

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6734368号  
(P6734368)

(45) 発行日 令和2年8月5日 (2020. 8. 5)

(24) 登録日 令和2年7月13日 (2020. 7. 13)

|                         |                |
|-------------------------|----------------|
| (51) Int. Cl.           | F I            |
| GO 1 T 7/00 (2006. 01)  | GO 1 T 7/00 A  |
| A 6 1 N 5/10 (2006. 01) | A 6 1 N 5/10 Q |
| GO 1 T 1/04 (2006. 01)  | GO 1 T 1/04    |
| GO 1 T 1/06 (2006. 01)  | GO 1 T 1/06    |

請求項の数 7 (全 16 頁)

|                    |                              |           |                                      |
|--------------------|------------------------------|-----------|--------------------------------------|
| (21) 出願番号          | 特願2018-517656 (P2018-517656) | (73) 特許権者 | 000004743                            |
| (86) (22) 出願日      | 平成30年3月27日 (2018. 3. 27)     |           | 日本軽金属株式会社                            |
| (86) 国際出願番号        | PCT/JP2018/012576            |           | 東京都港区新橋一丁目1番13号                      |
| (87) 国際公開番号        | W02018/181395                | (74) 代理人  | 100126000                            |
| (87) 国際公開日         | 平成30年10月4日 (2018. 10. 4)     |           | 弁理士 岩池 満                             |
| 審査請求日              | 平成30年4月5日 (2018. 4. 5)       | (74) 代理人  | 100131705                            |
| 審判番号               | 不服2019-7576 (P2019-7576/J1)  |           | 弁理士 新山 雄一                            |
| 審判請求日              | 令和1年6月7日 (2019. 6. 7)        | (74) 代理人  | 100182925                            |
| (31) 優先権主張番号       | PCT/JP2017/013684            |           | 弁理士 北村 明弘                            |
| (32) 優先日           | 平成29年3月31日 (2017. 3. 31)     | (72) 発明者  | 薄 秀明                                 |
| (33) 優先権主張国・地域又は機関 | 日本国 (JP)                     |           | 東京都品川区東品川二丁目2番20号 日<br>本軽金属株式会社内     |
|                    |                              | (72) 発明者  | 古屋 日高                                |
|                    |                              |           | 愛知県稲沢市小池一丁目11番1号 日本<br>軽金属株式会社名古屋工場内 |
|                    |                              |           | 最終頁に続く                               |

(54) 【発明の名称】 線量計容器及び線量計測体

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

中性子線以外の所定の放射線の線量を計測する放射線量計測器を収納する収納部と、  
前記収納部の周囲全体を囲み、かつ、少なくとも、前記放射線量計測器の計測対象である前記所定の放射線を透過し、中性子線を遮蔽する L i F 焼結体からなる遮蔽部とを備える線量計容器であって、

前記 L i F 焼結体は、<sup>6</sup> L i F からなり、83%以上90%以下の相対密度を有し、前記 L i F 焼結体において、<sup>6</sup> L i の純度が95.0atom%以上、かつ、L i F 純度が99wt%以上である、線量計容器。

【請求項 2】

前記所定の放射線は、ガンマ線である、請求項 1 に記載の線量計容器。

【請求項 3】

前記遮蔽部は、少なくとも2つ以上の遮蔽部構成部材を有し、隣り合う遮蔽部構成部材は、互いに突き合わせ可能な構造を有する、請求項 1 又は 2 に記載の線量計容器。

【請求項 4】

前記隣り合う遮蔽部構成部材は、互いに嵌合可能な構造を有する、請求項 3 に記載の線量計容器。

【請求項 5】

前記収納部の大きさは、前記放射線量計測器の大きさと略同じかそれよりも大きく、  
前記収納部は、前記遮蔽部構成部材の全体にわたって延在する、請求項 3 又は 4 に記載

10

20

の線量計容器。

【請求項 6】

前記収納部の内表面から前記遮蔽部構成部材の外表面までの最短距離が一定である、請求項 3 から 5 のいずれかに記載の線量計容器。

【請求項 7】

請求項 1 から 6 のいずれかに記載の線量計容器の前記収納部に前記放射線量計測器が収納された線量計測体。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

10

本発明は、ガンマ線等、中性子線以外の放射線の線量を測定する線量計容器及び線量計測体に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、がん治療の手段として、ホウ素中性子捕捉療法 (BNCT: Boron Neutron Capture Therapy) の研究開発が急速に進んでいる。ホウ素中性子捕捉療法は、中性子線を利用した放射線治療である。まず、がん細胞に特異的に取り込まれるホウ素化合物を患者に投与する。次いで、ホウ素化合物が蓄積されたがん細胞に、所定の範囲のエネルギーに制御された中性子線を当てる。ホウ素化合物と中性子線が衝突すると  $\alpha$  線が生じる。この  $\alpha$  線によってがん細胞が死滅する。

20

【0003】

ホウ素中性子捕捉療法は、がん治療の手段として将来が期待されており、臨床試験への段階が進みつつある。ホウ素中性子捕捉療法に使用される中性子線照射装置は、熱中性子線や熱外中性子線を利用して治療の効果をj得るものであり、中性子線照射環境は、ある一定の幅のエネルギーを持つ放射線が混在する場合でもある。こうした状況下で、なるべくガンマ線のみを選択的に測定し、装置の安全性等を確認する工程が必要になる。

【0004】

中性子線照射装置に供する中性子線発生装置として、これまで、原子炉を利用する必要があった。ところが、近年、病院内設置型の小型の中性子発生装置が提案されつつある。この小型の中性子発生装置は、ベリリウムやリチウムのターゲットに加速器で加速させた陽子や重陽子を衝突させるものである。発生した中性子線は、従来型の設備よりも熱中性子や熱外中性子の割合が多く、これを減速材によって減速させ、人体に影響の小さい中性子線照射環境を提供する。

30

【0005】

中性子線照射環境においては、中性子線の照射によって放射化されたガンマ線等、中性子線の他にも、人体に影響のあるガンマ線等の放射線も混在する。ガンマ線の検出には専用の線量計が利用されるが、中性子線の存在下で測定を行うと、中性子線の影響によりガンマ線量を正確に測定できない場合がある。

【0006】

ガンマ線量の測定精度を高める手法として、共に使用される第二検出器を構成する放射線量計と同一の放射線量計の周囲に配置され且つ鉛又は鉛合金からなると共に、中性子の減衰とガンマ線の補正係数とがガンマ線の計測における許容範囲に収まるように厚さを決定したフィルターから構成される第一検出器を備えたことを特徴とするガンマ線計測装置が提案されている (特許文献 1 参照)。

40

【0007】

しかしながら、鉛は、中性子線を遮蔽せず、ガンマ線を遮蔽する。また、鉛や鉛合金は、中性子線照射による放射化により、それ自体からガンマ線を放射する。そのため、鉛又は鉛合金のフィルターの内部と外部との両方に放射線検出器を設け、フィルターの内部に設けられた放射線検出器の検出結果と、フィルターの外部に設けられた放射線検出器の検出結果との差からガンマ線の線量を計算する必要がある。したがって、特許文献 1 に記載

