

変圧器の現状について

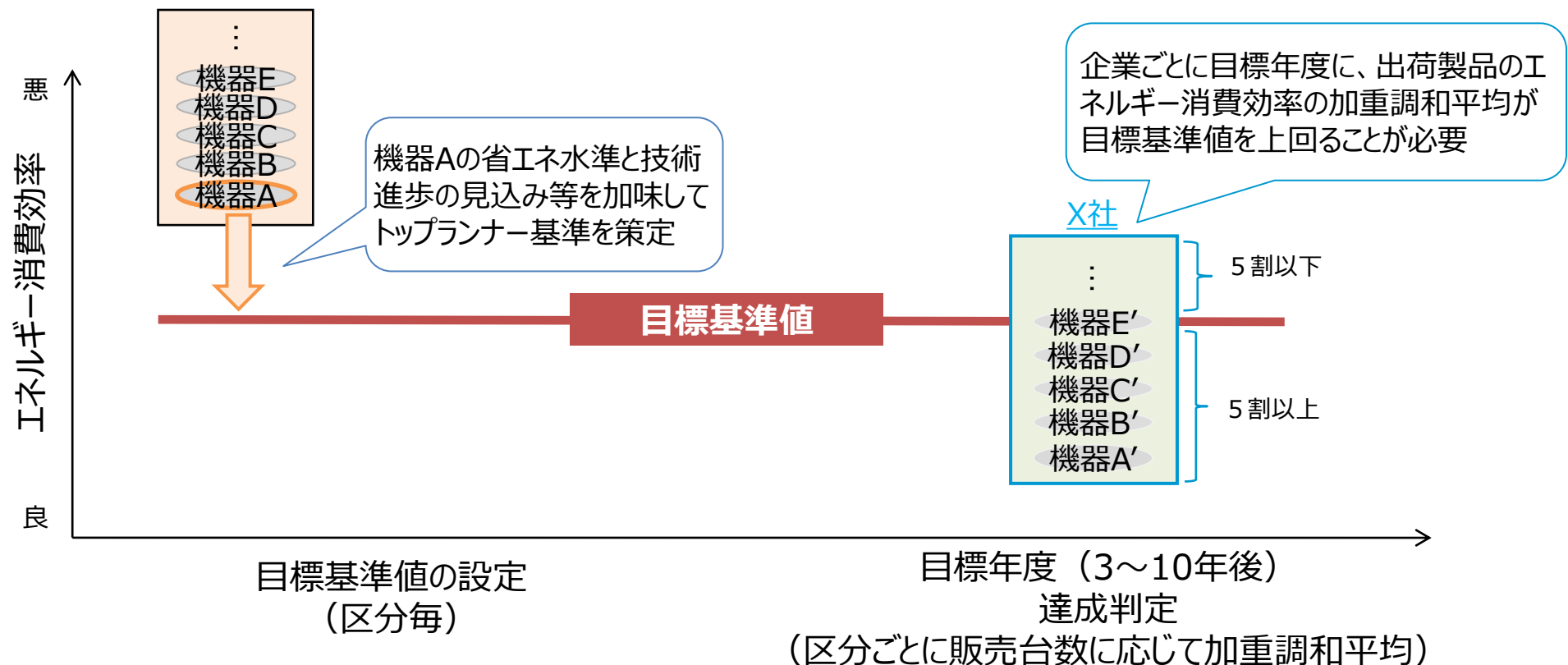
令和 4 年 9 月 7 日
資源エネルギー庁

目次

1. 変圧器におけるトップランナー制度について
 - 1－1. トップランナー制度による規制の概要
 - 1－2. 変圧器の働き
 - 1－3. 対象となる変圧器
 - 1－4. 現行基準の区分
 - 1－5. 目標基準値の設定方法
 - 1－6. 各区分におけるエネルギー消費効率の状況
2. 変圧器の市場動向等
 - 2－1. 出荷台数の推移
 - 2－2. 設置台数の推移
 - 2－3. 効率の推移
 - 2－4. 省エネ技術及び機能

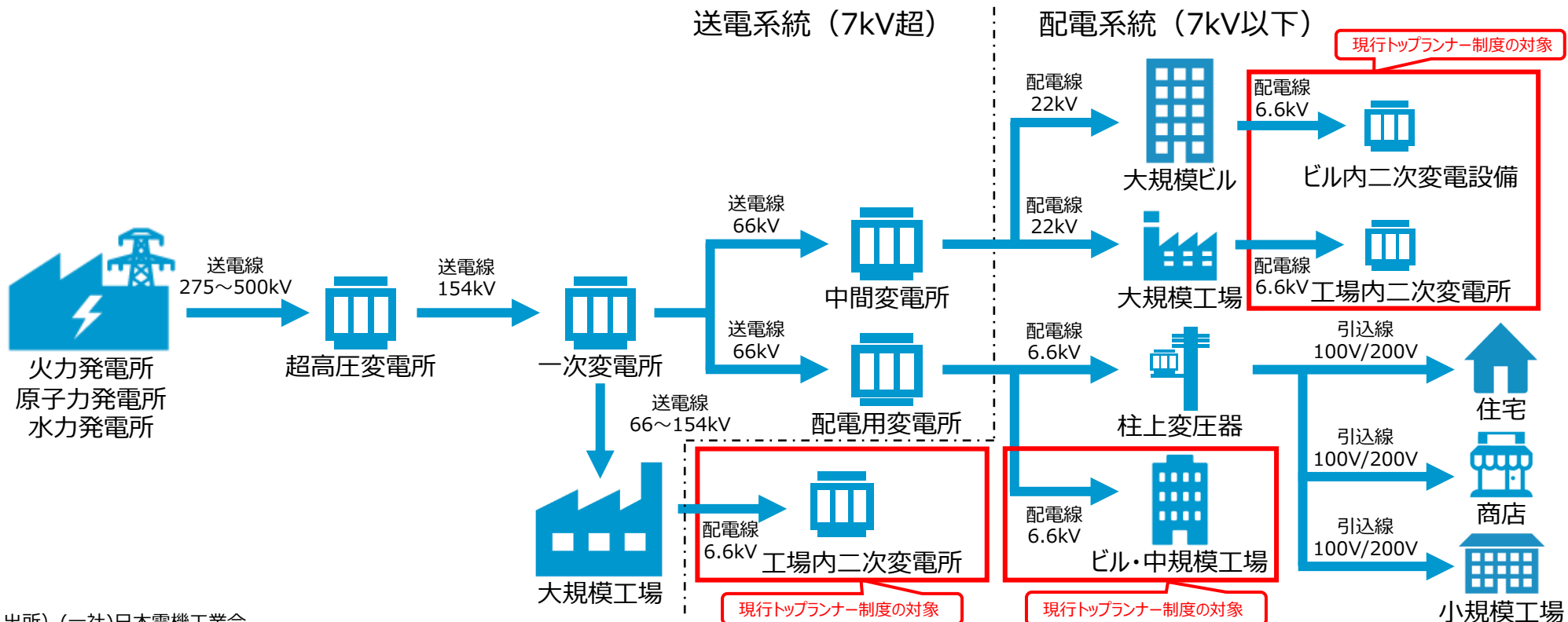
1-1. トップランナー制度による規制の概要

- エネルギーの使用の合理化等に関する法律（省エネ法）に基づき、これまで2006年度（油入）、2007年度（モールド）、2014年度を目標年度とする基準を設定。製造事業者や輸入事業者に対して、目標年度までにエネルギー消費効率の目標達成を求めている。
- 未達成の製造事業者等には、相当程度のエネルギー消費効率の改善を行う必要がある場合に勧告、公表、命令、罰則（100万円以下）の措置がとられる。



1 - 2. 変圧器の働き

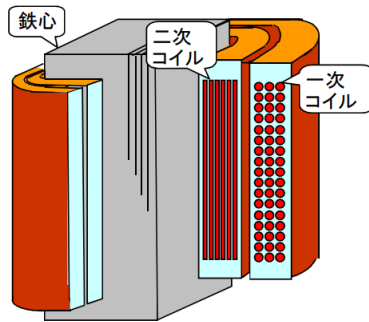
- 変圧器とは、電気を用途に応じた電圧に変換（昇圧・降圧）する電気機器である。
- 発電された電気は、発電所内で変圧器により適切な電圧に昇圧して送電し、途中の変電所や需要家側の変圧器で所要の電圧に降圧して利用されている。
- 現行のトップランナー制度では、定格一次電圧が600V超7,000V以下のものであって、かつ、交流の回路に使用されるものを対象としている。なお、柱上変圧器は対象外となっている。



送配電系統概略図

(参考) 変圧器の原理

- 変圧器は鉄心（コア）に巻数の異なる一次コイルと二次コイルを巻きつけた構造となっている。
- 電磁誘導作用の原理より鉄心を通る磁束の変化で巻線（コイル）に起電力を誘起させ、電圧・電流の大きさを変換する。



鉄心・コイル断面図

巻数比・電圧比・電流比の関係

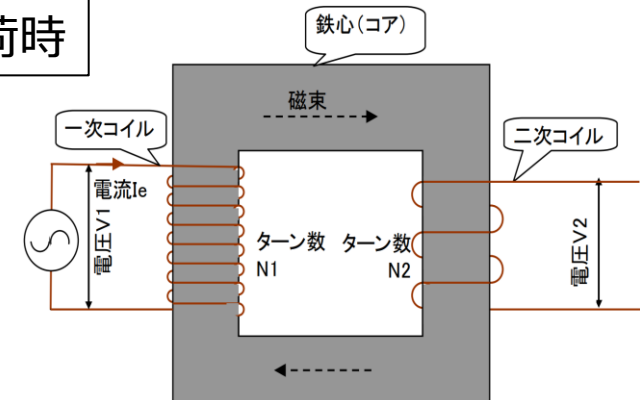
- 電圧比 $\frac{V_1}{V_2} = \text{巻数比} \frac{N_1}{N_2} = a$
- 電流比 $\frac{I_1}{I_2} = \frac{1}{a}$

一次側・二次側の電圧×電流の関係

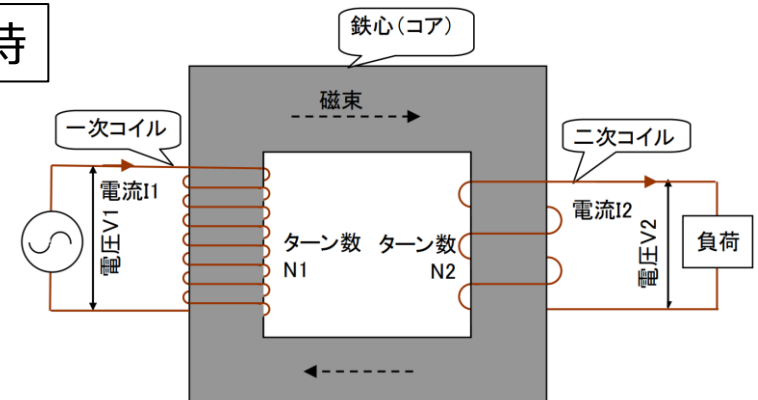
- $V_1 \times I_1 = V_2 \times I_2$

変圧器の原理

無負荷時



負荷時



1-3. 省エネ法トッランナー制度の対象となる変圧器

- 現在の省エネ法トッランナー制度における変圧器の対象範囲は、定格一次電圧が600Vを超え、7,000V以下のものであって、かつ、交流の電路に使用される油入変圧器・モールド変圧器である。
(なお、柱上変圧器は省エネ法トッランナー制度の対象外となっている。)

種類	2019年度 出荷台数	2006目標年度 (基準年度：1999年度 告示施行：2002年度)	2007目標年度 (基準年度：1999年度 告示施行：2002年度)	2014目標年度 (基準年度：2009年度 告示施行：2012年度)
油入変圧器	83,034台	○	基準据え置き	○
モールド変圧器	5,888台	—	○	○
(参考) 柱上変圧器	274,525台	—	—	—

○：規制対象

2006年度、2007年度目標による改善効果は基準年度(1999年度)と比較して13.1%。
(出荷台数実績(1999年度及び2006年度、2007年度)による加重平均値)

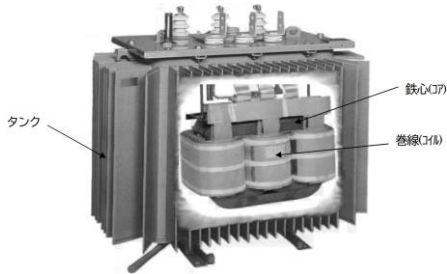
2014年度目標による改善効果は基準年度(2009年度)と比較して12.5%。
(出荷台数実績(2009年度)及び想定出荷台数(2014年度の出荷台数は、2009年度と同じ出荷台数と想定)による加重平均値)

※制度対象となる変圧器を製造しているメーカーは、株式会社ダイヘン、東芝産業機器システム株式会社、株式会社日立産機システム、三菱電機株式会社、富士電機株式会社、株式会社明電舎、愛知電機株式会社、株式会社東光高岳、北陸電機製造株式会社、等。

出所) (一社)日本電機工業会

(参考) 変圧器の種類

- 600V超、7,000V以下で受電し、工場やビル等の施設内での利用のために降圧を行う変圧器がトップランナー制度の対象となっている。
- 変圧器の構造は以下のとおり分類される。トップランナー制度では、H種乾式変圧器とガス絶縁変圧器は適用除外となっており、油入変圧器とモールド変圧器のみ適用となっている。

種類	油入変圧器	乾式変圧器		ガス絶縁変圧器
		モールド変圧器	H種乾式変圧器	
絶縁材料	絶縁油	樹脂	ワニス	不活性ガス（主にSF ₆ ）
対象	基準対象	基準対象	基準対象外	基準対象外
画像				

