

ノート

ゼオライトヒートポンプの試作と継手

溝田忠人, 石川征記, 佐藤隆介, 田中一成

(受取日: 1999年3月15日, 受理日: 1999年4月10日)

Trial Model of Zeolite Heat Pump and a Joint

Tadato Mizota, Motoki Ishikawa, Ryusuke Satou, and Kazunari Tanaka

(Received March 15, 1999, Accepted April 10, 1999)

In order to investigate zeolite-water heat pump system, a small trial model of the system has been made. The heat pump loaded with only 350 g of zeolite powder in the bed operated successfully in making ice, and recorded the lowest temperature of 255 K through the successive sublimation of ice. As many joints were necessary for vacuum-connection of glass tubes, "bite type fittings", which are commercially available for hydraulic use of such as air-conditioners, were machined partially to fit for the heat pump fabrication. The low price, high vacuum resisting and mechanically strong natures of the joint serve much for the investigation. Present and future research subjects to develop the heat pump system are briefly described.

1. ゼオライトー水系ヒートポンプ

ゼオライトと水を用いたヒートポンプは、「ゼオライト水」の特異な物理化学的状態^{1, 2)}を利用して、低温熱源の有効利用を目指す開発途上のシステムである。実際の働きを検証する目的で、小さな装置を試作した。その結果、373 K程度の熱源と室温の水のみを用いて、氷をつくり、最低到達温度255 Kを記録した。^{1, 3)}また、その脱水能力を利用して低温乾燥機にも応用できることが分かった。熱測定との関係では、断熱型水蒸気吸着熱測定装置⁴⁾と原理は同じで、試料量を増やしたものに相当する。今回のモデルは、NaMg-A型ゼオライト約350 gを用い、作製の便利さから、主としてガラス細工で作った。氷が生成する水溜部は外形3 cmのガラス管である (Fig.1, 2)。

2. ヒートポンプの運転

このヒートポンプにより氷をつくる手順を述べる。最初に系全体を真空引きし、コック1 (Fig.1) を閉じ、真空ポ

ンプを止める。ゼオライトベッド加熱槽に約1.8 dm³の湯を入れ、さらにヒーターで加熱して、371~373 Kに熱する。この加熱は、もしこのヒートポンプが実用化されれば、排熱などの熱源を用いるはずのものである。ゼオライトから脱水した水蒸気がガラス配管を通して室温の水で冷却した水溜に達し、そこで水に凝縮する。水蒸気の移送の駆動力は、脱水温度におけるゼオライトベッドの中の水蒸気圧と水溜内に凝縮する水の温度における水蒸気圧の差である。水溜中の水量をモニターして十分脱水したと判断した後、コック2を閉じ、ベッド加熱槽の湯を室温の水に交換し、脱水したゼオライトを冷やす。この結果、ゼオライトベッドは蒸気圧の極めて低い状態になる。コック2を開けると、水溜の水が蒸発し、蒸発熱を奪われて冷却し、凍る (Fig.3)。実験では全体が凍った後も、氷からの昇華が続き、水溜を魔法瓶のような断熱容器内に保った場合255 Kに達した。この温度の水の蒸気圧は約107 Paである。したがってベッドの蒸気圧は更に低いことになる。この過程においてベッドの温度は数度しか上昇しなかった。

山口大学工学部機能材料工学科: 〒755-8611 宇部市常盤台2-16-1

Department of Advanced Materials Science and Engineering, Faculty of Engineering, Yamaguchi University, Ube 755-8611, Japan

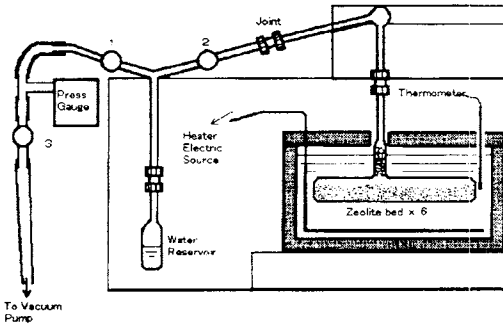


Fig.1 Trial model of the zeolite-water heat pump system.

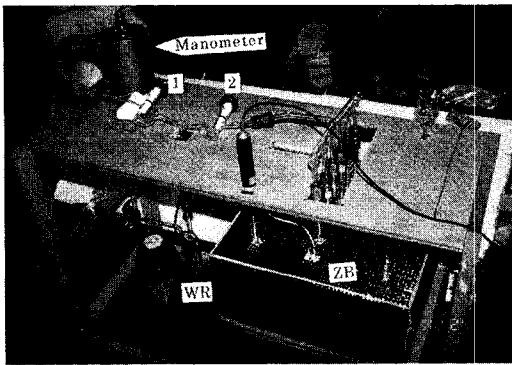


Fig.2 Photograph of the zeolite-water heat pump system, ZB: zeolite bed, WR: water reservoir. Cock numbers, 1 and 2 are indicated as those in the Fig.1.

