

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」の開発

Development of highly efficient steam supplying system

“Steam Grow Heatpump : SGH”

株式会社神戸製鋼所 機械事業部門 圧縮機事業部 冷熱・エネルギー部
岡田 和人

KOBE STEEL LTD., Machinery Business, Refrigeration System & Energy Department
Kazuto Okada

キーワード：ヒートポンプ (Heat Pump)、蒸気供給 (Steam Supply)、スクリュウ圧縮機 (Screw Compressor)、省エネルギー (Saving of Energy)、CO₂ 排出量削減 (CO₂ Emission Reduction)

1. 開発の背景

地球温暖化防止に対する様々な取り組みがなされる中、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での高効率熱源機として、2008年に「ハイエフミニシリーズ・HEM II」を開発し製品化した^[1]。その後、産業用加熱分野向けにも、ガスや石油など化石燃料を直接燃焼させるボイラに替わり、電気式の高効率なヒートポンプとして、7°Cの冷水と90°Cまでの温水を同時供給可能な「ハイエフミニシリーズ・HEM-HR90」を開発し製品化した^{[2] [3]}。

省エネルギー化や環境保全性を高めたいという産業用加熱分野のお客様の中には、殺菌・濃縮・乾燥・蒸留工程など、120°C程度、あるいはそれ以上の蒸気を使用されているケースも少なくない。そこで、これらのご要望にお答えするため、当社、東京電力(株)、中部電力(株)、関西電力(株)の4社にて、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なヒートポンプシステムを共同開発し製品化した。「スチームグロウヒートポンプ 120 (以下、「SGH120」という)」においてはヒートポンプで120°C、さらに、ヒートポンプに蒸気圧縮機を追加搭載した「スチームグロウヒートポンプ 165 (以下、「SGH165」という)」においては165°C (最高175°C) の蒸気供給を可能にした。対応温度域については、当社既存機種とあわせて、図1を参照されたい。

以下、その仕組みや特徴、導入メリットなどについて紹介する。

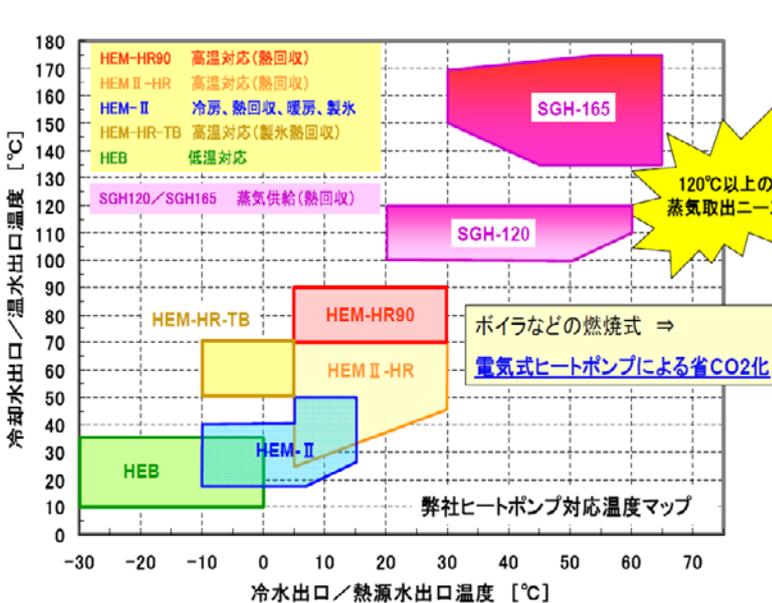


図1 当社ヒートポンプの対応温度マップ



図2 SGH120 および SGH165 の外観

2. スチームグロウヒートポンプの構造および特徴

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。このうち、ヒートポンプユニットは、蒸発器にて排温水からの熱を冷媒液の蒸発潜熱として汲み上げ、気化した冷媒ガスをスクリュ式圧縮機にて昇圧し、凝縮器に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て減圧し、蒸発器へと循環する。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)をユーザー側へ供給し、残ったドレインを循環ポンプによりヒートポンプユニットに戻す。図2にその外観、図3-1に概略フローを示す。

SGH165は、SGH120のユニット(ヒートポンプ、フラッシュタンク)の後段に、蒸気圧縮機ユニットを付設した構成となっている。蒸気圧縮機ユニットでは、フラッシュタンクユニットで生成した飽和蒸気をさらに圧縮し、高圧高温の飽和蒸気(最高175℃、0.8MPaG)を供給する。図2にその外観、図3-2に概略フローを示す。

