

# 今までの流れを変えるクーリングシステム技術

## 高風量・高静圧化対応技術：二重反転ファン

相沢 吉彦

Yoshihiko Aizawa

### 1. まえがき

IT(情報技術)社会の中核をなすサーバや通信装置などの電子機器においては、CPUやHDDを代表とするその内蔵部品の小型化・高性能化が驚異的なスピードで進んでいる。また、これらの部品は高性能化にともない、発熱量も著しく増加してきており、今後もその傾向は続く見込みである。同時にこれらの機器は小型化も必須条件のひとつになっており、装置筐体内に配置される部品の実装密度は高まる一方である。結果として、装置内部冷却用ファンモータの空力特性に関しても、極めて高い発熱量への対応と極めて高いシステムインピーダンスへの対応との両方が求められるケースが増えてきている。具体的にはファンモータに必要とされる動作点が、より高風量かつより高静圧になってきている。

従来の高風量化要求・高静圧化要求に対して、これまでファンメーカーが顧客に提供できる解決策としては、軸流ファンによる高風量品もしくは遠心ファンによる高静圧品のどちらか、およびその両者の併用というものがほとんどであった。しかしながら、上記のように高風量・高静圧に関する要求レベルが極めて高く、また、高風量・高静圧の両立も必要となるケースにおいては、単に既存の高風量品や高静圧品の高性能化、すなわち羽根設計を見直す、もしくは回転数をアップさせるといったアプローチの延長では対応しきれなくなりつつある。

当社では、このような状況を打破し顧客にとって新しい解決策になりうる技術として、二重反転ファンに着目し開発を進めてきた。本稿では、特に最近、高発熱化・高実装密度化が顕著な1Uサーバの事例を中心として、これまでの要求と解決策がどのようなものであったか、新しい要求レベルがどの程度のものか、すなわちこれからの冷却用ファンモータに求められる動作点領域がどの程度のものか、さらにこの要求を満足する二重反転ファンについて、その概要を紹介する。

なお、先頃、40mm角56mm厚の「San Ace 40」二重反転ファンをリリースし、既に活発な引合いをいただいている。詳しくは本号の新製品紹介記事をご覧ください。

### 2. これまでの要求と解決策

従来、顧客からの高風量化・高静圧化の要求に対してファンメーカーは、高風量が必要な場合は軸流ファンの高性能化、高静圧が必要な場合は遠心ファンの高性能化という対応を基本としてきた。軸流ファンの主な特徴は、得られる静圧は

比較的低いものの、高風量を得やすいためインピーダンスがそれほど高くない装置冷却に向いている点である。遠心ファンの場合は、高風量化は難しいが高静圧を得やすいという特徴があり、インピーダンスが高い装置用として適している。それぞれの構造と特徴を表1に示す<sup>(1)</sup>。

表1 ファンの種類と構造および特徴

ファンの種類	構造	特徴
軸流ファン		(1)静圧が低い (2)風量が多い (3)中低実装密度の通風抵抗の小さい機器に向く (4)比速度:1000~3000
遠心ファン		(1)静圧が高い (2)風量が少ない (3)高実装密度の通風抵抗の大きい機器に向く (4)比速度:150~1000

また、空力特性に対するこれまでの要求は、おおむねこれらのファンモータの推奨使用領域に入っていた。当社の代表的な軸流ファンおよび遠心ファンの特性曲線、ならびにこれまでの要求領域を図1にまとめる。なお、本稿では、空力特性を比較する際に特性曲線(φ-φ)を使っている。φ:流量係数、φ:圧力係数は、それぞれファンの風量性能、圧力性能を無次元表示したもので、ファン外径や回転数に無関係に異なるファンの空力性能を比較できる<sup>(2)</sup>。

