

保守用車用短絡走行の研究



黒崎 倫之*



石瀬 裕之*



佐々木 敦*

当社では近年、保守用車による機械化作業を保守作業の主体としている。この保守用車は通常の列車の運行と違った動きを行うため、踏切装置を誤動作させないように絶縁走行状態で作業することを従来は基本としており、①大形の保守用車も多数導入しており万一の列車との衝突事故の際には大きな被害が懸念されるが、②作業区間に列車を進入させない安全の担保は人間の注意力に大きく依存している。作業区間に列車を進入させないために信号機に停止信号を現示する、保守用車の短絡走行の拡大を段階的にはかっているため報告する。

●キーワード：短絡走行、非接触式短絡機構（NCIS）、ローパスフィルタ（LPF）、万能型軌道短絡器

1. はじめに

当社では保守作業を効率的に施工するため、機械化作業を積極的に導入している（図1）。



図1 大形保守用車の例、マルチプルタイタンバ

在来線における保守作業は新幹線における作業と異なり、踏切装置の存在を考慮して絶縁走行状態で作業することを基本としてきた。保守用車は踏切近傍での作業・逆線運転・一箇所に長時間留まっていた作業など通常の列車の運行と違った動きを行うため、警報持続等の踏切装置誤動作を起こす可能性があるためである。

保守用車を使用する際の安全の担保は「線路閉鎖工事手続」「保守用車使用手続」（以下、「線閉等手続」）に依っている。

CTC区間では保守用車責任者が駅長等に紙面で作業を申込み口頭で線閉等手続を行っており、ヒューマンエラーの危険性を内在している。ATOS区間においては、線閉等手続自体はシステム化されているものの、着手区間外作業などの違反や取扱い誤りが発生している。

絶縁走行とした場合は信号機は停止信号とはならないため、人間の注意力に依存している線閉等手続の扱い誤りは列車との衝突事故に直結しかねない。

近年は営業車両の軽量化と保守用車の大形化が進んで

いる。保守用車には総重量60tのものもあり、重量25tのクハE231、クハ209、クハ205の2倍以上であり、万一列車と保守用車が衝突した場合は大きな被害が懸念される。

このため当社では保守作業区間に列車を進入させないように検討と開発を進めているため報告する。

2. 安全担保の検討と開発方針の決定

本項では、導入初期の線閉等手続に加えて安全を担保する検討と開発方針を記載する。

2.1 順線方向における保守用車の短絡走行

踏切が存在しない新幹線での保守作業では軌道短絡を基本としていることから分かるように、在来線で線閉等手続に加えて安全を担保するには、踏切制御をどのように行うかが大きな鍵となっている。

当初、1997年度に進めていた保守用車の短絡走行の検討においては踏切での一旦停止を行わなくて済むように、関係信号機を停止信号現示とし、かつ関係踏切を自動警報することを目的としていた。1998年度から下記(1)～(4)の条件を満たした一部線区で保守用車の短絡走行を実施した。

- (1) 大形保守用車であること。具体的には、レール探傷車（RFD；Rail Flaw Detection System）と軌道中心間隔測定車（TDM；Track Distance Measuring System）。
- (2) 絶縁と短絡の切替に非接触式短絡機構（NCIS；Non Contact Induction Switch）を搭載していて、当該の保守用車のレール短絡抵抗が小さく安定していること。
- (3) 踏切制御子は高出力・高電流のH形であること。

(4) 順線方向の運用であること。

2.2 保守用車短絡走行における問題点

当初は踏切を警報させかつ停止信号現示とすることで開始した短絡走行であったが、車種や作業条件が極めて限定されていたため、実際の運用は少なかった。運用の拡大を図るため、踏切を警報させずに保守作業区間の関係信号機に停止信号を現示する手段を検討した。

1999年度の踏切検討委員会では踏切に関する諸課題のなかで一節を割り、この問題を検討している。

【短絡走行の課題】(図2)

