供給信頼度解析に基づく送電設備有効利用策の評価

正員 國富 一良 正員 栗原 郁夫 (電力中央研究所)

正員 館野 澄夫 正員 渡辺 勉 (東京電力)

Evaluation of More Effective Utilization of Transmission Facilities Based on Reliability Analysis

Kazuyoshi Kunitomi, Member, Ikuo Kurihara, Member (Central Research Institute of Electric Power Industry)
Sumio Tachino, Member, Tsutomu Watanabe, Member (Tokyo Electric Power Co.)

Quantitative evaluation of power system reliability in planning stage is one of the effective approaches to realize more efficient facility investments. Especially, recent movements toward more effective utilization of existing facilities calls for precise evaluation of appropriate time of investments, and in this respect, reliability analysis based on a probabilistic method is expected to play an important role as one of the powerful planning tools.

This paper discusses reliability analysis of the specific portion of a trunk transmission network, which supplies bulk power to the metropolitan area. The sequential Monte Carlo method is applied in order to evaluate the effect of yearly demand profile and operation strategies on power system reliability.

Application of the developed tool to a model network revealed that the transfer capability of existing transformers may be increased in probabilistic sense without significant deterioration of reliability, indicating the possibility of investment deferral.

In this paper, effects of applying new short time overload rating on transmission facilities are also examined. Initial short time overload rating on transformers is adopted, which allows more overloads on transformers than conventional rating for relatively short period just after the faults. The reliability analysis showed that this new rating can decrease the opportunities of loss-of-load, and as a consequence, can be effective in improving probabilistic transfer capability of the transformer.

キーワード：供給信頼度，確率論的手法，基幹系統，供給能力，設備耐量

1. はじめに

近年，電気事業を取り巻く環境は規制緩和の流れの中で，発電部門への競争の導入，自己託送制度の導入など大きく変化してきている。電力流通部門に関しても，一層のコストダウンに向けて，既存流通設備のさらなる有効活用と合理的な拡充を実現することがますます重要になってきている。

現在，多くの電力会社では電力流通設備の計画に際して必要な供給能力を確保するために，想定最大需要のもとで，単一の設備が停止しても供給支障が極力生じないように設備の増強を図るという基準（ $(N-1)$ 基準）を一般的に採用している。このような確定論的手法は簡明であり，安全サイドの評価が得られるというメリットがある。しかし一方では，事故発生の確率や需要の変動の影響などが充分には反映されない。実際，年間の最大需要はわずかな時間であ

り，また一日の需要変動でも一般にピークは昼間の時間帯に限られる。さらに事故の発生確率も送電線の長さや設備の置かれている環境によって大きく異なっている。このため，系統の運用状態を考えれば実際は $(N-1)$ 基準の想定条件に比べて緩い条件となっている場合が多いと考えられる。この想定条件と実態の差はいわば「隙間」に相当するものであり，これを埋めても，従来の確定論的な信頼度評価の意味からは，ほとんど影響がないものと考えられる。こうした「隙間」を定量的に見極めた上で流通設備を有効活用することは，供給能力向上を図る一つの有力な手段となる。

このようなきめの細かい供給信頼度の評価を行うには，従来の確定論的手法に加えて確率論的手法の適用が不可欠である⁽¹⁾。わが国でも，確率論的手法に基づく供給信頼度の定量的評価については，これまでにも二次系統（負荷供給系統）を対象に解析手法の開発が進められ^(2,3)，すでに一

部で実務への試験的適用も始まっている。一方、基幹系統に対する供給信頼度の定量的評価は、一般に電源や種々の系統運用条件の考慮、さらに事故発生に伴う系統異常現象が安定度など多岐にわたるため、極めて難しい問題である。しかし、基幹系統のうち、大規模負荷地域への供給系統（負荷供給基幹系統と呼ぶ）については二次系統と同様に放射状運用が基本であり、また電源の詳細模擬や安定度などの動的な系統問題を考慮しなくても十分な供給信頼度評価が可能である。さらに、このように対象系統を限定することで事故時の復旧模擬など運用実態を踏まえた扱いが容易に行える。なお、こうした部分的な基幹系統への適用に限っても上記の「隙間」の有効活用効果が失われることはない。

