

# J-PARCニュートリノビームライン用 超伝導電磁石システム(13)

## — 有機材料の低温 $\gamma$ 線照射効果 —

高エネルギー加速器研究機構

○中本建志      大畠洋克      荻津 透      木村誠宏  
                 榎田康博      山本 明

日本原子力研究開発機構

出崎 亮      伊藤久義      森下憲雄

2005年度秋季低温工学・超伝導学会  
於朱鷺メッセ 2005年11月21日

# 発表内容

- ・ はじめに

  - J-PARCニュートリノ振動実験

  - コンバインドファンクション超伝導磁石

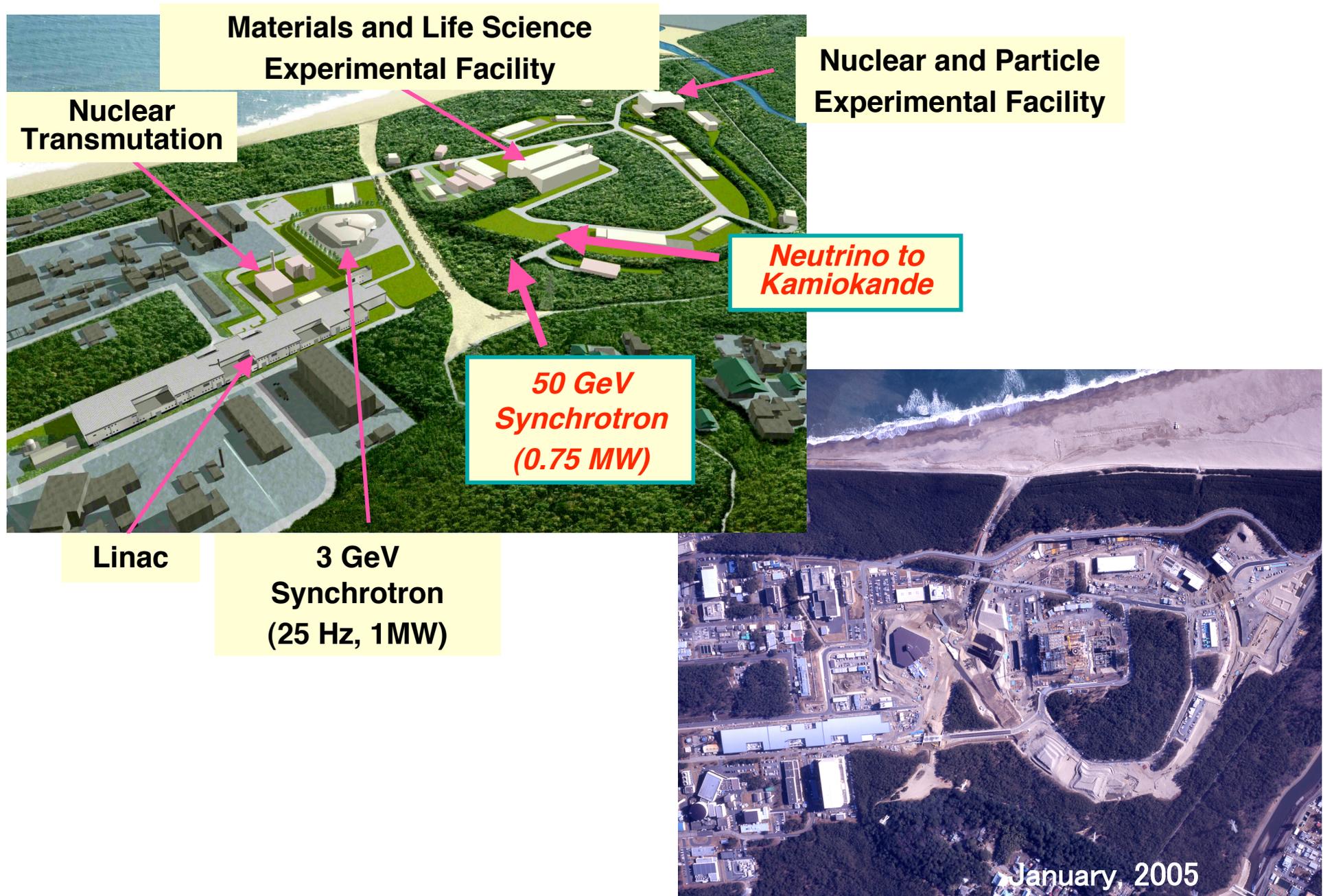
  - 本研究の目的及び低温 $\gamma$ 線照射の概要

- ・ 発生ガス測定

- ・ 機械特性測定

- ・ まとめ

# Japan-Proton Accelerator Research Complex Facility



# Organic Materials in SCFMs

## : Evaluated in this study

**Plastic collar: PM9640**

(ガラス繊維+フェノール系樹脂)

**Coil wedge: G-11**

(ガラス繊維シート+エポキシ系樹脂)

**Beam Tube Insulation: GUG**

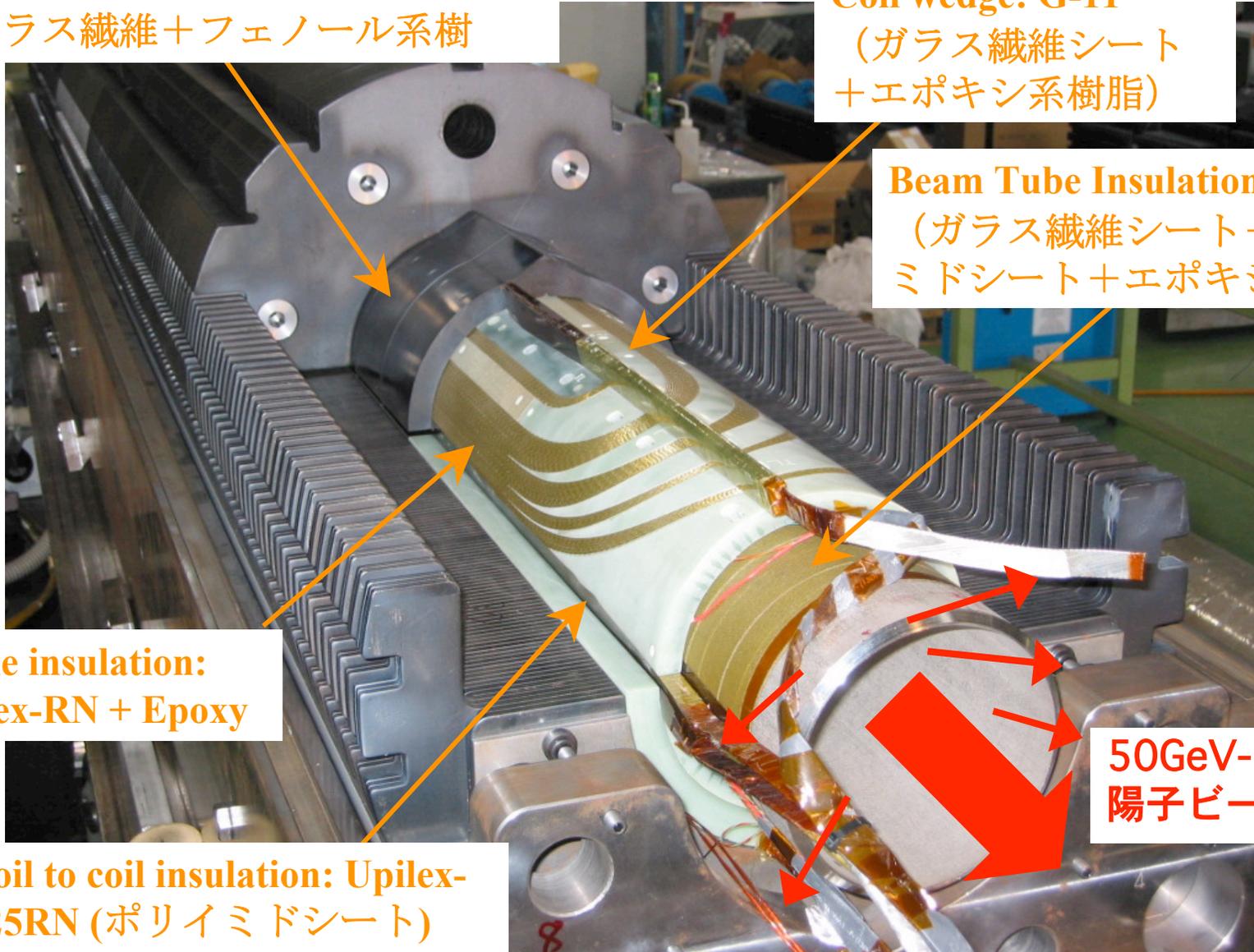
(ガラス繊維シート+ポリイミドシート+エポキシ)

**Cable insulation:**

Upilex-RN + Epoxy

**Coil to coil insulation: Upilex-125RN** (ポリイミドシート)

50GeV-750kW  
陽子ビーム

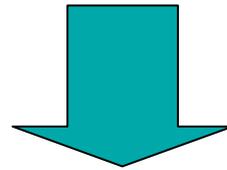


# 本研究の目的

J-PARCニュートリノビームライン用超伝導磁石に使用される有機材料の放射線耐性を実験的に評価

## 照射条件

- ・ 真空中（ガラスアンプル）、 $^{60}\text{Co}\gamma$ 線を照射
- ・ 液体窒素温度（77K）または常温 → 照射効果の温度依存性を確認
- ・ 照射線量：最大15MGy@77K、23MGy@RT（線量率10-20kGy/hr）



