雷害対策による電力輸送力増大効果の評価手法

正員 高橋 一 弘 (電力中央研究所)

正員 井上 敦 之 (電力中央研究所)

正員 田 中 和 幸 (電力中央研究所)

An Evaluation Method for Power Carrying Capability Enhancement Using Lightning Measures

Kazuhiro Takahashi, Member, Atuyuki Inoue, Member, and Kazuyuki Tanaka, Member (CRIEPI)

Various preventive measures are taken against lightning faults in power transmission facilities to decrease their occurrence frequency and improve transmission reliability. However, how much they enhance the power carrying capability of a transmission line has not been quantitatively defined so far. To solve this issue rationally, it is useless to adopt the conventional deterministic approach which is widely used in power utilities as a general rule for power system planning.

This paper proposes a new method for numerical evaluation of the transfer capability by means of lightning measures. The proposed method is based on a probabilistic approach in which several fault patterns are considered with their occurrence frequency and maximum transferable power. This paper also applies the developed method to a trunk transmission model system and shows numerically the effect of 3 ground wires on the increase of carrying capability of a 500 kV transmission line.

キーワード：電力系統，雷故障，系統安定度，系統信頼度，電力輸送力

1. はじめに

近年わが国では，送電用地の確保が難しくなっていることから，電力の安定供給を図るには，限られた送電設備を有効に利用し，同時に高い信頼度で運用することが重要になっている。現在，電力会社では基幹系統の計画段階において，送電線路の電力輸送力を決める場合，送電信頼度面からみてつぎのような方法を採用している。すなわち，ある基準となる故障条件を想定し，その故障が発生しても系統全体が安定な運転を維持できるような最大の電力を電力輸送力として定めている。基準の故障条件としては，一般に2回線のうちの片回線の3相短絡を想定している。

実際には3相短絡故障は頻度が少なく，かつやや過酷な故障形態に属するが，この故障条件を基準にしている理由は，電力供給の社会的な重要性から基幹系統の設計には安全サイドの基準を採用していることのほか，故障形態がシンプルであるため，シミュレーション計算が簡単であり，大量の技術業務の処理が容易に済むことなどによる。この方法は確定論的方法であり簡便であることから，実務的な方法として世界的にも広く使用されている。

しかし近年のように，送電線路の建設に多大なコストを要したり一部の建設が遅れるようになってくると，従来どおり系統全体に対して一律にこのような単純な基準を適用

することは合理的ではなく，送電信頼度と電力輸送力の定量的な関係を考慮することが必要になっている。しかも，コンピュータや解析技術の進歩から，今日では計画段階においてもかなり詳細な検討が可能になっている。

ところで，架空の送電線路が受けるさまざまな被害のうちで雷撃による故障（フラッシュオーバー）は年々減少しているが，なお基幹系統では故障原因の殆どを占めている。したがって，雷撃による故障の発生を低減することは，系統信頼度の向上，ひいては電力輸送力の増大，さらには送電コストの節減に資することが期待される。

著者らはこれまで，架空地線の多条化や下部遮へい線の設置などにより，鉄塔のフラッシュオーバーの発生が著しく低減できることを実験的・解析的に検証してきた。しかし，こうした雷害対策の効果は，送電線路の故障回数の低減のかたちで数値的に測ることはできたものの，それを送電線路の電力輸送力の向上効果のかたちで，どのように定量づけるかについては明確にされていない。

そこで本論文では，雷害対策による故障回数の低減を電力輸送力の増大に数値的に結びつける確率論的手法を提案する。提案の評価手法は送電系統の信頼度レベルと建設コストの関係を定量づけることができるので，これからの電力系統の計画において，両者のバランスを考慮しつつきめ細かな検討を行う場合に役立つものと期待される。

