

RK-003

多機能コンセントを用いた部屋様態の分類のためのセンサデータ分析

Sensor Data Analysis for Grouping of Room Condition
using the Multifunctional Outlet

岩崎 俊†

Shun Iwasaki

笹間 俊彦†

Toshihiko Sasama

川村 尚生†

Takao Kawamura

岡本 拓也†

Takuya Okamoto

菅原 一孔†

Kazunori Sugahara

1 はじめに

近年、情報技術の発達により、通信機能を持ち遠隔操作が可能な電化製品が開発されている。しかしそれらは既存の機器へ通信機能を付加するものではなく、遠隔操作のためにはまだ使用可能な状態であっても、機器そのものを買替える必要がある。またそうした機器は設置工事が必要となる場合も多い。そこで我々の研究室では電源を得るコンセントに着目し、遠隔操作機能を実現する多機能コンセントシステムを開発した。[1]

多機能コンセントシステムは電源管理を行うアダプタをコンセントと電化製品の間に取り付ける事で、既存の電化製品に遠隔操作機能を付加する。またアダプタには部屋の明るさを測る光センサ、室内温度を測る温度センサ、電化製品の消費電力を測る電流センサ、人の動きに反応する赤外線センサ等の各種センサを搭載しており、取得した情報をウェブブラウザ上から閲覧できる。この機能により、対象となる人物がどのような生活をしているかや生活環境などの部屋様態を知る事ができ、高齢者等の見守りの面で有用である。さらに時間帯や取得したセンサの値を条件とした電化製品への電力供給管理が行える。この機能により部屋に人がいない時は照明を消すなど、消し忘れ防止の自動設定が可能となる。また機器への電力供給をコンセント部分から断つので、待機電力の削減にもなり省電力の面でも有用である。

しかしセンサの配置や種類によっては、1, 2台程度の少数のセンサ値の上下からだけでは部屋様態を推定する事はできず、より複合的にセンサ値を参照し判断する必要がある。つまりこうしたシステムにおいて省エネルギーや見守りを簡単に実現するには、得られた多種多様なセンサ情報をそれぞれの特徴に基づいて自動的に縮約・分類し、人が参照や判断をし易い形へとデータをまとめる必要がある。本研究ではこれを目的とし、主成分分析によってデータを縮約すると共に、縮約されたデータをクラスタリングによって10から20程度の人々が把握し易いグループへと分類し、部屋様態の判断や省エネルギー設定の補助とした。

2 多機能コンセントシステム

2.1 システム概要

多機能コンセントシステムはウェブブラウザ上から、監視対象となる屋内のセンサ情報の閲覧や電化製品の電

†鳥取大学大学院 工学研究科 情報エレクトロニクス専攻

源管理を行うシステムである。対象の屋内では無線通信・電源管理・電力監視機能を持つアダプタを電化製品とコンセントの間に接続するとともに、無線通信・センシング機能を持つノード(以下センサノード)を分散配置することで稼働する。

また、本システムは管理サーバ、通信制御部、センサノードから構成される。管理サーバはセンサデータの管理と、利用者からの操作命令や閲覧データの送受信を行う。通信制御部はセンサノードの無線ネットワークを管理する。センサノードには周囲の環境情報を測定するセンサがいくつか搭載され、取得した情報を送信する。通信制御部とセンサノード間の無線通信はZigBee[2]により行われる。ZigBeeとは安価で消費電力が少ないといった特徴を持つ、近距離無線通信方式の一つである。

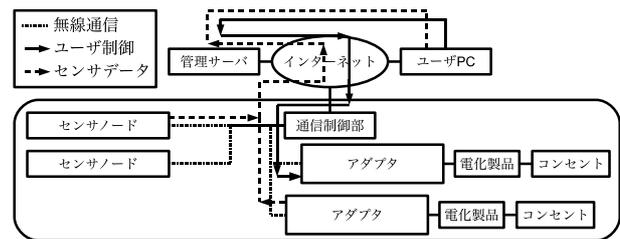


図1: 多機能コンセントシステム通信経路

図1に本システムのセンサノードから管理サーバ間の通信経路を示す。図1の点線矢印のようにセンサデータは通信制御部を介し、インターネットを通じて管理サーバに送信される。利用者はウェブブラウザから管理サーバにアクセスし、必要に応じた情報を受け取る。図1の実線矢印のように、利用者からの電源操作などの命令は管理サーバへと送信され、通信制御部を介してアダプタへと送信され、コンセントから電化製品への電源供給のON/OFFが実行される。

