

卒業論文

2010 年度 (平成 22 年度)

ユーザの状態と家電稼動状態の相関性に 基づく待機電力削減システム

指導教員

慶應義塾大学 環境情報学部

徳田 英幸

村井 純

楠本 博之

中村 修

高汐 一紀

重近 範行

Rodney Van Meter

植原 啓介

三次 仁

中澤 仁

武田 圭史

慶應義塾大学 環境情報学部

天野 賢二

ユーザの状態と家電稼動状態の相関性に 基づく待機電力削減システム

論文要旨

近年、環境問題や経済的な問題を解決するため、各国が競うようにして電力消費量の低減のための技術を開発している。しかしながら、機器の消費電力削減や電力の有効利用については多くの取り組みがなされているが、待機電力の削減に関する取り組みに関しては未だに決定的な手法が存在していない。この理由として、一つは家電の高度化に伴い稼動状態でなくても電力を使用する家電があることが挙げられる。待機電力を削減するために安易に電源を遮断することは、高度化した家電特有の自動制御機能を停止させてしまう。もう一つは、消費者が待機電力の発生を意識していないため、削減に対する関心が無いといった事由が挙げられる。従って待機電力を削減する上では、電力の削減によって家電製品のもつ固有の動作を妨げないこと、ならびにユーザが意図せずに待機電力を削減することが条件となる。

しかし待機電力を削減するための既存の製品は、ユーザが手動でスイッチを切るものが多く、前述した 2 つの条件を満たさない。また、タイマーにより自動でスイッチを ON/OFF する研究は存在するが、結果的にタイマーのスケジューリングをユーザが行うことになるため、前述した条件を満たせず、待機電力の効果的な削減を行えていない。

本論文では、待機電力を効果的に、かつユーザが意識することなく削減するためのコンセント型デバイス ORS (Outlet for Reducing Standby power) の開発、および ORS を使った電力削減システムを実装し評価を行った。ORS はユーザの行動特性に合わせて待機電力を自動的に削減を行うことで、家電製品の動作特性を妨げることなく待機電力を削減する。ORS では家電の ON/OFF 制御を自律的に行うため、既存の待機電力削減手法とは違いユーザが待機電力の削減を意識する必要がない。さらに ORS はコンセントに接続するだけで利用可能となるため、電力系統の配線工事や改修等を行う必要も無い。

本論文における評価は ORS の定量的評価として、アルゴリズムの評価およびシステムを使用した場合の電力削減効果の評価を行った。その結果、90 % 以上の待機電力を効果的に削減し、ORS が待機電力の削減に大きな効果をもたらすシステムであることが分かった。

キーワード：

1 省電力 2 行動パターン認識 3 ベイズ統計 4 電力センシング 5 家電制御

慶應義塾大学 環境情報学部環境情報学科
天野 賢二

Abstract of Bachelor's Thesis

Academic Year 2010

Standby Power Reduction Based on User Lifestyle and Electronics Usage

Summary

Recent advances in informatisation of power line infrastructures has risen interesting challenges to efficiently reduce the total energy consumption in normal households for both ecological and financial reasons.

However, reduction of standby power still remains a critical problem in households, mainly because the end-users of home electronics are unaware of the occurrence of the standby power, or at all lacking interest in power reduction. The complexity of the power usage pattern in the electronics have also made it difficult for its automated tasks to correctly function on the electronics. Therefore, a critical design issue for standby power reduction would be to make the reduction process transparent to the end users, and also to not hinder the original functionality of the electronic devices.

Existing researches on reducing standby power requires the users to manually turn on or off the switch on the electronic, or requires the users to manually schedule the timer in which to activate the electronic, which opposes to the previously mentioned objective.

In our research, we propose ORS, an outlet for reducing standby power. ORS efficiently and automatically reduces the standby power usage on electronic devices based on the user's lifestyle, and does not hinder the unique operations on each electronic devices. We have implemented ORS on an Arduino device, and have quantitatively and qualitatively evaluated our method for standby power reduction in a typical household environment.

Keyword :

1 Conservation of electric power 2 Behavior pattern 3 Bayes 4 Power sensing
5 Home electronics control

Kenji Amano
Faculty of Environment and Information Studies
Keio University

目次

第1章 序論	8
1.1 本研究の背景	9
1.2 本研究の目的	11
1.3 本論文の構成	11
第2章 問題	12
2.1 待機電力の分析	13
2.1.1 各家電における動作状態の検出	13
2.1.2 待機電力の自動遮断による弊害	15
2.1.3 タイマ付き機器における弊害	15
2.1.4 一般家電機器における弊害	15
2.2 家電の動作特性の分析	15
2.2.1 家電の持つ動作の問題点	15
2.2.2 動作特性による家電の分類	16
2.2.3 ユーザの生活パターンと家電使用時間の相関性	17
2.3 待機電力削減に対するユーザの意識	18
2.4 関連研究	19
2.4.1 タイマ情報の認識	20
2.4.2 家電の状態判別	21
2.4.3 関連研究のまとめ	22
第3章 ORS の設計	23
3.1 システム構成	24
3.1.1 利用シナリオ	24
3.1.2 機能要件	25
3.2 ハードウェア構成	26
3.2.1 ORS の消費電力量	28
3.3 ソフトウェア構成	28
3.4 時間学習	28
3.4.1 学習アルゴリズムの検討	29
第4章 ORS の実装	30
4.1 前提条件	31
4.1.1 監視対象機器の条件	31
4.1.2 ORS の使用条件	31
4.2 ハードウェア実装	31
4.2.1 演算デバイス	31
4.2.2 電力センサ	33

4.2.3	ネットワークデバイス	35
4.2.4	その他	36
4.2.5	ハードウェア実装のまとめ	36
4.3	ソフトウェア実装	38
4.3.1	電力量変換モジュール	38
4.3.2	位置情報確認モジュール	39
4.3.3	状態判定モジュール	39
4.3.4	ロギングモジュール	39
4.3.5	相関性算出モジュール	39
4.3.6	制御モジュール	41
4.3.7	ソフトウェア実装のまとめ	42
第 5 章	実験と評価	46
5.1	実験概要	47
5.1.1	対象者および対象家電の選定	47
5.2	実験結果	47
5.2.1	測定モジュールの動作確認	47
5.2.2	時間と電力量の相関性 P_W の算出	48
5.2.3	ユーザ在宅状態と電力量の相関性 P_P の算出	48
5.2.4	推察	49
5.3	評価概要	49
5.4	評価結果と考察	51
第 6 章	今後の課題とまとめ	56
6.1	今後の課題	57
6.2	本論文のまとめ	57

目 次

1.1	エコワット T3T-R2 (株式会社エネゲート)	9
1.2	節電スイッチ付きマルチタップ	11
2.1	機器別の待機電力発生率 (ECCJ 省エネルギーセンター 平成 20 年度待機時消費電力調査報告書)	14
2.2	家電毎の待機電力量の違い (ECCJ 省エネルギーセンター 平成 20 年度待機時消費電力調査報告書)	14
2.3	ユーザビリティ評価と期待値の関係	17
2.4	家電の分類	18
2.5	「待機電力の発生を認知しているか」についてのアンケート (ORF2010[17]にて実施)	19
2.6	「自ら待機電力を削減しようと思うか」についてのアンケート (ORF2010[17]にて実施)	19
2.7	「なぜ待機電力を削減しようと思わないか」についてのアンケート (ORF2010[17]にて実施)	20
2.8	PLC モデム (Panasonic BB-HPL10)	21
2.9	HEMS の一例 (経済産業省 資源エネルギー庁)	22
3.1	ORS 動作シナリオ	25
3.2	ハードウェア構成図	27
3.3	ソフトウェア構成図	29
4.1	ORS の回路図	32
4.2	UR-D 社製精密計測用電流センサ "CTL-6-V-Z"	34
4.3	CTL-6-V-Z 出力電圧特性表	34
4.4	XBee 無線機	35
4.5	位置情報確認のための通信デバイス構成図	36
4.6	秋月電子 SSR 25A タイプ	37
4.7	プッシュスイッチ	37
4.8	ORS (Outlet for Reducing Standby power)	38
4.9	ロギングの例	40
4.10	各要素のベイジアンネットワーク	40
4.11	動作アルゴリズム-1	43
4.12	動作アルゴリズム-2	44
4.13	動作アルゴリズム-3	45
5.1	デジタルテレビの消費電力測定結果	48
5.2	デジタルテレビの稼働確率と消費電力量	50

5.3	ORS-GUI 模擬システム	52
5.4	基準確率を変動させたときの削減率の推移	52
5.5	デジタルテレビの FP および FN	53
5.6	電子レンジの FP および FN	53
5.7	液晶モニタの FP および FN	53
5.8	ユーザ位置学習データの効果	54
5.9	曜日学習データと時間学習データを反映させた時の稼働確率および消 費電力量	55
5.10	ORS-GUI 模擬システムの定性的評価	55

表 目 次

1.1	電力削減のための取り組みサービス例	9
4.1	Arduino の詳細	33
4.2	サーバに使用する PC の概要	36
4.3	ユーザ位置状態を元にした家電制御の例	42
5.1	ユーザと家電の関係性	47
5.2	対象家電の詳細	47
5.3	ユーザと家電の関係性	49

第1章 序論

本章では，本論文の背景である電力削減に関する取り組みについて述べ，研究動機ならびに本研究の目的を提示する．後半では論文全体の構成についてまとめる．

1.1 本研究の背景

近年、エネルギーを有効活用する世界的な流れを背景として、電力ネットワークと情報通信を融合するための研究や取り組みが活発化している。中でも消費電力量の削減に関わる取り組みについては環境面・経済面のスリム化が主流となりつつある。昨今非常に注目されており、様々な取り組みが発表されている。電力削減を目的とした取り組みの代表的な例を表 1.1 に挙げる。

表 1.1: 電力削減のための取り組みサービス例

サービス	対象範囲
GooglePowerMeter[1]	地域～1 家庭
エコサポート住宅用分電盤 [2]	1 家庭
エコワット [3]	1 つの家電

表では、各サービスにおける対象範囲を記載した。電力削減を目的としたサービスの一つとして、GooglePowerMeter がある。これは、スマートメータ [4] を使用して家庭の消費電力情報を Google 社のサーバに送信することで、家庭の消費電力をリアルタイムに可視化し、可視化効果による使用量の削減を目的としたものである。また、家庭の総電力量をクラウドネットワーク上に集めることで、どの地域が、どれくらいの電力を消費しているかといったことも知ることができる。GooglePowerMeter は、一般的にはスマートグリッド [5] と呼ばれる大規模なエネルギー政策の一環として利用される。すなわち、マクロな視点で電力削減に取り組んでいる事例である。また、エコサポート住宅用分電盤では、1 つの家庭内における電力使用量を分電盤の系統ごとに管理することのできるシステムである。

GooglePowerMeter やエコサポート住宅分電盤がマクロな視点で作られたシステムであるのに対し、ミクロな視点における取り組みも行われている。例えばエコワットがある。エコワット (図 1.2) はコンセントに接続するタイプの電力量計付きコンセントで、エコワットに家電を接続することで、家電が消費する電力料金が表示される商品である。



図 1.1: エコワット T3T-R2 (株式会社エネゲート)

これらの取り組みに共通することは、「可視化」というアプローチから電力使用量を

削減しようと画策している点で、Sarah Darby[6] による可視化が電力使用量の削減に結びつくという研究結果に基づいている。

しかし可視化を行うためには電力量計を使用したり、エコサポート住宅用分電盤のように分電盤を取り替えるような大規模改修を行う必要がある。また図 1.2 にて挙げたエコワットのように、家電単位で電力量を表示するコンセントも存在するが、これらの手法は一つ一つの機器に対して継続的に消費電力の確認を行うための現実的な手法とは言えない。そのため、現在家庭ではどの機器がどれくらいの電力消費を把握することは難しく、無駄な電力が発生していても気がつかないという事象が頻発している。

電気を水として考えると分かりやすい。水道が各部屋についているとして、その水道から水が毎秒数滴づつ漏れ続けていたら、誰も蛇口を閉めるであろう。これが明らかに無駄な水の使用であると判断できるからである。しかし電気は目に見えないため、漏れているという事実を把握しづらい。そのため、漏れているということにすら気づかないことがほとんどである。もちろん、家電が意図せず稼働していれば、目に見えて無駄な電力が発生していると知ることができる。しかし、家電が稼働していないにも関わらず無駄な電力が発生していても、ユーザはそれを目で確認することができないため気づく術が無い。これが待機電力であり、総電力使用量のうち年間約 6 % を占める。一般的に「無駄な電力」と呼ばれるため発生しないことが望ましいが、待機電力を削減することは難解であり、水道の蛇口を閉めるように一筋縄ではいかない。本研究のモチベーションは、この待機電力をいかに効率良く削減できるかにある。

家電には大きく分けて、稼働中・待機中・停止中という 3 つの状態が存在する。稼働中とは、家電を使用している状態、すなわち、家電の定める定格電力が発生している状態を指す。待機中とは、家電がなんらかの待ち受け状態にあり、稼働をしていないにも関わらず微小な電力を発生させている状態を指す。例えば、液晶モニタの電源を切った後でも、液晶モニタが電氣的に AC100V のコンセントと接続された状態にあるならば、それは待機中であることを指す。その間、液晶モニタには待機電力が発生している。停止中とは、電流が全く流れておらず完全に絶縁された状態にあり、発生電力量が 0 であることを指す。従って、待機中から停止中にするためには、家電をコンセントを抜くか、待機電力遮断用のコンセントを使用して電氣的に切断するしか方法がない。

消費電力を抑えるためには家電の稼働時間を短くすることが最も効果的であるが、例えば電子レンジや洗濯機といった、動作に一定以上の時間をかけなければ動作が保証されない物など、家電の利用目的上使用時間を減らすことが難しい家電も存在する。

一方で待機中の電力はユーザの意図しない電力であり、待ち受け状態はほぼ全て無駄な電力と言える。図 1.2 に示した「手元スイッチ」は、待機電力を手動で削減するために多くの類似製品が開発されているが、手動で待機電力の削減を行う場合、ユーザがその場にいない必要に上り、時間的制約から手元スイッチを入り切りすることが不可であったり、忘れてしまうといった事象が発生する。そのため、待機電力を効果的に削減することができないといった問題を抱えている。以上のことから、待機電力を削減するためには、待機電力の挙動に合わせた削減手法が求められ、且つ、ユーザが意図せず自動的に削減されることが必要であることが分かる。



図 1.2: 節電スイッチ付きマルチタップ

1.2 本研究の目的

本研究では，ユーザが意図せずに発生している待機電力を検出し，またそれらを自動的かつ効率的に削減することを目的とする．特に本研究においては，ユーザの行動情報と家電の相関性に基づいて待機電力を削減することにより，よりユーザの生活に近づけ，ユーザが意識せずに待機電力を削減する手法を提案する．また，ユーザの行動情報や家電の稼動状態のロギングおよび制御のために，電力管理ハードウェア ORS (Outlet for Reducing Standby power) を開発し，待機電力を削減することを目的とする．

1.3 本論文の構成

本論文は，第 2 章において待機電力や家電の動作特性による分類を行い，現状の問題を分析する．第 3 章ではシステムの設計を行い，具体的な ORS のシナリオについて述べる．第 4 章では ORS のハードウェア，ソフトウェアの実装について述べ，第 5 章では ORS の実験および定量的な評価を行う．第 6 章では，本研究によって得られた結論と今後の課題について述べ，本論文をまとめる．

第2章 問題

本章では，待機電力の発生原因ならびに，待機電力削減の上で問題となる事柄について述べる．

2.1 待機電力の分析

待機電力は待機時消費電力の略称であり、その名のとおりに待機中に発生している消費電力のことを指す。待機電力は、家電本体の電源が切られている状態(ユーザからはそのように見える)において発生し、発生する原因は大きく分けて3つある。

1. 命令を待ち受けるための電力消費
 - (a) 自動制御(スケジューラ)を待ち受けるための待機
 - (b) ユーザ制御(入力)を待ち受けるための待機
2. 時計の維持に必要な電力消費
3. 回路内の抵抗による電力消費

1と2はそれぞれ、家電の動作を保証するために必要な電力である。項目2の時計の維持であるが、ここではCMOSバッテリーを搭載し、CMOS RAMに時計情報を記憶する機器(e.g. Desktop PC)は含まないものとし、コンセントを抜くなどして待機状態から完全に切り離すと、時計情報が初期化されてしまう機器のことを指す。項目1および項目2は、上述した通り家電の動作を保証するために必要な電力として待機電力を使用しているため、コンセントが抜かれ、電気的な接続が失われると動作を保証できなくなってしまう場合がある。一方で、項目1はさらに2つの目的に分類することができる。1-aおよび1-bは、それぞれ何らかの命令を待ち受けるために消費している電力であるが、1-aは自動制御を待ち受け、1-bはユーザによる手動制御を待ち受けているといった目的がある。

このように、待機中に発生する電力消費はその発生原因を細かく分類することが可能であり、その発生パターンが複雑化し、予測がしづらくなっている。また、待機電力は一家庭の全消費電力のうち年間約6%を占め減少傾向にあるが、近年では待機電力の発生原因となる機器が変化している。ECCJ平成20年度待機時消費電力調査報告書[7]によると、減少している要因は、大きな待機電力を発生させる機器の保有率の減少が起因となっているためであり、DVDレコーダーやエアコンなどから発生する待機電力量は増加している(表2.1)。

