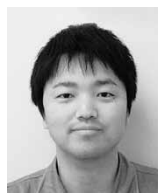


(技術資料)

高効率蒸気供給システム「スチームグロウヒートポンプ(SGH)」

High Efficiency Steam Supply Heat Pump System; Steam Glow Heat Pump (SGH)



和田大祐*1
Daisuke WADA



飯塚晃一朗*2
Koichiro IIZUKA



前田倫子*2
Michiko MAEDA



吉本友憲*3
Tomonori YOSHIMOTO

Four companies—Kobe Steel, Ltd., Tokyo Electric Power Company, Inc., Chubu Electric Power Co., Inc. and The Kansai Electric Power Co., Inc.—have jointly developed two heat-pump-based steam supply systems: the Steam Glow Heat Pump 120 (SGH120) high efficiency steam supply system with a steam temperature of 120°C and the Steam Glow Heat Pump 165 (SGH165), which enables a steam temperature of 165°C. This is the highest temperature for a heat pump system. The heat pump system, which is equipped with a newly developed screw compressor (applicable to high compression ratios and high temperatures) and a compressor motor resistant to high temperatures, uses a refrigerant suitable for high temperature supply and is a world first for enabling steam supply. Its energy efficiency of COP3.5 is higher than that achieved by gas boilers.

まえがき = 地球温暖化防止に対する様々な取組がなされる中、当社は、オフィスビルや商業施設などの空調用途および工場のプロセス冷却用途の電気式ヒートポンプ型熱源機として2008年に「ハイエフミニシリーズ・HEM^{注1)}Ⅱ」を開発・製品化し¹⁾、その後、産業用加熱分野向けに、ガスや石油など化石燃料を直接燃焼させるボイラに代わる機種として、7°Cの冷水と90°Cまでの温水を同時供給可能な電気式ヒートポンプ型熱源機「ハイエフミニシリーズ・HEM-HR90」を開発・販売してきた^{2), 3)}。

今回、さらなる省エネルギー化や環境保全性を高めたいとの産業用加熱用途での要望に対し、殺菌・濃縮・乾燥・蒸留工程などの温度領域まで使用でき、世界で初めて、120°Cを超える蒸気供給を可能にした高効率ヒートポンプシステムを開発した。本製品を「スチームグロウヒートポンプ^{注2)}」(以下、SGH^{注2)}という)と称し、120°C定格の「SGH120」および165°C定格の「SGH165」の2機種(以下、本機という)をラインナップした。

当社では製氷・冷房・暖房・加熱分野まで様々なユーザーニーズに対応したヒートポンプを販売している。図1は、上記の既存機種と今回開発した2機種を、適用可能なユーザーニーズの目安となる同時出力される冷水と温水の温度範囲で整理・分類したものである。横軸が冷水(熱源水)の、縦軸が冷却水(温水)の出力温度を示す。

なお、本稿で紹介するSGHは、東京電力(株)、中部電力(株)、関西電力(株)および当社の4社によって共同

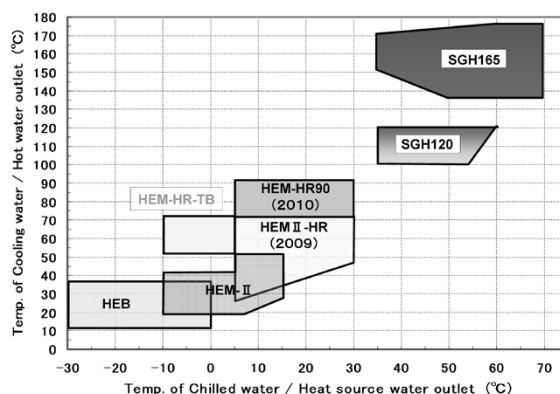


図1 当社ヒートポンプの対応温度マップ
Fig. 1 Temperature map of products

開発したものである。

以下、その仕組や特徴、導入メリットなどについて概説する。

1. SGHの構成および特徴

1.1 ユニット構成

図2にSGH120およびSGH165の外観、図3にはそれぞれの機器構成と冷媒などのフロー図を示す。

SGH120は、ヒートポンプユニットとフラッシュタンクユニットから構成される。ヒートポンプユニットはさらに圧縮機、二つの熱交換器(蒸発器と凝縮器)および膨張弁から成る。ヒートポンプユニットではまず、蒸発器で排温水からの熱を汲上げ(吸収し)て冷媒液を気化させる。この冷媒ガスをスクリュウ圧縮機によって昇圧し、凝縮器において冷媒ガスの凝縮潜熱を加圧水に与える。さらに、凝縮後の冷媒液を膨張弁によって減圧し、

