

# 概要説明

## 超低速ミュオンとは？



高エネルギー加速器研究機構

物質構造科学研究所 ミュオン科学研究系研究主幹・教授

J-PARCセンター 物質・生命科学実験施設・副ディビジョン長

下村浩一郎 [Koichiro.shimomura@kek.jp](mailto:Koichiro.shimomura@kek.jp)



# ミュー粒子について

地球に降り注ぐ宇宙線ミュオン

## 宇宙線

大気中の  
原子核と衝突

パイ粒子やK粒子

電子やガンマー線

大気シャワー現象

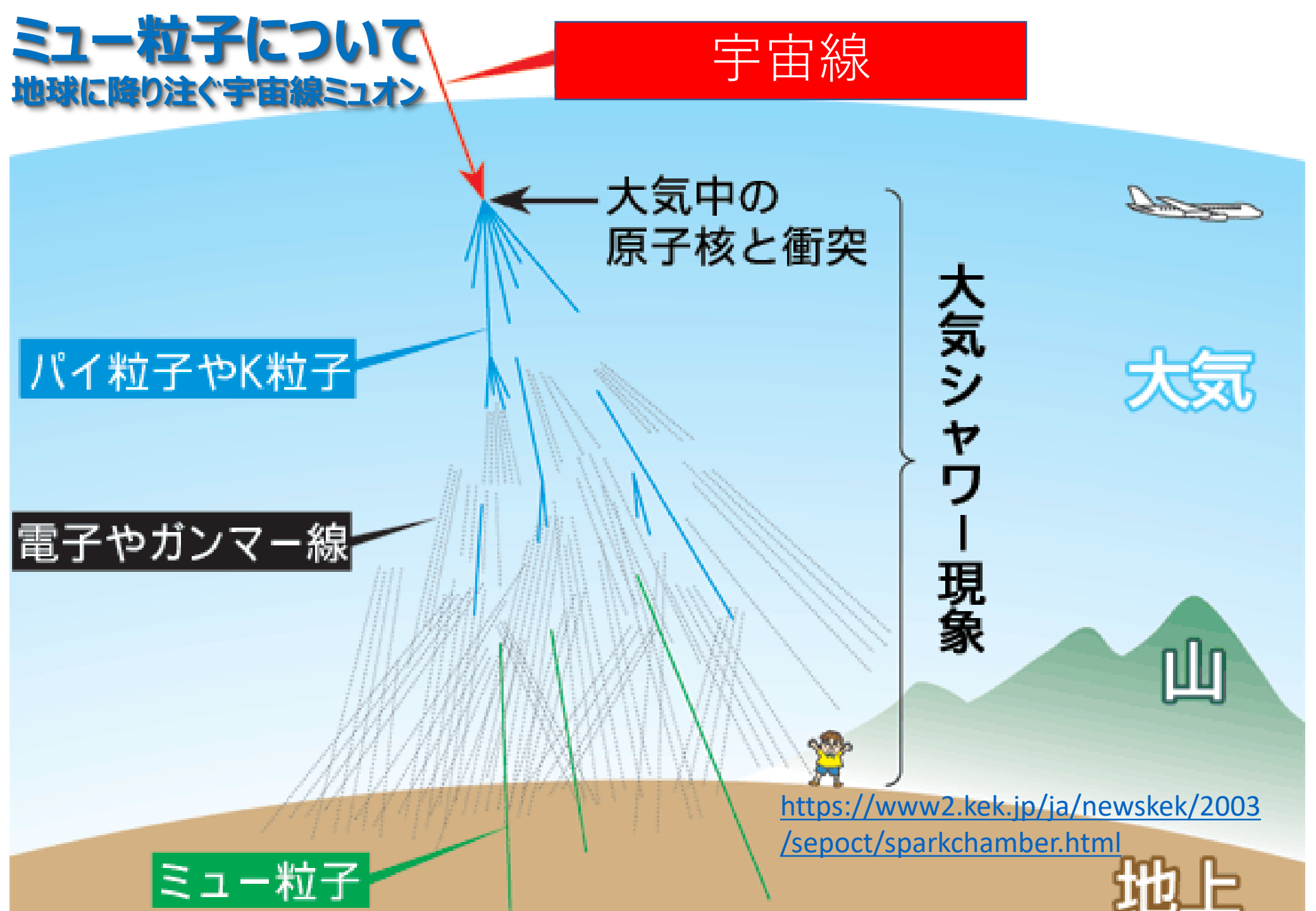
大気

山

ミュー粒子

地上

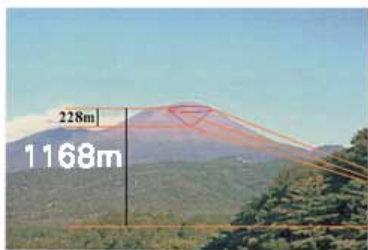
<https://www2.kek.jp/ja/newskek/2003/sepoct/sparkchamber.html>



2000

2016

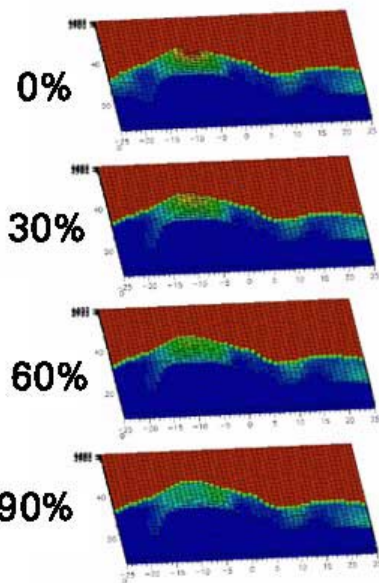
# ミュオンで火山やピラミッドを観測



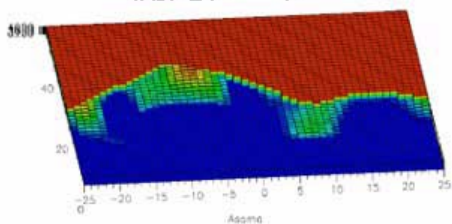
93mrad

66mrad

## シミュレーション計算



## 測定データ



浅間山における宇宙線ミュオン透過像の測定状況（左上）と観測データ（左下）。山体と同じ密度のマグマが噴火道を充たす割合を変えてシミュレーションし、測定データと比較したところ、マグマの上昇がないことが判明した。

