ガス遮断器の開閉極位相制御による開閉サージの抑制

正員 香山 治彦* 正員 伊藤 弘基*
 非会員 浅井 順* 正員 日高 幹雄*
 正員 米澤 毅*

Reduction of Switching Surge by Controlled Shunt Reactor Switching of Gas Circuit Breaker

Haruhiko Kohyama*, Member, Hiroki Ito*, Member, Jun Asai*, Non-member, Mikio Hidaka*, Member, Takashi Yonezawa*, Member

Controlled switching system (CSS) with a 204 kV gas circuit breaker (GCB) demonstrates to reduce an inrush current and to eliminate re-ignitions in shunt reactor switching. Target closing and opening instants for controlled switching are determined by the electrical and mechanical characteristics of GCB. Idle time dependence of the operating time, which gives a sufficient impact on controlling accuracy, is evaluated and successfully compensated by synchronous switching controller (SSC). Field operation of CSS for a year shows an effective suppression of inrush current on closing and prevention of re-ignitions on opening of shunt reactor. The operations also proved that the CSS has a satisfactory performance for electro-magnetic disturbance imposed in practical field.

キーワード：ガス遮断器 (GCB), 開閉極位相制御, 突入電流, 休止時間

Keywords: gas circuit breaker (GCB), control switching, inrush current, idle time

1. まえがき

電力系統における調相用設備に代表される容量性あるいは誘導性の強い負荷の開閉に際しては、特に激しい過渡現象が発生し、電力系統の運用に対し悪影響を及ぼす事が知られている。例えば調相用リアクトルの開閉においては、投入時の突入電流による系統電圧の過渡的な低下、遮断時の再発弧による過電圧の発生、および再発弧電流による遮断器接点の異常損耗などが挙げられる⁽¹⁾。このような問題に対し、抵抗投入、抵抗遮断方式の採用、サージアレスタの設置、遮断器接点の交換周期短縮などの対策が国内外で実施されてきた。一方で、遮断器を系統電圧あるいは電流の特定位相にて開閉し過渡現象を抑制する開閉極位相制御方式が1980年代後半に海外にて実用化され、その効果的な運用実績に伴い、1990年代の後半より主に海外において適用例が急激に増加しつつある⁽²⁾。また、国内においても

シャントリアクトル開極時の過電圧抑制を目的とした適用例が1990年代前半に報告されている⁽³⁾。

開閉極位相制御方式においては、種々の動作条件下における遮断器開閉極時間の予測が重要となり、周囲温度、操作圧力、制御電圧の変動による開閉極時間の変化を補償する制御方式が一般的に採用されている。遮断器の開閉極時間は、過去の動作履歴にも依存して変化することが知られている。遮断器開閉極時間の動作履歴依存性は、主に機構摺動部の磨耗等に起因する動作回数依存性と、操作媒体あるいは潤滑部材などの状態の経時的変化に起因する休止時間依存性の2つに大別できる。動作回数依存性は、過去の動作時間の変動状況を次回動作の予測に使用する適合制御により効果的な補償が可能であることが示され、既に実用に供されている⁽⁴⁾⁽⁵⁾。これに対し、休止時間依存性については、制御精度に大きな影響を与えることが指摘されながら、その具体的な補償方法についての報告は少ない⁽²⁾。

本論文では、204 kV 油圧操作ガス遮断器 (GCB) に開閉極位相制御方式を適用するにあたり、開閉極時間の休止時間依存性を含む機械的、電気的特性を調査し、その特性に基づいた補償方法および目標とする開閉極位相を検討する。さらに、これらの結果を反映した開閉極位相制御 GCB を調相用リアクトルの開閉に適用し、約1年間にわたる実

* ティーエム・ティーアンドディー (株) 開閉機器事業部, 西部開閉装置製造部

〒661-8661 尼崎市塚口本町 8-1-1

Engineering & Manufacturing Department B, Switchgear Division, TM T&D Corp.

