

資料 1



J-PARCハドロン実験施設における 放射性物質漏えい事故について

平成25年9月10日

茨城県 原子力安全対策委員会

J-PARCセンター

目次

1. ハドロン実験施設における放射性物質漏えい事故の概要

1-1. J-PARCの概要

1-2. 事故の概要

2. 事故の原因と再発防止策

2-1. ハードウェア

2-2. 安全管理体制

3. ハドロン施設以外の施設の健全性

3-1. 物質・生命科学実験施設

3-2. ニュートリノ実験施設

3-3. 加速器

4. 今後の対応 –当面の作業–

4-1. ハドロン標的の調査

4-2. 性能向上工事の概要

4-3. 教育訓練の実施計画, 組織体制の構築

1. ハドロン実験施設における放射性物質漏えい事故の概要

1-1. J-PARCの概要

J-PARC Facility
(KEK/JAEA)

LINAC
181 MeV → 400 MeV

Rapid Cycle Synchrotron
エネルギー: 3 GeV
繰り返し: 25 Hz
設計出力: 1 MW

神岡に向けてニュートリノビーム

物質・生命科学実験施設

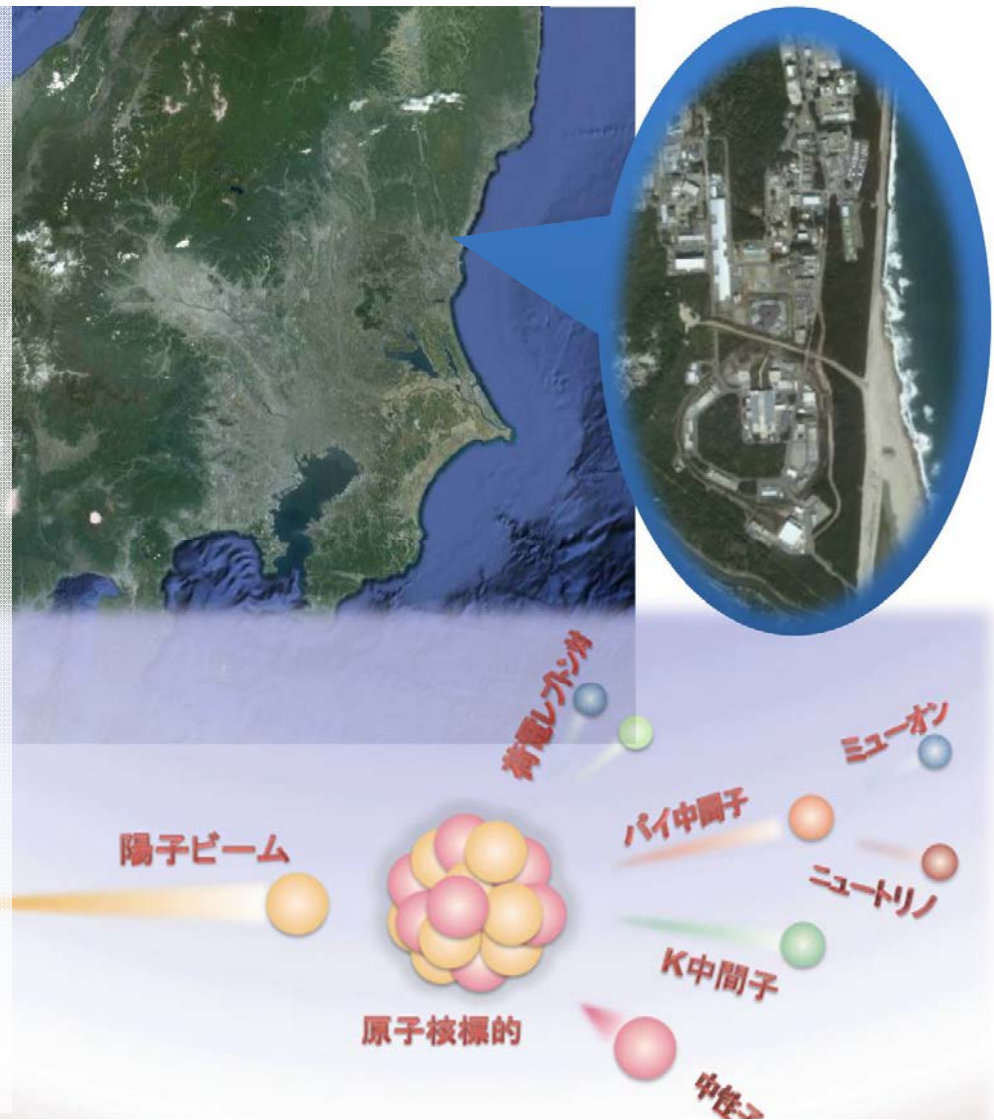
Main Ring
最高エネルギー: 30 GeV
速い取り出し設計出力: 0.75 MW
遅い取り出し出力期待値: > 0.1 MW

ハドロン実験施設

J-PARC計画の概要

• J-PARC:

- 日本原子力研究開発機構 (JAEA) と高エネルギー加速器研究機構(KEK)が建設した、世界最高レベルの陽子加速器により様々な分野の最先端の研究を展開する施設。
- 物質科学、生命科学、原子力工学(JAEA)、原子核・素粒子物理学(KEK)など広範な研究分野を対象に、
- 中性子、ミュオン、ニュートリノなどの多彩な二次粒子を用いた新しい研究手段を提供し、
- 基礎科学から産業応用まで様々な研究開発を推進するものである



これまでの歴史

平成12年8月 事前評価

平成12年度
(2000)

平成13年 建設開始

平成15年12月 中間評価
平成19年6月 第2回 中間評価

平成20年度
(2008)

平成20年5月 中性子ビーム発生
平成20年9月 ミュオンビーム発生
平成21年2月 ハドロン施設が稼働
平成21年4月 ニュートリノ実験施設稼働



震災後復旧して運転再開スイッチを入れる前
センター長と記念集合写真

平成22年度
(2010)

平成22年10月 学術会議「マスタープラン」に将来計画を盛り込み、学術審議会「ロードマップ」に。

「J-PARC加速器の高度化による物質の起源の解明」 a/a の評価

「高強度パルス中性子・ミュオンを用いた物質生命科学」 a/c の評価

平成24年6月 第3回 中間評価

平成24年度
(2012)

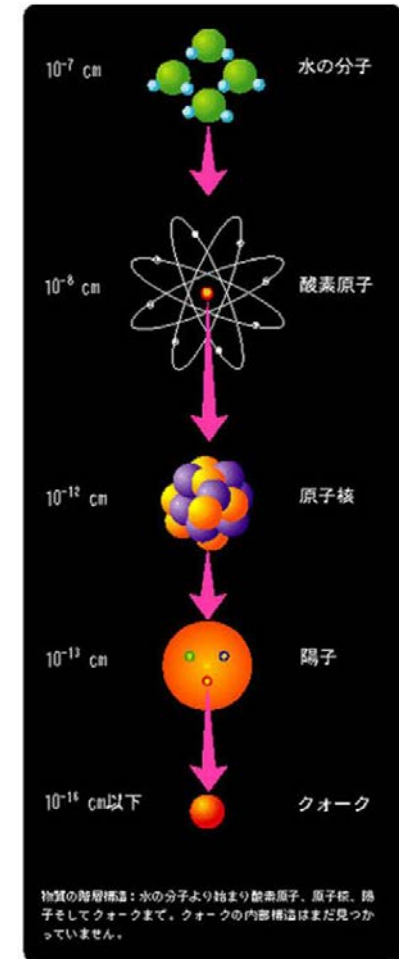
平成23年3月11日 東日本大震災により停止
平成24年1月24日 運転再開・共用開始

平成25年5月23日 ハドロン事故

ハドロン実験施設とは

- 万物の根源が何かを調べる、素粒子や原子核の研究施設
 - 万物を構成する究極の要素が何であるか？
 - どのような力でそれらが結びつけられているか？
- 平成16(2004)年度から建設を開始
平成21(2009)年1月に完成、陽子ビームの受け入れを開始
調整作業の後、平成22(2010)年1月から本格的に実験を開始

施設外観

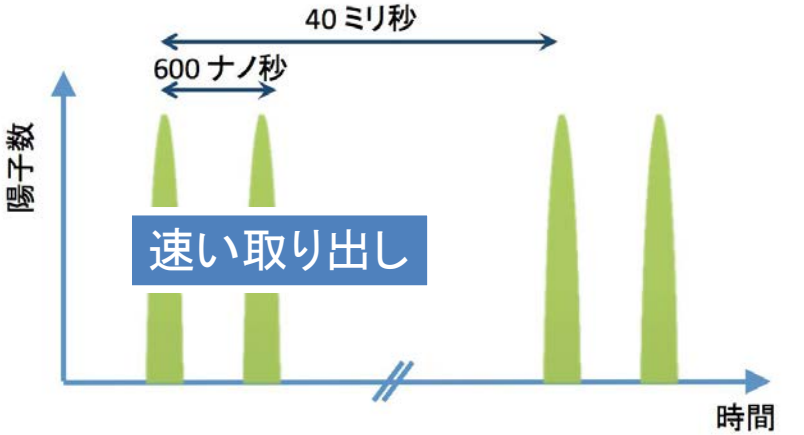


ハドロン実験ホール:
実験が行われる建物のことで、幅60m、長さ56m、高さは地上16m、地下6mの半地下構造

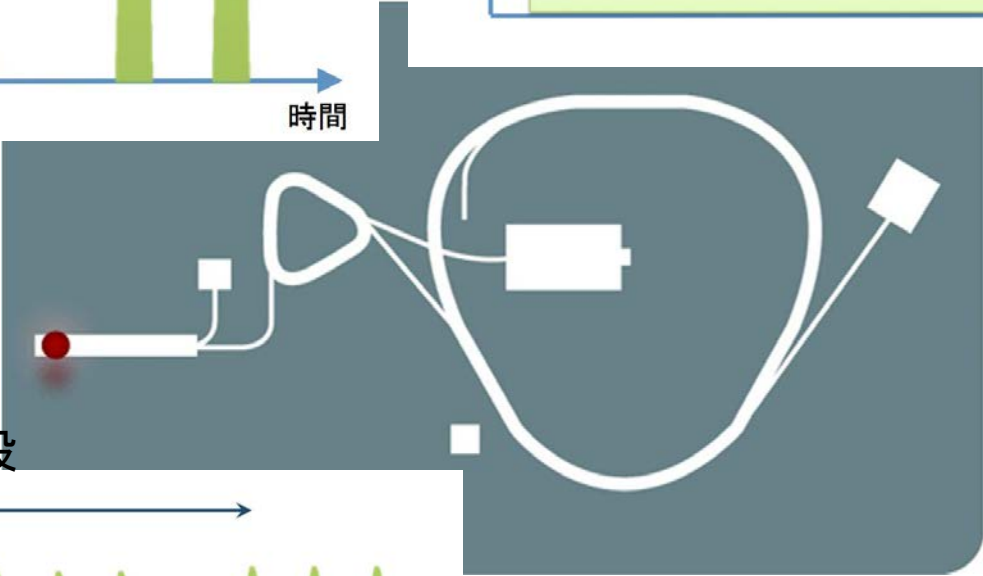
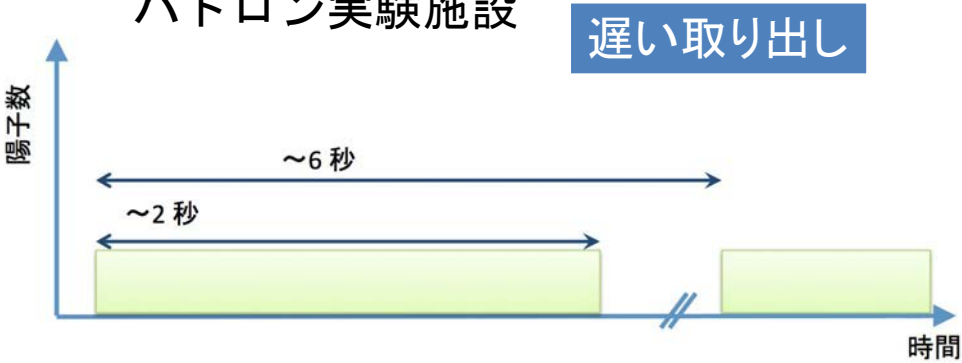
ハドロン実験施設:
ハドロン実験ホールを中核として、付属する機械棟、電源棟などを含めた全体を指す

J-PARC加速器と取り出しビーム

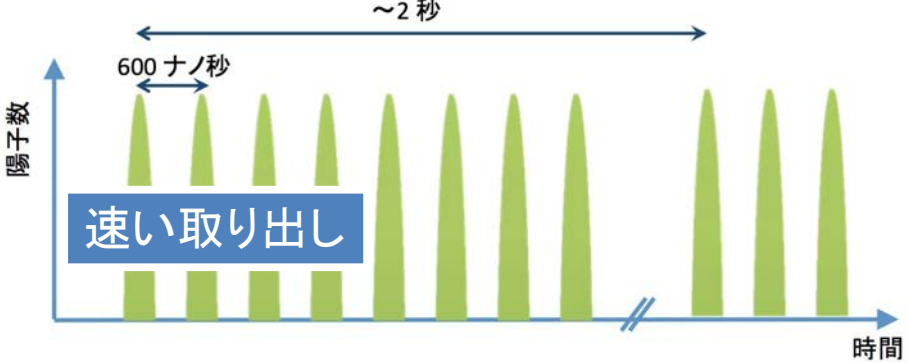
物質・生命科学実験施設



ハドロン実験施設

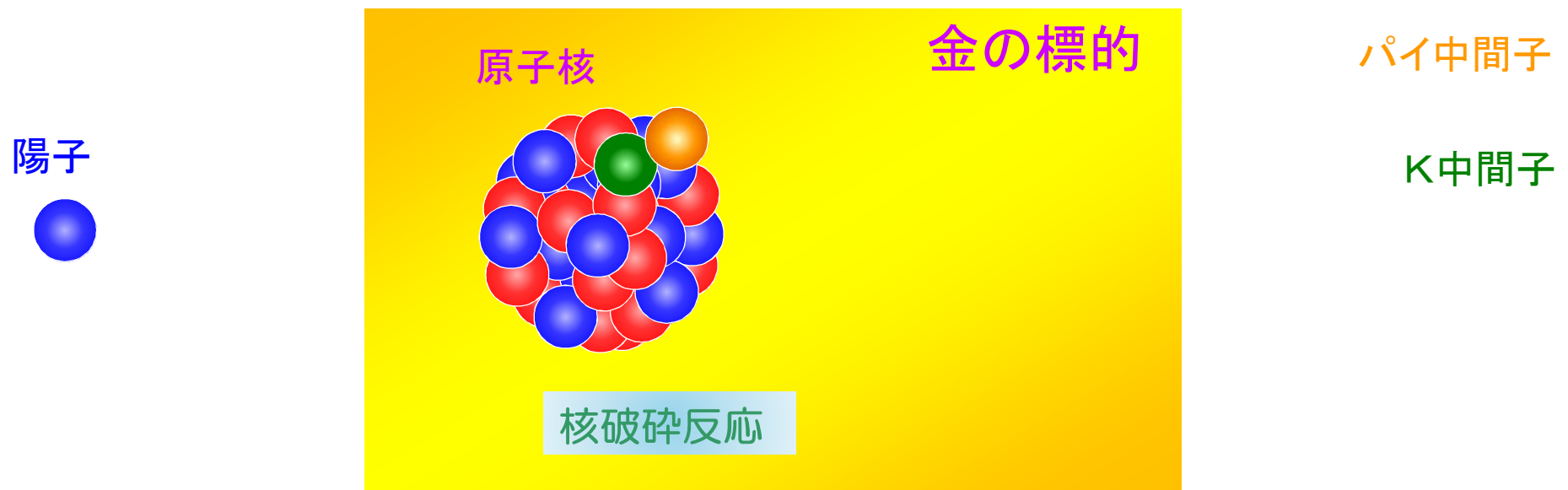


ニュートリノ実験施設



金標的の役目

- 金の標的に高速の陽子を当ててできる中間子を使って研究
 - 同時に金の原子核も壊れ、放射性物質ができる
 - 放射性物質は金の標的の中に留まる
 - 陽子ビームが止まれば、新しく放射性物質は作られず、減っていく



- 原子炉で使われているウランとは違い、金は放射性物質ではない
 - 核分裂連鎖反応は起こらない
 - 金の原子核が壊れてできる放射性物質から放射線は出る

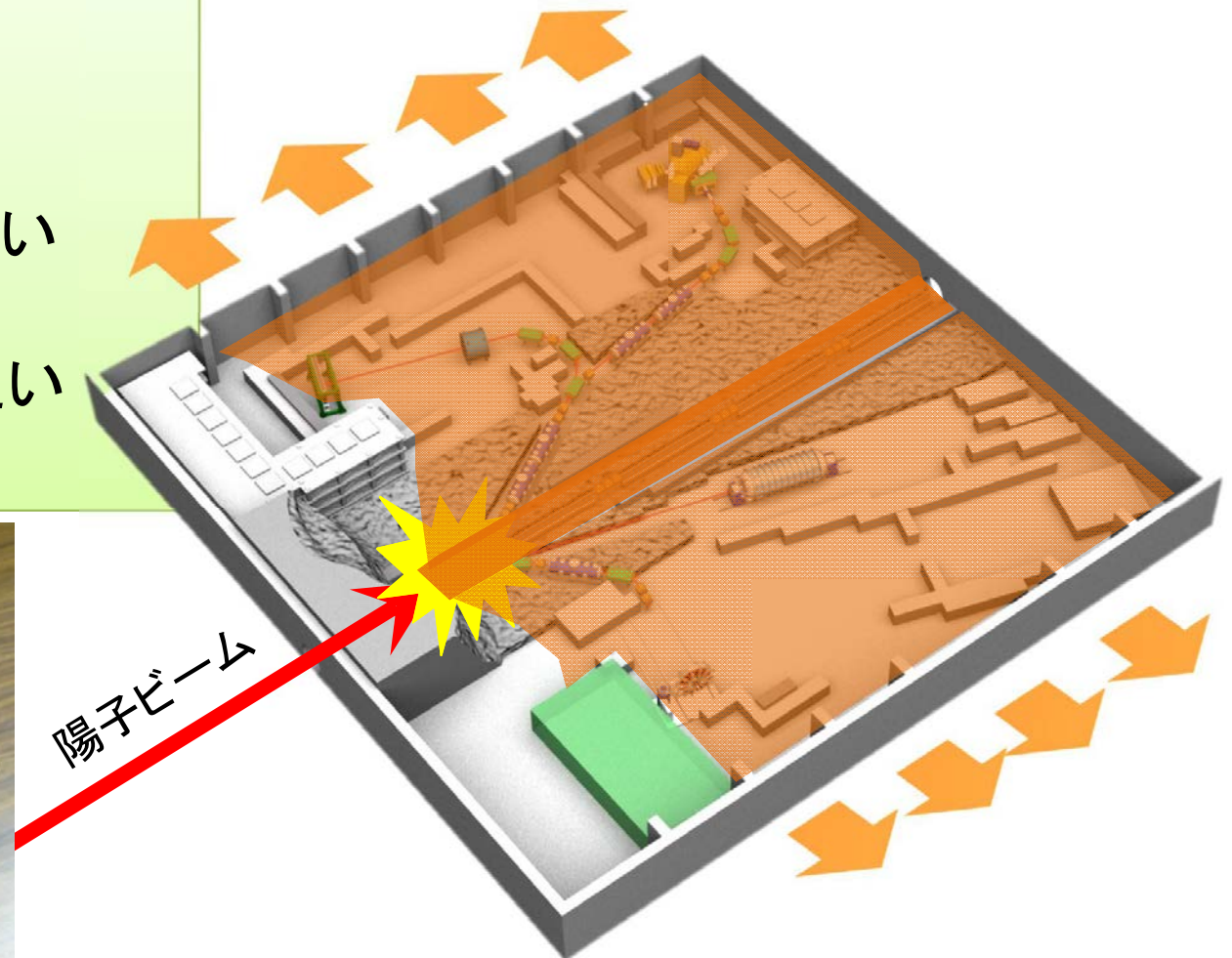
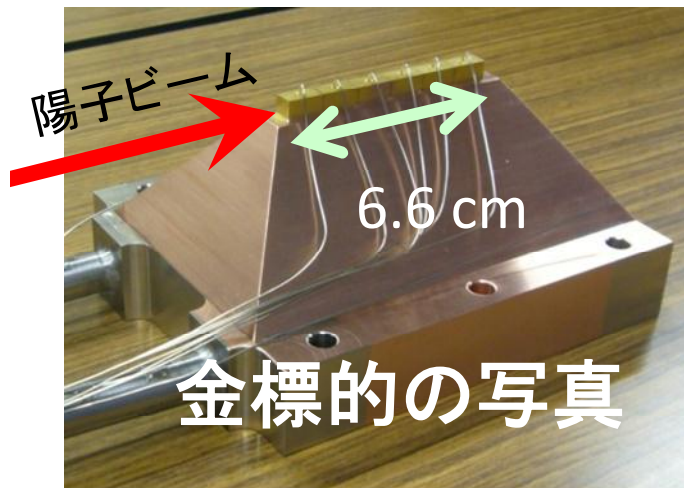
1. ハドロン実験施設における放射性物質漏えい事故の概要

1-2. 事故の概要

事故のあらまし

5月23日 11時55分

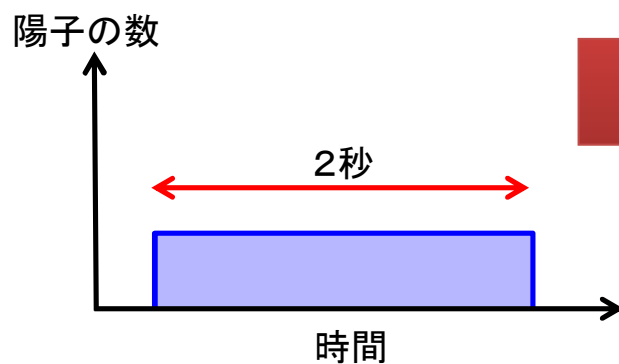
- 異常なビーム
- 標的が異常な高温に
- 放射性物質の発生
- 実験ホールへの漏えい
→ 作業者の被ばく
- 実験施設外への漏えい
→ 管理区域外へ