脚注1) HEMは当社の登録商標である。

脚注2) スチームグロウヒートポンプおよびSGHは当社の登録商標である。

*1 機械事業部門 圧縮機事業部 冷熱・エネルギー部 *2 機械事業部門 開発センター 技術開発部 *3 神鋼テクノ(株)

蒸発器へと循環させる。フラッシュタンクユニットは、ヒートポンプユニットで昇温した加圧水をフラッシュタンク内でフラッシュ蒸発させ、汽水分離後の飽和蒸気

(最高120℃, 0.1MPaG)として供給する。残ったドレンは循環ポンプによりフラッシュタンクユニットに戻される。

SGH165は、SGH120の後段にさらに蒸気圧縮機ユニットを付設したものである。蒸気圧縮機ユニットは、フラッシュタンクユニットで生成した飽和蒸気を圧縮し、高圧高温の飽和蒸気(最高175℃, 0.8MPaG)を供給する。

1.2 高温対応技術

高温供給が可能なヒートポンプとしては従来、高温水単独供給^{2)~6)}、高温水と蒸気の同時供給⁷⁾、あるいは熱風単独供給⁸⁾のいずれかの方式しかなく、120℃以上の飽和蒸気を単独で供給できるのは当社のSGH方式のみである。100℃を超える蒸気供給が困難であった理由としては、冷房用途に適した冷媒では凝縮圧力が高く臨界温度が低いなど高温供給に不向きであったことに加え、冷媒を圧縮する圧縮機的设计温度が蒸気供給用途には低く、高温化や高圧縮比への対応が必要であったことが挙げられる。

開発機では、120℃以上の蒸気を効率的に安定供給するために、以下に紹介する対策を施している。

1.2.1 圧縮機

本機を対象に、運転条件における温度分布および熱変形解析を実施した。それらの結果をそれぞれ図4(a)および(b)に示す。この結果に基づいて圧縮機内各部の隙間設計を見直した。また、圧縮機の吸込温度が高い運転条件でもモータが過熱しないよう、冷媒液をモータ内部に直接噴霧して冷却する方法を採用し、圧縮機の信頼性と性能維持を確保した。

