

概要

受変電設備は様々な電圧仕様の負荷へ給電を行っている。変圧器は受電電圧または、受電所から配電される配電電圧を負荷に合わせた電圧に降圧するものである。変圧器の効率は、電気機器の中で最も高いが数量が多く、変圧器の損失の低減は省エネルギー対策として注目されている。変圧器をめぐる動向としては、エネルギー消費の抑制および温暖化の防止を目的に 1979 年にエネルギーの使用の合理化に関する法律（省エネ法）が制定された。その後 1999 年の改正省エネ法によりトップランナー方式が採用され、建物内の配電用変圧器である油入変圧器とモールド変圧器が特定機器変圧器（トップランナー変圧器）として指定された。このトップランナー変圧器における省エネ基準は第一次判断基準（第一次トップランナー基準）が、油入変圧器に対して 2006 年 4 月より、モールド変圧器に対して 2007 年 4 月より開始され（規格としては JEM1483:2005 等）、更に 2014 年度 4 月より新たに第二次判断基準（第二次トップランナー基準）が告示された（規格としては JEM1501:2012 等）。ここでは旧型の変圧器から現行の第二次トップランナー変圧器に至る各種変圧器の効率向上による省エネルギー性と経済性を検討する。

変圧器の損失は、無負荷損と負荷損がありこれら 2 つの損失を低減することで省エネルギーが実現する。無負荷損の低減は、鉄心の磁束密度を下げる、鉄心の材質を改良する、鉄心の積層方法を改良する等の手段がある。高配向性珪素鋼板、磁区細分化珪素鋼板やアモルファス素材を採用することにより損失の低減を図っている。また、負荷損のほとんどは、巻線導体中の抵抗損である。絶縁技術の進歩や高磁束密度の鉄心素材の導入により変圧器の小型化が可能になり、コイルに巻く導体の長さを短くすることで損失の低減を図っている。トップランナー変圧器はこれら鉄心および巻線の特性の向上により目標基準値を達成してきた。表 1 にトップランナー基準のエネルギー消費効率（全損失）算定式を示す。

表 1 変圧器種別基準エネルギー消費効率¹⁾

区分				基準エネルギー消費効率の算定式	
変圧器の種類	相数	定格周波数	定格容量	第一次判断基準	第二次判断基準
油入変圧器	単相	50Hz		$E=15.3S^{0.696}$	$E=11.2S^{0.732}$
		60Hz		$E=14.4S^{0.698}$	$E=11.1S^{0.725}$
	三相	50Hz	500kVA以下	$E=23.8S^{0.653}$	$E=16.6S^{0.696}$
			500kVA超過	$E=9.84S^{0.842}$	$E=11.1S^{0.809}$
		60Hz	500kVA以下	$E=22.6S^{0.651}$	$E=17.3S^{0.678}$
			500kVA超過	$E=18.6S^{0.745}$	$E=11.7S^{0.790}$
モールド変圧器	単相	50Hz		$E=22.9S^{0.647}$	$E=16.9S^{0.674}$
		60Hz		$E=23.4S^{0.643}$	$E=15.2S^{0.691}$
	三相	50Hz	500kVA以下	$E=33.6S^{0.626}$	$E=23.9S^{0.659}$
			500kVA超過	$E=24.0S^{0.727}$	$E=22.7S^{0.718}$
		60Hz	500kVA以下	$E=32.0S^{0.641}$	$E=22.3S^{0.674}$
			500kVA超過	$E=26.1S^{0.716}$	$E=19.4S^{0.737}$

S:変圧器容量[kVA]

検討条件

検討ケース

- ・ 負荷率40%でのモールド変圧器の比較
- ケース a) 旧型の変圧器：JIS 規格(C4306-1999)
- ケース b) トップランナー以前の変圧器：JEM1475:2000
- ケース c) トップランナー（2006）変圧器：JEM1483:2005
- ケース d) トップランナー（2014）変圧器：JEM1501:2012
- ケース e) 特殊変圧器：アモルファス変圧器

