

Title	スマートホームにおける異種サービス間連携システムに関する研究
Author(s)	中西, 優介
Citation	
Issue Date	2018-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	http://hdl.handle.net/10119/15190
Rights	
Description	Supervisor:丹 康雄, 先端科学技術研究科, 修士(情報科学)

修士論文

スマートホームにおける異種サービス間
連携システムに関する研究

1610136

中西 優介

主指導教員	丹 康雄 教授
審査委員主査	丹 康雄 教授
審査委員	篠田 陽一 教授
審査委員	リム 勇仁 准教授
審査委員	知念 賢一 特任准教授

北陸先端科学技術大学院大学

先端科学技術研究科 [情報科学]

平成 30 年 2 月

概 要

近年、あらゆるデバイスのネットワーク化が進み、センサデバイスの小型化や無線化によってスマートホームが広く認知されるようになった。また、エネルギー問題に対し ICT 技術を用いる動きが盛んになり、家庭内におけるエネルギーマネジメント技術である HEMS(Home Energy Management System) への期待が高まっている。加えて同時にセンサデバイスの発展により、宅内快適性を向上させるサービスに対する期待も高まっている。これらを実現するシステムの研究開発は古くから行われてきたが、そのほとんどは単一あるいは最初に設定したサービスのみを実現するものであった。これは、それぞれのサービスの目的は必ずしも相容れるものではなく、相反する場合も少なくないためである。そこで本研究では、スマートホームにおいてエネルギー利用効率化と快適性を同時に満たす、エンジンコージェネレーションシステムの運転予測の実現を目的とする。複数のサービスを稼働させた場合どのような状況となるかシミュレータを活用して随時予測することにより、機器の最適な動作を実現する。家庭内の状況は機器の状態や物理量のみならず、住んでいる人間の感覚や意向によって変化するため、人間行動も含めたシミュレーションを行なうことにより機器の運転を最適化を行う。

本研究では、エンジンコージェネレーションシステムの適切な運転予測の為、エネルギー利用効率化と温熱環境それぞれを条件とし、エネルギーに対してモデル化を行った。エネルギー利用効率化では、京都議定書で新エネルギー対策として促進が施策として挙げられたエンジンコージェネレーションシステムの最適運転問題に対して検討を行った。通常、家庭用エンジンコージェネレーションシステムは商用のシステムとは異なりエネルギー需要予測が難しいとされている。これは家庭におけるエネルギー需要は、居住者の行動に左右されやすいからである。居住者の生活パターンが同一ではなく、1分以下の短い時間で需要が変化するのも問題である。通常、家庭用コージェネレーションシステムでは運用計画時に予測したスケジュールの熱需要に合わせてコージェネレーションの運転時間を決めているが、エネルギー需要は曜日によっても大きく異なり、同一曜日においてもスケジュールが異なると需要が変動し問題となってしまう。また、本システムで出力された熱はお湯として貯湯槽に蓄えることができるが、電力を蓄電することはできないため家庭内で使用される。仮に家庭内で使われなければ電気ヒーターとして熱として回収されるが、総合効率が低下する為発電された電力は家庭内において消費されるのが望ましい。これらの問題や条件について、それぞれをエネルギーに対してモデル化を行った。

次に、温熱環境における快適性では、快適性指標である PMV(Predicted Mean Vote : 予想平均冷温感申告)について実装を行った。宅内における快適性とは、具体的には音環境・光環境・温熱環境などである。音環境では騒音などに代表されるような静けさが重要な指標であり、光環境では物がしっかり見えながら安全を保つ必要がある。ここでの安全とは視覚に入ってくる光刺激に関して異常反応を示す光過敏性発作等を起こさないことである。また温熱環境とは蒸暑や寒冷、室内気流など様々な要素からなる。その中でも取り

分け人体への影響が大きい温熱環境に焦点を当てる。温熱環境における快適性とは、宅内において暑くもなく寒くもなく熱的な不快さを感じないことである。また、快適性は人によって感じ方が異なる為、許容できる温熱環境は居住者の80%以上の人が許容できる環境のことと定義されている。さらに温熱環境では内壁の材質の違いによる温度の違い、さらには居住者の行動や衣服、年齢性別など様々な条件によっても変化する。このように人体の体温調節に影響を及ぼす要素を「温熱環境要素」と定められており、その中でも人体に影響を及ぼす活動量、着衣量さらに環境側において影響を及ぼす空気温度、放射温度、湿度、気流の合計6要素である。この6要素を定量的に扱うことのできる温熱指標がPMVである。

今回対象としているコージェネレーションシステムはエネルギー効率より熱需要のみを考慮してコージェネレーションシステムの運転時間を決めている。しかしながら、快適性を十分に満たそうとするとエアコン等の温熱機器の動作が必須であり、そのような温熱機器は電力を多く消費してしまう。このような場合において電力需要の為にコージェネレーションシステムを動作させると全体としてのコストは上昇してしまう。そこで、電力需要と快適性の関係を調べるため快適性の指標であるPMVについて、快適であるとされている ± 0.5 、さらに ± 1.0 、 ± 1.5 の3段階を目標PMV値として定めた。これにより、目標PMV値の違いによる1日の消費電力の差を明らかにした。これにより異なる目的を持った異種サービス間の連携へと寄与できると考える。

In recent years, all kinds of devices have been networked, smart homes have been widely recognized by miniaturization of sensor devices and wirelessness. In addition, the movement to use ICT technology to deal with energy problems has become more active, and the expectation for HEMS (Home Energy Management System) which is energy management technology in the home is increasing. In addition, at the same time, the development of sensor devices has increased expectations for services that improve in-house comfort. Research and development of systems to realize these have been done for a long time, but most of them have realized only a single or first set service. This is because the purpose of each service is not always compatible and often conflicting. Therefore, in this research, we aim to realize operation prediction of engine cogeneration system that simultaneously satisfies energy efficiency and comfort at smart home. What kind of situations will occur when multiple services are activated Implement optimum operation of equipment by making predictions by utilizing a simulator at any time. Since the situation in the house changes not only with the state and physical quantity of the equipment but also the sense and intention of the living person, we optimize the operation of equipment by conducting simulation including human behavior.

In this study, we modelled energy use efficiency and thermal environment to predict appropriate operation of engine cogeneration system. For energy efficiency improvement, we examined the optimal operation problem of the engine cogeneration system, which was cited as a measure for promotion as a new energy countermeasure in the Kyoto Protocol. Generally, household engine cogeneration systems are said to be difficult to forecast energy demand unlike commercial systems. This is because household energy demand is easily influenced by residents' behavior. Residents' lifestyle patterns are not the same, it is also a problem that demand changes in a short time of 1 minute or less. Normally, in domestic cogeneration systems, cogeneration operation time is decided according to the heat demand of the schedule predicted at the time of operation planning, but energy demand also differs greatly depending on the days of the week, and when the schedule is different even on the same day, It will fluctuate and become a problem. In addition, although the heat outputted by this system can be stored as hot water in the hot water tank, it can not be used to store electric power, so it is used in the home. If it is not used in the home, it will be recovered as heat as an electric heater, but because the overall efficiency will decline, the generated electricity should be consumed in the household. We modelled each of these problems and conditions against energy.

Next, in comfort modelling in a thermal environment, we modelled PMV (Predicted Mean Vote: predictive average cool temperature feeling declaration) which is a comfort index. The comfort in the house is concretely a sound environment, a light environment, a thermal environment, and the like. In the sound environment, quietness as typified by noise etc. is an important index, and in the light environment it is necessary to keep

safety while keeping things clearly visible. Safety here is not to cause light hypersensitivity seizures or the like which show an abnormal reaction with respect to light stimulation coming into the eye. In addition, the thermal environment consists of various factors such as heat, cold, indoor air current. Among them, we will focus on the thermal environment where the influence on the human body is large. The comfort in the thermal environment is that it is not hot and cold in the house and it does not feel thermal discomfort. Also, since comfortable feeling varies depending on the person, an acceptable thermal environment is defined as an environment that can be tolerated by people of 80% or more of the resident. In addition, in the thermal environment, it varies depending on the difference in temperature due to the material of the inner wall, as well as various conditions such as behavior of residents and clothes, age gender. As described above, elements that affect the temperature regulation of the human body are defined as "thermal environmental elements", among which the activity amount affecting the human body, the clothing amount, the air temperature, the radiation temperature, and the humidity, Airflow total of six elements. PMV is a thermal indicator that can quantitatively handle these six elements.

The cogeneration system targeted this time determines the operation time of the cogeneration system by considering only the heat demand rather than the energy efficiency. However, in order to sufficiently satisfy the comfort, the operation of a thermal device such as an air conditioner is indispensable, and such a thermal device consumes a lot of electric power. In such a case, if the cogeneration system is operated for power demand, the overall cost will rise. Therefore, in order to investigate the relationship between electricity demand and comfort, three levels of ± 0.5 , further ± 1.0 , ± 1.5 , which are considered to be comfortable for PMV, which is an index of comfort, were set as target PMV values. As a result, the difference in the power consumption per day due to the difference in the target PMV value was clarified. We believe that this will contribute to collaboration among heterogeneous services with different purposes.

