

## 【タイトル】

### 変圧器の固体音障害対策

## 【著者】

久保 和康 (くぼ かずやす)

## 【所属】

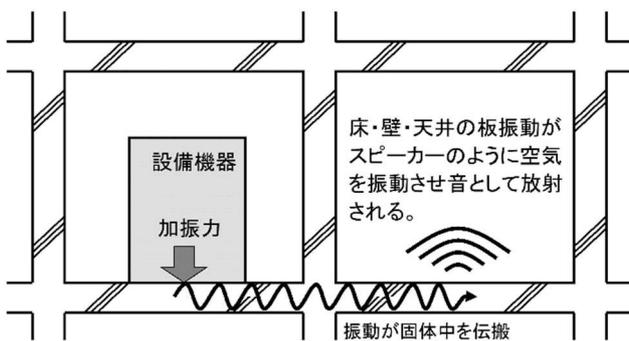
特許機器株式会社

## はじめに

東日本大震災において、津波による電気設備の浸水により停電し、復旧まで時間を要した事例が発生した。この経験を踏まえ、災害対策として電気設備を上階に設置するケースが増えてきている。病院施設においては変圧器を上階に設置されると、直下室が病室等の用途となり静穏な環境が要求されることが多い。また、上階は地下階に比べスラブ厚が薄く、振動に起因する固体音障害を起こしやすいため、変圧器の振動対策に対するニーズが高い。ここでは、固体音が発生する原理やその対策手法について解説する。

## 1. 固体音の原理及び特徴

第1図の概念図に示すように、設備機器が発生する振動(加振力)が設置床に伝わり、建物のコンクリート中を伝搬して様々な振動障害が発生する。このコンクリート(固体)中を伝搬する振動のことを固体音(または固体伝搬音)と呼ぶ。但し、一般的にはこの振動により発生する音のことを固体音と呼ぶことが多い。



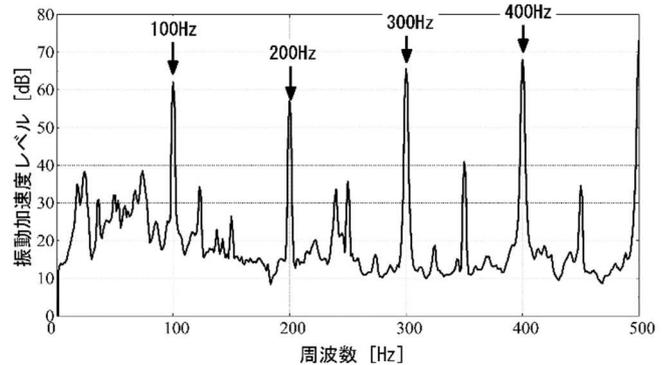
第1図 固体音の概念図

固体音には設備機器から直接発生する空気伝搬音に比べて以下の特徴がある。

- (1) 空気に比べて固体中は振動の減衰が小さく、障害が広範囲に及ぶ場合がある。
- (2) 振動としては感じられない微小な振動でも、大きな音を発生させる。
- (3) 音が部屋の床・壁・天井からそれぞれ放射されるため音源の特定が難しい。また、音波の干渉により場所による音の強弱(音溜まり)が発生する。

## 2. 変圧器の振動源理及び特徴

変圧器のコイルに交流電流が流れると鉄心が磁歪現象により周期的に伸縮して振動が発生する。この振動は商用電源周波数(50Hz、60Hz)の2倍を基本とした倍調波(50Hz地域であれば100Hz、200Hz、300Hz・・・)で現れ(第2図)、変圧器脚部を介して建物躯体へと伝搬し、固体音を発生させる。



第2図 変圧器の振動スペクトル例

この変圧器による固体音は、純音性(単一周波数の正弦波音)が高く特徴的な音で発生する(例えば100Hz音であれば「ブーン」という感じで聞こえる)。このような特徴的な騒音を有意義音といい、空調吹出し音など周波数特性の無い音に比べ識別度が高く、非常に小さい音でも認識されクレームになり易い。

## 3. 変圧器の防振対策

設備機器の振動(固体音)対策として通常、防振対策が行われる。防振対策とは振動源である設備機器と建物躯体との間に弾性体(ゴム材やスプリング)を挟むことで振動絶縁する対策手法である。変圧器脚部には標準で防振ゴムが装着されていることが多いが、中間階や屋上階などスラブ厚が薄く揺れ易い構造上に設置される場合には防振ゴムでは絶縁性能が不足し、直下室などで固体音が発生するケースがあり、その場合はより高性能なスプリング防振装置(写真1)が必要になる。

