Research Report of the Research Institute
of Industrial Safety, RIIS-RR-89, 1989
UDC 159.932:534.3:612.85

繰り返し衝撃騒音の評価法設定に関する研究

江 川 義 之*

Evaluation of the Loudness for Quasi-Steady Impulsive Noise.

by Yoshiyuki EGAWA*

Abstract; The relation between loudness and physical properties of noise has been studied in various conditions, thereupon some standards for measurements of the noises have already been established for steady state noises. However, for non-or quasi-steady impulsive noises emitted from press machines or air hammers, we are yet to establish such standards, particulary on noisiness of the impulsive noise that responsible for difficulty in hearing.

In order to establish a method for the estimation of loudness, this study focuses on examining the loudness of quasi-steady impulsive noise emitted from percussive tools in factories.

Many impulsive noises emitted from percussive tools were recorded in magnetic tapes, and the wave forms and time intervals between each block of impulsive waves were examined. To examine the loudness for the quasi-steady impulsive noise, the loudness test under the same equivalent continuous A-wieghted sound pressure level ($=L_{Aeq}$) was carried out using some artificial wave forms which were closely simulated to the waves recorded. Based on the experimental data regarding the relation between loudness and physical properties of waves, the response model of auditory organs for the quasi-steady impulsive noise was clarified.

As the result of observation of the wave forms and time intervals between each block of impulsive waves for the quasi-steady noise, it was found that the amplitude of the waves were decreased exponentially, and time intervals between each block of the impulsive waves were less than 500 ms. The loudness under the same value of L_{Aeq} was found to increase with increasing the time interval of the impulse.

Finally, as the consequence of simulation on the experimental data of loudness test, the author concludes that the loudness is correlated with the physical properties for the quasi-steady impulsive noise, when a time constant in response to auditory organs is 90 ms.

Keywords: Quasi Steady Impulsive Noise, Loudness, Auditory Organs, Percussive Tool

1. 緒 言

騒音とは望ましくない音であり，不快なという心理的影響とともに，聴力損失，会話妨害という影響も及ぼす。騒音の評価法は，騒音の及ぼすこれらへの影響を測定する尺度であり，周波数補正，時間帯補正，レベルの変動の処理法等により非常に多くの評価法が存在している。そこでまず本章において，騒音の種類と評価法について体系的に述べる。

騒音は発生源別と音の性状別に分けられる。発生源別に騒音をとらえた場合，すでに評価法の定まっているものが多い。たとえば，自動車騒音のTNI法，航空機騒音のPNL, EPNL, WECPNL, NNI, NEF等の各評価法はこれに該当する[1)]。

一方，騒音を性状別にとらえた場合，評価法の定まっている騒音とそうでないものがある。そこで，

* 機械研究部 Mechanical Safety Research Division

Table 1にISOによる騒音の分類を示し，各種騒音の評価法について述べる。

非定常音の場合，定常音と比較することにおいて評価されることが多い。たとえば変動音を評価するLeq（等価騒音レベル；式(1)）やLen（Total energy level；式(2)）は，変動音をそれと等しいエネルギーを有する定常音のレベルに変換して評価している。また分離バースト音の評価には，式(3)に示すLAE（単発騒音暴露レベル）が用いられる。前述したLeqは変動音の総エネルギー量をその継続時間で除してエネルギーの平均値を求めているのに比較し，LAEは分離バースト音の総エネルギー量を規準化時間（1秒）で除した平均エネルギーを求めている[2)]。

$$Leq = 10\ \log_{10}\left[\frac{1}{(t_2 - t_1)}\int_{t_1}^{t_2}\frac{P_A^2(t)}{P_\phi^2}dt\right] \cdots\cdots\cdots(1)$$

ここで，$t_2 - t_1$　；騒音継続時間

$p_A(t)$　；A特性音圧

p_ϕ　；基準音　$2\times10^{-5}N/m^2$

- Steady noise
- Non-steady noise
  - Fluctuating noise
  - Intermittent noise
  - Impulsive noise
    - Quasi-steady impulsive noise
    - Isolated burst noise

Table 1　Classfication of acoustical noises by ISO-2204
ISO-2204による騒音の分類

$$Len = 10\ \log_{10}\int_0^t 10^{\frac{L_i}{10}}dt \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(2)$$

ここで，L_i；時刻iにおける騒音レベル（dB A）

$$LAE = 10\ \log_{10}\left[\frac{1}{T_\phi}\int_{t_1}^{t_2}\frac{P_A^2(t)}{P^2}dt\right] \cdots\cdots\cdots\cdots(3)$$

ここで，T_ϕ；規準化時間（1秒）

間欠音については「観測時間中にレベルが急に暗騒音のレベルまでしばしば低下する音で，レベルが暗騒音とは異なる一定レベルにとどまっている時間が1秒以上の音」という定義[3)]があるが評価法は定まっておらず，状況によりLAEやLeqを代用している。

繰り返し衝撃音（準定常衝撃音　quasi-steady impulsive noise）は「ある時間間隔で，類似した振幅のバーストが発生する音系列」と定義[3)]されているが正確な評価法は定まっていない。