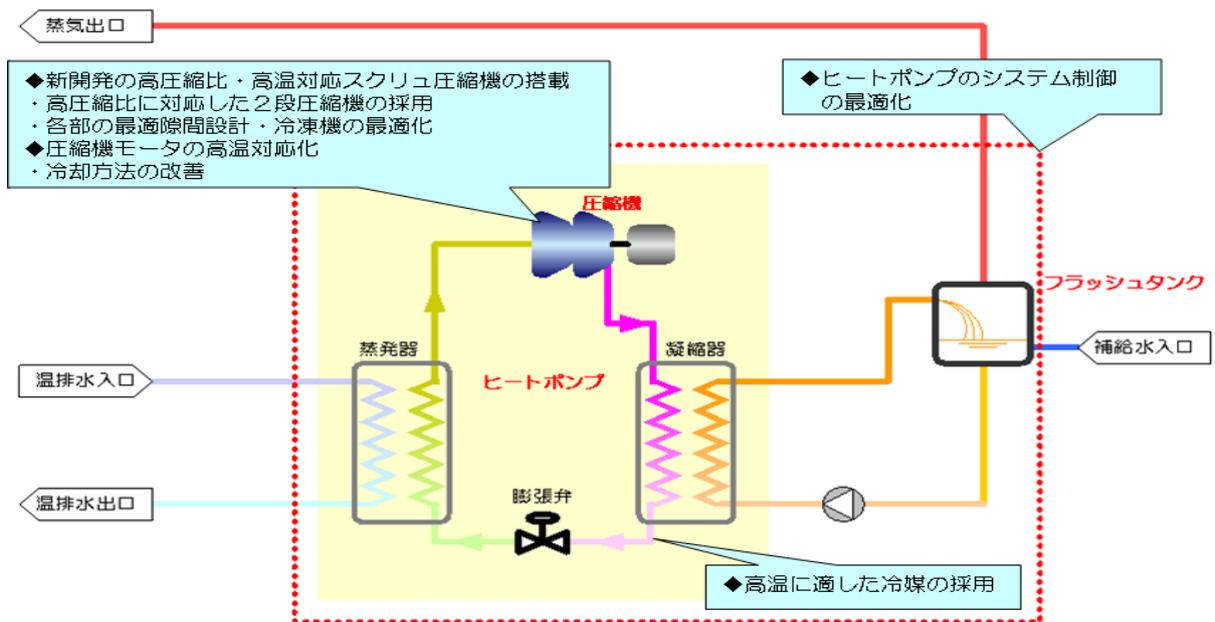


図3-1 SGH120のフロー

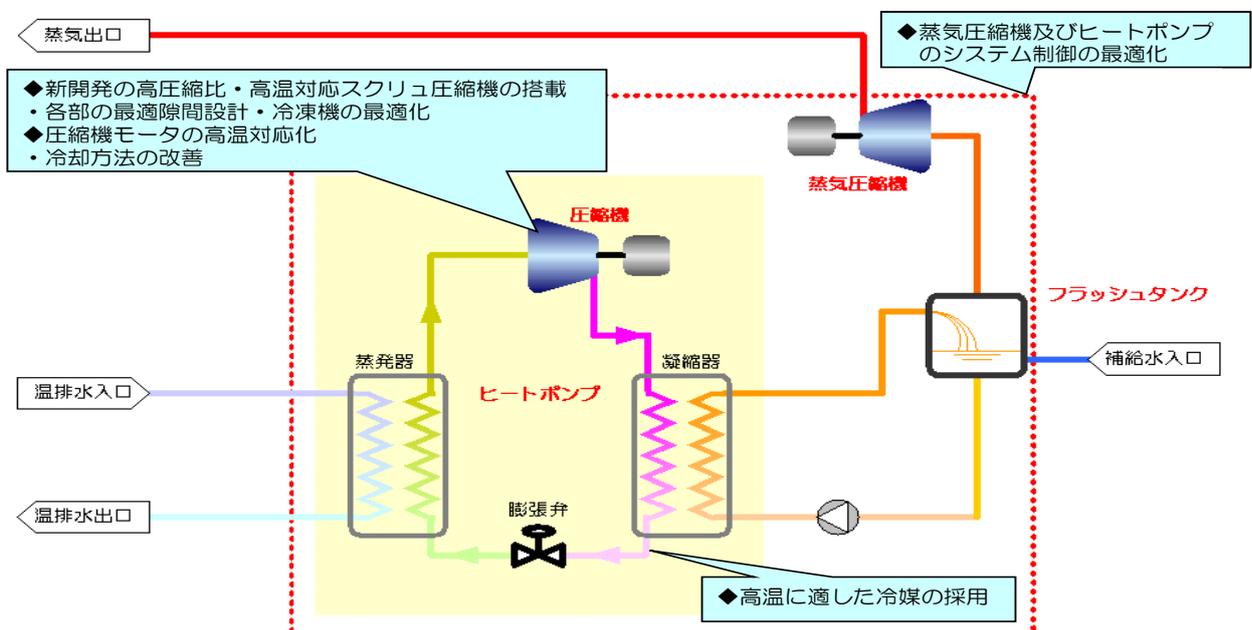


図3-2 SGH165のフロー

高温供給が可能なヒートポンプとしては、これまで、高温水単独供給^{[2]~[6]}、高温水と蒸気の同時供給^[7]、熱風単独供給^[8]のいずれかしかなく、120℃以上の飽和蒸気を単独供給できるのはスチームグロウヒートポンプのみと言える。100℃を超える蒸気供給が困難であったのは、ひとつには空調、特に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、冷媒を圧縮する圧縮機の設計温度が蒸気供給用途としてはやや低く、高温化や高圧縮比への対応が必要であったことが理由として挙げられる。

スチームグロウヒートポンプでは、120℃以上の飽和蒸気を単独供給するために、以下の工夫を施している。第一に、高温下での熱変形を考慮して圧縮機内各部の隙間設計を見直し、かつ、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に、冷媒液を直接モータ内部に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両立させた。また、図4に示すとおり、SGH120では二段圧縮機、SGH165では単段圧縮機と、圧縮比に応じてスクリュウ圧縮機を使い分けることで、高効率運転を達成している。第二に、ヒートポンプユニットの冷媒として、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 R245fa（臨界温度 157.5℃）をベース冷媒に、R245fa だけでは単位流量あたりの能力が小さくなる場合には R134a（臨界温度 101.1℃）を混ぜ合わせて、最適な冷媒成分比を選定し、高効率運転を実現している。さらに、冷凍機油は、高温下でも必要な粘度を確保し、劣化、スラッジの発生のないものを選定している。

