

# カーボン素材を用いた大強度3 MeV H-ビーム用バンチシェイプモニター

R. Kitamura, K. Futatsukawa<sup>A</sup>, N. Hayashi, K. Hirano,  
S. Kosaka<sup>B</sup>, T. Miyao<sup>A</sup>, K. Moriya, Y. Nemoto<sup>B</sup>, H. Oguri

JAEA, <sup>A</sup>KEK, <sup>B</sup>NAT

WEOI04

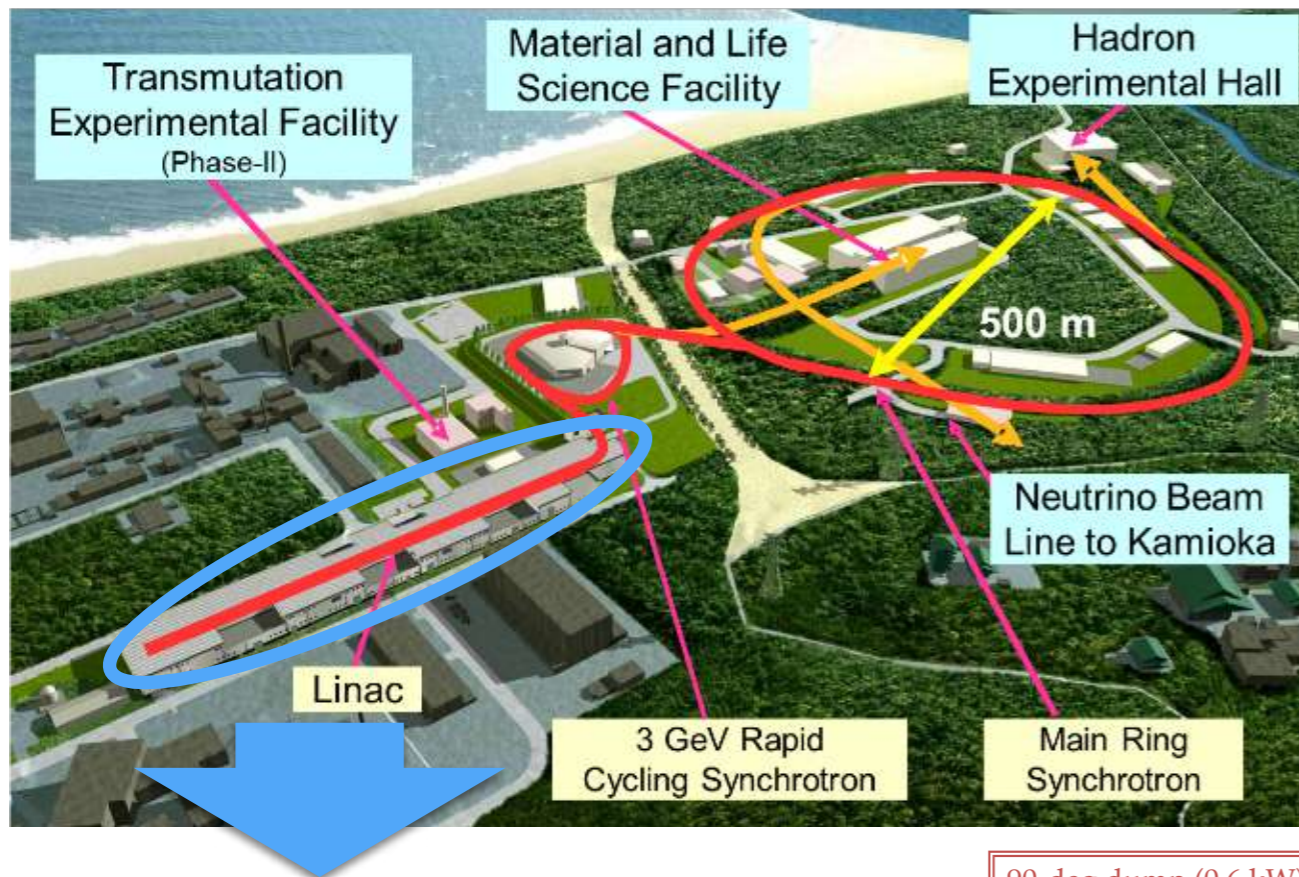
第16回日本加速器学会年次大会@京都大学

July 31st 2019

# Outline

- J-PARC linacとバンチシェイプモニター(BSM)
- カーボンナノチューブ(CNT)ワイヤーとグラフェン薄板
- 高圧印加試験による特性評価
- ビーム試験結果
- Summary