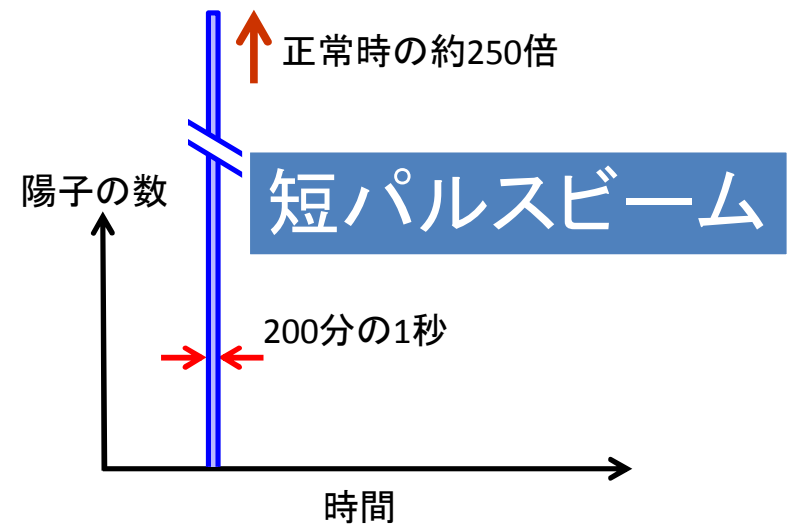
異常なビーム

- 23日11時55分頃、専用電磁石の電源が誤動作
→ 2秒の間でゆっくり金標的に当てるべき約30兆個の陽子のうち、約20兆個が約200分の1秒という短い時間に一度に金の標的に当たった

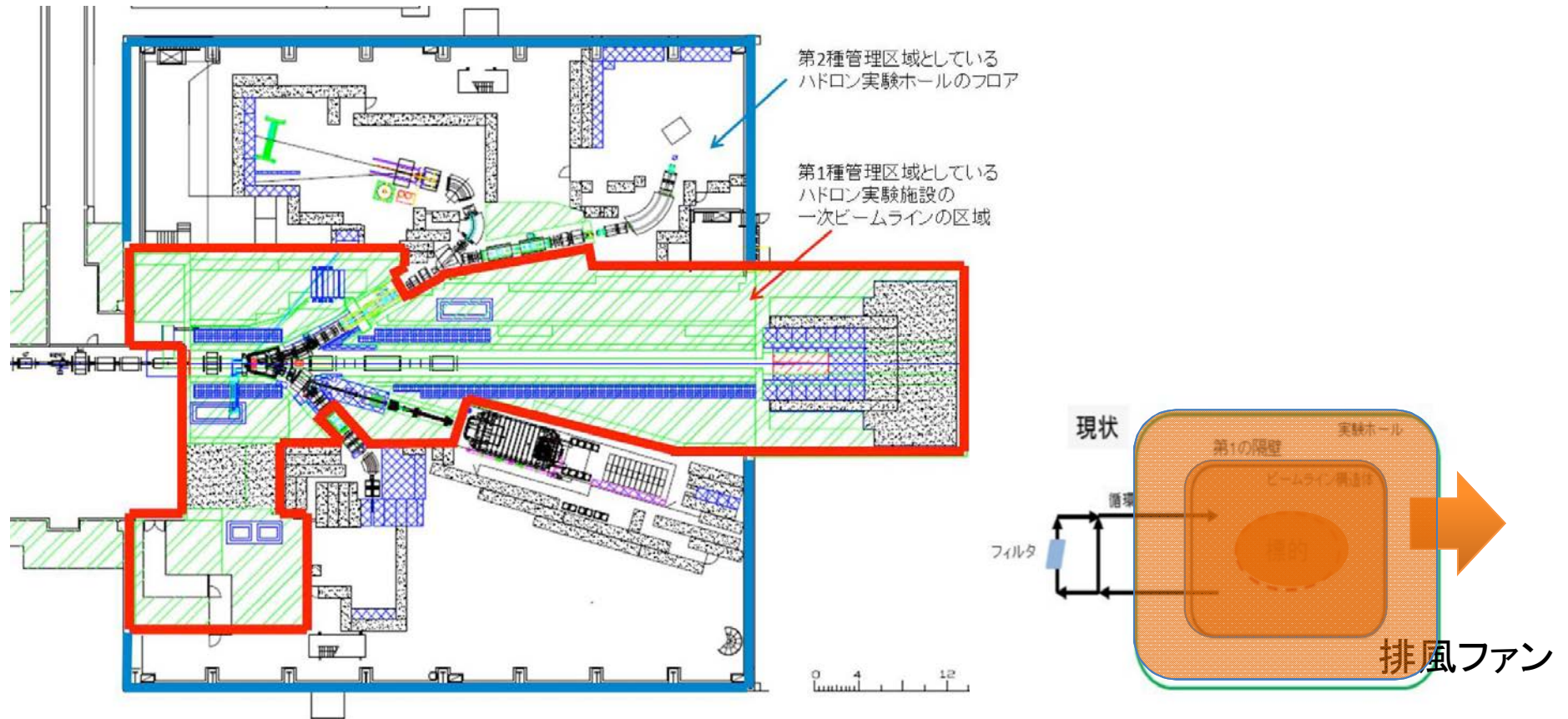
正常な遅い取り出し



誤動作



ハロンホールの管理区域区分とホールへの漏えい



第一種管理区域(赤): 表面汚染や空気中の放射化物(放射性同位元素)が想定される領域
第二種管理区域(青): 表面汚染や空気の汚染が管理区域設定基準を超える恐れがない領域

事故対応の問題点

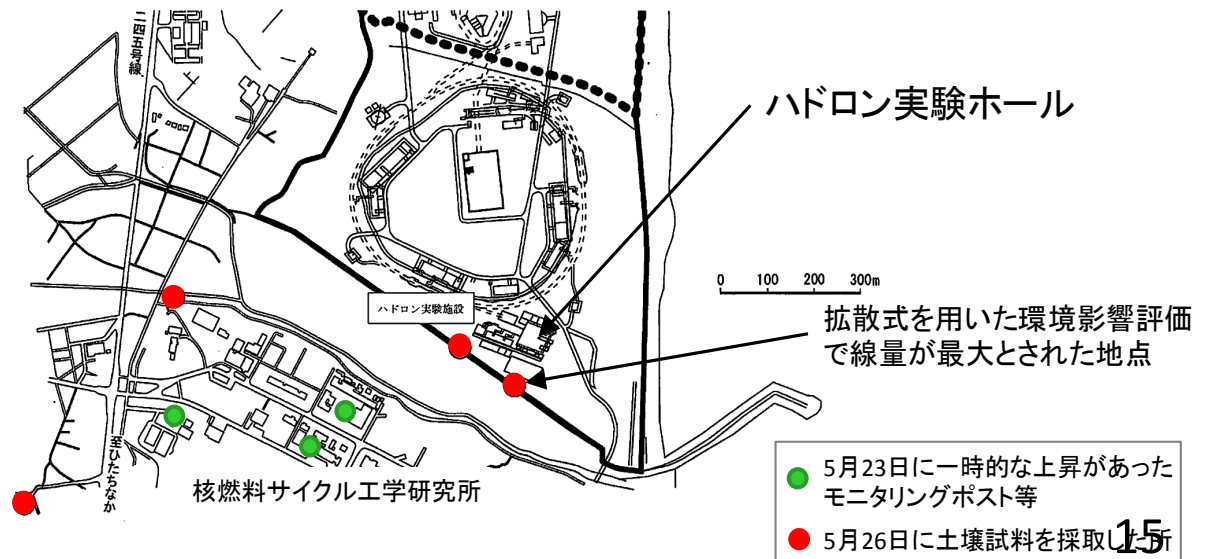
- ① 放射性物質を施設外及び周辺環境に漏えいさせたこと
- ② 国・自治体等の関係機関への通報連絡及び公表が遅れたこと
- ③ ハドロン実験ホール内で作業者が放射性物質を吸入し内部被ばくしたこと

事故による環境への影響

- 測定データと数値計算(PHITS)をもとに評価
ハドロン実験ホール内で採取された空気中の放射性物質の種類と比(次のページ)を用いた。
→ 総放出量は約200億Bqと評価した。
- 2つの異なる方法で拡散評価
 - 上記と同じ放射性物質。
 - 当時の気象データ;主に排風ファン稼働時
 - (1回目)北東から東北東
 - (2回目)東から東南東
 - 放射性物質の拡散式を用いた解析
 - モニタリングステーションの実際の測定値に一致するよう規格化

施設に最も近い事業所境界
で $0.17 \mu\text{Sv}$ と評価した。

- 周辺4か所で土壌を採取し測定。
→ 事故による放射性物質は
どの地点でも検出されず。



ハドロン実験ホール内で事故当日(5/23)に採取された空気 試料から評価した放射性核種、およびその放射能比

核種	半減期	放射能比	核種	半減期	放射能比
^{129}Cs	32.1 時間	1.6×10^{-1}	^{121}Te	16.8 日	1.4×10^{-2}
^{24}Na	15.0 時間	1.1×10^{-1}	^{72}As	26.0 時間	1.4×10^{-2}
^{42}K	12.4 時間	8.3×10^{-2}	^{94}Tc	293 分	1.3×10^{-2}
^{127}Cs	6.25 時間	8.1×10^{-2}	^{97}Ru	2.9 日	1.0×10^{-2}
^{181}Re	19.9 時間	6.5×10^{-2}	^{96}Tc	4.28 日	9.8×10^{-3}
^{43}K	22.3 時間	6.2×10^{-2}	^{83}Rb	86.2 日	8.9×10^{-3}
^{81}Rb	4.58 時間	4.4×10^{-2}	^{183}Re	70.0 日	8.4×10^{-3}
^{192}Au	4.94 時間	3.8×10^{-2}	^{84}Rb	32.8 日	7.0×10^{-3}
^{123}I	13.3 時間	3.6×10^{-2}	$^{119\text{m}}\text{Te}$	4.70 日	5.9×10^{-3}
^{191}Au	3.18 時間	3.5×10^{-2}	^{74}As	17.8 日	5.4×10^{-3}
$^{82\text{m}}\text{Rb}$	6.47 時間	2.9×10^{-2}	^{125}I	59.4 日	5.1×10^{-3}
^{119}Te	16.0 時間	2.5×10^{-2}	^{75}Se	120 日	2.4×10^{-3}
^{77}Br	57.0 時間	2.4×10^{-2}	^7Be	53.3 日	2.2×10^{-3}
$^{193\text{m}}\text{Hg}$	11.8 時間	1.9×10^{-2}	^{190}Ir	11.8 日	2.1×10^{-3}
$^{195\text{m}}\text{Hg}$	41.6 時間	1.8×10^{-2}	^{72}Se	8.4 日	2.0×10^{-3}
^{76}As	26.3 時間	1.7×10^{-2}	^{185}Os	93.6 日	3.9×10^{-4}
^{197}Hg	64.1 時間	1.6×10^{-2}	^{192}Ir	73.8 日	3.6×10^{-4}
^{95}Tc	20.0 時間	1.5×10^{-2}	^{22}Na	2.60 年	2.5×10^{-4}
^{186}Ir	16.6 時間	1.5×10^{-2}			
合計					1.0×10^0

被ばくについて

事故発生後にハドロン実験施設の放射線管理区域に入った作業者を対象に内部及び外部被ばく量を測定

- 検査対象者: 102名
- 被ばくを確認: 34名(全員が放射線業務従事者)
被ばく量は0.1~1.7ミリシーベルト
- 被ばくが無かった: 66名
残り2名の外国人研究者は帰国し、本国で測定

身分	被ばく人数	実効線量 (mSv)	
		最小 (非検出は除く)	最大
KEK職員	11	0.1	1.0
JAEA職員・研究員	1		1.7
大学職員・研究員	2	0.1	1.5
その他研究機関職員・研究員	3	0.1	0.9
大学院生	11	0.1	1.7
外国人	4	0.1	1.0
業者	2	0.1	0.4
合計	34		

通報連絡及び公表の遅れ

【5月23日】

調査の結果、以下のことが判明

- 金標的の一部が破損し、ホール内に放射性物質が漏えいし、床等が汚染していること
- 実験ホール内の作業者が放射性物質による内部被ばくをした可能性があること
 - ← 放射線管理区域内で規定値内での汚染であり、被ばくも規定値を超えないと考え、今回の事象は法令報告には該当しないと判断

【5月24日】

18時頃に放射線管理区域境界に設置したモニターの記録を確認したところ、実験ホールの排風ファンを動かした23日15時過ぎ及び17時30分頃に、放射線量率が上昇していたことを確認

- 放射性物質の一部が放射線管理区域外に漏えいしたと判断し、21時10分に原子力科学研究所の緊急連絡先に通報

2. 事故の原因と再発防止策

事故に関わる問題点と対策

ハードウェア(加速器、実験施設)に関わる問題点と再発防止策の対応表

問題	課題	対策
放射性物質の漏えい	電磁石の誤作動	・過電流防止などインターロック強化 ・インターロック高速化
	気密の不備	・標的容器の気密化 ・1次ビームライン室の気密強化
	排気設備の不備	ハドロン実験ホール内の排気は監視しながらフィルタを通して実施
通報の遅れ	—	—
作業員の被ばく	放射線アラームの不備	J-PARC施設の放射線を監視するモニタの強化

安全管理体制及び緊急時に実施すべき手順等の問題点と対策

問題	課題	対策
放射性物質の漏えい	安全評価体制が不十分	放射線安全評価体制の強化
	判断基準の不備	異常対応体制の見直し(注意体制の導入) 運転マニュアルの整備
	運転再開手順の不備	運転マニュアルの整備
通報の遅れ	情報集約不足	異常対応体制の見直し(注意体制の導入)
	判断基準の不備	異常対応体制の見直し(注意体制の導入) 運転マニュアルの整備
	法令解釈の誤り	異常対応体制の見直し(注意体制の導入) 安全を統括する副センター長の配置
	指揮体制の不備	異常対応体制の見直し(注意体制の導入) 安全を統括する副センター長の配置
作業員の被ばく	避難基準の不備	異常対応体制の見直し(注意体制の導入) 運転マニュアルの整備
	情報共有体制の不備	異常対応体制の見直し(注意体制の導入)
	教育の不備	職員教育、ユーザ教育の充実

2. 事故の原因と再発防止策

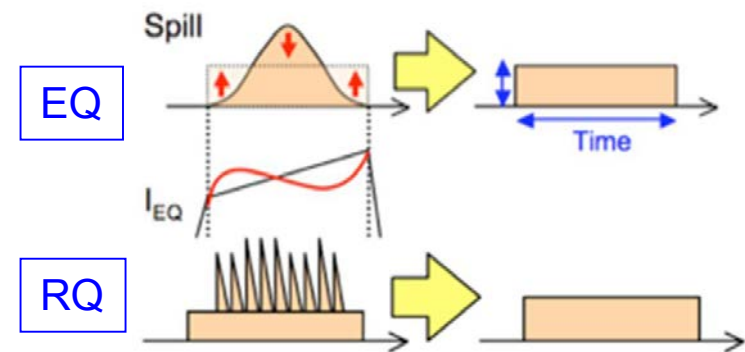
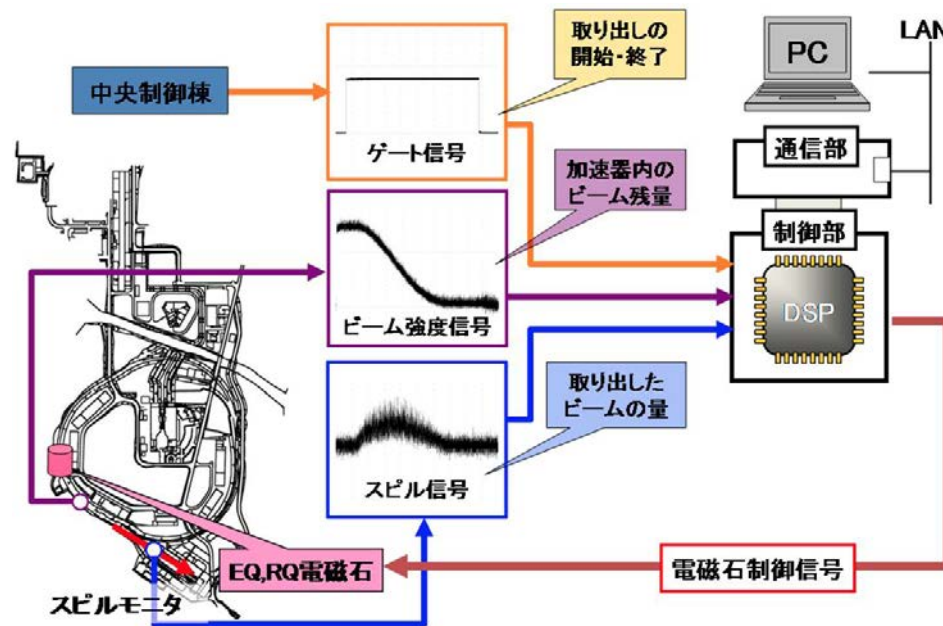
2-1. ハードウェア

遅い取り出しシステムにおける事故原因と再発防止策

遅い取り出し法とスピルフィードバック

遅い取り出し:シンクロトロンを周回する陽子ビームはベータatron振動とよばれる横振動をしながら周回している。遅い取り出しは、この振動の共鳴現象を使ってビームサイズを広げ、広がったビームを外側から削り出すように徐々に取り出す手法である。

スピルフィードバック:精度のよい実験を行うためには取り出される陽子の数(ビーム強度)が取り出されている時間内で均等になる必要がある。このため、取り出されたビームの単位時間あたりの強度(ビームスピル)を測定しながら2種類の四極電磁石EQ(Extraction Quadrupole)及びRQ(Ripple Quadrupole)をフィードバック制御して取り出し時間内のビーム強度を均等にする。

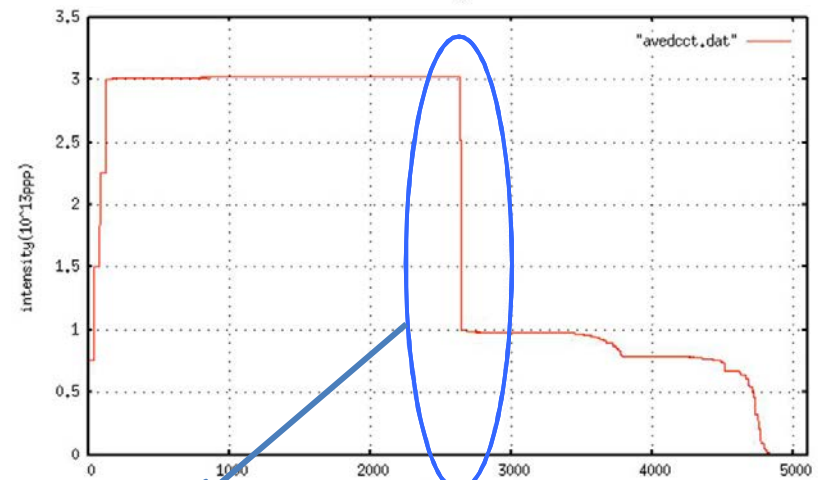
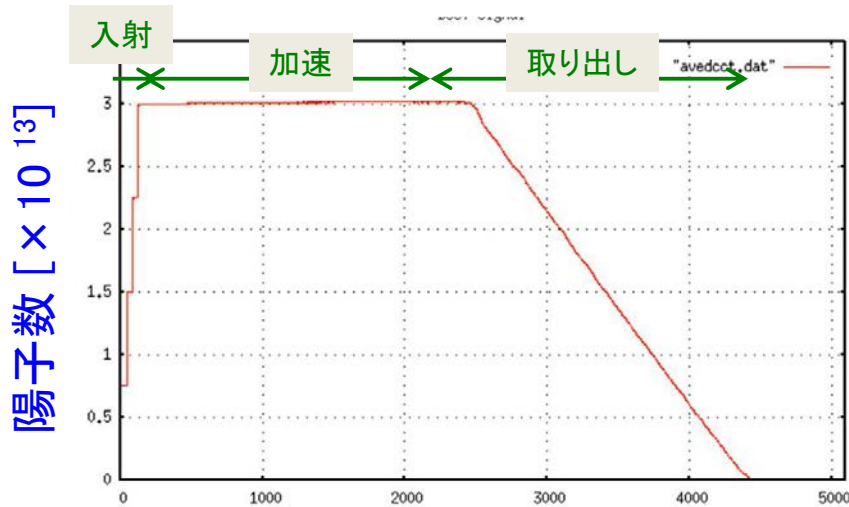