8-1-1, Tsukaguchi Honmachi, Amagasaki 661-8661

系統での運用により、上記制御方式の妥当性を検証した結果について報告する。

2. 遮断器特性の検討

GCBの開閉極位相制御は、任意の位相で入力される遮断器の開閉極指令に対し、遮断器の開閉極時間を予測し、系統電圧あるいは電流を参照しながら目標とする位相で開閉極されるように、遮断器の開閉動作を行うものである。一般的には、想定される各動作条件において事前に測定した開閉極時間変化を入力した開閉極位相制御装置によって、開閉極指令出力の時刻を調整する方法が採用されている⁽²⁾。また、開閉極それぞれの目標とする位相は、GCBが開閉極すべき負荷およびGCB開閉極時の電氣的・機械的特性に応じて個別に設定する必要がある。

本章では、実運用に供するための事前検証として、工場試験にてこれらのGCB特性を調査した結果について述べる。また、休止時間特性に対する検証結果から、これを補償する方法について検討し、さらに得られたGCBの特性値から、調相用リアクトルを開閉するための目標開閉極位相を決定した結果について述べる。

2.1 開閉極時の電氣的・機械的特性の検討 まず周囲温度、制御電圧および操作油圧力をパラメータとした場合のGCB開閉極時間変化を確認した。図1に動作条件を、周囲温度 $-20\sim+40^{\circ}\text{C}$ 、制御電圧 $90\sim125\text{V}$ 、操作圧力 $27.0\sim34.0\text{MPa}$ の範囲で変化させた場合の、GCB閉極時間変化の一例を示す。各条件においてそれぞれ60回の動作により計測された閉極時間は、正規分布の分布を示しており、各々の平均値は動作条件に従い変化している。各動作条件におけるGCB閉極時間の平均値に対するばらつきは、これを正規分布と仮定した場合の標準偏差で表すと、最小で 0.30ms 、最大で 0.44ms であった。CIGREから報告されている、開閉極位相制御における許容動作ばらつきは、

容量負荷の場合は $\pm 1.5\text{ms}$ 、誘導負荷の場合には $\pm 2.0\text{ms}$ であり⁽²⁾、本GCBの動作ばらつきは 3σ 値で上記基準を満たしている。

次に、GCBの電氣的特性として、閉極時の極間耐電圧値減少率(RDDS)について検討した。RDDSは、極間距離の関数として与えられる極間耐電圧特性 $V(x)$ と、閉極点近傍におけるGCB閉極速度 v から、下記の式で決定できる。

$$\text{RDDS (kV/ms)} = V(x) \text{ (kV/mm)} \times v \text{ (mm/ms)} \quad \dots\dots\dots (1)$$

電界解析による極間耐電圧特性および無負荷開閉試験における閉極速度から式(1)によって求めた本GCBのRDDSは、極間電圧の電圧零点における時間変化率 ωV_p (ω :角周波数、 V_p :電圧波高値)により規格化して、 $0.78(\text{PU})$ であった。なお、実際のGCB閉極過程においては、パッファ室に発生する圧力変化の影響で極間のガス密度が若干変動し、それに伴い極間耐電圧特性も変化すると考えられるが、一般的に閉極時の圧力変化は小さく、密度変動も少ないと予想されることから本検討ではその影響を無視している。

また、実運用においては電流遮断による接点損耗の影響から、遮断器のRDDSは徐々に変化すると考えられるため、目標開閉極位相を決定するにあたっては、この影響を補償する必要がある。RDDS変化の影響は、目標投入位相と実際の投入位相の差として表れるが、この差分の履歴(傾向)を次の目標投入位相算出に反映することにより、RDDSの変化が位相制御精度に及ぼす影響を補償することが可能である⁽⁶⁾。なお、上記に加え遮断器閉極時間の経時的変化も投入位相の変動要因となり得るため、これら2量の影響を包括して投入位相の制御誤差として測定し次回制御に反映する方式が、実運用においては効果的である⁽⁵⁾。

