

熱・濃度の移流拡散を伴う移動物体周りのCFD

正会員
正会員
正会員

○永吉 一朗 1*
長井 大祐 1*
本田 俊樹 1*

正会員 阪田 升 1*
正会員 政岡 沙央理 1*

移動物体 CFD 移流拡散
人体歩行 列車風 造波パッド

1. はじめに

体や車両などが移動する際、モーションの複雑さだけでなく同時に起こる熱や濃度の移動現象も解析の重要な要素である。構造格子による一般化ポロシティ法では、流れ場だけではなく熱伝達境界条件や濃度に関する物質移動境界条件などを設定して、流れ場・温度場・濃度場の同時解析を行なうことが出来る。ここでは、手足を振り歩行する人体と、トンネル内を走行する鉄道車両の熱流体シミュレーション結果と、造波装置による津波の物質移動に関するシミュレーション結果を報告する。

2. 解析方法

移動物体解析手法には Super Cartesian 法^{1,2)} と呼ぶ手法を用いているが、これは構造格子での Euler 系技法の一種である。

ここで用いた CFD 解析手法のあらまはは次のようである²⁾。

- 基礎方程式：NS 方程式, 連続の式
- 空間の離散化：不等間格子 (最小格子間隔 0.02m)
- 時間の離散化：SMAC 法 移流項：Hybrid 中心差分
- 乱流モデル：直接シミュレーション (DNS)
- 初期条件：流速ゼロ
- 駆動条件：移動物体平行移動・回転移動

3. 人体歩行時の周辺熱流動シミュレーション

人体歩行時シミュレーションの手順としては、
①解析モデル (固定部) の作成：10m × 8m × 3m
②人体モデル (移動部) の作成：胴体, 首, 手, 足を行った。解析モデルは 3次元 CAD で作成した。
③モーションの設定：平行移動, 回転運動の設定を順次行った。更にこのオブジェクトに、人体移動に追従して動く熱伝達境界条件を、一人当たりの人体顕熱 (50W) 分だけ設定した。人体の歩行速度は 1m/sec、人体が歩行する雰囲気温度は 24°Cとした。

図 1 には、歩行開始 10 秒後の歩行軸線上の断面温度分布を示した。四肢が動かない状態 (Fig1 上方) と動いている状態 (Fig1 下方) では人体後方の温度分布が異なり、特に四肢が動いている方が下肢付近で熱の拡散が強く温度場が広がる様子が顕著である。これは四肢を動していた方が人体側としては直近の空気温度が下がるの

で、人体への冷却効果が上がり人はより清涼感を味わえる事になる。他方、人体からの濃度拡散問題としてこの現象を捉えるなら、四肢を動かした状態では例えば人体からの塵埃の拡散は大きいので、クリーンルームなどではそのような挙動は抑えた方が清浄化が期待出来る。

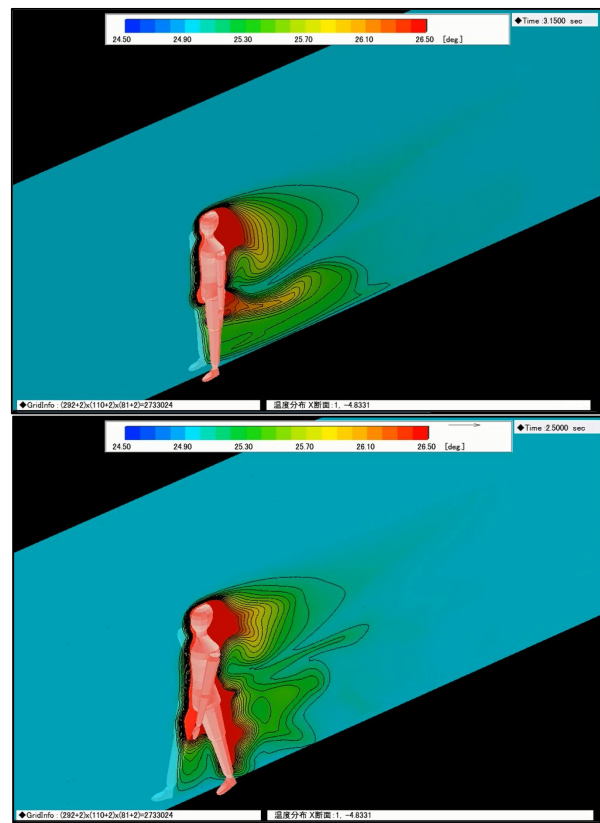


図 1. 人体歩行時の断面温度分布 (計算開始後 10 秒)
上：四肢稼働無し, 下：四肢稼働有り

4. 車両走行時の周辺熱流動シミュレーション

トンネル内での車両の走行時、モーター部からの排熱が徐行時あるいはアイドリング時に無視できないことがある。ここではトンネル内を時速 5km で走行する車両の下方に駆動電力相当の発熱条件を設定して走行させた場合の気流・温度分布を解析した。

トンネルは 7m 角の断面を持ち、車両は 3.5m x 3.5m x 14m とした。Fig2 には、走行開始 60 秒後の、車両の走行軸線に沿った断面での気流・温度分布を示す。Fig2

上方はトンネル内換気がない場合の結果であり、Fig2 上方はトンネル内換気送風 3m/sec を与えた場合である。両者を比較すると換気送風があった方が車両後方の温度分布のピークが低くなり温度が平均化されている様子が分かるが効果は限定的である。車両周辺の温度上昇を抑えるには、発熱自体を抑えるか全体換気とは別の局所換気を考える必要が有ることが分かる。