# J-PARC linac

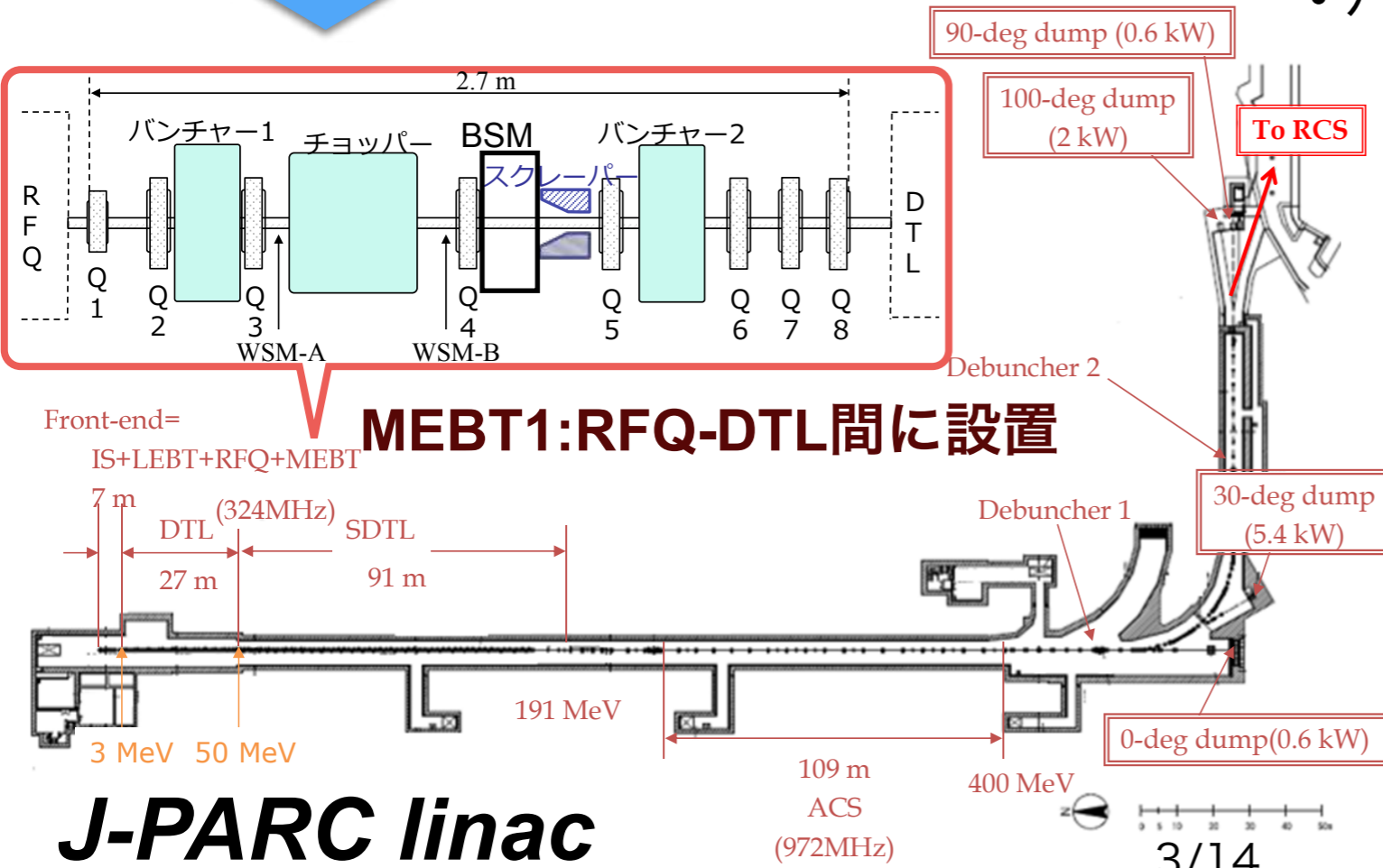


## 大強度陽子加速器施設J-PARC

- linac、RCS、MRから構成。
- MLF、ハドロン、ニュートリノの各実験施設へ大強度ビームを供給。

## linacの構成

- イオン源→RFQ→DTL→SDTL→ACS
- バンチシェイプモニタ：MEBT1に設置。

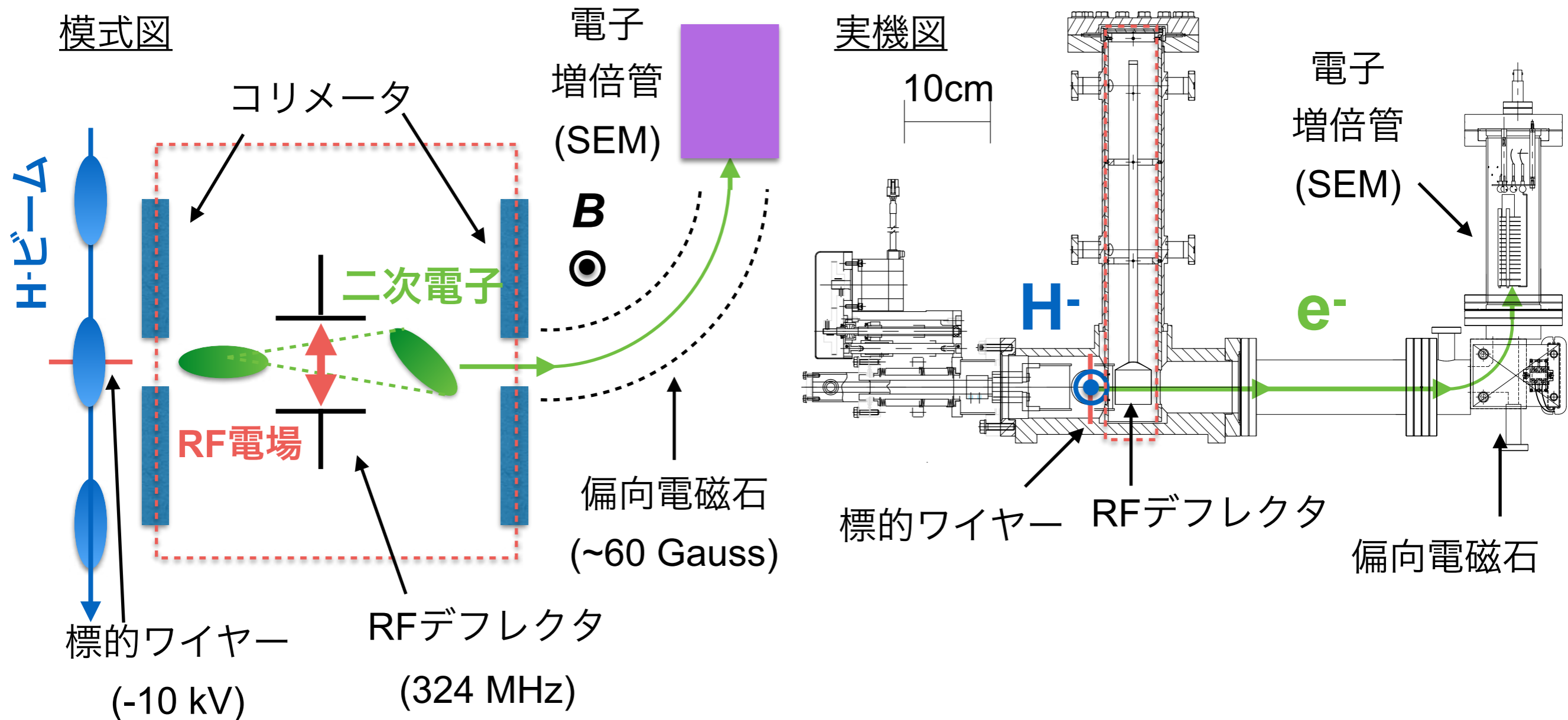


## J-PARC linac 基本パラメータ

加速粒子	H <sup>+</sup>
エネルギー	400 MeV
ピーク電流	50 mA
繰り返し周期	25 Hz

**J-PARC linac**

# バンチシェイプモニター(BSM)の測定原理

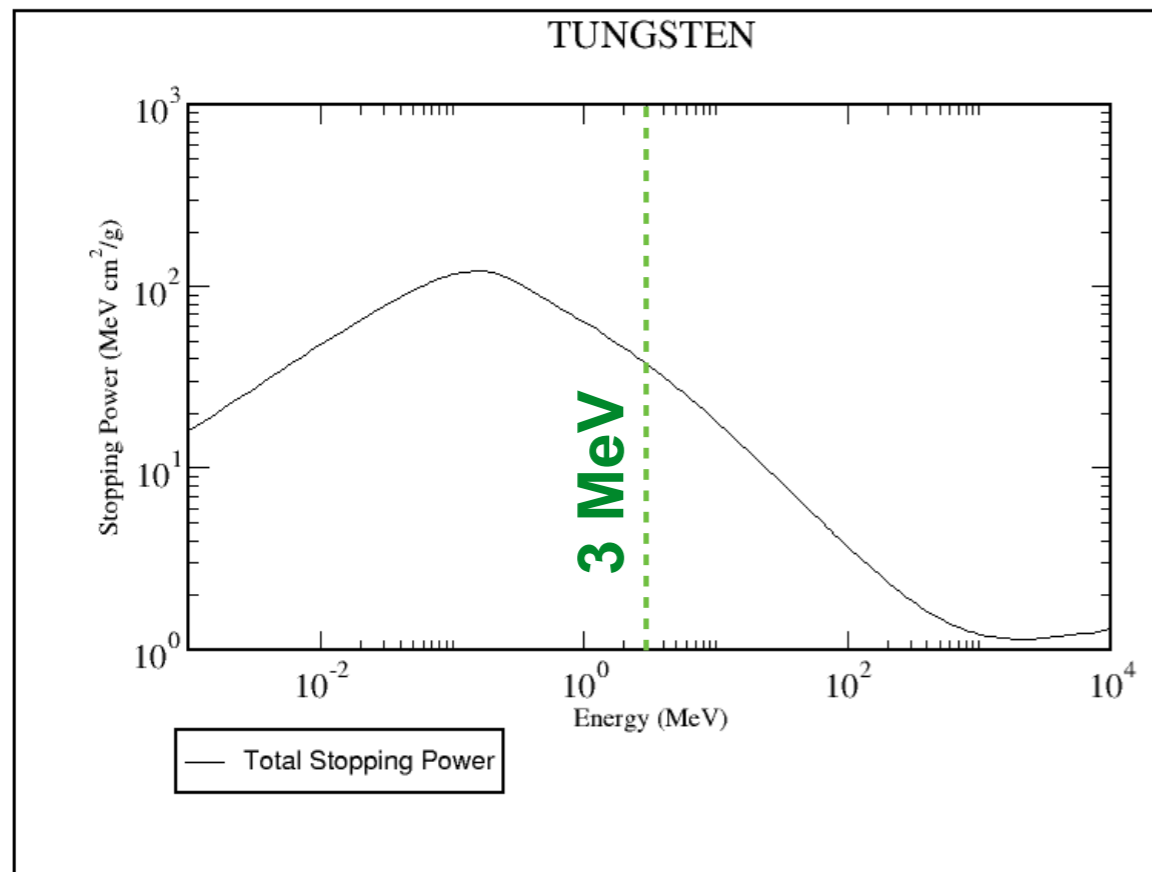


- H-ビームが標的ワイヤーに当たった際に生じた二次電子を収集。
- 放出された二次電子の時間情報をRF電場で位置変調してコリメータで切り出し。
- 偏向電磁石により、ワイヤー電場で加速された電子を選別。
- RF位相をスキャンしながら二次電子量の変化を見ることでビームバンチ幅を測定。

# 大強度3-MeV H-ビーム用BSM

陽子ビームによるエネルギー損失

BSM用ワイヤー素材毎の特性@ 3 MeV 陽子ビーム



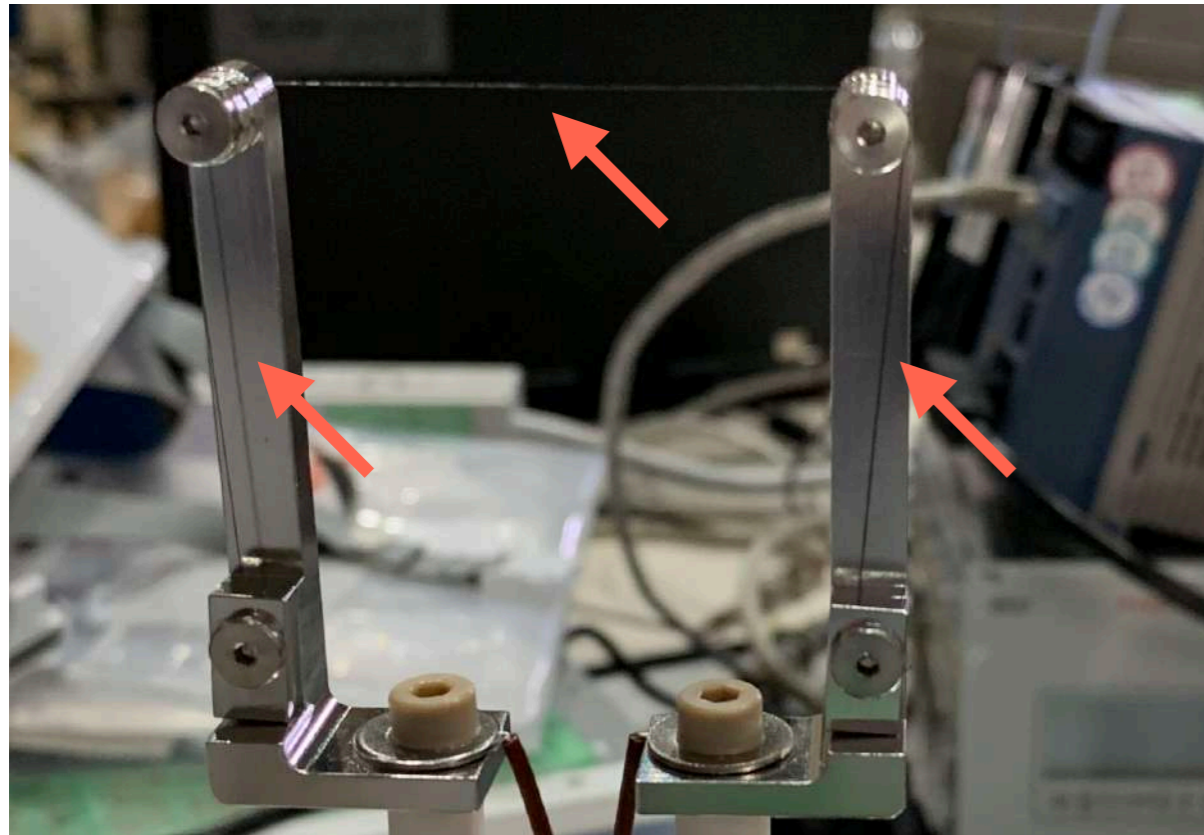
標的素材	密度 [g/cm <sup>3</sup> ]	エネルギー損失 @0.1 mm [MeV]
タングステン	19.3	7.19
CNT	0.56	0.58
グラフェン	2.22	2.30