[News@KEKより](#)

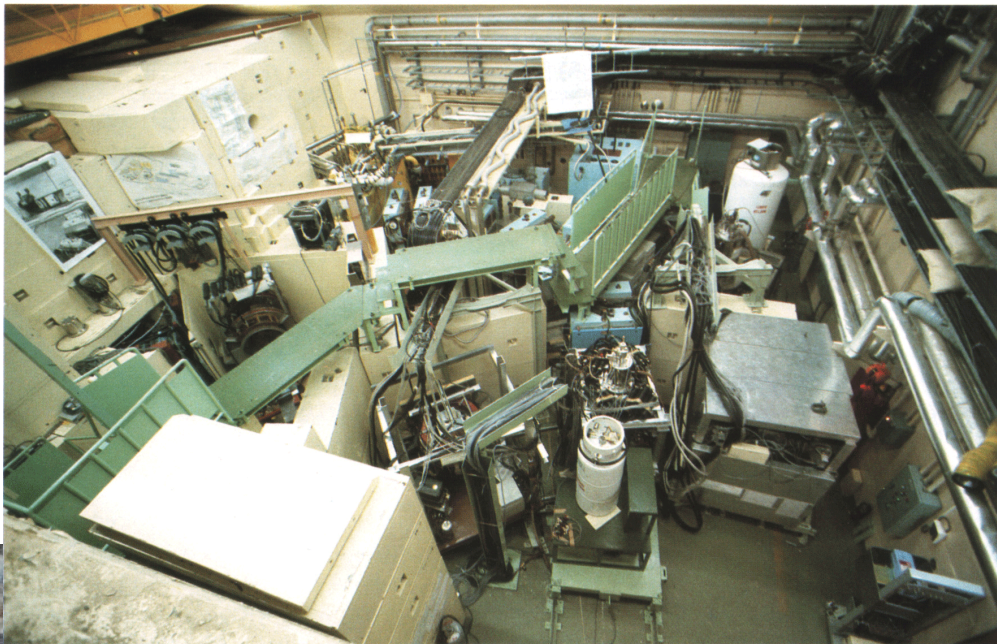


世界最大の「クフ王の大ピラミッド」に謎の巨大空間があることが、宇宙線ミュオン透過像の測定で分かった

[KEKニュースルームより](#)

1980

# KEK (つくば) で世界初のミュオンパルスビーム



世界で最初の  
パルスビーム  
の利用研究が  
始まる。

強度はJ-PARC  
の1000分の1

様々な面白い  
研究成果を輩出

ミュオン自身の  
性質を調べる研究  
はわずか



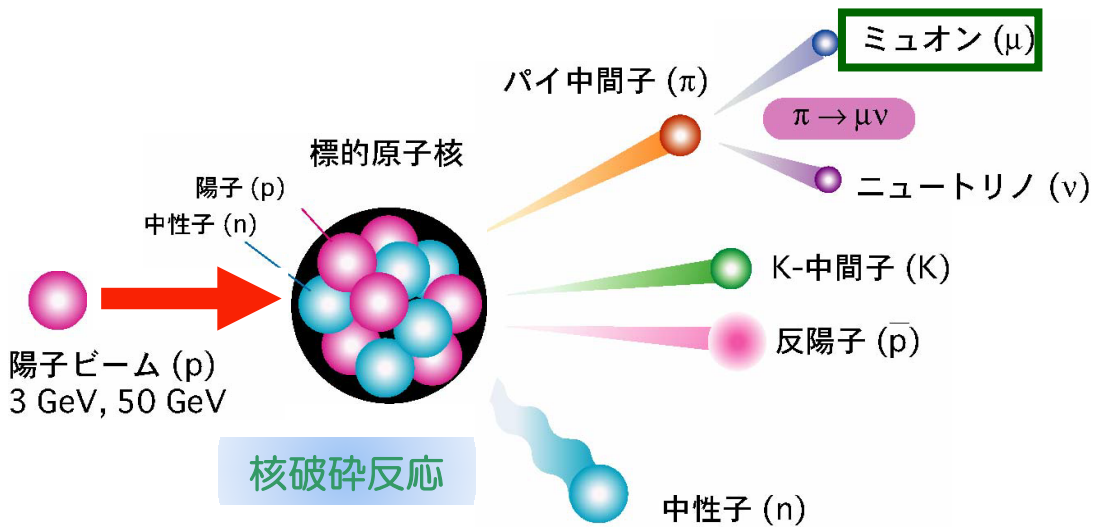
永嶺謙忠氏



山崎敏光氏

KEK 2021

# 加速器でのミュオンビームの作り方



## 原子核反応で作られたミュオン

エネルギー : 約400万電子ボルト (4MeV)