2.1.1 各家電における動作状態の検出

前節で待機電力の発生原因を挙げ、家電によって待機電力の使用用途に違いがあることを述べた。図2.2に示すように、その発生量は家電によって内部の回路や発生原因がそれぞれ違うためばらつきがある。大きな待機電力で数十ワットの物から、小さな物では1ワット以下の待機電力のものもあり、一概にどれくらいの消費電力であれば待機電力である、といった判断はできない。このことから、機器が待機中であるか稼働中であるかという判断を行うことは、家電が発生した単一の電力量から求めることは非常に難しく、電力量を測定する際に何らかの閾値 V_x を設ける必要がある。このように、家電における動作特性から待機電力量が異なるため、待機電力を効果的に削減するためにはまず、接続されている家電が現在どのような稼働状態であるかを判定する必要がある。しかし電力量という単一のデータから家電が現在稼働中であるのか、また待機中であるのかを推測することは技術的に非常に困難であるため、単純な設備では待機電力の削減効果は低い。

機器名	待機時消費電力量 (kWh/年・世帯)		待機時消費電力量増減量 (kWh/年・世帯)			
	平成17年度	平成20年度	-20.0	-10.0	0.0	10.0
ビデオデッキ	30.6	12.6	-17.9			
テレビ放送チューナー	13.8	2.0	-11.8			
テレビ	16.1	9.6	-6.5			
電子レンジ	11.0	6.7	-4.3			
電話機（携帯電話を除く）	28.5	24.5	-4.1			
床暖房（電気式）	3.9	0.4	-3.5			
一体型オーディオ（ミニコンボ等）	11.1	8.1	-3.0			
ポータブルオーディオシステム	6.3	3.5	-2.8			
ビデオ等内蔵テレビ	9.2	6.8	-2.4			
電話機子機	7.7	5.5	-2.2			
プリンタ	2.7	0.6	-2.1			
スキャナ	3.3	1.7	-1.7			
浴室換気乾燥機	1.6	2.3	0.7			
温水洗浄便座	13.8	14.6	0.8			
ホームターミナル（CATV用）	3.4	4.6	1.1			
石油温水機器	9.0	10.2	1.2			
クッキングヒーター	0.1	1.6	1.5			
ヒートポンプ式給湯機	0.6	2.4	1.9			
プリンタ複合機	0.9	2.9	2.0			
換気扇		2.9	2.9			
パソコン	8.5	11.8	3.3			
パソコンネットワーク機器		4.0	4.0			
ガス温水機器	51.7	55.8	4.2			
冷暖房兼用エアコン	20.7	25.0	4.3			
HDD・DVDレコーダー/DVDプレーヤー	13.4	18.4	5.1			
インターホン（セット）		7.0	7.0			

図 2.1: 機器別の待機電力発生率 (ECCJ 省エネルギーセンター 平成 20 年度待機時消費電力調査報告書)

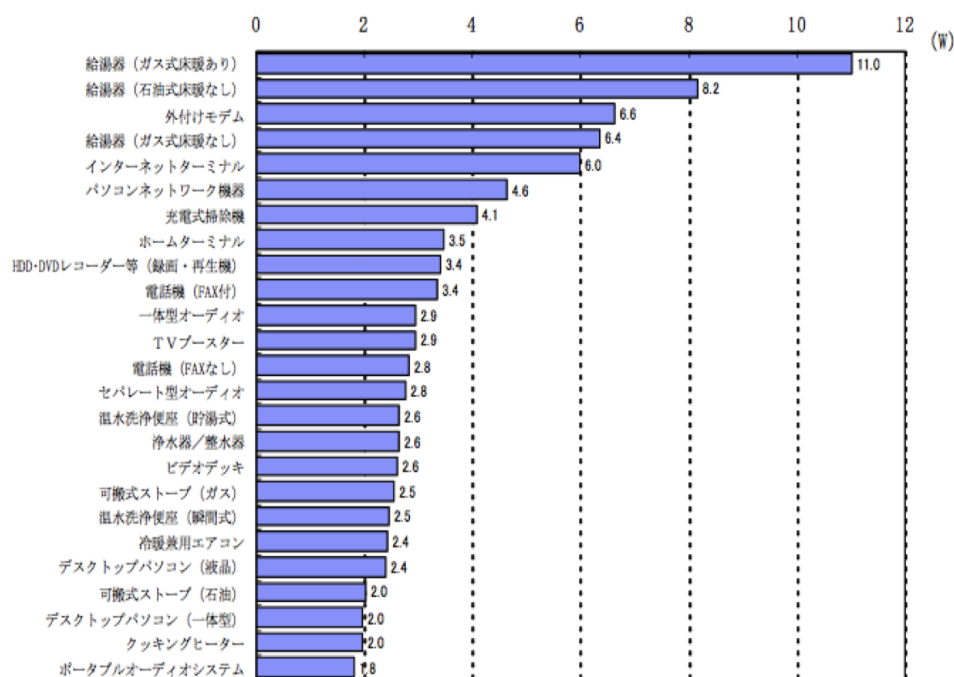


図 2.2: 家電毎の待機電力量の違い (ECCJ 省エネルギーセンター 平成 20 年度待機時消費電力調査報告書)

2.1.2 待機電力の自動遮断による弊害

2.2 節にて、全ての待機電力が同一の目的によって発生してはいないことを述べた。では、待機電力を自動的に遮断することで、どのような弊害が生じるのであろうか。本節では、待機電力が発生した際に自動的に電力を遮断する機構があることを前提とし、ユーザや機器にとってどのような弊害が発生するかを考察する。

2.1.3 タイマ付き機器における弊害

最も分かりやすい例では、タイマ付き機器における弊害である。タイマによって指定された時刻に稼働する機器では、設定された時刻に指定の動作を行うために、待機電力の常時供給が必要である。待機電力が自動的に遮断された場合、タイマ時刻になっても機器が動作することではなく、ユーザに対する機器のサービスが著しく低下する。

また、タイマ動作を時刻通りに実行させるためには、タイマ時刻に待機電力が供給されていることが前提となる。タイマ時刻に起動に必要な電力が供給されていなければ、機器の電源を自動的に立ち上げることができない上に、タイマそのものの動作すら保持することはできない。従って、タイマ付き機器の機能性を確保するためには、電力の常時供給が必須である。

2.1.4 一般家電機器における弊害

タイマ機能を備えていない家電機器の場合においても、電力が自動遮断されたことにユーザが気づかなかった場合、機器の電源を入れることができなくなってしまう。従って、ユーザが機器を使用する際に、機器へ電力を供給するための何らかの動作をその都度行う必要があり、面倒臭さからユーザの利便性を低下させる原因となる。しかしこれは、不可避な問題である。ユーザがこれから使おうとする機器を 100 % の確率で検知し、その機器に対して電力を供給できない限り、この問題は発生する。

2.2 家電の動作特性の分析

本章では、家電の動作特性の分析を行い、2 章にて述べた問題の解決手法について考察する。後半にユーザの生活パターンと家電稼働状態の相関性の有無を考察し、比較する。最後にユーザの待機電力に対する意識について述べる。

2.2.1 家電の持つ動作の問題点

近年の家電は、昔の家電と比較すると遥かに高パフォーマンス・高機能になり、さらに、家電が使用する電力量も小さくなり、よりユーザに近く、しかも環境に配慮した形へと進化している。しかし、家電の機能が高度になればなるほど、待機電力を削減するための管理は難しくなる。例えば近年のデジタルテレビは、EPG (Electronic Program Guide)[8] と呼ばれる番組表の自動更新のために自動的に起動して電力を使用することがあるが、一昔前のアナログテレビであればそのような自動制御は行わなかった。アナログテレビであれば、例えば待機電力が発生した時に自動的に削減する機

構がついていても、待機中に自動で起動する動作は存在しないため、機器が持つサービスに与える影響は少ない。しかしデジタルテレビのような自動制御が増えると、電力が供給されていない場合は同期作業や最適化が行われず、サービスに影響を与える場合がある。それだけではなく、サービスのクオリティを維持するためにはそれらを的確に動作させなくてはならないため、電力を常時供給し続けていることが前提となる。そのため、電力の使用により電力使用量が上がってしまうといった問題を抱えている。本論文では、このようなユーザの意図しない制御を「自動制御」と呼ぶ。

しかしこの問題は、自動制御に限った話ではない。第2章にて述べたような「タイマ動作」をユーザが設定した場合も同様に、タイマ時刻までの間、待機電力を必要とする。これは現代の高性能な機器に限定されず、例えば炊飯器やテレビ録画用テープレコーダなどでは、1960年代の家電であってもタイマ動作を行うことが可能である。このように、ユーザが家電の自動制御情報を入力し、そのスケジュールに基づいてタイマ動作を行うことを、本論文では「半自動制御」と呼ぶ。

家電の自動制御および半自動制御の違いは、ユーザが意図するかしないかである。家電の持つサービスが、ユーザの期待に対して十分なパフォーマンスを発揮できるかどうかは、ユーザがその家電にどのようなサービスを期待するかに関わってくる。本論文では、ユーザが家電に期待するサービスの重要度を「期待値」として表し、期待値が高ければ高いほど、ユーザはその家電が正常に動作しサービスを全うすることを期待している。この時、家電が正常に動作しなかった場合、当然ユーザの期待に背くことになる。そのため、ユーザの家電に対する評価は下がってしまう。この評価指標のことを、本論文では「ユーザビリティ評価」と呼ぶ。

従って、半自動制御のように明確な指示がユーザから与えられている場合、ユーザの機器に対する期待値は高い。期待値が高い場合、それが期待通りに実行されていなかった場合、ユーザの機器に対するユーザビリティ評価は必然的に低くなると考えられる。逆に、自動制御のようにユーザの意図しない動作を機器が損なったとしても、そもそもユーザは意図していないため期待値は低い、あるいは0である。そのため、期待通りに実行されていなかった場合でもユーザビリティ評価が低くなる可能性は低い。以上のことから、機器の自動制御に対するユーザの期待値と、それを提供できなかった場合のユーザビリティ評価は反比例した関係にあることがわかる。

自動制御と半自動制御は、何らかの内的な制御を待機している状態であるが、外的な制御のみを待機している家電も存在する。例えば照明などは、単純な回路で構成されているためメモリが存在しない物がほとんどである。従って、発生している待機電力は全て、ユーザからの入力を待ち受けている状態にある。このような家電を本論文では「非待機家電」と呼ぶ。非待機家電では、待機電力の供給が止まっていれば当然機器の電源は入らないが、ユーザの意図しないところで機器のサービスが低下することは無い。しかし、機器の使用には待機電力の供給を開始させることが必要になるため、ユーザビリティ評価が低下してしまう。

上記に述べた関係を図2.3にまとめた。

2.2.2 動作特性による家電の分類

3.2節にて述べたように、家電にはタイマ情報が存在し制御が複雑な家電が存在し、またそれは自動的に機器の最適化や更新のためにタイマ動作を実行する「自動制御家電」と、ユーザの入力情報からタイマ動作を実行する「半自動制御家電」に分類する

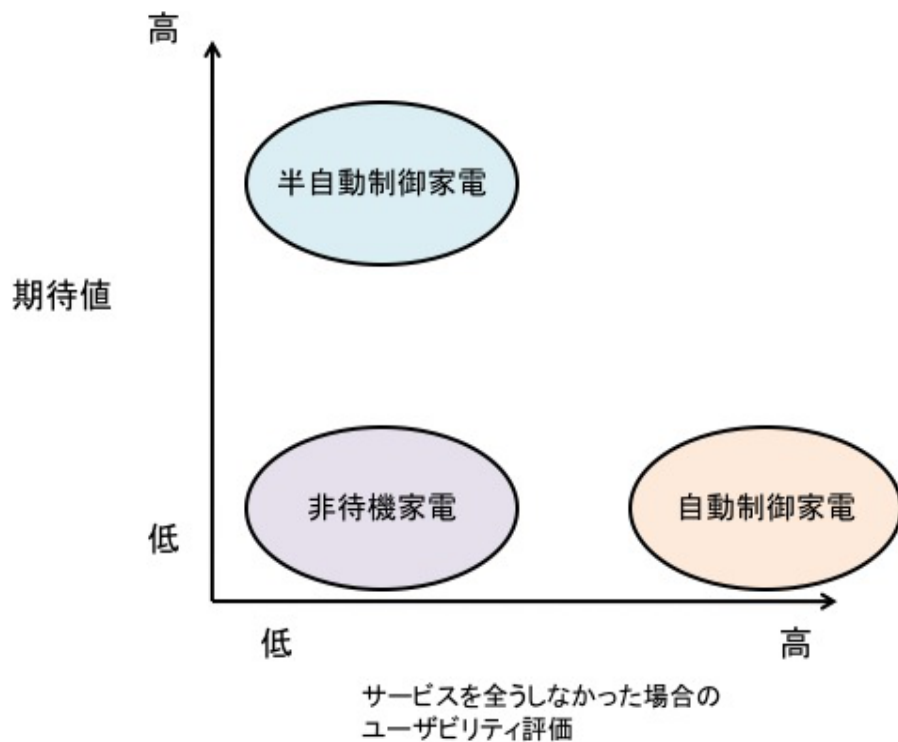


図 2.3: ユーザビリティ評価と期待値の関係

ことができる。さらに、ユーザの単一な入力待ち受けているだけの「非待機家電」が存在し、大きく分けて3種類に分類できることを述べた。図 2.4 に、以上の関係を家電毎の動作特性の分類別にまとめる。図 2.4 における分類では、一般的な機能を有した家電を対象に比較している

2.2.3 ユーザの生活パターンと家電使用時間の相関性

家電を使用するということは、非待機家電の場合、かならず目の前にユーザがいなくてはならない。従って、非待機家電が使用された時間を知ることは、すなわちユーザの生活行動を知ることにつながる。目の前にユーザがいなくても動作が可能な自動制御・半自動制御の場合はこの限りではないが、非待機家電は必ずユーザの手動入力を待機している状態にあるため、使用中は少なくとも家の中にユーザがいることが分かる。この特性を利用すると、非待機家電においては、ユーザ外出時は待機電力を供給する必要がないということが分かり、ユーザの外出時間と家電稼動状態の相関性を調べることで、外出中における待機電力の遮断を効果的に行うことができる。

しかし、待機電力の発生からユーザが家の中にいるか外出しているかを判定することはできない。従って、ユーザの在宅情報と家電稼動状態の相関性を調べるためには、ユーザの在宅情報を何らかの方法で判断することが条件となる。

さらに、この手法は自動制御家電や半自動制御家電においては有効な手段とは言えない。なぜなら、半自動制御を行う根本的な目的は、ユーザが何らかの理由で操作が不可能な時に自動で制御を実施することにあるため、外出時や睡眠時に動作が行われ

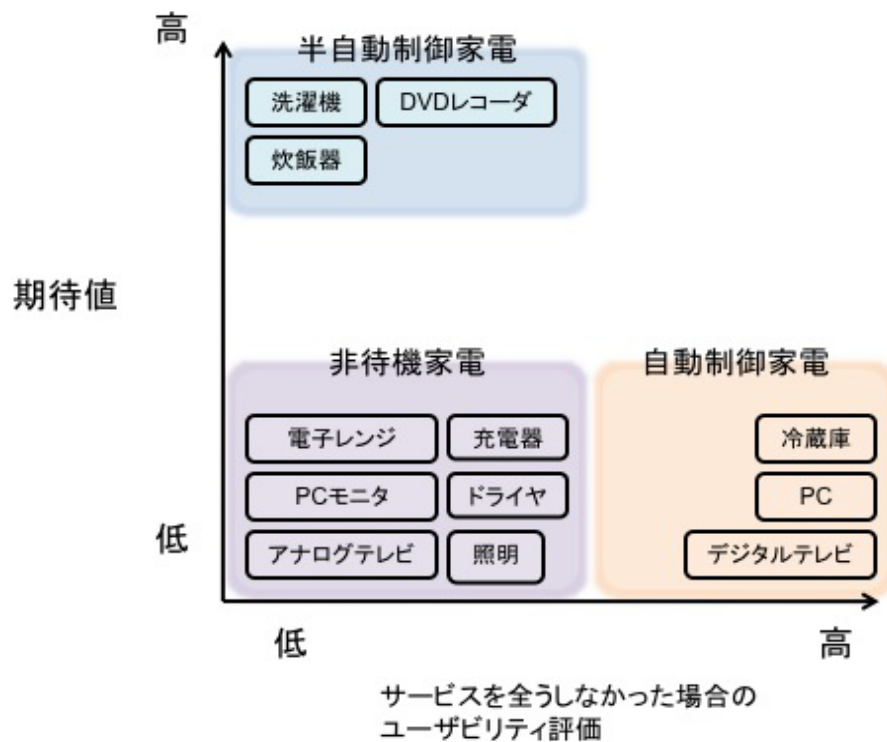


図 2.4: 家電の分類

ることがほとんどであるからだ。従ってユーザ在宅情報との連動は、非待機家電の待機電力削減に対して有効な手段であると言える。

また、非待機家電の場合、ユーザが在宅中でも使用していないケースがある。例えば睡眠時は、ユーザが在宅中であっても非待機家電を使用する可能性は限りなく低い。この場合、ユーザの在宅情報から家電の待機電力を自動的に削減することはできない。さらに、睡眠時でなくても在宅中であれば家電を使用しないケースは存在すると言えるため、在宅中の場合は、ユーザが家電を使用する時間をパターンとして検出することが必要になる。例えば電子レンジでは、ユーザが在宅中であっても食事の時間帯以外に使用する機会が少ないため、待機電力が多く発生している。この場合、ユーザの在宅情報と待機電力の相関性だけでは削減できる待機電力量は少なくなり、待機電力の削減効果は少なくなると考えられる。非待機家電の使用パターンを知るためには、稼働した時刻を調べ、使用パターンから待機電力を削減する手法が必要である。

