

流量計の交換作業

○湯浅貴裕^{#A)}、藤森寛^{A)}、目黒学^{B)}、薄葉勇人^{B)}、川端公貴^{B)}

^{A)}高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所

^{B)}株式会社 NAT

概要

J-PARC 物質・生命科学実験施設 (MLF) の崩壊ミュオンビーム輸送系で使用されている四極電磁石 (DQ11) およびキッカー電源の冷却水系統に設置されている流量計の故障により、正しい流量が表示されないという事象が発生した。当該流量計が接続されている冷却水系統は、本来ならば流量計の前後にバルブを設けるところ、コストダウンのため流量計上流側のバルブが省略されており、交換が困難な構成となっている。そのような状態で水抜きから水張りまで一連の交換作業を行うためには、如何に排水箇所を局所化し、取り込まれた空気を効率よく取り除くか、手順の工夫が必要であった。

1. MLF ミュオンで主に使用している流量計

MLF ミュオンでは以下のように3種類の流量計を使用している。

(1) 面積式流量計 (図1)

面積式流量計は図2右のようにテーパー管内にフロートが流量によって押し上げられ、フロートの重さとフロートを押し上げる力が釣り合う位置が流量を示すという機構である。実際には図2左のようにテーパー管外にバネとインジケーター (磁石) があり、フロートの動きに追従することで流量を知ることができる。

面積式流量計のメリットとしては構造が簡単で電源が不要であり、電子回路が含まれないため比較的耐放射線性に優れていることがあげられるが、デメリットとしては精度が高くないということや垂直取付け部 (長尺スペース) が必要ということがあげられる。

MLF ミュオンでは主に電磁石や電源の冷却水系統で使用されている。



図1. 面積式流量計

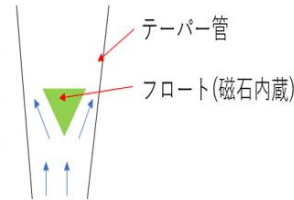
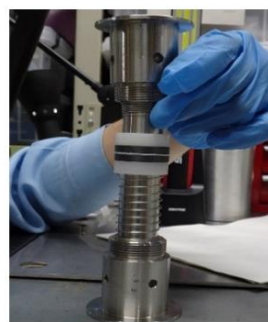


図2. 面積式流量計の流量表示機構

(2) カルマン式流量計 (図3)

カルマン式流量計は図4のように渦発生体と渦検出素子で構成されている。流量と渦の発生周波数は比例関係にあるので、渦発生体の下流で発生した渦の個数を計測して流量を測定している。

カルマン式流量計のメリットとしては、機械的移動部が少ないことやレンジアビリティが大きく精度が良いことがあげられるが、デメリットとしては配管の振動に弱いことや異物に弱いこと、電子部品を含むので放射線の当たる場所で使用すると故障の原因となることがあげられる。

MLF ミュオンではキッカー電源の流量計と使用されている。



図2. カルマン式流量計

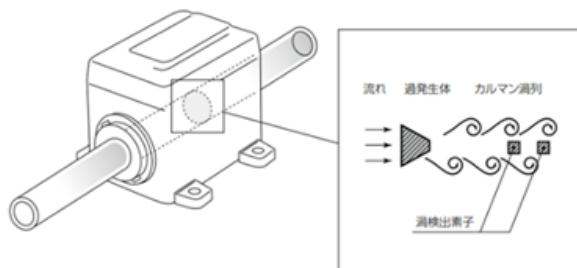


図4. カルマン式流量計での測定機構

(3) 超音波式流量計 (図5)

超音波式流量計(クランプオン式流量計)は図6のように配管を斜めに横切るようにセンサーを配置して、交互に超音波を送受信することで伝搬時間の差から流量を測定している。

超音波式流量計のメリットとしては配管の上から装着するので交換が容易なことや圧力損失が無いことがあげられるが、デメリットとしては内径の5倍の長さの直管部が必要であることや気泡に弱いこと、放射線環境下での使用は想定されていないことがあげられる。

