特集論文

サイクロン掃除機“風神”の小型・軽量化技術

前田剛志*
近藤大介**

Downsizing and Weight Saving Technology of the Cyclone Cleaner "Fujin"

Tsuyoshi Maeda, Daisuke Kondo

要　旨

近年の小世帯化や高齢化に伴い，サイクロン掃除機の小型化及び軽量化へのニーズが高まっている。従来品では，サイクロン部で，大きなごみから微細なごみまでを分離するために，2本の旋回室を用いて遠心力を二段階で高める方式を採用しており，サイズと質量が課題であった。

そこで，今回の開発では，1本の旋回室で強力な遠心力を創出する新構造“ハイパーエアロアクセル”を採用した。遠心力を高めるには，旋回室内での気流の旋回風速を高めることが必要（遠心力は旋回風速の二乗に比例）であるが，“ハイパーエアロアクセル”では，メイン気流から分岐した4つのサブ気流を旋回室で合流させてメイン気流を加速する。この新構造によって，旋回風速を従来比約1.8倍に増速して従来品と同等の分離効率（電機工業会基準ごみ：99.9%分離）を確保しつつ，従来2本あった旋回室を1本化して，サイクロン部の質量を従来比約43%低減，本体底面積比で約24%低減した。

また，旋回風速の増速によって懸念される気流音の対策については，入口と旋回室の連結部に“セレーション構造”を，集じん室と旋回室の連結部に“シェブロン構造”を採用して，開口端部での剥離渦に起因する気流音を低減し，運転音を従来品から4 dB（A）低減した。

この技術とともに，集じん風速を抑えてにおいを低減する機能や，掃除の中断を感知して自動でパワーを制御する“スマートSTOP”を搭載した“TC-ZXCシリーズ”を，三菱電機掃除機誕生80周年記念モデルとして2013年3月に発売した。

サイクロン掃除機“風神 TC-ZXCシリーズ”

左は，2013年3月発売の新製品“TC-ZXC30P”の全体外観。右は，従来品“TC-ZXB17P”と新製品における旋回風速及び本体上面視サイズの比較。新製品では，メイン気流から分岐した4つのサブ気流を旋回室で合流させてメイン気流を加速する新構造“ハイパーエアロアクセル”によって，旋回風速を従来の48m/sから90m/sに増速して旋回室を1本化し，小型・軽量化を実現した。

*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

サイクロン掃除機では，①吸引力が続く，②排気がキレイ，③メンテナンスが楽，がニーズの上位３つ（三菱電機調べ）となっているが，近年の小世帯化や高齢化といった社会変化に伴い，小型化及び軽量化へのニーズが高まっている。三菱電機から2012年に発売した風神TC-ZXBシリーズは，先に述べた３つのニーズに対応し，2本の旋回室を用いて遠心力を二段階で高めることで，微細なごみを高効率に分離する方式を採用していたが，この２本の旋回室の大きな容積と質量が課題であった。

本稿では，遠心分離効率を損なわずに，従来２本であった旋回室を１本化し，小型・軽量化を実現した新構造“ハイパーエアロアクセル”の開発について述べる。

2. 従来の課題

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じん室からなる。旋回室の上部は，円筒部で構成され，その接線方向に含じん空気（ごみを含む空気）を導入するように単一の流入管を接続することで旋回気流を生成する。旋回室の下部には，径を縮小することで旋回速度を増速する円錐（えんすい）部を備えている。遠心力によってごみが分離され，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部の外に排出される。

ここで，**図１**に示すような標準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$D_{\min}$は式(1)で示される[1]。

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

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

粒子径D，密度ρ_pのごみを分離するために必要な流入風速uは，

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

となる。式(2)から，ごみが微細になるほど流入風速を高める必要があることが分かる。

2.2 従来の課題

掃除機で吸引するごみは，繊維から砂まで多種多様である（**図２**）。そこで，先に述べた単一の流入管を備える一般的なサイクロンで，微細なごみを高効率に分離する際の課題として，１点目には，大きなごみの詰まりが挙げられる。分離効率を向上させる目的で，流入口の面積を小さく（流入風速を速く）した場合，大きなごみが流入口に詰まるおそれがある。なお，流入口の面積を変えずに流入風速を高めるには，ブロワモータの出力風量を上げる必要があり，ブロワの大型化や消費電力の増加が懸念されるのは自明である。

