

「流体騒音の予測と低減」

加藤 千幸 (東京大学生産技術研究所 助教授)

(スライド1:講演内容)

私は音の研究をやっています。今日は、簡単にそれをご紹介をしたいと思います。もし途中でわかりにならないことがあったら、是非その場でご質問下さい。

それではこれから、まず研究の背景をご説明し、次にどうやって音を計算するのかということの説明致します。そのあといま何ができるのか?できそうなのかということの説明し、最後に、こういう分野が今後どういう展開をしていくのかということに関し、われわれがやっていることを若干ご紹介致します。

(スライド2:流体騒音とは)

流体騒音というのは聞き慣れない言葉だと思いますが、流体騒音というのは一言でいうと、空気の流れから出る音です。例えばこの会場でも、前方にあるビデオ機器がいろいろ音を出していますが、これらはだいたいファンのまわりの空気の流れが出ている音です。また、空港に行ったときにキーンと非常に高い音がしますジェットエンジンの音とか、新幹線のパンタグラフや自動車のドアミラーから出る音も流体騒音の一種です。それから、先程申し上げたように、電子機器の冷却用のファンやエアコンの室内・室外機から出る音も流体騒音の代表例です。

それでは、なぜ空気の流れから音が出るのか、という話

に移りたいと思います。例えば、スピーカーから音が出ますが、スピーカーから音が出る理由は、スピーカーの表面が振動して、その周りの空気に振動を伝えているからです。空気の振動、つまり与えられた加速運動が音であり、これがどこまででも遠くへ伝わるといことです。さて、空気の流れの中には種々の大きさの渦があり、これらは常に変動(変形)しています。渦が変形すると、スピーカーと同じように周りの空気を加速あるいは減速するわけです。このようにして発生した空気の微小な振動が流体騒音です。

我々の研究では、ファンやパンタグラフのように流れの中にある物体から発生する流体騒音を対象にしています。流れの中に円柱のような物体がありますとその後ろにはカルマン渦という渦が出ます。そうすると、その渦の一つ一つはさっき申し上げたように変形しますので、それが変形した時に周りの空気を加速あるいは減速してそこから音が出ます。さらに、物体(この場合は円柱ですが)はまわりの流れから、変動する力(流体力)を受けます。円柱が流体から力を受けるといことは、作用反作用の法則から、円柱は流体に力をかけているのです。流体に力かけるといってもただ単に1方向の力ですと、それは周りの流体の運動を速くするか遅くするだけですが、後ろに渦があって、

流体騒音の予測と低減

人間・社会大部門 加藤千幸

- 研究の必要性(社会的背景)
- 流体騒音の解析方法
- 適用事例
- 今後の課題と展望

スライド1

流体騒音とは?

- 空気の流れ(乱れ)から発生する騒音
 - ジェット機の騒音
 - 新幹線のパンタグラフ騒音
 - 自動車のドアミラーの風切り音
 - ファン騒音
- 流速の増加に伴い急速に大きくなる

スライド2

プラスとマイナスの力を交互にかけられると、当然プラス側とマイナス側の加速度が与えられて、その振動が音となって伝えられるわけです。以上説明致しましたように、流れの中に物体があるとか、乱れ（変形する渦）があれば必ずそこから音が出るということになります。

(スライド3：流体騒音の性質)

次に流体騒音の性質（特徴）をご説明します。このスライドは、新幹線から発生する騒音を模式的に示したものです。いわゆる転動音とか振動音とかいうものは、回転数とか車速の約2.5乗に比例して増大します。ところが流体から出る音は、流速即ち、車速の6乗から9乗に比例して増大します。ですから流速が速くなると急激に音が大きくなるという性質があります。

若干お時間をいただいて、なぜ流速の増加に伴いこんなに高い指数に比例して流体騒音が大きくなるのかということの説明したいと思います。

まず、先ほど申し上げましたように、音が出るということは空気が加振される力が問題なので、音の大きさは流体力にスケールします。つまり流体力が2倍になれば音の大きさ（音圧変動）も2倍になります。さらに加速度ですから、力の変動の速さにも比例します。

例えば、流速が2倍になると圧力は流速の2乗に比例しますから、圧力は4倍になります。しかも変動の速さは流速に比例しますから、流速が2倍になると力の変動の大きさ×速さは8倍になります。それをパワーで表すと8の2乗倍つまり、2の6乗倍になります。そこで6乗という数字が出てくるわけです。

例えば流速が2倍になると流体騒音は $2^6 = 64$ 倍になり、非常に音が大きくなるわけです。これをデシベルで表すと約18 dBも増加してしまうことになります。

