

サイクロン状渦室を有する排水管の研究開発

－渦室内旋回流動場における突起状リングと流れ特性に関する一知見－

吉富秀樹* 梶原豪介**

Research and Development of a Drainpipe with Vortex Chamber

- A Finding about the Effect of Projected Ring on Rotating Flow in the Vortex Chamber -

Hideki YOSHITOMI, Gosuke KAJIHARA

We developed a new drainpipe with vortex chamber in order to free from the danger of getting caught in drain of swimming pool. This new drainpipe can control the suction force with the working of vortex flow. In this study, we tried to reduce the suction force by using the ring which was attached on the side wall of the vortex chamber to prevent secondary flow. This trial was not successful, but another interesting characteristic was found by the analysis of experimental data. That is to say, it is reasonable to think that the flow should be reduced by the ring, but in this experiment any rings do not affect the flow rate of the drainpipe. This result is very attractive, so we show the experimental results and consider the result from some angle.

Key Words: Rotating Flow, Ring, Secondary Flow, Flow Rate, Suction Force, Swimming Pool, Drain Pipe

1. はじめに

最近、遊泳用プール等において水循環用の排水口に遊泳者が吸込まれたり吸着されるという事故が起っており大きな社会問題となっている。このような事故は、何らかの人的ミスによって格子状の排水口カバーが外れることによって起こる。また、格子状の排水口カバーが付いていた状況においてさえも、排水口に張り付き動けなくなるという事故も発生している⁽¹⁾。著者らは、このような排水口事故の危険性を以前より指摘し、万一排水口カバーが外れた場合でも、吸い込まれたり吸着されたりすることのない安全な排水管を提案している⁽²⁾。この排水管は、主要な構成要素としてサイクロン状渦室を有していることから渦室付排水管と称している。また、この渦室付排水管は、弁などの機械的可動部を用いることなく、流体自身の流れで吸引力を制御できるという特徴がある。

これまでの研究において、提案する渦室付排水管の吸引力低減機能を実証するとともに⁽²⁾、形状パラメータが特性に及ぼす影響を明らかにして形状最適

化を図り⁽³⁾、渦室付排水管内流れの理論モデルに基づく特性予測法を開発した⁽⁴⁾。また、渦室付排水管に吸着された時に、流れ状態が変化し、吸引力が弱まるまでの動的応答性についても解析した⁽⁵⁾。

本報では、吸着されたときの吸引力をさらに低減することをねらって、渦室内旋回流動場における2次流れを防止するための突起状リングを渦室側壁に設け、その効果を実験的に検討した。その結果、当初の目的であった吸引力低減については突起状リングの効果はほとんど認められなかったのであるが、実験結果の解析において当初目的とは別の興味深い特性が認められた。すなわち、この実験では渦室側壁に大きさの異なる数種のリングを設置したわけであるが、いずれのリングも流量特性にほとんど影響を及ぼさないという結果が得られた。例えば、渦室通路の約半分を塞ぐようなリングを設置した場合でも、渦室付排水管の圧力損失と流量の関係が、リングが無い場合と比べてほとんど変化しないのである。このことが流体力学的にみて興味深いと思われるので、本報において実験結果を示し、若干の考察を加える。

