

仙山線仙台・作並間故障点標定精度向上

○ [電] 永峯 秀志 佐藤 泰宏 (東日本旅客鉄道株式会社)

Improvement on accuracy of the fault locator between Sendai and Sakunami in Senzan Line

○Hideshi Nagamine, Yasuhiro Sato, (East Japan Railway Company)

Between Sendai and Sakunami in Senzan Line, serial condensers are equipped to compensate the large voltage drop due to the train load and the long distance. However, the fault locator of Senzan Line had location errors. This location error was caused by the large capacity of serial condensers, and also because the feeding circuit constants were not renewed. To deal with the matter, we did a test on the feeding circuit system and renewed the constants. We also adjusted the discharge gaps of serial condensers to improve accuracy of the fault locator.

キーワード：き電線路定数，直列コンデンサ，交流き電線故障点標定装置

Key Words：feeding circuit system， serial condenser， fault locator for AC feeding system

1. はじめに

仙山線仙台・作並間は BT き電区間としてはき電距離が 26.4 km と長くき電電圧降下が大いため、直列コンデンサを設置し電圧降下補償をしている。その設備数は 4 箇所、16 Ω 補償しているが、このき電区間の中間から末端にかけて短絡故障が発生すると、故障電流が小さいためコンデンサ保護装置が完全に動作しないことから、故障点標定に誤差が生じ、故障点の発見が困難な状態であった。

今回、故障標定精度向上について検討したので紹介する。

2. 交流き電線故障点標定装置の概要

仙山線のき電回路で故障が発生すると変電所では故障時の電圧、及び電流より交流き電線故障点標定装置（以下ロケータという）でき電回路の誘導性リアクタンス分を演算し故障点を標定する。また、この故障電流が直列コンデンサに流れると過電圧による故障を防ぐため、コンデンサと並列に接続している放電ギャップが放電し、その電流を検出してバイパススイッチが動作することで、直列コンデンサのインピーダンス分を無視する回路構成となる。電力指令には故障点標定値、及び直列コンデンサ保護装置内のバイパススイッチの動作状態を送信しロケータ標定を補正している。仙山線仙台・作並間のき電線路定数は 0.311

+j 0.855 Ω/km、ロケータの整定値 10 Ω、1 カウント当たりの距離は 292 m となっている。

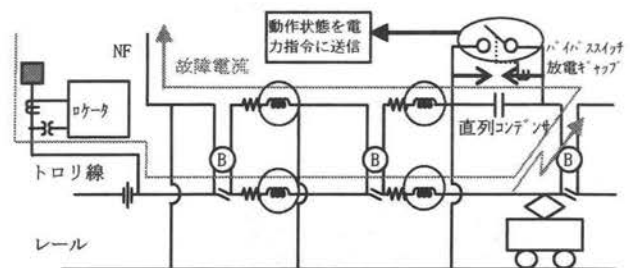


図 1 交流き電線故障点標定の概要

3. 現状と問題点

仙山線ではき電回路の中間から末端にかけて故障が発生すると、き電距離が長いこと故障電流が小さくなることから直列コンデンサ保護装置が動作しにくくなる。直列コンデンサ保護装置が動作しないと直列コンデンサのインピーダンスがき電回路に組み込まれ、誘導性リアクタンスが減少しロケータの標定が電源側にずれることから動作情報を事故支援システムに取り込み図 2 のとおりロケータ標定表を補正しているが、それでも故障点標定箇所と故障点にずれが生じている。このため故障点確認範囲を拡大して巡回しているが、それでも発見できない場合があり、後日停電

