

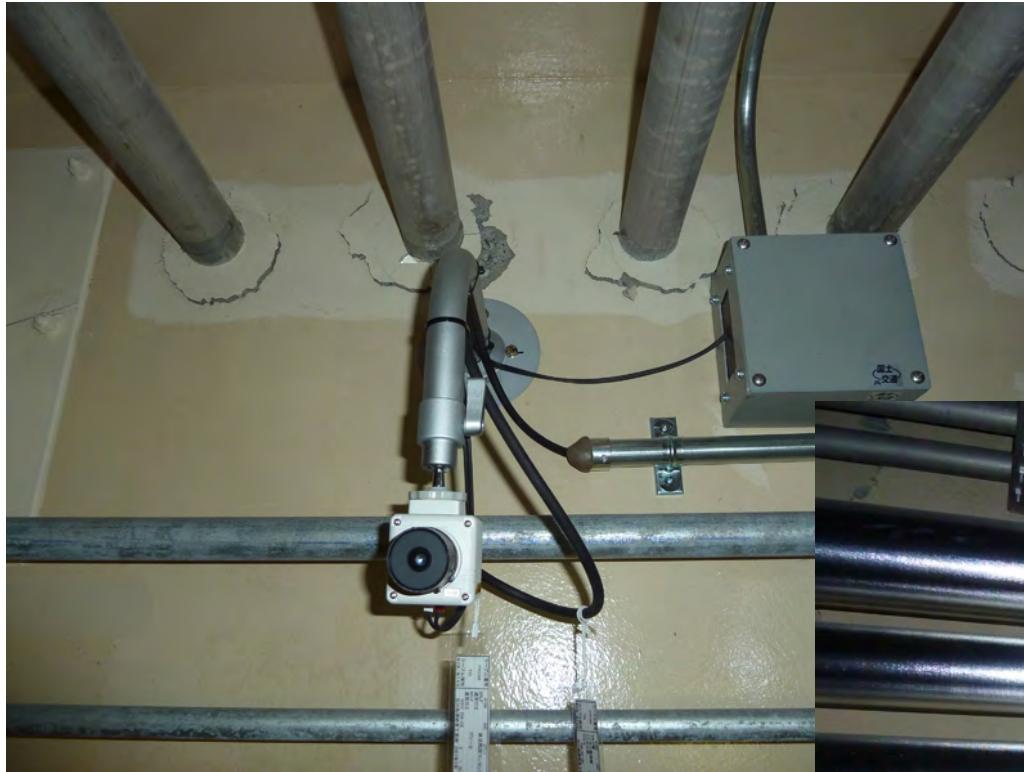
ミュオンセクション報告

J-PARC MUSE/KEK IMSS

Y. Miyake

- 1) Earthquake on MUSE!
- 2) D-Line
- 3) **U-Line**
- 4) S-Line
- 5) H-Line
- 6) Summary

M1,M2空冷装置の冷却水間通口、多数に隙間



空冷装置の冷却配管の**曲がり**
@3NBT expansion joint
余震で壁が傾き始める！
→早急な撤去が必要！



M2トンネルケーブルラックサポート破損@Hライン



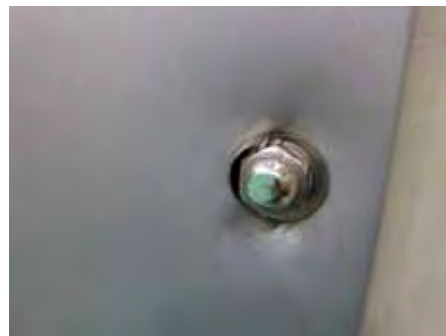
数百本の600Sqのケーブルがのっていた！



気密扉、遮蔽体 @MLF第1実験ホール

第1実験ホール

- ・ **Hライン** 出口の気密板の破損
M2トンネルとの気密破壊



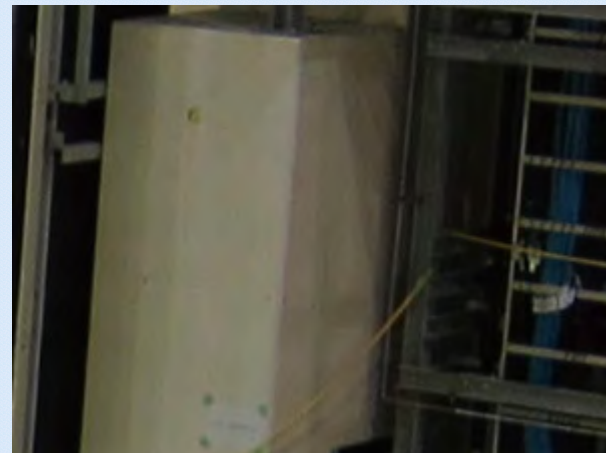


J-PARC MLF ミュオンセクション

被災時の写真



復旧後の写真



Dラインケーブル貫通孔付近の壁面



Dライン遮蔽体固定アンカー・プレート



J-PARC MLF ミュオンセクション

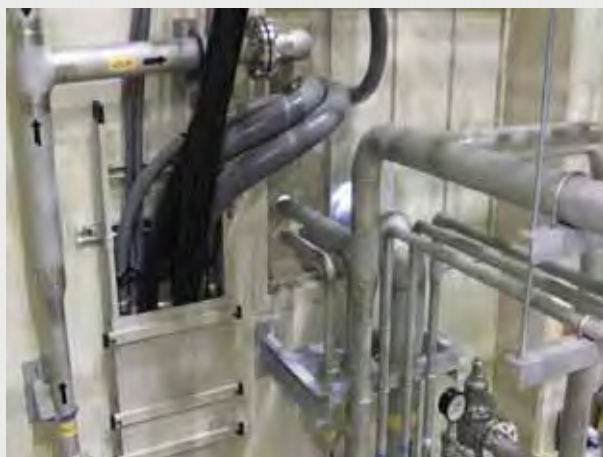
被災時の写真



復旧後の写真



ヘリウム冷凍機配管と支持鋼



ヘリウム冷凍機配管貫通孔

標的の寸法確認 by レーザー変位計

標的の外観確認

2009年照射後標的では中心部にビームの痕跡が確認できたが、今回は無くなっていた。原因は不明。

標的の寸法確認

模擬体、標的No1(照射標的)、標的No2(未照射標的)を比較して変形量が許容値以内であることを確認する。

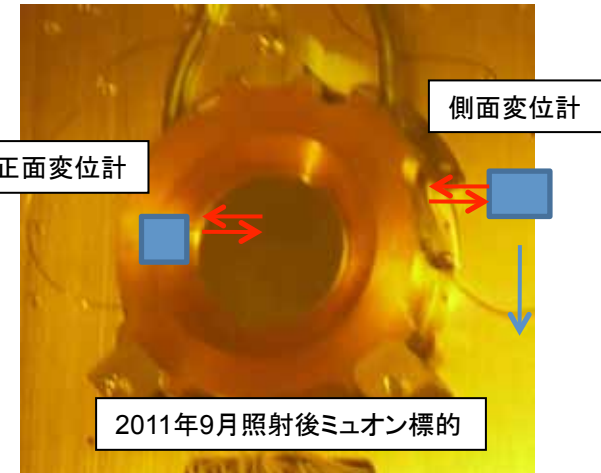
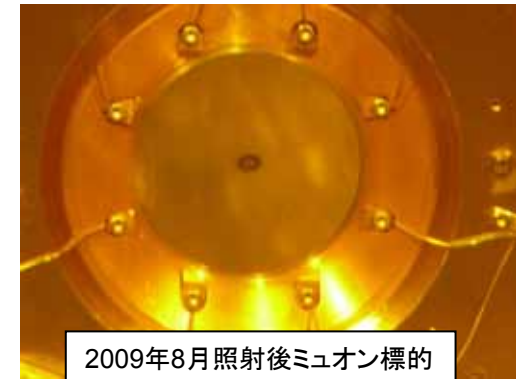
模擬体は設置誤差を少なくした理想値と仮定する。

製作時の理想値からの誤差; $\pm 0.5\text{mm}$ 以内。

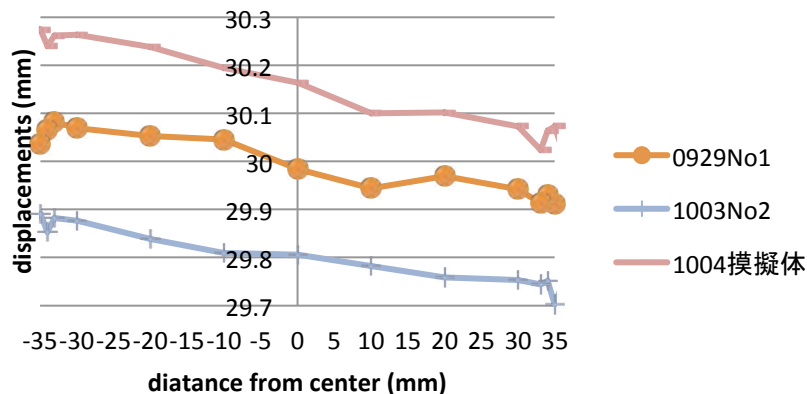
今回の許容誤差; $\pm 1\text{mm}$ 以内。

結果; 理想値(模擬体)に対して標的一号機は0.2mm以内のずれであることを確認。($\pm 0.5\text{mm}$ が仕様。)

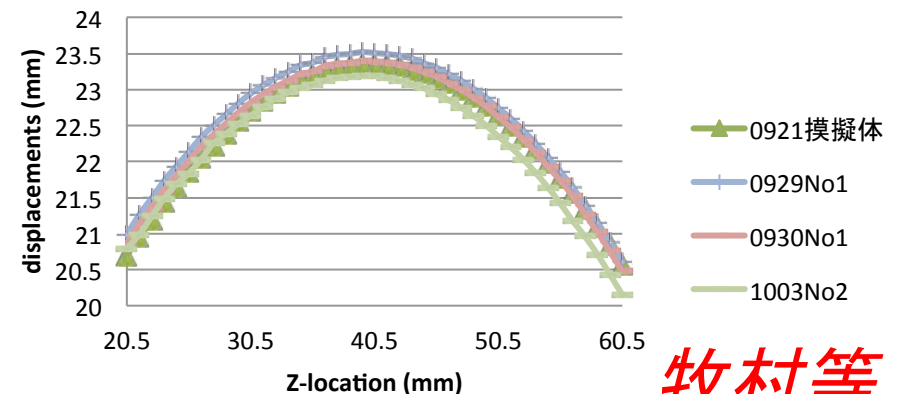
使用可能であることを確認。



精密位置測定(正面変位計)



側面変位計



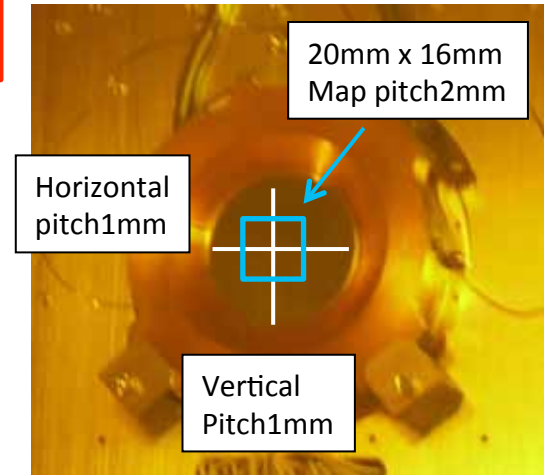
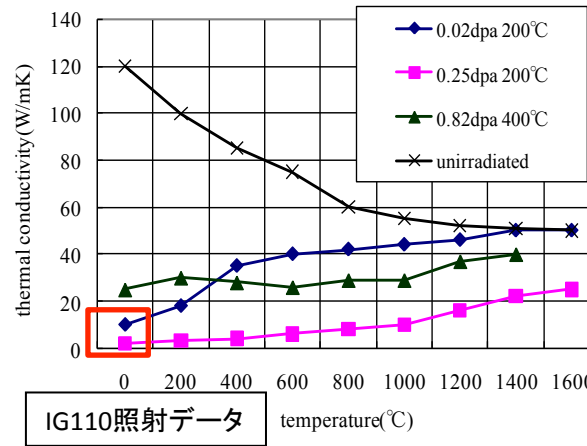
牧村等

陽子ビーム照射黒鉛熱拡散率測定

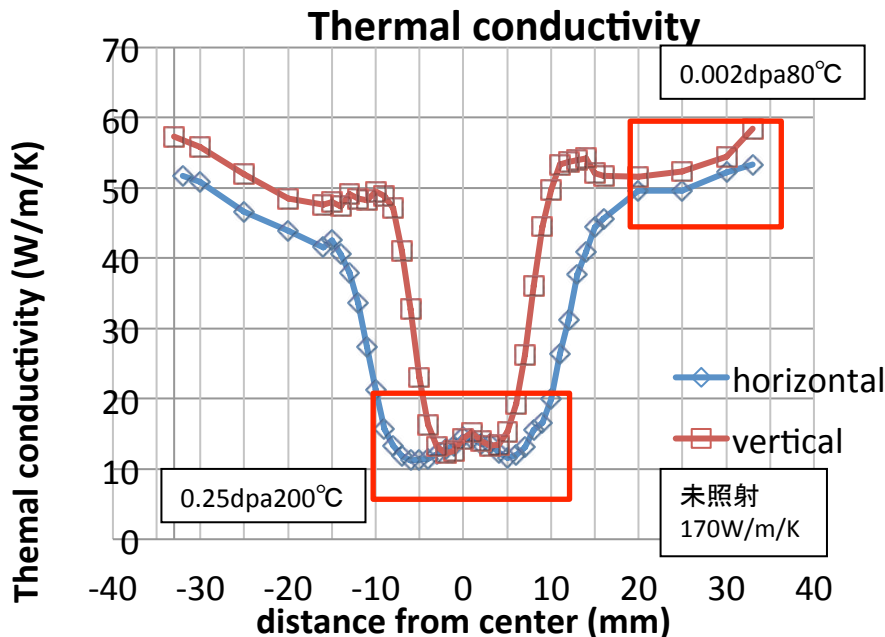
同じ黒鉛材を試料として切り出し、より精度の高い手法で熱拡散率を計測すると未照射の場合の黒鉛の熱伝導率は170W/m/K程度。

照射材料

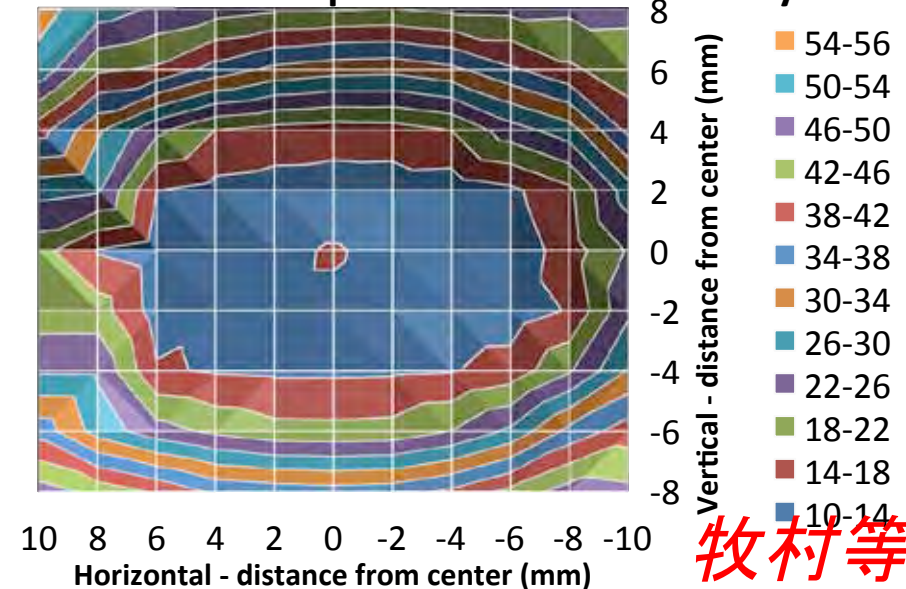
中心部が高温のためアニールの効果が確認出来る。
220kW時のビームプロファイルを確認出来る。
計算に使用した値より熱伝導率は高め。



