

50Hz/60Hz 両用き電保護継電器の開発

兎 束 哲夫* 森 本 大観*
八 木 英行** 金 子 利美**

Feeding Protection Relay Applicable to 50Hz / 60Hz Dual Frequencies

Tetsuo UZUKA Hiroaki MORIMOTO
Hideyuki YAGI Toshimi KANEKO

Hokuriku Shinkansen covers dual frequencies (50Hz/60Hz) area. One of the substations receives 50Hz electric power from the grid, but when there is an accident there, feeding circuit should be fed by 60Hz electric power from the next substation to rescue trains there. In this area, protection relays for feeding circuit should work for with both 50Hz and 60Hz. We have developed two types of such relays and tested the basic functions for two months in the field.

キーワード：き電保護継電器，高速鉄道，異周波

1. はじめに

建設中の北陸新幹線延伸区間では、60Hzの電力を供給する変電所に加え、一箇所だけ50Hzの電力を供給する変電所がある。この50Hzの変電所が自然災害等で停止した場合には、両隣の60Hzの変電所から救済き電することとしている。変電所には、地絡事故等を検出するき電保護継電器が設備されており、救済き電時にも適切に保護しなければならない。そこで50Hz/60Hz両用のき電保護継電器を開発・試作して、所内およびフィールドでの動作検証試験を行った。

ここでは、50Hz/60Hz両用き電保護継電器の構造と、動作検証試験の結果を報告する。

2. 50Hz/60Hz 両用き電保護継電器の必要性

長野～金沢間の北陸新幹線延伸区間は、長野県(60Hz)、新潟県(50Hz)、富山県・石川県(60Hz)を順次経由している(図1)。したがって、新潟県で受電する新松ノ木(新上越)変電所両側のき電区間は50Hz定位ながら、両隣は60Hzとなっているために異周波境界となる新高田き電区分所および新糸魚川き電区分所において、新軽井沢き電区分所と同様の混触保護が必要である。

さらに、新松ノ木(新上越)変電所が受電できない場合には、同変電所き電区間に対して両隣の60Hzの変電所からき電延長し、き電区間内の列車に対して速度制限

をかける救済き電を行うこととしている。したがって、異周波境界であるき電区分所だけでなく、区間全体の変電設備および信号・通信設備も50Hz/60Hz両方に対応する必要がある。

現在でも、北陸新幹線新軽井沢き電区分所では50Hz電源と60Hz電源が常時突き合わせとなっており、同じき電区分所及び周辺では50Hz電源区間と60Hz電源区間の相互影響を考慮した特殊なき電回路構成及び信号回路構成としている。50Hz電源と60Hz電源が混触した場合には通常なき電保護継電器では保護が困難となるため、異周波混触保護継電器¹⁾を開発して設置した経緯がある。しかし、既開業区間では異周波による救済き電は行っていない。

したがって今回は救済き電を行うため、以下に示す機器を対象にして北陸新幹線延伸区間の変電設備の両周波数対応について検討した。なお、50Hzの新松ノ木(新上越)変電所から隣接する60Hz区間への延長き電は行わない。

- ・変圧器
- ・計器用変流器(CT)・計器用変圧器(VT)
- ・遮断器・断路器・変電ポスト補助電源
- ・き電保護継電器
- ・高調波共振抑制装置

遮断器・断路器等は異周波共用に問題はなく、変圧器類は50Hz仕様で製作すれば60Hzに対応可能である。高調波共振抑制装置は定数が異なるため、それぞれの周波数専用で製作する必要がある。そして、50/60Hz両周波数に対応したき電保護継電器は実績がないため、今回開発を行った。

* 電力技術研究部(き電)

