

研究推進機構・放射線研究センター  
平成29年度 共同利用報告会

# BaF2シンチレータを用いた クルックス管からのパルス状 低エネルギーエックス線の測定

大阪府立大学 工学研究科

安藤太一, Do Duy Khiem, 秋吉優史

# 研究背景

- 2017年中学校学校指導要領に追記があった

- 3月公布：新・中学校学習指導要領

『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』

- 6月公布：新・中学校学習指導要領解説 理科編

『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、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。』



クルックス管を用いた実験を前提にしており、  
中学校教育の現場で使用する必要性が発生

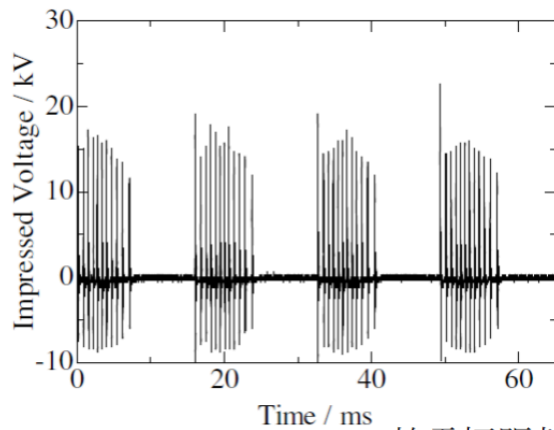
2008年3月に公布された旧・中学校学習指導要領には記載がなかった内容

# クルックス管からのX線評価に於ける問題点

- 20keV程度とエネルギーが低い  
一般向けに普及している半導体素子を用いた簡易サーベイメーターはおろか、放射線計測で信頼されている NaI シンチレーターなどもエネルギーが低すぎて全く使い物にならない。
- 電源装置が不安定である  
同じ装置を同じ設定で動作させても測定結果が大きく異なる事がある。放電極で電圧を制御している誘導コイルから出力される電圧が、天候などの要因で変化しているのではないか？
- パルス状に放出されている  
Be窓を用いた低エネルギーX線用 NaI シンチレーターなども販売されているが、**パルス場**であるためパイルアップしてしまい非常に小さい値しか示さない。Be窓のGe検出器や、CdTe検出器での測定も、非常に小さなコリメーターを使いカウントレートを落とす必要がある。

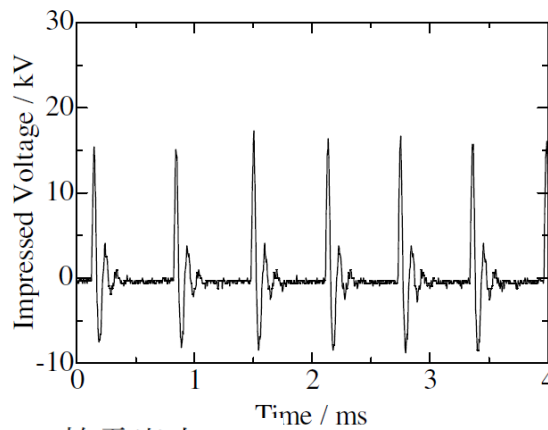
# 誘導コイルを用いた高圧の印加について

電磁石を使った機械的な接点のON/OFF動作により発生したパルス状の電流を一次コイルに流し、極端に巻き数の違う二次コイルによって電圧を増幅させている

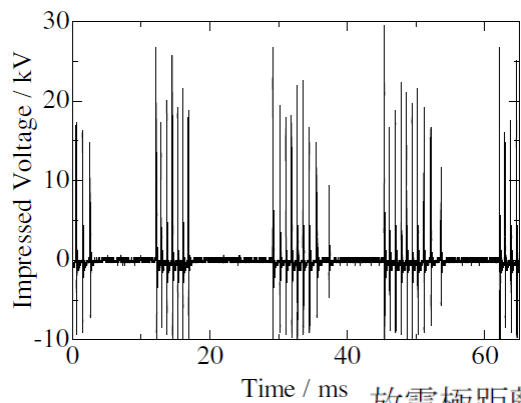
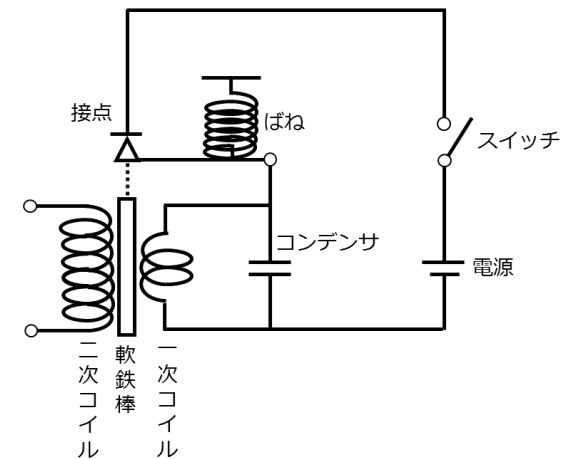


