

管理区域に立ち入る前の教育訓練

# 放射性同位元素等および放射線発生装置の 安全取扱い



国立大学法人 大阪大学  
放射線科学基盤機構 放射線管理部門  
(核物理研究センター 放射線取扱主任者)  
鈴木 智和

# 放射線発生装置とは

・・・一般的に**加速器**と呼ばれているが、法令では以下のように定められている。

令第2条【放射線発生装置】法第2条第4項に規定する政令で定める放射線発生装置は、次に掲げる装置（その表面から10センチメートル離れた位置における最大線量当量率が**原子力規制委員会が定める線量当量率以下**であるものを除く。）とする。

1. サイクロトロン
2. シンクロトロン
3. シンクロサイクロトロン
4. 直線加速装置
5. ベータトロン
6. ファン・デ・グラーフ型加速装置
7. コッククロフト・ワルトン型加速装置
8. その他荷電粒子を加速することにより放射線を発生させる装置で、放射線障害の防止のため必要と認めて原子力規制委員会が指定するもの
  - 変圧器型加速装置
  - マイクロトロン
  - プラズマ発生装置(重水素とトリチウムとの核反応における臨界プラズマ条件を達成する能力をもつ装置であって、専ら重水素と重水素との核反応を行うものに限る。)

1cm線量等量率について  
600nSv/h以下のものを除く  
(数量告示第2条)

→荷電粒子を加速することにより放射線を発生させる装置として指定する件  
(昭和39年4月9日科学技術庁告示第4号)

# 放射線発生装置使用施設の安全の特徴

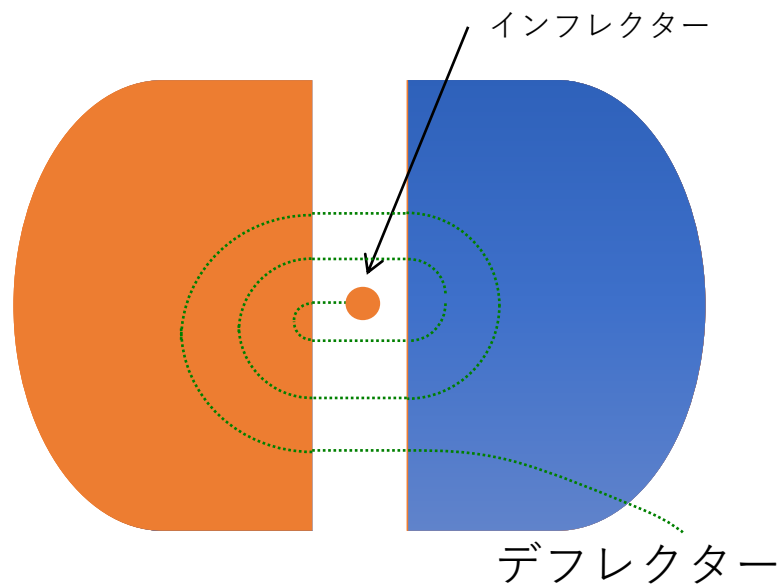
- 一般的にビーム発生中に使用室への立ち入りができない
- エネルギーの高い粒子が加速された場合、核反応により放射化する。
- 放射化物を加工しない限り表面汚染は発生しない。



- ビーム発生時に実験室に取り残されないこと
- 放射化物を管理区域外に持ち出さないこと
- ビーム照射直後に実験室に立ち入るときはどこが放射化しているかをサーベイすること

非密封RIも使用する施設では、それによる汚染も想定されるので管理区域入退域は非密封RIの場合に準ずる

# サイクロトロン



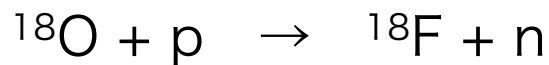
東北大・930型サイクロトロン

阪大RCNP・リングサイクロトロン



# 利用例(1) : RI薬剤の製造

サイクロトロンによる核反応を利用して短寿命RIを製造し、診断薬を製造する



$^{18}\text{F}$ の半減期は110分程度と非常に短いので、院内製造して診断に利用する（近年はデリバリーも増加している）。

PET核種 :  $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$ 、 $^{18}\text{F}$



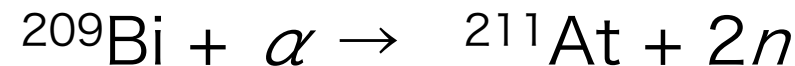
住重 $^{18}\text{F}$ ]DG合成システム  
(製品ホームページより)



住重HM-12サイクロトロン  
(製品ホームページより)