速さ : 光の4分の1程度

ビームサイズ : 直径20mm程度



エネルギーが高すぎて物質を通り抜けてしまうため、表面近くを調べることは不可能

## ビームの特徴を表す言葉

輝度.....ビームの集中具合 (個/面積)。

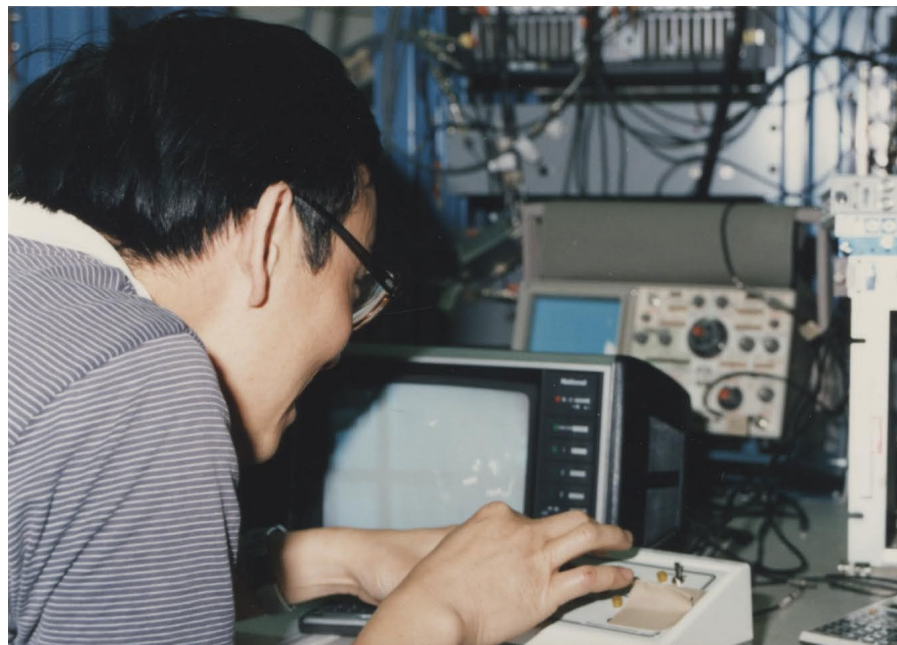
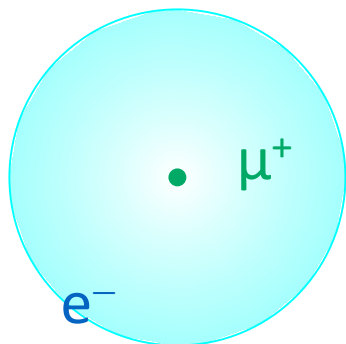
懐中電灯よりレーザーポインターの方が輝度が高い

速度.....速さ (距離/時間)。今回の発表ではエネルギーもほぼ同じ意味で使います

強度.....ミュオンの多さ (個/時間)



## ミュオニウム



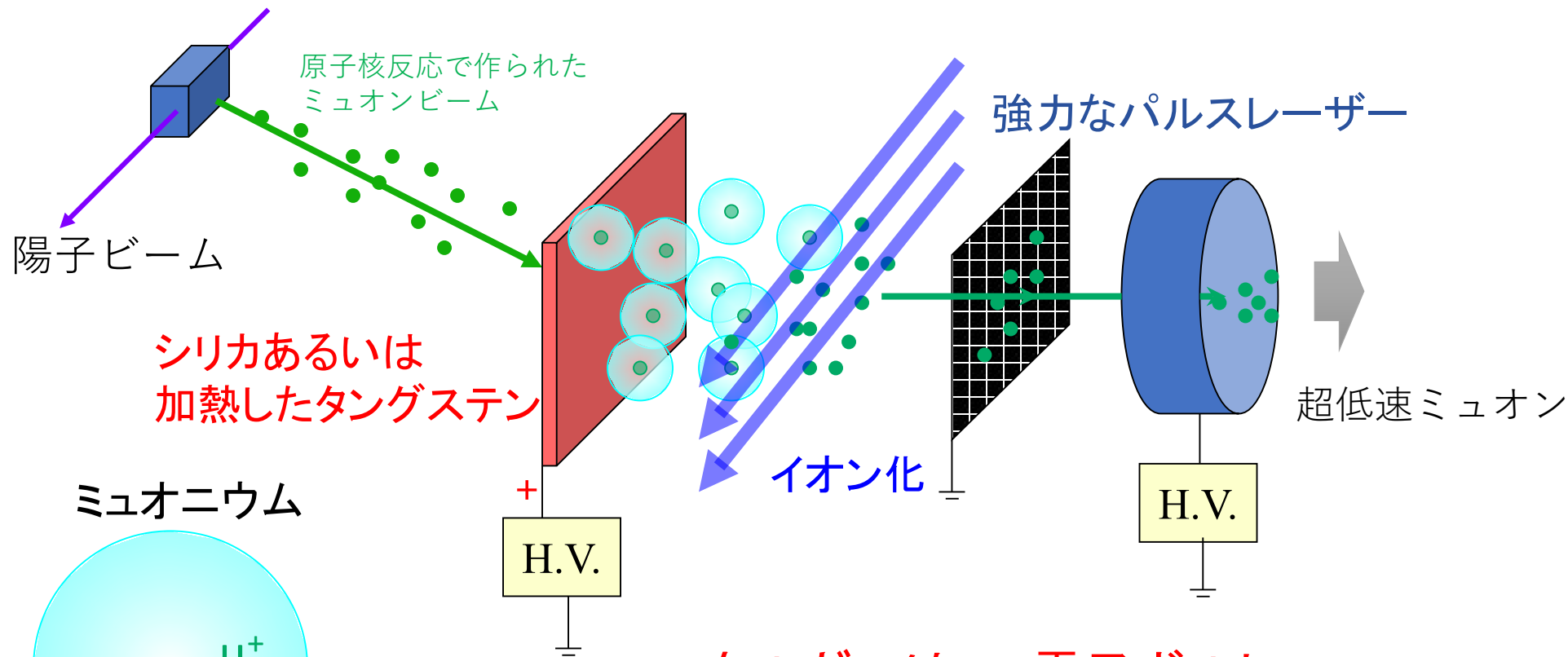
## スティーブン・チュー氏

- 1948年 米国セントルイス生まれ
- 1976年 カリフォルニア大学バークレー校から博士号を取得
- 1985年 レーザー冷却の研究
- 1987年 スタンフォード大学教授  
KEKで1s-2s実験
- 1997年 レーザー冷却の研究でノーベル物理学賞受賞
- 2009年 オバマ政権でアメリカ合衆国エネルギー長官に就任