2. 渦室付排水管と突起状リング

2. 1 渦室付排水管

まず、従来から一般的に用いられている排水管の概念図を Fig.1-(a)に示す。通常は、このように1本

原稿受付 平成19年8月31日

* 機械工学科

** 専攻科 機械・制御システム工学専攻

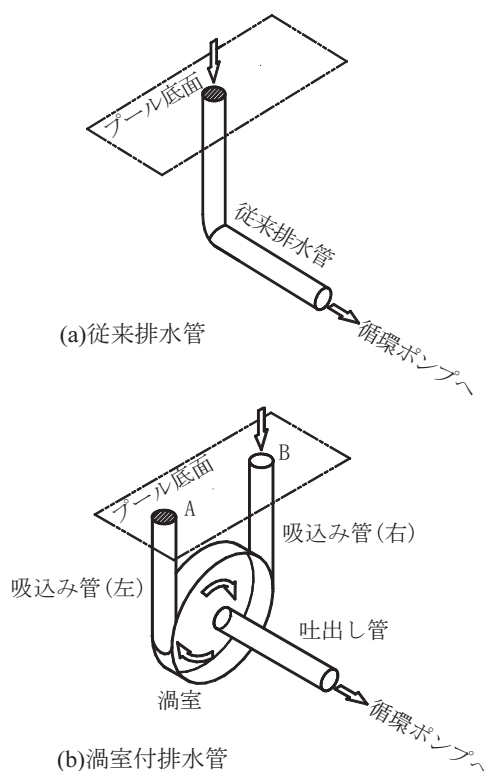


Fig.1 Diagram of drainpipe

の排水管で水を吸引しており、これを従来排水管と呼ぶことにする。従来排水管では、プール底面の排水口に遊泳者が吸着されると、循環ポンプの吸引によって排水管内の圧力が真空に近い値まで低下する。このとき、圧力降下が起きている部分は吸着部であり、このため吸着された身体に極めて大きな吸引力が作用することになる。

一方、提案している渦室付排水管の概念図を Fig.1-(b) に示す。薄い円筒状の渦室の外周に接線方向に取り付けられた左右2本の吸込み管がプール底面の2個の排水口 A, B につながっている。また、渦室中心に軸方向に取り付けられた吐出し管が循環用ポンプにつながる。通常は2本の吸込み管から同時に水が流入するが、もし一方の排水口 A に遊泳者が吸着されたら、もう一方の排水口 B から渦室へ流入する流れが強い渦巻き流れを発生する。この渦巻き流れによる遠心力場により、渦室内は外周から中心に向かって強い圧力こう配が生じ、中心部の圧力は低下するものの外周部の圧力はプール水圧に近い値に保たれる。つまり、圧力降下は、吸着部ではなく渦室内の半径方向において起こる。ここで、排水口 A の吸着部の吸込み管内圧力は渦室外周部の圧力にほぼ等しいのでプール水圧に近い値となり、吸着部の内面と外面の圧力差が減少し吸引力が弱まるのである。これが渦室付排水管の原理である。

ところで、吸着されたときの吸引力をさらに低減させるには、排水口 A の吸着部の吸込み管内圧力を

できるだけ高い値、すなわちプール水圧の値にさらに近づける必要がある。このためには、吸着部の吸込み管内圧力は渦室外周部の圧力にほぼ等しいことから、渦室外周部の圧力を高めればよい。一方、渦室外周部の圧力は、プール水圧から渦室外周部の動圧と排水口 B につながる吸込み管の流入損失 ΔP_s を差し引いたものである。よって、この流入損失 ΔP_s を小さくすることが必要となる。流入損失 ΔP_s は吸込み管の損失係数を ζ 、吸込み管内流速を V 、水の密度を ρ とすると、

$$\Delta P_s = \zeta \frac{\rho V^2}{2} \quad (1)$$

と表せる。よって、流速 V の自乗で効くので、流速を小さくすること、すなわち流量を少なくすることの効果が大きい。つまり、吸着状態という緊急状況においては排水性能は考慮する必要がないので、排水管の流量を小さく抑えようとするのが本研究の2次流れ防止のための突起状リングの考え方である。

2. 2 2次流れ防止のための突起状リング

前項で述べたように、渦室付排水管に吸着されたときの吸引力を弱めるためには、吸着時の流量を小さくする必要がある。吸着時の渦室内流れは旋回流動をしており、その概念図を Fig. 2 に示す。渦室内の主流は強い旋回流動をしておりエネルギー消散が大きい。よって、このエネルギーロスによって主流の流量は小さく抑えられる。一方、この主流とは別に、渦室側壁の境界層に沿ってあまり旋回することなく吐出し管へ向う流れが存在するはずである。これを2次流れと称す。主流に対する2次流れの流量割合は明確ではないが、本研究の渦室付排水管は渦室が薄い境界層の占める割合が大きく、2次流れの影響が大きいものと考えられる。そこで、この2次流れを抑制するため、Fig.3 に示すように境界層内の流れを遮る突起状のリングを側壁に設ける。これを突起状リングと呼ぶ。本研究では、突起状リングの設置位置や高さを変えて実験し、その効果を検討した。なお、このような突起状リングは通常時の排水性能を悪化させるものであるが、その対策につ

