

事故・故障等発生報告書

04 原機 (サ) 108
令和 5 年 2 月 17 日

東海村長
山田 修 殿

住 所 茨城県那珂郡東海村村松 4 番地 3 3
事業所名 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
核燃料サイクル工学研究所
氏 名 所 長 郡 司 保 利
(公印省略)

原子力施設周辺の安全確保及び環境保全に関する協定第 17 条の規定により、原子力施設等における事故・故障等の発生について次のとおり報告します。

発 生 年 月 日	令和 5 年 2 月 8 日 (水)
発 生 場 所	A 棟第二機械室 (管理区域)
件 名	核燃料サイクル工学研究所 A 棟における ケーブルの溶融痕確認について (第 1 報)
状 況 原 因 対 策 環 境 へ の 影 響	別添のとおり

注) 図面及びその他の説明資料を添付すること。

令和5年2月17日
国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
核燃料サイクル工学研究所

核燃料サイクル工学研究所 A棟におけるケーブルの熔融痕確認について

1. 状況

核燃料サイクル工学研究所（以下、「サイクル研」という。）にあるA棟（核燃料物質使用施設 政令第41条非該当施設）は、現在、核燃料物質を貯蔵しておらず、施設の廃止措置に向けた準備作業として放射性廃棄物の整理作業を実施している施設である。A棟では、令和5年1月22日18時05分頃に「A棟における給排気設備の停止」事象が発生した。本施設は、常時負圧維持が要求されているセルやグローブボックスがなく、フードからの放射性物質等の漏洩防止措置を行うことにより給排気設備を停止できる施設である。また、この事象が発生した当日、本施設の安全に問題のないようにフードからの放射性物質等の漏洩防止措置や関連する電源系統の遮断の措置、再投入禁止の表示を行っており、事象の進展がなく、施設は安全に管理されている。令和5年1月23日以降、本事象に係る原因調査を行っていた。

本原因調査の一環として、令和5年2月8日13時30分頃からA棟第二機械室（管理区域）に設置されている排気ブロー電動機の調査を開始（サイクル研職員1名、協力会社員3名）、14時05分頃、端子箱内のケーブルに熔融痕を発見した。この際、火・煙が無いことも確認した。発見者は、14時09分～11分頃に公設消防通信指令課^{*1}に通報するとともに、サイクル研の通報連絡責任者へ通報した。

公設消防は、14時25分頃にサイクル研に到着（5名、消防指揮車1台、消防車1台：サイレン・赤色灯なし）し、サイクル研職員の立会いのもと、15時11分頃より現場確認を開始した。

公設消防は15時23分頃に「本事象は火災である」と判断するとともに「火がないこと」を確認した。なお、公設消防による消火活動は行われていない。

公設消防により、火災の発生時刻は令和5年1月22日18時05分頃（「A棟における給排気設備の停止」事象の発生時刻）、鎮火時刻を令和5年1月22日18時30分頃と推定された。

また、A棟内に他の作業員はおらず、他の作業も行っていなかった。

[添付資料－1、2、3]

^{*1} サイクル研では、焦げ跡、熔融痕のうち、「熱」「臭い」がないなど、過去のものと判断できるもののうち、消火の必要性がなかったと判断でき、かつ、消火の痕跡がないものは「公設消防（119）」ではなく、「公設消防通信指令課」に通報することとなっている。

2. 経緯

令和5年1月22日18時05分頃に発生した「A棟における給排気設備の停止」事象は、排気ブロアのサーマルリレーがトリップしたことから、排気ブロアに過負荷が生じたことに起因するものと推定した。過負荷が生じる要因としては、軸受部の損傷等の機械的要因と動作したサーマルリレーや使用している電磁開閉器の故障等の電気的要因が考えられた。要因調査にあたっては、以下の順番で対応するという方針を定め、電気的要因と機械的要因の観点で以下に示す要因調査を行ってきた。

- ①絶縁抵抗測定による当該設備の電気系統の調査
- ②機械的な異常の有無の調査
- ③動力盤内の個別電気部品の作動確認による異常の有無の調査
- ④排気ブロア電動機の電気系統の調査

以上の方針を基に、具体的には令和5年1月23日から以下、①～④に対して点検の計画を策定して原因究明作業を実施していた。排気ブロア電動機の端子箱内ケーブルの溶融痕は、令和5年2月8日の調査において発見したものである。その後、公設消防への通報後、公設消防による現場確認の結果、「火災(火はない)」と判断された。

①絶縁抵抗測定による当該設備の電気系統の調査

サーマルトリップが発生した際に、サーマルリレーのみが遮断されており、排気ブロア動力盤内に目視での異常はなくブレーカの遮断も見られなかったことから排気ブロア動力盤から排気ブロア電動機までの間にブレーカの遮断に至らない程度の過電流が流れたと考え、電気系統の健全性を確認するための絶縁抵抗測定を実施した。その結果、上記の電気系統に異常は確認されなかった。なお、本事象は端子箱内ケーブルの断線事象であったが、断線箇所が端子箱内面や他のケーブルへの接触もなかったことから、絶縁抵抗測定では発見できなかった。

②機械的な異常の有無の調査

①の絶縁抵抗測定結果に異常がなかったこと及びこれまでの知見（応用試験棟、B棟の同様設備の故障事象）から軸受の損傷等の機械的な要因の可能性が高いと考え、第一に排気ブロアの軸受に異音やロックの有無を確認した。その結果、排気ブロアの軸受に異常がないことを確認した。次に、排気ブロア電動機の軸受の異音の有無を確認した。その際に、軸受部から異音を確認したため、軸受を交換した。その後、作動確認をしたが、排気ブロア電動機が作動しなかった。交換した軸受を確認したところ、僅かな摩耗痕はあったものの運転に影響を与えるような損傷はなかった。

③動力盤内の個別電気部品の作動確認による異常の有無の調査

②により、機械的な要因が認められず、また、作動確認で排気ブロア電動機が作動しなかったことから、動力盤内の電気部品の故障を考え、その点検を行った。その結果、異常は確認されなかった。

④排気ブロア電動機の電気系統の調査

③により動力盤内の電気部品に故障が認められなかったことから、排気ブロア電動機の電氣的な損傷を考えた。端子のゆるみ、導通等を確認するために、端子箱を開けた際、端子箱内に溶融痕を発見した。

[添付資料－ 2、 3]

3. 火災の原因調査

原因究明のために、事故要因を分析する手段の一つであるフォルトツリー解析を応用することとし、解析における要因の確定に必要な情報(当該排気ブロア電動機の履歴や公設消防や専門メーカーによる事実確認)についても併せて調査した。各調査の結果を次に示す。

(1) 当該排気ブロア電動機について

当該排気ブロア電動機(定格出力37kW、3相200V)は2014年1月に製造され、同年2月に設置したものである。当該排気ブロアは施設管理実施計画に基づき、定期的にメーカー点検(年1回)を実施していた。本電動機は、出力が大きいため、動力盤からは6本のケーブルで電力を供給し、負荷側の電動機は、さらに電力負荷を低減させるために12本のケーブルで電力を受けて設置している。なお、本電動機は製造メーカーの標準仕様通りに設置している。(添付資料－ 1 (2/3))

(2) 現場での当該排気ブロア電動機及び当該電動機の端子箱や周辺設備の調査

令和5年2月11日に公設消防と専門メーカーと機構が合同で、火災発生現場において当該排気ブロア電動機の端子箱の状況調査を実施し、以下の事実を確認した。

- 1) 動力盤の絶縁抵抗の測定を実施し、正常値内であることを確認し、火災の原因は排気ブロア電動機にあると判断した。
- 2) 排気ブロア電動機の機器内部について導通状態を確認した結果、電気回路の1つに導通がないことを確認した。
- 3) 端子箱内の排気ブロア電動機側のケーブル2本が、完全に断線していることを確認した。なお、当該ケーブル以外に損傷等の異常はなかった。

[添付資料－ 4、 5、 6]

(3) 当該排気ブロア電動機の端子箱の詳細原因調査及び評価

前述の「(2) 現場での当該排気ブロア電動機及び当該電動機の端子箱や周辺設備の調査」の結果、排気ブロア電動機及び当該電動機の端子箱内のケーブルが原因で火災が発生したと確定した。そのため、火災が発生した要因として考えられる項目について、以下の要因を抽出・調査し、これらについて評価を実施した。

【物的要因】

「経年劣化」「製造不良」「端子のゆるみ」「設計上の不備」

【外的要因】

「電気系統の異常」「結露の発生」「雨水の浸入」「塵埃の堆積」

「異物混入や昆虫・小動物侵入」「放火」「機器の異常による故障」

「衝撃による損傷」「施工上の不備」

[添付資料－ 7]

1) 物的要因

①経年劣化

排気ブロア電動機の長期使用により、経年劣化に起因する絶縁性能の低下が原因で火災に至る可能性があるため、当該装置の耐用年数を調査した。その結果、メーカー推奨の耐用年数が15年であり、本排気ブロア電動機は2014年1月製造であることから、8年程度の経過であるため、経年劣化が要因となる可能性はない。

[添付資料－ 7 別紙－ 1]

②製造不良（初期不良）

製造不良（初期不良）がある場合、使用開始初期に結線不良等の異常により火災に至る可能性があるため、使用実績を調査した。その結果、2014年2月の使用開始から約8年間の使用実績があり、この間の定期点検（日常、月例、年次点検）でも異常がないことから、製造不良（初期不良）が要因となる可能性はない。

