

# 変電所における不具合発見事例からみた巡視点検技能

## Skills of Patrolling Inspection in Reports on Trouble Detection Cases in Substations

松井 裕子 (Yuko Matsui)\*<sup>1</sup> 小村 広司 (Hiroshi Omura)\*<sup>2</sup>

**要約** 変電設備の巡視点検において、五感や判断などの人間の特性が不具合発見にどのように寄与するかを明らかにするために、質問紙調査によって巡視員の不具合発見事例を収集した。記述内容を分析した結果、巡視員は過去の不具合事例や機器特性、季節特性といった知識と自分自身の不具合発見経験に基づき巡視ポイントを設定し、視覚を中心に聴覚・嗅覚を含む感覚情報によって不具合を発見しているようであった。同時に、感覚情報に加え、数値の整合性やデータの推移から論理的に判断したり、機器の正常な状態に関する知識と照合することによって意図しない箇所の不具合も検出していることが示された。不具合発見頻度の高い巡視員は、数値データよりも感覚情報を重視する傾向にあり、特に聴覚情報の利用が特徴的であった。また、点検の根拠を重視し、巡視に対する積極的な態度を有しているように見受けられた。

**キーワード** 巡視点検 不具合検出 巡視技能

**Abstract** To clarify how human capacities of patrolling inspectors like the five senses contribute to detection of trouble at substations, trouble detection episodes were collected by a questionnaire method. Described contents shows that the inspectors 1) decide the patrol spots based on their knowledge, e.g., the past trouble cases, characteristics of machines, and seasonal characteristics, and the inspectors' experiences of trouble detection, 2) detect troubles by using mainly visual information, 3) judge normalcy of the equipment logically from consistency and transition of measured values, and 4) detect troubles at unexpected spots with knowledge about normalcy of the machines. The inspectors who often detect troubles value the sensory information, especially auditory information, more than measured values. They seem to think that verification of inspections is important and have positive attitudes towards patrol inspection.

**Keywords** patrolling inspection, trouble detection, patrolling inspection skills

## 1. はじめに

2007年問題として指摘される熟練作業者の減少とそれに伴う技能の喪失は、変電設備の巡視点検においても憂慮すべき問題である。一方で、点検業務の効率化という側面から、測定値による管理体制の整備(堤, 2003)や設備診断技術の開発(西尾, 1999)も試みられている。

このような流れの中では、現在の巡視点検において、特に五感や判断などの人間の特性がどのように不具合発見に貢献しているかを把握しておく必要がある。

変電設備における巡視点検とは、運転状態の設備

に対して日常的なチェックポイントを定期的に点検するものである。実施にあたっては、主に人間の五感により運転状態や温度などを確認・記録し、異常の有無の監視と予知を行うことが求められている(東北電気管理技術者協会広報委員会, 2007)。また柳澤(2007)は水力発電所での巡視点検について「データと経験に基づく勘をミックスしての設備診断」と述べている。巡視点検では、主に感覚情報と数値データに基づく異常の検出に加え、経験を加えての異常と正常の判断が求められると言えよう。

ところで、技能とは一般に「物事を行う腕前・技量」(三省堂, 2006)とされる。伝統工芸などのものづくりにおいて取り上げられることが多く運動や知

\* 1 (株)原子力安全システム研究所 社会システム研究所

\* 2 関西電力(株)

覚レベルの問題が想起されやすいが、海野（1999）は、より高次の精神機能であるプランニングにおいても熟練技能者は優れているとしている。また、森（2005）もものづくりと異なる保全技能の特徴の一つとして「相当数の分野を包含」し「統合的に処理する」「複合技能」であることを挙げている。このように、巡視点検には求められた要素以上の技能が含まれている可能性がある。本研究においても、五感にとどまらずより高次の不具合の判断や知識の利用も含めた一連の巡視点検において不具合を発見する過程を対象とする。

変電所における巡視技能についての公開されている大規模な取り組みの代表は東京電力によるもの（塚尾，2006）であろう。本研究では塚尾（2006）を参考に、過去の不具合発見経験に関する質問を通じて、不具合発見に要する技能や巡視点検における工夫について抽出することを試みる。