そこで本研究報告は，機械工場や建設現場で多く用いられる衝撃用工具から発生する繰り返し衝撃音を対象にして，人間の聴覚特性を考慮した評価法を検討した。

2.　研究目的

本章においては，研究目的を箇条書で示す。

1)　工場で発生している繰り返し衝撃音を収録し，その波形パターンと衝撃の繰り返し周期間隔を明らかにする。

2)　1)の波形パターンに類似したモデル波形を作成して，衝撃の繰り返し周期間隔が聴覚上の音の大きさに与える影響を実験を行い明らかにする。

3)　2)の実験結果を最適に説明しうる聴覚特性モデルについてシミュレーションを行い検討する。

3.　繰り返し衝撃騒音の波形

3.1　調査方法

工場で各種機械より発生する繰り返し騒音をテープレコーダ（SONY TC－D5M）に収録し，それをメモ・スコープ（小野測器　CF920）に掃引することにより，波形パターン及び衝撃の繰り返し周期間隔を調査した。

Fig. 1に衝撃騒音波形パターンの例を示す。各機械装置はこの波形パターンを一周期として，これを連続的に繰り返している。

衝撃機械の騒音波形に見られる特徴的パターンは指数減衰波形を構成していることであり，ワーク等を加工する際の瞬時打撃による鋭い波形の立ち上がりと，その衝撃音が機械本体を共振させ，ある時間経過後に減衰する過程を示している点である。

Fig. 2に各機械装置の繰り返し周期間隔を示す。

この図より，衝撃機械の繰り返し衝撃間隔は500ms未満で発生しているものが多いことが明らかになった。

4.　モデル波形を用いたラウドネス実験(実験1)

前章において衝撃騒音の波形パターンは指数減衰波形を構成することと，その繰り返し衝撃間隔は500ms未満のものが多いことを明らかにした。

そこで本章においては，衝撃の繰り返し周期間隔が聴覚機構において音の大きさに与える影響（以下ラウドネスという）を調べるために行ったラウドネス実験（実験１）に関して述べる。

4.1　モデル波形作成方法

ラウドネス実験に使用したモデル波形は，Fig. 3に示すようにマイクロ・コンピュータ（YHP model 200）で作成し，それをインテリジェント・シンセサイザー（NF回路製　1732）に入力し，DA変換を行い出力する方法を用いた。

モデル波形は1000Hz正弦波を搬送波とし，それに

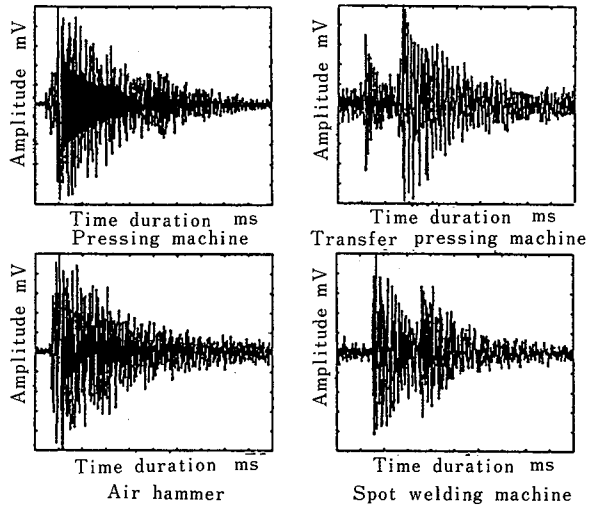


Fig. 1　Wave patterns of impulsive noises emitted from machineries.
衝撃騒音の波形パターン

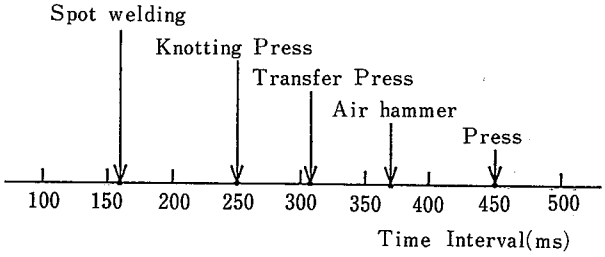


Fig. 2　Time intervals of repetition for impulsive noises emitted from machines
機械装置の発生する衝撃騒音の繰り返し周期間隔

Fig. 4に示した繰り返し周期間隔（T）の異なる５種類の指数減衰型の信号波で振幅変調をかけて作成した。さらにこれらの波形は，最大振幅値，RMS値，クレスト・ファクター（最大振幅値／波形RMS値），フォーム・ファクター（波形RMS値／波形平均値）が等しくなるように，Fig. 4に示すR間隔を調整して作成した。従い，これら５種類の振幅変調波形を再生した場合，式(1)に示すLeq及び式(2)に示すLenは等しい値となる。

4.2　PSE実験法

前項で作成した繰り返し衝撃間隔の異なる５種類の騒音波形のラウドネス（聴覚機構に与える音の大きさ）の相違をPSE（主観的等位点；Point of Subjective Equality）実験法を用いて検討した。

