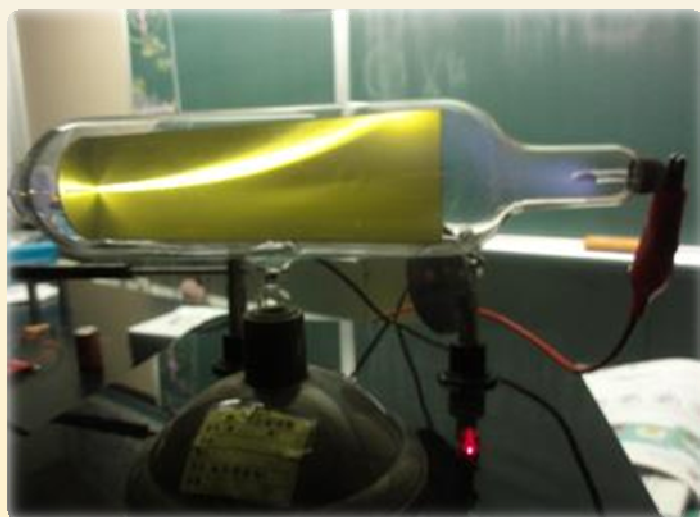


日本放射線安全管理学会・日本保健物理学会合同大会(2019/12/5)

クルックス管プロジェクトシリーズ発表 (2) 中学校理科での放射線教育の現状

保物企画セッション

教育現場での低エネルギーX線に対する安全管理



- 森山 正樹 (札幌市立白石中学校)
- 秋吉 優史 (大阪府立大学)
- 掛布 智久 (日本科学技術振興財団)
- 川島 紀子 (文京区立文林中学校)
- 佐藤 深 (札幌市立北栄中学校)
- 宮川 俊晴 (放射線教育フォーラム)

学習指導要領改訂の背景

人工知能が進化して、
人間が活躍できる職業は
なくなるのではないか。

今学校で教えていることは、
時代が変化したら
通用しなくなるのではないか。

子供たちに、情報化やグローバル化など急激な社会的変化の中でも、
未来の創り手となるために必要な知識や力を
確実に備えることのできる学校教育を実現します。

人工知能(AI)が飛躍的に進化する中、**我が国の学校教育が育む「人間の強み」**が明らかになっています。

近年、飛躍的に進化した人工知能は、所与の目的の中で処理を行う一方、人間は、みずみずしい感性を働かせながら、どのように社会や人生をよりよいものにしていくのかなどの目的を考え出すことができ、その目的に応じた創造的な問題解決を行うことができるなどの強みを持っています。

⇒こうした人間の強みを伸ばしていくことは、学校教育が長年目指してきたことでもあり、社会や産業の構造が変化し成熟社会に向かう中で、社会が求める人材像とも合致するものです。



新しい教育課程では、**学校教育のよさをさらに進化**させていきます。

- これからの時代に求められる知識や力とは何かを明確にし、教育目標に盛り込みます。これにより、子供が学びの意義や成果を自覚して次の学びにつなげたり、学校と地域・家庭とが教育目標を共有して「カリキュラム・マネジメント」を行ったりしやすくなります。
- 生きて働く知識や力を育む質の高い学習過程を実現するため、各教科における学びの特質を明確にするとともに、授業改善の視点（「アクティブ・ラーニングの視点」）を明確にします。これにより、教科の特質に応じた深い学びと、我が国の強みである「授業研究」を通じたさらなる授業改善を実現します。

幼稚園教育要領、小・中学校学習指導要領等の改訂のポイント

1. 今回の改訂の基本的な考え方

- 教育基本法、学校教育法などを踏まえ、これまでの我が国の学校教育の実践や蓄積を活かし、子供たちが未来社会を切り拓くための資質・能力を一層確実に育成。その際、子供たちに求められる資質・能力とは何かを社会と共有し、連携する「社会に関かれた教育課程」を重視。
- 知識及び技能の習得と思考力、判断力、表現力等の育成のバランスを重視する現行学習指導要領の枠組みや教育内容を維持した上で、知識の理解の質をさらに高め、確かな学力を育成。
- 先行する特別教科化など道徳教育の充実や体験活動の重視、体育・健康に関する指導の充実により、豊かな心や健やかな体を育成。

2. 知識の理解の質を高め資質・能力を育む「主体的・対話的で深い学び」

「何ができるようになるか」を明確化

知・徳・体にわたる「生きる力」を子供たちに育むため、「何のために学ぶのか」という学習の意義を共有しながら、授業の創意工夫や教科書等の教材の改善を引き出していけるよう、全ての教科等を、①知識及び技能、②思考力、判断力、表現力等、③学びに向かう力、人間性等の3つの柱で再整理。

(例)中学校理科：①生物の体のつくりと働き、生命の連続性などについて理解させるとともに、
(生命領域) ②観察、実験など科学的に探究する活動を通して、生物の多様性に気付くとともに規則性を見いだしたり表現したりする力を養い、
③科学的に探究する態度や生命を尊重し、自然環境の保全に寄与する態度を養う。

我が国の教育実践の蓄積に基づく授業改善

我が国のこれまでの教育実践の蓄積に基づく授業改善の活性化により、子供たちの知識の理解の質の向上を図り、これからの時代に求められる資質・能力を育てることが重要。

小・中学校においては、これまでと全く異なる指導方法を導入しなければならないと浮足立つ必要はなく、これまでの教育実践の蓄積を若手教員にもしっかりと引き継ぎつつ、授業を工夫・改善する必要。

〔 語彙を表現に生かす、社会について資料に基づき考える、日常生活の文脈で数学を活用する、観察・実験を通じて科学的に根拠をもって思考する など 〕

- ※ 教員が授業準備などを行う時間を確保するために、16年ぶりの義務標準法改正による計画的な教職員定数の改善などの条件整備や運動部活動ガイドラインの策定による業務改善などを一層推進。
- ※ 既に行われている優れた教育実践の教材、指導案などを集約・共有化し、各種研修や授業研究、授業準備での活用のために提供するなどの支援の充実。