[添付資料－ 7 別紙－ 2]

③端子のゆるみ

端子のゆるみがある場合、端子部が発熱し火災に至る可能性があるため、断線したケーブルの端子部の締付や施工の状態を点検した。公設消防立会の下、端子部の締付状態を確認した結果、ゆるみがないこと及び一般的なケーブルの施工方法であることを確認したことから、端子部のゆるみが要因となる可能性はない。

[添付資料－ 7 別紙－ 3]

④設計上の不備

設計上の不備がある場合、使用中に結線不良等の異常により火災に至る可能性があるため、仕様や使用実績の調査、メーカーへの問い合わせを行った。その結果、当該排気ブロア電動機は既製品であり寸法や部材はカタログ通りの仕様であること、端子箱内での動力盤からのケーブル（6本）と本電動機側のケーブル（12本）の接続の組み合わせに問題がないことを確認した。また、約8年間の使用実績があり製造上の不良ではないこと、リコールされていないことも確認し、設計上の不備が要因となる可能性はない。

[添付資料－ 7 別紙－ 4]

2) 外的要因

①電気系統の異常

動力盤と排気ブロー電動機の電気系統に異常があった場合、異常箇所の過負荷による発熱から火災に至る可能性があるため、電気系統の確認を行った。公設消防立会の下、動力盤と動力盤から排気ブロー電動機までの電気系統の絶縁抵抗測定を行い、異常はなかったため、これらが要因となる可能性はない。

[添付資料－7 別紙－5]

②結露の発生

結露による排気ブロー電動機の絶縁性能の低下が原因で火災に至る可能性がある。排気ブロー電動機の端子箱やその周囲に水分の痕跡は認められず、結露が要因となる可能性はない。

[添付資料－7 別紙－6]

③雨水の浸入

雨水浸入による排気ブロー電動機の絶縁性能の低下が原因で火災に至る可能性がある。排気ブロー電動機が停止した日の前日（令和5年1月21日）は晴天であり、さらに当日（令和5年1月22日）の日常点検時には建屋に雨漏り箇所は確認されていないため、雨水浸入が要因となる可能性はない。

[添付資料－7 別紙－6]

④塵埃の堆積

塵埃の堆積による排気ブロー電動機の絶縁性能の低下が原因で火災に至る可能性がある。溶融が認められたケーブルは端子箱の内部にあり、公設消防の立会いにおいても煤があることは認めたが、端子箱内には塵埃の堆積は確認されなかった。このことから、塵埃が要因で火災に至る可能性はない。

[添付資料－7 別紙－6]

⑤異物混入や昆虫・小動物侵入

異物の混入や昆虫・小動物の侵入により端子箱の中の導電部が短絡した場合、火災に至る可能性がある。短絡によるブレーカの遮断がなかったことや、当該端子箱に異物や昆虫・小動物が入るような隙間や損傷はなく、また、端子箱内部に昆虫等の死骸もなかったため、異物混入や昆虫・小動物の侵入が要因となる可能性はない。

[添付資料－7 別紙－6]

⑥放火

建屋に取り付けた監視カメラの映像から、排気ブロー電動機が停止した令和5年1月22日に日常点検者及び警報発報時の対応者以外の人が侵入した形跡はなく、また、これらの者が放火した様子もないことから、放火が要因となる可能性はない。

[添付資料－7 別紙－7]

⑦機器の異常による故障

排気ブロー電動機の動力部や電気部品の故障により、電気的な負荷が増大して発熱し、火災に至る可能性がある。公設消防立会の下、絶縁抵抗測定や端子箱内の溶融箇所から排気ブロー電動機内部の導通確認を行い、排気ブロー電動機の内部の電気回路の1つに導通がないことを確認した。また、端子箱内の排気ブロー電動機側のケーブル2本が断線していることを確認したことから、これらの事象が火災事象の要因となると推定した。

[添付資料－7 別紙－8]

⑧衝撃による損傷

外部からの衝撃による損傷によって、ケーブル被覆の損傷等により電気的な負荷が増大して発熱し、火災に至る可能性があるため、目視による損傷の確認を行った。その結果、排気ブロー電動機や端子箱の外観に有意な変形が無かったことから、衝撃による損傷が要因となる可能性はない。

[添付資料－7 別紙－9]

⑨施工上の不備

ケーブルの施工不良により電気的な負荷が増大してケーブルが発熱し、火災に至る可能性があるため、目視により施工状態の確認を行った。その結果、当該端子箱内の排気ブロー電動機側のケーブルが曲がった状態にあることを確認した。特に、当該ケーブルの圧着端子付近がほぼ直角に曲がった状態にあった。当該ケーブルの圧着端子付近がほぼ直角に曲がった原因は、既設の動力盤から端子箱に引き込んだケーブルの径が太く、曲げにくいいため排気ブロー電動機側の当該ケーブルの圧着端子付近は、他のケーブルと重なって押されたことに起因すると推定した。

ケーブルが曲がっただけでは断線しないものの、ケーブルの曲がりには機械的耐久性の低下に影響を与えること、また振動が加わった場合には断線や半断線に至る可能性があることが知られており、火災事象の要因となると推定した。

[添付資料－7 別紙－10]

⑩その他

令和5年1月23日から2月7日に行った「A棟における給排気設備の停止」事象についての原因調査では、動力盤の各電気部品や排気ブローに特段の異常は認められなかったことから、それらを要因とした火災発生の可能性はない。

(4) 事象発生のメカニズム

「(3) 当該排気ブロー電動機の端子箱の詳細原因調査及び評価」の考察結果より、当該電動機の端子箱内において火災が発生した原因として、「排気ブロー電動機の内部の電気回路が故障」または「端子箱のケーブルの圧着端子付近で断線」の2つのケースが考えられたことから、そのメカニズムについて、公設消防と専門メ

一カとともに以下の通りと推定した。

【ケース 1：排気ブロア電動機の内部の電気回路が故障したことによる火災発生】

排気ブロア電動機の内部のケーブルが最初に故障した場合、ケーブルの欠相状態で運転状態を継続すると電流のバランスが崩れてケーブルに過電流が生じてケーブルの温度が上昇し、絶縁材の溶融が発生すると考えられる。しかし、本事象のようなケーブルの断線に至る前にサーマルトリップの起動やブレーカが遮断することから、排気ブロア電動機の故障が起点となり、端子箱のケーブルが断線しても火災には至らないと推定した。

【ケース 2：端子箱のケーブルの圧着端子付近で断線したことによる火災発生】

端子箱のケーブルの断線について、断線したケーブルは「他のケーブルに比べ圧着端子付近がほぼ直角に曲がった状態」であった。ここで、金属がほぼ直角に曲がった場合、曲がっていない金属よりも振動の影響を受けやすいことが知られている。このことから、「他のケーブルと重なって押しえられることでほぼ直角に曲がった当該ケーブルは、他のケーブルに比べ常に微細な振動の影響を受けやすい状態」にあったことで当該ケーブルの圧着端子付近に金属疲労が発生する状況にあった。当該ケーブルの圧着端子付近がほぼ直角に曲がった原因は、既設の動力盤から端子箱に引き込んだケーブルの径が太く、曲げにくいため排気ブロア電動機側の当該ケーブルの圧着端子付近は、他のケーブルと重なって押されたことに起因すると推定した。

ケーブルの金属疲労が進行すると、微細な亀裂が徐々に増加、成長し、部分的な断線が発生する。この一部が断線した状態で通電すると、断線した箇所が発熱し、部分的な被覆材や絶縁材の溶融を経て、最終的には端子箱内のケーブルが発熱に耐えられずに断線して火災に至ったものと推定した。このことは目視確認による破断面の状況からも確認できた。

また、当該端子箱のケーブルが断線した瞬間、火花が発生すると同時に、排気ブロア電動機の電気回路に対しては瞬間的に過電流が発生したことで排気ブロア電動機の故障に至ったものと推定した。

[添付資料－ 8]

(5) 事象の原因

既設の動力盤から端子箱に引き込んだケーブルの径が太く、曲げにくいため排気ブロア電動機側の当該ケーブルの圧着端子付近は、他のケーブルと重なって押されて、ほぼ直角に曲がった状態となるような施行不備の問題があった。また、当該ケーブルはほぼ直角に曲がったため、他のケーブルに比べ振動の影響を受けやすかったことから、長期間微細な振動を受けて、当該ケーブルの圧着端子付近が金属疲労により少しずつ損傷し、最終的には断線に至るものと推定した。この断線で発生し

た火花により火災に至ったと推定した。加えて、設備担当課にはこの様な事象が火災に至る認識がなく、端子箱内まで点検する要領等もなかった。

以上のことから、発見当日（令和5年2月8日）まで当該事象が起こることに気づくことが出来ず、当該ケーブルの断線時に火花が生じ発火に至ったことが火災の原因であると推定した。

4. 対策

上記の原因調査結果から、以下の対策を実施する。

(1) 排気ブロー電動機に対する対策

当該排気ブロー電動機のケーブルと内部の電気系統に断線があったことから、当該箇所を含めた健全な同等品に交換を行う。また、交換においては、上記3.(5)の原因を踏まえ、当該端子箱内のケーブルの圧着端子付近がほぼ直角に曲がらないように設置するとともに振動を低減させる処置を施す。また、本交換作業に不備のないよう施工管理を行う。設置した後は、同様の事象が発生しないように、定期的に点検することを要領等に追記し、異常の無いことを確認していく。