2.2 開閉極時間の休止時間依存性の測定 本GCBの開閉極時間の休止時間依存性を検証するため、動作間隔を $0.05\sim240$ 時間の間で変化させた開閉試験を実施した。試験は室温にて実施し、操作圧力、制御電圧はそれぞれ本GCBの定格である 31.5MPa 、 100V とした。測定した閉極時間を第2.1節にて述べた温度依存性に基づき 20°C における閉極時間に換算し、連続動作時の平均閉極時間との差を閉極遅れ時間とした。図2に閉極遅れ時間の休止時間依存性を示す。ここで、休止時間は前回開極動作から今回閉極動作までの時間間隔であり、閉極遅れ時間は休止時間24時間における近似曲線の値で規格化している。測定した時間領域においては、閉極遅れ時間は休止時間が20時間程度までは単調に増加し、それ以降はほぼ飽和する様相を示した。筆者らが以前調査したばね操作GCBの場合は顕著な休止時間依存性が観察されなかったことから⁽⁶⁾、この特性は操作媒体あるいは油圧シール部の状態の経時的変化に起因すると考えられる。

調相用リアクトルの開閉では、ほぼ毎日の開閉動作が予

図1 閉極時間の動作条件依存性

Fig.1. Closing time dependence on operating condition.

図 2 閉極時間の休止時間依存性

Fig. 2. Closing time dependence on idle time.

想されることから、GCB の動作間隔は平均して 8～16 時間と想定される。したがって、計測した休止時間特性から休止時間が 8～16 時間の範囲での閉極遅れ時間の平均値を求め、これを予め位相制御装置に入力し標準の閉極時間に加えることにより、予想閉極時間を補正することとした。なお、遮断器開閉極時間の休止時間依存性は機種固有の特性であり、遅れ時間の変化の様相も異なると考えられる。このため、特に送電線など開閉間隔が一定でない用途への適用に際しては、休止時間の取り扱いに注意が必要である。

なお、開極動作においては 240 時間後においてもほとんど動作遅れが認められなかったため、休止時間による補正は必要無いと判断した。

2・3 目標開閉極位相の決定 今回対象となる負荷は中性点接地のギャップ付単相コリアクトルであるため、励磁突入電流を抑制するための回路理論上の理想的投入点は、各相電圧最大点となる。実際には GCB の閉極時間ばらつきおよび RDDS に依存し、投入電圧を最大とするための目標閉極位相は変化する。以前に筆者らは、投入電圧を最大とする目標閉極位相を、図 3 に示すような GCB の閉極時間のばらつき、および RDDS の関数として表した⁽⁷⁾。図 3 によって、2・1 節にて調べた本 GCB の閉極時間ばらつきおよび RDDS から、投入電圧を最大とするための目標閉極位相は各相の電圧零点後 152° と求められる。また、このときの投入電圧値は 0.85～1.0 PU と予測される。なお、ギャップ付鉄心リアクトルの場合には残留磁束が非常に小さいため、目標閉極位相の決定にあたっては、これを無視している。なお、電圧最大点付近での投入に対しては、周辺回路の対地浮遊容量を充電するための高周波の突入電流およびこれに伴うサージ電圧の発生が懸念されるため、事前の解析にて問題となるサージが発生しないことを確認した。

次に、再発弧および再点弧の発生は、電流遮断後に GCB 極間に印加される過渡回復電圧とその時刻における極間耐電圧値の大小関係により決まる。前述したように、極間耐電圧特性は極間距離の関数であるため、再発弧および再点弧を防止するための目標開極位相は、電流遮断点において

図 3 投入電圧を最大とする目標閉極位相と RDDS および動作ばらつきの関係⁽⁷⁾

Fig. 3. Closing target for maximum making voltage as functions of RDDS and mechanical scatter.

必要となる各遮断器固有の極間距離で決定される。

具体的には、上記極間耐電圧特性に、放電ばらつき、操作油圧力、周囲温度等の変動による耐電圧特性変化、および電流遮断時に発生する熱ガスの影響による耐電圧性能の低下を考慮した各機種固有の絶縁回復特性と、適用する回路定数によって決まる過渡回復電圧波高値の比較により求められる⁽⁸⁾。系統解析によって求めた過渡回復電圧波高値に対し、本 GCB の電流遮断時における必要な極間距離は、完全開極時における極間距離により規格化して 0.40 (PU) であった。目標とする開極電流位相は、上記必要極間距離と当該 GCB の接点動作行程、および遮断電流の周波数から一意的に算出することが出来る。

