

Title	複数の物理量を同時に管理する住環境制御に関する研究
Author(s)	中岡, 賢之介
Citation	
Issue Date	2019-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	http://hdl.handle.net/10119/15904
Rights	
Description	Supervisor:丹 康夫, 先端科学技術研究科, 修士(情報科学)

修士論文

複数の物理量を同時に管理する住環境制御に関する研究

1710143

中岡賢之介

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	BEURAN Razvan Florin 特任教授

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 31 年 2 月

概 要

家庭内の住環境の制御に情報通信技術を利用しようとする動きは益々盛んになっており、特に近年のIoT(Internet of Things)技術の進展はそれを現実のものとしつつある。住環境の維持に必要な機器は多く存在するが、それぞれの機器が複数の住環境要素に影響を及ぼすため、ある住環境要素を維持するための制御が他の住環境要素の維持にとって良い影響を及ぼすとは限らない。また、適切な住環境は人の活動により大きく変化してしまうという問題があり、これらを勘案した総合的な機器制御による住環境制御が必要とされている。そこで、本研究では、スマートホームにおいて複数の住環境要素に影響を与えるアクチュエータの制御による適切な住環境の実現を目的とする。

実際のシステムのモデルを仮想空間に作成し、照度、温熱環境を適切に保つために直近のカーテン、エアコン、照明等の制御をどのように行えばどのような結果が得られるかというシミュレーションを行う。また、ユーザー行動予測も含めたシミュレーションを多様なパラメータ設定に基づいて実施することで運用方法の最適化を行う。

本研究では、複数の住環境要素の維持のために必要な制御手法の選択を行う。そのために、それぞれの機器を動作させたときの影響度を得るためにシミュレーションを行った。その結果と適切な住環境要素の値からナッシュ均衡を求めることにより、制御方法を決定する。本研究により、異なる住環境要素に影響を持つ機器を含めた総合的な機器制御が可能になる。今後の課題として、住環境要素や機器の増加を行い、それにとまって最適化手法の考案が必要である。

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	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
1.3.3	昼光利用・照明システム	2
1.3.4	昼光利用技術と省エネルギー	3
1.3.5	経済学のためのゲーム理論入門	3
1.4	本論文の構成	4
第2章	住宅シミュレータ	5
2.1	iHouse	5
2.2	住宅のシミュレーション	5
2.3	人間行動シミュレータ	6
2.3.1	行動	6
2.3.2	行動の分類	6
2.3.3	静的な行動	8
2.3.4	動的な行動生成手順	10
第3章	複数の物理量の最適化	19
3.1	複数の物理量の最適化とは	19
3.2	住環境	19
3.2.1	住環境要素	19
3.2.2	機器	22
3.3	ナッシュ均衡	24
3.4	住環境制御への適用	25
3.4.1	人の行動による適切な住環境の変化	25
3.5	提案手法	26
3.6	利得の計算方法	26

第4章	実験	28
4.1	住環境要素	28
4.2	機器	28
4.3	対象スケジュール	28
4.4	ナッシュ均衡の計算	29
4.5	シミュレーション環境	29
第5章	結果・考察	30
5.1	結果	30
5.1.1	最適化の適用	30
5.1.2	制御する住環境要素による変化	33
5.1.3	人の行動による変化	34
5.2	考察	40
5.2.1	今後の課題	40
第6章	まとめ	43

図 目 次

2.1	コマンドレベル行動 (ACTIN)	12
2.2	コマンドレベル行動 (MOVETO)	12
2.3	コマンドレベル行動 (OP)	13
3.1	Support enumeration Algorithm	25
3.2	Condition	25
5.1	温度の利得の時間変化	31
5.2	照度の利得の時間変化	31
5.3	運転方法による温度変化	33
5.4	運転方法による照度変化	34
5.5	13:00 から 16:30 における運転方法による温度変化	38
5.6	13:00 から 16:30 における運転方法による照度変化	38

表 目 次

3.1	住環境要素に関係のある機器	23
3.2	非ゼロ和 2 人ゲームの利得表	24
4.1	使用する機器と影響のある住環境要素	28
4.2	livingroom に人がいる時間帯	29
5.1	機器による温度の利得の時間変化	32
5.2	機器による照度の利得の時間変化	32
5.3	13:00~13:45 の利得表	32
5.4	機器をすべて動作させた場合と何も動作させなかった場合の利得表	32
5.5	機器の最適な動作	33
5.6	13:00 から 16:30 における機器による温度の利得の時間変化	35
5.7	13:00 から 16:30 における機器による照度の利得の時間変化	36
5.8	13:45~16:00 の利得表	36
5.9	16:00~16:30 の利得表	37
5.10	13:00 から 16:30 における機器をすべて動作させた場合と何も動作させな かった場合の利得表	37
5.11	13:00 から 16:30 における機器の最適な動作	37

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

家庭内の住環境の制御に情報通信技術を利用しようとする動きは益々盛んになっており、特に近年のIoT(Internet of Things)技術の進展はそれを現実のものとしつつある．住環境の維持に必要な機器は多く存在するが，それぞれの機器が複数の住環境要素に影響を及ぼすため，ある住環境要素を維持するための制御が他の住環境要素の維持にとって良い影響を及ぼすとは限らない．また，適切な住環境は人の活動により大きく変化してしまうという問題があり，これらを勘案した総合的な機器制御による住環境制御が必要とされている．

1.2 研究目的

本研究は，スマートホームにおいて複数の住環境要素に影響を与えるアクチュエータの制御による適切な住環境の実現を目的とする．
実際のシステムのモデルを仮想空間に作成し，照度，温熱環境を適切に保つために直近のカーテン，エアコン，照明等の制御をどのように行えばどのような結果が得られるかというシミュレーションを行う．また，ユーザー行動予測も含めたシミュレーションを多様なパラメータ設定に基づいて実施することで運用方法の最適化を行う．

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 [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 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 [2] 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・実装された．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．

1.3.3 昼光利用・照明システム

「エネルギー自立循環型建築・都市システム技術の開発」報告書の第5章 昼光利用・照明システム [3] では、「昼光」および「人工照明」によって必要十分な光を確保できるようにし，次いで，その光の空間的配置・経路(コントロールの仕方)を考えることで、量としての省エネルギーと質としての多様な要求に基づく見た目への対応をはかることができる．この理念を自立循環型住宅技術として具現化することを目的としたものである．この目的を達成するために以下の内容について研究開発を行っている．

