

総合エネルギー調査会 省エネルギー基準部会
変圧器判断基準小委員会
最終とりまとめ

平成14年4月3日

当小委員会は、変圧器のエネルギー消費効率等について、変圧器の製造事業者又は輸入事業者（以下「製造事業者等」という。）の判断の基準となるべき事項について審議を行い、以下のとおりとりまとめを行った。

1．対象となる範囲

高圧受配電用変圧器。ただし、ガス絶縁変圧器、H種乾式変圧器、容量が単相5kVA以下又は三相10kVA以下のもの、容量が2000kVAを超えるもの、スコット結線変圧器、モールド構造で電灯と動力を共用するもの、低圧出力電圧が100V未満又は600Vを超えるもの、冷却方式が風冷式又は水冷式のもの、多巻線変圧器を除く。

（別添1参照）

2．製造事業者等の判断の基準となるべき事項等（別添2～4参照）

(1) 目標年度

油入変圧器 2006年度

モールド変圧器 2007年度

(2) 目標基準値

各変圧器製造事業者等が目標年度に国内向けに出荷する変圧器について、(3)により測定したエネルギー消費効率を、下の表の区分毎に事業者ごとの出荷台数で加重平均した値が目標基準値を上回らないようにすること。

[エネルギー消費効率の目標基準値]

製品区分	相数区分	定格周波数・ 定格容量区分	目標基準値算定式 (注)	区分
油入変圧器	単相	50Hz・500kVA以下	$E=15.3 \cdot (\text{kVA})^{0.696}$	
		60Hz・500kVA以下	$E=14.4 \cdot (\text{kVA})^{0.698}$	
	三相	50Hz・500kVA以下	$E=23.8 \cdot (\text{kVA})^{0.653}$	- 1
		50Hz・500kVA超過	$E=9.84 \cdot (\text{kVA})^{0.842}$	- 2
		60Hz・500kVA以下	$E=22.6 \cdot (\text{kVA})^{0.651}$	- 1
		60Hz・500kVA超過	$E=18.6 \cdot (\text{kVA})^{0.745}$	- 2
モールド変圧器	単相	50Hz・500kVA以下	$E=22.9 \cdot (\text{kVA})^{0.647}$	
		60Hz・500kVA以下	$E=23.4 \cdot (\text{kVA})^{0.643}$	
	三相	50Hz・500kVA以下	$E=33.6 \cdot (\text{kVA})^{0.626}$	- 1
		50Hz・500kVA超過	$E=24.0 \cdot (\text{kVA})^{0.727}$	- 2
		60Hz・500kVA以下	$E=32.0 \cdot (\text{kVA})^{0.641}$	- 1
		60Hz・500kVA超過	$E=26.1 \cdot (\text{kVA})^{0.716}$	- 2

E：変圧器の全損失（W）

基準負荷率は、変圧器の容量が500kVA以下の場合40%、500kVA超過の場合50%

kVA：変圧器の容量（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

(3) 測定方法（別添5参照）

エネルギー消費効率は「全損失（W）」とし、無負荷損（W）及び負荷損（W）をJIS C 4304及びJIS C 4306に定める方法により測定して次式により算出される数値とする。

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

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(%)

(4) 表示方法

表示事項は以下のとおりとする。

- ・品名及び形名
- ・構造（油入又はモールド）
- ・定格容量（kVA）
- ・相数
- ・定格周波数（Hz）
- ・定格電圧（V）
- ・エネルギー消費効率（全損失（W））
- ・基準負荷率（%）
- ・規格（標準（JIS又はJEM）若しくは準標準）
- ・製造事業者等の氏名又は名称

遵守事項エネルギー消費効率は、有効数字3桁以上（但し、100（W）未満のものについては、有効数字2桁以上）で表示する。

表示事項の表示は、性能に関する表示のあるカタログ及び機器の選定にあたり製造事業者等により提示される資料の見やすい箇所に容易に消えない方法で記載して行う。

3．省エネルギーに向けた提言等

(1) 使用者の取組

使用者は、変圧器の購入の際には、エネルギー消費効率の高い製品及び適切な容量の選択に努めるとともに、変圧器の使用に当たって、適切かつ効率的な使用により省エネルギーを図るよう努めること。

(2) 製造事業者等の取組

製造事業者等は、変圧器の省エネルギー化のための技術開発を促進し、エネルギー消費効率の高い製品の開発に努めること。

製造事業者等は、エネルギー消費効率の高い変圧器の普及を図るため、これについ

て使用者の理解の促進に努めること。

(3) 政府の取組

政府は、エネルギー消費効率の高い変圧器の普及を図るため、使用者の理解及び製造事業者等の取組を促進するために、政策的支援及び普及啓発の必要な措置を講じるよう努めること。

4 . 検討の経緯等

(1) 小委員会の開催の経緯（別添 6 参照）

(2) 委員名簿（別添 7 参照）

変圧器の適用範囲について

1. 適用範囲の考え方

対象となる変圧器は、高圧受配電用変圧器とする。また、適用範囲としては、容量、電圧等の使用がJIS等で規定された標準仕様品のみでなく、非標準仕様の製品（準標準品）も含めることとする。

2. 対象となる変圧器の構造・仕様の分類

上記適用範囲の考え方に基づいて、適用範囲を検討すべき構造及び仕様の詳細を以下に示す。

仕様による変圧器の分類

分類	項目	
構造	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（モールドを除く）	
冷却方式	自冷式	
	風冷式	
	水冷式	
容量	単相 10～500kVA 標準容量は下記とする 10,20,30,50,75,100,150,200,300,500kVA	
	三相 20～2000Kva 標準容量は下記とする 20,30,50,75,100,150,200,300,500,750,1000,1500,2000kVA	
	上記範囲の最小値未満及び最大値超過	
相数	単相	
	三相	
	上記以外（単巻など）	
結線	単相：単二、単三専用、単二単三共用（標準は単三専用とする。）	
	三相：Yy,Yd, Dd, Dyn 及び灯動共用 標準は下記とする 50kVA 以下 : Yy 75kVA 以上 500kVA 以下 : Yd 750,1000kVA : Dd 及び Yd 1500,2000kVA : Dyn 及び Dd	記号の説明 Y : スター結線 yn : 中性点付きスター結線 D : デルタ結線 大文字 : 高圧側 小文字 : 低圧側
	上記以外（スコット結線、灯動共用以外の同時使用等）	

適用規格	JIS C 4304-1999 (配電用 6 k V 油入変圧器)
	JIS C 4306-1999 (配電用 6 k V モールド変圧器)
	JEC-2200-1995 (変圧器)
	上記以外
電圧	高圧 / 低圧
	高圧 / 高圧
電圧値	高圧：6kV,3kV,6/3kV 級 標準は F6750,R6600,F6450,F6300,6150 V
	低圧:100V 以上 600V 以下 標準は下記とする 単相 単三専用：210-105V 三相 Yy,Yd,Dd：210V Dyn 50Hz：420V Dyn 60Hz：440V
	低圧:100V 未満及び 600V 超過
特殊仕様	混触防止板付
	JEC-2200 に記載されている特殊変圧器及び特殊用途の変圧器
	上記対象範囲外の仕様

変圧器は、油入変圧器やモールド変圧器といった構造のほか相数、周波数、容量、電圧、結線などさまざまな仕様が配電システムの仕様に基づき顧客から指定される。

標準品として規格で定められているのは、JIS C 4304「配電用 6kV 油入変圧器」と JIS C 4306「配電用 6kV モールド変圧器」のみに範囲に限定されている。その他メーカーがカタログ品として販売している機種があるが、これらは統一した基準はなくメーカー毎に異なる。

これら以外は全て受注の都度顧客の仕様により設計製作しており、次に示す仕様の違い等により損失特性が異なってくる。

- ・ 容 量 JIS に定められていない中間容量や 500kVA 超過の容量。
- ・ 高圧の電圧値 JIS 品と定格や全容量タップ及びタップ数などが異なるもの。
- ・ 低圧の電圧値 一般に範囲は、100V 以上 600V 以下であるが電圧値はさまざま。
- ・ 結 線 三相では全ての容量において Yy,Yd,Dy,Dd などがある。
そのほか灯動共用のように任意の一相に中間タップをつけたものや三相とも中間タップを引き出した同時使用のものがおりこれらの変圧器は、全電圧タップと中間タップでそれぞれ容量指定される場合がある。
- ・ 多 巻 線 標準品は二巻線であるが顧客の要求により三巻線や四巻線などの他巻線とする場合もあり、この場合コイルが大きくなり二巻線より損失が大きくなる。

- ・ 特性指定 インピーダンス指定などが代表的で標準品との差が大きい場合、損失特性が変わる。
- ・ 寸法指定 標準品と異なる設計となり損失特性が合わせられない場合がある。
- ・ 設置環境条件 周囲温度、標高、高調波を含む場合など温度上昇、絶縁、電流密度などの設計条件を変えるため損失特性が変わる。

3. 適用除外

対象となる変圧器は、高圧受配電用変圧器であるが、その中で基本的には標準仕様品の代替品として使用できないもので、需要が極めて少ないもの、特殊用途に用いられるものを除外品とした。適用除外及びその除外理由を以下に示す。構成比率は1995年から1999年の平均出荷台数の比率である。

ガス絶縁変圧器

ガス絶縁変圧器は高圧受配電用の出荷実績が0.13%と少ない。

H種乾式変圧器

H種乾式変圧器はモールド変圧器に移行され出荷実績が0.08%に減少している。

容量が単相5kVA以下又は三相10kVA以下のもの

単相5kVA以下、三相10kVA以下の小容量の変圧器は用途が制御用や電鉄信号用等受配電用以外が多く、出荷実績も0.18%と少ない。

容量が2000kVAを超えるもの

容量が2000kVAを超える変圧器は出荷実績が0.02%と少ない。

スコット結線変圧器

スコット結線変圧器は主に非常用電源系統に使われ出荷実績が0.22%と少ない。

モールド構造で電灯と動力を共用するもの

灯動共用変圧器は需要のほとんどが油入変圧器でありモールド変圧器は出荷実績が0.08%と少ない。

低圧出力電圧が100V未満又は600Vを超えるもの

低圧出力電圧100V未満と600Vを超える変圧器は、国内電圧と異なる輸入品等の機器に使用され出荷実績が0.003%と少ない。6kVを3kVに通降する変圧器は3kV電動機に給電される用途に使用されるが出荷実績が0.32%と少ない。

冷却方式が風冷式又は水冷式のもの

冷却方式が風冷式又は水冷式の変圧器は、製品毎の用途と製品仕様が特殊であり出荷実績が0.01%と少ない。

多巻線変圧器

巻線数が3以上の多巻線変圧器は、製品毎の用途と製品仕様が特殊であり出荷実績が0.02%と少ない。

変圧器の目標年度について

1. 目標年度設定の基本的考え方

目標年度の設定に際し下記の点を踏まえて、できる限り早期の目標達成の実現可能性を考案する。

- (1) 省エネ化のための技術開発期間
- (2) 設計変更及び生産準備期間
- (3) 製品及び材料・部品の在庫処理と更新

2. 目標年度

油入変圧器と構造、設計、設備が異なるモールド変圧器については、油入変圧器と平行して開発・生産準備することは目標基準値を早期に達成する上で非効率的であること、及び一般的に金型の更新が必要であり設計・生産準備期間が長くなるため目標年度を区分して設定することとする。