	220kW
σ_x [mm]	5.5
σ_y [mm]	3.0



2-dimensional map of thermal conductivity



牧村等

回転標的開発状況 for 1MW

牧村等

回転標的軸受評価試験によって軸受寿命の評価途上。(目標寿命;10年)
1年間の加熱回転試験を経て、決定する。

回転標的実機製作。
平成24年度夏期シャットダウン中に遠隔操作コミショニング。
切断廃棄試験後にビームライン導入。(平成25年度夏期シャットダウン中。)

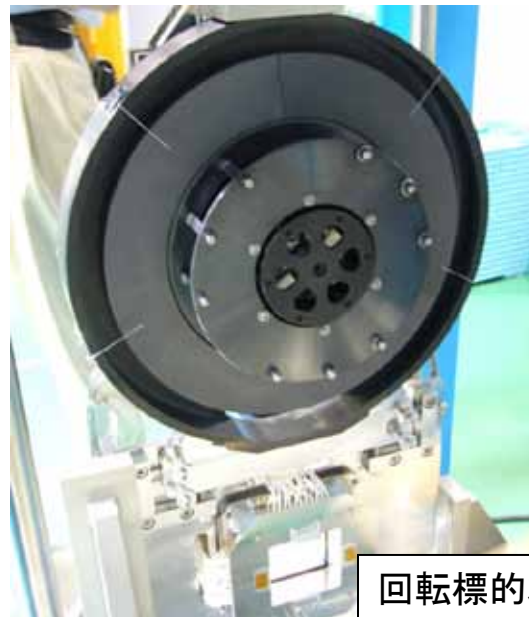


回転標的実機(製作工場)



固定標的交換時の写真

遠隔操作交換コミショニング



回転標的本体



軸受寿命の確認(加熱回転試験)



軸受の解体後に観察

4-Muon Secondary Lines

D-Line (*operating*)
(Superconducting Solenoid Beam Channel)
Highest Pulsed μ^+/μ^- Beams

U-Line (Ultra Slow Muon Beam)
(*constructing*)
Ultra Slow Muon,
Highest Energy resolution,
Shortest pulse width muon

S-Line (Surface Muon) (*Phase 2*)
(S1-S4 Port)
Highest Intensity pulsed 4MeV μ^+

H-Line (High Momentum Muon Beam
or “g-2” Muon Line (*Phase 2*))

S-Line

S-Line: Surface Muon Beam
for “Materials Science”

H-Line

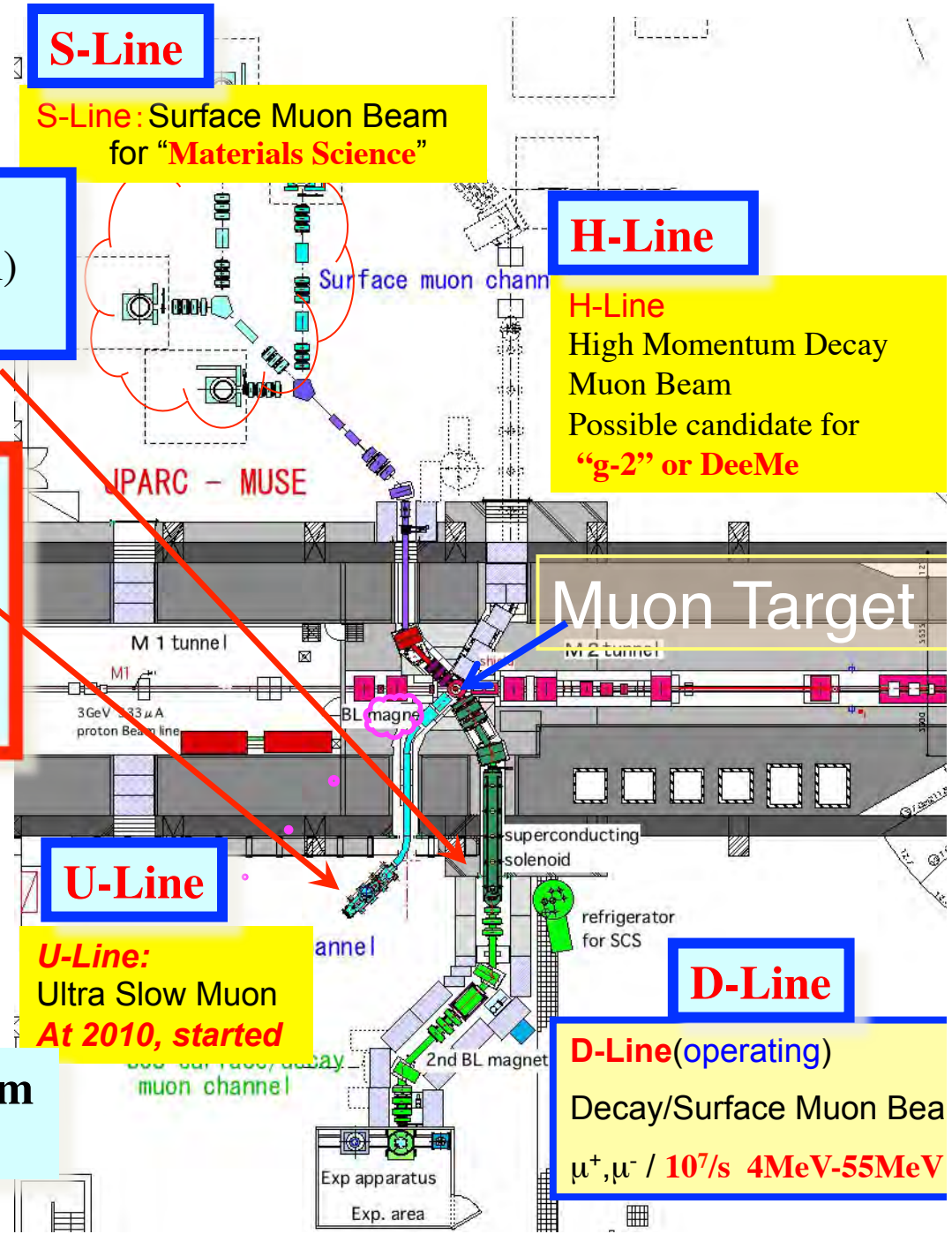
H-Line
High Momentum Decay
Muon Beam
Possible candidate for
“g-2” or DeeMe

U-Line

U-Line:
Ultra Slow Muon
At 2010, started

D-Line

D-Line (*operating*)
Decay/Surface Muon Beams
 $\mu^+, \mu^- / 10^7/s$ 4MeV-55MeV



低・高速 μ BL

D-Line

Press release **D-Line**

[The world-most intense pulsed muon beam achieved at J-PARC MUSE]

At the J-PARC Muon Facility (MUSE), the intensity of the pulsed surface muon beam was recorded to be $1.8 \times 10^6/s$ on November 2009, which was produced by a primary proton beam at a corresponding power of **120 kW** delivered from the Rapid Cycle Synchrotron (RCS). The figure surpassed that obtained at the Muon facility of Rutherford Appleton Laboratory in the UK, pushing MUSE to the world frontier of muon science. It also means that the unprecedentedly high muon flux of $1.5 \times 10^7/s$ (surface muons) will be achieved at MUSE when the RCS proton beam power reaches the designed value of 1 MW within a few years.

（第3種郵便物認可）
2010年(平成22年)3月16日(火曜日)
東海村の大強度陽子加速器施設(J-PARC)物質・生命科学実験施設で、物質の微細な構造の測定などに使うミュオンの発生装置が昨年暮れ、世界最高の出力を達成していたことが、施設を運営するJ-PARCセンターの計測で分かった。
ミュオンは、光速近くまで加速した陽子を黒鉛に衝突させると発生する素粒子。ミュオンは断続的に発生するが、1回あたりの計測値は18万個のレベルの基礎科学や産業分野まで幅広い利用が進みそうだ。

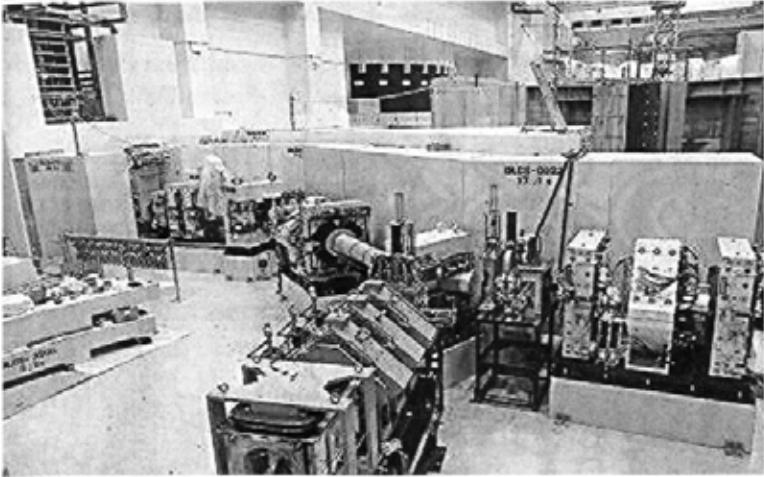
世界最高強度 ミュオン発生

J-PARC 実験で成功

世界最高出力を達成

J-PARC「ミュオン」発生装置

東海村の大強度陽子加速器施設(J-PARC)物質・生命科学実験施設で、物質の微細な構造の測定などに使うミュオンの発生装置が昨年暮れ、世界最高の出力を達成していたことが、施設を運営するJ-PARCセンターの計測で分かった。
ミュオンは、光速近くまで加速した陽子を黒鉛に衝突させると発生する素粒子。磁気に敏感に反応するため、物質に当たることで、その物質内部の磁気がどうなっているかや、物質中に含まれる水素の状態などを、極めて高い精度で測定できる。新しい磁性材料をはじめ、超電導素材、燃料電池の材料開発などに威力を発揮すると期待されている。



世界最高強度のミュオン発生が確認されたJ-PARCの実験施設。左から延びるのがミュオンの通り道だ（J-PARCセンター提供。建設中の撮影）

We achieved **World strongest pulsed surface** muon beam at J-PARC MUSE D1&D2 area even with **120 kW** intensity. on **November, 10th 2009** → **更新中**

Now, 200 kW, $\sim 4 \times 10^6/s$ @D-Line

Studies explored at MUSE **D-Line**

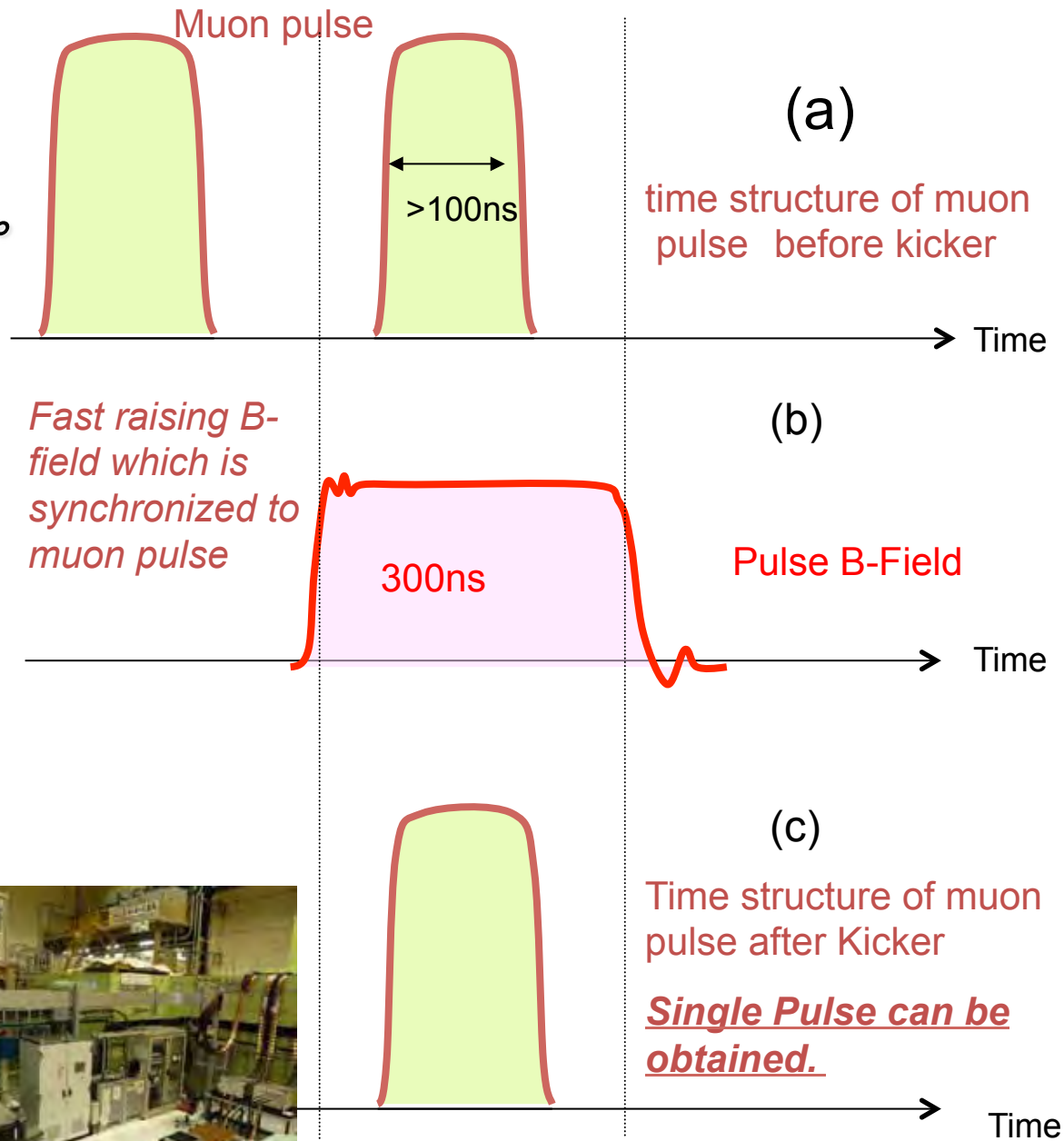
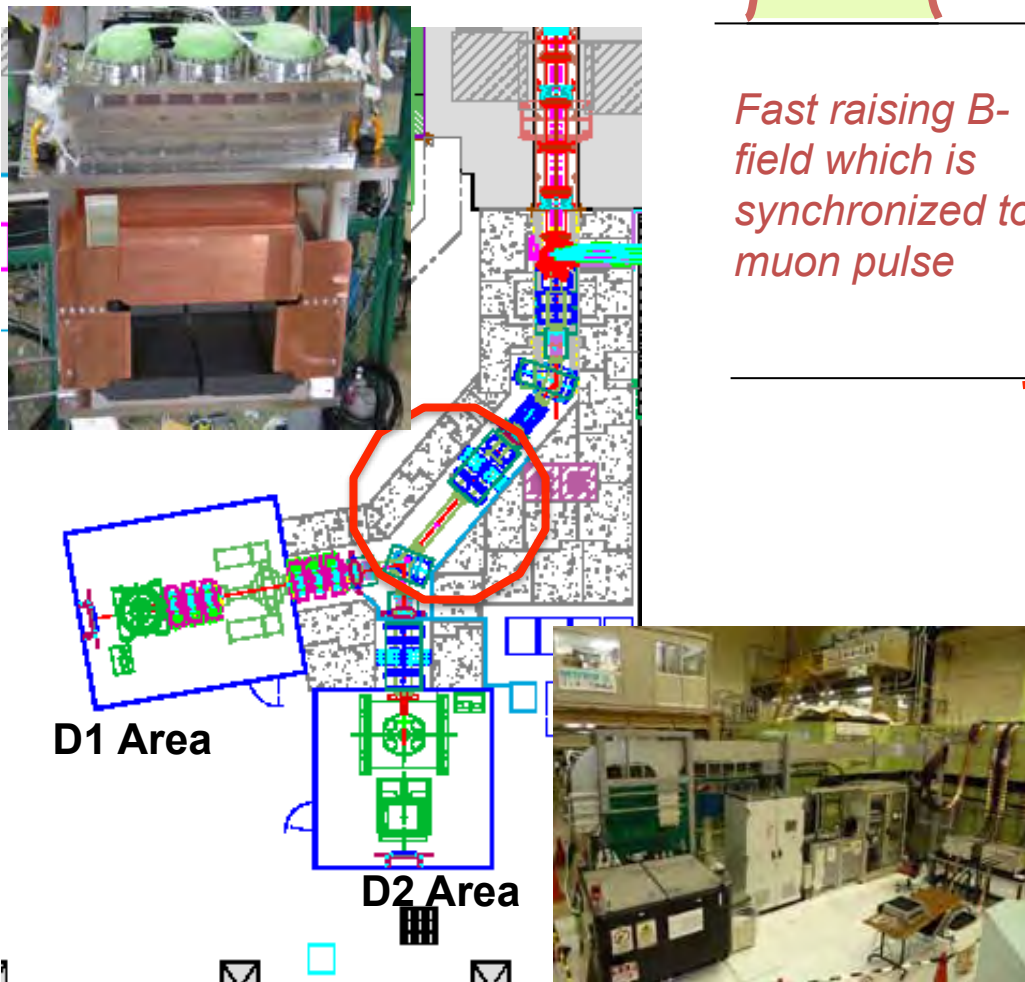
Either Surface muon (μ^+) or Decay muon (μ^+/μ^- up to 120 MeV/c) available!