## ・ ガス発生量を測定

下記材料+ケーブル絶縁（UpilexRN+エポキシ）

## ・ 照射前後での機械特性の変化を比較

3点曲げ強度：G-11, PM9640

引き裂き強度：UpilexRN

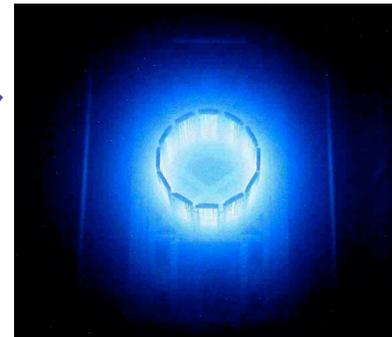
接着強度：GUG（ガラスシート+Upilex+エポキシ）

# Irradiation Facility

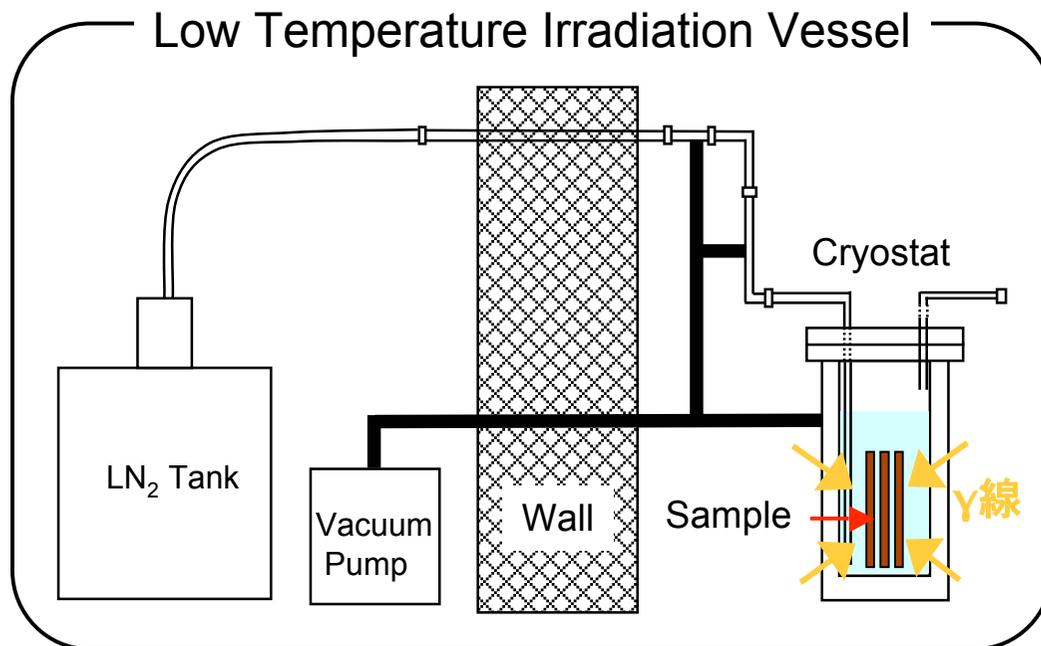


原研高崎Co-60 $\gamma$ 線照射用  
液体窒素クライオスタット

線源プール  
で見られる  
チェレンコ  
フ光



ガラスチューブ（真空）内  
に装填された有機材料



試料照射前に、アラニン  
線量計を用いて空間線量  
率を校正

# 発表内容

- ・ はじめに
- ・ 発生ガス測定
  - 試料準備及び測定方法：ガスクロマトグラフィ
  - 測定結果：ガス発生量、G値
  - ヘリウム冷凍機への影響
- ・ 機械特性測定
- ・ まとめ

# ガス測定



ガラスアンプルに  
試料を封じ込め

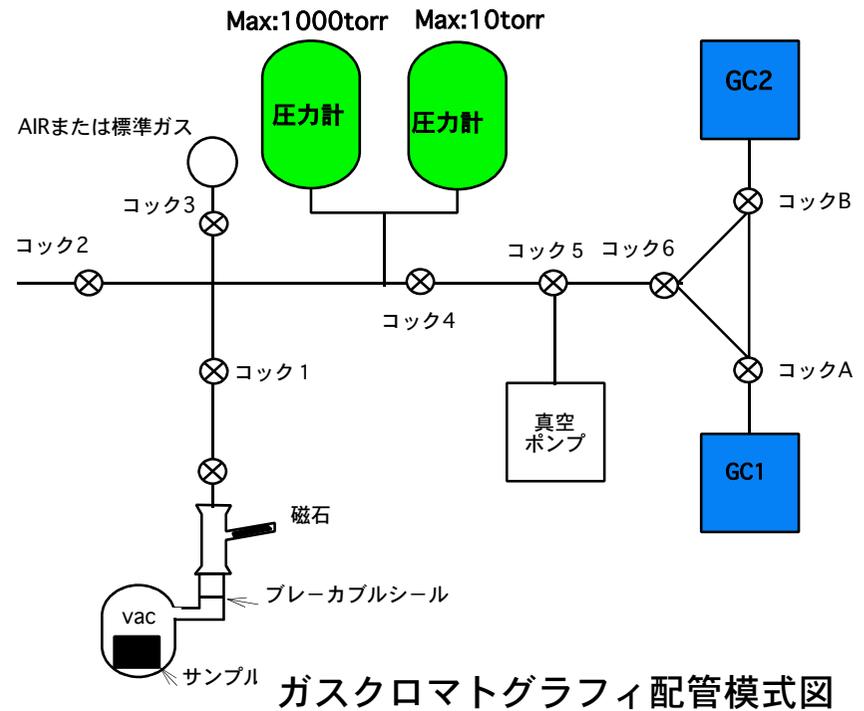
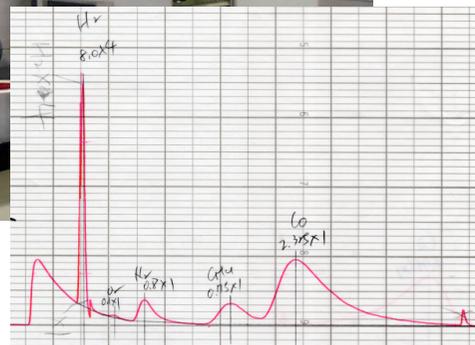


