

受変電設備の低騒音設計

Noise Reduction of Substation Equipments

受変電設備の低騒音設計を行なう場合、まず変電所の騒音分布を計算しなければならない。一般に敷地の狭い産業用変電所では、建造物の反射、変圧器騒音の指向性などの考慮が必要であるが、本稿は、これらを考慮した計算法を紹介する。次に変電所における最大の騒音源である変圧器騒音の低減設計法の基本的方針について説明するが、特に50ホン(A)級の低騒音変圧器の場合は、本体又は防音壁からの放射音とともに、放熱器あるいはコンサベータなどの付属品への振動伝達に起因するこれらからの放射音の低減が不可欠である。このため、設置する防振継手の効果を実測するとともに、各部分の振動加速度分布の測定値から各部分の放射騒音を推定し、低騒音変圧器構造を検討する手法を確立した。

斎藤 清* Kiyoshi Saitō
山岸嘉勝* Yoshikatsu Yamagishi
片田邦夫* Kunio Katada

1 緒 言

「騒音規制法」が制定され、産業用受変電設備の設置されている変電所の騒音対策は不可欠の問題となってきた。特に市街地や住宅地に変電所が設置される場合も多くなっており、この場合、用地難などから最も大きな騒音源である変圧器が敷地境界線に近接して設置される事例がほとんどである。このため低騒音変圧器の需要が多くなり、また既納変圧器の低騒音対策も重要な問題となっている。

本稿は、変電所の騒音分布計算法の概要と考慮すべき点を説明するとともに、産業用中容量変圧器の低騒音化対策について最近の技術と実施状況を述べ参考に供するものである。

2 変電所の騒音分布計算

変電所内設置機器の中で最大の騒音源は変圧器であるので、変圧器の騒音レベル、設置位置の決定が最も重要になるが、これは変電所の騒音分布計算を実施し、境界線上の騒音値が「騒音規制法」の規制値を満足するように計画されなければならない。

変電所の騒音分布を計算する方法としては、建屋の反射や変圧器騒音の指向性などを考慮せずに騒音エネルギーを合成するものがほとんどである。この手法は既に各種文献^{(1)~(4)}に詳しく紹介されているので省くが、一般に敷地の狭い産業用変電所では、変圧器と工場建屋、へい、しゃ音囲壁間の距離が近く、また隣接している変圧器間の距離も接近している例が多く、この場合には建造物の反射、変圧器騒音の指向性及び位相を考慮しなければ計算精度の向上は期待できない。日立製作所ではこれらを考慮したものとして(1)式を開発し、設計に使用している⁽⁵⁾。

$$P(t) = \sum_{i=1}^n \frac{A_i(\theta_i) e^{j\{\omega t - \beta\sqrt{x_i^2 + y_i^2 + z_i^2} + \theta_i(\theta_i)\}}}{\sqrt{x_i^2 + y_i^2 + z_i^2}} \dots (1)$$

但し、 $P(t)$ ：観測点の音圧 (μbar)

$A_i(\theta_i)$ ： i 番目の音源の指向性 ($\mu\text{bar} \cdot \text{m}$)

$\theta_i(\theta_i)$ ： i 番目の音源の位相特性 (rad)

x_i, y_i, z_i ：観測点と音源との距離を示す x, y, z 成分 (m)

β ：波長定数 (rad/m)

但し、(1)式は実物の変圧器の指向性及び位相特性が求めら

れていないと計算できない。また反射面がある場合のイメージ音源の取り方も、配置によってそのつど検討が必要である。図1に(1)式を用い変電所の騒音分布を電子計算機で計算した一例を示す。

変電所内の機器配置計画に当たっては、前述の騒音分布計算などを参考にして最適配置を考えることが望ましいが、変圧器設置位置を境界線から可能な限り離したり、変電所建屋をしゃ音囲壁、又はへいと見なせる位置に変圧器を設置するなどの考慮を払うことも効果がある。

3 変圧器の騒音

3.1 騒音の発生原因と伝搬経路

変圧器騒音の発生原因としては、次のようなものがある。

(1) 一次的原因

(a) けい素鋼板の磁わい現象に基づく振動

鉄心に磁束が通ることにより磁わい現象が生じ、鉄心が伸縮して振動を発生するもので変圧器騒音の主要素である。

(b) 鉄心の継目及び成層間に働く磁気吸引力による振動

(c) 巻線導体間の電磁力の振動

(d) ファンや送油ポンプなどの補機から発生する騒音

この4要因のうち(b)、(c)は巻線や鉄心の締付けを十分強固に行なうことにより容易に減少させることができる。

(2) 二次的原因

(a) タンク、放熱器、付属器具などの共振

(b) 建造物の反射によるもの

(c) 配管系のサージングによる異常振動

(d) ボルトの締付け不良、不完全接触によるチャタリング

次にこれらの発生原因による振動や騒音がどのように伝搬されるかを図2に示す。

3.2 変圧器騒音の特性

鉄心の磁わい振動は、励磁周波数の2倍の周波数を基本波とする多くの整数倍高調波からなり、特に最近の高磁束密度けい素鋼板などでは、全体的な磁わい量は大幅に低減しているが、基本波成分より高調波成分のほうが大きな割合を占める例が多く、これらの高調波成分に対しても変圧器構造物が

