# 275 kV 660 MVA 負荷時タップ切換変圧器

275 kV 660 MVA Transformer with On-load Tap Changer

秋	丸	2	舜	*	高	井	忠	昭*
	Shunji	Akir	naru			Tadaak	i Takai	
平	野	Ξ	百	里*	奥	Щ	賢	**
	Mihor	i Hir	ano		K	Ken'ichi	Okuyama	

要

275 kV 660 MVA 負荷時タップ切換変圧器 (LRT) の受注を機会にその巻線構造,タンク構造に新設計を加 えたので,このクラスを代表して実器試作を行ない,作業性の検討,電気的・機械的特性の確認を行なって所 期の結果を得るとともに,超大容量変圧器製作の基礎データを実器から得ることができた。

旨

1. 緒 言

発電所容量の大容量化の傾向に伴い変圧器の単器容量の増加も著 しく国内・外ともに 1,200 MVA 級変圧器の製作または計画が進ん でいる。

日立製作所では変圧器の超大容量化・超々高圧化などに対処して, 昭和40年から円筒巻線の構造および製作技術について検討し,試作 および実器の製作経験を積み重ねてきた<sup>(1)</sup>。これらの総合技術の 成果として,今回関西電力株式会社海南火力発電所4号低騒音660 MVA LRTを製作納入した。本器設計にあたっては,特に巻線お よびリードの漏れ磁束による構造物の漂遊損低減と局部過熱防止に 考慮を払い,製作にさき立ち実器相当の試作器で各種試作試験を行 なって一連の特性を確認し設計の精度を高めることができた。な お,本器は 60 Hz であるので,局部過熱あるいは漂遊損などの現象 面では 50 Hz 器の 800 MVA 級の設計データも得られた。 ここに設計の基本的事項と試作内容の一端を紹介する。

# 2. 660 MVA LRT の仕様と構造

おもな仕様と構造は表1に,外観写真は図1に示すとおりである。 送油風冷式・三相二巻線・内鉄形・三脚鉄心・負荷時タップ切換 器付きで,高圧線路側は油中ウォールブッシングを介してケーブル

表1 275 kV 660 MVA LRT の仕様と構造

Name and Address of the International States	Next In the second second second		and the second		
	形	式	AFLOC-3NYC		
仕	容	量 (MVA)	660		
	電	圧 (kV)	22/262.5±25 (17 タップ)		
	絶縁	高压線路	200(ケーブル接続)		
	階 級	高圧中性点	80		
垟	(号)	低臣	20 (IPB接続)		
1214	インピ	ーダンス(%)	18		
	騒	音 (ホン)	70 (本 体: コンクリート建屋収納) (冷却器:屋 外 別 置		
		高 圧	二分割円筒(転位電線使用)		
	巻	低臣	ヘリカル (転位電線使用)		
		タップ	円 简(転位電線使用)		
構	線	配置	鉄山 (内) 低 高 タップ		
	鉄	心脚数	3		
	1.00	通過電流(A)	1,600		
造	LTC	化 様	LR-3K (2,050 V×1,800 A)		
	9	·	縦 ば り 方 式		
	カ	× -	平カバー		

に接続され,低圧側は相分離母線(IPB)に接続される。負荷時タッ



(a) 変 圧 器 本 体





\* 日立製作所国分工場\*\* 日立製作所日立研究所 工学博士

Sec

# (b)冷却器 図1 275 kV 660 MVA LRT

17

118 日 立 評 論

プ切換器は大容量器用としての実績のある日立標準のLR-3K形<sup>(2)</sup> を使用している。冷却器としてはアルミプレートとアルミフィンか らなる高冷却能力を持つアルミコンパクトクーラを使用している。 また本器は大容量器でしかも低騒音形(70 ホン以下)であるため, その騒音対策についてもじゅうぶんな検討を加えてある。低騒音対 策としては,変圧器の周囲にへいを設けるいわゆるしゃ音囲壁方式, 変圧器の外箱をさらに防音タンクで囲む二重タンク方式もあるが, 本変圧器では最も低減効果の大きいコンクリート防音建屋に収納し て,その騒音が外部に漏れないようにするとともに,屋外に設置され る冷却器の前面に防音風胴を取り付けて騒音の低減を図った。工場 における騒音試験結果,冷却器は65 ホンという好結果を得ている。 従来の大量容器(490 MVA)と大きく相違する点は,巻線構造と タンク構造である。すなわち,高圧巻線を二分割円筒巻線として漏 れ磁束密度の低減と重量軽減を図り,タンクの補強はりとして取り はずし可能な縦ばり方式を採用して輸送重量の軽減を図っている。

