

アイソトープ・放射線研究発表会

日程：2018年7月4日（水）～ 7月6日（金）

会場：東京大学弥生講堂（東京都文京区）

塩化マグネシウムと氷による寒剤を用いた 普及可能な霧箱の開発

Development of a Cloud Chamber Using Freezing Mixture
with $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ and Ice for Popular Use

○山本 堅士¹, 松浦 寛人¹, 柚木 朋也², 秋吉 優史¹

¹大阪府立大学大学院工学研究科, ²北海道教育大学

*Kenji Yamamoto¹, Hiroto Matsuura¹, Tomoya Yunoki² and Masafumi Akiyoshi¹

¹Graduate School of Engineering, Osaka Prefecture University,

²Hokkaido University of Education

OUTLINE

本研究のテーマ：霧箱による放射線教育プログラム開発

①塩化マグネシウムと氷による寒剤を用いた普及可能な霧箱の開発

→ドライアイスを用いずに寒剤を用いて普及可能な霧箱の開発を行った。

②クルックス管による放射線教育プログラムにおける霧箱を活用した低エネルギーX線スペクトル評価

→クルックス管からのX線によって弾き出された光電子の飛跡を霧箱により可視化できる。

クルックス管は低エネルギーX線の被ばく線量が想像以上に多い場合があるが、低エネルギーのX線スペクトル評価は困難である。

そこでペルチェ霧箱を用いて低エネルギーX線スペクトル評価を行った。

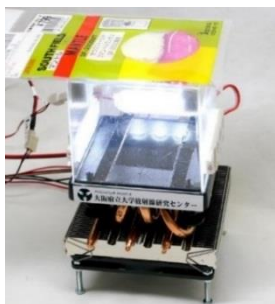
寒剤を用いた普及可能な霧箱

放射線教育を行う上で放射線の存在を直感的に理解できる霧箱は極めて重要な役割を果たしている。しかし、冷却に一般的に用いられているドライアイスは入手や保存が困難である。

先行研究



ドライアイスを使わない霧箱



ペルチエ冷却式高性能霧箱

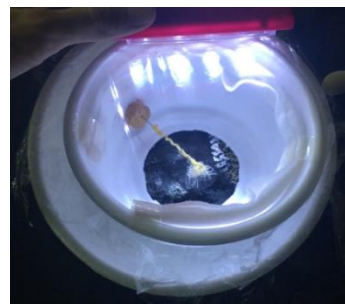
(大阪府立大学 秋吉優史)

冷却

- ・ペルチエ素子

問題

- ・多くの生徒に配るには高価
- ・電源容量の関係で
大人数での実習は困難



S霧箱 (北海道教育大学 柚木朋也)

冷却

- ・融雪剤と氷による寒剤

問題

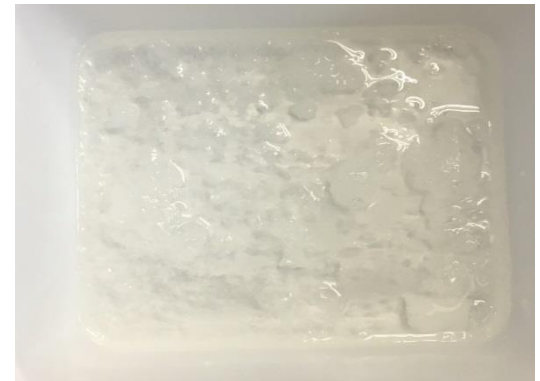
- ・繰り返し利用できない
- ・天候などの条件に影響
- ・授業時間内に工作から
飛跡の観察まで行うのは難しい

寒剤（狭義）とは？

→二つ以上の物質を混合し**低温**が得られる冷却剤

※平成20年の小学生学習指導要領理科編

例：氷と塩→ -20°C 程度
融解と溶解が**吸熱反応**



氷と $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ を用いた寒剤

寒剤の種類

飛跡確認のために -25°C 以下を達成

①氷と $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

→最も低温（到達可能温度 -47.9°C ）だが、
 $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ の生成や保管に手間がかかる。