(2) 水平展開

サイクル研では、当該設備以外で類似設備（電動機等の振動を直接受けるような場所にあつて、ケーブルの接続が圧着端子によるもの）について、圧着端子付近のケーブルを確認する。圧着端子付近でほぼ直角に曲がったケーブルについては、被覆の状態や接続方法を見直し、ほぼ直角の曲がりにならないように設置し直すとともに、必要に応じて振動を低減させる処置を施す。また、本設置作業に不備のないよう施工管理を行う。

接続方法の変更や振動を低減させる処置ができない設備を含め、要領等に定期的に点検することを追記し、異常のないことを確認していく。

今後新規で類似設備を設置する場合、ケーブルの圧着端子付近がほぼ直角に曲がらないことや振動を低減させる措置を講じ、その措置に不備のないよう要領等に定め施工管理を行う。

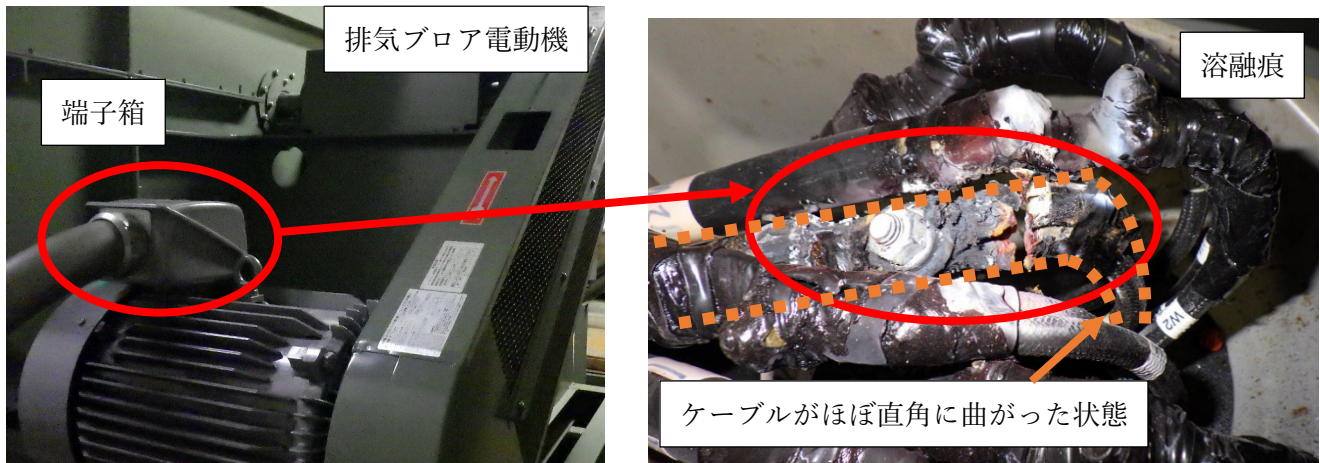
5. 環境への影響

本事象に伴う人身災害の発生ならびに周辺環境への影響は無く、モニタリングポストの指示値にも変動はなかった。

以 上



日本原子力研究開発機構 核燃料サイクル工学研究所 構内配置図



写真：溶融痕の発見状況

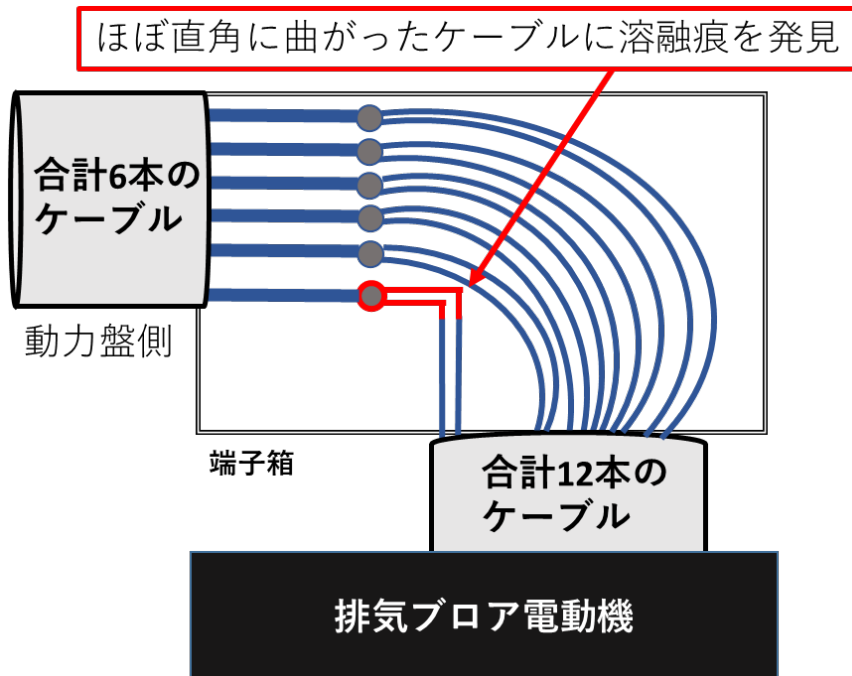
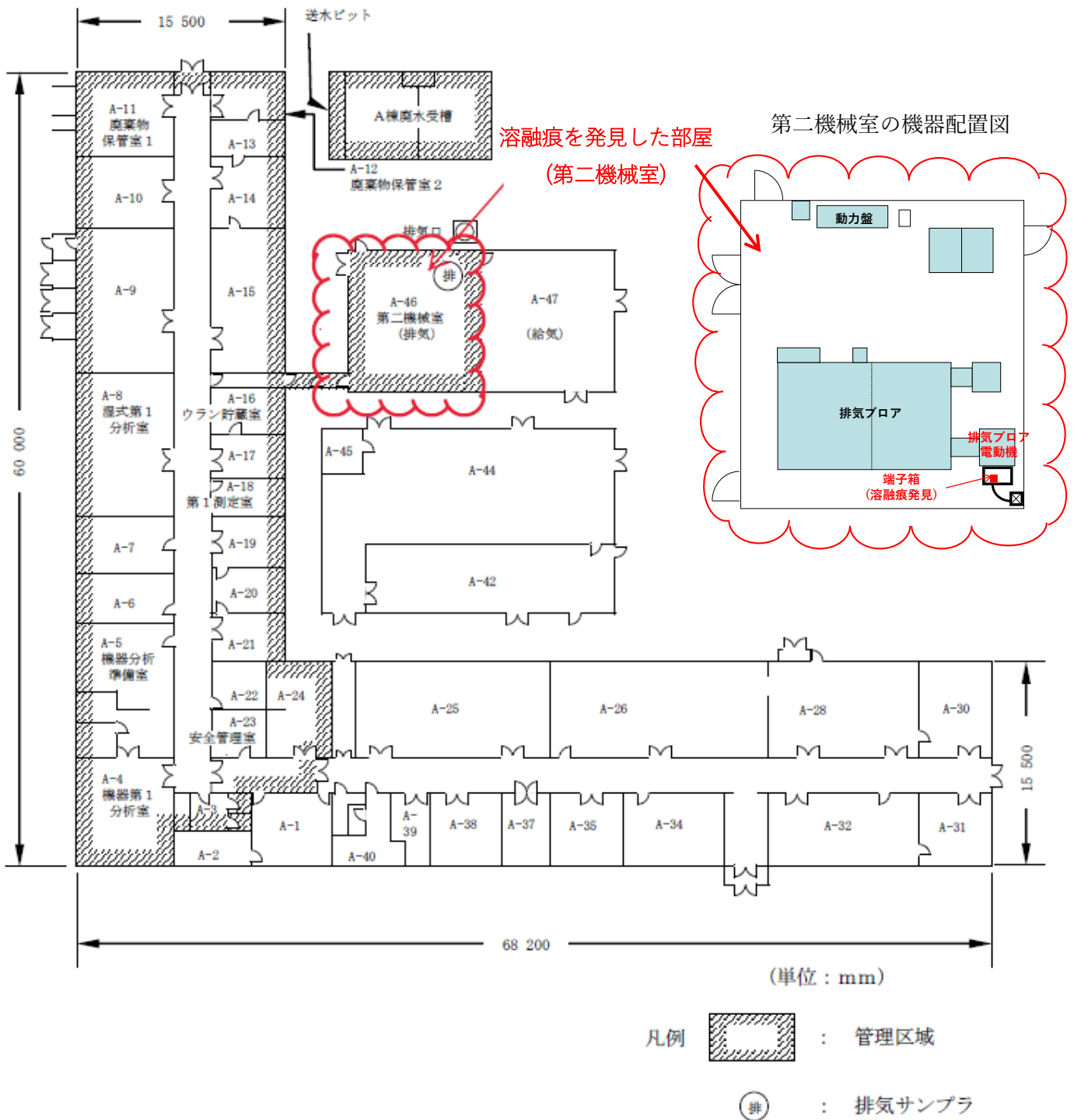