単段スクリュウ圧縮機および二段スクリュウ圧縮機の圧縮比に対する圧縮機断熱効率を図5に示す。ヒートポンプ

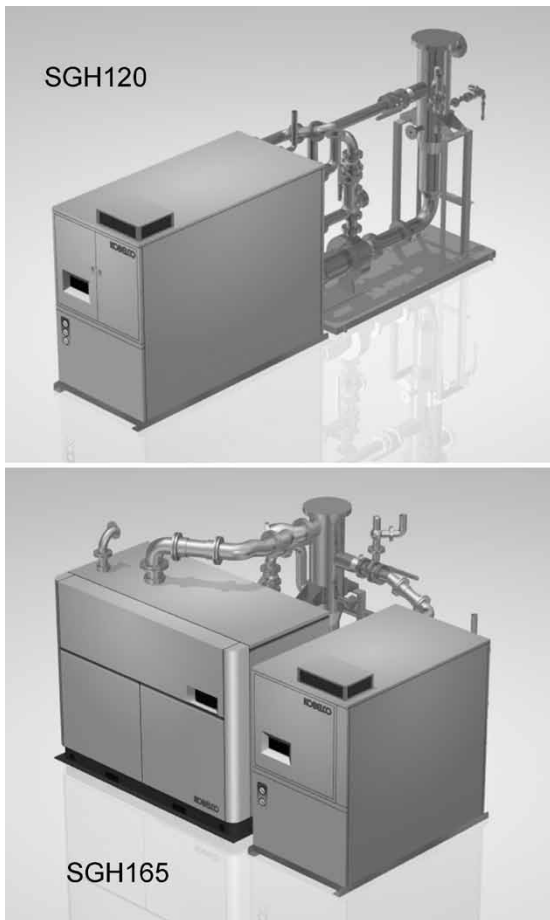


図2 SGH120およびSGH165の外観
Fig. 2 Appearances of SGH120 and SGH165

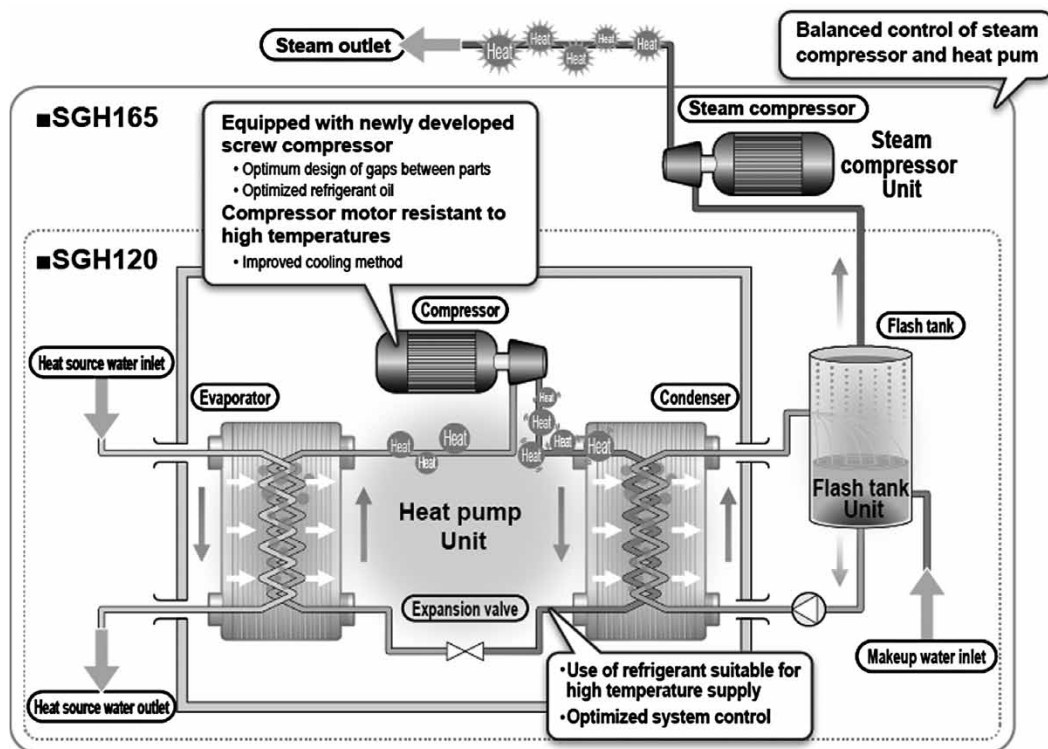


図3 SGHフロー図
Fig. 3 Flow diagram of SGH

ユニットに対し、適用する圧縮比範囲において高効率運転を達成させるため、SGH120では二段圧縮機を、SGH165では単段圧縮機を採用した。

1.2.2 冷媒・冷凍機油

ヒートポンプユニットの冷媒には、HFC（ハイドロフルオロカーボン）の一種で臨界温度が高く低圧冷媒であるHFC-245fa（臨界温度157.5℃）をベース冷媒として選定した。オゾン層破壊係数（ODP）がゼロであるこ

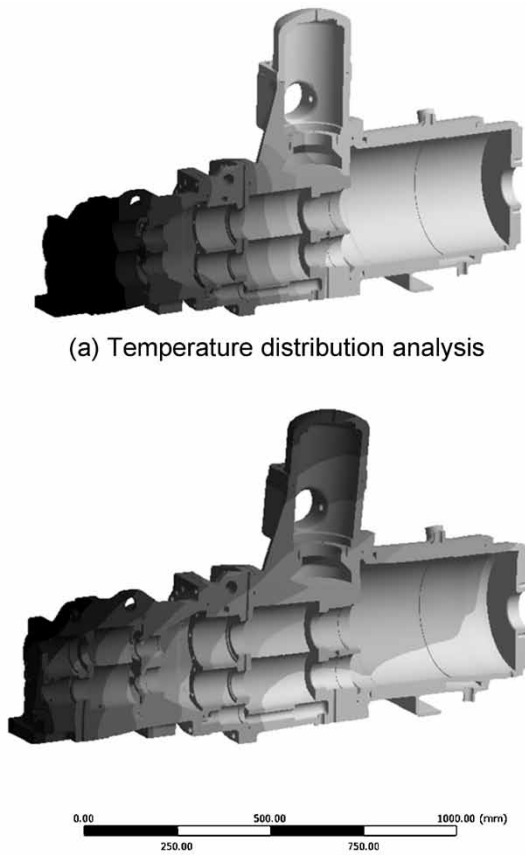
とに加えて地球温暖化係数（GWP）が低く、地球環境に対する影響が極めて少ないことも選定理由である。ただし、SGH165ではHFC-245faだけでは単位流量あたりの能力が小さい。このため、HFC-134a（臨界温度101.1℃）を混合せ、最適な冷媒成分比とすることによって高効率運転を実現した。また冷凍機油は、高温下でも必要な粘度を維持し、劣化やスラッジの発生のないものを選定した。