3. 開閉サージ抑制効果の確認

前節で述べた各検証試験を経て、本 GCB を実系統での調相用リアクトル開閉に適用した。図 4 に開閉極位相制御 GCB を適用したガス開閉装置の外形および現地操作箱内に設置した開閉極位相制御装置を示す。開閉極位相制御装置には前章にて述べた GCB の各特性および目標開閉極位相が入力されている。開閉極位相制御装置は、各動作時における周囲温度、操作油圧力などの動作条件および過去の動作結果を基に、GCB が目標位相にて開閉極されるよう開閉極指令を出力し、また次回動作時の参考とするため、開閉極動作結果を計測し、記録する。また、GIS 近傍に設置することにより、例えば断路器サージなどの厳しい電磁環境に曝されることが想定されるため⁽⁹⁾、今回適用した開閉極位相制御装置は、電源、信号の入出力部、および筐体設計において耐電磁環境性に十分配慮されている。

実運用に先立ち、機器動作および位相制御機能の健全性を確認するため、位相制御投入および遮断試験を実施した。ここでは、これら機能検証試験の結果について報告する。

3・1 閉極位相制御によるインラッシュ電流の抑制 遮断器の動作特性は工場出荷時に確認・調整を実施しているが、例えば制御電源容量および制御線インピーダンスの相

Synchronous Switching Controller

図 4 現地操作箱内に開閉極位相制御を搭載した 204 kV ガス絶縁開閉装置

Fig. 4. 204 kV Gas insulated switchgear with controlled switching GCB.

違による動作特性の差異などが存在する可能性があるため、実課電試験に先立ち動作特性の確認を行い、その結果を基に位相制御装置の設定値を調整した。これらの測定・調整は、すべて位相制御装置により自動的に実施される。

続いて実電圧を印加した投入試験を実施した。目標閉極位相は、前述のとおり各相電圧零点後 152° とした。図 5 に閉極位相制御を行った投入試験結果を、図 6 に参考として実施した閉極位相制御を行わない投入試験結果を示す。閉極位相制御を行わない場合には、第 1 相、第 2 相に最大で約 3.0 PU の励磁突入電流が発生しているが、閉極位相制御を実施した場合にはほとんど励磁突入電流が発生していないことが判る。また、図 5 における各相の投入位相は第 1 相の電圧零点時刻に対し、第 1 相が 83°、第 2 相が 196°、第 3 相が 142° であった。閉極位相は、投入位相、投入時の電圧、および RDDS から下式で算出される。

$$\begin{aligned} \text{閉極位相 (}^\circ\text{)} &= \text{投入位相 (}^\circ\text{)} + \text{投入電圧 (kV)} / \\ &\quad \text{RDDS (kV/ms)} \times 360^\circ / (1000/60) \\ &\quad \dots\dots\dots (2) \end{aligned}$$

各相投入位相および第 2・1 節で求めた RDDS から算出した各相の閉極位相は、各相の電圧零点を基準に、第 1

図 5 閉極時の電圧・電流波形（位相制御を実施した場合）

Fig. 5. Voltage and current waveforms of controlled closing.

図 6 閉極時の電圧・電流波形（位相制御を実施しない場合）

Fig. 6. Voltage and current waveforms of simultaneous closing.

相が 156°、第 2 相が 149°、第 3 相が 155° と、目標位相に対する誤差は最大で 4° (0.18 ms) であった。実際の投入位相は、接点間の放電ばらつき、RDDS の誤差等により変動するが、本 GCB ではその影響が最大でも ±0.5 ms と計算されるため、これらを考慮しても目標に対する誤差は最大で約 0.7 ms と、十分な位相制御精度を確保していると判断できる。

なお、本適用では GCB とリアクトルの間に約 7nF の対地静電容量を有する 50 m の CV ケーブルが存在するが、大きな突入電流、およびサージ電圧は観測されなかった。

3.2 開極位相制御による再発弧の防止 次に実負荷電流の遮断試験を実施した。GCB の開極は、前節にて述べたように電流遮断点における極間距離が完全開極時の極間距離に対し 40% となる位相を目標に制御を行った。図 7

図 7 開極時の電圧・電流波形（位相制御を実施した場合）

Fig.7. Voltage and current waveforms of controlled opening.

