

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 27 日現在

機関番号：55502

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26450357

研究課題名(和文)ソーラーアシストによる農業用ハウス暖房用バイオマス燃料焚きボイラーシステムの開発

研究課題名(英文)Development of a biomass fuel-fired boiler system for house heating for agriculture by solar assist

研究代表者

川原 秀夫(KAWAHARA, Hideo)

大島商船高等専門学校・その他部局等・教授

研究者番号：80300622

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：太陽集熱パネルは家庭用の温水器として1970年代頃から普及しており、太陽エネルギーの利用効率は40～60%と太陽電池を遥かにしのぐことが知られていながら、その利用先は温水(～70℃)のみに限られ、利用分野を広げる新たな開発はほとんどされてこなかった。しかし、集熱や断熱構造に様々な工夫が施されており、100℃前後の低圧蒸気生成に効率良く利用できる可能性がある。

本研究では、小型貫流ボイラーと組み合わせ、太陽熱エネルギーによるボイラーの消費燃料及び二酸化炭素排出量の低減を図ったシステムを提案し、その運転特性について検討した。

研究成果の概要(英文)：A compact industrial boiler system that is combined with solar-thermal collector pipe has lower fuel consumption and CO2 emissions than conventional systems, and has been subjected to basic testing. High-pressure steam generated by the compact boiler drives a steam ejector to decrease the pressure inside the tank, causing the generation of low-pressure steam within them using solar thermal energy. Steam from both sources is mixed in the ejector and is supplied on demand at low to medium pressure to where its use is required. Evaluation results of the operating performance of the boiler system using evacuated dual glass tube confirmed that the internal pressure of the tank was maintained at close to predicted levels, and that there was a stable supply of low-pressure steam.

研究分野：農学

キーワード：再生可能エネルギー 太陽熱エネルギー 木質バイオマス

1. 研究開始当初の背景

農業用ハウスの暖房燃料は、一般的に石油等を使用するケースが多く、昨今の原油価格の高騰でハウス農家は経営が圧迫されつつある。特に、トマトやピーマン、バラといった栽培温度の高い作物を生産しているハウス農家では、消費する石油量も多く、燃料費の高騰に苦しんでいる。また、地球温暖化対策の観点から、二酸化炭素排出量の削減は喫緊の課題であり、ハウス栽培を行うハウス農家においても対応が求められている。近年、環境保全型農業と再生可能エネルギーの組み合わせによる地域づくりが盛んになり、ハウス用熱源として木質バイオマスを燃料とした熱源装置が利用され始めている。一方、木質バイオマス燃料は他の化石燃料に比べて輸送・生産費用が大きく、単位面積当たりのエネルギー発生密度が低いという特徴を持つことから、他の再生可能エネルギーと組み合わせ、その点をカバーした新たな熱エネルギーシステムが望まれている。再生可能エネルギーの中で、風力や太陽光と並んで期待されているのが太陽熱利用である。図1に太陽光エネルギーの利用分野を示す。

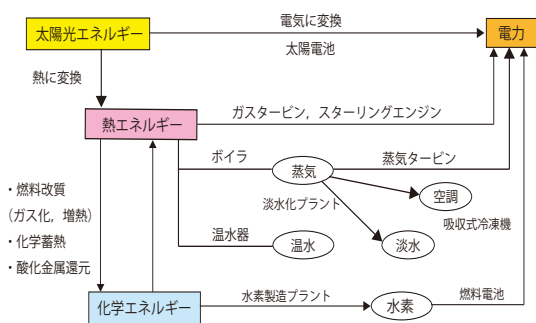


図1 太陽光エネルギーの利用分野

太陽光を直接電気に変換するのが太陽電池であり、日本国内では特に普及が進んでいるが、世界全体を見渡すと、温水を生成する家庭用太陽集熱パネルの普及や大規模な集熱プラントを利用した太陽熱発電プラントの建設が進められている。図に示すように、太陽光のエネルギーを熱エネルギーに変換することによって、電力以外のエネルギー利用分野に大きな広がりを持たせることが可能である。

