

講義 6,7

- アップグレード計画
 - 物理モチベーション(これはセミナーで)
 - 検出器改良の全体像
- 日本グループが狙っていること
 - 内部飛跡検出器(ピクセル検出器)
 - トリガー (L1+HLT)
 - ミューオン (New small wheel)
- 将来の加速器

アップグレード計画

Prospect of 300 and 3000fb⁻¹

No New results so if time allows

My personal view...

Not assuming the improvement of identification algorithm etc...

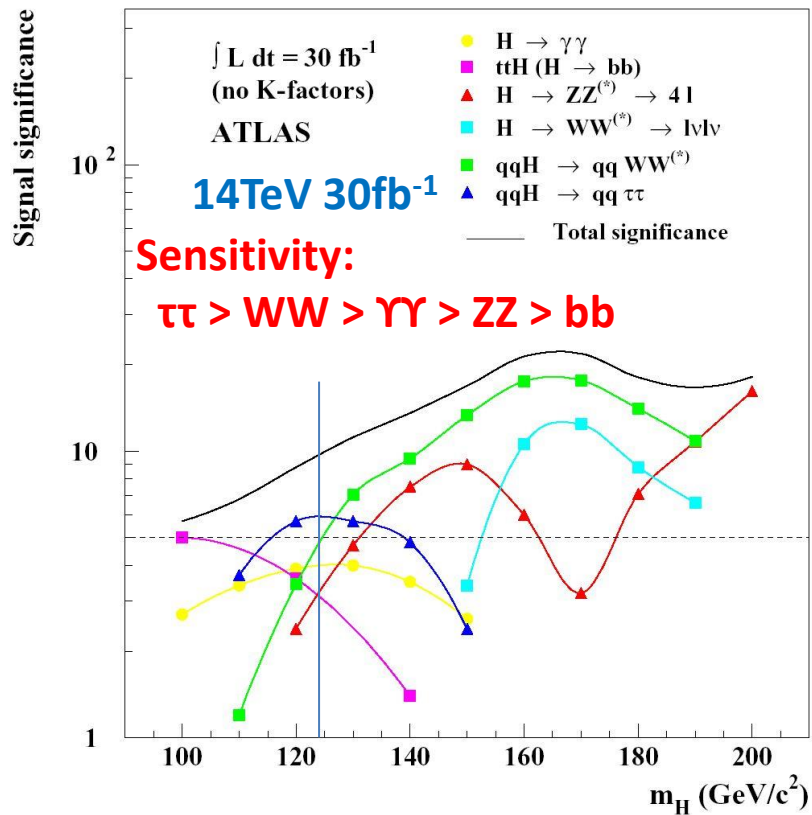
Extremely simpler analysis assumed than current Run1 results

So the result is very conservative and pessimistic case...

Lesson and learned

Before experiment...

arXiv:hep-ph/0402254



ATLAS 2011+2012 Full data

5fb⁻¹(7TeV)+20fb⁻¹(8TeV)

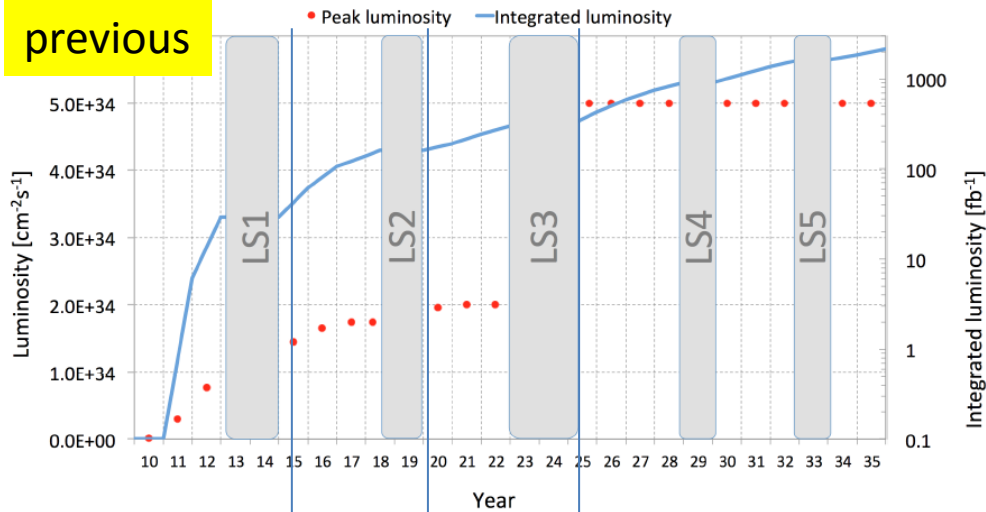
Decay channel	Expected sensitivity	Observed Sensitivity
ggF,(VBF):H→ZZ	6.2σ	8.1σ
ggF,VBF:H→γγ	4.6σ	5.2σ
ggF,VBF:H→WW	5.8σ	6.1σ
(ggF),VBF:H→ττ	3.4σ	4.5σ
VH,H→bb	2.6σ	1.4σ
H→μμ	<7.2xSM	<7.0xSM
ttH:H→bb	<2.2xSM	<3.4xSM

Prospect of before starting experiment...

