



鉄道車両走行時の窓開けによる 車内換気の数値シミュレーション

研究・開発機関 : [公益財団法人鉄道総合技術研究所](#)
 利用施設 : 自社設備 (Cray XC-50、Xeon 6150 クロック 2.7GHz)
 計算規模 : 数億セル、100 ノード利用時の計算時間は約 10 日間/ケース
 利用ソフトウェア : 空気流シミュレータ (独自開発ソフト、直交格子 LES)

Before

- 鉄道車両内において、窓を開ければ車内の換気が良くなることは経験的にわかっていましたが、その程度など定量的な知見が不足していました。
- 新型コロナウイルス感染症緊急事態宣言が発出されるひと月前にスタートした課題であり、実験的な検討だけでは難しいと考えられ、計算機による数値解析への期待が高まっていました。

After

- 直交格子を用いた流体解析ツールである空気流シミュレータ (鉄道総研内製) を用いて、通勤型車両走行時の窓開け換気量についての定量的な知見を短期間で示すことができました。
- 各種条件下のシミュレーション結果を整理することで、窓開けによる換気量の簡易予測式が得られ、換気量の概算値を容易に予測できるようになりました。

背景と目的

通勤型車両内の感染症対策のうち、「密閉」対策のひとつとして窓開けによる車内換気があります。窓を開ければ車内の換気が良くなることは経験的にわかっていましたが、走行する鉄道車両の換気量に関する知見は多くはなく、車内の換気量を定量的に評価することが求められていました。

このような鉄道の現実問題を検討するにあたっては実験的手法の適用も考えられますが、当時、初めて新型コロナウイルス感染症緊急事態宣言が発出されるひと月前という社会情勢のため、直ちに実験を行うことは難しいと考えられました。そこで、流れの数値シミュレーションを用いた検討を行うことにしました。

空気流シミュレータ (鉄道総研内製の直交格子 LES ソフトウェア) を用いて、鉄道車両 (図 1) の車外と車内の空気の流れを同時に計算し、車内の空気が車外に排出される量を仮想粒子 (空気の流れを追跡するために導入した質量のない粒子) で調べることで (図 2)、窓開け走行時の車内換気量を評価することにしました。

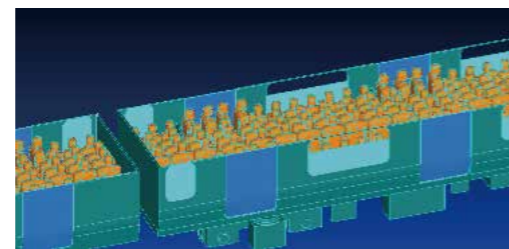
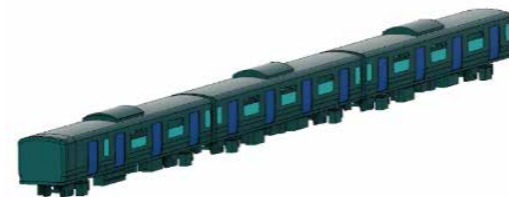


図1 計算対象の例
(通勤型車両 3 両編成、混雑条件)

■ 利用成果

車両周りの流れの様子を図 3 に、車内の流れの様子を図 4 に示します。車両表面付近では、先頭車両から最後尾車両にわたって乱れた空気流が形成されます。この空気流は、窓の開口部から車内に流入します。ここで、窓の開口部は、車外の流れ (高速流) と車内の流れ (速度ゼロ) の境界部となり、急激な速度変化によって流れは不安定になり、左右方向に振動する複雑な流れを形成します。そして、この空気の一部が車内に流入し、車内をゆっくりと循環しながら流れます。つまり、車内換気量の評価においては、車外と車内の境界部 (窓部) の空気流の再現が重要になります。

窓開口量、列車速度、乗車率、空調機気流、座席配置など、種々の条件に対して数値シミュレーションを行い、走行時の窓開けによる車内換気量について、換気量は、窓開口面積および列車速度に比例すること、乗車率、空調機気流、座席配置に対する影響は小さいことがわかりました。最終的に、これらの結果を整理して、