育成すべき資質・能力の三つの柱

学びを人生や社会に活かそうとする
学びに向かう力・人間性等の涵養

どのように社会・世界と関わり、
よりよい人生を送るか

「確かな学力」「健やかな体」「豊かな心」を
総合的にとらえて構造化

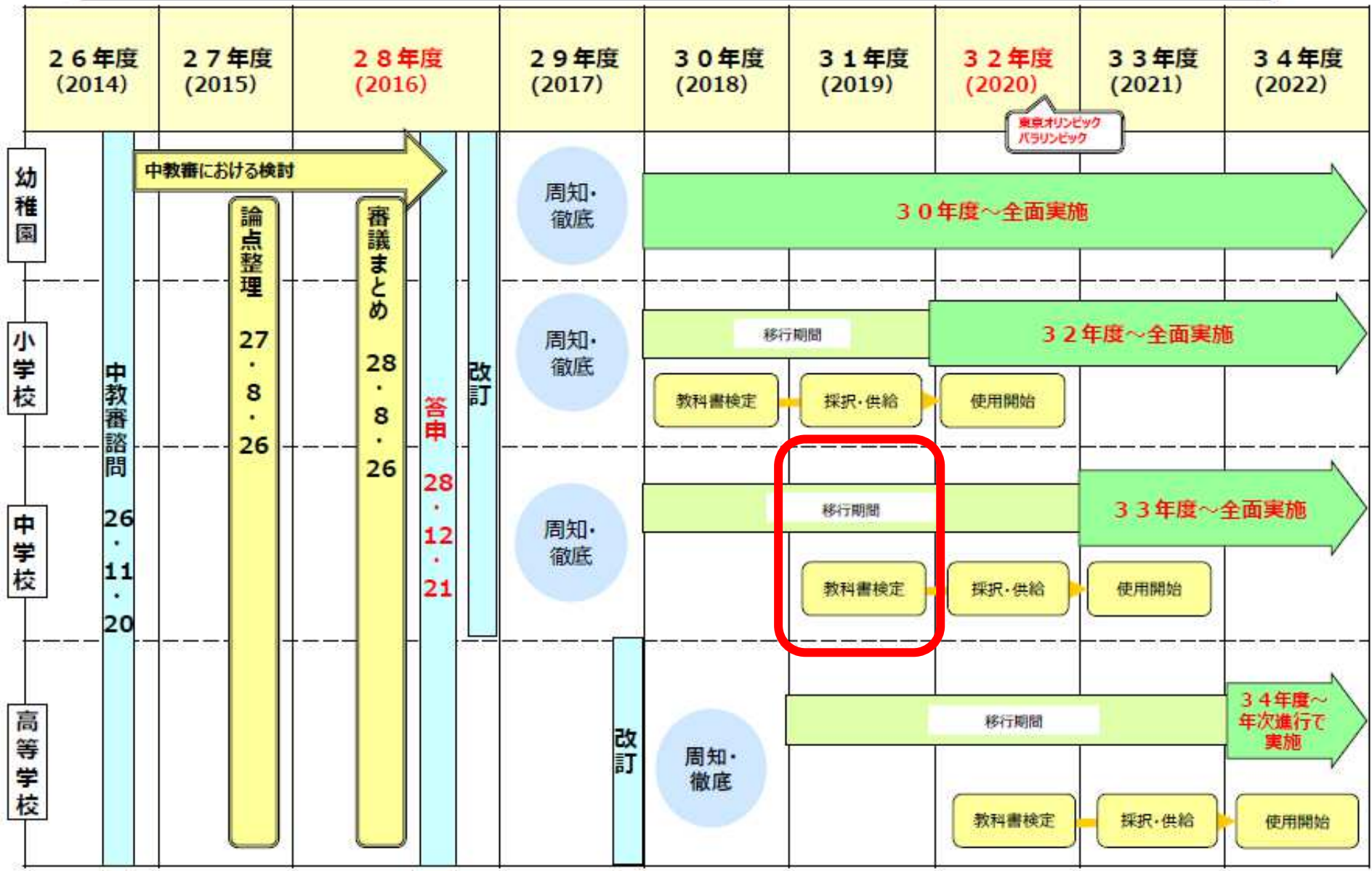
何を理解しているか
何ができるか

生きて働く
知識・技能の習得

理解していること・できる
ことをどう使うか

未知の状況にも対応できる
思考力・判断力・表現力等の育成

今後の学習指導要領改訂に関するスケジュール (現時点の進捗を元にしたイメージ)



(文部科学省,2017)

次期(平成29年告示) 中学校学習指導要領解説 総則編より

現代的な諸課題に関する教科等横断的な教育内容

- ・伝統や文化に関する教育
- ・環境に関する教育
- ・主権者に関する教育
- ・放射線に関する教育
- ・消費者に関する教育
- ・生命の尊重に関する教育
- ・法に関する教育
- ・知識財産に関する教育
- ・心身の健康の保持推進に関する教育
- ・郷土や地域に関する教育
- ・食に関する教育
- ・海洋に関する教育
- ・防災を含む安全に関する教育 (pp204-245)

次期(平成29年告示) 中学校学習指導要領解説 総則編より

現代的な諸課題に関する教科等横断的な教育内容→「放射線に関する教育」

放射線の科学的な理解や科学的に探究する態度などの充実を図り、放射線に関する科学的な理解や科学的に考察し、情報を正しく理解する力を育成すること
→各学校でカリキュラム・マネジメントを
(pp53-54)

放射線教育の位置づけ(現行)

中学校	物理	化学	生物	地学
3年 (140時間)	エネルギー 放射線	イオン	遺伝・生態系	宇宙
2年 (140時間)	電流	化学変化	動物	気象
1年 (105時間)	光・音・力	物質	植物	大地

現行:「科学技術と人間」の単元において、原子力発電の短所としての放射線が出てくる。3学年の受験前に学習するため、教科書を読んで終わることが多い。(1/385h)

放射線教育の位置づけ(次期)

中学校	物理	化学	生物	地学
3年 (140時間)	エネルギー 放射線	イオン	遺伝・生態系	宇宙
2年 (140時間)	電流 放射線	化学変化	動物	気象
1年 (105時間)	光・音・力	物質	植物	大地

第2学年でも放射線を扱う

次期: 2学年の「電流」の單元において, クルックス管の陰極線に伴ってX線が発生することを触れる。科学的に放射線を扱うことができるようになる。 →大きなチャンス!