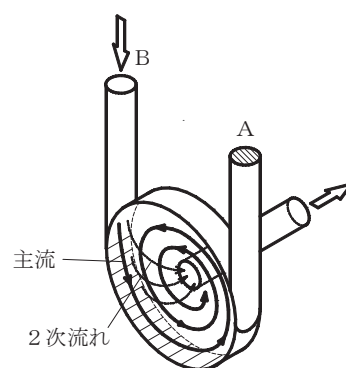


Fig.2 Main flow and secondary flow

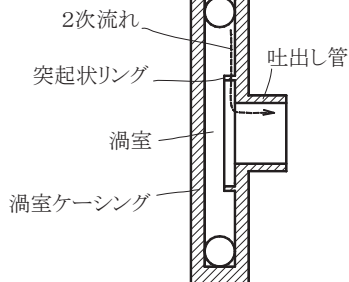


Fig.3 Ring preventing the secondary flow

いては別途検討することとし、本報では第1段階として突起状リングの効果を検討したものである。

3. 実験装置および実験方法

実験装置の構成を Fig.4 に示す。試験水槽⑨はプールに相当しており、水槽の底部に供試排水管①を取り付けている。供試排水管までの水位は、遊泳用プールのほぼ平均的水深である 1.2 m に設定してある。水槽から供試排水管中心までの距離は 200mm である。また、実際のプールで吸い込み事故が問題となるのは、循環ろ過用ポンプや起流ポンプで吸引されている排水口であるので、本実験装置も循環ポンプ⑤による強制吸引方式としている。循環ポンプは小型マグネットポンプを使用しており、その主な仕様は、最高揚程 9.7m、最大吐出し量 97L/min、定格出力 180W である。また、吸着流れを実現するため、吸込み管 A の排水口は塞いである。吸込み管内の圧力は圧力センサ②で測定する。渦室付排水管の出口圧力は、旋回流れの旋回成分を整流器③で除いた後に、排水管の下流 475mm の位置に設けた静圧

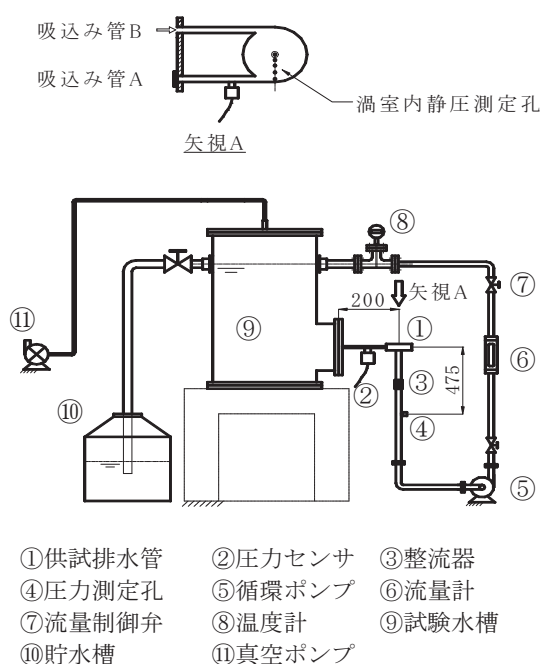


Fig.4 Experimental apparatus

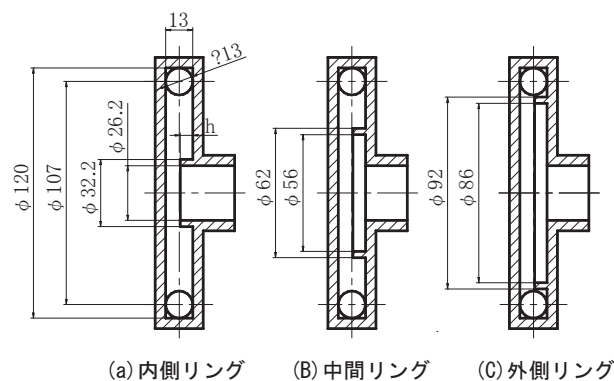


Fig.5 Shape of each ring

孔④で測定した.

実験に使用した渦室付排水管の主要寸法と突起状リングの設置位置を Fig.5 に示す。渦室形状は、これまでの研究で得られた最適形状⁽³⁾を採用しており、外径が $\phi 120\text{mm}$ 、軸方向厚みが 13mm 、吐出し管径は $\phi 26.2\text{mm}$ である。また、吸込み管径は、渦室厚みと同じ 13mm となっている。突起状リングは、吐出し管側の渦室側壁に設けてある。形状パラメータはリング径とリング高さである。リング径は、Fig.5 に示すように、リングの外径で $\phi 32.2\text{mm}$ 、 $\phi 62\text{mm}$ 、 $\phi 92\text{mm}$ の 3 種類であり、それぞれ内側リング、中間リング、外側リングと称することにする。内側リングは吐出し管を渦室内部に突き出させた形状である。リング高さは、いずれも 6mm 、 4mm 、 2mm と変化させて実験した。また、比較のためにリングが無い場合についても実験した。また、渦室内の静圧は、Fig.4 の矢視 A に示すように、リングとは反対側の渦室側壁に直径 0.8mm の静圧孔を設けて測定した。静圧孔の設置位置は半径方向に 5 ヶ所あり、それぞれの半径は、 0mm 、 12mm 、 24mm 、 39mm および 53.5mm である。

