The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	模擬系統における分散電源対応型SVRの変電所方向判定精度の検証
Author(s)	久富, 和郎; 河内, 祐也; 白土, 紀明 他
Citation	電気材料技術雑誌. 2019, 28(1), p. 12-18
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/76113
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

電気材料技術雑誌　第28巻第１号
J. Soc. Elect. Mat. Eng.　Vol.28,　No.1　２０１９

模擬系統における分散電源対応型ＳＶＲの変電所方向判定精度の検証

久富　和郎[1]、河内　祐也[1]、白土　紀明[1]
森田　智比古[2]、湧谷　栄之[2]、大麻　純季[2]
八太　啓行[3]

[1]株式会社ダイヘン　〒532-8512　大阪市淀川区田川 2-1-11
[2]関西電力株式会社　〒530-8270　大阪市北区中之島 3-6-16
[3]電力中央研究所　〒240-0196　神奈川県横須賀市長坂 2-6-1

Verification of accuracy of substation direction judgment system of SVR compatible with reverse power flow in simulated distribution system

Kazuo Hisatomi[1], Yuya Kawachi[1], Noriaki Shiratsuchi[1]
Tomohiko Morita[2], Masayuki Wakutani[2], Junki Oasa[2]
Hiroyuki Hatta[3]

[1]DAIHEN Corporation,　2-1-11, Tagawa, Yodogawa-ku, Osaka 532-8512, Japan
[2]Kansai Electric Power Company, 3-6-16, Nakanoshima, Kita-ku, Osaka 530-8270, Japan
[3]Central Research Institute of Electric Power Industry, 2-6-1 Nagasaka, Yokosuka, Kanagawa 240-0196, Japan

The substation direction judgment system by the amount of voltage change when switching tap, which is used for SVR compatible with reverse power flow, may make a misjudgment in certain situations. (for example, system with large voltage fluctuation)　We report on verification of judgment accuracy in situations prone to misjudgment in simulated distribution system.

１．はじめに

近年、分散型電源の導入拡大に伴い、配電系統で逆潮流が生じるケースが増えている。一方、配電系統の電圧調整に用いられてきた従来型のSVR（Step Voltage Regulator：自動電圧調整器）は、潮流方向により変電所方向を判定した上で負荷側電圧の調整を行うため、逆潮流が発生すると変電所方向を誤判定し、その結果、変電所側電圧を調整しようとして電圧調整異常が生じてしまう。このことから、潮流方向によらない新たな変電所方向判定機能を備えた分散電源対応型 SVR が近年普及してきている。

我々は、実用化されている２種類の変電所方向判定方式について、原理上誤判定を生じる可能性が懸念される長亘長の配電線、PV 連系により急峻な電圧変動が発生する配電線、および瞬時無効電力補償装置が接続された配電線を模擬した系統にてその判定精度の検証を行った。本稿ではその成果を報告する。

２．分散電源対応型 SVR について

２.１　SVR の役割

電気事業者は電気事業法により配電線電圧を適正電圧下に収める義務が課せられている。配電線電圧は負荷電流と配電線路のインピーダンスによって末端に向かって降下（逆潮流の場合は上昇）していき、ある程度亘長の長い配電線になると適正電圧を逸脱することから電圧調整機器が必要となる。