通常時と事故時のショットの比較

DCCT (DC current transformer) によって測定された50GeVシンクロトロンを周回するビームの強度(陽子数)の時間変化

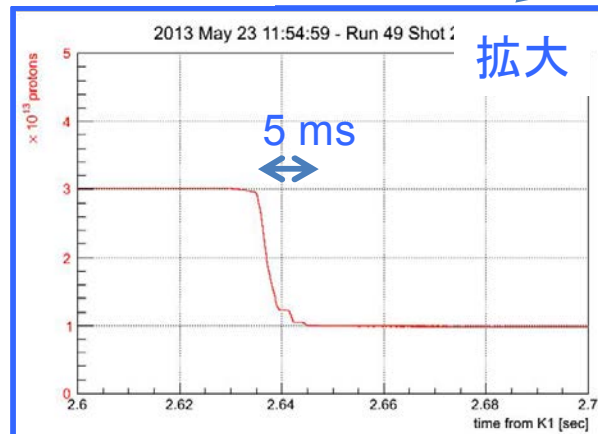
通常時

事故時

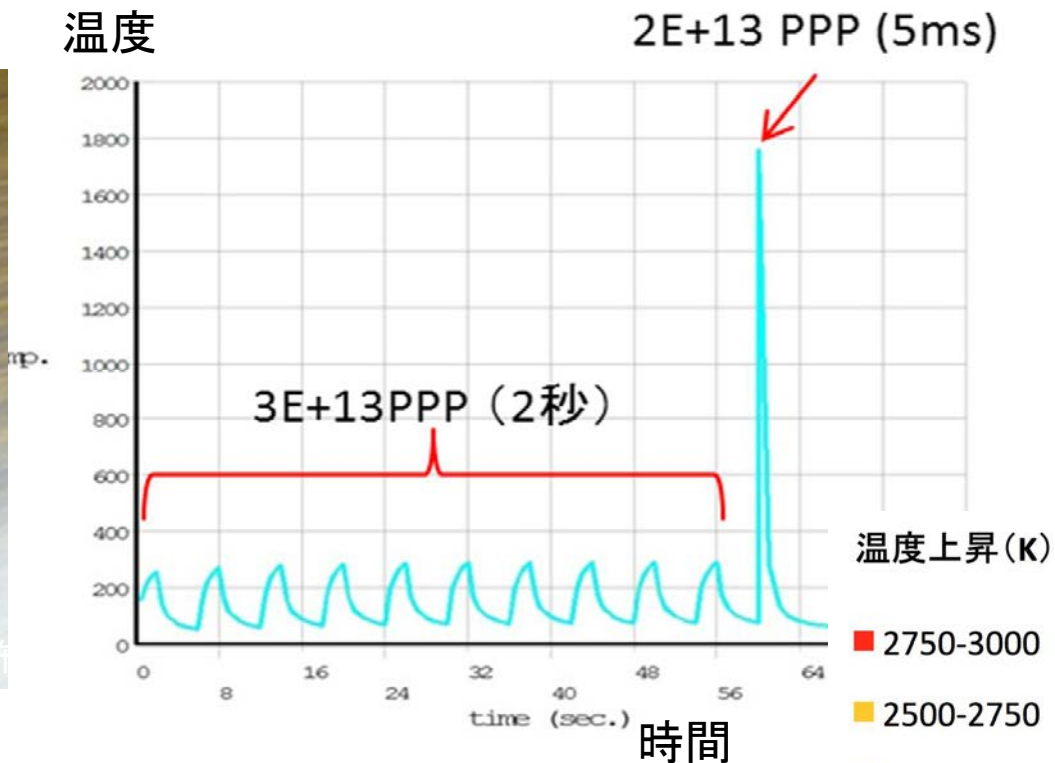
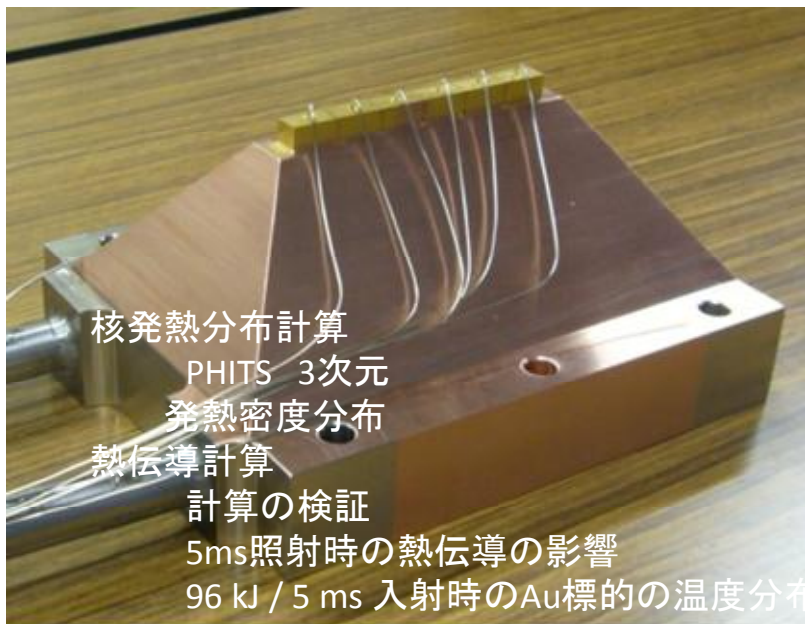


時間 [ms]

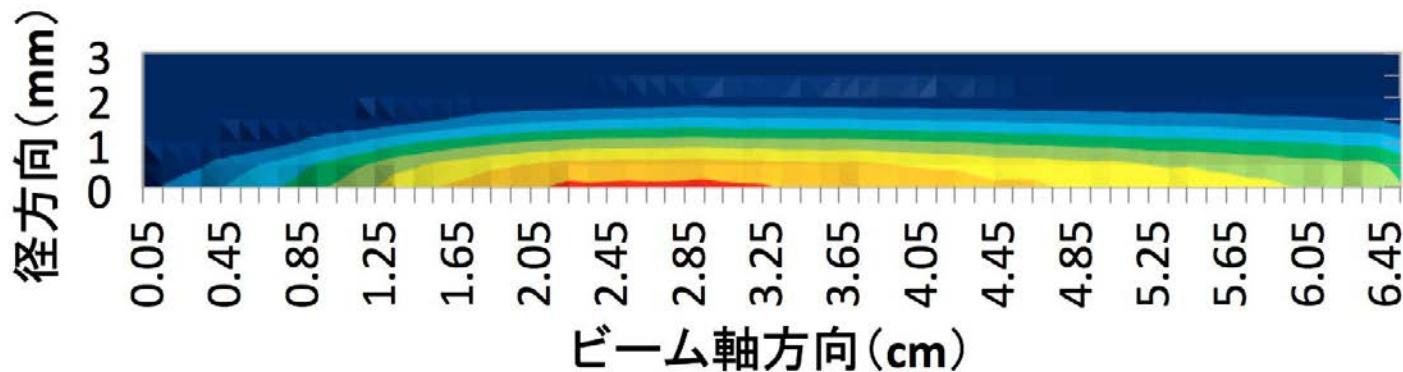
時間 [ms]



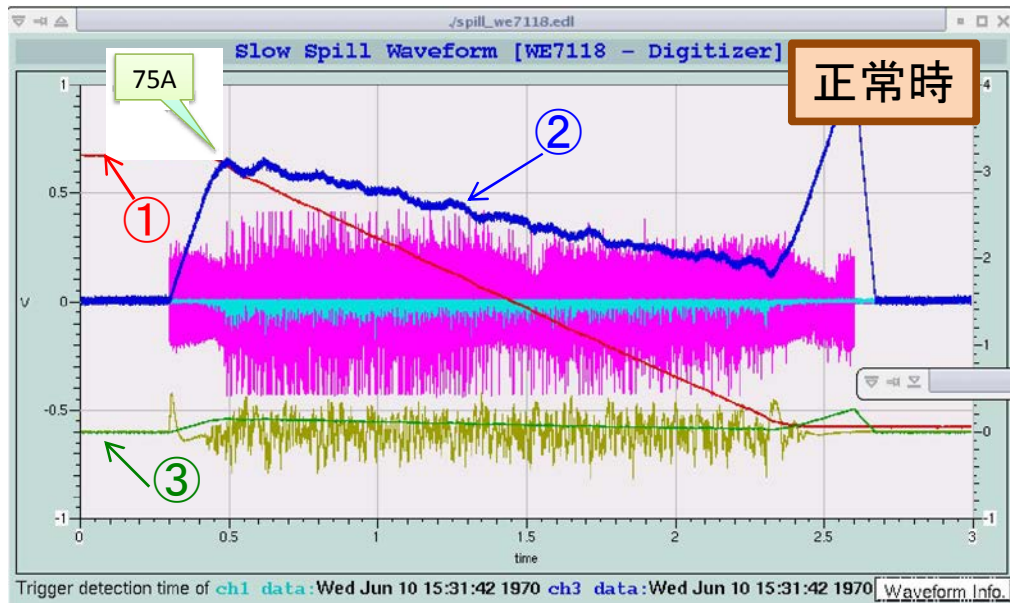
標的溫度(シミュレーション)



$\sigma = 0.6$ mmの陽子ビームの場合



EQシステムの誤作動

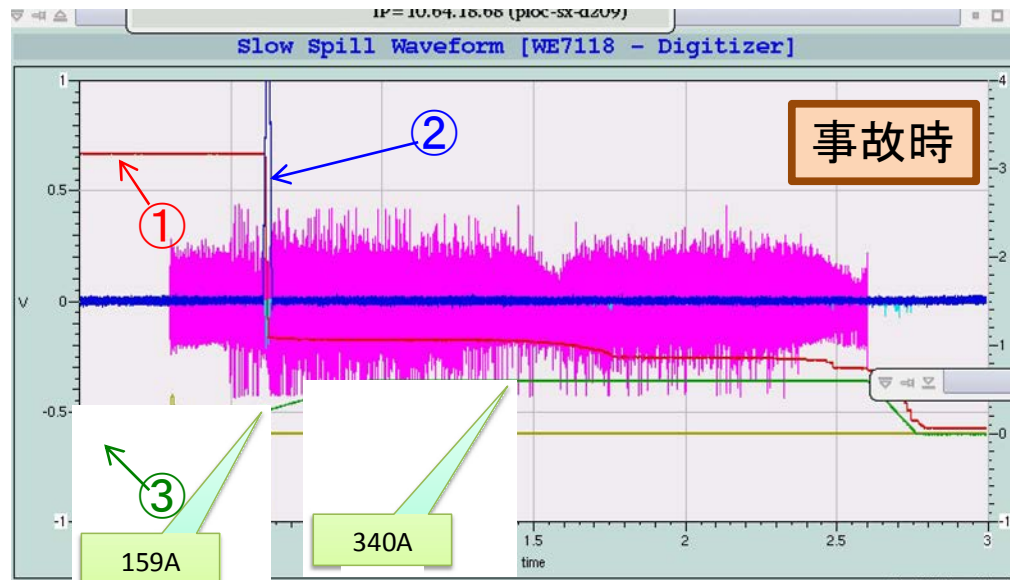


EQ/RQ制御画面:

- ①MR内の周回ビーム電流、ビーム強度モニタ測定値、②EQ電源出力電流、③スピル制御DSPユニットからのEQ制御信号モニタ値、RQ電源出力電流、RQ制御信号モニタ値

○事故時のEQ電源の振る舞い

- ・取り出し開始から約0.3秒間、指令値に 응답しない。
- ・約0.3秒後に応答が回復する。電源制御部は159 Aのステップ指令として応答している。その際に、「過電圧」と「電流偏差異常(トラッキングエラー)」の機器保護信号(MPS)が発報している。

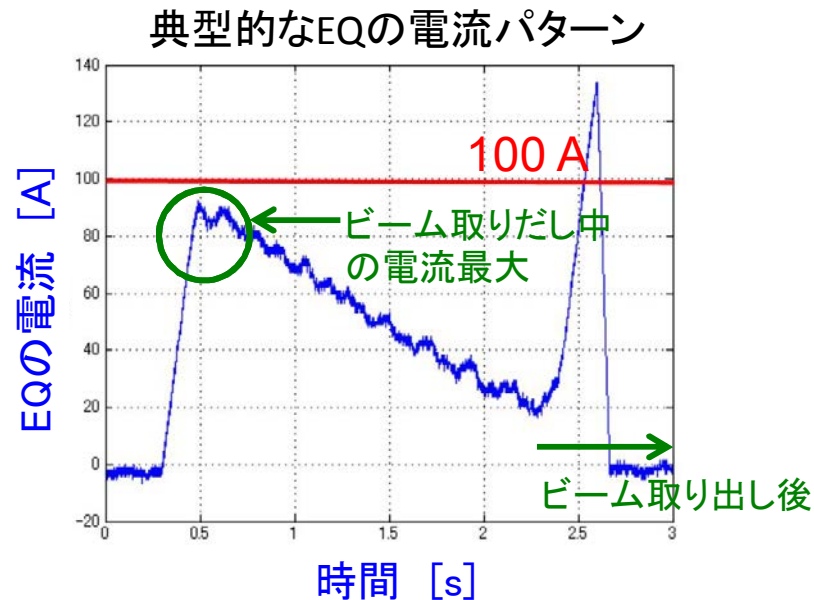


○調査状況

- ・その後の調査で、159 Aのステップ指令を送ると電源の応答は事故時を再現することが確認されている。
- ・最初の0.3秒間に指令値に 응답しなかった原因は引き続き調査中。

EQ電源系の再発防止策

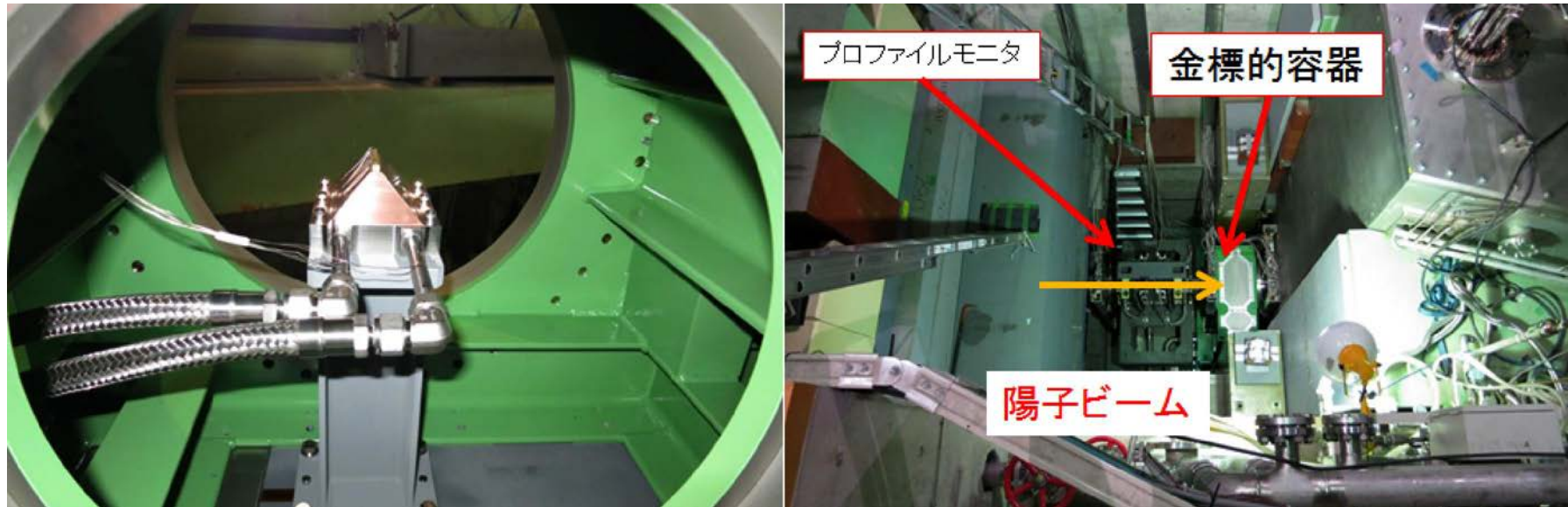
事象	現行	対策後
EQ電源での「電流偏差異常」の取り扱い	警報のみ	電源の非常停止 連続ビーム運転の停止
フィードバックシステムとしての「電流偏差異常」の取り扱い	—	電源の非常停止 連続ビーム運転の停止
EQ電源の最大電流値	340 A	120 A
「電源非常停止」検知後の停止開始までの応答速度	> 6 ms	< 1 ms



ハドロン実験施設における事故原因と再発防止策

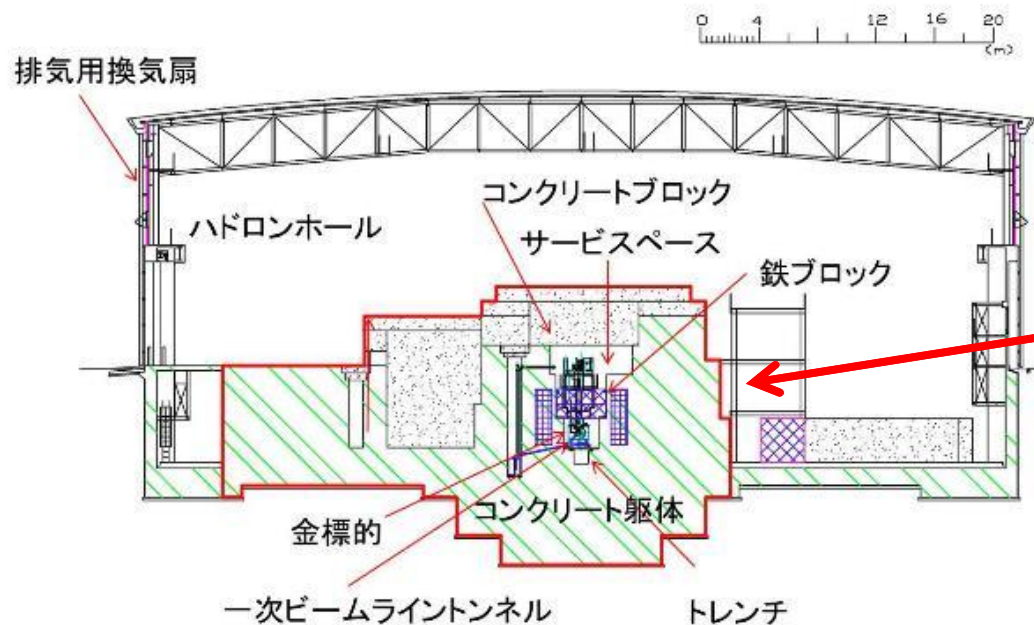
放射性物質の飛散：一次ビームラインへの漏えい

標的の破損により放出された放射性物質がコンクリート遮蔽壁の内部空間に広がった。標的容器は密閉されていなかった。



ハドロン実験ホールへの漏えい

コンクリート遮蔽壁の内部にあった放射性物質が、ハドロン実験ホール内に漏れ出た。遮蔽壁の密封性が、放出された放射性物質の濃度に対して十分ではなかった。



立面図

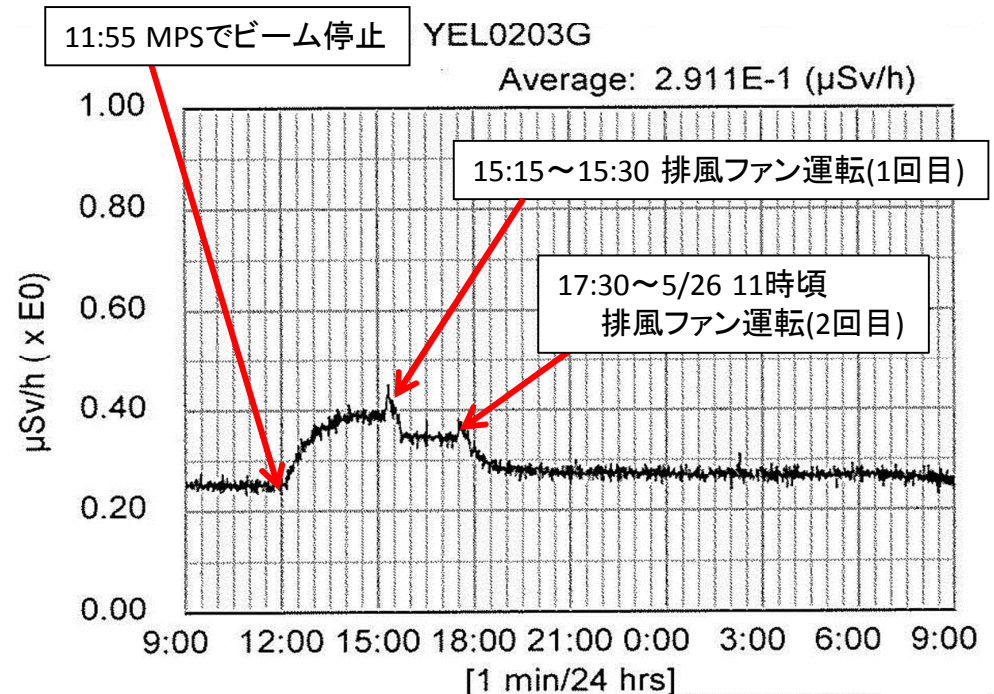


遮蔽壁の外観

コンクリートブロックの間にゴムシートを挟む、配管ダクトの貫通部を覆うなどの処置をしていた。それらは、通常運転時に空気が放射化して生じる濃度のアルゴン41などの閉じ込めには有効。

ハドロン実験施設外への漏えい

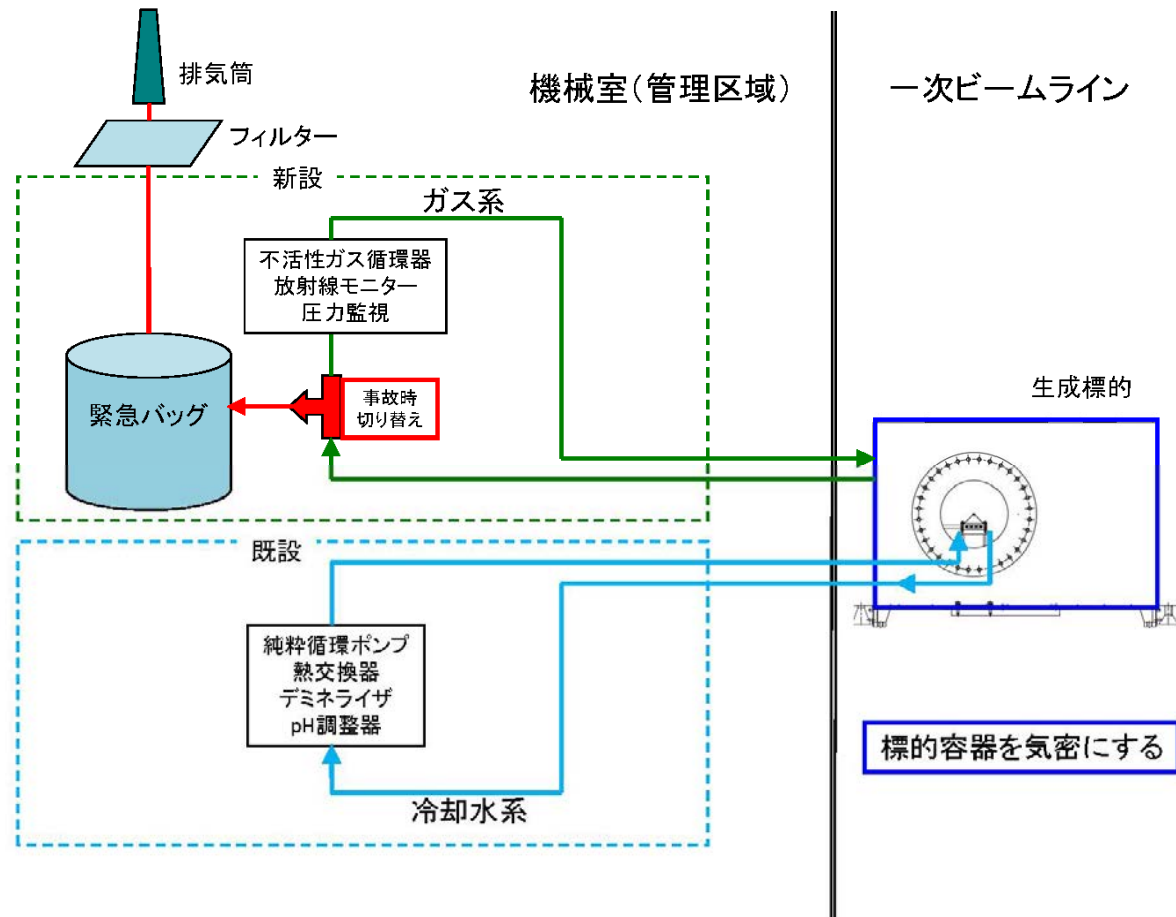
ハドロン実験ホール内の放射性物質が排風ファンをまわしたことにより施設外へ漏えいした。