4. 実験結果

4. 1 突起状リングが吸引力に及ぼす影響

内側リング，中間リングおよび外側リングそれぞれの吸引力に及ぼす影響を Fig.6 に示す．吸引力の比較の方法は，渦室付排水管に同じ水压ヘッドがかかった時の吸引力を比較するのが妥当である．すなわち，Fig.6 のように，渦室付排水管での圧力損失に対して吸引力を示せばよい．ここで，吸引力 F は，圧力の測定値より次式で計算したものである．

$$F = \frac{\pi D_s^2}{4} (P_1 - P_s) \text{-----} (2)$$

ここに、 D_s は吸込み管直径、 P_l は吸込み管位置の試験水槽水圧、 P_s は吸込み管内圧力である。また、渦室付排水管の圧力損失 ΔP は、次式で求めた。

$$\Delta P = P_{1t} - P_{2t} \text{-----} (3)$$

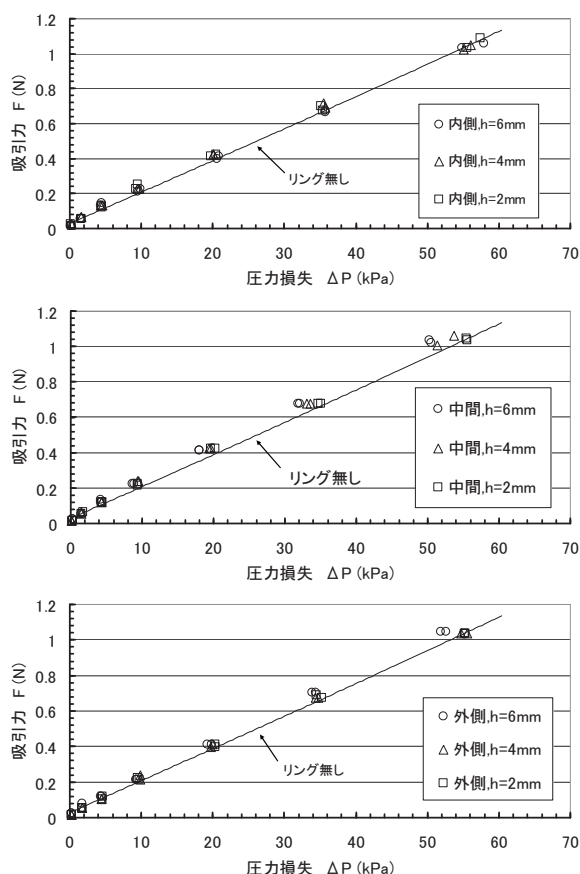


Fig. 6 Suction force versus pressure loss

ここに、 P_{1t} は吸込み管入口の全圧、 P_{2t} は、Fig.4に示したように、渦室から475mm下流の位置で計測した吐出し管の静圧に動圧と位置ヘッドを加えた全圧である。

Fig.6の図中の実線は、突起状リングが無い場合のデータを滑らかに結んだ近似曲線である。3つのグラフは、上段から内側リング、中間リングおよび外側リングのデータとなっている。記号は、○がリング高さ6mm、△が4mm、□が2mmの実験データである。記号の意味とグラフの順番は、以降の図でも同じである。

さて、本研究の当初の目的は、突起状リングによって吸引力を弱めることであったが、Fig.6をみると吸引力はほとんど変わっていない。これは、リングを設置しても流量がほとんど変化していないことを示唆している。ただし、中間リングの場合は、リング高さ4mmと6mmにおいて、同一圧力損失に対して吸引力がわずかに増加する傾向であり、研究目的とは逆に吸引力が強くなってしまっている。これは次項で示すように、流量が増加することによって流入部の圧力損失が増加し、吸着側吸込み管内圧力が低下してしまったものと考察できる。しかし、いずれにしても突起状リングによる吸引力の改善効果は認められないことになる。

