特集論文

サイクロンクリーナー“風神”の遠心分離技術

前田剛志*
柳沢健児**

Centrifugal Separation Technology of Cyclone Cleaner "Fujin"

Tsuyoshi Maeda, Kenji Yanagisawa

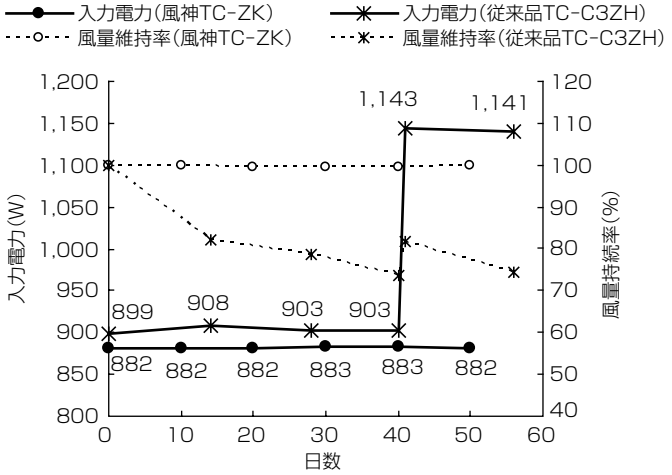
要　旨

従来のサイクロンクリーナーでは，サイクロン部で遠心分離しきれなかった微細塵(びさいじん)をフィルタ部で捕捉する。フィルタを自動でメンテナンスする除塵(じょじん)機構を搭載した製品も発売したが，フィルタに蓄積した微細塵を完全に除去することは困難であり，次第に吸引力が低下するため，入力電力を増やして吸引力を回復させる必要があった。

旋回室における遠心力の不足が，微細塵を分離できない原因であるが，遠心力確保のために旋回気流を高速化すると，土足文化の欧米と比較して日本の家庭ごみに多く含まれる繊維が，集塵(しゅうじん)室に流入した高速気流によって旋回室に再飛散してしまい，捕捉率の低下や，排気臭の発生といった課題があった。そこで，“風神TC-ZKシリーズ”では，低速旋回によって繊維を半径方向に分離することで再飛散なく集塵室に捕捉した後に，高速旋回で砂を分離，さらに，超高速旋回によって微細塵を分離する三段分離構造を採用した。これによって，サイクロン部にフィルタを設けずに，ごみを空気から99.9%分離して風量を99%以上持続，入力電力を増やすことなく吸引力を維持することに成功した。さらに，気流によるごみの撹拌(かくはん)を抑制して排気臭を抑制するとともに，4部品に分解可能な構成として丸ごと水洗い機能も実現した。

この技術とともに，ユーザーの掃除状態を検知しブロワーモータへの入力電力を制御するエコモードを搭載したTC-ZKシリーズを2010年9月に発売した。

サイクロンクリーナー“風神TC-ZKシリーズ”



入力電力と風量持続率の推移

風神では，フィルタ部ではなく，サイクロン部で繊維から微細塵までを高効率で分離するため，風量持続率を99%以上維持できる。
その結果，入力電力を約882W一定とすることが可能である。

サイクロンクリーナー“風神TC-ZKシリーズ”

左は2010年9月に発売したサイクロンクリーナー“風神TC-ZKシリーズ”である。低速旋回によって繊維を分離した後に，高速旋回で砂を，超高速旋回で微細塵を分離することで，欧米と比較して繊維の多い日本の家庭ごみを効率良く捕捉する。右は三菱電機基準ごみ(3g/日)を吸引した際の入力電力と風量持続率の推移である。風神TC-ZKでは，当社従来品TC-C3ZHとは異なり，入力電力を一定としつつ風量が持続することを示している。

