

BB2 超音波加湿器が周囲の温湿度に与える影響のモデル化と 風洞実験による検証

Modeling the effects of an ultrasonic humidifier on ambient temperature and humidity,
and validation using wind tunnel experiments

共生環境評価領域

08E19006 石原裕貴 (Yuki ISHIHARA)

Abstract: In order to control the thermal environment in a room when using a humidifier, it is essential to accurately estimate the effects of the humidifier on ambient temperature and humidity. However, conventional CFD models fail the estimate because they do not represent the phase change of water. In this study, a phase change model originally developed for a meteorological model was modified, and incorporated into a CFD model. The results of CFD simulations were compared with wind tunnel experiments using an ultrasonic humidifier. The CFD model reproduced the tendency of temperature change associated with humidification, but overestimated the temperature decrease in some cases.

Keywords: CFD, Phase change of water, Thermal environment, Indoor environment

1. はじめに

室内の乾燥を防ぐため、超音波加湿器が用いられることがある。超音波加湿器から放出される微小な液滴は蒸発により湿度を増加、温度を低下させるため、加湿器を使用する室内の温熱環境を制御するためには加湿器が温湿度分布に与える影響の推定が必要となる。しかし、従来の数値流体力学 (CFD) モデルは水の相変化を考慮していない。そこで本研究では、気象分野で用いられる相変化モデルを室内用に改良して CFD モデルに導入するとともに、検証のためモデルの計算値を風洞実験結果と比較した。

2. 相変化モデル

相変化モデルとして Kessler¹⁾によって気象モデル向けに開発された相変化モデルを組み込んだ。このモデルは空気中の水分を水蒸気、重力沈降しない微小液滴、重力沈降する粗大液滴の 3 相に分類し、3 相間の相変化を扱う。CFD モデルへの導入にあたり、現モデルにおける微小液滴の瞬時蒸発仮定を破棄し、微小液滴の存在量によって蒸発速度が変化するように変更した。微小液滴の蒸発式を式(1)に示す。 q_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 は微小液滴混合比、 q_{c0} は微小液滴混合比の初期値、 t_{half} は微小液滴の蒸発時間である。

$$\frac{dq_v}{dt} = (q_{vsw} - q_v) * f(T) * \left(\frac{q_c}{q_{c0}}\right)^{\frac{1}{3}} * \frac{\log 100}{t_{half}} \quad (1)$$

3 風洞実験条件・CFD 計算条件

風洞内に超音波加湿器を設置し、加湿量と風洞風速を変更して風洞内の温度変化を測定した。風洞の寸法は 9.5 m, 1.8 m, 1.8 m である。加湿器は風洞入り口から 1.0 m の位置に設置した。図 1 に示す位置に熱電対を設置し、温度分布を測定した。実験は加湿量と風洞風速を変更して 4 ケース行った。実験ケースを表 1 に示す。

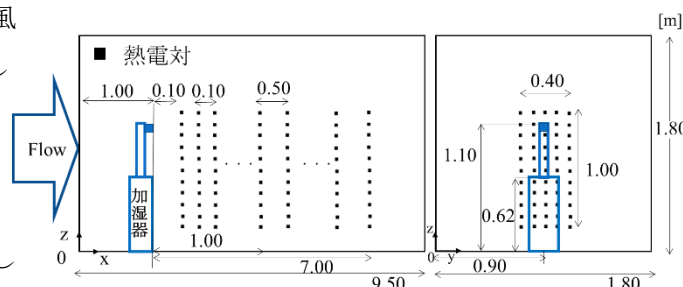


図 1 熱電対の測定点

モデルの検証のため、実験を模擬する CFD シミュレーションを行った。シミュレーションには OpenFOAM を用い、境界条件には風洞実験における測定値を用いた。

表 1 計算ケースの加湿量，風洞風速

計算ケース	加湿量 [kg/s]	風洞風速 [m/s]
h1w0.5	1.07×10^{-4}	0.50
h1w2	1.22×10^{-4}	1.98
h3w0.5	2.50×10^{-4}	0.49
h3w2	2.49×10^{-4}	2.01

