

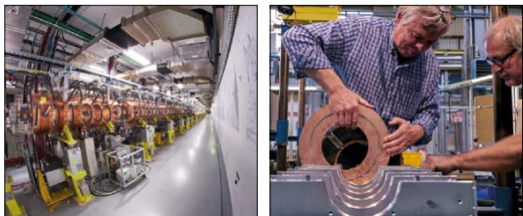
HL-LHC

LHC luminosity upgrade accelerates

CERN has recently implemented two important steps towards the High Luminosity LHC (HL-LHC) – an upgrade that will increase the intensity of the LHC's collisions significantly from the early 2020s. Preparing CERN's existing accelerator complex to cope with more intense proton beams presents several challenges, in particular concerning the system that injects protons into the LHC.

At a ceremony on 9 May, a major new linear accelerator, Linac 4, was inaugurated. Replacing Linac 2, which had been in service since 1978, it is CERN's newest accelerator acquisition since the LHC and is due to feed the accelerator complex with higher-energy particle beams. After an extensive testing period, Linac 4 will be connected to the existing infrastructure during the long technical shutdown in 2019/2020.

To cope with the higher-intensity and higher-energy beams emerging from Linac 4, the Proton Synchrotron Booster (PSB), which is the second accelerator of the LHC injector chain, will be completely



(Left) A view of the PI-Mode Structure (PIMS) cavities, which will accelerate the Linac 4 beam from 100 to 160 MeV. (Right) Mauro Paoluzzi, project leader for the PSB RF overhaul, with one of the FINEMET cavities that will allow more intense beams.

overhauled during that same period. At the beginning of June, the first radio-frequency cavity of the new PSB acceleration system was completed, with a further 27 under assembly. The new cavities are based on a composite magnetic material called FINEMET developed by Hitachi Metals, which allows them to operate with a large

bandwidth and means that a single cavity can cover all necessary frequency bands. The PSB cavity project was launched in 2012 in collaboration with KEK in Japan, and involved intensive testing at CERN. KEK contributed a substantial fraction of the FINEMET cores and shared its experience with similar technology.

CERN NEUTRINO PLATFORM

Bulletin

for the CERN Community

Printable version
Issue No. 29-30/2017
Tuesday 18 July 2017

Updates Opinion Official communications Announcements Events Staff Association

A NEW ACCELERATION SYSTEM FOR THE PS BOOSTER

A WORD FROM ECKHARD ELSEN

EPS-HEP 2017 – a landmark conference

My congratulations go to the organisers of EPS-HEP 2017, which took place in Venice last week. It was an excellent conference, covering a great range of topics with a programme that led to one clear conclusion: the various disciplines that make up fundamental physics are coming closer and closer together ...

[more >](#)

LIU(LHC入射器アップグレード)-RFの現状と CERNメイラン地区加速器の広帯域化

Status of LIU (LHC Injector Upgrade) RF collaboration and wideband cavities in CERN Meyrin campus accelerators

大森 千広 (KEK/J-PARC), Paoluzzi Mauro (CERN),

田村 文彦 (JAEA/J-PARC),

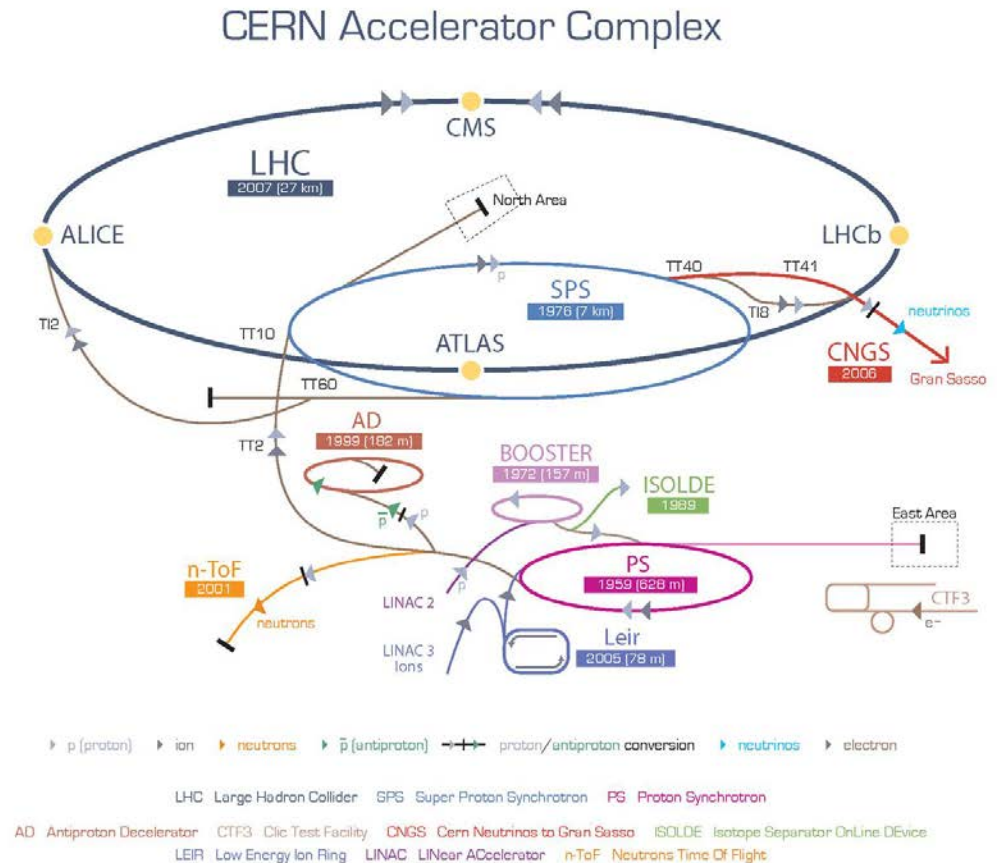
長谷川 豪志, 杉山 泰之、吉井 正人 (KEK/J-PARC)

contents

- LIU (LHC 入射器アップグレード)とは
- LIU-RFへの日本の貢献
 - PSB
 - PS
- CERNメイラン地区加速器の広帯域化

LIUとは

- LHCのルミノシティを向上させる
➡HiLumi LHC計画
- LIU: HiLumi LHCに必要な、LHC入射器のアップグレード計画
- 例えばPSBでは
 - RFの強化、交換
 - 負水素イオン入射
 - 2GeV取り出し



LIU-RF collaboration

PSBの加速空洞の広帯域化の検討(フェライト空洞のバックアップ)

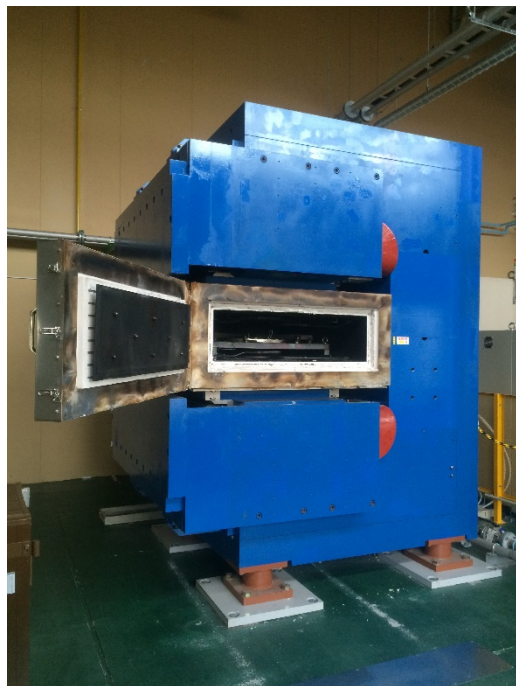
- J-PARCとPSBでのビーム試験、広帯域空洞を駆動する半導体アンプの放射線照射試験を経て**PSBのフェライト空洞の置き換え**
- 2016年より量産開始

PSの縦方向結合バンチ不安定性対策の広帯域空洞の検討

- 2014年からダンパー空洞試験⇒良好な結果
- 加速器学会では
 - 2014年:「LHC入射器アップグレードのためのラドモンを使った半導体の放射線損傷試験」
 - 2015年:「LHC入射器アップグレードのためのPSB空洞とダンパー空洞の国際共同研究」

PSB広帯域空洞

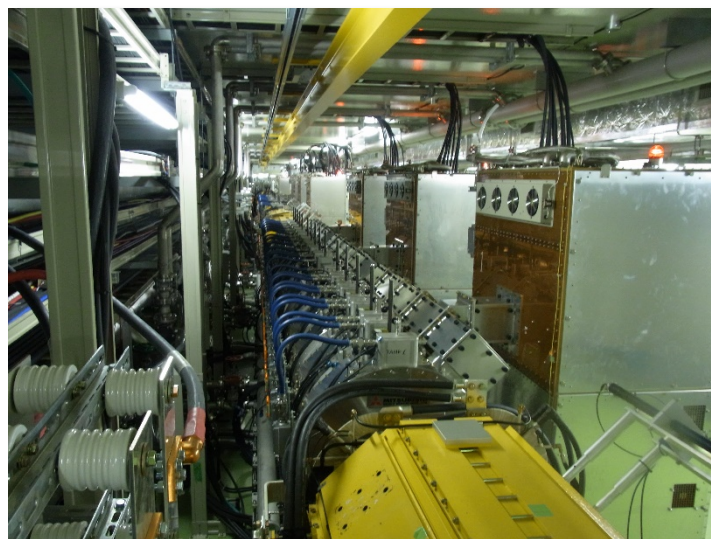
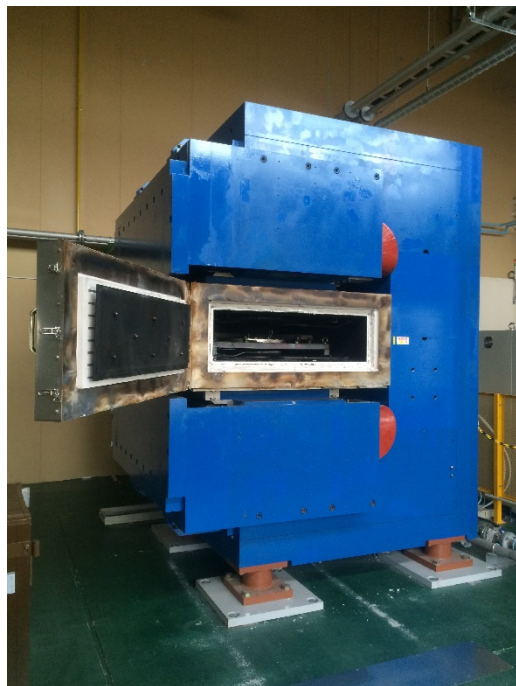
- J-PARC MRの高繰り返し化のために開発した金属磁性体(Magnetic Alloy)-ファインメット®FT3L空洞技術を応用