- 昼光利用・照明システムの全体像と設計フロー
- 昼光利用技術の開発

- 人工照明技術の開発
- 省エネルギー効果の算定
- 設計に役立つ予測ツールとデータ整備

これらの知見は具体的な設計に生かしていくことが可能な技術である。しかし、自立循環型住宅の光環境の設計においては、多様な生活行為を踏まえて省エネルギーと快適性を確保しなければならず、設計フローを使用したとしても、個々の要素技術にとらわれ過ぎることも生じる、またそれにより計画がうまくいかないことが問題としてあげられている。そこで、要素技術をより容易に使うため、設計フローの上位概念として、要素技術を一言で総括した考え方として、「適時・適所・適光」という概念が示されている。これは、多灯分散による照明は、適切な箇所に適切な光を配分することであって、センサーによる点灯などは、適切な時間だけ照明するといったものである。

1.3.4 昼光利用技術と省エネルギー

昼光利用技術と省エネルギー [4] では、自然に豊富にある昼光を利用する「昼光利用技術」が再検討されているなかで、昼光の基本的な考え方、昼光計算や省エネルギーの効果について説明されている。

1.3.5 経済学のためのゲーム理論入門

経済学のためのゲーム理論入門 [5] では、複数の意思決定に関わる問題を対象としたゲーム理論の解説を行っている。その中で、完備情報の静学ゲーム、完備情報の動学ゲーム、不完備情報の静学ゲーム、不完備情報の動学ゲームの4つのクラスを取り扱っている。これらの4つのゲームには、ナッシュ均衡、サブゲーム完全ナッシュ均衡、ベイジアン・ナッシュ均衡、完全ベイジアン均衡という均衡概念がそれぞれ対応している。

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
 - － 住宅シミュレータについて述べる。
- 第3章
 - － 複数の物理量の最適化について示す。
- 第4章
 - － 結果・考察について述べる。
- 第5章
 - － 本論文におけるまとめを述べる。

第2章 住宅シミュレータ

2.1 iHouse

iHouse 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 家電で制御されており、温度センサ、湿度センサ、人感センサなどの多くのセンサなどが設置されている。これにより、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。

2.2 住宅のシミュレーション

本研究の住宅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する。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ている。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する。

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する。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、格家電を種別してある。詳細にされていないものは独自で記述している。
- 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

- － 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，親が電力会社である．

- 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．

2.3 人間行動シミュレータ

ホームネットワークサービスを検証するには，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リアクションに大きく依存する．そのためにユーザのリアクション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，家族構成，家族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．

2.3.1 行動

人はある時間に行動を決めた後に，特に優先度の高い割り込みが無い限り，一定の目的に沿った行動を継続する．しかしながら，人の行動は割り込みが入ることがある．例えば，仕事をしているときに喉が乾けば飲み物を飲んだり，トイレに行ったりする．このように，行動の状況に応じて短時間における行動が発生する．割り込みに対応する人間行動が必要となる．

2.3.2 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 国民生活時間調査のデータを利用すると人間の行動を 33 種類に分類する．社会生活基本調査では，2 種のデータがあり，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，以下のように行動を分類している．

- 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、静的な行動または動的な行動の2つがある。静的な行動は、ある一貫性がある生活パターン入力とし、シミュレーションする。この静的な行動からある世帯の行動パターンが定まっていれば最適な運転制御が可能である。動的な行動の生成方法を静的な行動の次に記す。

2.3.3 静的な行動

標準的なスケジュールを作成する。これは、NHK 国民生活時間調査 [6] による統計と確率から世帯の場所、世帯種別、家族構成、家族のプロファイルを生成し、次に統計と確率によって家族の基本スケジュールを生成するものである。これによって作成された標準的な生活スケジュールから、住環境要素の標準的な変化を取り出すことができる。この標準的な各住環境要素の変化値から各機器に用いる最適運転を導き出す。下記に標準的な生活スケジュールを示す。