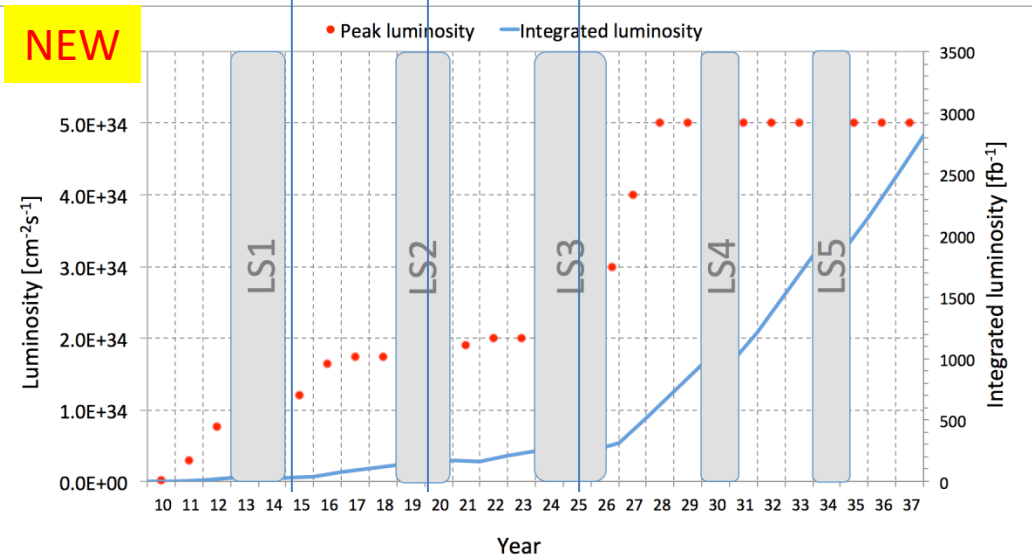
Much better results observed!!

Schedule changed

previous



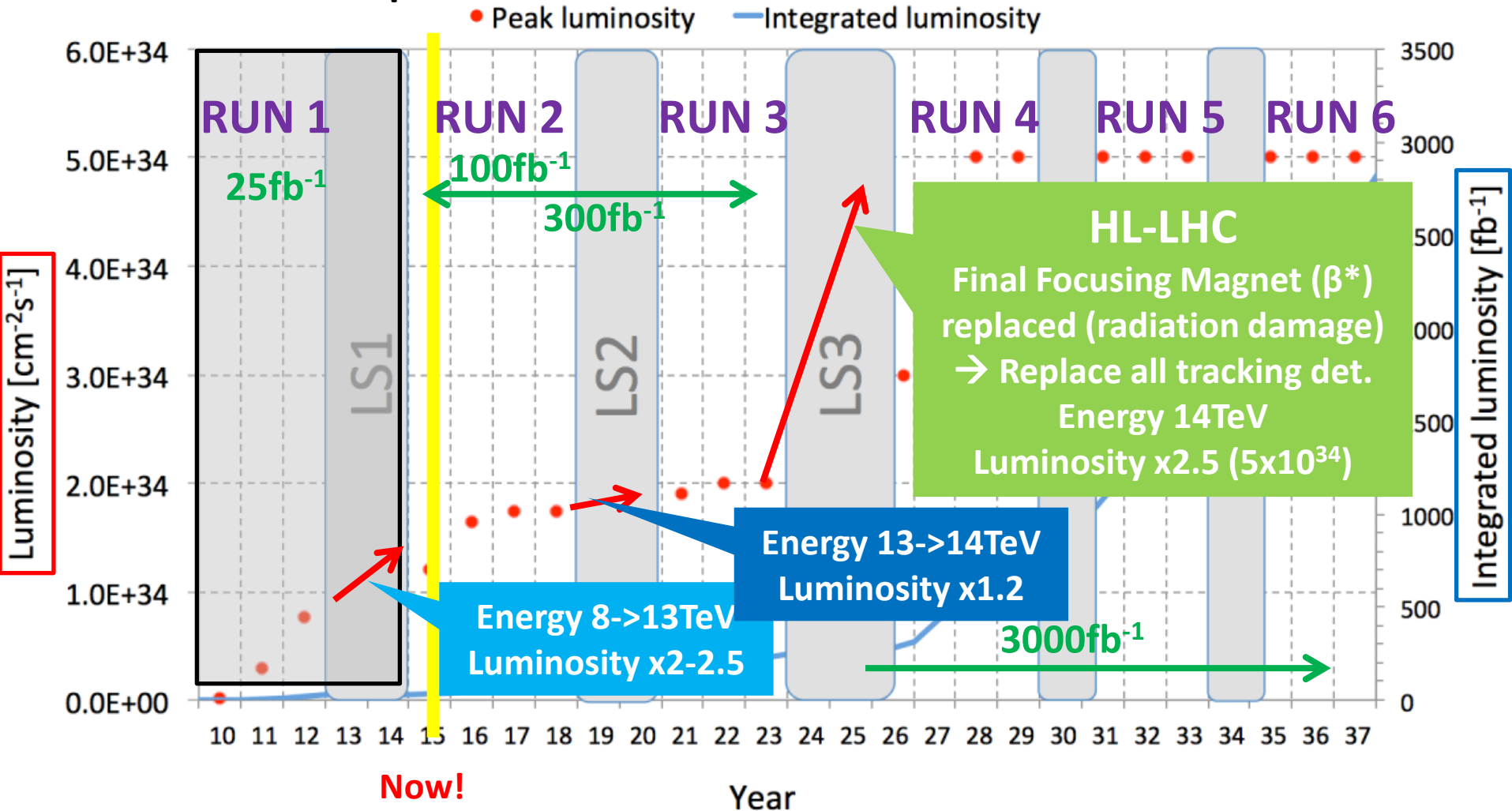
NEW



- Long shutdown (LS2&LS3) schedule is officially shifted 1-2 years.
 - Run3 starts 2021
 - HL-LHC starts 2026

