



COMET Phase-I

円筒型ドリフトチェンバーのための ワイヤーエイジング試験

24th ICEPP Symposium 2018年2月19日

大阪大学大学院 理学研究科
物理学専攻 修士2年
中村 有希



COMETちゃん

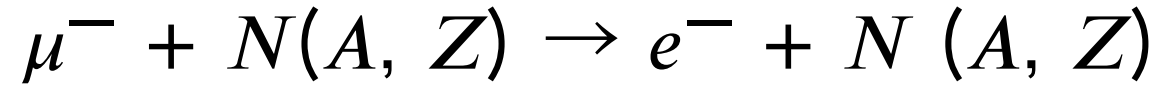
イントロダクション

- COMET実験
- 円筒型ドリフトチェンバー
- ドリフトチェンバーのワイヤーエイジング

COMET実験 (COherent Muon to Electron Transition実験)

ミュオン電子転換過程の探索を行う実験 @J-PARC

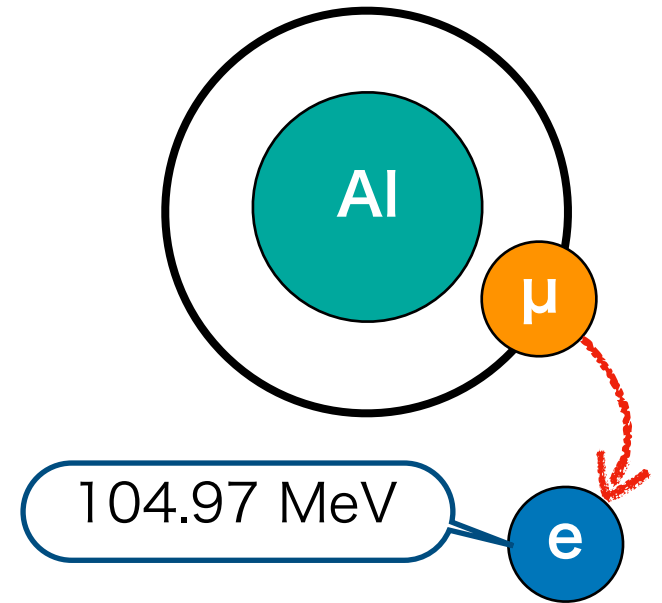
ミュオン電子転換過程 (μ -e転換)



- ニュートリノが出てこないコヒーレント遷移
- 荷電レプトンファミリー保存が破れる稀崩壊過程
- 分岐比($\mu \rightarrow e \gamma$) 標準理論*: $O(10^{-54})$ **非常に小さい**

標準理論を超えた新しい理論: COMETの単一測定感度 10^{-17} で測定が期待できる分岐比

* ニュートリノ振動を考慮した場合



見つければ新物理の発見!

COMET Phase-I

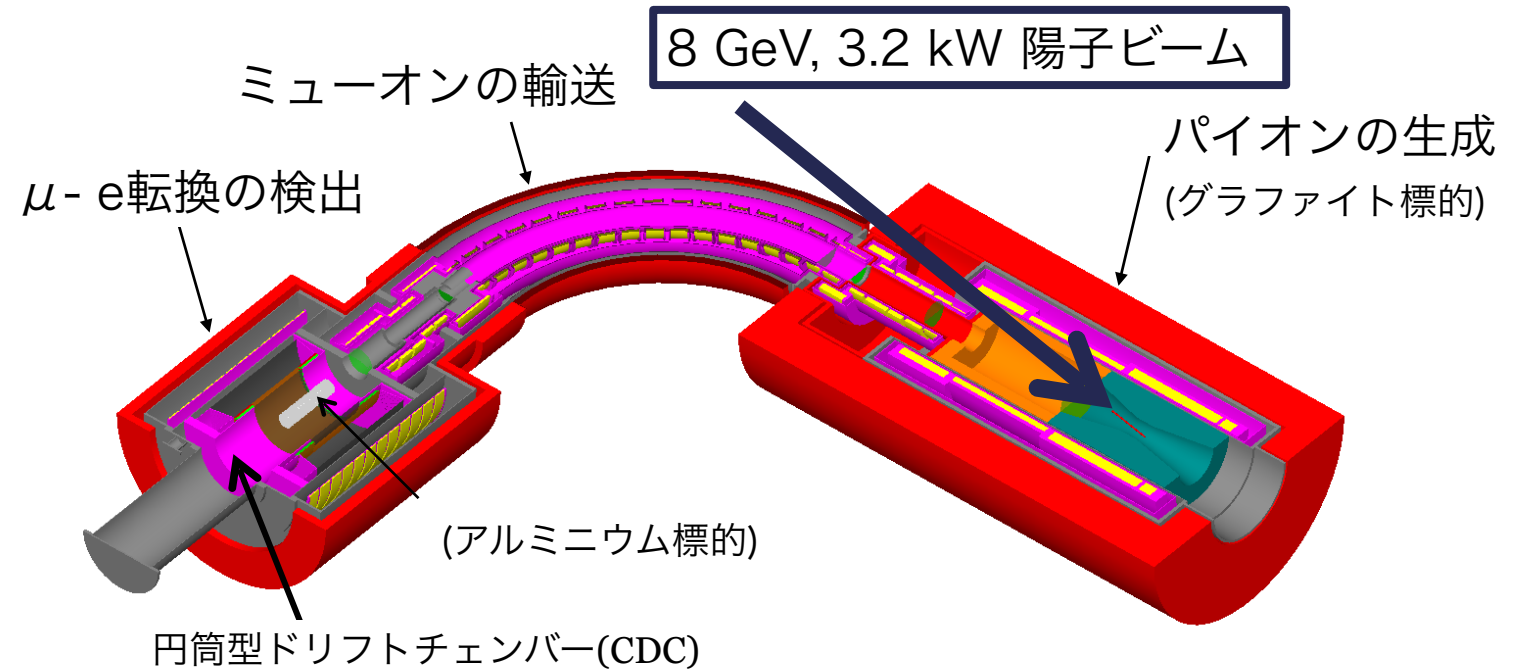
目的:

- μ -e転換の探索。
- バックグラウンド測定。

測定期間: 200日間

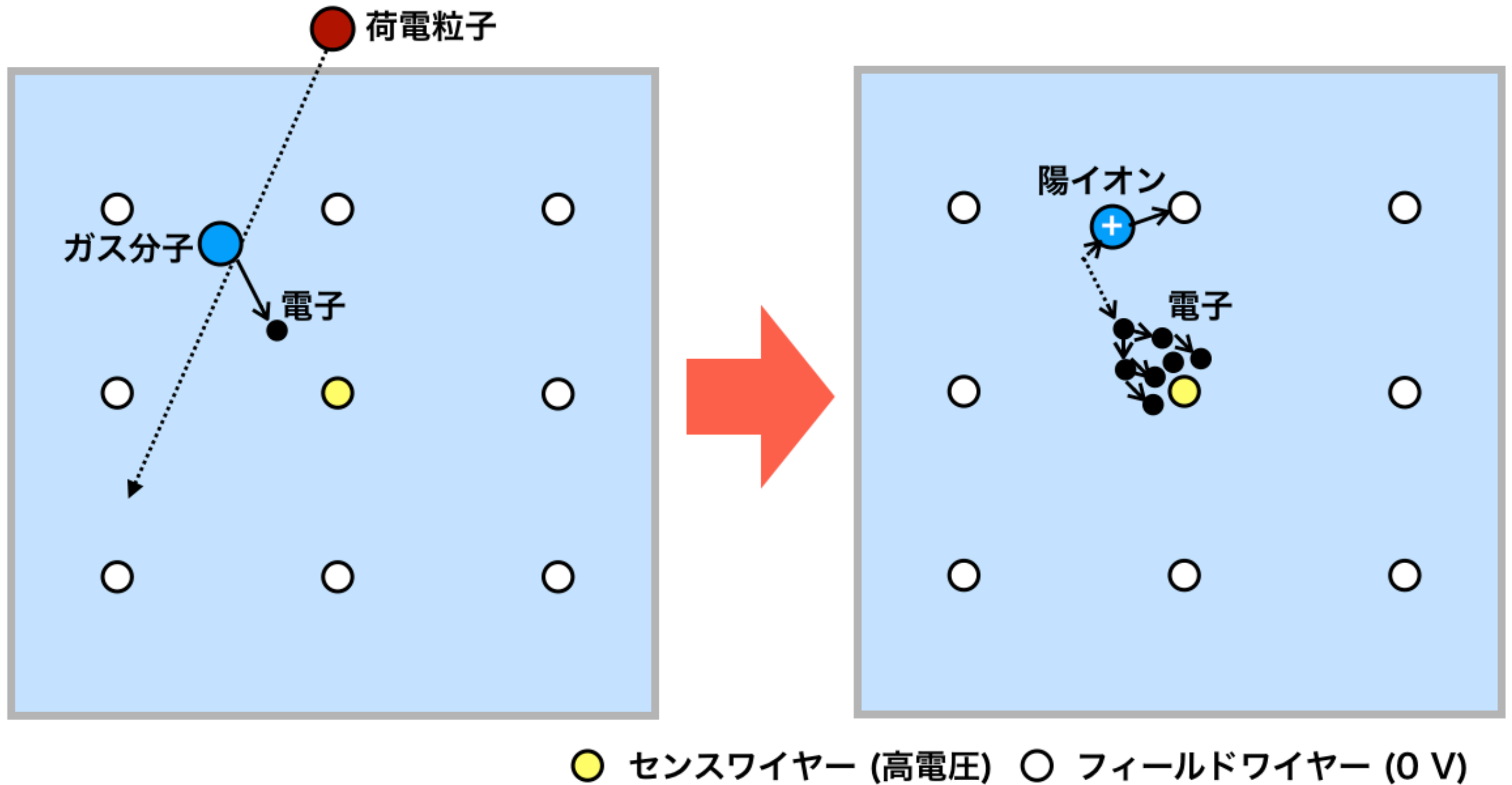
主な検出器: **円筒型ドリフトチェンバー(CDC)**

(Single Event Sensitivity: 3×10^{-15})



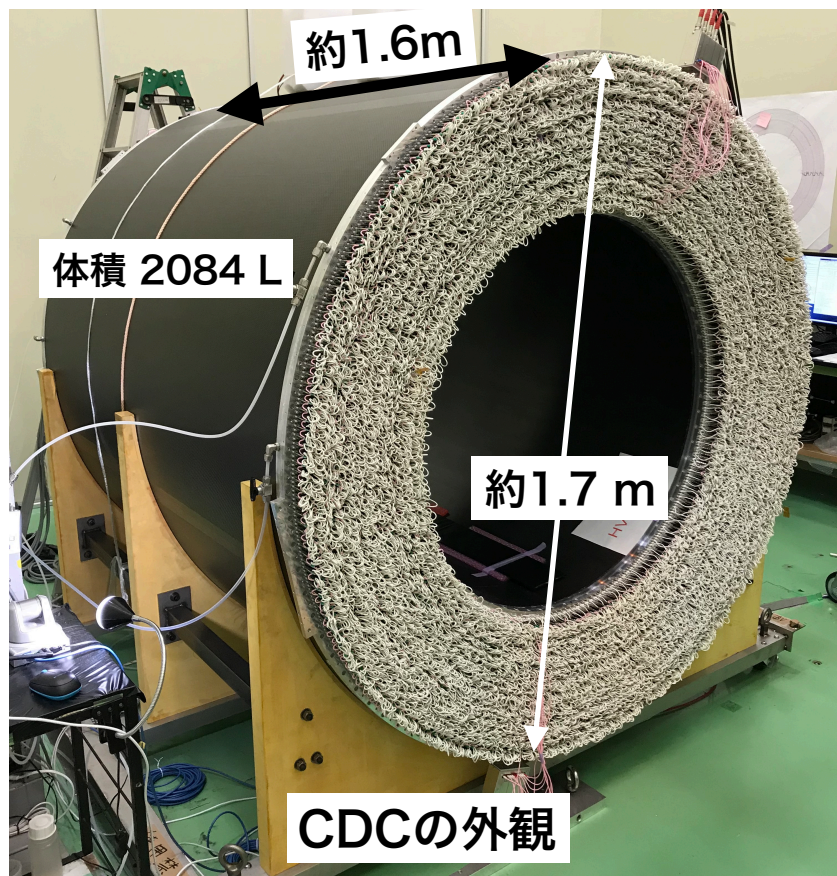
COMET Phase-I のレイアウト

ドリフトチェンバーの原理



ドリフトチェンバーの断面図

円筒型ドリフトチェンバー (CDC)



オペレーションガス

COMET CDCでは104.97 MeV/cの信号電子を
200 keV/cの運動量分解能で見る。

軽いHeベースのガスをオペレーションガスとして選択

- He/iC₄H₁₀ (90/10)
- He/C₂H₆ (50/50) (予備候補)

ワイヤー素材

センスワイヤー: AuメッキW (25 μm)
フィールドワイヤー: Al (126 μm)