J-PARCで開発した磁場中熱処理装置で熱処理したFT3Lリングを使用

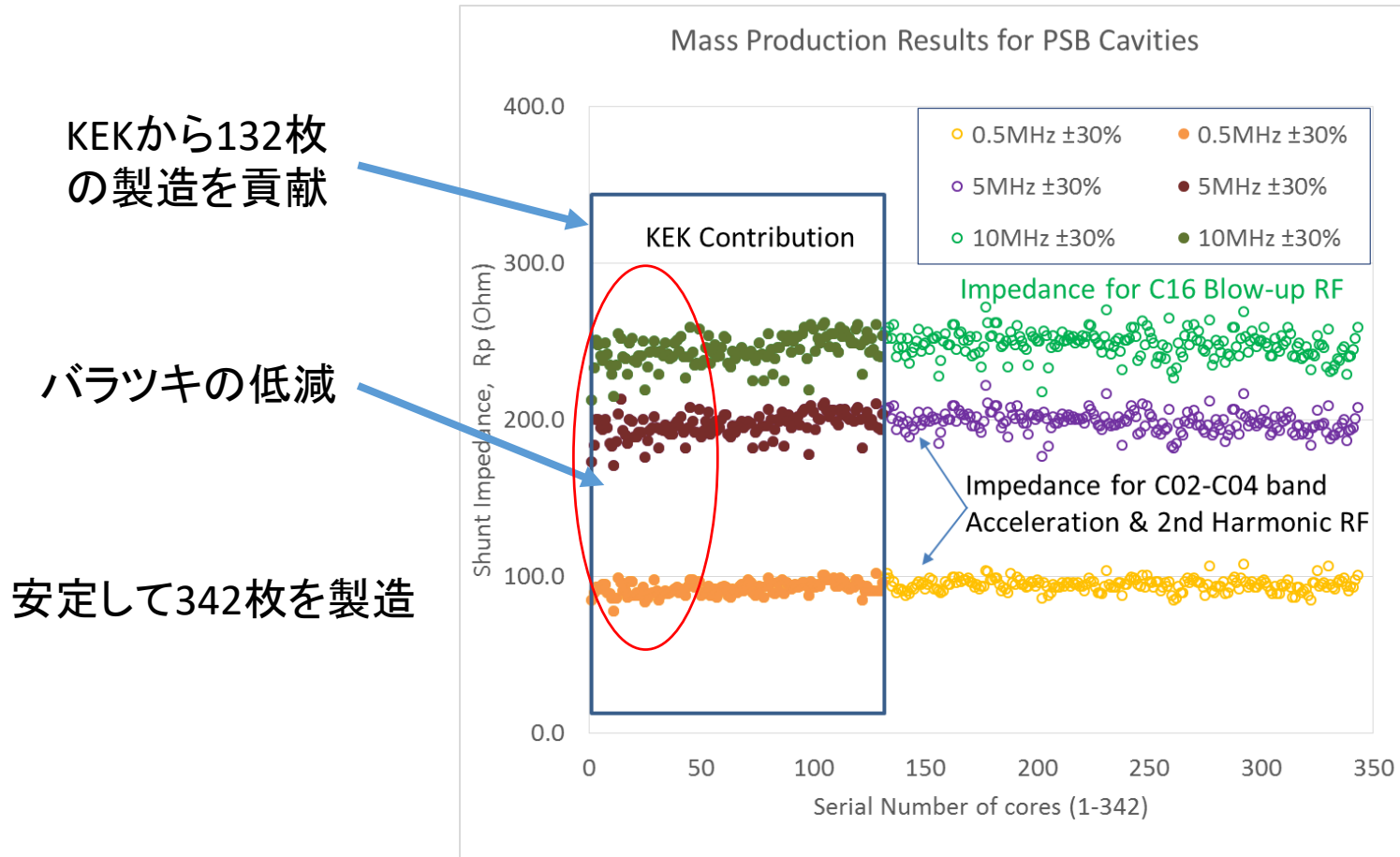
PSB広帯域空洞

- J-PARC MRの高繰り返し化のために開発した金属磁性体(Magnetic Alloy)-ファインメット®FT3L空洞技術を応用

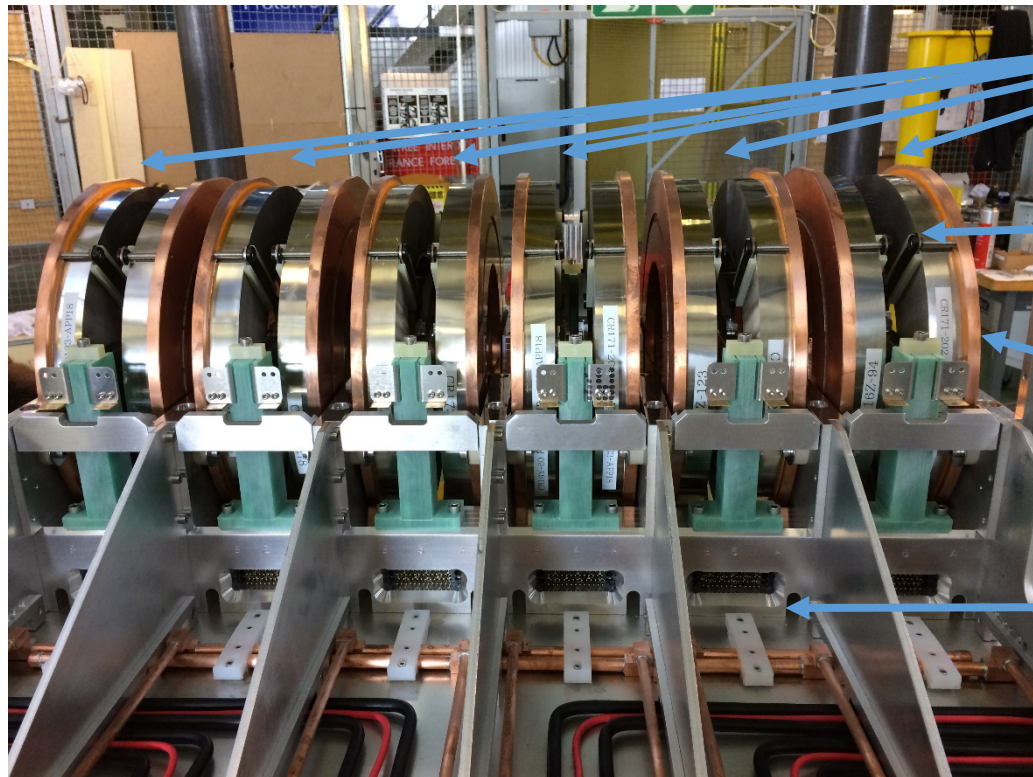


J-PARCで開発した磁場中熱処理装置で熱処理したFT3Lリングを使用

磁性体(MA)コアの量産結果



PSB広帯域空洞-量産機(28台)



6セル構造

FT3Lリング

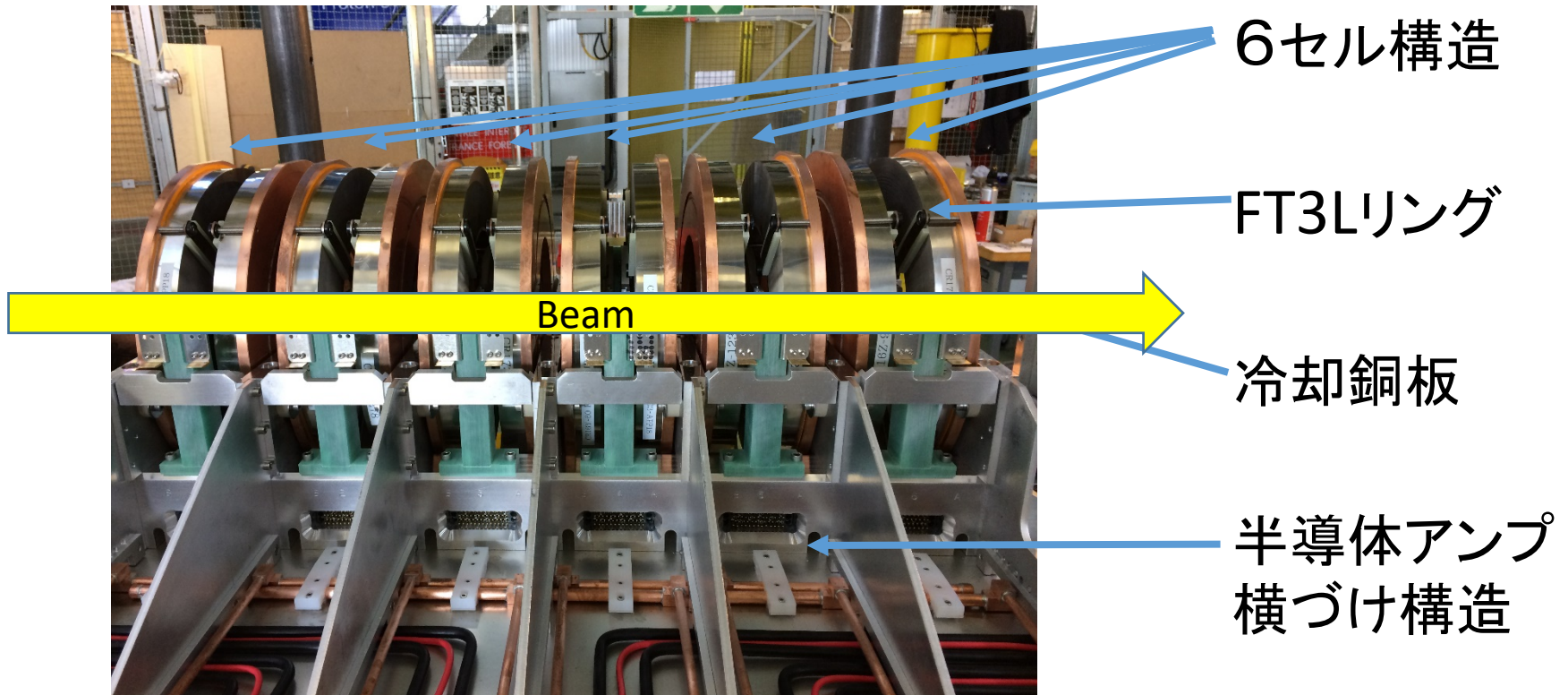
冷却銅板

半導体アンプ
横づけ構造

セル当たり700Vの電圧を半導体アンプで出力

Multi-Cell構造で、故障時にそのCellだけをショートすることでビーム運転を継続

PSB広帯域空洞-量産機(28台)



