

空冷式熱交換器の夏季における冷却能力の回復向け開発

ーフォグによる冷却能力回復適用事例ー

(株) いけうち ○中井 志郎、藤原 知美

1. 概要

空冷式熱交換器は、石油精製でのエアフィンクーラー、ボイラータービンの蒸気復水器、発電プラントのコンデンサなど大型のものから、エアコンやチラーの屋外機など身近なものまで様々な用途で古くから用いられている。いずれの場合も、ファン送風により空気を冷媒として、フィン多管型熱交換器の管内を流れる冷却対象流体（プロセス流体）を、気体の場合は液化させ、液体の場合は冷却させている。

この方式は空気が低温時には有効であるが、気温が上昇する夏場には、冷媒と対象流体との温度差が小さくなるため、冷却能力が低下する。近年は夏季の気温上昇が進んでいるため、冷却能力の回復が急務である。紹介する手法は、気相中にノズルからフォグ（微細な水粒子）を噴霧する方式で蒸発潜熱の利用を図っている。この方式は、新規設備においては、伝熱面積を小さくすることも可能で、設備費の低減が図れる。本報告では、冷却効率の最適化のために、ノズルからの噴霧などを、フィールド試験およびFluentを用いた解析にて検討したので報告する。

2. 空冷式熱交換器の概要

空冷式熱交換器は、送風機およびフィンチューブで構成されており、フィンチューブはプロセス流体の流れる管路にプレート状のフィンを取り付けることで、伝熱面積を高めている。フィンチューブは図1および図2では蒸気の復水器のため、傾斜させており、上部の蒸気ヘッドより蒸気を各フィンチューブに送り、冷却することで液化させ下部にある水ヘッドに回収される。図1のものは、都市ごみ焼却炉の蒸気復水器で、蒸気量は約140トン/hr、大きさは12mW×38mL×8mH程度である。フィンチューブの大きさはチューブ径25mm程度、フィン外径が60mm程度である。

蒸気復水器の目的は、蒸気タービン通過後の蒸気を復水する事で、プロセス流体である純水の再循環の役目を果たしている。同時に、タービンの発電効率とも密接な関係があり、蒸気凝集によりタービン出口側の圧力を低下させることで、吸引負圧を高めてタービンの回転数を増加させることができる。

フィンには水平、垂直に設置されるタイプもあり。ファンは図2のようにフィンの前段に配置され、フィンに正圧で送風しているが、フィンの後段に配置される場合もある。エアコンの屋外機はこのタイプである。



図1 蒸気復水器の外観

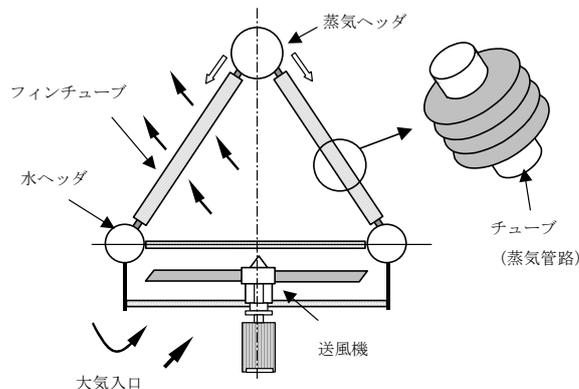


図2 復水器概念断面図

[連絡先] 〒550-0011 大阪市西区阿波座 1-15-15 第一協業ビル

株式会社 いけうち 冷却事業部 中井 志郎

Tel : 06-6538-1277 Fax : 06-6538-4023 E-mail : s-nakai@kirinoikeuchi.co.jp

キーワード：熱交換器、エアフィンクーラー、復水器、ノズル、ミスト、フォグ

3. フォグ冷却の理論

(1) 熱収支の概念

図3に熱収支の基本概念を示す。夏季以外では十分な冷却能力のある装置に、フォグ冷却を追加するとする。この場合には、フォグ無しで十分な冷却を得られる限界気温 (bt) を求める。実際の計算では、日射や湿度の影響があるが、簡単化のためここでは温度のみを因子とする。ここでは限界気温は32℃とする。