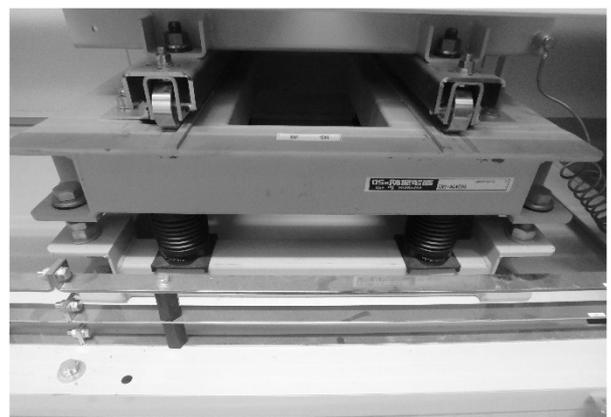
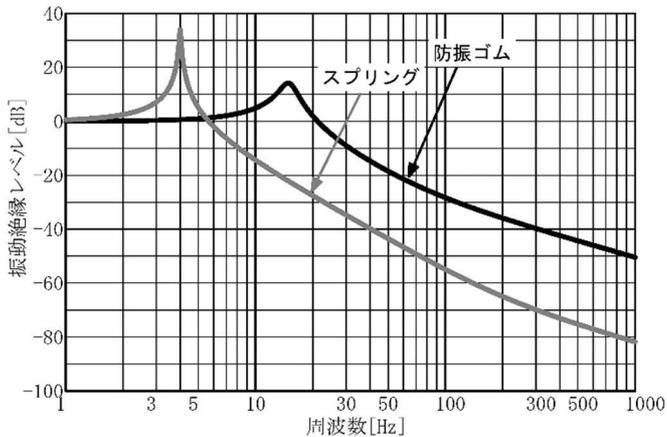


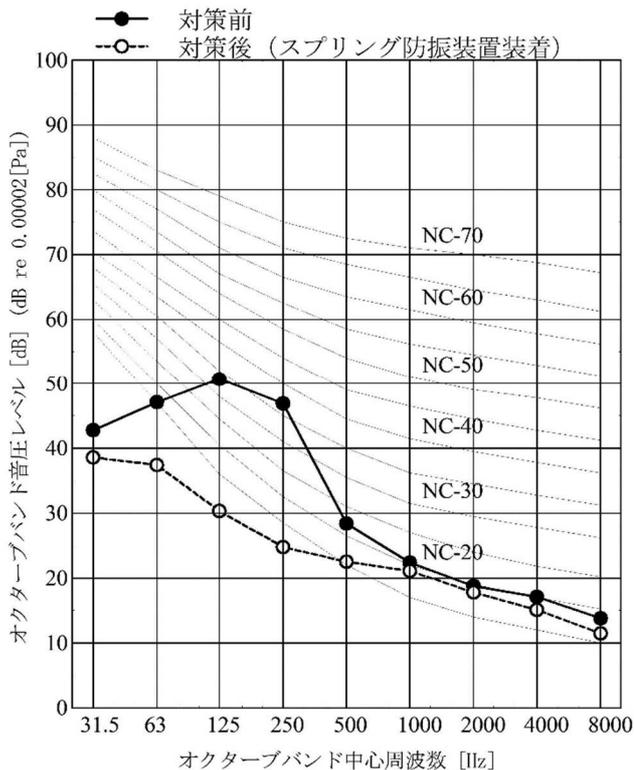
写真1 変圧器のスプリング防振装置

防振材の絶縁性能は、防振材の固有振動数により決定され、固有振動数が低くなる程、絶縁性能は高くなる。一般的な防振材の固有振動数は、防振ゴムが 10~20Hz 程度、スプリングが 2~5Hz 程度であり、周波数毎の絶縁レベルを求めると、防振ゴムとスプリングとでは変圧器の振動周波数である 100Hz 以上における絶縁レベルに理論計算上 20dB 程度の差がある（第 3 図）。



第 3 図 防振材の絶縁レベル

また、実際の現場で発生した変圧器による固体音障害の対策事例として、スプリング防振装置装着前後での直下室騒音を室内騒音評価基準である NC で評価したものを第 4 図に、NC の推奨値を第 1 表に示す。変圧器にスプリング防振対策を施したことにより直下室での騒音は、125Hz 帯と 250Hz 帯の音圧レベルが約 20dB 低減し、NC 評価で NC-40 から NC-20 へと大幅に改善している。