1. Solid State Physics (Magnetism • Superconductor)
 1. μ SR Study of Organic Antiferromagnet β' -(BEDT-TTF)₂IBrCl
 2. μ SR in Ironpnictide superconductor *Phys. Rev. Lett.* **103** 027002 ←The first PRL @J-PARC
 3. μ SR evidence for magnetic ordering in CeRu₂Al₁₀ *J. Phys. Soc. Jpn. At May, 2010*
 4. novel phase transition in f-electron system - high-order “multipole” ordering
Phys.Rev. B 82, 014420 (2010)
 1. **Ba₂IrO₄: A novel spin-orbit Mott insulating quasi-2D antiferromagnet,**
Phys.Rev. B83, 155118 (2011)
2. Material Science (Li Batteries, Alloy, Voids)
 1. Li_xCoO₂ (Toyota) *Phys.Rev. B 82,224412 (2010), Phys.Rev. B84 054430 (2011)*
 2. CaFe₂O₄-type NaMn₂O₄ and LiMn₂O₄
 3. Li Diffusion in Li ion conductor
 4. Pre-martensitic phenomena of thermo elastic martensitic transformation in NiTi alloys studied by muon
 5. μ SR in Finemet
3. Physical Chemistry
 1. Investigation of molecular effect in the formation process of muonic atom
 2. Mu(μ^+e^-) formation mechanism in condensed matters
4. Particle Physics
 1. $\mu^- + A(Z,N) \rightarrow e^- + A(Z,N)$ rare decay
5. Non-destructive analysis, Radiography
 1. Koban, Old coin *J. Phys.: Conf. Ser.s 225 (2010) 012040*
 2. Muon Radiography
6. Beam Development
 1. Slicer *J. Phys.: Conf. Ser. 225 012012(2010)*
 2. Ultra Slow Muon

Beam Kicker

To separate double bunched beam to single, to D1 and D2 area at the same time!

実質的なビームタイムを2倍に



超低速 μ BL U-Line

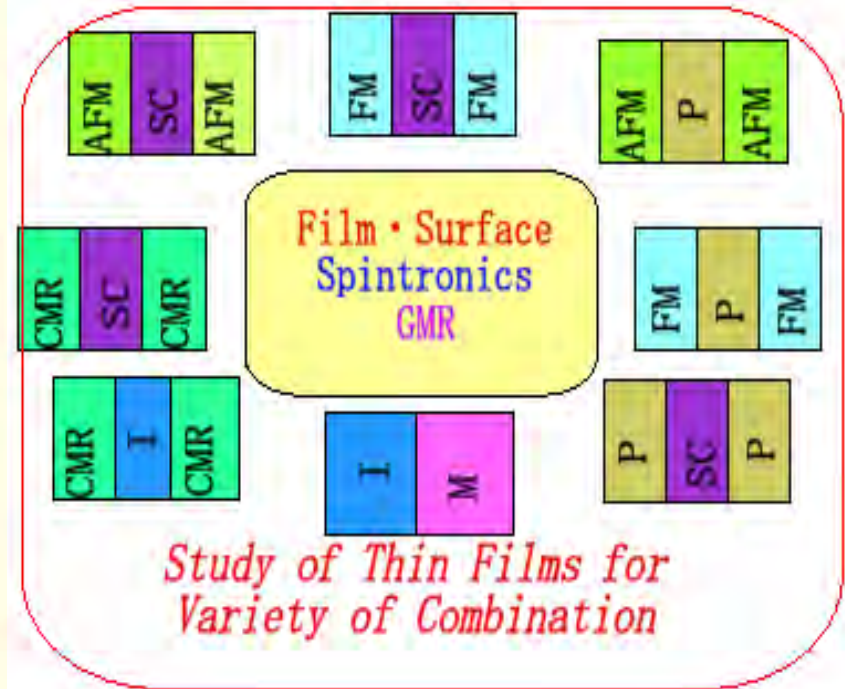
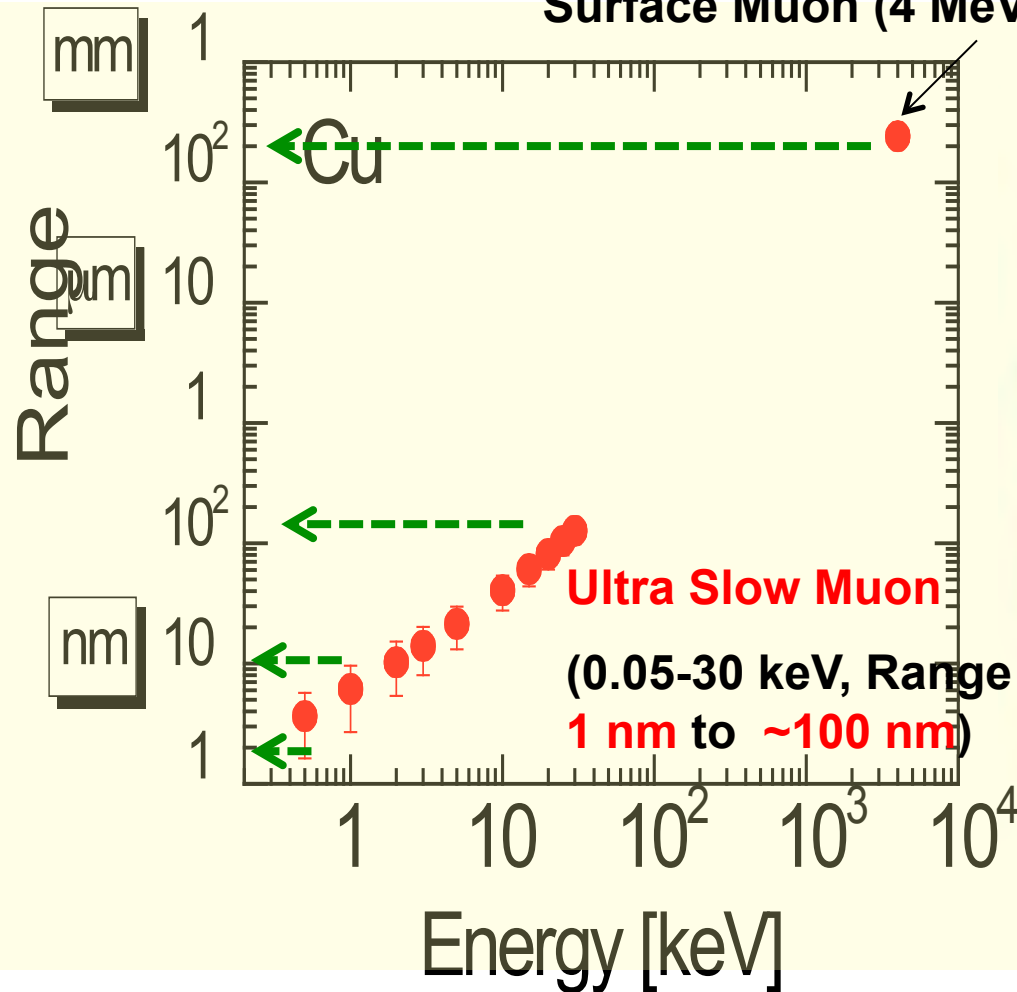
***Dedicated to Ultra Slow Muon
more than 10 times intense than D-Line***

First goal of U-Line:
Surface muon source that produce **Ultra Slow muon**
($E= 0.05 \text{ eV} - 30 \text{ keV}$) with high intensity and
high luminosity.

U-Line

to obtain Intense Ultra Slow μ^+ Beam

Surface Muon (4 MeV, Range $\sim 0.1\text{mm}$) for BULK



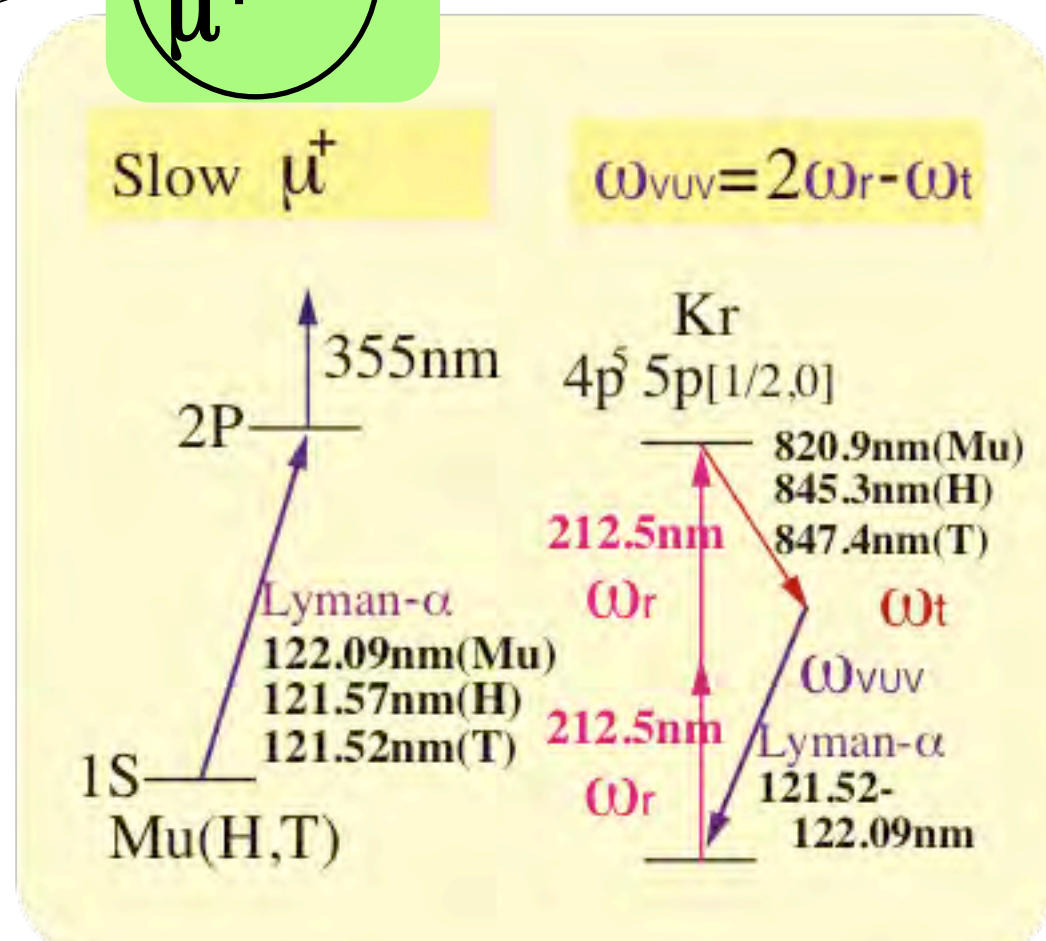
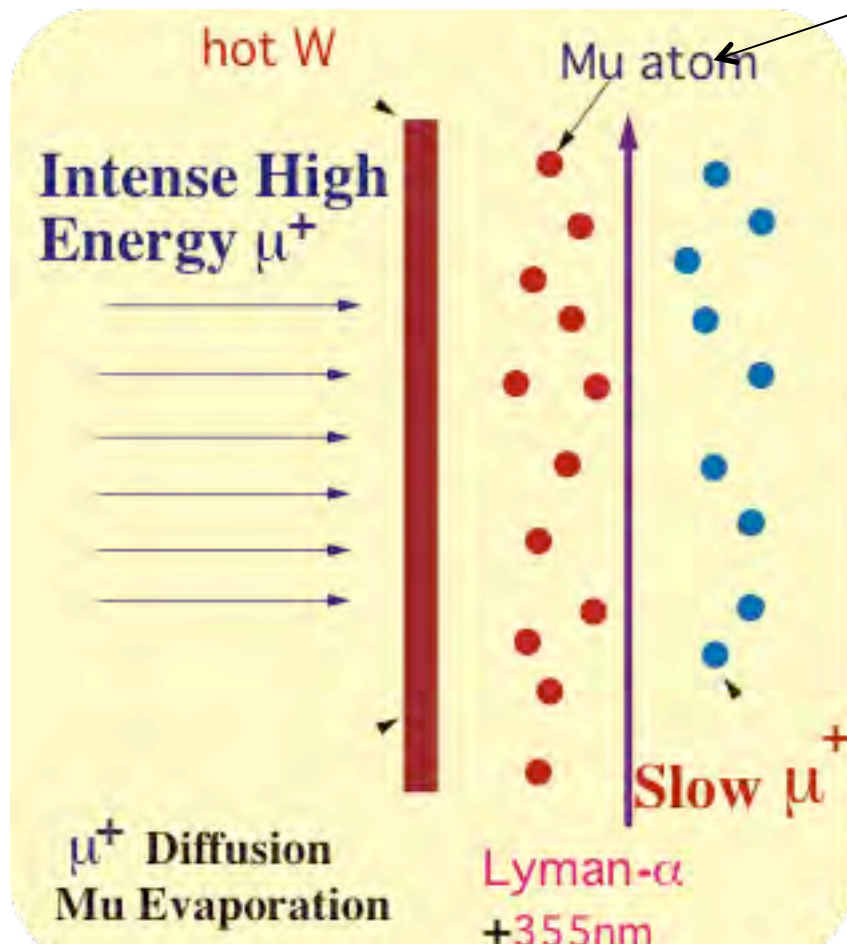
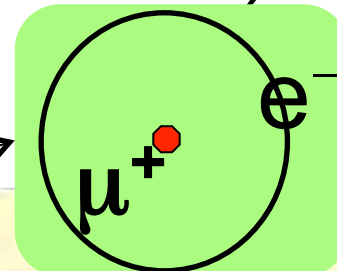
Ultra Slow μ^+ ($>10^{5-6}/\text{s}$) is cooled from the intense surface muon ($4 \times 10^8/\text{s}$) by Laser Resonant Ionization of Muonium

Concept of ultra slow μ^+ generation by laser resonant ionization of thermal Mu from hot tungsten

Can be realized by **synchronizing** intense **pulsed muon** and **pulsed laser**

J-PARC MUSE (pulsed muon source) CAN MAKE IT!

