

ノズルから噴霧されるミストに与える水温の影響

Effect of Supply Water Temperature on Mist Sprayed from a Nozzle

○アカデミック会員 ファーナム クレイグ^{*1}, 中尾 正喜^{*2}, 西岡 真穂^{*2}, 鍋島 美奈子^{*2}, 非会員 劉 晨^{*2}, 水野 豪男^{*3}
Craig FARNHAM^{*1}, Masaki Nakao^{*1}, Masatoshi Nishioka^{*2} Minako Nabeshima^{*3} Shin Liu^{*2} Takeo Mizuno^{*3}

*¹ 大阪市立大学生活科学研究科 Dept. of Human Life Science, Osaka City University, Sumiyoshi-ku, Osaka, 558-8585 Japan

*² 大阪市立大学工研究科 Dept. of Engineering, Osaka City University, Sumiyoshi-ku, Osaka, 558-8585 Japan

*³ いけうち(株) H. Ikeuchi & Co. Ltd., Nishi-ku, Osaka, 550-0011 Japan



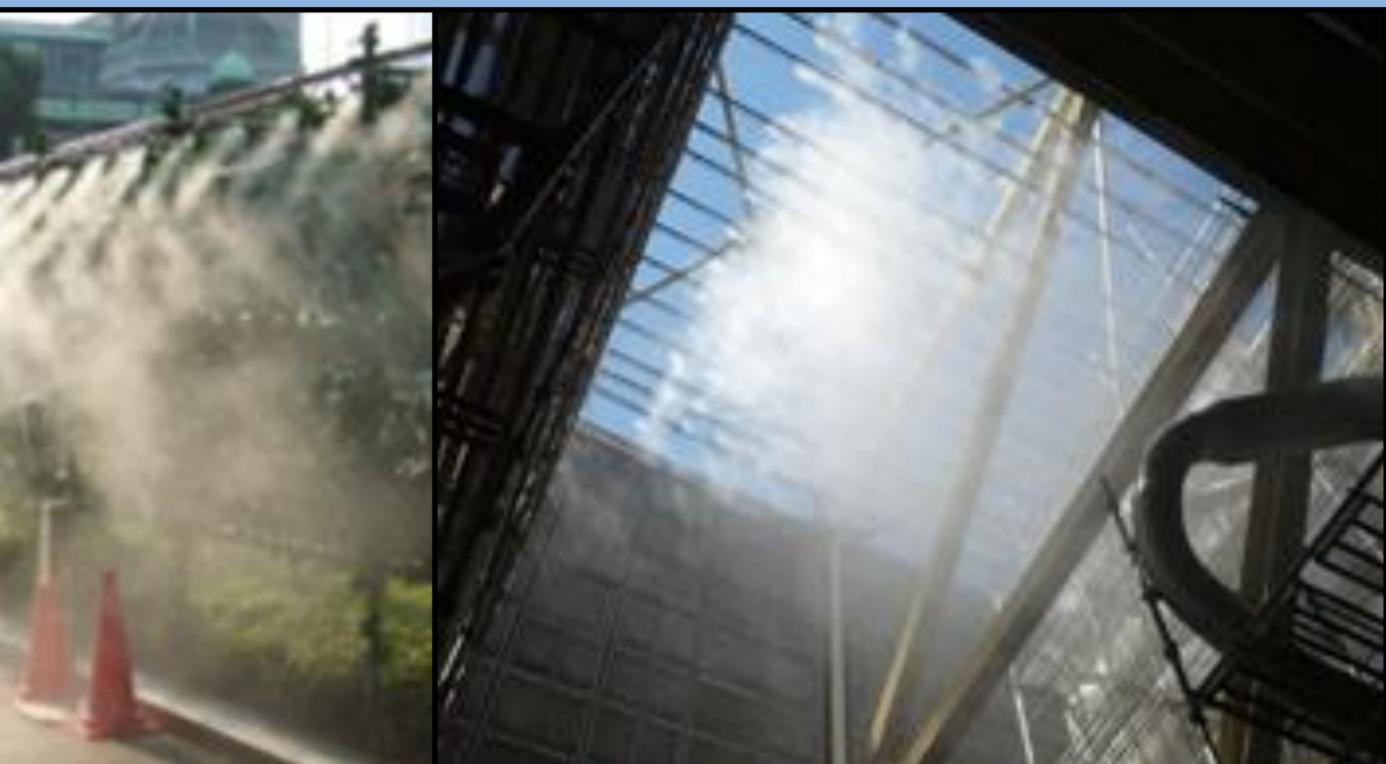
Corresponding author: Craig FARNHAM, E-mail : farnham@life.osaka-cu.ac.jp

ミスト給水温度の影響は? What is the effect of mist supply water temperature?