このため、本論文では負荷供給基幹系統を対象に、確率論的手法に基づく供給信頼度解析とその適用について述べる。まず、第2章では、特に運用条件の影響など、きめ細かな評価に最も適した手法として時系列モンテカルロ法を採用した信頼度解析プログラムについて述べる。ついで、第3章では具体的適用例として、供給信頼度解析からみた既存設備の有効利用方策の評価をとりあげ、変電所の供給能力向上の可能性と、変圧器の短時間過負荷耐量に対する柔軟な運用の効果について述べる。

2. 負荷供給基幹系統信頼度解析プログラムの概要

〈2・1〉 対象系統 本論文で対象にする負荷供給基幹系統は図1に示すように大規模負荷地域の周辺に存在する都心導入変電所から二次系統までを範囲とする。都心導入変電所は地域内にとっては電源に相当するものであり、通常複数箇所存在し、地域外の基幹系統で互いに連系されている。電力は都心導入変電所から基幹送電線によって負荷地域内に点在する供給変電所に供給され、さらに二次系統で配電用変電所に送られる。負荷供給基幹系統は基本的には地中送電線で構成されている。

図1 負荷供給基幹系統の概念図

Fig.1. Trunk transmission network to supply large load center.

供給信頼度解析のためのモデル化に関して、まず電源については都心導入変電所を無限大母線として模擬し、これについては事故発生はないものとした。都心導入変電所から供給変電所二次側母線までは本解析の中心であり、図2に示すように回線毎に詳細にモデル化するとともに、この区間で発生する事故を模擬した。供給変電所の二次側母線

より下位の系統については、送電ルート毎に負荷を縮約してモデル化した。対象とする系統はすべて放射状であるが、各ルートが複数回線で構成されるため、回線間のループ潮流も考慮している。なお、計算される供給信頼度指標は供給変電所の二次側母線での値である。

事故発生時の停電ないし過負荷の解消は二次系統の負荷切替えによって行う。負荷切替えのモデル化にあたっては、実際の基幹系統の設備計画の実態を踏まえ、切替え先の隣接変電所の変圧器容量が常時容量を超過しないことを前提に一段切替えのみを模擬した。二次系統の負荷切替えは、一般に給電指令によるため、ある程度の時間が必要である。本検討では1回線当たり10分とした。

切替え先の変電所に余裕がなく、負荷切替えが行えないなどにより過負荷が解消されない場合には、設備耐量超過分を「供給支障量」として、信頼度指標（リスク指標）に計上した。

なお、今回使用した負荷供給基幹系統は需要規模が約6GWで、都心導入変電所数5、供給変電所数13、二次系統の縮約した負荷数78である。

図2 負荷供給基幹系統のモデル化

Fig.2. Modeling of trunk transmission network to supply large load center.

〈2・2〉 時系列モンテカルロ法に基づく供給信頼度解析手法 確率論的手法に基づく供給信頼度の解析手法としては、大別して状態列挙法とモンテカルロ法とがある⁽¹⁾。両者の違いは系統状態の設定方法にあり、状態列挙法は需要断面を数パターン想定し、事故設備を「数え上げる」ことにより、系統状態を作成するのに対し、モンテカルロ法は疑似乱数に基づき系統状態を発生させる。一般に、前者は電源を含まない送電系統のみの信頼度解析には効率的で、後者は電源を含む電力系統全体の信頼度解析に特に有効とされている⁽⁴⁾。また、モンテカルロ法には、各サンプリングの間に時間的関係のない非時系列モンテカルロ法と、時間を追ってサンプリングを行う時系列モンテカルロ法とがある。