そのほか従来の構造と異なる点は,低圧ヘリカル巻線に転位電線を 使用して作業時間の短縮と漂遊損の低減を図ったこと,中身構造物 に非磁性体や絶縁物を活用して損失低減と局部過熱防止に留意した ことなどである。

# 3. 設計の基本的内容

3.1 二分割巻線構造



すなわち、(NI)<sup>2</sup> 4 により% インピーダンスは変化する。 高圧巻線は二つの等しい巻回数を持つ巻線に分割した場合,

 $(NI)^{2} \varDelta = \left(\frac{NI}{2}\right)^{2} \varDelta_{1} + \left(\frac{NI}{2}\right)^{2} \varDelta_{2}$ 

となり、 12 と 22 に大差ないとすれば、

$$(NI)^2 \varDelta \stackrel{(NI)^2}{\Rightarrow} \varDelta_1$$

となる。このことは *Δ*<sub>1</sub> と *Δ*<sub>2</sub>をほぼ等しくしたとき,二分割巻線 のパーセントインピーダンスは非分割の約50%になることを意 味する。

このように二分割するとパーセントインピーダンスが小さくなるので非分割と同一値にするためには巻回数Nを大きくする。こ

超大容量変圧器の特性を支配する大きな要素は次の三つの密度で

ある。

(1) 鉄心磁束密度

これにより無負荷損,騒音などが決定される。

(2) 導体電流密度

これにより負荷損,機械的強度などが決定される。

(3) 漏れ磁束密度

これによりパーセントインピーダンス,発生機械力,漂遊損などが決定される。

設計にあたってこのうち(1)と(2)は容量に関係なく決定できる が,(3)は一般的に(容量×%インピーダンス)によって左右され るためある値に限定できない。しかし大容量器になるほど,パーセ ントインピーダンスが高くなるほど,この漏れ磁束密度によって支 配される発生機械力,漂遊損などの現象が重要な問題となってくる。 また超大容量器になると輸送業務が製作と同程度に重要な問題とな り,輸送重量の軽減も大きな課題である。

これらの問題を解決するため二分割円筒巻線を採用した。これは 巻線を内外二分割することにより次に述べる特性上の問題を解決 し、一方これを円筒巻線構造とすることにより絶縁上、構造上の問 題を解決することができた。

# 3.1.1 二分割構造の特長

18

内鉄形変圧器の標準巻線配置は図2(a)に示すように高圧巻線 と低圧巻線各1個が同心状に配置される。二分割円筒巻線は図2 (b)に示すとおりである。巻線の%インピーダンスは巻線内にた くわえられる磁気エネルギからもとめることができる。

$$\% IZ = \% IX = 7.9 \times 10^{-6} \times f \times \frac{(NI)^2}{VI} \times \Delta$$

のことは銅機械にすることであり、鉄心重量ひいては製品重量を 軽減することができる。等しい巻回数の二分割の場合について考 えると、パーセントインピーダンスを非分割と同一値にするため には、巻回数を $\sqrt{2}$ 倍とする必要がある。したがって、当初の目 的の漏れ磁束密度は $\frac{\sqrt{2}}{2}$ 倍すなわち約70%となる。このように 二分割することにより漏れ磁束密度が下がり、銅機械とすること により重量が軽減できる。

今回の 660 MVA 変圧器は従来の記録品である 490 MVA を大 きく上回る画期的容量であるが,高圧巻線を二つのほぼ等しい巻 回数に二分割したため,巻線内部および巻線外部に現われる漏れ 磁束密度が 400 MVA 級なみに収まり,漂遊損の低減とあいまっ て各巻線の発生機械力も低減できた。

# 3.1.2 二分割円筒巻線の特長

二分割円筒巻線には次のような特長があり,超大容量変圧器巻 線としてすぐれた特性を発揮する。

- 円筒巻線とすることにより巻線間の発生電圧が低くなり、
   低圧巻線との主絶縁距離を短縮することができる。
- (2) 円筒巻線とすることにより経方向に同心状に巻線層を重ねることから、巻線幅を大とし高さの低い構造としやすくなる。これにより海上輸送時の安定性がよくなる。
- (3) 超大容量器では導体断面積が大きくなりしかも巻回数が減 少するため並列に数本の導体を用いる必要がある。このた め円板巻線では巻線構造が複雑になってくるのに対し,円 筒巻線では軸方向に導体を並べて巻けばよく構造が簡単で ある。
- (4) 直列静電容量が大きいため電位分布がよく,また二分割した巻線の接続点に高い電圧が発生しない。

