瞬低対策機器の導入費用と導入効果の評価に関する基礎検討

学生員 郎 旭輝* 正員 原 亮一*
 正員 北 裕幸* 正員 田中 英一*
 正員 長谷川 淳* 正員 久保 宏**
 正員 世永 茂**

A Study on the Innovation Cost and Effectiveness Evaluation of
 Compensation Devices for Voltage Sags

Xuhui Lang*, Student Member, Ryoichi Hara*, Member, Hiroyuki Kita*, Member, Eiichi Tanaka*, Member,
 Jun Hasegawa*, Member, Hiroshi Kubo**, Member, Shigeru Yonaga**, Member

Due to the advancement of information technology and widespread use of power electronic devices in recent years, many customers in various fields have suffered from the voltage sag problem. In order to compensate voltage sags, sensitive loads have been primarily equipped with uninterruptible power supplies (UPS) by each consumer individually. Because consumers have many individual needs, this topic becomes an important problem to be considered by quality consultants in the electric utility industry.

Based on this situation, we present the applications of UPS and dynamic voltage restorer (DVR) as compensation devices of voltage sags. By considering the need for power quality, we examine the cost-efficiency of both devices quantitatively. Simulations are carried out and the results are shown in this paper.

キーワード：瞬時電圧低下，瞬低分布，瞬低コスト

Keywords: voltage sags, voltage sags distribution, voltage sags cost

1. はじめに

近年、情報化技術（IT）の進展、都市環境の高度化・多様化により、社会の電気への依存度はいっそう高まっている。そのなかでも、特にパワーエレクトロニクスを使用した機器・システムの発展はめざましく、産業用から一般家庭用まで広い範囲に普及してきている。これらの機器・システムは電圧低下にきわめて敏感に反応し、電圧低下に対する許容度が少ないため、瞬時電圧低下（以下瞬低）によって直ちに機能を停止してしまうという性質がある。従来から計算機を多用してきたデータセンターや銀行などの需要家だけでなく、近年、半導体や液晶などの製造業需要家においても瞬低の影響が問題となってきた。このような背景から、電力品質に対する需要家ニーズに即した瞬低対策

案を作成し、需要家へ適切なコンサルティングを行うサービスへの関心が高まってきている。

ところで、瞬低は雷などの自然現象による事故がその主要原因であるが、雷そのものの発生を除去することは、現在の技術では不可能である。また送電線などへの雷撃による事故を完全に防止することは、不可能ではないにしてもそのためのコストは極めて大きい。例えば既設送電線を全て地中化すれば送電線の雷事故は防止できるが、これは現実的ではなかろう。また、需要家ニーズが多様化しつつある現状を考慮すると、各需要家がそれぞれのニーズに合った対策をとることが有効であると考えられる⁽¹⁾。

瞬低対策としてはこれまで、重要機器に対し無停電電源装置（*Uninterruptible Power System*, *UPS*）や直列型電圧補償装置（*Dynamic Voltage Restorer*, 以下 *DVR*）を併設するなどの対策が主になされてきたが、これらの装置を需要家に導入する際の費用と導入効果を定量的に評価する必要があると考えられる。

そこで本論文では、いくつかの瞬低対策機器に対し、需要家の電力品質に関するニーズを考慮しつつ、各対策機器の導入費用および導入効果を定量的に評価する手法を提案し、需要家への適切なコンサルティングへの活用に向けた

* 北海道大学大学院工学研究科
 〒060-8628 札幌市北区北 13 条西 8 丁目
 Graduate School of Engineering, Hokkaido University
 N13 W8, Kita-ku, Sapporo 060-8628

** 北海道電力（株）
 〒060-8667 札幌市中央区大通東 1 丁目
 Hokkaido Electric Power Co., Inc.
 Odori E1, Chuo-ku, Sapporo 060-8667

基礎検討を行うことを目的とする。

2. 想定する瞬低対策機器の概要

本論文では、通常よく使われている瞬低対策機器として、DVR、常時商用給電方式 UPS (Stand-by Power System, 以下 SPS)、常時インバータ方式 UPS (Uninterruptible Power System, 以下 UPS) について検討する。以下、それぞれの対策機器の概要について述べる。

