

工業加熱

INDUSTRIAL HEATING

2019/5 VOL.56 NO.3

通巻333号 隔月刊・奇数月発行

技術解説

- 抵抗加熱式超高温炉の開発
- 送風機の品質向上への取組み

抵抗加熱式超高温炉の開発

服部 一郎*

1. はじめに

今日では様々な産業や用途にて工業炉が使用されているが、その中でも高温領域のものは、炉内を構成する部材や発熱体として黒鉛が数多く使用されている。それは、耐熱性や取り扱い易さ、コストを考慮すると黒鉛を上回る素材は無いとって過言はないからである。故に工業炉の高温限界は黒鉛の高温限界およびその近傍での物性に制約される。しかし、それらを示すデータは限られており入手が困難であった。今回の開発過程では、上記のデータを採録することができた。そして、それに基づき、最高温度 3400℃ で試料の焼成が可能な炉を開発した。

2. 開発経緯

あるお客様より、少量の試料を加熱対象とする研究用超高温炉のお問い合わせを受けたが、弊社が調べた限りではそのような条件を満たす製品を製造する炉メーカーは見つからなかった。また、当時の弊社製高温炉の最高温度は 3200℃ であった。難易度が高く躊躇もあったが、過去に弊社内

で操作ミスにより小型黒鉛炉を過加熱してしまった事例を検証して、黒鉛はもう少し高温まで耐えるのではないか、と考えるようになっていた。そこで、弊社が蓄積してきた高温技術の集大成になる最高の機会であると考え、3400℃ の超高温炉にチャレンジすることとなった。



写真 1

* 富士電波工業株式会社 サーマシステム事業部 設計部 大阪設計課 I.Hattori



送風機の品質向上への取組み

鎌谷 純治*

1. はじめに

産業界に限らず、衣食住に関係する多くの生産シーンで使用される送風機は、要求される仕様や品質が多岐にわたる。当社はそれらのニーズに対応する為、工業炉などに使用される耐熱型送風機の開発をはじめ、騒音低減・効率改善・高寿命化などの品質向上に取り組んできた。当社は送風機メーカーであると共に電動機メーカー(7.5kW以下の電動機を設計製造)でもあり、品質向上へのアプローチは多方向から検討を行っている。特に騒音問題は、従来からの製造現場での健康被害だけでなく、昨今では工場跡地にマンションが建設されるなど、工場と住居の「住工混在」が進行し、「住工共生」・「住工調和」の街づくりに向け、製造業にとって解決すべき大きな課題となっている。

2. 送風機が与えるエネルギーと送風機開発の方向性

ベルヌーイの定理で知られているように水のような非圧縮性流体では運動エネルギー(動圧)、圧力エネルギー(静圧)、位置エネルギーの総和を一定と見るが、送風機の場合は気体を吸引する為、位置エネルギーが他のエネルギーに比べ非常に小

さく、運動エネルギーと圧力エネルギーのみを取り扱う。

よって、吸込気体が送風機から得る理論上の動力(空気動力)は、 $P=ptQ$ で表され、ここから実際に発生する損失を加味したものが送風機の軸動力、全圧効率となる。ただし、 P は動力(kW)、 pt は全圧(kPa)で動圧と静圧の和を示し、 Q は風量(m^3/min)である。

送風機の損失として最も重要視しているのが乱流(渦)の度合いであり、これは主に送風機の内部流路で発生する気体の交わり時および運動エネルギー(動圧)、圧力エネルギー(静圧)の相互変換時(速度変化時)に発生すると考えられ、当社では送風機の基礎的な研究として風量、静圧、騒音、全圧効率に焦点を当て、送風機内部流れを解析手法だけでなく、可視化技術を磨き実機の内部流れを捉えることで、より高性能な送風機の開発に繋げた。

3. 送風機の騒音低減と効率改善

3.1 送風機の騒音

送風機の騒音は広帯域の周波数成分を有する乱流騒音を主として、単一周波数で発生するBPF(Blade Pass Frequency: 羽根通過周波数)騒音を

* 昭和電機株式会社 品質保証室 室長 J.Kamatani 連絡先E-Mailアドレス:kamatani0255@showadenki.co.jp

含み、ケーシング内共鳴で特定の周波数成分が増幅され、OA (over all) 値が決まると考えられる。(図1) また、仕様点、風量により内部流れが大きく変化する為、低風量域、中風量域 (一般的に最高効率点付近)、高風量域で、それぞれがOAに与える影響が異なることから、騒音低減への着眼点を変えなければならない。