ソースコード 2.1: 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 2.2: 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 2.3: 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 2.4: 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

```

2.3.4 動的な行動生成手順

行動生成は以下となる．

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 2.1: 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 2.2: 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 2.3: 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 2.5: 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 2.6: 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 2.7: 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 2.8: 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3章 複数の物理量の最適化

本章はスマートホームにおける複数の物理量の最適化について示す。

3.1 複数の物理量の最適化とは

我々が過ごす室内空間には温熱環境であったり照度であったりと様々な住環境要素が存在している。その室内空間で過ごす上で、我々は、それぞれの住環境要素を維持するために様々な機器を動作させている。しかし、住環境を維持するために必要な機器は多く存在するが、それぞれの機器が複数の住環境要素に対して影響を及ぼすため、ある住環境要素を維持するための制御が他の住環境要素の維持にとって良い影響を及ぼすとは限らない。また、適切な住環境は人の活動により大きく変化してしまうという問題があり、これらを勘案した総合的な機器制御による住環境制御が必要とされている。この問題を解決するために複数の物理量の最適化を行う必要があると考えられる。

3.2 住環境

住環境制御の最適化を行う上でまず、住環境とその環境に影響を与える要素・物理量をあげる。また、それぞれに影響を与える機器をあげる。

3.2.1 住環境要素

- 温熱環境
 - － 気温
 - － 放射熱
 - － 湿度
 - － 気流
 - － 人体の活動量

- 衣服
- 空気環境
 - 酸素
 - 二酸化炭素
 - 一酸化炭素
 - 硫黄硫化物
 - 窒素酸化物
 - ホルムアルデヒド
 - 浮遊粒子状物質 (浮遊粉塵)
 - 真菌
 - 臭気
- 音環境
 - 騒音
 - 床衝撃音
- 光環境
 - 照度
 - 輝度
 - 色温度 (相関式温度)
 - 演色性
 - 照度分布
 - 輝度分布

それぞれの要素の詳細と物理量を次に示す.

- 気温:温度
人体周りの空気の温度.
- 放射熱:温度
空気を媒体とせず物体間の温度差で生じる熱移動.
- 湿度:湿度
空気中の水蒸気量.

- 気流:風速
空間における空気の流れ.
- 活動量:代謝量
作業強度あるいは活動強度.
- 着衣量:熱抵抗
着衣状態における人体表面から環境への熱の伝わりにくさ.
- 硫黄酸化物:SO_x
燃料に含まれる硫黄の燃焼によって発生する大気汚染物質.
- 窒素酸化物:NO_x
開放型燃焼器具 (暖房器具, 調理器具) の仕様により発生.
- ホルムアルデヒド:放射量
濃度によって健康被害が生じる.
- 浮遊粒子状物質 (浮遊粉塵):濃度
物体の破砕により生じる微粒子が空気中に分散したもの.
- 真菌:濃度
空気中に浮遊している細菌・真菌. 健康被害を与える.
- 臭気:快・不快情動による身体への影響
他の感覚刺激より快・不快情動を生じさせやすい.
- 床衝撃音:音圧
靴履きでの歩行などの比較的軽量で硬い衝撃音, 子供の飛び跳ねや走り回りなど比較的重く柔らかい衝撃による音.
- 照度:ルクス
光束がある面に入射する単位面積あたりの密度.
- 輝度:カンデラ
ある部位から特定方向へ射出する光束の射出部位の単位面積あたり, 単位立方角あたりの密度.
- 色温度:ケルビン
光源が発している光の色.
- 演色評価数:平均演色評価数
照らされたときの物体の色の見え方.
- 輝度分布
輝度の空間的な配置関係.

3.2.2 機器

ECHONET 機器オブジェクト詳細規定 [8] の中で，それぞれの住環境要素に影響する機器を次の表 3.1 に示す．丸は物理量として直接影響を与えるもので三角は条件付きで影響を与えるものである．

表 3.1: 住環境要素に関係のある機器

	温熱	空気	音	光	
エアコン	○	○			
換気扇	○	○			
空調換気扇	○	○			
空気清浄機		○			
加湿器	○				
電気暖房器	○	○			
ファンヒータ	○	○			
電気蓄熱暖房機	○	○			
ガスヒートポンプエアコン	○	○			
電気ブラインド・日よけ	○	△	○	○	窓が空いている場合換気量が変化する
電動シャッター	○	○	○	○	
電動ゲート	○	○	○	○	
窓	○	○	○	△	透過率
ドア	○	○	○	○	
散水機	○				
電気温水器	○				
瞬間式給湯器	○				
浴室暖房乾燥機	○				
冷温水熱源機	○				
床暖房	○				
エンジンコージェネレーション		○	○		排気ガス，動作音が発生するため
照明				○	
電気ポット	○				
オーブンレンジ	○				
クッキングヒータ	○				
炊飯器	○				
洗濯機			○		動作音が発生するため
衣類乾燥機			○		動作音が発生するため
洗濯乾燥機			○		動作音が発生するため
ディスプレイ			○	○	
テレビ			○	○	
オーディオ			○		

3.3 ナッシュ均衡

