

トッランナー変圧器の調査報告

(財)建築コスト管理システム研究所
新技術調査検討会

1 はじめに

平成9年12月に開催された地球温暖化防止京都会議の議論を背景に、CO₂の約9割の発生起源であるエネルギーに関して、徹底した使用合理化が求められており、その推進のために平成11年4月1日に「エネルギーの使用の合理化に関する法律」が施行されている。

この法律は、特に大量に使用されているエネルギー消費機器の性能を向上させるため、対象機器を特定して達成すべき省エネ目標値（トッランナー基準値）と目標年度を公表して守らせる「トッランナー方式」を制度化し、現在、照明器具等13品目が対象機器となっている。

変圧器についても使用量の多さ、最近の技術開発に伴う性能の向上から、平成14年3月に最終とりまとめが行われ、トッランナー方式が適用されることになった。

そこで、公共工事の環境負荷低減に役立てるとともに、発注に際して総合評価落札方式等の技術評価に役立てることを目的として、今回トッランナー変圧器を紹介する。

2 調査概要

調査は特定機器変圧器の判断基準のとりまとめにあたった（社）日本電機工業会（JEMA）へのヒアリングをまず行った。国内の高圧配電用変圧器の総計は約270万台であり、製造年代別の損失特性、総出荷台数、平均容量をもとに試算したエネルギー損失は約165kWh/年（CO₂換算で約62億kg CO₂/年）という膨大な数値になり、トッランナー変圧器の普及による省エネルギー及び環境負荷低減効果はとても大きい事が分かった。以下にトッランナー変圧器の概要を記載する。

これをもとに JEM1482（油入変圧器）及び1483（モールド変圧器）の基準が制定されている。

●トッランナー変圧器の目標基準値

表1 トッランナー変圧器の目標基準値

| 製品区分 | 相数区分 | 定格容量区分 | 目標基準値（エネルギー消費効率）算定式 ^注 | | | |
|---------|------|----------|---------------------------------------|-------|---------------------------------------|--------|
| | | | 周波数50Hz | | 周波数60Hz | |
| 油入変圧器 | 1φ | 500kVA以下 | $E = 15.3 \cdot (\text{kVA})^{0.696}$ | I | $E = 14.4 \cdot (\text{kVA})^{0.698}$ | II |
| | 3φ | 500kVA以下 | $E = 23.8 \cdot (\text{kVA})^{0.653}$ | III-1 | $E = 22.6 \cdot (\text{kVA})^{0.651}$ | IV-1 |
| | | 500kVA超過 | $E = 9.84 \cdot (\text{kVA})^{0.642}$ | III-2 | $E = 18.6 \cdot (\text{kVA})^{0.745}$ | IV-2 |
| モールド変圧器 | 1φ | 500kVA以下 | $E = 22.9 \cdot (\text{kVA})^{0.647}$ | V | $E = 23.4 \cdot (\text{kVA})^{0.643}$ | VI |
| | 3φ | 500kVA以下 | $E = 33.6 \cdot (\text{kVA})^{0.626}$ | VII-1 | $E = 32.0 \cdot (\text{kVA})^{0.641}$ | VIII-1 |
| | | 500kVA超過 | $E = 24.0 \cdot (\text{kVA})^{0.727}$ | VII-2 | $E = 26.1 \cdot (\text{kVA})^{0.716}$ | VIII-2 |

E：変圧器の全損失 (W)
(kVA)：変圧器容量 (kVA)

注) 準標準品については、各区分毎の目標基準値算定式により得られる値に以下の数値を乗じたものを目標基準値とする。(油入変圧器 1.10 モールド変圧器 1.05)