2.1 DVR 図 1 のように、エネルギー蓄積装置としてコンデンサを使用し、自励式電圧形インバータを連系用変圧器を介して系統に直列に接続する構成である。なお、エネルギー蓄積装置としては、フライホイールや蓄電池を用いるものも海外では開発されているが、本論文ではわが国で一般に用いられているコンデンサを想定した。常時は、系統から切り替えスイッチを通して負荷に電力を供給するとともに充電器を通してコンデンサを充電する。瞬低発生時には、切り替えスイッチを OFF にし、コンデンサに蓄えられたエネルギーを用いて低下した分の電圧をインバータで生成し、系統電圧に重畳することで負荷電圧を一定に保つ。

瞬低が発生した際、負荷への供給電力の一部はコンデンサに蓄えられているエネルギーにより賄われることになる。そのため、補償可能となる時間は負荷の消費電力、コンデンサの容量、および電圧低下度に依存して決定される。なお、瞬低の検出・制御には 4 ~ 15 [ms] の遅れを伴うため⁽¹⁾、それより継続時間の短い瞬低は補償不可能である。

2.2 SPS 図 2 のように、系統から負荷を切り離すための高速スイッチと、蓄電池および連系用変圧器を介して系統に並列に接続する自励式インバータから構成される。常時は系統側の商用電源から負荷へ電力供給を行うとともに充電器を通して蓄電池を充電する。瞬低・停電発生時には、高速スイッチにより負荷を系統から切り離し、蓄電池からインバータを介して負荷に電力を供給する。

SPS は本来、短時間停電を補償する機器であるため、瞬低補償には十分な容量の蓄電池を備えており、エネルギー貯蔵にコンデンサを用いる DVR のように補償可能時間の制約はない。なお、瞬低の検出ならびに高速スイッチの動作には 2 ~ 10 [ms] の遅れを伴うため⁽¹⁾、それより継続時間

図 1 DVR の内部構成

Fig. 1. Schematic diagram of DVR.

図 2 SPS の内部構成

Fig. 2. Schematic diagram of SPS.

図 3 UPS の内部構成

Fig. 3. Schematic diagram of UPS.

の短い瞬低は補償不可能である。

2.3 UPS 図 3 のように整流器、蓄電池、インバータおよび接地用変圧器から構成される。常時は系統側からの交流電力を、整流器により直流電力に変換し、蓄電池を充電するとともにインバータへ電力を供給する。インバータはこの直流電力を交流電力に変換し負荷に電力供給を行う。瞬低・停電発生時には整流器は停止するが、蓄電池からインバータを介して電力供給が継続されるため、常に安定した品質の全く瞬低のない電力を負荷に供給することができる。また、UPS 故障時に無瞬断でバイパスできる高速スイッチを設置する。

この方式では、簡単な制御で極めて高品質の電力供給が可能となる反面、常時整流器とインバータを介するため損失は増加する。

3. 想定する瞬低対策機器の導入費用の評価

本章では瞬低対策機器を構成する各要素に対し、補償に必要な容量を考慮したうえで、各瞬低対策機器を導入する際にかかる費用を定量的に評価する。また、需要家ニーズの変化に伴う導入費用の変化について試算する。

3.1 瞬低対策機器の導入費用の定式化 いま、図 4 のように、瞬低によって系統側の電圧 (定格値) が $\dot{V}_S = V_S (= V_L)$ から $\dot{V}_S = \alpha V_S \angle \theta$ ($0 < \alpha < 1$) に変化する状況を想定する。瞬低対策を行わない場合、負荷側の電圧も $\dot{V}_L = \alpha V_L \angle \theta$ となるが、瞬低対策機器によって、これを需要家が許容し得る電圧 $\dot{V}_L = \beta V_L \angle \theta$ ($\beta > \alpha$) まで回復させることを考える。なお、瞬低は三相同時に発生するものと

図4 瞬低前後の電圧

Fig. 4. Voltage before and after voltage sags.