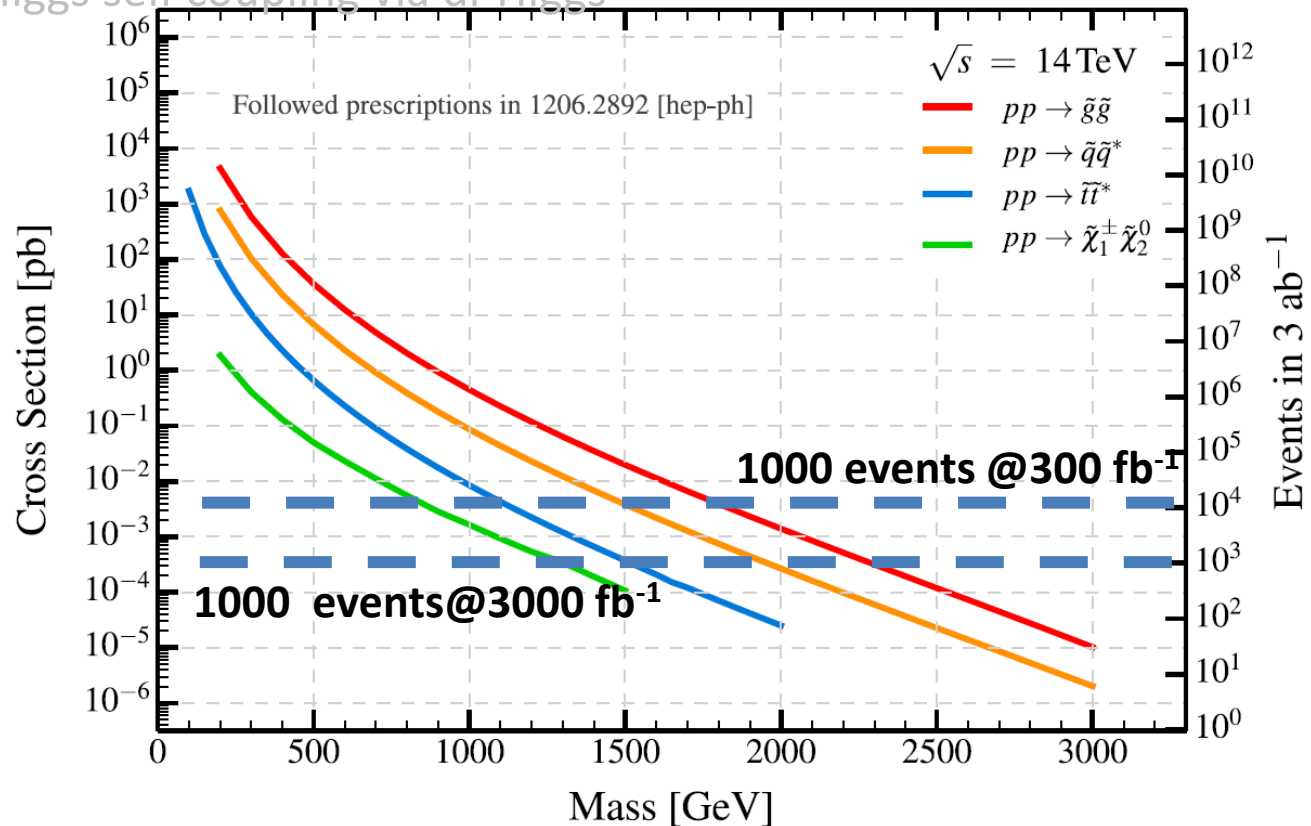
Upgrade schedule

- A bit complicated...



