

J-PARC RCS 冷却水設備冷却塔ファン不具合ベアリングユニットの振動解析

VIBRATION ANALYSIS OF WATER COOLING TOWERS' DEFECTIVE FAN BEARING UNITS AT J-PARC RCS

藤来洗裕[#], 菅沼和明, 山崎良雄
Kosuke Fujirai[#], Kazuaki Suganuma, Yoshio Yamazaki
J-PARC center, Japan Atomic Energy Agency
2-4, Shirakata, Tokai, Ibaraki, 319-1195

Abstract

The J-PARC (Japan Proton Accelerator Research Complex) 3-GeV RCS (Rapid Cycling Synchrotron) has many devices such as Radio-Frequency components, electromagnets and power supplies. These devices use 17MW of electricity during operation, most of which is consumed as thermal energy. Therefore, cooling water equipment is indispensable for the operation of the accelerator and its stability affects the operation rate of the accelerator. Due to recent operation experience, the bearing unit of the cooling tower fan, which is also an important part of the cooling water equipment, broke down. This accident leads to the suspension of the J-PARC operation. In order to investigate the cause of the failure, we tried to measure vibration for the defective bearing and the bearing unit were cut and observed damaged surface. As a result of the vibration measurement, it was found that vibration frequency depends on the presence or absence of scratches on the bearing. We found surface of the outer ring had scratches called flaking. In this report we investigated the relation between the measured vibration values and the flaking on the bearing.

1. はじめに

J-PARC 3GeV シンクロトロン加速器(RCS)は、RF 装置、電磁石および電源などの装置が数多くある。これらの装置は運転時に 17MW の電力を使い[1]、そのうち多くは熱エネルギーとなっている。よって加速器の運転には、冷却水設備が必要不可欠であり、その安定性は、加速器の稼働率を左右する。最近、冷却水設備の重要な部品である冷却塔ファンのベアリングユニットが故障した。今回の事象は、J-PARC 全体の運転停止につながる。今回故障の原因を調べるために、ベアリングユニットの振動測定及びベアリングを切断し観察した。振動測定の結果、ベアリングの傷の有無で振動周波数に違いがあることが分かった。またベアリングを分解した際、外輪に傷がついていた。この傷はフレーキング痕という傷であることが分かった。本発表では、測定した振動データの値とベアリングについてのフレーキング痕についての関連性を報告する。

に触れることで気化熱を奪い冷却を行っている。Figure 2 に冷却塔簡易図を示す。一次系の熱源に供給する水温が 27°C になるよう冷却塔ファンを制御しているが、気温、湿度が高くなると、冷却効率が悪くなり、設定の供給温度まで下げられない可能性もある。このように、冷却効率が悪い状態でファンが故障してしまうと、要求されている温度まで冷却することが出来ない。

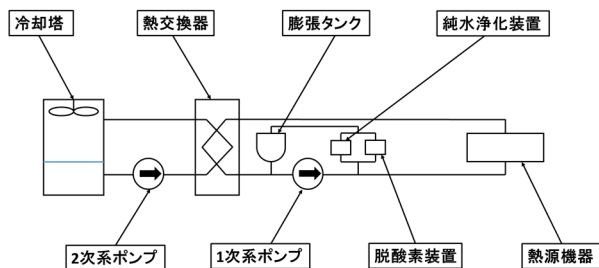


Figure 1: Diagram of RCS water cooling system.

2. 冷却水設備について

2.1 冷却水設備の概要

3GeV シンクロトロン冷却水設備は、主に加速器トンネル内に設置された電磁石の除熱を行う RI1 系、MA コアを収納した RF 空洞の除熱を行う RI2 系、電磁石電源の除熱を行う非 RI 系の 3 系統で構成されている。Figure 1 に冷却水設備の概略系統図を示す。Table 1 に 3GeV シンクロトロン冷却水設備の主な仕様を一覧で示す。Figure 1 に示す RCS 冷却水設備の冷却方法は、冷却塔を主とした気化熱を利用した開放型空冷方式である。冷却塔では、水を冷却塔上部から側面のルーバを伝って下部の水槽に流れる際、ファンによって作り出される風(空気)

Table 1: List of Water Cooling System at RCS

設備名称	主な熱源機器	一次系			二次系	
		流量 (m3/h)	設定温度 (°C)	戻り温度 (°C)	流量 (m3/h)	冷却塔
RI 1	電磁石	1010	27	34	1720	14
RI 2	RF 空洞	250	27	31	340	4
非 RI	電源	490	27	31	455	5