γ線照射用液体室  
素クライオスタット



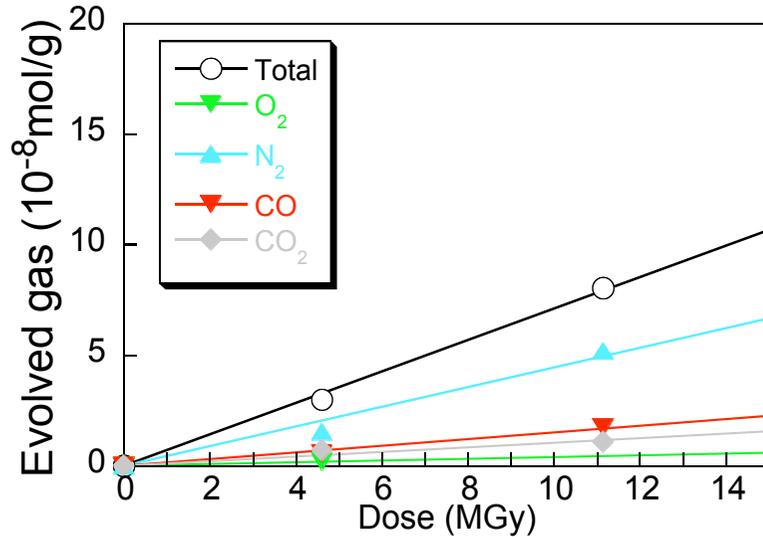
ガスクロマトグラ  
フィ

ガスクロキャリアガス: He  
 ガス圧力: 5kgf/cm<sup>2</sup>  
 流量: 30cc/min  
 カラム温度: 40°C

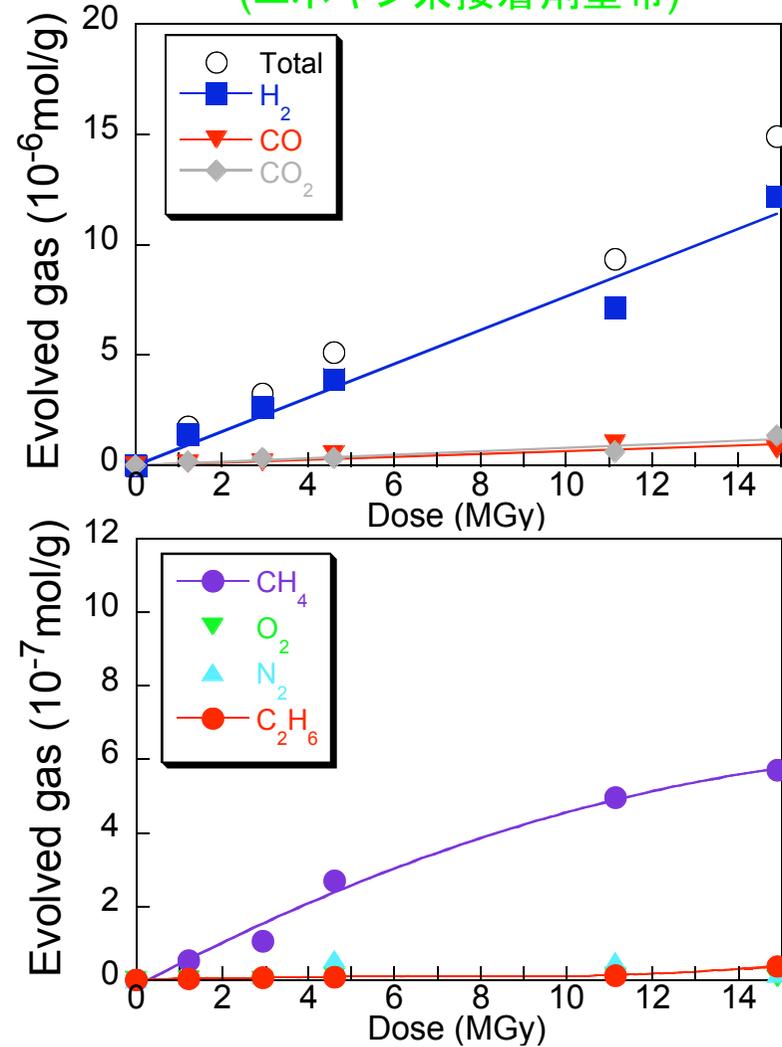


# UpilexRN125・UpilexRN Tapeからの低温照射によるガス発生

## UpilexRN125



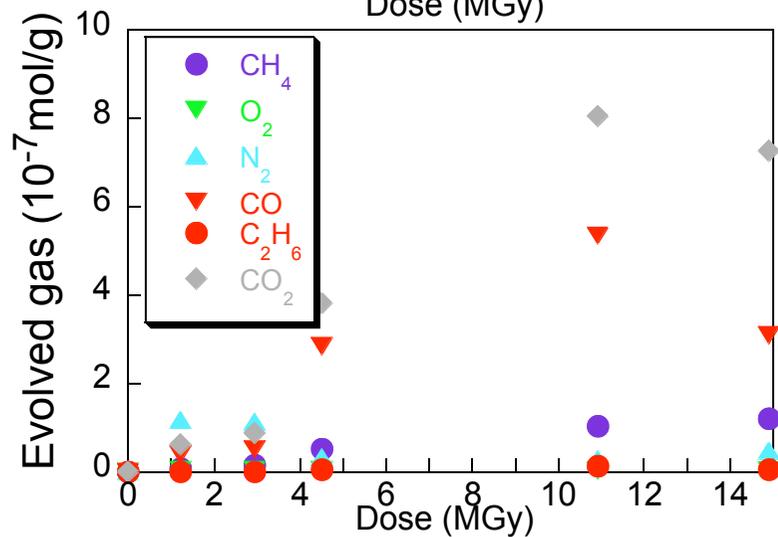
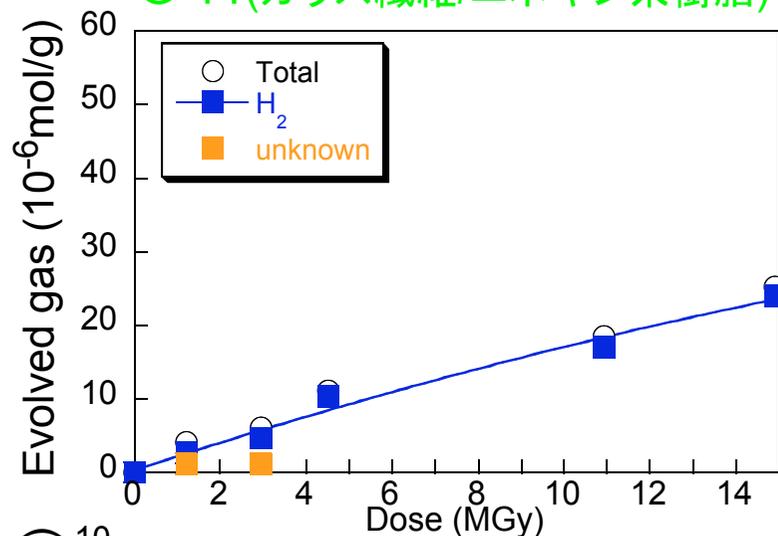
## UpilexRN Tape (エポキシ系接着剤塗布)



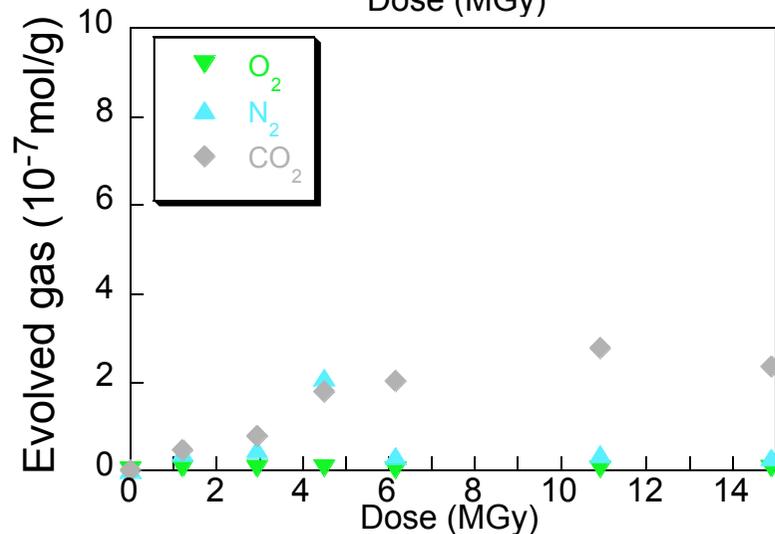
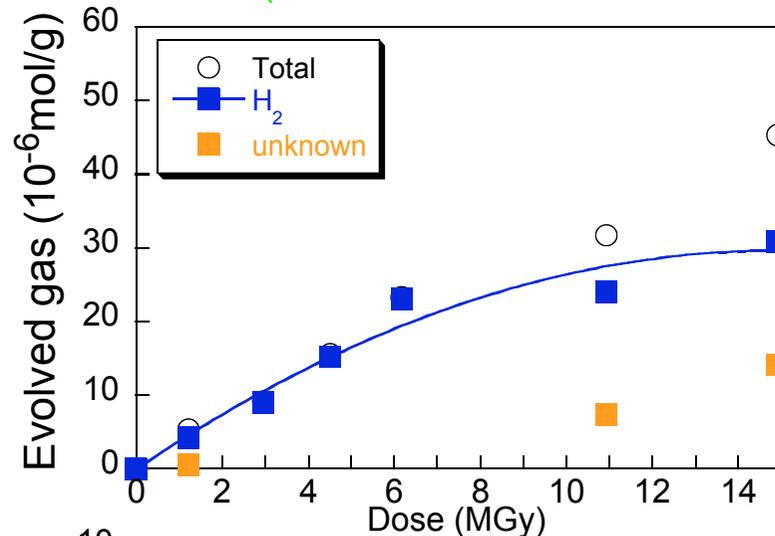
- UpilexRN125はγ線照射によってほとんど分解しない
- UpilexRN Tapeの場合、表面のエポキシ樹脂が分解し、発生ガスのほぼ100%が水素

# GFRP (G-11, PM9640) からの低温照射によるガス発生挙動

## G-11(ガラス繊維/エポキシ系樹脂)



## PM9640(ガラス繊維/フェノール系樹脂)



● 両者とも発生ガスのほぼ100%が水素  
 ● エポキシ系樹脂からは、微量の炭化水素

# 超伝導磁石システムにおける水素発生量についての検討

50GeVシンクロトン  
ビームライン

ニュートリノ  
ビームライン

ビーム振り下げ

ビームライン運転中のビームロスを最大1W/m、  
1年間の運転時間を4000hと仮定

超伝導磁石のコイル部分において  
1年当たり30kGyの放射線照射を受ける

超伝導磁石1基について  
水素の発生量は、 $1.33 \times 10^{-2} \text{mol}$

ニュートリノビームラインでは  
28基の超伝導磁石を使用

システム全体としての発生量は0.37mol  
(液体水素の体積として0.01L)

ヘリウム冷凍機の20Kアブソーバーで  
除去可能な量

ヘリウム冷凍機の運転への影響はほとんどない

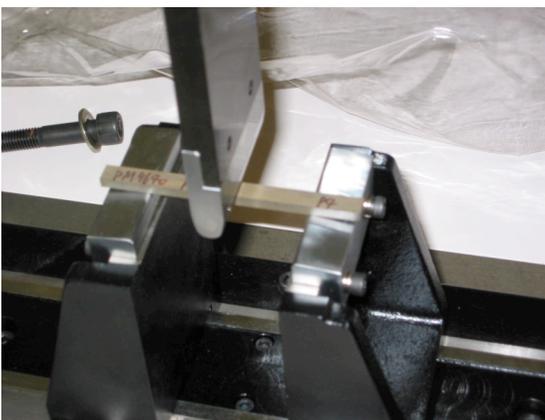
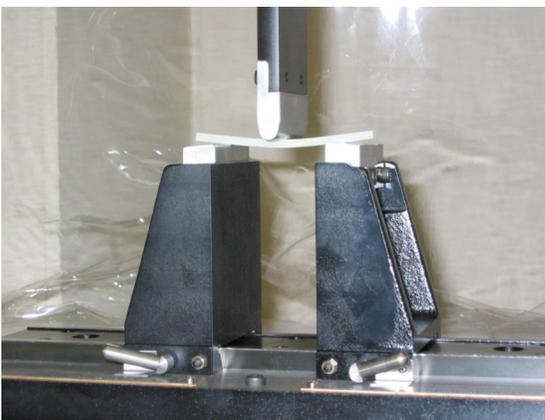
# 発表内容