目次

第1章	はじめに	1
1.1	研究背景	1
1.2	研究目的	1
1.3	関連研究	1
1.3.1	ホームネットワークサービス及びそのシステムの実証検証に関する研究	2
1.3.2	エンジンコージェネレーションを導入した家庭内エネルギーマネジメントシステムに関する研究	2
1.3.3	スマートハウスシミュレーションにおける諸要素とのインタラクションを考慮した人間行動シミュレータ	2
1.3.4	家庭用 1kw ガスエンジンコージェネレーションシステムの開発	3
1.3.5	住宅における温熱快適性の評価	3
1.3.6	数理最適化によるコージェネレーションシステムの設計と運用に関する研究	3
1.4	本論文の構成	3
第2章	エネルギー利用効率化	5
2.1	社会背景	5
2.2	エンジンコージェネレーションシステムの概要	5
2.3	エンジンコージェネレーションシステム製品	6
2.4	エンジンコージェネレーションシステムの運用問題	7
第3章	宅内快適性	10
3.1	快適性とは	10
3.2	温熱環境の快適性	10
3.3	温熱快適性の評価方法	12
3.4	PMV	13
第4章	ホームシミュレータ	15
4.1	iHouse	15
4.2	住宅のシミュレーション	15
4.3	人間行動シミュレータ	16

4.3.1	行動	16
4.3.2	行動の分類	17
4.3.3	静的な行動	18
4.3.4	動的な行動生成手順	20
第 5 章	最適化手法	29
5.1	本サービスにおけるエネルギーの関係性	29
5.2	エンジンコージェネレーションシステムのモデル化	30
5.3	コージェネレーションシステムの評価関数	31
5.4	コージェネレーション運転の提案	32
第 6 章	結果・考察	33
6.1	結果と考察	33
第 7 章	まとめ	37

図 目 次

2.1	エンジンコージェネレーションシステム概要図	6
2.2	曜日毎の熱需要例	9
3.1	温熱環境要素	11
3.2	PMV と PPD の関係	14
4.1	コマンドレベル行動 (ACTIN)	22
4.2	コマンドレベル行動 (MOVETO)	22
4.3	コマンドレベル行動 (OP)	23
5.1	本サービスの概要図	30
5.2	コージェネレーションシステムのモデル図	31
6.1	同スケジュールにおける PMV 値の変化	34
6.2	対象スケジュール	35

表 目 次

2.1 エンジンコージェネレーションシステム仕様 [11]	8
3.1 様々な活動と met 値	11
3.2 代表的な衣服と clo 値	12
3.3 PMV 値と温冷間スケール	13
6.1 目標 PMV 値の違いによる消費電力の違い	36

第1章 はじめに

本章では研究背景と研究目的，本論文の構成を示す．

1.1 研究背景

近年，あらゆるデバイスのネットワーク化が進み，センサデバイスの小型化や無線化によってスマートホームが広く認知されるようになった．また，エネルギー問題に対し ICT 技術を用いる動きが盛んになり，家庭内におけるエネルギーマネジメント技術である HEMS(Home Energy Management System) への期待が高まっている．加えて同時にセンサデバイスの発展により，安全性・快適性を向上させるサービスに対する期待も高まっている．これらを実現するシステムの研究開発は古くから行われてきたが，そのほとんどは単一あるいは最初に設定したサービスのみを実現するものであった．これは，それぞれのサービスの目的は必ずしも相容れるものではなく，相反する場合も少なくないためである．今後，多数の異なるサービスを必要に応じて柔軟に実行できるようにするためには，異なる目的を同時に両立させるためのしくみが求められる．

1.2 研究目的

本研究は，スマートホームにおいてエネルギー利用効率化と快適性を同時に満たし，安全性を担保することのできるシステムの実現を目的とする．複数のサービスを稼働させた場合どのような状況となるかシミュレータを活用して随時予測することにより，機器の最適な動作を実現する．家庭内の状況は機器の状態や物理量のみならず，住んでいる人間の感覚や意向によって変化するため，人間行動も含めたシミュレーションを行なうことにより機器の運転を最適化する．

1.3 関連研究

本研究に関連がある研究について述べる．

1.3.1 ホームネットワークサービス及びそのシステムの実証検証に関する研究

北陸先端科学技術大学院大学の岡田ら [1] により，次世代のホームネットワークの実現するために，新しいシステムの有効性や信頼性を評価するためのホームシミュレータが提案・実装された．ホームネットワークの要素を実験住宅によるシステム構築の知見をもとに，住宅，家電，環境，電力，人間の5つの要素に切り分け、各要素噛んで相互作用し，独立性を高めることで個々の様相の状態を変化させることができる．これにより，実世界のセンシングデータを取り入れた複雑なシステムの再現を可能としている．シミュレーションの制度に対し，大規模な世帯への対応，実世界との連携，制度の異なるシミュレーションの組み合わせ，マクロモデルについて議論しており，家電，環境，電力，人間が相互作用する住宅の様々なサービス、シミュレーションに関する知見を得た．

1.3.2 エンジンコジェネレーションを導入した家庭内エネルギーマネジメントシステムに関する研究

北陸先端科学技術大学院大学の金子 [2] により，創エネ機器であるエンジンコジェネレーションシステムのモデル化を行い，住宅シミュレータにエンジンコジェネレーションを導入し，エンジンコジェネレーションの運転開始時刻，終了時刻などのパラメータを切り替えながらどのような運転時間が適しているかが検証された．電力および温水の生成をどのように行えば良いかを，住人の生活パターンシミュレーションまで踏み込んで評価し，最適な運転の実現が可能となる．本研究の結果として，人間の生活パターンが本シミュレータと同一の行動であるかまたは，標準家庭における生活パターンに対して，熱を余すことなく運転制御が可能である．

1.3.3 スマートハウスシミュレーションにおける諸要素とのインタラクションを考慮した人間行動シミュレータ

北陸先端科学技術大学院大学の岡村 [3] により，スマートハウスシミュレーションにおける諸要素とのインタラクションを考慮した人間行動シミュレータの提案された．人間行動シミュレータが温熱環境シミュレータ，電力シミュレータなどの他のシミュレータおよび実験住宅などの実世界と家電状態，温湿度などの情報を送受信し、相互作用し合うことで高度な人間行動を生成する．人間行動シミュレータにおけるユーザの行動情報のやりとりを行う形式を定めてある．

1.3.4 家庭用 1kw ガスエンジンコージェネレーションシステムの開発

家庭用 1kw ガスエンジンコージェネレーションシステムの開発 [4] に関する研究は家庭用ガスエンジンコージェネレーションにおけるシステムの全体の特徴や運転制御について述べられている。平成 12 年度からガスエンジンコージェネレーションのフィールドテストがスタートし、排熱を有効利用した試験を行い評価している。消費電力、風呂・給湯負荷、床暖房負荷、発電電力量、購入電気量、使用ガス量等を計測して、それぞれの物件における最適自動運転の検証されている。結果として、1 日における運転例が述べており、ガスエンジンコージェネレーションの最適な運転時刻も述べられている。

1.3.5 住宅における温熱快適性の評価

お茶の水女子大学の田辺 [5] により住宅における人体の熱的快適性の評価に関して述べられている。温熱環境に影響を及ぼす 6 要素 (着衣量・代謝量・空気温度・放射温度・気流・湿度) で人体の熱的中立温度の予測についてまとめられており、中立予測では不十分な点などについても述べられている。

1.3.6 数値最適化によるコージェネレーションシステムの設計と運用に関する研究

田中 [6] によって CO_2 削減や省エネルギーに役立つものとして注目されているコージェネレーションシステムの設計問題、運用問題に対して数値計画法を適用する手法が提案された。家庭用、商業用ともに、コージェネレーションシステムについてモデル化が行われ、問題を定式化し混合整数設計問題への帰着を行い汎用ソルバを用いて解が導出され、コージェネレーションシステムの効率向上が図られることが示された。

1.4 本論文の構成

本論文は以下の構成となっている。

- 第 1 章
 - － 研究の背景と目的、本論文の構成を示す。
- 第 2 章
 - － エネルギー利用効率化について示す。
- 第 3 章

- － 宅内における快適性について示す.
- 第4章
 - － ホームシミュレータについて示す.
- 第5章
 - － 最適化手法について示す.
- 第6章
 - － 実装及び結果について示す.
- 第7章
 - － 本論文におけるまとめを示す.

第2章 エネルギー利用効率化

本章はスマートホームにおけるエネルギー利用効率化について示す。その中でも、エンジンコージェネレーションを導入した家庭エネルギーマネジメントについて示す。

2.1 社会背景

近年，地球温暖化の主要因とされている温暖化ガス削減に対する関心が高まっている。1997年の「第3回気候変動枠組条約締約国会議 (COP3)」において定められた「気候変動に関する国際連合枠組条約の京都議定書」通称，京都議定書が議決され先進国に対して温暖化ガス削減目標が定められ，日本では6%削減が目標として割り当てられた [9]。その際日本において新エネルギー対策として太陽光発電の利用や燃料電池・コージェネレーションの促進が目標の為の施策として挙げられた。また，2012年に開催されたエネルギー環境会議において「革新的エネルギー・環境戦略」が決定され，燃料電池を含むコージェネを最大限普及させ、エネルギーの有効利用を促進すると決定されるなど2030年には1500億kWh(2010年比で約5倍)を目指すとしており [10]，未利用熱や太陽光などのエネルギー利用に期待されている。

2.2 エンジンコージェネレーションシステムの概要

家庭内におけるエネルギー消費量は，生活の快適性や利便性を求めることによるライフスタイルの変化や家電機器の大型化や増加等により増え続けている。そこで近年，家庭における高効率エネルギー供給システムの1つであるエンジンコージェネレーションシステムの研究開発が進んだことにより家庭への普及が期待されている。

コージェネレーションとは内燃機関や外燃機関を動かし発電を行うと共に，発電する際に排熱される熱エネルギーを取り出すことにより，電気のみならず熱エネルギーをも取り出して有効活用するシステムである。コージェネレーションには，内燃機関（エンジン）を利用するシステムや，ボイラ・蒸気タービン，燃料電池を利用するシステムなどが存在する。コージェネレーションシステムは省エネルギーに期待できるため日本では1986年頃から大型火力発電所などの商用システムとして普及が始まり，現在では家庭用コージェネレーションシステムの普及も始まっている。本稿ではエンジンを利用するエンジンコージェネレーションについて述べる。

エンジンコージェネレーションでは天然ガスやLP ガスを利用しエンジンを動かす発電システムと、発電の際の排熱を利用する排気熱交換器の2つから成り、発電された電気は家庭での電力へとあてられ熱エネルギーはお湯として給湯や床暖房へと利用される。さらにエンジンコージェネレーションには貯湯槽を備えており、排気熱交換器から取り出された熱エネルギーで沸かしたお湯を貯湯できる仕組みとなっている。また、家庭における発電と給湯をエンジンコージェネレーションのみで補っている訳ではなく電力が不足している場合には商用系統電力から電力を賄い、貯湯槽のお湯が不足している時にはエンジンと同じ天然ガスを利用する熱補助原機がお湯を沸かすことにより家庭内の電力不足並びにお湯不足が発生しない様になっている。以下にエンジンコージェネレーションシステムの概要図を示す。

