



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

1

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

2

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



連携研究機関: 国内 東大・京大・東北大など21研究機関 国外 47研究機関

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
平成19年6月

中間評価
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研究」 a/c の評価

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24年6月 第3回 中間評価

平成24年度
(2012)

平成25年5月23日 ハドロン事故

ハドロン実験施設とは

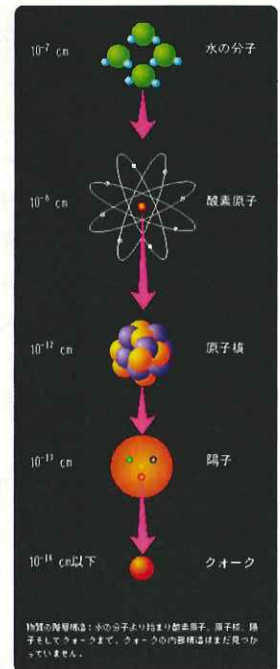
- 万物の根源が何かを調べる、素粒子や原子核の研究施設
 - 万物を構成する究極の要素が何であるか？
 - どのような力でそれらが結びつけられているか？
- 平成16(2004)年度から建設を開始
 - 平成21(2009)年1月に完成、陽子ビームの受け入れを開始
 - 調整作業の後、平成22(2010)年1月から本格的に実験を開始

施設外観

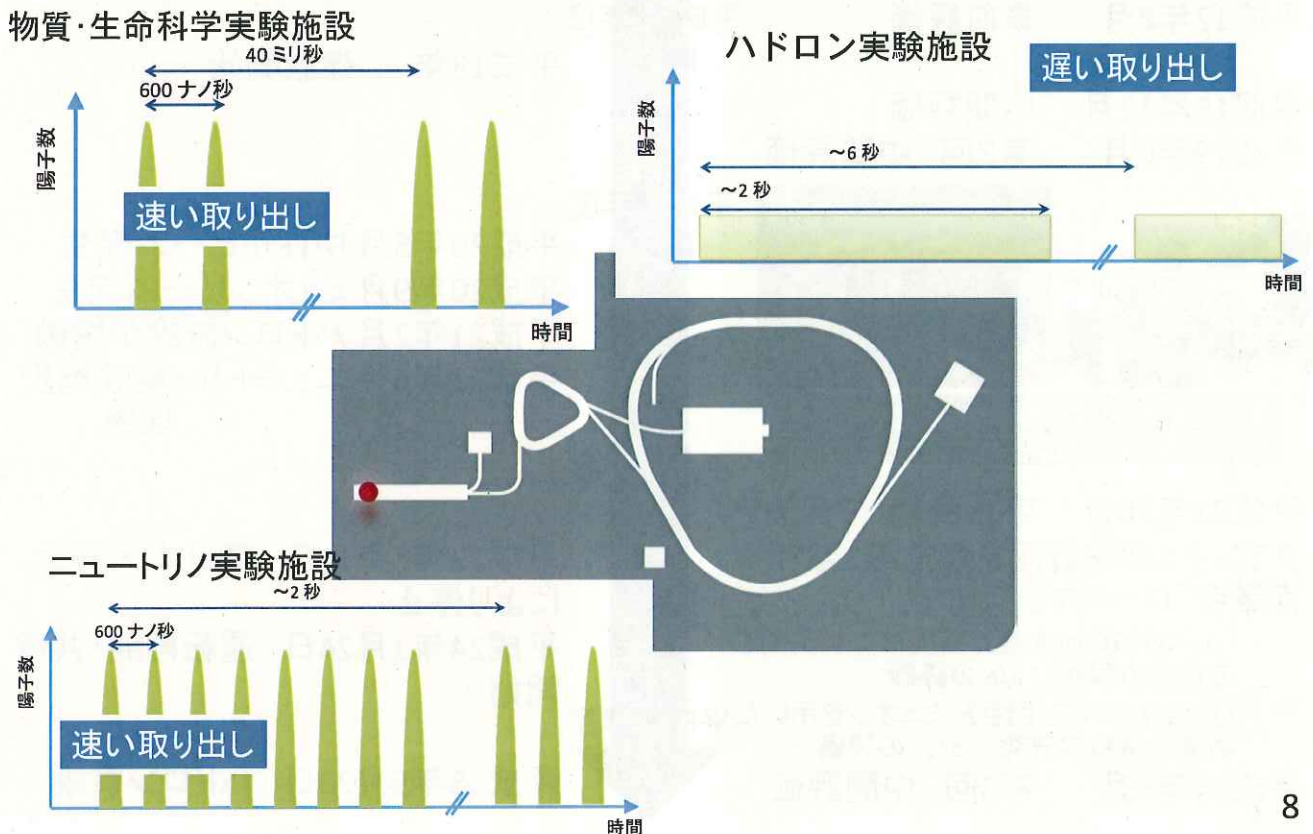


ハドロン実験ホール:
 実験が行われる建物のことで、幅60m、長さ56m、高さは地上16m、地下6mの半地下構造

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



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

9

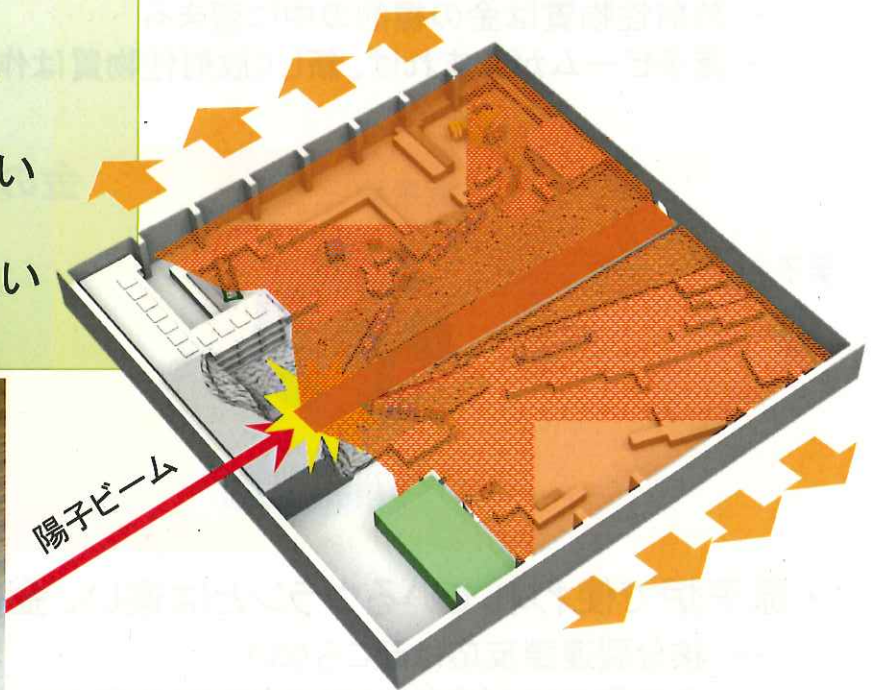
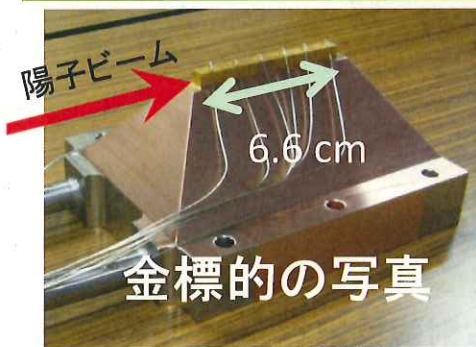
1. ハドロン実験施設における放射性物質漏えい事故の概要