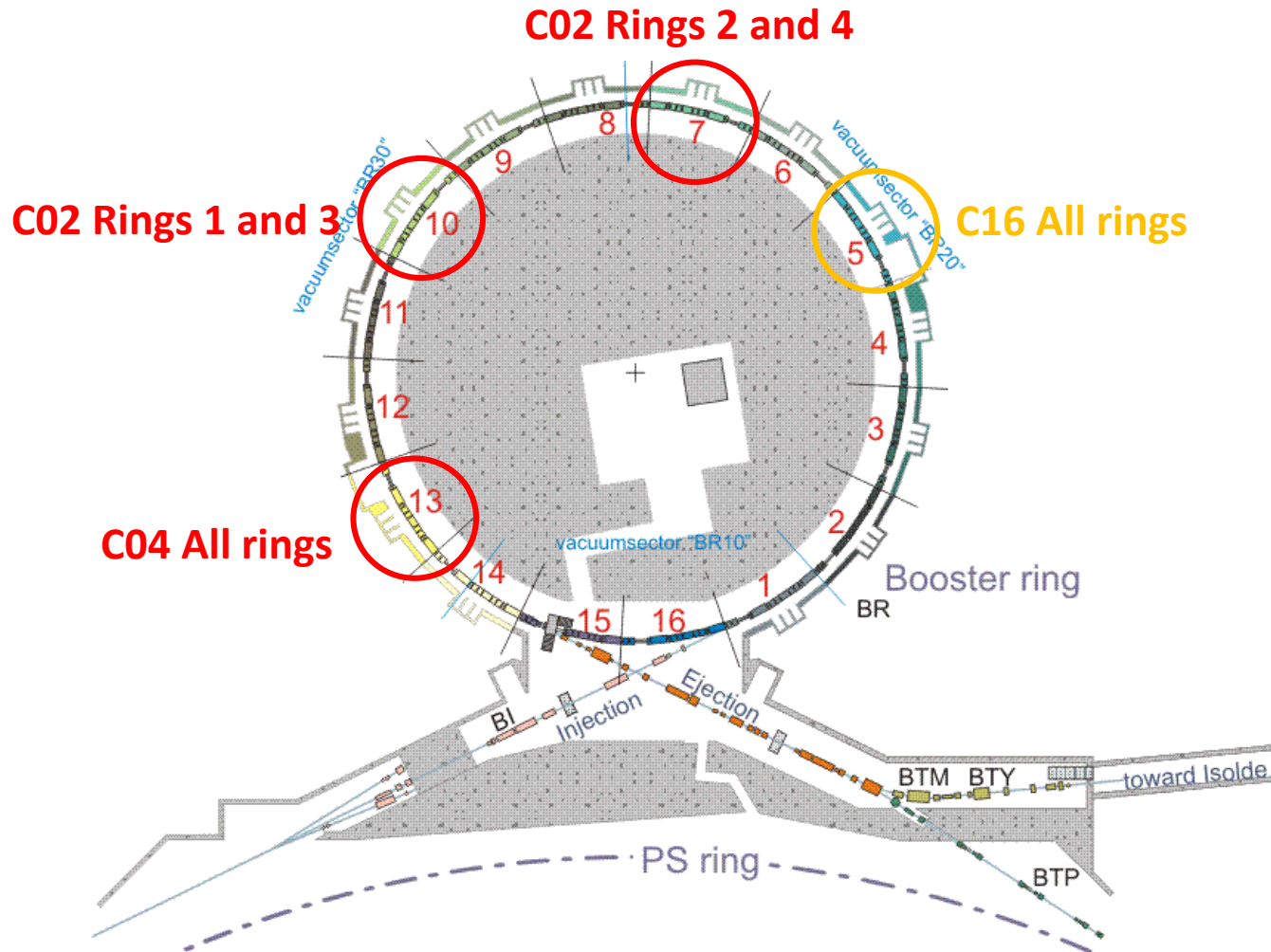
セル当たり700Vの電圧を半導体アンプで出力

Multi-Cell構造で、故障時にそのCellだけをショートすることでビーム運転を継続



Available space in the machine.

Three sections presently attributed to the C02 and C04 RF systems: 7L1, 10L1 and 13L1



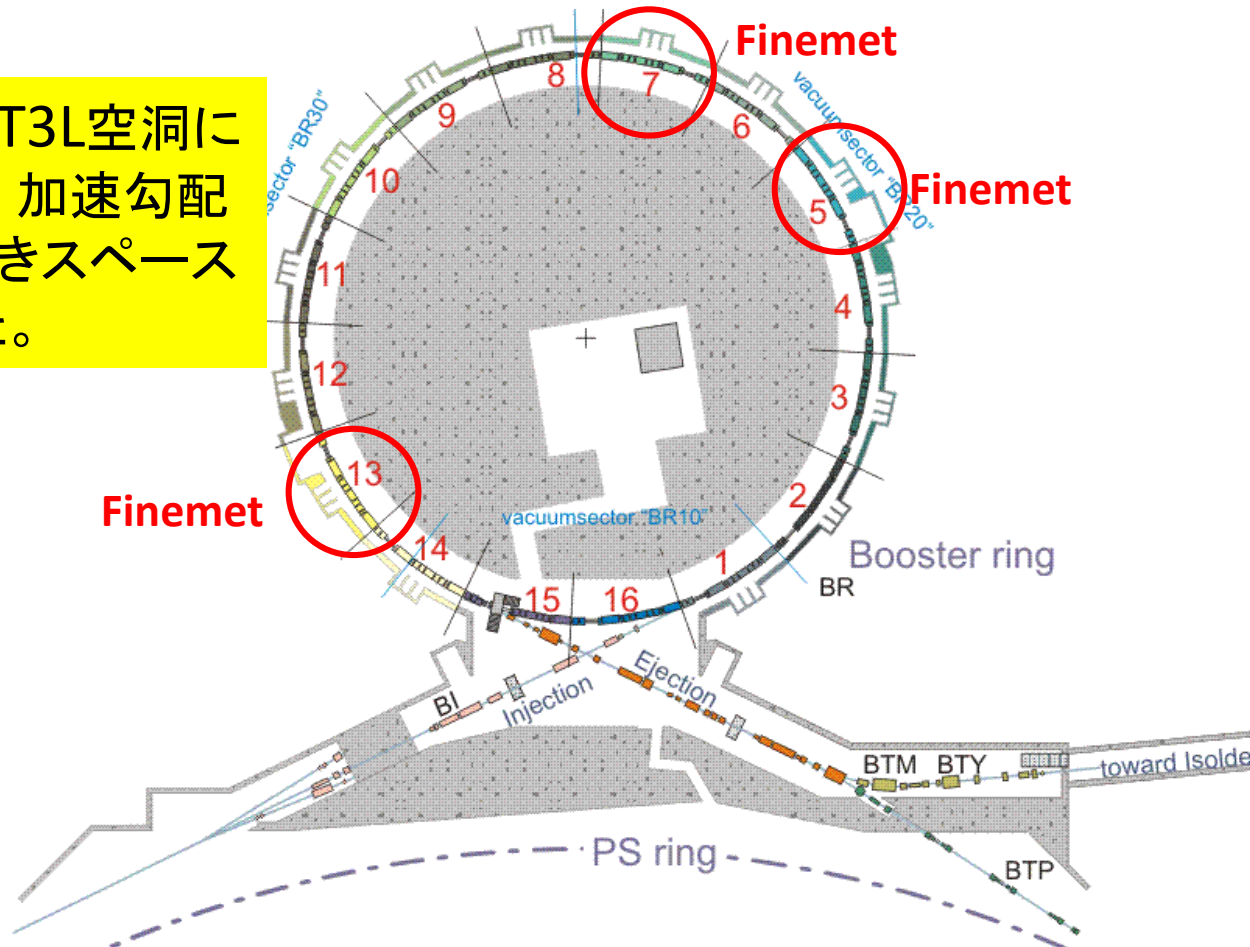


Proposed layout in the ring.

All sections covering C02 and C04 ranges

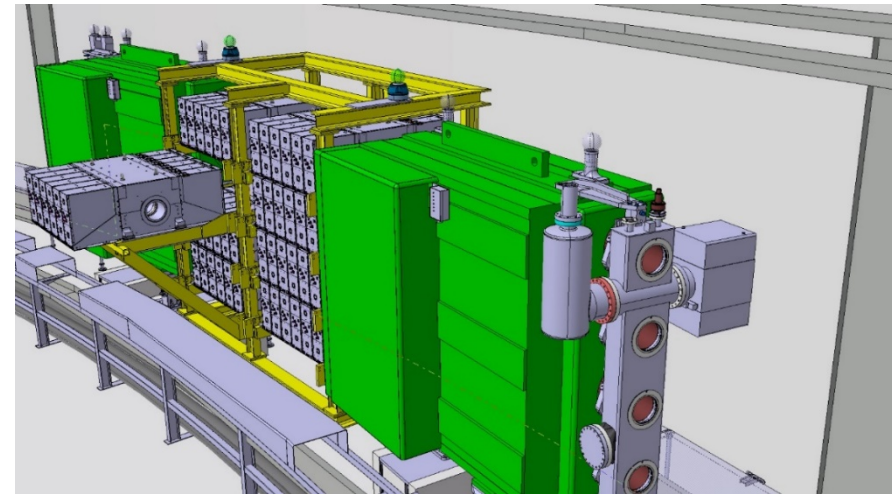
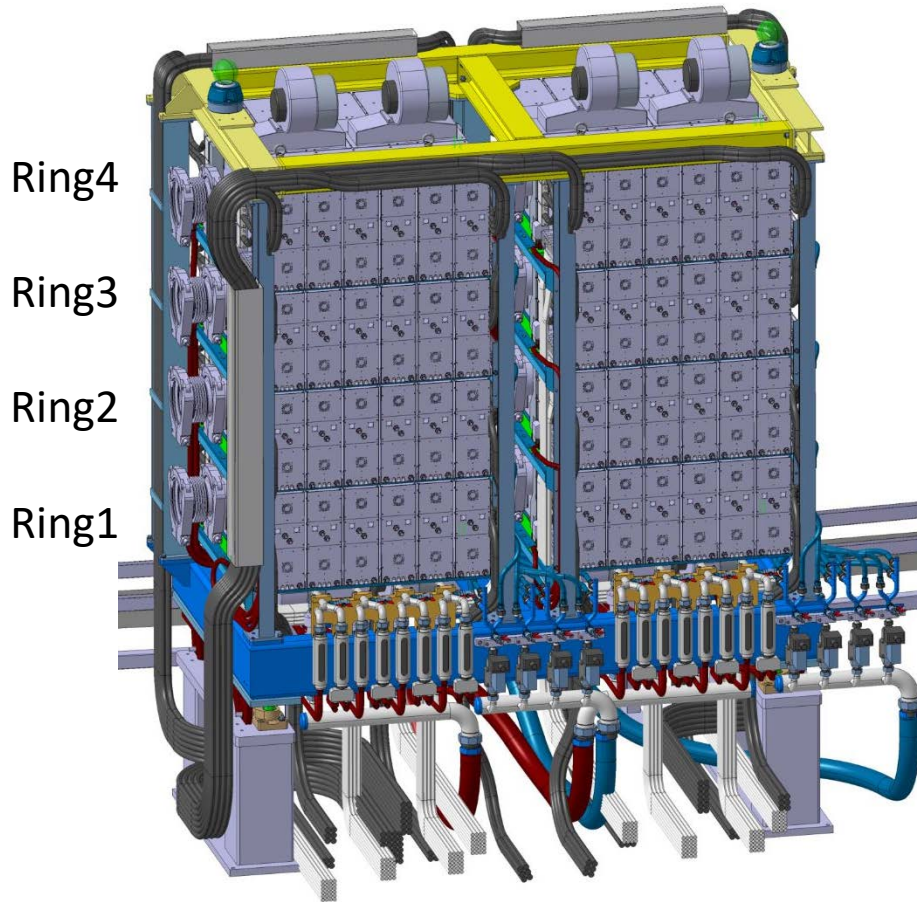
Multi-harmonic operation including h_1 , h_2 and h_{10} : no need of preliminary function attribution.
C02, C04 C16