ドリフトチェンバー使用時に危惧される問題

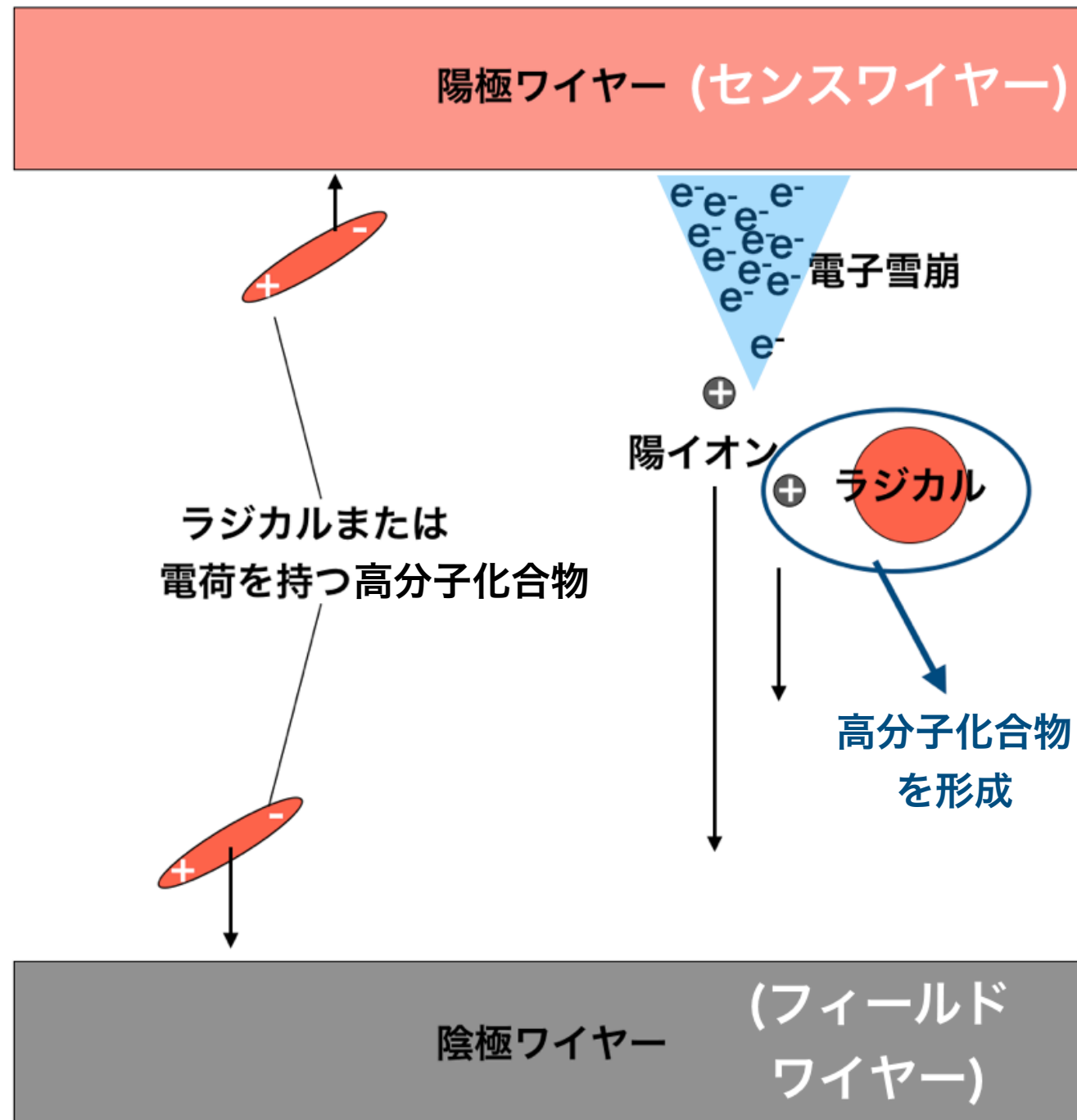
長期間放射線環境の中で使用すると、高分子化合物がワイヤー表面に蓄積。

- ゲインの低下
- 放電
- ノイズの増加 などが発生する (エイジング効果)。

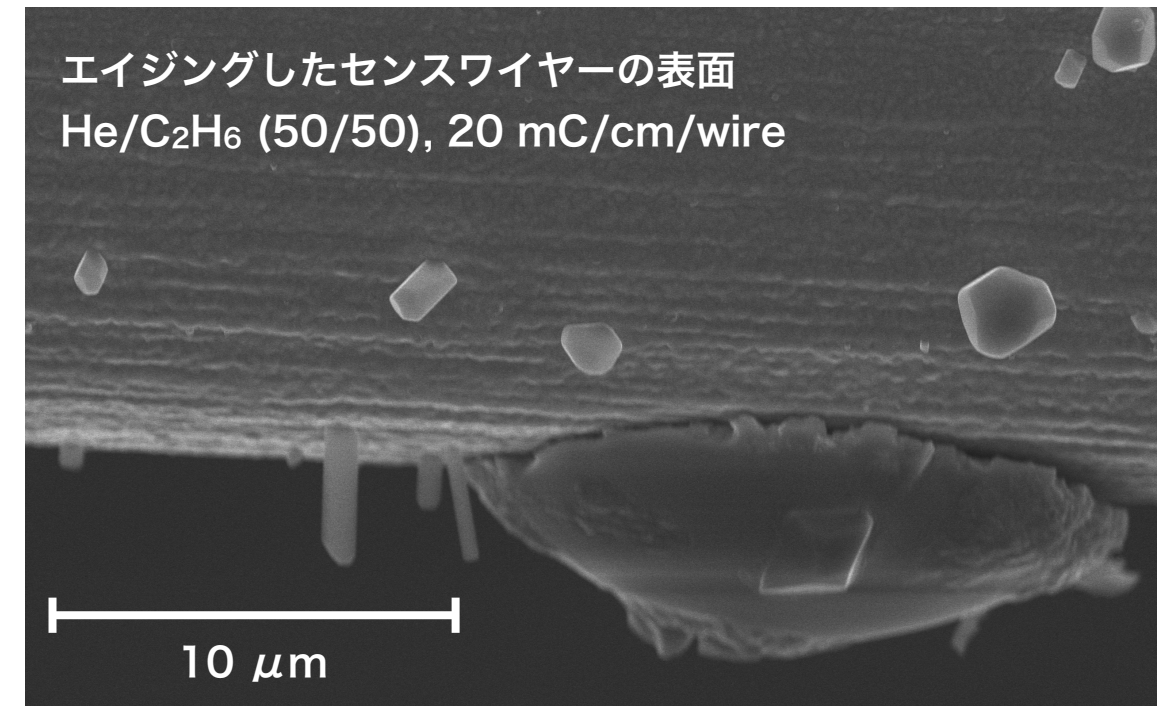
COMET CDCのワイヤーにエイジング効果の影響がどれだけあるか調べる必要。

ワイヤーエイジングの研究はCOMET CDCの寿命を左右する！！

ワイヤーのエイジング効果



ワイヤー表面に化合物が付着する模式図



高分子化合物を構成する元素

- ガス分子の構成元素 (C, H)
- ガス中の不純物 (特にSi)

エイジング効果の進行に関わる要因

- ガスの種類・流量・圧力・純度・ゲイン
- 電場
- チェンバーの素材
- 放射線照射量・照射範囲
- 電子や陽子のエネルギー など

COMET独自に開発されたCDCのパラメータで調べる必要がある。

陽極ワイヤーのエイジング

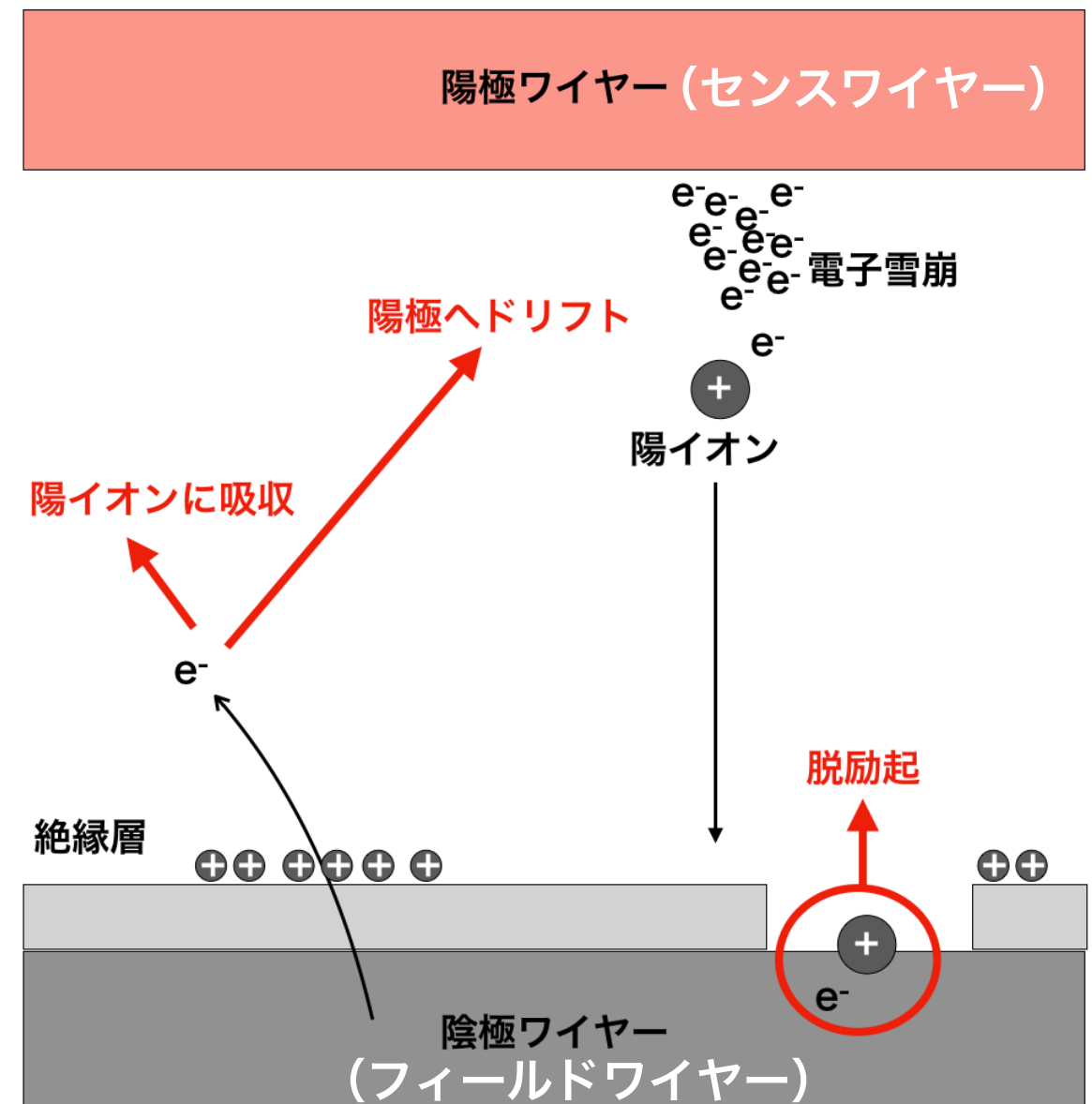
- 付着する化合物の形状: トゲ状・粒状・粉末状・液滴状など
 - 導電性の場合 ワイヤー径が効果的に増大。陽極表面電場が弱くなる。→ **ゲイン低下**
 - 絶縁性の場合 絶縁層により表面電場が弱くなる。→ **ゲイン低下**

陰極ワイヤーのエイジング

- 絶縁層が形成される。
 - マルター効果が出現。
荷電粒子が通過してない時も、陽極ワイヤーに電流が流れる。
- **ノイズ増加・S/N比悪化・暗電流発生**

エイジング効果の軽減策

ガスに水やアルコールを注入する。



マルター効果発生の様式図

COMET CDC

ワイヤーエイジング試験

- ゲイン低下率の測定
- ワイヤー表面の観察及び元素分析
- COMET CDCへの影響

COMET CDCの積算電荷量

CDCのワイヤーに照射される放射線量はワイヤーに流れる電流の積算値により評価。

CDCの積算電荷量シミュレーション(Geant4)

1日あたりの積算電荷量 0.09 mC/cm/wire 以下

COMET Phase-I 終了時: **20 mC/cm/wire**

Phase-I 終了時の10倍: 200 mC/cm/wire (安全率 10)

ゲイン低下の要求値: **10%以内** (ソフトウェアで補正可能)

