U.D.C. 621. 313. 322. 013. 82 : [621. 313. 126. 025+621. 314. 63] 621. 316. 91 : 621. 311. 1. 004. 63

タービン発電機用超速応励磁装置 High Initial Response Excitation System for Turbine Generator

大容量・長距離送電の実施に当たり、最も重要な系統安定度の問題を解決する方 策の一つとして、1,000MW級タービン発電機用の超速応励磁装置が開発された。装 置の開発に先だち、発電機の高速励磁制御、及び安定化信号の効果を理論的解析と 実験装置による試験とによって定量的に明らかにした。一方、発電機の界磁巻線の 耐電圧についても検討し、頂上電圧を7PUと定めた。次いで、これらの性能値を 具体化する励磁方式を検討し、主機直結駆動の交流励磁機を電源とする方式のサイ リスタ励磁装置を試作し、実機と組み合わせた特性試験により所期の成果を得た。 この論文においては、これらの新しく開発された超速応励磁装置の詳細について説 明するとともに、試作装置の試験結果が理論的解析によって得られた仕様を満足し 得ることを明らかにした。

斉藤 修*	Osamu Saitô
松尾光昭**	Mitsuaki Matsuo
広吉秀高***	Hidetaka Hiroyoshi
前沢嗣伸****	Tsugunobu Maezawa
磯野 昭****	Akira Isono
地福順人*****	Yorito Jifuku
川村 隆*****	Takashi Kawamura

1 緒 言

電力需用の増大と都市化の進展に伴い,電源はますます大容量・遠隔化する傾向にあり,近い将来10,000MW以上の大電力を200km以上の長距離にわたって送電することが必要となってきている。このような大電力・長距離送電に必要とされる

発電機及び変圧器の合計容量が送電可能最大電力と等しくな るようにした。また,線路にはインピーダンスの80%を補償 する直列コンデンサを図示のように設けるものとした。故障 条件は送電端のF点において三相地絡が発生し,80msで故障 回線をしゃ断して再閉路せず,直列コンデンサは故障発生と 同時に短絡し,故障消減後60msで復帰するものとした。また, 励磁系の特性は図2のブロック線図に示すように,電力系統 安定化装置(以下,PSSと略す)を備えた超速応励磁系を基 準ケースとして,励磁系頂上電圧,ループゲイン,及び時定 数を変えた場合の影響,並びに在来形の回転機を励磁機とす るものとの比較・検討を行なった。その解析結果を図3に示 す。送電可能最大電力は10,000MWを1PU,励磁系頂上電圧 は発電機無負荷定格電圧における界磁電圧を1PUとしてい

系統安定度の向上策としては種々の方策が検討されているが、 そのなかでも、直列コンデンサ、制動抵抗器、速応励磁制御 の三つの方法が効果と実用性の点で有効な方策と考えられて いる。直列コンデンサは、線路のリアクタンスを補償するも のであり、制動抵抗器は系統事故時に発電機の加速を抑制し て過渡安定度を改善することを目的とするものである。

速応励磁制御の効果は過渡と動態の両面から考えられ,過 渡安定度に関しては,系統事故時に自動電圧調整器(以下, AVRと略す)によって発電機の励磁を急増し,発電機の内 部誘起電圧を増加することによって加速を抑制する効果であ り,発電機の界磁時定数の大きいことから高い頂上電圧と応 答時間の少ない励磁系が必要とされる。更に動態安定度に関 しては,速応励磁制御に加えて発電機の軸速度,電力などを 入力とする安定化信号を与えることによって発電機の制動力 を強化することができる⁽¹⁾。

従来,東京電力株式会社及び日立製作所では,サイリスタ励 磁装置や電力系統安定化装置の研究・開発に努めてきたが⁽²⁾⁽³⁾, 今回,両者の共同研究によって大容量・長距離送電を目的と した1,000MW級大容量タービン発電機用の超速応励磁装置を 開発した。以下に,この新しく開発した励磁装置について論 述する。

2 装置仕様の決定

2.1 理論的検討

(month)