低損失のFT3L空洞に
することで、加速勾配
が増え、空きスペース
が生まれた。





Cavities arrangement.



New Systems will be installed
in 3 straight sections in LS2.

PSB広帯域空洞のビーム試験



👉 機器の入っていないなかった場所のRing4にテスト用の空洞を設置。Ring1の下がリング外周側への通り抜けスペースになっている。

CERNでの試験結果

Fundamental RF	-- OK
2nd harmonic RF	-- OK
Reliability run	-- OK
LHC25ns & LHC50ns type beam	-- OK

PSBフェライト空洞



この他、高調波空洞も交換

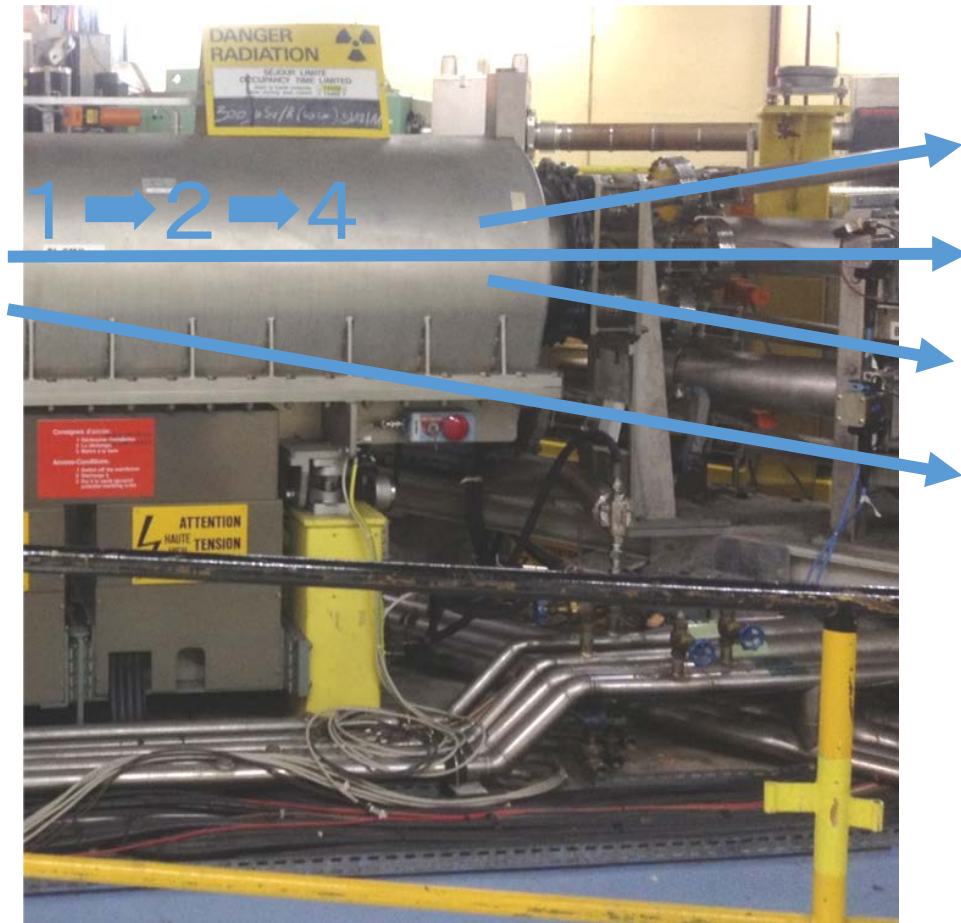
今回の話とは関係ないが4階建てなので入出射は大変



周回

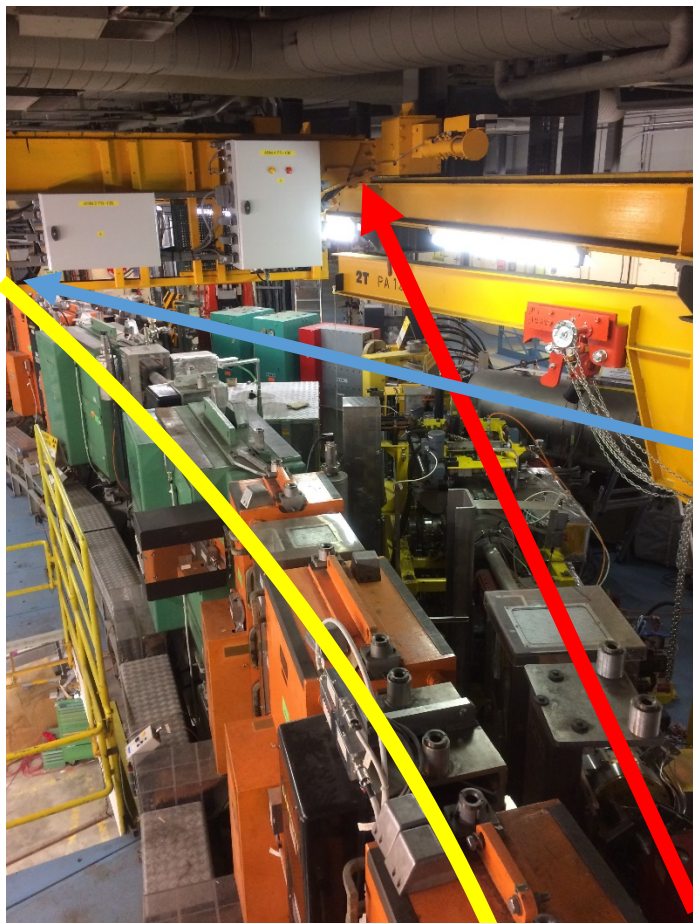
加速器学会 北大キャンパス講堂(2F)