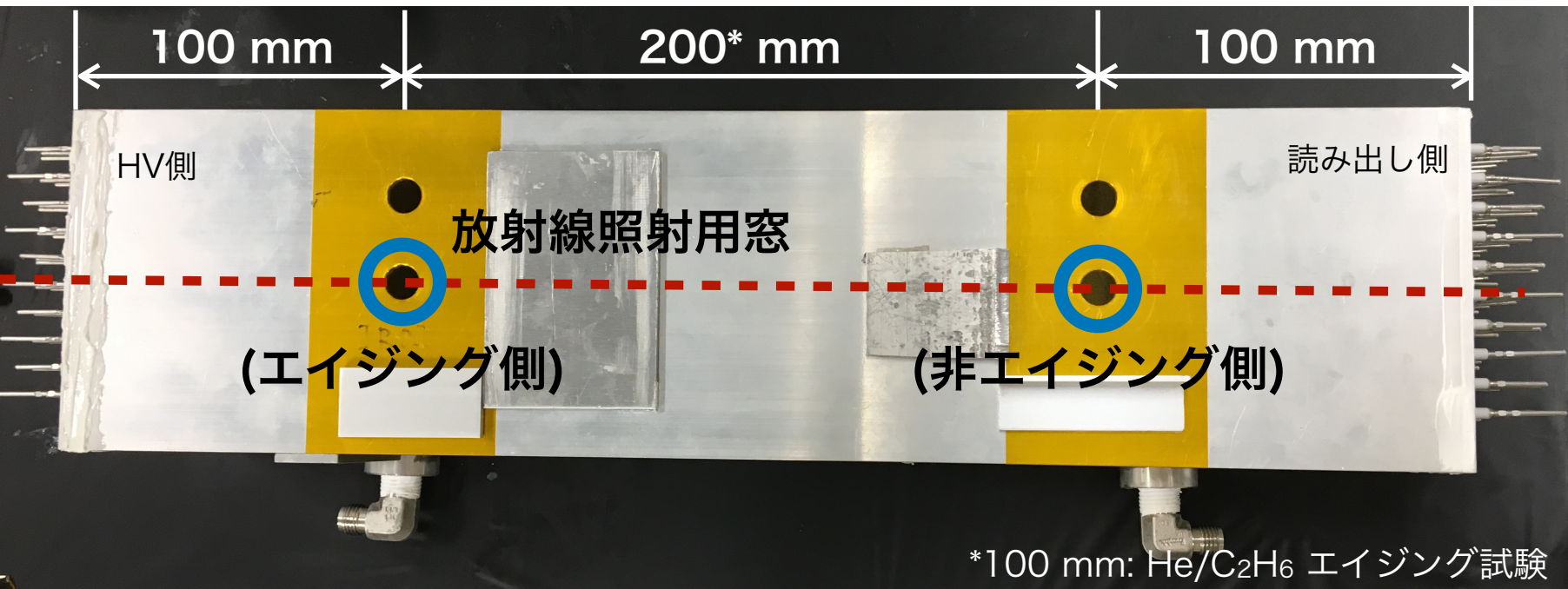
COMET CDCエイジング試験の目的

- Phase-I 終了時の積算電荷量でのゲイン低下を調査。
- 安全率を10として、**Phase-I 終了時の10倍の積算電荷量**でも、ゲインの低下を補正可能な**10%以内**に収める。
- 結果からPhase-I でCDCに危惧されるエイジング効果を予測・対策。

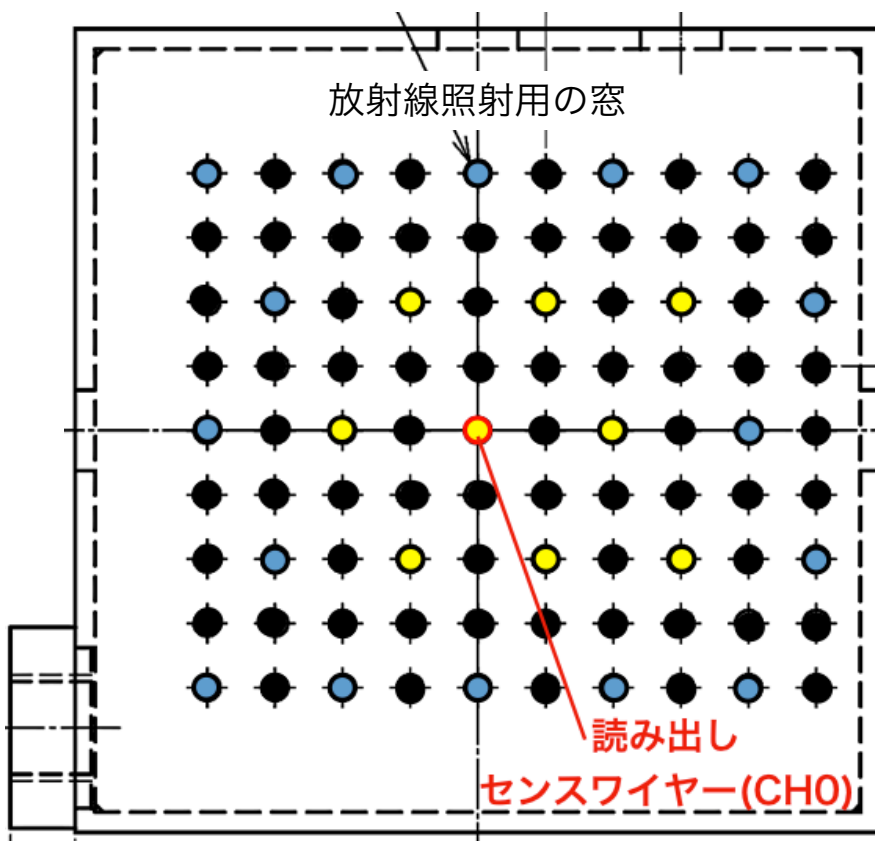
先行研究 KLOE ドリフトチェンバー: He/iC₄H₁₀ (90/10) 3.1 mC/cm/wireで電流の低下が~0%

試験用チェンバー

同じ素材・接着剤を使用し、CDCの状態をできる限り再現した試験用9セルチェンバーを自作。



He/iC4H10試験用チェンバーの上面

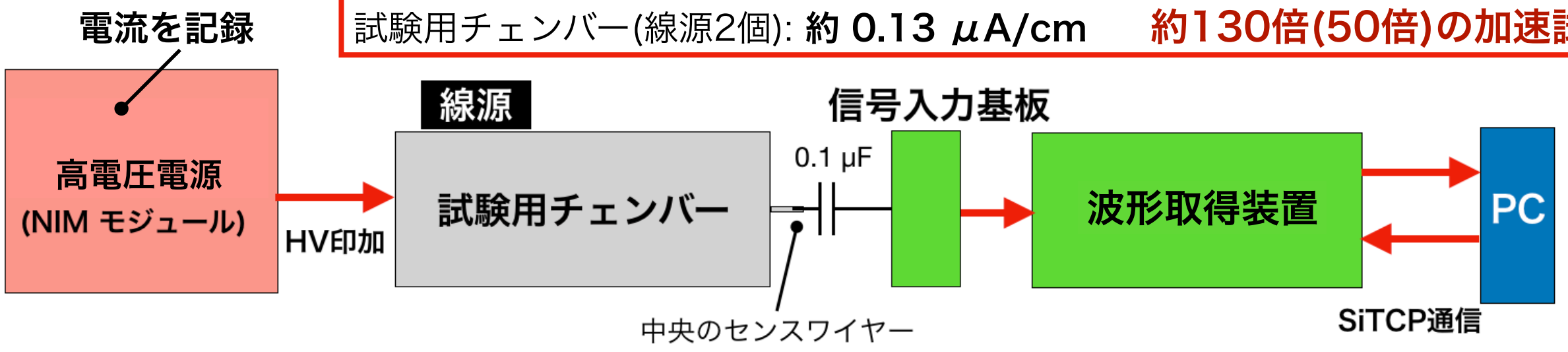


- センスワイヤー
- フィールドワイヤー
- ガードワイヤー
- 読み出しセンスワイヤー

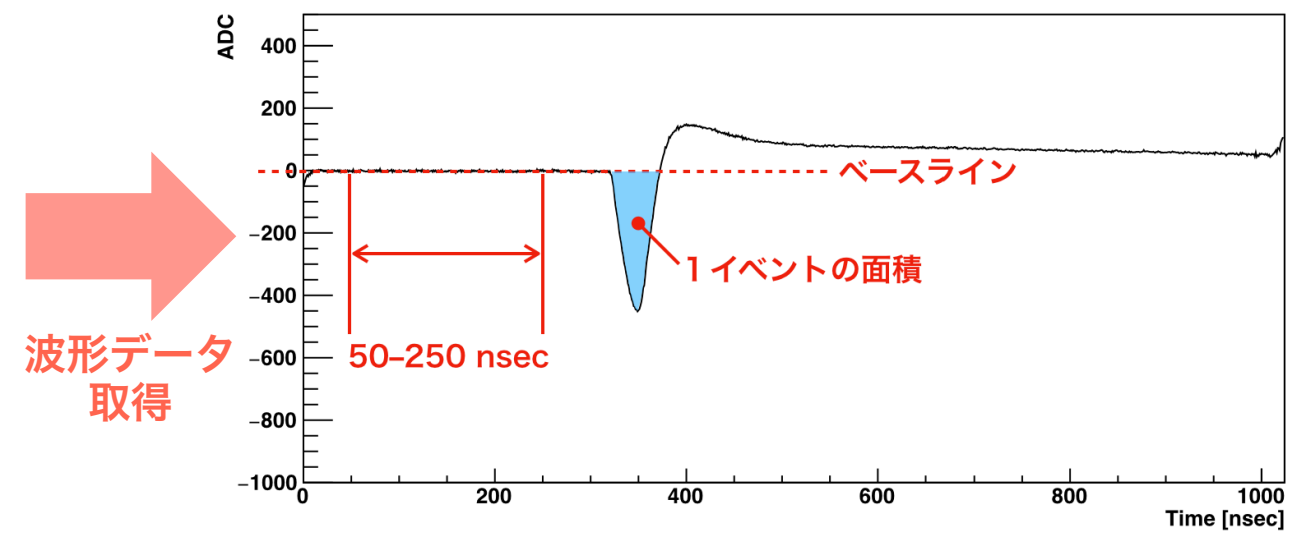
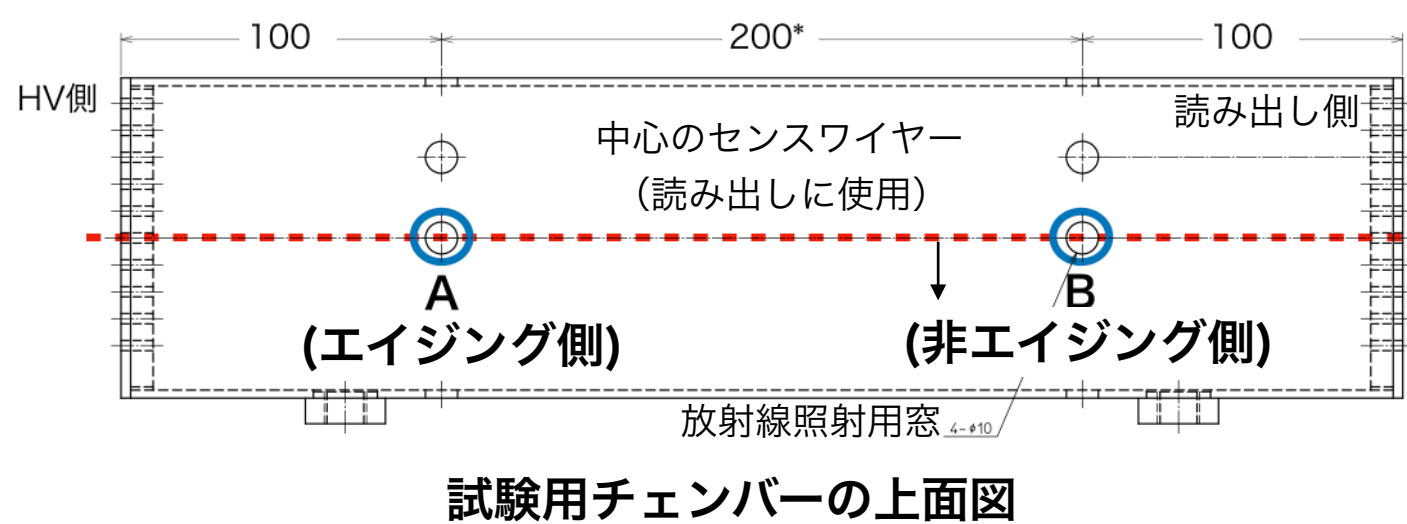
読み出し側エンドプレート

セットアップ

CDC: 約 1 nA/cm (Duty factor込みで2.5 nA/cm)
 試験用チェンバー(線源2個): 約 0.13 μA/cm **約130倍(50倍)の加速試験**



ゲインの評価方法



信号 1 イベントに対する面積の定義

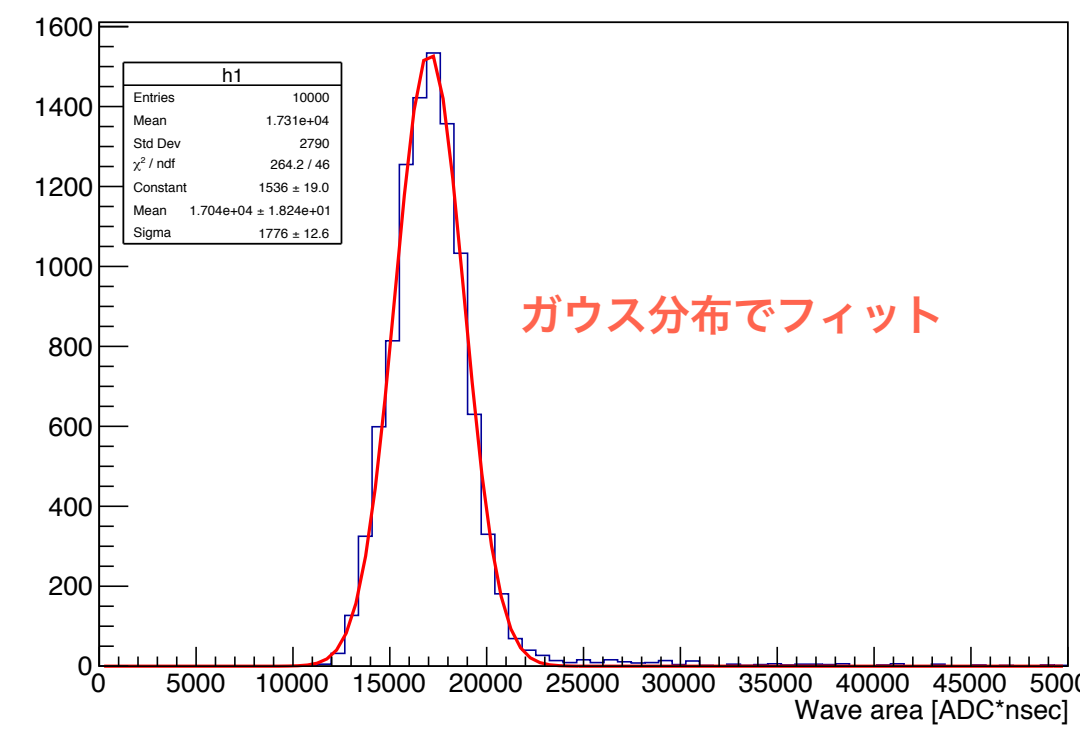
- ^{90}Sr をA部分においてエイジングさせて、 ^{55}Fe で定期的にゲインを測定。