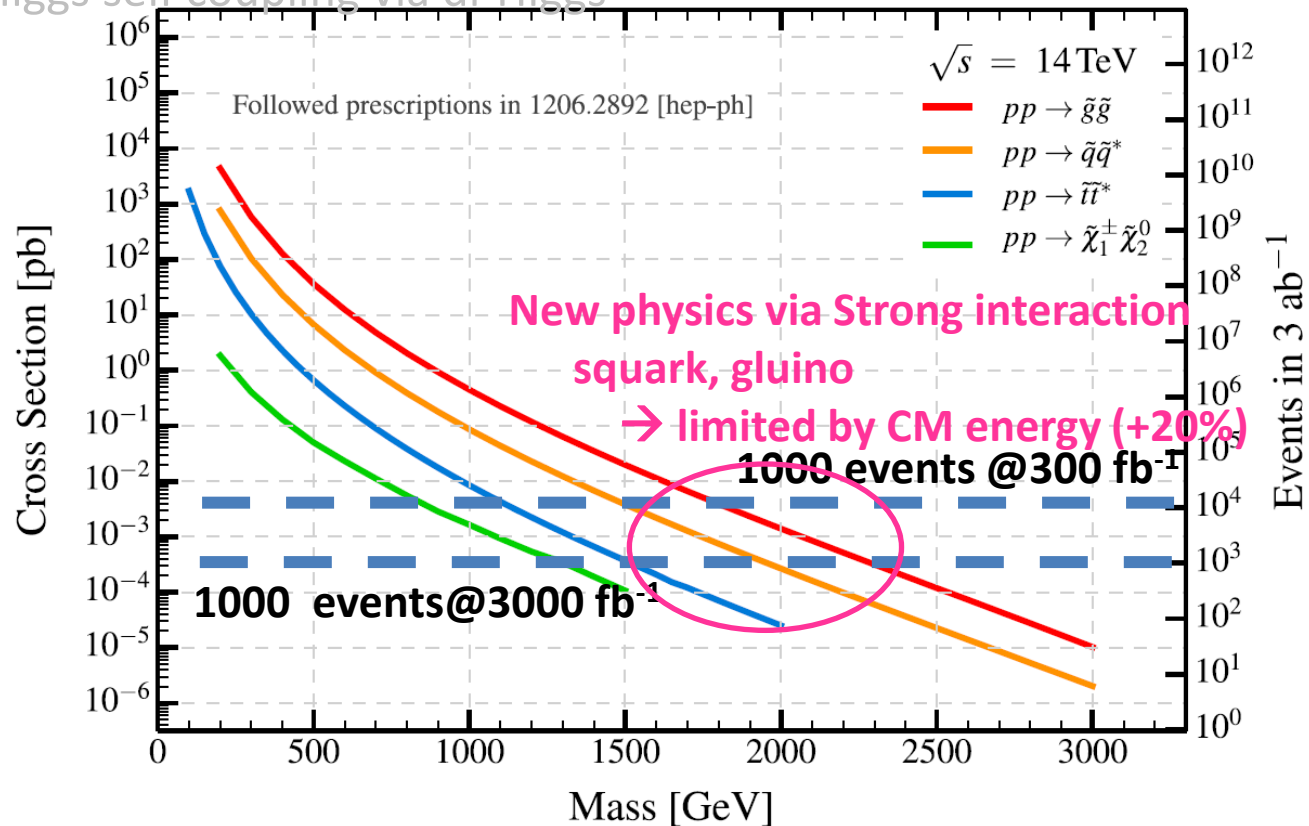
Physics motivation of HL-LHC

- Really need $300 \rightarrow 3000 \text{fb}^{-1}$ upgrade?
 - New Physics searches
 - Higgs searches and measurement
 - Coupling measurement, search for rare decay
 - Search for the Higgs self coupling via di-Higgs events.