<https://physics.nist.gov/PhysRefData/Star/Text/PSTAR-t.html>

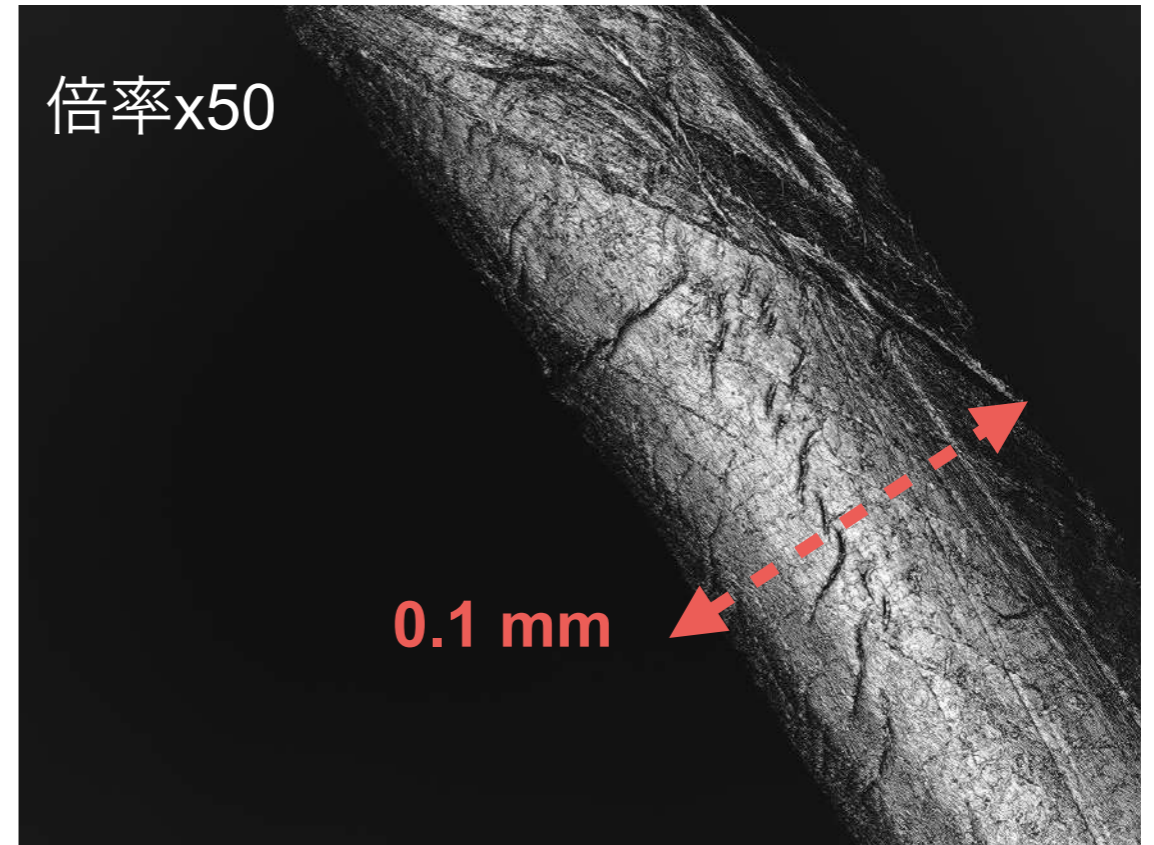
- 既存のMEBT1 BSM：タングステンワイヤーを使用
  - MEBT1の大強度3-MeV H-ビームの中心部を測定する場合、エネルギー損失が大きく断線する
- **MEBT1のバンチ幅測定にはビーム中心部で測定可能な標的ワイヤー素材の選定が必要。**

# カーボンナノチューブ(CNT)ワイヤー

ワイヤーホルダーに設置したCNTワイヤー



レーザー顕微鏡での観察結果

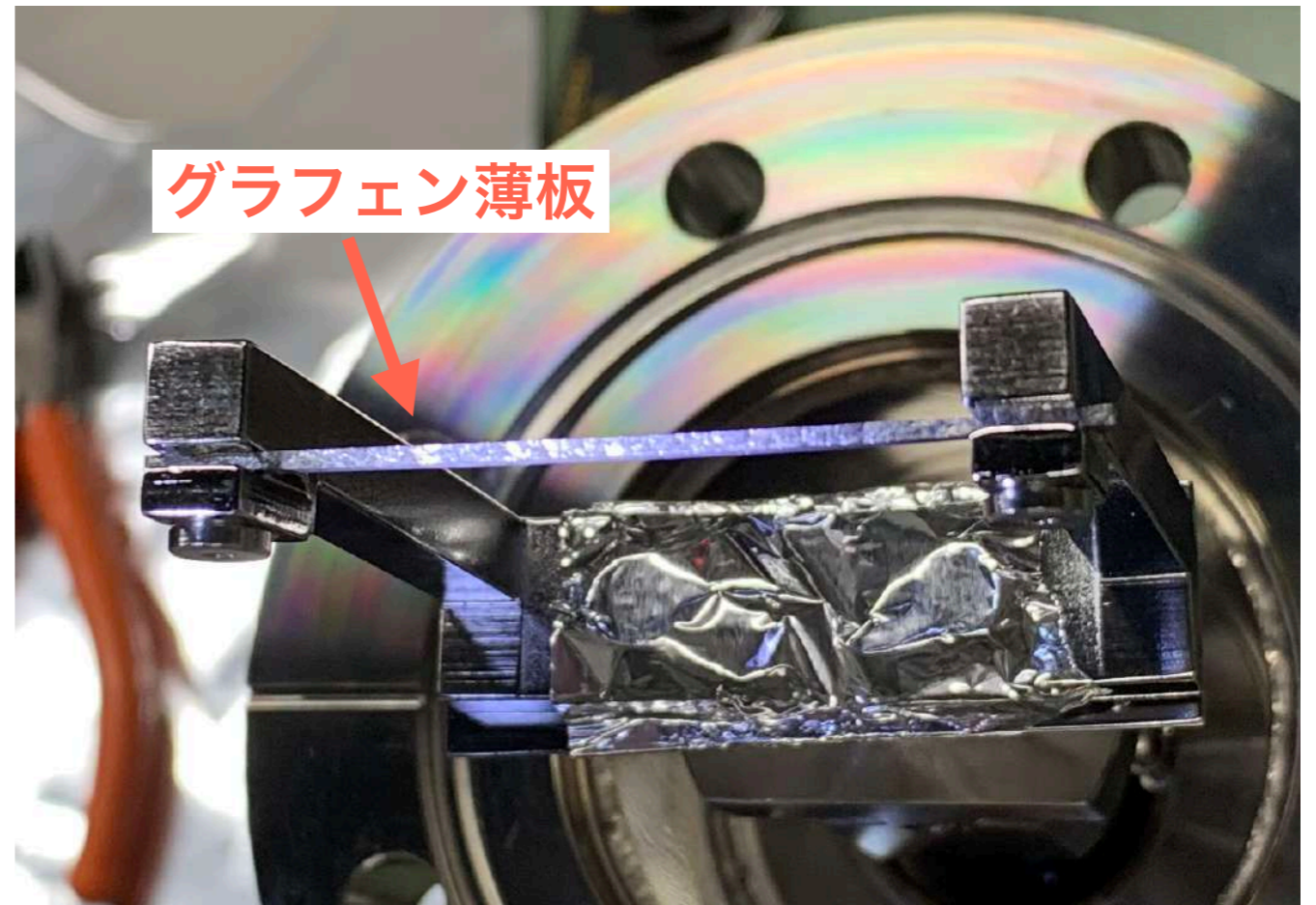
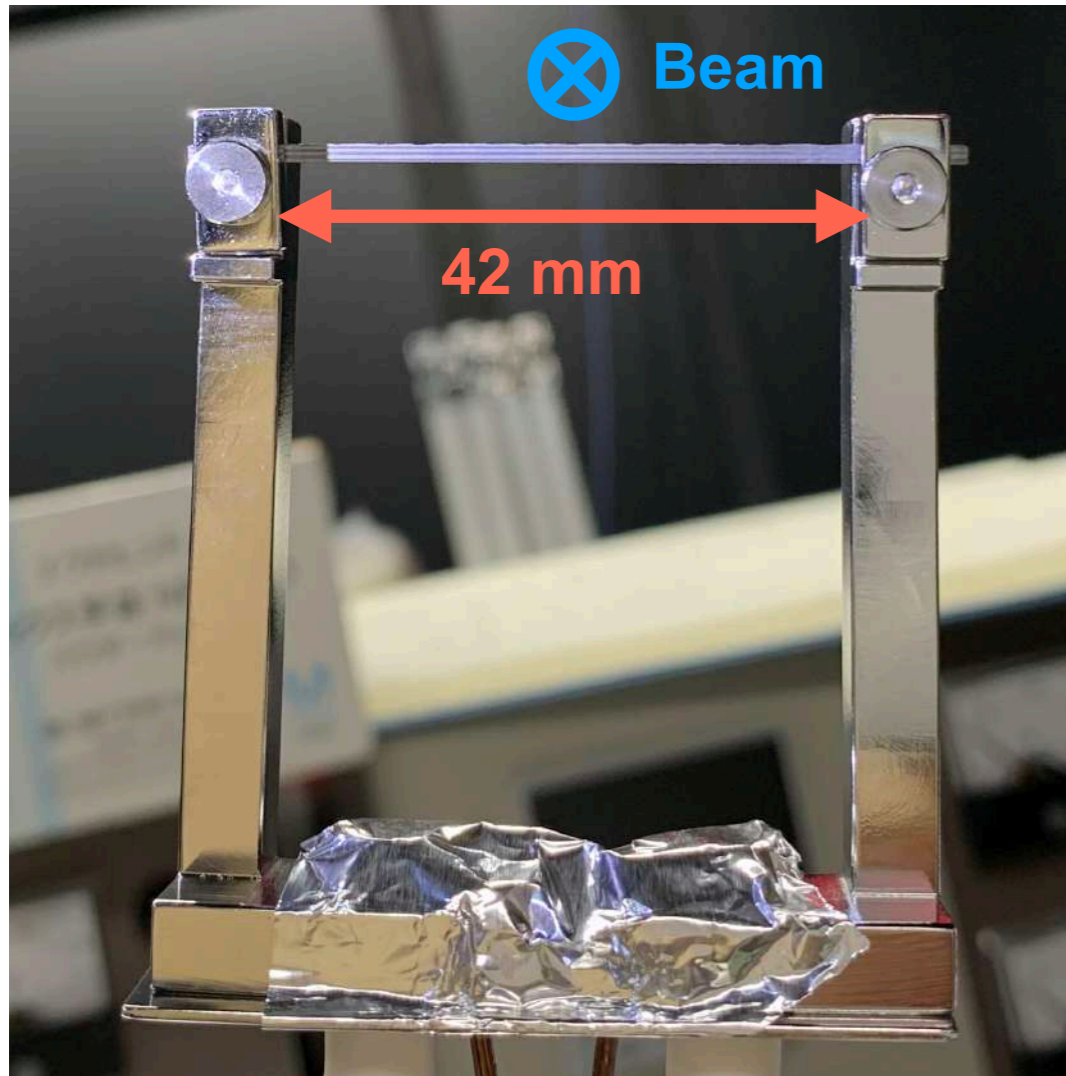