ここに,	% IZ :	%インピーダンス	
	% IX :	%リアクタンス	
	f:	周 波 数 (Hz)	
	N :	巻線の巻回数	
	I :	定格相電流 (A)	
	V :	定格相電圧 (V)	
	⊿:	巻線の幾何学的形状で決	まる値

3.2	鉄	心	構	造									
鉄心	は三月	即鉄,	心ボ	ルト糸	術構	造で,	二分	分割差	線構	造の	採用	により	i.
銅機械	とな	った	ため	,寸注	、・重	量とも	。従3	来の集	製作経	験の	延長	内に収	ζ
まり,	特に	新し	い検	討の心	必要は	なかっ	った。	)					
3.3	巻	線	構	造									
卷線	配置	は図	3亿;	示すと	おり	である	o 1	<b>洗心</b> 個	川から	高圧	内側	卷線,	
低圧巻	線, ī	高圧	外側	卷線,	高圧	巻線ジ	/)	レド,	タッ	プ巻約	泉シー	-ルド,	



タップ巻線の順で配置し、各巻線には転位電線(3)を使用することに より漂遊損の低減、作業時間の短縮と信頼性の向上を図かった。各 巻線の端部にはシールドリングを設けて電界を緩和した。

3.3.1 高 圧 巻 線



タンク概略構造図 図 5

円筒巻線には各層巻線の巻き方,接続法により N 接続と V 接 続がある<sup>(1)</sup>。前者は円筒巻線としての歴史が古くリード線が巻線 外部へ出るため構造はやや複雑となるが、層間発生電圧が低く絶 縁が容易である。後者は巻線層数が絶縁階級に応じてじゆうぶん とれる場合はリード線の引き出しがないため、巻線端の処置も簡 単である。本器の外側巻線は,層間発生電圧の低い N 接続として 絶縁に余裕をもたせ,内側巻線はリード引き出しが困難なため, 二分割接続点の発生電圧が低いことも考慮してV接続とした。

外部の絶縁寸法・シールド形状は導電紙による電界解析により 決定された。図4は電界解析の一例を示したものである。衝撃電 圧特性については事前に電磁モデルを製作して検討したが、最終 的には試作実巻線で測定した。

# 3.3.2 低 圧 巻 線

10.4

here

低圧巻線は標準の二重ヘリカル巻線であるが、巻線電流が 10,000Aにも達し従来のように平角線を用いたのでは並列本数が 多くなり転位回数が数百回にもなるので、素線の転位がなされて いる転位電線を使用し,転位電線間でじゅうぶんな転位を行なっ て転位作業を合理化した。

3.3.3 タップ巻線

高圧中性点側のタップ巻線を円筒巻線として巻線最外層に配置 し、タップ切換によるインピーダンス変化を小さく押えるととも にリード引き出し作業と接続作業を容易にした。

3.4 タンクその他

タンク補強ばりは従来の横ばり方式に代わって図5に示す縦ばり 方式とし,内圧上昇・応力測定などの検討も行なった。

タンク,カバー,低圧ブッシングポケットなどには大きな磁束が はいり過電流を生ずるので、しゃへいを施し局部過熱のないよう考

![](_page_2_Figure_16.jpeg)

電磁モデルと実器の発生電圧 図 6

微視的には未経験要素もある。これらを解決しあわせて今後の設計 データともするため、以下に述べる試作を行なった。

### 4.1 電磁モデル

電磁モデルの実用性・等価性についてはすでに報告(4)されており, じゅうぶんその信頼性が認められている。特に本器のように二分 割構造で計算精度を上げることの困難な変圧器においてはきわめて 有効である。LCの模擬法により幾つかのモデルが考えられるが, 今回は実器の1/5サイズのモデルを製作して衝撃電圧特性を検討し た。本測定結果をもとに電界解析を行なって絶縁構成を検討した。 図るに示すように実器の測定結果と分布の傾向は一致したが、層間 発生電圧は電磁モデルが約10%高くなり、これをもとに設計した実 器の裕度を高める結果となった。