- (1) 踏切制御子の検知不能や検知不良
- (2) 保守用車が逆線走行を行う場合
- (3) 踏切警報区間内の途中折り返しの場合
- (4) 警報区間内において長時間作業を行う場合
- (5) 保守用車群がある間隔をもって走行する場合
- (6) 踏切で軌陸車を載線させたり離線させたりする場合

なお、短絡／絶縁の切替に関するヒューマンエラーの防止については設備によるバックアップをいくつか指摘しているものの、保守用車運転者・関係指令・駅長等の3者のチェックで短絡側に取扱っていることを確認することで良しとしている。

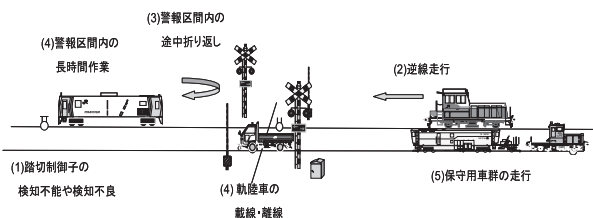


図2 短絡走行の課題

このように保守用車は様々な運用を行うため、保守用車が短絡走行をしても踏切が誤動作することを防止し、かつ保守用車が安全に踏切を通過するために次の2点を実施することとした。

- (1) 「何らかの方法」で踏切を警報させない工夫をする。
- (2) 保守用車用踏切制御装置（通称「ズバコン」）(図3)により踏切を警報遮断し、踏切通過後に復帰させる。

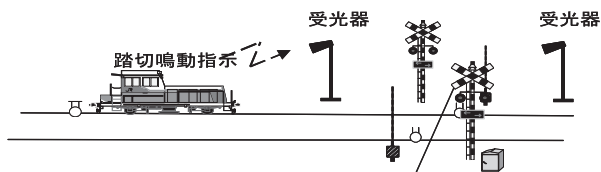


図3 「ズバコン」による踏切警報制御

踏切検討委員会では「何らかの方法で踏切を警報させない工夫」として、この時点で4点の検討を行った。

- (1) 踏切制御子が保守用車を検知し警報する前に、踏切

制御をマスクし、かつ踏切通過後にマスクを解除する（駅中間）。

- (2) ローパスフィルター方式（LPF；Low Pass Filter）の短絡により踏切制御子を検知させない（駅中間）。
- (3) 主信号機で進路設定した場合、保守用車使用（線路閉鎖）の条件で踏切制御条件をマスクする（構内）。
- (4) 現示カットした入信・入標および保守用車専用の進路を新設し、保守用車の進路設定をする（構内）。

なお、駅構内の踏切に対して「踏切使用停止スイッチ」により警報制御をマスクする方法は採用しないと明言している。これは、取扱い誤りにより営業列車に無しや断を発生させるおそれがあるからである。

これらの提言を考慮し、開発方針の検討を行った。

駅中間の作業に対して、LPFにより踏切を警報させないまま保守作業区間の関係信号機に停止信号を現示する手段を開発することにした。

構内の作業に対しては、主信号機で進路設定した場合に保守用車使用（線路閉鎖）の条件で踏切制御条件をマスクする手段を開発することにした。

以上の提言と検討を考慮し、短絡走行の拡大に取り組んできたので次項以降で記述する。

3. 保守用車短絡走行への取組み(LP方式)

2000年3月の「踏切検討委員会報告書」と2003年3月の安全推進分科会を経て、一旦開始した保守用車による踏切の自動警報は取止め、フィルタ付き短絡器により踏切を警報させないまま保守作業区間の関係信号機に停止信号を現示する方向に短絡走行の取組みを転換した。