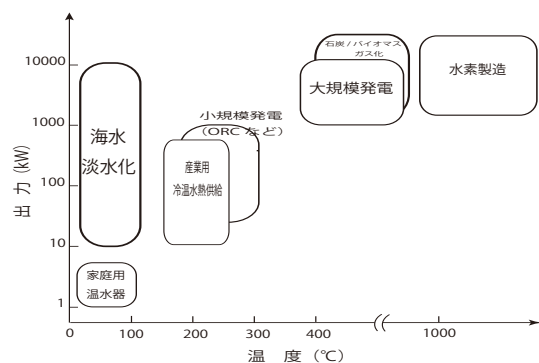


図2 太陽熱利用技術マップ

図2は太陽熱利用技術マップを示す。太陽熱利用の大きな特長は、ミラーやレンズ等の光学機器で集光することによって温度を制御し、利用温度を選択できるところにある。アプリケーション毎に適切な温度が存在し、一般には高温利用ほどプラントも大規模化していく。

太陽集熱パネルは家庭用の温水器として1970年代頃から普及しており、太陽エネルギーの利用効率は40~60%と太陽電池を遙かにしのぐことが知られていながら、その利用先は温水 (~70°C) のみに限られ、利用分野を広げる新たな開発はほとんどされてこなかった。しかし、集熱や断熱構造には様々な工夫が施されており、100°C前後の低压蒸気生成に効率良く利用できる可能性がある。本研究では、農業用ハウスに利用され始めている木質バイオマスボイラーと組合せ、太陽熱エネルギーによるボイラーの燃料消費および二酸化炭素排出量の低減を図る新しい熱源システムについて検討する。

2. 研究の目的

本研究は、ソーラーアシストを利用した農業用ハウス暖房用の木質バイオマス燃料焚きボイラーシステムの開発に主眼を置く。木質バイオマスを農業用ハウス暖房の熱源として利用する場合、燃焼利用 (直接燃焼、混焼、固形燃料化等) が有望視されている。一方、木質バイオマスエネルギーは他の化石燃料に比べて、生産コストがかかるという問題がある。そこで本研究では、近年価格低下で注目されている太陽光集熱パネルと木質バイオマス燃料焚きボイラーを組み合わせ、太陽熱エネルギーによるボイラーの燃料消費および二酸化炭素排出量の低減を目的とした新たなシステムを提案し、その評価を行う。

3. 研究の方法

本研究は、これまで申請者が行ってきた狭小流路を有する積層化した木質バイオマス燃焼炉に関する研究を発展させて、太陽光集熱パネルと木質バイオマス燃料焚きボイラーを組み合わせ、太陽熱エネルギーによるボイラーの燃料消費および二酸化炭素排出量の低減を目的とした図3に示す新たなシステムを提案し、そのシステムの性能を評価するものである。具体的には、(I) 本システムに使用する太陽集熱パネルの集熱特性 (異なる日射量におけるパネル表面温度と集熱効率の関係) の把握、(II) 蒸気エゼクターによる減圧作用と太陽集熱パネル内の低压蒸気発生特性の把握、(III) 化石燃料 (灯油) による貫流ボイラーを用いたソーラーアシストボイラーシステムの有効性の検証について行う。

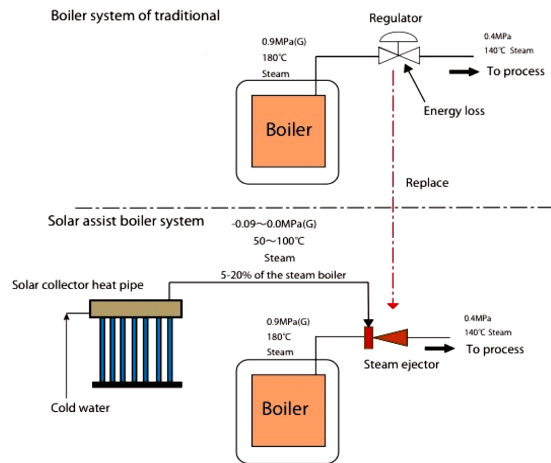


図3 従来の熱源システムと提案した熱源システムとの比較

3.1 本システムに使用する太陽集熱パネルの集熱特性（異なる日射量におけるパネル表面温度と集熱効率の関係）の把握

本システムを検討するにあたって、まず太陽集熱パネルの基本特性について検討しておく必要がある。図4は、太陽集熱パネル外観写真を示す。一般的に、パネル温度が上昇すると、輻射による放熱損失が増加するため、集熱効率（集熱媒体に回収されるエネルギーとパネルに照射される太陽光エネルギーの割合）とパネル表面温度の関係を明らかにしておく必要がある。



