

鈴木英男、安齋正三、小野隆彦 (小野測器)
鈴木直正 (豊橋技術科学大学)

1. はじめに

近年、騒音制御の分野において音響インテンシティ計測手法は重要な位置を占めるようになってきている。音響インテンシティはある点での音圧とその点での粒子速度の積で与えられるベクトル量である。一般には瞬時音響インテンシティを時間平均した時間平均インテンシティが用いられる。しかしながら、過渡的な信号に対しては時間平均インテンシティは有効でない。かといって、瞬時音響インテンシティは正負に変動するので応用面ではあまり役に立たない。ここでは、それらの中間に位置するエンベロープインテンシティを定義し、これにより過渡音の評価を行う。

2. 音響インテンシティ

2. 1 瞬時音響インテンシティ

時刻 t における音圧を $P(t)$ 、粒子速度を $v(t)$ としたとき、瞬時音響インテンシティ $i(t)$ は次式で表される。

$$i(t) = p(t) v(t) \quad (1)$$

単一の正弦波からなる音波の場合には、 $p(t) = P \cos(2\pi ft)$ 、 $v(t) = V \cos(2\pi ft - \phi)$ とし、(1)式に代入すると

$$i(t) = PV\{\cos \phi + \cos(4\pi ft - \phi)\}/2 \quad (2)$$

ここで、 f は周波数、 P および V は音圧および粒子速度の振幅、 ϕ はそれらの位相差である。 $i(t)$ は直流成分と2倍の周波数で変動する成分とから成る。この様に $i(t)$ は通常、正負に変動するので応用面ではあまり用いられない。

2. 2 時間平均インテンシティ

一般的には定常的な音を扱うことが多いため、瞬時音響インテンシティを時間平均した時間平均インテンシティ I_a が用いられる。

*An Evaluation of a Transient Sound by an Envelope Intensity.
By Hideo Suzuki, Masazou Anzai, Takahiko Ono (Ono Sokki Co., Ltd)
and Naomasa Suzuki (Toyohashi University of Technology)

$$I_a = \overline{i(t)} \quad (3)$$

正弦波の場合には(2)式から第2項が消えて、

$$I_a = PV(\cos \phi)/2 \quad (4)$$

となる。

2. 3 エンベロープインテンシティ

定常的な音の場合には、時間平均のインテンシティを用いることで十分であるが、過渡的な音の評価には役に立たない。そこで、瞬時音響インテンシティと時間平均インテンシティとの中間に位置するエンベロープインテンシティを次式により定義する。

$$I_e(t) = \text{Re}[p_a(t)v_a^*(t)]/2 \quad (5)$$

ここで、 $p_a(t)$ 、 $v_a(t)$ はそれぞれ $p(t)$ 、 $v(t)$ を解析的信号(正の周波数成分のみを持つ信号)に変換したもの、 $*$ は共役複素数を表す。ここで、 $p_a(t)$ は次式で与えられるものとする。⁽¹⁾

$$p_a(t) = p(t) + p_l(t) \quad (6)$$

ここで、 $p_l(t)$ は $p(t)$ のヒルベルト変換である。粒子速度も同様に与えられるものとする。正弦波信号を例にとると、

$$p_a(t) = P \exp(j2\pi ft) \quad (7)$$

$$v_a(t) = V \exp(j2\pi ft - \phi) \quad (8)$$

となり、(7)、(8)式を(5)式に代入すると、

$$I_e(t) = PV(\cos \phi)/2 \quad (9)$$

が得られる。正弦波信号は振幅一定であるので、時間平均インテンシティと等しくなるが、振幅が変動するような信号ではその変動に対応したインテンシティが得られる。(7)式を書き換えると

$$p_a(t) = P e(t) \exp(j\theta p(t)) \quad (10)$$

となる。ここで、 $P_e(t)$ は $p(t)$ の瞬時振幅、 $\theta_p(t)$ は瞬時位相であり、次のように与えられる。

$$P_e(t) = \sqrt{p^2(t) + p_1^2(t)} \quad (11)$$

$$\theta_p(t) = \arctan(-p_1(t)/p(t)) \quad (12)$$

(11)、(12) 式を (5) 式に代入すると

$$I_e(t) = P_e(t)V_e(t)\{\cos(\theta_p(t) - \theta_v(t))\}/2 \quad (13)$$

これを時間積分したエネルギーは、瞬時インテンシティのそれと等しくなる。実際の測定は時間平均インテンシティを求める時と同じように、近接 2 マイクロホン法で行うことができる。

3. 機械プレス音への応用例

上で定義したエンベロープインテンシティを機械プレス音へ適用した例を以下に示す。プレス機械のプレス部分からインテンシティプローブを約 300 mm 程離し、斜め上方からプレス部分に向けてプレス音を記録し、解析した。解析上限周波数は 2 kHz である。結果を図 1 (a-e) に示す。左側は瞬時、右側はエンベロープインテンシティである。a は全周波数帯域をまとめて計算した結果であり、b-e はそれぞれ中心周波数が 125 Hz から 1 kHz の 1 オクターブフィルタを通して解析した結果である。瞬時インテンシティに対してエンベロープインテンシティははるかにゆっくりとした変化を示す。図 1 (a) を見ると、最初の 10 msec は正のインテンシティを示し、その後 30 msec あたりまでは負のインテンシティが支配的である。ただし、帯域毎のインテンシティで見るとこの傾向は多少異なったものとなる。