Time / ms

放電極距離 20mm 放電出力 0  
電流  $40 \mu\text{A}$ , 線量率  $120 \mu\text{Sv/h}$

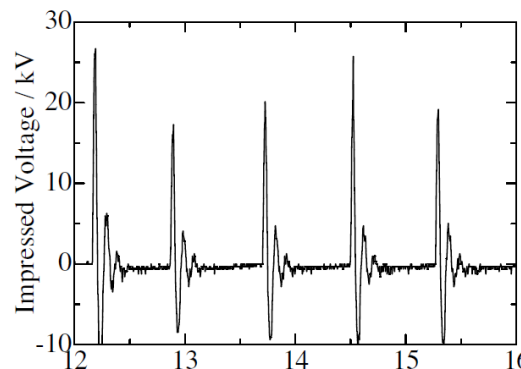


Time / ms



Time / ms

放電極距離 20mm 放電出力 3  
電流  $75 \mu\text{A}$ , 線量率  $1.05\text{mSv/h}$



Time / ms

出力される高電圧パルス  
は幅 $20\mu\text{s}$  で $1\text{ms}$ 間隔

# 低エネルギー用NaIシンチレーターでの測定



富士電機 NHC6

φ12.7×12.7mm NaI シンチレーター

測定範囲 X線 8~300keV (～60μSv/h)

γ線 50~1500keV (～600μSv/h)



Rigaku Get Smart XU

NaI シンチレーター

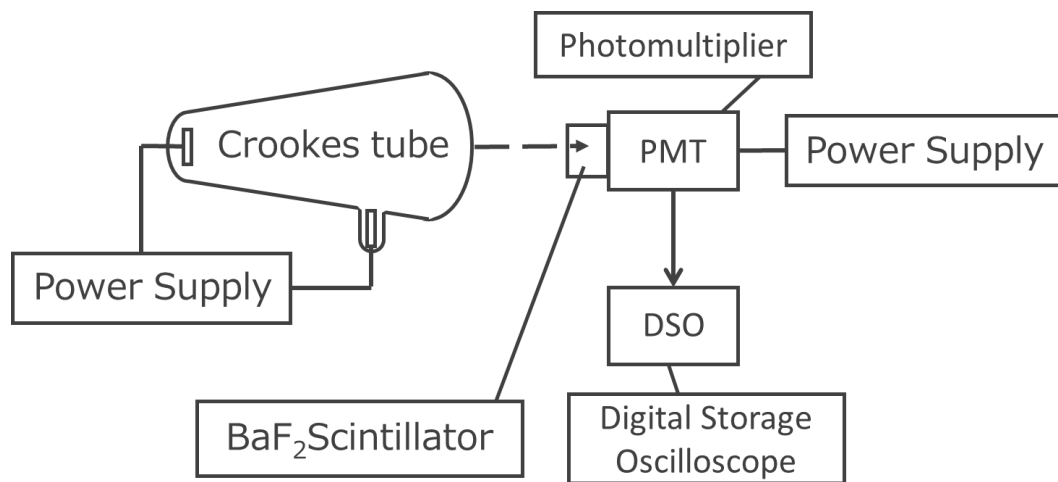
測定範囲 5~300keV (～10μSv/h)

通常の NaIシンチレーションサーベイメーター TCS-172 だけでなく、  
低エネルギー測定が可能な新製品でも正常な評価が出来ない。

時間的に一様な放射線場ではなくパルス場である事が原因

# パルス場計測システムの構築

- BaF<sub>2</sub>シンチレータ ⇒ 反応速度が速い
- 紫外光を検出可能なPMT  
(浜松ホトニクス H33778-51)
- 高時間分解能で測定が可能なDSO (2.5GS/s 200MHz)  
(TELEDYNE LECROY HDO 4024A-MS)
- システムを構築し,30cm地点の線量の計測を行った