## 2. 方法

### 2.1 調査方法

500kV 変電所 7 箇所の巡視員 79 名に対し、2008 年 1 月 28 日～2 月 8 日に留置法にて調査を実施した。

回答者は 20 歳代から 50 歳代の男性（図 1）で、73 名が有人の変電所・開閉所、68 名が被制御所での巡視経験を有していた（経験年数はそれぞれ 0.5-22 年、1-20 年）。また、多くが当直責任者（69 名）、当直員（76 名）、保守（69 名）、補修（72 名）の業務経験を有していた（経験年数はそれぞれ、0.5-20 年、0.5-17 年、1-17 年、0.5-17 年）。工事設計および運営他の業務経験者はそれぞれ 15 名（1-5 年）、10 名（1-21 年）であった。

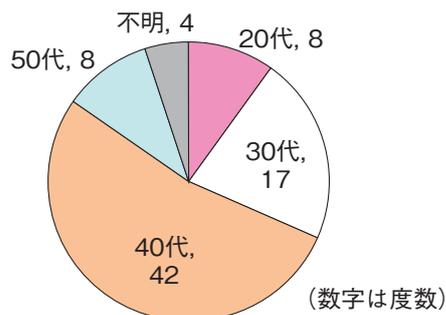


図1 回答者の年代構成

### 2.2 質問項目

質問紙の構成は以下の通り。いずれも、巡視点検において不具合発見に利用する情報や工夫、注意点などに関する記述を収集するための質問項目として用意された。「不具合」とは巡視記録に残されたものとした。

- ① 巡視中の不具合発見経験の有無および発見頻度：巡視中の不具合発見経験を想起させるために不具合発見経験の有無と発見頻度を尋ねた。
- ② 回答者自身の不具合発見事例：対象機器を変圧器に限定し、回答者自身が発見した不具合について尋ねた。ここでは、不具合発見の経緯やきっかけとなった情報についての記述を収集するために、発見時の状況や、不具合箇所への注意の有無、不具合発見に必要な工夫などについて具体的な記述を求めた。
- ③ 巡視点検への取り組み方：日ごろの巡視における工夫や、先輩から学んだこと、巡視点検において見逃しやすいところ、重要と考える事柄についての具体的な記述を求めた。
- ④ 回答者の属性：巡視業務の経験年数、変電設備に関する経歴、年齢を尋ねた。

### 2.3 結果および考察

#### (1) 不具合発見経験の有無

79 名全員の回答が得られ、うち 73 名が不具合発見経験があると回答した。不具合発見の頻度を「ほぼ毎回」「数回に 1 件」「十数回に 1 件」「約 20-30 回に 1 件」「それ以下」の選択肢によって尋ねたところ、十数回に 1 件が 34 名で最も多く、次に 27 名の約 20-30 回に 1 件が多かった。ほぼ毎回を選択した回答者はいなかった（図 2）。

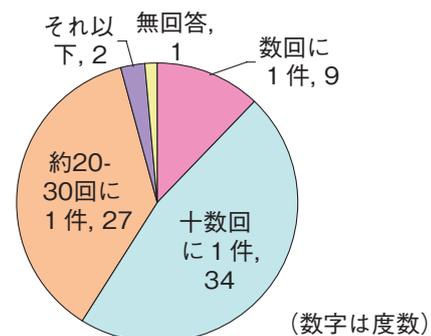


図2 不具合発見頻度

(2) 回答者自身の不具合発見事例

上述の不具合発見経験があると回答した73名のうち、65名から計103件の変圧器における不具合発見事例が報告された。記述された事例は、不明の15件を除き、1983年から調査時期直前の2008年2月の間に発生したものであった。

これらの事例の記述から、①不具合発見に利用された情報、②不具合発見箇所に対する事前の注意、③当該不具合の発見に必要な事柄に関係する内容を抽出し、巡視点検における不具合発見に寄与する要因を整理する。

① 不具合発見に利用された情報

不具合発見時の状況についての記述から、不具合発見の手がかりとなった情報を抜き出して分類した。その結果、感覚情報では視覚情報が最も多く、次いで聴覚、嗅覚が多く挙げられた(図3)。

視覚情報として挙げられたのは、a. 「にじみ」「油滴」「漏油痕」などの油の存在を示すもの、b. 「指示」「ランプ」「油面位置」など計器の表示、c. 「ひび割れ」「損傷」のような破損状況を示すもの、d. 「結露」「錆」のように水分の浸入を示すもの、e. その他、「見た感じ」「埃」などであった。