②氷と NaCl と $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$

→最も高温(到達可能温度 -29.8°C)

③氷と融雪剤（ $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ）

→取扱い容易で低温(到達可能 -39.4°C)

← **本研究で使用**

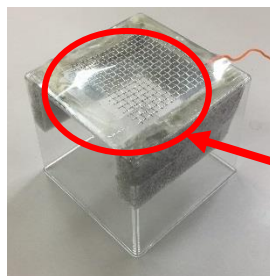
ドライアイスより安価で保管可能

開発した霧箱の製作方法

- ・チャンバー上部に**スポンジテープ**を2段貼り、**電極**を取り付ける。
- ・チャンバー底板下面に**60mm角の穴**を開けて、**側面**を切り抜く。
- ・**導線を付けた75×75×0.05mmの銅箔**をチャンバー底板下面に貼る。



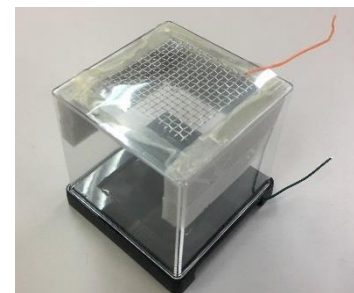
DAISO
コレクション
ケース



チャンバー上部

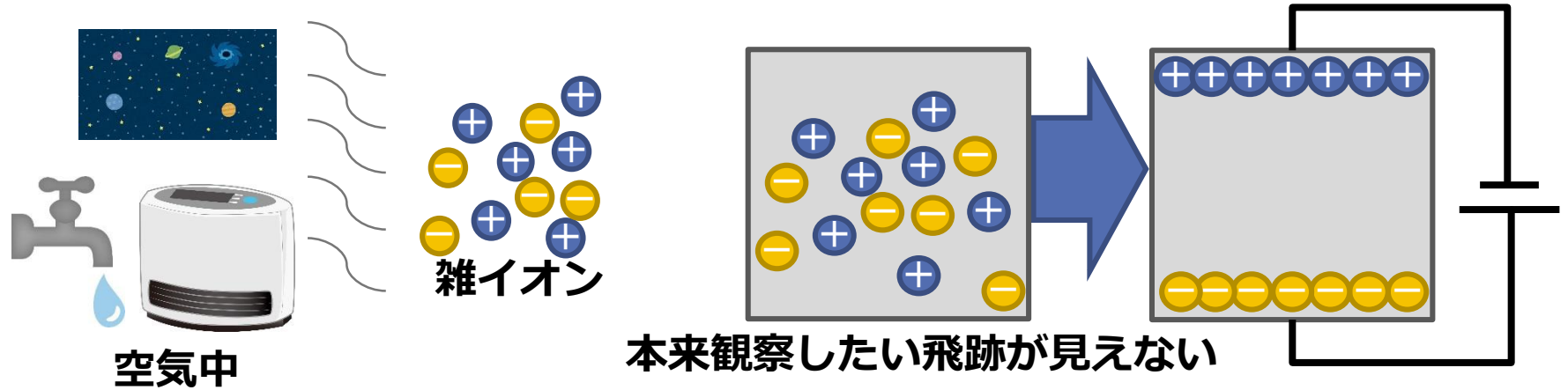


チャンバー底板



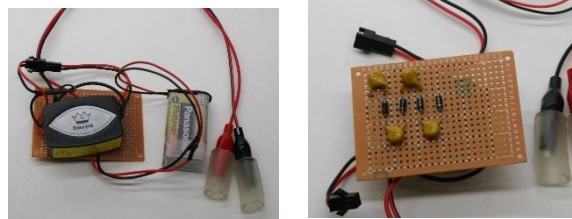
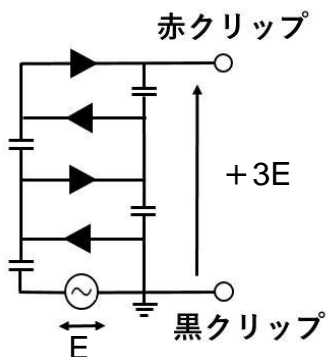
霧箱外観