出所)「変圧器判断基準小委員会最終取りまとめ」(平成23年) 参考資料

久野電機製作所 | 製品情報 <http://www.hisano.co.jp/frmProducts.aspx?No=4>

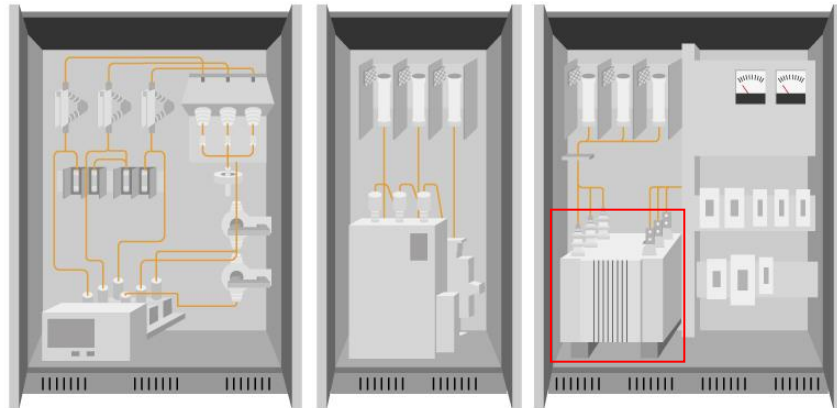
明電舎 | ガス絶縁変圧器 | 変圧器 https://www.meidensha.co.jp/products/energy/prod_01/prod_01_05/prod_01_05_08/index.html

(参考) 変圧器の設置例

- トップランナー制度の対象となる変圧器は、主にキュービクルの中に設置される。
- 油入変圧器は、巻線（コイル）の絶縁と巻線・鉄心から発生する熱を外部に伝える媒体として油を用いる変圧器である。

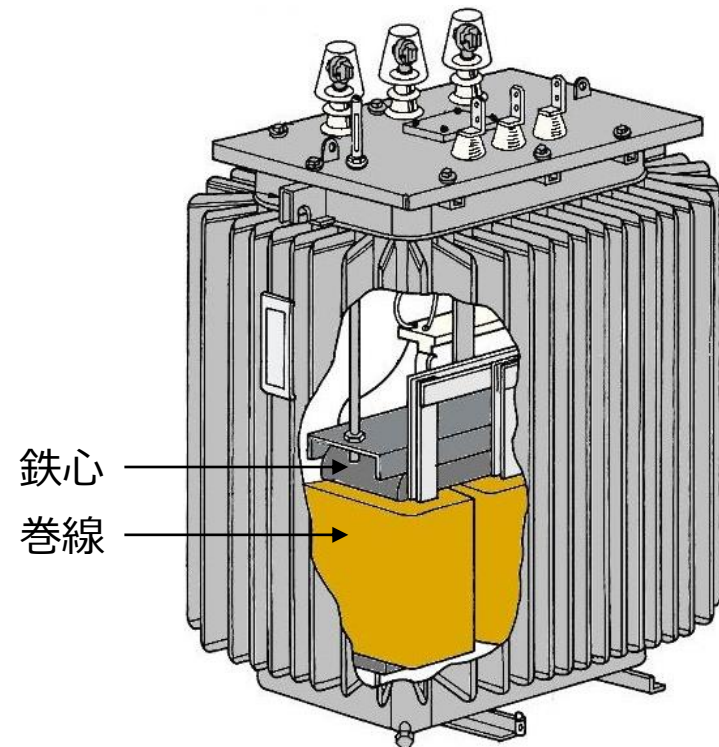
キュービクルの構成

キュービクルの外観



変圧器

変圧器の構造（油入変圧器の例）



1-4. 現行基準の区分

- 現行のトッランナー制度における変圧器の基準では、種別、相数、定格周波数、定格容量、標準品又は標準仕様状態で使用しないもの（以降、準標準品と記載）の5つの要素により区分が分けられており、それぞれの組み合わせにより全24区分に分かれている。

種別		相数		定格周波数		定格容量		標準品/ 準標準品
油入変圧器 モールド変圧器	×	単相 三相	×	50Hz 60Hz	×	500kVA以下 500kVA超	×	標準品 準標準品

区分分け理由

油入変圧器とモールド変圧器は絶縁、冷却媒体及び構造が大きく異なるため

主な用途として、三相変圧器はモータ等の動力用、単相変圧器は電灯等の一般電気製品による負荷用として使用され、巻線や鉄心等の構成が異なるため

鉄心に使用する電磁鋼板の素材特性や鉄心素材使用量が異なり、特性が変わるため

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るため

準標準品の個別最適設計はコスト高となるため、準標準品はJIS標準品をベースに設計されることが多く、特性が悪化するため

*1 「油入変圧器」とは、絶縁材料として絶縁油を使用するものをいう。

*2 「モールド変圧器」とは、樹脂製の絶縁材料を使用するものをいう。

*3 「準標準品」とは、容量、電圧等の仕様がJIS等で規定された仕様でない製品のことをいう。

各区分毎の基準エネルギー消費効率の目標基準値算定式に以下の数値を乗じた式として取り扱うものとする。

油入変圧器 1.10 モールド変圧器 1.05

(参考) 現行基準の目標基準値

- エネルギー消費効率は、「全損失（W）」を指標としており、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、次の式から算出する。

$$\text{全損失（W）} = \text{無負荷損（W）} + \left(\frac{\text{基準負荷率（\%）}}{100} \right)^2 \times \text{定格容量に対する負荷損（W）}$$

無負荷損：負荷電流に関係なく生じる電氣的損失。

負荷損：負荷をかけた時に生じる電氣的損失。

基準負荷率：定格容量に対する利用率。500kVA以下40%、500kVA超過50%

- なお、有効出力に対し損失は極めて小さく、効率（%）※で評価すると各機器の差が小数点以下になるため、エネルギー消費効率の差が把握しやすい全損失（W）を指標として採用している。

※効率（%）＝有効出力÷（有効出力＋損失）

区分					基準エネルギー消費効率 の目標基準値算定式
No.	種別	相数	定格周波数	定格容量	
2-1	油入 変圧器	単相	50Hz	500kVA以下	$E=11.2 \cdot (\text{kVA})^{0.732}$
2-2			60Hz	500kVA以下	$E=11.1 \cdot (\text{kVA})^{0.725}$
2-3		三相	50Hz	500kVA以下	$E=16.6 \cdot (\text{kVA})^{0.696}$
2-4			50Hz	500kVA超	$E=11.1 \cdot (\text{kVA})^{0.809}$
2-5			60Hz	500kVA以下	$E=17.3 \cdot (\text{kVA})^{0.678}$
2-6			60Hz	500kVA超	$E=11.7 \cdot (\text{kVA})^{0.790}$
2-7	モールド 変圧器	単相	50Hz	500kVA以下	$E=16.9 \cdot (\text{kVA})^{0.674}$
2-8			60Hz	500kVA以下	$E=15.2 \cdot (\text{kVA})^{0.691}$
2-9		三相	50Hz	500kVA以下	$E=23.9 \cdot (\text{kVA})^{0.659}$
2-10			50Hz	500kVA超	$E=22.7 \cdot (\text{kVA})^{0.718}$
2-11			60Hz	500kVA以下	$E=22.3 \cdot (\text{kVA})^{0.674}$
2-12			60Hz	500kVA超	$E=19.4 \cdot (\text{kVA})^{0.737}$

備考

- E：変圧器の基準エネルギー消費効率（単位：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：変圧器の定格容量（単位：kVA）
※kVAとWはどちらも電力を表す単位。損失はW、容量はkVAを用いる。
- 準標準品については、各区分毎の基準エネルギー消費効率の目標基準値算定式に以下の数値を乗じた式として取り扱うものとする。
油入変圧器 1.10 モールド変圧器 1.05

(参考) 現行基準の目標基準値

区分					仕様	定格容量(kVA)ごとの目標基準値[W]													
No.	種別	相数	定格 周波数	定格 容量		10 kVA	20 kVA	30 kVA	50 kVA	75 kVA	100 kVA	150 kVA	200 kVA	300 kVA	500 kVA	750 kVA	1000 kVA	1500 kVA	2000 kVA
2-1	油入 変圧器	単相	50Hz	500kVA以下	標準 仕様	60	100	135	196	264	326	438	541	728	1050	-	-	-	-
2-2			60Hz	500kVA以下		58	97	130	189	253	312	419	517	693	1000	-	-	-	-
2-3		三相	50Hz	500kVA以下		-	133	177	252	335	409	542	663	879	1250	-	-	-	-
2-4			50Hz	500kVA超		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2350	2960	4110	5190
2-5			60Hz	500kVA以下		-	131	173	245	323	392	516	628	827	1160	-	-	-	-
2-6			60Hz	500kVA超		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2180	2740	3770	4740
2-7	モールド 変圧器	単相	50Hz	500kVA以下		79	127	167	236	310	376	494	600	789	1110	-	-	-	-
2-8			60Hz	500kVA以下		74	120	159	226	300	366	484	591	782	1110	-	-	-	-
2-9		三相	50Hz	500kVA以下		-	172	224	314	411	497	649	784	1020	1430	-	-	-	-
2-10			50Hz	500kVA超		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2630	3230	4320	5320
2-11			60Hz	500kVA以下		-	167	220	311	409	496	653	792	1040	1470	-	-	-	-
2-12			60Hz	500kVA超		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2550	3150	4250	5250
2-13	油入 変圧器	単相	50Hz	500kVA以下	準標準 仕様	66	110	148	215	290	358	482	595	801	1160	-	-	-	-
2-14			60Hz	500kVA以下		64	107	143	208	279	344	461	568	763	1100	-	-	-	-
2-15		三相	50Hz	500kVA以下		-	146	194	277	368	450	597	729	967	1380	-	-	-	-
2-16			50Hz	500kVA超		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2580	3260	4530	5710
2-17			60Hz	500kVA以下		-	145	190	269	355	431	568	691	909	1280	-	-	-	-
2-18			60Hz	500kVA超		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2400	3010	4150	5210
2-19	モールド 変圧器	単相	50Hz	500kVA以下		83	133	175	247	325	395	519	630	829	1160	-	-	-	-
2-20			60Hz	500kVA以下		78	126	167	238	315	384	508	620	821	1160	-	-	-	-
2-21		三相	50Hz	500kVA以下		-	180	236	330	431	521	681	824	1070	1500	-	-	-	-
2-22			50Hz	500kVA超		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2760	3390	4540	5580
2-23			60Hz	500kVA以下		-	176	231	327	429	521	685	832	1090	1540	-	-	-	-
2-24			60Hz	500kVA超		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2670	3310	4460	5510

* 三相の10kVAがJISで規定されていないのは需要が少ない容量のため。

(参考) 変圧器のエネルギー消費効率に関するJIS規定

① エネルギー消費効率の測定方法を規定した規格

	油入変圧器	モールド変圧器
標準仕様/ 準標準仕様	JIS C 4304 : 2013 一般の受配電の目的に使用する単相10kVA以上 500kVA以下、及び三相20kVA以上2000kVA以下の、 配電用6kV油入変圧器に適用。	JIS C 4306 : 2013 一般の受配電の目的に使用する単相10kVA以上 500kVA以下、及び三相20kVA以上2000kVA以下の、 配電用6kVモールド変圧器の、屋内用自冷式のものに適用。

② 標準仕様及び準標準仕様における、基準値と算出方法を規定した規格

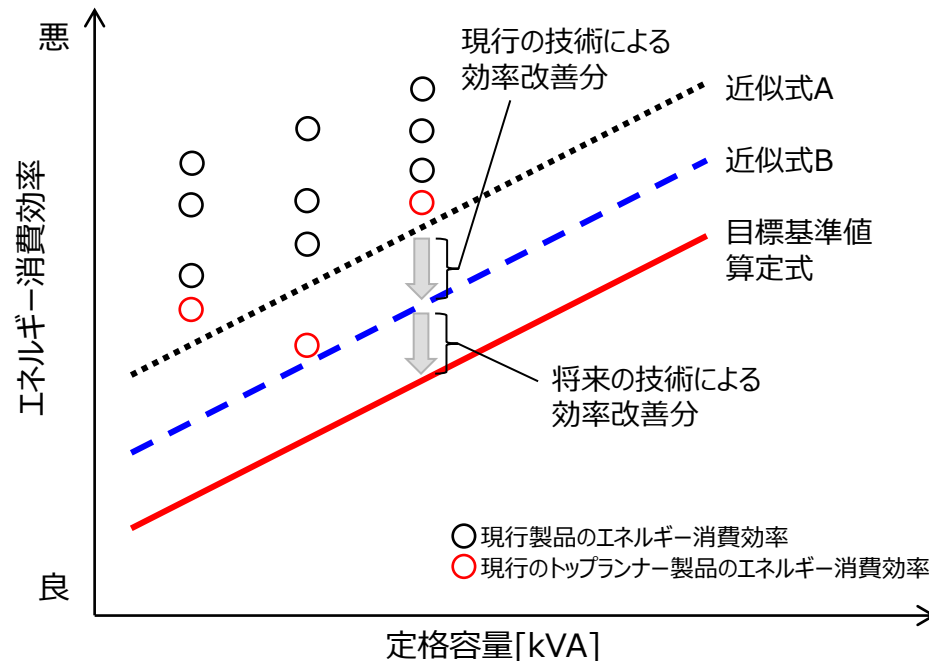
	油入変圧器	モールド変圧器
標準仕様	JIS C 4304 : 2013 JEM 1500 : 2014 (上記JISとJEMは同一内容を記載)	JIS C 4306 : 2013 JEM 1501 : 2014 (上記JISとJEMは同一内容を記載)
準標準仕様	JEM 1500 : 2014 6kV又は3kV配電電圧から600V以下の低電圧に降圧する ために使用する油入変圧器に適用。 分散型電源を6kV配電系統へ連系するために用いる油入変 圧器に適用。ただし柱上変圧器は除く。	JEM 1501 : 2014 6kV又は3kV配電電圧から600V以下の低電圧に降圧する ために使用するモールド変圧器に適用。 分散型電源を6kV配電系統へ連系するために用いるモールド 変圧器に適用。ただし柱上変圧器は除く。

注1 JIS (日本産業規格) は、産業標準化法に基づいて制定される国家規格。

注2 JEMは日本電機工業会が作成した規格。

1 - 5. 目標基準値の設定方法

- 現行基準は、変圧器の区分に従い、エネルギー消費効率である全損失の実測値（2009年度出荷実績）からトップランナー値を求め、目標基準値を設定。
 - ① 各容量におけるトップランナー値を抽出し、近似線を算出する。（近似式A）
 - ② 近似式Aの傾きを維持したまま、いずれのトップランナー値も近似式の下方に存在しないように、トップランナー値まで平行移動させる。（近似式B）
 - ③ 近似式Bに、将来技術による効率改善分を反映し、目標基準値の算定式を策定する。（目標基準値算定式）