今回の話とは関係ないが4階建てなので入出射は大変

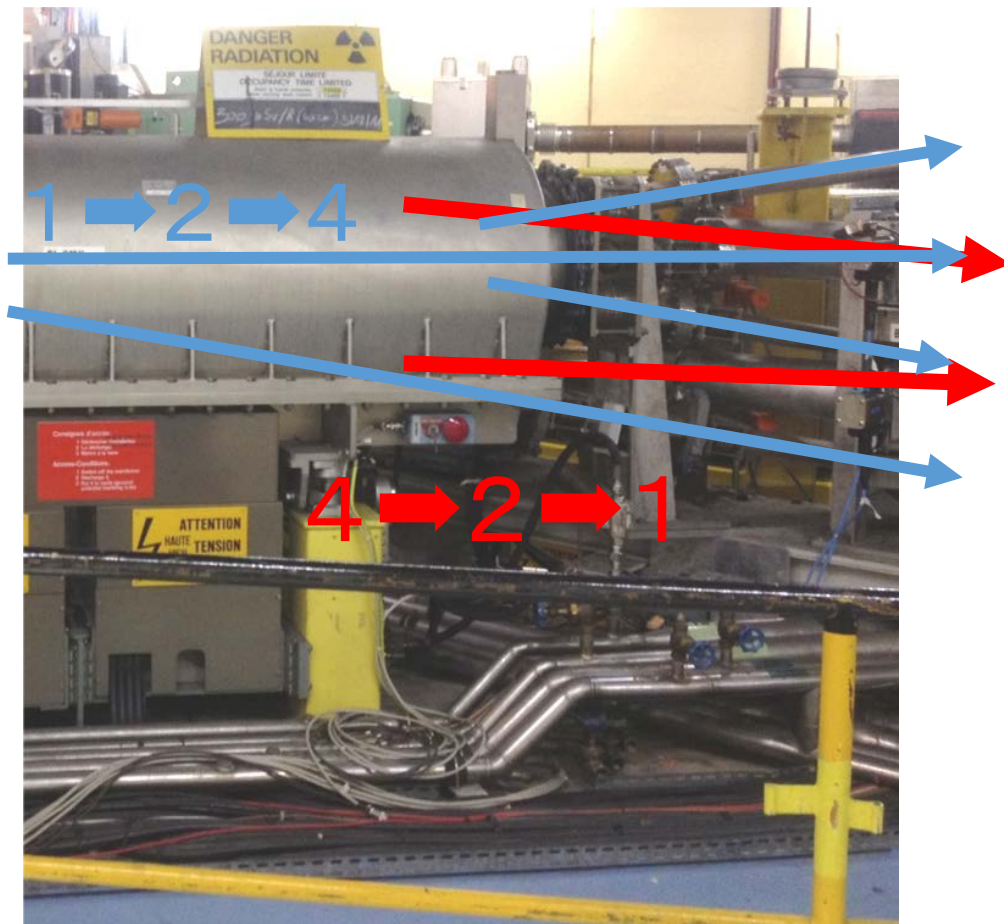


周回

今回の話とは関係ないが4階建てなので入出射は大変



周回



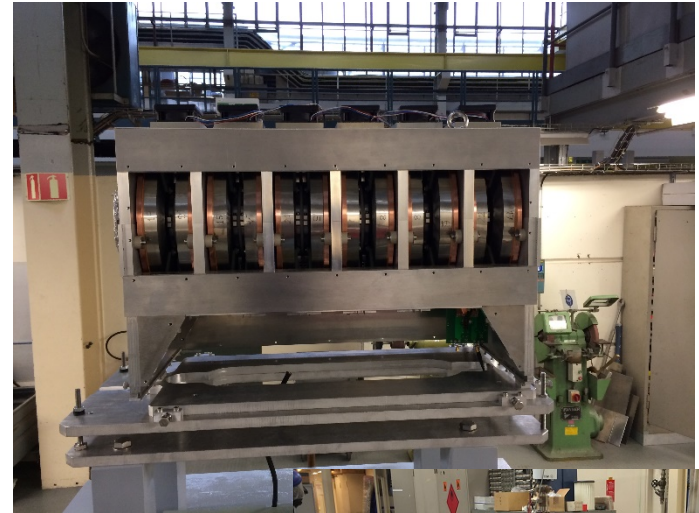
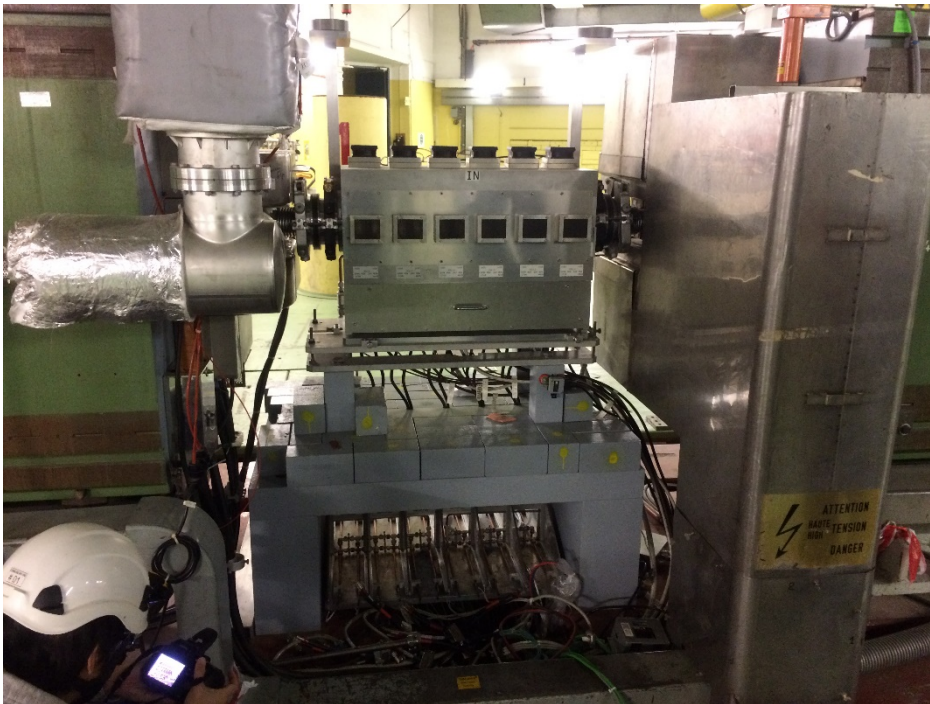
PSB空洞量産



6月1日に初号機完成

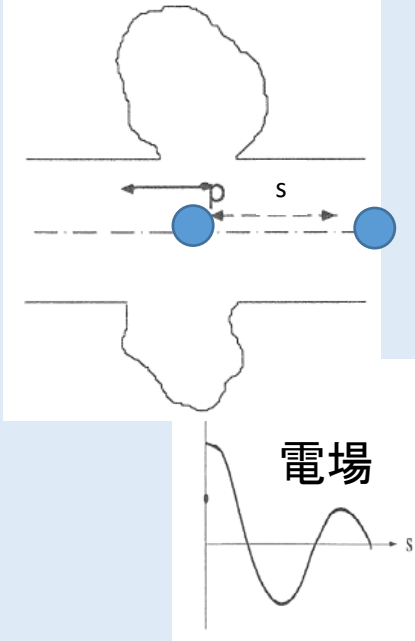
CERN Meyrin地区の広帯域化①

- PSの結合バンチ不安定性対策空洞にも協力(LIU)



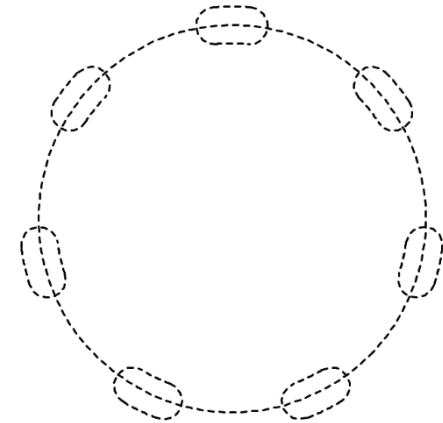
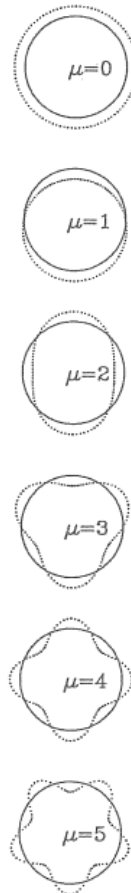
-結合バンチ不安定性-

強いビームが構造物を通過すると

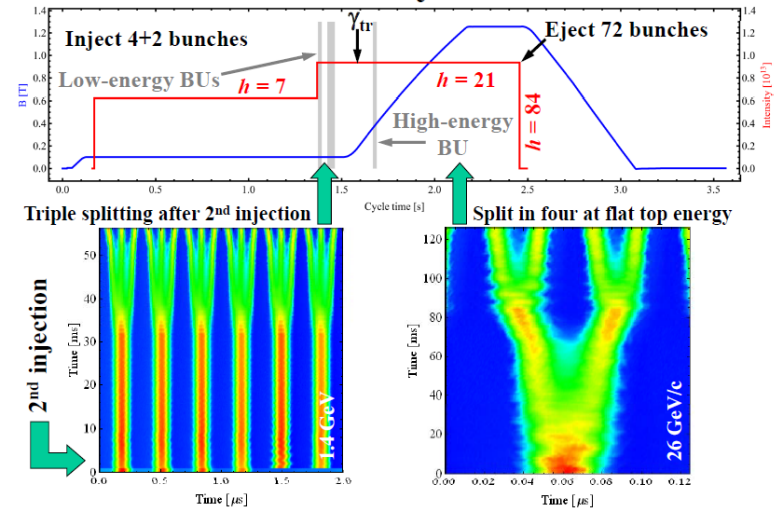


電圧が誘起されることがある。
後ろのバンチが影響を受ける
ことで不安定になる→結合バンチ

ノード数のイメージ
(実際は進行方向)



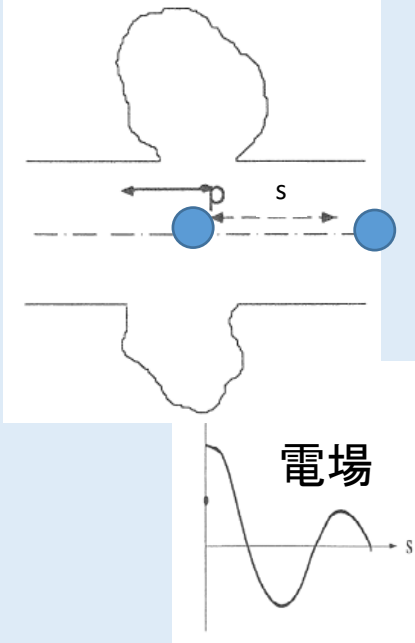
The LHC25ns cycle in the PS



→ Each bunch from the Booster divided by 12 → $6 \times 3 \times 2 \times 2 = 72$

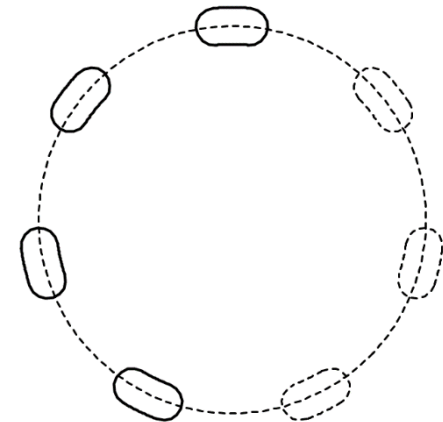
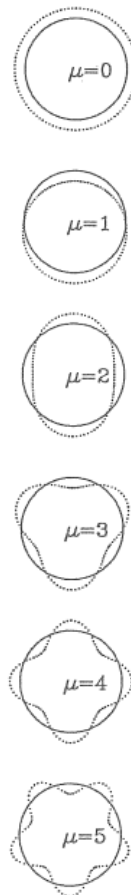
-結合バンチ不安定性-

強いビームが構造物を通過すると

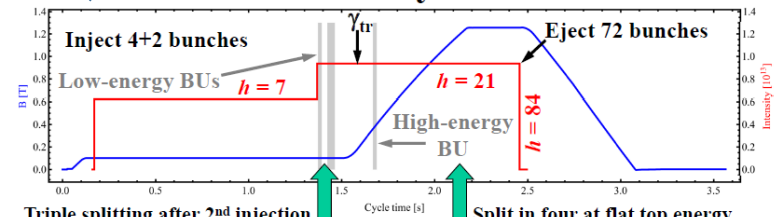


電圧が誘起されることがある。
後ろのバンチが影響を受ける
ことで不安定になる→結合バンチ

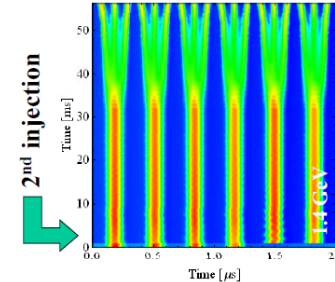
ノード数のイメージ
(実際は進行方向)