6kV 配電系統において主に使用される電圧調整機器が SVR であり、SVR は配電線路に直列に接

続され、電線路のインピーダンスによって変動した電圧を、内蔵する変圧器及び負荷時タップ切換器によって自動で昇降圧させる装置である。

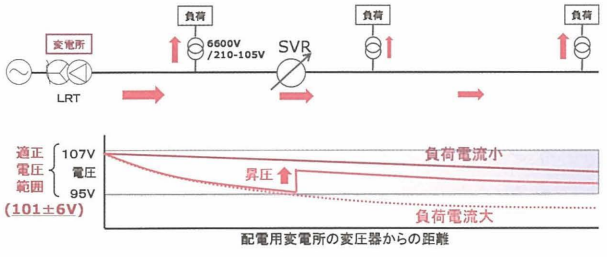

図１　SVR の電圧調整イメージ

Fig.1　The image of voltage regulation of SVR

２.２　SVR の構造と原理

SVR は、図２に示すように、変圧器、負荷時タップ切換器を内蔵する変圧器部と、それを制御するための制御装置を内蔵した制御部に分かれている。また、変圧器部には、制御に必要な電圧、電流の情報を取得するための PT、CT を内蔵している。

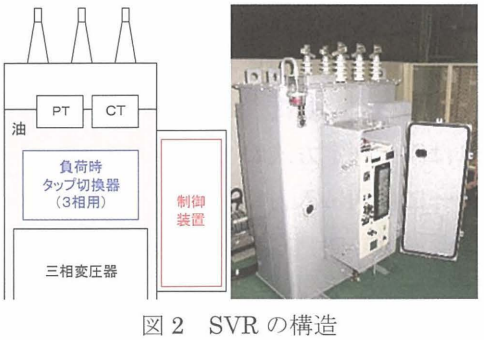

図２　SVR の構造

Fig.2　Structure of SVR

制御装置に内蔵されたリレーで負荷側電圧を監視し、リレーで設定した基準電圧と比較して負荷側電圧が高い場合は降圧、低い場合は昇圧方向にタップ切換操作を行って系統電圧を一定範囲内に調整する。

上記の通り、SVR は変圧器により電圧を調整するため、設置点より負荷側の電圧が調整され、変電所側（安定電源側）の電圧は変動しない（調整できない）。

そのため、事故時の逆送電等により、変電所側、負荷側が入れ替わった際、SVR は電圧調整不具合を回避するため、変電所方向の切り替わりを検知して電圧調整する側を負荷側へ切り替える、あるいは電圧調整をロックする制御を行う必要がある。

従来型 SVR では SVR を通過する電流の方向をリレーで監視することにより変電所方向判定を行っていた。しかし、この方式は送電方向と潮流方向が一致する系統では正しく変電所方向を判定できるものの、分散型電源による逆潮流が発生する系統では誤判定を生じ、変電所側の電圧を監視・調整しようとして電圧調整不具合が生じる。

近年、分散型電源による逆潮流が発生する系統が増加してきたことより電流方向に替わる新たな変電所方向判定方式が主流となってきている。

２.３　電圧変化量による変電所方向判定方式

ダイヘンで採用している変電所方向判定方式は、タップ切換時の電圧変化量が変電所側電圧よりも負荷側電圧の方が大きくなることを利用しており、「両側判定方式」および「片側判定方式」の２種類の判定手法が存在する。[(1)(2)]

タップ切換時に生じるタップ間電圧は SVR1 次側の電圧変化量 ΔV_1 と２次側の電圧変化量 ΔV_2 によって分担され、SVR1 次側インピーダンス Z_1 と２次側インピーダンス Z_2 から次のように計算される。

$$\Delta V_1 = Z_1 / (Z_1 + Z_2) \times \Delta V_{tap} \cdots ①$$

$$\Delta V_2 = Z_2 / (Z_1 + Z_2) \times \Delta V_{tap} \cdots ②$$

$\Delta Vtap$:タップ間電圧

また、このとき電圧変化量差は、

$$\Delta V_1 - \Delta V_2 = (Z_1 - Z_2) / (Z_1 + Z_2) \times \Delta V_{tap} \cdots ③$$

となる。

上式によれば、Z_1 と Z_2 の大小関係によって ΔV_1 と ΔV_2 の大きさや大小関係が決まり、通常は負荷側インピーダンスの方が変電所の母線や線路のインピーダンスよりも著しく大きいことから、電圧変化量が大きい方が負荷側と判定できる。また、ΔV_1 あるいは ΔV_2 の片側だけでもその大きさか