- 2点でゲインを測定。
A: エイジングさせる部分
B: エイジングさせない部分

- ゲインの変化はAとBの比をとることで評価。

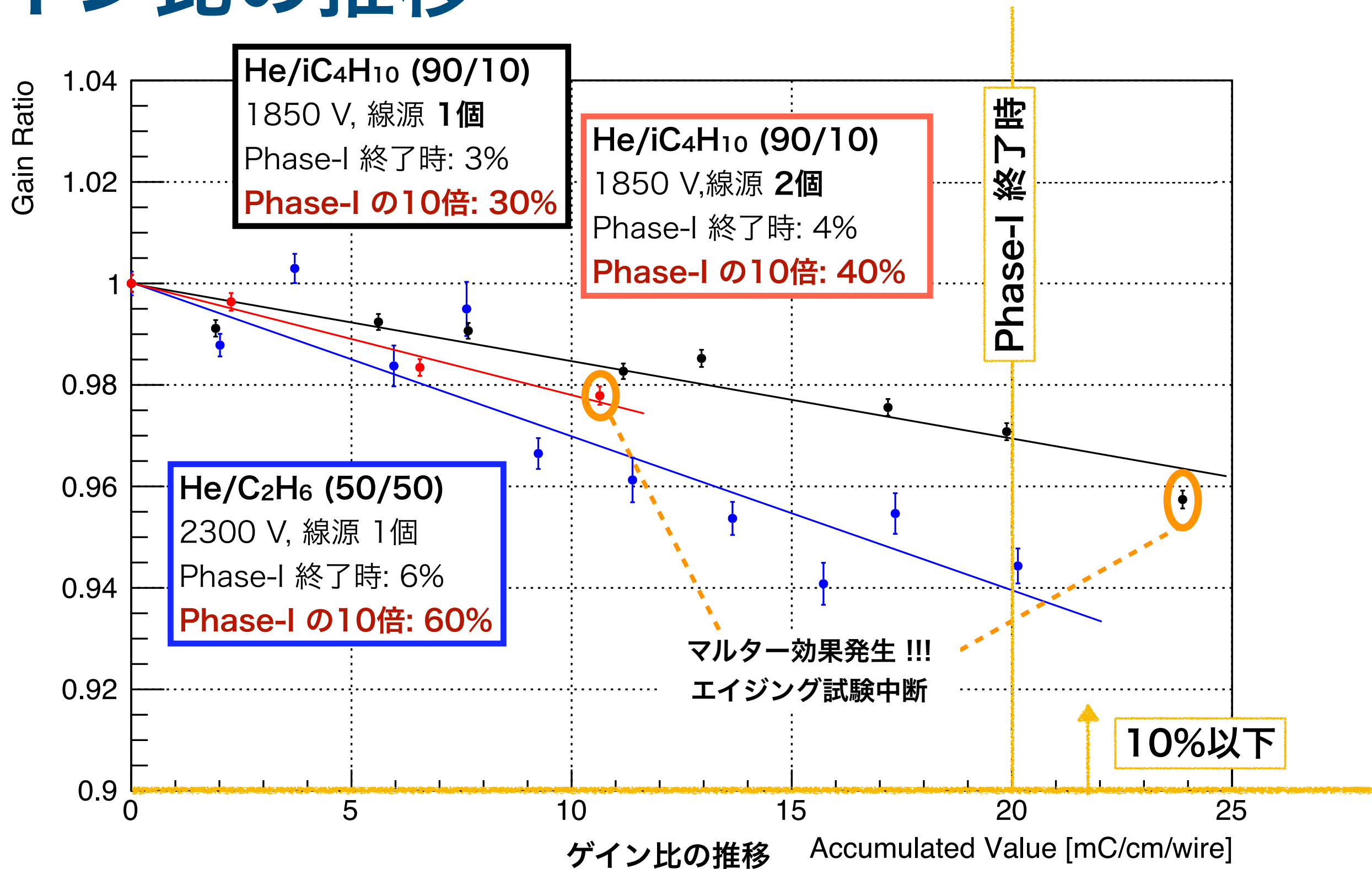
$$\text{ゲインの比} \equiv \frac{\text{Aでの面積ヒストグラムの中心値}}{\text{Bでの面積ヒストグラムの中心値}}$$

ヒストグラムに詰める
 Wave Area Histogram



10,000イベント分の面積のヒストグラム

ゲイン比の推移

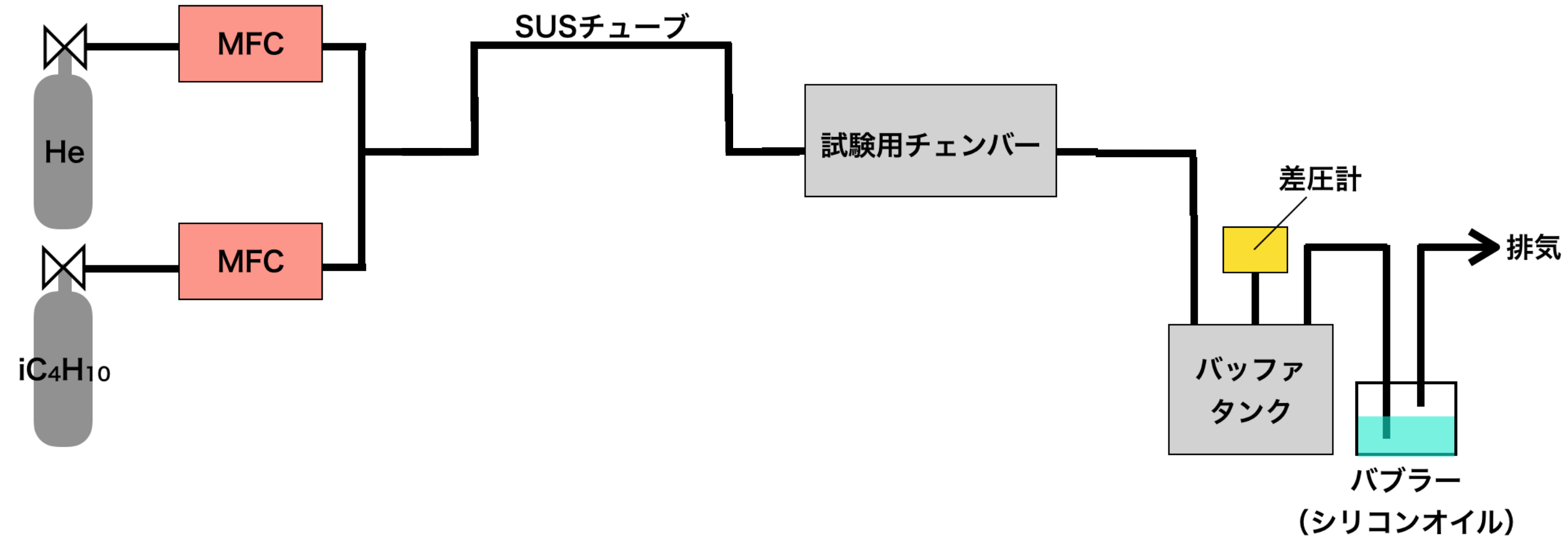


- Phase-I 終了時の10倍の積算電荷量を仮定すると、10%以上ゲイン低下。
- He/iC₄H₁₀ (90/10)エイジング試験ではマルチター効果が発生。
- 線源を取り除いても電流が流れ続ける。