視覚情報が利用された事例では、指で触って付いた油を確認したり、懐中電灯を使用したり、他相と状態を比較するなどが併記されたものもあり、視覚情報を有効に利用する工夫もなされていたと言える。

聴覚情報は、a. 「異音」「いつもより音が大きい」「AC相よりB相のほうが大きい」というような相対的な音の違いと、b. 「周期的」「キュッキュッとこすれる様な音」「ドン!ドン!」「ビビリ音」のように具体的な音の表現とが認められた。嗅覚情報では、「油のにおい」「絶縁油臭」のように油独特のにおいが発見に寄与していたようであった。

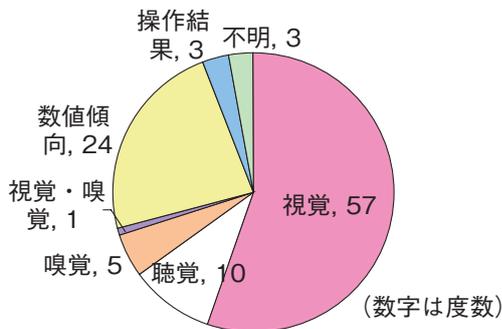


図3 不具合発見に利用された情報

また感覚情報とは別に、データのトレンド管理やカウンター数値の計算といった数値の傾向から論理的に不具合と判断した事例が報告された。

数値の傾向からの判断には、a. 「指示が標準カーブより低め」「データを管理グラフ上にプロット」のように、実測値を標準温度での値に換算して評価するための油面曲線を利用したもの、b. 「指示が常に一定」「変化がなかった」のような本来あるはずの数値変動がなかったことによるもの、c. 「動いていない」「動作回数が少ない」などカウンターの数値の不整合によるものが含まれた。このうち、b. 数値変動による判断では、計器の値を外気温や気候の変動と併せて判断したとの記述が複数認められた。また、カウンターの数値の不整合については、他相の同一装置との比較によって不具合が明らかになった事例が報告された。

その他、「動作試験で動作しなかった」「手動で運転したところ圧力上昇した」のように、操作後の反応がきっかけとなって不具合が発見された事例が報告された。

② 不具合発見箇所に対する事前の注意

巡視開始時から発見した不具合箇所について注意していたとする事例は30件、していなかったのは69件、不明が4件であり、事前に注意していなかった箇所が発見した事例のほうが多かった。

自由記述によって得られたあらかじめ注意していた理由を内容の類似性で分類したところ、最も多かったのは過去の不具合事例で、次いで自分自身の過去の不具合発見経験、季節や機器特性上の注意点が多かった。また、自分自身の独自の巡視ポイント、直前の巡視からの継続監視や要注意項目が複数の回答者から挙げられた(図4)。

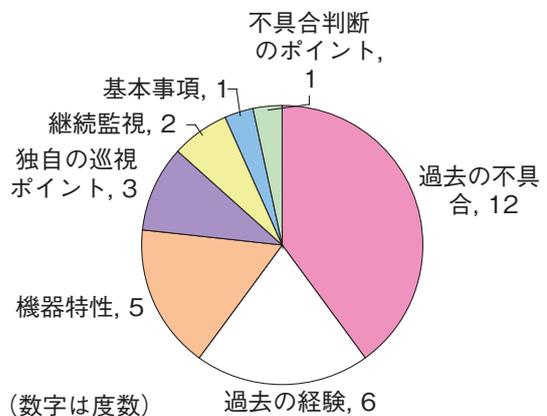


図4 不具合発見箇所事前に注意していた理由

同様に、注意していなかったにもかかわらず発見できた理由を分類した結果、最も多く挙げられたのは、不具合を示す刺激自体がわかりやすかったことで、「異音」「見れば分かる」などと記述された(図5)。

あらかじめ注意していた場合と異なる理由として、点検項目であったこと、他相や他計器との数値の整合性、データ推移からの判断が比較的多く挙げられた。扉を積極的に開けるなど広範囲を点検したり、普段と違うところを探す、指で触るなどの工夫も複数の回答者に認められた。また、あらかじめ注意していた場合と同じく、機器特性上の注意点や過去の不具合事例も理由とされた。

