

電磁石ホローコンダクタ洗浄の検討

EXAMINATION OF MAGNET HOLLOW CONDUCTOR CLEANING

植田猛[#], 小玉恒太

Takeshi Ueda[#], Kota Kodama

High Energy Accelerator Research Organization (KEK)

Abstract

About 90 bending magnets are installed in the beam transport line (BT) between the SuperKEKB electron-positron collider and the injection accelerator (Linac) at KEK Tsukuba campus. These magnets were used in the KEKB era, the copper oxide clogging is occurring in the hollow conductors and there are several troubles by decreasing in flow rate. As a countermeasure, we have investigated the use of a cavitation generator to clean the hollow conductors and cooling water pipes. In this presentation, we will report the details of the studies and the trouble that occurred during the study

1. はじめに

KEK つくばキャンパスにある SuperKEKB 電子陽電子衝突型加速器と入射用加速器(Linac)の間にある Beam Transport line(BT)には約 90 台の偏向電磁石が設置されている。これらの電磁石は KEKB 時代の物が流用され 20 年以上使用している。長年使用したことによりホローコンダクタ内に酸化銅による詰まりが発生し、流量低下によるトラブルが起きている。また、酸化銅がゴムホースに付着することにより絶縁抵抗値の低下がみられていた。ブラシによるゴムホース清掃を行うことで対策が取られていたが、ホローコンダクタ先端までしかブラシが届かず冷却水配管全体の清掃は行えていなかった。この対策としてキャビテーション発生装置によるホローコンダクタ内及び冷却水配管の洗浄を行えないか検討した。本発表では検討内容と検討中に起きたトラブルについて報告する。

2. 冷却水配管

偏向電磁石の冷却水配管は施設側母管から金属フレキで分岐され電磁石 1 台に対し 1 系統でストップバルブ、流量調整バルブのある実管部を介し再び金属フレキに接続しヘッダーで 8 系統に分岐させゴムホースから各ホローコンダクタにつながっている。BT で使用されている主な偏向電磁石のホローコンダクタの外形は 9 mm*9 mm、内径 ϕ 6 mm であり、ゴムホースの内径は ϕ 6.3 mm である。このゴムホースからファイバースコープで配管内の汚れを確認した。確認した汚れが Fig. 1(a)である。この汚れは酸化銅の付着物であり、ホローコンダクタ起因と思われる。この酸化銅は芯線約 2 mm、ブラシ部 ϕ 8 mm 全長 800 mm のブラシで擦れば落とすことができる。ブラシで洗浄後のホローコンダクタ内の画像が Fig. 1(b)である。ただし、ブラシの長さには限界があり、またホローコンダクタは磁極付近では曲げられており、曲げられた先はブラシでの清掃は行えない。またファイバースコープでの確認も行えない。酸化銅の付着はブラシの届かない範囲でも発生していると思われるブラシ以外での洗浄を検討する必要がある。

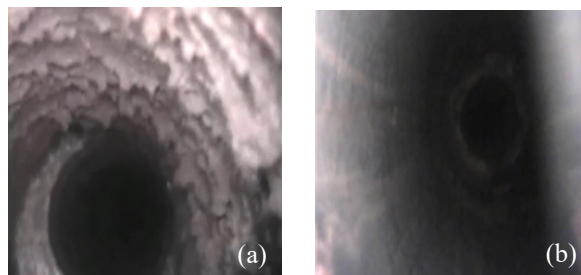


Figure 1: Cleaning of hollow conductor (a) before (b) after.

3. 洗浄機

ホローコンダクタ内洗浄をキャビテーション洗浄機 (NR0050 ブルーエンジニアリング製)で行えないか検討することにした。この洗浄機は本来プラスチック形成などの金型を洗浄するもので、冷却水配管の入口、出口側に接続し閉回路として水とエアーを混ぜながら送りキャビテーションを起こし洗浄する。薬品や異物を使用することなく、普段から配管内に存在する水(純水)とエアーだけで洗浄できるので電磁石への悪影響は少ないと考えた。洗浄機を電磁石ヘッダーに接続し、ゴムホースからホローコンダクタ全てを洗浄することにした。洗浄機のスペックを Table 1 に、系統図を Fig. 2 に示す。洗浄機はフローチェンジャーで洗浄水の方向を正転逆転でき、圧力調整弁で圧力を 0.2~0.8 MPa に調整できる。またエアー混入の有無、水圧シリンダーもあり脈動を起こすこともできる。エアーのみを送ることもでき電磁石の水抜きが簡単にできる。電源は 3 ϕ 3 W 200 V で 15 A となっている。また、0.8 MPa 以上のエアー源も別途必要である。外形寸法は幅 520 mm、奥行き 830 mm、高さ 1120 mm でキャスターも付いており BT トンネル内の通路を押して通れるサイズである。