本検討で対象とする負荷供給基幹系統の信頼度解析には

状態列挙法の適用も考えられるが、前述した通り、今回は特に需給状況の変化や設備の運用形態が供給信頼度に与える影響の評価に重点を置いているため、これらの模擬が容易に可能な時系列モンテカルロ法を採用した。すなわち、時系列モンテカルロ法を用いることにより、あたかも実際の系統を時間を追って運転するように模擬することが可能となり、実際の事故様相（ある事故による停電規模・復旧過程）の推移が把握できる。基幹系統では一旦停電を引き起こすと影響が大きいので、こうした個々の事象の発生条件とその推移の把握も重要と考える。また、基幹系統の重要性からは、多重事故（ある設備の停止中に別の設備の事故発生を含む）の模擬も必要と考えられ、こうした事故の組み合わせの設定が容易な点も、今回、時系列モンテカルロ法を採用した理由の一つである。

概念的な計算の流れは図3に示す通りである。すなわち、まず系統状態として需要と設備事故の設定を行う。需要については1時間毎の系統全体の時系列需要を少なくとも1年間分準備する。各負荷点への需要の配分は、ピーク時点の潮流分布をベースに一律に行う。このため、負荷パターンは各負荷点で共通となるが、業務用需要が中心の都市部を対象としているため、地点による差は比較的小さいと考えられる。

図3 時系列モンテカルロ法による信頼度解析フロー

Fig.3. Reliability analysis based on sequential Monte Carlo method.

設備状態の設定は1時間毎に疑似乱数を用いて、各設備の事故率に応じた確率分布で事故を発生させる。事故の発生を想定した設備は図2に示す範囲内の送電線、変圧器、母線、遮断器である。

潮流計算は対象系統が負荷系統であることから、直流法に基づいている。すなわち、有効電力による過負荷のみを議論している。過負荷が発生する場合には、<2.1>で述べたように二次系統の負荷切替えを行い過負荷解消を試みる。解消できなかった過負荷は供給支障として信頼度指標の算定に用いる。

以上のプロセスを所定の精度が得られるまで繰り返す。

モンテカルロ法による信頼度指標は、次式のように各サンプル毎の標本の値（供給支障電力量など求めたい指標に対応する値）を全サンプル数で割った値として与えられる。

$$\tilde{E}(F) = \frac{\sum_{i=1}^N F(x_i)}{N} \quad \dots\dots(1)$$

ここに、 $\tilde{E}(F)$:求める指標（期待値）、 N :サンプル数、 $F(x_i)$:標本の値、 x_i :サンプルされた状態である。

ただし、本検討では信頼度指標を年間の期待値として算定するため、サンプリングは1時間毎に行うものの、標本の値は1年毎に集計して扱っている。

モンテカルロ法による信頼度解析を行う場合には、サンプル数の制約による計算指標の誤差に留意しなければならない。一般に、モンテカルロ法による計算誤差は、指標に対するその標準偏差の比として次式で評価される⁽⁴⁾。

$$RU = \frac{\sqrt{V(\tilde{E}(F))}}{\tilde{E}(F)} \frac{\sqrt{V(F)}}{\sqrt{N} \cdot \tilde{E}(F)} \quad \dots\dots(2)$$

ここに、 RU :相対誤差、 $V(\tilde{E}(F))$:指標の分散、 $V(F)$:標本 F の分散、 N :サンプル数である。

表1 サンプル数と相対誤差（指標：供給支障電力）

Table 1. Sample number vs. relative uncertainty (EPNS).

