

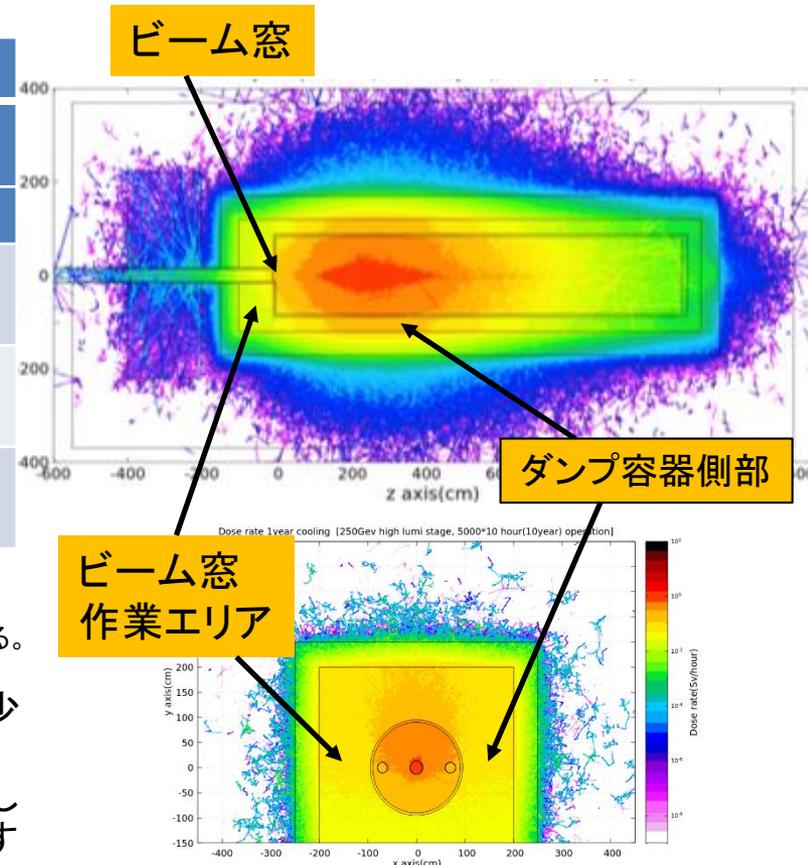
## 第2ビームダンプは有効か

ビームダンプは1TeVを想定して設計された。250GeV ILCでは尤度もあり運転に問題ないと考えている。しかしながら、万が一、ダンプ本体を含めた重故障が生じた場合、ビーム停止後の線量が高く、修理に数年を要するケースも想定しうる。**第2ビームダンプを置く場所をあらかじめ用意しておくことは、対応の多様性を確保することとなり、有効であると考えている。**

運転期間	ビーム停止後の作業空間の線量 (mSv/h)					
	上段:ビーム窓 下段:ビーム窓作業エリア(1m)			上段:容器側部 最大(約2m奥) 下段:容器側部 最小(端部)		
	1ヶ月	1年	5年	1ヶ月	1年	5年
1年	105 14	18 3	1 0.2	157 1	32 0.2	2 0.01
5年	130 23	30 7	3 0.8	207 0.9	56 0.4	4 0.03
20年	140 25	35 8	5 1	211 1	60 0.5	8 0.05

FLUKAでのシミュレーション:ビームエネルギー125GeV、年間5000時間運転を仮定。作業で人が立ち入る可能性があるとした空間の線量を示している。それ以外では、ダンプ容器上部(床から2.4m)が高く、約2m奥で最大500mSv/hとなる。

- ビームダンプの重故障時は、原因の把握や修復準備など少なくとも1ヶ月以上の期間を要すると考える。
- ビーム停止後の線量レベルが高くなってからの重故障に対して、第2ダンプを導入。第1ダンプは線量が下がるまで保持する。5年以内には第1ダンプが対応可能な線量レベルになると見積もっている。



シミュレーションでは、ダンプまわりの作業空間線量を評価することを目的としているため、ダンプ室は簡略化している。

【さらに確認すべき点】ビームダンプ異常時のセパレーションのためのゲートバルブが誤作動して閉まった場合、ビームが直撃することになるが、その場合に何が起こるか。

ゲートバルブが締まるには数十msの時間が必要である。ゲートバルブが動き始めた時点で接点信号が異常を検知し、ビーム取り出しを停止する。ビームは200ms毎に1ms程度の幅を持つ(9/13分科会資料1P.33)が、締まり始めてビームを止めればビームがバルブにあたることはない。また、SuperKEKBでは入射器などで100台以上のゲートバルブが(30年以上)運用されているが、バルブの誤作動によりビームが当たったという事例はない。