## 4.2 実物大冷却実験用巻線

大容量変圧器においてはポンプで油を強制的に巻線内に送り込む いわゆる巻線強制冷却方式を採用している。一般に巻線の油からの

慮した。 低圧大電流リード線の近くの中身構造物には非磁性体や絶縁物を 活用して漂遊損の低減を図るとともに、局部過熱が生じないよう冷

却ダクトを設けて熱放散をよくした。

4. 試作内容

二分割構造の採用により巨視的には従来技術の延長内にあるが,

温度上昇 40 は、導体を包む絶縁物内部を伝達によって伝熱される ときの温度降下 10i と絶縁物表面の油の境界層温度降下 10F から構 成され次式で与えられる(5)。

19

$$\Delta \theta = \Delta \theta_i + \Delta \theta_F = \frac{Wd}{\lambda} + \frac{W}{\alpha} = \left(\frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha}\right) W$$
  
ここに, W: 熱放散密度 (W/m<sup>2</sup>)

120

日立評論

VOL. 54 NO. 2 1972

![](_page_3_Figure_3.jpeg)

図7 油流分布の実験装置

![](_page_3_Picture_5.jpeg)

![](_page_3_Figure_6.jpeg)

図8 油流分布実験中

 $\lambda$ : 絶縁物の熱伝導率 (W/m°C)  $\alpha$ : 熱伝達率(W/m<sup>2</sup>°C) =  $\frac{\lambda_0 N u}{h}$  *Nu*: Nusselt 数 (-)  $\lambda_0$ : 油の熱伝導率 (W/m°C)

h: 巻線高 さ(m)

ここで,熱伝達率 α は Nusselt 数により支配される。Nusselt 数は 油の物理的性質,巻線の構造および油の流速などに関係する。した がって巻線の温度上昇を検討するとき熱損失,絶縁物厚さなどの諸 条件のほかに Nusselt 数と油流速の関係を把握(はあく)し,規定温 度上昇以内に押えるための油流速を設定し,次に油流速を得るため の流動特性を把握しなければならない。そこで巻線間および円筒巻 線各層間の油流分布を検討するため,実物と同一径で高さ1/3の実 物大冷却実験用巻線を製作した。主要材料としてはプレスボード, クラフト紙および材木を使用し,巻線支持絶縁物形状,鉄心締金具 の油口なども実物と同一寸法に模擬した。実験装置の概略図は図7 に,実験中の写真は図8に示すとおりである。測定結果は巻線間の 油流分布の不均一も少なく,また円筒巻線各層および円周に沿って の油流動の偏差も小さく良好な結果が得られた。本油流分布測定結 果をもとにした巻線の温度上昇計算<sup>60</sup>結果は実器の実測値とほとん ど一致し満足するものであった。

# 4.3 実物コイル機械力破壊試験

20

軸方向漏れ磁束密度と半径方向発生機械力の関係を示すと図9に なる。軸方向漏れ磁束密度は低圧巻線の中央部を境にして向きが逆 転するため、高圧内側巻線には座屈力 F<sub>1</sub>、高圧外側巻線には張力 F<sub>2</sub>、低圧巻線には張力 F<sub>3</sub>と座屈力 F<sub>4</sub>が同時に作用する。したがっ

![](_page_3_Figure_13.jpeg)

![](_page_3_Figure_14.jpeg)

![](_page_3_Figure_15.jpeg)

を行なった。構造図と試験回路は図 10, 図 11 に示すとおりである。 結果はいずれも完全短絡発生機械力の 1.7 倍で外径側に微小座屈を 生じたが,全体としての座屈は生じなかった。この結果巻線はいず れもじゅうぶんな強度を有することが確認された。

# 4.4 金属材料の温度上昇と磁束分布測定

変圧器が大容量化すると負荷電流が増すため,巻線とリード線より発生する漏れ磁束が巻線や他の金属材料(鉄心締金具,タンクな

て低圧巻線は内外から圧縮され互いは打ち消されるため巻線全体と
しての機械力はほとんど発生しないが、巻線幅が広いため巻線の外
側部分とくに最外層電線および高圧内側巻線の座屈強度に関しては
じゅうぶんな検討が必要である。そこで巻線の機械的強度のうち最
も問題となる座屈力の働く低圧巻線と高圧内側巻線について強度の
検証を行なった。いずれも実器と同一直径,同一構造で巻回数を約
10%とした従来から標準としている試験巻線のを製作して短絡試験

ビ)と鎖交して発生する漂遊損が著しく増大し、合わせて局部過熱
が生ずるが、これらの対策についてはすでに前に述べている。
日立製作所では数年来この漏れ磁束現象の解析に鋭意努力してお
),現在ではあらゆる金属材料の磁束分布,損失分布および温度分
市を定量的に把握できる段階に至っている。漏れ磁束による金属材
4の漂遊損ならび温度上昇を検討する場合,まず漏れ磁束分布の計
尊精度を上げることが第一である。

