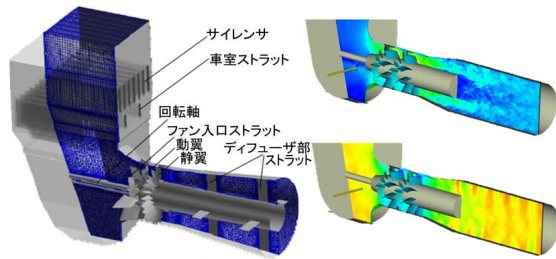


製品の静粛化設計を実現する 大規模数値解析による流体音解析技術

Large Scale Computational Aeroacoustic Analysis for Low Noise Design



林 健太郎*¹
Kentaro Hayashi

工藤 敏文*¹
Toshifumi Kudo

発電プラントにおいて騒音設計は環境規制の観点から重要な項目の一つである。プラントの中で主な騒音源となる機器は流体機器であり、流力発生音の予測、低減が重要となる。流力発生音の予測には精密な流動解析と音波の伝搬解析が必要である。当社では大規模流体解析技術として近年急速に発展している格子ボルツマン法 (Lattice Boltzmann Method: LBM) を適用した流体音解析技術を開発している。本解析技術による軸流ファンの騒音予測精度を検証することで、製品の静粛化設計の実現を推進している。

1. はじめに

発電プラントにおいて騒音設計は環境規制の観点から重要な項目の一つである。プラントの中で主な騒音源となる機器はタービン、ポンプ、ファンなどの流体機器であり、これらの製品の流力発生音の予測、低減がプラント全体の騒音設計に重要となる。一方、流力発生音予測は音源となる乱れを再現する精密な流動解析と、発生音波の伝搬解析が必要となり、非常に大規模な解析を必要とする。そこで、当社では大規模流体解析技術として近年急速に発展している格子ボルツマン法 (Lattice Boltzmann Method: LBM) を適用した流体音解析技術を開発している。本稿では予測の一例として発電プラント向け軸流ファンの騒音予測精度検証結果と今後の展望について述べる。

2. 格子ボルツマン法による大規模流体音解析技術

タービン、ポンプ、ファンなどの流体機器の流力発生音の解析は、機器により発生する流体の乱れから音波の発生、伝搬を精度よく解析する必要がある。このため、解析には空間、時間に関して高精度で音波の伝搬を精度よく解析できる必要がある。近年発展している格子ボルツマン法 (Lattice Boltzmann Method: LBM) は、従来の手法と比較し大規模解析の解析効率が非常によいこと、数値粘性が非常に小さく、音波の伝搬を精度よく解析できることから、大規模な流体音解析技術として有用であると考え、各種製品の流体音予測に適用している。

格子ボルツマン法は、格子気体モデルと呼ばれる流体を有限個の速度を持つ多数の仮想粒子の集合体で近似し、各粒子の衝突と並進を粒子の速度分布関数を用いて計算し、その速度分布関数から巨視的流れ場(流速、圧力など)を求める数値計算法である。基礎式である格子ボルツマン方程式は次式で表される。

$$f_i(x + \Delta x, t + \Delta t) = f_i(x, t) - \frac{\Delta t}{\tau} [f_i(x, t) - f_i^{eq}(x, y)]$$

f_i は速度分布関数、 τ は緩和速度、 f_i^{eq} は局所平衡分布関数と呼ばれる。これにより、粒子の衝突、並進を計算することで、流れ場を計算することができる。

*1 総合研究所振動研究部 主席研究員 博士(工学)

本稿の解析には EXA 社の PowerFLOW ver.5.0c を用いた⁽¹⁾。ここでは衝突項のモデルとして一般的な BGK モデルを用いている。また、乱流モデルは VLES モデルを用いている。格子気体モデルとして図1(a)に示す空間3次元の 19 速度モデル(D3Q19 model)を用いており、図1(b)に示すような直交格子で解析を行う。格子ボルツマン法は直交格子で解析空間を形成するため格子生成が容易であるメリットがある。物体壁は格子ボルツマン法で一般的に用いられる Bounced back 条件を用いており、格子点と壁の位置を用いて速度分布関数を求める。