ビームダンプ異常時のセパレーションのためのゲートバルブが誤作動して閉まった場合、ビームが直撃することになるが、その場合に何が起こるか。

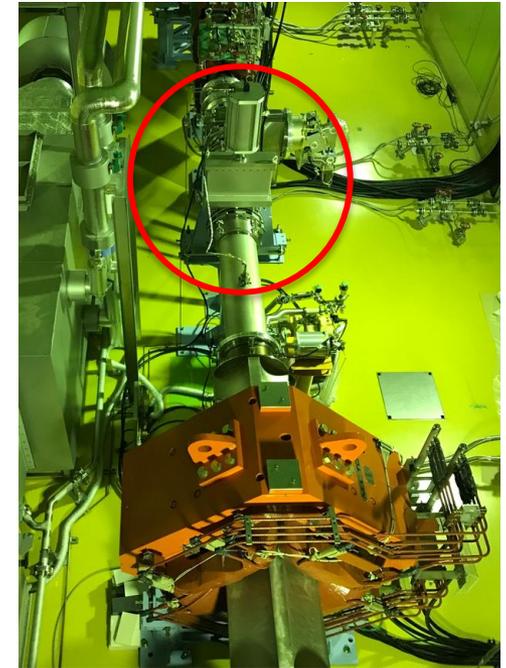
- ゲートバルブには開・閉それぞれの位置に接点があり、その信号をビーム輸送条件に組み込む。これは放射線安全管理としても多くの加速器で行なわれていることである。
- **バルブが数ミリも動けばビーム停止信号が発せられる。バルブ先端がビーム軸上に達するまで(移動距離は150mm、10ミリ秒以上)には十分に長い時間があり、ビームは停止しておりゲートバルブを直撃することはない。**
- SuperKEKBでは入射器などで100台以上のゲートバルブが(30年以上)運用されているが、バルブの誤作動によりビームが当たったという事例はない。

- 万が一、直撃する場合を評価しても、ビームスイープにより1312バンチでの最高温度は80°Cに留まり損傷の恐れはない。
- ビームスイープが止まればそれ自身でビーム停止・アポートとなるが、その際通過する50バンチ(一点照射)でも最高温度150°Cとなり損傷の恐れはない。なお、融点を超えてピンホールが空くまでには470バンチと評価する。
- バルブ板はステンレス、厚み1cm、冷却無しを仮定し、ビームの大きさとし、スイープ半径はダンプ窓上での1/2と仮定した。



F.特殊用途バルブ(加速器、シンクロトロン用)

日本学術会議(2018/10/02)



大型ゲートバルブの例: J-PARC MLF

## 【さらに確認すべき点】巨大総合システムとしてのILC

ILCは電子・陽電子を5GeVダンピングリングで周回させ、直線加速器で125GeVまで加速するシンプルな構造である。LHCでは線形加速器、シンクロトロンブースター、SPSを経てLHCに入射される複雑な構造を取る。J-PARCでもミュオン・中性子、原子核・ニュートリノ実験用にビームを振り分ける複雑な構造である。LHCやJ-PARC, SuperKEKB (9/13分科会資料1P.98)の運転経験から加速器システムとしては問題ないと考えている。

## 【さらに確認すべき点】インターロックの体系と、それらの相互タイミング設定

加速器は放射線発生装置として原子力規制委員会に申請され、安全系を含めて審議される。インターロックの種類によって、ビーム停止、機器停止などがある(9/13分科会資料1P.13)が、実際の運転の前にも安全ロジックの実地検査など厳しい審査を受ける(9/13分科会資料1P.9)。

