

密閉型湿式冷却器の開発 基礎試験と実規模機の試作

秋吉 亮* 横溝 博**

Ryo Akiyoshi Hiroshi Yokomizo

馬場 尚一郎***

Shoichiro Baba

冷凍機やヒートポンプの効率向上・省エネルギー化のため、密閉型湿式冷却器の開発が有効であると考え、伝熱面を十分に濡らし性能を向上させること、およびそれによって開放型と同程度の小型化を図ることを目標とし、以下の結果を得た。

①コルゲートフィンを持つアルミニウム合金製熱交換器の外面に散水し、さらに熱交換器下部を空気下流側に傾けることによって、空気側伝熱面をより広く濡らすことができ、伝熱を促進することができた。これは空気による粘性力と重力とがある程度バランスしたためと考えられる。

②上記結果をもとに、実規模の密閉型湿式冷却器を設計・製作した。

キーワード：熱工学、伝熱、相変化、蒸発、冷却器、冷水塔、冷凍機、ヒートポンプ、密閉型、開放型、湿式、乾球温度、湿球温度

1. はじめに

冷凍機やヒートポンプでは、作動流体を冷却する必要がある、どのようなシステムでも、通常は大气によって冷却する。大气で水を冷却する場合には、この冷却器は冷水塔と呼ばれることもある。

冷凍機やヒートポンプの性能は、COP (Coefficient Of Performance = 冷却熱量 / 所要動力) で評価されることが多いが、この COP を向上させるには、冷却器には次のようなことが求められる。

①冷却器に循環する流体の出口温度を下げる。

②熱交換器を介して作動流体を間接的に冷却するのではなく、作動流体を冷却器に直接循環させる。

冷却器として従来から「開放型冷水塔」が多用されている。これは水が蒸発するときに奪われる蒸発潜熱が大きいこと、および水が充填材を通過する際に水滴となり蒸発面積が拡大することを利用したもので、盛夏を想定した乾球温度 T_d 35℃、湿球温度 T_w 27℃、水入口温度 37℃のときに、水出口温度として乾球温度より低い 32℃を、

* 研究開発事業部 熱流体技術部 部長 工学博士

** 研究開発事業部 熱流体技術部

*** 研究開発事業部 熱流体技術部 課長

安価にコンパクトに実現できる。

しかし開放型冷水塔は大気圧の水しか冷却することができず、上記②を実現するためには、密閉型である必要がある。

密閉型の実用化には、開放型と同程度の小型化が必要であり、フィンを利用することによって実現されている。夏季など特に高い性能を求められるときには、さらにフィンに水を散布し、開放型と同様の効果により性能を向上させている。

このような湿式冷却器の性能は、模擬的に次のように表すことができる。

$$Q = A_d K_d (T_f - T_d) + A_w K_w (T_f - T_w) \quad (1)$$

ここで Q は冷却熱量 [W]、 A は伝熱面積 [m^2]、 K は熱通過率 [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]、 T は温度 [K]、添字の d は乾き部または乾球温度、 w は湿り部または湿球温度、 f は冷却される流体を示す。

夏季は式 (1) の右辺第 1 項が負になることがあり、この悪影響を小さくするためには $A_d \ll A_w$ である必要がある。また右辺第 2 項の効果が大きければ、従来の水入口 37°C 出口 32°C という温度条件を、例えば水入口 34°C 出口 29°C などと低くできる可能性がある。これによる冷凍機やヒートポンプの COP 向上効果は大きい。

伝熱面を十分に濡らすために簡便かつ有効な方法は、水を多量に散布することであるが、散布する水のコストも無視できない。開放型冷水塔の水は、スライム、水垢、腐食などを防ぐために添加剤を添加している。しかし本方法では、散布した水の多くを蒸発させてしまうため、溶解物の析出を抑えるために、添加物の添加を最小限にとどめ、溶解物の少ない水を、蒸発量より若干多いだけの水を散布する、という方法を取らざるを得ない。散布水量を抑え、かつ伝熱面の多くを濡らす、という相反する要求を満たすことが、本開発の第一の課題である。

