超電導発電機の界磁エネルギー制御 による電力系統の安定化

正員 三谷 康 範 (大阪大)

正員 辻 毅 一 郎 (大阪大)

正員 村 上 吉 繁 (大阪大)

Power System Stabilization by Energy Control in Field Winding Circuit of Superconducting Generator

Yasunori Mitani, Member, Kiichiro Tsuji, Member, Yoshishige Murakami, Member (Osaka University)

The advantages of synchronous generator with superconducting field winding can be stated as :

(1) Reduction in losses, (2) Improved system performance, (3) High-Voltage armature feasibility, (4) Small size and weight. Some feasibility studies have been carried out, and currently some model machines for demonstration are under construction.

The superconducting field winding which produces strong magnetic flux can be viewed as an energy storage and its application to power system stabilization has been proposed and the damping effect of power swing has been confirmed numerically.

In this paper an improved control scheme for power system stabilization which has the function of voltage regulation by the control of field winding current, is proposed. Some numerical examples demonstrate that the proposed system is capable of suppressing the voltage fluctuation as well as damping power oscillation, significantly. Furthermore, the specifications of the superconducting generator necessary for the stabilization of a model power transmission system are estimated in detail. In the case of 1,120 MVA generator with 24 MJ stored energy at 6 kA rated field current, the maximum DC voltage is 3,300 V, the maximum rate of field current change (di/dt) is 3,500 A/s and the maximum power exchanged between the field winding and the power system is 20 MVA.

キーワード：超電導発電機，超電導エネルギー貯蔵，電力系統，安定度

1. はじめに

増大し続ける電力需要に対処するため，原子力，火力を中心とする大容量の発電所の充実と電力系統の強化拡大が図られている。しかしその一方で，電源立地，送電ルートの確保の問題が生じ，技術的にも電源の大容量化，長距離大容量送電における安定度の確保，変電設備の定格の増大などの課題が生じてきた。

一方，最近の高温超電導材料の発見により産業界への導入がよりいっそう期待されている超電導技術は，

抵抗損失が零の回路を構成できる，強い磁界を発生できる，低損失のエネルギー貯蔵が可能であるといったエネルギー応用面からみて魅力的な特長を有している。例えば，(1) 発電効率の大幅向上，(2) 発電設備のコンパクト化ならびに低コスト化，(3) 送電容量の増大，(4) リアクタンスの減少による系統安定度の向上，(5) 電圧安定性の向上，など数多くの利点が期待される。こうした中で，超電導発電機に関するフーズビリティースタディーが行われ，小形実証モデル機の建設が推進されている⁽¹⁾⁽²⁾。

超電導発電機において界磁巻線を超電導化するという発想は、上述の超電導の特長のうち強磁界の発生ならびに抵抗損失の低減に着目したものである。これに対して著者らは界磁回路をエネルギー貯蔵としてとらえ、そのエネルギーを超電導エネルギー貯蔵装置(SMES)^{(3)~(5)}のように電力システムの安定化制御に用いる新しいシステム構成を提案した⁽⁶⁾。大電流により高磁界を発生する超電導発電機の界磁巻線には大容量のエネルギーが蓄積されており、それを利用すれば電力動揺を効果的に安定化できることがこれまでの検討において明らかになった。

提案したシステムの基本的構成は従来の超電導発電機と同じである。しかしながら、励磁系に用いられている超電導マグネットのエネルギー吸放出が直接の制御対象となるため、特に以下の点に注意して検討を行う必要があるものと考えられる。(1)電力システム安定化のために界磁回路のエネルギーを吸放出した結果、変化する界磁電流による系統電圧への影響。(2)制御系を実現するために必要な装置容量の大きさ。