異なる複数の目的を持った意思決定者の意思決定の均衡概念としてナッシュ均衡というものがある。本稿ではこの概念を用いることにより、住環境制御における機器の動作の最適化を行う。

ここでは、ゲーム理論におけるナッシュ均衡について述べる。ゲーム理論ではゲームを大別すると、まず非協力ゲームと協力ゲームに分類される。そして、非協力ゲームは、更に標準型ゲームと展開型ゲームに分類される。本稿における複数お住環境要素の最適化は、非協力ゲームの標準型ゲームに当てはまると考えられる。そこで、ここでは非協力ゲームの標準型ゲームにおけるナッシュ均衡について述べる。

標準型ゲームのナッシュ均衡とは他のプレイヤーの選択を所与とした場合、どのプレイヤーも自分の戦略を変更することによってより高い利得を得ることができない戦略の組み合わせである。ここで一般的な標準型ゲームとして、非ゼロ和2人ゲームにおけるナッシュ均衡である戦略の組が満たすときの条件を示す。

プレイヤー1は m 個の戦略 $i = 1, 2, \dots, m$ をもち、プレイヤー2は n 個の戦略 $j = 1, 2, \dots, n$ をもつ。そして、プレイヤー1が戦略 i をとり、プレイヤー2が戦略 j をとるとき、プレイヤー1は利得 a_{ij} を獲得し、プレイヤー2は利得 b_{ij} を獲得する。この状況を表3.2に示す。そして、次の条件

$$a_{i^*j^*} \geq a_{ij^*} (i = 1, 2, \dots, m)$$

$$b_{i^*j^*} \geq b_{i^*j} (j = 1, 2, \dots, n)$$

を満たすときナッシュ均衡であるという。

表 3.2: 非ゼロ和2人ゲームの利得表

	1	2	...	j	...	n
1	(a_{11}, b_{11})	(a_{12}, b_{12})	...		...	(a_{1n}, b_{1n})
2	(a_{21}, b_{21})	(a_{22}, b_{22})	...		...	(a_{2n}, b_{2n})
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$				$\vdots$
i					(a_{ij}, b_{ij})	
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$				$\vdots$
m	(a_{m1}, b_{m1})	(a_{m2}, b_{m2})	...		...	(a_{mn}, b_{mn})

本稿では、Support enumeration Algorithm によってナッシュ均衡を求める。今回用いたアルゴリズムを次に示す。

このアルゴリズムは、与えられた行列の組み合わせ全てにおいて純戦略においてナッシュ均衡が存在するかの確認とそれぞれのプレイヤーにとって最適な混合戦略を計算する。そこから混合戦略がナッシュ均衡になっているか確認を行い、最終的なナッシュ均衡を出力する。

Algorithm (Support Enumeration)

Input : A bimatrix game : $\Gamma(A, B)$ Output : All Nash equilibria : (x, y)

1. **For** $k = 1, \dots, \min\{m, n\}$ **do**
 2. **for** each (M_x, N_y) , $M_x \subseteq M$, $N_y \subseteq N$,
 3. $|M_x| = |N_y| = k$ **do**
 4. Solve:
 5. $\sum_{i \in M_x} (x_i \cdot b_{ij}) = v$ for $j \in N_y$, and
 6. $\sum_{i \in M_x} (x_i) = 1$
 7. $\sum_{j \in N_y} (y_j \cdot a_{ij}) = u$ for $i \in M_x$, and
 8. $\sum_{j \in N_y} (y_j) = 1$
 9. **If** $(x \geq 0$ **and** $y \geq 0$ **and** conditions (1) and (2) hold for x and y) **then**
 10. output Nash equilibrium (x, y)
-

図 3.1: Support enumeration Algorithm

Theorem 1. The mixed strategy (x, y) is a Nash equilibrium of $\Gamma(A, B)$ if and only if

$$\text{for all } i \in M_x, (A y)_i = u = \max_{q \in M} \{(A y)_q\} \quad (1)$$

and

$$\text{for all } j \in N_y, (x^T B)_j = v = \max_{r \in N} \{(x^T B)_r\} \quad (2)$$

図 3.2: Condition

3.4 住環境制御への適用

本稿では住環境の制御方法へゲーム理論でのナッシュ均衡を求める手段を適用することで住環境制御を行う。ゲーム理論におけるプレイヤーを住環境要素と見立てる。具体的には、温度と照度といった住環境要素をプレイヤーとする。そして、戦略として機器の動作を当てはめる事、機器を動かしたときの影響度から利得を計算することによってゲーム理論におけるナッシュ均衡を計算することができるのではないかと考えられる。

3.4.1 人の行動による適切な住環境の変化

適切な住環境を考える際に考えなければならないことに人の行動による適切な住環境の変化がある。本稿では、人が在室している時間かつ行動が変わらない時間に対して最適化を適用したが、人の行動や存在するか否かが変化する時間に対して最適化を適用する場合は、最適な住環境の値が大きく変化することを考慮しなければならない。

例えば、読書等の高い照度を要求する行動から娯楽等のあまり高い照度を要求しない行動へ変化した際に、要求照度が低くなったことでそれまで照度のために他の住環境要素に対して悪影響を及ぼしていた機器を使用する必要がなくなり、全体としてより良い制御方法が見つかるといったことである。

3.5 提案手法