JIS規定の定格容量
(油入変圧器・モールド変圧器)

区分	定格容量[kVA]
単相	10,20,30,50,75,100,150, 200,300,500
三相	20,30,50,75,100,150, 200,300,500, 750,1000,1500,2000

JISC4304 : 2013 (配電用6kV油入変圧器)

JISC4306 : 2013 (配電用6kVモールド変圧器)

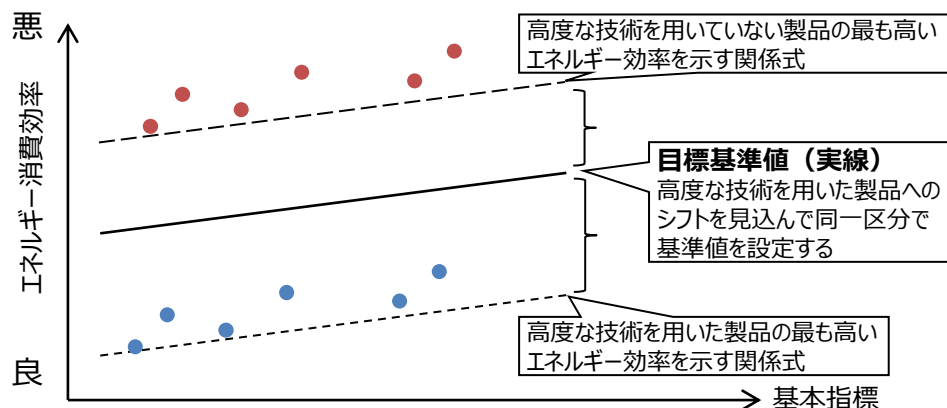
(参考) トップランナー基準値策定における考え方

- 省エネルギー基準部会において「特定機器に係る性能向上に関する製造事業者等の判断基準の策定・改定に関する基本的考え方について」（総合資源エネルギー調査会第10回省エネルギー基準部会（平成19年6月）改定。）を定めている。

原則 5 高度な省エネ技術を用いているが故に、高額かつ高エネルギー消費効率である機器等については、区分を分けることも考え得るが、製造事業者等が積極的にエネルギー消費効率の優れた製品の販売を行えるよう、可能な限り同一の区分として扱うことが望ましい。

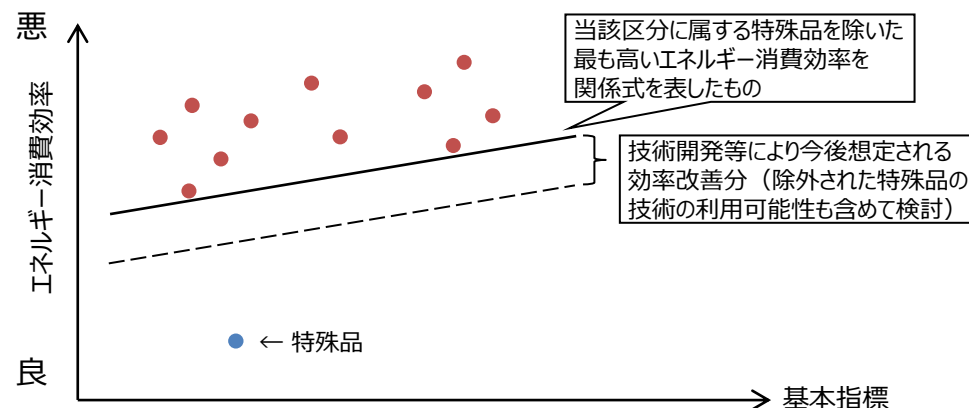
原則 6 1つの区分の目標基準値の設定にあたり、特殊品は除外する。ただし、技術開発等による効率改善分を検討する際に、除外された特殊品の技術の利用可能性も含めて検討する。

原則 5 のイメージ



- 現行製品のエネルギー消費効率（高度な技術あり）
- 現行製品のエネルギー消費効率（高度な技術なし）

原則 6 のイメージ



- 特殊品
- 現行製品のエネルギー消費効率

1－6．各区分におけるエネルギー消費効率の状況

- 現行24区分のうち、油入変圧器が主流となっており、特に定格容量500kVA以下の製品が多い。
- 2019年度における平均基準達成率は104.6%。

各区分における出荷台数及びエネルギー消費効率（2019年度実績）

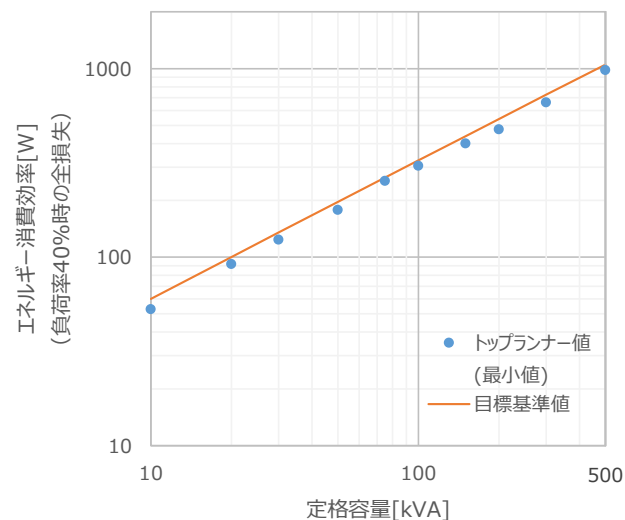
No.	種別	相数	周波数	定格容量	仕様	出荷台数 (台)	エネルギー消費効率 (全損失 (W))		達成率 (%)
							加重調和 平均値	目標 基準値	
2-1	油入変圧器	単相	50Hz	500kVA以下	標準仕様	15,347	291	299	102.6
2-2			60Hz	500kVA以下		17,175	260	268	103.0
2-3		三相	50Hz	500kVA以下		16,693	569	583	102.4
2-4			50Hz	500kVA超		598	2,633	2,776	105.4
2-5			60Hz	500kVA以下		19,791	565	583	103.1
2-6			60Hz	500kVA超		806	2,557	2,640	103.2
2-7	モールド変圧器	単相	50Hz	500kVA以下		1,049	532	552	103.8
2-8			60Hz	500kVA以下		618	480	505	105.1
2-9		三相	50Hz	500kVA以下		1,111	924	961	103.9
2-10			50Hz	500kVA超		263	3,267	3,411	104.4
2-11			60Hz	500kVA以下		748	924	977	105.8
2-12			60Hz	500kVA超		185	3,182	3,258	102.4

出所) (一社)日本電機工業会

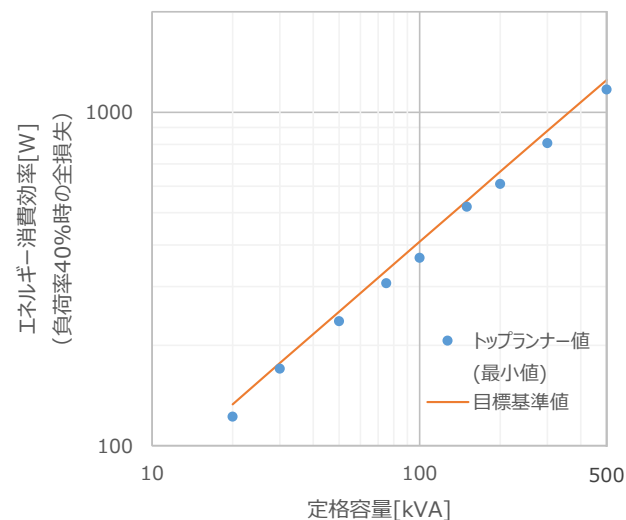
No.	種別	相数	周波数	定格容量	仕様	出荷台数 (台)	エネルギー消費効率 (全損失 (W))		達成率 (%)
							加重調和 平均値	目標 基準値	
2-13	油入変圧器	単相	50Hz	500kVA以下	標準仕様	932	253	283	112.0
2-14			60Hz	500kVA以下		1,229	221	249	112.4
2-15		三相	50Hz	500kVA以下		4,080	846	906	107.0
2-16			50Hz	500kVA超		917	2,795	3,128	111.9
2-17			60Hz	500kVA以下		4,316	856	928	108.3
2-18			60Hz	500kVA超		1,150	2,732	3,012	110.2
2-19	モールド変圧器	単相	50Hz	500kVA以下		147	501	528	105.4
2-20			60Hz	500kVA以下		101	359	379	105.6
2-21		三相	50Hz	500kVA以下		638	999	1,058	106.0
2-22			50Hz	500kVA超		275	3,164	3,336	105.4
2-23			60Hz	500kVA以下		598	944	1,011	107.1
2-24			60Hz	500kVA超		155	2,996	3,157	105.4
合計						88,922	600	628	104.6

