

電磁バルブのシール部位の可視化

利用者 梶原堅一¹、香河英史¹、櫛木賢一¹、長田泰一¹、高橋慶行²

所属 ¹宇宙航空研究開発機構、²ダイナックス

1. はじめに

衛星の推進系の軌道上での事故の殆どは、バルブに起因している。JAXAでは、信頼性向上研究としてバルブの動作を確実にする研究を実施している。しかしながら、バルブの動作はその構造上直接観察することは困難である。

X線を用いたCT等により内部の金属部品の観察は、可能であるが、流れをせき止める部位品は、X線では観察できないテフロンや合成ゴム等が用いられており、X線では透過してしまい像を得ることは出来なかった。このため、漏れを防止する高分子材からなるシール部の変形などに関する情報は、分解を行うなどによる方法しかなく、使用状態とは大きく拘束条件等が異なっており、漏れのメカニズムの解明が難しかった。

中性子ラジオグラフィーを利用した内部観察で、これまで確認できなかったシール部の実使用環境下の状態を観察する手法を開発し、バルブで漏れの発生するメカニズムの解明を行う。

2. 実験方法および装置

電磁バルブのシール部位について、CT画像の取得を行った。撮影は、イメージングプレートよりも解像度の落ちるCCDカメラを用いて、回転テーブル上に設置した供試体を一視野0.4°づつ180°回転させて行った。一枚の撮影時間は、およそ1秒である。

3. 実験結果

合成ゴムのシールは存在が見え、今後、解像度を向上させて分解能を改善すれば変形の様子が検知可能であることが確認できた。テフロン製シールについては、よく見えず、中性子での観察に適していないことが解った。これは、テフロンの主成分である四フッ化エチレンの化学式が、 $(-CF_2-CF_2-)_n$ で示されるとおり、水素原子が含まれていないことから、中性子透過の程度が他の有機材料よりも劣るためと推察される。