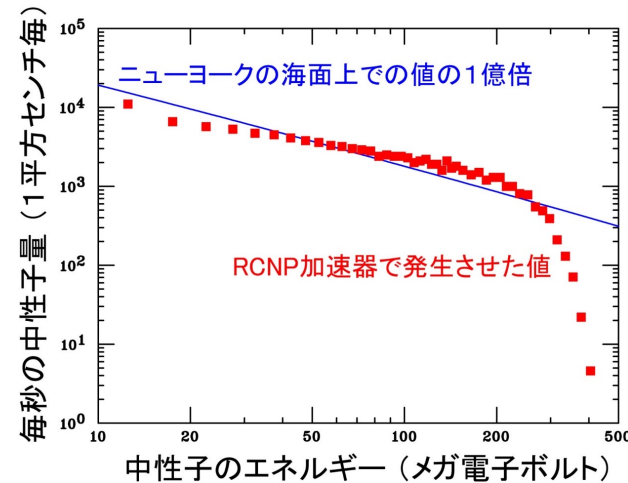
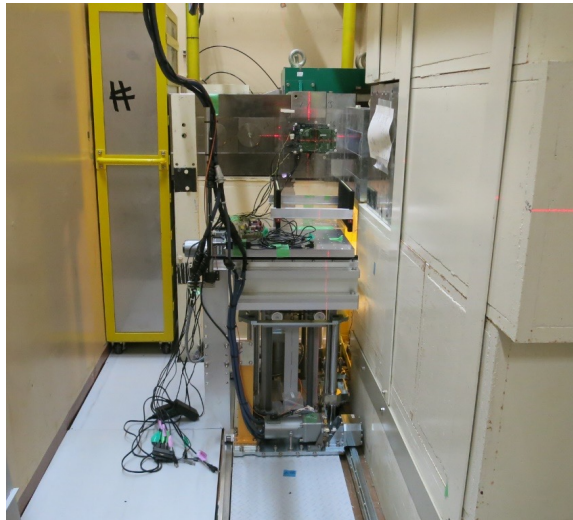
大阪大学ではアルファ線放出核種をサイクロトロンで製造し、がん治療薬として利用することが研究している。



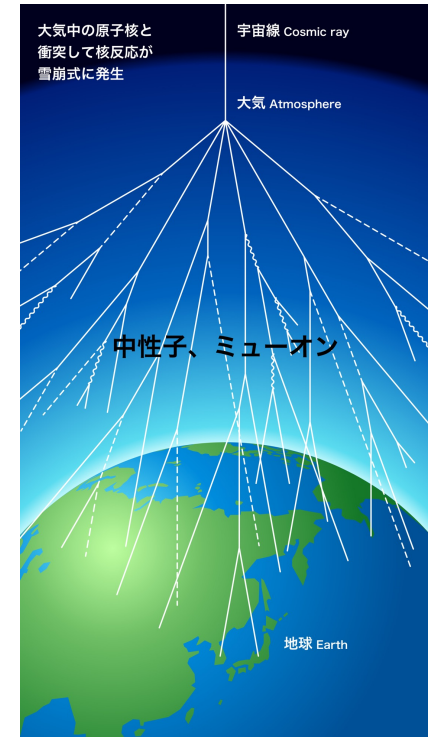
(PET用のものより大きなサイクロトロンが必要)

# 利用例(2) : ソフトエラー対策

- 電子機器の不具合の原因のひとつ：ソフトエラー
  - 電子機器が放射線（宇宙線）に曝された際に生じる一過性の誤動作
  - 宇宙線とメモリ素子との相互作用により、メモリ情報（論理）が反転する
- 確率的にしか起きない、工場で再現しない
- 加速器で大量の中性子を生成して試験を行う

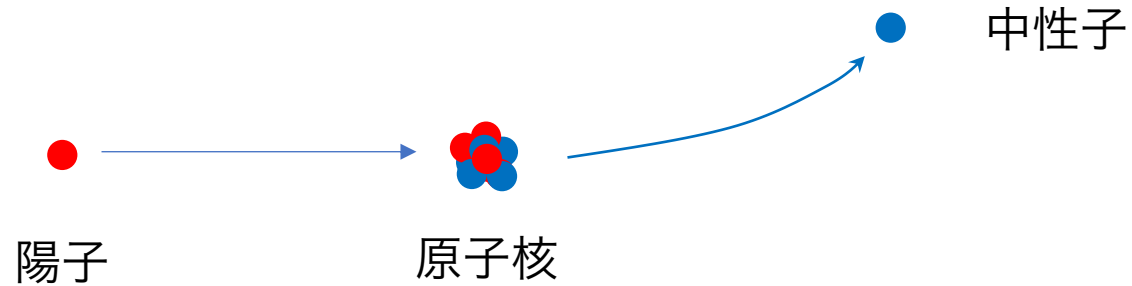


より詳しい情報：ブルーバックスWEB  
あなたのスマホのフリーズ、原因は降りそそぐ「宇宙線」かもしれない  
スマート社会を脅かす「ソフトエラー」  
<https://gendai.ismedia.jp/articles/-/56724>