を確保し至近距離にて確認をしていることから、故障箇所の発見には多くの時間を費やしている。

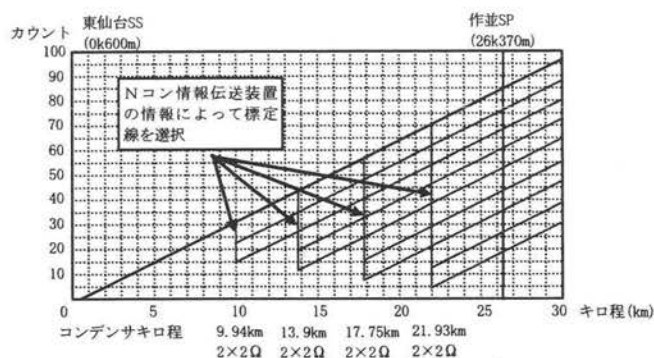


図2 東仙台SS 205ロケータ標定表

また、故障区間を特定するため図3及び写真のとおり負き電線（以下NFという）に過電流表示器を10箇所設置している。しかし、トロリ線とNF間で短絡したときは表示するが、トロリ線とビーム間で地絡すると故障電流がレールに流れ過電流表示器が表示しない場合があり、故障点発見の時間短縮等には至っていない。

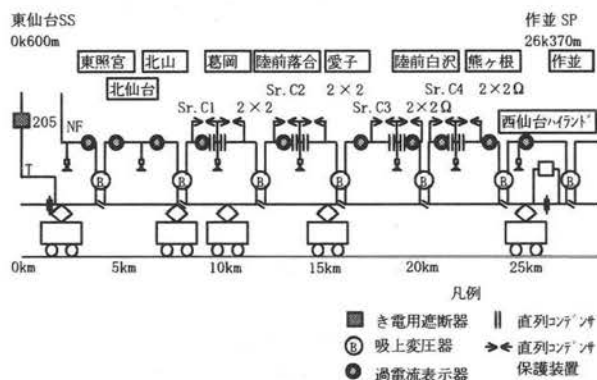


図3 仙山線仙台・作並間き電系統略図

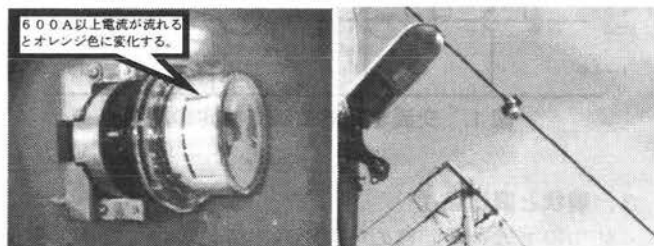


写真 過電流表示器

3. 過去のロケータ標定の検証

過去5年間の仙台・作並間で発生したき電故障について調査した。故障は16件発生しており、7件は原因不明で、原因が特定できたケースは変電所より10km以下がほとんどであったため、16件の故障の中で、最遠方で発生した故障について標定の検証をした。その結果を図4に示す。

故障電流1,680A、NFコンデンサ保護装置4個不動作、ロケータ標定は24k792mであったが、実際の故障点は22.150kmで標定より2.642km電源側であった。ロケータ標定はコンデンサ1個、2Ω分ズレていることがわかる。また故障点より0.5km電源よりに設置している過電流表示器は表示していない。このことから現在のロケータ標定と事故点のズレが大きいため、故障時の巡回範囲は通常標定点の±1kmであるが、実際は±4km程度巡回している。

ロケータ標定の演算においてはき電定数、直列コンデンサ保護装置の動作有無、BTの飽和等の影響が考えられるが故障電流値から判断して直列コンデンサ保護装置の動作状況が大きく影響していると考えられる。

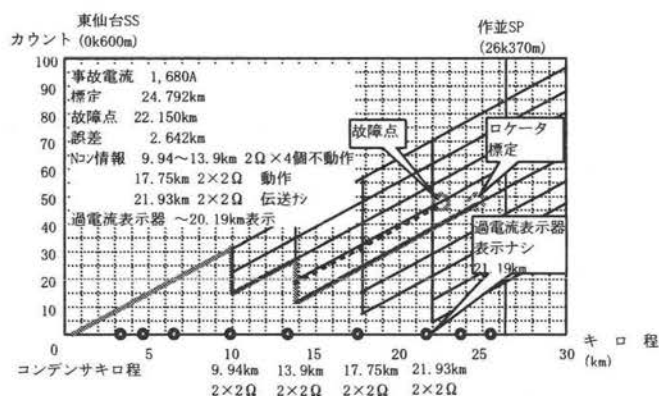


図4 東仙台SS 205ロケータ標定表

4. 直列コンデンサの配置の検討

仙山線では図3のとおり仙台・作並間で4箇所、1.6Ωの直列コンデンサを設置しているが、直列コンデンサの必要性について検討した。定位置き電時に測定した結果を表1に示す。