2.2 センサノード

センサノードにはリレー回路や複数種類のセンサが搭載されており、周囲の環境情報を測定し、無線通信により通信制御部にセンサデータを送信する。また通信制御部からの電源管理の命令等を受け取りそれを処理する。命令の処理にはArduino[3]を用いる。Arduinoとは安価、ZigBeeのライブラリが充実しているといった特徴を持つ、オープンソースハードウェアのマイコンボードである。

搭載するセンサは光、温度、電流、赤外線センサの4種類である。

光センサ 照度 [lx] を計測する。日光、照明なしで人が生活することはなく、カーテンの開閉や就寝、起床などの情報を得る事を目的とする。

温度センサ 室温 [°C] を測定する。空調の使用状況、窓の開閉などの情報を得る事を目的とする。

電流センサ 電化製品の消費電力 [W] を測定する。電化製品の使用状況を知り、その種類により人物の行動に関する情報を得る事と、省エネに対する意識付けを行う事を目的とする。

赤外線センサ 人物の有無や動きの活発さを知る事を目的とする。

またコンセント周辺のような場所は陰になることが多く、そこに光センサや赤外線センサを設置しても大抵はうまく機能しないので、センサノードには全種類のセンサを搭載する事は無く、設置場所に適したセンサを選択し、搭載する。

2.3 多機能コンセントシステムの機能

ウェブブラウザで管理サーバにアクセスする事で利用可能な機能とその詳細について以下に述べる。図2はこの操作画面である。



図2: ウェブブラウザ上での電源管理機能画面

2.3.1 遠隔操作機能

図2の画面でON/OFFをクリックすることで、対象のアダプタへと命令が届く。それが処理され、コンセントから電化製品への電力供給が絶たれる。

2.3.2 スケジュール機能

対象の機器や日付、曜日、時間の条件を設定し電源管理を行える。例えば、平日の日中は外出の予定があるので電源供給を行わないといったスケジュールを設定する。こういった設定を行う事で待機電力の削減が期待できる。

2.3.3 センサの反応による電源管理機能

センサの反応にしきい値を設定しそれに基づいた電源管理を行う。例えば、ある赤外線センサの反応が無ければ機器の電源をOFFと設定する事で、電化製品の電源を消し忘れた場合に自動的に電源がOFFになる。また消し忘れたときの消費電力だけでなく、不在時の待機電力も削減される。ほかにも、窓際の光センサの値が基準値以上であれば窓から十分な太陽光が入ってきているとして、照明の電源だけをOFFにするといった柔軟な設定が可能である。

2.3.4 各種センサデータの閲覧

設置された光、温度、電力、赤外線の種類センサの値をリアルタイムで閲覧する事が可能である。ウェブブラウザ上でのセンサデータの閲覧画面を図3に示す。この機能により、炊飯器やポットの消費電力をモニタリングすることできちんと食事を取っているのか、赤外線センサの反応により倒れていないだろうかなどの判断ができ、独居の高齢者等の見守りの面でも有用である。また非接触のセンサにより見守りを実現するのでカメラによる監視[4]の不快感、ウェアラブルセンサ[5]のような面倒さはない。消費電力を閲覧する事で機器ごとでどのくらいの電力を使ったかを認識できるので使い過ぎなどを意識させることができ、省電力の面でもこの機能は有用であるといえる。

