

# 線路損失低減のための配電システムの ループ化構成と制御

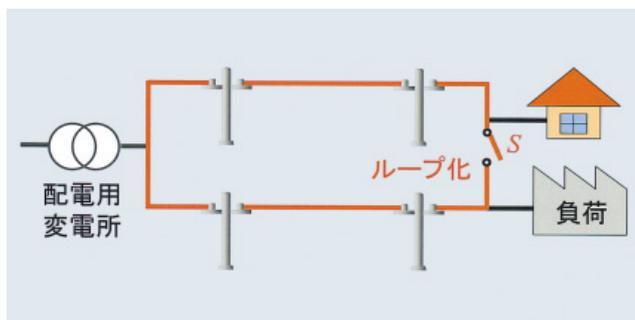
名古屋工業大学 工学研究科 教授 竹下 隆晴

Professor Takaharu Takeshita  
Graduate School of Engineering  
Nagoya Institute of Technology



## はじめに

電力システムは、大きなエネルギーを扱っているの  
で、電力システムにおける損失低減は、CO<sub>2</sub>削減に大き  
な効果があり、地球温暖化防止の観点から重要である。  
第1図に示す6.6kVの高圧配電システムは、高速な事故除去  
のために配電用変電所から負荷まで1径路で電力を供給  
する放射状システム構成を採用している。放射状系統に対  
し、第1図のスイッチSを閉じ、ループ化することで負  
荷へは2径路で電力を供給できるので、各径路の電力割  
合を調整することで、配電線路の損失低減、配電系統内  
の電圧制御、送電電力バランスによる送電容量の増大な  
ど多くのメリットが得られる。これらメリットを得るた  
めに、ループ時の高速な事故除去や電圧電流制御法を含  
め、配電システムのループ化の検討が進められている。



第1図 ループ配電系統

本稿では、ループ配電システムにおける線路損失最小化に  
着目した配電システムの構成法および制御法の一部を紹介す  
る。線路損失を最小にするには、ループ内を流れる循環  
電流を零にすればよく、すなわち、同一変電所から電力  
供給する場合には、同一線種にてループ配電システムを構成  
することで実現できる。2カ所の変電所から電力を供給  
する場合や複数の線種が使用されているループ配電系統  
では、ループコントローラをループ内に直列に挿入し、  
変電所送り出し電圧差とループ内のリアクタンス電圧と  
の和を補償するようにループコントローラを制御すれば  
よい。具体的な方法を以下に紹介する。

## ループ配電システムの線路損失最小化

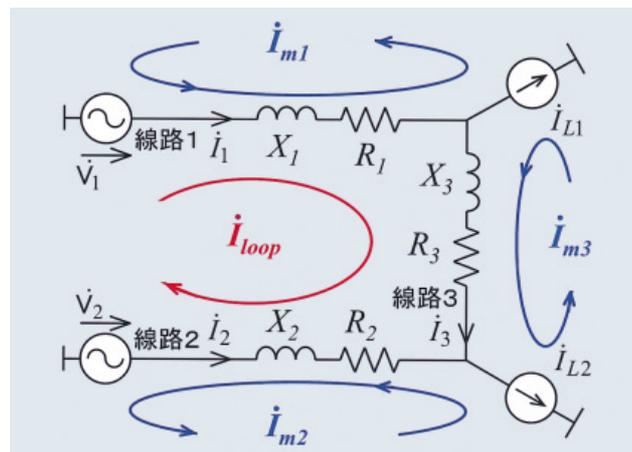
第2図は、単純化したループ配電システムのモデルで、2  
つの配電用変電所の送出し電圧  $\dot{V}_1$ 、 $\dot{V}_2$ 、3本の配電線路  
1~3および2つの定電流源負荷  $\dot{I}_{L1}$ 、 $\dot{I}_{L2}$ で構成されている。  
各配電線路  $i$  ( $i = 1, 2, 3$ )を1本含む閉路電流  $\dot{I}_{m1} \sim \dot{I}_{m3}$ は  
負荷の定電流源により一意に決まり、制御できない。線  
路損失を最小にするには、負荷に依存しないループ内の  
循環電流  $\dot{I}_{loop}$ を零にすればよい。循環電流  $\dot{I}_{loop}$ は、配電線  
路  $i$ の線路電流  $\dot{I}_i = \dot{I}_{mi} + \dot{I}_{loop}$ 、線路抵抗  $R_i$ 、線路リアクタ  
ンス  $X_i$ を用いて、

$$\dot{I}_{loop} = \frac{\sum_{i=1}^3 jX_i \dot{I}_i + (\dot{V}_2 - \dot{V}_1)}{R_1 + R_2 + R_3} \quad (1)$$