$$\text{冷却媒体の抜熱量 } \Delta Q_w = Q_{win} - Q_{wout}$$

$$\text{空気の吸熱量 } \Delta Q_{air} = Q_{airout} - Q_{airin}$$

ここで、冷却媒体の抜熱量と空気の吸熱量は同じになるため、以下ようになる。

$$\Delta Q_w = \Delta q_{air} (@t < bt)$$

限界温度以上では、空気の吸熱量が低下するため、冷却媒体の抜熱量も低下する。冷却媒体の抜熱量は限界温度の時点で一定にする必要があるため、フォグによる必要冷却熱量は以下ようになる。

$$Q_{water} = \Delta Q_w - \Delta Q_{air} (@t > bt)$$

(2) 計算事例

蒸気量は約 140 トン/hr の復水器の場合、限界気温である 32℃の冷却媒体の抜熱量を求め、そこから伝熱面積と対数平均温度差より、境膜伝熱係数を求める。

空冷可能な空気温度 32.0 ℃

出口空気温度 58.85 ℃

対数平均温度差 51.85 ℃

伝熱面積 58,000 m²

境膜伝熱係数 24.9kcal/m²hr℃

算出した境膜伝熱係数より、空気温度が限界気温よりも 1~5℃高い場合の冷却不足熱量を算出する。必要交換熱量は、32℃時の交換熱量である。表2に各気温の結果をまとめる。例えば、気温が 37℃の場合は、4,900,000kcal/hr (1,200,000kJ/hr) 程度の冷却能力が不足する。

フォグ冷却は、水粒子径および滞留時間により大気中で蒸発するものおよびフィンに付着して蒸発するものに分かれる。サンプルノズルとして図4のような平均粒子径 33μm、最大粒子径 105μmのノズルを用いたとして、冷却水量を算出する。

空気中で気化するもの 0~45μm

フィンで気化するもの 45~105μm

このノズルにおけるそれぞれの流量割合を粒度分布より求める。フィンで気化する粒子径 45μm以上のものの蒸発分も考慮すると以下の割合になる。

空気中で気化するもの 55%

フィンで気化するもの 45%

フィンまでに気化する55%水量での空気の冷却温度を 1.3℃と設定する。よって、空気温度は 37℃より 1.3℃冷却するため、フィンでの気化分により必要冷却熱量

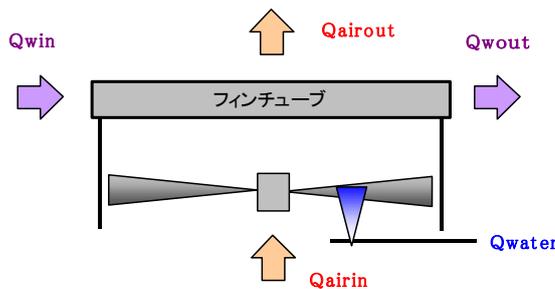


図3 熱収支の基本概念

表1 冷却媒体の入口/出口熱量

入口蒸気保熱量 (105 ℃)					
成分	割合 mass.%	流量 kg/h	比熱 kcal/kg・℃	温度 ℃	保有熱量 kcal/h
Vapor	100.0	140,000	1.008	105.0	14,812,536
合計					14,812,536
出口水保熱量 (90 ℃)					
成分	割合 mass.%	流量 kg/h	比熱 kcal/kg・℃	温度 ℃	保有熱量 kcal/h
Vapor	100.0	140,000	1.003	90.0	12,642,201
合計					12,642,201
純水の抜熱量					
交換熱量					74,970,335

表2 冷却不足熱量の算出

入口空気温度 a ℃	出口空気温度 b ℃	液入口温度 c ℃	液出口温度 d ℃	対数平均温度差 a~dより e ℃	入口大気保有熱量 f kcal/h	出口大気保有熱量 g kcal/h	交換熱量 h kcal/h	冷却不足熱量 i kcal/h
37	60.83	75.40	75.40	24.59	69,736,270	114,274,105	44,537,835	5,850,165
36	60.44	75.40	75.40	25.24	67,836,370	113,545,037	45,708,667	4,679,333
35	60.05	75.40	75.40	25.89	65,937,310	112,816,466	46,879,156	3,508,844
34	59.66	75.40	75.40	26.53	64,039,100	112,088,400	48,049,300	2,338,700
33	59.28	75.40	75.40	27.18	62,141,720	111,360,825	49,219,105	1,168,895
32	58.89	75.40	75.40	27.82	60,246,580	110,634,580	50,388,000	0

