

騒音の考え方

● 特集——土木学会誌編集委員会 ●

世にいう公害問題のうち、今日第一線の土木技術者が直接関係する問題の一つに騒音・振動がございます。このうち前者、すなわち騒音は地域の住民が敏感に反応を示す最も身近なものであり、われわれ土木技術者が日々の活動の中で比較的悩まされる話題であります。騒音は防止しなければならないことは自明であります。騒音防止への諸策もけっして安楽には求められるものではありません。そこで、騒音問題解決の手法を考えてみますと、根本的に①音源を規制すること、②土地利用を規制すること、の2点に焦点を絞ることができ、現実の問題としてみる場合、時間的・経済的に根本的な解決策とはなり得ないのが実情でしょう。

そこで、今回は連日この種問題で苦勞されている第一線の方々、および関係者の皆様に「騒音による被害を、現状においてどのようにして軽減させることができるのか、その対応策はどうなっているのか」ということを主題として、特集をお届けすることを企画しました。

本特集では、まず最初に音の基本的な考え方を示し、次に各方面における事例を添える構成をとりました。加えて、学会誌としては初めて「ソノシート」による立体編集を試みました。ソノシートは“音のイロハ”を示すことをその役目としており、内容的に幼稚な感じも聞く人によってはもたれるかもしれません。そこで、ソノシートの有効な利用法をお知らせしましょう。まず最初に一度お聞き下さい。次いで特集本文をお読み下さい。そして、もう一度ソノシートをお聞きになられることをおすすめします。二度目にお聞きいただいたときに、より効果的に“音を知る”ことができたことをおわかりいただけるものと存じます。

本特集が関係各位により効果的に利用されることを願うとともに、編集に際しお世話になった各方面の方々に厚く御礼申し上げます。

騒音・その単位

1. はじめに

環境問題の中でも、騒音はその苦情件数が最も多く、ますます深刻化している。しかし、騒音は音の発生源とそれを聞く人間の感覚によって構成されているため、その問題の解決をいっそう困難なものにしている。そういった騒音を評価する単位は種々提案されているものの、人間の反応との対応を考慮に入れたものはほとんどないのが現状である。本文では、まずはじめに音そのものの特性にふれ、次に現在使用されている騒音評価方法と単位を明らかにし、最後に騒音が人間へ及ぼす影響について述べる。

2. 音の基本的事項

(1) 可聴範囲

音は空気の疎密波であり、音として聞こえる周波数範囲は個人差、測定のみずかしさなどによって異なるが、およそ 20~20 000 Hz (ヘルツ) にわたっている。また、音波の振幅によって決定される音場の中の点の音の大きさは、音の圧力 (音波によって生じる空気の圧力の変化量で、音波がないときの空気圧を基準とした圧力差)、あるいは音の強さ (音波の進行方向と直角な面を通過するエネルギー) によって表現され、可聴範囲は前者で $2 \times 10^{-5} \sim 60 \text{ N/m}^2$ (ニュートン毎 m^2)、後者で $10^{-12} \sim 10 \text{ W/m}^2$ (ワット毎 m^2) に及んでいる。

(2) デジベル表示とレベル

デジベル [dB] は、音圧あるいはエネルギーを表わす単位で、その最小可聴値との比を対数で表わしたものである。すなわち

$$\textcircled{1} \text{ 音圧レベル: SPL (Sound Pressure Level) } = 20 \log_{10} P/2 \times 10^{-5}$$

$$\textcircled{2} \text{ 強さのレベル: IL (Intensity Level) } = 10 \log_{10} I/10^{-12}$$

と表わされる。どちらの表現を用いても、ほぼ $P^2 \propto I$ であるため、同じ音であれば大体同じデシベル値となる。

*正会員 東京工業大学助手 工学部社会工学科

** 東京工業大学工学部社会工学科, 現 A.I.T. 大学院

と人間への影響

内山 久雄*・肥田野 登**

なお、このようなある基準に対する比の対数表示を一般にレベルと呼んでいる。

(3) 音響出力とパワーレベル

単位時間内に騒音源の発生する騒音エネルギーを音響出力といい、これのデシベル表示をパワーレベルと呼んでいる。音響出力はその騒音源がどの程度の音を発生しているのかを知り、騒音源の周囲の騒音の程度を推定するために必要とされる量である。