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

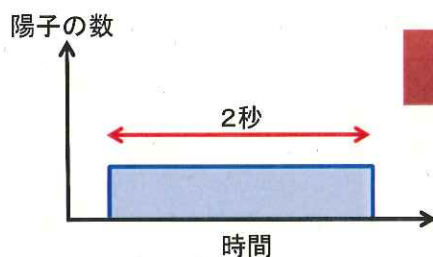


11

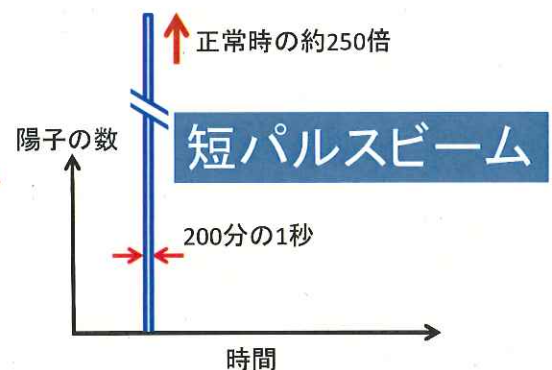
異常なビーム

- 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

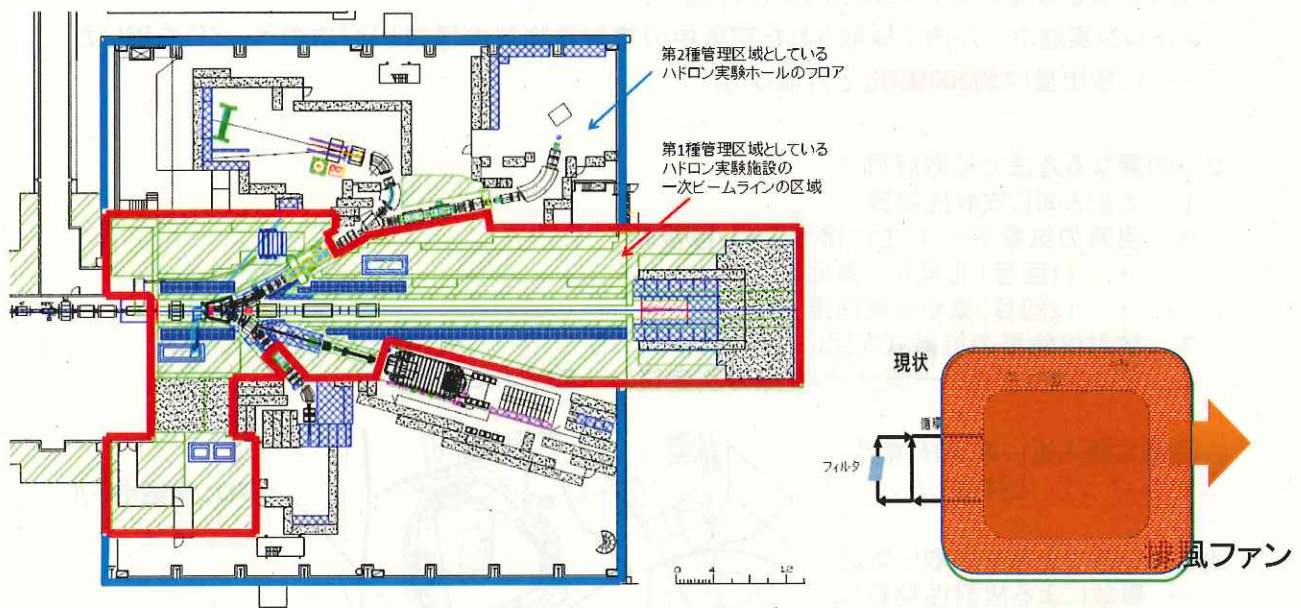


誤動作



12

ハド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

13

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

14

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		

17

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

18

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

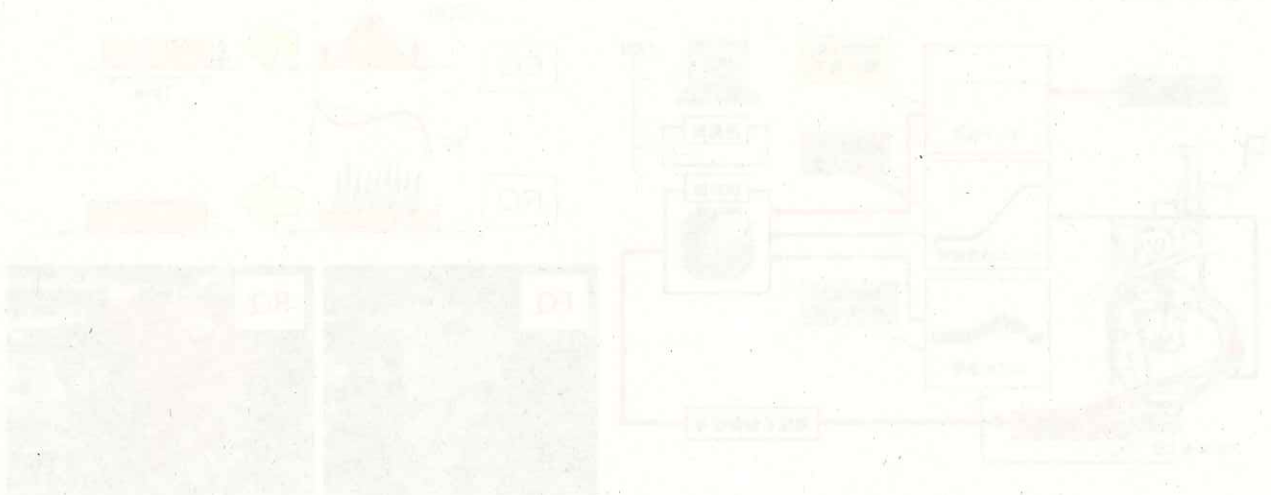
問題	課題	対策
放射性物質の漏えい	電磁石の誤作動	・過電流防止などインターロック強化 ・インターロック高速化
	気密の不備	・標的容器の気密化 ・1次ビームライン室の気密強化
	排気設備の不備	ハドロン実験ホール内の排気は監視しながらフィルタを通して実施
通報の遅れ	—	—
作業者の被ばく	放射線アラームの不備	J-PARC施設の放射線を監視するモニタの強化