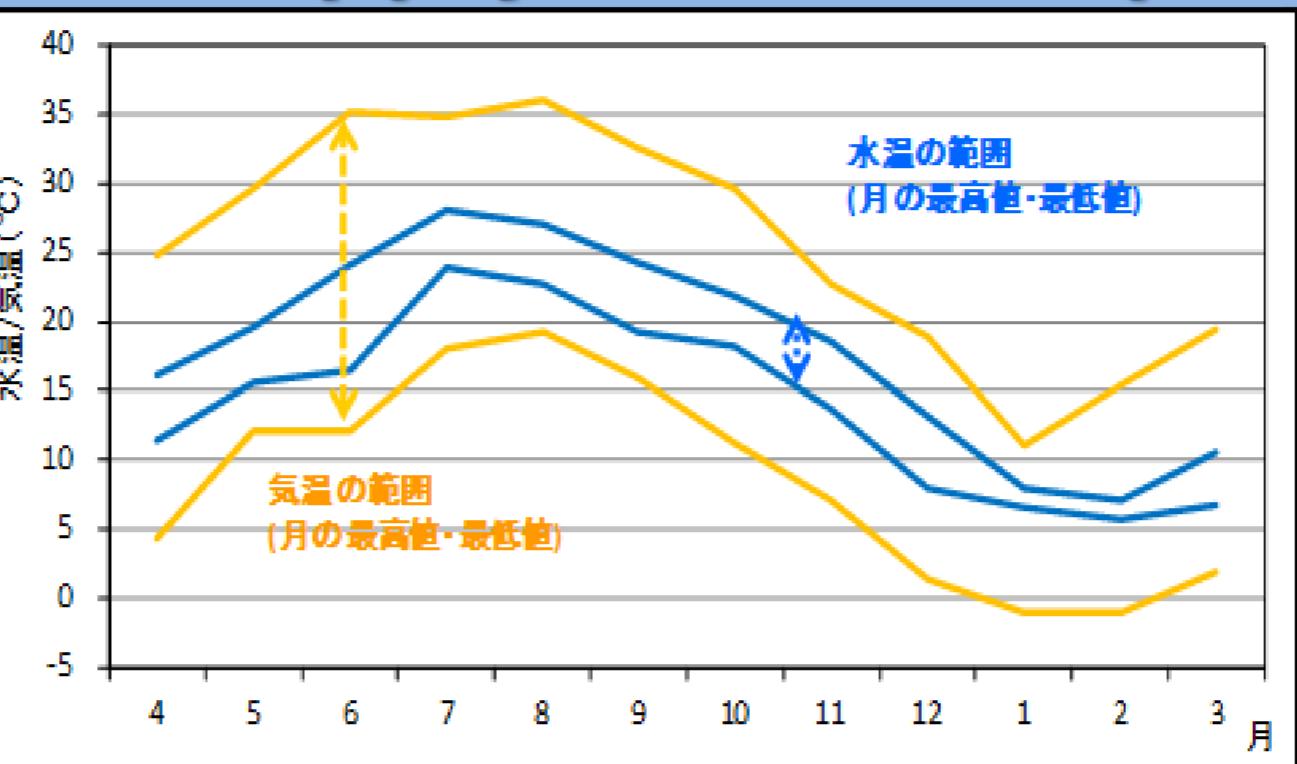
使用期間が長い場合、ポンプの排熱による配管中の水温が熱くなる。

When used for long periods, pump heat can raise the temperature of the water in the piping.



ノズルヘッダーと配管は日射又は周辺の排熱に被曝される

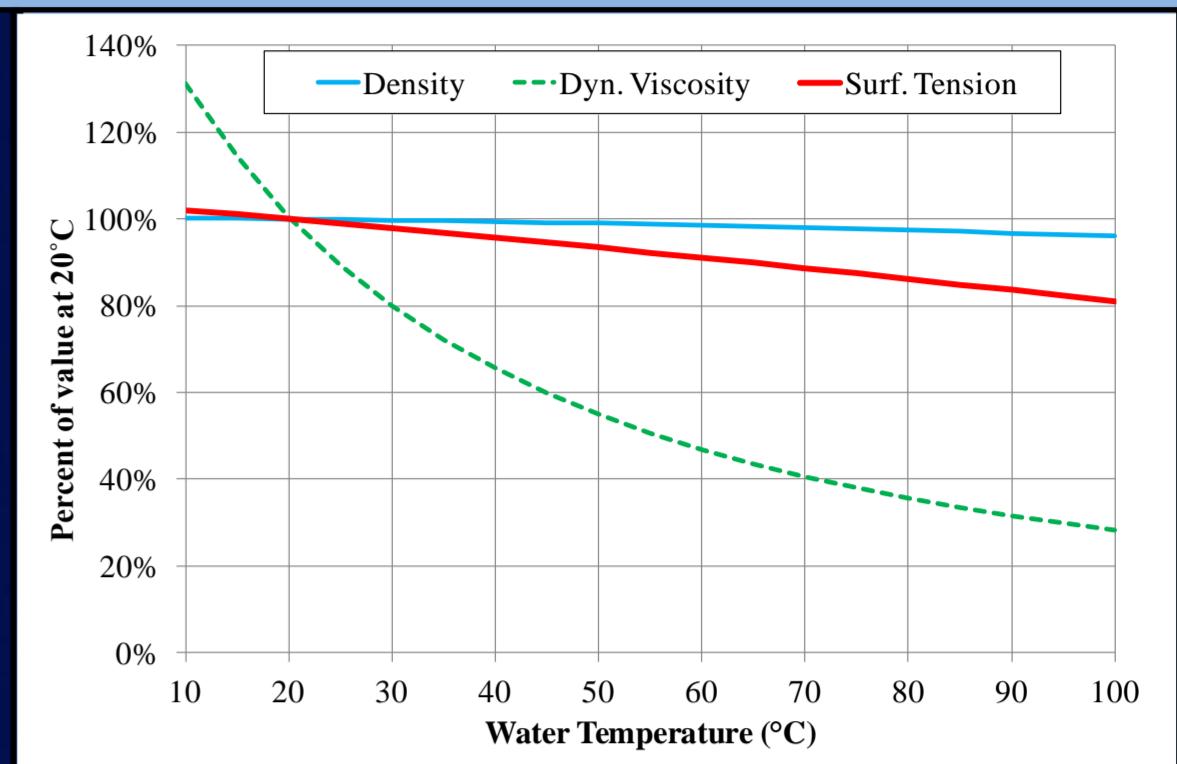
Nozzle headers and piping are exposed to sunlight or heat sources