# 放射線発生装置と放射化物

# 加速器の使用で起きること

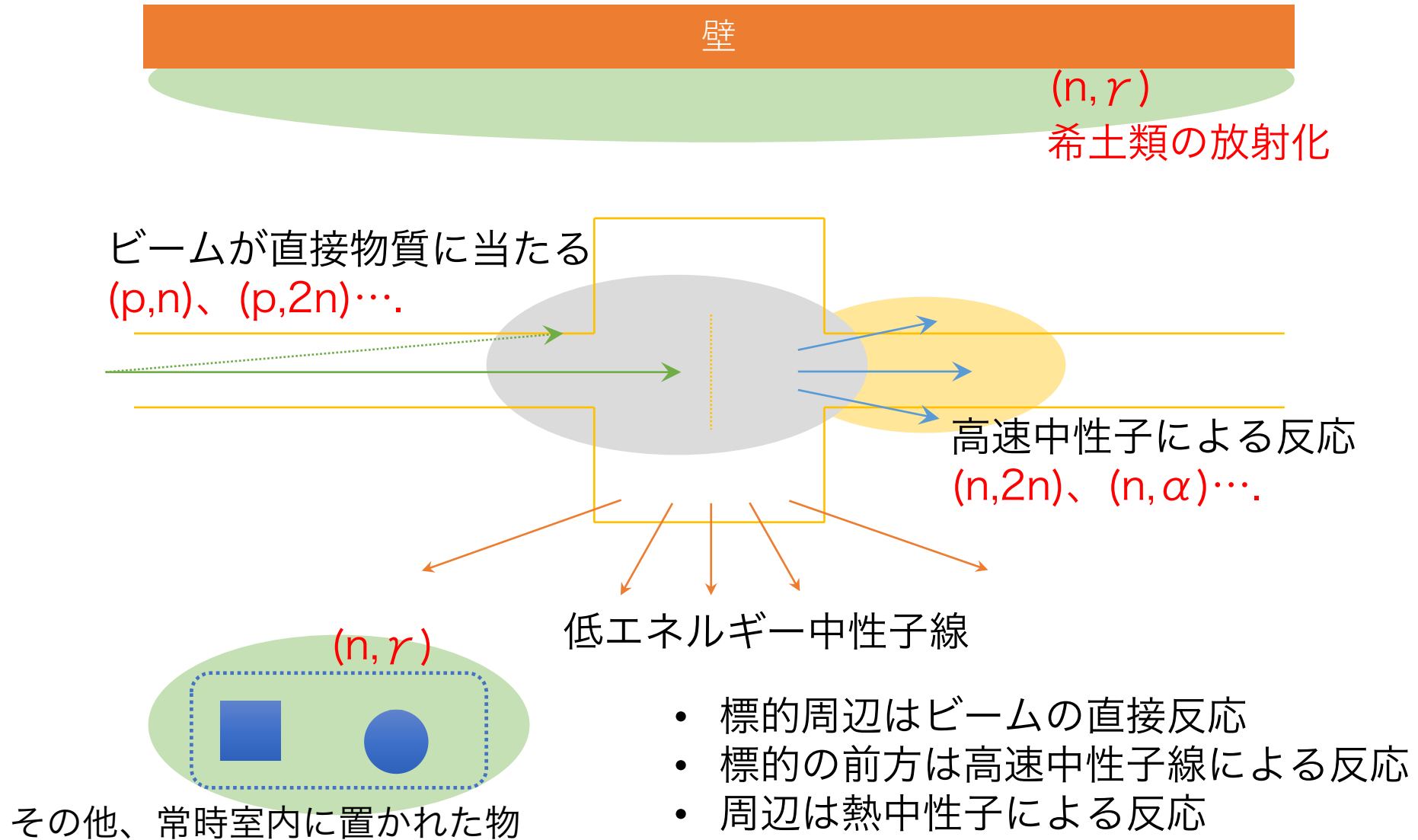


例えば $^{18}\text{O}$ に陽子を当てて、中性子のはぎ取られると $^{18}\text{F}$ ができる

$^{18}\text{O}$ は安定だが、 $^{18}\text{F}$ は半減期110分の放射性同位体  
→ 放射化



# なぜ放射化するのか？



# 規制される放射化物

- 法令上の用語の定義

- 放射性同位元素等 . . . 放射性同位元素又は放射性汚染物 (規則第1条第3号)
- 放射性汚染物 . . . 放射性同位元素若しくは放射線発生装置から発生した放射線により生じた放射線を放出する同位元素によって汚染された物 (規則第1条第2号)
- 放射化物 . . . 放射線発生装置から発生した放射線により生じた放射線を放出する同位元素によって汚染された物 (規則第14条の7第1項第7号の2)

- 放射化物の範囲 (平成24年3月事務連絡 文部科学省科学技術・学術政策局原子力安全課放射線規制室)

- 放射化物については放射線発生装置から取り外した地点からその管理が必要
- 上記②～⑥以外の放射線発生装置及びその周辺設備等については、原則として放射化物とする。ただし信頼できる実測データ、計算結果等により放射化物として取り扱う必要がないことが確認できた物については放射化物としないことができる。
- 放射化物として取り扱うか否かの判断は、放射性汚染物の確認制度の導入によって伴って告示として規定した放射能濃度 (注：クリアランスレベルのこと) 及びその設定の考え方が参考となる。

# 放射化物の管理

## • 放射化物保管設備

- 再使用する 予定の放射化物を保管するときは**放射化物保管設備に保管**する。
- 放射化物が放射線発生装置から取り外された後、**速やかに払出される場合**には、必ずしも一度放射化物保管設備に保管する必要はない。
- 放射化物保管設備は**外部と区画**し、鍵等で**閉鎖**する。
- **耐火性の容器**に入れて保管する。
- 放射化物が大型機械等で、これを容器に入れることが**著しく困難な場合**、汚染の広がりを防止するための特別の措置を講じれば容器に入れる必要はない（申請書に記載が必要とされている）。

## • 保管廃棄設備

- 廃棄する 放射化物を日本アイソトープ協会に引き渡すまで保管しておく。
- 保管廃棄設備に入れた放射化物は**再使用できない**。
- 非密封RI（専用）の保管廃棄設備に廃棄してはいけない。

## • 記帳

- 保管：核種、数量、保管の期間、保管の方法、保管の場所、保管に従事する者の氏名
- 廃棄：核種、数量、廃棄の年月日、廃棄の方法、廃棄の場所、廃棄に従事する者の氏名

# 放射化物の保管

## 規則第17条第1項第6号の2

放射化物であつて放射線発生装置を構成する機器又は遮蔽体として用いるものの保管は、次に掲げるいずれかの方法により行うこと。

- イ 容器に入れ、かつ、放射化物保管設備において保管すること。
- ロ 第14条の7第1項第7号の2ただし書に該当する場合には、放射化物保管設備において保管すること。