シミュレーション期間	500 年	2,000 年	10,000 年
相対誤差 (RU)	約 20%	約 10%	約 5%

注) サンプル数=シミュレーション期間×8760

すなわち、相対誤差は標本の標準偏差に比例し、サンプル数の平方根に反比例する。このため、計算精度を高めるには分散を減らすかサンプル数を増やすことが必要である。分散の低減手法についてはこれまでもいくつかの手法が提案されているが⁽⁴⁾、ここでは特に採用していない。サンプル数と相対誤差については、今回の計算条件では概ね表1の関係が得られている。このため、第3章で示す具体的検討では、計算時間との兼ね合いから、時系列としてのシミュレーション期間（サンプル数はシミュレーション期間×8760）は基本的には2000年とした。

<2・3> 供給信頼度指標 供給支障を評価する尺度としては、頻度・量・継続時間などが用いられることが多いため、ここでは表2に示す4種類の供給信頼度指標を採用した。これらはいずれも年間の期待値として与えられる。なお、EPNS については事故発生直後の供給支障電力の値を用いている。

表2 供給信頼度指標
Table 2. Reliability index.

指標	意味	単位
LOLD	年間の供給支障時間の期待値 (Loss Of Load Duration)	時間/年
LOLF	年間の供給支障回数の期待値 (Loss Of Load Frequency)	回/年
EENS	年間の供給支障電力量の期待値 (Expected Energy Not Supplied)	MWh/年
EPNS	年間の供給支障電力の期待値 (Expected Power Not Supplied)	MW/年

3. 流通設備有効利用策の供給信頼度からの評価

ここでは、開発した時系列モンテカルロ法に基づく供給信頼度解析プログラムの一つの適用として、既存流通設備の有効利用策の供給信頼度から見た評価を行う。

<3・1> 計算条件 対象とした系統は<2.1>で述べた負荷供給基幹系統である。需要については実績をベースに1時間毎の年間時系列データを5年分準備した。5年間の負荷を用いたのは、各年固有の天候状態などによる変動を考慮しつつ、平均を求めるためである。

表3 設備事故率^(5,6)と修理時間
Table 3. Fault rate and repair time.

設備	事故率	修理時間
変圧器	2.94/1000 台・年 [*]	3 ヶ月
遮断器	0.53/1000 台・年 [*]	1 ヶ月
地中送電線	0.04/100 km・年 ^{**}	3 ヶ月
母線	0.90/1000 本・年 [*]	1 ヶ月

注) ^{*}) 電圧階級を無視した平均値
^{**}) 187~275kV 送電線の平均値

設備の事故率と修理時間については表3の通りとした。修理時間については十分な統計データはないが、基幹系統設備に対しては予備品の準備も極めて限定されており、修理(交換も含めて)が数ヶ月にも及ぶことがある。このため、今回の検討では代表的な値として、設備に応じて1ないし3ヶ月を設定した。なお、事故によってはこれほどの修理時間を必要としないものもあるため、計算結果は厳しめの値になっていることに留意されたい。

<3・2> 供給変電所の供給能力 変電所変圧器の増強計画においては、以下で定義される(N-1)基準に基づく「有効稼働率」が指標として使われることがある。有効稼働率はピーク需要時に変圧器が1台停止した場合、負荷切替えを考慮した上での残りの健全変圧器の稼働率を表す指標である。

$$T = \frac{\sum_{i(i \neq i_f)} P_i}{\sum_{i(i \neq i_f)} CS_i + \sum_j CW_j} \times 100 (\%) \quad \cdots (3)$$

ここに、T: 有効稼働率、P_i: 健全変圧器の潮流、CS_i: 変圧器短時間容量、CW_j: 二次系 j 線路の負荷切替量、i: 変圧器番号、i_f: 停止変圧器番号である。

有効稼働率が 100%を超過すると、ピーク時に単一事故が発生した場合供給支障となる。すなわち、有効稼働率が 100%の負荷断面が、(N-1)基準の確定論的手法に基づく変電所の最大供給能力である。

しかし、実態としてはピーク需要は年間の限られた時間でしか発生せず、また事故の発生も各変電所で一律ではないため、変電所によっては供給信頼度の違いがかなり生じていると考えられる。これらは、以前から指摘されてはきたが具体的な評価はあまりなされて来なかった。

図4は、対象系統の代表的変電所の有効稼働率の変化を需要の増加に対して描いたものである。有効稼働率は、需要の増加に伴って線形に増加し、隣接変電所への負荷切替えができなくなった時点で不連続的に上昇する。

図4 変電所の有効稼働率
Fig. 4. Effective utilization factor of substation.