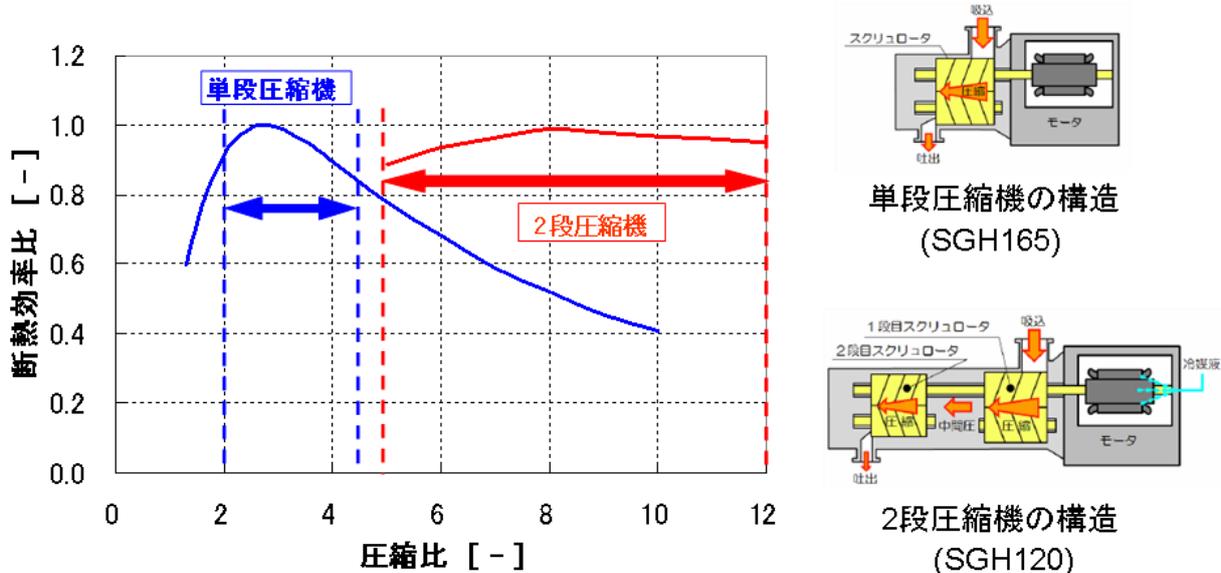


図4 最適な圧縮機の設定

上記施策により、表1の概略仕様に示す通り定格性能は、SGH120において蒸気供給量 0.51t/hr、COP3.5、SGH165において、蒸気供給量 0.89t/hr、COP2.5を実現し、工場内の水冷チラーの冷却水、生産プロセスからの排温水、あるいは未利用熱源水から熱回収することで、蒸気を高効率に供給できるようになった。SGH165においては、燃焼式ボイラシステム並みの蒸気温度 165℃（最高 175℃）をヒートポンプサイクルで実現し、既設の蒸気配管へ接続が可能である。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数をインバータ制御するため、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。また、最大4台までの連結運転が可能である。

型 式	SGH120	SGH165	
性 能 例	蒸気圧力	0.1MPaG	0.6MPaG
	蒸気温度	120℃	165℃
	排温水温度	65℃	70℃
	加熱能力	370kW	660kW
	蒸気量	0.51t/hr	0.89t/hr
	COP	3.5	2.5
使用排温水範囲	25~65℃	35~70℃	
使用蒸気圧力範囲	0.0~0.1MPaG	0.2~0.8MPaG	
寸 法	W1,200xD4,850xH2,530	W4,300xD2,950xH2,530	
重 量	4,000kg	7,000kg	

(注1) COP(Coefficient Of Performance) : 成績係数=加熱能力/消費電力
(注2) 蒸気量は、給水温度 20℃換算

表1 SGHの概略仕様