現行(H20年告示)と次期(H29年告示)の比較 中学校学習指導要領解説 理科編より

	現 行	次 期
第2学年	雷も静電気の放電現象の一種であることを取り上げ、高電圧発生装置(誘導コイルなど)の放電やクルックス管などの真空放電の観察から電子の存在を理解させ、電子の流れが電流であることについて理解させる。	電流が電子の流れに関係していることを扱うこと。また、真空放電と関連付けながら放射線の性質と利用にも触れること。また、雷も静電気の放電現象の一種であることを取り上げ、高電圧発生装置(誘導コイルなど)の放電やクルックス管などの真空放電の観察から電子の存在を理解させ、電子の流れが電流に関係していることを理解させる。 <u>その際、真空放電と関連させてX線にも触れるとともに、X線と同じように透過性などの性質をもつ放射線が存在し、医療や製造業などで利用されていることにも触れる。</u>

現行(H20年告示)と次期(H29年告示)の比較 中学校学習指導要領解説 理科編より

	現 行	次 期
第3学年	核燃料は放射線を出していることや放射線は自然界にも存在すること、放射線は透過性などをもち、医療や製造業などで利用されていることなどにも触れる。	放射線については、核燃料から出ていたり、自然界にも存在し、地中や空気中の物質から出ていたり、宇宙から降り注いでいたりすることなどにも触れる。東日本大震災以降、社会において、放射線に対する不安が生じたり、関心が高まったりする中、理科においては、放射線について科学的に理解することが重要であり、放射線に関する学習を通して、生徒たちが自ら思考し、判断する力を育成することにもつながると考えられる。その際、他教科との関連を図り、学習を展開していくことも考えられる。

A社の教師用指導書(現行)の扱い

2012年度版中学校理科第2学年教師用指導書

「放電管から1mも離れれば漏洩X線の
影響はほとんどない」



2016年度版中学校理科第2学年教師用指導書

「X線の影響に配慮し、**演示は行わず、**
教科書の写真や図のみでの説明に
とどめる」という表記に変更

中2理科

3 電流の正体



図35 雷(埼玉県さいたま市)

① 強い上昇気流によって、上空で氷の結晶がぶつかり合い、雲の上層に+の電気、下層に-の電気がたまる。



この間に数万Vの電圧が加わる。

図36 誘導コイルによる放電 誘導コイルは数万Vの電圧を発生させることができる。非常に大きな電圧が発生するので、誘導コイルを使うときは感電しないように注意する。



図37 クロス真空計での放電の様子 気圧を変えた放電管(左からA~F)に誘導コイルによる放電の様子を観察できる。

雷は、雲にたまった静電気が、ふつうは電気が流れない空気中を一気に流れる自然現象である(図35)。また、図36のように、誘導コイルを用いて非常に大きな電圧を発生させると、小さな雷のような現象を見ることができる。このように、電気が空間を移動したり、たまっていた電気が流れ出したりする現象を放電という。p.215で、ネオン管や蛍光灯が点灯したのは、下じきやポリ塩化ビニルパイプにたまった静電気が放電したためである。

? 放電中にはどのようなことが起きているのだろうか。

図37は、クロス真空計とよばれる装置に、誘導コイルで非常に大きな電圧を加えたときの様子である。放電管内の気圧によって、放電の様子が変化する。このように、圧力を低くした気体の中を電流が流れる現象を真空放電という。

真空ポンプを使うと、放電に応じて放電の様子が変えられることができる。

図38で、放電管内の気圧が非常に低くなると、+極側のガラス壁が黄緑色に光るようになる。また、図39の放電管で、A B間に数万Vの電圧を加えると十字板の影ができる。図39や図40から、電流のもとなるものについて、どのようなことがわかるだろうか。

考えてみよう

- ① 図39の十字板の影のつき方から、電流のもとなるものはA(-)とB(+)のどちらから出ていると考えられるか。
- ② 図39や図40から、電流のもとなるものはどのような種類の電気をもっていると考えられるか。

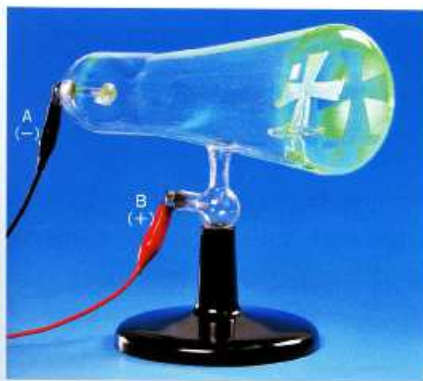


図39 電流のもとなるものを調べる実験① 図36の誘導コイルを使って、AB間に電圧を加える。なお、放電管内の気圧は、図37の放電管Fと同じぐらいである。

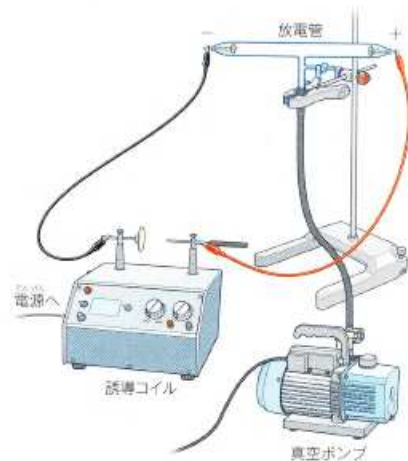
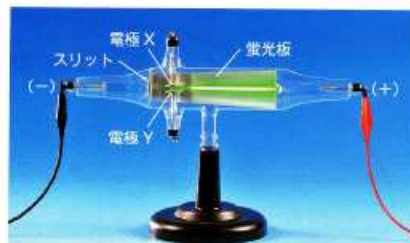
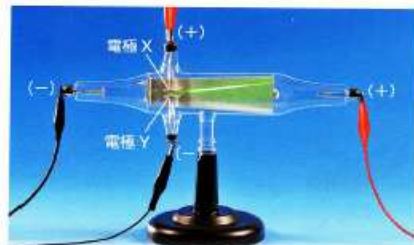


