

令和 6 年 6 月 23 日現在

機関番号：32660

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2022～2023

課題番号：22K20465

研究課題名（和文）持続可能な社会を実現する自然環境調和型エネルギー需給システム構築に向けた技術開発

研究課題名（英文）Technology development for an environmentally friendly energy supply system realizing a sustainable society

研究代表者

寺島 康平（Terashima, Kohei）

東京理科大学・工学部建築学科・助教

研究者番号：80966565

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、太陽光発電(PV)・熱利用(T)を同時に行うPV/Tソーラーパネルを用いて、自然環境への負荷を最小限にすることが可能な自然環境調和型エネルギー供給システムの構築を目指し、各要素技術の開発を行った。従来の課題であった世帯構成の違いやコロナ渦による生活様式の変化を反映したシミュレーション、システムの集熱制御の最適化、太陽熱集熱の夏季における冷房利用にそれぞれアプローチし、システムの消費電力を従来よりも削減できる可能性があることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

PV/Tソーラーパネルは脱炭素社会を実現する再生可能エネルギー利用手法として注目されているが、現在は普及には至っておらず、実用化に向けた技術開発は世界的に見て課題となっている。本研究は、従来の研究では行われていないアプローチから次世代型エネルギー供給システムを提案することを目指したものであり、学術的・社会的意義を有する。

研究成果の概要（英文）：In this study, each elemental technology was developed to realize an environmentally friendly energy supply system that can minimize the load on the environment by using PV/T solar panels that simultaneously generate photovoltaic power and heat. We approached the conventional issues of simulation considering differences in household composition and lifestyle changes caused by COVID-19, optimization of system heat collection control, and cooling use of solar heat collection in summer, respectively. The system's power consumption could be reduced compared to conventional systems.

研究分野：建築環境工学

キーワード：再生可能エネルギー 太陽エネルギー 太陽熱集熱 太陽光発電 PV/Tソーラーパネル

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

脱炭素社会の実現に向けて太陽電池の普及が加速しているが、太陽電池は変換効率が現状 20 %程度であり、残りの約 80 %が外気温+30 °C 程度の環境に対する廃熱となる。日本における全エネルギー消費量に対する電力消費の割合は 25 %程度で、残りの 75 %が熱消費であり、この熱需要に対して太陽電池で電力供給を行うと、それに伴って環境への排熱が増大する。

以上の背景から、太陽光発電(PV)・熱利用(T)を同時に行う PV/T ソーラーパネルの開発を行ってきた。このパネルは、太陽エネルギーを 70 %以上の総合効率で利用可能であり、電力だけでなく熱利用もすることで地球環境に熱負荷を与えない。一方で、このパネルの実用化に向けた統合的なシステムデザインが必要である。

2. 研究の目的

本研究では、太陽エネルギーを電力および熱源として効率良く利用することで自然環境への熱負荷を最小限にすることが可能な、自然環境調和型エネルギー供給システムの構築を目指した。具体的には、従来の課題となっていた以下の 3 点について検討を行った。

(1) モンテカルロ法を用いた需要推定による PV/T ソーラーパネルシステムシミュレーション

従来の研究で PV/T ソーラーパネルを用いた ZEH (ゼロ・エネルギー・ハウス) の提案を行ったが、世帯構成が限定されていた。そこで世帯構成の違いやコロナ渦による生活様式の変化を反映したシミュレーションを行った。

(2) PV/T ソーラーパネルシステムの蓄熱運用の最適化

従来の研究では、PV/T ソーラーパネルによる集熱はルールベースで行われており、消費電力を最小限とする集熱制御が明らかになっていない。そこでメタヒューリスティクスの差分進化法を用いた集熱アルゴリズムを新たに導入し、その有効性について検討を行った。

(3) PV/T ソーラーパネルシステムとエジェクタ冷凍サイクルを組み合わせたシステムの検討

従来に提案した PV/T ソーラーパネルシステムでは、パネルから回収した太陽熱を夏季に利用することができなかった。そこで 60 °C 程度の廃熱から 15 °C 程度の冷熱を省電力で得るエジェクタ冷凍サイクルを PV/T ソーラーパネルと組み合わせ、集熱した温水を冷房に利用するシステムについてシミュレーションを用いて検討した。

3. 研究の方法

(1) モンテカルロ法を用いた需要推定による PV/T ソーラーパネルシステムシミュレーション

これまでに開発してきたモンテカルロ法を用いた需要推定では、住宅内における人の行動に基づいて給湯や暖冷房などの需要を算出することが可能である。本研究では、新たに 2020 年度に調査された生活行動データを導入し、コロナ渦による生活様式の変化が住宅内の熱・電力需要にどのような変化をもたらすかを世帯構成ごとに計算し、図 1 に示す PV/T ソーラーパネルシステムが有効になる条件を検討した。なお本研究では、30 代の夫婦と子供 1 人 (小学生)、40 代の夫婦と子供 2 人 (小学生・中学生)、60 代の夫婦の計 3 ケースで計算を行った。