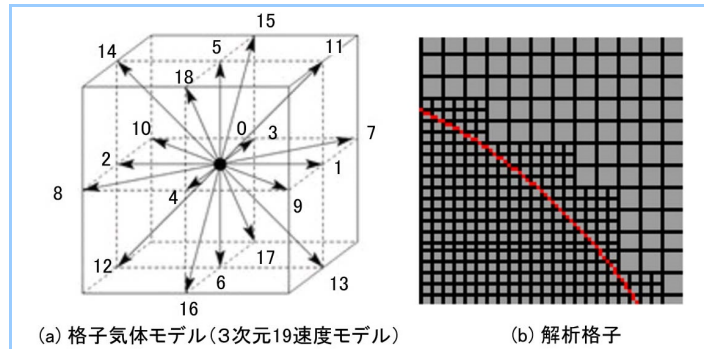


図1 格子気体モデルと解析格子

3. 軸流ファンダクト内騒音予測

軸流ファンは発電プラント内で騒音を発生する流体機器の一つである。軸流ファンでは翼回転騒音やストラットなどとの干渉音で騒音が発生すると考えられる。適切な騒音対策のためには発生騒音を精度よく予測し、サイレンサなどの静粛化設計を適切に行う必要がある。そこで本解析技術を適用し、軸流ファンダクト内の騒音予測を行い、実機計測結果と比較することで解析の妥当性検証を行った。

解析を行った軸流ファンは2段の動翼・静翼を持つ形式のファンである。軸流ファンでは上流乱れや後流渦放出に起因する広帯域騒音と、動翼回転騒音や動翼と静翼などの干渉騒音による離散周波数騒音が発生する。ファンの離散周波数騒音は動翼回転数と羽枚数で発生する翼通過周波数(Blade Passing Frequency)に発生する。広帯域騒音の予測には細かな渦などの変動を捉える必要がある。離散周波数騒音の予測には動翼で発生する圧力場と物体の干渉を正確に模擬する必要がある。このため、動翼、静翼近傍はより高精度に解析するため格子間隔を密にしている。

図2に解析空間、図3に解析格子を示す。軸流ファン上流、下流の試験ダクトを模擬した空間を再現し、解析を行った。表1にファンの運転条件、表2に解析条件を示す。

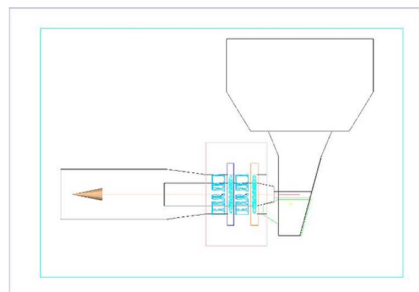


図2 解析空間

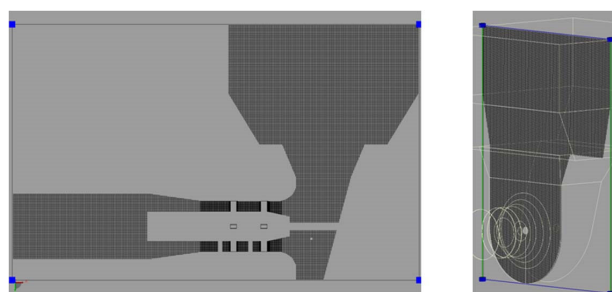


図3 解析格子

表1 運転条件

項目	条件
全圧	100.7 kPa
温度	293 K
動翼回転数	1765 rpm

表2 解析条件

項目	条件
解析時間	10s
時間刻み	13.26 μ s / timestep
レイノルズ数	1.78 $\times 10^7$
格子サイズ	Min 10mm, Max 20mm

解析により得られた流れ場を図4, 5に示す。図はある瞬間の速度, 圧力の分布である。図4の速度分布より翼から放出される複雑な渦構造がみられる。これらの複雑な渦が広帯域騒音を発生する要因であると考えられる。また, 図5の圧力分布より音波が規則的に上流下流へ伝搬する様子が見られている。これより, ファン近傍及びファン後流の流れの乱れで音波が発生し伝搬していることがわかる。

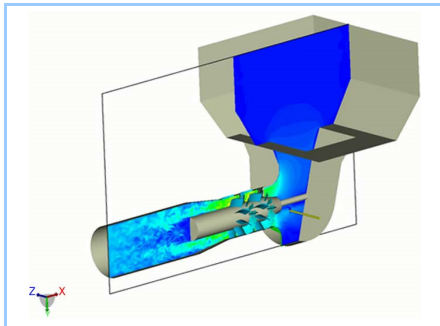


図4 軸流ファンの流れ場(速度分布)

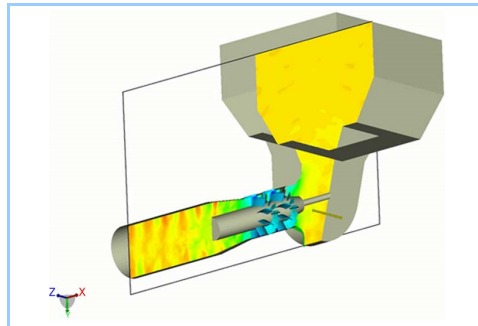


図5 軸流ファンの流れ場(圧力分布)