ら負荷側の判定が可能である。例えば上式において変電所が SVR1 次側にあると仮定した場合、$Z_2 \gg Z_1$ につき、ΔV_2(≒ΔVtap)≫ΔV_1、また、$\Delta V_1 - \Delta V_2 < 0$ となる。「両側判定方式」は、タップ切換時に SVR1 次側の電圧変化量 ΔV_1 および 2 次側の電圧変化量 ΔV_2 を計測し、その大小関係（$\Delta V_1 - \Delta V_2$ の正負）から変電所方向を判定する手法であり、「片側判定方式」は、ΔV_1 または ΔV_2 どちらかの電圧変化量を計測し、設定した判定閾値との大小関係から変電所方向を判定する手法である。（図 3）

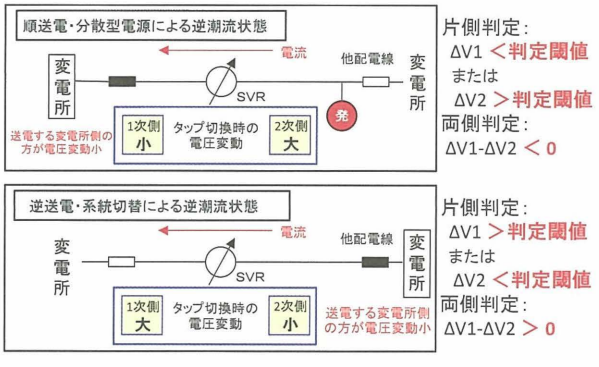

図 3　変電所方向判定方式の概要

Fig.3　Outline of substation direction judgment system

３．変電所方向判定精度の検証

３.１　検証内容および方法

これらの電圧変化量を用いた判定方式は、その原理上、ΔV_1 と ΔV_2 の差が小さくなる次のようなケースにおいて変電所方向の誤判定が懸念される。

・長亘長配電線の末端付近

　変電所側インピーダンスが大きく、負荷インピーダンスとの差が小さくなる。($Z_1 \fallingdotseq Z_2$)

・系統電圧変動が大きい配電線

　ΔV_1 と ΔV_2 に系統電圧変動分も加算され、本来のタップ切換による ΔV_1、ΔV_2 が系統電圧変化に隠れてしまう。

・負荷側に SVC 等、瞬時動作の電圧一定制御機器が接続されている配電線

　タップ切換による電圧変動が瞬時に補償され、SVR～SVC 間の線路インピーダンスによっては負荷側電圧変化量が変電所側電圧変化量より小さくなる。

SVC（電圧一定制御モードで運転）が負荷側に接続されている配電線において、①、②式の負荷側インピーダンスは、SVC 地点で電圧が固定されることより、SVR～SVC 間までの線路インピーダンスとなる。よって SVR～SVC 間の距離が近いと負荷側インピーダンスが変電所側インピーダンスに対して小さくなり、変電所側の電圧変化量が大きくなる可能性がある。

なお、SVC が力率一定制御モードで運転している場合は、タップ切換時の電圧変動に追従した制御は行われないため、判定に影響は無い。

上記の検討はこれまで理論や工場試験レベルでの検証のみであったことから、(財) 電力中央研究所・赤城試験センターにおいてこれらの条件を模擬した系統を構築し、2 種類の変電所方向判定方式の精度に関する検証実験を行った。

(1) 長亘長配電線末端における判定精度検証【試験 1】

図 4 に示す模擬系統において、SVR のタップを手動で切り換えた際の変電所方向判定の正誤および電圧波形を確認した。SVR 本体からの電圧計測データは両側判定方式および片側判定方式の 2 台のリレーに並列に入力し、同一条件にてそれぞれ同時に変電所方向判定を行った。

