



2017. 11. 8  
第14回宇宙環境シンポジウム  
@神戸大学 先端融合研究環統合研究拠点コンベンションホール

# ダイヤモンド半導体の被ばく線量計への応用に関する研究

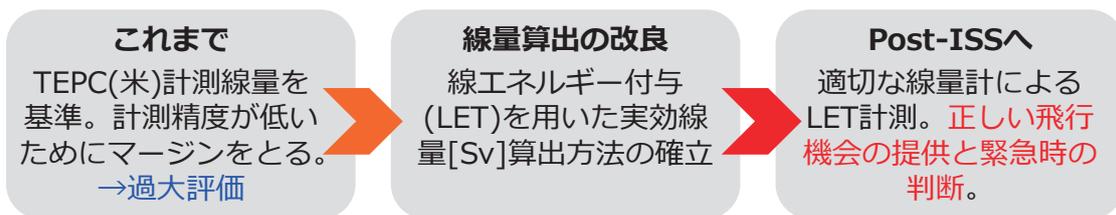
○上野遥<sup>a</sup>、松本晴久<sup>a</sup>、金子純一<sup>b</sup>、  
平野慎太郎<sup>b</sup>、小林進悟<sup>c</sup>  
<sup>a</sup> JAXA, <sup>b</sup> 北海道大学, <sup>c</sup> 量子科学技術研究開発機構



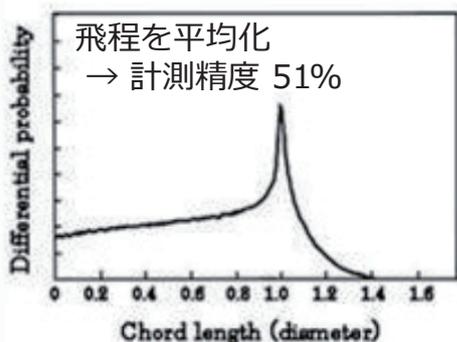
## 研究の背景 (1/2)



- ・ ポスト国際宇宙ステーション(ISS)での被ばく管理の検討



TEPCの応答関数



ISS 宇宙飛行士の生涯実行線量制限値

初飛行年齢	男性 [mSv]	女性 [mSv]
27 - 30	600	500
31 - 35	700	600
36 - 40	800	650
41 - 45	900	750
46 以上	1000	800

癌死亡率が3%を超えない線量に設定



## 研究の背景 (2/2)



### 理想的な宇宙被ばく線量計に必要な条件

① LET 計測	④ 高線量場での計測
② 生体組織等価性	⑤ 長期安定性 (センサ劣化、耐放射線性)
③ 混合線種場での計測	⑥ 計測精度 < 30% (ICRP勧告より)

### 既存の技術

項目	TEPC (米)	PS-TEPC (日)	RRMD (日)
センサ	生体等価ガス	生体等価ガス	シリコン半導体 (固体)
生体等価性	○	○	×
LET計測	×	○	○
全方向性	○	○	x (設計により○)
長期安定性	×	×	○
精度	> 35%	< 30%	~ 10%

