

# 志賀原子力発電所 2号機 非常用ディーゼル発電設備 インジケータ弁からの潤滑油排出事象について

The lube oil leakage from indicator valves of Emergency Diesel Generator

北陸電力 (株)	倉田 勝	Masaru KURATA	Member
北陸電力 (株)	水上 優	Masaru MIZUKAMI	Non-Member
北陸電力 (株)	西田 毅	Takeshi NISHITA	Non-Member
○北陸電力 (株)	立壁 圭一郎	Keiichiroh TATEKABE	Non-Member

The lube oil leakage from indicator valves of Emergency Diesel Generator was found at Shika nuclear power plant Unit 2 in Dec. 2009.

As a result of investigation, we found that temperature fall after shutdown of diesel engine generate negative pressure in the combustion chamber, and the cooling oil for piston leak into the combustion chamber through the oil-drain port of piston by this negative pressure.

**Keywords:** Emergency Diesel Generator, Diesel engine

## 1. 緒言

北陸電力株式会社志賀原子力発電所 2号機は、平成 21 年 7 月から実施した第 2 回定期点検後の調整運転中に、非常用ディーゼル発電機 A 号機（以下、「D/G(A)」のように略す）の定例試験においてターニングを実施したところ、B 列 No.3 シリンダ（以下、「B3 シリンダ」のように略す）のインジケータ弁から約 100cc の潤滑油が排出されたため、試験を中止し D/G(A)を待機除外とした。その後、保安規定に基づき D/G(B)の動作確認を行うため、ターニングを実施したところ、B2 シリンダのインジケータ弁から約 2cc の潤滑油が排出された。このため、2 台の D/G

を待機除外とし、平成 21 年 11 月 13 日に原子炉を手動停止した。本事象について調査した結果、D/G 機関の潤滑油系統に設置されている逆止弁の動作不良が原因であったことから、対策として逆止弁の交換等を実施した。

逆止弁交換後、平成 21 年 12 月 6 日に機能検査の事前準備のため D/G(A)のターニングを実施したところ、B7 シリンダのインジケータ弁から約 20cc の潤滑油が排出された。

本報告は、この D/G(A)B7 シリンダのインジケータ弁からの潤滑油排出事象に対して行った、原因調査から対策までを述べたものである。

図 1 に D/G の概要を示す。

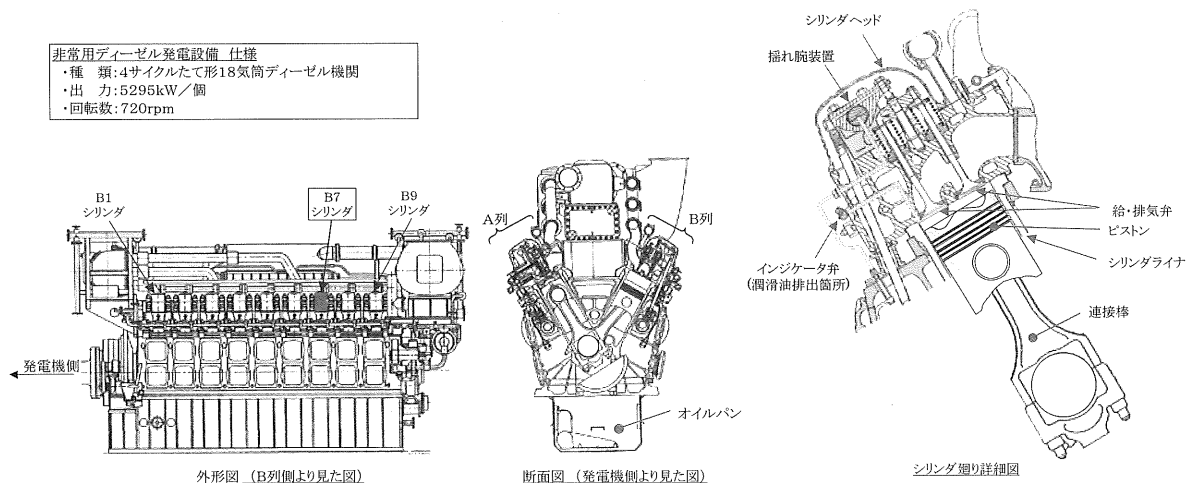


図 1 非常用ディーゼル発電設備 概要

連絡先: 水上 優, 〒925-0161 石川県羽咋郡志賀町赤住 1  
北陸電力(株)志賀原子力発電所 保守部 機械保修課  
電話: 0767-32-2666, E-mail: mizukami.masaru@rikuden.co.jp