次に、冷却性能を向上させるには A_w を増やす

ことになるが、小型化するためには熱交換器の伝熱面密度 [m^2/m^3] を高める必要がある。しかし、これにより空気の流れが増え、また流路の形状が複雑になり、さらに水が伝熱面上を流れ空気流路が狭まるために、空気の圧力損失が増加する。所要電力や騒音を低減するには、このような空気の圧損増加を避ける必要がある。このようなことを考慮した上での冷却器の小型化が、本開発の第二の課題である。

また伝熱面密度が高い熱交換器を低コストで製造できる材質は、アルミニウム合金、銅合金、ステンレス鋼に限られる。これらの中で、コスト、伝熱面密度、および軽量化についてはアルミニウム合金が有利であり、耐食性ではステンレス鋼が有利である。

耐食性に関しては、水に対してだけでなく、屋外に設置することによる酸・アルカリに対しても考慮する必要がある。

さらに屋外に設置することに関しては、埃やスライムによって空気流路が詰まらないことも重要である。このように、冷却器を長期間、安定的に使用する技術の確立が、本開発の第三の課題である。

そこで著者らは、東京電力(株)殿の委託により、上記第一と第二の課題、つまり密閉型湿式冷却器において伝熱面を十分に濡らし性能を向上させること、およびそれによって開放型と同程度の小型化を図ることを目標とし、基礎試験を行い、実規模の冷却器を試作した。

ここではその結果を報告する。

2. 基礎試験装置と試験方法

上記課題を解決するために、熱交換器として、図 1 に示すアルミニウム製コンパクト熱交換器を採用した。住友精密工業(株)製ドロンカップであり、空気流路のコルゲートフィンが見えて

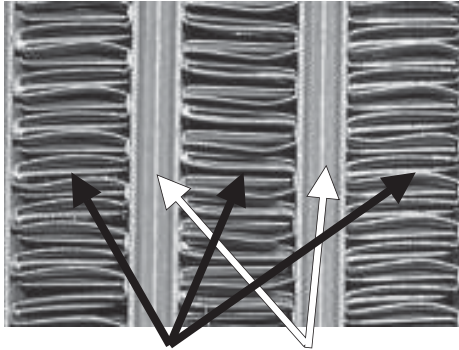


図1 熱交換器の拡大写真

いる。一つのブロックの寸法は、高さ 625mm、幅 199mm、奥行き 65mmである。図 2 に、基礎試験装置の概要を示す。

式 (1) 右辺第 2 項の効果を精度良く把握するため、空気を加熱加湿した。加熱には 10kW の電気ヒータを用い最高 35℃に制御した。加湿には蒸発量 200kg/h の小型貫流ボイラを用い、湿球温度を 27℃まで上げられるようにした。標準的な空筒速度は、3.2m/s とした。温水は、電気ヒータで約 34℃に制御し、温水タンクにため、ポンプで熱交換器に供給した。

また 0.5kg/min 程度の上水を、熱交換器の空気上流側高さ方向 4ヶ所に水平に設置した散水管に設けた孔 (φ 1mm × 36ヶ所)、または熱交換器の

空気上流側に設置したスプレーから散水した。本開発の課題である、散水によるフィンの濡れを促すためには、図 2 のように熱交換器の下部を空気下流側に傾斜できるようにした。

3. 試験結果と考察

試験結果の一例を、図 3 に示す。縦軸の熱通過率 $(K \times A)[W/K]$ は、次式で定義した。

$$Q=(A \times K)(T_f - T_w) \quad (2)$$

ここで水温 T_f と湿球温度 T_w は、いずれも熱交換器の入口出口の平均温度である。

図 3 より、熱交換器の下部を空気下流側に傾斜させることによって、性能が向上することがわかる。これは重力と粘性力がほぼバランスし、伝熱面が濡れた状態が維持されるためと考えられ