ゲーム理論におけるナッシュ均衡を求めることによる住環境制御を行う機器の選択手法について述べる。

どの機器を選択するかを決めるためには、まずナッシュ均衡を求める際に必要になる利得を計算する必要がある。そのためには、それぞれの機器がどのような影響をそれぞれの住環境要素に与えるのかを知る必要がある。その際に必要な条件として現在の住環境要素の値、機器を動かしたときの影響、その空間に人がいるか等、多岐に渡る条件が必要になる。しかし、それぞれの値は時間や環境等によって変化しやすく、多くの状況が想定されるため事前に全てに対応した条件分岐を作るのは困難である。そこで、ある時間において各種環境情報を入力したシミュレーションを行うことによって、ある時間からの機器の影響を求めることとする。

シミュレーションによって出力される温度・照度の変化からそれぞれ住環境要素に対する影響を求める。

温度の場合は、機器を動作した場合における温度の単位時間変化から快適な温度等の規定した温度に対して近づく影響の場合は+の影響、遠ざかる場合は-の影響として利得を計算する。照度の場合は、対象の空間における人の行動によって決まる適切な照度 [9] に対して機器を動作させた場合の照度の値との差から利得を計算する。

このようにして求められた利得から温度・照度をプレイヤーとし、それぞれの機器を戦略として利得表を作成する。作成した利得表にナッシュ均衡を求めるアルゴリズムを適用することによって、どの機器を動作させるのが良いかを判断する。

3.6 利得の計算方法

本稿における機器を動作させた際の利得の計算方法を次に述べる。

- 温度に関する機器の動作による利得

$$\begin{aligned} & \text{if } t(c) > t(p) \\ & \quad \text{if } \Delta t < 0 \\ & \quad \quad g = |\Delta t| \\ & \quad \text{else} \end{aligned}$$

$$g = -|\Delta t|$$

else

$$\text{if } \Delta t < 0$$

$$g = -|\Delta t|$$

else

$$g = |\Delta t|$$

$t(c)[^{\circ}C]$: 現在の室温
 $t(p)[^{\circ}C]$: 規定の室温
 $\Delta t[^{\circ}C]$: 単位時間あたりの室温の変化
 $g[^{\circ}C]$: 温度の利得

上記のような操作を行うことにより規定の温度に近づく操作を+遠ざかる操作を-として利得の計算を行った.

- 照度に関する機器の動作による利得

$$lx(d) = lx(p) - lx(c)$$

$$\text{if } lx(d) \geq 0$$

$$\text{if } \Delta lx < 0$$

$$g = -|\Delta lx|$$

else

$$g = |\Delta lx|$$

else

$$\text{if } \Delta lx < 0$$

$$g = -|\Delta lx|$$

else

$$g = |\Delta lx|$$

$lx(d)[lx]$: 規定照度と現在の照度の差
 $lx(c)[lx]$: 現在の照度
 $lx(p)[lx]$: 規定の照度
 $\Delta lx[lx]$: 照度の変化量
 $g[lx]$: 照度の利得

上記のような操作を行うことにより規定の照度に近づく操作を+遠ざかる操作を-として利得の計算を行った.

第4章 実験

本章では3章で述べた最適化手法を実際に適用する方法や条件を述べる.

4.1 住環境要素

本稿では温度と照度を対象として最適化を行う. この2つの要素を対象として選んだのは温度と照度に関するデータの収集は積極的に行われているが, 空気等のデータの収集があまり行われておらず十分にデータが集まっていないためである.

4.2 機器

ECHONET 機器の中で温度と照度両方に影響を与える機器を表 4.1 にあげる. ここで, 丸は影響があること, 三角は特定の条件下で影響があることを示す.

4.3 対象スケジュール

標準的な生活スケジュールである 2.3.3 章のスケジュール 2.1~2.4 を対象とする. そこから人が livingroom にいる時間を表 4.2 にまとめる. 表 4.2 の中で, ivingroom に人が在

表 4.1: 使用する機器と影響のある住環境要素

	温度	照度
窓	○	△
カーテン	○	○
オーニング	○	○
エアコン	○	
照明		○

室する 13:00 から 13:50 を対象に最適化手法を適用する．また，この時間は一つの機器を動作させることにより複数の住環境要素それぞれに良い影響と悪い影響が同時に起こる．

表 4.2: livingroom に人がいる時間帯

時刻		人の存在
0:00	6:45	×
6:45	9:00	○
9:00	9:30	×
9:30	10:15	○
10:15	12:15	×
12:15	12:45	○
12:45	13:00	×
13:00	13:45	○
13:45	16:00	×
16:00	16:30	○
16:30	19:00	×
19:00	22:30	○
22:30	23:15	×
23:15	23:30	○
23:30	24:00	×

4.4 ナッシュ均衡の計算

単位時間を短くしすぎると温度の変化が微小になり優劣が過剰に変化するので本稿では単位時間を 10 分とした．規定温度・照度はそれぞれ不快指数 70 の値，JIS 照度基準総評 [9] を使用した．これらの条件から各機器の利得を計算する．住環境要素をプレイヤーとし，機器を戦略とした利得表を作成する．そして利得表から Support enumeration Algorithm によってナッシュ均衡を求める．

4.5 シミュレーション環境

シミュレーションには CPU2.2GHz，メモリ 8GB のマシンを利用した．プログラミング言語として python2.7.10 を使用した．

第5章 結果・考察

本章では4章で述べた実験方法にしたがい実験を行った結果について述べる。

5.1 結果