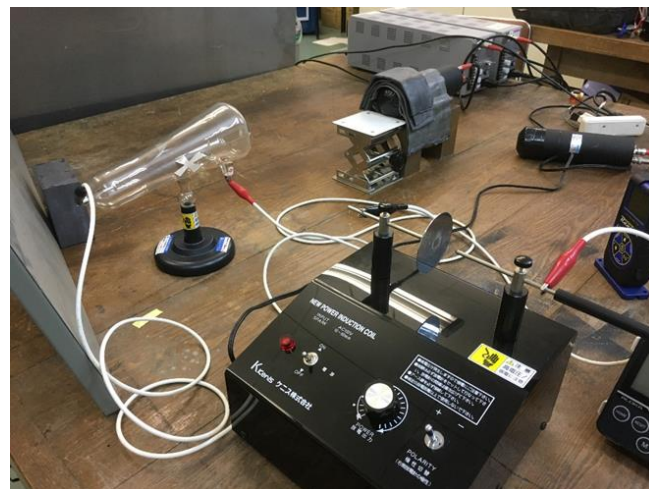


パルス場計測システム構成図

NaIとBaF<sub>2</sub>シンチレータとの性能比較

シンチレータ	NaI	プラシン	BaF <sub>2</sub>
密度(g/cm <sup>3</sup> )	3.67	1	4.88
発光減衰時間(ns)	230	1.6	0.8
発光出力(NaI比)	100	25	4