- (1) 油入変圧器 2006年度（2006年4月出荷分から）
- (2) モールド変圧器 2007年度（2007年4月出荷分から）

高圧受配電用変圧器の目標設定のための区分について

1. 区分の基本的な考え方について

高圧受配電用変圧器は、構造の違い、電源相数、電源周波数等の仕様、負荷率により特性が異なり、エネルギー消費（全損失）に影響を与えるため、以下のとおり区分する。

2. 目標設定のための区分について

(1) 基本機能による区分について

構造による区分

油入変圧器とモールド変圧器は絶縁、冷却媒体が大きく異なる。前者は絶縁油を用いていることから鉄心、巻線が容器内に浸漬され、絶縁油の循環で冷却される。後者は樹脂層と空気を用いており、巻線を樹脂で覆い空気とその表面を冷却する構造である。このような使用材料と構造が異なるため、油入変圧器とモールド変圧器に区分する。（JIS等の規格と同様）

a) 油入変圧器

b) モールド変圧器

電源相数による区分

巻線、鉄心構成として三相は低圧、高圧各3巻線と三相三脚鉄心、単相は低圧、高圧各2巻線と単相二脚鉄心が用いられる。この構成により特性が異なるため、単相と三相に区分する。

a) 単相

b) 三相

電源周波数による区分

電源周波数により電磁材料の素材特性が異なり、また、変圧器に使用される鉄心使用量が異なり（50Hzと60Hzを比較した場合は通常50Hz品は60Hz品の鉄心断面積の1.2倍を要する）特性が変わってくるため、電源周波数50Hzと60Hzに区分する。

a) 電源周波数 50Hz

b) 電源周波数 60Hz

容量による区分

変圧器は特高需要家と高圧需要家により年間平均等価負荷率が異なっていること、及びJISのキュービクル式高圧受電設備にJIS品の変圧器(500kVA以下)が

採用されることから容量を 500kVA 以下と 500kVA 超過で区分する。ただし、単相については、500kVA 超過のものが存在しないため区分を設けないこととする。

- a) 容量 500kVA 以下
- b) 容量 500kVA 超過

(2) 電圧、結線等仕様による区分の取扱いについて

電圧による区分の取扱い

電圧が JIS 標準電圧と異なる場合には、最適設定された標準電圧品をベースに変更設計が行われることから一般的に標準電圧の変圧器より特性が悪くなる。また、準標準電圧品を個別最適設計により標準電圧品レベルの損失に合わせることは、電線種類、鉄心製造治具数の増加によりコスト高となる。

一方で、区分の簡素化の観点から、準標準電圧品と標準電圧品に区分を設けず、準標準電圧品に対して補正を設けることにより、標準電圧品と同一区分で比較することとする。標準電圧品と準標準電圧品の仕様等は下表による。

標準電圧と準標準電圧品

仕様		一次電圧 (V)	二次電圧 (V)	備考
標準電圧品	500kVA 以下	6kV	単相 210-105V、三相 210V	JIS 品
	500kVA 超過		三相 210V 三相 50Hz420V、60Hz440V	
準標準電圧品		6kV、6/3kV、3kV	100V 以上 600V 以下の上記電圧以外	

結線による区分の取扱い

結線による区分毎の機種間の損失の差異は顕著には現れていないことから、区分分けは行わないこととする。

混触防止板の有無による区分の取扱い

一次巻線と二次巻線の間的主絶縁部に混触防止板を入れると特性は悪化する傾向にある。

の電圧の補正と同様、混触防止板の有無についても、区分の簡素化の観点から区分を設けず、混触防止板を有する変圧器に対して補正を設けることにより、混触防止板のない変圧器と同一区分で比較することとする。

(3) 目標設定のための区分について

上記(1)～(2)の考え方を総合し、目標設定のための区分を以下のとおりとする。

製品区分	相数区分	定格周波数・ 定格容量区分	区分
油入変圧器	単相	50Hz・500kVA 以下	
		60Hz・500kVA 以下	
	三相	50Hz・500kVA 以下	- 1
		50Hz・500kVA 超過	- 2
		60Hz・500kVA 以下	- 1
		60Hz・500kVA 超過	- 2
モールド変圧器	単相	50Hz・500kVA 以下	
		60Hz・500kVA 以下	
	三相	50Hz・500kVA 以下	- 1
		50Hz・500kVA 超過	- 2
		60Hz・500kVA 以下	- 1
		60Hz・500kVA 超過	- 2

変圧器の目標基準値について

1. 目標基準値の基本的考え方

目標基準値は以下の考え方を基本として、区分毎の目標基準算定式により設定することとする。

(1) 出荷実績損失値の個体差の考え方

変圧器は出荷に当たり一品ごとに試験が行われ、その際に損失が測定される。一般的に、同じ型式であってもこのように測定された損失値には製品の個体差（素材特性のばらつきや製作上のばらつき）により、目標基準値設定時の負荷率(40%または50%)では、全損失で約10%程度のばらつきがある。そのため2000年度時点での各社出荷実績の変圧器について同一型式の個体差を考慮した損失値（出荷品の平均値）の調査結果を基に区分毎の容量を変数とする関係式を算出することとする。

(2) 特殊品の技術利用の考え方

適用範囲となる変圧器は、JIS C 4304、JIS C 4306 に適合した変圧器（以下「JIS標準変圧器」）及びJEM1474、JEM1475 に適合した変圧器（以下「高効率変圧器」）のほか、アモルファス合金を用いたもの（以下「アモルファス変圧器」）、磁区制御電磁鋼板をさらに低磁場で設計したもの（以下「超高効率変圧器」）がある。

アモルファス変圧器、超高効率変圧器は低損失特性を持つが、寸法、重量が大幅に増加することから、量産品ではなく使用用途を限定した個別客先毎の受注生産品となっている。

このため、この低損失化技術を反映する目的で、該当する区分において出荷実績に応じた分を目標基準値へ反映することとする。

(3) 将来の技術開発の考え方

目標基準値の設定に当たっては、更に将来の技術見通しとして磁区制御電磁鋼板の特性改善の可能性があり、これを反映することとする。

2. 目標基準値の設定

(1) 基礎データからの関係式の算出

変圧器の容量と全損失は両者の対数を取ったとき一次関数として近似できる。これを指数関数に変形して容量と全損失の関係を一義的に示すことにした。

$$E = A \cdot (kVA)^B$$

ここで E：変圧器の全損失 (W)

負荷率 40% 時の全損失 (500 kVA 以下)

負荷率 50% 時の全損失 (500 kVA 超過)

kVA：変圧器の容量 (kVA)

A、B：区分毎の定数

1.(1)に示す個体差を考慮した全損失値の(社)日本電機工業会調査結果を基に目標基準値を設定した。また、各々の区分の中で全損失の最も少ないものを包含するように目標基準算定式を補正した。

(2) 特殊品の反映

アモルファス変圧器、超高効率変圧器の低損失化技術を反映する目的で、該当する区分へ改善反映分として出荷実績に応じた分を(1)に加える。

量産品 (JIS 品又は JIS 相当品) に対する損失改善率と台数

項目	高効率変圧器改善率 A (%)	アモルファス変圧器・超高効率変圧器改善率 B (%)	アモルファス変圧器・超高効率変圧器台数 C (台/年)	変圧器全体台数 D (台/年)	改善反映分 E (%)
500kVA 以下 平均値	21.4	58.8	418	107,900	0.14
500kVA 超 過品平均値	28.6	51.4	473	3,400	3.2

(出所) (社)日本電機工業会調査

(注) 改善反映分は次式により算出

$$\text{改善反映分 E} = \frac{(B - A) \times C}{D}$$

高効率変圧器改善率 A：2.(1)関係式で算出した全損失の JIS 標準品に対する改善率

アモルファス変圧器・超高効率変圧器改善率 B：両者の最小全損失の JIS 標準品に対する改善率

(3) 将来技術の反映

全損失最低値のメーカーは既に磁区制御鋼鉄を採用しており大幅な無負荷損低減は望めない。したがって、磁区制御鋼鉄の将来展望 W17/50-0.75W による無負荷損改善 4 % を織り込む。これが全損失に及ぼす効果として 2 % を加える。

無負荷損 4% の全損失における効果
(油入変圧器の平均容量 150 kVA の例)

項 目	高効率変圧器の 特性	W17/50-0.75W 鉄 心採用時の特性
無負荷損失 (W)	307	295
40% 負荷時の負荷損失 (W)	309	309
全損失 (W)	616	604
改善率 (%)	-	2

(注) 高効率変圧器の特性は(社)日本電機工業会調査の高効率変圧器の平均特性を示す。

(4) 準標準品の全損失補正率

標準品と異なる電圧や混触防止板付き仕様のものについては、標準電圧品に対する全損失増加を補正乗率として取り扱う。この中には省エネルギー化を促進する意味でメーカー推奨値以外のインピーダンス電圧指定品も準標準品に含めた。補正乗率は以下のとおり。

準標準仕様の標準電圧品に比べた全損失補正率

機 種	全損失補正率 (%)
油入変圧器	10
モールド変圧器	5

(出所) (社) 日本電機工業会調査

(5) 目標基準算定式

(1) ~ (4) を考慮して目標基準算定式を策定した。

目標基準算定式

製品区分	相数区分	定格周波数・ 定格容量区分	目標基準値算定式 (注)	区分
油入変圧器	単相	50Hz・500kVA 以下	$E=15.3 \cdot (\text{kVA})^{0.696}$	
		60Hz・500kVA 以下	$E=14.4 \cdot (\text{kVA})^{0.698}$	
	三相	50Hz・500kVA 以下	$E=23.8 \cdot (\text{kVA})^{0.653}$	- 1
		50Hz・500kVA 超過	$E=\underline{9.84} \cdot (\text{kVA})^{0.842}$	- 2
		60Hz・500kVA 以下	$E=22.6 \cdot (\text{kVA})^{0.651}$	- 1
		60Hz・500kVA 超過	$E=\underline{18.6} \cdot (\text{kVA})^{0.745}$	- 2
モールド変圧器	単相	50Hz・500kVA 以下	$E=22.9 \cdot (\text{kVA})^{0.647}$	
		60Hz・500kVA 以下	$E=23.4 \cdot (\text{kVA})^{0.643}$	
	三相	50Hz・500kVA 以下	$E=33.6 \cdot (\text{kVA})^{0.626}$	- 1
		50Hz・500kVA 超過	$E=\underline{24.0} \cdot (\text{kVA})^{0.727}$	- 2
		60Hz・500kVA 以下	$E=32.0 \cdot (\text{kVA})^{0.641}$	- 1
		60Hz・500kVA 超過	$E=26.1 \cdot (\text{kVA})^{0.716}$	- 2

E：変圧器の全損失 (W)