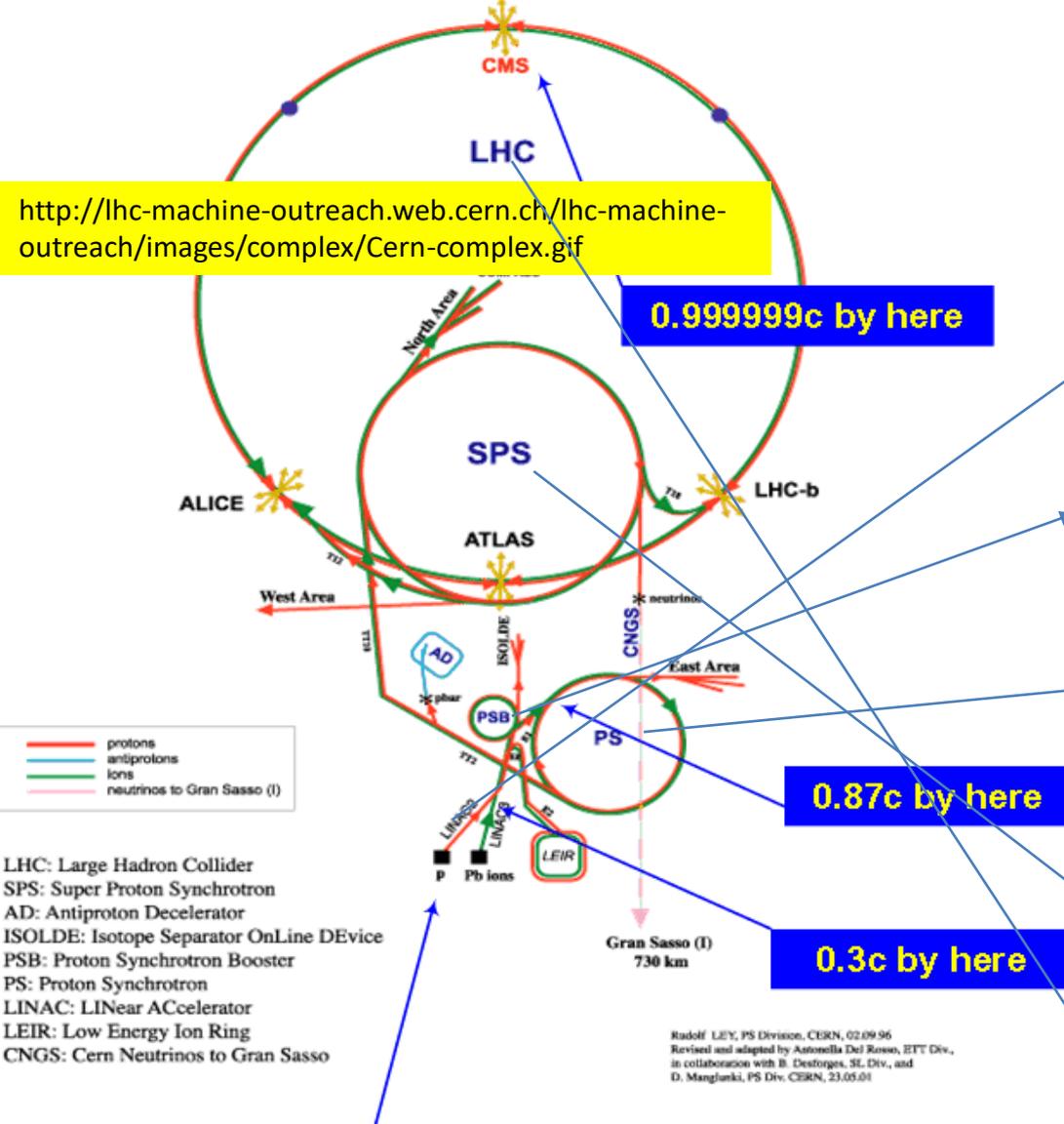
# 大型加速器システム：CERN

CERN Accelerators  
(not to scale)



<http://lhc-machine-outreach.web.cern.ch/lhc-machine-outreach/images/complex/Cern-complex.gif>  
[http://lhc-machine-outreach.web.cern.ch/lhc-machine-outreach/lhc\\_in\\_pictures.htm](http://lhc-machine-outreach.web.cern.ch/lhc-machine-outreach/lhc_in_pictures.htm)

<http://lhc-machine-outreach.web.cern.ch/lhc-machine-outreach/images/complex/Cern-complex.gif>



0.999999c by here

0.87c by here

0.3c by here

Start the protons out here

Linac2: プロトンを50MeVまで加速  
→ PSBへ入射

PSB(プロトンシンクロトロンブースター):  
周回させながら1.4GeVまで加速  
→ PSB出射してPSへ入射

PS(プロトンシンクロトロン):  
周回させながら25GeVまで加速  
→PS出射してSPSへ入射

SPS(スーパープロトンシンクロトロン):  
周回させながら450GeVまで加速  
→SPS出射してLHCへ入射(ここまで~4分)

