小特集·直流送電技術

U.D.C. 621. 315. 051. 024

直流送電技術の開発

Recent Achievements of High Voltage Direct Current Transmission Technology

直流送電には,従来の交流送電技術とは違った特有の多くの技術開発が必要であ る。例えば、大容量高圧サイリスタ変換装置、直流絶縁、直流系の絶縁協調、変換 装置動作に伴う無効電力や高調波電流, 直流系を含む電力系統安定度などの課題が ある。この論文では、これらの技術課題の研究開発の成果について概説する。

天野比佐雄* Amano Hisao 小沢 淳* Ozawa Jun 青津広明* Aotsu Hiroaki

1 緒 言

1954年スウェーデン本土とゴットランド島間で海底ケーブ ルによる直流送電が開始されて以来,長距離大電力送電をは じめケーブルによる送電,非同期連系,周波数変換などに直 流が用いられるようになった。1978年3月現在,17箇所で約 10,000MWの設備が運転中であるが、更に建設中のものが10 箇所約13,000MWとなっている。

今後ますます増大が予想される電力需要に対して, 直流送 電の役割は重要なものになると思われる。日立製作所では, これに対処するため直流送電機器の信頼性、性能向上のため の基礎的な研究とともに, 直流系を含む電力系統システムの 研究を進めている。

一例を示すものであるが、同図(b)に示すようにプレスボード のラップ長が長くなると, 直流フラッシオーバ電圧は高くな る。この効果は交流では見られず、この現象は直流と交流 に対する複合絶縁の電位分布の違いから説明することができ る。

図3は、直流交流重畳時のフラッシオーバ特性の一例を示 すものである。油単独絶縁と複合絶縁とでは傾向は似ている が,後者のほうが直流-交流重畳に対し優れた絶縁性能を示 している。

2 絶 縁

直流機器には、 交流機器に要求される交流, 開閉インパル ス, 雷インパルスの各電圧に対する絶縁のほか, 直流, 直流-交流重畳, 直流-インパルス重畳, 直流の極性反転の各電圧 に対する絶縁などを考慮する必要がある。これら種々の電圧 に対して, 直流機器に使われる様々な絶縁の特性を明らかに し,更に新しい電界解析手法を開発し^{1)~4)},UHV直流機器 の絶縁設計に必要な基礎技術を確立した。

2.1 空気中の絶縁特性

空気中の絶縁特性に関する研究は古くから行なわれている が、最近は、直流送電と交流 UHV 送電とを対象とした研究 が主体になっている。

日立製作所では、これらの実験的研究により既に空気絶縁 サイリスタバルブに使われるがい子, FRP(ガラス繊維強 化プラスチック), ライトガイドなどの絶縁特性を十分把握し た。図1はその一例を示すもので、清浄な条件でのポスト がい子の直流フラッシオーバ電圧は有効長に比例している ことが分かる。その値は交流の波高値に対する値5),6)と同等 である。

フラッシオーバ特性は、もちろん空気密度に依存するが、 湿度, がい子の据付地上高, がい子の金具形状によっても影 響することを明らかにした。

日立製作所では、このような特性をもとに空気絶縁の適切 な設計を行なっている。

ただし、図4に示すように油単独絶縁では極性反転の影響 がないのに対し、複合絶縁ではその影響がある。このような 複合絶縁の絶縁設計で、この点は十分留意する必要がある。

このほかに、複合絶縁とすれば油中単独絶縁よりも優れた 耐電圧-時間特性を示し、かつ油中塵埃に対しても優れた絶



2.2 油中の絶縁特性

変圧器, 直流リアクトル, 油浸サイリスタバルブなどでは, 油と油浸絶縁物で構成される複合絶縁としている。 図2(a)は、変圧器油にプレスボードが介在する複合絶縁の