次のようにして機器の最適な動作を決定し、実際の結果を示す。本稿で提案した最適化手法を具体的に適用させる手順として、まず対象とする時間を決定し、機器を動作させた場合とさせなかった場合の住環境要素の値から各機器の利得の計算を行う。次に計算した利得をまとめ、住環境要素をプレイヤーとし、機器を戦略とした利得表を作成する。そして利得表からナッシュ均衡を求めることにより機器の最適な動作を決定する。

5.1.1 最適化の適用

本研究では標準的な生活スケジュールである2.3.3章のスケジュール2.1～2.4を対象としている。その中の13:00から13:50を対象に最適化手法を適用した。それぞれの機器を動作させたときの利得を図5.1, 5.2に示す。

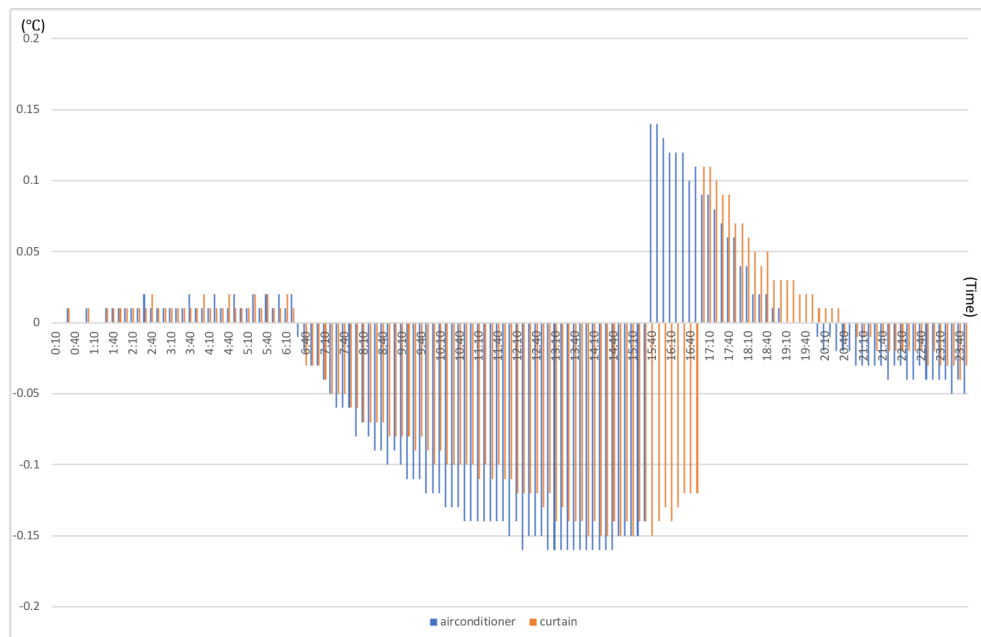


図 5.1: 温度の利得の時間変化

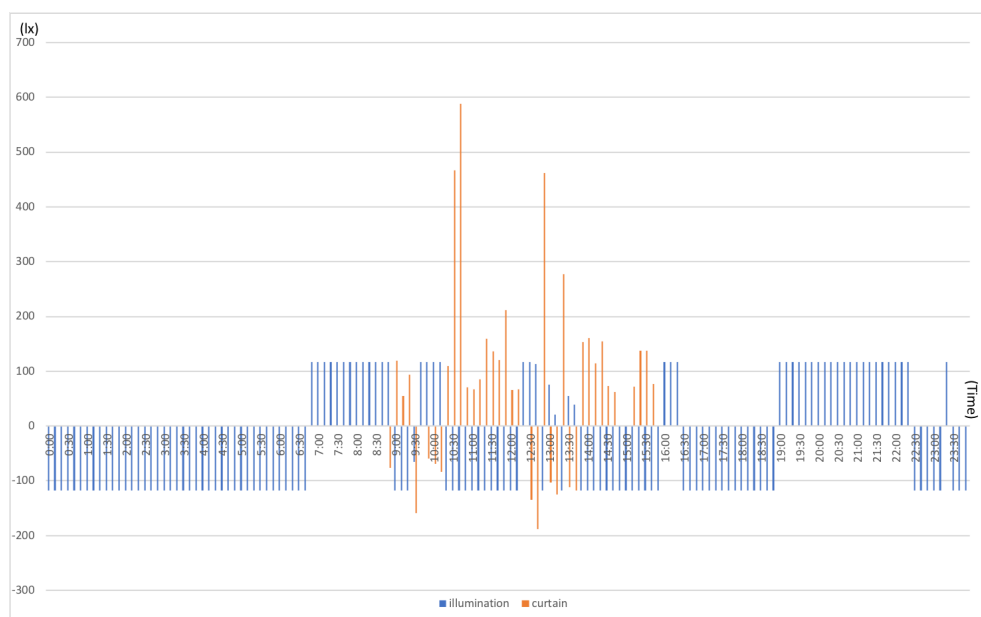


図 5.2: 照度の利得の時間変化

単位時間を短くしすぎると温度の変化が微小になり優劣が過剰に変化するので単位時間を 10 分とした．単位時間あたりの機器の動作による利得の変化を表 5.1，5.2 に示す．ま

た，作成した利得表を表 5.3，5.4 に示す．(A,B):A:温度，B:照度とする．

表 5.1: 機器による温度の利得の時間変化

Time	airconditioner	curtain
13:00	-0.32	0.06
13:10	1.47	0.05
13:20	1.25	0.06
13:30	0.68	0.03
13:40	-0.03	0.05
13:50	-0.3	0.03

表 5.2: 機器による照度の利得の時間変化

Time	illumination	curtain
13:00	74.9	-103.2
13:10	20.9	-124.8
13:20	-117.1	277.2
13:30	54.9	-111.2
13:40	38.9	-117.6
13:50	-117.1	153.6

表 5.3: 13:00~13:45 の利得表

	airconditioner	curtain	illumination
airconditioner	(2.75, 0)	(3.03, -26)	(2.75, -44.6)
curtain	(3.03, -26)	(0.38, -26)	(0.38, -70.6)
illumination	(2.75, -44.6)	(0.38, -70.6)	(0, -44.6)

表 5.4: 機器をすべて動作させた場合と何も動作させなかった場合の利得表

	all	none
13:00~13:45	(3.03,-70.6)	(0,0)

この利得表からナッシュ均衡を求めた．ナッシュ均衡は $([0., 1., 0.])$, $([1., 0., 0.])$ となり，最適な運転は次に示す表 5.5 のような形になると考えられる．

表 5.5: 機器の最適な動作

13:00~13:45	airconditioner : on, curtain : on, illumination : off
-------------	---

5.1.2 制御する住環境要素による変化

最適な運転を評価する際に，どのような動作ケースと比較するべきかを考えたときに，すべての住環境要素が自らの住環境要素の値を良くするために機器を操作すると短時間で機器の使用状態の変化を多々行うような操作になる．これは機器の正常に動作を妨げることにつながることや，機器の使用状態による過渡期が長くなり評価が難しい．

そこで，本稿では単一の住環境要素に機器の操作権がある状態と標準的なスケジュールにおける運転，そして本稿で提案した最適化手法を適用した運転，それぞれの運転による差異をみることで評価を行う．

それぞれの運転による温度と照度の時間変化を次の図 5.3，5.4 に示す．

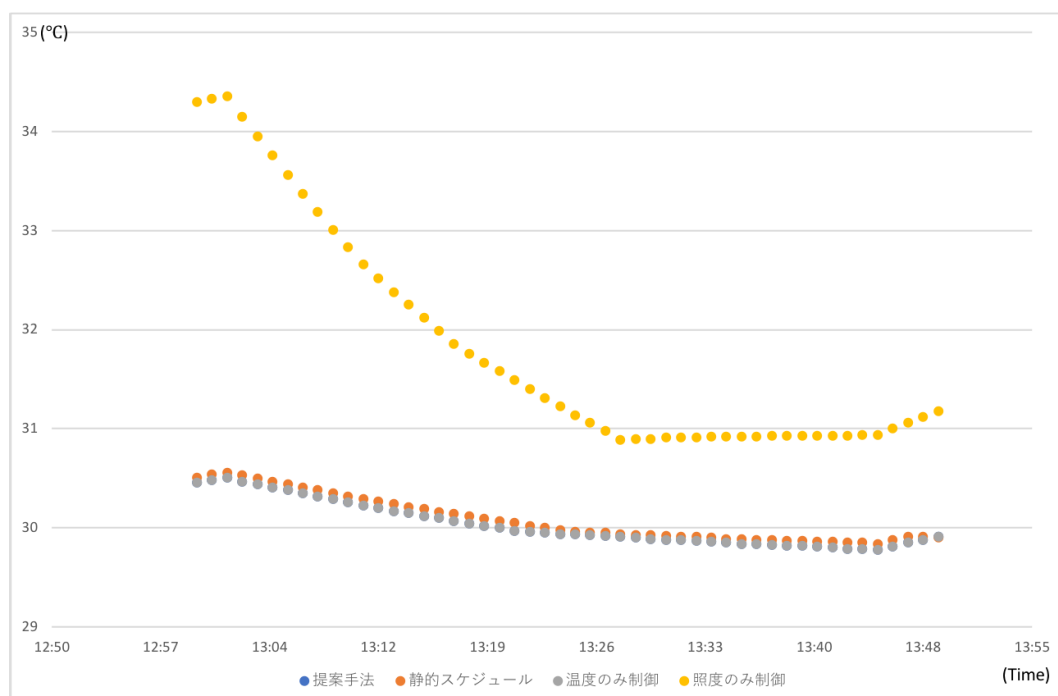


図 5.3: 運転方法による温度変化

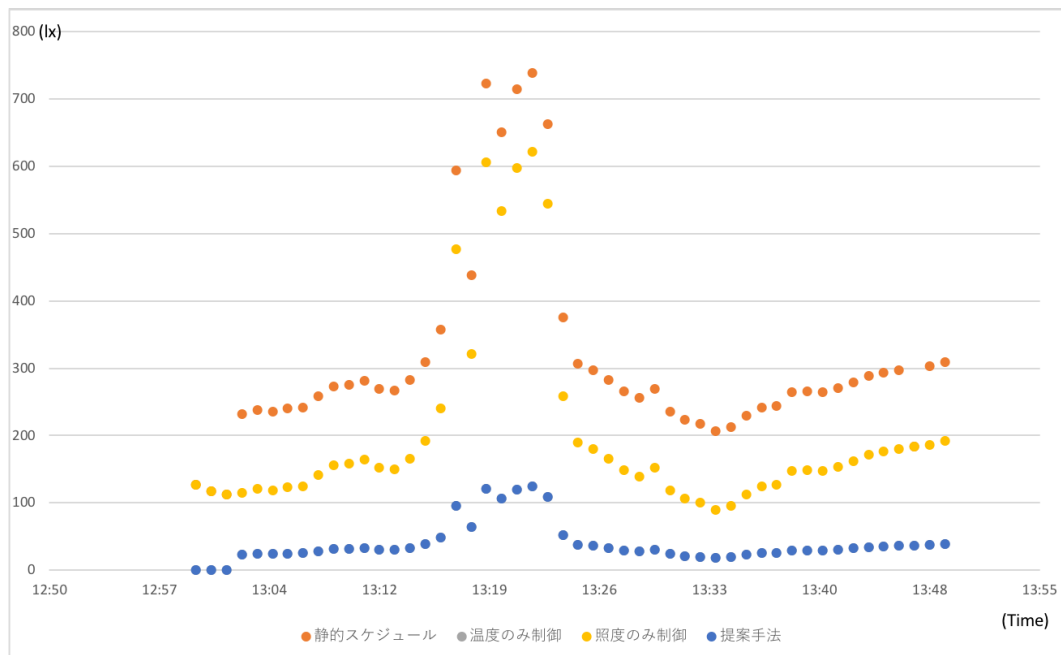


図 5.4: 運転方法による照度変化

運転方法の変化により温度では、照度のみを制御する際には他の運転方法に対して温度が高くなっていることがわかる。また、照度では照度飲みを制御する場合に対して提案手法が最適な照度から離れた値をとっていることがわかる。

各種処理には次のような時間がかかった。各機器の利得を計算するために一つの機器の一つの住環境要素につき機器ごとに約に 0.1(s) かかり、利得表からナッシュ均衡を求めるのに約 1 (s) かかった。

5.1.3 人の行動による変化

第 3.4.1 章で述べたように人の行動によって適切な住環境に変化が起こる。そこで人の行動が変化する時間に対して最適化を適用するとどうなるかを実験によって確かめた。人がいる状態からいなくなり、再びいる状態になる 13:00 から 16:30 に対して最適化を適用した。それぞれの住環境要素に対する各機器の利得を表 5.6, 5.7 に示す。また、作成した利得表を表 5.8, 5.9 に示す。(A,B):A:温度, B:照度とする。

表 5.6: 13:00 から 16:30 における機器による温度の利得の時間変化

Time	airconditioner	curtain
13:00	-0.32	-0.26
13:10	1.47	-0.25
13:20	1.25	-0.23
13:30	0.68	-0.23
13:40	-0.03	-0.21
13:50	-0.3	-0.2
14:00	-0.54	-0.19
14:10	-0.48	-0.16
14:20	-0.41	-0.15
14:30	-0.36	-0.14
14:40	-0.3	-0.11
14:50	-0.26	-0.09
15:00	-0.21	-0.08
15:10	-0.17	-0.05
15:20	-0.13	-0.03
15:30	-0.08	-0.01
15:40	-0.04	0.01
15:50	0	0.04
16:00	0.04	0.06
16:10	1.77	0.1
16:20	1.53	0.13

表 5.7: 13:00 から 16:30 における機器による照度の利得の時間変化

Time	illumination	curtain
13:10	20.9	-124.8
13:20	-117.1	277.2
13:30	54.9	-111.2
