IT機器廃熱を利用した冷却技術

Cooling Technology Utilizing Waste Heat from IT Equipment

● 安曽徳康　● 眞鍋敏夫　● 吉田宏章　● 近藤正雄

あらまし

富士通研究所は，サーバなどのIT機器から排出される廃熱を用いて吸着式ヒートポンプを動作させ，20℃以下の冷水を製造できる新しい廃熱利用技術の研究開発を行っている。廃熱を利用して製造した冷水を冷却に活用することで，データセンターの空調システムの消費電力を低減することができる。これまでにIT機器の廃熱で動作する廃熱利用システムを実際に構築し，従来の廃熱利用下限温度の70℃を下回る，60℃以下の廃熱温度でも冷水を製造できることを確認した。IT機器の廃熱だけでなく，工場やビル，家庭用の太陽熱温水器などの廃熱からも冷水を製造できるようになれば，冷房や冷却装置などへの活用が広がると期待される。

本稿では，IT機器の廃熱を利用した廃熱利用冷却技術の開発状況と，今後の展開について紹介する。

Abstract

Fujitsu Laboratories is conducting R&D on a new cooling technology based on the adsorption heat pump (AHP) process. With this technology, waste heat from IT equipment such as servers is recovered and then reused to produce chilled water below 20℃. The power consumed by air-conditioning systems in data centers can be decreased drastically by using the aforementioned chilled water to cool servers. So far, we have developed highly efficient water adsorbents and a system to circulate the waste heat, and successfully constructed an AHP system that utilizes the waste heat of servers. We confirmed that this system can produce chilled water from a waste heat source temperature of 60℃, which is 10℃ lower than our previous lowest possible temperature. This suggests that this system can be used to generate chilled water using waste heat not only from IT equipment but also from factories, buildings, domestic solar water heaters and so on. Therefore, this technology is expected to have potential applications in areas such as air-conditioning and refrigerator systems. This paper introduces the current state of the new cooling technology using waste heat from IT equipment, and future developments in this field.

ま え が き

データセンター内のIT機器より発生する熱は再利用しにくい100℃以下の温風として排出されている。これまで冬季に，データセンター内のサーバ群からの排気の暖気をオフィス内に循環させ，暖房として用いる例が一部試みられているが，多くの場合，パッケージエアコンなどによって取り除かれたサーバの熱は，室外機まで輸送され，外気中へ捨てられている。富士通研究所では，エネルギーの利用効率向上を目的として，IT機器の廃熱を利用して得た温水と，常温の水との温度差によって吸着式ヒートポンプを動作させ，20℃以下の冷水を製造する廃熱利用システムの開発に取り組んでいる。

吸着式ヒートポンプとは，吸着材の吸着力により蒸発器内の水が蒸発する際に，周囲の熱を奪う性質を利用して，冷水を製造する冷却装置である。水を十分吸着した吸着材を加熱・乾燥させて吸着力を再生させる処理に，IT機器からの廃熱を利用する。吸着式ヒートポンプは，水の吸着・脱着反応のみを利用した環境にやさしいノンフロンの装置であり，循環水ポンプ以外の電力を必要としないので，低消費電力で動作できる特徴がある。

本稿では，IT機器のCPUから得られる60℃以下の低温の廃熱を活用して吸着式ヒートポンプにより冷水を製造する，従来にない新しい廃熱利用冷却技術について紹介する。

吸着式ヒートポンプの原理

本章では，ヒートポンプの一般的な種類と特徴，ならびに本研究で用いた吸着式ヒートポンプとその性能指標について説明する。

● ヒートポンプの種類と特徴

ヒートポンプとは，熱を低温側から高温側へ汲(く)み上げる技術である。低温側ではより温度を下げることができるため冷却装置として利用され，高温側では加熱装置として用いられる。ヒートポンプの方式には，大別して電気エネルギーを利用する方式，熱エネルギーを利用する方式があり，電気を利用する代表的な例としてはエアコンや家庭用冷温水器などがある。一方，熱エネルギーを利用する例としては，シリカゲルなどの吸着材を利用する吸着式，臭化リチウムから成る吸収材を利用する吸収式の2種類がある。吸着式は70 ～ 90℃程度の廃熱向け，吸収式は90℃以上の廃熱向けと，廃熱温度の違いにより使い分けられている。