4. まとめ

エンベロープインテンシティを定義し、過渡的な信号への適用を試みた。音響インテンシティを過渡音の評価に用いる一つの手法として、今後は種々の過渡信号に対して応用する予定である。

謝辞 機械プレス音を提供して下さった、(株)アマダ 技術研究所の小林氏に感謝致します。

文献 (1) J.B. Thomas, Statistical Communication Theory, Jhon Wiley and Sons, Inc. 639-657 (New York, 1969)

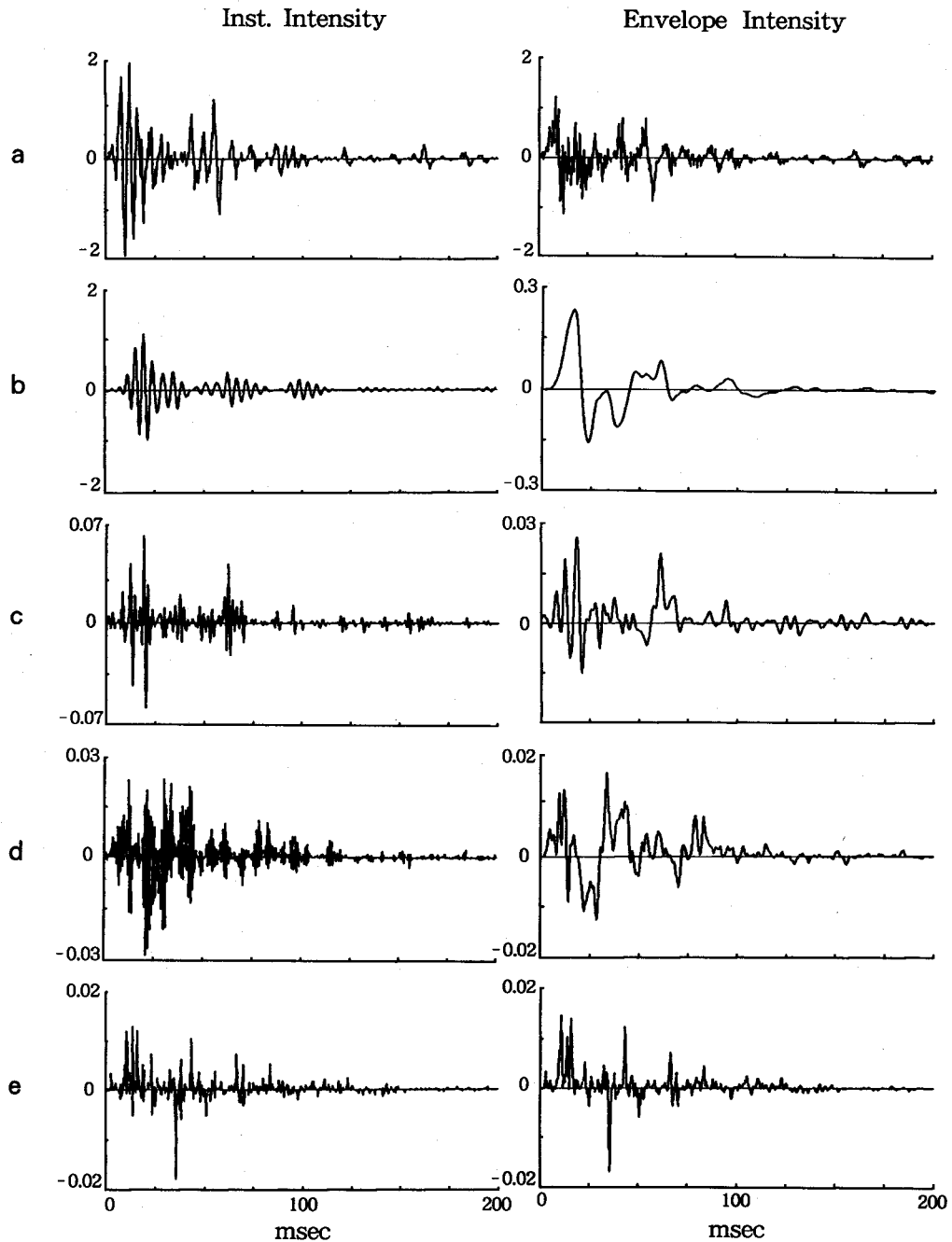


Fig.1 Instantaneous (left) and envelope (right) intensity patterns of a press machine noise with various frequency bands (a : 0 - 2kHz, b~e : 1/1 octave band with center frequencies at 125, 250, 500, and 1kHz, respectively).