## CNTワイヤーの仕様

メーカー	日立造船
直径	0.1 mm
密度	0.56 g/cm <sup>3</sup>

- タングステンに比べて密度が小さく、熱耐性が高い。
- 横方向測定用ワイヤースキャナーモニタ(WSM)にてピーク電流60 mAの3-MeV H-ビームの測定実績あり。
- ワイヤー素材のため、BSMに設置された既存のタングステンワイヤーと容易に置換可能。

# グラフェン薄板



※積層断面(左図、ビーム照射面)、積層面(右図)  
積層面間の熱伝導率は低い

## グラフェンの仕様

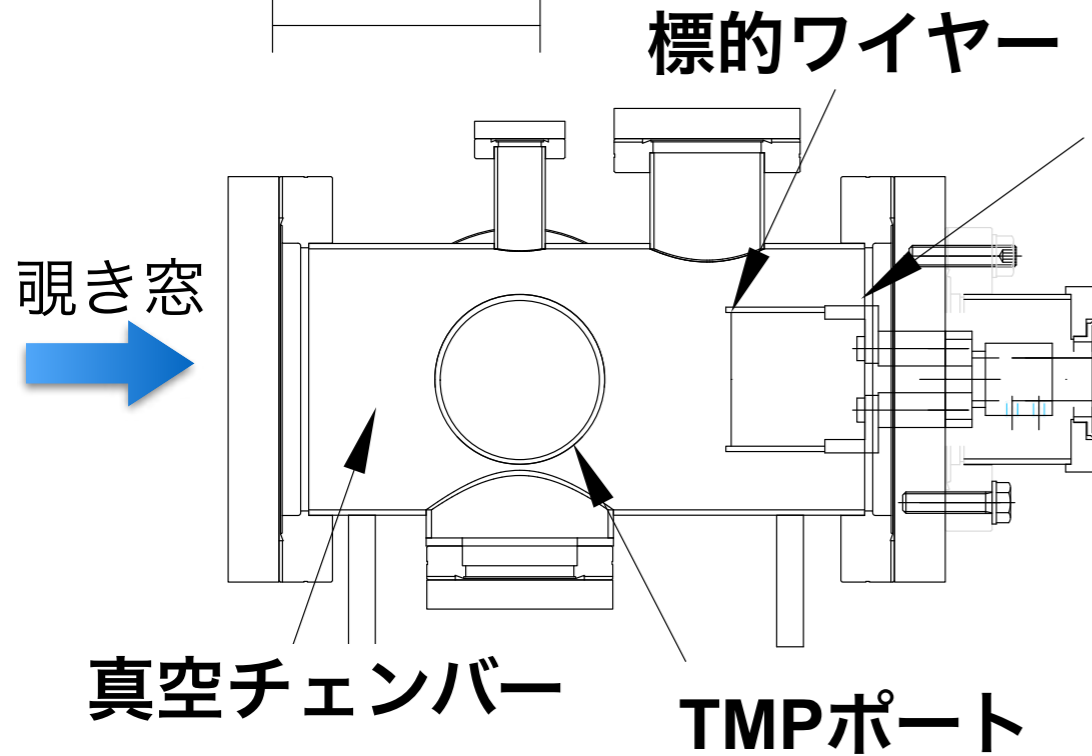
メーカー	サーモグラフィティクス
寸法	1 mm x 1 mm x 54 mm
密度	2.22 g/cm <sup>3</sup>

- 熱耐性が高く、J-PAR linacのスクレーパー用素材として試験実績あり。
- ワイヤ材ではないため、設置に工夫が必要。
- 熱伝導異方性があるため、熱伝導が良くなるよう積層断面に対してビームを照射するように設置。