換気量の簡易予測式 $\text{換気量 [m}^3/\text{s]} = 0.026 \times \text{窓開口面積の合計 [m}^2] \times \text{列車速度 [m/s]}$
 を提案しました。

なお、シミュレーションにより得られた換気量は、後に得られた実測値とおおむね対応することが確認できました。

今回の課題のように、迅速に計算結果を得たいという要望においては、直交格子に基づく計算方法は有効であることを実感しました。そして、常日頃、鉄道車両の空力および車両構造の数値解析分野の研究を行っている背景と自由に利用できる並列計算機環境のもと、迅速に課題が遂行されました。そして、これらの計算結果の第一報は国土交通省ホームページに 2020 年 6 月 5 日に掲出され、短期間で情報発信を行うことができました。

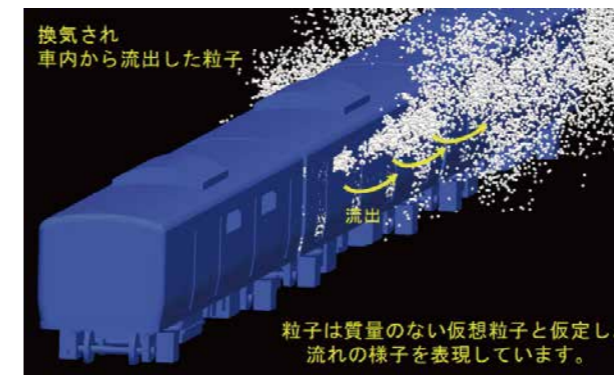


図2 窓開けによる車内換気の様子
(2 両目車内で発生する仮想粒子が窓から流出)

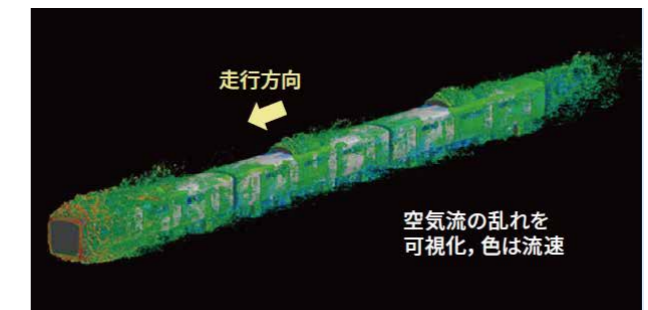


図3 車外の流れの様子

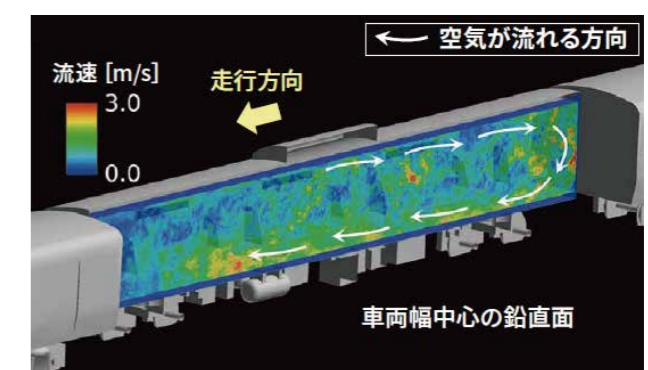
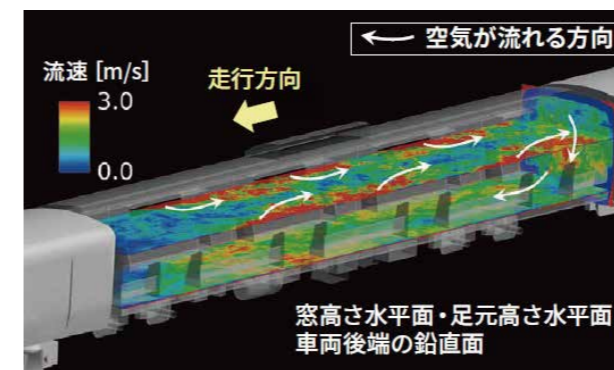


図4 車内の流れの様子 (計算条件: 列車速度 72km/h、空車、空調機なし)