



…平成13年度助成研究より…

音響放射パワーモードと スマートセンシングに関する研究

東京都立科学技術大学 工学部
教授 工学博士

田 中 信 雄

筆者は、現在在籍する東京都立科学技術大学に出向する3年前まで、つくば市にある通商産業省工業技術院機械技術研究所に20年ほど勤務し、その間に、工作機械、鍛造機械、パンチプレスなどの大振動・大騒音を発生する産業用機械から、半導体製造機械やトンネル顕微鏡など、小さな音ですら大問題となる微振動に至るまで、多岐にわたる振動騒音制御問題に携わってきた。それなりの自らの研究歴を通して学んだことは、全ての解が自然界にあり、またそれは実験を通じて得られるということである。決して、計算機によるシミュレーションからは得ることができない。例えば、今般の研究課題がそうである。筆者は、対象となる構造物の振動レベルが大きく下がっているのにも拘らず、音は一向に下がらず、逆に、振動レベルが増大して初めて音が小さくなるという不思議な現象に屢遭遇した。筆者の無知と言えればそれまでであるが、振動レベルさえ下げれば当然音も下がると信じて疑わなかった頃の自分にとっては、いとも奇妙な現象であり、また興味深い現象であった。

そこで、筆者は振動放射音の発生メカニズムの基本に立ち返り、振動モードの中には、音同士の干渉により、音を出しやすい悪玉モードと、逆に音の放射を抑える善玉モードの2種類が存在することを突き止めた。したがって、ある振動制御を講ずることで善玉モードを抑制してしまうと、これまで音の抑制に寄与していたモードが断切られ、振動レベルは下がっても音は逆に増大する結果となる。そこで、次に悪玉モー

ドのみを分別し、これを束ねることで「音響放射パワーモード」なる新因子を見出した。この「音響放射パワーモード」は悪玉モードのみを束ねたモードであるので、これをセンシングして抑制できれば音は必ず抑制される。これについて、数年前 Journal of Acoustical Society of America に論文を発表した。人生とは面白いもので、このジャーナルにはサザンプトン大学（英国）のエリオット教授らが全く同じ因子について発表しており、彼らはこれを放射モードと呼んだ。エリオット教授はアクティブ・ノイズ・コントロールの世界では知らぬ人がいないほどの著名な研究者であり、彼らとは国際会議ではよく顔を会わすが、このパワーモードに関する話は一切したことがなかった。にも関わらず、全く同じ思想が、地球の裏側に住んでいる者たちにより、全く同じ時期に全く同じジャーナルに発表されるとは実に奇妙である。

さて、音響放射パワーモードの存在は見い出した。つぎはこのセンシングである。例え振動場と音場を有機的にリンクする新因子が判ったとしても、これをセンシングできなくては何の意味もない。この音響放射パワーモードは、図に示すように実に複雑な姿態をしている。そのセンシングに当り、エリオット教授らは加速度センサーなどのポイントセンサーを基調とするセンシング法を提案した。無論異存ない。理論的には可能である。しかしながら、対象周波数領域に、例えば控えめにみて100個の振動モードが存在すると仮定してみよう。そこで彼ら流に

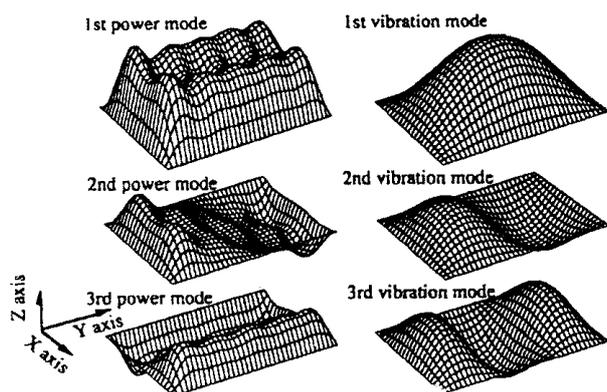


図1 単純支持平板における音響放射パワーモード姿態と振動モード姿態

音響放射パワーモードをセンシングしようとすると、少なくともその数倍のセンサー、すなわち300個程度のポイントセンサーを対象構造物に設置する必要がある。さらにそこで得られたデータに必要な演算を施し、最後は300x300行列の逆行列を実行する必要がある。理論的には可能でも非現実的である。またこれを制御に使用することは、演算処理時間からして適用不能である。これに対して、筆者は分布定数系センサーを基調とするスマートセンサーを開発した。スマートセンサーとは、通常のセンサーに演算処理機能を持たせたセンサーのことを言い、PVDFフィルムをベースにこれを開発した。分布定数系センサーは無限個のポイントセンサーが集積したものと見做せるため、この使用自体に既に空間積分機能を包含している。さらにこれをシェーピングすることにより積和演算機能を付与することができる。このように設計されたスマ

ートセンサーの出力は、制御に必要な信号そのものであるため、それ以降の演算処理は一切必要としない。また、全ての演算処理がアナログで処理されるので演算時間はゼロである。さらに、スマートセンサーを使用すれば僅か数本のセンサーで音響放射パワーモードがセンシングできる。正に、目には目を、歯には歯を、分布定数系構造物には分布定数系センサーである。

音響放射パワーモードをもう少し数学的に言うと、まず、音響パワー空間を、それをスパンする振動モード群で構成し、つぎに座標変換を施し、主軸を見いだす。この主軸に相当するのが音響放射パワーモードである。したがって、音響放射パワーモードの数と振動モードの数とは当然一致する。したがって、音響パワーの最小化を狙い、これまでのような振動モードのサイドからアタックするアプローチと、音響放射パワーモードの側から攻撃するスタンスとは本質的な相違は無い。しかしながら、音響放射パワーモードを基調とするアプローチのメリットは、音響放射パワーモードの内、僅か数個のモードを抑制すれば、音響パワーの99.99%を抑制することができる。なぜならば、音響放射パワーモードは、「悪玉モード」のみを選別してクラスタリングしたものである。これに対して、振動モードよりアタックしようとするならば当然のことながら、全ての振動モードを対象としなければならない、煩雑で膨大な演算処理を必要とする。それ以外に、音響パワーが抑制できる保証もない。

現在の研究段階は、これまで対象とした極めて単純な平板構造物より得られた基本的な知見を基に、一般構造物を対象とするシステムチックな音響放射パワーモード算出の設計手順を開発している。当然、複雑な構造物を対象とするので、もはや解析解を使用することはできず、有限要素法をベースとする手順となる。これと

平行して音響放射パワーモードをセンシングするためのスマートセンサーの開発も進めている。現在は、航空機胴体や新幹線胴体の基本構造となる中空円筒構造体を対象として、その音響放射パワーモードの解明を終えようとしている。静粛な航空機や新幹線などの実現に向けて、現在、学生院生達と共に研究を楽しんでいる。