

立コミ本第286号

2021年11月/5日

佐賀県知事
山口祥義様

九州電力株式会社
代表取締役 池辺 和
社長執行役員



玄海原子力発電所2号機の計算機室における焦げ跡の確認について
(調査結果及び原因と対策)

拝啓 時下ますますご清栄のこととお喜び申し上げます。

かねてから当社事業につきましては、格別のご高配を賜り厚くお礼申し上げます。

さて、先般「原子力発電所の安全確保に関する協定書」第5条第5号に基づきご連絡致しました「玄海原子力発電所2号機の計算機室における焦げ跡の確認について(2021年8月16日付け立コミ本第139号)」につきまして、調査結果及び原因と対策について取りまとめました。

つきましては、別紙のとおりご報告申し上げます。

今後とも、原子力発電所の安全確保に万全を期してまいる所存でございますので、よろしくご指導を賜りますようお願い申し上げます。

敬 具

玄海原子力発電所 2 号機
計算機室における焦げ跡の確認について

2021年11月15日
九州電力株式会社

目 次

1	発生日時	1
2	発生場所	1
3	運転状況	1
4	発生状況	1
5	計算機室空調装置の概要	2
6	火災警報発信の原因調査	2
7	火災警報発信の推定メカニズム	6
8	推定原因	7
9	対策	7
	添付資料	10

1 発生日時

2021年8月7日(土) 18時48分

2 発生場所

玄海原子力発電所2号機 補助建屋計算機室(管理区域外)

3 運転状況

- ・玄海原子力発電所1号機：廃止措置段階
- ・玄海原子力発電所2号機：廃止措置段階
- ・玄海原子力発電所3号機：運転中
- ・玄海原子力発電所4号機：運転中

4 発生状況

玄海原子力発電所2号機において、2021年8月7日18時48分、「原子炉関連建屋内火災」警報が発信した。現場確認を行った結果、補助建屋内にある2A-計算機室空調装置が自動停止し、同装置の内部に焦げ跡が確認されたため、19時20分に公設消防へ消火活動の要請ではなく、現場確認の要請を行った。

その後、同日22時40分に公設消防により、火災ではないと判断された。

(添付資料-1)

<時系列>

2021年8月7日

- | | |
|-------|---|
| 18:48 | 「原子炉関連建屋内火災」警報発信 |
| 18:54 | 当直課長から専属自衛消防隊へ出動要請 |
| 19:03 | 専属自衛消防隊現場到着
(専属自衛消防隊による現場確認、消火活動なし) |
| 19:15 | 2A-計算機室空調装置の内部に焦げ跡を確認
(火炎、煙がないことも確認) |
| 19:20 | 当直課長から公設消防へ現場確認要請 |
| 19:52 | 公設消防正門到着(サイレンなし) |
| 20:00 | 公設消防現場到着 |
| 21:02 | 公設消防による現場確認終了(消火の必要なし) |
| 22:40 | 公設消防による判断(火災ではない) |

5 計算機室空調装置の概要

計算機室には、プラントの各機器のパラメータを中央制御室で監視するため、データの収集を行うシステムを設置しており、玄海原子力発電所1,2号機中央制御室の各種制御盤更新工事にあわせ、2000年に計算機室空調装置を運用開始した。

当該装置は、主要部品として、圧縮機、送風機、加湿器、アキュムレータ、変圧器、冷媒配管を設置する室内機（以下、空調装置）及び室外機等から構成されるパッケージエアコンで、多数の機器を収納でき、かつコンパクトに設置できる「キャビネット式縦型」である。

計算機室空調装置は、計算機室下部のケーブルダクト及び計算機を効率的に冷却するため、冷却空気を空調装置下面（床面）からケーブルダクトに吹き出すように、吹出口を設けている。

電源は、発電所内の電源系統から440Vで受電し、送風機用電動機等の動力にするとともに、空調装置内に440Vから200Vに降圧する変圧器を設置し、200V以下の機器等に電源を供給している。なお、空調装置内の異常で、過電流が流れた場合は自動停止するよう配線用遮断器（設定値：50A）が設置されている。

（添付資料 - 2）

6 火災警報発信の原因調査

（1）空調装置内の焦げ跡やすず付着等の状況

a 変圧器（写真1、2）

- ・コイルAについては、空調装置前面側は茶色の絶縁紙の表面にすすの付着が見られ、背面側は絶縁紙が黒く変色しており、表面が熱で溶けていることを確認した。
- ・コイルBについては、コイル全体の絶縁紙が黒く変色しており、表面が熱で溶けていることを確認した。
- ・コイルCについては、背面側のコイルBに近い方は絶縁紙が黒く変色しており表面が熱で溶けていることを確認した。それ以外は表面が熱で溶けている様子はなく、絶縁紙表面にすすの付着があることを確認した。

b 冷媒配管保温材（写真2）

- ・最も損傷が著しいのは、配管の変圧器付近の保温材であり、背面から見て、全周に渡り配管長さの半分程度の保温材が熱で溶けて冷媒配管が剥き出しになっていることを確認した。
- ・次に損傷が著しいのは、配管の変圧器付近の保温材であり、背面から見て、全周に渡り長さの1/3程度の保温材が熱で溶けて冷媒配管が剥き出しになっていることを確認した。
- ・配管の保温材については、背面から見て、長さの1/3程度が損傷しており、保温材が熱で溶けて冷媒配管の一部が剥き出しになっていることを確認した。
- ・配管の保温材については、背面から見て、一部保温材の表面が茶色から黒に変色し、全体的にすすが付着している程度であるが、前面側は、長さの2/3程度が熱で溶けており、冷媒配管の一部が剥き出しになっていることを確認した。

c その他の機器等（写真3～10）

- ・変圧器付近の送風機用電動機近傍（写真3）や仕切板（写真4）については、一部黒く変色し、すすの付着があることを確認した。
- ・それ以外の空調装置前面及び背面のカバー（写真5、6）加湿器近傍（写真7）冷媒配管（写真8）送風機用電動機背面側等（写真9、10）及び変圧器から離れた場所の機器等については、変色やすすの付着がないことを確認した。

（添付資料 - 3）

上記のとおり、変圧器コイルの損傷が確認されたことから、計算機室空調装置の製作メーカーにて変圧器の調査を実施することとした。

（2）計算機室空調装置の現場調査結果

空調装置及び室外機の各部について、現地にて調査・点検を行い、変圧器以外に異常は認められなかった。

a 外観点検

空調装置及び室外機各部位の外観を点検し、異常は認められなかった。

b 絶縁抵抗測定

変圧器の絶縁抵抗測定を行った結果、線間絶縁抵抗が異常値を示していること、大地間絶縁抵抗は異常がないことを確認した。

なお、変圧器以外の各機器の異常は認められなかった。

c 空調装置内の送風機及び室外機内ファンのハンドターニング

ファン及び電動機についてハンドターニングを実施し、固着や異音がないことを確認した。

d 冷媒の漏えい確認

圧力計にてアキュムレータ等の圧力が維持できていることから、冷媒の漏えいがないことを確認した。

(3) メーカーにおける空調装置内にある変圧器の調査結果

空調装置を製作したメーカーにおいて実施した変圧器の調査結果は、以下のとおり。

a 外観調査結果

(a) 変圧器全体

・3列のコイルのうち、真ん中のコイルBを中心に焦げが広がっていた。

(b) 配線締結部

・配線締結部はいずれもねじ締結であるが、いずれも緩みは認められなかった。
・接続配線及び端子部に溶融痕は認められなかった。

(c) 配線接続部

・一部の接続配線に断線が認められたが、接続配線及び端子部に溶融痕は認められなかった。

(d) コイル部

・コイルBの著しい焦げを確認したが、コイルBの可視範囲内でコイル線等の溶融痕は認められなかった。

b コイル内部調査結果

(a) コイルA

・コイルの一部に絶縁材が過熱されたと思われる炭化が認められた。
・一次巻線の複数箇所です断・溶着を確認した。

- ・二次巻線の一次巻線に近い箇所では1箇所溶断を確認した。

(b) コイルB

- ・コイルの全体に絶縁材が過熱されたと思われる炭化が認められた。
- ・一次巻線の複数箇所では巻線の溶断・溶着を確認した。
- ・二次巻線の複数箇所では巻線の溶断・溶着を確認した。

(c) コイルC

- ・二次巻線の外側の絶縁材の一部に炭化が認められた。
- ・一次、二次巻線ともに溶断・溶着は確認されなかった。

c 調査結果まとめ

コイルA、B、Cのうち、コイルA、Bの一次巻線に溶断、溶着などが複数箇所確認され、二次巻線に比べ損傷が大きかった。また、コイルBの損傷が最も大きかったことから、コイルB一次巻線の絶縁被膜が劣化し、短絡が発生したと推定される。

(添付資料 - 4)

(4) 計算機室空調装置の運転状況

計算機室空調装置は常時2台運転を行っており、点検時は代替の空調装置を用いて空調を行っている。

(5) 計算機室空調装置の点検状況

当初、製作メーカーが有する点検結果や運転経験等を踏まえ、運用を開始した2000年1月から、1回/日の巡視による運転状況の確認を実施することとした。

その後、消耗品である送風機のVベルト等の取替えを経験したことから、製作メーカーと協議して2013年度から巡視に加え、1回/年の点検頻度で開放点検(変圧器の点検を含む)を実施する点検計画へと見直しを実施した。

以後、1回/年の点検頻度で開放点検を実施していたが、過去に不具合がなかったこと等を踏まえ、2020年12月に点検頻度を1回/3年に見直した。

【開放点検時の点検項目】

- ・送風機、送風機用電動機、配管等の外観点検

- ・変圧器、送風機用電動機等の絶縁抵抗測定
- ・空調装置内の清掃
- ・消耗品の取替
- ・装置全体の運転状態確認（試運転）

なお、2 A - 計算機室空調装置は、2020年12月の開放点検において、各機器の異常は確認されておらず、火災警報が発信した2021年8月7日までは運転を継続していたが、運転状態に異常はなかった。
（添付資料 - 5）

（6）空調装置内の配置状況

冷媒配管の保温材（ウレタン）が熱で溶けていることが確認されたことから、空調装置内の配置状況の確認を行った。

- ・変圧器を冷媒配管と送風機用電動機の上に配置しており、変圧器と冷媒配管が近接していることを確認した。
- ・冷媒配管は、約90℃の流体を内包することから、変圧器への影響を考慮して変圧器付近に保温材（ウレタン）を設置している。

