

■ 技術報告 ■

ヒートポンプ・ボイラ・システムによる 高効率熱供給技術の開発研究

A Study on High Efficiency Heat Supply Technique
Using the Heatpump—Boiler—System

谷 口 博^{*}
Hiroshi Taniguchi

笠 原 敬 介^{**}
Keisuke Kasahara

太 田 淳 一^{***}
Jun-ichi Ohta

1. ま え が き

地域冷暖房の熱供給あるいは工場作業用の熱供給に際しては、各種排熱を利用するか熱併給動力発生方式によると有効であることはよく知られており、近年のエネルギー・状況の変化とともに、これらによる省エネルギーへの努力が期待されている。しかし、現実には上記熱供給に際して、専用ボイラによる方式が多くとられており、特定の工場内などで、排熱の利用あるいは熱併給動力発生が行われているに過ぎない。専用ボイラ方式では、燃焼により発生した高温の熱をうすめて、使用状態の中・低温の熱へと変化させることとなるので、エクセルギ損失が大きく、例え使用末端に至る間の熱損失を少なくする努力を払っても、エネルギー・レベルの低下による有効性の減少はまぬがれない。一方、地域熱供給あるいは広域の工場作業用として、集中熱供給方式を採用する場合には、途中の配管熱損失が増大することも考えられるので、各箇所の専用ボイラ方式に比べ利点が相殺されることもなろう。ここで、熱併給動力発生方式の適用規模までには至らないが、何らかの方法により集中熱供給方式の利点を生かす手段がないかを考え、エネルギー有効利用をはかる

ことのできる方式の検討が望まれる次第である。

本研究はこの点について行われたもので、集中熱供給の専用プラントにおいて、まず燃焼により発生した高温の熱を動力に変換し、この動力によってヒートポンプを駆動して低熱源より熱を汲み上げ、動力発生に際して生ずる排熱を加えて、中・低温の熱を供給する方式である。これをヒートポンプ・ボイラ・システムと呼ぶこととし、高効率熱供給技術の開発の一環として研究を進めることとした。

2. 開発するシステムと集中熱供給方式

エネルギーの有効利用あるいはエネルギー資源の多様化に因ずるため、省エネルギー型の集中熱供給方式の開発が望まれており、本研究で開発するヒートポンプ・ボイラ・システムもその有力な手段の一つである。一般に、集中熱供給方式では表1のような多くの利点

表1 集中熱供給の効果

効 果	内 容
エネルギー効果	稼働率の均一化による利用効率の向上と省資源
環境効果	大気汚染防止、防災対策、燃料輸送による危険防止
都市計画効果	安全性・快適性の保持、都市美観効果、健康・衛生上の効果
建築計画効果	機械スペースの減少、メンテナンス効果、建物における公害対策の軽減、動力源の減少
経済効果	保守管理人員の節減、集中化による設備費の節約、効率向上、大量購入によるエネルギー価格の低下

* 北海道大学工学部機械工学科教授

〒060 札幌市北区北13条西8丁目

** (株)前川製作所技術担当取締役

*** 北海道大学工学研究科機械工学専攻

が見出されているが、供給距離が長くなると配管熱損失が増大し、その利点が相殺されてしまうことはよく知られている。また、火力発電所の排熱を利用するシステムとして、熱併給動力発生方式が考えられているが、熱と同時に電気も発生し供給する方式のため、両者のバランスの調整が困難な場合が多いといわれている。このため、かなり大規模な設備とし、広範囲を供給対象に選ばなければ成立し難く、我国ではほとんど実施例を見ることができない。

本研究によるヒートポンプ・ボイラ・システムは、地域冷暖房あるいは工場作業用の集中熱供給を対象とする方式であり、熱併給動力発生方式の適用が困難な中規模以下の設備でも、集中熱供給の表1による利点を生かし、熱利用率を大巾に向上することができる。この方式を採用することにより

- (1) 高いエネルギー・レベルの熱を有効に利用することができる。
- (2) 地域冷暖房用などの中規模設備にも適用可能である。
- (3) 熱利用率が大巾に増加するので、例え多少の配管