このうち、(1)の項目については、これまでの検討によりシステム安定化のためのフィードバック制御系の利得を適切に調整すれば系統電圧の変動も抑制し得ることがわかった。しかしながら、系統動揺の安定化効果を更に高めようとする系統電圧の変動量は逆に大きくなり、このために系統動揺の減衰速度を改善する効果が制限される結果となっていた⁽⁶⁾。(2)の項目については、システム安定化制御を行う立場からみると界磁回路と電力システムとのインタフェースである電力変換装置が十分な容量をもっていればよいことになるが、更に、界磁回路の超電導マグネットを制御する立場からみると、以下の点を詳細に検討する必要がある。

電力変換装置によって制御される電力の大きさは界磁電流と界磁電圧の積によって決まる。従って、制御すべき電力量が大きければそれにほぼ比例して超電導マグネットに多大な電圧が印加されることになり、これが超電導マグネットの絶縁設計を困難にする。また、このとき界磁電流の変化率も大きくなり、これが超電導状態が破れる、いわゆるクエンチに対する保護設計を困難にする。このため、システム全体の有効性を総合的に評価するうえで、このような装置容量に関して十分な検討を行うことが重要になってくる。

本論文では以上の観点から、まずシステム安定化制御を行うのと同時に、界磁回路のエネルギー吸放出によって励磁電流値を変化させ、その結果として系統の電圧変動を抑制する機能を付加する。これによりシステム安定化制御系の改善を図り、電力動揺と電圧変動を同時に

効果的に安定化するための制御系を構成する。次に、この制御を適用した場合の効果を数値計算に基づいて検討すると共に、その結果を基に上述の装置容量に関する詳細な検討を行う。

2. 超電導発電機を含む系統の定式化

図1に解析に用いるモデル系統の構成を示す。同図の一機無限大母線系統は1,120 MVAの超電導発電機4台を有する発電所から500 kV、2回線、200 kmの長距離送電線を介して無限大母線へ電力を供給している場合を表現している。発電機端には電力変換装置が接続され、これによって励磁回路を構成する超電導マグネットに対して電力の吸放出が行われる。

発電機の動作は界磁巻線モデルで表現し、これを用いて系統の電力動揺特性を解析した。超電導発電機のモデル表現に関しては、通常 Park のモデルが用いられており⁽¹⁾、過渡応答をより厳密に表現するために、用いるリアクタンスの数を増やしたモデル表現も開発されている⁽⁷⁾。一方、本論文と同様に超電導発電機を界磁巻線モデルで表現した文献(6)の結果の一部は Park のモデルを用いて再検討されている⁽⁸⁾。これらを比較すると本論文で解析の対象としている発電機ロータの機械的動揺(いわゆる電力動揺)に関する限り、界磁巻線モデルによって表現できることがわかった。以下に、用いたモデルを示す。

図1 モデル系統の構成

Fig. 1. Configuration of the model power system.

表1 超電導発電機の数値

Table 1. System constants of superconducting generator.

	Type 1 (2 極機)	Type 2 (4 極機)
定格容量(MVA)	1,120	1,120
直軸同期リアクタンス(pu)	0.30	0.30
横軸同期リアクタンス(pu)	0.30	0.30
直軸過渡リアクタンス(pu)	0.20	0.24
開路時定数(s)	1,600	1,900
定格界磁電流(A)	6,000	10,200
界磁回路インダクタンス(H)	1.34	0.94
界磁回路貯蔵エネルギー(MJ)	24	49

$$\dot{\delta} = \omega \dots\dots\dots (1)$$

$$M\dot{\omega} = P_m - P_e - D\omega \dots\dots\dots (2)$$

$$T'_{d0}\dot{\Psi}_{fd} = E_f - \Psi_{fd} - (x_d - x'_d)I_d \dots\dots\dots (3)$$

ただし、 δ : 発電機相差角、 ω : 発電機角速度偏差、 P_m : 発電機機械入力、 P_e : 発電機出力、 D : 制御係数、 T'_{d0} : 開路時定数、 Ψ_{fd} : 界磁鎖交磁束、 E_f : 界磁電圧、 x_d : 直軸同期リアクタンス、 x'_d : 直軸過渡リアクタンス、 I_d : 電機子直軸電流、送電系統は定インピーダンスで表現した