ポスト形がい子の有効長とフラッシオーバ電圧の関係 义 | 各種電圧波形に対するポスト形がい子のフラッシオーバ特性を示す。これによ り最適絶縁設計法が確立された。

31

* 日立製作所日立研究所



縁性能を示すこと,並びに油及び油中沿面の直流フラッシオ ーバは最大電界で決定されることなども明らかにした。

以上のような基礎的データをもとにして,変圧器,直流リ アクトル,油浸サイリスタバルブなどの最適絶縁設計を行な っている。

2.3 SF₆ガス中の絶縁特性

SF6ガスは優れた絶縁性能をもっており,既に交流機器で はガス絶縁開閉装置として広く用いられ,変電所のコンパク ト化,保守点検の簡便化など数多くの利点が発揮されている。 アメリカで,ガス絶縁サイリスタバルブ及びガス絶縁母線 の開発が発表されているが⁷⁾,日立製作所でも将来に備えて SF6ガスの直流絶縁に関する研究を行なっている。

図5に市販がい子の空気中及びSF₆ガス中での直流フラッシ オーバ特性の一例を示す。SF₆ガスの絶縁耐力は空気の2.5~ 3倍であり、更にガス圧力を0.2MPaに高めることによりこ れを4.5~6倍に上げることができる。

図6にガス母線に使われるスペーサの直流フラッシオーバ 特性例を示す。直流フラッシオーバ電圧は、交流フラッシオ ーバ電圧波高値よりも10~20%低く、ガス圧力に対し飽和す る特性が見られる。

このほか、SF₆ガス中の直流絶縁特性に及ぼす電極の面積 効果、不純物混入の影響、極性反転の影響、スペーサの直流

図2 変圧器油中プレスボードのラップ長と直流沿面フラッシオ ーバ電圧との関係 ラップ長が長くなるほど直流沿面フラッシオーバ電 圧が高くなる。この傾向は、直流電界の計算ともよく一致する。 絶縁耐力を向上する方法なども明らかにした。

以上述べたような SF6 ガスの直流絶縁特性と、これまで得られている雷インパルスや交流に対する絶縁特性をもとに直流機器をガス絶縁化する基礎技術を確立している。

3 絶縁協調

直流系統と交流系統の絶縁協調の基本理念は同じであり, 系統に発生する過電圧の大きさ,波形,頻度,及びその系統 に使用可能な避雷器の保護レベルなどを数値計算及びシミュ レータにより解析し,これにある余裕をとって被保護機器の



図3 直流-交流重畳電圧によるフラッシオーバ特性 直流分電 圧が高くなると、複合絶縁物は油単独よりも優れた特性を示すようになる。 図 4 極性反転におけるフラッシオーバ特性 油単独では反転前の 電圧を変えてもフラッシオーバ電圧は不変の傾向を示すが, 複合絶縁では反転 前の電圧が高いほどフラッシオーバ電圧が低くなる傾向を示す。



図5 がい子の直流フラッシオーバ電圧 SF。ガスの絶縁耐力は空 気の2.5~3倍である。

絶縁レベルを決める。この過程で、系統全体の絶縁信頼性と 経済性に協調をもたせるように配慮するのが普通である。 以下, 直流系統の過電圧とその抑制について要約する。

3.1 外部過電圧

いわゆる雷による過電圧であるが、周波数変換所や非同期 連系のように直流線路がない場合には,変圧器からの移行電 圧だけを考えればよい。架空直流送電線路がある場合には, 交流線路と同様な雷サージの侵入も考える必要がある。所内 直流側に侵入する雷サージの大きさと峻度は, 直流リアクト ルとサージキャパシタにより低減、緩和される。これらの雷 サージは避雷器によって抑制される。このような絶縁協調上 の問題を数値計算及びシミュレータで十分に解析し,保護協 調を確立する。

3.2 内部過電圧

直流系統では,正常運転時及び異常運転時に種々の過電圧 が発生する。

1分以内の時定数で減衰するので絶縁上の問題はないが、線 する。また、線路の片極地絡時には健全極に約1.5倍、転流失 敗時に線路に約1.2倍の過電圧が発生する例も得られている。 (2) 交流側の過電圧