2.3 待機電力削減に対するユーザの意識

本章では、ユーザが家電の待機電力を削減する上で発生する問題点について、自動遮断による機器の未動作が起因となっていることを述べた。しかしこれは自動遮断を行うことを前提とした問題であり、そもそも待機電力の遮断は、ユーザが手動で逐一遮断することが最も確で、機器の未動作時もユーザビリティ評価が下がることはない。しかし当然、対象機器が増えれば増えるほど比例してユーザの手間が増え、面倒くさいと感じる可能性が発生する。この問題を明確にするための事前実験として、ORF2010[17]

にて待機電力の削減に関するアンケートを実施した。以下の3つの表がアンケート結果である。

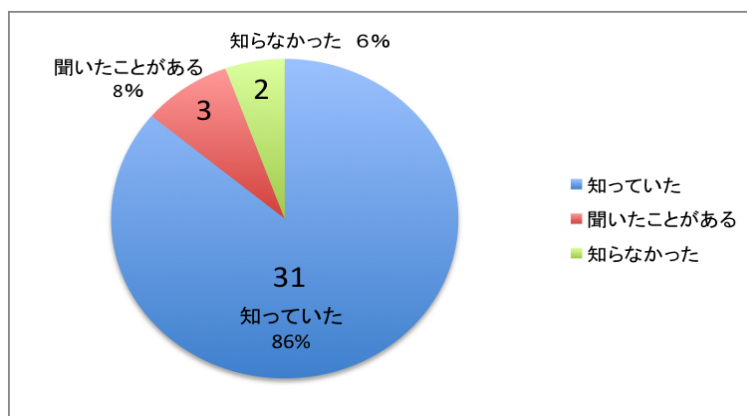


図 2.5: 「待機電力の発生を認知しているか」についてのアンケート (ORF2010[17] にて実施)

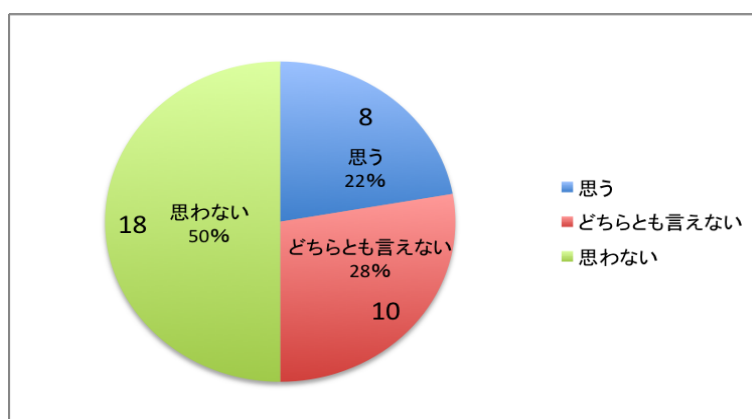


図 2.6: 「自ら待機電力を削減しようと思うか」についてのアンケート (ORF2010[17] にて実施)

待機電力の発生については、図 2.5 を見る限り、大多数のユーザが認知をしている。しかし図 2.6 を見ると、待機電力を削減しようとは思わないユーザが半数を占め、その理由としてほぼ全てのユーザが「面倒くさいため」と感じていることが、図 2.7 から分かる。以上のことから、大半のユーザは待機電力を自主的に削減しようとは考えておらず、その理由が「面倒くさい」であることが分かった。従って待機電力の削減は、ユーザの手間をかけずに、ユーザの意図しない状況下で自動的に行うことが望ましいということが、事前実験の結果から分かった。

2.4 関連研究

本節では関連研究について述べ、待機電力の削減に関する問題への既存の解決手法を述べる。

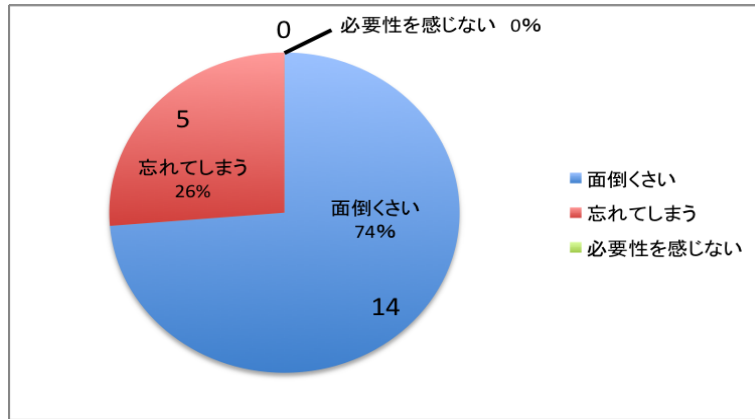


図 2.7: 「なぜ待機電力を削減しようと思わないか」についてのアンケート (ORF2010[17]にて実施)

2.4.1 タイマ情報の認識

自動制御および半自動制御時に待機電力を供給させるためには、まず家電の持つ自動制御・半自動制御のタイマ情報を正確に知ることが必要である。タイマ情報を正確に把握することが可能になると、タイマ動作が行われる直前に待機電力を供給すれば良いため、非常に効率よく待機電力の削減を行うことが出来る。

しかし、家電の持つタイマ情報にアクセスすることは容易なことではない。多種多様な家電のメモリにアクセスする必要があるため、データ通信のインタフェースを持たない家電へ、電源インタフェースからメモリにアクセスする必要がある。解決する手法として、まず電源コードを情報の伝送ラインとする PLC (Power Line Communication)[9] がある。これは家電へ供給する電力線に対して 10kHz～450kHz(低速 PLC の場合) の周波数で情報を伝送し、電力供給と情報の伝送を一手に担う通信技術である。

実際に PLC を利用して家電の集中監視制御を行った幹線パワナビシステム [10] がある。このシステムでは、分電盤に取り付けた電流センサとリレーを用いて PLC 経由で電力量を監視し、電気の使い過ぎを防止することが可能である。しかし、分電盤の 1 ユニット単位でしか監視することができないため、エアコンや洗濯機といった 200V の電圧を必要とするような特別な家電や、または一部屋単位でしか監視制御を行うことができない。さらに、上述した家電のメモリにアクセスしてタイマ情報を取得することは出来ないため、このシステムを導入しても上記の問題を解決することは出来ない。

PLC で上記問題を解決するためには、家電側に PLC モデム (図 2.8) を取り付け、PLC モデムから通信ケーブルと電力ケーブルに分配し、さらに通信ケーブルへメモリに保存されたタイマ情報を送信する必要がある。そのため、家電一つにつき一つの PLC モデムが必要となり、モデムを設置するスペースや、モデムが使用する電力量が多く発生するため、スマートな環境とは言い難い。その上、モデムも現時点では安価なものではないため、設置コストが多く発生する。

タイマ情報を正確に取得するための取り組みとして、HEMS (Home Energy Management System)[11] がある。これは、家電にネットワークインタフェースを取り付け、ネットワークで家電の詳細制御を行う取り組みである。また、HEMS を活用し、家電の監視制御を詳細に行うことを、本論文ではホームネットワークと呼ぶ。その一



図 2.8: PLC モデム (Panasonic BB-HPL10)

例を図 2.9 に示した。HEMS では、HEMS に対応した家電のみネットワーク内に取り込むことが可能であり、あらかじめ家電には HEMS に対応したネットワークインタフェースを装着する必要がある。HEMS 家電では、遠隔で家電の監視制御を行うことを目的としているため、各種内部メモリへのアクセスが外部から行えるように設計される。そのため、家電のメモリへのアクセスは非常に容易であり、PLC のようにモデムを別途設置する必要もない。しかし当然のことながら、HEMS に対応した家電でなくてはならない上に、ネットワークケーブルを別途敷設する手間もある。また、HEMS に対応させることで生産コストが向上し、製品の価格が上昇してしまうといった問題を抱えている。

その他に、明山らによる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 [12] がある。明山らはまず、RFID[13] リーダ付きの多機能コンセントを作成し、家電のプラグに RFID タグを実装した上で、どのプラグに何の機器が接続されているかを判定し、接続された家電の電力量を測定した。多機能コンセントは Web サーバ機能を有しており、対象家電の待機電力供給を停止および開始する時間を、ユーザーが任意にスケジューリングすることができるシステムである。スケジューラをユーザーが任意に設定をすることでタイマ動作を有する家電への対応ができる他、待機電力供給停止時に機器が稼働しなかった場合のユーザービリティ評価低下を防止している。しかし生活に合わせてスケジューラを変更し続ける必要があり、結果的に手動操作が増えユーザービリティの低下につながる。

2.4.2 家電の状態判別

家電の状態を判別するためには、その家電が何であって、稼働電力および待機電力がどのくらいの電力量であるかを識別できることが好ましい。各家電における動作特性の相違問題については、家電認識技術を使った加藤らの研究がもっとも効果的であると考えられる [14]。加藤らは、家電が発する電力波形パターンを分析し、コンセントに接続された家電が何であることを自動的に認識するシステムを開発した。この技術を応用することで、現在どのような家電が接続されており、その家電の稼働電力・待機電力はどれほどの値なのかを知ることができる。しかし家電の認識は、抽出した波

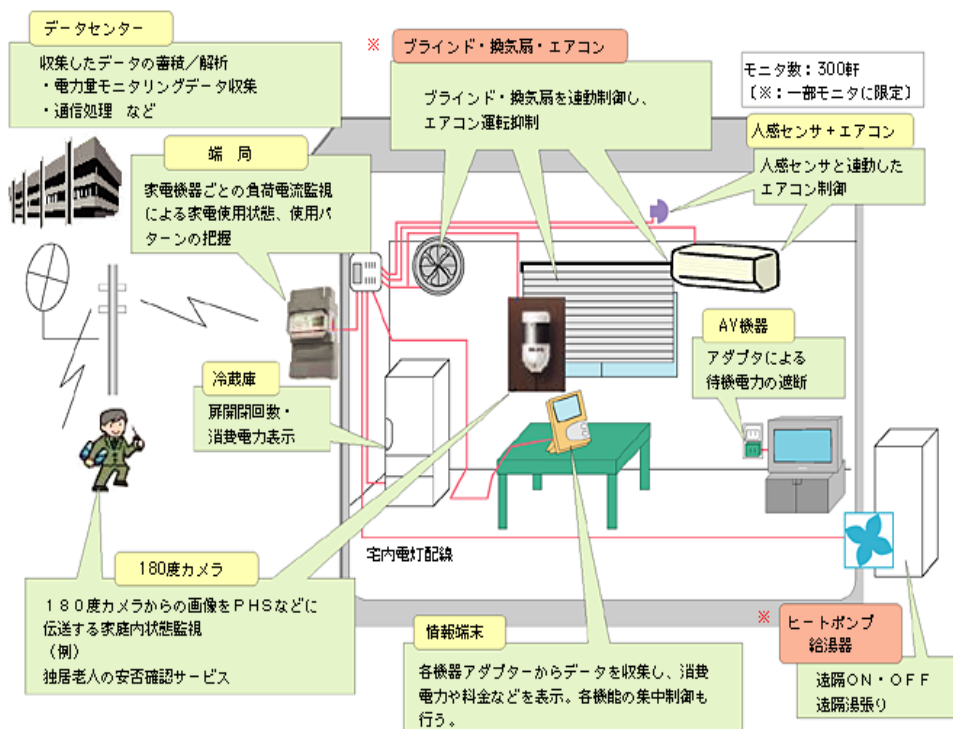


図 2.9: HEMS の一例 (経済産業省 資源エネルギー庁)

形パターンを家電データベースと比較することで実現しているため、何らかのネットワークに接続されることが前提となっており、また家電データベースの更新が必要になるといった問題を抱えている。さらに、S.N.Patel らの研究では、家電の電源を入れた際に発生するノイズを検出し、そのノイズから接続された家電が何であるかを識別している [15]。S.N.Patel らの研究の優れた点は、家庭内のどのコンセントの場所であっても、接続された家電が識別できるという点にある。しかし当然、識別するタイミングは電源を入れた時のみとなる上に、家電側にノイズフィルタ回路が実装されていると、識別率が大幅に低下してしまうといった問題がある。

2.4.3 関連研究のまとめ

前節にて述べたとおり、待機電力の削減手法には様々なアプローチから取り組みがなされているが、削減を自動で、かつ正確に行える決定的な手法はまだ確立されていない。本論文では、すでに研究がなされているスケジューラを使った手法や、家電認識の技術を使った削減手法とは違ったアプローチで待機電力の削減に取り組む。

第3章 ORS の設計

本章では，2 章にて述べた問題を解決するためのシステムを設計する．ユーザの位置状態と待機電力の発生をロギングし，その相関性を算出して自動的に待機電力を削減する自作コンセント ORS (Outlet for Reducing Standby power) を提案する．後半に，ORS を使った待機電力削減システムの設計について述べる．

3.1 システム構成

2章にて、待機電力の削減の弊害となっている問題は、「自動遮断による家電未動作」および「手動遮断の面倒くささ」にあることが分かった。これらの問題を解決するためには、家電未動作の防止のために自動遮断に対して「自動供給」を行うこと、ならびに、ユーザが面倒くささを感じないようにユーザの意識外で待機電力を削減することが必要である。自動遮断・自動供給は、当然機器が使用されるパターンを知る必要がある。家電機器を使用するのはユーザであるため、家電の使用パターンはユーザの生活パターンに則すと仮定し、ユーザの生活と家電稼働状況の相関性を検出することで、効率的かつユーザの意識外で自動的に待機電力を削減できると考えた。このシステムを実現するためには、家電機器やユーザの生活パターンを監視制御するためのなんらかの機器が必要である。そこで本論文では、家電の稼働状態とユーザの生活パターンの相関性を算出する自作コンセント「ORS(Outlet for Reducing Standby power)」を作成し、問題の解決を行うこととした。

3.1.1 利用シナリオ

本節では、実際にORSを一般家庭において使用した場合のシナリオを説明する。ORSでは大きく分けて2つの情報を確認する。1つは家電の電力量で、2つはユーザの位置情報である。これは、2.2.3節にて述べたユーザの使用パターンと家電の動作特性における考察に基づき、家電の動作特性とユーザの位置状態が分かれば家電とユーザの相関性が分かり、相関性から家電の動作パターンが導き出せると考えたためである。

まず、ユーザはORSに家電のコンセントを接続し、普段通りに使用をする。さらにユーザは何らかの位置情報発信デバイスを所持し、ORSからの在宅情報の確認に備える。その間ORSでは、電力量とユーザの在宅情報をセンシングし、ロギングを行う。初日は学習データが存在しないため、自動制御を行うことはできない。2日目以降に前日からの学習データが適用され、時間、ならびにユーザの在宅情報を元に、実際のON/OFF制御を行う。ここでもユーザは待機電力削減を意識することなく、家電を使用することが可能である。2日目終了した段階で、同様に自動的にロギングデータから学習を行い、3日目以降の制御に適用される。以上の事柄を図3.1にまとめた。

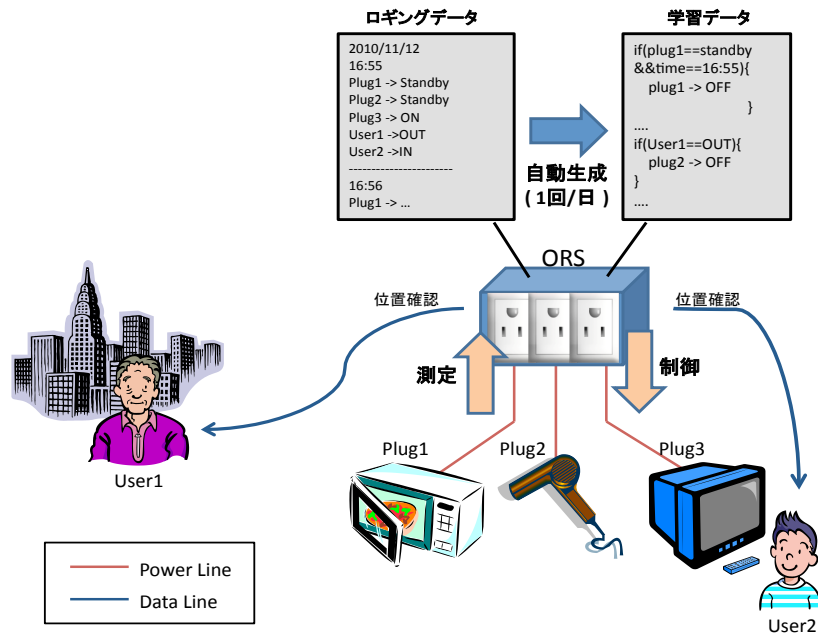


図 3.1: ORS 動作シナリオ

3.1.2 機能要件

ORS における待機電力削減シナリオを実現するための機能要件として、以下に ORS の機能要件を挙げる。

電力量の測定

待機電力を削減することを目的としたシステムであるため、電力量の測定が行えることが前提条件となる。

ユーザの在宅外出判定

ユーザの在宅外出判定から待機電力を自動的に削減するため、在宅・外出の判定を行うためのデバイスが必要である。

ロギング

相関性を測定するために、センシングしたデータを長時間保存するための記憶領域が必要である。

家電への電力供給

家電を使用するために、電力供給を行えることが必要である。家庭の電力は AC200V と AC100V に分かれているが、本論文では一般室内用コンセントに用いられる AC100V を対象とする。