解析に用いる超電導発電機の定数を表 1 に示す。

ここでは 2 組の発電機定数を設定しており、このうち Type 1 は 2 極機で、Type 2 は 4 極機である⁽¹⁾。自己容量ベースの per unit 値で表された両者の機器定数はほとんど同じであるが、界磁回路に貯蔵されているエネルギー量が Type 1 の場合約 25 MJ であるのに対して Type 2 の場合、約 49 MJ で 2 倍の値をもつ。以下では、特にこのエネルギー量の差に着目して両者の特性の差を比較検討する。

3. 系統安定化制御系の構成

〈3・1〉 系統安定化制御則 SMES を用いて発電機の動揺を安定化する場合、発電機の角速度偏差をフィードバックして有効電力の吸放出を制御する方式が効果的である⁽³⁾⁽⁴⁾。超電導発電機の界磁巻線をエネルギー貯蔵装置としてとらえれば、系統安定化方式に関して同じ考え方の適用が可能で、数値解析によって既にその効果が確認された⁽⁶⁾。しかしながらこの場合、制御パラメータを適切に調整しなければ、系統電圧を大きく変動させてしまう場合があることも明らかになった。これは、適用された制御系が超電導マグネットのエネルギーのみに着目して構成されており、励磁系による系統電圧の制御機能が考慮されていなかったことを原因として挙げることができる。そこで、本論文では界磁回路のエネルギーによる電力動揺の安定化制御信号に励磁系を用いた系統電圧の制御信号を加えた新しい系統安定化制御則として次式を提案する。

$$\Delta P_s = -K_1\Delta\omega + K_2\Delta V_t \dots\dots\dots (4)$$

ただし、 P_s : 励磁系から系統に放出される有効電力の制御指令値、 V_t : 発電機端子電圧、 K_1 、 K_2 : 制御利得、 Δ : 定常点からの偏差を表現する

右辺第 1 項が電力動揺安定化のための信号で、第 2 項が断しく加えた電圧の制御信号に相当する。第 2 項の付加により、例えば系統電圧上昇時には有効電力の

放出命令となって励磁電流が減少し、その結果、系統電圧上昇の抑制効果が期待される。

有効電力の制御指令 P_s に対する実際に出力される有効電力 P_{SM} への応答は SMES の電力制御の実験結果⁽⁴⁾を引用して次の一次遅れで近似表現した。

$$\Delta P_{SM} = \{1/(1+0.03s)\}\Delta P_s \dots\dots\dots (5)$$

このとき、一般に電力変換装置からは無効電力が出力されるが、その大きさは電力変換装置の構成や制御の方式によって異なる。ここではまず、有効電力の効果のみを評価するために、無効電力の値は零に設定し、その影響に関しては電力変換装置の構成を含めて後の数値計算において考察することにする。

有効電力 P_{SM} と発電機モデルの連結は以下のようになる。まず、エネルギーの収支を考えると

$$LI_f^2/2 = LI_{f0}^2/2 - \int_0^t \Delta P_{SM}(t')dt' \dots\dots\dots (6)$$

となり、界磁電流 I_f と ΔP_{SM} の関係が求められる。ただし、エネルギー吸放出時の損失分は無視した。また、界磁回路の抵抗分は非常に小さいのでこれを無視すると、界磁回路の電圧 E_f は

$$E_f = -P_{SM}/I_f \dots\dots\dots (7)$$

となり、これによって(3)式の界磁回路が動作する。

〈3・2〉 系統安定化制御のシミュレーション 図 1 の系統において、発電機端近くの送電線上で三相短絡が発生し 3 サイクル後に 2 回線中 1 回線が開放されて故障が除去された場合を設定して解析を行った。回線開放区間の距離は 40 km に相当する。ここでは、再閉路を行わないことにより、系統定数変化時の制御系の応答に関しても検討を行うことにする。