本項では、LPF方式による保守用車短絡走行への取り組みについて記載する。

3.1 保守用車短絡走行導入段階

当社の管内には数種類の軌道回路があり、また軌道回路のない区間も存在する。保守用車短絡走行拡大は連続

表1 当社管内の保守用車短絡走行導入段階

各段階で目標とする区間	キロ数
第一段階（踏切無し区間）	470km
第二段階（ATOS・非CTC区間）	1,060km
第三段階（CTC区間）	2,740km
第四段階（高周波軌道回路区間）	240km

注）CTC：Centralized Traffic Control
（列車集中制御装置）

ATOS：Autonomous decentralized Transport
Operation control System
（東京圏輸送管理システム）

高周波軌道回路：周波数帯が3～25kHzの軌道回路
を本報告では総称する。

軌道回路区間について四段階に分けて開発・導入を進めている（表1）。

3.2 非CTC・ATOS区間への短絡走行導入

安全性については、ATOS区間でも違反や取扱い誤りは発生していて導入の効果が見込まれる。

実現性については、ATOS・非CTC区間では保守用車の進路を設定するのに半自動の踏切を警報させずにすみ設備の改修が不要であるため、早期の実現が可能と見込まれた。

以上のことより、保守用車へのLPF搭載のみで短絡走行が実施できるATOS・非CTC区間でまず実施することとした。

3.3 保守用車短絡器の開発

保守用車を短絡走行させ、関係信号機を停止現示とするシステムは、車載のフィルタ付き短絡器によって行い、条件の整った箇所から段階的に実施することとした。

車載のフィルタ付き短絡器はLPFにより信号制御用の軌道回路のみを短絡し、踏切制御子は短絡しないことを可能とするものである（図4）。

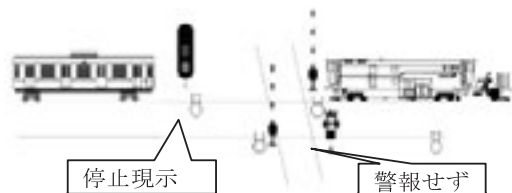


図4 LPF軌道短絡による保守用車の安全確保

各段階での開発の前提条件は以下のとおりである。

- (1) 対象区間は連続して軌道回路が存在する自動閉そく区間とする（図5）。当面の対象は低周波帯域の軌道回路区間とし、高周波軌道回路区間への拡大は第四段階での課題とする。

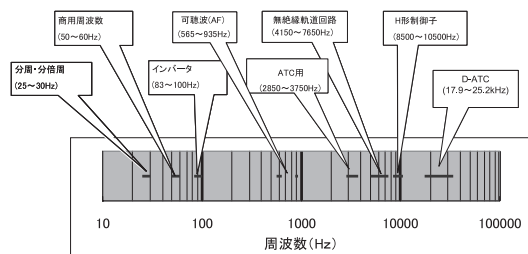


図5 軌道回路で使用している主な周波数帯

- (2) 線閉等手続は従来どおり行う。短絡走行はバックアップ手段であり、手続きは変わらない。
- (3) 対象とする保守用車はマルチプルタイタンパ、バラストレギュレータ、モーターカー等の自走可能な保守用車とする。車両は、安定した短絡性能を期待で

きる総重量15t以上の保守用車を対象とする。

- (4) 信号機に停止信号を現示することを目的とし、踏切は警報させない。踏切の制御は絶縁走行時と同様とし、一旦停止および「ズバコン」扱いとする。
- (5) 軌道回路制御方式の踏切は、必要により踏切制御子による方式に変更する。

開発するLPF短絡器は車軸に取付けるものとし、電源を必要としないものを目指した。電氣的な仕様としては当該車両の軸トータルで信号用軌道回路に対して60mΩ以下・踏切制御子に対して4Ω以上の短絡感度を確保する。具体的な仕様を以下に述べる。