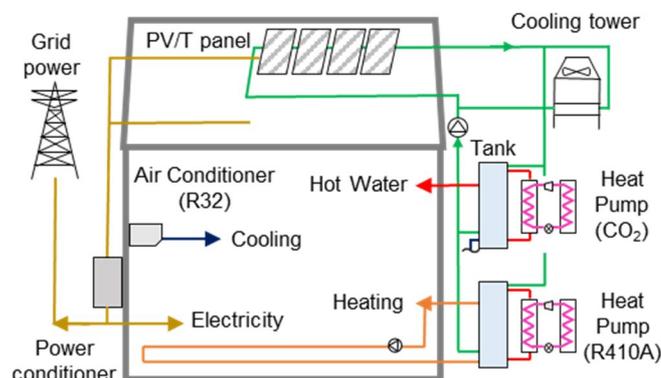


図 1 戸建住宅の PV/T ソーラーパネルシステムの概要

(2) PV/T ソーラーパネルシステムの蓄熱運用の最適化

上述の PV/T ソーラーパネルシステムの運用最適化には、汎用性の高いメタヒューリスティクスの差分進化法を用いた。対象は戸建住宅とし、評価値を消費電力量の一日の合計値、制約逸脱度を熱需要に対する不足熱量の一日の合計値に設定して計算を行うことで、一日の熱需要に対して不足なく供給が可能で、かつ一日の消費電力量を最小とするような集熱制御を目指した。この最適化した運転方法と従来の運転方法で比較を行い、その違いについて検討を行った。

(3) PV/T ソーラーパネルシステムとエジェクタ冷凍サイクルを組み合わせたシステムの検討
シミュレーション計算を行うため、エジェクタ冷凍サイクルの実験データから、COP(消費電力に対する供給冷熱量の比)と COP_T(蒸気発生器消費熱量に対する供給冷熱量の比)を近似式で作成し、性能予測モデルを作成した。このモデルを基に、PV/T ソーラーパネルで得た温水をエジェクタ冷凍サイクルに投入して冷房利用するシステムを想定し、上述のシミュレーションに導入した。対象は戸建住宅とし、従来の太陽電池とエアコンを組み合わせて冷房するシステムと比較を行った。図 2 にシステムの概要を示す。

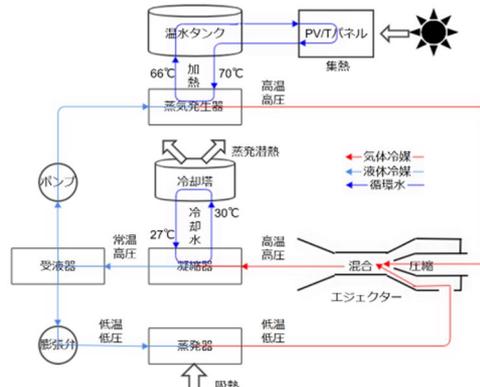


図 2 PV/T ソーラーパネルとエジェクタ冷凍サイクルを組み合わせたシステム

4. 研究成果

(1) モンテカル口法を用いた需要推定による PV/T ソーラーパネルシステムシミュレーション

表 1 に年度ごとの各世帯における年間需要量を、表 2 に 2020 年度のデータにおける世帯ごとの各需要に対する年間 COP を示す。表 1 に示すように、2015 年度のデータと比較して、2020 年度のデータでは在宅時間が増加し、それに伴って暖冷房需要や厨房需要が増加した。特に暖房需要は、30 代・40 代家族の世帯ではやや減少しているのに対し、60 代夫婦の世帯では大きく増加した。表 2 に示すように、暖房需要が大きくなったことで、PV/T ソーラーパネルで集熱した温水を有効に利用することができるため、60 代夫婦世帯の暖房 COP が最も高くなった。その結果、全需要(給湯・暖冷房・厨房・非熱電力)と全消費電力の比で計算した年間総合 COP も 60 代夫婦が最も高くなった。以上から、コロナ禍による新たな生活様式の定着が在宅時間を増加させること、および日本で高齢化社会が進んでいることは、PV/T ソーラーパネルシステムの普及に有利になり得ることを示した。

表 1 年度ごとの各世帯の年間需要

Demand	Hot water [GJ]		Heating [GJ]		Cooling [GJ]		Cooking [GJ]	
	2015	2020	2015	2020	2015	2020	2015	2020
30s	13.8	13.7	22.8	22.5	5.44	5.78	0.49	0.50
40s	14.5	15.6	21.5	21.8	6.10	6.43	0.50	0.89
60s	12.9	12.8	23.2	25.1	5.12	6.90	0.39	0.74