（添付資料 - 2、3）

（7）計算機室空調装置周辺の状況

火災警報が発信した時の計算機室空調装置周辺の状況を確認した結果、計算機室空調装置に影響を与えるような以下の事象は確認されなかった。

- ・計算機室内での作業
- ・空調装置の運転に影響を与える室内温度の変動及び雷撃

7 火災警報発信の推定メカニズム

絶縁材の劣化

コイル巻線はポリエステル系樹脂で絶縁被膜をしているが、温度影響等により劣化。

短絡の発生

コイル巻線の絶縁被膜が劣化したことで絶縁性能が低下し、隣接する巻線間で短絡が発生。

過電流発生及び2 A - 計算機室空調装置の停止

短絡により、変圧器に過電流が生じ、配線用遮断器が自動遮断して 2 A - 計算機室空調装置が自動停止。

発煙及び火災警報の発信

短絡による過電流により変圧器のコイル巻線が発熱し、周辺の冷媒配管の保温材(ウレタン)が熱影響により溶融して煙が発生し、火災警報(煙感知器)が発信。

(添付資料 - 6)

8 推定原因

- ・ 2 A (B) - 計算機室空調装置設置時、電源を発電所内の電源系統から 440 V で受電するため、200 V 以下の機器等への電源供給用として、空調装置内に 440 V から 200 V に降圧する変圧器を設置することとし、変圧器が冷媒配管(約 90 mm の流体を内包)から直接受ける熱影響を考慮し、冷媒配管に保温材(ウレタン)を設置することとした。
- ・ 変圧器近傍の冷媒配管から直接受ける熱影響は考慮したものの、変圧器の使用環境(変圧器の放熱が考慮されているか)について設計時に配慮が不足し、実際には、変圧器周辺の温度が高く、変圧器の放熱が十分にできていなかった。
- ・ このような状態が継続し、コイル巻線の絶縁性能が徐々に低下して最終的に短絡が発生した。

9 対策

(1) 2 A - 計算機室空調装置の復旧

空調装置内に設置している圧縮機、送風機、加湿器、アキュムレータ、冷媒配管及び室外機の健全性を確認したうえで、変圧器を取替える。

さらに、放熱が確実にできるよう、変圧器を空調装置外に配置変更し、試運転時に変圧器表面の温度測定を行い、放熱が十分に行われていることを確認後、復旧する。

なお、復旧までの間は、代替の空調装置にて計算機室の空調を行う。

(8月9日より実施中)

(2) 2 A - 計算機室空調装置の保全計画

今回の事象を踏まえ開放点検の頻度を 1 回 / 3 年から 1 回 / 1 年に見直すとともに、絶縁抵抗測定の結果を保管することとする。

また、2 A - 計算機室空調装置の変圧器の放熱状況を監視するため、運転中の変圧器の温度を計測し、記録を保管する。

さらに、当面の間、定期的(1回/3カ月)に外観点検等を実施し、健全性を確認していく。

(3) 同型及び類似型空調装置への水平展開

2 A - 計算機室空調装置と同型である 2 B - 計算機室空調装置についても同様の対策を実施する。

類似型空調装置である以下の空調装置については、空調装置内又は変圧器近傍に熱源を有するものがないか、及び変圧器が放熱できる対策が講じられているかを確認し、同様の環境にある変圧器がないことを確認した。また、変圧器の外観点検を行い、異常がないことを確認した。

【類似型空調装置】

- ・ 2 C - 計算機室空調装置
- ・ アスファルト固化装置給気冷却器
- ・ キャスク保管建屋制御盤室空調装置
- ・ 3号タービン電気室空調装置
- ・ 4号タービン電気室空調装置
- ・ 4号雑固体溶融処理設備石綿取扱設備空調機

(添付資料 - 7、8)

(4) 発電所におけるその他変圧器への水平展開

2 A , 2 B - 計算機室空調装置及び類似型空調装置以外の変圧器を有する原子力発電設備において、設備内又は変圧器近傍に熱源を有するものがないか、及び変圧器が放熱できる対策が講じられているかを現地や図面等により確認し、同様の環境にある変圧器がないことを確認した。

さらに、念のため、これらの変圧器の外観点検を計画的に実施している。

(5) 再発防止対策

- a 変圧器の配置を検討する際、変圧器の放熱を考慮するように規定文書を改正する。
- b 当該変圧器においては、外観点検を実施していたものの、変色等の

確認項目が明確ではなかったため、変圧器の外観点検の確認項目として変色等の有無を追加し、点検結果に応じて取替等の対策をメーカーと協議する。

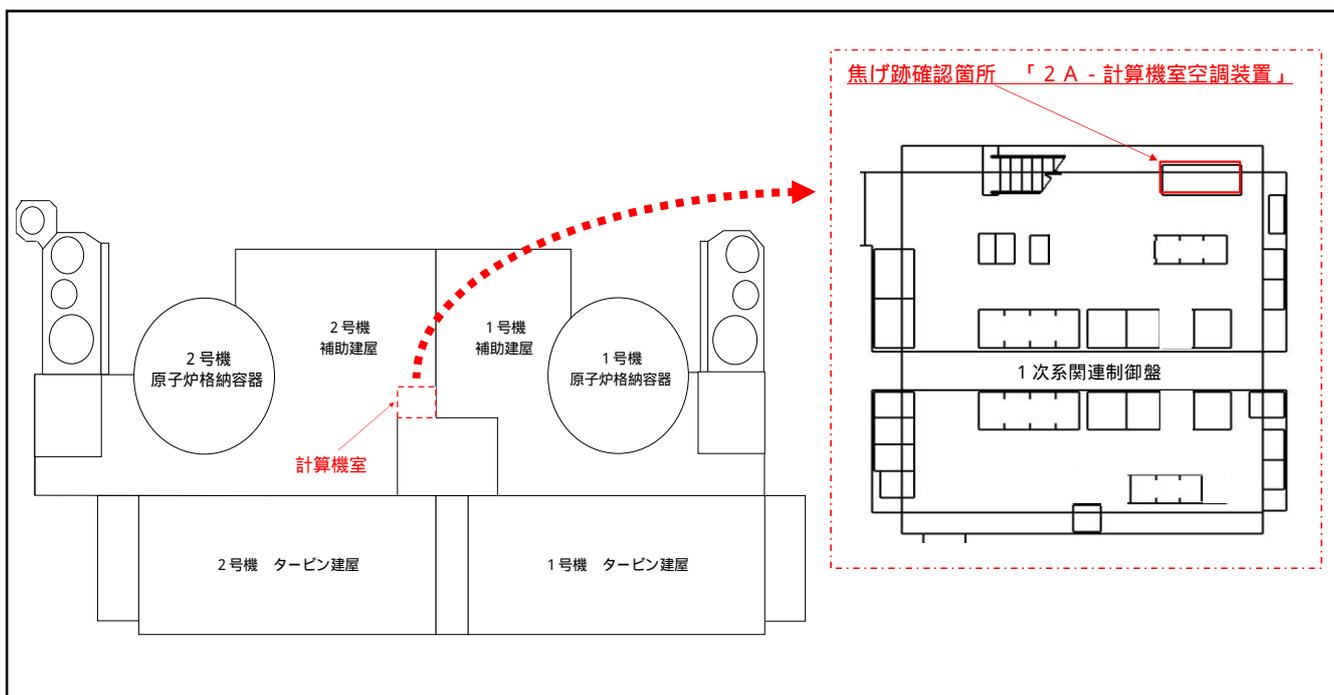
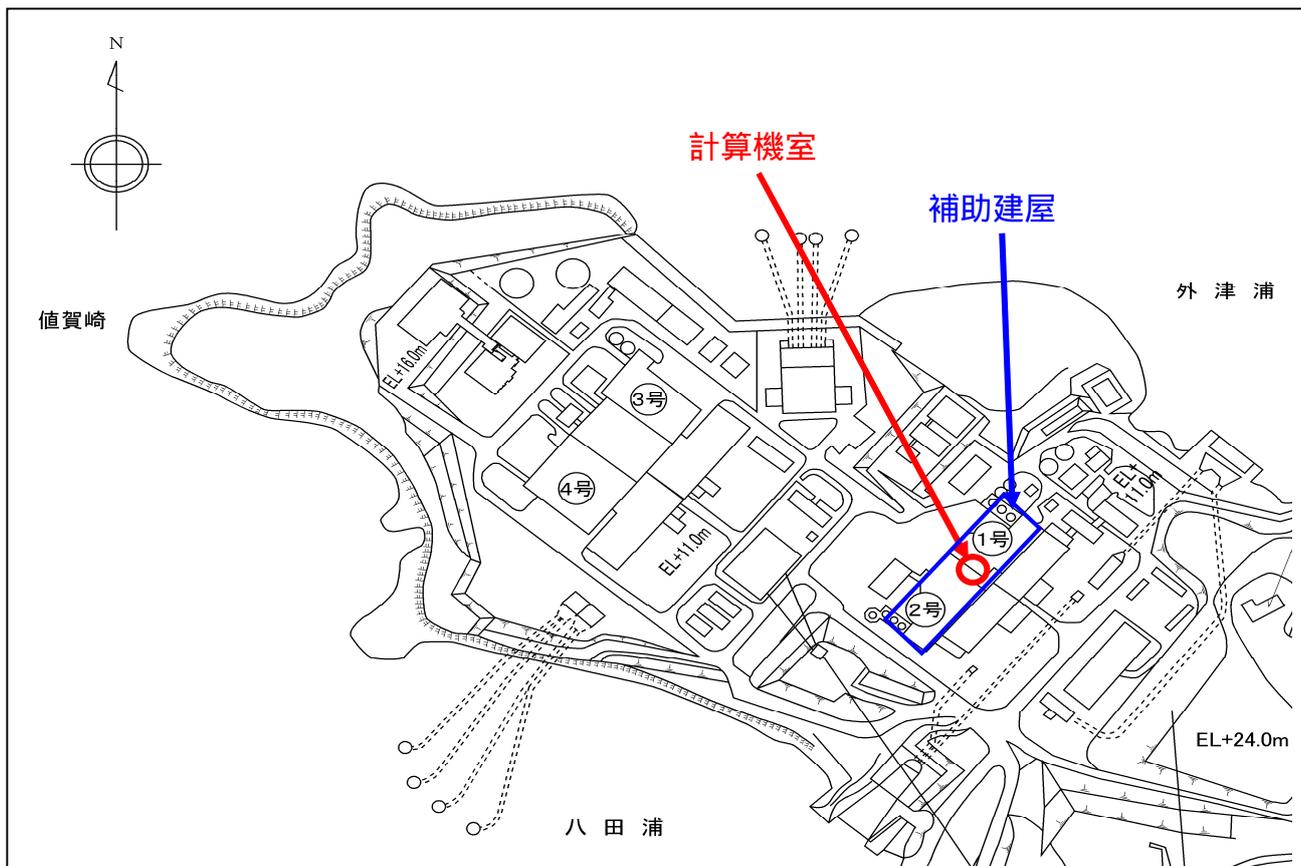
- c 変圧器の外観点検を行う場合の確認の観点として、本事案より得られた見解(「コイルの部分的変色」、「各相のコイル変色状況に有意な違いがないか」)を作業関係者に教育する。
- d 上記について、所内関係者に教育・周知を実施する。