## 2. 原因調査

### 2.1 原因調査内容

平成 21 年 11 月と平成 21 年 12 月 6 日に発生した事象は、ともに D/G 機関のインジケータ弁から潤滑油が排出された事象であるが、先に発生した事象は 26 日間の D/G 機関待機後に発生したのに対して、平成 21 年 12 月 6 日に発生した事象は D/G 機関待機期間が約 1 日間と短時間であったことが大きな違いであった。このため、D/G(A)B7 シリンダインジケータ弁からの潤滑油排出事象の原因は、先に発生した事象と原因が異なると想定されたものの、両者の関連も調査するため、先に発生した逆止弁の動作不良による事象において調査済みの項目についても再度確認することとし、調査に抜けがないように網羅的に実施した。

事象発生後の初期調査により、インジケータ弁から潤滑油が排出された D/G(A)B7 シリンダのシリンダ内には潤滑油が滞留していることが確認されたことから、排出された潤滑油はシリンダ内に流入した潤滑油がターニングにより外部に押し出されたものであった。シリンダ内への潤滑油の流入は、先に発生した逆止弁の動作不良のように機器に異常があった場合にも生じるが、運転時に未燃焼となった潤滑油の排気側からの逆流や、シリンダヘッドの摺動部からのシリンダ内への潤滑油落下等、D/G 機関の構造上、機器に異常がない場合であっても、シリンダ内に潤滑油が流入する事象は起こりうる。

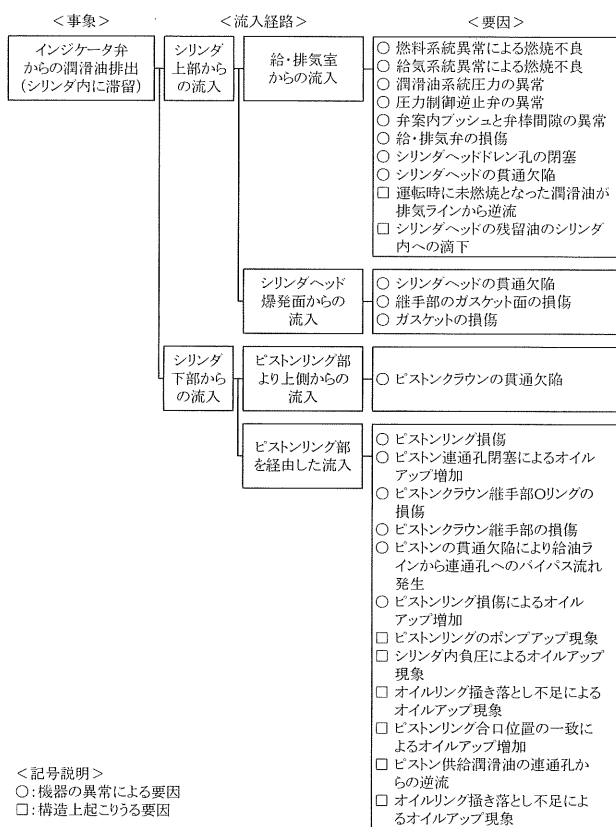


図 2 抽出した要因

このため、「機器の異常による要因」と「構造上起こりうる要因」とに分類して要因分析を行い、調査を実施した。図 2 に抽出した要因を示す。

また、標準設計からの変更が要因となっていることも考えられることから、このような変更点についても洗い出し、要因に対しての影響を評価した。

### 2.2 機器の異常による要因の調査結果

シリンダ内への潤滑油の流入経路を抽出し、経路上の機器や部品の異常による要因について、分解点検、漏えい確認等の調査を実施した結果、機器や部品に異常がないことを確認した。

### 2.3 構造上起こりうる要因の調査結果

構造上起こりうる要因について調査するため、実機による再現試験やモックアップ試験を実施した結果、以下の結果が得られた。

#### a. 実機による再現試験結果

D/G 機関停止後のシリンダ内温度の低下に伴いシリンダ内が負圧となり、ピストンリング部に溜まっている潤滑油がシリンダ内に流入することが考えられることから、要因分析に基づく調査として、実機による再現試験を行い D/G 機関停止後のシリンダ内圧力測定を実施した。