** 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 電力課

特集：電力技術

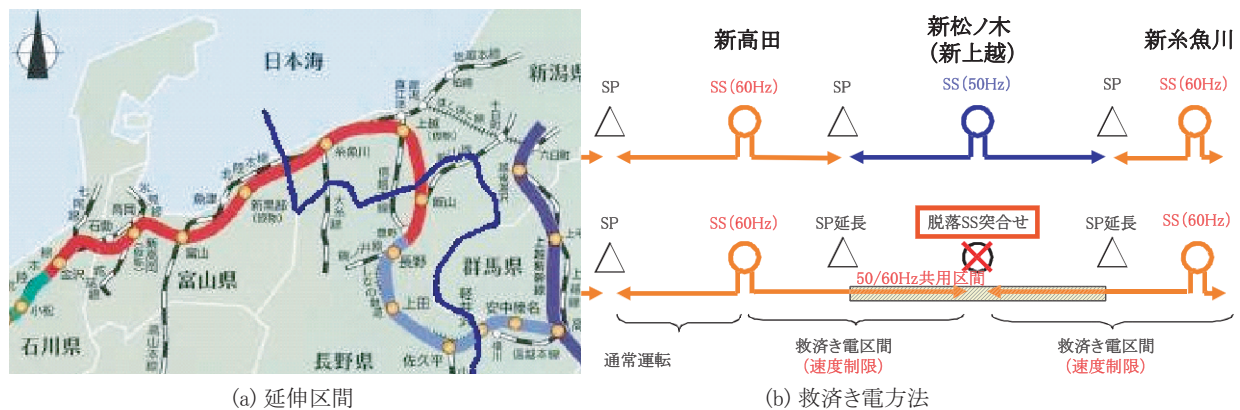


図1 北陸新幹線延伸区間と救済き電の考え方

3. 50Hz/60Hz 両用き電保護継電器の構造

3.1 周波数切替機能

50Hz/60Hz 両用き電保護継電器の基本機能として、50Hzまたは60Hzき電のいずれの場合も、通常のき電保護継電器と同様に距離継電要素 (44F) および Δ I型故障選択要素 (50Fおよびベクトル型50FV) が適切に保護能力を発揮する必要がある。

交流き電用のき電保護継電器は、き電回路中の変圧器無負荷励磁突入電流と故障電流を識別するために、入力電流の第2高調波成分が大きかった場合に、保護出力をロックする機能を持つ (第2高調波ロック機能)。異周波の正弦波入力電流に対するき電保護継電器内部のFFT演算を試算した結果、見かけ上、13.8% (50Hz側) または28.9% (60Hz側) の第2高調波が検出されることがわかった。したがって、第2高調波ロックの設定値によっては、常に保護出力にロックがかかるために、き電保護継電器に異周波電流の保護能力は期待できない。このことから、50Hz/60Hz両用き電保護継電器はき電周波数に対応した内部演算を行う必要がある。

一方、50Hzき電と60Hzき電を切り替える際には、必ず停電を伴うき電系統操作がある。そこで、周波数を切り替える手段として60Hzき電を行う際にはポスト間で系統条件を伝送して接点信号を生成し、き電保護継電器に与えることとした。これを60Hz外部切替指令と呼び、2接点用意する。しかし、伝送システムの異常等で万が一接点信号と異なる電源周波数が投入された際にも、き電保護継電器は自立して機能する必要がある。そこで、50Hz/60Hz両用き電保護継電器は60Hz外部切替指令接点信号によって電源周波数を予測して備える一方で、き電周波数を常時内部で検出して、接点信号情報と異なる周波数でも保護が機能するよう仕様を定めることとした。

このような動作を可能とするき電保護継電器の方式としてはサンプリング周波数切替方式と50Hz/60Hz並列整流方式が考えられたため、双方を試作した。

3.2 サンプリング周波数切替方式

入力されたき電電圧周波数をき電保護継電器内部で監視して、50Hzまたは60Hzと判断して動作する方式であり、以下の論理でサンプリング周波数切替を行う。

- (1) 内部周波数検出部が50Hz、60Hzいずれも検出していなくて、60Hz外部切替指令が無しの場合は保護対象周波数を50Hzとする。
- (2) 内部周波数検出部が50Hzを検出していれば、保護対象周波数を50Hzとする。
- (3) 内部周波数検出部が60Hzを検出している場合、または内部周波数検出部が50Hzを検出していなくて外部60Hz切替指令が有りの場合は保護対象周波数を60Hzとする。
- (4) 内部周波数検出部が60Hzを検出していて、60Hz外部切替指令が無しの場合は保護対象周波数を60Hzとする。
- (5) き電停止時は、き電停止前の状態を1秒間保持する。
- (6) 内部周波数検出部が異常となった場合は、60Hz外部切替指令に従う。
- (7) 60Hz外部切替指令入力2系統あり、これらが不一致状態では、前値保持 (不一致となる前の保護対象周波数状態を保持) する。

この方式は、サンプリング周波数切替に伴うハードウェアを新規開発する必要があるが、ハードウェア規模が小さくなる。全体構成を図2に、内部周波数検出部の切替論理を図3に示す。