図38 真空ポンプを使って放電の様子を調べる装置



(a) X, Yに電圧を加えないとき



(b) Xを+, Yを-にして電圧を加えたとき

図40 電流のもとなるものを調べる実験② スリットを通りぬけた電流のもとなるものが蛍光板上に当たると、まわりよりも明るい十字が蛍光板上に現れる。

エネルギー

2章

電流の正体

中2理科



図41 十字板入り放電管と電子のモデル
一極側から出た電子が十字板に当たり、そのうしろに影をつくる。ガラス壁に衝突した電子は、+極側へ移動していく。

①電池や電源装置の一極と接続した電極を陰極といい、電流のもとになるものを、はじめは陰極線とよんだ。陰極線は1876年に発見されたが、1897年にその正体が電子であることがわかったので、現在は陰極線のことを電子線とよぶことが多い。



図42 放電管内の電子の移動

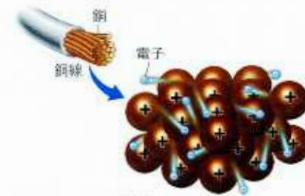


図43 金属と電子

前のページから、電流が流れている放電管では、一極側から電流のもとになるものが出て、+極側に向かっていると考えられる。

また、前のページの(図40)のように、-から+に向かう向きに平行な電極X Yを入れた放電管では、電流のもとになるものが、その進路に平行な2つの電極のうち、+のほうに引かれて曲がるのがわかる。

これらのことから、放電管内の電流のもとになるものは、-の電気をもっていると考えられる。

かつて多くの人々が研究した結果、電流は一極から飛び出してくる質量をもった非常に小さな粒子の流れであり、放電管内の一極側の電極に使われる金属の種類や、放電管内の気体の種類を変えても、その性質はいつも同じであることがわかった。この電流をつくっている粒子のことを電子という(図41)。

電子の性質をまとめると、次のようになる。

電子の性質

- ① 質量をもつ非常に小さな粒子である。
- ② - (負) の電気をもっている。

前のページの(図38)の真空放電では、放電管を含む回路全体に電流が流れている。このとき、放電管内では、一極側から+極側に向かって電子が移動している(図42)。

電流と電子の移動

(図43)のように、金属中には自由に動き回れる電子がたくさん存在する。電子1個1個は-の電気をもっているが、金属中にはそれを打ち消す+の電気も存在するので、金属全体では+と-のどちらの電気も帯びていない。このような状態を電氣的に中性という。



放射線の発見 ~医療への利用~



1895年、ドイツのレントゲンは、真空放電の実験を行っているときに、不思議なことに気がつきました。それは、放電管の近くに置いてあった蛍光板が光る、ということでした。さらにくわしく調べると、放電管と蛍光板の間に紙や布をはさんでも蛍光板は光りますが、金属の板をはさむと金属の影が見えることにも気づきました。レントゲンは、放電管から目に見えない何かが出ていると考え、これをX(エックス)線と名づけ、この業績で第1回ノーベル物理学賞を授与されました。

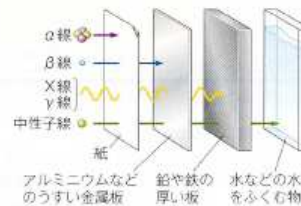
レントゲンがX線を発見した次の年、フランスのベクレルは、ウランという物質からも、X線に似た目に見えない何かが出ていることを発見しました。現在では、これは放射線とよばれています。

また、マリー・キュリーとピエール・キュリーは、放射線を出す物質を研究し、新たにポロニウムとラジウムを発見しました。

現在では、放射線には、+の電気をもったもの、-の電気をもったもの、電気をもたないものがあることがわかっています。これらはそれぞれ、α(アルファ)線、β(ベータ)線、γ(ガンマ)線とよばれています。

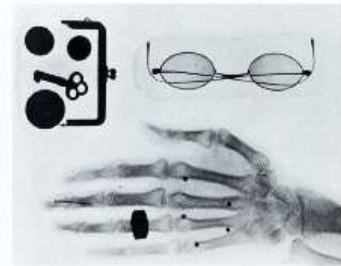
X線は物質により透過のしやすさが異なるため、レントゲンは骨の撮影にも成功していました。これがもとになり、X線は体内のようすを知るために、医療での診断に使われています。また、放射線によって体の中のがん細胞を破壊する放射線治療も、メスを使わずに治療ができる方法として行われています。