水の添加による測定

ゲインの低下の抑制・マルチ効果の軽減のため、水を添加する機構を導入。

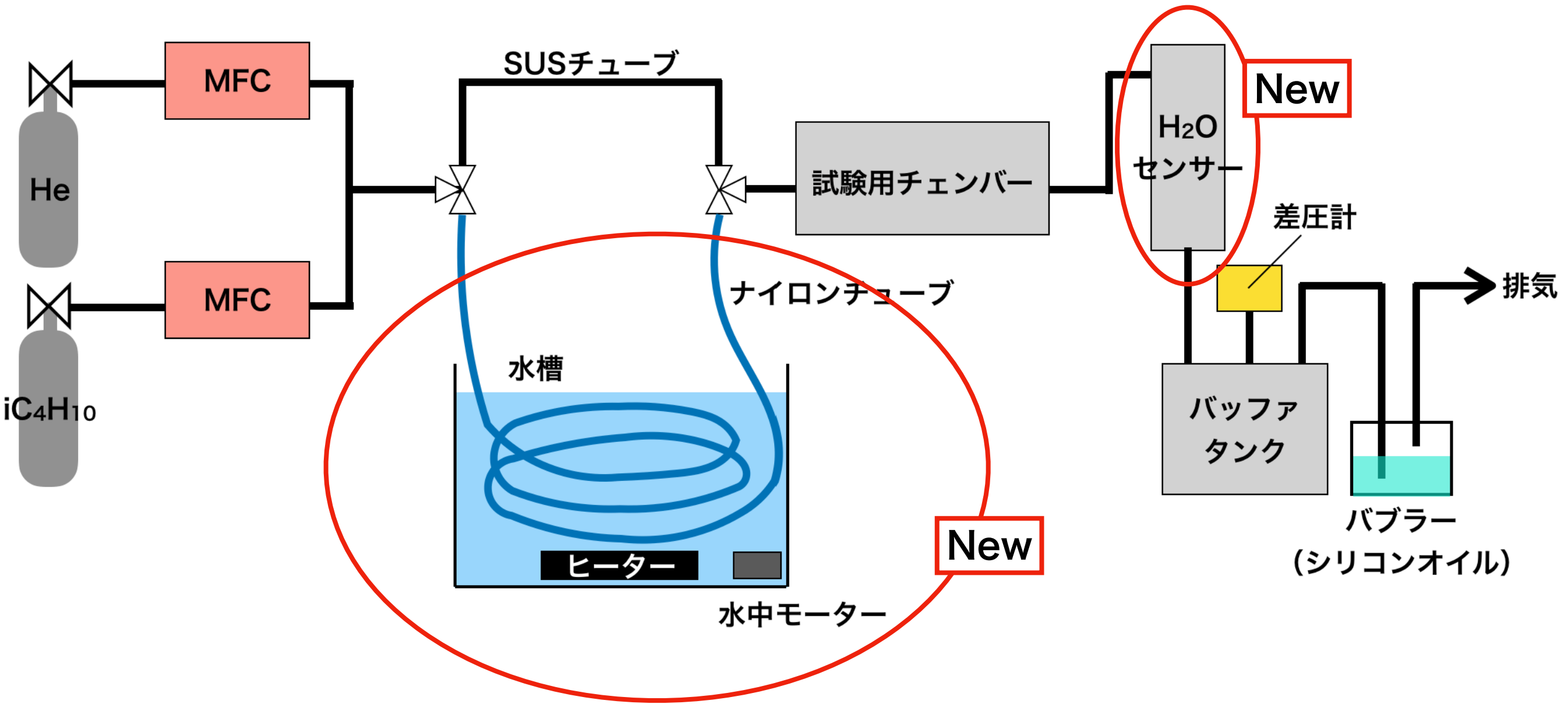
ガスの配管



水の添加による測定

ゲインの低下の抑制・マルチ効果の軽減のため、水を添加する機構を導入。

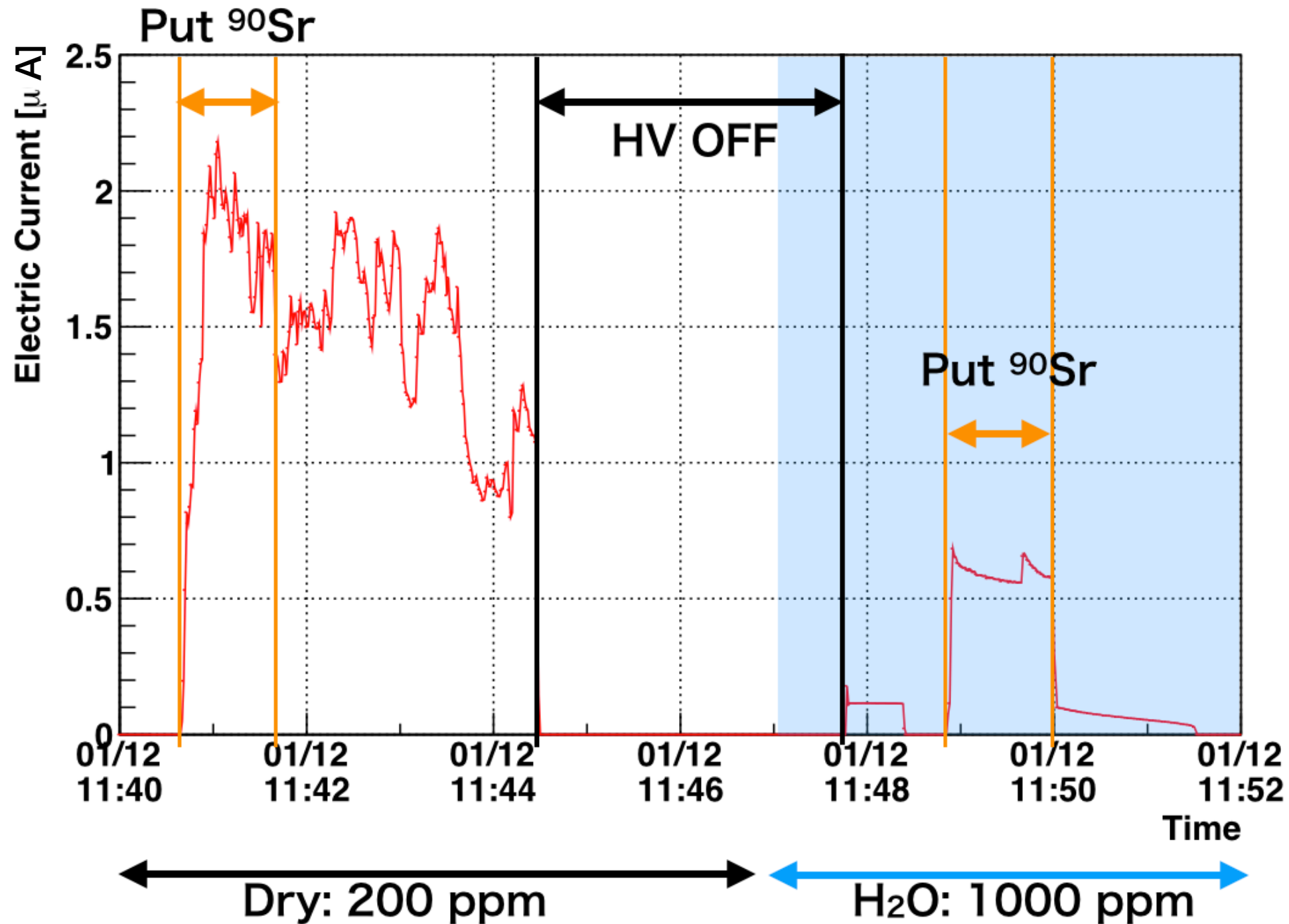
新しいガスの配管



1100–1300 ppmの水蒸気を安定的に注入

水の添加によるマルター効果の軽減

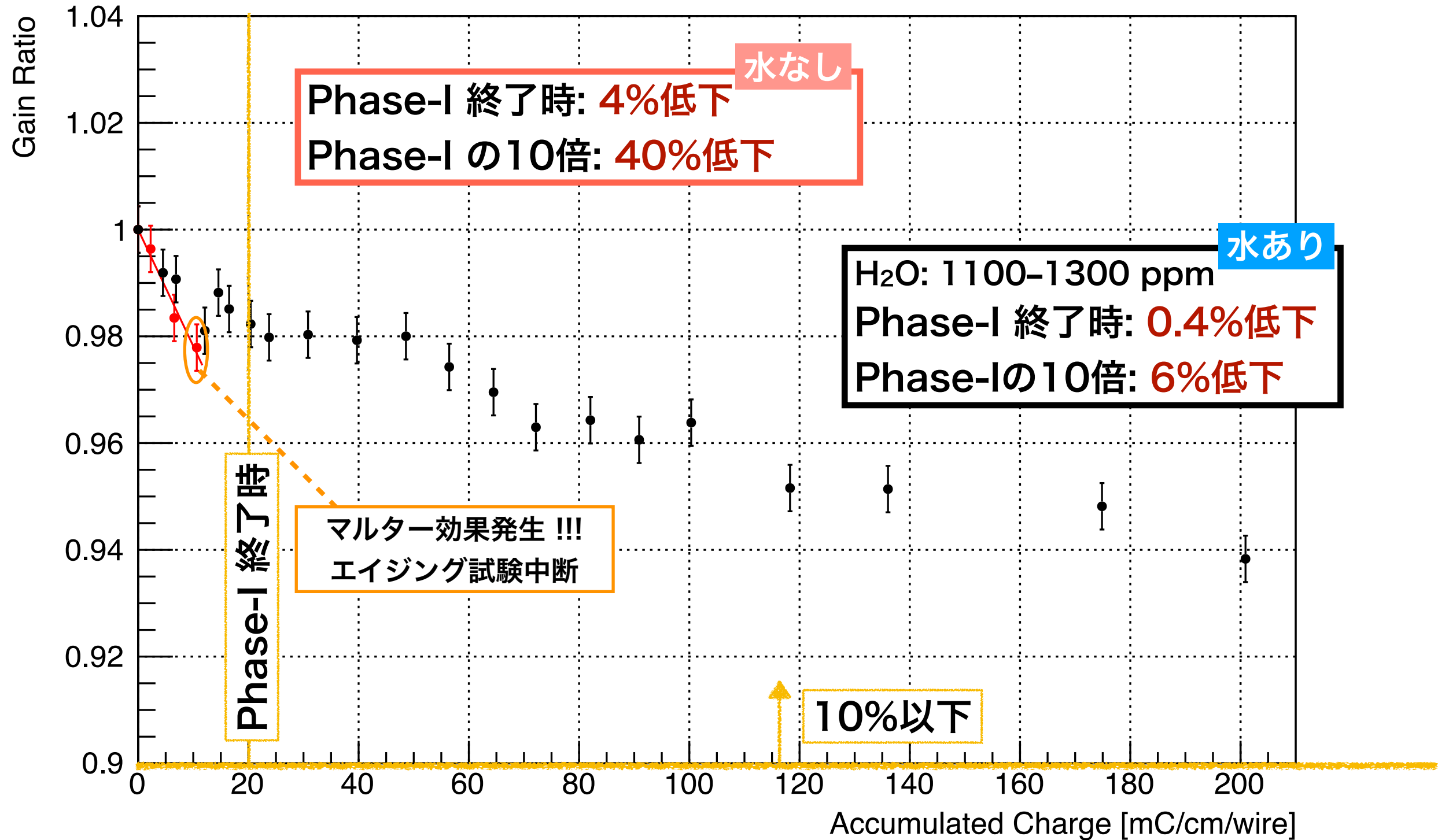
- 水の添加により、マルター効果の軽減に成功。



水を入れる前後でのワイヤーに流れる電流の比較

ゲイン低下の抑制も期待できる

水の添加によるゲイン比の推移



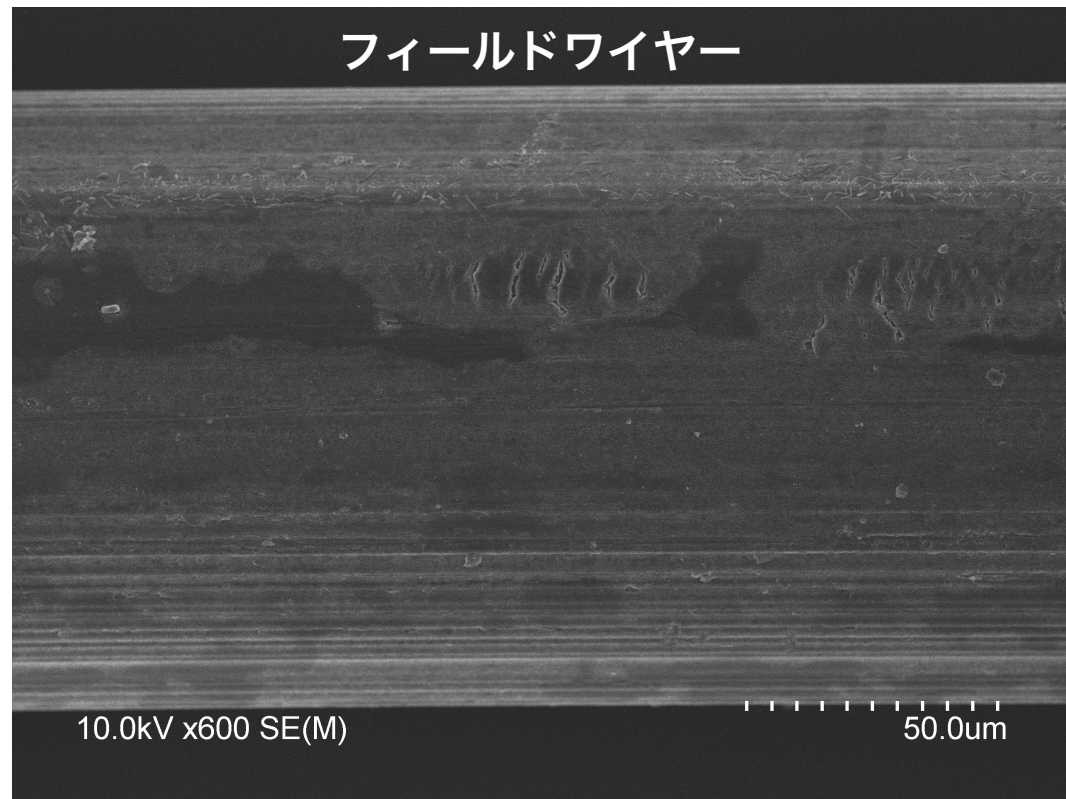
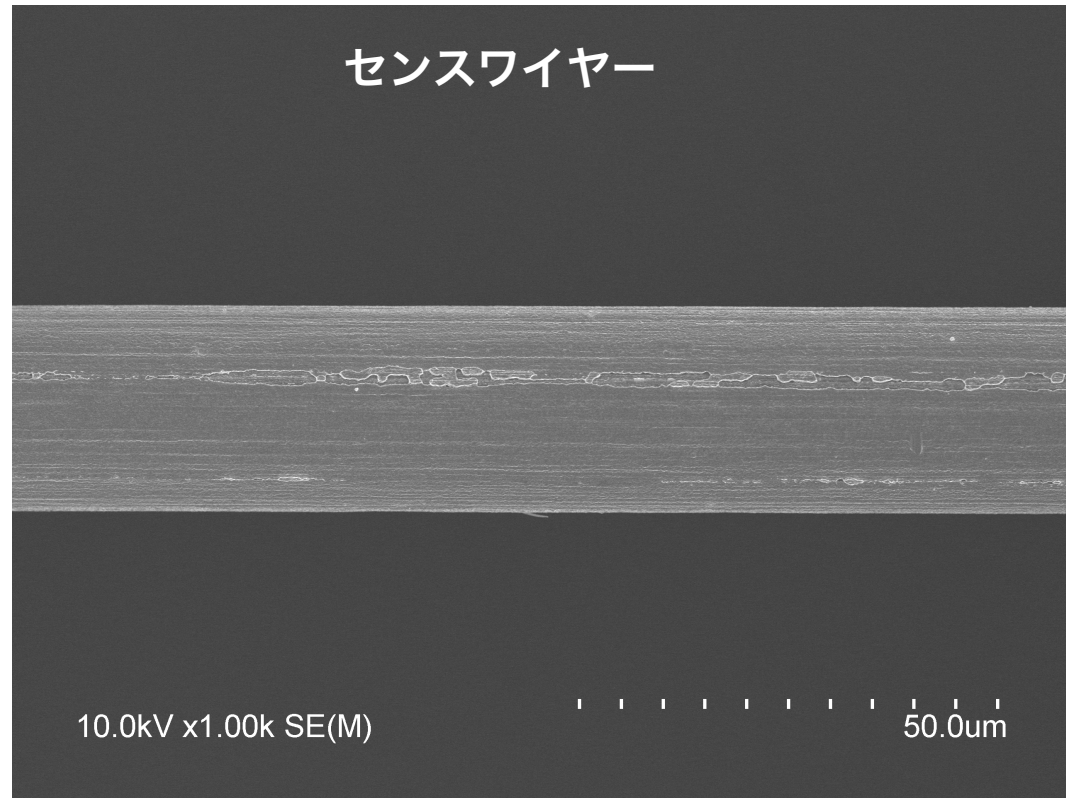
ゲイン比の推移の比較 (He/iC₄H₁₀ (90/10) 1850 V, 線源 2個)