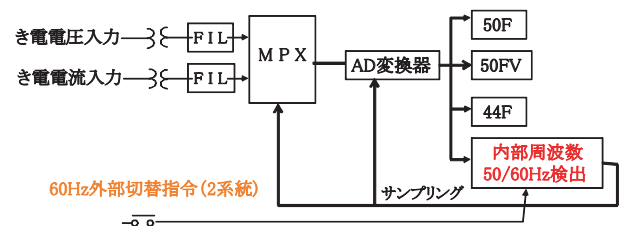


図2 サンプリング周波数切替方式の構成

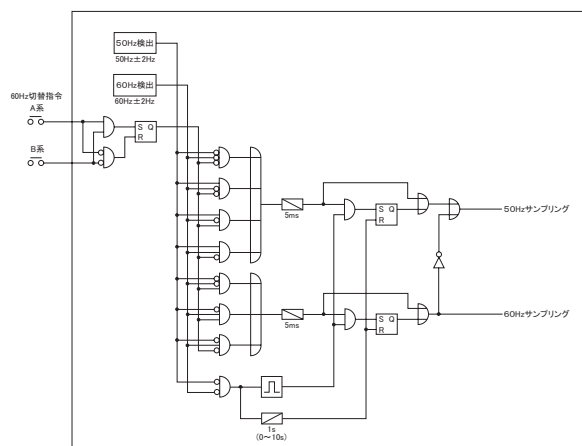


図3 内部周波数検知部の論理

3.3 50Hz/60Hz 並列監視方式

50Hz専用のき電保護継電器と60Hz専用のき電保護継電器および共通処理部の周波数切替機能を一組として構成し、き電電圧周波数に応じて不要な出力をロックし、き電周波数と一致するき電保護継電器を機能させる方式である。以下の論理でき電保護継電器の切替を行う。全体構成を図4に、周波数切替論理を図5に示す。

- (1) 60Hz専用保護ユニット内で50Hzを検出した場合は、60Hzき電保護継電器要素をロックする。
- (2) 50Hz専用保護ユニット内で60Hzを検出した場合は、50Hzき電保護継電器要素をロックする。
- (3) 60Hz専用保護ユニット内で50Hzを検出せず、かつ、60Hz外部切替指令有りの場合は50Hzき電保護継電器要素をロックする。ただし、この時に50Hz専用保護ユニット内で60Hzを検出しない状態が10秒継続した場合には50Hzき電保護継電器要素のロックを解除する。
- (4) 周波数切替には2系統の外部周波数切替指令のAND条件を使用する。
- (5) 60Hz外部切替指令の状態と、50Hz専用保護ユニット内の60Hz検出結果が異なる場合は、周波数不一致信号を出力する。

この方式は、ハードウェア規模が大きくなるものの、既製品のき電保護継電器を用いることができる。

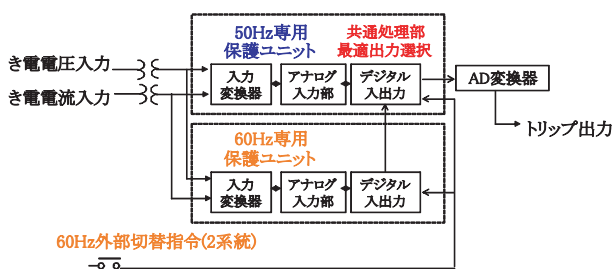


図4 50Hz/60Hz 並列監視方式継電器の全体構成

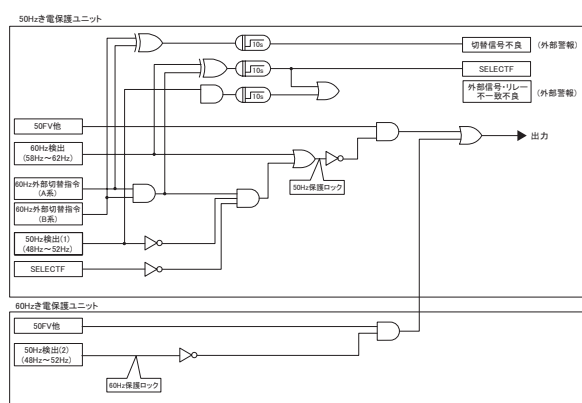


図5 周波数切替の論理構成

4. 基礎試験およびフィールド試験結果

試作した2方式のき電保護継電器の基本機能を確認するため、所内での基礎試験及びフィールド試験によって、き電周波数と周波数切替信号が一致している状態及び一致していない状態それぞれにおける、周波数切替動作および故障検出動作の確認を行った。