する。

3.1.1 DVR

(1) インバータ容量 瞬低発生時、低下した電圧分を系統と同位相で DVR から出力する。需要家の許容する電圧を考慮すると、インバータから出力される電圧は以下の式で求めることができる。

$$\dot{V}_{DVR} = \dot{V}_L - \dot{V}_S = \beta V_L \angle \theta - \alpha V_L \angle \theta \quad (1)$$

$$\therefore |\dot{V}_{DVR}| = (\beta - \alpha) V_L \quad (2)$$

したがって、必要なインバータ容量は以下のように決定される。

$$S_{INV} = 3(\beta - \alpha) V_L I_{\max} = 3(\beta - \alpha) S_{\max} \quad (3)$$

ここに、 $\dot{V}_L$ ：瞬低を補償した後の負荷相電圧、 $\dot{V}_S$ ：瞬低発生後の系統側相電圧、 V_L ：瞬低発生前の負荷相電圧の大きさ（定格値）、 θ ：瞬低発生後の系統側相電圧の位相角、 $\dot{V}_{DVR}$ ：DVR が補償する電圧、 $I_{\max}$ ：負荷相電流の最大値、 $S_{\max}$ ：負荷の最大消費電力（一相分）、 S_{INV} ：インバータの容量

(2) コンデンサ容量 DVR のコンデンサから出力可能なエネルギーは、コンデンサの静電容量とインバータの仕様によって決定され、以下のように表すことができる。

$$W = \frac{1}{2} C (V_0^2 - V_{\min}^2) = Pt \quad (4)$$

(3) 式より、

$$P = 3(\beta - \alpha) S_{\max} \cos \varphi \quad (5)$$

$$\therefore C = \frac{6(\beta - \alpha) S_{\max} \cos \varphi}{V_0^2 - V_{\min}^2} \times t \quad (6)$$

ここに、 W ：コンデンサから利用可能なエネルギー、 P ：DVR から出力する有効電力、 t ：瞬低補償時間、 φ ：負荷の力率角、 V_0 ：インバータ直流部の定格電圧、 $V_{\min}$ ：インバータ直流部の最低動作電圧、 C ：コンデンサの静電容量

(3) 変圧器容量 DVR は単相変圧器が 3 基使われており、1 基あたりの容量は以下のように決定される。

$$S_{T1} = V_L I_{\max} = S_{\max} \quad (7)$$

ここに、 S_{T1} ：単相変圧器の容量

(4) 切り替えスイッチ容量 単相の切り替えス

チが 3 基用いられ、1 基の容量は以下のように決定される。

$$S_{SW} = S_{\max} \quad (8)$$

ここに、 S_{SW} ：切り替えスイッチの容量

(5) 導入費用

$$C_{DVR} = S_{INV} \times C_I + C \times C_C + 3 \times S_{T1} \times C_{T1} + 3 \times S_{SW} \times C_{SW} \quad (9)$$

ここに、 C_I ：インバータの単価、 C_C ：コンデンサの単価、 C_{T1} ：単相変圧器の単価、 C_{SW} ：高速切り替えスイッチの単価

3.1.2 SPS

(1) インバータ容量 SPS は瞬低発生時、高速スイッチにより負荷を系統から切り離し、全ての負荷電力を供給しなければならない。このとき、インバータの出力電圧は以下のように決定される。

$$|\dot{V}_{SPS}| = \beta V_L \quad (10)$$

よって、インバータの容量は以下のように決定される。

$$S_{INV} = 3\beta V_L I_{\max} = 3\beta S_{\max} \quad (11)$$

ここに、 $\dot{V}_{SPS}$ ：SPS から出力する電圧

(2) 蓄電池容量 蓄電池の蓄積エネルギーは以下の式で表すことができる。

$$W = Pt \quad (12)$$

(11) 式より、

$$P = 3\beta S_{\max} \cos \varphi \quad (13)$$

$$\therefore W_B = 3\beta S_{\max} \cos \varphi \times t \quad (14)$$

ここに、 W_B ：蓄電池の容量、 W ：蓄電池の蓄積エネルギー、 P ：SPS から出力する有効電力、 t ：瞬低補償時間

(3) 変圧器容量 SPS は 1 基の三相変圧器を介して系統に接続する。その容量は以下のように決定される。

$$S_{T3} = 3V_L I_{\max} = 3S_{\max} \quad (15)$$

ここに、 S_{T3} ：三相変圧器の容量

(4) 切り替えスイッチ容量 切り替えスイッチは単相のものが用いられ、その容量は以下のように決定される。

$$S_{SW} = S_{\max} \quad (16)$$

(5) 導入費用

$$C_{SPS} = S_{INV} \times C_I + W_B \times C_B + S_{T3} \times C_{T3} + 3 \times S_{SW} \times C_{SW} \quad (17)$$