この装置の開発に当たり、まず想定された長距離・大容量送電線TACSR,1,520mm²×4,R:0.027
x:0.905,B:0.01147(PU/100km)送電線正の装置の開発に当たり、まず想定された長距離・大容量送電線正の装置の開発に当たり、まず想定された長距離・大容量送電線エACSR,1,520mm²×4,R:0.027
x:0.905,B:0.01147(PU/100km)御の効果をディジタル計算機により解析し最適値を求め、送直列コンデンサ電可能最大電力を検討した。解析の対象としたモデルは、図1
に示すような200kmの500kV並行2回線の系統である。発電機回日 安定度解析モデル系統図
送電線のモデルを示す。発電機は単機容量1,111MVAとし、送電可能電力に応
じて台数を増減するものとした。



機	器	機器仕様及び定数	PU值
発 電	機	1,111MVA, 19kV, 1,500rpm,50Hz,Pf0.9 x_d : 1.68PU, x'_d : 0.36PU, x''_d : 0.26PU Tdo' : 8.4s, Td'' : 0.08s, Ta : 0.34s H : 3.2, D : 5.0	1,111MVA ベース
変 圧	器	1,111MVA, リアクタンス 0.15PU	1,111MVA ベース
送電	線	500kV, 200km, TACSR, 1,520mm ² ×4, R : 0.027 x:0.905, B:0.01147(PU/100km)	10,000MVA ベース
直列コン	デンサ	80%補償,1:4:1の比で配置	

29

* 東京電力株式会社福島第一原子力発電所 コーディネーター ** 東京電力株式会社火力部火力設計課 課長 *** 日立エンジニアリング株式会社 **** 日立製作所大みか工場 ***** 日立製作所日立研究所 ****** 日立製作所日立工場 666 日立評論 VOL. 57 No. 8 (1975-8)

る。同図より明らかなように、頂上電圧10PU程度までは頂 上電圧を増加することによって,安定度が保持できる送電可 能電力は著しく増加するが、10PU以上ではその効果は減少 している。励磁系のループ ゲインを増加した場合は、10 PU 以上の頂上電圧において、 わずかに送電可能電力を増加し得 るが、10 P U 以下ではゲイン100と400との相違は見られない。 また, 励磁系時定数を0.04, 0.06, 0.1と変えても送電可能電 力に差異は認められなかった。しかし在来形の励磁系の場合 は、頂上電圧4PUであっても送電可能電力は0.635と少なく、 超速応励磁の優れた効果を示している。

なお図3の結果においては,送電可能最大電力は1PU以 下であるが、これと並行して行なわれた制動抵抗器の検討に おいて、図1のモデル系統に更に制動抵抗器を加えることに より、1PU(10,000MW)の送電が可能となることが理論的に 立証された。また,超速応励磁制御を行なうことにより、制 動抵抗器の制御を容易,且つ確実なものとする相乗効果が得 られることも明らかにされた。

2.2 実験装置による試験

解析によって得られた超速応励磁の効果を実証するため模 擬送電系統に超速応励磁装置を備えた20kVA発電機を組み合





AVR

図2 解析に使用した励磁系ブロック線図 安定度解析に使用した励 磁系ブロック線図の基準ケースを示す。頂上電圧, ループ ゲイン, 時定数を変 えてその影響を検討した。



間 (s) 時

注:(a)=在来形励磁装置,送電可能最大電力(0.6PU)の状態を示す。 (b)=超速応励磁装置, PSS付の状態を示す。

(c)=超速応励磁装置, PSSなしの状態を示す。

実験装置による安定度試験結果 × 4 実験装置において系統故障を 発生させたときの発電機相差角動揺を、在来形励磁装置と比較して示す。

わせて解析条件を模擬した試験を行なった。解析モデルと模 擬系統試験との比較を表1に示す。

図4は模擬系統試験によって得られた発電機内部相差角δの 動揺を示すオシログラムである。(a)は在来形励磁装置の場合 で、送電電力は0.6 PU、δの動揺は最大116度に達し、安定を 保ち得る限界の状態を示している。(b)は頂上電圧7PUの超 速応励磁装置を使用した場合で、送電電力は0.7 PU、δの最 大は98度で、且つ動揺は速やかに収束し、まだ送電電力に余 裕があることを示している。(c)はPSSの効果を検証するた め、 PSSを除外し他の条件は(b)と同一にして行なったもの である。図示のとおりδの動揺幅の最大は(b)とほぼ同一である が, 第二波以降の動揺が収束せず不安定となっている状態を 示している。これより、この種の超速応励磁装置においては **PSS**が動揺の抑制に極めて有効であることが分かる。