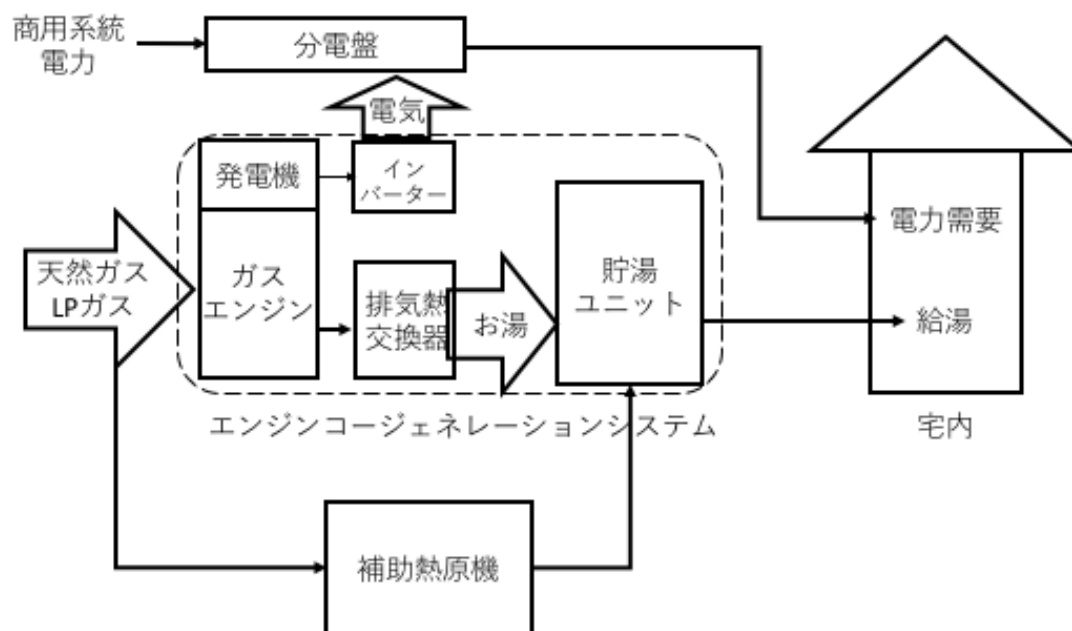


図 2.1: エンジンコージェネレーションシステム概要図

2.3 エンジンコージェネレーションシステム製品

今回想定しているエンジンコージェネレーションシステムの製品仕様を以下の表 2.1 に示す。以下の製品は実際に販売されていた本田技研工業株式会社の製品であり前項の概要

で述べた、貯湯槽が存在するシステムである。本エンジンコージェネレーションシステムは電力出力が1Kwと小出力ではあるが発電効率が22.5%であり、排熱を合わせた総合効率では85.5%の高効率システムとなっている。また、本システムでは発電出力よりも排熱出力が大きいため一般的に家庭における熱需要(入浴、家事等)に合わせた運転方法を採用している。

また、本システムではLPガス(LPガスい号プロパン)を利用し小型バイクほどの 163cm^3 の4サイクル単気筒OHVエンジンを採用している。

2.4 エンジンコージェネレーションシステムの運用問題

エンジンコージェネレーションは発電とともに排熱を利用するシステムであるが、病院や工場などに代表されるような大規模商用コージェネレーションシステムでは原動機が複数存在するなど最適な設計は複雑になっている。しかしながらエネルギー需要の変化が少ないため、エネルギー需要予測の精度が高くなっている。

一方、本稿で述べるエンジンコージェネレーションシステムなどの家庭用システムでは基本的に原動機は1台であり、排熱利用は温水に限られる為商用のコージェネレーションシステムと比較すると構成は単純である。しかしながら家庭におけるエネルギー需要は、居住者の行動に左右されやすい。これは居住者の生活パターンが同一ではなく、1分以下の短い時間で需要が変化するためである。図2.4に家庭における月曜日から金曜日の5日間の時間毎の熱量需要例を示す。下図では同時刻においても需要の差が大きいことが分かる。家庭用コージェネレーションシステムでは運用計画時に予測したスケジュールの熱需要に合わせてコージェネレーションの運転時間を決めているが下図のように曜日によっても大きく異なり、同一曜日においてもスケジュールが異なると需要が変動し問題となってしまう。また、本システムで出力された熱はお湯として貯湯槽に蓄えることができるが、電力を蓄電することはできないため家庭内で使用される。仮に家庭内で使われなければ電気ヒーターとして熱として回収されるが、総合効率が低下する為発電された電力は家庭内において消費されるのが望ましい。

表 2.1: エンジンコージェネレーションシステム仕様 [11]

製品メーカ		本田技研工業 (株)
製品名		MCHP1.0P
形式名		UCEJ-2
設置方式		屋外据置設置
外形寸法 (mm)		高さ 880 × 幅 580 × 奥行 380(突起部含まず)
接続	ガス	R1/2(15A)TU
	排熱	R1/2(15A)
	廃棄ドレン	同梱ホースを接続
	電気方式	単 3 線式 100/200V
騒音値 (db(a)/1m)		44
発電	出力 (kw)	1.0
	電圧 (v)	200
	電流 (A)	5.0
	力率	0.95 以上
	周波数 (Hz)	50 または 60(自立切換式)
排熱	熱出力 (kw)	2.8
	冷却水定格流量 (L/min)	5.0
	冷却水温度 (°C)	80 以下
効率	発電効率 (%)	22.5(低位発熱量基準)
	総合効率 (%)	85.5(低位発熱量基準)
ガスエンジン t 3	形式	4 サイクル単気筒 OHV
	総排気量 (cm^3)	163
	定格回転数 (rpm)	1950
	冷却方式	水冷式
発電機	形式	多境界磁回転型
	構造	自己通風防滴型
	励磁式方式	自己励磁方式 (磁石式)
インバーター	インバータ方式	自励式電圧型電流制御方式
	電圧調整方式	PWM 方式
	絶縁方式	非絶縁トランスレス方式
	接続電気方式	単相 2 線式 202V
ガスの種類		LP ガスイ号プロパン
ガスの消費量	$\text{m}^3\text{N}/\text{h}$	0.17
	kw (kcal/h)	4.92 (4230) (高位発熱量基準)
設置環境温度範囲		-20 °C ~ 40 °C
作動温度範囲		8 -15 °C ~ 40 °C

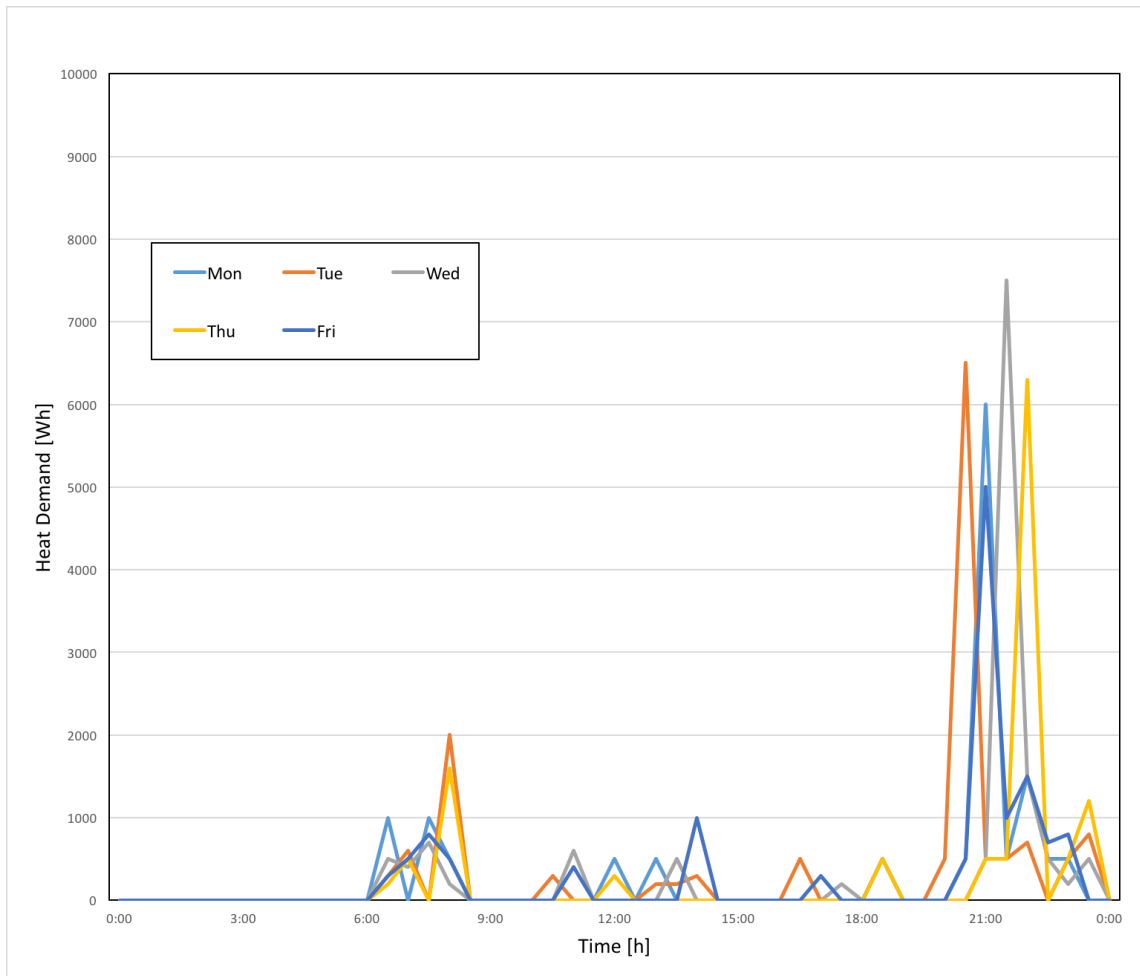


図 2.2: 曜日毎の熱需要例

第3章 宅内快適性

本章はスマートホームにおける宅内快適性について示す。スマートホームにおいては、前章で述べたエネルギー利用効率化のみならず居住者の住み心地についても満たされる必要がある。そのような快適性を示す指標 (PMV) について述べる。

3.1 快適性とは

我々はほとんどの時間を室内で過ごすと言われており、その室内空間を快適にするよう望んでいる。しかし単に「快適」といっても様々な指標が存在し、それぞれについて考慮する必要がある。具体的には音環境・光環境・温熱環境などである。音環境では騒音などに代表されるような静けさが重要な指標であり、光環境では物がしっかり見えながら安全を保つ必要がある。ここでの安全とは視覚に入ってくる光刺激に関して異常反応を示す光過敏性発作等を起こさないことである。また温熱環境とは蒸暑や寒冷、室内気流など様々な要素からなる。本章では温熱環境に焦点を当て述べていく。