検討条件（__ は共通条件を示す）

- ・ 機器：変圧器本体（変圧器盤等は含まない）
- ・ 変圧器の定格：三相 300kVA 6.6kV/210V
- ・ 負荷率：40.0%²⁾
- ・ 機器寿命：30 年
- ・ 損失，効率：規格および製造者の数値に基づく
- ・ 重量：製造者数値
- ・ 電力 CO2 原単位：0.406kg-CO2/kWh
電気事業連合会平成 25 年 7 月時点の 5 年間平均値（クレジット反映分）
- ・ 電力会社契約：業務用電力
- ・ 電力料金：東京電力平成 26 年 3 月の単価
基本料金 1,638 円/kWh，従量料金 15.83 円/kWh
- ・ 機器価格：実勢価格
ケース a), ケース b): IEIEJ-B-0030「地球環境を考慮した電気設備」委員会報告書 3)による
ケース c): 建設物価調査会：建設物価 4)による
ケース d), e): 製造者数値による
- ・ 建築物寿命：65 年

計算方法

変圧器全損失は次の式により算出した。

$$E = W_i + (m/100)^2 \times W_c$$

E : 全損失 (W) , W_i : 無負荷損 (W)

m : 基準負荷率 40%, W_c : 負荷損 (W)

検討結果

LCCO2

LCCO2 の試算結果を図 1 に示す。ケース a) に対してケース b) が 22%, ケース c) が 38%, ケース d) が 48%, ケース e) が 65% の削減となる。いずれも環境負荷に対して低減効果があるが効率の特性により差が出る。

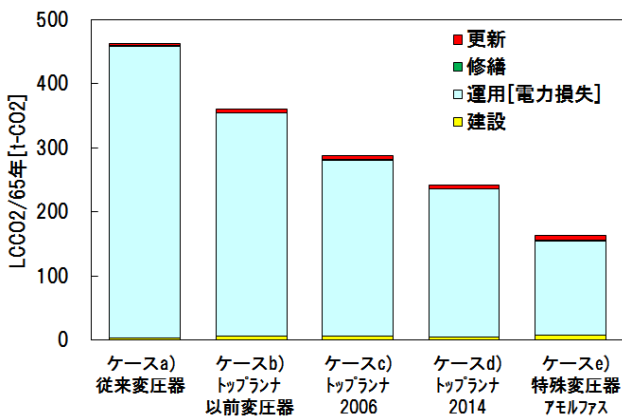


図 1 LCCO2 検討結果

LCC

LCC の試算結果を図 2 に示す。ケース a) に対して、ケース b), ケース c), ケース d), ケース e) の順にいずれも初期建設コストおよび修繕・更新費用が高くなるが、運用時の電力損失が低減されるため LCC 評価では有利となる。

