

未利用温水を蒸気に変換する「スチームリンク」の開発

福住 幸大* 梶山 啓輔** 藤村 幹樹**

Steam Generation System Utilizing Low-temperature Waste Hot Water

by Yukihiro FUKUSUMI, Keisuke KAJIYAMA, & Motoki FUJIMURA

A new steam generation system, capable of generating 0.3 – 0.6 MPa(G) of steam from low-temperature waste hot water (80 – 90 degrees C) and other thermal sources, has been developed for providing as a heat source for various facilities in a factory. This enables good use of low-temperature hot wastewater which is normally discharged for being unsuitable as a heat source. By the new system an absorption heat pump, driven by low temperature hot water, generates low pressure steam of 0.1 – 0.2 MPa(G). A steam ejector is then used to pressurize the steam to 0.3 – 0.6 MPa(G). This system was co-developed with Tokyo Gas, Miura.

Keywords: Waste heat, Waste hot water, Steam generating, Absorption heat pump, Absorption cycle, Steam ejector, Temperature boosting, Pressure boosting, Cogeneration system

1. はじめに

近年、産業機器・システムの省エネルギー化促進を背景に廃熱の有効利用が進んでおり、高温廃熱は廃ガスボイラや吸収式冷凍機等により、様々なプロセスに利用されている。一方、100℃以下の低温廃温水は、用途がボイラ給水の前熱や暖房等に限定されることなどから、その多くが利用されることなく環境に放出されているのが現状である。

こうした低温の温水を有効に利用する技術の一つとして、第2種吸収ヒートポンプが知られており¹⁾、熱交換器の仕様に関するシミュレーション²⁾、太陽熱を利用したヒートポンプの検討^{3,4)}、サイクルの理論解析とシミュレーションによる最適化⁵⁾、実験装置による性能試験と解析⁶⁾などが報告されている。

しかし、80～90℃の温水を利用した吸収ヒートポンプで発生できる蒸気の圧力はゲージ圧0.1～0.2 MPa程度と低いため、需要は少なかった。

今回開発したシステムでは、吸収ヒートポンプで発生

したゲージ圧0.1～0.2 MPaの低圧蒸気を、エゼクタによってゲージ圧0.3～0.6 MPaまで昇圧し、一般的な工場プロセス等で需要の多い圧力の蒸気を製造することで、ボイラで消費される化石燃料を削減することを目的とする。

本稿では上述のシステム製品（以下「スチームリンク」と称する）の概要と適用例、実証試験について紹介する。

なお、本システム製品は、東京ガス(株)、三浦工業(株)、荏原冷熱システム(株)の3社共同開発によるものである。

2. システム構成

本システムは、廃温水から低圧蒸気を発生する吸収ヒートポンプと、低圧蒸気を昇圧するエゼクタと、これらの制御装置から構成されている。本システムの仕様例を表1に、内部フローを図1に外形図を図2に示す。

以下、本システムの主な構成機器である第2種吸収ヒートポンプとエゼクタについて説明する。

2-1 第2種吸収ヒートポンプ

第2種吸収ヒートポンプの主な構成機器は、蒸発器、吸収器、凝縮器、再生器、溶液熱交換器、冷媒熱交換器、溶液ポンプ、冷媒ポンプであり、一般的な吸収冷凍機と同じである。

吸収サイクルは次のようになる。再生器で濃縮された

* 荏原冷熱システム(株)

** 東京ガス(株)

** 三浦工業(株)

表1 仕様例
Table 1 Spec. example of steam generation system

項目 Term		夏期 Summer	中間期, 冬期 Other seasons
温水 Hot water	熱源 Heat source	未利用温水, CGS排温水 Waste hot water, CGS jacket cooling water	
	熱量 Amount	305 kW	377 kW
	入口温度 Inlet temp.	90℃	
	出口温度 Outlet temp.	85℃	84℃
	流量 Flow rate	52.8 m ³ /h	
冷却水 Cooling water	入口温度 Inlet temp.	32℃	28.5℃
	出口温度 Outlet temp.	35℃	32.1℃
	流量 Flow rate	45.6 m ³ /h	
高圧蒸気 High pressure steam	圧力 Pressure	1.6 MPa	
	温度 Temp.	204℃	
	流量 Flow rate	790 kg/h	
出力蒸気 Output steam	圧力 Pressure	0.5 MPa	
	温度 Temp.	159℃	
	流量 Flow rate	1005 kg/h	1055 kg/h
給水 Feed-water	温度 Temp.	60℃	
電源容量 Electric source		8.5 kVA	