自動による待機電力の ON/OFF

ユーザが待機電力を意図せずに削減するため、予め決められた時間に家電の待機電力を自動で ON および OFF できることが必要である。

手動による待機電力の ON/OFF

自動的に待機電力を削減するシステムであるため、ユーザの意図しないタイミ

ングで待機電力の供給が遮断されていた場合、ユーザは家電の電源をつけることができなくなってしまう。これを回避するために、電力を手動供給するためのスイッチが必要である。

演算デバイス

ロギングデータから相関性を算出するために、プロセッサを有するデバイスを搭載することが必要である。

3.2 ハードウェア構成

本節では、機能要件に基づくハードウェアの設計、ならびに構成について述べる。まず機能要件である「家電への電力供給」を満たすため、ORS では 100V のコンセントに接続するためのプラグを持ち、家庭用 100V コンセントに接続する。これは、ORS が一般的な家庭で使用され、電気に関する知識が無いユーザでも簡単かつ安全に使用するために、通常のコンセントと同じような形状とした。ユーザは ORS を家庭用コンセントに接続し、ORS を元来のコンセントとして利用することを想定している。ORS 上では、接続したプラグから家庭用 100V の電圧を家電へ電力を供給するため、3 つのコンセントへ並列に分配する。従って、ORS では 3 つまで家電への電力供給が可能となり、また監視制御の対象となる。

機能要件である「自動による待機電力の ON/OFF」を満たすために、ORS の演算デバイスから電力供給の開始、または停止といった制御が行えるよう、制御信号で制御するためのデジタル式リレーを設ける。また「手動による待機電力の ON/OFF」について、演算デバイスから送られた制御信号とは別に、デジタル式リレーの制御をユーザが手動で開閉を行うために開閉用スイッチも設ける。これにより、自動、または手動にて家電に対する電力供給制御を行える設計とした。

電力量の測定には、供給用コンセントからリレーの間に流れる電力量を非接触電流センサであるカレントトランスを使う。カレントトランスは、ある電線に流れる電流を非接触で磁氣的に計測することができるセンサで、安全性の高さから電流計測回路に用いられることが多い。

また、ユーザの位置情報を確認するためにネットワークデバイスを設ける。これは、ユーザが意図せず待機電力を削減するために必要な方法である。ORS を通常のコンセント同様、どのネットワークにも属さないスタンドアローンなシステムとした場合、ユーザの位置確認方法で考えられる方法は下記の通りである。

1. ユーザによる出入り登録
2. 人感センサによる出入り確認
3. RFID タグによる出入り認証

1 は、玄関などユーザが外出する際に利用する出入口に、簡単なプッシュスイッチのような物を設け、それを押下することでユーザが外出したかどうかを決定する手法である。しかしこれでは、「ユーザが意図せず」といった目的から外れてしまう上に、出入りの間隔が短い場合、その都度プッシュスイッチを押さなくてはならない。そのため忘れてしまったり、面倒くささを感じる原因となることから、1 はユーザの在宅・外出を確認するための有用な手段であるとは言えない。2 は、人感センサによる出入り

確認である。これはユーザが複数いる場合はユーザ別の判断が出来ないため、有用な手段ではない。3は、RFID タグをユーザに所持してもらい、出入りの認証を図る手法である。これならば、ユーザは RFID タグを持っているだけで在宅・外出の判定が出来るため、一見有用な手段に見える。しかし、RFID リーダーを常時待受状態にしないてはならないため、システムの電力消費量に無駄が多く、さらに RFID タグを新たに持ち歩かなくてはならないといった欠点を抱えている。これもやはり、決定的な手段であるとは考えにくい。

そこで ORS では、ユーザの位置情報を確認するためにネットワークデバイスを実装し、あるネットワークに ORS を接続させることとした。また、ネットワークへの接続は無線 LAN を用いることとした。通常、位置情報の確認は GPS を用いることが多いが、家にいるかそうでないかを判定するために GPS を用いることは、必要な情報を入手する以上のデメリットが発生する。GPS 端末をユーザに持ってもらう手間や、その GPS 端末をユーザが家に忘れた時の学習データの欠損、さらには、GPS 情報を送信し続けることからプライバシーの問題も発生すると考えられる。無線 LAN を使用したシステムであれば、ユーザの持つ無線子機が家庭内ネットワークに存在するかどうかで、在宅中か外出中かという2つの情報のみを判断することができる。また、近年の携帯電話やスマートフォンには予め無線デバイスが搭載されているため、GPS モジュールのように特殊な端末を新たに持つこともなく、家に置き忘れるといった問題も発生しにくいと考えられる。もちろん家庭内 LAN を無線で構成しているという前提条件が必要となるが、GPS モジュールからユーザの位置情報を発信する方法よりも安価かつ安全に行えると考え、無線 LAN による在宅外出判定を行うこととした。

最後に、上述した全ての制御およびロギングや相関性の演算を行うためのプロセッサを有するデバイスを設ける。以上の構成を図 3.2 にまとめた。

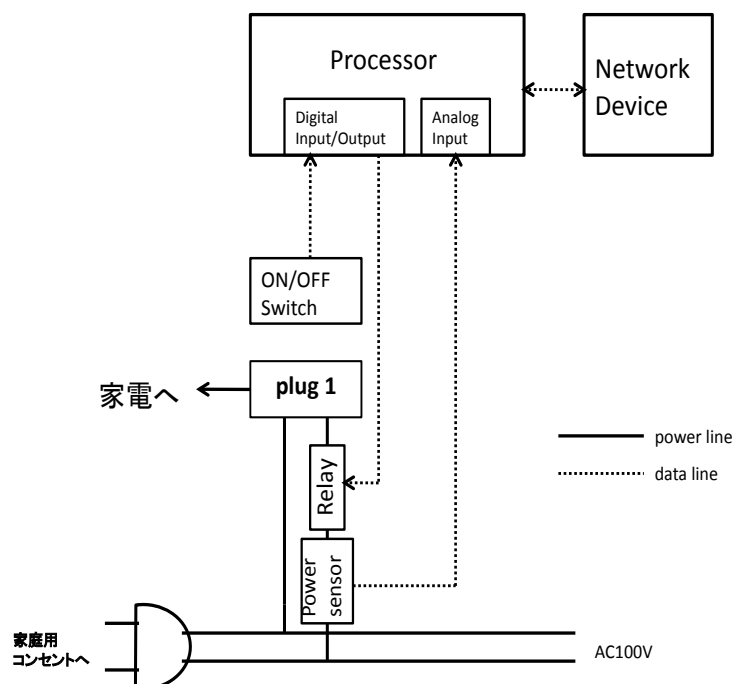


図 3.2: ハードウェア構成図

3.2.1 ORS の消費電力量

ORS は待機電力を削減するためのシステムであるため、ORS 自体の消費電力量が削減する待機電力量を上回ってしまっては意味が無い。そのため、ORS で使用する消費電力量を極力抑え、省電力なシステムとすることが重要となる。一般的な家庭の総消費電力のうち、待機電力量は 2.2 節に述べたように約 6 % であるが、これを電力量に換算すると約 120W となる。従って、ORS 自体の消費電力量が 120W を上回ってしまっては意味が無く、ハードウェアの設計を考える上で、極力電力消費量の小さい設計とすることが重要である。

3.3 ソフトウェア構成

ORS ではソフトウェア構成として、電力量変換モジュール、位置情報確認モジュール、状態判断モジュール、ロギングモジュール、相関性算出モジュール、制御モジュールを持つ。電力量変換モジュールは文字通り、機能要件である「家電の電力量を測定する」ためのモジュールである。家電の電力量の測定を行うためには、電圧 (V) を電力 (W) に変換する必要があるため、このモジュールが必要である。位置情報確認モジュールでは、ユーザの在宅・外出の判定を行う上で必要となるデータを収集するモジュールである。

電力量変換モジュールにて測定された電力量、および位置情報確認モジュールにて測定したユーザの位置情報を状態判断モジュールへ送る。状態判断モジュールでは、予め設定された閾値 V_x を参照し、比較を行うことで家電の稼働状態およびユーザの在宅・外出を判断する。状態判断モジュールを設置することで、デバイスが対象家電やユーザが現在どのような状態にあるのかを判断することができる。判断結果をロギングモジュールへ送信し、タイムスタンプをつけて記録を行う。これは機能要件が示す「ロギング」であり、相関性を算出するための学習データを蓄積するために必要なモジュールである。相関性算出モジュールでは決められた時刻にロギングデータを読み込み、相関性の算出を行う。また、制御モジュールでは相関性算出モジュールから送られてきた制御データを元に家電の自動 ON/OFF 制御を行う。ソフトウェアの構成を図 3.3 にまとめた。

3.4 時間学習

待機電力を削減する上で、ユーザビリティ評価を下げないために重要な事項は、待機状態になった場合の電力供給遮断だけではなく、ユーザが使用する直前に電力供給を再開して待機状態に戻すことである。待機状態に戻すということはすなわち、家電の稼働状態が「稼働中」であった時間を学習することと等しい。ある期間 T において、機器が稼働中かそうでないかを表す変数を $C_T(0,1)$ とし、 C_T を時間 T_N 毎にロギングし N 日分のデータを貯める。すなわち、 N 日分のロギングデータから得られる時間 T_N における稼働確率 P_w は

$$P_w = \frac{N * C_{T_N}}{N} \quad (3.1)$$

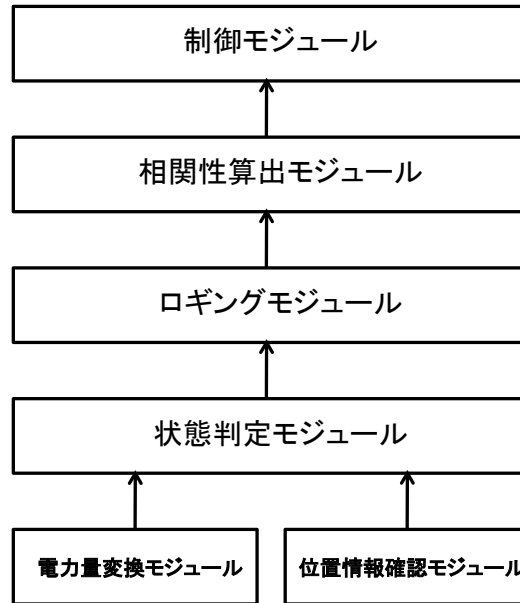


図 3.3: ソフトウェア構成図

となる。これを、ユーザが入力した基準確率 P_c と比較し、 $P_c < P_w$ でかつ家電稼動状態が待機中である時、待機電力の供給を遮断する。

ここで、どれくらいの粒度で家電稼動状態をロギングしていくかということが問題となる。時間 T_N から次のロギング時間 T_{N+1} までの間隔を定めるには、様々な複合的要素を交えて考えなければならない、一つは、ロギングのデータ量である。曜日、時間、状態をそれぞれ文字データとして保存した場合、 $T_N \rightarrow T_{N+1}$ が短くなればなるほど、そのデータ量は増える。データ量が増えれば当然ロギングデータを解析する際のプロセッサへの負担も増し、大きな負荷をかけることになる。それだけではなく、データ量が増えるということは必然的にロギングデータを更新する頻度が上がるということになり、プロセッサ自体の電力消費量が上がってしまうという問題もある。逆に $T_N \rightarrow T_{N+1}$ が長すぎる場合、家電の動作を正確に捉えられないといった問題も発生する。本論文では、情報科学技術フォーラム「FIT2010」にて発表した論文 [16] を基礎として、10 秒ではデータ量が膨大になり解析で大幅な時間を取られシステムの運用に支障をきたしたことから、 $T_N \rightarrow T_{N+1}$ を 6 倍の 1 分間とした。

3.4.1 学習アルゴリズムの検討

前節にてロギングデータから学習すると述べたが、何日分のロギングデータを元に学習データを構築するかは十分検討する余地がある。例えば、ある決まった曜日の決まった時間にのみ動作する家電の場合、単純に 1 日ごとの電力発生時間を重ねていくだけでは検出することができない。それだけでなく、仮に他の曜日ではその家電が動作していないとすると、他の曜日の時間データを積み重ねれば積み重ねるほど相関性が低くなり、データ量に反して正確な学習データが取れなくなることが考えられる。そのため、本論文では時間の学習データとして、曜日・時間という 2 つの情報を学習することとした。

第4章 ORSの実装

本章では，3章にて述べた ORS の設計概要についてハードウェアならびにソフトウェアの詳細な実装方法を述べる．

4.1 前提条件

設計概要に基づき ORS の実装を行うため、ORS のシステムに関する前提条件を述べる。

4.1.1 監視対象機器の条件

ORS は設計上、最大 3 つの家電を監視制御することが可能である。しかし、ORS はあくまで電源側のコンセント設備であるため、移動させないことが前提条件である。従って、家電を選定する上での一つの条件として、移動させて使用するケースの少ない家電に限られる。移動させて使用するケースの多い家電とは、ノート PC や、各種充電器、ドライヤ、扇風機など、ユーザの環境に合わせてコンセント位置が変わる家電を指す。逆に、移動させて使用するケースの少ない家電とは、大型テレビ、デスクトップ PC、電子レンジ、エアコン、洗濯機、天井照明を指す。ここで、ORS の制御対象家電は AC100V の電源を供給し動作する家電に限られるため、洗濯機、ならびにエアコンは除外される。また、天井照明は埋め込み型コンセントに接続されているケースが多く、家庭に存在する汎用的なコンセントから接続されている例は少ない。そのため ORS への接続は特別な配線を施す必要があり、ユーザが意図せず簡易的な状態で待機電力を削減するシステムの趣旨から外れるため除外する。

4.1.2 ORS の使用条件

ORS は家庭内で使用され、家庭に存在する家電のうち、前節にて述べた条件に適合する家電を対象とする。また、ORS のコンセントには 2 つ以上の家電を接続しないことを前提とする。

4.2 ハードウェア実装

本節では、ハードウェア実装の詳細について述べる。回路は 10cm x 20cm のブレッドボード上に実装され、家電への電力供給用コンセントを 3 口実装する。また、家電へ待機電力を強制的に供給、または遮断するための手動スイッチを、1 口につき ON および OFF の 2 スイッチ設け、S1 から S6 の合計 6 スイッチを実装する。R1 から R6 は、スイッチのためのプルアップ抵抗である。電流のセンサとしてカレントトランスを 1 つのコンセントにつきそれぞれ CT1 から CT3 の 3 つを実装し、CT からの出力を、それぞれ演算装置の AnalogInput に接続する。この時演算デバイスでは、AnalogInput から入力された値 (電圧) を家電の発生する電力量として変換し、ロギングを行う。 R_{ct} は CT 用の基準抵抗で、CT にて貫通電流 I_o を測定する際に、CT から出力される電圧を決定するための抵抗である。これらのハードウェアが、一つの演算デバイスに集約され、監視制御ができるように実装を行った。実装結果を図 4.1 に示す。

4.2.1 演算デバイス

ORS では、演算デバイスとして、Arduino[18] を使用している。Arduino を使用した理由は、省コスト、省スペースで、ADC (Analog Digital Convertor) を持ち、さら

