

騒音の評価量として等価騒音レベル L_{eq} が話題になることが多くなっており、各種騒音測定で使われる機会が増加している。実用的に等価騒音レベルを求めるときには、あとで簡単にのべるように、通常の騒音計あるいはこれとレベルレコーダとの組合せを使って測定された騒音レベルから算出することができる。また IC、マイクロプロセッサなどの発達を背景にして、各種の騒音自動演算処理装置が作られており、そのなかには等価騒音レベルの算出を一つの機能としてもったものも多くなっている。

こうして等価騒音レベルは、通常の騒音測定量の範囲に含まれる段階に達しているものと考えてよい。ただ等価騒音レベルが一般的な騒音評価量として定着するためには、実用的な計測器として普通の騒音計と同程度あるいはこれに近い簡便さと価格をもった、いわゆる L_{eq} メーター（積分騒音計）の開発が重要な条件になる。現在 IEC（国際電気技術委員会）では、こうした積分騒音計について、国際規格作成の作業が急がれており、すでにいくつかの製品が市場にあらわれている。

本分では、ハードウェアの面を中心にして L_{eq} メーターの現状と動向をまとめて、等価騒音レベル測定の参考にしたい。

1. 等価騒音レベル L_{eq} とは

騒音のうるささに対する評価量として、等価騒音レベルの基本的な概念が初めて提唱されたのは1960年代であって、今から10数年前のことになる。その考え方は、騒音のうるささは暴露される音のエネルギー量によってきまるといいうゆるエネルギー原理を基盤にしたものであるが、等価騒音レベルの具体的な表現としては、これまでさまざまな形式が使われてきた。

現在 ISO や IEC において等価騒音レベルの定義には、次式が使われている*。

$$L_{Aeq} = 10 \log_{10} \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt \quad \dots\dots (1)$$

ここで、 $t_2 - t_1 = T$: 実測時間
 $p_A(t)$: A特性補正瞬時音圧
 p_0 : 基準音圧(20μPa)

すなわち等価騒音レベルは、実測時間 T における2乗音圧（A特性）の平均値をレベル表示したもので、これは非定常騒音の表示量として、時間 T の範囲内でのA特性補正をした音の総エネルギーが同じになる定常騒音のレベルを用いることを意味している。

実際の騒音測定で直接に求められるのは、音圧 $p_A(t)$ ではなく騒音レベル $L_A(t)$ であることが多いので、等価騒音レベルの定義式として(1)式の代りに次式が使われることがある。

$$L_{Aeq} = 10 \log_{10} \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} 10^{L_A(t)/10} dt \quad \dots\dots (2)$$

ここに示した2つの字義式、原理的には全く同じものであるが、騒音レベル $L_A(t)$ は騒音計の動特性によって時間平均されたものなので、対象とする騒音の性状によっては、両者の結果は必ずしも一致しないことがある。この問題については、あとの L_{eq} メーターの項で再びのべることにしたい。

等価騒音レベルを一般的な非定常騒音の評価量とするためには、間欠音や衝撃音の場合の測定時間のとり方などいくつかの問題点が残されているが、本文では計測器の紹介を中心にしてまとめるので、直接の評価の問題は他の文献、資料などを参考にされたい¹⁾。

2. 騒音計を使った等価騒音レベルの算出

騒音の基本的な計測器として最も普及している騒音計あるいはこれとレベルレコーダとを組合せて測定された騒音レベルからの算出方法を、簡単にのべておく。

2.1 騒音レベル読み取り値からの算出

騒音計とレベルレコーダとを使うほう穂として最も一般的なものは、図1に示すように実測時間内で一定時間間隔

* JIS Z 8731 (騒音レベル測定方法) の改訂原案のなかでも、この表現が使われている。

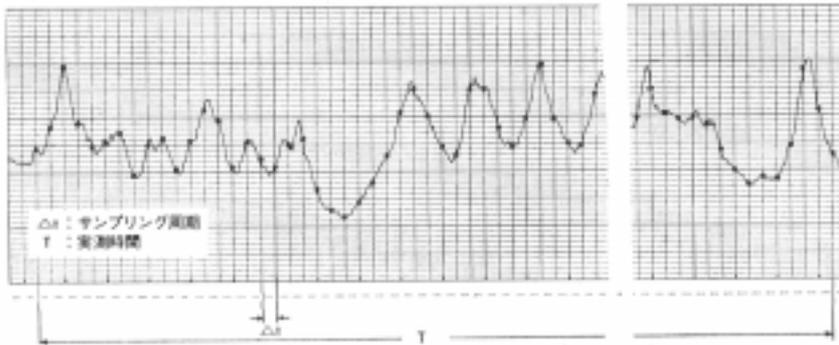


図1
騒音レベルサンプリングの例

ごとに騒音レベルをサンプリングする方法である。サンプリングの方法としては、騒音計のメーターからの直接の読み取りとレベルレコーダ記録紙からの読み取りのいずれかが使われている。この場合には、有限個の騒音レベルの値を使って等価騒音レベルを算出することになるので、実際の計算は(2)式のままではなく、次式によって行われる。