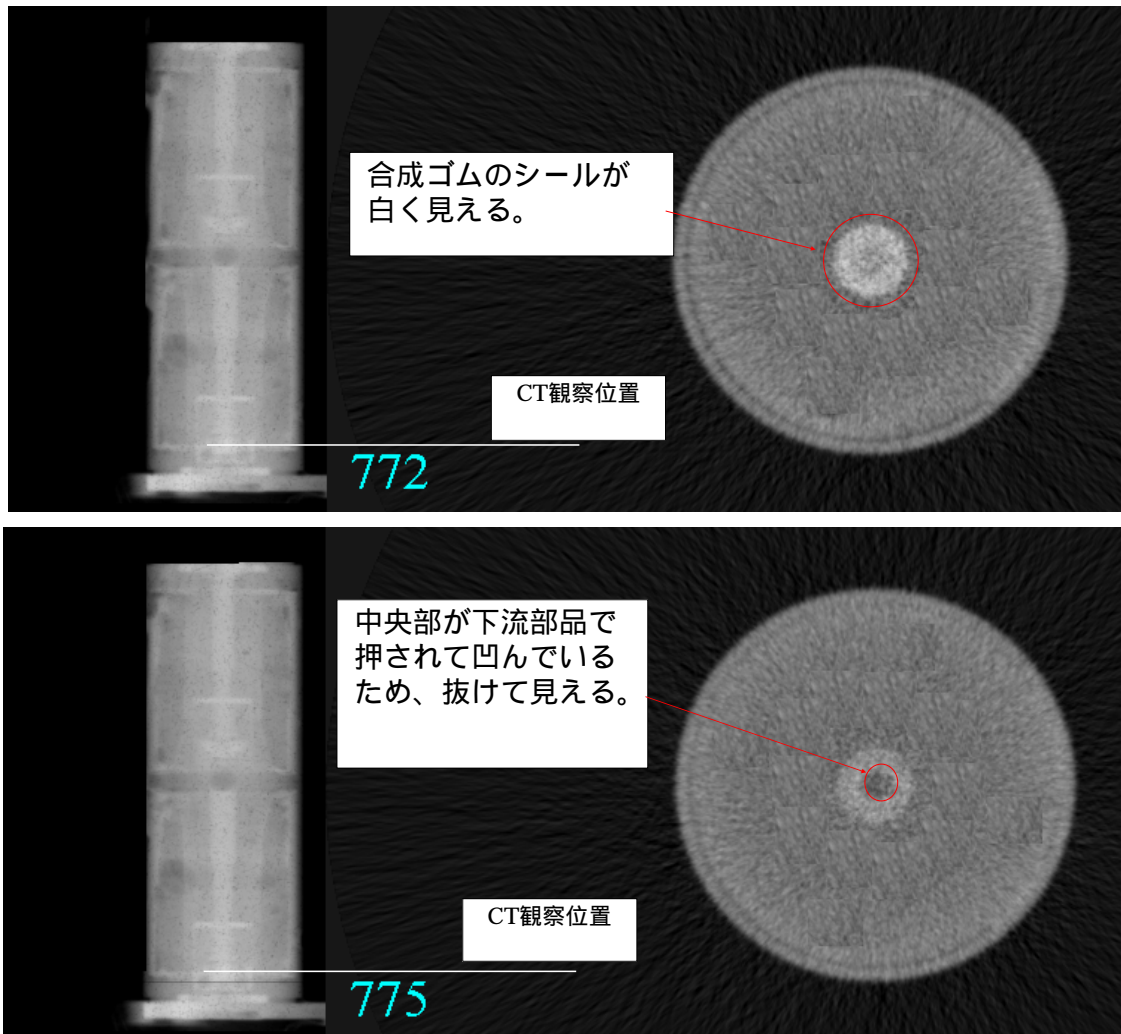


図1 合成ゴムがある弁のCT画像結果

4. まとめ

平成19年度前期の課題として行った電磁バルブのシール部位の可視化の結果は、良好で、中性子ラジオグラフィ技術の宇宙分野への適用の可能性を確認した。

これらの技術が実現できれば、宇宙分野のみならず一般産業にも適用できる技術であると思われる。

電磁バルブのシール変形部位の可視化

利用者 梶原堅一¹、香河英史¹、櫛木賢一¹、長田泰一¹、高橋慶行²

所属 ¹宇宙航空研究開発機構、²ダイナックス

1. はじめに

衛星の推進系の軌道上での事故の殆どは、バルブに起因している。JAXAでは、信頼性向上研究としてバルブの動作を確実にする研究を実施している。しかしながら、バルブの動作はその構造上直接観察することは困難である。

X線を用いたCT等により内部の金属部品の観察は、可能であるが、流れをせき止める部品は、X線では観察できないテフロンや合成ゴム等が用いられており、X線では透過してしまい像を得ることは出来なかった。このため、漏れを防止する高分子材からなるシール部の変形などに関する情報は、分解を行うなどによる方法しかないが、使用状態とは大きく拘束条件等が異なっており、観察される結果から漏れのメカニズムの解明が難しかった。

中性子ラジオグラフィを利用した内部観察で、これまで確認できなかったシール部の実使用環境下の状態を観察する手法を開発する。これにより、バルブで漏れの発生するメカニズムの解明を行う一助とする。

2. 実験方法

放販協から指定された実験コーディネータと実験方法について事前協議を行い、遠隔操作等の手法の確立に先立って造影剤の検討を行うことになった。対象を中性子でも透過してしまい観察の難しいテフロンシールについて造影剤を用いた可視化を試みることになった。このため先ず造影剤の濃度とテフロンシールの付着具合を確かめる予備実験を行った。

水に硝酸ガドリニウム結晶を溶解させただけの造影剤では、テフロンの撥水性により造影出来ないことが予想されたため、IPA（2プロパノール）を添加することにした。

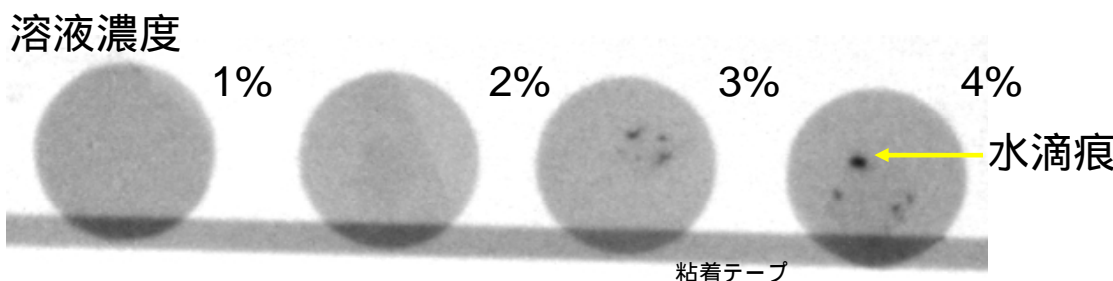
観察対象の濡れ具合を確認するため、イメージングプレートによる観察を複数回を行い造影剤の付着度合いを調整し、CT撮影を行うことにした。