に電流遮断時の電圧，電流波形を示す。各相の電流はその相順にしたがって第 1 相 → 第 3 相 → 第 2 相の順に遮断されており，かつ電流波形には再発弧の発生を示す高周波の再発弧電流が見られないことから，本 GCB が再発弧を伴わず遮断に成功していることがわかる。

4. 長期間運転による動作安定性の検証

本 GCB はこれらの機能確認試験を実施後に実運用に供され，ほぼ毎日朝に遮断，夜に投入されている。遮断器動作時の開閉極時間は，各操作毎にそのときの周囲温度，操作油圧力および制御電圧と共に，位相制御装置により測定され，記録されている。

これらのデータは遮断器の動作健全性を確認できるデータとして，保守面で有用である。ここでは，位相制御装置により測定した約 1 年間にわたる GCB 動作結果を分析し，適用にあたり実施した各検討の妥当性について評価する。

4.1 投入電圧および閉極位相の分布 開閉極位相制御装置に蓄積された閉極時間実測値を基に算出した，実運用時における投入電圧および閉極位相の分布を図 8 に示す。図の上半分には，投入電圧の分布を，下半分には閉極位相の度数分布を示している。

閉極位相は，目標位相として与えた電圧零点後 152° ，すなわち 7.0 ms を中心に分布しており，そのばらつき目標位相に対し $\pm 1.2 \text{ ms}$ と，CIGRE より公表されている適用時の指針である $\pm 2.0 \text{ ms}$ に対し，十分に小さい値であった。また，実運用時における動作ばらつきは，工場での検証試験にて得られた値とほぼ同等である事がわかる。

投入電圧の最小値は約 0.85 PU と事前検討から予測された値とほぼ同等となっており，第 2 章にて検討した GCB の特性，およびそれらから目標投入位相を算出する手法⁽⁶⁾が妥当であることを示している。

図 8 投入電圧および閉極位相の分布

Fig.8. Distribution of making voltage and closing instant.

また，適用した開閉極位相制御装置は，想定される電流遮断時刻を $1/4$ サイクル以上超えて電流が継続している場合には，再発弧の発生と判断し警報を出力する機能を有しているが，本検証期間における警報出力はなく，開極位相制御も良好に機能していると判断できる。

4.2 開閉極位相制御における動作誤差の評価 前述したように，GCB の開閉極時間は動作環境に依存して変動する。ここでは，実フィールドでの各動作条件下における開閉極時間の測定値，および開閉極位相制御の精度を評価することにより，工場にて検証した動作特性の妥当性を検討する。

図 9，図 10 に各閉極動作時の周囲温度，および操作油圧力を示す。周囲温度は 4°C から 33°C まで約 30 K の幅で変動し，連続する 2 回の閉極動作間の温度差は最大で 8 K であった。また，操作油圧力はポンプの運転開始圧力 31.5 Mpa および運転停止圧力 32.5 Mpa の範囲に一樣に分布している。なお，制御電圧については，変電所の電源が安定していたため，ほぼ一定値であった。

次に，各開閉極動作における開閉極時間の変化および制御誤差を図 11，図 12 に示す。閉極時間および開極時間ともに，動作条件の変化に依存して変動しているが，それぞれの目標位相に対する誤差は閉極で $\pm 1.2 \text{ ms}$ ，開極で $\pm 0.2 \text{ ms}$ 以内に収まっており，工場試験にて検証し，開閉極位相制御に使用した動作条件依存性が妥当であったこと，およびこれに基づく開閉極時間の予測が正確に実施できていることが確認できる。

図 9 GCB 閉極動作時の周囲温度の変化

Fig. 9. Distribution of environmental temperature.

図 10 GCB 閉極動作時の油圧力変化

Fig. 10. Distribution of hydraulic pressure.

図 11 閉極時間変化および投入位相誤差

Fig. 11. Variation of closing time and control error.