PSE実験法とは，繰り返し衝撃間隔の異なるモデル波形，すなわちFig. 5に示すテスト刺激Aとテスト刺激Bのラウドネスを相互に比較する際，直接比較することは行わず，まずこれらの刺激とRMS値の等しい1000Hz正弦波からなる比較刺激Cを作成し，その音量をコントロールすることにより比較実験を行う。例えば，比較刺激Cの音量を調整しテスト刺激Aと同じ大きさ（等ラウドネス）に聴こえた波形をテスト刺激Dとすると，テスト刺激Aの聴感度上のゲイン（以下Auditory Gain; AGという）は次式で示される。

$AG_A = 10 \log$（比較刺激DのRMS／テスト刺激AのRMS）　(4)

同様にテスト刺激BのAGは式(5)で示される。

$AG_B = 10 \log$（比較刺激EのRMS／テスト刺激BのRMS）　(5)

Fig. 3に実験のシステム構成図を示す。

テスト刺激と比較刺激は２chのシンセサイザーよりアナログ変換して出力させ，被験者には比較刺激の音量をコントロールしながら切替スイッチを変換させ等ラウドネス・レベルを調べさせた。テスト刺激と比較刺激の呈示順序並びにその継続時間の影響を避けるため，受聴音の切り替えと調整に要する所要時間は被験者の任意とした。さらに調整開始時点においてテスト刺激に及ぼす比較刺激の影響を避けるため，被験者は比較刺激の音量を一度絞り込み，そこから音量増大させることにより調整を行った。

被験者は正常な聴力を有する21～40歳の男女10名（うち女性３名）を用い，各モデル波形を５回づつ呈示した。受聴者にはFig. 3に示すヘッドホンにより片

耳で受聴させた。

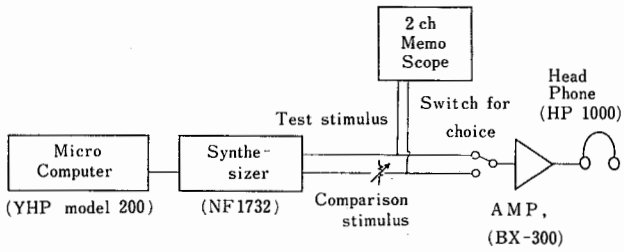


Fig. 3　Block diagram of experimental system.
実験システムの構成

4.3　ラウドネス実験結果（実験１）

横軸に繰り返し衝撃周期間隔（ms），縦軸に式(4)等で示したAG（dB）を用いた場合の実験結果をFig. 6に示す。なお実験はILOによる注意限界レベル[4]（保護具を用いなくても聴力障害の危険が小さい騒音レベル）である85dB（A）で行った。

図中の○点は全被験者が５回づつ行った平均値を表し，あわせて標準偏差が棒線で示してある。

このグラフによると，波形の最大振幅値及びRMS値が同じでも，衝撃の繰り返し周期間隔の相違により，聴感覚における音の大きさ，つまりラウドネスは異なることが明らかになった。例えば，周期間隔80msの指数減衰型の衝撃騒音はそれと等RMSの定常音と同じ大きさに聴こえるが，周期間隔が480msに増加すると聴感覚においてそれより約3.3dB大きく，また周期間隔が40msに減少すると約1.7dB小さく感知される結果が得られた。

そこで次章においてこの結果についての考察を行う。

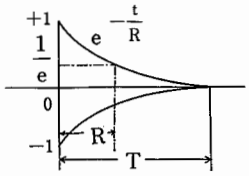
5.　Spatial Effectの側面からみた考察

本実験に用いたような振幅変調波形（テスト刺激）がその搬送波と等しい周波数の純音（比較刺激）を上回るラウドネスを与える要因としては，周波数帯域の広がりの効果[5]（Spatial Effect）とエネルギーレベルの時間的変動の効果[6]（Temporal Effect）の二つの現象が考えられる。そこで本章においては，Spatial Effectの側面からの考察を行う。

5.1　Spatial Effectの概要

Spatial Effectとは聴覚機構の臨界帯域幅がラウドネスに与える影響である。聴覚機構の蝸牛管内の基底膜は音の周波数分析の役割を果たす24個の臨界帯域フィルターに分かれており，その中心周波数及び帯域幅は過去の生理学的実験においてすでに定められている[7]。

一般に振幅変調波形をスペクトル解析した場合，搬送周波数を中心とし，信号周波数の値によりその左右にスペクトルの広がりを示す。等RMSの波形であってもスペクトルの広がり幅が狭くひとつの臨界帯域フィルターしか刺激しない場合と，広がり幅が広く複数の臨界帯域フィルターを刺激する場合とでは，後者の方が聴覚に与えるラウドネスが大きくなる現象をSpatial Effectという。



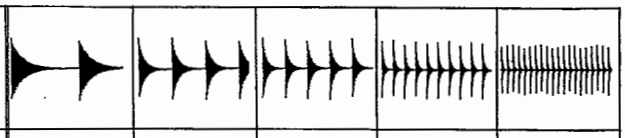
wave forms					
T (ms)	480	240	160	80	40
R (ms)	100.3	50.2	33.4	16.7	8.4
Crest Factor	4.8				
Form Factor	1.9				

Fig. 4　Model waves of impulsive noises used for loudness experiment.
ラウドネス実験に用いた衝撃騒音のモデル波形