## (注2) 規則第14条の7第1項第7号の2

放射線発生装置から発生した放射線により生じた放射線を放出する同位元素によつて汚染された物（以下「放射化物」という。）であつて放射線発生装置を構成する機器又は遮蔽体として用いるものを保管する場合には、次に定めるところにより、放射化物保管設備を設けること。

- イ 放射化物保管設備は、外部と区画された構造とすること。
- ロ 放射化物保管設備の扉、蓋等外部に通ずる部分には、鍵その他の閉鎖のための設備又は器具を設けること。
- ハ 放射化物保管設備には、耐火性の構造で、かつ、第14条の九第4号（第14条の10において準用する場合を含む。第14条の11第1項第8号ハにおいて同じ。）の基準に適合する容器を備えること。ただし、放射化物が大型機械等であつてこれを容器に入れることが著しく困難な場合において、汚染の広がりを防止するための特別の措置を講ずるときは、この限りでない。

放射化物は耐火容器に入れて、放射化物保管設備で保管しなければならない

# 放射化物保管設備

容器に入れることが著しく困難な大型機器

耐火性の容器

外部と区画

標識

鍵



		保管容器	大型機器の容器に入れない保管
1	西実験室1階	ドラム缶	○
2	西実験室地下	ドラム缶	○
3	本体室地下	ドラム缶	○
4	東実験室1階	ドラム缶	○
5	AVF準備室	ドラム缶 ペール缶	○
6	AVF棟南シャッター前	なし	○
7	西実験室南（屋外）	特殊容器	×

## 保管の記帳が必要

核種、数量、保管の期間、保管の方法、保管の場所、保管に従事する者の氏名

# 放射化物の保管廃棄

規則第19条第1項第13号

固体状の放射性同位元素等は、次に掲げるいずれかの方法により廃棄すること。

- 容器に封入し、又は固型化処理設備においてコンクリートその他の固型化材料により容器に固型化して保管廃棄設備において保管廃棄すること。
- ハ 第14条の11第1項第8号八ただし書に該当する場合には、保管廃棄設備において保管廃棄すること。

(参考)規則第14条の11第1項第8号

放射性同位元素等を保管廃棄する場合(第19条第1項第13号二の規定により保管廃棄する場合を除く。)には、次に定めるところにより、保管廃棄設備を設けること。

- イ 保管廃棄設備は、外部と区画された構造とすること。
- 保管廃棄設備の扉、蓋等外部に通ずる部分には、鍵その他の閉鎖のための設備又は器具を設けること。
- ハ 保管廃棄設備には、耐火性の構造で、かつ、第14条の9第4号の基準に適合する容器を備えること。ただし、放射性汚染物が大型機械等であつてこれを容器に封入することが著しく困難な場合において、汚染の広がりを防止するための特別の措置を講ずるときは、この限りでない。

(参考)規則第14条の9第1項第4号

貯蔵施設には、次に定めるところにより、放射性同位元素を入れる容器を備えること。

- イ 容器の外における空気を汚染するおそれのある放射性同位元素を入れる容器は、気密な構造とすること。
- 液体状の放射性同位元素を入れる容器は、液体がこぼれにくい構造とし、かつ、液体が浸透しにくい材料を用いること。
- ハ 液体状又は固体状の放射性同位元素を入れる容器で、亀裂、破損等の事故の生ずるおそれのあるものには、受皿、吸収材その他放射性同位元素による汚染の広がりを防止するための施設又は器具を設けること。

不要な放射化物は耐火容器に入れて、保管廃棄設備に廃棄するか、速やかに日本アイソトープ協会に引き渡すこと。

# 保管廃棄設備

容器に入れることが著しく困難な大型機器

耐火性の容器

外部と区画



鍵

標識

## 廃棄の記帳が必要

核種、数量、廃棄の年月日、廃棄の方法、廃棄の場所、廃棄に従事する者の氏名

		RIの廃棄	大型機器の容器に入れない保管廃棄
1	RI棟1階	○	×
2	西実験室地下	×	○

- 保管廃棄したものは再使用してはいけない
- 日本アイソトープ協会に引き渡すためには専用の容器に収納する必要がある（次のスライド参照）。
- 廃棄にかかる費用は50Lドラム缶1個につき¥128,150（R3.8、税込み）
- 50Lドラム缶の手配には1月程度かかる

# その他の廃棄方法

- 気体状の放射化物を排気設備（フードなど）を通して排気する。
- 液体状の放射化物を排水設備（流しなど）を通して排水する。

これらの方法はRI以外の法律や条令などで規制されている物質を廃棄してしまうおそれがあるので、関係する安全担当教職員との調整が必要。

また、廃棄物を速やかに日本アイソトープ協会に引き渡す場合は保管廃棄する必要がない。「速やか」とは「集荷の日時が既に決まっている」とされている。

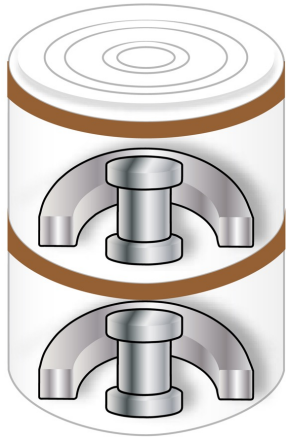
いずれの方法でも廃棄の帳簿は必要なので忘れないこと。



# 放射化物（廃棄物）のRI協会への引き渡し

## 廃棄物収納内容器に収納

- 廃棄物収納内容器の蓋を布テープで留める
- 廃棄物収納内容器はドラム缶に2個入る
- 放射化物が大きく、廃棄物収納内容器の蓋が閉まらないときは、蓋を外した内容器2つを上下から覆うように使用する（厚手のポリ袋（塩化ビニル製は不可）に放射化物を入れ、角や突起部でポリ袋が破れないように布テープで養生する）



