

MC2 超音波加湿器の液滴蒸発による室内温熱環境への影響を表現する CFD モデルの風洞実験による検証

Validation of a CFD Model for Simulating Evaporation Effects of Droplets Generated from an Ultrasonic Humidifier on Indoor Thermal Environment Using Wind Tunnel Experiments

指導教員 近藤明教授・共生環境評価領域

28H22011 大屋那央 (Naoto OOYA)

Abstract: When an ultrasonic humidifier is used to control humidity in a room, the room temperature drops due to the latent heat of droplet vaporization. Accurate estimates of air temperature and humidity are essential for controlling the indoor thermal environment. In this study, a CFD model that incorporates a water phase change model considering droplet size distribution to estimate the changes in temperature and humidity due to the use of an ultrasonic humidifier was developed, and wind tunnel experiments were conducted to validate the model. Temperature drop varied with humidification and air velocity, and the CFD model reproduced it. For a better estimation of air temperature and humidity, the model parameters related to fine droplet evaporation were adjusted. In addition, the accuracy of temperature estimation was improved by choosing lognormal distribution as droplet size distribution.

Keywords: CFD, Water phase change, Fine droplets, Wind tunnel experiment, Droplet size distribution

1. はじめに

室内の調湿のため超音波加湿器を使用すると液滴の蒸発による気化熱で気温が低下する。加湿器使用時の室内温熱環境制御には液滴の蒸発による温湿度変化の推定が重要であるが、従来の数値流体力学 (CFD) モデルでは超音波加湿器を用いた際の水の相変化を考慮した温湿度推定は難しい。本研究では蒸発に伴う粒径分布の変化を考慮した微小/粗大液滴と水蒸気の相変化モデルを導入した CFD モデルを開発し、検証のための風洞実験を行った。また CFD モデルの精度向上のため微小液滴の蒸発パラメータと粒径分布モデルの選択が温度低下に与える影響を分析した。

2. 風洞実験

大阪大学工学研究科研究用風洞にて、超音波加湿器風下での液滴粒径分布と液滴蒸発による温度低下幅を、加湿量と風洞風速を変更した表 1 に示す 4 ケースで測定した。粒径分布は加湿器吹出しから 0 m, 0.5 m, 1.0 m の 3 点における液滴流れ中心で測定し、温度低下は図 1 に示す位置で測定した。

表 1 実験ケース

	加湿量 [g/h]	風速 [m/s]
h1w0.5	389.3	0.49
h1w2	443.4	1.98
h3w0.5	897.7	0.49
h3w2	888.1	2.01

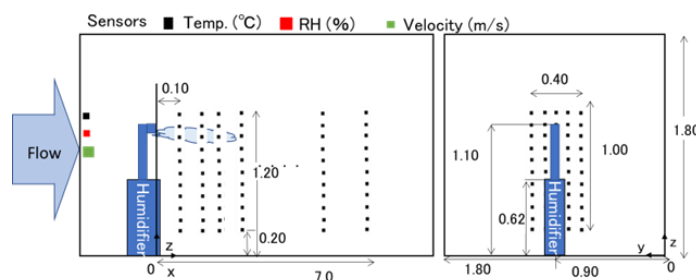


図 1 測定実験レイアウト

3. CFD モデル

相変化モデルとして Kessler⁽¹⁾によって開発された重力沈降しない微小液滴, 重力沈降する粗大液滴,

水蒸気の3相に分類した相変化モデルを修正し導入した。修正にあたり微小液滴蒸発時間と微小液滴の存在量で蒸発速度が変化することを考慮した。また微小液滴で粒径一様を仮定した蒸発式(粒径一様モデル)を式(1)に、粒径分布として対数正規分布を仮定した蒸発式(LNDモデル)を式(2)に示す。 q_v は水蒸気混合比、 q_{vs} は飽和水蒸気混合比、 $f(T)$ は温度 T に関する関数、 q_c は微小液滴混合比、 q_{c0} は参照微小液滴混合比(2.0×10^{-3})、 α は微小液滴蒸発時の粒径・粒子数変化に関する係数、 b は微小液滴の蒸発時間に関する係数、 S_c は微小液滴総表面積、 S_{c0} は参照微小液滴総表面積(0.25)である。粒径分布は測定とよく一致した対数正規分布(図2)を仮定した。パラメトリック解析は $\alpha = 0.33, 0.67, 1.0$ (粒径一様モデル)、 $b = 0.5, 1.0, 1.5$ (粒径一様モデル, LNDモデル共通)について行った。