$$L_{Aeq} = 10 \log_{10} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{L_{Ai}/10} \quad \dots\dots (3)$$

ここで、 L_{Ai} : i 番目の騒音レベルのサンプル値
 N : サンプル総個数

こうしたサンプリング方式で最も重要なことは、サンプリング周期（時間間隔）の選定である。一般にサンプリングの周期は、測定計の時定数の2倍程度以下にすることが必要であるといわれている。騒音計の動特性についての規定は、厳密には時定数で表現できるものではないが、近似的にみればサンプリングの周期としては、動特性がFASTの場合に0.25秒、SLOWでは2.0秒程度が必要なことになる。

一方実際のサンプリング周期として、騒音計の直接読み取りでは5秒程度、レベル記録紙からの読み取りでは1～2秒程度以下にすることは困難であって、上にあげた原理的な条件よりは周期が長くなることは避けられない。ただ従来の騒音レベル中央値などの測定結果からも類推できるように、一般の環境騒音についての実用的な等価騒音レベルの算出に対しては、1～5秒程度のサンプリング周期でもじゅうぶんなことが多いので、今後この方法が使われるものと考えてよい。このためには、現実の各種騒音についての等価騒音レベル資料を集積し、この方法の適用限界を明確にしておくことが必要である。

2.2 パーセント時間率レベル L_x からの算出

これまでわが国の騒音規制や基準における騒音評価量としては、騒音レベル中央値 L_{50} 、90パーセントレンジ上端値 L_5 など、一般にパーセント時間率レベル L_x と

よばれる統計量が使われており、これらの評価量で整理された非常に膨大な騒音の資料が集められている。こうした既存資料を活用したり、今後中央値などと合わせて等価騒音レベルも測定したりする場合には、 L_x の値から L_{eq} が算出できれば便利ことが多い。

この場合にも、2.1でのべたサンプリング周期についての注意は L_x の測定にも共通した重要な問題であるが、そのほかに L_x からの換算ができるためには、サンプリングされた騒音レベルが正規分布することが必要条件になる。この条件が成り立つときには、中央値 L_{50} および90パーセントレンジ上端値、下端値 (L_5, L_{95}) あるいは80パーセントレンジの上端値、下端値 (L_{10}, L_{90}) を使って、次式から等価騒音レベルを算出することができる。

$$L_{Aeq} = L_{50} + \frac{(L_5 - L_{95})^2}{93.5} \quad \dots\dots (4)$$

$$L_{Aeq} = L_{50} + \frac{(L_{10} - L_{90})^2}{56} \quad \dots\dots (5)$$

実際の騒音では正規分布の条件が成立たないことが多いので、一般的にはこの方法を適用することはむしろかしいと考えておくのがよい。

3. L_{eq} メーター（積分騒音計）

L_{eq} メーター（積分騒音計あるいは等価騒音レベル計）は、所定の測定時間について1.で定義された等価騒音レベルの値を、デジタルあるいはアナログで表示する計測器である。一般的には、こうした計測器の範囲にはデータ処理器とよばれるものも含まれるが、ここでは通常の騒音計に積分機能を組込んだもの、および騒音計のアダプターとして使われるものに限定する。

3.1 L_{eq} メーターの仕様

計測器の具体的な構成を考えるためには、性能その他についての詳細な仕様を規定することが必要である。ここで取上げる L_{eq} メーターの場合には、まず騒音レベル計測器の基本的な条件として、次の各規格に定められてい

る騒音計の機能を備えていることが前提になる。

JISC1502 普通騒音計

JISC1505 精密騒音計

IEC Pub. 651 Sound Level Meters

L_{eq} メーターとしては、これに加えて積分機能などの規定が必要になる。はじめにのべたように、IECではSC29C(音響測定装置委員会)において、Integrating Sound Level Metersの名称で L_{eq} メーターの国際規格作成の作業が進められている。これは、各国で騒音評価の基本量として等価騒音レベルを採用する動向にあり、それに伴ってすでに数種類の製品が市場にあらわれているので、早急に規格を制定して計測器の標準化をはかることの必要性に対応するものである。