3.2 温熱環境の快適性

温熱環境における快適性とは、宅内において暑くもなく寒くもなく熱的な不快さを感じないことである。また、快適性は人によって感じ方が異なる為、許容できる温熱環境は居住者の80%以上の人々が許容できる環境のことと定義されている。さらに温熱環境では内壁の材質の違いによる温度の違い、さらには居住者の行動や衣服、年齢性別など様々な条件によっても変化する。このように人体の体温調節に影響を及ぼす要素を「温熱環境要素」と定められており、その中でも人体に影響を及ぼす活動量、着衣量さらに環境側において影響を及ぼす空気温度、放射温度、湿度、気流の合計6要素である。これを図3.2に示し、それぞれについて述べる。

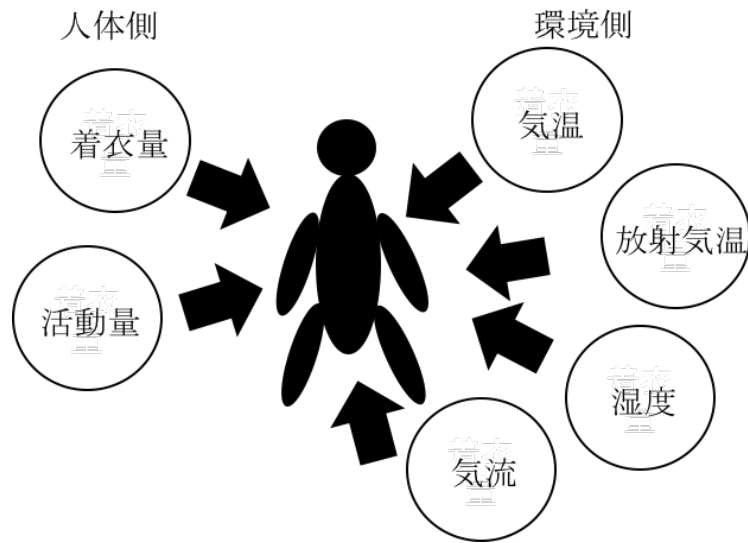


図 3.1: 温熱環境要素

- 活動量

人体における活動の量であり，活動の際に発生する熱量を表しており，代謝量とも呼ばれる．人体の代謝量はメット (Met : Metabolic Equivalent) 値で表され，1met を安静時に椅子に座った状態の代謝量 ($=58.2W/m^2$) と定める．以下に主な活動と met 値の関係性を示す．活動が激しくなるにつれて met 値も比例して大きくなる．

表 3.1: 様々な活動と met 値

活動	met 値
睡眠時	0.7
着座 (椅子)	1.0
起立	1.2
調理	1.6~2.0
掃除	2.0~3.4

- 着衣量

衣服の保温・断熱性を表す量であり，クロ (clo 値) で示される．冬場の厚手のスリーピースーツを着た状態 ($=0.155(m^2 \cdot K)/W$) を 1clo と定める．以下に衣服の種類と clo 値の関係性を示す．

- 空気温度

空気の温度，つまり気温のことである．温度計で示される値をとる．

表 3.2: 代表的な衣服と clo 値

衣服	clo 値
T シャツ・ハーフパンツ	0.3
シャツ・薄地ズボン	0.6
ジャケット・ズボン	1.0
ジャケット・セータ・ズボン	1.3

- 放射温度

天井や床，壁などから伝わる熱のことである．放射温度と室温は必ず同一ではなく，放射温度が室温よりも高いと暖かく感じ，室温よりも低いと寒く感じる．

- 湿度

絶対湿度または相対湿度で表され，空気中に含まれる水分量のことである．室内環境を取り上げた場合，室温が同一だとしても湿度によって暑さや寒さに影響を及ぼす．

- 気流

室内における空気の動きのことである．気流が及ぼす影響は大きく気流が大きくなるにつれて寒く感じる．

3.3 温熱快適性の評価方法

3.2 章で述べた温熱環境要素が快適性に影響するのだが，この 6 要素をまとめ定量的に扱うことができる温熱指標に PMV(Predicted Mean Vote：予想平均冷温感申告) が存在する [12]．PMV は 1967 年に Fanger 教授によって提唱され，1984 年に ISO-7730 として国際規格化された．PMV は温熱環境の 6 要素と 1300 人にも及ぶ被験者で行った実験結果に基づき，快適さを「+3 ～ -3」の 7 段階で数値化を行った．PMV 値と温冷感スケールを表 3.3 に示す．PMV 値が+に大きくなると暑く，-は寒さを表現している．

表 3.3: PMV 値と温冷間スケール

PMV 値	温冷感
+3	かなり暑い
+2	暑い
+1	やや暑い
0	快適 (中立)
-1	やや寒い
-2	寒い
-3	かなり寒い

3.4 PMV

温熱環境の快適性指標である PMV は以下の式より算出できる.

$$\begin{aligned}
 PMV = & (0.303e^{-0.036M} + 0.028)[(M - W) \\
 & - 3.05 * 10^{-3}(5733 - 6.999(M - W) - P_a) \\
 & - 0.42((M - W) - 58.15) \\
 & - 1.7 * 10^{-5}M(5867 - P_a) - 0.0014M(34 - T_z) \\
 & - 3.96 * 10^{-8}f_{cl}((T_{cl} + 273.15)^4 \\
 & - (\overline{T_r} + 273.15)^4) - f_{cl}h_c(T_{cl} - T_z)]
 \end{aligned} \tag{3.1}$$

$$\begin{aligned}
 T_{cl} = & 35.7 - 0.028(M - W) \\
 & - 3.96 * 10^{-8}I_{cl}f_{cl}((T_{cl} + 273.15)^4 \\
 & - (\overline{T_r} + 273.15)^4) \\
 & + I_{cl}f_{cl}h_c(T_{cl} - T_z)
 \end{aligned} \tag{3.2}$$

$$h_c = \begin{cases} 2.38|T_{cl} - T_z|^{0.25}, & \text{if } 2.38|T_{cl} - T_z|^{0.25} > 12.1\sqrt{v_{ar}} \\ 12.1\sqrt{v_{rt}}, & \text{if } 2.38|T_{cl} - T_z|^{0.25} < 12.1\sqrt{v_{ar}} \end{cases} \tag{3.3}$$

$$f_{cl} = \begin{cases} 1.00 + 1.29I_{cl}, & \text{if } I_{cl} \leq 0.078 \\ 1.05 + 0.645I_{cl}, & \text{if } I_{cl} > 0.078 \end{cases} \tag{3.4}$$

$$p_a = \frac{h_z}{0.622 + h_z}P_{atm} \tag{3.5}$$

$f(M) = (0.303e^{-0.036M} + 0.028)$: 活動量 M の関係係数
 $S = (M - W - Ed - Es - Ere - Cre - R - C)$: 人体の熱収支で表現できる.

M : 活動量 [W/m^2]
 E_{re} : 呼吸による潜熱損失量 [W/m^2]
 W : 機械的仕事量 [W/m^2]
 C_{re} : 呼吸による顕熱損失量 [W/m^2]
 E_d : 不感蒸泄量 [W/m^2]
 R : 放射熱損失量 [W/m^2]
 E_s : 皮膚面による蒸発熱損失量 [W/m^2]
 C : 対流熱損失量 [W/m^2]
 P_a : 水蒸気圧 P_a
 v : 平均風速 [m/s]

また ISO-7730 では、PMV と合わせて PPD(Predicted Percentage of Dissatisfied : 予測不快者率) が提案されている。PPD とは何%の人がその環境に対して不満を感じるかを表す指標である。PMV から PPD を算出する式を示す。

$$PPD = 100 - 95 \exp -(0.03353 PMV^4 + 0.2179 PMV^2) \quad (3.6)$$

式 (3.2) は、実験によって求められた。また、PMV と PPD の関係を図 3.4 に示す。

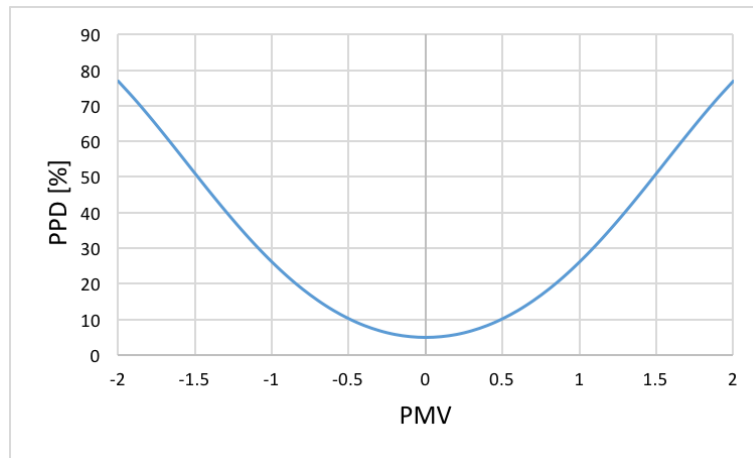


図 3.2: PMV と PPD の関係

3.4 をみると丁度中間である $PMV = 0$ のであったとしても 5% の人は不快と感じる。また $PMV = \pm 3$ では 99% の人が不快と感じると予想される。ISO の基準では、PMV が ± 0.5 以内に収まっている、つまり不快者率が 10% 以下になる範囲が快適であるとされている。

第4章 ホームシミュレータ

本章では次世代のホームネットワーク実現のため，家庭内の様々なことに対してシミュレーションを行うことができるホームシミュレータについて述べる．

4.1 iHouse

iHouse とは石川県能美市に設立されている木造二階建ての実験住宅である．iHouse では，すべての家電がECHONET 通信により制御されており，温度・湿度センサだけでなく，人感センサなどの多くのセンサなどが設置されている．ホームネットワークサービスの開発技術が問題なく動作することを確認するための検証環境である．本研究は，iHouse を参照し，モデル化を行う．

4.2 住宅のシミュレーション

本研究のホームシミュレーションは先行研究 [1] による研究に基づき定義している．ホームネットワークサービスを検証する住宅シミュレーションは，家電，環境，電力，人間となるコンポーネントが作用しながら住宅の大枠を管理し，各コンポーネントが相互作用しながらシミュレーションを行っている．

実験住宅に基づき，住宅をシミュレーションするために住宅を「住宅」「家電」「環境」「電力・熱」「人間」の5つのコンポーネントに分類され，以下に5つのそれぞれの役割を以下に記す．

- 住宅
 - － 住宅の構造や家電に該当しない設備を定義している．住宅の部屋の位置，屋根，壁，窓，カーテンなどの構造と大きさ，向き，素材の上を管理する．これらは，家電，人間，環境のコンポーネントに関わる．
- 家電
 - － 住宅に設置されている家電を定義する．家電はECHONET オブジェクトを参考にして，各家電を種別してある．また，エンジンコジェネレーションはECONET オブジェクトを参考しながら作られている．