4.1 基礎試験

基礎試験では、以下に示す内容の試験で試作した2方式の50Hz/60Hz両用き電保護継電器が、所定の周波数切替動作を行うことを確認した。

(1) 切替動作確認

以下の条件における周波数切替動作を確認した。

- a) 50Hz印加→無加圧→50Hz印加, 切替信号なし(50Hz相当)
- b) 50Hz印加→無加圧→50Hz印加, 切替信号あり(60Hz相当)
- c) 50Hz印加→無加圧→60Hz印加, 切替信号あり
- d) 50Hz印加→無加圧→60Hz印加, 切替信号なし
- e) 60Hz印加→無加圧→50Hz印加, 切替信号なし
- f) 60Hz印加→無加圧→50Hz印加, 切替信号あり

(2) 保護動作確認

以下の条件において、き電保護継電器が正常に保護動作(50F, 50FV, 44F)を行うことを確認した。

- a) 50Hz印加中に故障
- b) 60Hz印加中に故障
- c) 無加圧中に故障
- d) 50Hz印加中に故障, 再閉路による電源再加圧直後に故障
- e) 60Hz印加中に故障, 再閉路による電源再加圧直後に故障

4.2 フィールド試験(基本性能確認)

実際のき電回路ではAT(単巻変圧器)および車両変

特集：電力技術

圧器の無負荷励磁突入電流（突流）や、パンタグラフ離線に伴うサージ電圧等、様々な現象がある中での安定した動作が求められる。そのため、両方式のき電保護継電器を実用化するためには、試作装置が実際のき電電圧・き電電流の条件で安定した周波数切替動作を行うことと、一定の周波数条件において不要動作等がないことを確認する必要がある。

北陸新幹線新軽井沢き電区分所では、常時 50Hz 電源と 60Hz 電源が突き合わせになっており、さらに所内制御電源周波数が毎晩切り替わる特殊な運用となっている。そこで、同所において以下のように、試作した 50Hz/