1.2.3 取出蒸気圧力制御

SGHのヒートポンプユニットは、取出（供給）蒸気圧力を制御パラメータとして取込み、圧力変動に応じた出力制御を行う。すなわち、取出蒸気圧力が必要圧力より高い場合は供給蒸気量が余剰であることから、圧縮機の回転数を下げて蒸気量を減らす。逆に、低い場合は蒸気量が不足しているため、回転数を上げて蒸気量を増やす制御を行っている。この制御方法により、要求される蒸気量に応じた供給を可能とする省エネ性能を実現している。

1.3 性能

表1に本機の概略仕様を示す。定格条件でのSGH120の性能は蒸気供給量0.51t/h、COP3.5、SGH165のそれは蒸気供給量0.89t/h、COP2.5を達成した。COP（Coefficient Of Performance）値とは、システム投入（消費）電力に対する出力熱量、すなわちエネルギー効率を表す指標



(a) Temperature distribution analysis

(b) Heat distortion analysis

図4 数値解析結果
Fig. 4 Results of numerical analyses

表1 SGHの概略仕様
Table 1 Specification of SGH

Unit type	SGH120	SGH165	
Specification	Steam supply condition	0.1MPaG	0.6MPaG
	Heat source water (°C)	120°C	165°C
	Heating capacity (kW)	65	70
	Mass flow rate of steam supply (t/h)	370	624
	COP	0.51	0.89
	COP	3.5	2.5
Heat source water range (°C)	35~65	35~70	
Output steam range (MPaG)	0.0~0.1	0.2~0.8	
Dimensions (W×D×H)	1,325×4,850×2,540	4,400×3,180×2,810	
Installing weight (kg)	4,000	7,000	

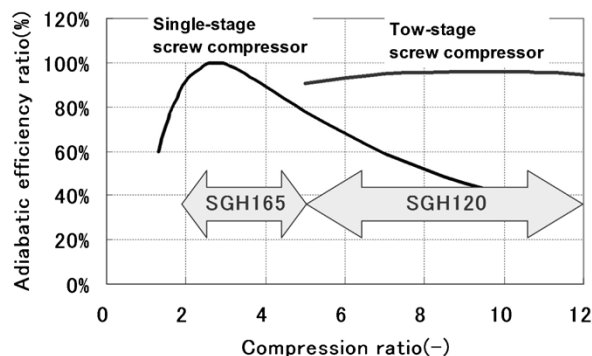
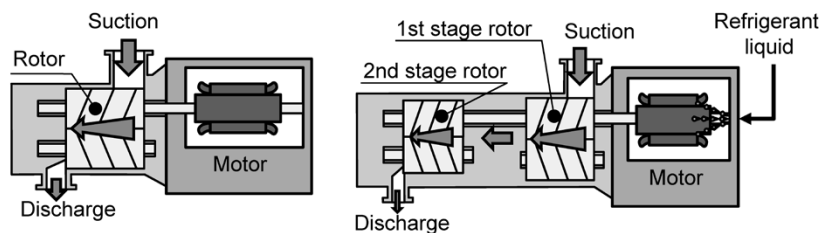


図5 最適な圧縮機の選定

Fig. 5 Optimum selection of compressors

である。図6に、熱源水入口温度に対する全負荷時のCOP特性、および蒸気供給量（給水温度20℃換算）を示す。熱源水温度が高いほどCOPおよび蒸気供給量はとも高くなっており、4本の曲線の右端のデータはいずれも表1の定格性能に相当する。これらの値は、工場内の水冷チラーの冷却水や生産プロセスからの排温水、あるいは未利用熱源水から効率的に排熱を回収し、利用可能な蒸気として供給できる性能である。とくに、SGH165が出力可能な蒸気温度165℃（最高175℃）は、燃焼式ボイラシステムに代えて本機を既設の蒸気配管に接続が可能なることを意味する。また本機は、供給蒸気圧が一定となるようにヒートポンプユニットの圧縮機回転