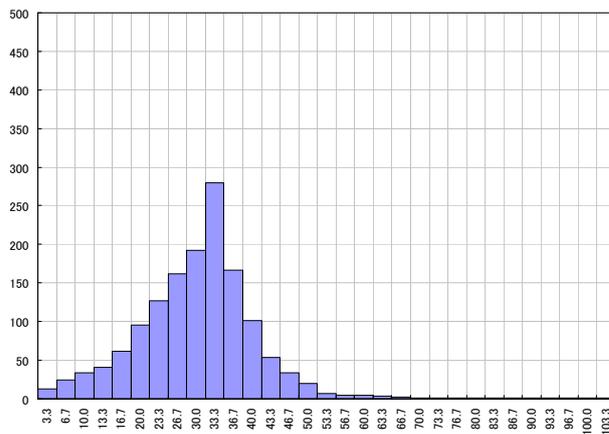


図4 サンプルノズルの粒度分布

は 3,400,000kcal/hr 程度である。従って、水量は以下ようになる。

空気中で気化するもの	5,600 kg/hr
フィンで気化するもの	6,900 kg/hr
合計	12,500 kg/hr

4. 解析による検討

(1) 装置のレイアウト

フォグ発生ノズルは高圧ポンプを必要とするので、平均粒子径 20~30 μ m の所謂セミドライフォグレベルの細かな霧を発生させることが可能である。図5に、実機における全体概念図を示す。ノズルの噴霧位置として、送風機とフィンとの設置とする。

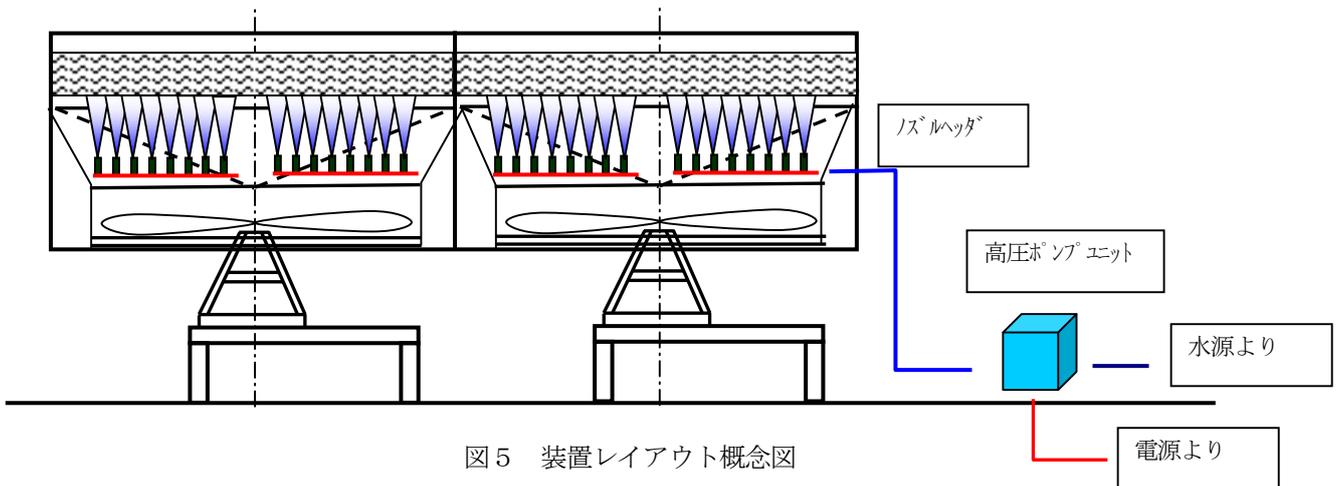


図5 装置レイアウト概念図

(2) 解析の目的

fluent による熱流体解析の目的として、大きく以下の2点がある。

- ① ノズルから発生したフォグのマクロ挙動
- ② フォグのフィンチューブ近傍のミクロ挙動

まず、マクロ挙動により送風機により旋回している流れ場において、気相中で過冷却を起こさず、かつ均一にフィンを付着させるノズル配置を決定する。ミクロ挙動では、温度をもつフィンへのフォグの付着の状況およびフィンが複数層の場合の付着の状況を確認する。

