

# 鼻腔壁面における粘膜の乾燥と加湿を考慮した 鼻腔の熱流体解析

北川 和佳 (0810018)

北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

2010年2月9日

キーワード: 鼻腔, 熱流体解析, 加温・冷却機能, 加湿機能, 蒸発熱モデル.

## 1 研究の背景と目的

鼻腔は鼻の穴から喉へと続く空間であり, 非常に複雑な形状をしている. また, 鼻腔は人間の生命維持には欠かすことのできない呼吸に関わる器官であり, 様々な機能を有している. その機能として, 吸い込んだ空気を適度な温度まで加温・冷却する温度調節機能, 吸い込んだ空気に十分な湿り気を与えることで気管支や肺を保護する湿度調節機能, 空気と一緒に吸い込んだ埃やゴミを取り除く除塵機能, 副鼻腔で声を共鳴させることによって声音を決定する構音機能, そして空気によって運ばれた匂いを感知する嗅覚機能などが挙げられる. 鼻から吸気した空気は鼻腔内で適度な温度まで加温・冷却, そして加湿されている. これは鼻腔の機能によるものであり, その効果は大きいと考えられている. 本研究ではこれら温度調節機能と湿度調節機能に着目した. 人の鼻腔内の壁面は粘膜に覆われ, その表面には分泌された粘液膜が存在している. これらは外部環境の変化に応じて, その容積や分泌量を調整している. また, 鼻腔内で熱源となる血管は粘膜の内側に存在し, 水の供給源となる粘膜からは多量の粘液が分泌されている. これまでの先行研究では, 組織と空気との間に薄い壁を考慮することで温度のやり取りを再現した熱伝導モデルを用いることで鼻腔内の温度変化をシミュレーションした. そして鼻腔の壁面は常に十分な水分を含んでいると考え, 壁面の表面は薄い水の膜によって覆われていると仮定することで, 粘膜と空気との湿度のやり取りを再現した湿度モデルを用いることで鼻腔内の湿度変化をシミュレーションした. 本研究では従来の熱伝導モデルと湿度モデルに加え, 新しく鼻腔壁面における蒸発熱モデルを提案する. 鼻腔壁面における湿度変化によって引き起こされる温度変化, すなわち蒸発熱が鼻腔内の温度変化に与える影響について検討することで鼻腔内の温度と湿度の関係を明らかにする. また, この蒸発熱モデルを3次元鼻腔形状へ適応することで, より鼻腔の生理機能を再現した解析ができると考えた.

## 2 方法

本研究では，医療用画像から再構築した3次元鼻腔形状を用いて熱流体解析を行う．鼻腔形状の壁面境界に対して，蒸発熱モデルを適用して計算を行い，鼻腔内における加温・冷却機能と加湿機能に関して検討を行う．蒸発熱モデルを適用する場合は，鼻腔壁面と空気との間に均一な温度分布をした壁が存在し，壁の表面は常に十分な水分を持った水の膜で覆われていると仮定した．この水の膜から空気中へと水蒸気が拡散する際の水蒸気の種類と水の蒸発潜熱を掛け合わせることで蒸発によって発生する熱量を求め，この蒸発熱の項を熱伝導モデルのソース項へ組み込むことで蒸発熱モデルを定義した．基礎方程式は，質量保存の式として連続の式，運動量の保存方程式としてナビエ・ストークス方程式，温度のモデル化を行うためのエネルギー保存方程式，湿度をモデル化するための水蒸気の移流拡散方程式の4つと熱伝導モデル，蒸発熱モデル，蒸発熱モデルの各数式を連立させることによって解析を行う．

## 3 数値シミュレーション

まず，簡易形状を用いた熱流体解析を行い，従来モデルを用いた場合の計算結果と蒸発熱モデルを用いた場合の計算結果を比較することで蒸発熱モデルの効果について確認した．次に，蒸発熱モデルを3次元鼻腔形状へ適応して熱流体解析を行った．従来モデルを用いた場合の計算結果と蒸発熱モデルを用いた場合の計算結果の比較を行い，鼻腔内における蒸発熱が温度変化に及ぼす影響を確認した．また，流入空気の温度と相対湿度を変化させたときの温度分布と湿度分布についても調べ，蒸発熱モデルを用いた場合でも鼻腔の加温・冷却機能，加湿機能が高いことを示した．最後に先行研究で行われた実際の鼻腔での温度の測定値，湿度の測定値と比較して蒸発熱モデルを用いた場合のパラメータについて検討を行った．