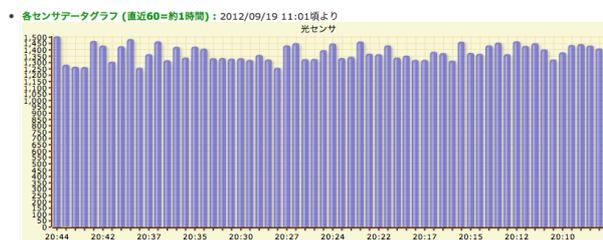


図3: センサデータ閲覧画面

2.3.5 接続器機情報管理

電化製品に取り付けたアダプタにTVやライトなどの取り付けた機器の名称を設定し、消費電力の閲覧や電源管理の補助をする。これによりどの機器をどの程度使用したか認識しやすくなり、電源操作やスケジュールの設定などが円滑に行える。

3 問題点と提案手法

3.1 省エネルギー設定と部屋様態の推定における問題点

多機能コンセントシステムは省エネルギーや見守りの面で有用な様々な機能を持つが、適切なセンサの配置や

利用環境ごとのセンサの反応の特性を熟知していなければ、その機能を最大限活用する事は困難である。

例えば、省エネルギー設定の例として、オフィス等での業務時間外の節電を目的とした、夜17時から翌朝9時までの自動消灯等を設定する場合があげられる。しかし、実際には残業や雑務の都合により、そのようなスケジュール設定では業務に支障をきたす。人感センサである赤外線センサ等を利用した例外判定を設けて、残業等にも対応する方法も考えられるが、センサの種類や配置を考慮した適切な設定をする事は一般に簡単ではなく、試行錯誤の繰り返し等、多大なコストを要する。この「大量のセンサデータから部屋様態を判断する問題」は独居高齢者等の見守りについても同様である。

3.2 解決方法

前節で述べた問題点はどれも利用者が配置によるセンサの反応の違いやそれが示す人物や部屋の様態についての知識が無い事とその情報量が膨大である事に起因する。そこでセンサデータを分析する事でそれが示す人物や部屋の様態の傾向・特徴を捉え、部屋様態の推定や省エネルギー設定の補助として自動的にセンサデータを部屋様態ごとに分類する。これにより利用者が分類結果を見る事でセンサデータが示す部屋様態の傾向・特徴について認識する手助けをし、それにラベル付けを行う事で推定の補助とする。また分類されたデータの集まりごとに省エネルギー可能かどうかを付与する事でそれをしきい値とした省エネルギー設定を行う事が可能である。

分類方法として主成分分析 [6] とクラスタリングを組み合わせた方法を提案する。主成分分析とクラスタリングについての詳細は後述する。

3.3 主成分分析

複数のセンサが示す部屋の様態の特徴・傾向を捉え、膨大なセンサの反応パターンを縮約するため主成分分析を用いて分析を行う。主成分分析とは多変量データを統合し、あらたな統合指標を生成する分析手法である。これによりセンサの配置、部屋の間取りに関係なく、関連のあるセンサの組み合わせが主成分として抽出され、それらがどの程度強く結びついているかがわかる。累積寄与率(主成分が持つ情報量の累積値)により、情報量を減らし、情報量の少ない些細なセンサの反応の違いを削減する。さらにデータの次元が減るので解釈が容易になる。本研究では一般的に用いられる累積寄与率80%までの主成分を採用し、分析を行う。

3.4 クラスタリング

次に主成分分析により導出された主成分の解釈、類似したセンサの反応パターンをまとめるため主成分得点のクラスタリングを行う。これによりクラスタごとにデータの傾向・特徴を考察することで全ての情報を見る事無く多くの情報を解釈する事ができ、また自動的に人物、部屋の様態がクラスタごとに分類されると考えた。バランスがよく他のアルゴリズムに見られるような大きな欠点がないことからウォード法 [7] を用いる。ウォード法

はあらかじめ分割するクラスタ数を決定しなければならないアルゴリズムであるが、センサの配置、数により適切なクラスタ数変動するため uppertail 法 [8] によりクラスタ数を動的に決定する。uppertail 法とは統計的な停止規則を用いてクラスタ数を求める方法である。これにより必ずしも適切とはいえないがその目安となるクラスタ数が導出される。