シリンダ内圧力測定の結果、D/G 機関停止後、シリンダ内圧力が -4 kPa まで低下することを確認し、この負圧となったシリンダの内部には約 700cc の潤滑油が流入していることを確認した。

図 3 にシリンダ内圧力の測定結果を示す。

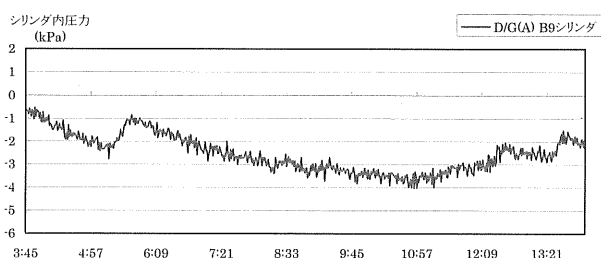


図 3 D/G(A) 停止時シリンダ内圧力測定結果

#### b. モックアップ試験結果

実機による再現試験結果から、シリンダ内の負圧により内部に潤滑油が流入することが確認でき、この潤滑油は要因分析に基づく調査の結果、ピストンリング部から流入したものと考えられた。

D/G 機関のピストンの概略構造を図 4 に示す。ピストンには 5 個のピストンリングが取り付けられており、この部分に保持されている潤滑油は 100cc 程度である。ターニング時にインジケータ弁から潤滑油が排出する場合、構造上、シリンダ内に約 210cc 以上の潤滑油が滞留している必要があり、実際に実機による再現試験では約 700cc の潤滑油の流入を確認した。このことから、今回の事象はピストンリン

グ部に連続して潤滑油が供給される別の要因が重畳していると考えられた。

ピストンにはD/G 機関運転中の潤滑油消費量低減を目的として、最下部のピストンリングにて掻き落とした油をピストン内側に排出するための孔(以下、「ピストン連通孔」)が設けられている。このピストン連通孔を通じてピストン冷却用に供給されている潤滑油が逆流し、ピストンリング部に連続して潤滑油が供給されることが重畳している要因として考えられた。

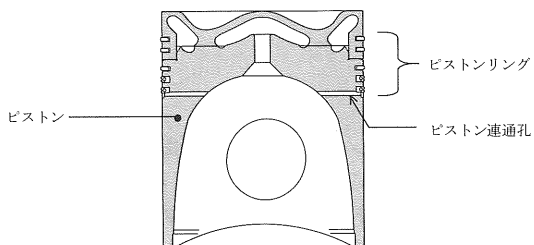


図4 ピストン廻り概略構造図

このため、詳細なメカニズムを確認するためモックアップ試験を実施した。

#### (a)負圧によるオイルアップモックアップ試験

負圧によるシリンダ内への潤滑油流入について確認するため、実機のシリンダを用いたモックアップ試験を実施した。図5にモックアップ試験装置を示す。

モックアップ試験の結果、 $-1.8\text{kPa}$ 、 $-3\text{kPa}$ 程度の負圧でシリンダ内に潤滑油が流入することを確認した。また、ピストン連通孔のピストン内側開口部への潤滑油かかり具合の影響を確認した結果、ピストン連通孔のピストン内側開口部に潤滑油がかからない状態の場合は、ピストンリング部に保持されている潤滑油量(100cc程度)の範囲で流入し、開口部が潤滑油で覆われた状態では、ピストンリング部に保持されている潤滑油量(100cc程度)を超えて連続的に流入するケースがあった。

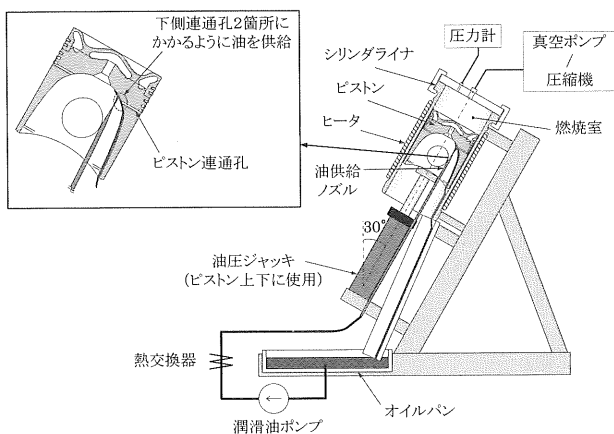


図5 モックアップ試験装置 (負圧によるオイルアップ)