- はじめに
- 発生ガス測定
- **機械特性測定**
  - 3点曲げ強度試験：GFRP (G-11, PM9640)
  - 引き裂き強度試験：Polyimide film (Upilex-RN)
  - 接着強度試験：GUG
- まとめ

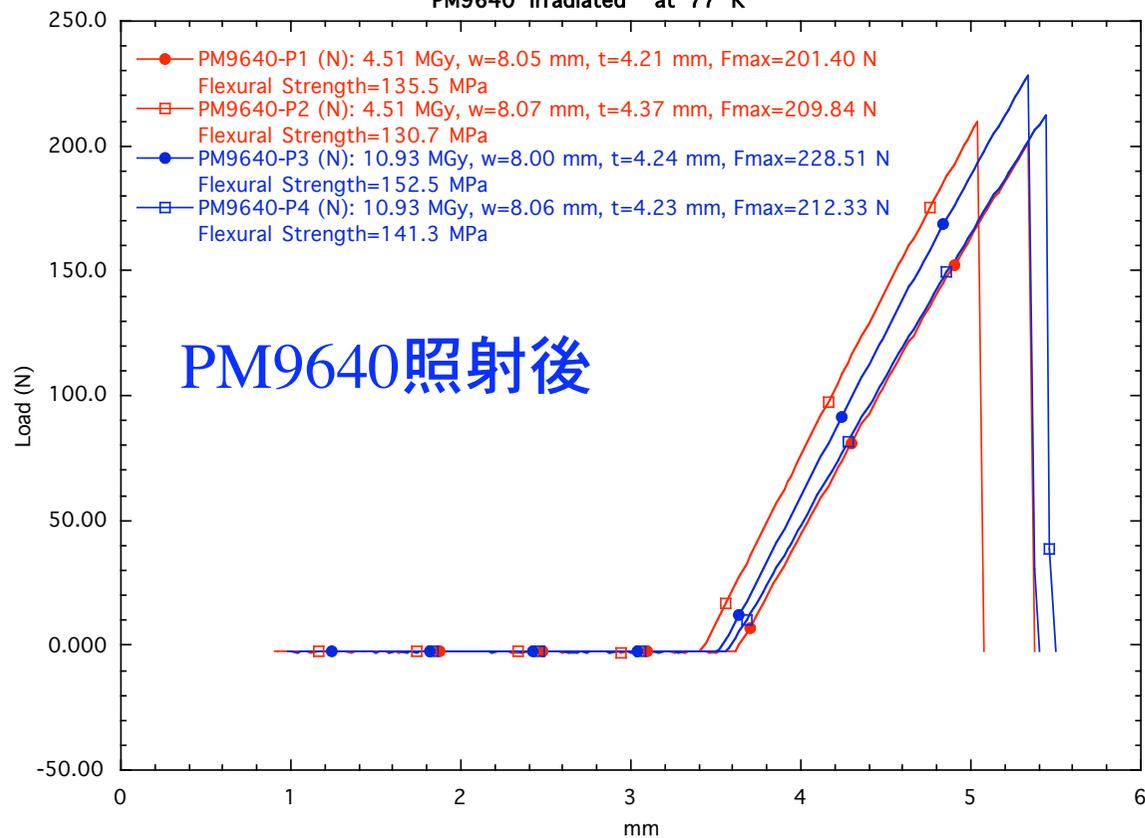
# 曲げ試験の様子



- 3点曲げ強度試験（JIS-K6911を準拠）  
速さ：2 mm/min.  
ロードセル容量：1 kN
- 試料：PM9640、G-11
- 寸法：幅8 mm、厚さ4 mm、長さ100 mm  
（ガラスサンプルに入る寸法）