不具合発見箇所にあらかじめ注意を向けていた理

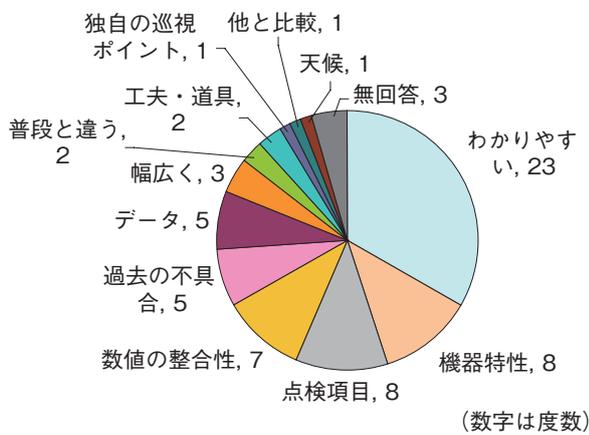


図5 事前に注意していなかった箇所での不具合発見理由

由は、巡視時の巡視ポイント設定の背景を示唆すると思われる。すなわち、巡視員は主に過去の不具合事例や季節や機器特性のような知識と自分自身の不具合発見経験に基づいて巡視ポイントを設定しているようであった。

一方、注意を向けていない箇所での不具合発見は、点検実施時に得られる情報そのものに加え、数値の整合性やデータ管理のように情報から正常か不具合かを判定することによって成立しているようであった。また、積極的に幅広く点検したり普段と違うところを探すというような不具合発見に対する積極的な態度を示唆する項目が挙げられていることも特徴であると言える。

③ 当該不具合の発見に必要な事柄

報告された事例のうち73件について、当該の不具合を発見するために必要な事柄について回答が得られた。自由記述の内容の類似性により、以下の項目に分類された(図6)。すなわち、a. 機器の構造や仕組み、過去の障害履歴などの「機器特性に関する知識」、b. 日頃から蓄積されている機器の正常な運転状態に関する「正常状態の把握」、c. 当日の運転状況や巡視内容に関する「当日の状況の把握」、d. 巡視点検で重点的に見る「巡視ポイントの設定」、e. 不具合の兆候を検出し見逃さないための視覚や聴覚などの「五感・感性」、f. 懐中電灯や双眼鏡などの「道具の使用」、g. 見る角度を変えたり、点検対象の機器の周辺も点検するというような「多様な視点」、h. 過去データや他の設備との整合性などを踏まえて

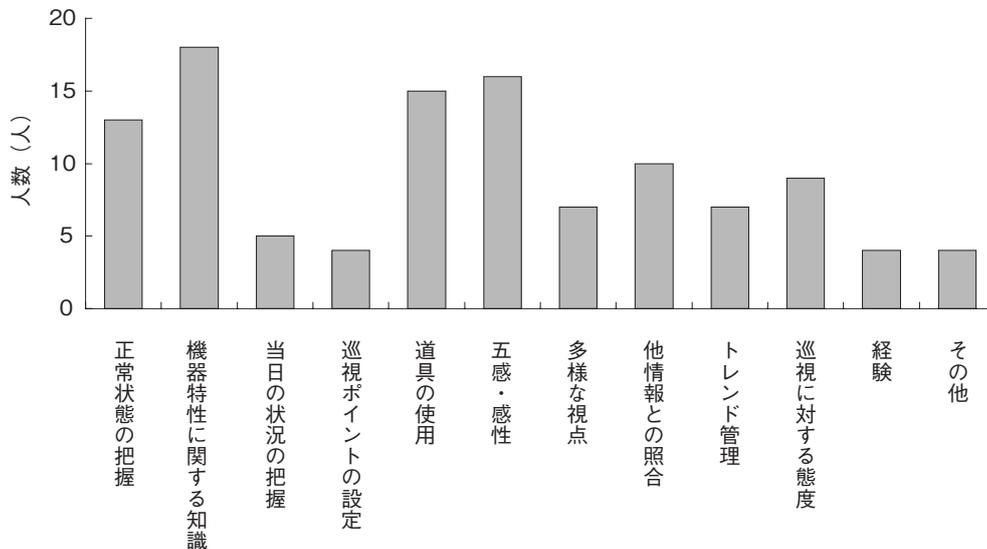


図6 当該不具合の発見に必要な事柄

機器の状態を判断する「他情報との照合」、i. データの変動状況を判断する「トレンド管理」、j. 不具合を探すつもりで点検したり、設備への興味を持つなどの「巡視に対する態度」、k. 日頃の巡視経験や体験を含めた「経験」の11項目であった。