3. 実験結果

3.1 事前検証

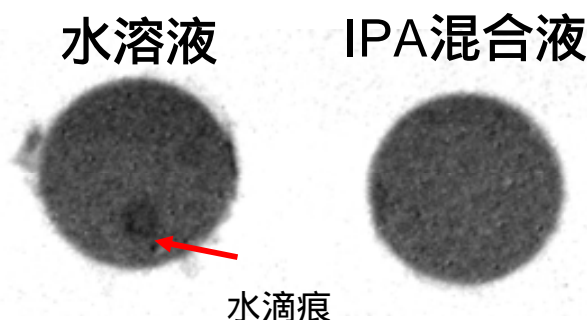
実際の観察対象弁のCT撮影に先立って、テフロンに対する造影剤の確認を行った。テフロンは、市販品のテフロン棒（15mm）を切断したものをアルミL字アングルに粘着テープを用いて貼り付け、それに対して、1,2,3,4wt%の硝酸ガドリニウム溶液を塗布した。

その後、乾燥し、中性子ラジオグラフィ撮影を行った。撮影結果を以下に示す。



水溶液は、テフロンではじかれてしまい水滴を形成してしまったので、水滴痕が残っているのが観察できた。これにより数%水溶液でも付着させることが出来れば造影できることが分かった。

次にテフロン表面で撥水性を抑制してガドリニウムを塗布する目的でIPA混合溶液との比較を行った。撮影結果を右に示す。



水溶液とIPA混合液では、コントラストに差が無く、殆ど影響がない事が分かる。ここでも、水溶液の水滴痕が観察されていることから、1～4%の濃度ではコントラストに差が出るほど付着させられないことが分かった。この結果から実際の実験では、10倍以上の濃度30～50wt%硝酸ガドリニウム溶液を用意することにした。

3.2 観察対象物品

設備側の制限により割り当てられた実施期間が約半日と短かったため、前期の観察と同一の宇宙用遮断弁のテフロンシール廻りの観察を行うことにした。観察部位を赤枠で示す。

3.3 実験に使用した物

- 硝酸ガドリニウム水溶液
 - 50wt%溶液（10:10溶液）
 - 33wt%溶液（10:5溶液）
- 注射器 上記水溶液を観察対象の遮断弁に注入するのに使用した。
- 窒素ガス 上記水溶液を排出するのに使用した。

3.4 観察手順

CT撮影までの観察手順を以下に示す。

- 観察対象の遮断弁の開状態を確認する。
- 遮断弁の上流から対象溶液を注射器を用いて注入する。
- 必要に応じて、窒素ガスを用いて、加圧し圧入する。
- 遮断弁の反対側から液のしみ出てくるのを確認する。
- IP（イメージングプレート）を用いて中性子イメージングを行う。
- CT撮影に向いた条件が整ったと判断されるまで繰り返し、CT撮影を行う。

3.5 観察結果

中性子で写らないテフロンシールがガドリニウムにより造影されたように見えた。

10:5水溶液(33wt%)

水路内が完全に造影剤では満たされず、部分的に気泡が見える。造影剤が強すぎて、中性子が通っていない部分がある。

の造影剤液抜き

の状態から造影剤液を窒素ガスで加圧して抜いた。造影剤は大方抜けたものの、ポベット廻りなどにはかなり残っており、CT撮影には不向きな状態となった。

IPA混合溶液

硝酸ガドリニウム10:10水溶液(50wt%)2mlをIPA2mlで希釈した溶液を注入し、大方の水溶液は微パーズにて排出した。

IPAを用いると濡れ性の向上が見られ細部まで溶液が廻っている様子が観察された。しかしながら、全体的にかなり多く残留している造影剤があり、CT撮影には不向きな条件となった。

IPA混合溶液その2

10:5水溶液(33wt%)2mlをIPA4mlで希釈したものを注射器で注入後、液は上流からパーズを行い排出した。

に比べシールが見えてきており造影の程度は良いようだが、シール・ポベット廻りに、まだ、造影剤が残留している。

を十分パーズ

遮断弁の開閉を実施して、遮断弁の上下双方からパーズを実施した。

ポベット廻りからは、造影剤が抜けて、シールが見えているように思われる。

この状態でCT撮影することとした。

前期トライアル時の画像

造影剤は、注入しておらず素の状態の透視画像。シール(赤丸中央部)はグレーに抜けている。と比較するとでは、端面が強調されている。

3.6 CT結果

CTの撮影はの状態で行った。これまでのイメージングプレート画像の垂直方向から見た形となっている。分解能が悪く、造影剤が多く残っていた部分のみに強い像が出ている。また赤枠のシール部位についてもよく解らない結果となった。