(参考) 各区分におけるトッランナー機種のエネルギー消費効率

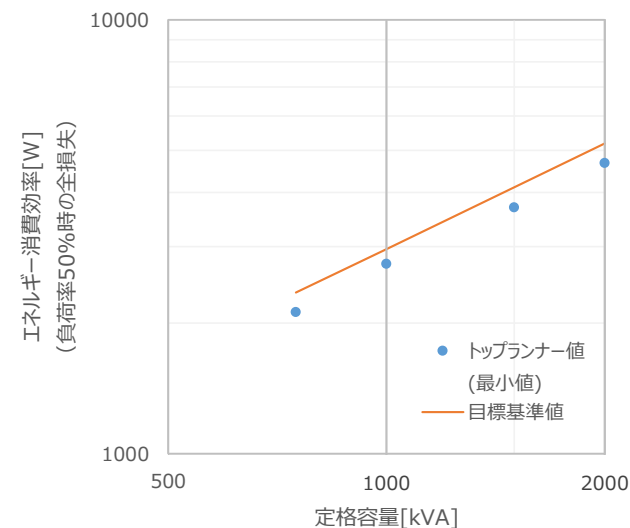
2-1 油入変圧器 標準・単相・50Hz・500kVA以下



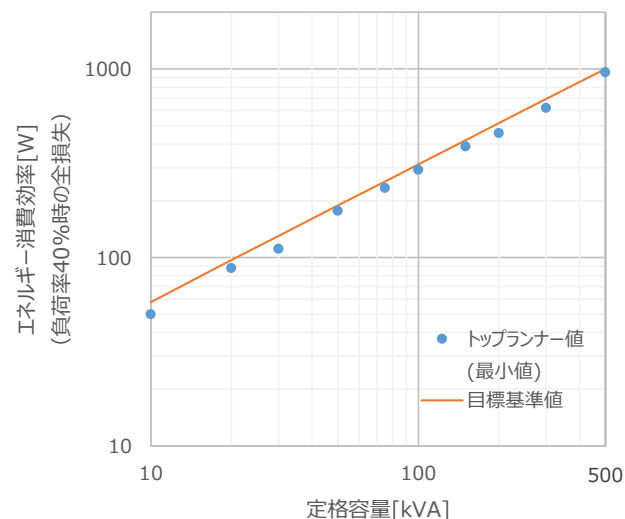
2-3 油入変圧器 標準・三相・50Hz・500kVA以下



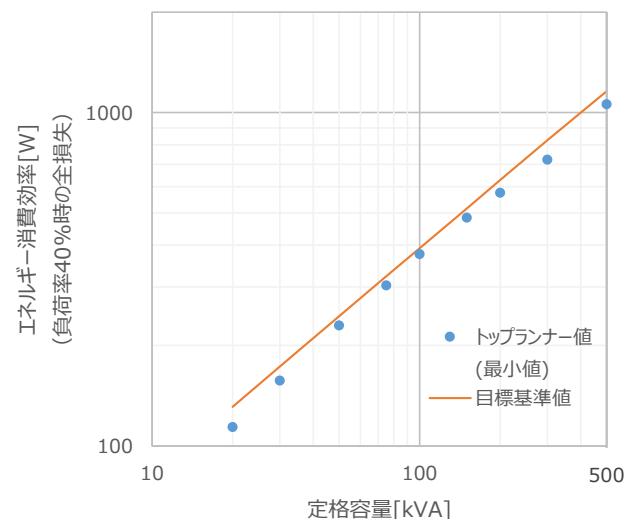
2-4 油入変圧器 標準・三相・50Hz・500kVA超



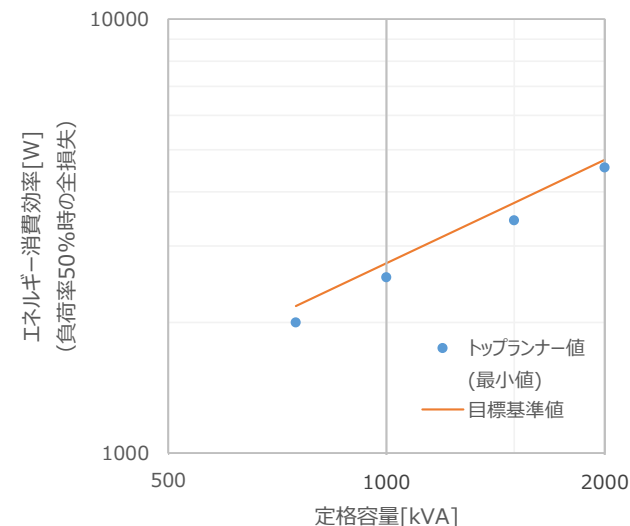
2-2 油入変圧器 標準・単相・60Hz・500kVA以下



2-5 油入変圧器 標準・三相・60Hz・500kVA以下

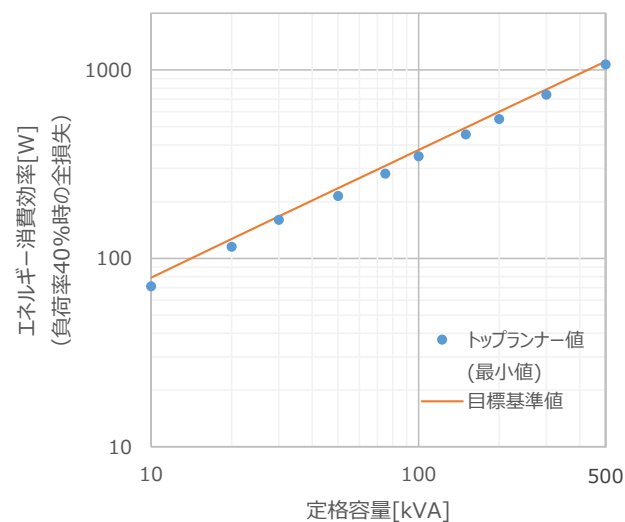


2-6 油入変圧器 標準・三相・60Hz・500kVA超

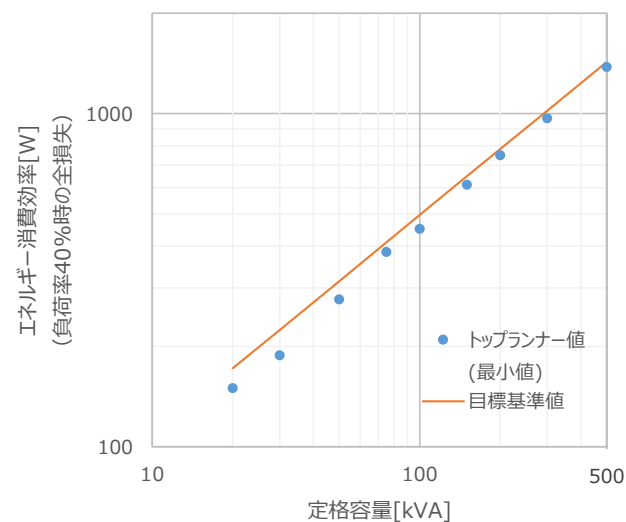


(参考) 各区分におけるトップランナー機種種のエネルギー消費効率

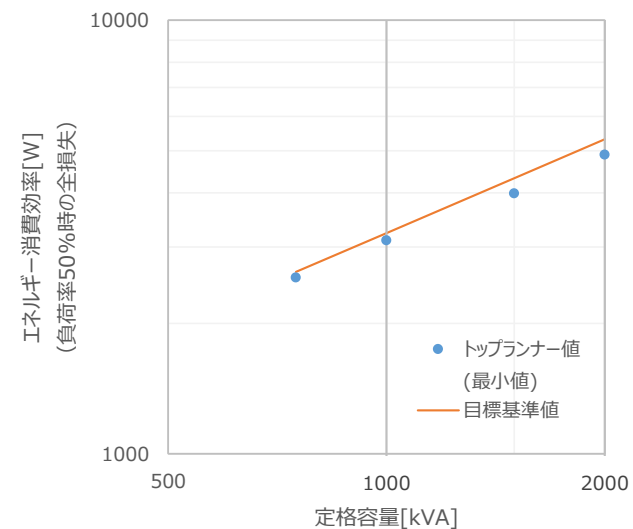
2-7 モールド変圧器 標準・単相・50Hz・500kVA以下



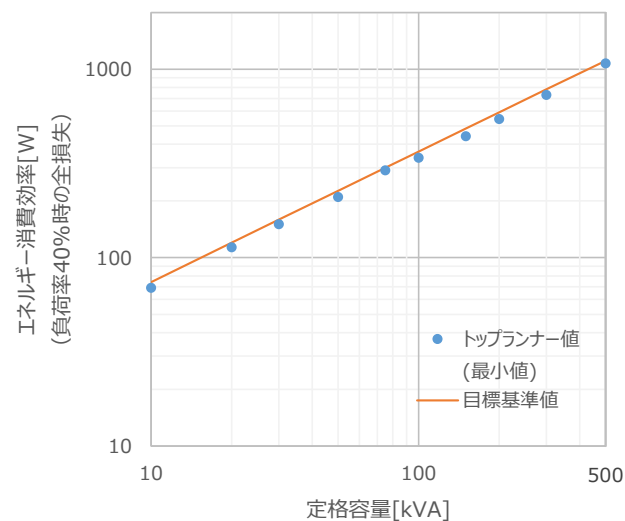
2-9 モールド変圧器 標準・三相・50Hz・500kVA以下



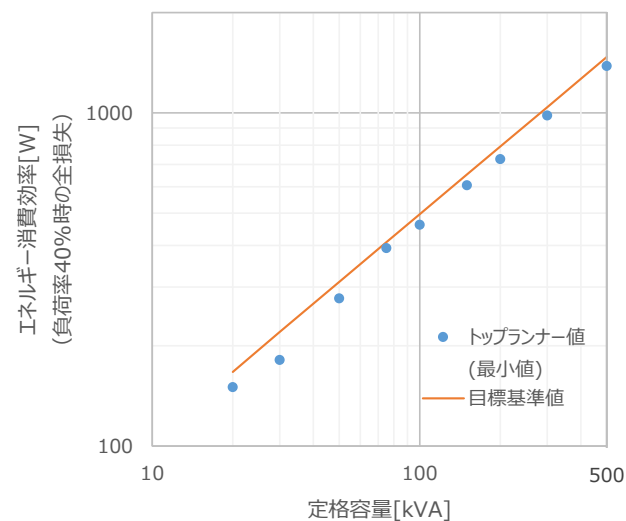
2-10 モールド変圧器 標準・三相・50Hz・500kVA超



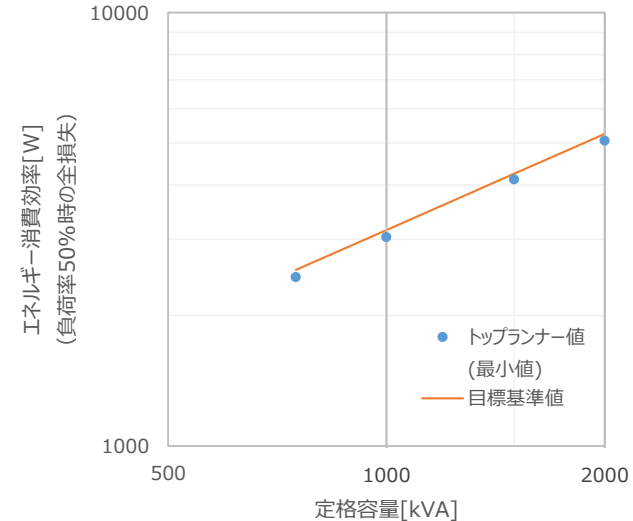
2-8 モールド変圧器 標準・単相・60Hz・500kVA以下



2-11 モールド変圧器 標準・三相・60Hz・500kVA以下

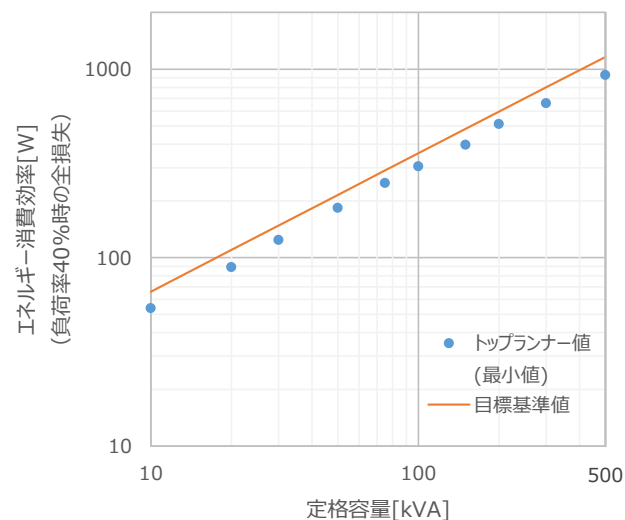


2-12 モールド変圧器 標準・三相・60Hz・500kVA超

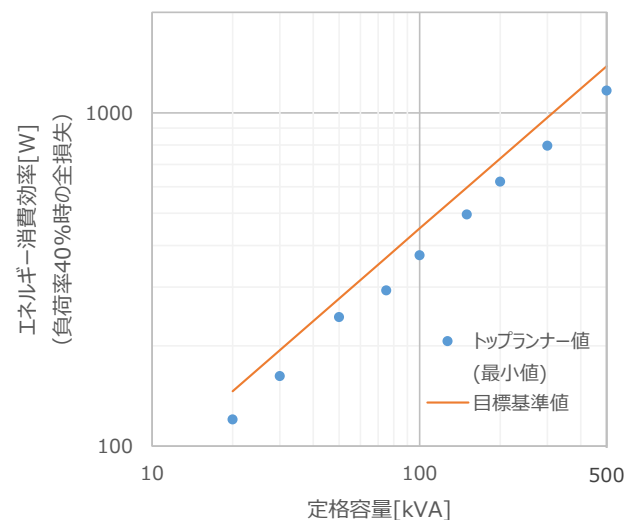


(参考) 各区分におけるトッランナー機種のエネルギー消費効率

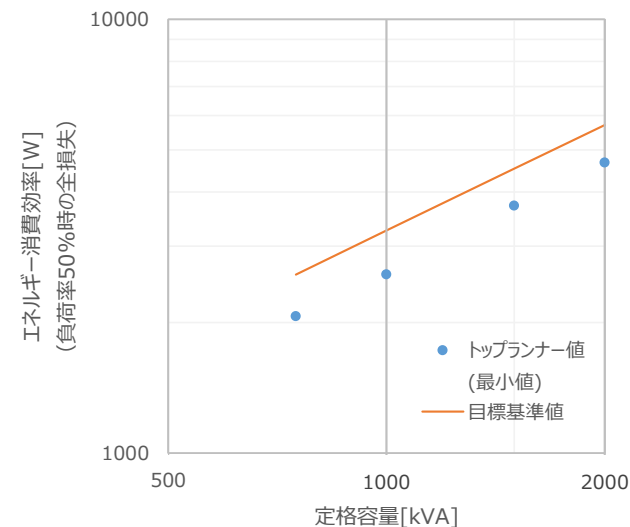
2-13 油入変圧器 準標準・単相・50Hz・500kVA以下



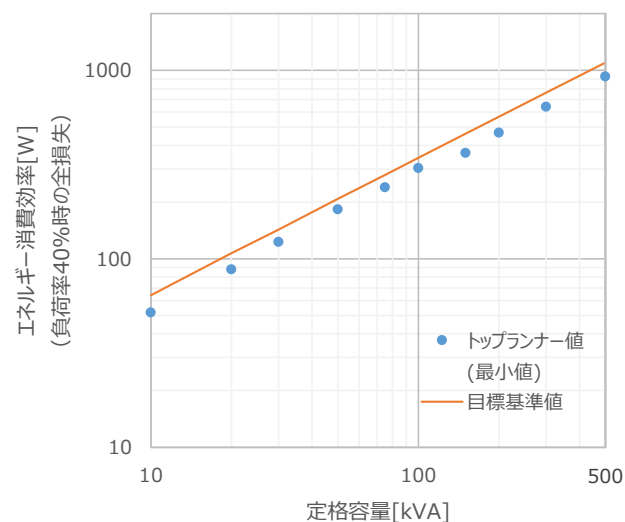
2-15 油入変圧器 準標準・三相・50Hz・500kVA以下