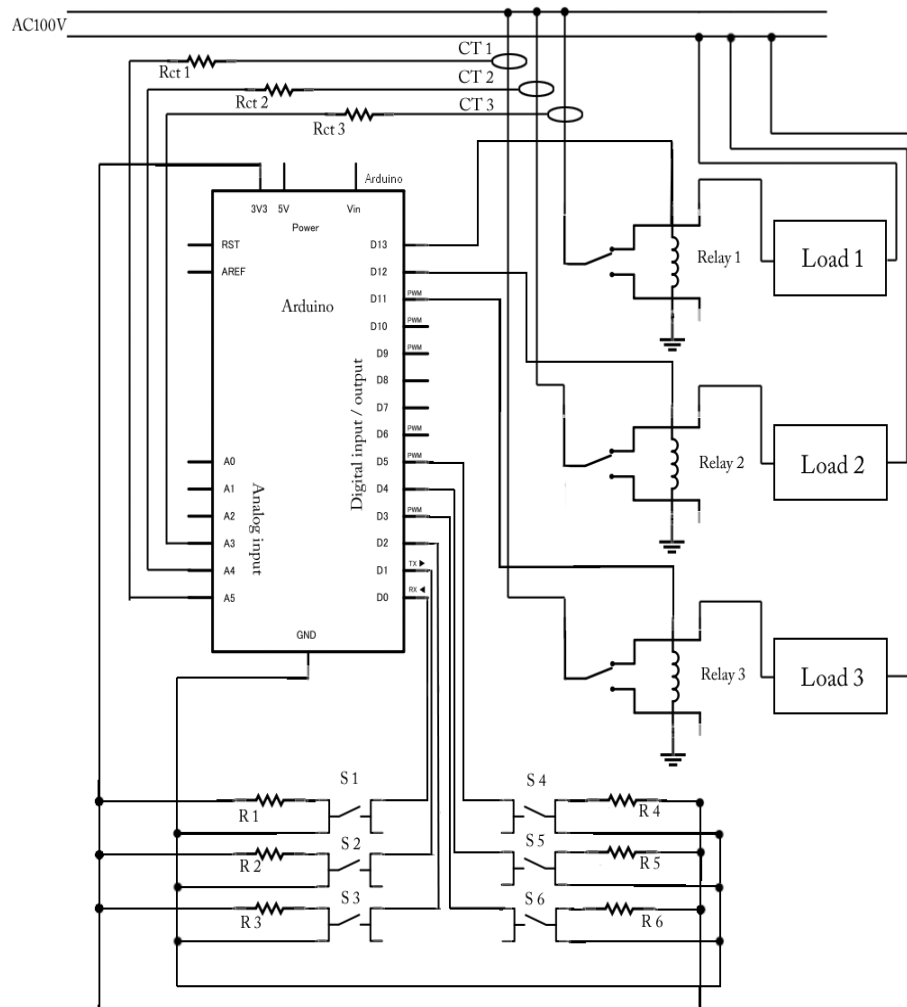


図 4.1: ORS の回路図

に互換する機器が非常に多いことが挙げられる。特に ORS の場合、実際に使用するケースでは 1 つのコンセントに対して 1 つのデバイスを設ける必要があるため、安価かつ省スペースであることを重要とする。さらに演算デバイス上で各種の学習制御を行えることが必須条件となるため、センシング、ロギング、学習、制御を行えるデバイスが好ましい。表 4.1 において、他の演算デバイスとの比較を行った。

表 4.1: Arduino の詳細

	Arduino Duemilanove	Gumstix Overo[19]
Processor	ATmega168	OMAP3503
FlashMemory	16KB	256MB
SRAM	1KB	256MB
EEPROM	512bytes	256MB
ADCIN	6port	6port
ClockSpeed	16MHz	600MHz
Size	70mm x 55mm x 10mm	17mm x 58mm x 4.2mm
Price	\$ 22.00	\$ 149.00

Gumstix Overo は Arduino と比べ、機械的なスペックでは非常に優れている。しかも内部に Linux Kernel が搭載されているため、高度な動作を行うプログラムを実装することが可能である。さらにサイズのにも Arduino とほぼ同じだが、金額的には Arduino の 7 倍近い定価になってしまう。これは、省コストの観点から考えると大きなマイナス要因である。また、ADC の入力は両方 6 ポートと同一であり、さらに ORS では OS を必要とするような高度な演算は行わないため、ORS では Arduino を採用した。

4.2.2 電力センサ

電力センサを実装する上で重要となる条件は、家電の稼働電圧に比べ、非常に小さい電圧で発生する待機電力を測定可能なことである。さらに、省スペースの観点から、ブレッドボード上で実装できることが望ましい。以上の条件を満たすセンサとして、UR-D 社のカレントトランス, "CTL-6-V-Z"[21] を使用した (図 4.2)。カレントトランス (CT) はホール型の電流センサで、測定対象の電線に対して非接触で貫通する電流を測定することが可能である。そのため回路の短絡などによる測定機器の損傷が発生しない。特に微小な電力で機器が損傷する可能性のある電子回路に対しては、安全性に特化したセンサであると言える。

また、Arduino の ADC における分解能は 10bit(1024byte) で、かつ基準電圧 V_{ard} が 5V であるため、Arduino で計測できる最小の電圧 V_{min} は下記の式で算出することができる。

$$\begin{aligned}
 V_{min} &= \frac{V_{ard}}{1024byte} \\
 V_{min} &= \frac{5}{1024} \\
 &= 0.0048V
 \end{aligned} \tag{4.1}$$



図 4.2: UR-D 社製精密計測用電流センサ ”CTL-6-V-Z”

V_{min} を CTL-6-V-Z の特性表 4.3 に当てはめると、貫通電流 I_o が分かり、通過している電流値を測定することが可能となる。この時、基準抵抗 R_L の値によって CTL-6-V-Z から出力される電圧 E_o が変動するが、より小さい電流をセンシングするため、 R_L の値を $1k\ \Omega$ とした。

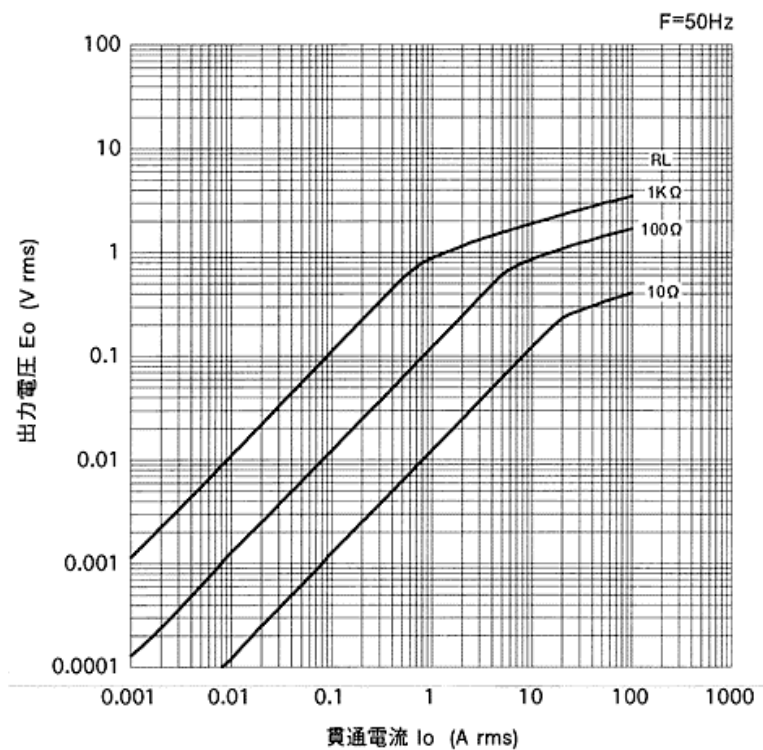


図 4.3: CTL-6-V-Z 出力電圧特性表

図 4.3 より、 R_L が $1k\ \Omega$ かつ V_{min} が $0.0048V$ の時、 I_o は $0.005A$ となり、家庭用交流電源電圧 V_p が $100V$ であるから、測定可能な最小の消費電力量 W_{min} は、

$$W_{min} = V_p \cdot I_o$$

$$\begin{aligned}
&= 100 \cdot 0.005 \\
&= 0.5(W)
\end{aligned} \tag{4.2}$$

となる．

W_{min} を 2.2 節にて参照した表 2.2 と比較すると，ORS および CTL-6-V-Z が汎用的な家電の待機電力量を測定するために十分な分解能を備えていることが分かる．また，CT の基準抵抗 R_L は $1k\ \Omega$ とした．

4.2.3 ネットワークデバイス

ORS では，ユーザの位置情報確認に無線 LAN を用いる．ユーザの持つネットワークデバイス（子機）は IEEE802.11 の規格に準拠している機器がほとんどであるが，Arduino では IEEE802.11(Wifi) の技適認証を受けているモジュールが無く，国内で使用することはできない．そのため，ORS の通信用デバイスとして，Arduino に接続可能な XBee[22] を使用した XBee を図 4.4 に示す．XBee は Zigbee[24] と呼ばれる IEEE802.15.4[23] の通信規格に準拠しており，2.4GHz 帯の無線帯域を使ってシリアル通信を行うことが可能である．さらに Zigbee は省電力に特化した無線規格であるため，ORS にて使用する電力消費を抑えることもできる．しかし当然，ORS と子機の間では無線の規格が違うため通信を行うことはできない．そこで，ORS とユーザ子機の間にはサーバを設け，ユーザへ無線 LAN 経由で位置情報確認を行う構成とした．サーバは ORS からユーザ位置情報の確認要求を受け取り，ユーザに対して Wifi にて通信の生存確認を行う．その結果を ORS へ Zigbee 経由で送信し，ORS では受け取った結果をロギングデータに書き込む．位置情報確認のための構成図を 4.5 に示す．また，サーバに使用した環境の概要を表 4.2 にまとめた．

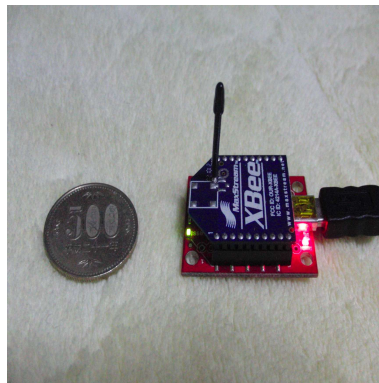


図 4.4: XBee 無線機

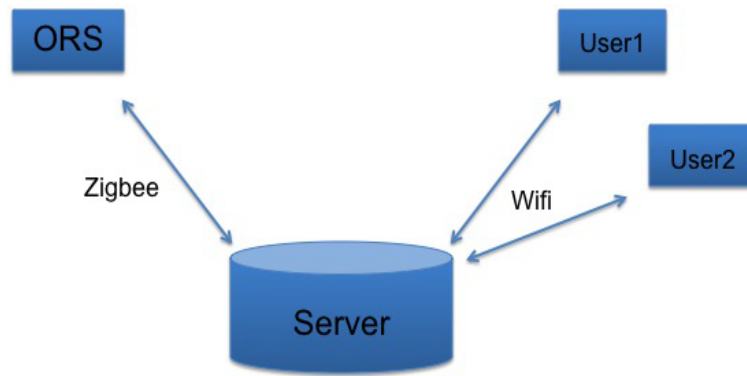


図 4.5: 位置情報確認のための通信デバイス構成図

表 4.2: サーバに使用する PC の概要

名称	値
モデル	dynabook SS
CPU	Intel Core Duo 1.8GHz
メモリ	2GB
OS	Ubuntu10.4
言語	Perl 5.10.0

また、ユーザが所持する無線子機は、本論文では iPhone3GS[20] を利用した。iPhone3GS はスリープモードになると省バッテリーのために自動的に無線 LAN の接続を解除してしまうため、スリープモードになっても無線 LAN の接続が解除されないよう設定を施した。

4.2.4 その他

ORS のハードウェアを構成する上で必要となるその他のデバイスについて詳細を述べる。

リレー

ORS では、家電への電力供給制御用リレーとして、秋月電子製 SSR (Solid-StateRelay) を使用した。図 4.6 に示すように小型であり、かつ AC100V の電圧を無接点制御が可能のため製品寿命が長く、さらに安価である。

スイッチ

手で家電への待機電力を供給するためのスイッチとして、プッシュスイッチを使用した (図 4.7)。

4.2.5 ハードウェア実装のまとめ

完成した状態の ORS を図 4.8 に示す。

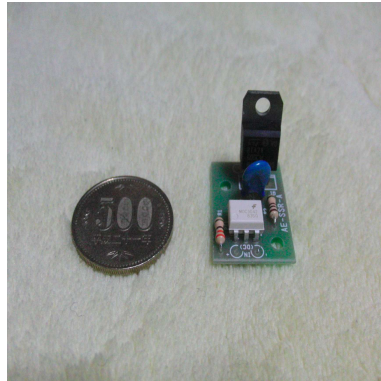


図 4.6: 秋月電子 SSR 25A タイプ

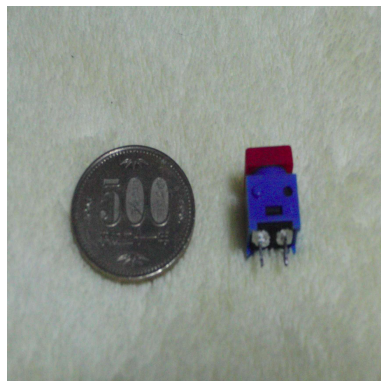


図 4.7: プッシュスイッチ

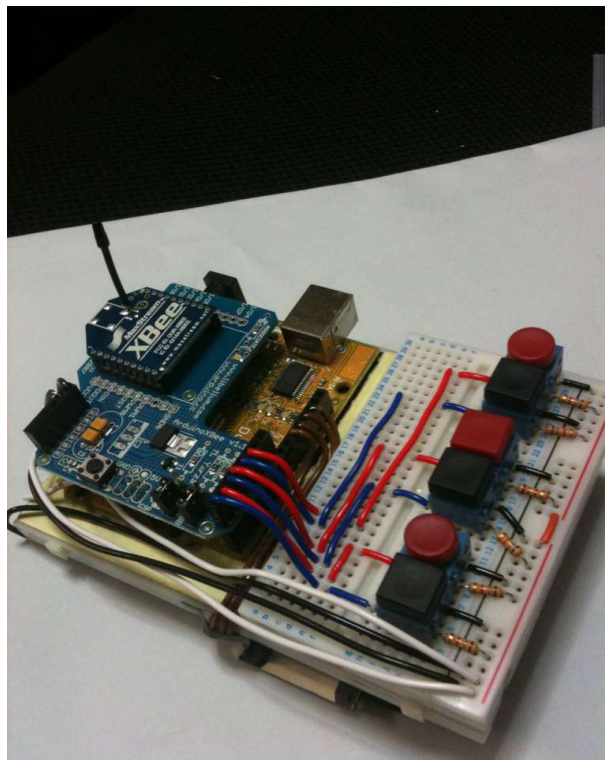


図 4.8: ORS (Outlet for Reducing Standby power)

4.3 ソフトウェア実装

ORS 内部で動作する各種モジュールについて述べる。

4.3.1 電力量変換モジュール

カレントトランスを用いて電力量の測定を行う場合、6.1.3 節にて述べた通り、カレントトランスを通る電線の貫通電流 I_o は適性の電圧に変換され AnalogInput へ入力される。貫通電流と変換された電圧の関係は表 4.2 の通りであるが、測定を行う場合は電圧値であるより電力量である方が、より実際の家電の消費電力量を意識しやすい。ここで、電力量の測定は Arduino の ADC により 1byte から 1024byte までの byte 単位で測定を行うため、ADC によってデジタル化したデータを再度アナログデータに戻す必要がある。測定が可能な最小の電圧値 V_{min} は 6.1.2 節にて述べたように 1byte = 0.0048V であるため、入力された byte 数を D とすると、測定電圧は

$$V = D \cdot V_{min} \quad (4.3)$$

となる。表 4.3 から基準抵抗 R_L が 1k Ω の時、貫通電流 I_o = 出力電圧 E_o となるため、 $V = I_o$ (4.4) となる。貫通電流 I_o に交流電流 100V をかけた値が家電の消費する電力量となるため、測定する電力量 W は

$$\begin{aligned} W &= V \cdot 100 \\ &= D \cdot V_{min} \cdot 100 \end{aligned} \quad (4.5)$$

によって計算することができる。

4.3.2 位置情報確認モジュール

ORS では 6.1.2 節にて述べた通り、Zigbee と Wifi を使ってサーバを通してユーザへの位置確認を行う。サーバでは、ORS から Zigbee 経由で位置情報確認パケットを受け取ると、ユーザが持つ無線子機への疎通確認を行うスクリプトがサーバ上で実行され、Wifi 経由でユーザへの生存確認パケットを送信する。その結果を ORS へ Zigbee 経由で送信する。生存確認は Ping で行われるが、パケットロスによる生存確認データの欠損も考慮し、0.5 秒間隔で計 10 回確認した結果を状態判定モジュールに送信することとした。

4.3.3 状態判定モジュール

状態判定モジュールは、以下の二つの動作を行う。

家電状態判定

家電の状態 (稼働中・待機中・停止中) を判定する。2.2 節にて述べたように、電力量という単一の物理量から家電の状態を推測することは非常に難しく、推測を誤り誤作動を引き起こす要因となり得る。本論文では、測定対象家電の稼働時電力量と待機時電力量を測定し、測定結果を閾値 V_x として設けることにより家電状態の判定を行うこととした。

ユーザ位置状態判定

位置情報確認モジュールから送られた Ping 結果を参照し、1 回以上ユーザの持つ無線子機の生存が確認された時、ユーザが在宅中であるという判定を行う。

4.3.4 ロギングモジュール

状態判定モジュールにて判定した各種のデータを、タイムスタンプを付加してロギングを行う。ロギングは 1 回/分毎に実施され、1 日で合計 1440 個のデータ (D_L) を保持する。また、ロギングデータは解析を行いやすいようカンマ区切りで保存される。ロギングの例を図 4.9 に示す。

ロギングデータは 1 つの機器に 1 つずつ作成され、1 分間に 1 行ずつ更新される。また、後々電力量の管理をしやすいよう、測定した家電の電力量も同時にロギングする。

4.3.5 相関性算出モジュール

ORS における相関性の算出は、時間・曜日・ユーザ位置状況の 3 つの要素と、家電の稼働状態の相関性を算出する。各関係の因果関係を表したベイジアンネットワーク図を図 4.10 に示す。

ロギングデータを用いて 1 日に 1 回、0 時 00 分になると相関性算出モジュールが呼び出される。相関性算出モジュールでは、ロギングモジュールにて作成したロギングデータから、時間：電力量、曜日：電力量、ユーザ在宅状況：電力量の 3 つ算出され、それぞれの結果が別々のファイルに保存される。

```

機器 - 1
Date, Weekday, Time, Watt, User1, User2
2010/12/19, Sun, 20:30, 20, 0, 1
2010/12/19, Sun, 20:31, 24, 0, 1
2010/12/19, Sun, 20:32, 19, 0, 1
2010/12/19, Sun, 20:33, 19, 0, 1
2010/12/19, Sun, 20:34, 24, 0, 1
2010/12/19, Sun, 20:35, 21, 0, 1
2010/12/19, Sun, 20:36, 22, 0, 1
...