13:40	38.9	-117.6
13:50	-117.1	153.6
14:00	-117.1	160.8
14:10	-117.1	114.4
14:20	-117.1	154.4
14:30	-117.1	73.6
14:40	-117.1	62.4
14:50	-117.1	0
15:00	-117.1	0
15:10	-117.1	72
15:20	-117.1	137.6
15:30	-117.1	137.6
15:40	-117.1	76.8
15:50	-117.1	0
16:00	117.1	0
16:10	117.1	0
16:20	117.1	0

表 5.8: 13:45~16:00 の利得表

	airconditioner	curtain	illumination
airconditioner	$(-2.98, 0)$	$(-3.94, 87.9)$	$(-2.98, -117.1)$
curtain	$(-3.94, 87.9)$	$(-0.96, 87.9)$	$(-0.96, -30.2)$
illumination	$(-2.98, -117.1)$	$(-0.96, -30.2)$	$(0, -117.1)$

表 5.9: 16:00~16:30 の利得表

	airconditioner	curtain	illumination
airconditioner	(3.34,0)	(3.63,0)	(3.34,117.1)
curtain	(3.63,0)	(0.29,0)	(0.29,117.1)
illumination	(3.34,117.1)	(0.29,117.1)	(0,117.1)

表 5.10: 13:00 から 16:30 における機器をすべて動作させた場合と何も動作させなかった場合の利得表

	all	none
13:45~16:00	(-3.94,-30.2)	(0,0)
16:00~16:30	(3.63,117.1)	(0,0)

この利得表からそれぞれナッシュ均衡を求めると 13:45 から 16:00 は $([0., 1., 0.])$, $([0., 1., 0.])$ と $([0., 0., 1.])$, $([0., 1., 0.])$, 16:00 から 16:30 は $([1., 0., 0.])$, $([0., 0., 1.])$ となるが, すべての機器を動かすときと動かさないときの場合も考えた最適な運転を表 5.11 のような形になると考えられる.

表 5.11: 13:00 から 16:30 における機器の最適な動作

13:45~16:00	airconditioner : off, curtain : off, illumination : off
16:00~16:30	airconditioner : on, curtain : on, illumination : on

第 5.1.2 章と同様に単一の住環境要素に機器の操作権がある状態と標準的なスケジュールにおける運転, そして本稿で提案した最適化手法を適用した運転, それぞれの運転による温度と照度の時間変化を次の図??, 5.6 に示す.

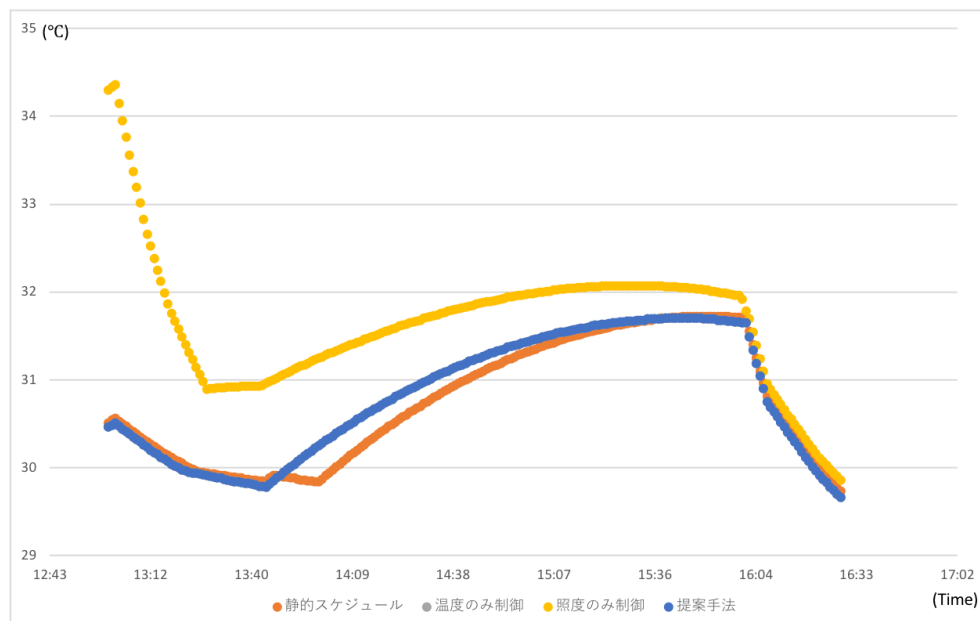


図 5.5: 13:00 から 16:30 における運転方法による温度変化

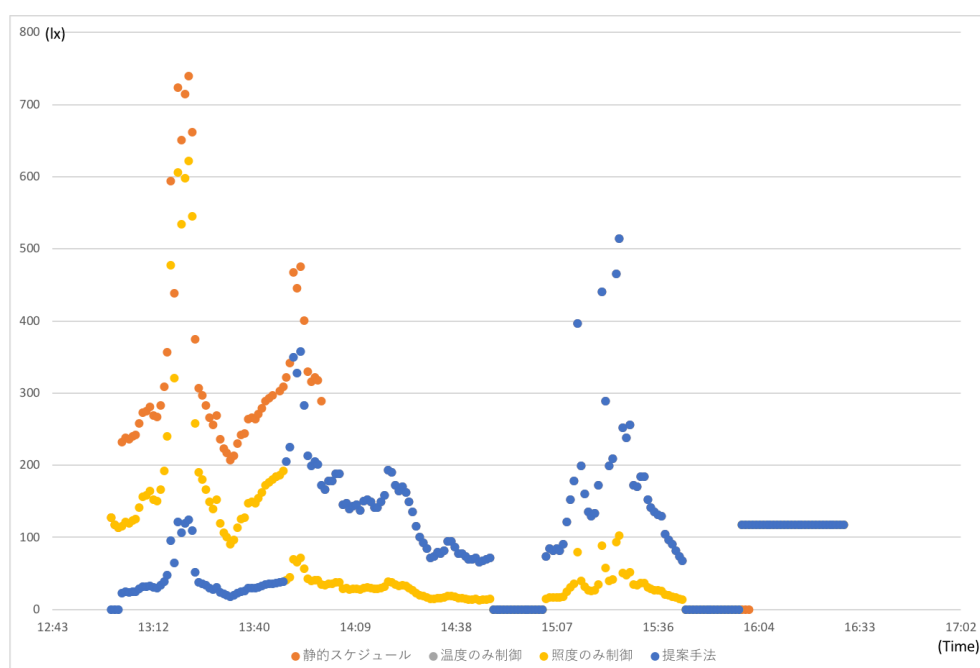


図 5.6: 13:00 から 16:30 における運転方法による照度変化

運転方法による温度の変化では照度のみを制御する場合は他の運転方法に対して温度が高くなっている。人が在室している時間では温度のみを制御場合と静的スケジュール、

提案手法に大きな差は見られなかった。また，照度では，照度のみを制御する場合と比較すると，最適な照度から離れていることがわかる。人がいない時間に関しては照度を気にする必要はないので温度のためにカーテンを操作していると考えられる。

5.2 考察

時間による機器の利得の変化をそれぞれ見ると、まず温度に関してはそれぞれの機器において時間の経過によって利得の変化がおきるが、時間帯によってより有効な機器が変動することがわかる。また、照度に関しても同様に時間によって利得の変化が起きるが、温度と比較すると変化が早いため有効な機器の変動も大きいことがわかる。

本稿で対象とした 13:00 から 13:45 の中では、他の運転方法との比較から温度に関しては対象時間中の標準の運転との差異が 0.2°C と酷似した結果となったが、照度に関しては対象時間中に照度のみを制御した際は、規定照度到達率が 101% に対して提案手法では規定照度到達率が平均 20% と大きな差が生じた。これは、対象とした時間を人がいる時間という範囲行ったことによって、照度の瞬間的な変化の対する対応が難しくなっているためではないかと考えられる。これに対しては、照度の変化率によって適応範囲を変える等の方法が考えられる。人が在室している状態から退室し、再び入室する場合においては人が退室することにより適切な照度が大きく変化することによって最適な制御方法が変化することが確認できた。

5.2.1 今後の課題

本節では今後シミュレータがどのように用いられるかまた、その際の課題となる点として次のようなものをあげる。

- 対象の住環境要素・機器の追加
- 処理時間
- Digital Twin(デジタルの双子)

これらについてそれぞれ今後の可能性について述べる。

対象の住環境要素・機器の追加

本稿では対象の住環境として温度、照度をあげ最適化手法を考案、適用したが第 3.2 章で述べたように住環境要素は多く存在する。そこで温度、照度以外の住環境要素を追加することが考えられる。この際、対象の追加に伴い考えるべきことに優先度の設定がある。ここでの優先度とは、ある住環境要素を優先して制御するためと意味合いのものと、住環境の制御による快適性の追求よりも重要度の高い住人の生命の安全に関わるものといったような様々な種類のものであり、このように優先度の中でも様々な重要度のものが存在す

る。