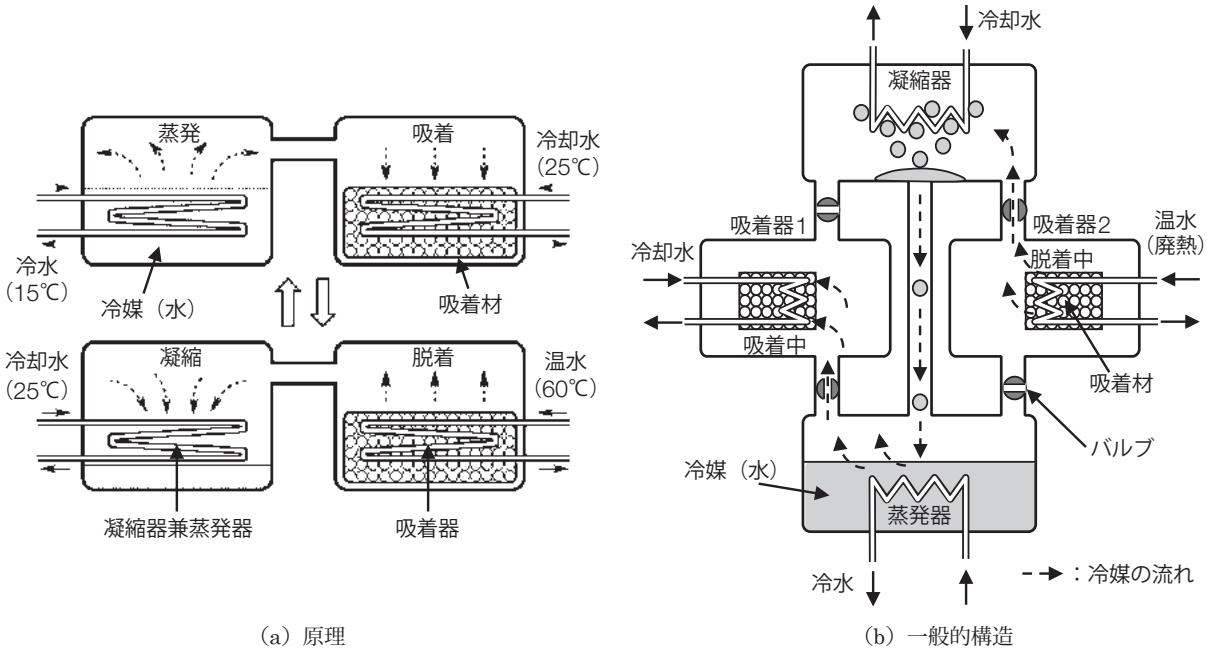
吸着式ヒートポンプは，主にコージェネレーションなどのシステムに組み込まれることが多いが，化学工場や食品工場などで利用されている例もある。ガスタービンや燃料電池の廃熱を有効利用して得られた冷水を，空調や冷却プロセス向けとして活用している。吸収式は，吸着式同様にコージェネレーションシステムに組込み利用されるほか，ボイラを炊いた熱で動作させる大型の冷凍機としても用いられている。

● 吸着式ヒートポンプの原理と構成

吸着式ヒートポンプとは，シリカゲルやゼオライト，活性炭などの吸着材が周囲の水蒸気を吸着し，これを補うように液体の水が蒸発する際に発生する気化熱を利用した冷却装置である。水を吸着して吸着力が低下した吸着材の乾燥再生に，廃熱を用いる。

吸着式ヒートポンプの原理を**図-1**（a）を用いて説明する。吸着式ヒートポンプは，吸着材が充填(てん)された熱交換器より成る吸着器と，吸着材の吸着力によって水を蒸発させる蒸発器，廃熱による乾燥で吸着材から脱離した水蒸気を再び液体の水に戻すための凝縮器より成る。吸着器には温水，もしくは冷却水（常温），凝縮器には冷却水（常温），蒸発器には冷水をそれぞれ循環させる。

最もシンプルな吸着式ヒートポンプの構造は，図-1（a）に示すように，吸着器，および蒸発器と凝縮器とを兼用したユニットから成るシステムである。吸着器と蒸発器兼凝縮器ともに，水の吸着や乾燥を促進するため，室内は100分の1気圧程度に減圧されている。吸着工程では，乾燥した吸着材が充填された吸着器に，冷却水を循環させて吸着材を常温に保った状態でバルブを開口すると，凝縮器兼蒸発器の水が気化を開始する。水が気化する際に周囲から奪う気化熱によって，最大5℃程度冷却された冷水を得ることができる。製造冷水の温度は，吐出量を制御することによって調節可能である。吸着材が水を十分に吸着し，吸着能力が低下したところで吸着材を乾燥させる脱着工程に切り替える。脱着工程では，吸着器に廃熱で温



（a）原理　　（b）一般的構造

図-1　吸着式ヒートポンプの原理と構成
Fig.1-Configuration of adsorption heat pump.