水道水の温度の年間変化
Seasonal change in tap water temperature



レジオネラ菌対策として
温水洗浄する
Cleaning with hot water as a legionella countermeasure

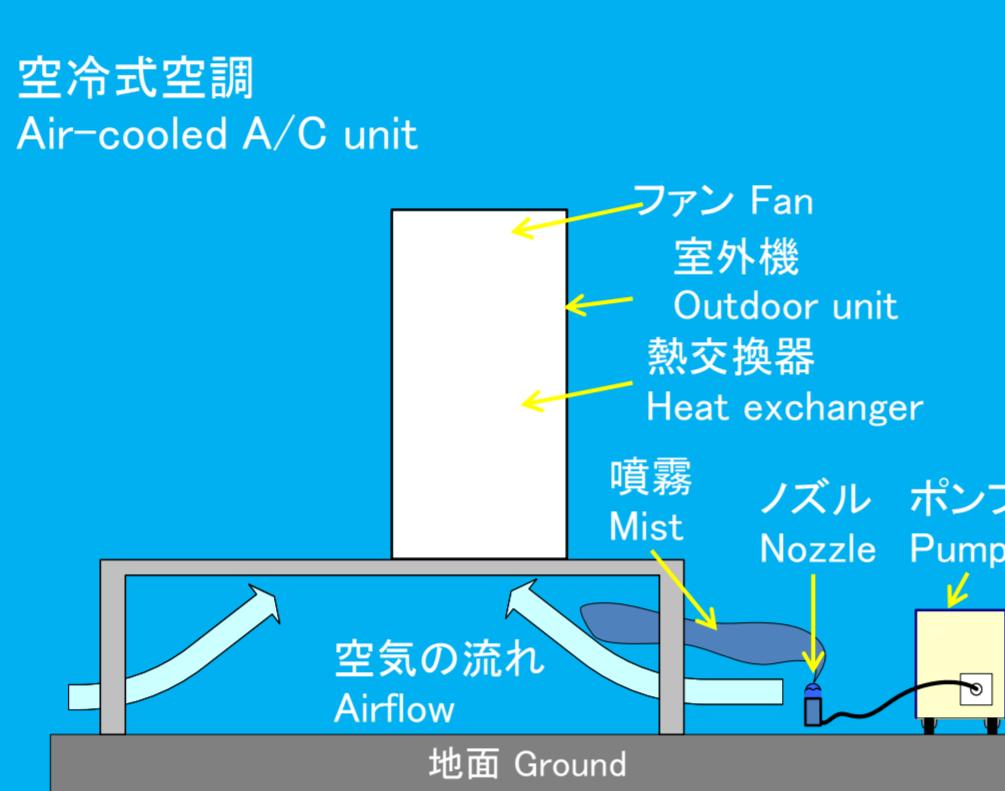


温度に依存する水物性値は密度、粘度、表面張力を含む。
Water properties dependent on temperature include density, viscosity, and surface tension.

目的 Goal

空調機の熱交換器表面を濡らさず
に空調機の効率向上や排熱の低減が見込める。

Use mist to increase efficiency and counter waste heat without wetting the heat exchanger of A/C unit



狭いダクトや空間で蒸発速度を上げることが望ましい。

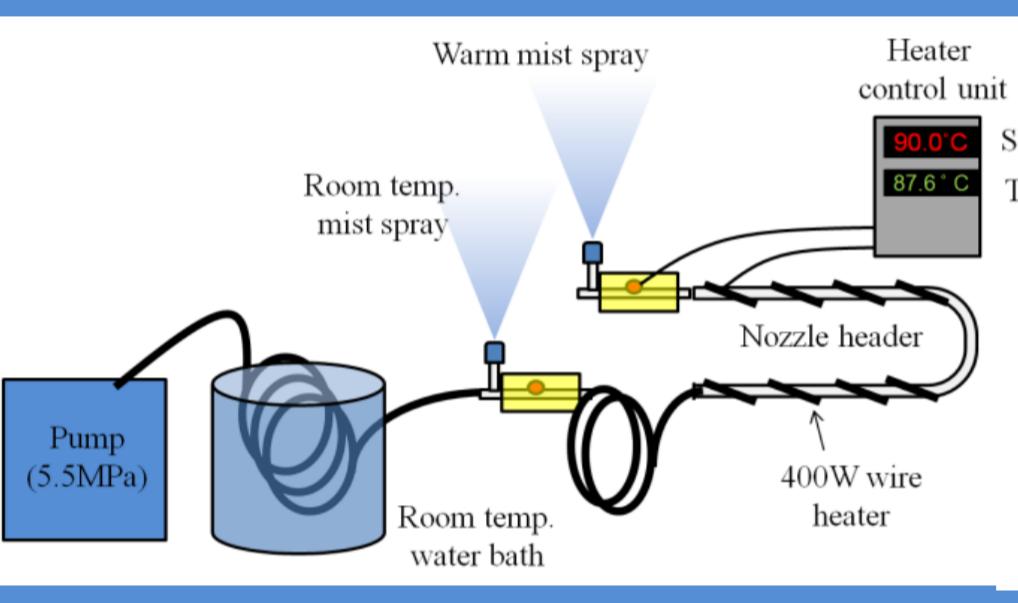
We want to increase evaporation rates in ducts and small spaces