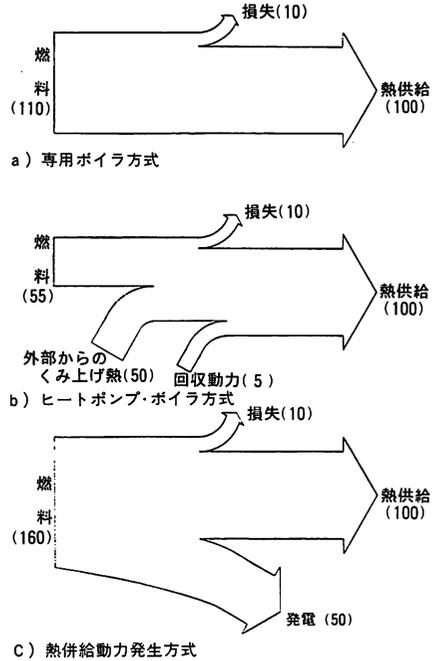


図-2 等しい熱供給をするときの各方式の消費燃料の比較

熱損失があっても、集中熱供給による省エネルギー効果を得ることができる。

- (4) 熱併給動力発生方式と同様の形態をとるが、熱のみを供給するので、地域冷暖房用等のように負荷変動が避けられない場合でも、運転管理が容易である。ここで、集中熱供給の各方式を比較してみると、図-1のフロー、図-2のエネルギー流れ線図に示すとおりであり、同一熱供給に対してはヒートポンプ・ボイラ・システムが最も少ない燃料消費となっていることがわかる。また、設備の規模を想定してみると、表2のとおりであり、専用ボイラ、ヒートポンプ・ボイラ、熱併給動力発生順に適正規模が大きくなっており、とくに熱併給動力発生の場合は相当大規模が望ましいとき

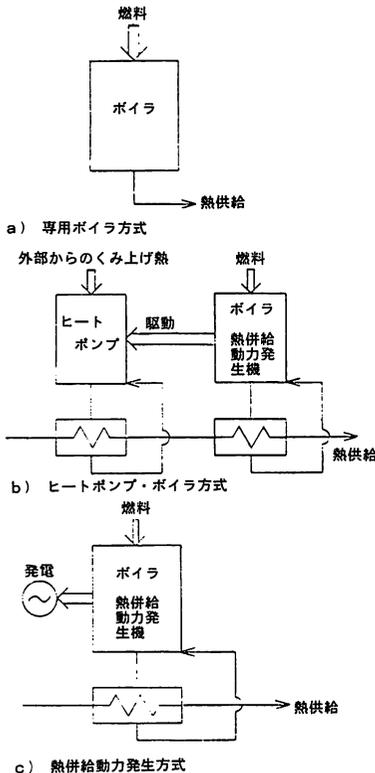


図-1 専用ボイラ、ヒートポンプ・ボイラ、熱併給動力発生方式の比較

表2 各方式の規模比較

方式	発生熱量 Gcal/h	暖房の場の戸数	備考
専用ボイラ	0.2~200	100~100,000戸	国内実績
ヒートポンプ・ボイラ	5~50	250~25,000戸	
熱併給動力発生	100~4,000	50,000~2,000,000戸	国内・ヨーロッパ実績

注：暖房に要する熱量はつぎの条件にて試算
1 m² 当り 100 Kcal/h, 1 戸当り 20 m² を暖房

れている。ゆえに、今後は地域冷暖房に適用するため各方式を検討する場合には、省エネルギー効果のみならず、適正規模の範囲を予め調査し、高効率熱供給を目指した計画を進めていただきたいものである。

3. 開発するシステムの構成と高効率熱供給効果

開発するヒートポンプ・ボイラ・システムは、集中熱供給を行う設備において、熱利用率を増大させて省エネルギー効果を高める高効率熱供給技術の一環として研究が進められており、その構成要素は