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

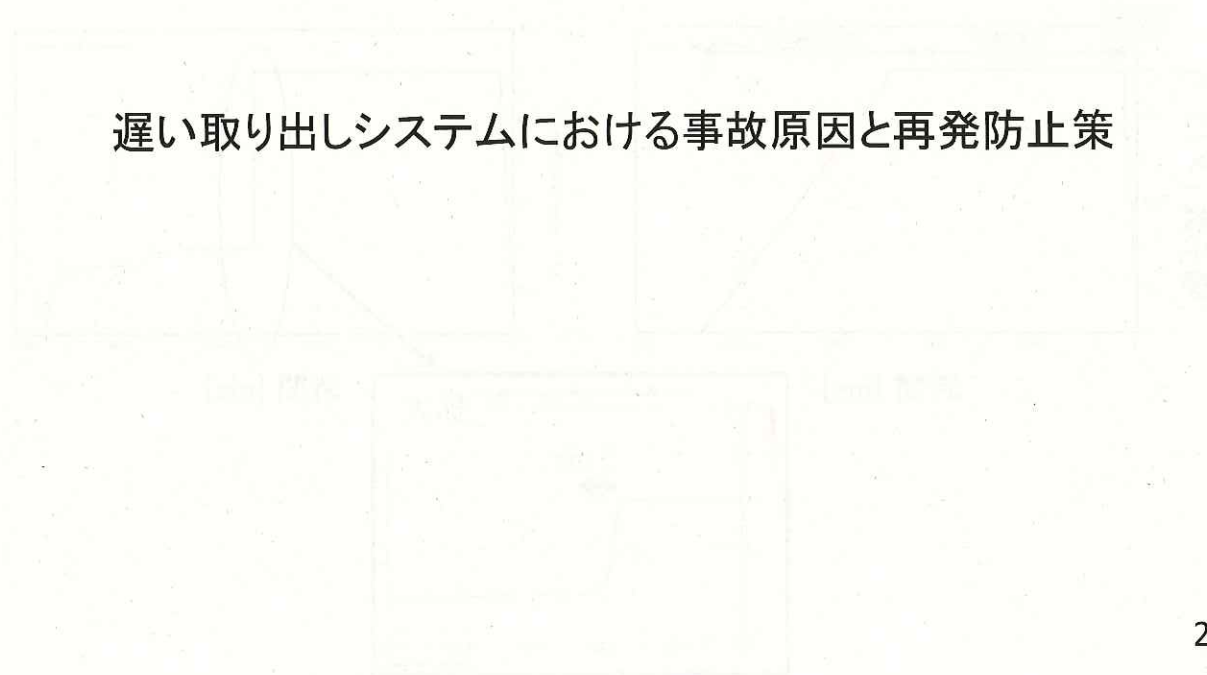
問題	課題	対策
放射性物質の漏えい	安全評価体制が不十分	放射線安全評価体制の強化
	判断基準の不備	異常対応体制の見直し(注意体制の導入) 運転マニュアルの整備
	運転再開手順の不備	運転マニュアルの整備
通報の遅れ	情報集約不足	異常対応体制の見直し(注意体制の導入)
	判断基準の不備	異常対応体制の見直し(注意体制の導入) 運転マニュアルの整備
	法令解釈の誤り	異常対応体制の見直し(注意体制の導入) 安全を統括する副センター長の配置
	指揮体制の不備	異常対応体制の見直し(注意体制の導入) 安全を統括する副センター長の配置
作業者の被ばく	避難基準の不備	異常対応体制の見直し(注意体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



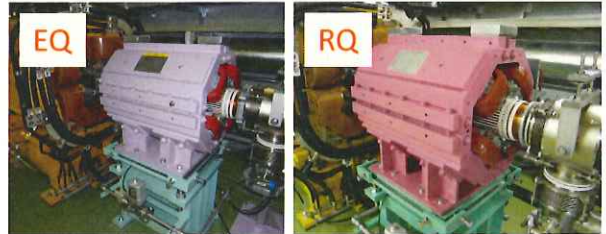
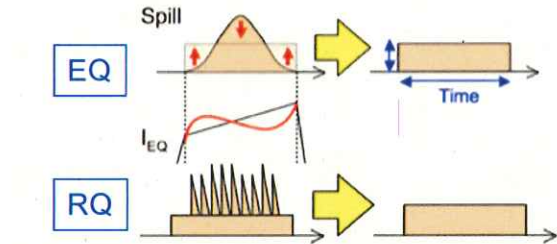
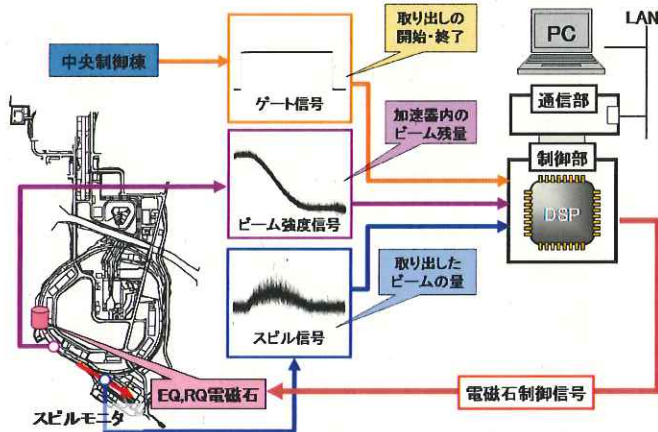
遅い取り出しシステムにおける事故原因と再発防止策



遅い取り出し法とスピルフィードバック

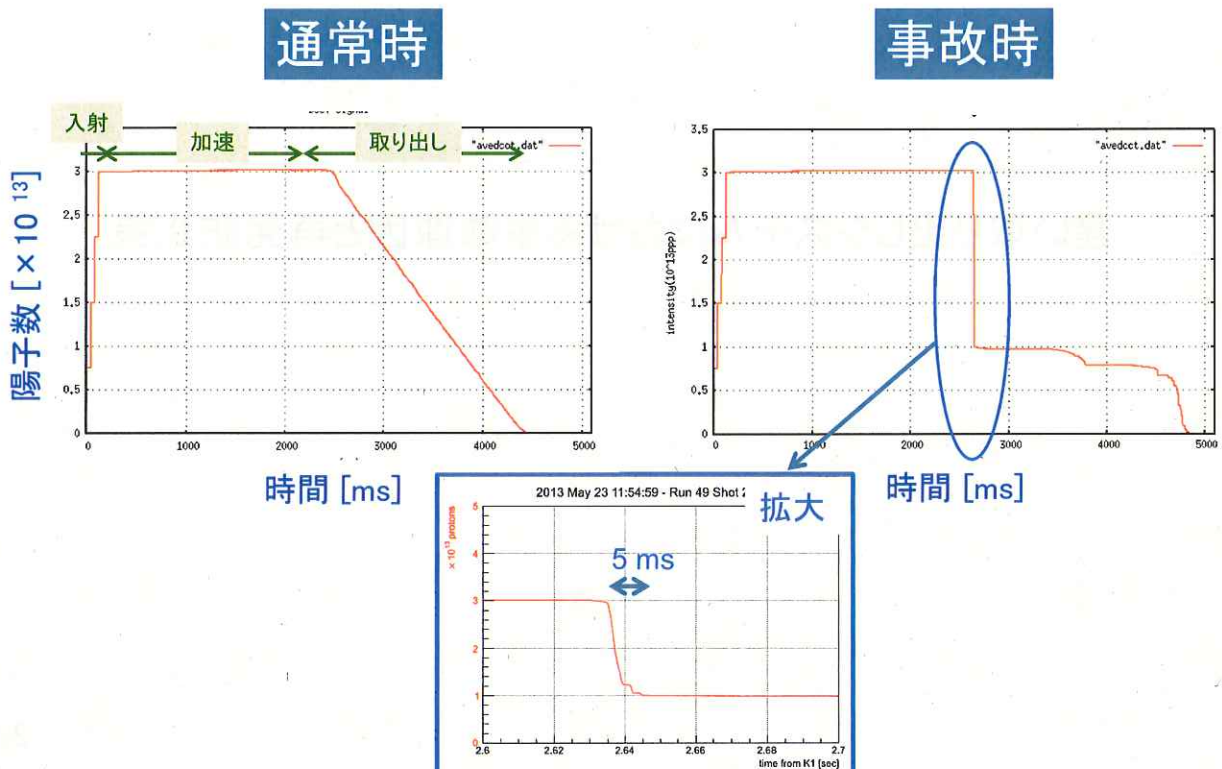
遅い取り出し:シンクロトロンを周回する陽子ビームはベータatron振動とよばれる横振動をしながら周回している。遅い取り出しは、この振動の共鳴現象を使ってビームサイズを広げ、広がったビームを外側から削り出すように徐々に取り出す手法である。

