

# 液体ロケット再生冷却燃焼器の非破壊検査

利用者 ○吉田誠、森谷信一、佐藤正喜、升岡正

所属 宇宙航空研究開発機構

## 1. はじめに

再生冷却構造を有する液体ロケット燃焼器内壁は、片面が高温燃焼ガス（約3000℃）に、もう片面が液体水素（約-253℃）に曝され、極めて大きな温度勾配に耐えなければならず、繰り返し燃焼により塑性変形を生じ、クラックの発生に至る。溝構造の変形およびクラックの発生を捉え、繰り返し燃焼試験後の損傷を検出することは、燃焼器の寿命評価を行う上で重要である。本試験では、繰り返し燃焼試験を行った燃焼器について、研究用原子炉実験施設（JRR-3 TNRF）において、中性子ラジオグラフィによる撮像を試みた。

## 2. 試験方法および装置

本試験では、繰り返し燃焼試験を実施した燃焼器を用いて中性子ラジオグラフィによる撮像を実施した。

撮像は、解像度が高く放射化の影響が小さいイメージングプレート（IP）による撮像と、CCDカメラによるCT用撮像を実施した。試験の様子を図1に示す。

## 3. 試験結果

図2に内面観察用に分割された燃焼器のIP撮像で得られた画像例を示す。本試験のような燃焼器壁の中性子線の透過が一度だけの場合は、供試体内の冷却溝を判別可能であることが分かる。しかし、空間となる部分（燃焼室、及び冷却溝）と供試体壁面の境界は不明瞭であり、IP撮像では100μmオーダーの変形の判別は困難であることが分かった。次に、未切断の燃焼器を用いたCCDカメラによる撮像を試みた。イメージングプレートと比較すると解像度は低下するものの、画像処理により境界面をより明確にすることは可能であった。一方、CT画像構築は可能であるが、本供試体の外筒には質量減衰率の高いNiが含まれていたため、CT撮像の解像度には限界があった。



図1 試験の様子

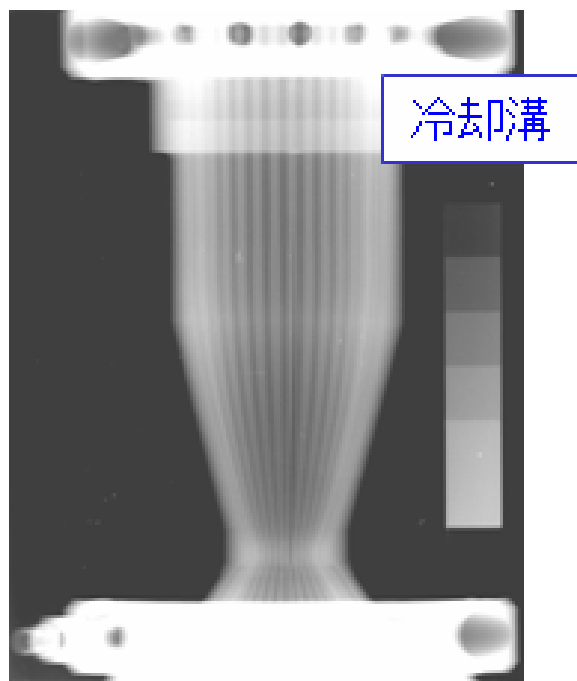


図2 IP撮像による画像

## 4. まとめ

中性子ラジオグラフィによる非破壊検査のロケット再生冷却燃焼器への適用性の検討に着手した。今後の予定として、Ni基合金製の外筒のない銅製燃焼器を対象に中性子ラジオグラフィによる撮像を行うことを計画している。

# 液体ロケット再生冷却燃焼器の ラジオグラフィ試験

利用者 ○吉田誠、森谷信一、佐藤正喜、升岡正  
所属 宇宙航空研究開発機構

## 1. はじめに

再生冷却構造を有する液体ロケット燃焼器内壁は、片面が高温燃焼ガス（約3000℃）に、もう片面が液体水素（約-253℃）に曝され、極めて大きな温度勾配に耐えなければならず、繰り返し燃焼により変形し損傷を生じる。燃焼器断面の変形の進行、ならびに損傷の発生を非破壊で検査することができれば、燃焼器の寿命予測技術を確立する上で非常に有用なデータとなる。平成19年度上期に行ったラジオグラフィ試験では、インコネル製及びSUS製外筒のついた燃焼器を用いた試験を行ったが、中性子線の減衰が大きいため、得られた画像の解像度は限定的であった。一方、全銅製の燃焼器であれば中性子線の透過性がよいことから解像度の向上が期待できる。そこで本試験では、全銅製の燃焼器模擬供試体を対象に、ラジオグラフィ装置（TNRF）による断面観察の可能性について検討を行った。

## 2. 試験方法

試験の様子を図1に示す。全銅製の燃焼器模擬供試体を用いてCCDカメラによるCT用撮像を実施した。冷却溝を加工した銅製燃焼器内筒に、冷却溝を塞ぐ外筒部分を模擬した銅製円環を部分的に被せアルミテープで固定し、供試体とした。

## 3. 試験結果

図2にCT画像構築により得られた供試体断面像を示す。Ni系外筒付き燃焼器の画像よりも解像度の向上は認められるものの、冷却溝部の変形を定量的に把握するにはまだ課題が残る結果となった。



図1 試験の様子

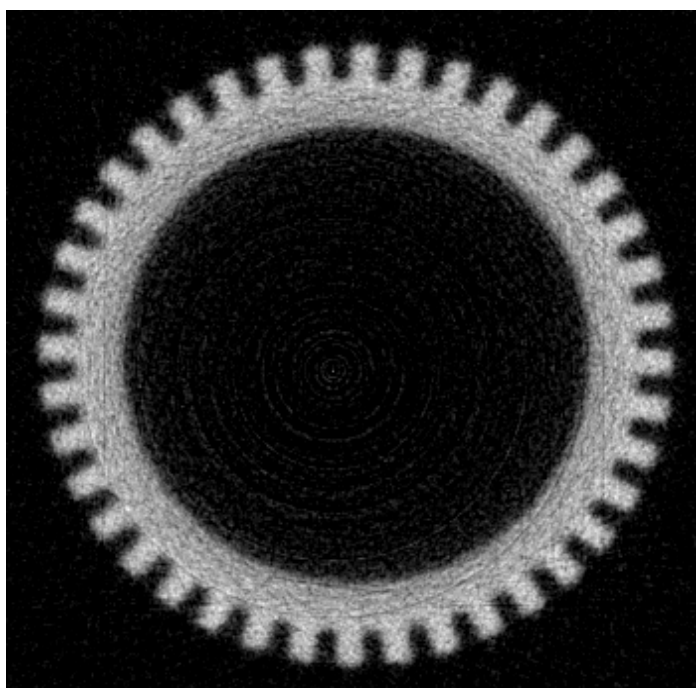


図2 CTによる断面画像

## 4. まとめ

燃焼器冷却溝部の変形を定量的に把握するためには、解像度の向上をさらに図る必要があり、試験装置も含めた検討を行う予定である。

# 油圧バルブ内の流体現象の可視化

利用者 ○松崎浩，窪田哲，東ヶ崎光久，滝口和夫，坪高弘，小林義伸，山下亮平，  
小林剛，上野勝美  
所属 日立建機(株)

## 1. 背景

当社では油圧ショベルを始めとする建設機械を製造しており、機器事業部ではそれら建設機械の主要部品となる油圧機器の研究開発を行っている。

油圧バルブは、油の流れで生じる流体力が、内蔵部品の挙動に影響を与えることが多く、その力の大きさを求めることが課題の一つとなっている。しかし、高い圧力下においての流速測定や可視化試験は困難であり、現在はコンピュータ上のシミュレーションで求めた流速や圧力分布から、流体力の大きさを推定しているが、その妥当性は検証できていない。

## 2. 目的

油圧バルブ内の部品の動きや油の流速分布などの情報を得て、流体力の大きさ、エロージョン発生の可能性などを予測し、より高度な油圧機器の開発につなげることを目的とする。今回は予備実験として、実際に使用している作動油の透過度を確認した。

## 3. 実験方法

中性子ラジオグラフィ装置（TNRF）を用いて、無負荷状態の試験用バルブに、①油路に油が入っていない状態、②油路を油で満たした状態、③内蔵部品を移動した状態、の3段階でビームを照射し、それぞれの透過像を比較した。図1に試験体を示す。油路が形成されるブロックは耐圧と透過度を考慮して、アルミ合金（A7075）で作成し、その他の部品は実際の製品と同材質（主に鉄）とした。なお、シャッタースピードは1.4s、撮像範囲は100×100mm（680×480画素）とした。