(3) 不具合発見に寄与する要因

以上の分析に基づき、巡視点検において不具合発見に寄与する要因について整理する。

まず、不具合発見に利用された情報から、不具合発見への直接的な貢献は主に感覚情報（五感）と数値データによるものと考えられる。感覚情報では視覚情報の利用が圧倒的に多く、懐中電灯などの道具は感覚情報の利用を補助する役割を担っているようであった。また、聴覚情報には相対的な音の違いと特定の具体的な音の2タイプあることが見出された。これらの違いは、不具合探索の方略に影響を与える可能性を示唆していると考えられる。すなわち、相対的な音の違いを検出するには特定の異常音についての知識は必ずしも必要ではなく、日常の状態や比較すべき対象の存在を把握しておく必要がある。また、他の特定の音に注意を集中している状態では検出ににくいと思われる。一方、特定音の場合は、その音についての明瞭な表象や発生しやすい箇所などについての知識を持ち、そこに注意を集中したほうが有利であろう。数値データを利用する場合には、油面曲線や点検時の適正な状態の把握など、判断の基準となる情報が必要となるようであった。

また、不具合発見箇所にあらかじめ注意を向けて

いた理由からは、巡視員は主に過去の不具合事例や季節や機器特性のような知識に基づいて巡視ポイントを設定していることがうかがえた。一方、注意を向けていない箇所での不具合発見は、点検実施時に五感を通じて得られる情報のみならず、他の機器との関係性や長期にわたるデータの変動などによる正常と不具合との判断も重要な要素となっているようであった。また、点検範囲の拡大や巡視ポイントの多様性のような不具合発見に対する積極的な態度も予期しない箇所での不具合発見に貢献していると言えるだろう。

以上の項目と不具合発見に必要な事柄の分析結果から得られた項目を、巡視点検の流れにしたがって図7に示した。巡視員はマニュアルや巡視記録、日頃の観察などを通じて機器特性、正常状態、当日の状況についての知識を有している。知識は巡視経験を通じても獲得される。巡視点検にあたってはまず、機器特性に関する知識、当日の状況に基づいて巡視ポイントが設定される。次に、五感や道具を活用し、多様な視点から点検が実施される。前述のように、五感の活用には、視覚情報のほかに聴覚や嗅覚も利用される。そして、巡視点検で得られた情報やデータについて、前回のデータや他相との比較、他の指標や機器との整合性など他の情報との比較を行いながら正常か不具合かの判断がなされる。この判断においては、日頃から蓄積されている機器の正常状態についての知識も必要となる。数値データに関しては、トレンド管理による長期的な判断もなさ