変換装置の交流側にフィルタや調相設備が入り、これらと 変圧器が並列接続となるので、しゃ断器の開閉時共振の発生 が予測される。この場合の過電圧解析も重要であるが、一般 的には絶縁協調上問題となることはない。



(1) 直流側の過電圧

過電圧は変換装置の正常な起動、再起動、潮流反転、及び 停止時に発生するが, 適切な制御方式によりその大きさは抑 制され絶縁上全く問題はない。一方、発生の確率は小さいが、 伝送系や制御系が万一故障した場合には、例えば、直流線路 がない場合には表1に示すような過電圧が変換装置に現われ る。この中で、図7の波形例で示すような逆変換装置の交流

バイパスペア点弧 しゃ断 逆変換装置の交流側欠相しゃ断時の過電圧波形 义 7 交流側A 相しゃ断後、電圧のひずみに応じて電圧は上昇するが、バイパスペア点弧によ り過電圧が抑制される。

表 | 変換装置に発生する過電圧 伝送系あるいは制御系の故障に伴う異常時の過電圧をまとめたもの である。最大1.9倍の過電圧が発生しているが、絶縁レベルよりもはるかに低く、絶縁上の問題はない。

発 生 要 因	状況	舜	き 生	電	圧
		変圧器二次の対地	バルブA-K間	ブリッジ出力端	直流リアクトル端子間
順 変 換 装 置 失 弧	ゲート回路の故障時に発生すると考えられる が,発生確率は小さい。	I.34 P.U. (商用周波に近い)	I.34 P.U. (商用周波に近い)	I.32 P.U. (商用周波に近い)	I.65 P.U. (商用周波に転流振 動波重畳)
逆変換装置ゲートブロック	アーム短絡発生時にゲートブロックとなるが, 発生確率は小さい。	I.34 P.U. (商用周波に近い)	I.34 P.U. (商用周波に近い)	I.34 P.U. ・ (商用周波に近い)	I.32 P.U. (商用周波に転流振 動波重畳)
全電圧異常起動	シーケンス上このような状態にならないよう 保護の多重化がなされているので,ほとんど 発生しない。	I.39 P.U. (立上り約 Imsの 開閉サージ)	I.39 P.U. (立上り約 I msの 開閉サージ)	I.65 P.U. (立上り約 I msの 開閉サージ)	0.87 P.U. (立上り約 I msの開 閉サージ)
逆変換装置負荷しゃ断	しゃ断器トリップ前に逆変換装置バイパスペ アとするので,通常は発生しない。伝送回路 が故障のとき発生する。	三相しゃ断時 I.75 P.U. (立上り約2msの 開閉サージ)	I.75 P.U. (立上り約 2 msの 開閉サージ)	I.75 P.U. (立上り約2msの 開閉サージ)	
		欠相しゃ断時 I.90 P.U. (立上り約 2 msの 開閉サージ)	I.90 P.U. (立上り約 2 msの 開閉サージ)	I.90 P.U. (立上り約2msの 開閉サージ)	

I Per Unit(P.U.)=変圧器の二次線間電圧の波高値

過電圧保護 3.3

以上のように解析された各部の過電圧と最大繰返し電圧と をもとに直流系統用避雷器特性を決定する。保護レベルから 決められる被保護機器の絶縁レベルは,一般的には保護レベ ルに少なくとも15%の裕度をもたせるが、被保護機器に避雷 器を密接して設置する場合,この裕度を下げることは可能で ある。