2.3 頂上電圧の限界

以上に述べた安定度解析結果では、10PU程度までは頂上電 圧を高めることによる効果が著しいことを示している。1,000 MW級タービン発電機においては、1PU界磁電圧は170V前 後であり,現在のサイリスタ応用技術をもってすれば頂上電 **圧20PU**程度の励磁装置を製作することも可能である。しか し,重要なことは発電機界磁巻線の耐電圧によっても頂上電 圧の大きさが制限されることである。 火力用,若しくは原子力用のタービン発電機においては直 接水素ガス冷却方式が採用されることが多く,その場合,界 磁導体の絶縁物はクリページ ブロックとスロット アーマに よる対地絶縁,及び導体間のターン間絶縁である。近年,こ

励磁系特性の効果 図 3 解析によって得られた励磁系諸特性の系統安 定度に及ぼす効果を示す。励磁系頂上電圧の効果が最も著しい。

30

表 | 解析モデルと実験装置との比較 模擬送電系統による実験装置 の仕様及び試験結果を,電子計算機解析と比較して示す。

No.	項目	解析モデル	実験装置
1	発電機容量	I,IIIMVA×I0台	20kVA×I台
2	電圧	19k V	220 V
3	周 波 数 (Hz)	50	50
4	Xd (PU) Xd'(PU) Xd"(PU)	1.87 0.4 0.29	1.92 0.51 0.39
5	Td'o (s)	8.4	2.1
6	M(kW·s/kVA)	7.1	15
7	系統リアクタンス 故 障 前 (PU) 故 障 後 (PU)	0.616 1.069	0.57 I.008
8	故 障 継 続 時 間 (ms)	80	90
9	安定化信号	あり	あり
10	頂 上 電 圧 (PU)	7	7
11	励磁系時定数	60ms	50 ms
12	送電可能最大電力 (PU)	0.79	0.85
13	従来形AVRの場合 (頂上電圧4PU)の最大電力 (PU)	0.69	0.6

機について,絶縁材の沿層破壊電圧,貫層破壊特性,及び実際の励磁電圧波形における各ターン間の電圧分布を検討し, 更に永年の使用に耐えるため十分な安全率を考慮したうえ, 界磁巻線の許容し得る頂上電圧は平均値電圧で約1,200 Vとした。これは界磁電圧7 P Uに相当する。

以上に述べた検討結果を総合して,超速応励磁装置の特性 仕様を次のように定めた。

- (1) 励磁系の応答時間………60ms以下
- (2) 励磁系頂上電圧 ·········· 7 PU(1,200V)
- (3) ループゲイン……100以上
- (4) 電力系統安定化装置(PSS)…付属

3 超速応励磁装置

3.1 基本回路

以上に述べた検討結果に基づく装置仕様を満足し, 且つ大 容量タービン発電機用として高信頼度を保持し得る励磁装置 として、図5に示す方式の超速応励磁装置を開発した。同図 に示すように,発電機の励磁は三相全波制御方式のサイリス タから直接与えられ、AVRの制御信号に応じて即座に発電 機界磁電圧を制御することができる。また、サイリスタの電 源は主発電機に直結された交流発電機から供給されるので, 系統じょう乱の場合にも影響されず安定な励磁電源を確保する ことができる。電源用交流励磁機はサイリスタ式の自励装置 によって励磁され、付属のAVRによって、その端子電圧が 一定に制御されている。主サイリスタの制御は,発電機端子 電圧を一定に制御するAVRによる自動調整回路と,発電機 の界磁電流を一定に制御する手動調整回路の2系統から構成 されている。自動系と手動系は、電源系統も含めて完全に二 重化され、装置の信頼度を高めている。AVRには低励磁制 限,過励磁制限, V/Hz制限などの発電機の安定運転と保護を 機能とする付属制御装置が設けられているほか, 電力系統の 制動力を強化し動態安定度を改善する目的でPSSが備えら

31

注:PU値は,解析では10,000MVAベース,モデル試験では20kVAベースでの 値を示す。

れらの絶縁材にはガラス基材のエポキシ,又はポリエステル 積層品が使用されており,熱劣化特性,高遠心力下のヒート サイクルによる特性低下なども改善されている。しかし,耐 電圧上問題となるのは導体から軸又はウエッジなどの大地電 位部分への沿面距離,ターン間の沿面距離,及び機内に残存 する若干の塵埃の影響などである。1,000MW級タービン発電



図5 超速応励磁装置単線図新しく開発された超速応励磁装置の回路を示す。

668 日立評論 VOL. 57 No. 8 (1975-8)