- 排風ファンの起動
 - 1回目: ハドロン実験ホール内のエリアモニターの健全性を確認するため。
 - 2回目: ユーザーの被ばくを低減するため。
- ホール内の線量が法令上の規制値に達していないことなどから、管理区域境界での影響は無いと考えた。
- 判断材料(漏えいを監視するための放射線モニター、施設間の放射線モニターとの連携)が不足。

標的装置の気密化と監視

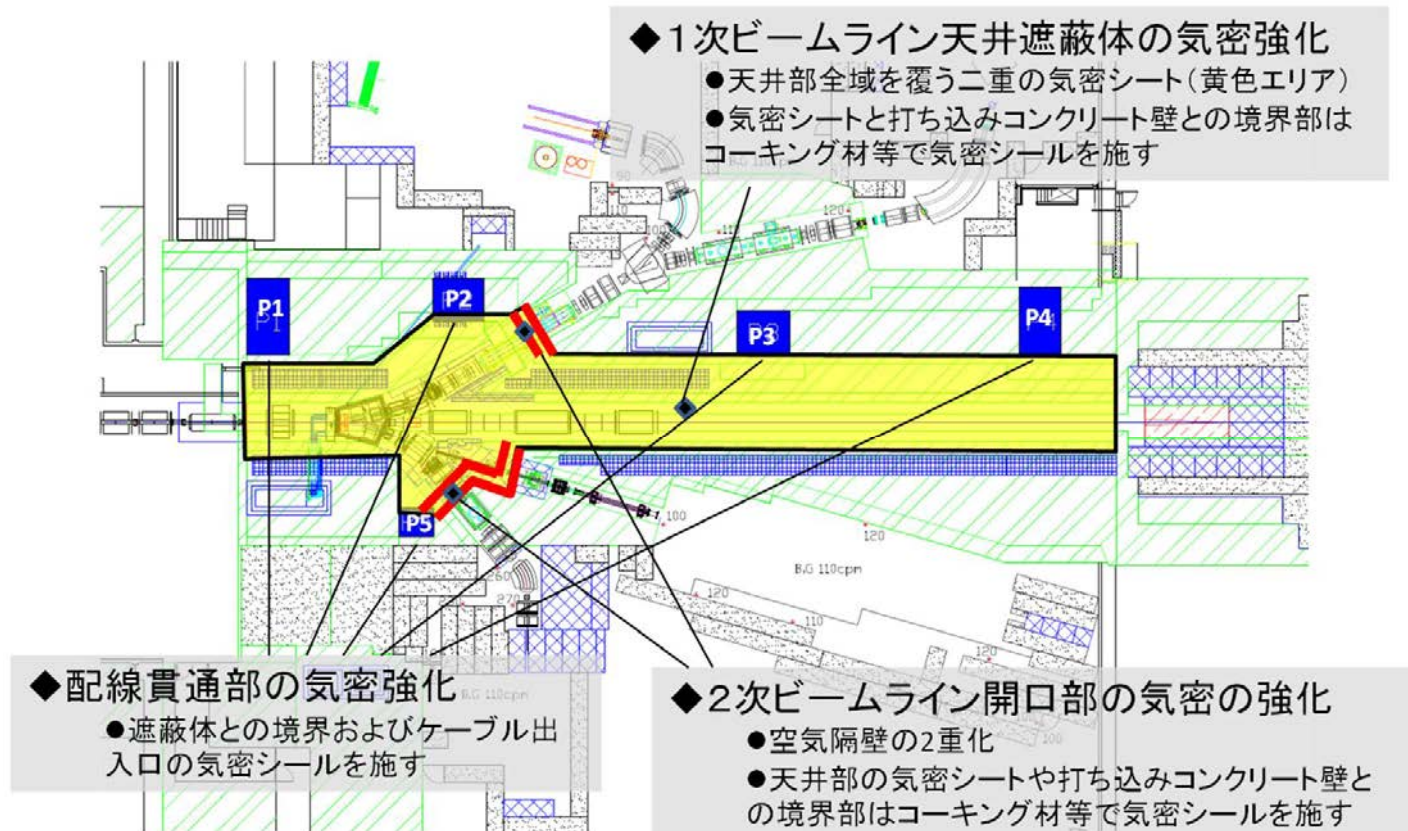
再発防止策
標的容器の気密化
ガス循環系と監視装置の新設
標的溫度監視の強化
加速器調整中の標的の退避



1次ビームライン室の気密強化

再発防止策

- 1次ビームライン室天井遮蔽体の気密強化
- 2次ビームライン開口部の気密強化
- ケーブル貫通口の気密強化
- 放射線監視の強化



ハドロン実験ホール建屋設備の改修

大規模排気設備

第3機械棟

第2機械棟

既設排風ファンは封止

汚染検査室

再発防止対策
 既設排風ファンの封止
 フィルタ付き排気設備の新設
 汚染検査室の新設
 監視装置の新設

フィルタ付き
排気ファン

排気モニター

吸入口

標的及び1次ビームラインの気密化を徹底的に行うことによりハドロンホールは引き続き第2種管理区域として管理することが可能である。そのうえで、安全性をより高めるためにホールにも第1種相当の設備(管理排気を行う)を整えるものとする。

排気筒の新設

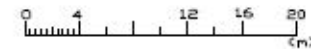
ホール内に
空気モニタを新設

汚染検査室

トラック入出用
テントヤード

既設排風ファンは封止

空気の向き
は内向き



ハドロン実験ホール改修予定

時期	事項
0ヶ月目	改修工事契約等公告開始
0ヶ月目	標的等改修レビュー委員会
2ヶ月目まで	改修工事に着手
5ヶ月目頃	ホール内排気設備完成
6ヶ月目頃	標的交換作業開始
10ヶ月目頃	二重化隔壁遮蔽体完成
	標的交換完了
17ヶ月目頃	大規模排気設備完成

放射線安全管理設備の改善

- 判断材料(漏えいを監視するための放射線モニター、施設間の放射線モニターとの連携)が不足。そのため、合理的な判断ができず、放射線被ばくと通報の遅れにつながった。

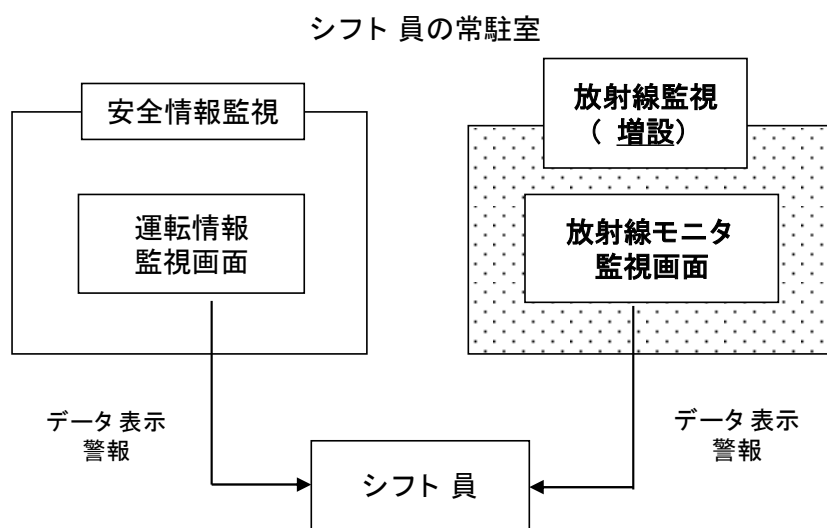
当面の対応(案)

- すべてのモニタに段階的警報機能を追加。
- 表示端末を必要箇所に増設し各施設のシフト員等がモニタ情報を共有しやすいように整備する。

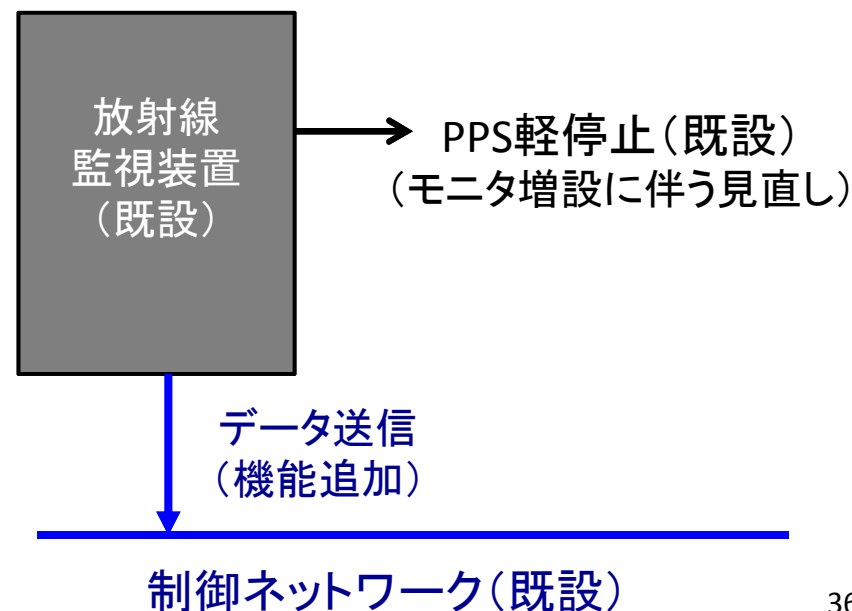
中期的対応(案)

制御ネットワーク上でのモニタデータ提供

データ提供スキームの例



モニタ設置の概念図



2. 事故の原因と再発防止策

2-2. 安全管理体制

問題点の抽出

事故当時の状況を時系列にそって詳細に分析し(「判断の整理・分析表」参照)、問題点を明らかにした。

「判断の整理・分析表」から抽出した問題点		対策方針
通報遅れ	<ul style="list-style-type: none">法令の誤解釈情報の集約判断基準が不明確責任者が不在	a
管理区域内への放射性物質漏えい	<ul style="list-style-type: none">異常想定と対応の検討が不十分原因究明が不十分のまま運転再開	a, b
作業者の被ばく	<ul style="list-style-type: none">避難基準が不明確情報等が共有化されず	a
管理区域外への放射性物質の漏えい	<ul style="list-style-type: none">排風ファンによる排気エリアモニターでの確認せず	a

a. 注意体制による組織的対応

明確な指揮命令システムによる情報の収集と一元管理
施設管理責任者はJ-PARCを本務とし、不在時は代理者を明確に
通報基準、避難基準の明確化

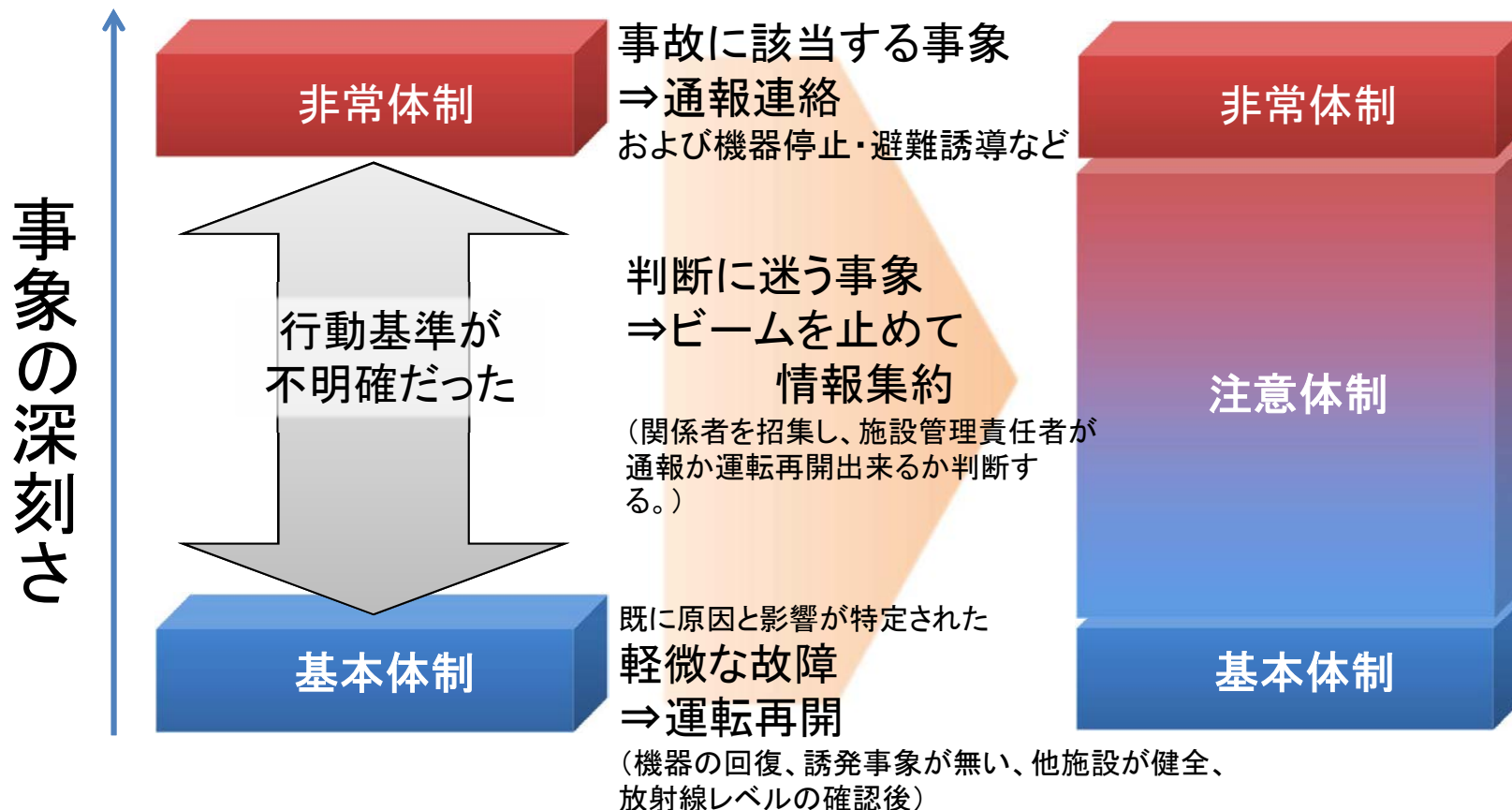
b. 放射線安全評価体制の強化

十分な想定のもとに評価

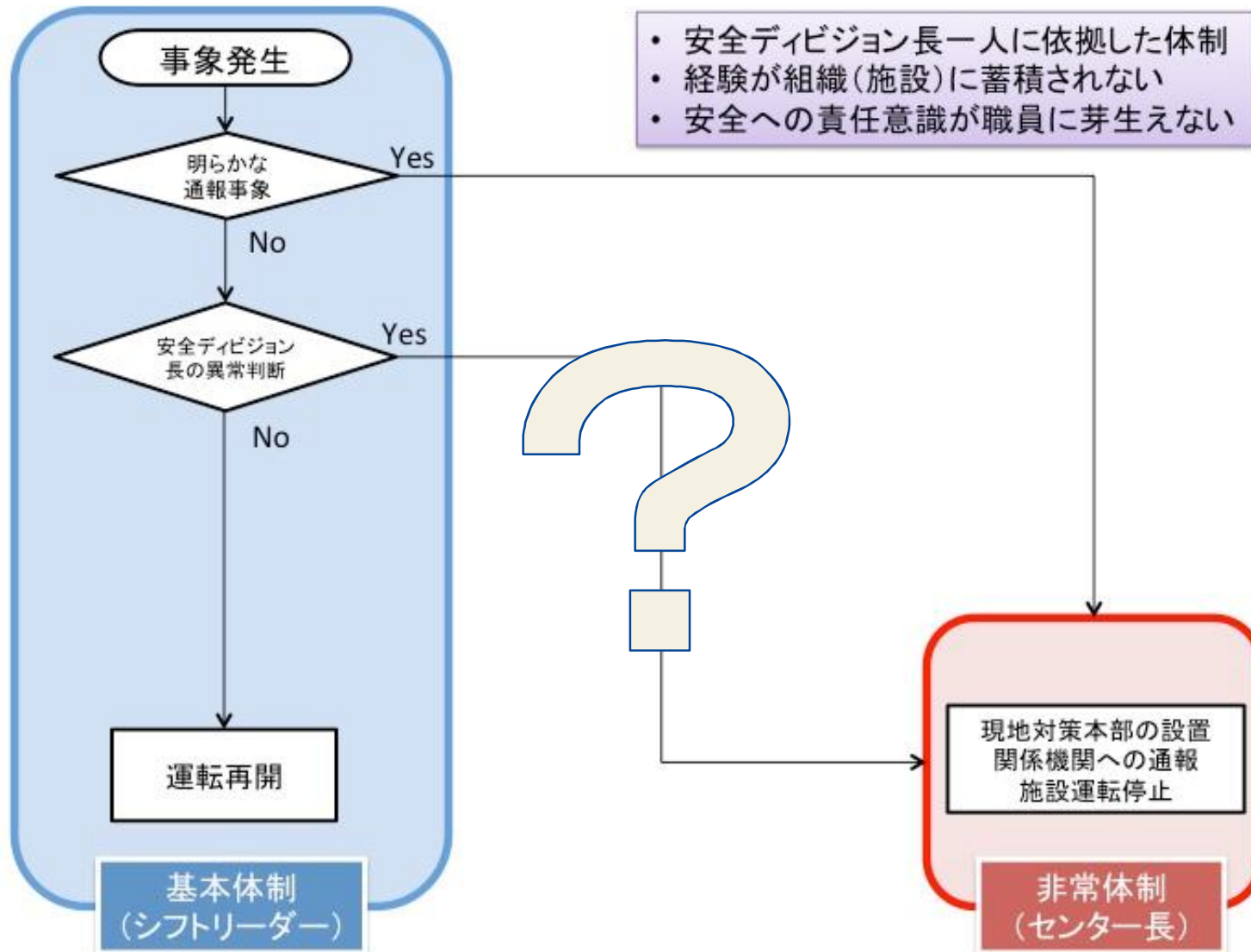
これらを実行可能とするために、
教育訓練の充実による徹底

新たに導入した異常事態発生時の対応体制

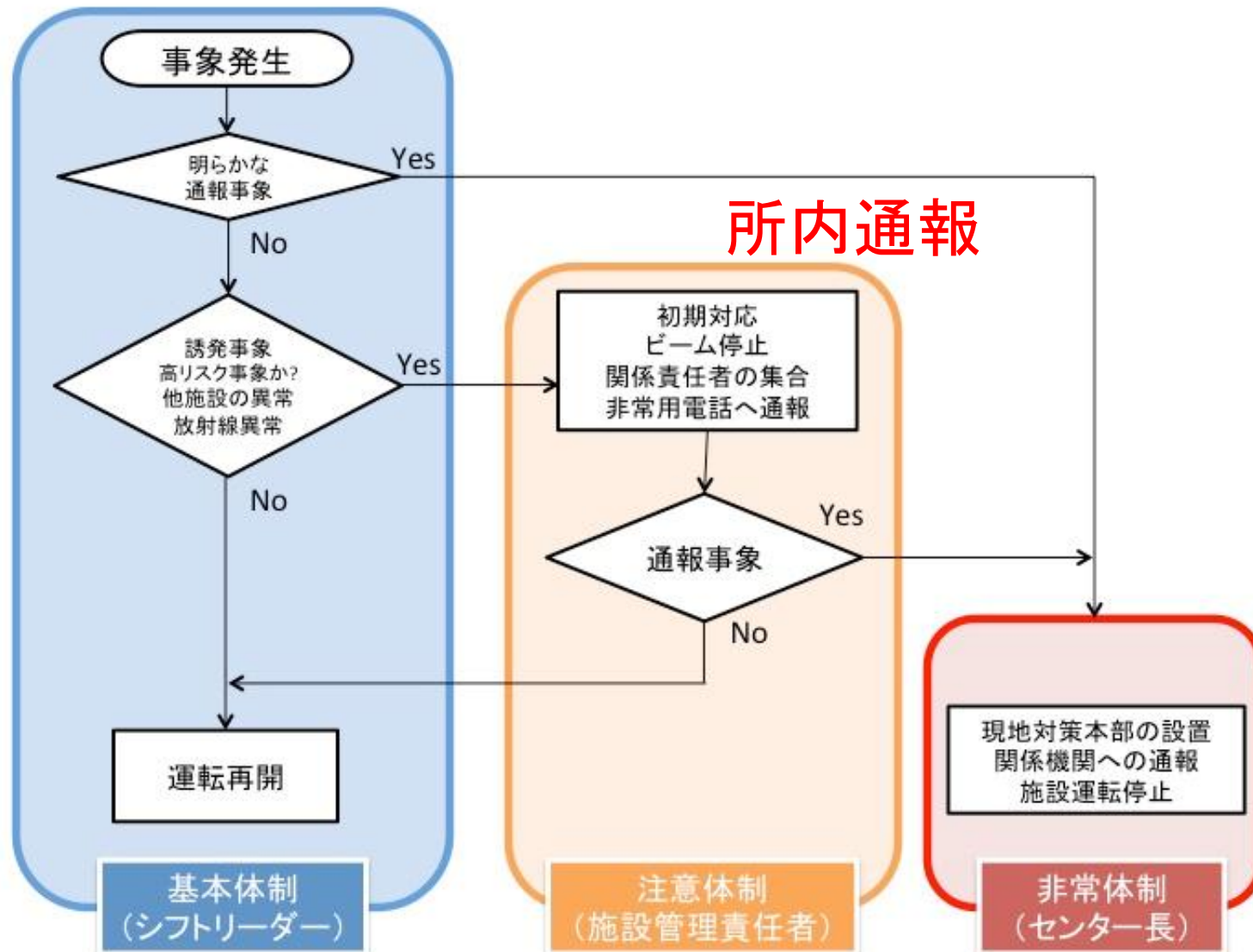
- 従来のマニュアルでは行動基準が曖昧であった異常事態発生時の対応について、「基本体制」(平常時)と「非常体制」(通報事象発生時)の間に、「注意体制」(判断に迷う事象発生時)を設け、異常事態発生時の行動基準を明確化