1980年7月にSC29C事務局から配布された規格草案に対して、各国から多くのコメントが寄せられている段階にあるので、正式な規格として制定されるまでには、いくつかの修正が加えられることが予想されるが、現在の草案に示されている仕様の大綱を紹介しておく。

この積分騒音計の規格草案で、騒音計としての基本的な特性はIEC Pub. 651によることになっている。そのため周波数補正回路の許容差などについてPub. 651で規定されているType 0~3の4段階の区分などは、そのまま適用されることになる。等価騒音レベルの算出は、さきに示した基本的な定義式(1)によって行うことになっているが、実際に計測器の開発に対して重要な規定の内容は以下の通りである。

(1) Dynamic span (動作範囲)

ここで規定される(Type 0, 1では1.0dB, 2, 3では2.0dB)の範囲内で直線性の成立つような、正弦入力信号の上下限レベルの差として定義されるもので、これが表1の値以上になることを規定している。

このように広い動作範囲が必要になるのは、あとで述べるように長時間(例えば24時間)の等価騒音レベルを求めるときに、騒音レベルの時間変動に応じて正確な算出ができるようにするためである。

(2) Pulse factor capability

表1 動作範囲の規定

Type	0	1	2	3
動作範囲 (dB)	70	60	50	40

表2 Pulse factor capability の規定 (dB)

Type	0	1	2	3	
カテゴリー	P	73	63	53	43
	N	20	20	20	20

この規格案では、継続時間の短い衝撃性の音についても普通の変動騒音と同程度の精度で等価騒音レベルの測定ができるように、試験方法を含めて詳細な規定が与えられている。これは、積分騒音計の最も重要な用途として、衝撃性騒音の多い工場内などの作業環境騒音の測定が考えられているためである。ただし一般的な環境騒音の場合には、衝撃音の寄与は小さいことが多いので、用途を限定すればこの規定を緩和することができる。こうした考え方から、短い衝撃音に対する性能によって、2つのカテゴリー(P, N)に区分した仕様が規定されることになっている。

衝撃音に対する性能の規定は、試験方法と関係づけて与えられている。すなわち、前項に示した動作範囲の下限に対するレベルの連続正弦信号(周波数6kHz)に、周波数6kHzで継続時間1msから1sのトーンバーストを加えた試験音について、バースト信号のレベルをふやしていったときの等価騒音レベルの指示値が、所定の誤差範囲に入る最大のバースト信号レベルを求め、これと定常信号レベルとの差が表2の条件を満足することとなっている。

(3) 積分時間

積分騒音計は、一般には任意の時間についての等価騒音レベルを算出できることが必要であって、そのために積分操作を開始してからの経過時間を測定表示する機能を備えていることが望ましい。

実用的な測定では、あらかじめ設定された積分時間での等価騒音レベルが自動的に求められる機能を備えた計測器が便利である。ここでは、このための積分時間としての次の値のなかから選ぶことが推奨されている。

10秒

1分, 5分, 10分

1時間, 8時間, 24時間

積分時間は測定の目的や対象騒音の種類などに応じて選定されるものであるが、普通の環境騒音測定の場合には、少なくとも1分間以下の積分時間は実用的に意味がないものといっていよいであろう。

(4) 過負荷指示機能

等価騒音レベルに対しては、測定時間内での高レベル部分の寄与が大きいので、動作範囲を超えた過大入力は大きな誤差の原因になりやすい。このために、積分騒音計には必ず過負荷指示機能を備えることが規定されている。

3.2 L_{eq} メーターの基本的な構成

L_{eq} メーターの回路構成のなかで最も重要なのは、自乗積分機構である。実用的な計測器設計のためには、精度、安定性、価格などの面から適当な回路構成が考えら

れている。ここでは、現在実用化されている積分騒音計に使われているいくつかの基本的な構成について、その特徴などを示しておく。

(1) アナログ型自乗積分方式

等価騒音レベルの基本式(1)に忠実に従うものであって、音圧（電圧）瞬時値 e （一般にA特性補正済み）から等価騒音レベル L_{eq} を指示するまでの基本的な構成は図2に示す通りである。