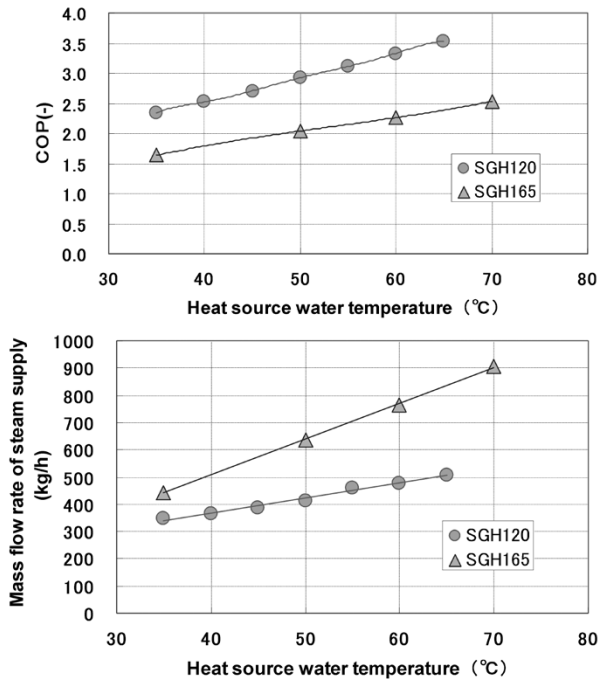


図6 SGHの全負荷特性
Fig. 6 SGH full load performance

数をインバータ制御する。このため、一般の貫流ボイラに比べてより安定した圧力の蒸気を供給できることは、顧客における蒸気利用プロセス、すなわち顧客製品の品質安定化につながる。

2. SGHの導入分野とメリット

食品・飲料の殺菌や化学薬品・飲料の濃縮、印刷物・塗装品・汚泥・紙・医薬品・食品などの乾燥、さらに蒸留酒などの蒸留など、蒸気を使用する工程を有する工場には、排温水や排蒸気といった排熱が少なからずある。こうした排熱を再利用する本機の典型的な適用例を図7に模式的に示す。一般の工場では、既存の燃焼ボイラから各プロセスへ蒸気を供給するが、熱源から遠く離れた各プロセスへの蒸気供給配管において、かなりの熱損失や減圧弁での圧力損失が生じる。これに加え、プロセスで使用後のドレンが十分に再利用されていない（できない）ケースが多い。そこで、蒸気を使用する工程の近くに本機を設置し、これらのプロセスからの排温水から熱を回収して蒸気を生成することにより、つぎのようなことが期待できる。

- ① 需要先への熱源機分散設置による蒸気配管での各種損失の削減。
- ② プロセスに最低限必要な圧力の蒸気を供給することによるエネルギー使用量の削減。
- ③ 生産プロセスより排出されている未利用排熱の有効活用。

具体的に、100~120℃の蒸気利用と35~65℃の排温水が同時に存在するプロセスにはSGH120を、135~175℃の蒸気利用と35~70℃の排温水が同時に存在するプロセスにはSGH165を適用した場合を考えてメリットを定量に試算した。年間320日24時間運転（7,680時間運転）、既存のガスボイラのシステム効率を50%とした場合、SGH120およびSGH165による定格運転条件でのランニ