4 実験と考察

4.1 実験条件

独居高齢者の監視を想定し、一人暮らしの男性宅で多機能コンセントシステムを稼働させ、センサデータを収集する実験を1週間行った。その際のセンサノードの配置を図4に示す。なるべく家中をカバーできるように赤外線センサを配置し、対象人物がよく使用する電化製品の電力監視をおこなう。さらに、センサノードに搭載したセンサの種類と使用状況を監視した電化製品をまとめたものを表1に示す。

表1: 搭載センサ

ノード番号	搭載センサ	接続家電	配置情報
センサノード1	光センサ	温度センサ	ベッド下
センサノード2	電流センサ	こたつ	
センサノード3	光センサ	温度センサ	PC モニタ
センサノード4	光センサ	温度センサ	床
センサノード5	電流センサ	テレビ	床50cm
センサノード6	光センサ	温度センサ	床
センサノード7	赤外線センサ		床上80cm
センサノード8	赤外線センサ		床上80cm
センサノード9	赤外線センサ		床上50cm
センサノード10	赤外線センサ		床上50cm
センサノード11	電流センサ	電気ポット	

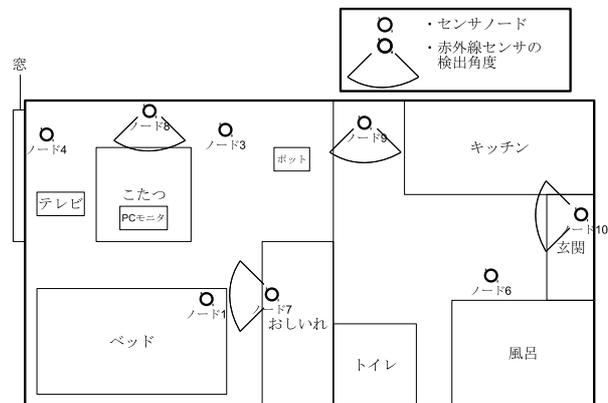


図4: センサノード配置図

各センサの計測方法については光、温度、電流センサが30秒毎に計測を行う。赤外線センサは5秒の間隔でも反応があれば1をなれば0の値をとる。

4.2 実験結果

図5から図10にある3日間に注目した実験結果を示す。横軸は時間を示し、縦軸はセンサの計測値であり、5分間隔の平均値をプロットしている。

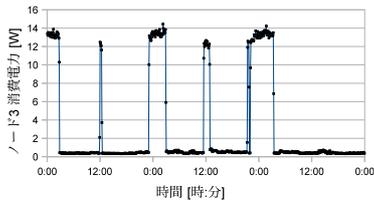


図 5: センサノード 3 PC モニタの消費電力

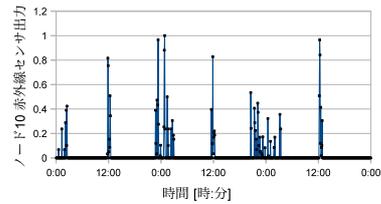


図 8: センサノード 10 赤外線センサの反応

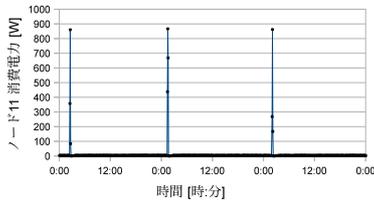


図 6: センサノード 2 電気ポットの消費電力

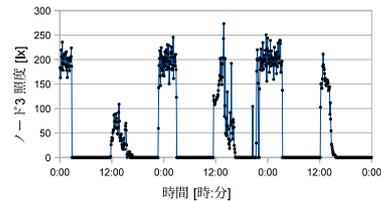


図 9: センサノード 3 光センサ

図 5, 図 6 はそれぞれ PC モニタと電気ポットの消費電力である。これらより電化製品の使用状況を知ることができ、監視対象となる人物は PC モニタの使用頻度が高く、電気ポットの使用頻度が低い傾向にあるといえる。同様に、テレビとこたつについても消費電力より、使用状況を知ることができた。