4つの効果に研究を行った 4 effects were investigated

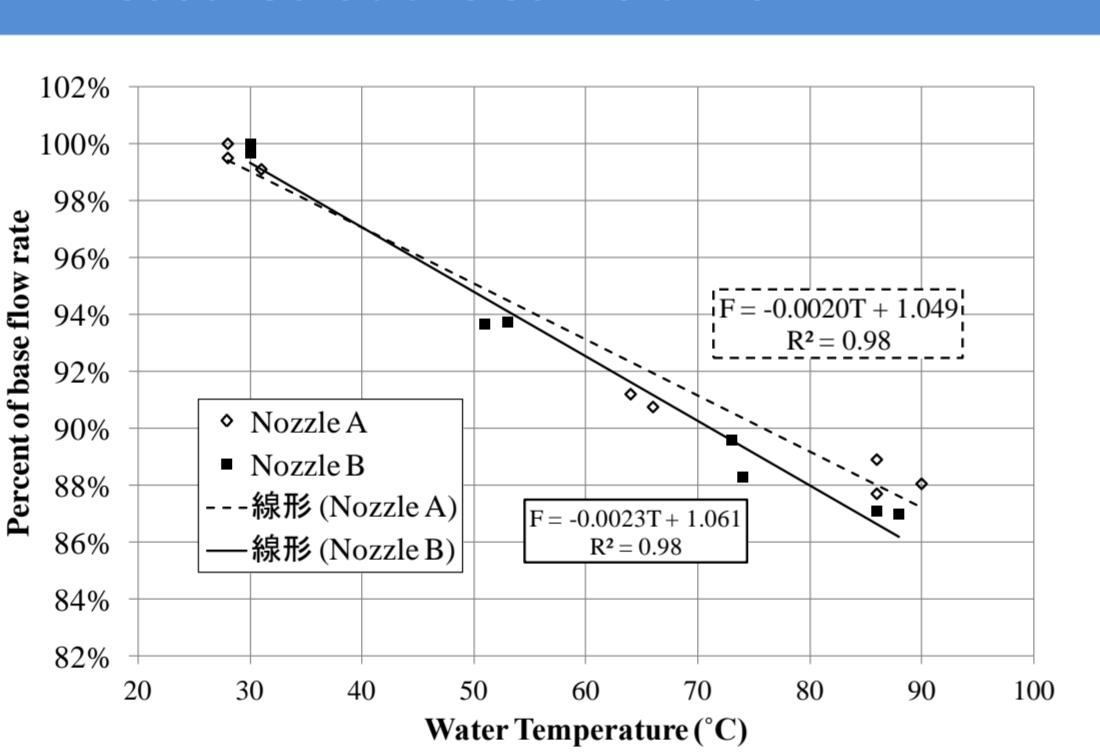
- ミストの粒子直径
- ノズルから噴霧質量流量
- 冷却効果
- 蒸発速度
- Droplet diameter
- Spray mass flow rate
- Cooling effect
- Evaporation rate

本実験の水温範囲 Tested water temperature range 20°C – 92°C

噴霧質量流量 Spray mass flow rate



ヒーターと水浴の間にノズルも一個を設置した。水温を上がりながら、同時に噴霧して、同時に質量流量を測定した。Another nozzle was mounted between the water bath and the heater. Both nozzles are sprayed together, and the temperature and mass flow rate measured at the same time.



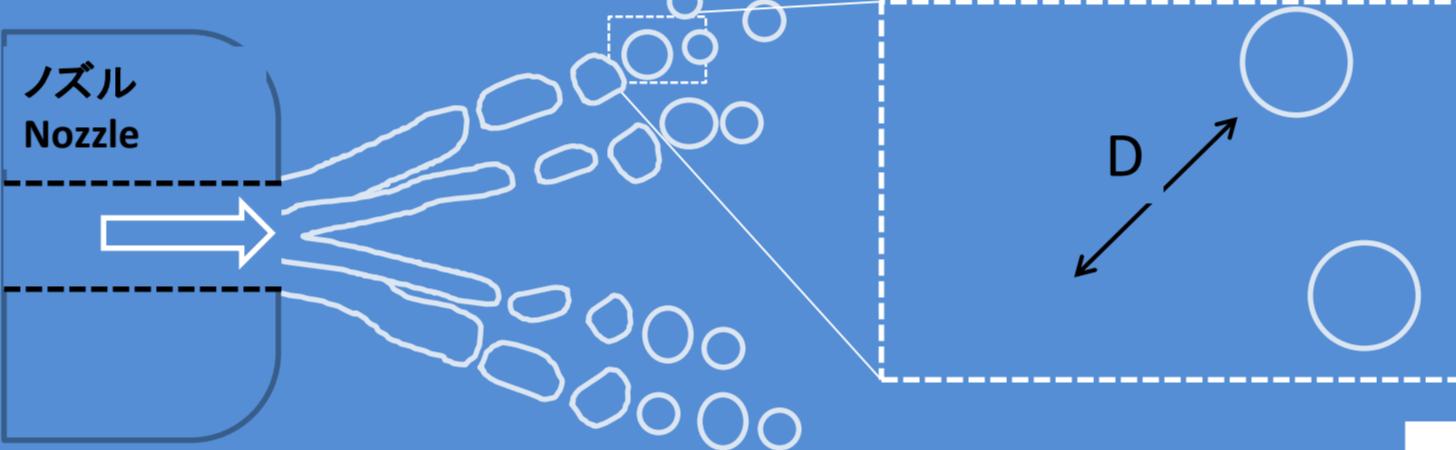
それで、ノズルを交換して、再び測定を行った。

Then, the nozzles were swapped and the measurement repeated.