２点目には，旋回室壁面近傍における旋回風速の低下が挙げられる。単一の流入管から流入した空気は，旋回室内で旋回運動をするが，排出管からの吸い込み風の影響によって徐々に中央に寄ってしまう。また，空気と旋回室壁面との摩擦によって壁面近傍での旋回風速が低下し，その結果，ごみに対する遠心力が低下して分離効率を損なうことになる。

この課題を解決するために，工業用の粉体分級装置（**図３**）では，ブロワモータとは別にもう１つ動力源（コンプレッサなど）を用いて旋回室の外周から追加気流を導入する方式が採用されている[2]。しかしながら，家庭用掃除機では，質量や消費電力の関係から別動力源を備えるのは困難であるとともに，旋回風速の増大に伴う気流音発生についても課題となる。

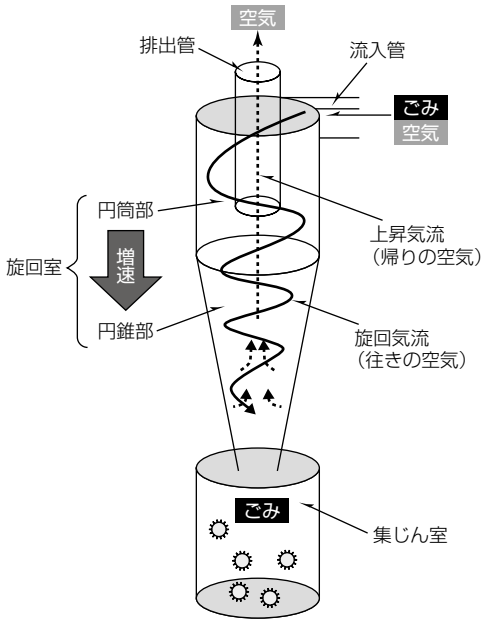

図１．一般的なサイクロンの構造

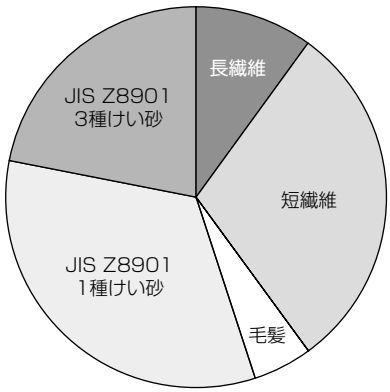

図２．国内家庭ごみの内訳（電機工業会：模擬家庭じんあい）

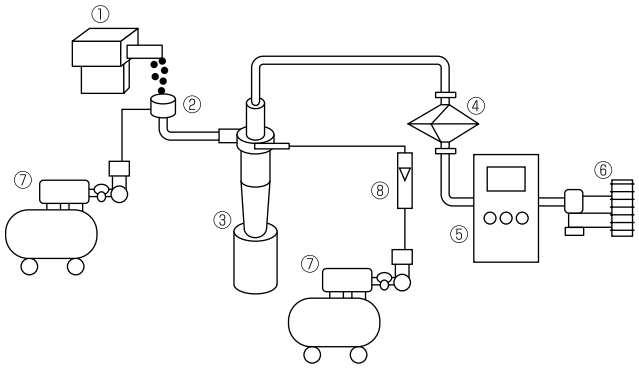

図3．工業用粉体分級装置(追加気流方式)

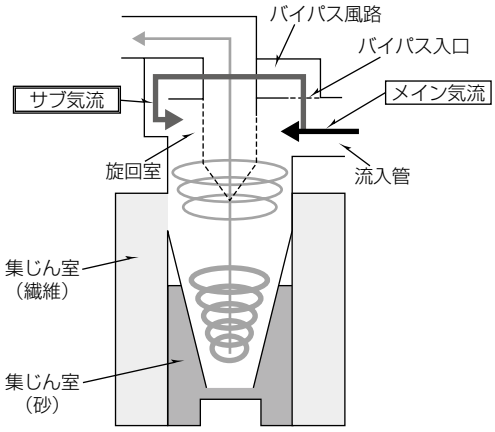

図4．サブ気流のバイパス分岐

3. 開 発 内 容

3.1 バイパス分岐

先に述べた課題を解決するために，別動力源を用いずに旋回室の外周から気流を導入する方式として，メイン気流からバイパス分岐したサブ気流を，再度旋回室内でメイン気流と合流させる構造を考案した(**図4**)。

この構造では，バイパス風路内のごみ詰まりが問題となるが，流入管の上面にバイパス入口を設置することで，重力作用を利用してバイパス風路へのごみ侵入を抑制した。さらに，バイパス入口を多数の微細孔で形成することで，流路を確保しつつ，詰まりの原因となる比較的大きなごみの侵入を防止した。

