

# 中性子検出器用球殻状減速材の製作

○後藤 伸太郎

名古屋大学全学技術センター工学系技術支援室

## 1. はじめに

平成 26 年度, 研究室から業務依頼を受け中性子検出器用球殻状減速材を製作した(図 1).

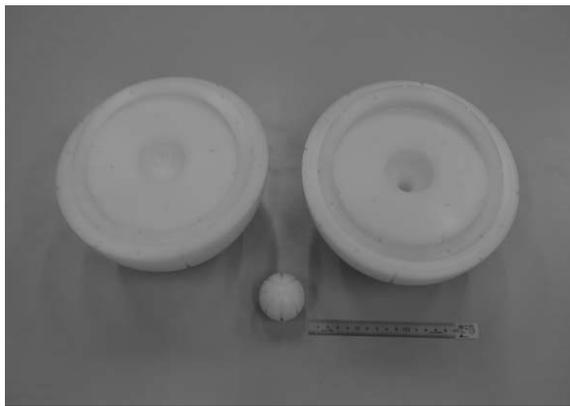


図 1 製作した中性子検出器用球殻状減速材

中性子の検出は速度が遅いほど感度が大きい. 中性子の速度は, 多くの水素原子に衝突を繰り返すことで少しずつ減速する. そのため, 減速材は水素原子を多く含むポリエチレンを材料に用い, これを透過した中性子が検出に適した速度まで減速するよう設計される.

現在用いられている減速材の 1 つに, ボナー球と呼ばれるものがある. これは使用時に, ポリエチレンの厚みが異なる複数個のボナー球を順番に交換する必要がある. そのため, 交換や測定に要する時間が長くなり, 作業者の被曝量増加が問題となる.

当業務依頼で製作した減速材は, 複数の減速材を 1 つにまとめる, プロトタイプの中性子検出器開発で必要となる部品である.

樹脂材料は一般に歪みが大きく, 熱膨張係数が高い. 筆者自身の加工経験が乏しいため, 加工において試行錯誤を重ねた. また, 角溝形状の加工には多くの工夫が必要であった. その他, 製作時の問題点・工夫点をまとめて報告する.

## 2. 仕様

形状は, あらゆる方向から飛び込んでくる中性子を測定するために球形状である(図 2). 中性子検出には LiF-ZnS(Ag)シンチレータシートで覆われた波長シフトファイバー(以下, 光ファイバーという)を用い, 減速材の内部に 5 層に分けて配置する. 球形状のポリエチレンを球殻形状のポリエチレンが覆い, さらに 3 層が同様に覆う(以下, 内側から第 1 層~第 5 層という). それぞれの外表面には光ファイバーを配置するための 3 mm 角の溝を設ける.

球殻は半分に分割され, その片側には内側の層の光ファイバーを外に引き出すための穴を設ける. その穴の形状は光ファイバーの最小曲率半径を考慮した円錐曲面形状である. また, 分割された互いの角溝が組立時に一致するよう, ピンで位置合わせを行う. さらに, このピンは手で引き抜ける程度の締めバメになっており, 意図に反して分解しないようにする役目も担う.

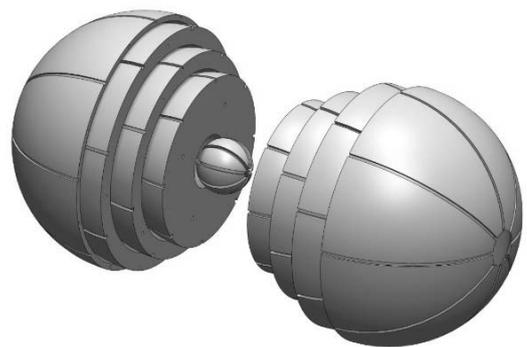


図 2 中性子検出器用球殻状減速材の構造

## 3. 加工方法の検討

3D プリンタ, マシニングセンタ, CNC 旋盤の 3 つの工作機械で加工方法を検討した.

平成 24 年度に本学理学部の工作室に 3D プリンタが導入された. 球形状は工作機械に取り付けるた

めに治具を必要とするうえ、角溝やピン穴を含む形状であるため、製作には 3D プリンタが適していると考えた。しかし、この 3D プリンタについて調べたところ、対応する材料がアクリル樹脂のみであることが分かったため断念した。

次にマシニングセンタによる加工を検討した。球形状、球殻の外・内側の形状、ピン穴の加工は容易であるが、当工作室の 3 軸マシニングセンタでは角溝の加工は頂点を除く部分の加工が難しいと考えた。

最後に CNC 旋盤による加工を検討した。球形状、球殻の外・内側の形状、ピン穴の加工は容易である。そして角溝の加工を検討した結果、治具を工夫すれば可能であると考えた。