* 日立製作所国分工場

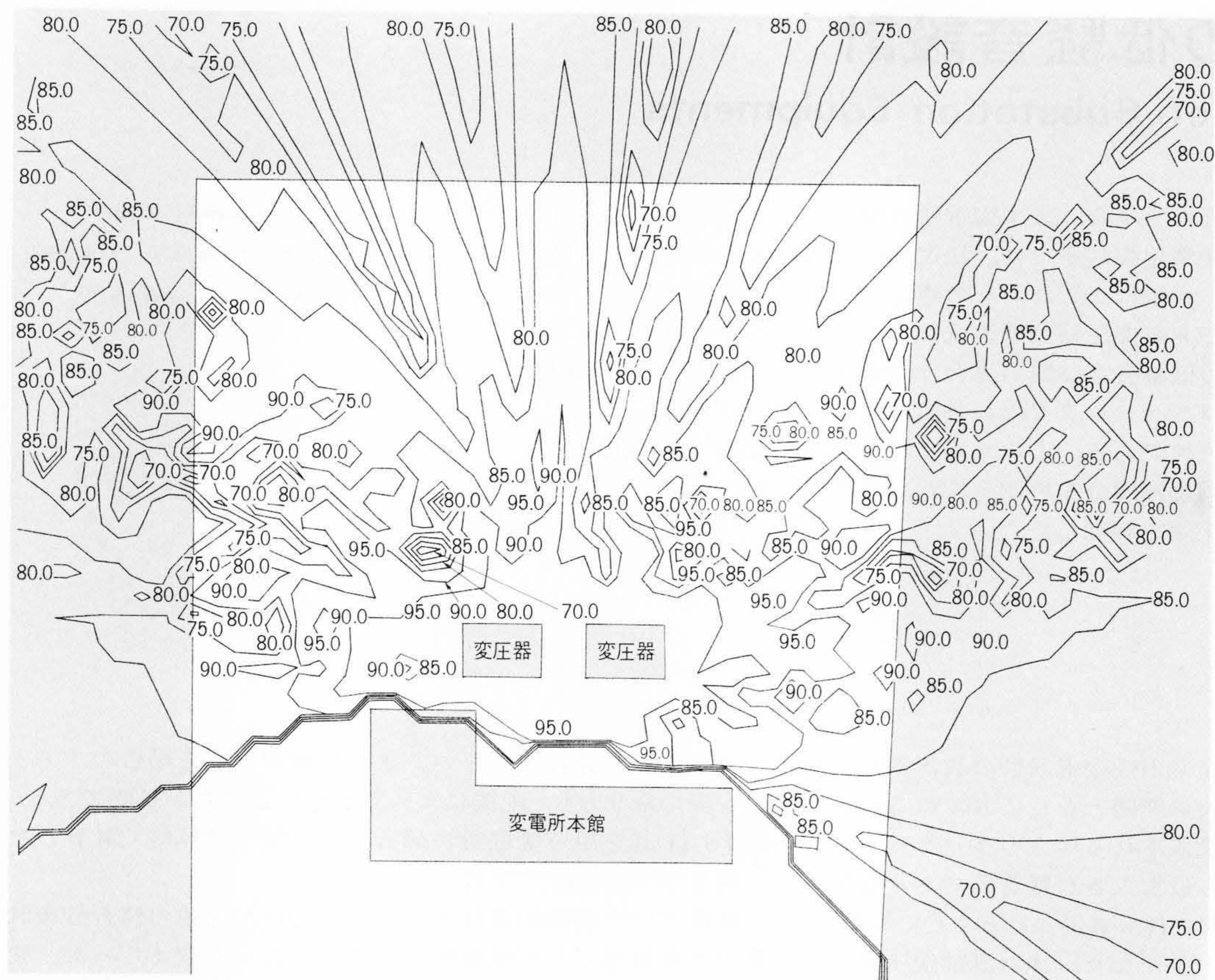


図1 変電所の騒音分布計算例
反射面と音源の指向性及び位相特性を考慮して電子計算機を用い(1)式で計算した等騒音値曲線である〔図中の数値はホン(A)〕。

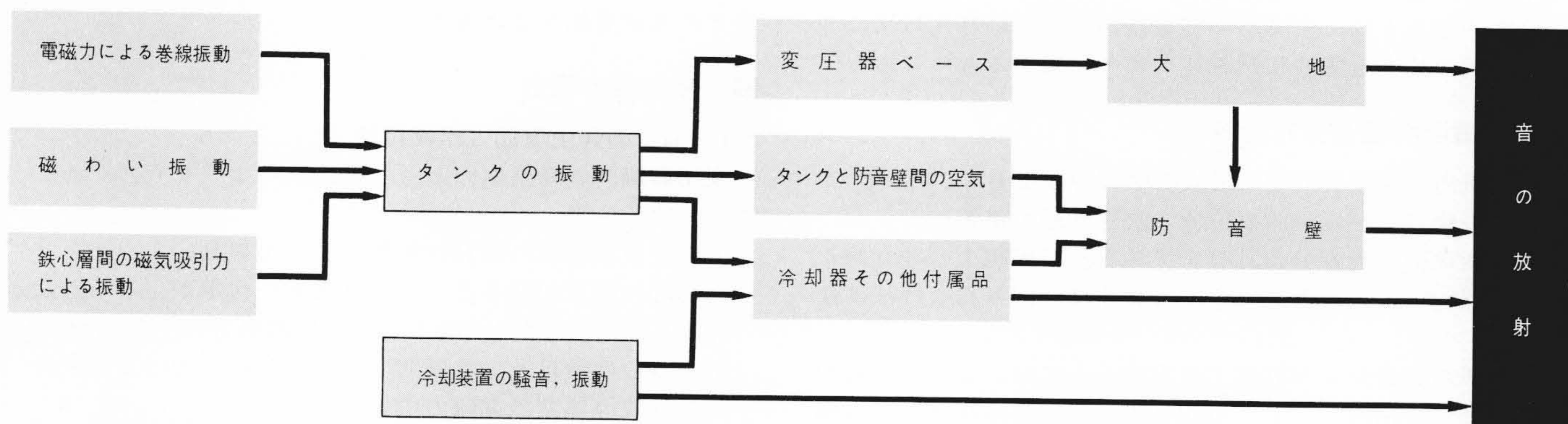


図2 騒音発生源と伝搬経路 変圧器の騒音源とその伝搬経路を示したものである。

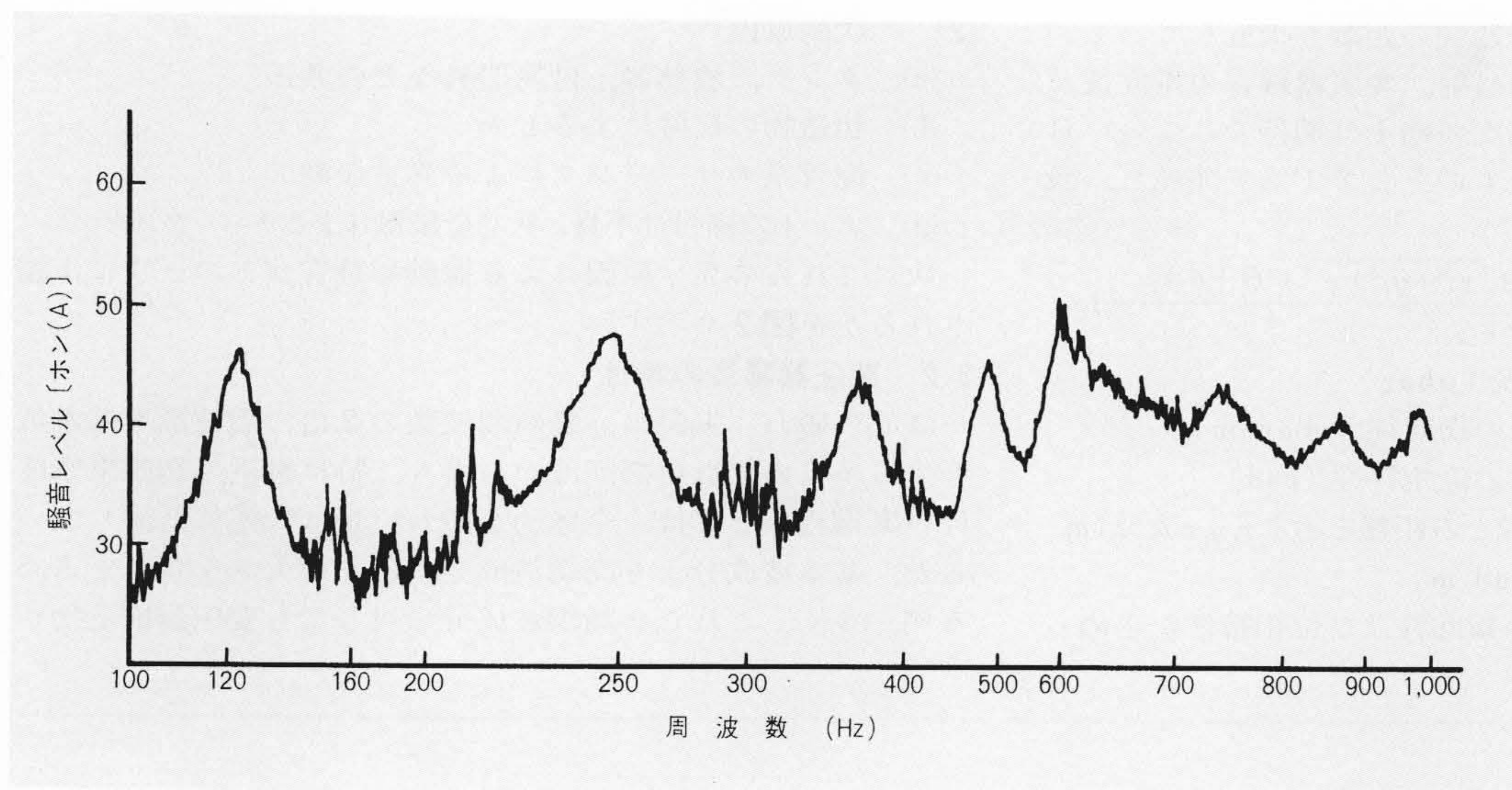


図3 変圧器騒音の周波数分布 10MVA, 60Hz変圧器の実測例である。基本波の120Hzのほかに240Hz……の高調波成分が多数存在する。

共振せぬように設計することが重要である。図3に10MVA 60Hz低騒音変圧器の騒音周波数分析例を示す。

4 変圧器騒音の低減設計