以 上

添付資料

- 添付資料 - 1 玄海原子力発電所概要図
- 添付資料 - 2 計算機室空調装置の概要
- 添付資料 - 3 2 A - 計算機室空調装置の状況
- 添付資料 - 4 メーカーにおける空調装置の調査結果詳細
- 添付資料 - 5 2 A - 計算機室空調装置の点検状況
- 添付資料 - 6 事象発生メカニズム
- 添付資料 - 7 同型空調装置内にある変圧器の調査結果
- 添付資料 - 8 類似型空調装置内にある変圧器の調査結果

玄海原子力発電所概要図



計算機室 配置図

計算機室空調装置の概要

【仕様】

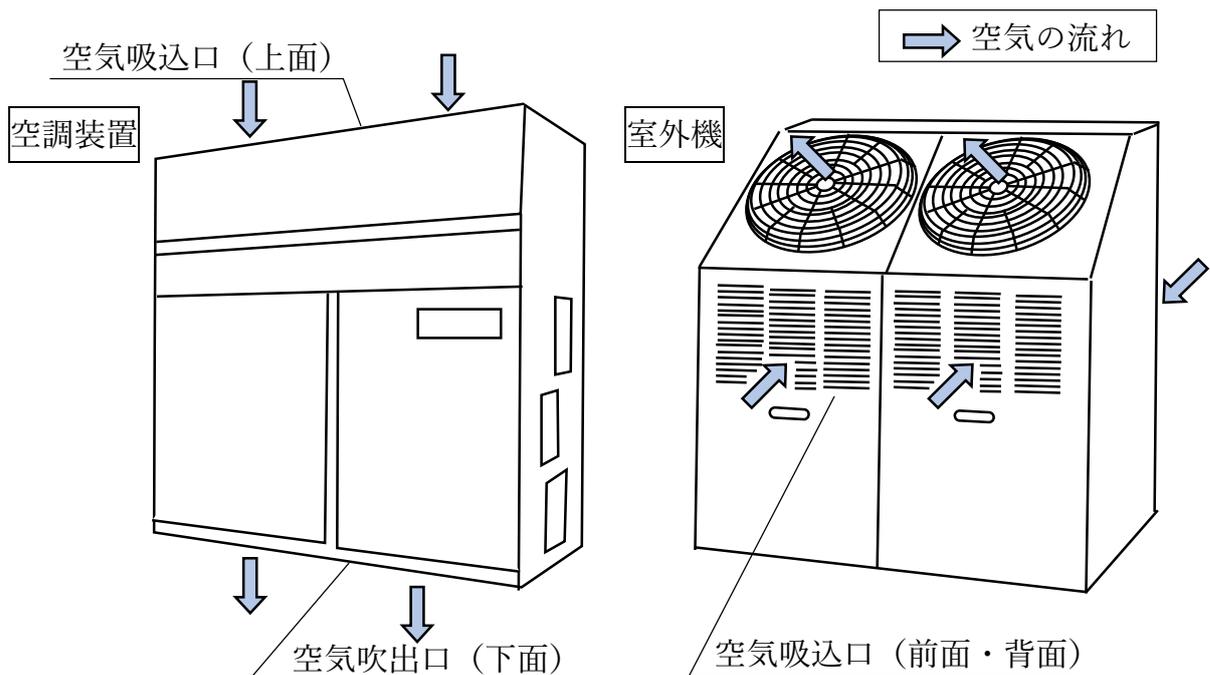
外形寸法 高さ×幅×奥行	mm	1950×1850×800
質量	kg	700
送風量	m ³ /min	270
送風機用電動機出力	kW	5.5
運転電流	A	35.9
消費電力	kW	25.8
空気吸込口		上面
空気吹出口		下面

計算機室への空調装置設置スペースを考慮し、キャビネット式縦型のパッケージエアコンを採用している。

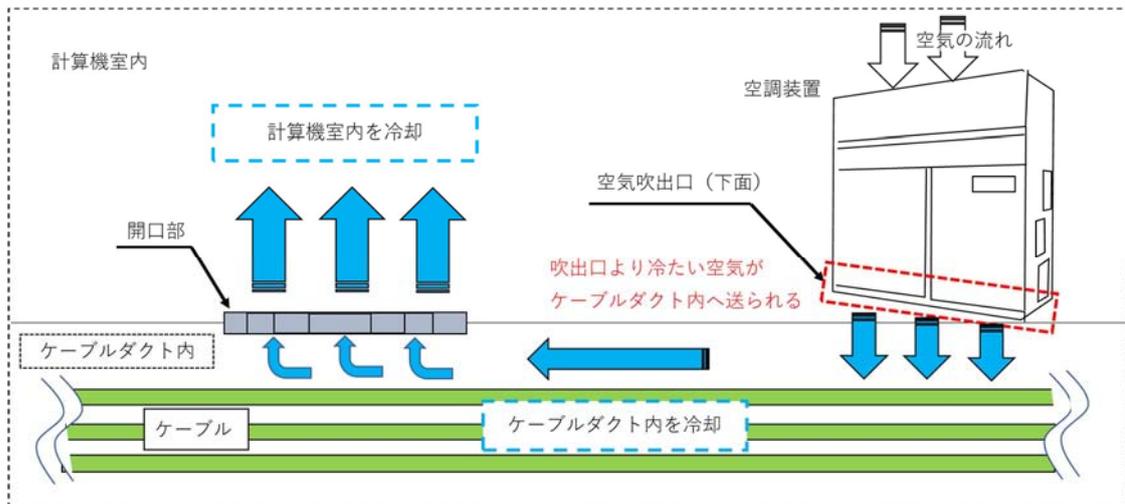
空調装置内には送風機や圧縮機等に加え、動力電源として440V、200Vの供給を行う必要があることから変圧器(440V 200V)を冷媒配管と送風機用電動機の間配置している。

空調装置電源の配線用遮断器に設定値(50A)を超える電流が流れた場合は、自動遮断し、空調装置が自動停止する。

【計算機室空調装置 外観図】

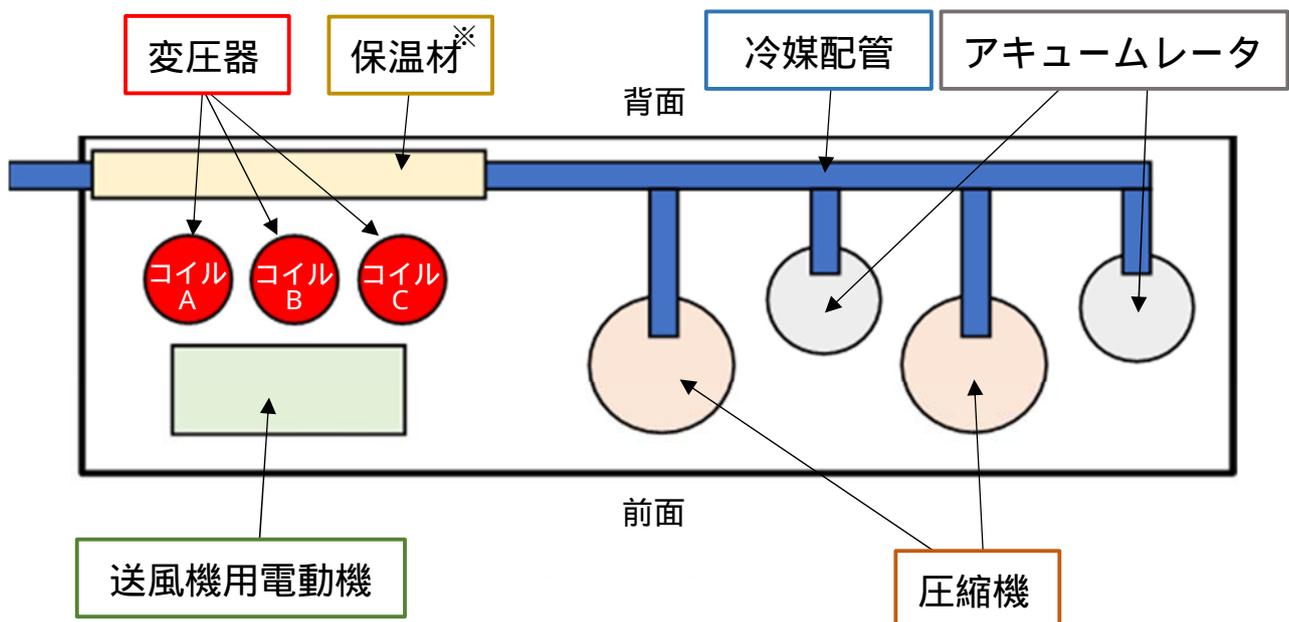


【計算機室内の冷却のイメージ】



【空調装置内の配置】

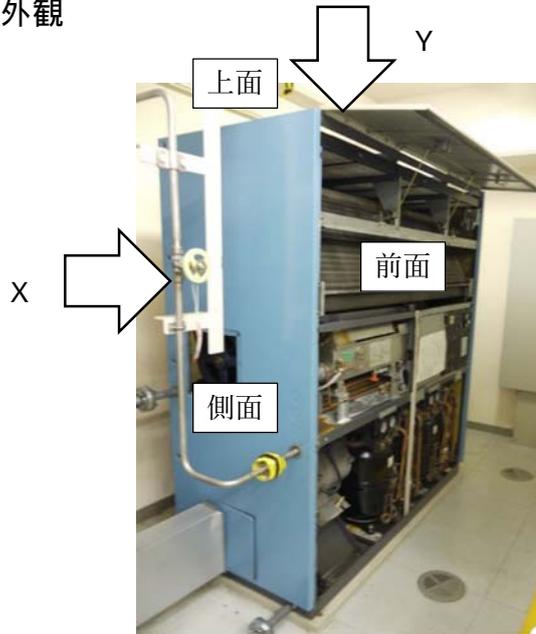
空調装置は、主要構成部品として圧縮機、送風機、加湿器、アキュムレータ、変圧器及び冷媒配管から構成され、空調装置内の配置については、以下のとおり。