基準負荷率は、変圧器の容量が 500kVA 以下の場合 40%、500kVA 超過の場合 50%

kVA：変圧器の容量 (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

(参考1) 目標年度における改善効果

1. 1999年度に出荷された高圧受配電用変圧器の実績平均値から出荷台数で加重平均して算出した1台あたりの全損失値

818W/台

2. 目標年度に出荷されると見込まれる高圧受配電用変圧器の目標基準値から出荷台数で加重平均して算出した1台あたりの全損失値

570W/台

前提条件として、出荷台数及び構成は1999年度と同じとした。

3. 全損失の改善率

$$\frac{(818\text{W/台} - 570\text{W/台})}{818\text{W/台}} = 30.3\%$$

(参考2) 目標基準値における負荷率について

1. 負荷率の区分について

変圧器の全損失は、無負荷損 + 負荷損 (100%負荷率) × 負荷率²で計算される。また 100%負荷率における負荷損は実測データによれば無負荷損の 3~8 倍であり、その比率の高いものは負荷率が高くなるほど全損失の増加率が大きくなる。このように全損失は負荷率により変化するため、目標基準値を定めるためには、負荷率を適切に定めることが必要である。

(社)日本電機工業会が実施した負荷率の調査結果では全体では平均等価負荷率は 33.6%であるが特高受電の需要家は 40.5%、高圧受電の需要家は 28.0%とその差は 12.5%と大きく冒頭に述べた理由により両者の損失レベルの差は大きなものとなる。(下記参考)

従って基準とする負荷率は特高需要家用変圧器と高圧需要家用変圧器で変えて設定することが適切であるが、需要家別に損失レベルのみが異なる変圧器を仕分けして供給することは極めて困難であることから、以下の理由により容量 500kVA を境界として負荷率を分けることとした。

容量 500kVA 超過の変圧器は、ほぼ 100%特高需要家において使用されているため。(容量 500kVA 以下の変圧器は約 70%を高圧需要家、約 30%を特高需要家が使用)

高圧需用家に適用される高圧受配電用設備の規格である JISC 4620 が、容量 500kVA 以下の変圧器を適用範囲としているため。

表 受電電圧別負荷率調査結果と契約電力比率での加重平均負荷率

受電電圧	データ数	年間平均等価負荷率(%)			契約電力比率(%)	契約電力比率での加重平均負荷率(%)		
		昼間	夜間	1日		昼間	夜間	1日
特高 ^(*)	210	47.3	32.2	40.5	40	40.8	24.1	33.6
高圧	80	35.9	16.7	28.0	60			

(*)受電電圧が特高の需要家で使用されている高圧配電用変圧器の負荷率データ

2．負荷率の設定値について

(1)中間的負荷率の選定

図3.1に、平均的な容量である三相150kVAの全損失最小品を例として30,40,50,60%の各負荷率における全損失を求め、その各負荷率において最高効率となる設計（無負荷損＝負荷損）を行った場合の損失をグラフ化したものを示す。また、図3.2に図3.1のJIS標準変圧器各社平均を100%とした場合の比率を示す。負荷損が負荷率の二乗で増減することから図3.1及び図3.2に示すように負荷率が低すぎたり高すぎたりした場合、損失の増減率が大きく変わる。従って低負荷率基準の設計は高負荷率のユーザに、高負荷率基準の設計は低負荷率のユーザに不利益を与えることとなる。例えば全体の負荷率30%を基準とした場合、負荷率60%では13%の低減効果しかなく一方40%を基準とした場合、負荷率30%で31%、負荷率60%で29%の効果を保持している。したがって、より広範囲の負荷率に対して効果的に損失削減を図るためには負荷率は中間的な値を選定することが望ましい。

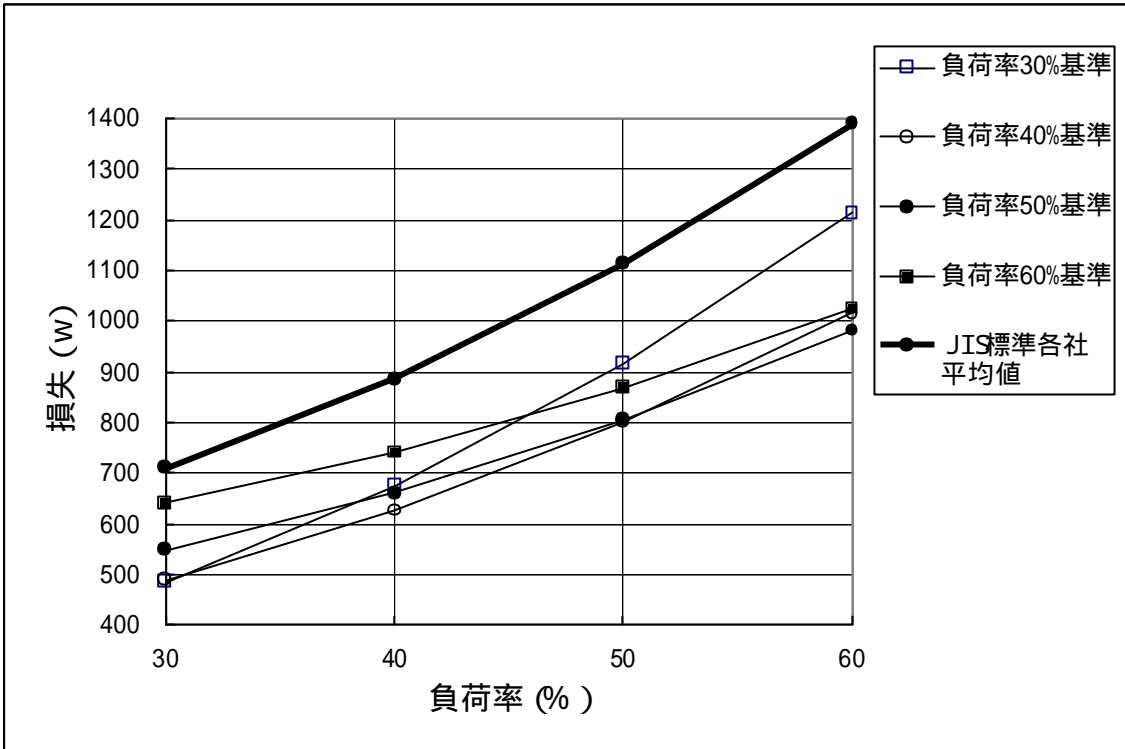


図 3.1 負荷率と損失の関係（三相 150kVA の例）

（注）負荷率 30%基準とは、負荷率 30%において最高効率となる設計を行った場合をいう。以下、負荷率 40%、50%、60%において同様。

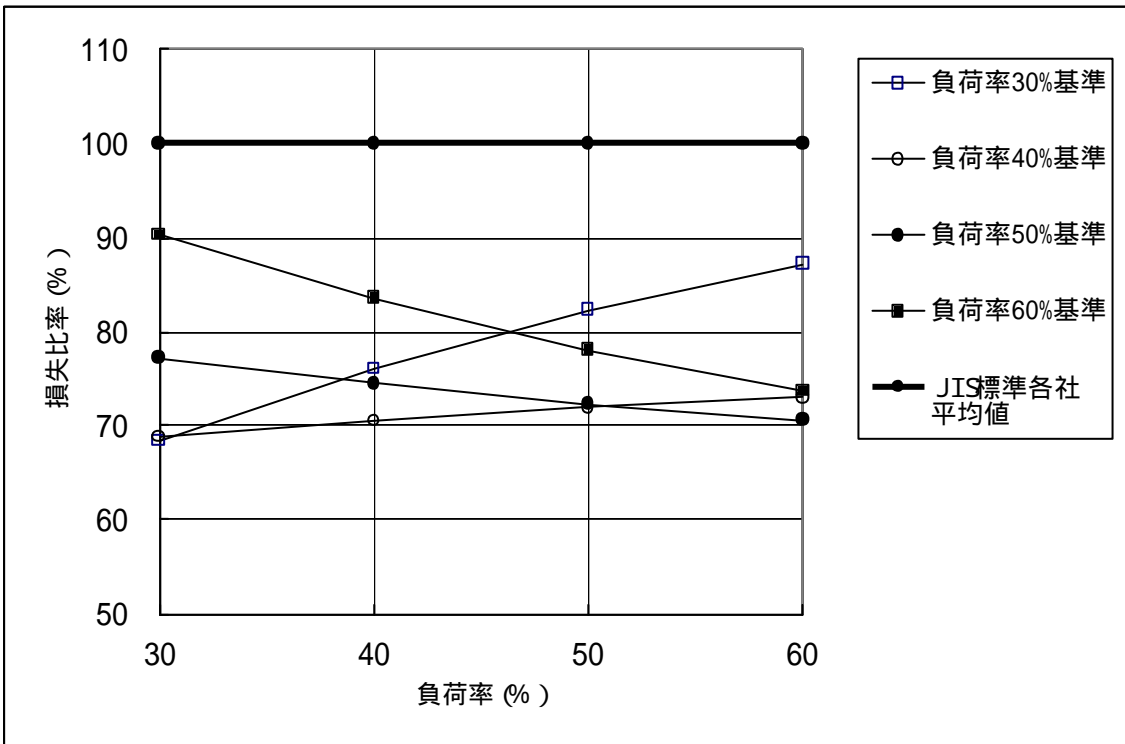


図 3.2 JIS 平均を 100%とした場合の比率（三相 150kVA の例）

(2)力率について

受電設備における変圧器二次側の負荷力率は、通常0.80～0.85で、変圧器の実負荷率は高圧受電端より高い。一般的に高圧受電端では力率0.95を目標に進相用コンデンサーを挿入していることから変圧器の実質負荷率は12%～19%高くなっている。

(3)需要率の改善について

省エネルギー法の工場判断基準等において負荷の平準化、ピーク負荷の低減、力率の改善を進めるよう指導していることから負荷率が将来高くなっていくことが予想される。

(社)日本電機工業会が実施した負荷率調査の結果によると、特高需要家の平均等価負荷率は、昼間47.3%、夜間32.2%、平均40.5%であり、高圧需要家の平均等価負荷率は、昼間35.9%、夜間16.7%、平均28.0%となっている。上記(2)により、変圧器の実質負荷率が12%～19%程度高くなっていることを考えると、特高需要家で使用される変圧器の実質負荷率は36%～56%程度、高圧需要家で使用される変圧器の実質負荷率は19%～43%程度であると考えられる。これらの結果と、上記(1)及び(3)の傾向を踏まえると、目標基準値を定める負荷率は、