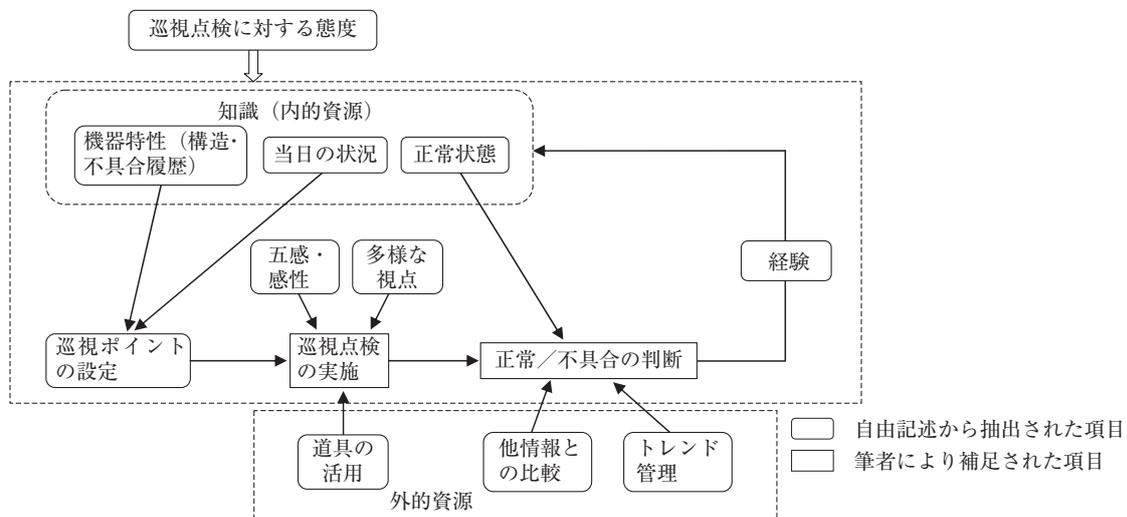


図7 巡視点検における不具合発見にかかわる要因

れる。これら、他の情報やトレンド管理された数値データ、道具は、知識のような内的な資源に対して外的な資源と呼べるであろう。そして、巡視に対する態度が知識の習得や点検時の意欲など全体に影響すると考えた。

## 2.4 不具合発見経験による比較

以上の項目における不具合発見頻度の高い巡視員の特徴を明らかにするために、過去の不具合発見頻度による差異を検討した。前述の発見頻度により「数回に1回」「十数回に1回」の回答者をそれぞれ高頻度群、中頻度群、「約20-30回に1回」と「それ以下」の回答者を低頻度群とし、事例で挙げられた不具合発見に関わる項目について比較した。各群の人数はそれぞれ、9,34,29名で、平均報告事例数は1.7,1.1,1.1件であった。

### (1) 不具合発見に利用された情報の比較

報告された不具合発見に用いられた情報を、発見頻度による群ごとに集計した。図8を見ると、高頻度群は、他の2群に比べて感覚情報に基づく発見事例の比率が高く、数値データによる発見事例の比率が低いように見える。

比率の差の検定（AIC基準）の結果、高頻度群は数値データによる発見事例の比率が低いことが示された。感覚情報全体の比率においては発見頻度による差が認められなかったが、聴覚情報の比率が高頻度群で高いことが示された。

また、嗅覚情報と操作結果による発見事例は高頻度群では得られなかった。

発見頻度に関わらず、感覚情報を用いた事例の比率が高かったが、高頻度群は聴覚情報による事例が

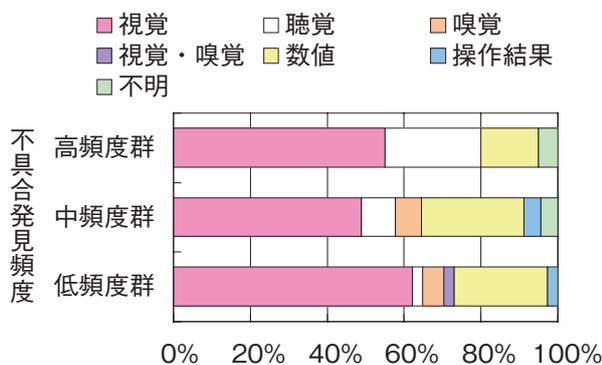


図8 不具合発見頻度と利用された情報

特徴的であった。一方で、数値データを利用した事例は他の2群より少なく、巡視点検の実施時に視覚とともに聴覚を有効に使って不具合につながる情報を検出しているものと考えられる。

### (2) 不具合発見箇所に対する事前の注意の有無

発見頻度の群ごとに、報告した不具合にあらかじめ注意していた件数を算出したところ、両群ともに注意していなかった事例のほうが多かった（図9）。各群の注意していた件数の比率に差は認められなかった。

あらかじめ注意していた理由は、過去の不具合情報や不具合発見経験、機器特性上の注意点であることが3群共通の主な理由として挙げられた（図10）。また、高・低頻度群では巡視員独自の巡視ポイントとして設定していたことが、中・低頻度群では継続監視項目であることが理由として挙げられた。

一方、注意していなかったにもかかわらず発見できた理由は、いずれの群も不具合を示す刺激のわかりやすさが最も多かった（図11）。次いで、高頻度群では機器特性に関する知識、中頻度群では点検項