騒音予測の妥当性検証のため, 図6のA~Dの4断面における平均OA値, スペクトルを求め, 実機計測結果と比較した。図7にOA値, 図8に各点の1/3オクターブバンドスペクトルを示す。図7に示すように, 実測と比較しダクト内各部で3dB以内の精度で予測できていることがわかる。図8のスペクトルの500Hz, 1kHzバンドに見られるピークは, 翼通過周波数の1次, 2次であり, 動翼回転音や動翼と静翼の干渉騒音に起因する周波数成分である。スペクトル形状もよく一致しており, ダクト内の音場を再現できていると考える。これにより, 上流下流に設置するサイレンサ入口の騒音スペクトルを精度よく予測でき, 静粛化設計を適切に行うことが可能となった。

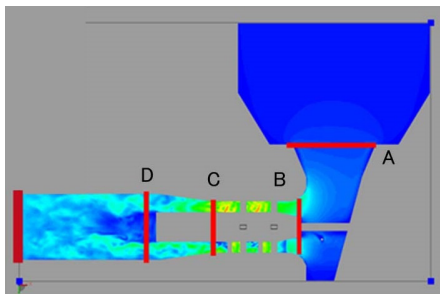


図6 評価点断面位置

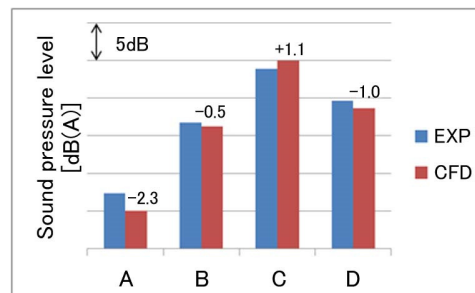


図7 騒音OA値の比較

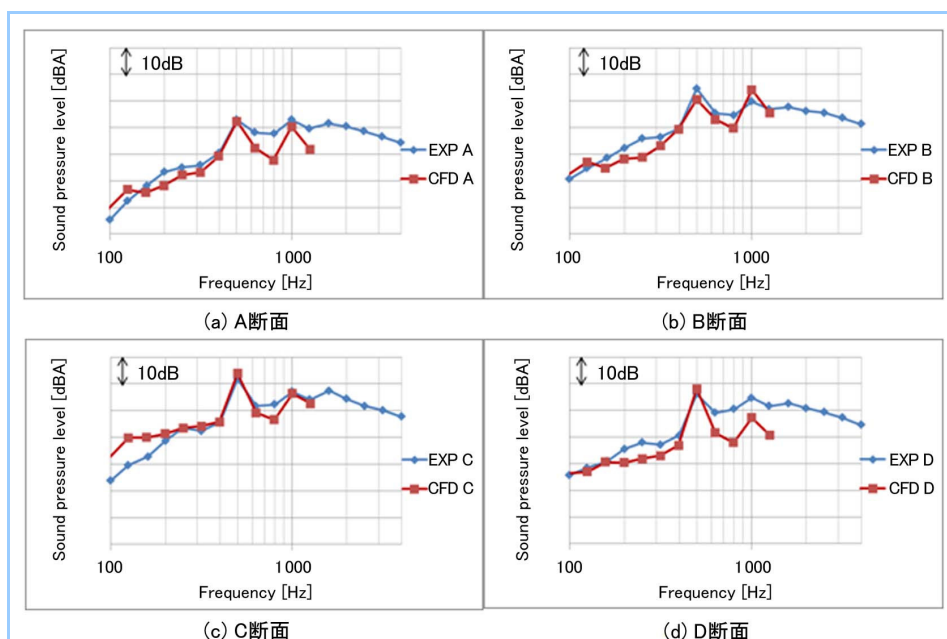


図8 各評価断面の騒音スペクトル

4. まとめ

当社は、製品の環境性向上のため、各種機器の静粛化に取り組んでいる。本稿では、流体機器の静粛化設計を実現する大規模解析による流体音解析技術について紹介した。本解析技術は流力発生音とその伝搬を精度よく予測が可能であり、低騒音対策の検討に有用である。本稿では一例として軸流ファンにおける予測精度検証結果を示した。今後、本技術を当社製品へ広く展開し、各機器に適切な対策を検討することで、各製品の低騒音化へ貢献していく。

参考文献

- (1) Kotapati, R. et al., The Lattice-Boltzmann-VLES Method for Automotive Fluid Dynamics Simulation, a Review, SAE Technical Paper 2009-26-0057, 2009