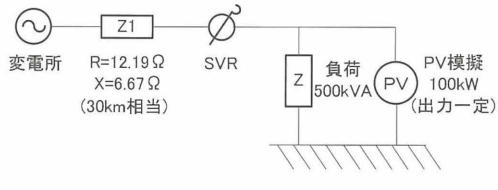

図 4　模擬系統図(試験 1)

Fig.4　Diagram of the simulated distribution system(test1)

(2) PV による電圧変動下における判定精度検証【試験 2】

図 5 の模擬系統において、(1) と同様にして変電所方向判定の正誤および電圧波形を確認した。なお、PV 出力データは関西電力（株）若狭おおい太陽光発電所の晴天時のデータを用いた。

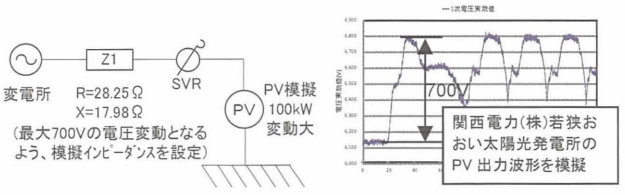

図５　模擬系統図（試験 2）

Fig.5　Diagram of the simulated distribution system(test2)

(3) SVC 電圧一定制御運転時の判定精度検証【試験 3】

図 6 に示す模擬系統において、SVC を電圧一定制御運転として SVR のタップを手動で切り換えたときの変電所方向判定の正誤および電圧波形を確認した。インピーダンス比は 1:1.47～1:0.35 の間で変化させた。

(4) SVC 力率一定制御運転時の判定精度検証【試験 4】

図 6 に示す模擬系統において、SVC を力率一定制御運転（力率 0.9）として SVR のタップを手動で切り換えたときの変電所方向判定の正誤および電圧波形を確認した。

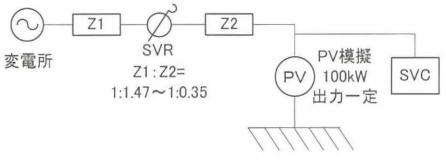

図６　模擬系統図（試験 3、試験 4）

Fig.6　Diagram of the simulated distribution system(test3,4)

３.２　検証結果

(1) 長亘長配電線末端における判定精度検証【試験 1】

それぞれの方式のリレー判定結果を表 1 に、また、タップ切換時の電圧変化量の測定データ例を図 7 に示す。なお、リレーにはタップ切換以外の系統電圧変動やノイズの影響を出来るだけキャンセルするフィルタリング機能を有しており、図 7 はその処理を施した後の波形、即ちリレーが判定を行う電圧波形を示している。

表 1 のとおり、両側判定、片側判定ともに 19 回全てで 1 次側を変電所方向と判定する正判定であり、図 7 によれば、この判定を裏付ける $\Delta V_1 << \Delta V_2$、$\Delta V_1 - \Delta V_2 < 0$ となる明確な波形が観測されていることから、裕度をもった判定結果と言える。従って、30km 程度の長亘長配電線に SVR を設置しても変電所方向判定への影響はないものと判断する。

表 1　判定結果（試験 1）

Table1　Results of judgment (test1)

試験番号	試験条件	両側判定方式（正答数/判定回数）	片側判定方式（正答数/判定回数）
1-1	負荷500kVA PVなし	正答率100% (10/10)	正答率100% (10/10)
1-2	負荷なし PV100kW(出力一定)	正答率100% (4/4)	正答率100% (4/4)
1-3	負荷500kVA PV100kW(出力一定)	正答率100% (5/5)	正答率100% (5/5)