- 環境

- － 住宅内の物理環境，また住宅外の物理環境を定義する．住宅内の環境は部屋ごとに独立しており，部屋の間取り，家電，人間に影響を及ぼし合う．

- 電力・給湯

- － 住宅における電力系統，電力会社までの電力を定義する．木構造になっており，電力会社を親としている．給湯も住宅における水道管から各蛇口やエンジンコジェネに繋がっている．これも同様に木構造となっている．

- 人間

- － 家に住んでいる家族の行動を定義する．周囲の状況に応じて行動し，複数のコンポーネントに影響を及ぼし合う．全て人が家電を操作することで，電力会社が住宅に電力を供給する．環境は，太陽光や外気温度，天気，建物の材質，家電の熱などから室内の温度，湿度が変化する．

4.3 人間行動シミュレータ

ホームネットワークのサービスを検証するために，住宅内の状況を認識することで最適なサービスや住宅内の一人一人の趣向に合わせたサービスが提供されることが期待される．ホームネットワークサービスと人間のインタラクション効果を検証する場合，その効果とサービスを受けたユーザの反応に大きく依存するため，ユーザの反応を再現するには必要不可欠なシミュレーションである．本シミュレータでは，統計と確立から世帯の場所，世帯種別，家族，家族構成のプロファイルを生成する．次に統計と確率から家庭の基本スケジュールを生成する．このスケジュールと人間の感情に相当する欲，これらが全ての行動を決定する要素となっている．

4.3.1 行動

人間の行動には割り込みが入ることが多々有る．ここでいう割り込みとは，仕事中や読書中などに喉が渇いたため飲み物を飲む行為や，トイレに行く行為の事である．通常の間行動では，ある行動のある時間に行う際は，トイレなどの優先度の高い割り込みがない限りは行動は継続される．このような人間行動に対応するために，ホームシミュレータでは短時間の間に発生する割り込み行動を考慮・対応が必要となる．

4.3.2 行動の分類

人間の行動についてモデル化する際、種別に分類した。NHK 国民生活調査では、人間の行動を 3 段階の入れ子構造に分類しており、本研究におけるシミュレータも人間の行動をモデル化するために 3 つの入れ子構造に分類されておる。

- 行動の種別
「睡眠」「食事」「仕事」などの統計情報に基づいて分類されている行動
- 実行動
「移動」「照明」「空調」など行動種別をさらに詳細化した行動。行動種別は、1 つまたは複数の連続した実行動によって構成される
- 家電操作
実行動によって決定される家電操作コマンドまたはイベント、本シミュレータの場合 ECHONET 形式の家電操作となる。

行動種別は、統計情報に基づいた行動の分類である。NHK 国民生活時間調査 [13] のデータを利用すると人間の行動を 33 種類に分類できる。社会生活基本調査では、2 種類のデータがあり、一方は NHK 国民生活時間調査と非常に似た行動分類されているが、もう一方はより詳細な分類されている。本シミュレータは NHK 国民生活時間調査、社会生活基本調査、また人間行動に関する研究を参考に、以下のように行動进行分类している。

- 必需行動
 - － 睡眠
 - － 身の回りの用事
 - － 食事
 - － 受診・療養
- 拘束行動
 - － 通学
 - － 仕事
 - － 学業
 - － 家事
 - － 介護・看護
 - － 育児
 - － 学習・研究 (学業以外)

- ボランティア活動・社会参加活動
- 自由行動
 - 買い物
 - 移動 (通学・通学を除く)
 - テレビ・ラジオ・新聞・雑誌
 - 休養・くつろぎ
 - 趣味・娯楽
 - スポーツ
 - 交際付き合い
- その他
 - その他

本シミュレータの人間行動は，静的な行動と動的な行動の2つが存在し．静的な行動とはある一貫性がある生活パターン入力とし，シミュレーションを行う．動的な行動の生成方法としては，人間の欲などを考慮し，シミュレーションを行う．詳細は以下に述べる．

4.3.3 静的な行動

標準的な生活スケジュール [14] により，電力負荷または給湯負荷などの標準的な負荷を取り出すことができる．これの標準的な負荷からエンジンコジェネレーションの負荷予測に用いる．下記が標準的な家庭の標準的な生活スケジュールである．

ソースコード 4.1: 父親の静的な行動

```

1 00:00 06:30 sleep sleep
2 06:30 06:45 personalcare personal_care
3 06:45 07:00 tv newspaper_magazine
4 07:00 07:15 meals breakfast
5 07:15 08:15 commuting commuting
6 08:15 18:30 work work
7 18:30 19:30 commuting commuting
8 19:30 20:15 meals dinner
9 20:15 22:00 tv tv
10 22:00 22:15 personalcare bathing
11 22:15 22:30 personalcare personal_care

```

```
12 22:30 23:00 hobby hobby
13 23:00 23:30 tv tv
14 23:30 00:00 sleep sleep
```

ソースコード 4.2: 母親の静的な行動

```
1 00:00 06:30 sleep sleep
2 06:30 06:45 personalcare personal_care
3 06:45 07:00 housework cooking
4 07:00 07:15 meals breakfast
5 07:15 07:30 housework cooking
6 07:30 08:15 tv tv
7 08:15 08:30 housework washing
8 08:30 09:00 tv tv
9 09:00 09:30 housework cleaning
10 09:30 10:15 tv tv
11 10:15 10:30 personalcare makeup
12 10:30 12:00 shopping shopping
13 12:00 12:15 housework cooking
14 12:15 12:45 meals lunch
15 12:45 13:00 housework washing
16 13:00 13:45 tv tv
17 13:45 14:00 personalcare makeup
18 14:00 16:00 shopping shopping
19 16:00 16:30 tv tv
20 16:30 18:30 housework cleaning
21 18:30 19:00 housework cooking
22 19:00 20:15 meals dinner
23 20:15 20:45 housework washing
24 20:45 22:30 tv tv
25 22:30 23:00 personalcare bathing
26 23:00 23:15 personalcare personal_care
27 23:15 23:30 tv tv
28 23:30 00:00 sleep sleep
```

ソースコード 4.3: 子供1の静的な行動

```
1 00:00 07:00 sleep sleep
2 07:00 07:15 meals breakfast
3 07:15 07:30 personalcare personal_care
```

```

4 07:30 08:00 commuting commuting
5 08:00 17:30 schoolwork schoolwork
6 17:30 18:00 commuting commuting
7 18:00 19:30 tv tv
8 19:30 20:15 meals dinner
9 20:15 21:15 schoolwork homework
10 21:15 21:45 personalcare bathing
11 21:45 22:00 personalcare personal_care
12 22:00 23:15 schoolwork homework
13 23:15 00:00 hobby hobby

```

ソースコード 4.4: 子供2の静的な行動

```

1 00:00 07:00 sleep sleep
2 07:00 07:15 meals breakfast
3 07:15 07:30 tv tv
4 07:30 07:45 personalcare personal_care
5 07:45 08:15 tv tv
6 08:15 08:30 commuting commuting
7 08:30 17:00 schoolwork schoolwork
8 17:00 17:15 commuting commuting
9 17:15 18:30 tv tv
10 18:30 19:30 schoolwork homework
11 19:30 20:15 meals dinner
12 20:15 20:45 tv tv
13 20:45 21:00 personalcare bathing
14 21:00 21:15 personalcare personal_care
15 21:15 22:15 schoolwork homework
16 22:15 23:15 hobby hobby
17 23:15 00:00 sleep sleep

```

4.3.4 動的な行動生成手順

さきほどの静的な行動生成とは違い、動的な行動生成は以下の手順で行う。

1. 生活時間統計データと人の欲に基づき基本スケジュールを作成
生活時間統計データに基づく確率と行動の種別を選定，決定モデルに従いスケジュールを作成．家族，個人の年齢などが設定されている場合はこれに基づいて決定される．

2. スケジュール，状況，欲に行動を生成

これらはシミュレーションしながら人の欲が切り替わる．現在の時刻に基づくスケジュールを参照し，環境，欲によって行動種別，実行動，行動が決定される．

3. 行動に対応する状況，欲の情報を更新し，行動履歴を保存

2. で決定された行動の影響を環境や欲に対し反映する．また，実行した高次概念の行動履歴として保存する．

コマンドレベル行動履歴の形式を記す．

年-月-日	時:分:秒	人	詳細	行動
		father mother child1 child2	ACTIN 行動の始まり ACTOUT 行動の終わり	work volunteer tv study sports social sleep shopping schoolwork rest personalcare other moving medical meals housework hobby commuting childcare caring

図 4.1: コマンドレベル行動 (ACTIN)

年-月-日	時:分:秒	人	詳細	場所
		father mother child1 child2	MOVETO	1F entrancehall kitchen livingroom japanesestyleroom lavatory out 2F spareroom bedroom wseternstyleroom1 westernstyleroom2

図 4.2: コマンドレベル行動 (MOVETO)

年-月-日	時:分:秒	人	詳細	場所	家電機器	操作
		father mother child1 child2	OP(operation)	(1F) entrancehall kitchen livingRoom japanesestyleroom lavatory (2F) spareroom bedroom westernstyleroom1 westernstyleroom2	airconditioner cookingheater tv refregerator washeranddryer toiletseat claner ricecooker ventilationfan	Remote ON/OFF RemoteModeHeat RemoteModeCool AirflowAuto Swith ON/OFF Swith ON/OFF Swith ON/OFF Swith ON/OFF Switih ON/OFF Swith ON/OFF Swith ON/OFF Swith ON/OFF

図 4.3: コマンドレベル行動 (OP)

コマンドレベルの行動履歴とは、人間行動シミュレータがインタラクションした結果のことである。例えば、人がエアコンの電源を入れるまたはシステムが人間を検知してエアコンを操作することもある。機器に直接設置されている人の操作または、システムがエアコンを運転モードの選択、風量の設定といった操作を行う。コマンドレベル行動で表現することで機器の抽象度を下げるができ、コマンドレベルの行動結果を出力することで、システムがどのようなアクションに対応したのか判断材料として用いられる。高次概念における行動例を標準的な人の行動結果例を記す。