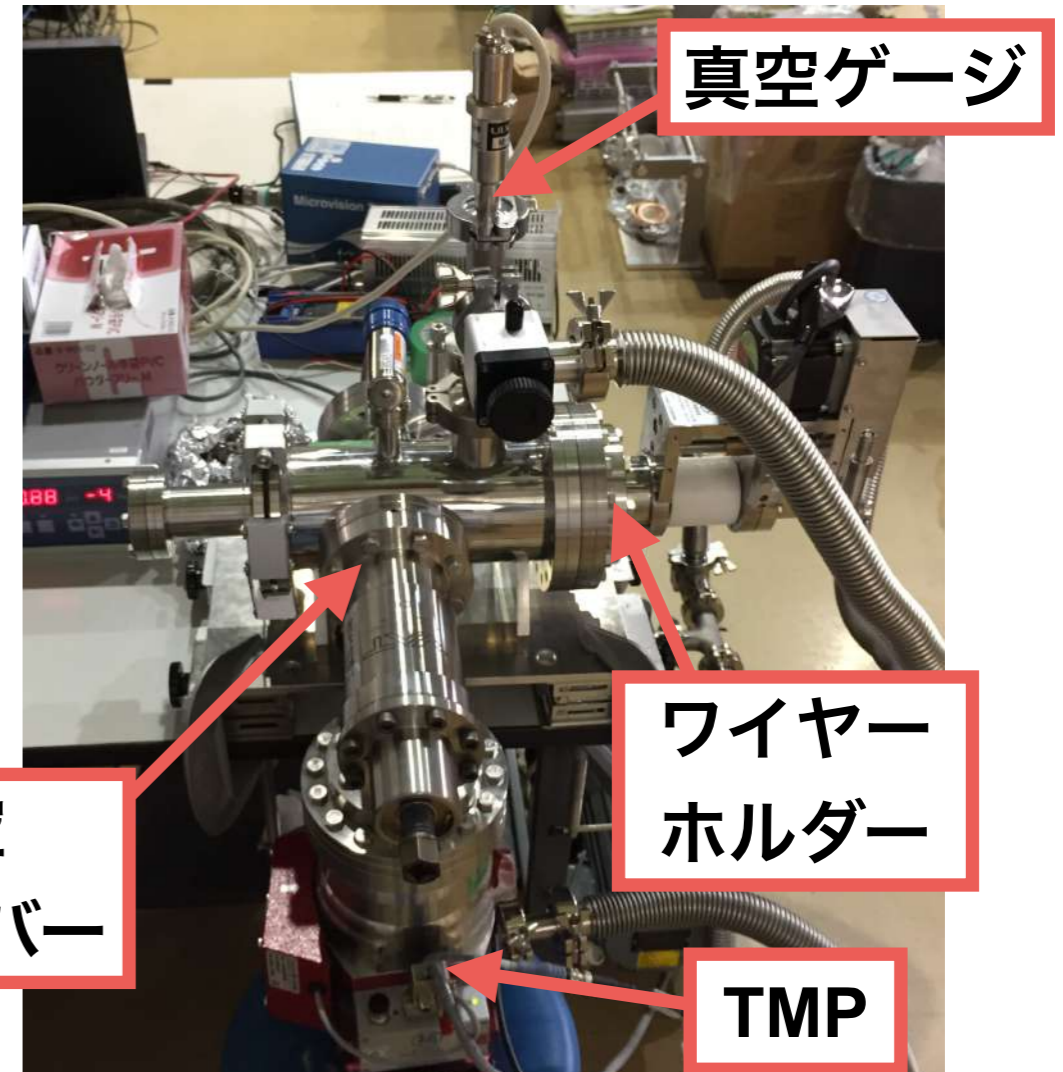
# CNT、グラフェンの高圧印加試験

## ワイヤー高圧印加試験セットアップ

10 cm



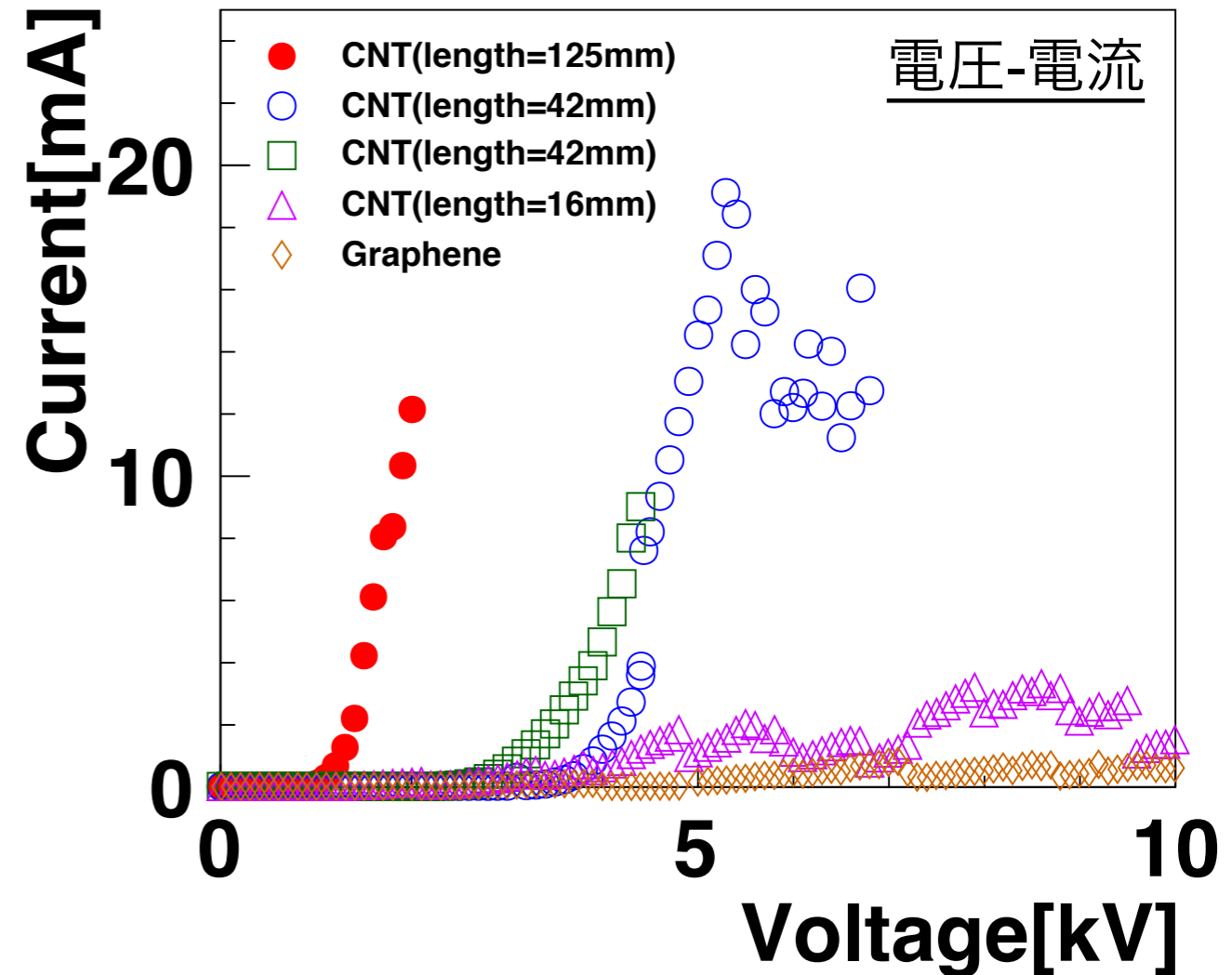
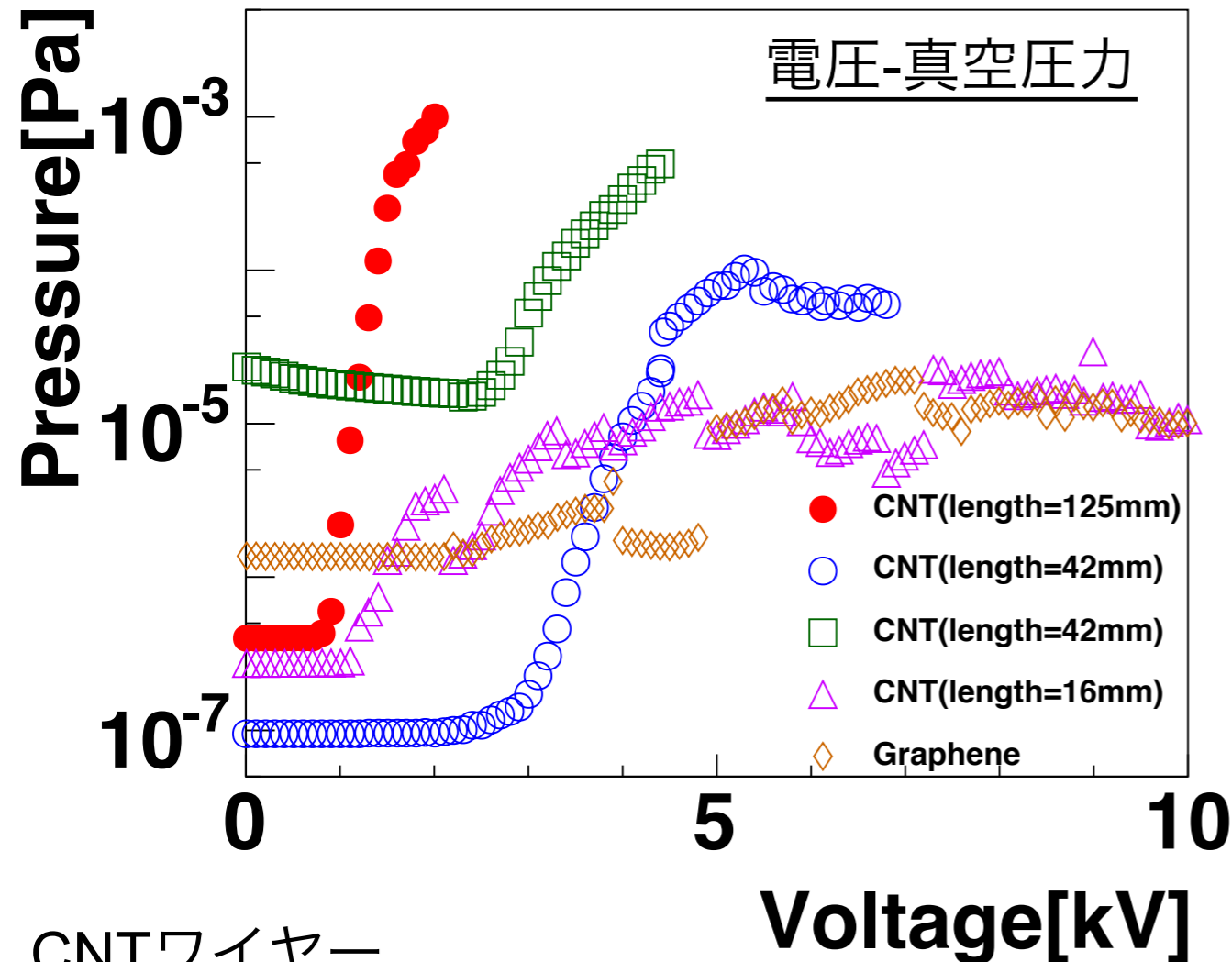
ワイヤー  
ホルダー



- BSMではビーム由来二次電子を検出部へ引き出すため、ワイヤーに-10 kV高電圧を印加。
- 使用するCNTワイヤーとグラフェン薄板の高圧印加時の特性を調べる必要あり。
- **BSM本体からワイヤーホルダーのみを取り出し、ワイヤー単体で高圧印加試験を実施。**