50

の手法では、手順が煩雑であるとともに、放射線量計の大型化にもつながる。

【 0 0 0 8 】

また、中性子線を遮蔽する材料の観点から、融点が 40 ~ 80 である熱可塑性樹脂に、フッ化リチウム等の放射線遮蔽材を混練してなる放射線防護用器材の造形用組成物が提案されている（特許文献 2 参照）。

【 0 0 0 9 】

しかしながら、特許文献 2 に記載の造形用組成物では、樹脂に混合させることのできるリチウム化合物等の放射線遮蔽材の比率には限界があり、十分な遮蔽効果を得るためには、遮蔽材の厚みを大きく設計しなければならない。また、中性子線の照射により、樹脂成分は、わずかに放射化し、ガンマ線を放出するため、線量計の測定結果に影響を及ぼし得る。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【 0 0 1 0 】

【特許文献 1】特開 2 0 1 6 - 3 8 9 2 号公報

【特許文献 2】特開平 8 - 2 0 1 5 8 1 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 1 1 】

本発明は、上述した実情に鑑みて提案されたものであり、放射線量の測定精度の高度化と、測定装置の小型化との両方に寄与する線量計容器を提供することを目的とする。

20

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 2 】

本発明者らは、上述した課題を解決するために鋭意検討を重ねた。その結果、特定の放射線量計測器を収納する収納部と、少なくとも、中性子線遮蔽性を有する特定の材料の部材からなり、収納部を囲む遮蔽部とを備えることで、放射線量の測定精度の高度化と、測定装置の小型化との両方に寄与する線量計容器を提供できることを見出し、本発明を完成するに至った。すなわち、本発明は、以下のものを提供する。

【 0 0 1 3 】

( 1 ) 本発明の第 1 の発明は、中性子線以外の所定の放射線の線量を計測する放射線量計測器を収納する収納部と、前記収納部を囲み、かつ、少なくとも、前記放射線量計測器の計測対象である前記所定の放射線を透過し、中性子線を遮蔽する L i F 焼結体からなる遮蔽部とを備える線量計容器である。

30

【 0 0 1 4 】

( 2 ) また、本発明の第 2 の発明は、上記第 1 の発明において、前記 L i F 焼結体は、<sup>6</sup> L i F 焼結体である。

【 0 0 1 5 】

( 3 ) また、本発明の第 3 の発明は、上記第 2 の発明において、前記 <sup>6</sup> L i F 焼結体は、<sup>6</sup> L i F からなり、83 % 以上 90 % 以下の相対密度を有し、外表面のクラック及び膨れが抑制された良好な外観を有する。

40

【 0 0 1 6 】

( 4 ) また、本発明の第 4 の発明は、上記第 1 から第 3 のいずれかの発明において、前記所定の放射線は、ガンマ線である。

【 0 0 1 7 】

( 5 ) また、本発明の第 5 の発明は、上記第 1 から第 4 のいずれかの発明において、前記遮蔽部は、少なくとも 2 つ以上の遮蔽部構成部材を有し、隣り合う遮蔽部構成部材は、互いに突き合わせ可能な構造を有する。

【 0 0 1 8 】

( 6 ) また、本発明の第 6 の発明は、上記第 5 の発明において、前記隣り合う遮蔽部構成部材は、互いに嵌合可能な構造を有する。

50

## 【 0 0 1 9 】

( 7 ) また、本発明の第 7 の発明は、上記第 5 又は第 6 の発明において、前記収納部の大きさは、前記放射線量計測器の大きさと略同じかそれよりも大きく、前記収納部は、前記遮蔽部構成部材の全体にわたって延在する。

## 【 0 0 2 0 】

( 8 ) また、本発明の第 8 の発明は、上記第 5 から第 7 のいずれかの発明において、前記収納部の内表面から前記遮蔽部構成部材の外表面までの最短距離が一定である。

## 【 0 0 2 1 】

( 9 ) また、本発明の第 9 の発明は、上記第 1 から第 8 のいずれかの発明における線量計容器の前記収納部に前記放射線量計測器が収納された線量計測体である。

10

## 【発明の効果】

## 【 0 0 2 2 】

本発明によれば、放射線量の測定精度の高度化と、測定装置の小型化との両方に寄与する線量計容器を提供することができる。

## 【図面の簡単な説明】

## 【 0 0 2 3 】

【図 1 A】本発明の第 1 の実施形態に係る線量計容器の斜視図である。

【図 1 B】上記線量計容器の正面図である。

【図 1 C】図 1 B の A - A 断面図である。

【図 1 D】上記線量計容器の本体部の斜視図である。

20

【図 1 E】上記線量計容器の蓋部の斜視図である。

【図 1 F】上記線量計容器の収納部に放射線量計測器が収納された状態を示す図である。

【図 2 A】本発明の第 2 の実施形態に係る線量計容器の斜視図である。

【図 2 B】上記線量計容器の正面図である。

【図 2 C】図 2 B の A - A 断面図である。

【図 2 D】上記線量計容器の本体部の斜視図である。

【図 2 E】上記線量計容器の蓋部の斜視図である。

【図 2 F】上記線量計容器の収納部に放射線量計測器が収納された状態を示す図である。

【図 3 A】本発明の第 3 の実施形態に係る線量計容器の斜視図である。

【図 3 B】上記線量計容器の正面図である。

30

【図 3 C】上記線量計容器の平面図である。

【図 3 D】図 3 C の A - A 断面図である。

【図 3 E】上記線量計容器の本体部の斜視図である。

【図 3 F】上記線量計容器の蓋部の斜視図である。

【図 3 G】上記線量計容器の収納部に放射線量計測器が収納された状態を示す図である。

【図 4 A】本発明の第 4 の実施形態に係る線量計容器の斜視図である。

【図 4 B】上記線量計容器の正面図である。

【図 4 C】上記線量計容器の平面図である。

【図 4 D】図 4 C の A - A 断面図である。

【図 4 E】上記線量計容器の本体部の斜視図である。

40

【図 4 F】上記線量計容器の蓋部の斜視図である。

【図 4 G】上記線量計容器の収納部に放射線量計測器が収納された状態を示す図である。

【図 5】本実施例の線量計容器を正面から断面視したときの寸法図である。

## 【発明を実施するための形態】

## 【 0 0 2 4 】

以下、本発明に係る線量計容器等の具体的な実施形態について詳細に説明するが、本発明は以下の実施形態に何ら限定されるものではなく、本発明の要旨を変更しない範囲内において、適宜変更を加えて実施することができる。