ワイヤーヒータとノズルヘッダー

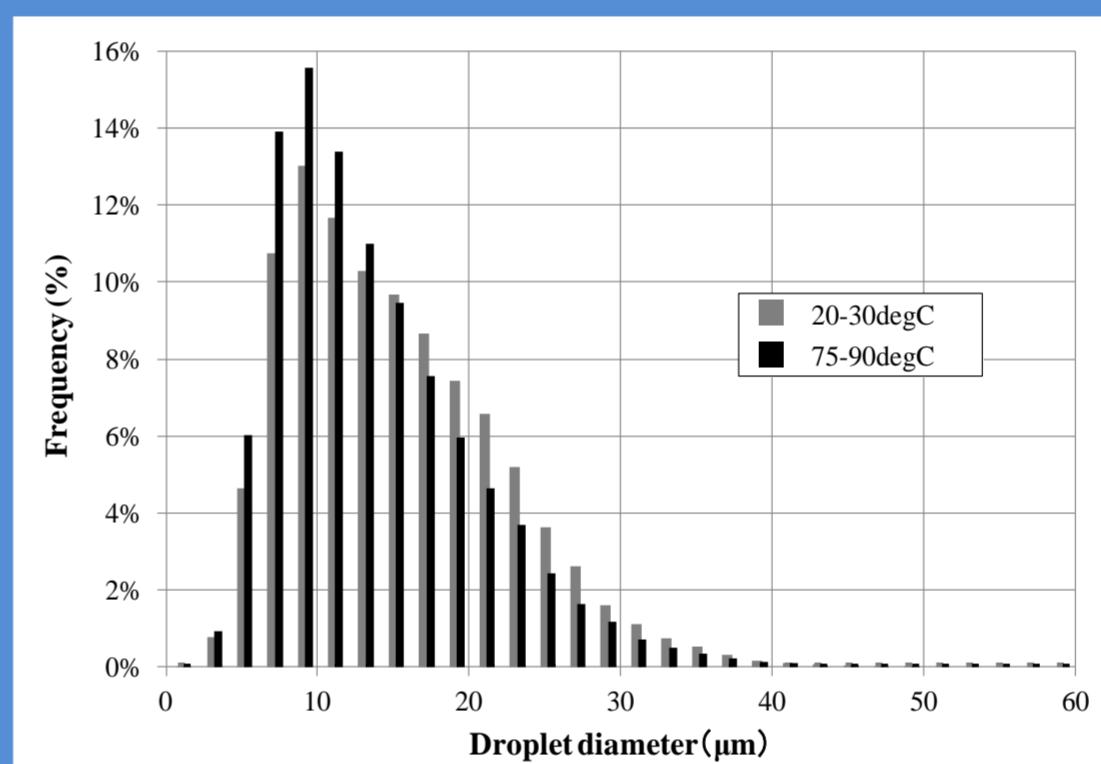
質流量が水温上昇1度を当たり0.2%減少した。
Mass flow rate dropped 0.2% per degree temperature increase.

粒子径 Droplet Diameter



ノズル円錐の中心線に10cm距離で粒子径を測定した。水温が27°C~92°Cをわたってほぼ2度毎に測定した。

Measured at the mist centerline, 10cm distant, taken about every 2°C as water temperature was varied from 27°C – 92°C.



流体抵抗力は表面張力を超える場合、液滴が分裂される。

When drag force exceeds surface tension, the droplet will break up.