このスライドは、先程申し上げましたように、新幹線の騒音を模式的に示しています。東京オリンピックの時に新

幹線が走り始めたときは、アーク音が最大だったと聞いています。つまり、その当時は、電線から電気をとる時にでるパチパチという音が最もうるさかったらしいのです。私はそのころは生まれたばかりなので実際に聞いたわけではないのですが…。その後、アーク音や転動音は年々低減され、最後に残っている音が流体から出る音なんです。流体騒音の中でも、パンタグラフから出る音が新幹線の空力設計では高速化のための最大の課題の一つとなっています。

日本の新幹線は住宅密集地の中も走っています。また、線路のわきには、騒音のバリアがあって、車両の下部から出る音は比較的伝わりにくいのですが、上から出る音というのは、何もバリアがないですから発生する騒音自体を低減する必要があります。もちろん上方にもバリアをつけてもいいのですが、そうすると何も見えなくなるので、トンネルの中を走っているようなことになってしまいます。

先ほど、流速が速くなると流体騒音が急激に増大するというお話を致しました。そこで、種々の騒音の大きさを車速に対してプロットすると、流体騒音と転動音や振動音とがクロスする点があります。日本の場合、この点は時速200 kmから210 kmあたりです。現在の新幹線は最高時速300 kmで走っていますから、明らかに流体騒音が支配的となっています。

日本には線路の中心から25 m離れたところで75 dB（ホーン）を超えてはいけないという環境基準があり、騒音のピーク値をこの値以下に抑える必要があります。今は時速300 kmでなんとか基準をクリアしていますが、これから仮に時速360 kmの新幹線をつくらうとすると、最低でも6 dBぐらい音を下げないといけないということになります。6 dB下げるということは、音のパワーを約4分の1にするということですから、ものすごく大変なことです。そのような背景があってこういう研究を進めているわけです。

(スライド4：低騒音化ニーズが高い機器)

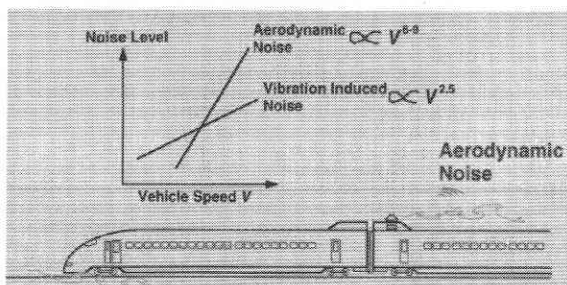
それ以外に、低騒音化に対するニーズが高いものとして、このスライドに示しましたような機器が挙げられます。

まずコンピュータですが、こういう小さなコンピュータもそうですが、大きなコンピュータというのは、トースターみたいなものでして、一つのチップが300 Wとか500 Wの発熱をしますから、それを冷やすためにはファンをどんどん速く回す必要があります。つまり、熱を冷やす（除去する）ためには空気を一杯送らないといけません。空気を一杯送るといことは流速が速くなるということで騒音も大きくなります。

エアコンとか換気扇のファン、こういうものも低騒音化のニーズが非常に高い代表例です。この理由と致しましては、高速回転化による小型化ということもありますが、む

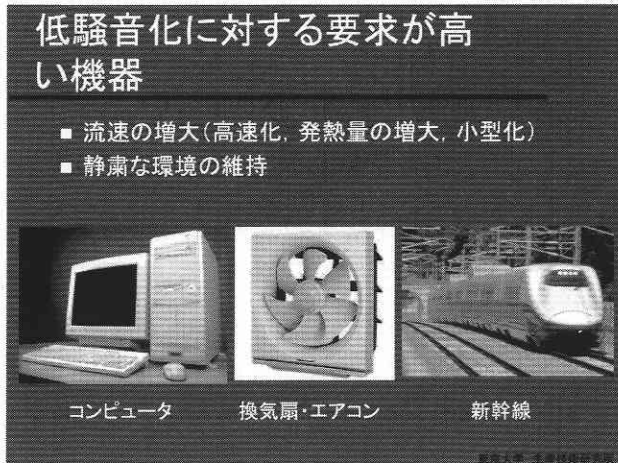
流速と騒音との関係

■ 流速が2倍→騒音は64倍(18dB増大)



東京大学 生産技術研究所

スライド3



スライド 4

しろユーザの皆さまがより静粛な環境を要求しているという背景の方が主要因となっています。

私は約3年前まで日立製作所の機械研究所というところで研究をしておりました。そこでは、エアコンの音の研究も行われていたのですが、エアコンの音というのは、3年とか5年で5dBぐらいつつ下がっているのです。ですから今のエアコンはものすごく静かになっています。例えば10年前のエアコンと比べると、恐らく5dBとか10dBぐらい静かになっています。たまたま昔のエアコンがついている部屋に行くと、うるさくてテレビも聞こえないということがよくあります。つまり、より静粛な環境の中で仕事をしたい、生活したいという要求がそれらの機器の静音化をドライブしているということです。

(スライド5：流体騒音の低減方法)