[#] uedata@post.kek.jp

Table 1: Specification of the NR0050

Model	NR0050
Diameter	15 A
Route	4
Liquid to use	Water (Pure water)
Fluid temperature	Max 65 °C
Pressure	0.2~0.8 MPa
Flow rate	50 L/min
Filter	5 μ m
Tank	70 L
Power supply	3 ϕ 3 W 200 V
Current	15 A
Air source	0.8 MPa
Size	W520 mm×D830 mm×H1120 mm
Weight	150 kg

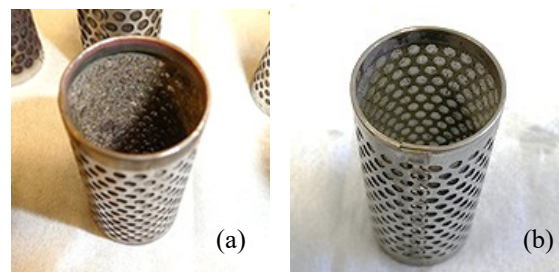


Figure 3: Cleaning the mesh (a) before (b) after.

4.3 予備電磁石での試験

次に現在使用しておらず今後も使用予定のない電磁石(QC2RP 1998 年製)で試験を行った。ファイバースコープで配管内を確認したところ汚れはあまり付着しておらず、残念ながら洗浄効果の確認は行えないが、耐圧など問題なく使用できるか確認することとした。試験を行うにあたり、まずは QC2RP の冷却水配管に漏れがないことを確認した。確認方法としてエアを 0.5 MPa 加圧し、見える範囲はスヌープにて、見えない箇所は漏れ量がスヌープの検知限界である $1\text{E-}3 \text{ Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$ 以下であるか確認した。最初の確認ではゴムホースとホローコンダクタ接続部で漏れが見られガスケットの交換やジョイント部の締め直しを行った。締め直しなどにより $2.85\text{E-}4 \text{ Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$ となり洗浄前に漏れがないことが確認できた。次に洗浄機での試験を行った。洗浄機と電磁石間は金属フレキを使用し、洗浄条件を水圧 0.4 MPa、通水方向の正流逆流、脈動、エア混入とし、洗浄後、洗浄前と同条件で漏れがないか確認し、 $8.09\text{E-}04 \text{ Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$ と洗浄前より悪化したが $1\text{E-}3 \text{ Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$ 以下のため問題ないと判断した。洗浄試験を行っている際に、洗浄機による振動がうまく伝わっていないように見えた。洗浄機と電磁石間の金属フレキが大きく揺れ、ホローコンダクタに触れても水が流れている脈が感じられなかった。金属フレキで振動が吸収されているのではないかと、配管を変えながら振動測定を行うこととした。比較した配管は金属フレキ 15 A(内径 13.2 mm)、銅管 ϕ 12 mm(内径 10 mm)、シンプレックス ϕ 12 mm(内径 9 mm)である。シンプレックスは振動をより抑えられないか手で押さえての測定も行った。振動測定はホローコンダクタに通っている電磁石コア上部に加速度センサ(MG-102S)をビーム軸方向、ビーム軸に直交、重力方向に設置し低振動計(OP-06)を使用し測定した。洗浄機の条件は圧力を 0.4 MPa、正流逆流あり、エア注入あり、脈動ありにし 3 分間測定した。Figure 4 がビーム方向、Fig. 5 がビームに直交、そして Fig. 6 が重力方向の測定結果である。10 Hz 以下は潮の満ちひきなど自然要因の振動であり、10 Hz 以上が機械的な振動である。銅配管、シンプレックスで振動がよく伝わっていることが分かる。シンプレックスの配管で洗浄中にホローコンダクタに触れてみたが、脈動を感じられた。銅配管の方が、若干振動が伝わりやすいがトンネル内で配管をすることを考え、シンプレックスでの配管が最適と判断した。

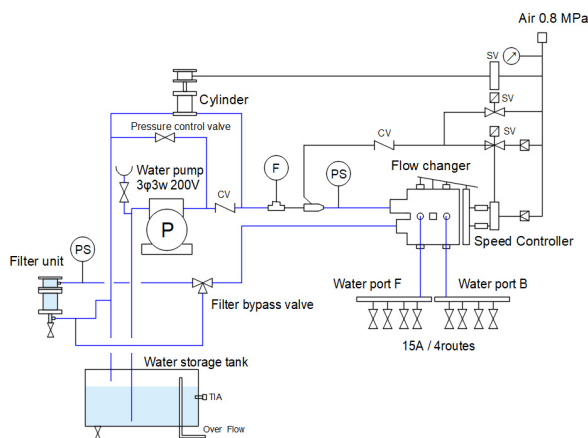


Figure 2: System diagram of the NR0050.