2. 雷故障の発生と低減対策

本節では、雷故障の発生メカニズム、架空送電線の雷害対策、故障発生低減効果などについて述べる。

〈2.1〉雷故障の発生メカニズム 台風や豪雪など大きな被害のない通常の年においては、500 kV送電線が受ける80%以上の故障は雷によるフラッシュオーバーが原因である。この雷故障には、遮へい失敗によるものと逆フラッシュオーバーによるものの2種がある。

遮へい失敗による故障とは、架空地線が雷撃の遮へいに失敗したために、電力線が雷の直撃を受け、その電位が上昇し、がいし間にフラッシュオーバーが発生する故障である。しかし、わが国での観測記録には、2線以上にまたがる遮へい失敗は確認されていないことから、遮へい失敗による故障はほぼ1線に限定されると考えてよい。

一方、逆フラッシュオーバーによる故障は、架空地線あるいは鉄塔が雷撃を受けたとき、瞬時的に鉄塔の電位が電力線の電位より高くなり、がいしの絶縁耐圧を越えたときにフラッシュオーバーが発生する故障である。通常の放電が電力線側から鉄塔側へ向いているのに対して、この場合には逆方向に生じるため逆フラッシュオーバーと呼ばれる。

実際においては、このような故障が発生しても、直ちに線路を自動的に開放しアークを消滅させ再閉路を行い、送電を復帰させる再閉路方式が採用されているので、殆どの場合送電停止には至らない。

〈2.2〉雷害対策による故障発生低減効果 架空地線や遮へい線などの接地線を設置すれば、雷撃電流の分流効果ならびに接地線からの誘導効果（電力線への誘導電圧の増大）の2つの作用によって、がいし間電圧の上昇を抑制することができる。著者らは、これを1/5の縮尺のモデル鉄塔を用いてすでに実証している。たとえば、ある2回線送電線において、2条の架空地線を3条にすれば、上線、中線、下線のがいし間電圧をそれぞれ77%、85%、84%に低減することができることを示している(1)。

さらに、著者らは雷故障の発生頻度を、さまざまな故障形態別に算定することのできる手法を開発している(2)。この手法を用いることによって、上記の実験で求めたがいし間電圧の低減値から、雷害対策による故障回数の低減値を予測することができる(〈2.5〉項参照)。

なお、ほかの雷害対策として送電用避雷装置があるが、避雷装置は高価であるため、その適用は限定される。架空地線の3条化は建設費の2%以下との試算もあり、安価であることが長所である(3)。

〈2.3〉架空地線3条化の対策例 ここでは数値例として、わが国で広く採用されている逆相配列の2回線の送電線において、架空地線が2条と3条の場合について逆フラッシュオーバー故障の発生回数を掲げておく。表1は上記の手法による試算の一例であり500 kV送電線についてその推定値を故障形態別に示したものである。同表からつぎのようなことがわかる。

- (1)一般に上線から下線への順に逆フラッシュオーバー故障の回数は減る。これは、通常では上線から下線への順に、がいし間電圧が小さくなっているからである。
- (2)同回線の上線と中線、中線と下線の2線にそれぞれ同時にフラッシュオーバーが発生する頻度は、中線の隣合う2線に同時に発生する頻度よりも小さい。この理由は、中線の電力線での商用周波数電圧の位相の同時性による。
- (3)架空地線の3条化により故障回数は半減する。とくに上線に対する効果が大きい。これは、架空地線から上線への誘導電圧がとくに増大するので、上線のがいし間電圧が小さくなるためである。

表1 架空地線の3条化による故障回数の低減

Table 1 Decrease of Faults by 3 Ground Wires.