*三菱電機㈱ 住環境研究開発センター　**三菱電機ホーム機器㈱

1. まえがき

サイクロンクリーナーのユーザーニーズは，“吸引力が続く”“排気がキレイ”“メンテナンスが楽”の3つが上位となっている（三菱電機調べ）。しかしながら，一般的なサイクロンクリーナーでは，ごみの分離性能が十分でないために，サイクロン部にフィルタを搭載し，フィルタを自動でメンテナンスする除塵機構を備えてはいるものの，全てのごみを除去することはできず，その結果，目詰まりが発生して吸引力が低下する。したがって，吸引力を回復させるために，フィルタ目詰まりによるモータ負荷電流の変化を検知し，これを基に入力電力を増やして吸引力を回復させる必要があった。

本稿では，入力電力を増やさずに吸引力の持続を実現した，空気からごみを99.9%分離するサイクロンクリーナー“風神”の遠心分離技術について述べる。

2. 従来サイクロンの課題

2.1 一般的なサイクロンの基本原理

一般的なサイクロン（**図1**）は，旋回気流を生成することによってごみに遠心力を与えて空気から分離する旋回室と，分離されたごみを捕捉する集塵室からなる。旋回室の上部は，円筒部で構成され，その接線方向に含塵（がんじん）空気（ごみを含む空気）を導入するように流入管を接続することで旋回気流を生成するとともに，旋回室の下部には，径を縮小することで旋回速度を増速させる円錐（えんすい）部を備えている。ごみが分離され清浄化された空気（上昇気流）は，旋回室と同軸上に設置された筒状の排出管からサイクロン外部に排出される。

ここで，**図1**に示すような一般的なサイクロンで遠心分離できるごみの最小径である限界粒子径D_{min}は次の式(1)で示される[1]。

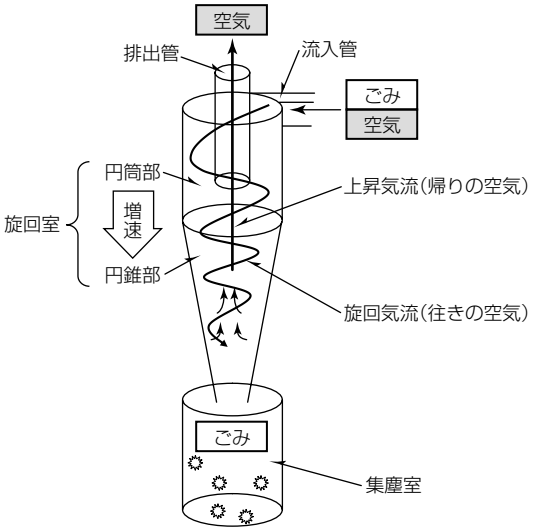


図1．一般的なサイクロンの構造

$$D_{min}=\sqrt{\frac{9\mu b}{5\pi u(\rho_p-\rho)}} \quad \cdots\cdots(1)$$

μ：空気の粘度，b：流入口幅

u：流入風速，ρ_p：粒子の密度

ρ：空気の密度

これによって，限界粒子径D_{min}，密度ρ_pのごみを分離するために必要な流入風速uは，

$$u=\frac{9\mu b}{5\pi D_{min}^2(\rho_p-\rho)} \quad \cdots\cdots(2)$$

となる。式(2)から，粒径（嵩（かさ））が小さくなるほど流入風速を増やし旋回室内の旋回速度を高める必要があることが分かる。

2.2 従来の課題

クリーナーで吸引するごみは，繊維から砂まで多種多様である。また，**図2**及び**図3**に示すように，日本の家庭ごみは，土足文化である欧米の家庭ごみと比べて繊維ごみの割合が多いことが判明している（当社調べ）。

式(2)から，砂や微細塵のような粒径が小さなごみを分離するためには大きな流入風速，すなわち高い旋回速度が必要となる。これに対し，日本の家庭に多い繊維は，嵩が大きく密度が小さいために風の流れに乗りやすく，砂や微細塵と同時に高い旋回速度を与えて遠心分離すると，集塵室に流入した気流に巻き上げられて旋回室に再飛散してしまうことが課題であった。また，集塵室内で繊維を気流で攪拌することによって，繊維質内部からにおい成分が叩（たた）き出されて排気臭が悪化することも課題であった。