表 2 2020 年度データにおける世帯ごとの各需要に対する年間 COP

Case	Hot water	Heating	Cooling	Total
30s	5.91	5.16	4.88	2.94
40s	5.94	4.94	4.89	2.86
60s	6.37	5.39	4.87	3.05

(2) PV/T ソーラーパネルシステムの蓄熱運用の最適化

図 3 に冬季の代表日のルールベースによる集熱運転と差分進化法による集熱運転を示す。ルールベースの運転では、出力目標温度を暖房用タンクでは 40 °C、給湯タンクでは 60 °C と設定し、PV/T ソーラーパネルからの出力水温がこの温度を常に満たすように各時刻でパネル内に流れる温水の流量を制御している。したがって冬季の集熱温度を上昇させにくい環境では、流量を小さくすることで温度差を大きくして蓄熱するため、熱損失が増大する。一方で、差分進化法による集熱では、ルールベースによる運転と比較すると、暖房需要や給湯需要の無い昼間に流量を多く設定し、熱損失が小さくなるように集熱して蓄熱タンク内全体の温度を上昇させ、その後熱需要が発生するまでに必要温度まで蓄熱タンク内の温度を上昇させる傾向がある。この集熱を

行うことで、図 3 に示すように昼間の集熱量が増加する。この日の集熱量は、ルールベース運転が 29.0 MJ に対し、最適化運転は 31.4 MJ と増加し、さらに発電量も 39.9MJ から 40.1 MJ に増加させ、消費電力を 153 MJ から 150 MJ に削減した。

本研究では、一日の需要を完全に予測できることが前提となっているため、需要の増減も考慮した最適化手法の提案が今後の課題となる。

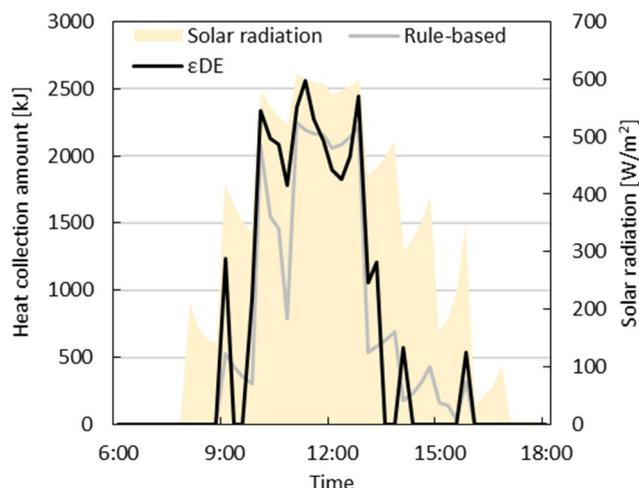


図 3 冬季代表日における日射量および各運転制御の集熱量

(3) PV/T ソーラーパネルシステムとエジェクタ冷凍サイクルを組み合わせたシステムの検討

表 3 に各システムの夏季における冷房需要・消費電力・COP の計算結果を示す。年間冷房需要 1686 MJ に対し、太陽電池 (PV) とエアコンを組み合わせたシステムでは消費電力が 395 MJ となり、PV/T ソーラーパネルとエジェクタ冷凍サイクルを組み合わせたシステムでは 243 MJ となった。したがって PV/T パネルとエジェクタ冷凍サイクルを組み合わせたシステムは、冷房消費電力を 39.8 %削減し、COP を 4.23 から 7.03 に向上させる可能性があることを示した。

一方で、エジェクタ冷凍サイクルの凝縮器で要求される冷却水の温度は 30℃ 程度であり、東京の高温多湿な気候においては、この条件を満たす冷水を冷却塔から供給するのが難しく、貯湯槽に十分な熱量はあるが運転ができないケースが見られた。冷却塔からの出力水温が低い朝や夜の時間帯にエジェクタ冷凍サイクルを稼働させるなど、運用面の改善が今後の課題である。またこのエジェクタ冷凍サイクルは現段階では試験装置のため、実機の開発を行う必要がある。

表 3 各システムの夏季における冷房需要・消費電力と COP

Case	Cooling demand [MJ]	Power consumption [MJ]	COP
PV panel + Air conditioner	1686	399	4.23
PV/T panel + Ejector cycle	1686	240	7.03

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 寺島康平, 長井達夫, 佐藤春樹, 小嶋満夫, 國吉直, 門倉輝, 伊藤瑤姫
2. 発表標題 PV/Tソーラーパネルとエジェクタ冷凍サイクルを組み合わせた太陽エネルギー利用システムの検討
3. 学会等名 日本太陽エネルギー学会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------