目標基準値を満たすべき全損失は無負荷損（W）及び負荷損（W）より次式で求められる。

$$\text{全損失（W）} = \text{無負荷損（W）} + (m/100)^2 \times \text{負荷損（W）}$$

ただし、m：基準負荷率（容量が500kVA以下の変圧器：40%、容量が500kVA超過の変圧器：50%）

●トッランナー変圧器の目標年度

油入変圧器：2006年度（基準はJEM1482：油入変圧器で制定済）新JISを制定予定

モールド変圧器：2007年度（基準はJEM1483：モールド変圧器で制定済）新JISを制定予定

●トッランナー変圧器の適用範囲

表2 トッランナー変圧器の適用範囲

| 適用範囲 | | 除外機種 |
|------|--------------------------|---------------------|
| 機種 | 油入変圧器，モールド変圧器 | ガス絶縁変圧器，H種乾式変圧器 |
| 容量 | 単相10～500kVA，三相20～2000kVA | スコット結線変圧器，モールド灯動変圧器 |
| 電圧 | 一次電圧6kV又は3kV | 水冷又は風冷変圧器，多巻線変圧器 |

次に各メーカーでのヒアリングを行った。その際に、変圧器は建物の受変電設備の中心機器であり、省エネ法における機械器具としての処置以外に建築物としての処置も必要である事から、エネルギー消費効率以外に建築設備の一部としての性能として下記の項目についても調査検討をする事とした。

1) 無負荷損

省エネ法では変圧器の損失をエネルギー消費効率として、無負荷損と負荷損の総合的な評価を行っているが、実際の建物では用途の違いにより、例えば競技場のように使用時と非使用時で電力量の差が大きい建物では無負荷時損の低減によるコスト削減効果が大きいので無負荷損も調査した。

2) LCC

現在、公共事業においてはPFIによる発注や安全性が施策の重要な要因として注目されている。従って、エネルギー消費効率の他に運用時の電力料金の低減によるコスト縮減値も調査した。

また、トッランナー変圧器は出て間もない技術であるため、まだ市場における価格に幅があり、各メーカー間の見積価格の差が大きい。機種にもよるが、従来型とほぼ同じ価格の物から3倍を超える物まで幅があり、取引価格が把握できないことからイニシャルコストは調査していないが、参考のために従来型変圧器の一般的な刊行物掲載単価を記載して、低減される電気料金と比較できるようにした。

3) スペース効率

新技術としてアモルファス合金を用いた変圧器は無負荷損の特性は良いが、珪素鋼板の変圧器に比べて大型化、重量化することがあげられている。建築物における設置面積は大きなコスト要因であり、また、受変電設備の改修の際には、設置・施工スペースが必要になることから、省エネ法を満足する範囲の中でスペース効率（今回は設置面積とした）も調べることにした。

3 トッランナー変圧器に使用される新材料・新技術

変圧器の損失は電力を使用しない状況でも発生する無負荷損と電力の使用量に従って増える負荷損があり、以下にその為の新材料・新技術を紹介する。

(参考) 標準的な変圧器の無負荷損の例

無負荷損(14%)=ヒステリシス損(7%)+渦電流損(7%)

ヒステリシス損は鋼板材料による係数と周波数, 磁束密度の最大値及びスタインメッツ定数で決まる。

渦電流損は鋼板材料による係数と板厚, 周波数及び磁束密度の最大値により決まる。

負荷損(86%)=巻線の抵抗損(64%)+巻線内渦電流損(12%)+漏れ磁束が鉄心や導体以外の金属に誘導する渦電流損(10%)

1) 新材料・新技術

①アモルファス合金の採用

アモルファス合金を鉄心に使用すると, 磁束に起因するヒステリシス損を通常の珪素鋼板の1/10に改善でき, 渦電流損も軽減出来る事から無負荷損を約1/5に低減できる。ただし, 逆に磁化する力も小さく, 鉄心が大きくなるので変圧器は大きくなる。このため, 従来の変圧器と同程度の大きさに納めるには負荷損が増える傾向にある。

②高配向電磁鋼帯の採用

一定方向に磁化して使われる変圧器では鉄心に方向性電磁鋼板が用いられるが, 高配向性電磁鋼帯は磁化容易方向の平均分散角を7度から3度にし, ヒステリシス損を低減し無負荷損を低減している。