## ドラム缶に収納



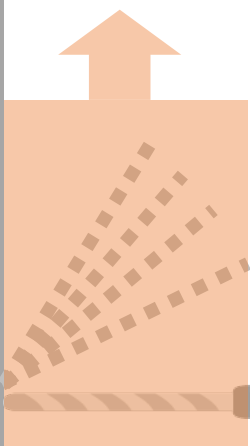
- RI 廃棄物を収納したドラム缶の表面に汚染がないことを確認する
- 容器込みの重量は60kg 以下
- ドラム缶の蓋に総重量を記載
- ドラム缶の側面にRI 廃棄物シール1 枚を貼付



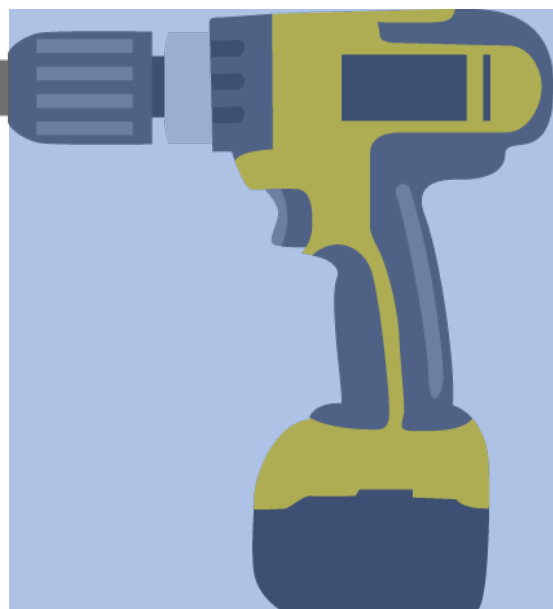
RI協会「RI 廃棄物の集荷について」をよく読む

# 放射化した壁の加工

HEPAによる  
局所排気



このコンクリート屑には放射  
物質が含まれている



- 飛散防止→局所排気
- 汚染防止→タイベックスの着用
- ◆ 工具や刃はよく除染する。
- ◆ 除染できないときは廃棄する
- ◆ タイベックスは使用後廃棄する
- すぐ作業に使わないものは持ち込まない  
(例) 予備のバッテリーは室外で充電する

コンクリート屑を吸い込むと内部被ばくします

← ドリルはビニルなどで養  
生する

内部被曝量の報告 (3月ごと)



# 放射化物の範囲

- ① 放射化物については、放射線発生装置から取り外した時点からその管理が必要となる。
- ② 核子当たりの最大加速エネルギーが2.5MeV 未満のイオン加速器（ただし、重水素とトリチウムの核反応などを用いて中性子を発生させる目的で使用される加速器を除く。）及び最大加速エネルギーが6MeV 以下の電子加速器（医療用直線加速装置のうち、X線の最大エネルギーが6MeV 以下のものを含む。）については、当該加速器の本体及び遮蔽体などの周辺設備等は放射化物としての管理は不要である。
- ③ 医療用直線加速装置のうち、X線の最大エネルギーが6MeV を超えるものについては、「(2) 表1 医療用直線加速装置における放射化物として扱う特定の部品等」に示す特定の部品等以外のものは放射化物としての管理は不要である。
- ④ 医療用直線加速装置のうち、X線の最大エネルギーが10MeV 以下のものについては、空気及び水の放射化の考慮は不要である。また、医療用直線加速装置のうち、X線の最大エネルギーが15MeV 以下のものについては、これまでの調査の結果から排気設備の設置は不要である。
- ⑤ 工業用直線加速装置については、装置の基本的な構造や使用の方法等が医療用直線加速装置と同様である場合は、②～④が参考となる。
- ⑥ 自己遮蔽を備えた医療用サイクロトロンについては、自己遮蔽の内側にあるサイクロトロン本体、周辺機器、遮蔽体及び床材は放射化物であり、自己遮蔽の外側にあるものについては、放射化物としての管理は不要である。
- ⑦ 上記②～⑥以外の放射線発生装置及びその周辺設備等については、**原則として放射化物**とする。ただし、信頼できる実測データ、計算結果等により放射化物として取り扱う必要がないことが確認※1 できたものについては、放射化物としないことができる。

※1：放射化物として取り扱うか否かの判断は、放射性汚染物の確認制度の導入に伴って告示として規定した放射能濃度及びその設定の考え方が参考となる。



# 放射化物から除外するためには

- 濃度確認制度（クリアランス制度）を取り入れるには、手続きが煩雑で費用がかかる。さらにまだ明確な測定手順が定められていない。
- 国内では原子力発電所の廃止措置において「放射性廃棄物でない廃棄物」が認められており、米国では「IFB(Indistinguishable From Background、バックグラウンドと区別できない)」という考え方が採用されている。これは「（はじめから）放射化していない」ということを説明する方法であって、放射化物を管理対象から外す濃度確認制度とは異なるものである。
- クリアランスレベルを十分下回る検出限界値をもつ測定器で検出限界値以下であれば、濃度確認制度と矛盾しないでIFBを確認することで、「放射性廃棄物でない廃棄物（放射化していない物）」であると言える。
- クリアランスレベルを下回っていても、IFBが確認できない（検出できた場合）は放射化物になる。（これを放射化物から除外するためには濃度確認制度を利用する。）