4MeV -> **0.2 eV** (7 order cooling)



STEP4: Features of Ultra Slow Muon by Laser Resonant Ionization

KEK、英国理研RALでの開発

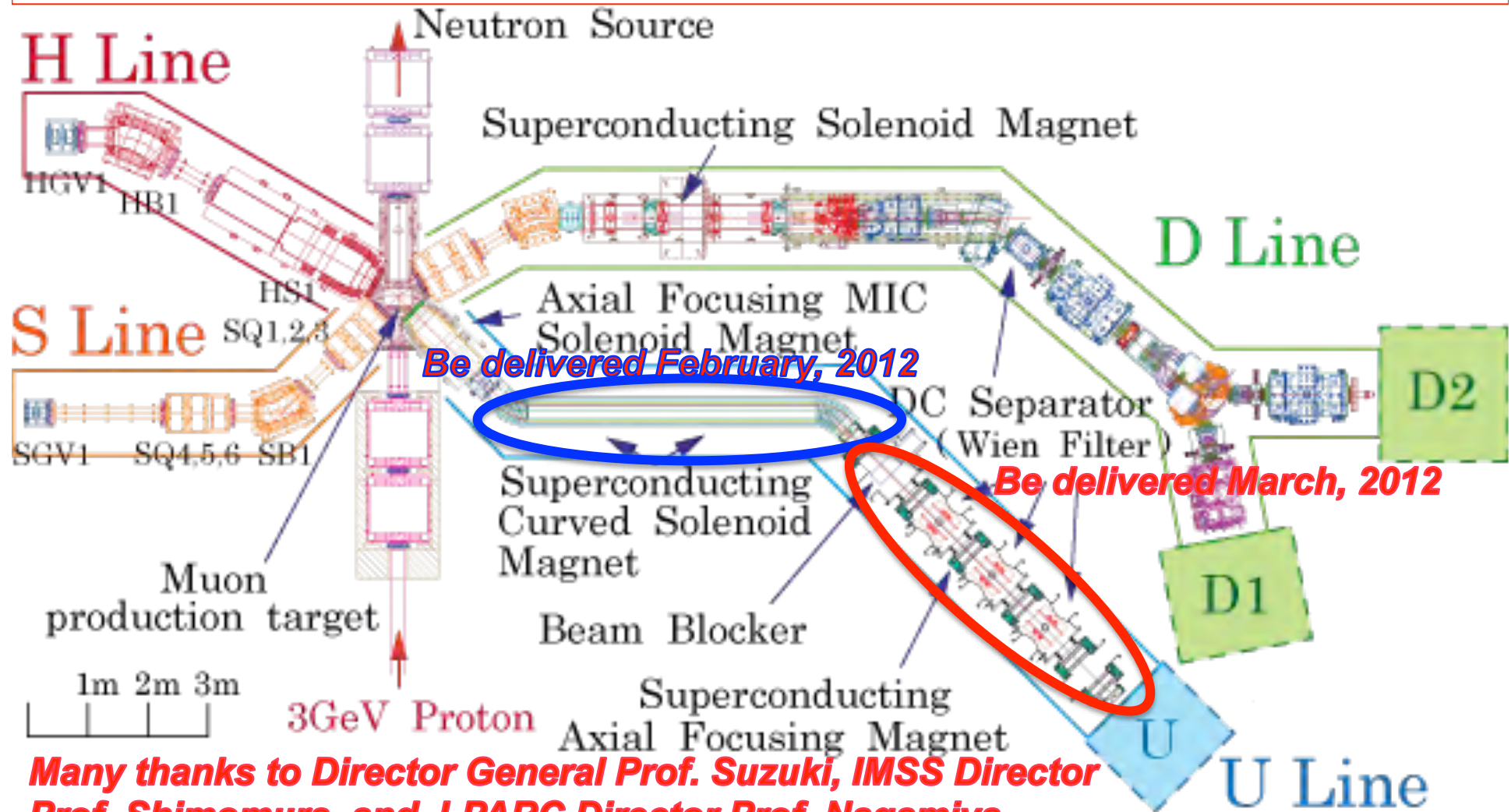
1. Variable Implantation **Depth** (~nm resolution)
2. Small Beam **Size** ($\phi \sim 4$ mm (Now) $\rightarrow \phi$ **1 mm**)
3. High **Temporal Resolution** (8.3 ns (Now we are using ns laser system to ionize Mu.) \rightarrow **1 ns**)
4. Synchronized with pulsed perturbation
5. Very Low Bg. --> Very small Relaxation

But, only 20 slow muons/s at RIKEN-RAL \rightarrow J-PARC U-Line

U-Line

4.0 x 10⁸ /s surface muons, 20 times more intense than D-line which is the strongest at present!

Dedicated beam line to produce **Ultra Slow muon** (E= 0.05 – 30 keV) with high intensity and high luminosity.



Many thanks to Director General Prof. Suzuki, IMSS Director Prof. Shimomura, and J-PARC Director Prof. Nagamiya

U-ライン: 超低速ミュオンビームライン

U-ライントンネル出口

D-ライン

冷却水配管



MLF第二実験ホール

- 全てソレノイド電磁石
- 表面ミュオン(μ^+)と負ミュオン(μ^-)の同時取り出し ($< 45 \text{ MeV}/c$)
- 世界最高強度の パルスミュオン源 ($2 \times 10^8 \mu^+/s$)

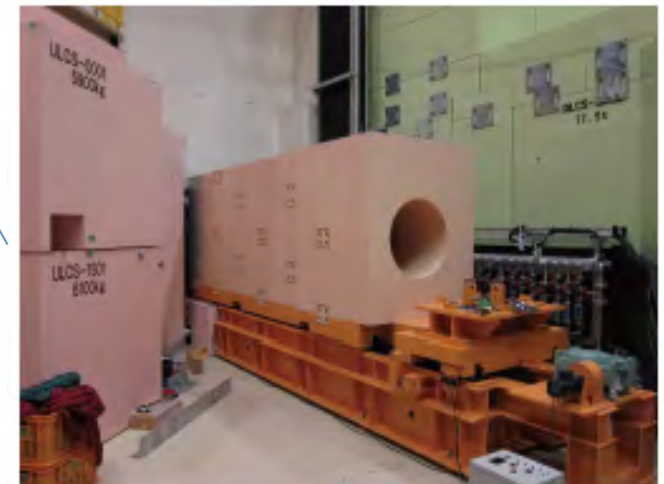


超伝導湾曲ソレノイド磁石
標的に生成したミュオンを
実験ホールへ輸送



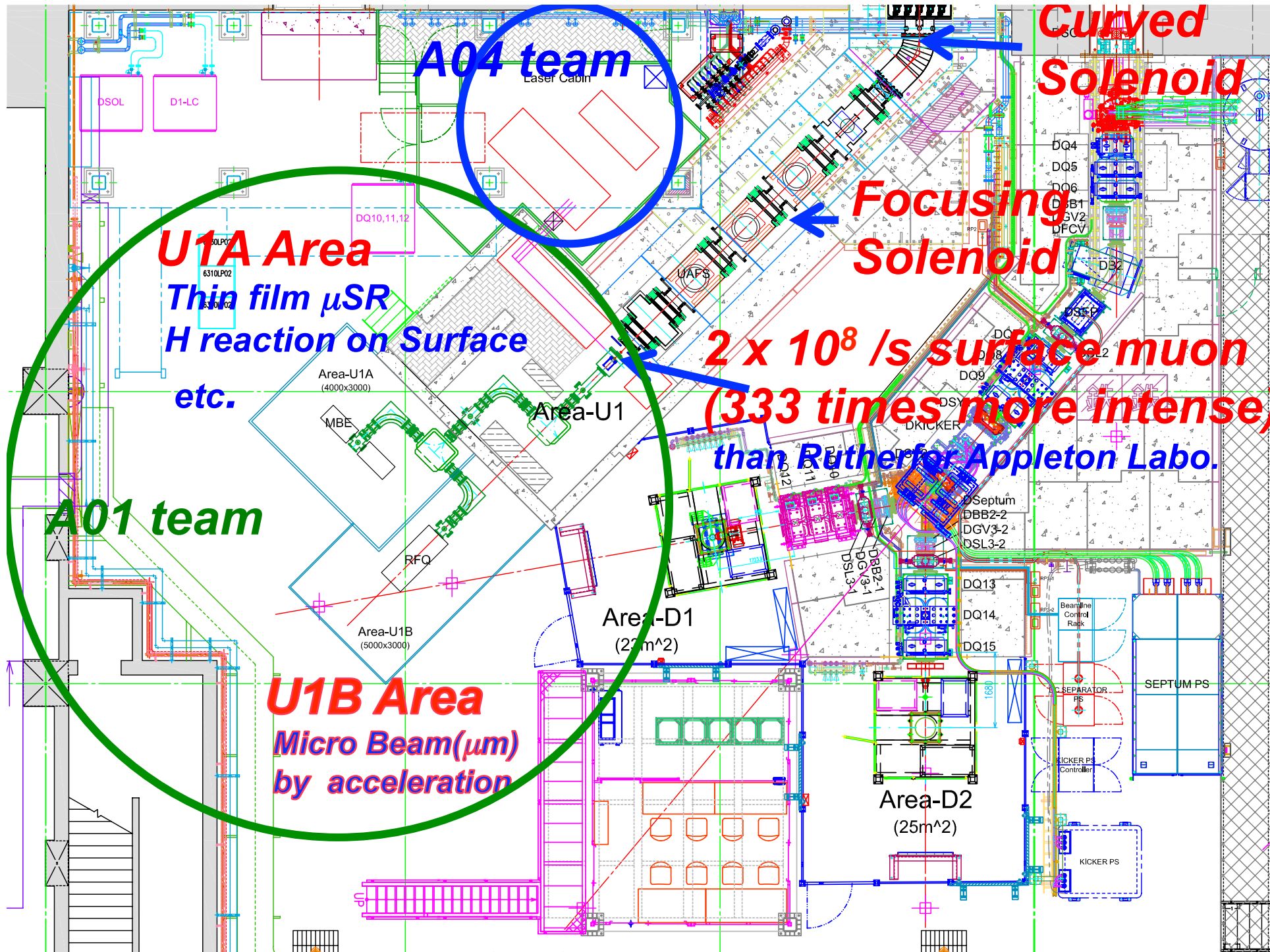
陽電子セパレータ

ミュオンビームから陽電子を
除去



湾曲ソレノイド用移動台車と遮蔽体

湾曲ソレノイドをU-ライントンネルに
挿入



A04 team
Laser Cabin

Curved Solenoid

U1A Area
Thin film μ SR
H reaction on Surface
etc.

Focusing Solenoid

**2×10^8 /s surface muon
(333 times more intense)
than Rutherford Appleton Labo.**

A01 team

U1B Area
Micro Beam (μ m)
by acceleration

Area-U1
Area-U1A (4000x3000)
Area-U1B (5000x3000)
Area-D1 (27m²)
Area-D2 (25m²)

DQ4
DQ5
DQ6
DBB1
DGV2
DFCV
DB2

DQ7
DQ8
DQ9
DSY
DKICKER

Septum
DBB2-2
DGV3-2
OSL3-2

DQ13
DQ14
DQ15

Beamline Control Rack
SEPARATOR
KICKER PS Controller
SEPTUM PS

KICKER PS

超低速ミュオン発生部

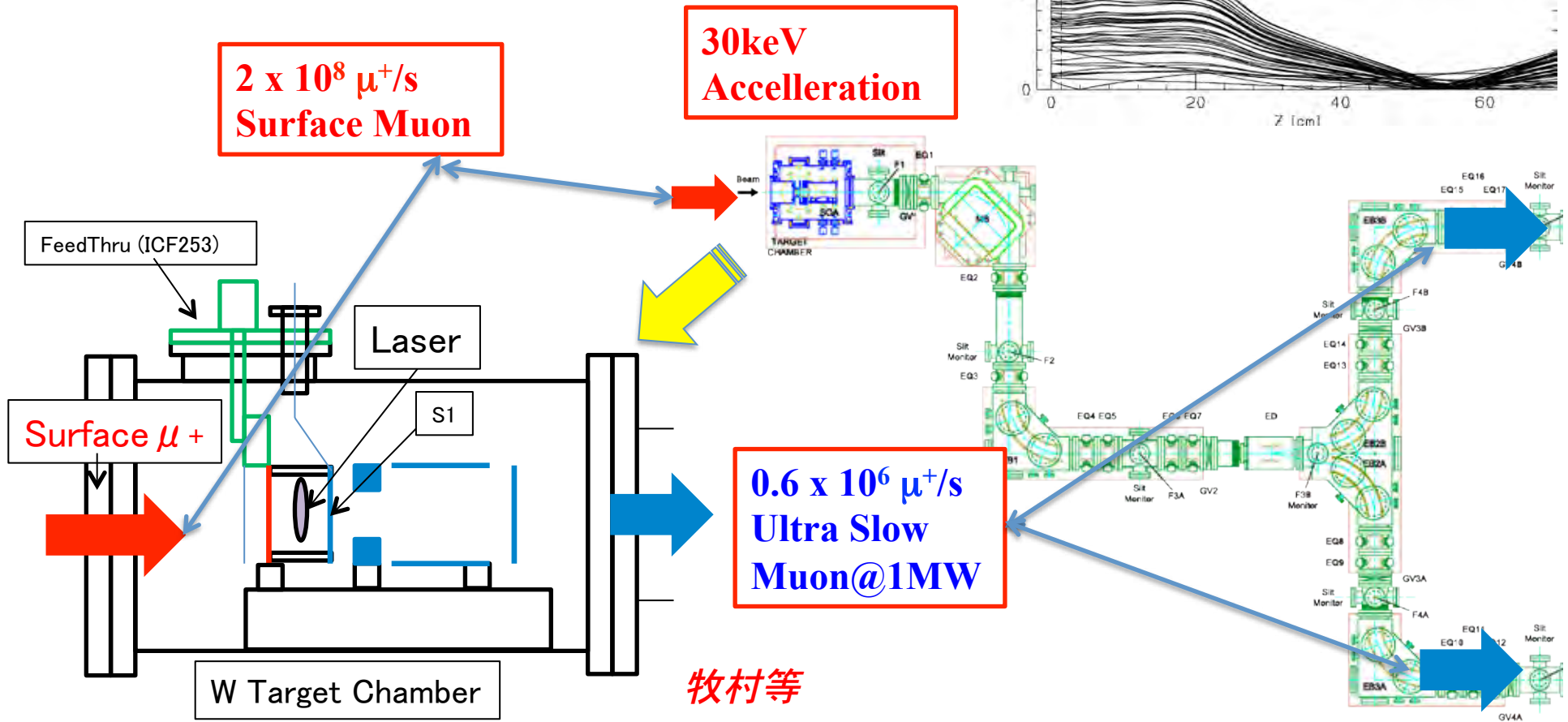
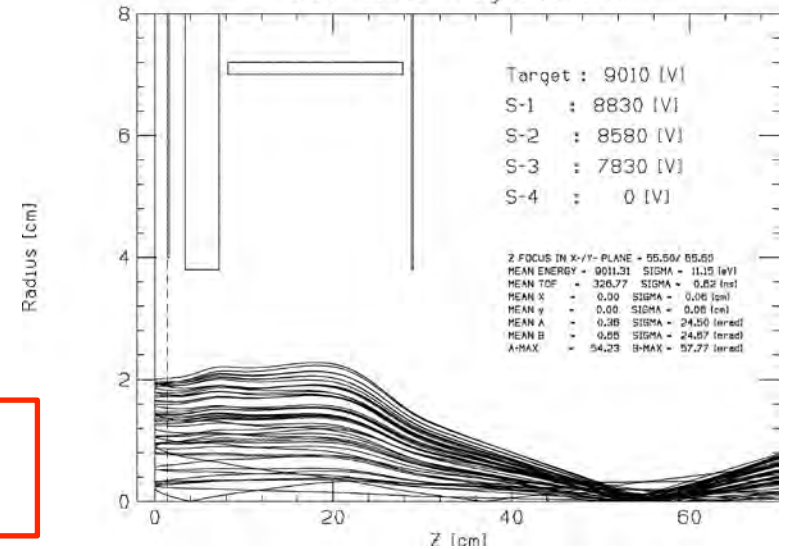
新学術領域研究 超低速ミュオン顕微鏡
代表 鳥養 映子 2011-2015