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。

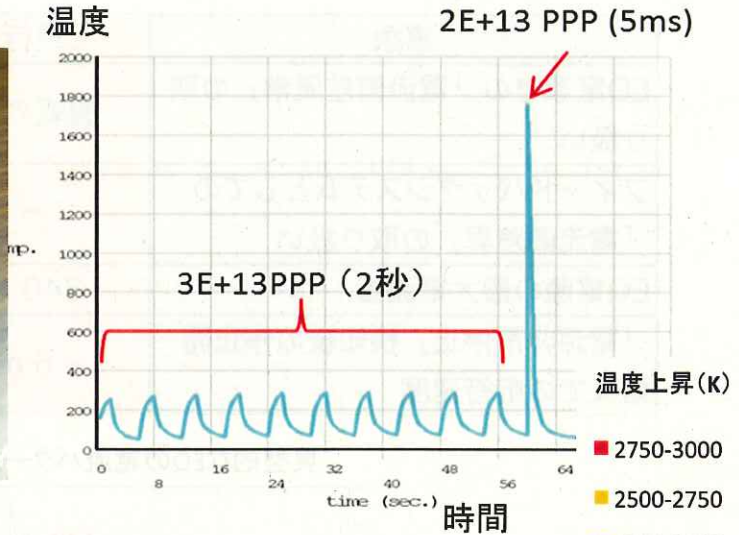
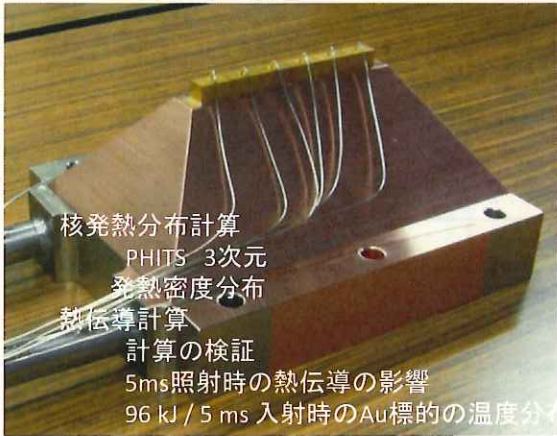


通常時と事故時のショットの比較

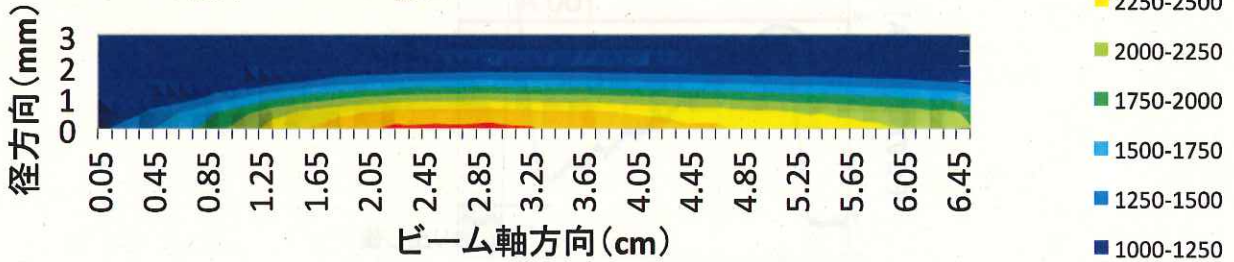
DCCT (DC current transformer)によって測定された50GeVシンクロトロンを周回するビームの強度(陽子数)の時間変化



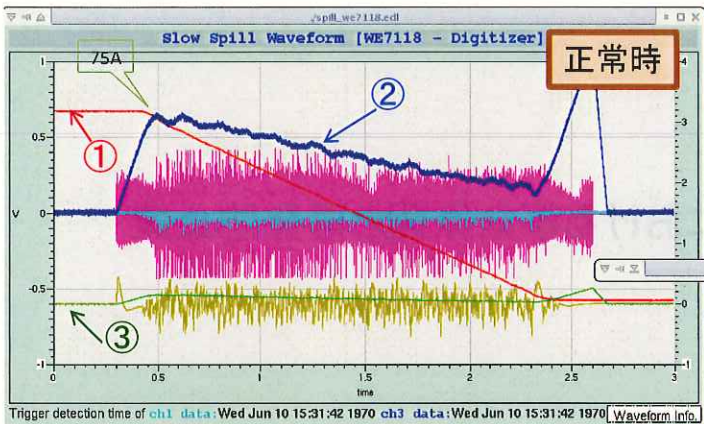
標的溫度(シミュレーション)



$\sigma = 0.6$ mmの陽子ビームの場合

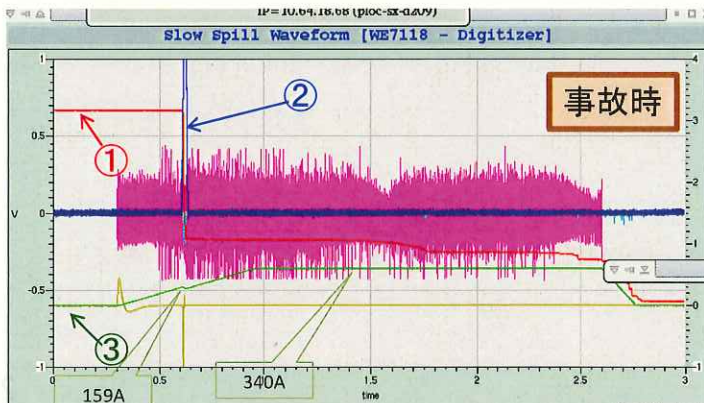


EQシステムの誤作動



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スプール制御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