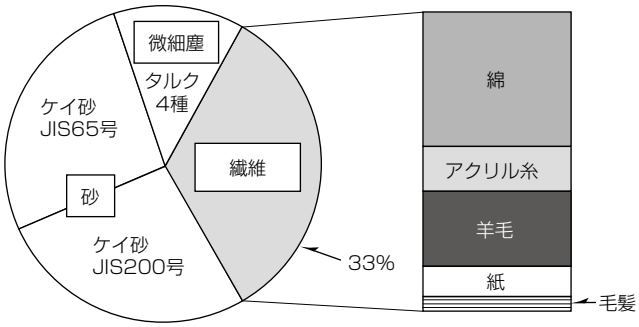


図2．日本の家庭ごみの内訳（三菱電機基準ごみ）

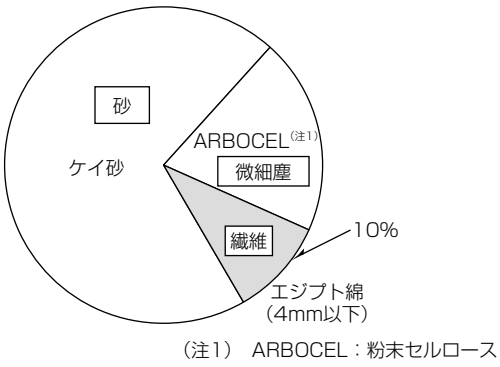


図3．欧米の家庭ごみの内訳（IEC基準ごみ）

3. 遠心分離技術の開発

3.1 繊維集塵室の配置構造

これらの課題を解決するために，繊維と砂をそれぞれに適した旋回速度で分離し，別々の集塵室に捕捉する。これを実現するため，**図4**に示すように，旋回室上部の低速旋回領域で繊維を分離し半径方向外側の集塵室(繊維集塵室)に捕捉した後に，旋回室下部の高速旋回領域で砂を分離して軸方向下部の集塵室(砂集塵室)に捕捉する構成とした。これによって，旋回室からの気流流入を抑制し，繊維の再飛散を抑制することが可能となる。

しかしながら，繊維は嵩が大きいため，集塵容量を大きく確保する必要がある。旋回室の高さを有効に利用して繊維集塵室の高さ寸法を増やすために，繊維分離開口を旋回室上部に形成する検討を行った。

3.2 排出管の開口構造

繊維分離開口を旋回室上部に形成するためには，低速旋回領域を上部に移動する必要がある。旋回気流の軸方向分布は，排出管の開口からの吸引力に支配されており，排出管の開口を上方に移動すれば低速旋回領域も上方に移動できる。しかしながら，排出管の開口が流入管に接近して，吸引力が流入気流に作用しすぎると，旋回室内の旋回気流が失速するという課題がある。

そこで，**図5**に示すように，排出管の側面に微細孔を設けることで，低速旋回領域を上部に配置しながらも，流入気流への影響を抑え旋回気流の失速を防止する構造とした。

しかしながら，この構造によって，排出管と繊維分離開口との距離が接近したため，排出管からの吸引力が繊維に作用し再飛散しやすくなるという新たな課題が生じた。そこで，**図6**に示すように，排出管の下部を円錐形状としてその側面に微細孔を設け，繊維へ作用する吸引力を抑制した。

3.3 2次旋回室の配置構造

先に述べたとおり，1本の旋回室の内部で，低速旋回領域と高速旋回領域を構成して繊維と砂をそれぞれの集塵室に効率良く捕捉することが可能となった。しかしながら，砂よりも嵩の小さい微細塵を分離するためには，更に高速の旋回気流が必要となり，このとき高風速に起因する気流音の発生が課題となる。そこで，**図7**に示すように，超高速旋回領域を生成する2次旋回室を，繊維集塵室で内包するように配置した。これによって，繊維集塵室が2次旋回室の気流音を遮音し，騒音発生を抑制した。