冷媒配管は、約 90 の流体を内包することから、変圧器への影響を考慮して変圧器付近に保温材（ウレタン）を設置している。

2 A - 計算機室空調装置の状況

- 1 2 A - 計算機室空調装置外観及び内部配置図 (前面、側面、上面)
 (1) 空調装置外観



- (2) 空調装置内部配置図
 【前面】

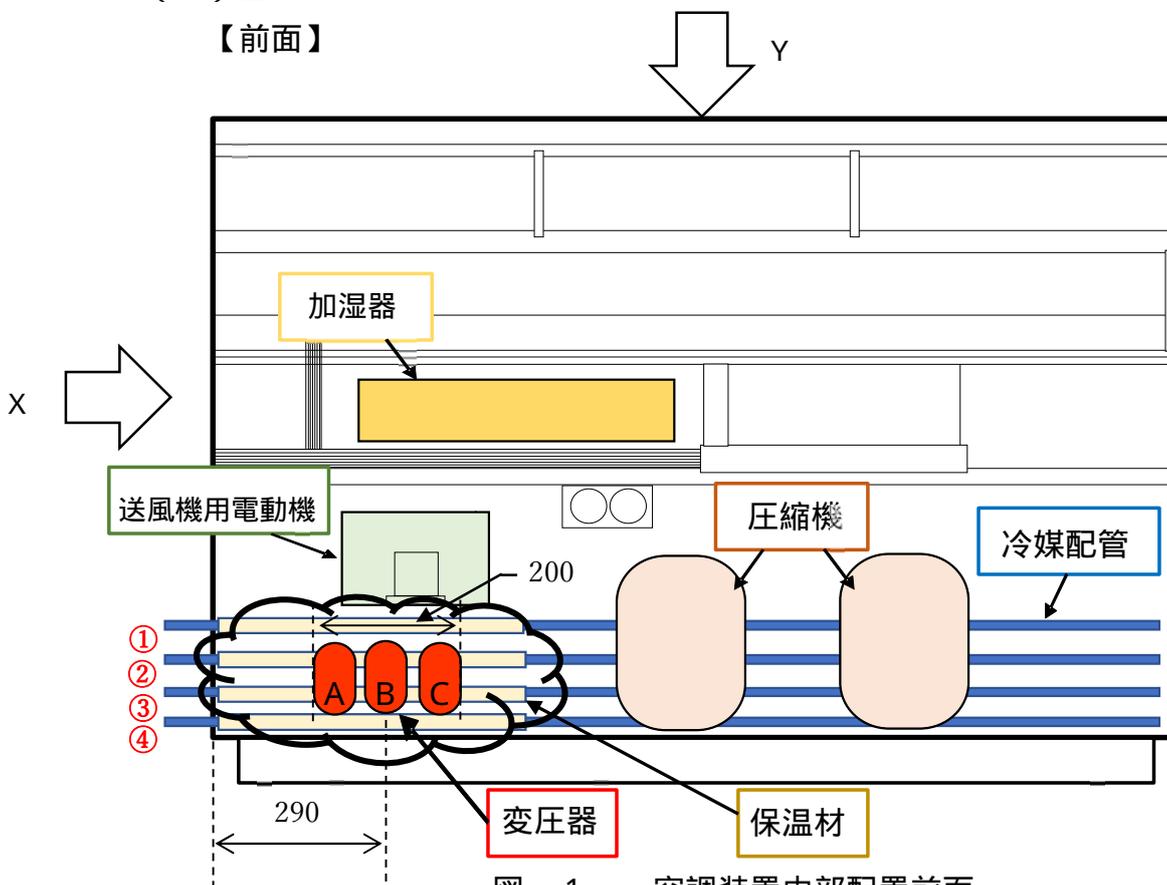


図 - 1 空調装置内部配置前面

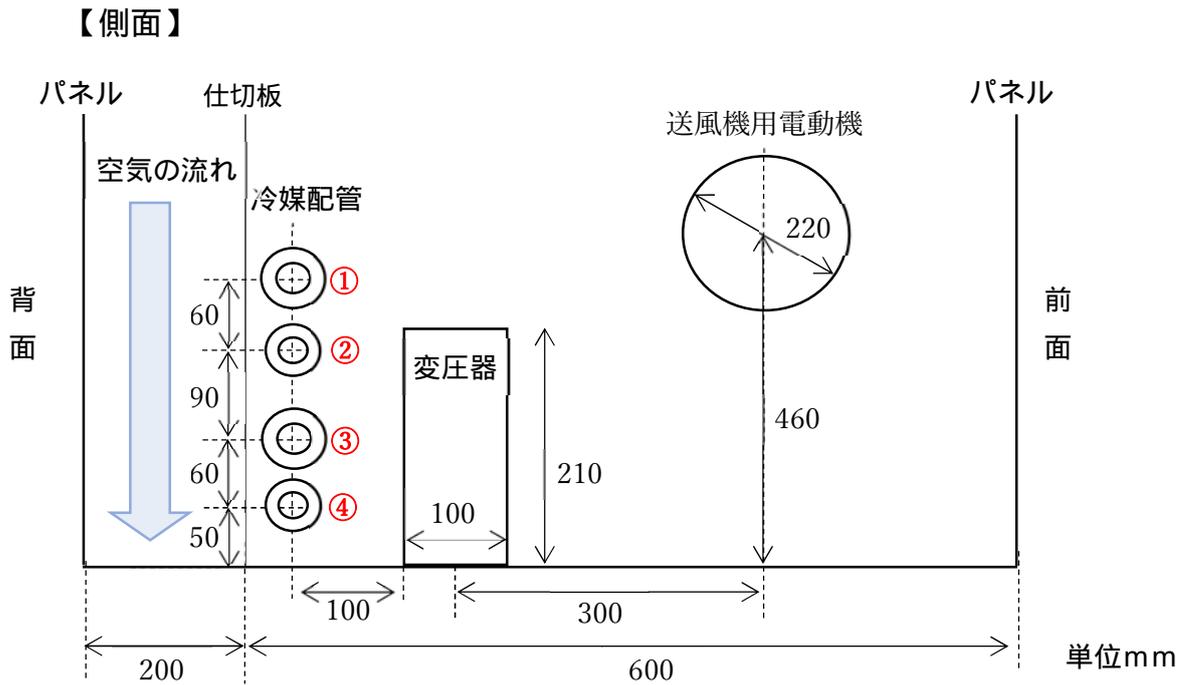


図 - 2 空調装置内部配置側面 (X)

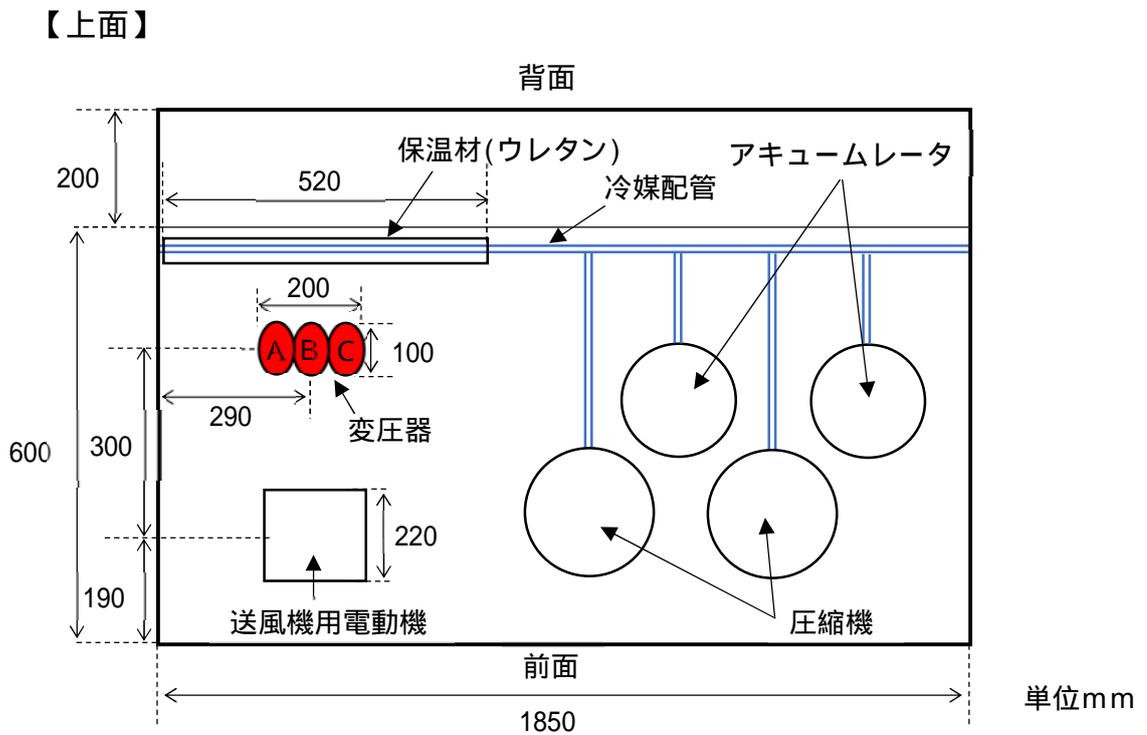


図 - 3 空調装置内部配置上面 (Y)