故障形態別の故障回数(2条地線/3条地線)			合 計
1 LG	X(.0598/.0195) Y(.0051/.0046) Z(.0000/.0000)	x(.0598/.0195) y(.0050/.0046) z(.0000/.0000)	.1297/.0482
2 LG	XY(.0037/.0010) XZ(.0000/.0000) YZ(.0000/.0000)	xy(.0036/.0009) xz(.0000/.0000) yz(.0000/.0000)	.1266/.0725
	Xx(.0391/.0080) Zz(.0000/.0000)	Yy(.0468/.0421)	
	Xy(.0057/.0015) Xz(.0110/.0088) Yz(.0000/.0000)	xY(.0057/.0014) xZ(.0110/.0088) yZ(.0000/.0000)	
3 LG	XYZ(.0000/.0000) XYx(.0000/.0000) XYy(.0179/.0065) XYz(.0000/.0000) XZx(.0057/.0018) XZy(.0000/.0000) XZz(.0000/.0000) YZx(.0002/.0003) YZy(.0000/.0000) YZz(.0000/.0000)	xyz(.0000/.0000) xyX(.0000/.0000) xyY(.0178/.0065) xyZ(.0000/.0000) xzX(.0057/.0018) xzY(.0000/.0000) xzZ(.0000/.0000) yzX(.0002/.0003) yzY(.0000/.0000) yzZ(.0000/.0000)	.0475/.0172
4 LG	XYZx(.0007/.0002) XYZy(.0000/.0000) XYZz(.0000/.0000)	xyzX(.0007/.0002) xyzY(.0000/.0000) xyzZ(.0000/.0000)	.0141/.0064
	XYxy(.0087/.0010) YZyz(.0000/.0000)	XZxz(.0017/.0000)	
	XYxz(.0001/.0001) YZxy(.0011/.0025) XZyz(.0000/.0000)	xyXZ(.0000/.0000) yzXY(.0011/.0024) xzYZ(.0000/.0000)	
5 LG	XYZxy(.0029/.0009) XYZxz(.0001/.0000) XYZyz(.0000/.0000)	xyzXY(.0029/.0009) xyzXZ(.0000/.0000) xyzYZ(.0000/.0000)	.0059/.0018
6 LG	XYZxyz(.0007/.0003)		.0007/.0003
			.3245/.1464

〔注〕

- (1) LG は地絡した故障の線数
- (2) X Y Z x y z は空間的な線配列
- (3) 故障回数は (回/年/100 km)
- (4) 500 kV 送電線について示す
- (5) 塔脚接地抵抗値は 10 オーム

3. モデル系統と送電限界電力

本節では、提案の評価手法を説明するために想定した長距離送電のモデル系統と故障条件を記述する。また、故障形態別の送電限界電力を数値例によって示す。

〈3.1〉モデル系統と故障条件 図1に示すモデル系統は500 kV、150 kmの2回線の送電線路とそれに接続された発電機からなる基幹送電系統である。線路、変圧器、発電機の定数は標準的な数値を採用した。発電機の制御系についてはAVRを加味したが、ガバナは考慮しなかった。また、このモデル系統は電源用の送電系統のため、常に一定の電力を送電しているものとした。

図1 モデル系統

Fig. 1 Model Power System.

想定した故障条件は以下のとおりである。故障継続時間は0.08秒、再閉路を行うものとし、無電圧時間は1.0秒とした。故障形態はすべて地絡故障とし、図2に示す9タイプを対象にした。これらはすべて、異相の2線以上が健全という再閉路の一般的な条件を満たしている故障形態である。また、故障地点は説明の便宜上、線路の送電端に限るものとした。

故障形態	1 LG	2 LG			3 LG			4 LG	
	A	AB	Ab	Aa	ABC	ABc	ABa	ABCa	ABca
Aa	●○	●○	●○	●●	●○	●○	●●	●●	●●
Bb	○○	●○	○○	○○	●○	●○	●○	●○	●○
Cc	○○	○○	○○	○○	●○	○○	○○	●○	○○

〔注〕(1)●は故障、○は健全。ABCabcは電気的な相配列を示す。
(2) LGは地絡故障の線数を示す。

図2 想定した故障形態

Fig. 2 Assumed Fault Conditions.