# 高圧印加時の真空圧力/電圧特性



## CNTワイヤー

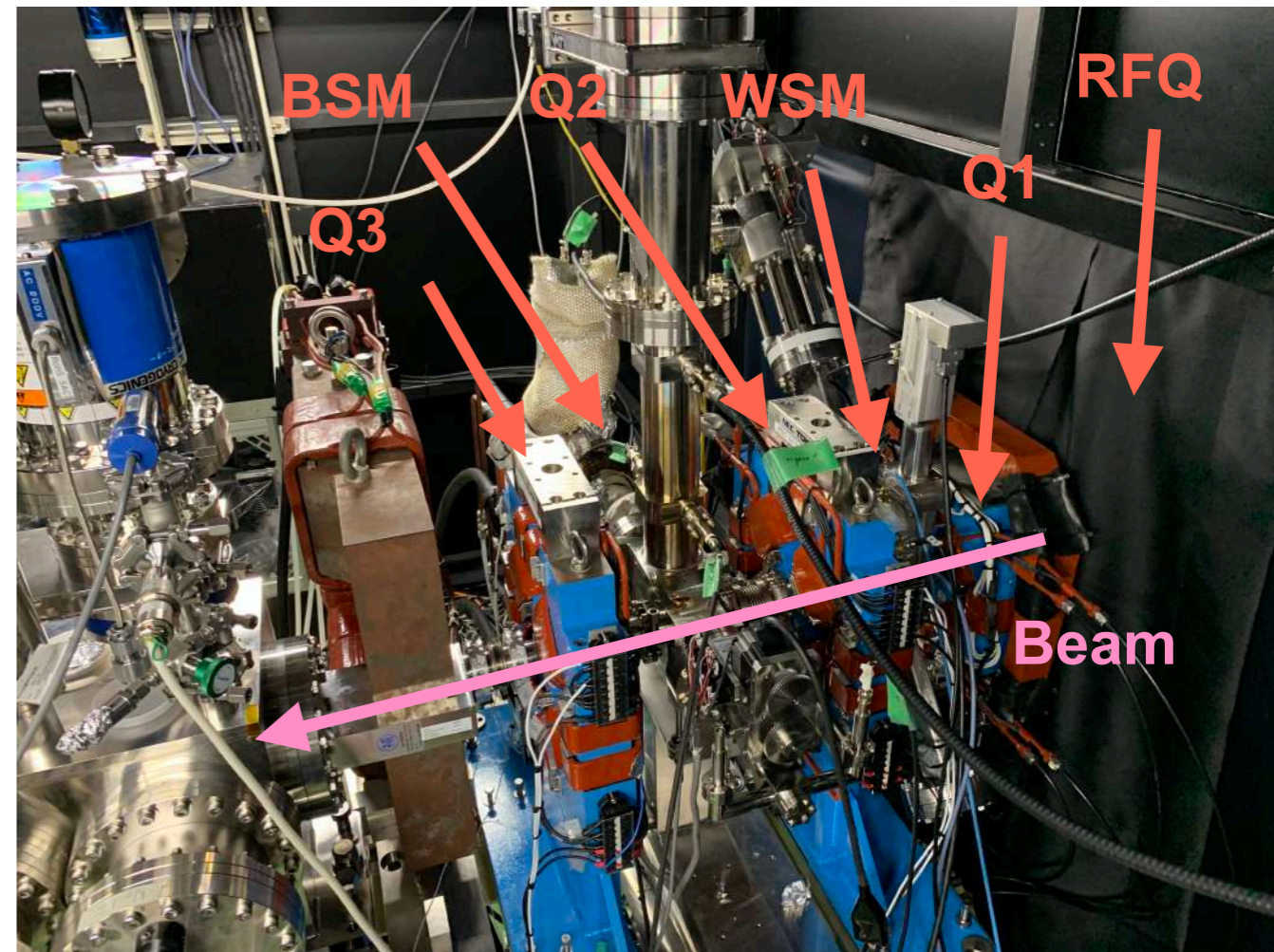
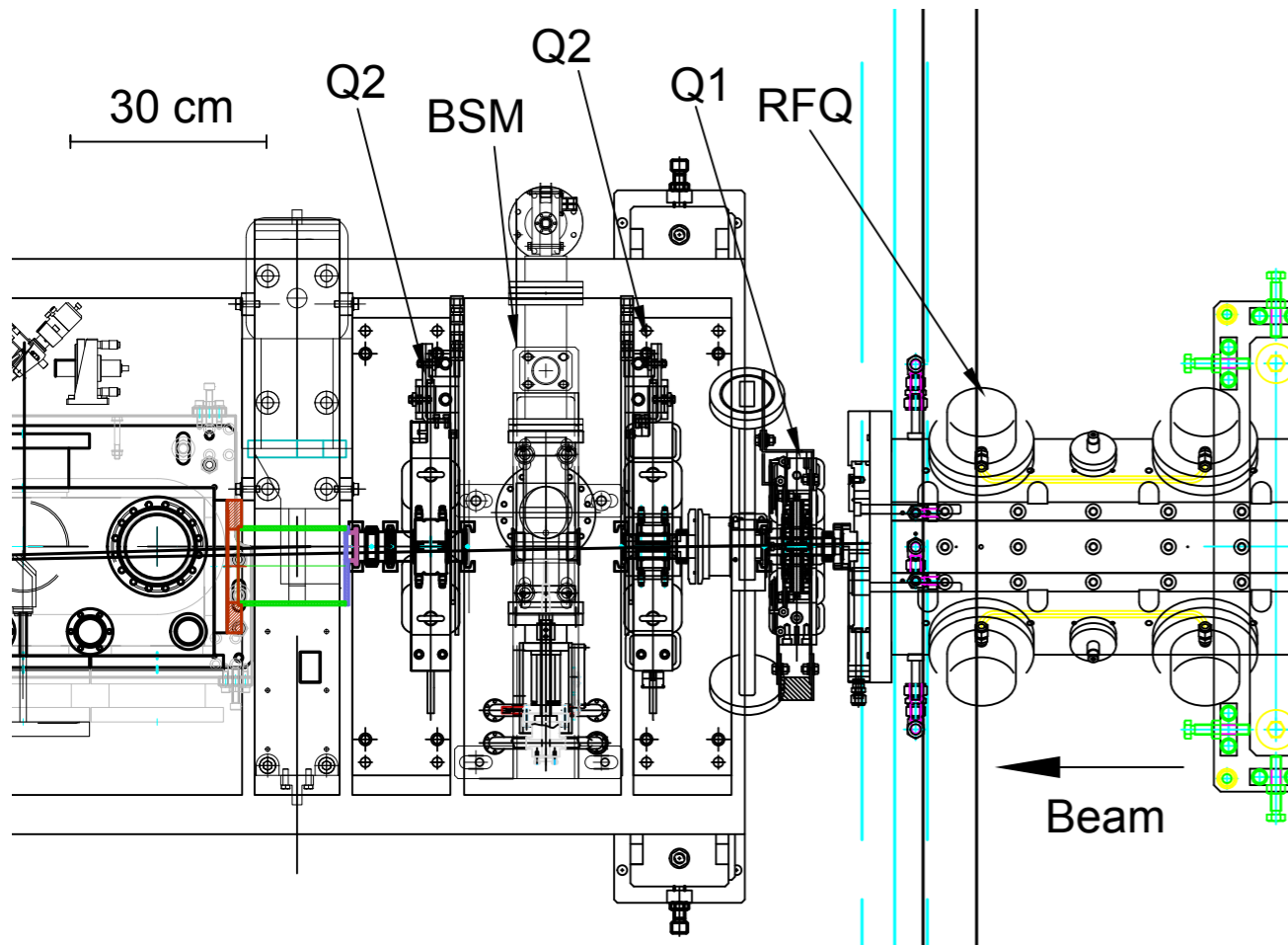
- ワイヤーのフィールドエミッション起因による圧力上昇/リーク電流増大が観測。
- リーク電流が増大すると電源トリップにより印加電圧が制限→**BSM運転を制限**
- ワイヤー長と圧力上昇/リーク電流増大には相関があり→**短ワイヤーの方が高い耐電圧**