図5は同じ変電所の EENS (供給支障電力量) の値を計算したものである。多重事故により、有効稼働率が 100%以下でも EENS の値は零にはなっていない。A,C 変電所については需要増加が 110%を越えた時点から上昇し始めほぼ同様なカーブを描くが、A 変電所は需要増加が 120%のあたりで急激に増大する。これは 110%を越えたあたりから「隙間」が減少し始め、120%あたりで「隙間」がほと

んど無くなることを意味する。後者については、事故による設備停止が数か月継続することでその間の高需要時に過負荷が発生するようになるためである。

図5 変電所の信頼度指標 (EENS)

Fig. 5. Reliability index of typical substations (EENS).

このように EENS は一般にある需要レベルから急激に悪化する傾向が認められる。計画基準として EENS の確保すべき信頼度レベルを設定するには種々の要素を考慮する必要があるが、少なくとも急激に悪化する点より前の値を採るべきと考える。今、仮に急激に悪化する点をひとつの目安と考えると、A, C 変電所では有効稼働率を用いた従来の確定論と比べて、約 10%ポイント程度のさらなる需要増加に対して既存設備のままで対応できることになる。すなわち確率論的にみると最大供給能力が、約 10%ポイント程度向上すると考えられる。

確率論的手法に基づく供給信頼度の定量的解析は、より実態に即した設備の供給能力の評価を可能とする点で、既存設備の有効利用をきめ細かに図るためのひとつのツールとしての活用が期待される。

＜3・3＞ 変圧器の設備耐量の細分化の効果 従来、変電所変圧器の計画を行う場合の設備耐量の考え方は、「常時容量」と「短時間容量」の2本立てで行われている。短時間容量は、たとえば2時間は 120%過負荷まで許容するというようなものである。ここではこれに対し、さらに短い時間単位で変圧器の容量を管理することを考え、細分化した設備耐量を導入した。

(1)初期短時間容量の導入効果 変圧器の設備耐量に關し、継続時間が短ければ、従来の短時間容量よりも大きな耐量が存在するという「隙間」に着目すると、事故直後は従来以上の設備耐量を許容しても、変圧器自体への影響は少ない場合があると考えられる。事故直後に、より大きな設備耐量（初期短時間容量と呼ぶ）を導入すると、図6に示すように従来の短時間容量の下では供給支障となっていた事故が供給支障とならなくなる。このように、系統の切替え能力の一層の活用が図られれば、供給信頼度を維持したままで変電所の供給能力向上が可能となる。なお、本方式の具体的な実現は、過負荷リレーの段階的整定によって

行うことができる。なお、送電線については、変圧器に比べて熱的時定数が小さいため、設備耐量の細分化はここでは想定していない。

このような設備耐量の細分化による既存設備の有効利用策の評価を、従来の確定論に基づく信頼度評価で行うことは、検討が煩雑になるなど現実的には困難である。しかし、今回の時系列モンテカルロ法による供給信頼度の定量的解析によれば、こうした評価が的確に行える。なお、初期短時間容量の最大許容時間は本検討では仮に1時間と設定したが、この間に負荷切替えが行われるため、初期短時間容量に近い潮流が継続することはない。

図6 変圧器の設備耐量の細分化

Fig. 6. Subdivision of overload rating of transformer.