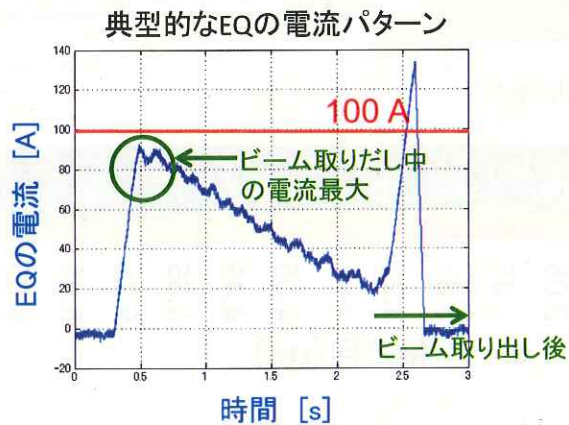
- ・取り出し開始から約0.3秒間、指令値に 응답しない。
- ・約0.3秒後に 응답が回復する。電源制御部は159Aのステップ指令として応答している。その際に、「過電圧」と「電流偏差異常(トラッキングエラー)」の機器保護信号(MPS)が発報している。

○調査状況

- ・その後の調査で、159A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



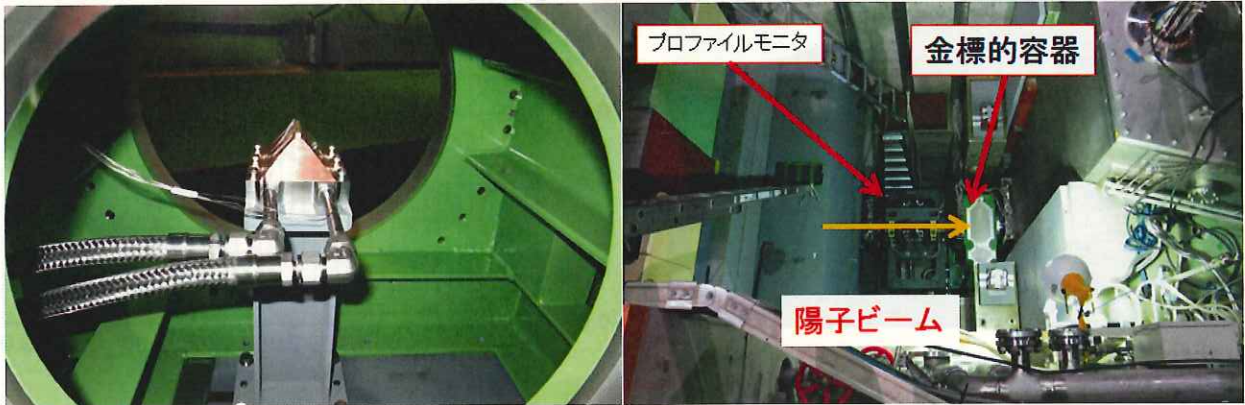
27

ハドロン実験施設における事故原因と再発防止策

28

放射性物質の飛散：一次ビームラインへの漏えい

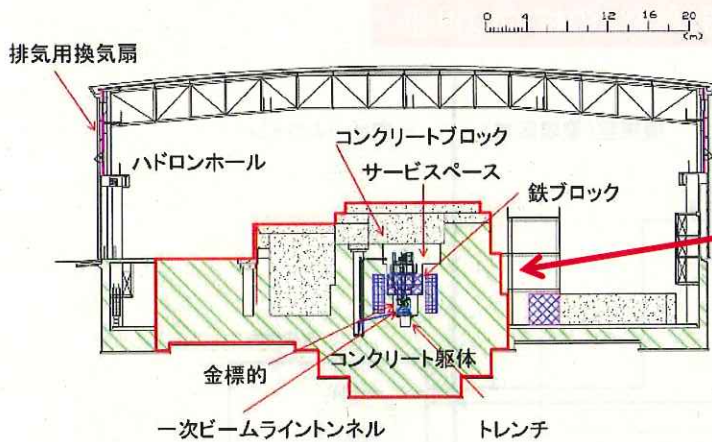
標的の破損により放出された放射性物質がコンクリート遮蔽壁の内部空間に広がった。標的容器は密閉されていなかった。



29

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



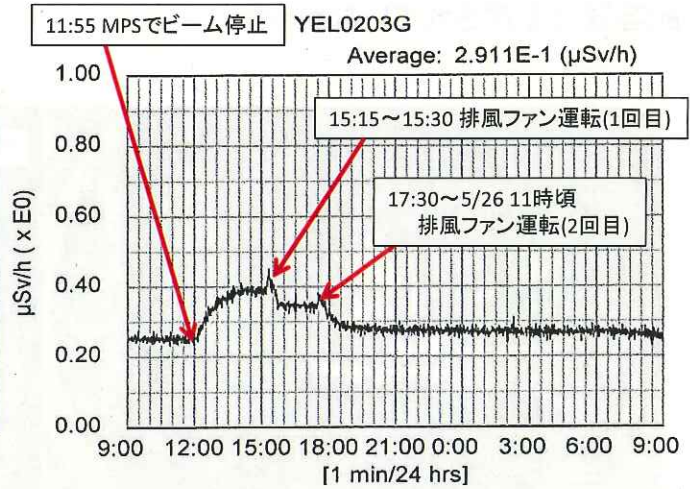
遮蔽壁の外観

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。

30

ハドロン実験施設外への漏えい

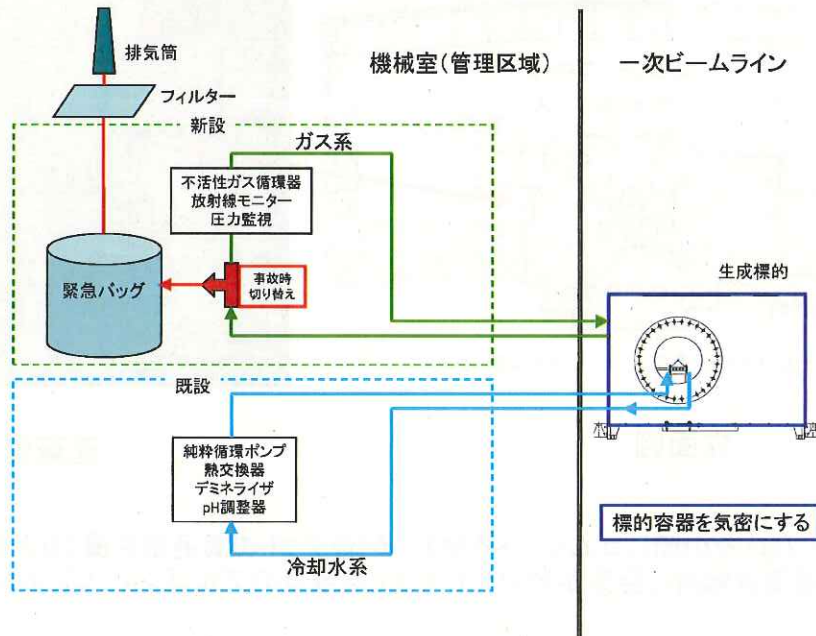
ハドロン実験ホール内の放射性物質が排風ファンをまわしたことにより施設外へ漏えいした。



