

# サイクロン型掃除機におけるファン内部の流れ場の解明

## Computational Flow Analysis of a Fan in Cyclone-Type Vacuum Cleaner

- 永井洸太郎, 早大, 東京都新宿区大久保 3-4-1, E-mail : kotaro.nagai.tafsm@gmail.com  
竹田遼平, 早大  
三輪温, 早大  
乙黒雄斗, 早大  
玉井佑, 早大  
滝沢研二, 早大  
Tayfun E. Tezduyar, ライス大

Kotaro Nagai, Waseda University, 3-4-1, Okubo Shinjukuku Tokyo  
Ryohei Takeda, Waseda University  
Atsushi Miwa, Waseda University  
Yuto Otoguro, Waseda University  
Tasuku Tamai, Waseda University  
Kenji Takizawa, Waseda University  
Tayfun E. Tezduyar, Rice University

Cyclone type vacuum cleaners isolate the dust by rotational flow. The performance of their motor and fan have a significant impact on the total efficiency of the system; therefore, improvement of the fan efficiency is an important issue. Since internal flow field is complicated and unsteady, higher accurate numerical methods are suitable. In this study, we apply isogeometric analysis (IGA) for analysis of the cyclonic vacuum cleaner focusing on the fan, motor and surrounding parts.

### 1. 緒言

サイクロン型掃除機は、旋回流によってダストを吸引し分離するサイクロン型ダスト分離器を搭載する掃除機である。吸い込みの原動力となっているモーターとファンの性能は、システム全体の効率に大きな影響を及ぼす。そのため、ファンの効率改善は大きな課題の一つであるが、モーターの強弱による流れの非定常状態を多く含んでいるため、内部流れ場の把握が困難である。

サイクロン型掃除機に入力されるエネルギーは大きく分けて、ファン内部での仕事とモーターで発生する熱量の2つに形を変える。したがって、入力されるエネルギー全体に対するファン内部の仕事量の割合で表されるファンの効率について議論するには、モーターで発生する熱量を考慮する必要がある。また、モーターの温度上昇を抑えるには、モーターで発生した熱を外部へと放出する必要があり、サイクロン型掃除機ではモーター周りに流れる空気を媒体にすることでそれを行っている。しかし、排熱性が悪いため、熱によるモーターの故障が発生しやすく、一般的な紙パック式の掃除機に比べ製品の寿命が短いのが現状である。

本研究では、サイクロン型掃除機のファン内部の流れ場を解析することによる内部流れ場の把握に加え、排気を利用したモーターの冷却性能に関する知見を得ることを目的とする。今回はその前段階としてファン内部の流れ場に着目し、解析結果から損失に繋がっている箇所を特定する。

### 2. 解析モデル、解析手法

本研究では isogeometric analysis (IGA) [1] を用いる。IGA における基底関数は non-uniform rational B-spline (NURBS) 関数を使用し、解析格子も NURBS 関数を用いて生成する。NURBS 関数は computer-aided design (CAD) などで標準的に用いられており、少ない制御点数で滑らかに形状を表現できる利点がある。また要素間にも高次の連続性を保つことができ、従来の有限要素法に比べ高精度に流れ場を捉えることができる。Fig. 1 に NURBS 関数を用いて生成した曲線の例を示す。

本研究では上述の IGA と space-time (ST) 有限要素法 [2] を組み合わせた ST-IGA 法 [3,4] を流体解析に用い

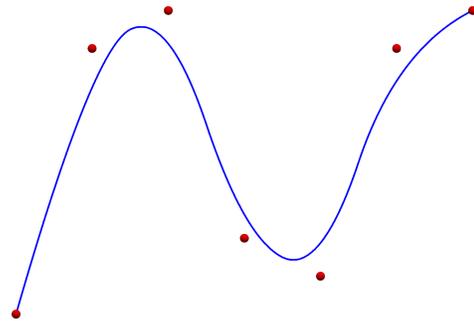


Fig. 1: NURBS 関数を用いて生成した曲線の例 (青が曲線, 赤が制御点を示す)