- (1) ボイラおよび燃焼装置
- (2) 背圧蒸気膨張機
- (3) ボイラ給水ポンプ
- (4) 背圧蒸気凝縮器
- (5) ヒートポンプ圧縮機
- (6) ヒートポンプ動力回収機
- (7) ヒートポンプ凝縮器
- (8) 低温熱源汲上げ用蒸発器

また、このシステムのフローを示すと、図-3のとおりである。まず、ボイラで発生した高温の熱によって熱機関を働かせ、動力と排熱を取出す。つぎに、この動力でヒートポンプを駆動し、外部の低温熱源あるいは低温の排熱から熱を汲上げ中温の熱を得る。これに熱機関の排熱を加えて、供給温度の熱を得るシステムである。

このシステムに使用されているヒートポンプは、成績係数(出力/入力)が通常の汲上げ温度範囲で相当高い値を期待できるので、現在広く使用されているが、電動機によって駆動されていることが多い。この場合には(燃料)→(動力)→(電力)→(送電)→(動力)と変換を繰り返した後に、ヒートポンプを駆動することとなるので、各変換過程での損失が重なり、折角のヒートポンプの効果が削減されてしまう。本研究にて開発するシステムでは、燃料を燃焼させて得られる高温の熱で熱機関を働かせ、直接ヒートポンプを駆動する方式をとっているため、ヒートポンプの特長をそのまま生かして、熱利用率の向上が期待される。

また、ヒートポンプ・サイクルについて検討すると、減圧過程が必要となっているが、通常この過程には膨張弁を用いており、絞り過程のエクセルギ損失を生じている。本研究においては、このエクセルギ損失を減少させる目的で、この減圧過程に図-3の動力回収機を使用し、絞り弁で摩擦損失として失われていたエネルギーを動力として回収することとした。図-4に両者の

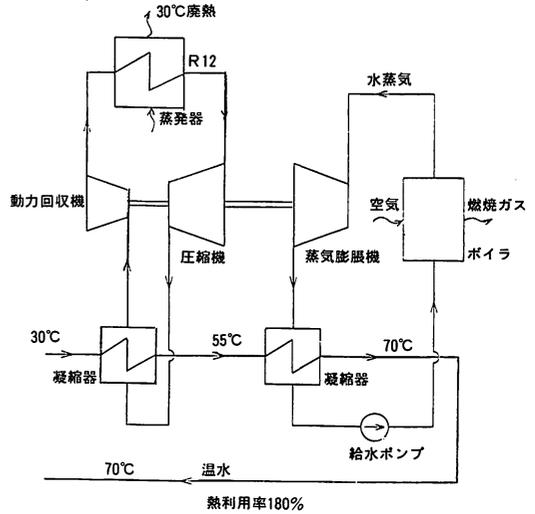


図-3 ヒートポンプ・ボイラ・システムのフロー

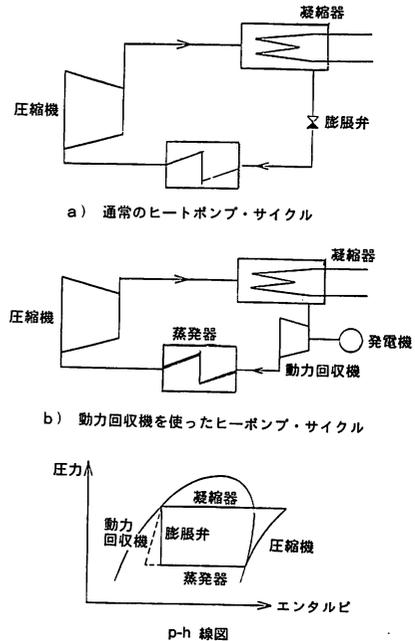


図-4 ヒートポンプ・サイクルの動力回収機

フローの比較とP-h線図上での相違を示したが、動力回収機を設けることは、回収した動力を利用できるばかりでなく、汲上げ熱量の増加ともなることにも注目していただきたい。しかし、この動力回収機は、膨張過程で液相から気液混合相へと変化することとなるので、二相流の特殊な取扱いが必要となり、本研究において開発に力点を置いた構成要素の一つである。