れている。 PSSには電力信号方式が採用され,発電機電気 出力の動揺成分に応動した信号を,調整回路を介してAVR の電圧偏差信号に重畳させている。主サイリスタは三相全波 ブリッジ回路とし, 並列素子数に冗長度をもたせ, 各整流枝 ごとにヒューズを設けるとともに, 運転中に故障素子を交換 できるようにしている。また、過電圧に対する保護としては、 通常のサージ吸収装置に加えて直流側にサイリスタ応用のバ イパス スイッチを設け、発電機の一線地絡や脱調によって発 電機の界磁に誘起されるエネルギーの大きい過電圧を抑制し, サイリスタ及び発電機界磁を保護している。バイパス スイッ チは界磁に過電圧が印加されたときにサイリスタをターンオ ンして主サイリスタをバイパスし,過電圧がなくなればター ンオフするよう制御されるものである。

3.2 特 長

以上に述べた超速応励磁装置の特長を次に述べる。 (1) 発電機の界磁をサイリスタで直接制御することにより、 励磁系の応答時間を無視し得る程度に小さくすることができ るとともに、交流励磁機の電圧を高めることによって高い頂 上電圧を容易に発生することができる。

(2) 励磁電源を主機直結の交流励磁機から供給することによ り, 励磁系は外部の電源から完全に独立し, 系統故障などど のような状況下においても確実に励磁の供給と制御を行なう ことができる。

発電機の運転中はサイリスタの冷却を確保できる利点がある。 図6にサイリスタ素子取付構造図を示す。素子はアノード側, カソード側にそれぞれ内部に冷却水を通した冷却片を取り付 けて冷却するが,同一電位の冷却片は共通として導体兼用と し、電位の異なる冷却片の間は絶縁継手を介して接続する構 造とした。サイリスタ装置は発電機冷却水の利用の便と,大 電流母線の引きまわしを極力少なくするため, 交流励磁機の ハウジング内に配置することにした。また、装置の信頼度を 高度にするため、全体を数個のブロックに分け、1ブロック が除外されても,残りのサイリスタで定格電流が出せるよう にし、開閉器によって発電機運転中に任意のブロックを切り 離して点検、及び素子の交換が行なえるようにした。

サイリスタの電源を供給する交流励磁機は回転界磁形,空 気冷却器付きの交流発電機を使用し, 主発電機に直結して駆 動される。励磁機は低電圧・大電流の発電機となるので、電 機子は4並列巻線を使用し、且つ、回転子はサイリスタ負荷 による高調波電流によって加熱されることを考慮に入れた設 計が行なわれている。

AVRなどの制御装置は、従来のサイリスタ励磁装置など で実績のある電子回路モジュールによって構成することがで きる。しかし、サイリスタのゲート パルス制御装置は、サイ リスタの電源インピーダンスが大きいため、転流によって交 流励磁機電圧の波形ひずみが著しくなるので特別な配慮が必

(3) 電力信号形PSSによって電力系統の制動力を強化し、 超速応励磁制御の効果と相乗して電力系統の安定度を格段に 向上させることができる。

(4) サイリスタ装置及び制御装置の電子回路は、すべて冗長 度をもたせ、1,000MWタービン発電機に要求される信頼度に 適合し得るようにしている。

3.3 装置の構成

1,000MW級原子力タービン発電機の励磁容量は3,300kWと なり、且つ、1,200 Vという高い頂上電圧を実現させるために、 サイリスタ装置には最近日立製作所で開発された4,000V, 800 A素子を採用することにした。また、素子の冷却は水冷式と し、冷却水は発電機固定子冷却水の一部を使用するものとし た。水冷式とすることによって装置が小形化するとともに,



す。素子のアノード側,カソード側にそれぞれ冷却水を通した冷却片が取り付

水冷式サイリスタの取付構造を示

要である。そのため、波形ひずみの影響を受けない、特殊な 並行半波形磁気増幅器を主体とするゲート制御装置を開発し, 広幅パルスによってサイリスタ ゲートを制御するようにした。 励磁装置キュービクルには、制御装置とともに界磁開閉器 が収納される。界磁開閉器は図5に示すように励磁機界磁を 入・切するので,比較的小容量の気中しゃ断器を使用するこ とができる。

実用装置の試作 4

4.1 試作装置の仕様

超速応励磁装置の性能,及び実用性を検証するため東京電 力株式会社鶴見火力発電所〔II〕4 号発電機を対象とした装置 を試作し、これと組み合わせて実系統で各種の試験を行なっ た。試作装置の機器仕様を表2に示す。

