

アニーリングマシンを用いたエネルギー利用最適化 —住宅のエネルギー運用計画を最適化—

1. 背景

近年、脱炭素社会の実現に向け再生可能エネルギーの導入が進められているが、発電量が天気によって左右されてしまうため供給が不安定であることが課題となっている。再生可能エネルギーを主要な電源としていくためには、蓄電設備やその他火力発電などのエネルギーと合わせて電力を調整し、供給を安定化させていく必要がある。電力を調整する対象は、建物・発電所・街単位など様々な規模で考えられる。我が国では住宅の省エネルギー化がまだまだ不十分であること、住宅用の太陽光発電や蓄電池の普及が拡大していることから、本プロジェクトでは住宅を対象とした。具体的には太陽光発電と蓄電池、電力会社から買う電力即ち商用電源の3つで電力の調整を行う。

住宅は、HEMS (Home Energy Management System) という住宅の電気機器を制御できるシステムを備えることを想定する。本プロジェクトでは太陽光発電・蓄電池・商用電源からの安定した供給を保ちつつ低コストにエネルギーを利用するため、買電・売電・蓄電などのエネルギー運用を最適化するスケジュールを作成する。これを元に HEMS で制御を行うことで、住宅のエネルギー利用の最適化を目指す。

2. 目的

本プロジェクトは太陽光発電と蓄電池の備わる住宅を対象とし、天気予報や需要予測などの入力情報を元に、最適なエネルギー運用のスケジュールを作成する Web アプリケーションの開発を行う。最適化の指標は「電気代が安くなる」という経済面のコスト削減と、「環境に優しく使える」という環境面のコスト削減の2つがある。本プロジェクトでは環境面・経済面の優先度をユーザーが選択できるようにし、ユーザーのニーズに合わせたスケジュールを提案する。作成したスケジュールを HEMS の制御に用いることで、エネルギーを安く環境に優しく利用する住宅が実現する。

アルゴリズムは、2020 年度の採択プロジェクトである「中学・高校向け統合スケジュールリングシステム」で開発した時間割作成用のアルゴリズムを応用する。

3. ソフトウェア開発内容

3.1. 問題設定

住宅におけるエネルギーの運用は図1のモデルで考える。エネルギーの運用は図1の各矢印が示しているように「太陽光使用」「太陽光充電」「太陽光売電」「蓄電池使用」「商用電源使用」「商用電源充電」の6パターンがある。作成するスケジュールは各運用の各時間枠における電力量を決定する。時間枠の長さは1時間である。目標は、天気予報・需要予測・電気代・現在の蓄電池残量などの入力を元に、図2のようなスケジュールを作成することである。

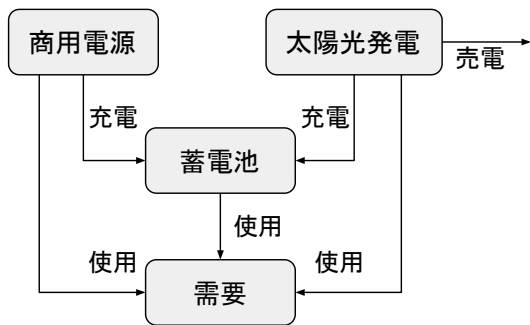


図1：エネルギー運用のモデル

	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00
太陽光使用(W)	0	150	300	150	90	260
太陽光充電(W)	0	0	0	110	0	50
太陽光売電(W)	0	50	300	70	310	160
蓄電池使用(W)	0	30	80	0	470	0
商用電源使用(W)	420	530	330	470	30	190
商用電源充電(W)	570	0	0	240	0	0

図2：作成するスケジュールの例

3.2. アルゴリズムの詳細

時間割最適化用のアルゴリズムでは科目をコマに割り当てることでスケジュールを作成した。本プロジェクトでは一定の電力量を持つ「項目」を各時間枠に割り当てることでスケジュールを作成する。項目は6パターンの運用それぞれについて用意する。図3では項目毎の電力量は10Wであり、項目を割り当ててスケジュールを作成するイメージを表現している。