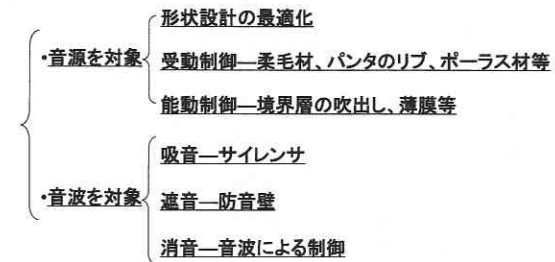
騒音の低減方法にはいろいろあるのですが、大きく分けると二つに分けられます。一つは、音源そのものを何とかしようという方法であり、もう一方は、出た音を何とかしようという方法です。

出た音を何とかしようというのは、例えば音を吸音してしまう(サイレンサー)、音がこないようにする(防音壁)、スピーカーとかを使って逆の位相の音波を出して消してしまうといった方法があります。

この研究で狙っているのは音源そのものを低減するということでして、特に設計の段階で、いわゆる空力設計とか性能設計と並行して、音も考えた設計をやろうということです。

音源を低減する方法にも、アクティブに制御する方法とパッシブに制御する方法がありますが、当面は後者を考えています。将来的にはアクティブ制御もやりたいと思っていますが、コスト的な問題とかいろいろあり、まずはより現実的なパッシブな制御を考えています。

流体騒音の低減方法



何れの方法も、騒音の発生機構の解明が必須

東京大学 生産技術研究所

スライド 5

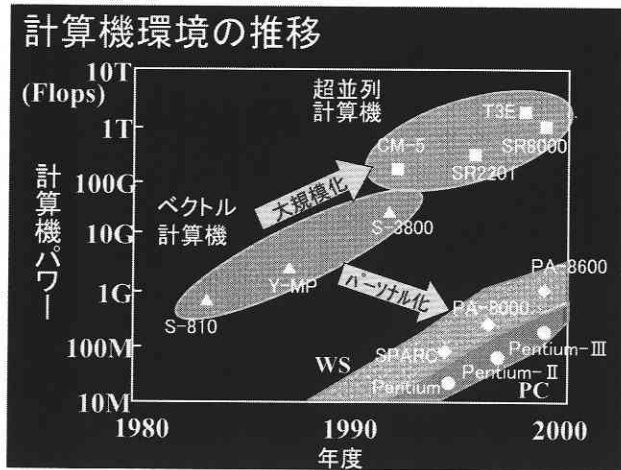
低騒音化の際重要なものとしてメンテナンスの問題があります。例えばエアコンの室外機などを見るとわかりますが、雨なんかいくらでも入ってくるような状態で使っているので、下手なものをつけると、音は下がっても、1年ぐらい使うとすぐ壊れて使えなくなるということになってしまいます。それでは機器として成り立たないので、比較的メンテナンスが楽な、パッシブな制御、あるいは形状の最適化で何とか音を下げようということを狙っています。

さて、なぜ音が出るかというのは、原理的にはさつき申し上げたように渦が変形するとか力が変動することが原因であることではわかっているのですが、具体的にそこにファンがあるとして、このファンからどういうメカニズムで音が出ていて、その音を下げするにはどうしたらいいかということになると、現状ではそこまではわかっていません。ですから、実際にファンを作ってみてから、音が出るからなんとかせいということがよく起ります。例えばコンピュータの熱屋さんが500Wの熱をとるからといってファンや流路の設計をするわけです。製品を全部つくって、最後の最後になって、音が5dB高くてこれじゃお客さんのところに出せないから何とかしろということが起こるわけです。全部ができ上がってから騒音を何とかしろと言われてもなかなか下げようがありません。そういう困難を克服するために、まず騒音の発生機構を解明し、その知見をもって、形状の最適化、音の制御をやっというのがこの研究の目的です。

(スライド6：計算機性能の推移)

もう一つの背景には、計算によって音を予測するということが可能になりつつあるということがあります。

このスライドは、ここ20年間にコンピュータがどのくらい速くなっているかということを示したものです。私が会社に入ったのは今から約15年前ですが、その当時は日



スライド6

立の S-810 というスーパーコンピュータを使っています。値段は数億円程度でしたが、ピーク性能は 1 GFlops 足らずでした。ところが今その辺にあるパソコンを見ると、ピーク性能が数 GFlops の計算機が 10 万円では買えないにしても 50 万円出せばおつりがくるという時代です。つまり計算コストが非常に安くなっているということです。別な言い方をすると、同じお金をかければ、ものすごい計算ができるということになります。1985 年には 1 GFlops ぐらいの性能しか使えなかったのが、最新鋭の計算機のピーク性能は数 10 T Flops に達しています。つまり、この 15 年位の間、計算機のピーク性能は 1 万倍というオーダーになっていますから、昔は考えられなかったような計算も今では可能になっているということです。

(スライド7：本研究の目標)