〈3.2〉送電限界電力 図2に示した9つの故障形態について、それぞれ送電限界電力を算定した。ここで送電限界電力とは、当該の故障に対して安定な運転が維持できる最大の送電電力の値である。ここでは発電機の容量を逐次10 MWごとに増加しながら、過渡安定度の面からみた限界電力を求めた。算定にあたっては、著者らが開発した各種の故障形態に対して系統安定度のシミュレーション解析が可能な手法を用いた(4)(5)。

図3に送電限界電力の算定結果を示す。この図では、故障形態は軽微なものから苛酷なものへ#1～#9の順に並べ直してあるので、ある送電電力の時にどの故障が起きたら送電が止まるかを容易に把握することができる。

図3から、つぎのことが分かる。

- (1)故障線数が多いほど概して送電限界電力は小さくなる。
- (2)片回線故障よりも2回線にまたがる故障がやや厳しい。
- (3)同相を含む故障が異相の場合よりもかなり厳しい。

とくに#6(Aa)は、地絡した相の数は1つだけであるにもかかわらず、かなり厳しい故障となることに注意が必要である。この理由は、この故障形態の送電限界電力に対しては地絡時のショックよりも、無電圧時における同相欠落の状態のほうが厳しい制約を与えるためである。

これら9つの故障形態は、地絡した線や相の組み合わせならびに送電限界電力の大きさから、つぎのような6つのグループに分類することができる。

A	AB Ab	ABC ABc	Aa	ABa	ABCa ABca
---	-------	---------	----	-----	-----------

#2(AB)～#3(Ab)、#4(ABC)～#5(ABc)、#8(ABCa)～#9(ABca)については、送電限界電力にそれぞれ若干の差が見られるが実質的には変わらない。また、モデル系統が変わっても、上記の順序は概ね保たれると考えられる。

なお、従来の系統計画で基準として採用されている故障条件は、片回線の3相短絡故障(再閉路はしない)であるが、この故障に対する送電限界電力1700 MWが、モデル系統の送電線路の電力輸送力に相当することになる。この値は#4(ABC)の送電限界電力とほぼ同じであるが、この理由は、送電限界電力に対しては地絡時のショックが支配的であるためであると考えられる。

送電限界電力 [MW]

〔参考〕片回線開放時の定態安定度の送電限界電力は2780 MW

図3 送電限界電力

Fig. 3 Transferable Critical Power.

4. 送電信頼度の考え方

本節では、次節への準備として、故障形態別の発生頻度と送電信頼度の尺度について触れておく。

④.1> 故障形態別の発生頻度 表2は表1で示した故障回数を、空間的な線配置による分類から電気的な相配置による分類に書き直したものである。すなわち、電気的な相配置では片回線が空間的な線配列と上下の相が逆になっているので、つぎのように置き換えている。

$$(X Y Z x y z) \longrightarrow (A B C c b a)$$

表2 故障形態と故障回数（電気的相配置による分類）

Table 2 Occurrence of Lightning Faults.