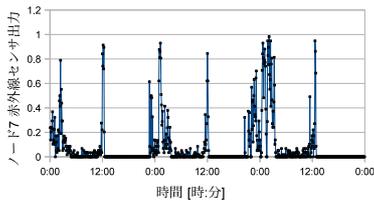


図 7: センサノード 7 赤外線センサの反応

図 7, 図 8 は赤外線センサの計測結果である。5 分間隔の平均値をプロットしているため、対象人物の動きが活発であれば 1 に近い値を示し、動きがない、または不在である場合には 0 を示す。図の 1 日目 23 時頃に注目すると、どちらもこの時刻付近で赤外線センサが反応し始めている。これより、外出先から帰宅したと推定できる。次に同図の 2 日目 3 時から 11 時に注目する。図 7 では穏やかな反応が続いているのに対し、図 8 では反応が無い。センサノード 7 がベッドの近くにあり、反応が穏やかであることから就寝中と推定できる。センサノード 10 についてはベッド付近は検出範囲外のため、反応が無かったといえる。

図 9, 図 10 は光センサによる照度の計測結果である。これらを比較すると、同室に配置したため図 9 と図 10 のグラフの山や谷の出現時刻がほぼ一致している。しかし、図 9 は夜に、図 10 は正午付近に大きな値をとる。さらに、センサノード 3 は屋内側、センサノード 4 は窓際に配置されていることから、センサノード 3 は太陽光、

センサノード 4 は照明の影響でより大きな値を示す。これより、光センサの配置によってはその配置や日照時間を考慮することで、照明と太陽光の区別が可能である。

図 11 に温度センサの計測結果を示す。温度センサは、他の光や赤外線センサのように、同種のセンサ間での大きな違いが見られなかった。室温の遷移を見ると、急上昇している時刻がいくつかある。図 7 のその時刻を見ると、赤外線センサが反応し始めている。このことから、帰宅や起床時に暖房を使用し始めていると推定できる。

4.3 すべてのセンサを用いた分析結果

まず、センサ間の相関係数を導出し分析を行った。近くに配置したセンサ間の相関が強く、同種のセンサ間にもその傾向が見られた。また、電流センサと赤外線センサの相関関係から普段の電化製品を使用する場所が推定できる。例えば、センサノード 3 の電流センサ (PC モニタを計測) と最も相関が強い赤外線センサはノード 7 で、相関係数は 0.65 を示し、この検出範囲で PC モニタの使用が多いといえる。

次に主成分分析の結果について述べる。表 4.3 に寄与率、累積寄与率を示す。

この表より、第 5 主成分で累積寄与率が 82% となり、80% を超えるためそれまでを分析に用いる。

図 12 に時系列のクラスタリング結果を示す。横軸は時間で、縦軸はその時刻に対するデータの分類番号であ

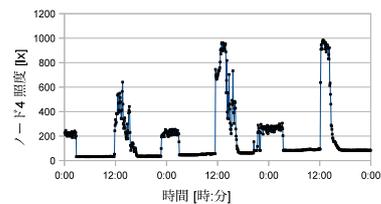


図 10: センサノード 4 光センサ

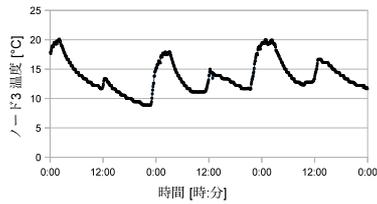


図 11: センサノード3 温度センサ

表 2: 寄与率, 累積寄与率

要素名	固有値	寄与率	累積寄与率
第1主成分	7.12	0.45	0.45
第2主成分	2.6	0.16	0.61
第3主成分	1.26	0.08	0.69
第4主成分	1.11	0.07	0.76
第5主成分	0.98	0.06	0.82
第6主成分	0.83	0.05	0.87
第7主成分	0.76	0.05	0.92
第8主成分	0.36	0.02	0.94
第9主成分	0.28	0.02	0.96
第10主成分	0.19	0.01	0.97
第11主成分	0.17	0.01	0.98
第12主成分	0.13	0.01	0.99
第13主成分	0.09	0.01	0.99
第14主成分	0.07	0	1
第15主成分	0.03	0	1
第16主成分	0.01	0	1