と得られる。これが負荷にかかわらず零になるには、

$$\dot{V}_1 = \dot{V}_2, \quad \frac{R_1}{X_1} = \frac{R_2}{X_2} = \frac{R_3}{X_3} \quad (2)$$

が成り立つときである。すなわち、送出し電圧  $\dot{V}_1$ 、 $\dot{V}_2$   
を等しくするには同一変電所から電力供給をし、また、線  
路抵抗と線路リアクタンスの比を等しくするには同一線  
種を用いるか、比が等しくなるようにリアクトルを挿入  
して配電システムを構成すれば良い<sup>(1)</sup>。第2図のループ配電  
システムモデルにおいて、第1表のパラメータを用い、線路3  
(線路長：5km)のリアクタンス  $X_3$ を変数にとり、循環

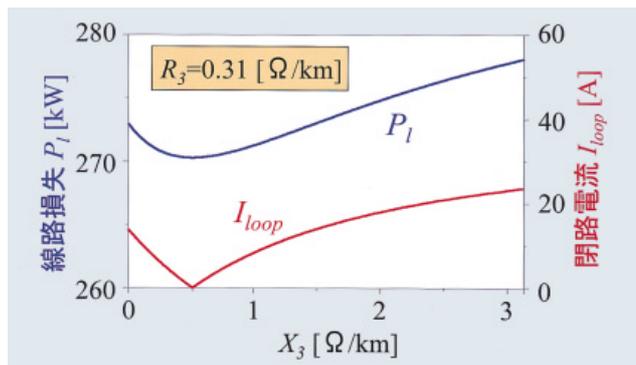


第2図 ループ配電システムモデル

電流  $\dot{I}_{loop}$  と線路損失  $P_l$  を求めた結果が第3図である。線路3の抵抗とリアクタンスの比が他線路と等しいとき循環電流  $\dot{I}_{loop}$  と線路損失  $P_l$  が最小になっている。

第1表 システムパラメータ(3MVA×2、6.6kV)

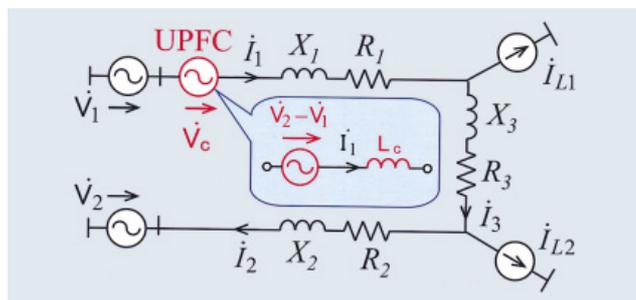
送し電圧	$\dot{V}_1, \dot{V}_2$	6.6 0°kV、6.6 0°kV、60Hz
負荷電流	$\dot{I}_{L1}, \dot{I}_{L2}$	225 0°A、110 0°A
線路1(5km)	$R_1, X_1$	0.31 /km、0.49 /km
線路2(5km)	$R_2, X_2$	0.31 /km、0.49 /km