熱機関として使用する背圧蒸気膨張機については、通常の技術では蒸気タービンの適用が考えられるが、ヒートポンプ・ボイラ・システムの用途としての地域

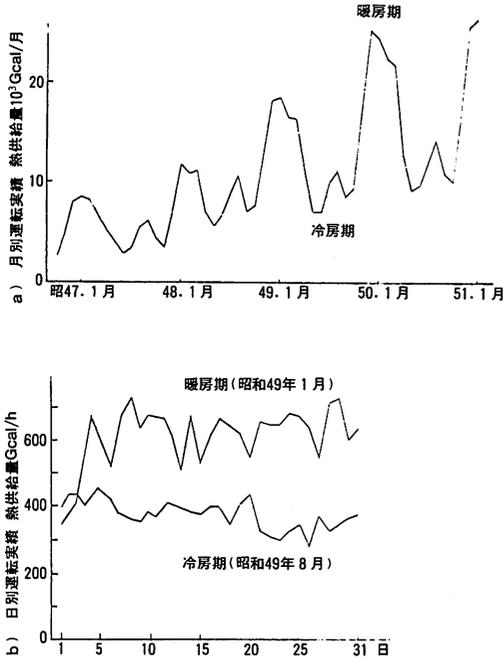


図-5 札幌市都心部地域熱供給の運転実績に見る負荷変動例

冷暖房等では、負荷の変動が避けられず、しかも図-5、6の例のように変動中も非常に大きいことが知られている。従って、蒸気タービンを使用した場合には、設計点から外れると効率がかなり低下し、ヒートポンプ・ボイラ・システムの熱利用率は大巾に減少する結果となろう。このように負荷が変動する場合にも、効率を維持することができる型式として、容積型の膨張機の開発が望まれる次第である。ゆえに、本研究では、容積型でありながら回転式の特長も併せもつスクリュウ型の膨張機を開発することとした。また、前述の動力回収機に対しても、同様の理由からスクリュウ型を適用する方針である。

これらのスクリュウ型膨張機は、現在広く使用されているヒートポンプ圧縮機の経験を基とし、開発研究を進めるが、圧縮機としての巾広い圧力条件および回転数範囲でも効率よく運転できるなどの特色を生かせるものと考えている。ここで、スクリュウ型圧縮機の特長を紹介すると

- (1) 互いに噛合う2本のロータとそれを包むケーシングにより構成され、構造が簡単である。
- (2) 回転型でありながら、容積型の利点を併せもっている。

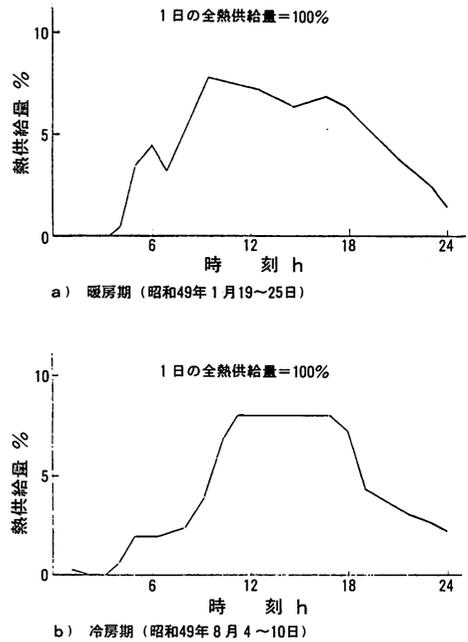


図-6 札幌市都心部地域熱供給の運転実績に見る時刻別負荷変動例

- (3) 信頼性、安定性が高い。
- (4) 容量範囲が広く、回転数による制御が可能で、広い範囲でも効率よく運転できる。

4. 開発するシステムの性能と特長

ヒートポンプ・ボイラ・システムの熱利用率は、供給温度、戻り温度および汲上げ温度により定まり、例えば表3に示すとおりである。専用ボイラの熱効率が最大90%であることを考えると、仮に熱利用率の値が120%でも、30%の省エネルギー効果が期待される。本研究においては、供給温度70℃、汲上げ温度30℃の熱利用率180%を開発目標とし、各構成要素を開発して、具体的なモデル・プラントを製作することとした。このプラントの発生熱量は750,000 Kcal/hであり、暖房用として約350戸程度の規模に相当している。