③磁区制御珪素鋼帯の採用

磁性材料は, 原子レベルの小さな磁石(磁気モーメント)の集合体で, 材料の内部の磁区の中では磁気モーメントは同じ方向を向いている。磁区と磁区の境目を磁壁と呼ぶが, 渦電流損の内, 異常渦電流損は磁壁の移動速度に依存している。磁区制御電磁鋼帯は鋼帯の表面に溝加工を施す事により, 磁区を細分化して磁壁の移動速度を低減する事により損失を低減している。

④高圧巻線導体細分化と転位による負荷損低減鉄心だけではなく, 導体においても磁束が交番する事により渦電流損が発生するが, これを巻線の細分化と転位により低減する。

⑤その他

鉄心や導体以外の金属にも渦電流損が発生する事により負荷損が生じるが, 例えば, 蓋等に非磁性材料であるステンレス鋼板を使用して鋼板内で発生する渦電流損を減らす事ができる。

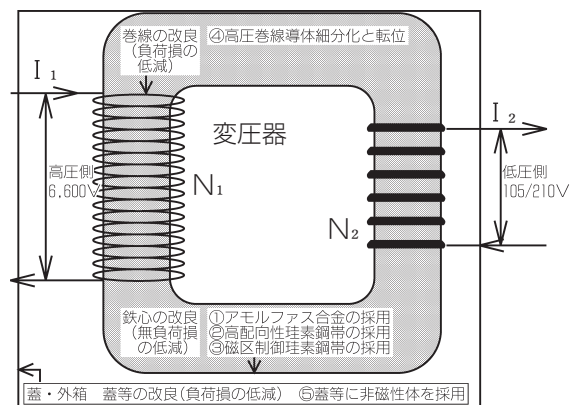


図1 変圧器の構造と新材料・新技術

4 各メーカーの調査と結果

メーカーの調査の結果を表3~6にまとめた。エネルギー消費効率の結果を見ると, 概ね各社ともトップランナー基準を満足する変圧器と, それを上回る変圧器を揃えつつある。

なお, 調査対象メーカーはJEMAの「省エネ法特定機器変圧器普及促進特別委員会」のメンバーとインターネットの検索情報から得られたトップランナー対応機器製造業者からランダムに選んだ以下の7社に対して行った。(アイウエオ順)
 (株)東芝 (株)ダイヘン (株)日立産機システム 富士電機システムズ(株) 三菱電機(株) (株)明電舎 利昌工業(株)