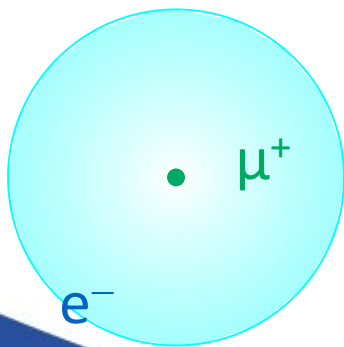
加速器でえられたエネルギーのミュオンを二酸化ケイ素 ( $\text{SiO}_2$ ) に止めると非常に低いエネルギーのミュオニウムを大量に作成できる。

- **ミュオニウム**は正電荷のミュオン ( $\mu^+$ ) と電子 ( $e^-$ ) からなる水素に似た原子

ミュオニウムからレーザーで効率的に電子をはぎとることができれば何百万倍もエネルギーの低い（とても遅い）ミュオンビームがつかれるはず！

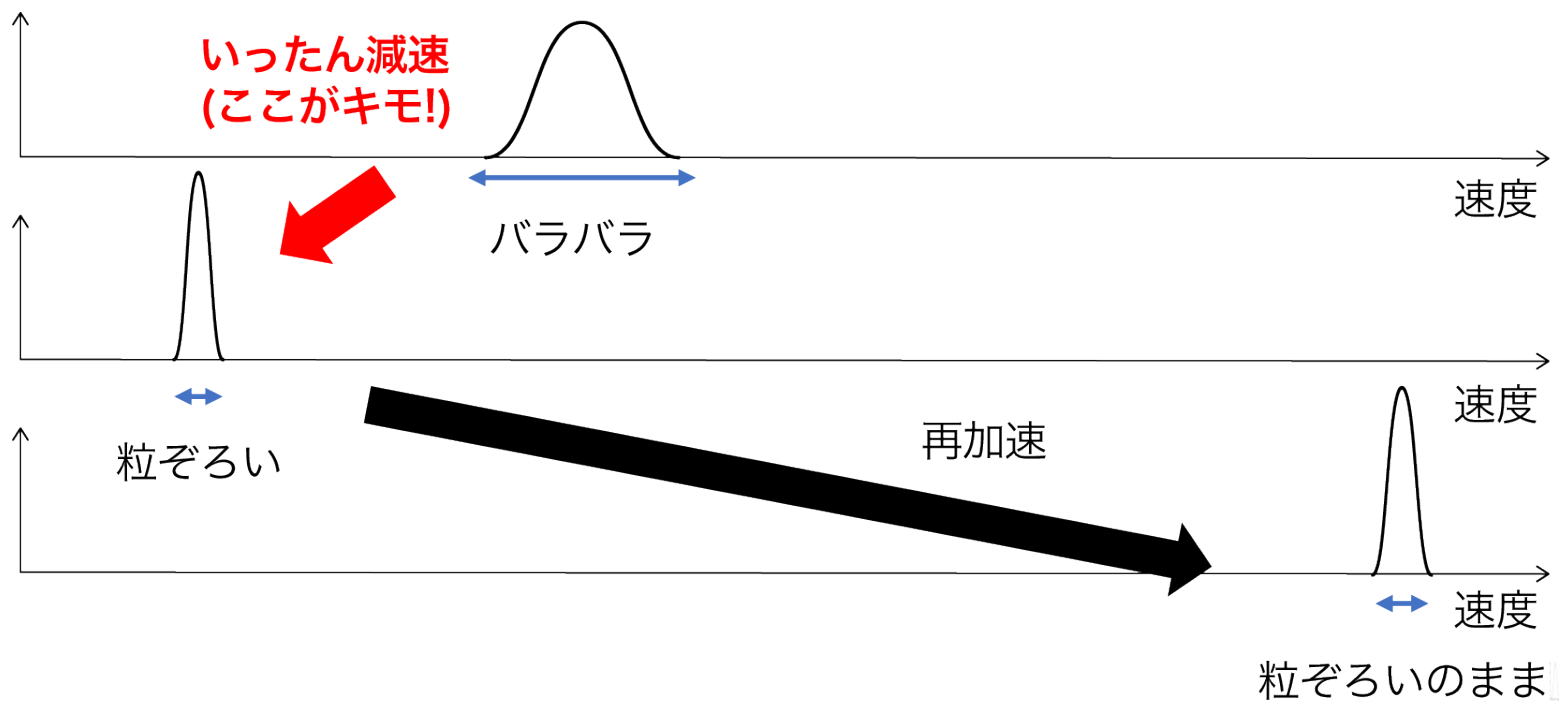


ミュオニウム



エネルギーは0.2 電子ボルト  
速度は光の数万分の1  
加速すれば好きなエネルギーまで

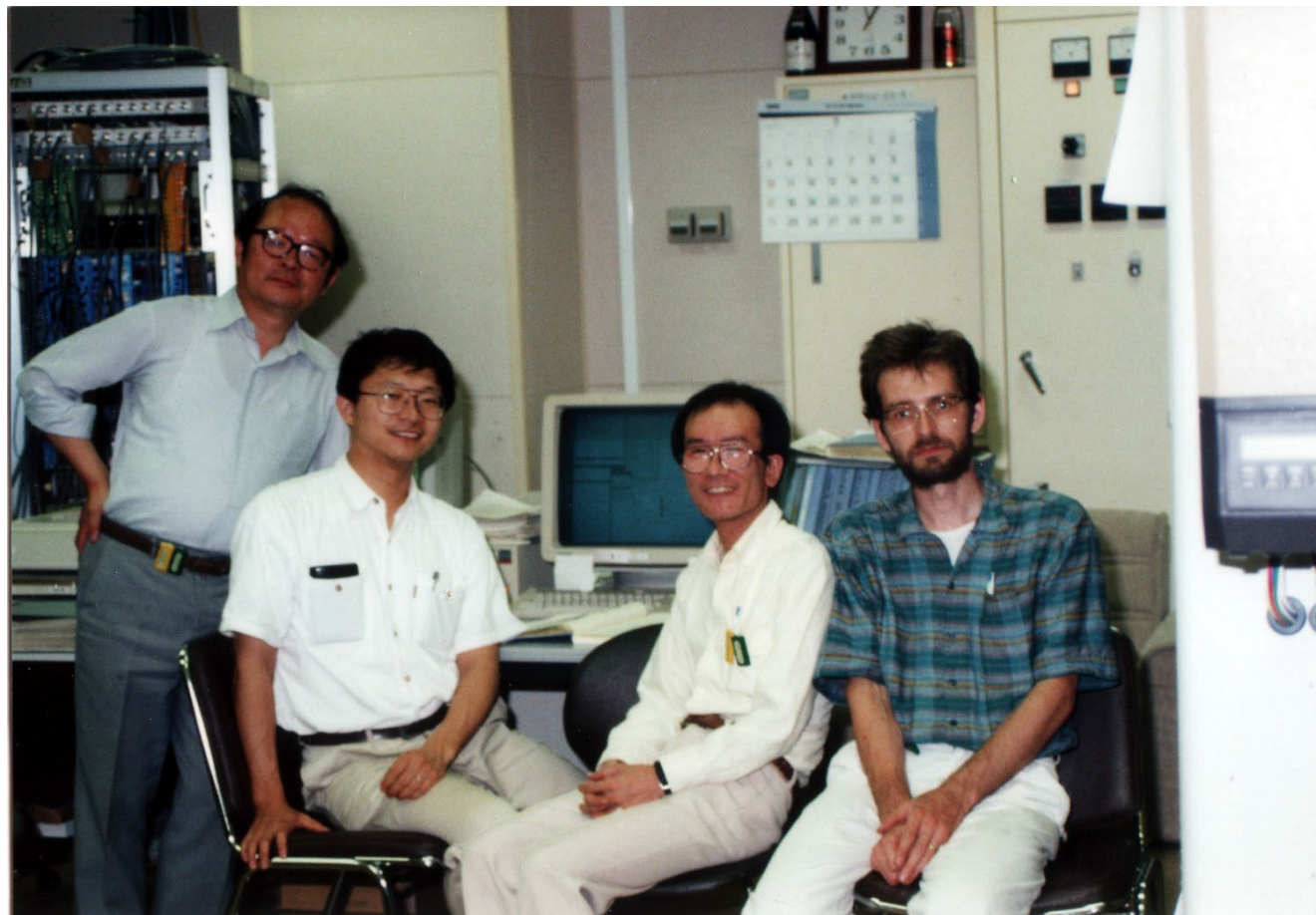
	低速ミュオン	超低速ミュオン	再加速したミュオン
速さ	光速の30%	光速の0.003%	光速の40%~80%
特徴	向きや速度がバラバラ。	向きや速度が粒ぞろい。物質研究に	超低速の良さを生かしつつ、高輝度を生かした新たな研究





