

BE4 超音波加湿器の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 simulating evaporation effects of droplets generated from
an ultrasonic humidifier on indoor thermal environment using wind tunnel experiments

共生環境評価領域

08E18010 大屋那央 (Naoto OOYA)

Abstract: Accurate estimates of air temperature and humidity are essential for controlling indoor thermal environment. However, conventional CFD models cannot evaluate the phase change of water in a room. This study used a CFD model incorporating a phase change model originally developed for meteorological models. The CFD simulations were compared to wind tunnel experiments with an ultrasonic humidifier for calibration and validation of the phase change model. The model parameters on the evaporation rate of fine droplets were optimized for better estimates of air temperature and humidity. It was found that the mixing ratio of fine droplets related to the accuracy of the model.

Keywords: CFD, phase change of water, wind tunnel, droplet, evaporation rate

1. はじめに

室内の調湿のために超音波加湿器が用いられることがある。超音波加湿器を使用すると気化熱が発生し気温が低下する。加湿器使用時の室内温熱環境の制御には温湿度分布の推定が重要であるが、従来の数値流体力学 (CFD) モデルでは水の相変化を考慮した室内の温湿度推定が難しい。本研究では気象分野で用いられる水蒸気、微小/粗大液滴の相変化モデルを導入した CFD モデルの検証を行なった。検証には風洞実験の結果との比較を用い、精度向上のため微小液滴の蒸発速度式のパラメータ調整を行なった。

2. CFD 計算

2. 1 計算モデル

CFD モデルに組み込む相変化モデルは Kessler¹⁾によって開発されたモデルである。このモデルでは空気中の水を重力沈降しない微小液滴と重力沈降する粗大液滴と水蒸気の 3 相に分類して扱う。ただし Kessler のモデルは気象モデルでの使用を想定しているため格子解像度が粗く微小液滴の瞬時蒸発を仮定しているため、室内環境に直接使用することができない。そこで、微小液滴の蒸発時間と、微小液滴混合比の係数を設定した。式(1)に今回用いた微小液滴の蒸発速度式を示す。ここで dq_v は蒸発量、 q_{vsw} は飽和水蒸気混合比、 q_v は水蒸気混合比、 $f(T)$ は温度 T に関する関数、 q_c は微小液滴の混合比、 q_{c0} は微小液滴混合比の初期値、 α は係数、 k は微小液滴の蒸発時間に関する係数である。本研究では $q_{c0}=1.15 \times 10^{-3}$ 、 $k=0.57$ を仮定している。

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

2. 2 計算条件

風洞実験では、風洞内に超音波加湿器を設置し、風洞風速と加湿量を変更しつつ風洞内の温度分布を測定した。CFD 計算では、風洞実験のうち表 1 に示す 4 ケースを対象とした。計算領域は風洞を模し、x, y, z 方向に 9.5 m, 1.8 m, 1.8 m とし、加湿器を x=0.4 に設置した。

境界条件として入口空気の温度、相対湿度、風速と加湿器の加湿量、水温、風速に実験で測定した値を用いた。パラメータ調整では式(1)の α の値を 1, 0.66, 0.33 の 3 ケースに変更し、結果を比較した。これらの値は微小液滴が蒸発して粒径が小さくなった時に表面積は粒径の 2 乗、体積は粒径の 3 乗で変化することを考慮した。

表 1 計算ケースごとの風速, 加湿量

計算ケース	風速 (m/s)	加湿量 (g/h)
ケース w0.5h1	0.62	337.1
ケース w0.5h3	0.50	937.2
ケース w2h1	2.00	369.9
ケース w2h3	1.99	753.1

3. 結果及び考察

ケース w2h3 の α の値ごとの温度低下と微小液滴混合比分布を図 1 に、yz 面での温度低下の平均値について実験結果との比較を図 2 に示す。 α を小さくすると、加湿器近傍の温度低下が小さくなり遠くまで温度低下が広がっており、微小液滴は遠くに流れる量が減少した。実験結果との比較では、温度低下を過小評価していた加湿器近傍で α を小さくすると、温度低下が大きくなり実験値に近づいたことで $\alpha=0.33$ が最も精度が良くなった。以上より、微小液滴の蒸発速度に関し、微小液滴混合比の係数に着目することで液滴の蒸発量が調整でき、計算精度の向上につながる事が分かった。

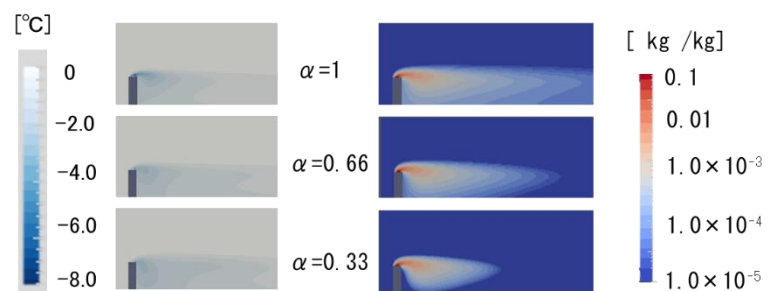


図 1 温度低下と微小液滴混合比分布 (xz 中央断面)

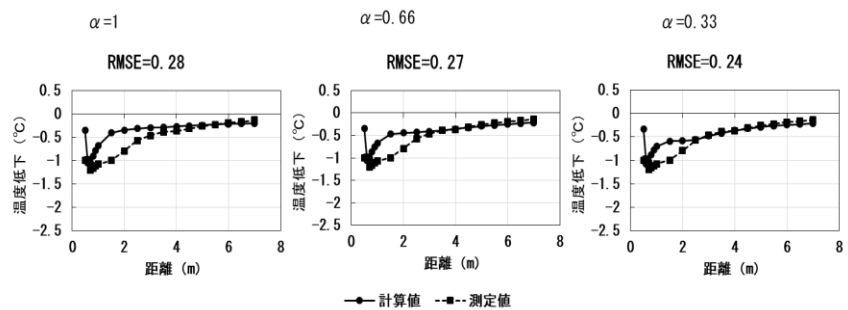


図 2 計算値と実験値の比較

4. 結論

本研究の結論を、以下にまとめる。

- 水の相変化を考慮した CFD モデルを風洞実験との比較によって精度検証を行ない、精度向上のためパラメータ推定を行なった。
- 微小液滴の蒸発速度に関し、微小液滴混合比の係数に着目することで CFD 計算の精度が向上するという結果が得られた。

参考文献

- 1) Edwin. Kessler, On the Distribution and Continuity of Water Substance in Atmospheric Circulations, Meteorological Monographs, Vol.10, No.32, pp.1-84, 1969.