表5 トップランナー基準超変圧器（油入）

| 相数 | 周波数 | 定格容量 | B 社 | | | | C 社 | | | | E 社 | | | | トップランナー基準 |
|-----|------|-------|-------|-----------|--------|-------|-------|-----------|--------|-------|-------|-----------|--------|-------|-----------|
| | | | 無負荷損 | エネルギー消費効率 | 低減電力料金 | 設置面積 | 無負荷損 | エネルギー消費効率 | 低減電力料金 | 設置面積 | 無負荷損 | エネルギー消費効率 | 低減電力料金 | 設置面積 | |
| | (Hz) | (kVA) | (W) | (W) | (千円/年) | (cmf) | (W) | (W) | (千円/年) | (cmf) | (W) | (W) | (千円/年) | (cmf) | (W) |
| 1φ | 50 | 100 | - | - | - | - | - | - | - | - | 110 | 228 | 37.7 | 3969 | 377 |
| | | 150 | - | - | - | - | - | - | - | - | 145 | 307 | 53.7 | 4043 | 500 |
| | | 200 | - | - | - | - | - | - | - | - | 175 | 387 | 65.2 | 4611 | 611 |
| | 300 | - | - | - | - | - | 140 | 466 | 96.6 | 8840 | 230 | 497 | 93.4 | 5344 | 810 |
| | 60 | 100 | - | - | - | - | - | - | - | - | 115 | 225 | 36.3 | 3969 | 358 |
| | | 150 | - | - | - | - | - | - | - | - | 140 | 304 | 54.0 | 4043 | 475 |
| 200 | | - | - | - | - | - | - | - | - | 180 | 390 | 64.9 | 4611 | 581 | |
| 300 | - | - | - | - | - | 150 | 476 | 95.6 | 8840 | 230 | 509 | 92.1 | 5344 | 771 | |
| 3φ | 50 | 150 | - | - | - | - | - | - | - | - | 230 | 407 | 63.4 | 4956 | 627 |
| | | 200 | - | - | - | - | - | - | - | - | 280 | 506 | 78.2 | 5327 | 757 |
| | | 300 | - | - | - | - | - | 160 | 456 | 131.0 | 11720 | 425 | 666 | 109.0 | 6930 |
| | 500 | 605 | 1036 | 149.6 | 10788 | 220 | 780 | 176.5 | 11960 | 580 | 1040 | 149.1 | 8840 | 1370 | |
| | 60 | 150 | - | - | - | - | - | - | - | - | 240 | 405 | 63.6 | 4956 | 589 |
| | | 200 | - | - | - | - | - | - | - | - | 295 | 500 | 78.8 | 5327 | 711 |
| 300 | | - | - | - | - | - | 220 | 455 | 131.1 | 11720 | 485 | 674 | 108.1 | 6930 | 926 |
| 500 | 595 | 1290 | 122.9 | 10788 | 265 | 729 | 181.8 | 11960 | 685 | 1055 | 147.6 | 8840 | 1290 | | |