(4) 波形、スペクトル

波形は音色と関係するものであり、これから音を分類すると次のようになる。

- 純音……………正弦波
- 複合音 { 周期的……正弦波の整数倍の組合せ
- { 非周期的…錯綜音と呼ばれ規則性のない波形

一般に楽器の音は周期的な複合音であり、騒音は複雑な波形をもった錯綜音であり、さまざまな周波数の混合した音となっている。

また、複合音は各周波数ごとの音圧レベル(スペクトルレベル)を図に表わしたスペクトルによって物理的に比較できる。図-1に騒音の長時間平均スペクトルを示す。

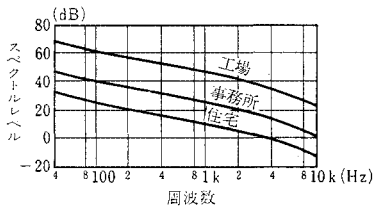


図-1 騒音の長時間平均スペクトル

(5) 音の大きさと周波数

同じ音圧レベルの音でも、音の高さ(周波数)が異なれば人間の耳は同じ大きさの音として反応しない。そこで、ある音の大きさを、これと同じに聞こえる1000 Hzの純音の音圧レベル [dB] で表わす。これはラウドネスレベル (loudness level) と呼ばれ、単位にホン (phon)

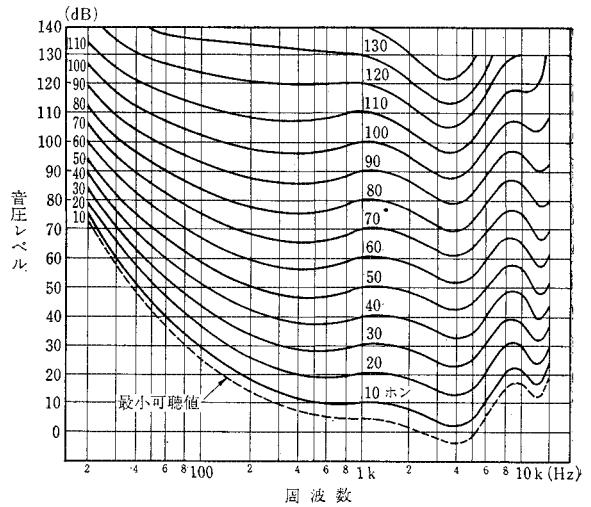


図-2 等ラウドネス曲線

が用いられている。図-2に等ラウドネス線を示すが、これは多数の人による測定 averages である。

騒音レベルの測定はJISの規定する方法によって指示騒音計で行なわれる。騒音計には等ラウドネス曲線に近似するように定められたA, B, Cの3つの特性を持った聴感補正回路が内蔵されており、この中でA特性が比較的好く人間の感覚と対応するので、騒音レベルとしてA特性で測定した値が現在広く用いられている。これがホン (A) または dB(A) と呼ばれる単位である。

3. 騒音の評価

「音の大きさ」と人間の感覚との対応づけは上述のように一応なされており、その観点からは騒音を評価することができるといえよう。ところが、同じ大きさの音でも音の高低とか、連続音、断続音等によってそれが及ぼす影響は異なる。このように、騒音の評価に際しては、騒音の及ぼす影響と関係する種々の要因を考慮しなければならない。これらの要因は、音そのものの特性とそれを聞く人間の特性とに分けることができよう。まずはじめに、音そのものの特性については表-1のようにまとめられる。

表-1 音の特性

音の大きさ	a_1	スペクトルごとの音圧レベル
	a_2	オクターブバンドごとの音圧レベル
	a_3	音圧レベル
波 形	b_1	純音かどうか
	b_2	衝撃性
時間変動	c_1	騒音の継続時間
	c_2	一定時間内のレベル差
	c_3	一定時間内のピーク回数
	c_4	一定時間内の音圧分布