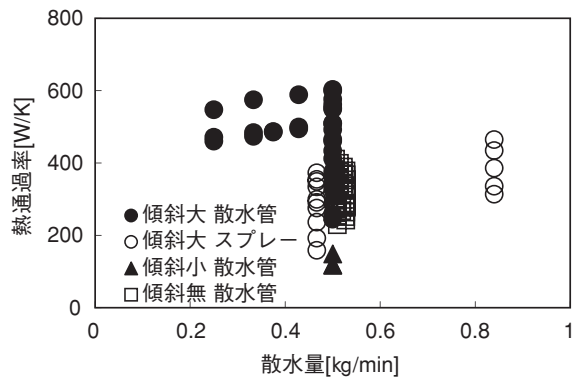


図3 試験結果の一例

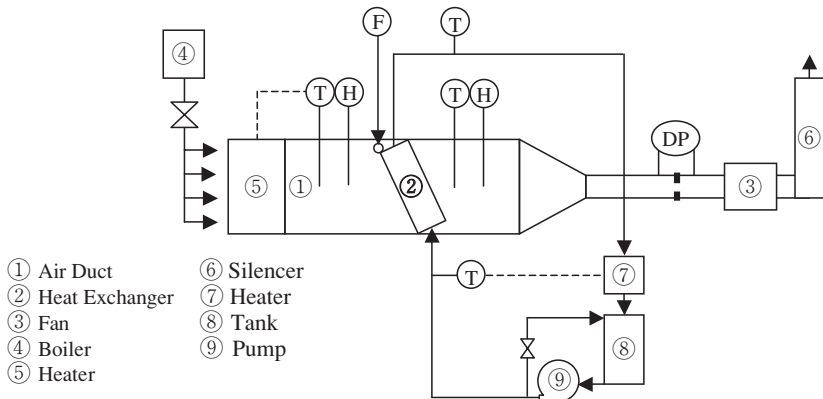


図2 基礎試験装置の概要

る。またスプレーから散水するよりも、熱交換器に接触させた散水管から散水したときの方が性能が高い。これは伝熱面を一様に濡らすことができたためと考えられる。散水量が多い方が性能は向上するが、その効果は小さかった。

空気の圧力損失は、空筒速度 3.2m/s のとき 12 mm Aq 程度であり、通常の冷水塔よりは大きい、適応可能な範囲であった。

4. 実規模の冷却器の設計・製作

表 1 に実規模の冷却器の定格値を示す。通常水入口 37℃ 水出口 32℃ のところを、3K 下げ、冷凍機やヒートポンプの全体の性能向上を狙った。

このような冷却器を実現させるため、伝熱面積を基礎試験装置の 32 倍とした。設計・製作した冷却器を、図 4 に示す。空気は表と裏の 2 面から取り入れ、容積の低減を図った。熱交換器は上下 2 段とし、設置面積の低減を図った。熱交換器の下部は空気下流側に傾斜させている。

その結果、高さ 2.3m、幅 2.2m、ファン部幅 2.95m、奥行き 0.9m となり、開放型冷水塔と同程度にコ



図 4 実規模の冷却器

ンパクト化することができた。

5. まとめ

密閉型湿式冷却器の関し以下の結果を得た。

- ①コルゲートフィンを持つアルミニウム合金製熱交換器の外面に散水し、さらに熱交換器下部を空気下流側に傾けることによって、空気側伝熱面をより広く濡らすことができ、伝熱を促進することができた。
- ②上記結果をもとに、実規模の冷却器を設計・製作した。

謝 辞

本開発は、東京電力(株)殿の委託により実施し、同社には多大なるご協力をいただきました。ここに記し、感謝の意を表します。

表1 実規模の冷却器の定格値

	単位	
目標性	kW	74
冷却水入口温度	℃	34
冷却水出口温度	℃	29
大気湿球温度	℃	27
大気乾球温度	℃	35
散布水量	L/分	17
通風量	m³/分	970



研究開発事業部
熱流体技術部
部長 工学博士

秋吉 亮

TEL. 045-759-2122
FAX. 045-759-2155



研究開発事業部
熱流体技術部

横溝 博

TEL. 045-759-2122
FAX. 045-759-2155



研究開発事業部
熱流体技術部
課長

馬場 尚一郎

TEL. 045-759-2122
FAX. 045-759-2155