ソースコード 4.5: 父親の静的な行動高次概念

```

1 2010-10-27 06:30:00 father ACTOUT sleep
2 2010-10-27 06:30:00 father ACTIN personal_care
3 2010-10-27 06:32:00 father OP lavatory light4 Switch ON
4 2010-10-27 06:32:00 father OP lavatory light5 Switch ON
5 2010-10-27 06:32:00 father ACTIN toilet
6 2010-10-27 06:32:00 father ACTOUT toilet
7 2010-10-27 06:45:00 father ACTOUT personal_care
8 2010-10-27 06:45:00 father ACTIN newspaper_magazine
9 2010-10-27 06:45:00 father OP lavatory light4 Switch OFF
10 2010-10-27 06:45:00 father OP lavatory light5 Switch OFF
11 2010-10-27 06:47:00 father OP livingroom light6 Switch ON
12 2010-10-27 06:47:00 father OP livingroom light7 Switch ON
13 2010-10-27 06:47:00 father OP livingroom airconditioner1 Remote
    ON
14 2010-10-27 06:47:00 father OP livingroom airconditioner1 Remote

```

	ModeHeat
15	2010-10-27 06:47:00 father OP livingroom airconditioner1 Remote AirflowAuto
16	2010-10-27 06:47:00 father OP livingroom airconditioner1 Remote 24
17	2010-10-27 06:50:00 father OP livingroom airconditioner1 Remote ON
18	2010-10-27 06:50:00 father OP livingroom airconditioner1 Remote ModeHeat
19	2010-10-27 06:50:00 father OP livingroom airconditioner1 Remote AirflowAuto
20	2010-10-27 06:50:00 father OP livingroom airconditioner1 Remote 24
21	2010-10-27 06:53:00 father OP livingroom airconditioner1 Remote ON
22	2010-10-27 06:53:00 father OP livingroom airconditioner1 Remote ModeHeat
23	2010-10-27 06:53:00 father OP livingroom airconditioner1 Remote AirflowAuto
24	2010-10-27 06:53:00 father OP livingroom airconditioner1 Remote 24
25	2010-10-27 07:00:00 father ACTOUT newspaper_magazine
26	2010-10-27 07:00:00 father ACTIN breakfast
27	2010-10-27 07:00:00 father OP livingroom light6 Switch OFF
28	2010-10-27 07:00:00 father OP livingroom light7 Switch OFF
29	2010-10-27 07:00:00 father OP livingroom airconditioner1 Switch OFF
30	2010-10-27 07:00:00 father MOVETO livingroom
31	2010-10-27 07:15:00 father ACTOUT breakfast
32	2010-10-27 07:15:00 father ACTIN commuting
33	2010-10-27 08:15:00 father ACTOUT commuting
34	2010-10-27 08:15:00 father ACTIN work
35	2010-10-27 18:30:00 father ACTOUT work
36	2010-10-27 18:30:00 father ACTIN commuting
37	2010-10-27 19:30:00 father ACTOUT commuting

ソースコード 4.6: 母親の静的な行動高次概念

1	2010-10-27 06:30:00 mother ACTOUT sleep
---	---

2	2010-10-27	06:30:00	mother	ACTIN	personal_care
3	2010-10-27	06:30:00	mother	OP	bedroom airconditioner3 Switch OFF
4	2010-10-27	06:32:00	mother	ACTIN	toilet
5	2010-10-27	06:32:00	mother	ACTOUT	toilet
6	2010-10-27	06:45:00	mother	ACTOUT	personal_care
7	2010-10-27	06:45:00	mother	ACTIN	cooking
8	2010-10-27	06:47:00	mother	OP	kitchen light8 Switch ON
9	2010-10-27	07:00:00	mother	ACTOUT	cooking
10	2010-10-27	07:00:00	mother	ACTIN	breakfast
11	2010-10-27	07:00:00	mother	OP	kitchen light8 Switch OFF
12	2010-10-27	07:00:00	mother	MOVETO	livingroom
13	2010-10-27	07:15:00	mother	ACTOUT	breakfast
14	2010-10-27	07:15:00	mother	ACTIN	cooking
15	2010-10-27	07:17:00	mother	OP	kitchen light8 Switch ON
16	2010-10-27	07:30:00	mother	ACTOUT	cooking
17	2010-10-27	07:30:00	mother	ACTIN	tv
18	2010-10-27	07:30:00	mother	OP	kitchen light8 Switch OFF
19	2010-10-27	07:31:00	mother	OP	livingroom light6 Switch OFF
20	2010-10-27	07:31:00	mother	OP	livingroom light7 Switch OFF
21	2010-10-27	07:32:00	mother	OP	livingroom light6 Switch ON
22	2010-10-27	07:32:00	mother	OP	livingroom light7 Switch ON
23	2010-10-27	07:32:00	mother	OP	livingroom tv1 Switch ON
24	2010-10-27	08:15:00	mother	ACTOUT	tv
25	2010-10-27	08:15:00	mother	ACTIN	washing
26	2010-10-27	08:15:00	mother	OP	livingroom light6 Switch OFF
27	2010-10-27	08:15:00	mother	OP	livingroom light7 Switch OFF
28	2010-10-27	08:15:00	mother	OP	livingroom tv1 Switch OFF
29	2010-10-27	08:17:00	mother	OP	lavatory light4 Switch ON
30	2010-10-27	08:17:00	mother	OP	lavatory light5 Switch ON
31	2010-10-27	08:30:00	mother	ACTOUT	washing
32	2010-10-27	08:30:00	mother	ACTIN	tv
33	2010-10-27	08:30:00	mother	OP	lavatory light4 Switch OFF
34	2010-10-27	08:30:00	mother	OP	lavatory light5 Switch OFF
35	2010-10-27	08:32:00	mother	OP	livingroom light6 Switch ON
36	2010-10-27	08:32:00	mother	OP	livingroom light7 Switch ON
37	2010-10-27	08:32:00	mother	OP	livingroom tv1 Switch ON
38	2010-10-27	09:00:00	mother	ACTOUT	tv

39	2010-10-27	09:00:00	mother	ACTIN	cleaning			
40	2010-10-27	09:00:00	mother	OP	livingroom	light6	Switch	OFF
41	2010-10-27	09:00:00	mother	OP	livingroom	light7	Switch	OFF
42	2010-10-27	09:00:00	mother	OP	livingroom	tv1	Switch	OFF
43	2010-10-27	09:01:00	mother	OP	livingroom	light6	Switch	OFF
44	2010-10-27	09:01:00	mother	OP	livingroom	light7	Switch	OFF
45	2010-10-27	09:02:00	mother	OP	livingroom	light6	Switch	ON
46	2010-10-27	09:02:00	mother	OP	livingroom	light7	Switch	ON
47	2010-10-27	09:30:00	mother	ACTOUT	cleaning			
48	2010-10-27	09:30:00	mother	ACTIN	tv			
49	2010-10-27	09:30:00	mother	OP	livingroom	light6	Switch	OFF
50	2010-10-27	09:30:00	mother	OP	livingroom	light7	Switch	OFF
51	2010-10-27	09:31:00	mother	OP	livingroom	light6	Switch	OFF
52	2010-10-27	09:31:00	mother	OP	livingroom	light7	Switch	OFF
53	2010-10-27	09:32:00	mother	OP	livingroom	light6	Switch	ON
54	2010-10-27	09:32:00	mother	OP	livingroom	light7	Switch	ON
55	2010-10-27	09:32:00	mother	ACTIN	toilet			
56	2010-10-27	09:32:00	mother	ACTOUT	toilet			
57	2010-10-27	09:32:00	mother	OP	livingroom	tv1	Switch	ON
58	2010-10-27	12:00:00	mother	ACTOUT	tv			
59	2010-10-27	12:00:00	mother	ACTIN	cooking			
60	2010-10-27	12:00:00	mother	OP	livingroom	light6	Switch	OFF
61	2010-10-27	12:00:00	mother	OP	livingroom	light7	Switch	OFF
62	2010-10-27	12:00:00	mother	OP	livingroom	tv1	Switch	OFF
63	2010-10-27	12:02:00	mother	OP	kitchen	light8	Switch	ON
64	2010-10-27	12:15:00	mother	ACTOUT	cooking			

ソースコード 4.7: 子供1の静的な行動高次概念

1	2010-10-27	07:00:00	child_1	ACTOUT	sleep			
2	2010-10-27	07:00:00	child_1	ACTIN	breakfast			
3	2010-10-27	07:00:00	child_1	MOVETO	livingroom			
4	2010-10-27	07:15:00	child_1	ACTOUT	breakfast			
5	2010-10-27	07:15:00	child_1	ACTIN	personal_care			
6	2010-10-27	07:17:00	child_1	OP	lavatory	light4	Switch	ON
7	2010-10-27	07:17:00	child_1	OP	lavatory	light5	Switch	ON
8	2010-10-27	07:17:00	child_1	ACTIN	toilet			
9	2010-10-27	07:17:00	child_1	ACTOUT	toilet			
10	2010-10-27	07:30:00	child_1	ACTOUT	personal_care			

11	2010-10-27 07:30:00	child_1	ACTIN	commuting
12	2010-10-27 07:30:00	child_1	OP lavatory light4	Switch OFF
13	2010-10-27 07:30:00	child_1	OP lavatory light5	Switch OFF
14	2010-10-27 08:00:00	child_1	ACTOUT	commuting
15	2010-10-27 08:00:00	child_1	ACTIN	schoolwork
16	2010-10-27 17:30:00	child_1	ACTOUT	schoolwork
17	2010-10-27 17:30:00	child_1	ACTIN	commuting
18	2010-10-27 18:00:00	child_1	ACTOUT	commuting

