

		B) の方式においてもサーバーを介した個人情報の移動に関して、個人情報保護に関する精査が必要である。
2	基幹システムへの登録には、所属元の大学（部局）、主任者の承認も必要である。 （つまり、個人が所属元の大学（部局）、主任者の承認なしに登録することを防ぐシステムが必要である）	所属元の大学（部局）、主任者が確認承認できる学内 RI システムを構築・提供する。 例として、所属元の学内 RI システムにマイページなどを構築し、大学・主任者の承認を得た後に、本人が基幹システム登録を行う方法が考えられる。
3	派遣先・所属元共に、紙ベース、印鑑システムから、電子ファイルシステムに変える必要がある。	現在の社会情勢の変化により、脱印鑑が進めば可能になる。
4	大学内でも放射線業務従事者情報が集約されていない。 （大学内でも管理方法が一定でない。学内の統一についても考える必要がある。）	今回の事業等により、管理システムが提供されれば、集約・統一が進むことが期待される。
5	健康診断、教育、被ばく記録で扱いが異なる。特に、健康診断データの扱いは大学毎に異なっている。 （RI 施設管理、保健センター管理、部局管理など） ・健康診断に関しては、基幹システムに登録すべき情報の種類・項目についても統一する必要がある。	課題 1 - 解決策 B の方法により、個人情報保護の問題は解決できると考えられる。 但、健康診断データは大学毎に取扱方法が大きく異なるため、健康診断データを電子データとして本人に提供し、基幹システムに登録する方法については詳細な検討が必要である。 ・健康診断に関しては、基幹システムに登録する必要がある情報の種類・項目について精査し、（規制庁・厚労省・放射線安全協会も含めて）コンセンサスを得たうえで、システムに反映させる。
6	過去の情報は紙ベースのものもあり、遡っての情報利用は電子化の作業が必要となる。	今回の事業等により、管理システムが提供されれば、電子化が進むことが期待される。
7	現有の学内 RI 管理システムとの互換性の問題を解決する必要がある。	基幹システム開発時に、互換性の問題を解決できるように工夫する。 システム開発企業との情報交換・協力が必要。
8	RI 規制法以外の従事者情報（X 線、電離則）の取扱についても考慮する必要がある。	現状・要望を把握し、対応可能な基幹システムあるいは学内 RI 管理システムを提供する。

9	予防規程に個人情報に関する記述を加える必要がある。	必要に応じて、予防規程に加えるべき記述の案を提供し、予防規程の改訂を推奨する。
10	クロスアポイントメント教員などに対する対応も考える必要がある。	クロスアポイントメント協定書等により、RI 従事者の管理責任を明確化する必要がある。

② 理化学研究所播磨事業所（Spring 8）におけるペーパーレス化に関する意見交換

2021年10月26日付で、理化学研究所播磨事業所安全管理室から「放射線業務従事者登録等手続きペーパーレス化について」の案内が発出されたため、理化学研究所播磨事業所（Spring 8）のシステム（以下、理研システム）について意見交換を行った。概要は以下の通り。

- ・ 理研システムでは、利用者本人が理研システムに利用申請した後に、所属元の大学（部局）、主任者に確認承認依頼のメール連絡が送られ、所属元の大学（部局）、主任者が確認承認する流れになっている。
- ・ 上表の1B、及び2の案に類似したものであり（但、所属元の学内承認の前に申請する点は異なっている）、理研システムは概ね本WGの方針と一致している。
- ・ 理研システムにより上表の項目3及び4が進展するものと考えられる。
- ・ 本WGで検討している一元管理システムとは、登録する情報の種類・項目（上表の5）が異なる可能性があるため、これらの点に関する精査が必要である。

原子力規制庁ネットワーク事業ワーキンググループ2
第2回 継続的な利用のための試算・検討ワーキンググループ議事要旨

日時：令和3年1月7日 17:00~18:30

Zoom オンラインミーティング

出席者：柴（金沢大）、原（東京医歯大）、佐々木（富士電機）、渡部（東北大）、佐藤（東北大）、吉村（阪大）

(1) 以下の条件で試算した。

- 1-1. 保守及び運営に関する事務は企業に外注。
- 1-2. 保守は企業に外注、運営に関する事務は大学にて事務員を雇用。
- 2-1. 別途作成する教育訓練システムと融合させ、運用する。保守及び運営に関する事務は企業に外注。
- 2-2. 別途作成する教育訓練システムと融合させ、運用する。保守は企業に外注、運用に関する事務等は技術者を雇用。

1-1. 保守及び運営に関する事務は企業に外注

保守費用全体の概算

サーバー、ネットワークは大学のレンタルサーバー、専用ネットワーク(SINET-5)を利用する。

保守費用は初年度、2年度以降で異なるためそれぞれの費用算出を行う。表 1-1 参照のこと。

- ①初年度 初回のみ必要な負担+保守費用
- ②2年度以降 保守費用

保守費用負担額試算

費用負担は3つのパターンで検討し、施設ごともしくは利用者ごとの費用算出を行う。表 1-2 を参照のこと。

- ①一括支払い 毎回の費用を利用者負担
- ②サブスクリプション 定額制:ハード、保守費を定額負担
 - ア) 1 施設負担(想定施設数)
 - イ) 1 人負担(想定利用者数)
- ③リカーリング 従量課金制:a. システム機器更新費用は運営者負担
 - b. 保守費は利用者の定額負担
 - 1 1 施設負担(想定施設数)
 - 2 1 人負担(想定利用者数)

※ただし以下を除く。

- ・利用者が使用する PC、ハブ等のハード費用
- ・アプリケーションソフトの基本ベースにかかわる見直し、設計・作成費用
- ・予期せぬ事象による対応・対策費用

対象とする施設、人数

ア) 利用施設 25 施設 (21 大学 + 4 施設 (QST, SPring8, KEK, JPARK))

イ) 利用者数 10,000 人

表 1-1 年間保守費等の試算

(円)

No.	項目		概算内訳		概算費用	備考
1	サーバー、ネットワーク利用	継続運用	—	0	0	大学レンタルサーバー、専用ネットワーク(SINET-5)利用
2	システムメンテナンス費	継続運用	管理責任者 事務	4,000,000 4,500,000	8,500,000	50 週、週 1 回管理 派遣(年間)1 名、エラー管理、請求・回収・経費管理
3	システム機器更新費	継続運用	—	500,000	500,000	東北大所掌(サーバー機器)
4	メンテナンス	継続運用	メンテナンス プログラム修正 トラブル対応 バグ修正	960,000 800,000 640,000 800,000	3,200,000	メンテナンス、ログ確認 4 半期ごと 修繕 利用者トラブル対応 利用時におけるバグ出現、修正
5	アプリケーションソフト改造	継続運用	—	800,000	800,000	機能改造
6	PDF 変換ソフト	初年度	—	450,000	450,000	Office Server Document Converter Professional
7	アプリケーションソフト	継続運用	—	1,500,000	1,500,000	オープンソースソフトウェア(年間サブスクリプション)
合計			初年度		14,950,000	No.1~7
			2 年度以降		14,500,000	No.1~5、7

表 1-2 負担方法の違いによるコスト

(円)

項目	初年度費用(年間)	2年度以降(年間)	備考
①一括支払い	14,950,000	14,500,000	
②サブスクリプション	ア) 598,000	ア) 580,000	1 施設負担(25 施設として)
	イ) 1,495	イ) 1,450	1 人負担(10,000 人として)
③リカーリング	ア. 500,000	ア. 500,000	運営負担
	ブ. -1 578,000	ブ. -1 560,000	1 施設負担(25 施設として)
	-2 1,445	-2 1,400	1 人負担(10,000 人として)

1-2. 保守は企業に外注、運営に関する事務は大学にて事務員を雇用

佐々木氏作成の保守概算額に対して、人員を大学にて雇用(週 30 時間勤務)した場合の費用

表 1-3 年間保守費等の試算

(円)

No.	項目		概算内訳		概算費用	備考
1	サーバー、ネットワーク利用	継続運用	—	0	0	大学レンタルサーバー、専用ネットワーク(SINET-5)利用
2	システムメンテナンス費	継続運用	管理者、事務	3,500,000	3,500,000	システム管理、ユーザーサポート、請求・回収・経費管理(年間)1名
3	システム機器更新費	継続運用	—	500,000	500,000	東北大所掌(サーバー機器)
4	メンテナンス	継続運用	メンテナンス プログラム修正 トラブル対応 バグ修正	960,000 800,000 640,000 800,000	3,200,000	メンテナンス、ログ確認 4 半期ごと 修繕 利用者トラブル対応 利用時におけるバグ出現、修正
5	アプリケーションソフト改造	継続運用	—	800,000	800,000	機能改造
6	PDF 変換ソフト	初年度	—	450,000	450,000	Office Server Document Converter Professional
7	アプリケーションソフト	継続運用	—	1,500,000	1,500,000	オープンソースソフトウェア(年間サブスクリプション)
合計			初年度		9,950,000	No.1~7
			2 年度以降		9,500,000	No.1~5、7

表 1-4 負担方法の違いによるコスト

(円)

項目	初年度費用(年間)		2年度以降(年間)		備考
① 一括支払い	9,950,000		9,500,000		
②サブスクリプション	ア)	398,000	ア)	380,000	1 施設負担(25 施設として)
	イ)	995	イ)	950	1 人負担(10,000 人として)
③リカーリング	a.	500,000	a.	500,000	運営負担
	b.	-1 378,000	b.	-1 360,000	1 施設負担(25 施設として)
	-2	945	-2	940	1 人負担(10,000 人として)

2-1. 別途作成する教育訓練システムと融合させ、運用する。保守及び運営に関する事務は企業に外注。

既存アプリケーションソフトに新たに開発する教育訓練システム(大学独自に実施)からの教育訓練結果情報を結合させる。保守費用全体額、保守費用負担は1-1項と同条件とする。対象とする施設数、人数は以下のとおりとした。また本システムはより多くの放射線業務従事者に利用を促進させるため、大学、大学共同利用機関以外に民間企業などの取入れによる施設、利用者を想定して算出する。

対象とする施設、人数

ア) 利用施設 70 施設(大学および共同利用施設)

イ) 利用者数 25,000 人

表 2-1 アプリ改造(教育訓練システム情報結合)と年間保守費用概算

(円)

No.	項目		概算内訳		概算費用	備考
1	サーバー、ネットワーク利用	継続運用	—	0	0	大学レンタルサーバー、専用ネットワーク(SINET-5)利用
2	システムメンテナンス費	継続運用	管理責任者 システムエンジニア 事務	4,000,000 12,000,000 4,500,000	20,500,000	50 週、週 1 回管理 派遣(年間)1 名、エラー管理、請求・回収・経費管理
3	システム機器更新費	継続運用	—	500,000	500,000	東北大所掌(サーバー機器)
4	メンテナンス	継続運用	メンテナンス プログラム修正 トラブル対応 バグ修正	960,000 800,000 640,000 800,000	3,200,000	メンテナンス、ログ確認 4 半期ごと 修繕 利用者トラブル対応 利用時におけるバグ出現、修正
5	アプリケーションソフト改造	継続運用	—	800,000	800,000	機能改造
6	PDF 変換ソフト	初年度	—	450,000	450,000	Office Server Document Converter Professional
7	アプリケーションソフト	継続運用	—	1,500,000	1,500,000	オープンソースソフトウェア(年間サブスクリプション)
8	教育訓練システムデータ結合	初年度	設計費用 ソフト作成・改造 試験費用 管理費	160,000 400,000 240,000 160,000	960,000	基本、詳細設計 ソフト作成 単体、結合試験 管理経費
合計			初年度		27,910,000	No.1~8
			2 年度以降		26,500,000	No.1~5、7

表 2-2 負担方法の違いによるコスト

(円)

項目	初年度費用(年間)	2年度以降(年間)	備考
①一括支払い	27,910,000	26,500,000	
②サブスクリプション	ア) 398,714	ア) 378,571	1施設負担(70施設として)
	イ) 1,116	イ) 1,060	1人負担(25,000人として)
	ウ) 大学: 329 企業: 1,642	大学: 312 企業: 1,559	大学 10,000人、企業 15,000人 負担額 1:5
③リカーリング	ア. 500,000	ア. 500,000	運営負担
	ブ. -1 391,571	ブ. -1 371,429	1施設負担(70施設として)
	-2 1,096	-2 1,040	1人負担(25,000人として)
	シ. 大学: 323 企業: 1,613	大学: 306 企業: 1,530	大学 10,000人、企業 15,000人 負担額 1:5

2-2. 別途作成する教育訓練システムと融合させ、運用する。保守は企業に外注、運用に関する事務等は技術者を雇用。

佐々木氏作成の保守概算額に対して、人員を大学にて雇用(週 30 時間勤務)した場合の費用

表 2-3 アプリ改造(教育訓練システム情報結合)と年間保守費用概算

(円)

No.	項目		概算内訳		概算費用	備考
1	サーバー、 ネットワーク 利用	継続 運用	—	0	0	大学レンタルサーバー、 専用ネットワーク(SINET-5)利用
2	システムメ ンテナンス 費	継続 運用	管理、事務	5,000,000	5,000,000	システム管理、ユーザーサポート、請求・回収・ 経費管理(年間)1名
3	システム機 器更新費	継続 運用	—	500,000	500,000	東北大所掌(サーバー機器)
4	メンテナンス	継続 運用	メンテナンス プログラム修正 トラブル対応 バグ修正	960,000 800,000 640,000 800,000	3,200,000	メンテナンス、ログ確認 4 半期ごと 修繕 利用者トラブル対応 利用時におけるバグ出現、修正
5	アプリケーシ ョンソフト改 造	継続 運用	—	800,000	800,000	機能改造
6	PDF 変換 ソフト	初年 度	—	450,000	450,000	Office Server Document Converter Profe ssional
7	アプリケーシ ョンソフト	継続 運用	—	1,500,000	1,500,000	オープンソースソフトウェア(年間サブスクリプショ ン)
8	教育訓練 システムデ ータ結合	初年 度	設計費用 ソフト作成・改造 試験費用 管理費	160,000 400,000 240,000 160,000	960,000	基本、詳細設計 ソフト作成 単体、結合試験 管理経費
合計			初年度		12,410,000	No.1~8
			2 年度以降		11,000,000	No.1~5、7

表 2-4 負担方法の違いによるコスト

(円)

項目	初年度費用(年間)	2年度以降(年間)	備考
① 一括支払い	12,410,000	11,000,000	
②サブスクリプション	ア) 177,286	ア) 157,143	1 施設負担(70 施設として)
	イ) 497	イ) 440	1 人負担(25,000 人として)
	ウ) 大学: 146 企業: 730	大学: 130 企業: 648	大学 10,000 人、企業 15,000 人 負担額 1:5
③リカーリング	ア. 500,000	ア. 500,000	運営負担
	ブ. -1 170,143	ブ. -1 150,000	1 施設負担(70 施設として)
	-2 477	-2 420	1 人負担(25,000 人として)
	シ. 大学: 141 企業: 701	大学: 124 企業: 618	大学 10,000 人、企業 15,000 人 負担額 1:5

保守体制別のメリット、デメリット考察

企業に一括委託した場合と一部を大学対応とした場合のメリット、デメリットを検討した。

	企業に一括委託した場合	一部を大学対応とした場合
システム監視	管理体制が一元的に構築される。システムに精通した人員を配置させることでエラーや不測の事態では、管理責任者との連携が図られる。	管理体制が大学、企業に分割されるため企業側との意思疎通をスムーズに図る必要あり。技能者の配置や派遣契約期間があるため、継続的な人員確保に課題有り。
品質保証	アプリケーションソフト運営保守全体と維持のための品質管理を行わせることができる。	アプリケーションソフトの保守を企業にさせることで、維持に関する品質管理を行わせることができる。
コスト	一部大学対応とした場合に比較し、費用は大きくなる。	企業に一括委託した場合より、費用は小さくなる。

(2)WGとしての意見

従事者管理のデータやり取りの DX だけでは、費用に対する利用者及び各施設が感じるメリットが薄い。そのため、教育訓練の DX システムと連動させることが重要である。企業と大学で費用の差をつけることによって、大学が現実的に費用負担できる範囲に収まってくると考えられる。教育訓練の教材開発が必要であるが、これはいくつかの大学が分担することで対応し、教材開発をした大学については、一定期間ディスカウントする等で対応する方法も考えられる。

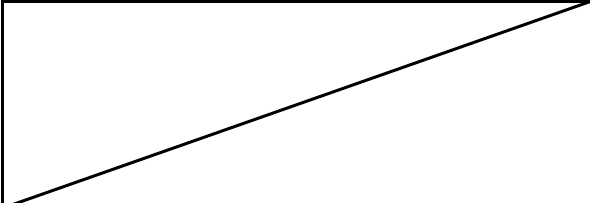
現行システムの特徴	現行システムの○メリット/▲デメリット	次世代システムに求められる機能
<p>紙ベースでのやりとりを電子化した。</p> <p>(1) 従事者情報(被ばく, 健康診断, 教育訓練)</p> <p>(2) 所属元で従事者として管理されていることの証明 (従事者証明)</p> <p>(3) 放射線業務に従事することについての所属元の承認 (利用承認)</p>	<p>○ 手続きの迅速化。</p> <p>▲ 従事者情報は登録時の一点だけが提供され, リアルタイムの情報が得られるものではない。したがって, 施設側は厳密には法令が定める項目を保管記録しているとは言い難い。</p>	<p>(1) 従事者情報をリアルタイムで取得する仕組み 案1: 共通プラットフォーム(SaaS)で従事者管理を運用し, 派遣元も施設側も同じ情報を持つ。(図1) 案2: 利用者個人を中心とした設計とし, 個人が定期的に自分の情報を施設側に提供する仕組みを作る。(図2) この場合, 共通CSVフォーマットの改訂が必要。</p> <p>(2) 法令改正 従事者管理を施設ではなく雇用者(派遣元)の義務とする方向での法令改正も考えられる。(RI規制法だけでなく電離則も含めて新たな規制の枠組みが必要になる可能性もある。)</p>
<p>システムの利用者は, 大学等の「放射線管理担当者」を充てた。</p>	<p>○ システムでのやりとりが従事者証明と利用承認を担保していた。</p> <p>▲ 個人情報保護上の問題がある。(←WG01)</p>	<p>利用者本人を中心とした設計にする。この場合, 次の機能が必要;</p> <ul style="list-style-type: none"> ・データのセキュリティと検証可能性の保証。 (例: blockchain) ・派遣元と施設の間で従事者証明と利用承認を交換する仕組み。 ・将来的には, 本人確認のための仕組みが必要となる可能性がある。(例: マイナンバーの利用)
<p>L2-VLANによる閉じたネットワーク上にシステムを構築した。</p>	<p>○ セキュリティがある程度担保される。</p> <p>▲ インターネットを経由したサービス(メール等)が使えず, 不便があった。</p>	<p>セキュリティと利便性を両立させるシステム構成。 (例: データベースサーバ, Webインターフェース, メールサーバをそれぞれ別に立てて, ファイアウォールでセキュリティを確保する等。)</p>
	<p>▲ 一元管理システムの利用促進を図るため, 教育訓練のサービスがあるとよい。(←WG02)</p>	<p>教育訓練システムとの連携。 セキュリティ等を考慮すると, 従事者情報一元管理と教育訓練は別のシステムとすべきである。その上で, 両システムが連携を取るようにするか, あるいは利用者個人を中心としたシステム設計の中で実現する。</p>