騒音を低減するには、まず最大の振動発生源である鉄心の振動を抑制することが重要であるが、けい素鋼板特性の向上と鉄心構造の改善により、特に低騒音構造としない変圧器の騒音は図4に示すように年次ごとに着実に減少してきた。しかし、更に騒音を減少しなければ騒音規制に抵触するおそれのある場合には、表1に示すような各種の騒音対策法を採用する必要がある。低騒音変圧器の実器写真を図5に示す。

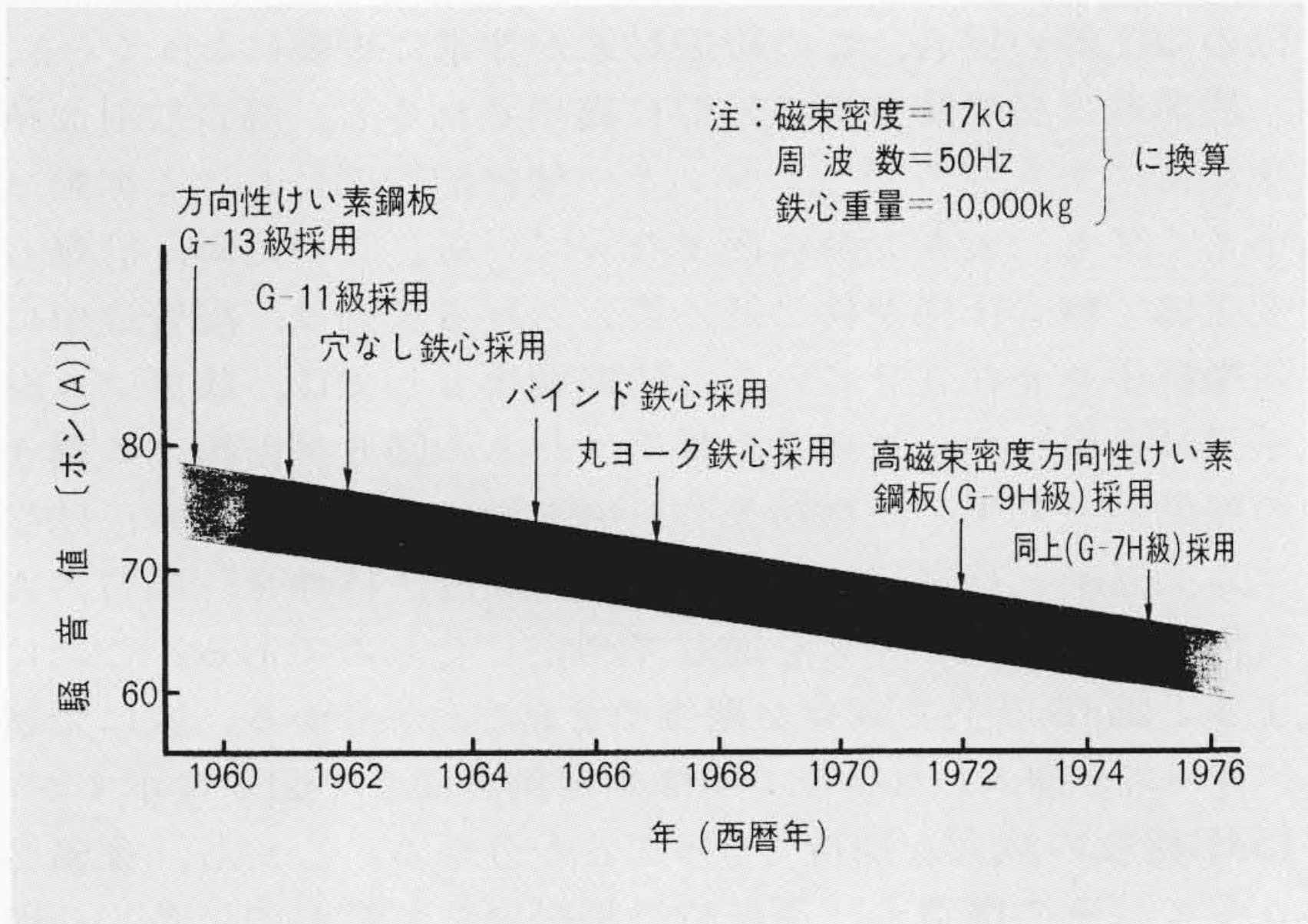


図4 変圧器単独騒音の時系列的変化 けい素鋼板特性の向上と鉄心構造の改善により、年次ごとに着実に騒音は減少してきた。

4.1 磁束密度の低減

鉄心の磁束密度を低減すると 0.1Wb/m^2 (1,000 G) 当たり $2 \sim 3\text{dB(A)}$ の低減効果がある。この方法は磁束密度の約 $\frac{3}{4}$ 乗に逆比例して変圧器が大きくなり高価となるため、経済的にみると磁束密度の低減量はせいぜい10%程度までである。従って、次に述べる防音壁の補助的手段として採用されるものである。