そういうもろもろの背景を受けて、この研究は本スライドに示しました3つの目標をもっています。第一のステップは、何とか音を計算することを可能にしようということ

本研究が目指しているところ

- 流体騒音の数値的予測技術の開発
- 流体騒音の発生メカニズムの解明
- 騒音制御・低減方法の開発

東京大学 生産技術研究所

スライド7

です。次のステップは、それを使って、どうして音が出ているかということ、いろいろな局面で解明し、それを一般化して設計基準としてまとめていくということです。そして最後に、何とか自分たちで音を下げる、あるいは制御する方法を開発したいというのがオーバーオールの研究目標です。

(スライド8：流体騒音の予測手法-1)

次は、音をどうやって計算するのかという話をします。まず、さっき申し上げたように、流体騒音は遠くまで伝わる空気の振動です。空気の流れ、あるいはすべての流れは、Navier-Stokes 方程式という方程式に支配されます。これは、丁度電磁気学のマクスウェル方程式みたいなものであって、空気の乱れだろうが音だろうがすべての変動を表しています。ですから、この方程式を力づくに（勿論、数値的に）解けば音を求めることができます。これが流体音の直接計算と呼ばれる方法です。

騒音予測手法の分類

方法	概要	特徴
流体音の直接計算	圧縮性流体の基礎方程式から流体音を直接計算	最も厳密・汎用性最大 膨大な計算量
非定常流体解析に基づくもの	非定常流れ解析により音源(流れの変動を計算し、音は波動方程式から計算)	音から流れへのフィードバックは無視 音源の解明が可能
流速分布などと騒音をマクロに関連付けるもの	内部流れや翼負荷分布などと発生騒音との関係から騒音を予測付けるもの	現状では最も多用

東京大学 生産技術研究所

スライド8

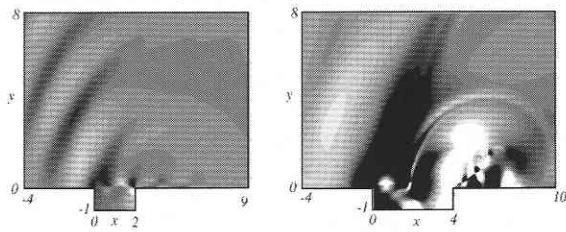
(スライド9：流体音の直接計算例)

実際にその例をご紹介します。これはカリフォルニア工科大学の Tim Colonius という人が行っている計算例です。

どういう流れの音かという、流れの中に窪みがあって、その左側から流れがきて、窪みのところで流れが剥れて(剥離)、また後端にぶつかって、そこから音が出るというものです。この辺に小さく見えているのが渦であり、遠くまで伝わっているのが音波です。これは Open Cavity Flow といってアメリカ、ヨーロッパでは盛んに研究されているものです。実際のアプリケーションは何かというと、これはひっくり返すと戦闘機のウエポン・ベイなんです。戦闘機というのはミサイルなどを積んでいます、そのミサイルを積んでいるところです。戦闘機はマッハ2とかで飛んでいますから、流速が非常に速く、音といっても非常に大きな音がでます。このような音がある条件で共鳴をすると、アコースティック・ファティーグといって音の共鳴で物が

流体音の直接計算例

■ 2次元キャビティー音



Coloums, T., Bass, A. J., and Rowley, C., W.: "Computation of Sound Generation and Flow/Acoustics Instabilities in the Flow Past an Open Cavity", 3rd ASME/JSME Joint Fluids Engineering Conference, 1999

東京大学 生産技術研究所

スライド 9

壊れてしまうことが問題となります。そういうことがあってアメリカやヨーロッパではこの Open Cavity Flow から音が発生するメカニズムとか、それをどうやって低減するかといったことが盛んに研究されています。しかし、われわれが対象としている新幹線とかドアミラーとかファンとか、そういうものから出る音をこれと同じように直接計算できるかという非常に難しいということになります。なぜかという、音を出している流れの中の渦は、非常に小さいものです。例えば、その辺にあるファンから出る音を計算しようとしたら、1 mm とかそれ以下の大きさの渦の運動まで計算しないと行けません。そのような大きさの渦が、数 kHz の音を出しているからです。ところが音場はこれよりはるかに大きなスケールとなります。皆さん良くご存じのように、常温の空気中の音速は秒速 340 m 程度ですから例えば 340 Hz の音の波長は 1 m 程度になります。波長が 1 m という事は、その波長の少なくとも数倍というスケールで音は伝播するわけですから、渦のスケールと比較すると非常に大きな空間の計算が必要となります。例えば、1 mm の渦を解像しようとしたら、その中に 10 個程度のメッシュを入れないといけません。一方、先程の 340 Hz 音に対して、1 波長分の領域を計算しようとしても 1 m の空間を計算しなければなりません。つまり 1 つの方向に 1 万個のメッシュが必要になると言うことです。実際の流れ場や音場は三次元ですから、必要な空間格子点数は $(10^4)^3 = 10^{12}$ という数になってしまいます。いくら計算機が速くなったといっても、一生懸命がんばって 1 千万点ぐらいの計算をやっているのが現状です。つまり 10 の 7 乗です。そうすると 10 の 7 乗と 10 の 12 乗にはまだ 10 の 5 乗の差がありますから、30 年ぐらい寝て待ってればこういうこともできるようになると思いますが、現状でやろうとすると、もうちょっと別なやり方を考えなければなりません。