Ultra Slow Muon Ion Optics

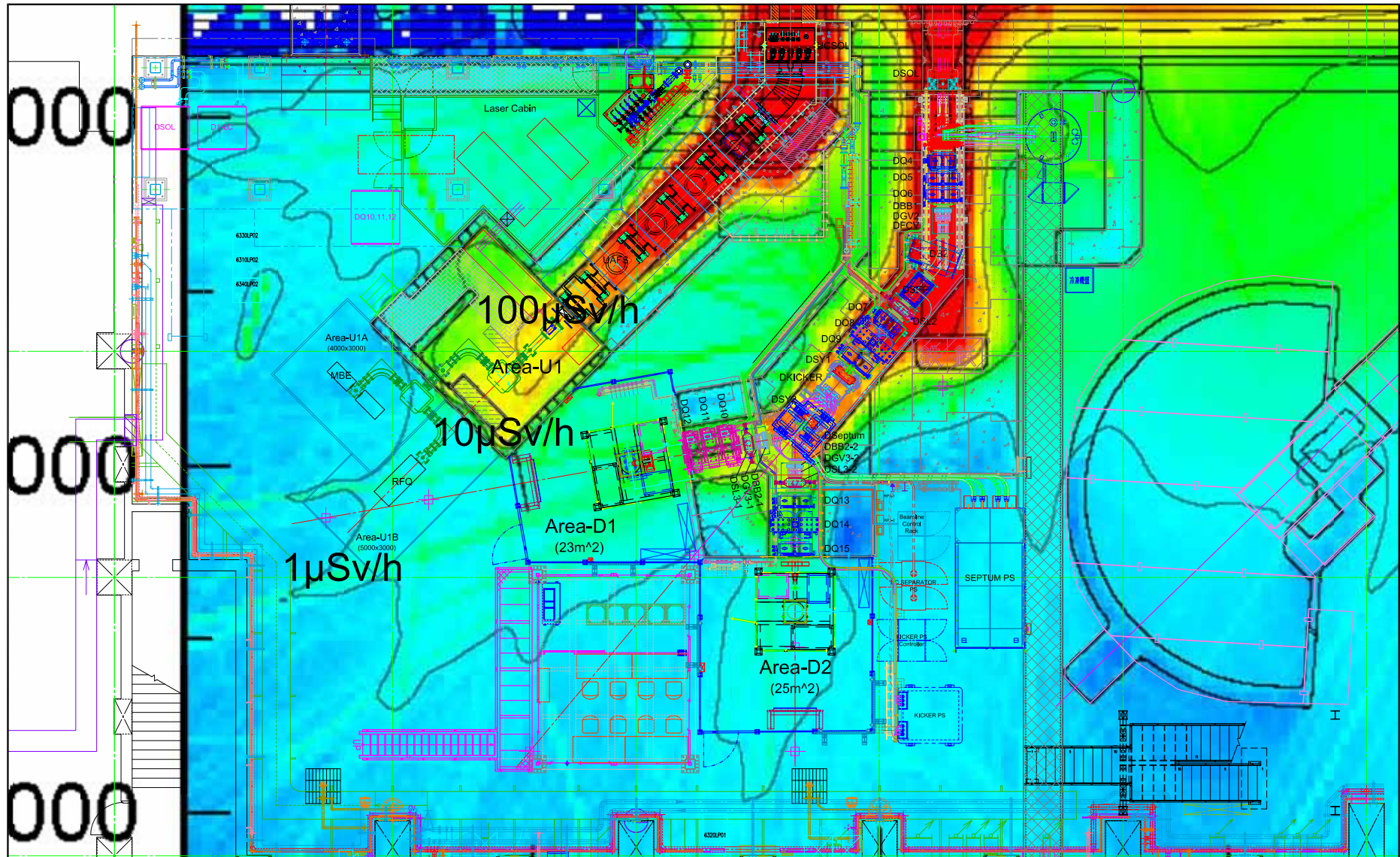
Patrick Strasser

- (1) Ultra-slow muon beamline layout
- (2) Muon extraction/acceleration (SOA lens)
 - (a) static vs. pulsed extraction
 - (b) HV Setting: scaling problem!
- (3) Ion beam transport

SOA Lens Trajectories



放射線
&
付帯設備



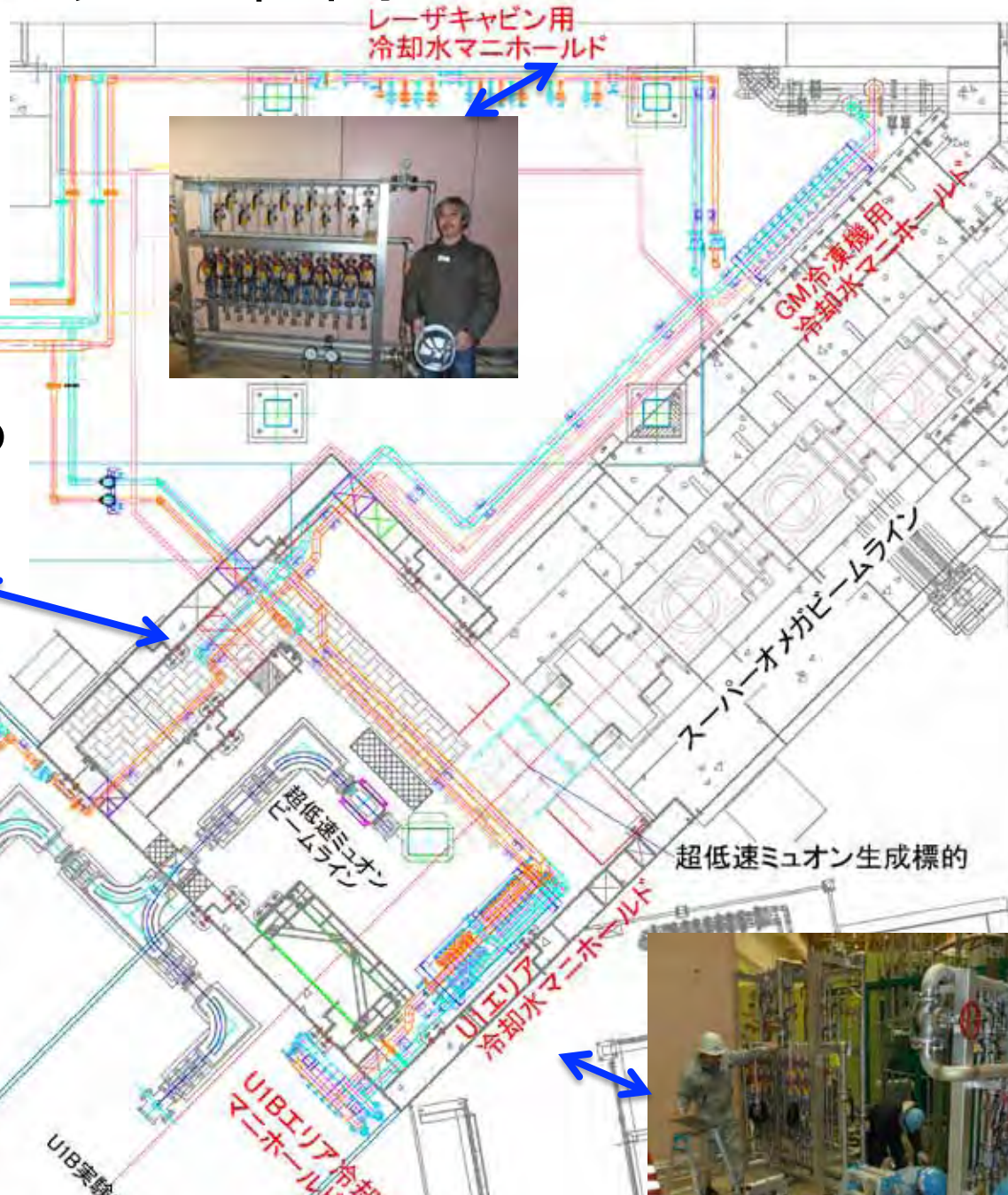
放射線計算 by 河村

30cm壁厚(金網では×)のシールドングエリアを設置

On 2012年1月-2月上旬

シールドングエリア+U-ライン冷却水

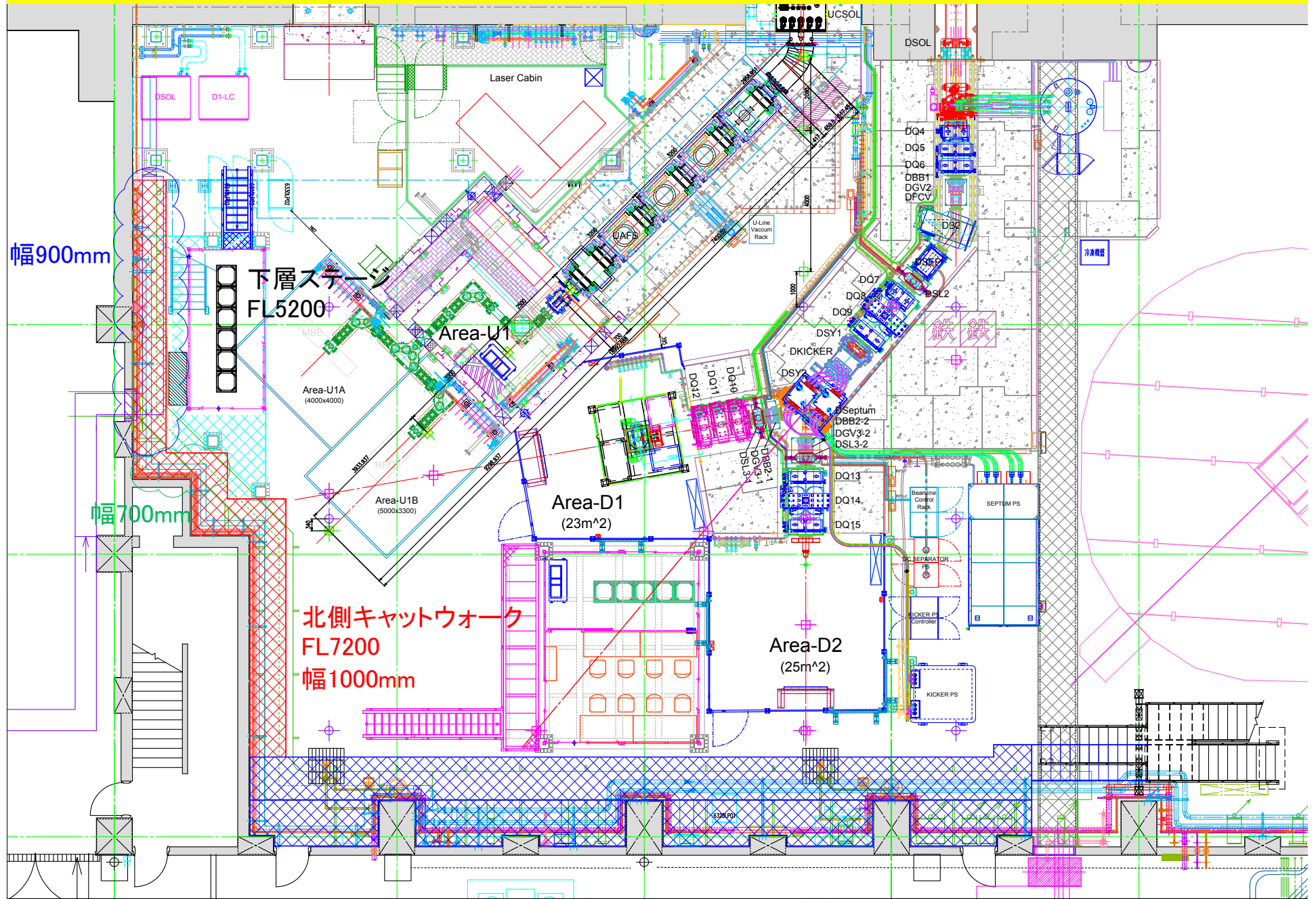
ビームライン電磁石、超伝導コイル冷却用GM冷凍機、レーザ、超低速ミュオン実験等で使用する冷却水の配管・マニホールドを増設。(完了)



コンクリート30cm厚のシールドングエリア
2012年1月設置
(by河村;屋根付)