- 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。

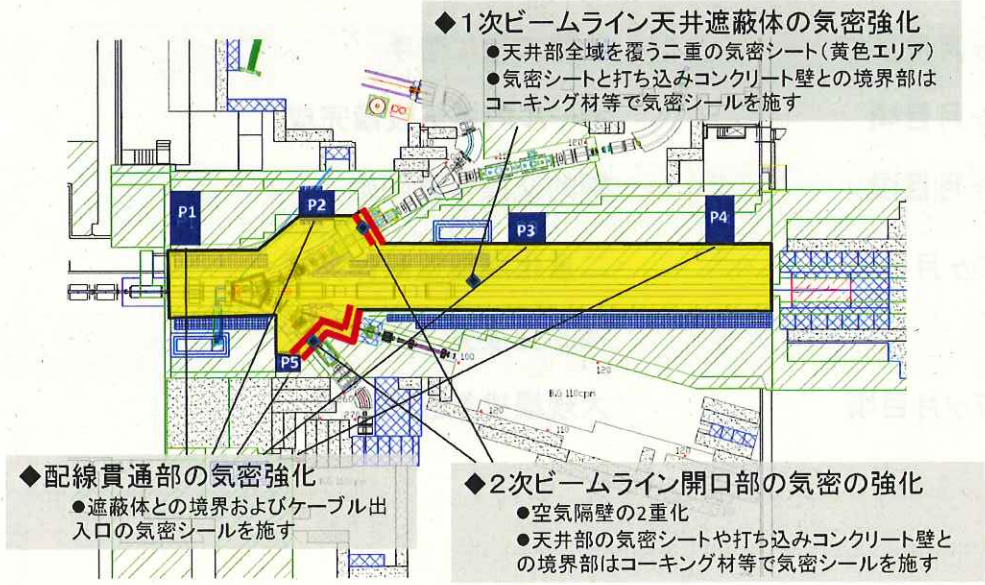
標的装置の気密化と監視

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



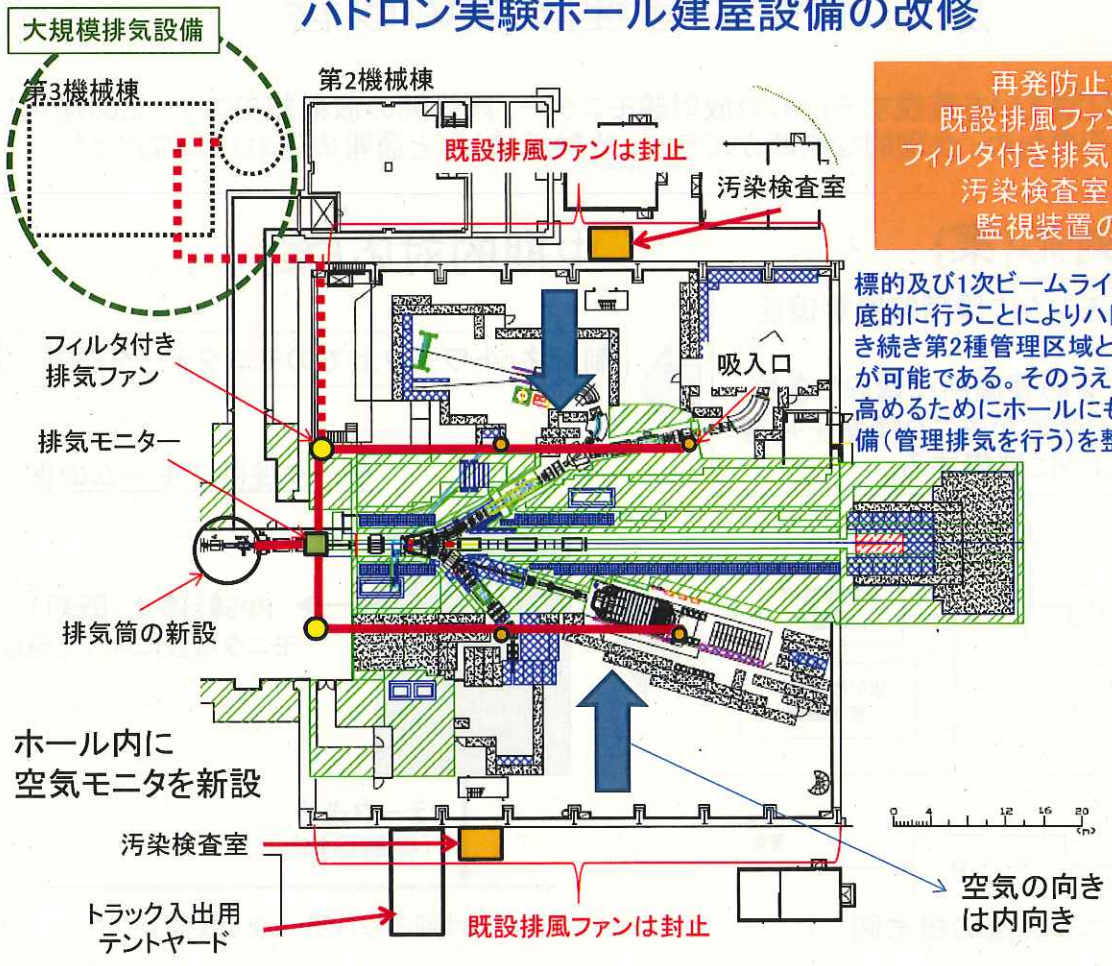
1次ビームライン室の気密強化

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

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



標的及び1次ビームラインの気密化を徹底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。

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

35

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。

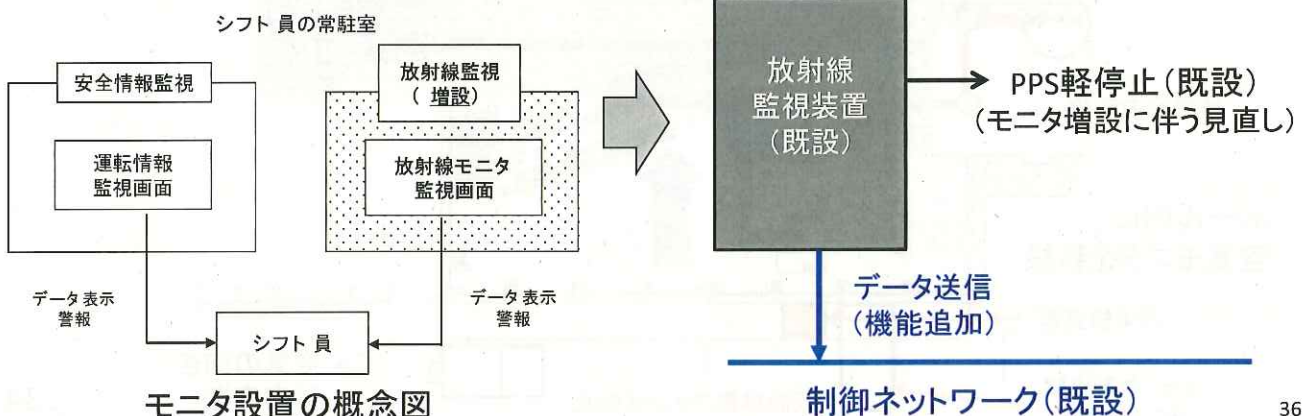
当面の対応(案)

- 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



36

2. 事故の原因と再発防止策

2-2. 安全管理体制

37

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
作業員の被ばく	<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