図 溶融痕発見時の端子箱のケーブルの状況模式図



溶融痕発見場所(A棟)の建屋平面図(平屋)と第二機械室の機器配置図

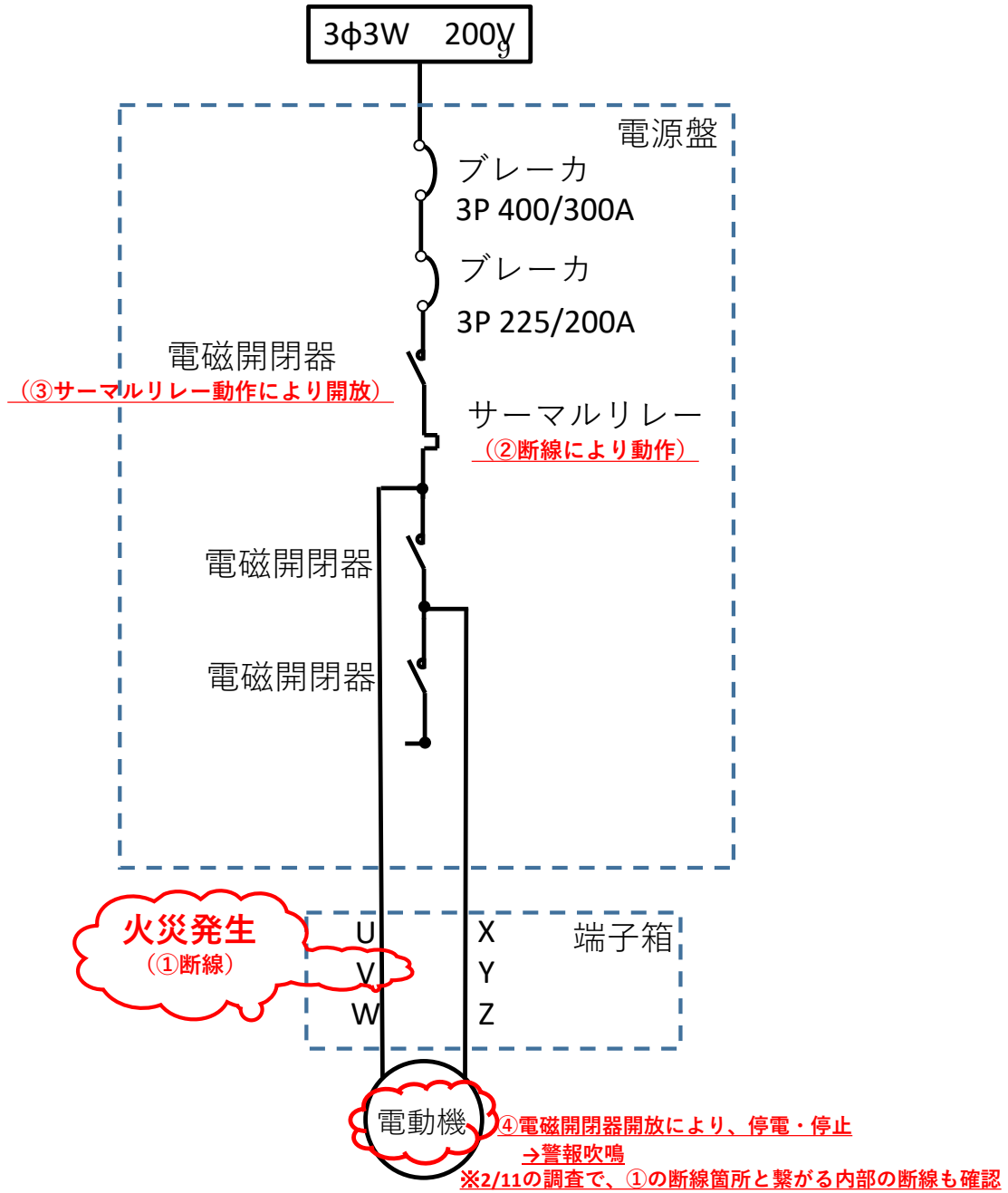
A棟における給排気設備の停止事象に関する原因調査作業履歴

【停止事象発生】 1月22日	<ul style="list-style-type: none"> ・警報が吹鳴し給排気設備が停止（18時05分頃） ・排気ブロアのサーマルトリップを確認
【停止原因調査開始】 1月23日	<ul style="list-style-type: none"> ・原因調査方法検討 ・排気ブロア電源盤の絶縁抵抗測定を実施し異常がないことを確認 (測定結果：$\geq 100\text{M}\Omega$) ・メーカーの現場確認の日程調整（1月26日対応可能を確認）
1月23日	<ul style="list-style-type: none"> ・排気ブロア電動機を点検するための作業計画書を作成、関係者へ回付開始
1月24日	<ul style="list-style-type: none"> ・メーカー作業員手配調整（メーカー側） ・資器材準備
1月25日	<ul style="list-style-type: none"> ・作業計画書の承認 ・点検作業準備
1月26日	<ul style="list-style-type: none"> ・排気ブロアの軸受に異音やロックが生じていないことを確認 ・排気ブロア電動機の軸受から異音を確認
1月27日	<ul style="list-style-type: none"> ・排気ブロア電動機軸受の予備品を手配（2月1日納入予定）
1月30日	<ul style="list-style-type: none"> ・排気ブロア電動機軸受交換準備（専用資器材等）
1月31日	<ul style="list-style-type: none"> ・メーカーとの実施内容の事前確認
2月1日	<ul style="list-style-type: none"> ・軸受の予備品の入手後、排気ブロア電動機軸受交換を実施 ・通電して排気ブロアの作動確認を行ったが、排気ブロア電動機が作動しなかった
2月2日	<ul style="list-style-type: none"> ・2月1日に取り外した排気ブロア電動機軸受の調査により異常がないことを確認 ・排気ブロアが停止する可能性がある動力盤内の電気部品の選定と接点場所の確認
2月3日、6日	<ul style="list-style-type: none"> ・2月2日に選定した電磁開閉器、タイマー、リレーの予備品を準備
2月7日	<ul style="list-style-type: none"> ・動力盤の電源を投入し、2月2日に選定した電気部品について正常に動作することを確認
【溶融痕の発見】 2月8日	<ul style="list-style-type: none"> ・排気ブロア電動機の端子箱内接点のゆるみの確認、排気ブロア電動機単体の絶縁抵抗測定、相間の導通点検を実施するため排気ブロア電動機の端子箱を開けたところ、端子箱内のケーブルに溶融痕を発見 ・公設消防が、「火災（火はない）」と判断

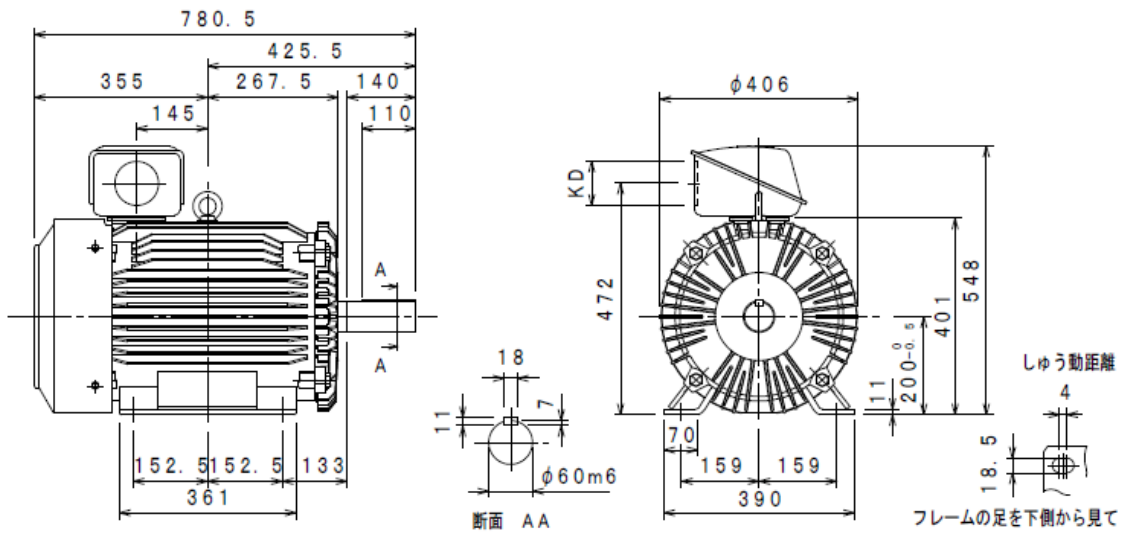
端子箱内配線の溶融痕確認後（令和5年2月8日）の経緯

時間	
14時05分頃	令和5年1月22日にサーマルトリップにより停止した排気ブロアの原因調査の一環で、排気ブロア電動機の点検を実施するため端子箱を開けたところ、溶融痕を確認。
14時09分～ 14時11分頃	公設消防へ通報。
14時25分頃	公設消防が核燃料サイクル工学研究所A棟に到着
15時11分頃	公設消防がA棟第二機械室（管理区域）に入室
15時23分頃	公設消防が「火災」と判断（火がないことを確認）