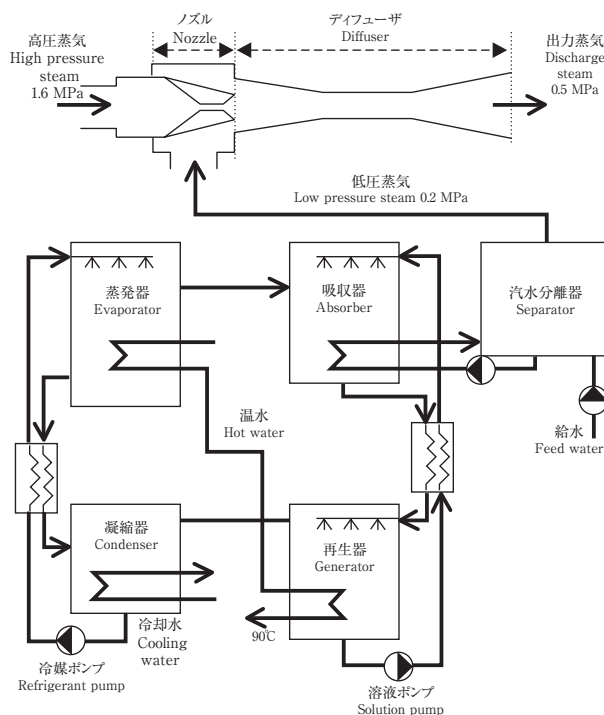


図1 システムフロー図

Fig. 1 Schematic diagram of steam generation system

濃溶液は、溶液ポンプで昇圧されて溶液熱交換器の被加熱側を経由して吸収器に入る。吸収器で伝熱管上に散布された溶液は、蒸発器から流入する冷媒蒸気を吸収して吸収熱を発生し、その熱で伝熱管内の給水を加熱・蒸発させる。冷媒を吸収して濃度が薄くなった溶液は、溶液熱交換器の加熱側を経由して再生器に戻る。再生器で伝熱管上に散布された溶液は、管内を流れる廃温水によって加熱され、冷媒蒸気を発生して濃縮されて濃溶液となり、溶液サイクルを一巡する。再生器で発生した冷媒蒸気は凝縮器に流入し、伝熱管内の冷却水によって冷却されて凝縮し冷媒液となる。冷媒液は冷媒ポンプによって蒸発器に散布され、伝熱管内の廃温水によって加熱されて蒸発し、吸収器に流入する。以上のサイクルをデューリング線図に表したものを図3に示す。