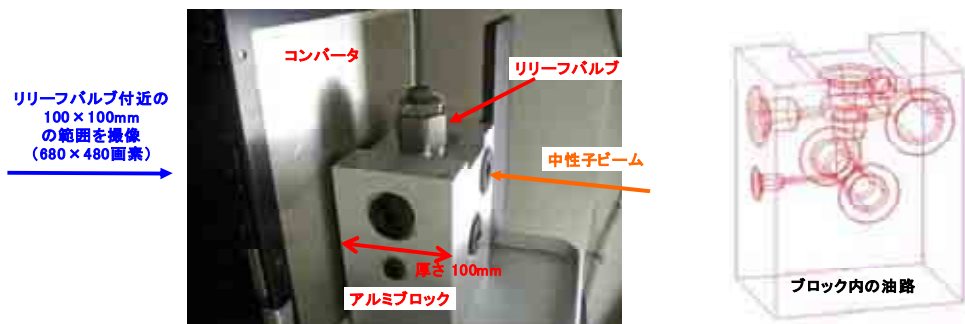


図1 撮像対象とした試験用バルブとその周辺状況

## 4. 実験結果

図2に得られた透過像を示す。(3)の像は(1)と(2)の差、すなわち油の充填状態を表しており、油の有無がはっきりとわかるものの、ビームが透過する油の量が約8mm以上になると、ビームがほとんど透過せずコントラストはつかなかった。また、(6)に示されたように、中央のリリースバルブを上方に約3mm移動させた後にビームを照射し、移動前後の透過像を比較したが、動きの観察を目的としていたピストン部分の変化を検出することはできなかった。

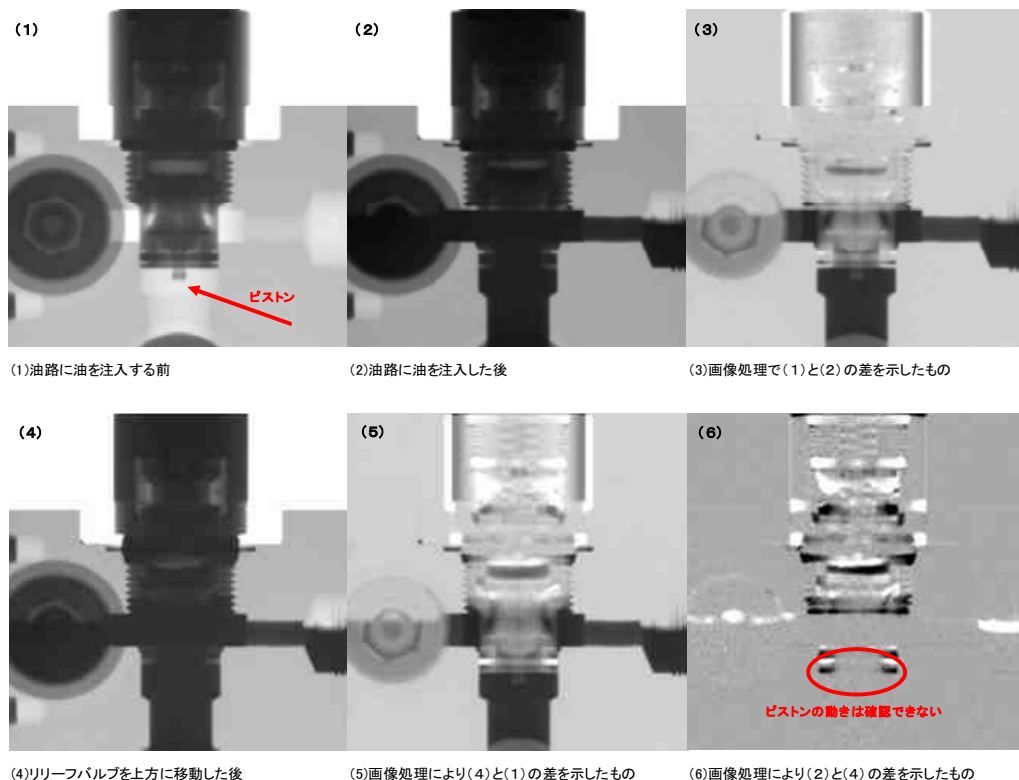


図2 各段階で得られた試験用バルブの透過像、および、画像処理後の像

## 5. まとめ

今回の予備実験で、作動油の透過度がある程度確認できた。今後は、作動油の透過度を考慮して、油圧バルブ内部の部品の動きが検出できるような試験体の形状を検討していきたい。また、今回の結果より、作動油の有無が明確に表れることがわかったので、他の油圧機器を対象とした中性子ラジオグラフィ装置の利用ニーズも探っていくこととする。

# 接合部が3次元曲線となる回転構造物の 溶接部分の可視化

利用者 ○小林博美、今岡信治、八重樫賢司、富岡史  
所属 (株)日立プラントテクノロジー

## 1. はじめに

今回トライアルユースの対象とした回転構造物（羽根車）は、高い強度的信頼性が要求される溶接構造の高速回転体である。この羽根車が所定の流体性能を実現し、かつ強度的な信頼性を確保するには、溶接による変形が小さく、かつ欠陥のない溶接を施工することが重要であるが、同時にその溶接による変形量（形状計測）や欠陥の有無を把握する手法を確立する必要があった。

中性子ビームによる可視化計測は、後者の形状計測や欠陥探査手法の候補の一つで、CTスキャンにより羽根車全体の詳細な可視化ができる可能性があると考えた。しかし羽根車の材質が鋼であり、かつ透過する部分の厚さが厚い部分もあること、またこの種の材料に対して中性子ビームによる可視化の実績が少ないため、まず中性子の透過率がどの程度になるかを確かめる必要があった。そこで今回はCTスキャンを行う前に、まずイメージングプレートによる可視化を行い、その可能性を調べることにした。

## 2. 実験方法

上記実験装置にて、図1に示す方法で2方向からの透過・撮像を試みた。

## 3. 実験結果

試料の撮像結果を図2、図3に示す。いずれの画面でも羽根の概略形状は把握できるが、その境界線にはいわゆるボケがあり、現状のシステムでは直径30cmの試料に対して最大1.5mmのボケが生じるとのことである。この点については、中性子ビームの平行性を向上させれば、ボケは最大0.3mmくらいまでは改善可能とのコメント（松林氏より）をいただいた。したがってこの改善を行いCTスキャンすれば、全体の形状をもう少し鮮明に捉えることが可能になると思われるが、図3のように羽根が重なる方向では中性子の透過が不足しているようである。

以上より、今回の試料について羽根の形状を高精度に撮影するには、試料を分割し、それらをCTスキャンする必要がある。しかし試料を小さく切断すると、最終的に得た画像を所定の形状に組み合わせて、本来の設計形状と比較する作業が必要になる。今回の試料では、形状寸法の計測精度として0.1mmのオーダーを必要としているので、切断や組合せ処理をした場合、その誤差を考慮すると、分割によるCTスキャン計測では精度確保が難しいと思われる。

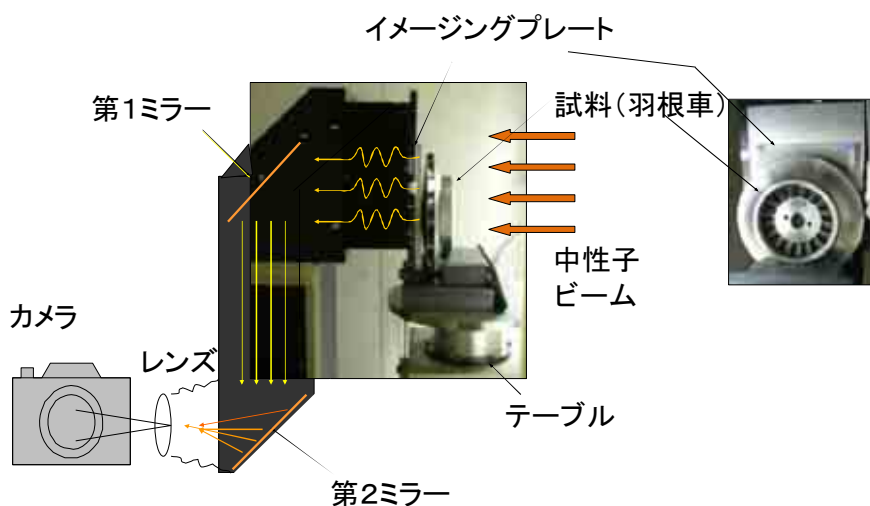


図1 中性子ラジオグラフィ装置による計測概要



図2 正面からの撮像

図3 側面からの撮像

## 4. まとめ

鋼製の溶接構造物について、中性子ビームによる可視化を試みた結果、今回の試料については、CTスキャンをしても、ボケあるいは画像処理の問題を考慮すると、最終的な形状計測精度の確保は難しいと判断した。