```

図 4.9: ログインの例

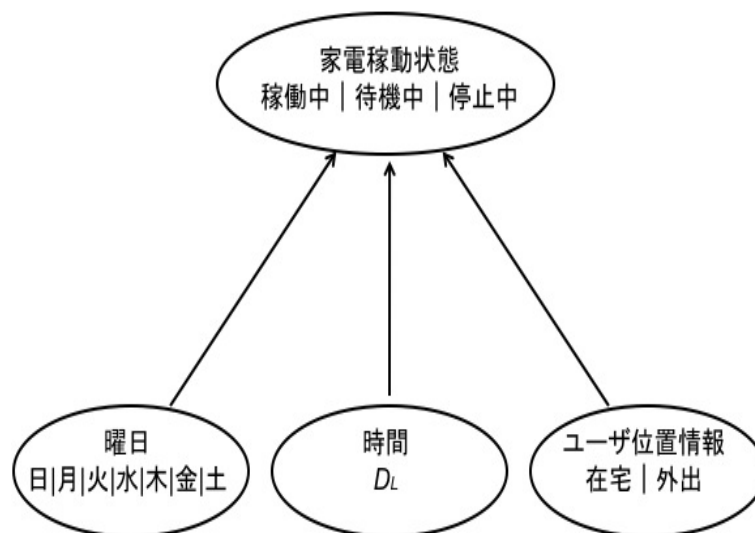


図 4.10: 各要素のベイジアンネットワーク

時間：電力量の相関性

時間：電力量では、 $T_{N(hour:min)}$ を扱いやすいようにデータ量 D_L へ換算し、1 分間ごとの相関性を算出する。 $T_{N(hour:min)}$ から D_L への換算は

$$D_L = hour * 60 + min \quad (4.6)$$

にて計算され、1 日を 0~1439 のデータで表すことができる。相関性の算出方法は 4.3 節にて述べた稼働確率の算出方法を用い、日にちごとの $N(D_L)$ に対応した家電稼働状態 (稼働 — 待機, 停止) を、 $C_{T(N_{D_L})}(1, 0)$ とし、N 日分のデータを足していく。従って、ある時間 D_L における家電の稼働確率 P_w は、

$$P_w = \frac{C_{T(1_{D_L})} + C_{T(2_{D_L})} \cdots C_{T(N_{D_L})}}{N} \quad (4.7)$$

によって算出される。

曜日：電力量の相関性

曜日：電力量では、日曜日から土曜日までの 7 日間について、特定の曜日にのみ発生する動作を検出するために算出する。基本的な算出方法は時間：電力量と同一であるが、曜日：電力量の場合は、曜日毎に稼働確率を算出する。従って、特定の曜日 W の時間 D_L における家電の稼働確率 P_w は

$$PW_w = \frac{C_{T(W1_{D_L})} + C_{T(W2_{D_L})} \cdots C_{T(WN_{D_L})}}{N} \quad (4.8)$$

となる。

ユーザ在宅状況：電力量の相関性

ユーザの位置状態と家電の稼働状態の相関性は、まず 1 日分のロギングデータのうち、ユーザの位置状態ステータス S_p (外出, 在宅) において S_p (外出) である T_S を調べる。この T_S のうち待機電力が発生した時間 T の個数 T'_S を調べ、ユーザが外出中に機器が稼働状態でない確率 P_p を下記式により算出する。

$$P_p = \frac{T'_S}{T_S} \quad (4.9)$$

またユーザが複数いる場合は機器 1 台に対し確率 P_p をユーザ数分算出する。

4.3.6 制御モジュール

制御モジュールでは、相関性算出モジュールにて計算された結果に基づき、ロギングと同タイミングで制御を行う。まず、相関性算出モジュールから送られてきたユーザ在宅状況と電力量の相関性を示す P_p が、基準となる確率 P を上回っているかを検証する。上回っていれば、ユーザ外出時は使用しない機器であると判断が出来るため、判断フラグ変数である $Place$ を "ON" とする。この動作をユーザと機器についてそれぞれ行い、ユーザが外出した場合に使用しない機器の電源を落とす動作を行う。 P_p を基準とした制御パターンの例を、表 4.3 に記した。

表 4.3: ユーザ位置状態を元にした家電制御の例

	ユーザ 1 における P_{P1}	ユーザ 2 における P_{P2}	ユーザ 1 外出時の動作
家電 1	94 %	45 %	供給遮断
家電 2	40 %	92 %	動作なし
家電 3	30 %	40 %	動作なし

基準確率 $P = 90 \%$

判断フラグ変数をセットした後、時間学習の相関性を読み込む。ここで、開閉動作はリレーにて電氣的に行うため、命令を送れば家電の状態に関わらずリレーは動作してしまう。そのため家電機器使用中に突然リレーが開き、家電の稼働中にも関わらず動作が停止してしまうことも考えられる。この誤作動を防止するため、現在の家電状態が 1(稼働中)であれば遮断動作を先延ばしし、次の制御タイミングを待つ。「待機中」または「停止中」であればリレーを開く命令を送信し、待機電力の発生を遮断する。また、ユーザが手動でプッシュスイッチを押下した場合はこの限りではなく、家電が稼働中であっても強制的に電源を遮断する命令を送ることとした。

最後に、現在の時刻における家電の稼働確率 P_W と、予め入力された時間用基準確率 P_C を比較し、比較結果に従ってリレーの開閉命令を出す。

4.3.7 ソフトウェア実装のまとめ

4.3 節にて述べたソフトウェア実装について、実際に動作するアルゴリズムを図 4.11, 図 4.12, および図 4.13 にまとめた。

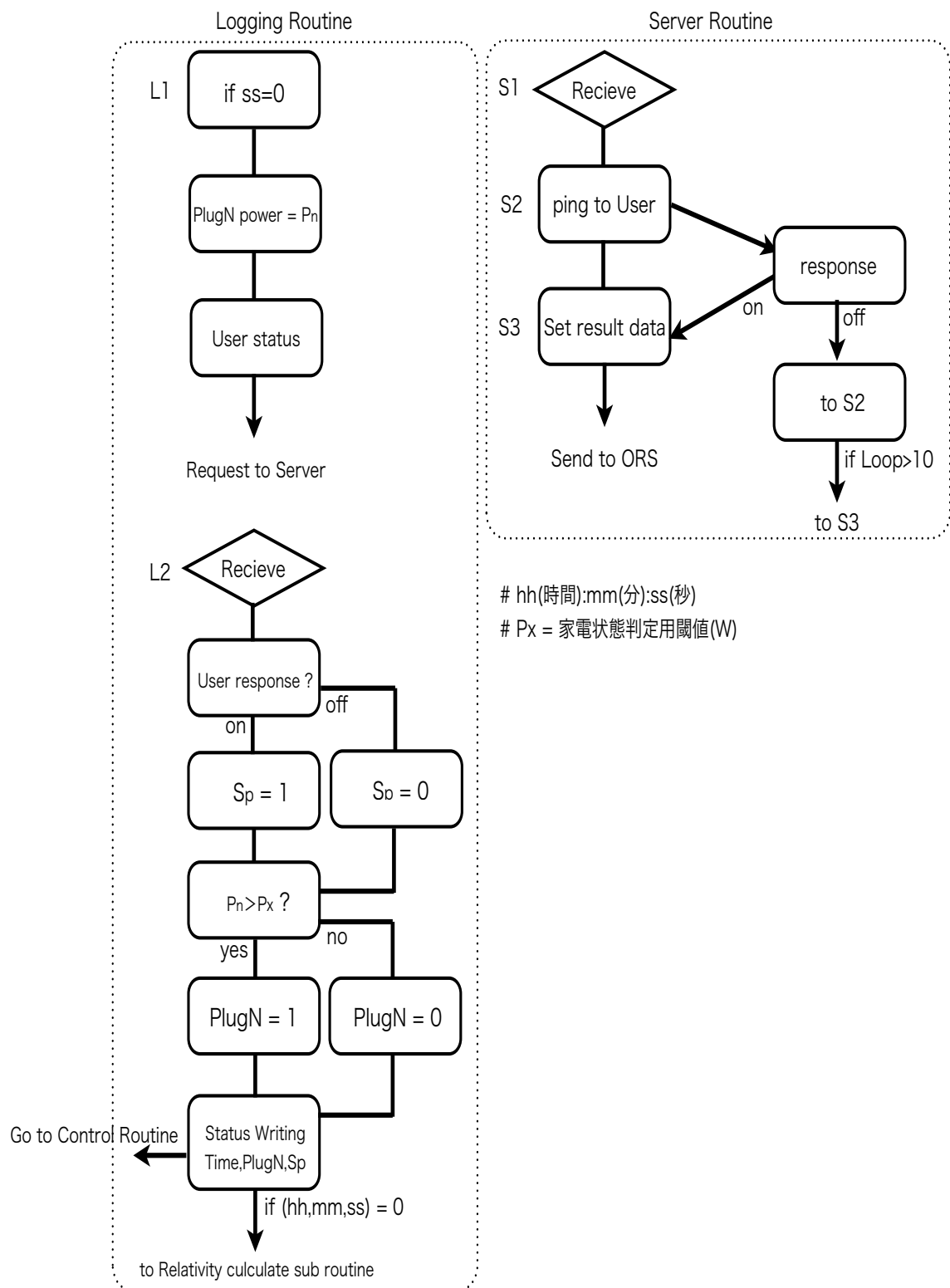


図 4.11: 動作アルゴリズム-1

Relativity Culculate Routine

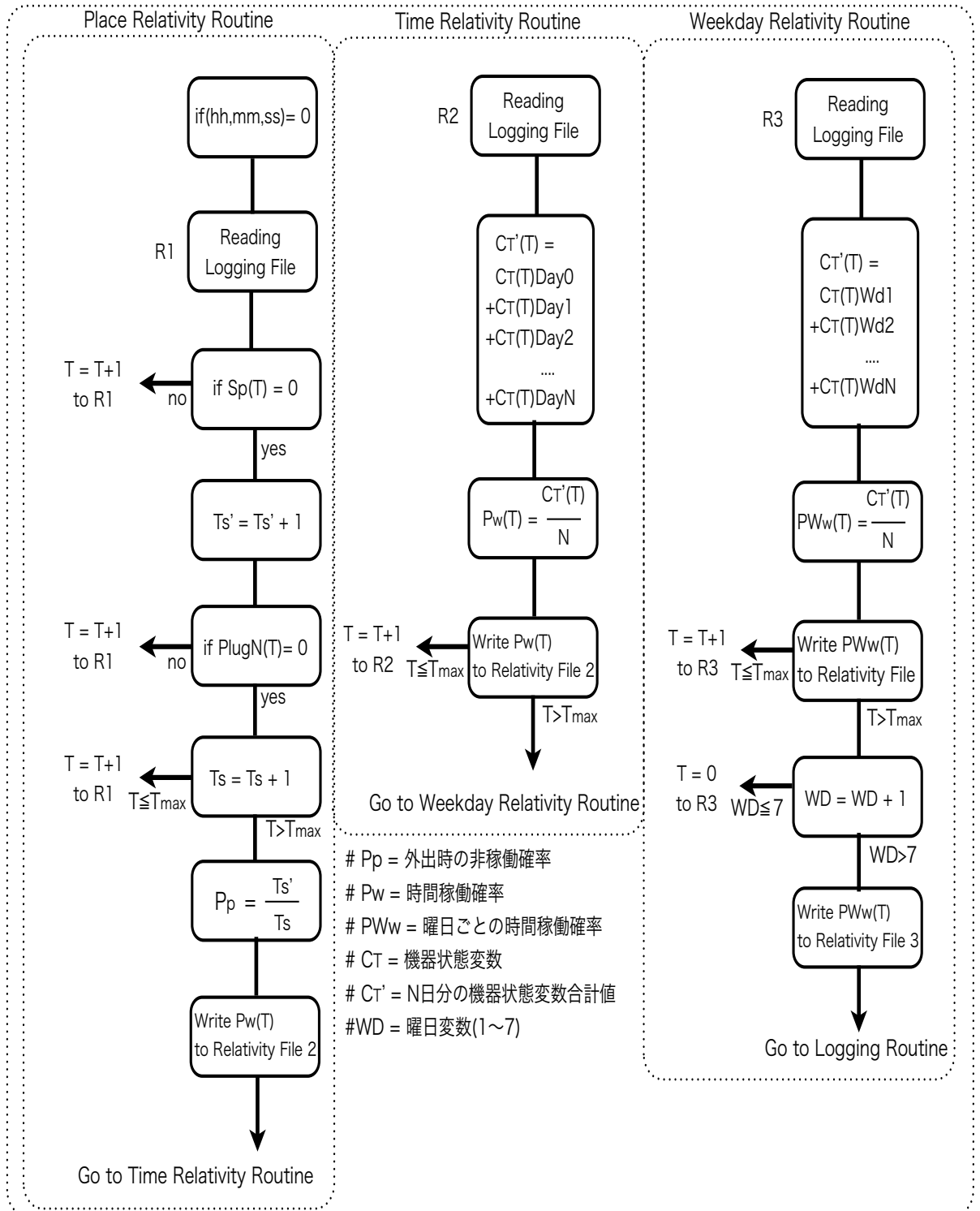


図 4.12: 動作アルゴリズム-2

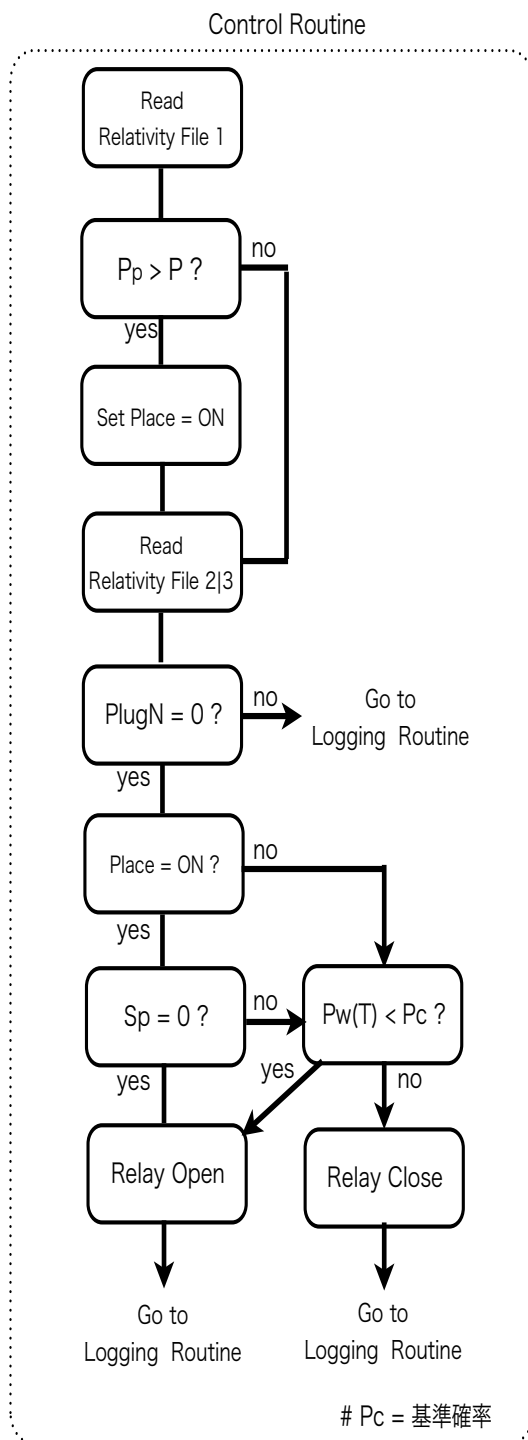


図 4.13: 動作アルゴリズム-3

第5章 実験と評価

本章では，実験方法ならびに評価についてまとめ，ORS の有用性を検討する．

5.1 実験概要

ORS の評価を行うために、まず ORS が有する機能がそれぞれ正確に動作するかを実証する。一つは、ロギング機能である。ロギング機能では、電力量の測定が行えること、ならびにロギングデータの蓄積がされることを確認する。二つめに、4.3.7 にて述べた学習アルゴリズムが正しく動作され、学習データが作成されるかを検証する。実験は11月27日(日)から12月7日(火)までの計11日間行った。