## 【 0 0 2 5 】

## 1 . 第 1 の実施形態

50

## &lt; 線量計容器 10 &gt;

図 1 は、本発明の第 1 の実施形態に係る線量計容器 10 の一例を示す模式図である。より詳しく説明すると、図 1 A は、線量計容器 10 の斜視図である。図 1 B は、線量計容器 10 の正面図であり、図 1 C は、図 1 B の A - A 断面図である。図 1 D は、線量計容器 10 の本体部 12 A の斜視図であり、図 1 E は、線量計容器 10 の蓋部 12 B の斜視図である。また、図 1 F は、線量計容器 10 の収納部 11 に放射線量計測器 51 が収納された状態を示す模式図である。

## 【 0 0 2 6 】

本実施形態に係る線量計容器 10 は、放射線量計測器を収納する収納部 11 と、収納部 11 を囲む遮蔽部 12 とを備える。

## 【 0 0 2 7 】

## 〔 収納部 11 〕

収納部 11 は、放射線量計測器を収納にするための空間を有する。

## 【 0 0 2 8 】

放射線量計測器は、中性子線以外の所定の放射線の線量を計測する素子である。所定の放射線は、中性子線以外の放射線の中から任意に選択できるが、ホウ素中性子捕捉療法 (BNCT) への応用という観点から、所定の放射線は、ガンマ線であることが好ましい。ただし、ここでいう放射線量計測器は、ガラス線量計を構成する蛍光ガラス素子そのものや前記蛍光ガラス素子が樹脂製のホルダーに収納されたものなど、一連の形態の線量計を含むものとする。

## 【 0 0 2 9 】

素子の種類は、特に限定されない。例えば、ガラス線量計を構成する蛍光ガラス素子、フリッケ線量計を構成する硫酸第一鉄又は硫酸第一鉄アンモニウム等が挙げられる。

## 【 0 0 3 0 】

収納部 11 の大きさは、特に制限されないが、線量計容器 10 を小型化するという観点から、収納部 11 の大きさは、放射線量計測器の大きさと略同じであることが好ましい。

## 【 0 0 3 1 】

例えば、放射線量計測器がガラス線量計を構成する蛍光ガラス素子である場合、収納部 11 は、 $\phi 2.5\text{ mm} \sim 3\text{ mm}$ 、長さ  $10\text{ mm} \sim 15\text{ mm}$  の円柱形状である。

## 【 0 0 3 2 】

## 〔 遮蔽部 12 〕

遮蔽部 12 は、収納部 11 を囲み、線量計容器 10 に届く中性子線を遮蔽可能に構成される。

## 【 0 0 3 3 】

遮蔽部 12 は、中性子線を遮蔽する一方、少なくとも、収納部 11 に収納される放射線量計測器の計測対象である放射線を透過する材料の部材からなる。これにより、放射線量計測器は、線量計容器 10 の内部に 1 つあれば足り、線量計容器 10 の外部に放射線量計測器が未配置であっても、収納部 11 に収納された放射線量計測器が測定対象の放射線を正確に検出できる。したがって、測定対象の放射線量を計算する手順を簡略化できるとともに、線量計容器 10 の小型化に寄与し得る。

## 【 0 0 3 4 】

遮蔽部 12 の材料については、後に詳しく説明する。

## 【 0 0 3 5 】

遮蔽部 12 の大きさの下限は、遮蔽部 12 に届く中性子線を好適に遮蔽し、放射線量計測器の計測対象である放射線を好適に透過することができれば、特に限定されない。例えば、遮蔽部 12 は、収納部 11 の周囲に、 $2\text{ mm}$  以上の厚さを有することが好ましく、 $3\text{ mm}$  以上の厚さを有することがより好ましい。

## 【 0 0 3 6 】

遮蔽部 12 の大きさの上限は、特に限定されないが、従来の線量計容器の薄型化、小型化を図る観点から、遮蔽部 12 は、収納部 11 の周囲に、 $8\text{ mm}$  以下の厚さを有すること

10

20

30

40

50

が好ましく、5 mm以下の厚さを有することがより好ましい。

【0037】

また、遮蔽部12は、少なくとも2つ以上の遮蔽部構成部材を有する。本実施形態では、遮蔽部12は、2つ以上の遮蔽部構成部材として、本体部12A及び蓋部12Bを有する。

【0038】

そして、図1C、図1D及び図1Eから分かるように、隣り合う遮蔽部構成部材である本体部12A及び蓋部12Bは、互いに突き合わせ可能な構造を有する。

【0039】

遮蔽部12を2つ以上の遮蔽部構成部材とし、隣り合う遮蔽部構成部材を互いに突き合わせ可能にすることで、遮蔽部構成部材どうしの着脱が容易となり、放射線量計測器の収納部11への収納、取り外しも容易となる。

【0040】

突き合わせ可能な構造の種類は、特に限定されず、図1C、図1D及び図1Eにあるように、本体部12Aと蓋部12Bとを互いに嵌合可能な構造にすることのほか、本体部12Aと蓋部12Bとを突き合わせ、継ぎ目の外側を固定部材で固定すること等が挙げられる。

【0041】

中でも、隣り合う遮蔽部構成部材である本体部12Aと蓋部12Bは、互いに嵌合可能な構造を有することが好ましい。嵌合可能にすることで、継ぎ目の外側を固定部材で固定することなく、本体部12Aと蓋部12Bとを一体化できる。また、固定部材に中性子線及び中性子線以外の放射線が照射されることによって起こり得る影響を無視できる。

【0042】

嵌合可能な構造の種類は、特に限定されず、図1C、図1D及び図1Eにあるように、一方の遮蔽部構成部材（ここでは、本体部12A）を凸形状にし、他方の遮蔽部構成部材（ここでは、蓋部12B）を凹形状にすることのほか、一方の遮蔽部構成部材を所定方向への傾斜部材にし、他方の遮蔽部構成部材を、一方の遮蔽部構成部材とは対称な形状を有する傾斜部材にすることが挙げられる。

【0043】

中でも、線量計容器10に向けて直線的に照射された中性子線を好適に遮蔽し、測定対象となる放射線を好適に透過させるという観点から、嵌合可能な構造は、図1C、図1D及び図1Eにあるように、一方の遮蔽部構成部材（ここでは、本体部12A）を凸形状にし、他方の遮蔽部構成部材（ここでは、蓋部12B）を凹形状にして形成することが好ましい。

【0044】

特に、本体部12Aの底部から凸状部材の頂部までの長さ $L_A$ と、蓋部12Bの底部から凹状部材の頂部までの長さ $L_B$ とが同じであることが好ましい。 $L_A$ と、 $L_B$ とを同じにすることで、同一の厚さの板状体から本体部12A及び蓋部12Bを切り出すことができ、線量計容器10を効率よく製造できるとともに、切削による原料のロスを抑えられる。

【0045】

上述したとおり、収納部11の大きさは、放射線量計測器の大きさと略同じであることが好ましい。加えて、収納部11は、遮蔽部構成部材（本実施形態では本体部12A及び蓋部12B）の全体にわたって延在することが好ましい。収納部11の大きさが、放射線量計測器の大きさと略同じであり、収納部11が、遮蔽部構成部材の全体にわたって延在することで、突き合わせた遮蔽部構成部材どうしを固定するにあたり、収納部11に収納される放射線量計測器そのものが固定部材として機能し得る。