- 1100-1300 ppmの水の添加により、ゲイン比の低下が軽減できた。
- 200 mC/cm/wireまでマルチター効果は現れなかった。

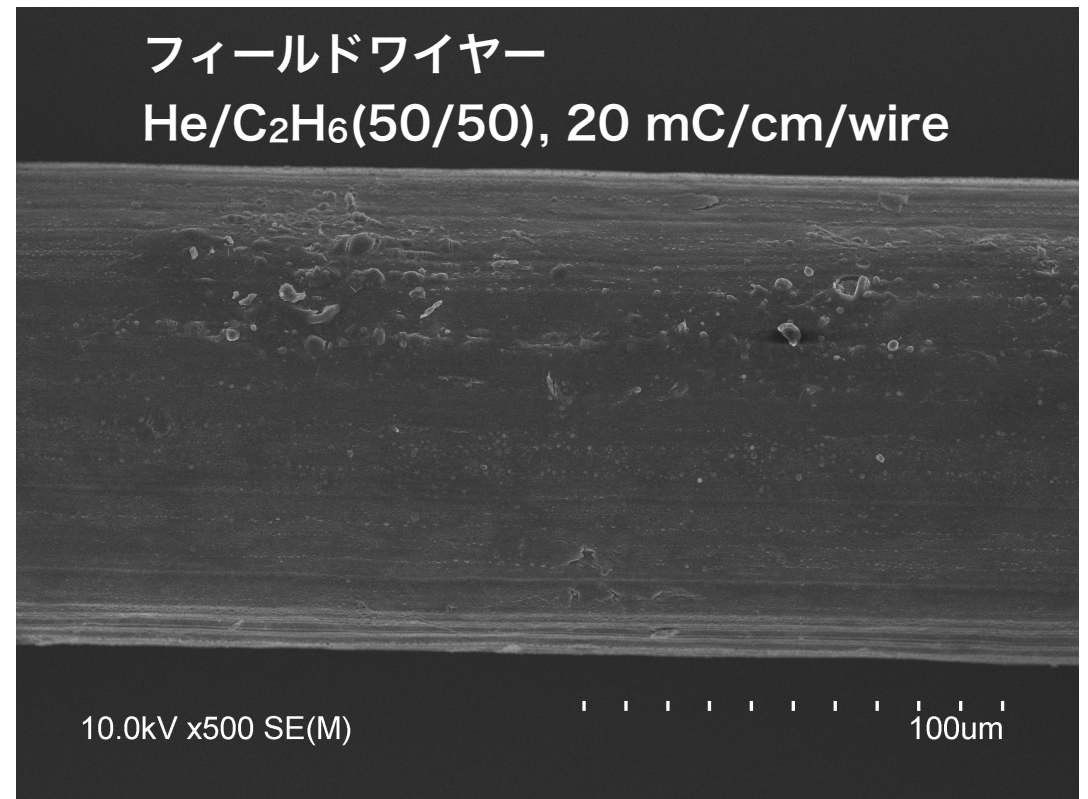
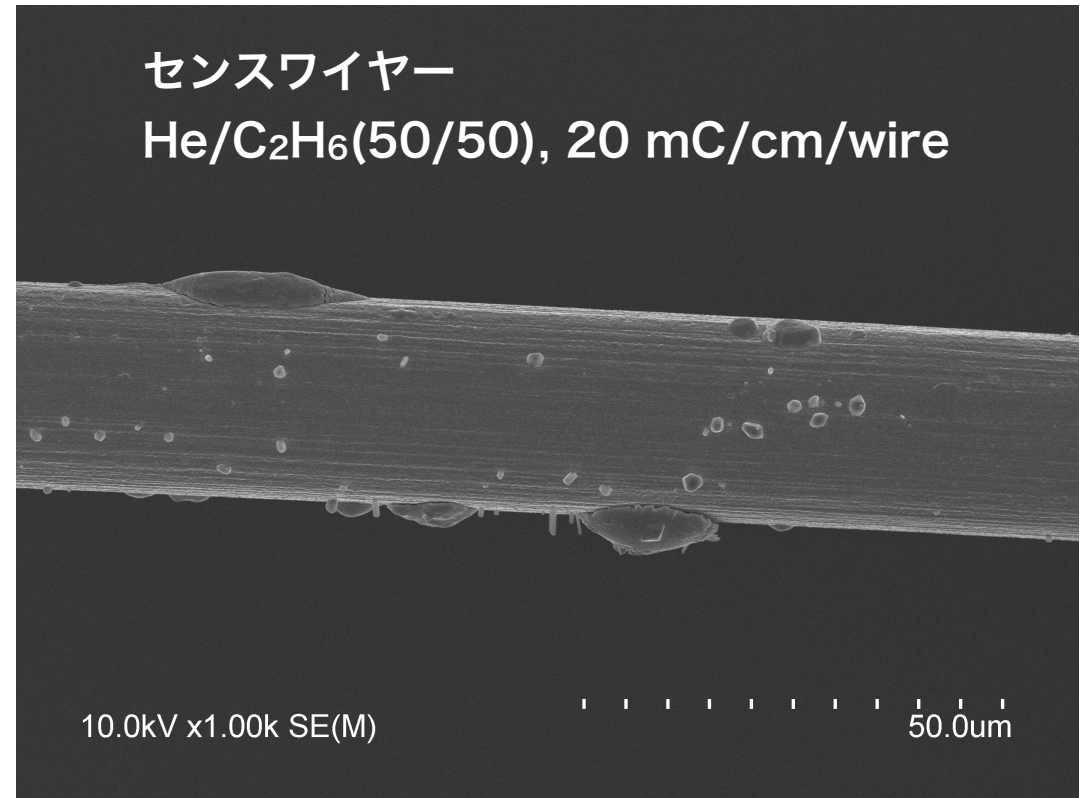
電子顕微鏡・X線分析装置による ワイヤー表面観察と元素分析

ワイヤー表面の顕微鏡写真

エイジング前



エイジング後

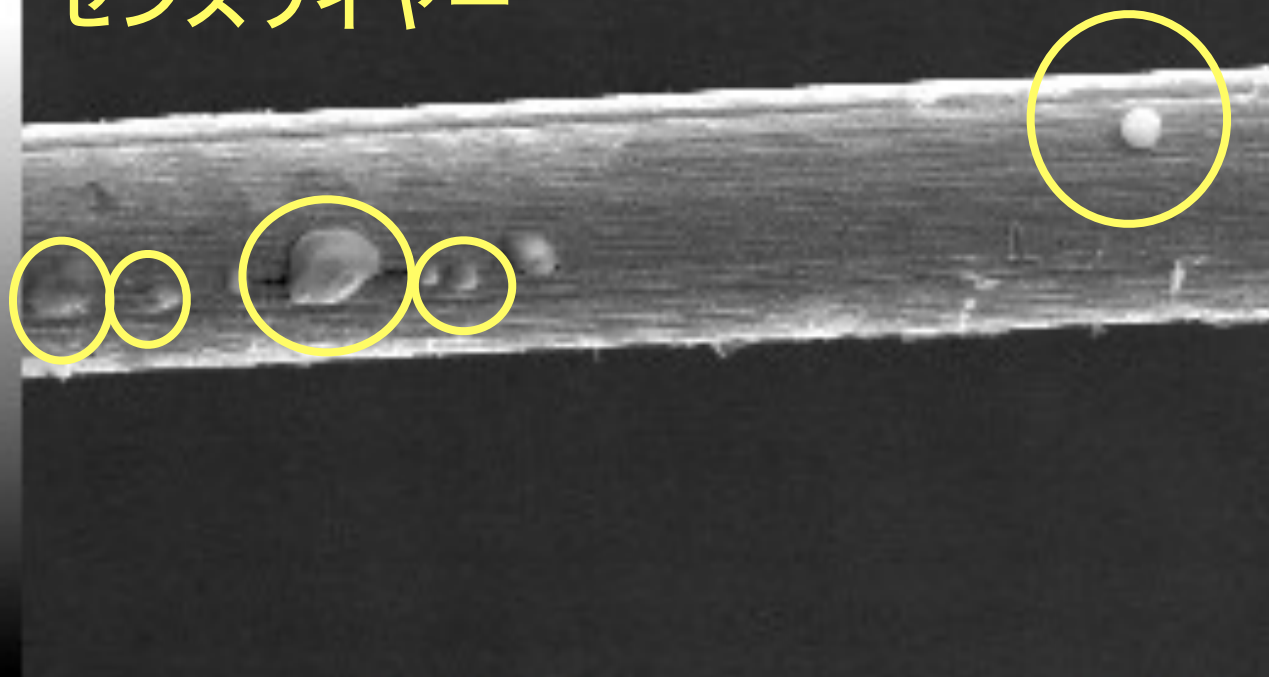


元素マッピング

(JED-2300, 日本電子)