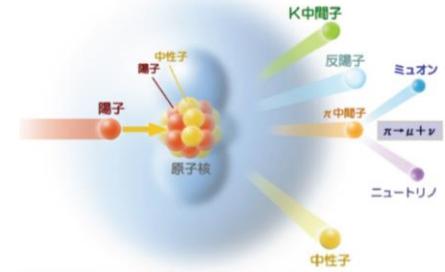
LHC: 周回しながら6.5TeVまで加速(~20分)

Radolf LEY, PS Division, CERN, 02.09.96  
Revised and adapted by Antonella Del Rosso, ETT Div.,  
in collaboration with B. Destorges, SL Div., and  
D. Manglunki, PS Div. CERN, 23.05.01

# 大型加速器システム: J-PARC

[http://www.j-parc.jp/images/J-PARC\\_1j.jpg](http://www.j-parc.jp/images/J-PARC_1j.jpg)

J-PARC 施設  
 (日本原子力研究開発機構と  
 高エネルギー加速器研究機構の  
 共同事業)  
 2009年7月16日鳥瞰図



速い取り出し\*  
 ニュートリノビーム  
 (神岡へ)

物質・生命科学実験施設

速い取り出し\*

遅い取り出し\*

ハドロン実験施設

速い取り出し: 周回ビームを1周の間に取り出す。  
 遅い取り出し: 2秒程度かけてゆっくりビームを取り出す。  
 RCSのほとんどはMLFに。2.5秒ごとにニュートリノ実験、  
 5.2秒ごとにハドロン実験のためMR入射  
 MLFでは中性子・ミュオンの2つのターゲットに入射

高エネルギーの陽子加速器は目的に応じて自動的に目的の利用に振り分けられている。

平成19年度ビーム  
 平成20年度ビーム  
 平成21年度ビーム

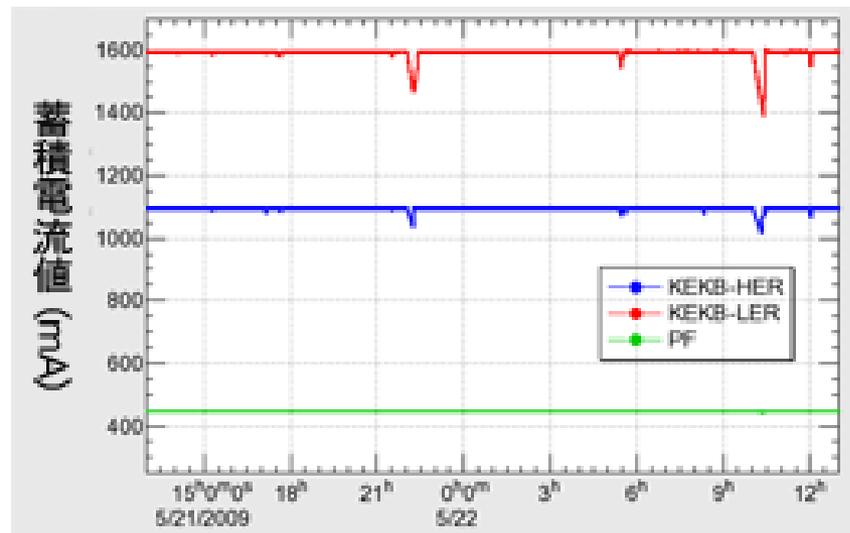
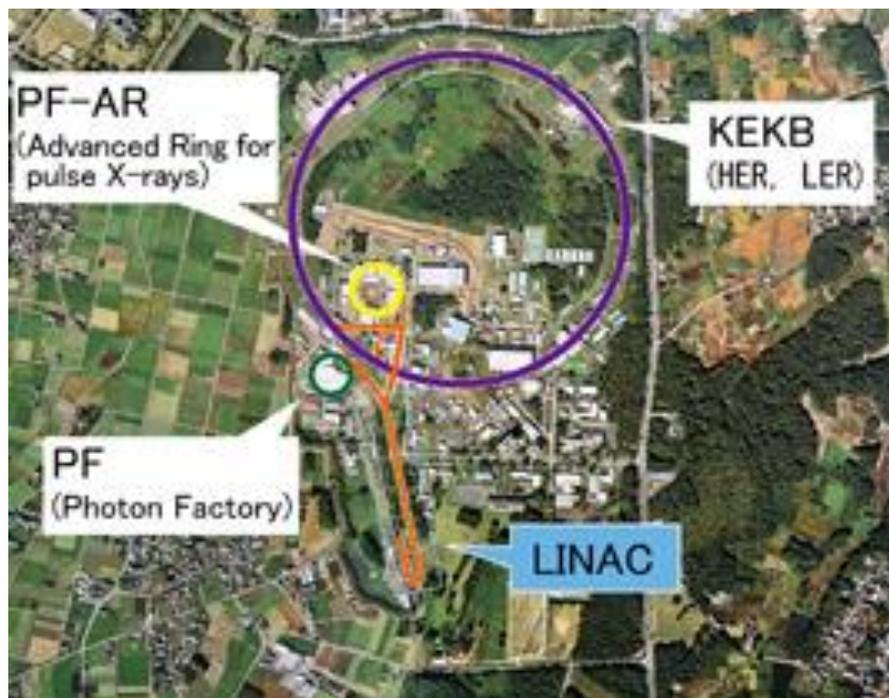
2014年11月のパラメータ  
<https://j-parc.jp/researcher/Acc/ja/index.html>

