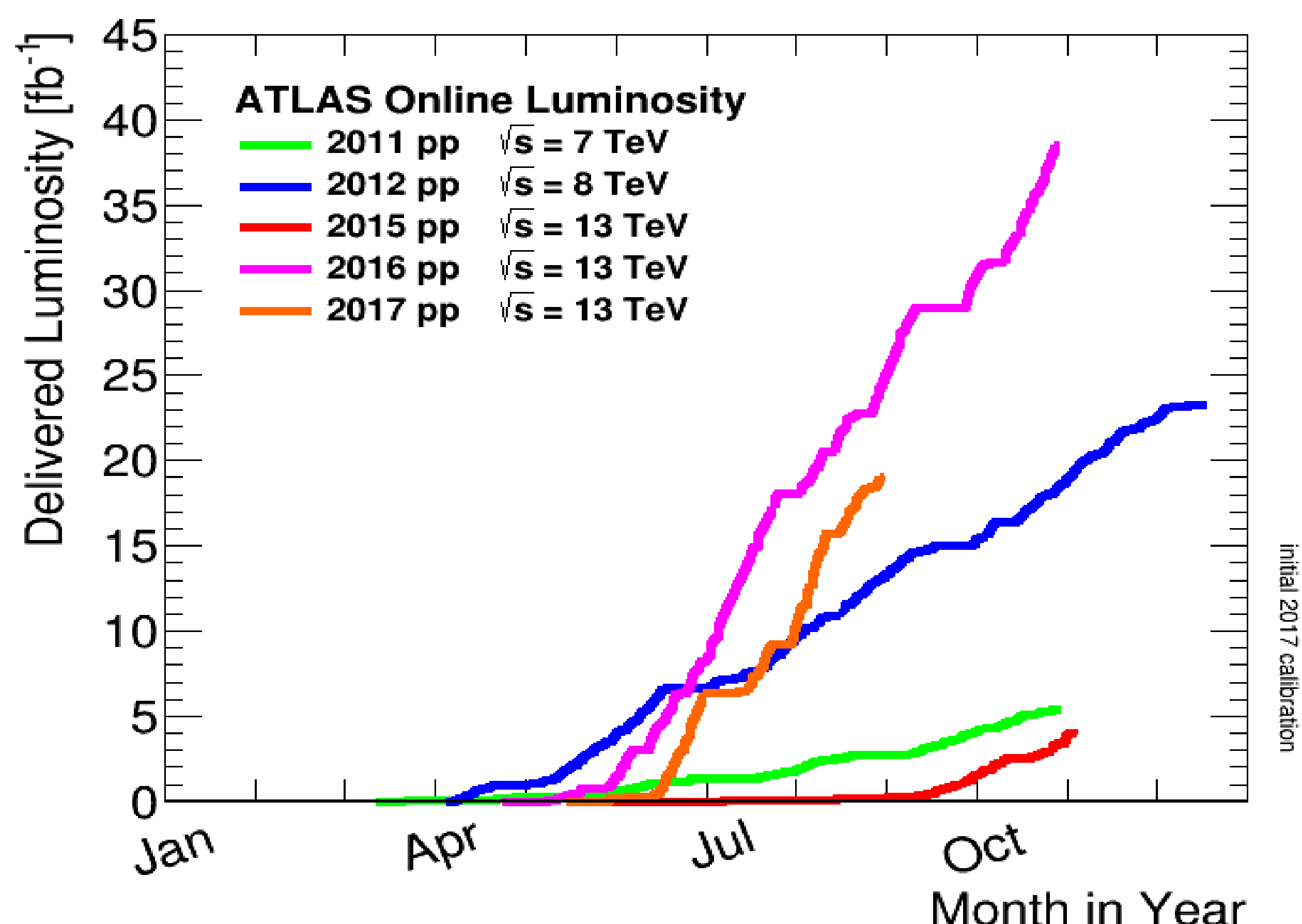


2017年夏までのLHC運転状況

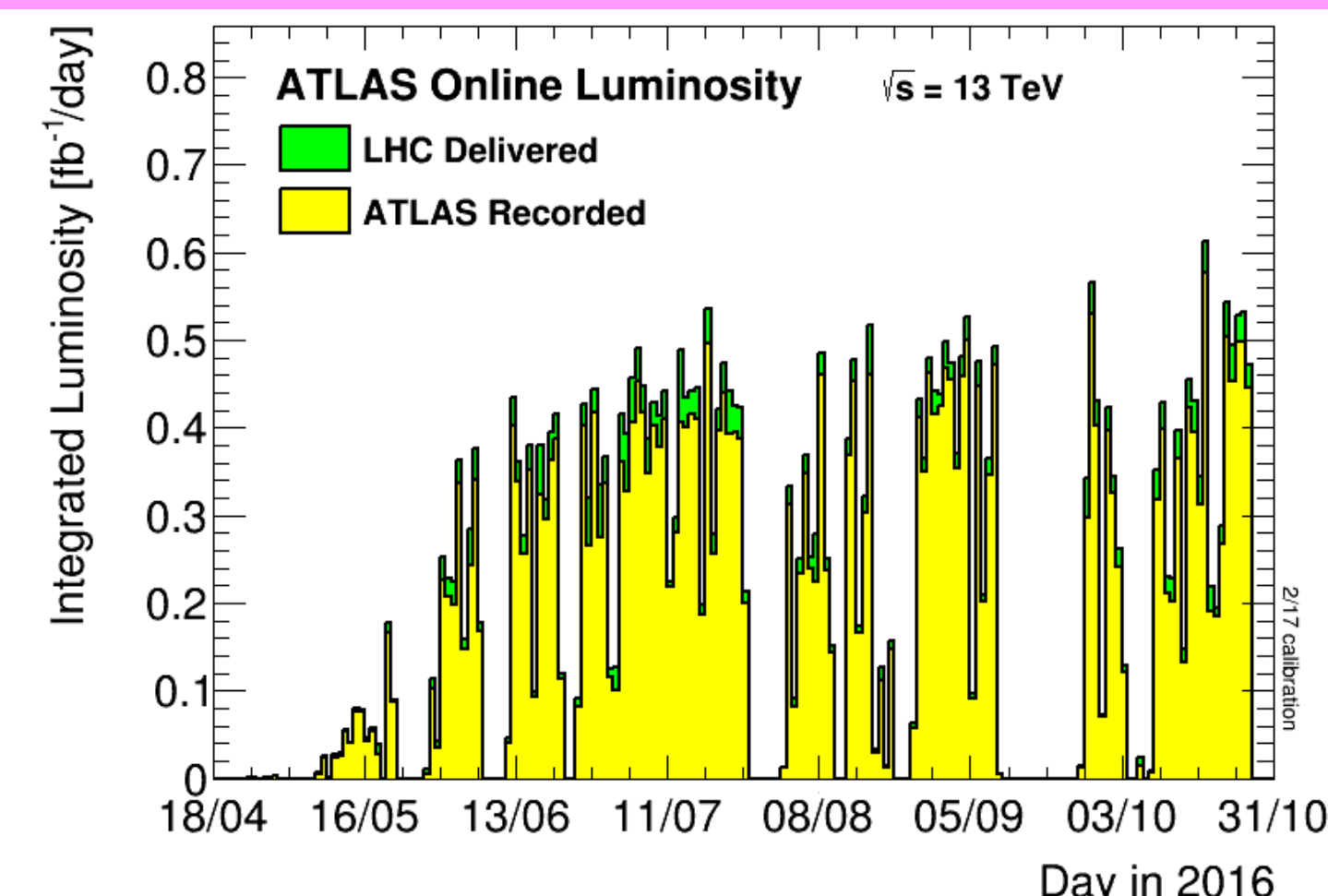


積算データ収集状況 (積分ルミノシティ) 2010-2017年