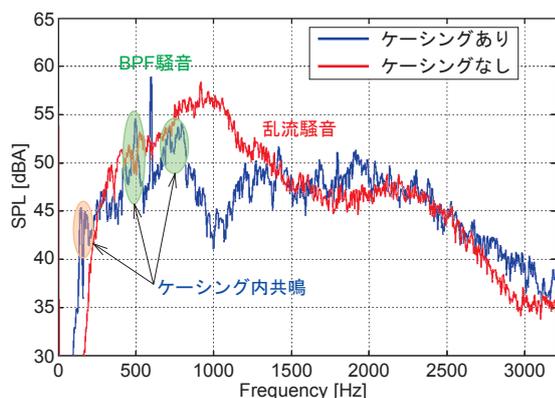


図1 送風機の騒音

BPF騒音は羽根車のブレードから吐出される気体が送風機の舌部 (図2の①) に当たることで発生する単一周波数の騒音で $BPF = NZ/60$ (Hz) の周波数となる。ただし、Nは回転数 (min^{-1})、Zはブレード枚数 (枚) である。このBPF騒音は羽根車外径と舌部までの距離の比でSPLが決まり、仕様によって多少異なるが舌部距離/羽根車外径 $\geq 0.2 \sim 0.3$ であれば、ピーク値は抑えられる。

3.2 騒音低減へのアプローチ

送風機の騒音低減はサイレンサやラギングなど送風機に取り付けるオプション品によるものが市場では一般的だが、当社では送風機内から発する騒音の低減に焦点を当てた。その騒音低減、効率 (全圧効率) 改善を狙った研究として、送風機内部の流れの可視化と流体解析を行っているが、これは騒音の主因である乱流 (渦) に焦点を当て、その低減を狙っている為で、最初に簡単な構造モデルの解析結果と可視化実験の結果を比較し解析の精度検証を行った。この検証をもって、解析上の試作モデルの流れ解析・渦度解析の精度を確保している。

図2に可視化実験風景を示す。可視化は透明塩ビ板で製作したケーシングと側板のみ透明塩ビで製作した羽根車を組込んだ透明送風機を製作し、フォグマシンから放出される煙を吸引させる。可

視化したい領域にレーザーシート光を当て、高速度カメラ (フレーム速度 10,000 fps、シャッター速度 1/50,000 s 程度) で撮影する。(図2, 3)

遠心式送風機の内部流れは、吸込口から吸引された空気が羽根車の中心部から外径方向へ回転しながら流れ、ケーシング内を回り吐出口から放出される。渦等の発生により騒音源となるポイントを ① 舌部近傍の流れ、② 羽根車内部の流れ、③ 吸込口と羽根車側板の隙間部に着目し研究を行った。

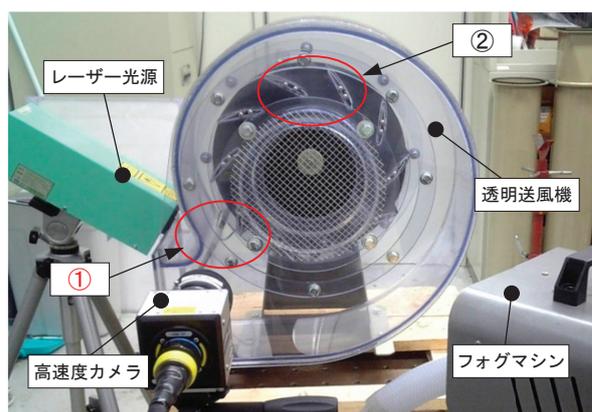


図2 可視化実験風景①

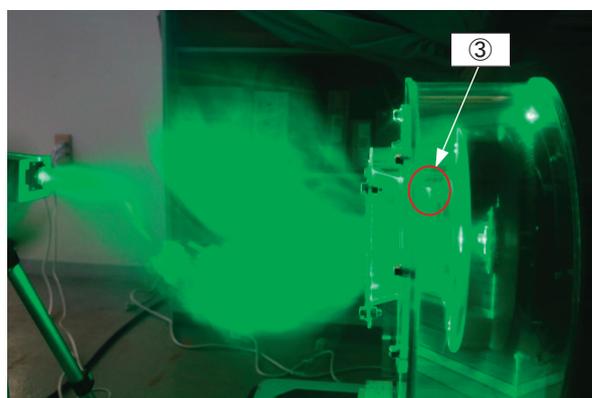


図3 可視化実験風景②

3.3 PIVによる流れ解析

撮影した可視化動画を粒子画像流速測定法 (PIV) により解析し、速度分布、速度変動を捉え騒音発生源と推測される部位を特定する。図4には可視化動画から切り出した静止画を示し、図5にはそれをPIV解析した結果を示す。この解析結果からケーシング内部の実際の風向、風速およびそれらの変化が捉えられ、羽根車ブレード間に発生する死水域 (回転座標で風速 0) の発見や形状を変化させた時の変化が見て取れ、従来の仮想空間

での流体解析では捉えられなかった現象を掴むことができた。



図4 可視化画像 (① 舌部近傍)