2 現場状況 (写真)
(1) 撮影箇所

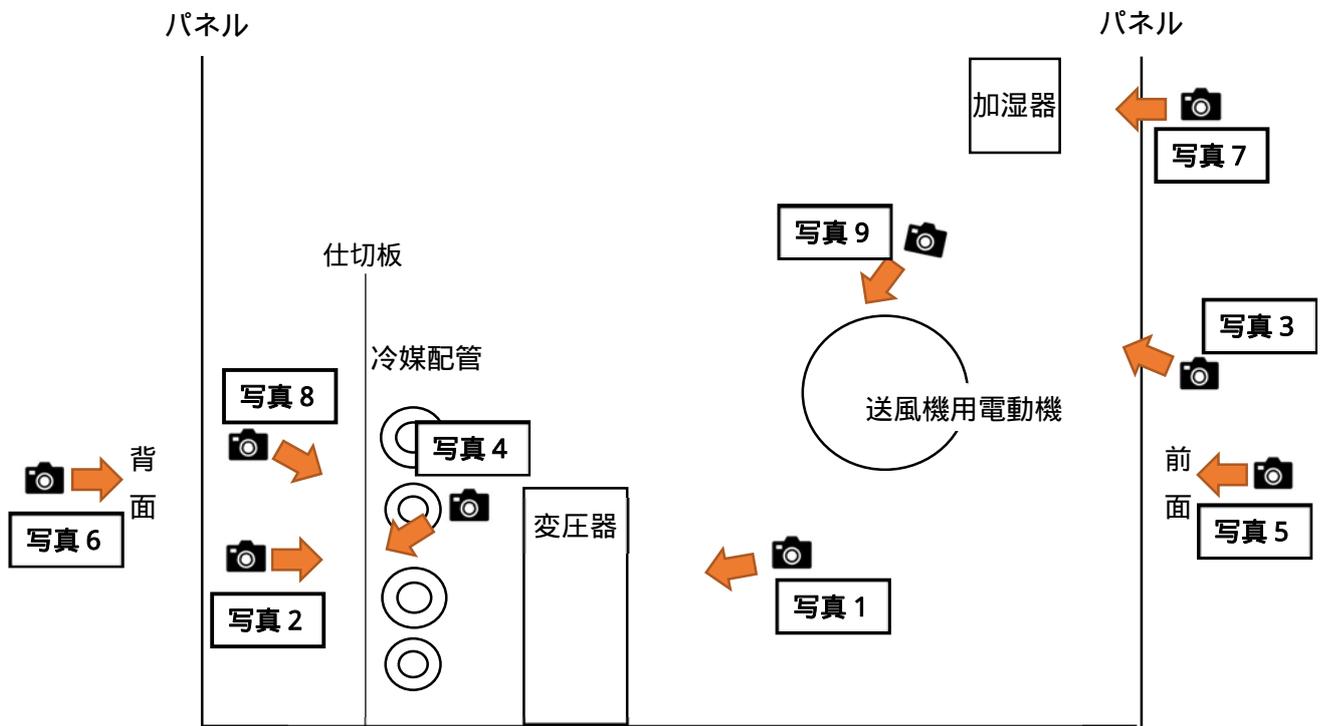


図 - 4 空調装置内部配置側面 (X) 撮影箇所

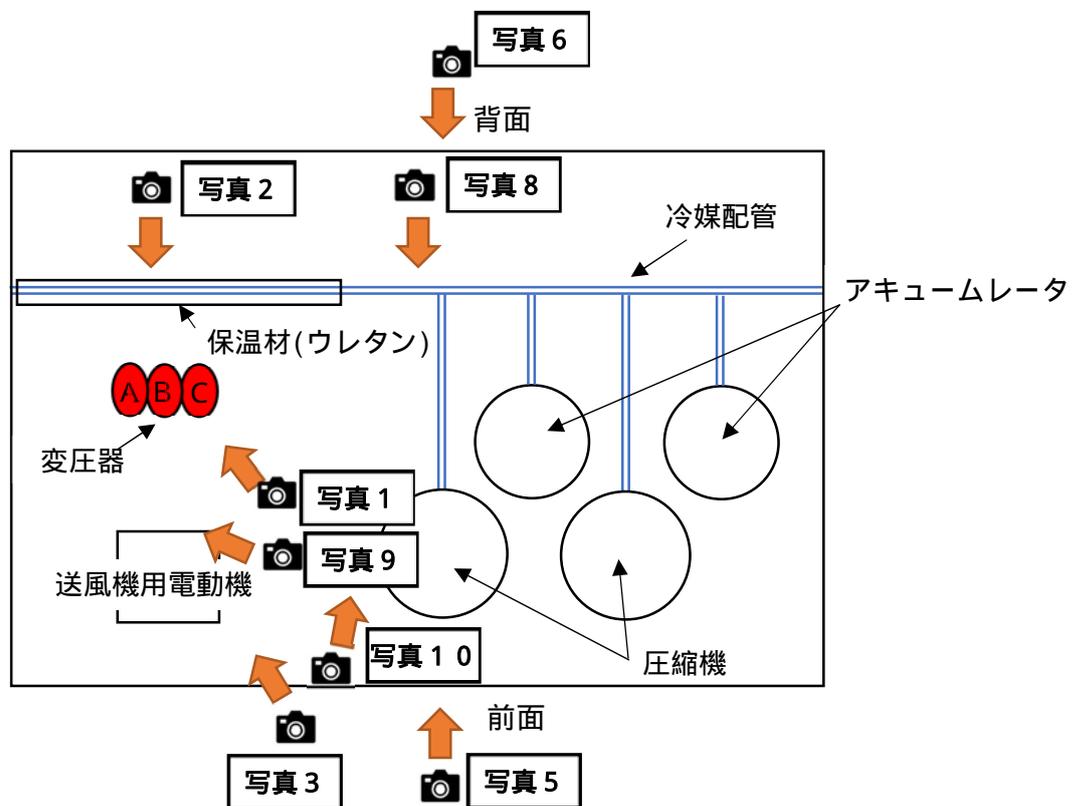


図 - 5 空調装置内部配置上面 (Y) 撮影箇所

(2) 写真

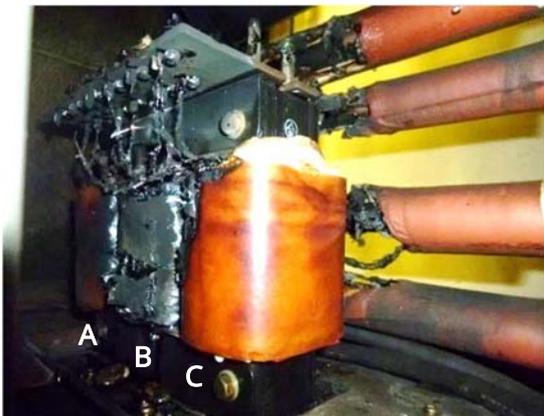


写真1 変圧器 (前面)



写真2 変圧器 (背面) と冷媒配管 (保温材)



写真3 送風機用電動機近傍



写真4 仕切板

以下の設備に黒い変色やすすの付着は見られなかった。



写真5 前面カバー



写真6 背面カバー



写真 7 加湿器近傍



写真 8 冷媒配管



写真 9 送風機用電動機背面側



写真 1 0 送風機用電動機と圧縮機の間

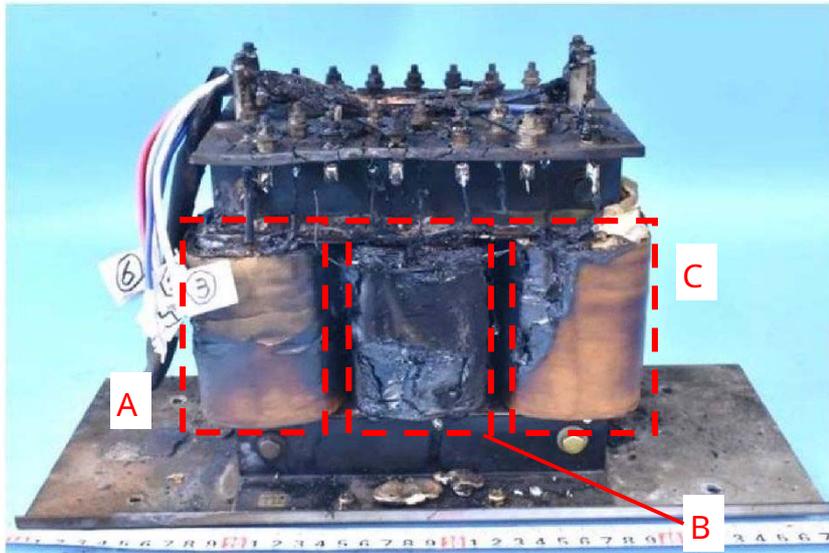
メーカーにおける空調装置の調査結果詳細

2 A - 計算機室空調装置を製作したメーカーにおいて、変圧器の外観調査及び線間抵抗調査を実施した。調査結果は以下のとおり。

1 外観調査結果

(1) 変圧器全体

- ・ 3列のコイルのうち、真ん中のコイルBを中心に焦げが広がっていた。



(2) 配線締結部



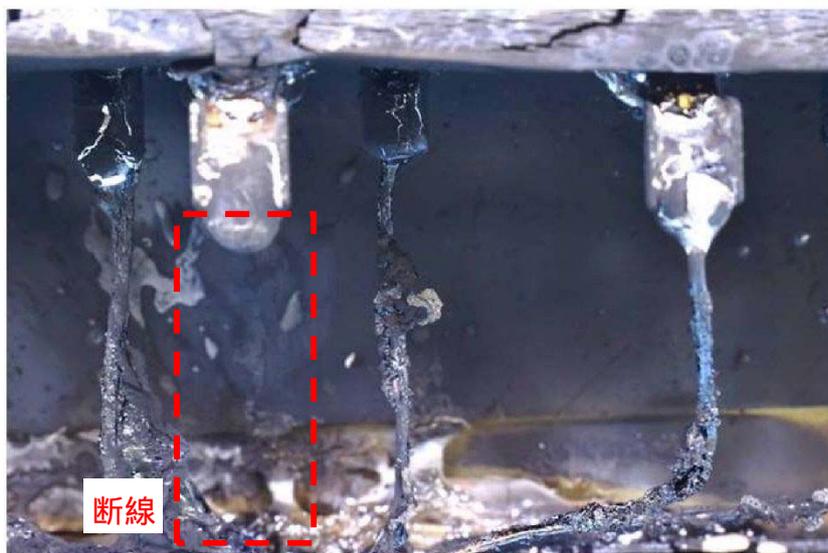
- ・ 配線締結部はいずれもねじ締結であるが、いずれも緩みは認められなかった。
- ・ 接続配線及び端子部に溶融痕は認められなかった。



(3) 配線接続部



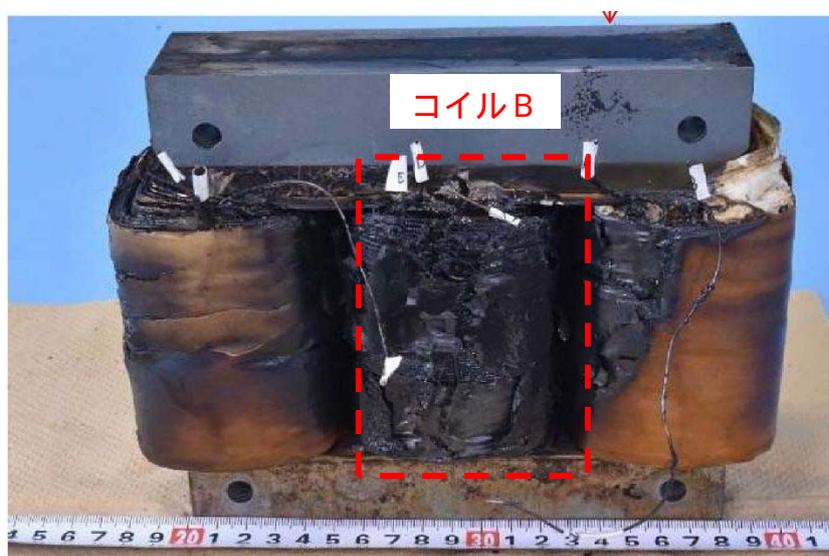
- ・一部の接続配線に断線が認められた。
- ・接続配線及び端子部に溶融痕は認められなかった。