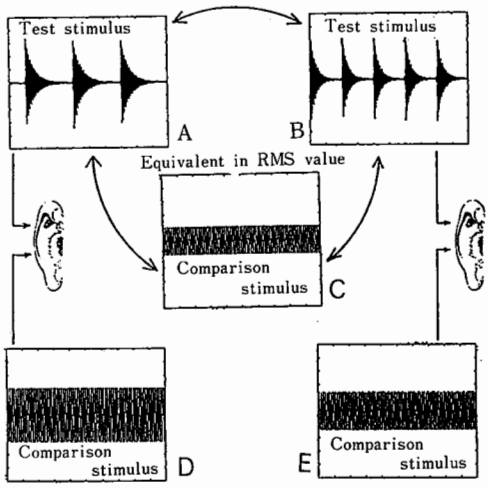


Fig. 5 Experimental method of P.S.E.
P.S.E. 実験法

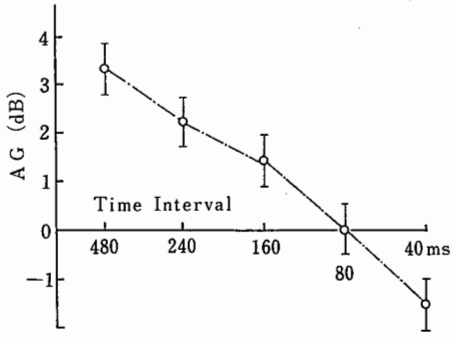


Fig. 6 Relation between time interval of repetitive impulse and auditory gain.
繰り返し時間間隔とラウドネスの関係

Fig. 7に上述した内容を図で示した。変調波AとBは等RMSであるが，Aは1000Hz正弦波を搬送波とし，それに50Hz正弦信号波で変調をかけて作成した波形であり，一方，Bは同様の搬送波に100Hz正弦信号波で変調をかけて作成した波形である。これら波形をスペクトル解析すると，変調波Aは1000Hz搬送波を中心に上下側帯波が1050Hzと950Hzに立ち上がるのに比較し，変調波Bは上下側帯波が1100Hzと900Hzに立ち上がる。

次にこの現象を聴覚機構の臨界帯域フィルターとの関連でとらえると，搬送波と信号波のスペクトルが920Hzから1080Hzにある，ひとつの臨界帯域フィルターしか刺激しない変調波Aに比較し，その両側に存在する帯域まで含めた3Bandのフィルターを刺激する変調波Bのラウドネスは大きく感知される（Fig. 7参照）。筆者の確認実験においては，変調波BはAに

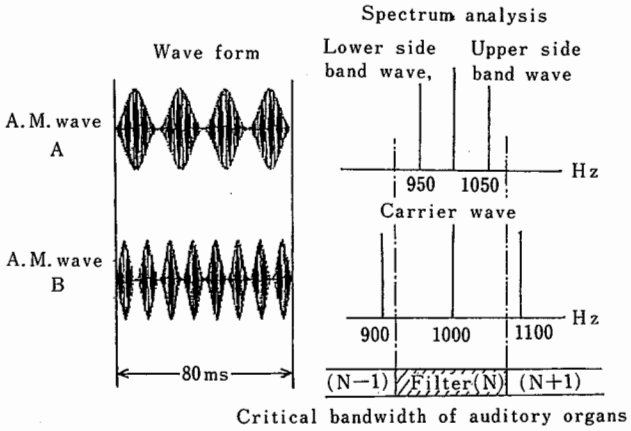


Fig. 7 Relation between spectrum analysis of sine A.M. tone and width of critical bandwidth.
正弦波によるAM変調音のスペクトル解析と臨界帯域幅の関係

比較して約1dB大きいラウドネスが得られた。

5.2 指数減衰波形によるSpatial Effect

Fig. 6に示したラウドネス実験結果を前節で述べたSpatial Effectの側面から検討するため，Fig. 4に示してある繰り返し衝撃騒音の5種類のモデル波形を周波数分析した。

搬送波に指数減衰信号波で変調をかけた場合，その変調波形のPower Spectrumは，搬送波をピークとして裾野の広がった形態を示す[8]。

この分析においても1000Hzの搬送波をピークとし

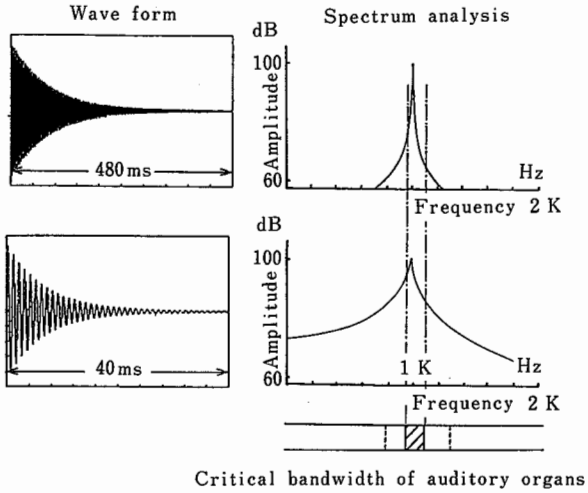


Fig. 8 Wave form and power spectrum of the tone signal decaying exponentially.
指数減衰型変調波形の波形パターンと周波数形態