前期の画像

比較のため、造影剤を用いなかった前期のトライアル結果を示す。全体的に今回の造影剤を使ったCT画像よりも形状がはっきり見える。造影剤が付着した部分はコントラストが強くなるため、CTの再構成計算ではアーチファクト(斜め線)が生じ却って全体的に解像度が落ちる結果となった。また、さらに今回の撮影では造影剤を弁内部に注入するためメクラ栓をあたたらに取り付けていた。メクラ栓は、金属の塊であるので特に90度方向(下図水平方向)での中性子線の透過率が悪化したと考えられる。

4. まとめ

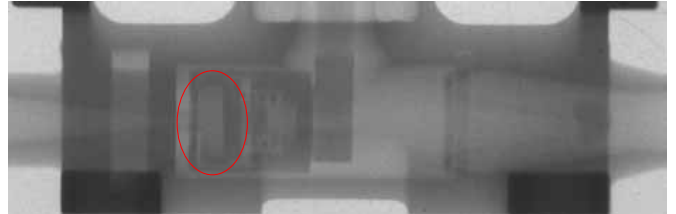
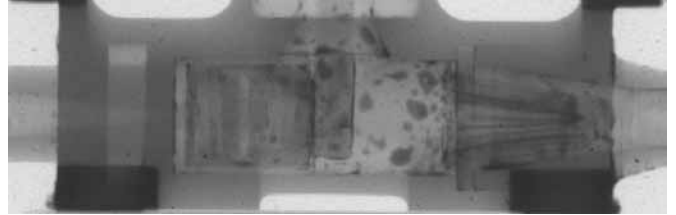
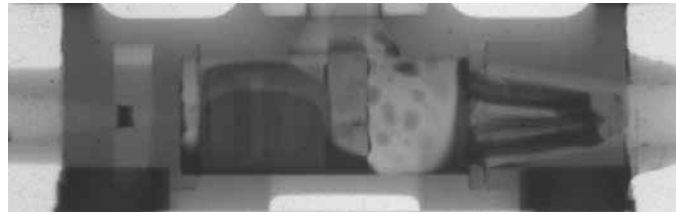
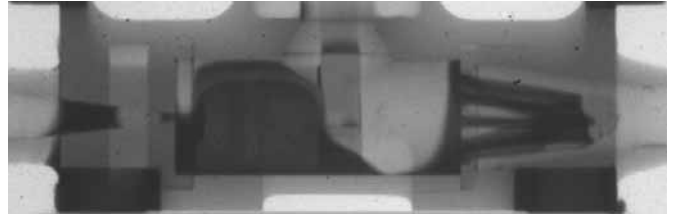
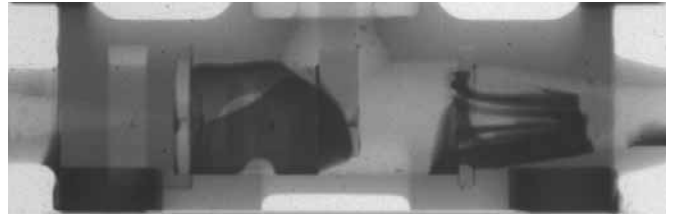
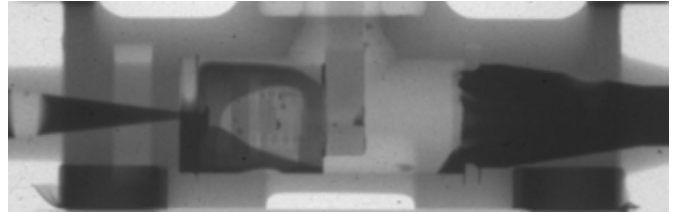
前期のトライアルに引き続き中性子ラジオグラフィによる弁内部の可視化を試みた。

硝酸ガドリニウムを使った造影剤による効果は、単純透過画像では効果が認められるもののその付着度合いによっては、造影剤そのものの塊が像となって現れてしまう事が分かった。完全に満たしてしまうと中性子が通らず内部観察には向かない事も今回分かった。

もっと薄くした溶液や他の造影剤(例えば水やIPA)を内部流路に完全に満たし、塊を形成することを排除した上で撮影を行う等の改善方法が考えられる。

しかしながら、現状の中性子ラジオグラフィの解像度では、今回対象とした数ミリ程度の流体通路を持つシール廻りの漏れを解明する為に必要な情報が得られないことが分かった。

3.5



3.6