$$D_{\max} = \frac{8\sigma}{C_D \rho_{air} V_R^2}$$

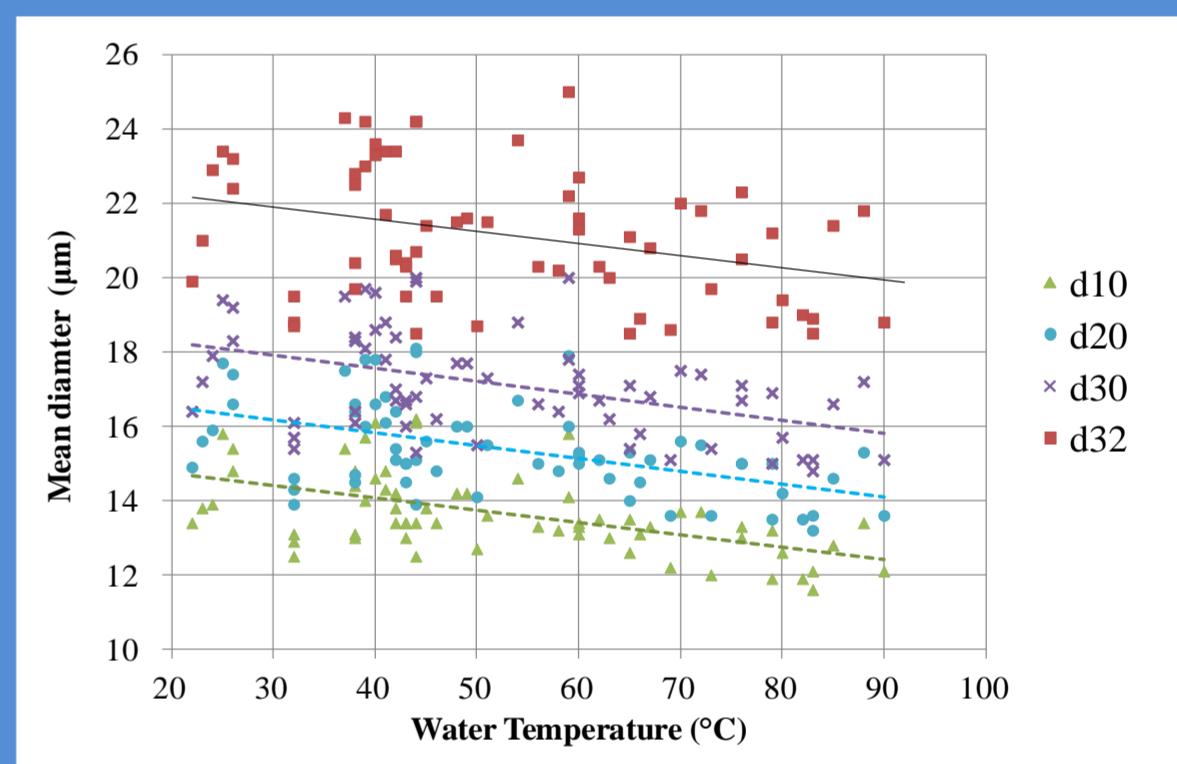
$$t_{evap} \propto D^2$$

粒子の分裂直径 D_{\max} は表面張力 σ に比例する

Breakup diameters, D_{\max} are proportional to surface tension, σ .

水温が約20°Cから60°Cまで上がる場合、平均粒子径は約5%小さくなかった。粒子の完全蒸発時間は直径の二乗に比例するので、平均蒸発時間は10%早くなる。

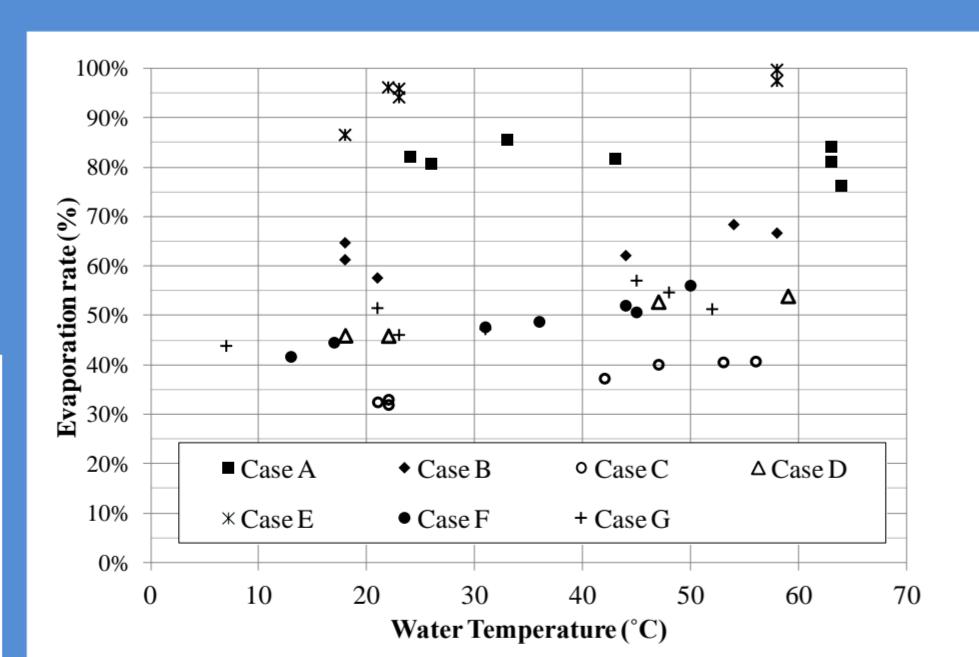
If water temperature increases from about 20°C to 60°C the Sauter mean diameter drops about 5%. As droplet evaporation time is proportional to the square of diameter, droplets will evaporate 10% faster on average.



蒸発速度 Evaporation rate

ノズルをフィルターに向かうダクト真中に固定して、フィルターで捕集するミストを重量変化 Δm で計って、蒸発率Yを得る。Mount a nozzle aimed at a filter in the middle of the duct. Measure the captured mist by the change in filter weight, Δm . And calculate evaporated portion, Y.

$$Y = 1 - \frac{\Delta m_{filter}}{m_m(T)}$$



水温が上がるにつれて、フィルターに付着した量が経て、6ケースで蒸発率は上がった。

As the water temperature increases, the amount of mist hitting the filter decreases, the evaporation rate increases in 6 out of 7 cases.