(4)式の系統安定化制御の目的は、電力動揺と電圧変動の両者の安定化であるので、その効果を評価するために次の二つの指標を定義した。まず、電力動揺に関しては、発電機の角速度偏差を用いて指標 J を

$$J = \int_0^{t'} (\Delta\omega)^2 dt \dots\dots\dots (8)$$

によって定義した。ただし、積分終了時刻 t' は後のシミュレーションの結果を見て、安定化制御を行った場合に十分動揺が収束している時刻である 5 秒に設定した。次に、電圧変動に関しては系統事故後の発電機端電圧動揺の大きさ(定常点からの変化分)の最大値 ΔV_{tmax} を指標とした。ただし、短絡事故中の電圧低下の大きさは評価の対象とはしていない。

図 2 に計算の結果を示す。 J を縦軸に、 ΔV_{tmax} を横軸に設定して制御結果をまとめた。両者ともに値が小さい(すなわち原点に近い)ほうがより安定である。

同図の破線は(4)式の制御則のうち、電力動揺の安

図 2 電力動揺と電圧変動の安定化効果の評価
Fig. 2. Evaluation of stabilizing effect for the power swing and the voltage fluctuation.

定化制御のみを考慮して K_2 を零とし、 K_1 をパラメータとして、type 1 の場合は 0, 0.4, 0.6, 1.0, 2.0, 3.0 と、Type 2 の場合は 0, 0.9, 1.2, 2.0, 3.0, 4.0 と変化させたときの結果である。 K_1 を大きくしていくと J が常に減少するのに対して、 ΔV_{tmax} に関しては初めは減少するがある点を超えると逆に大きくなっていく。このように、電力動揺の安定化制御のみを行ったときには、系統電圧の変動が抑制される場合もあるが、制御利得を適切に調整しなければ、逆に電圧変動量が大きくなっていく場合がある。

これに対して、同図の実線は K_1 を固定し K_2 をパラメータとして、Type 1 の場合は 0, 0.2, 0.5, 1.0, 2.0 と、Type 2 の場合は 0, 0.5, 1.0, 2.0, 3.0 と変化させたときの結果である。電圧制御によって系統電圧の変動が効果的に抑制されている。しか

図 3 シミュレーションの結果
Fig. 3. Results of simulation.

も、この電圧制御則は、電力動揺の安定化に対しても効果的に働いていることがわかる。

以上の結果は Type 1, 2 の発電機ともにほぼ同じ傾向を示している。しかし、Type 2 の発電機のほうが界磁回路により多くのエネルギーをもっているために界磁電流が変化しにくく、その影響として、次の 2 点において両者に顕著な差が現れている。

(1) K_1 の値のみを増加させた場合には、Type 2 の発電機のほうが、系統電圧に悪影響を与えることなくより効果的に電力動揺を安定化できている。

(2) K_1 を固定して K_2 の値を増加させた場合には、励磁電流を変化させやすい Type 1 のほうが系統安定化の効果が大きい。 K_1, K_2 の両方を考慮すると、Type 2 の発電機を用いたほうが安定化の効果が少し大きい(図 2 においてより原点に近い状態を実現できている)が、両者の差はほとんどないといえる。

ここで、Type 1 の発電機において $K_1=1.0, K_2=0.5$ とした場合のシミュレーション結果を図 3 に示

表 2 制御に必要な容量
Table 2. Capacities necessary for the control.