5.1.1 対象者および対象家電の選定

本論文では、成人男女2名が住む一般的な家庭で実験を行い、2名をそれぞれユーザ1ならびにユーザ2とした。また、実験対象とした家電機器についてはデジタルテレビ、PC用液晶モニタ、電子レンジとした。この3つの家電は、表5.1に示すように、ユーザ1ならびに2との関係性もバランスが取れており、さらに使用する機会も多い。また、デジタルテレビはにて述べた EPG 更新機能を搭載した自動制御家電である。対象機器の詳細を表5.2に示す。

表 5.1: ユーザと家電の関係性

家電名称	ユーザ1の使用頻度	ユーザ2の使用頻度	家電の分類
デジタルテレビ	中	中	自動制御
電子レンジ	低い	高い	非待機
液晶モニタ	高い	低い	非待機

表 5.2: 対象家電の詳細

家電名称	家電詳細
液晶モニタ	BenQ 24inch
電子レンジ	Panasonic
デジタルテレビ	HITACHI Wooo 42inch プラズマテレビ

5.2 実験結果

本節では、行った実験の目的、ならびに結果を述べる。

5.2.1 測定モジュールの動作確認

ORS における電力量変換モジュールおよびロギングモジュールが、電力量の状態やユーザの状態を測定できているかを確認し、さらにロギングデータの蓄積を行うために実験を行った。実験の結果、デジタルテレビ、電子レンジ、液晶モニタについて、11

日間の消費電力データが得られた。デジタルテレビにおけるある 1 日の消費電力の測定結果を、一例として図 5.1 に示す。

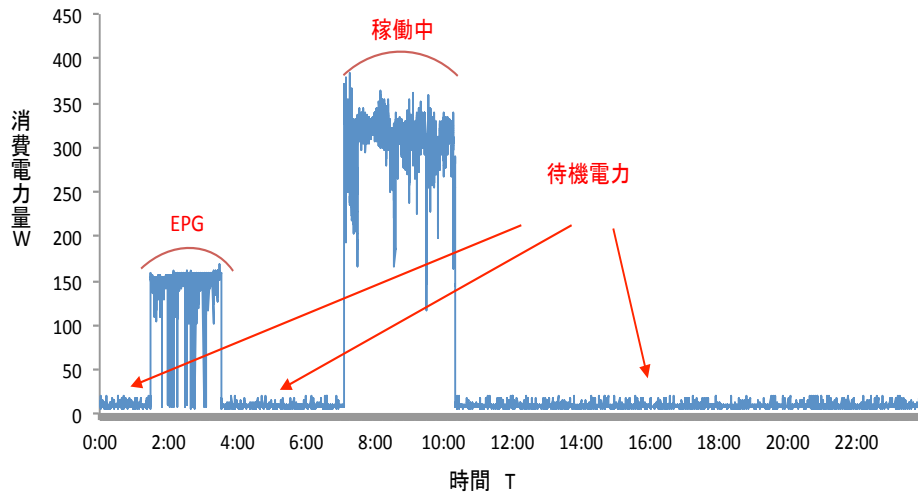


図 5.1: デジタルテレビの消費電力測定結果

グラフの x 軸は時間で、0:00 から 23:59 までである。y 軸は消費電力量で、単位は W である。この日は、デジタルテレビを朝 7 時から朝 10 時までの間約 3 時間のみ使用し、コンセントを抜かず、デジタルテレビの主電源ボタンにて電源の ON および OFF を行った。グラフから、待機電力、稼働電力の発生が取得できていることがわかる。また、ユーザ在宅状態を取得するためのサーバからユーザが持つ無線子機に対し、1 分間隔で 1 日間 Ping を行った結果、パケットロスが認められなかったことから動作は良好であると判断した。

5.2.2 時間と電力量の相関性 P_W の算出

11 日間の測定結果から、デジタルテレビ、電子レンジ、液晶モニタについて、各々の時間と電力量の相関性 P_W (=各時間における稼働確率) を算出した。算出方法は 4.5 節にて述べた式で行い、 N を 11 として相関性算出モジュールにて算出を行った。結果として、各機器の時間 T_L においてそれぞれ相関性 P_W が算出されていることが確認できた。

5.2.3 ユーザ在宅状態と電力量の相関性 P_P の算出

ユーザ在宅状態とそれぞれの機器の相関性を算出したところ、表 5.3 が得られた。表に示すパーセンテージが高ければ高いほど、ユーザが外出中に家電が待機状態である可能性が高いことを示す。

この結果より、位置学習における基準確率 P は 90 % と設定し、ユーザが外出した際の待機電力の削減効果について評価を行う。

表 5.3: ユーザと家電の関係性

	ユーザ 1 との相関性	ユーザ 2 との相関性
デジタルテレビ	58.45 %	89.07 %
電子レンジ	99.66 %	99.99 %
液晶モニタ	99.88 %	80.95 %

5.2.4 推察

初めに、デジタルテレビの 11 日分の消費電力量と稼働確率を図 5.2 に示す。グラフの x 軸は時間で 0:00～23:59 までであるが、y 軸は上下に別れており、上のグラフは 11 日分の消費電力量を全て同一のグラフに配置したもので、下のグラフはそのデータに基づき時間毎の稼働確率を算出したものである。従って、この稼働確率が 11 日分のデータを元にした時間：相関性の数値となる。グラフから、使用していない時間である午前 1 時から約 2 時間、稼働電力の約半分の電力量を消費していることが分かるが、電力量の測定を行った結果、デジタルテレビを主電源ボタンではなくリモコン操作によって電源の OFF を行うと、このような電力量を示すことが分かった。本論文ではこのような状態を「半待機状態」と呼ぶ。午前 1 時から約 2 時間は無操作であるため、自動的に半待機状態に移行したものと考えられ、移行原因として 3.1.1 節にて述べた EPG の更新によるものであると考えられる。EPG は自動制御であるため、いつ、どのくらいの頻度で自動制御が行われているかというパターンを見極める必要がある。

午前 1 時から約 2 時間において発生している半待機状態に注視すると、時間帯の稼働確率は約 35 % となっており、午前 0 時～午前 6 時の間の平均稼働確率は 9 % であるため、この時間帯では際立って高い稼働確率を示している事がわかる。ユーザが午後 1 時から約 2 時間のみ、何も視聴せずにリモコン制御で半自動状態にしたとは考えにくい。この時間帯はデジタルテレビによる自動制御であることが分かった。また電子レンジ、および液晶モニタについては非待機家電であるため、自動制御動作は無い。

5.3 評価概要

本節では評価方法について述べ、ORS が待機電力削減にもたらす効果について評価をまとめる。

各種アルゴリズムにおける待機電力削減率の評価

稼働している時間以外の全ての時間を待機電力発生時間とし、各種学習データの組み合わせによって、どの程度の待機電力の削減効果があるかを評価する。稼働時間以外の総時間総数を T_{sb} とし、待機電力の発生総時間数を D_{sb} とすると、待機電力の削減率 D_{per} は次の式により求めることができる。

$$D_{per} = \frac{T_{sb} - D_{sb}}{T_{sb}} \quad (5.1)$$

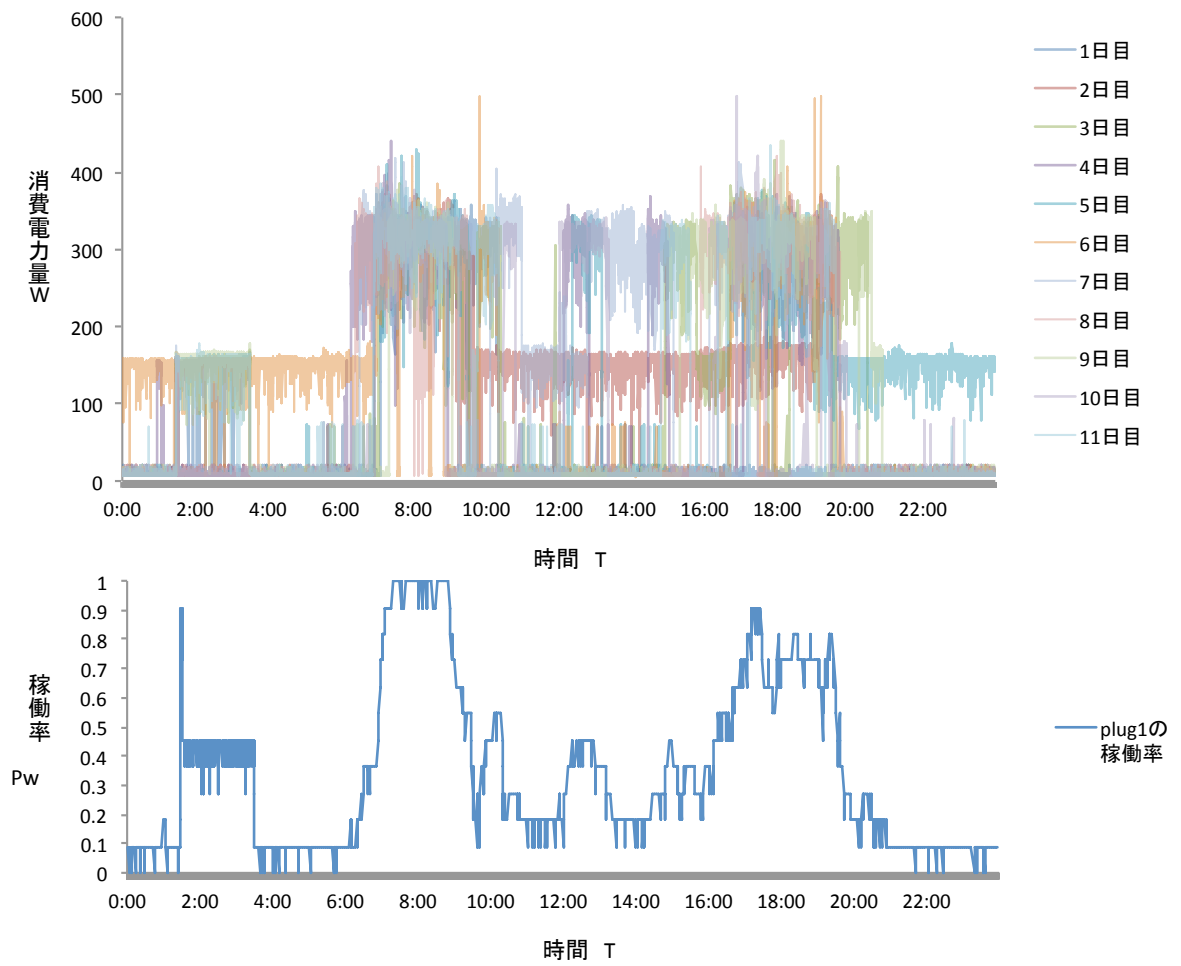


図 5.2: デジタルテレビの稼働確率と消費電力量

上記の式を用い、評価の指標となる削減率について相関性データを組み合わせ、さらに確率 P_P を変動させて行う。以下は、各種データを組み合わせた時の5つの評価項目である。

1. 時間学習データ ($P_P=30\%$) を使った場合の評価
2. 時間学習データ ($P_P=50\%$) を使った場合の評価
3. 時間学習データ ($P_P=70\%$) を使った場合の評価
4. 時間学習データ ($P_P=50\%$) + 位置学習データを使った場合の評価
5. 曜日学習データを使った場合の評価

1 から 3 については、時間学習における相関性データを、基準確率 P_P を変動させて行った場合の評価である。この3項目は、待機電力の削減率の他に、後述する FP/FN の発生個数についても評価を行う。4 については、時間学習データに加えてユーザ位置情報と電力量の相関性データを加味し、待機電力の削減率の評価を行った。5 は、5.2.4 節の考察に基づき、特定の時間に行なわれている自動制御を、本システムで検証ができるかを評価するために、同一の曜日についてのみ学習データを作成し、評価を行った。

FP および FN の評価

ORS が電力を遮断・または供給するにあたり、遮断しなければならないケースだが機器が稼働中で電力を遮断をすることができない状態を FP (False Positive) とし、逆に供給すべきケースであったため供給したが、ユーザによる機器の使用が行われず待機電力が発生している状態を FN (False Negative) とした。FP および FN の発生量を測定することで、システムの特有な動作特性を知ることができる。FP および FN の発生量については、1 分毎に蓄積されるロギングデータ D_L を基準として観測粒度を定め、FP または FN の条件に当てはまる場合、値を 1 増加させることで測定を行った。

Web システムの定性的評価

ORS を GUI から監視・操作ができるよう、Web ブラウザから閲覧できる Web システムを設け、ORF2010 にてアンケートによる定性的評価を行う。アンケートでは Web システムの分かりやすさについて問い、有効回答数のうちの程度の割合で分かりやすいと感じたかを評価する。図 5.3 は、ORF2010 にて使用した模擬的な ORS-GUI システムである。ORF2010 では位置情報の取得ができなかったため、GUI から直接的にユーザ位置状態を変更する仕様とした。

5.4 評価結果と考察

まず時間学習データを使った場合の評価について述べ、考察を行う。基準確率を変動させた場合の待機電力削減率の評価ならびに、FP および FN の発生個数の評価を行った。結果を図 5.4、図 5.5、図 5.6、図 5.7 にそれぞれ示す。

図 5.4 から、基準確率 P_P を上昇させることで、待機電力の削減率は向上することが分かった。しかしその反面、基準確率があがることで FP の発生個数が増加していることが、図 5.5 から図 5.7 までの3つの図から分かる。これはすなわち、基準確率が上がったことで電力供給を遮断させるケースが増え、待機電力の発生率はその分低くなるが、ユーザが家電を使用するために電力供給の手動スイッチを押す機会が多く発



図 5.3: ORS-GUI 模擬システム

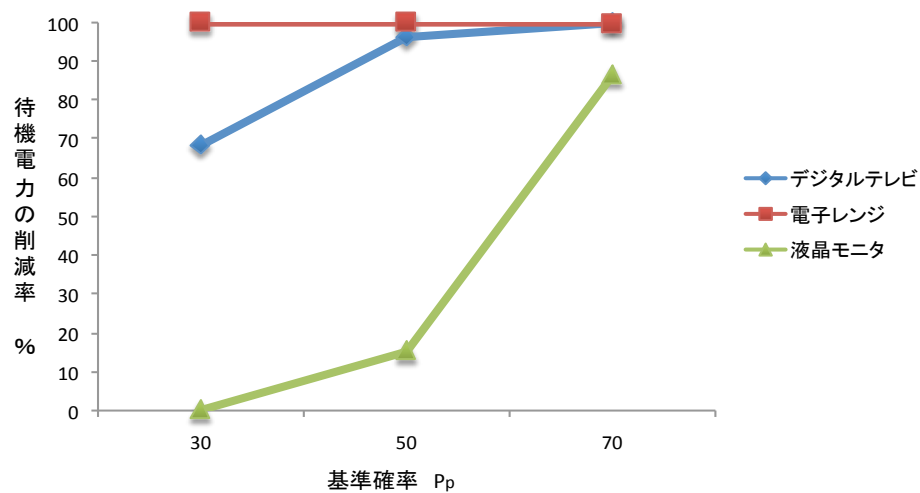


図 5.4: 基準確率を変動させたときの削減率の推移

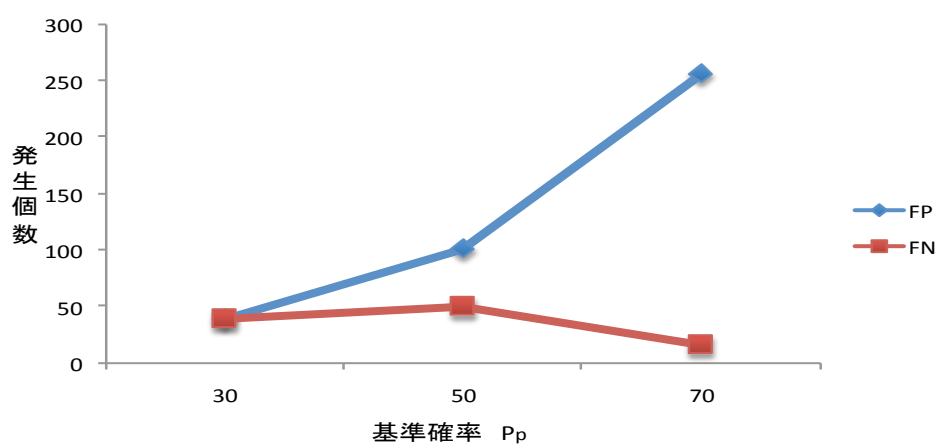


図 5.5: デジタルテレビの FP および FN

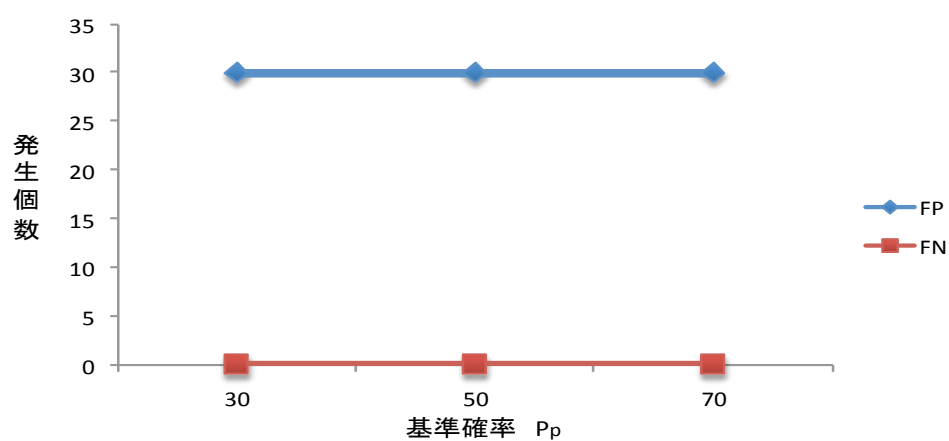


図 5.6: 電子レンジの FP および FN

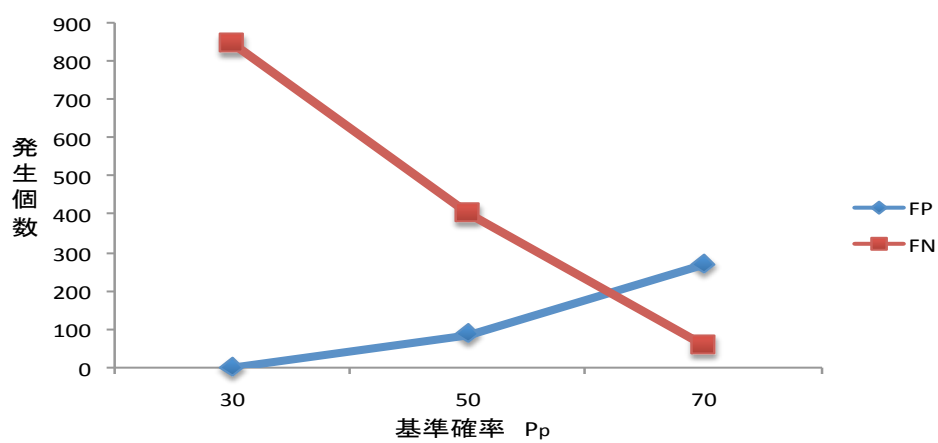


図 5.7: 液晶モニタの FP および FN

生することを示す。しかしこの結果から、FP と FN，ならびに待機電力削減率という 3 つのデータを取得することで、適切な基準確率を自動的に算出することができると考えられる。