結論 Conclusions

ミスト水温が上がるにつれて、

- 平均粒子径が減少
- 噴霧質量流量が減少
- 蒸発率、蒸発速度が上がる
- 冷却効果が殆ど変化しない

As mist water temperature is raised,

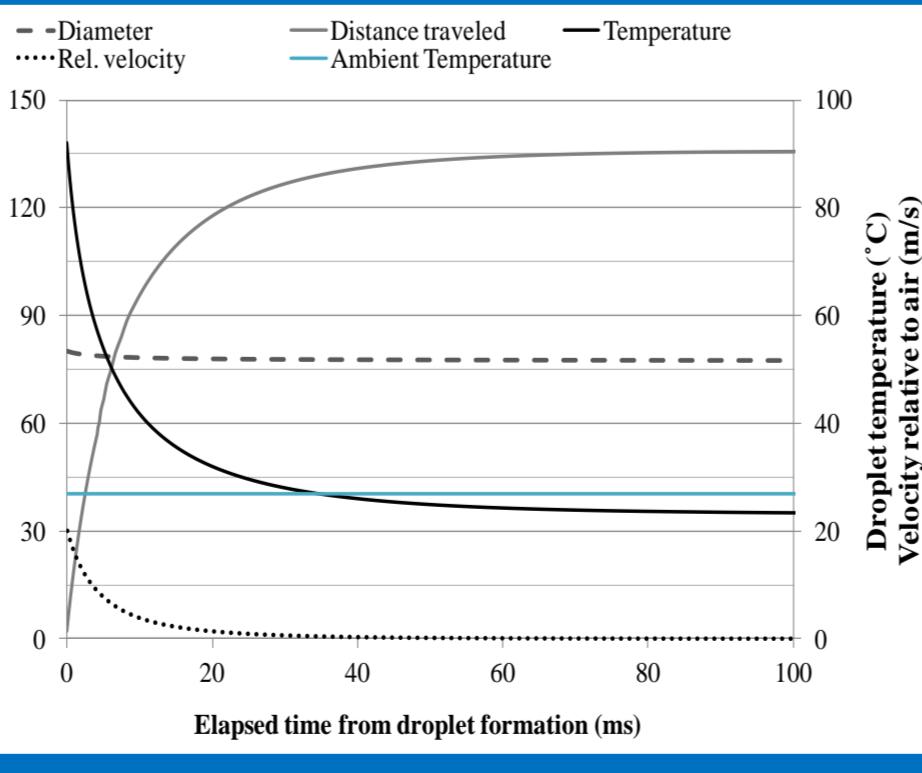
- Average droplet diameter drops
- Spray mass flow rate drops
- Evaporation speed and evaporation rate increases
- Cooling effect is mostly unchanged

冷却効果 Cooling effect

水の蒸発熱(潜熱)は2250 – 2450 kJ/kg、水の比熱(顯熱)は4.18kJ/kgKである。従って、水温30度も上がるにつれて、蒸発冷却効果が約5%しか失われない。The heat of evaporation (latent heat) of water is 2250 – 2450kJ/kg, while the specific heat (sensible heat) is 4.18 kJ/kgK. So, increasing water temperature by 30°C only cause a loss of 5% of the evaporative cooling effect.

単粒子の蒸発、速度、温度などを反復計算して、初期速度20m/s、92°Cの水粒子は40ms以内、湿球温度と速度1m/s以下に下げること分かった。

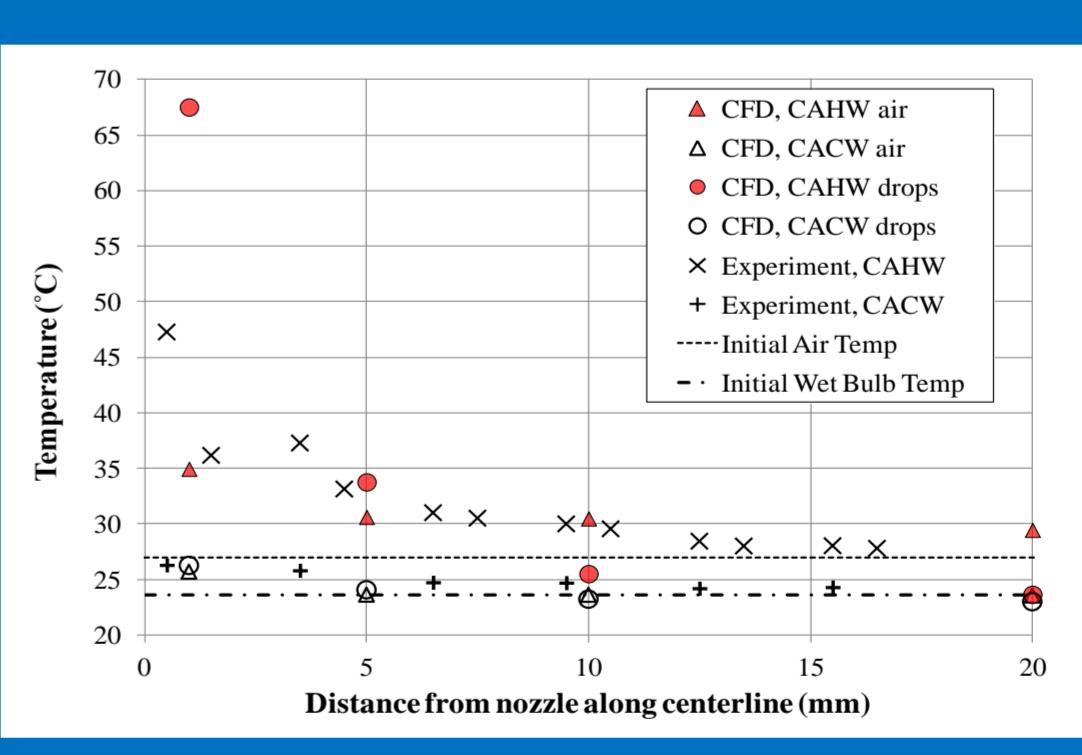
Iterative calculation of single droplet evaporation, speed and temperature shows that a droplet at initial speed of 20m/s and temperature of 92°C drops to under 1m/s and wet bulb temperature within 40ms.