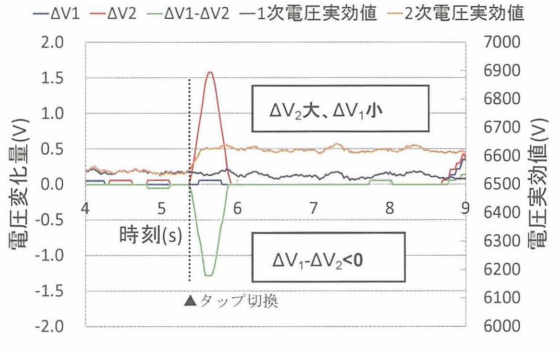

図７　タップ切換時の電圧変化量測定データ例（試験 1）

Fig.7　Example of the voltage amount of change(test1)

(2) PV による電圧変動下における判定精度検証【試験 2】

リレー判定結果を表 2 に、また、タップ切換時の電圧変化量の測定データ例を図 8 に示す。

表 2 のとおり、最大変動幅 700V、最大変動速度約 100V/秒となる PV 出力変動において 96 回タップ切換を行ったものの、両側判定、片側判定ともに全て 1 次側を変電所方向と判定する正判定であり、図 8 によれば、(1) と同様にこの判定を裏付ける $\Delta V_1 << \Delta V_2$、$\Delta V_1 - \Delta V_2 < 0$ となる明確な波形が観察されており、裕度をもった判定結果と言える。タップ切換の直前の電圧実効値の推移を見ると、1 次側電圧、2 次側電圧ともに PV の出力変動により約 100V/秒の急激な系統電圧上昇が生じているが、このときリレーのフィルタリング処理を行った後の ΔV_1、ΔV_2 の波形はほとんど変化しておらず、PV

による電圧変動の影響を受けていないことがわかる。タップ切換時の電圧変動は約 4000V/秒でありPVによる電圧変動と比較してはるかに大きいため、フィルタリング処理によって系統電圧変動の影響のみを適切に排除できているためといえる。

従って、PV 出力により大きな電圧変動が生じる配電線においても変電所方向判定への影響はないと判断する。

表２　変電所方向判定結果（試験２）

Table 2　Results of judgment (test2)

試験番号	試験条件	両側判定方式（正答数/判定回数）	片側判定方式（正答数/判定回数）
2	PV100kW(出力変動、最大変動：約100V/s)	正答率100%(96/96)	正答率100%(96/96)

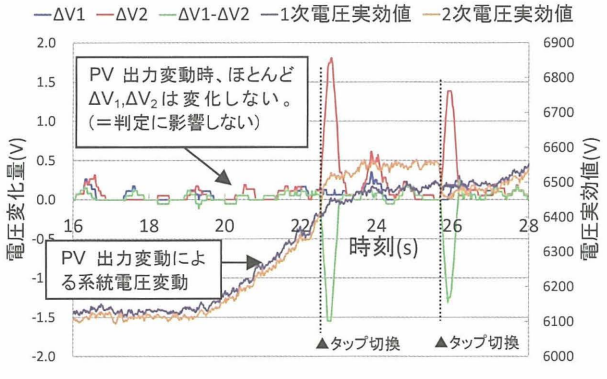

図８　タップ切換時の電圧変化量測定データ例(試験２)

Fig.8　Example of the voltage amount of change(test2)

(3) SVC 電圧一定制御運転時の判定精度検証【試験３】

それぞれの方式のリレー判定結果を表３に、また、タップ切換時の電圧変化量の測定データ例を図９（インピーダンス比 1:1.47）、図 10（インピーダンス比 1:0.35）に示す。表１のとおり、両側判定、片側判定ともにインピーダンス比が小さいほど判定精度が悪化していることがわかる。実際に図９と図 10 の電圧変化量波形を比較すると、図９では $\Delta V_2 > \Delta V_1$ となるのに対し、図 10 では $\Delta V_2 < \Delta V_1$ となっており、前述した理論の通り、インピーダンス比が小さくなるに従って負荷側電圧変化量も小さくなっており、誤判定しやすい波形となっていることがわかる。

よって、電圧一定制御運転する SVC を負荷側に連系する場合、インピーダンス比が小さいといずれの方式も誤判定する可能性があるといえる。

表３　判定結果（試験３）

Table　3 Results of judgment (test3)