このトライアルユースについて、残念ながら期待通りの結果にはなりませんが、大変貴重な体験をさせていただきました。申請から実験までご指導いただいた日本原子力研究開発機構の松林氏、飯倉氏、そして茨城県企画部の林様、放射線利用振興協会の事務局の皆様には、心より感謝申し上げます。

# 中性子ラジオグラフィーによる 鋼材表皮下欠陥の解析技術の検討

利用者 ○白神 哲夫<sup>1</sup>、安原 久雄<sup>2</sup>、佐藤 馨<sup>2</sup>、杉山 昌章<sup>3</sup>、谷山 明<sup>4</sup>、  
中山 武典<sup>5</sup>、野田 俊治<sup>6</sup>、大沼 正人<sup>7</sup>

所属 1JFE条鋼(株)、2JFEスチール(株)、3新日本製鉄(株)、4住友金属工業(株)、  
5(株)神戸製鋼所、6大同特殊鋼(株)、7物材機構

## TNRF実験

### 1. はじめに

鉄鋼製品の生産において、スラブ表面直下1～5mm位置に存在する1mm以下のアルミナなどの酸化物は製品の表面欠陥になる危険性が高い。この対策として表面を研削するなどの処理を講ずることで欠陥発生を回避しているが、生産性の低減は避けられない。したがって、高品質な製品を安定して生産するためには表皮下に存在する欠陥（酸化物）をスラブ段階で高精度に検知し、対策を講じることが重要である。鋼材表皮下の欠陥の非破壊検出については従来からX線利用や超音波利用による手法が試みられてきたが、透過能不足や誤検知などの課題があった。今回、表皮下に存在する欠陥の検知法として、鉄材料に対して透過率の高い中性子を利用し、非破壊で表皮下欠陥を高感度に検知する技術を検討する。

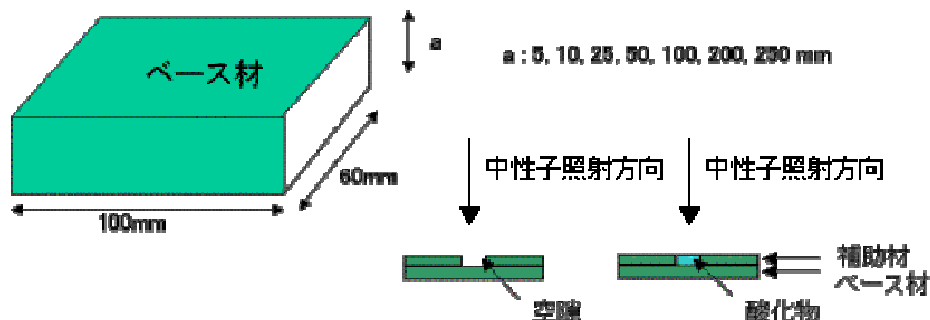


図1 モデル試料の概要

### 2. 実験方法

原研3号炉の中性子ラジオグラフィー測定装置を用い、図1に示すようなモデル試料で実験を行った。理論上中性子照射方向に対する深さ位置情報はとれないことから、モデルを単純化するため、ベース材の上に20mm×20mm×0.9mm厚のアルミナ（日本ファインセラミックス社製高純度材）と補助材（隙間充填材）を配置した。また比較のため、アルミナの代わりに空孔を模した空隙も配置した。

### 3. 実験結果

透過像および輝度解析結果を図2に示す。この結果から、鋼板厚み25mm相当まではアルミナを認識できており、空孔を模した空隙との輝度差も出ている。しかし、板厚が50mmになると認識不能であった。実スラブ厚みが約250mmなので、中性子ラジオグラフィーによる透過像からスラブ内部のアルミナを識別することは困難であることがわかった。

### 4. まとめ

スラブ表皮下存在物の非破壊検知について、モデル試料を用い、中性子ラジオグラフィーの可能性を調査した。その結果、鋼材厚み25mm相当まではアルミナを認識でき、空孔を模した空隙との輝度差も確認できたが、厚み50mm相当以上で中性子が透過しないため、検知は難しいことがわかった。

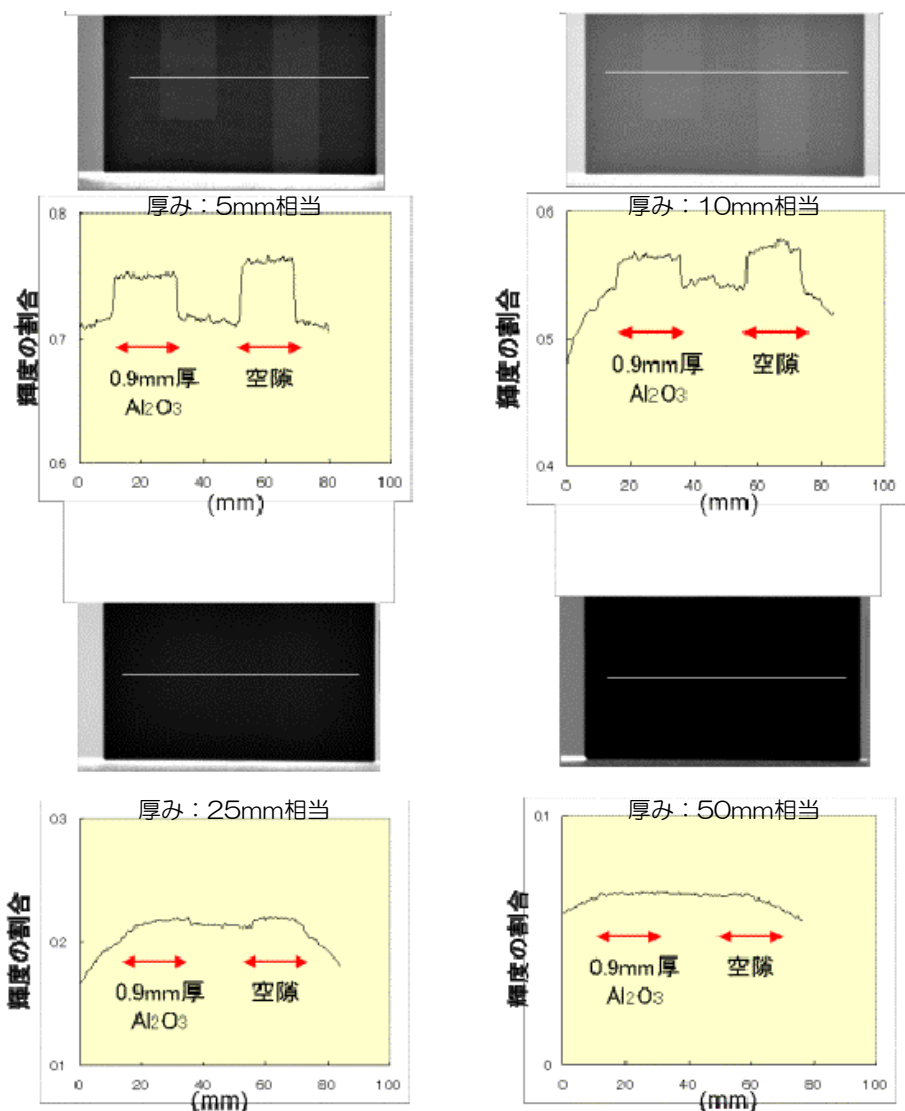


図2 モデル試料の中性子透過像と輝度換算結果



# 金属ボールペン インキ中の気泡観察

利用者 ○長島功典、永井茂、上田芳弥、豊崎文博

所属 ペンてる株式会社

## 1. 背景

ボールペンのペン先は金属が用いられ、その中にはインキが存在している。通常のX線では金属内部の観察ができず、インキがどのような状態で存在するか観察することが困難である。

