

点音源による音場

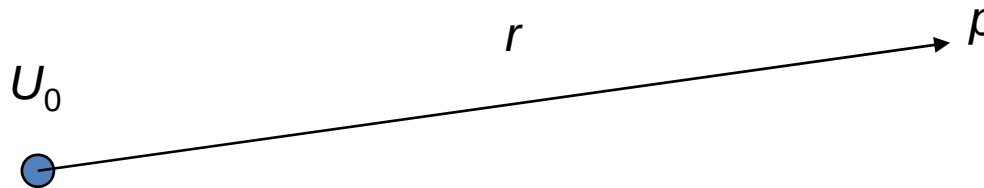
Sound field by a point source

半径が無限小の球音源が「点音源」

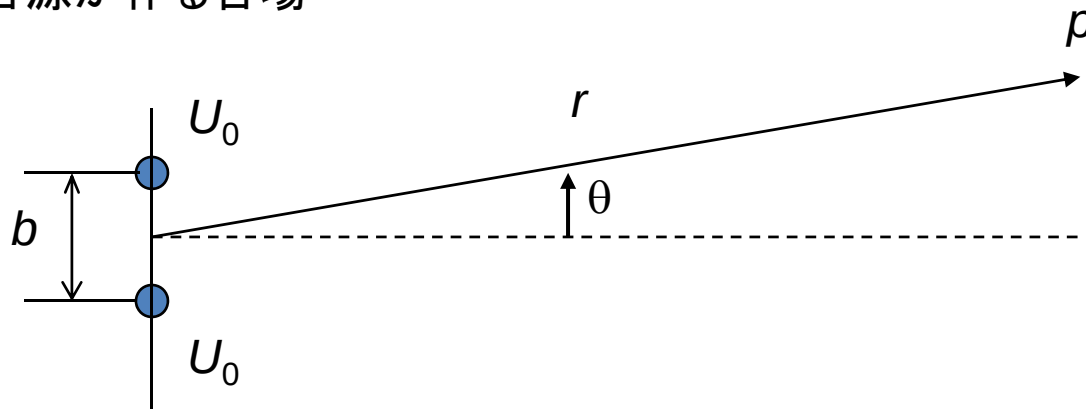
Point source is a spherical source with infinitesimal small radius

音源の強さ U_0 [m³/s]の点音源
が距離 r の点につくる音圧

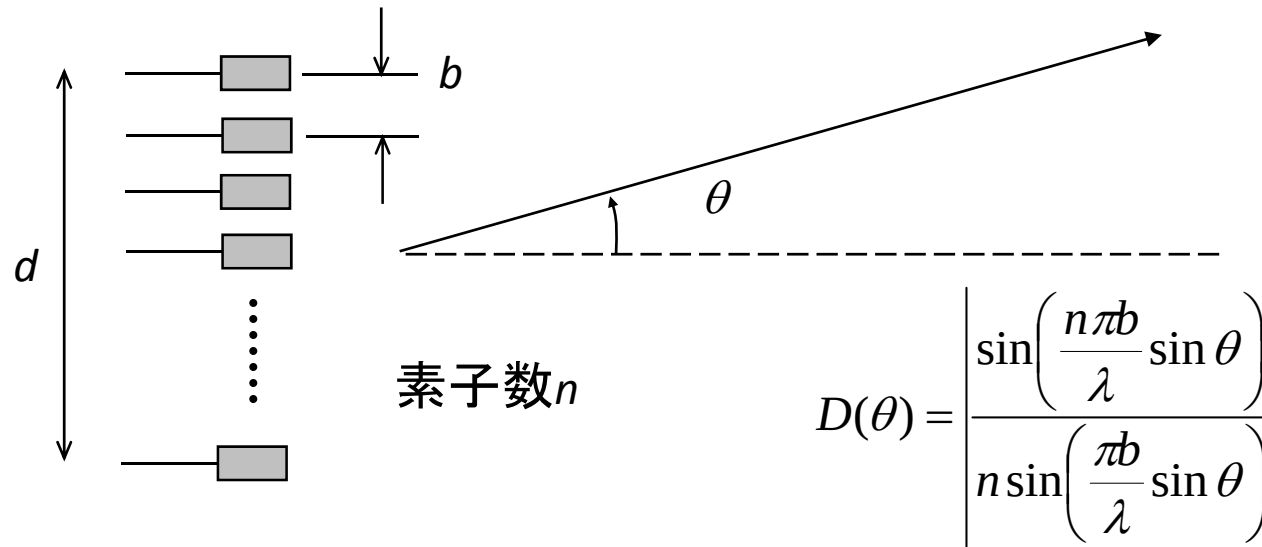
$$p = j\omega\rho \frac{U_0}{4\pi} \frac{e^{-jkr}}{r}$$