図 12 開極時間変化および開極位相誤差

Fig. 12. Variation of opening time and control error.

図 13 実フィールドにおける閉極時間と
休止時間の関係

Fig. 13. Idle time dependence of closing time measured in the field.

4.3 実フィールドにおける休止時間特性の評価 次に実フィールドにおける休止時間特性の検討を行う。図 13 に計測した休止時間と閉極時間遅れの関係を示す。各点が実フィールドにおける 3 相それぞれの閉極時間遅れであり、実線が工場試験にて得られた休止時間特性を示す。約 1 年間の運用における休止時間は最小で 0.05 時間、最大で 92 時間であったが、それぞれの閉極時間遅れは工場検証値を中心に ± 1.2 PU の範囲に分布していることがわかる。位相制御装置への設定値を決定する際に想定した休止時間は 8~16 時間であることにに対し、実フィールドでの休止時間はこれを大きく上回る場合があったが、図 13 に有るように休止時間特性は 20 時間程度でほぼ飽和しており、設定した遅れ時間に対する大きな誤差は無い。これらの結果から、今回採用した休止時間依存性の補償方法が、調相用リアクトルの開閉等、ほぼ一定の間隔で定期的に行われる責務への適用に対し、十分に実用的であると判断できる。

5. むすび

調相用リアクトルの開閉に、ガス遮断器の閉極位相制御方式を適用し、実システムにおける課電投入、遮断試験、および約 1 年間の実フィールドでの運転時において計測した開閉動作結果を基に、適用した開閉極位相制御システムが健全に機能し、励磁突入電流の抑制および再発弧の防止に対し効果的であることを確認した。

開閉極位相制御方式を適用するにあたり、目標とする開閉極位相は GCB の極間絶縁特性および無負荷開閉試験により得られた機械的動作ばらつきを基に設定し、良好な位相制御特性を得た。この結果から、目標開閉極位相の決定に際しては、CIGRE で提案されている実課電による投入、遮断試験が必ずしも必要でないと判断できる。

また、実測した GCB 開閉極時間の休止時間依存性に基づき、これを補償する実用的な手法を提案し、その運用結果から、調相用リアクトルの開閉等、ほぼ一定の間隔で定期的に行われる責務に対する有効性を確認した。さらに、適用した開閉極位相制御装置が GCB および断路器

等の開閉時に発生する電磁的サージに対し、十分な耐久性を有することを確認した。

なお、本位相制御システム適用に伴い、需要家から電圧変動率の低減が報告されており、今後 GCB の開閉に伴う諸問題を解決するための一手段として、開閉極位相制御方式の適用拡大が予想される。

(平成 15 年 2 月 7 日受付, 平成 15 年 9 月 2 日再受付)