表-2 各種の騒音評価法

評価法名	単位	目的(対象)	考慮する要因	値を求める手続き
① 音圧レベル	dB	物理量	a_1, a_2, a_3	測定値 dB(C) がこれに近い
② 騒音レベル	dB(A) (ホン)	近似感覚量	a_1, a_2, a_3	測定値 (dB(A))
③ 評価騒音レベル	dB(A) (ホン)	変動騒音	a_3, b_1, b_2, c_1	測定値の補正
④ 等価騒音レベル	dB(A) (ホン)	変動騒音	a_3, b_1, b_2, c_4	騒音レベルと頻度から計算
⑤ 音の大きさ	Sone	心理量	a_2	phon より計算
⑥ 大きさのレベル	Phon	感覚量	a_2	測定値より計算
⑦ NC	NC 値	基準曲線	a_1	測定値より表から算出
⑧ SIL	dB	会話に対する妨害をあらわす	a_2	測定値より表から算出
⑨ NRN	N値	一般の基準	a_3, b_1, b_2, c_1 , 音以外の要因	測定値に基づき表より補正
⑩ PN	PN-dB	航空機騒音	a_1	測定値より計算
⑪ NNI	NNI	航空機騒音	a_3, c_3	測定値より計算
⑫ NEI	NEI	変動騒音	a_3, c_1	測定値より計算
⑬ TNI	TNI	交通騒音	c_4	測定値より計算
⑭ NPL	dB	変動騒音	a_3, b_1, b_2, c_4	等価騒音レベルより計算
⑮ WECPNL	WECPEL	航空機騒音		PN の重みづけ
⑯ 50回法などによる騒音レベル	dB(A) (ホン)	変動騒音	a_3, c_4	測定値より計算

現在用いられている騒音の評価法をまとめると表-2に示すようになる。次にこれらについて説明しよう。

a) Perceived Noise Level (PNL)

やかましさを単位である noy を基準にしたもので、PN-dB 単位が用いられる。

$$PN-dB = 40 + \frac{100}{3} \log_{10} N_T$$

ただし、 $N_T = N_{max} + 0.3 \sum_i N_i$

N_i : 各周波数バンドの noy 数

N_{max} : 最大の noy を示すバンドの noy 数

noy: 音圧レベルとの関係から図-3に示されるように実験的に得られたものである。

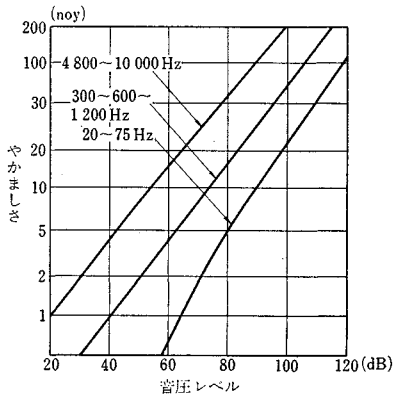


図-3 オクターブバンド音圧レベルと noy 数の関係

これは比較的新しい概念であるやかましさを導入した点で注目され、飛行機騒音の評価にも適用されるがゼークの回数、そのときの音圧レベルがあまり考慮されない欠点を持っている。

b) Speech Interference Level (SIL)

会話妨害のレベルを評価するもので、会話が妨害されやすい 600~4800 Hz の周波数を3つに分け、それぞれの音圧レベルを算術平均したレベルをいう(図-4参照)。

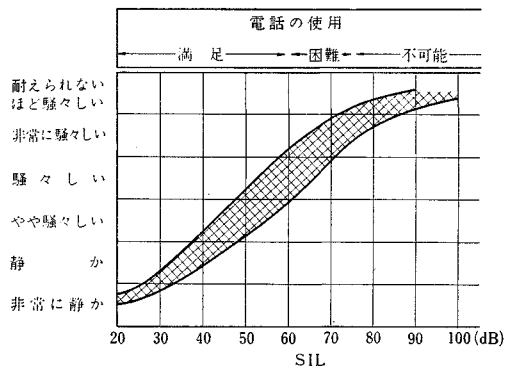


図-4 SIL (dB) と騒々しさの関係

$$SIL = \frac{3}{i=1} \sum N_i / 3$$

ただし、 N_1 : 600~1200 Hz の音圧レベル

N_2 : 1200~2400 Hz の音圧レベル

N_3 : 2400~4800 Hz の音圧レベル

600~4800 Hz 以外の音でも、会話の妨害に無関係ではない。そこで、これらをも考慮に入れた次の NC 曲線が提案された。

c) NC 曲線 (Noise Criteria)