500kVA 以下：40%

500kVA 超過：50%

と設定するのが適当であると考えられる。

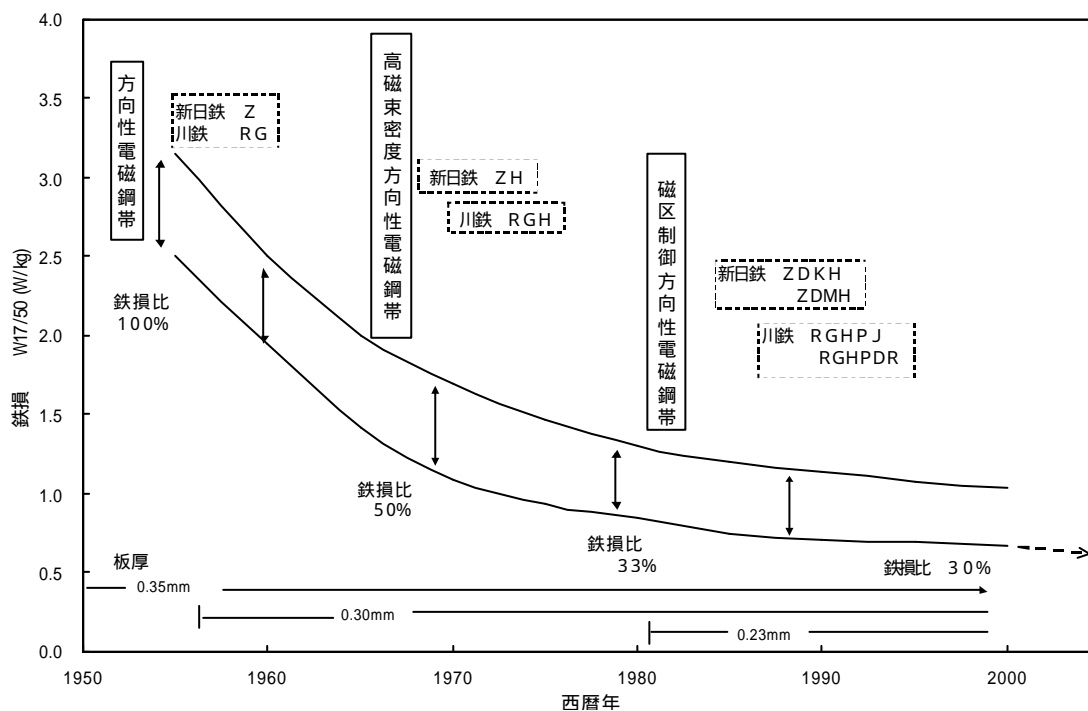
(参考3) 各基本技術の改善と今後の見通し

変圧器の損失は、鉄心で発生する無負荷損及び巻線で発生する負荷損で構成され、これまでに省エネルギー技術として実用的なレベルで、素材・構造面での様々な改良が行われてきた。各基本技術の改善と今後の見通しについて以下に示す。

鉄心技術の改善

昭和30年代に方向性電磁鋼板が出現し、これを利用した巻鉄心が開発され、単相小容量機種に適用することにより、その無負荷損が大幅に改良されてきた。以降、その材質のグレードアップとともに、適用機種が単相から三相まで拡大され、現在では全ての高圧受配電用変圧器の鉄心に方向性電磁鋼板が採用され、変圧器の低損失化に寄与している。

我が国の方向性電磁鋼板の品質向上の歴史を下図に示すが、現在では汎用品の方向性電磁鋼板に加え、ハイグレードな低損失材料として、結晶方位性をさらに高めて低損失を実現した高磁束密度方向性電磁鋼板、さらに電磁鋼板表面に溝加工を施し、磁区を細分化することにより低損失を実現した磁区制御方向性電磁鋼板が実用化されており、最もハイグレードな低損失材料では、昭和30年代の素材損失と比較して、1/3程度までの大幅な損失低減が図られている。



我が国の方向性電磁鋼板の品質向上の歴史

高効率形油入変圧器については、現行JIS品からの損失低減目標値に対応して、良特性鉄心材料を選定・使用する必要がある。普通材使用鉄心と同一鉄心設計で高磁束密度材を使用した場合は22%、磁区制御材を使用した場合は33%の損失低減効果が期待できる。

代表的な各種鉄心材料の特性例

材質		板厚(mm)	無負荷損at1.7T,50Hz
普通材	30G120	0.3	1.17W/kg(100) ^(*)
高磁束密度材	23P095	0.23	0.90W/kg(78)
磁区制御材	23R085	0.23	0.78W/kg(67)

(*) 括弧内の数値は、普通材を100とした時の指数

上述の通り、現行JIS標準変圧器の省エネルギー化を進めるためには、ハイグレードな低損失材料を使用したり、また磁束密度を低減(鉄心断面積増加 = 素材使用量増加)する必要があるが、いずれもコストアップに直結することから、市場からの経済性要求動向も踏まえ、費用対効果を考えた選択・適用が必要である。

2. 巻線技術の改善

巻線は絶縁物の薄葉化（高強度紙、フィルム）等の絶縁技術の進歩や磁束密度を高く出来る鉄心素材の導入によって変圧器が小形化し巻線導体が短くなったことが損失低減に寄与している。また導体材質としては、変圧器開発当初から銅材料が使用されてきたが、昭和40年代前半の銅材市況の急騰を契機に巻線材料のアルミニウム化技術が開発推進され、変圧器のコスト低減に貢献してきた。

現行JIS標準変圧器には上述の理由からアルミ巻線を使用することが多いが、高効率形変圧器については、その損失低減目標値に対応して、適切な断面積を有するCU巻線を選定・使用する必要がある。銅の導電率が100%であるのに対して、アルミは62%であり、損失目標に適合した断面積の銅巻線が選定・使用されることが多い。例えば、アルミ巻線の断面積に対して85%の断面積を有する銅巻線を選定すれば、損失は73%となり、27%の損失低減効果が期待できる。

アルミと銅設計の導体断面積と損失の比較例

材質	断面積 ^(*)	損失 ^(*)
AL	100	100
CU	75	83
	85	73
	95	65
	100	62

(*)断面積、損失共ALを100とした場合の指数

上述の通り、変圧器の省エネルギー化を進めるためには、巻線材料に導電率の高い銅材料を採用し、負荷損を低減する必要があるが、その分コストアップに直結する。また、更に負荷損を低減するためにはコイル導体断面積を増やして設計することが考えられるが、導体使用量が増加することになり、さらにコストアップとなる。

3. 今後の見通し

方向性電磁鋼板については、更なる低損失化に向けての継続的な研究開発努力が続けられており、経済的な観点からは飽和の領域に近づいているものの、素材損失としては磁区制御材で $W17/50 = 0.75(W/kg)$ のレベルが考えられており、実現すれば技術改善余地としてさらに4%程度の無負荷損低減が期待できる。

さらなる将来的な新技術としては、超電導技術、鉄心新素材開発等が想定されるが、何れも研究レベルであり近い将来に製品化可能な状況にはなく、また、その他の技術については継続的な改善努力は行われていくものの革新的な技術開発は期待できない状況となっている。

よって、今後、現行JIS標準品の省エネルギー化を推進するにあたっては、既に完成・成熟に達している以下要素技術について、市場からの経済性要求動向も踏まえ、費用対効果を考慮しながら選択・適用していくことと、特に目標基準値の選定に当たっては寸法、重量の大幅増加を避ける設計が必要である。