図 1

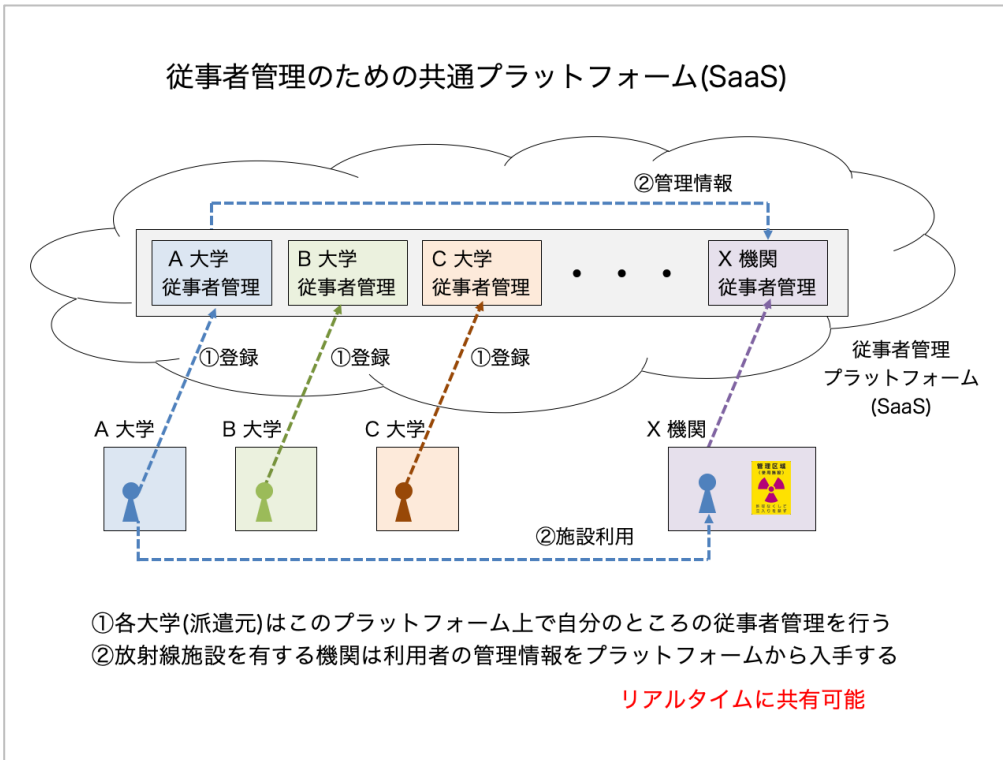
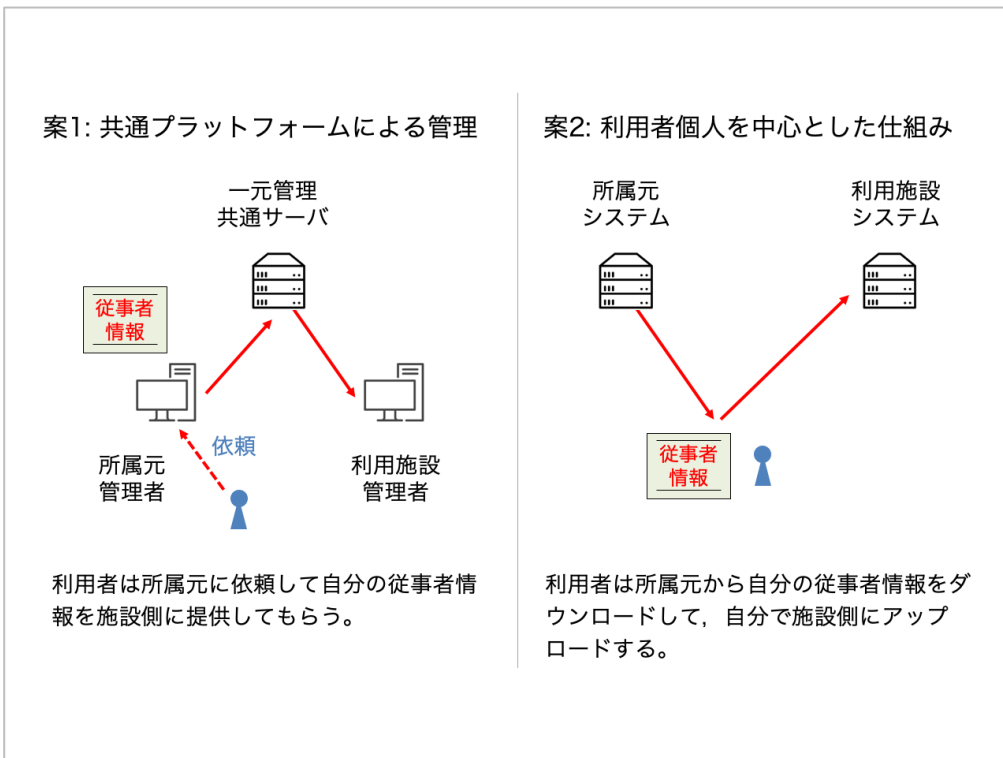


図 2



大学	大学で使用するオンライン講義システム	従事者一元管理システムとオンライン講義システムとの連携方法に関する提案	その他、教育訓練についての意見・提案等	類似サービス
東京大学	CANVAS	従事者一元管理システムはクローズなネットワークであるため、連携が難しい可能性がある。	教育システムを安定的かつ持続的に運用する必要がある。法令改正等にあわせて、教育訓練内容を更新する必要がある。数多くの施設の要望や教育訓練の実情を調査し、多くの施設が利用可能な教育訓練の内容を作る必要がある。さらに、規制庁が受け入れる内容にする必要性もある。 以上の課題を解決するためには、公的性格をもつ組織（日本アイソトープ協会など）が関与することが重要。運営主体として大学は不向き。	
神戸大学	・エックス線作業従事のための教育訓練には、moodle (moodleでは厳密な時間管理できない) ・放射性同位元素等規制法による教育訓練には、Leafシステム (時間管理可能)	・教育訓練の受講履歴が自動的に反映し、判定、閲覧・確認に供されると良い。 ・教育訓練のメニューで、共通メニュー、他機関独自のメニュー（安全取扱、予防規程）も同時に反映されて承認手続に供せられると良い。	・大学ごとに教育訓練の時間や項目が異なるため、共通メニューを準備することが重要。教育訓練の内容が標準化されるメリットは大きい。 ・オンライン講義システムを管理する主体を作る必要があるが、運営主体の選定、運用・メンテナンスの費用が課題。大学等放射線施設協議会のような、より多くの機関が参加し、意見を吸い上げやすいところが良いと思われる。（日本アイソトープ協会との関係も整理する必要がある）	
千葉大学	Moodle	現在の千葉大学のシステムでは、Moodleが学内専用であるため、外部システムとの連携は難しい	・大学ごとに教育訓練の時間や項目が異なる。これに合わせた教育訓練カリキュラムを作る必要があるため、多様な講義を準備する必要がある。共通部分と各大学の独自部分を分けて、共通部分のみ提供し、独自部分は各大学から提出してもらう方式もあり得る。 ・オンライン講義システムを管理する主体を作る必要がある。予算が絡むので、難しい問題ですが、センター長会議か、施設協議会などが適切と思われる。 ・RI施設の相互利用を前提にすると、各大学等が従事者に要求する教育訓練の中身を開示する必要がある。	
長崎大学	Blackboard	特になし	各大学で利用者の実情に合わせた特色ある教育訓練を行うことを妨げてはならないので、各大学に合わせるのではなく、どのような大学でも使用できそうな共通項目、基礎項目をまず公開すれば良いのではないかと思います。 また、有料ベースではアイソトープ協会が継続的に開発公開していますので、それに対するこちらの教育訓練コンテンツ配信の優位性を明確にしておいた方が良いでしょう。	日本アイソトープ協会： 放射線業務従事者のための教育訓練講習会 https://jrias.smkgt.jp/public/seminar/view/206
東北大学	moodleをベースにした独自システム	一元管理システムが外部に接続できないので連携に問題が発生する。	初期教育の内容は類似しているため、共同することが良い。	
京都大学	大学の講義の受講などの情報管理は独自の京都大学教務情報システム（KULASIS）及び授業支援システム（PandA）を使用するが講義自体は「ZOOM」を用いている。 また、再教育訓練は、独自の放射線取扱者個人管理システム（KRUMS）と連携したe-learningシステムを京大の情報環境機構との協力のもとに作成し、それを用いている。	放射線取扱者個人管理システム（KRUMS）を運用しており、外部システムとの接続は容易ではない。		

資料 A

問題点・課題の整理

- ・大学ごとに異なるe-learningシステムを利用しており、それぞれ一長一短がある。どのようなシステムがオンライン教育訓練に最適であるかについて調査研究が必要。
- ・試験開発中の「従事者一元管理システム」には外部と連結できないため、「従事者一元管理システム」とオンライン教育訓練システムの連携については調査研究が必要。
- ・事業所ごとにニーズが異なるため、基礎的教育カリキュラムと専門的カリキュラムなどを準備することが望ましい。なお、教育訓練の内容が標準化されるメリットは大きいと、全国的にニーズが強い。
- ・法令改正等にあわせて、教育訓練内容を更新する必要がある。数多くの施設の要望や教育訓練の実情を調査し、多くの施設が利用可能な教育訓練の内容を作る必要がある。さらに、規制庁が受け入れる教育訓練の内容にする必要性もある。
- ・今後、上記課題の調査研究を実施するためには適切な規模の予算の確保が必要。

以上の課題を解決し、かつ、教育システムを安定的かつ持続的に運用するためには、公的性格をもつ組織が教育システム運用を担う必要がある。運営主体として大学は不向きと思われる。

資料 B

名古屋大学
実習 1

非密封放射性同位元素安全取り扱い実習
～名古屋大学RI安全取り扱い実習の紹介～

線源 (RI溶液・試料) の準備

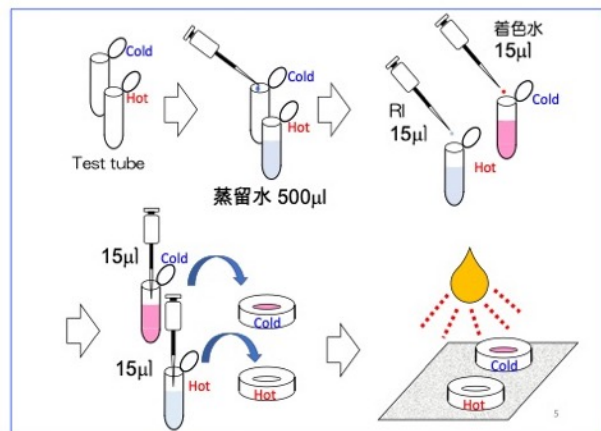
実習における線源作成手順

1. テストチューブに蒸留水を500 μ l入れ、着色水 (Cold)またはRI溶液(Hot)15 μ lを加えて希釈する。

2. 希釈溶液からそれぞれ15 μ l取り、ガラスろ紙に染み込ませて乾燥させ、線源とする。

* P-32とC-14 は受講生がこの作業をするので、容器にRI溶液を用意する。

* H-3とI-125の線源は予め作製しておく。



線源の作製 1.購入

JRAMで購入する

P-32	P-32 (NEG-502A) Adenosine 5'-triphosphate, [γ - ³² P]-	パーキンエルマー	9.25MBq/25 μ l	¥33,000	半減期 14.3日
C-14	C-14 (NEC042V) Glucose, D- [¹⁴ C(U)] -	パーキンエルマー	9.25MB q /1.25ml	¥101,000	半減期 5730年
H-3	H-3 (ART0169) L-[methyl- ³ H]Methionine	室町機械	9.25MB q /250 μ l	¥43,000	半減期 12.4年
I-125	I-125 (NEZ033)	パーキンエルマー	74MBq/100 μ l	¥72,000	半減期 59.4日

・P-32とC-14は受講者に作業してもらうため、実習日に目標の濃度になるようにRI溶液を作成し、容器に入れておく。

・H-3とI-125は目標の溶液の濃度の溶液を作成後、実習日に1k Bqになるようにガラス濾紙に染み込ませ、乾燥させた線源を作製しておく。

各班1枚、予備に1-2枚となるように用意しておく。

H-3については1班だけ測定し、全員が同じデータで処理を行う。

線源の作製 2.RI溶液の準備

P-32 目標濃度 実習当日において**2.5 kBq/ μ l** (=2.5 MBq/ml)

実習ではRI溶液15 μ lをピペットで取って、500 μ lの水で希釈する。

その希釈液を15 μ l取って、ガラス濾紙に染み込ませたときに1000Bq程度になるようにする。

- ・購入した原液25 μ l (9.25MBq) の容器に275 μ l の蒸留水を加え、「希釈原液」とする。
(カタログ通りであれば、30kBq/ μ lであるが、実際は1.2から1.5倍であることが多い。)
- ・「希釈原液」からテストチューブに50 μ l、水450 μ lで薄める。→「溶液1」
(カタログ通りであれば、3kBq/ μ l)
- ・「溶液1」を10 μ l取ってガラスろ紙に滴下乾燥させ、液シンで測定し、「溶液1」の濃度を計算して確定する。希釈原液の濃度も求めておく。
- ・濃度が決まったら、半減期から計算し、実習当日に 2.5 kBq/ μ lになるように、「溶液1」に水を加える。(目標濃度より薄い場合は希釈原液を加える)
- ・実習用のRI容器に250-500 μ l 入れて冷蔵保存しておく。(Hot溶液)
- ・同じ形の容器に水を入れ、赤インクを垂らして、Cold溶液とする。

線源の作製 2.RI溶液の準備

C-14 目標濃度 2.5 kBq/μl (=2.5 MBq/ml)

・希釈液の準備

グルコース 27mg (15mmol/l) ← グルコースの¹⁴C溶液を購入した場合

エタノール 0.2ml (2%)

NaN₃ 1.5ml of 0.2%水溶液 (0.03%)

DW final 10ml になるように加える

(キャリアのグルコースはあまり濃くない方が良い。

濃いと、保存した際にグルコースの塊ができやすくなる。10~20mmol/lが良い。

エタノールはラジカルスカベンジャー (2~5%程度)、アジ化ナトリウムNaN₃は防腐剤)

・購入した原液 (カタログでは9.25MBq/1.25ml(7.4MBq/ml)) の濃度を、測定して確定する。

(原液から10 μl 取り、ガラスろ紙に滴下乾燥させ、液シンで測定する。)

・原液の濃度を確定したら、必要量を計算し、2.5 MBq/mlになるようにテストチューブに希釈液と原液を入れる。(よくかき混ぜながら行うと良い。液シンで濃度を再び確認。)

・実習用のRI容器に250-500 μl入れて保存しておく。(Hot溶液)

・同じ形の容器に水を入れ、赤インクを垂らして、Cold溶液とする。

線源の作製 3.試料の準備

H-3 溶液目標濃度 約100-200Bq/μl

ガラス濾紙に1kBqを滴下乾燥させた試料を準備する。

・希釈液の準備

メチオニン 22mg (15m mol/l)

ethanol 0.2ml (2%) (ラジカルスカベンジャー)

DW final 10ml になるように加える

・購入した原液(カタログでは9.25MBq/250 μl =37 k Bq/ μl) から5 μl 取って、希釈液495 μlに加えてよく混ぜる。「溶液1」

・「溶液1」から数μlをろ紙に染み込ませて乾燥させ、液シンで測定し、濃度を確定する。

(カタログ通りならば370Bq/ μl)

・濃度から計算して、ガラスろ紙に1 k Bqになる量を滴下乾燥させて試料を作製し、実習日まで保存しておく。



線源の作製 3.試料の準備

H-3 溶液目標濃度 約100-200Bq/ μ l

ガラス濾紙に1kBqを滴下乾燥させた試料を準備する。

・希釈液の準備

メチオニン 22mg (15m mol/l)

ethanol 0.2ml (2%) (ラジカルスカベンジャー)

DW final 10ml になるように加える

- ・購入した原液(カタログでは9.25MBq/250 μ l =37 k Bq/ μ l) から5 μ l 取って、希釈液495 μ lに加えてよく混ぜる。「溶液1」
- ・「溶液1」 から数 μ lをろ紙に染み込ませて乾燥させ、液シンで測定し、濃度を確定する。(カタログ通りならば370Bq/ μ l)
- ・濃度から計算して、ガラスろ紙に1 kBqになる量を滴下乾燥させて試料を作製し、実習日まで保存しておく。



I-125 試料作製用の実験器具



活性炭入マスク



三方活栓



ロック付き注射筒と針(38mm)



25mmの針(上) 19mmの針(下)



チャコール入注射筒

鉛入アクリル遮蔽板
手袋(2重)
保護メガネ
ポリろ紙

I-125

希釈液の準備 $(2\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 + \text{I}_2 \rightarrow \text{Na}_2\text{S}_4\text{O}_6 + 2\text{NaI})$
アルカリ性で、 $3\text{I}_2 + 6\text{OH}^- \rightarrow 5\text{I}^- + \text{IO}_3^- + 3\text{H}_2\text{O}$

$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 2.5g チオ硫酸ナトリウム
NaI 0.2g
10N NaOH 10ml
DW final 100ml

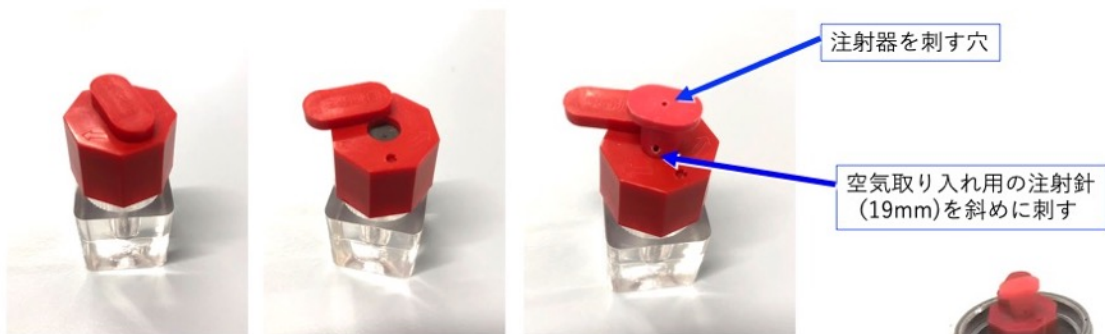
購入原液ボトルの開封手順

- (1) チャコール入りの注射筒と三方活栓を使って3回程度ガス交換を行う。
- (2) 上記希釈液400 μl をテストチューブに取り分け、注射器で吸い上げておく。
注射針を使ってボトルに注入し、よく混ぜる。(蓋はまだ開けない)
購入原液が74MBq/100 μl の場合、この時点で74MBq/500 μl 。