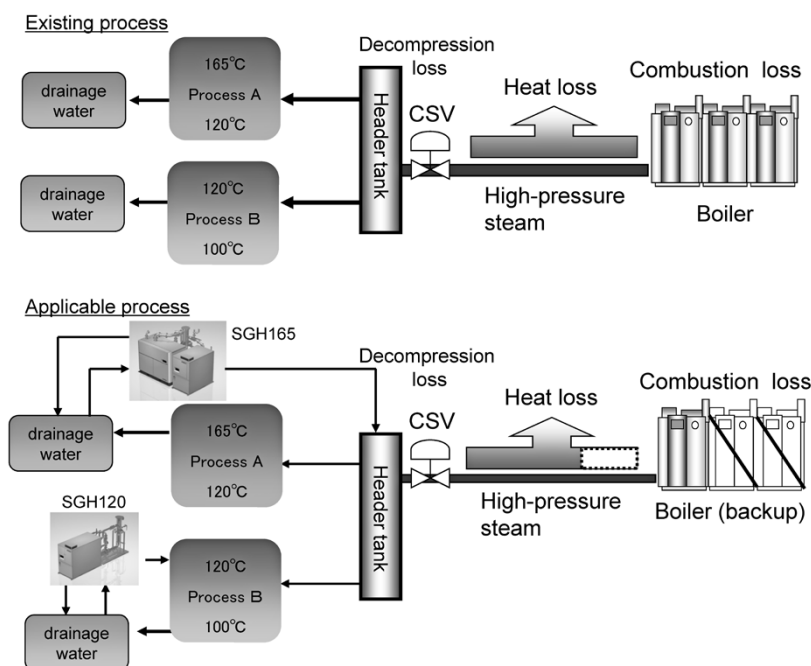


図7 SGHの適用例
Fig. 7 Application example of SGH

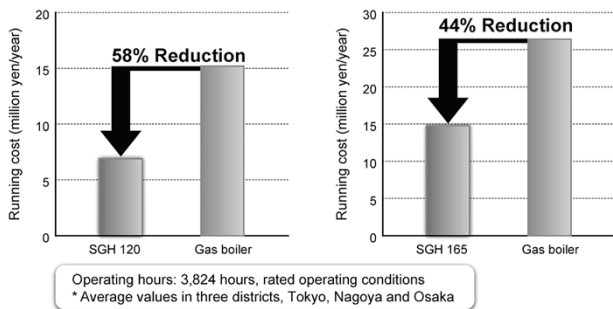


図 8 経済性試算結果
Fig. 8 Economical evaluation

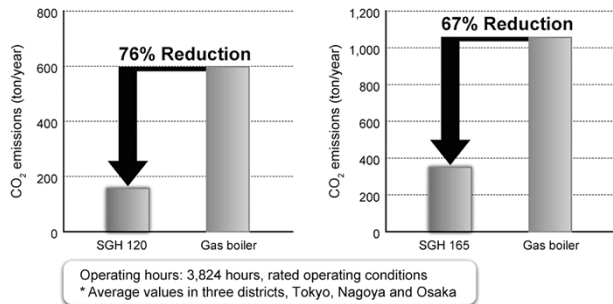


図 9 環境性試算結果
Fig. 9 Environmental evaluation

ングコストはそれぞれ58%および44% (図 8), CO₂排出量はそれぞれ76%および67% (図 9) と大幅な削減が見込める。なお、試算で用いたガス代や電気代は、東京、名古屋、大阪の三地区の平均値とした。

むすび=東日本大震災後2年が経過し、燃料の高騰や電力需給が逼迫する状況にある中、リスク分散と省エネルギーの両観点から既存の燃焼式ボイラとSGHとのベストミックスが図られるものと考えられる。中長期的には、その特徴である高効率性や省エネ性から、温水供給ヒートポンプおよびSGHは、産業用加熱分野において広く採用されるものと期待される。

今後も社会ニーズや各ユーザ個別のニーズを的確にとらえ、市場動向に対応したラインナップの拡充を図りたい。また、次世代の市場に適合した高効率性や省エネ性に優れた商品の開発を推し進めることにより、海外への展開を含めた全地球規模的な低炭素化社会の実現に貢献していきたい。

参考文献

- 1) 神崎奈津夫ほか. OHM 2004年7月号. p.43.
- 2) 下田平修和. 建築設備と配管工事. 2009年8月号, No.631, p.28-30.
- 3) 下田平修和. 建築設備と配管工事. 2010年9月号, No.647, p.23-25.
- 4) 三菱重工業(株)ホームページ. 産業用温水ヒートポンプ (ETW). http://www.mhi.co.jp/products/detail/turbo_hotwater.html, (参照 2013-04-09).
- 5) ゼネラルヒートポンプ工業ホームページ. 排湯熱源対応高温型高効率水冷式ヒートポンプZQH. http://www.zeneral.co.jp/seihinjyouhou/pdf/catalog_zqhwa.pdf, (参照 2013-04-09).
- 6) サイエンス(株)ホームページ. ECOマルチ・ヒーポン. <http://www.science-inc.jp/heat-pump/>, (参照 2013-04-09).
- 7) (株)東洋製作所ホームページ. Mr. エコ スチーム. <http://www.h.toyo-ew.co.jp/product/catalog/mr-eco-steam.html>, (参照 2013-04-09).
- 8) (株)前川製作所ホームページ. CO₂熱風ヒートポンプ エコシロッコ. http://www.mayekawa.co.jp/ja/products/heat_pumps/03/, (参照 2013-04-09).