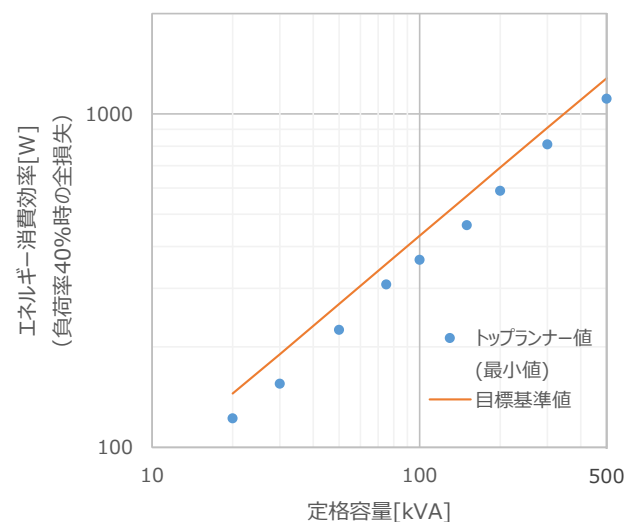
2-16 油入変圧器 準標準・三相・50Hz・500kVA超



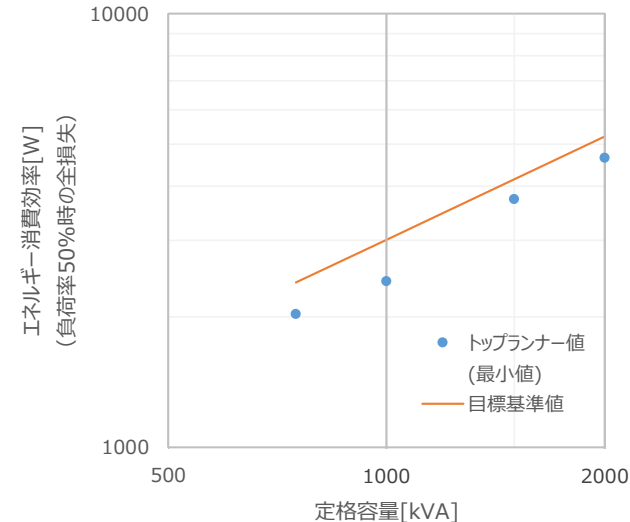
2-14 油入変圧器 準標準・単相・60Hz・500kVA以下



2-17 油入変圧器 準標準・三相・60Hz・500kVA以下

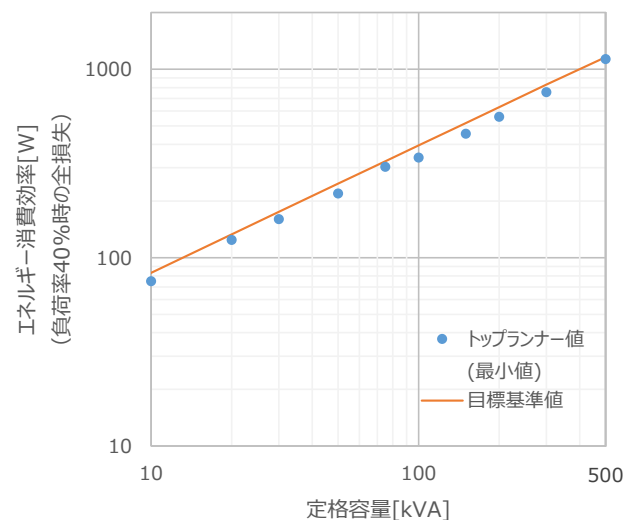


2-18 油入変圧器 準標準・三相・60Hz・500kVA超

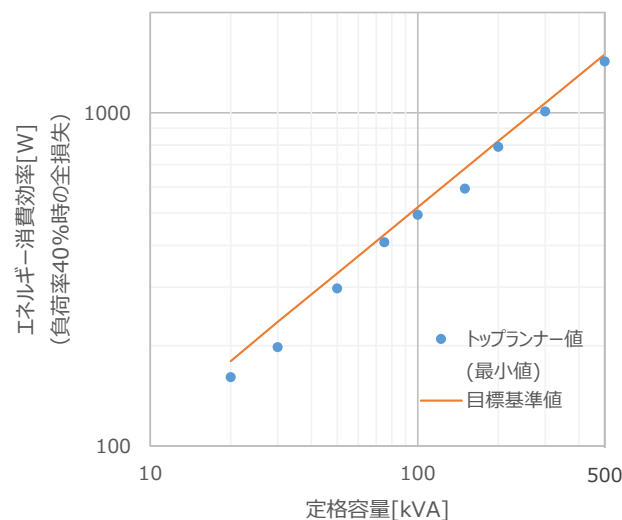


(参考) 各区分におけるトップランナー機種のエネルギー消費効率

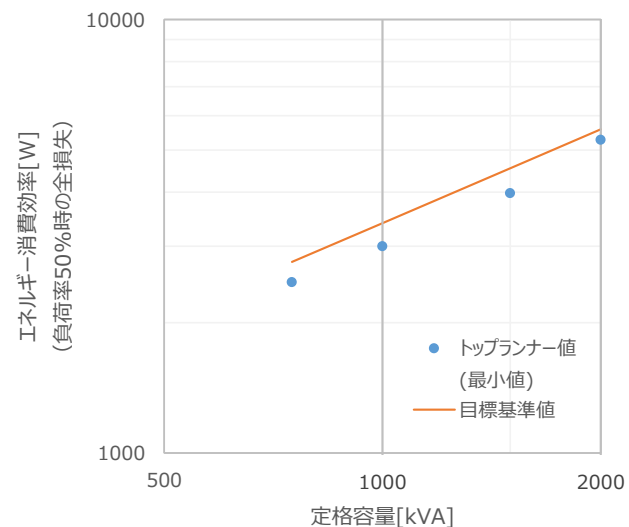
2-19 モールド変圧器 準標準・単相・50Hz・500kVA以下



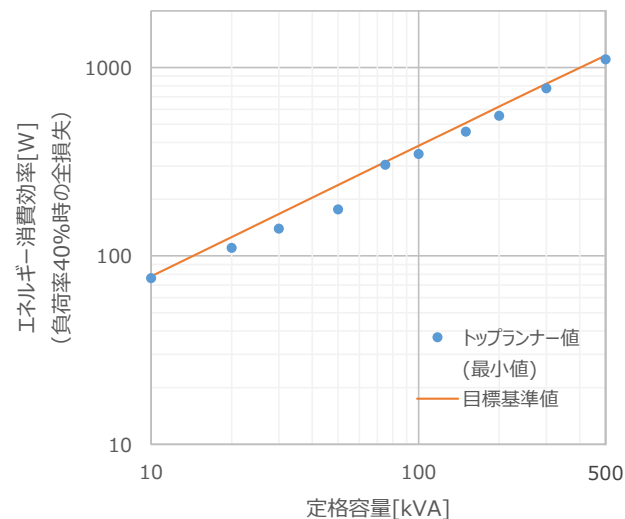
2-21 モールド変圧器 準標準・三相・50Hz・500kVA以下



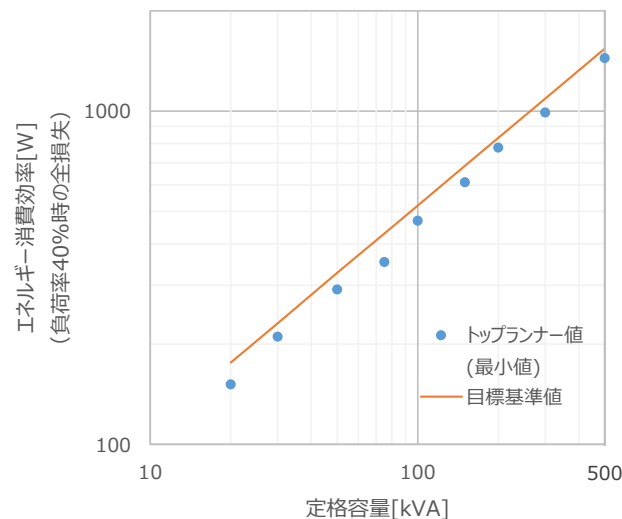
2-22 モールド変圧器 準標準・三相・50Hz・500kVA超



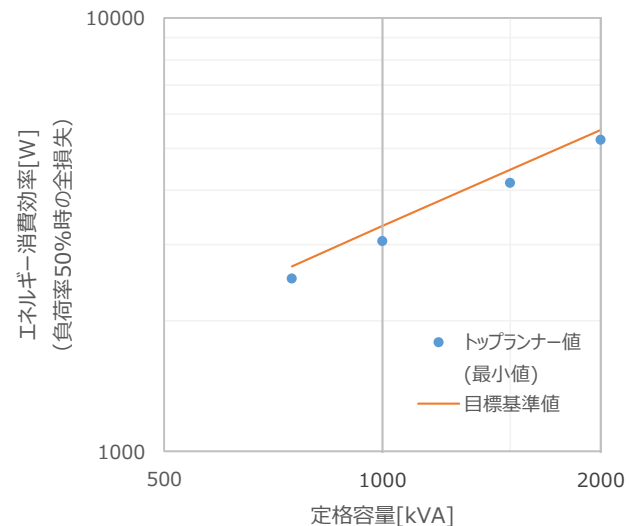
2-20 モールド変圧器 準標準・単相・60Hz・500kVA以下



2-23 モールド変圧器 準標準・三相・60Hz・500kVA以下



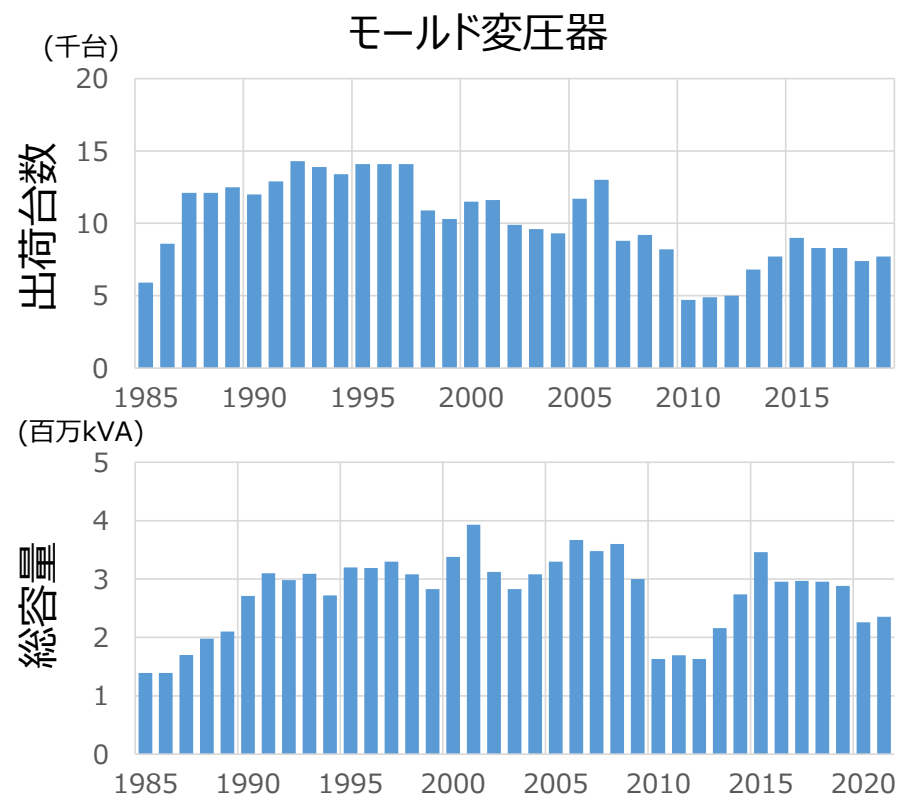
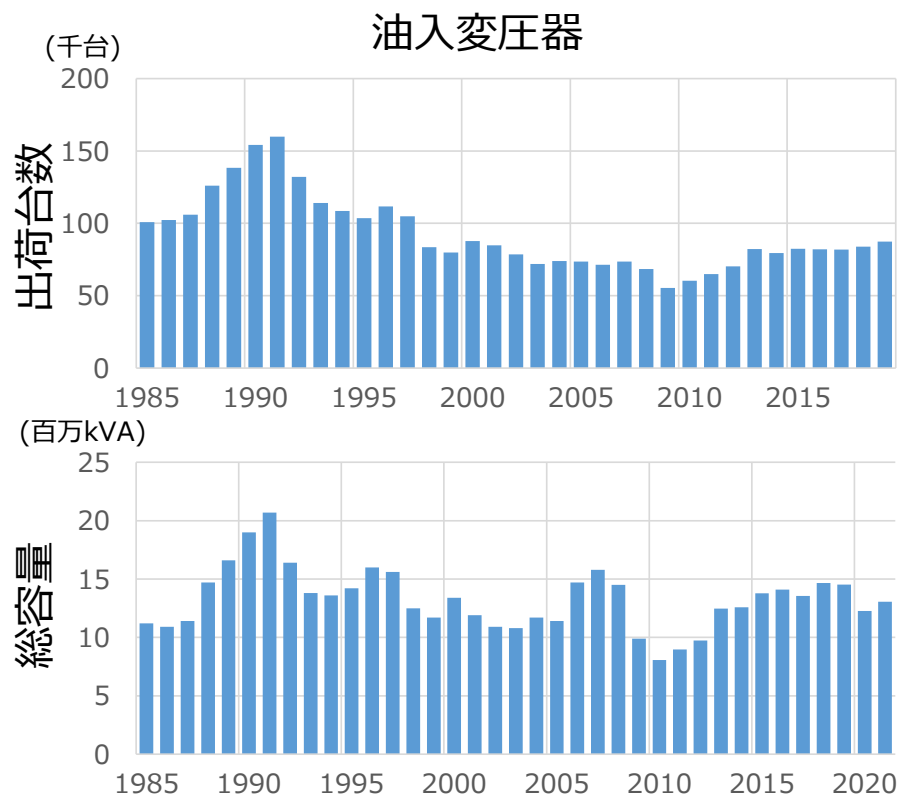
2-24 モールド変圧器 準標準・三相・60Hz・500kVA超



2-1. 出荷台数の推移

- 出荷台数は、リーマンショックによるビル・工場着工の減少から2010年度に減少したものの、2013年度から2015年度には回復し、以降は横ばい傾向。
- 総容量も出荷台数と同様、2010年度に減少後、回復傾向。

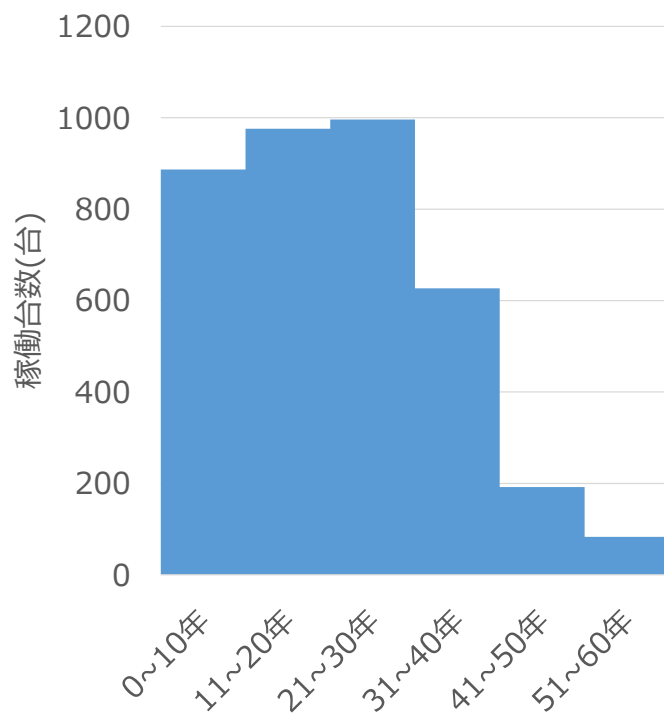
変圧器の出荷台数及び総容量の推移



2-2. 設置台数の推移

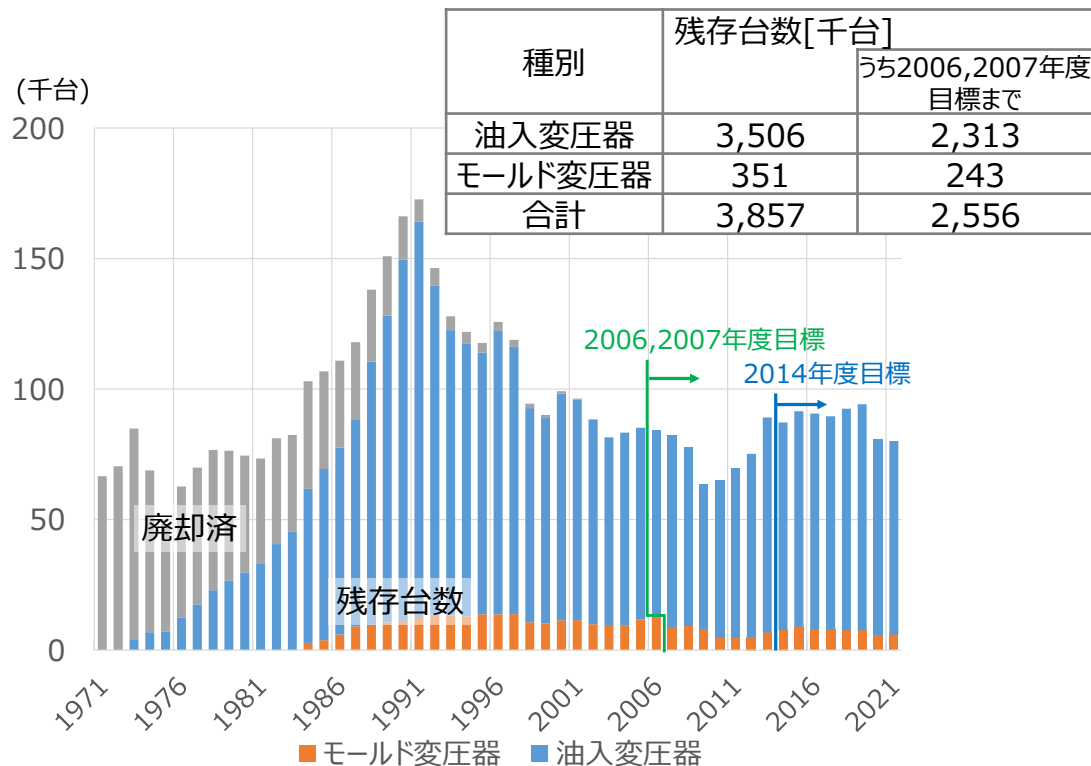
- 変圧器は更新推奨20年、期待寿命年数30年で設計されている。
- 2006年度及び2007年度基準を策定する以前の変圧器の残存台数は現時点で255.6万台と推計される。