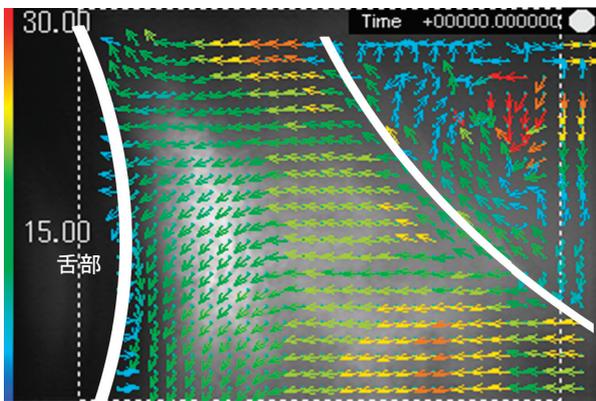


図5 PIV 解析結果 (① 舌部近傍)

3.4 渦度解析

渦度とは流体が持つ回転の強さと向きを表す量であり、騒音低減研究では羽根車形状による騒音低減効果の内、乱流騒音の減少を渦度の比較をもって説明した。渦度 ω は次の式で定義され、その物理的解釈は図6に示す通りである。 ω が大きければ左回転の流れが大きく、小さければ右回転の流れが大きい。

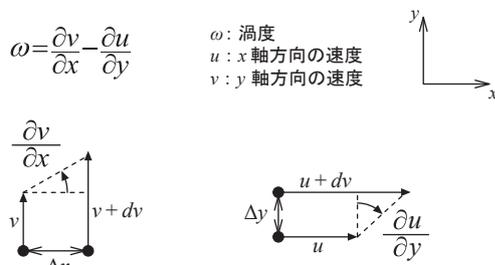


図6 渦度の物理的解釈

PIVによる流れ解析結果を基に渦度を解析し、渦の発生タイミングや位置、強さにより騒音への影響度を評価した。例として図7に羽根車内部流

れの可視化動画から解析した渦度を示す。ここで、赤色は左回転 (ω 大)、青色は右回転 (ω 小) の渦であり、その大きさはコンター図に示す通りである。

3.5 羽根車内部流れの改善

羽根車の内部流れを可視化し、PIV、渦度解析を行うと図7の通りブレード前縁を起点とする左回転の渦と後縁を起点とする右回転の渦が発生していた。これは吸込空気のブレードに対する進入角度(入口角)、ブレードからの吐出角度(出口角)が適切でないことを示しており、トライアンドエラーを重ね図8のブレード形状を採用、渦度は大幅に改善され騒音は最大風量域で約3 dB(A)の低減効果を得られた。