このように、廃温水を再生器と蒸発器に供給し、凝縮器には冷却塔からの冷却水を供給することによって、吸

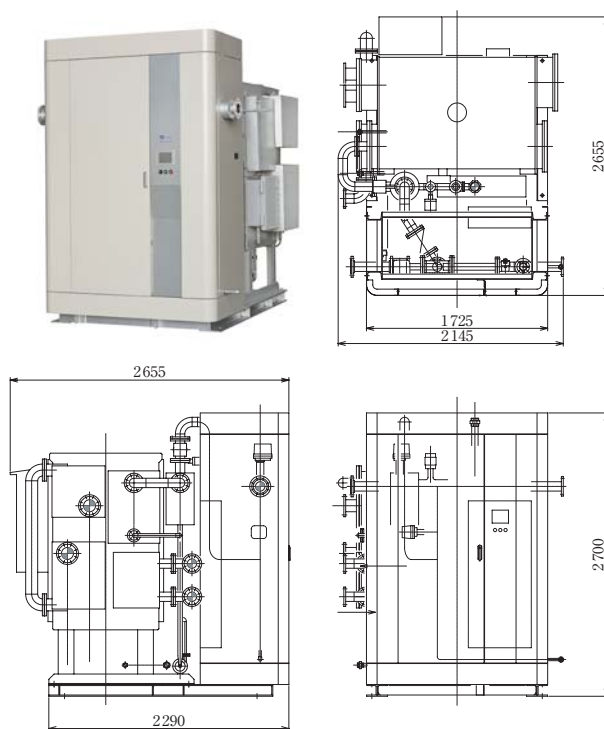


図2 製品外形図

Fig. 2 General view of the unit

収器が昇温されて蒸気を発生することができる。

吸収ヒートポンプは、廃温水そのものを駆動源として

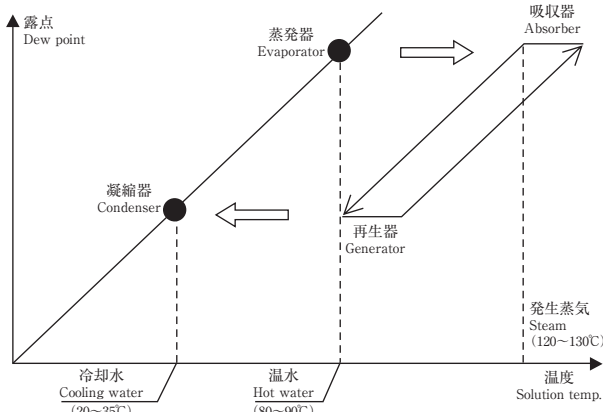


図3 サイクルのデューリング線図
Fig. 3 Dühring chart of absorption heatpump cycle

高温を発生できることが大きな特長であり、理論成績係数（吸収器発生熱量／廃温水入熱量）は0.5である。

2-2 蒸気エゼクタ

蒸気エゼクタはノズルとディフューザを主要部品として構成され、高圧蒸気を駆動源として低圧蒸気を昇圧することができる。高圧蒸気はノズルから低圧超音速で噴射され、低圧蒸気を吸い込み、双方の蒸気はディフューザで混合され、ディフューザの面積が広がるに従い減速し、徐々に圧力が上昇する。その結果、ディフューザ出口では低圧蒸気よりも高い圧力の蒸気が吐出される。蒸気エゼクタは運動部分をもたないシンプルな構造のため、高い耐久性・信頼性を備えている。

3. システムの適用例

スチームリンクは、温水からの蒸気製造が可能のため、温水用途がなく、有効利用できていない顧客がシステム導入の対象となる。温水はガスエンジンコージェネレーションシステム（以下「ガスエンジンCGS」）のエンジン廃温水、蒸気ドレン等から得ることができる。その他にも工業炉・産業工程における冷却水、蒸気回収が終わった後の200℃程度の廃ガスからの温水回収からも得られ、それを用途に合わせて蒸気化することも有効である。スチームリンクの適用イメージと投入エネルギーを100としたエネルギーバランス例を図4及び図5に示す。

4. 実証試験

4-1 社内試験

本システムの試験機を製作して、社内で運転試験を実施した。システムの設計仕様と実機による性能試験の結果を表2に示す。本システムの性能が設計仕様を満たす

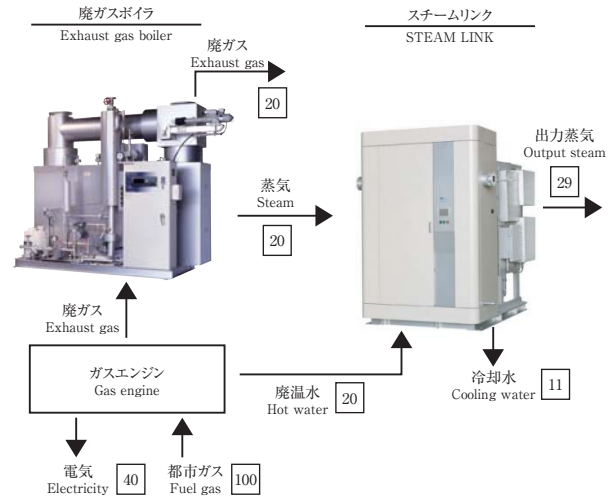


図4 ガスエンジンCGS への適用
Fig. 4 Schematic diagram of co-generation system

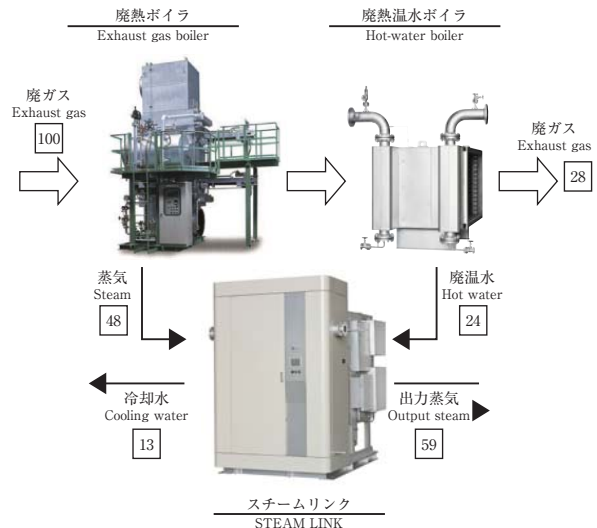


図5 廃ガス回収システムへの適用
Fig. 5 Schematic diagram of waste gas recovery system

ことを確認した。なお、本設計仕様は、後述するフィールド試験先での蒸気、温水、冷却水の条件に合わせて決定している。

4-2 フィールド試験

前述の試験装置を、(株)ツムラ茨城工場に据え付け、2010年度からフィールド試験を開始し、現在も継続中である。吸収ヒートポンプは、廃温水や冷却水の温度によって発生蒸気量に変化する特性をもち、本フィールド試験では、こうした温度条件や負荷の変動、起動停止など、実際の使用状況において本システムが機能上問題ないことを確認する。また、システム構成機器の耐久