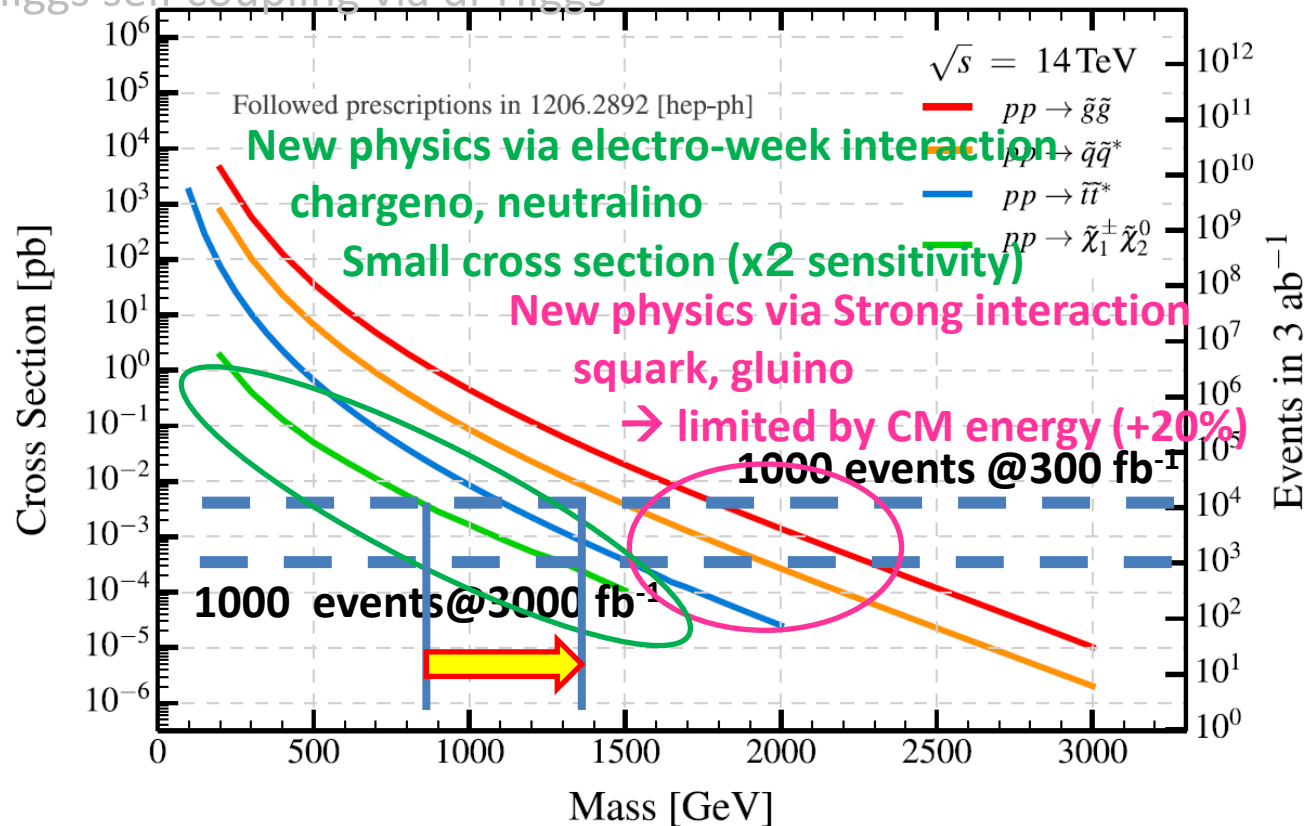
Physics motivation of HL-LHC

- Really need $300 \rightarrow 3000 \text{fb}^{-1}$ upgrade?
 - New Physics searches
 - Higgs searches and measurement
 - Coupling measurement, search for rare decay
 - Search for the Higgs self coupling via di-Higgs events.



Physics motivation of HL-LHC

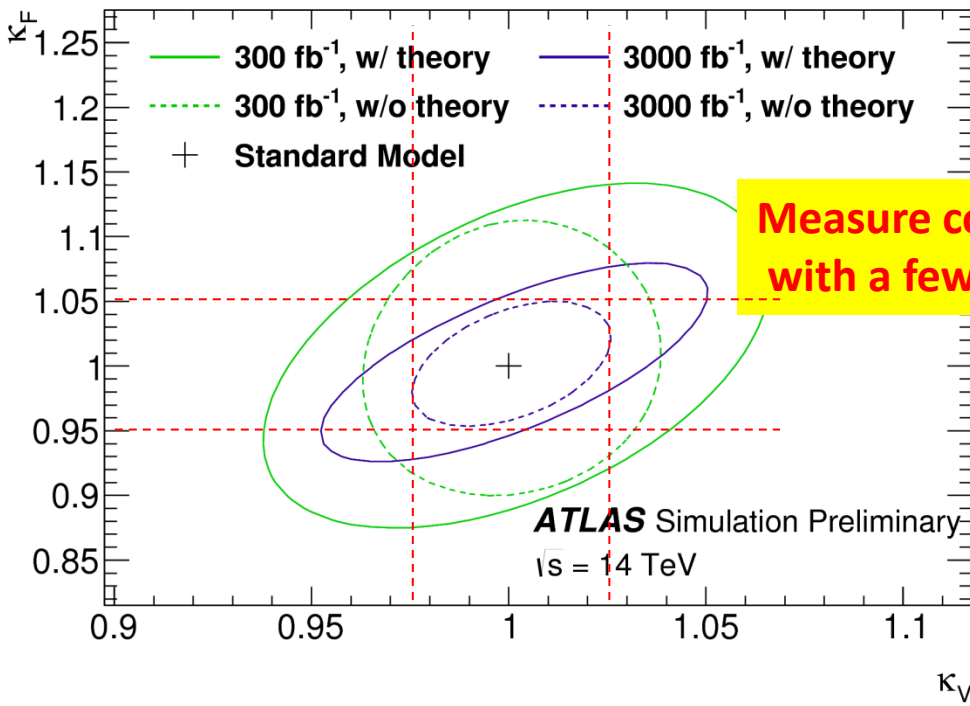
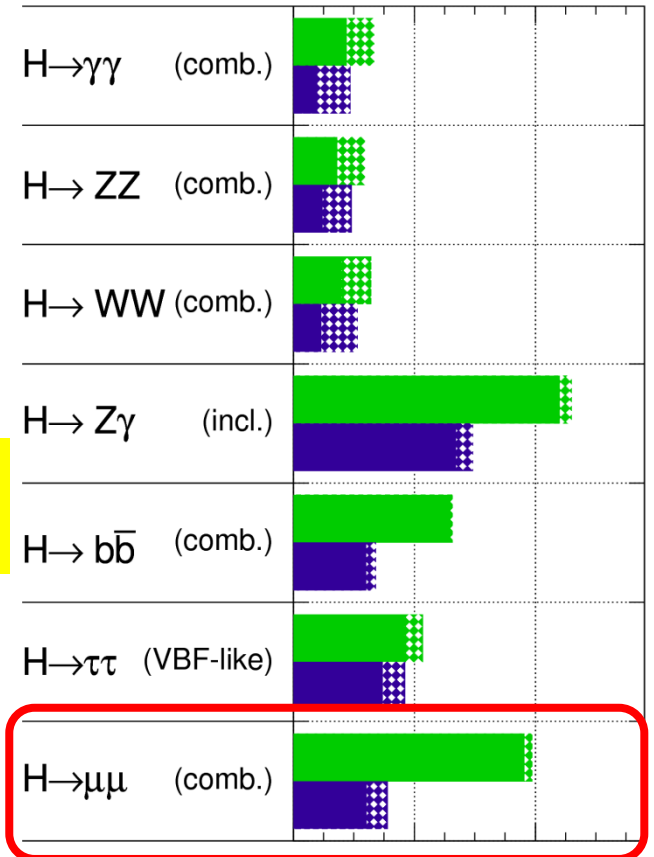
- Really need $300 \rightarrow 3000 \text{fb}^{-1}$ upgrade?
 - New Physics searches
 - Higgs searches and measurement
 - Coupling measurement, search for rare decay
 - Search for the Higgs self coupling via di-Higgs events.