そこで、中性子を用いることで、ペン先の金属部を透過しインキの状態が観察可能か調査することともに、微細な空気（気泡）の有無が判断可能か調査することとした。

## 2. サンプル



調査サンプル：φ0.7mmボールペンリフィル（黒インキ）を使用。

## 3. 参考情報



X線での観察結果

- ・ペン先の金属部分はX線が透過しないので、真白な状態になっている。
- ・ペン先部分のインキ状態の観察ができない。
- ・樹脂（PP）パイプのインキ状態は観察可能。

## 4. 実験方法とサンプルの種類

サンプルとしては

A：ペン先部分に微細な空気（気泡）が入っているサンプル。n=3

B：ペン先部分に空気（気泡）が入っていないサンプル。n=3

C：ペン先部分に故意にインキを入れないサンプル（比較用）n=2

上記3種類のサンプルを、中性子を用いて、ペン先部分の観察を行なうこととした。

## 5. 実験結果

用意したサンプルを実験装置にて、観察を実施

【考察】

サンプルAに関しては、ペン先のボール近傍部分にインキが無い様に見える。同様にサンプルBに関しては、ペン先のボール近傍部分までインキが満たされているように見える。判断しづらいので、インキが無い状態のサンプルCを基準に、サンプルAとBの画像を拡大し、比較してみたが、ペン先部先端の空間の差が明確に判断できない。

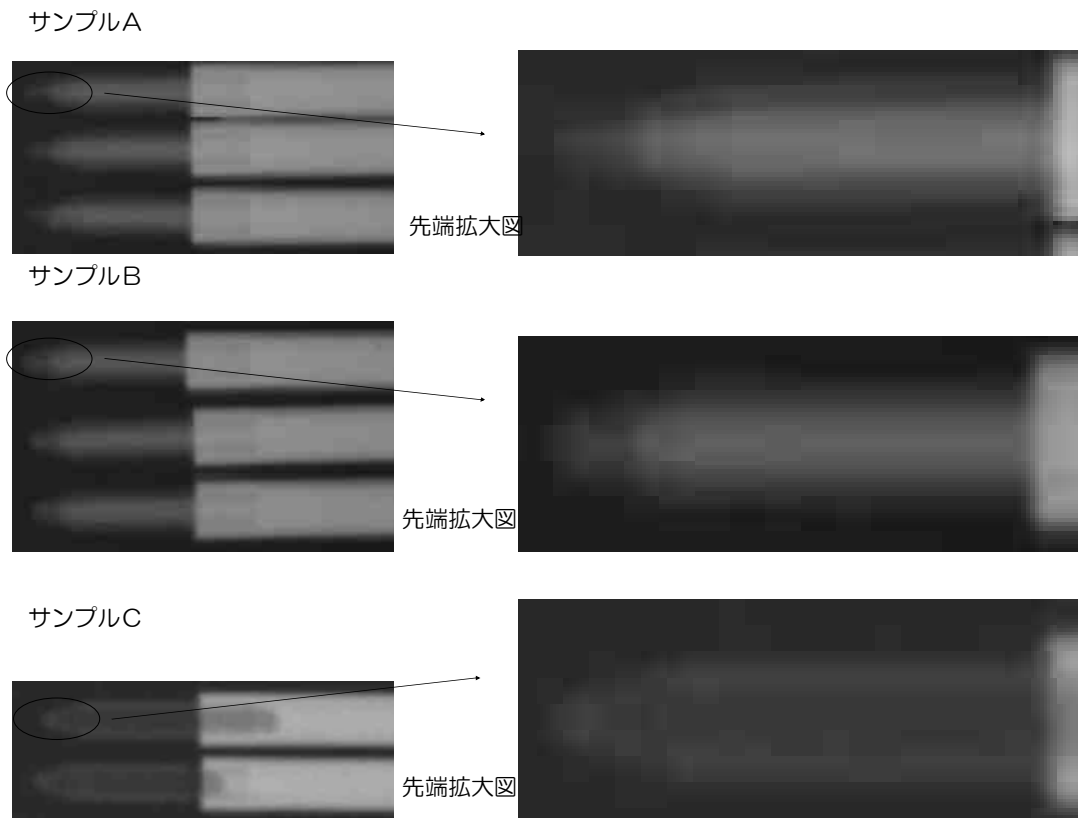
## 4. まとめ

ボールペンのペン先部分(金属)の透過状態の観察は可能である。しかし、本来知りたかった微細な（0.5mm以下）気泡の有無の観察に関しては、今回の方法では判断できませんでした。

ボールペンのペン先部の小さくて複雑な構造部分での気泡観察には、今回使用させていただいた中性子による方法では解像度が充分とは

言えず、解析できない結果となり、中性子本来の特徴を活用できないことが分かりました。

現在、原子力機構では、中性子ラジオグラフィの空間分解能の高度化をすすめていると聞きます。現在約100μm/pixelから5倍以上の分解能を見込まれているようですので、装置の分解能向上が達成された際には、また中性子の利用を考えてみたいと思います。



# ループヒートパイプの定常及び非定常動作時の可視化

利用者 ○<sup>1</sup>金森康郎、<sup>2</sup>村上正秀、<sup>1</sup>杉田寛之、<sup>1</sup>岡本篤、<sup>1</sup>畠中龍太、<sup>2</sup>間瀬勇樹  
所属 <sup>1</sup>宇宙航空研究開発機構、<sup>2</sup>筑波大学

## 1. はじめに

ループヒートパイプ（LHP）は内部に封入された作動流体の相変化に伴う潜熱で熱を輸送するループ型熱制御デバイスである。LHPはその特性上、従来のヒートパイプに比べて様々な利点があることから、宇宙用熱制御デバイスとして期待されている。しかし、LHPは微小重量環境下における起動の困難性や、低熱負荷時の不安定挙動が報告されている。このような現象は作動流体の初期の気液分布や流動が影響していると考えられるが、LHP内部の作動流体の詳細な挙動を実験的に確認した例は少ない。そこで、本研究では中性子ラジオグラフィを用いたLHP内部の可視化による実証的研究を目的として、現在、今後実施する本実験用の供試体を設計中である。本課題では、中性子ラジオグラフィによってどのような画像が得られるかを把握し、本実験における最適な撮影条件と新規に製作するLHPの設計要求を確定するために、現在所有するLHPを供試体として様々な条件で撮影し、得られた画像の解像度や視野等を比較した。

## 2. 実験装置と実験方法

LHPは蒸発器、蒸気管、凝縮器、液管、リザーバで構成され、内部には作動流体が封入されている。LHPは作動流体の潜熱を介して蒸発器から凝縮器へと熱を輸送する。作動流体は蒸発器内に取り付けられたウィックと呼ばれる多孔質体において発生する毛細管力によって駆動される。供試体に用いたLHPの写真を図1に示す。蒸発器はアルミ製で、内部にステンレス焼結金属製のウィックが取り付けられている。ウィックには蒸気の流路として流れ方向にグループが切られている。蒸気管、液管は共に長さ1000mmのステンレス管であり、途中にコイリング部分がある。リザーバ上部には作動流体の封入用にチャージポートが設けられている。蒸発器にはガラスエポキシ板とボルトによってヒータが取り付けられている。撮影時の供試体の配置を図2に示す。供試体は照射室に収めるためにコイリング部分で90度に折り曲げ、アルミ製の治具によってステージに固定した。撮影は蛍光コンバータと冷却型CCDカメラ、EB-CCDカメラを用いて行った。冷却型CCDカメラによる撮影では、供試体からコンバータまでの距離やレンズの種類をパラメータとして撮影を行い、画像の解像度や視野を比較した。レンズは35、55、105mmレンズを使用した。また、作動流体（純水）を封入する前後の画像を撮影し、差分画像の取得を試みた。EB-CCDカメラによる撮影では55mmレンズを使用し、得られた画像の画質を確認した。なお、本課題においてはヒータから熱負荷は加えずに撮影を行った。

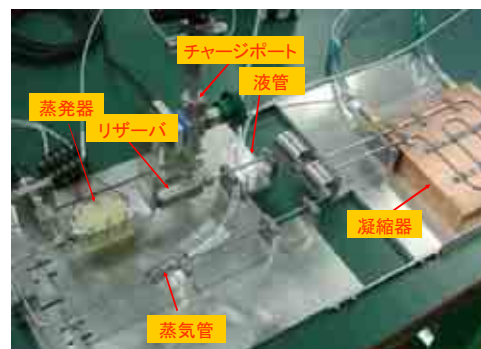


図1 実験に用いたLHPの概観



図2 撮影時の供試体の配置

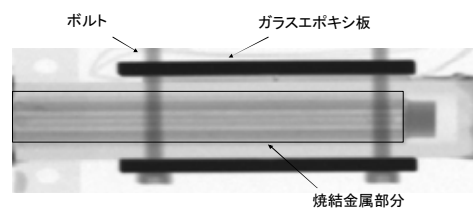


図3 蒸発器内の可視化画像(封入なし)