故障形態	故障回数（2条地線／3条地線）	小計
1 LG	●○ ○○ ○○	A(.0598/.0195) a(.0000/.0000) B(.0051/.0046) b(.0050/.0046) C(.0000/.0000) c(.0598/.0195)
		#1 .1297/.0482
	●● ●○ ○○	AB(.0037/.0010) ab(.0000/.0000) BC(.0000/.0000) bc(.0036/.0009) CA(.0000/.0000) ca(.0000/.0000)
2 LG	●● ○○ ○○	Aa(.0110/.0088) Bb(.0468/.0421) Cc(.0110/.0088)
		#6 .0688/.0597
	●○ ○● ○○	Ab(.0057/.0015) Ba(.0000/.0000) Bc(.0057/.0014) Cb(.0000/.0000) Ca(.0000/.0000) Ac(.0391/.0080)
3 LG	●○ ●○ ●○	ABC(.0000/.0000) abc(.0000/.0000)
		#4 .0000/.0000
	●○ ●○ ○○	ABc(.0000/.0000) abC(.0000/.0000) BCa(.0000/.0000) bcA(.0000/.0000) CAb(.0000/.0000) caB(.0000/.0000)
4 LG	●○ ●○ ○○	ABa(.0000/.0000) abA(.0002/.0003) BCb(.0000/.0000) bcB(.0178/.0065) CAc(.0057/.0018) caC(.0000/.0000)
		#7 .0475/.0172
	●○ ●○ ○○	ABb(.0179/.0065) abB(.0000/.0000) BCc(.0002/.0003) bcC(.0000/.0000) CAa(.0000/.0000) caA(.0057/.0018)
5 LG	●○ ●○ ○○	ABCa(.0000/.0000) abcA(.0007/.0002) ABCb(.0000/.0000) abcB(.0000/.0000) ABCc(.0007/.0002) abcC(.0000/.0000)
		#8 .0014/.0004
	●○ ●○ ○○	ABca(.0001/.0001) abCA(.0000/.0000) BCab(.0000/.0000) bcAB(.0087/.0010) CAbc(.0000/.0000) caBC(.0000/.0000)
6 LG	●○ ●○ ○○	ABab(.0011/.0024) Bcb(.0011/.0025) CAca(.0017/.0000)
		#10 .0039/.0049
	●○ ●○ ○○	ABCab(.0000/.0000) abcAB(.0029/.0009) ABCbc(.0029/.0009) abcBC(.0000/.0000) ABCca(.0001/.0000) abcCA(.0000/.0000)
7 LG	●○ ●○ ○○	ABCabc(.0007/.0003)
		#12 .0007/.0003
合 計		.3245/.1464

A	a
B	b
C	c

〔注〕

- (1) LG は故障の線数を示す
- (2) ●は故障相, ○は健全相を示す
- (3) A B C a b c は電気的な相配列 (左図)
- (4) 故障回数は [回/年/100 km] の値
- (5) 小計欄の#1~#9は図3に対応

ここで、それぞれの故障形態について、図3の送電限界電力と表2の故障回数をひとつのグラフにして表したものが図4である。図4においては、架空地線が2条の場合と3条の場合が示されている。送電限界電力は横軸に、故障回数は#9から#1の順に累積値として縦軸にそれぞれ示してある。故障回数は送電線150 kmあたりの値である。

図4から、以下のようなことが分かる。

- (1) #1(A), #3(AB), #6(Aa), #7(ABa)の4つが比較的大きな故障回数の割合を占めている。3条化対策の効果も、これらの故障形態に対して大きく効いている。
- (2) 系統計画の基準として一般に採用されている故障条件に近い#4(ABC)の故障回数は極めて小さい。ただし、実際では雷以外の原因で#4(ABC)の故障は若干発生する。

図4 雷故障の累積故障回数

Fig. 4 Cumulative Frequency of Lightning Faults.

④.2> 送電信頼度の尺度 ここでは、前述した故障形態の発生頻度と送電限界電力を考慮して、つぎのような送電信頼度の尺度を定義する。すなわち、本論文では、年間当たり送電が停止する回数 [回/年] と1回当たりに停止する電力の大きさ [MW/回] の積として定義される年間送電停止電力 [MW/年] を採用する。この送電信頼度の尺度は、いわゆる供給支障電力 (Loss of Load Probability, LOLP) に相当するもので、統計学でのひとつの期待値である。年間送電停止電力は、当然、その送電線路に流れる電力の大きさに依存する。

以下にモデル系統について、年間送電停止電力の数値例を求めてみる。この数値は図3、表2、図4を用いて容易に算定することができる。たとえば、送電電力が1700 MWの場合は#1、#2、#3、#4のいずれの故障が起こっても送電停止にはならない。しかし#5、#6、#7、#8、#9あるいはそれ以上の過酷な故障が発生すると、送電系統の安定性が失われるので、1700 MWの送電が全て停止することになる（ここでは部分的な電源遮断は行わないとする）。したがって、架空地線が標準の2条の場合で、この送電電力の時に送電系統が送電停止となる回数は#5以上の累積故障回数に相当することから0.2055〔回/年〕となるので、年間送電停止電力はこれに1700〔MW/回〕を乗じることにより349〔MW/年〕となる。