以下、これを「希釈原液」と呼ぶ。
- (3) 念のために、再度、ガス交換を行う。
- (4) 蓋を開けて、必要な作業を行う。

I-125 容器の蓋にシリンジガイドを取り付ける (ドラフト内で手袋を2重に着用して行う)

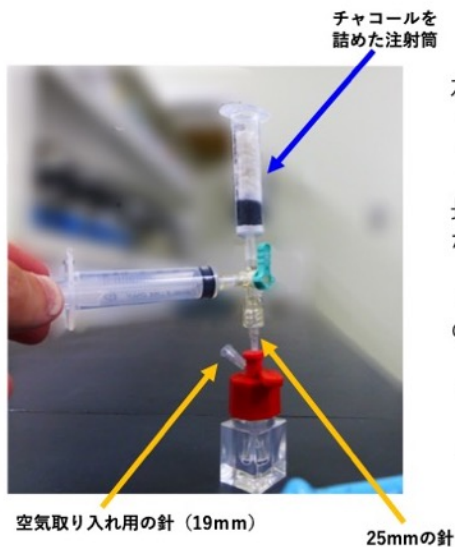
シリンジガイドは購入時に同梱されている



蓋の上部をスライドさせる シリンジガイドを取り付ける

実際は鉛容器に入れたまま作業する

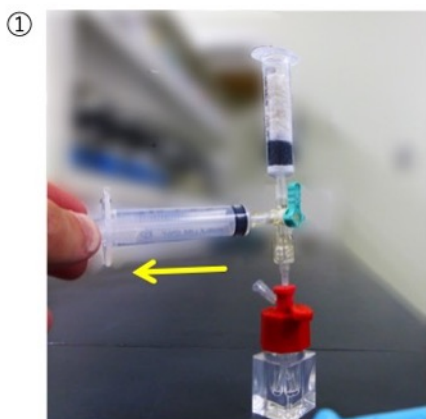
I-125 注射筒のセット方法（ドラフト内で手袋を2重に着用して行う）



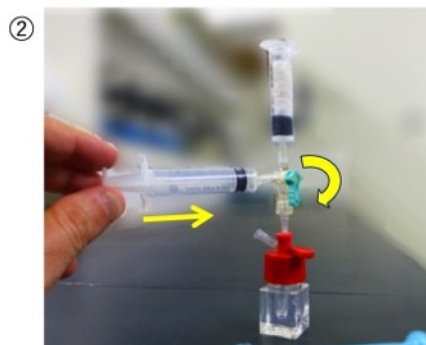
左図のようにセットする（ドラフト内で作業する）。

- ・三方活栓でチャコール側を閉にする。
- ・三方活栓～原液ボトル間の針は25mmを使う。
（理由：19mmの針では容器内まで届くかどうか分からない。長い針(38mm)を使うと、先端が液面まで達してしまうので、かなり注意しないとガス交換時に液体を吸ってしまう。）
- ・三方活栓付き注射筒を取り付けた後に、空気取り入れ用の針を刺す。
- ・空気取り入れ用の針は短いもの(針部の長さ19mm)を使う。
- ・針をはずす時には、ろ紙を使用する。

I-125 ガス交換の方法（ドラフト内で手袋を2重に着用して行う）



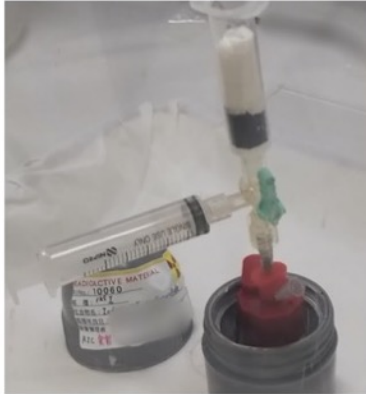
ゆっくりと空気を引く。購入原液ボトル内の空気を、左図で水平になっている注射筒内に引き込む。



- ・三方活栓のつまみの向きを変え、下側（購入ボトル側）を閉にする。
- ・ゆっくりとシリンダーを押し込み、注射筒内の空気をチャコールを介して、ドラフト内に放出する。

- ・①と②を3回程度繰り返した後、三方活栓ごとろ紙を使って針を引き抜く。
- ・希釈液を入れた注射筒を差し込み、希釈する（38mmの針を使う。短い針だとボトル内に届かない場合あり）。
- ・良く混ぜた後、再度ガス交換し、その後ボトルを開封する。

I-125 ガス交換→ 希釈液の注入 (実際の作業の様子 鉛入遮蔽板使用)



セットしたところ



ガス交換が終わったら、ろ紙を使って引き抜く。



希釈液400 μ lを入れた注射筒
(針は38mm)を刺し、
希釈液を容器内に入れる。

再びガス交換してから蓋を開ける

I-125 希釈原液からの試料作成

- ・希釈原液の濃度はカタログ通りであれば74MBq/500 μ l (148kBq/ μ l)。
- ・ここから10 μ l を取って990 μ lの希釈溶液で薄めると1.48 kBq/ μ l。(A溶液)

- ・A溶液から60 μ l取って、340 μ lの希釈液で希釈する。(B溶液 220Bq/ μ l)
- ・B溶液の濃度を確定するために、5 μ l程度ろ紙に滴下し乾燥させる。
- ・ガンマカウンタで測定して、B溶液の濃度を確定し、改めて半減期から実習当日に1kBqになるように液量を計算し、ガラスろ紙に滴下乾燥させた試料を必要枚数用意する。

- ・A、B溶液の量は必要に応じて変更する。

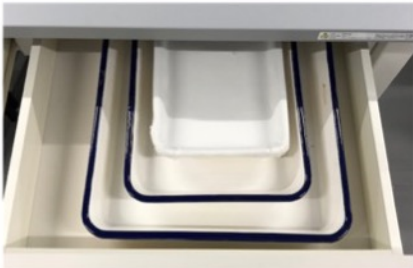
* 開封後の原液容器は針穴が空いているため、他の容器に移し替えるか、蓋をパラフィルムで2重に覆っておく。

参考：実験器具の準備

各実験台（2人用）に配布するもの



オートピペット (100・ μL \times 1, 1000・ μL \times 1)
チューブラック (1)
三角フラスコ (1), ハサミ (2), ピンセット (2)
マジック (3), 定規 (1), アクリルリング (2)
安全メガネ (2)
ピペットチップ (100・ μL 用 \times 4, 1000・ μL 用 \times 2)
試料皿およびガラスフィルター (4)
マイクロテストチューブ (4), スミアろ紙 (2)



バット (大 2, 中 2, 小 2)
ポケット線量計
ポリバケツ (2) ビニール袋 (2)





ポリろ紙 セロハンテープ



アクリル遮へい板



モップ



化学雑巾



実験用手袋 ポリエチレン手袋

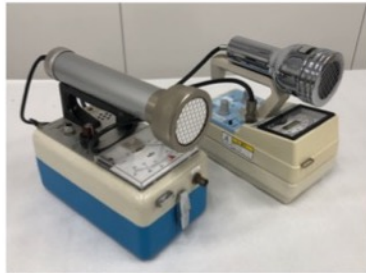


ポリ洗びん



液体シンチレータ用バイアル
[疎水性シンチレータ 5 mL] (3)
プラスチック試験管 (2)

計測機器、共通で使用するもの



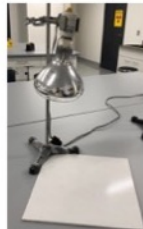
右：GMサーベイメータ
左：¹²⁵I用シンチレーションサーベイメータ



GM計数管
鉛板、アクリル板



簡易遠心機



赤外ランプ、陶板

その他の計測機器：
液体シンチレーションカウンタ
ウェル型NaIシンチレーションカウンタ

実習Ⅱ 準備マニュアル

未知試料に含まれる核種の同定と放射能の決定 ～ゲルマニウム検出器を用いた γ 線測定～

全般的な事柄

- 1) 「効率校正用線源」と「未知試料」の形状を同じにする.
- 2) 測定器の汚染を防ぐために、2重(以上)に密封する.
- 3) 試料の放射能をどのくらいにするかは、測定器の効率や測定に割り当てる時間を考慮して決める. 今回は、ピーク効率が数%の測定器で10分間測定したときのピーク計数が10000カウント以上になるように、3～5kBq程度の放射能を目安にした.
- 4) 測定時間を長く確保できる場合は、線源と測定器の距離を離し、カスケードサム効果を減らす方が初心者にはデータ解析しやすい(p.6).

1

検出効率校正用線源の作成 (1/3)

- 1) 放射能濃度既知の溶液をガラス濾紙に滴下し、乾燥.
- 2) 接着剤を塗った別の濾紙を滴下面に貼り合わせる(*).
- 3) ポリ袋に2重に封入.

(* 「未知試料」作成時に、粉末状試料を密封固定するために濾紙で挟み込む必要があった。「未知試料」と「校正用線源」の形状を同じにするために、木工用ボンドを濾紙外周部(RIが付いていない部分)に筆で塗り、貼り合わせた.)



2

検出効率校正用線源の作成 (2/3)

RI協会製の9核種混合標準ガンマ線源を使用

<https://www.jriass.or.jp/products/cat3/catalog01.html>

- ✓ 年3回の製造のため、注文締切日に注意。
- ✓ カタログ記載の放射能は9核種合計で150kBqだが、濃度が低い。事前に協会と相談し、特注で600kBq(液量5ml)のものを作成してもらった。
- ✓ 実習時の合計放射能が数kBqになるように、必要量を滴下(今回は50 μ lで実習時に約4kBq)。
- ✓ 濾紙によって、一度に吸収できる液量が変わる。コールドランで確かめ、場合によっては複数回に分けて滴下し、乾燥後に追加滴下する。

3

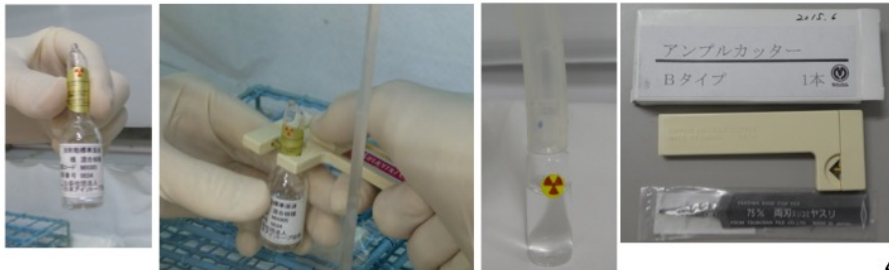
検出効率校正用線源の作成 (3/3)

協会製の溶液はガラスアンプルに入っている。

ガラスが厚いので、開封しづらい。

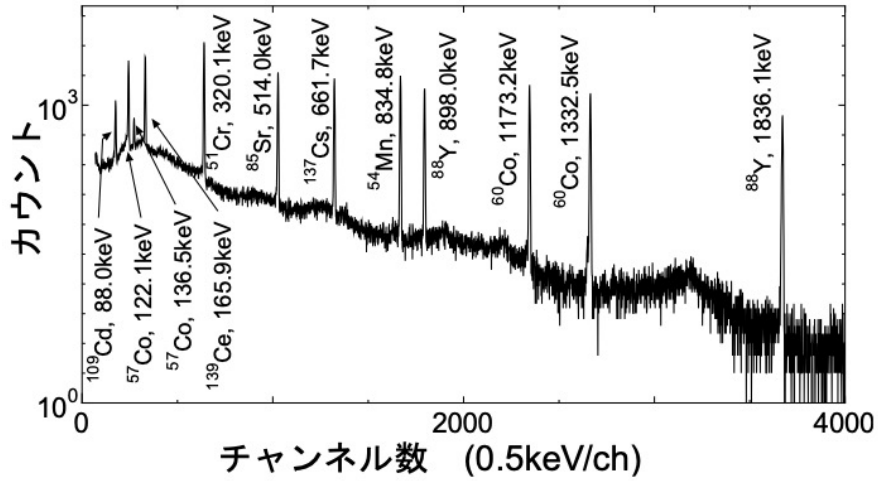
開封法の一例

アンプルカッターで溝を付けた後、両刃ヤスリで溝を深掘りしてから折る。アンプルの細い部分に塩ビチューブをはめてから折ると、より一層安全。(写真のアンプルカッターを使用する場合は、2度切りを避ける。2度切りはダイヤモンド刃を痛める。)



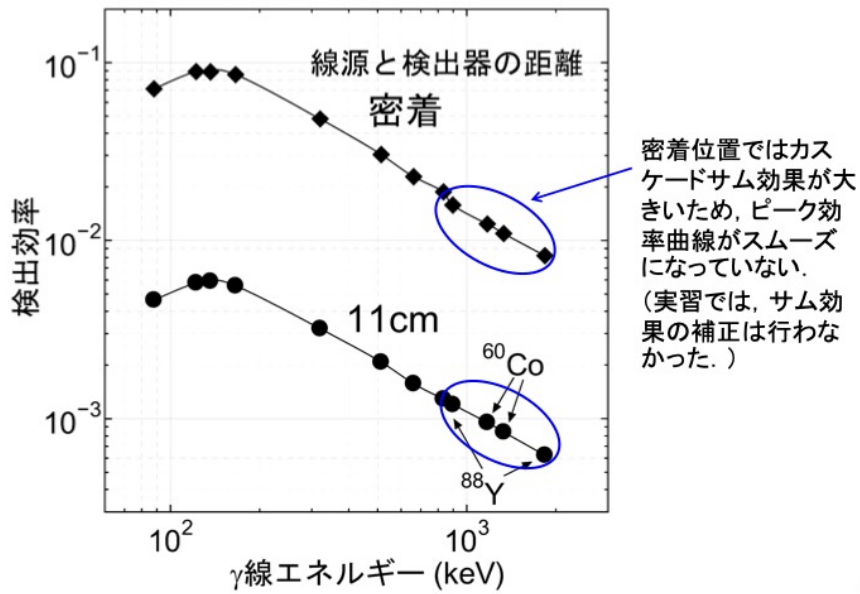
4

検出効率校正用線源の γ 線スペクトルの例 (ゲルマニウム検出器で測定)



5

検出効率曲線の例



6

「未知試料」の作成(1/2)

- ✓ 「校正用線源」と同様の濾紙試料を作成.
- ✓ 粉末状試料の場合は, 接着剤を塗った濾紙の上に粉末を置き, 別の濾紙で挟み込んで密封.
- ✓ 本実習では2核種の混合試料で, 各核種の放射能は2~5kBqとした.
- ✓ 本実習で使用した⁴⁶Scおよび¹²⁴Sbは東北大および阪大の加速器で製造したものを使用(「短寿命RI供給プラットフォーム」から提供). 試料によっては不純物が入っているため, 事前に確認が必要.

7

「未知試料」の作成(2/2)

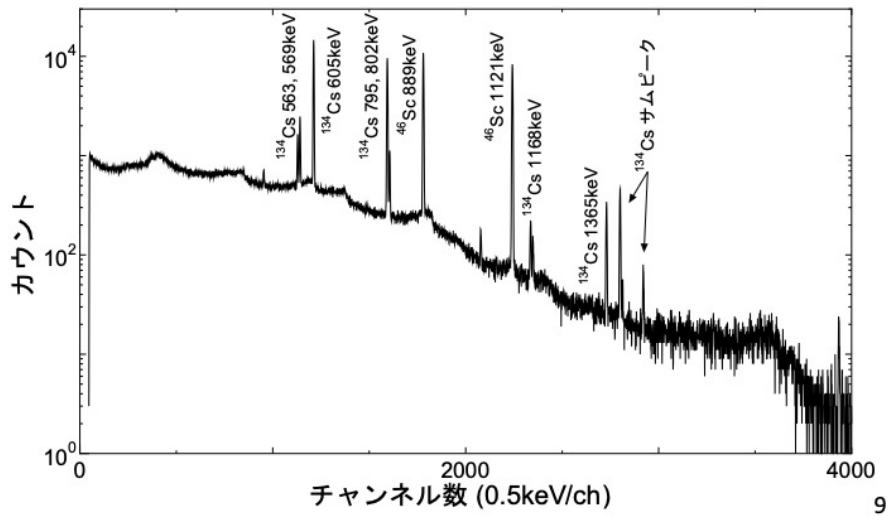
核種	形状	入手先
¹³³ Ba	3.7MBq, 500 μ lの溶液	RI協会から購入
¹³⁴ Cs		
⁴⁶ Sc	薄膜. Ti金属箔に分散	東北大ELPHより譲渡
¹²⁴ Sb	粉末. TeO ₂ 粉末中に分散	東北大ELPHより譲渡
	粉末. Sb粉末中に分散	東北大CYRICより譲渡 阪大RCNPより譲渡

- ¹³³Baおよび¹³⁴Csは原液10 μ lを蒸留水70 μ lで希釈した後に, 2~5 μ l (班によって異なる放射能のものを作成)を濾紙に滴下.
- ⁴⁶Scおよび¹²⁴Sbは, 濃度(Bq/g)を測定した後, 数kBqになる量を採取し, 濾紙で挟んだ.