装置の仕様は1,000MW級発電機用装置と同一を原則とした が、主機容量の相違、既設機を試作対象としたことにより、 次に述べる点が異なっている。

(1) 励磁機容量は主機の必要とする定格とし、サイリスタ素 子だけは1,000MW級と同じものを使用した。

(2) 励磁系頂上電圧は既設発電機の許容し得る約500Vに制限 した。

(3) サイリスタの冷却は水冷式としたが、冷却水は専用の純 水装置を設けて供給するものとした。

(4) 交流励磁機は主機直結とせず,所内3kVを電源とする電 動機駆動とした。

図7に試作装置のサイリスタ装置キュービクルを、図8に AVR及びゲート制御装置などを収納する制御キュービクル

を示す。

4.2 試験結果

試作装置は工場,及び実系統において各種の特性試験を実 施し、目標とした性能を十分満足できることが検証された。 また、実系統における約1個月にわたる連続運転試験により その信頼性と実用性が確認された。 励磁系応答試験 $(\mathbf{1})$

 $\mathbf{32}$

けられている。





図7 サイリスタ キュービクル 水冷式サイリスタ キュービクルを示す。向かって左より純水装置,サイリスタ(2面),及び補助キュービクルより 構成される。

図 9 励磁系応答試験オシログラム ステップ信号に対する界磁電圧 及び発電機電圧を示す。



図 8 制御キュービクル 超速応励磁装置の制御部分を収納する。正面左より, ゲート パルス制御装置, AVR, PSS, 及び交流励磁機用励磁装置キュービクルより構成される。

表 2	試作装置機器仕様	東京電力株式会社鶴見火力発電所[II]用とし
て製作	した超速応励磁装置の機器	器仕様を示す。

機器	定格	及び仕様
	定格出ナ	81MVA
	定格電归	E 13.2kV
森 南 楼	力 琗	E 0.815
光 电 侬	周波数	t 50Hz
	回転数	3,000 rpm
	短絡比	0.65
サイリスタ装置	定格出力	230 kW
	定格電圧	250∨
	定格電流	E 920A
	頂 上 電 圧	500V(6.9PU)
	定格出力	570k V A
大 法	定格電圧	440 ∨
父流励磁機	力	0.33
	周波数	t 50Hz

図9に励磁系の頂上電圧及び応答時間を示すインディシャ ルレスポンス試験の結果を示す。この試験は,発電機を無負 荷・定格電圧で運転し,AVRにステップ信号を与えて励磁 電圧の応答を実測したものである。実測された頂上電圧は560 V,応答時間は41msで,それぞれ表2に示す目標性能を十分 に満足しており,且つ過渡動揺は速やかに安定し,極めて安 定な制御系であることを示した。

(2) 負荷時応答試験

PSSの制動効果を確認するため、発電機を系統に併列し、 50MWの負荷をとった状態で、AVRにステップ信号を加えて 電力及び相差角動揺の減衰特性を測定した。図10に実測され た電力動揺のオシログラムをPSSありとなしの状態で比較 して示す。東京電力株式会社鶴見発電所の系統は都市に位置 するため、PSSのない状態においても制動係数は約40と極 めて大きいが、PSSを設けることにより、これが約60まで 増加され動揺の減衰がいっそう早められていることが分かる。 試作装置については、機器単体についても、厳密な性能試 験、信頼度確認試験が行なわれ、設計目標を十分満足できる ことが確認された。更に、1,000MW級装置に拡張する場合に ついての問題点についても合わせて検討し、試作装置の結果

33

670 日立評論 VOL. 57 No. 8 (1975-8)



図10 負荷時応答試験オシログラム 発電機負荷時のステップ信号に 対する発電機電力の応答をPSSありとなしで比較して示す。

と従来の実績ある技術とを基礎に、1,000MW級発電機用としての信頼性ある超速応励磁装置の製作が十分可能であるという結論が得られた。

5 結 言

して仕様を定め、実用機規模の試作装置によって1,000MW級 大容量タービン発電機にも十分適用し得る性能と信頼度をも つ装置が製作できることを実証した。我が国においては、目 前に迫った大電力・長距離送電の安定度向上策が種々検討さ れているが、この装置がそれらの要請に十分こたえ得るもの として活用されるものと確信する。