異常発生！（改善前）



異常発生！（改善後）



異常事態発生時の対応体制のまとめ

体制	異常の内容	移行時の連絡 【連絡者】	指揮者 【指揮所】 対応要員	運転再開の判断
基本体制	・低リスク MPS の発報等	/	・シフトリーダー 【各施設】 ・運転員、 装置担当者	シフトリーダー
注意体制	・高リスク MPS の発報や、PPS の発報等	・非常用電話 ・施設管理責任者 【シフトリーダー】	・施設管理責任者 【中央制御棟】 ・施設関係者	施設管理責任者 (放射線取扱主任者の同意)
非常体制	・「通報事象」に該当する場合	・センター関係者 【施設管理責任者】	・センター長 【現地対策本部】 ・事故対策チーム員 ・事故現場係員	センター長 (放射線取扱主任者の同意)

・注意体制に移行する判断基準を明確化する。

・注意体制から基本体制に戻る手順は以下の通りとする。

- ①施設管理責任者の指揮の元で事象に関する情報の集約/分析を行う。
- ②施設管理責任者は誘発事象を含む全ての異常状態が解消されたことを確認する。
- ③施設管理責任者は放射線取扱主任者に運転再開の同意を得る。
- ④施設管理責任者は原子力科学研究所に運転の再開を伝える。
- ⑤シフトリーダーは施設管理責任者の指示により「運転手引」に示された手順に従って運転を再開する。

安全文化醸成のための改革

安全文化醸成に努めるために以下の改革を行う。

1. 安全を最優先とする組織体制の構築

- 安全意識改革:安全担当副センター長の設置
- 施設管理体制強化:素粒子原子核Dの改組、階層化による責任明確化
施設管理責任者はJ-PARCが本務、不在時には代理者を明確化
- 安全管理強化:安全Dの人員増
- 安全審査体制強化:専門部会設置、外部委員による透明性

安全な
組織

2. 安全を施設のすみずみまで浸透させる行動マニュアル

- 異常兆候を察知し、行動に移せる体制
- 安全運営を施設運営の基本理念に据えた規定、マニュアル等を整備

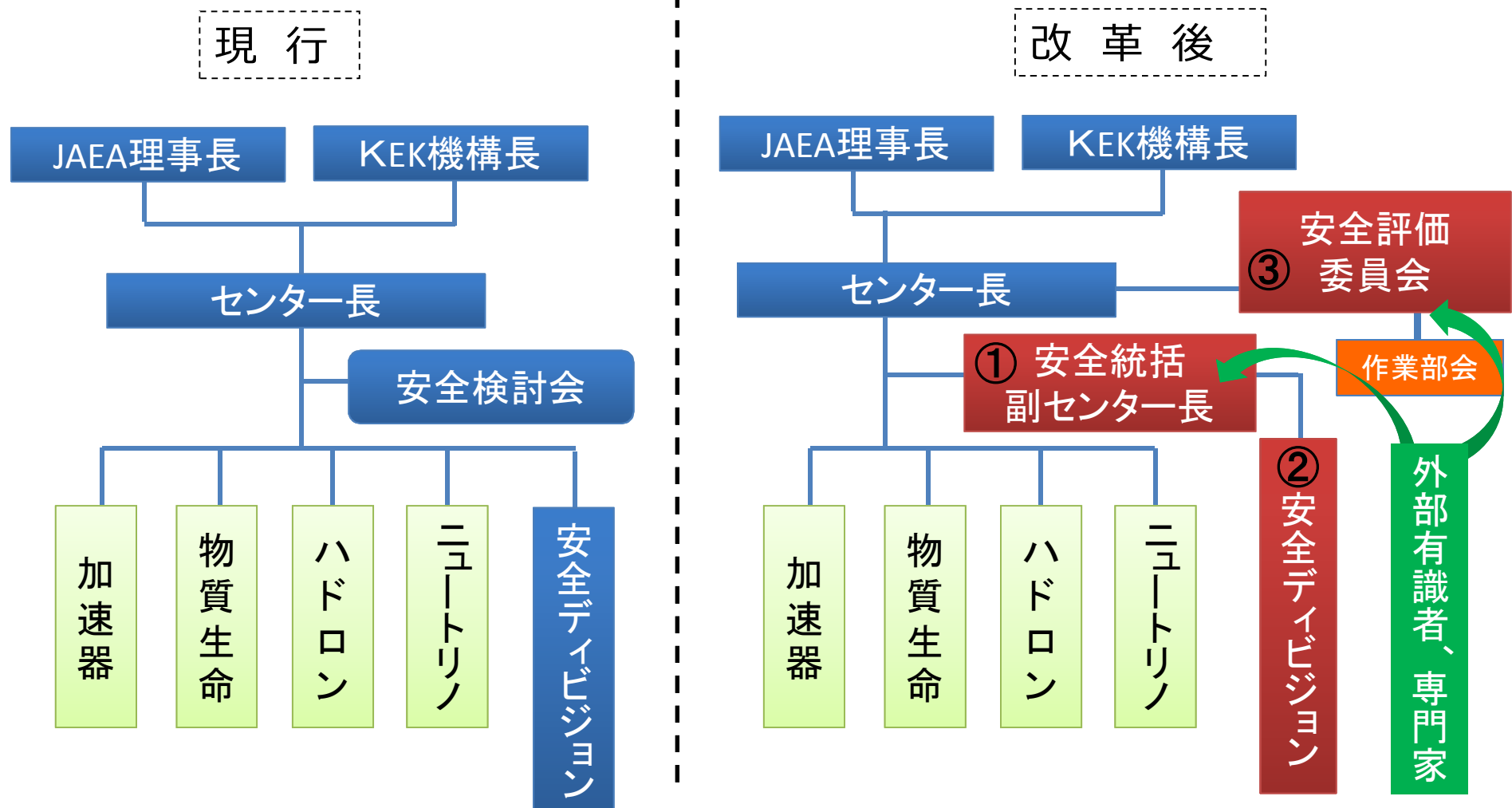
安全な
現場

3. 安全を継続的に持続発展させる文化の醸成

- 安全スローガン
- センター員・ユーザー教育 講習会による啓発
- 放射線事故を想定した事故対応訓練による手順の徹底と不断の見直し
- 過去のトラブルに関する教育

安全の
持続

J-PARCセンターが見直したの安全管理体制の改革イメージ

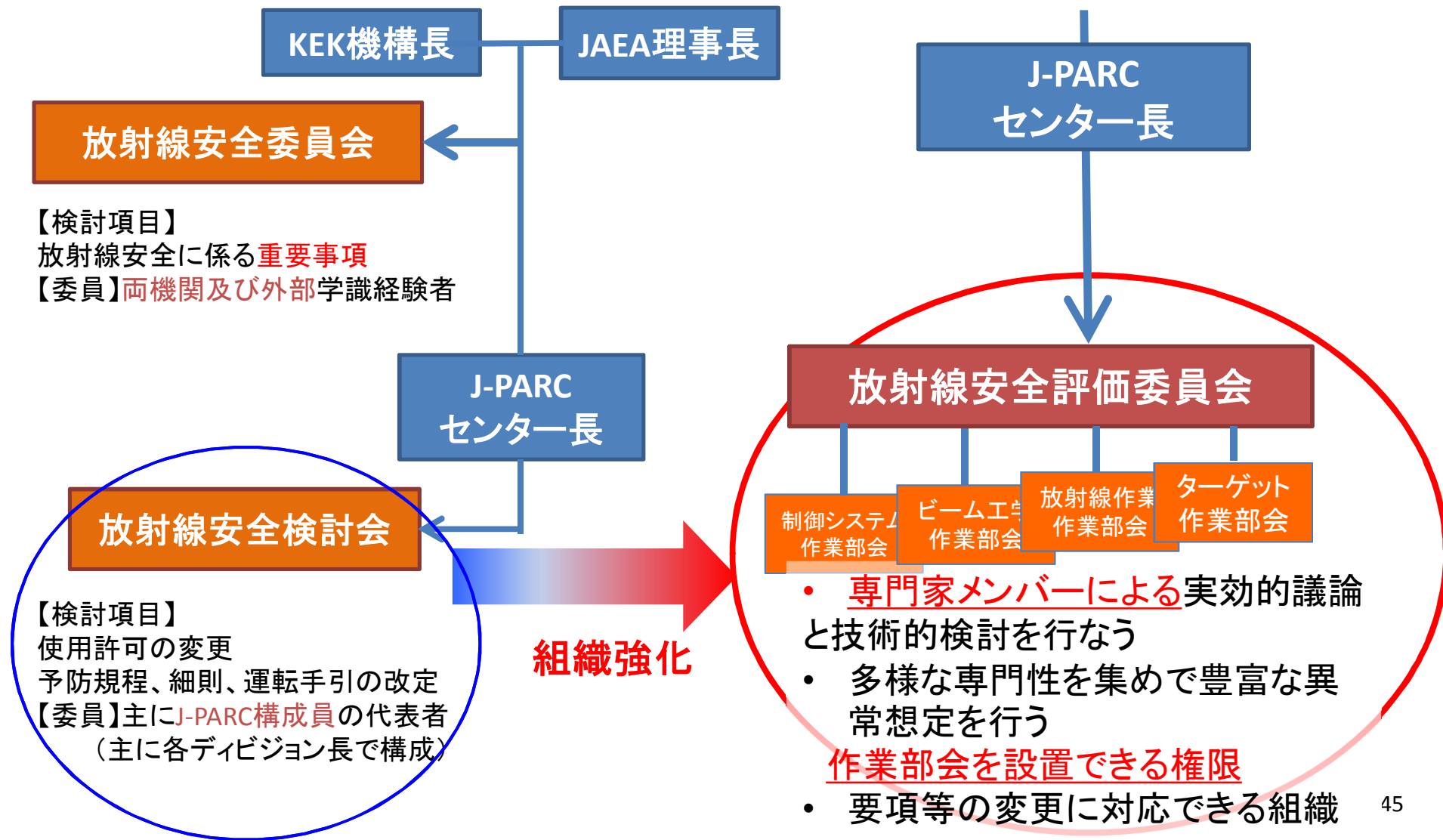


- ① 各施設における緊急時対応を統括する安全統括副センター長を新たに配置(安全に対する高い意識と深い知見を兼ね備えた優秀な人材をセンター内外問わずに登用)
- ② 安全統括副センター長に直属する安全ディビジョンが、各施設の放射線安全管理を一元的に実施。
 - KEKとJAEAとの組織の違いに起因する問題点を見直し、J-PARCとして一元的な安全管理体制を作る。
- ③ 外部有識者等で構成される安全評価委員会をセンター長のもとに設置し、安全統括を含めたセンター全体の安全管理に関する取組みを厳格かつ専門的に評価。(必要に応じて作業部会を設置) ⁴⁴

放射線安全に係る委員会組織の強化案

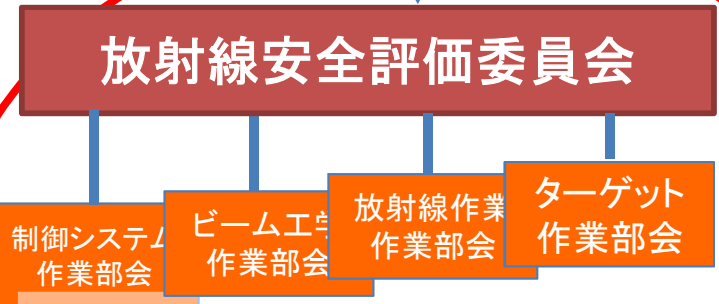
現状

放射線安全審査強化案



【検討項目】
放射線安全に係る重要事項
【委員】両機関及び外部学識経験者

【検討項目】
使用許可の変更
予防規程、細則、運転手引の改定
【委員】主にJ-PARC構成員の代表者
(主に各ディビジョン長で構成)



- 専門家メンバーによる実効的議論と技術的検討を行なう
- 多様な専門性を集めて豊富な異常想定を行う
- 作業部会を設置できる権限
- 要項等の変更に対応できる組織

両機構が支える J-PARCの安全とサイエンス

宇宙・物質・生命・エネルギー

ニュートリノ実験施設

ハドロン実験施設

物質生命科学
実験施設

核変換実験施設

大強度 陽子加速器施設

一元的な安全管理体制

運営・研究基盤整備

高エネルギー加速器研究機構

日本原子力研究開発機構

3. ハドロン施設以外の施設の健全性

原因	対策	ハドロン実験施設以外の他施設		
		加速器施設	MLF	ニュートリノ
50GeVシンクロトロン「遅い取り出し」システムにおけるビーム取り出し装置(EQ電磁石)の誤作動	①EQ電磁石電源の最大設定電流の見直し(340A→120A) ②電流偏差異常の検出による電源停止 ③異常検出後の電源停止動作開始の高速化(6msec→1msec)	リニアック、3GeVシンクロトロンには、EQ電磁石はありません。 50GeVシンクロトロンは、EQ電磁石以外は問題ありません。	遅い取り出しを用いない最短パルスでの照射であり、ハドロン実験施設で起こった事象は原理的に発生しません。	
大強度の短パルスの照射	① ターゲット温度検知の高速化(1→0.1sec 以内)	—	ビーム強度が異常に上がると 0.04 sec 以内でビームを停止します。	ターゲットを冷却するヘリウムガスシステムにおける温度異常のインターロックは 0.1 秒で発報します。
	②加速器調整中のターゲット退避、ビーム軌道の変更	—	調整時も運転時と同じ最短パルス幅のビーム照射であり、水銀ターゲットは退避させません。ただし、ミュオンターゲットにおけるビーム散乱等の影響を最小に抑えるという観点から、調整時はミュオンターゲットは退避させています。	ターゲットの退避は行いません。50GeVシンクロトロンは、「速い取り出し」専用のアポートダンプを持ち、ニュートリノターゲットは使用しなくても調整が可能です。
ターゲットが気密容器に入っていないかった	①ターゲット容器の気密化	—	○水銀ターゲットは水銀容器、保護容器を3重容器構造としています。 ○ミュオンターゲット(黒鉛)はターゲットチェンバーに収納されています。	ヘリウム容器に収納しています。
	② ガス中の放射性物質濃度及び圧力の監視	—	○水銀：水銀容器と保護容器の間の放射性物質を監視しています。 ○ミュオンターゲットを収納した真空の圧力(真空度)を監視しています。	ヘリウム容器が破損した場合を想定し、空気中の放射濃度の変化を検知できる構造としています。
1次ビームラインの空気遮へい部の気密度が不十分	①1次ビームライン室境界を気密構造(2重の気密シート、開口部のコーキング材処理)	—	中性子発生エリアでは、気密容器に水銀ターゲットを装着し、さらに外側の実験ホールとの接続個所でゴムパッキンによる気密処理を行い多重の気密対策としています。 ミュオン発生エリアでは、ターゲットを気密容器に収納し、さらに外側の実験ホールとの接続箇所を気密板で閉止して、ゴムパッキンで気密を取る構造になっています。	ビームは気密のヘリウム容器内を通過します。そのヘリウム容器は地下に有り、地上と地下はコーキング及び気密シートで気密処理されています。さらに地上部は第1種管理区域として負圧管理しており、多重の気密対策が施されています。
	③ 空気の放射能モニタを設置し異常検知	—	空気の放射能モニターシステムが設置されており、放射能濃度を計測しています。	ターゲットステーションの各部屋の空気中放射性物質濃度を計測しています。
排風ファンの作動	① 既設排風ファンの封止	排風ファンはありません。	排風ファンはありません。	
	②ハドロンホールの空気を監視しながら排気	サブトンネル及びホット機械室は負圧管理されています。主トンネルの排気は、運転停止後、放射性物質の濃度を監視しながらフィルタを通して行います。	管理区域の空気の排気は、放射性物質の濃度を監視しながら、排気設備のフィルタを通して行います。	
モニタ端末の設置場所及び警報レベルの不適切	①放射線モニタ情報の視認性の向上	50GeV シンクロトロン、ニュートリノについては、モニタ情報の視認性向上(モニタ端末増設、情報表示方法の改善等)を行います。リニアック、3GeV シンクロトロン、MLFについては現状でもモニタ端末は揃っていますが情報表示方法等を改善します。		
	② 注意喚起警報の設定	リニアック、3GeV シンクロトロンについては事故前より機能及び設定があります。50GeV シンクロトロンについては機能追加、設定予定です。	事故前より機能及び設定がありません。	機能追加、設定予定です。

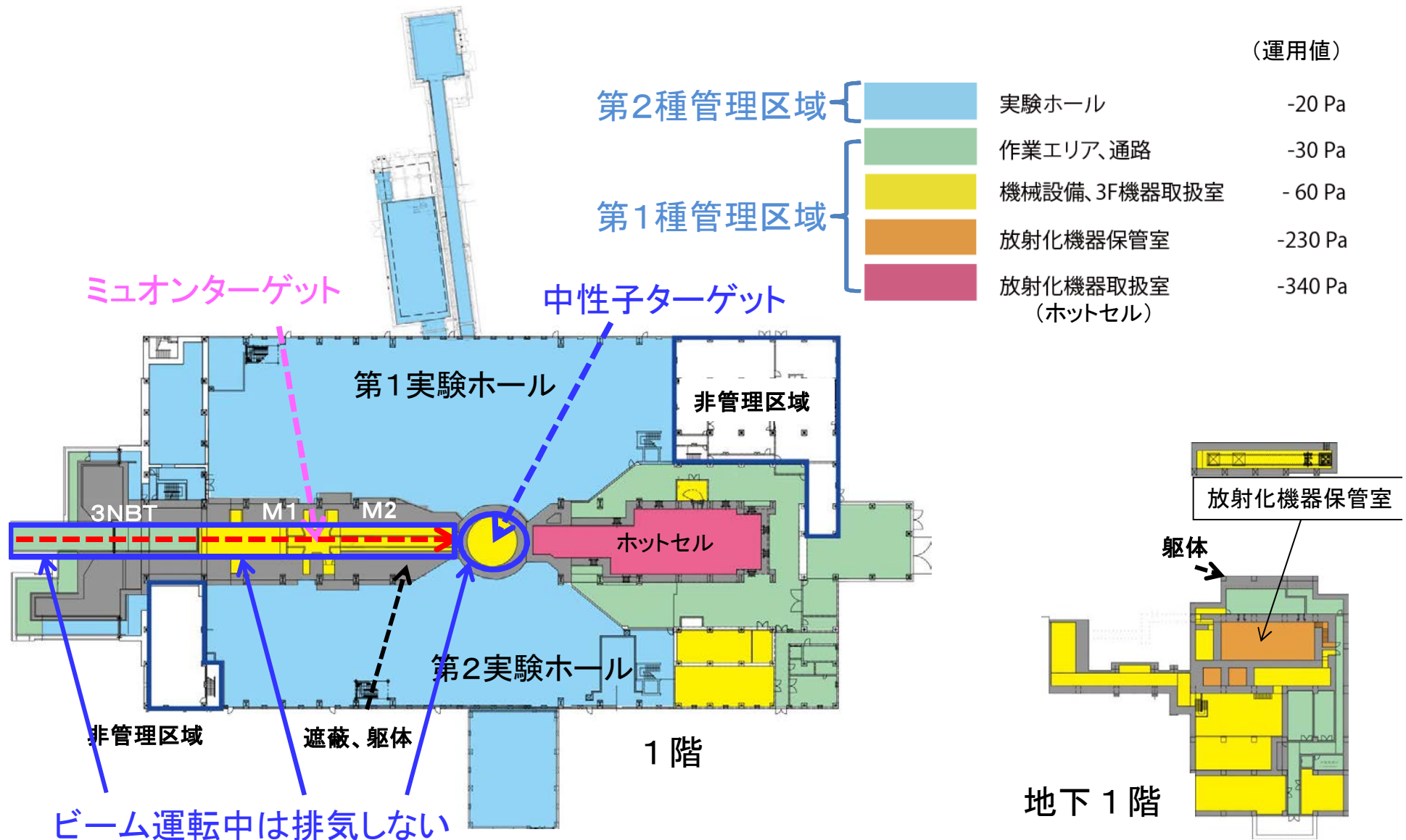
3. ハドロン施設以外の施設の健全性

3-1. 物質・生命科学実験施設

物質・生命科学実験施設

- 放射線管理区域区分
 - ターゲット部: 第1種管理区域
 - 実験ホール: 第2種管理区域
- 区域境界の漏えいに対する防護
 - ターゲット部と実験ホールの間は躯体による遮蔽
 - 放射線管理区域に段階的な区分を設けて負圧管理
 - 排気は排気筒からフィルターを通して、放射線レベルを監視しながら実施
- 中性子ターゲット損傷による漏えいに対する防護
 - 破損する前に計画的に交換
 - 破損への対処(過酷事象)
 - 水銀漏えいに対する多重防護、早期検知システム
 - 排気を停止し放射性物質を閉じ込め
- ミュオンターゲット損傷による漏えいに対する防護
 - 標的は真空チャンバー内に設置(過酷事象)
 - 真空排気ラインの遮断弁閉止機能、真空ポンプ停止