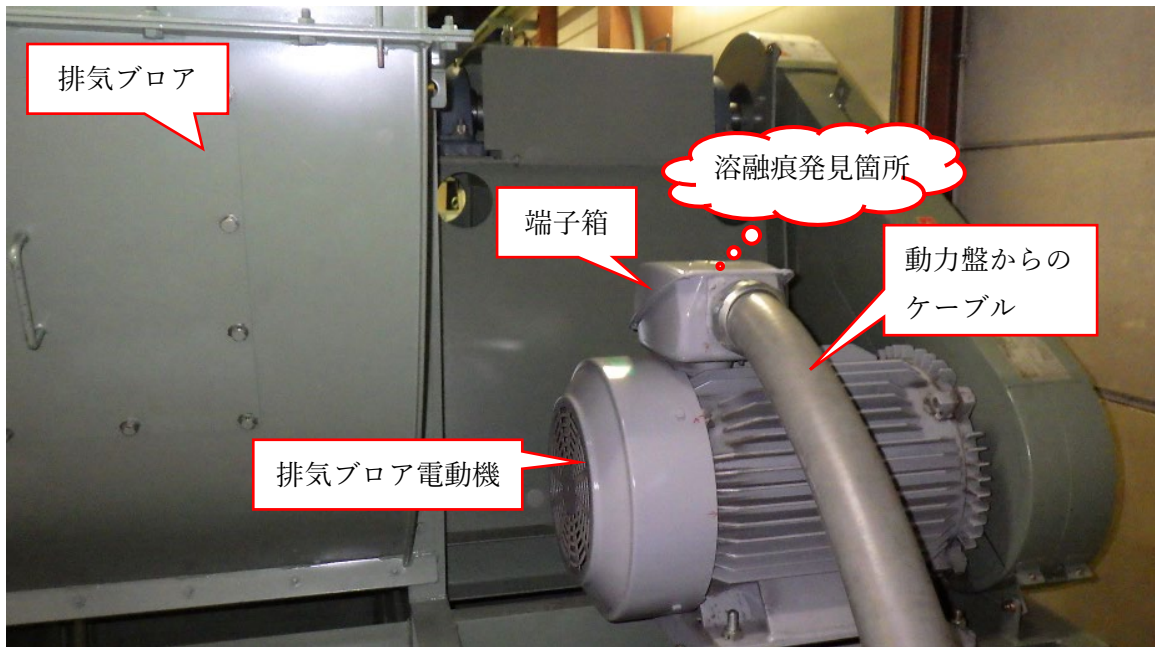
単線結線図



当該排気ブロア電動機の端子箱の仕様や現場状況



仕様
定格出力 37 kW 3相 200V
製造年 2014年



原因特定のための現地調査結果

・動力盤の絶縁抵抗の測定



動力盤(排気ブロア電動機の系統)の絶縁抵抗の測定結果： $> 500 \text{ M}\Omega$

絶縁抵抗の測定値は正常値内 ($> 500 \text{ M}\Omega$) であることを確認した。

・排気ブロア電動機の端子箱の導通状態の確認



損傷のないケーブルの導通測定： 0.0Ω

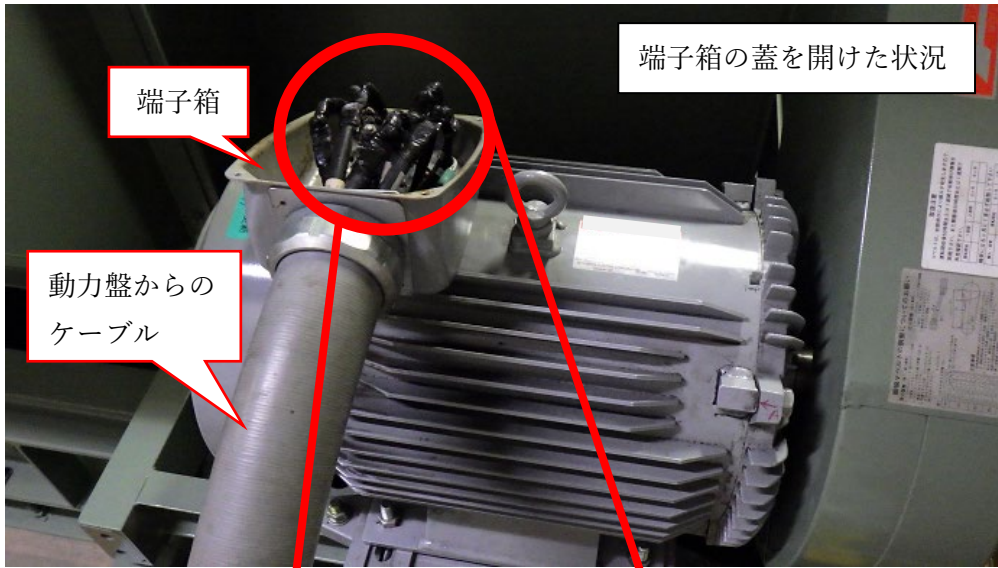


断線ケーブルの導通測定： 600.0Ω

損傷のないケーブルは全て抵抗値が 0.0Ω であり、このケーブルに繋がる排気ブロア電動機の機器内部の電気回路に断線が無い状態(導通)になっている。

断線したケーブルは 600.0Ω であり、このケーブルに接続する排気ブロア電動機の機器内部の電気回路は断線していることを確認した。

・ 端子箱内のケーブルの状況確認



端子箱を開けて絶縁テープを除去した状態

ケーブルに溶融跡があり、断線している状態であった。

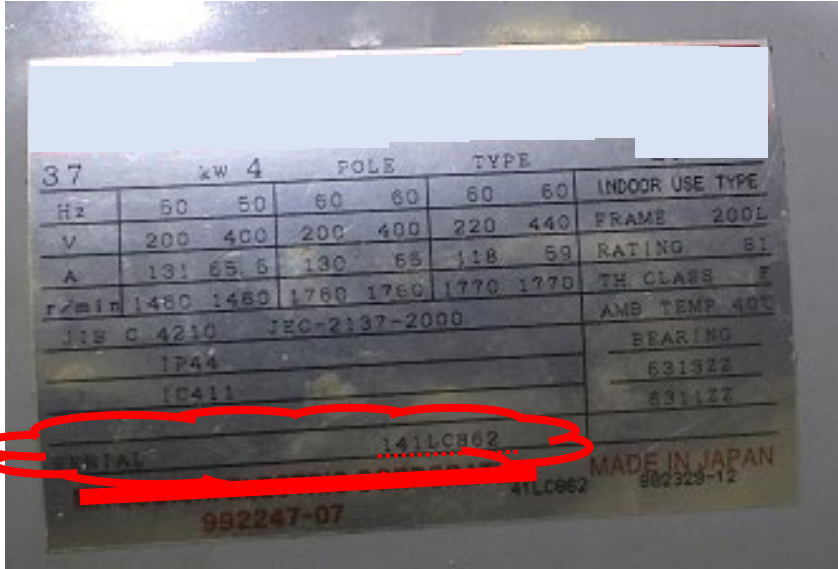


端子箱の上蓋


端子箱の上蓋に煤が付着していた。

排気プロア電動機の端子箱内ケーブルの溶融 要因分析


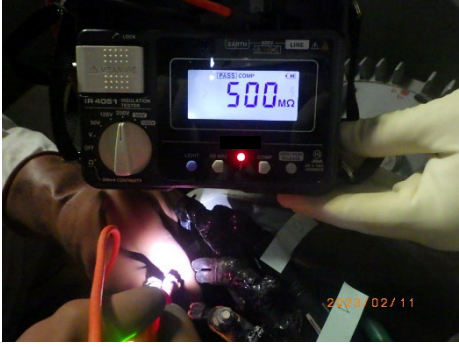
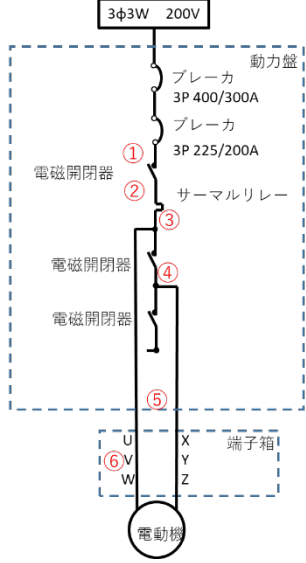
事象	要因1	要因2	調査内容	調査内容・結果	評価	添付資料	
排気プロア電動機の端子箱内ケーブルの溶融	1) 物的要因	①経年劣化	排気プロア電動機の長期使用により、経年劣化に起因する総線性能の低下が原因で火災に至る可能性があるため、当該装置の耐用年数を調査した。	メーカー推奨の耐用年数が15年であり、本排気プロア電動機は平成26年1月製造であることから、8年程度の経過であるため、経年劣化が要因となる可能性はない。	×	別紙-1	
		②製造不良(初期不良)	製造不良(初期不良)がある場合、使用開始初期に総線不良等の異常により火災に至る可能性があるため、使用実績を調査した。	平成26年2月の使用開始から約8年間の使用実績があり、この間の定期点検(日常、月例、年次点検)でも異常がないことから、製造不良(初期不良)が要因となる可能性はない。	×	別紙-2	
		③端子のゆるみ	端子のゆるみがある場合、端子部が発熱し火災に至る可能性があるため、断線したケーブルの端子部の締付、施工状態を点検した。	公設消防立会の下、端子部の締付状態を確認した結果、ゆるみがないことを確認した。また、一般的なケーブルの施工方法であることも確認した。これらより、端子部のゆるみが要因となる可能性はない。	×	別紙-3	
		④設計上の不備	設計上の不備がある場合、使用中に総線不良等の異常により火災に至る可能性があるため、仕様や使用実績の調査、メーカーへの問い合わせを行った。	当該排気プロア電動機は既製品であり寸法や部材はカタログ通りの仕様であること、端子箱内での動力盛からのケーブル(6本)と本電動機側のケーブル(12本)の接続の組み合わせに問題がないことを確認した。また、約8年間の使用実績があり製造上の不良ではないこと、リコールされていないことも確認し、設計上の不備が要因となる可能性はない。	×	別紙-4	
		2) 外的要因	①電気系統の異常	動力盛と排気プロア電動機の電気系統に異常があった場合、異常箇所の過負荷による発熱から火災に至る可能性があるため、電気系統の確認を行った。	公設消防立会の下、動力盛と動力盛から排気プロア電動機までの電気系統の絶縁抵抗測定を行い、異常はなかったため、これらが要因となる可能性はない。	×	別紙-5
			②結露の発生	結露による排気プロア電動機の総線性能の低下が原因で火災に至る可能性があるため、排気プロア電動機の端子箱内部に水分の痕跡があるか目視にて確認した。	排気プロア電動機の端子箱やその周囲に水分の痕跡は認められず、結露が要因となる可能性はない。	×	別紙-6
			③雨水の浸入	雨水浸入による排気プロア電動機の総線性能の低下が原因で火災に至る可能性があるため、当該排気プロア電動機の周辺に雨漏りの痕跡がないか目視により確認した。	排気プロア電動機が停止した日の前日(令和5年1月21日)は晴天であり、さらに当日(令和5年1月22日)の日常点検時には建屋に雨漏り箇所は確認されていないため、雨水浸入が要因となる可能性はない。	×	別紙-6
			④塵埃の堆積	塵埃の堆積による排気プロア電動機の総線性能の低下が原因で火災に至る可能性があるため、排気プロア電動機の端子箱内部に塵埃があるか目視にて確認した。	溶融が認められたケーブルは端子箱の内部にあり、端子箱内には塵埃の堆積は確認されなかった。このことから、塵埃が要因で火災に至る可能性はない。	×	別紙-6
			⑤異物混入や昆虫・小動物侵入	異物の混入や昆虫・小動物の侵入による端子箱の中の導電部が短絡した場合、火災に至る可能性がある。	短絡によるブレーカの遮断がなかったことや、当該端子箱に異物や昆虫・小動物が入るような隙間や損傷はなく、また、端子箱内部に昆虫等の死骸もなかったため、異物の混入や昆虫・小動物の侵入が要因となる可能性はない。	×	別紙-6
			⑥放火	建屋に取り付けられた監視カメラの映像を利用し、人の侵入の有無を確認した。	排気プロア電動機が停止した日に日常点検者および警報発報時の対応者以外の人が侵入した形跡はなく、また、これらの者が放火した様子もないことから、放火が要因となる可能性はない。	×	別紙-7
排気プロア電動機の端子箱内ケーブルの溶融	⑦機器の異常による故障	①機器の異常による故障	排気プロア電動機の動力部や電圧部品の故障により、電氣的な負荷が増大して発熱し、火災に至る可能性があるため、下記に示す調査を実施した。 ・排気プロア電動機の軸受部の状態を目視で確認した。 ・当該排気プロア電動機の導通確認を行い、故障箇所を調査した。	・軸受部に僅かな摩耗痕を確認したが、運転に影響を与えるような損傷はなかった。 ・排気プロア電動機の機器内部について導通状態を確認した結果、回路の1つについて導通がないことを確認した。 ・端子箱内の排気プロア電動機側のケーブル2本が完全に断線していることを確認した。	○	別紙-8	
		⑧衝撃による損傷	外部からの衝撃による損傷によって、ケーブル被覆の損傷等により電氣的な負荷が増大して発熱し、火災に至る可能性があるため、目視による損傷の確認を行った。	排気プロア電動機や端子箱の外観に有意な変形がなかったことから、衝撃による損傷が要因となる可能性はない。	×	別紙-9	
		⑨施工上の不備	ケーブルの施工不良により電氣的な負荷が増大してケーブルが発熱し、火災に至る可能性があるため、目視により施工状態の確認を行った。	当該端子箱内の排気プロア電動機側のケーブルが曲がった状態にあることを確認した。特に、当該ケーブルの圧着端子付近がほぼ直角に曲がった状態にあった。当該ケーブルの圧着端子付近がほぼ直角に曲がった原因は、既設の動力盛から端子箱に引き込んだケーブルの径が太く、曲げにくいいため排気プロア電動機側の当該ケーブルの圧着端子付近は、他のケーブルと重なって押されたことに起因すると推定した。	○	別紙-10	
			ケーブルが曲がっただけでは断線しないものの、ケーブルの曲がり機械的耐久性の低下に影響を与えること、また振動が加わった場合には断線や半断線に至る可能性があることが知られており、火災事象の要因となると推定した。				




経年劣化に係る調査結果	
目的	長期使用による経年劣化が起因するか確認する。
点検日	令和5年2月11日
確認内容	・製造年月日を納品時の記録から確認し、メーカーが設定する耐用年数と比較する。