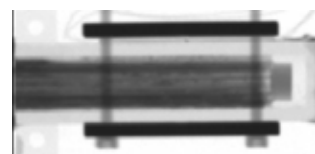


図4 蒸発器内の気液分布(純水封入後)

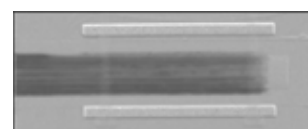


図5 蒸発器内の気液分布(画像演算後)

## 3. 実験結果

供試体からコンバータまでの距離を変化させて撮影した画像を比較した結果、距離を小さくすると画像の解像度が高くなることを確認した。一方、供試体からコンバータまでの距離が小さいと散乱中性子の影響が大きくなり、コンバータ輝度の定量性が失われることが知られている。本研究では蒸発器内の詳細な気液分布を捉える必要があるため、画像の解像度を優先させ、供試体とコンバータの距離を小さくして撮影を行うことにした。図3に冷却型CCDカメラと105mmレンズで撮影した純水封入前の蒸発器内の可視化画像を示す。蒸発器の内部に取り付けられたウィックが視認され、画像の濃淡によってウィックに切られたグループも確認することができた。図4は純水を封入した直後の蒸発器内の可視化画像である。純水が浸透している部分が暗くなり、ウィック内の液分布がわかる。封入直後のため、まだウィック全体に一樣には液が浸透しておらず、ウィックの右側では液が少ないことが確認できた。図5は画像演算によって図4を図3で除算した結果である。この画像演算によって蒸発器ケースやウィックなどの背景を消去することができるが、本実験においては完全な背景消去はできなかった。これは、供試体のチャージポートが強く固定されているため、作動流体の封入作業時に加えられた力が供試体に伝わり、供試体の位置が僅かに変化したためだと考えられる。EB-CCDカメラによる撮影ではリアルタイムの動画を得ることができたが、画質が低く、蒸発器内部の液分布を判別するのは困難であった。よって、本実験では画質を優先し、冷却型CCDカメラで連続撮影を行うこととする。これらの知見から、新規に製作する供試体はループ全体が250×250mm（冷却型CCDカメラ及び35mmレンズ使用時の視野）に収まるレイアウトとし、チャージポート部分は途中にフレキシブルな管を用いることで作動流体の封入作業時に加えられる力がLHP本体に伝わらない構造を採用することとする。

## 4. まとめ

本課題では、中性子ラジオグラフィによるLHP内部の可視化画像を基に、最適な撮影条件と新規製作するLHPの設計要求を確定した。今後、本課題で得た情報を基に新規にLHPを製作し、LHP動作時の可視化実験を行う。



# ループヒートパイプ封入冷媒の挙動と動作特性の関連性の把握

利用者 ○<sup>1</sup>金森康郎、<sup>2</sup>村上正秀、<sup>1</sup>杉田寛之、<sup>1</sup>岡本篤、<sup>1</sup>畠中龍太、<sup>2</sup>間瀬勇樹  
 所属 <sup>1</sup>宇宙航空研究開発機構、<sup>2</sup>筑波大学

## 1. はじめに

ループヒートパイプ (LHP) は内部に封入された冷媒の相変化に伴う蒸発潜熱を利用して熱輸送を行うループ型熱制御デバイスであり、長い熱輸送距離、配管レイアウトの自在性、高い温度制御性などの利点を有することから、次世代の宇宙機用熱制御デバイスとして早期の実用化が期待されている。一方で、LHPは微小重力環境下における起動の困難性や低熱負荷時に温度が振動する現象を示す場合があることが報告されているが、そうした非正常現象には気液界面の挙動が大きく影響していると考えられる。そこで本課題では、LHP封入冷媒の挙動と動作特性の関連性の把握を目的として、動作時のLHPの温度モニタを行うと同時に、中性子ラジオグラフィにより冷媒の挙動の可視化を行った。

## 2. 実験装置と実験方法

撮影に使用したLHPの構成と撮影姿勢を図1に示す。LHPは蒸発器、リザーバ、蒸気管、凝縮器、液管から構成され、封入冷媒(本課題では純水)は蒸発器内に取り付けられた多孔質体(ウィック)で発生する毛細管力を駆動力として循環される。蒸発器においてヒータ加熱により蒸発した冷媒は、凝縮器で液化し、蒸発器内に再度供給される。本課題では、LHPの動作特性に及ぼす重力の影響を把握する目的で、図1に示す2つの姿勢にて撮影を行った。撮影コンフィギュレーションを図2に示す。姿勢Aでは35mmレンズ(全体撮影時)と105mmレンズ(蒸発器周辺の拡大撮影時)の2種類のレンズ、姿勢Bでは105mmレンズのみを使用し、両姿勢とも冷却型CCDカメラを使用して撮影を行った。ヒータ加熱量は0~160Wの範囲で変化させ、熱電対で各部の温度を測定した。

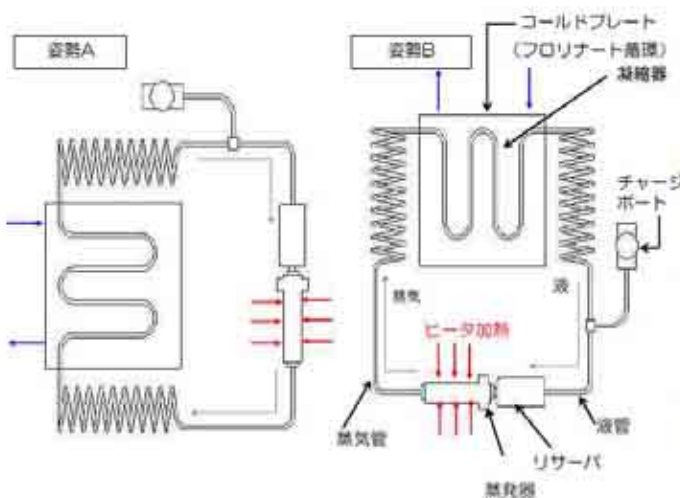


図1 LHPの構成と撮影姿勢



図2 撮影コンフィギュレーション

## 3. 実験結果

姿勢Aでの全体撮影(図3)では、スタートアップ時の冷媒の挙動、各熱負荷における気液界面位置、リザーバ水位の変化、ヒータOFF時の冷媒の挙動などを確認できた。概ね予想通りの挙動を示していたものの、ヒータOFF後に蒸発器内がほぼ液で満たされる点など、温度データだけでは推察の難しい現象に関して中性子ラジオグラフィによって有益な情報を得ることができた。姿勢Bではウィックが乾いて熱輸送が出来なくなる現象を画像・温度データ双方で確認することに成功した。熱負荷120W投入直後はコア内が半分程度液で満たされていたが、徐々にコア内の液量が減り(図4(a))、その後はリザーバ側から順にウィックが乾いていった(図4(b))。設計時の想定ではコア内とリザーバ内の液面は重力の効果でほぼ同じ高さとなり、コア内には必ず一定量の液が存在することを想定していたが、実際にはリザーバが満水にも関わらずコアには液がほとんど存在せず、パイオネット管の先端付近しか液が供給されていなかった。これは蒸発器-リザーバ間の流路が細く、コア内の高圧蒸気によってリザーバからの液が流入できなくなったためと考えられる。また、姿勢Bは事前に実施した特性評価実験においても不安定な温度挙動を示していたが、本実験結果からウィックへの液の供給不足が影響している可能性が高いため、今後も継続して実験的な検討を行うと同時に、設計や製造方法に関しても検証を行う。

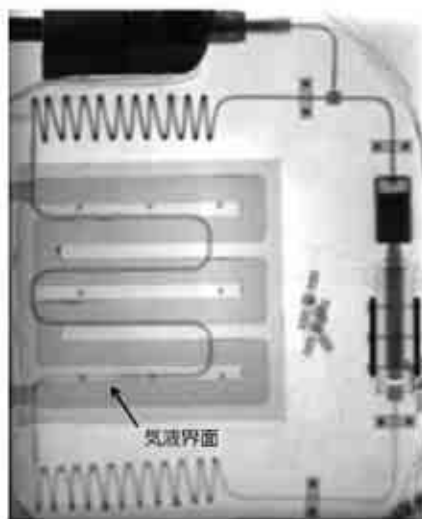


図3 LHP動作時の気液界面 (姿勢A、熱負荷120W定常時)