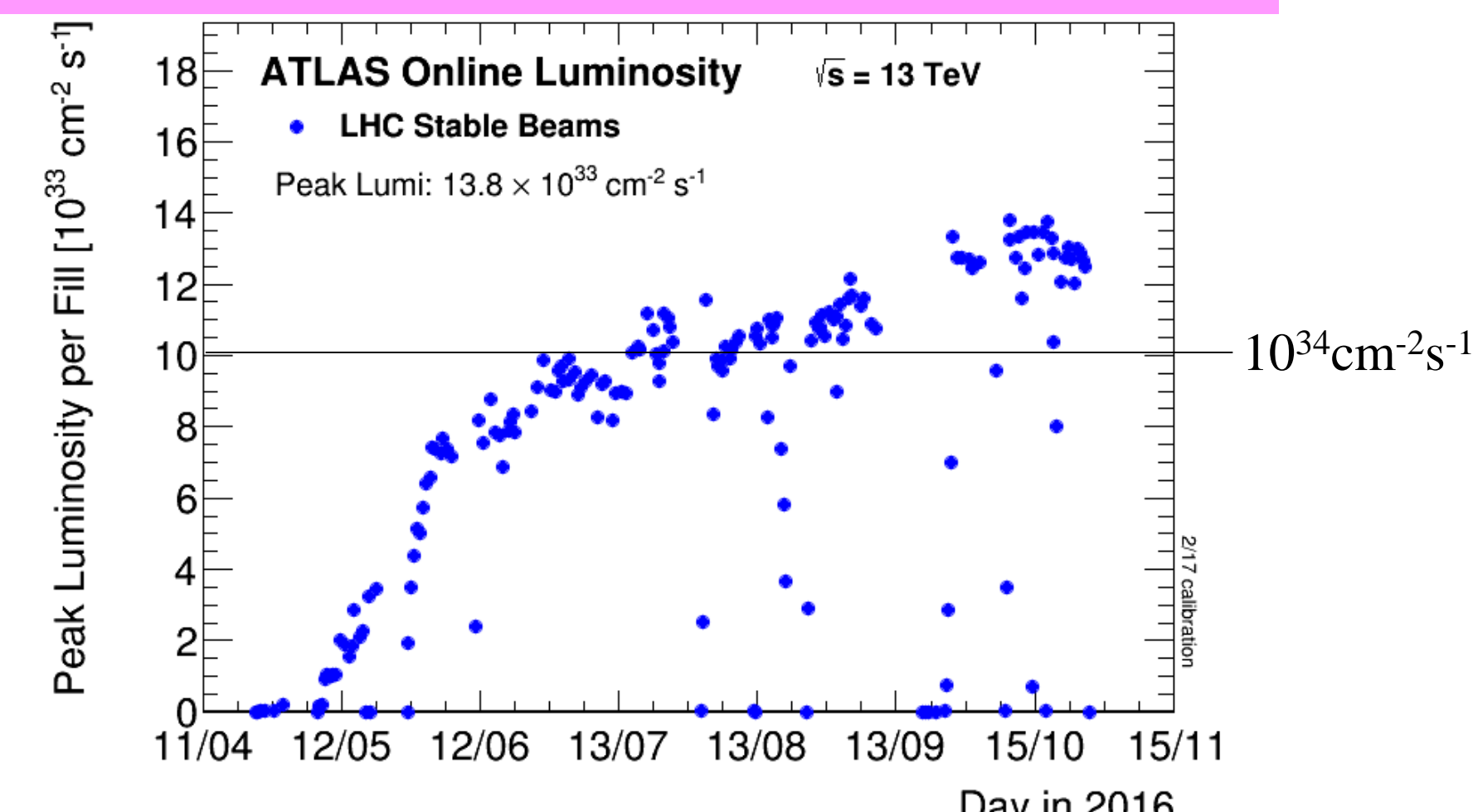


積分ルミノシティの単位: fb⁻¹
1fb⁻¹ は陽子・陽子衝突約100兆回の衝突に対応

2016年4月-10月のルミノシティ/日の推移



2016年4月-10月のピーク・ルミノシティの推移

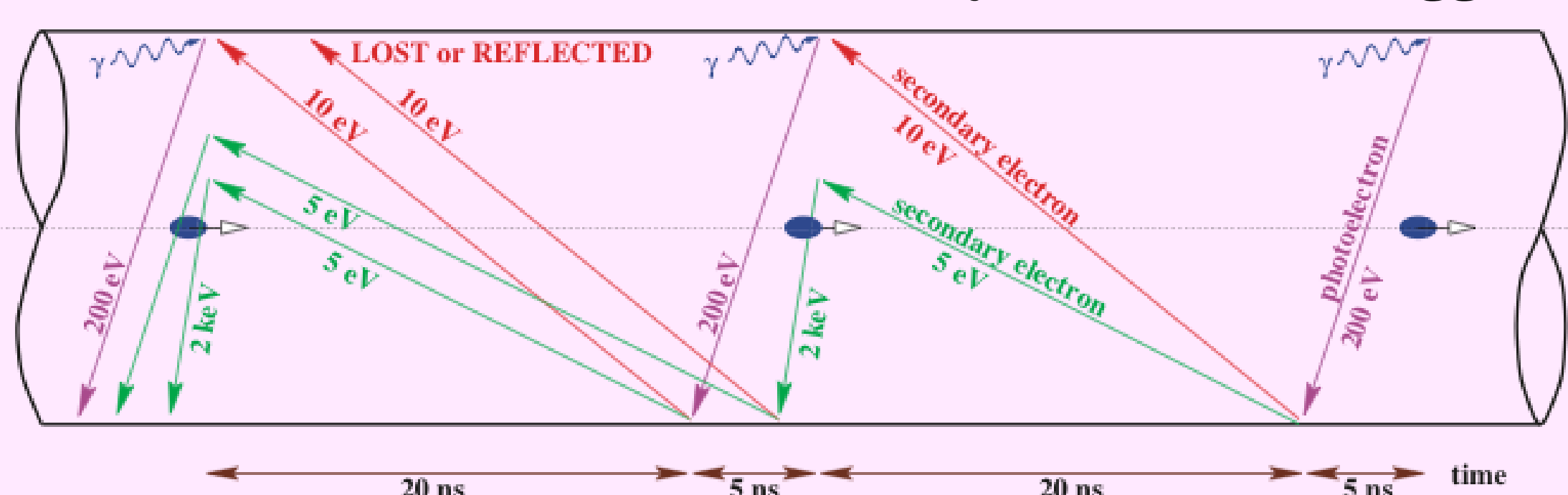