Physics motivation of HL-LHC

- Really need $300 \rightarrow 3000 \text{ fb}^{-1}$ upgrade?
 - New Physics searches
 - Higgs searches and measurement
 - Coupling measurement, search for rare decay
 - Search for the Higgs self coupling via di-Higgs events.

ATLAS Simulation Preliminary
 $\sqrt{s} = 14 \text{ TeV}$: $\int \text{Ldt} = 300 \text{ fb}^{-1}$; $\int \text{Ldt} = 3000 \text{ fb}^{-1}$



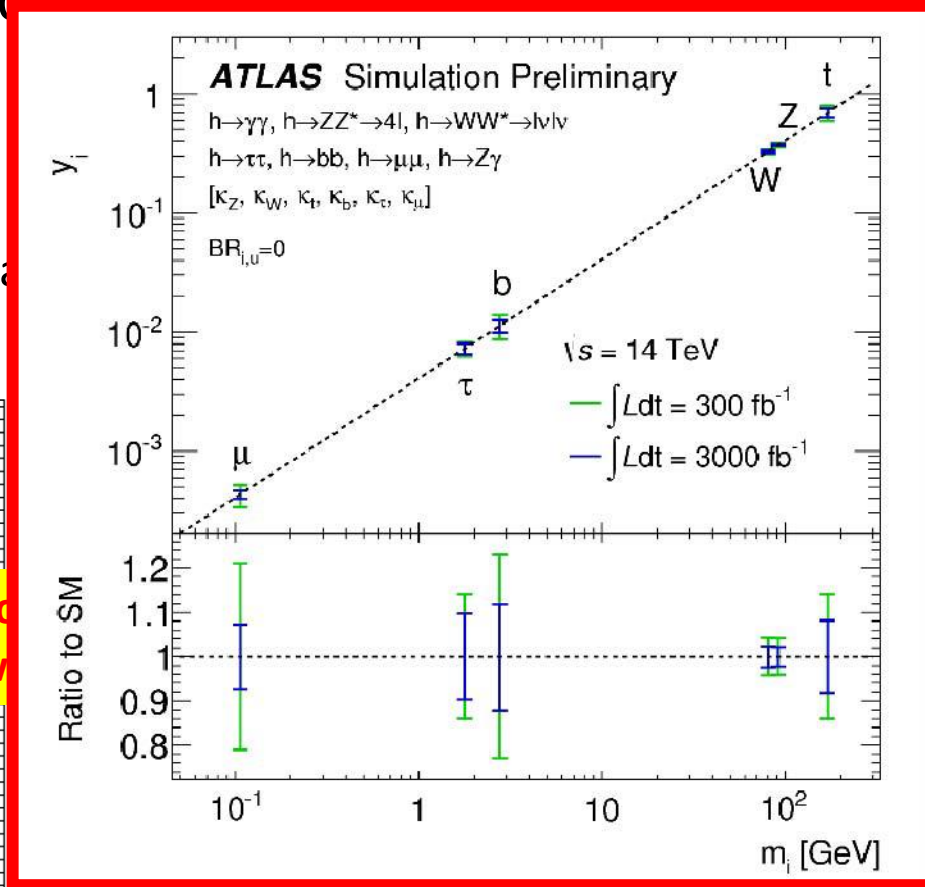
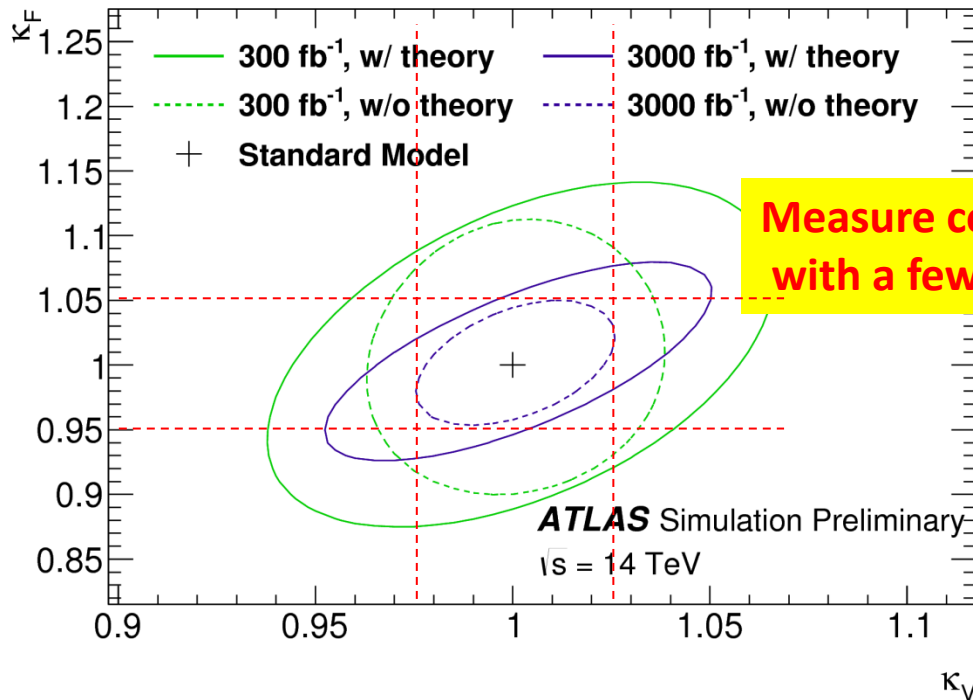
Measure coupling with a few % accuracy

Observe rare decay (Second generation coupling!)