[#] fujirai.kosuke@jaea.go.jp

2.2 冷却塔ファンベアリングユニットの故障

RCS 冷却水設備では予防保全を中心に行っているが、2015 年 4 月に冷却塔ファンのベアリングユニットから異音が発生した。異音はおおよそ 100m離れたところからも聞こえる大きさで、異音がするファンを運転するのは危険と判断したため夏季メンテナンス期間までの約 2 か月間そのファンを停止にした。要因はベアリングの故障だと判断した。ベアリングユニットは日本ピロブロック製のものでユニット内にあるベアリングはファン側に型式 UCF209、プーリー側に型式 UCF210 を使用している。Figure 3 にベアリングユニットを示す。

今回の故障で加速器の運転を停止させることはなかったが、気温などの条件が悪ければ運転を止めてしまう可能性があった。冷却水設備の安定運転のために、異音が発生したベアリングユニットの故障原因を調べる必要がある。今回、調べる手段としてベアリングユニットをオフラインで振動測定を行い、また分解してベアリングの損傷状態を観察することにした。

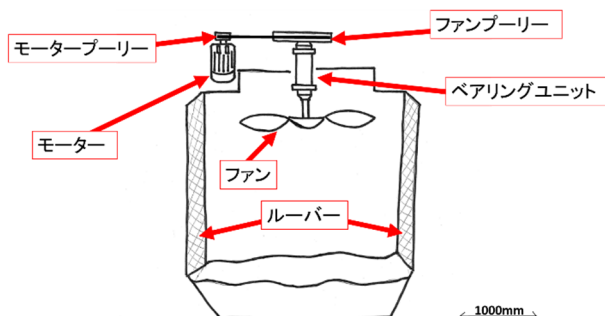


Figure 2: Cooling tower.

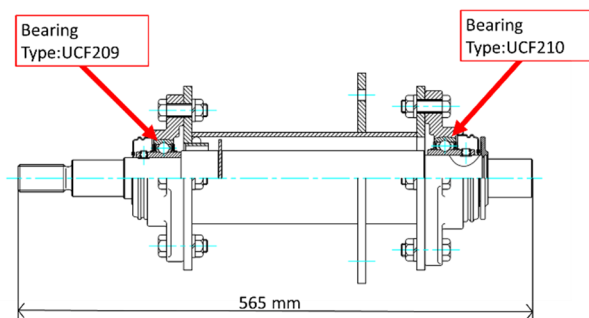


Figure 3: Bearing unit.

3. 振動測定とベアリング分解

3.1 振動測定

ベアリングユニットの振動測定は測定専用架台を製作し冷却水設備から取り外してオフラインで測定を行った。Figure 4 にベアリングユニット振動測定用装置を示す。架台に 3 相 200V のモーターと NBK 製型番 11-A-2 のプーリー、型番 A-69 の V ベルトを使用してベアリングユニットに動力を伝達できる構造になっている。モーター

は、架台とは別に操作盤があり、その操作盤でモーターの起動、停止、回転数を調整できる。測定時の回転数は実機の回転数と合わせるためにモーターの回転数を 290 回転に調整して測定した。選定した、測定器は、RION 社製、振動分析計、型名 VA-12 である。測定器のセンサーは、圧電式加速度ピックアップ、型式 PV-57I を使用し、ピックアップ用ケーブル VP-51KI で VA-12 に接続した。センサーの先はタップ加工が施されておりマグネットアタッチメントが取り付けられる。

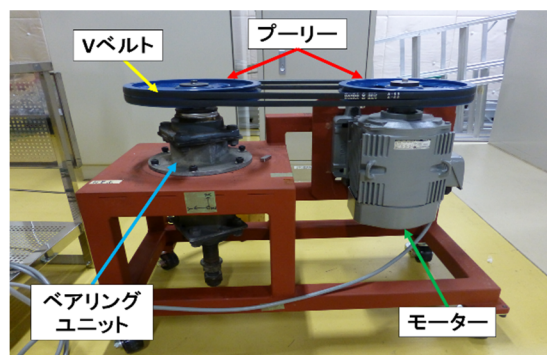


Figure 4: Vibration measurement stand.