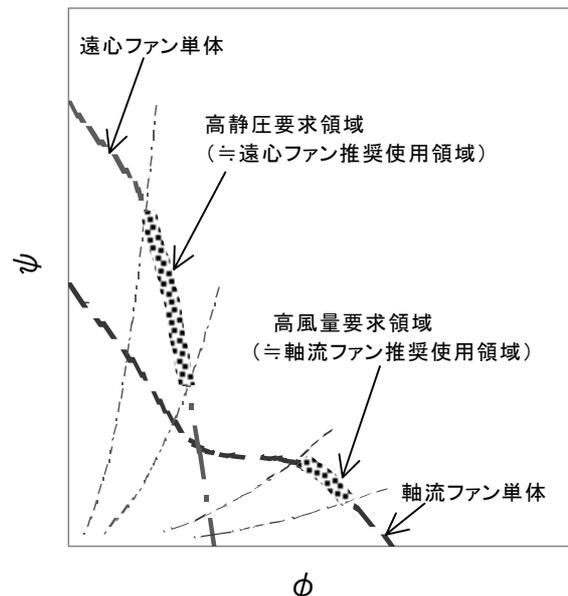


図1 ファンによる空力特性の違いと要求領域

### 3. 新しい要求:高風量かつ高静圧

最近、従来と比べ格段に高いレベルの高風量かつ高静圧特性を要求されるケースが増えてきており、その要求領域は遠心ファンの最適使用領域と軸流ファンの最適使用領域のほぼ中間に位置している。さらに、その風量レベル、静圧レベルとも極めて高い位置にある。最近およびこれからの1Uサーバで求められる領域が従来ファンの特性曲線に対し、どの程度のものなのか、図2に例を示す。

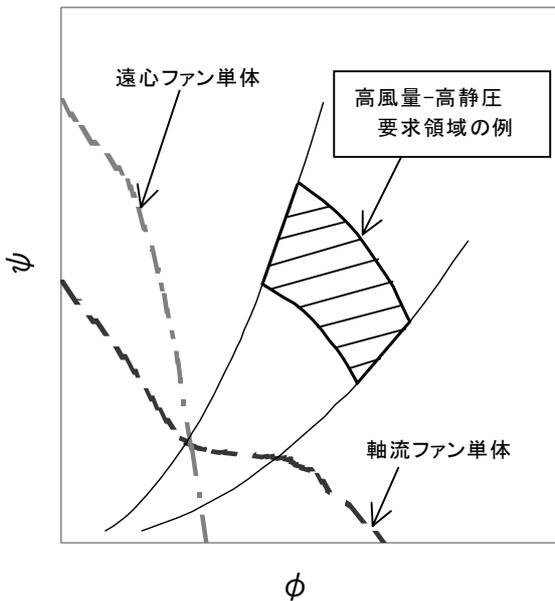


図2 新しい要求領域

このケースでは、静圧が比較的低いものの高風量には向いている軸流ファンを改良していても、静圧落込み領域 (Stall region) が残るため相当な高性能化が必要となり、単に現流品の羽根設計見直しや回転数アップといった従来のアプローチだけでは対応しきれなくなりつつある(図3)。また、要求領域に相応するシステムインピーダンスがちょうど軸流ファンの静圧落込み領域とクロスしており、仮にこの要求レベルまで軸流ファンの高性能化が実現できたとしても動作が不安定な領域での運転をすることになり、好ましくない。

なお、風量は少ないものの高静圧に向いている遠心ファンを従来の延長で改良していても、要求領域に到達させるのは極めて困難である。

一方、軸流ファン単体の高性能化だけで要求使用領域に到達できないならば、同一回転方向の軸流ファンを直列2段に並べ高静圧化を図ろうという選択もあり、様々な検討がなされている。しかしながら、直列2段に並べた場合、若干の特性改善は図れるが十分な高静圧化は難しく(2倍にはならない)、静圧落込み領域も解消されない(図4)。