Physics motivation of HL-LHC

• Really need $300 \rightarrow 3000 \text{ fb}^{-1}$ upgrade?

- New Physics searches
- Higgs searches and measurement
 - **Coupling measurement, search for**
 - Search for the Higgs self coupling via events.

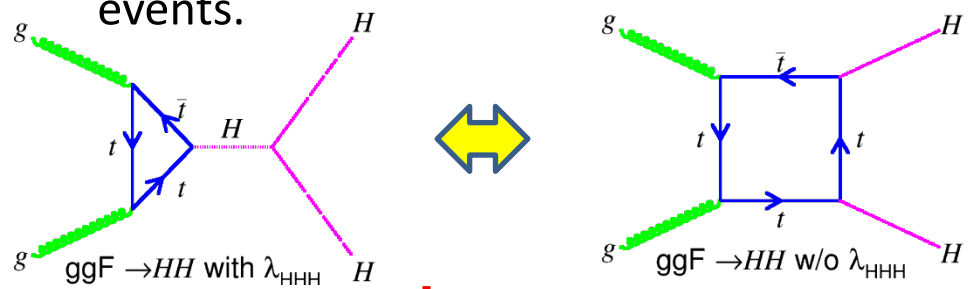


Observe rare decay (Second generation coupling!)

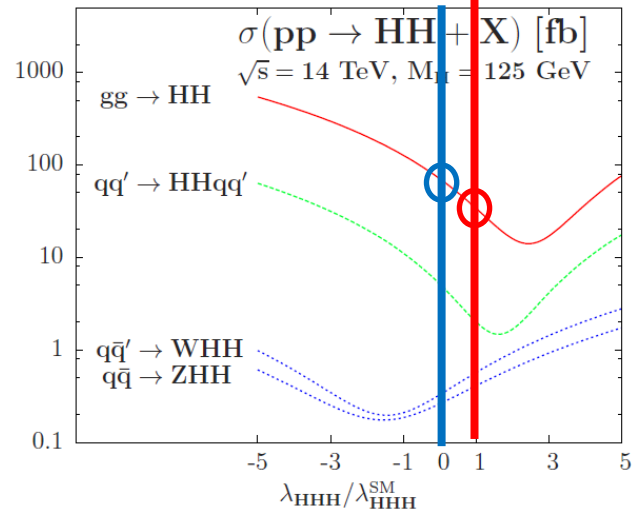
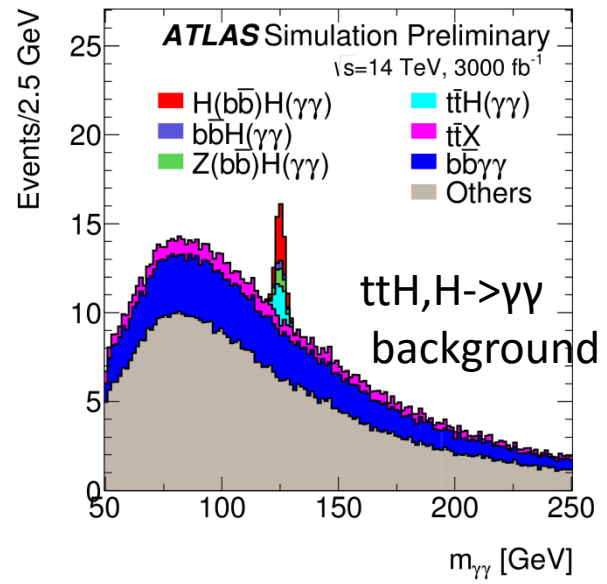
Physics motivation of HL-LHC

• Really need $300 \rightarrow 3000 \text{fb}^{-1}$ upgrade?

- New Physics searches
- Higgs searches and measurement
 - **Coupling measurement, search for rare decay**
 - Search for the Higgs self coupling via di-Higgs events.



Most sensitive : $gg \rightarrow HH \rightarrow bby\gamma$



Amount of self coupling changes
interference of triangle and box diagram

	$gg \rightarrow HH \sigma [\text{fb}^{-1}]$ @ 14TeV
$\lambda_{HHH} / \lambda_{HHH}^{SM} = 1$	34 fb^{-1}
$\lambda_{HHH} / \lambda_{HHH}^{SM} = 0$	71 fb^{-1}
$\lambda_{HHH} / \lambda_{HHH}^{SM} = 2$	16 fb^{-1}

$gg \rightarrow HH \rightarrow bby\gamma$ only
1.3 σ (@ SM HH)