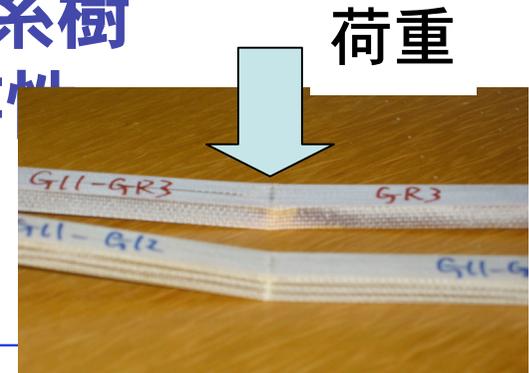


2004-3-10  
Flexural Strength Test  
PM9640 Irradiated at 77 K

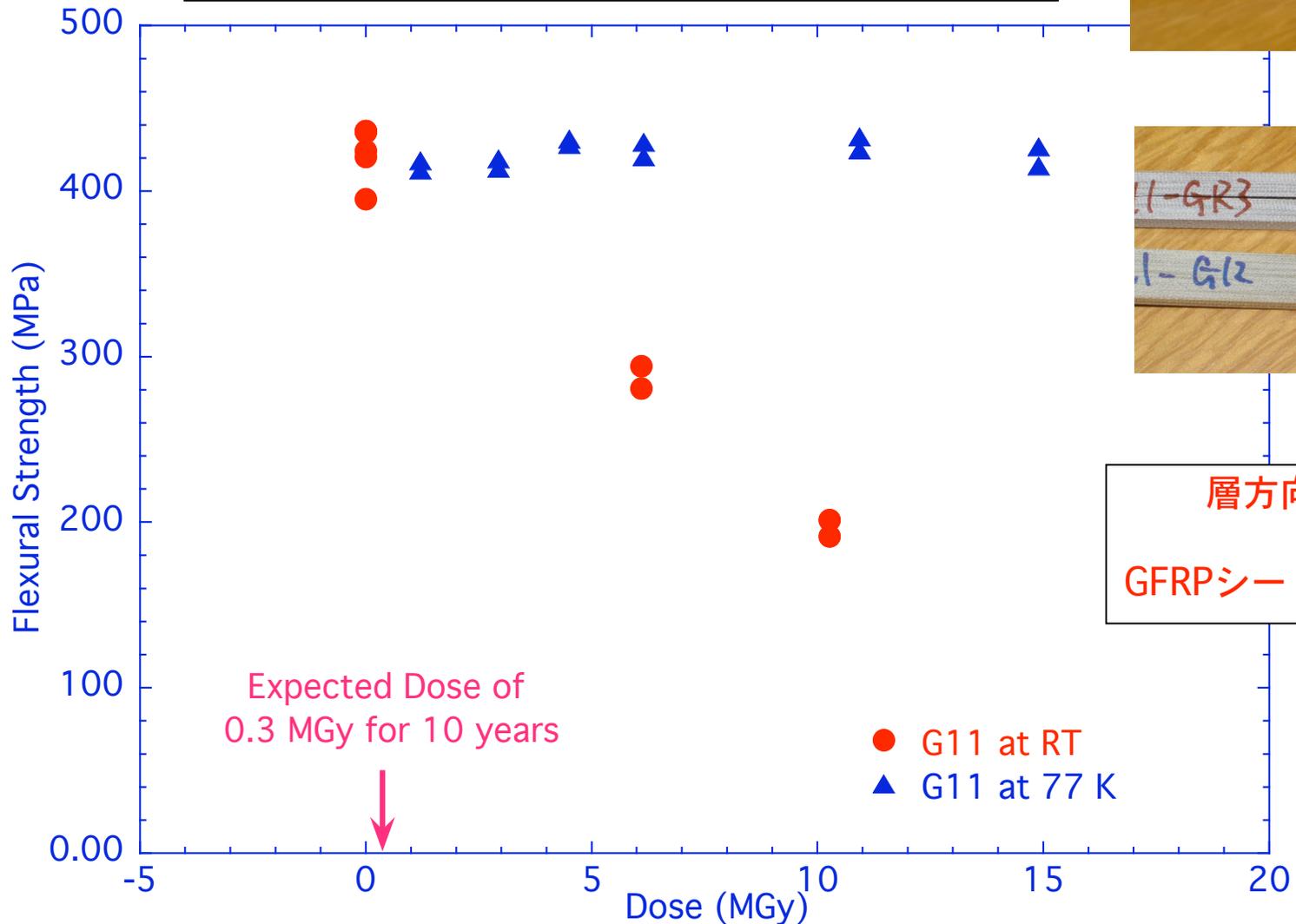


# G-11 (ガラス繊維+エポキシ系樹脂) 曲げ強度の吸収線量依存性

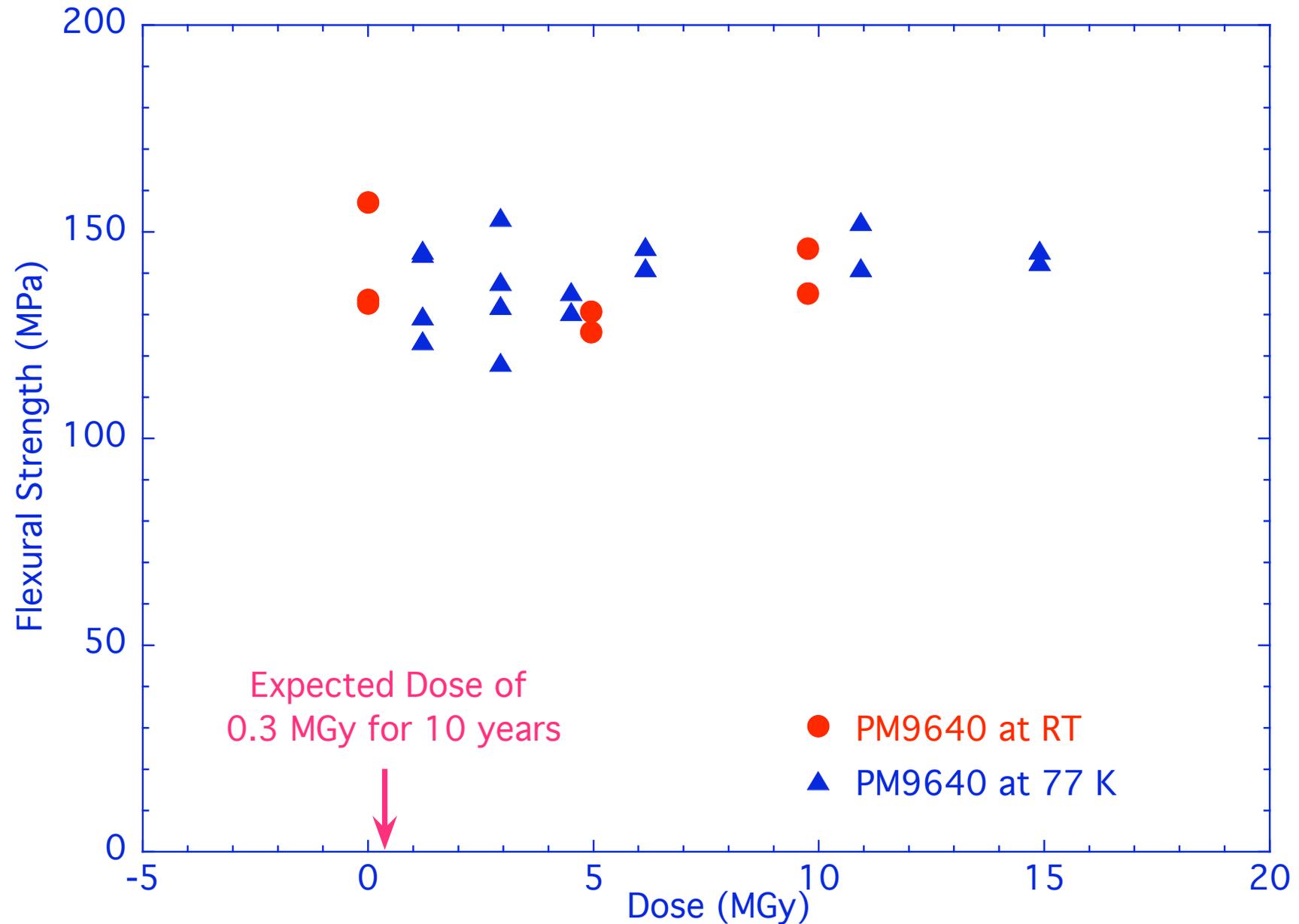
低温照射では影響が見られない。  
常温照射では、明らかな性能劣化。



層方向への裂け目  
↓  
GFRPシート界面の接着劣化



# PM9640 (ガラス繊維+フェノール系樹脂) 曲げ強度の吸収線量依存性



# 引き裂き試験の様子

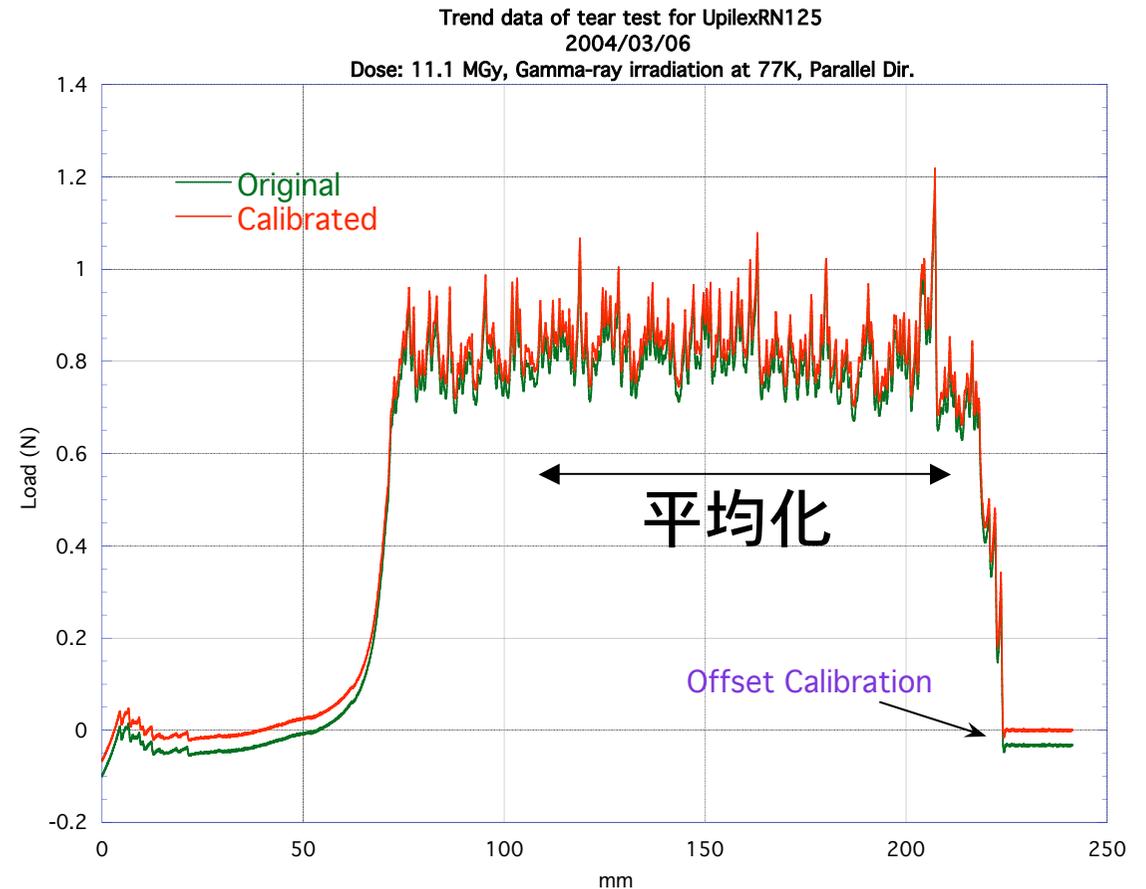
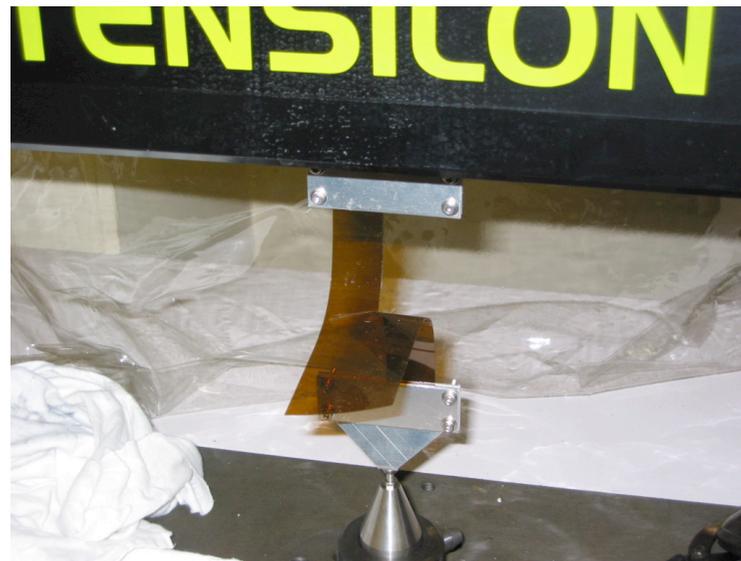