	Type 1 $K_1=1.00$ $K_2=0.50$	Type 2 $K_1=1.53$ $K_2=0.25$
$J(\text{rad}^2/\text{s})$	2.06	2.06
$\Delta V_{\max}(10^{-2}\text{pu})$	3.19	3.14
界磁電流最大値 (A)	6,770	11,430
電流変化率最大値 (A/s)	5,570	7,010
界磁電圧最大値 (V)	5,850	5,560
有効電力出力最大値 (MW)	36.7	59.0
エネルギー変化量 (MJ)	6.5	14.7

す。発電機端電圧の動揺が抑制されると共に、電力動揺の減衰が速くなっており、提案した制御系の効果がわかる。また、制御がなければ回線開放によって系統電圧に定常的な偏差を生じるが、新たに付加した励磁系の制御の効果によってその偏差が補償され、発電機端電圧は指令値の 1.05 pu に維持されている。

表 2 は、図 3 の制御結果を実現するために必要な装置の仕様をまとめた結果である。比較のために Type 2 の発電機を用いた場合の結果も同表に示す。ただし、制御利得を調整して、両者の J および $\Delta V_{\max}$ の値、すなわち制御後の系統安定度をほぼ同じに設定した。

界磁回路の最大電圧値は両者ともほぼ同じであるが、Type 2 のほうが界磁電流値が大きいため電力変換装置の容量が大きい。

ここでの設定では、定められた制御則に従って制限なく電力の吸放出が行われており、そのために出力電力のピーク値が大きく、その結果から導出された装置容量は大きい値になっているものと考えられる。次章では、表 2 において装置の容量が小さい Type 1 の発電機を対象として、制御に必要な装置容量に関するより詳細な検討を行うことにする。

4. 制御に必要な装置容量の評価

〈4・1〉 電力変換装置の構成に関する考察 提案した制御系の一構成要素である電力変換装置について考察する場合に、その装置構成をいかに設定するかが重要になってくる。例えば、最も簡単にはサイリスタグレートブリッジ 1 台を用いれば大電力の制御が可能であるが、電力変換装置が消費する無効電力に関する対策を考慮しなければならない⁽⁵⁾。これに対して構成は少し複雑になるが 2 台のブリッジを用いれば無効電力の制御も可能となり⁽⁹⁾、更に GTO サイリスタを使用すれば無効電力の制御可能範囲が大きくなる⁽¹⁰⁾。

本論文のこれまでの検討では、電力変換装置が発生

図 4 サイリスタグレートブリッジを用いた場合の制御結果

Fig.4. Waveforms of stabilizing control by the thyristor Greatz bridge power converter.

する無効電力については無視してきた。ここでは、最初に電力変換装置としてサイリスタグレートブリッジを用いているものと仮定して、電力系統に対する無効電力の影響を調べることにする。

いま、電力変換装置から有効電力 P_{SM} を出力した場合の無効電力 Q_{SM} の大きさを最も単純に定式化して

$$Q_{SM} = Q_0 - \sqrt{W^2 - P_{SM}^2} \dots\dots\dots (9)$$

で表現することにする。ただし、 W は電力変換装置の容量である。また、初期状態として有効電力 (P_{SM})・無効電力 (Q_{SM}) とともに零に設定するために $Q_0 = W$ に相当するコンデンサ補償を行っているものとする。

以上により、(4)式の系統安定化制御則に従って P_s が指令された後(5)式に従って有効電力 P_{SM} が出力され、更に(9)式に従って無効電力 Q_{SM} が出力される。

シミュレーションの結果を図 4 に示す。ただし、 W の大きさは図 3 の結果を参考にして、十分な有効電力を出力できるように 0.032 pu に設定した。

図 4 を図 3 と比較すると、電力変換装置の無効電力出力が大きく変化しているにもかかわらず、電力動揺の安定化効果はもちろん系統電圧変動の抑制効果も変わっておらず、無効電力の影響はほとんどないといえる。この理由は以下のように考えることができる。

一般に無効電力が変動すると系統電圧はそれに比例

図 5 電力変換装置の容量に制限を受けた場合の安定化制御の効果

Fig. 5. Effectiveness of stabilization when the capacity of power converter is limited.

表 3 W が 0.018 pu の場合の装置容量の評価
Table 3. Evaluation of system capacities when W is equal to 0.018 pu.

