

音響インテンシティ法の特徴について

1. はじめに

音の評価パラメータとして、スカラー量には音圧(pa)、音響パワー(W)が主なものとして挙げられる。しかし、騒音問題解決のために、騒音源の場所を特定するには、よほど単純な問題では無い限りスカラー量による評価では不十分であり、ベクトル量による評価が必要となる。

音のベクトル量を実験的に特定する手段には、主に次の3つがある。

- 1) 音響インテンシティ法
- 2) 音響ホログラフィ法
- 3) ビームフォーミング法

本稿では1)音響インテンシティ法の特徴について述べる。

2. アクティブ・インテンシティとリアクティブ・インテンシティ

音響インテンシティ \vec{I} は、音圧 $p(t)$ と粒子速度 $\vec{u}(t)$ の積の時間平均として、(1)式で定義される。

$$\vec{I} = \overline{p(t) \cdot \vec{u}(t)} \quad (1)$$

複素領域の音響インテンシティを考える。音圧 $p(t)$ と粒子速度 $\vec{u}(t)$ が同位相である場合、その際の音響インテンシティの時間平均は正の値を持つ。その正の成分は、アクティブ・インテンシティと呼ばれ、音響パワーの流れに寄与する。

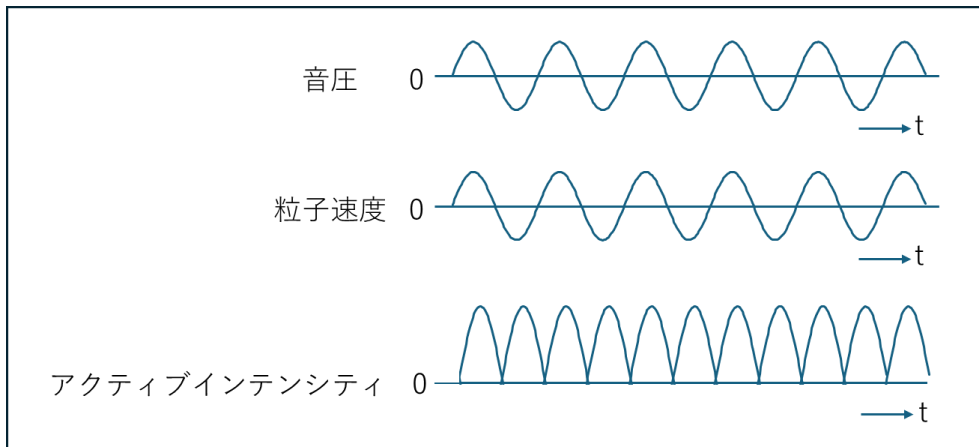


図.1 アクティブ・インテンシティ

音圧 $p(t)$ と粒子速度 $\vec{u}(t)$ の位相差が 90° である場合、音響インテンシティの時間平均は0となり、音響パワーが波動と共に流れず、音場に留まる事となる。

完全な自由音場であれば、アクティブ・インテンシティが支配的となるが、音の反射が多い拡散音場においては、リアクティブ・インテンシティが支配的となる。

音源近傍の近距離音場においては、アクティブ・インテンシティ、リアクティブ・インテンシティの双方が発生するため、上記の特性を利用して、機械構造物の詳細な音源探査を行う事が出来る。