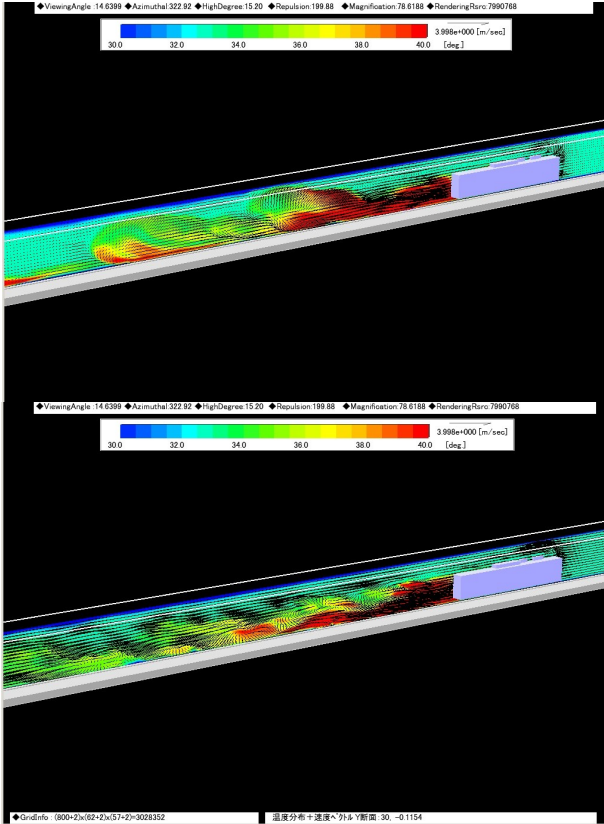


図2. 発熱しながら走行する車体周りの断面温度分布
計算開始後 10 秒 上：換気無し，下：換気有り

5. 造波装置の津波の濃度移流拡散シミュレーション

ここでは濃度の移流拡散を伴う自由表面を扱った。通常の段波を想定して波を起こした場合と、水平方向に移動する造波パッドで起こす波とで、トレーサーを模した濃度塊がどう動くのか解析を行った。結果を Fig3,4 に示すが、波の前方に初期に置いた濃度塊の移流拡散は両者で大きく異なることが分かった。すなわち、通常の段波では濃度塊は前方方向に送られるのに対して、造波パッドでは濃度塊はパッド停止位置の近傍に留まっている。この結果は、運動量・質量とも大きく水平移動する津波現象を造波パッドタイプの装置では模擬出来ないことを示唆している可能性がある。

6. まとめ

熱伝達を伴う人体歩行時及び車両走行時の移動物体解析 CFD と自由表面を伴う濃度の移流拡散 CFD を実施し、今まで再現できなかった熱移動及び濃度移動現象を捉えることが可能となった

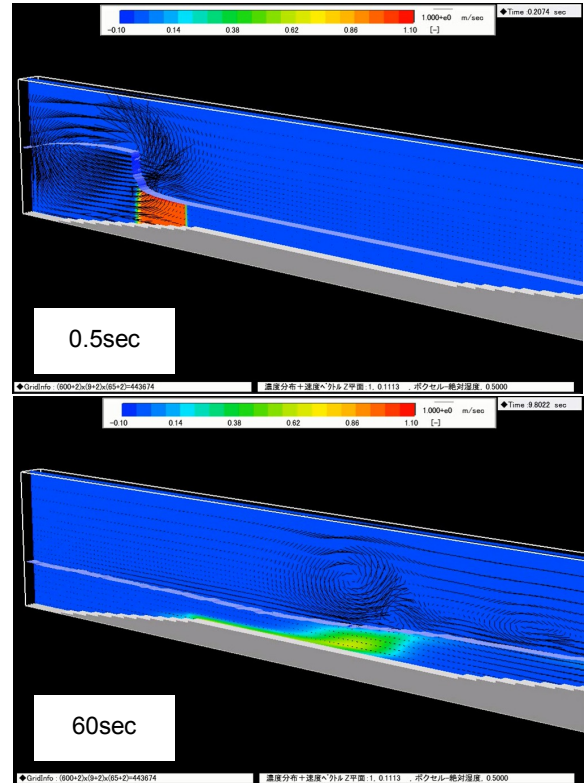


図3. 段波での津波生成の濃度拡散状況

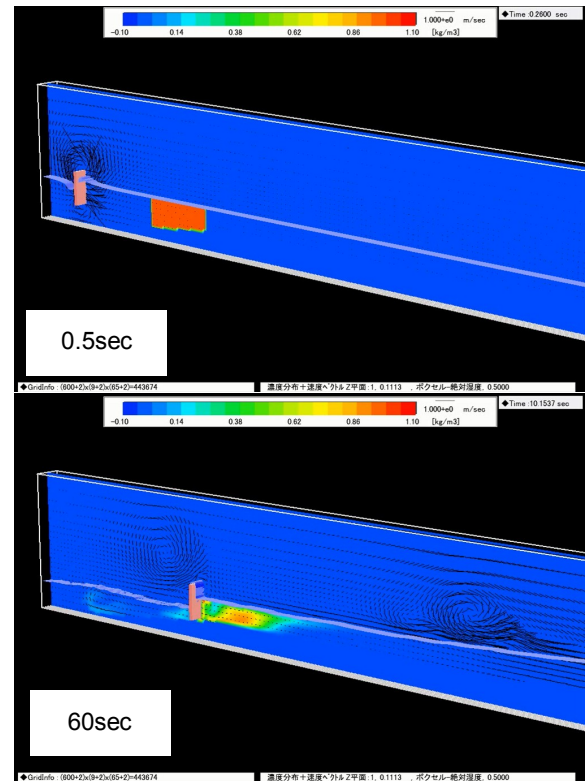


図4. 造波パッドでの津波生成の濃度拡散状況

7. 参考文献

[1] 阪田升, 長井大介, 計算力学講演会講演論文集 2007(20), 559-560, 2007-11-25