	LINAC	RCS	MR
運転エネルギー	400 MeV	3 GeV	30 GeV
運転周期	40ミリ秒 (25 Hz)	40ミリ秒 (25 Hz)	2.5 - 6.0秒
運転時電流	30 mA x 500 μs	90 μA(平均)	8 μA(平均)
運転時ビームパワー	最大約130kW <small>日本学術会議 (2018/10/02)</small>	約300 kW	約240 kW

# SuperKEKB入射器

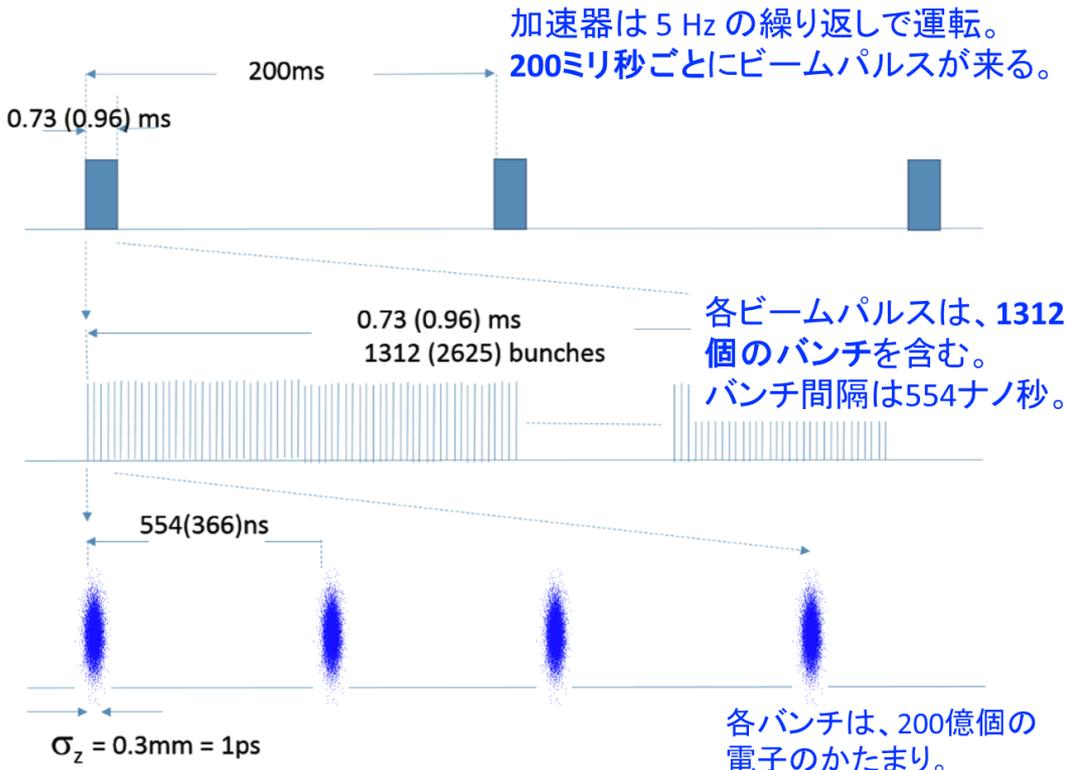
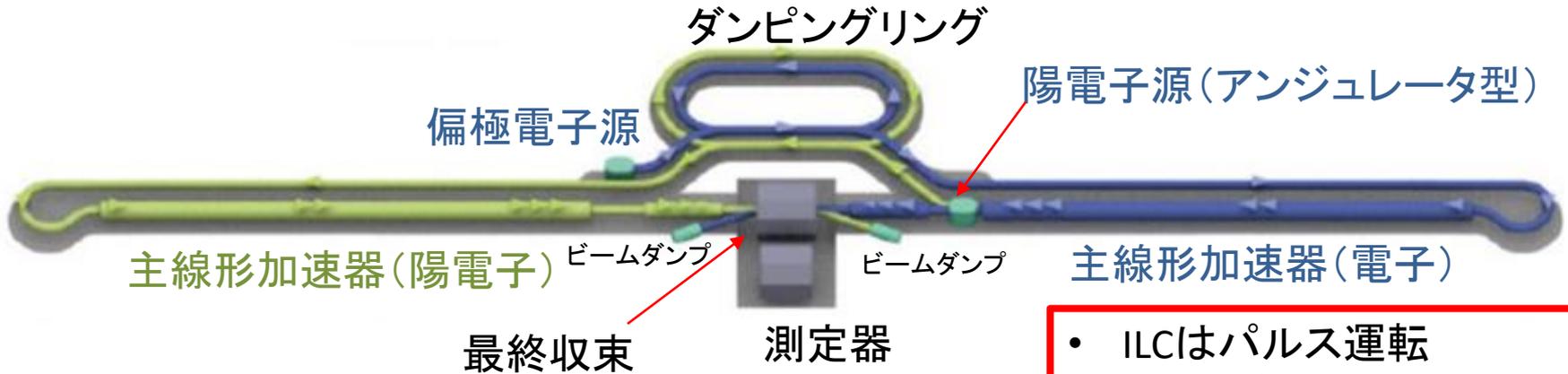
KEKB(1998-2009)では、最上流の電子・陽電子入射器から4つのリングにビームを供給している。