He/C₂H₆(50/50), 20 mC/cm/wire

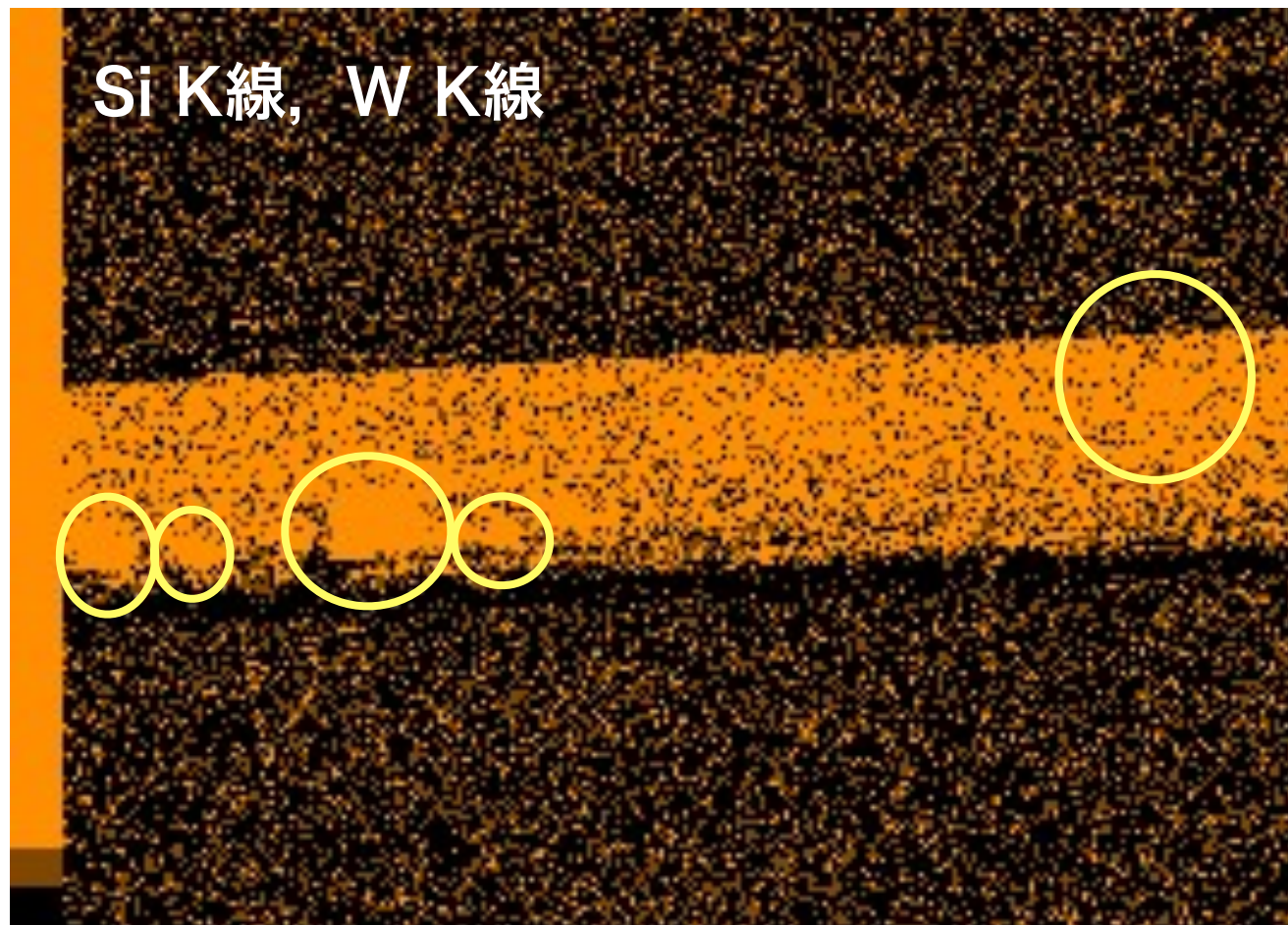
センスワイヤー



30 μm

IMG1

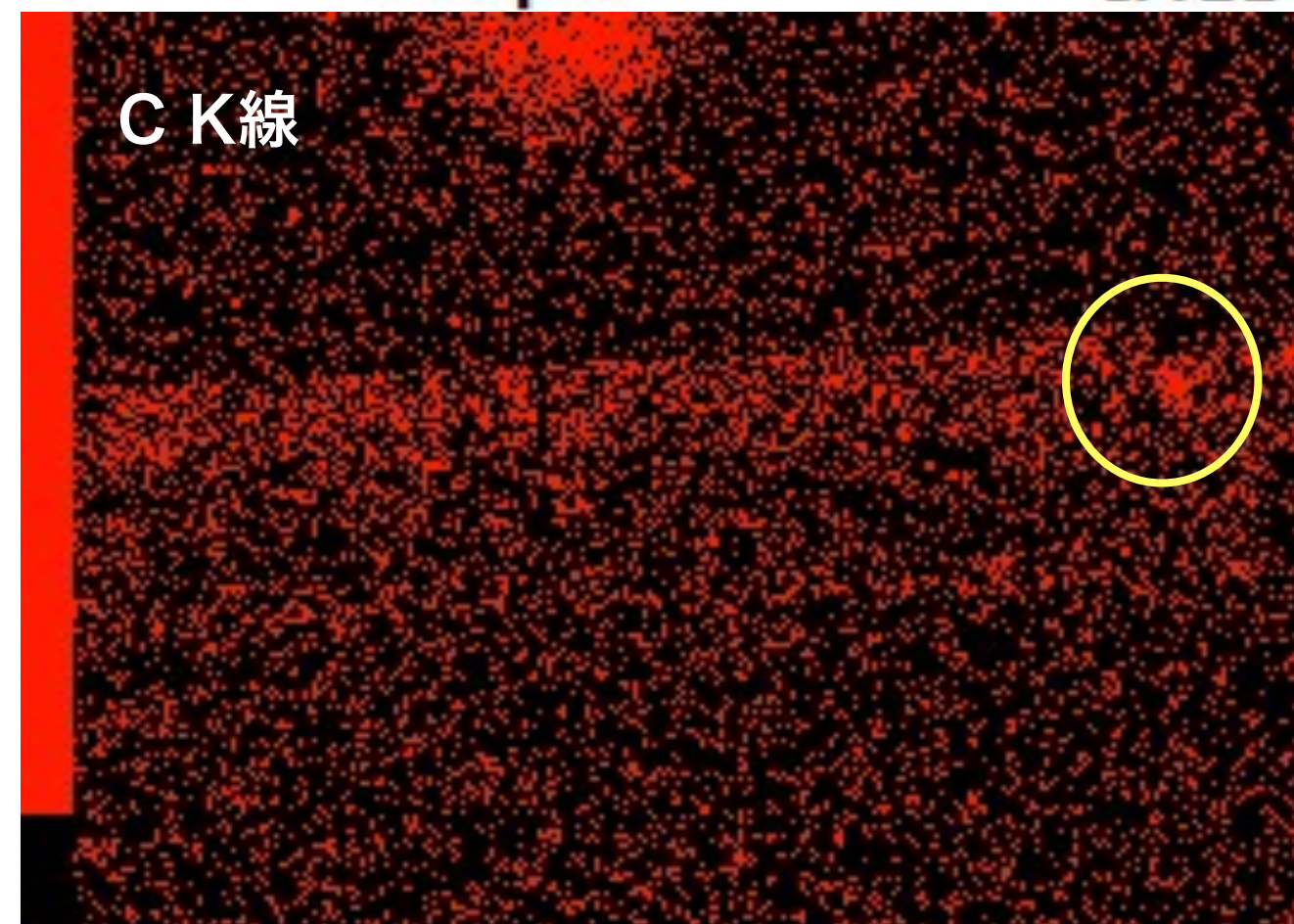
Si K線, W K線



30 μm

Si K

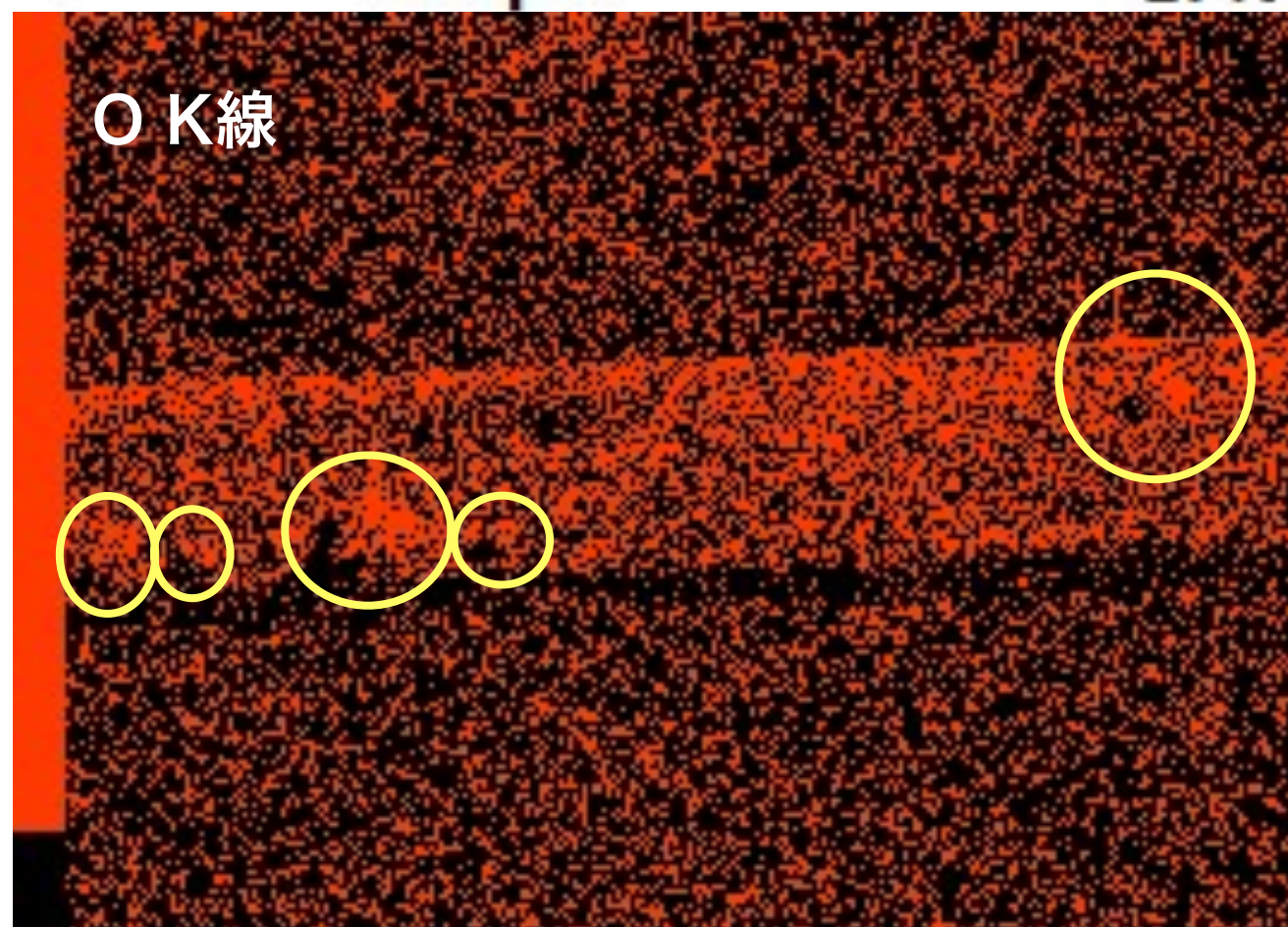
C K線



30 μm

C K

O K線



30 μm

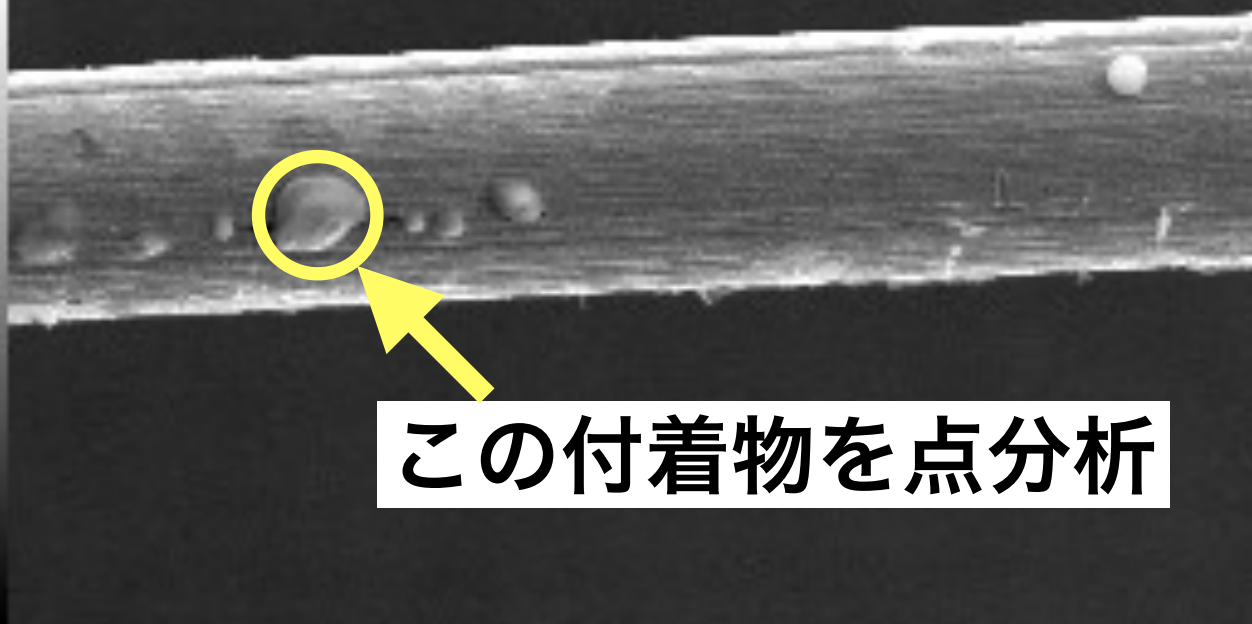
O K

元素マッピング

(JED-2300, 日本電子)