変圧器の稼働状況調査結果



出所) (一社)日本電機工業会の既設変圧器稼働状況アンケート、2019年実施。
調査対象3,769台、変圧器容量10~2,000kVA、平均容量423kVA。

変圧器の出荷台数に占める残存台数 (推計値)
(2022年時点での1971~2021年製変圧器の台数予想値)

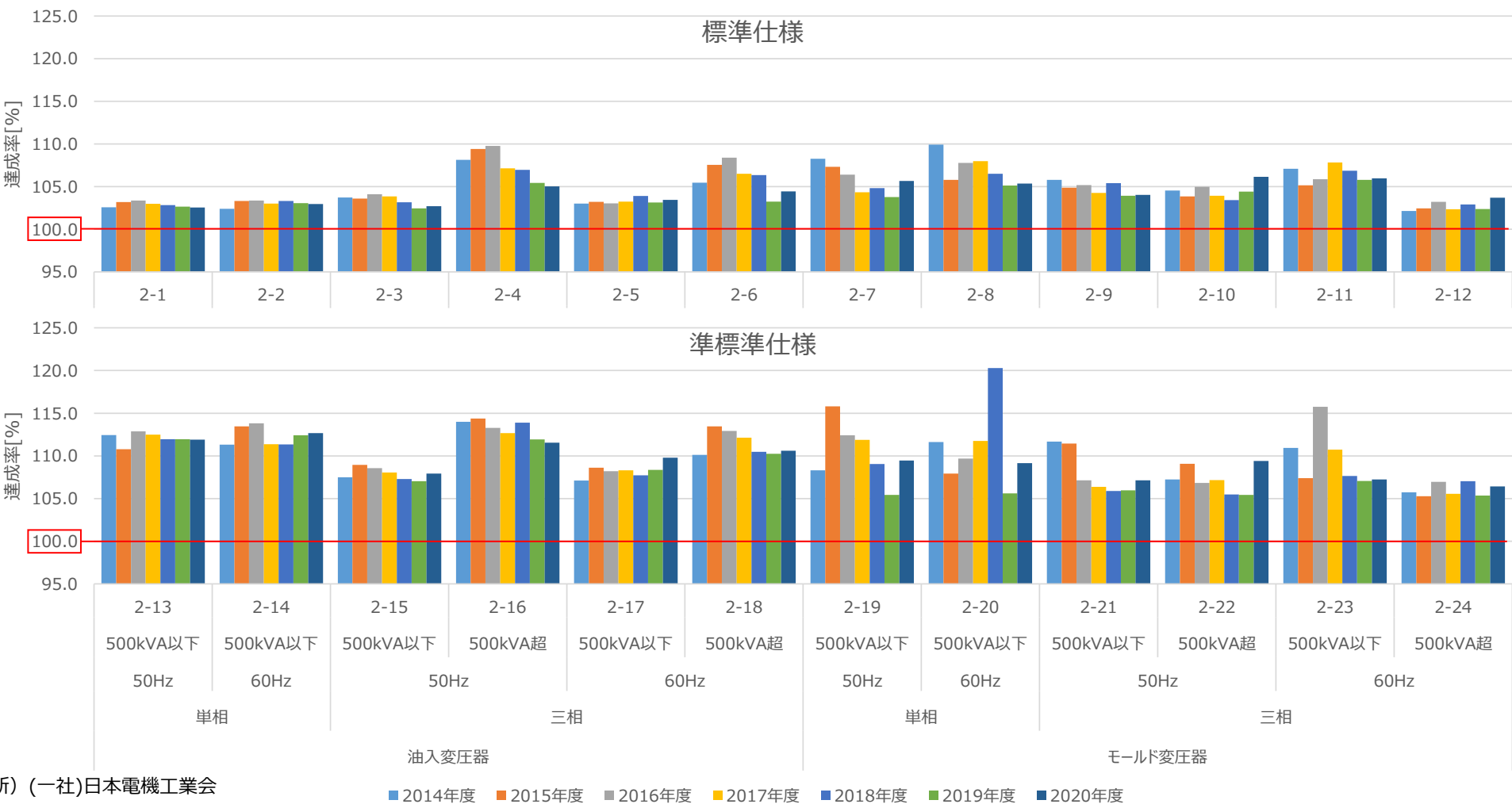


出所) 出荷台数：2009年度以前は(一社)日本電機工業会、2010年度以降は生産動態統計より作成
廃却台数：推計値 ((一社)日本電機工業会の稼働状況調査結果より、設置後31年までの廃棄は5%、31年超は毎年5%ずつ廃棄され、50年で100%廃棄と想定)