定位置き電の最低き電電圧は18,570Vと問題はない。しかし、延長き電時における電圧降下シミュレーション結果、き電距離が57.1kmと長くなりき電回路末端付近に列車が在線した場合、電圧降下が大きくなり直列コンデンサを減らすことできない結果となった。

表1 仙台・作並間き電末端の最低電圧

ポスト	東仙台SS 205		作並SP
	送り出し電圧	送り出し電流	着電圧
作並SPで最低着電圧を記録時	21,900V	510A	18,570V
東仙台SSで最大送り出し電流を記録時	21,000V	520A	18,857V

5. 直列コンデンサ保護装置の放電開始電圧変更

上記のとおり直列コンデンサは電圧補償が大きいことから、減らすことができないためコンデンサ保護装置の放電開始電圧を低くできるか検討した。直列コンデンサ保護装置は図5のとおりバイパススイッチ、放電管4個、及び抵

抗器4個の構成となっている。放電管は900Vで放電開始するため、コンデンサの端子電圧が3,600V以上で放電しコンデンサをバイパスする。しかしメーカでは出荷時、3,600Vの90%、3,240Vで放電するように調整している。仙山線に設置した直列コンデンサは定格電流が大きく、故障が発生しても放電管が放電しないため、ロケータ標定と故障点のずれが大きいことから、以前に放電管を1個短絡し、放電開始電圧を低くしていた。しかし放電管1個の短絡では放電開始電圧2,370V、電流にすると1,185Aとなり、故障電流で完全に放電しなかった。

このため、き電回路末端の故障でも放電管が放電するよう2個短絡し、放電開始電圧を1,660V(830A)に下げても問題がないか検討した。仙山線の過去3年間の負荷電流を調査したところ、表2のとおり仙台・作並間最大負荷は644Aと放電開始電圧の78%程度であり問題ないことから、2006年9月23日に全箇所、放電開始電圧を1,660Vに変更した。これによりコンデンサ保護装置は故障電流でほぼ動作するものと思われる。

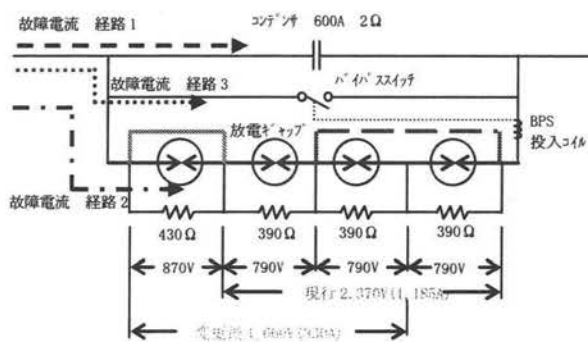


図5 直列コンデンサ保護装置接続図

表2 仙台・作並間過去3年間の最大負荷

	月日	時間	最大電流
2004年	7/17	8:17	644A
2005年	12/27	8:55	606A
2006年	4/5	8:57	606A

6. 放電ギャップ調整後のロケータ標定の検証

直列コンデンサ保護装置放電ギャップの調整後、2006年10月3日に東仙台変電所205系で故障による停電が発生したため、ロケータ標定点と故障点にずれがないか確認した。結果を図6に示す。ロケータ標定点は15k435mであったが、故障点は18k900mと標定点より3k463m(14カウント)作並き電区分所側であった。現在使用しているき電線路定数は $0.311 + j0.855 \Omega/km$ であるが、このデータからき電線路定数を計算すると $0.311 + j0.66 \Omega/km$ と $j0.195 \Omega/km$ 小さいため、現在使用しているき電線路定数が違っ