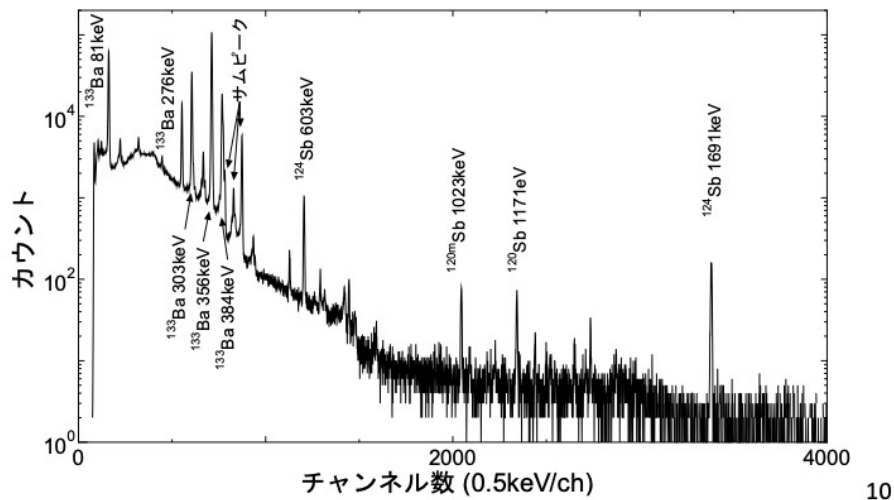
ELPH: 電子光理学研究センター, CYRIC: サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター, RCNP: 核物理研究センター

8

「未知試料」(^{46}Sc , ^{134}Cs)の γ 線スペクトル
(ゲルマニウム検出器で測定)



「未知試料」(^{124}Sb , ^{133}Ba)の γ 線スペクトル
(ゲルマニウム検出器で測定)





大阪大学 実習 非密封放射性同位元素の取り扱いと計測

実習 1. 非密封放射性同位元素の取り扱いと計測

【目的】

液体シンチレーションカウンターはライフサイエンスの分野における放射線の計測法として広く使用されてきた。液体シンチレーション計測の特徴は他の計測法では測定が困難な低エネルギーβ線を効率よく測定できることである。従って研究分野以外に、汚染検査や排水検査などの放射線管理の分野でβ核種の測定のために広汎に用いられてきている。本実習では液体シンチレーションカウンターを用いてトリチウムなどのβ核種の計測を行い、計測時における注意点について考察する。

さらにイメージングプレート (IP) を用いてβ核種の計測と遮蔽体の効果を調べる。



実習 1. 非密封放射性同位元素の取り扱いと計測

【目的】

液体シンチレーションカウンターはライフサイエンスの分野における放射線の計測法として広く使用されてきた。液体シンチレーション計測の特徴は他の計測法では測定が困難な低エネルギーβ線を効率よく測定できることである。従って研究分野以外に、汚染検査や排水検査などの放射線管理の分野でβ核種の測定のために広汎に用いられてきている。本実習では液体シンチレーションカウンターを用いてトリチウムなどのβ核種の計測を行い、計測時における注意点について考察する。

さらにイメージングプレート（IP）を用いてβ核種の計測と遮蔽体の効果を調べる。



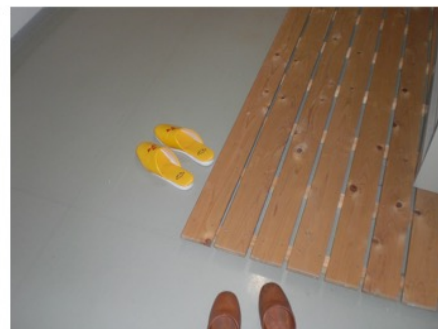
管理区域への入域

[管理区域への入域]

- 全員、RI実験用の黄色衣に着替える。
- 各自、スリッパを履く。
- バーコードリーダーに、バーコードを読み取らせる。
- 扉が開くのを待ち、入域する。



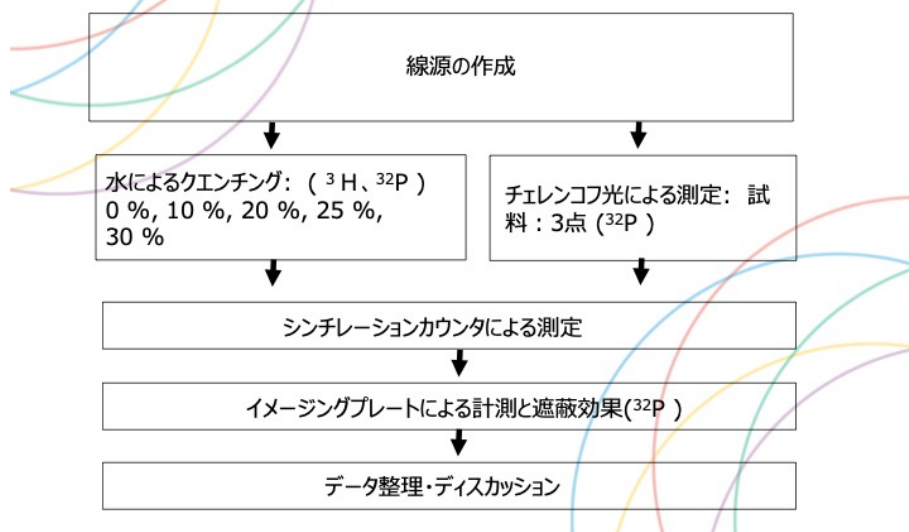
[RI実験室への入室]



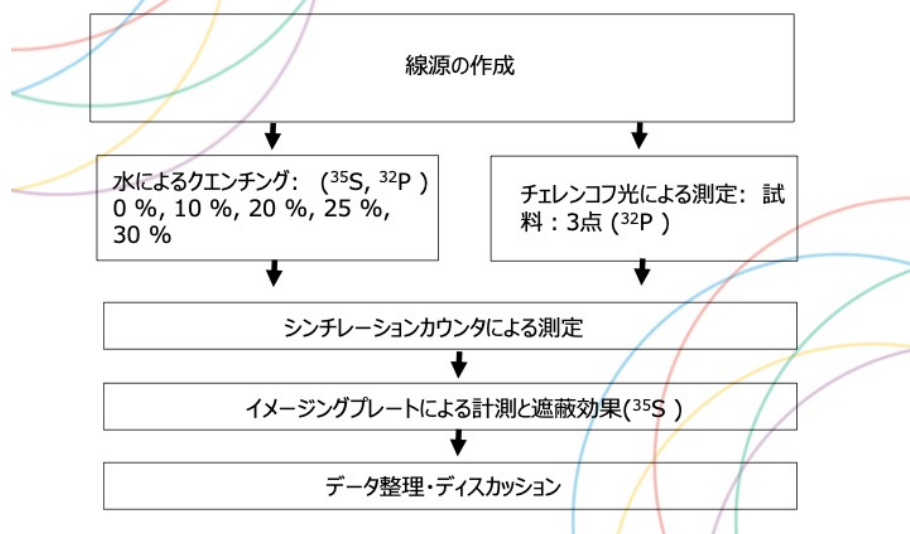
- RI実験を行う実験室へは、黄色のスリッパに履き替えて入室する必要がある。
- すのこの上へは、茶色のスリッパを脱いで靴下であがり、黄色のスリッパに履き替える。
- 退室する場合も同様。スリッパのまますのこにあがらない。

実習の班分けと実習内容

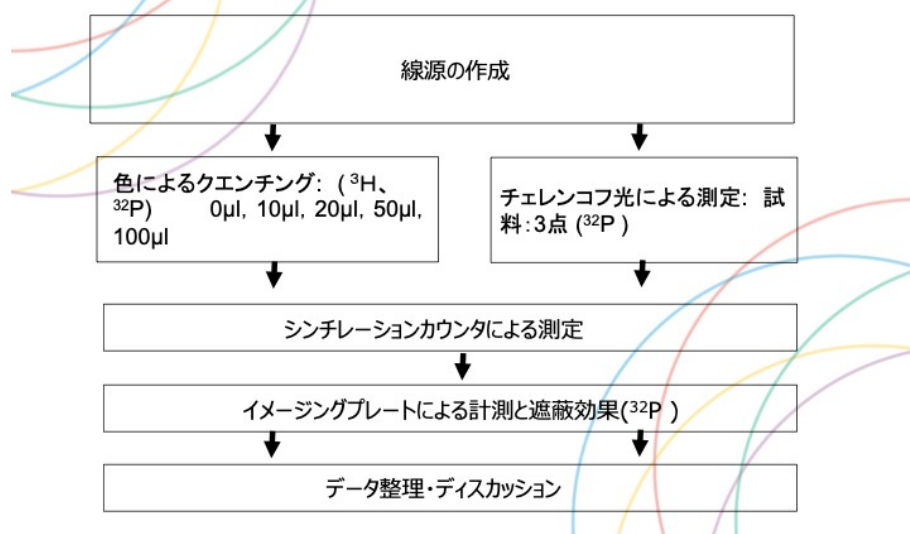
1班 及び 5班
実験内容： ^3H 、 ^{32}P の測定



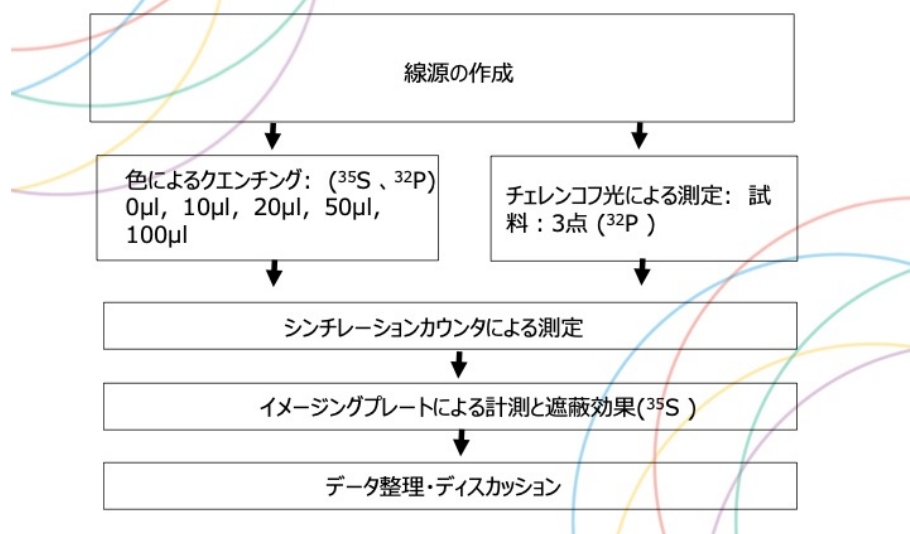
2班 及び 6班
実験内容： ^{35}S , ^{32}P の測定



3班 及び 7班
実験内容： ^3H , ^{32}P の測定



4班 及び 8班
実験内容： ^{35}S , ^{32}P の測定



実習の準備と実施内容

1. 実験準備

実験器具（準備されている物）

放射性同位元素：³H溶液、³²P溶液、³⁵S溶液（～2x10⁵cpm/μl 程度に希釈したもの、化学形は問わない）

蒸留水

マイクロピペット（1000μl, 200μl, 20μl）

マイクロピペット用チップ（ブルー、イエロー）

マイクロチューブ（1.5ml）

液シン測定用バイアル（ガラス）

ピンセット

ビーカー 100ml

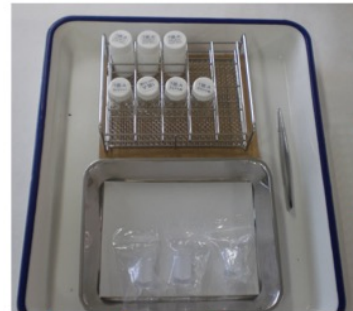
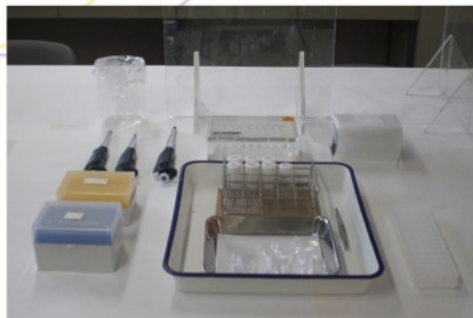
プラスチックビーカー 1L（廃棄物容器として使用）

液シンカクテル（アクアゾール-2、またはハイドロフルオー）

大口径GMカウンター

実験準備の一例

放射性試料：³H溶液、³²P溶液、³⁵S溶液（希釈した試料を準備済み）
オートピペット、ピペットチップ、シンチバイアル、アクリル遮蔽版



・実験に必要な物品は、それぞれの実験機の上に置かれている。各自、内容を確認する。

2.1. アイソトープ溶液の希釈と線源調製

I. 実験準備

1. バットにポリル紙を敷く。
2. アイソトープ汚染廃棄物用ゴミ箱を作る。日付、核種(^{32}P 、 ^3H 等)、班名をポリ袋に明記し、ビーカーに内張りする。
3. 測定バイアル瓶の蓋面に「線源、実験番号」を記入する。



2.1. アイソトープ溶液の希釈と線源調製 (続)

II. アイソトープ希釈溶液、線源作成

1. ゴム手袋を装着する。
2. 洗瓶から100mlビーカーに蒸留水を注ぎ、オートピペット (1ml) を用いてサンプルチューブ各1つずつに蒸留水を各々0.5ml 分注し、チューブラックに立てる。
3. オートピペット (20 μl) を用いて、模擬アイソトープ溶液を「cold」と書かれたサンプルテストチューブに10 μl 移す。(コールドランを行います)
4. オートピペット (20 μl) で線源溶液をサンプルチューブに10 μl 移す。(50倍希釈)
5. サンプルチューブ中の溶液をよく混合する。※溶液が漏れ出ないように注意して攪拌する。

出来上がった線源試料を用いて実習を行う。

2.2 液体シンチレーション計測



I. 水によるクエンチングの影響

1. バイアルに下記に示す量の液シンカクテルと水をいれてバイアルのふたに番号を記入する。

番号	1	2	3	4	5
液シンカクテル (ml)	10	9	8	7.5	7
水 (ml)	0	1	2	2.5	3

2. 線源の滴下

オートピペット (20 μ l) で線源試料 10 μ l を0%から30%の水を含んだ液シンカクテルの入ったバイアルに滴下し、よく混ぜる。

3. 液体シンチレーションカウンターで1分間測定する。



加える水が多い条件では、サンプルが分離して、粘度が高くなります。掻紳する際はゆっくり振ってください(写真は失敗例)。

II 色クエンチングによる影響

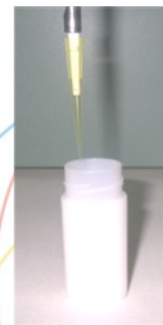
1. バイアルに下記に示す量の液シンカクテルと色素を入れバイアルのふたに番号を記入する。

番号	1	2	3	4	5
液シンカクテル (ml)	10	10	10	10	10
色素(μ l)	0	10	20	50	100

2. オートピペット (20 μ l) で線源試料 10 μ l 各液シンカクテルの入ったバイアルに滴下し、よく混ぜる。

3. 液体シンチレーションカウンターで1分間測定する。

色素は青インクを使用。BPBなどのdyeでも良い。



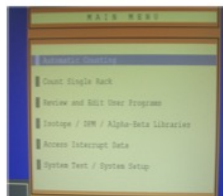
Ⅲ. チェレンコフ測定

1. 1.5 mlのサンプルチューブに水を、0, 50、500 μ l づつ入れる。
2. 線源の入ったサンプルチューブのふたを開けてオートピペット (20 μ l) で各サンプルチューブに10 μ l づつ入れてふたを閉める。
3. バイアルにサンプルチューブを入れる。
4. 液体シンチレーションカウンターで1分間測定する。
計測は ^3H 領域で行う。



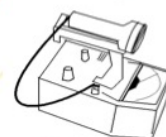
Ⅳ. 測定 (各班共通)

バイアル瓶をトレーに入れ、測定室まで運ぶ。
バイアル瓶をラック(写真矢印の白いラック)に挿入し、それぞれの測定目的に応じて画面で入力を行う。「START」ボタンで測定を開始。
得られたデータを、【結果・考察】に記入する。



Ⅴ. 汚染物の廃棄および汚染検査 (各班共通)

汚染物を所定の方法に従って廃棄し、身体、衣服、持ち物、器具、実験場所周辺に汚染がないことを以下の手順で確認する。
実験台上のすべての器具をサーベイメータで汚染検査し、汚染のないことを確認する。





液体シンチレーターのカクテル(溶液)とバイアル。
分注器で必要量をバイアルに入れる。
バイアルはガラス、プラスチックのどちらでも良い。

2.3 イメージングプレートによる計測

1. 実験器具

IPプレート

IPプレート用カセット

Whatman 3MM ろ紙 (20x20cm) に10個の円を描いたもの (図参照)

遮蔽材 (アクリル、塩ビ、アルミ、ろ紙) 2.5cmx2.5cm

ラップ

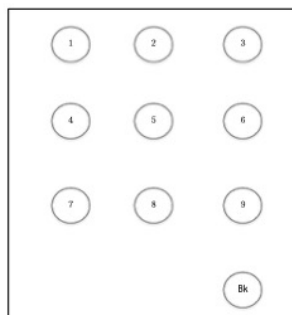
2.3 イメージングプレートによる測定（続）



1. 線源試料を20 μ lオートピペットで下記に示した分量をWhatman 3MM ろ紙（20 x 20 cm）の円の数字の上にスポットする。

Bkには蒸留水を10 μ lスポットする。

1	線源試料	10 μ l	遮蔽体	なし
2		6 μ l	遮蔽体	なし
3		4 μ l	遮蔽体	なし
4		2 μ l	遮蔽体	なし
5		10 μ l	アクリル	1.5mm
6		10 μ l	塩ビ	1.5mm
7		10 μ l	ろ紙	0.34mm
8		10 μ l	アルミ2	12 x 2 μ m
9		10 μ l	アルミ4	12 x 4 μ m
Bk	蒸留水	10 μ l	遮蔽体	なし



2.3 イメージングプレートによる測定（続）



2. 乾燥後、ろ紙をラップで覆い、カセットに入れる。
3. ピンセットを用いて# 5 - # 9に遮蔽体を置く。
4. IPプレートを白い面を下にしてカセットに入れ、ふたを閉じる。
5. 30分～60分露光する。露光後IPを読み取り装置で解析する。

汚染物の廃棄および汚染検査

汚染物を所定の方法に従って廃棄し、身体、衣服、持ち物、器具、実験場所周辺に汚染がないことを以下の手順で確認する。

1. 試料皿を不燃物用の汚染廃棄物ゴミ箱（容器に不燃廃棄物の明記したもの）に捨てる。
2. 実験台上のすべての器具をサーベイメータで汚染検査し、汚染のないことを確認する。

実験結果・考察（データシート例）

班名： _____ 氏名： _____

2. イメージングプレート測定結果

	PSL	Area (mm ²)	PSL-BG	%	備考
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

[管理区域からの退域]



・使用した実験室や作業内容を入力。（例：3A1B）

・ハンドフットクロスモニタで測定。（スリッパのままで乗る）



・「OK」を確認し、退域。

参考： チェレンコフ光の測定



水中に大量の放射線源があるところの線源から青白い光が放射される（チェレンコフ光）。この光は荷電粒子が媒体中で同じ媒体中の光速より早く運動する際に生じる。水中でチェレンコフ光を発生するための電子のしきいエネルギーは263 keVであるが、実用的には ${}^3\text{P}$ での測定がおもである。なお測定は ${}^3\text{H}$ のレンジが用いられる。

参考： クエンチング（消光）



計数効率が低下することをさす。上記の含水率のほか、化学消光、酸素消光、および着色消光の3種類がある。軟β線である ${}^3\text{H}$ の時に特に問題となる。

1. 化学消光：励起エネルギーが、蛍光物質に伝達されるどこかの過程で起こる現象で、アルコール、アセトニトリル、四塩化炭素、ヨード酢酸等色々の物質が消光剤となる。
2. 酸素消光：酸素の溶存によりトリチウムで5%、 ${}^{14}\text{C}$ で2%の消光が起こる。アルゴンを吹き付けて酸素を除くと計数効率が上がるが、実際的ではない。
3. 着色消光：蛍光波長が400 nmで測定するため、この付近に吸収を持つ物質があると消光が起こる。実際にはヘモグロビン等の黄色、赤色が一番問題になる。これは消さない大きな消光を起こすので、幾つかの方法が行われている。脱色試薬（市販）、30%過酸化水素等で処理して、一昼夜置いてから測定する。