試験番号	試験条件 インピーダンス比	両側判定方式（正答数/判定回数）	片側判定方式（正答数/判定回数）
3-1	1:1.47	正答率100%(8/8)	正答率50%(4/8)
3-2	1:1.04	正答率63%(5/8)	正答率38%(3/8)
3-3	1:0.35	正答率0%(0/6)	正答率0%(0/6)

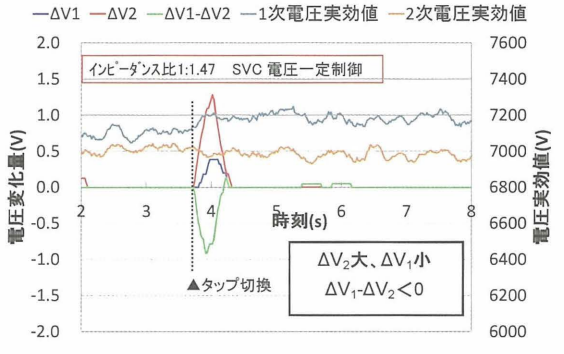

図９　タップ切換時の電圧変化量測定結果（試験３）

Fig.9　Example of the voltage amount of change (test3)

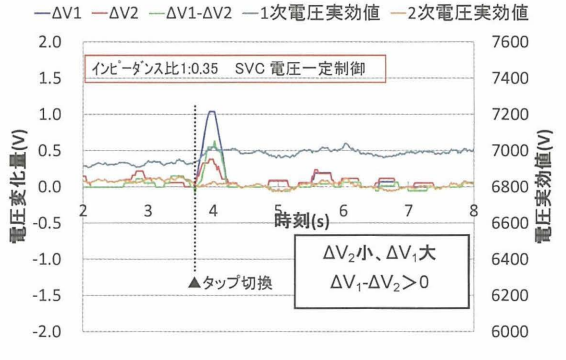

図 10　タップ切換時の電圧変化量測定結果（試験４）

Fig.10　Example of the voltage amount of change(test4)

(4) SVC 力率一定制御時の判定精度検証【試験４】

それぞれの方式のリレー判定結果を表４に、また、タップ切換時の電圧変化量の測定データ例を図 11 に示す。表４のとおり、両側判定、片側判定ともにインピーダンス比に関わらず全て正判定という結果が得られた。図 11 の波形データからも、

$\Delta V_2 > \Delta V_1$ となる明確な波形が観測されていることから、力率一定制御運転をする場合、判定に影響がないことが実験的にも確認された。

表 4　判定結果（試験 4）

Table 4　Results of judgment(test4)

試験番号	試験条件 インピーダンス比	両側判定方式 (正答数/判定回数)	片側判定方式 (正答数/判定回数)
4-1	1:1.47	正答率100% (2/2)	正答率100% (2/2)
4-2	1:1.04	正答率100% (2/2)	正答率100% (2/2)
4-3	1:0.35	正答率100% (2/2)	正答率100% (2/2)

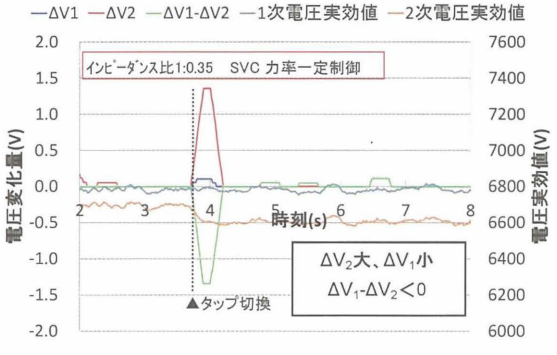

図 11　タップ切換時の電圧変化量測定結果(試験 4)

Fig.11　Example of the voltage amount of change(test4)