表2 試験機の設計仕様と試験結果

Table 2 Design spec. and experimental results of system

項目 Term		設計値 Design	社内試験 Experiment
温水 Hot water	熱量 Amount	484 kW	534 kW
	入口温度 Inlet temp.	86℃	86.3℃
	出口温度 Outlet temp.	75.8℃	75.1℃
	流量 Flow rate	42 m ³ /h	42.2 m ³ /h
冷却水 Cooling water	入口温度 Inlet temp.	20℃	19.2℃
	出口温度 Outlet temp.	25.3℃	24.9℃
	流量 Flow rate	45.6 m ³ /h	41.3 m ³ /h
高圧蒸気 High pressure steam	圧力 Pressure	1.1 MPa	1.08 MPa
	温度 Temp.	188℃	188℃
	流量 Flow rate	983 kg/h	1062 kg/h
出力蒸気 Output steam	圧力 Pressure	0.3 MPa	0.3 MPa
	温度 Temp.	144℃	143℃
	流量 Flow rate	1322 kg/h	1426 kg/h

性や信頼性を確認するとともに、発生蒸気量を測定して、本システムを導入したことによる燃料削減効果の検証を行う。試験機設置状況を写真に、フロー図を図6に示す。本試験機は、熱源としてガスエンジンCGSの廃温水を

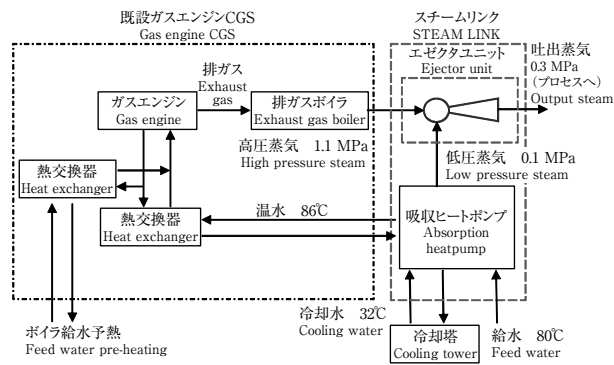


図6 試験フロー
Fig. 6 Schematic diagram of field test

利用している。スチームリンク導入以前には、温水はボイラ給水予熱だけに利用されていたが、これに加えてプロセス蒸気に変換して利用することで、更なる省エネルギーとCO₂の排出量低減が図られている。導入効果について図7に示す。ガスエンジンCGSの運転時間が想定より少ない、設備側の調整のため温水の温度が想定より低いなどのいくつかの要因により、実証開始から4箇月は想定を下回る蒸気発生量となったが、温度条件が改善した8月以降は、ガスエンジンCGS運転時間の影響を除けば想定どおりの蒸気発生量であり、導入前の効果試算の精度が確認された。2000時間以上の運転を経ても性能低下や蒸気発生部の腐食は確認されず、ガスエンジンCGSの発停、温水温度や冷却水温度の変化にも安定した稼動状態であることが確認できている。



写真 実証試験全景
Photo Field test

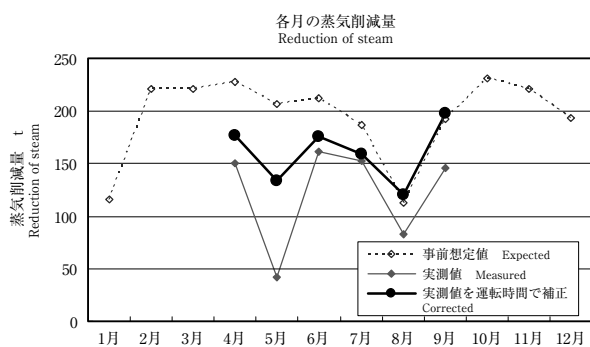


図7 導入効果

Fig. 7 Field test results

5. おわりに

吸収ヒートポンプから発生した低圧蒸気をエゼクタで昇圧するスチームリンクを開発し、実機試験により性能を確認した。フィールド試験により稼動状態、過渡特性などの確認が終わり、現在はその導入効果について検証

中である。本稿で紹介したユニットのほかに、2011年度には約2倍の出力をもつ機種をラインナップに加える予定となっており、これからの新しい省エネルギー機器として提案を進めていく。

謝 辞

本稿で紹介したフィールド試験を実施するにあたって、多大なご協力をいただいている(株)ツムラ茨城工場に、この場を借りて謝意を表する。

参考文献

- 1) 高田：「吸収冷凍機」, pp. 38-41, 日本冷凍協会 (1982).
- 2) 柏木, 伊藤, 黒崎, 加藤：日本機械学会論文集B, 52 (474), 795 (1986).
- 3) 野邑, 西村, 藪下, 柏木：日本冷凍協会論文集, 6 (2), 151 (1989).
- 4) 野邑, 西村, 藪下, 柏木：日本冷凍協会論文集, 7 (3), 65 (1990).
- 5) 井上, 入江, 福住：日本冷凍空調学会論文集, 22 (2), 173 (2005).
- 6) 福住, 井上：2005年度日本冷凍空調学会年次大会講演論文集, C106 (2005).