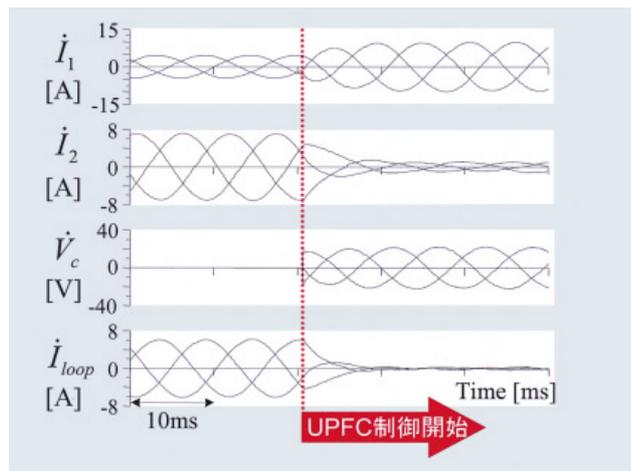
第3図 循環電流と線路損失

### ループコントローラを用いた線路損失最小化制御

異なる変電所から電力供給がされている場合や複数線種でループ配電システムが構成されている場合には、ループ化により循環電流  $\dot{I}_{loop}$  が増加し、返って線路損失が増加することがある。このような場合には、第4図に示すようにUPFC(Unified Power Controller)などのループコントローラをループ内に設置して、直列電圧源  $\dot{V}_c$  として働かせ、(1)式の分子に  $\dot{V}_c$  を追加して循環電流  $\dot{I}_{loop}$  が零になるように制御し、線路損失最小化を実現する<sup>(2)</sup>。第5図は、第4図において線路3の抵抗とリアクタンスを零とし、第2表に示す条件のもとでの試作システムによる実験波形である。単にループ化した単純ループ状態においてUPFCを動作させ、循環電流  $\dot{I}_{loop}$  を零に減衰させている。第6図は放射状システム、単純ループ、UPFC制御時における線路損失  $P_l$  の理論値と実験結果をそれぞれ示したもので、線路1、2の抵抗とリアクタンス比の差が大きいので、放射状システムに対し単純ループにしたときに線路損失が増加し、UPFC制御により線路損失が大幅に低減されている。



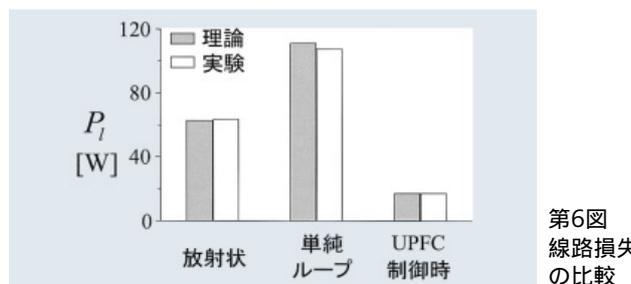
第4図 ループコントローラによる制御



第5図 ループコントローラ動作時の実験波形

第2表 実験システムパラメータ

送し電圧	$\dot{V}_1, \dot{V}_2$	200 0°V、200 0°V、60Hz
負荷電流	$\dot{I}_{L1}, \dot{I}_{L2}$	6.5 0°A、6.5 0°A
線路1	$R_1, X_1$	0.1 、2.3
線路2	$R_2, X_2$	1.4 、0.6



第6図 線路損失の比較

### むすび

配電線路の損失低減に着目したループ配電システムの系統構成法と損失低減制御法を示した。ループ配電システムの実用化においては、まだ多くの課題が残されているが、将来、ループ化が実現されれば電力システムにおける大幅な損失低減ができ、地球温暖化防止へ大きな効果が得られる。ループ配電システムが採用されても、電柱等を見てその確認はできないが、このように外観だけではわからない多くのところで、地球を守るための技術は着実に進められている。

(参考文献)

- (1) 稲吉信行、他、電気学会論文誌B、128巻、6号、p.894(2008)
- (2) Mahmoud A. Sayed、他、電気学会論文誌D、128巻、4号、p.508(2008)

竹下 隆晴 (たけした たかはる) 氏 略歴

昭和59年3月 名古屋工業大学大学院工学研究科修士課程修了  
 昭和59年4月 岐阜工業高等専門学校助手  
 平成 2年4月 岐阜工業高等専門学校講師  
 平成 2年7月 工学博士(名古屋大学)  
 平成 3年4月 名古屋工業大学講師  
 平成 6年4月 名古屋工業大学助教授  
 平成15年1月 名古屋工業大学教授  
 主として、パワーエレクトロニクスおよび電力システムの教育と研究に従事  
 表彰：電気学会論文賞(平成14年)、IEEE IES 論文賞(平成16年)