開発するシステムの特長をまとめると、つぎのとおり

表3 ヒートポンプ・ボイラ・システム解析結果

供給温度 °C	もどり温度 °C	外部汲上げ温度 °C	熱利用率 %	備考
70	30	30	180	動力回収機
150	80	0	120	動力回収機
150	80	0	105	膨張弁

りである。

- (1) 熱利用率として 130 ~ 180 % 程度が期待できる。
- (2) 従来の地域冷暖房あるいは工場作業用の集中熱供給設備として、例え多少の配管熱損失を考慮しても、相当の省エネルギー効果がある。
- (3) 燃料として、石炭などの石油代替燃料の使用が可能である。
- (4) 都市塵芥焼却などによる排熱の有効利用ができる。
- (5) 低熱源として、大気などのほか 30℃ 程度以下の低温排熱が考えられる。

また、集中熱供給の各方式について比較すると、表 4

表 4 各方式の特長の比較

項目	方式	専用ボイラ方式	ヒートポンプボイラ方式	熱併給動力発生方式
発生エネルギー	熱	熱	熱	熱, 電気
熱利用率%	最大 90	120 ~ 180	最大 90	最大 90
エクセルギー効率	小	大	大	大
規模	小~中	小~中	大	大
集中熱供給	利点が配管ロスに相殺される	配管ロスを効率でカバーし、利点を生かす	配管ロスをかばうできないが、電気も得られ有効	
装置の複雑性	小	大	大	大

に示すとおりである。

つぎに、開発システムの経済性について検討することとしたい。すなわち、地域冷暖房の実施例について調べると、表 5 に示すとおりで、このシステムを適用できる規模のものが多くあることがわかった。また、これほどの規模でなくとも、1000 ~ 3000 戸の団地相当の住宅群は、今後も建設が予想されるので、これらの熱供給にヒートポンプ・ボイラ・システムを導入できる余地はあるものと考えられよう。ここで、ヒートポンプ・ボイラ、専用ボイラ、電動ヒートポンプ各方

表 6 各方式の経済性比較

項目	方式	ヒートポンプ・ボイラ	専用ボイラ	ヒートポンプ
設備費		10,500 万円	4,000 万円	7,500 万円
運転費 (1 年間)		3,850 万円	7,700 万円	5,480 万円
熱利用率		1.8	0.9	電気に対して 4.2
使用燃料		55 l/h (C 重油)	110 l/h (C 重油)	250 Kw (電気)
燃料費		80 円/l	80 円/l	24 円/Kw・h
トータルコスト				
3 年間		22,050 万円	27,100 万円	23,940 万円
5 年間		29,750 万円	42,500 万円	34,900 万円

注: 1) C 重油の低位発熱量 9,800 Kcal/Kg, 比重 0.95 Kg/l
 2) 燃料費等は昭和 55 年 7 月の標準価格とし、値上りは考慮せず。