JIS-K7128-1トラウザー法

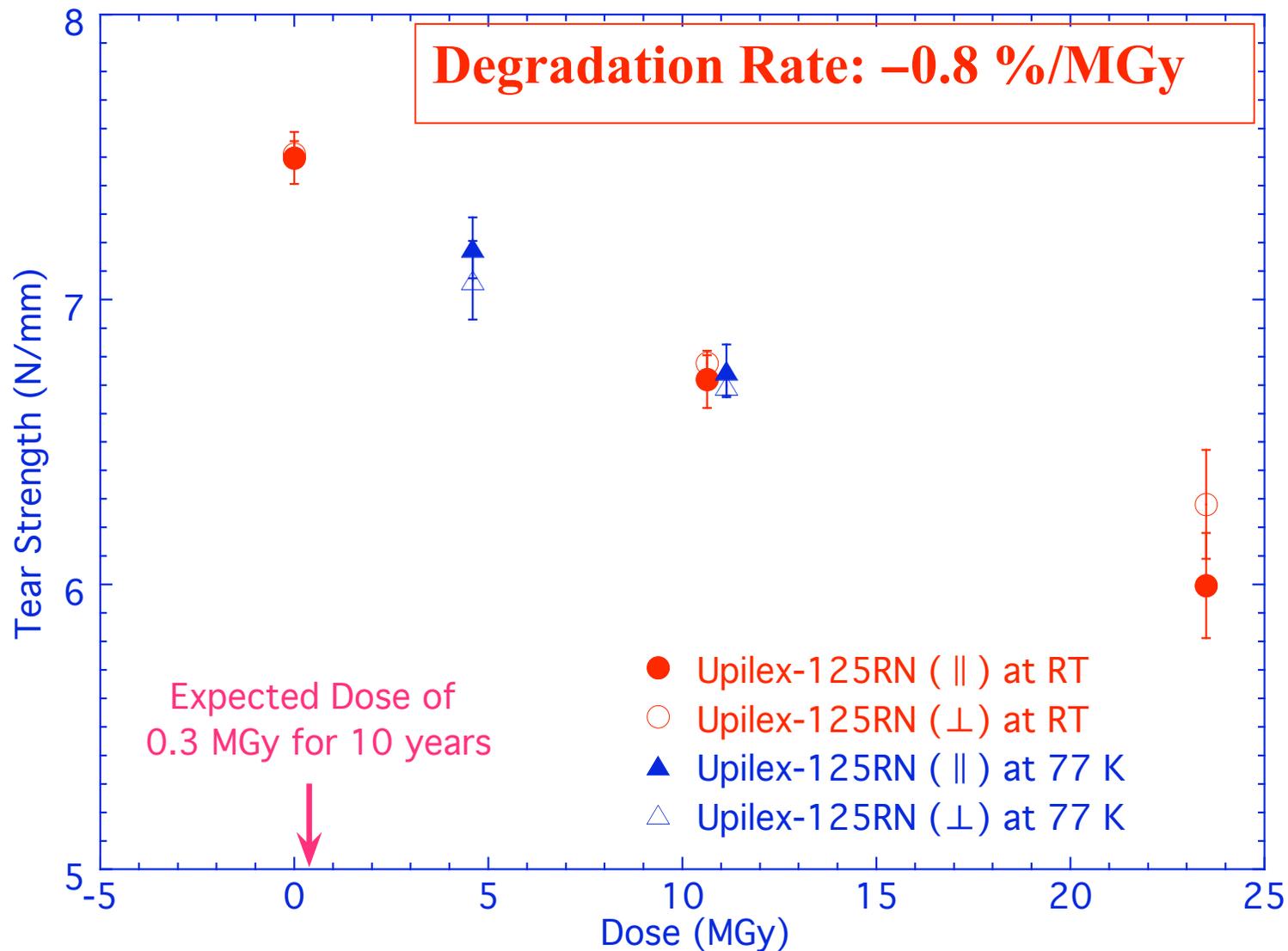
引き裂き速度：200 mm/min.

ロードセル容量：10 N

サンプル：150 mm×50 mm、スリット長 75 mm



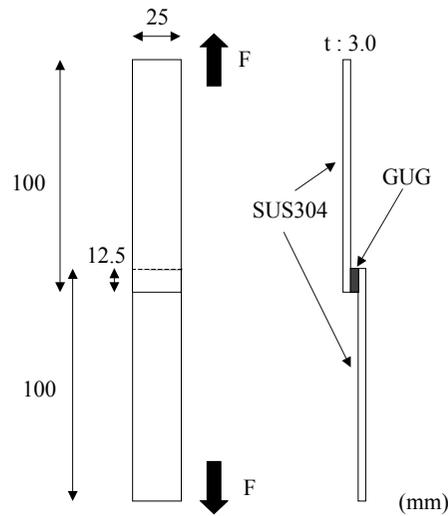
# UpilexRN125 (ポリイミド系) 引き裂き強度の吸収線量依存性



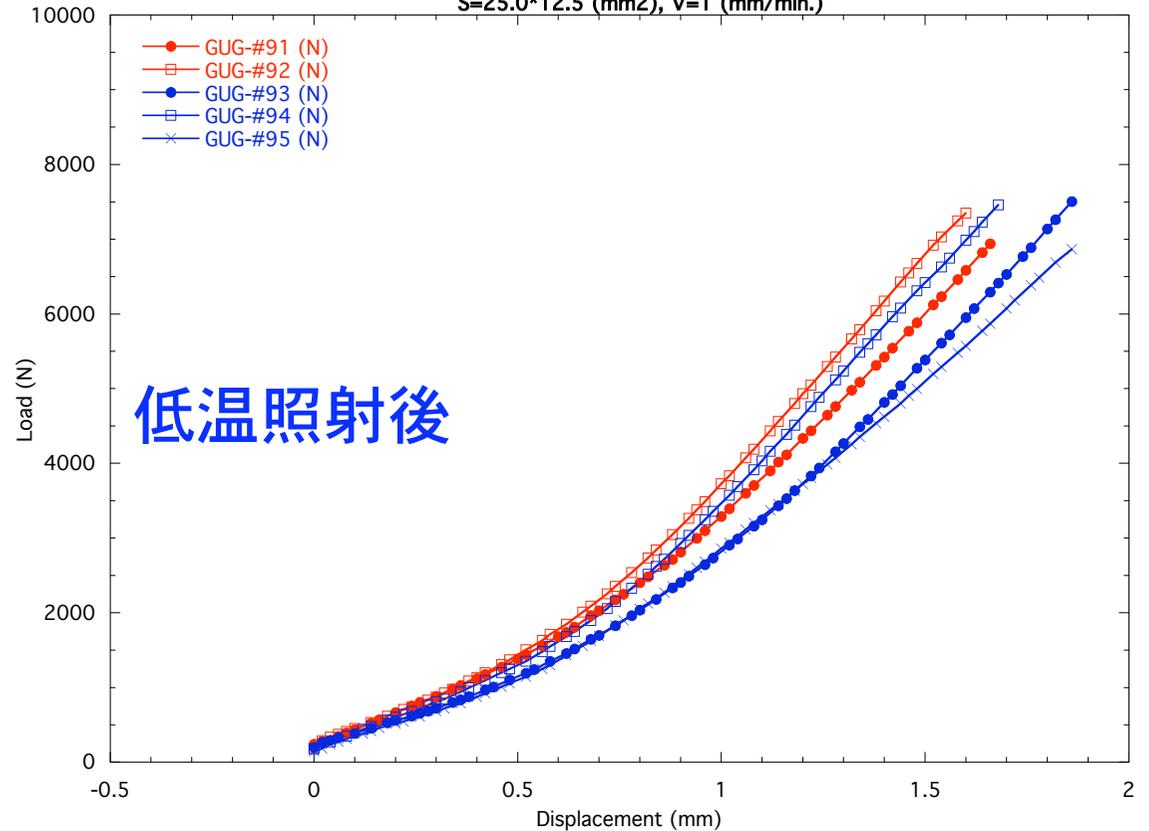
※ロール方向の異方性による差異は見られない

# 接着強度試験の様子

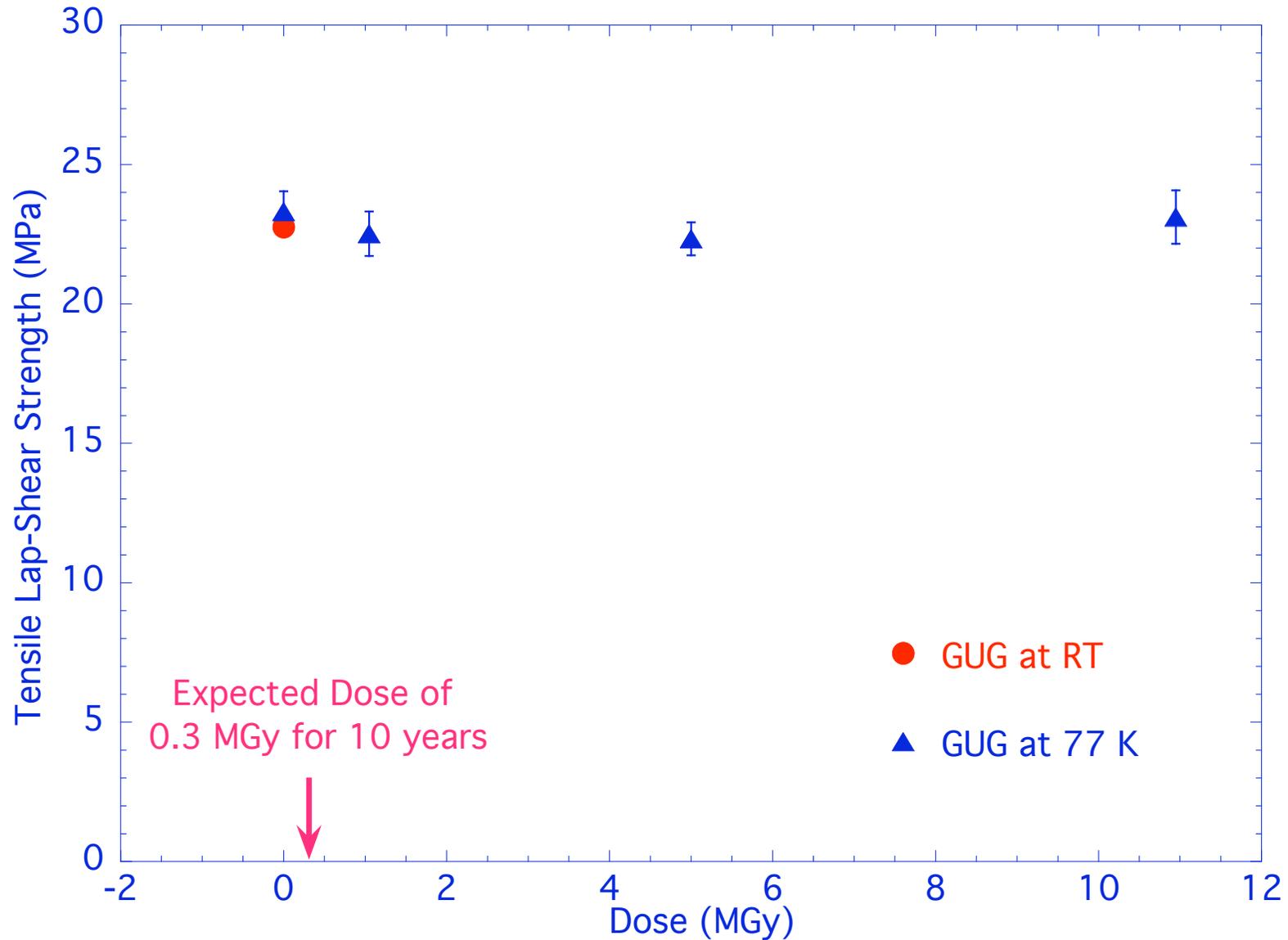
- ・接着強度試験（JIS-K6850を準拠）  
 速さ：1 mm/min.  
 ロードセル容量：10 kN
- ・GUG（ガラスシート+UpilexRN+エポキシ）  
 キュア条件：130℃、5時間