3.2 サブ気流の導入

先に述べたとおりメイン気流から分岐したサブ気流は，バイパス風路を経て，旋回室の外周側から接線方向に沿って導入する構造とした。これによって，サブ気流は，メイン気流を後方から押し込んで加速させるように旋回室内で合流する。

サブ気流の有無による旋回速度の比較(気流解析結果)を**図5**に示す。サブ気流の導入によって，とくに，流入口から少し進んだ箇所の速度が大幅に向上していることが分かる。また，旋回室の外周寄りに高速度領域が分布しており，旋回室の中央に配置された排出管からの吸い込み風の影響を抑制していることが確認できる。

3.3 サブ気流の最適化

サブ気流の導入位置／導入数／導入口面積等の各寸法については気流解析による流れ場の見える化と，パラメータスタディによる最適化を実施した。ここでは，導入数に関する検討について一例を示す。

図6にサブ気流の導入数を5つとした場合，**図7**に4つとした場合の，流入管の中央高さにおける風速ベクトルを示す。旋回室の周方向全域の旋回速度を高める目的で，サブ気流5つを旋回室の周面に均等に配置した場合，メイン気流の流入方向正面付近に2つ目のサブ気流の導入口が配置される。これによって，メイン気流が2つ目のサブ気流

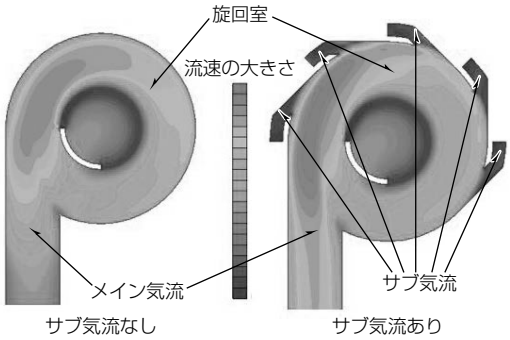

図5．サブ気流の有無による旋回風速分布の比較

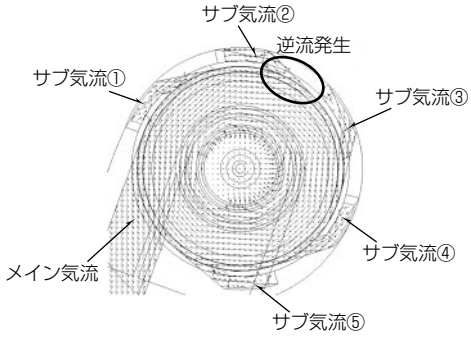

図6．サブ気流の導入数を5つとした場合の風速ベクトル

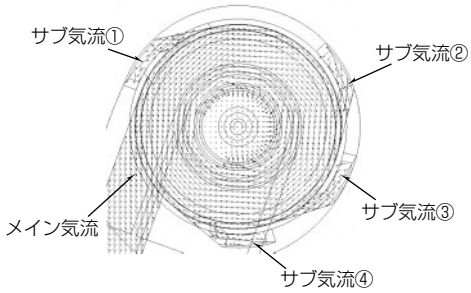

図7．サブ気流の導入数を4つとした場合の風速ベクトル

導入風路内に流入し，サブ気流の逆流が生じる(**図6**)。その結果，サブ気流による旋回風速の増速効果が損なわれるとともに，メイン気流にも乱れが発生する。そこで，**図7**のように，2つ目のサブ気流の導入口を抹消して，サブ気流の導入数を4つとした。これによって，導入数5つの場合と比較