## グラフェン薄板

- 圧力上昇/リーク電流増大はあるものの、安定した電圧印加が可能。

# テストスタンドでのビーム試験

## テストスタンドのセットアップ



## ビームパラメータ

ビーム電流	55 mA
マクロバンチ幅	50 $\mu$ s
繰り返し	1 Hz

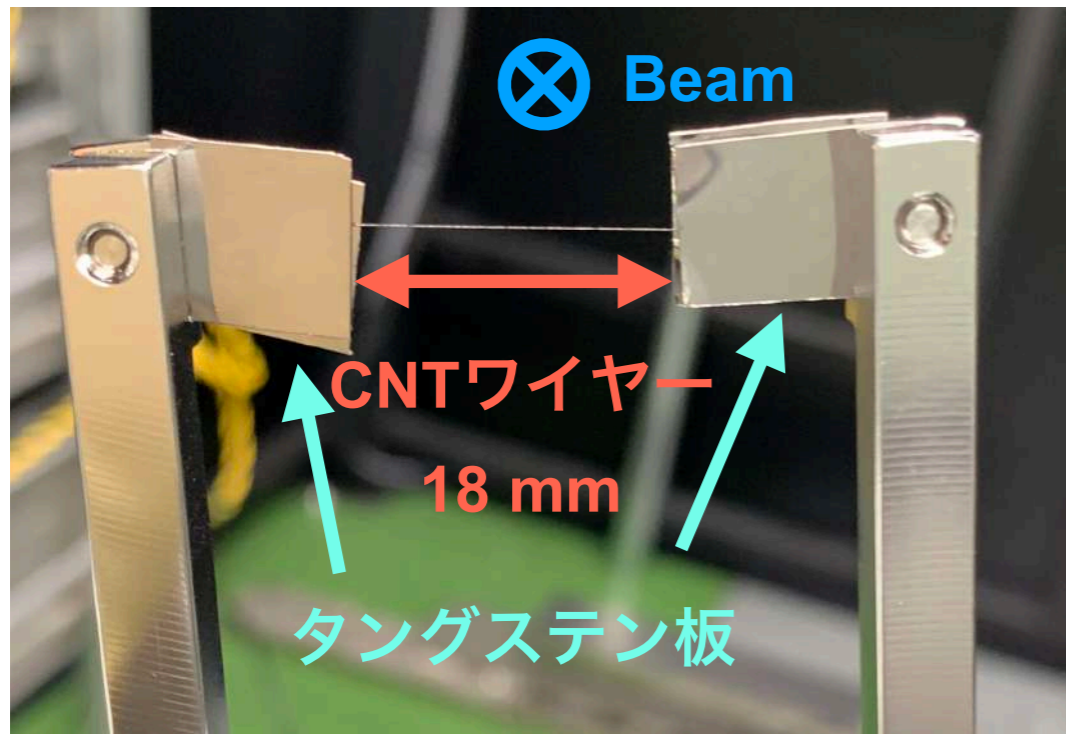
- RFQで加速された大強度3-MeV H-ビームをBSMで測定。

## 試験目的

- (1)ワイヤー由来の二次電子を引き出し、観測する。
- (2)1 Hz繰り返しの高強度3-MeV H-ビームをBSM標的ワイヤーに照射して耐えられることを確認。

# CNTワイヤーによる測定

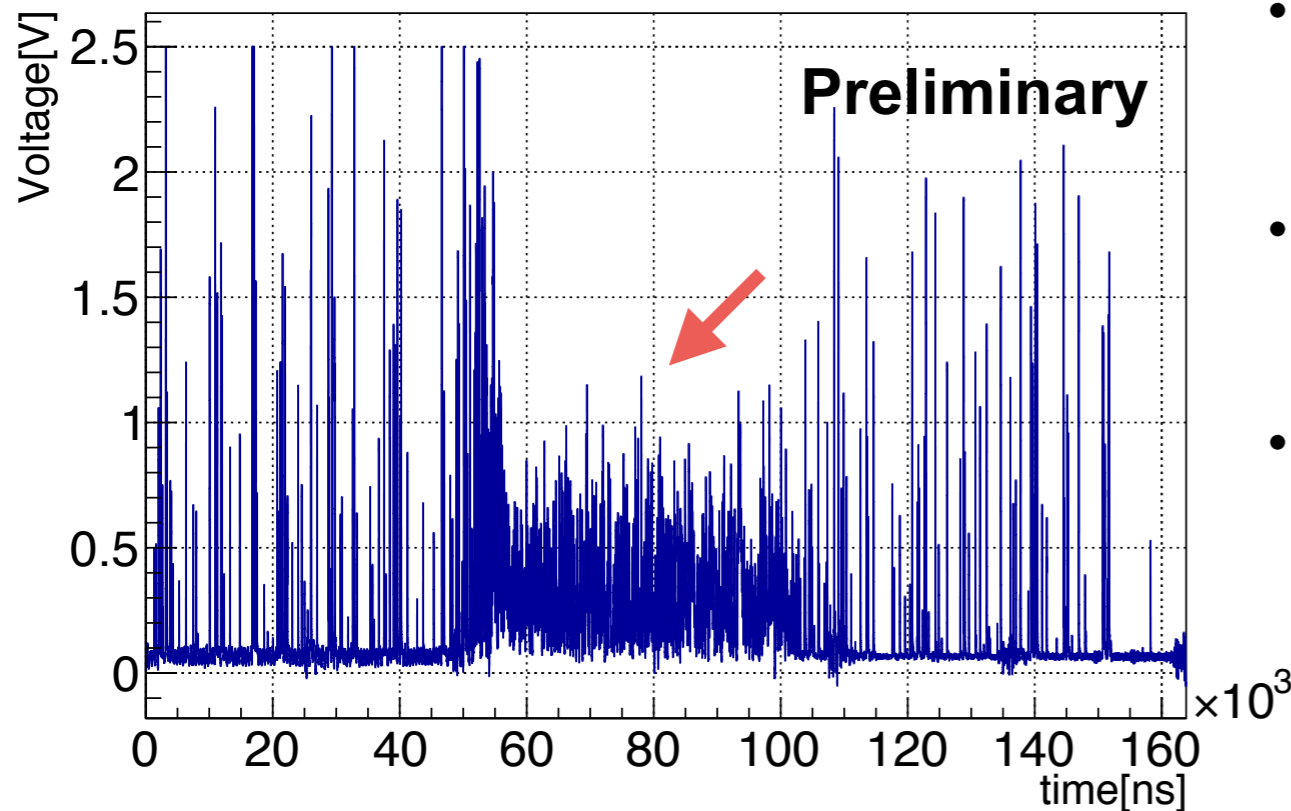
CNTワイヤー(ビーム試験前)



CNTワイヤー(ビーム試験後)