(スライド 10：流体騒音の予測手法-2)

それでやっているのが次のようなやり方です。

この方法は、流れの渦がもっている 1 mm とかそれ以下のスケールの変動と音の伝播とを分離して計算するというものです。音から流れへのフィードバックとか難しいことを言わなければ、このような方法により発生する騒音を予測することが可能です。

騒音予測手法の分類

方法	概要	特徴
非常流流体解析に基づくもの	非常流流体解析により音源(流れ)の変動を計算し、音は波動方程式から計算	音から流れへのフィードバックは無視 音源の発明が可能
流速分布などと騒音をマクロに関連付けるもの	内部流れや翼負荷分布などと発生騒音との関係から騒音を予測	現状では最も多用

東京大学 生産技術研究所

スライド 10

(スライド 11：流体騒音の分離解法)

どういうことかと言いますと、まず流れの計算をします。そこでは音源となる非定常な渦の運動とか圧力の変動(力の変動)を求めます。そして、次に音の伝播を計算するというものです。

ここには「音響学的類推」と書いてありますが、これは音の伝播を表す波動方程式から音を計算するという方法です。波動方程式というのは、線形であればすぐ解けるわけです。航空機とかになると、流れの速さが音の伝播する速度とコンパラブルになってきます。そうなる一回出た音が自分を出した流れ場に影響するわけです。つまり音から流れへのフィードバックがあるので、(その二つを分離し

流体音解析の基礎方程式

■ 流れ場の解析

- 非定常 Navier-Stokes 計算

■ 音場の解析

- 音響学的類推

東京大学 生産技術研究所

スライド 11

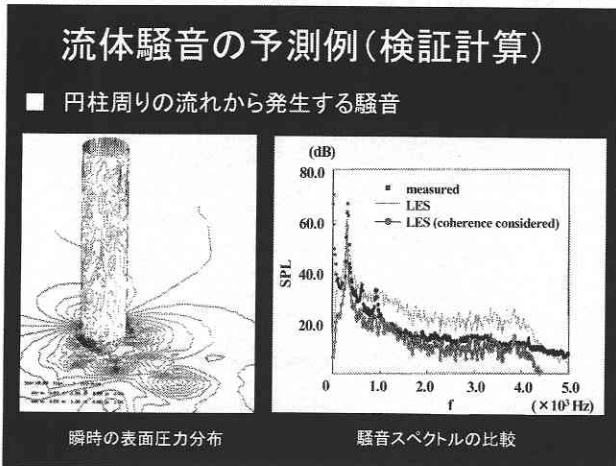
て解析する)このような方法は使えません。しかし新幹線がいくら速いといっても、高々マッハ0.25ぐらいですから、そういう低速の場合にはこういうやり方で音が計算ができるということです。

(スライド12：流体騒音の予測例 [検証計算])

このような方法により音を予測した実例を示しましょう。これは円柱から出る音の計算例で、直径10mmの円柱があって、そこに秒速15m風が吹いている場合に発生する音を予測したものです。左側の図は、円柱の周りの圧力がどんな変動をしているかということを示したもので、この圧力の変動とか力の変動が音源になりますから、それをまず計算して、その後で音を求めます。

赤で書いているのが計算によって求めた音のスペクトル、黒で塗ってあるのが実験で求めたスペクトルで、この場合には4kHz位の音まで両者は良く一致しています。人間の耳には4kHzとか5kHzより高い周波数の音はガクッと聞きづらくなるので、この程度の周波数の音まで予測できていれば実用上は充分ということになります。

では実際にこういう計算でどんなことができるのかという例を、いまから二つご紹介します。



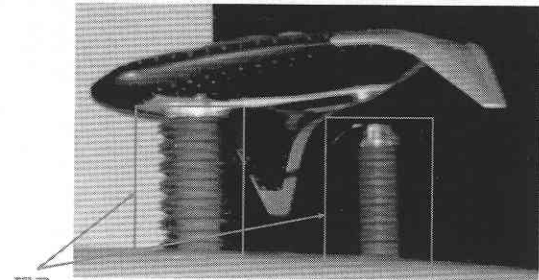
スライド12

(スライド13：低騒音パンタグラフ碍子から発生する流体騒音の解析)