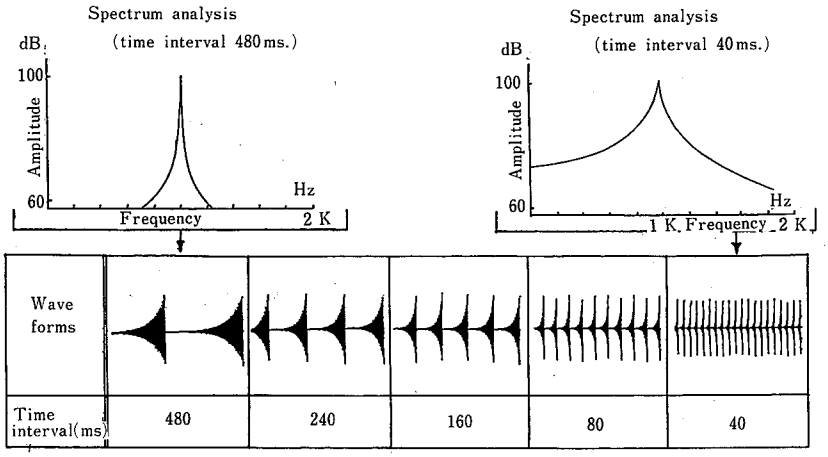


Fig. 9　Tone signals increasing exponentially for loudness experiment
ラウドネス実験に用いた指数増加型波形

た同様のスペクトル形態を示した。これら5種類のモデル波形に見られる特徴的な点は，衝撃の繰り返し周期間隔の減少が，変調に用いた指数減衰信号波の周波数の増加につながり，それがスペクトルの形態として帯域幅の広がりを示すことである。Fig. 8にその事例として，衝撃の周期間隔が最も長い480msと最も短い40msの場合の周波数分析結果を示した。

次に，Fig. 8に示された現象を聴覚機構の臨界帯域フィルターから検討する。

衝撃の繰り返し周期間隔が短い（40ms）方がスペクトルの帯域幅が広がり，複数の臨界帯域フィルターを刺激しSpatial Effectによるラウドネスの増加が現れることが考えられる。この考察をもとにFig. 6に示したラウドネス実験結果をみると，衝撃周期の長い方がラウドネスが高く，周期間隔が短くなるに従いラウドネスは減少するという，考察とは反対の結果が現れている。

この結果を説明するため，「立ち上がりの鋭い衝撃性をもつ波形の場合，Spatial Effectは現れにくいのではないか」という推測をたて，次節に示す実験を試みた。

5.3　指数増加型波形を用いたラウドネス実験

前節で示した推測の妥当性を検討するために次に述べるラウドネス実験（実験2）を行った。

実験目的として，波形の立ち上がりがなめらかであり，かつ周波数分析におけるスペクトル形態が同様の波形を受聴させた場合，Spatial Effect出現の可能性を検討することにした。

実験方法は，Fig. 4に示した衝撃騒音のモデル波形を逆の形態にして被験者に受聴させた場合，音の立ち上がりがおだやかであり，かつスペクトル形態が同様であることに着目し，これらの波形を作成しPSE法によりラウドネス実験を行った。

Fig. 9にそのモデル波形と，Fig. 8と比較のために周期間隔480msと40msの場合のスペクトル形態を示した。

受聴するモデル波形以外の実験条件に関しては，第4章2節で述べた条件と同様である。

横軸に繰り返し時間間隔（ms），縦軸にAG（dB）を用いた場合の実験結果をFig. 10に示す。実験はFig. 6同様85dB（A）で行い，図中○印は平均値を棒線は標準偏差を示してある。

このグラフによると，AGは繰り返し周期間隔が480msから80msに至るまでは減少傾向を示しているが，80msから40msに変化するところで逆に増加している。

この結果は本実験に用いた指数増加型波形のスペクトル解析と符合しており，繰り返し周期が80msから40msに移るに従い，920Hzから1080Hzにあるひとつの臨界帯域フィルターしか刺激しない状態から，スペクトル帯域が閾値幅を越えて広がり，その両側に存在するフィルターも刺激しラウドネスが増加したと理解される。

以上，本章で述べたSpatial Effectの側面からの考察をまとめると，最大振幅値並びにRMS値が等しい振幅変調波形がラウドネスに与える影響は，周波数帯域の広がりの効果[5]（Spatial Effect）と，エネルギー

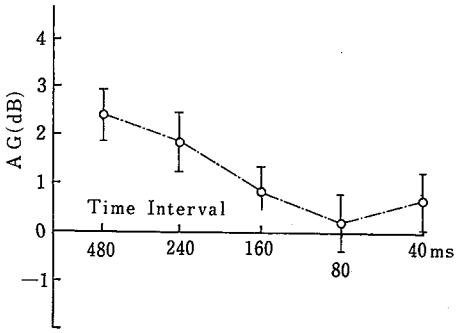


Fig. 10　Relation between time interval of repetitive impulse and auditory gain (Tone signals increasing exponentially).
繰り返し時間間隔とラウドネスの関係
（指数増加型波形）