#### (b)ピストン連通孔逆流現象モックアップ試験

ピストン連通孔からの潤滑油逆流について確認するため、実機のピストン及び接続棒を用いたモックアップ試験を実施した。図6にモックアップ試験装置を示す。

モックアップ試験の結果、接続棒頂部形状、ピストンへの潤滑油供給量等の条件が整った場合に、ピストン冷却用の潤滑油が接続棒頂部で跳ね返り、この跳ね返った潤滑油がピストン連通孔を通じてピストン内側からピストンリング部に向けて逆流することを確認した。

実機の接続棒頂部形状を調査した結果、ピストンリングに保持されている潤滑油量(100cc程度)を超えてシリンダ内に潤滑油が流入したシリンダは接続棒頂部が共通してフラットな形状であり、モックアップ試験の結果と一致した。

標準設計からの変更点についての影響調査の結果、D/G 機関停止中の機関入口潤滑油圧力を高めに変更しているため、D/G 機関停止中に冷却用にピストンに供給される潤滑油量が多くなっていることが確認された。

本モックアップ試験において、この潤滑油供給量でピストン連通孔からの逆流が発生することを確認した。

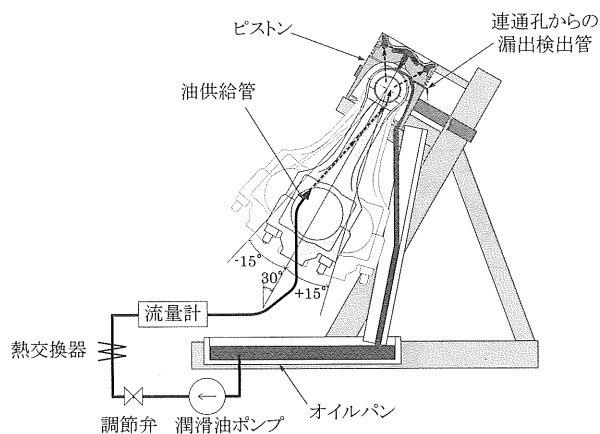


図6 モックアップ試験装置 (ピストン連通孔逆流現象)

#### 2.4 推定原因

D/G 機関が運転状態から停止した後、給・排気弁が閉まっている状態でピストンが停止している場合、シリンダ内の温度低下に伴いシリンダ内が負圧となり、ピストンリング部に保持されている潤滑油がシリンダ内に流入する。

この時、ピストン冷却用の潤滑油がピストンに供給された状態でピストンが停止し、接続棒頂部の形状等の条件が整った場合は、ピストンに供給された潤滑油が下部に排出される際に接続棒頂部で跳ね返り、この跳ね返った潤滑油がピストン連通孔から逆流し、ピストンリング部に供給されることで、

ピストンリング部に保持されている潤滑油量を超えてシリンダ内に潤滑油が流入する。

D/G(A)はこの状態でターニングを行ったため、インジェクタ弁から潤滑油が排出されたと推定した。図7に事象の推定メカニズムを示す。

ピストン連通孔からの潤滑油逆流については、D/G 機関待機中の機関入口潤滑油圧力が標準設計に比べて高く、ピストンへの潤滑油供給量が多くなっていたことも要因として考えられる。

### 3. 対策

今回の事象の対策として以下の対策を実施した。これらの対策を検証するため、モックアップ試験及び実機による試験を行った結果、D/G 機関停止後のシリンダ内温度低下に伴う負圧は低減され、シリンダ内への潤滑油滞留についても、モックアップ試験では 35cc 程度、実機による試験ではほとんど確認されない程度まで滞留量が減少した。このことから、対策は十分な効果が得られるものであることを確認した。

1) D/G 機関停止後、シリンダ内が負圧となる可能性がある期間の潤滑油供給を連続供給から間欠供給に変更した。この変更により潤滑油供給停止中にピストン連通孔からシリンダ内へ空気を流入させることでシリンダ内の負圧を低減する。またピ