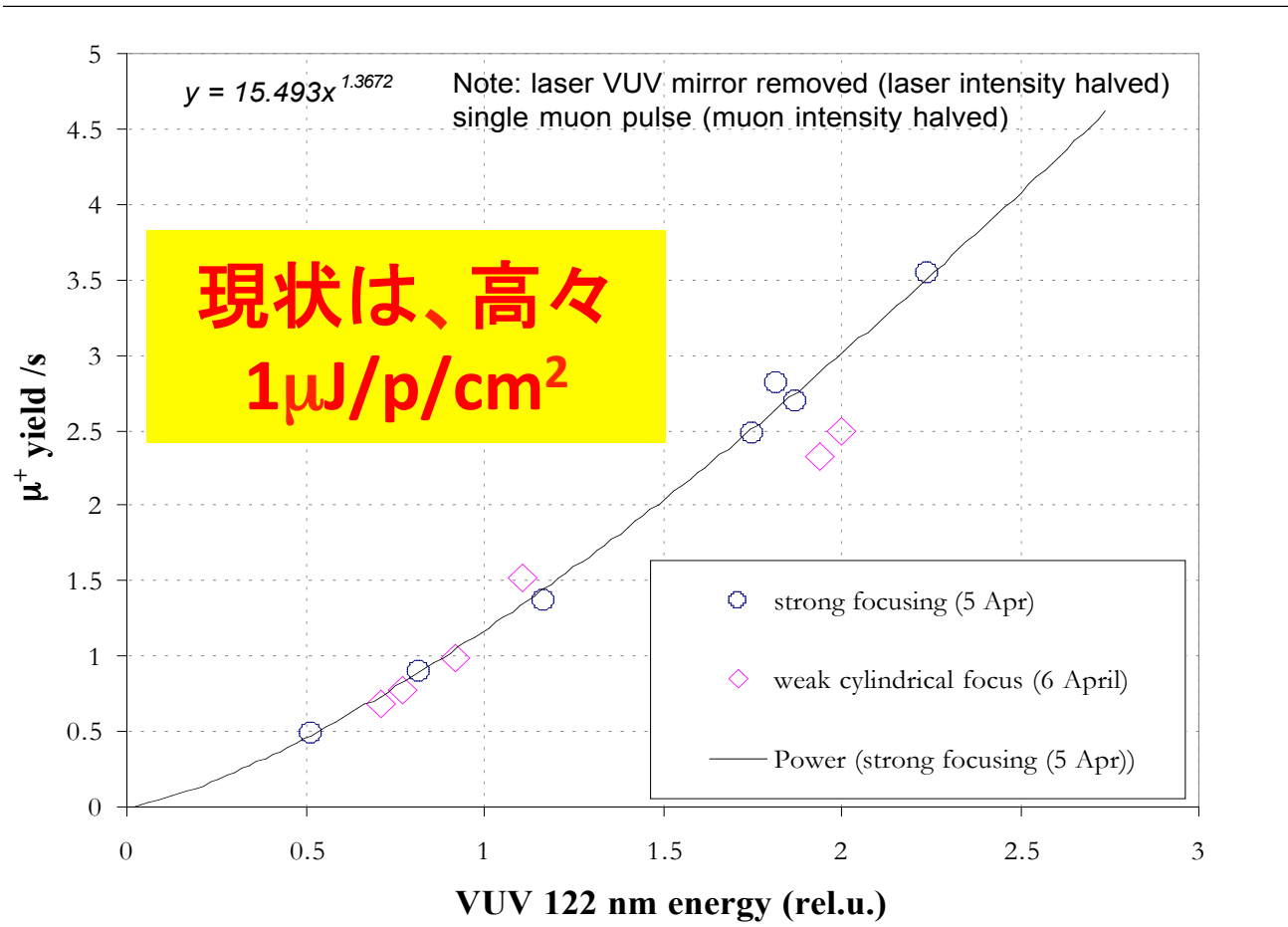
Uライン用キャビン+キャットウォーク製作設置;2012年2-3月



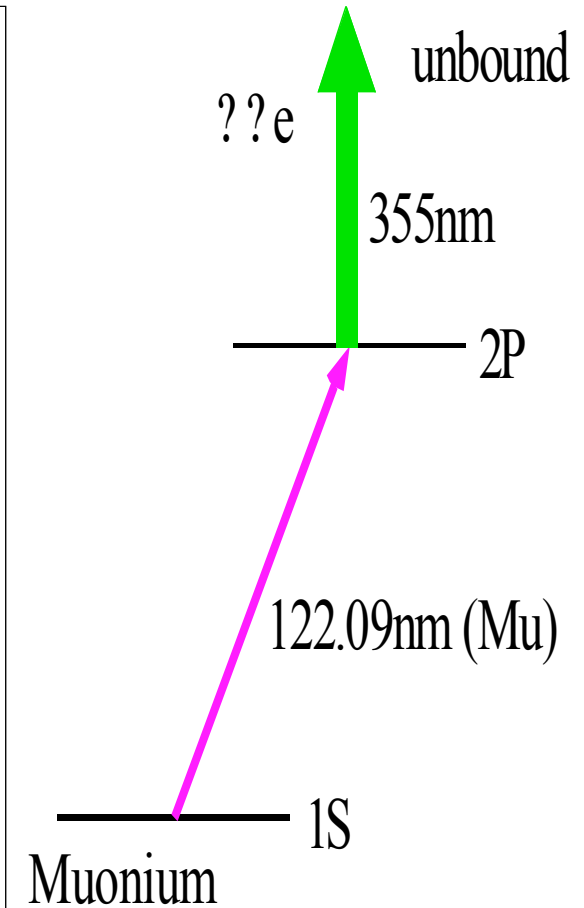
Laser

新學術領域A04班所掌

Dependence on VUV 122nm laser energy



現状は、高々
1 μ J/p/cm²



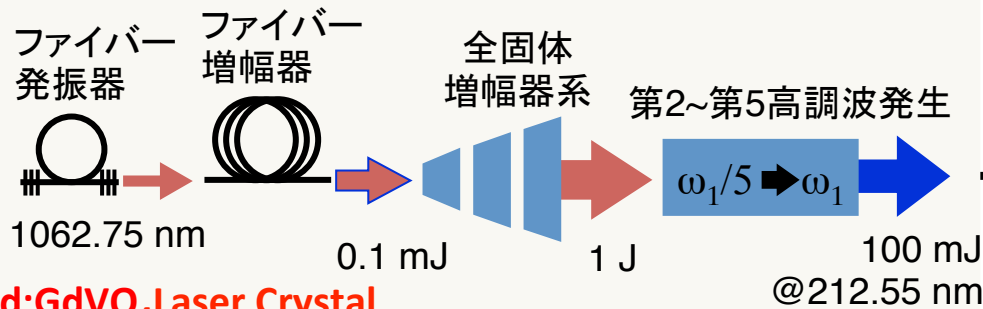
- We measured dependence of slow μ^+ yield on VUV (122 nm) energy for 1S \rightarrow 2P transition. **As expected the transition is far from saturation point.**
- VUV energy is currently in μ J range. While one of the brightest Lyman- α sources available there is still huge scope for improvement.

レーザーシステム

100 μ J Lyman- α ; RALの100倍
2012年8月完成予定

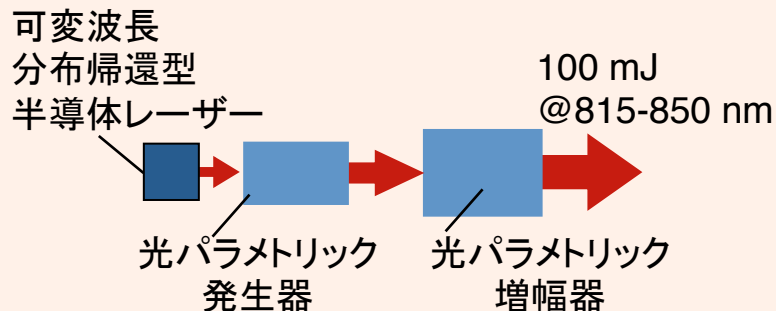
OMEGA 1, OMEGA 2, and Lyman- α Shifter

OMEGA 1 : 高出力212.55 nmシステム

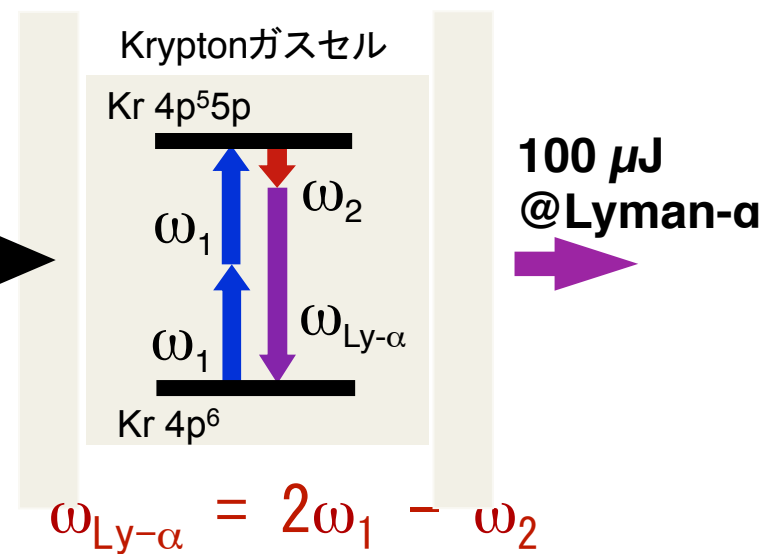


Nd:GdVO₄ Laser Crystal
Directly emitting 212(x5)nm
Much better efficiency(Wada)

OMEGA 2: 可変波長815-850 nmシステム



Lyman- α シフター



Lyman- α Intensity 100 times

Ultra Slow Muon for sure $10^{3-4}/s$
Goal $6 \times 10^5/s$

Expected Yield of Ultra Slow Muon

20 slow muons/second at RIKEN-RAL → J-PARC, MUSE

1) Repetition Rate

25 Hz (At RIKEN-RAL 50 Hz) factor **2 times**

2) Surface Muon Yield by Super Omega Channel

$4.0 \times 10^8 /s / 1.2 \times 10^6 /s$ (RIKEN-RAL) = **161 times**

3) Lyman- α Intensity by Laser Development

$71 \mu J/p / <1 \mu J/p$ (RIKEN-RAL) ~ **100 times**

Our Goal of Ultra Slow Muon Yield is

$20 /s \times 2 \times 161 \times 100 = 0.6 \times 10^6 /s$ (Maximum)

Riken-RAL Slow Muon Intensity

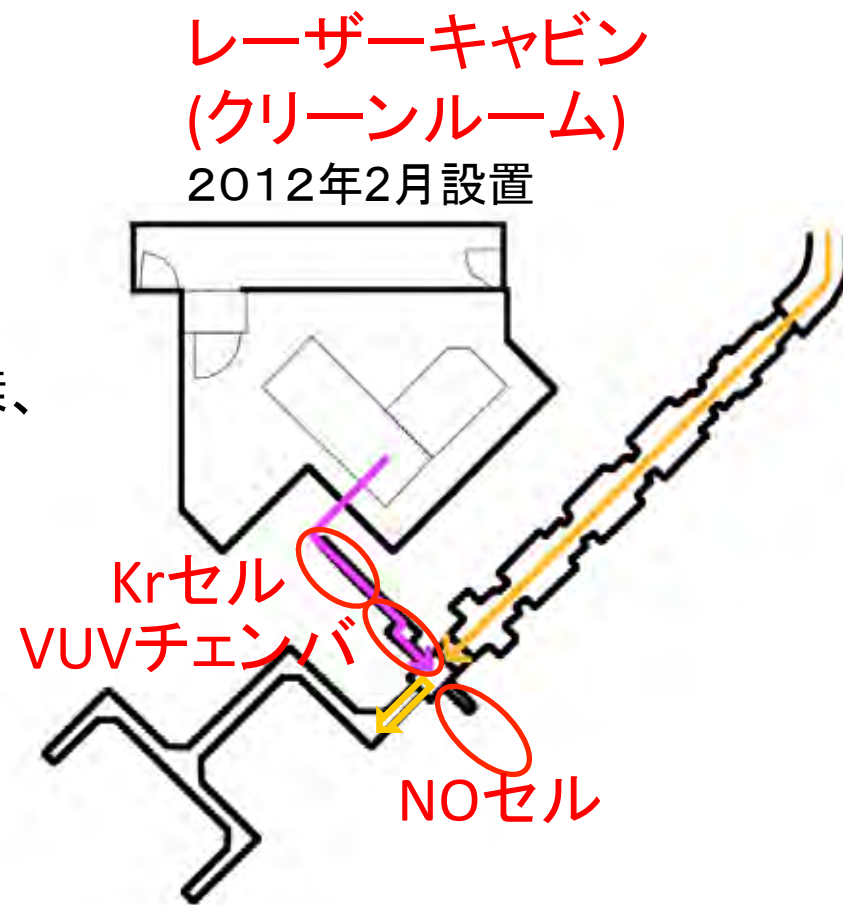
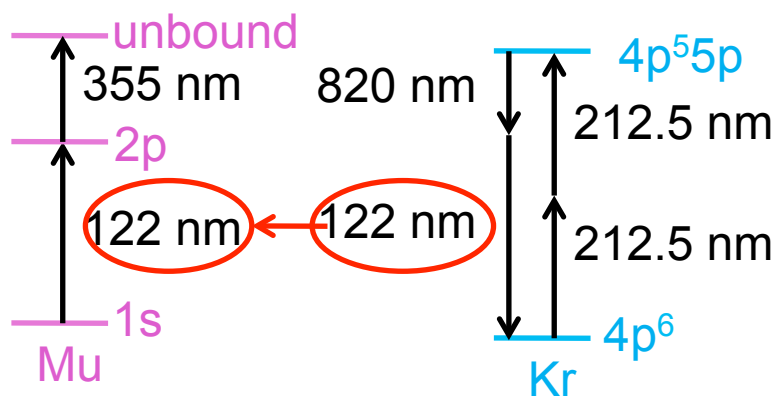
Started with realistically, $10^{4-5}/s$!

超低速ミュオン顕微鏡計画のための レーザー光輸送・診断系および関連施設の 設計・製作の現状



Status of the laser beam transport and measuring system for ultra slow muon microscope

○中村¹惇平、¹横山幸司、¹斎藤徳人、²岡村幸太郎、
 牧村俊助、三宅康博、
 ストラッサ^{1,2}・パトリック、池戸豊、長友傑、
 和田智之、下村浩一郎、西山樟生
 KEK、理研¹、メガオプト²



超低速ミュオン顕微鏡のスケジュール (Tentative)

- 大強度表面ミュオンライン(U-ライン)
 - Uライン製作 2012年3月
 - Uライン設置 2012年7-9月
 - Uラインコミッショニング 2012年10-12月
- 超低速ミュオン発生部
 - 熱Mu発生用チャンバー、輸送系の設計製作 2012年1-8月
 - 熱Mu発生用チャンバー、輸送系の設置調整 2012年12月-
 - レーザーキャビン、冷却水、ユーザーキャビン、歩廊 2012年1-3月
- 超低速ミュオン μ SR実験
 - μ SR分光器、設計製作 2012年4月以降
 - μ SR分光器、設置、コミッショニング 2013年1月以降
- レーザーシステム
 - 新学術領域の最新固体レーザー製作@理研 2012年6月
 - レーザーシステム設置@J-PARC 2012年6-10月?