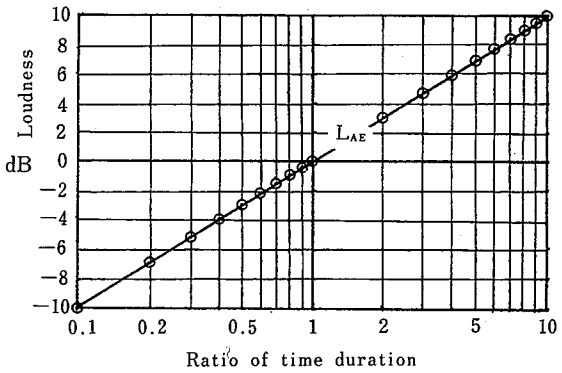


Fig. 11　Relation between L_{AE} and time duration for single burst wave.
分離バースト音の LAE と継続時間の関係

レベルの時間的変動の効果[6]（Temporal Effect）の二つが考えられるが，実験1で用いたような立ち上がりの鋭い波形の場合は，Spatial Effect は現れにくく Temporal Effectによる影響と推測されることである。

そこで次章は Temporal Effect の側面から検討を行う。

6.　Temporal Effect の側面からみた考察

Temporal Effect とは，エネルギーレベルの時間的な変動のしかたにより聴覚機構の応答特性が相違し，それによりラウドネスが異なって受聴される現象をいう。

前章で述べたように，実験1で用いている立ち上がりが鋭く指数減衰を示す波形のラウドネスの相違は，Spatial Effect ではなく Temporal Effect の影響によると考えられる。

そこで本章においては，繰り返し衝撃騒音の評価法として Temporal Effect の側面からの考察を行うが，その際第1章で示した騒音評価法において，同じ衝撃騒音で，すでに評価法の定まっている単発バースト音を対象にした評価法，すなわち LAE（単発騒音暴露レベル；Sound Exposure Level）の考え方を導入して行うことにする。

6.1　単発騒音暴露レベル（LAE）の概要

単発騒音暴露レベルとは，第1章の式(3)で評価される騒音レベルであり，わが国では JIS Z 8731「騒音レベル測定方法」の改訂（1983）を機に，LAE を単発騒音暴露レベルと名付けて，分離バースト音等の測定・評価量として取り入れている[9]。

その評価法は単発騒音の場合，振幅比が同じであっても等ラウドネスには聴こえず，継続時間比が音のラウドネスに影響を与えるというものである。

Fig. 11 に単発騒音の継続時間比と LAE の関係が示してある。このグラフは振幅比が同じであっても，例えば，継続時間が500ms の単発騒音と250ms の単発騒音を比較すると，後者の方が約3dB小さく聴こえ，同様に継続時間比が0.1の50ms になると約10dB 小さい

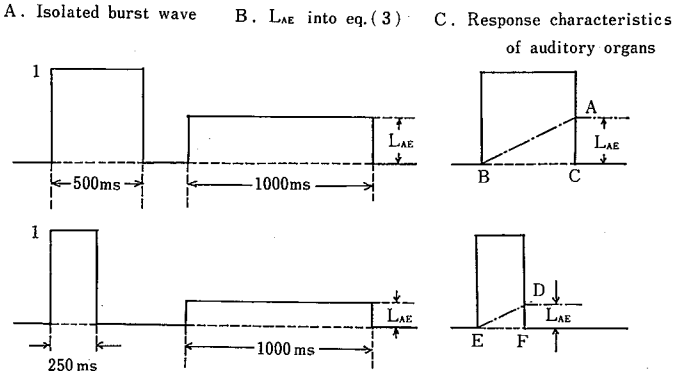


Fig. 12　Sound exposure level for isolated burst wave.
分離バースト音の単発騒音暴露レベル

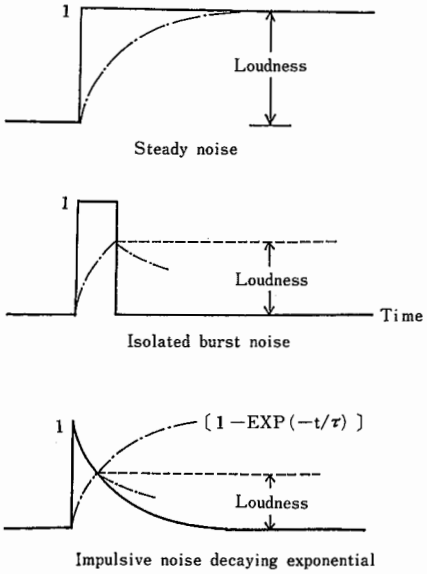


Fig. 13　Non-linear response characteristics of auditory organs.
聴覚機構の非線形応答特性

ラウドネスが得られることを示している。

Fig. 12 は振幅が同じである500ms と250ms の分離バースト音を対象にして，式(3)における LAE の計算法及びその計算法の生理学的意味付けについて図示したものである。

Aに示した分離バースト音は矩形エンベロープ・パターンの上側の半振幅を示しており，このパターンの内部に1000Hz の搬送波が含まれている。

Bは式(3)における LAE 計算過程を示しており，Aの分離バースト音の面積を，規準化時間として定められている1秒で除した値が LAE として現される。

Cは聴覚機構の特性からみた LAE の意味を示している。聴覚に分離バースト波を入力した場合，聴覚はこの波形の振幅値にただちに応答することはせず，ある一定の立ち上がりの特性を示し（図中一点鎖線），そのピーク応答値が LAE に等しくなる。