また保護用避雷器として,日立製作所は優れた非直線性を もつ酸化亜鉛素子を製作しており、現在これを適用したUHV 直流送電用避雷器を開発中である。



高調波電流及び無効電力 4

4.1 変換装置から発生する高調波電流

直流送電系統の制御方式としては, 順変換装置は定電流制 御, 逆変換装置は定余裕角制御とし, 変圧器タップは逆変換 装置側は直流電圧が一定になるように, 順変換装置側は制御 角が規定の範囲に入るように制御することが一般に行なわれ てきた。これに対し変圧器のタップ調整範囲が狭くてよい, 緊急応援時の電力の変化幅が大きい、軽負荷時の余裕角が大 きいなどの特長をもつ力率一定制御⁸⁾方式を電源開発株式会 社と共同で開発しこれを実用している。この方式は、変圧器 タップを変圧器二次の無負荷電圧が一定となるように制御し, 順変換装置は定電流制御,逆変換装置は定電圧制御で運転す るものであるが、軽負荷時の制御角が若干大きくなる。制御 角が大きくなると変換装置から発生する高調波が増加する。 このため、この方式で運転したときの変換装置から発生する 高調波電流⁹⁾を検討した。図9に計算結果を示す。同図(a)は 6相運転時の順変換装置側の場合で11次以上の高調波では直 流電流の小さいところに最大値が現われている。これは軽負 荷時に制御角が大きくなったことと、そのため重なり角が小 さくなったことに起因する。同図(b)に同様に12相運転時の計 算結果を示す。この場合,変圧器の人側と△側とが完全に平 衡していれば5次、7次、17次、19次などの高調波は人側と △側とで打ち消されて交流系統へ流出しないが、不平衡があ ると打ち消されなかった分が流出する。ここでは、不平衡の 要因として変圧器の巻線のばらつき0.05%、直流電流のばら つき3%、制御角のばらつき0.5°として計算した。同図に示 した値を従来の制御によるものと比較すると、高調波の増加 は微少でありACフィルタの設計上負担とはならない。 4.2 変換装置の必要とする無効電力 一般に変換装置は変換装置容量の50~60%の無効電力を必

逆変換装置のゲートブロック時の過電圧, 電流波形 义 8 順変 換装置への伝送回路が故障した異常時の結果である。順変換装置の制御角がシ フトされずに逆変換装置を停止したため、逆変換装置電流が零となり、直流線 路電圧は定常時の2倍に達している。



5 交直流連系送電系統の安定度解析手法と安定化対策

5.1 安定度解析手法¹¹⁾

交直流連系送電系統の安定度解析を目的としたディジタル シミュレーションプログラムを開発した。このプログラムは, 電力潮流計算の部分と系統のじょう乱発生後の数秒間にわた る交直流両系統の動特性解析を行なう過渡安定度計算の二つ の部分から成る。上記の二つの部分の計算で,直流電圧・電 流は交流フィルタ設置点の電圧波形を純正弦波電圧とみなし て整流回路理論を適用して求める。電力潮流計算時での交直 流連系点のノード電圧算出は, 交流フィルタ設置点での直流 系の有効電力・無効電力を求め, これを交流系の指定負荷条 件として「ニュートンラプソン法」によりノード電圧算出を



図 9 交流側高調波電流(6相運転時順変換装置側) カ率一定制 御を行なったとき,直流電流と変換装置から発生する交流側高調波電流の基本 波に対する値(%)との関係を示す。

要とする。しかし,直流送電では電力送電のほかに無効電力 制御や低電圧運転*1)を行なう場合がある。この場合は制御角 が更に大きくなるので,必要とする無効電力も大きくなる。 このような運転を行なったときの変換装置の必要とする無効 電力を検討した。変換装置の許容できる制御角はバルブ損失 の許容範囲から決まり,図10に示すような範囲となる¹⁰⁾。同 図に示す範囲で制御角が変化したときの変換装置の必要とす る無効電力は,交流電圧を可能な限り低くし,制御角を許容 できる最大値としたとき最大となる(なお,このとき直流電 Eは最も低くなる)。図11はこのような運転を行なったときと 通常運転時の変換装置の必要とする無効電力を示した図で, 図10 最大許容制御角 交流電圧を変化したときのバルブ損失の許容値 から決まる。制御角の変化許容範囲の最大値を示す。



制御角最大で運転したときは通常運転時の約1.3 倍の無効電 力が必要となることが分かる。同図中,線で囲まれた部分は 変換装置による無効電力の調整可能な範囲を示す。