2017.11.8 第14回宇宙環境シンポジウム@神戸大学 先端融合研究環統合研究拠点コンベンションホール

3

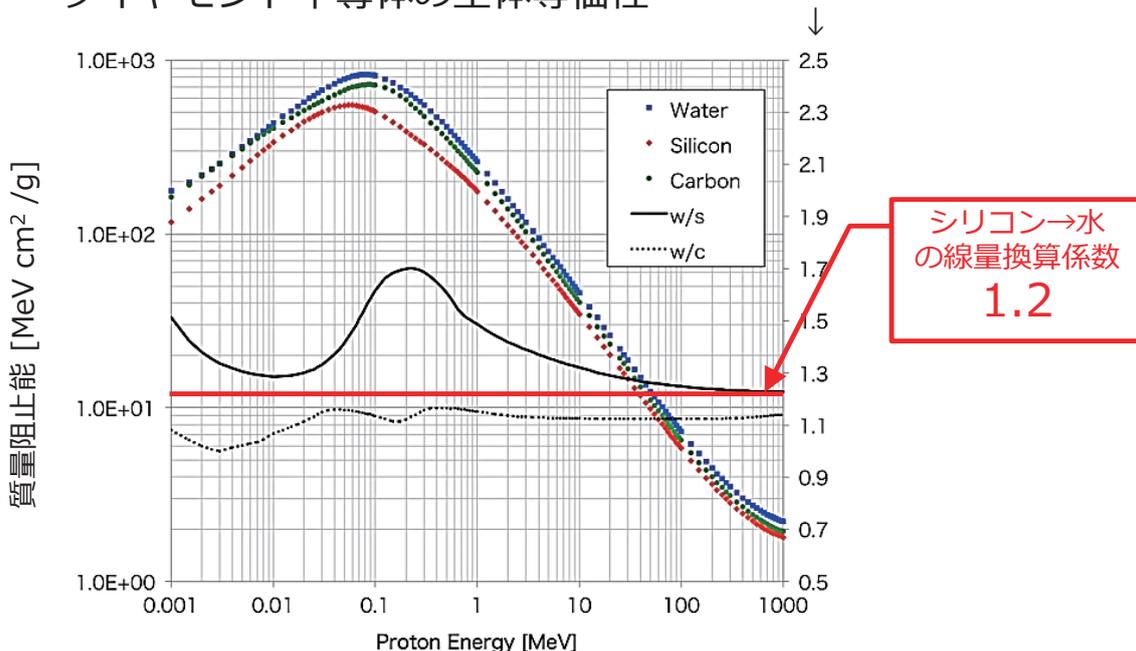


## 本研究の目的



### ダイヤモンド半導体の生体等価性

水に対する比率



2017.11.8 第14回宇宙環境シンポジウム@神戸大学 先端融合研究環統合研究拠点コンベンションホール

4



## 開発・研究項目



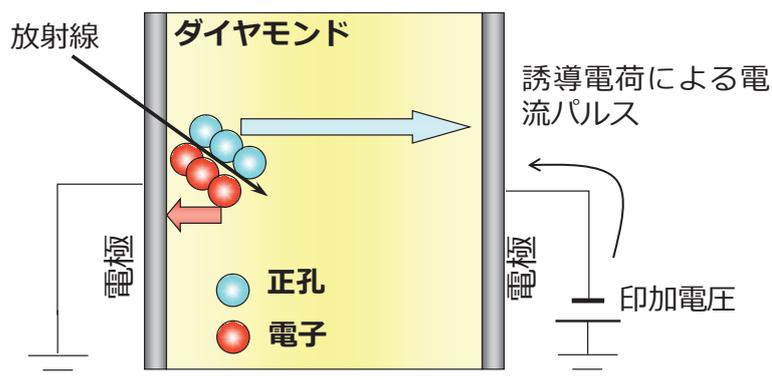
- 高電荷収集率ダイヤモンド結晶合成技術の確立
  - プラズマCVD法
  - 北海道大学との共同研究（歩留まりが良い）
- エネルギー分解能の評価（proton, Fe）
  - シリコン検出器との比較
- ポーラリゼーションの有無
  - パルスのカウントが減少し、パルスのピークが低下する現象
  - プロトンの長時間照射により検証する
- 積層型ダイヤモンドセンサの開発可能性の検証
  - ダイナミックレンジ（プロトンから鉄イオンまで）の確保のため
- 結晶の一様性の確認
  - 位置検出器への応用のため

2017.11.8 第14回宇宙環境シンポジウム@神戸大学 先端融合研究環統合研究拠点コンベンションホール

5



## ダイヤモンド放射線検出器動作原理



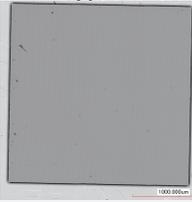
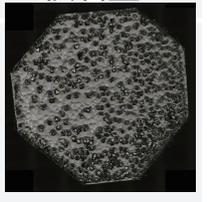
- 全空乏層型であり、基本的に電離箱と同様の放射線検出原理をとる。
- 構造欠陥や不純物、粒界等による電荷キャリア捕獲が性能に大きく影響する。