最初の例は新幹線のパンタグラフです。先程も申し上げました通り、パンタグラフの流体騒音の低減は、新幹線の高速度のためには避けては通れない課題です。パンタグラフの中でも、碍子と呼ばれる絶縁部から発生する音を下げることが最も重要です。舟体(ふなたい)と呼ばれる集電部分につきましては、このスライドに示しましたように、例えば翼型にすることによりかなり音を下げられるのですが、碍子は基本的には円柱にひだがついたような構造になっていて、どうしても流れが大きくはく離してしまい、

新幹線用パンタグラフ碍子の流体騒音解析

■パンタグラフの主音源



東京大学 生産技術研究所

スライド13

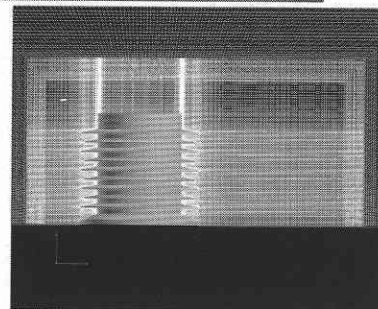
大きな音を発生します。それで、この碍子から発生する音をどのようにして下げるかということがポイントになるわけです。

(スライド14：計算メッシュ)

そこで、碍子周りの流れからどのようにして音が発生しているかを計算によって調べてみようということになったわけです。これは、その時に使用した計算メッシュです。確か格子点数は600万余りだったと思います。消して楽な計算とはいえませんが、大型計算機を使えば1日、2日で計算することが可能です。

計算メッシュ

■Overset Grids (Fine Mesh: 6M Grids)



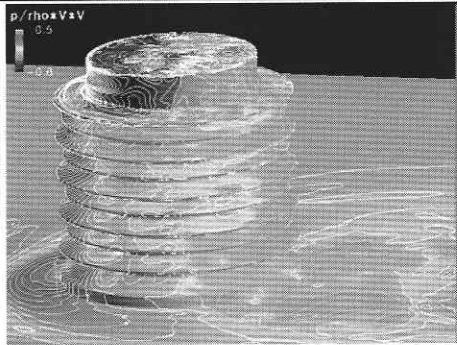
東京大学 生産技術研究所

スライド14

(スライド15：表面の圧力分布)

このスライドは、碍子表面の瞬時の圧力分布を示したものです。碍子のひだにより、空間スケールが非常に小さい変動が生じていることがおわかりになると思います。このような圧力変動から音圧変動を計算することができます。実際に音を計算した例を次に示します。

碍子表面の圧力分布



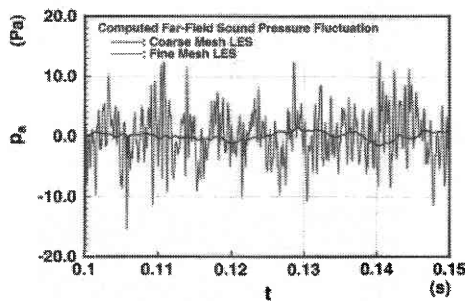
東京大学 生産技術研究所

スライド 15

(スライド 16, 17 : 音圧変動とそのパワースペクトル)

これが計算した音です。横軸は時刻、縦軸は音圧を示したものです。こういう計算では、音源の変動が求まれば、自分が調べようとする任意の点で、どんな音圧の変動になっているかを調べることができます。このスライドでは、碍子の真横で音を計算した結果を示しています。次の図は、

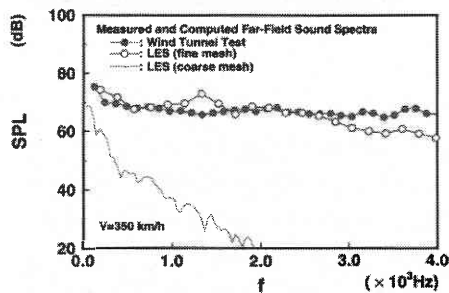
流体騒音の時間変動



東京大学 生産技術研究所

スライド 16

騒音スペクトルの比較



東京大学 生産技術研究所

スライド 17

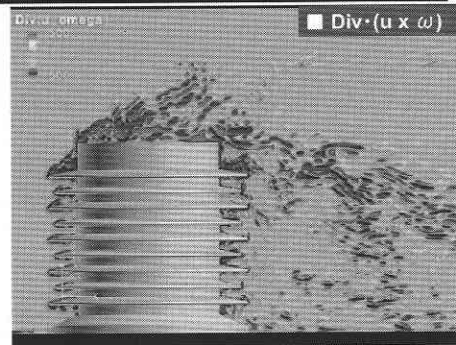
先程の音圧変動のパワースペクトルを計算し、風洞試験で実測したものと比較した結果を示しています。まだ完全に実測値と一致しているわけではないのですが、概ねこういう予測ができるということを始めて示すことができました。

(スライド 18, 19 : 流体音源)