この構造によって，繊維から微細塵までを高効率で分離し，サイクロン部にフィルタを搭載することなく，日本の家庭ごみ(三菱電機基準ごみ)を99.9%捕集することを可能とした。

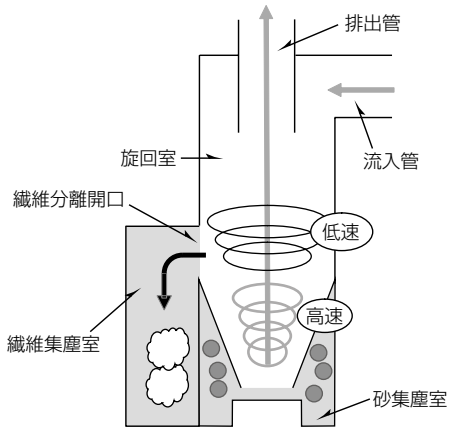


図4．繊維集塵室の配置構造

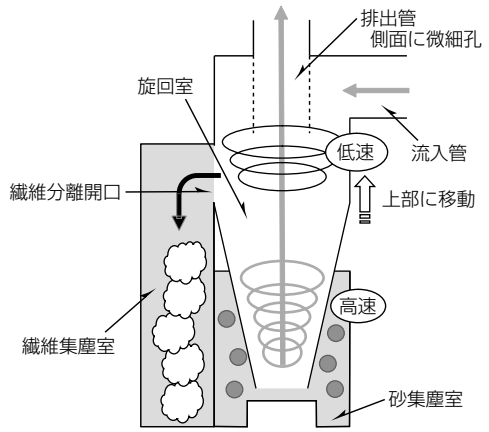


図5．排出管の開口構造(側面微細孔)

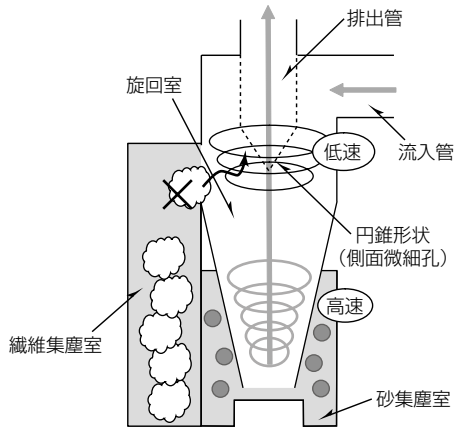


図6．排出管の開口構造(下部円錐形状)