次に、時間学習データ+位置学習データを用いた場合の待機電力削減効果の評価結果を図 5.8 にまとめた。なお、比較対象として基準確率が同一な時間学習のみの削減率についても図 5.8 に取り入れた。

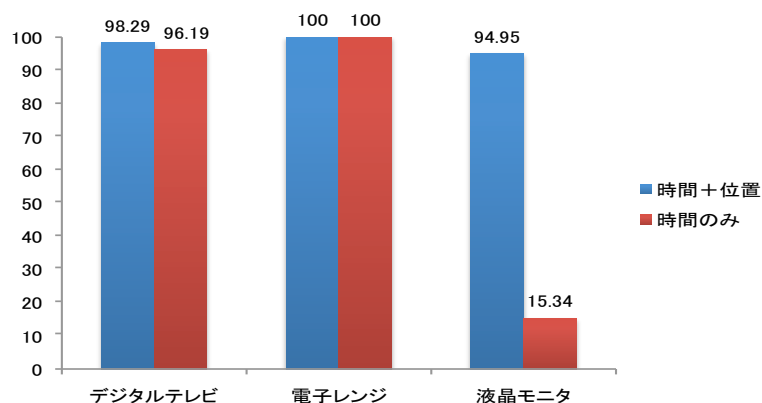


図 5.8: ユーザ位置学習データの効果

図 5.8 から分かるように、時間学習データとユーザ位置学習データを組み合わせることで、より高い待機電力の削減効果が得られた。

最後に、曜日学習データ+時間学習データ+位置学習データについて評価結果を示す。本評価項目については、決まった曜日の特定の時間の自動制御イベントを検出するために行う評価であるため、デジタルテレビについてのみ測定を行った。結果をグラフ 5.9 に示す。

11 日間のうち、曜日が同じものは 2 日のみであった。そのため、曜日ごとの時間学習データの基準となる日数が少なかったため、待機電力の削減率自体は低くなっている。しかし、自動制御が行なわれる時間の特定はできており、単一の時間学習データのみで制御を行うよりも、曜日学習データを用いた方が特定の曜日の決められた時間に動作する制御を確実に検出できることが分かった。

最後に、ORS-GUI 模擬システムの定性的評価について、行ったアンケートの結果を図 5.10 に示す。アンケートでは、ORS-GUI の表示方法について分かりやすい・どちらとも言えない・分かりにくいの 3 段階で、実際に操作を行ってもらった上でアンケートを実施した。結果的に 53 % の人が分かりやすいと感じ、過半数を占めていることから、ORS-GUI の表示方法については大きな問題は無いと言える。しかし、決して高い数値であるとは言えないため、さらなる改善が必要である。

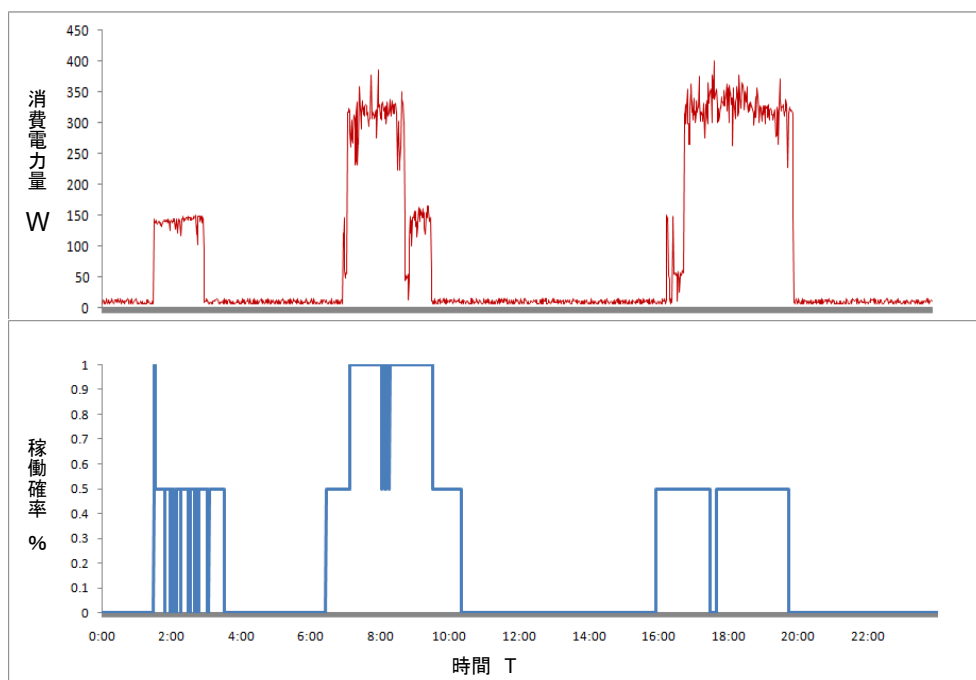


図 5.9: 曜日学習データと時間学習データを反映させた時の稼働確率および消費電力量

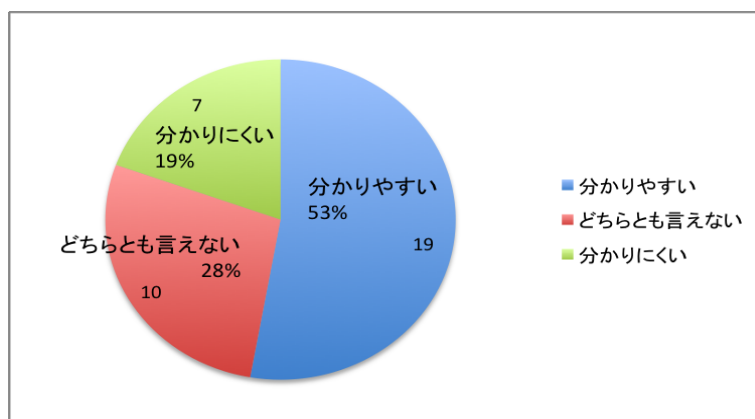


図 5.10: ORS-GUI 模擬システムの定性的評価

第6章 今後の課題とまとめ

本章では，評価の結果から結論を述べ，後半に今後の課題について述べる．また，最後に本論文のまとめを行う．

6.1 今後の課題

今後の課題として、以下の課題が挙げられる。

タコ足配線への対応

ORSに限らず全ての電力計測機器における重大な課題は、タコ足配線への対応である。測定側、つまり電源側から見ると電力のインタフェースは一つであるのに対し、使用側は複数の、しかもその先にさらに連続してタコ足配線を接続し、分岐させることが可能である。そのため、どの家電がどのような稼動状態であるかの判断がつかなくなり、制御を正確に実施することができなくなってしまう。Jon Froehlich らが行った研究では、家庭で使用する水量について、一つの計測ポイントから家庭内の全ての箇所の使用量をセンシングしている [25]。この研究を電気工学の分野へ応用することで、一つの計測ポイントから複数の家電の電力量を個別に計測することが可能になると考えられる。しかしこの場合、解析手法やデータ量が増加することにより高度な処理を必要とされ、高性能なデバイスを使用する必要性が高まる。そのため、ORS そのもののハードウェア単価が上がってしまうことが懸念される。

省コスト、省スペース化

現在の ORS は、まだコスト面およびデバイスそのものの大きさに課題が残っている。家庭のコンセントに接続するデバイスであるため、今よりもさらに安価で、省スペース化を図る必要がある。今後はブレッドボードではなくプリント基板上で実装するなどして、省コスト、省スペース化を図る。

ORS を複数導入したときの挙動

本論文における評価は、あくまで1つの ORS と3つの機器のみで得られた結果であるため、今後は ORS が複数台になり、監視制御する機器が増えた際のシステム全体の挙動についても実験、および評価を行う必要がある。本論文では家電を移動させないことを条件として実験を行ったが、コンセントを入れ替えて家電を使用するケースも十分に考えられる。そのため、ORS を複数台導入し管理する家電の量が増加した時、家電が移動することにより学習データに誤ったデータが入ってしまう。家電を移動した際に学習データを正常に保つためには家電認識技術などが最も有効であると考えられるが、家電認識技術における家電認識の正答率によっては、誤ったデータが混入してしまう可能性も考えられる。さらに複数の ORS を同時に稼働した場合は zigbee における 2.4GHz 帯の電波干渉が考えられ、チャンネルを分割するなどの対策が必要である。

6.2 本論文のまとめ

本論文では、家庭における家電の待機電力削減を実現するコンセント「ORS」を設計、開発し、評価を行った。ORS では、自動的に学習データを構築し、ユーザが家電を使用するパターンに合わせて電力制御を行う特徴がある。これにより待機電力削減における既存の問題であった「手動制御の煩わしさ」への対応や、定期的に自動制御を行う家電への動作保証を実現した。実際に ORS のシステムを評価した結果、90 % 以上の削減率を実現することができた。また自動制御を行う家電への動作保証についても、自動制御時間を正確に検出できていることから対応を実現させた。これらの評価結果から、ORS が待機電力の効果的な削減に大きく貢献できることが分かった。しか

し「手動制御の煩わしさ」については、FPが発生していること、すなわちユーザが使用するタイミングで電力が供給されておらず、手動スイッチにて強制的に電力供給を行った機会の存在を示しているため改善が必要である。また、本研究の今後の課題、および関連研究について述べ、待機電力を削減するためのシステムは検討すべき事項が山積していることが分かった。

謝辞

本研究を進めるにあたり、御指導を賜りました、慶應義塾大学環境情報学部 教授 徳田 英幸博士に深く感謝致します。また、貴重な御助言を頂きました慶應義塾大学環境情報学部 准教授 高汐 一紀博士、慶應義塾大学環境情報学部 専任講師 中澤 仁博士、慶應義塾大学環境情報学部 特別研究助教 間 博人博士、慶應義塾大学環境情報学部 特別研究助教 米澤 拓郎博士に感謝致します。

また、研究方針、論文執筆について大変多くの御助言を頂きました、斉藤 匡人氏、森 雅智氏、金澤 貴俊氏、本多 倫夫氏と、様々な御指導をいただいた米川 賢治氏、野沢 高弘氏、唐津 豊氏、井村 和博氏をはじめとした先輩方、徳田・村井・楠本・中村・高汐・重近・バンミーター・植原・三次・中澤・武田合同研究プロジェクト の皆様には、いつもあたたかくご指導ご鞭撻を賜り、深く御礼申し上げます。

さらに、多くの時間を共に過ごした、星 北斗氏、蛭田 慎也氏、Dao Thanh Chung 氏、加藤碧氏、瀧本拓也氏、望月剣氏をはじめとする慶應義塾大学徳田・高汐・中澤研究室 ECN 研究グループの諸氏に心から感謝致します。

最後に、いつも私を大切に想い、支え励まし続けてくれた家族に深謝と敬愛を表し、謝辞と致します。

2011 年 2 月 14 日

天野 賢二

参考文献

- [1] Google. “GooglePowerMeter”. <http://www.google.com/powermeter/about/ndex.html> , (参照 2011-01-18).
- [2] FA Ubon. “エコサポート住宅用分電盤”. http://fa-ubon.jp/tech/002_bell51_06-09.html , (参照 2011-01-19).
- [3] エネゲート. “エコワット (T3T-R2) ” . <http://www.enegate.co.jp/products/eco/eco01.html> , (参照 2011-01-19).
- [4] PGE. ”Smart Meter”. <http://www.pge.com/smartmeter/> , (参照 2011-01-18).
- [5] U.S.Department of Energy. “ Smart Grid: An Introduction ” . [http://www.oe.energy.gov/DocumentsandMedia/DOE_SG_Book_Single_Pages\(1\).pdf](http://www.oe.energy.gov/DocumentsandMedia/DOE_SG_Book_Single_Pages(1).pdf) , (参照 2011-01-18).
- [6] Sarah Darby: “The efectiveness of feedback on energy consumption”, *Oxford Univ*(2006)
- [7] ECCJ 省エネルギーセンター, 平成 20 年度待機時消費電力調査報告書, <http://www.eccj.or.jp/standby/08/index.html> , (参照 2011-01-18).
- [8] I-O DATA. “EPG”. <http://www.iodata.jp/products/video/enjoytv/epg.htm> , (参照 2011-01-18).
- [9] HD-PLC アライアンス. “Power Line Communication”. <http://www.hd-plc.org>, (参照 2011-01-18).
- [10] 松下電工, 東京電力. “幹線パワナビシステム”. <<http://www.tepco.co.jp/cc/press/07012301-j.html> > , 2007 年 1 月 23 日付東京電力プレスリリース, (参照 2011-01-18).
- [11] 日本システム評価研究所. “ HEMS: Home Energy Management System ” . <http://www.nsk-network.co.jp/K100330.html> , (参照 2011-01-18).
- [12] 明山寛史, 川村尚生, 菅原一孔, 斎藤剛史, 小西亮介: “多機能コンセントのスケジュールリング機能による待機電力の削減”. FIT2009, 情報科学技術フォーラム論文集, pp173-179(2009)
- [13] Microsoft. ”RFID” .<<http://www.microsoft.com/japan/business/rfid/about/default.msp>>, (参照 2011-01-18).
- [14] 加藤丈和, HyunSang Cho, Dongwook Lee, 豊村鉄男, 山崎達也: “情報・エネルギー統合ネットワークのための電力センシング情報からの家電認識とその応用”. USN2008, 信学技報, pp133-138(2009)

- [15] S.N.Patel, T.Tobertson, J.A.Kientz, M.S.Reynolds, G.D.Abowd: “At the flick of a switch:Detecting and classifying unique electrical events on the residential power line”, *UbiComp* 2007. LNCS 4717. pp271-288(2007)
- [16] 天野賢二, 森雅智, 間博士, 齊藤匡人, 金澤貴俊, 徳田英幸: ”学習アルゴリズムを用いたコンセントによる待機電力の削減”, FIT2010, 情報科学技術フォーラム論文集, pp200-207(2010).
- [17] 慶應義塾大学湘南藤沢キャンパス. ”Open Research Forum 2010”. <<http://orf.sfc.keio.ac.jp/project/project.php?id=D11>> , (参照 2011-01-18).
- [18] Arduino. ”Arduino”. <<http://www.arduino.cc/>> , (参照 2011-01-18).
- [19] Gumstix. “Overo Earth”. <<http://www.gumstix.com/>> , (参照 2011-01-18).
- [20] Apple. ”iPhone3GS”. <<http://apple.com>> , (参照 2011-01-18).
- [21] UR-D. “CTL-6-V-Z”. <<http://www.u-rd.com/products/CTL-6-V-Z.html>> , (参照 2011-01-18).
- [22] Digi International. ”XBee XBee Pro ZB” <http://www.digi-intl.co.jp/digi/wireless/files/BR_sbee_ZB.pdf> , (参照 2011-01-18).
- [23] IEEE. “IEEE 802.11 WLAN”. <<http://www.ieee802.org/11/>> , (参照 2011-01-18).
- [24] Zigbee Alliance. ”Zigbee”. <<http://www.zigbee.org/>> , (参照 2011-01-18).
- [25] J.Froehlich, E.Larson, T.Campbell, C.Haggerty, J.Fogarty, S.N.Patel: “ HydroSense: Infrastructure-Mediated Single-Point Sensing of Whole-Home Water Activity”.*UbiComp* 2009.