1991

## KEKつくばで初の超低速ミュオンビーム発生に成功



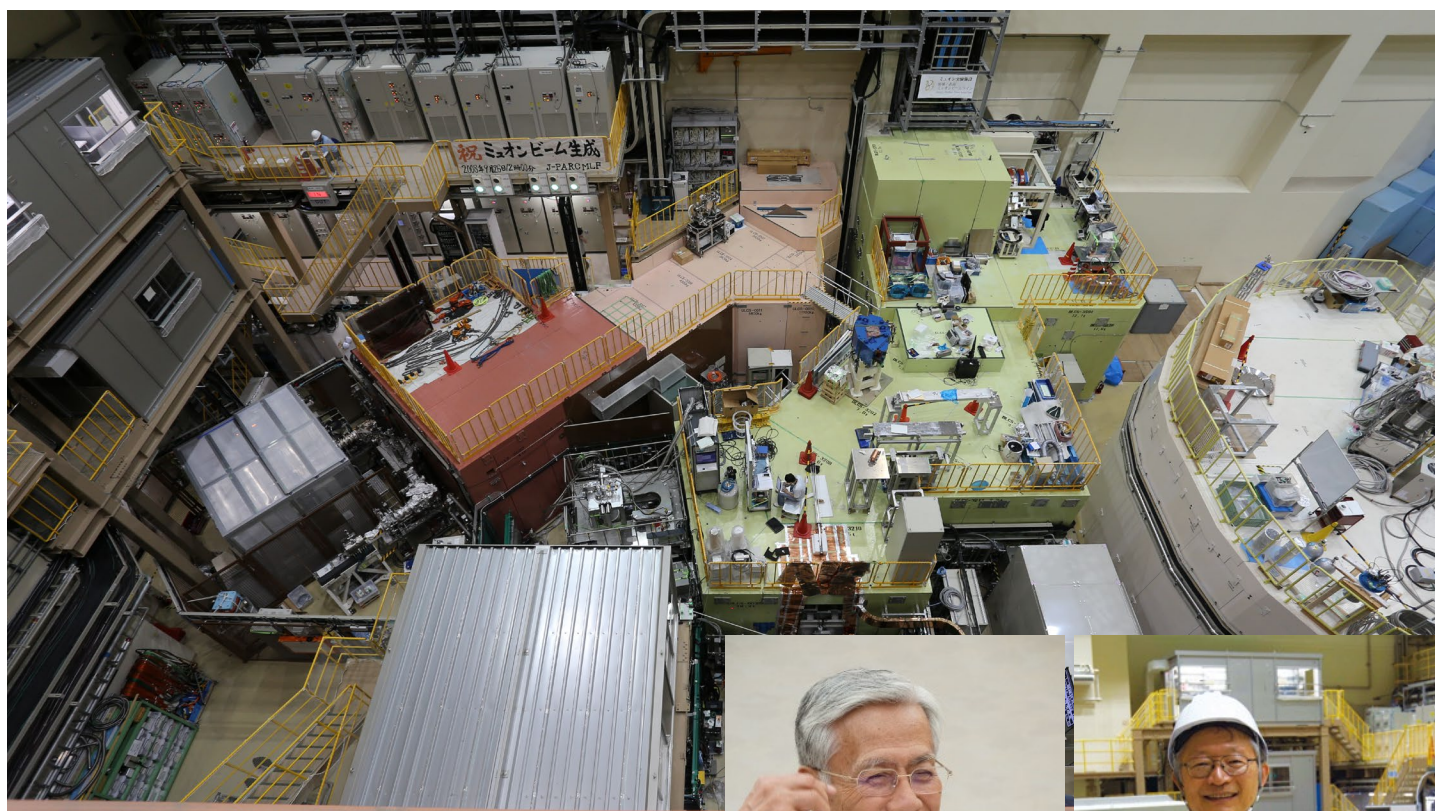
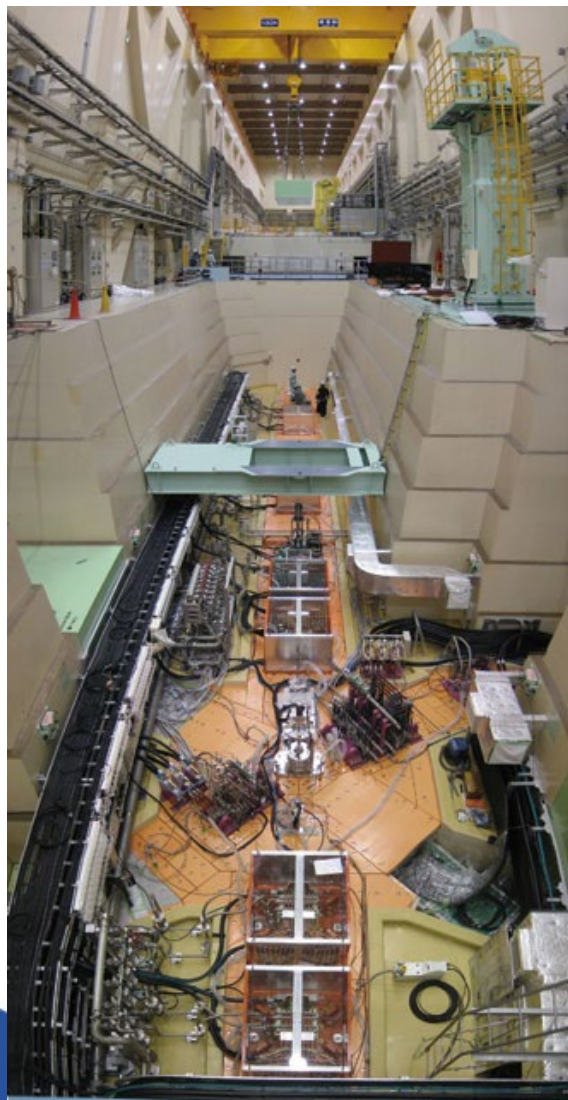
しかし、実用化にはいたらなかった。  
当時の陽子ビーム強度はJ-PARCの1000分の1  
レーザーがむずかしかった