初期短時間容量の影響を全体的に把握するため、まずは対象系統内のすべての変圧器に対して設定されるものと考えた。供給信頼度指標としては各供給変電所の指標の和である負荷供給基幹系統全体の値を用いる。ただし、EENSでは＜3・2＞で述べたようにある需要増加断面で、値が急激に悪化する傾向があり、この断面が各変電所毎に異なるため、初期短時間容量導入の全系における効果が不透明になる可能性がある。このためこうした傾向の少ない EPNS (供給支障電力) を用いた。

図7は初期短時間容量をパラメータにとり、需要の増大に対する全系の EPNS の変化を示したものである。図中で初期短時間容量 120% (常時容量に対する割合) は、従来の2段階の容量設定の場合に相当する。

この図から、初期短時間容量の適用によって供給信頼度が向上しているのがわかる。但し、初期短時間容量が 135% から 150% になっても向上効果は少ない。これは、単一事故で従来の短時間容量を越える過負荷の大きさは小さく、また多重事故の発生も比較的小さいことから、結果的に若干の容量増加を認めることで、実質的に大きな信頼度向上効果が期待できることを意味する。計算例では、例えば確保すべき信頼度レベルを 10MW/年とすると、従来の容量管理では系統全体として 112%程度の需要増加までの供給能力であったが、初期短時間容量 135%を導入することで需要増加 117%弱まで、すなわち約 5%ポイント程度、確率

論的意味での系統全体の供給能力向上が図られることになる。なお、この図で、初期短時間容量 120%、需要増加 117% の点における全事故中の多重事故の割合は約 11% である。

図7 初期短時間容量の供給信頼度への影響
(系統指標)

Fig. 7. Effect of initial short time overload rating on reliability index (System index).

つぎに、初期短時間容量の導入効果を個別の変電所の変圧器の供給能力の点から見る。図8は<3・2>のA変電所について、初期短時間容量をパラメータにEENSを示したものである。

図8 初期短時間容量の供給信頼度への影響
(A変電所; EENS)

Fig. 8. Effect of initial short time overload rating on reliability index (Substation "A"; EENS).

EENSが急激に増大する需要より前の値として、仮に0.5MWh/年の信頼度レベルを確保するものとする、現状の短時間容量の考え方では113%程度までの需要増加に対応できるが、初期短時間容量135%の設定では約118%の需要増まで対応できることになる。ただし、EENSが急激に増加する需要断面に近づく、初期短時間容量の導入によ

る供給能力向上の効果は減少してくる。なお、この効果も変電所毎に異なるため、実際の適用に当たっては一律でなく、最も効果的な個所を選択すべきである。

(2) 年負荷率変化の影響 確率論的意味での供給能力の向上は「隙間」の活用にあたるため、需給条件などの変化によって影響を受ける。ここではその一つの例として年負荷率の向上の影響について調べる。

ここで想定した負荷率の変化パターンは、蓄熱設備の普及等により、冷房負荷の平準化が図られ、夏季の7月から9月にかけてピークカット、ボトムアップが達成されたというものである。年負荷率は、変化前の基準ケースが5年平均で56.1%、変化後が59.2%で約3%の負荷率向上を見込んだケースである。

想定した負荷率変化パターンはピークカットを含むためピーク時の負荷レベルが低下する。しかし、今回の検討では、評価の考え方としてピーク負荷レベルを一致させた場合を考える。すなわち、負荷平準化策が効果を発揮するとともに一方では需要の増加もあり、結果的にピークは変わらず負荷形状のみが変化した場合について考える。

図9は解析結果である。従来の確定論的評価では年負荷率が変化してもピークが変わらなければ信頼度は基本的に不変となるが、実際は信頼度レベルが若干低下する。これは、高需要の時間帯が増え、事故時に過負荷が発生する確率が高まるためである。また、特に需要増加が大きい場合には信頼度の低下の度合いは大きくなる。

図9 負荷率向上の供給信頼度への影響

Fig. 9. Effect of improvement of load factor on reliability index.