この論文は東京電力株式会社との共同研究の成果の一部を使用させていただいたものである。

終わりに,終始御指導をいただいた東京電力株式会社の関係 各位,並びに装置の開発に御協力を願った日立製作所の関係 各位に対し深く謝意を表わす次第である。

参考文献

 (1) F.P.Demello, C.Concordia: "Concepts of Synchronous Machine Stability as Affected by Excitation Control" IEEE PAS-88 No. 4 p.316~329(1969)

動態安定度に及ぼす励磁系特性の影響について述べている。

(2) 前沢ほか「最近の同期発電機用励磁装置」日立評論 56,434
(昭49-5)

最近の日立製作所が製作している励磁装置, PSSについて 述べている。

大電力・長距離送電に伴う系統安定度問題に対する方策の 一つとしての超速応励磁装置を開発するに当たり,まず想定 されたモデル系統において励磁制御の果たす役割について詳 細に検討し,その効果を定量的に明らかにした。次いで,解 析の結果に基づく要求性能を満足する励磁方式について検討 (3) M.Goto, A.Isono, K.Okuda: "Transient Behavior of Synchronous Machine with Shunt-Connected Thyristor Exciter under System Faults" IEEE PAS-90 No. 5
p.2218~2227(1971)
系統事故時のサイリスタ励磁装置の動特性が詳細に解析されている。



MOS容量測定による表面準位密度の評価 日立製作所 甲藤久郎・伊藤容吉 電子通信学会誌 57C-6, 195 (昭49-6)

金属-絶縁物-半導体(MOS)ダイオード は、半導体プロセスの評価を行なううえで 最も基本的なデバイスの一つである。すべ ての半導体装置の特性と信頼性とが、表面 の条件と密接に関係しており、MOSダイ オードによる表面の評価はあらゆる半導体 プロセスで重要視されている。

通常はプロセス パラメータとしてMOS ダイオードの容量-電圧(C-V)曲線よりフ ラット バンド電圧 V_{FB} を読み取り、プロセ スの良否の目安とする。 V_{FB} の原因として は固定電荷と表面準位の両方があり、後者 の評価は従来C-V曲線の形状から視察に よって定性的に判断する程度であった。

これを定量的に評価することによりプロ セス評価を質的に向上させることを目的と して、表面準位の測定法として測定の精度、 及び容易さの点で有利な高周波法、そして これを補足する有力な方法である低周波法 について測定精度の解析的評価を行ない、 更に高精度の電子計算機プログラム、及び 測定回路の作製を行なった。

34

高周波法の解析には二つの問題があった。 一つは高周波の理論的なC-V曲線の計算が 低周波曲線と異なり,数学的に精度の点で 困難をかかえていたこと,他は理論曲線と 実験データとを比較する際に仮定するパラ メータ(酸化膜容量Co及び基板不純物濃度 N_A)のわずかな見込み違いが大きな誤差を 生むことである。前者の問題に対しては, Sahらが数値解析の結果に基づいて解析解 の精度を極めて高いものにすることに成功 している。

我々は後者の問題について検討し,実験 データから合理的にパラメータの値を決め る方法を提案し,それを含めた高精度の高 周波法,及び低周波法の解析プログラムを 作製した。そのうえで実験データの幾つか の誤差の可能性について検討し,更に実際 の測定により高周波法が現在のプロセス技 術によるデバイスの評価に有効に用いられ ることを確認した。 測定はロックイン アンプを用いた方法で 電圧を1mVのけたまで読み取った数十点の データを用いることにより,禁止域帯内の広 いエネルギー範囲の表面準位を10¹⁰eV⁻¹cm⁻² の精度で評価することができる。測定時間 はデバイス当たり30分強で,データを電子 計算機用データシートに記入していき,カ ードパンチして電子計算機にかける。実測 例によるとデバイスの作製法や熱処理の温 度,及び時間などによる表面準位量の変化 を正確にとらえることができることが確認 された。

測定時間がやや長く要し,実際のデバイ スではヒステリシスや表面チャネル,負の 表面準位を示すデバイスがあるなど一部問 題も生じている。蓄積領域で測定周波数 (100kHz)が低すぎること,基板濃度の不均 ーな場合の取り扱いは今後に残されている。 しかし,この解析法は現状で考えられる限 りの考慮を払った最も完全な形のものであ り,プロセスデータの積上げが期待される。

5けたのデジボル使用により容量を0.01pF,