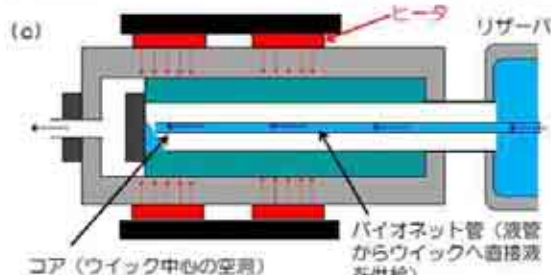


図4 LHP蒸発器ウィックが乾いていく様子 (姿勢B、熱負荷120W投入後)  
 (a)加熱開始後1分経過時 (b)3分経過時  
 (c)撮影箇所模式図

## 4. まとめ

本課題では、LHP封入冷媒の挙動と動作特性の把握を目的として、動作時のLHP各部の温度を測定すると同時に中性子ラジオグラフィにより冷媒の可視化を行った。その結果、温度データのみでは推察できない事象を視覚的に把握することができ、今後のLHP研究開発に資する有益な情報が得られたと同時にH/W設計に反映すべき課題を明らかにすることができた。今回得られた知見は今後のLHP研究開発に反映する予定である。

# 電子写真現像器内の現像剤粉体流動の可視化

利用者 ○栗林夏城<sup>1</sup>、内田圭亮<sup>2</sup>、岩田周行<sup>2</sup>、安福秀幸<sup>2</sup>、牧田憲吾<sup>2</sup>、濱口昌哉<sup>2</sup>  
 所属 <sup>1</sup>リコープリンティングシステムズ(株)、<sup>2</sup>(株)リコー研開本基盤技C

## 1. はじめに(背景、目的等)

電子写真方式のコピー・プリンタに使われる現像器は、鉄粉とトナーを含む現像剤粉体を混合・循環・供給するという役目を担っている。安定なプロセスのためには、この現像剤粉体の流動の性質を知り、制御することは大変重要である。しかしながら粉体流動は非常に複雑な挙動を示す。更に、粉体の挙動は可視光では非透過であるため、直接内部を観察することはできない。このため、不明な現象が多く、開発期間の長期化を招き易く、低コスト化・高耐久性・小型化等に課題を有している。中性子線は透過力が強くこの課題である現像剤粉体挙動やインク挙動の可視化が可能と考えられた。そこで、今回、中性子線利用技術移転課題に応募し、本課題の問題解決として中性子ラジオグラフィ装置(TNRF)が適用可能か否かを検討することとした。

## 2. 実験方法

### ①各種配合の現像剤の観察

中性子線透過による画像を確認するために、各種配合の現像剤粉体を作成し、テフロン素材・アルミニウム素材の容器に封入したサンプルを用意した(図1)。配合比による画像への影響を考察する。

### ②現像剤攪拌挙動の観察

図2に示すアルミニウム容器内部に現像剤を充填させ攪拌する。その粉体的挙動をビデオ観察する。

## 3. 実験結果(図表を含めて)

### ①各種配合の現像剤の観察

図3に、ラジオグラフィの観察結果を示す。このように、トナー濃度によって現像剤の画像濃度が大きく変化することがわかった。また、テフロン容器・アルミニウム容器共に中性子線をよく透過し、観察対象である現像剤の観察を阻害しないことも分かる。

### ②現像剤攪拌挙動の観察

図4に攪拌される現像剤挙動を示す。アルミニウム容器内部の現像剤粉体の挙動を中性子線透過により、観察することができることがわかった。

## 4. まとめ

実験の結果、可視光では内部観察ができない電子写真現像剤の挙動について、中性子ラジオグラフィでは観察できる可能性があると評価された。この結果、アルミニウム容器内部でも明瞭に現像剤配合やその攪拌挙動の観察が可能であることを確認できた。従来、不明瞭であった電子写真現像剤粉体について、本観察方式が有効であると判断できたため、平成21年度施設一般共用(非公開)への応募も行っている。



図1 現像剤を封入したサンプル(手前; アルミニウム素材、奥; テフロン素材)

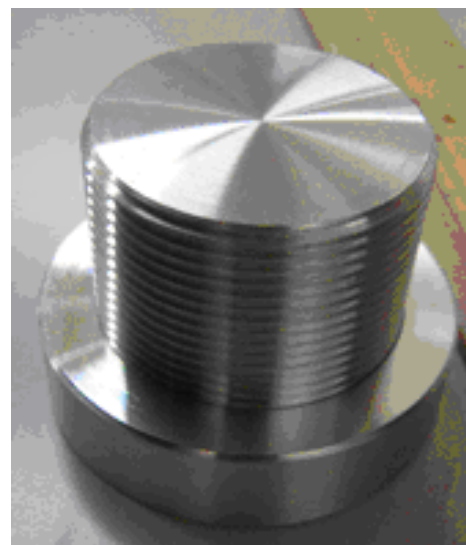


図2 現像剤拡販容器

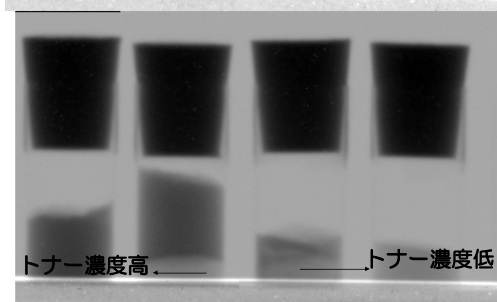
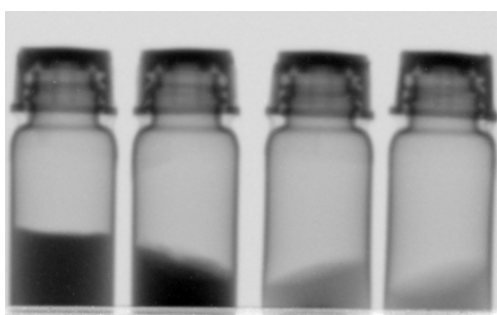


図3 各種配合現像剤のラジオグラフィ像(上; テフロン容器、下; アルミニウム容器)

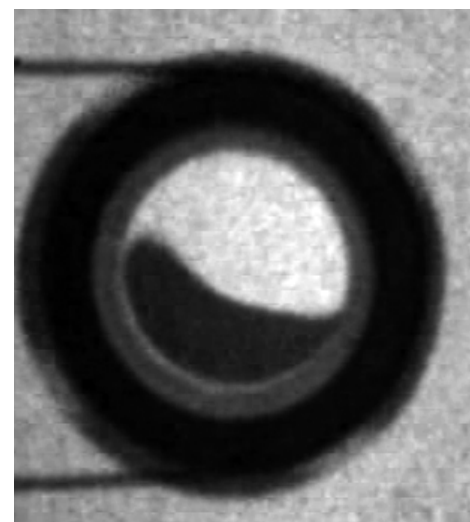


図4 現像剤攪拌挙動

# 天然ボロンを使用した中性子 フィルターの特性調査

利用者 ○青山茂樹<sup>1</sup>、園田雅之<sup>2</sup>、上村雄介<sup>3</sup>所属 <sup>1</sup>日軽新潟株式会社、<sup>2</sup>日軽金アクト株式会社、<sup>3</sup>日本軽金属株式会社

## 1. はじめに

シリコン半導体の製造方法として、中性子ドーピング法（NTD法）という単結晶シリコンに中性子を照射し<sup>30</sup>Siを<sup>31</sup>Pに変換し、シリコン半導体を製造する方法がある。この方法ではシリコン中にリンを均一に分散させられるので高品質の半導体が製造できる。弊社では、これに用いる中性子フィルター用材料（炭化ホウ素含有のアルミニウム基複合材料板）の開発を進めている。この中性子フィルター用材料において、中性子透過率、材料中のB<sub>4</sub>C濃度のバラつきは重要な特性である。これらを調査するために、本トライアルコースにてJRR-3MのPGA装置による中性子フィルター用材料の中性子透過率の測定、TNRFによる透過写真撮影、中性子透過率から中性子フィルター材料中のB<sub>4</sub>C濃度分布の確認を行う。

## 2. 実験方法

試料は中性子フィルター用試作材料から採取した。

- PGA装置を用いて、試料の中性子透過率を測定した。照射時間は100s一定で行った。
- TNRFでは100mm×100mmの視野で試料の中性子透過写真を撮影した。