参考：（オートピペットの使い方）

- チップを装着する。
- プッシュボタンを第 1 ストップまで押す。
- ピペットを垂直に持ち、チップを液体に浸す。
- プッシュボタンをトップの位置までゆっくりと戻して液体を吸引する。
- 1 秒ほど待ってチップを静かに引き上げる。
- 容器の内壁にチップの先端を沿わせる。
- プッシュボタンをゆっくりと第 1 ストップまで押す。
- 1 秒程度待って、プッシュボタンを第 2 ストップまで押し下げ、チップ内の液体を完全に出す。
- プッシュボタンを押したまま、チップを引き上げる。
- プッシュボタンを静かに戻す。
- チップイジェクターを押して、チップを取り外す。



予備実験のデータと考察



データの整理の方法と予備実験のデータ

測定したデータを、各班ごと、エクセルデータにまとめる。

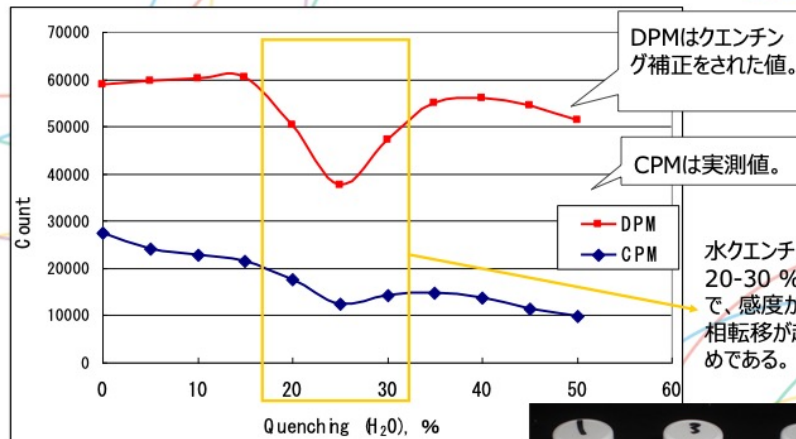


エクセルファイルは、データを入れるだけでグラフが完成するようにしてある。

必要なデータを入れ、各班で考察を行う。

核種、シンチレーション測定の条件などをもとに、考察を行う。

水クエンチング (3H)

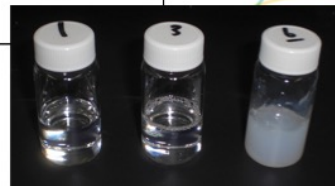


DPMはクエンチング補正をされた値。

CPMは実測値。

水クエンチングでは、20-30%の領域で、感度が下がる。相転移が起こるためである。

Fig.1 ³Hでの水クエンチングによる影響



水クエンチング (^3H)

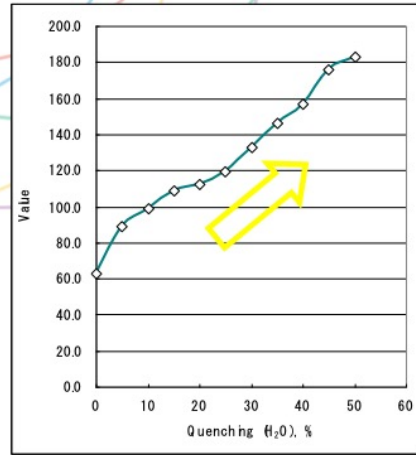


Fig.2 ^3H での水クエンチングをした場合のH#

H#(エイチ・ナンバー)は、クエンチングに対する補正係数である。

H#の上昇が、クエンチングの度合いを意味している。

水クエンチング (^{35}S)

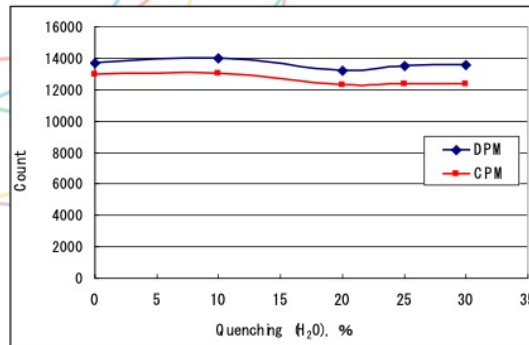


Fig.3 ^{35}S での水クエンチングによる影響

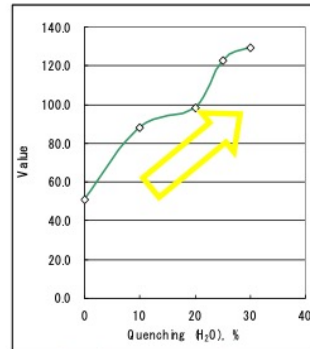


Fig.4 ^{35}S での水クエンチングをした場合のH#

^3H と同様に、20-30 %の領域で感度が下がるのが確認できる。H#も上昇している。

水クエンチング (32P)

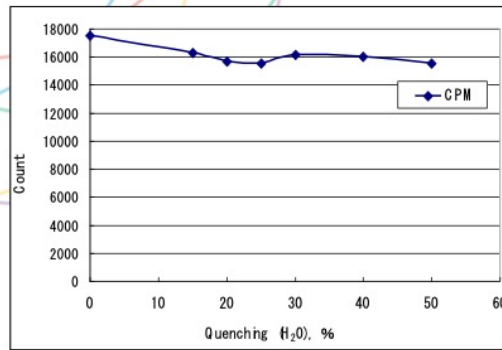


Fig.5 ³²Pでの水クエンチングによる影響

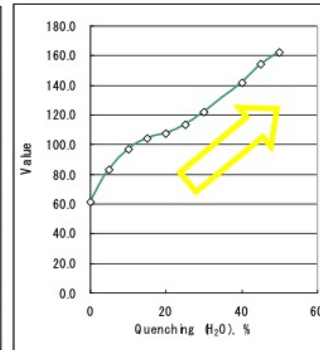


Fig.6 ³²Pでの水クエンチングをした場合のH#

³²Pも同様である。

クエンチング補正方式の違い

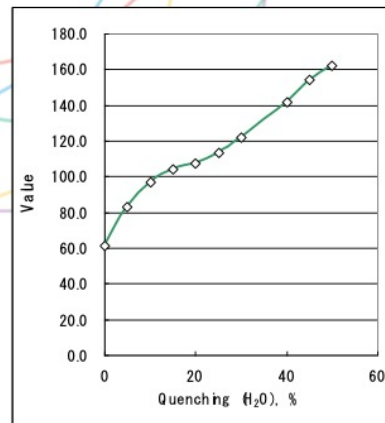


Fig.7 ³²Pでの水クエンチングをした場合のH# (ベックマン社製装置)

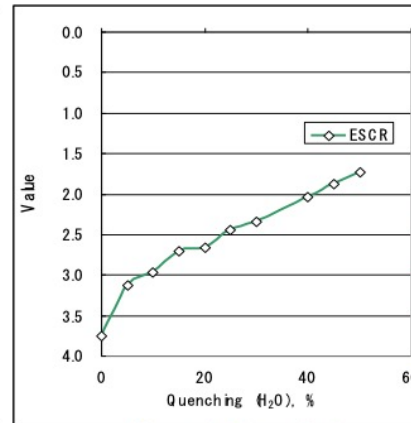


Fig.8 ³²Pでの水クエンチングをした場合のESCR (アロカ社製装置)

核種による水クエンチング効果の違い

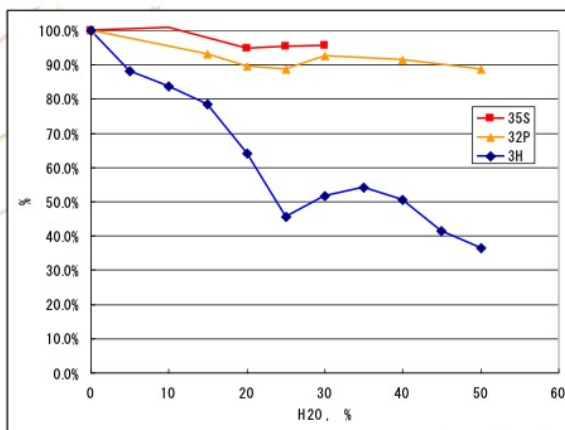


Fig.9 核種による水クエンチング効果の違い

³Hはエネルギーが低いので、水によるクエンチングがされやすい。

・化学クエンチング (³H)

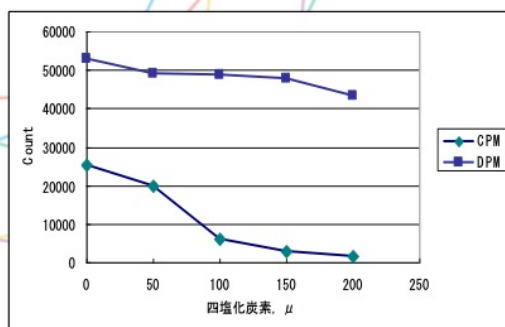


Fig.10 ³Hでの化学クエンチングによる影響

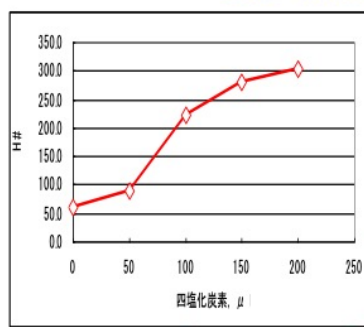


Fig.11 ³Hでの化学クエンチングをした場合のH#

水クエンチングと同様、H#は増加が見られる。しかしながら、ある領域で特異的にカウントが低下する現象は見られない(相転移が起こらないため)。

水と比較して、微量でカウントが低下する点に注目。

四塩化炭素は劇物なので実習での使用はできないが、色素などの色クエンチングに変更して同様の実習が可能。色素には青色インク、電気泳動で使用されるBPBなどを使う。

・化学クエンチング (^{35}S)

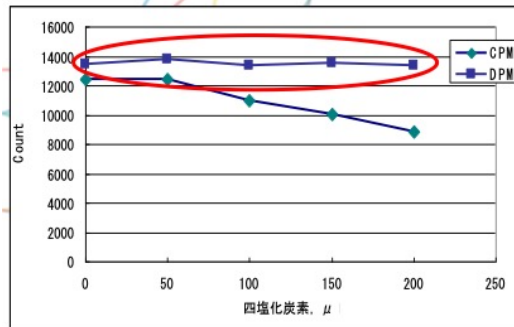


Fig. 12 ^{35}S での化学クエンチングによる影響

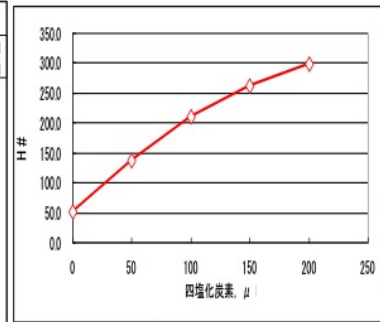


Fig. 13 ^{35}S での化学クエンチングをした場合のH#

^{35}S の場合も同様である。

クエンチング補正により、CPMは一定の値が得られている点に注目。

化学クエンチング (^{32}P)

RIRC 全国研修 2018

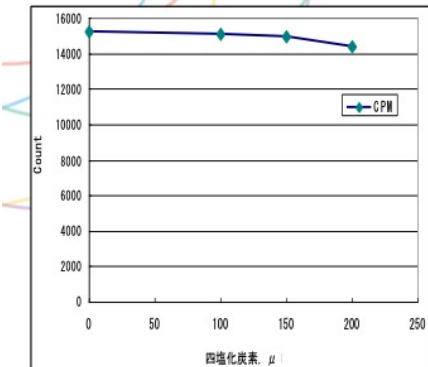


Fig. 14 ^{32}P での化学クエンチングによる影響 (ベックマン社製装置)

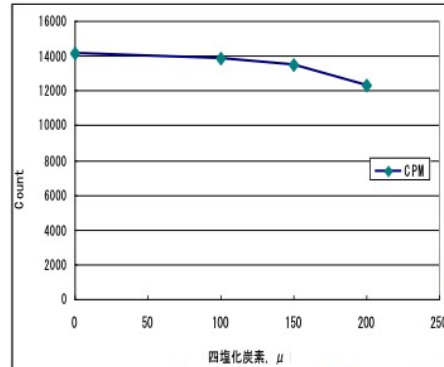


Fig. 15 ^{32}P での化学クエンチングによる影響 (アロカ社製装置)

核種による化学クエンチング効果の違い

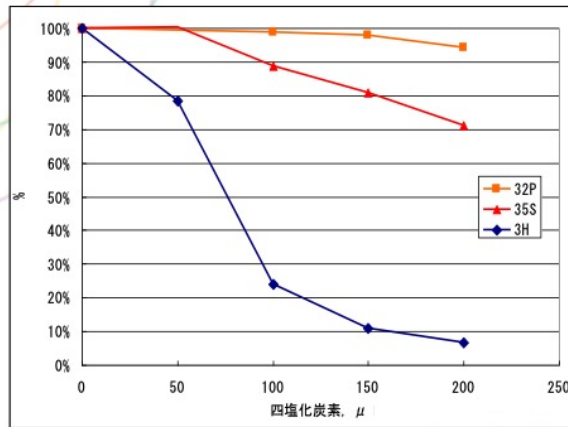


Fig.16 核種による化学クエンチング効果の違い

チェレンコフ光による測定

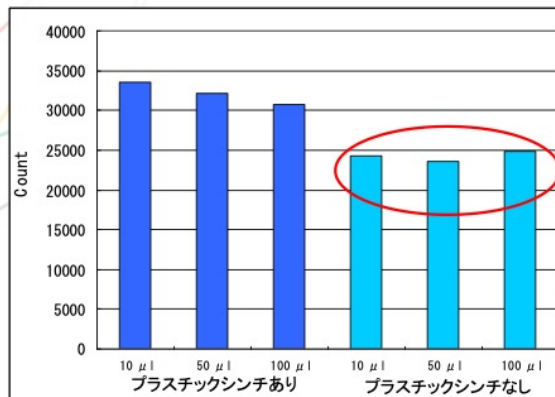


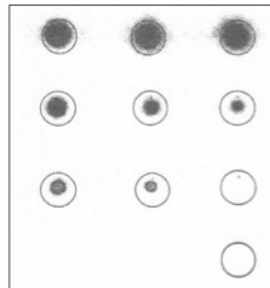
Fig.17 ^{32}P のチェレンコフ光による測定

本実習ではプラスチックシンチは使用していないが、使用した場合計測効率は上昇する。
プラスチックシンチについてはIsotope News 2007年3月号 pp62-64 (緒方良至) 参照のこと

イメージングプレート読み取り例



NO.	Index	G	PSL	Area (mm ²)	PSL-BG	Calibrated
1	----	-	2237000.00	405.61	2234000.00	
2	----	-	2064000.00	405.61	2061000.00	
3	----	-	2941000.00	405.61	2939000.00	
4	----	-	482100.00	405.61	479400.00	
5	----	-	238100.00	405.61	235400.00	
6	----	-	101400.00	405.61	98760.00	
7	----	-	48680.00	405.61	46000.00	
8	----	-	25570.00	405.61	22900.00	
9	----	-	2676.00	405.61	120.00	
10	----	-	2556.00	405.61		



IP計測実習は³²Pを使用する。一晩露光できるのであれば¹⁴C、³⁵Sでも実習可能。

資料 4. 実習資料(IV)

大阪大学

実習II

γ 線照射装置及び実用基準 γ 線源による測定器の校正

国家計量標準供給制度

国家計量標準（一次標準：特定標準器等又は特定標準物質）

- ・計量法に従い、産業界のニーズや計量標準供給体制の整備状況等に基づき経済産業大臣が指定
- ・独立行政法人産業技術総合研究所、日本電気計器検定所又は経済産業大臣が指定した機関
- ・指定された特定標準器等又は特定標準物質を用い登録事業者に対し計量標準の供給（校正等）を行う

↓

特定二次標準器の保有

JRIA HPより

JIS Z 4511 : 2005

改正 2001
制定 1975

照射線量測定器、空気カーマ測定器、
空気吸収線量測定器及び線量当量測定器の校正方法

1. 適用の範囲

この規格は、光子エネルギー10keV～3MeVの照射線量測定器、空気カーマ測定器、空気吸収線量測定器及び線量当量測定器の校正方法（ただし、特定標準器又は特定二次標準器などによる計量法に基づく校正は除く。）について規定する。

JIS Z 4511 : 2005

改正 2001
制定 1975

照射線量測定器、空気カーマ測定器、
空気吸収線量測定器及び線量当量測定器の校正方法

1. 適用の範囲

この規格は、光子エネルギー10keV～3MeVの照射線量測定器、空気カーマ測定器、空気吸収線量測定器及び線量当量測定器の校正方法（ただし、特定標準器又は特定二次標準器などによる計量法に基づく校正は除く。）について規定する。

JIS Z 4511 : 2005

附属書1（規定）個人線量計の校正方法

個人線量計の校正方法

- ・個人線量計をファントムに設置して行うファントム校正（基準）
- ・ファントムを用いない校正

JIS Z 4331に規定するファントムに設置



基準測定器及び照射装置によって線量当量（率）基準を設定



置換法又は逆2乗法

JIS Z 4511 : 2005

附属書2（規定）実用測定器の確認校正

- ・確認校正は、校正定数が確定した実用測定器について定期的に行う。
- ・確認校正は、実用測定器に対して、実用 γ 線源及び照射条件を定めることによって、実施することができる。
- ・確認校正を実施し、この附属書の4に規定する条件によって校正定数に変化がないことが確認された場合、引き続きその校正定数を使用することができる。

実習の目的

JIS Z 4511 附属書 1 (規定) 個人線量計の校正方法に規定されている方法により個人線量計をガンマ線照射装置を用いて校正する。また、実用基準ガンマ線源を用いて附属書 2 (規定) 実用測定器の確認校正に規定されている方法により確認校正を行うことにより、受講者の施設における簡易校正を習得することを目的とする。なお、本実習は大阪大学放射線科学基盤機構附属ラジオアイソトープ総合センター (吹田本館) において学内放射線事業所で所有するサーベイメータに対する確認校正をもとにした実習である。

実習で使用する主な装置、密封小線源及び器具類

①ガンマ線照射装置

本実習で使用するガンマ線照射装置の照射野は、国家標準にトレースされたラドコン線量計で校正されている。実習では 53.45GBq (2017.12.1) の¹³⁷Cs線源を使用する。

¹³⁷Cs : 半減期 30.1671年

主なガンマ線のエネルギー 0.662MeV

1cm線量当量率定数 $0.0927 \mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$

②実用基準ガンマ線源(¹³⁷Cs)、スタンド、三脚

照射線量率標準ガンマ線源という名称で市販されており、JCSS (Japan Calibration Service System)校正もしくはJRIA校正により値付けされている。実習では次の三種類の線源を使用する。