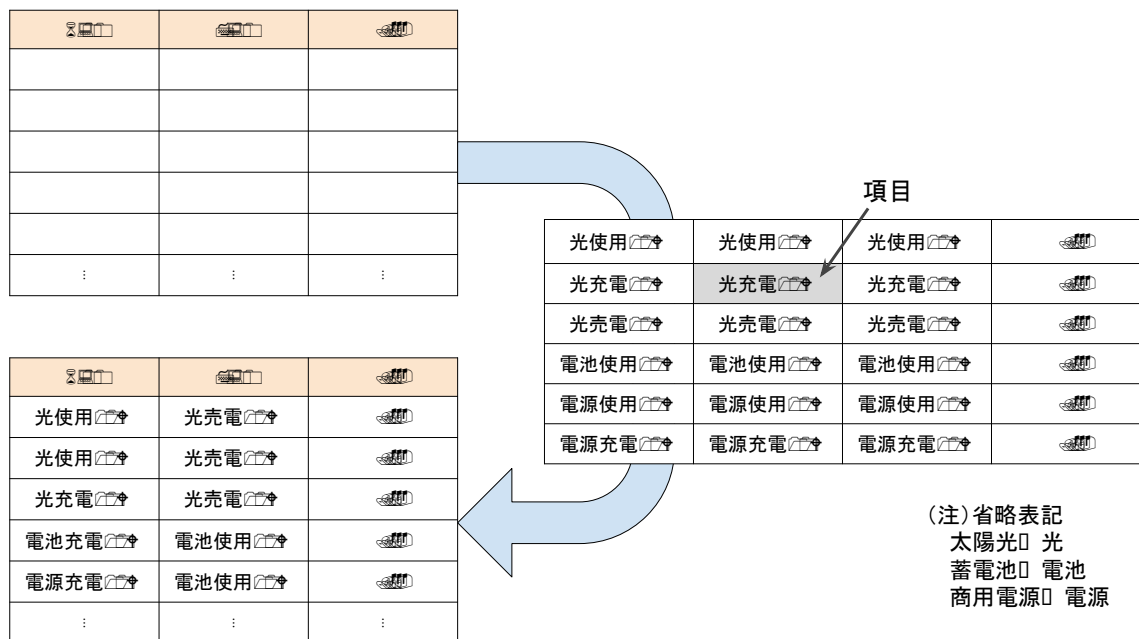


図3：電力量を持つ「項目」を割り当ててスケジュールを作成

本プロジェクトの最適化の目的は、経済コストと環境コストの最小化である。経済コストは電気代、環境コストはCO₂排出量で表現される。アルゴリズムでは、ユーザーが設定した経済面・環境面の優先度を元にコストの最小化を行う。

制約は以下の5つである。

(制約1) 1つの項目が割り当てられる時間枠は高々1枠までとする

(制約2) 蓄電池の充放電を同時に行わない

(制約3) 太陽光の収支が合う

…各時間における太陽光発電量と太陽光使用・充電・売電量の合計が等しくなるための制約

(制約4) 需要を供給が満たす

…各時間における需要と太陽光・蓄電池・商用電源の使用量の合計（供給）が等しくなるための制約

(制約5) 蓄電量が蓄電容量内である

以上の目的・制約から定式化を行い、アニーリングマシンを用いてスケジュールを作成する。

3.3. アプリケーションについて

本プロジェクトで開発した Web アプリケーションでは、スケジュールを作成するデモや、アルゴリズムの詳細を記載したページ、さらに一般向けに作成した Python ライブラリを用いて最適化を実行するページを公開した。(Web アプリリンク：<https://share.streamlit.io/hemsq/hemsq-web/main/main.py>)

デモでは、1日の天気、需要パターンを決める家族構成、蓄電池残量、経済面優先か環境面優先かを選択することで、最適なスケジュールを作成することができる。結果画面では、電気代やCO₂排出量、スケジュール表のほか、太陽光の収支や電力の需給を確認できるグラフ、蓄電池の電力の出入りを示したグラフなどが表示される。