【0046】

本体部12Aを凸形状にし、蓋部12Bを凹形状にして本体部12Aと蓋部12Bとを嵌合可能にする場合、本体部12Aが凸状に突出する長さと、蓋部12Bが凹状に凹む深

10

20

30

40

50

さは、本体部 1 2 A と蓋部 1 2 B との突き合わせ及び取り外しの容易性、突き合わせた遮蔽部構成部材どうしを固定する強度等の観点から、適宜設定すればよい。

【 0 0 4 7 】

例えば、放射線量計測器がガラス線量計を構成する蛍光ガラス素子である場合、本体部 1 2 A が凸状に突出する長さと、蓋部 1 2 B が凹状に凹む深さとの下限は、1 mm 以上であることが好ましく、1 . 5 mm 以上であることがより好ましく、2 mm 以上であることがさらに好ましい。本体部 1 2 A が凸状に突出する長さと、蓋部 1 2 B が凹状に凹む深さとが短すぎると、本体部 1 2 A と蓋部 1 2 B とを嵌め合わせても、線量計容器 1 0 を使用している間に蓋部 1 2 B が本体部 1 2 A から外れる可能性がある。

【 0 0 4 8 】

また、放射線量計測器がガラス線量計を構成する蛍光ガラス素子である場合、本体部 1 2 A が凸状に突出する長さと、蓋部 1 2 B が凹状に凹む深さとの上限は、1 0 mm 以下であることが好ましく、5 mm 以下であることがより好ましく、3 mm 以下であることがさらに好ましい。本体部 1 2 A が凸状に突出する長さと、蓋部 1 2 B が凹状に凹む深さとが長すぎる場合、切削による原料のロスが大きくなり、コストが増大してしまう。

【 0 0 4 9 】

遮蔽部構成部材の厚みについては、収納部の内表面から遮蔽部構成部材の外表面までの最短距離が一定となるように構成するのが良い。このように構成することで、収納部に収納される放射線量計測器を均一的に遮蔽部構成部材で覆うことができるため、あらゆる方向からの中性子線を等しい割合で遮蔽することができる。したがって、中性子線の照射方向に関わらず、容器に収納した線量計測体の配置パターンを自由自在とすることができる。

【 0 0 5 0 】

また、収納部端部の隅においては、例えば、図 5 のように、遮蔽部構成部材の厚みが 5 mm であれば、断面形状から見た遮蔽部構成部材の両端部を R 5 の曲面とすれば、収納部端部の隅から遮蔽部構成部材の外表面までの最短距離を、等しく 5 mm とすることができる。このように、遮蔽部構成部材の厚みに応じて、適宜、遮蔽部構成部材の端部の R 部の曲面を設計することで、収納部の内表面から遮蔽部構成部材の外表面までの最短距離を一定とすることができる。

【 0 0 5 1 】

上記性質を有する材料として、LiF 含有材料が挙げられる。中でも、LiF 含有率が高く、他の成分が中性子線を透過する影響を受けず、線量計容器 1 0 の小型化、薄型化に寄与できることから、LiF 含有材料は、LiF 焼結体であることが好ましい。

【 0 0 5 2 】

ところで、Li は、 ${}^6\text{Li}$  と  ${}^7\text{Li}$  との 2 つの安定同位体を含み、天然での存在比は、 ${}^7\text{Li}$  が 92 . 5 atom % であるのに対し、 ${}^6\text{Li}$  が 7 . 5 atom % である。そのうち、中性子線の遮蔽に寄与するものは、 ${}^6\text{Li}$  であるので、 ${}^6\text{Li}$  が濃縮された  ${}^6\text{LiF}$  を使用することによって、より高い効率で中性子線を遮蔽することができる。そのことから、LiF 焼結体は、 ${}^6\text{LiF}$  焼結体であることがより好ましい。以下、 ${}^6\text{LiF}$  焼結体について説明する。

【 0 0 5 3 】

(  ${}^6\text{LiF}$  焼結体 )

( 1 ) 成分 :  ${}^6\text{LiF}$

${}^6\text{LiF}$  焼結体は、 ${}^6\text{LiF}$  を主原料としており、他の中性子減速材料・遮蔽材料 ( 例えば、 $\text{CaF}_2$ 、 $\text{MgF}_2$ 、 $\text{MgF}_2 - \text{CaF}_2$  二元系、 $\text{MgF}_2 - \text{CaF}_2 - \text{LiF}$  三元系等 ) に比べて高い中性子遮蔽性能を有する。また、 ${}^6\text{LiF}$  焼結体は、 ${}^6\text{LiF}$  からなり、焼結助剤や複合材成分として他の無機化合物が混合されておらず、また、熱可塑性樹脂等との混合物でもない。したがって、本実施形態に係る  ${}^6\text{LiF}$  焼結体は、極めて高い中性子遮蔽性能を有し、遮蔽部 1 2 の薄型化、小型化に寄与し得る。

【 0 0 5 4 】

$^6\text{LiF}$  焼結体において、 $^6\text{Li}$  の純度は、 $95.0\text{ atom}\%$  以上、かつ、 $\text{LiF}$  純度が  $99\text{ wt}\%$  以上であることが好ましい。 $^6\text{LiF}$  焼結体に金属成分（元素）等の不純物が多く混在していると、 $^6\text{LiF}$  焼結体に中性子線を照射することによって不純物が放射化し、ガンマ線を放出する可能性がある。 $^6\text{LiF}$  に中性子線が照射されても、放射化は起こらない。よって、本実施形態に係る  $^6\text{LiF}$  焼結体において、 $^6\text{Li}$  が  $95.0\text{ atom}\%$  以上、かつ、 $\text{LiF}$  純度が  $99\text{ wt}\%$  以上にする事で、中性子遮蔽性能に優れるだけでなく、人体への被ばくの影響を最小限に抑えられるという利点を有する。

【0055】

また、 $^6\text{LiF}$  は、焼結体である。 $^6\text{LiF}$  焼結体を製造する手法として、単結晶育成法、融液から凝固させる方法、焼結法等が挙げられる。

10

【0056】

しかしながら、単結晶育成法は、製造に際して高い制御精度を必要とするため、品質の安定度に劣り、製品価格は極めて高価なものとなる。加えて、得られた成形体は、単結晶であるため、劈開性を有し、加工時にクラックを引き起こしやすい等の課題を有する。

【0057】

また、融液から凝固させる方法は、冷却時に温度制御を厳密に行う必要があり、かつ冷却に長時間を必要とするため、比較的大きなサイズの全体において均質で健全な固化物を得るのは難しい。

【0058】

$^6\text{LiF}$  焼結体は、焼結法によって得られているため、高い中性子遮蔽性能を有する中性子遮蔽材を低コストで安定して供給し得る。

20

【0059】

(2) 相対密度

$^6\text{LiF}$  焼結体は、 $83\%$  以上  $90\%$  以下の相対密度を有することが好ましい。本実施形態において、相対密度とは、焼結体の密度を  $\text{LiF}$  の理論密度 ( $2.64\text{ g/cm}^3$ ) で除し、 $100$  を掛けた値をいう。