《鉄心技術》

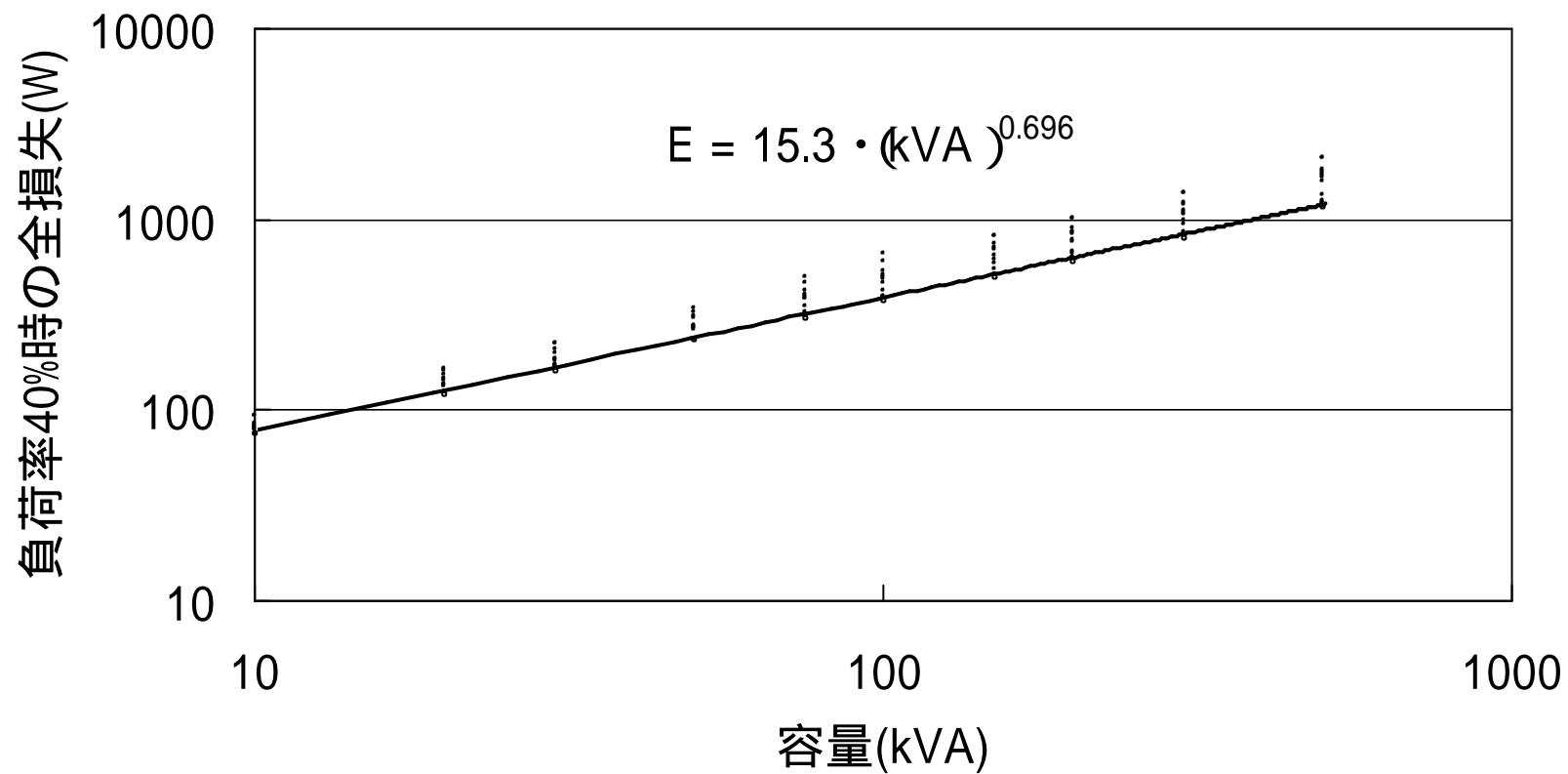
- ・ ハイグレードな低損失鉄心材料の採用
- ・ 鉄心磁束密度の低減

《巻線技術》

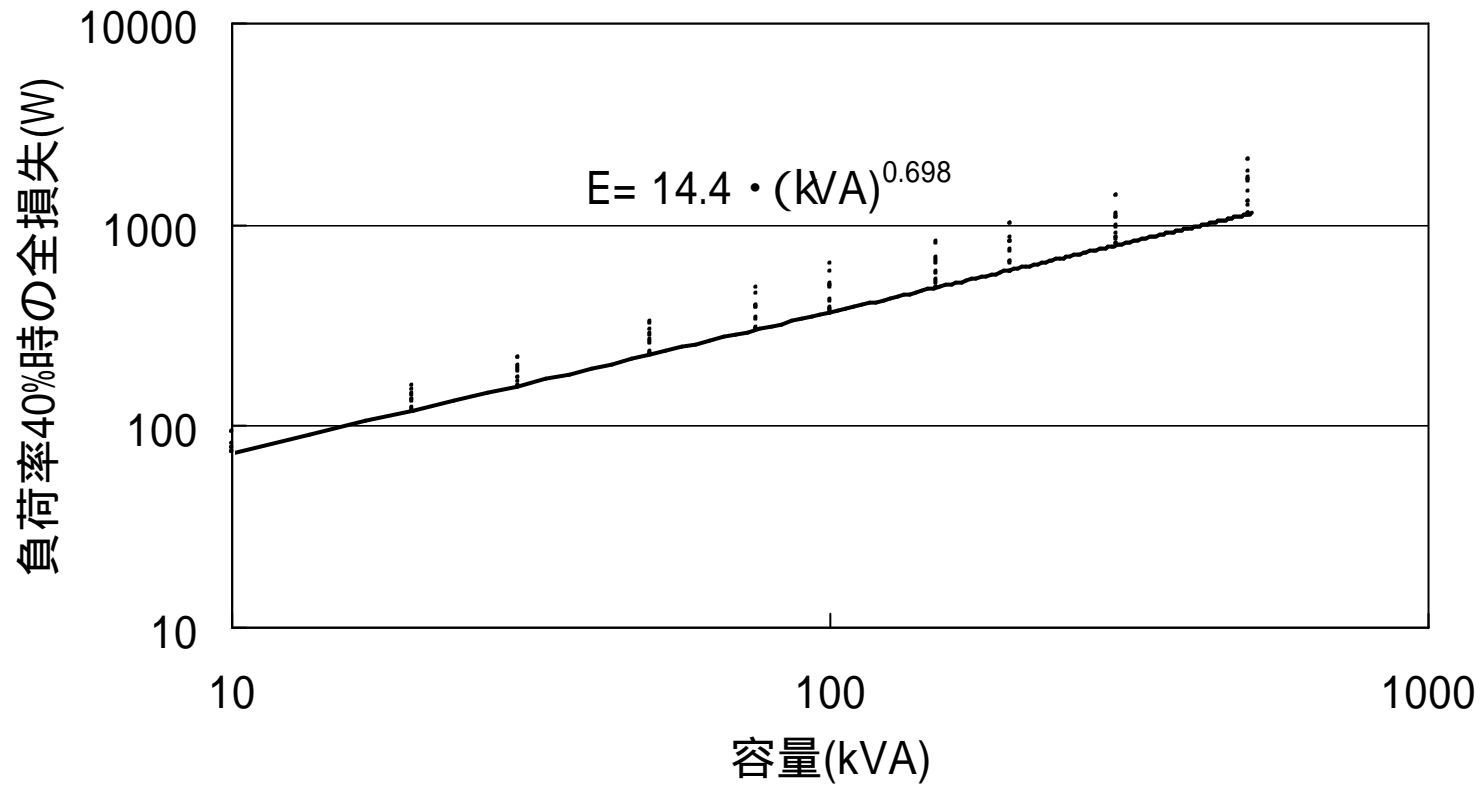
- ・ 導体材質としての銅材料の部分あるいは全面採用
- ・ 導体断面積の増加

《構造改善技術》

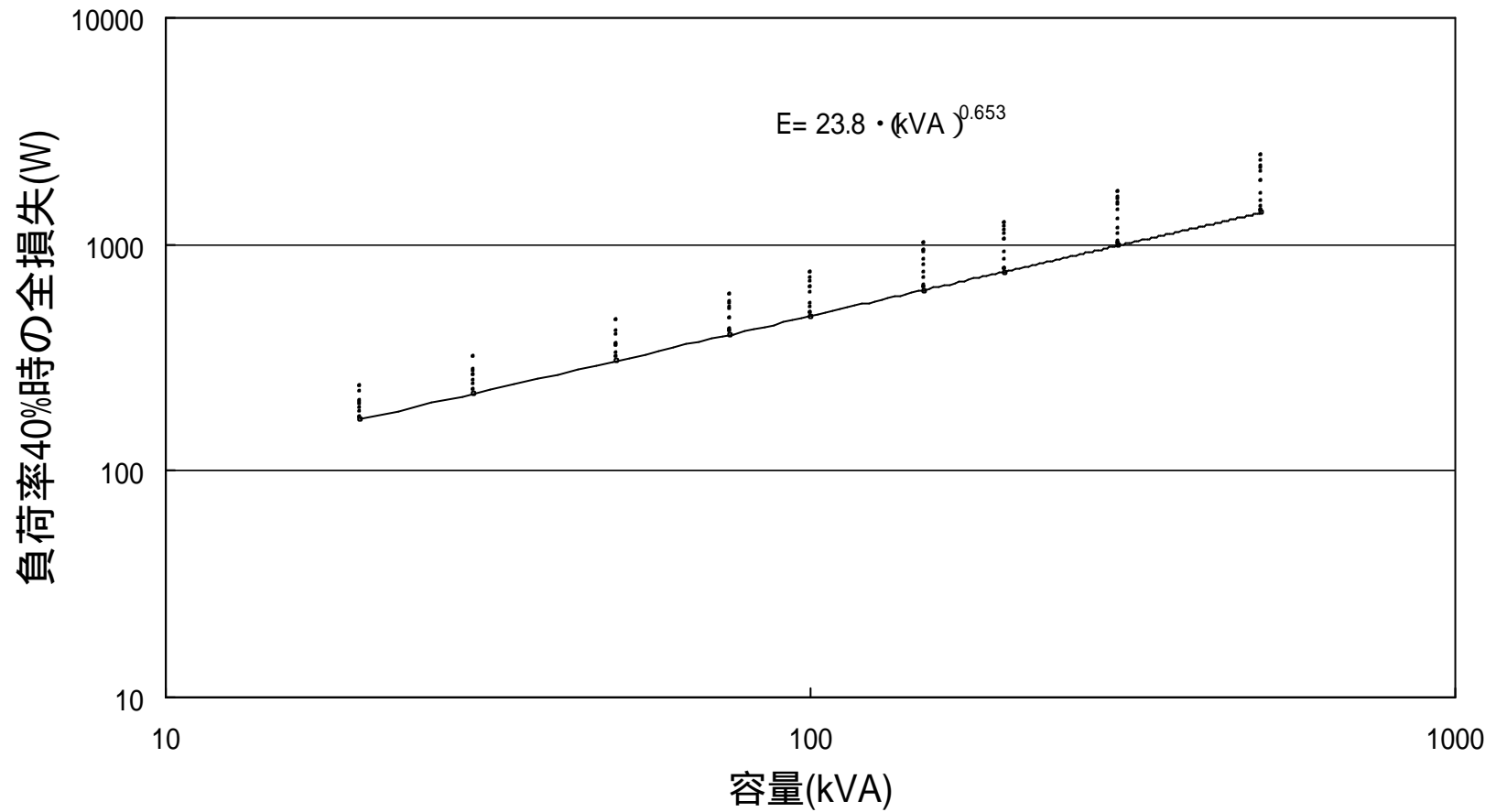
- ・ 基準負荷率での最高効率点を引き出す設計
- ・ 鉄心ジョイント部のステップラップの採用



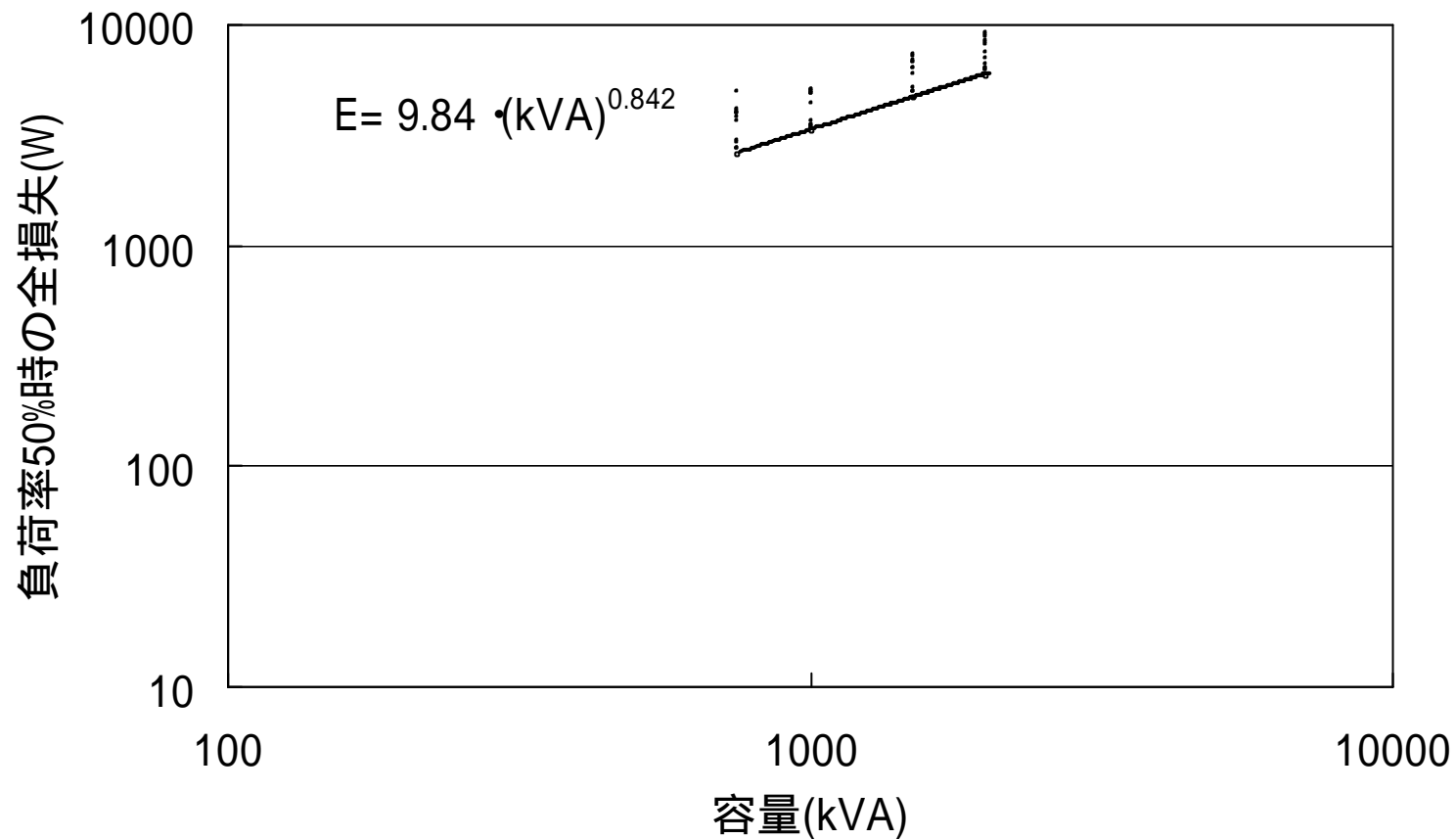
区分 (油入変圧器・単相・50Hz・500 kVA以下)