表 5 地域冷暖房の国内実績例

対象地区	プラントシステム	利用エネルギー	規模 Gcal/h	熱媒体
千里中央地区 ○	熱専用プラント	都市ガス	55	熱水 180/120℃, 冷水 5/13℃
新宿副都心	熱専用プラント	都市ガス, 灯油	125	蒸気 7 Kg/cm ² , 冷水 4/12℃
新東京国際空港	熱専用プラント	重油	99	熱水 150/80℃, 冷水 5/12℃
泉北ニュータウン	熱専用プラント	都市ガス	162	熱水 80/70℃, 冷水 7/14℃
札幌都心部 *	熱専用プラント	石炭, 灯油	170	熱水 215/120℃
札幌円山北町団地 ○*	熱専用プラント	重油	0.8	熱水 120/80℃
札幌光星地区 ○*	熱専用プラント	灯油	16	熱水 160/80℃
札幌卸売センター *	熱専用プラント	重油	3	熱水 150/120℃
札幌冬期オリンピック村 ○*	熱専用プラント	重油	11	熱水 150/80℃
仙台卸売センター	熱専用プラント	重油	10	熱水 150/80℃
下野幌住宅団地 ○*	熱併給発電所			
	ごみ焼却プラント	ごみ, 重油	82	熱水 150/80℃
成田ニュータウン ○	熱専用プラント	都市ガス	18	熱水 150/80℃, 冷水 7/13℃
苫小牧糸井団地 ○*	熱専用プラント	重油	12	熱水 150/80℃
北広島団地 ○*	熱専用プラント	重油	13	熱水 140/80℃

注 ○ 居住地区対象, * 北海道

式について、設備費および運転費を比較し、経済性を検討することとした。その結果は表6に示すとおりであるが、この場合の条件として、供給温度70℃、発生熱量920,000Kcal/h(暖房用としては約450戸程度の規模)、運転時間は年間連続としている。トータルコストとしては、3年間程度までを考えると、ヒートポンプ・ボイラと電動ヒートポンプであまり差がないが、5年間を考えるとヒートポンプ・ボイラの有利なことが認められる。専用ボイラは、燃料費がかさむので、他に比ベトータルコストが割高になるのは当然といえよう。

5. ま と め

地域冷暖房あるいは工場作業用の集中熱供給を行う専用プラントにおいて、適用可能な省エネルギーシステムの例として、ヒートポンプ・ボイラ・システムを考え、その熱利用率および構成要素などについて検討した。つぎに、開発するシステムの性能を実証するためのテスト・プラントを紹介し、実用化する場合に重要な経済性についても調査しとりまとめた。

今後は、ヒートポンプ・ボイラ・システムについての、より詳細な性能解析を行い、とくにヒートポンプ側の作業媒体の種類による影響、供給温度および汲上

げ温度の影響などについて検討することとしたい。また、テスト・プラントの製作を進め、所定の性能が得られることを確かめ、とくに制御特性等についての測定も行い、実用に供するための資料を提供することとしたい。

最後に、本技術開発は新技術開発事業団の昭和55年度委託開発研究課題「ヒートポンプ・ボイラ併用による高効率熱利用温水供給システム」により実施中のものであり、新技術開発事業団の御厚意に謝意を表する次第である。

参考文献

- 1) 谷口博, 空気調和・衛生工学会誌, 51-6 (昭52-6), 45
- 2) 日本機械学会, 低温度差エネルギーの有効利用に関する研究報告書I (昭54-3), 78
- 3) 日本機械学会, 同上II (昭55-5), 78
- 4) 谷口博ほか, 日本機械学会北海道支部22回講演会論文集, 792-2 (昭54-10), 47
- 5) 谷口博, 日本機械学会RC-SC 47 研究分科会資料, (昭55-1), 1
- 6) 谷口博ほか, 空気調和衛生工学会北海道支部14回講演会論文集, (昭55-3), 24
- 7) 谷口博, 札幌市都市問題調査報, 1 (昭55-10), 12
- 8) 笠原敬介, 空気調和衛生工学会誌, 55-7 (昭56-7), 印刷中

話の泉

船舶の省エネは世界共通の課題(其の1)

「環太平洋友好港会議」が5月21日から3日間、神戸市内で開かれたが、23日にはポートアイランドの国際交流会館で「太平洋を中心とする海運動向」のテーマのもとに米シアトル港、中国天津港、上海港、神戸港の現状報告、計画説明、それに省エネについて質疑応答が行われた。そこで船舶運航のエネルギー問題に関するやりとりの部分を速記ノートから紹介し記録としておきたい。

(K)



(注) 今回の「話の泉」船舶の省エネルギーは世界共通の課題」は其の1、其の2、其の3まであり全て本号に掲載しております。