(4) コイル部

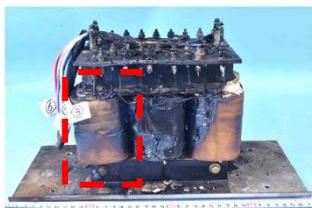


- ・コイルBの著しい焦げを確認した。
- ・コイルBの可視範囲内でコイル線等の溶融痕は認められなかった。



2 コイル内部調査結果

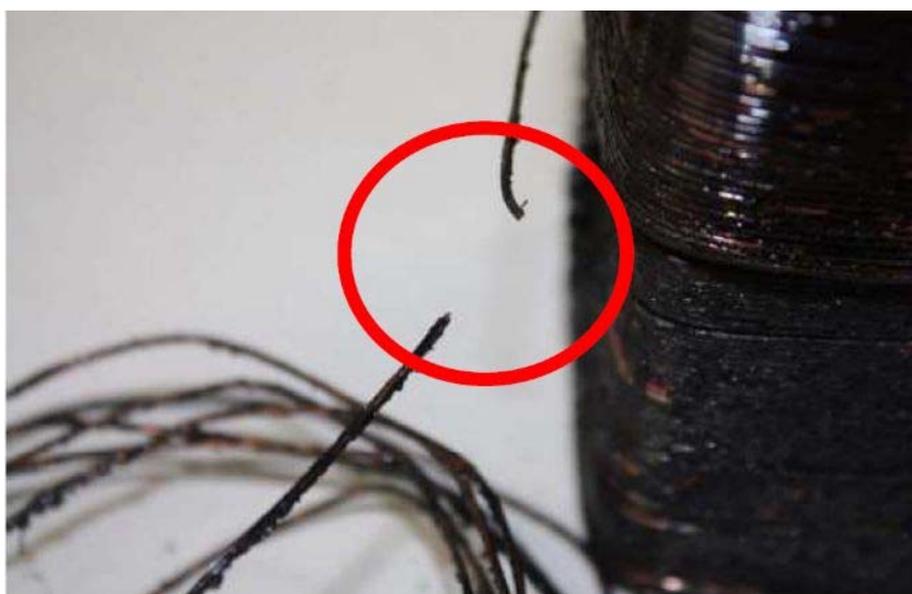
(1) コイルA



- ・ コイルの一部に絶縁材が過熱されたと思われる炭化が認められた。
- ・ 一次巻線の複数箇所でも溶断・溶着を確認した。
- ・ 二次巻線の一次巻線に近い箇所でも1箇所溶断を確認した。



一次巻線：複数箇所でも巻線の溶断・溶着



二次巻線：一次巻線に近い箇所でも1箇所溶断

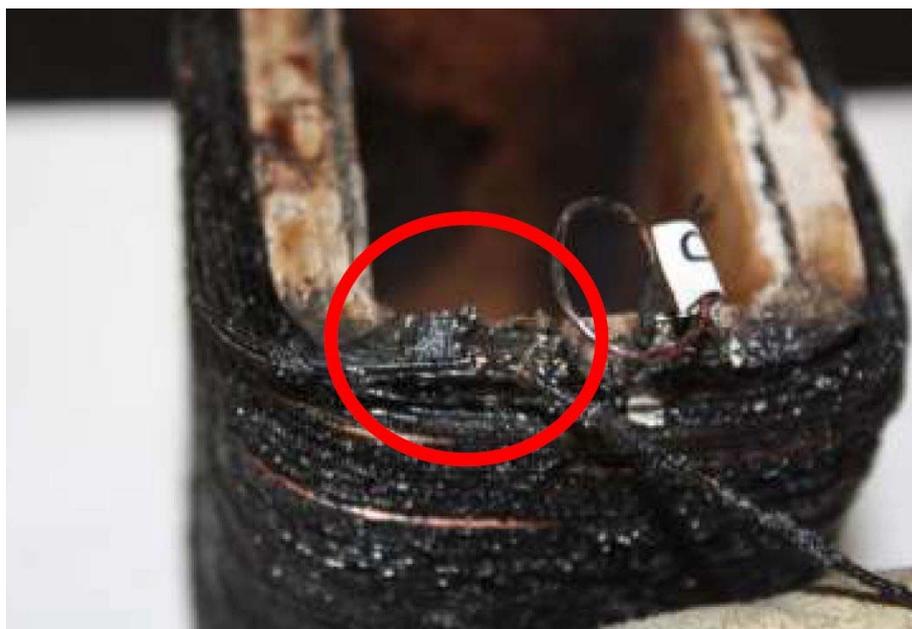
(2) コイルB



- ・ コイルの全体に絶縁材が過熱されたと思われる炭化が認められた。
- ・ 一次巻線の複数箇所で見線が溶断・溶着を確認した。
- ・ 二次巻線の複数箇所で見線が溶断・溶着を確認した。

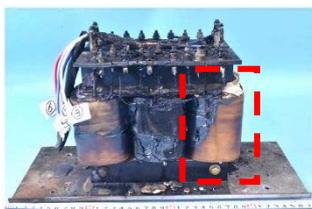


一次巻線：複数箇所で見線の溶断・溶着

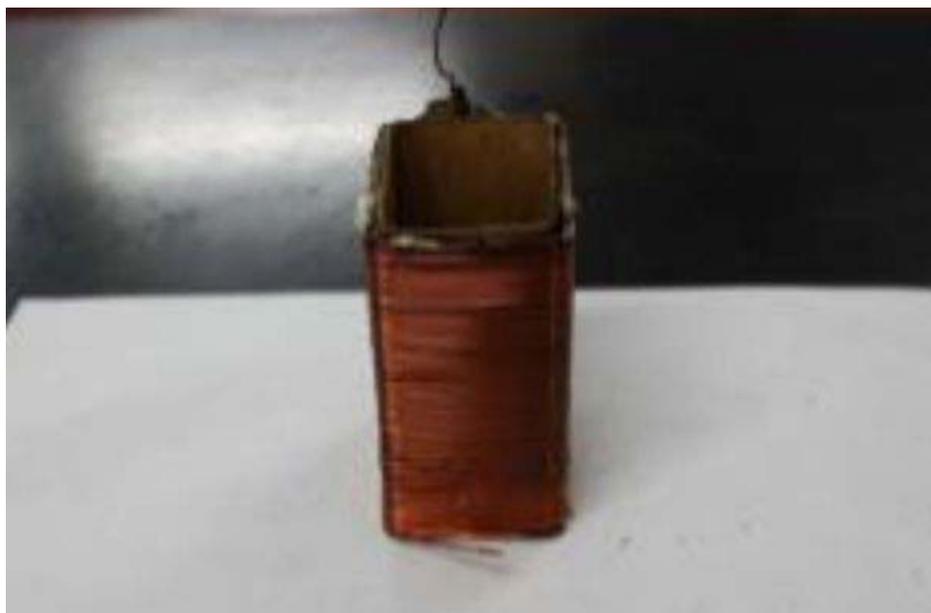


二次巻線：複数箇所で見線の溶断・溶着

(3) コイルC



- ・二次巻線の外側の絶縁材の一部に炭化が認められた。
- ・一次、二次巻線ともに溶断・溶着は確認されなかった。



一次巻線：溶断・溶着なし



二次巻線：溶断・溶着なし

2 A - 計算機室空調装置の点検状況

至近に実施した2020年12月の開放点検結果は以下のとおり。

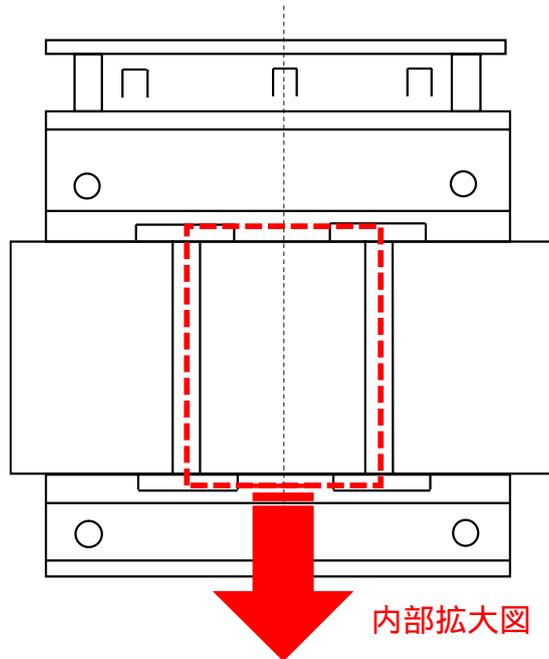
点検項目	点検箇所	点検方法	点検結果
各種機器	本体、パネル	外観点検	良
	コイル		良
	ドレンパン		良
	ダクト		良
	ファン・モーター		良
	プーリー部		良
	軸受け部		良
	Vベルト		良
	シャフト		良
冷媒配管	ガス漏	外観点検	良
	配管の接触		良
	配管の損傷		良
	配管接続部の締付状態		良
電気配線 (変圧器含む)	配線の接触	外観点検	良
	配線ルート、固縛状態		良
	電線被覆の摩耗・損傷		良
	電線接続部の取付状態		良
	絶縁状態	絶縁抵抗測定	良
運転状態の確認		外観点検	良