すなわち，単発騒音の場合，その振幅比より継続時間比がラウドネスに影響を与えることを前述したが，これを聴覚機構の応答特性より検討すると，Fig. 12のCに示した相似三角形△ABC と△DEF の高さの比，つまり10×Log（AC／DF）が，継続時間500ms と250ms のバースト波のラウドネスの相違となることを示している。

先に掲載した Fig. 11 は単発騒音の継続時間比と LAE の関係を示しているが，この評価法では聴覚機構の応答特性を直線で線形近似しているため，騒音の継続時間が2倍あるいは10倍と延びると，LAE は3 dB，10dB と変化し，継続時間が極端に長い場合，この評価法では LAE もかなり大きく評価される。

これは，前述した単発騒音暴露レベル（LAE）評価法の考え方を，実験1で用いたような衝撃波形が何回も繰り返されて聴覚を刺激する，繰り返し衝撃騒音の評価法へと応用していく場合，聴覚機構の応答特性を直線近似ではなく曲線で近似することを検討しなければならないことを示している。

そこで Fig. 13 において，聴覚機構の応答特性を式(6)で近似した場合の，各騒音波形のエネルギーレベルの時間的変動（Temporal Effect）とラウドネスの関連性を示した。

$$1-\exp(-t/\tau) \quad \cdots\cdots(6)$$

つまり，定常音を入力した場合，聴覚機構は応答常数

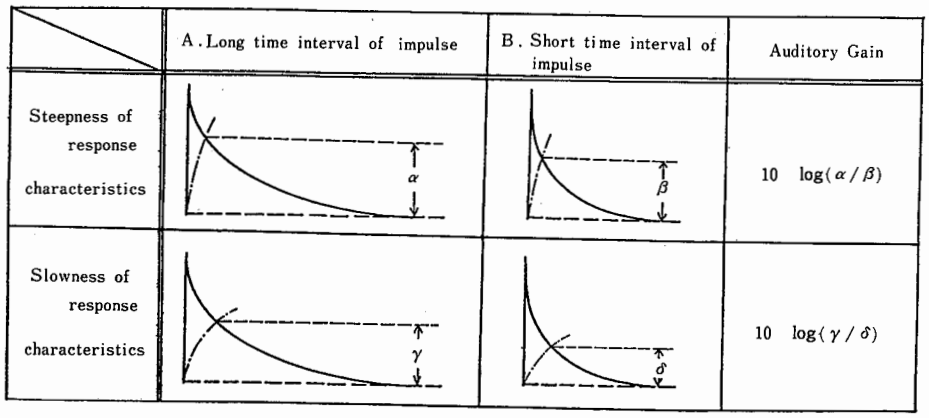


Fig. 14　Relation between response of auditory organs and loudness.
聴覚の応答特性と音の大きさ

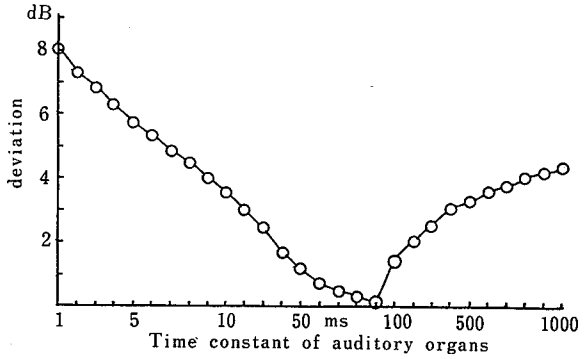


Fig. 15　Relation between time constant of auditory organs and experimental deviation.
聴覚の時定数と実験偏差との関係

τで立ち上がるが，音の持続に伴い波形振幅値で飽和し，その値がラウドネスと感知される。次に分離バースト音の場合，その入力により聴覚は立ち上がりを示すが波形振幅値まで達しない時間でバースト波形がOFFになり，そこから立ち下がりを示し，その時のピーク応答値がラウドネスと感知される。

実験1で用いた指数減衰型の繰り返し衝撃音波形も同様のプロセスをとり，聴覚の応答は衝撃波形入力にともなう立ち上がりを示すが，次に波形の減衰にともなう立ち下がりを示し，その時のピーク応答値がラウドネスとなり感知される。

以上本節においては指数減衰型の繰り返し衝撃騒音モデル波形を用いた実験1の結果，つまり衝撃間隔とラウドネスの関係について，エネルギーレベルの時間的変動（Temporal Effect）が聴覚機構の応答特性に与える側面から検討した。

その際モデル波形と同様に衝撃性をもつ騒音を評価する単発騒音暴露レベル（LAE）評価法の考え方を導入して行った。そしてLAE評価法は聴覚の応答特性について直線近似を行っているが，繰り返しのある連続的衝撃音の場合式(6)で示した曲線近似の方が，定常音を対象にした場合の聴覚の応答特性にも応用が可能であり汎用性が高いことを示唆した。

そこで次節においては，実験1で得られた結果を最適に説明し得る聴覚の応答常数（式(6)におけるτ）についてシミュレーションを行い検討する。

6.2　聴覚機構の応答モデル・シミュレーション

第4章3節に実験1の結果が記されているが，これによると波形の最大振幅値及びRMS値が同じであっても，衝撃の繰り返し周期間隔の相違によりラウドネスは異なり，周期間隔480msの方が40msよりラウドネスは高い（Fig. 6参照）。