る。また、回転するファンと非回転領域の境界の接合には ST slip interface (ST-SI) 法 [5] を用いる。ST-SI 法を用いることで、面と面の境界において面同士が滑ることが可能になり、回転するモデル周りの流れを解析することができる。

### 3. サイクロン型ダスト分離器内部における流体解析および粒子追跡解析

サイクロン型ダスト分離器内部では、発生する旋回流によりダスト自身に遠心力を働かせ、空気とダストの密度差によってダストを壁面方向へと分離させる。現状の問題として、ダストを完全に分離しきれていないことが挙げられ、この問題を防ぐため、ダスト分離器内部の流れ場やダストの動きに関する知見を得ることは重要である。今回は、サイクロン型ダスト分離器内部において上述の ST-IGA 法を適用することで内部の流れ場を解明した。また、ダストは流体に影響を及ぼさないと仮定し、その流体場においてダストがどのように振る舞うかを解析した。以下に解析結果の一部として、速度勾配テンソルの

第二不変量  $Q$  の等値面による渦構造とダストの内部での運動を可視化したものを示す。



Fig. 2: ダストが流れ始めてからの時間  $t = 13.8$  ms の際の  $Q$  の等値面による渦構造とダストの位置 (赤色は最終的に捕集できなかった粒子で緑色が捕集される粒子を表す)

#### 4. サイクロン型掃除機におけるファンの流体解析

本研究の解析対象であるファンとその周りの形状を Fig. 3 に、そのうちの翼部分の形状を Fig. 4 にそれぞれ示す。これらの形状を元に流体解析に必要な解析格子

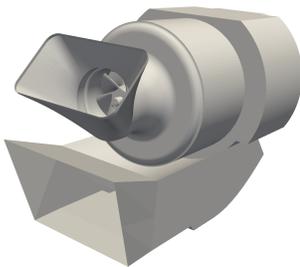


Fig. 3: ファンとその周りの解析形状

を生成する。解析格子の生成には汎用メッシュジェネレーターである Pointwise を用いる。Pointwise 上にて 6 面体のブロックを生成し、それらをそれぞれ NURBS へと変換 [6] し、ファン内部の流体解析につなげていく。

#### 参考文献

- (1) T.J.R. Hughes, J.A. Cottrell, and Y. Bazilevs, “Isogeometric analysis: CAD, finite elements, NURBS, exact geometry, and mesh refinement”, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, **194** (2005) 4135–4195.



Fig. 4: 翼部分の解析形状

- (2) T.E. Tezduyar, M. Behr, and J. Liou, “A new strategy for finite element computations involving moving boundaries and interfaces – the deforming-spatial-domain/space-time procedure: I. The concept and the preliminary numerical tests”, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, **94** (3) (1992) 339–351.
- (3) K. Takizawa, T.E. Tezduyar, and T. Terahara, “Ram-air parachute structural and fluid mechanics computations with the space-time isogeometric analysis (ST-IGA)”, *Computers & Fluids*, **141** (2016) 191–200.
- (4) K. Takizawa, T.E. Tezduyar, Y. Otaguro, T. Terahara, T. Kuraishi, and H. Hattori, “Turbocharger flow computations with the Space-Time Isogeometric Analysis (ST-IGA)”, *Computers & Fluids*, **142** (2017) 15–20.
- (5) K. Takizawa, T.E. Tezduyar, S. Asada, and T. Kuraishi, “Space-time method for flow computations with slip interfaces and topology changes (ST-SITC)”, *Computers & Fluids*, **141** (2016) 124–134.
- (6) Y. Otaguro, K. Takizawa, and T.E. Tezduyar, “Space-time VMS computational flow analysis with isogeometric discretization and a general-purpose NURBS mesh generation method”, *Computers & Fluids*, **158** (2017) 189–200.