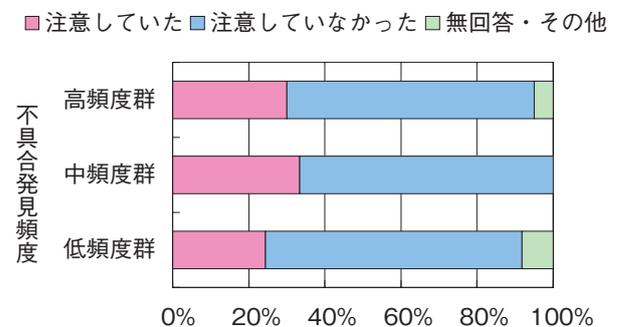


図9 不具合発見頻度と発見箇所への事前の注意

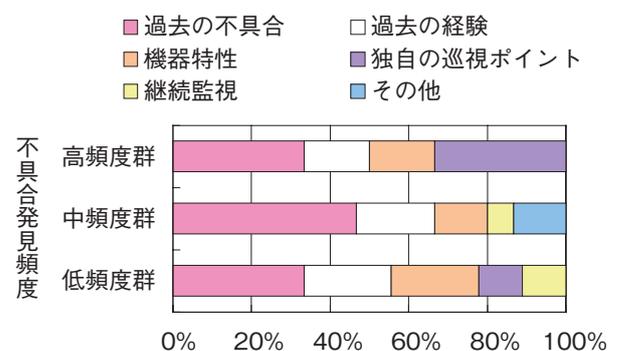


図10 不具合発見頻度と事前注意の理由

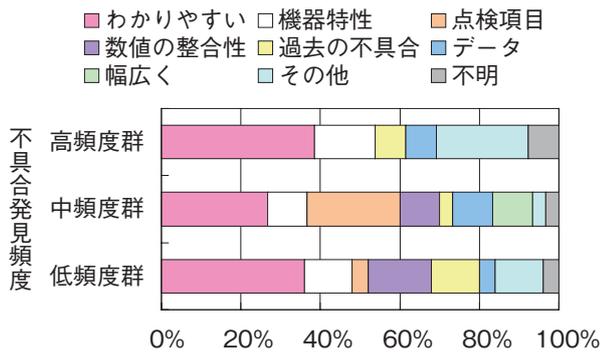


図 11 不具合発見頻度と注意していなかった箇所での発見理由

目であったこと、低頻度群では数値の整合性が多く挙げられた。比率の差の検定の結果、点検項目だったからとの回答が中頻度群で多く回答されていることが示された。その他の項目では、群間の差は認められなかった。

あらかじめ注意していた場合の継続監視項目であること、注意していなかった場合の点検項目であることが、いずれも中・低頻度群のみで理由とされ、高頻度群では認められなかったことは興味深い。継続監視項目も点検項目も、当該巡視において点検することが求められる項目であり、そのような項目を高頻度群がまったく考慮していないとは考えにくい。考えられる解釈として、高頻度群ではそれらの項目以外での不具合発見経験が豊富であった可能性や、単に点検すべき項目であることを点検の理由とせずに「なぜ点検項目とされているか」を重視する傾向が回答に反映された可能性も考えられる。特に後者については、高頻度群が機器特性の知識を発見理由として比較的多く挙げたことも関係しているかもしれない。

(3) 不具合発見に必要な事柄

同様に、報告された不具合の発見に必要な事柄についても、発見頻度によって比較した(図 12)。高頻度群では五感・感性が最も多く挙げられ、次いで、機器特性に関する知識、巡視に対する態度、正常状態の把握となった。中頻度群では、機器特性に関する知識が最多となり、次いで、道具の使用、五感・感性、トレンド管理、正常状態の把握が多く挙げられた。低頻度群では、道具の使用、他情報との照合、正常状態の把握、五感・感性の順に多く挙げられた。