雑イオン除去による改善（電極装着の理由）



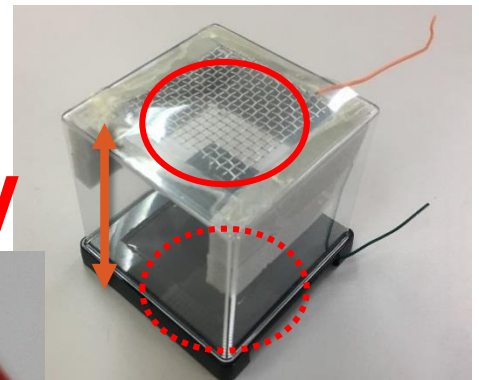
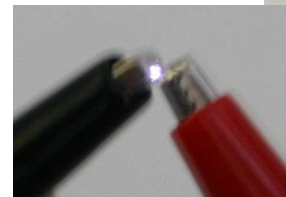
ペルチェ冷却式高性能霧箱で使用している
高電圧印加ユニットを用いて雑イオン除去を行った。

使用した回路

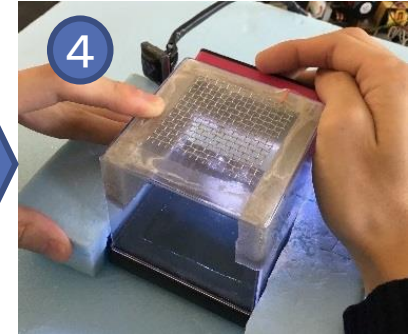
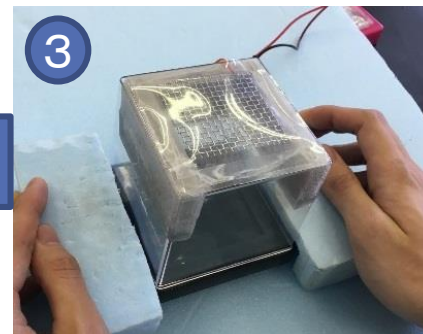
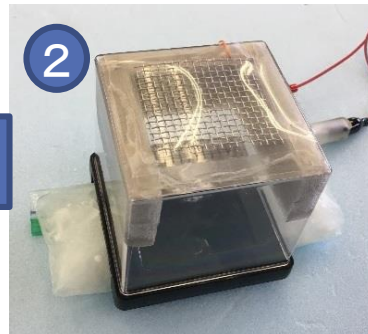