SIL が 600~4800 Hz の周波数の音を対象としているのに対し、NC 曲線ではこれを 20~10000 Hz の可聴範囲すべてを含んだものである。これは、騒音のオクターブバンド分析によるバンドスペクトルに対して、図-5のように定められた基準線図の上に測定値をプロットして、各バンドの値の最大値をその騒音の NC 値としている。

PNL, SIL, NC 曲線は、音圧レベルと周波数との関

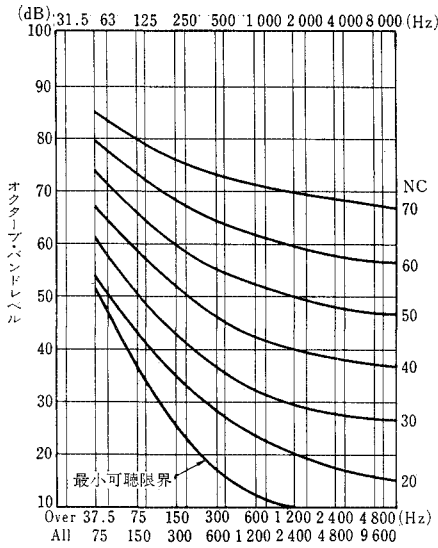


図-4 NC 曲線

係から指標化し、「やかましさ」、「うるささ」の評価に適用されるが、連続音、断続音、衝撃音などの時間変動を反映しない。

d) JIS の 50 回法による変動騒音レベルの評価

ある単位時間ごとに 50 回の騒音レベル [dB(A)] を測定し、レベルの低いものからならべた累積曲線を作成し、その中央値、90% 上下レンジでもって表示される。図-6 のような累積曲線を得たとき、中央値、63.5 dB(A)、90% 上端値 89 dB(A)、90% 下端値 42 dB(A)

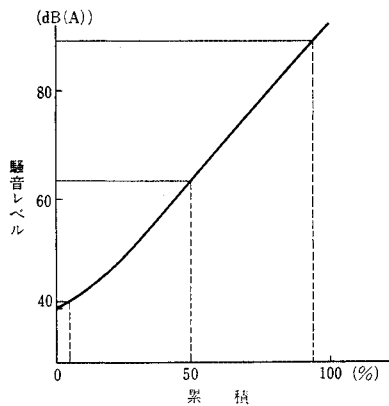


図-6 50 回法による累積曲線

となり、63.5 (42,89) のように記される。中央値はそれより騒音レベルが高い時間と低い時間とが等しいことを意味している。これは、その地点の平均的な騒音レベルを知ることの意味があるが、騒音レベルが極端に変動するような騒音の評価には有効でない。

e) Rating Sound Level (RSL : 評価騒音レベル)

表-3 RSL における補正方法

要因	条件	補正量 (dB(A))
ピークファクター	衝撃音	+ 5
スペクトル特性	純音要素があるか	+ 5
	50~100%	0
	12~ 50%	- 6
時間変動 (ある単位時間内 での持続時間)	3~ 12%	-12
	0.8~ 3%	-18
	0.2~0.8%	-24
	~0.2%	-30

測定された騒音レベル [dB(A)] に補正を加えたもので、これは 1970 年 ISO で採用された。

f) Equivalent Sound Level (ESL : 等価騒音レベル)

ある時間間隔を置いて騒音レベル [dB (A)] を測定し、5 dB(A) ステップごとの頻度を取り、次式のように定義されている。

$$L_{eq} = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{100} \sum f_i 10^{L_i/10} \right)$$

ただし、 L_i ; i ステップの中央レベル [dB(A)]

f_i ; i ステップに入った頻度 [%]

これは表-3 の衝撃音等の補正を加えたもので、単位は [dB(A)] である。

g) Noise and Number Index (NNI)

一定時間内の騒音の回数、ピーク値を基準にした指標で、飛行機騒音や交通量の少ない交通騒音に適用されている。

$$NNI = \bar{L} + 15 \log_{10} N - 80$$

ただし、 \bar{L} ; ピーク値の PN-dB 平均

N ; 回数

これは、航空機騒音等の静かなときと通過時とのレベル差、すなわち音の大きさの変化等を反映しない欠点がある。

h) Noise Exposure Index (NEI)

変動騒音の極大レベルや継続時間から定義する。

$$\bar{Q} = \frac{10q}{3} \log_{10} \left(\frac{1}{T} \sum_k 10 \log_{10} \frac{3}{10q} Q_k \tau_k \right)$$