※1) 塩害,雪害などにより送電線,がい子の絶縁が劣下した場合に 直流電圧を下げて運転する。 図|| 無効電力の変化範囲 変換装置を通常運転した場合と,許容で きる制御角の最大値で運転した場合の無効電力の変化範囲(白抜きの部分)の一 例を示す。E_{2r}, E_{2i}はそれぞれ順及び逆変換装置の変圧器二次電圧である。

逆変換装置側有効電力/変換装置容量

0.4

0.6

0.8

1.0

35

0.2

116 日立評論 VOL. 61 No. 2(1979-2)



る場合, 交流系と複数個の直流系の並列送電の場合, 及びこれらが混在する場合の三つのパターンである。

5.2 交直流連系送電系統の安定化対策

一般に交直流連系送電系統での直流系の安定送電限界に関 しては、交直流連系点での交流系短絡容量(Short Circuit Capacity:S.C.C.)と直流送電電力 P_{DC} との比、すなわちK= S.C.C./P_{DC}の大小で論じられることが多い。しかし、実際 には上記 Kの値が小さくなると、直流系の安定送電限界は交 流系の系統構成(特に交直流連系点の付近での負荷の有無)、 直流送電電力の方向、変換装置制御系の動特性などにより大 きく左右される。以下では上記 Kの値が小さい交直流連系送 電系統での静特性及び動特性の観点から考察した交直流連系 送電系統の安定度及び安定化対策について述べる。

(1) 静特性からみた交直流連系送電系統の安定化対策¹²⁾

交直流変換用変圧器のタップ値選定範囲が十分大きく,直 流巻線側である変圧器二次電圧が常に一定値をとるようにタ ップ制御されるものと仮定する。このような状態では直流系 を交流系の非線形負荷とみなしたときの負荷の電圧特性は, 定常的には系統電圧の大きさに無関係に常に一定の有効・無 効電力をとる定電力特性の負荷として等価表現することができ る。図13は解析に用いた1機1負荷の交流系に直流系を連系し たモデル系統を示すもので,この場合,交直流連系点での交 流系短絡容量と定格直流送電電力との比K=2.8,交流系の

図12 解析対象となる系統構成の種類 交直流連系系統の過渡安定 度解析プログラムで取り扱うことができる系統構成の種類を示す。

行なう。また,過渡時の直流系は,交直流連系点から直流側 に流入する交流電流の大きさが直流線路の微分方程式の解か ら定まり,かつ交流電流の位相が交直流連系点の交流電圧の 位相と変換装置の力率とから定まるような負荷電流をとる非 線形負荷として表現している。このため,過渡時でのノード 電圧計算は,直流系を非線形負荷表現したときの負荷電流及 び発電機電流の二つを同時に満足する解を繰返し計算により 求める。

以上述べたプログラムで扱える系統構成は,図12に示したように,二つの異なる交流系の間を複数個の直流系で連系す

加来短椅谷重と定倍直加送電電力との比K = 2.0, 文加来の 負荷の定格容量(有効電力)は定格直流送電電力の80%, その 力率は0.95, 負荷の電圧特性として $\delta P/\delta V = 0.4$, $\delta Q/\delta V =$ 1.4を想定した。

図14に上述した交直流連系送電系統での交流電圧平衡点の 根軌跡の一例を示す。交流系短絡容量と直流送電電力との比 が小さくなると、静的な安定運転領域を与える交流電圧安定 性は交流系短絡容量の大きさには直接関与しない負荷の存在, 及び直流系潮流方向の影響を強く受けることになる。このた め、上述したような交直流連系系統の運用に当たっては、特 に交直流連系点電圧の維持に留意することが必要となる。こ の対策としては、例えば変換装置接続ノードに同期調相機を 設置し、交流系短絡容量の増大及び*δQ/δV*>0なる無効電力 の供給を行なうことが有効となる。

(2) 動特性からみた交直流連系送電系統の安定化対策 交流系短絡容量と直流送電電力の比が小さい交直流連系系



1回線時:1,570MVA $P_L + jQ_L = 0.8 + j0.26$ (力率: 0.95) $\frac{\partial P_L}{\partial V} = 0.4, \quad \frac{\partial Q_L}{\partial V} = 1.4$