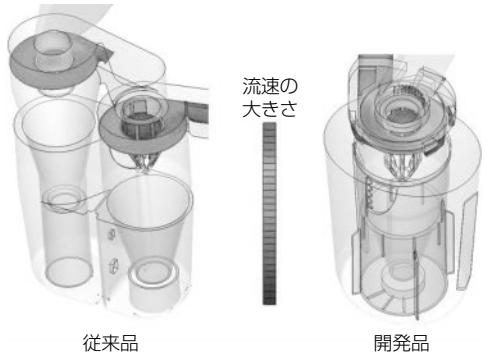

図８．従来品と開発品の旋回風速比較

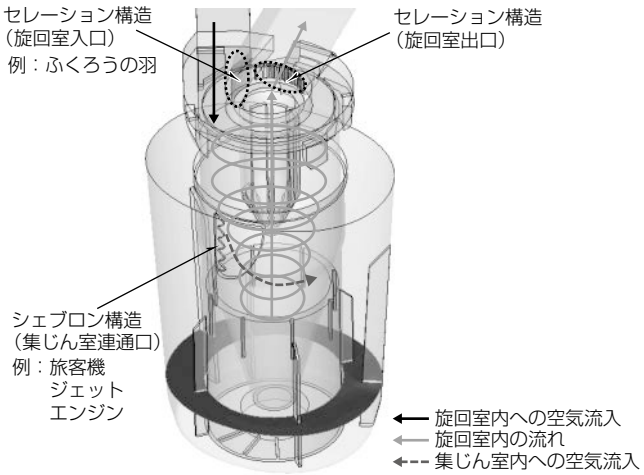

図９．サイクロン気流音の対策構造

して旋回風速を約１％向上させることができた。

3.4　従来品との旋回風速比較

先に述べたように，開発品では，バイパス分岐によって別動力源を用いずに，旋回室外周から接線方向にサブ気流を導入して旋回風速を増速する新構造“ハイパーエアロアクセル”を搭載した。その効果として，**図８**に従来品と開発品の流入管中央高さにおける風速コンターを示す。従来品の２本の旋回室の旋回風速は，それぞれ48m/s（右：１次旋回室）と68m/s（左：２次旋回室）であったのに対し，開発品では90m/sに向上した。これによって，従来２本あった旋回室を１本化しつつ，分離効率を維持することが可能となった。

3.5　サイクロン気流音の対策

“ハイパーエアロアクセル”による旋回風速の増速によって，気流音の発生が課題となる。とくに流入管と旋回室の連結口（旋回室入口）や，旋回室と集じん室の連通口などでは気流の剥離が生じやすく，これに起因する双極子音の発生が問題となる。

そこで，**図９**に示すとおり，セレーションやシェブロンといった剥離渦を分散する構造を搭載した。その効果の一例として，シェブロンの有無による集じん室連通口の流速分布比較を**図10**に示す。渦分散の効果によって，連通口の開口端での風速集中が緩和されていることが分かる。

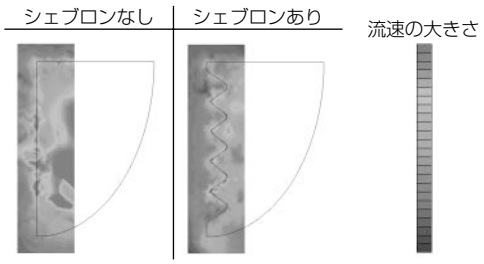

図10．集じん室連通口のシェブロンの効果（風速分布）

表１．開発品と従来品の性能比較

	吸引力持続性		本体質量	本体設置面	運転音
		ごみ分離効率	サイクロン部質量	サイクロン部容積	
従来品（TC-ZXB17P）	99%	99.9%	4.9kg / 953g	1,019cm² / 3.3L	68dB（A）
開発品（TC-ZXC30P）	99%	99.9%	3.8kg / 539g	771cm² / 2.1L	64dB（A）

4. 性 能 検 証

開発品と従来品の性能を**表１**に比較して示す。新構造“ハイパーエアロアクセル”の搭載によって，従来２本あった旋回室を１本化したことで，サイクロン部の従来比約43％軽量化と，本体質量の約22％軽量化を実現した。また，サイクロン部の容積についても小型化したことで，本体底面積（幅×奥行）は従来比約24％低減した。さらに，気流音対策によって，従来比－４dB（A）の低運転音化を実現した。

なお，サイクロン部以外の本体構成部品についても軽量化を実施した。ブロワモータでは，フレーム部品を鉄からアルミに変更することで従来比で約26％軽量化した。また，本体きょう体では，上ケースと下ケースにカーボン含有樹脂を採用するとともに，板厚を部分的に薄肉化することで従来比約29％の軽量化を実現した。

5. む す び

小型・軽量化と低運転音化に加え，集じん室内でのごみ撹拌（かくはん）を抑制して排気のごみやにおいを清浄化する機能，サイクロン部の丸ごと水洗いや回転ブラシの毛がらみ除去といった清潔機能，掃除の中断をセンサで感知して自動でパワーを制御するスマートSTOP機能等を搭載したサイクロン掃除機“風神”の新製品TC-ZXCシリーズを，三菱電機掃除機誕生80周年記念モデルとして2013年３月に発売した。

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）
(2)　信清良太，ほか：化学工学論文集，**33**，No. 2，92～100（2007）