変圧器に対する初期短時間容量の設定による確率論的意味での供給能力向上効果は、負荷率が低い方が若干大きい。これは、ピークを不変とする負荷率の向上は、有効活用できる系統状態の「隙間」の相対的減少に相当するためである。

4. むすび

電力流通部門に対しても設備投資の一層の効率化が求め

られる中で、確率論的手法に基づき供給信頼度を定量的に評価し、送変電設備計画に反映させることは一つの有効な手段と考える。確定論的手法に基づく $(N-1)$ 基準は今後も基本となる信頼度基準であろうが、代替案のより細かな評価や運用等の見直しによる影響の評価など、確定論的手法では評価が困難な場合に確率論的手法を合わせて活用していくことが重要と考える。

このため、本論文では基幹系統のうち、大規模需要地への供給系統を対象に時系列モンテカルロ法による供給信頼度解析プログラムの開発を行った。時系列モンテカルロ法は幾つかある信頼度解析手法の中で、最も実態に近い信頼度解析が比較的容易に実現可能な手法である。

開発した手法を、変電所の供給能力向上の評価と、変圧器の設備耐量の運用を細分化した場合の評価に適用した。その結果、変電所供給能力については、信頼度レベルを実質的には悪化させることなく向上できるケースがあることが明らかになった。また、変圧器の設備耐量に関して、新たに初期短時間容量を設定することで供給信頼度の向上と供給能力の向上が図られることが示された。

既存設備の有効利用は、電力流通部門の効率化にとって一つの重要な要素であり、これを供給信頼度への影響を定量的に見極めながら進めていくことは重要である。今回開発した負荷供給基幹系統の供給信頼度評価システムはそのための一つの有効な手段と考える。

今後の課題として、適用面では種々の既存設備有効利用策の評価の実施、手法面ではモンテカルロ法の効率化、需要特性の扱い、さらには外輪系統や電源を含めた基幹系統全体の供給信頼度評価手法の開発が重要である。これらについては現在開発を進めている。なお、これらとは別個に、初期短時間容量の設定など既存設備の有効利用策が機器固有の信頼度に及ぼす影響について検討することも重要である。

(平成10年5月8日受付, 同10年9月29日再受付)

文 献

- (1) "Power system reliability analysis. Application guide" CIGRE WG03 of SC38 (Power system analysis and techniques) - 1987
- (2) 内藤, 杉山, 諸住: 「電力負荷送電系統の供給信頼度評価システムの開発」学会論 B, 110, 929~937 (平 5.10)
- (3) 栗原, 松本, 田中: 「二次系統の供給信頼度解析システムの開発」学会論 B, 117, 585~593 (平 9.4)

- (4) "Development of a Composite System Reliability Evaluation Program. Volume 1: Methodology and Project Results", EPRI EL-6926, V1 1990
- (5) 電気共同研究 第41巻 第5号「変電設備信頼度向上対策」(昭 61.2)
- (6) 「平成6年度 電気事故統計」資源エネルギー庁公益事業部技術課編 (平 8.3)

國富 一良 (正員) 1960年5月6日生。1986年3月東京

工業大学大学院理工学研究科電気・電子工学専攻修士課程修了。同年東京電力(株)入社。平成8年7月より(財)電力中央研究所電力システム部に勤務。主として電力システムの計画に関する業務・研究に従事。

栗原 郁夫 (正員) 1953年6月5日生。1982年3月東京

大学大学院電気工学専門課程博士課程修了。同年(財)電力中央研究所入所。1986~1987年アメリカ合衆国テキサス大学アーリントン校客員研究員。主として電力システムの計画・運用技術に関する研究に従事。工学博士。1992, 98年電気学会論文賞受賞。IEEE Senior Member。

館野 澄夫 (正員) 1964年7月30日生。1990年3月京

都大学大学院工学研究科電気工学第二専攻修士課程修了。同年東京電力(株)入社。現在、同社技術部勤務。主として基幹系統の計画に関する業務に従事。

渡辺 勉 (正員) 1953年4月29日生。1978年3月京

都大学大学院工学研究科電気工学専攻修士修了。同年東京電力(株)入社。現在、同社技術部勤務。主として基幹系統計画(UHV, 50万Vケーブルなどの新技術関連の系統計画)に関する業務に従事。