確認結果	<p>・電動機のシリアルNo.から2014年(平成26年)1月の製造であることを確認した。</p>  <p>当該機器の製造年月日の記録 *シリアルNo. : 141LC862のうち、 14 (年 : 西暦末尾2桁) 1 (月)</p> <p>・メーカーの耐用年数は15年であることから、経年劣化が要因となる可能性はない。</p>
備考	—

製造不良(初期不良)に係る調査	
目的	製造不良（初期不良）が火災の要因となるかを確認する。
点検日	令和5年2月11日
確認内容	・設置時期およびその後の使用実績を確認する。
確認結果	<p>・当該排気ブロア電動機は平成24年2月の使用開始から約8年間の使用実績があり、この間の定期点検（日常、月例、年次点検）からも異常はないことを確認した。</p> <div data-bbox="552 667 1209 1214" data-label="Image"> </div> <p>使用開始時期（令和5年2月11日撮影）</p> <p>以上より、製造不良(初期不良)が要因となる可能性はない。</p>
備考	

端子のゆるみに係る調査	
目的	端子箱の端子部の状況確認を行い、端子のゆるみによる異常がなかったことを確認する。
点検日	令和5年2月11日
確認内容	・外観観察やゆるみや施工状況の確認により端子部の状態を確認する。
確認結果	<p>・消防立会の下、端子部の締付状態を確認し、ゆるみがないことを確認した。</p>    <p style="text-align: center;">点検時の状況 (令和5年2月11日撮影)</p> <p>・端子箱の内部は一般的な構造であり、また、施工も一般的な施工方法であることを確認した。</p> <p>・以上のことから、端子部のゆるみが要因となる可能性はない。</p>
備考	

設計上の不備に係る調査	
目的	設計上の不良が火災の要因となるかを確認する。
点検日	令和5年2月16日
確認内容	<ul style="list-style-type: none"> ・仕様や使用実績の調査 ・メーカーへの問い合わせにより不具合事象を確認する。
確認結果	<ul style="list-style-type: none"> ・既製品であり寸法や部材はカタログ通りの仕様であることを確認した。 ・物的要因の②において、使用実績を調査しており、約8年間の使用実績があることを再度調査している(添付資料－7別紙－2)。 ・当該排気ブロア電動機についてリコールされていないことを確認した。 ・動力盤からの6本の太いケーブルを、供給する電力の電圧に合わせてメーカーにより指定されている結線方法(組み合わせ)で、当該排気ブロア電動機の12本の細かいケーブルに接続することとなっており、その組み合わせについては問題ないこと、さらに、その接続部をその電動機についている端子箱内に収めることについても妥当な処置であることをメーカーに確認した。 <p>以上より、設計が要因となる可能性はない。</p>
備考	

電気系統に係る調査																																				
目的	当該動力盤と排気ブロー電動機の電気系統の絶縁抵抗測定を行い、異常な絶縁抵抗値を示す箇所がないことを確認する。																																			
点検日	令和5年2月11日																																			
確認内容	・当該箇所に関連する動力盤、動力盤から排気ブロー電動機までの電気系統の絶縁抵抗測定を行う。																																			
確認結果	<p>・消防立会の下、動力盤と動力盤から排気ブロー電動機まで及び電動機の電気系統の絶縁抵抗測定の結果、抵抗値は全て正常値であり、電気系統に異常がないことを確認した。</p> <p style="text-align: right;">16</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <div style="display: flex; align-items: flex-start;"> <div style="flex: 1;">  <p style="text-align: center;">絶縁抵抗測定記録</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>測定点</th> <th>対象</th> <th>R相</th> <th>S相</th> <th>T相</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>①</td> <td>電磁開閉器-1 一次側</td> <td>> 500MΩ</td> <td>> 500MΩ</td> <td>> 500MΩ</td> </tr> <tr> <td>②</td> <td>電磁開閉器-1 二次側</td> <td>> 500MΩ</td> <td>> 500MΩ</td> <td>> 500MΩ</td> </tr> <tr> <td>③</td> <td>サーマルリレー 二次側</td> <td>> 500MΩ</td> <td>> 500MΩ</td> <td>> 500MΩ</td> </tr> <tr> <td>④</td> <td>電磁開閉器-2 二次側</td> <td>> 500MΩ</td> <td>> 500MΩ</td> <td>> 500MΩ</td> </tr> <tr> <td>⑤</td> <td>端子台 電動機側</td> <td>> 500MΩ</td> <td>> 500MΩ</td> <td>> 500MΩ</td> </tr> <tr> <td>⑥</td> <td>電動機 V相</td> <td>> 500MΩ</td> <td>> 500MΩ</td> <td>> 500MΩ</td> </tr> </tbody> </table> <p>絶縁抵抗計（令和4年11月校正）</p> </div> <div style="flex: 1; margin-left: 20px;"> <p>点検時の写真及び点検記録 (令和5年2月11日撮影)</p> </div> </div>	測定点	対象	R相	S相	T相	①	電磁開閉器-1 一次側	> 500MΩ	> 500MΩ	> 500MΩ	②	電磁開閉器-1 二次側	> 500MΩ	> 500MΩ	> 500MΩ	③	サーマルリレー 二次側	> 500MΩ	> 500MΩ	> 500MΩ	④	電磁開閉器-2 二次側	> 500MΩ	> 500MΩ	> 500MΩ	⑤	端子台 電動機側	> 500MΩ	> 500MΩ	> 500MΩ	⑥	電動機 V相	> 500MΩ	> 500MΩ	> 500MΩ
測定点	対象	R相	S相	T相																																
①	電磁開閉器-1 一次側	> 500MΩ	> 500MΩ	> 500MΩ																																
②	電磁開閉器-1 二次側	> 500MΩ	> 500MΩ	> 500MΩ																																
③	サーマルリレー 二次側	> 500MΩ	> 500MΩ	> 500MΩ																																
④	電磁開閉器-2 二次側	> 500MΩ	> 500MΩ	> 500MΩ																																
⑤	端子台 電動機側	> 500MΩ	> 500MΩ	> 500MΩ																																
⑥	電動機 V相	> 500MΩ	> 500MΩ	> 500MΩ																																
備考																																				