A : $8.24 \times 10^{-9} \text{C/kg} \cdot \text{h}$ (2002. 1. 15)

B : $6.98 \times 10^{-9} \text{C/kg} \cdot \text{h}$ (2007. 2. 16)

C : $7.01 \times 10^{-9} \text{C/kg} \cdot \text{h}$ (2007. 2. 16)

③電離箱式照射線量計 (ビクトリーン社製ラドコン線量計)

認定事業者 (所) において国家標準にトレースされた標準器を基準として校正された線量計である。

④ファントム

人体における放射線の散乱及び吸収を模擬するためのもので、J I S Z 4 3 3 1 個人線量計校正用ファントムではPW (水槽形)、P-30 (平板形)、P-40 (平板形) の3種類が規定されている。本実習ではP-40形ファントムを使用する。

⑤個人線量計

人体上のある指定された点における適切な深さにおける線量当量を測定するための線量計で、本実習では半導体式電子ポケット線量計を使用する。

⑥サーベイメータ

受講者が持ち込んだNaIシンチレーション式もしくは電離箱式サーベイメータを使用する。

実習手順

A. ガンマ線照射装置の照射野の線量率の測定

- ①ガンマ線照射装置の照射野内の線源から200cmの位置にラドコン線量計をセットする。
- ②実験者が照射装置設置室から退出した後にガンマ線を線量計に照射し、当該照射野の線量率を測定し読取値を記録する。
- ③読取値を温度、気圧補正し、ラドコン線量計の校正定数をかけることにより指示値（吸収線量率）を求める。
- ④指示値に0.66MeVのガンマ線のエネルギーにおける個人にかかる1cm線量当量換算係数をかけることにより線量当量率を求める。

A. ガンマ線照射装置の照射野の線量率の測定

ラドコン線量計を用いてあらかじめ決められた位置での線量率を測定する



ガンマ線照射装置によるサーベイメータの校正

ラドコン線量計と同じ位置にサーベイメータを設置し線量率を読み取る



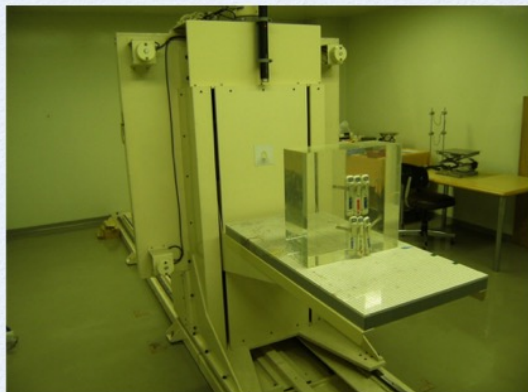
B. 個人線量計の校正（ファントム照射）

- ①ガンマ線照射装置の線源から200cmの位置にファントムを置き、その前面に個人線量計をセットする。
- ②実験者が照射装置設置室から退出した後に個人線量計にあらかじめ決められた時間（線量）のガンマ線を照射する。線量率は「A」で求めた線量当量を用いる。
- ③ガンマ線源が格納されたことを確認した後に照射装置設置室に入り、照射を行った線量計の線量を読み取る。

B. 個人線量計の校正

①ガンマ線照射装置の線源から200cmの位置にファントムを置き、その前面に個人線量計をセットする

②個人線量計にあらかじめ決められた時間のガンマ線を照射し、線量計の線量を読み取る



C. 個人線量計の方向特性評価

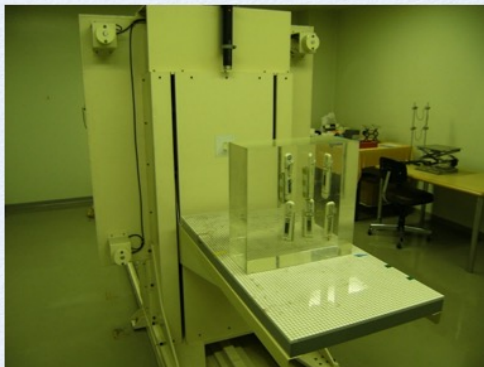
個人線量計の方向特性試験は一般的に個人線量計をファントムに設置しファントムごと回転させて照射を行う。本実習では人体上での角度変化による影響を知るため、ファントムを固定しファントム上で個人線量計の角度を変化させることにより測定する。

- ①手順Bで設置したファントム前面に方向特性測定用アクリル板をセットし、個人線量計を取り付ける。
- ②実験者が照射装置設置室から退室した後に個人線量計にあらかじめ決められた時間（線量）のガンマ線を照射する。線量率はAでの測定値を用いる。
- ③ガンマ線源が格納されたことを確認した後に照射装置設置室に入り照射を行った線量計の線量を読み取る。

C. 個人線量計の方向特性評価

①ガンマ線照射装置の線源から200cmの位置にファントムを置き、その前面に方向特性測定用アクリル板をセットし個人線量計を取り付ける

②個人線量計にあらかじめ決められた時間のガンマ線を照射し、線量計の線量を読み取る



注：方向特性評価は通常ファントムと線源の角度を変えます

D. 実用基準ガンマ線源によるサーベイメータの確認校正

- ①実用基準ガンマ線源を所定の位置に設置しサーベイメータを照射する。サーベイメータの設置は線量率がサーベイメータのレンジ内の最大目盛の30%以上になる位置とされている。本実習ではAUTOもしくは $10 \mu\text{Sv/h}$ のレンジで、線源との距離0.2mで照射する。
- ②サーベイメータの指示値を読み取る。
- ③レンジもしくは線源との距離を変え①②を繰り返す。

D. 実用基準ガンマ線源による サーベイメータの確認校正

①実用基準ガンマ線源を所定の位置に設置しサーベイメータを照射し、線量率を読み取る



実用基準ガンマ線源



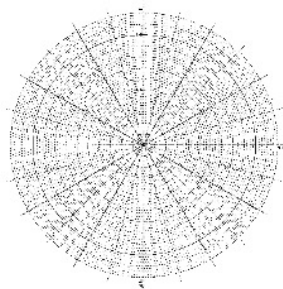
線源をスタンドに設置

下欄C

測定器番号: _____ 照射時刻: ____ 年 ____ 月 ____ 日
 照射器番号(中欄A)での測定器番号(中欄B): _____

照射器番号	角度(°)	線量率値(μSv/h)	角視角に対する割合
1	20		
2	50		
3	90		
4	120		
5	150		
6	180		

角視角に対する割合 = 線量率値 × 中欄Bでの測定器番号 / 照射器番号



1

総括

平順 A

2018.10.2 の検査中（検出上ラドン検査計上の期間：2m）
 気温：18.0℃、湿度：44.0%、気圧：1,010 hPa
 ① 54GBq 線源
 ② 2018年検査日の測定値：29.21 μCi/hm
 ③ ②：①からの換算
 ④ ②：①からの換算
 ⑤ ②：①からの換算
 ⑥ ②：①からの換算
 ⑦ ②：①からの換算
 ⑧ ②：①からの換算
 ⑨ ②：①からの換算
 ⑩ ②：①からの換算
 ⑪ ②：①からの換算
 ⑫ ②：①からの換算
 ⑬ ②：①からの換算
 ⑭ ②：①からの換算
 ⑮ ②：①からの換算
 ⑯ ②：①からの換算
 ⑰ ②：①からの換算
 ⑱ ②：①からの換算
 ⑲ ②：①からの換算
 ⑳ ②：①からの換算
 ㉑ ②：①からの換算
 ㉒ ②：①からの換算
 ㉓ ②：①からの換算
 ㉔ ②：①からの換算
 ㉕ ②：①からの換算
 ㉖ ②：①からの換算
 ㉗ ②：①からの換算
 ㉘ ②：①からの換算
 ㉙ ②：①からの換算
 ㉚ ②：①からの換算
 ㉛ ②：①からの換算
 ㉜ ②：①からの換算
 ㉝ ②：①からの換算
 ㉞ ②：①からの換算
 ㉟ ②：①からの換算
 ㊱ ②：①からの換算
 ㊲ ②：①からの換算
 ㊳ ②：①からの換算
 ㊴ ②：①からの換算
 ㊵ ②：①からの換算
 ㊶ ②：①からの換算
 ㊷ ②：①からの換算
 ㊸ ②：①からの換算
 ㊹ ②：①からの換算
 ㊺ ②：①からの換算
 ㊻ ②：①からの換算
 ㊼ ②：①からの換算
 ㊽ ②：①からの換算
 ㊾ ②：①からの換算
 ㊿ ②：①からの換算

平順 B

測定結果表を平順 A の測定結果表から作成する。
 測定結果表を平順 A の測定結果表から作成する。

測定番号	換算結果(μCi/h)	換算結果
1		
2		
3		
4		
5		
6		

平順 D

① ②：①からの換算
 ③ ②：①からの換算
 ④ ②：①からの換算
 ⑤ ②：①からの換算
 ⑥ ②：①からの換算
 ⑦ ②：①からの換算
 ⑧ ②：①からの換算
 ⑨ ②：①からの換算
 ⑩ ②：①からの換算
 ⑪ ②：①からの換算
 ⑫ ②：①からの換算
 ⑬ ②：①からの換算
 ⑭ ②：①からの換算
 ⑮ ②：①からの換算
 ⑯ ②：①からの換算
 ⑰ ②：①からの換算
 ⑱ ②：①からの換算
 ⑲ ②：①からの換算
 ⑳ ②：①からの換算
 ㉑ ②：①からの換算
 ㉒ ②：①からの換算
 ㉓ ②：①からの換算
 ㉔ ②：①からの換算
 ㉕ ②：①からの換算
 ㉖ ②：①からの換算
 ㉗ ②：①からの換算
 ㉘ ②：①からの換算
 ㉙ ②：①からの換算
 ㉚ ②：①からの換算
 ㉛ ②：①からの換算
 ㉜ ②：①からの換算
 ㉝ ②：①からの換算
 ㉞ ②：①からの換算
 ㉟ ②：①からの換算
 ㊱ ②：①からの換算
 ㊲ ②：①からの換算
 ㊳ ②：①からの換算
 ㊴ ②：①からの換算
 ㊵ ②：①からの換算
 ㊶ ②：①からの換算
 ㊷ ②：①からの換算
 ㊸ ②：①からの換算
 ㊹ ②：①からの換算
 ㊺ ②：①からの換算
 ㊻ ②：①からの換算
 ㊼ ②：①からの換算
 ㊽ ②：①からの換算
 ㊾ ②：①からの換算
 ㊿ ②：①からの換算

*** MEIHO ***

予備実験結果 手順A

2018.10.2の線量率（線源とラドコン線量計との距離：2m）

気温：18.0 °C、湿度：44.0 %、気圧：1.010 hPa
5.54GBq線源 ラドコン線量計の読取値 2.82 $\mu\text{Gy}/\text{min}$
53.45GBq線源 ラドコン線量計の読取値 26.72 $\mu\text{Gy}/\text{min}$

指示値＝読取値×(273.5+T/295.5)×(1013.3/P)×0.869

T：気温(°C)、P：気圧(hPa)、0.869：ラドコン線量計の校正定数

指示値(吸収線量率) 5.54GBq線源：2.43 $\mu\text{Gy}/\text{min}$
指示値(吸収線量率) 53.45GBq線源：22.98 $\mu\text{Gy}/\text{min}$

予備実験結果 手順A

線量当量率＝吸収線量率×1.213

線量当量率($\mu\text{Sv}/\text{min}$)、吸収線量率(指示値($\mu\text{Gy}/\text{min}$))、

1.213：0.66MeVの γ 線のエネルギーにおける個人にかかわる

1cm線量当量換算係数

線量当量率 5.54GBq線源：2.942 $\mu\text{Sv}/\text{min}$
線量当量率53.45GBq線源：27.875 $\mu\text{Sv}/\text{min}$

実習当日の線量率

線量当量率 5.54GBq線源：2.94 $\mu\text{Sv}/\text{min}$
線量当量率 53.45GBq線源：27.83 $\mu\text{Sv}/\text{min}$

予備実験結果 手順B

個人線量計：PDM-222B 照射時間：1分

照射線量当量：27.83 μ Sv

線量計番号	線量当量 (指示値) (μ Sv)	校正定数
1	24	1.16
2	24	1.16
3	24	1.16
4	24	1.16
5	24	1.16
6	25	1.11

予備実験考察 手順B

予備実験手順Bにおいてはアロカ社製半導体式電子ポケット線量計PDM-222Bを用いて、線量計を適切に装着した形を模擬しており手順Cにおける角度0を意味している。

校正定数は6本のうち5本が1.16、1本が1.11となっており10~20%低い線量当量を示した。この原因は不明であるが本体に校正定数を記載しておくことにより使用者に線量が低く示されることを意識させることが可能である。

なお、初期に販売されていたPDM-102で現在使用可能な物の校正定数は0.95~1.05となっており指示誤差 \pm 5%となっていた。

予備実験結果 手順C

個人線量計：PDM-222B 照射時間：1分

照射線量当量：27.83 μ Sv

線量計番号	角度 (°)	線量当量 (指示値) (μ Sv)	角度0に対する割合
1	30	24	1.00
2	60	24	1.00
3	90	24	1.00
4	120	20	0.83
5	150	20	0.83
6	180	20	0.83

予備実験考察 手順C

予備実験手順Cにおいては手順Bと同様にアロカ社製半導体式電子ポケット線量計PDM-222Bを用いて、線量計の線源に対する角度を30°から180°まで30°間隔で変化させて照射を行った。

角度0に対する割合は30°から90°までは角度0と同様の値が示されたが、120°から180°では17%程度低い値が示された。この原因は定かではないが、線量計内部で半導体素子が遮蔽されていることが考えられる。この結果より線量計が適切に装着されていなくても比較的正しい値を示すことが確認できた。

大阪大学での確認校正結果 (2019.3実施) 手順D

2019年3月に実施したNaIシンチレーション式サーベイメータの確認校正結果の一部を以下に示した。

番号	購入年月	0.60 μ Sv /h照射	1.34 μ Sv /h照射	5.38 μ Sv /h照射	21.50 μ Sv /h照射	平均
N-1	2010/3	1.13	1.12	1.11	1.17	1.13
N-2	2010/3	0.97	0.99	1.00	0.96	0.98
N-3	2017/3	1.02	1.07	1.10	1.07	1.07

2019年3月に実施した電離箱式サーベイメータの確認校正結果の一部を以下に示した。電離箱式サーベイメータの確認校正では、5 μ Sv/hから7,000 μ Sv/hの間で7種類の線量率を照射しているが、今回は低線量率側の結果を示した。

番号	購入年月	5.38 μ Sv/h 照射	21.50 μ Sv/h 照射	77.00 μ Sv/h 照射	7種類の線量 率照射の平均
I-1	2005.3	0.94	0.96	1.09	1.02
I-2	2016.12	0.91	0.87	1.14	1.02
I-3	2017.2	1.08	1.01	1.15	1.08

大阪大学での確認校正結果 (2019.3実施) 手順D

NaIシンチレーション式サーベイメータ

2019年3月に9台のNaIシンチレーション式サーベイメータの確認校正を実施した。照射した線量当量率は0.60、1.34、5.38、21.50 μ Sv/hで、すべての線量当量率について高い値を示す物や低い値を示す物があった。確認校正においては校正定数に変化がないと容認される範囲は 1 ± 0.1 とされており、9台中4台がその範囲になかった。原因は経年変化による基板やフォトマルの劣化などが考えられる。

大阪大学での確認校正結果 (2019.3実施) 手順D

電離箱式サーベイメータ

2019年3月に8台の電離箱式サーベイメータの確認校正を実施した。照射した線量当量率は5.38、21.5、77、174、695、1,644、6,57 μ Sv/hで、8台すべてが校正定数に変化がないと容認される範囲内にあった。

電離箱式サーベイメータは測定器内の空気の電離電流を直接測定を行い線量率を求める構造となっており構造上湿気を嫌う。大阪大学では電離箱式サーベイメータは乾燥箱に保管するか、乾燥剤とともに保管するように指導しており、その効果により良い確認校正結果が得られた可能性がある。



実習I 概要説明

京都大学 戸崎充男

実習I

サーベイメータの校正 ($\mu\text{Sv/h}$) と GMサーベイメータ (TGS-133) の換算係数

1. 目的

放射線管理でのサーベイメータの使用において、空間線量測定に着目してサーベイメータの校正の方法を学び、汚染検査に着目して広口GMサーベイメータの β 線計数率のエネルギー特性を理解することを目的とする。

2. 実施課題 (2つ)

実習課題1 : サーベイメータの校正の方法
(京大の簡易校正の紹介とデモ測定)

実習課題2 : 標準 β 線源使用し、広口GMサーベイメータの
機
器効率を求め計数率(cpm)から放射能(Bq)への換算係数 (Bq/cpm) を算出する。

3. 実施方法

3.1 班分け：

受講生36人を、3人一組で班を作る。全部で12班となり、班名をA,B,C.....,Lとする。さらに、二つのグループ（6班ずつ）に分けて実習課題ごとに別々の実験室で行い入れ替える。したがって、それぞれグループの班は、グループI：A, B, C, D, E, F、グループII：G, H, I, J, K, Lとする。

3.2 並行し2つの実習を実施

2つの実習課題（校正と換算係数）を各25分（移動5分）で、グループIとIIを入れ替えて並行して別々の実習室（管理区域）で実施する。

4. 実施場所

実習課題1（校正）：教育訓練棟地下1階特殊実習室（管理区域）

実習課題2（換算係数）：教育訓練棟2階実習室（管理区域）

5. 実習内容

実習I-1

サーベイメータの簡易校正の方法の紹介およびデモ測定

京大で実施している簡易校正（確認校正、比較校正）を紹介し、デモ測定する。

デモ測定（照射場の強さと線量測定値）の結果を記録・整理する。

測定（デモ）内容：

対象サーベイメータ

細口GM, NaIシンチ、電離箱式サーベイメータ

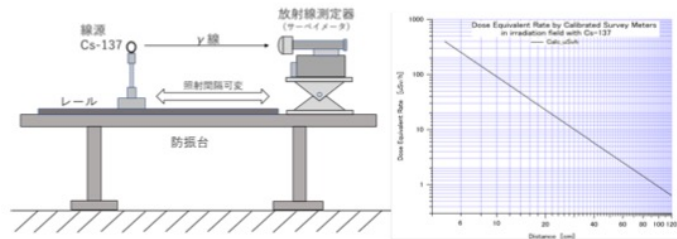
Cs-137(基準線量線源)を用いて照射場を作り、各サーベイメータで測定する。

下記の各サーベイメータの指示値（設定レンジ）について、その照射場（強度）の距離を決め、記録する。

1. 細口GM：1.5 (3), 15 (30), 150 (300) uSv/h
2. NaIシンチ：1.5 (3)、5 (10)、15 (30) uSv/h
3. 電離箱：15, 100 uSv/h

この実習では、京大で実施している校正を紹介し、受講生はデモ測定に参加する。各サーベイメータの測定結果(照射場の強度とその距離)を記録し、データ整理(照射場と距離の関係をプロット)をする。