放射線は有効に利用されている一方で、健康な細胞も傷つけるなど、生物に悪い影響をおよぼすことがあるので、その利用にはじゅうぶんな注意が必要です。

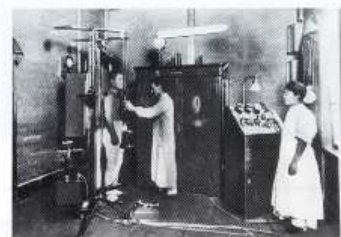


放射線の種類と透過のしやすさのちがいは、α線、β線、中性子線は高速の粒子の流れ、X線とγ線は電磁波(光のなかま)である。

①放射線については、3年でくわしく学ぶ。



初期のX線写真



大正末ごろの国産X線撮影装置による診察のようす 日本では、1900年代に、高津滄蔵が国産のX線撮影装置を開発した。



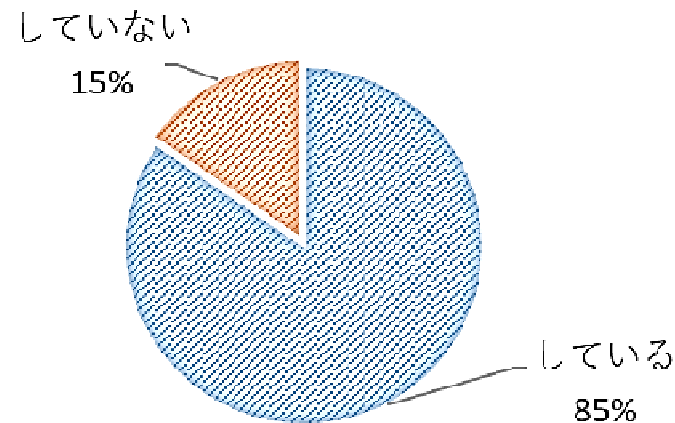
X線で撮影した人体のようす

放射線教育の現状

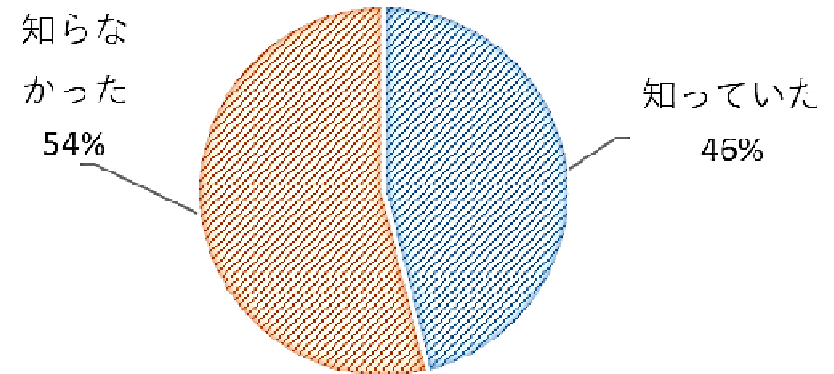
- ・現行(平成20年告示)の学習指導要領で、30年ぶりに「放射線」の授業が復活
- ・移行措置を含め、昨年度に大学を卒業した生徒は、中学校理科の第3学年で、「放射線」の学習をしている
- ・教える側の理科教師の大部分は「放射線」について習っていない → **受験を控え、教科書を読んで終わっている実態**

中学校理科教師の実態(N=13)

クルックス管を用いた演示実験を



クルックス管からX線が出ることを

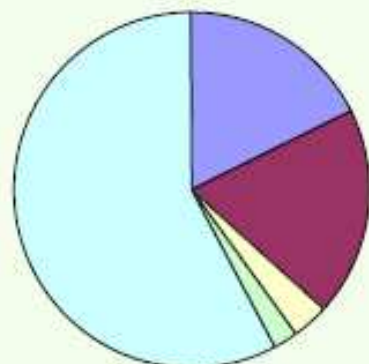


2018年6月に、ある地域の中学校理科教師にとつたアンケートの結果。演示をする先生は、「**本物・実物を見せたい**」という理由を述べている。

現在の学生に対する授業の実態調査

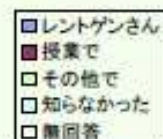
2019年11月に行った大阪府立大学の1回生向け授業でのアンケート。
工学だけでなく、看護や獣医などの学生がまんべんなく受講。回答数 90。

あなたは今までにクルックス管の実演を見たことがありますか？



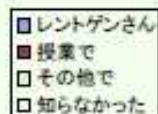
中学	16
高校	17
中学+高校	3
その他	2
なし	52

クルックス管から X線が出るということは知っていましたか？



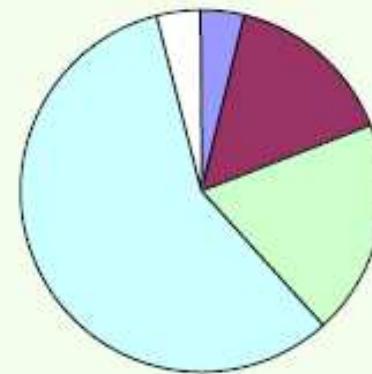
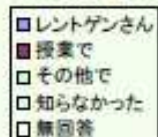
レントゲンさん	3
授業で	19
その他で	9
知らなかった	7

クルックス管を見たことがある見たことがある38人の中で
クルックス管から X線が出るということは知っていましたか？



レントゲンさん	3
授業で	19
その他で	9
知らなかった	7

クルックス管を見たことがない52人の中で
クルックス管から X線が出るということは知っていましたか？



レントゲンさん	2
授業で	8
その他で	10
知らなかった	30
無回答	2

放射線教育の現状

- ・平成23年(2011年)の東日本大震災における福島第一原子力発電所の事故により、放射線教育の必要性が叫ばれたが、社会情勢等から、現場では放射線教育を扱いにくい実態
- ・観察・実験を通して科学的に放射線を扱ってきた教師は、ほんの一部にすぎない
- ・平成29年告示の学習指導要領において、中学校の**第2学年**から**放射線について触れる**ことが示された(現行では中学校第3学年)

中学校理科教師の実態

- ・クルックス管内の陰極線に伴う漏洩X線の存在を知らなかったり、知っていても不安を感じながら演示実験をしたりしている理科教師(高校の理科教師も同様)が多い
- ・歯科用のデンタルフィルムを用いてクルックス管から出る漏洩X線を用いたX線撮影の演示実験を行う実践例もある

現場の中学校理科教員の声

ベネフィット(便益)

- ・生徒が実験を見ることによる**意欲の向上**や**動機づけ**の教育的効果が大い
- ・教科書を読むだけより、**理解が深まる**

リスク

- ・教師や生徒が放射線から受ける影響がそもそもわからないので、**なんとなく不安**
- ・具体的なリスクは何か(**どのような確率的影響**があるのか)?

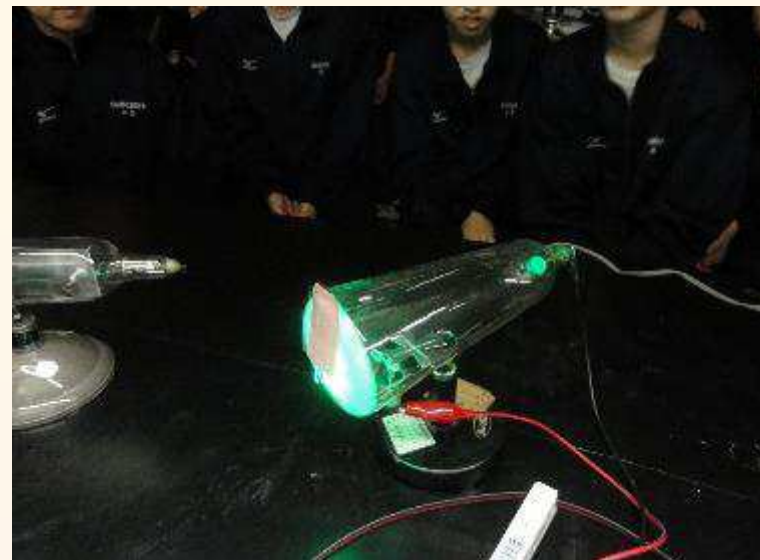
授業(中2)における演示実験の様子

- ・高電圧に対する安全性と、生徒が目の前で観察する効果を鑑み、**前方で生徒をイスに座らせる**
- ・近い所にいる生徒と装置との距離を**1m前後に保つ**
- ・**数分間の演示実験を行っている**