水分浸入や塵埃の堆積、異物混入、昆虫・小動物侵入に係る調査	
目的	端子箱の内部や機器の周囲について、水分や塵埃、異物、昆虫・小動物との接触の有無を確認する。
点検日	令和5年2月8日,2月11日
確認内容	<ul style="list-style-type: none"> ・端子箱の内部や周囲に水分浸入の痕跡を、目視により確認する。 ・端子箱の内部に水分や塵埃、異物、昆虫・小動物が入り込んだ痕跡を、目視により確認する。
確認結果	<p>①端子箱の内部、外観</p> <p>水分浸入の痕跡や塵埃の堆積、異物や昆虫等との接触、これらが入り込んだような損傷の様子は認められなかった。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <p>端子箱内部及び外観(内部：令和5年2月8日、外観2月11日)</p> <p>②機器の周囲</p> <p>当該端子箱の周囲に水分の痕跡はなく、雨漏り箇所も認められなかった。なお、排気ブロア電動機が停止した令和5年1月22日の日常点検時に雨漏り箇所は確認されず、また、当日と前日は晴天であり、雨水浸入が要因となる可能性はない。</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p>端子箱の周囲(令和5年2月11日撮影)</p> <p>※ 2月10日が終日雨だったため、雨漏り検証のため撮影</p> <p>・以上のことから、水分、異物等が要因となる可能性はない。</p>
備考	

放火に係る調査	
目的	建屋への侵入の痕跡や電動機端子箱が人為的な破壊行為の有無を確認する。
点検日	令和5年2月10日
確認内容	・ 建屋の健全性を目視により確認する。
確認結果	<p>・ 建屋に取り付けた監視カメラ（3台）の映像から、排気ブロア電動機が停止した日に日常点検者及び警報発報時の対応者以外の人が侵入した形跡はなかった。また、これらの者が放火した様子もなかった。</p> <div style="text-align: center;"> <p style="text-align: center;">A棟の監視カメラ設置場所及び撮影箇所</p> </div> <p>・ 以上のことから、放火が要因となる可能性はない</p>
備考	

機器の異常による故障に係る調査	
目的	排気ブロア電動機の故障による発火への影響を調査する。
点検日	令和5年1月26日, 2月1日, 2月2日, 2月11日
確認内容	<p>①排気ブロア電動機の軸受部の状態を目視で確認する。</p> <p>②当該排気ブロア電動機の導通確認を行い、故障箇所を調査する。</p>
確認結果	<p>① 令和5年1月26日に当該排気ブロア電動機の軸受部を手回した結果、異音を確認した。令和5年2月1日に軸受を交換し、作動確認をしたが、排気ブロア電動機が起動しなかった。令和5年2月2日に交換した軸受を確認したところ、僅かな摩耗痕はあったが運転に影響を与えるものではなかった。</p> <div data-bbox="427 768 1326 965" data-label="Image"> </div> <p style="text-align: center;">軸受の外観観察</p> <p>②令和5年2月11日に公設消防と専門メーカーの立会いにより、排気ブロア電動機や端子箱の導通状態を調査した。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・排気ブロア電動機の機器内部について導通状態を確認した結果、電気回路の1つに導通がないことを確認した。 ・端子箱内の排気ブロア電動機側のケーブル2本が完全に断線し、このケーブルは導通していないことを確認した。 <p>以上より、排気ブロア電動機の内部か端子部のケーブルの断線が原因であることが明らかとなった。</p>
備考	

衝撃による損傷の調査	
目的	外部からの衝撃による排気ブロア電動機や端子箱の損傷の有無を確認する。
点検日	令和5年1月23日
確認内容	・排気ブロア電動機や端子箱の健全性を目視により確認する。
確認結果	<p>・目視による確認の結果、排気ブロア電動機や端子箱の外観に有意な変形が無いことを確認した。</p> <div data-bbox="438 669 1310 1160" data-label="Image"> </div> <p>排気ブロア電動機と端子箱の外観 (令和5年1月23日撮影)</p> <p>・以上のことから、衝撃による損傷が要因となる可能性はない。</p>
備考	

施工上の不備に係る調査	
目的	施工上の不備により電氣的な負荷が増大した場合は火災に至る可能性があるため、ケーブルの施工状態を確認する。
点検日	令和5年2月11日、16日
確認内容	<ul style="list-style-type: none"> ・ケーブルの状態を目視により確認する。 ・ケーブルの曲がりについて、耐久性に与える影響を調査する。
確認結果	<ul style="list-style-type: none"> ・排気ブロア電動機側のケーブルが曲がった状態にあることを確認した。 ・特に、当該ケーブルの圧着端子付近がほぼ直角に曲がった状態にあった。 <p>➤ 既設の動力盤から端子箱に引き込んだケーブル径が太く、曲げにくい ため、排気ブロア電動機側の当該ケーブルの圧着端子付近は、他のケーブルと重なったことで押されたことに起因すると推定した。</p> <p style="text-align: center;">断線箇所の調査（令和5年2月11日撮影）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ケーブルの曲がりの影響に関する調査¹⁾ <p>ケーブルの曲がりは機械的耐久性の低下に影響を与え、曲げ半径を小さくすることで、耐久性がさらに低下することが知られている。また、振動が加わった場合には断線や半断線に至る可能性が知られている。</p> <p>以上より、ケーブルが曲がっただけでは断線しないが、振動が加わった場合においては、原因となった可能性は否定できない。</p>
備考	¹⁾ 新井英雄，他，“大容量PC鋼より線の曲げ配置部におけるフレットング疲労特性”，土木学会論文集，No. 627/V-44，205-222，（1999. 8）

火災発生に至るメカニズム

排気ブローア電動機と火災発生個所の運転状況の整理

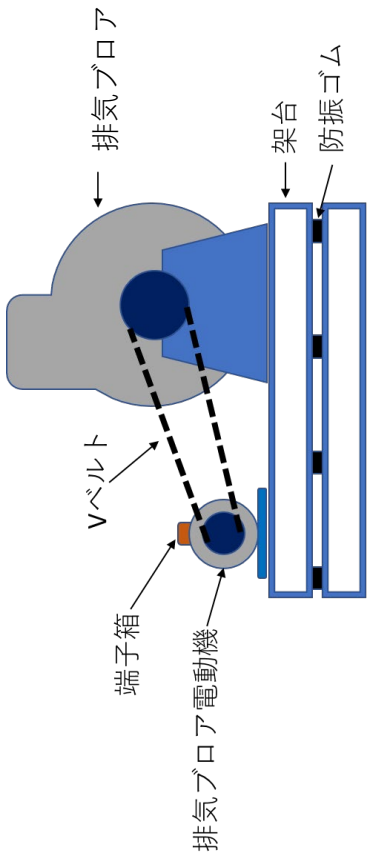


図1 排気ブローアの概要図

- 排気ブローアに排気ブローア電動機が隣接しており、共に防振ゴムを取り付けた架台に設置されている。
- 排気ブローア電動機で発生する大きな振動について、防振ゴムにより軽減させている。
- 端子箱は、排気ブローア電動機に直接接続されており、防振ゴムで振動は軽減されているが、これらの機器に由来する微細な振動を受ける。