4.2 防音壁によるしゃ音

放射音源である変圧器タンクを防音壁で囲いしゃ音を行なうことは、極めて有効で最も一般的に行なわれている方法である。

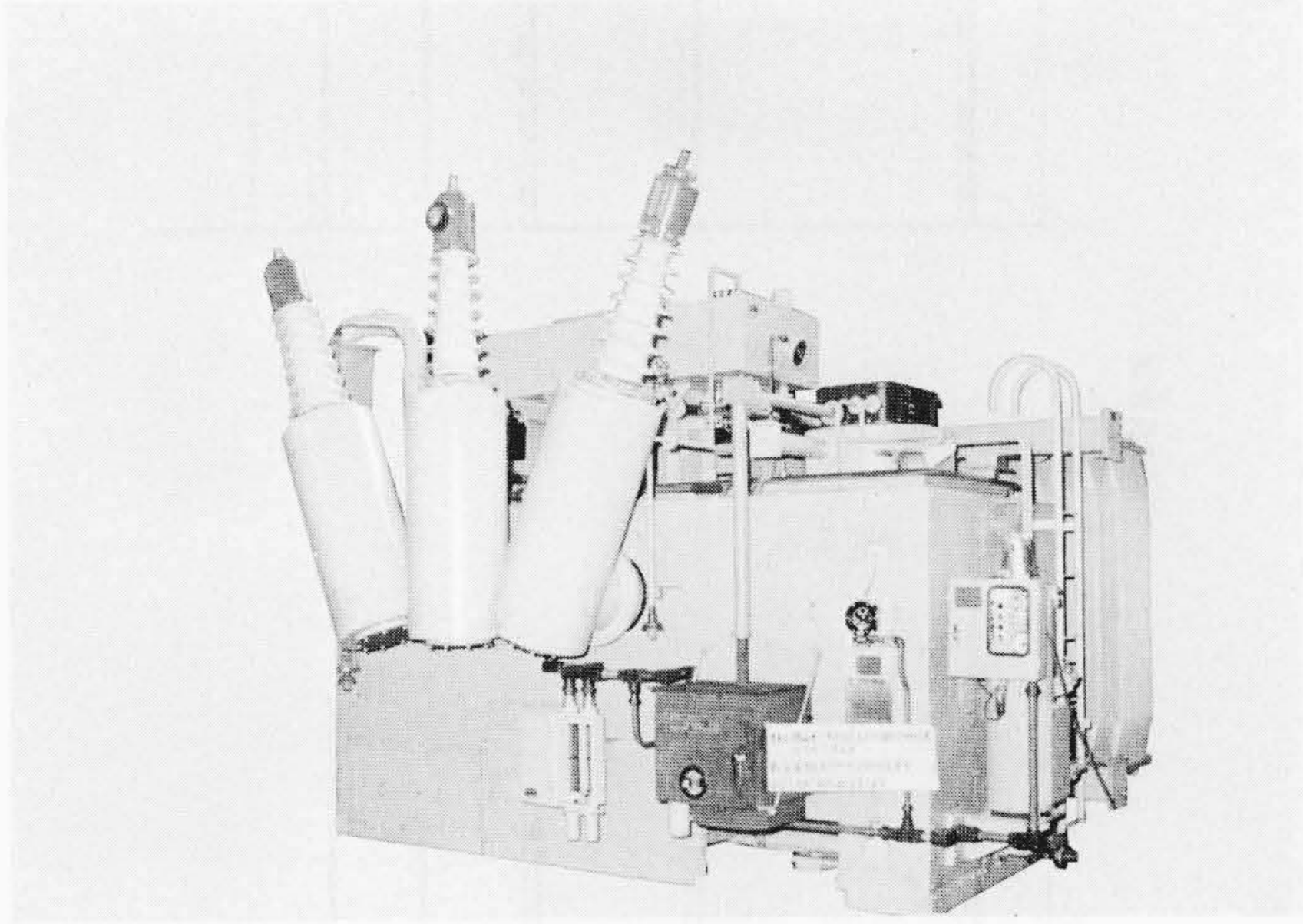