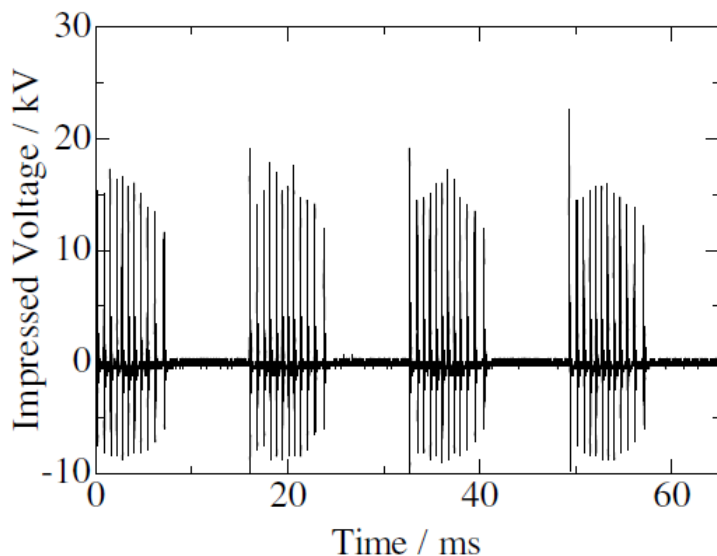
※GM管の不感時間は100 μs程で数え落としが発生する



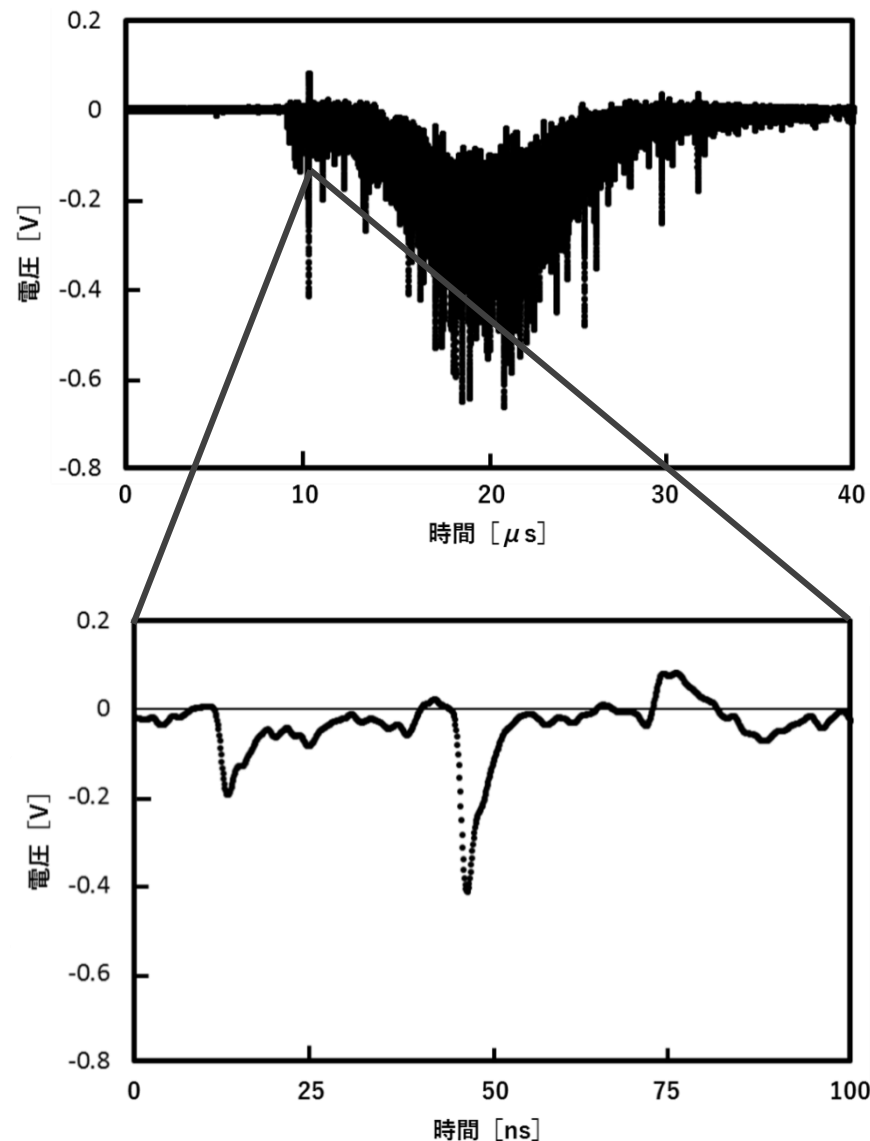
計測の様子

# 計測結果

- ・多くの信号が重なりパイルアップした信号が確認できた
  - ・信号は約 1 msおきに出力されていた  
→高電圧パルスの間隔と概ね一致
  - ・511keVの $\gamma$ 線を計測した場合と同程度の波高を有していた
- ⇒新たな実効線量算出手法の検討が必要



誘導コイルから出力される高電圧パルス



クルックス管由来のX線を計測した結果

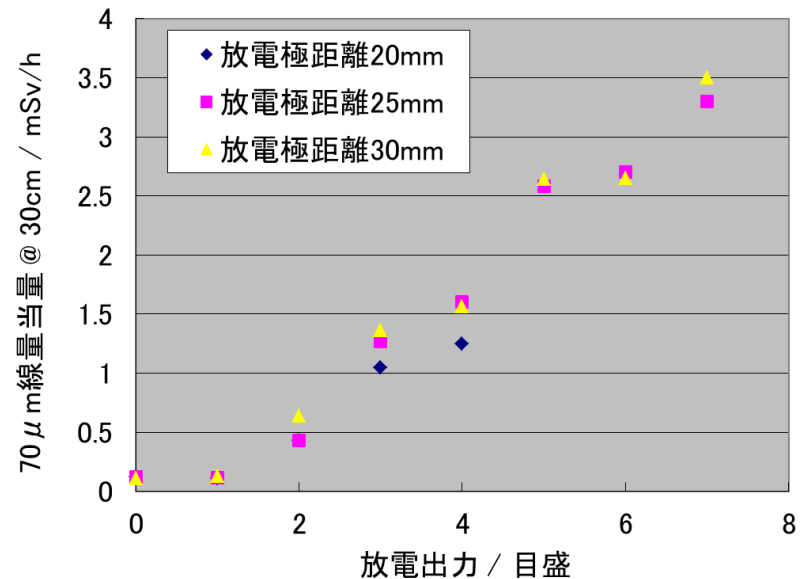
# パルス型X線の実効線量の検討

- 計測された波高から何本のX線が重なり、パイルアップしたものかを計算  
⇒1パルスあたり  $5.7 \times 10^3$  本の20keV X線が重なっていた
- 1 msおきで間欠的にパルス型X線が放出される  
⇒ 1時間当たりの20keV X線の本数： $2.1 \times 10^{10}$  [/h]
- BaF<sub>2</sub>シンチレータの直径Φ40mm  
⇒Φ40mm に入射するX線のエネルギーフラックス： $6.7 \times 10^{-5}$  [J/h]
- 水厚さ1cmに50%エネルギーが吸収されるとして吸収線量率を算出  
⇒30cm地点での 吸収線量率： $2.7$  [mGy/h]