2つの点音源が作る音場



アレイ音源の指向特性 Directivity of array source



開口の大きさ d が大きいほど指向性が鋭くなる

Larger aperture (d), thinner main lobe.

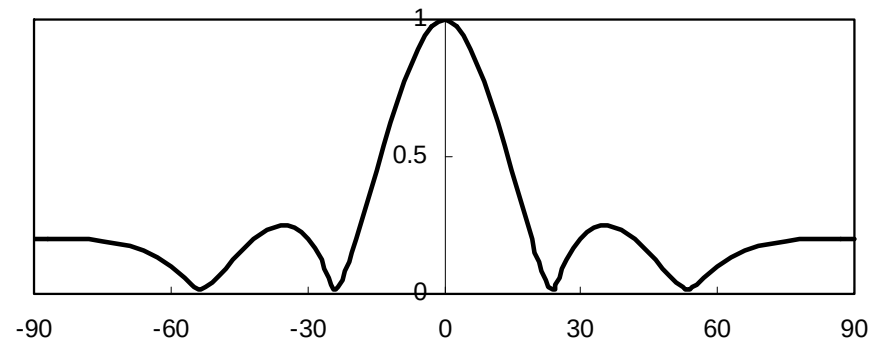
素子間隔 b が波長 λ より大きいと主ローブと同じ大きさのサイドローブが生じる。

If the spacing between the elements is larger than the wavelength, grating lobes appear (side lobes with the same intensity with the main lobe).

素子間隔によるビームパターンの変化(素子数=5)