以上の理由により、CNC 旋盤を用いて加工することに決定した。

#### 4. CNC 旋盤を用いた加工

##### 1) 球形状減速材加工工程

###### ①丸棒の片側を半球形状に加工(図 3)

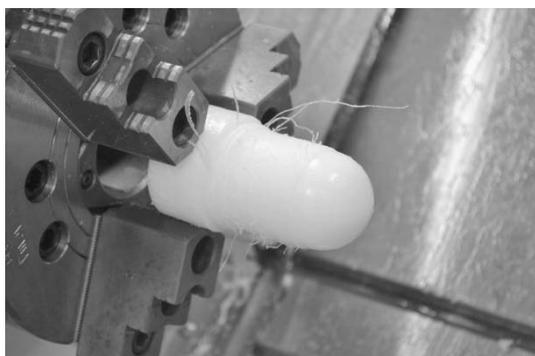


図 3 半球形状

###### ②くびれと球形状の加工

図 4 に示すように、くびれを作ると同時に球形状に加工する。

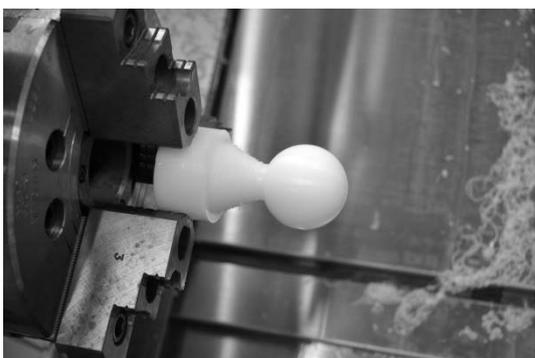


図 4 くびれと球形状

仕上加工用刃物には一般的な右勝手バイト、左勝手バイトを用いた。くびれは、仕上加工時に刃物ホルダの干渉を避けるために必要である。くびれの最細部の寸法は、小さいほど仕上加工時にビビリが発生しやすくなる一方、工程④における加工は行いやすくなる。治具寸法を考慮した結果、くびれの最細部は  $\phi 20 \text{ mm}$  とした。

くびれ部分の荒加工用刃物は、刃先角は小さくなければ球形状に干渉してしまう。当工作室には十分に小さな刃先角を持つ刃物が無かったため、突切りろう付バイトを成形して図 5 に示す荒加工用刃物を用意した。