図13 |機|負荷の交直流連系系統モデルの定数(1,000MVA基準, P.U.値) 解析に用いたモデル系統の構成及び定数の設定値を示す。

37



図14 交直流連系点の交流電圧平衡点の軌跡(1,000MVA基準, P.U.値) 静的な直流系の安定運転限界を与える交流電圧の変動特性を示 す。 電圧の低下に対し,ACR系は遅れ制御角を小さくすること により直流電流を一定値に維持する制御動作を行なう。この 制御動作は変換装置が消費する無効電力を減少させ,過渡的 な交流電圧の低下を抑制する方向に作用する。この結果,順 変換装置側では過渡的な交流電圧の低下は系の安定性に特に 支障を及ぼすことなく,極めて安定な運転が行なえる。

一方,逆変換器動作の場合には,変換装置制御系の動作モ ードによっては,電圧不安定を助長する現象が生ずる。この ような逆変換器制御動作モードとしては,進み制御角 β の下 限値を規定する β リミッタ機能による開ループ定余裕角運転 が挙げられる。すなわち,逆変換装置側で過渡的な交流電圧 の低下が生ずると、 β リミッタ制御系は進み制御角 β を増大 し,余裕角を確保(すなわち,転流失敗現象の未然防止)する 制御動作を行なう。この制御動作は,変換装置が消費する無 効電力を増大させ,過渡的な交流電圧の低下をいっそう助長 する方向に作用する。**図15**は、上述した交流電圧の過渡的な 低下が引き金となって、交直流連系系統に不安定な過渡動揺 現象が発生し、安定度が損なわれてゆくケースのディジタル・ シミュレーション結果の一例を示したものである。

このような交直連系系統の過渡安定度にとってマイナスの 影響を及ぼす他の要因としては,逆変換装置側で過渡的な交 流電圧低下が発生したときに,順変換装置側で定電力制御を 行なっている条件が挙げられる。

統の動的安定運転限界は,過渡的な交流電圧低下に対する変換装置の制御動作特性の影響を強く受ける。

例えば、図13に示したモデル系統での交流系負荷側の変換 装置が順変換器動作の場合には、直流系の過渡応答は定電流 制御系(ACR)により支配される。すなわち、過渡的な交流 一方,逆変換装置側が定電圧制御運転を行なっている場合 は,全く逆の現象,すなわち順変換器動作時と同様に過渡的 な交流電圧の低下を抑制する方向に制御動作が行なわれる。

このため,特に交流系短絡容量と直流送電電力との比が小 さい交直流連系系統の運用に当たっては,逆変換装置側で発 生した過渡的な交流電圧に起因する不安定現象を未然に防止 するための安定化対策として,



図15 交流電圧急変時の直 流系の過渡応答特性 交流電圧の急変(低下)により, 直流系の安定運転が損なわれて ゆくケースの解析結果の一例を 示す。 (a) 交流電圧低下時の転流失敗防止用の開ループβリミッ タ特性をできるだけ理想的な余裕角一定特性に近づけ,不 用意なβの増大を行なわないこと。

(b) 定電力制御系の出力値変化幅の限定

(c) 定電圧領域動作状態の確保

(d) $\delta Q/\delta V > 0$ なる無効電力供給源の設置 などに留意することが必要である。

6 サイリスタバルブのSF₆ガス絶縁化

将来可能性がある直流による都市負荷への電力供給では, 用地確保の困難さ,周囲との環境調和などを考慮し,変換所 はコンパクト化し,低い構造のものにする必要がある。変換 所のコンパクト化はSF6ガス絶縁技術,大容量サイリスタ技 術,冷却技術などの組合せによってその実現に可能性がある。 ここでは,サイリスタバルブにSF6ガス絶縁を適用してコン パクト化する基礎検討を行なった結果について述べる。