4．まとめ

本稿では、分散電源対応型 SVR に採用されている２種類の電圧変化量による変電所方向判定機能（両側判定、片側判定）について、誤判定が懸念される系統条件での判定精度を模擬系統にて検証した。主な結果は以下の通り。

(1) 長亘長配電線の末端に分散電源対応型 SVR が設置され、その１次側インピーダンスが著しく大きい場合においても、両側判定、片側判定ともに誤判定は生じず、問題無く判定できることを確認した。

(2) PV による電圧変動の大きな配電線に分散電源対応型 SVR が設置された場合においても、タップ切換時の電圧変化量の方が著しく大きいため、変化量が埋もれることは無く、両側判定、片側判定ともに誤判定は生じず、問題無く判定できることを確認した。

(3) SVR の負荷側に、瞬時に電圧を補償する機器（SVC 等）が連系し、電圧一定制御運転する場合、変電所方向判定精度に影響があり、両側判定、片側判ともに誤判定が生じる可能性があることを確認した。一方、同一の系統条件であっても、力率一定制御で運転する場合は、変電所方向判定精度に影響は無く、両側判定、片側判定ともに誤判定は生じず、問題無く判定できることを確認した。

よって、同判定方式を有する SVR の負荷側に SVC を連系する場合は、力率一定制御運転とする、あるいは SVR と SVC が同時に動作しないよう動作協調を取る必要がある。

参考文献

1）前田博　：「東京電力（株）殿向け 分散型電源対応型 SVR の開発」, ダイヘン 最近の技術成果号，2002 年度，pp4-5

2）久富和郎，河内祐也：「分散型電源に対応した電圧調整機器の開発」，電気評論 2016 年 3 月号，pp.34-36

（2019 年 5 月 30 日　受理）

著者略歴

久富　和郎（ひさとみ　かずお）

1985 年生。2010 年 3 月大阪大学大学院工学研究科マテリアル生産科学専攻修了。同年 4 月株式会社ダイヘン入社。主として電圧調整機器の開発に従事。現在、配電システム事業部技術部電圧調整機器開発課に所属。

白土　紀明（しらつち　のりあき）

1993 年 3 月京都大学工学部電気工学科卒業。2006 年より現 株式会社ダイヘン配電システム事業部技術部にて主として電圧調整機器の開発に従事。現在に至る。2001 年澁澤賞、等を受賞、電気学会所属。

河内　祐也（かわち　ゆうや）

1984 年生。2010 年 3 月大阪市立大学大学院電子情報系専攻修了。同年 4 月株式会社ダイヘン入社。主として配電自動化機器の開発に従事。配電システム事業部制御システム部配電自動化機器開発課を経て、2017 年より配電システム事業部企画部営業企画課に所属。

森田　智比古（もりた　ともひこ）

1972 年生。1996 年 3 月大阪大学大学院通信工学専攻修了。同年 4 月関西電力株式会社入社。主に配電用品の開発等に従事。現在、配電開発グループチーフマネジャー。電気学会、電気設備学会、CIGRE 会員。（7 月 1 日以降、株式会社オプテージ 技術部 光アクセス工事部に在籍）

湧谷　栄之（わくたに　まさゆき）

1973 年生。1998 年 3 月明治大学大学院電気工学専攻修了。同年 4 月関西電力株式会社入社。主に配電用品の開発等に従事。現在、配電開発グループマネジャー。

大麻　純季（おおあさ　じゅんき）

1989 年生。2014 年 3 月静岡大学大学院電気電子工学専攻修了。同年 4 月関西電力株式会社入社。
主に配電用品の開発等に従事。
現在、配電開発グループ所属。

八太　啓行（はった　ひろゆき）

1976 年生。2003 年 3 月東京大学大学院工学系研究科電気工学専攻博士課程修了。同年 4 月（財）電力中央研究所入所。主として、分散電源を含む配電系統の運用制御などの研究に従事。博士（工学）。電気学会、IEEE 会員。