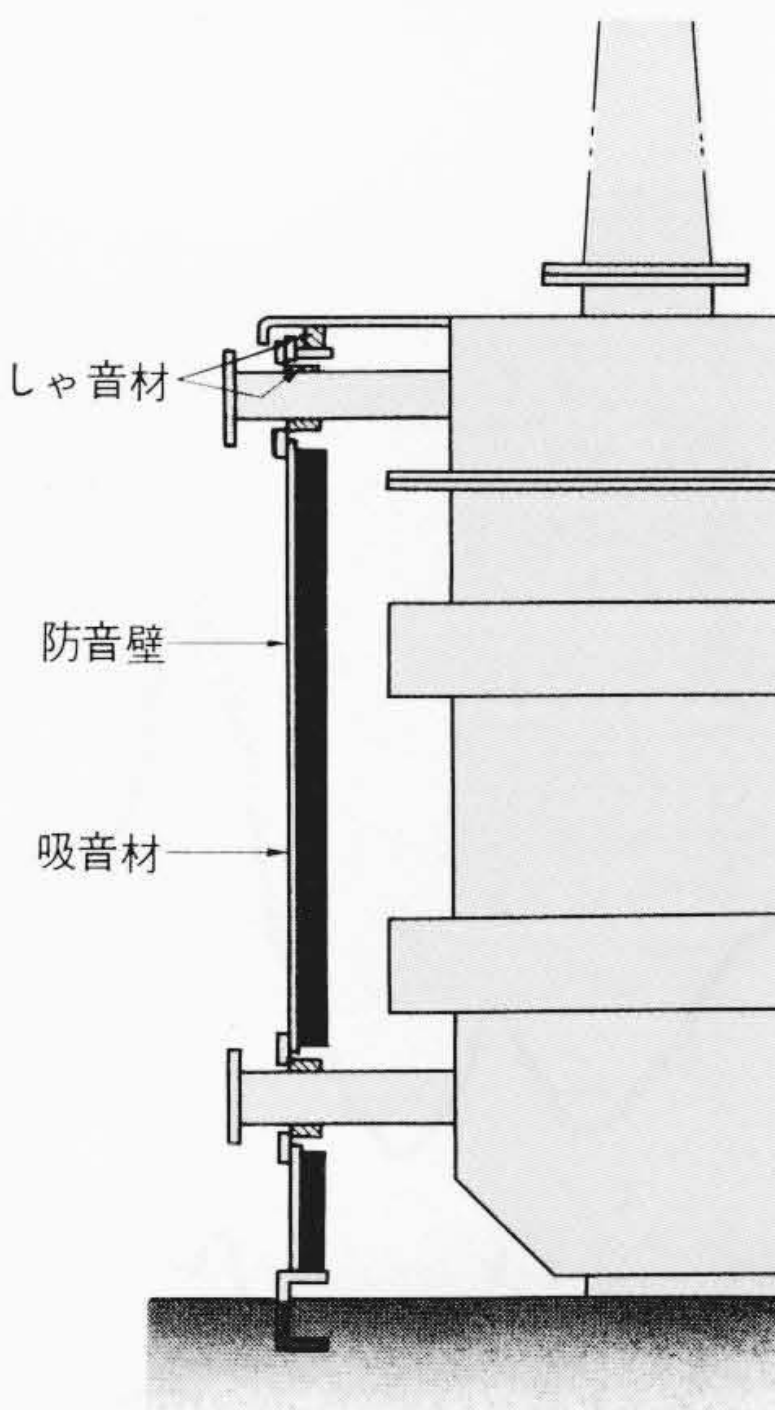
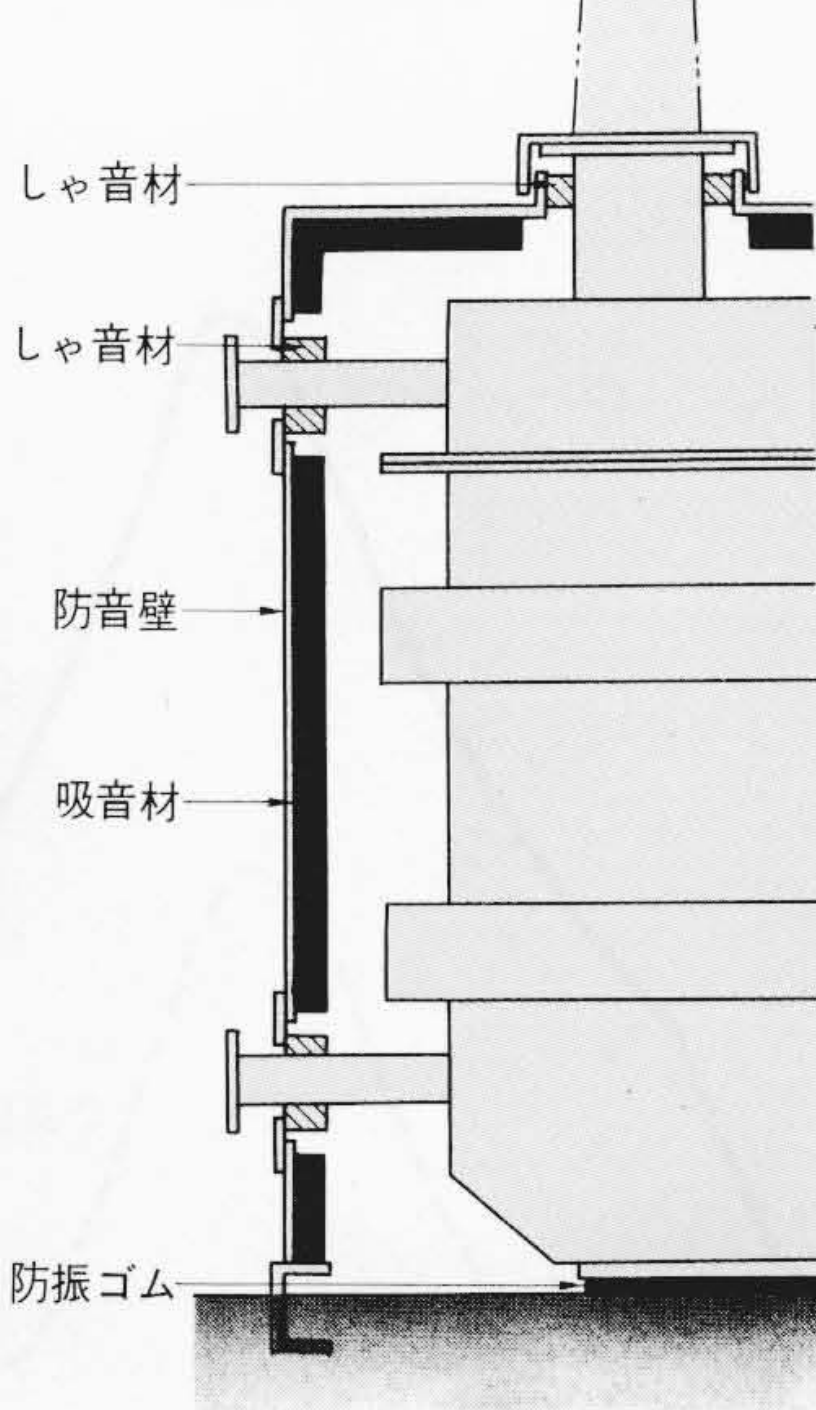
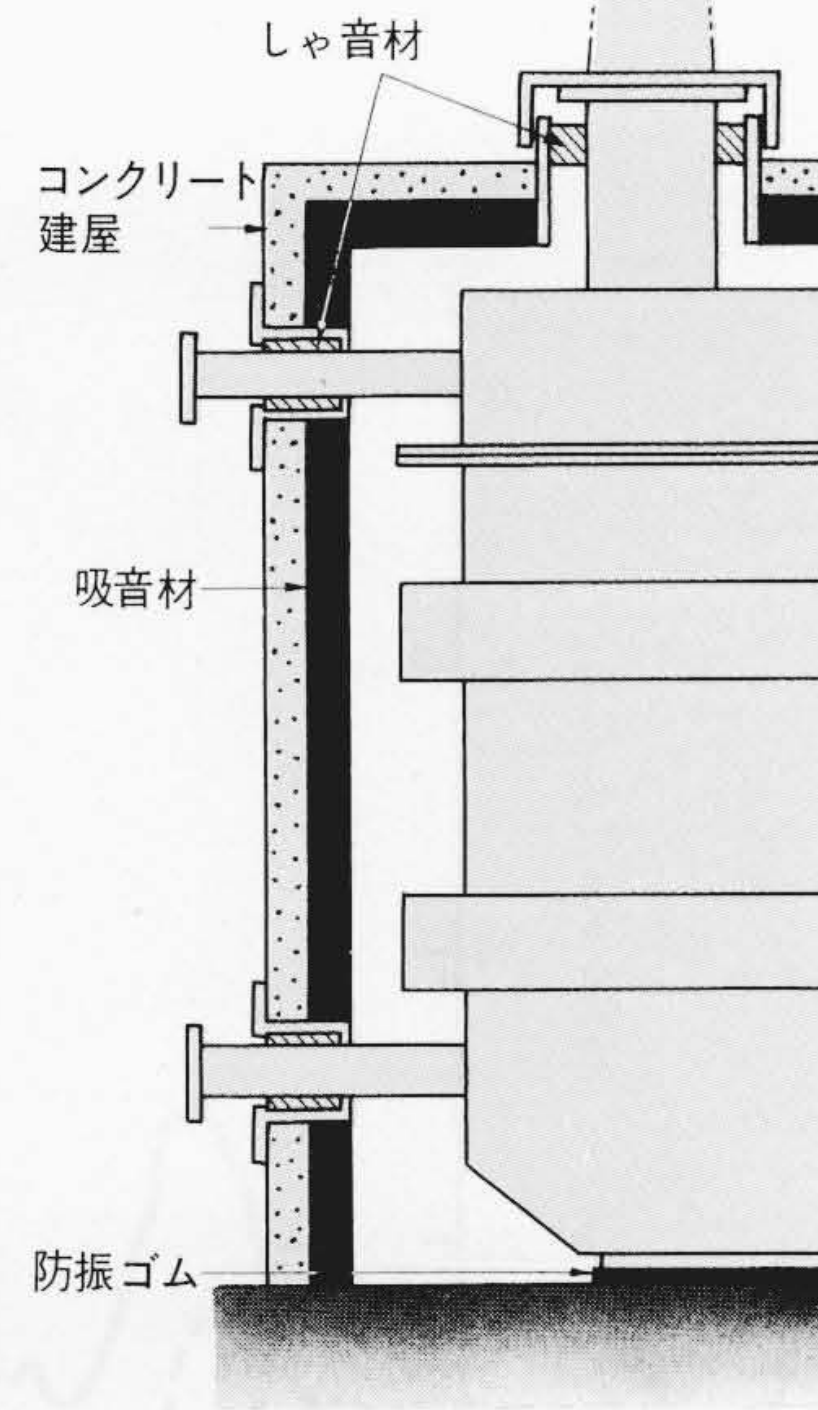