2017.11.8 第14回宇宙環境シンポジウム@神戸大学 先端融合研究環統合研究拠点コンベンションホール

6



# 試験したダイヤモンド結晶一覧

評価対象	E6_01	Hu_01	Hu_02	Hu_03
合成元	Element Six	北大	北大	北大
項目	Energy分解能	積層型	積層型	積層型
レーザー顕微鏡観察				
面積	~10 mm <sup>2</sup>	~ 25 mm <sup>2</sup>	~ 25 mm <sup>2</sup>	~ 25 mm <sup>2</sup>
膜厚	322 um	87 um	70 um	94 um
電荷収集率* (e <sup>-</sup> )	99.1 %	~98.6 %	~101.2 %	~97.2 %
電荷収集率 (h)	99.3 %	~99.5 %	~99.7 %	~98.7 %

\*電荷収集率：シリコンとダイヤモンドの平均電子・正孔対生成エネルギーをそれぞれ 3.62 eV, 13.6 eVとして算出。

2017.11.8 第14回宇宙環境シンポジウム@神戸大学 先端融合研究環統合研究拠点コンベンションホール

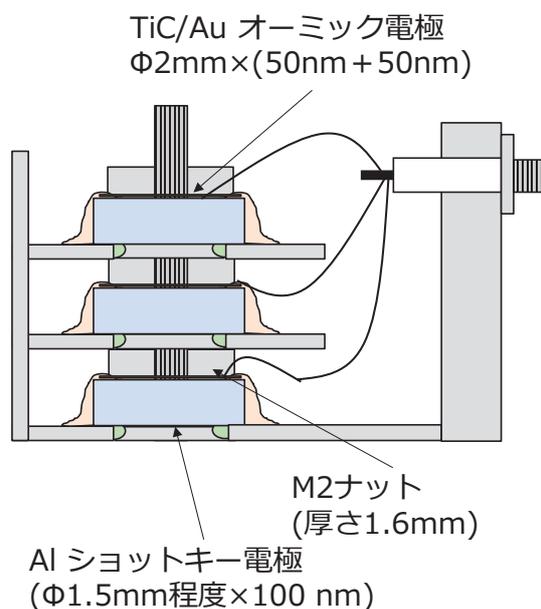
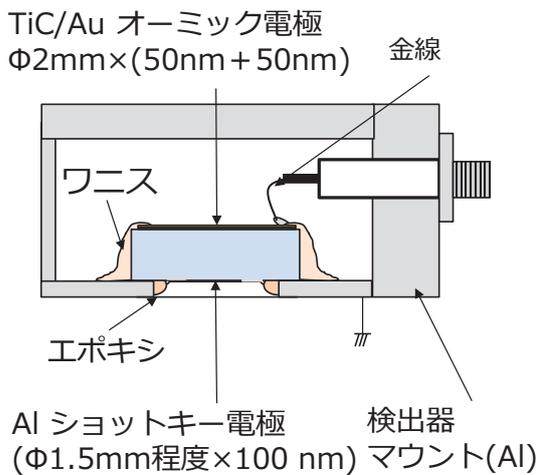


## センサ構造



### 単層型（エネルギー分解能）

### 積層型



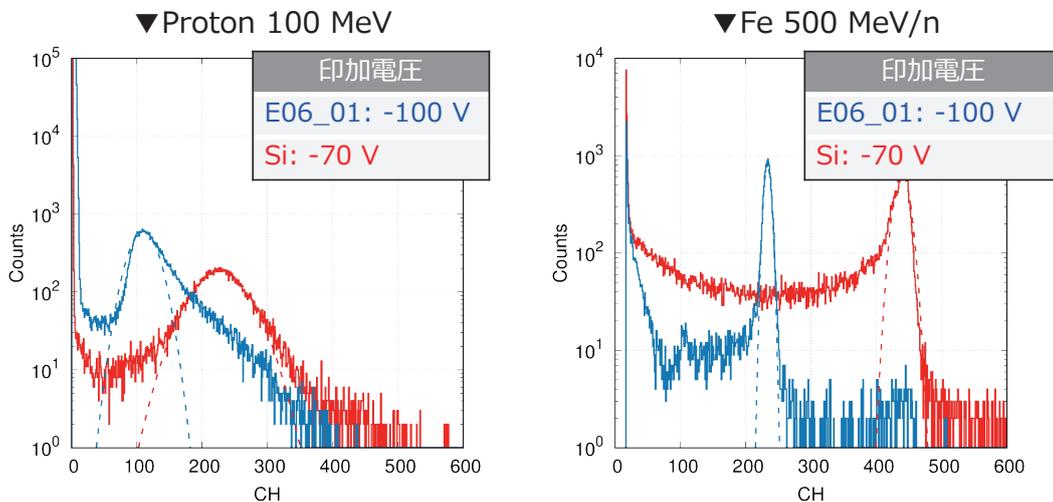
2017.11.8 第14回宇宙環境シンポジウム@神戸大学 先端融合研究環統合研究拠点コンベンションホール