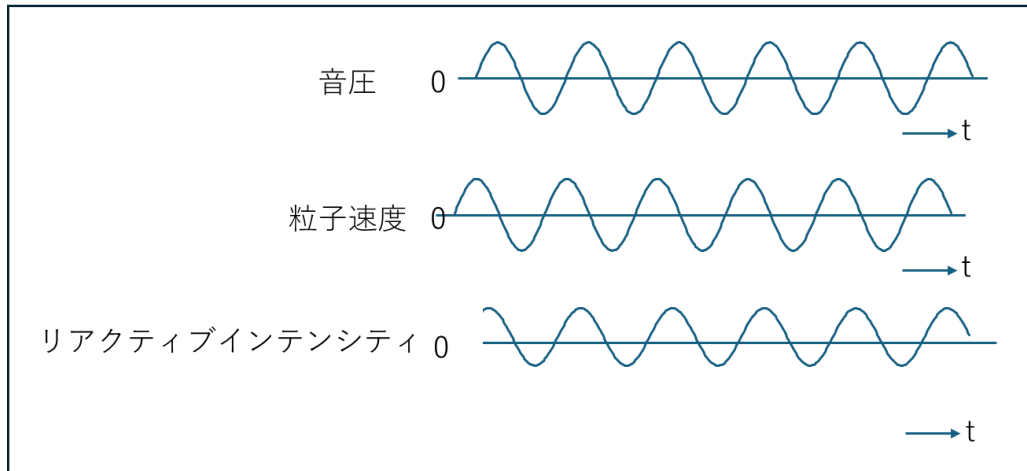


図.2 リアクティブ・インテンシティ

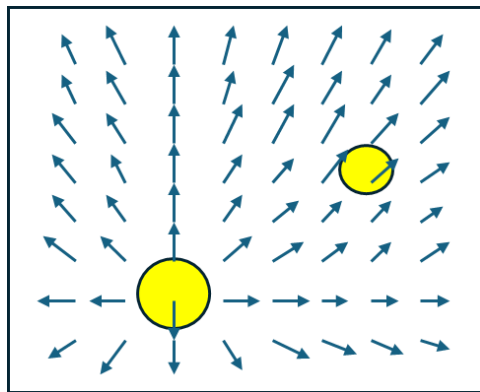


図.3 アクティブ・インテンシティ

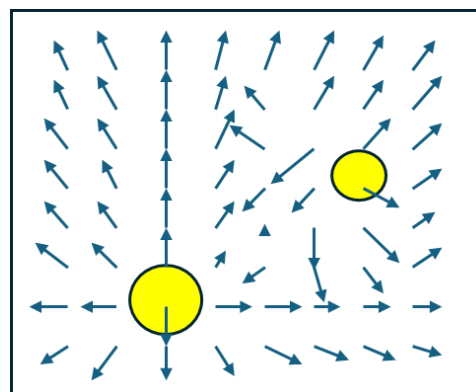


図.4 リアクティブ・インテンシティ

機械構造物表面に音源が二つある場合の音響インテンシティ

構造物表面に複数の音源が存在する場合、アクティブ・インテンシティの分布だけを見ると、アクティブ・インテンシティは実際の音響パワーの流れに寄与するため、図.3の様に、最も大きい音響パワーを有する音源のみが見える傾向にある。それに対し、リアクティブ・インテンシティは、音場で行ったり来たりを繰り返すので、実際の音響パワーの流れには寄与せず、音源が複数存在する音場でも、それらの判別が可能となる。

3. 2 マイクロフォン法と粒子速度センサ法

3.1 2 マイクロフォン法

音響インテンシティを測定するに際して、(1)式中の音圧 $p(t)$ は容易に測定できるが、粒子速度 $\vec{u}(t)$ の測定は容易ではない。この問題に対する対処法として、Euler の式を用いた方法がある。即ち、

$$\rho \frac{\partial u_r}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial r} = 0 \quad (2)$$

ただし、 u_r :粒子速度の r 方向成分、 ρ :空気密度

(2)式において、第二項を(3)式の様有限差分近似すれば、 u_r は(4)式で表される。

$$\frac{\partial p}{\partial r} \equiv \frac{p_2(t) - p_1(t)}{\Delta r} \quad (3)$$

$$u_r(t) \equiv -\frac{1}{\rho \Delta r} \int [P_2 t_1 - P_1 t_1] dt_1 \quad (4)$$

ただし、 $P_1(t)$ 、 $P_2(t)$ は r 方向に微小距離 Δr だけ離れた2点の音圧
以上より、音響インテンシティの r 方向成分 I_r は、(5)式で表される。

$$I_r \equiv -\frac{1}{\rho \Delta r} \frac{P_1(t) + P_2(t)}{2} \int [p_2(t_1) - p_1(t_1)] dt_1 \quad (5)$$

3.2 粒子速度プローブ法

粒子速度プローブは、音圧測定用のマイクロフォン一本と、粒子速度センサから成る。弊社で扱っている粒子速度センサは、Microflown Technologie 社製である。1mm×2mm ほどのチップに2本の極めて細い白金 (Pt) 線が形成されており、(図5) 2本の白金線は平行に配置され、電流を流して約200°Cに熱せられる。この白金線の近くを空気粒子が通過するときに、白金線から熱を奪い、その熱を持った空気粒子が二本目の白金線からも熱を奪う。2本目の白金線から奪う熱量が1本目の白金線から奪う熱量より小さくなる。このため、2本の白金線には温度差が生ずる(図2)。白金線の温度変化により、その抵抗値が変化する。この抵抗変化量が通過する粒子速度に比例する。

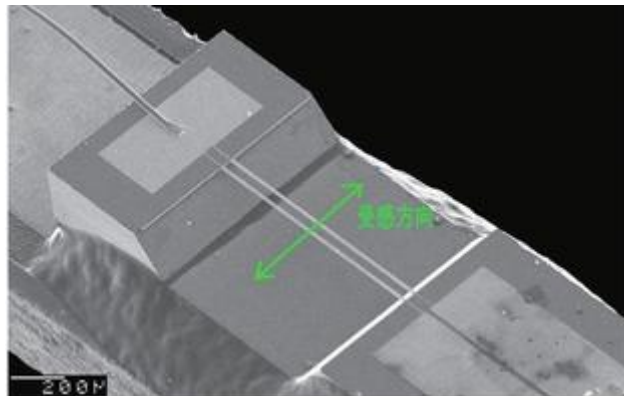


図4：Microflown プローブ受感部のSEM (scanning electron microscope) 画像

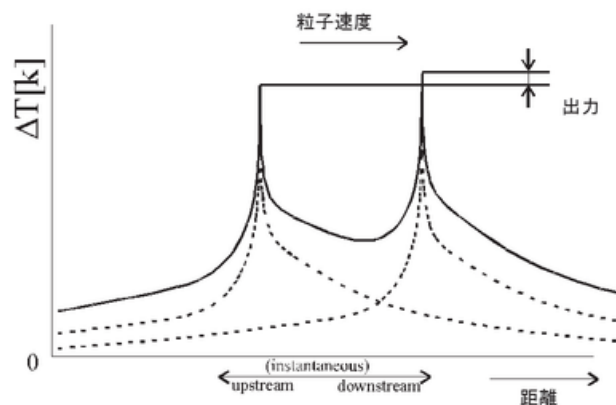


図5：2本の白金線近傍の温度分布

ここまで述べた事より、音響インテンシティ法で最も一般的な2マイクロフォン法では、音圧 $p(t)$ 、粒子速度 $\overline{u(t)}$ はいずれも近似値であるのに対し、粒子速度センサ法では測定したい位置における音圧 $p(t)$ 、粒子速度 $\overline{u(t)}$ を、センサそのものの干渉を除けば直接的に測定できるため、粒子速度プローブ法の方が真値に近い測定が可能である、と考えられる。また2マイクロフォン法では、測定する周波数帯域によって、マイクロフォン間のギャップ長を変更する必要があるが、粒子速度センサ法では、1種類のセンサで、あらゆる周波数帯域に対して測定が可能である。

読者アンケートへのご回答をいただけますと幸いです。

<https://forms.office.com/r/9RGyGHYL6H>