![](_page_4_Figure_1.jpeg)

![](_page_4_Figure_2.jpeg)

図 13 線次電流による P点磁東密度

巻線による漏れ磁束分布を計算するにはV接続円筒巻線および巻線の曲率を表現するものに好都合な円筒座標系によるのが効果的である。図12は円状電流 *I*<sub>0</sub>によるベクトルポテンシャルの関係を示したものである。図中P点におけるベクトルポテンシャル *A*<sub>0</sub>は次式で表わされる。

 $A_{\theta} = \frac{\mu I_{\theta}}{\pi k} \sqrt{\frac{a}{b}} \left\{ \left( 1 - \frac{1}{2} k^2 \right) K(k) - E(k) \right\} \dots (1)$ 

![](_page_4_Figure_6.jpeg)

![](_page_4_Figure_7.jpeg)

P点における半径方向および軸方向磁束密度 *B*<sub>r</sub>, *B*₂ はそれぞれ (2), (3)式で表わされる。

$$B_r = -\frac{\partial A_\theta}{\partial z} \quad \dots \quad (2)$$

$$B_{z} = \frac{A_{\theta}}{z} + \frac{\partial A_{\theta}}{\partial r} \quad \dots \quad (3)$$

巻線全体を(1)~(3)により集積すれば任意点の漏れ磁束分布を 求めることができる<sup>(8)</sup>。

一方,リード線による磁束分布の計算はビオ・サバールの法則により計算される。図13は線状電流による磁束密度の関係図である<sup>(9)</sup>。図中微小長さ*dl*によるP点の磁束密度*dB*は次式で表わされる。

これらの巻線およびリード線による漏れ磁束分布より金属材料の 漂遊損が計算される<sup>(10)</sup>。金属材料に発生した損失は変圧器油の対 流による熱伝達,ふく射による熱伝達および金属材料の熱伝導によ る熱伝達により移動し,これらの熱平衡式から温度を求めることが できる。図14はこれらの関係を示したもので,これから熱平衡式と して次式が得られる<sup>(11)</sup>。

 $(q) = q_{ca} + q_{co} + q_{t_1} + q_{t_2}$ 

図15 金属材料の油から温度上昇(60Hz定格電流)

上記,平衡式で温度  $T_n$  を仮定し,繰り返し計算による収束後の  $T_n$  を求めることになる。

これらの計算式の確認と設計データをとるため、試作器にて中身

金属材料の温度上昇と磁束分布を測定した。すなわち鉄心締金具, コイルクランプ,コイルつり金具およびタンクシールドにサーチコ イルおよび熱電対を取り付けて測定し,局部過熱のないことを確認 するとともに計算値と非常によく一致することを確認した。最高値 は鉄心締金具で15 deg(油から),また 50 Hz は 60 Hz より約 20% 低くほぼ理論どおりの結果を得た。温度上昇測定結果の一例を示し たのが図 15 である。

 $=A_{ca}(T_n - T_{ca}) + A_{co}(T_n - T_{co}) + A_{t1}(T_n - T_{n+1}) + A_{t2}(T_n - T_{n-1})$ .....(5) ここに、 $A_{ca}$ : 流体 ca に対する熱コンダクタンス  $A_{co}$ : 流体 co に対する熱コンダクタンス  $A_{t1}$ : 熱伝導 ( $T_{n+1}$ に対する) 熱コンダクタンス  $A_{t2}$ : 熱伝導 ( $T_{n-1}$ に対する) 熱コンダクタンス