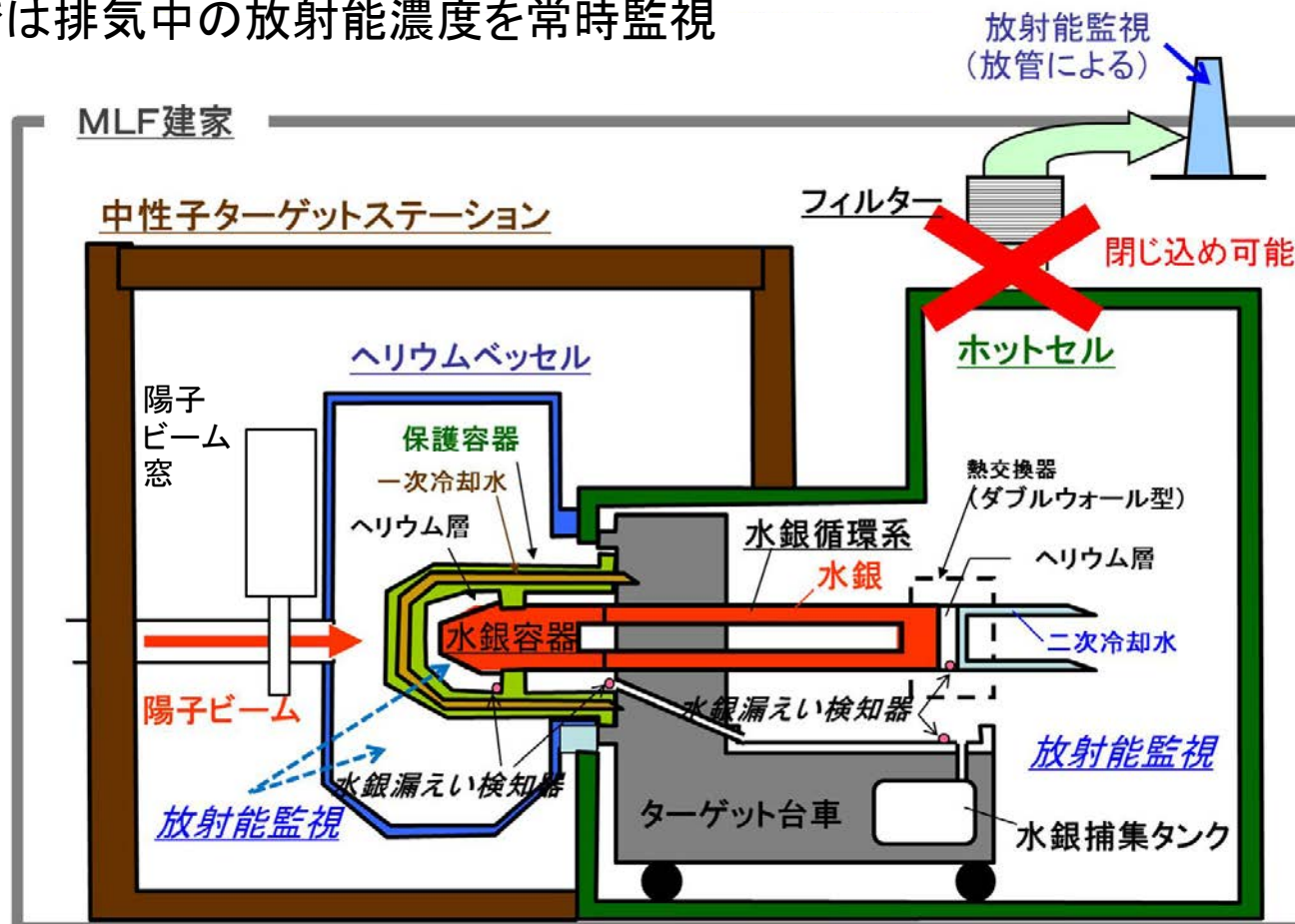
物質・生命科学実験施設の負圧管理



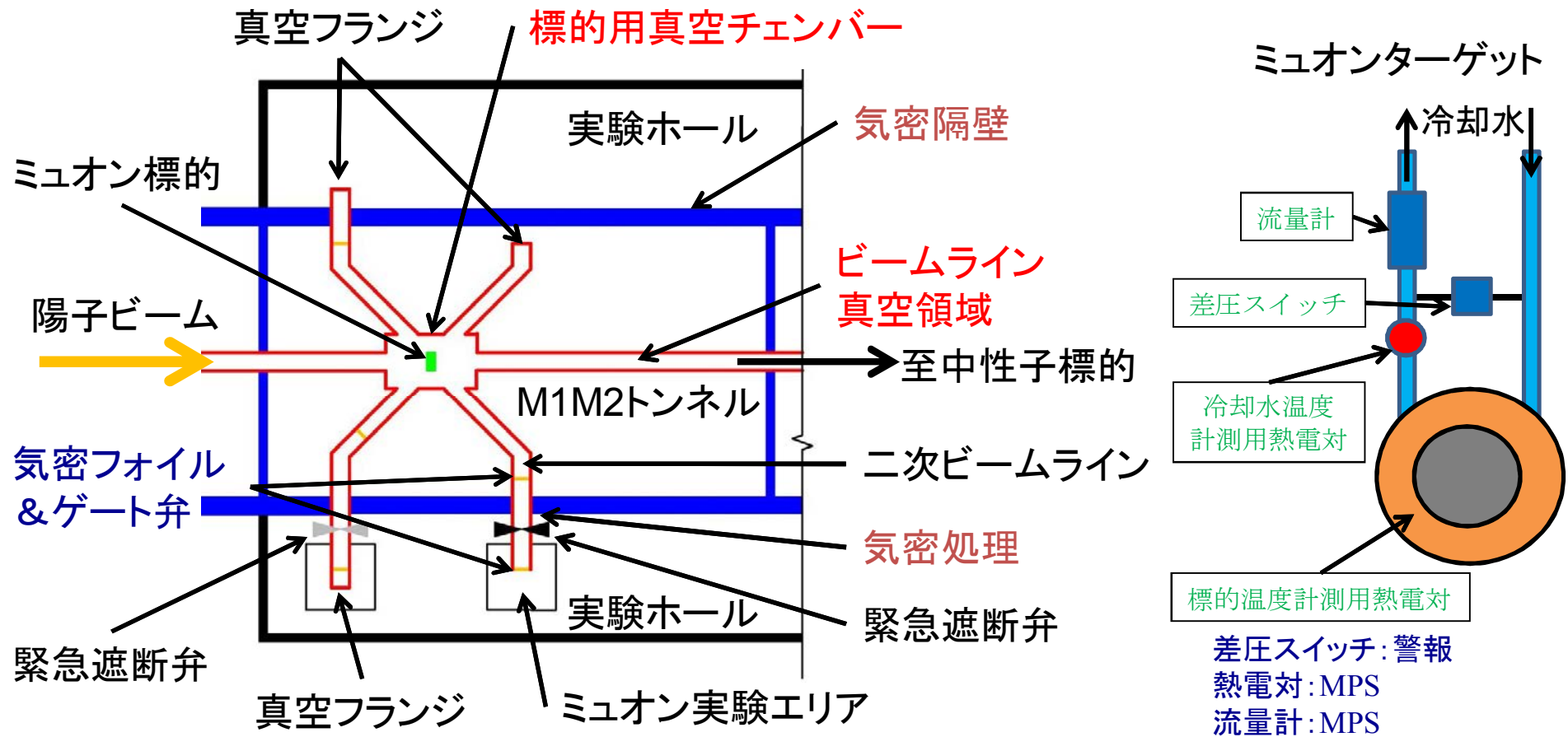
2階、3階部も同様に段階的な負圧区分を設定して運用。

水銀ターゲットの多重防護

- 水銀ターゲット容器は水銀容器とこれを覆う保護容器からなる多重構造
- 水銀ターゲット容器は鉄鋼製のヘリウムベッセルに装着(内包)され、さらに外側にはライナーや気密板からなる中性子ターゲットステーションでバリアを構成
- 水銀循環系側は負圧管理されたホットセルに設置
- 放射能監視装置や漏えい検知器による多重の検知機能を設置
- 排気筒では排気中の放射能濃度を常時監視



ミュオンターゲットの多重防護



- ミュオンターゲット(2cm厚の黒鉛)は**標的用真空チェンバー**内に収納
- 真空劣化時には緊急遮断弁及びゲート弁が閉
- M1M2トンネル境界は**気密処理**

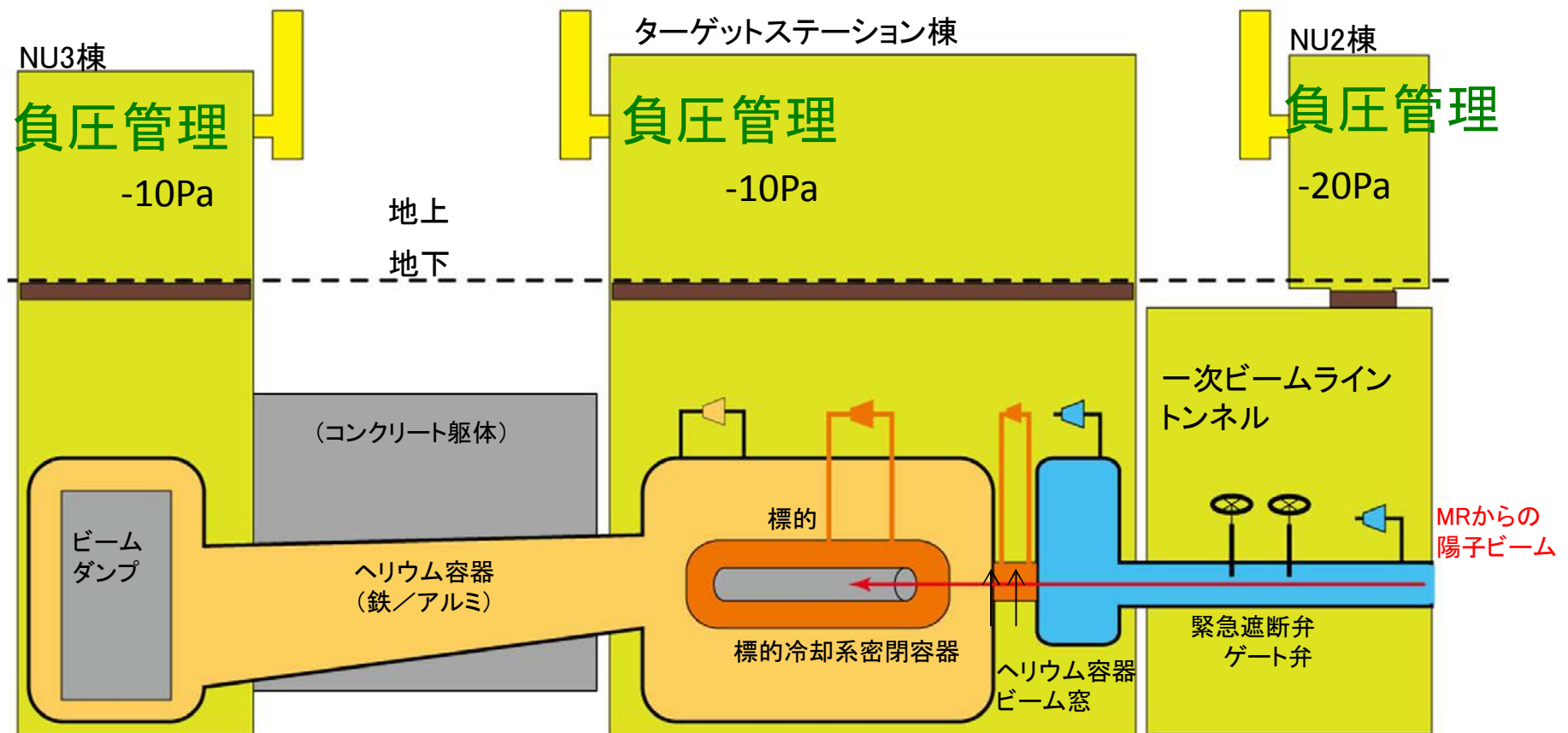
3. ハドロン施設以外の施設の健全性

3-2. ニュートリノ実験施設

ニュートリノ実験施設

- 放射線管理区域区分
 - ターゲット部等(地下部): 第1種管理区域
 - 設備棟、機械室等(地上部): 第1種管理区域
- 区域境界の漏えいに対する防護
 - 地下部は密閉構造
 - 地下部と一般区域の間にある地上部を連続排気し、負圧管理
 - 排気は排気筒からフィルターを通して、放射線レベルを監視しながら実施
- 標的損傷による漏えいに対する防護
 - ヘリウム容器に密閉
 - ヘリウム容器からの放射性物質漏えいを監視

ニュートリノ実験施設の多重防護



- 多重の気密策:

- ヘリウムタイトな標的容器、ヘリウム容器
- 地下と地上の空気隔離

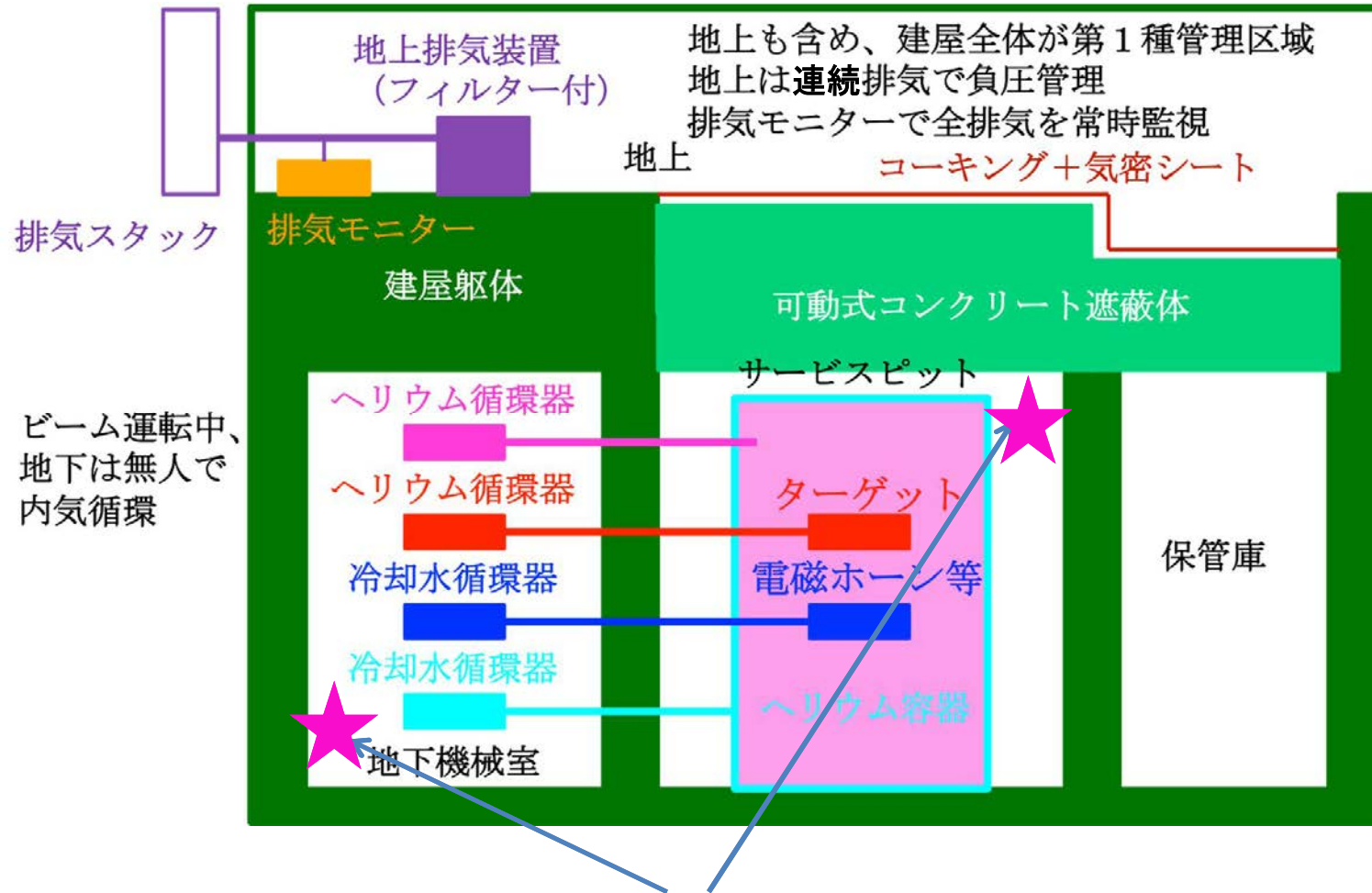
- 地上部の负压管理と管理排気

- 規準负压 -10Pa (TS/NU3)、 -20Pa (NU2)
- HEPAフィルターを通し放射性物質濃度測定後連続排気

- 標的、ホーンが壊れることを想定した漏えい防護システム設計(過酷事象)

ヘリウム容器のTS/BD部は100~200mm厚さの鋼板を溶接した構造であり、DV部では16mm厚さ+6m厚さのコンクリートで保持したもの。耐震設計は650ガルを仮定しており、東日本大震災でも何ら影響は見られなかった。

ターゲットステーションの漏えい防護



空気モニター

(万が一ヘリウム容器から放射性物質漏えいがあった場合検知できる)

3. ハドロン施設以外の施設の健全性

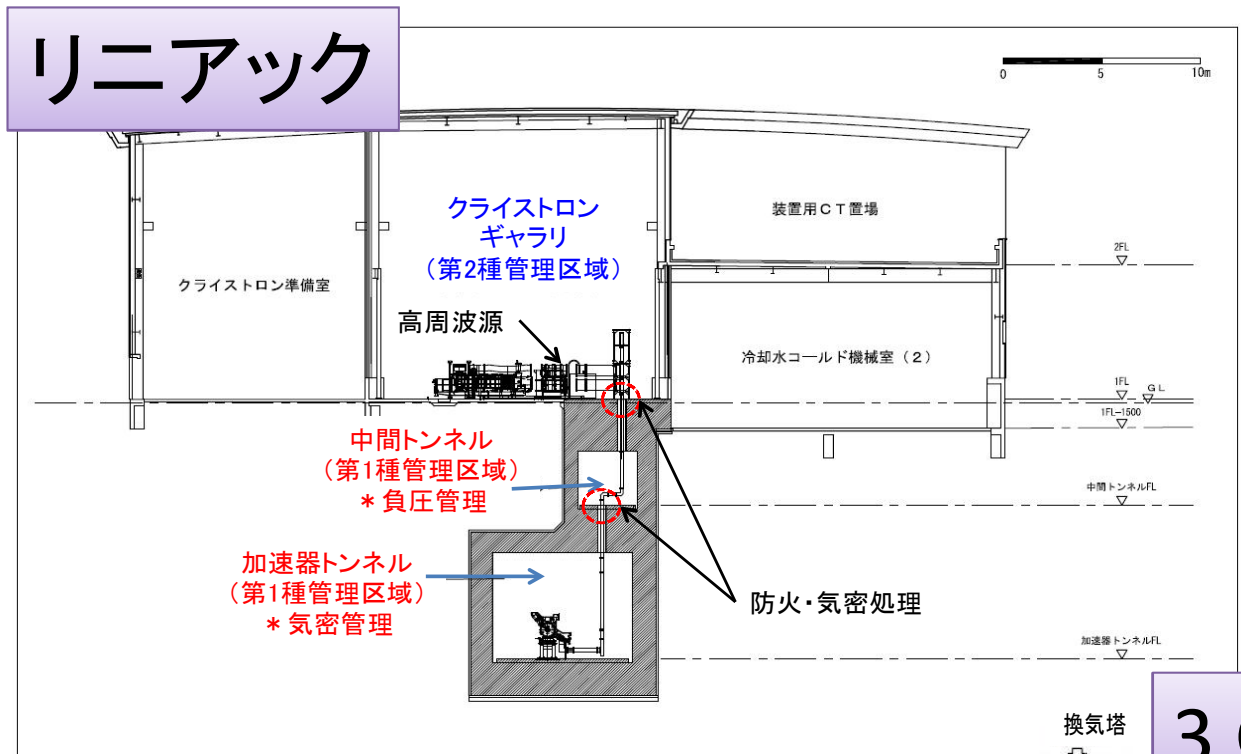
3-3. 加速器

加速器施設

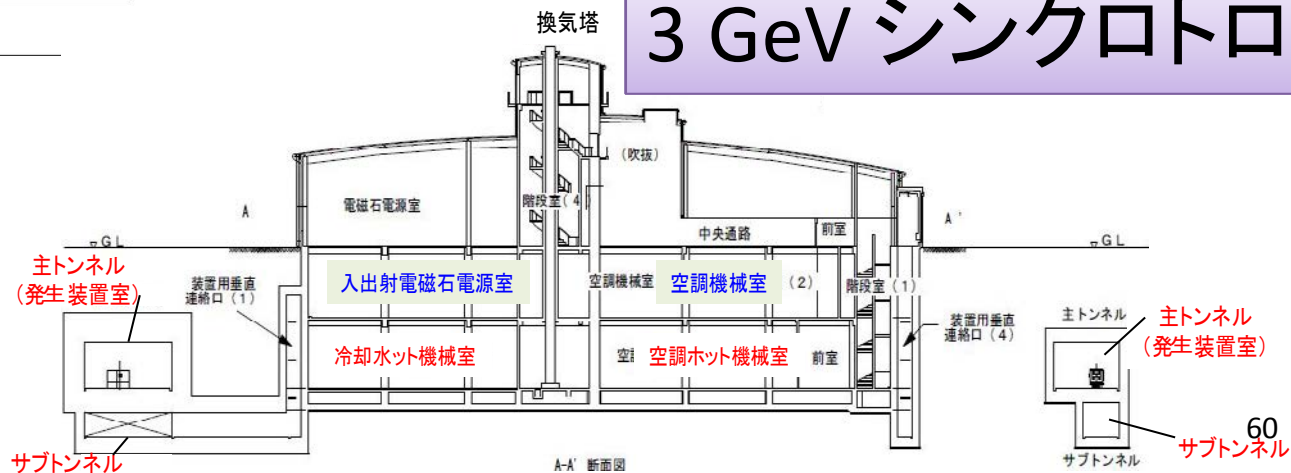
- 放射線管理区域区分
 - 加速器トンネル: 第1種管理区域
 - ビーム運転中は給排気系の自動ダンパーを全閉
 - 空気を閉じ込めた状態で再循環系統のみ運転
 - サブトンネル: 第1種管理区域
- 区域境界の漏えいに対する防護
 - 加速器トンネルは気密管理
 - 加速器トンネルと一般区域(または第2種管理区域)の間にある領域を連続排気し、負圧管理・中間排気
 - 排気は排気筒からフィルターを通して、放射線レベルを監視しながら実施