められた温水を循環させ，吸着材に熱を伝えて乾燥再生させる。同時に凝縮器兼蒸発器には冷却水を循環させ，吸着材から脱着してきた水蒸気を凝縮させる。吸着材が十分乾燥した時点で脱着工程が終了する。

図-1（a）に示した吸着器－凝縮器兼蒸発器一対の構成では，脱着工程と吸着工程をバッチ式で切り替える必要があり，脱着工程に切り替わっている間は冷水を製造することができない。一般的には図-1（b）のように吸着器を2台，凝縮器と蒸発器をそれぞれ別に設けた4室から成る構成とし，一方の吸着器が吸着工程の間は，他方の吸着器が脱着工程となるように動作させる。二つの吸着器に温水と冷却水を交互に循環させて動作させることで，連続して冷水を製造することが可能となる。

● 吸着式ヒートポンプの性能指標

吸着式ヒートポンプの性能を表す指標の一つに，冷水の製造効率を表すCOP（Coefficient Of Performance：成績係数）がある。COPとは，低温から高温側へ汲み上げた熱エネルギーと，その操作に消費したエネルギーとの比である。ヒートポンプ式給湯器などの電動式ヒートポンプと，吸着式ヒートポンプなどの熱駆動式では定義が異なり，直接二つの方式を比較することはできない。電気式のCOPは，低温側から高温側へ汲み上げた熱エネルギーを，必要とした電気エネルギーで除した値であり，エアコンなどでは3～4程度である。一方，熱駆動式では，汲み上げた熱エネルギーを投入した熱エネルギーで除した値であり，ここでは，分かりやすく言い換えると「COP＝製造した冷却エネルギー/使用した廃熱エネルギー」で表される。この定義による最大のCOPは1である。

例えば，COP＝0.5とは，1000 Wの廃熱を吸着式ヒートポンプに投入すると，500 Wで冷却された冷水が得られることを表す。シリカゲルを吸着材として用い，70℃以上の温水を利用した場合，COP＝0.6程度の性能が得られている。廃温水の温度が低下すると，COPも低下する傾向があり，IT機器の廃熱に適用するためには，低い廃熱温度でも動作を可能とすることが必要である。

1台の装置あたりの冷却能力を表す冷熱出力も重要な指標である。高冷熱出力化に向け，高吸着速度の吸着材開発や熱交換器などの伝熱速度の改善が課題である。

廃熱利用冷却システムの構成

吸着式ヒートポンプ研究の一例として，サーバなどのIT機器の廃熱，とくにCPUからの廃熱を利

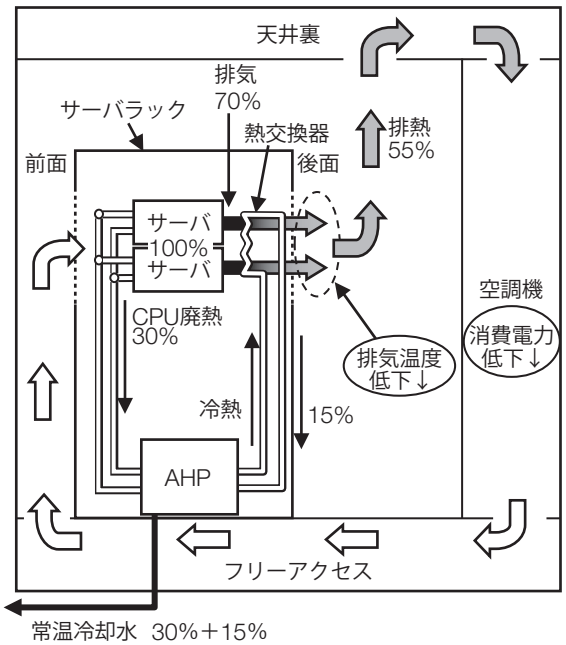
用して，冷水を製造し，サーバルームの空調に利用することで，空調効率を改善する手法について紹介する。

● システム構成

図-2は，サーバルームの空調効率改善を目的とした廃熱利用冷却システムの構成である。吸着式ヒートポンプを高効率に動作させるためには，なるべく高い廃熱温度を維持したまま吸着式ヒートポンプに導入する必要がある。サーバで最も高い温度となるのはCPUであり，発熱を小型の熱交換器を用いて温水として回収する構成としている。複数のサーバから回収される場合も，廃熱を利用して得られた温水は，まとめて吸着式ヒートポンプの脱着工程の吸着器に循環される。吸着材の乾燥に使用された廃温水は，吸着材の乾燥による気化熱で熱が奪われ温度が低下するので，再びCPUの冷却に使用できる。吸着式ヒートポンプで製造した冷水は，サーバ筐体からの排気の冷却に使用される。