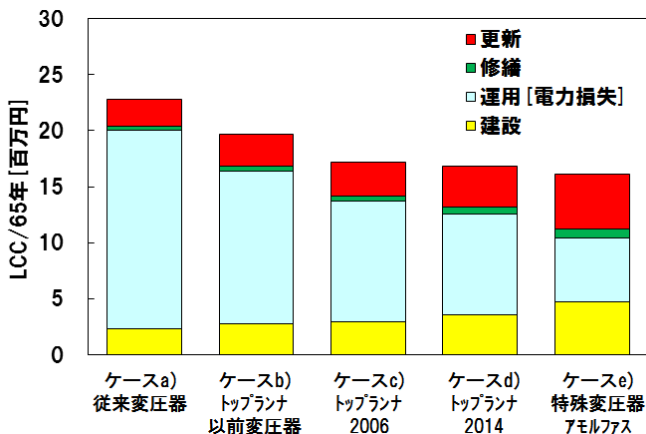


図 2 LCC 検討結果

トピックス

- ・モールド変圧器は油入変圧器と比べ、防災性(難燃性)や保守性(絶縁油の交換が不要)に優れているが機器コストは高価である。
- ・LCCO2 は、今回、負荷率を 40.0% として検討したが負荷率が変われば変圧器特性の違いにより各ケースの検討結果は異なる可能性がある。
- ・トップランナー変圧器はエネルギー消費効率により鉄心や導体コイルの仕様が異なり、効率向上に伴い寸法および重量が大きくなる機種もあるため、旧規格の既存変圧器をトップランナー変圧器に更新する場合、受変電設備筐体および電気室スペースについての検討が必要となる。
- ・変圧器容量の設定に当たっては地球環境委員会報告「電気設備システムの余裕と無駄に関する調査」⁵⁾の中で、余裕として見込んだ容量が変圧器の無負荷損失を増大させることになり、結果として経済性および環境性能を悪化させる検討事例を紹介しているので参考とされたい。

参考文献・出典

- 1) 日本電機工業会：省エネルギー法特定機器「受配電用変圧器」の判断基準（平成 14 年 3 月）
- 2) 変圧器の性能の向上に関する製造事業者等の判断の基準等（平成 24 年 3 月 30 日告示第 71 号）
- 3) 電気設備学会：「地球環境を考慮した電気設備」IEIEJ-B-0030（2003 年）
- 4) 建設物価調査会：建設物価（2014 年）3 月号
- 5) 電気設備学会 地球環境委員会：「電気設備システムの余裕と無駄に関する調査について」、電気設備学会誌第 30 巻(2010 年)6 月号

検討ケース1	変圧器効率の向上	受変電システム
--------	----------	---------

データシート (LCC02・LCC計算結果)