KEK50年

 **KEK 2021**

2008

# J-PARCでミュオンパルスビーム生成開始

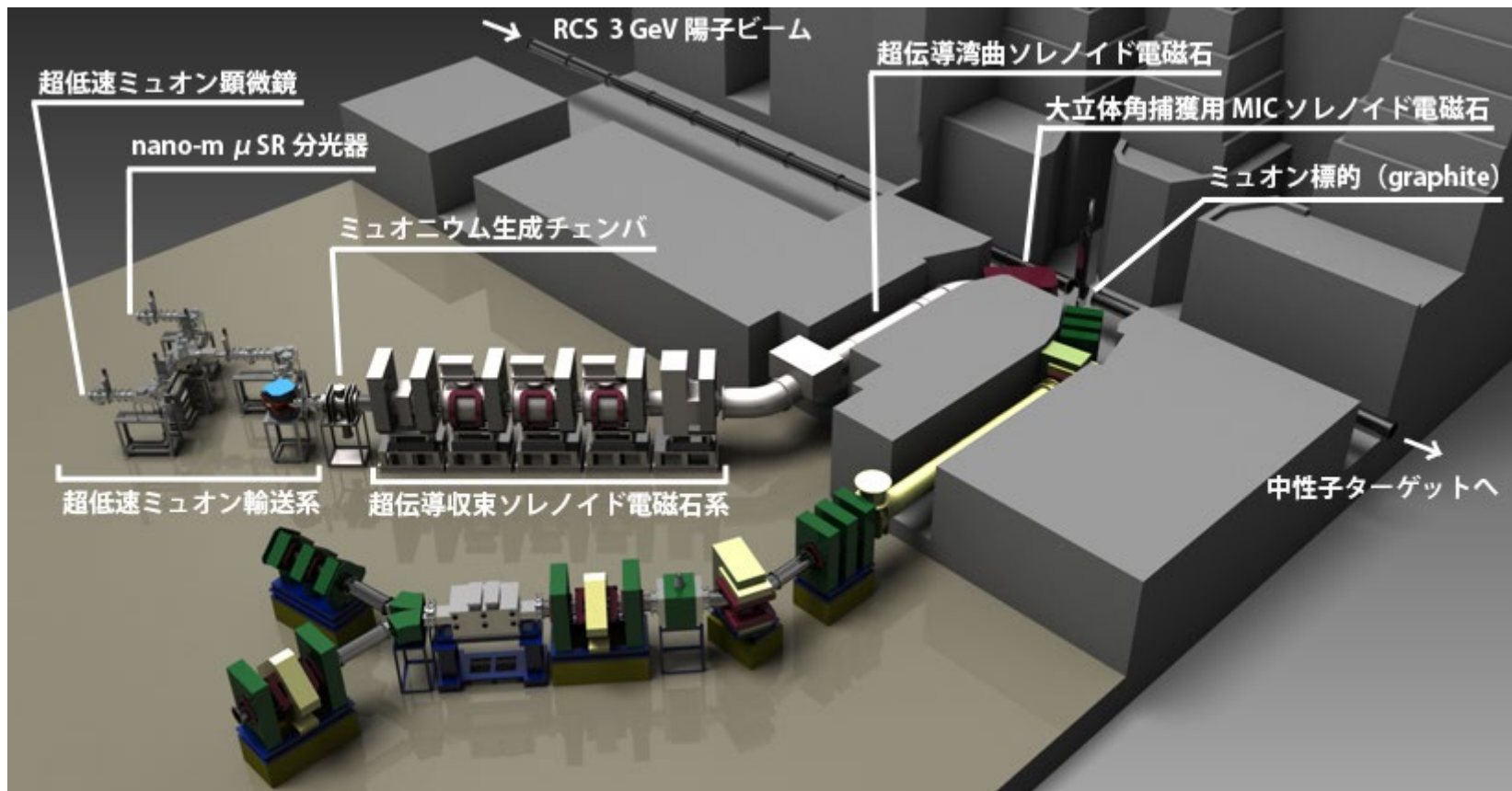


KEK50年



KEK 2021 永宮正治氏

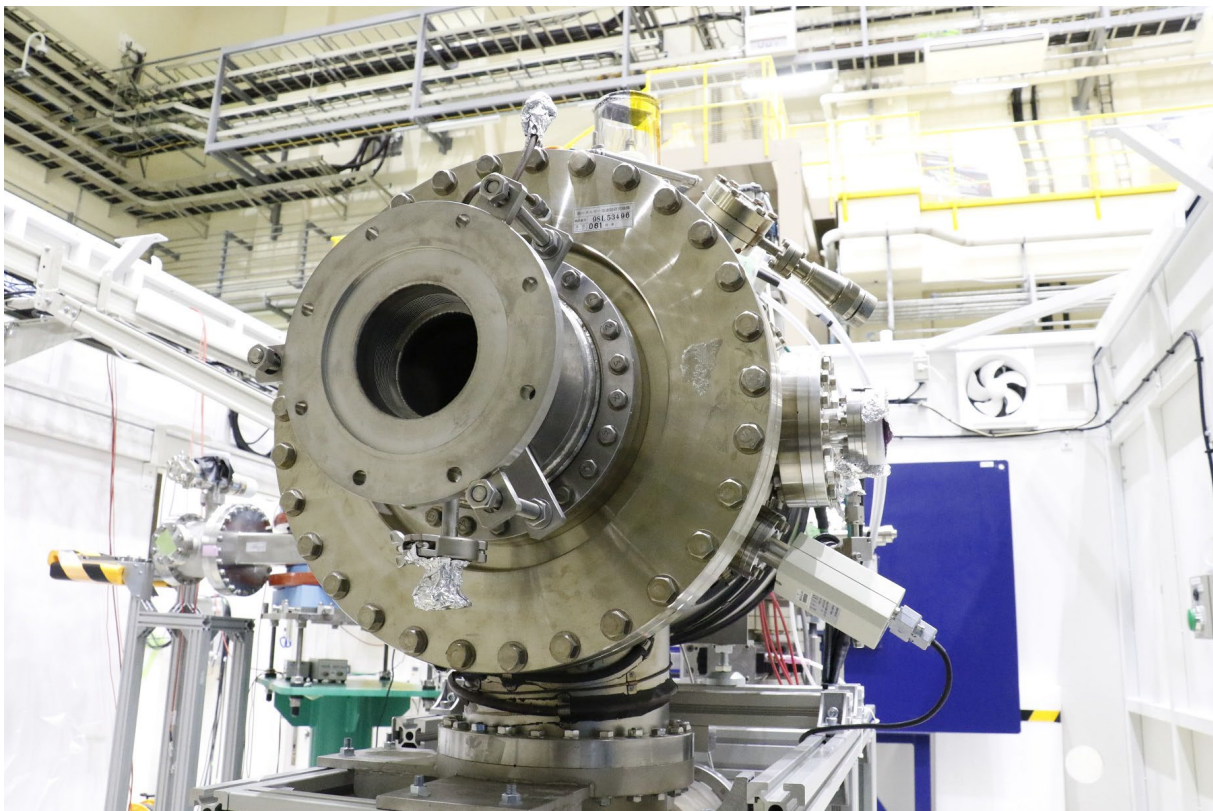
三宅康博氏



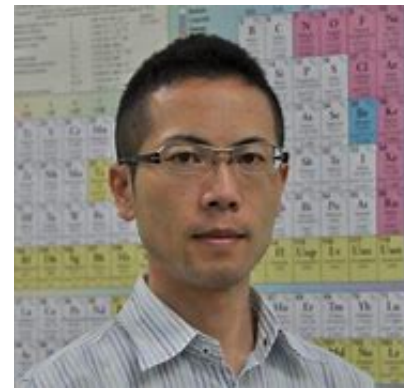
物質の表面・界面の研究に応用

2021

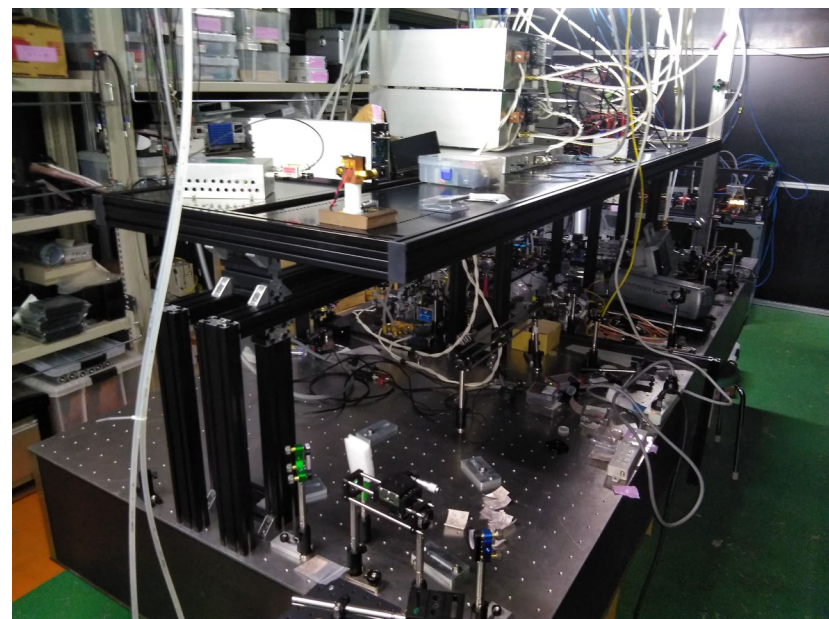
# 岡山大学G（代表 植竹）がS2エリアで1s-2s実験



1s-2s測定装置



植竹 智氏



1s-2s用レーザー



2022

# Hラインで初のミュオンビーム取り出しに成功

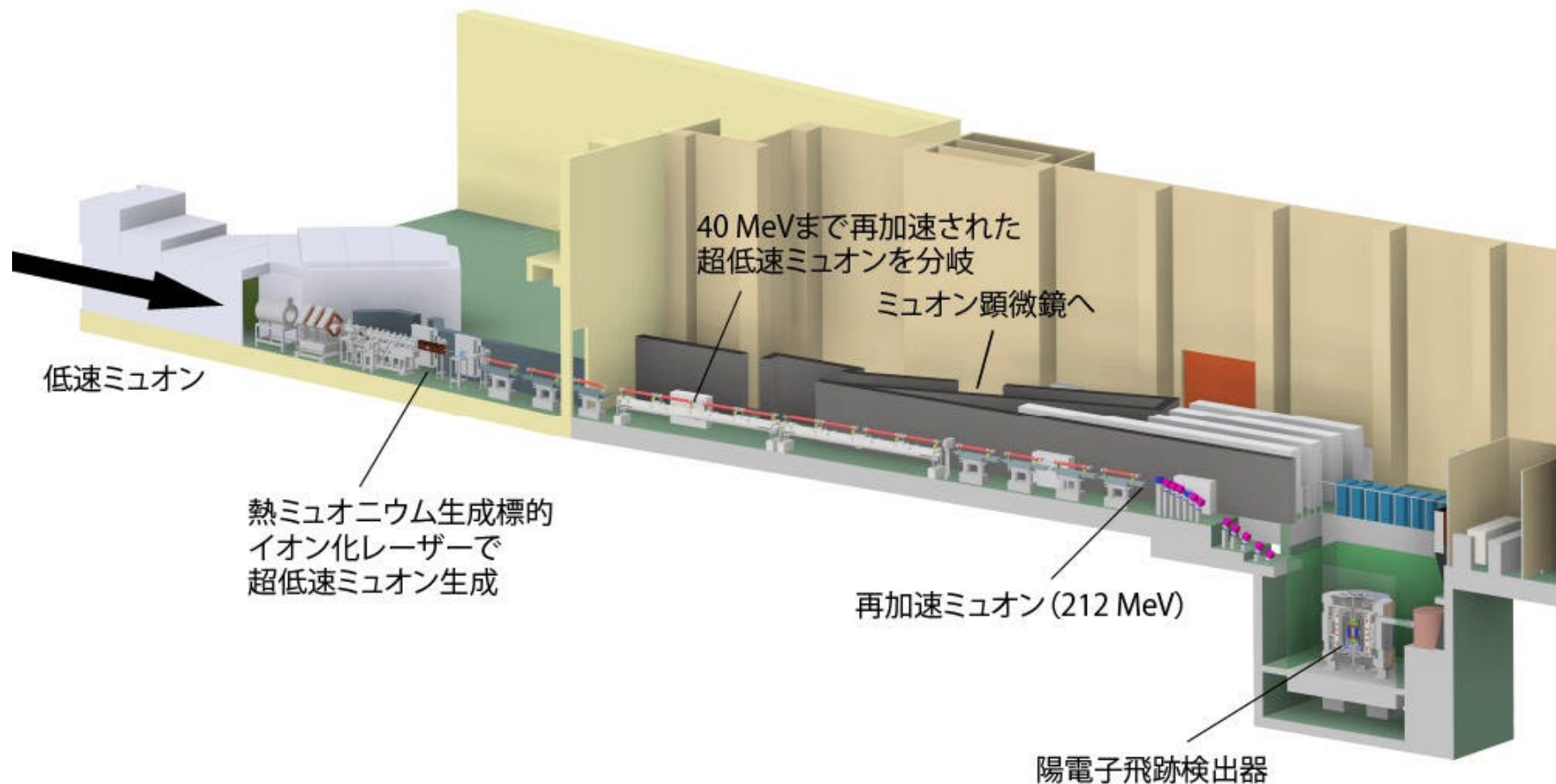


KEK50年



KEK 2021

# 2027? H超低速ミュオンの花開くとき（超低速ミュオンを再加速）



基礎物理学・生命科学への新しい武器  
二刀流を目指すミュオン新ビームライン  
に乞うご期待

# J-PARC MLF ミュオン施設と超低速ミュオン

年	Dライン	Sライン	Uライン	Hライン
	供用中	供用中	供用中	一部完成
	物質科学用	物質科学用	物質科学用	もともと物質科学 →物質科学と基礎物理
2011				g-2/EDMにも使えるんちゃう? 提案→設計変更
2012			完成	
2021		新エリアで 1s-2s実験開始		ビーム取り出し成功
2022 イマココ			顕微鏡 試作機完成	上流部が完成 下流部(超低速ミュオン・再加速部)の工事準備
2027年頃～				g-2/EDM実験開始 顕微鏡 実用機設置



二刀流