さて、以上のように、何とか音の予測ができることを確認したので、次のステップとしては、どうして音がでていのかということ調べてみました。

このスライドがその結果です。この図は流体音源を示しており、色の変化が激しいところから音がでていることを表しています。従って、このような渦を何とかなくすことができれば音は下がるということです。この図を良く見ると、音源となっている渦の間隔が、碍子のひだの間隔と一致しているということがわかりました。そのあと、いろんな流れの情報を調べてみると、碍子の表面に発達した境界層が碍子の後ろで剥れるのですが、その渦が剥れた直後に変形して、大きな音がでているということが判明しました。そこで、境界層がはがれても、直ぐには変形しないような

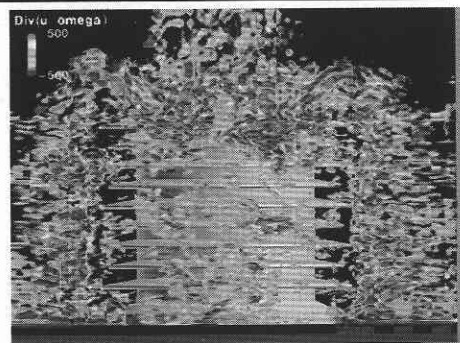
流体音源の変動-1/2



東京大学 生産技術研究所

スライド 18

流体音源の変動-2/2



東京大学 生産技術研究所

スライド 19

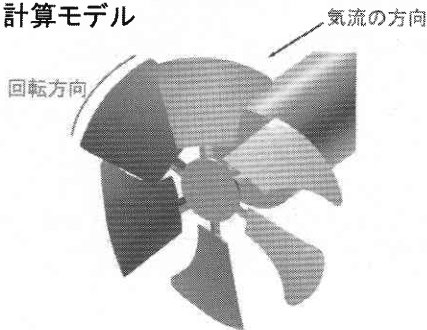
碍子の形状を色々検討した訳です。この結果、碍子から出る音を 3 dB 下げることができることを模型試験により確認しました。3 dB という音のパワーを半減できたこととなります。これが（模型レベルではありませんが）音源を解明して何とか低騒音化に結びつけた一例です。

(スライド 20：建設機械用冷却ファンの音源解析)

次の例は、（現在進めているものですが）建設機械用の冷却ファンの音源解析です。

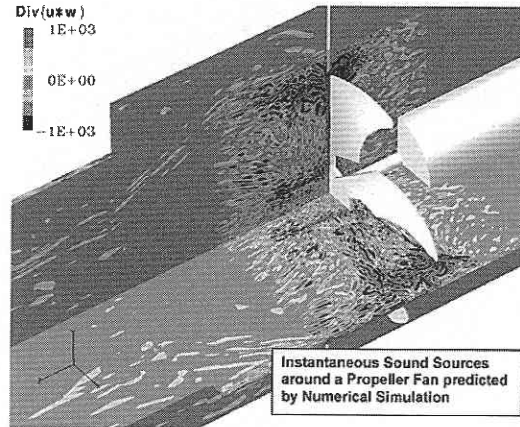
建設機械用冷却ファンの音源解析

■ 計算モデル



スライド 20

東京大学 生産技術研究所



スライド 22

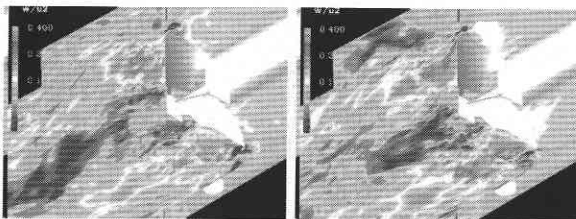
音源となっていることを示しています。この解析により、（詳細な説明は省略致しますが）羽根車周りの音源がどうなっているかだいぶ分かってきました。例えば、流量が小さくなると、羽根車動翼先端の渦が隣りの動翼と干渉して、これが大きな音源になっているということなどが明らかになりました。現在は、そのような新たな知見を基にして、どういうふうファンを設計すれば音が減るかということ建設機械メーカーと共同で研究しています。

(スライド 21：羽根車近傍の流速変動)

まずどんな流れになっているのかを簡単にご紹介します。右側が設計流量の場合で、左側が 85% 流量の場合です。この図で、赤い部分は流れが本来の方向に流れていることを示しており、一方、青い部分は逆向きに流れていることを示しています。流量が小さい場合は中央部の逆流領域が拡大しています。

羽根車周りの流速変動

■ 軸流速度



85%流量

100%流量

スライド 21

東京大学 生産技術研究所

(スライド 22：羽根車周りの流体音源)

これはさっきと同じように、赤いところと青いところが

(スライド 23：今後の展開)

さて、最後にこれからの課題について少しお話をしたいと思います。

これからの課題は二つあって、一つは、もっと小さな渦から出る音まで予測できるようにすることです。比較的大きなスケール、例えばカルマン渦みたいな大きな渦から出る音は何とか予測できるようになりましたが、音のなかには非常に小さな渦から出る音もあって、それも何とか求めたいと思っています。それを求めるためには、より小さなスケールの渦の変形をきちっと解かないといけません。もう