そこで本節においては，聴覚機構の応答特性から実験1の結果の考察を行い，この現象を最適に説明する応答モデル，すなわち式(6)の応答常数τについてシミュレーションを行い明らかにする。

Fig. 14に衝撃の繰り返し周期が長い場合と短い場合における，聴覚応答常数（τ）の違いによるラウドネスの相違（α/βとγ/δ）が示してある。

応答常数τが小さくて応答が敏感な場合においては，聴覚が入力波形の最大振幅値の近傍においてピーク応答値を示すため，繰り返し周期の違いによるラウドネスの相違は現れにくい（図中10 log（α/β）参照）。τが増加し立ち上がりがゆるやかになるにつれ，繰り返し周期間隔の違いがラウドネスに影響を及ぼす（図中10 log（γ/δ））。しかし，さらにτが大きくなり聴覚の応答特性が鈍くなると，聴覚は指数減衰波形のかなり減衰した所でピーク応答値を示すため，再びラウドネスの相違は現れにくくなる。

そこで実験1の結果，すなわち衝撃の周期間隔とラウドネスの関係を明らかにするため，聴覚の応答常数τを変化させたシミュレーションを行った。

Fig. 15にシミュレーション結果を示した。横軸には聴覚機構の応答常数，すなわち式(6)のパラメータのτ（ms），縦軸には実験結果とシミュレーション結果の偏差が絶対値を用いて示してある。

τが小さい場合，衝撃周期間隔の違いによるラウドネスの相違は現れにくく，実験結果との偏差が大きくなる。τが90msの時，偏差が最小になり実験結果を最適に説明し得る。しかし，τが90msを越えて大きくなるに従い，前述したように波形がかなり指数減衰した所で聴覚がピーク応答を示すため，ラウドネスの相違は再び現れにくく偏差が大きくなる結果を示した。

このシミュレーション結果より明らかになったことを述べると次の通りである。

実験1に用いた指数減衰型の繰り返し衝撃騒音波形を対象にした場合，その最大振幅値及びRMS値が等しくても，衝撃の繰り返し周期間隔の相違により騒音の大きさは異なって感知される。このラウドネスの評価法を設定する場合，聴覚機構の応答常数τを90msとして式(7)を用い評価を行うと最適であることが明らかになった。

$$1-exp(-t/90) \qquad (7)$$

t；繰り返し衝撃間隔（ms）

7. 結　語

以上，繰り返し衝撃騒音の評価法について検討を加えてきたが，それらの大要をまとめると以下のようである。

(1) 工場で発生している繰り返し衝撃騒音を収録し，その波形パターン及び繰り返し周期間隔を調査したところ，波形パターンは指数減衰型波形が多く，周期間隔は500ms未満で衝撃が繰り返される騒音が多いことが明らかになった。

(2) (1)の調査結果をもとに，最大振幅値及びRMS値の等しい指数減衰型のモデル波形を作成しPSE法によりラウドネス実験を行った。その結果，衝撃の繰り返し周期間隔の長い騒音の方が大きく聴こえることが明らかになった。

(3) (2)の結果について，周波数帯域の広がりの効果（Spatial Effect）とエネルギーレベルの時間的変動の効果（Temporal Effect）の両面から検討を加えた。

(4) 周波数帯域の広がりの効果から検討を加えた場合，立ち上がりの鋭い衝撃的な騒音波形についてはSpatial Effectが現れにくいことが明らかになった。

(5) 次に，衝撃騒音波形のエネルギーレベルの時間的変動（Temporal Effect）に対する聴覚機構の応答特性を検討した。実験結果についてシミュレーションを行うと，聴覚の応答常数を90msとしてラウドネス評価法を設定した場合，最適な結果が得られることが明らかになった。

（平成2年4月20日受理）

参考文献

1) たとえば，守田栄，“新版　騒音と騒音防止”，オーム社，p.51（1977）

2) 難波精一郎編，“聴覚ハンドブック”，ナカニシヤ出版，pp.31～32（1984）

3) ISO 2204-1973(E), “Acoustics-Guide to the measurement of airbone acoustical noise and evaluation of its effects on man”, First edition 1973-05-01（1973）

4) ILO, “Protection of workers against noise and vibration in the working environment”, International Labour Office, Geneva（1975）

5) E. Zwicker, G. Flottorp and S. S. Stevens, “Critical bandwidth in loudness summation”, J. Acoust. Soc. Am. 29(4), pp.548-57（1957）

6) E. Zwicker, “Procedure for calculating loudness of temporally variable sounds”, J. Acoust. Soc. Am. 62(3), pp.675-82（1977）

7) たとえば，境久雄，中山剛，“聴覚と音響心理”，日本音響学会編，p.148（1982）

8) 皆川盛保，藤森威・他，“騒音計・レベルレコーダを用いた単発騒音暴露レベルの測定”，騒音研究会資料（日本音響学会），N-8402，pp.19～24（1984）

9) 矢野博夫，橘秀樹，“衝撃性騒音・振動の測定方法”，騒音制御，Vol 6, No. 6, pp.303～04（1982）