LHC は2010年3月30日に重心系エネルギー7TeVで陽子と陽子を衝突させる事に成功しました。2012年には衝突エネルギーを8 TeV に上げ23 fb⁻¹ のデータ取得、Higgs粒子の発見をもたらしました。その後2年間の休止期間を経て2015年に衝突エネルギー13TeVで運転を再開、2016年には想定を遥かに越える38.5 fb⁻¹ の積分ルミノシティを供給しました。

ルミノシティ改善テクニク

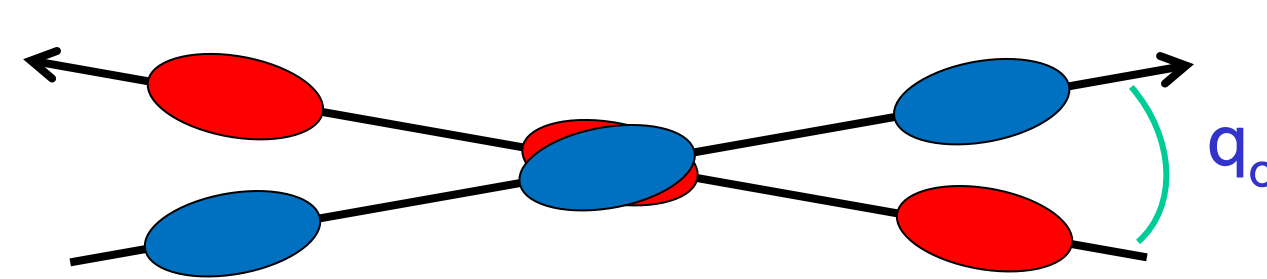
ビームパイプ表面電子のたたき出し

[Courtesy Francesco Ruggiero]