図4 太陽集熱パイプの設置風景

3.2 蒸気エゼクターによる減圧作用と太陽集熱パネル内の低圧蒸気発生特性の把握

ソーラーアシスト熱源システムを構築する前に、コンプレッサーを使った高圧空気を駆動流体とした場合の蒸気エゼクターによるパネル内の減圧特性を調査する。様々な空気圧におけるパネル内部の低圧蒸気の発生状況ならびに蒸気エゼクター出口における低圧蒸気と空気の吸引状態について検討する。図5は太陽集熱パネル内部の様子を示す。

本システムは、太陽集熱パネルと駆動熱源器の間に蒸気エゼクターを設置して、減圧時のエネルギーによって太陽集熱パネル内部を吸引し、パネル内を減圧することによって低圧蒸気を生成する。この発生した低圧蒸気は蒸気エゼクター内で高圧の駆動蒸気と混合され、中・低圧の蒸気として蒸気利用プロセスへ供給される。

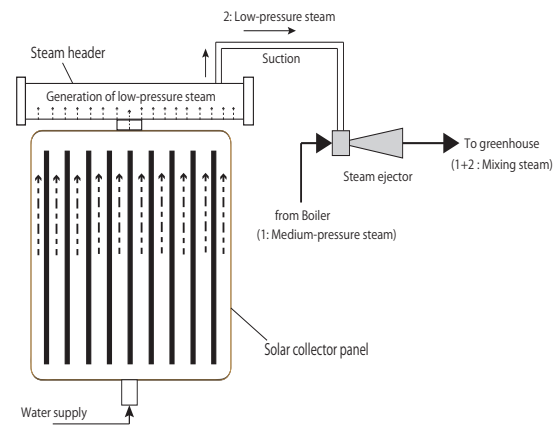


図5 太陽集熱パイプ及び蒸気エゼクターの設置状況

3.3 化石燃料（灯油）による貫流ボイラーを用いたソーラーアシストによるボイラーシステムの有効性の検証

3.2の結果を踏まえて、まず貫流ボイラーから発生した蒸気を蒸気エゼクターの駆動熱源としたソーラーアシスト熱源システムの有効性について検討する。表1は熱源システムの仕様を示す。様々な蒸気圧を設定し、蒸気ヘッド内部の低圧蒸気の発生量について検討する。実際の熱源システムでは、太陽集熱パネルに供給する給水流量の変化によって、パネル内部は非定常状態になるため、その影響について検討する。

表1 熱源システム内の各装置の仕様

Item		Unit	Specification
Small once-through boiler	Conversion amount	kg/h	200
	Working pressure	MPa	0.5-0.9
	Boiler efficiency	%	90
	Fuel	-	Kerosene
Steam ejector	Drive flow rate	kg/h	100
	Drive pressure	MPa (G)	0.9
	Suction flow rate	kg/h	4.5
	Suction pressure	MPa(abs.)	-
	Discharge pressure	MPa(G)	0.1
Solar-thermal collector pipe	Tank capacity	L	195
	Glass tube number	number	24
	Glass tube size	mm	φ47×1500
	Effective heat collection area	m ²	2.27
	Product dry weight	kg	110

4. 研究成果

4.1 太陽集熱パイプの性能

真空二重ガラス管の性能を評価するため、同じ種類の二重ガラス管を、一方は真空二重ガラス管（真空管）、もう一方を大気圧二重ガラス管（大気圧管）とし、ガラス管内部に直接水を入れて昇温実験を行った結果を図6に示す。図に示すように、大気圧管では放熱損失が増大し、50℃付近で上限温度となっている。また、日射が弱くなった時間帯では、次第に温度は降下している。一方、真空ガラス管は日射が弱くなった時間帯でも上昇し続け、100℃まで達している。さらに、これは水を使った実験した結果であるため100℃が最大値となっているが、実際に油加熱や空焚きでは200℃まで達する。