21

122日立評論

VOL. 54 NO. 2 1972

試験序	項目	内	容	結			果
1	コロナ試験	中性点を接地し,常規対 倍の電圧を印加した	対地電圧の 1.5	異	常	ts	ι
2	インパルス 耐 圧 試 験	高E 線 路 端子:全波 さい的 高E中性点端子:全波 低 E 端 子:全波 :さい的	1,050 kV 所波 1,210 kV 450 kV 150 kV 所波 170 kV	異	常	ts	L
3	AC 耐 圧 試 験	<ol> <li>高圧線路端子(167 試験)中性点を試験</li> <li>げ,巻回間に約2倍</li> <li>させ,線路端に試験</li> <li>を 43 秒間印加し方</li> </ol>	Hz 誘導耐圧 検電源で突き上 音の電圧を発生 検電圧 460 kV	異	常	ts	l
		<ol> <li>一括印加(加圧試験 中性点側に 185 kV</li> <li>50 kV をそれぞれこ</li> </ol>	<sub>倹</sub> ) 7,低圧側に 1分間印加した	異	常	ts	ι
4	長 時 間 コロナ試験	中性点を接地し,常規対 を5分間,1.5倍を2日	対地電圧の2倍 時間印加した	異	常	ts	l
5	インパルス 過電圧試験	高E線路端子の試験電E kV,さい断波1,210 kV kV)を100%とし、5 電Eを上昇させ、くり返	E(全波 1,050 W, 全波 1,050 % ステップで 反し印加した	130% 異	っ ま 常	で な	L
6	AC 過 電 圧 試 験 (破壊試験)	AC耐圧試験電圧 (460 とし、10% ステップご 43 秒間印加し、継続し させた	kV)を 100% とに 167 Hz て電圧を上昇	1回 異 2回 異 3回 で	目 1 常 1 目 1 目 1	20% ts 30% ts 40%	までしでし 20秒

![](_page_5_Figure_4.jpeg)

圧クランプリング部で発生したコロナが絶縁筒表面をクリープして 高圧巻線の接続線に至ったものと推定される。

> 5. 結 言

275 kV 660 MVA LRT の巻線構造, タンク構造に新設計を行な ったので、実器製作にさき立ちこのクラスを代表して試作試験を行 ない,絶縁,冷却,機械的強度,漏れ磁束,損失などの一連の特性 を確認するとともに今後の超大容量変圧器の設計・製作に有効な 資料を得た。

# 4.5 絶縁試験

試作器にてコロナ試験, AC およびインパルス耐圧試験, インパ ルス過電圧試験(試験電圧×135%)に引き続き,AC破壊試験を実施 した。AC 耐圧試験電圧を100% として10% ステップごとに167 Hz 43 秒間印加し,継続して電圧を上昇させた。第1回は110%43秒保 持後,引き続き120%43秒保持し異常なく,第2回に再び110%, 120% さらに 130% 43 秒保持し異常なかったが、試験用ブッシング での閃絡(せんらく)の危険を考慮してそれを取りはずし,再び前記 のごとく試験を行なった。第3回は130%43秒まで異常なく,140 % (644 kV) 20 秒後に内部で絶縁破壊した。絶縁試験の概要は表 2に示すとおりである。

すべての試験が完了したあとで変圧器を解体点検して絶縁破壊状 況を調査した。破壊個所は図16に示すとおりである。破壊径路は低

終わりに,本試作研究の機会を与えていただいた関西電力株式会 社の関係各位に対し,ここに深く感謝の意を表する次第である。

### 献 考 文 参

- (1) 栗田ほか: 日立評論 53, 225 (昭46-3)
- (2) 桜木ほか: 日立評論 50, 170 (昭 43-2)
- (3) 森山: 日立評論 50, 143 (昭 43-2)
- P.A. Abetti: Transformer Models for the Determina-(4)tion of Transient Voltages AIEE (1953)
- (5) G. Gotter: Erwärmung und Kühlung elektrisher Maschinen (1954)
- (6) 星 ほか: 電気四学会連合大会 585 (昭45)
- (7) 平石ほか: 日立評論 50, 148 (昭 43-2)
- (8) 奥山ほか: 日立評論 50, 159 (昭43-2)
- (9) たとえば竹山: 電気磁気学現象理論 丸善(昭36)
- (10) 乾 ほか: 電気四学会連合大会 591 (昭45)
- (11) 川嶋ほか: 電気学会関西支部連合会 G3-42 (昭46)

	第 33 巻	日	<u> 1</u>	第2号	
		目	次		
• グ ラ フ /	消えゆく	武 蔵 野	・インタビュー /	日本初の本格的モ	ミーターグライタ
• 解 説 /	鉄道経営の	近 代 化		開発	
・ル ポ /	ジャンプす	る札幌	・家電コーナー /	色はに	ほへ
1	無菌実験動物	をつくる	• * - 4	サイ	エン
/	新幹線電車のド	ック入り	<ul> <li>新</li> </ul>		紹

発	行	所	日 立	評	論	社	東京都千代田区丸の内一丁目5番1号
							郵便番号 100
取	次	店	株式会社	オーム	社 書	店	東京都千代田区神田錦町3丁目1番地
							郵便番号 101
							振 替 口 座 東 京 20018 番

![](_page_5_Figure_27.jpeg)