インバータ回路
コッククロフトワルトン回路

3000V



開発した霧箱パッケージ 霧箱飛跡観察の実験方法



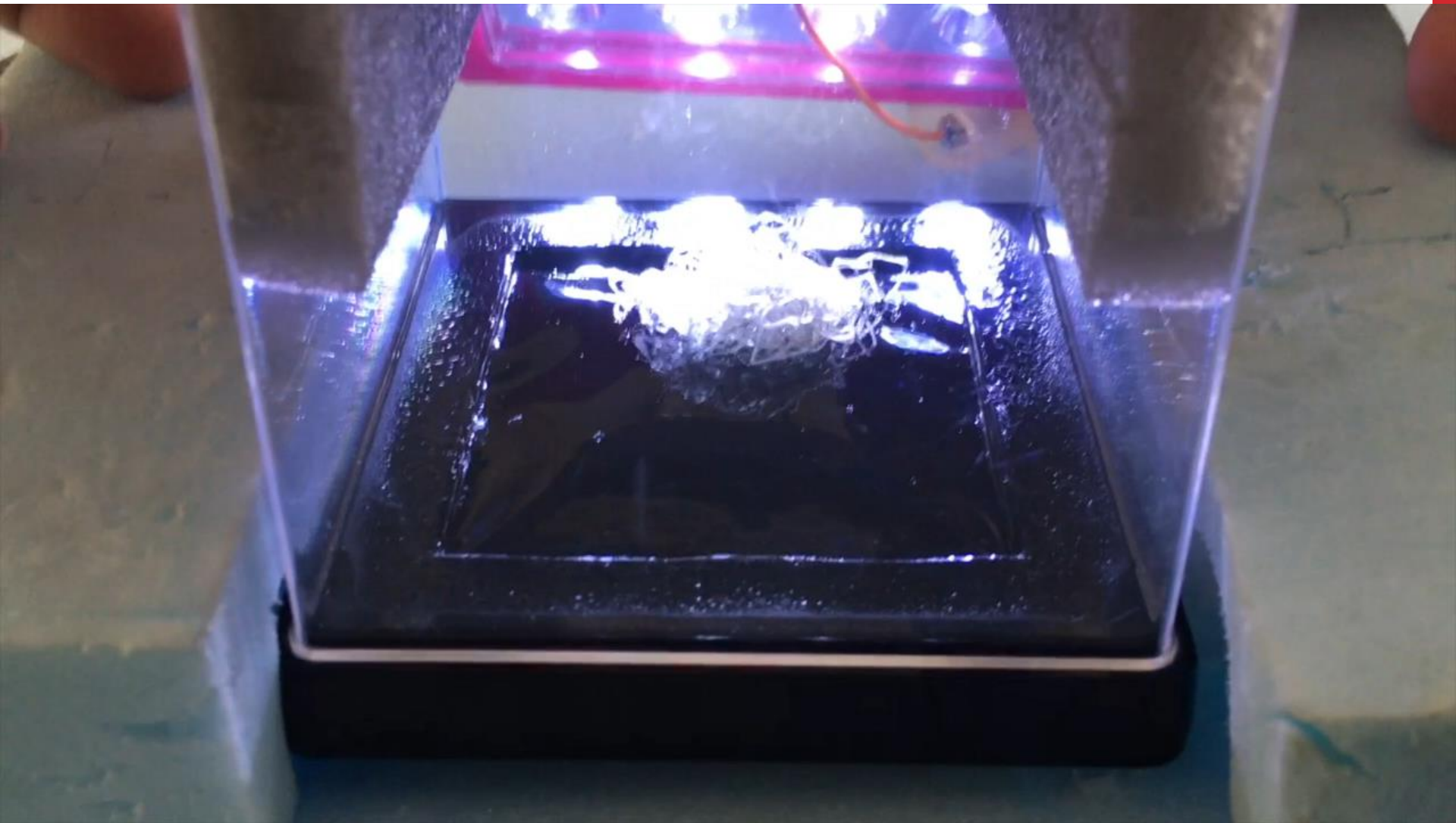
氷と融雪剤
をジッパー
付き袋の中
で混ぜる

霧箱を寒剤の
上に置く

霧箱側面を発
泡スチロール
で抑える

部屋を暗くし
てLEDライト
を当てる

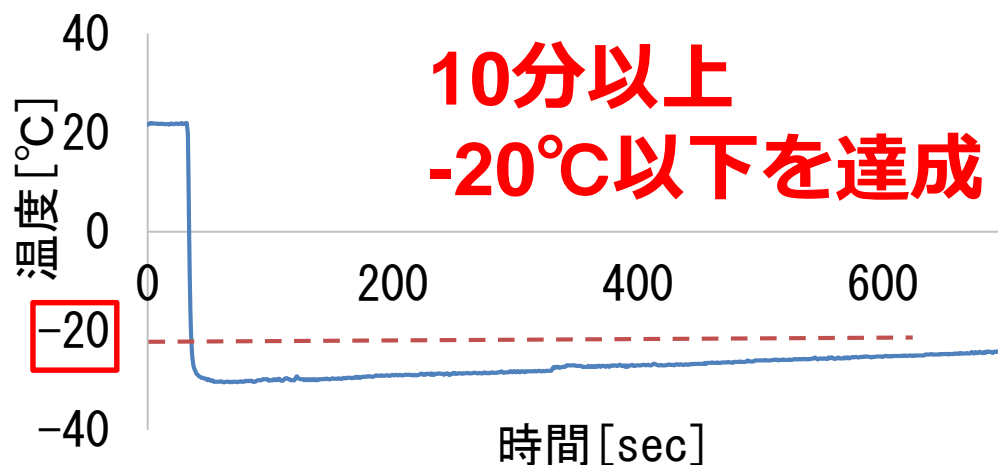
寒剤冷却霧箱、飛跡観察の実験動画



霧箱底面温度変化と悪天候の想定実験

飛跡観察時の実験条件

天候 : 晴れ
室温 : 21°C
寒剤到達温度 : -32°C
霧箱底面温度 : -30°C



霧箱底面の温度変化

悪天候のシミュレーション実験