ただし、 Q_k ; k 番目の音の最大レベル [dB(A)]

τ_k ; k 番目の音の継続時間

q ; 重みパラメーター

これは、変動騒音を時間の重みづけによって評価した点で注目されるが、どれくらいの大きな音、すなわち音圧レベルそのものの絶対値が問題となるような地点には有効でない。

i) Traffic Noise Index (TNI)

一定時間ごとに騒音レベル [dB(A)] を測定し、そのときの 90% 上下端レベルの値の 24 時間平均値を用いて、次式のように定義されたものである。

$$TNI = 4(L_{10} - L_{90}) + L_{90}$$

ただし、 L_{90} ; 90% 上端値の 24 時間平均値

L_{10} ; 90% 下端値の 24 時間平均値

j) Noise Pollution Level (NPL)

TNI, NNI を拡大したもので、次式のように定義されたものである。

$$NPL = L_{eq} + k\sigma$$

ただし、 k ; パラメーター (2.56)

σ ; 騒音レベルの標準偏差

これは、 L_{eq} の定義より

$$NPL = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{T} \int_0^T 10^{L/10} dt \right) + 2.56\sigma$$

となる。

TNI, NPL は騒音の時間変動を評価する指標であるが、50 回法による騒音レベルを基準としているので、90% 上端値より高いピーク時の騒音を包含できない欠点を持っている。最後に、音に対する慣れ、時間、季節、地域差などを考慮した騒音評価数 (NRN) について述べる。

k) Noise Rating Number (NRN; 騒音評価数)

これは、NC 曲線のように周波数ごとの音の強さについての基準線を設け、音色、時間的特性、その他の一般的な特性を反映させて補正したものである (表-4 参照)。

以上、騒音の単位、評価法について述べたが、現行の評価法では騒音のもつ複雑な構造すべてを反映していないことが理解できよう。

さて、騒音を構成するもう一つの要因である人間の特性として、健康度、性別、年齢、性格、現在の活動 (休息中、職務中、睡眠中等)、音に対する慣れ、騒音との利害関係等があげられよう。このうち「音に対する慣れ」は NRN で一応考慮されているが、それ以外の要素については、上記の評価法では、まったく考慮されていない。

4. 騒音が人間へ及ぼす影響

騒音は、なんらかの形で人間生活に悪影響を与えている。それらは、次の 4 つに大別されよう。

- ① 聴力に対する影響
- ② 聴取妨害
- ③ 精神的心理的影響
- ④ 身体的影響

(1) 聴力に対する影響

非常に大きな騒音下で作業する人間は、たとえ音にさらされている時間が短くても一時的に聴力を失なう。こ

表-4 NRN における補正方法

要素	条件	補正值
ピークファクター	インパルス	+ 5
スペクトル特性	純音	+ 5
繰り返し (ノイズが約 0.5 分 つづくものとして)	① 1 分間 1 回まで	0
	② 1 時間 10~60 回 1~10 回	- 5 -10
	③ 1 日あたり 4~20 回 1~4 回 1 回だけ	-15 -20 -25
慣れ	① なれていない	0
	② 少しなれている	- 5
	③ 非常になれている	-10
時間・季節	① 昼間のみ	- 5
	② 夜間のみ	+ 5
	③ 冬	- 5
	④ 夏	0
地域差	① いなか	+ 5
	② 郊外	0
	③ 都市住宅地	- 5
	④ 軽工業都市内部	-10
	⑤ 重工業	-15