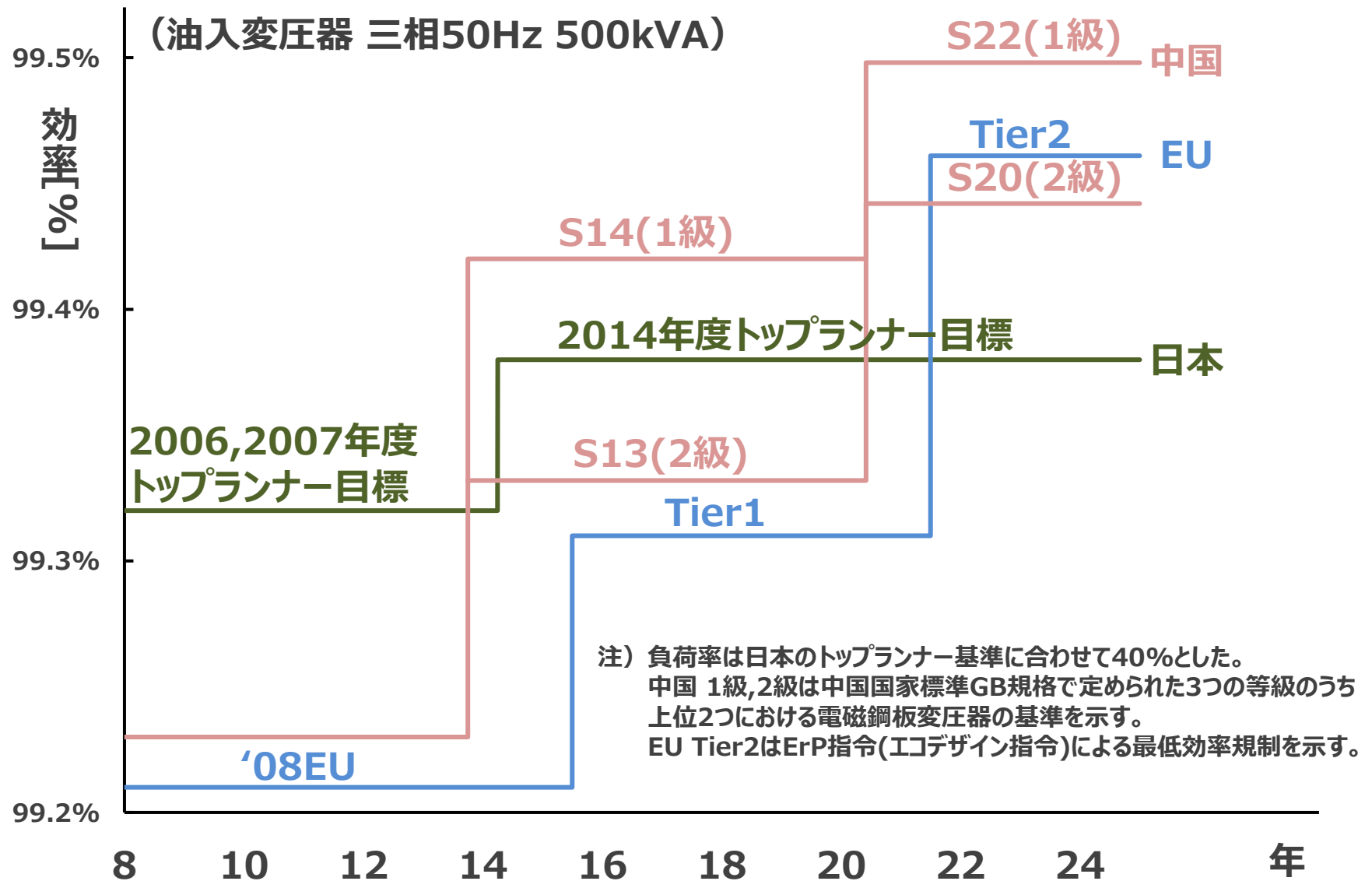
2－3．効率の推移

● 現行基準の達成率は、現行基準年度の2014年度以降、各区分とも100%を超えている。

区分別の達成率推移（出荷台数による加重平均）

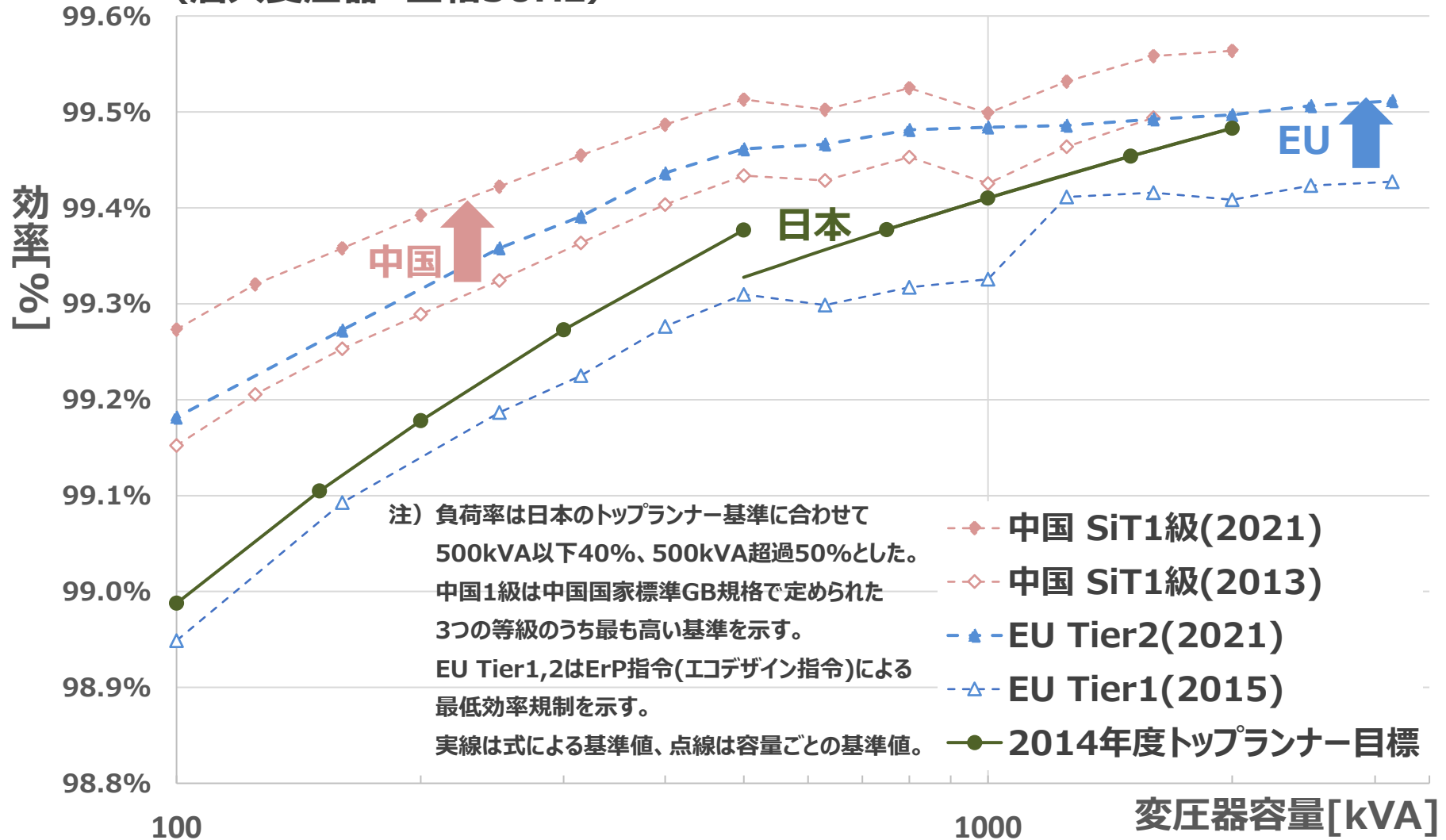


(参考) 効率に係る基準の国際比較



(参考) 効率に係る基準の国際比較

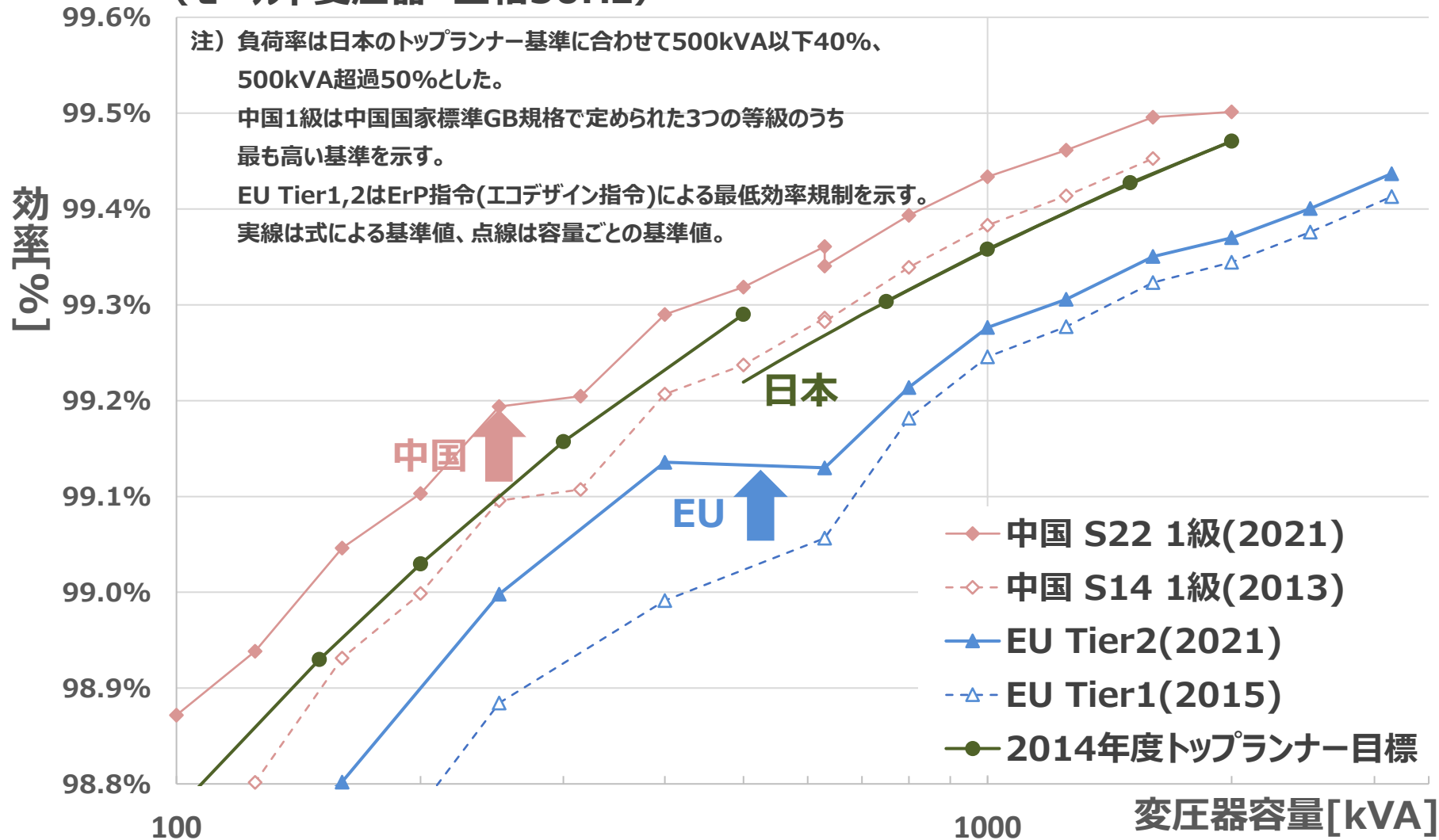
(油入変圧器 三相50Hz)



(参考) 効率に係る基準の国際比較

(モールド変圧器 三相50Hz)

注) 負荷率は日本のトッランナー基準に合わせて500kVA以下40%、
500kVA超過50%とした。
中国1級は中国国家標準GB規格で定められた3つの等級のうち
最も高い基準を示す。
EU Tier1,2はErP指令(エコデザイン指令)による最低効率規制を示す。
実線は式による基準値、点線は容量ごとの基準値。



(参考) 効率に係る基準の国際比較

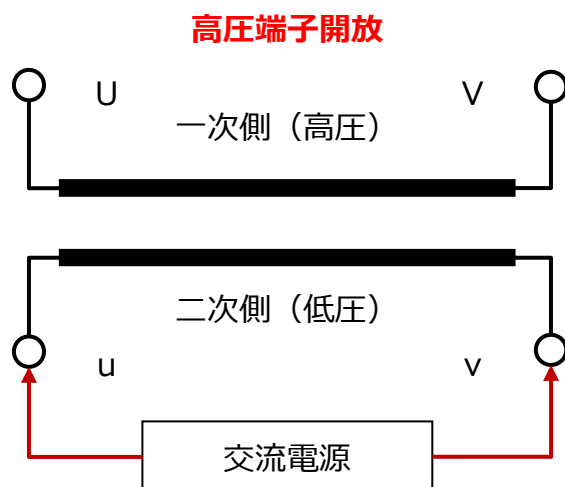
- 各国で規制項目は違うものの、各規制項目は無負荷損と負荷損の測定にて算出するという点で一致している。(国際規格 IEC 60076にて無負荷損は開放試験、負荷損は短絡試験で規定)

	日本 (50・60Hz)	EU (50Hz)	米国 (60Hz)	中国 (50Hz)
	トッランナー基準	ErP指令 (エコデザイン指令)	DOE規格	GB規格
規格名称	【標準仕様】 JIS C 4304 : 2013 (油) JIS C 4306 : 2013 (モルト) 【標準仕様、準標準仕様】 JEM 1500 : 2014 (油) JEM 1501 : 2014 (モルト)	EN50464-1 Transformer EcoDesign Regulation No548/2014	Federal Register /Vol.78,No.75	GB 20052-2020
旧規格開始時期	2006年4月1日 (油入) 2007年4月1日 (モールド)	2015年7月1日 (Tier 1)	2010年1月1日	2013年10月1日
開始時期	2014年4月1日	2021年7月1日 (Tier 2)	2016年1月1日	2020年6月1日
規制項目	・ 全損失 (無負荷損 + 負荷損) (基準負荷率40% or 50%) ・ 負荷率100%時の効率 (JISのみ)	・ 無負荷損、負荷損 それぞれに複数基準あり ・ 上記の組合せで規制	・ 負荷率50%時の効率で規制 (低圧乾式変圧器は負荷率35%時の効率)	・ 負荷率100%時の無負荷損と負荷損で規定 ・ 1～3級がある。 ・ 各級で電磁鋼板とアルファスの無負荷損規定値、負荷損規定値が異なる。
規制項目の測定方法	(1)無負荷損 W_i の測定 (JIS C 4304 ,9.3) (JIS C 4306 ,9.3) (2)負荷損 W_c の測定 (JIS C 4304 ,9.5) (JIS C 4306 ,9.5) (3)全損失 = 無負荷損 W_i + 基準負荷率 ² × 負荷損 W_c	(1)無負荷損の測定 (IEC 60076-1,11.5) (2)負荷損の測定 (IEC 60076-1,11.4)	(1)無負荷損の測定 (IEEE C57.12.90-2015) (IEEE C57.12.91-2011) (2)負荷損の測定 (IEEE C57.12.90-2015) (IEEE C57.12.91-2011) (3)効率 = 出力 / (出力 + 全損失) × 100[%] 全損失 = 無負荷損 + 負荷率 ² × 負荷損	(1)無負荷損の測定 (GB 1094.1,11.5) (2)負荷損の測定 (GB 1094.1,11.4)

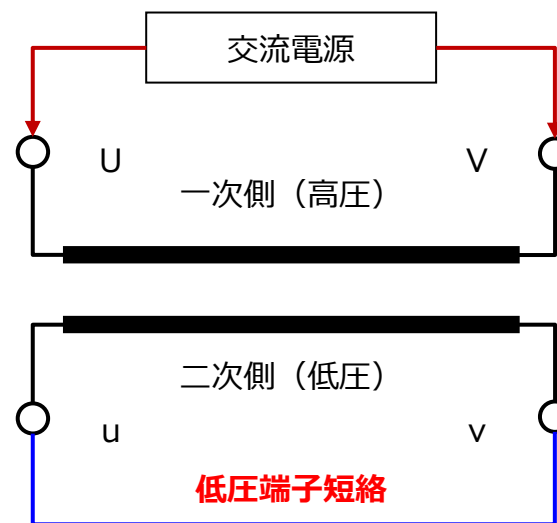
(参考) 開放試験と短絡試験

- 開放試験：無負荷損失を測定する試験であり、一次側（高圧側）端子を開放（何も接続しない）し、二次側（低圧側）端子から定格電圧を印加して損失を測定する試験。
- 短絡試験：負荷損失を測定する試験であり、二次側（低圧側）端子を短絡し、一次側（高圧側）から定格電流を通電し、その際の損失を測定する試験。
- 国際規格 IEC 60076においても、無負荷損は開放試験、負荷損は短絡試験で規定している。

開放試験：無負荷損失試験



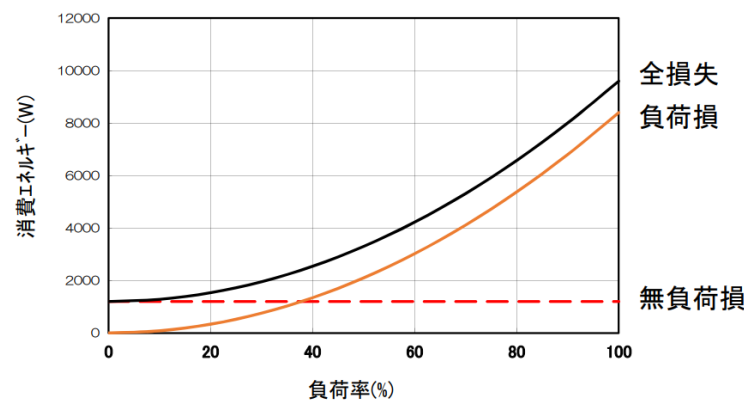
短絡試験：負荷損失試験



2-4. 省エネ技術及び機能

- 変圧器内部での損失は無負荷損と負荷損からなる。
- 無負荷損の低減技術としては、鉄心素材の改良、鉄心構造の改良、磁束密度の最適化等があげられる。
- 負荷損の低減技術としては、銅材料の採用、巻線のコンパクト化、構造物の非磁性体使用等があげられる。

変圧器の負荷率と消費エネルギーの関係

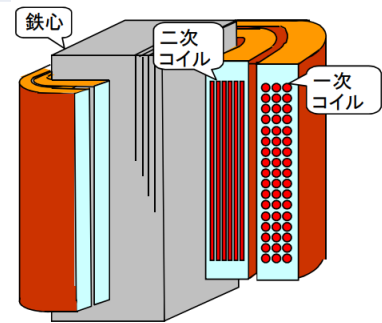


消費エネルギー(全損失) = 無負荷損 + (負荷率/100)² × 負荷損

出所)「変圧器判断基準小委員会最終取りまとめ」(平成23年) 参考資料
(一社)日本電機工業会資料

変圧器における主な損失と省エネ技術

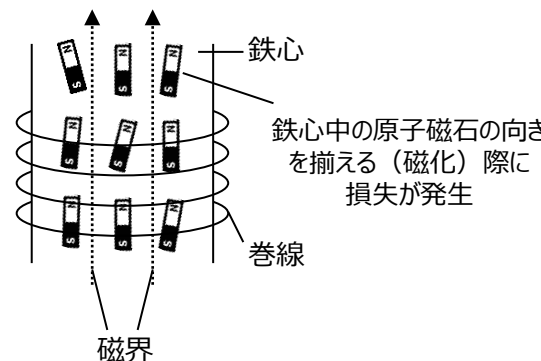
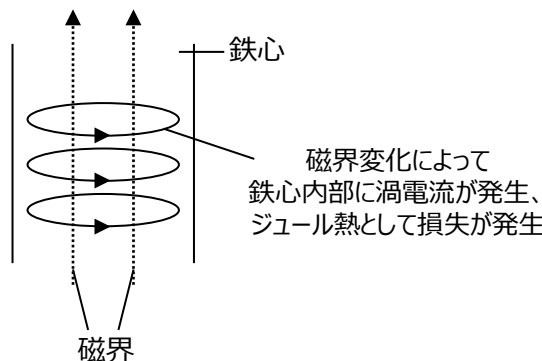
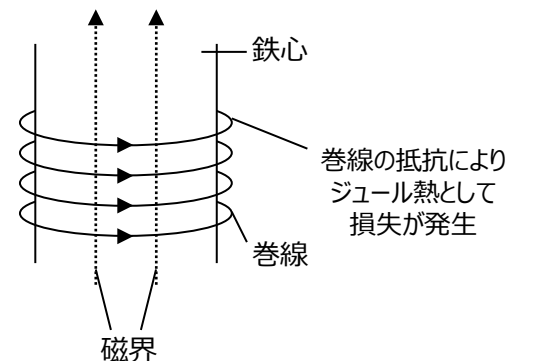
損失	発生部位	主たる発生原因	特徴	省エネ技術
無負荷損	鉄心 (コア)	鉄心の磁気抵抗	負荷電流に関係無く発生	- 低損失電磁鋼板材の採用 - 鉄心構造の改良 - 鉄心磁束密度の最適化
負荷損	巻線 (コイル)	巻線の電気抵抗	負荷電流の2乗に比例	- 銅材料の採用 - 巻線の小型化と導体細分化 - 構造物の非磁性体使用 - 巻線断面積の増加