比率の差の検定の結果、低頻度群において、機器特性に関する知識の比率が低く、他情報との照合の比率が高いことが示された。また、中頻度群は巡視

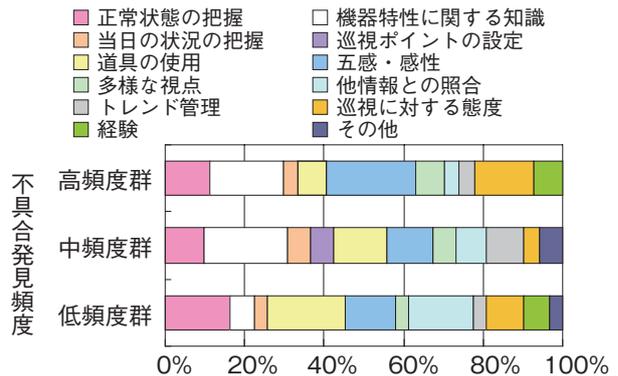


図 12 不具合発見頻度と発見に必要な事柄

に対する態度の比率が低く、経験を挙げた回答者がいなかった。一方で巡視ポイントの設定を挙げたのは中頻度群のみであった。

比較的発見頻度の高い2群は、低頻度群よりも機器特性に関する知識を重視しているようであった。機器特性に関する知識は、低頻度群が多く挙げた不具合を判断する過程における他情報との照合においても必要とされ、巡視点検の基本となる要素であると言えよう。同様の傾向は、巡視ポイントの設定が高頻度群において必要な事柄として挙げられなかったことにもあらわれていると思われる。前述の通り、機器特性に関する知識は巡視ポイントの設定においても必要であるからである。

また、中頻度群との比較において高頻度群は巡視に対する態度や経験を重視する傾向にあった。これらの項目は巡視の実施過程のみならず、知識の獲得においても影響すると考えられる。電車車両メンテナンスの熟練技能者は、技術、技能を高めるために知識の獲得、体験に対する積極的な取り組みが重要であるとしている(田中, 2006)。

このように、高頻度群は多くの要因の中でも五感に加え、巡視に対する積極的な態度を保ちながら、本質的に重要な機器特性に関する知識をもって巡視を行うことが必要であると考えているように思われる。

3. まとめ

巡視員自身の不具合発見経験についての記述から、巡視点検における不具合発見に必要な要因について検討した。その結果、巡視員は主に視覚を中心とした感覚情報と数値データによって不具合を発見していることが示された。また、巡視ポイントの設定に

においては、過去の不具合事例や機器特性、季節特性といった知識と自分自身の不具合発見経験を根拠としていた。一方、巡視ポイント以外の場所での不具合発見には、感覚情報に加え、数値の整合性やデータの推移から論理的に判断したり、機器の正常な状態に関する知識と照合しているようであった。

不具合発見の頻度についての分析からは、発見頻度の高い群の特徴が示された。彼らは比較的数値データよりも感覚情報を重視していたが、視覚情報に加え聴覚情報の利用が特徴的であった。また、単に「点検項目だから」という理由ではなく、点検すべき根拠を把握することを重視しているように思われた。このことは、不具合発見に必要な事柄として五感とならんで機器特性に関する知識を挙げていることから示唆された。さらに、これらの特徴は、巡視点検に対する積極的な態度によって支えられていると考えられる。

このように、巡視点検における不具合発見にはさまざまな要因が互いに関係しながら必要とされることが示された。巡視点検は、日々の知識獲得や正常状態の把握に始まり、それらを適切に反映した巡視ポイントおよびその周辺への注意配分、感覚器による兆候の検出、知識や比較対象情報との比較による得られた情報の分析、新たな不具合に遭遇した際の学習まで、高い意欲によって支えられた総合的な技能であると言えよう。

本調査で得られたデータの一部は、良好事例集に反映される予定である。ただし、実際の巡視点検においてこれらの要因が実際どのように貢献しているかを明らかにするためには、観察調査も含めたより詳細な調査が必要であると考えられる。

## 引用文献

- 森和夫 (2005). 技術・技能伝承ハンドブック JIPM ソリューション
- 西尾昌文 (1999). 500kV 変電所巡視点検ロボットの開発 R&D News Kansai, 386,13-15.
- 田中義一 (2006). 車両に関わる技術技能の向上に向けた取り組み Rolling Stock & Machinery, 14,26-28.
- 東北電気管理技術者協会広報委員会 (2007). 受変電設備保守点検の要点 会報, No.95, 31-35.
- 塚尾茂之 (2006). 五感を活かした変電設備の巡視点検<第1回> 電気現場技術 2006年10月号, 46-48.
- 堤富士雄 (2003). 点検時設備音データの活用による設備診断技術の高度化 電力中央研究所報告 R02027
- 三省堂 (2006). 技能 大辞林 第二版
- 海野邦昭 (1999). 次世代への高度熟練技能の継承 アグネ承風社
- 柳澤雅彦 (2007). 水力発電所の現場技術・技能伝承を IT の活用により組織的に展開する取り組み 人工知能学会誌, 22,491-500.