これからの展開

- より小さい渦が発生する騒音の解析
 - 翼後縁から発生する騒音
 - 流れ解析の高精度化
- 騒音源の制御と騒音の低減

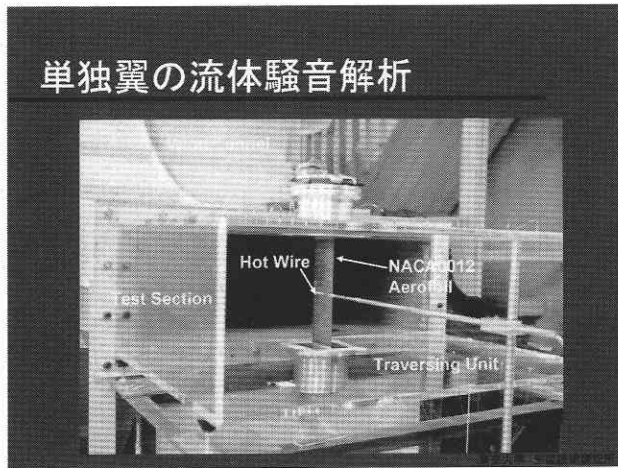
スライド 23

東京大学 生産技術研究所

一つは、何とか音を制御して低減しようということで、それがわれわれが究極的に狙っているところです。これからその辺の話をちょっとだけします。

(スライド24：翼周りの流れの研究)

まず、最初の話ですが、現在我々のところでは、非常にシンプルな翼型を対象に計算と実験を進めています。実は翼型の方が非常に小さな渦ができるので、この解析は大変難しいものなのです。実験をやっている目的は、詳細な検証用のデータを取得することでして、翼の後ろの流れや表面の圧力変動などを詳細に計測しています。

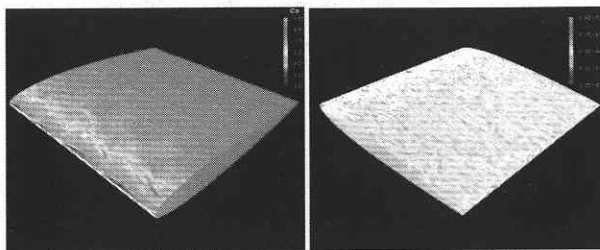


スライド24

(スライド25：翼周りの流れの計算結果)

ここに見えているのは非常に小さな渦です。まだ音の計算をやっていないのですが、どこまで小さな渦の変動を計算できるかを調べている段階です。まだ充分ではないのですが、徐々に満足いく結果が得られつつあり、引き続き計算手法の改良などを進めています。

翼表面の流れ構造



圧力分布

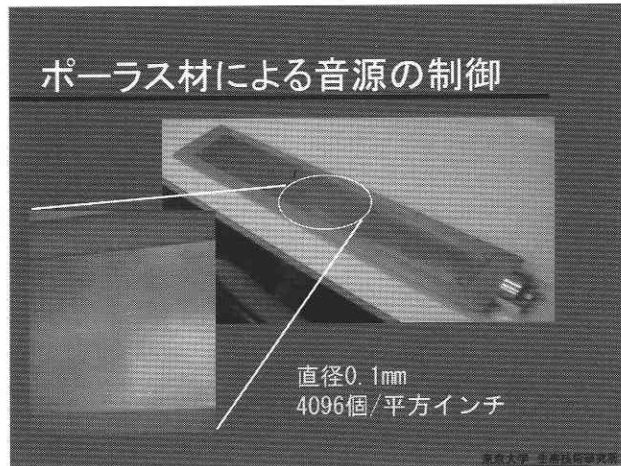
渦度分布

東京大学 生産技術研究所

スライド25

(スライド26)：ポラス材による音源の制御

最後に、音源制御に関する研究の一例として、共同研究を行っている工学院大学の飯田先生のご研究を紹介させていただきます。この研究の目的は音源を何とか制御して音を減らすということです。例えばこれは翼の表面にスクリーンを入れたり、パンチングメタルとかを入れて空力的・音響的に騒音を減らすことを狙ったものです。



スライド26

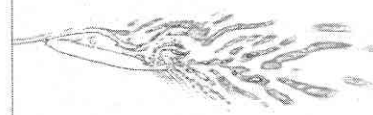
(スライド27：音源の予測結果)

これが最後のスライドです。表面加工をした場合としない場合とで、音源がどのように変わるかを予測したものです。この計算のように、音源を制御しない場合にどういった音源があり、どういった制御をすればどういったふうにな音源が低減し、その結果どこまで音が低減できるかという予測が可能になれば、騒音の低減に新しい光(道)が見えてくるのではないかと考えております。ご静聴どうもありがとうございました。

(了)

音源項の比較 $div(\omega \times u)$

表面制御無し



表面制御有り



東京大学 生産技術研究所

スライド27