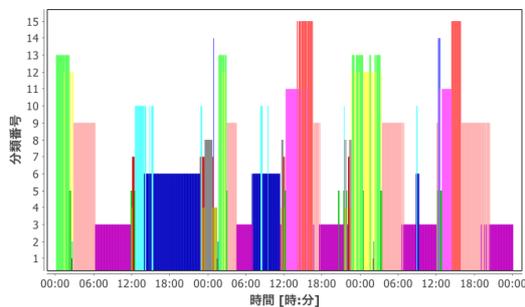


図 12: 時系列のクラスタリング結果

る. uppertail 法の基準値に 1.0 を与え, 15 種類のクラスタに分類される結果が得られた. 次に, 図 12 の分類番号ごとに時刻と対応するセンサデータに注目し, クラスタが示す部屋様態の判断を行う.

期待した分類がなされたクラスタ 分類番号 1, 2, 5, 7, 8, 11, 12, 13, 14, 15 については就寝や外出, 活動中といった単一の様態を示すクラスタとなった. 番号 1, 2 は電気ポットを使用中であると示すセンサデータが集まっている. 番号 5 と 7 は二つの部屋のセンサがどちら側でも反応しており, 特定の場所にとどまらず, 往來を繰り返していることを示す. 番号 8 と 13 はノード 7 の赤外線センサのみが反応しているがやや値が小さく, こたつや PC モニタ, テレビがよく使用されていたことから, こたつでテレビの視聴や PC の操作をしていたと推定できる. 番号 11 は図 12 の赤外線センサに反応がなく, テレビか PC モニタがついていることから, 消し忘れての外出を示す. 番号 12 は番号 8 とは異なり, ノード 7 と 8 の赤外線センサが共に反応しているが, 使用中の電化製品から同様の様態だといえる. 番号 14 はノード 7 と 8 の赤外線センサの値が小さく, ノード 9 と 10 の値が比較的大きい傾向があり, キッチンにいたことを示す. 番号 15 は外出のみが抽出された.

期待した結果が得られなかったクラスタ 番号 3, 6, 9, 10 については, 複数の様態 (外出と就寝) を示すデータが混在してしまった. しかし, 外出と就寝時には省エネルギーを行うと設定する場合においては問題はないが, 部屋様態を判断する場合においては問題である.

4.4 一部のセンサを用いての分析結果

センサノードが非効率的に配置された場合を想定して, 実験データからいくつかのセンサデータを除いて分析を行った.

分析に用いたセンサを表 4.4 に示す.

表 3: 分析対象センサ

ノード番号	分析対象センサ	接続家電	配置情報
センサノード1	光センサ	温度センサ	ベッド下
センサノード2	電流センサ		こたつ
センサノード3	電流センサ		PC モニタ
センサノード5	電流センサ		テレビ
センサノード6	光センサ	温度センサ	床
センサノード8	赤外線センサ		床上 80cm
センサノード9	赤外線センサ		床上 50cm
センサノード11	電流センサ		ポット

表 4.4 に寄与率, 累積寄与率を示す. これより, 第 5 主成分で累積寄与率が 87% となり, 80% を超えるためそれまでを分析に用いる. 図 13 に時系列のクラスタリングの結果を示す. グラフの見方については図 12 と同様である. uppertail 法の基準値に 1.0 を与え, 13 種類のクラスタに分類される結果となった. 前分析と同様にセンサデータと照らし合わせ, クラスタごとに部屋様態の判断をおこなう.

表 4: 寄与率, 累積寄与率

要素名	固有値	寄与率	累積寄与率
第1主成分	4.28	0.43	0.43
第2主成分	1.74	0.17	0.6
第3主成分	1.03	0.1	0.7
第4主成分	0.9	0.09	0.79
第5主成分	0.73	0.07	0.87
第6主成分	0.46	0.05	0.91
第7主成分	0.38	0.04	0.95
第8主成分	0.27	0.03	0.98
第9主成分	0.13	0.01	0.99
第10主成分	0.07	0.01	1