振動測定は、昨年度の夏に異音が生じたベアリングユニット及び新品のベアリングユニットを用いて行った。センサーはベアリングユニットのプーリー側のベアリングに近い部分に取り付けた。測定方法としては、加速度、速度、変位、加速度の PEAK (ピーク値) が測れる振動計モードおよび周波数成分を測定できる FFT モードの 2 つの方法で実施した。以下に PEAK の補正をする。PEAK とは測定時の片側振幅の最大値を表し Table 2 に振動モードでの測定値を示す。FFT モードは加速度で測定した。加速度にした理由は、ベアリングの玉は高周波焼入鋼を材料にしており、機器の他の部品の中で最も硬く、高速で回転しているため、ベアリングに異常がある場合は衝撃振動となり加速度として現れるため、加速度で測定した[2]。FFT モードでの測定は、最高周波数帯域 20kHz まで測れるが、測定では 5kHz 以上に目立った波形が見受けられなかったため 0~5kHz までに設定した。

Table 2: Vibration of Bearing Unit

	異音ありベアリング	新品
加速度 (m/s ²)	2.86	0.91
速度 (mm/s)	1.54	0.54
変位 (mm)	0.012	0.016
PEAK (m/s ²)	23.96	4.98

3.2 ベアリング分解

測定後異音が生じたベアリングユニットを分解して中の軸受を取出し切断した。Figure 5 に切断前のベアリングを示す。Figure 6 に切断後の外輪を示す。切断したプーリー側のベアリングを見ると、外輪部に傷があった。ベアリングについての傷跡は転動面にうろこ状についていること

から、フレーキング痕であることが分かった[3]。フレーキングは転動による疲れ現象に異常な荷重が加わる時につく傷である。傷がついた原因は、ファン起動時に過大な荷重がかかる事で転動面に傷がつき、高速で回転するなかで傷が広がったと考えられる。



Figure 5: Bearing before cutting.



Figure 6: Scratches on bearing.

4. 測定グラフとベアリングの傷の関連の考察

振動モードで測定した値 Table 2 を見てみると、加速度、速度の値が 3 倍近く違うことや、ベアリングの切断で外輪にフレーキング痕と思われる傷がついていたことから、傷のあるベアリングと新品のものでは FFT 解析のデータに違いがあると思えばグラフにして重ねてみることにした。グラフを重ねたところ、全体的に傷ありのベアリングユニットの波形が高い。両ベアリングユニットの波形はほぼ同じ位置で波形が立っているが、3kHz~3.5kHz 箇所の波形に関しては新品に見受けられない位置に波形が立っている。新品はやや低周波側にずれた位置に波形が立っている。この違いはベアリングについての傷の有無によるものと推測した。また、傷があるベアリングはないものと比べて高周波にシフトするように波形が出るように見受けられる。Figure 7 にグラフを示す。

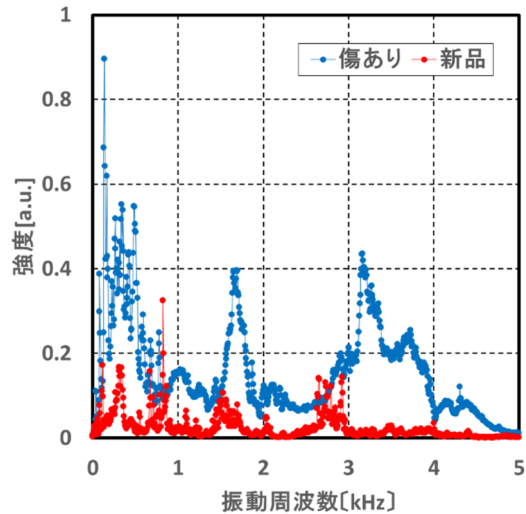


Figure 7: FFT vibration measurement.

5. まとめ

異音が生じたベアリングユニットと新品のベアリングユニットを使用し、専用の測定架台を用いて振動測定を行った。振動測定後に、異音が生じたベアリングユニットからベアリングを取り外しワイヤーカッターで切断し観察した。観察したベアリングには傷があり、ベアリングに傷があるものと新品のベアリングユニットでは振動測定で得られた値に違いがあるか調べた。結果 3kHz 以上の高い周波数で波形に違いがあることが分かった。また、ベアリングについての傷について調べたところ、ベアリングについての傷はフレーキング痕であることが分かった。今後、さらに多くのベアリングユニットの振動測定を行いベアリングの欠陥と振動の関係を明らかにしていく。さらに故障予知の診断方法として確立し冷却水設備の安定運転に繋げたい。

謝辞

本ベアリングユニット振動解析にあたっては長尾産業株式会社 阿部裕至様、滑川知康様に多大なるご協力を頂きました。

参考文献

- [1] Y.Yamazaki. "Accelerator technical design report for J-PARC", KEK-report 2002-13(2002).
- [2] <http://www.meisei-er.co.jp/jikuuke/jikuuke2.html>
- [3] <http://www.nsk.com/jp/tech-support/manual/doctor/>