ここに、 C_B ：蓄電池の単価、 C_{T3} ：三相変圧器の単価

3.1.3 UPS

(1) 整流器およびインバータ容量 ここでは整流器とインバータを同じ容量にすることとした。整流器およびインバータの容量は SPS と同様、以下のように決定される。

$$S_{REC} = S_{INV} = 3\beta V_L I_{\max} = 3\beta S_{\max} \dots\dots (18)$$

ここに、 S_{REC} ：整流器の容量

(2) 蓄電池容量 SPS と同様にして、蓄電池の容量は以下のように求められる。

$$W_B = 3\beta S_{\max} \cos \varphi \times t \dots\dots\dots (19)$$

(3) 変圧器容量 三相接地用変圧器が用いられており⁽¹⁾、その容量は以下のように決定される。

$$S_{T3} = 3 V_L I_{\max} = 3 S_{\max} \dots\dots\dots (20)$$

(4) 切り替えスイッチ容量 単相の切り替えスイッチが3基用いられ、1基の容量は以下のように決定される。

$$S_{SW} = S_{\max} \dots\dots\dots (21)$$

(5) 導入費用

$$C_{UPS} = S_{REC} \times C_R + S_{INV} \times C_I + W_B \times C_B + S_{T3} \times C_{T3} + 3 \times S_{SW} \times C_{SW} \dots\dots\dots (22)$$

ここに、 C_R ：整流器の単価

3.2 瞬低対策機器の導入費用の試算

3.2.1 試算データ 試算に用いた需要家データを表1のように想定した。なお、需要家の容量、許容電圧低下度(β)、力率の設定においては、一例として与えたものであり、これらの間に特別な関係を仮定しているものではない。また、瞬低対策機器を構成する各要素のコスト単価については、文献(3)(4)より抜粋し表2に示す。ただし、コンデンサのコスト単価については、文献(2)より推定し500,000 [円/F]とした。インバータの直流部電圧は $V_0 = 10$ [kV]、 $V_{\min} = 5$ [kV] と想定した。

3.2.2 試算結果 表1、表2のデータを用いて試算した導入費用を表3に示す。需要1の場合、 DVR の設備コストは3,198,000円であったが、そのうち、インバータのコストは1,728,000円で全体の約54%を占め、支配的となっている。 SPS および UPS についても同様に、インバータのコストは全体の半分以上を占めており、支配的な要因となっている。

表3において、 SPS のコストが DVR より安価となっているが、これは本試算が瞬低に限定しており、蓄電池の必要容量が0.1kWh以下と小さくなったためと考えられる。実際には、 SPS は瞬低のみではなく、停電まで補償することを前提として製造されることが多いため、今回の試算で用いた蓄電池より大きな容量のものが使用され则认为される。また、単相変圧器と三相変圧器の違いも DVR のコ

表1 需要家データ

Table 1. Demand data.

Demand	$S_{\max}$ (kVA)	β	t (s)	$\cos \varphi$
1	30	0.9	0.5	1
2	50	0.8	1	0.9
3	100	0.7	2	0.8

表2 想定する瞬低対策機器構成要素の単価

Table 2. Assumed cost of components in compensation devices.

Inverter (yen / kVA)	Rectifier (yen / kVA)	Capacitor (yen / F)	Battery (yen / kWh)
24,000	24,000	500,000	100,000
Single Phase Transformer (yen / kVA)	Three Phase Transformer (yen / kVA)	Fast Transfer Switch (yen / kVA)	
6,000	5,000	5,000	

表3 試算結果 (単位：円)

Table 3. Calculation results (yen).