加速器施設の漏えい防護:リニアック、3 GeVシンクロトロン

中間排気と負圧管理で漏えいを防ぐ

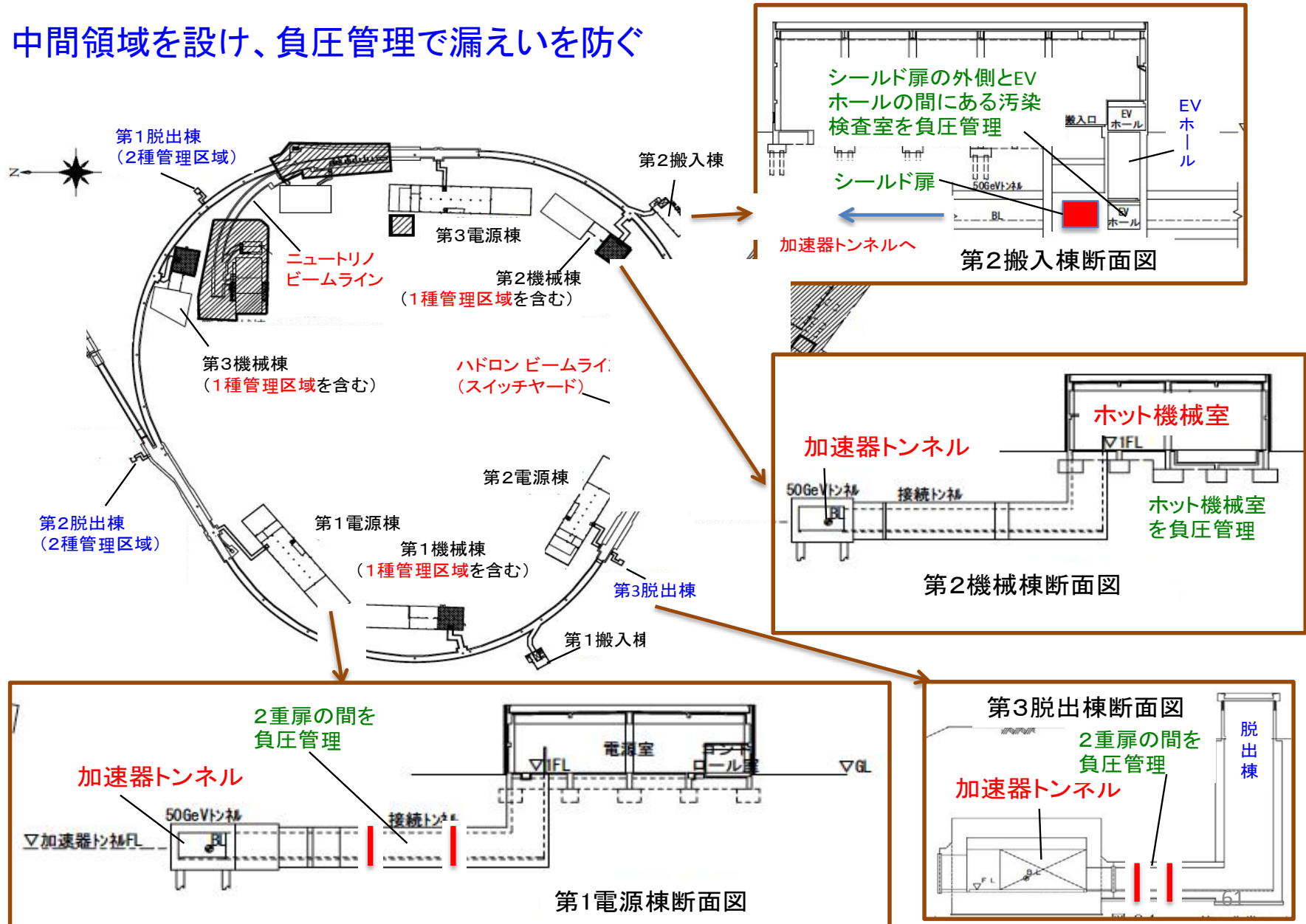


3 GeV シンクロトロン



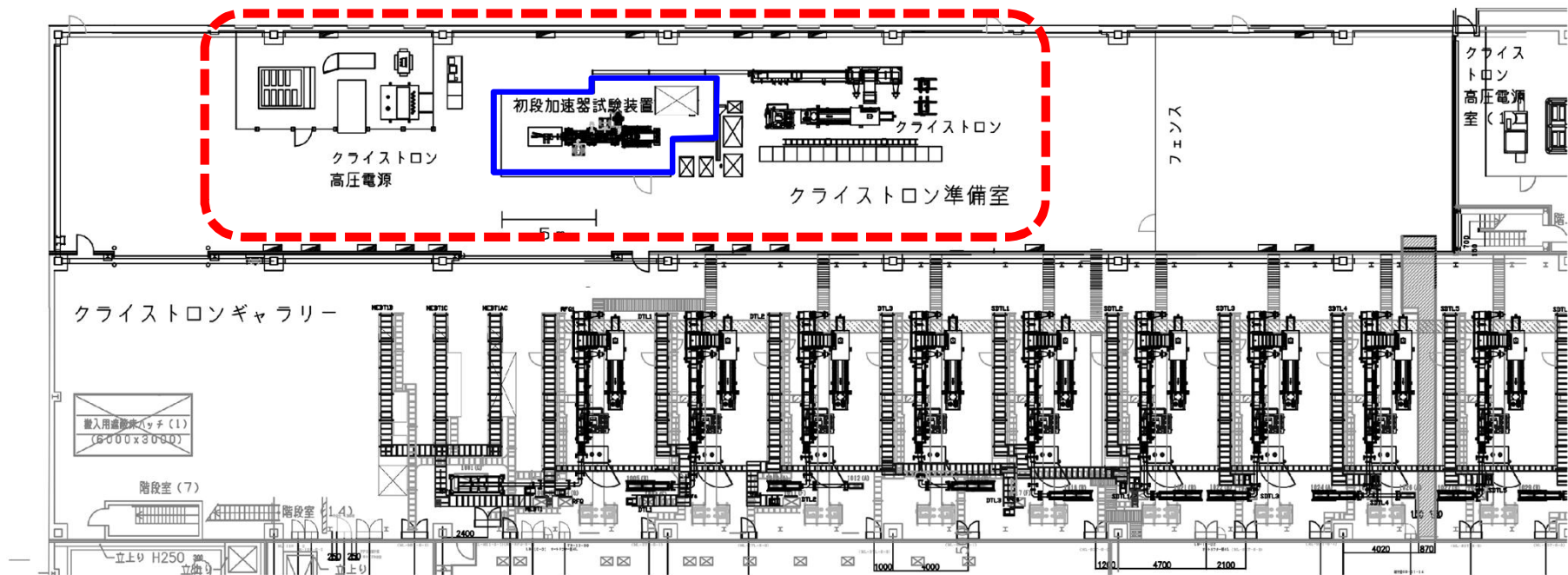
加速器施設の漏えい防護: 50 GeVシンクロトロン

中間領域を設け、負圧管理で漏えいを防ぐ



加速器施設に設置された初段加速部試験装置

2014年度に計画されているビームパワー増強計画(ビーム電流を30 mAから50 mAに)の開発用に、リニアック棟クライストロン準備室に「初段加速部試験装置(通称:RFQテストスタンド)」が整備されている。50 mA仕様の新型イオン源、および新しいRFQのビーム試験を行う事が目的である。これは構成としてはJ-PARCリニアックの最上流部分と同じだが、J-PARC加速器本体とは完全に分離された独立した試験装置で、ビームエネルギーは3 MeVと十分低い。



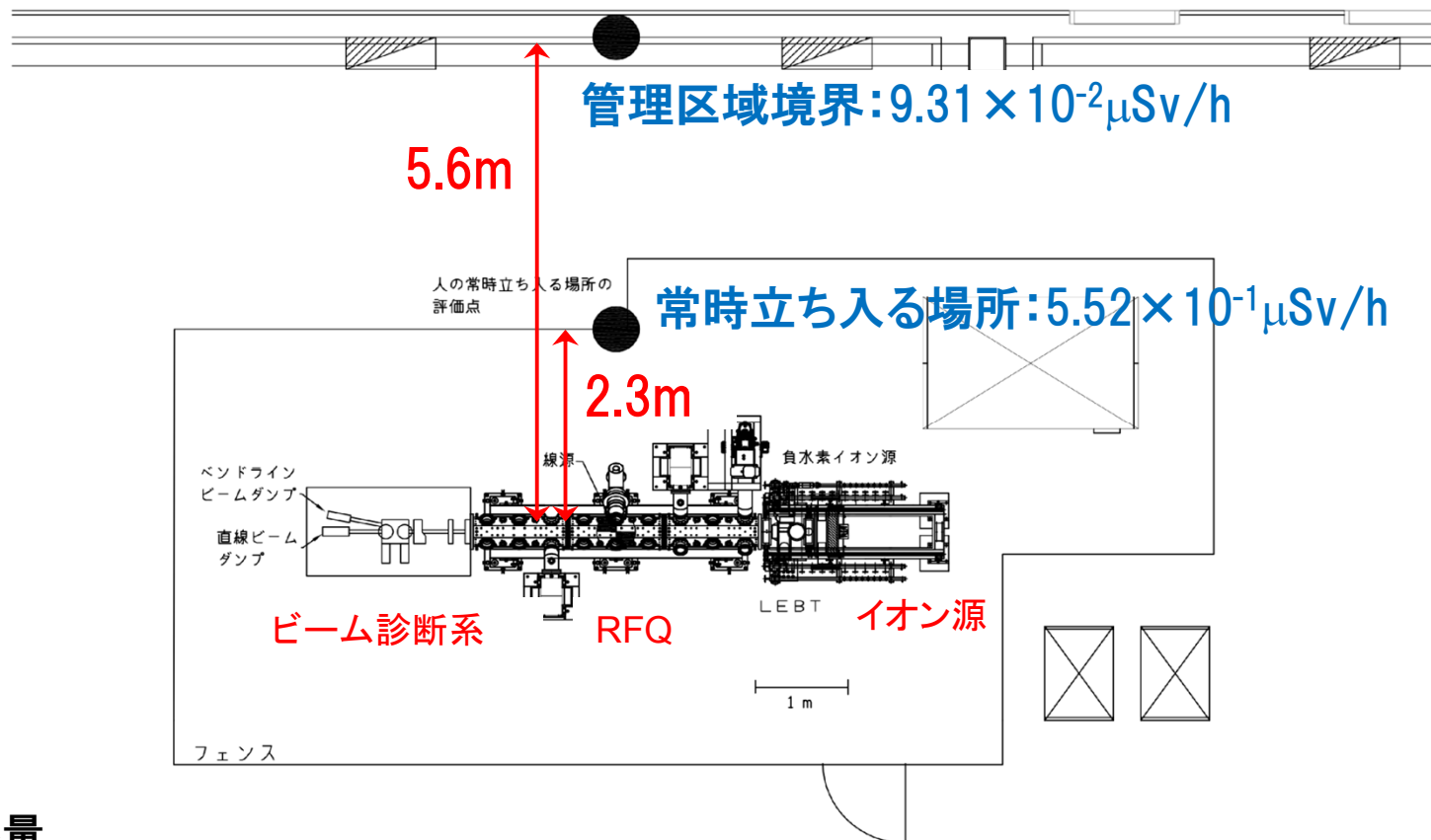
J-PARCリニアック棟 クライストロン準備室及びギャラリー(一部)

初段加速部試験装置の安全性

初段テストビームラインの安全性は、以下の線量評価によって確認している。

線量評価点： 常時立ち入る場所、管理区域境界

線源：RFQ空洞(Cu製)内の(p, n), (p, g)による中性子・ガンマ線
 ビーム診断系・ビームダンプ(W製)からは中性子・ガンマ線の発生はなし



管理区域境界: $9.31 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$

5.6m

人の常時立ち入る場所の評価点
 常時立ち入る場所: $5.52 \times 10^{-1} \mu\text{Sv/h}$

2.3m

ビーム診断系

RFQ

LEBT

イオン源

1 m

フェンス

実効線量

常時立ち入る場所 : $5.52 \times 10^{-1} \mu\text{Sv/h} \times 40\text{h/週} = 22.1 \mu\text{Sv/週} < 1\text{mSv/週 (法令基準値)}$

管理区域境界 : $9.31 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h} \times 500\text{h/3月} = 46.6 \mu\text{Sv/3月} < 1.3\text{mSv/3月}$