（参考）クリアランスレベル

$^3\text{H}$	100 Bq/g	$^{59}\text{Fe}$	1 Bq/g	$^{124}\text{Sb}$	1 Bq/g
$^7\text{Be}$	10 Bq/g	$^{56}\text{Co}$	0.1 Bq/g	$^{152}\text{Eu}$	0.1 Bq/g
$^{22}\text{Na}$	0.1 Bq/g	$^{57}\text{Co}$	1 Bq/g	$^{154}\text{Eu}$	0.1 Bq/g
$^{54}\text{Mn}$	0.1 Bq/g	$^{60}\text{Co}$	0.1 Bq/g	$^{195}\text{Au}$	10 Bq/g



放射線を放出する同位元素の数量等を定める件（平成12年10月23日科学技術庁告示第5号）別表7による

# Nalサーベイメータとクリアランスレベル

$^{60}\text{Co}$  0.0951 Bq/gと他核種少々によりクリアランスレベルと同等に放射化した鉄の放射化物について、3-cm表面線量率はシミュレーションにより

10 kgのサンプル0.0385  $\mu\text{Sv/h}$

1 トンのサンプル0.0689  $\mu\text{Sv/h}$

なので、10 kgのサンプルでも時定数を10s以上に設定すればIFBを判定できる。

BGが0.07  $\mu\text{Sv/h}$ のときの  
検出限界値

時定数	検出限界値
3s	0.040 $\mu\text{Sv/h}$
10s	0.021 $\mu\text{Sv/h}$
30s	0.012 $\mu\text{Sv/h}$

上蓑義朋 日本放射線安全管理学会誌 第12巻1号 (36-40) による

クリアランスレベルは濃度で決まっているので、物量が少なくなれば放射能は小さくなる。紹介した例は10 kg程度の物に対して感度があることを説明しているが、ねじやナット、実験に使った標的のように小さい（軽い）物についても感度を保証しているわけではない。

また、BGが高いところで測定すると検出限界値が大きくなるので注意が必要。

~kg程度の大きさのものは、BGが十分低い場所において、Nalサーベイメータを用いて放射化の有無の評価が可能

# 管理を必要としない放射化物

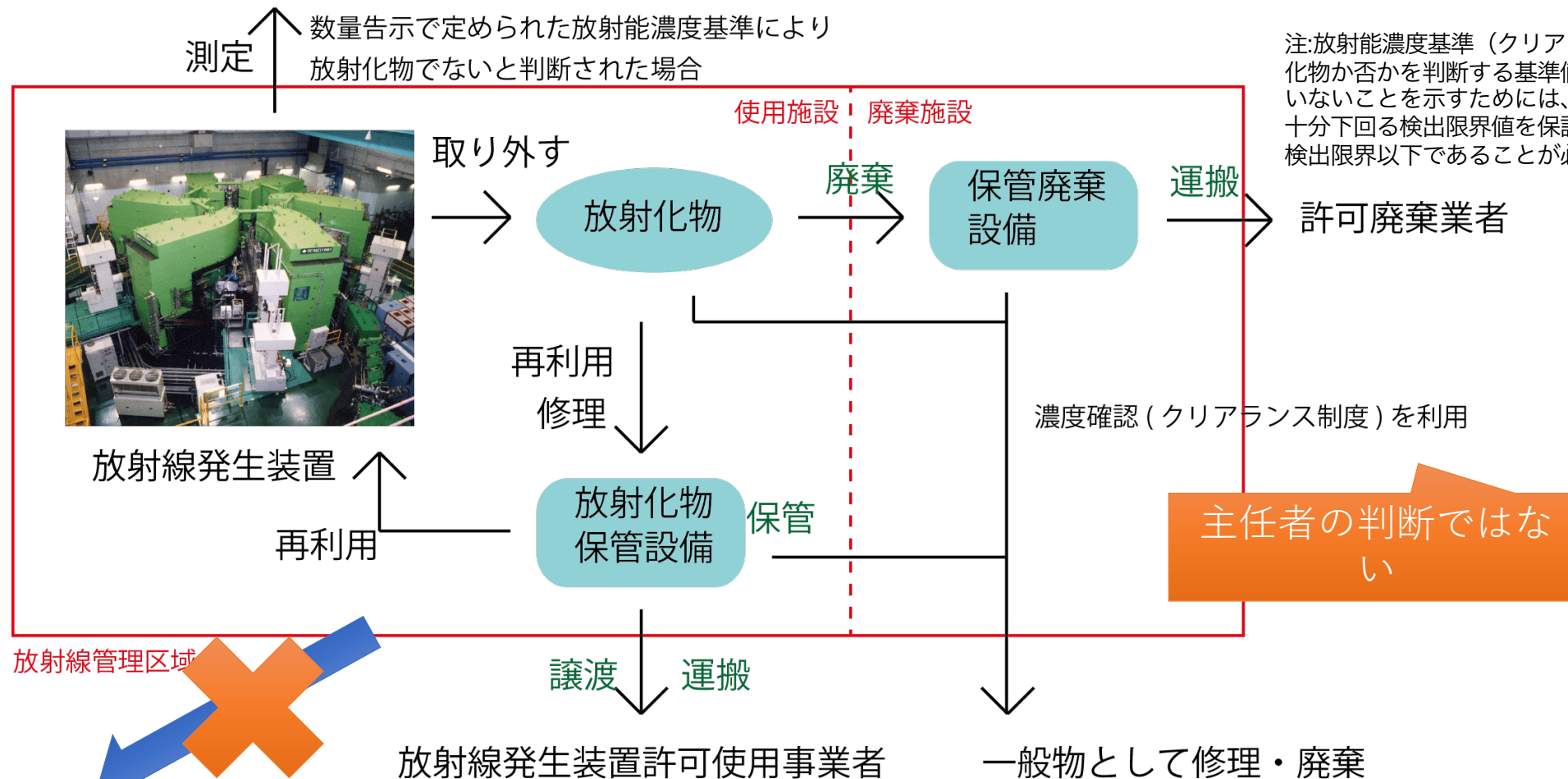
- 放射化されている物はすべて対象となり、以下の場合を除き管理が必要
  - ① 放射線発生装置の装置に組み込まれている場合又は放射線発生装置として使用する目的で用いている場合は、放射化物としての管理は不要
  - ② 放射線発生装置から取り外し、再度装置の組み込んだ場合も放射化物としての管理は不要
  - ③ 炭素線については、治療に使用したボース及び患者コリメータ、陽子線については、ボースのみ放射化物としての管理は不要（40GyE以下のものの限る。研究用に利用した物は除く。）