# 照射試験（エネルギー分解能）



- ダイヤモンド(320 um)と Si (80 um) のヒストグラム比較



項目	E6_01	Si
100 MeV proton	0.40	0.43
500 MeV/n Fe	0.06	0.05

エネルギー分解能は  
ほぼシリコンと同等

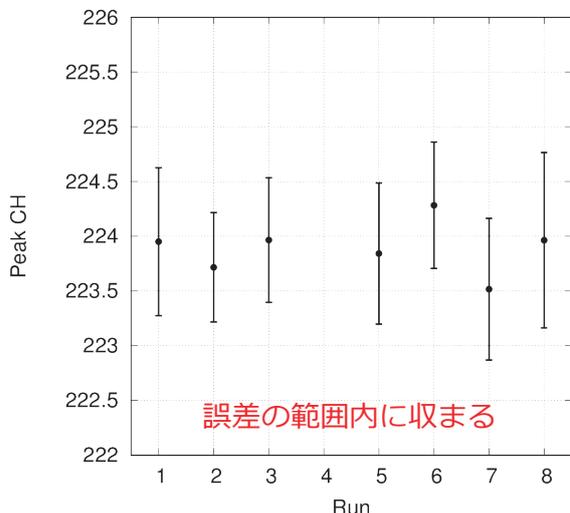


# 照射試験（長時間照射）



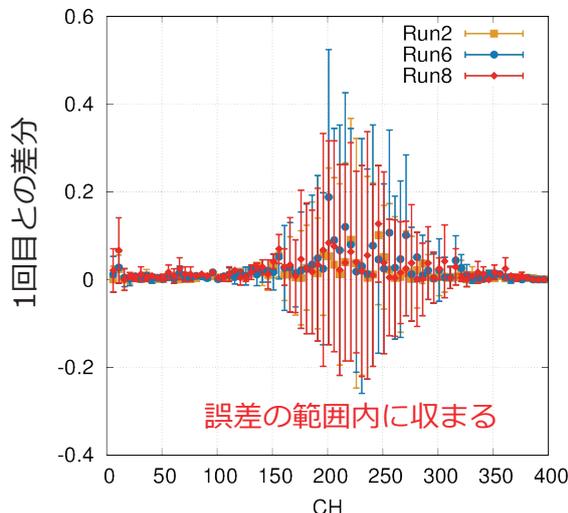
- ポーラリゼーションが起きるかの確認
  - パルスのカウントが減少し、パルスのピークが低下する現象
  - 15分間照射し、データ取得（約5分間）を8回繰り返し（計2h）

ピーク CH の変化



誤差の範囲内に収まる

係数率の変化



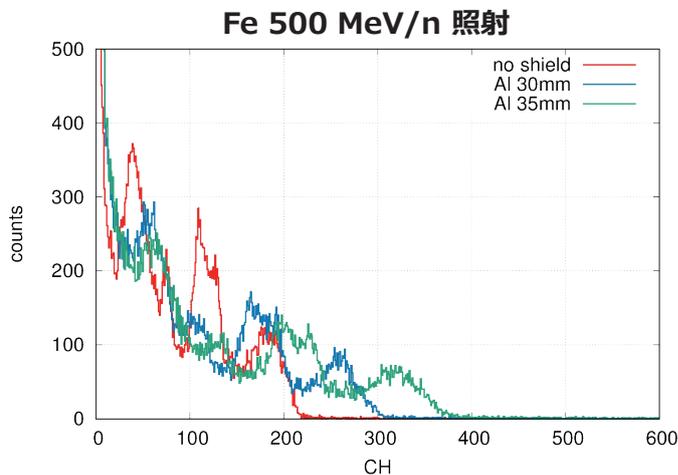
誤差の範囲内に収まる



## 照射試験（積層型の可能性）



- 3枚積層し、一つの信号ラインから読み出す



→ 複数の山が観測された

### 原因

- ビームが並行光でない
- ビームをコリメートできていない
- センサ間の幅が大きい

↓  
1段目まで入射できたイベント

2段目       "

...