授業(中2)における演示実験の様子

→ デンタルフィルムを用いた実験

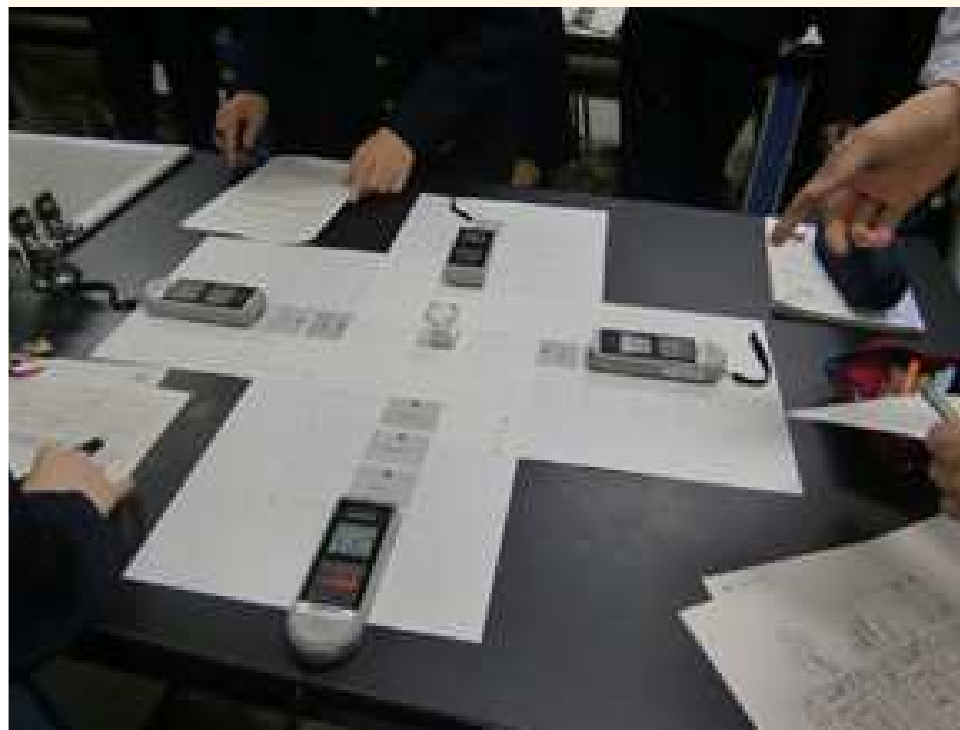


2019/12/5

東北大学 青葉山新キャンパス

22

中学校での放射線教育の例(中3)



線量率と距離の実験



遮蔽物の実験

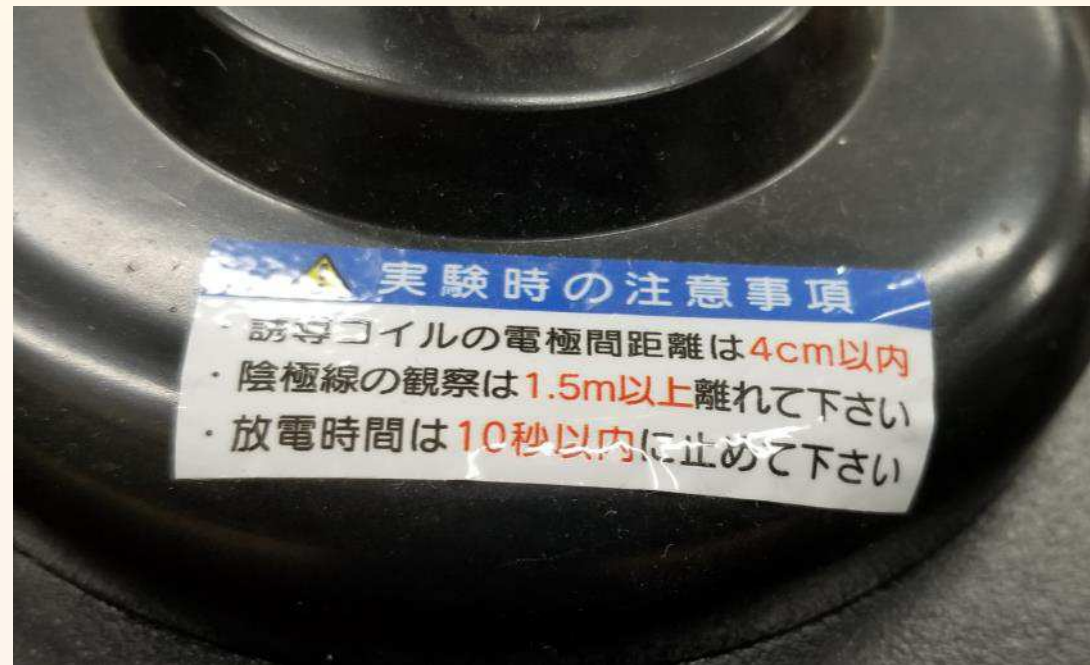
クルックス管による実験の実態

- ・ 演示実験をする教師は、50cm程度の距離の所において、操作しながら説明する。
- ・ 50分の授業の中で、延べ5分程度か。
- ・ 大きな規模の学校だと、第2学年4～5学級を担当する。予備実験を含めても、3年間で30分程度の時間、クルックス管から50cmの所にいる(1年間で10分間)と考えることができる。 ※歯科用デンタルフィルムでX線撮影の実験をする場合は、その時間を加える必要がある。

中学校における装置の実態

- ・クルックス管や誘導コイル等の装置は高額であり、学校が統廃合しても引き継がれる
- ・昭和の時代に購入した装置を備品として理科室に保有している学校が多く、**装置は多様**
- ・高価かつ使用頻度が1年に1回などの理由から、中学校の現場では新しい装置に**買い替えるのは困難**