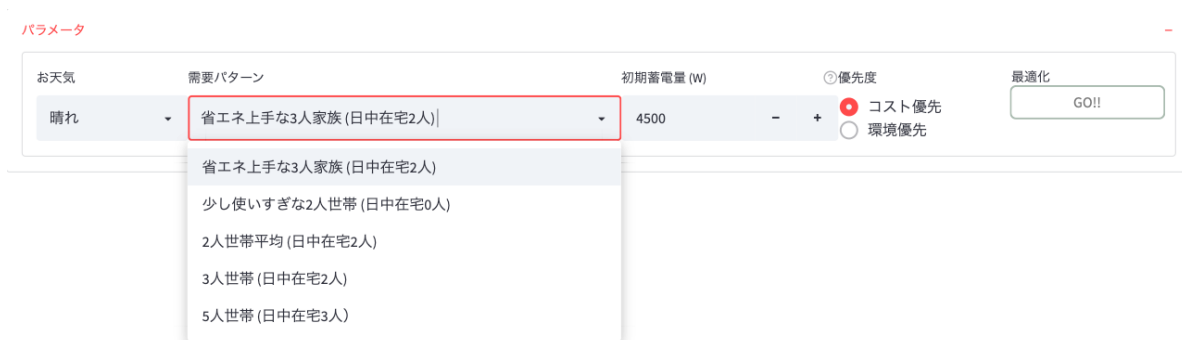


図 4：デモ実行画面

お天気 省エネ上手な3人家族 日中在宅2人

コスト CO2排出量

67.7 円 **2.0 kg**

全スケジュール表

	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	
Demand (W)	230	150	130	120	110	110	130	190	340	360	340	340	260	260	270	220	240	410	430	410	430	330	310	270	
Solar Power Generation (W)	0	0	0	0	0	0	0	200	600	1000	1200	1400	1400	1400	1200	1000	800	400	0	0	0	0	0	0	
Commercial Electricity Prices (yen/W)	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.026	0.026	0.026	0.039	0.039	0.039	0.039	0.039	0.039	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	
Solar-Sell Prices (yen/W)	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	
Use of Solar Power (W)	0	0	0	0	0	0	0	200	0	0	200	340	200	200	200	200	200	200	0	0	0	0	0	0	
Charge of Solar Power (W)	0	0	0	0	0	0	0	200	400	0	800	400	200	1000	200	200	400	200	0	0	0	0	0	0	
Sales of Solar Power (W)	0	0	0	0	0	0	0	0	1000	200	660	1000	200	800	600	200	0	0	0	0	0	0	0	0	
Use of Battery Electricity (W)	200	0	120	0	110	130	0	0	360	0	0	0	0	0	0	0	0	400	0	400	330	0	0	200	
Use of Commercial Electricity (W)	30	150	130	0	110	0	0	190	140	0	140	0	60	60	70	20	40	210	30	410	30	0	310	70	
Charge of Commercial Electricity (W)	0	200	200	0	400	0	0	0	200	0	200	0	0	0	0	0	0	0	0	200	0	0	0	800	0
Remaining amount of Battery (W)	3979	3980	3981	3662	3803	3503	3112	3090	3450	2917	3733	4006	3949	4752	4714	4678	4770	4731	4094	4090	3485	2981	3565	3187	

図 5：デモ結果画面の一部

Web アプリや開発ライブラリのソースコードは GitHub で公開している。(ソースコードリンク：<https://github.com/HemsQ>)

4. 新規性・優位性

HEMS は以下の 3 つの過程を辿り住宅の電気機器を制御する。

- ① 天気やエネルギー需要などの予測
- ② 買電・売電・蓄電などのスケジュール作成
- ③ 機器の制御

本プロジェクトでは②部分の最適化を行うため、従来の HEMS の②の手法と比較した。従来手法では経済面を優先した計画法（計画法 1）と環境面を優先した計画法（計画法 2）がある。提案手法で「経済面を最優先する」設定で最適化を行い従来手法（計画法 1・計画法 2）と比較した結果を図 6 に示す。従来手法の経済面を優先した計画法（計画法 1）と比較して電気代・CO₂排出量ともに削減しており、提案手法によるコスト削減が確認できた。

使用マシン：Fixstars Amplify AE
 需要データ：使用量の多い2人家族

快晴日・曇天日・雨天日かつ初期蓄電量が 10%・50%・90%の場合の計9つのシチュエーションについて24時間分のスケジュールを作成、コストの平均値を算出

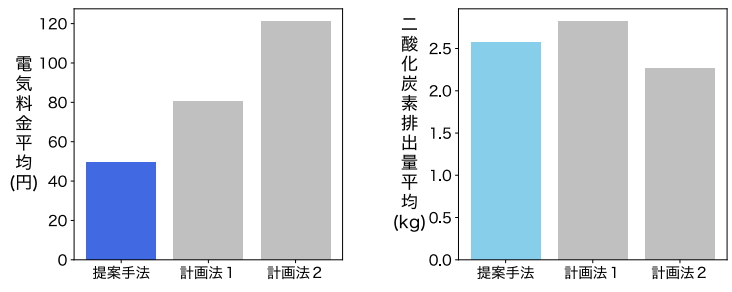


図 6：従来手法とのコスト比較

また従来手法ではスケジュールは経済面優先か環境面優先かの 2 択のみが用意されているのに対し、提案手法では経済面・環境面の優先度合をユーザーが設定できる

ため、より自由度の高いスケジュール作成が可能である。

さらに提案手法が優位である点として、スケジュールのリアルタイム性がある。従来手法では制御を行う前日に天気予報・需要予測をして1日分のスケジュールを作成する。一方提案手法では天気や需要などリアルタイムに更新されていく情報をもとに数時間毎にスケジュールを作成し直す。これにより前日の天気予報や需要予測が外れた場合にも当日に得た情報からスケジュールを更新することができるため、よりよい制御に繋がる。制御のためにスケジュール作成は迅速に行う必要があり、この点で処理速度の速いアニーリングマシンを用いることが有用である。

5. 期待されるユーザー価値と社会へのインパクト

本プロジェクトの最適化によって従来より低コストなスケジュールの作成が可能となり、これを元に HEMS で制御を行うことで、エネルギー利用の更なる効率化が期待できる。またユーザーが設定した経済面・環境面の優先度を元にスケジュールを提案できるため、各ユーザーにとっての最適なエネルギー利用が可能になる。本プロジェクトの取り組みを一つの事例とし、アニーリングマシンをエネルギー問題の解決手段として活用する事例が今後増えていくことを期待する。

6. 氏名（所属）

照井 雪乃(お茶の水女子大学 理学部情報科学科 工藤研究室)

向井 かのん(お茶の水女子大学 大学院人間文化創成科学研究科 工藤研究室)

(参考) 関連 URL

- 開発した Web アプリページ
<https://share.streamlit.io/hemsq/hemsq-web/main/main.py>
- アプリや開発ライブラリのソースコード
<https://github.com/HemsQ>