遅い取り出しシステムの機器を有さず、今回の事故とは関係ない。

4. 今後の対応 ー当面の作業ー

4. 今後の対応 ー当面の作業ー

4-1. ハドロン標的の調査

ハドロン標的の調査

- 上部遮蔽体の撤去
- 下部遮蔽体の撤去
- ファイバースコープによる観察
- 金標的観察作業工程
- 安全対策

上部遮蔽体の撤去

仮置き場に
移動・サーベイ

シート

高さ 12 m

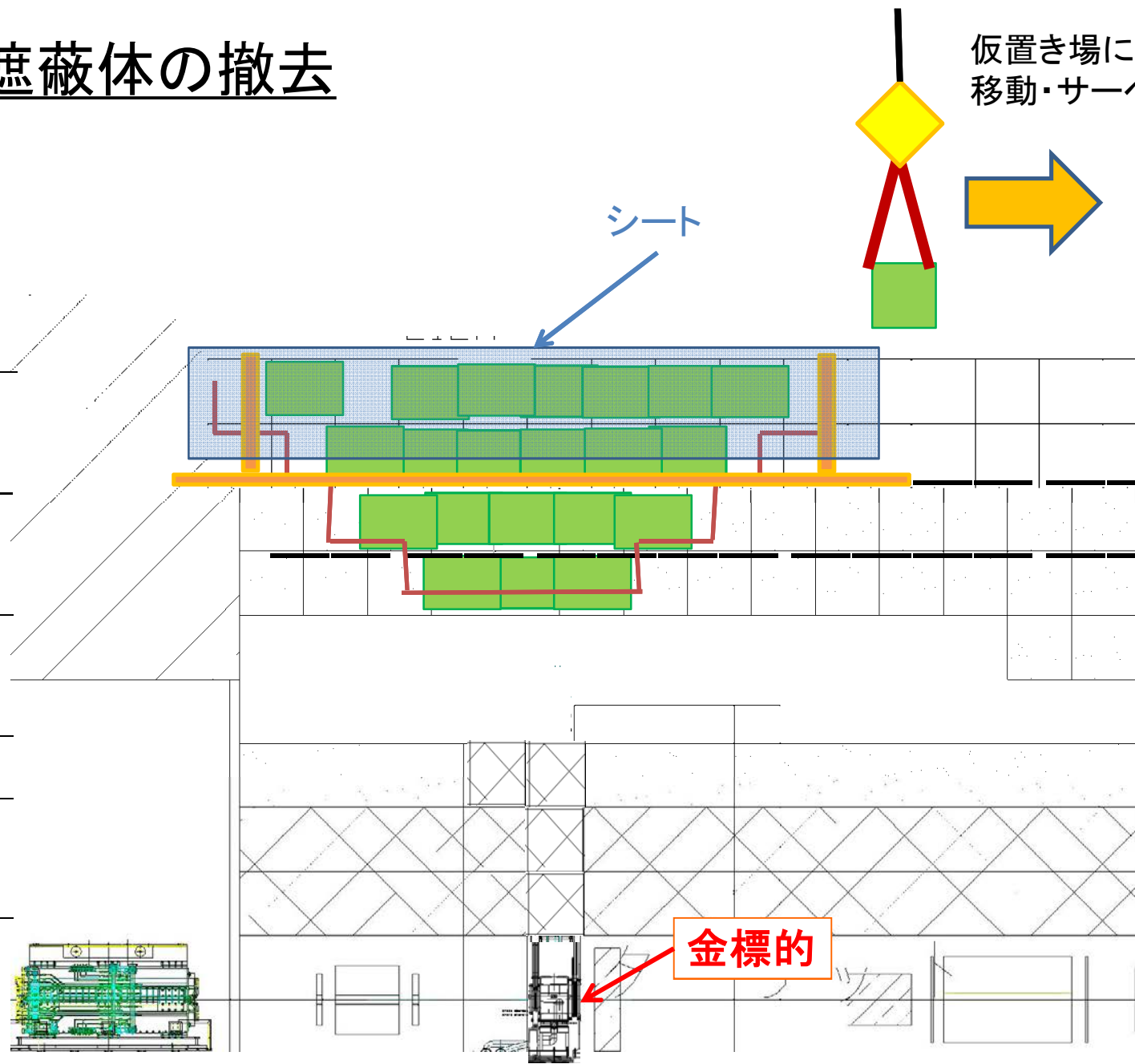
高さ 10 m

高さ 8 m

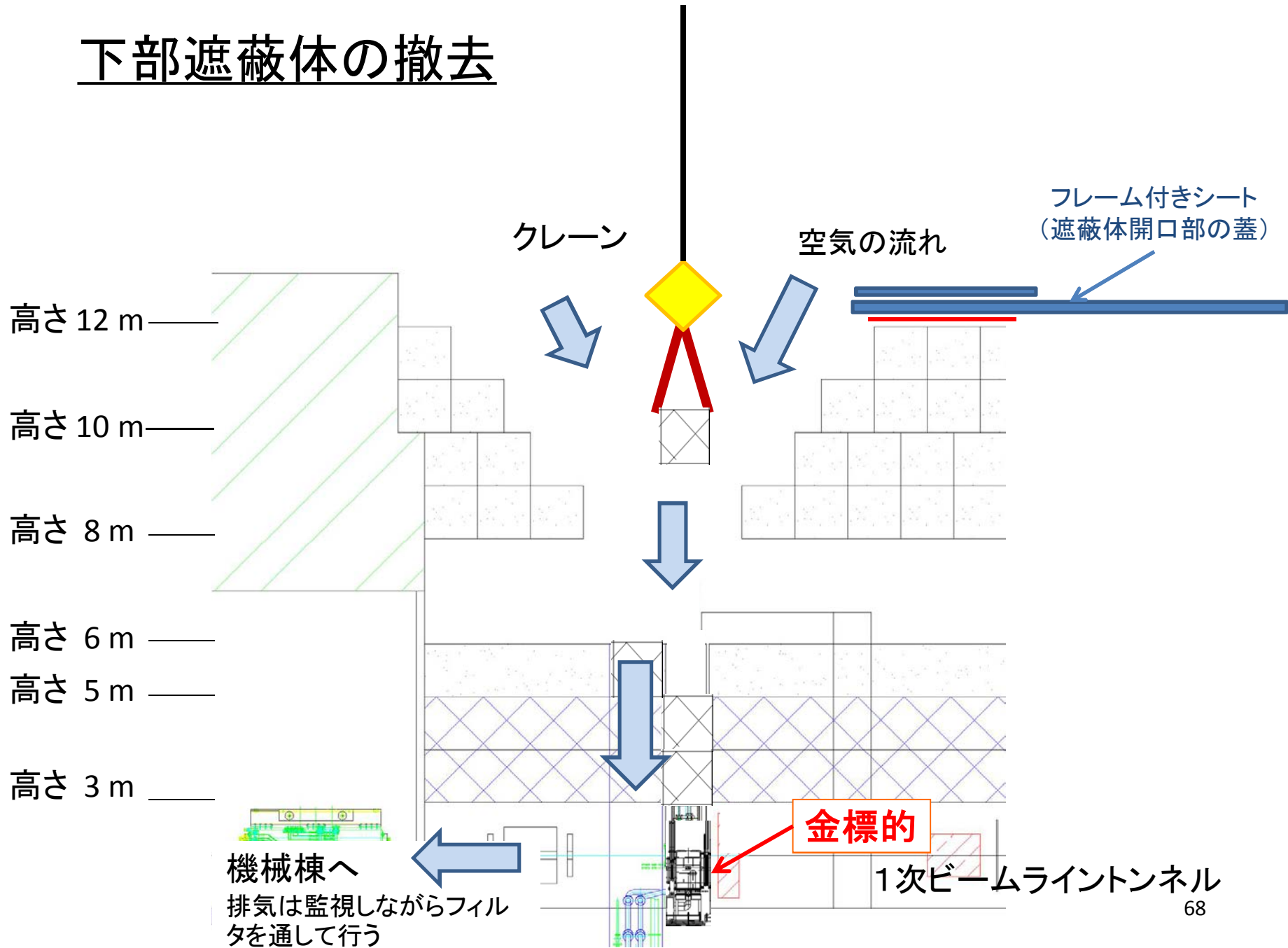
高さ 6 m

高さ 5 m

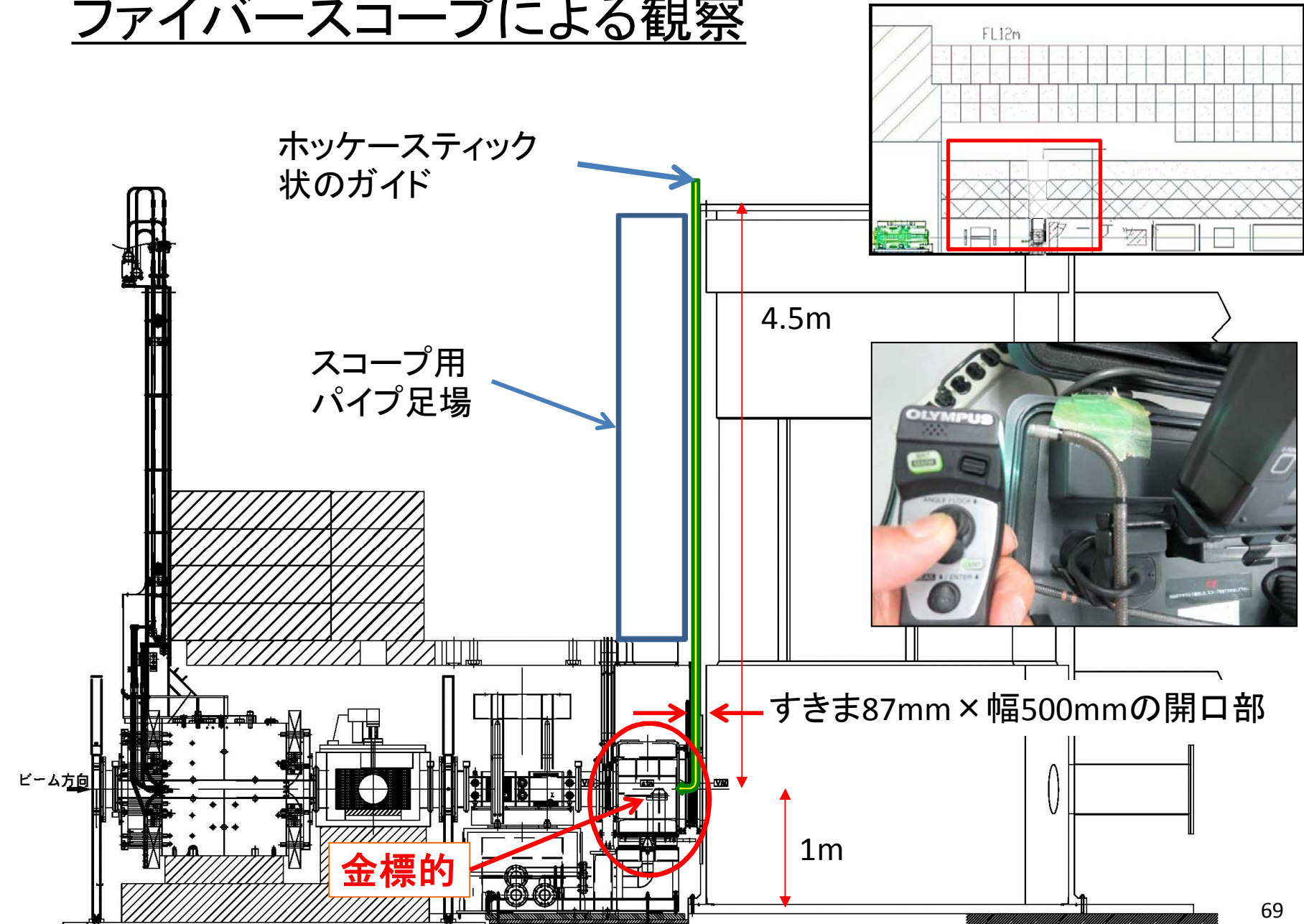
高さ 3 m



下部遮蔽体の撤去

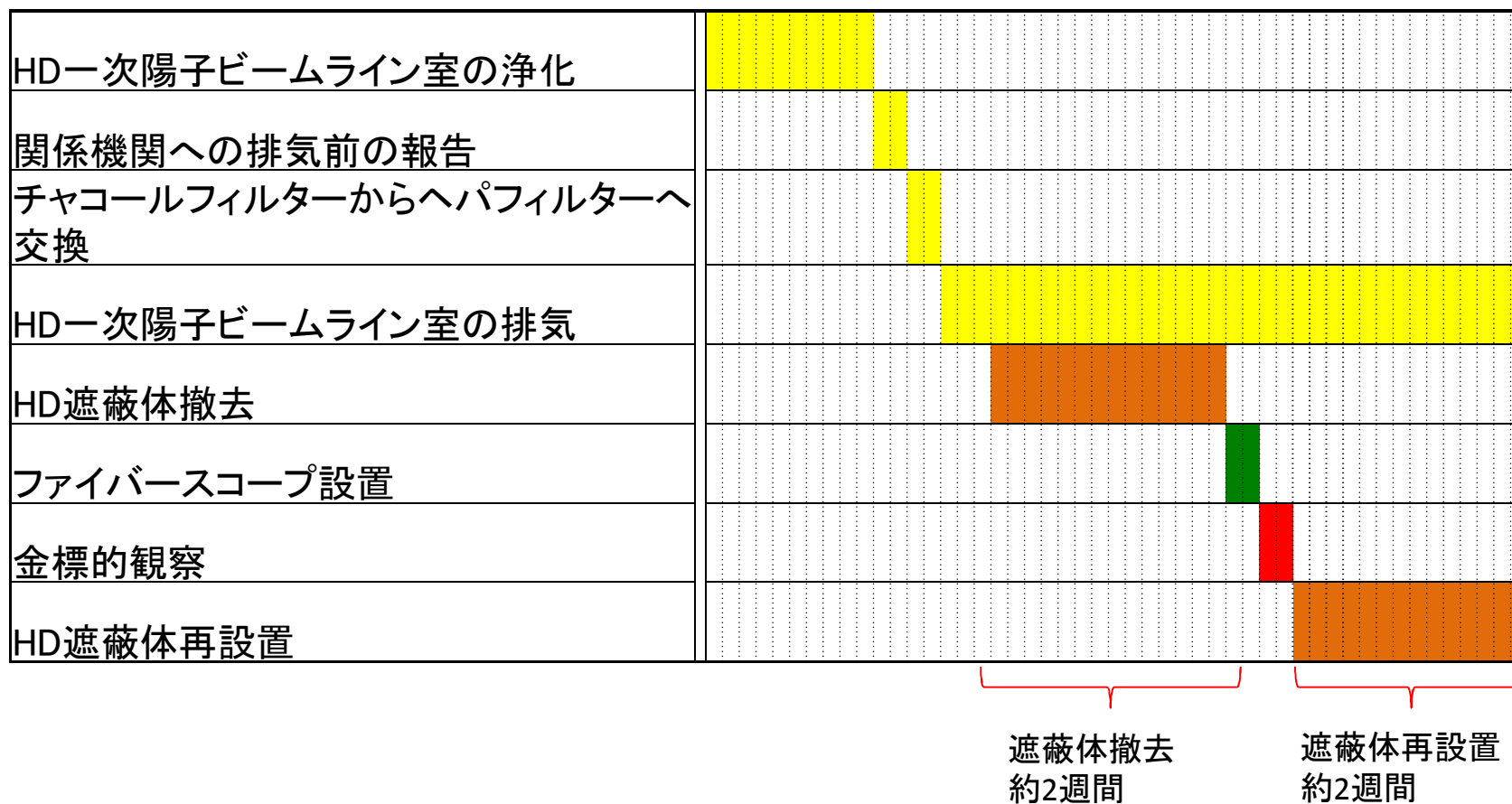


ファイバースコープによる観察



金標的観察作業工程

排気前の報告から標的観察まで約3週間



慎重に準備を進めており、9月中には着手できる予定です。
作業状況によって、工程が変わることがあります。

安全対策

- 遮蔽体を移動する際には、汚染を拡大させないように細心の注意を払うとともに、作業者の安全に万全を期します。
 - 遮蔽体一層毎の汚染検査、空気のサンプリング
 - 作業者は防護衣、マスクを着用
 - シートなどによる念入りな養生
 - 熱中症、高所作業対策

4. 今後の対応 ー当面の作業ー

4-2. 性能向上工事の概要

J-PARCリニアックのエネルギー増強

リニアックにおける既設のシステムの下流側に、新たにACS空洞25台を設置し、ビームエネルギーを現行の181MeVから400MeVに増強します。この増強は、J-PARCにおいて建設開始当初から計画されていたものであり、現在のリニアック建屋の放射線遮蔽構造は400 MeVを想定して設計されています。

IS: イオン源

RFQ: 高周波四重極型リニアック

DTL: ドリフトチューブリニアック

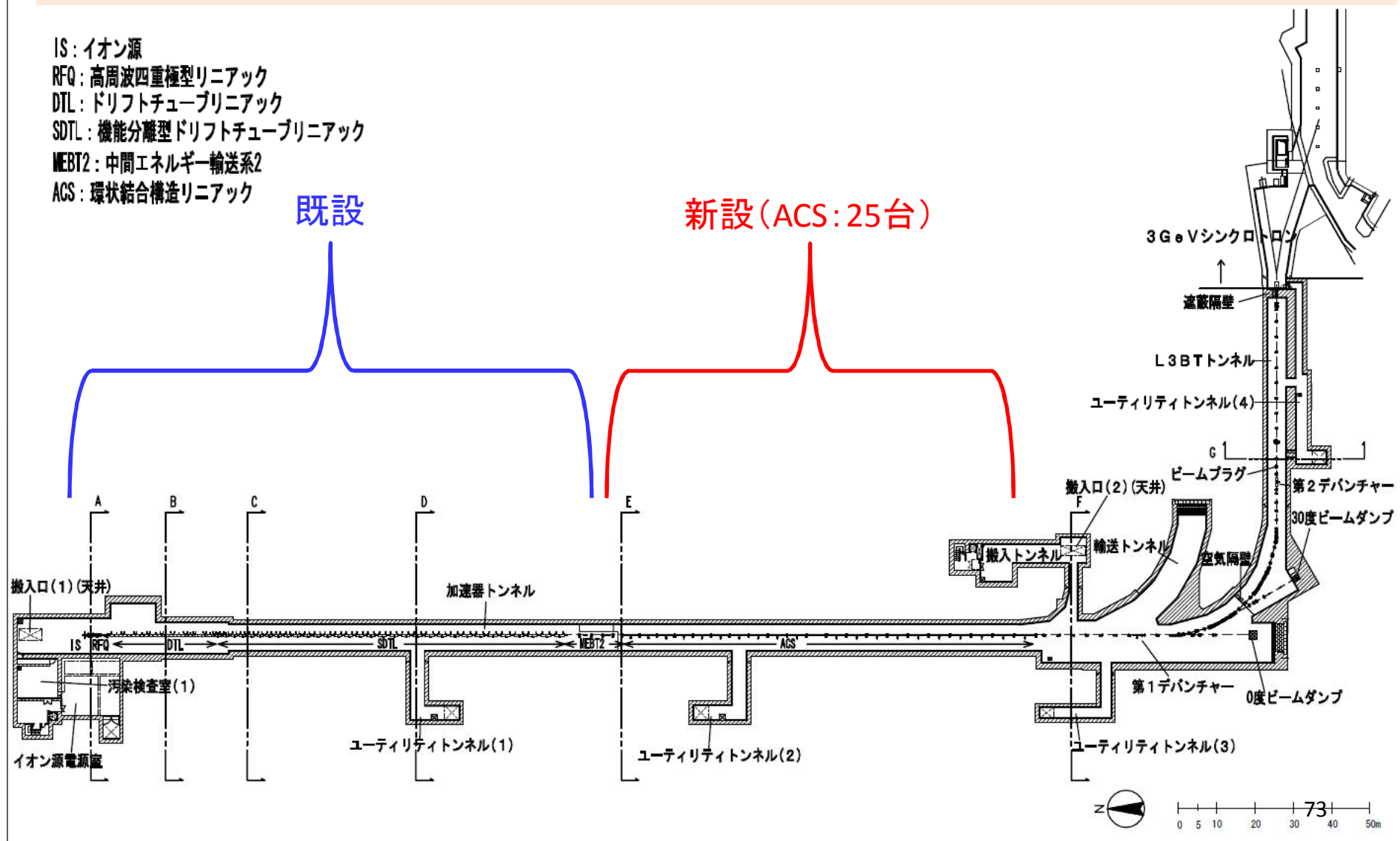
SDTL: 機能分離型ドリフトチューブリニアック

MEBT2: 中間エネルギー輸送系2

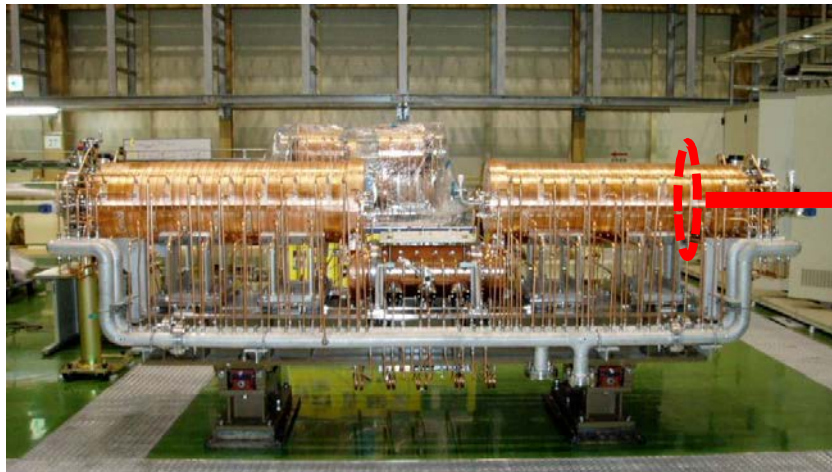
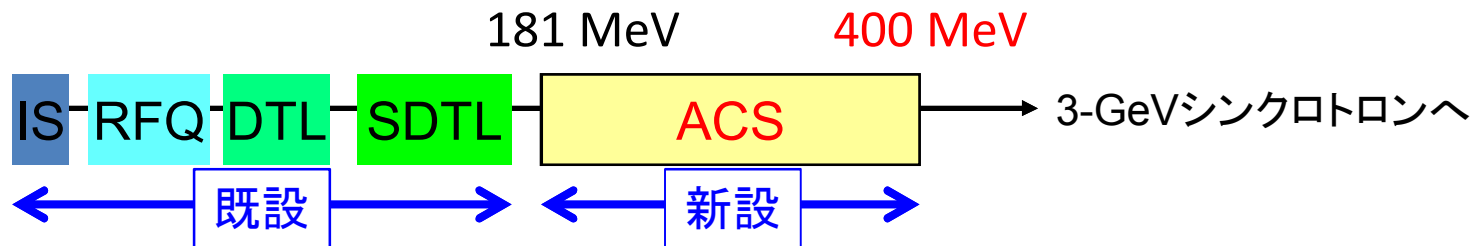
ACS: 環状結合構造リニアック

既設

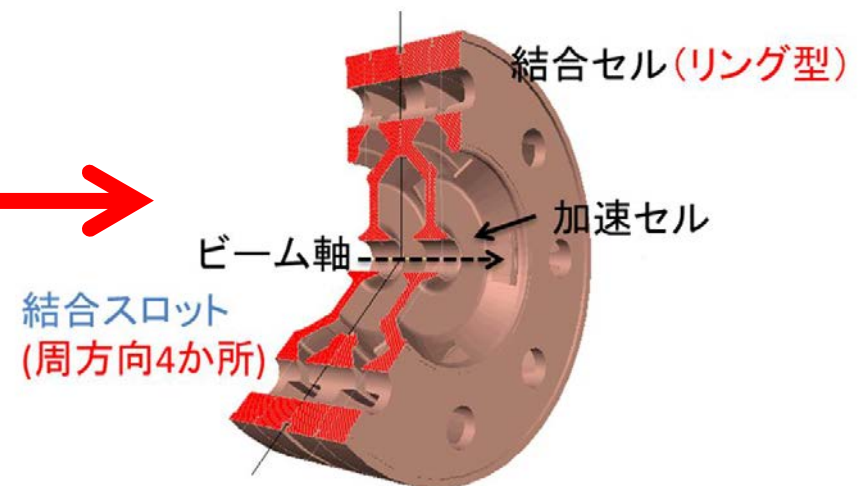
新設(ACS: 25台)



ACS (annular-ring coupled structure)




ACS空洞写真



J-PARCのような大強度陽子加速器では、ビーム損失の低減は重要な問題です。ビーム損失は、リニアックの陽子ビームエネルギーを高めることにより低減することが可能です。そこでJ-PARCでは、リニアックのエネルギーを現在の181 MeVから400 MeVへ増強することを計画しています。このビーム加速のために開発した加速空洞がACS型加速空洞です。

ACS型加速空洞は、他の空洞と比べ陽子ビームの広がりを抑えることができるため、ビーム損失を低減しつつ入射エネルギーを増強することが可能となります。

エネルギー増強時の実効線量評価値

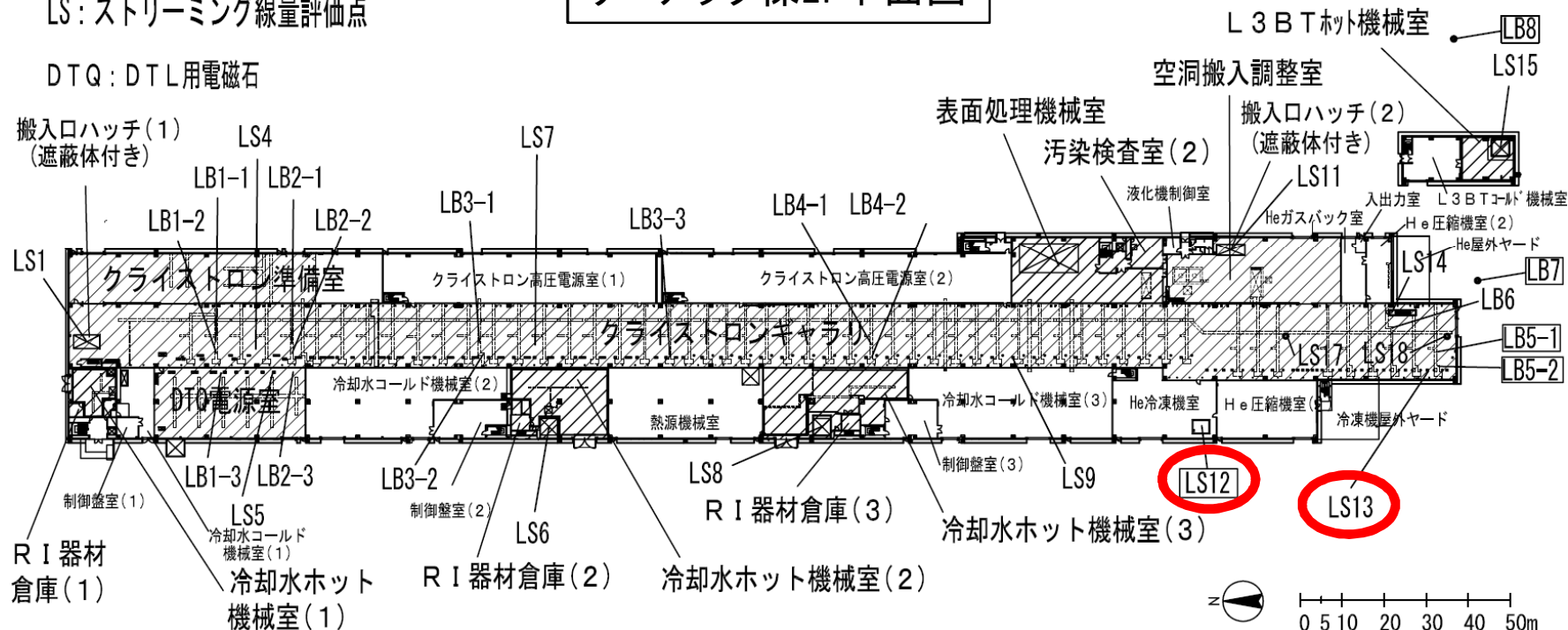
 管理区域

LB: 遮蔽体透過線量評価点

LS: ストリーミング線量評価点

DTQ: DTL用電磁石

リニアック棟1F平面図



■人の常時立ち入る管理区域に対する最大線量(評価点:LS13)

⇒ $14 \mu\text{Sv/h} \times 40\text{h/週} = 560\mu\text{Sv/週} < 1000\mu\text{Sv/週}$

(参考: エネルギー増強前は $224\mu\text{Sv/週}$)

■管理区域境界に対する最大線量(評価点:LS12)

⇒ $3.1 \times 10^{-1} \mu\text{Sv/h} \times 500\text{h/3月} = 155\mu\text{Sv/3月} < 1300\mu\text{Sv/3月}$

(参考: エネルギー増強前は $95\mu\text{Sv/3月}$)

作業の安全性について:

リニアックのエネルギー増強作業の内容は、ACS空洞25台の据え付けと高周波源との接続、ビーム収束用の四極電磁石21台、軌道補正用ステアリング磁石16台の据え付け、および関連する配線、配管などです。また、3GeVシンクロトロンでは入射エネルギーがかわりますので入射バンプ電源の交換を行います。これらの作業は、ビーム運転を行うものではありません。また、作業にあたっては、職員の安全意識の向上を図りながら、安全最優先で取り組んでまいります。

事故との関連について:

今回の事故の原因となったハドロン実験施設における金標的の損傷は、50GeVシンクロトロン「遅い取り出し」に用いられるEQ電磁石の誤作動によって短パルスビームが取り出されたために引き起こされたものです。J-PARCの加速器の中で「遅い取り出し」の機能を有するのは50GeVシンクロトロンだけであり、リニアックや3GeVシンクロトロンには「遅い取り出し」の機能はなくEQ電磁石に相当する機器も存在しません。

国への変更申請について:

今回のエネルギー増強では法令(障害防止法)に基づき国に対してエネルギーの変更申請を行います。ただし、リニアック棟の遮蔽体はもともと400 MeVを想定して設計されているため遮蔽体を変更する必要はありません。法令によると遮蔽体構造に変更がない場合は施設検査の対象にはならないため、今回のエネルギー増強も施設検査の対象にはなりません。

H25年度のMLFでの主な工事案件

- 1) 低速ミュオン実験装置の新設工事
- 2) 中性子実験装置BL06の分光器設置工事
- 3) 中性子実験装置BL22のビームライン設置工事
- 4) 中性子実験装置BL23の分光器設置工事
- 5) BL09建屋の増築工事

上記工事は、全てビーム運転停止期間中に二次ビームラインに関して実施するものであり、さらにシャッターやブロッカーにより放射線源から完全に遮断した状態で実施する。

従って、放射線安全上問題のない工事である。

4. 今後の対応 ー当面の作業ー

4-3. 教育訓練の実施計画, 組織体制の構築

安全文化醸成活動計画

- 8月29日 放射線業務従事者教育訓練
外部有識者の講演会
- 9月 安全スローガン宣言
安全カード配布
- 9月5日 自主防災訓練(原科研と合同)
- 9月13日 事故対応訓練(放射線事故想定:MLF)
- 11月 事故対応訓練(放射線事故想定:ニュートリノ)
ヒヤリハット活動
新安全管理体制スタート
- 12月 安全ポータルサイト開始
- 1月 安全訓話(安全担当副センター長)
- 2月 安全衛生教育(全職員対象)
非常事態総合訓練
現場意見交換会(ヒヤリハットを基に)
- 3月 自主防災訓練(大地震・津波想定)



안전 제일
Safety FIRST
não corra riscos



安全スローガン・安全カード

再生**J-PARC**は、新しい安全管理体制と安全審査体制を構築し、「安全無くして研究無し」という基本理念のもと、ユーザと共に

「安全な実験環境と世界的研究成果の創造」

を目指します。



安全カード

- + 放射線はクローズ、情報はオープン
- + 迅速な行動／決断は日頃の備えから
- + “オープンマインド”は研究と安全の基本
- + ひとりひとりの危機意識・みんなの安全

J-PARC安全ポータル

常に安全情報を発信し、組織全体に安全意識浸透をさせるために、職員及びユーザーが安全情報を確認できる安全ポータルサイトを新たに開始

新着情報	ガイダンス	規定類	事故、トラブル事	講演、教育	eラーニング	外部リンク
------	-------	-----	----------	-------	--------	-------

- 平成25年度第1回J-PARC放射線障害予防規程に基づくJ-PARCの放射線業務従事者
 - ・ 日時: 平成25年8月29日
 - ・ 会場: 原子力科学研究所
 - ・ 対象: ①JAEA職員の場合
 ②KEK職員の場合
 - ・ 講義項目: ……
- J-PARC事故対応訓練を実施

平成25年度のJ-PARC事故対応訓練を実施します。

 - ・ 日時: 平成25年9月13日(金)
 - ・ 発災場所: 物質・生命科学実験施設

安全教育・訓練

・安全教育

放射線安全：放射線業務従事者対象

法に定める事項

安全衛生：全職員対象

電気保安、クレーン、高圧ガス等

失敗学、ヒヤリハット(意見交換会)等

理解度確認

ユーザーを含めた教育



外部有識者講演会(昨年度)

・訓練

放射線事故想定

火災想定

大地震、津波想定

ユーザーを含めた訓練



津波避難訓練(昨年度)



火災想定訓練(昨年度)

赤字分が今回の事故を踏まえて新規に行う教育・訓練