SF₆ガスは非常に安定なガスであるが,絶縁材料との共存 では分解ガスの影響に注意する必要がある。一般に耐分解ガ ス性は無機材料より高分子材料のほうが優れているが,高分 子材料でもSiを含むものはおかされやすく,特に水分を含む と劣化が促進される。しかし,SF₆ガスの分解ガスは活性ア ルミナ,合成ゼオライトなどによく吸着されるため,バルブ 容器内に上記吸着剤を備えることで対策できる。

次にサイリスタ,抵抗器類の冷却は,冷媒としてフロン及び SF6ガスが考えられる。フロンは冷却特性,絶縁特性あるい はSF6ガスや他の絶縁材料との適合性が比較的良好である。 しかし,冷却回路はフロンが漏れないよう厳重な対策が必要 であり,またそのために重量が増加するなどの欠点がある。

一方,冷却媒体を絶縁媒体と同じSF6ガスにすると,冷却 回路からの多少の漏れは許容できるため冷却系構造が簡単に なり,しかもガス圧力を上げることによりガス密度が高くな り,冷却特性が向上する利点がある。図16はガスの流れ方向 のフィンの長さ lを変えた場合のガス流速と熱伝達率の関係 を示すものであるが,これから分かるように空気冷却の場合 よりも冷却性能が大幅に向上し,大容量サイリスタを十分冷 却できる見通しが得られた。

また、2.絶縁の章で述べたように、SF6ガスの空間及び絶縁支持物沿面の各種絶縁特性が明らかにされ、更にガス圧力を0.2MPaにすると、空気絶縁に比べ絶縁距離はおよそまに短縮され、サイリスタバルブは大幅にコンパクト化される見通しが得られた。

7 結 言

以上,直流送電機器の信頼性,性能向上のための絶縁技術, 変換動作に伴う高調波,無効電力の問題,直流系統の絶縁協 調及び系統安定化技術,並びに変換装置コンパクト化の一手 段としてのガス絶縁サイリスタバルブなどの研究開発の概要 について述べた。これらの問題は,直流送電容量の増大とと もに今後ますます重要な技術課題となろう。



最後に,これらの研究を進めるに当たり,御助言と御指導 をいただいた東京大学名誉教授工学博士山田直平氏及び電力 会社の関係各位に対し心からお礼申しあげる次第である。

参考文献

- 1) 栗田, ほか7名:125kV, 37.5MWサイリスタ変換装置用主 変圧器, 直流リアクトル, 直流変成器, 日立評論, 53, 406~ 412(昭46-4)
- 2) 尾形,ほか6名:125kV,1,200A油浸形サイリスタバルブの開発,日立評論,56,227~231(昭49-3)
- 3) 高橋, ほか3名:油浸絶縁物の直流沿面フラッシオーバ特性, 電気学会論文誌, 98, 399~406(昭53-8)
- 4) E. Takahashi, et al. Partial Discharge Characteristics of Oil-Immersed Insulation Systems Under DC, Combined AC-DC and DC Reversed Polarity Voltage, IEEE Trans. on Power Apparatus Syst. PAS-95, 411~420 (1976-1)
- 5) 日本碍子株式会社:碍子要覧(昭52-5)
- 6) 内藤, ほか1名:長大碍子の閃絡電圧特性,碍子レビュー, 第29号,25-34(昭45-3)
- 7) F. E. Fisher, et al. : HVDC link to Test Compact Terminals : Electrical World 40-42 (Feb. 1, 1977)
- 8) 渡部, ほか2名: 直流送電の制御方式, 昭50年電気学会全国 大会, No. 1033 (昭50-4)

9)	小西, ほか3名:変換器から発生する高調波電流の検討, 昭
	53年電気学会全国大会, No.777 (昭53-4)
10)	小西,ほか3名:直流送電における無効電力制御,電気学会
	情報処理研究会, IP-78-49 (昭53-9)
11)	青津, 岩間, ほか2名: 交直連系送電系統の過渡安定度解析
	プログラム, 電気学会情報処理研究会, IP-75-1 (昭50-1)
12)	中野,青津,ほか2名:直流送電系統を含む交流系統の交流
	電圧変動特性, 昭53年電気学会全国大会, No.770 (昭53-4)

38