【0060】

相対密度は、 $83\%$  以上  $90\%$  以下であり、 $^6\text{LiF}$  焼結体は、高密度化されていない。そのため、 $^6\text{LiF}$  焼結体は、切削加工性に優れるという利点がある。

【0061】

30

相対密度が小さすぎると、 $^6\text{LiF}$  焼結体が十分な中性子遮蔽性能を有しない可能性がある。また、相対密度が小さすぎると、焼結体内部の空隙の割合が高く、機械的強度に劣り、加工中の破損等が懸念される。

【0062】

これに対し、相対密度が大きすぎると、 $^6\text{LiF}$  焼結体が十分な中性子遮蔽能を有するとはいえるものの、焼結体の緻密性が高いため、焼結体を加工する際、材料内部の残留応力が解放されることで、クラック等を生じることが懸念される。

【0063】

(3) 厚さ

$^6\text{LiF}$  焼結体の厚さは、中性子線を好適に遮蔽できる厚さであれば、特に限定されるものではない。具体的に、 $^6\text{LiF}$  焼結体の厚さは、 $2\text{ mm}$  以上であることが好ましく、 $3\text{ mm}$  以上であることがより好ましい。

40

【0064】

$^6\text{LiF}$  焼結体の厚さの上限は、特に限定されないが、遮蔽部 12 の小型化、軽量化を図る観点から、中性子線を好適に遮蔽できる範囲において、 $^6\text{LiF}$  焼結体は、薄い方が好ましい。具体的に、 $^6\text{LiF}$  焼結体の厚さは、 $8\text{ mm}$  以下であることが好ましく、 $5\text{ mm}$  以下であることがより好ましい。

【0065】

( $^6\text{LiF}$  焼結体の製造方法)

本実施形態に係る  $^6\text{LiF}$  焼結体の製造方法は、 $^6\text{LiF}$  粉末と有機系成形助剤とを含

50

有する<sup>6</sup>LiF組成物を加圧し、プレス成形体を得る加圧工程と、このプレス成形体を630以上、830以下で焼成する焼成工程とを含む。また、焼成工程に先立ち、250以上350以下で予備焼成する予備焼成工程を入れても良い。

【0066】

<線量計測体1>

図1Fは、本発明の第1の実施形態に係る線量計測体1の一例を示す模式図である。この線量計1では、線量計容器10の収納部11に放射線量計測器51が収納されている。

【0067】

本実施形態によると、線量計容器10の厚みを薄く構成しても、十分な中性子遮蔽性能を得ることができ、線量計容器10のサイズも小さく設計することができる。したがって、線量計容器10の取り扱いが容易となり、例えば測定現場においても、小さな線量計容器10であれば、中性子線照射領域に複数配置して、中性子照射スペース領域内におけるガンマ線の有無や強弱の違いを（もしくは測定作業工程を少なくして）測定することもできる。

10

【0068】

また、線量計容器10の構成部材である遮蔽部12は、中性子線を遮蔽する一方、少なくとも、収納部11に収納される放射線量計測器の計測対象である放射線を透過する材料の部材からなる。これにより、収納部11に収納された放射線量計測器が測定対象の放射線を正確に検出できる。したがって、測定対象の放射線量を計算する手順を簡略化できるとともに、線量計容器10の小型化に寄与し得る。

20

【0069】

2. 第2の実施形態

図2は、本発明の第2の実施形態に係る線量計容器20の一例を示す模式図である。より詳しく説明すると、図2Aは、線量計容器10の斜視図である。図2Bは、線量計容器20の正面図であり、図2Cは、図2BのA-A断面図である。図2Dは、線量計容器20の本体部22Aの斜視図であり、図2Eは、線量計容器20の蓋部22Bの斜視図である。また、図2Fは、本発明の第2の実施形態に係る線量計測体2の一例を示す模式図であり、線量計容器20の収納部21に放射線量計測器51が収納されている。

【0070】

線量計容器2は、収納部21と、遮蔽部22とを備える。収納部21は、中性子線以外の所定の放射線の線量を計測する放射線量計測器を収納する部材であり、特に説明がない限り、収納部11と同様の機能を有する。遮蔽部22は、収納部21を囲む部材であり、特に説明がない限り、遮蔽部12と同様の機能を有する。

30

【0071】

第1の実施形態と第2の実施形態とを対比すると、第1の実施形態では、線量計容器10の全体の形状が、円柱形状の周壁の両端に半球形状の両端部が配設されたカプセル形状であったのに対し、第2の実施形態では、線量計容器20の全体の形状が、四角柱形状を基本として角に丸みを帯びた形状である点で異なる。

【0072】

また、第1の実施形態では、収納部21の形状が、放射線量計測器51（例えば、蛍光ガラス素子）の形状に合わせて円柱形状であったのに対し、第2の実施形態では、収納部21の形状が、放射線量計測器51の底面の外径の長さを底面の1辺の長さとし、放射線量計測器51の高さと略同じ長さを高さとする四角柱形状である点で異なる。

40

【0073】

このように、線量計容器の形状は、特に限定されるものではなく、適宜選択可能である。

【0074】

3. 第3の実施形態

図3は、本発明の第3の実施形態に係る線量計容器30の一例を示す模式図である。より詳しく説明すると、図3Aは、線量計容器30の斜視図であり、図3Bは、線量計容器

50

30の正面図である。図3Cは、線量計容器30の平面図であり、図3Dは、図3CのA-A断面図である。図3Eは、線量計容器30の本体部32Aの斜視図であり、図3Fは、線量計容器30の蓋部32Bの斜視図である。また、図3Gは、本発明の第3の実施形態に係る線量計測体3の一例を示す模式図であり、線量計容器30の収納部31に放射線量計測器51が収納されている。

【0075】

線量計容器3は、収納部31と、遮蔽部32とを備える。収納部31は、中性子線以外の所定の放射線の線量を計測する放射線量計測器を収納する部材であり、特に説明がない限り、収納部11と同様の機能を有する。遮蔽部32は、収納部31を囲む部材であり、特に説明がない限り、遮蔽部12と同様の機能を有する。

10

【0076】

第1の実施形態と第3の実施形態とを対比すると、第1の実施形態では、線量計容器10の全体の形状が、上述したカプセル形状であったのに対し、第3の実施形態では、線量計容器30の全体の形状が、円形平板状である点で異なる。

【0077】

また、第1の実施形態では、収納部21の形状が、放射線量計測器51（例えば、蛍光ガラス素子）の形状に合わせて円柱形状であったのに対し、第3の実施形態では、収納部31の形状が、放射線量計測器51の長手方向の長さと同様長さの内径とする円形平板状である点で異なる。

【0078】

20

また、第1の実施形態では、収納部11は、遮蔽部構成部材51（本実施形態では本体部12A及び蓋部12B）の全体にわたって延在するのに対し、第3の実施形態では、収納部31は、本体部32Aのみに位置し、蓋部32Bに位置しない点で異なる。