図5に、排温水入口温度に対するSGHのCOP特性、および、蒸気供給量（給水温度20℃換算）を示す。図中、右上端のデータは、いずれも表1の定格性能に相当し、排温水温度が高いほどCOP、蒸気供給量とも高い値を示す。

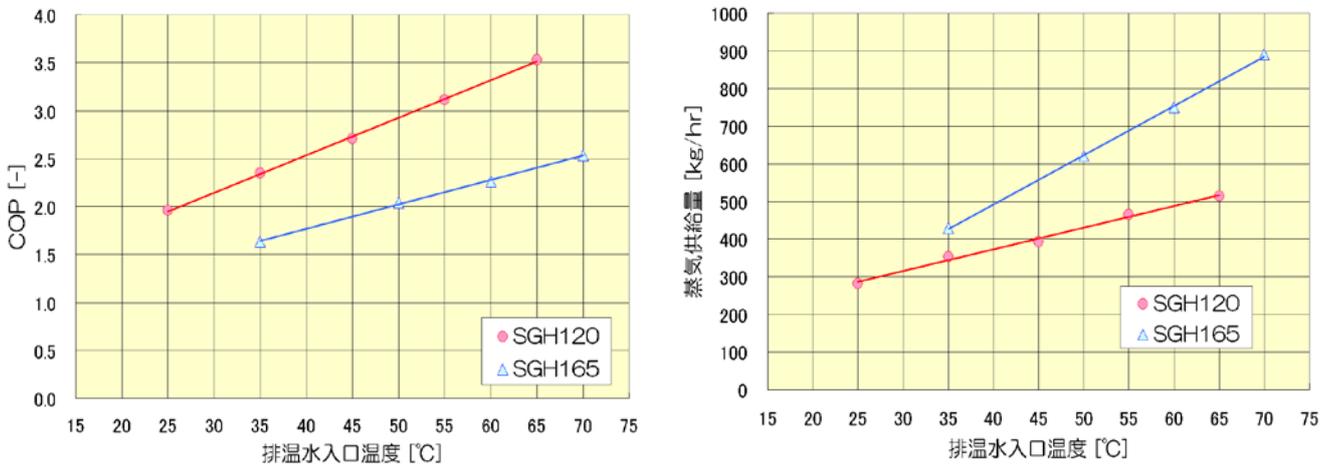


図5 SGH全負荷性能特性：COP／蒸気供給量（排温水温度差：5℃）

3. スチームグロウヒートポンプの導入分野とメリット

食品・飲料の殺菌、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、および蒸留酒などの蒸留等、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。図6に、SGHの適用イメージとメリットを模式的に示すが、既存プロセスにおいて、メインボイラーから各プロセスへ蒸気を供給する場合、熱源から各プロセスへの蒸気供給配管からの熱ロスや減圧弁でのロスが生じ、プロセスで使用後のドレインが十分に再利用されていないケースも多い。蒸気を使用する工程の近くにスチームグロウヒートポンプを設置し、これら排温水から熱回収しヒートポンプサイクルにて蒸気を生成することで、需要先への熱源機分散設置による蒸気配管ロスの削減、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、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といったメリットが期待できる。具体的には、SGH120では100～120℃の蒸気利用と25～65℃の排温水が同時に存在するプロセス、SGH165では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をターゲットとしている。