3. 継手

このヒートポンプは、長時間真空が保てなくてはならない。装置は、外形3 cmのガラス管製ゼオライトベッド(この場合6本, Fig.4), 水溜, 場合によっては凝縮器などと真空連結しなければならない。また、試行錯誤過程の実験装置なので、装置の分解・改良・洗浄などの模様替えの便に対応する必要がある。このため着脱可能な真空継手が多く必要である。特に、部品を取り外して、秤量したい場合もあるので、グリースを用いないものが望ましい。さらに基礎的なデータ収集に用いている水蒸気吸着熱量計⁴⁾にも同様な継手が必要であった。市販のガラス管用の継手は、結構高価で、合成樹脂製の普通のもので一個数千円、テフロン製のもの1万円を越す値段である。試作・改良と数が増え、この一連の実験のように数十個の使用ともなると馬鹿にならない金額である。加えて、この装置のように加熱・冷却を繰り返し、高温では373 K以上になる場合があるときには、プラスチック製の継手では、心配である。そこ

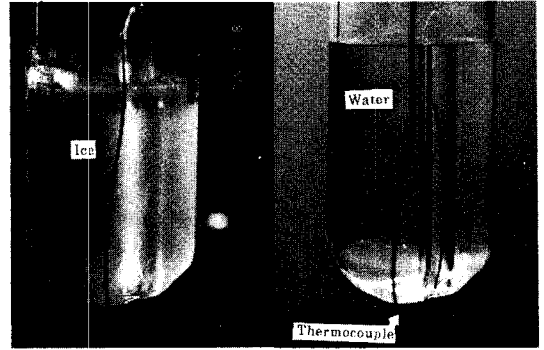


Fig.3 Ice (left) produced suddenly at 261 K from the supercooled state of water (right) in the water reservoir.

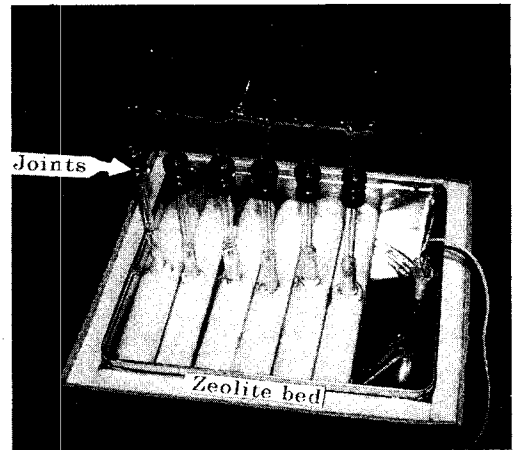


Fig.4 Zeolite bed composed of six glass tubes connected with glass guide to water reservoir by six brass joints.

で、今回は、油圧配管用の「くい込み式管継手」(またはユニオン, 通称ニップル等と呼ばれることもある)という、一般にはエアコン等を取り付けるときフロンガス用の銅パイプ等を連結する真鍮製の継手を少し加工して、真空に耐えるガラス管用継手を作り、実験をスムーズに行うことができた。Fig.5に、加工前後の継手を示した。外形8 mmの管用のこの継手は、1組400円という安さである。そのままでは使えないので、まず、管に食い込む部品であるスリーブ(通称リング玉)は取り除き、合成樹脂製のオーリングに替える。本体の管取り付けねじ先端を図(Fig.5)のようにわずかに旋盤で削り、オーリングを十分締め付けるまで深く入るように加工すると同時にオーリングと接する部分の面取りを行っておく。約10分間程度の簡単な作業で、目的を十分

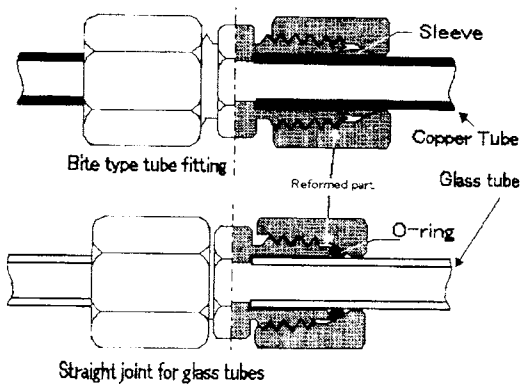


Fig.5 Straight joint for connecting glass tubes (lower) reformed and made of bite type fittings for hydraulic use (upper).