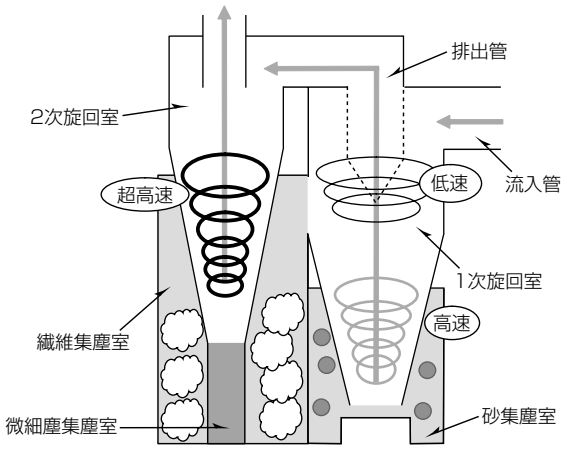


図7．2次旋回室の配置構造

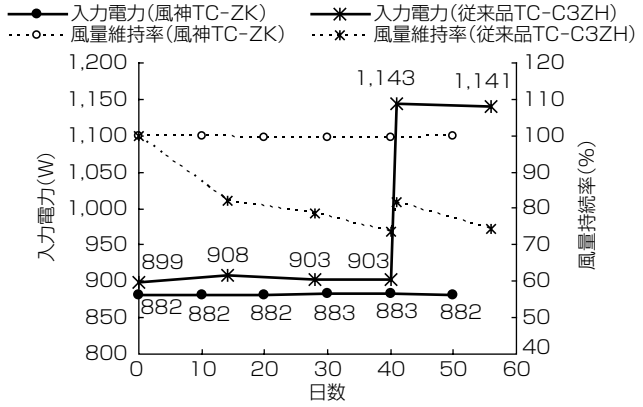


図8．入力電力と風量持続率の推移

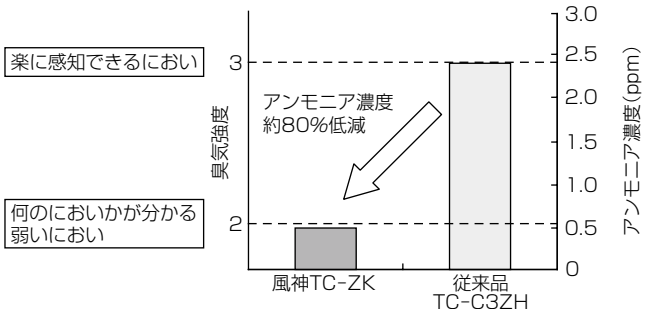


図9．排気臭(アンモニア)の従来比較

4. 性 能 検 証

4.1 吸引力持続性

当社基準ごみ(3g/日)を吸い込ませたときの入力電力と風量持続率の推移について，風神TC-ZK(サイクロン部・フィルタレス)と当社従来品TC-C3ZH(フィルタ除塵機構搭載)とを比較して**図8**に示す。ここで風量持続率とは，ごみが空のときと，ごみ捨てラインに到達したときとの風量の比率である。

従来品では，フィルタの目詰まりによって低下した風量を回復させるために40日で入力電力を903Wから1,143Wに増やしたが，その後も風量は低下し，風量を完全に回復させるためにはフィルタを洗浄する必要があった。これに対し，風神では，フィルタ部ではなく，サイクロン部で繊維から微細塵までを高効率で分離するため，風量持続率を99%以上維持できる。その結果，入力電力を約882W一定とすることが可能である。

4.2 排 気 臭

ペットを飼っている家庭のごみ2週間相当を溜(た)めた際に発生するアンモニア量を付着させた擬似ごみを吸引させて，排気から放出されるアンモニア濃度の最大値を測定した結果を**図9**に示す。

風神では，旋回室で空気から分離したごみを，旋回室とは別空間の集塵室に捕捉する構造としたため，捕捉したごみが気流で攪拌されるのを抑制する。これによって，当社従来品TC-C3ZHと比較して排気のアンモニア濃度を約80%低減し，臭気強度2(＝何のにおいかが分かる弱いにおい)(注2)を達成した。

(注2) 6段階臭気強度法に準じる。

図10．丸ごと水洗い(4部品分解構造)

図11．節電モード(感振センサ)

4.3 メンテナンス性

風神ではサイクロン部をフィルタレスとしたことによって，従来のフィルタ掃除を不要とした。また，サイクロン部を4部品に分解可能な構造として，丸ごと水洗い機能を実現，清潔に保つことができる(**図10**)。

4.4 節電モード

掃除動作を検知する感振センサを手元グリップ部に設置することで，物を移動するときや，掃除中断時にセンサが検知して自動的に入力電力をダウン(約900W→約100W)する節電モードを搭載した(**図11**)。

5. む す び

日本の家庭ごみに適した遠心分離技術を搭載し，国内初(注3)のサイクロン部フィルタレスを実現した“風神TC-ZKシリーズ”は，2010年9月に発売して以降，吸込性能のみならず，使い勝手や節電機能も含め，多くのユーザーから高い評価を受けている。今後も，めまぐるしく変化するであろうユーザーや時代のニーズをいち早く的確に察知し，日本メーカーならではの視点，当社ならではの技術を活用した製品を開発していく。

(注3) 2010年6月24日現在，三菱電機調べ

参 考 文 献

(1) 三輪茂雄：粉体工学通論，日刊工業新聞社，185～212 (1981)