第 4 図 変圧器直下室での騒音データ

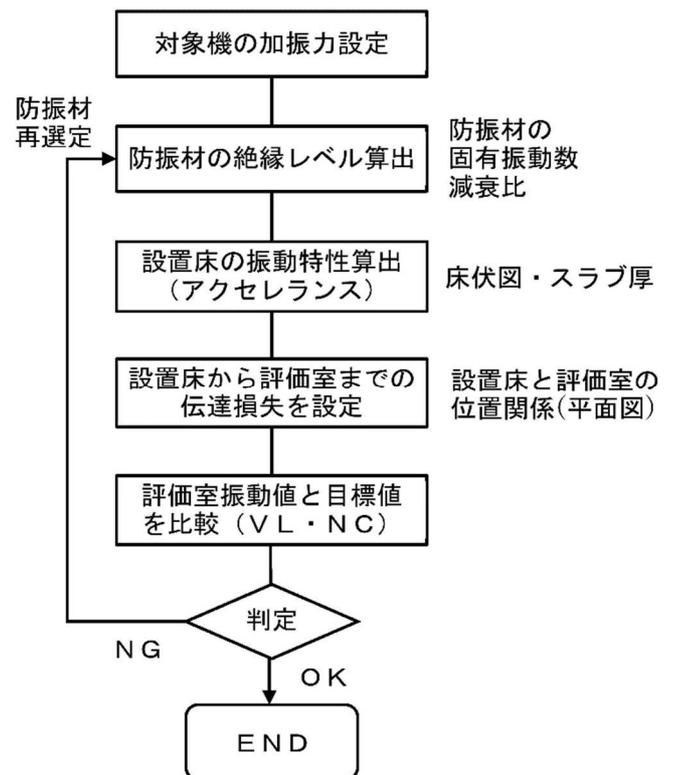
第 1 表 各種室に対する NC 推奨値<sup>1)</sup>

室の種類	NC 値
放送スタジオ、音楽室	NC-15~20
劇場	NC-20~25
教室、テレビスタジオ	NC-25
アパート、ホテル、会議場、家庭	NC-25~30
映画館、病院、教会、図書館	NC-30
料理店	NC-40
運動競技場	NC-50

以上に述べたように、変圧器の設置条件により防振材を変える必要があるが、防振材の取付工事には停電作業も伴うため、障害が発生してからへの対応は簡単には行えない。よって、設置条件に見合った適切な防振材を事前に検討する必要がある。

#### 4. 防振検討手法

設備機器近傍の居室における振動・騒音環境を満足するために必要な防振材を選定するにあたり、防振検討を行う必要がある。第 5 図に防振検討のフローチャートを示す。



第 5 図 防振検討フローチャート

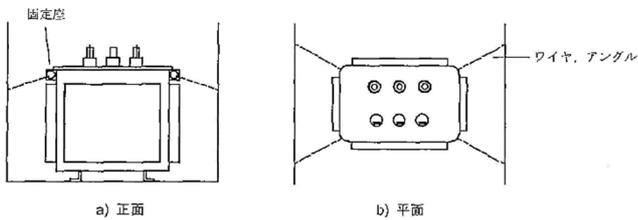
このように、対象機の加振力、設置床構造、評価室の位置が分かれば、事前に振動予測計算を行い、適切な防振材を選定することができる。

## 5. 変圧器の地震対策

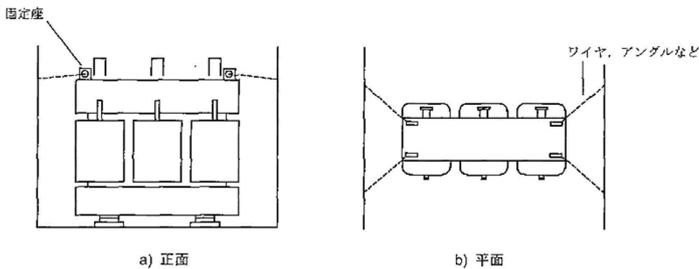
東日本大震災では津波による浸水被害だけでなく、地震によりキュービクル内の変圧器が大きく揺れて損傷する事例が報告され、2013年に日本電気工業会（JEMA）より「配電用変圧器の変位量抑制指針（JEM-TR252）」が制定された。この指針では変圧器端子部の変位量が第2表のように規定されており、変圧器と盤筐体との相対変位抑制の方法としてワイヤやアングルによる盤筐体との連結施工例が示されている（第6図、第7図）。