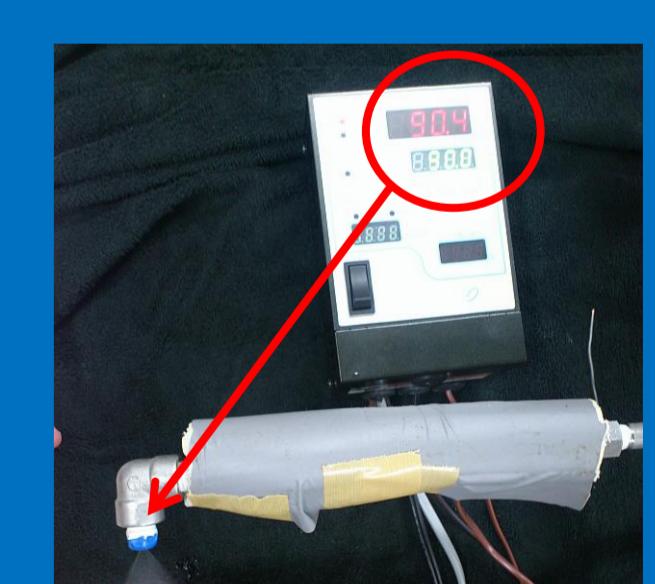
実験でノズル円錐の中心に熱電対で温度を測定した。反復計算による温度を確認した。

By experiment, temperature inside the center of the mist cone was measured with thermocouples, confirming the iterative calculation.

20mm
熱電対 6つ
6 Thermocouples



90°C水温を噴霧しても、ノズルから1cmで安全に指をミストに突っ込むことができる。Even spraying 90°C water, you can safely put your finger in the mist 1 cm from the nozzle.

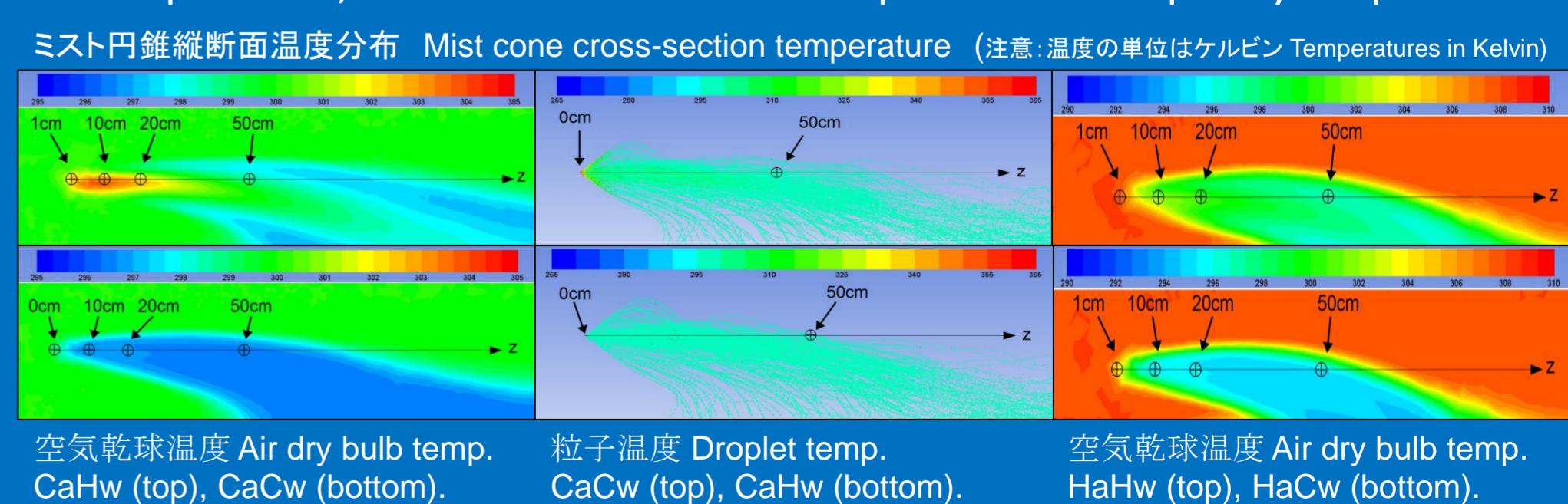


CFDシミュレーションでミスト円錐中の温度分布と粒子温度が短い距離で支給

温度に下がることも確認した。CFD simulation of the mist cone confirms that the droplets quickly drop below the wet bulb temperature, and show that the air temperature also quickly drops.

Model and experiment conditions

Case	Inlet air conditions	Water temperature (°C)
CaCw	Temp (°C) 27 RH (%) 75 ΔT_{WB} (K) 3.4	27
CaHw	27 75 3.4	92
HaCw	35 30 13.4	35
HaHw	35 30 13.4	92



短い距離で、ミストの蒸発率は約10%未満になる。潜熱による冷却効果の9割は残っている。しかし、ミスト・空気温度は環境空気温度に下がった。At this distance, only about 10% of the mist has evaporated. 90% of the latent heat cooling effect has not yet happened, but the mist/air temperature falls to the original ambient.

高温水を噴霧しても、冷却効果が殆ど変わらない。Spraying high temperature water yields almost no change in the cooling effect.

温水を噴霧して、狭いダクトや空間で蒸発速度、蒸発率を推進する対策として価値がある可能性があると考えられる。ミスト給水をヒートシンクとして利用できる。レジオネラ菌対策として使用中でもできる。Spraying hot water could have value as a way to increase evaporation rates in small ducts and spaces. Also, the supply water can be used as a heat sink, or hot water sprayed as a legionella countermeasure during normal use.