MLF ミュオンでは2022年に発生したヘルムホルツコイルでの漏水事象[1]への対策として超音波式流量計を採用している。



図5. 超音波式流量計

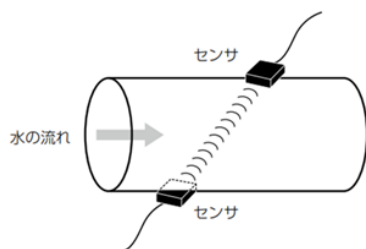


図3. 超音波式流量計の測定機構

2. DQ11 流量計の不具合と交換、不具合原因の推定

2022年の夏季メンテナンス期間にトリプレット電磁石(DQ10-11-12)とその電源の更新を実施した。更新後の実負荷調整時に負荷インターロック試験(電磁石流量異常)を行ったが、当該冷却水系統のバルブを閉じて表示上の流量が変化しないという事象が発生した。

流量計の交換を行うにあたり、DQ11の冷却水系統およびマニホールドの水抜きを行う必要があったため、図7で示すように①供給側マニホールドの水抜き、②戻り側側マニホールドの水抜き、③圧空を供給側マニホールドから入れてDQ11の系統の水抜きという3ステップに分けて水抜き作業を行い、流量計の交換を実施した。交換後のエア抜きは、DQ11の冷却水系統のみ開けた状態で少しずつ水を流しながら、戻り側のマニホールドにあるエア抜きポートを開けることで、マニホールド内を水で満たしながらエアを抜くことができた。エア抜き後にマニホールドのバルブを閉じて圧力(1MPa)をかけた状態で1時間保持して水漏れが無いことを確認した後、負荷インターロック試験を実施して、DQ11に流れる冷却水流量が閾値を下回ると電源が停止することを確認した。

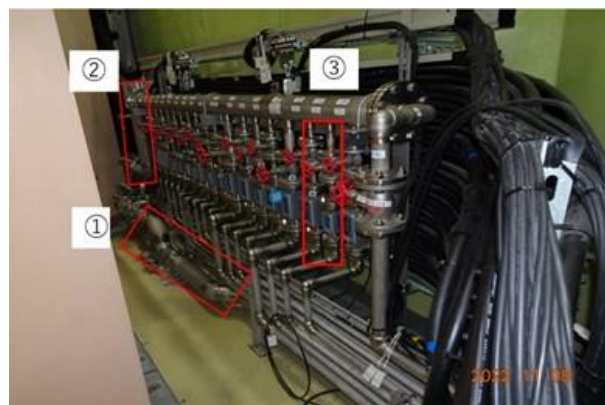


図7. 水抜きの流れ

外した面積式流量計については故障原因を調べるために分解を行ったが、錆びや汚損は見られなかった。メーカーに問い合わせたところ、フロートとテーパ管のクリアランスに異物が入ることで、本来は水を止めればフロートは流量0 L/minの位置になるが、異物がフロートの降下を妨げていたのではないかと回答が得られた。流量計不具合の原因は小さい異物がフロートと円柱の間に詰まった結果動かなくなったのではないかと推測した。また、水抜きの際に圧空をかけることにより、流量計内部のフロートが激しく動いていたことから、異物は圧空を入れた際に押し流されたのではないかと考えられる。

3. キッカー電源の流量計不具合と交換、不具合原因の推定

2022年12月頃から、キッカー電源 No.2 の冷却水系統に接続されているカルマン式流量計の表示値が10~11 L/min の範囲でゆらぎ、表示流量値が安定しないという状態になった。流量表示値のゆらぎが大きくなる瞬間があり、その際に流量の閾値 10 L/min を下回り、電源がインターロックで停止するという事象が発生した。