第2表 端子部の変位量（定格容量1000kVA以下）<sup>2)</sup>

変圧器の種類	端子部の変位量
油入変圧器	30mm
モールド変圧器	50mm



第6図 油入変圧器の相対変位抑制の例<sup>2)</sup>



第7図 モールド変圧器の相対変位抑制の例<sup>2)</sup>

但し、この指針では上階設置で防振対策される場合は適用外とされているが、先に述べた通り上階設置の方が防振対策を必要とするケースが多い。上階設置の場合は、地震時の建物応答、防振上での振動増幅、変圧器本体の変形により変圧器上部が大きく揺れることが想定される。通常、防振装置には耐震用ストッパーが設けられているが、あくまで転倒防止が目的であり、変圧器脚部に装着される防振装置側では変圧器上部変位を抑制するのは困難である。よって、第6図や第7図のような変圧器上部での対策が必要となるが、大地震に対しても変位抑制するには連結部材や盤筐体に対し十分な剛性を確保する必要がある。以上を考慮し、防振対策された変圧器に対する変位抑制の施工例を写真2に示す。盤筐体内に十分な剛性を持つ鋼材支柱を立て、支柱と変圧器上部を連結して変位抑制を行っている。また、第8図に示すように変圧器の連結部と支柱との間にアブソーバを設けて、通常時は振動絶縁することで防振装置の絶縁性能を損ねない構造となっている。

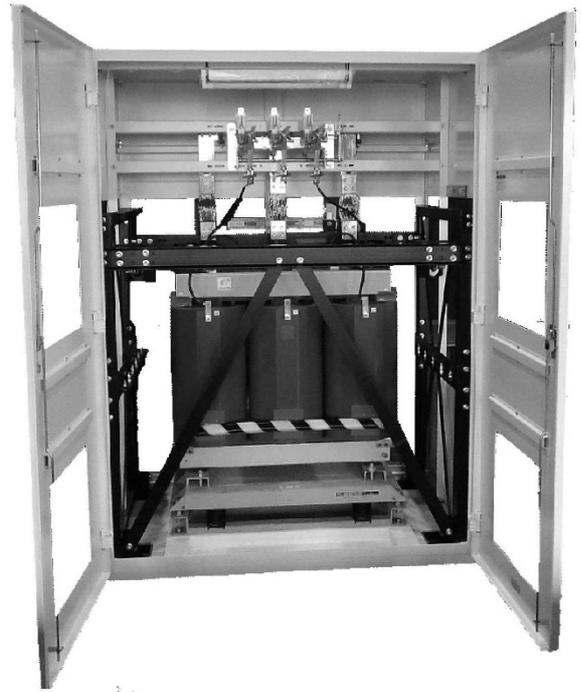
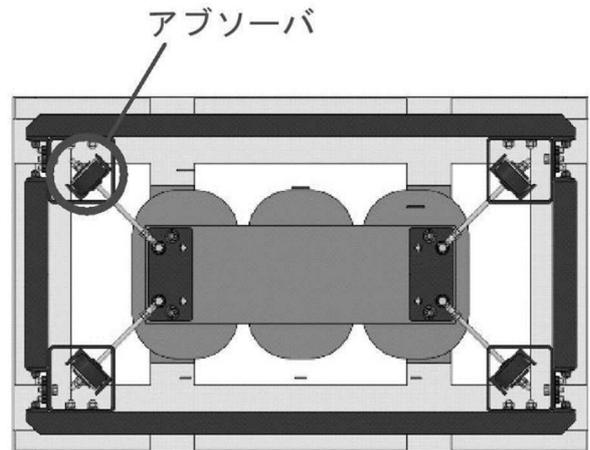


写真2 防振対策された変圧器変位抑制施工例



第8図 変圧器変位抑制施工の上面図

## 6. まとめ

災害対策として変圧器を上階に設置することで、振動に起因する固体音障害が大きな問題となる。固体音対策として防振装置の装着が有効であるが、防振装置を装着することで地震時の変圧器上部の揺れが大きくなる。よって、固体音対策と同時に地震時の変位抑制対策が必要となる。病院施設では災害後の長期停電は医療施設の機能低下につながり、人命に係る重大な問題に発展する。平時における騒音環境と災害時におけるライフライン確保を両立させる対策を検討する際に、本特集を参考にいただければ幸いである。

### 参考文献

- 1) 日本建築学会編 建築設計資料集成—環境 P.30
- 2) 日本電気工業会技術資料 配電用変圧器の変位量抑制指針（JEM-TR252） P.2,3