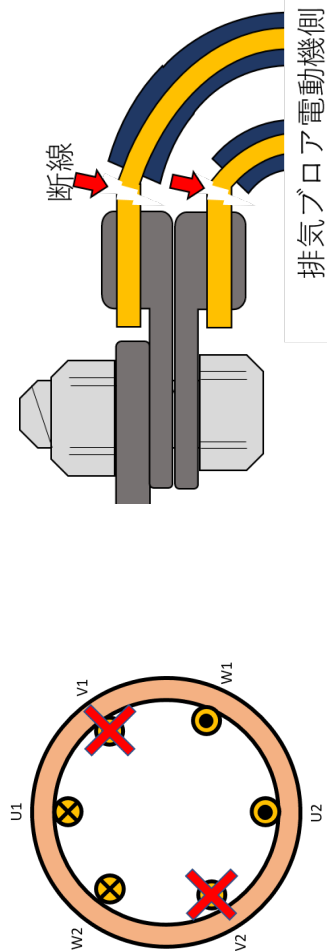
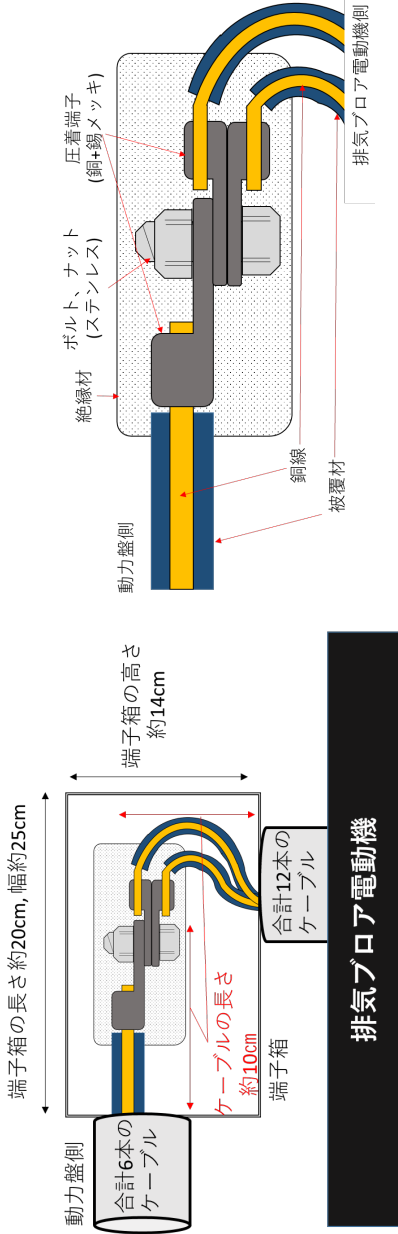


図3 消防立会による現場調査において確認した事実

- (左) 排気ブローア電動機運転時の回路 (右) 端子箱のケーブルの断線状況
- 断線したケーブルに接続している排気ブローア電動機の内部の電気回路のV相が導通していない。
- 端子箱の排気ブローア電動機側のケーブルが2本断線し、断線部付近の絶縁材が溶融していた。



排気ブローア電動機

- 図2 端子箱の内部の構造 (左) 端子箱の構造図 (右) ケーブルの接続状況
- 動力盤から三相200Vで給電されており、動力盤側からは6本のケーブルが出て、排気ブローア電動機側からは12本のケーブルが出て端子箱内で接続されている。
 - 動力側のケーブル1本と、排気ブローア電動機側のケーブルの2本を、ケーブルの先端に取付けた圧着端子 (銅+錫メッキ) をボルト、ナット (ステンレス) で固定されている構造にある。
 - 一般的な構造、施工である (特殊な構造や部品が用いられていないこと)。

火災発生に至る推定フロー

- ケース1：排気ブローア電動機が故障して導通不良となり、欠相運転となったことで供給される電流、電圧のバランスが崩れ、過電流が生じた。
- 続いて、端子部付近のケーブルが発熱し、ケーブルが熱に耐えられずに断線した瞬間に火花が発生し、火災に至った。
- ケース2：金属疲労により端子部付近のケーブルが部分的に断線し、過電流が生じた。
- 上記により発生した過電流によって発熱し、ケーブルが熱に耐えられずに断線した瞬間に火花が発生し、火災に至った。
 - ケーブルが断線した瞬間に発生する過電流が排気ブローア電動機に影響し、回路が故障して導通不良となった。

火災発生に至るメカニズム

ケース1：排気ブローア電動機の電気回路が故障したことによる火災発生

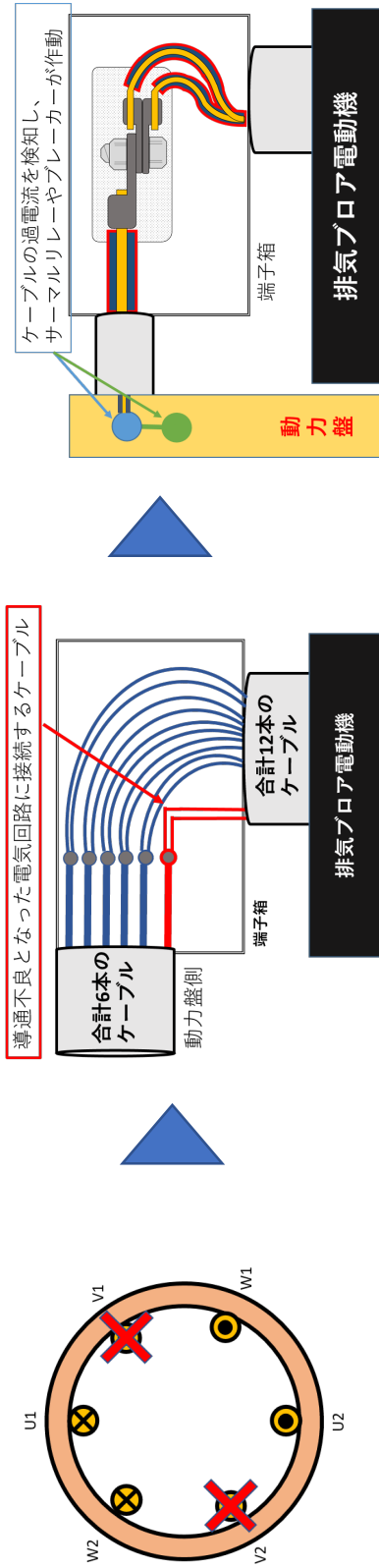


図4 排気ブローア電動機の故障発生
● 運転時の回路（デルタ回路）のV1とV2の回路が故障し、導通不良になる。

図5 欠相運転による過電流と発熱の発生
● 欠相運転となった瞬間に給電バランスが崩れ、故障した回路に接続するケーブルの全体に過電流が生じる。

図6 安全装置の作動
● 過電流が発生した瞬間、サーマルリレーやブレーカーが作動する。

ケース2：端子箱のケーブルの圧着端子付近で断線したことによる火災発生

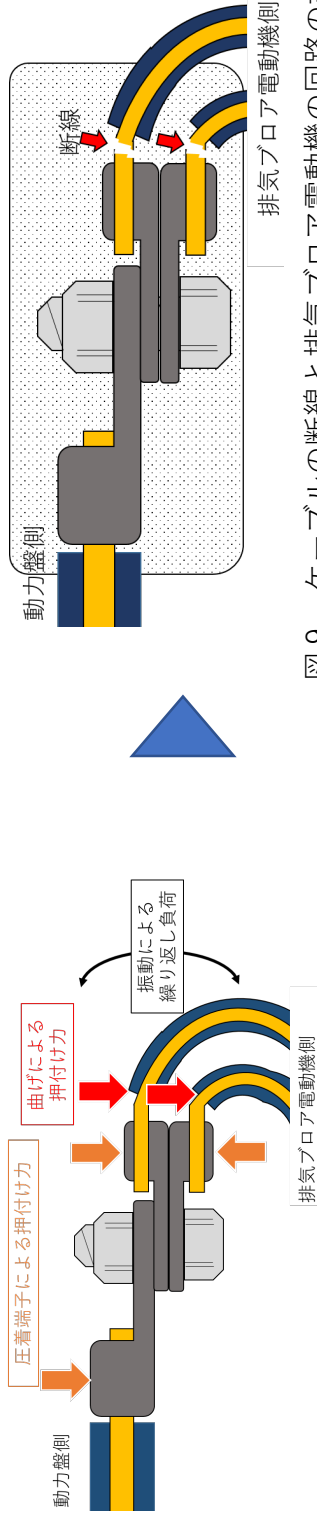


図8 金属疲労により端子部のケーブルが部分的に断線（半断線）
● 排気ブローアや排気ブローア電動機の微細な振動により、金属疲労が発生する。
● 半断線状態で給電することで発熱する。

図9 ケーブルの断線と排気ブローア電動機の回路の故障
● 半断線及び発熱によりケーブルの耐久性が低下し、被覆材の溶融を経て、断線に至る。
● 断線した瞬間に火花が散り、火災が発生する。
● 断線した瞬間に、ケーブル全体に排気ブローア電動機に過電流が流れるため、その影響により回路が故障する。

図7 過電流発生した瞬間の端子部の状況
● 過電流を受けて、特に端子部付近は発熱するが、欠相運転となった瞬間に安全装置が作動するため、断線には至らない。
電気抵抗が増大する可能性がある箇所
・異なる材料が構成する箇所
・銅線が圧延している箇所

電気回路の故障では断線に至る可能性は無い。
➤ 火災の原因はケース1ではない。

図10 安全装置の作動
● 断線したケーブル以外の残る二相が過電流の状態となり、サーマルリレーが作動する。

現場調査の結果と一致するため、ケース2に示すメカニズムで火災に至ったと推定する。

➤ 金属疲労により少しずつケーブルが損傷し、最終的に断線に至ったものであり、断線時に火花が生じ発火に至ったことが火災の原因である。