	Type 1 $K_1=1.00, K_2=0.50$ $W=0.018$ pu
j (rad/s)	2.29
ΔV_{max} (10^{-2} pu)	3.52
界磁電流最大値 (A)	6,760
電流変化率最大値 (A/s)	3,550
界磁電圧最大値 (V)	3,320
有効電力出力最大値 (MW)	20.5
エネルギー変化量 (MJ)	4.5

して変動するが、その影響の大きさは系統の短絡容量に反比例する。超電導発電機の機器定数は常電導発電機と比較すると各種のリアクタンス分が小さく、そのために短絡容量が非常に大きい⁽¹⁾⁽²⁾。従って、図 4 のように超電導発電機を接続した系統において電力変換装置が消費する無効電力量が大きく変動してもその影響は小さい。

〈4・2〉 制御に必要な装置容量の検討 電力変換装置としてサイリスタグレートブリッジを用いているものとし、その容量 W をパラメータとして変化させ、系統安定化制御の効果に与える影響を調べた。ただし、有効電力の大きさ $|P_{SM}|$ が装置容量 W を超える場合には、 $|P_{SM}|=W$, $Q_{SM}=W$ (P_{SM} の符号は変えない) に設定されるものとした。

W を変化させて J ならびに ΔV_{max} を求めた結果を図 5 に示す。電力動揺に関しては W を小さくすると安定度は単調に低下する。電圧変動に関しては W の減少と共に一時逆に変動の大きさは小さくなる傾向がみられるが、更に W を小さくすると変動は大きく

図 6 故障継続時間を変えた場合の系統安定化効果

Fig. 6. Waveforms of stabilizing control for various fault durations.

なる。結局、有効電力の出力が制限にかからないときの半分程度の値に W を設定した場合でも系統安定化制御の効果はほとんど変わらないことがわかる。

ここで、電力変換装置の容量 W を 0.018 pu とした場合の装置容量を求めた結果を表 3 に示す。表 2 と比較すると、電力動揺および電圧変動共に安定度をほとんど低下させずに、出力電力の大きさおよび界磁回路の最大電圧を約 3/5 にすることができている。

〈4・3〉 故障条件を変えた場合の効果の検討

Type 1 の発電機を用い、制御パラメータを $K_1=1.0$, $K_2=0.5$ に、 W を 0.018 pu に固定し、故障継続時間を変えて、安定化制御の効果調べた。想定した故障は三相短絡で再閉路は行わないものとした。シミュレーションを行った結果を図 6 に示す。

制御なし (一定励磁) と比較すると系統は効果的に安定化されている。また、提案した制御系は過渡安定度の向上にも効果的に臨界故障除去時間を大きくすることが可能である。

5. む す び

超電導発電機の界磁回路のエネルギーに着目した電力系統の新しい安定化制御手法を提案し、その有効性を調べた。本研究で得られた結果を以下にまとめる。

(1) 界磁回路のエネルギーを用いて系統に対して有効電力を適切に吸放出すれば電力動揺の抑制に対して効果的である。

(2) 上記の制御に系統電圧偏差のフィードバック信号を付加すれば系統電圧を指令値に追従させるための AVR 機能をもたせることができる。

(3) 提案した制御系は回線開放などの系統定数の

変更があった場合、系統動揺の安定化と同時に電圧の定常偏差を補償することができる。

(4) 電力変換装置には六相のサイリスタブリッジを用いれば十分であり、この場合の無効電力による系統電圧への影響は小さい。

(5) 3 cycle の三相短絡とそれに続く 40 km 区間の回線開放を想定して系統安定化制御を行った結果、1,120 MVA の 2 極超電導発電機に対して必要な装置容量は、界磁巻線の最大電圧が 3,300 V、界磁電流の最大変化量が 3,500 A/s、吸放出したエネルギー量が 4.5 MJ、電力変換装置の容量が 20 MVA であった。

超電導発電機の励磁回路には大量のエネルギーが蓄積されており、現用機とは異なって励磁系を制御する場合にそのエネルギーをいかに処理するかは避けて通れない問題である。本論文の方式は、この問題を逆に利用して電力系統の安定化を行うことができる極めて有効な手段であるといえる。

