラムとは, ウェーブレット変換係数の2乗値の分布を, 時間-周波数の平面上に2次元のカラーイメージで表示した図である. 縦軸の下方で周波数が高くなる. 解析結果からわかるように, 電気ポットの消費電流波形は, 全測定時間にわたり約0.22~0.24 [Hz] の周波数成分を多く含んでいることがわかる.

図5に *Biorthogonal Spline Family* の離散ウェーブレット packets 変換の解像度5 ($j=5$) における変換係数のエネルギー分布の計算結果を示す. この図からわかるように $W_{14} = 14 \{01110\}$ で大きな値となり, 図7の結果と一致する. 一方, *Daubechies Family* によるウェーブレット変換係数のエネルギーの分布は W_{14} にピークはあるものの, その値は小さい (図6参照). 以上のことより, 解析に使用するウェーブレット関数の種類によりエネルギー分布が大きく異なり, 本実験では, *Spline Dyadic Wavelet Packet* 変換が電気ポットの消費電流信号の特徴を最も捉えていることが明らかとなった.

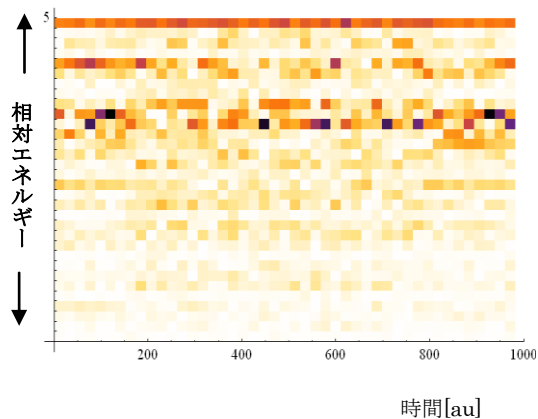


図3 Discrete Wavelet Scalogram
(Daubechies Wavelet Family)

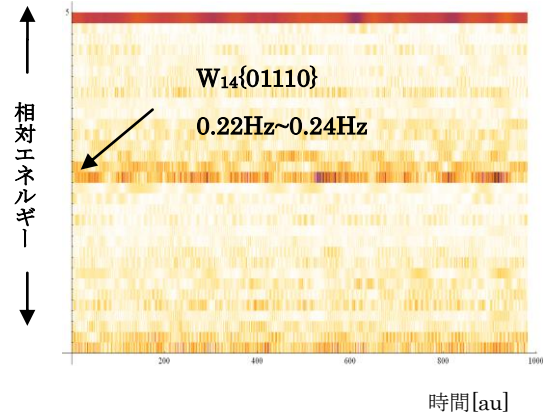


図4 Dyadic Wavelet Scalogram
(Biorthogonal Spline Wavelet[3,7])