- (1) 短絡器は車両のうち2軸に搭載することを基本とし、2軸トータルで所定の機能を満足する特性のものとする。短絡器を搭載する車軸以外は絶縁状態となる。
- (2) 接触抵抗の大きいブラシ式短絡機構を使用している保守用車については短絡不良を救済するため特例として3軸に搭載し、安定した短絡は望めなくても衝突防止の効果を優先する。
- (3) 接触抵抗の大きいブラシ式短絡機構は将来的に短絡抵抗の小さい非接触式短絡機構に置き換えていくこととし、置き換え後は搭載軸数は2軸で良い。
- (4) 保守用車の車種によっては搭載不可能な軸があり搭載する2軸の位置は車両の両端とは限らない。
- (5) 線閉等手続きのバックアップが目的であり、軌道回路境界からのみ出し、連動上の鎖錠（てっ査鎖錠）については防護の対象外とする。

4. ATOS・非CTC区間への適用拡大の取組み

4.1 警報条件の踏切制御子化

当社では、駅中間の自動制御の踏切では踏切制御子により踏切警報条件を制御するのが一般的だが、一部には軌道回路により警報制御している踏切も存在する。

この軌道回路制御の踏切では、LPFによる軌道短絡で踏切が警報してしまうので、短絡走行を実施する区間では、軌道回路制御している踏切については警報条件を踏切制御子化することとした。

4.2 保守用車搭載用の短絡器の開発

第二段階を目標として保守用車の軌道短絡器の開発を2001年度から開始した。

4.2.1 軌道短絡器の概要

安全研究所では、軌道回路を短絡し、踏切制御子を短絡しない周波数特性を持つ軌道短絡器を開発した。表2に示すように、信号用の軌道回路と踏切制御子では使用し

ている周波数が異なるので、周波数によってインピーダンスが異なる特性を持つ電気回路で構成することで実現が可能である。

大部分の信号用軌道回路は25～100Hzであり、踏切制御子の8.5～40kHzとはコイル、コンデンサを組合せた電気回路によって区別することが可能である。しかし、ATCと無絶縁軌道回路は踏切制御子に近い周波数を使用しており、LPFでは明確に区別できない。

LPFの開発では、対象軌道回路を当面25～100Hzの低周波軌道回路（商用・分周・分倍周・83/100Hz軌道回路）とした。

表2 主な軌道回路名称と使用周波数

直流軌道回路	直流
分倍周、分周、長大軌道回路	25Hz／30Hz
商用軌道回路	50Hz／60Hz
83Hz／100Hz軌道回路	83Hz／100Hz
SME T軌道回路	120Hz
MTD（AC/DC）軌道回路	525～675Hz
AF軌道回路	567～933Hz
MTD（DC）軌道回路	1050～1950Hz
在来線ATC軌道回路	2850～3750Hz
無絶縁軌道回路	4150～7650Hz
踏切制御子（H形）	8.5～10.5kHz
踏切制御子（在来形）	14～40kHz

4.2.2 軌道短絡器の電気特性

車軸に取り付ける場合、電源の確保が困難となるため、軌道短絡器はコイル、コンデンサといった電気部品によって構成し、電源が不要な電気回路とする。低周波軌道回路用の短絡器はコイルのみで構成可能であるが、AF軌道回路は周波数が比較的高いため、コイルとコンデンサを組合せて共振現象を起こし、AF軌道回路の周波数のインピーダンスが低くなるような回路とする必要がある。

軌道回路の短絡感度は保守上の規定値としては、低周波軌道回路では60mΩ以上となっている。このため、保守用車の2軸に短絡器を取付け、保守用車トータルのインピーダンスは、この規定値を下回るものとした。

踏切制御子の短絡感度は1Ω程度とされているが、短絡とならないインピーダンスには基準がない。踏切制御子の仕様値、ならびに現場に設置されている状態での短絡感度の実測データを基に、擬似軌道回路を使用して境界値（短絡状態とならないインピーダンスの最小値）を求めた。その結果、H型踏切制御子の最小周波数（8.5kHz）において余裕を見て12Ω（2軸並列で6.0Ω、3軸並列4.0Ωまで可能）以上とした。営業線に設備されている踏切制御子は相互干渉による影響があり、単独で設置してある踏切制御子の短絡感度と異なる可能性があるため、営業線での走行試験で、最終的な仕様を確認した。