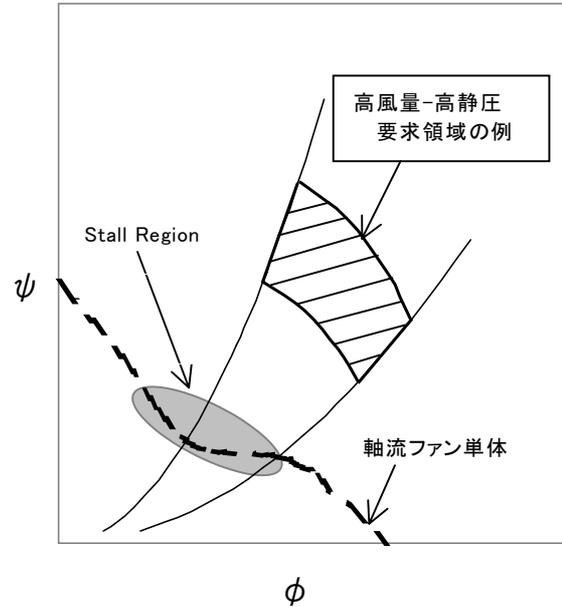


図3 軸流ファン単体の  $\phi$ - $\psi$ 特性例

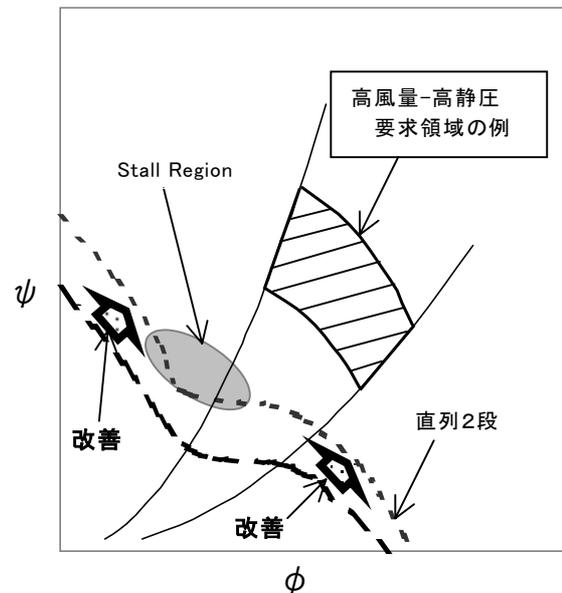


図4 軸流ファン直列2段の  $\phi$ - $\psi$ 特性例

#### 4. 新しい解決策：二重反転ファン

二重反転ファンとは、前段、後段からなる二組の動翼を互いに反対方向に回転させる方式のファンをいう。古くからある技術であり、航空機、ヘリコプターなどにも採用されているが、電子機器などの冷却用ファンモータとして使われている例は少ない。主な理由は、騒音が高いという二重反転ファンの短所をこれまで克服できなかったためと考える。また、十分に距離を離れた直列2段軸流ファンほどの圧力は出ないとも考えられていたようである<sup>(1)</sup>。

当社では、前段動翼と後段動翼ならびにフレーム(シュラウド)の設計に関し、様々な角度からの検討を重ね、顧客に十分満足いただける空力特性を実現した(図5)。また、騒音性能に関しても、例えば「San Ace 40」二重反転ファンの比騒音は40mm角28mm厚ファン(以下、40角28厚ファンという)単体に対し約3dBの上昇に抑えられている。単純に40角28厚ファンをひとつの音源とみなしたとき、2台運転時の騒音レベルが、理論上、3dB上昇することから判断すると、二重反転ファンとしての騒音性能はほぼ理想に近いものと言える。なお、40角28厚ファンを直列2段に並べた場合をひとつのファンとみなしたときの比騒音に対しては、約6dB低い。

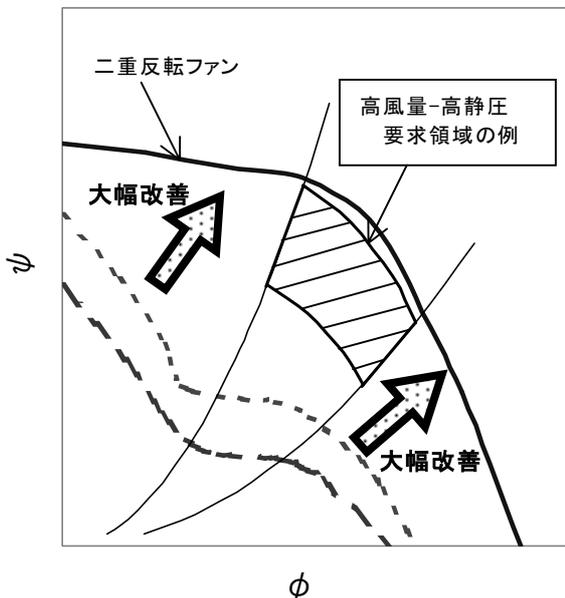


図5 二重反転ファンの  $\phi$ - $\psi$ 特性例

最後に、二重反転ファンがその  $\phi$ - $\phi$ 特性において軸流ファン特有の静圧落込みを解消し、さらに特性全体が大幅に改善される理由・メカニズムについて簡単に述べたい<sup>(1),(3)-(5)</sup>。

一般の軸流ファンでは低流量域(高静圧域)において流れのはくりが生じやすくなっており、渦が発生するとともに動翼内で三次元逆流が生じる。その結果、旋回失速(rotating

stall)が起こり、 $\phi$ - $\phi$ 特性曲線上では静圧落込み領域が現れる。さらに低流量域での圧力係数も高くない。このとき、羽根車吐出口の空気流には主流(軸流)方向成分よりも半径方向に拡がろうとする旋回(swirl)成分が多く含まれる。この半径方向に拡がろうとする流れのエネルギーが損失となり、空力特性の向上を妨げるものと考えている(図3、図6-1)。