(改正放射線要害防止法講習会における文科省放射線規制室の説明による)

使用中の放射化物は管理対象にならないが、「使用中」の解釈が拡大解釈になって安全・コンプライアンスを損なわないようにしなければならない。

# 放射化物の流れ

一般物として修理・廃棄



注:放射能濃度基準 (クリアランスレベル) は放射化物か否かを判断する基準値ではない。放射化していないことを示すためには、クリアランスレベルを十分下回る検出限界値を保証した検出器を用いて、検出限界以下であることが必要。

放射線管理区域

放射化物としての輸出は不可

譲渡された施設に放射化物保管設備がない場合、速やかに放射線発生装置に組み込む (相手方の責任)

# 表面汚染と放射化

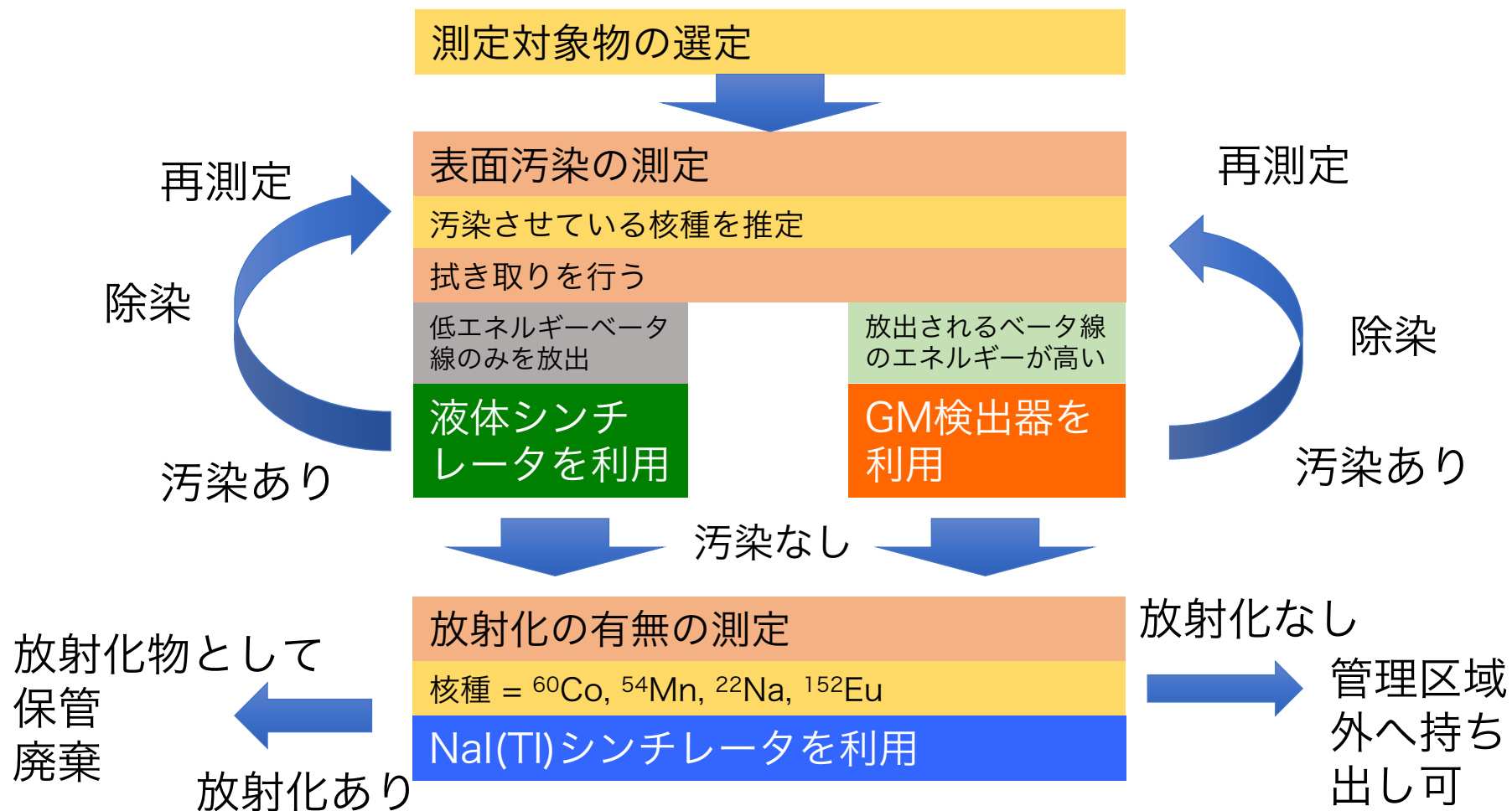


# 表面汚染と放射化



- 表面汚染は主に非密封RIの使用に伴う
  - 拭き取り検査可能
  - ベータ線が多い
  - 核種によっては低エネルギーベータ線のみを放出
  - サーベイメータでは放射化も同時に測定してしまう（表面線量率）
- 放射化は主に加速器の使用に伴う
  - 拭き取り検査不可能
  - ベータ線が少ない
  - ガンマ線を測定