軌道短絡器の最大通電電流は、軌道回路の短絡電流の最大値から30Aとした。

以上により、短絡器の電気的特性は以下のとおりとした（表3および図6）。

表3 短絡器（単体）の電気的特性

短絡インピーダンス	25, 50, 83Hzにおいて0.12Ω以下 8.5～10.5kHzにおいて12Ω以上 14～40kHzにおいて16Ω以上
最大通電電流	25, 50, 83Hzにおいて30Arms以上
筐体・端子間絶縁抵抗	30MΩ以上

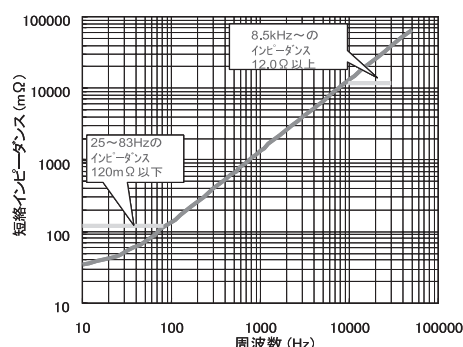


図6 低周波軌道回路用短絡器の周波数特性

4.2.3 AFO軌道回路への影響調査

いわゆる「開かずの踏切」に対する踏切交通の円滑化の要望に対して踏切の定時間制御を実施している。その際にAFO軌道回路を踏切制御子に導入しており、保守用車の短絡走行による影響の評価が必要であった。

安全研究所では2004年度～2005年度に影響調査を行い、条件付で使用可能であるとの現地試験結果を得ている。AFO軌道回路は2.3kHz～10.95kHzの帯域の9波のいずれか（H形踏切制御子を使用する区間では2.3kHz～7.65kHzの帯域の6波）を使用するが、保守用車用短絡器の3軸相当の場合は7.65kHz～10.95kHzの帯域の3波でAFO軌道回路に影響はなかった。それより周波数の低いAFO帯域ではレベル補償に悪影響を与える可能性がある。

4.3 非接触式3ポジション短絡機構の開発

保守用車の短絡機構は表4に示すとおり大きく3種類が存在する。絶縁・短絡の切換スイッチの設置位置が車輪

表4 主な短絡機構と特徴

短絡機構種別		長所・短所
車輪式	車輪スイッチ式	○接触抵抗小、安定 ×SW扱いが不便
	電磁誘導非接触式（NCIS）	○接触抵抗小、安定 ○SW扱いが簡単 ×高価
	ブラシ式	○SW扱いが簡単 ×短絡抵抗大、不安定

か車上か、さらに車上切替式ではブラシ等の接触式か電磁誘導による非接触式かで分類でき、それぞれに一長一短がある。当社では安定した短絡性能と安全な切換操作が可能なNCISを積極的に導入している。

従来は「絶縁／完全短絡」の2ポジションのNCISを使用していたが、「LPF短絡」を加えた「絶縁／LPF短絡／LPFなし短絡（完全短絡）」の3ポジションで使用できるよう、コスト面や車軸付近の狭隘なスペースを克服する開発を行った。主な改良点は2点である。

- (1) 第2リレーを追加し、「絶縁／LPF短絡／LPFなし短絡（完全短絡）」の3ポジションのNCISを開発した。この際、第1リレーと第2リレーを駆動させる信号は重畳して、車上切換スイッチと車軸上受信ユニットを電磁誘導でつなぐコイルは共用とした。
- (2) NCISの誘導コイルとコントロールボックスを搭載する車軸はスペースがなく、従来はLPFを併設することができなかった。LPFには車輪取付・車軸取付の方式があるが、両方の方式とも小型化を行い、NCISとの同一車軸への取付を可能にした。