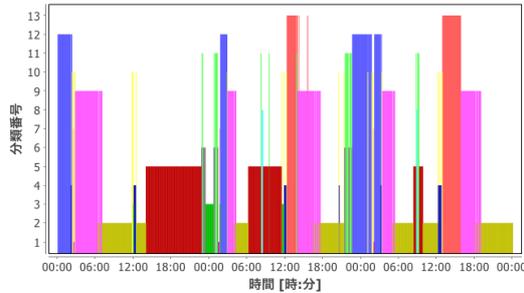


図 13: 時系列のクラスタリング結果

期待した分類がなされたクラスタ 分類番号 3, 4, 6, 7, 12, 13 は単一の様態を示すクラスタとなった。番号 3 は赤外線センサの反応がないもの弱いものが多いが、部屋が明るく、暖かいことから、赤外線センサの検出範囲にはいなかったが、在室であったと推定できる。同様に、番号 12 も赤外線センサの反応は乏しいが、クラスタ全体として「消費電力が大きい」、「空調により温度が高い」、「照明の点灯」など、在室の可能性が高い条件が揃い、在室だと推定できる。番号 4 と 6 は 2 つの赤外線センサが激しく反応しているため、活発に行動していたと推定できる。番号 7 は電気ポットの使用を示した。番号 13 はテレビと PC モニタを消し忘れての外出を示した。

様態の判断が難しいクラスタ 番号 2, 9 は外出と就寝が混在するクラスタとなった。他の分類番号についてはクラスタを構成するデータが少ない、もしくは様態の判断が困難であった。

4.5 考察

すべてのセンサを用いての分析では、外出や就寝、活動中などの生活情報を示すセンサデータがある程度抽出でき、提案手法によるセンサデータの分類が有効である可能性を示唆した。同様に、一部のセンサを用いての分析では、主要なセンサを欠いているにもかかわらず、赤外線センサに反応がなくとも在室状態であるという曖昧な状態の抽出ができた。このことから、提案手法はセンサの配置によらず適用可能であるといえる。さらに消し忘れ時のデータが抽出され、設定次第では有効であるという結果が得られた。しかし、就寝と外出を示すデータが混在するクラスタを形成してしまうことがあるため、クラスタの再分割やクラスタ数の決定方法の改良が必要

である。

5 おわりに

本研究では、多機能コンセントシステムを利用した独居高齢者の見守りや省エネルギーの設定のための、部屋様態判断の補助を目的として、センサデータをいくつかのクラスタへと自動分類する方法を提案し、またセンサデータの分析を行った。実験では、提案手法によって分類されたクラスタがどのような部屋様態に対応するかを人物行動と照らし合わせ評価し、その結果が概ね適切であることを確認した。これより、提案手法がセンサの種類や配置に依存しない柔軟な手法であるといえる。しかし、実験環境やデータの曖昧さにより、期待した分類結果が得られない場合もあり、今後は更なる分類方法の検討や分析結果に基づいた部屋様態判断の補助を行っていく。

参考文献

- [1] 明山寛史, 川村尚生, 菅原一孔, 齊藤剛史, 小西亮介: RC-009 多機能コンセントのスケジューリング機能による待機電力の削減(ハードウェア・アーキテクチャ, 査読付き論文), 情報科学技術フォーラム講演論文集, Vol. 8, No. 1, pp. 173-179 (2009).
- [2] ZigBee Alliance. <http://www.zigbee.org/>.
- [3] Arduino. <http://www.arduino.cc/>.
- [4] 杉原太郎, 藤波努, 高塚亮三: グループホームにおける認知症高齢者の見守りを支援するカメラシステム開発および導入に伴う問題, 社会技術研究論文集, Vol. 7 (2010).
- [5] 小崎隆明, 中島重義, 井上忠幸, 辻岡哲夫, 原晋介, 中村肇, 竹内一秀: ワイヤレス生体センサを用いたユビキタス健康監視に向けた臨床試験 三軸加速度データによる行動解析 (2010).
- [6] 涌井良幸・涌井貞美: 図解でわかる多変量解析, 日本実業出版社.
- [7] 元田浩, 津本周作, 山口高平, 沼尾正行: データマイニングの基礎, オーム社 (2006).
- [8] uppertail法. <http://cgm.cs.mcgill.ca/~soss/c644/projects/siourbas/cluster.html>.