【0079】

このように、線量計容器の形状は、特に限定されるものではなく、適宜選択可能である。中でも、遮蔽部構成部材51を本体部と蓋部とが嵌合したときの固定部材として機能できることを考慮すると、第1実施形態にあるように、収納部は、遮蔽部構成部材51の全体にわたって延在するが好ましい。

【0080】

#### 4. 第4の実施形態

30

図4は、本発明の第4の実施形態に係る線量計容器40の一例を示す模式図である。より詳しく説明すると、図4Aは、線量計容器40の斜視図であり、図4Bは、線量計容器40の正面図である。図4Cは、線量計容器40の平面図であり、図4Dは、図4CのA-A断面図である。図4Eは、線量計容器40の本体部42Aの斜視図であり、図4Fは、線量計容器40の蓋部42Bの斜視図である。また、図4Gは、本発明の第4の実施形態に係る線量計測体4の一例を示す模式図であり、線量計容器40の収納部41に放射線量計測器51が収納されている。

【0081】

線量計容器4は、収納部41と、遮蔽部42とを備える。収納部41は、中性子線以外の所定の放射線の線量を計測する放射線量計測器を収納する部材であり、特に説明がない限り、収納部11と同様の機能を有する。遮蔽部42は、収納部41を囲む部材であり、特に説明がない限り、遮蔽部12と同様の機能を有する。

40

【0082】

第3の実施形態と第4の実施形態とを対比すると、第3の実施形態では、線量計容器30の全体の形状が、円形平板状であったのに対し、第4の実施形態では、線量計容器40の全体の形状が、略正方形の平板状である点で異なる。

【0083】

このように、線量計容器の形状は、特に限定されるものではなく、適宜選択可能である。

【実施例】

50

## 【 0 0 8 4 】

以下、実施例により、本発明をさらに詳細に説明するが、本発明はこれらの実施例に何ら限定されるものではない。

## 【 0 0 8 5 】

## &lt; 線量計容器 1 0 の製造 &gt;

以下の工程を経て、本発明の第 1 の実施形態に係る線量計容器 1 0 と同様の形状を有し、正面視したときの断面形状（図 1 C に相当）が図 5 に示す寸法である線量計容器 1 0 を得た。

## 【 0 0 8 6 】

〔 <sup>6</sup> L i F 焼結体の製造 〕

10

以下の工程を経て、高さ約 1 6 m m の円柱状の <sup>6</sup> L i F 焼結体を得た。

## 【 0 0 8 7 】

まず、<sup>6</sup> L i F 粉末（<sup>6</sup> L i 純度 9 5 . 0 a t o m %、L i F 9 9 %：S i g m a—A l d r i c h 製）1 0 0 質量部と、ステアリン酸とセルロースからなる成形助剤 1 6 質量部とを混合し、<sup>6</sup> L i F 組成物を得た。

## 【 0 0 8 8 】

## （ 1 ）加圧工程

次いで、直径 2 5 m m の金型に <sup>6</sup> L i F 組成物を約 1 5 . 8 g 充填し、タッピングにより <sup>6</sup> L i F 組成物の空隙を減らした。

## 【 0 0 8 9 】

20

次いで、円柱状の金型を油圧式のプレス機に装填し、1 0 0 M P a のプレス圧をかけて、プレス成形体を得た。

## 【 0 0 9 0 】

## （ 2 ）予備焼成工程

それぞれのプレス成形体を大気雰囲気の中に入れて、3 0 0 まで 1 0 0 / h r で昇温させ、5 時間保持することで、プレス成形体に含まれる成形助剤の大半を分解・揮散させた。

## 【 0 0 9 1 】

## （ 3 ）焼成工程

予備焼成工程の後、プレス成形体を 6 5 0 まで 1 0 0 / h r で昇温し、5 時間保持した。その後、冷却（空冷）を行い、<sup>6</sup> L i F 焼結体を得た。

30

## 【 0 0 9 2 】

〔 <sup>6</sup> L i F 焼結体の加工 〕

続いて、<sup>6</sup> L i F 焼結体に対し、マシニング加工により、断面形状が図 5 に示す寸法になるように、<sup>6</sup> L i F 焼結体の周囲及び内部を切削、穴あけし、実施例に係る線量計容器 1 0 を得た。

## 【 0 0 9 3 】

## &lt; 評価 &gt;

## 〔 プレス成形体の評価 〕

加圧工程によって得られたプレス成形体の <sup>6</sup> L i F 換算の相対密度は、5 7 . 3 % であった。また、外観を目視したところ、膨れやクラックは認められなかった。

40

## 【 0 0 9 4 】

〔 <sup>6</sup> L i F 焼結体の評価 〕

また、加圧工程、予備焼成工程及び焼成工程によって得られた <sup>6</sup> L i F 焼結体の質量は 1 3 . 6 g、相対密度は 8 6 . 2 % であった。また外観を目視したところ、膨れやクラックは認められなかった。また、<sup>6</sup> L i F 焼結体を精密切断機で切断し、切断面の状態を目視したところ、クラックやポイド等の内部欠陥も認められなかった。

## 【 0 0 9 5 】

## 〔 線量計容器 1 0 の評価 〕

線量計容器 1 0 の収納部 1 1 に、蛍光ガラス素子を収納し、線量計容器 1 0 の外部から

50

遮蔽部 12 に向けてガンマ線及び中性子線を照射した。その結果、線量計容器 10 は、中性子線の遮蔽性に優れる一方で、ガンマ線の透過性を備えており、ガンマ線量の計測に好適であることが確認された。

【符号の説明】

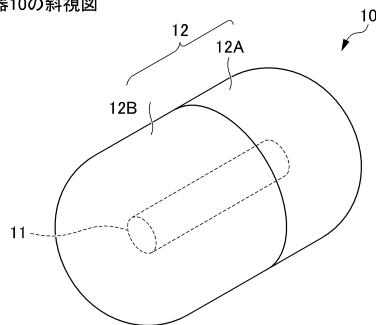
【0096】

- 1 第1の実施形態に係る線量計測体
- 10 第1の実施形態に係る線量計容器
- 11 収納部
- 12 遮蔽部
- 12A 本体部
- 12B 蓋部
- 2 第2の実施形態に係る線量計測体
- 20 第2の実施形態に係る線量計容器
- 3 第3の実施形態に係る線量計測体
- 30 第3の実施形態に係る線量計容器
- 4 第4の実施形態に係る線量計測体
- 40 第4の実施形態に係る線量計容器
- 51 放射線量計測器