明確な指揮命令系統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

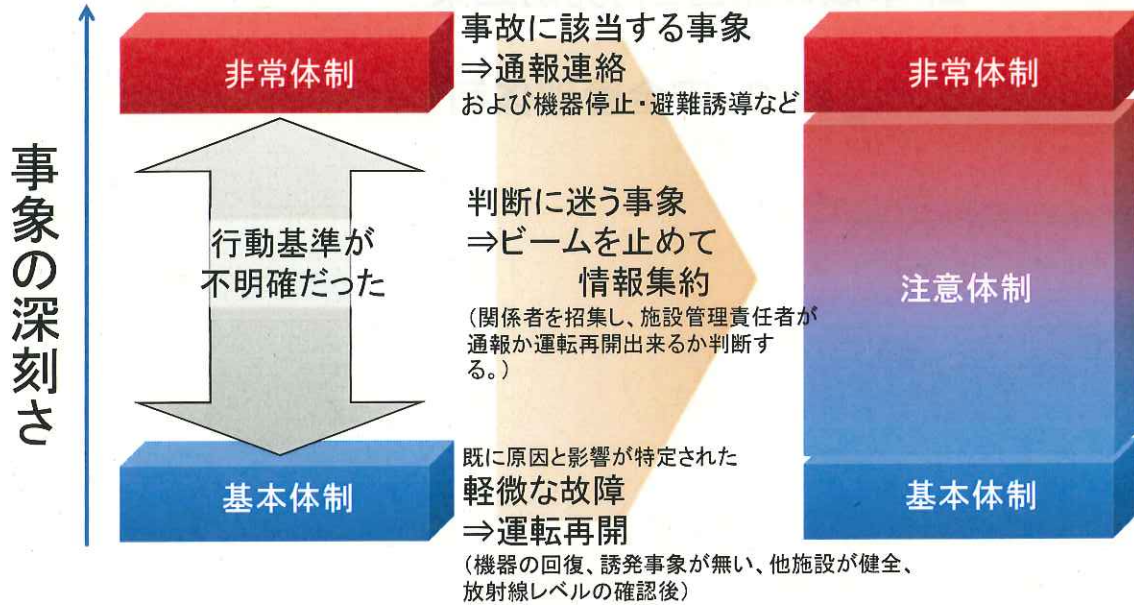
b. 放射線安全評価体制の強化

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 ³⁸

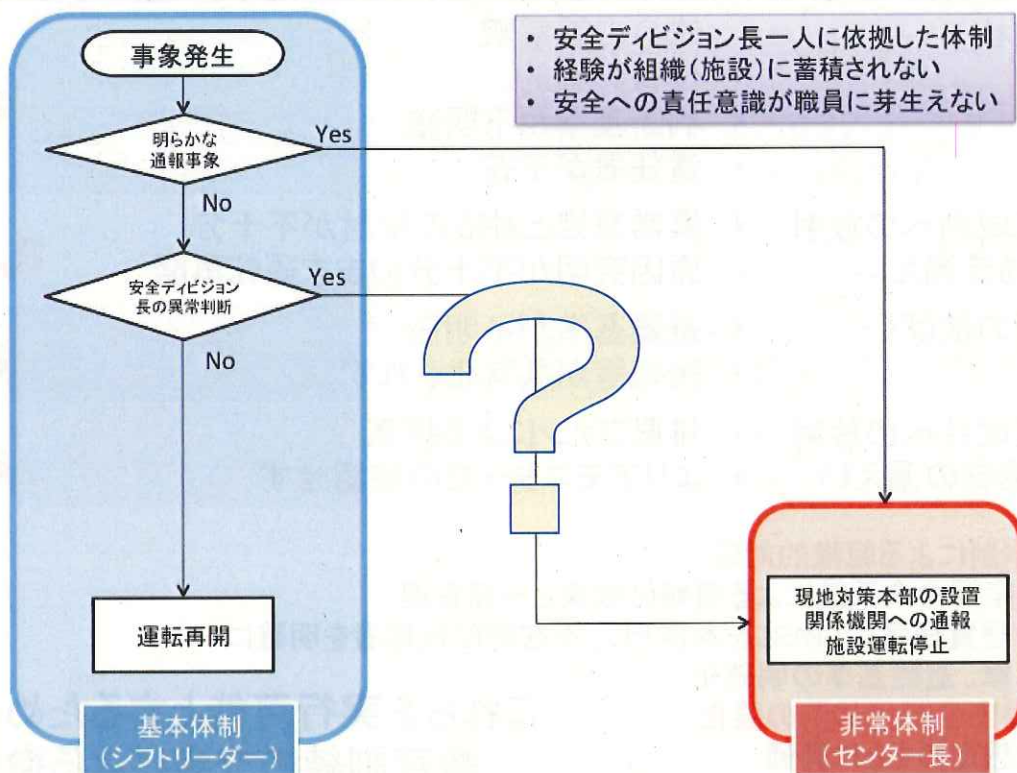
新たに導入した異常事態発生時の対応体制

- 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



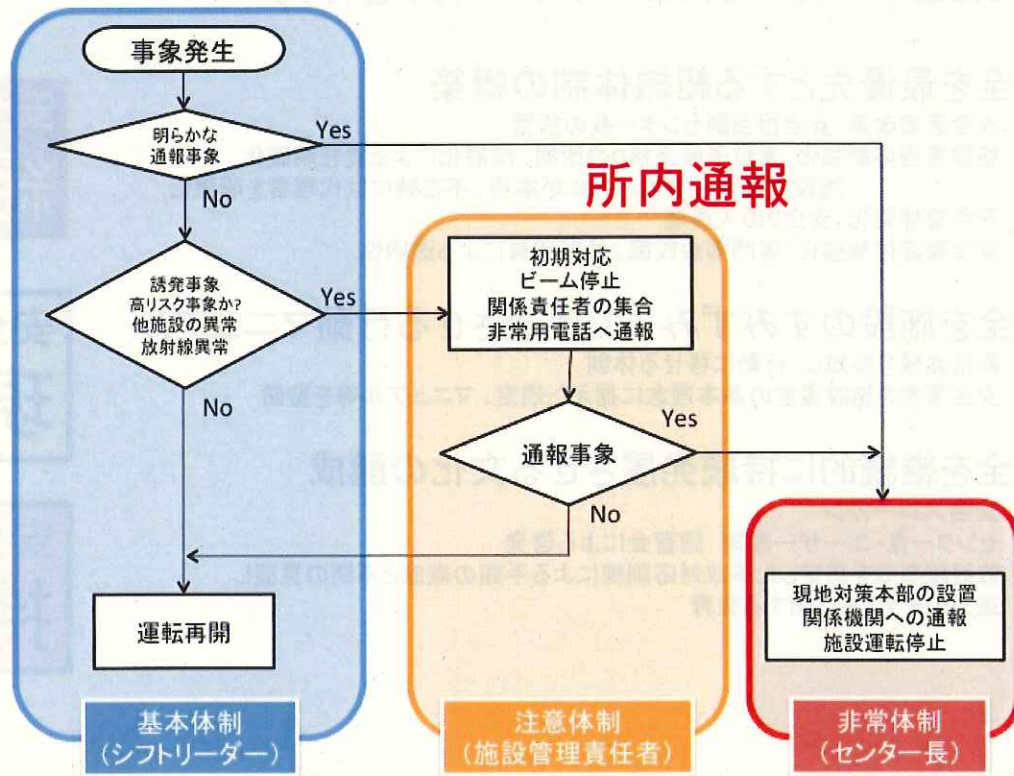
39

異常発生! (改善前)