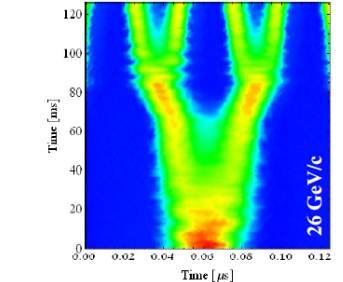
The LHC 25ns cycle in the PS



Triple splitting after 2nd injection



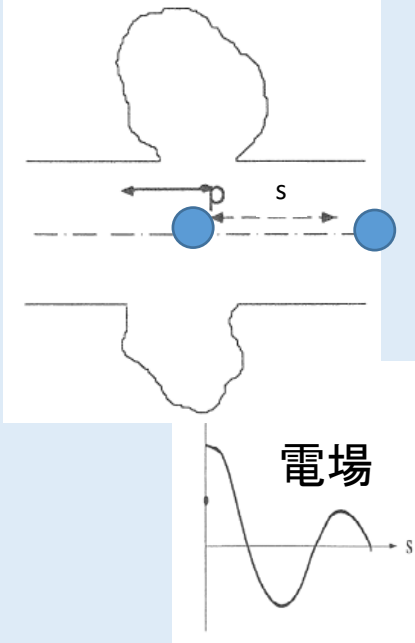
Split in four at flat top energy



→ Each bunch from the Booster divided by 12 → 6 × 3 × 2 × 2 = 72

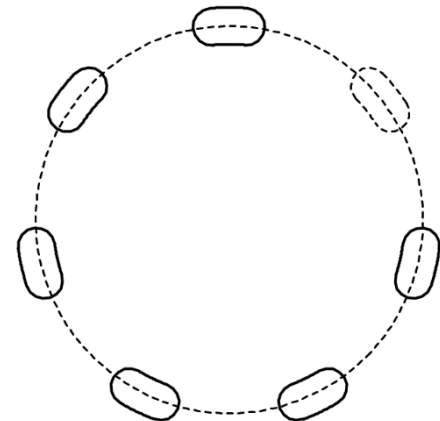
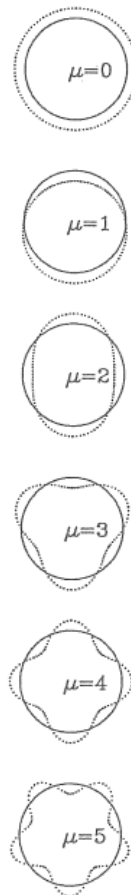
-結合バンチ不安定性-

強いビームが構造物を通過すると

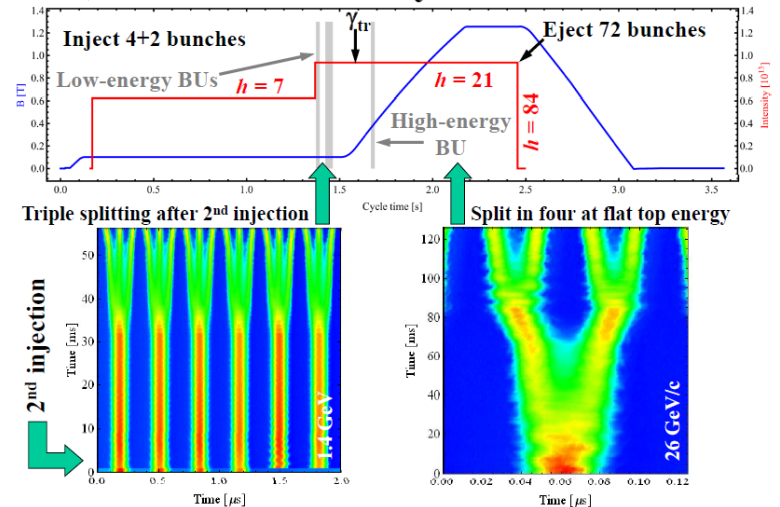


電圧が誘起されることがある。
後ろのバンチが影響を受ける
ことで不安定になる→結合バンチ

ノード数のイメージ
(実際は進行方向)



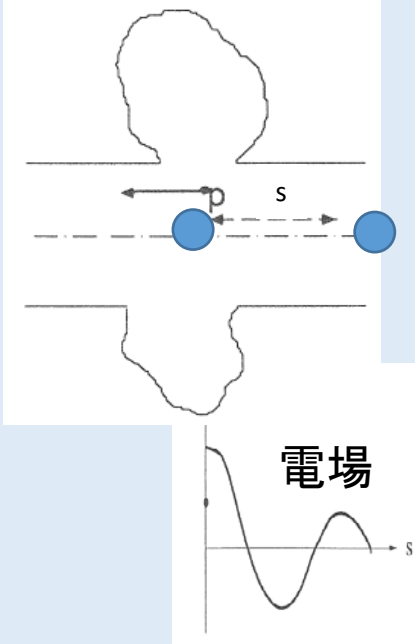
The LHC 25ns cycle in the PS



→ Each bunch from the Booster divided by 12 → $6 \times 3 \times 2 \times 2 = 72$

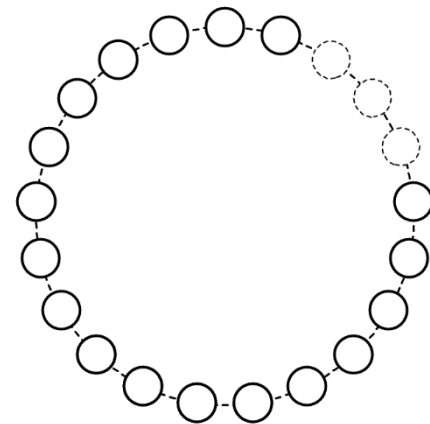
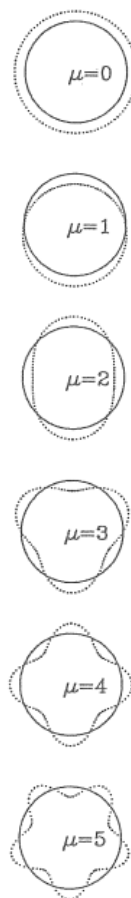
-結合バンチ不安定性-

強いビームが構造物を通過すると

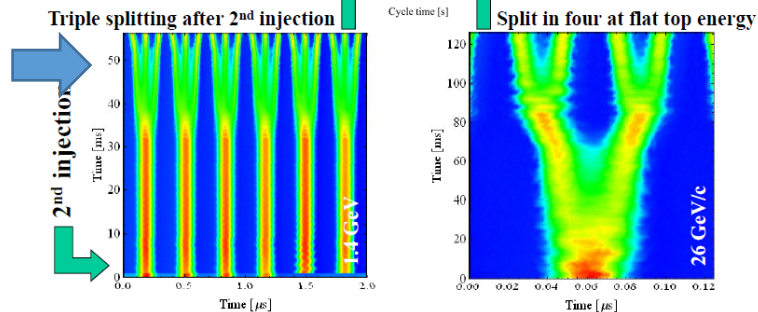
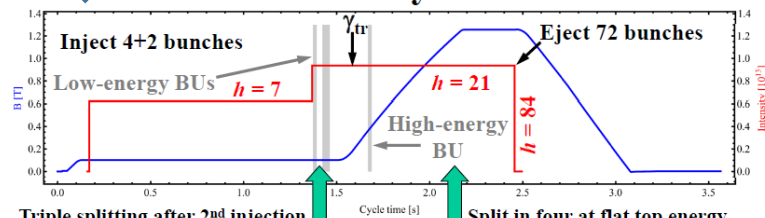


電圧が誘起されることがある。
後ろのバンチが影響を受ける
ことで不安定になる→結合バンチ

ノード数のイメージ
(実際は進行方向)



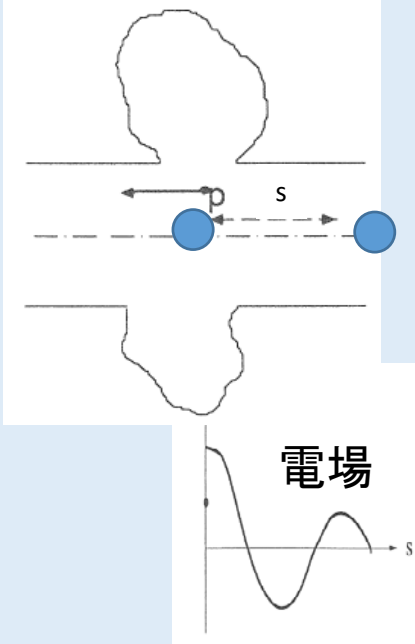
The LHC 25ns cycle in the PS



→ Each bunch from the Booster divided by 12 → $6 \times 3 \times 2 \times 2 = 72$

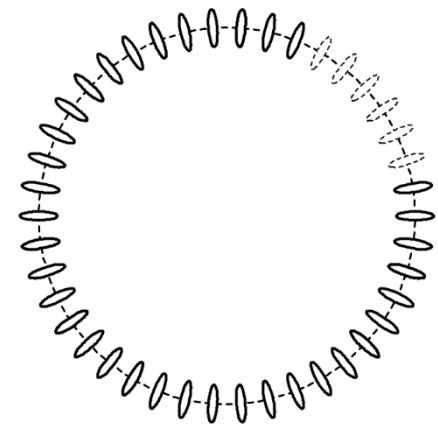
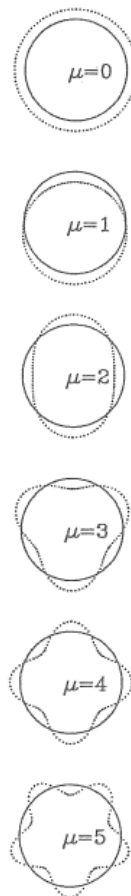
-結合バンチ不安定性-

強いビームが構造物を通過すると

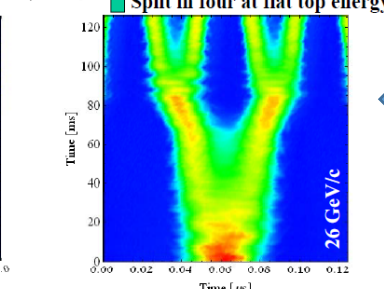
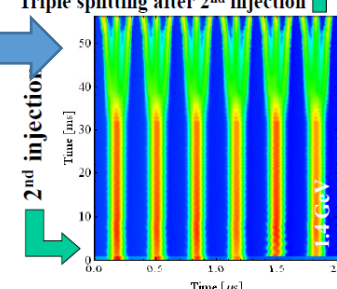
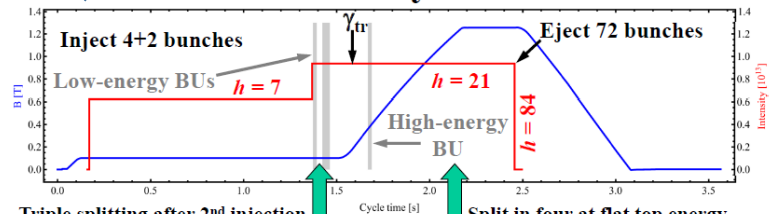