密室でガスコンロを用いて水を沸騰させて湿度が高く、雑イオンの多い悪天候を模擬した。



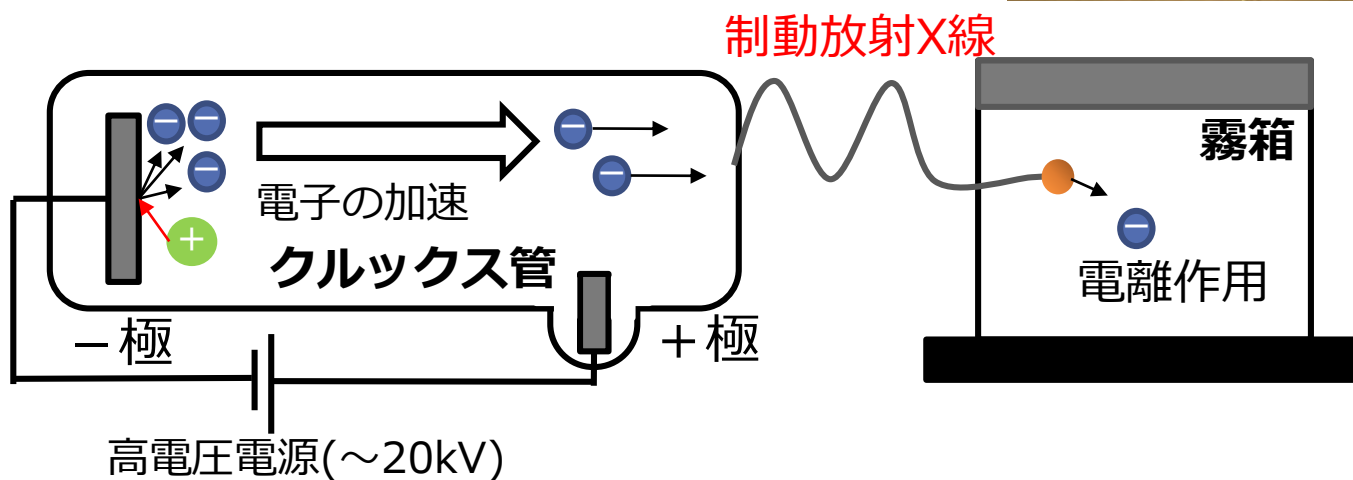
雑イオンが多いた。

4分後、
放射線の飛跡を確認

霧箱とクルックス管による放射線教育プログラム

クルックス管

真空放電の実験を通して陰極線の性質や電子のもつ電荷について理解できる教材



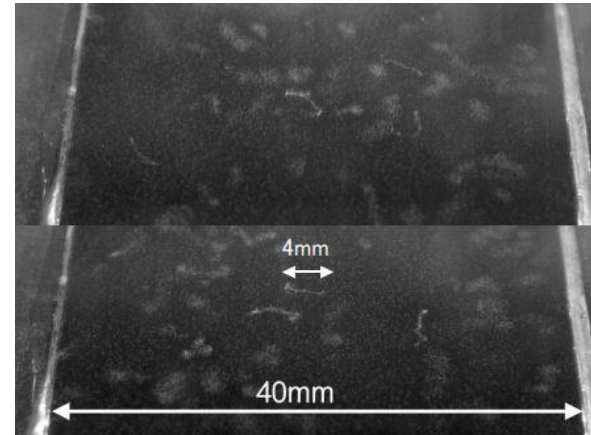
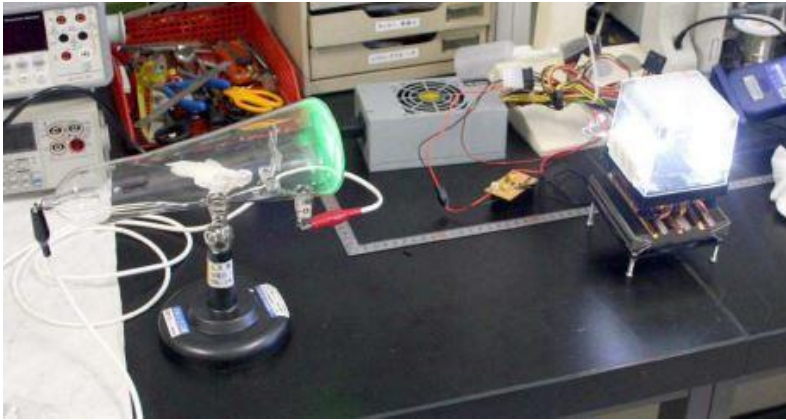
➡ **β線同様、光電子の飛跡も霧箱により観測可能**
電子→X線→電子となるプロセスを学習できる。

電子を弾き飛ばす電離という放射線と物質の相互作用の本質を直感的に理解できる