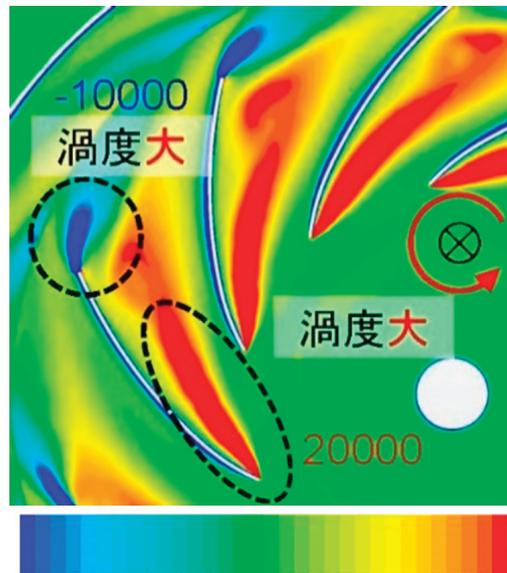


図7 渦度解析画像

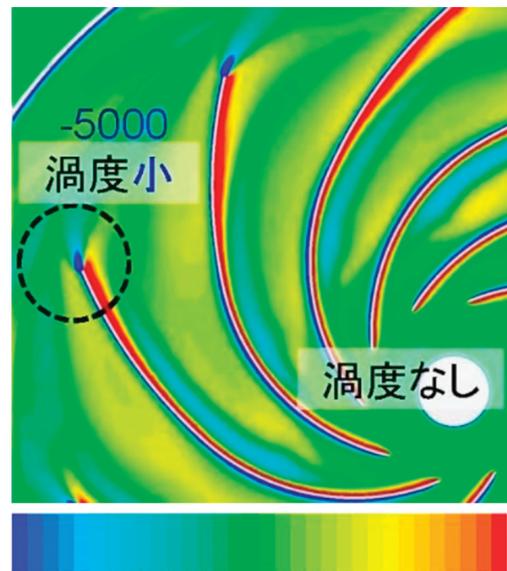


図8 低騒音型羽根車

3.6 吸込口と羽根車側板の隙間部の改善

一般的に吸込口と羽根車側板の隙間部（図9 A部）は、送風機の吸込空気の通過経路で乱流（渦）が発生する最上流部であり、その影響は羽根車の内部流れにも大きく寄与し、従来から送風機で最も効率、騒音への影響が大きい部分の一つとして知られている。また、送風機においては回転体と非回転体とのクリアランスが極小になる部分の一つであり、送風機性能や騒音への影響が大きい。一方で接触による変形や破損等の不具合に繋がる重要な部分である。羽根車や吸込口の製造方法により実現できるクリアランスは変化するが、この研究では機械加工、嵌め合いによる芯出し精度の向上は行わず、プレス部品、ヘラ絞り部品を組立調整して実現できる精度を基準として検討を行った。図9に当社の代表的なターボ型送風機の半断面図を示し、その詳細図を図10に示す。この隙間部は吸込口から羽根車に吸引される主流（負圧）と羽根車から吐き出された空気が羽根車側板の上

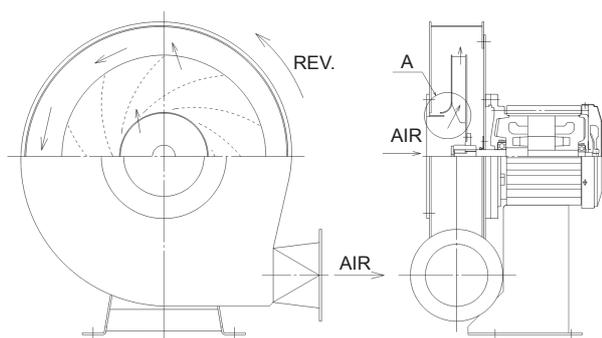


図9 ターボ型送風機の半断面図

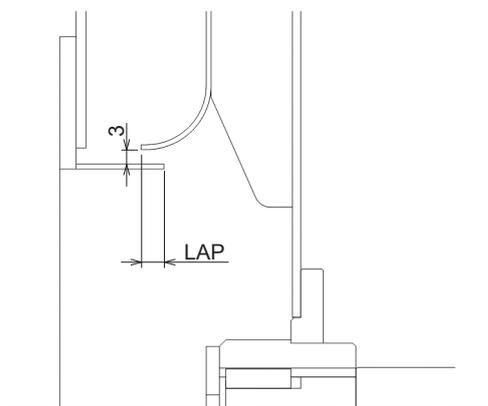


図10 A部詳細図

面とケーシングの間を通り、再び主流側に戻る再流入流（陽圧）とが交わり、乱流（渦）を起こす部分で再流入流の流量とその方向が乱流（渦）の大きさを決定している。この再流入流の低減を狙い複数の形状について解析や実機試験を実施したが、ここでは径方向隙間を3mmとし軸方向の重なり（LAP：マイナスは隙間がある状態）と騒音の関係を示す。図11では縦軸に吸込口中心線上1mの位置での騒音を横軸にLAP寸法を示し、吸込ダンパーの開度（Damper opening rate）は吸込風量のおおよその大きさを示すが、大風領域（0.5～1.0）ではLAP寸法が騒音に与える影響が大きく、次いで風量0、低風領域（0.1～0.4）と影響は小さくなるが、すべてLAP寸法が0.6mmから騒音が収束し最低騒音を取った。

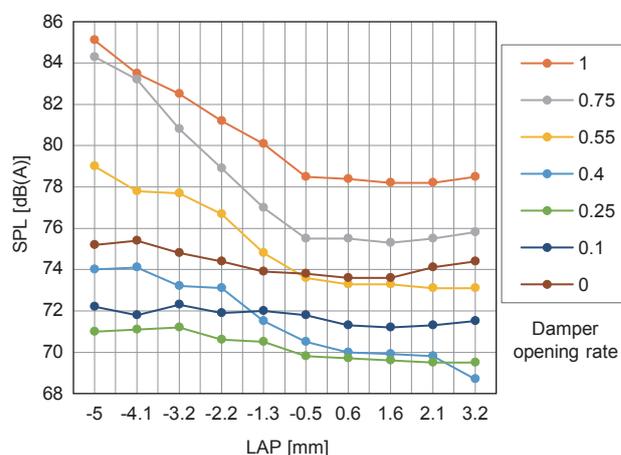


図11 LAPとSPLの関係

4. まとめ

一般産業機器はQ（品質）、C（価格）、D（納期）のバランスを取ることが必要となるが、要求される仕様により置くべき力点も変化する。当社では手の平に載るサイズの電動送風機から、人の背をはるかに超えるブローまで生産し特注品の割合も8割を超えるが、本稿で述べた研究はほとんどの送風機に適用できる。これは近年、高速度カメラの性能が大きく向上したことが流れの可視化技術を高め、知見のなかった非定常的な流れを掴めたことが当社の高効率送風機の開発、設計の基盤技術の一つとなった。