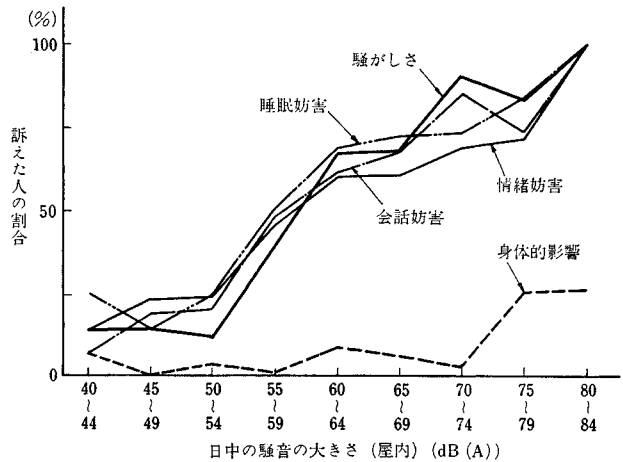


図-7 アンケートからみた騒音の影響

れが、一時的難聴 (TTS) と呼ばれるものである。また、TTS がたび重なり、長時間にわたって音にさらされたりすると永久的な難聴 (PTS) となる。

(2) 聴取妨害

電話をかけているときや会話の際など、とくに騒音が気になることがある。これは、話し声とその騒音が相互に打ち消し合って話し声が聞こえなくなる“マスキング”と呼ばれる現象のためである。たとえば、図-8 に示されるように、1200 Hz, 100 dB の純音が発生しているとき、1200 Hz 前後の周波数の音は極度に聞こえにくく、80 dB 以上の音でないと聞こえない。

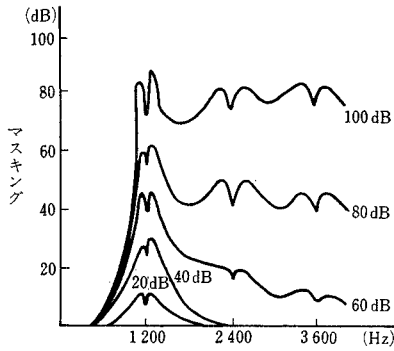


図-8 最小可聴域の変化

(3) 精神的心理的影響

たとえば単純作業の場合、音がむしろ刺激となって作業能率の向上が期待できることがある。バックグラウンドミュージックなどはこの良い例である。しかし、この音があまりにも大きくなると逆効果となり、とくに注意力や集中力を要する作業や、睡眠時では妨害となる。

(4) 身体的影響

騒音によって毛細血管の収縮、血圧・脈搏の増加、唾液・胃液の分泌の減少等の生理的な影響が生じる。これは、内臓器官の働きを支配している自律神経系の緊張によるものであるといわれており、精神的・心理的影響によるストレスによって生じるもので、間接的影響といえよう。

5. まとめ

騒音の評価法にはさまざまな影響や発生音源に応じて10種以上のものが提案され、利用されている。しかし、これらの評価には、騒音を構成している要因のごく一部しか考慮されておらず、とくに受け手である人間の特性を含んだものはほとんどない。したがって、これらの評価法あるいは単位を適用する際はこの点を十分注意し、その限界を常に考えるべきであろう。また、人間の要素を考慮した指標の作成への努力も必要であろう。

土木技術者のための振動便覧 A 5・436頁 2800円

地震応答解析と実例 B 5・458頁 5000円

騒音と振動の学術誌



米国 Acoustical Publication, Inc. 社が発行する騒音振動についての専門誌 S/Vの日本語版と英語版。

8月号 (Vol. 2/No.7)

◆騒音と振動制御に対する減衰処置

◆家庭用機器に関する騒音制御

◆騒音減少効果を示す簡単な定格

【既刊主要論文】

- ・時系列分析の簡単な説明
- ・実時間スペクトル分析
- ・騒音と振動源の探知技術
- ・スペクトルとコヒーレンス関数の使用法
- ・ランダム信号の時間領域分析と周波数分析
- ・振動制御についての基礎概念
- ・代表的機械振動問題の解決法
- ・機械騒音防止のための防振

- ・ターボ機械の回転分析
- ・機械振動の監視および解析技術
- ・製品の騒音を軽減する作業計画
- ・音場内でのマイクロホンの方向性
- ・ランダム信号の分析における時間/精度の相反性
- ・環境騒音特性に対する指数の原案
- ・失聴の危険性——その基準と測定
- ・縮小モデルの試験結果を用いたの騒音制御設計
- ・機械的衝撃の周波数分析

- ・振動試験における振幅の不安定性
- ・騒音と振動制御に対する減衰処置
- ・音響測定室を選択する場合の周囲騒音効果
- ・Noise Control In Home Appliances
- ・A single number Rating for Effective Noise Reduction
- ・Development and Utilization of Open-plan Educational Facilities

定価：日本語版 | 部500円・英語版 | 部700円・予約購読制

ジャパン サウンド アンド バイブレーション カンパニー

〒101 東京都千代田区神田神保町2-42(阿部ビル) ☎(03)264-2979・261-2311