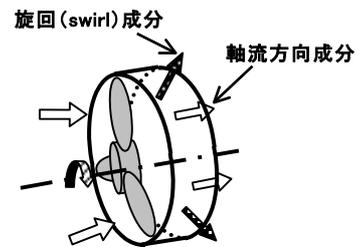


図6-1 低流量域での流れのイメージ(軸流ファン単体)

同一回転方向の軸流ファンを直列2段に並べた場合も、低流量域(高静圧域)においては旋回成分が残る。このとき、前段ファンの動翼から出た流れと後段ファンの動翼との間に衝突損失などが生じ、 $\phi$ - $\phi$ 特性は若干向上するものの圧力係数は単体ファンの2倍にはならず、失速域も残るものと考えられる(図4、図6-2)。

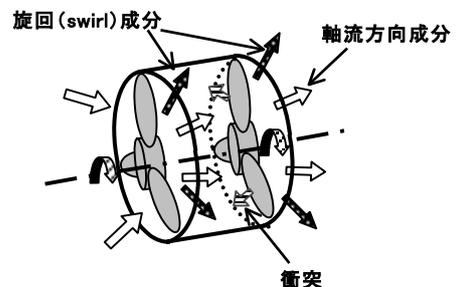


図6-2 低流量域での流れのイメージ(直列2段ファン)

二重反転軸流ファンは、前段動翼から出た流れをスムーズに受けるような形状の動翼を、前段動翼の後流に配し、前段動翼と互いに反対方向に回転させるというものである。その結果、流れの旋回成分を圧力に変換(圧力回復)させるとともに、直列2段ファンで起こるような衝突損失も低減できる。また、 $\phi$ - $\phi$ 特性全体が大幅に改善され、軸流ファン特有の静圧の落込みも解消される(図5、図6-3)。

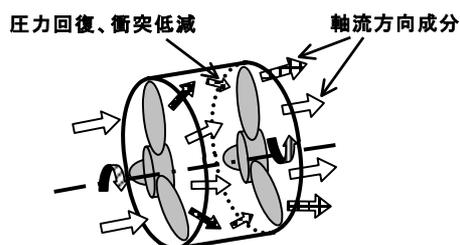


図 6-3 低流量域での流れのイメージ  
(二重反転ファン)



相沢 吉彦

1989年入社  
クーリングシステム事業部 設計部  
ファンモータの開発、設計に従事。

## 5. むすび

これからのファンモータに求められる新しい要求使用領域が、どれほど高風量かつ高静圧であるかを示し、これまでの解決策、すなわち軸流ファンや遠心ファンの単なる高性能化では対応できない状況にあることを示した。次に、従来にない高風量・高静圧を必要とする顧客にとって新しい解決策となりうる二重反転ファンについてその概要を紹介した。

今回の二重反転ファン開発に際しては従来の研究成果や文献を参考にさせていただいた。この場を借りてお礼申しあげる。また、調査した範囲では、当社が扱っているような小型の軸流ファン(いわゆるボックスファン)を研究対象としている例を見つけることができなかつたこともあり、小型の二重反転軸流ファンにおいてどのような現象が起きているかを十分に説明できるまでには至っていない。今後は、現象解明や性能向上に効果的な因子の探求を継続し、さらに画期的な製品を市場に提供することを目指す所存である。なお、本稿をまとめるにあたっては先輩諸氏の記述内容を誤って引用することのないよう努力したつもりであるが、不勉強のため、正確さに欠く部分があり得ることをお許し願いたい。

### 文献

- (1) 日本機械学会編:機械工学便覧(1991)
- (2) 原田幸夫:流体機械 SI 単位版(1986), 朝倉書店
- (3) 児玉好雄・ほか 3 名:二重反転式軸流送風機の流体力学的特性と騒音特性に関する実験的研究(第1報), 機論, 60-576,B(1994-8)
- (4) 児玉好雄・ほか 3 名:二重反転式軸流送風機の流体力学的特性と騒音特性に関する実験的研究(第2報), 機論, 60-576,B(1994-8)
- (5) 児玉好雄・ほか 3 名:二重反転式軸流送風機の乱流騒音の予測, 機論, 62-595,B(1996-3)