このなかで実際の自乗操作を行う回路としては、自乗回路 IC のほかに例えば図3に示すような回路構成が使われている。つぎに積分操作については、厳密な意味でのアナログ方式で積分を行うことは簡単ではなく、あとのべるデジタル積分方式の採用が特に実用面からみて有利であると考えられる。ただ実質的な意味でのアナログ方式として、これまでに図4に示すような構成が使われている。これはいわゆる $V-F$ 変換を利用したもので、 e^2 に比例した周波数の電気信号を発生させ、これを計数積算して積分値を算出するものである。この場合周波数の計測はデジタルに行われるので、厳密な意味でのアナログ方式ではないが、積分機構そのものからみてここに含めた。

(2) デジタル型自乗積分方式

原理的には(1)と同様に基本式(1)による自乗積分を行うものであるが、図5に示すように音圧（電圧）瞬時値 e を A/D 変換機に通してデジタル信号 e_d とし、それ以後の自乗および積分（和）操作をすべてデジタル処理で行うものである。

この方式は、一般的なデジタル信号処理の利点をそのまま持ち、マイクロプロセッサを活用して実現することができる。ただ(1)と同様な意味での結果をうるためには、A/D 変換におけるサンプリング周期を非常に短くすることが必要になる。

実際には(1)と(2)の中間として、音圧瞬時値の自乗までをアナログ方式で行い、そのあとで A/D 変換を行ってデジタル積分操作をする方式も考えられる。

(3) 実効値デジタル積分方式

前2項に示した自乗積分方式は、音圧瞬時値をそのまま基本式(1)に適用して等価騒音レベルを算出表示するものである。ところで通常の騒音計には、自乗検波回路や対数変換回路が備えられているので、これを利用した自乗積分方式が考えられている（図6）。

この場合、検波回路は騒音計の動特性に対応した時定数（FAST、SLOW あるいは IMPULSE）をもっているため、図6の A/D 変換におけるサンプリング周期は、それぞれの時定数に見合った

値を選ぶようにすればよい。実際には時定数に応じてサンプリング周期を変えるようなことはしないで、10ms 程度に設定すればすべてに対応できることになる。

実質的にはここに含まれる方法の一つとして、騒音レベル L_A を A-D 変換したサンプリング値から出発する方法がある。この場合の等価騒音レベルの算出は、さきに2.1に示した(3)式によって行われる。ここでも重要なのはサンプリング周期の選定であって、基本的にはまえにのべたのと同じ条件が適用される。

3.3 L_{eq} メーター製品の現状

等価騒音レベルが各種騒音評価の基本量として使われるようになり、一方では IC、マイクロプロセッサの急激な発達によって、 L_{eq} メーター（積分騒音計）の名称をもった数種類の製品がつくられている。ただ現時点では、 L_{eq} メーターとしての規格が確定していないので、騒音計の基本的な仕様を除いてはメーターごとにそれぞれ独自の仕様に従ってつくられている。

特にわが国では、騒音に係る環境基準や規制基準が主として中央値や90パーセントレンジの上端値で与えられているので、等価騒音レベルは補助的な意味や研究の資料として使われている段階である。そのために、3.1でのべた IEC 規格案に準ずる形式での L_{eq} メーター製品の開発は、外国にくらべて遅れているのが実状である。その代りに、これまで騒音処理器などの名称でつくられてきた各種演算装置の中に、等価騒音レベルを算出できるようになっているものが増えてきている。ただこれらの製品の仕様はメーカーによって、また開発時期によってまちまちであり、特に自乗積分器における A-D 変



図2 アナログ型自乗積分器の構成



図3 自乗回路構成の例



図4 アナログ積分器の例



図5 デジタル型自乗積分器の構成

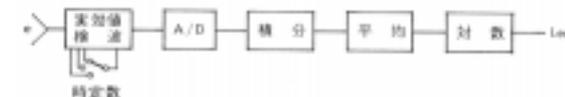


図6 実効値デジタル積分器の構成

法、重量ともかなり大きくなっており、通常環境騒音現場測定用としてはやや不便を感じる場合もあると思われる。

(2) CEL-175 Precision Integrating Sound Level Meter

英国の Computer Engineering 社の製品である。この会社は非常に規模の小さい会社であるが、早くから L_{eq} メーター開発、製品化に力を入れてきている。これは英国において作業環境騒音の評価、規制のために、信頼性があり取扱いの簡便な L_{eq} 計測器の必要性の高まっていることが背景になっており、英国の政府機関などがその開発に積極的な協力をしているようである。