Tensile Lap-Shear Strength of GUG: Irradiated to 10 MGy in LN2  
 July, 2005  
 S=25.0\*12.5 (mm<sup>2</sup>), V=1 (mm/min.)



# GUG (ガラス繊維 + Upilex + エポキシ) 接着強度の吸収線量依存性



# 発表内容

- ・はじめに
- ・機械特性測定
- ・発生ガス測定
- ・まとめ

# まとめ

J-PARCニュートリノビームライン超伝導磁石用有機材料に10MGy程度の $\gamma$ 線を照射した際の発生ガス及び機械特性変化を測定

- (1) 発生ガス測定 (ガスクロマトグラフィ) : Upilex-RN、G-11、PM9640
- (2) 3点曲げ強度 : G-11、PM9640
- (3) 引き裂き強度 : Upilex-RNフィルム
- (4) 接着強度 : GUG



## ガス測定 :

試料からのガス発生量はポリエチレンと比較して2~3桁少なく、優れた耐放射線性を示した。また発生ガスは、ほぼ100%水素であり、ビームライン全体での発生量は、0.37mol (液体水素の体積として0.01L)と見積もられた。

## 機械測定 :

液体窒素温度77Kでの照射では、明らかな機械特性の劣化は見られなかった。  
なお常温照射では、G11に顕著に劣化が見られたが、その他の材料には影響が見られなかった。



ビームライン運転10年間で予想される吸収線量が0.3MGyであることを考慮すると、本超伝導磁石の有機材料は十分な耐放射線性を有している。

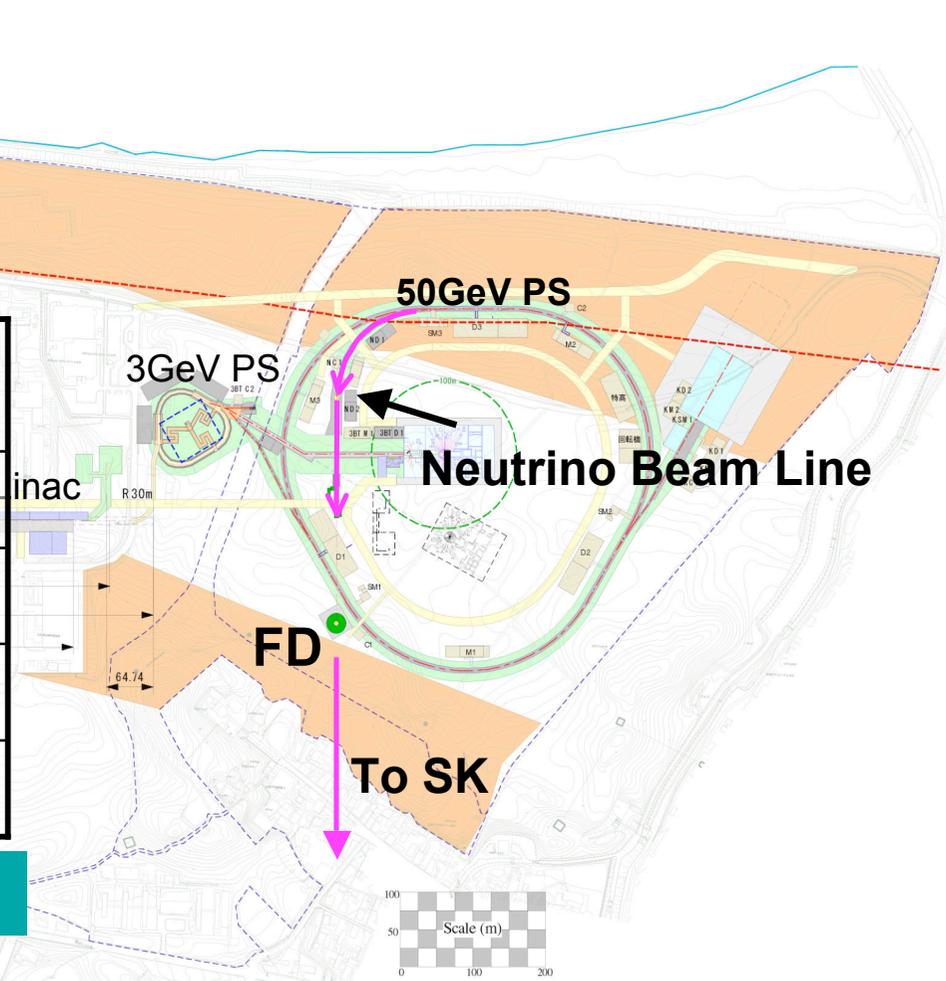


# JPARC project and neutrino beam line

**JAERI@Tokai-mura  
(60km N.E. of KEK)**

	<b>JPARC</b>	NuMI (FNAL)	K2K
E(GeV)	<b>50</b>	120	600MeV
Int.( $10^{12}$ ppp)	<b>330</b>	40	6
Rate(Hz)	<b>0.275</b>	0.53	0.45
Power(MW)	<b>0.75</b>	0.41	0.0052

$10^{21}$ POT(130day)  $\equiv$  "1 year"

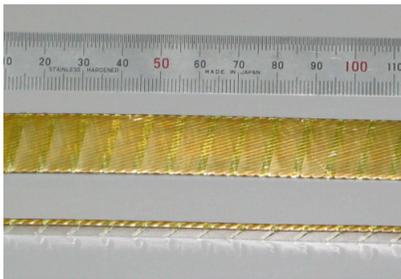
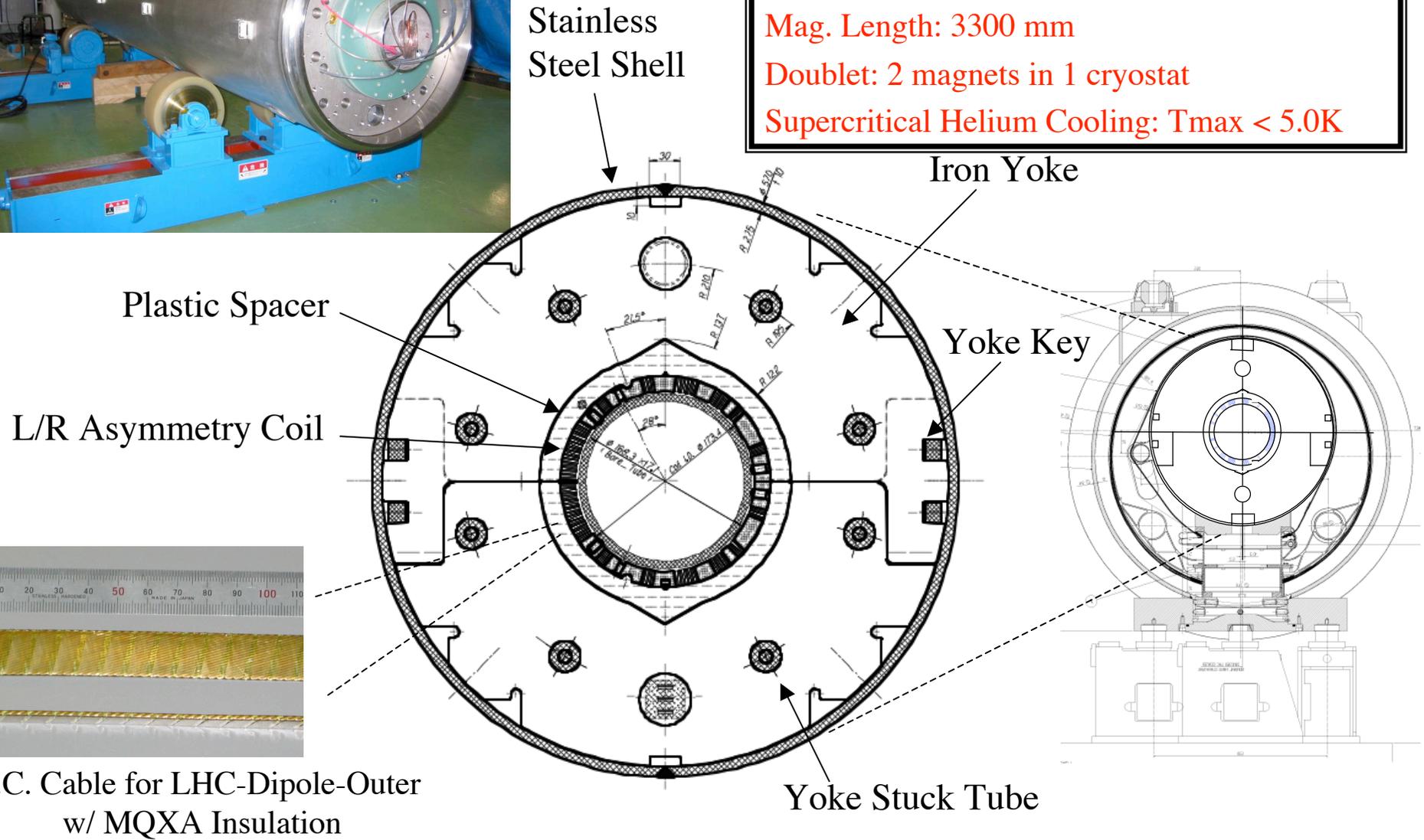