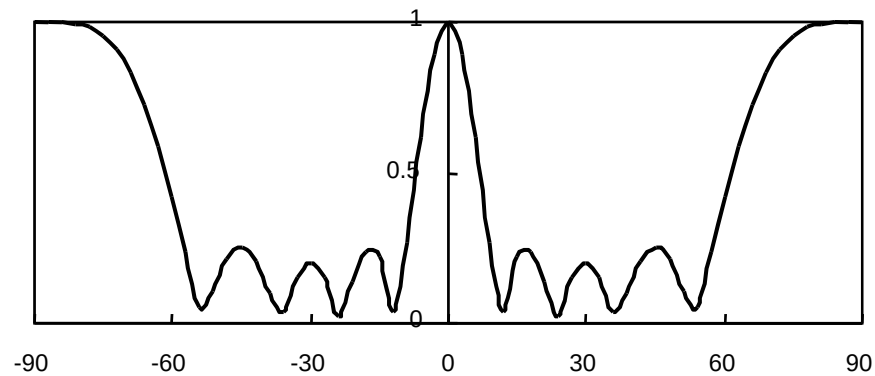
Beam patterns for different spacing

素子間隔 0.5λ



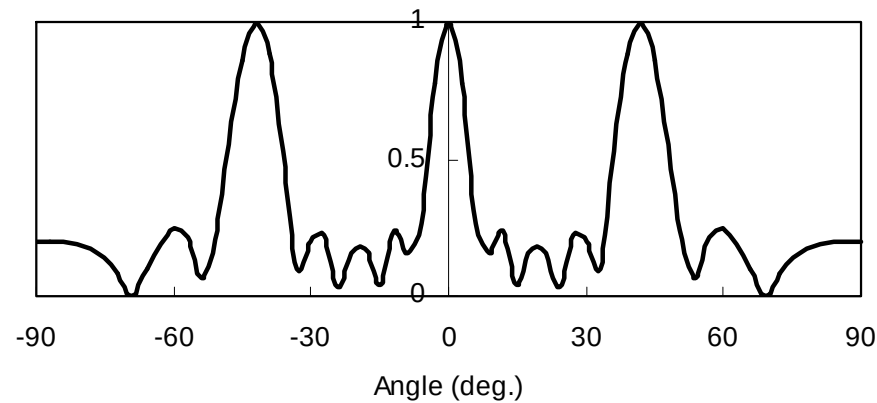
開口 2.5λ

素子間隔 1.0λ



開口 5.0λ

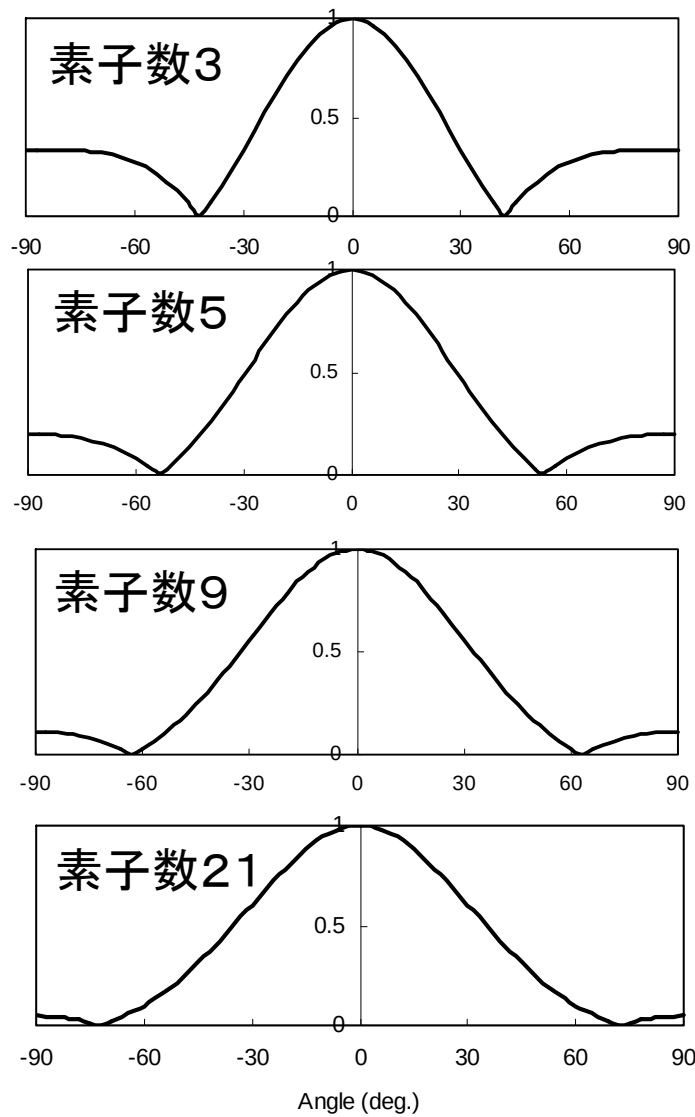
素子間隔 1.5λ



開口 7.5λ

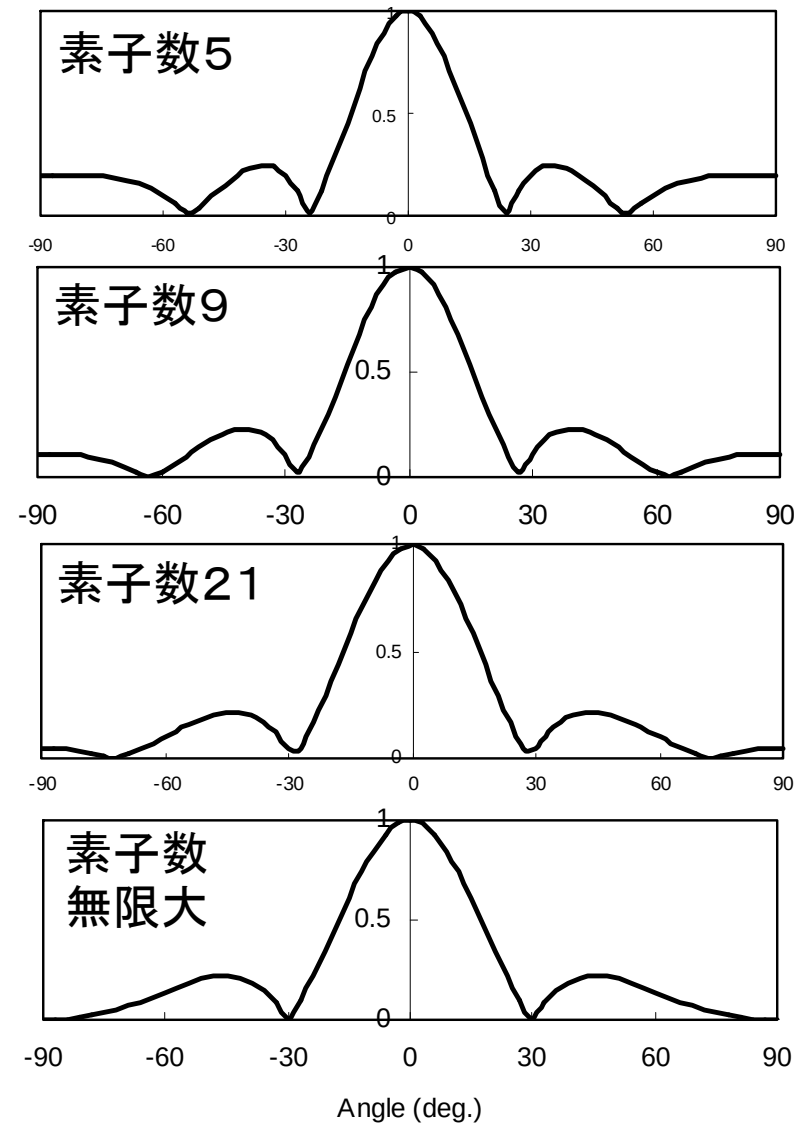
Aperture= 1λ

開口1波長



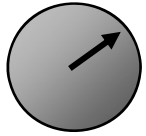
Aperture= 2λ

開口2波長



Beam width is determined by the aperture, not by the element number

球音源の放射インピーダンス



半径 a の球の表面が速度 u_a で半径方向に一様振動

Uniform vibration

$$p(a) = P_+ \frac{e^{-jka}}{a}$$

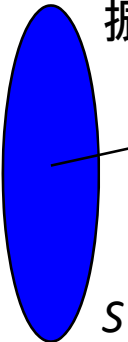
$$v_r(a) = u_a = \frac{P_+ e^{-jka}}{\rho c a} \left(1 + \frac{1}{jka} \right)$$