Demand	DVR	SPS	UPS
1	3,198,000	2,845,125	4,789,125
2	5,430,000	4,383,000	7,263,000
3	11,460,000	8,049,333	13,089,333

図5 対策後の電圧低下量と導入費用

Fig. 5. Magnitude of voltage sags after compensation and innovation cost.

ストが SPS より高くなった原因の一つと思われる。

また、需要家3において、対策後の電圧低下量($1 - \beta$)をパラメータとして試算した結果を図5に示す。図5に見られるように、対策後の電圧低下量の変化が導入費用に大きく影響しており、なかでも UPS の導入費用に与える影響が最も大きいことが分かる。

4. 瞬低コストに基づく瞬低対策機器導入効果の評価

本章では、瞬低による年間平均損失額（以下瞬低コスト）を算出ることにより、対象とした瞬低対策機器の導入効果を定量的に評価する手法を提案する。なお、UPSは常に電力品質の改善を行っており、また瞬低補償には十分な容量を備えていることから、全ての瞬低を完全に補償可能であるものとする。

4.1 瞬低コストの算出手法 本章で提案する瞬低コストの算出手法では、瞬低対策機器を導入したことにより、瞬低の影響がどの程度軽減されたかを算出する。そこでまず、瞬低対策機器を導入する前に対象需要家に発生している実際の瞬低状況を測定することが必要である。すなわち、需要家の上位系統において実際に発生した瞬低の電圧低下度ならびに継続時間を観測・集計し、これらの観測量を指標としたヒストグラム（本論文では瞬低分布と呼ぶ）を作成する。電気協同研究の調査結果では、日本全国の平均的な瞬低発生回数は約12回/年という値が報告されている⁽²⁾。瞬低の発生回数は、雷発生の地域特性や年による発雷頻度の差などにより、地域や年によってバラツキがある。そこで、提案する手法を適用しその試算結果を検討するにあたり、1例として図8(a)に示す全国平均の電圧低下度・継続時間分布を用いることとする。この瞬低分布を適用するにあたっては、ヒストグラムにおける各ブロック（一つ一つの棒グラフに相当）を 4×4 の格子状に分割することとする。各ブロックを細かく区切ることで、瞬低の電圧低下度・継続時間に関して詳細な解析が可能となり、対策機器導入による瞬低分布の変化を精度良く求められるほか、想定する対策機器容量や需要家の許容する電圧低下分をより細かい値で考慮できる。

次に、瞬低対策機器を導入した後に、この瞬低分布がどのように変化するかを、ブロックごとに算定する。すなわち、各ブロックにおいて瞬低の電圧低下度と継続時間をその中央値（メジアン）から求め、瞬低対策機器を導入したことによって、これらの値がどのように変化するかを図6(a)(b)のフローチャートに従って計算する。

4.1.1 DVRを用いる場合 まず、瞬低分布の各ブロックにおいて、瞬低による電圧低下量の中央値（ V_{Sag} ）と、DVRの最大出力電圧 V_{DVR}^{max} とを比較する。 V_{Sag} が V_{DVR}^{max} よりも小さければ、 V_{Sag} に相当するだけの電圧をDVRが出力すればよいが、逆に V_{Sag} が V_{DVR}^{max} よりも大きい場合には、DVRは可能な限り電圧を維持するために最大電圧 V_{DVR}^{max} を出力することとする。次に、瞬低の継続時間の中央値 t_{Sag} がDVRによってどの程度まで改善されるかをDVRの検出・制御遅れを考慮して算出する。これは、DVRのコンデンサの容量と、上記のDVRの出力電圧によって次式のように決定される。

$$t_{DVR} = W / V_{DVR} P_{max} \quad (23)$$

ここに、 t_{DVR} : DVRの補償可能時間(ms)、 W : DVRから供給可能な電力量(kWms)、 V_{DVR} :

(a) DVR

(b) SPS

なお、図6(a)(b)の $New K_i$ は対策後においても、電圧低下を完全に解消できないブロック*i*における瞬低の回数を表す。

図6 瞬低分布算出のフローチャート

Fig. 6. Voltage sags distribution counting algorithm.