図 5 くびれ部分の荒加工用刃物

###### ③くびれ部分を突切り加工により切断

図 6 に示すように、くびれ部分に突切り加工で深い溝を作り、最後に手でねじり取る。

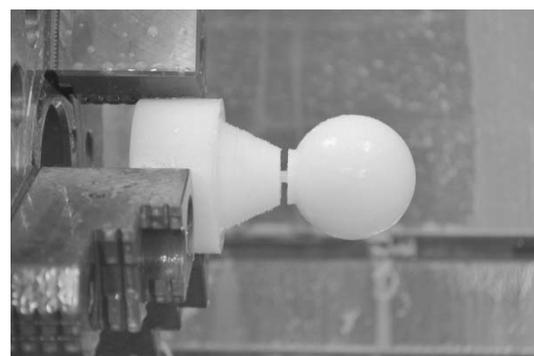


図 6 くびれ部分の突切り加工

###### ④切断部を球形状に加工

図 7 に示すように、治具を用いて工程③で切断した材料を CNC 旋盤に取り付けて加工を行う。

この工程の加工面と、工程②の加工面が滑らかにつながるよう、治具の中心と回転中心を正確に一致させる必要がある。そのため、治具製



図7 切断部の加工

作後は取り外すことなく、そのまま加工に用いられるよう工程を工夫した。

#### ⑤溝入れ加工

図8に示すように、治具を用いて溝入れ加工を行う。チャック側の治具は工程④で使用したものであり、そのまま取り外すことなく用いる。

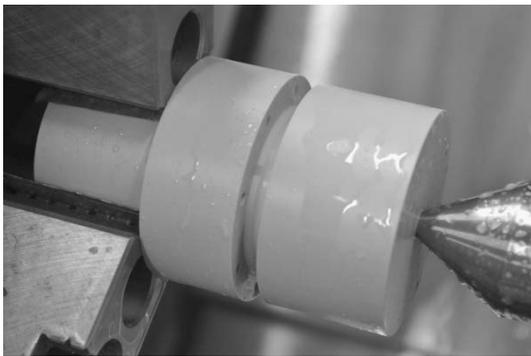


図8 球の溝入れ加工

## 2) 球殻形状減速材加工工程

球殻形状減速材は4種類の大きさがあるので、それぞれの大きさに合わせて4種類の治具を製作して用いた。

### ①丸棒の片側を半球形状に加工

球形状減速材の工程①と同様に加工する。

### ②接合面仕上・穴あけ・中ぐり加工

図9に示すように、治具を用いて工程①の材料をCNC旋盤に取り付ける。

球形状減速材の工程④と同様に、治具の中心と回転中心を正確に一致させるため、治具製作後にそのまま加工に用いられるよう工程を工夫した。

接合面仕上の加工において、図9中の押え板は使用できない。心押台を使用して治具に保持する方法はCNC旋盤の衝突に配慮する必要

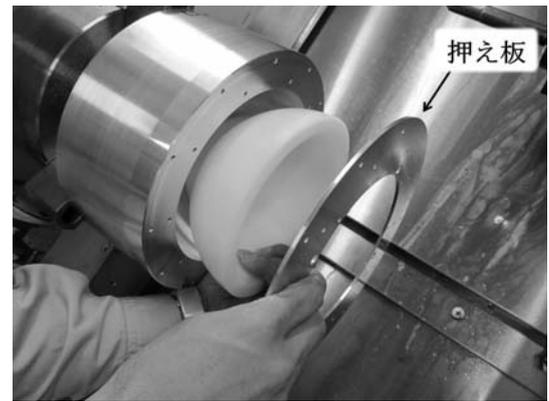


図9 球殻中ぐり加工

があるので、はめあいにより保持する方法をとった。すべての球殻において直径値で0.03mm小さい寸法で治具を製作したところ、接合面加工には十分に耐え得る保持が可能であった。

球殻の中ぐり加工は接合面仕上加工後に押え板を使用して行った。

### ③溝入れ加工

図10に示すように、板に球殻を貼り付けて溝入れ加工を行う。

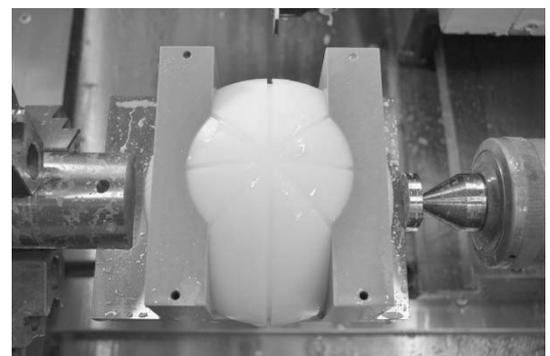


図10 球殻の溝入れ加工

治具は回転中心が球殻の接合面を通るように設計し、また、重心が回転中心と一致していないため、心押台を使用して加工を行う。

## 5. 加工中の問題点・工夫点について

- 1) 球殻の第4, 5層の中ぐり加工中に治具と材料が滑り、中ぐりバイトが材料に食い込む問題が発生した(図11)。これは加工が進むにつれて材料が薄肉になるため、はめあいによる摩擦力が小さくなったことが原因であると考えた。

治具の押え板と材料の間に両面テープを貼って再加工したところ滑ることなく加工でき、問題は



図 11 治具と材料が滑る不具合

解決した。その際、本来の方向より僅かに傾くことが考えられるが、球殻仕上がり形状に対する影響は小さく問題はないと考えた。

- 2) 加工後に球殻が歪むため、寸法精度が低いことが課題として残った。

第 3 層と第 4 層は加工後に治具から取り外すと径方向に 0.7 mm ほど縮む歪みが発生した。これは加工前の材料に内部応力があり、加工により内側が除去されたため現れた現象であると考えた。第 5 層では球殻の肉厚が 5 mm と薄肉であるため、この現象がより顕著になると考え、その対策として焼きなまし処理を行った。その結果、第 5 層においては加工後に治具から取り外しても歪みは 0.1 mm 以下に止まった。このことから、焼きなまし処理は非常に有効であると考えられる。

第 3, 4 層は依頼者の承諾を得て追加加工で内径を広げて修正した。次回以降、樹脂材料加工の業務依頼を受けた際は、すべての材料において焼きなまし処理を取り入れることで、歪みの減少を図りたい。

## 6. まとめ

研究室から業務依頼を受け、中性子検出器用球殻状減速材を製作した。

筆者にとっては加工経験の少ないポリエチレンを材料に用い、また、形状は工作機械に取り付けにくい球・球殻形状であったため、加工工程の検討と治具の設計には大変苦勞した。しかし、そのおかげで技術面、精神面において成長できたと感じている。また、CNC 旋盤において初めて使用する機能もあり操作技術の習得にもつながった。

## 謝辞

このような加工の経験を積むことができたことを依頼元の工学研究科瓜谷研究室をはじめ、全学技術センター、関係の皆様から感謝申し上げます。