電離箱30cm地点での70μm線量当量  
0.3~3.5 [mGy/h] の範囲



2つの結果は概ね一致し、  
測定方法の有用性が検証できた



放電出力と70 μm線量当量 30cmの相関



## まとめと今後の展望

- 正確な波形の観察が難しい,クルックス管由来のX線の評価方法を検討
- クルックス管由来のパルス状X線の計測を行った  
⇒計測結果から,吸収線量を検討し、  
概ね妥当な数字を得ることが出来た

クルックス管の条件を変更し,  
他の計測方法と比べ相関が得られるか確かめる



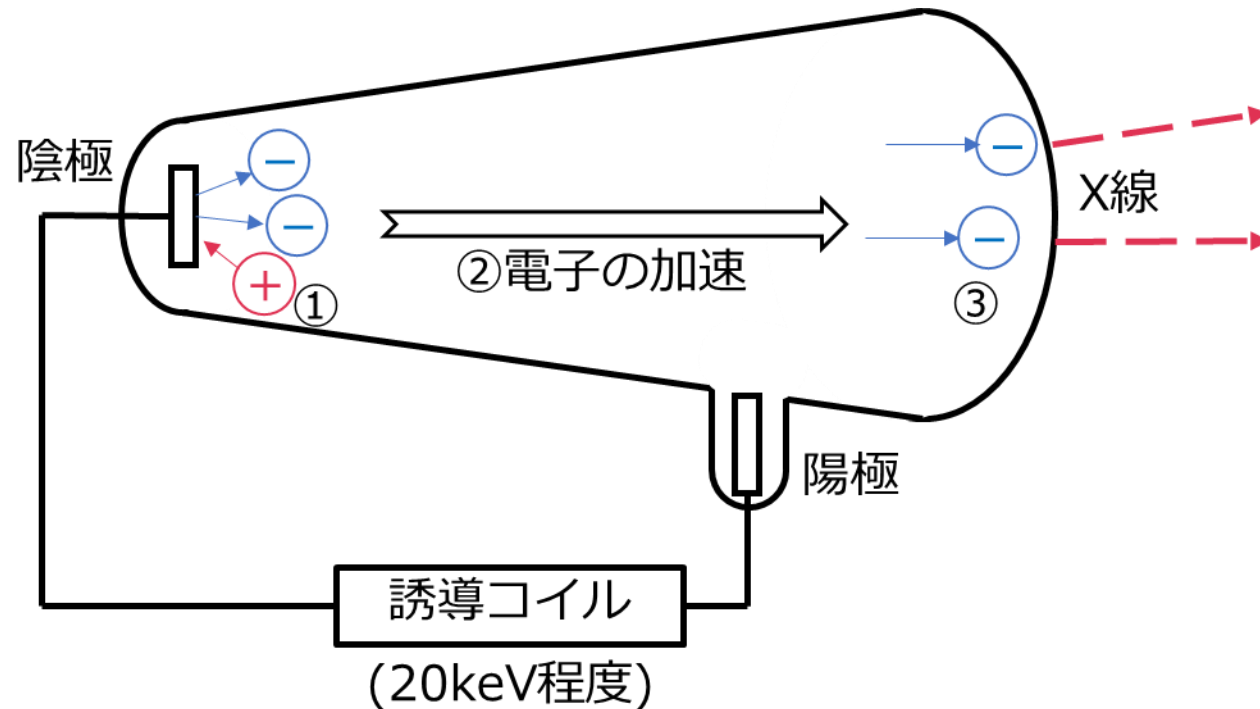
クルックス管から放出されるX線を  
最低限度に抑える実験体系の構築を目指す

# 補足資料

# クルックス管によるX線の発生

① +のイオンが-極に引きつけられて電子を叩き出す  
(二次電子放出)

③電子がガラス管の壁に衝突するときに、制動放射X線を放出する



X線のエネルギーは、最大でもクルックス管にかけた電圧程度で、発生時のスペクトルのピークは印加電圧の半分程度。

実際にはクルックス管自体を構成するガラス管により発生したX線が減衰するため、漏洩するX線はエネルギーの高い成分が中心。

簡単な構造の冷陰極により電子ビームの発生が可能だが高い電圧が必要で誘導コイルが用いられる