そのため、DQ11 流量計交換と同様の手順で水抜き、流量計交換、エア抜き、水漏れ確認、インターロック試験を行った。流量計交換の際、ネジ部にシールテープを巻いて配管に接続するところ、新しい流量計の配管用テーパ継手 (PT ネジ) にシールテープを巻かずして接続したことにより、通水時に水漏れのトラブルが発生した。さらに、その状態で複数回の増し締めを行ったことによって、ネジ山を潰すという二重のトラブルが発生した。ネジ山を潰したテーパ継手については故障した流量計の継手を転用し、今度はシールテープを用いることによって解決した。この一連のトラブルから、配管接続部 (PT ネジ) は新品であっても確実に噛み合わせても完全に密着させることができないため、締め付ける際にはシールテープを巻き、ネジ山を潰さないように締め込み量に注意しなければならないという教訓を得た。シールテープ対応後の通水試験では水漏れは確認されず、無事に流量計を交換することができた。

カルマン式流量計の故障原因を特定するために、メーカーに送って調査を行った。調査の結果、流量計内部の渦発生体が削れていないこと、通水試験を行い、正常に動作することが確認された。以上のことから故障原因としては、面積式流量計の時と同じく流路内に異物があり、それが流量の不安定さに繋がった。その異物は圧空を入れた際に押し流されたのではないかと推測される。

4. メンテナンスを考慮したマニホールドの設計方針

今回の面積式流量計の交換作業はマニホールドの構造上、冷却水を停止しているタイミングで行う必要がある。それゆえに、同じマニホールドから冷却水を供給している装置についても流水を停止する必要があるため、交換を行うには各方面とのスケジュール調整が必要となる。今後、流量計交換を円滑に行うには以下の2つの方法が考えられ、現在コスト面の評価と共に検討中である。

A) 現行の流量計の上流側にバルブを追加

図8(a)のように、面積式流量計の上下にバルブを付けることで流量計の交換時に水抜きが不要になる。ただし、バルブを取り付けるスペースを確保するため、配管の加工が必要となる。

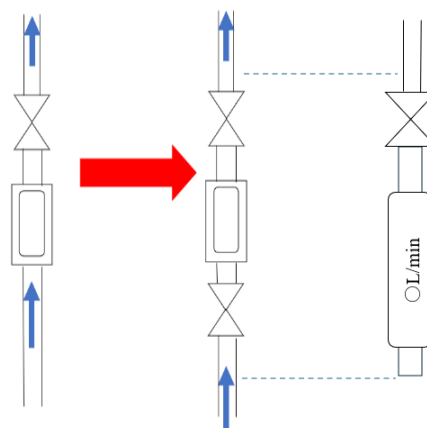


図8. (a) 上流側にバルブを追加、
(b) 超音波式流量計に交換

B) 超音波式流量計の使用

図8(b)のように、現行の面積式流量計を直管に交換して超音波式流量計を導入する。今回のような作業に留まらず、交換作業を行うのに作業スペースが確保できない所や短時間で交換を行う必要がある所では超音波式流量計の使用が有効である。ドライバー1本で設置可能であり、リレーと組み合わせることでインターロック出力も行うことができる。また、配管の上から水に触れることなく設置可能なため、水漏れのリスクは無く、故障時の交換も容易に行うことができる。

5. まとめ

今回、2件の流量計で不具合が発生したので交換を実施した。どちらの流量計にも、上流側にバルブを設けていなかったため、交換には複雑な手順を踏む必要があったが、事前準備 (リスクアセスメントを含む作業手順の共有等) によって、水抜きからエア抜き・水張りまで比較的効率よく進めることができた。ミュオン実験施設では他にも多数の流量計を使用しており、今回と同じ様な不具合が発生する可能性がある。その時は今回の手順を参考にして交換作業に臨むこととする。また、実験エリア新設等で新たにマニホールドを製作する際はメンテナンス性を考慮した設計を行うことで、作業の簡略化・効率化を図ることができると考える。

参考文献

- [1] 湯浅 貴裕、他、“ヘルムホルツコイル (U1A-LC) の健全性確認およびインターロックの最適化”、2022年度分子科学研究所技術研究会 報告書、2022年、P20-23.