CEL-175 は同社の本格的な L_{eq} メーターとして最初のものとはいってよいが、製造や使用実績の程度は不明である。全構成のブロック図を図8に示す。この場合には3.2の(3)実効値デジタル積分方式が使われている。そのなかのA/D変換のサンプリング周期は10msになっており、 L_{eq} 算出の機能としてじゅうぶんなものと考えられる。なお L_{eq} の値はアナログ型メーターに表示されるようになっている。

(3) CEL-193 Precision Impulse Integrating Sound Level Meter
前項にのべた CEL-175 と同じ

Computer Engineering 社の製品であって、図9のブロック図に示すように自乗積分の方式は、原理的に CEL-175 と同じになっている。ただ騒音計の機能として、IMPULSE 特性が付加され、測定範囲が広がるなど性能工法がはかられている。

英国での試験結果では、この CEL-193 はさきに3.1にのべた積分騒音計についての IEC 規格案のすべての規定を満足するものであるといわれている。少なくとも小型計量が大きな特徴になっているといってよい。

(4) Gen Rad 1988 Precision Integrating Sound Level Meter and Analyzer

米国の代表的な音響計測器メーカー Gen Rad が最近開発した製品である。手元に詳細な資料がないので、具体的な構成の細部はわからないが、その開発時期や主要な仕様からみると、IEC 規格案に準拠したものと考

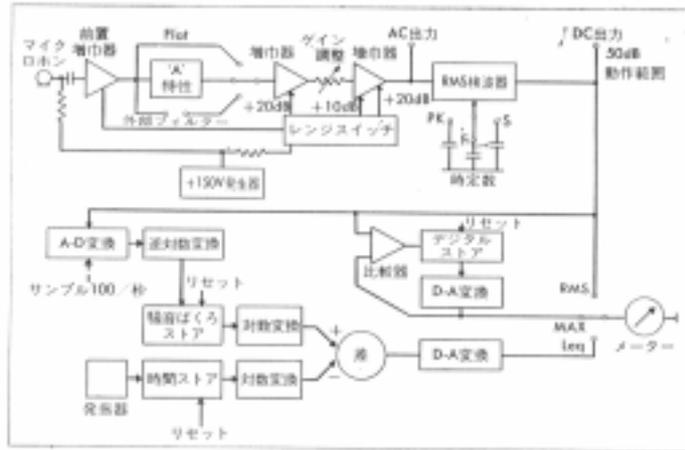


図8 CEL-175のブロック図

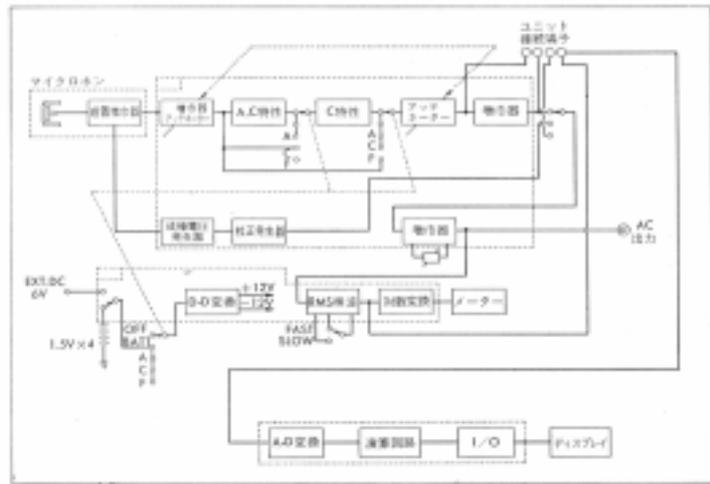


図9 CEL-193のブロック図

えてよいであろう。

なお名称からも明らかのように、この積分騒音計には1オクターブバンドフィルターが内蔵されており、オクターブ分析もできるようになっている。これは同社の通常の騒音計に使われてきた方式であって、この L_{eq} メーターの特徴の一つである。

(5) リオン EQ-05 L_{eq} ユニット

これまでわが国では、上にのべた各種外国製品に相当するような L_{eq} メーターの製品はつくられていない。ここに示すリオンのEQ-05ユニットは、同社のNA-20(普通騒音計)、NA-60(精密騒音計)などのアダプターとして組合せ使用し、 L_{eq} を演算表示するものである。さきにのべた IEC 規格案では、こうしたアダプター形式の積分騒音計も含まれることになっているので、

