



# 走動作における靴内空気流れの 数値シミュレーション

研究・開発機関 : [株式会社ゴールドウイン](#)  
 利用施設 : 自社内設備 (CPU: E5-2620、クロック周波数: 2.10GHz)  
 計算規模 : 自社内のPC利用 (メッシュ数: 1300万程度、解析時間: 約40時間)  
 利用ソフトウェア: Rhinoceros、scFLOW

## Before

- ランニングパフォーマンスの向上や衛生面の観点から靴内の換気を促進し、靴内温度の上昇を抑制することは重要です。
- しかし、ランニングのような足部が動いている時にどこから靴内に空気が流入し、靴内部をどのように空気が流れているのかは解明できていませんでした。

## After

- 数値流体シミュレーションによって、走行中に時々刻々と変化する靴内部への空気の流入量や、靴内部の空気の流れを可視化できるようになりました。
- 靴の設計を変更し、繰り返しこの解析を行うことにより、効果的な靴の換気構造を設計することが可能となりました。

## 背景と目的

マラソンなどの継続した身体運動によって、身体の中でも靴内は特異的に温湿度が上昇します。これは足部が身体にとってラジエーターのような役割を担っていることに加え、靴によって覆われており、熱放散や発汗の蒸発が妨げられてしまうためです。このような靴内温湿度の上昇を抑制するためには、靴内の換気を促進することが重要となります。このため、アッパーに通気度の高いメッシュ素材を用いたランニングシューズが開発されていますが、より効果的な換気構造を設計するためには、走行中の靴内部の空気の流れを解明することが必要となります。

しかし、靴内部の空気の流れを外部から観測することの困難さや、走行中に時々刻々と変化する靴の動きを再現して、靴内部の空気の流れをシミュレーションすることの困難さ故に、これまで走行中の靴内部の空気の流れを解明する方法は確立されていませんでした。

そこで数値流体シミュレーション(以下、CFD)によって、走行中の動く靴内部の空気の非定常流れや、アッパーの部位ごとの靴内部への空気の流入量を可視化するためのシミュレーションのフレームワークを構築することを目的としました。



図1 靴と足部の3D CADモデル

## 利用成果

### シミュレーションモデル

靴内部の形状を正確に再現するために、3Dプリンタを用いて作成した足部模型を実際の靴に装着した状態でCT画像を計測し、得られたデータを基に靴と足部の3D CADモデルを構築しました(図1)。さらに、靴の動きを再現するために、モーションキャプチャを用いて走動作中の靴の3次元の動きを計測しました(図2上部)。そして、この3D CAD靴モデルに靴の並進速度および回転角速度を入力することによって、実際の靴の形状と6自由度の動きをコンピュータ上で再現しました。さらに、靴のアッパーのみ多孔質体としてモデル化することにより、アッパーを通過して靴内外へと空気が入り出すようなモデルを構築しました。

### シミュレーション結果

アッパー領域を5つに分割し、領域ごとに靴内部への空気の流入量を算出しました(図2)。靴内部への流入量の大半はつま先(Toe)領域が占めており、足部の引き上げから振り下ろしへと切り替わる周辺(図中赤領域)で流入量が増加していることが分かりました。

さらに、分割したアッパーそれぞれの領域から靴内部へと流入した空気の流れを可視化しました(図3)。同図の各点の色は解析時間を規格化した時刻を示しており、色の変化を追うことによって空気が流れる方向が分かります。

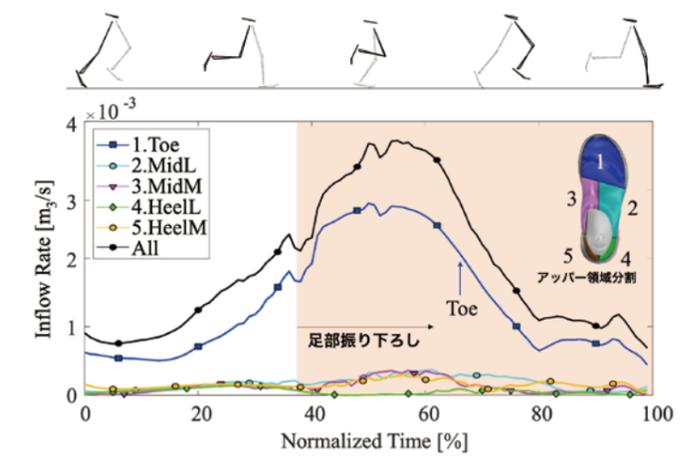


図2 靴内への空気の流入量

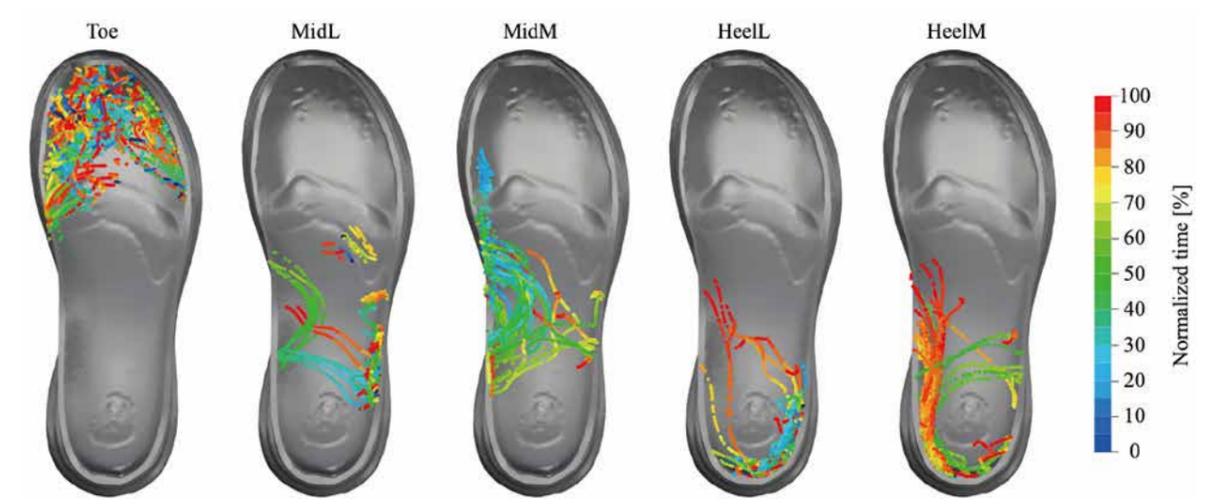


図3 アッパー領域分割ごとの靴内部の空気の流れ(青色から赤色へ)

### 今後の取組

現在、複数ノードを使用した並列解析によって、計算時間を1/35程度に短縮できるようになりました。今後は、靴の構造や通気性などのパラメータを変更した複数モデルで計算を行うことによって、最適な換気構造を有する設計を探っていきます。