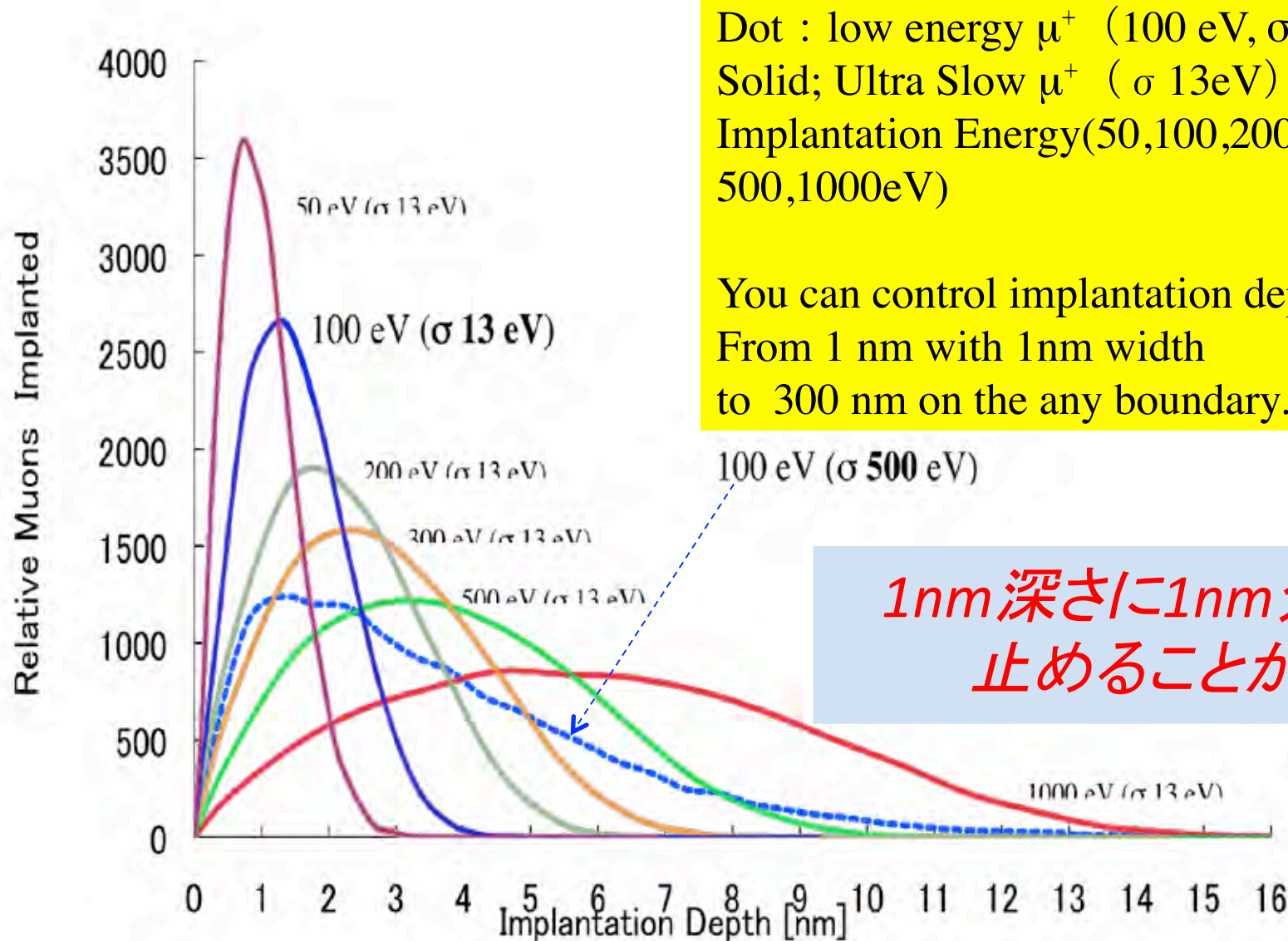
Sciences to be explored

Sub-Surface/Boundary Magnetism

**utilizing variable implantation depth
(1 nm to 300 nm)**

U-Line

Stopping Range of Ultra Slow μ^+ Generated by Laser Resonant Ionization of Mu



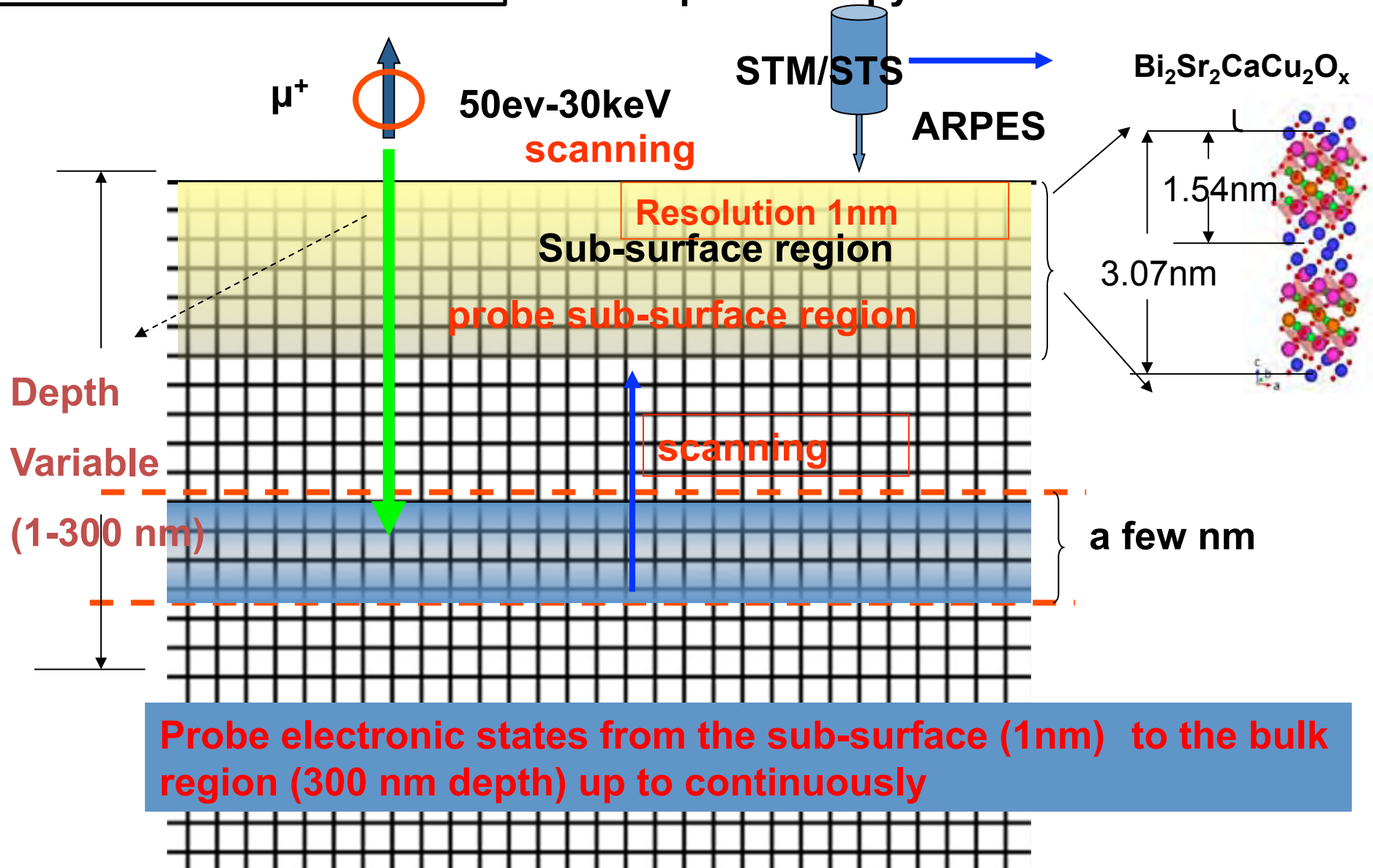
Dot : low energy μ^+ (100 eV, σ 500 eV)
Solid; Ultra Slow μ^+ (σ 13eV)
Implantation Energy(50,100,200,300,
500,1000eV)

You can control implantation depth
From 1 nm with 1nm width
to 300 nm on the any boundary.

1nm深さに1nm分解能で
止めることが可能

Sub-Surface/Boundary Magnetism

Scanning tunneling microscopy and spectroscopy on the surface

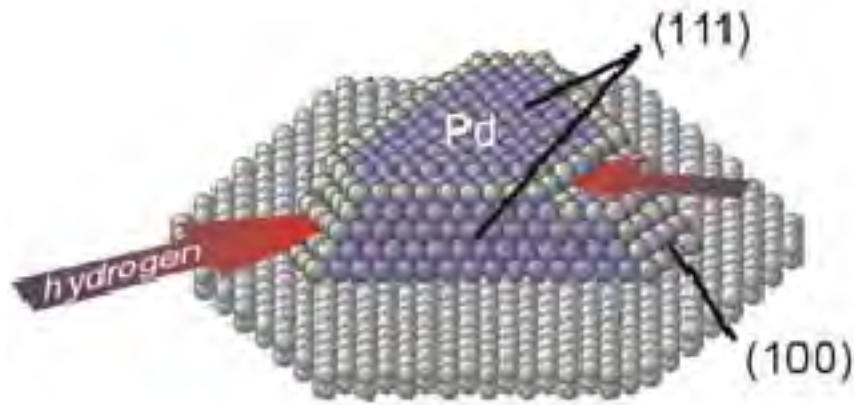


Probe electronic states from the sub-surface (1nm) to the bulk region (300 nm depth) up to continuously

According to Prof. Nishida

Surface/Sub-Surface H chemistry

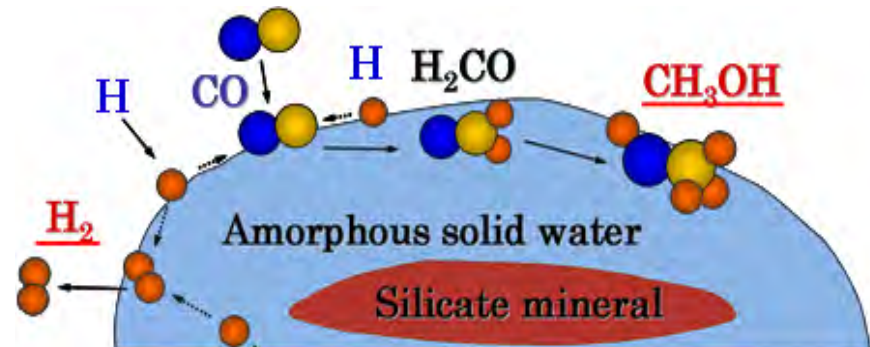
H reaction on the nano Surface quite different from bulk



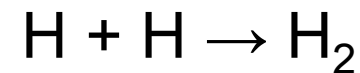
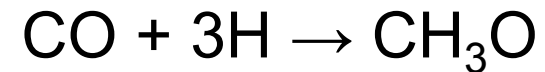
- Surface H \longrightarrow Isomerization
- Adsorbed H \longrightarrow Hydrization

M. Wilde et al., ACIE 47 (2008) 1.

Chemical Evolution in Cosmic May occur on the surface of ICE



Main Cast is H

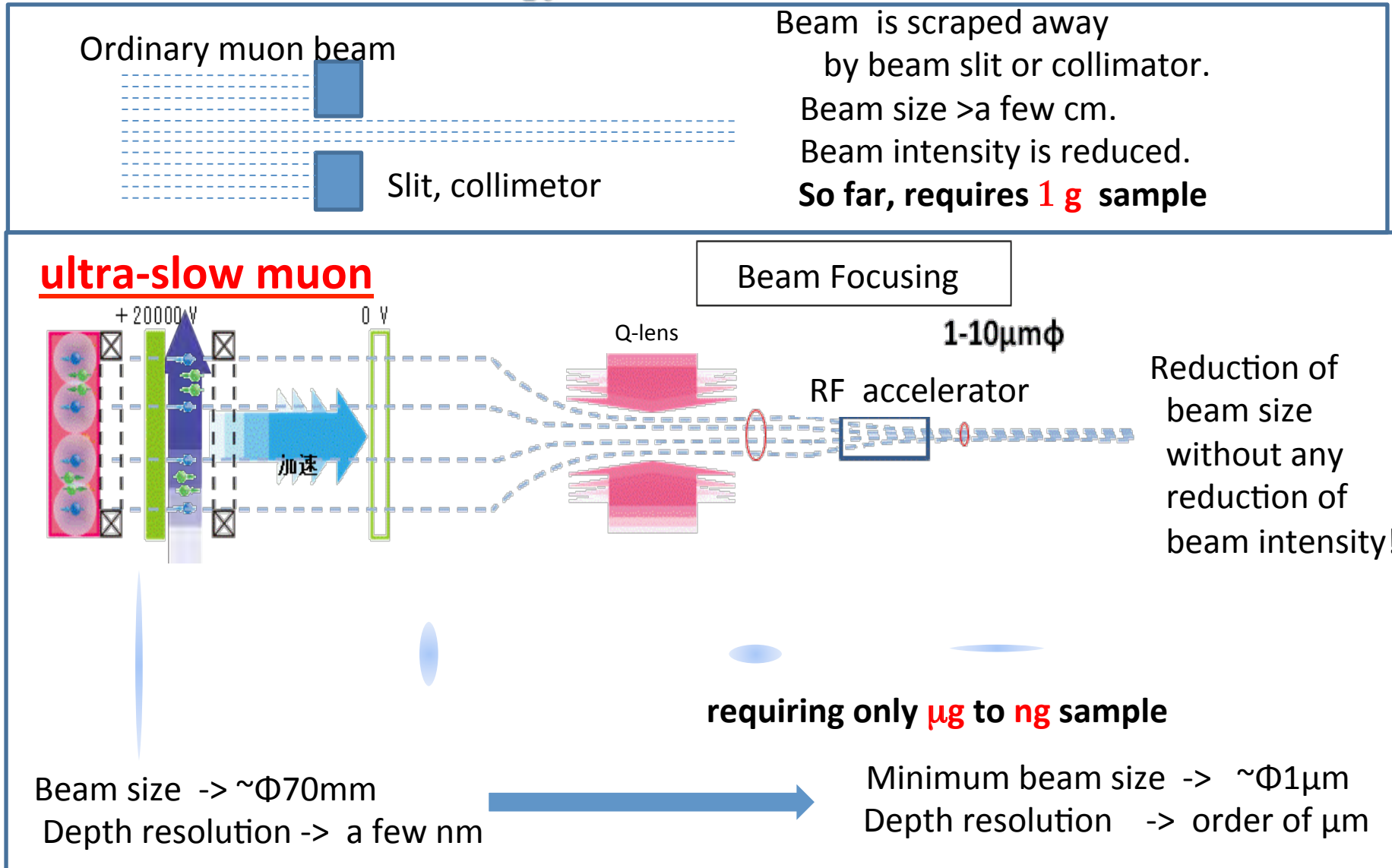


N. Watanabe, A. Kouchi, PSS 83 (2008) 439

- Clarify
- Electronic state of H on the surface
 - Role of the surface H on Ice/Cluster
 - Diffusion Constant of H

According to Prof. Fukutani

A01 : Microbeam: Muon Microscopy, requiring only μg to ng sample



Realization of muon microscope

by **acceleration** or **capillary** methods!

A01; Study of materials and life science by micro muon beam

結着材 PVDF,
導電助剤 carbon

活物質,
LiCoO₂等

100 μm
不均一反応
劣化・熱暴走

0.8 mm

ミュオン
電子

3D mapping of magnetic domain inside sample

Particle property change vs. non-uniformity

- Non-uniform Li diffusion in battery
- Non-uniformity in permanent magnet domain

Micro-scale sample、 Micro-size region (grain, domain)

Study of undeveloped scientific or engineering field!

Examples: Trans-uranium compound (Novel Np, Am compound etc.,)

Life science (Electron transfer in DNA etc.,)

Industrial application (Inhomogeneity of reaction in Battery compound etc.,)

低速 μ BL

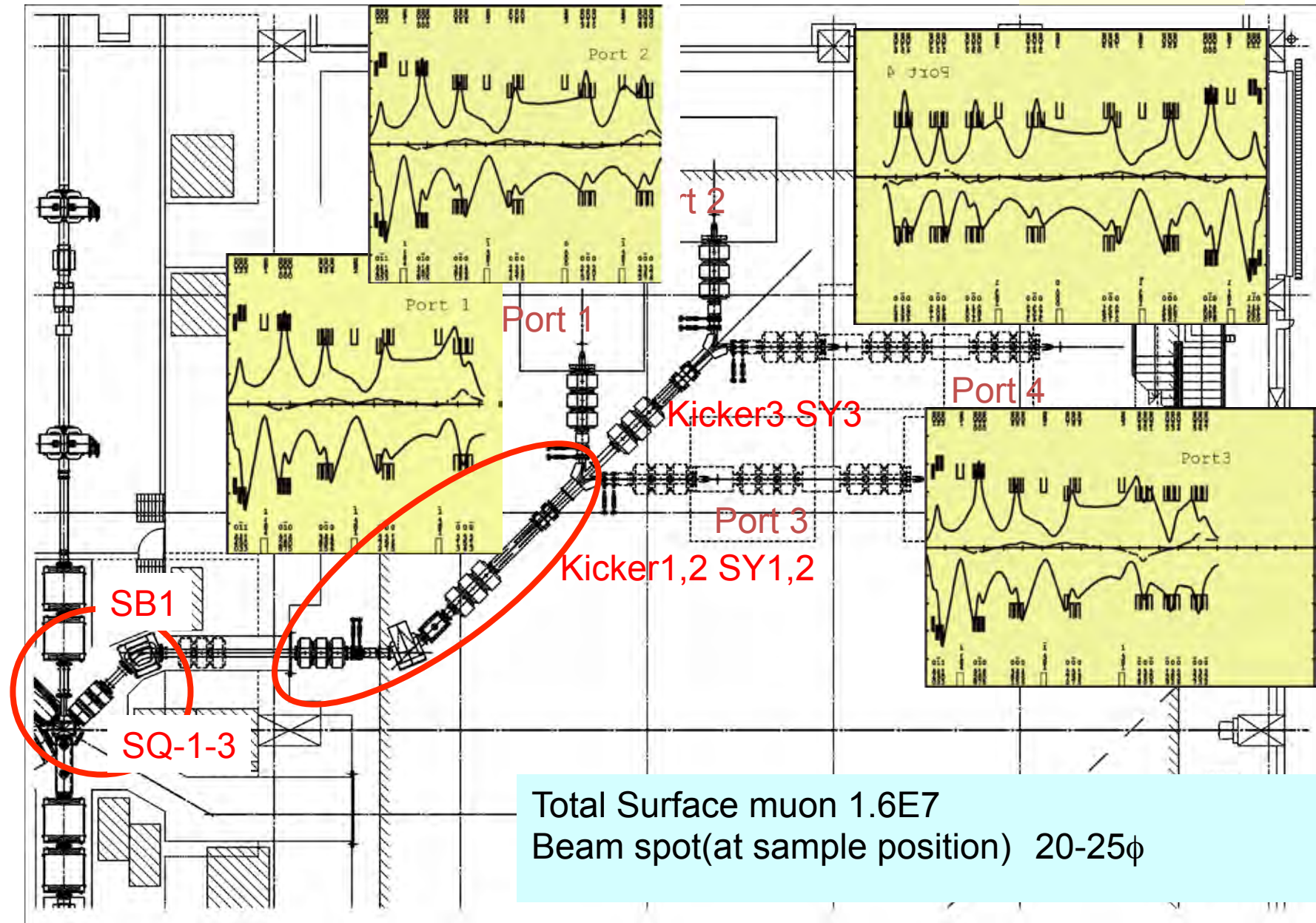
S-Line

MUSE the Second Priority!