達成できる真空継手ができる。着脱も簡単、グリース無しで長時間の高真空にも堪え、真鍮製なので少々重い、何より頑丈で、締め付けがよく効き、繰り返し使用にも耐える。

4. ゼオライトー水系ヒートポンプの実用化へ

この装置を実用規模にすれば、熱源として255 K程度の温熱と室温のみにより、冷熱を発生させ、空調などに有効利用できる。ゼオライトの蓄熱能力は、氷蓄熱などより大きく、^{1,2)}蓄熱のための断熱が不要で、断水（水蒸気を断つ）のみで良いので簡単である、など利点が多い。^{2,3)}ヒートポンプの吸着媒-吸着質の組み合わせは有機溶剤等を用いれば、数多く考えられるが、低温の熱源で動作可能なこと、安全性等を考慮すると、かなり限られる。その外にも、ゼオライトには水の吸脱着による体積変化が無く、ヒートポンプの構造が簡単で、単純・安価であるという魅力もある。将来の実用化にとって重要な点は、

- 1) ゼオライトの水蒸気圧-温度-水組成の関係を明らかにする。
- 2) 熱源温度の違いに対応した最適のゼオライトの探索。
- 3) ゼオライトベッドのゼオライトの保持方法・固化体の開発。
ヒートポンプの装置に関しては、一般の工業用真空機器・装置では、最低保持圧力レベルは約600 Paと言われる。我々の実験用ヒートポンプで、到達した水の最低温度が255 Kであったことから、蒸気圧は、107 Pa以下であり、恐らく10 Paレベルの保持が望ましい。研究用実験装置や、加速器などの大型の超高真空機器に比べると、真空レベルはずっと容易と思われるが、一般の工業用装置としては、かなり高度なレベルであり、このためには、
- 4) バルブおよびジョイントなどの性能の高いものを開発すること、

が必要である。また、上に述べたように、このシステムの利点は多いとしても、

- 5) 現在、実際に存在する排熱の形態、使われている空調機器、乾燥機などと、いかに整合性・互換性をとって行くべきかを検討する必要がある。
最後に最も重要な点であるが、
- 6) 地球環境問題を解決するためには、エネルギーの有効利用が不可欠であり、ゼオライトを用いると373 K程度の熱源から、室温以下の熱源を容易につくれることにより、排熱などの新しい利用形態が生まれることへの理解が広まることが重要であろう。

5. まとめに代えて

373 K程度の温度で乾燥脱水したゼオライトに室温で水を作作用させると、約20 kJ mol⁻¹の発熱がある²⁾。したがって、ゼオライト中に入ったH₂O（ゼオライト水）は、66 J K⁻¹ mol⁻¹だけエントロピーが減少する。^{1,2)}298 Kの純水のエントロピーは69.9 J K⁻¹ mol⁻¹なので、ゼオライト水を独立成分と仮定すると、そのエントロピーは、水や氷のそれより遥かに小さく、ほとんどゼロに近い値となる。^{1,2)}

整然と並ぶ分子レベルの空隙を持つ「結晶界の異端児」のゼオライトと、水の惑星、地球の表面の主役で水素結合という「奇跡の性質」を持つH₂Oとの組み合わせにより、「ゼオライト水」というエントロピーの低い状態が、低温熱源だけを用いて実現可能であることが、この方法の原理を支えている。このためにゼオライトー水系の利用はエネルギー変換に新しい可能性を提示している。

文 献

- 1) 溝田忠人, 鉱物学雑誌 27 [2] (1999) 印刷中.
- 2) 溝田忠人, 熱測定 24, 79 (1997).
- 3) 溝田忠人, 資源と素材 115 [3], 196 (1999).
- 4) 溝田忠人, 中山則昭, 熱測定 25, 67 (1998).

要 旨

ゼオライトー水系ヒートポンプシステムを研究するため、小さな試作モデルを作った。このヒートポンプはわずか約350 gのゼオライト粉末をベッドに持つものであるが、氷を作ること成功し、ひき続く氷の昇華により、最低到達温度255 Kを記録した。このヒートポンプシステムのガラス管を接続するために、多くの継手が必要なので、市販のエアコンなどの流体配管用の「くい込み式管継手」を部分的に旋盤加工して、組み立てに適應する継手を作った。この継手は安価で、高真空に耐え、機械的に強い性質を持つことにより、この研究に大変役立った。このシステム開発のための現在と将来の問題点について簡単に述べた。