注) 低減電力料金は現行 JIS C 4304との比較による。また、電気料金は各電力会社の料金を考慮し12円/kWhで計算してある。

表6 トップランナー基準超変圧器（モールド）

| 相数 | 周波数 | 定格容量 | A 社 | | | | B 社 | | | | C 社 | | | | D 社 | | | | E 社 | | | | トップランナー基準 |
|-----|------|-------|-------|-----------|--------|-------|-------|-----------|--------|-------|-------|-----------|--------|-------|-------|-----------|--------|-------|-------|-----------|--------|-------|-----------|
| | | | 無負荷損 | エネルギー消費効率 | 低減電力料金 | 設置面積 | 無負荷損 | エネルギー消費効率 | 低減電力料金 | 設置面積 | 無負荷損 | エネルギー消費効率 | 低減電力料金 | 設置面積 | 無負荷損 | エネルギー消費効率 | 低減電力料金 | 設置面積 | 無負荷損 | エネルギー消費効率 | 低減電力料金 | 設置面積 | |
| | (Hz) | (kVA) | (W) | (W) | (千円/年) | (cmf) | (W) | (W) | (千円/年) | (cmf) | (W) | (W) | (千円/年) | (cmf) | (W) | (W) | (千円/年) | (cmf) | (W) | (W) | (千円/年) | (cmf) | (W) |
| 1φ | 50 | 100 | 180 | 308 | 42.6 | 3249 | - | - | - | - | 75 | 251 | 48.6 | 3570 | 230 | 353 | 37.8 | 3301 | 170 | 298 | 43.6 | 3083 | 377 |
| | | 150 | 205 | 361 | 61.7 | 3596 | - | - | - | - | 95 | 325 | 65.5 | 4107 | 270 | 452 | 52.1 | 3819 | 220 | 398 | 57.8 | 3504 | 500 |
| | | 200 | 310 | 513 | 67.0 | 3936 | - | - | - | - | 120 | 392 | 79.7 | 4810 | 300 | 570 | 60.9 | 3928 | 255 | 476 | 70.9 | 3723 | 611 |
| | 300 | 330 | 640 | 99.6 | 4191 | - | - | - | - | 155 | 521 | 112.1 | 5264 | 420 | 758 | 87.2 | 4583 | 345 | 636 | 100.0 | 4358 | 810 | |
| | 60 | 100 | 185 | 307 | 42.7 | 3192 | - | - | - | - | 70 | 249 | 48.8 | 3570 | 290 | 404 | 32.5 | 3301 | 170 | 289 | 44.6 | 3083 | 358 |
| | | 150 | 205 | 377 | 60.1 | 3534 | - | - | - | - | 85 | 320 | 66.0 | 4107 | 340 | 510 | 46.1 | 3682 | 225 | 388 | 58.9 | 3504 | 475 |
| 200 | | 300 | 496 | 68.8 | 3813 | - | - | - | - | 110 | 388 | 80.1 | 4810 | 370 | 626 | 55.1 | 3819 | 265 | 467 | 71.8 | 3723 | 581 | |
| 300 | 370 | 658 | 97.7 | 3937 | - | - | - | - | 145 | 521 | 112.1 | 5264 | 500 | 838 | 78.8 | 4583 | 300 | 598 | 104.0 | 4358 | 771 | | |
| 3φ | 50 | 150 | 420 | 601 | 65.1 | 4920 | - | - | - | - | 135 | 428 | 83.3 | 5194 | 420 | 586 | 65.6 | 5260 | 300 | 529 | 72.7 | 4464 | 627 |
| | | 200 | 475 | 695 | 83.9 | 5875 | - | - | - | - | 175 | 511 | 103.2 | 6420 | 560 | 746 | 78.6 | 5913 | 390 | 636 | 90.1 | 4677 | 757 |
| | | 300 | 570 | 840 | 119.0 | 4935 | - | - | - | - | 240 | 662 | 137.7 | 7200 | 670 | 1000 | 102.2 | 6252 | 475 | 798 | 123.4 | 5643 | 966 |
| | 500 | 930 | 1327 | 160.7 | 8515 | 690 | 1207 | 173.3 | 7540 | 340 | 927 | 202.7 | 7920 | 900 | 1470 | 145.6 | 8856 | 730 | 1208 | 173.2 | 6262 | 1370 | |
| | 60 | 150 | 420 | 592 | 66.0 | 4756 | - | - | - | - | 125 | 423 | 83.8 | 5194 | 460 | 622 | 62.9 | 4872 | 300 | 514 | 74.2 | 4464 | 589 |
| | | 200 | 500 | 713 | 82.0 | 5750 | - | - | - | - | 165 | 507 | 103.7 | 6420 | 610 | 783 | 74.7 | 5574 | 390 | 620 | 91.8 | 4677 | 711 |
| 300 | | 540 | 858 | 117.1 | 4830 | - | - | - | - | 230 | 662 | 137.7 | 7200 | 740 | 1050 | 96.9 | 5924 | 500 | 810 | 122.1 | 5643 | 926 | |
| 500 | 950 | 1336 | 159.7 | 8394 | 755 | 1266 | 167.1 | 7540 | 330 | 927 | 202.7 | 7920 | 970 | 1520 | 140.4 | 8788 | 785 | 1212 | 172.8 | 6262 | 1290 | | |

注) 低減電力料金は現行 JIS C 4306との比較による。また、電気料金は各電力会社の料金を考慮して12円/kWhで計算してある。

5 総合評価落札方式におけるトップランナー変圧器の評価項目への採用

平成15年度の国土交通省各地方整備局の発注工事では、総合評価落札方式において変圧器の効率や損失の低減を評価する事例が多数あった。トップランナー変圧器は法律の施行に伴い、一層の新技術の開発が行われるとともに普及が進み、それが環境負荷低減施策に良い影響を与える事が期待される。

(本調査に対する意見等)

この調査報告について随時意見を受け付けています。なお各工法についての比較評価は行いません。

また、記載内容については自由に利用可能としますが、著作権は当研究所に帰属します。

(転載・引用等の場合は、コスト研に御連絡願います。担当：平 善之、西田哲夫)