● 電力削減効果の試算

サーバ全体が消費する電力が500 Wのとき，その30％の150 WがCPUで消費されるとすると，吸着式ヒートポンプのCOPが0.5であれば，0.5倍の75 Wで冷却された冷水が製造される。CPU以外からの発熱はファンによりサーバから排気され，空調機によって冷却される。CPUからの廃熱150 Wと，冷水で排気を冷却した75 Wの計225 W（45％）分の廃熱が吸着式ヒートポンプを介して冷却水に移動され処理される。したがって，サーバルームの空調機は残り55％の排気を冷却すればよく，その分空調消費電力を削減できる試算になる。実際には廃温水や冷却水などの循環ポンプ，吸着式ヒートポンプの制御系などで消費される電力を損失として差し引く必要がある。CPUからの発熱を大量の空気で輸送する必要がなくなり，ファンの電力も削減できるなどのメリットがある。システム全体で見て30％程度の空調電力削減を目標としている。



AHP：吸着式ヒートポンプ

図-2 サーバルームでの廃熱利用冷却システム
Fig.2-Cooling system utilizing waste heat from server room.

廃熱利用冷却システムの開発状況

廃熱利用冷却システムの実現に向け，CPUからの廃熱を高効率に回収する廃熱回収システムと，なるべく低い廃熱温度で，高COPで動作する吸着式ヒートポンプシステムの開発を進めている。

● 廃熱回収システムの開発

廃熱回収システムの開発では，CPUの負荷変動に追随して，安定に廃熱を回収する廃温水の循環制御が課題となっている。

これまでに，CPUが100％の負荷で動作した場合でも，CPUのジャンクション温度を所定内の温度に抑え，動作不良を起こすことなく55～60℃の廃温水として回収できることを確認している。

● 吸着式ヒートポンプシステムの開発

動作温度は，55℃を目標としている。55℃の廃温水で動作するためには，冷却水温度範囲の25～30℃で大きな水分吸着容量を持ち，かつ廃熱回収温度55℃で十分に乾燥できる吸着材の開発が必要である。吸着材の候補として，シリカゲル，ゼオライト，活性炭などが挙げられる。吸脱着特性は，表面の水との親和性，水が吸着する表面の細孔分布などに大きく影響を受けることが分かっており，現在，低温で高効率に動作する吸着材の開発を進めている。[1] COPは0.6以上を目標としている。これまでに，60℃の廃熱温度で，COPで0.4程度まで冷熱を生成できる目処が得られている。さらに，実

際のサーバの廃熱を利用して，廃熱回収システムと吸着式ヒートポンプシステムが連動して動作可能であることも確認している。

今後の展開

IT機器から廃熱を利用してサーバルーム全体の空調消費電力を削減するためには，サーバルーム内に温水や冷却水を循環させる必要がある。システム全体の高信頼化に向け，漏水対策，あるいは水を使わない熱輸送技術の開発など，越えるべき多くの課題が存在する。吸着式ヒートポンプシステムの開発と合わせて開発を進めていく。またこれまでの取組みにより，負荷変動がある60℃以下の廃熱においても，吸着式ヒートポンプを動作させることが可能となってきた。廃熱温度60℃以下での動作が可能となれば，IT機器からの廃熱だけでなく，工場，ビルなどの廃熱，家庭用冷温水器や太陽熱温水器の廃熱にも，利用が可能になると期待される。廃熱利用技術は，温水と，容易に入手可能な常温の水から冷水を製造できる技術であり，製造冷水を空調に利用できれば，電力供給が逼迫（ひっぱく）する夏場において大きな省電力効果が期待できる。今後，IT機器の廃熱を利用した冷却技術の開発を進めつつ，他分野の廃熱利用に適した廃熱利用システムの開発を進めていく。

む　す　び

IT機器の廃熱を用いて冷水を製造する，従来にない新しい冷却技術の開発を行っている。吸着材，循環システムの開発を進め，60℃以下の廃熱を利用して，その約40％程度を冷水として利用できる見込みが得られた。また，低温廃熱動作の目処が得られたことから，他分野の廃熱も有効利用できる可能性が見えてきた。今後，他分野への展開も見据え，エネルギー利用効率の向上に貢献できるよう，技術開発を進めていく。

参考文献

(1) 眞鍋敏夫ほか：低温廃熱利用を目的とした吸着式ヒートポンプ用吸着剤の開発. 日本化学会講演予稿集，第90巻2号，2010年3月，p.508.

著者紹介

安曽徳康（あそ　のりやす）
環境・エネルギー研究センター 所属
現在，廃熱利用技術の研究開発に従事。

吉田宏章（よしだ　ひろあき）
環境・エネルギー研究センター 所属
現在，データセンターの省エネルギー技術の開発に従事。

眞鍋敏夫（まなべ　としお）
環境・エネルギー研究センター 所属
現在，廃熱利用技術の研究開発に従事。

近藤正雄（こんどう　まさお）
環境・エネルギー研究センター 所属
現在，データセンターの省エネルギー技術の開発に従事。