He/C₂H₆(50/50), 20 mC/cm/wire

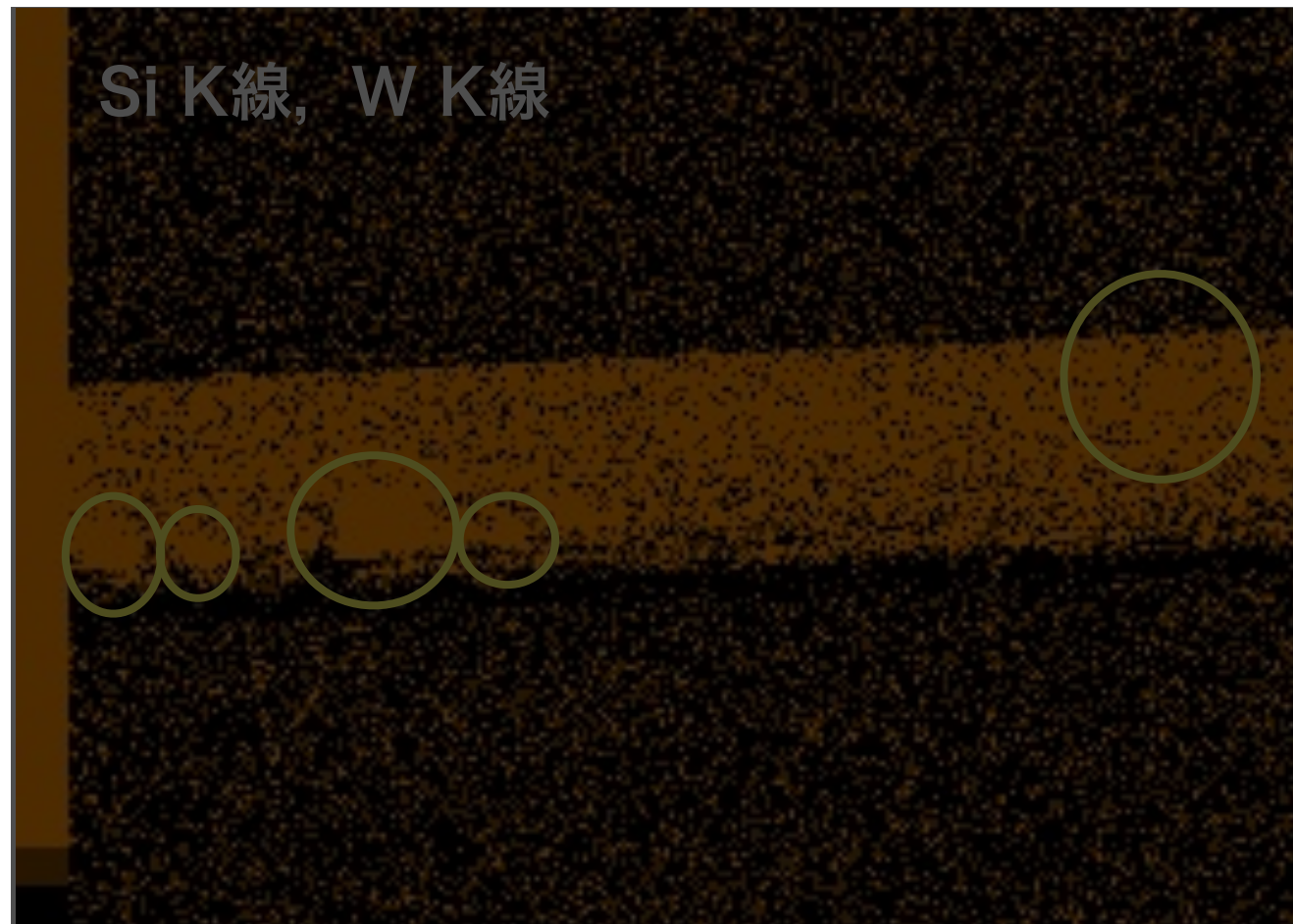
センスワイヤー



30 μm

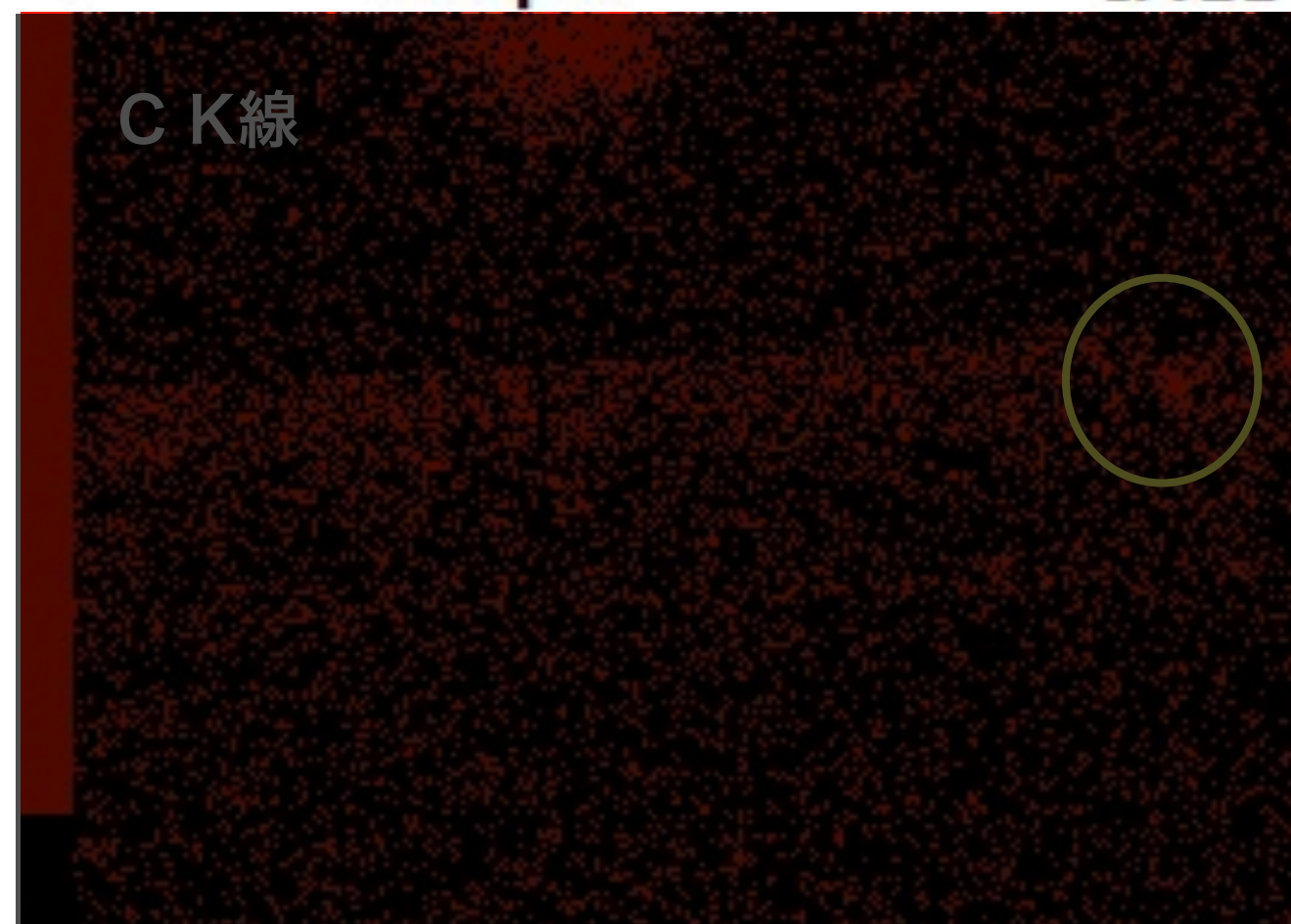
IMG1

Si K線, W K線



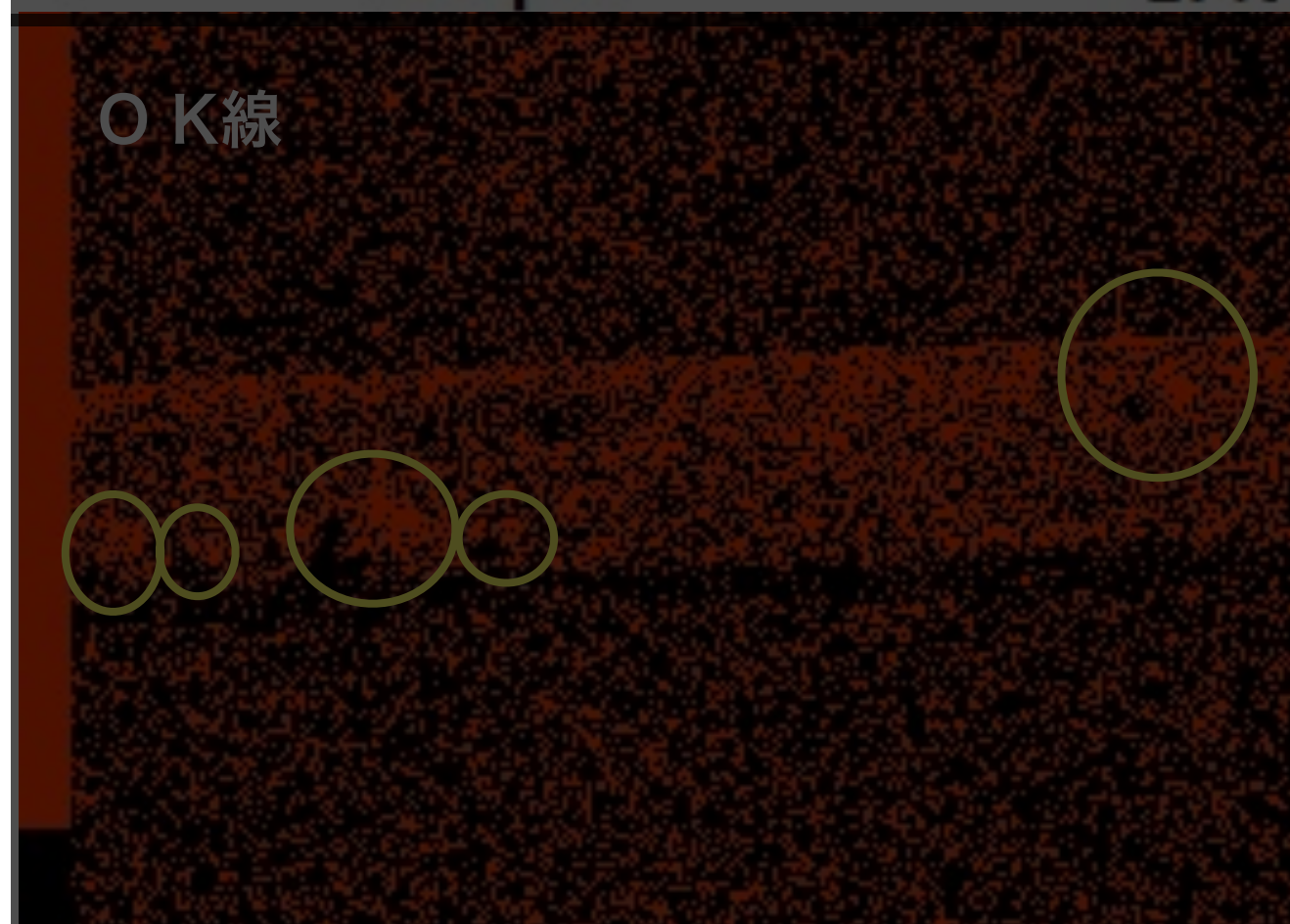
Si K

C K線



C K

O K線

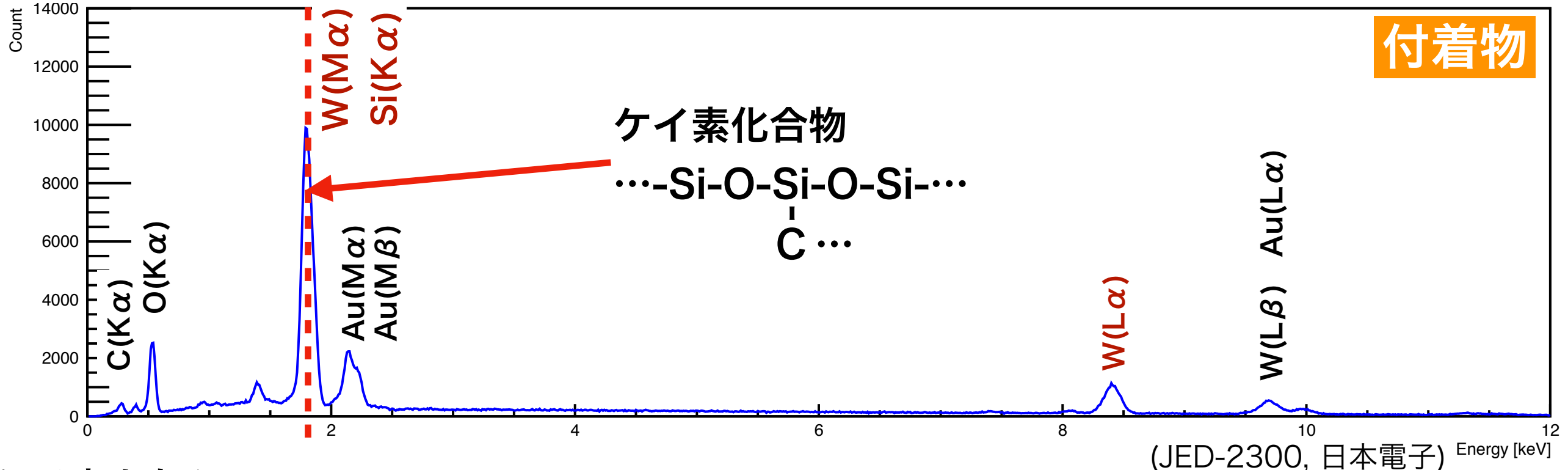
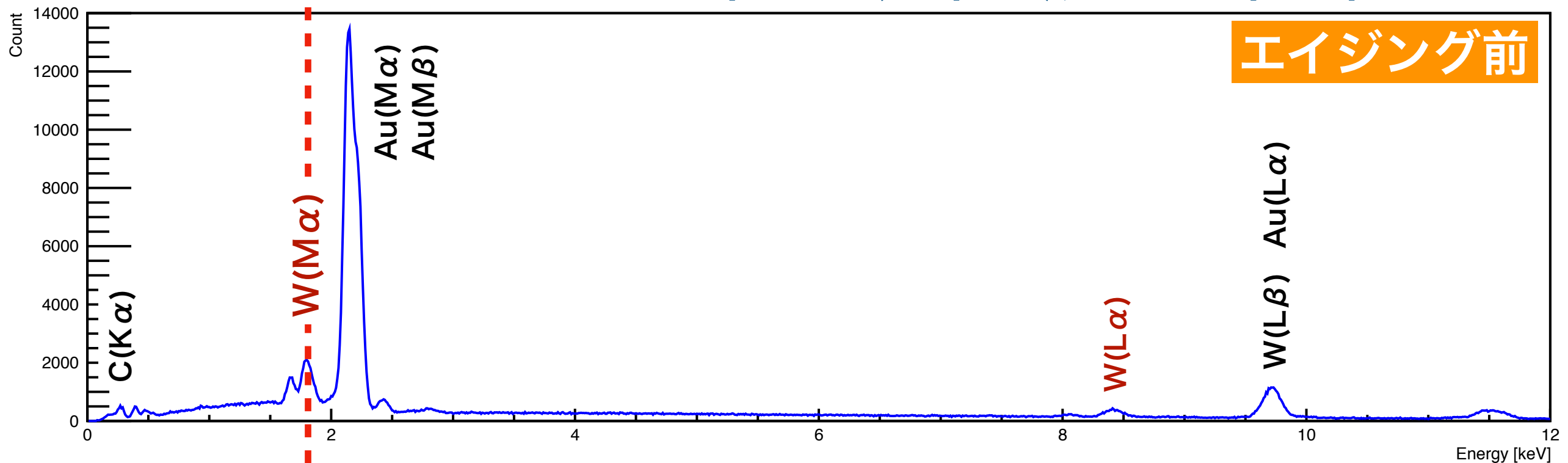


O K

付着物の点分析

センスワイヤー

He/C₂H₆(50/50), 20 mC/cm/wire の例



ケイ素を与える因子

- フィードスルーやエンドプレートの接着・シールに使用しているシリコーンゴム
- ケイ素系の工業用油

ゲイン比の低下と

ワイヤー表面観察・元素分析の結果から

COMET CDCに危惧される影響

COMET CDCへの影響

水の添加

- 水を添加しない場合: Phase-Iの10倍の積算電荷量で10%以上のゲイン低下
10 mC/cm/wire 以降でマルター効果発生
- CDCは、最大1300 ppmの水を添加している限り、Phase-Iの10倍の積算電荷量でも、ゲインの低下は要求の10%以内を満たすと考えられる。

コンディショニング期間も考慮すると、CDCに初めから水を加えるべき。

放射線強度

エイジング試験は約130倍(47倍)の加速試験。過度な見積もり。

エイジング試験ほど速いゲイン低下やマルター効果の出現はないと考えられる。

今後の展望

- **ガスの流量を変えた場合のゲイン測定**
ガス置換速度の違いの評価
試験用チェンバー: 75-100分/回, CDC: 1000分/回
- **試験用チェンバーの大きさを変えたゲイン測定**
使用している接着・シール剤（ケイ素を与える最有力候補）の量の評価
- **チェンバーを製作してから時間を置いて測定**
アウトガスの時間依存性の評価

まとめ

- COMET CDCに対するエイジング効果の影響を調べた。

- COMET CDCワイヤーエイジング試験

- ゲイン比の推移:

- COMET Phase-I 終了時の10倍 (200 mC/cm/wire) でのゲイン低下

- He/iC₄H₁₀(90/10)ガス 最小約30%、

- He/C₂H₆(50/50)ガス 約60%

- **He/iC₄H₁₀(90/10)ガス (1100-1300 ppmの水を添加) 約6.2%**

- マルター効果の発生:

- 約 0.13 μ A/cmの放射強度の場合

- 水の添加なし 10 mC/cm/wire以降で発生

- **1100-1300 ppmの水を添加 200 mC/cm/wireまでのところ、見られず**

- ワイヤー表面観察及び元素分析: ケイ素化合物

COMET CDCではゲインの低下・マルター効果を抑えるために1300 ppm程度の水を加えることが必要。

エイジング試験は約130倍の加速試験。COMET CDCでのエイジングの影響はほとんどないものと考えられる。