(3) 解析結果

本報告は①について報告する。解析形状は図5のように、フィンは水平に配置されているタイプとした。定常の熱間計算とした。メッシュは非構造とした。

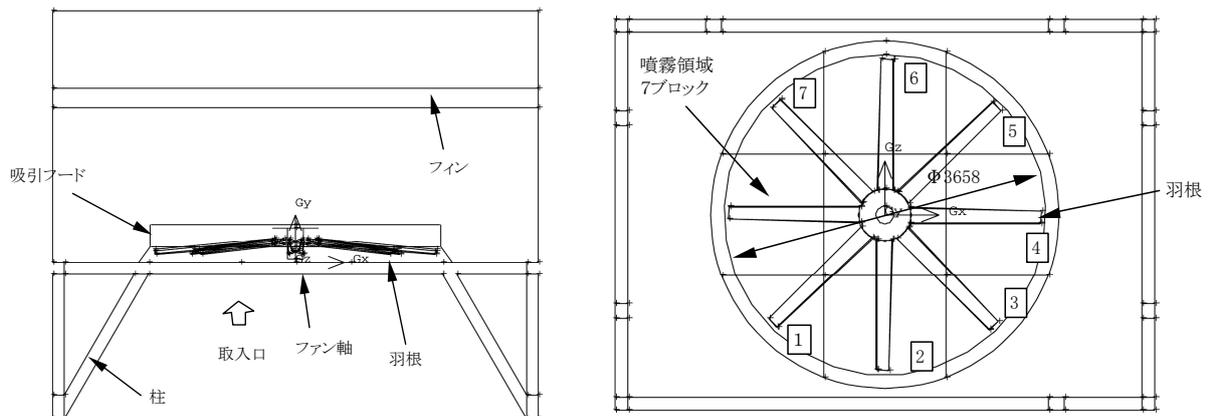


図6 解析用作成形状

形状は送風機が4台を1単位として作成した。ただし、送風機1台と4台の計算比較で、相互干渉の影響が少なかったため、計算時間の短縮のため、送風機1台にて検討した。

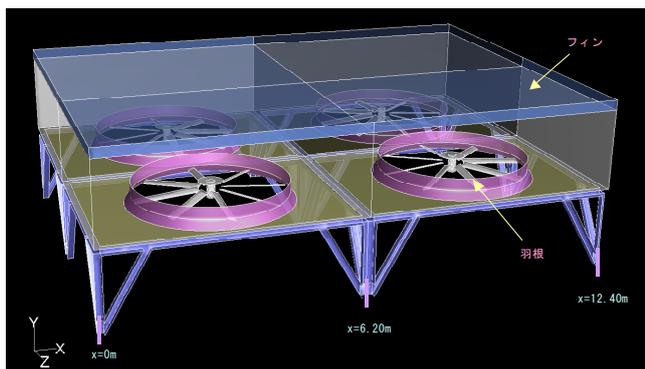


図7 全体形状

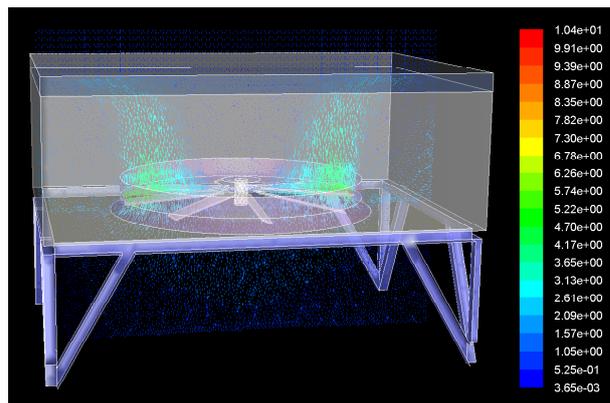


図8 流れのベクトル

フォグの挙動を試行錯誤したが、最も均一化するノズル4本によるレイアウトのものを示す。図9は色は滞留時間 (sec) を示している。未蒸発分は1.6sec でフィンに付着しており、 $100\mu\text{m}$ 程度以下では遠心力によるフォグの脱水作用はほとんど起こっていない。空気温度は想定通り、平均で 1.3°C 冷却した。