光電子観察と低線量X線エネルギースペクトル測定

しかし

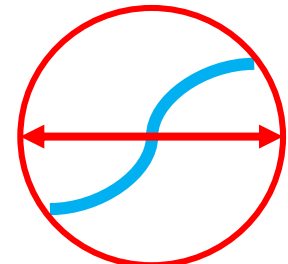
クルックス管は低エネルギーX線の**被ばく線量**が想像以上に多い場合があるが、低エネルギーのX線スペクトル評価は**困難**である。そこで、**霧箱**を用いて飛跡の長さのヒストグラムを作成し、エネルギーの拡がりを持つ**X線スペクトル**を評価できないか？



光電子のペルチェ冷却式高性能霧箱による観察の様子と結果

飛跡の長さの測定方法

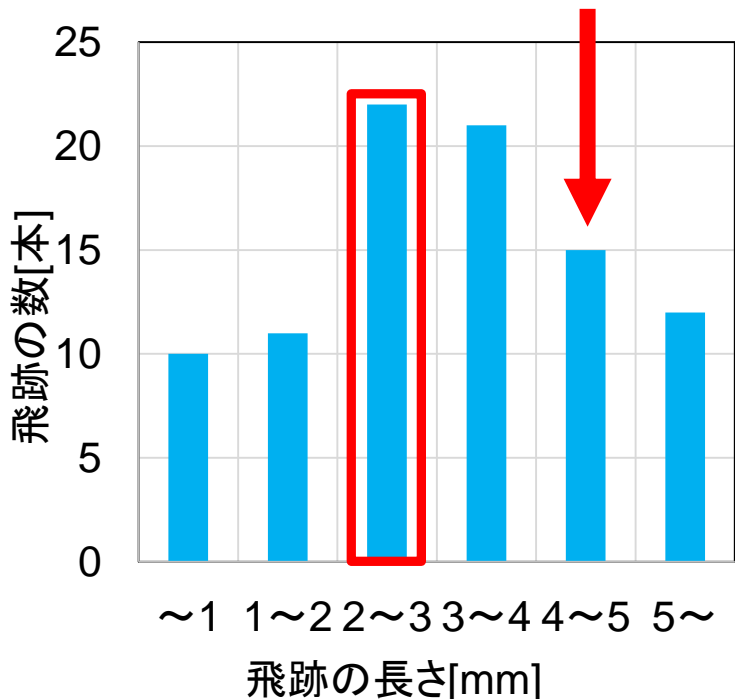
飛跡を円で囲み、円の直径から飛跡の長さを求めた。理論値は直線で飛んだときの最大の長さのため、計測した値は理論値より短くなる。