このうち、放射光施設、KEKB-ハイエナジーリング、KEKB-ローエナジーリングにはパルスごとにビーム供給を切り替える入射(「同時入射」)が定常的に行われていた。



「同時入射」の際の各リングのビーム電流。KEKBリングのくぼみはKEKBの状態が変わったことによる。

# ILC加速器システム



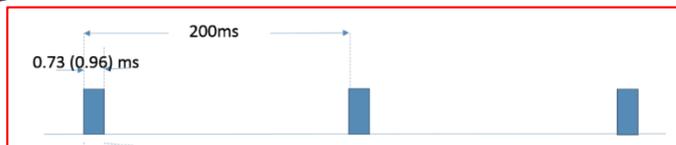
- ILCはパルス運転 (5Hz、約0.7ms)
- ビームはダンピングリングで平行度を高めた後、加速・衝突実験・ビームダンプへの単ルート。
- ビームモニター等で異常があった場合はビーム停止。
- 加速器は放射線発生装置として原子力規制委員会に申請され、安全系を含めて審議される。
- 実際の運転の前にも安全ロジックの実地検査など厳しい審査を受ける。

# システム異常時の停止

ダンピングリングでは、

- 1312個のバンチを蓄積、
- 0.554マイクロ秒間隔で順次取り出す。

先頭のバンチがビームダンプに到達した時点で、リングにはまだ1180個のバンチが残っている。



ダンピングリングまで2.5km、  
停止信号は12.5マイクロ秒後に到達  
ビーム取り出しを停止

DR → RTML → ML → IP  
→ Dump まで22 km:  
132個のバンチが存在

ビームアポートシステム  
まで2.5km  
停止信号は12.5マイクロ秒後  
に到達。

**ビームアポート作動。**  
この間、約50個のバンチが通過。  
それ以後のバンチは400kWダンプへ。

400kW  
ダンプ

ビームダンプ

異常検知  
停止信号発報

## 【さらに確認すべき点】トリチウム等放射性物質を含む一次冷却水の漏水が起こった場合の対処法

ビーム窓破損の際には一次冷却水はビームパイプ中に漏れ、上流側に多重化されたゲートバルブで遮断する(9/13分科会資料1P.7)。ビームダンプ循環水施設室の一次冷却水を取り扱う区域には堰を設け、万一漏水が起こった場合にも、一次冷却水が堰の中に留まるようにする。一次冷却水は回収し、保管する。室内空気の放射能濃度が高い場合は除湿器により回収し、立ち入り前のモニタリングで安全を確保する(9/13分科会資料1P.8)。