4.2 突起状リングが流量特性に及ぼす影響

突起状リングが渦室付排水管の流量特性に及ぼす影響を Fig.7 に示す。図中の実線は、リングが無い場合の流量特性データの近似曲線である。前述したように、今回の研究の目的は、突起状リングによって2次流れをせき止め、同じ圧力損失条件において流量を減らすことであった。逆に言えば、同じ流量に対しては、圧力損失を増やすことである。しかし、Fig.7を見るとリングを設置しても流量はほとんど変わっていない。ただし、中間リングのリング高さ4mmと6mmにおいては同一流量に対して圧力損失が減っている。つまり、同じ圧力損失に対しては流量が増加する結果となっている。この傾向は前記4.2項の結果と整合性がある。

以上のように、突起状リングを設置しても流量特性がほとんど変化しないこと、また、中間リングでは逆に流量が増えたこと、このことが当初の研究目的とは異なるものの流体力学的にみて興味深いと思われる。つまり、渦室の厚みは13mmであるから、リング高さ6mmにおいては、渦室の軸方向スペースの46%すなわちほぼ半分がリングによって塞がれていることになるのであるが、それでも流量が減らないのである。直管等の管内流れであれば、オリフィスや弁で通路を半分近く絞れば流量は当然ながら減

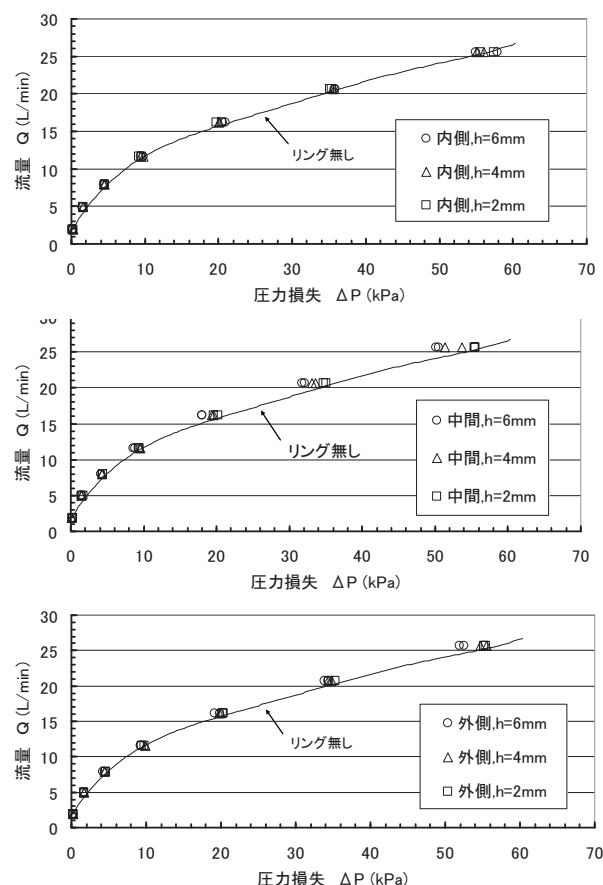


Fig.7 Flow rate versus pressure loss

少する．しかし，この渦室付排水管の旋回流動場では減らないのである．

この原因としては，本研究のリングは渦室内通路に突き出た形状であることから，この突起状リングによって渦室内の流動が妨げられ，その結果として渦の旋回の強さが弱まったとも考えられよう．つまり，旋回流動によるエネルギーロスが減って，その結果として，流量が変わらなかったのではないかと推察した．そこで，このことを次項において渦室内静圧分布の計測結果から検討してみる．

4. 3 突起状リングが渦室内静圧分布に及ぼす影響

本研究の実験では，流体は渦室内において旋回運動をしている．一般的に容器内で回転する流れ，すなわち渦運動について検討する場合，流動様式はランキンの組合せ渦⁽⁶⁾と仮定するのがシンプルな考え方である．この考え方を本研究の渦室付排水管に適用した場合の速度分布と圧力分布の概念図は Fig.8 のようになる⁽⁶⁾．