従って

$$Z = S \frac{p(a)}{u_a} = \frac{4\pi a^2 \rho c}{1 + 1/jka}$$

{	波長より十分大きい球のとき	$Z = 4\pi a^2 \rho c$	実数
	波長程度以下の大きさの球	複素数	

振動面からの音の放射 Radiation from the surface



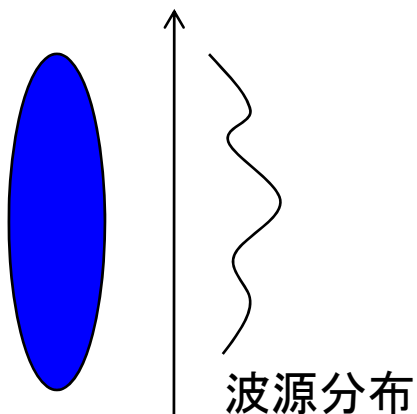
振動分布 $u(s)$

$$p \propto \int_S u(s) \frac{e^{-jkr}}{r} dS$$

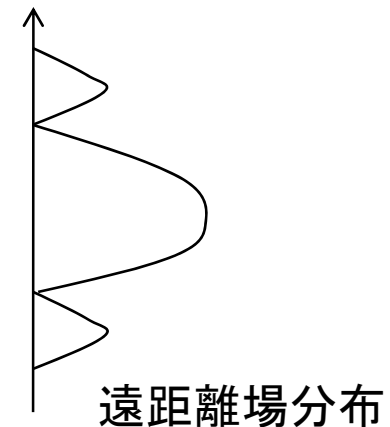
遠方場の場合 (距離 R) In the far field

$$p \propto \frac{1}{R} \int_S u(s) e^{-jk\Delta r} dS$$

波源分布と遠距離場の分布は互いにフーリエ変換の関係
ガウス分布の波源はガウス分布の指向性



大きい波源 = 鋭い指向性
小さい波源 = ブロードな指向性



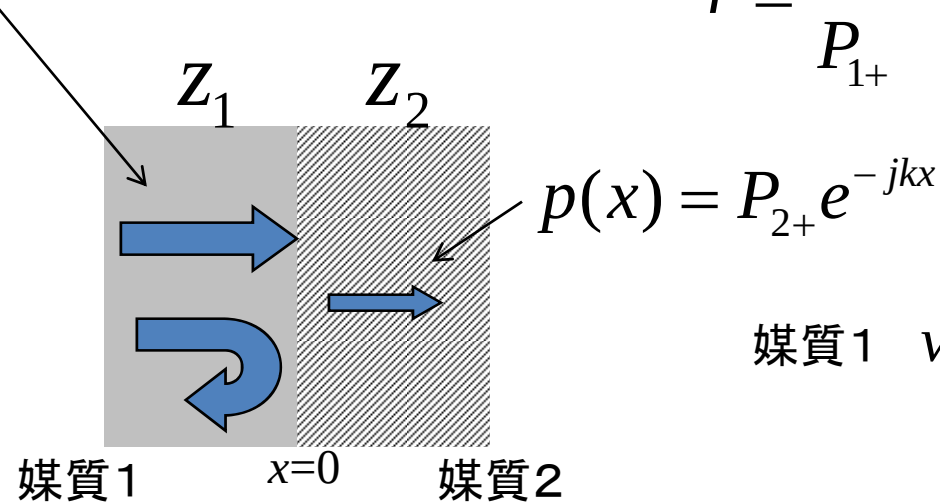
反射と透過

反射波(xの負方向に伝搬)がある場合 In the case of reflection

$$p(x) = P_{1+} e^{-jkx} + P_{1-} e^{+jkx}$$

$$r \equiv \frac{P_{1-}}{P_{1+}} \quad \text{音圧反射係数(複素数)}$$

$$v = \frac{j}{\omega \rho} \frac{dp}{dx} = \frac{j}{k \rho c} \frac{dp}{dx}$$



$$\text{媒質1} \quad v(x) = \frac{1}{\rho_1 c_1} (P_{1+} e^{-jkx} - P_{1-} e^{+jkx})$$

$$\text{媒質2} \quad v(x) = \frac{1}{\rho_2 c_2} P_{2+} e^{-jkx}$$

境界での連続性

$$p(0) = P_{1+} + P_{1-} = P_{2+}$$

$$v(0) = \frac{1}{Z_1} (P_{1+} - P_{1-}) = \frac{1}{Z_2} P_{2+}$$

$$\Rightarrow r = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}$$

反射と透過

境界での連続性

$$p(0) = P_{1+} + P_{1-} = P_{2+}$$

$$v(0) = \frac{1}{z_1} (P_{1+} - P_{1-}) = \frac{1}{z_2} P_{2+}$$

音圧透過係数

$$\Rightarrow t \equiv \frac{P_{2+}}{P_{1+}} = \frac{2z_2}{z_2 + z_1}$$

強度(パワー)の反射係数と透過係数

$$R \equiv \frac{P_{1-}^2 / z_1}{P_{1+}^2 / z_1} = \frac{(z_2 - z_1)^2}{(z_2 + z_1)^2}$$

$$T \equiv \frac{P_{2+}^2 / z_2}{P_{1+}^2 / z_1} = t^2 \frac{z_1}{z_2} = \frac{4z_1 z_2}{(z_2 + z_1)^2}$$

エネルギー保存 $R + T = 1$

$r + t \neq 1$ に注意

超音波の場合、音圧が測定できるので、音圧反射係数が利用されることが多い。
光学の場合、光検出器は光強度に比例した出力のものが多く、強度反射係数を用いる場合が多い。