プラス電荷の固まりである陽子ビームの周りにはビームパイプ表面などから誘起された電子が雲状になってまとわりつき、ビームを不安定にします。これを防ぐため、最初に数日間、適当な強度の陽子ビームを低エネルギーで周回させ、あらかじめ電子をたたき出しておきます。

$$L = \frac{N^2 k_b f}{4\pi\sigma_x\sigma_y} F = \frac{N^2 k_b f \gamma}{4\pi\epsilon_n \beta^*} F$$

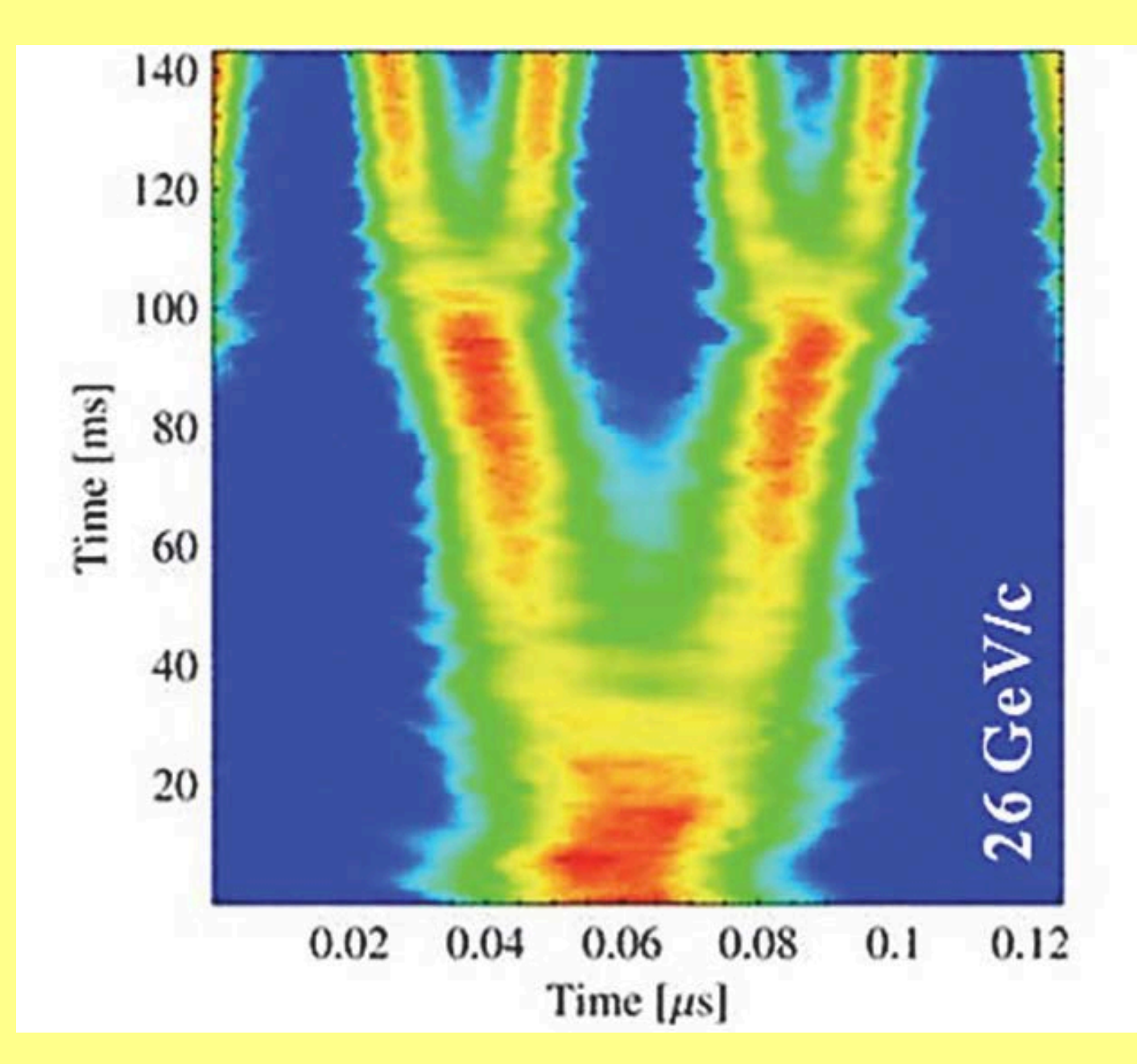
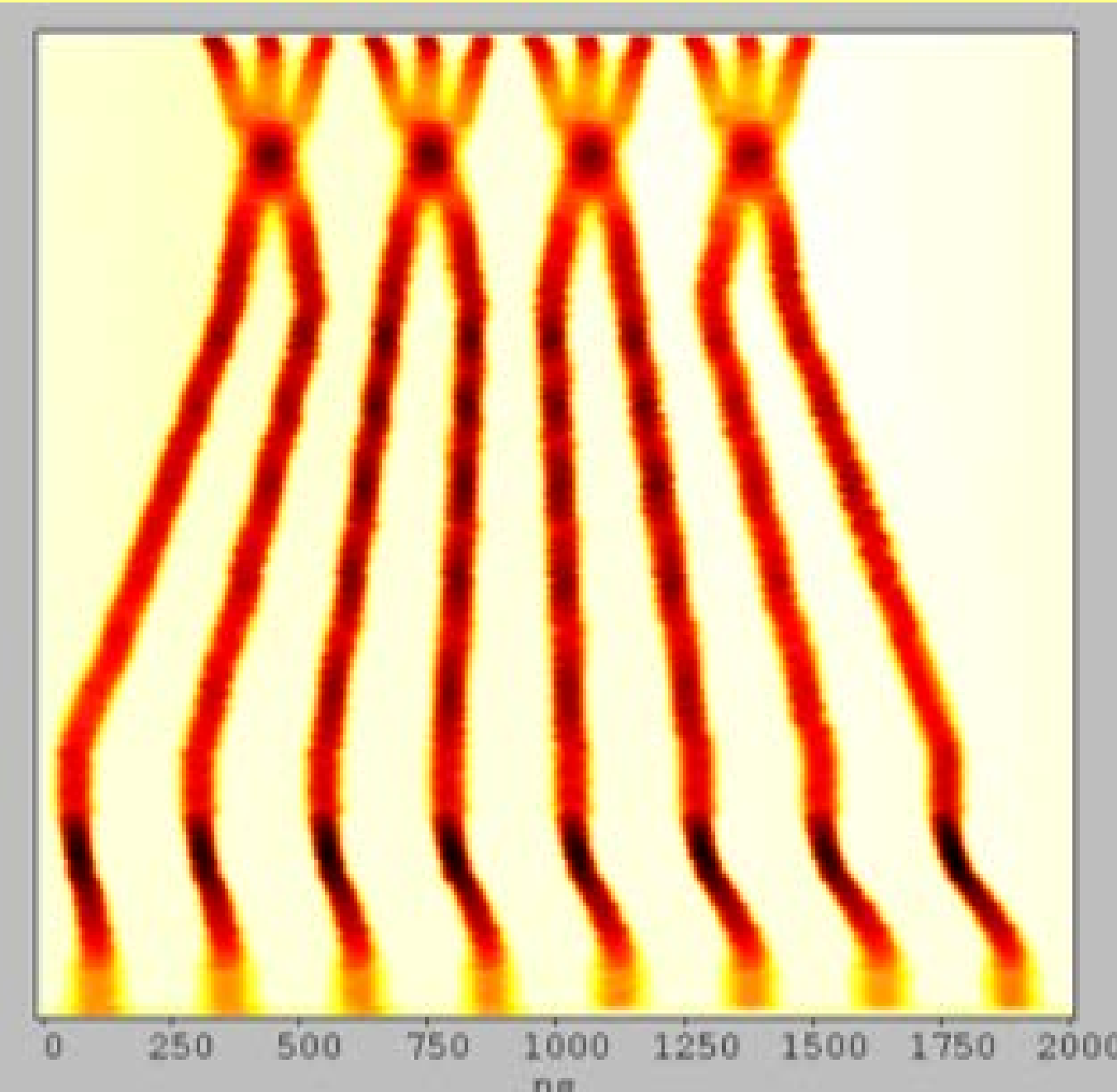