## 3. 実験結果

PGA装置による中性子透過率測定結果を図1に示す。これは試料のB<sub>4</sub>C濃度と中性子透過率の関係を示したものである。B<sub>4</sub>C濃度が高くなるにつれて中性子透過率が低下しており、B<sub>4</sub>C濃度が20%以上では中性子透過率は0.1%以下であった。次に、TNRFの写真を図2、中性子透過率を表1に示す。図2の写真の下に試料のB<sub>4</sub>C濃度を示してある。図2より各試料とも試料中で濃淡のムラがほとんどないこと、表2の中性子透過率の標準偏差から、B<sub>4</sub>Cが十分均一に分布していることが確認できた。

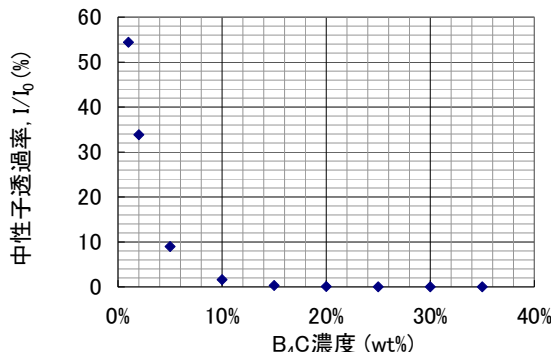


図1. 中性子透過率  
(PGA)

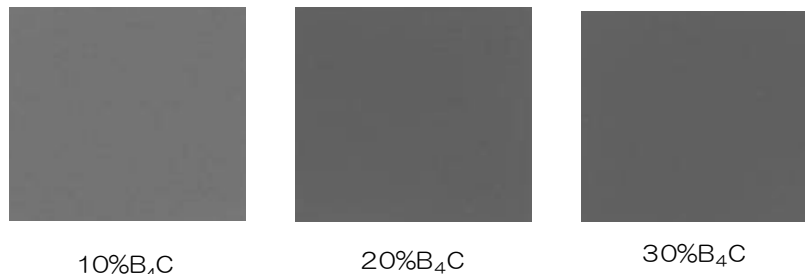


図2. TNRF写真

表1. 中性子透過率 (TNRF)

B <sub>4</sub> C濃度 (%)	中性子透過率(%)			
	平均	最小	最大	標準偏差
10	8.0	6.7	14.8	0.32
20	4.3	3.0	12.6	0.30
30	3.8	3.0	12.2	0.26

## 4. まとめ

PGA、TNRFで中性子フィルター用試作材料の中性子透過率測定、透過写真撮影を行い、本素材はB<sub>4</sub>C濃度により中性子透過率をコントロールできること、材料中にB<sub>4</sub>Cが均一に分布しており安定した中性子透過率を有することがわかった。

# ホタテ貝殻入りアスファルト混合物内の 貝殻の特性解明

利用者 ○高橋 仁、江村 寛、源 厚、重信 佳久、坂本 寿信  
所属 株式会社 佐藤渡辺

## 1. はじめに

青森県内の基幹水産業であるホタテ貝の養殖業から排出されるホタテ貝殻の有効利用の一つとして、道路舗装材料のアスファルト混合物の骨材の一部に使用している。ホタテ貝殻は一般の骨材(砕石)に比べ、大きな空隙を有するため、その貝殻を添加している混合物は、一般のアスファルト混合物に比べ熱特性(熱伝導率)が変化していることが、他の実験結果で報告されている。この変化は、アスファルト混合物に混入されたホタテ貝殻の影響により、混合物内部の水分の動きに差があるのではないかとことから、その現象、特性を中性子ラジオグラフィによる透過像で確認することを目的とした。

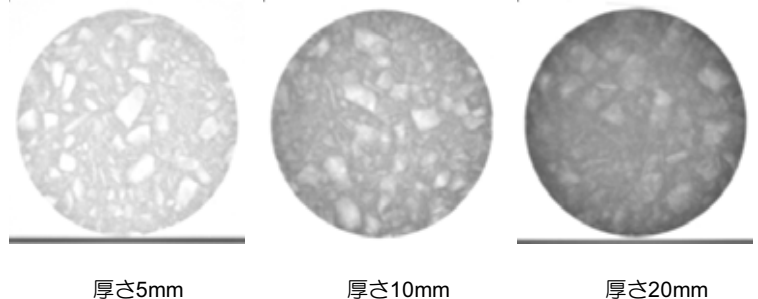
## 2. 実験方法および実験結果

### (1) 実験-1 供試体厚さの確認

アスファルト混合物に対し、中性子の透過率が悪いことが懸念されるため、厚さ5mm、10mm、20mmの厚さの供試体を用い、中性子透過が良好で画像が判断できる供試体厚さの確認をおこなった。

#### 実験結果：

右の写真よりアスファルト混合物は、中性子の透過率がコンクリート等より低く、供試体厚さ20mmでは、画像の判断がつきにくいことから、供試体厚さは10mmまでしか透過できないことが分かった。また、供試体の半分を水で湿らせた試料を撮影したが、明確な差が見られなかった。



厚さ5mm

厚さ10mm

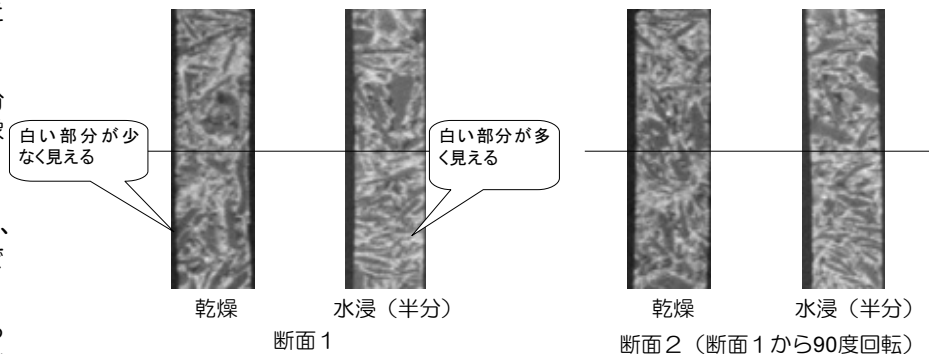
厚さ20mm

### (2) 実験-2 直径φ10mmの円柱供試体のCTスキャン画像

ホタテ貝殻の吸水率が1~2%と低いため、内部の水の状態が観察しづらいことが考えられたため、ホタテ貝殻を85%混入(重量比)した直径φ10mm高さ約50mmの円柱供試体を作製し、空気乾燥させた供試体と高さ方向の半分を24時間水浸させた供試体のCTスキャン画像を撮影した。

#### 実験結果：

右の写真で白い部分は、中性子が透過しづらく、黒い部分が透過しやすい部分である。漠然とではあるが、断面1、断面2とも水浸した供試体の下半分は、他の部分より白い部分が多く見られるようである。水の上部への吸い上げは、判然としない。



乾燥

水浸(半分)

断面1

乾燥

水浸(半分)

断面2 (断面1から90度回転)

## 3. まとめ

本実験から得られた知見をまとめると以下のとおりとなる。アスファルト混合物の中性子ラジオグラフィは、供試体厚さ10mmまで撮影可能である。ホタテ貝殻85%混入のアスファルト混合物では、水浸させた部分の水の保持に関しては、中性子ラジオグラフィのCTスキャン画像から、漠然とではあるが想像できる。

## 4. おわりに

本実験を実施するに当たり、本研究プログラムをご紹介頂いた青森県工業総合研究センター岡部様、実験施設利用に当たりご指導頂いた放射線利用振興協会の石井様はじめ皆様、中性子ラジオグラフィの撮影およびまとめにご指導頂いた日本原子力研究開発機構の松林様はじめ皆様に謝意を表します。

# 中性子ラジオグラフィによる 乾式安全器安全弁動作状況の観察

利用者 ○清原 光浩

所属 有限会社 清原実業

## 1. 要 旨

乾式安全器安全弁動作状況を観察する為、中性子ラジオグラフィによる静止画像及び動画像の撮影実験を行い、被写体の形状、肉厚、撮影方向等、最適な撮影条件を検討した。本件成果を 来るべき高解像度・高速度カメラによる本格的撮影実験に活かして参りたい。