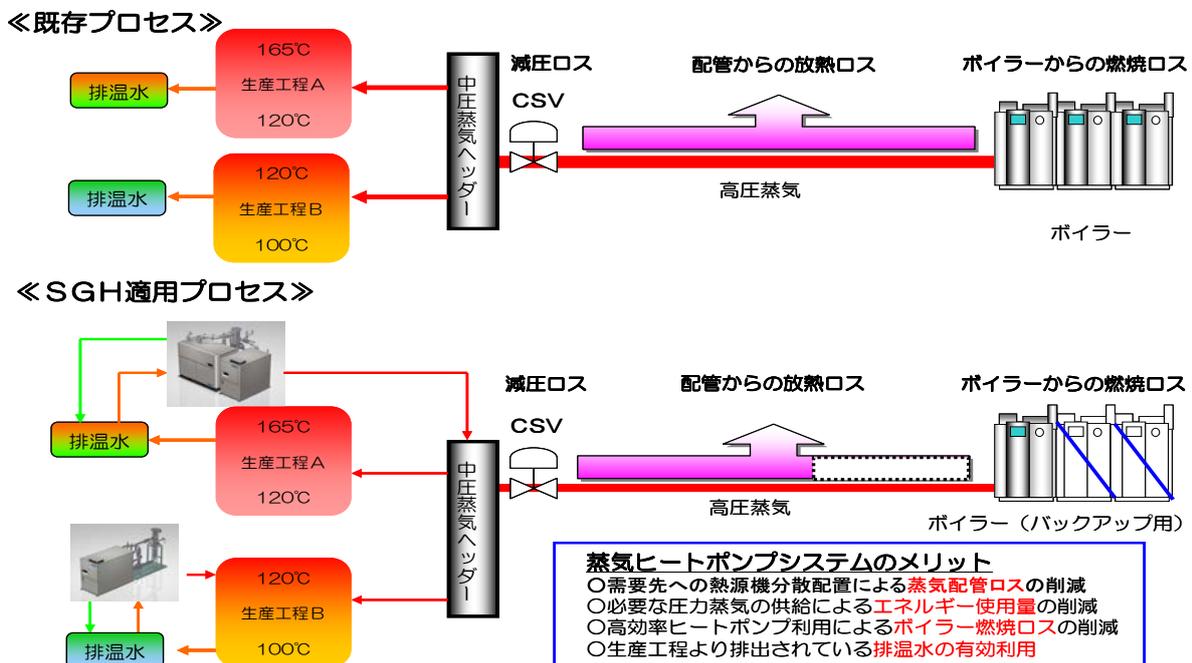


図6 適用イメージとメリット

前述のメリットを定量評価してみると、産業用途で年間 320 日 24 時間運転（7680 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 の定格運転条件でのランニングコストは図 7-1 に示す通り、それぞれ 65%および 52%、CO2 排出量は図 7-2 に示す通り、それぞれ 76%および 67%の大幅な削減が見込める。ここで、ガス代や電気代は、東京、名古屋、大阪の三地区の平均値を採用した。また、ガスボイラのシステム効率は、投入したガスの熱量に対するプロセスで正味利用した蒸気熱量の比率で定義し、30%前後の実例も報告されている^[9]。