優先度の中にも重要度の違いが存在するということは機器を制御を行う際に重要度の違いにおいて制御を変更する必要が生じると考えられる。重要度が高いものの一つにガス漏れに関する例がある。ガス検知システムと空調システムが自動窓制御システムを介して連携している際にガス検知システムがガスを検知し窓を開ける指令を発し、同時に室内の温度を制御するために空調システムが窓を閉める指令を発した場合、自動窓制御システムはどちらの指令を優先するかが事前に決定されていない場合、どのような動作をするのかわからないといったような例である。この場合、優先すべきはガスの引火による爆発や中毒の発生といった生命の安全が懸念されるため窓を開ける制御を優先すべきである。

ここで本稿で提案した最適化手法において機器への優先度の設定を行う方法を考えると重要度の高い機器への重み付けを行う方法が考えられる。これはナッシュ均衡を求める際に重要度の高い機器の利得の増加を意味する。これを実現する際に必要になってくるのが各住環境要素の利得の平衡化と機器に重みをつける条件設定である。本稿では、各住環境要素の値をそのまま利用しているため、住環境要素によって利得の程度がバラバラであり＋か－かという意味しか持っていない。これを平衡化する事によって利得の大小によっても制御方法を変更することができるようになると考えられる。機器に重みをつける条件設定により、人の安全に関わる場合は最優先で使用するといったことが実現できると考えられる。

処理時間

対象の追加に伴い最適化にかかる処理時間が増大することが考えられる。この際問題となる点は、実際の機器の運転に使えるかどうかという点である。この問題を考えるために必要となる条件は機器の動作速度と動作間隔である。動作速度とは、機器を動作させてから目的を達成するまでの時間のことである。動作速度が速いものは光・音環境に影響がある機器で、動作速度が遅いものは温熱・空気環境に影響がある機器である。動作速度が遅い機器を制御する場合は処理速度の影響は少ないが、動作速度が速いものを制御する際には処理時間の影響が大きくなってくると考えられる。

一方、動作間隔は人の行動に大きく関わってくる。本稿で用いたスケジュールのように、常に機器の動作を変更し続けることは少ない。

本稿で行った最適化手法の動作時間は1(s)以上と人が部屋に入って電気をつける時間などを考えると速いとは言えない。よって実装方法や最適化手法の改良による処理時間の改善が必要になってくると考えられる。

Digital Twin(デジタルの双子)

近年 General Electric 社が提唱した Digital Twin(デジタルの双子) という概念が注目を集めつつある。この概念は IoT 技術の進展によりリアルタイムに様々なデータの取得や機

器の操作が可能となった背景から、計算機システムと実世界とを双子の対として組み合わせ、大規模なシステムの運用や設計に役立てようとするものである。

これをスマートホームに適応する方法を考える。まず、Digital Twin の対象とするのは家全体であると考えられる。仮想空間に家を作成し、住環境といった物理現象から機器等の物質まで再現する。ここで作成したモデルに対して実機から得られたデータを入力することによって将来の起こりうる住環境や機器の状態を知ることができる。これを多数の運用方針を並行してシミュレーションすることにより起こりうる複数の未来を調べて最適な運転を選択することができるのではないかと考えられる。

本稿では静的なスケジュールに基づいてシミュレーションを行っているが、Digital Twin によるホームシミュレータが実現できた場合、ある時点からの統計と確率による動的なスケジュールでの起こりうる未来のシミュレーションを行うことができるようになり、静的なスケジュールのみならず動的なスケジュールへの対応もできるのではないかと考えられる。

第6章 まとめ

本稿では複数の物理量を同時に管理する住環境の制御を目的に複数の機器の運転の最適化手法を考案した．単一の機器の住環境要素への影響から複数の機器による適正な住環境の維持を行う運転予測が可能となった．本稿で行ったシミュレーションは実行時間から住宅シミュレータの持つ実時間性を損なうことなく最適な機器を選択することができると考えられる．

今後の課題として，扱う機器・住環境要素の追加，動的なスケジュールへの対応，局所的な環境の変化等が挙げられる．これらにより，シミュレーションすべきパターンの爆発的な増加が見込まれる．これらに対応するためにより良い最適化手法が必要になるだろうと考えられる．

謝辞

本研究を行うにあたり，終始ご指導ご鞭撻を賜しました丹 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，ベウラン ラズバン特任准教授には，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 池田 心准教授に感謝致します．本論文をまとめるにあたりご協力頂いた丹研究室，リム研究室の諸兄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，支えて頂いた家族に感謝を致します．

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] 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.
- [3] エネルギー自立循環型建築・都市システム技術の開発, 国土交通省, 2005.
- [4] 昼光利用技術と省エネルギー, パナソニック照明設計資料. <http://www2.panasonic.biz/es/lighting/plam/knowledge/document/0303.html>
- [5] Robert Gibbons, Game Theory for Applied Economists, Princeton University Press, 1992.
- [6] NHK 放送文化研究所, 日本人の生活時間・2005 -NHK 国民生活時間調査, 日本放送出版協会, ISBN4-14-009337-4, 2005.
- [7] ECHONET Lite, エコー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, エコーネットコンソーシアム, https://echonet.jp/spec_object_rg_revised/
- [9] JIS Z9110:照明基準総則.