: 異音・異臭・漏えいの有無の確認

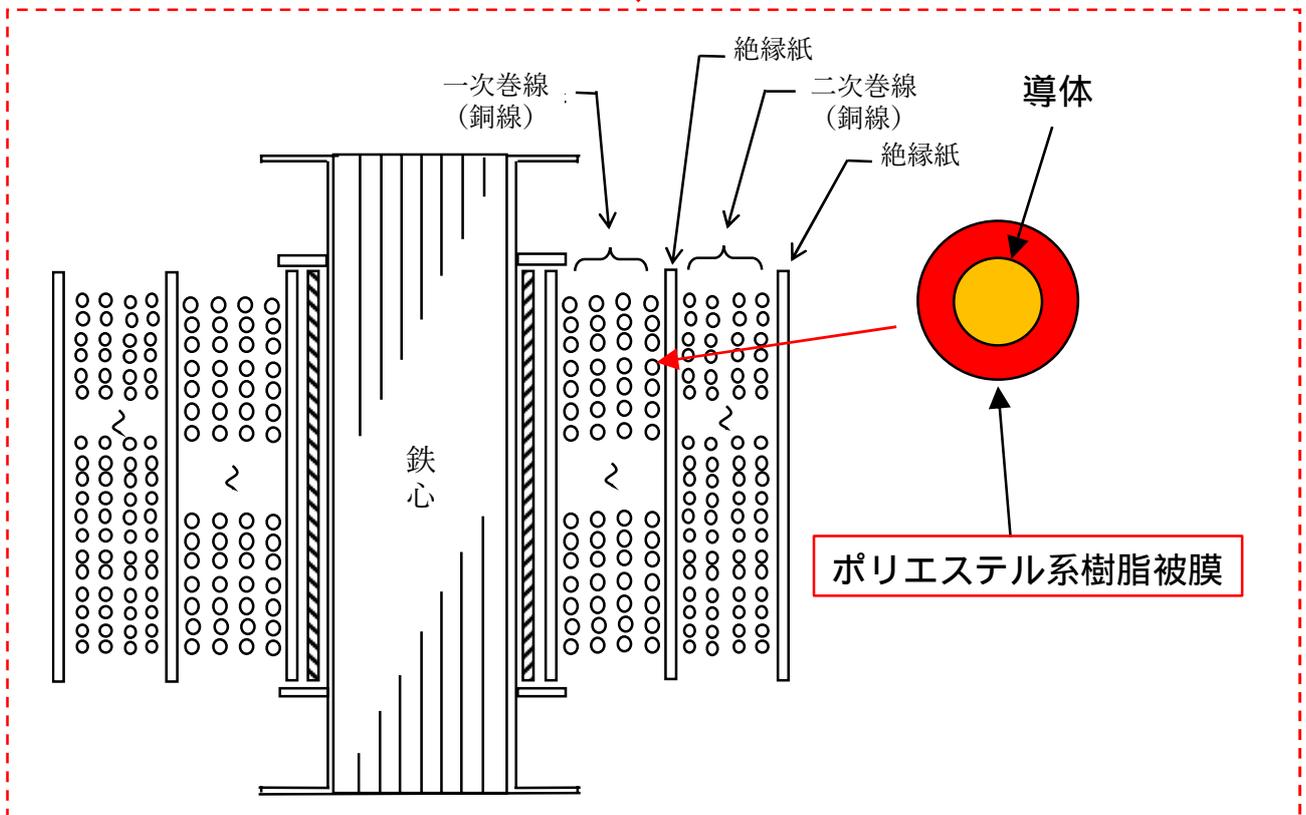
事象発生メカニズム

絶縁材の劣化

- ・ コイル巻線はポリエステル系樹脂で絶縁被膜をしているが、温度影響等により劣化。

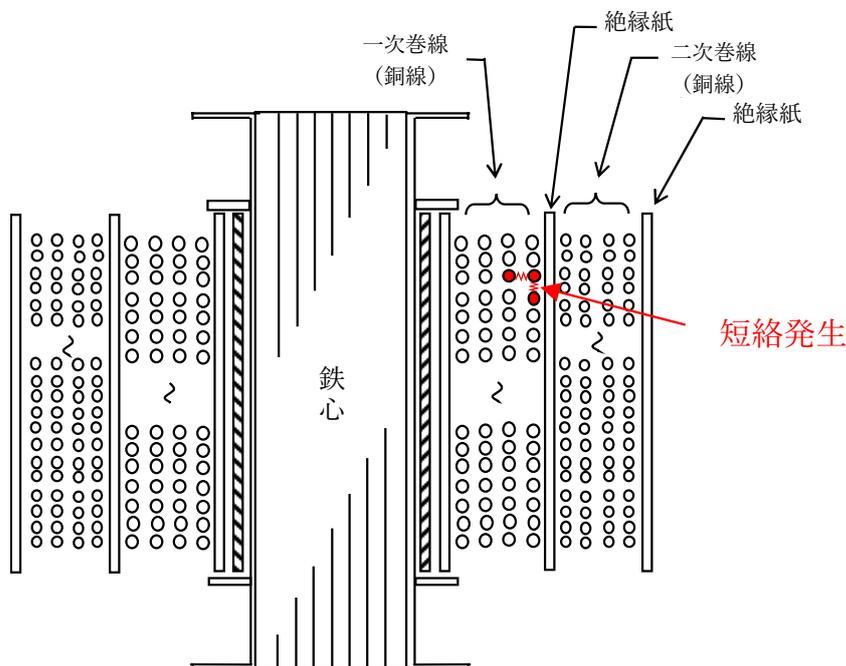


内部拡大図



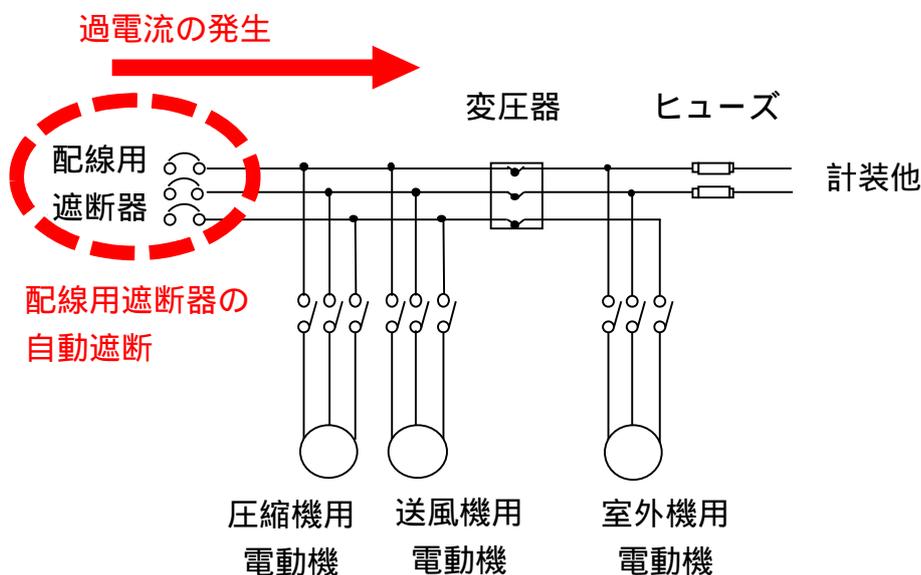
短絡の発生

- ・コイル巻線の絶縁被膜が劣化したことで絶縁性能が低下し、隣接する巻線間で短絡が発生。



過電流発生及び2 A - 計算機室空調装置の停止

- ・短絡により、変圧器に過電流が生じ、配線用遮断器が自動遮断して2 A - 計算機室空調装置が自動停止。

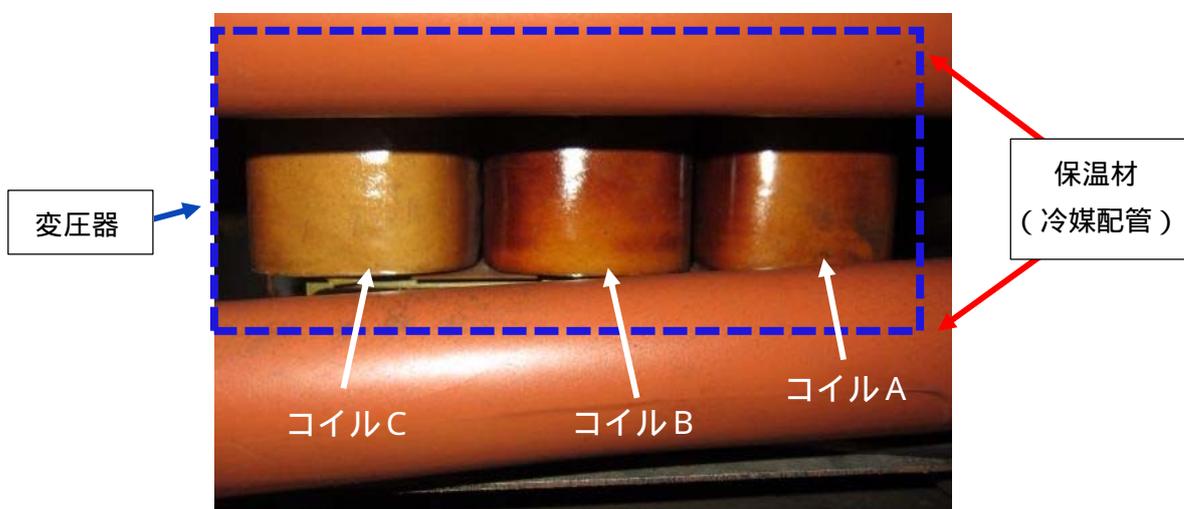


発煙及び火災警報の発信

- ・短絡による過電流により変圧器のコイル巻線が発熱し、周辺の冷媒配管の保温材(ウレタン)が熱影響により溶融して煙が発生し、火災警報(煙感知器)が発信。

同型空調装置内にある変圧器の調査結果

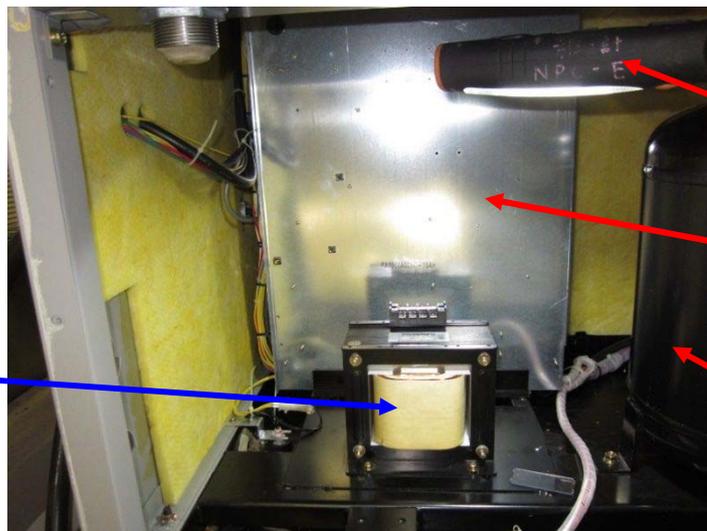
(1) 2 B - 計算機室空調装置



- ・外観点検の結果、コイルB > A > Cの順に絶縁紙が変色していることを確認した
- ・コイルA：冷媒配管、コイルB、盤の壁面のために配置しているため、コイルBの次に放熱し難い状況であった。
コイルB：冷媒配管、コイルA、コイルCのために配置しているため、最も放熱し難い状況であった。
- ・コイルC：コイルAに比べ、圧縮機側に広いスペースがあり、放熱し易い状況であった。
- ・絶縁抵抗測定を行った結果、異常が無いことを確認した。

