平成 27 年度　利用報告書

課題名（タイトル）：

ガス電子増幅フォイルの電場シミュレーション

利用者氏名：　○西田　和樹*、北口　貴雄*、窪田　恵*

所属：*仁科加速器研究センター　RIBF　研究部門　玉川高エネルギー宇宙物理研究室

１．　本課題の研究の背景、目的、関係するプロジェクトとの関係

我々は科学衛星に搭載する X 線検出器のオンボード較正用の変調型 X 線発生装置（MXS）を開発している。X 線検出器のエネルギー較正には、エネルギーが既知の特性 X 線などを入射させる必要がある。一般的に放射性同位体が用いられるが、その X 線発生過程はポアソン統計に従うランダムなものであり X 線発生のタイミングを正確に知ることができない。MXS は変調に合わせて X 線が発生するので、その発生タイミングを知ることが可能であり、発生の瞬間のデータだけを切り出して観測と較正を時間で切り分けることができる。我々は衛星への搭載を目指して、針葉樹型カーボンナノ構造体（CCNS）とガス電子増幅フォイル（GEM）を組み合わせたものを冷陰極電子源とした、変調型 X 線発生装置（CCNS-MXS）を開発した。

CCNS は炭素構造体が針葉樹型を形成していて、先端がカーボンナノチューブのように尖っている。そのため 10 kV/cm 以上の電場に置くと電子電界放出によって電子を発生する。GEM は 100 μm 以下の厚さをもつ絶縁体の片面に 10 μm 厚の銅極板が付いており、Φ100 μm オーダーの貫通穴が規則正しくあいた構造をしている。CCNS に GEM を被せて GEM 極板に 100 V の電圧を印加すると、GEM 穴の中には 10 kV/cm 以上の電場が形成され CCNS から電子が飛び出す。この電子を別の電場で加速させてターゲット金属に衝突させることで X 線を発生させる。GEM に印加する電圧を任意にコントロールすることで、X 線の発生タイミングを任意にコントロールできる。

GEM の穴径、厚さ、開口率等のパラメータによって発生する X 線の効率は変化する。例えば、穴径を小さくすると穴の中心での電場の減衰が小さくなるが、引き出された電子が電極に引きつけられてターゲット電極に飛んで行く割合が小さくなることが予想される。そのためパラメータごとの GEM 内での電場構造を数値的に計算し、最適な値を調べる。

２．　具体的な利用内容、計算方法

得られる電子の効率を調べるためには、GEM 内での電場強度分布を計算する必要がある。HOKUSAI で利用できる有限要素法ソルバー ANSYS により GEM のジオメトリを構築して電場分布を計算した。

３．　結果

実験で実際に使用している穴径Φ300 μm、厚さ 75 μm の GEM の ANSYS での電場分布計算結果を図 1 に示す。穴の端付近に比べて中心付近では電場が小さくなっており、電場が適切に形成されていないことを示している。図 2 にΦ100 μm、厚さ 75 μm の GEM の ANSYS での電場分布計算結果を示す。穴径Φ100 μm になるとΦ 300 μm のときよりも中心付近での電場が大きくなっており、CCNS の感じる電場が大きくなっていることがわかった。CCNS から引き出された電子は、一部が GEM 電極に引きつけられ損失となるが、その割合がどの程度になるかは、今後、CERN が開発しているオープンソースソフトウェア Garfield++（http://garfieldpp.web.cern.ch/）に ANSYS での計算結果を読み込ませて、電子輸送をシミュレートすることで、定量的に評価する予定である。

４．　まとめ

X 線発生装置で発生する X 線の効率を上げるために、 ANSYS を利用して GEM による電場形成を数値計算した。その結果、現在の実験ジオメトリでは穴中心付近でうまく電場が形成されず、電場が弱まっていることがわかった。絶縁体の厚みをそのままにして穴径を小さくすると、穴の中心付近での電場の減衰が小さくなることがわかった。

５．　今後の計画・展望

GEM の幾何学的なパラメータを変えて ANSYS によって電場分布計算を行う。その結果を Garfield++ に読み込ませることで定量的に、GEM のパラメータごとに得られる X 線の効率を評価して、最適な GEM パラメータを決定する。決定されたパラメータの GEM を実際に作成し、実験によって X 線発生の効率が上昇したことを確かめる。

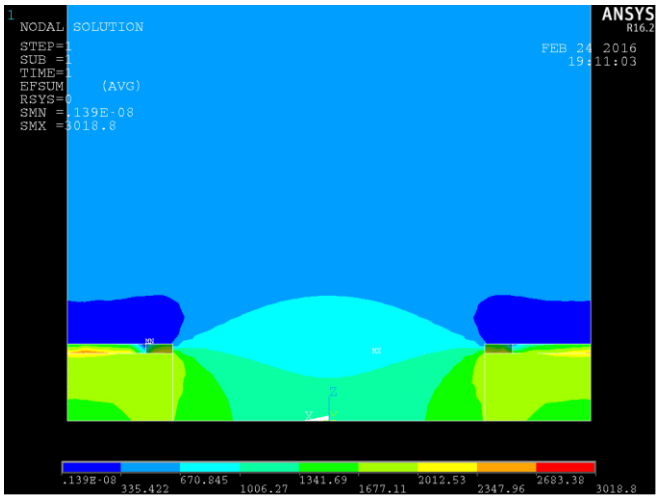

図１．穴径Φ300 μm、厚さ 75 μm の GEM の ANSYS での電場分布シミュレーション結果。カラーマップが電場強度を表す。電圧は、電圧/厚さ=10 kV/cm になるようにした。

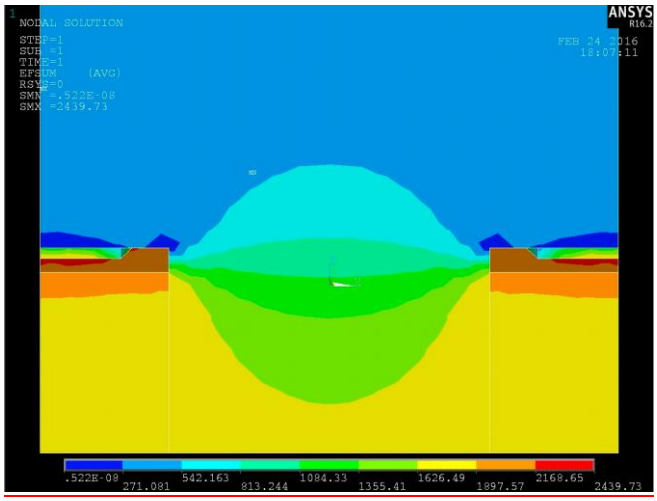

図 2. 穴径Φ100 μm、厚さ 75 μm の GEM の ANSYS での電場分布シミュレーション結果。カラーマップが電場強度を表す。電圧は、電圧/厚さ=10 kV/cm になるようにした。