モールド三相300kVA 変圧器

比較ケース	検討ケース	ケース a)	ケース b)	ケース c)	ケース d)	ケース e)	備 考	
	変圧器種別	従来変圧器	トッパランナー以前変圧器	トッパランナー (2006) 変圧器	トッパランナー (2014) 変圧器	特殊変圧器		
省エネ項目		1999年以前	トッパランナー以前 JEM1475 : 2000 JIS C4306-1999	トッパランナー (2006) JEM1483:2005 JIS C4306-2005	トッパランナー (2014) JEM1493 : 2013 JIS C4306-2013	アモルフラス		
	省エネ項目							
計算条件	負荷原単位	年間平均等価負荷率	40.0%	40.0%	40.0%	40.0%	40.0%	文献3)
		電力契約種別	業務用電力契約	業務用電力契約	業務用電力契約	業務用電力契約	業務用電力契約	委員会共通条件
		電力量料金	15.8円/kWh	15.8円/kWh	15.8円/kWh	15.8円/kWh	15.8円/kWh	委員会共通条件
		評価対象期間	65年	65年	65年	65年	65年	文献1)
		修繕周期	15年	15年	15年	15年	15年	文献1)
		修繕率	8%	8%	8%	8%	8%	文献1)
		更新周期	30年	30年	30年	30年	30年	文献1)
		更新時廃棄費用	4%	4%	4%	4%	4%	文献1)
	変圧器特性	その他の送配電機器 CO2原単位	4.165kg-CO2/kg	4.165kg-CO2/kg	4.165kg-CO2/kg	4.165kg-CO2/kg	4.165kg-CO2/kg	文献2)
		需要端電力CO2原単位 (全日)	0.406kg-CO2/kWh	0.406kg-CO2/kWh	0.406kg-CO2/kWh	0.406kg-CO2/kWh	0.406kg-CO2/kWh	委員会共通条件
		変圧器種別	従来変圧器	トッパランナー以前変圧器	トッパランナー (2006) 変圧器	トッパランナー (2014) 変圧器	特殊変圧器	
		三相3線 200V	1999年以前	トッパランナー以前 JEM1475 : 2000 JIS C4306-1999	トッパランナー (2006) JEM1483:2005 JIS C4306-2005	トッパランナー (2014) JEM1493 : 2013 JIS C4306-2013	アモルフラス	
		変圧器容量	300kVA	300kVA	300kVA	300kVA	300kVA	
		変圧器負荷損	4.199W	3.751W	—	3.150W	2.460W	
		変圧器無負荷損	1.300W	910W	—	497W	245W	
省エネルギー率	総負荷損 (40%負荷時)	—	—	1.190W	—	—		
	変圧器機器総重量	730kg	1.200kg	1.240kg	1.000kg	1.530kg		
	電力損失量	1.97kWh	1.51kWh	1.19kWh	1.00kWh	0.64kWh		
	年間電力損失量	17.273kWh/年	13.229kWh/年	10.424kWh/年	8.769kWh/年	5.594kWh/年		
	年間電力量削減量	0kWh/年	4.044kWh/年	6.849kWh/年	8.505kWh/年	11.679kWh/年		
	年間電力量削減率	0.0%	23.4%	39.7%	49.2%	67.6%		
	LCC02	更新回数	1回	1回	1回	1回	1回	
修繕回数		2回	2回	2回	2回	2回		
建設		3.040kg-CO2	4.998kg-CO2	5.165kg-CO2	4.165kg-CO2	6.372kg-CO2		
運用 [電力損失]		455.843kg-CO2	349.113kg-CO2	275.100kg-CO2	231.408kg-CO2	147.629kg-CO2		
修繕/65年		486kg-CO2	800kg-CO2	826kg-CO2	666kg-CO2	1,020kg-CO2		
更新/65年		3.162kg-CO2	5.198kg-CO2	5.371kg-CO2	4.332kg-CO2	6.627kg-CO2		
合計		462.532kg-CO2	360.109kg-CO2	286.462kg-CO2	240.571kg-CO2	161.649kg-CO2		
年平均		7.116kg-CO2/年	5.540kg-CO2/年	4.407kg-CO2/年	3.701kg-CO2/年	2.487kg-CO2/年		
// 単位容量当り		24kg-CO2/kVA・年	18kg-CO2/kVA・年	15kg-CO2/kVA・年	12kg-CO2/kVA・年	8kg-CO2/kVA・年		
LCC02低減率		100.0%	77.9%	61.9%	52.0%	34.9%		
CO2 単純償却年数	ΔIC02/ΔRC02 (a) ベース)	基準	0.02年	0.01年	0.01年	0.01年		
	LCC	建設	2.294千円	2.751千円	2.955千円	3.568千円	4.700千円	
運用 [電力損失]		17.773千円	13.612千円	10.726千円	9.023千円	5.756千円		
修繕/65年		367千円	440千円	473千円	571千円	752千円		
更新/65年		2.386千円	2.861千円	3.073千円	3.711千円	4.888千円		
合計		22.820千円	19.664千円	17.227千円	16.872千円	16,096千円		
年平均単価		351千円/年	303千円/年	265千円/年	260千円/年	248千円/年		
// 単位容量当り		1.170千円/kVA・年	1.008千円/kVA・年	0.883千円/kVA・年	0.865千円/kVA・年	0.825千円/kVA・年		
LCC低減率		100.0%	86.2%	75.5%	73.9%	70.5%		
コスト 単純償却年数	ΔIC/ΔRC (a) ベース)	基準	7.14年	6.10年	9.46年	13.01年		
	イニシャル コスト IC	変圧器設置工事	2.294千円	2.751千円	2.955千円	3.568千円	4.700千円	
// 単位容量当り		8千円/kVA	9千円/kVA	10千円/kVA	12千円/kVA	16千円/kVA		
コスト低減率		基準	-19.9%	-28.8%	-55.5%	-104.9%		
ランニング コスト RC	年間電力量分	273千円/年	209千円/年	165千円/年	139千円/年	89千円/年		
	// 単位容量当り	0.911千円/kVA・年	0.698千円/kVA・年	0.550千円/kVA・年	0.463千円/kVA・年	0.295千円/kVA・年		
	コスト低減率	基準	23.4%	39.7%	49.2%	67.6%		

文献1) 建築保全センター：「平成17年度版建築物のライフサイクルコスト」(2005)
 文献2) 日本建築学会：建築物のLCA指針～温暖化・資源消費・廃棄物対策のための評価ツール～改訂版(2013)
 文献3) (社)日本電機工業会：省エネルギー法特定機器「受配電用変圧器」の判断基準(平成14年3月)