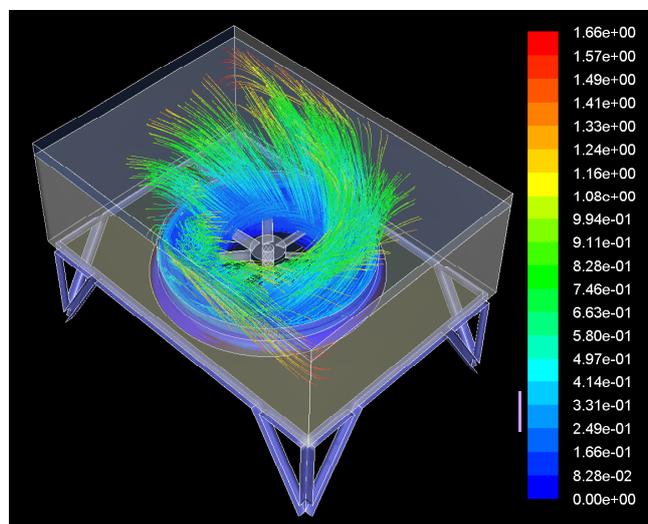


図9 水粒子の軌跡

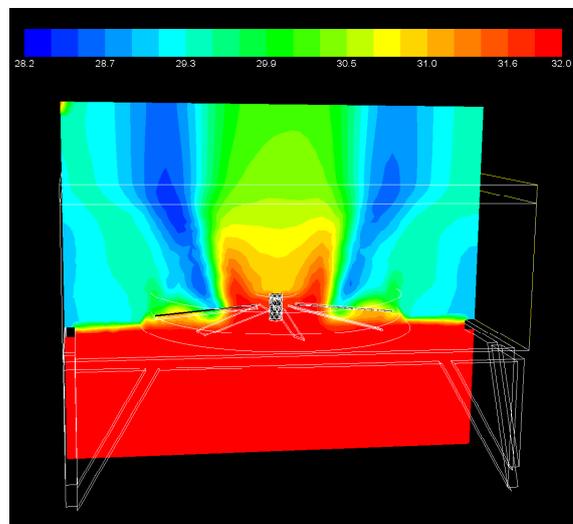


図10 空気温度分布

フィン下面の温度分布は完全に均一化しておらず、付着箇所には片寄りがある。ノズル6本にした場合は改善するが、送風機の軸上部の冷却はやや少なくなっている。解析結果と実機での実験結果の検証については別途報告する。

5. おわりに

蒸気復水器について、計算により必要冷却熱量から必要水量を決定し、マクロ解析によりノズルレイアウトを決定して効果を検証する手法を紹介した。ミクロ解析により、さらに冷却効率を高める検討を行っている。また、図2に示す形状のものは気流および水粒子挙動も複雑になるため、進捗状況を別途報告したい。

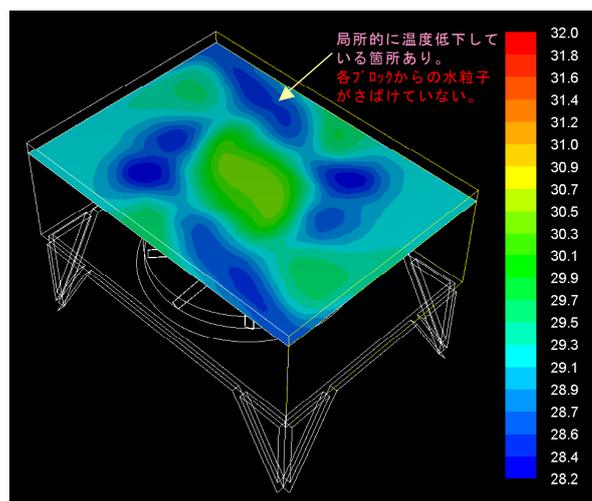


図11 フィン下面の温度分布