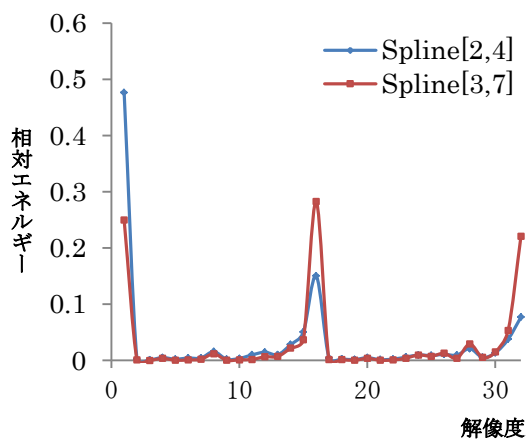


図5 Spline Dyadic Wavelet packet
変換によるエネルギー分析結果

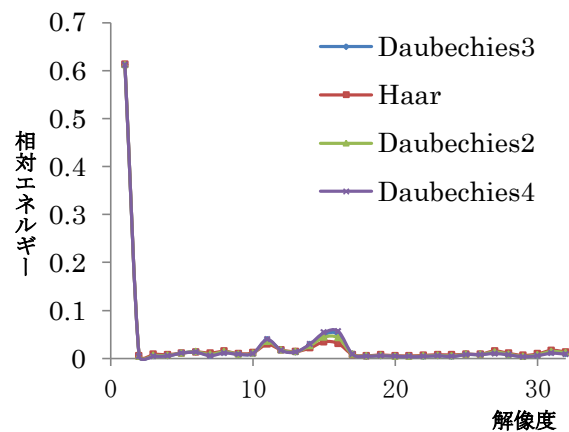


図6 Daubechies family Dyadic
Wavelet Packet 変換によるエ
ネルギー分析結果

5. 結論と今後の課題

EMSの実現のため、稼働中の電気機器の識別と消費電力量を分電盤の電流波形から高精度に推定することを目的にウェーブレット packets 変換の応用の可能性について検討した。まず、保温機能付き電気ポットの消費電流波形を計測し、7種のウェーブレット関数を用いて、離散ウェーブレット packets 変換と *Dyadic* ウェーブレット packets 変換を行い、信号の特徴抽出を周波数解析により検討した。信号の特徴抽出に、ウェーブレット変換係数のエネルギー分布を用いた場合、*Biorthogonal Spline* ウェーブレット[3, 7]が最も有効であった。

次にウェーブレット packets 変換で2種類のコスト関数を定義し、コストを最小にするウェーブレット最良基底ツリーを計算により求めた。最良基底ツリーもコスト関数とウェーブレット関数に大きく依存することが明らかになった。

今後は、様々な電気機器個別の消費電流データについて、ウェーブレット packets 解析し、データの蓄積を行い、消費電流データの特徴に適応したリフティングウェーブレットの設計法の検討を行う予定である。

参考文献

- [1] 岩船他：住宅用分電電流データを用いた機器稼働状況推定手法，電気学会論文誌 B, pp.542－549, Vol.131 No.7, 2011.
- [2] 岩船由美子，荻本和彦他：分電盤計測に基づく住宅用電力消費パターン分析手法，電気学会論文誌 C, pp.1086－1093, Vol.133 No.5, 2013.
- [3] Markus Weiss, Adrian Helfenstein 他：Leveraging smart meter data to recognize home appliances, PP.190-197, The proc. of IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications, Lugano. March (2012).
- [4] Wickerhauser 他：Entropy-Based algorithms for best basis selection, pp.713-718, IEEE Transaction on Information Theory, Vol.38.No.2, March, (1992).

3. 経費の使用状況（申請時の計画に対する実績を記述）

申請時に計上した物品の内、「ペン型電流プローブ」は、本校の教員が既に所有していたため、それを借用し、新たに購入しなかった。

また、組み込みシステムの試作に際して、FPGA 開発ボードに替えて安価なマイコンボードを採用し、試作に必要なセンサ類購入した。

助成金（¥40万）は、全額執行済みである。

4. 将来展望（今後の発展性、実用化の見込み等について記述）

研究達成度は30%程度で、実用化までには更なる時間が必要である。

本年度の研究成果をまとめると

- ① 電流プローブを用いて稼働中の電気機器の消費電流波形を計測し、ウェーブレットパケット変換によりデータ処理を行った。
- ② ウェーブレットパケット変換方式（*Dyadic* 型，*Down Sampling* 型）やウェーブレット関数の違いにより信号識別能力がどのように変化するかを検討した結果、使用するウェーブレット関数に大きく依存することが明らかになった。
- ③ 分電盤の消費電流を遠隔で計測するため、組み込みシステムを設計し試作した。
（詳細は、成果の発表[2]，[3]を参照）

上記の研究成果を発展させ、実用化システムを下記に従って開発する予定である。

- ① 上記②の研究成果を発展させ、信号の特性に適応した、識別能力に優れたウェーブレット関数を生成する設計公式を導出する。
- ② 上記③の研究成果に前記①で生成した識別能力を持つウェーブレット関数を組み込むことにより実用的なシステムを構築する。

5. 成果の発表（学会での発表，学術誌への投稿等を記載．予定を含む）

- [1] “稼働電気機器の消費電流波形のウェーブレット解析”
弓削商船高等専門学校 紀要 第36号 （平成26年）
- [2] “Sensor Network System to Promote Energy Conservation”
K.Koichi and M.Okada, The Proceedings of International Conference on
Pervasive Computing and Communications, March, 2014.
- [3] “センサーネットワークを用いた省エネ教育支援システムの開発”
P67－P72, 信学技報, IA2013-79, 2014.