DVRの出力電圧の系統定格電圧に対する割合(p.u.)、 P_{max} : 負荷の最大消費電力(kW)

例えば、図7のような瞬低の場合には、最大電圧を出力したときに補償できる最大時間は次式のように計算できる。

図 7 対策後の電圧低下度

Fig. 7. Magnitude of voltage sags after compensation.

$$t_{DVR} = W/V_{DVR}^{max} P_{max} \dots\dots\dots (24)$$

この時間 t_{DVR} と t_{Sag} から DVR の動作遅れ時間（ここでは最も苛酷な場合として 15 ms とする）を差し引いた時間 $(t_{Sag} - 15)$ ms とを比較する。このとき、 $t_{DVR} \geq (t_{Sag} - 15)$ であれば、瞬低が継続している間、DVR による補償も継続することを意味するが、そうでなければ、 t_{DVR} 経過した時点で DVR による補償ができなくなる。

このように、電圧低下量の大きさが DVR の性能によって、途中の段階で変化する場合には、補償後の電圧低下量の値を継続時間内の平均的な値として計算する。例えば、図 7 のケースでは、次式によって計算する。

$$V' = \frac{S_1 + S_2 + S_3}{t_{Sag}} = V_{Sag} - V_{DVR} t_{DVR} / t_{Sag} \dots\dots\dots (25)$$

ここに、 V' ：対策後の電圧低下度 (p.u.)、 V_{Sag} ：対策前の電圧低下度 (p.u.)

なお、電圧低下が完全に補償されていない場合は、瞬低が継続していると考え。従って、例えば図 7 の場合に、対策後の瞬低継続時間、瞬低回数は需要家からみれば、対策前と同じとなる。

$$t' = t_{Sag} \dots\dots\dots (26)$$

ここに、 t' ：対策後の瞬低継続時間 (ms)、 t_{Sag} ：対策前の瞬低継続時間 (ms)

$$K'_i = K_i \dots\dots\dots (27)$$

ここに、 K'_i ：対策後、電圧低下度が V' で継続時間が t' の瞬低の回数； K_i ：対策前、ブロック i における瞬低発生回数

4・1・2 SPS を用いる場合 補償開始から完全に瞬低を補償できるが、高速スイッチの切り替え、検出・制御遅れ時間を考慮すると、需要家からみて 10 ms（最も厳しい場合）の瞬低が発生する。その大きさと回数は対策前と同じとなる。

このようにして求められた瞬低分布に対し、次式を用い

(a) Before compensation

(b) After compensation (DVR)

(c) After compensation (SPS)

図 8 瞬低分布

Fig. 8. Voltage sags distribution.

て瞬低コストを求める。

$$\text{瞬低コスト} = \sum_i New K_i \times C_i \dots\dots\dots (28)$$

ここに、 C_i ：ブロック i の瞬低コストの単価 [円/回]

4・2 瞬低コストの試算結果例 前節で提案した評価手法を用いて、仮想的な需要家に対する瞬低コストを試算した。需要家としては半導体製造業者を想定し、電圧低下度 30% 以上で継続時間が 18 ms 以上の瞬低が発生した場合には、1 回あたり 5,000 万円の被害が出るものとした。また、想定している需要家の最大消費電力を 100 kW とした。

瞬低対策機器として DVR（最大出力電圧は系統定格電圧の 90%，補償可能電力量は 180 kW s を想定）を用いた場合、対策後の瞬低分布は図 8(b) のようになる。ここで、対

策後においても、なお電圧低下を完全に解消できない瞬低の回数は12回/年で、対策前の瞬低発生回数と同じ値となっているが、そのうち、低下度が30%以上で継続時間が18ms以上、すなわち需要家に影響がある瞬低の回数は0.0225回（およそ45年に1回）と計算される。したがって、一年あたりの瞬低コストは $0.0225 \times 50,000,000 = 1,125,000$ 円と試算される。

次に、瞬低対策機器としてSPSを採用した場合、対策後の瞬低分布は図8(c)のようになる。ここでは、全ての瞬低の継続時間を10ms以下に抑えることが可能となったため、瞬低コストは発生しない。