40

異常発生! (改善後)



41

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 【各施設】 ・運転員、 装置担当者	シフトリーダ
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】	・施設管理責任者 【中央制御棟】 ・施設関係者
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。

42

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

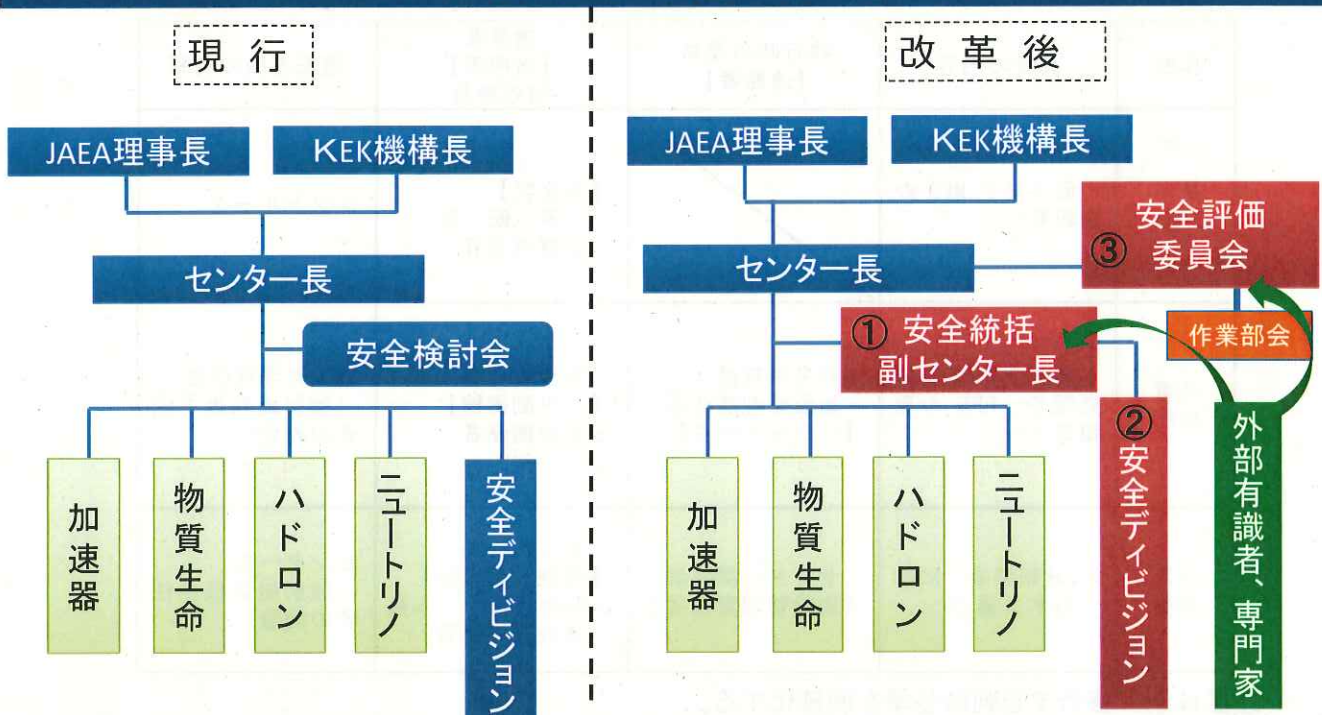
安全な
現場

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

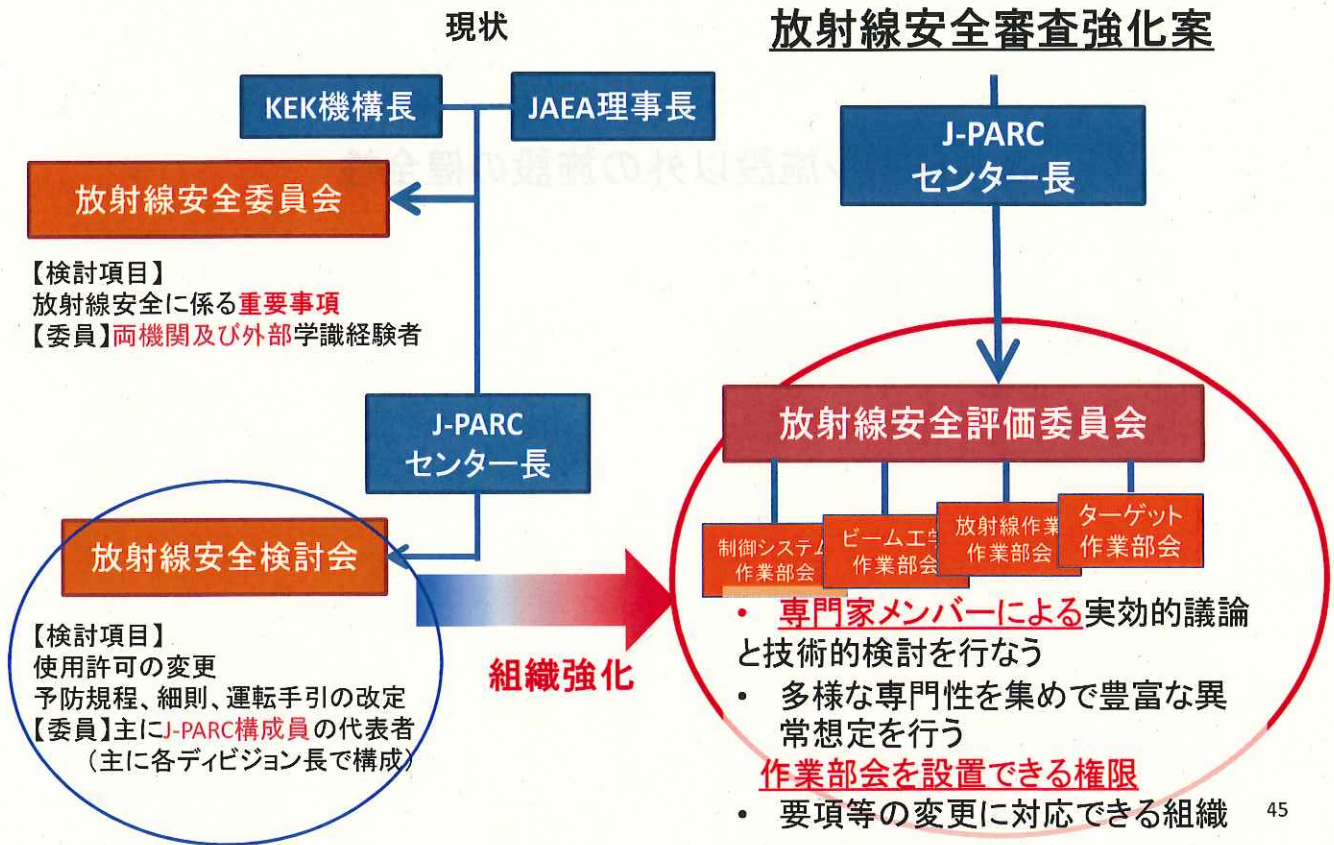
安全の
持続

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



両機関が支える J-ARCの安全とサイエンス

宇宙・物質・生命・エネルギー