4. 洗浄試験

4.1 ゴムホース単体で洗浄試験

実機で試験を行い壊した場合、損害が大きいののでまずはゴムホース単体で行うこととした。ホースは運転中使用しているBT偏向電磁石のホースを運転停止期間中に外し 1 時間程度洗浄した。結果、ブラシでの洗浄後と比較したが、ブラシでの洗浄程汚れが取れることは無かった。また、圧力を 0.4 MPa まで加えたが漏れなど異常はなかった。

4.2 ストレーナメッシュ洗浄

BT ラインの電磁石では毎年メンテナンス期間にストレーナメッシュの洗浄を手作業で行っている。このストレーナメッシュを洗浄機で複数個同時に洗浄できないかを確認した。塩ビ管に 8 個入れ 10 分程度洗浄した。洗浄前のメッシュが Fig. 3(a)洗浄後が Fig. 3 (b)である。洗浄効果があることが分かる。ただし両端のメッシュは汚れが溜まっていた。

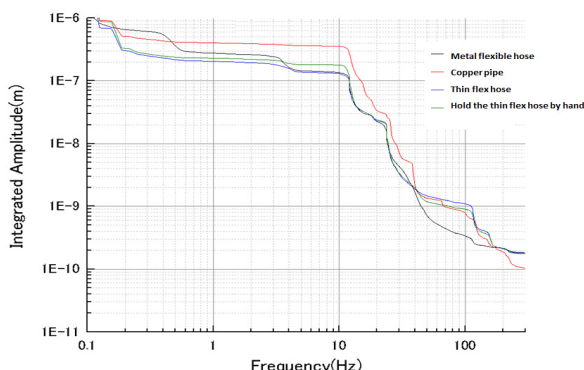


Figure 4: Vibration measurement in the beam direction.

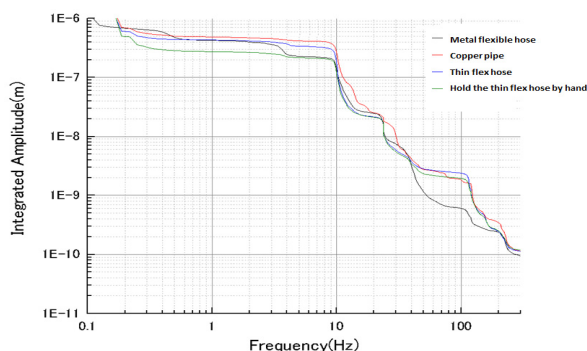


Figure 5: Vibration measurement in the orthogonal direction to the beam.

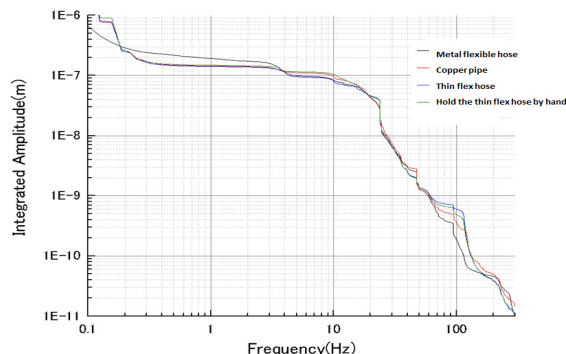


Figure 6: Vibration measurement in the direction of gravity.

4.4 トラブル

振動試験後、何度か洗浄試験を行い、その後漏れ試験を行ったときホローコンダクタとホースのジョイント部が破損した。エアで 0.5 MPa かけていた時である。ホローコンダクタとホースのジョイント部はホローコンダクタに銅管がロウ付けされており、スウェジロックで噛ましている。この噛んでいるところで銅管が切れていた。切断した原因として考えられるのはファイバースコープでの確認作業でスウェジロックを外したり閉めたりしたことで力が加わり

強度が弱くなっていたためだと思われる。実際に切断した箇所については締め直しなどを行っていないが反対側(ホース側)の締め直しは行っていた。そのため力が加わったと思われる。洗浄機の運転によるダメージはなかったと考えている。銅管は短くなり、そのままではスウェジロックを使用することはできなかったが、フローバル社製のリングジョイントを使うことで延長でき配管を修理できた。その後、エアでの漏れ確認、洗浄試験を行い問題なく使用できる状態となった。ただし、このトラブルで作業の確実性が問われ次に予定していた実際に運転に使用されている電磁石での洗浄試験は中止となった。

5. まとめ

電磁石のホローコンダクタ洗浄にキャビテーション洗浄機が使用できないか検討した。電磁石での明確な洗浄効果は確認できなかったが、ストレーナメッシュ洗浄で効果があることが確認できた。エアでの漏れ確認で配管を損傷したが洗浄試験での損傷はなく洗浄機は使用できることが確認できた。また洗浄機、電磁石間の配管はシンプレックスが適していることが分かった。今後の予定として、手軽に洗浄できるものから洗浄していく。具体的には BT で使用している調整バルブを洗浄予定である。実績をつくり、最終的にはトンネル内にある BT の Bend 電磁石のホローコンダクタ洗浄に使用したいと考えている。

謝辞

本発表の洗浄試験にあたり、ブルーエンジニアリング株式会社 北川 将氏、KEK 加速器第三、四研究系真空グループ、電磁石グループの方にご協力頂きました。深く感謝申し上げます。