10

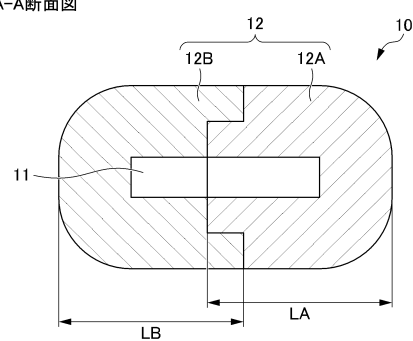
【図1A】

線量計容器10の斜視図



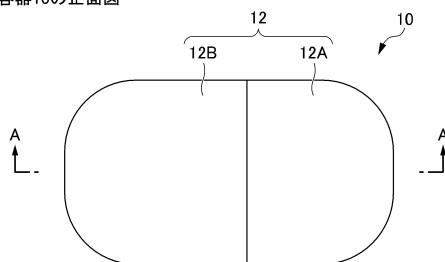
【図1C】

図1BのA-A断面図



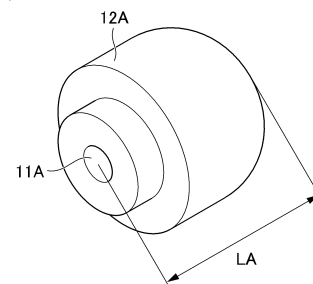
【図1B】

線量計容器10の正面図



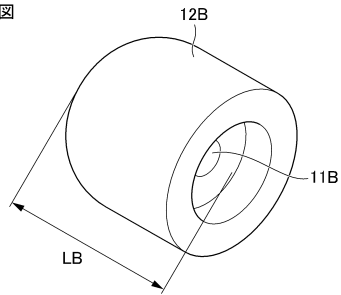
【図1D】

本体部12Aの斜視図



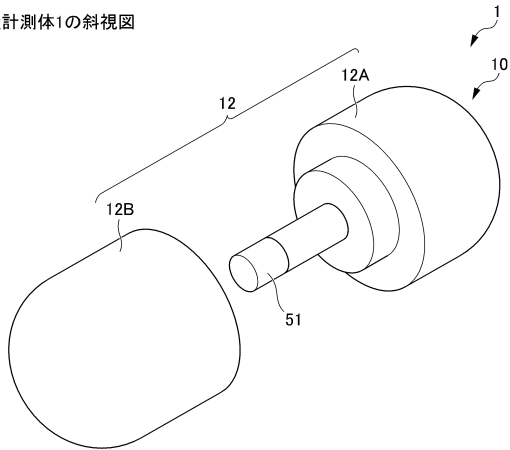
【図 1 E】

蓋部12Bの斜視図



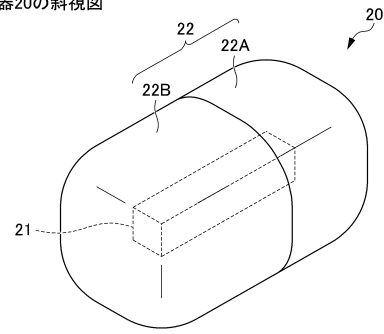
【図 1 F】

線量計測体1の斜視図



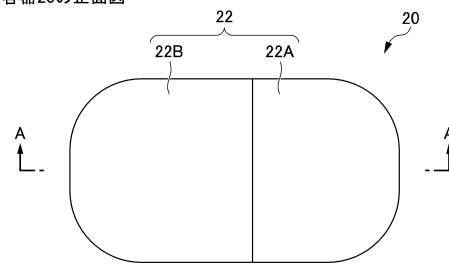
【図 2 A】

線量計容器20の斜視図



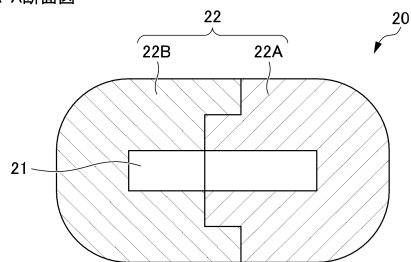
【図 2 B】

線量計容器20の正面図



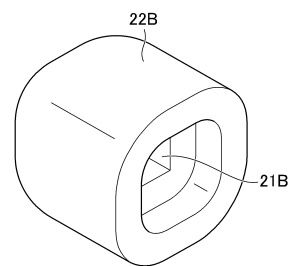
【図 2 C】

図2BのA-A断面図



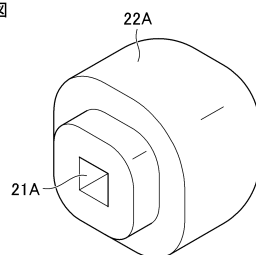
【図 2 E】

蓋部22Bの斜視図



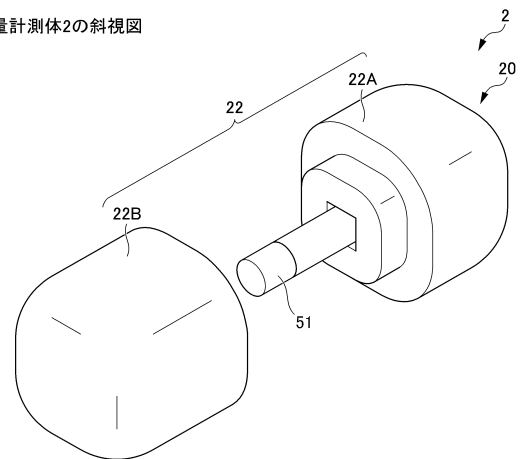
【図 2 D】

本体部22Aの斜視図



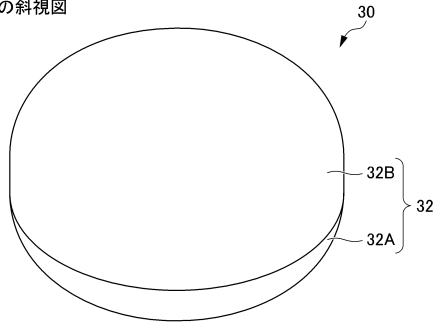
【図 2 F】

線量計測体2の斜視図



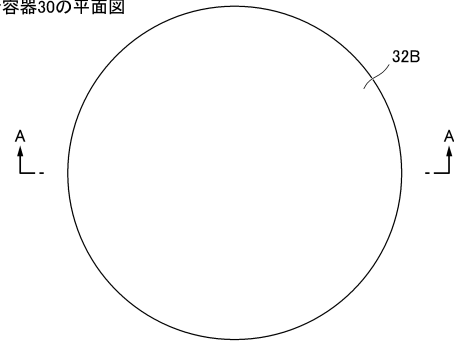
【図 3 A】

線量計容器30の斜視図



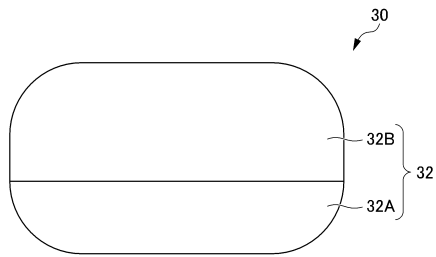
【図 3 C】

線量計容器30の平面図



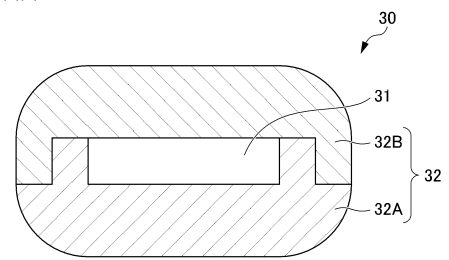
【図 3 B】

線量計容器30の正面図



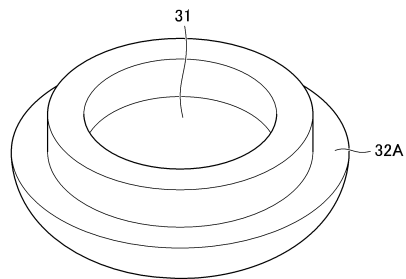