ソースコード 4.8: 子供1の静的な行動高次概念

1	2010-10-27 07:00:00	child_2	ACTOUT	sleep
2	2010-10-27 07:00:00	child_2	ACTIN	breakfast
3	2010-10-27 07:00:00	child_2	MOVETO	livingroom
4	2010-10-27 07:15:00	child_2	ACTOUT	breakfast
5	2010-10-27 07:15:00	child_2	ACTIN	tv
6	2010-10-27 07:17:00	child_2	OP livingroom light6	Switch ON
7	2010-10-27 07:17:00	child_2	OP livingroom light7	Switch ON
8	2010-10-27 07:17:00	child_2	ACT	Toilet
9	2010-10-27 07:17:00	child_2	OP livingroom tv1	Switch ON
10	2010-10-27 07:30:00	child_2	ACTOUT	tv
11	2010-10-27 07:30:00	child_2	ACTIN	personal_care
12	2010-10-27 07:30:00	child_2	OP livingroom light6	Switch OFF
13	2010-10-27 07:30:00	child_2	OP livingroom light7	Switch OFF
14	2010-10-27 07:30:00	child_2	OP livingroom tv1	Switch OFF
15	2010-10-27 07:31:00	child_2	OP lavatory light4	Switch OFF
16	2010-10-27 07:31:00	child_2	OP lavatory light5	Switch OFF
17	2010-10-27 07:45:00	child_2	ACTOUT	personal_care
18	2010-10-27 07:45:00	child_2	ACTIN	tv
19	2010-10-27 07:46:00	child_2	OP livingroom light6	Switch OFF
20	2010-10-27 07:46:00	child_2	OP livingroom light7	Switch OFF
21	2010-10-27 07:47:00	child_2	OP livingroom light6	Switch ON
22	2010-10-27 07:47:00	child_2	OP livingroom light7	Switch ON
23	2010-10-27 08:15:00	child_2	ACTOUT	tv
24	2010-10-27 08:15:00	child_2	ACTIN	commuting
25	2010-10-27 08:30:00	child_2	ACTOUT	commuting
26	2010-10-27 08:30:00	child_2	ACTIN	schoolwork
27	2010-10-27 17:00:00	child_2	ACTOUT	schoolwork
28	2010-10-27 17:00:00	child_2	ACTIN	commuting

29	2010-10-27 17:15:00 child_2 ACTOUT commuting
----	--

第5章 最適化手法

本章では，2章，3章で述べてきたエネルギー利用効率化と宅内快適性という相反する目的を持つサービスに対して総合的に評価を行う為の最適化手法に関して述べる．

5.1 本サービスにおけるエネルギーの関係性

本サービスでは2つの相反する目的を持つサービスに対して以下の図5.1のように，モデル化を行った．また，エンジンコージェネレーションシステムの各エネルギーの流れに着目し数理計画法を用いたコージェネレーションシステムの最適運用 [6] を参考にコージェネレーションシステムのシステム構成を行った．

図は3つに大別でき，左がエンジンコージェネレーションのシステム図であり，真ん中は家庭内における需要を電力需要を $e(h)$ ，熱需要を $\theta(h)$ として表している．また各需要に対しては人間行動によって変動し，人間行動は宅内快適性に影響されるため図のような関係となっている．

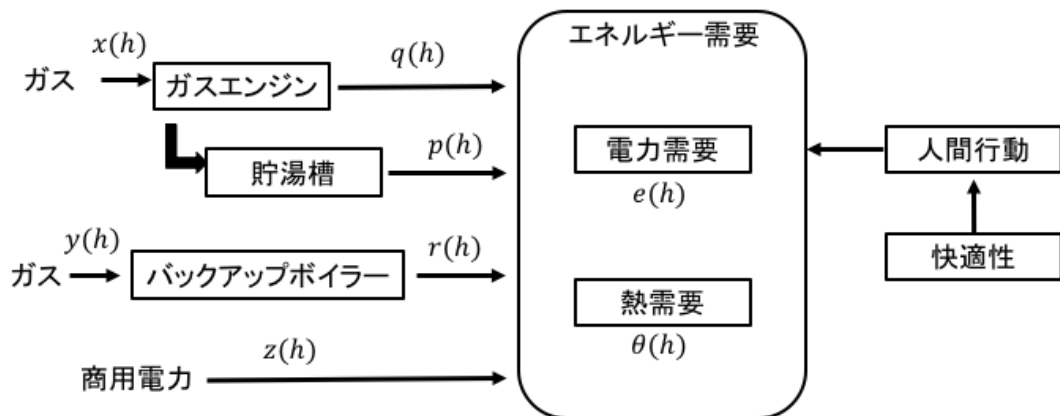


図 5.1: 本サービスの概要図

5.2 エンジンコージェネレーションシステムのモデル化

上記 5.1 の概要図を元にエンジンコージェネレーションシステムのモデル化を行った。以下にその図 5.2 を示す。

図における $x(h)$ は時間ステップ $h (h = 1, 2, \dots, H)$ におけるエンジンコージェネレーションの都市ガスの消費量である。また $y(h)$ はバックアップボイラの都市ガス消費量、 $z(h)$ は外部からの商用の電力の購入量である。さらにエンジンコージェネレーションシステムの電力出力を $q(h)$ 、貯湯槽の温水出力を $p(h)$ 、バックアップボイラからの温水出力を $r(h)$ としている。

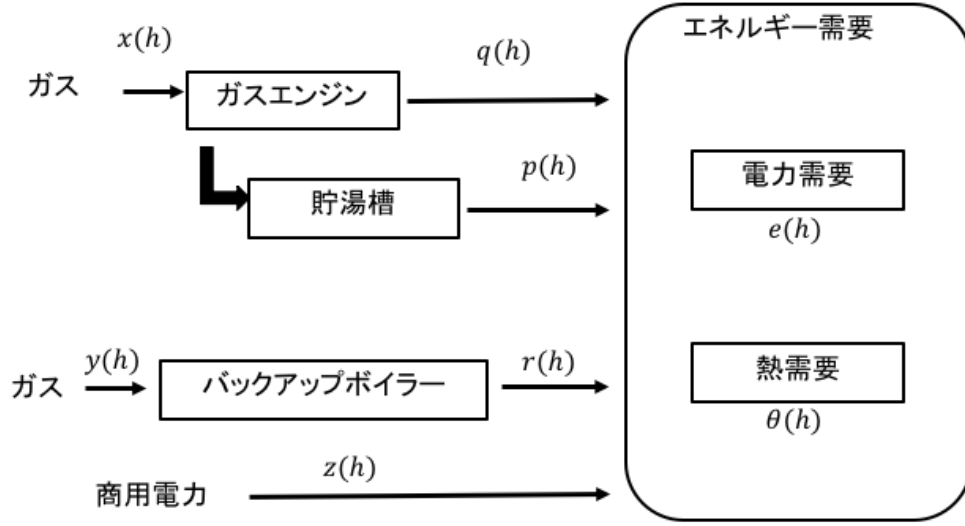


図 5.2: コージェネレーションシステムのモデル図

5.3 コージェネレーションシステムの評価関数

モデル図を元に以下のような評価関数を最小にする.

$$C_1 \sum_{(h=0)}^H x(h) + C_1 \sum_{(h=0)}^H y(h) + C_2 \sum_{(h=0)}^H z(h) + C_3 \sum_{(h=0)}^H \alpha(h) + C_4 \sum_{(h=0)}^H \beta(h) + C_5 \sum_{(h=0)}^H (1 - \delta(h)) \quad (5.1)$$

単位ガス量あたりのコストを C_1 , 単位電力量あたりのコストを C_2 , コージェネレーションシステムを一回起動するのに必要なコストを C_3 , コージェネレーションシステムを一回停止するのに必要なコストを C_4 , コージェネレーションシステムが停止している間の待機コストを C_5 とする.

ここでの $\alpha(h)$ とはコージェネレーションシステムが起動した時間ステップに 0 となる変数のことであり, $\beta(h)$ はコージェネレーションシステムが停止した時間ステップに 0 とな

る変数のことである。また、 $\delta(h)$ はコージェネレーションシステムの運転状況を表す 0-1 変数のことである。

5.4 コージェネレーション運転の提案

今回のサービスの目的を満たす為に以下のようなアルゴリズムを提案する。現在の地点より考えられるスケジュールをおよそ 10 種類作成する。それぞれのスケジュールの中で許容 PMV 値の範囲 (3 種類) を定め、それぞれに対して 4 章で述べたホームシミュレータを走らせることにより上で述べた評価関数に当てはめることができる。各スケジュールにおける許容 PMV 値それぞれに対して評価関数が一番小さな値を最適なコージェネレーションシステムの動作であるとする。

```
1 schedule = make_schedule (10)
2 pmv = make_pmv (3)
3 for i=0; i < 10; i++ do
4     for j=0; j < 3; j++ do
5         x[i, j].params = home_sim(schedule[i], pmv[j] );
6         x[i, j].cost = search_cojeschedule(x[i, j].params, ts, te);
7     end for
8 end for
9 select(x)
```

第6章 結果・考察

本章では5章で述べた最適化手法に対する結果について述べる。

6.1 結果と考察

本研究で対象としているコージェネレーションシステムでは熱需要のみを考慮してコージェネレーションシステムの運転時間を決めている。しかしながら、快適性を十分に満たそうとするとエアコン等の温熱機器の動作が必須であり、そのような温熱機器は電力を多く消費してしまう。このような場合において電力需要の為にコージェネレーションシステムを動作させると全体としてのコストは上昇してしまう。そこで、電力需要と快適性の関係を調べるため快適性の指標である PMV について、快適であるとされている ± 0.5 、さらに ± 1.0 、 ± 1.5 の3段階を目標 PMV 値として分けた。今現在の気温、湿度より PMV 値を算出し設定 PMV 値の範囲内に収まるようエアコンの動作を行った。以下に同一スケジュールにおける目標 PMV 値の違いによるリビングルームの PMV 値について示す図 6.1。またこの際使用したスケジュールは図 6.1 に示す。