5. ま と め

本論文ではDVR、UPSなどの瞬低対策機器を対象として、これらの機器を構成する各要素の容量を考慮したうえで、各瞬低対策機器の導入費用を定量的に評価した。また、需要家ニーズの違いに伴う導入費用の変化について検討した。さらに、需要家の瞬低耐量ならびに瞬低被害の単価を基に、瞬低対策を施した際の瞬低コストを算出し、瞬低対策機器の導入効果を定量的に評価する手法を提案した。

今回設備コストの試算に用いたDVRのコンデンサのコスト単価は文献(2)を参考にして推定したものであるが、必ずしも現実的な値とは限らない。今後は、より現実的な値を用いて評価し、さらに瞬低コストと導入費用を統合して評価することで、費用対効果を評価基準とした瞬低対策案を検討していく予定である。

最後に、本研究は文部科学省科学研究費補助金基盤研究(B)（課題番号：15360144）の研究助成を受けていることを付記する。

（平成15年3月6日受付、平成15年8月13日再受付）

文 献

- (1) 特集、「瞬時電圧低下対策の現状と今後」、電気評論, No.4 (2002-4)
- (2) Electric Technology Research Association: "Voltage sag mitigation methods", Electric Technology Research, Vol.46, No.3 (1990) (in Japanese)
電気協同研究会:「瞬時電圧低下対策」, 電気協同研究, 46, No.3 (1990)
- (3) 電気協同研究会:「20kV/400V級配電方式普及拡大技術」, 電気協同研究, 56, No.3 (2000)
- (4) Economic Research Association: Price Data for Construction Cost Estimating, No.11 (2001-11) (in Japanese)
財団法人経済調査会: 月刊 積算資料 2001, No.11 (2001-11)

郎 旭 輝（学生員）1977年11月9日生。2003年9月北海道大学大学院工学研究科システム情報工学専攻修士課程修了。同年10月同大学大学院工学研究科システム情報工学専攻博士後期課程入学、現在に至る。主として、電力系統の計画・運用に関する研究に従事。

原 亮 一（正員）1974年8月10日生。2003年3月北海道大学大学院工学研究科システム情報工学専攻博士課程修了。同年4月横浜国立大学大学院工学研究科電気電子と数理情報分野助手となり、現在に至る。博士（工学）。主として、配電系統の運用・制御に関する研究に従事。

北 裕 幸（正員）1963年5月7日生。88年3月北海道大学大学院工学研究科電気工学専攻修士課程修了。89年4月同大学工学部電気工学科助手、95年4月同大学大学院工学研究科システム情報工学専攻助教授となり、現在に至る。博士（工学）。97年電気学会論文賞受賞。主として、電力系統の計画・運用・制御に関する研究に従事。日本OR学会、電気設備学会会員。

田 中 英 一（正員）1952年8月12日生。77年3月北海道大学大学院工学研究科電気工学専攻修士課程修了。同年4月同大学工学部電気工学科助手。95年4月改組により、同大学大学院工学研究科システム情報工学専攻に配置換えとなり、現在に至る。主として、電力系統の解析・制御に関する研究に従事。日本OR学会、電気設備学会、計測自動制御学会会員。

長谷川 淳（正員）1943年12月13日生。71年3月北海道大学大学院工学研究科電気工学専攻博士課程修了。同年4月同大学工学部講師、同助教授を経て、85年4月同教授。95年4月改組により、同大学大学院工学研究科システム情報工学専攻に配置換えとなり、現在に至る。工学博士。97年電気学会論文賞受賞。94年B部門長、97年副会長（調査担当）。主として、電力系統の計画・運用・解析・制御および電気エネルギー工学全般に関する研究に従事。IEEE、照明学会、エネルギー資源学会、低温工学協会、日本OR学会、電気設備学会等会員。

久 保 宏（正員）1967年11月4日生。93年3月北海道大学大学院工学研究科電気工学専攻修士課程修了。同年4月北海道電力（株）入社。現在、同社工務部電力システムグループに勤務。主として、電力系統の計画業務に従事。

世 永 茂（正員）1962年5月7日生。86年3月横浜国立大学工学部電気工学科卒業。同年4月北海道電力（株）入社。現在、同社工務部電力システムグループに勤務。主として、電力系統の計画業務に従事。