電圧が誘起されることがある。
後ろのバンチが影響を受ける
ことで不安定になる→結合バンチ

ノード数のイメージ
(実際は進行方向)



The LHC 25ns cycle in the PS

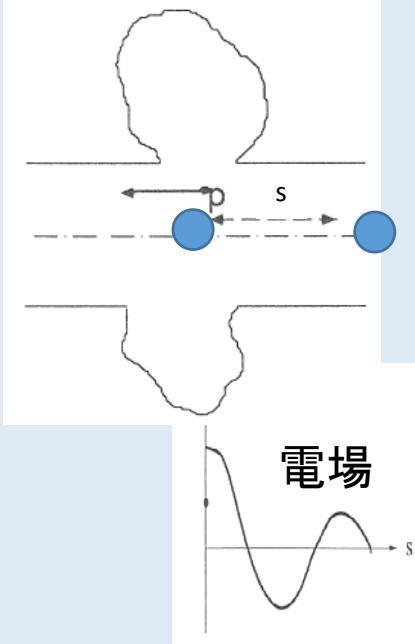


→ Each bunch from the Booster divided by 12 → 6 × 3 × 2 × 2 = 72

次のSPSでの加速のためバンチを分割

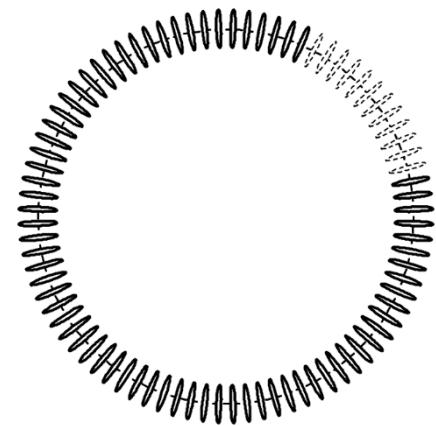
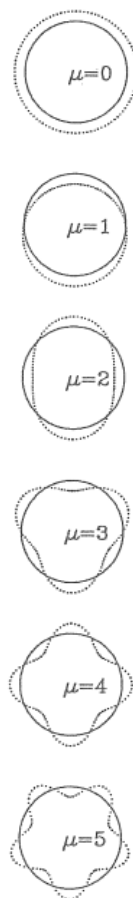
-結合バンチ不安定性-

強いビームが構造物を通ると

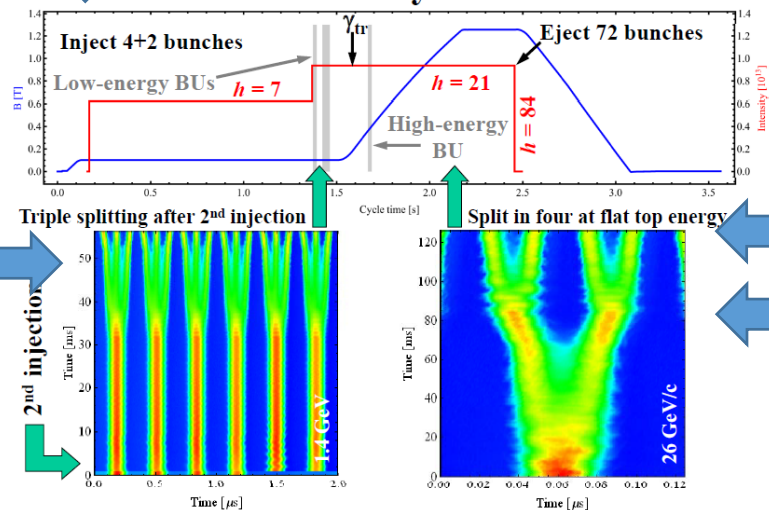


電圧が誘起されることがある。
後ろのバンチが影響を受ける
ことで不安定になる→結合バンチ

ノード数のイメージ
(実際は進行方向)



The LHC 25ns cycle in the PS

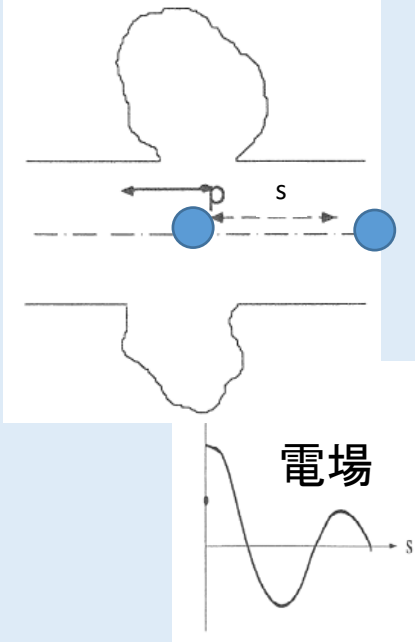


→ Each bunch from the Booster divided by 12 → $6 \times 3 \times 2 \times 2 = 72$

次のSPSでの加速のためバンチを分割

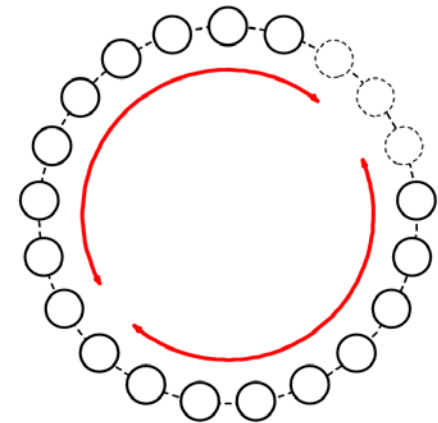
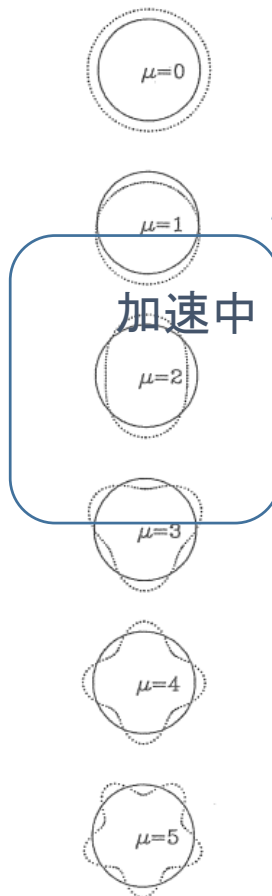
-結合バンチ不安定性-

強いビームが構造物を通過すると

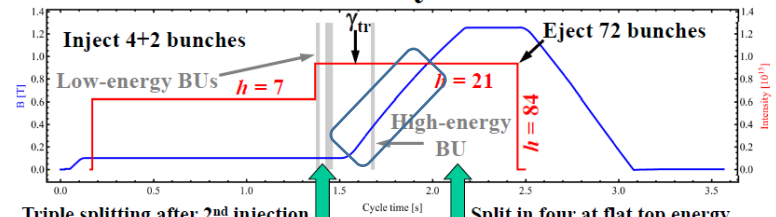


電圧が誘起されることがある。
後ろのバンチが影響を受ける
ことで不安定になる→結合バンチ

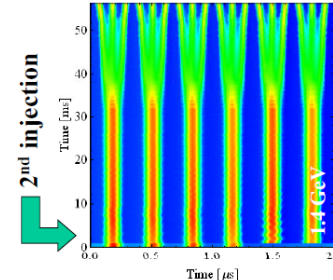
ノード数のイメージ
(実際は進行方向)



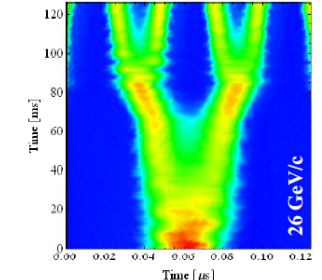
The LHC25ns cycle in the PS



Triple splitting after 2nd injection



Split in four at flat top energy

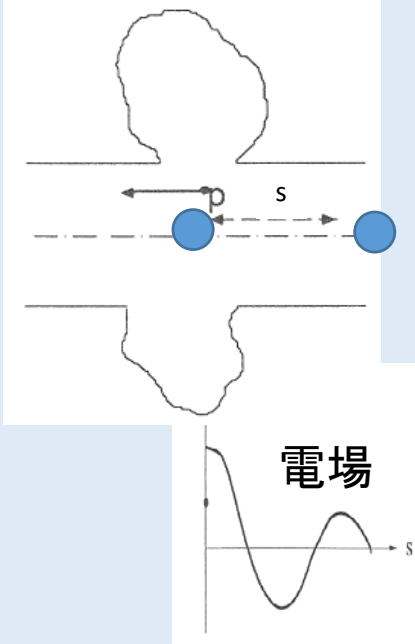


→ Each bunch from the Booster divided by 12 → 6 × 3 × 2 × 2 = 72

次のSPSでの加速のためバンチを分割

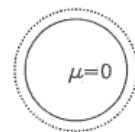
-結合バンチ不安定性-

強いビームが構造物を通ると



電圧が誘起されることがある。
後ろのバンチが影響を受ける
ことで不安定になる→結合バンチ

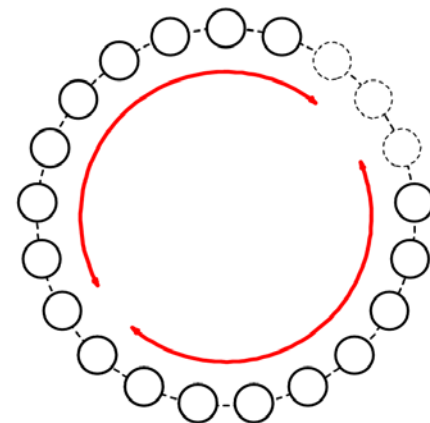
ノード数のイメージ
(実際は進行方向)