- バンチの数 k_b
- バンチあたりの陽子数 N
- 規格化エミッタンス ϵ_n
- 相対論効果(E/m₀) γ
- 衝突点でのベータ関数 β^*
- 衝突パラメータ F
- 衝突角度 θ_c
- バンチの長さ σ_z
- 横方向の拡がり σ^*

$$F = 1 / \sqrt{1 + \left(\frac{\theta_c \sigma_z}{2\sigma^*}\right)^2}$$

加速器パラメータ	単位	設計値	到達値	コメント
各ビームエネルギー	TeV	7	6.5	2019-20の長期休止後に設計値へ
バンチあたりの陽子数	10 ¹⁰ 個	11.5	11.5	設計値を達成
バンチの間隔	ns	25	25	設計値を達成
バンチの個数		2808	2220	
規格化Emittance	μm	3.75	2	設計値よりよい性能
β*	m	0.55	0.4	設計値よりよい性能
バンチのサイズ(x,y)	μm	16.7	14.5	設計値よりよい性能
バンチの長さ(z)	cm	7.55	9.4	
衝突角度	μrad	285	280	
ルミノシティ	cm ⁻² s ⁻¹	1.0 × 10 ³⁴	1.4 × 10 ³³	設計値よりよい性能
バンチあたりのルミノシティ	cm ⁻² s ⁻¹	3.6 × 10 ³⁰	6.3 × 10 ³⁰	設計値よりよい性能
ビームのエネルギー	MJ	362	260	