4.3.1 3ポジションのNCISの開発

NCISの原理は、車軸上のコントロールボックス内の切換え用リレーを、車体と車軸に設置したコイル間の電磁誘導作用によって制御するものである（図7）。機械的な接触部を経由せずに、安定した短絡が得られる。

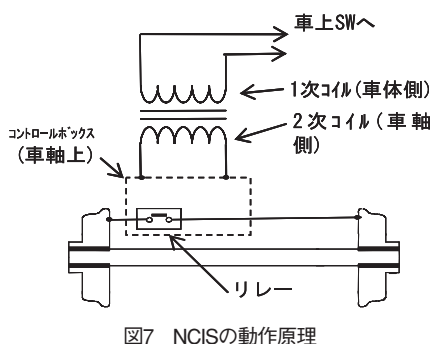


図7 NCISの動作原理

今回の改良は、コントロールボックス内にフィルター有/無切換え用の第2リレーを追加し、既存のコイルに切換信号を重畳する方式とした（図8）。

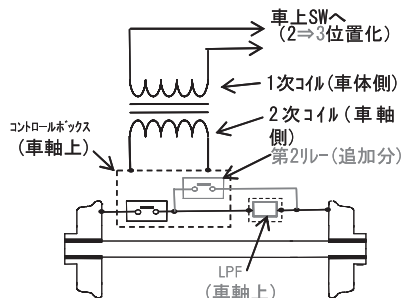


図8 NCIS 3ポジション化改良概要図

第1リレーと第2リレーの動作の組合せにより、以下に示す3ポジション切換を可能としている。

- ①第1リレーOFF⇒絶縁
- ②第1リレーON、第2リレーOFF⇒LPF短絡
- ③第1リレーON、第2リレーON⇒LPFなし短絡

これにより、運転席から「絶縁・LPF短絡・LPF無し短絡」の3ポジションの切換えが可能となる。

NCISは3種類が現存するため、それぞれに対応するタイプを2006年度に開発した（図9）。



図9 NCIS各種; 左よりW型、S型、P型

4.3.2 NCISと併設可能な小型LPFの開発

小型化するLPFには従来と同等の性能が要求される。すなわち、低周波軌道回路は確実に短絡し、踏切制御子は短絡させない周波数特性が必要である。

保守用車の車軸には種々の形状があるため、従来のLPFの特性はそのままに、NCISと同一車軸に取り付け可能なLPFを2種類開発した。

車輪に取付可能な分割型（LPF4形）を図10、11に、車軸に取付可能な薄型（LPF5形）を図12、13に示す。

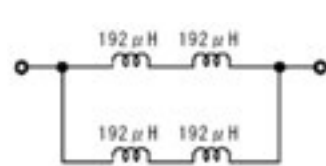


図10 分割型回路図



図11 車輪取付状態

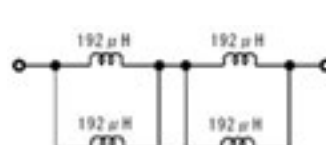


図12 薄型回路図



図13 車軸取付状態

5. CTC区間への短絡走行の拡大

CTC区間では保守用車進路を構成するために「現示停止てこ」+「信号てこ」の扱いを行っている。この状態で軌道回路を短絡すると構内の半自動踏切は警報する。第三段階では保守用車の軌道短絡により踏切が不要に警報するのを防止するため、連動装置・踏切保安装置の改修方式を検討している。異常時を含めて安全性の検証を行った。

合計3案について検討し、表5の検討のとおり第3案を安全研究所では提案している。

なお、「踏切使用停止スイッチにより警報制御をマスクする方法」は取扱い誤りが踏切無しや断に直結することに言及したうえで検討から外している。

案(1) 進路設定を現地で保守者が行える設備とする。

保守用車の進路設定が保守者の操作により可能な機能をもつCTC装置および電子連動装置を導入する。

(ATOS保守作業システムと同レベルの機能とする)