5. 電力輸送力の向上効果

本節では、まず送電信頼度曲線を定義し、これを用いて電力輸送力の向上効果の定量化の手法を架空地線の3条化対策を例にしながら提案する(1)。

〈5.1〉送電信頼度曲線 前節で示したように、送電停止電力は送電線路を流れる電力の大きさに依存する。したがって、送電電力に対する年間送電停止電力のようすを示すひとつの曲線を描くことができる。この曲線をここでは送電信頼度曲線と呼ぶ。一般に、送電線路を流れる電力が増すにつれて、その送電信頼度は下がる。これは、送電電力が増すほど一回の停止電力は増加し、同時に送電停止の累積故障回数も増えるからである。

図3のモデル系統について送電信頼度曲線を具体的に描くには、前節の手順を送電電力を0 MWから3300 MWまで変えながら繰り返し行えばよい。結果を図5に示す。図5の送電信頼度曲線は、架空地線が2条の場合と3条の場合についてそれぞれ示している。

一般に、送電信頼度曲線は折れ線となる。したがって実際には、個々の故障形態に相当する図4の各コーナーの数値について上記の手順を繰り返せばよい。

〈5.2〉雷害対策の効果の定量化 ここでは、雷害対策の効果に対する新しい評価手法を提案する。提案する方法の説明に当たっては、モデル系統を例にする。

さて、〈3.2〉で述べたように、モデル系統において、従来の基準の故障条件に対する送電限界電力（電力輸送力）は1700 MWである。そして、架空地線が2条の場合にこの送電電力のときの年間送電停止電力は349〔MW/年〕となる。この値は従来この送電線路に対して保証されていた送電信頼度レベルに相当すると考えてよい。図5において、点Aがこの状態を指している。

つぎに、図5において、まず送電電力1700 MWを上方に延長し、3条の場合の送電信頼度曲線と交わる点Bを求めると、年間送電停止電力は218〔MW/年〕となる。すなわち、架空地線の3条化による故障回数の半減の効果は、送電信頼度の向上（曲線が上方へ移動）のかたちで示されている。また、従来の送電信頼度レベル349〔MW/年〕を右

方へ延長し、3条の場合の送電信頼度曲線と交わる点Cを求めると、送電電力は2370 MWとなる。すなわち、3条化による効果は、電力輸送力の向上（曲線が右方へ移動）のかたちで示されている。

ここで提案する手法は、上記の考え方に基づき雷害対策による電力輸送力の向上効果を評価するものである。すなわち、このモデル系統の場合、この評価手法によれば、

$$2370 \text{ MW} / 1700 \text{ MW} = 1.39 \text{ 倍}$$

の電力輸送力の向上効果が、従来の送電信頼度レベルを維持しつつ、架空地線の3条化により得られることになる。

さらに、図5からつぎのようなことが分かる。

- (1) 3条化による電力輸送力の向上には、故障形態#3(AB)、#6(Aa)、#7(ABa)の故障回数の減少が寄与している。
- (2) この場合、#1(A)の故障回数の減少は電力輸送力の向上には寄与していない。
- (3) 3条化することにより、想定故障の基準条件を緩和することができ、この場合#2(AB)を採用してもよい。

図5 送電信頼度曲線

Fig. 5 Power Transmission Reliability Curve.