図5 低騒音変圧器 本器はガス絶縁変電所へ設置される6MVA低騒音変圧器の工場試験時の組立姿を示す。

表1 各種の騒音対策法と減音量 変圧器の騒音対策に適用できるとされる対策方法を示したものである。対策方法の採用可否及び減音量は現地の状況によって異なる。

騒音対策		防 音 壁 に よ る し ゃ 音		コンクリート建屋によるしゃ音	
対 策 内 容	鉄心磁束密度の低減				
		一重防音壁による対策	5～10		
				25～40	
減 音 量 dB (A)	1,000G 当たり 2～3				

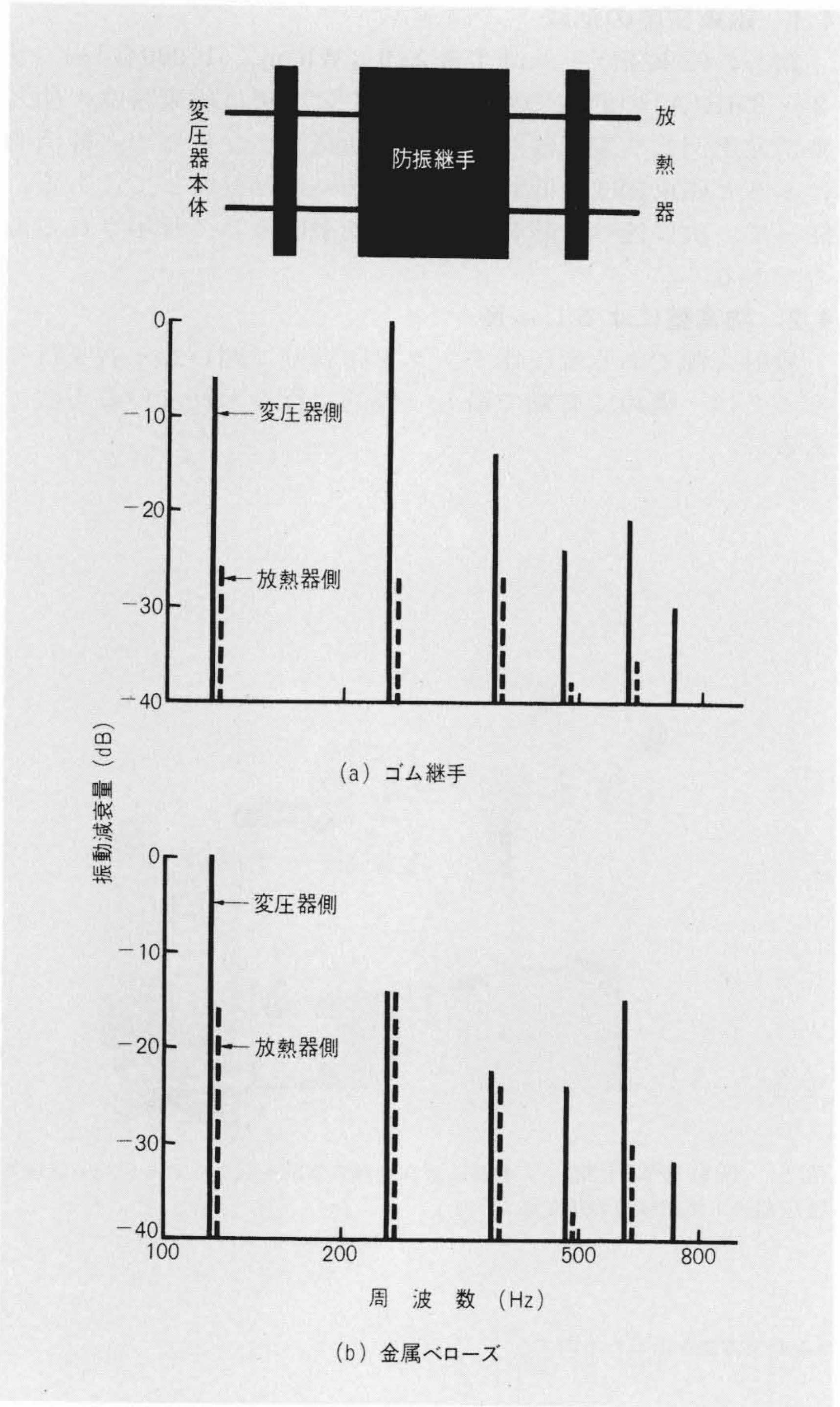


図6 防振継手の振動減衰特性 防振継手の通過前後における振動減衰特性を示すものである。ゴム防振継手の場合は25dB以上、金属ベローズの場合は15dB程度の減衰が期待できる。