最後に、本研究の遂行にあたり、卒業研究として御協力いただいた徳留秀樹氏(住友電気工業(株))ならびに片岡 勉氏(関西電力(株))に感謝の意を表したい。(平成 2 年 9 月 13 日受付, 同 2 年 12 月 25 日再受付)

文 献

- (1) 超電導発電関連機器・材料技術のフィージビリティ調査研究, 昭和 61 年度報告書, (株)テクノバ (昭 62)
- (2) S. Tomiyama & Y. Aiyama: "The Superconducting Generator Development Program in Japan", *IEEE Trans. Magnetics*, MAG-23, 3533 (1987)
- (3) 大澤, 他: 「超電導エネルギー貯蔵装置による長距離くし形系統の安定化制御」, 電学論 B, 106, 355 (昭 61-4)
- (4) 三谷, 他: 「超電導エネルギー貯蔵装置による模擬電力系統の安定化制御実験」, 同上 D, 108, 995 (昭 63-11)
- (5) H. J. Boenig & J. F. Hauer: "Commissioning Test of the Bonneville Power Administration 30 MJ Superconducting Magnetic Energy Storage Unit", *IEEE Trans Power Apparatus Syst.*, PAS-104, 302 (1988)
- (6) Y. Mitani, Y. Kowada, K. Tsuji & Y. Murakami: "Electrical Power System Stabilization Utilizing Energy in Field Winding of Superconducting Generator", Proc. of 11-th international conference on Magnet Technology in Tsukuba Japan, p. 534 (1989)
- (7) 谷口, 他: 「新種電源の系統解析モデルの開発—超電導発電機, 可変速揚水発電所, 超電導エネルギー貯蔵装置」, 電力中央研報, No. 185520 (昭 61)
- (8) Y. Mitani, et al.: "Fundamental Analysis of Dynamic Stability in Superconductive Power Systems", *IEEE Trans. Magnetics*, MAG-27 1991 (掲載予定).
- (9) 伊瀬, 他: 「0.5 MJ 超電導エネルギー貯蔵装置による有効・無効電力同時制御」, 電学論 B, 104, 545 (昭 59-9)

- (10) 伊瀬, 他: 「GTO 電力変換装置を用いた超電導エネルギー貯蔵の有効・無効電力同時制御」, 同上 B, 106, 1803 (昭 61-12)

三 谷 康 範 (正員)

昭和 34 年 1 月 5 日生。61 年 3 月大阪大学大学院工学研究科電気工学専攻後期課程修了。日本学術振興会特別研究員を経て, 63 年 5 月大阪大学低温センター助手, 平成 2 年 4 月工学部電気工学科助手。工学博士。主として, 電力系統の安定化, 特に超電導電力貯蔵導入時の系統解析に関する研究に従事。計測自動制御学会, 低温工学協会, IEEE 会員。

辻 毅 一 郎 (正員)

昭和 18 年 9 月 18 日生。43 年 3 月大阪大学大学院工学研究科修士課程修了。48 年 6 月ケース工科大学大学院システム工学専攻博士課程修了。同年 8 月大阪大学工学部電気工学科助手, 同講師, 同助教授を経て, 63 年 12 月工学部一般電気工学講座教授。Ph. D. の間, 一時国際応用システム分析研究所 (IIASA, 在ウィーン) 研究員。応用システム分析に従事。計測自動制御学会, システム制御情報学会, エネルギー・資源研究会, IEEE 会員。

村 上 吉 繁 (正員)

昭和 7 年 10 月 3 日生。37 年 3 月大阪大学大学院修士課程電気工学専攻修了。同年 4 月大阪大学工学部電気工学科助手, 同助教授を経て, 63 年 4 月同工学部電気工学科教授。平成元年 4 月～2 年 3 月大阪大学工学部附属超電導工学実験センター長。この間, 電気機器, パワーエレクトロニクス, 超電導工学の教育と研究に従事。