〈5.3〉雷害対策の効果的な適用区間 前項ではモデル系統において架空地線を3条化すると、等価的に送電電力を1.39倍に増加できることを示した。しかし、3条化は150 kmの全区間に亘って適用する必要はなく、その効果的な適用区間はつぎのようになる。

- (1) 落雷が多発する区間
- (2) 送電端と受電端の近傍区間

ここで、(2)の理由は以下のとおりである。一般に、送電限界電力は雷故障の発生地点により異なる値をとる。たとえばモデル系統において、#2(AB)、#4(ABC)、#6(Aa)の故障が150 kmの区間の各地点で発生した場合の送電限界電

力は、図6のような概して凸形曲線になっており、送電線の両端での故障が最も厳しいからである。

図6 故障地点に対する送電限界電力
Fig. 6 Fault Location versus Transferable Critical Power.

6. まとめ

本論文では、雷害対策の電力輸送力向上効果に対する定量的評価に対して、確率的な考え方に基づく新しい手法を提案した。その要点は以下の通りである。

まず、雷故障を各種の故障形態に分類し、それぞれに対して、送電限界電力と故障回数の2つの数値を定めた。つぎに、送電信頼度の尺度として、年間送電停止電力を定義した。そして、この2つの数値と定義した送電信頼度の尺度から、当該の送電線路について、送電電力（横軸）に対する年間送電停止電力（縦軸）を表す送電信頼度曲線を描いた。この曲線を用いて、雷害対策の電力輸送力向上に対する効果を定量化した。すなわち、異なる雷害対策に対しそれぞれ信頼度曲線を求めたとき、縦方向の差が送電信頼度の向上分であり、横方向の差が同一信頼度レベルに対する電力輸送力向上分となることを示した。

さらに、提案の考え方を適用しながら、長距離の送電系統について、2条の架空地線を3条化した対策の例を示した。この例において、3条化によって落雷による故障発生の頻度は半減するが、その効果を定量化すれば、従来と同じ送電信頼度のレベルで、送電電力を等価的に約1.4倍だけ増大させることができることを示した。

提案の評価手法は、今後の系統計画において、送電の信頼度とコストの関係を定量づけ、両者のバランスを考慮した検討を行う場合に有効であると考えられる。

最後に、本論文の研究を遂行するにあたり、多大のご指導を受けた電力中央研究所柏江研究所鈴木俊男副所長、貴重など意見をいただいた同電力システム部栗原郁夫主任研究員に謝意を表す。

(平成6年12月14日受付、平成7年3月20日再受付)

文 献

- (1)井上, 高橋, 和田:「送電線雷事故防止対策とその輸送力向上効果評価法の開発」, 電力中央研究所報告 T93085 (平6-7).
- (2)井上:「送電線雷事故率予測計算法」, 電力中央研究所報告 T87089 (昭63-9).
- (3)絶縁設計合理化専門委員会「絶縁設計の合理化」, 電気協同研究, 44, No.3 (昭63-2).
- (4)田中, 浅田:「電力系統の過渡安定度解析のための故障計算手法」, 電学論B, 112 巻 5号 (平4).
- (5)田中:「電力系統の動特性解析のための多点故障計算手法」, 電学論B, 113 巻 3号 (平5).

高橋 一弘(正員) 1939年4月8日生。64年3月東京大学工学部電気工学科卒業。同年4月電力中央研究所入所。主として電力系統の解析手法の研究に従事。85年電力システム部長, 93年参事。72~73年米国テキサス大学客員教授, 89~92年九州工業大学客員教授。著書「電力システム工学」。工学博士。IEEE会員。

井上 敦之(正員) 1944年11月17日生。69年3月京都大学大学院工学研究科修士課程(電気工学)修了。同年4月電力中央研究所入所。主として送電線耐雷設計に関する研究に従事。工学博士。大気電気学会, IEEE会員。

田中 和幸(正員) 1951年12月30日生。76年3月九州大学大学院修士課程(電気工学)修了。同年4月電力中央研究所入所。主として電力系統の計画・運用・解析に関する研究に従事。81年8月~82年9月米国テキサス大学客員研究員。91年10月~92年7月九州工業大学客員助教授。