案(2) 保守用車専用の進路設定をCTCセンターから可能な設備に改修する。

保守用車の進路設定をCTCセンターから主信号機以外の方法(単独でこ、入換標識、保車進路等)で行えるようCTC制御条件の増設を行う。

この場合、連動装置の改修も必要となる。

案(3) 現行の取扱い条件(線路閉鎖でこ・停止現示でこ扱い)を使用して、保守用車の進路設定であることを区別できるよう、連動装置段階で最小限の改修を行う。

主信号機相当の進路設定をした場合でも、保守用車のための進路設定であることを既存の条件(線路閉鎖条件等)を使用して、踏切を警報させないよう半自動制御条件を改修する。

表5 CTC区間の開発方針評価

	判定
案(1)	数千億円規模の投資が必要であり、保守作業の将来像を含めた施策として進めるべき
案(2)	CTC取替時に機能を盛り込む必要があること、また同時に連動装置の取り替えまたは改修が必要であるため、早急な実施策としては不向き
案(3)	LPF方式による短絡走行の展開を早急に実現するためには検討する価値があると考えられる

6. 高周波軌道回路区間への拡大

無絶縁軌道回路においてはH形踏切制御子を短絡しないので軌道回路を短絡するにはLPFではなく、ピンポイントに当該周波数の短絡を狙ったバンドパスフィルタ(BPF; Band Pass Filter)式の短絡器が必要である。

安全研究所では、作業員が持ち運び可能な「万能型軌道短絡器」を2006度に関発している(図14)。

万能型軌道短絡器を保守用車に搭載し、軌道回路の周波数に合わせて自動的に切替えていく機構を開発して高周波軌道回路区間に保守用車短絡走行を拡大する予定である。

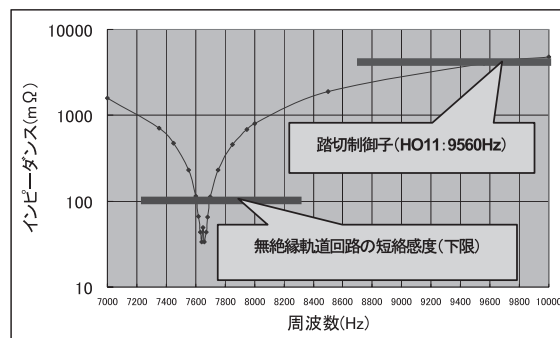


図14 BPF短絡感度の周波数特性(例)

7. おわりに

第二段階については3ポジションNCISと小型・軽量型LPFの開発により、「非CTC・ATOS区間」の適用車両拡大を図ることができた。現在開発品を実際に数両の保守車両に取り付けて実作業を行っている。耐久性を確認の後、本格導入を進めていく。

CTC区間では保守用車進路を構成するために「現示停止でこ」+「信号でこ」の扱いを行っている。第三段階では軌道短絡により構内の半自動踏切が不要に警報するのを防止するため、連動装置・踏切保安装置の改修方式を検討してきた。異常時を含めて安全性の検証は終了しており、導入の可否を総合判断して標準化を行う予定である。

第四段階の高周波軌道回路への適用線区拡大については、バンドパスフィルタによる作業員用の軌道短絡器の開発は終了している。今後これを保守用車に搭載し、軌道回路の周波数に合わせて自動的に切替えて行く機構の開発を行う予定である。

以上報告のとおり、軌道短絡によって鉄道信号システムにより安全を担保された保守作業の拡大に段階的に取り組んできた。今後も保守用車の短絡走行を拡大することにより重大事故根絶を目指す。

参考文献

- 1) 山崎 徹、田中 豊 保守用車用短絡走行システムの研究, JR EAST Technical Review, No9, pp.61-66, 2004, Autumn
- 2) 日本鉄道電気技術協会 踏切検討委員会報告書, 平成12年3月, pp.77-94