今後もこうした形式の製品が考えられる。表3に示したEQ-05の性能仕様は、NA-60精密騒音計と組合せた場合のものであって、総合性能はEQ-05に組合せる騒音計の機種によって変ることになる。

なおこの場合の自乗積分の方式としては、図10のブロック図に示すように3.2(3)の実効値デシベル積分方式が使われており、そのなかでA/D変換のサンプリング周期は約0.2秒になっている。2.1でのべたように、動特性FASTまたはSLOWに対応する騒音レベルからのサンプリングに対しては、このサンプリング周期はじゅうぶんであると考えられる。

4. L_{eq} メーターの今後の動向

すでにのべたように、わが国では等価騒音レベルの騒音評価量としての位置が確立していないので、その計測器としての L_{eq} メーターの製品化も遅れた段階にある。ただ恐らく近い将来において、等価騒音レベルが評価の基本量として重要になり、これに伴って騒音計と同程度の簡便さをもった L_{eq} メーターが要求されるようになることは間違いないと考えられる。

この場合に、わが国の計測器開発の技術レベルからいえば、ここで要求される L_{eq} メーターについても、ハードウェア開発の面では基本的な問題はないといつてよい。実際にはハードウェア開発設計の前提となる仕様決定のためのソフトウェアについて、いくつかの問題が残されていると考えられる。本分3.1, 3.2などでのべた自乗積分方式やそのなかでのサンプリング周期の選定、動作範囲や衝撃音に対する性能の規定方法などがあげられる。また3.3でのべた L_{eq} メーターの各製品の場合、積分時間は任意にきめるようになっており、測定開始と終

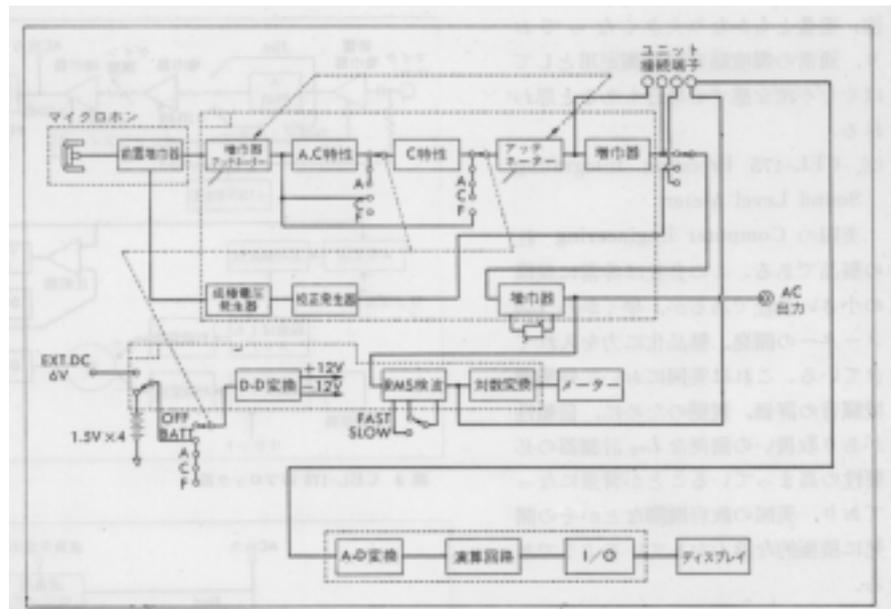


図10 NA-60+EQ-5のブロック図

了とはそれぞれ手動制御で行うのが原則になっている。これは一面において必要な機能であるが、実用面からいえば、測定の開始時間や積分時間などをあらかじめ設定しておいて、自動的な測定ができることが望ましい。

ここにあげたいいくつかの条件を、 L_{eq} メーターの性能仕様として明確にするためには、各種の騒音について等価騒音レベルの算出値に対するこれらの要因の影響を検討するための資料を集積するとともに、等価騒音レベルの評価量としての役割、使い方について、基礎的な検討を進めることが必要であると考えられる。こうして、当面は等価騒音レベルのデータ収集を続ける段階であるが、この場合その計測器としての L_{eq} メーターについて、本文でのべたように性能面でいくつかの問題があり、既存の製品の仕様も統一されていないので、等価騒音レベルの測定にあたっては、使用する計測器、演算方法の特性をじゅうぶん理解しておくとともに、データを発表するときには計測器の特性を明示しておくことが重要であることを指摘してむすびとする。

〔参考文献〕

- 1) 例えば日本建築学会編：騒音の評価法(彰国社, 昭和56年)