ストンリング部に空気層を形成させることで、潤滑油の吸い上げを遮断し、シリンダ内への潤滑油流入量を減少させる。

2) D/G 機関停止中に潤滑油を供給するポンプの出口側に戻り配管を設置し、ポンプから出た潤滑油の一部をポンプ入口側へ戻すことで、D/G 機関停止中の機関入口潤滑油圧力を下げ、ピストンへの潤滑油供給量を減少させ、接続棒頂部で跳ね返った潤滑油のピストン連通孔からの逆流を発生しにくくする。

### 4. 結言

D/G 機関のインジェクタ弁から潤滑油が漏れ出す事象が短期間の間に2回発生したが、それぞれ別の原因による事象であった。今回の原因調査においては実機による再現試験や実機のシリンダを用いたモックアップ試験を多数実施し、機器の異常がなくても構造上起こりうる事象として原因を特定し、適切な対策を講じることができた。

対策後、平成22年2月18日に志賀2号機は第2回定期点検を終え営業運転を開始しており、これまでの定例試験においてもD/Gの運転状態に異常はない。

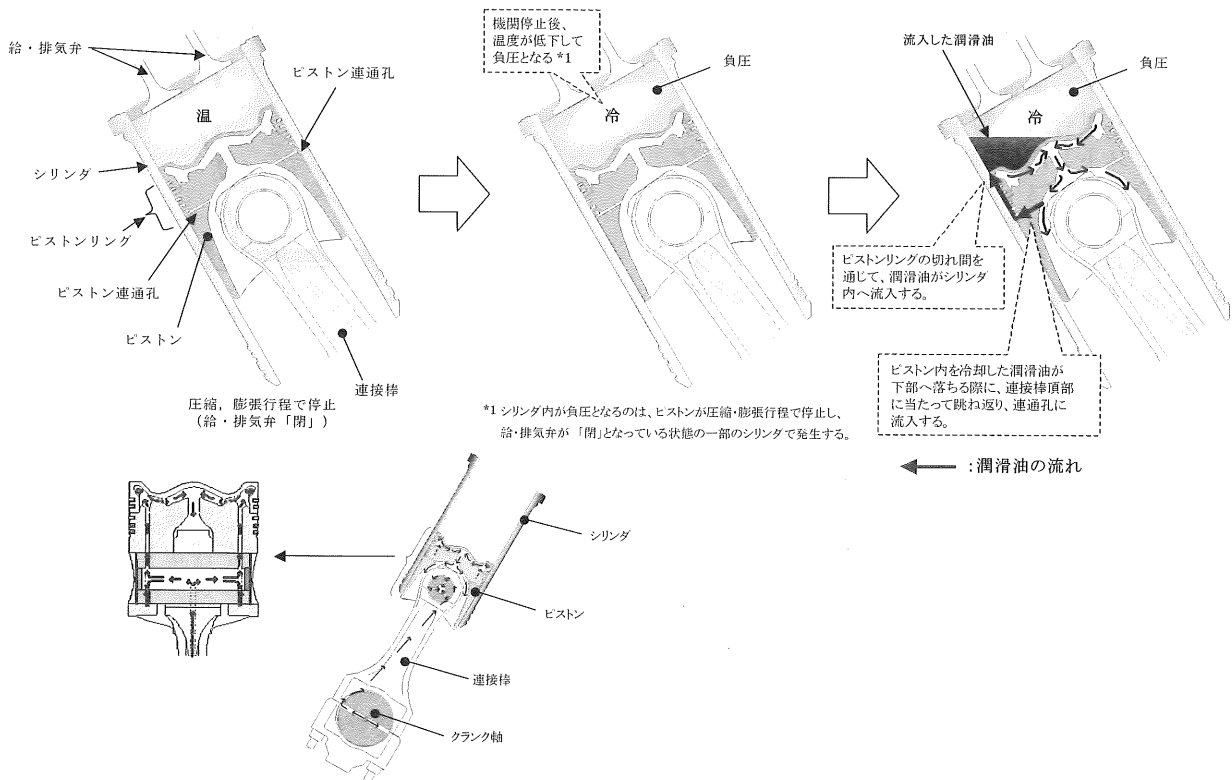


図7 シリンダ内への潤滑油流入の推定メカニズム