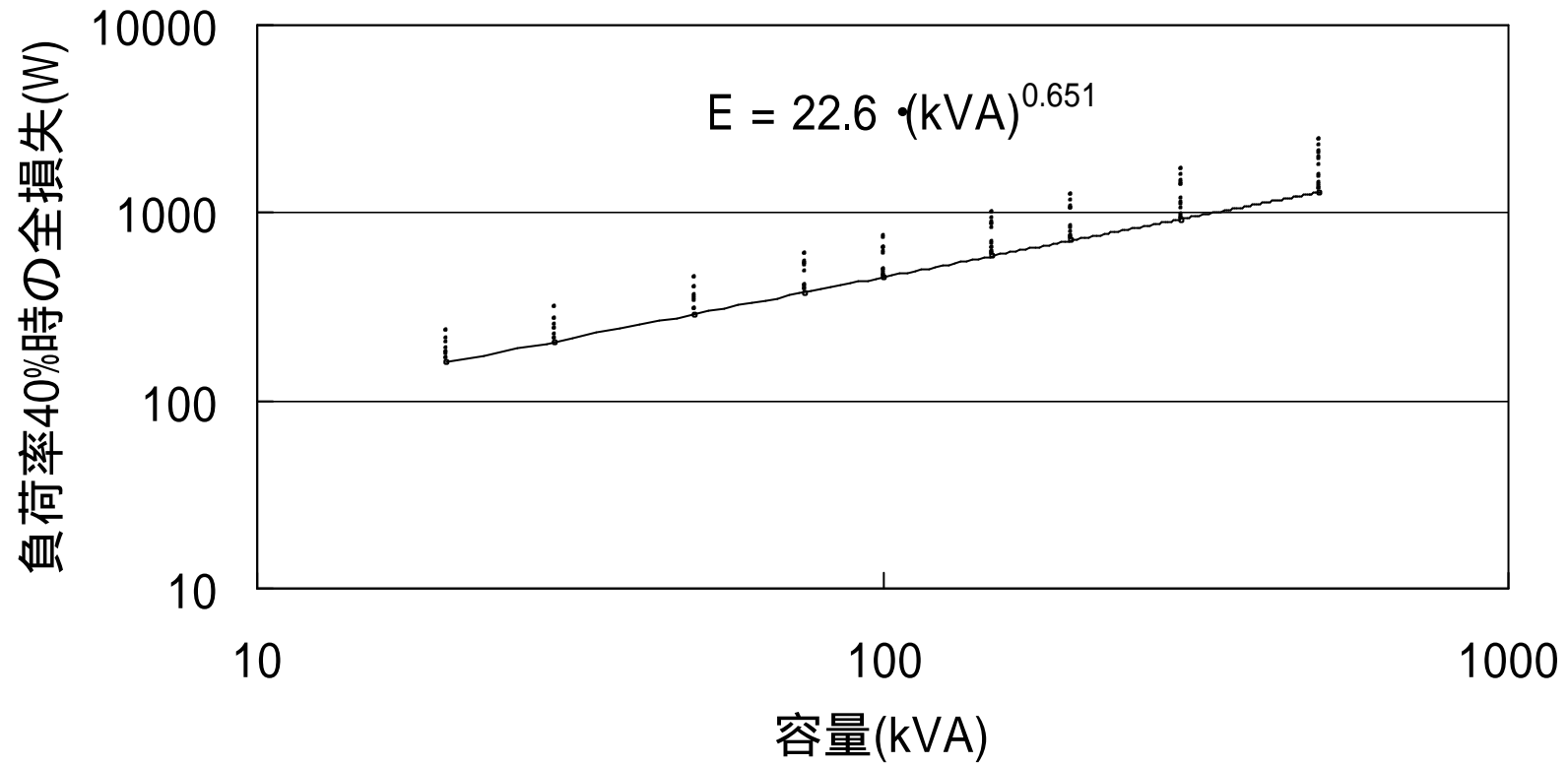
区分 (油入変圧器・単相・60Hz・500 kVA以下)



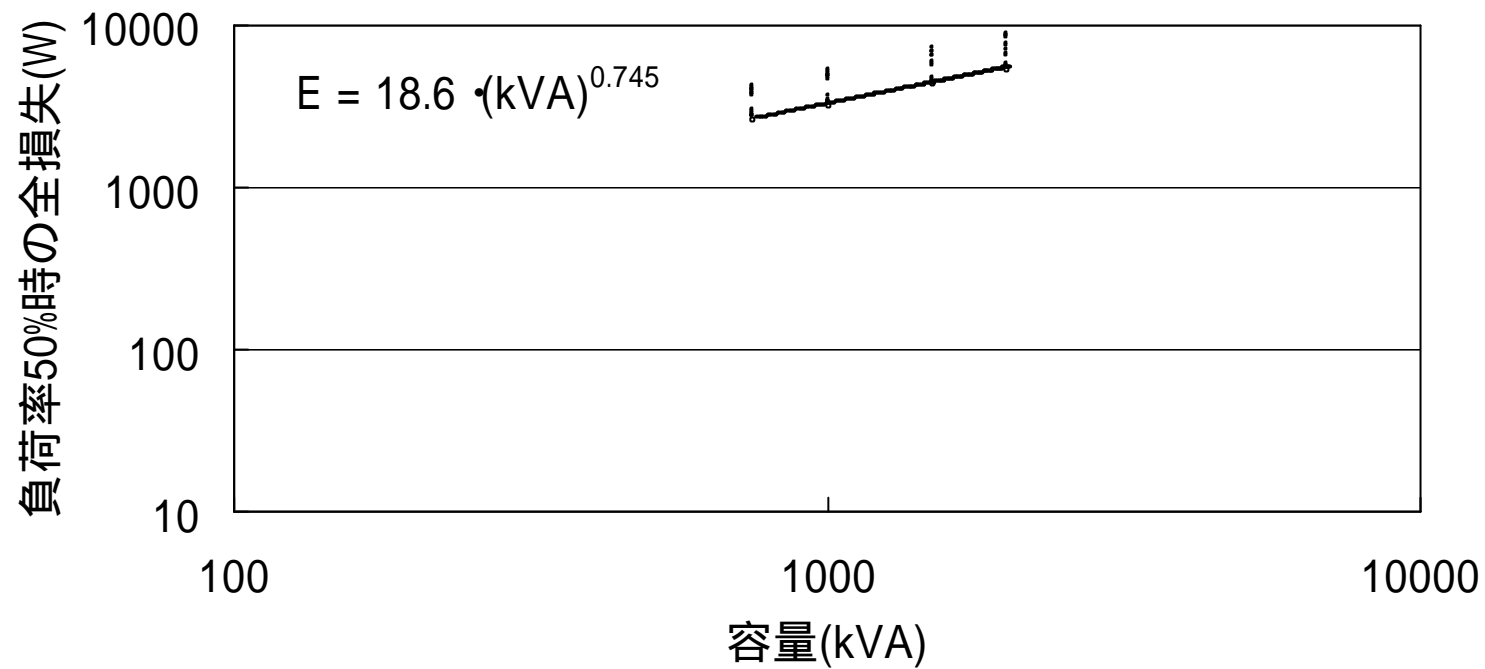
区分 -1(油入変圧器・三相・50Hz・500kVA以下)



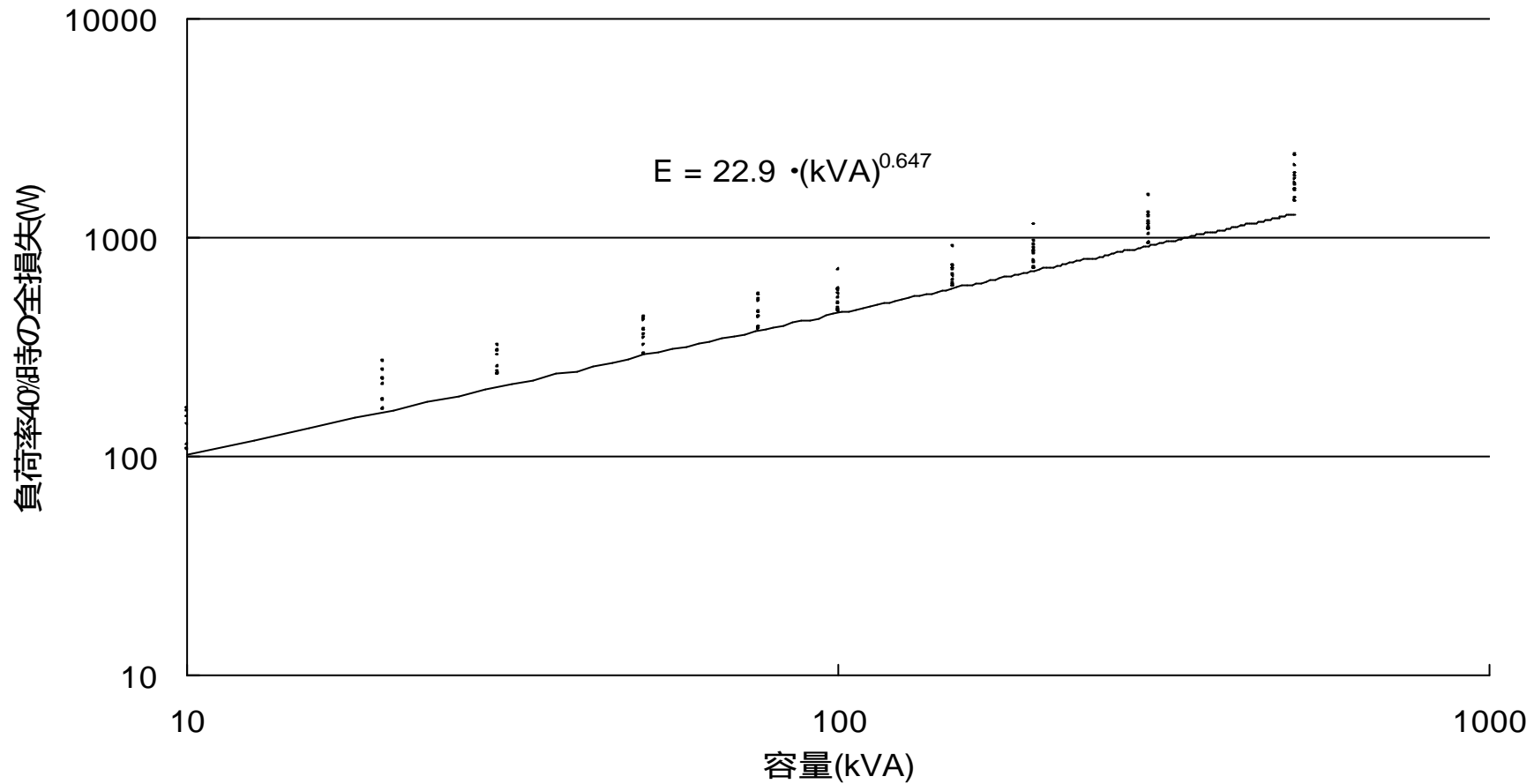
区分 -2(油入変圧器・三相・50Hz・500kVA超過)