【図 3 D】

図3CのA-A断面図



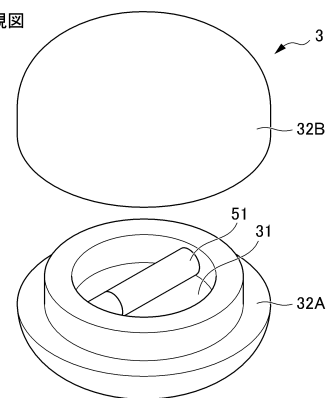
【図 3 E】

本体部32Aの斜視図



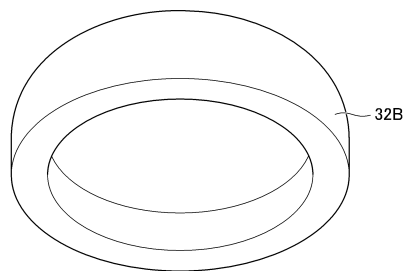
【図 3 G】

線量計測体3の斜視図



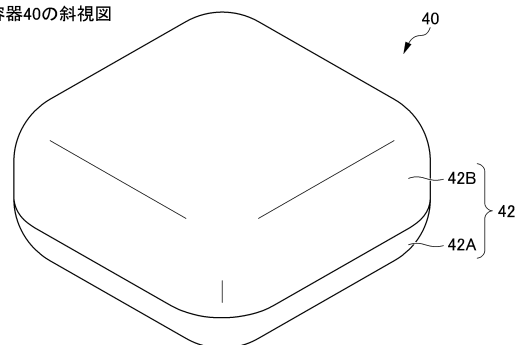
【図 3 F】

蓋部32Bの斜視図



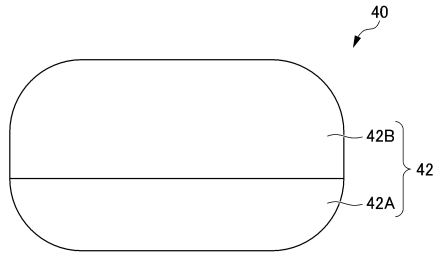
【図 4 A】

線量計容器40の斜視図



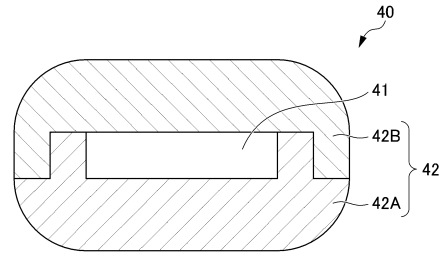
【図 4 B】

線量計容器40の正面図



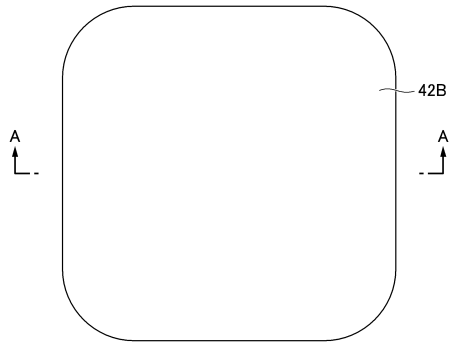
【図 4 D】

図4CのA-A断面図



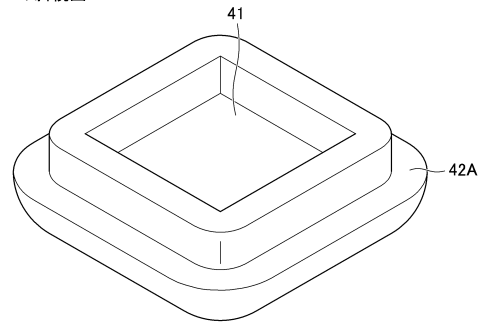
【図 4 C】

線量計容器40の平面図



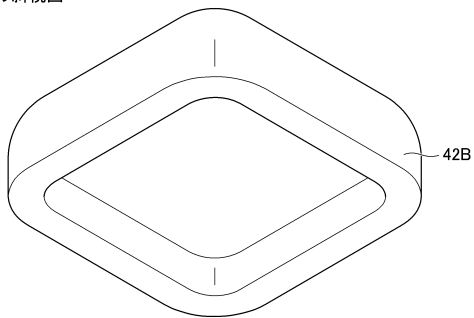
【図 4 E】

本体部42Aの斜視図

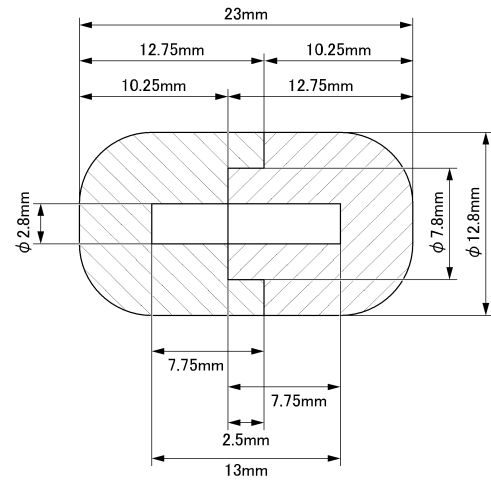


【図 4 F】

蓋部42Bの斜視図

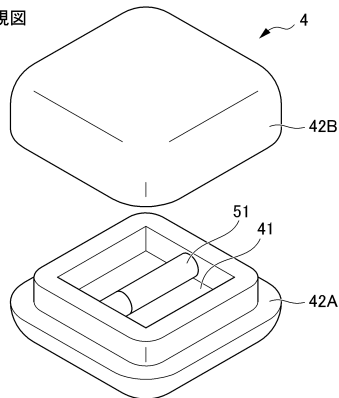


【図 5】



【図 4 G】

線量計測体4の斜視図



---

フロントページの続き

- (72)発明者 高橋 真樹  
東京都品川区東品川二丁目2番20号 日本軽金属株式会社内
- (72)発明者 石川 秀徳  
東京都品川区東品川二丁目2番20号 日本軽金属株式会社内

## 合議体

審判長 瀬川 勝久

審判官 松川 直樹

審判官 野村 伸雄

- (56)参考文献 特表2011-526504(JP,A)  
特開昭51-94098(JP,A)  
特開2016-3892(JP,A)  
実開昭54-18289(JP,U)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01T1/00-1/16

G01T1/167-7/12

G21F1/02