(参考) 変圧器の損失について

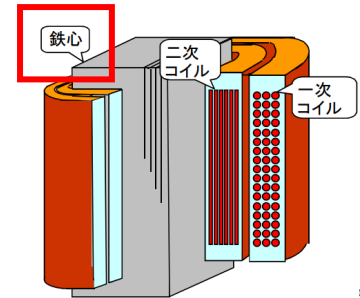
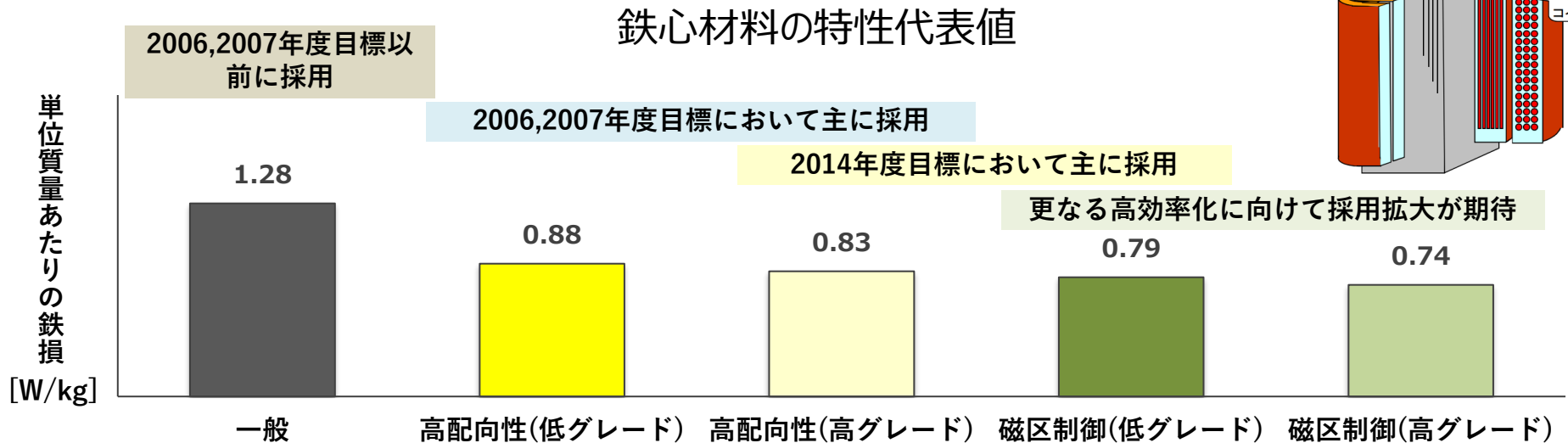
- 変圧器内部での損失は無負荷損と負荷損からなる。
- 無負荷損は負荷電流に関係無く発生する損失であり、主に鉄損（=ヒステリシス損+渦電流損）である。
- 負荷損は負荷電流によって発生する損失で、主に抵抗損である。

変圧器の損失

抵抗 分類	無負荷損 (負荷電流に関係無く発生)		負荷損 (負荷電流によって変化)
発生 部位	鉄心 (コア)		巻線 (コイル)
主な 損失	鉄損		抵抗損
	ヒステリシス損	渦電流損	
説明	鉄心を磁化する際に発生する損失	鉄心内部の渦電流によって発生する損失	巻線の抵抗によって発生する損失
イメ ージ			

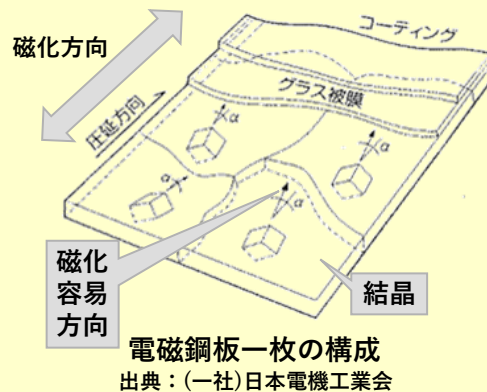
(参考) 無負荷損低減に係る省エネ技術及び機能の内容①

低損失電磁鋼板材の採用



■高配向性電磁鋼板

『結晶』の『磁化容易方向』を揃えた電磁鋼板



■磁区制御電磁鋼板

高配向性電磁鋼板の表面に『溝加工』を施し『磁区幅を低減』したもの

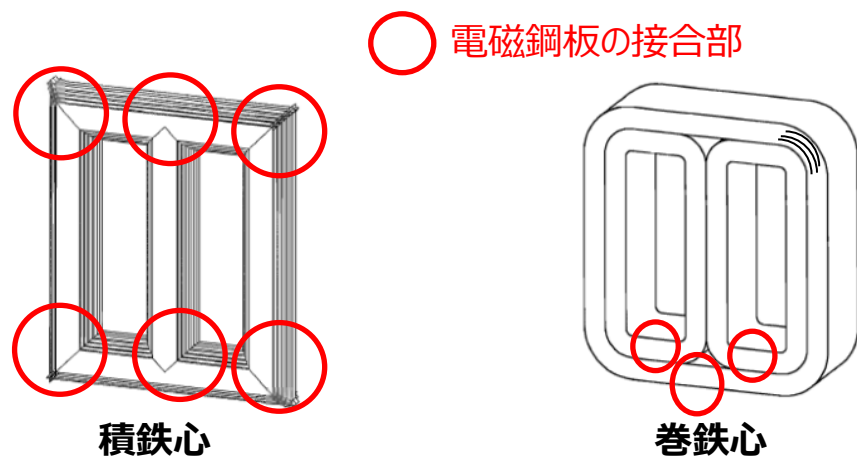


出典：2005.5NIPPON STEEL MONTHLY

(参考) 無負荷損低減に係る省エネ技術及び機能の内容②

鉄心構造の改良

1. 積鉄心から巻鉄心への採用拡大による鉄心の小型化と接合箇所削減を実現



電磁鋼板を積層して鉄心を形成。磁束の道筋が巻鉄心に比べて悪化し、かつ接合部が多くなる事から電磁鋼板の特性が悪化する。

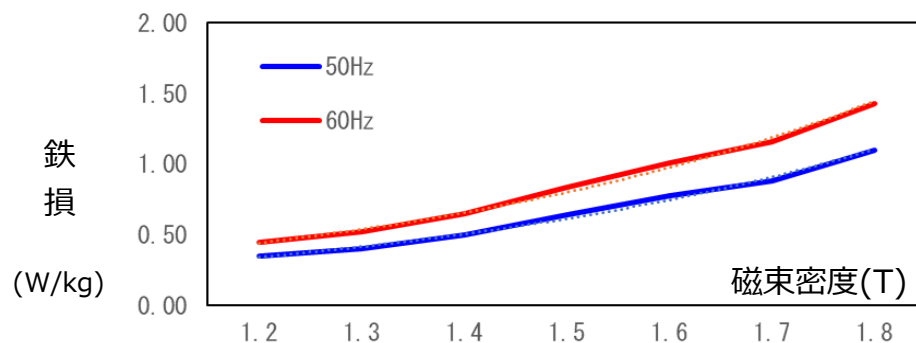
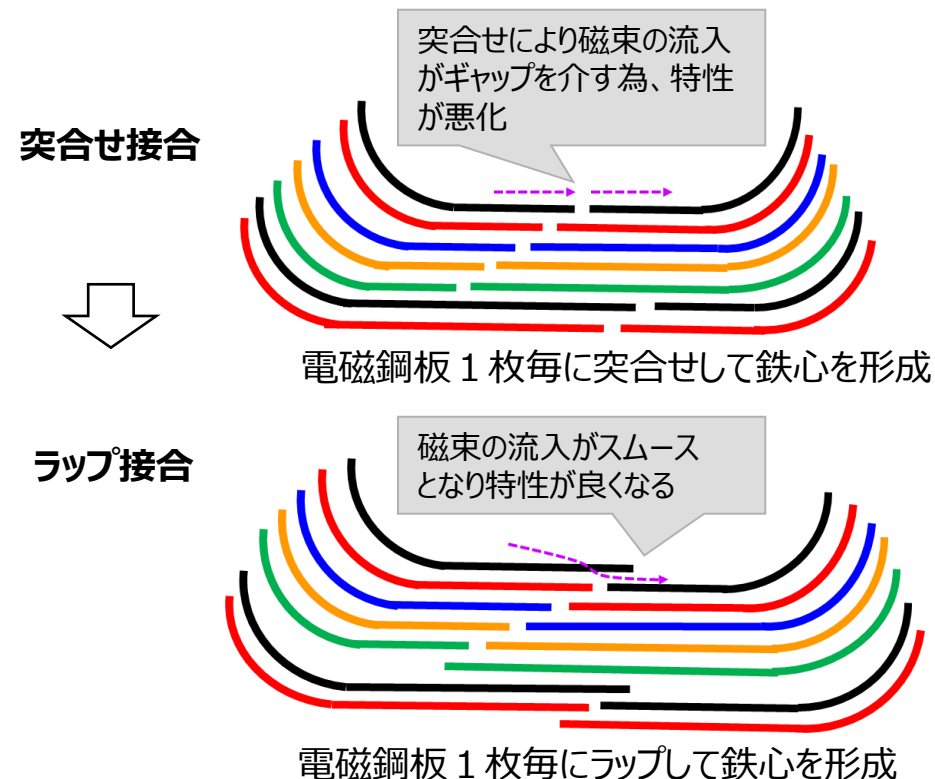
電磁鋼板を積層して金型に巻き付ける事により鉄心を形成。磁束の道筋が積層方向と同一である事と、接合部が少ない事から電磁鋼板の特性が活かされる。

鉄心磁束密度の最適化

鉄損は周波数と磁束密度に比例することから、磁束密度を下げるにより無負荷損を低減できる

出所)「変圧器判断基準小委員会最終取りまとめ」(平成23年) 参考資料

2. 巻鉄心の接合方法改善での磁束整流化による特性改善



(参考) 負荷損低減に係る省エネ技術及び機能の内容

銅材料の採用拡大

巻線の導体には、アルミニウムか銅が採用されている。

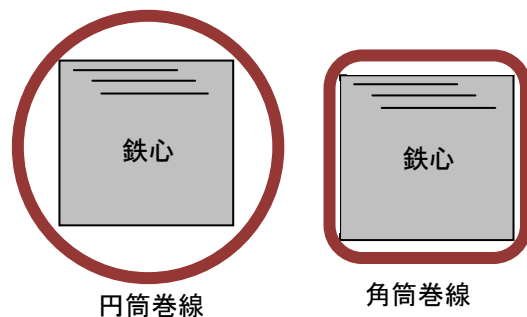
導電率は銅：アルミの指数が100：62であり、導電率が高い銅の採用拡大によって抵抗損が低減されている。

導体断面積の拡大と導体細分化

巻線導体の断面積を大きくし電流密度を下げることで抵抗損を低減する。渦電流損は磁束に直角方向の導体幅に比例して増加することから、導体を複数本に分割することにより、細分化を行い、渦電流損の低減を図っている。

巻線の小形化

鉄心形状に合わせた角筒巻線化により巻線をコンパクト化させている。



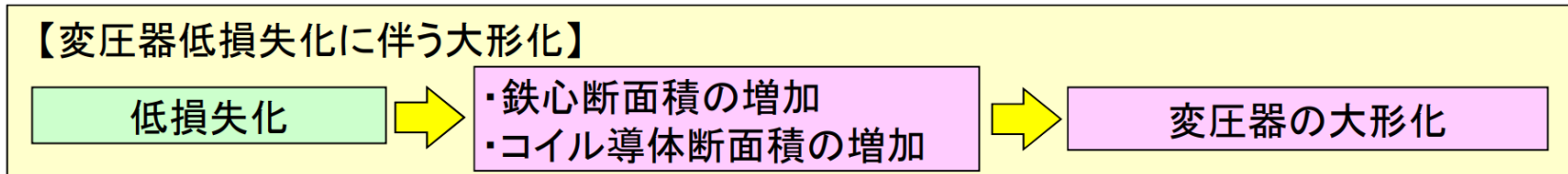
構造物の非磁性体材使用

鋼板の一部に非磁性材料のステンレスや絶縁物を使用することによって、巻線や接続導体からの漏れ磁束により発生する漂遊負荷損を低減している。

(参考) その他の技術動向

耐熱絶縁紙の適用による大形化抑制

変圧器の低損失化に伴う大型化を抑制する為に、耐熱絶縁紙の適用により許容温度上限温度を高めている。



耐熱絶縁紙を適用することで、従来より10K高い温度上昇を許容

従来	: 油温度上昇50K以下, 巻線温度上昇55K以下
耐熱絶縁紙適用	: 油温度上昇60K以下, 巻線温度上昇65K以下



放熱面積の削減＝変圧器タンク外周部の放熱器の縮小



変圧器の大形化抑制

(参考) トップランナー制度基準策定における基本的考え方①

- 原則 1. 対象範囲は、一般的な構造、用途、使用形態を勘案して定めるものとし、①特殊な用途に使用される機種、②技術的な測定方法、評価方法が確立していない機種であり、目標基準を定めること自体が困難である機種、③市場での使用割合が極度に小さい機種等は対象範囲から除外する。
- 原則 2. 特定機器はある指標に基づき区分を設定することになるが、その指標（基本指標）は、エネルギー消費効率との関係の深い物理量、機能等の指標とし、消費者が製品を選択する際に基準とするもの（消費者ニーズの代表性を有するもの）等を勘案して定める。
- 原則 3. 目標基準値は、同一のエネルギー消費効率を目指すことが可能かつ適切な基本指標の区分ごとに、1つの数値又は関係式により定める。
- 原則 4. 区分設定にあたり、付加的機能は、原則捨象することとする。但し、ある機能のない製品を目標基準値として設定した場合、その機能をもつ製品が市場ニーズが高いと考えられるにもかかわらず、目標基準値を満たせなくなることから、市場から撤退する蓋然性が高い場合には、別の区分とすることができる。
- 原則 5. 高度な省エネ技術を用いているが故に、高額かつ高エネルギー消費効率である機器については、区分を分けることも考え得るが、製造事業者等が積極的にエネルギー消費効率の優れた製品の販売を行えるよう、可能な限り同一の区分として扱うことが望ましい。

*「特定機器に係る性能向上に関する製造事業者等の判断基準の策定・改定に関する基本的考え方について」
（第10回総合資源エネルギー調査会省エネルギー基準部会平成19年6月19日改訂）の原則

(参考) トップランナー制度基準策定における基本的考え方②

- 原則 6 . 1 つの区分の目標基準値の設定に当たり、特殊品は除外する。但し、技術開発等による効率改善分を検討する際に、除外された特殊品の技術の利用可能性も含めて検討する。
- 原則 7 . 家電製品、O A 機器においては、待機時消費電力の削減に配慮した目標基準とすること。
- 原則 8 . 目標年度は、特定機器の製品開発期間、将来技術進展の見通し等を勘案した上で、3 ～ 1 0 年を目処に機器毎に定める。
- 原則 9 . 目標年度において、目標基準値に達成しているかどうかの判断は、製造事業者毎に、区分毎に加重平均方式により行うこととする。
- 原則 1 0 . 測定方法は、内外の規格に配慮し、規格が存在する場合には、可能な限りこれらとの整合性が確保されたものとするのが適当である。また、測定方法に関する規格が存在しない場合には、機器の使用実態を踏まえた、具体的、客観的、定量的な測定方法を採用することが適当である。

*「特定機器に係る性能向上に関する製造事業者等の判断基準の策定・改定に関する基本的考え方について」
(第 1 0 回総合資源エネルギー調査会省エネルギー基準部会平成 1 9 年 6 月 1 9 日改訂) の原則