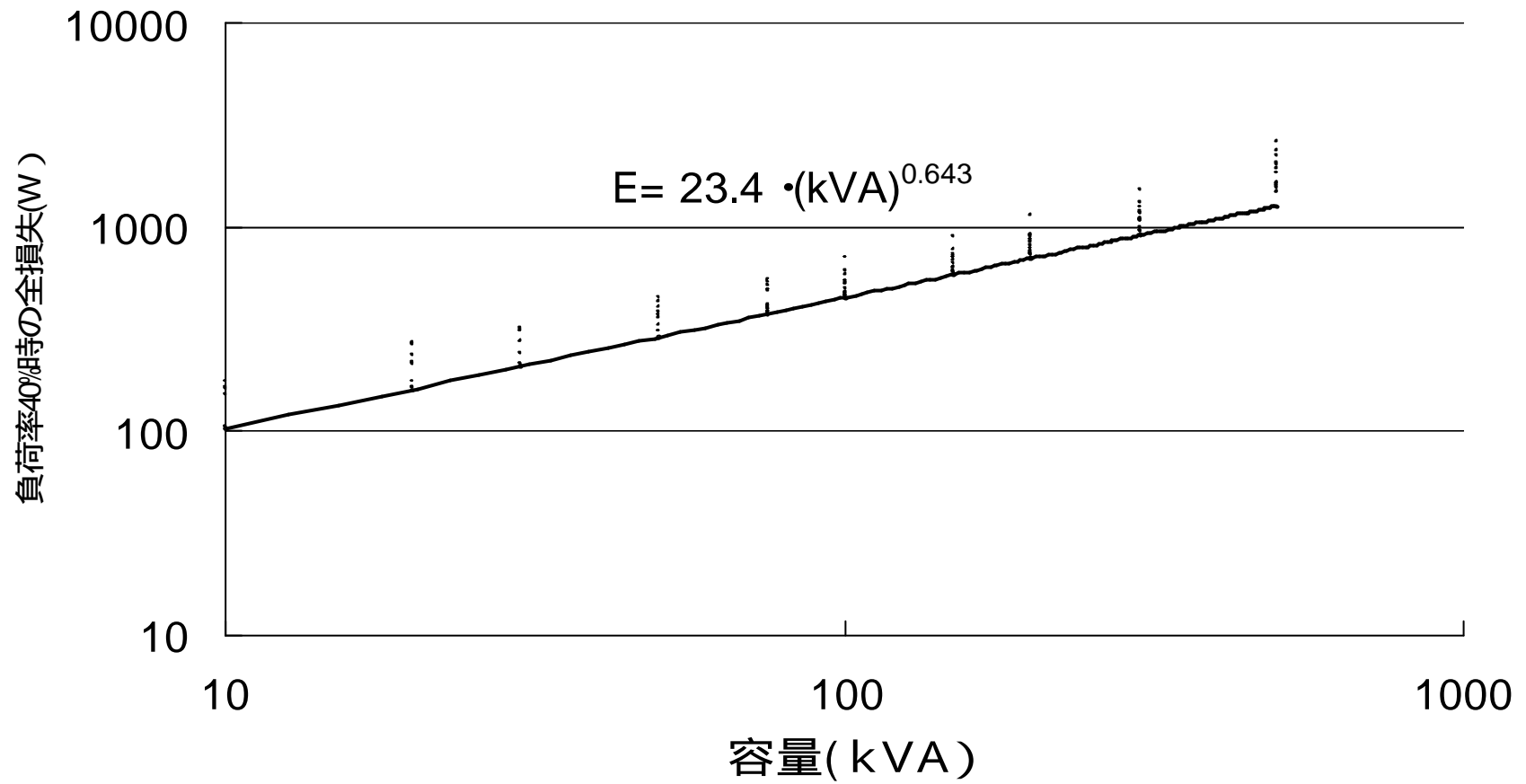
区分 -1(油入変圧器・三相・60Hz・500kVA以下)



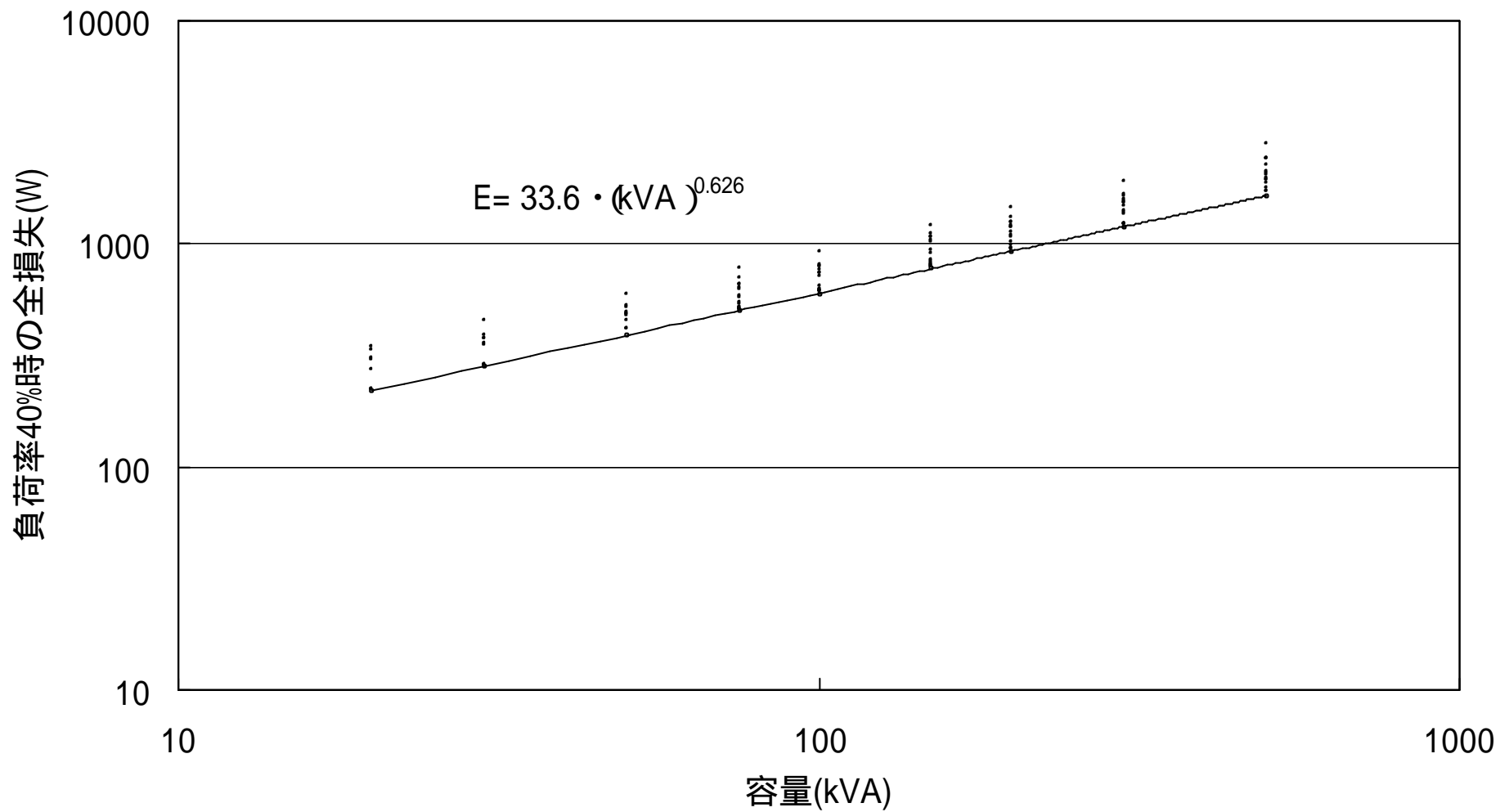
区分 -2(油入変圧器・三相・60Hz・500kVA超過)



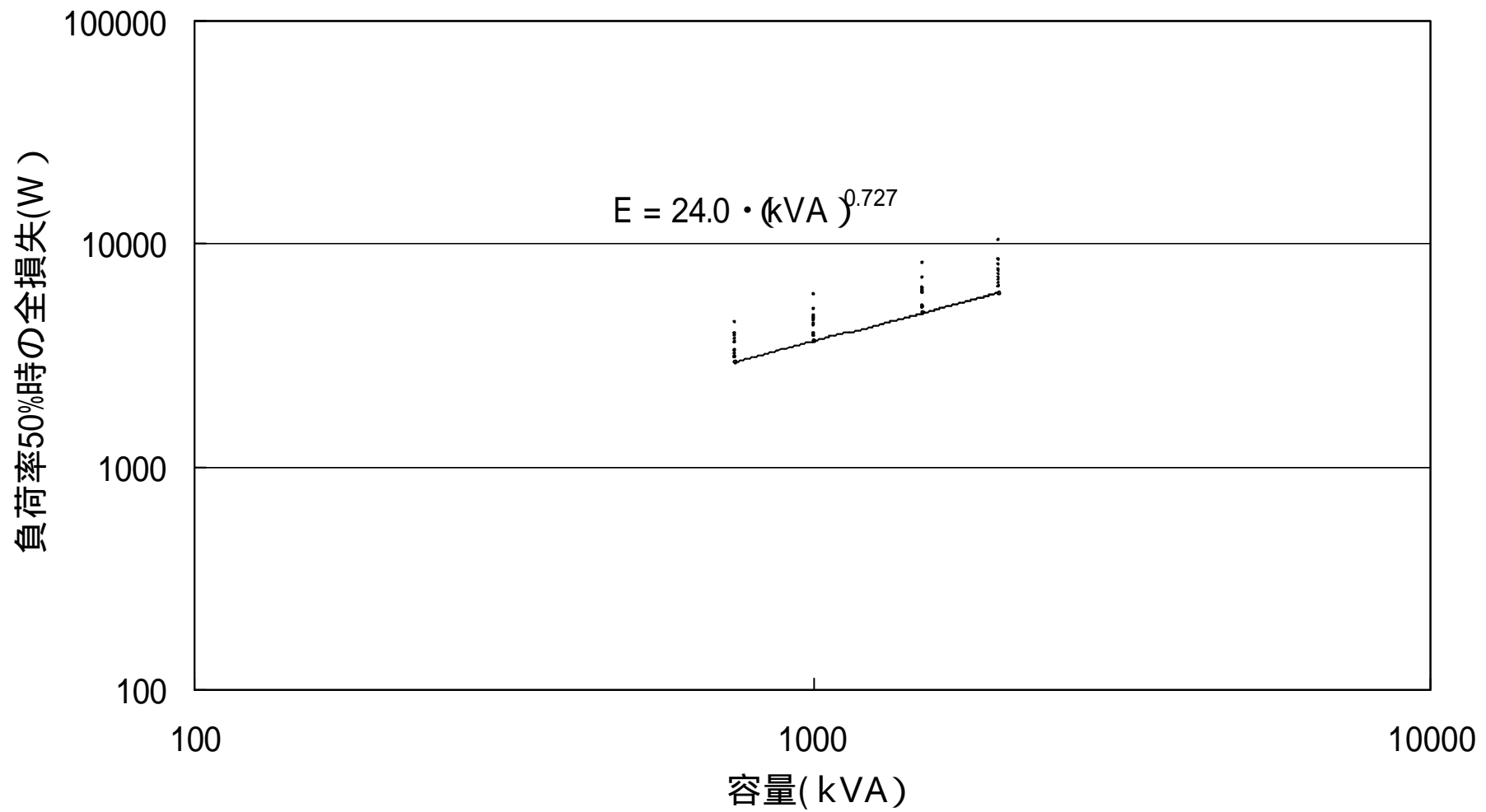
区分 (モールド変圧器・単相・50Hz・500kVA以下)