$$\frac{dq_v}{dt} = b * (q_{vs} - q_v) * \left(\frac{q_c}{q_{c0}}\right)^\alpha * f(T) \quad (1)$$

$$\frac{dq_v}{dt} = b * (q_{vs} - q_v) * \frac{S_c}{S_{c0}} * f(T) \quad (2)$$

3. 結果及び考察

LNDモデル $b = 1.0$ の風洞の中心を通る断面の温度低下分布を図3に、測定値とパラメトリック解析結果の比較として各高さの温度低下を図4に示す。加湿量が多いと温度低下が大きくなり、風速が大きいと高い位置で温度低下が大きく低い位置で温度低下が小さくなった。 α が大きいと温度低下のピークは大きく、加湿器から近くなった。これは α が大きいほど微小液滴が多い場所で蒸発速度が増加するためである(式(1))。 b が大きいと蒸発速度が増加するため加湿器に近い側で大きな温度低下となった。実験ケース全体としてLNDモデルの $b = 1.0$ が最も測定値に近づいた。また加湿量と風速を変更した場合でも温度低下を良く再現した。

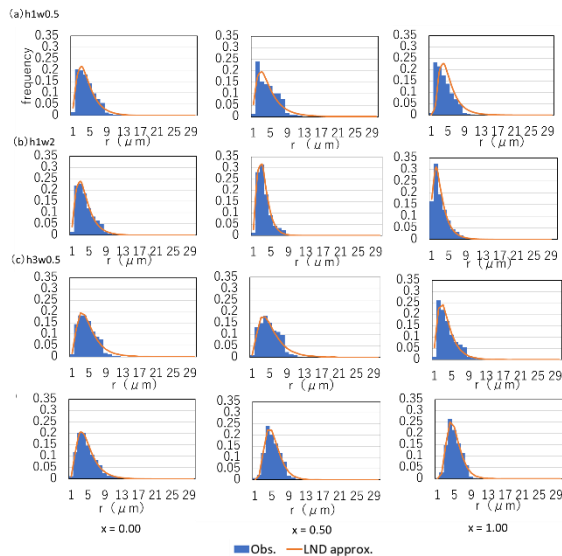


図2 測定粒径のヒストグラムと対数正規分布
($x=0.00, 0.50, 1.00$ m)

4. 結論

本研究の結論を、以下にまとめる。

- 加湿量と風速により温度低下のパターンが変化しCFDモデルはそれを良く再現した。
- 微小液滴の粒径分布を対数正規分布で表現することで温度の推定精度が向上した。

参考文献

- 1) Edwin Kessler, Meteorological Monographs, 10 (1969) 1-84

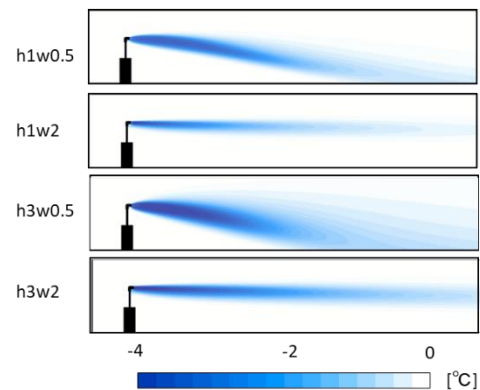


図3 LNDモデル $b = 1.0$ の温度低下分布
(風洞中心断面)

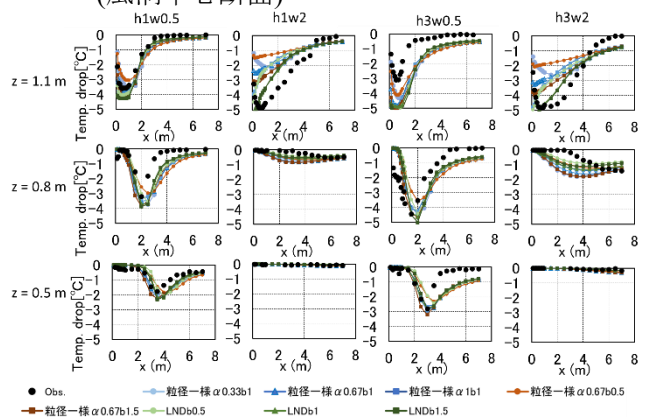


図4 パラメータごとのx方向温度低下
(風洞中心断面)