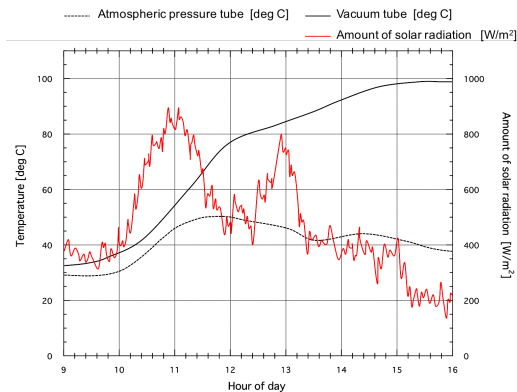


図6 真空二重管内部の温度特性

次に、太陽集熱パイプの集熱性能について検討した。図7は、晴天時における日射量 600 (W/m²) と雨天時における日射量 100 (W/m²) を基準とした代表的な瞬時集熱効率を示す。なおグラフは計測データから最小二乗法によって求めた近似曲線である。先ず 600 (W/m²) の日射を基準とした場合では外気温との差にはあまり影響を受けず、ほぼ一定の集熱効率を維持していることがわかる。次に日射量 100 (W/m²) では、日射量 600 (W/m²) に比べて大幅に集熱効率が低下し、特に外気温 60℃では約 44%低減した。一方で冬季での集熱を考えた場合には、平板式より真空二重管が有利であることが知られている。

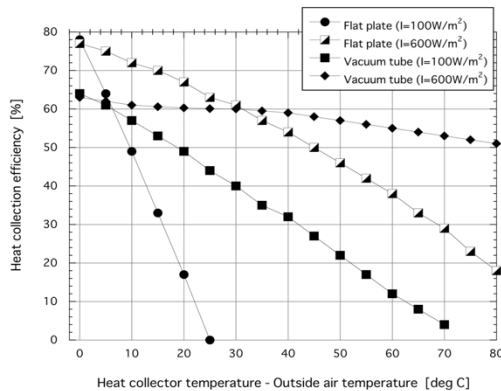


図7 真空二重管と平板内部における集熱効率の比較

4.2 ソーラーアシストによるボイラーシステムの運転性能

図8は、ある11月の快晴日のシステムの運転状況を示す。図に示すように約11時30分頃に太陽高度が最も高くなり、日射量が最大値を示している。その約1時間前からエゼクターによる吸引運転を開始した。吸引開始と共に、タンク内の温度は速やかに低下し、タンク内部で沸騰が開始したことを示している。タンク内の温度はほぼ内圧 (0.05-0.06MPa(abs.)) に対する沸点に一致し、安定して推移した。駆動圧力は貫流ボイラーからエゼクターに流入する駆動蒸気の圧力を示し、ボイラーの給水のタイミングによって若干の変動があるものの、安定して運転されていることが確認された。

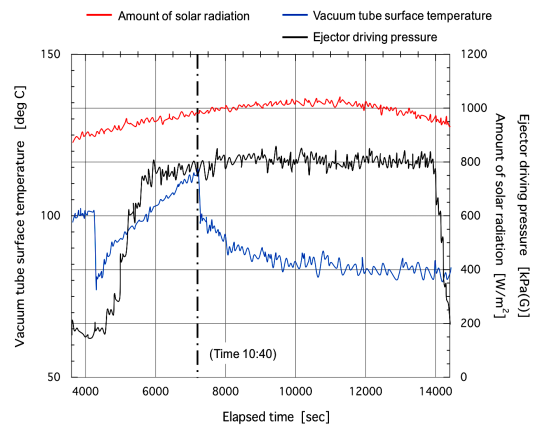


図8 ソーラーアシストによるボイラーシステムの運転性能

太陽集熱パイプを利用した太陽熱アシストボイラーシステムを提案し、太陽集熱パイプである真空式二重管の基礎試験及びボイラーシステムの動作原理および基本性能の検討を行った。

- (1) 真空式二重管は大気圧管に比べて、日射量が弱くても高い集熱温度を維持している。
- (2) 高い日射量がある場合、真空式二重管の集熱効率は外気温に影響されないことがわかった。
- (3) 真空式二重管を利用したボイラーシステムの運転性能の評価した結果、タンク内の圧力はほぼ予想していた圧力を維持し、安定して低圧蒸気を供給していることを確認した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1件)

- ① Hideo Kawahara and Akihiro Miyata, Operating Performance of an Energy-Saving Boiler System using Solar-Thermal Collector Pipe, Proceedings of International Conference on Agriculture, Energy and Environment Engineering (AEEE2016), 査読有, CD-ROM AEEE-A300

〔学会発表〕（計 1 件）

- ① 川原秀夫, 宮田顕宙, 太陽集熱パイプを利用した省エネルギーボイラシステムの性能評価, 日本機械学会 中国四国支部第 55 期総会・講演会

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

○取得状況（計 0 件）

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

川原 秀夫 (KAWAHARA Hideo)
大島商船高等専門学校・その他の部局等・
教授
研究者番号：80300622

(2) 研究分担者

西村 龍夫 (NISHIMURA Tatsuo)
山口大学・工学部・教授
研究者番号：90136135