現在のクルックス管の表記



おわりに

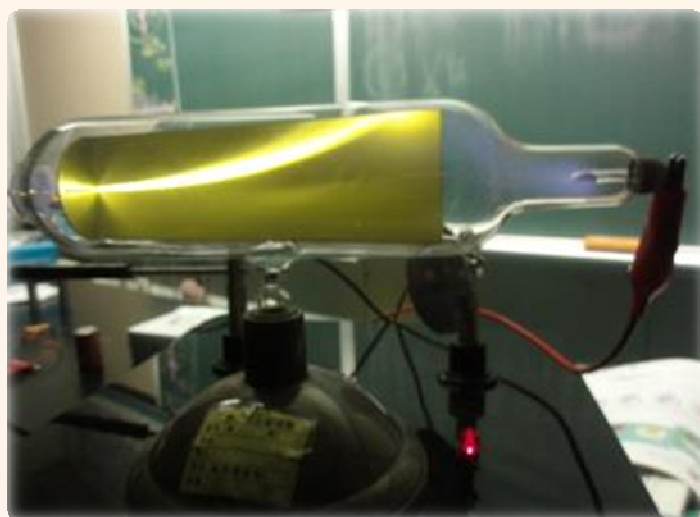
- ・クルックス管を用いた演示実験ならびに放射線の学習による教育的効果は極めて大きい(科学としての放射線教育)
- ・教師が自信をもって授業を行っていくには、どのような条件下(時間・距離・電圧等)で実験すべきかの指針が必要
- ・放射線教育がますます発展するように、専門家の方々の力をぜひお借りしたい

日本放射線安全管理学会・日本保健物理学会合同大会(2019/12/5)

クルックス管プロジェクトシリーズ発表 (2) 中学校理科での放射線教育の現状

保物企画セッション

教育現場での低エネルギーX線に対する安全管理



- 森山 正樹 (札幌市立白石中学校)
- 秋吉 優史 (大阪府立大学)
- 掛布 智久 (日本科学技術振興財団)
- 川島 紀子 (文京区立文林中学校)
- 佐藤 深 (札幌市立北栄中学校)
- 宮川 俊晴 (放射線教育フォーラム)

現行(平成20年告示) 中学校学習指導要領解説 理科編より

中2 (3) 電流とその利用 (内容の取扱い)

(I) 静電気と電流について

……。また、雷も静電気の放電現象の一種であることを取り上げ、高電圧発生装置(誘導コイルなど)の放電やクルックス管などの真空放電の観察から電子の存在を理解させ、電子の流れが電流であることについて理解させる。」(p.36)

現行(平成20年告示)
中学校学習指導要領解説 理科編より

中3 (7) 科学技術と人間 (内容の取扱い)

イ 放射線の性質と利用にも触れること

(イ) エネルギー資源について

「・・・，核燃料は放射線を出していること
や放射線は自然界にも存在すること，放
射線は透過性などをもち，医療や製造業
などで利用されていることなどにも触れ
る。」 (pp.53-54)

次期(平成29年告示) 中学校学習指導要領解説 理科編より

改善・充実した主な内容 (p.13)

・第3学年に加えて、第2学年においても、**放射線**に関する内容を扱うこと

中2 (3) 電流とその利用 (内容の取扱い)

エ・・・，電流が電子の流れに関係していることを扱うこと。また，真空放電と関連付けながら**放射線**の性質と利用にも触れること。

(p.41)

次期(平成29年告示) 中学校学習指導要領解説 理科編より

中2 (3) 電流とその利用 (内容の取扱い)

①…。また、雷も静電気の放電現象の一種であることを取り上げ、高電圧発生装置(誘導コイルなど)の放電やクルックス管などの真空放電の観察から電子の存在を理解させ、電子の流れが電流に関係していることを理解させる。その際、
…… (p.43)

次期(平成29年告示) 中学校学習指導要領解説 理科編より

中2 (3) 電流とその利用 (内容の取扱い)

①…。その際、真空放電と関連させてX線にも触れるとともに、X線と同じように透過性などの性質をもつ放射線が存在し、医療や製造業などで利用されていることにも触れる。

(p.43)

次期(平成29年告示) 中学校学習指導要領解説 理科編より

中3 (7) 科学技術と人間(内容の取扱い)

㊦…。放射線については、核燃料から出ていたり、自然界にも存在し、地中や空気中の物質から出ていたり、宇宙から降り注いでいたりすることなどにも触れる。東日本大震災以降、社会において、放射線に対する不安が生じたり、関心が高まったりする中、理科においては、……

(p.65)

次期(平成29年告示) 中学校学習指導要領解説 理科編より

中3 (7) 科学技術と人間(内容の取扱い)

㊦…。理科においては、放射線について科学的に理解することが重要であり、放射線に関する学習を通して、生徒たちが自ら思考し、判断する力を育成することにもつながると考えられる。その際、他教科との関連を図り、学習を展開していくことも考えられる。(p.65)

本プロジェクトでの測定の様子



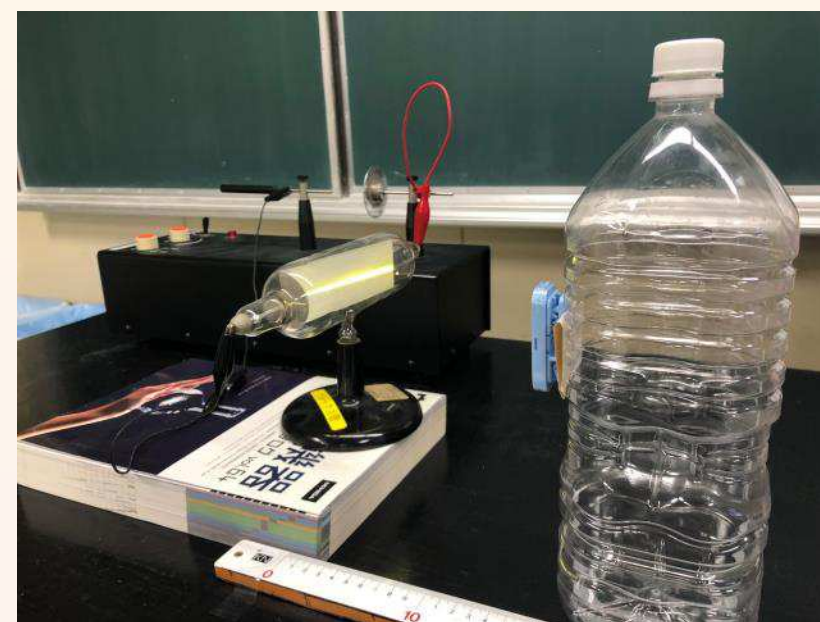
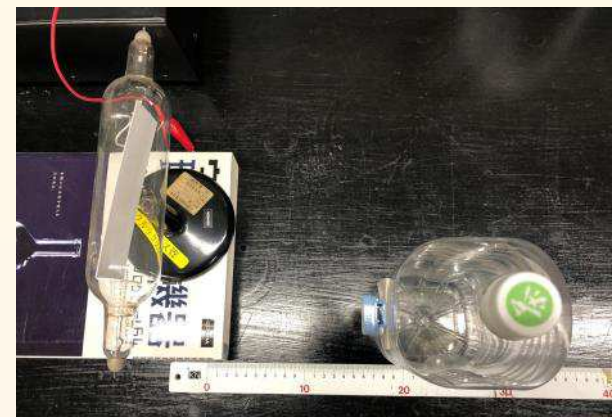
2019/12/5