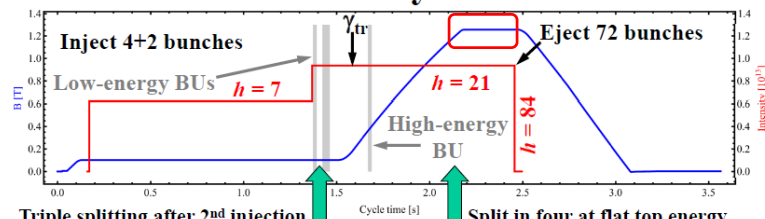
加速中



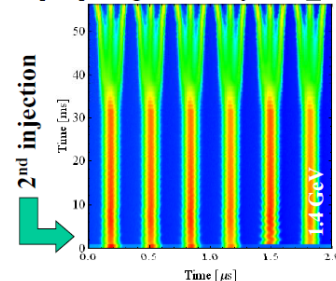
FT



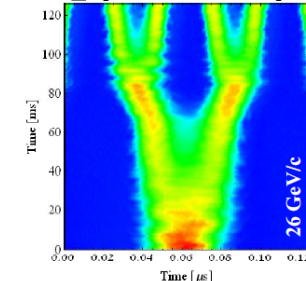
The LHC25ns cycle in the PS



Triple splitting after 2nd injection



Split in four at flat top energy



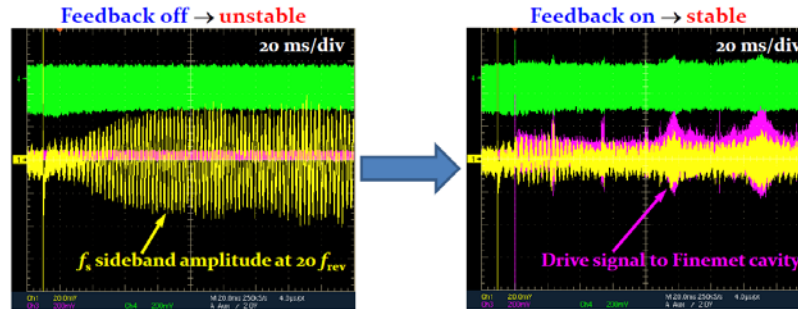
→ Each bunch from the Booster divided by 12 → 6 × 3 × 2 × 2 = 72

次のSPSでの加速のためバンチを分割

PS Instability Damper Operation

U First damping of coupled-bunch oscillations ²⁸

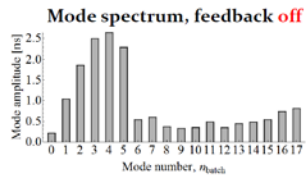
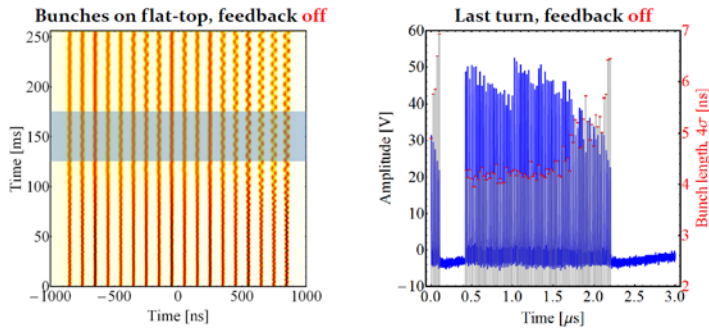
- Single signal processing chain at $20 f_{rev}$ digital LLRF + Finemet cavity
- Nominal LHC25 ns beam, 18 bunches, $1.3 \cdot 10^{11}$ ppb, reduced ϵ_1



H. Damerau HB2014

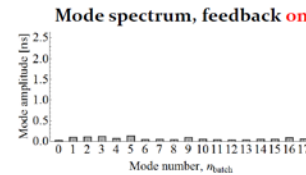
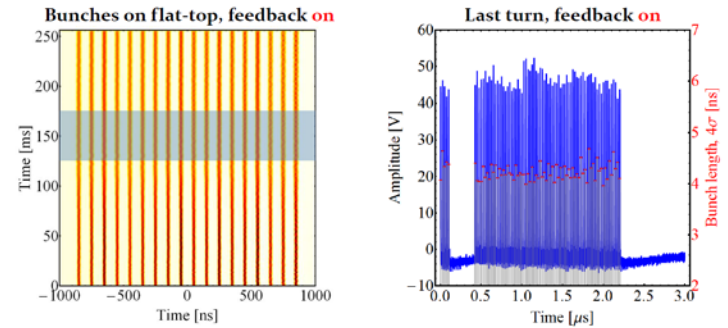
U Damping of all 20 modes on the flat-top ²⁴

- Coupled-bunch instability with many modes



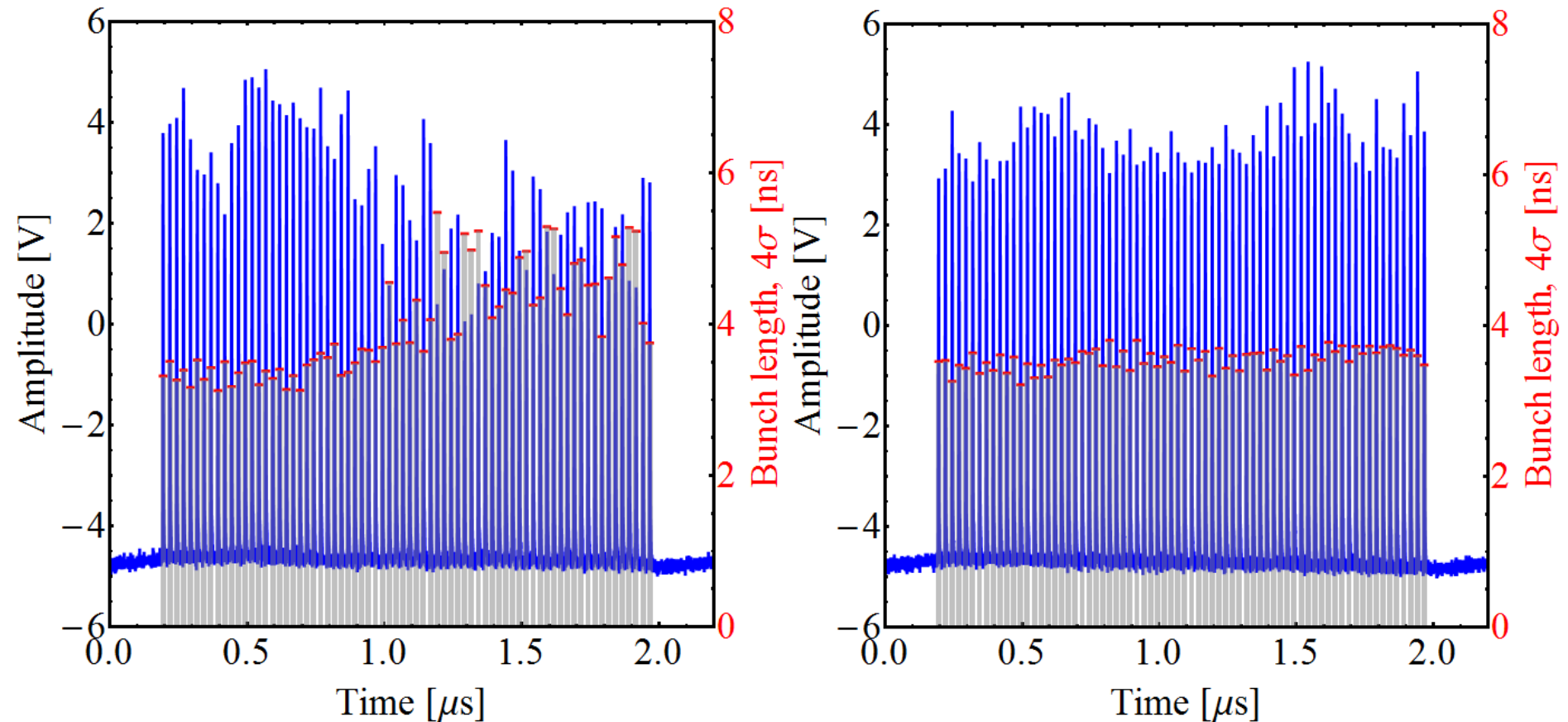
U Damping of all 20 modes on the flat-top ²⁵

- Coupled-bunch instability with many modes



- Almost constant bunch length along batch at extraction
- All oscillation modes well damped





Latest Result in 2016

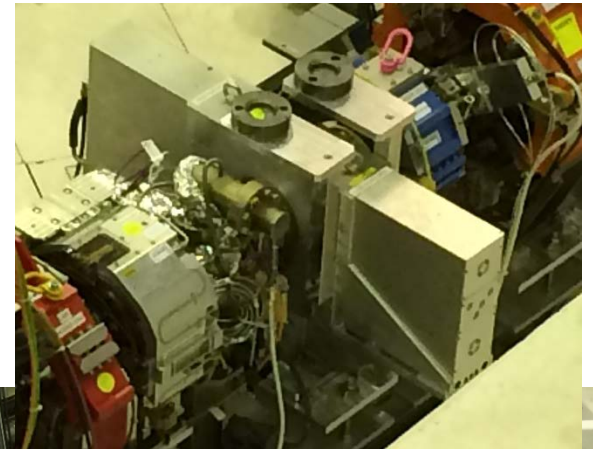
All 10 signal processing chains are working and we have regularly delivered 2×10^{11} ppb (72 bunches spaced 25 ns) with very good longitudinal beam quality for tests in the SPS.

[結合バンチ](#) → [WEP081](#) J-PARC主リングにおけるビームの縦方向振動解析

CERN Meyrin地区の広帯域化②



反物質工場！



我々の広帯域-MA空洞技術は
CERNの他の加速器にも役立っている

- ・反陽子の減速：ELENAリング
- ・医療用：MedAustron
- ・重イオン入射器：LEIR

2019年にはADも含めMeyrin地区で
稼働中のすべてのリングに広帯域空洞
導入⇒「メイラン地区の広帯域化！」



実はもう一つ重要なアイテムが

- 半導体アンプを放射線環境下で使うための、試験と開発研究
 - PSB相当の環境下での使用…… OK
 - 更に進んで kGyで使えるkW級のアンプ
 - 今回は割愛

まとめ

- 2002年から金属磁性体 (Magnetic Alloy) -広帯域空洞についてCERNと共同研究が続いている
 - CERN Courier 7-8月号、CERN Bulletin #29-30
- 2012年からLIU (LHC入射器アップグレード)のためのPSBとPSの空洞入れ替え、ダンパー空洞の開発で協力:
 - PSBでは広帯域空洞システムの量産が進んでいる
 - PSではHiLumi LHCのためのビームスタディが進んでいる
- CERN Meyrin地区の他の加速器 (&減速リング)にも広帯域空洞が普及している
 - 1セル空洞を8月20日J-PARC施設公開にて展示予定

関連発表

WEPO40 J-PARC MRにおける金属磁性体コア (FT3L)を用いたRF空洞の
運転状況と真空コンデンサの開発

WEPO81 J-PARC主リングにおけるビームの縦方向振動解析

THOL16 J-PARC RCS のためのベクトル rf 電圧制御システムの開発