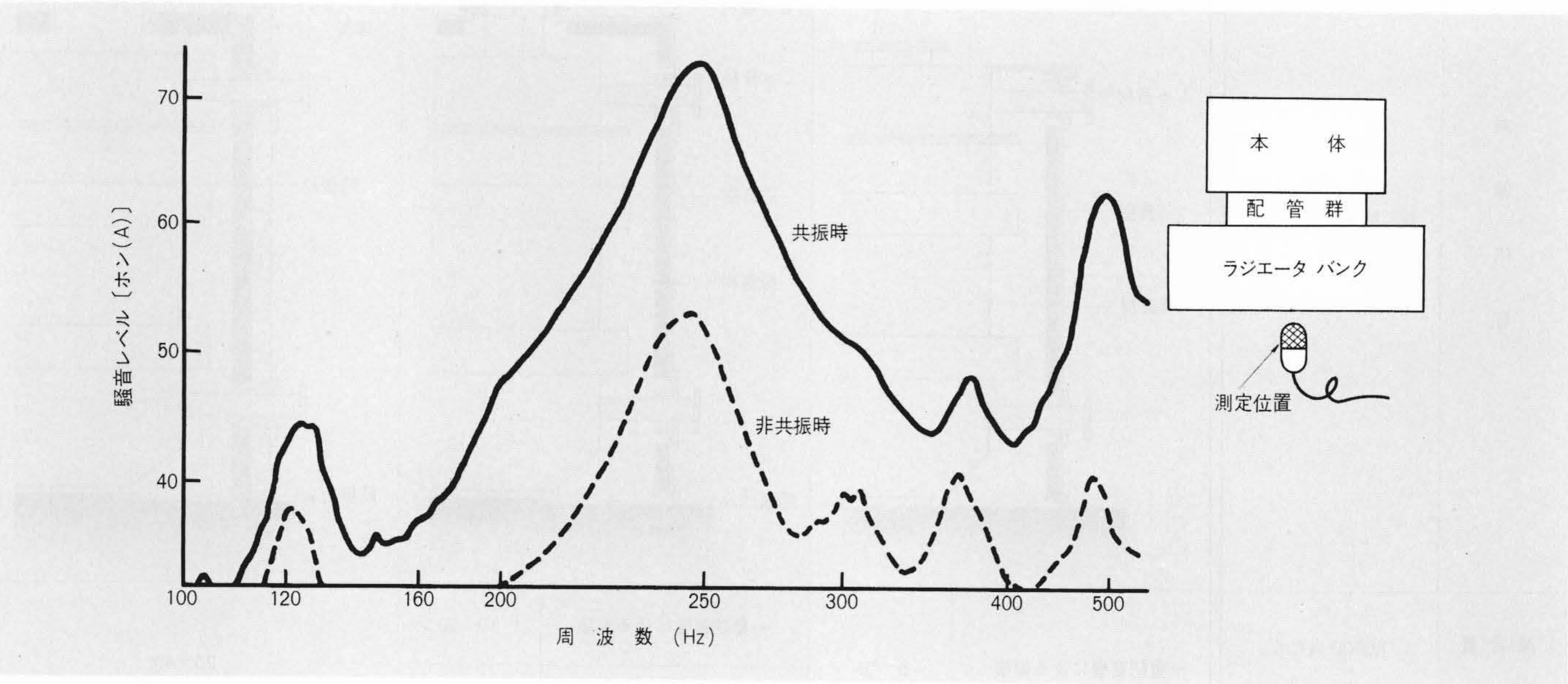


図7 金属ベローズ共振防止対策前後の変圧器騒音比較 金属ベローズの共振を防止すれば、騒音値73ホン(A)から53ホン(A)に低減された一例を示す。

この場合、減音量に応じて表1に示す各種の構造が選択されている。

4.3 コンクリート建屋によるしゃ音

厚さ 200mm程度 of コンクリートの内側に空気層を介して各種吸音材を内張りしたもので、大容量器の騒音低減に威力を発揮する。

4.4 防振対策

タンク面からの気中伝搬騒音は前述の方法で減音できるが、タンクから配管を経由して放熱器へ振動が伝達されて放熱器から発生する騒音、変圧器基礎への振動伝達、コンサベータなどの付属品への振動伝達による騒音などの固体伝達騒音を減少させるには、振動伝達経路に適切な防振装置を設ける必要がある。特に最近需要の多くなった50ホン(A)級の騒音仕様の変圧器の場合、この防振対策が非常に重要になってくる。

放熱器は必ず防音壁の外部に露出されるし、騒音放射面積が非常に大きいので、タンクとの接続配管部における振動は小さくても、大きな騒音源となっている。このため、低騒音変圧器で騒音仕様が特に低く抑えられる場合は、配管途中に防振継手を介在させている。防振継手としては、防振ゴム継手又は金属ベローズ継手が採用される。図6は防振ゴム継手の振動減衰効果の試験結果の一例を示すものであるが、防振ゴム通過前と通過後の軸方向振動の周波数特性を、騒音のA特性と同一のフィルタを通して測定したものである。これによると25dB以上の減衰が期待できることが分かる。次に金属ベローズを挿入した場合の同様測定例を同じく図6に示すが、15dB程度の減衰が期待できることが分かる。しかし、金属ベローズはその構造上、運転時の加振周波数範囲内に多くの固有振動数をもつので、共振防止には十分注意しなければならない。金属ベローズの周波数特性を変化させ、共振の影響を実測した例を図7に示す。

変圧器本体と基礎間に防振ゴムを挿入し、基礎への振動伝達抑制を行なうことも効果があるため、減音量を大きく要求される場合、標準的に適用されている。この場合、防振ゴムのばね定数を小さくするほど防振効果は上がるが、ゴムの形状、荷重分担能力などを考慮せねばならない。

表2 低騒音変圧器の各部分からの放射騒音分布 振動加速度法による合成騒音値と騒音計による平均騒音値は比較的一致している。50ホン(A)以下の変圧器の設計に際しては、放熱器、コンサベータなどへの本体からの振動伝達を防止する必要がある。

騒音対策			振動加速度より求めた推定騒音値〔ホン(A)〕					騒音計による実測値〔ホン(A)〕
防音壁	防振継手	その他	タンク(防音壁)	カバー(防音カバー)	放熱器	コンサベータ	合計	
不付	不付	—	59.3	40.7	50.5	41.0	59.9	61.0
一重(タンク側面のみ)	"	—	46.0	40.7	50.5	41.0	52.5	53.4
一重(タンク側面及びカバー上)	一段	放熱器別置コンサベータは放熱器上に設置	46.0	37.1	45.5	35.0	49.3	48.8
二重(タンク側面) 一重(カバー上)	二段直列	"	40.6	37.1	40.0	35.0	44.7	暗騒音が大きく、測定できず。

4.5 低騒音変圧器の構造

最近30MVA級のかかなり大容量の産業用変圧器で、45ホン(A)級の低騒音変圧器の需要が増大してきた。このような変圧器の騒音低減構造の決定に当たっては、変圧器の各部分からの放射騒音を分離解析し、放射騒音の大きい部位について対策を施すことが有効な方法であるが、実際にはこれを分離測定することは至難である。我々はこの対策として、振動面の振動加速度と面よりの放射音の音圧レベルはほぼ比例関係にあることを利用し、次のような手法で各部分からの放射騒音を分離している。まず各部分の面の振動加速度の周波数特性を測定し、これより各周波数成分の音圧レベルを計算する。更にAスケールでの合成騒音値に換算し、これを各部の測定面積とJEM騒音測定面積の比より面積換算して、該当部分の騒音寄与率を求めるものである。実際に音源は大きさが有限であり、音の拡散、干渉などのため上述のように単純な関係では求まらないが、騒音対策には非常に効果を挙げている。