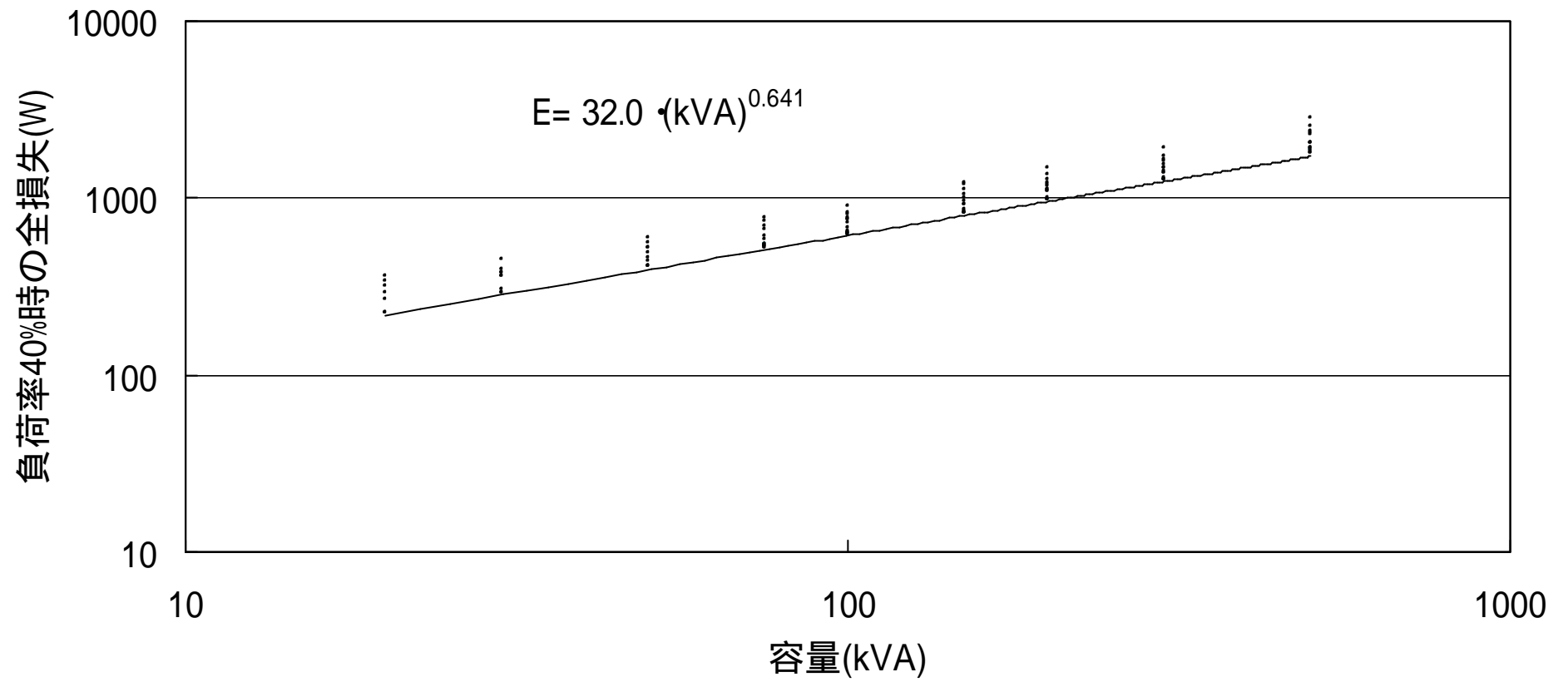
区分 (モールド変圧器・単相・60Hz・500kVA以下)



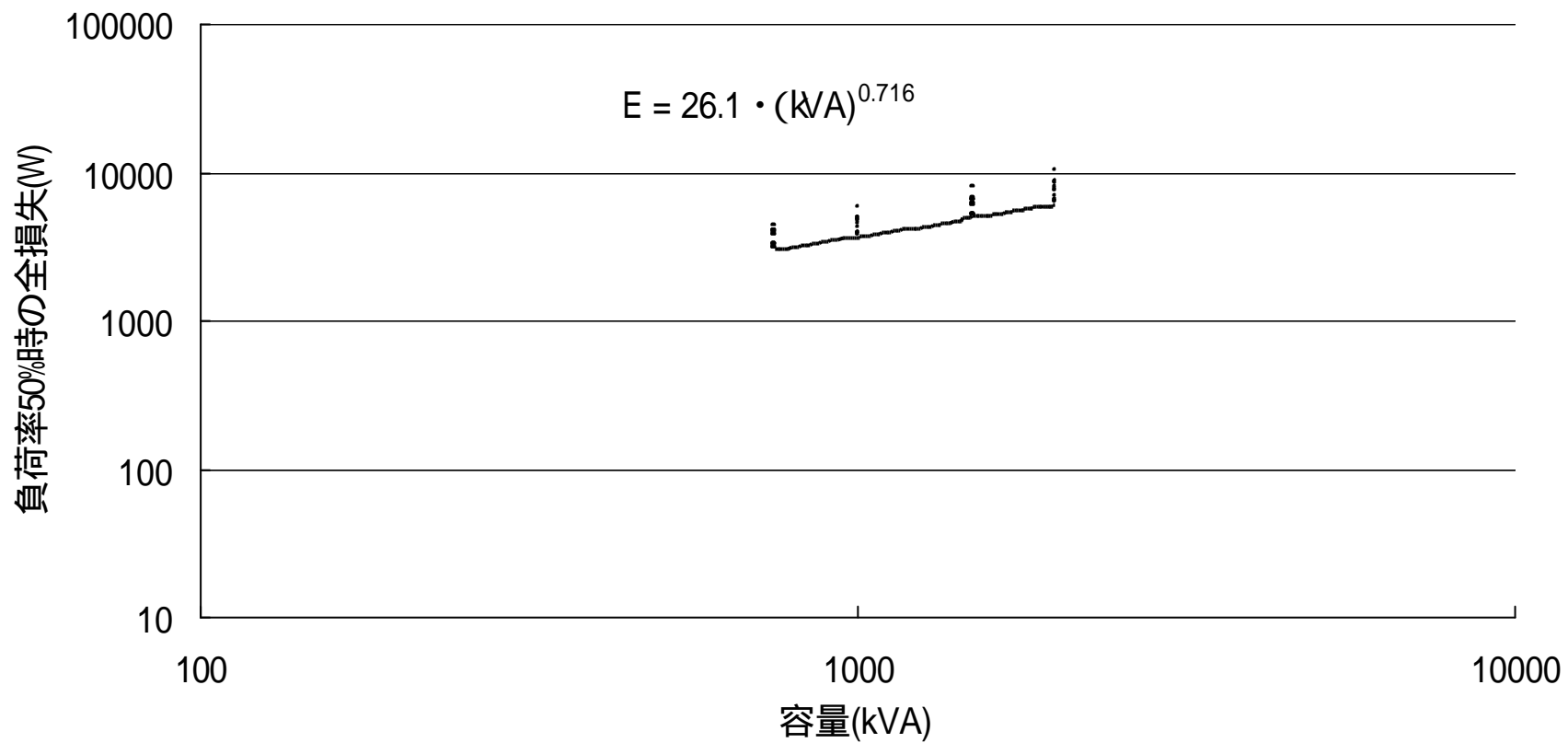
区分 -1(モールド変圧器・三相 50Hz・500kVA以下)



区分 -2(モールド変圧器・三相・50Hz・500kVA超過)



区分 -1(モールド変圧器・三相・60Hz・500kVA以下)



区分 -2(モールド変圧器・三相 60Hz500kVA超過)

エネルギー消費効率の測定方法について

1. 基本的考え方

JISに定める変圧器の効率はすでにほとんどの機種において98%を超えており、仮にJISに定める効率をもって変圧器のエネルギー消費効率とした場合、その改善効果はいたずらに小さな数字となることが予想されるため、その取扱いが不便であることから、エネルギー消費効率としてはJISに定める無負荷損試験及び負荷損試験で測定される損失値を負荷率で換算した全損失を用いることが適当と考えられる。

かかる観点の下、エネルギー消費効率の定義及びその測定方法については以下2.のとおりとする。

2. エネルギー消費効率の測定方法について

(1) エネルギー消費効率について

変圧器は、無負荷損と負荷損を発生しており、これらを合わせた損失（全損失）が、変圧器として発生している損失となる。したがって、無負荷損に限らず変圧器で消費される全損失を低減するという観点から、変圧器のエネルギー消費効率は全損失（W）とし、無負荷損（W）及び負荷損（W）を測定して次式により算出される数値とする。

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

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 (%)

(2) エネルギー消費効率の測定方法について

無負荷損及び負荷損の測定方法については、JIS C 4304 配電用6kV 油入変圧器及びJIS C 4306 配電用6kV モールド変圧器に規定する「10.2 巻線抵抗測定」、「10.3 無負荷電流及び無負荷損試験」、「10.5 負荷損及び短絡インピーダンス試験」によるものとする（参考1、参考2参照）。

(参考1)

(参考2)

(参考 2) 続き

(参考 2) 続き

変圧器判断基準小委員会の開催経緯

第1回小委員会（平成13年4月19日）

- ・小委員会の設置について
- ・判断基準の策定・改定に関する基本的考え方について

第2回小委員会（平成13年5月31日）

- ・変圧器の現状について
- ・適用範囲について
- ・エネルギー消費効率及びその測定方法について

第3回小委員会（平成13年7月6日）

- ・エネルギー消費効率及びその測定方法について
- ・目標設定のための区分について

第4回小委員会（平成13年8月28日）

- ・目標基準値及び目標年度について

第5回小委員会（平成13年9月27日）

- ・目標基準値及び目標年度について
- ・表示について

第6回小委員会（平成13年11月12日）

- ・中間とりまとめ

第7回小委員会（平成14年3月11日）

- ・最終とりまとめ

総合資源エネルギー調査会省エネルギー基準部会
変圧器判断基準小委員会委員名簿

委員長	石井 弘允	日本大学理工学部電気工学科教授
	泉 邦和	財団法人電力中央研究所参事
	猪股 誠司	社団法人日本機械輸入協会専務理事
	長見 万里野	財団法人日本消費者協会理事
	片山 利一	東邦大学薬学部教授
	川瀬 貴晴	株式会社日建設計設備統括部長
	佐川 直人	株式会社住環境計画研究所研究主幹
	杉中 輝明	社団法人日本配電盤工業会環境技術委員会委員長
	堀 洋一	東京大学工学系研究科教授
	前川 哲也	日本ファシリティ・ソリューション株式会社代表取締役社長
	松永 隆治	財団法人省エネルギーセンター調査第1部長
	望月 良朗	社団法人日本電機工業会变圧器・特定機器等判断基準 WG 主 査