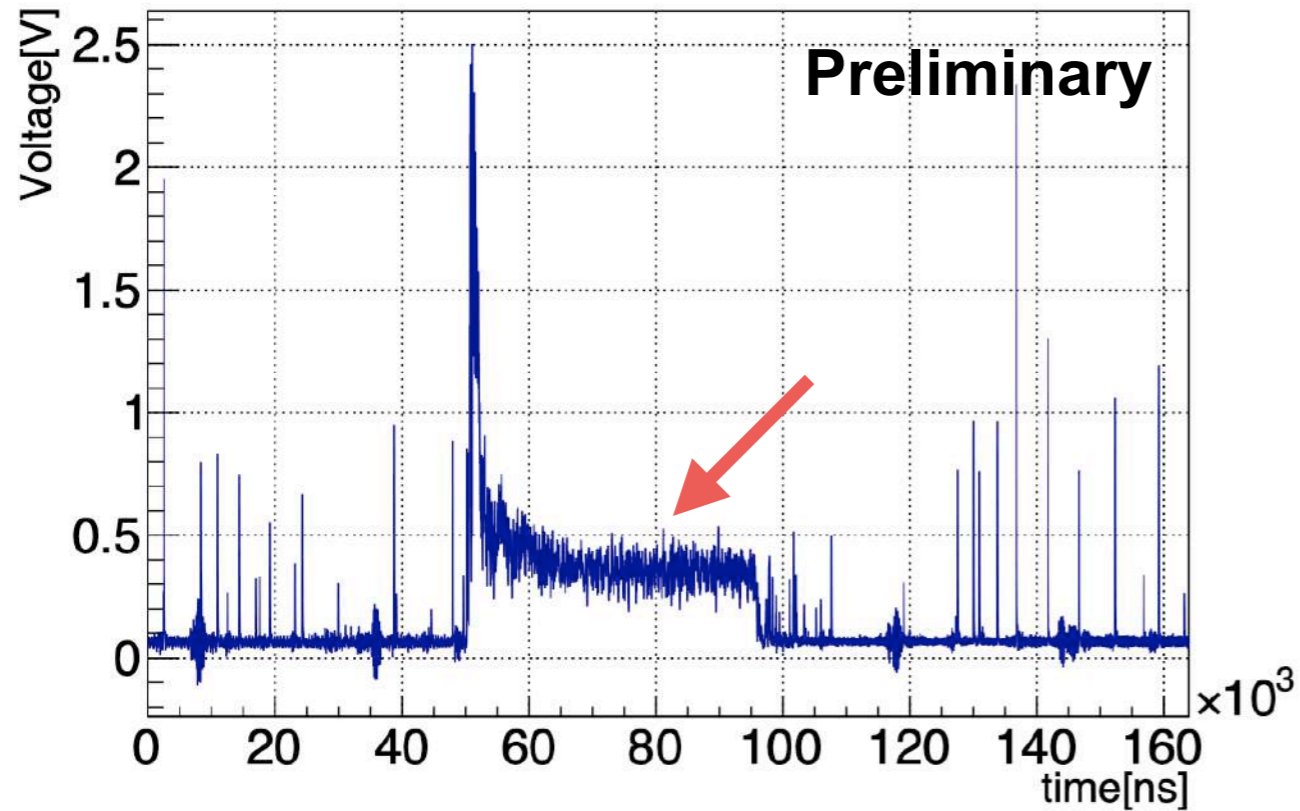
SEMで測定した生信号波形



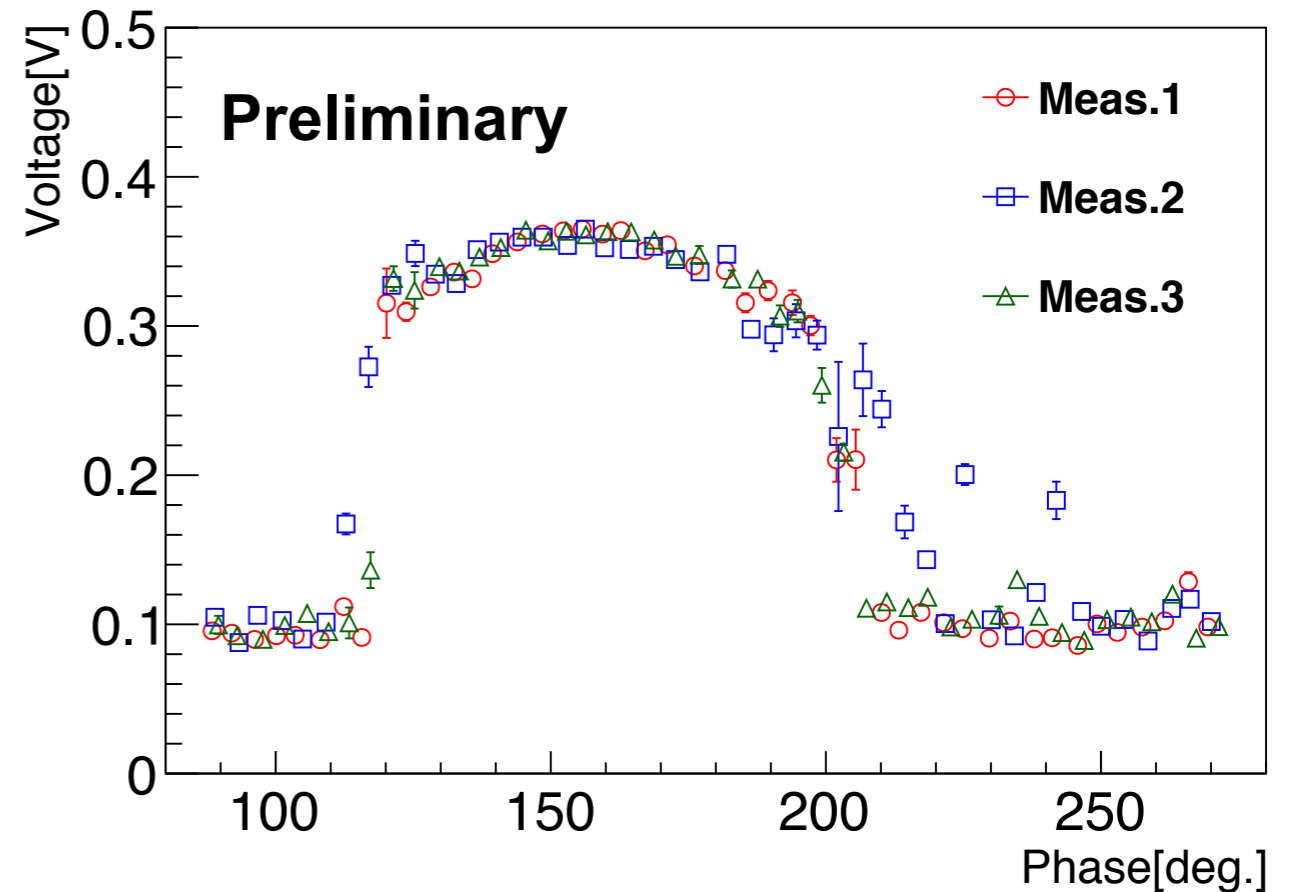
- CNTワイヤー由来の放電で電源トリップ  
→エージングしながら徐々に電圧印加
- ビーム照射すると、SEM出力で微弱ながらシグナルらしき波形を観測。
- ビーム照射後にワイヤーを取り出して確認  
→ワイヤーは断線
- シグナルはビームハローがタングステン板に当たって生じたと考えられる。

# グラフエンによる測定結果

## SEMで測定した生信号波形

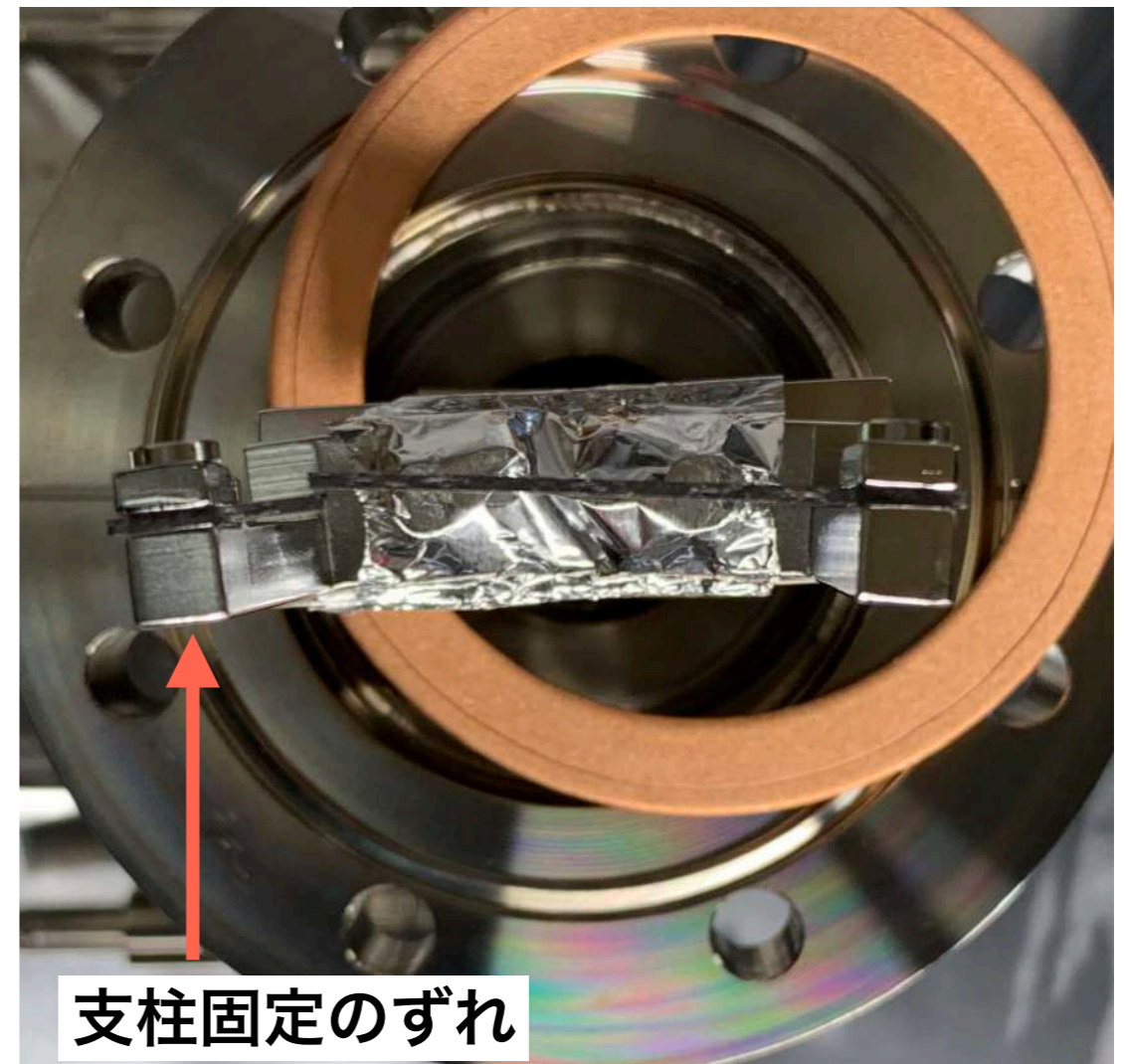


## ビーム中心部でのバンチ幅測定結果



- グラフエン薄板に対して、電源トリップ無く安定した-10 kV高圧印加を実現。
- H-ビームを照射すると、SEM出力でビームバンチ幅(50  $\mu$ s)に同期したビーム由来二次電子のシグナルを観測。
- BSM内のRFデフレクタのRF位相をスキャンして、シグナルのパルス波高を測定。
  - →RF位相変化に応じたパルス波高の変化を確認。
- バンチ幅情報について詳細な調査、解析を継続中。

# 測定後のグラフェン



- 測定後にワイヤーホルダーを取り出してグラフェンの状態を確認。
- グラフェンを支えるホルダー支柱の固定がずれたため、取り出し時にグラフェン薄板が破損。
  - →固定方法を改良したホルダーを設計して対応予定。
- ビーム照射面にはビーム由来の照射痕等は無し。
- **マクロバンチ幅50  $\mu$ s、1 Hz繰り返しでもビーム耐性は問題無し。**

# Summary

- 大強度3 MeV H-ビーム縦方向測定のために大強度ビーム対応BSMを開発中。
- ビーム耐性の高いBSM用標的ワイヤー素材としてCNTワイヤーとグラフェン薄板を選定し、高圧印加試験による特性評価後にビーム照射試験を実施。
- CNTワイヤーでは放電による断線で測定できず。
- グラフェン薄板ではSEM出力でビーム由来のシグナル波形と、RFデフレクターの位相変化に応じたパルス波高の変化が観測された。
- ビーム照射後のグラフェンには明確な照射痕は見られず、ビーム耐性の観点でも問題ないことを確認できた。
- 現在詳細なデータ解析を進めており、今後はグラフェン材を用いたBSMをMEBT1に設置してさらに試験を進める予定である。

**BACK UP**