飛程の長さ 11

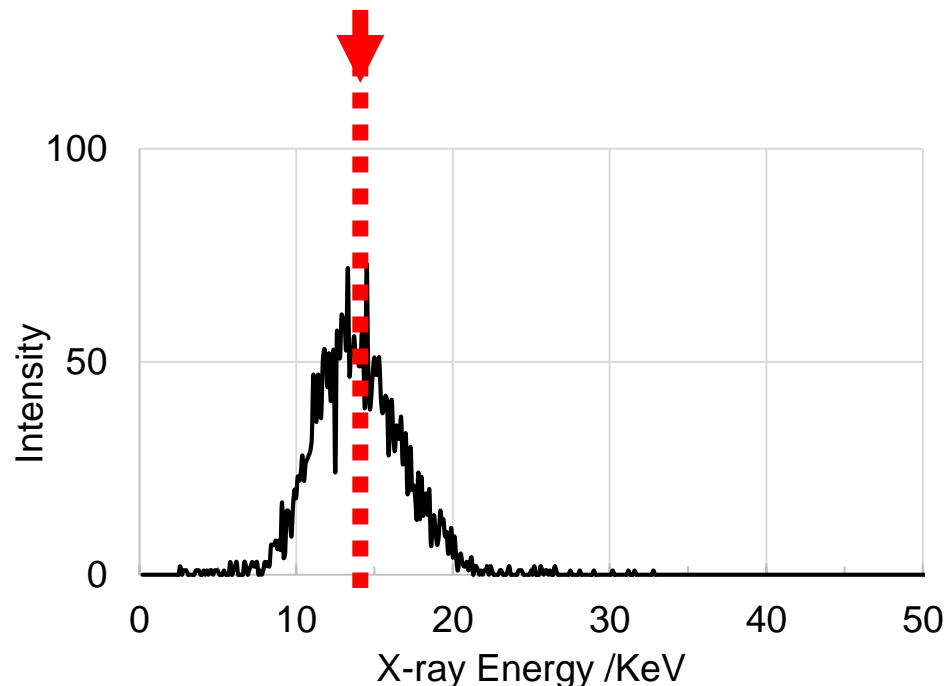
低線量X線エネルギースペクトルの測定結果

15KeV相当の長さ(4.3mm)



ペルチエ高性能霧箱での測定結果

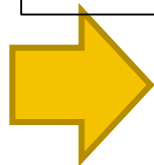
ピーク15keV



CdTe検出器スペクトル測定結果

15KeVのとき、飛跡の長さの理論値は**4.3mm程度**

(ICRU:Report 37 (1984) Stopping powers for Electrons and Positrons より)



概ねスペクトルが一致しており相関が見られ**有用**

結論

①寒剤温度は -32.0°C ，霧箱底面温度は -30.0°C まで低下し，悪天候下に於いても**飛跡の観察が可能であった。**

ジッパー付き袋を用いる事でビーカーなども不要で非常に**簡便に実験が可能**である一方，高電圧印加ユニットを用いることで**確実に観察可能な高性能な霧箱を開発した。**全国の誰でも容易に**確実に**実験可能な教材としての**パッケージ化**を行った。

②霧箱とクルックス管を組み合わせることで**電離作用**を直感的に理解できる。

霧箱による低線量X線エネルギースペクトル評価を検討した結果、**概ねスペクトルが一致**しており**有用**である。今後は画像解析などによりイベント数を上昇させ分解能を良くする。また、クルックス管のエネルギーの値を変えての測定も検討する。