## 2. 実験目的

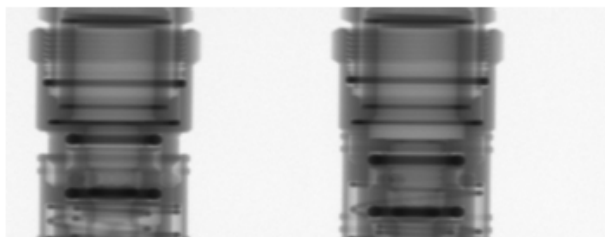
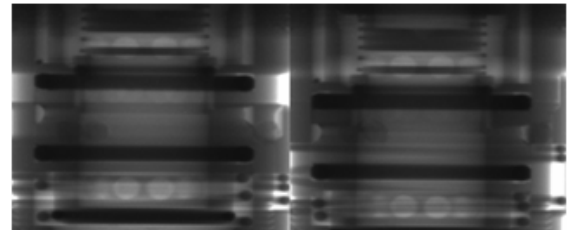
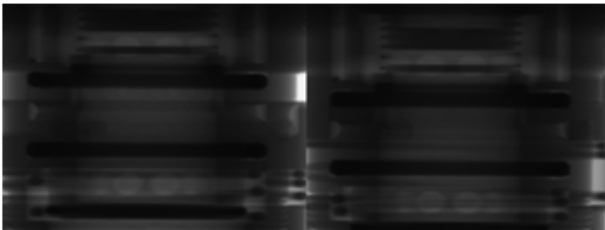
乾式安全器の内部構造及び安全弁稼働状況を可視化し、水素安全器逆火防止メカニズムを最適化することによって次世代水素乾式安全器開発を目指す。

## 3. 実験方法

- ① 中性子ラジオグラフィによる内部構造解析に最も適した安全器のサイズを選定し、安全器安全弁作動前後の状態を静止画撮影し、観察した。
- ② 遠隔操作による通常圧縮エアを使用した「模擬的な逆火阻止実験」を行い、安全弁等の部品動作状況の瞬間を動画撮影し、観察した。

## 4. 研究成果

### ① 安全弁作動前後の静止画撮影



### ② 安全弁動作状況の瞬間動画撮影

別添の動画像ファイルをご参照下さい。

## 5. 結論・考察

静止画像の撮影には、被写体の肉厚が大きく影響した。また、カメラの撮影性能を勘案し、最適な撮影方向をピンポイントで制御することが極めて有効であることを確認した。更に注目すべきは、今回利用した撮影性能が劣る通常動画ビデオカメラであっても、本件静止画像の最適撮影条件を適用した結果、予想を上回る瞬間動画像の撮影に成功した。これらの成果を踏まえ、本格的な高速度カメラによる より鮮明な瞬間動画像の撮影に挑戦して参りたい。

## 6. 引用（参照）文献等

なし

# 遮蔽向け材料における元素分布均一性の評価

利用者 ○ 奥野功一

所属 (株) 間組 技術研究所

## 1. はじめに

高性能な中性子遮蔽材料は、装置の遮蔽や施設の遮蔽に係る経済性、コンパクト化に大きな役割を果たす。しかし、材料における遮蔽性能の均一性に欠けがあれば、その部分は遮蔽欠損となり安全性に問題が生じる。今回、研究用原子炉JRR3の中性子ラジオグラフィ装置TNRFを用い、ホウ素入りコンクリート及び樹脂系中性子遮蔽材等の遮蔽性能分布の均一性を評価し、均一であることが判った。

## 2. 実験目的

高性能な中性子遮蔽材料は、装置の遮蔽や施設の遮蔽に係る経済性、コンパクト化に大きな役割を果たす。遮蔽に用いる材料は、その内部において遮蔽に有効な元素が均一に分布しているかどうか問題となる。もし均一性に欠けがあれば、その部分は遮蔽欠損となり安全性に問題が生じる。特にコンクリートの場合、複数元素の混合物であり透明性が無く、また色等による識別も難しいため、従来の方法で均一性を調べる事が難しい。そこで中性子ラジオグラフィ装置を用い、材料内における遮蔽に有効な元素の均一性（遮蔽性能均一性）を調べた。

## 3. 実験方法

研究用原子炉JRR3の中性子ラジオグラフィ装置TNRFを用い、普通コンクリート、ホウ素入りコンクリート及びエポキシ樹脂とホウ素入り砂を混合した樹脂系中性子遮蔽材料を深さ方向に5枚切断した試験体の中性子ラジオグラフィ画像を取得した。試験体の大きさは、コンクリートについては1枚あたり100mmφ×20mm、樹脂系遮蔽材料については200mm×200mm×7mmである。



普通コンクリート（表面）    ホウ素入りコンクリート（表面）    樹脂系中性子遮蔽材料（表面）  
図1 各試験体の中性子ラジオグラフィ画像

## 4. 研究成果

取得した各材料の表面における中性子ラジオグラフィ画像を図1に示す。また、ホウ素入りコンクリートの深さ毎の中性子ラジオグラフィ画像を図2に示す。さらに、各試験体の中性子透過率を図3に示す。図3で横軸は試験体座標、縦軸が透過率であり、場所は試験体中心における透過率である。

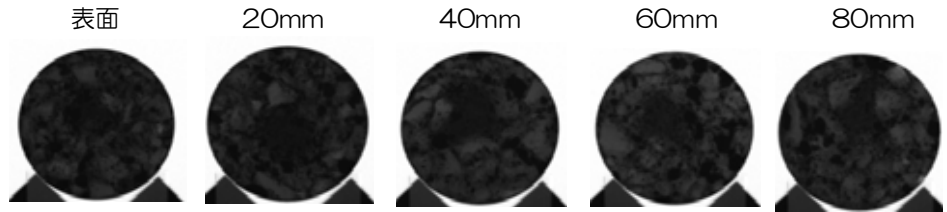


図2 ホウ素入りコンクリートの深さ毎の中性子ラジオグラフィ画像

## 5. 結論・考察

中性子ラジオグラフィ画像は色が黒いほど中性子透過率が悪い、つまり遮蔽性能が良いことを示している。中性子ラジオグラフィ装置で用いている中性子は熱中性子以下の中性子であるため、取得したデータは熱中性子以下のエネルギー領域に対するデータを示している事になる。図1コンクリートの画像において、内部で白く見える角ばった模様が粗骨材である。

また、普通コンクリートの画像において、中心付近に見える黒っぽくなっている部位は水分が存在する部位である事が、乾燥炉を用いた測定で判った。この普通コンクリートは打設後約5年経っているが、内部の水分状況も判る等、コンクリート内部状況が非常に良く観察できることが判った。図2の深さ分布を見ると、粗骨材の部分とそれ以外の部分で濃淡が見えるが、どの深さもほぼ同じ画像であることが判る。実際の管理区域境界等での線量測定において、測定器の検出領域が30cm程度であることを考えると、今回用いた試験体の大きさが100mmφであるため、画像の濃淡は線量測定に殆ど影響しないと考えられる。また、試験体中心における透過率を図3に示す。各深さ毎に透過率のグラフを得たが、ほぼ同じ傾向を示していた。これより、熱中性子以下の領域ではあるが、ホウ素入りコンクリートは普通コンクリートの約2倍弱、樹脂系中性子遮蔽材は普通コンクリートの約2倍の遮蔽性能があることが判る。またX軸分布を見ると、試験体の場所毎における透過率の大きなバラつきも無い事が確認できた。つまり、遮蔽に有効な成分は均一に分布していると考えられる。

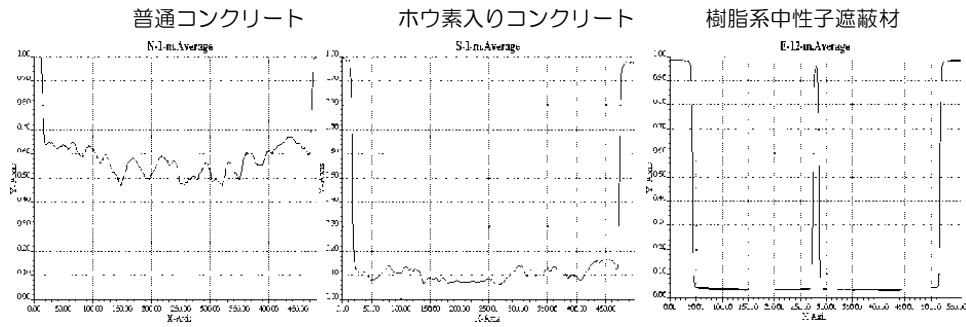


図3 各試験体の中性子透過率

## 6. 引用（参照）文献等

なし