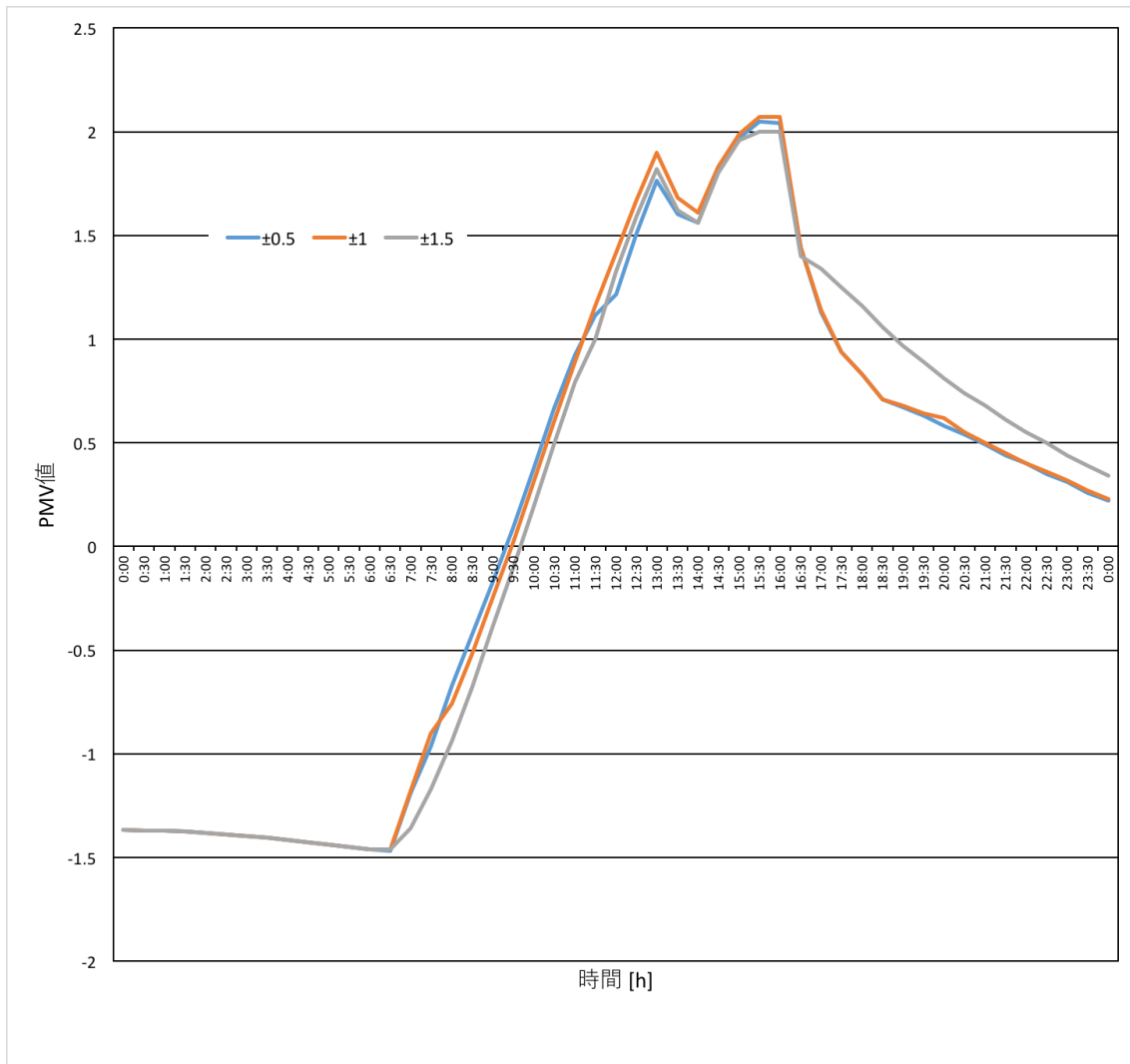


図 6.1: 同一スケジュールにおける PMV 値の変化

時刻	男性46歳		女性44歳		女性16		男性14											
0:00	睡眠	和室	睡眠	和室	睡眠	洋室2	睡眠	洋室1										
0:15																		
0:30																		
0:45																		
1:00																		
1:15																		
1:30																		
1:45																		
2:00																		
2:15																		
2:30																		
2:45																		
3:00																		
3:15																		
3:30																		
3:45																		
4:00																		
4:15																		
4:30																		
4:45																		
5:00																		
5:15																		
5:30																		
5:45																		
6:00																		
6:15																		
6:30	朝洗顔など	洗面所	朝洗顔など	洗面所					朝食	ダイニング	朝食	ダイニング						
6:45	新聞	ダイニング	炊事朝(準備)	台所														
7:00	朝食	ダイニング	朝食	ダイニング	朝食	ダイニング	朝食	ダイニング										
7:15			炊事朝(洗い物)	台所	朝洗顔など	洗面所	テレビ	居間										
7:30			テレビ	居間			テレビ	居間					朝洗顔など	洗面所				
7:45													テレビ	居間	テレビ	居間		
8:00			洗濯	洗面所														
8:15			テレビ	居間														
8:30																		
8:45			掃除	各室														
9:00																		
9:15			テレビ	居間														
9:30																		
9:45			外出準備	洗面所														
10:00																		
10:15			外出	外出														
10:30																		
10:45			炊事昼(準備)	台所														
11:00																		
11:15			昼食	ダイニング														
11:30																		
11:45			炊事昼(洗い物)	台所														
12:00																		
12:15			テレビ	居間														
12:30																		
12:45			外出準備	洗面所														
13:00																		
13:15			外出	外出														
13:30																		
13:45			テレビ	居間														
14:00																		
14:15			外出	外出														
14:30																		
14:45			テレビ	居間														
15:00																		
15:15			炊事夜(下ごしらえ)	台所														
15:30																		
15:45			家事+趣味	居間														
16:00																		
16:15			炊事夜(調理)	台所														
16:30																		
16:45			炊事夜(仕上げ)	台所														
17:00																		
17:15			家事+趣味	居間														
17:30																		
17:45			炊事夜(調理)	台所														
18:00																		
18:15			炊事夜(仕上げ)	台所														
18:30																		
18:45			家事+趣味	居間														
19:00																		
19:15			家事+趣味	居間														
19:30																		
19:45			家事+趣味	居間														
20:00																		
20:15			家事+趣味	居間														
20:30																		
20:45			家事+趣味	居間														
21:00																		
21:15			家事+趣味	居間														
21:30																		
21:45			家事+趣味	居間														
22:00																		
22:15			家事+趣味	居間														
22:30																		
22:45			家事+趣味	居間														
23:00																		
23:15			家事+趣味	居間														
23:30																		
23:45			家事+趣味	居間														
24:00																		

図 6.2: 対象スケジュール

またこれらの場合における1日の消費電力の違いを以下の表 6.1 にまとめる．このように1日の消費電力は，目標 PMV 値が 1.0 上がると約 2 割さがっている．これは現在の環境では温熱環境の評価値である PMV に影響を及ぼすのがエアコンの動作による所が大きいからである．また，1日の消費電力におけるエアコンの占める割合が非常に高いため，エアコンの動作が消費電力に大きく関わっている．今回の環境では10月27日の想定で実験を行ったが，これが夏場や冬場になるとこの差が大きくなることが考えられる．

1日の消費電力では差が大きく現れたが，部屋の PMV 値はそこまで大きな差が現れなかった．これは住人が部屋に居る間のみエアコンを動作させているのと，在室時間が短いことがあげられる．今回のシステムでは，スケジュールの予測による予冷や予熱は行っておらず，住人がその場所に居る間のみエアコンが動作している．このような場合において，部屋の在室時間が短いと部屋が十分に温まる/涼しくなる前に部屋から退室することが多くなるためグラフにした際に PMV の差が現れにくかった事が考えられる．PMV を ± 1.5 まで我慢すると消費電力が約 2 割の削減となるが，PMV ± 0.5 は約 10% の人が不快に感じる範囲であり， ± 1.5 は約 50% の人が不快に感じる値であるため，単純に我慢するだけでは，消費電力は低下するが大きく不快と感じる事がある．

このように今後は PMV 値に関しても 0-100 指数値に変換を行い，評価関数に組み込むことも有用である考える．

表 6.1: 目標 PMV 値の違いによる消費電力の違い

目標 PMV 値	1 日の消費電力
0.5	10472.34
1.0	9371.35
1.5	8109.73

第7章 まとめ

本稿ではスマートホームにおける異なる目的を持ったサービス間の連携システムの実現を目的に、エネルギー利用効率化と宅内快適性を考慮したエンジンコージェネレーションシステムの最適化手法を考案した。2つの要素に対しそれぞれでモデル化を行い目的関数の確立を行った。これにより、省エネルギー問題と快適性を満たすエンジンコージェネレーションシステムの運転予測が可能となった。今後の課題として、エネルギー利用効率化と宅内快適性以外のサービスも考慮した場合の最適化手法提案等が挙げられる。これには光過敏性発作やヒートショック、宅内熱中症などの安全性についても含まれる。また、現状では温熱環境の快適性指標であるPMVの導出の際に放射温度を室温と同一に設定しており、完全に正確な快適性を導出できていない。さらに、PMVでは均一な環境での指標であり、窓やドアのそばに居るなどの局所的な冷温感に対応していない。より高度な快適性を判断する為に不均一温熱環境についても考慮する必要があると考える。

謝辞

本研究を行うにあたり，直接のご指導ご鞭撻を賜りました丹 康雄教授に深く感謝致します。

また審査員をお引き受け頂いた本学 篠田 陽一教授，本学 リム 勇仁准教授には，本論文を執筆するにあたり多大なご助言を頂きました。深く感謝致します。

副テーマにおいてご指導ご鞭撻を賜りました本学 Kurkoski Brian 准教授に感謝致します。本論文をまとめるにあたり様々なご協力頂いた丹研究室，リム研究室の皆様，加えて研究のみならず日常生活においても協力してくださった友人達に厚く御礼申し上げます。

最後に，私の研究に対し理解を示して頂き，支えてくれた家族に感謝致します。

参考文献

- [1] 岡田 崇，ホームネットワークサービスおよびそのシステムの実証的検証に関する研究，北陸先端科学技術大学院大学 2011.
- [2] 金子 拓未，エンジンコージェネレーションを導入した家庭内エネルギーマネジメントシステムに関する研究，北陸先端科学技術大学院大学，2017
- [3] 岡村 宗一郎，スマートハウスシミュレーションにおける諸要素とのインタラクションを考慮した人間行動シミュレータ，北陸先端科学技術大学院大学 2016.
- [4] 柏原義孝，家庭用 1kW ガスエンジンコージェネレーションシステムの開発，エネルギー資源，23，No.3，pp.173-176，2002.
- [5] 田辺 新一，住宅に温熱快適性の評価，住宅総合研究財団研究年報 No.23，1996
- [6] 田中 洋一，数理最適化によるコージェネレーションシステムの設計と運用に関する研究，京都大学，2009
- [7] ECHONTE Lite，エコネットコンソーシアム，<http://www.echonet.gr.jp/>
- [8] APPENDIX ECHONET 機器オブジェクト詳細規定，エコネットコンソーシアム，https://echonet.jp/spec_object_rg_revised/
- [9] 気候変動に関する国際連合枠組条約の京都議定書 (1997)
- [10] 革新的エネルギー・環境戦略 (2012) http://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/other/cogeneration/002/
- [11] 本田技研工業コージェネレーションユニット MCHP1.0P <http://www.honda.co.jp/ownersmanual/HondaMotor/power/cogeneration/all/mchp1point0p/japanese/30YM27011.html?c=cogeneration&g=all>
- [12] ISO-7730 : Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria, 2005
- [13] NHK 放送文化研究所，データブック 国民生活時間調査 2010，NHK 出版，2011

- [14] 日本工業規格，JIS C 8851，小型燃料電池システムの 11 モードエネルギー効率及び標準家庭の年間消費エネルギー量の測定方法，2013