ていることが分った。

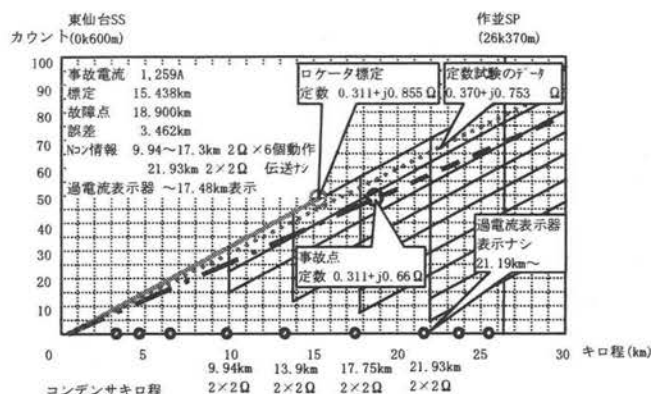


図6 10月3日の故障点標定

このため、2006年12月7日に仙台・作並間で低電圧によるき電線路定数試験を行い、き電線路定数の確認を行った。結果を表3に示す。作並き電区分所での1km当たりの抵抗は $0.417 + j0.753 \Omega/km$ で、事故停電時のデータから計算した定数と比較すると $j0.093 \Omega/km$ 大きい結果となった。

以上のことから、き電線路定数試験とき電故障データから計算した定数に違いがあるため、当面の間き電線路定数試験のデータを採用し、 $0.370 + j0.753 \Omega/km$ （抵抗はSr.C4、リアクタンスは作並き電区分所のデータを採用）とした。この定数で巡回した場合、最大で3.4km(9カウント)ずれることが想定されるため、巡回範囲は過電流表示器の表示状態、及びNFコンデンサ情報を確認後決定することとし、今後の故障データを蓄積し線路定数を見直していくことにした。

表3 仙山線仙台・作並間線路定数試験結果

短絡箇所	SSからの距離(km)	試験電圧(V)	試験電流(A)	位相(°)	抵抗(Ω)	誘導性リアクタンス(Ω)	1km当たりのインピーダンス(Ω/km)
Sr.C2 (4+程 13.9km) 10時線・NF間	13.30	84	7.50	66.0	4.555	10.232	$0.342 + j0.769$
Sr.C4 (4+程 21.93km) 10時線・NF間	21.33	120	6.33	64.5	7.887	16.536	$0.370 + j0.775$
作並SP (4+程 26.9km) PF・NF間	26.30	120	5.30	61.0	10.977	19.803	$0.417 + j0.753$

7. き電線路定数変更後の標定精度検証

き電線路定数を変更後、仙台・作並間で4回故障が発生し、故障点が特定できた3回についてロケータ標定精度を検証した。結果は表4のとおり、2007年9月7日に発生した故障で1カウント(距離0.15km)、2007年3月16日に発生した故障で3カウント(距離0.956km)と、故障巡回範囲である故障点標定±3カウント以内でありき電線路定数が適正であることが確認できた。

表 4 仙山線仙台・作並間ロケータ標定誤差

年月日	故障原因	標定	故障電流	故障点	誤差
2007 年 3 月 16 日	ユツタ車がトモ線 に接触	17.532km	1,376A	18.488km	0.956km (3 カウント)
2007 年 6 月 5 日	不明	23.150km	1,088A	不明	—
2007 年 9 月 7 日	木の枝が可動 ブレードに接触	8.040km	2,208A	7.890km	0.150km (1 カウント)
2007 年 11 月 14 日	飛来物が可動 ブレードに接触	17.668km	1,248A	18.107km	0.419km (2 カウント)

8. おわりに

直列コンデンサ保護装置の放電開始電圧を 2,370 V から 1,660 V に変更したことにより、き電回路末端での故障でもコンデンサ保護装置が動作し、直列コンデンサがき電回路に影響することほぼ無くなった。また、き電線路定数を変更したことで、故障点標定精度が故障巡回範囲の±3 カウント以内となり故障点発見時間を短縮することが多いに期待できる。

参 考 文 献

- 1) 持永 芳文：電気鉄道工学，pp. 109-135，エースプランニング，1999.
- 2) 東日本旅客鉄道株式会社：電力，pp.370-460，2008
- 3) 渡邊寛：鉄道電力技術の Q & A，pp.3-7-3-12，1995