# 表面汚染と放射化の測定手順



# 危険予知と汚染検査・放射化検査

- 放射線発生装置使用室に持ち込んでいないものは放射化しない
- ビーム照射中に放射線発生装置使用室に持ち込んでいないものは放射化しない
  - 放射化検査は不要
  - 放射化物を含んだオイルなどで床が汚染していると、床に置いたものが表面汚染する可能性がある
  - 汚染検査が必要
- ビーム使用中に放射線発生装置使用室内に持ち込んだもの、その履歴が不明なもの、実験室に持ち込んでいないことに対して確実性がないものは放射化している可能性がある。
  - 放射化の検査が必要
- 非密封RIのみの実験のために持ち込んだもの
  - 放射化の検査は不要
- 上記の判断が困難な場合
  - 放射化の検査、汚染検査の両方を行う。

# インターロックと自動表示灯

# インターロック

## 放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律施行規則

第14条の7 [使用の基準]法第6条第1号の規定による使用施設の位置、構造及び設備の技術上の基準は、次のとおりとする。

(1)~(5) 省略

(6) 原子力規制委員会が定める数量以上の密封された放射性同位元素又は放射線発生装置の使用をする室の出入口で人が通常出入りするものには、放射性同位元素又は放射線発生装置の使用をする場合にその旨を自動的に表示する装置を設けること。

(7) 原子力規制委員会が定める数量以上の密封された放射性同位元素又は放射線発生装置の使用をする室の出入口で人が通常出入りするものには、放射性同位元素又は放射線発生装置の使用をする場合にその室に人がみだりに入ることを防止するインターロックを設けること。

(7)の2~(9) 省略

- 放射線発生装置と400 TBq以上（数量告示第11条）の密封線源には自動表示装置が必要
- 放射線発生装置と100 TBq以上（数量告示第12条）の密封線源にはインターロックが必要

自動表示装置、インターロックは使用承認条件に含まれており、不完全な状態で放射性同位元素・放射線発生装置を使用する事はできない

# インターロック・自動表示装置

## リミットスイッチ

扉が完全に閉まっているかどうかを検知している。扉が少しでも開いているとビームを出せない。最近では電気錠を併用して、ビーム発生時には自動的に施錠する場合が多い。



## 安全キー・パーソナルキー

入室時に引き抜き、退室時に戻す。キーが全て返却されないとビームが出せないようになっている。実験室に入るときは1人1本ずつ抜く。



## 安全スイッチ

このスイッチを作動させるとビームを発生させることができない。

## 自動表示灯

室内にビームが出ていることを表示する。古い施設では蛍光灯の点灯式、新しい施設では電光板などが使われる。



入室時にはインターロックを故障や不十分な確認を想定して、可能な限り全て作動させる

# その他

# 外部被ばく測定

ルミネスバッジ、ガラスバッジは名前が見えるように付ける

ポケット線量計はディスプレイが体に向くように付ける

## 長所

放射線以外に反応しない

## 短所

すぐに被ばく線量がわからない



## 長所

すぐに被ばく線量がわかる

## 短所

携帯電話や衝撃で数値が上がる

男性は胸部、女性は腹部に着用する

(正面から胸ポケットを撮影しています)



# 外部被ばくに関する事故事例

## 判明日

平成20年10月11日

## 事業所名

住重試験検査株式会社（愛媛県）

## 概要

平成20年10月31日に文部科学省に連絡があった。

平成20年9月11日に第1サイクロトロン室においてサイクロトロンより水漏れが発生し、修理のために入室した放射線業務従事者1名が52 mSvの被ばくをした。放射線業務従事者は入室時、即座に被ばく量がわかる線量計を身につけていなかった。健康診断を受けた結果、異常は認められていない。文部科学省は報告が遅れたことについて嚴重注意を行う。

（公益財団法人原子力安全技術センター「放射性同位元素等事故例」による）

# 放射線発生装置使用上の安全・まとめ

## 実験中の実験室の入室時に注意

- インターロックを全て作動させる
- 放射化している場所を確認する。
- 放射化が強い場合はRI使用におけるコールドランに相当する練習を行う等、作業時間が短くなるような努力を行う
- ビームがでているときの入室は一般的には行われない。

## 管理区域からの持ち出し物に関する注意

- 放射化物はRI汚染物。下限数量は適用されない。
- ビームに直接触れない物も放射化している可能性がある。
- 放射線発生装置のみの管理区域出口には汚染検査室が設置されていないが、作業内容に応じて汚染検査を行う。

## 放射化物の加工に関する注意

- 放射化物を加工する行為は、濃度の薄い非密封RIを使用しているのと同じ。汚染の拡大防止や内部被ばくの防止に努める必要がある。

## 使用の方法（使用承認）に関する注意

- 放射線発生装置の遮蔽計算には様々な仮定が含まれている。その仮定を著しく逸脱しない範囲で使用が可能である。