- 14 Cells of **“Superconducting Combined Function Magnets”** (SCFM)  
**28 CFMs + 2 spares (+ 2 prototypes)**
- Operated at **40 GeV** for the initial several years.  
**>>Then upgraded to 50 GeV.**

# Specification

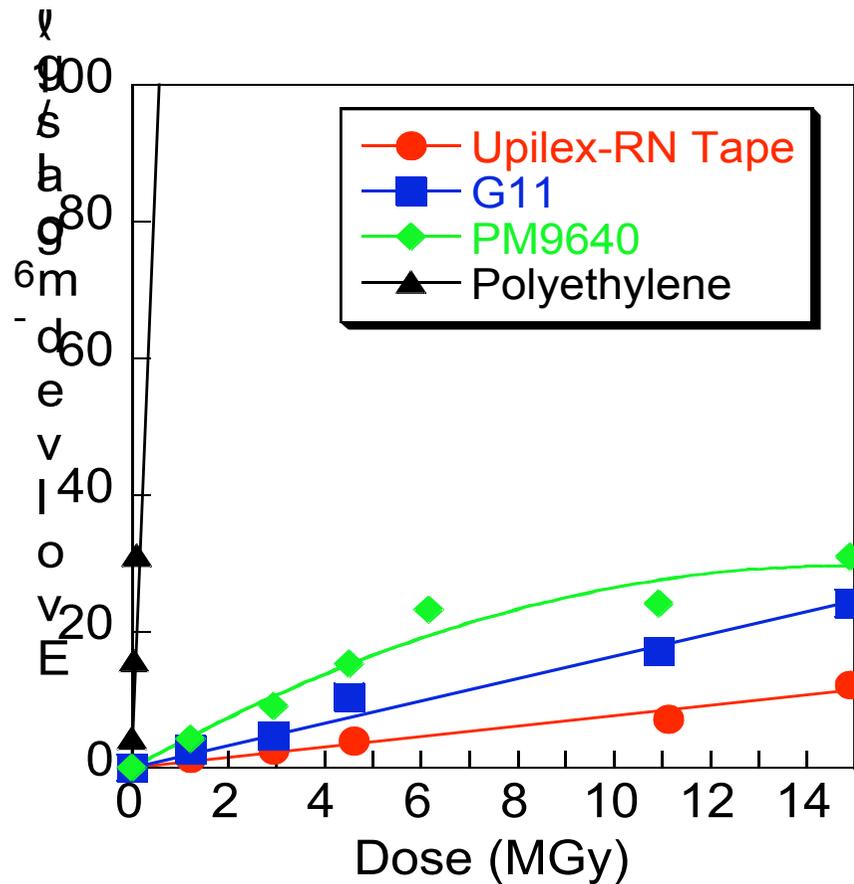


28 “Combined Function” Magnets  
Beam tube inner diameter: 130 mm  
Coil inner diameter: 173.4mm  
Dipole Field: 2.59 T  
Quadrupole Field: 18.6 T/m  
Mag. Length: 3300 mm  
Doublet: 2 magnets in 1 cryostat  
Supercritical Helium Cooling:  $T_{max} < 5.0K$



S.C. Cable for LHC-Dipole-Outer  
w/ MQXA Insulation

## ポリエチレンとの水素発生挙動の比較



### 水素発生G値

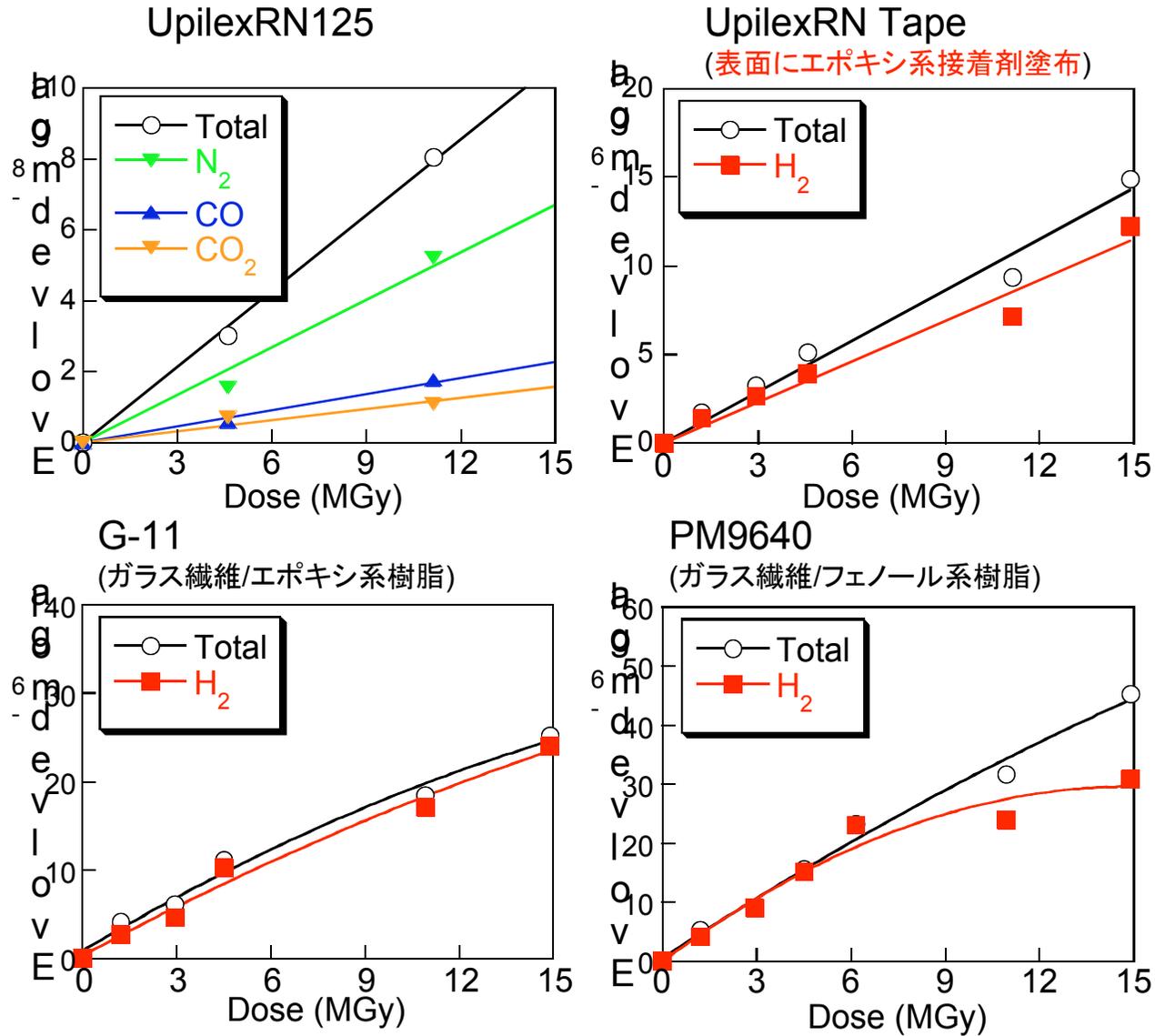
G値: 100eVのエネルギー吸収があった時の  
反応生成物の数

Sample	G (H <sub>2</sub> )
Upilex-RN Tape	$1.13 \times 10^{-2}$
G11	$2.18 \times 10^{-2}$
PM9640	$3.35 \times 10^{-2}$
Polyethylene	4.19

77Kにおけるγ線照射量と水素発生量の関係

- いずれのG(H<sub>2</sub>)もポリエチレンより2桁低く、優れた耐放射線性を示す。
- エポキシ系樹脂よりもフェノール系樹脂の方が水素が発生しやすい。

# 超伝導磁石用高分子材料からの低温 $\gamma$ 線照射によるガス発生挙動



- UpilexRN125は $\gamma$ 線照射によってほとんど分解しなかった
- UpilexRN Tape, G-11, PM9640について、発生ガスのほぼ100%が水素であった