類似型空調装置内にある変圧器の調査結果

(1) 2 C - 計算機室空調装置



撮影用仮設照明

計装他設置用
サポート板

アキュムレータ

変圧器

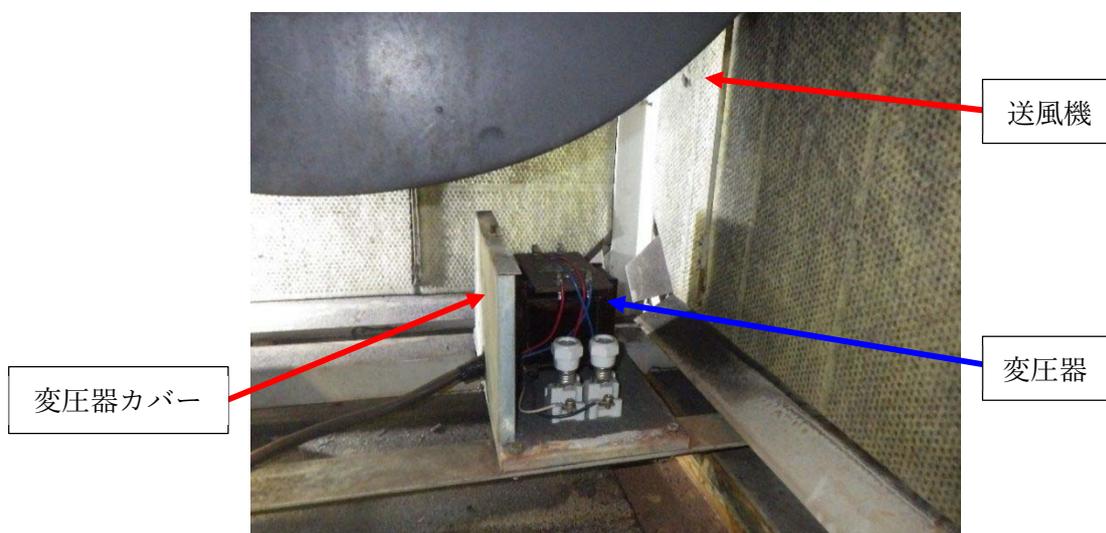
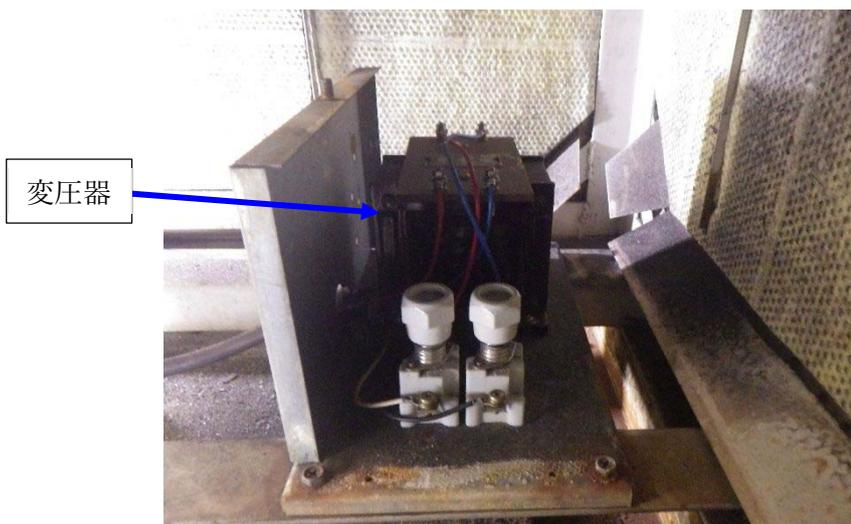


変圧器

アキュムレータ

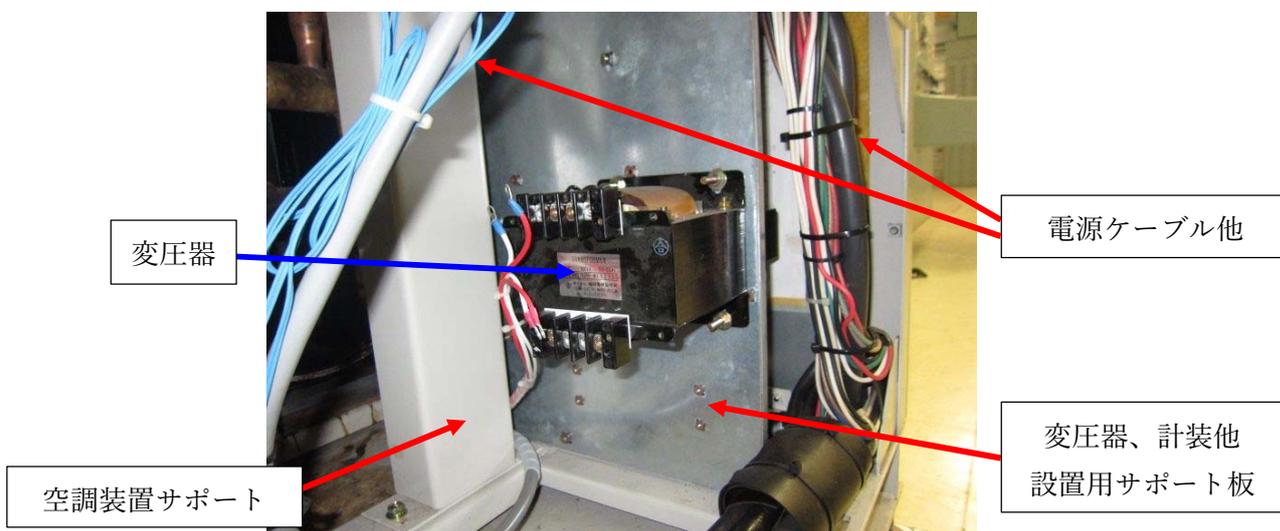
- ・ 熱源の近傍に変圧器を配置しない設計としており、十分に放熱できる環境である。
- ・ 外観点検の結果、汚損・損傷・変色等の異常は見られなかった。

(2) アスファルト固化装置給気冷却器



- ・ 熱源の近傍に変圧器を配置しない設計としており、十分に放熱できる環境である。
- ・ 外観点検の結果、汚損・損傷・変色等の異常は見られなかった。

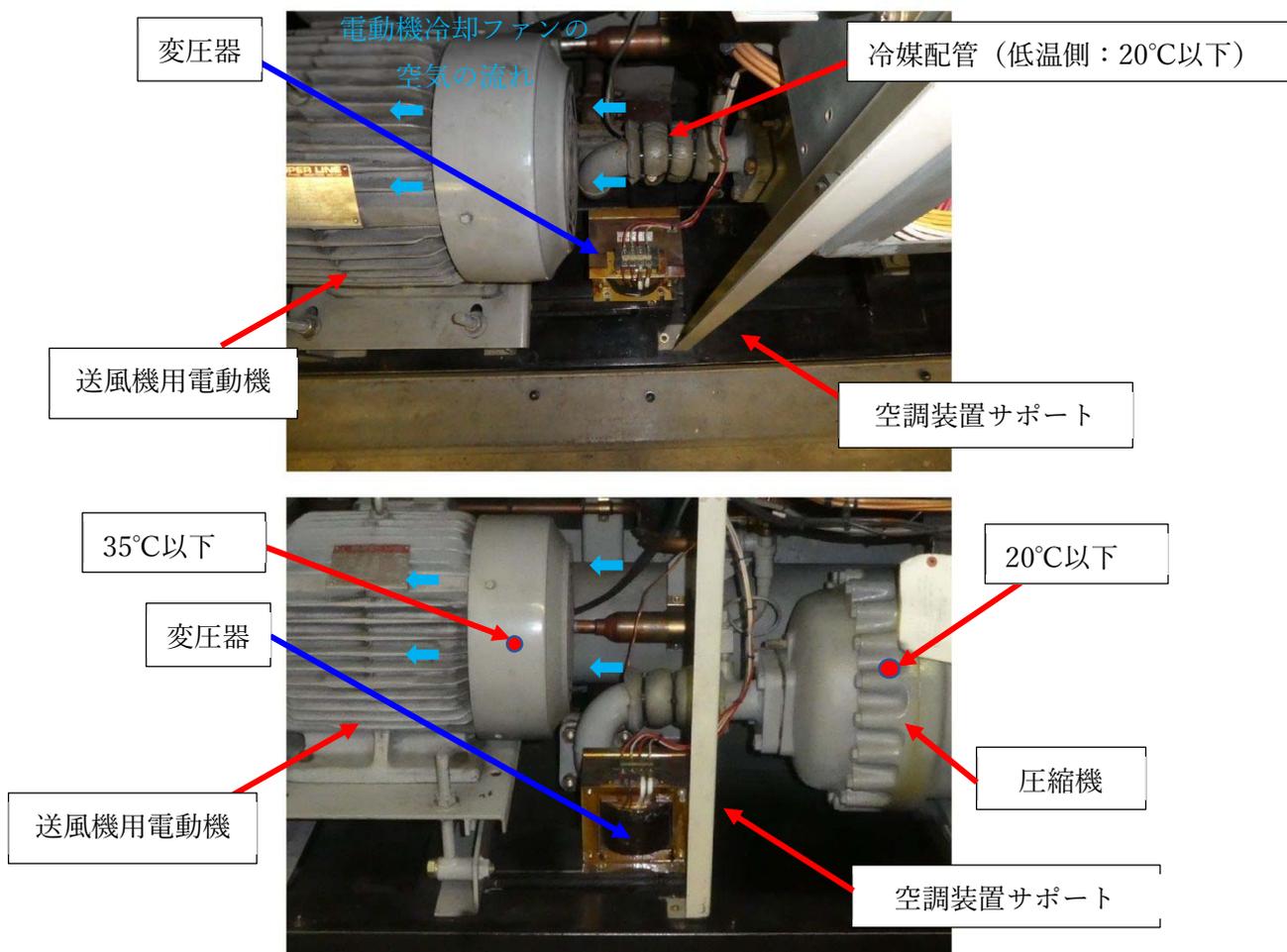
(3) キャスク保管建屋制御盤室空調装置



- ・ 熱源の近傍に変圧器を配置しない設計としており、十分に放熱できる環境である。
- ・ 外観点検の結果、汚損・損傷・変色等の異常は見られなかった。

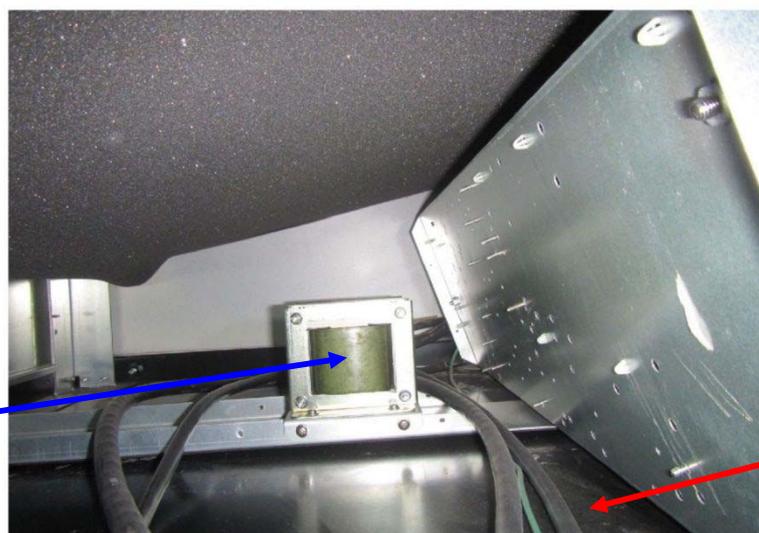
(4) 3 / 4号タービン電気室空調装置

(4号タービン電気室空調装置は、同型式のため、代表例として3号側の写真のみ添付)



- ・送風機用電動機の表面温度は 35 以下、圧縮機の表面温度は 20 以下であり、変圧器に影響を与える熱源ではない。
- ・熱源の近傍に変圧器を配置しない設計としており、十分に放熱できる環境である。
- ・外観点検の結果、汚損・損傷・変色等の異常は見られなかった。

(5) 4号雑固体溶融処理設備石綿取扱設備空調機



- ・ 熱源の近傍に変圧器を配置しない設計としており、十分に放熱できる環境である。
- ・ 外観点検の結果、汚損・損傷・変色等の異常は見られなかった。