と、出力電圧が複数のパターンに分かれてしまった。

試験のセットアップならびに  
センサの構造の改良の余地有り



## 結論と今後の課題

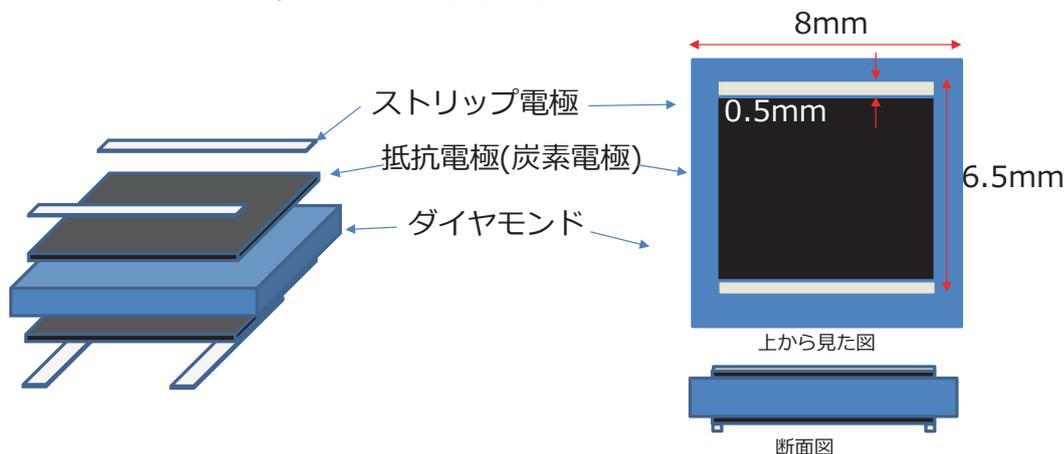


- 本年度の研究項目
  - ① エネルギー分解能の評価 (proton, Fe)
    - ✓ プロトンと鉄のエネルギー損失を計測し、その分解能はシリコンとほぼ同等であることが確認された
  - ② ポーラリゼーションの有無
    - ✓ 長時間計測により、出力電圧のピーク値および計測率について有意な変化は観測されなかった
  - ③ 積層型ダイヤモンドセンサの開発可能性の検証
    - ✓ 3層から1chでの読み出しができることは確認されたが、構造や試験のセットアップの問題により、完全な動作確認ができなかった。改良が必要。
- 今後のスケジュール
  - 位置検出型センサの試作と動作テスト



## 抵抗分割型位置検出器製作案

ダイヤモンド試料両面に炭素電極をベタ蒸着  
 → ストリップ電極を交差するように両面に製作する  
 アイデアは文献[1][2]から引用



[1] M. Ciobanu, M. Pomorski, E. Berdermann, C. Bunescu, H. Comişel, V. Constantinescu, M. Kiš, O. Marghitu, M. Träger, K.O. Voss, P. Wieczorek, Simulations and Test Results of Large Area Continuous Position Sensitive Diamond Detectors, *Diam. Relat. Mater.* 65 (2016) 115–124.

[2] A. Banu, Y. Li, M. McCleskey, M. Bullough, S. Walsh, C.A. Gagliardi, L. Trache, R.E. Tribble, C. Wilburn, Performance evaluation of position-sensitive silicon detectors with four-corner readout, *Nucl. Instruments Methods Phys. Res. Sect. A Accel. Spectrometers, Detect. Assoc. Equip.* 593 (2008) 399–406.



## 謝辞



- 本研究で実施した照射試験は、放医研重粒子線がん治療装置の共同利用の一環として行なわれた。
- 共同利用時にご協力いただいた関係者に深く感謝したい。