我々は20～30MVA級の低騒音変圧器の合理的構造を検討するため、先般20MVA変圧器を供試器として、各種の防音壁構造、防振継手方式の組合せを実施して騒音低減効果の試験を実施したが、その結果を表2に示す。同表で各騒音放射面からの放射騒音のJEM測定面への換算値は、前述の振動加速度法によったものである。この表で振動加速度法による合成騒音値と騒音計によるJEM測定面の平均騒音値とは比較的良好に合致していることが分かる。この結果より50ホン(A)以下の変圧器を実現するためには、放熱器への振動伝達を極力小さくすることが必要不可欠であることが分かり、またコンサベータなども本体の振動が直接伝達せぬよう十分考慮しなければならない。45ホン(A)級の変圧器は、二重防音壁とし金属ベローズ継手を二段カスケードに設置することが合理的であることが分かる。

5 シャ断器の騒音

変電所の騒音としては、変圧器のほかにシャ断器の操作音が問題になる。産業用変電所のシャ断器として、最近ガスシャ断器が急速に採用されつつあるが、定格84kV、25kAのガ

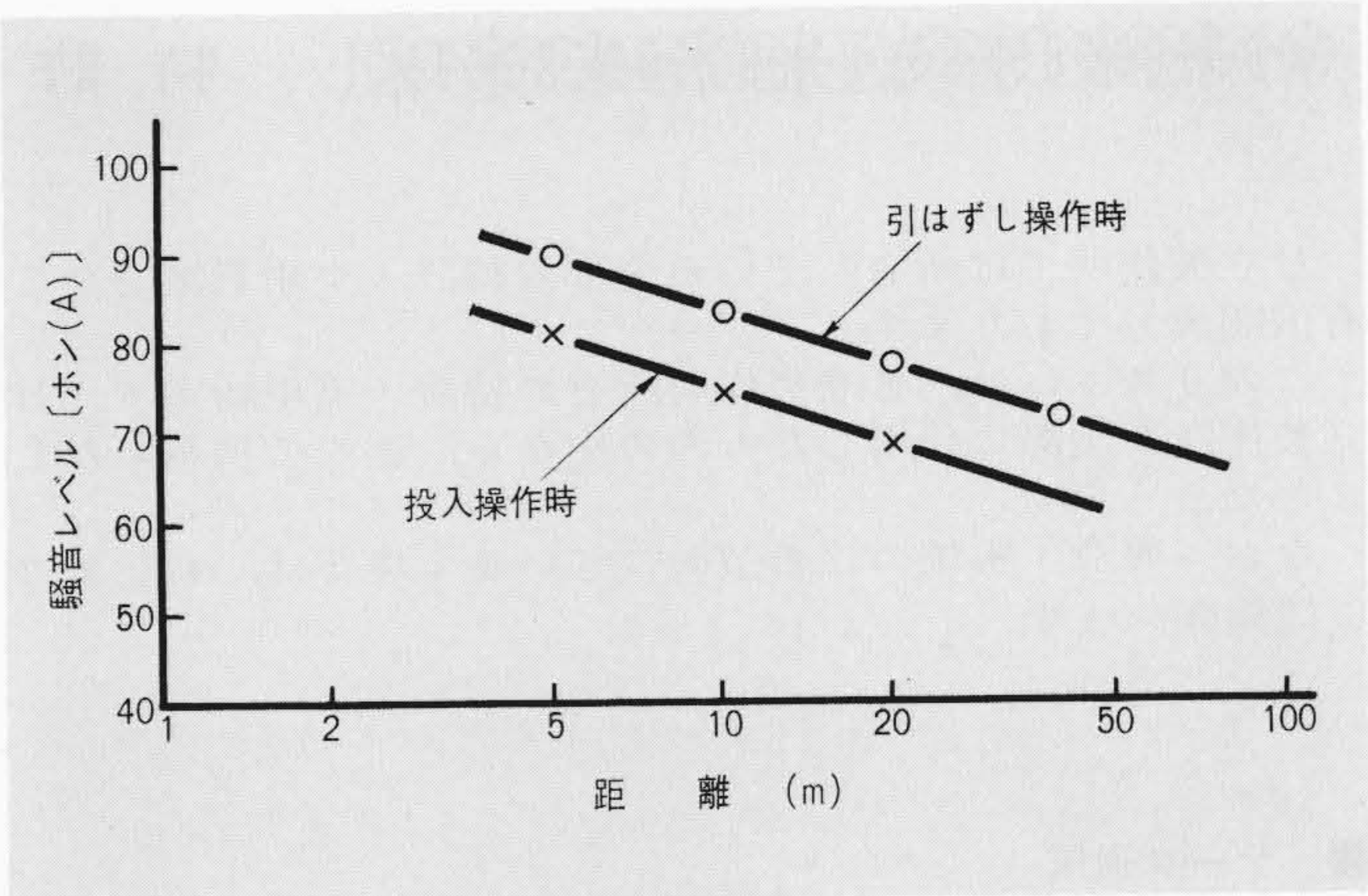


図8 ガスシャ断器騒音の距離減衰特性例 定格84kV、25kA ガスシャ断器騒音の距離減衰特性を示す。

スシャ断器の騒音の距離減衰例を図8に示す。ガスシャ断器の場合は、シャ断時吹き付けられたガスの排気は密閉タンク内で行なわれるため、外部への騒音の伝搬はほとんどなく、騒音レベルは油入シャ断器よりも低い。変圧器の騒音が連続的で、しかもほぼ一定の周波数成分をもっているのに対し、シャ断器が発生する音は瞬間的で、しかも音の周波数成分も一定したものではない。シャ断器操作時の衝撃音の適切な測定評価法が確立されていないこと、一般に1日1回も動作しない間欠音であることなどから、シャ断器の騒音評価と対策については今後の問題として考えることとし、本稿からは除外した。

6 既設変電所の騒音対策

既設変電所の騒音対策としては、変圧器を防音壁付に改造する方法、シャ音囲壁を建てる方法、境界線上にシャ音べいを建てる方法、変電所まわりの騒音分布計算を行ない、変圧器設置位置を境界線騒音のいちばん厳しい位置から遠ざけたり、変電所建屋をシャ音囲壁、又はへいの代わりになる位置に変圧器を移設する方法などが考えられる。これらについては既に発表⁽⁵⁾されているので、ここでは特に言及しない。

7 結 言

以上、変電所の防音計画に当たって、その基本となる騒音分布計算法及び変圧器騒音の低減設計に当たり考慮すべき点と最近実施した低騒音変圧器の試験例について紹介した。「騒音規制法」が本格的に適用され、どの変電所においても防音計画及び対策が必要になってきたが、このような時期に際し、本稿がいささかでも役だてば筆者らの幸いとするところである。

参考文献

- (1) 日本音響材料協会編：騒音対策ハンドブック、(昭41-12、技報堂)
- (2) 日本電機工業会規格、JEM-1117、変圧器の騒音レベル測定法
- (3) M.W.Shuly, R.J.Ringlee: "Some Characteristics of Audible Noise of Power Transformers and Their Relationship to Audibility Criteria and Noise Ordinance," Tr. of AIEE 316, June 1960
- (4) 電気技術基準調査委員会編：発変電所等における騒音防止対策指針、(昭46-12、日本電気協会)
- (5) 土屋ほか「変電所の防音対策」日立評論、55、410(昭48-4)