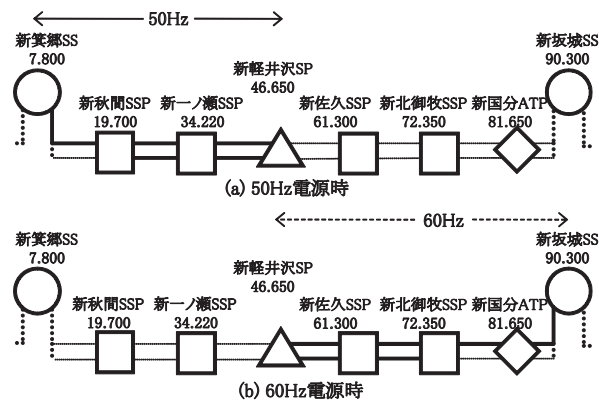


図6 フィールド試験時き電系統

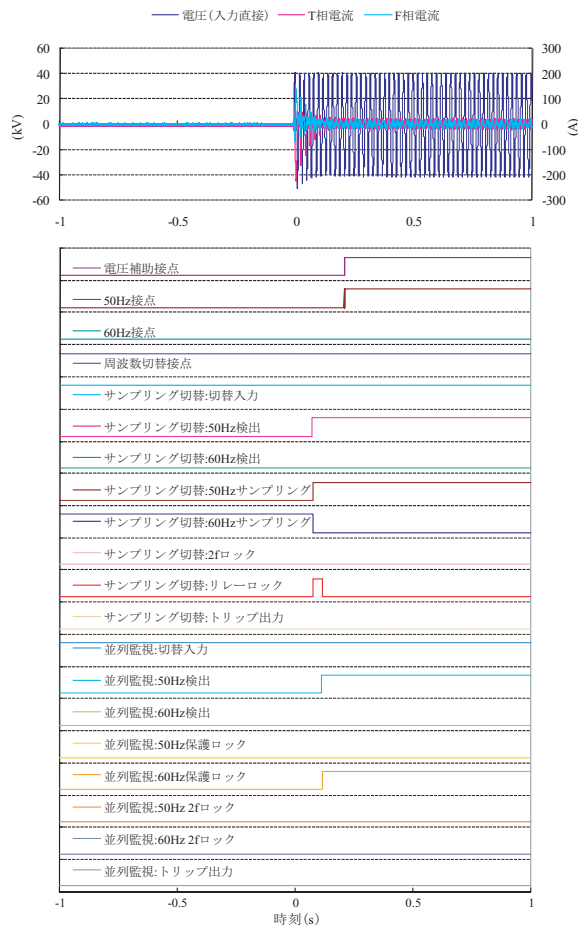


図7 50Hz 指令・60Hz 入力時動作

60Hz 両用き電保護継電器の検証試験を行った。

(1) 周波数切替機能確認

き電保護継電器を配電盤に接続し、計測盤に挿入したテスト端子から供試き電保護継電器にCT・VT二次側出力を接続するとともに、電源投入時の電圧・電流波形を記録した。

試験時のき電系統を図6に示す。き電保護継電器整定値は既設継電器と同様とし、周波数切替信号は電源周波数一致条件と不一致条件となるよう手動設定した。

その結果、両方式のき電保護継電器とも、切替信号とき電周波数不一致時も、き電電源周波数に合わせた所定の動作となった。また、電源投入時のAT突流による不要動作はなかった。

図7はき電保護継電器には60Hz切替指令を与えずに、60Hz電源を印加した際のタイムチャートである。60Hz電源印加によって、両き電保護継電器はリレーロック等のシーケンスを経て、60Hz対応動作に切り替わっている。AT投入に伴う突流が流れているが、き電保護継電器は不要動作に至っていない。

(2) き電負荷確認

配電盤に一日間き電保護継電器を接続したところ、車両負荷電流および車両変圧器無負荷励磁突入電流に対する不要保護動作は発生しなかった。

4.3 フィールド試験（長期試験）

(1) 試験回路

新軽井沢SP所内電源（100V）が毎夜切り替わることを利用して、所内電源をき電電源と見立てて、無人で2ヶ月間にわたってき電保護継電器の動作を監視した。長期試験中のき電保護継電器は電流入力がないため、周波数切替機能だけを確認した。

回路状態およびき電保護継電器の接点信号は、仮設した携帯電話回線で国立鉄道総研の研究所から遠隔監視した。監視項目を表1に示す。

長期試験では、北陸新幹線延長区間での周波数切替信号（電源周波数 60Hz 時に ON）を模擬するため、図8に示す周波数検知装置を仮設した。周波数検知装置は図9に示すように、電源停電から復電する際に周波数の変化が無い場合には 0.1 秒以内に電源電圧をそのまま出力する。復電時に電源周波数が変化した場合は、2秒間の遅れを持って周波数切替信号を出力し、さらに 0.5 秒後に（電源周波数変化後の）電源電圧を出力するよう設定した。

これによって、軽井沢き電区分所での所内電源切替時には、き電保護継電器に対して周波数切替信号が先行し、次いでき電電圧が印加されることとなり、実用時と同じ状況となる。

(2) 試験結果

毎晩繰り返されたき電停止・電源切替・き電開始条件

表 1 長期試験監視項目

種別	監視項目
共通	50Hz検出, 60Hz検出, 切替接点検出, 切替接点1検出, 電圧補助接点
サンプリング 周波数 切替方式き電 保護継電器	50Hz検出, 60Hz検出, 2fロック, 50Hzサンプリング, 60Hzサンプリング, リレーロック, トリップ出力
50/60Hz並列 切替方式き電 保護継電器	50Hz検出, 50Hz2fロック, SELECTF, 50Hzリレー異常, 50Hz保護ロック, 60Hz検出, 60Hz2fロック, 60Hzリレー異常, 60Hz保護ロック, 50Hzトリップ指令, 60Hzトリップ指令, トリップ出力, 周波数不一致
遠隔監視装置	データ受信, 定周期データ受信, 遠方整定, 遠方整定送信結果, 端末異常, 端末起動, 端末診断