文 献

- (1) S. Okabe, M. Kosakada, H. Toda, K. Suzuki, and M. Ishikawa: "Investigations of Multiple Reignition Phenomena and Protection Scheme of Shunt Reactor Current Interruption in GIS Substation", *IEEE Trans. Power Delivery*, Vol.8, No.1 (1993)
- (2) CIGRE Working Group 13.07: "Controlled Switching of HVAC Circuit Breakers: Planning, Specification and Testing of controlled switching systems", *ELECTRA*, No.197, pp.23-33 (2001)
- (3) Y. Yamagata, T. Kumagai, S. Nishiwaki, H. Toda, M. Ishikawa, and T. Yokota: "Prevention of Reignition Over-voltage by Phase-Angle-Controlled Switching of Gas-Circuit Breaker at Shunt Reactor Current Interruption", *T. IEE Japan*, Vol.112, No.2, pp.161-167 (1992-2) (in Japanese)
山形芳文・熊谷 努・西脇 進・戸田弘明・石川雅之・横田岳志: 「ガス遮断器の開極位相制御によるシャントリアクトル電流遮断に伴う再発弧過電圧の抑制」, 電学論 B, 112, 2, pp.161-167 (1992-2)
- (4) A.H. Khan, D.S. Johnson, J.H. Brunke, and D.L. Goldsworthy: "SYNCHRONOUS CLOSING APPLICATIONS IN UTILITY TRANSMISSION SYSTEM", *CIGRE* 13-306 (1996)
- (5) H. Tsutada, T. Hirai, H. Kohyama, H. Ito, and T. Usami: "Development of Synchronous Switching Controller for Gas Circuit Breakers", *T. IEE Japan*, Vol.121-B, No.7, pp.822-829 (2001-7) (in Japanese)
薦田広幸・平位隆史・香山治彦・伊藤弘基・宇佐美昭夫: 「ガス遮断器開閉極位相制御装置の開発」, 電学論 B, 121, 7, pp.822-829 (2001-7)
- (6) B.R. Naik, R.G. Asche, S. Billings, H. Kohyama, H. Ito, and H. Yamamoto: "Field Verification of Controlled Switching GCB", *IEEE Power Engineering Society, Summer Meeting, Chicago, U.S.A.* (2002-7)
- (7) H. Kohyama, K. Wada, H. Ito, M. Hidaka, T. Sugiyama, and H. Yamamoto: "Investigations on Controlled Closing of 550 kV Gas Circuit Breaker", *T. IEE Japan*, Vol.121-B, No.7, pp.860-866 (2001-7) (in Japanese)
香山治彦・和田耕太郎・伊藤弘基・日高幹雄・杉山 勉・山本 宏: 「550 kV ガス遮断器の開極位相制御に関する検討」, 電学論 B, 121, 7, pp.860-866 (2001-7)
- (8) I. Ochiai, H. Kohyama, H. Ito, M. Hidaka, T. Sugiyama, H. Yamamoto, and D. Matuszaki: "Development of 550 kV 63 kA One-Break Gas Circuit Breaker", *Proc. IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exhibition 2002: Asia Pacific*, Vol.1, pp.93-98, Yokohama, Japan (2002-10)
- (9) Y. Maeda, H. Aoki, S. Fujita, A. Hibino, H. Hama, and T. Shimomura: "Verification tests of Intelligent GIS for Practical Application", *2002 National Convention Record IEE Japan*, Vol.6, pp.299-300 (2002-3) (in Japanese)
前田恭宏・青木寛英・藤田重人・日比野敦夫・羽馬洋之・下村哲朗: 「インテリジェント GIS の実用性能検証」, 平成 14 年電気学会全国大会, Vol.6, pp.299-300 (2002-3)

香山 治彦 (正員) 1991 年 3 月早稲田大学大学院理工学研究科電気工学専攻修士課程修了。同年 4 月三菱電機(株)入社。現在、ティーエム・ティーアンドディー株式会社, 開閉装置事業部, 西部開閉装置製造部にて, 主に高電圧ガス遮断器および開閉極位相制御方式の開発設計に従事。

伊藤 弘基 (正員) 1984 年 3 月東京工業大学大学院理工学研究科機械物理工学専攻修士課程修了。同年 4 月三菱電機(株)入社。現在、ティーエム・ティーアンドディー株式会社, 開閉装置事業部, 西部開閉装置製造部にて高電圧ガス遮断器の開発設計に従事。工学博士。IEEE, CIGRE13.07 および 13.12 会員。

浅井 順 (非会員) 1998 年 3 月信州大学大学院電気電子工学系研究科博士前期課程修了。同年 4 月三菱電機(株)入社。現在、ティーエム・ティーアンドディー株式会社, 開閉機器事業部西部開閉装置製造部において, 開閉機器の監視装置位相制御装置の開発試験等に従事。

日高 幹雄 (正員) 1981 年 3 月大阪大学大学院機械工学専攻修士課程修了。同年 4 月三菱電機(株)入社後, 高電圧ガス遮断器の開発設計に従事。現在, ティーエム・ティーアンドディー株式会社, 開閉装置事業部, 西部開閉装置製造部, 遮断器設計グループ長。

米澤 毅 (正員) 1978 年 3 月早稲田大学大学院電気工学専攻修士課程修了。同年 4 月三菱電機(株)入社後, 高電圧ガス遮断器の開発設計に従事。現在, ティーエム・ティーアンドディー株式会社, 開閉装置事業部, 西部開閉装置製造部長。