実習I-1								
測定：照射場強度(uSv/h)と線源からの距離(cm)								
GM	照射場強度	線源からの	Nalシンチ	照射場強度	線源からの	電離箱	照射場強度	線源からの
TGS-121	線量当量率	距離	TCS-161	線量当量率	距離	ICS-311	線量当量率	距離
設定Range	uSv/h	cm	設定Range	uSv/h	cm	設定Range	uSv/h	cm
3	1.5		3	1.5				
			10	5		10	5	
30	15		30	15		30	15	
						100	50	
300	150					300	150	



実習I-2 広口GMサーベイメータ(TGS-133) 機器効率の測定し換算係数を算出する

表面汚染密度を求めるために、標準 β 線源を用いて、計数率 (cpm) から放射能 (Bq) への換算係数を求める。この結果を用いて、実習IIIの表面汚染密度を評価する。

標準 β 線源(最大エネルギーと電子線放出率)

- 1 Pm-147 (224keV) A:1.99k cpm/2 π , B:2.05k cpm/2 π 2個
- 2 Cl-36 (710keV) 123 cps/2 π /100x100cm 1個
- 3 U₃O₈ (2.29MeV) 1020 cps/2 π 1個

測定：

各班ごとに実習IIIで使用するために準備されているGMサーベイメータ (TGS-133) を用いて、バックグラウンドおよび各標準線源の計数率を測定する。標準線源 (3核種4個) を順番に回して測定する。線源 (試料皿) の上にGMプローブを乗せ、時定数10secで1回測定し記録する。

標準β線源(最大エネルギーと電子線放出率)

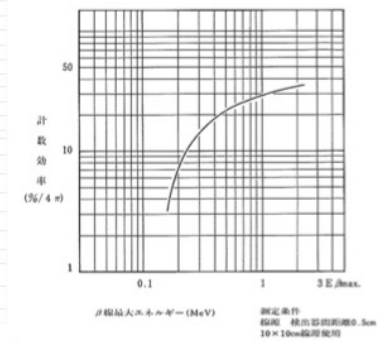
- 1 Pm-147 (224keV) A:1.99k cpm/2π、B:2.05k cpm/2π 2個
- 2 Cl-36 (710keV) 123 cps/2π/100x100cm 1個
- 3 U₃O₈ (2.29MeV) 1020 cps/2π 1個



実習I-2 測定、データ整理：

測定した線源核種ごとの機器効率 (%/4π) および換算係数を求め記録する。TGS-133の機器効率対β線エネルギーの関係を見るために、使用書にある計数効率の図(引用)に機器効率の結果をプロットする。(機器効率を計数効率は同じ意味)

広口GMサーベイメータ (TGS-133)			
シリアルNo.	型番: 5 cm		
	面積: 20 cm ²		
BG	cpm		
測定数	sec		
β線源	Pm-147	U ₃ O ₈	Cl-36
電子放出率 (1/2π)	1.99k, 2.05kcpm	1020cps	123cps/(10x10cm)
最大エネルギー	224 keV	2.29 MeV	710 keV
	計数率(cpm)	計数率(cpm)	計数率(cpm)
測定 1			
測定 2			
測定 3			
平均			
正味			
計数効率 (%/4π)			
換算係数(Bq/cpm)			



資料 6. 実習資料 (VI)

実習 II 「非密封放射性同位元素の取扱実習プログラムの検討」

[目的]

最近の法改正により、初めて管理区域に立ち入る前に行わなければならない教育及び訓練の時間数が大きく改正された。またこれに伴って行われた放射線規制庁の説明会でも、それぞれの放射線施設の実態に合う形で教育訓練を実施することが肝要である旨が説明され、各事業所においてもこれらへの対応で、教育訓練プログラムの見直しを図られていることであろうと思われる。

大学等の教育研究機関においては、ここで初めて放射線に携わる学生や研究者を対象に教育訓練を実施することが多い。また、特に密封されていない放射性物質を扱う施設においては、これらの取り扱い方法を効果的に学習させるため、実習を伴う形での教育訓練講習会を開催しているところまた、これから取り入れたいと計画しているところも多くあると思われる。

こうした背景を踏まえ、今回の研修会 [実習 2] においては、新人教育における非密封 RI を使用した実習プログラムはどうあるべきかを、京都大学での例を題材に、実際に実習プログラムを実行した上で、必要な要素と実習の効果を検証し検討する。また、この検討結果をもとに全国に向けた実習ガイドの公開を目指して教材作成のワンステップとしていきたいと考えている。

[方法]

実習プログラム『非密封放射性同位元素の取扱実習』(Ver.2.8) を検討対象教材として、実際に体験するとともに、その中での課題点を検討する。本講習は通常、京都大学における新規教育訓練プログラムの一部として行われている。受講生 2 人 1 組で実施される。今回の検討では実施者 2 名と観測者 1 名の 3 名を 1 班とし、プログラムの評価を行う。

[評価ポイント]

テキストの記述

- ・ 受講者への指示内容は的確か
- ・ テキストのステップは適切か
- ・ 内容の過不足はないか

安全上の観点

- ・ 被ばくの恐れへの気づき
- ・ 汚染の恐れへの気づき
- ・ その他の危険への気づき

- 内容量と所要時間
 - ・作業量に対し掛かる時間は適切か
 - ・無駄な空き時間ができていないか
 - ・事前・事後処理にかかる負担は
- 総合的な評価
 - ・実習の効果が認められるか
 - ・新人講習として習得すべき事項が体験できる構成となっているか
 - ・実習プログラム教材としての改良点は
- 教育プログラムの実習コンテンツとして提供することの評価
 - ・公開の可否（著作権等の確認）
 - ・公開の可否（閲覧利用権限の範囲）
 - ・公開の可否（公開後のフォローの可否）

[実習]

概要説明

- ・実習場所：京都大学放射性同位元素総合センター教育訓練棟 2 階実習室
- ・実習時間：60分

実習テキスト

- ・『非密封放射性同位元素の取扱実習』（Ver.2.8）
- ・講習を実施する側のガイド

< 研修用変更点 >

1. サーベイメータの取扱 -> 省略（実習 1 で実施済みとする）
2. 非密封 R I の希釈操作 -> 3 人 1 組、2 人はテキストの記載の通りに課題をこなす、1 名はその様子を観察し、気づいた点をメモする
3. 距離と遮蔽の効果 -> 課題 A に変更

課題 A：表面汚染試料の作成

床材シート、アクリル板のどこかに、実習 2 の中で使用した R I 液体を 2 箇所各 1 滴付着させ乾燥する

材料	床材シート (30 cm × 30 cm)	2 種類	グループ各 1
	アクリル板 (30 cm × 30 cm)		グループ各 1

A-1-1 ステンレスバットに床材シートを置く

A-1-2 シートの左下隅に実習グループ記号をマジックで記載する

A-1-3	使用する R I 液体は、原液、サンプル A、サンプル B のいずれか
A-1-4	付着させる場所は、シートを 3 × 3 に区切ったマスのどこか
A-1-5	汚染源となる液体にガラス棒の先端を浸し、ガラス棒に付着した液体を床材シートに点付けする。
A-1-6	汚染したシートをステンレスバットごとフード内に互い違いに積み重ね、一晩乾燥させる
A-1-7	『汚染箇所メモ』用紙に使用した R I 液体、汚染箇所を記入し、担当講師に提出する

4. 放射性廃棄物の分類と後始末 -> テキスト通りに実施
5. 実験結果の評価 -> 省略（時間があれば触れる程度）
6. 実習プログラムの評価、検討 -> 実習 2 のまとめ

[考察]

教育訓練の受講者にとって、実習は知識・技能の習得・確認が目的であり、研究課題ではないので、実習課題の達成度を数的に評価することは二の次に置くべきである。実習の操作を通じて、一連の操作を思い返すことで、特に RI の操作でどこに危険があったか、その危険をいかにして回避すべきかといった体験を印象付けるような事後考察が重要であることを再認識されたい。

また、実習は教材があればできるというものではない。実習の開催を重ねていくほどに、実習の現場を指揮する講師の手腕によるところが非常に大きいことが実感できる。すなわち、実習を開催しようとする放射線管理担当者は実習の内容や教材に対して十分な理解と現場での対応力を鍛えておくこと、加えて実習の目的を見失わないで内容のブラッシュアップを継続していくマネジメント力が必要であると言えよう。

これらを踏まえて、各施設での新人講習として実習プログラムを行うことについて、テーマ、教材、実施要領などについて、全国に向けての実習ガイドとしての公開について、検討、議論してください。

講習を実施する側のためのガイド

新規 R I 講習会にて実習を行う際に習得してほしい件

過剰に恐れない／急がない／侮らない

身なりの整備

実験着（汚染防護；前のボタンを全てきちんと留める）

スリッパ（汚染拡大防止；履き替え時に要注意）

ポケット線量計（個人被ばくモニタリング；装着部位と線量計の向き／検出面が外向き）

実験開始前に器具・機の汚染検査

汚染発見時の発生責任の明確化

汚染の判断基準を示すこと（B G の 2 倍超を汚染とする）

実験操作は座って行うこと

立って遮へい板の上から覗き込んだのでは意味が無い

R I を持ち出す前に器具の準備を最大限に

スミア検査用の紙片を準備

メスフラスコをガラスピーカー内に立てる

フラスコの蓋の置き場所を確保（ポリろ紙片）

こまごめピペットを試験管内に立てる

測定用バイアルをシャーレ内に立てる

バイアルのキャップにラベル記入

すべての器具類に手が届くかどうかのチェック

リン酸と水をプラピーカーに取り分ける

あらかじめ蒸留水を入れておく器具には入れておく

ピペットの先端等汚染箇所をバット内でハンドリングすること

ピペットの先端が袖に付かないように

先端が自身の側に向かないように

置き方、置き場所にも注意

器具はできるだけ両手で扱う

「右手にピペットを持ち、原液バイアル容器を左手で持ち、左手の指でキャップを開ける操作」は、まず不安定であるし、左手は至近距離での被ばくをしていることを認識すべき

容器に液を入れる際には片方の手はピペット操作、もう片方の手で容器を支える

蓋をあける→蓋をおく→ピペットを持つ→液を操作する→チップを捨てる→ピペット

を置く→蓋をする

液は器壁に沿わせて（飛沫が散らないように）そっと注入する

メスフラスコの転倒混和も両手で支持して

マイクロピペットは規定量を正確に分取するための器具である
スポイト代わりではない
攪拌棒の代わりでもない
チップの無駄遣いを防ぐ＝廃棄物の減量
R Iが入る前は、液をビーカーからフラスコへ直接注いでよい
ピペットでちまちま入れる必要は無い
作業の合間に手指の汚染検査を励行
液シンバイアルは表面の汚染を除去すること
距離と線量率の測定では、測定環境を正しく構築すること
バックグランド要因の除去 {メスフラスコ内のR I /隣接実験班のR I}
特に B1F の実習は隣の班とのレイアウトによる干渉を充分考慮することが必要
廃棄物の処理手順
無機廃液の処理が完了するまで手袋を外さない、バット内のポリろ紙も捨てない
液体の廃棄物が完全に処理し終えたら、バット内のポリろ紙を除去してよい→可燃物
手袋の汚染検査の有無の確認後、サーベイメータのラップも外してから難燃物の口を
閉じる
実験終了後の器具・機の汚染検査／実験台の整理整頓
実習開始前の状態へ完全に戻すこと
実習開始前は器具の汚染も無かったはずなので、器具の汚染が無いことも復元作業の
一環
退出時の汚染検査
まず洗面流しで手を洗う
ハンドフットクロスモニタはスリッパのまま乗る
手を差し入れ、一番奥の壁がスイッチなので、押したまま5秒キープ→判定結果
台から降りて、衣服の汚染検査（前身ごろ、袖の下側などをチェック）
退出時の忘れ物チェック
特にカードと線量計
汚染検査ができる人になること
汚染を起こしそうな操作
汚染しそうな箇所
汚染の有無の確認
汚染検査（サーベイによる測定）の技術
既知の線源の除去（遮へい）
ヘッド走査
汚染に対して配慮する心が育てば、自身が汚染を起こすことへの注意意識も向上する

資料 7. 実習資料 (VII)

実習 III

非密封 RI による汚染発生時の対応技能研修及び討論

1 放射性表面汚染

1.1 放射性表面汚染に関する基礎事項

物品などの表面の放射性汚染のことを放射性表面汚染という。物品の材質や性状、汚染源となる RI の化学形や溶媒の特性などによって、固定性（固着性）の表面汚染（fixed surface contamination）と遊離性の表面汚染（removable surface contamination）がある。固定性の場合、除染が困難なことが多いが、その反面汚染が拡大するリスクは低い。一方、遊離性の場合、蒸発や揮発、または人為的な行為（接触、塗り広げ等）による汚染箇所の移動や拡散、高い湿度や薬品等による腐食を介した拡散なども念頭において、起点となる汚染箇所よりも広範囲の汚染をあらかじめ想定しておくなど、臨機応変な対処が求められる。

表面汚染箇所を発見したら、まずは汚染の程度と汚染の範囲を特定する必要がある。現場の状況によっては、汚染拡大（二次汚染）を防ぐためにも、迅速に汚染の程度と範囲の評価を行い、適切な除染を実施しなければならない。汚染の程度と汚染の範囲を特定する際の指標となるのが『表面汚染密度（activity per unit area）[Bq/cm²]』である。

本実習は、表面汚染密度の算出方法に慣れ、除染の際に留意すべき事項を体験的に整理することを主たる目的とする。

1.2 表面汚染密度の測定

表面汚染密度は「直接測定法（direct measurement of surface contamination）」または「間接測定法（indirect measurement of surface contamination）」により測定する。後者はふき取り法またはスミア（smear）法とも呼ばれる。

直接測定法は、固定性および遊離性の汚染の和を測定することができるが、測定時に外部放射線の影響を受けやすい。一方、間接測定法は外部放射線の影響はないが、遊離性の汚染のみ測定可能であり、また「ふき取り効率」を考慮する必要がある。

なお、表面汚染密度を求める際に使用する測定器類は、放射能検出限界が表面汚染の密度限度の $1/10^3$ 以下であることが必須となる。

^a 「放射線を放出する同位元素の数量等を定める件」（平成十二年十月二十三日号外 科学技術庁告示第五号、最終改正：令和元年六月一日 原子力規制委員会告示第一号）第十六条（管理区域から持ち出す物に係る表面の放射性同位元素の密度）

※ 以下の測定方法及び表面汚染密度の計算方法は、国際規格 ISO 7503-1 を基に作成された JIS 規格 4504「放射性表面汚染の測定方法 - β 線放出核種（最大エネルギー0.15MeV以上）及び α 線放出核種」（2008年発行）に準拠している。

1.2.1 直接測定法の手順と表面汚染密度の計算方法

直接測定法では、測定器を汚染箇所に行きつけ計数率を測定する。

1.2.1.1 直接測定法の手順と留意事項

- ① 測定対象物の表面上を、ゆっくりと一定の速度で検出器を移動させながら汚染箇所を探索する。
- ② 汚染を検出したら、測定器をできるだけ近づけて（測定点と測定器との幾何学的配置を実習 I の標準線源と検出器との配置と同じにする）、その場所で十分な時間（測定器の時定数の3倍以上）静止し、計数率を読み取る。

1.2.1.2 直接測定法の計算方法

表面汚染密度 A_s (Bq/cm²) を求めるための計算式は以下のとおり^b。

ただし、汚染面積は測定器の有効窓（入射窓）の面積と同等または広いものとし、有効窓面積における表面汚染密度は均一とみなす。

$$A_s = (N - N_b) / (\epsilon_i \times W \times \epsilon_s)$$

N	:	計数率 (cps)
N_b	:	バックグラウンド計数率 (cps)
ϵ_i	:	機器効率 instrument efficiency ^c
W	:	測定器の有効窓面積 (cm ²)
ϵ_s	:	線源効率 efficiency of a source ^d

なお、機器効率 ϵ_i は、表面放出率がわかっている標準線源を用いて、以下の式により求める。

$$\epsilon_i = A / N_s$$

A	:	計数率 (cps)
N_s	:	表面放出率

^a 距離を一定に保つために、スペーサなどを用いる場合もある。

^b 計算式右辺中の $\epsilon_i \times W \times \epsilon_s$ が実習 I の「表面汚染密度換算係数[Bq/cm²/cpm]」に相当する。ただし、この係数を用いる場合は $N - N_b$ の単位を cpm にすること。

^c 機器効率：線源の表面放出率（線源の表面から単位時間に放出される粒子数）に対する測定器の正味計数率の比。

^d 線源効率：線源中の放射線放出率（線源から単位時間あたりに放出される粒子数）に対する表面放出率の比。

また、線源効率 ϵ_s は線源の性状によって変化するため、実験的に求めることが困難な場合がある。その場合は安全側の数値として次の値を用いて安全側に評価する。

$$\begin{aligned}\epsilon_s &= 0.5 \quad [\beta \text{線放出核種} (E_{\beta\max} \geq 0.4 \text{ MeV})] \\ \epsilon_s &= 0.25 \quad [\beta \text{線放出核種} (0.15 \text{ MeV} < E_{\beta\max} < 0.4 \text{ MeV}) \\ &\quad \text{および} \quad \alpha \text{線放出核種}]\end{aligned}$$

1.2.2 間接測定法（ふき取り試験、ふき取り法、スミア法）の手順と表面汚染密度の測定方法

間接測定法では、測定対象となるものの表面をふき取りろ紙（スミアろ紙）などで擦り、ろ紙へ移行した放射能を測定器で測定することで遊離性表面汚染を評価する。測定器を測定箇所近づけることが物理的に困難な場合や、外部放射線量が高い場合などに有効な測定法である。

1.2.2.1 間接測定法の手順と留意事項

- ① 乾式、または湿式（ふき取りろ紙を適切な液体で湿らせてふき取る）^aでふき取りを行う。
- ② ふき取る対象物（試験対象物）が平滑な場合はふき取りろ紙を使用し、平滑でない場合はキムワイブや綿布などを用いるとよい。
- ③ ふき取り面積は『100 cm²』^bとし、この範囲内を一樣にふき取る。
- ④ 測定面を適切な強さの力でふき取る。均一で一定の力となることが望ましい。このため、通常は指で押さえられる大きさの円形ろ紙が用いられる。
- ⑤ ふき取りの強さは、通常の作業等において接触する場合と同程度の強さが望ましい。1回のふき取りで遊離性表面汚染の全部をふき取ることはしない。
- ⑥ 対象物をふき取ったろ紙を測定器で計測する。

1.2.2.2 間接測定法の計算方法

ふき取ったろ紙上の単位面積あたりの遊離性表面汚染の放射能 A_{sr} (Bq/cm²) を求めるための計算式は以下のとおり。

$$A_{sr} = (N - N_b) / (\epsilon_i \times F \times S \times \epsilon_s)$$

N : 計数率 (cps)