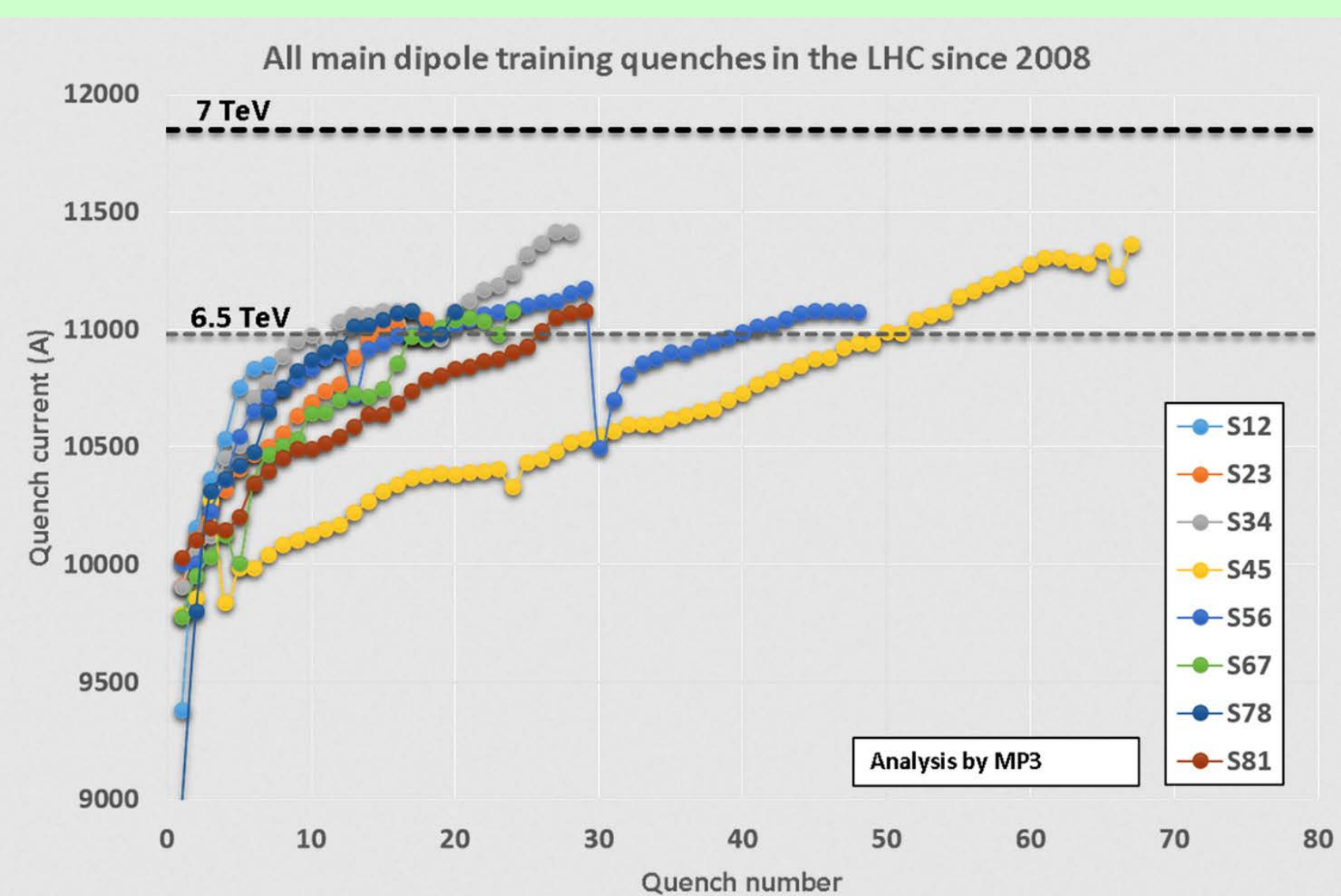
入射機(PS)でのバンチ生成(BCMS: Batch Compression Merging and Splitting)



高いルミノシティを得るためには、出来るだけ大量の陽子を高密度・低エミッタンスの固まり(バンチ)にまとめる必要が有ります。このために開発された技術がBCMSです。バンチあたりの陽子数やエミッタンスは、現在、主にブースターリングからPSへの入射時の条件(スペース・チャージ限界)で決まっています。限界ぎりぎりのバンチを短時間で等間隔に入射し、ただちに加速します。少し加速して余裕が出来たところで加速周波数を順々に変えて行き、バンチ間隔を狭め、隣どうしをくっ付け、その後3分割します(左図)。トップエネルギーまで加速した後、さらに2分割を2回繰り返す(右図)、25ns間隔のバンチ48個分(8個→4→12→24→48)を作ります。これをSPS、LHC主リングと順次入射し加速して行くわけです。このためには広帯域の加速空洞と柔軟な高周波制御が要求されます。

陽子ビームの最高エネルギーはダイポール磁場の強さで決まります。

8.33テスラで7 TeVのエネルギーの陽子を回す予定でしたが、いくつかの超伝導ダイポールは目標磁場に到達できていません。右図は8セクターすべてのクエンチカーブを示しています。超伝導電磁石特有のトレーニング現象によりクエンチを繰り返せば磁場は上がりますが、まだ7TeVには到達していません。



LHCトリビア

- ビームパイプの真空度は1兆分の1気圧以下で月面の真空度よりよい。(< 10¹⁵ H₂/m³ : 水素分子に換算して1m³あたり10¹⁵個以下)。
- ビームパワーは362MJ。8両編成の電車(400トン)が時速150kmで走っている運動エネルギーに対応します。
- LHC運転の消費電力は120MW。入射加速器など含めたCERN全体では230MWです。つくば市の全家庭の消費電力は約50MWです。
- LHCに使われている超伝導線は7μm径のNbTi線をより合わせて作ります。使われた線材をすべて合わせて伸ばすと、太陽と地球の間の距離(1億5千万km)の10倍以上になります。