4. 結果及び考察

yz 面における温度変化分布について測定値と計算値の比較を図 2 に、yz 面における温度変化の平均値についての計算値と測定値の比較を図 3 に示す。なお、加湿器の吹き出し口近傍の熱電対は液滴の付着により測定データに誤差が含まれたため、除外した。加湿量が多いケースの方が、温度低下及び微小液滴混合比は大きくなった。風洞風速が大きいケースでは、蒸発によって冷やされた空気の沈降があまり見られず、流れに沿って帯状の温度変化が見られた。測定値との比較では、風洞風速の小さいケースにて温度低下の過大評価が見られたが、すべてのケースで温度変化の傾向を再現することができた。

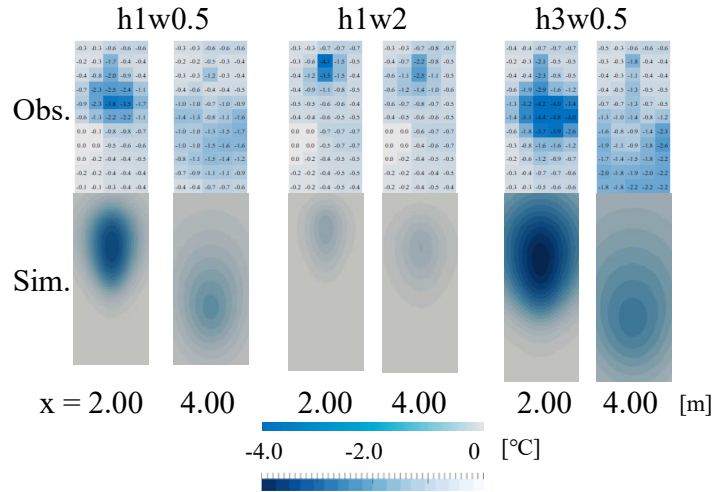


図 2 yz 断面における温度変化分布の比較

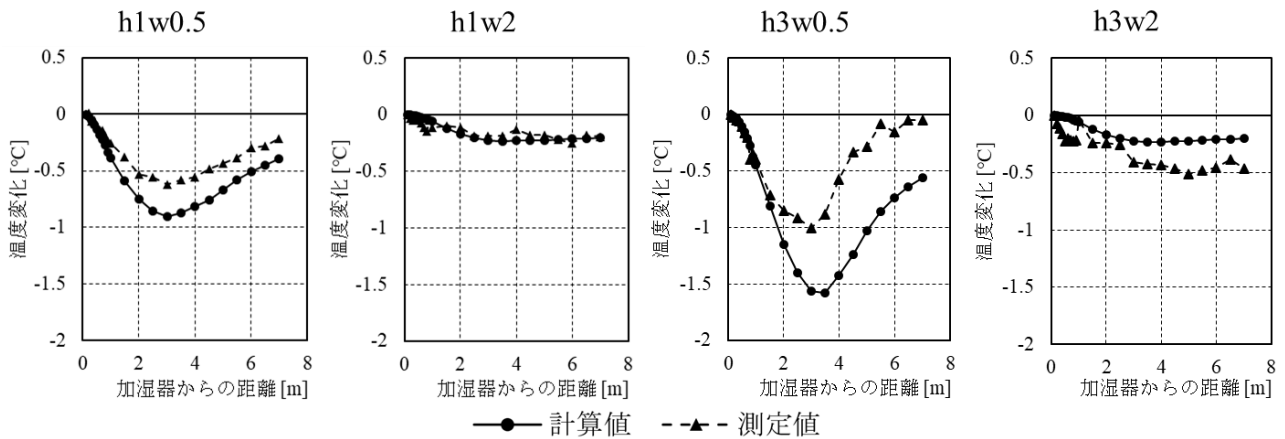


図 3 温度変化の平均値の比較

5. 結論

本研究の結論を、以下にまとめる。

- 相変化モデルの導入により、モデルは温度変化のパターンをおおむね再現した。

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.