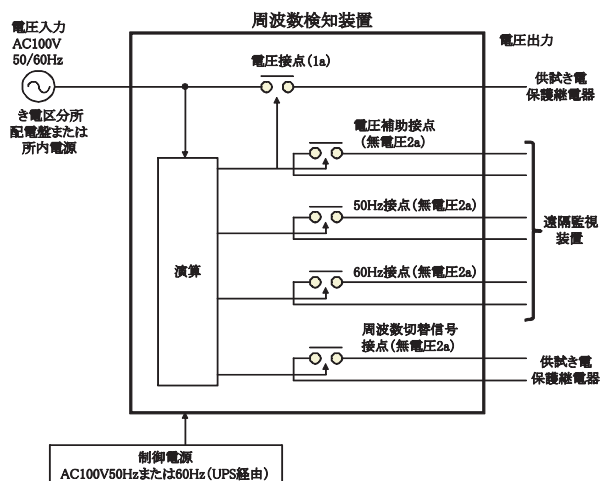


図 8 周波数検知装置

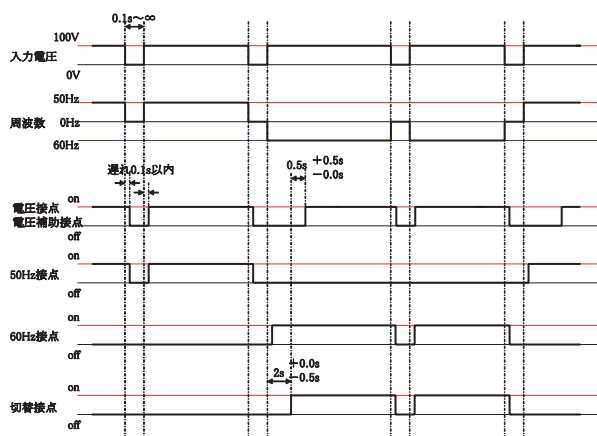


図 9 周波数検知装置入出力タイムチャート

において、き電保護継電器の不要動作はなく、50回の周波数切替動作を行った。

また、期間中に行われた深夜の保守作業時の切替動作

も正常であった。さらに、期間中数回にわたり、日中に線路故障等に伴って電源切替が発生した。この際のき電保護継電器の動作も正常であった。

代表的な試験結果を表2および図10に示す。表2の試験番1～3と図10は長期試験中夜間の50Hz・60Hz切替動作である。図10(a)では周波数検知装置の動作により、き電保護継電器への電圧印加は電源切替よりも2.5秒遅れており、その間に60Hz外部切替指令が作成され、き電保護継電器は周波数切替に備えている。そして異周波電圧印加に伴い、60Hzへの周波数切替が順調に行われている。同様に図10(b)では60Hz外部切替指令信号が開放された後に、50Hzへの周波数切替が行われている。

試験4および試験5は日中の線路故障に伴うき電停止時の動作である。新軽井沢き電区分所内電源は、50Hzき電停止に伴って60Hzとなり、き電再投入によって60Hzから50Hzに復帰した。き電保護継電器からは、夜間のき電停止と同じ電源切替手順に見えるため、順調に周波数切り替え動作が行われた。

試験6は日中に、50Hz側き電回路で故障に伴う保護動作と、0.5秒後のき電回路再開路が行われた例である。保護動作による停電後、所内電源切替によって試験回路には60Hz電源が供給されたが、周波数検知装置によってき電保護継電器へは電圧印加が2秒間遅れ、60Hz外部切替信号も変化しなかった。その2秒間に、再開路によってき電回路に再び50Hz電源が投入され、所内電源も50Hzに復帰した。したがってき電保護継電器から見ると、50Hz電源停止後に再度50Hz電源が供給された形となり、き電周波数切替は行われなかった。

表 2 長期試験結果

試験番	時刻	条件		結果	備考, 図番
		入力周波数 (Hz)	切替信号 (Hz)		
1	各夜 23:50	50 → 60	50 → 60	不要動作無 切替正常	通常運用模擬 合計 50 回 (図 11 (a))
2	各夜 0:10	60 → 60	60 → 60	同上	同上
3	各夜 5:20	60 → 50	60 → 50	同上	同上 (図 11 (b))
4	日中	50 → 60	50 → 60	同上	線路故障によるき電停止
5	日中 (4の続き)	60 → 50	60 → 50	同上	き電停止から5分後にき電再投入
6	午前	50 → 60 → 50	50 → 60 → 50	同上	線路故障によるき電停止と自動再開路