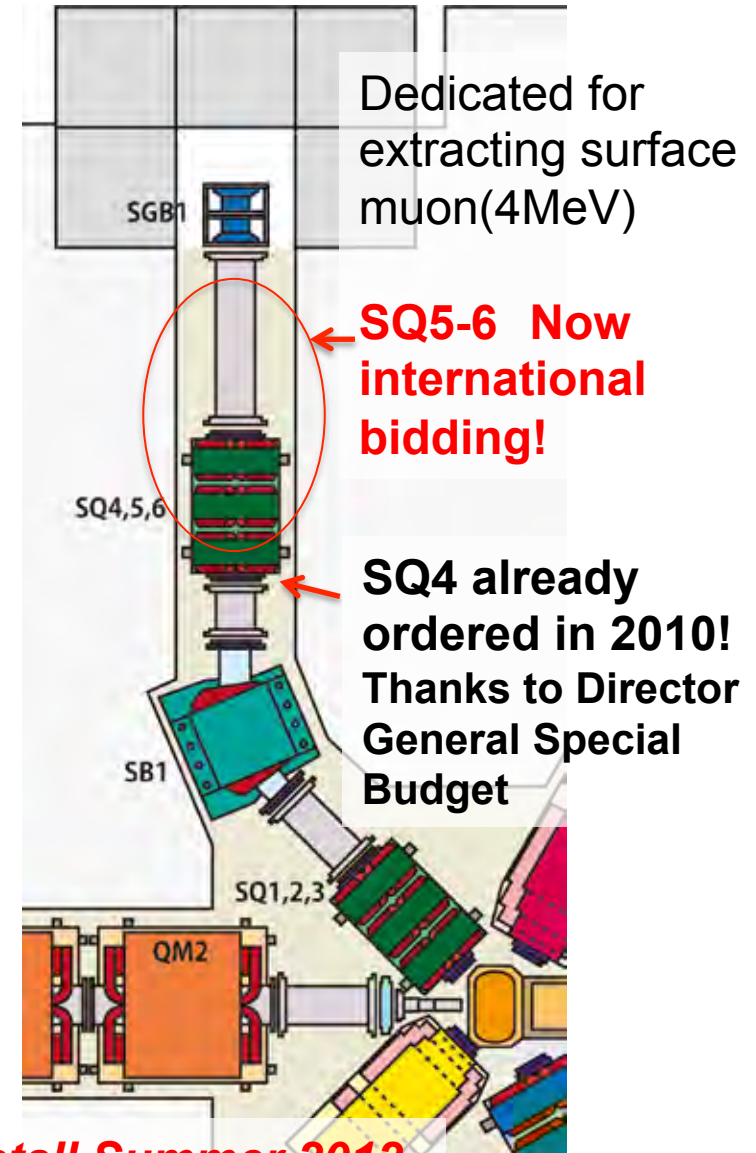
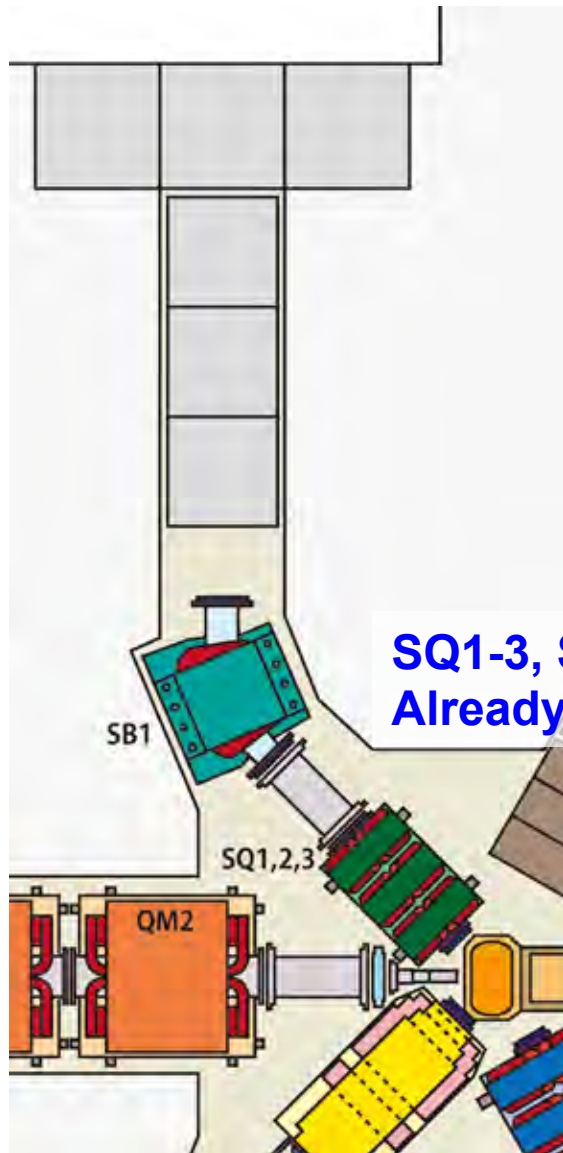
**Dedicate beam line to extract
Surface muons (4 MeV)
for Materials Science**

Surface Muon Channel

Phase 2



S-Line (M2 tunnel内の放射線強度の強いコンポーネントを設置する)



Planning to install Summer 2012

超高速 μ BL

H-Line

H-Line; Projects submitted to IMSS

1) “g-2” (30MeV/c) → Ultra Slow Muon:

Improve Sensitivity by
x 100 (10^{-14})

Precision Measurement of Anomalous Magnetic Moment

Muon Precision Experiment to search for New Physics

2) “μ-e” Conversion(DEEME) (105MeV/c):

Improve Precision by
x 5 (0.1 ppm)

Search for Charged Lepton Flavor Mixing

Charged Lepton Flavor Mixing and Origin of Matter

3) Pencil Beam Production(30MeV/c)

4) μCF Under High Pressure and Temperature(120MeV/c):

For the experiments of μCF high pressure and high temperature.

Extracting muons **Up to 120 MeV/c**

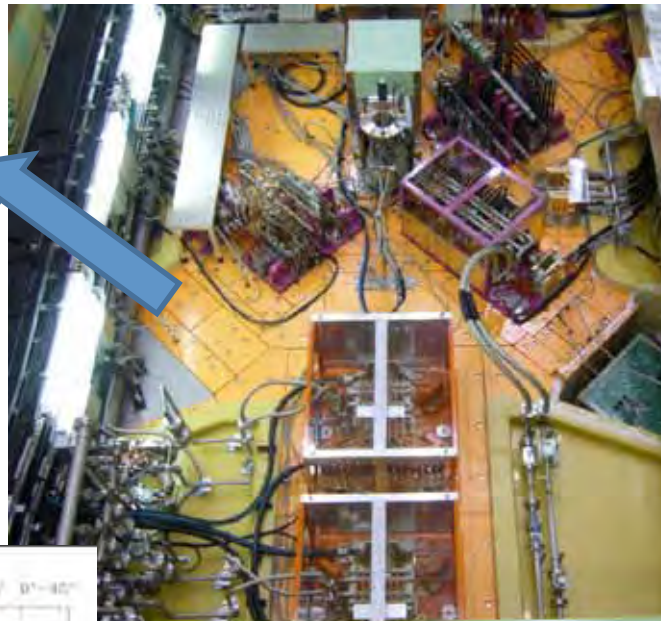
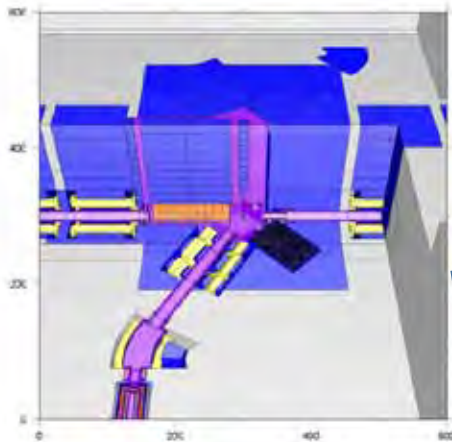
0) Mu Hyperfine precise measurement(30MeV/c)

IMSS Program by MUSE stuff, lead by Dr. Shimomura

H Line, Activity in the vicinity of Muon Target

several Sv 福島より高い!

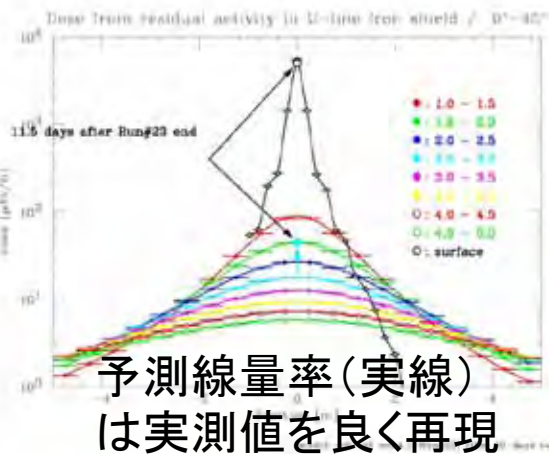
詳細なモデル化による放射化予測



200kW運転を継続した場合の
主要な放射能の累積予測

実測値との比較
による計算の妥
当性の検討

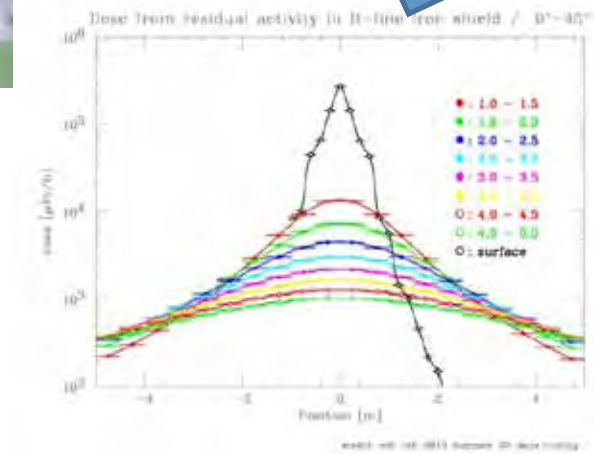
25年夏季作業時
の線量予測



予測線量率(実線)
は実測値を良く再現

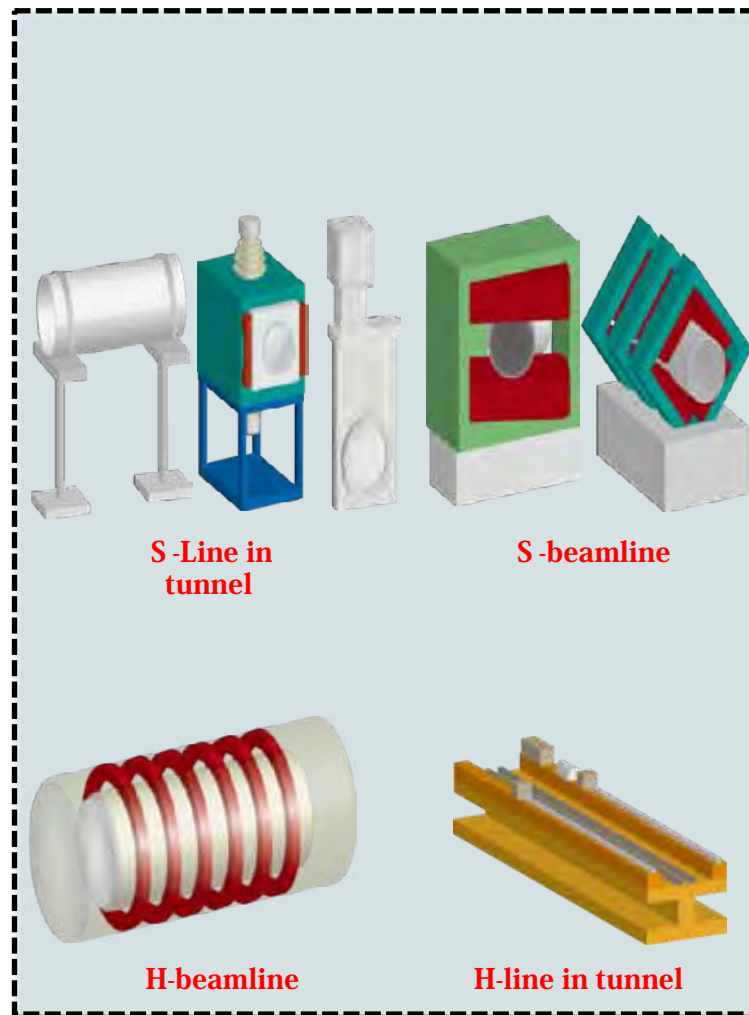
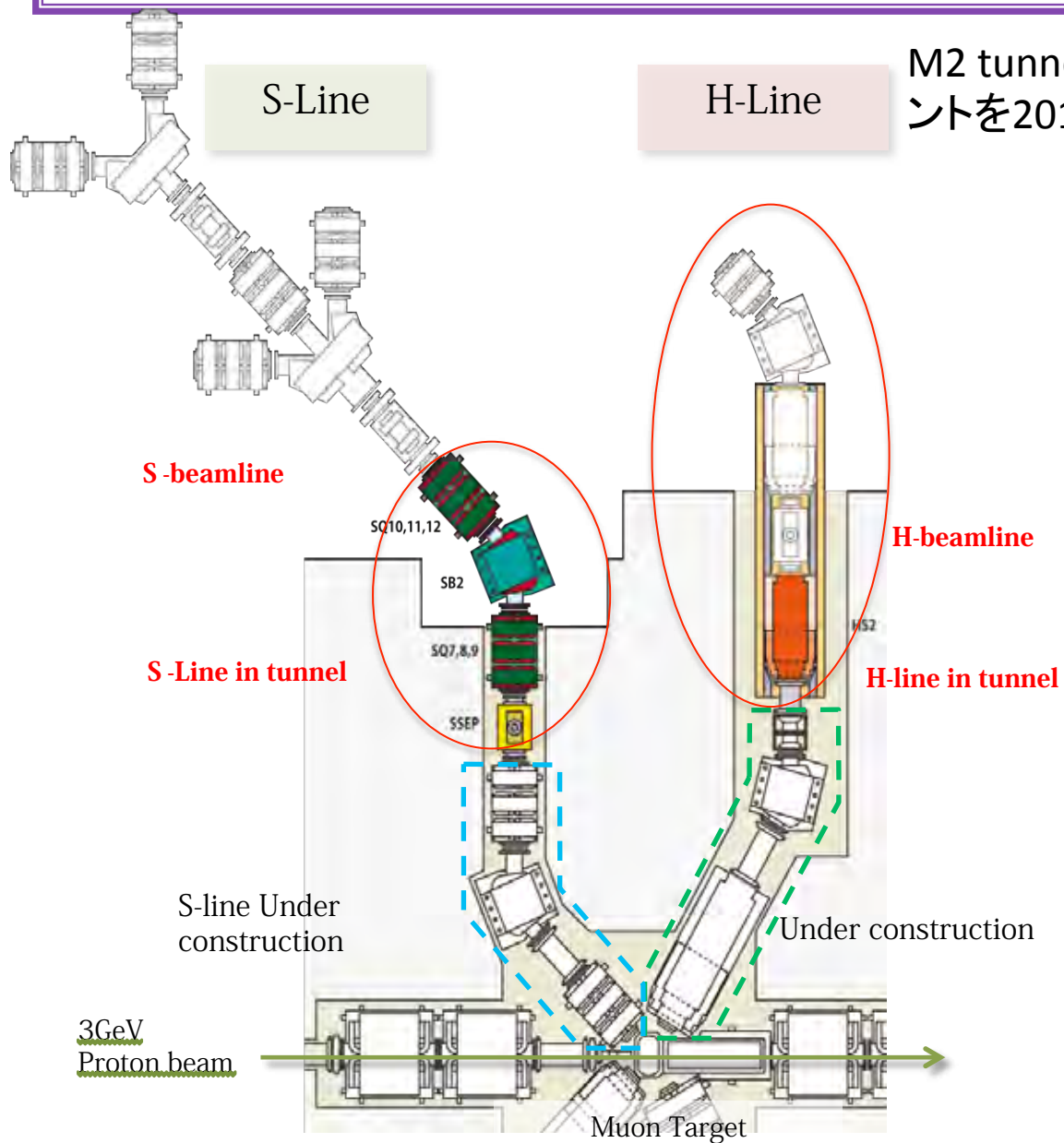
平成21年3月

200kW運転を継続した場合でも、
21年作業時の100倍の線量率が
予想される。現状のビーム強度
増強案に従った場合には、さらに
10倍の線量率となり、年をおう毎
に高くなっていく。



FY2012 Budget Request; Muon Beam Line

M2 tunnel内の放射線強度の強いコンポーネントを2012年夏に設置する。



Summary

- **Damage on MUSE by Earthquake was not too serious.** 標的の変形を実測！十分小さい。
- **D-Line, Operating very well!** 1月より共同利用
- **U-Line, Constructing!** + 新学術領域研究
多層薄膜、界面、スピントロニクス研究への展開
- **S-Line, Partially (トンネル内) fabricating!**
- **H-Line, Designing & Partially fabricating (トンネル内) !**

Please Join to J-PARC MUSE !