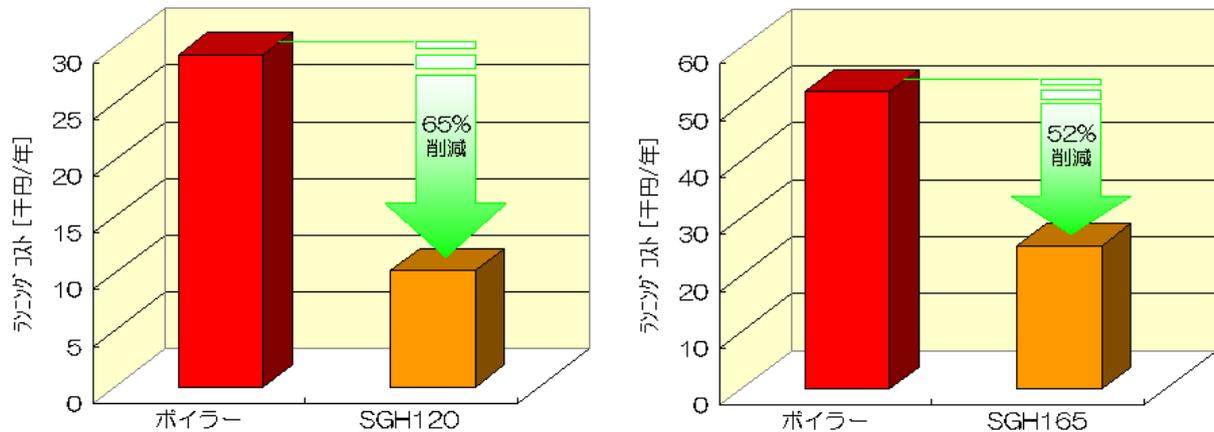


図 7-1 経済性試算結果

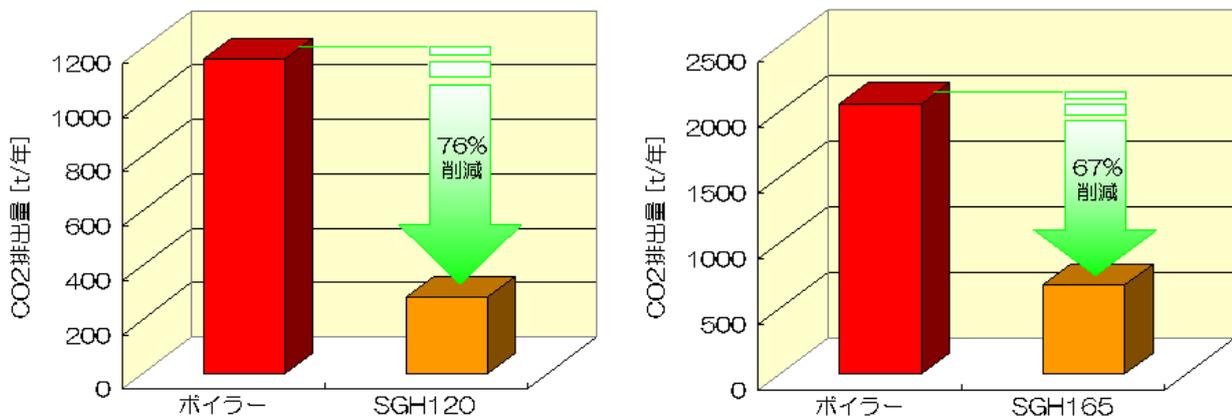


図 7-2 環境性試算結果

4. まとめ

東日本大震災後数ヶ月経過した現段階において、短期的には、燃料高騰が懸念される一方、国内の電力需給も逼迫傾向にある中、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スチームグロウヒートポンプ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スチームグロウヒートポンプは、産業用加熱分野において広く採用されるものと期待している。

今後もお客様のニーズや市場の反応を見ながらラインナップの拡充を見極め、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で、海外への展開も含め、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所存である。

<参考文献>

- [1] 神崎 奈津夫、飯塚 晃一郎、田下 友和、OHM 2004 年 7 月号、43 ページ
- [2] 下田平 修和、建築設備と配管工事、2009 年 8 月号 No.631、28-30 ページ
- [3] 下田平 修和、建築設備と配管工事、2010 年 9 月号 No.647、23-25 ページ

- [4] http://www.mhi.co.jp/products/detail/turbo_hotwater.html 、産業用温水ヒートポンプ (ETW)、三菱重工業(株)hp
- [5] http://www.zeneral.co.jp/seihinjyouhou/pdf/catalog_zqhwa.pdf、排湯熱源対応高温型高効率水冷式ヒートポンプ ZQH、ゼネラルヒートポンプ工業 hp
- [6] <http://www.science-inc.jp/heat-pump/>、ECO マルチ・ヒーポン、サイエンス(株)hp
- [7] <http://www.h.toyo-ew.co.jp/product/catalog/mr-eco-steam.html>、Mr. エコ スチーム、(株)東洋製作所 hp
- [8] http://www.mayekawa.co.jp/ja/products/heat_pumps/03/、CO2 熱風ヒートポンプ MAYEKAWA エコシロッコ、(株)前川製作所 hp
- [9] <http://www.eccj.or.jp/succase/07/c/kan10.html>、ECCJ 省エネルギーセンター - 平成 19 年度地区大会発表事例