特集：電力技術

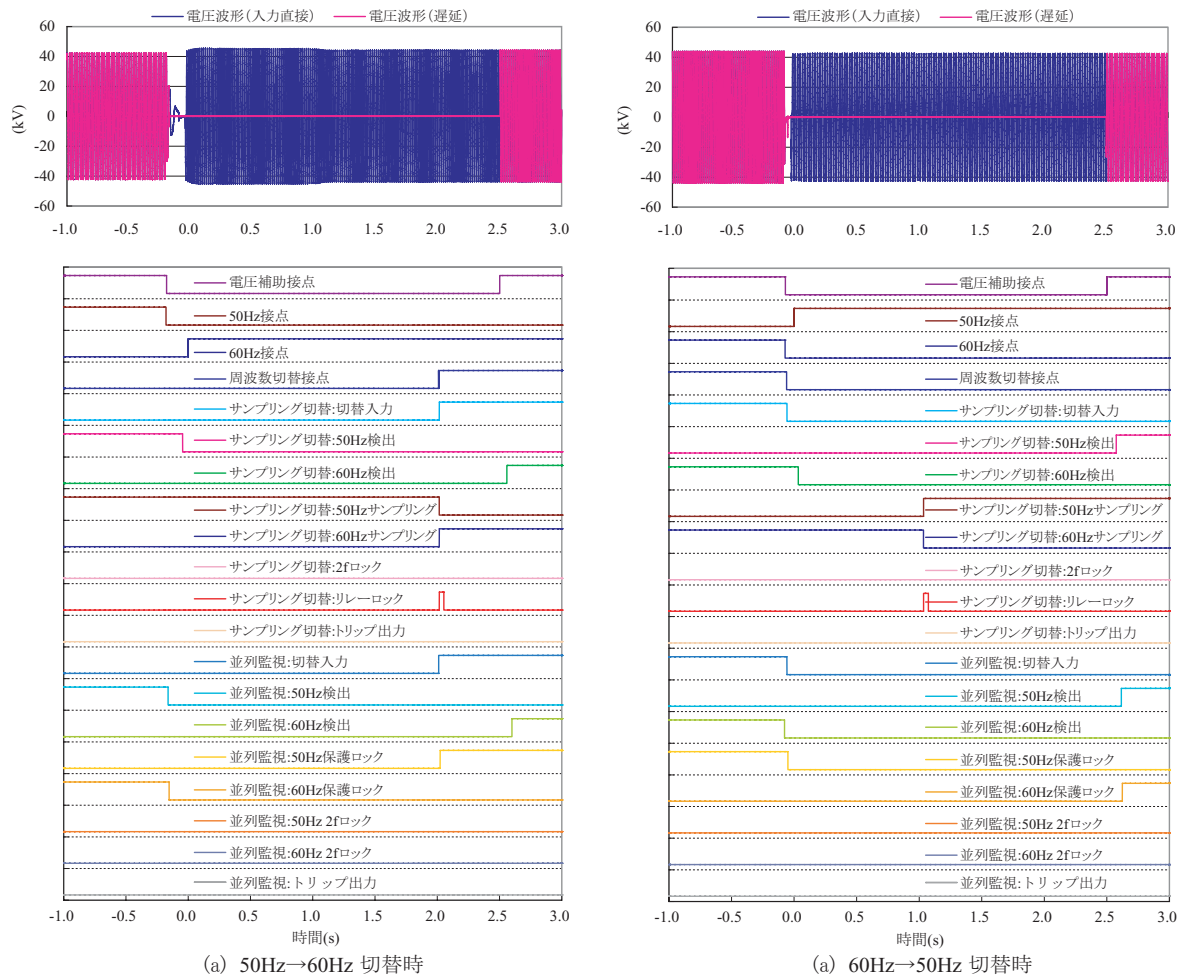


図 10 長期試験結果例（夜間周波数切替）

5. まとめ

試作したサンプリング周波数切替方式き電保護継電器および50Hz/60Hz並列監視方式き電保護継電器は、それぞれ所定の周波数切替機能と保護機能を発揮しており、不要動作も無かった。これにより、実用化の見通しを得ることができた。

6. 謝 辞

50Hz/60Hz 両用き電保護継電器の試作では(株)明電舎と三菱電機(株)、また、フィールド試験では東日本旅客鉄道(株)の担当各位に協力いただいたことに深く感謝いたします。

文 献

- 1) 長谷伸一, 持永芳文, 八木英行: 50/60Hz異周波混触保護継電器の開発, 鉄道総研報告, Vol. 13, No.7, pp.43-48, 1999