東北大学 青葉山新キャンパス



本プロジェクトでの測定の様子



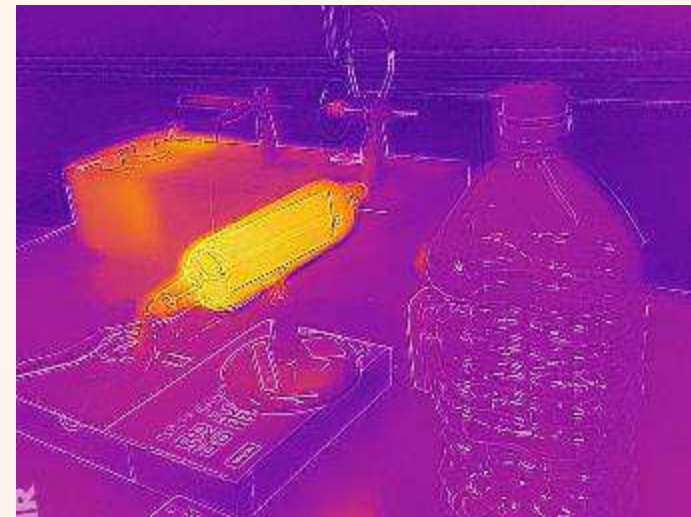
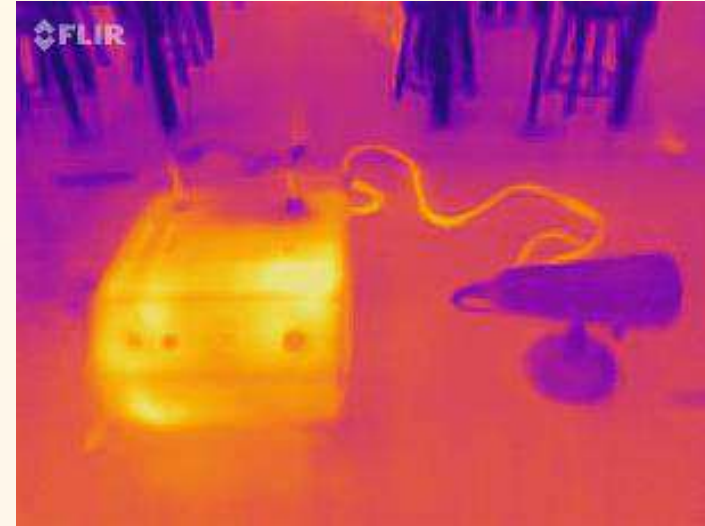
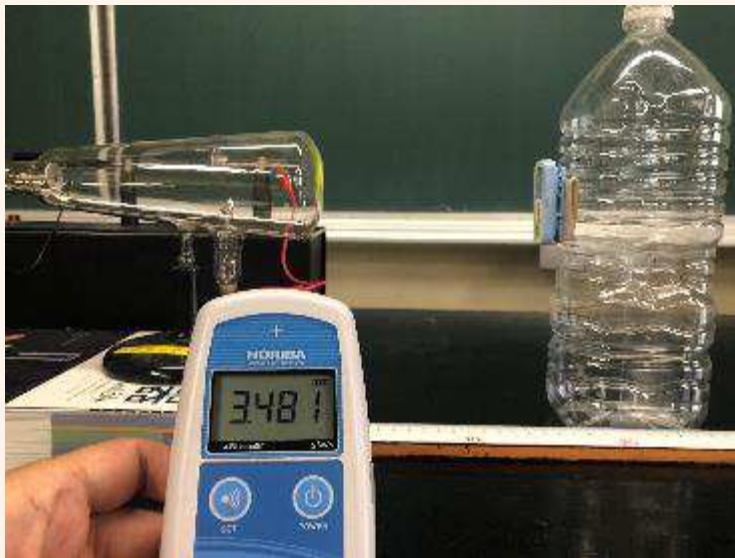
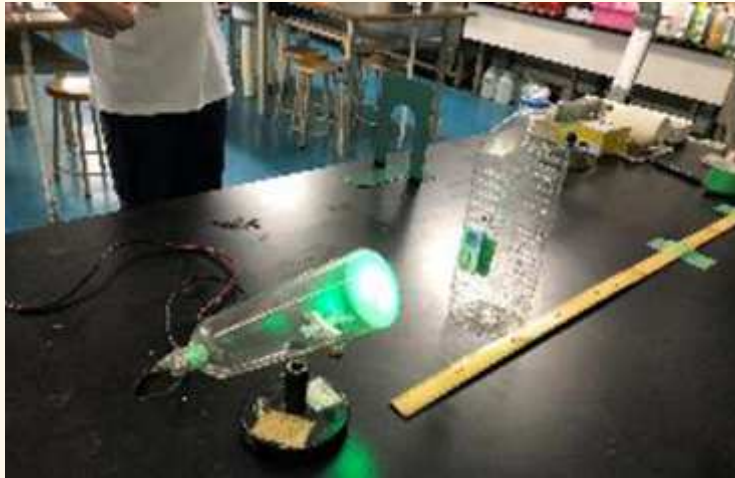
2019/12/5

東北大学 青葉山新キャンパス

37

本プロジェクトでの測定の様子

ガンマ線用の測定器で計測 →



← 赤外線カメラで撮影 ←