^a 湿式の場合は、ろ紙などから液体がにじみ出ないようにする。また、ふき取り後にろ紙が水分を含んでいる場合は、放射能の損失に注意しながら乾燥させてから計測する。とくに α 線放出核種の湿式ふき取り試験の場合は、汚染のろ紙内面への侵入やろ紙の残存水分により過小評価となりやすいことに注意する。

^b ふき取る面積は検出器の有効面積と等しいか、または小さくなければならない。

- N_b : バックグラウンド計数率 (cps)
- ε_i : 機器効率 instrument efficiency
- F : ふき取り効率 removal factor
- S : ふき取り面積 (cm²)
- ε_s : 線源効率 efficiency of a source

機器効率 ε_i および線源効率 ε_s は、1.2.1.2 の値に同じ。

ふき取り効率 F は、「ふき取り試験 (smear test)」を実施して実験的に求めることができる、(本実習ではふき取り効率を実験的に求める)。

$$F = A_b / A_r$$

A_b : 1回のふき取り試験でふき取った放射能

A_r : 試験を行う前の遊離性表面汚染の放射能

たとえば、ある床材のふき取り効率を求めようとする場合は以下のように求める。

$$F = \frac{(\text{床材上でのスミア前の計数率} - \text{床材上でのスミア後の計数率})}{(\text{床材上でのスミア前の計数率} - \text{バックグラウンド計数率})}$$

ふき取り効率の精度を高めたい場合は、ふき取り試験を何回もくりかえしてふき取り効率を算出する。

また、ふき取り効率を実験的に求めることが困難な場合は、安全を考慮して「0.1」を用いることが国際規格や JIS 規格で推奨されている。しかしこの値は過剰に安全側の値であり、一般的な放射線施設においては、ふき取り効率が汚染表面の材質や状態に依存することを考慮して、以下の数値が用いられる。

汚染表面の材質	ふき取り効率
非浸透性固体表面 (ポリ塩化ビニル製の板やシート、ガラス板など)	0.5
浸透性固体表面 (木製板、表面無処理のコンクリートなど)	0.05
非浸透性・浸透性の区分をしない場合	0.1

2 放射性表面汚染の除染方法

2.1 表面汚染の除染の基礎

- ① 汚染箇所が発見されたら、まずは汚染箇所に印をつけて（マジックなどで広めにマークする）、立入禁止等の措置をとる。次いで、汚染箇所の周辺を広い範囲にサーベイし、周辺への汚染拡大がないかを追跡調査する。
- ② 汚染源となった RI の核種と放出線種、エネルギー、化学形などの情報を可能なかぎり集めておくと、安全かつ効率的な除染計画を立てることができる。
- ③ RI を含む溶液の場合、溶媒の性質（有機溶媒か無機溶媒か、揮発性の有無等）や、汚染されたものの材質との関係を考慮して、効果的かつ効率的な除染計画を立案する。
- ④ ③が不明で、非浸透性の固体表面の場合は、以下の順番で除染を試みる。
 - (1) 乾いた紙や布などでふき取る（乾式ふき取り）。
 - (2) 湿らせた紙や布などでふき取る（湿式ふき取り）。
 - (3) 薄めた中性洗剤を塗布した後に、乾いた紙や布などでふき取る。
 - (4) キレート形成剤（EDTA やシュウ酸など）を含む水溶液や市販の除染剤を塗布した後に、乾いた紙や布などでふき取る。
- ⑤ ワックスが十分に塗布された床面の場合、アルコールなどでワックスごとふき取るだけで除染できることがある。
- ⑥ 浸透性固体表面の汚染の場合は、汚染部分を削り取って表材を張り替える等の措置をとる。
- ⑦ 床面の除染は、履物等により除染者が汚染を拡大してしまうことがある。除染する部屋の出入り口で履物の履き替えを徹底すると二次的な汚染拡大範囲を限定することができる。
- ⑧ 広範囲の除染の場合は、複数名（除染を行う者、除染により発生する廃棄物等を回収する者、測定者の三人体制など）で除染作業を実施すると安全である。
- ⑨ 短半減期核種による汚染で除染が容易ではない場合は、十分な時間をおいて減衰を待つのも有効である。

2.2 除染係数・除染率

以下の手順で除染係数または除染率を求め、除染の効果を評価する（本実習では省略）。

除染係数 = 除染前の表面放射能 (Bq) / 除染後の表面放射能 (Bq)

除染率 = (除染前 (Bq) - 除染後 (Bq)) / 除染前 (Bq) × 100 (%)

3 実習Ⅲ 「表面汚染箇所の特定とスミア法によるふき取り効率の算定」

3.1 本実習で用いる物品等（準備するもの）

- ・実習Ⅰで表面汚染密度換算係数 ($\text{Bq}/\text{cm}^2/\text{cpm}$) を求めた広口GMサーベイメータ
- ・実習Ⅱで他の班が汚染をさせた床材 (c, g) とアクリル板 (a)
- ・ふき取りろ紙 (スミアろ紙/スプーン型) 10枚 ・紙製ウェス (キムワイブ等)
- ・スプレーボトル ・廃棄物用ポリ容器とビニル袋 (可燃物用・難燃物用)
- ・油性マジック ・ラップ ・手袋

3.2 実習の手順

3.2.1 準備

- ① GMサーベイメータのプロープ前面をラップで覆う。
- ② スプレーボトルに水道水を入れる。
- ③ 廃棄物用ポリ容器にビニル袋をかぶせ、放射性廃棄物の一時的な置き場を準備する。
- ④ 手袋を装着する。

3.2.2 汚染箇所の特定、直接測定法および間接測定法による表面汚染密度の測定

- ① アクリル板 (a) を実験台の上に置く。
- ② GMサーベイメータで汚染箇所を特定し、油性マジックで印をつける (係数値が高い部分を中心に広めに囲む)。
- ③ 油性マジックで囲んだ部分でGMサーベイメータを静止させ、直接測定法 (1.2.1.1 参照) により汚染箇所の計数率を測定する。
* 時定数の三倍以上の時間をかけて測定すること。
- ④ 間接測定法によるふき取り (1.2.2.1 参照) を行う (乾式ふき取り)。
* 汚染箇所を中心とする 10cm 四方 (100cm^2) を、スミアろ紙をアクリル板に一定の強さで押しつけながらふき取る (力を無理に加えないこと)。
- ⑤ ふき取り後の汚染箇所の計数率を、③と同様の方法で測定する。
- ⑥ スミアろ紙を、アクリル板を擦った面を上にして机上に置き、③と同様の方法でスミアろ紙へ移行したR Iの計数率を測定する^a。
- ⑦ 床材 (クリーム色の床材 (c) と灰色の床材 (g)) についても①～⑥の操作を行う。
* ふき取りの際には、アクリル板のときと同じくらいの強さでふき取ること。

^a 本実習ではGMサーベイメータを用いた簡易測定だけに留めるが、正確に測定する場合は 2π ガスフローカウンターや液体シンチレーションカウンターが適している。

記録（直接計測法と間接計測法）

GMサーベイメータのバックグラウンド計数率 N_b : _____cpm
 : _____cps

アクリル板 (a)

★		

汚染箇所	ふき取り前 (ア)	ふき取り後 (イ)	スミアろ紙 (ウ)
A - 1	cpm	cpm	cpm
A - 2	cpm	cpm	cpm

床材 (クリーム色、c)

★		

汚染箇所	ふき取り前 (ア)	ふき取り後 (イ)	スミアろ紙 (ウ)
B - 1	cpm	cpm	cpm
B - 2	cpm	cpm	cpm

床材 (灰色、g)

★		

汚染箇所	ふき取り前 (ア)	ふき取り後 (イ)	スミアろ紙 (ウ)
C - 1	cpm	cpm	cpm
C - 2	cpm	cpm	cpm

3.2.3 水を用いたふき取り

- ① スプレーボトルの水を汚染箇所付近に噴霧し、キムワイブでふき取る(湿式ふき取り)。
- ② ふき取ったキムワイブに付着したR I を GM サーベイメータで測定し、汚染がふき取られていた場合は可燃性放射線廃棄物の袋に入れる。バックグラウンドレベルの場合は、非R I 用のゴミ箱（各実験台の足元付近に置いてある）に廃棄する。
- ③ 湿式ふき取り後の汚染箇所付近の計数率を直接測定法で測定する。

記録（湿式ふき取りの効果）

アクリル板 (a)		床材 1 (c)		床材 2 (g)	
汚染箇所	ふき取り後 (工)	汚染箇所	ふき取り後 (工)	汚染箇所	ふき取り後 (工)
A - 1	cpm	B - 1	cpm	C - 1	cpm
A - 2	cpm	B - 2	cpm	C - 2	cpm

3.2.4 かたづけ

- ① 測定に用いたアクリル板 (a) や床材 (c, g) はそのまま置いておく。
- ② ふき取りに使用したスミアろ紙やキムワイブ等をGMサーベイメータで測定し、汚染がある場合は可燃物放射性廃棄物の袋へ入れる。ない場合は非R I 用のゴミ箱へ。
- ③ 手袋に汚染がないかGMサーベイメータで確認する。汚染がある場合は難燃物放射性廃棄物の袋へ入れる。ない場合は非R I 用のゴミ箱へ。
- ④ 放射性廃棄物の袋の中の空気をなるべく抜いて、口をしぼる。
- ⑤ 実験台周辺（アクリル板や床材、廃棄物の袋の周辺は除く）に汚染がないかGMサーベイメータで確認する。
- ⑥ GMサーベイメータのプロープを覆っていたラップを外してゴミ箱に捨てる。

※ 以上で管理区域内での実習は終了です。
講義室に戻り、次ページ以降の計算を実施してください。

京都大学 実習準備マニュアル

実習Ⅰ 「放射線測定器の校正について」

実習Ⅱ 「非密封RIの取扱に関する実習」

実習Ⅲ 「非密封RIによる汚染発生時の
対応技能研修」

京都大学環境安全保健機構放射性同位元素総合センター

実習Ⅰ 「放射線測定器の校正について」

I-1. サーベイメータの校正

I-2. GMサーベイメータ (TGS-133) の換算係数

1. 校正場の準備

2. ベータ線源の準備

実習I-1 サーベイメータの校正

—京大の簡易校正の紹介とデモ測定—

準備：Cs-137(基準線量線源：図-1)を用いて照射場（図-2）を作る。

- ・しっかりした机を準備し、その上に約1mのレールを敷く。
- ・線源Cs-137をレール上に設置したスタンドに固定する。
- ・ラボジャッキの上に検出器を固定し高さを線源に合わせる。
- ・検出器の実効中心と線源のあいだの距離をレールに沿って変更する。

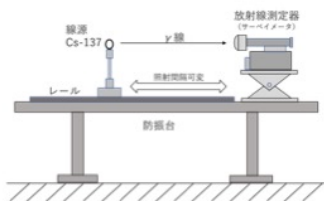


図-1 線源

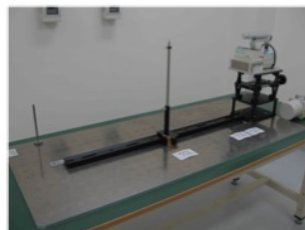


図-2 照射場

実習I-2 広口GMサーベイメータ(TGS-133)

機器効率を測定し換算係数を算出する

線源の準備

放出ベータ線の最大エネルギーが異なる3種類の標準線源を準備する。

標準β線源(最大エネルギーと電子線放出率)

- | | | |
|--------------------------------------------|--------------------------------|----|
| 1. Pm-147 (224keV) | A:1.99k cpm/2π, B:2.05k cpm/2π | 2個 |
| 2. Cl-36 (710keV) | 123 cps/2π /100 x100cm | 1個 |
| 3. U ₃ O ₈ (2.29MeV) | 1020 cps/2π | 1個 |



1. Pm-147



2. Cl-36



3. U₃O₈

- ・標準線源Pm-147の強度が強いので、4mm径の穴（ステン板1mm厚）でコリメートし、2πガスフローカウンターで強度の校正をしたものを用いた。

実習Ⅱ「非密封RIの取扱に関する実習」

1. 実習準備物一覧

2. 実習準備（セットアップ）

実習Ⅱ-1. 実習準備物一覧（1/2）

◆試薬、薬品

- ・ P-32 オルトリン酸 (NEX-054、P-32 Phosphorus-32 ($H_3^{32}PO_4$))
500 k Bq/50 μ Lとして調整、ガラスバイアルに入れ、鉛遮へい容器に入れて
貯蔵室に保管しておく（グループ数+予備1つ）。
- ・ リン酸水素ナトリウム溶液 (NaH_2PO_4)
- ・ 蒸留水（ポリ洗浄びん）

◆実験用品（各班ごとの数量）

- | | |
|-----------------------------|--------------------|
| ・ マイクロピペット (1mL) ×1 | ・ 試験管 ×1 |
| ・ マイクロピペット用チップ (1mL) ×4 | ・ 試験管立て ×1 |
| ・ メスフラスコ (25mL) ×2 | ・ ピンセット ×1 |
| ・ ガラスビーカ (50mL) ×2 | ・ ハサミ ×1 |
| ・ プラスチックビーカ (150mL) ×2 | ・ ビニルテープ ×1 |
| ・ 測定バイアル (20mL) ×2組 | ・ 油性マジック ×1 |
| ・ シャーレ ×1組 | ・ プラスチックトレイ ×1 |
| ・ こまごめピペット ×1 | ・ プラスチックメッシュトレイ ×1 |
| ・ こまごめピペット用ゴム帽 ×1 | |
| ・ アクリル板 (1cm遮へい体と同じ厚さの板) ×1 | |
| ・ スケール板 (プラスチック製：GM測定用) ×1 | |
| ・ GM管用枕 ×1 (今回説明のみ) | |

実習Ⅱ-1. 実習準備物一覧 (2/2)

◆放射線防護用品 (各班ごとの数量)

- ・アクリル遮へい板 (利用者前面用×1、GMサーベイメータ用×1)
- ・ポリエチレンろ紙 (バット内敷き用) ×1
- ・ポリエチレンろ紙片 (小片ふき取り用等) ×数枚
- ・ステンレス製バット×1
- ・ポリ袋 (RI廃棄物用)
- ・ラップフィルム×1
- ・放射性廃液容器 (広口ポリ瓶ふた付) ×1
- ・GMサーベイメータ (TGS-133) ×1
- ・手袋
- ・ペーパータオル×1
- ・キムワイプ×1
- ・放射性廃棄物容器 (ポリ) ×2

◆その他

- ・放射性廃棄物記録表 可燃物、難燃物、無機液体 ×各1
- ・中性洗剤×1
- ・洗浄用ブラシ×1

◆測定機器

- ・液体シンチレーションカウンタ (測定室：日立LSC-8000)

実習Ⅱ-2. 実習準備 (セットアップ) (1/2)



■準備 (実験台)

- ・実験台、わき机、フード表面を、ポリろ紙で養生する。
- ・実験台にステンレスバットを置き、プラスチックトレイとプラスチックメッシュトレイを置いた上に、試験管立て、メスフラスコ、ビーカー、シャーレ、ガラスパイアル、ハサミ、油性マジック、こまごめピペット等、準備物を並べて数を確認する。
- ・マイクロピペット用チップ4個、ポリエチレンろ紙片 (小片ふき取り用等) 数枚、廃棄物記録シールもプラスチックトレイの中に準備しておく。
- ・遮へい体、キムワイプ、ペーパータオル、ラップ、リン酸水素ナトリウム溶液の入った容器、蒸留水の入ったポリ洗浄びん、アクリル板 (1cm遮へい体と同じ厚さの板、ステンレスバットが傾かないようにする)、マイクロピペット (1mL)、GMサーベイメータ等をそれぞれ配置する。

実習Ⅲ 「非密封RIによる汚染発生時の対応技能研修」

1. 実習準備物一覧

2. 実習準備（セットアップ）

実習Ⅲ-1. 実習準備物一覧（1/2）

◆RI

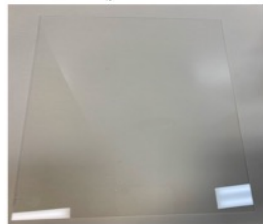
- ・RIは、実習Ⅱで各班が調整した希釈サンプル（P-32水溶液）を使用

◆器具・機器類（汚染スポット作成用）

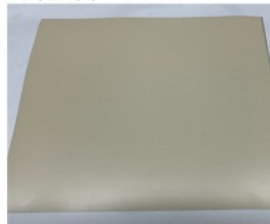
- ・ステンレスパット×3
- ・ガラス棒×1
- ・試験管（プラスチック）×1
- ・ガラス棒用試験管立て×1

- ・床材（アクリル板×1、床材（クリーム色×1、灰色×1））

アクリル板



床材 (c)



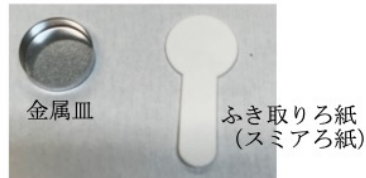
床材 (g)



実習Ⅲ-1. 実習準備物一覧 (2/2)

◆器具・機器類 (ふき取り実習用)

- ・GMサーベイメータ (TGS-133) ×1
実習Ⅰで表面汚染密度換算係数 (Bq/cm²/cpm) を求めたもの
実習開始時にラップでプローブを覆っておく。
- ・マーキング用油性マジック
- ・スプレーボトル (水道水を入れておく) ×1
- ・ふき取りろ紙×10
- ・紙製ウェス (キムワイブ等)
- ・ピンセット
- ・金属皿 (ふき取りろ紙用) ×10
- ・はさみ
- ・手袋



◆その他

- ・放射性廃棄物容器 (ポリ) ×2
- ・ポリ袋 (RI廃棄物用) ×2

実習Ⅲ-2. 実習準備 (セットアップ)



■準備

- ・実習Ⅱと同様にポリろ紙で養生する。
- ・各ステンレスパットに、アクリル板、床材(c)、床材(g)を置く (左写真)。
- ・試験管立てに試験管をセットし、ガラス棒をさしておく。
- ・スプレーボトルに水道水を入れておく。

その他必要となる物品等については
実習Ⅱと同様の準備をしておく。

直接測定法による表面汚染密度の算定

$$A_s = (N - N_b) / (\varepsilon_i \times W \times \varepsilon_s)$$

- N : 計数率 (cps)
- N_b : バックグラウンド計数率 (cps)
- ε_i : 機器効率 instrument efficiency
- W : 測定器の有効窓面積 (cm²)
- ε_s : 線源効率 efficiency of a source

間接測定法による表面汚染密度の算定

$$A_{sr} = (N - N_b) / (\varepsilon_i \times F \times S \times \varepsilon_s)$$

- N : 計数率 (cps)
- N_b : バックグラウンド計数率 (cps)
- ε_i : 機器効率 instrument efficiency
- F : ふき取り効率 removal factor
- S : ふき取り面積 (cm²)
- ε_s : 線源効率 efficiency of a source