

博士学位論文審査要旨

2018年7月24日

論文題目： Basic Characteristics of Rankine Cycle with Functional Elements, using Supercritical Carbon Dioxide
(超臨界二酸化炭素を用いたランキンサイクルと機能構成要素の基礎特性に関する研究)

学位申請者： CHAYADIT PUMANERATKUL

審査委員：

主査： 同志社大学大学院理工学研究科 教授 山口 博司

副査： 同志社大学大学院理工学研究科 教授 高岡 正憲

副査： 滋賀県立大学工学部材料科学科 教授 Balachandran Jeyadevan

(バラチャンドラン ジャヤデワン)

要 旨：

超臨界二酸化炭素 (CO₂) を作動流体としたエネルギー輸送システムを自然エネルギー利用に応用することは、将来のエネルギー問題への解決策として重要である。本論文は太陽熱エネルギーを利用したエネルギー回収システムの発展を念頭に、作動流体に自然冷媒である CO₂ を用いた超臨界 CO₂ ソーラーランキンサイクルシステム (SRCS) に関して解析的および実験的に調査を行い、その高効率化についての機構を明らかにしたものである。具体的には SRCS の駆動部として従来のフィードポンプの代わりに機能構成要素として熱ポンプを導入し、エクセルギー解析により熱ポンプの効率性・優位性を調査し検証したものである。また、太陽光発電に用いられるソーラーパネルの冷却・排熱回収に液化 CO₂ を用いて太陽光熱複合システムとすることで SRCS の高機能化を実証した。さらに、実験および数値解析により SRCS の集熱部である平板式ソーラーコレクタの表面温度分布を解明し、最適コレクタ形状の選定を行った。更なる SRCS の高効率化を目的として、低沸点作動流体を循環させ熱回収量の変化を調査し、これまで提案されてきた SRCS に対する優位性を明らかにした。また、本研究では密閉二重管式熱サイフォンを SRCS の熱・電気エネルギーの生成熱源として用いる新たな研究内容と共に、ヒートパイプによる熱輸送を組み合わせた高効率 SRCS 開発の可能性について報告したものである。

以上、本論文は、超臨界 CO₂ ソーラーランキンサイクルシステム (SRCS) について、基礎特性を実験的及び解析的に調査し、システム及び構成要素の高機能化と高効率化について報告したものであり、工学的にきわめて価値のあるものと評価できる。よって本論文は博士 (工学) (同志社大学) の学位論文として十分な価値を有するものと認められる。

総合試験結果の要旨

2018年7月24日

論文題目: Basic Characteristics of Rankine Cycle with Functional Elements, using Supercritical Carbon Dioxide
(超臨界二酸化炭素を用いたランキンサイクルと機能構成要素の基礎特性に関する研究)

学位申請者: CHAYADIT PUMANERATKUL

審査委員:

主査: 同志社大学大学院理工学研究科 教授 山口 博司

副査: 同志社大学大学院理工学研究科 教授 高岡 正憲

副査: 滋賀県立大学工学部材料科学科 教授 Balachandran Jeyadevan

(バラチャンドラン ジャヤデワン)

要 旨:

本論文提出者は、2015年9月に同志社大学大学院理工学研究科博士課程(前期課程)を修了後、2015年10月より本大学大学院理工学研究科機械工学専攻博士課程(後期課程)に在籍している。この間、主として超臨界二酸化炭素を用いたエネルギー輸送の基礎及び工学的応用に関する研究を行ってきた。

本論文の主たる内容は、2編の Energy Procedia, Journal of Solar Energy Engineering, Cogent Engineering に掲載され、既に十分な評価を受けている。2018年7月21日に学術講演会が開かれ、種々の質疑討論が行われたが、提出者の説明により十分な理解が得られた。さらに、講演会終了後、審査委員により、論文に関連した諸問題につき口頭試問を実施した結果、本人の十分な学力を確認することができた。本人は博士課程教育リーディングプログラム(GRM Program)及び機械工学専攻に在籍し所定の単位を取得し、さらに国際学会で7件の英語による講演も行うなど、十分な語学能力を有するものと認められる。よって、総合試験の結果は合格であると認める。

博士學位論文要旨

論文題目： Basic Characteristics of Rankine Cycle with Functional Elements, using Supercritical Carbon Dioxide
(超臨界二酸化炭素を用いたランキンサイクルと機能構成要素の基礎特性に関する研究)

氏名： CHAYADIT PUMANERATKUL

要旨：

For decades, research on using supercritical CO₂ in energy conversion system has been pursued, which is considered to be a pathway for combating energy and global warming crises. One of the keystones for obtaining sustainable development is the utilize of supercritical CO₂ properties. Giving preventing global warming and sustainable energy development, supercritical CO₂ solar Rankine cycle system (SRCS) has been developed for power production by gaining the considerable potency of solar energy with using supercritical CO₂ as a working fluid.