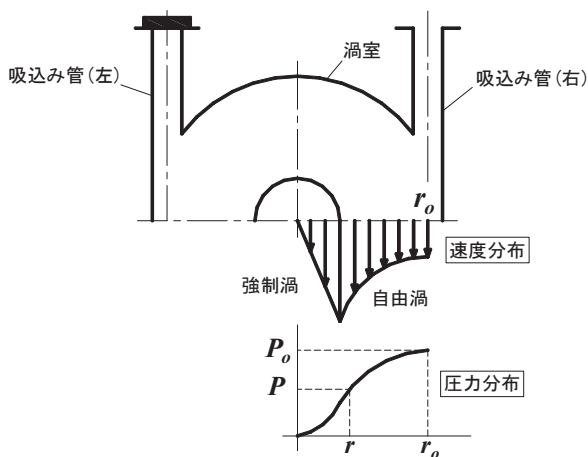


Fig.8 Flow in the vortex chamber

さて，ここで渦室内静圧分布の実験結果を Fig.9 に示す．流量条件は，いずれも 20.7 L/min である．横軸は半径比であり，基準の r_o は Fig.8 の吸込み管中心の半径すなわち 53.5 mm としている．縦軸は圧力比であり，基準の P_o は半径が r_o の位置での静圧である．図中の縦の実線は中間リングの設置されている位置（突起状リングの外径位置）を示す．また，図中の曲線はリングが無い場合のデータの近似曲線である．

Fig.9 を見ると，Fig.8 の圧力分布と同様の傾向を示しておりランキンの組合せ渦に近い流動をしていることが確認できる．ここで，注目すべきは突起状リングによって静圧分布が変化するかどうかである．つまり，前記 4.2 項の最後で考察したように，突起状リングによって強い渦の生成が妨げられているかどうかを検討する必要がある．このような観点から

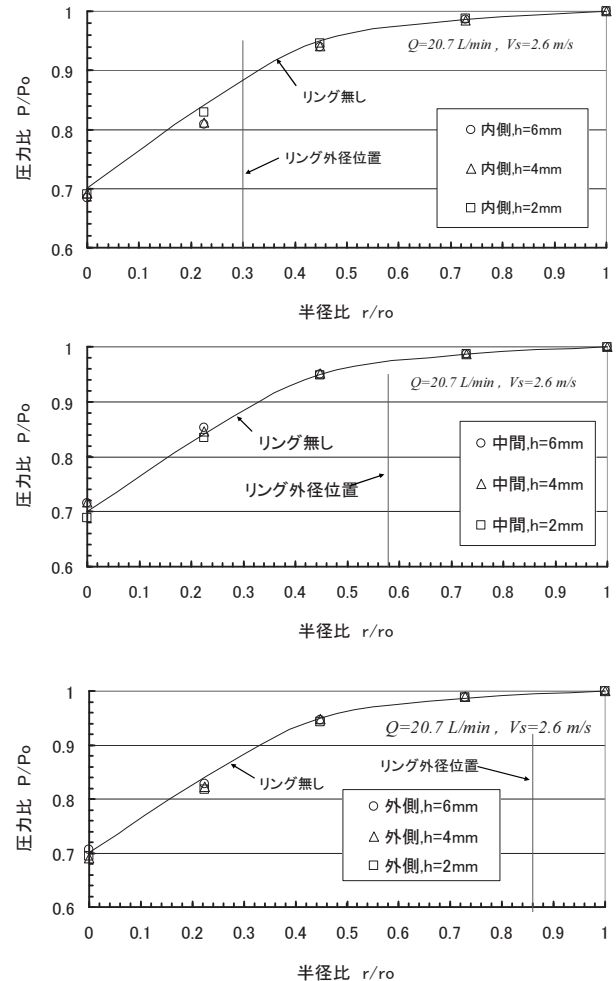


Fig.9 Pressure distribution in the vortex chamber

Fig.9 を見ても，リングによって静圧分布が変化しているという顕著な傾向は認められない．

5. まとめ

渦室側壁に突起状リングを設けて吸引力低減を図ったが効果は無かった．しかし，この当初目的とは異なるが，このような突起状リングは渦室内の旋回流動場にほとんど影響を及ぼさないという結果が得られた．この原因は本研究では解明できなかったが，流体力学的に興味深いので紹介した次第である．

参考文献

- 例えば，<http://www.yomiuri.co.jp/national/news/20060805i303.htm>
- 吉富，佐藤，小原：空気調和・衛生工学会論文集，No.85 (2002)，pp.31～39
- 吉富秀樹：空気調和・衛生工学会平成 15 年度学術講演会講演論文集，(2003)，pp.805～808
- 吉富秀樹：空気調和・衛生工学会平成 17 年度学術講演会講演論文集，(2005)，pp.777～780
- 吉富，田中，井上：空気調和・衛生工学会平成 18 年度学術講演会講演論文集，(2006)，pp.789～792
- 小川明：渦学，山海堂，(1981)，pp.3～8