The structure of the thesis is as follows:

Chapter 1: Background of the study is explained by concerning the energy and environment issues. The utilization of supercritical CO₂ in energy conversion system is also introduced.

Chapter2: The processes of thermodynamic power cycles were discussed and compared by showing the efficient of supercritical Rankine in term of power generation. The gas behavior of CO₂ in supercritical state deviates significantly from the ideal gas. The properties of supercritical CO₂ are provided based on the Angus equation of state (EOS), which is based equation of PROPATH database. The unique property of supercritical CO₂ is that CO₂ in the pseudocritical region is enhancing the higher in convective heat transfer coefficient, which can be feasibly acclaimed in efficient operations of energy conversion system. The maximum value of specific heat can be achieved at the pseudocritical point, in which can be confirmed with the high peak of Prandtl number at same point.

Chapter 3: The current developments on SRCS are reported based on the proper components design, which is evacuated solar collector, turbine and thermally driven pump. In the heat collection part, the cascade arrangement of evacuated solar collector shows the optimum to the system in term of CO₂ mass flow rate and heat collection efficiency. Turbine with 1.0 mm and 33 mm of nozzle diameter and length, respectively, is considered to use due to prevent of choked flow phenomenon and to enhance the power generation in the system. Furthermore, in order to reduce the efficiency losses occurred in the conventional mechanical feed pump used in the system, the thermally driven pump is introduced to replace with the mechanical feed pump. The results confirm the feasibility to circulate CO₂ in the system without electric energy required.

Chapter 4: The theoretical background of the first and second laws of thermodynamic are discussed to describe the concept of energy and exergy analysis used in this study. The exergy analysis on the system further investigates and verify the higher efficiencies and advances of the thermally driven pump over the mechanical feed pump. Besides, the thermally driven pump helps to decrease the exergy destruction rate in the evacuated solar collector while the exergetic efficiency of turbine finds an increase, in which the electric power generated is considered as the main principle of the system.

Chapter 5: The CO₂-Based Photovoltaic-thermal hybrid system is developed as an extension system for the SRCS to improve in power generation of the photovoltaic solar cell and to increase the efficacy of SRCS. Liquid CO₂ is used to absorb the waste heat of photovoltaic solar cell and cool the surface of the solar cell. The highest of 2 % in generation efficiency gets improve to the photovoltaic solar cell alone. Another additional purpose of the hybrid system is to preheat CO₂ before entering the evacuated solar collector, which maximum 28 °C can be found in this study. To confirm the temperature distribution on the surface of the photovoltaic solar cell, the numerical analysis has been conducted. The results from analysis acclaimed good trend of temperature distribution compared with the experimental results, especially in case of summer condition. The combination of hybrid system and SRCS show the significant pathway to using CO₂ as a working fluid in energy conversion system both in term of the environment and economic.

Chapter 6: SRCS has been used as a secondary cycle to generate electric and heat energy from geothermal energy (underground reservoir). To utilize the low-temperature geothermal energy from the shallow borehole, the heat pipe (thermosyphon) principle where a working fluid with a low boiling temperature (methanol) is circulated and extracted heat to generate electric energy. From the numerical calculation, the supercritical CO₂ Rankine cycle system with low-temperature geothermal heat pipe shows the feasibility in power generation by using only around 100 °C of the low-grade geothermal reservoir. The experimental model based on the principle of geothermal heat pipe has been scaled down and primarily constructed by using water as working. It can be observed the reassuring results of heat transfer in heat pipe experimental. The wet steam phenomenon explains the relation between the steam rising distance in the heat pipe and heat pipe efficiency, in which moisture also can be observed at the wall of visualization area. The data experiment data from heat pipe model is based on predicting of heat output in the actual geothermal heat pipe that is the affirmative working principle of the heat pipe. However, for more accuracy, methanol would be used as a working fluid in the heat pipe experimental model.

Chapter 7: The conclusion of Chapter 1 to Chapter 6, which shows the feasibility of the current development in using supercritical CO₂ as working fluid in energy conversion system. The future aspect of the system is also remarked.