\rightarrow Exclude $\lambda_{HHH} = 0$

\rightarrow improvement

\rightarrow **3σ with combination**

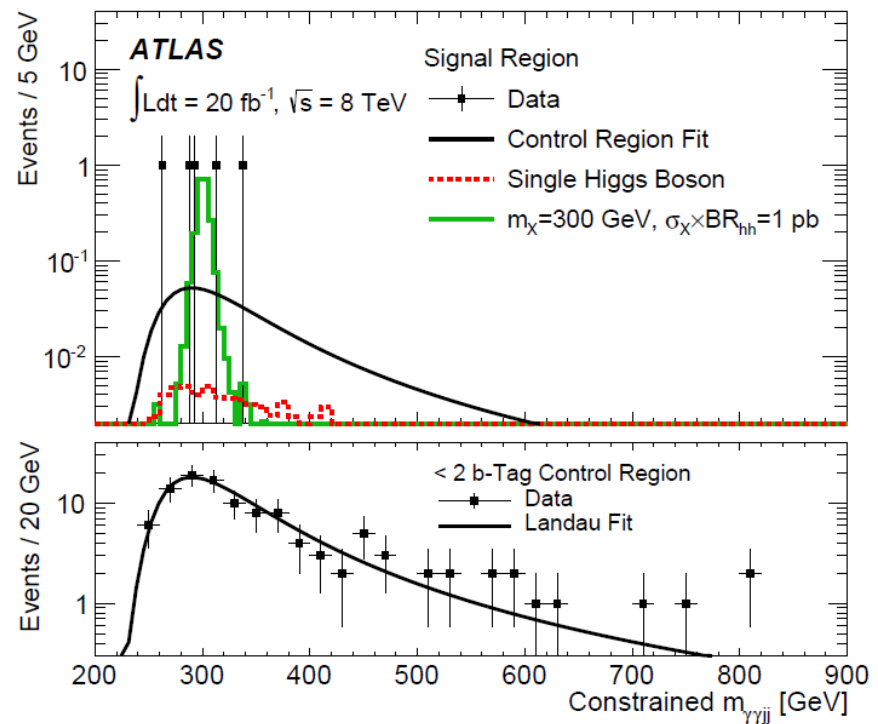
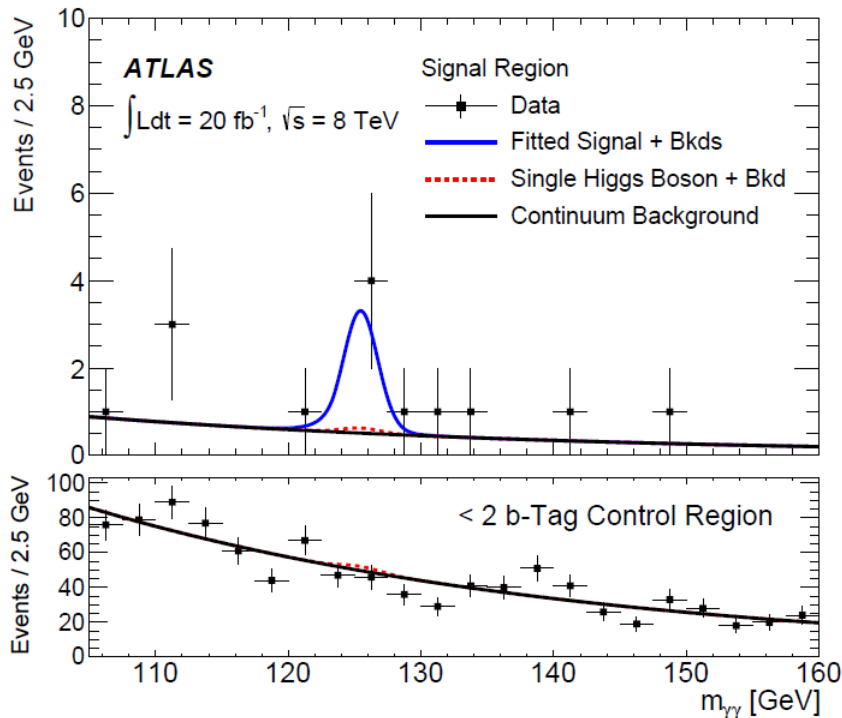
Run 1 result – Search for self coupling

- $HH \rightarrow \gamma\gamma bb$ search

- 4 event excess in $m_{\gamma\gamma}$ distribution after bb selection

- 2.4σ excess ($\sigma \sim 1\text{pb}$, 30 times bigger than $\sigma_{HH} = 34\text{fb}^{-1}$)

- Not excluded possibility of an excess of $M_{\gamma\gamma jj} \sim 300\text{GeV}$



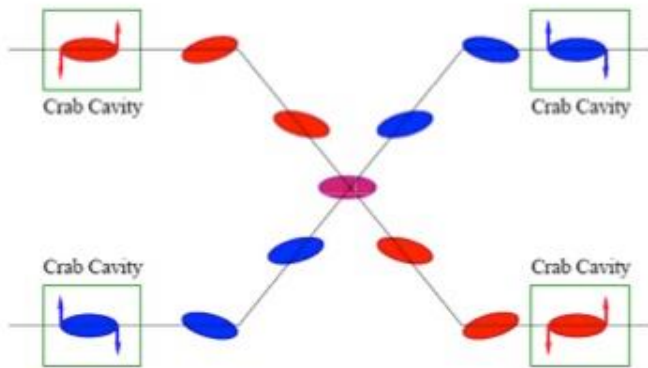
アップグレード計画 検出器のアップグレード

HL-LHC : 加速器のアップグレード

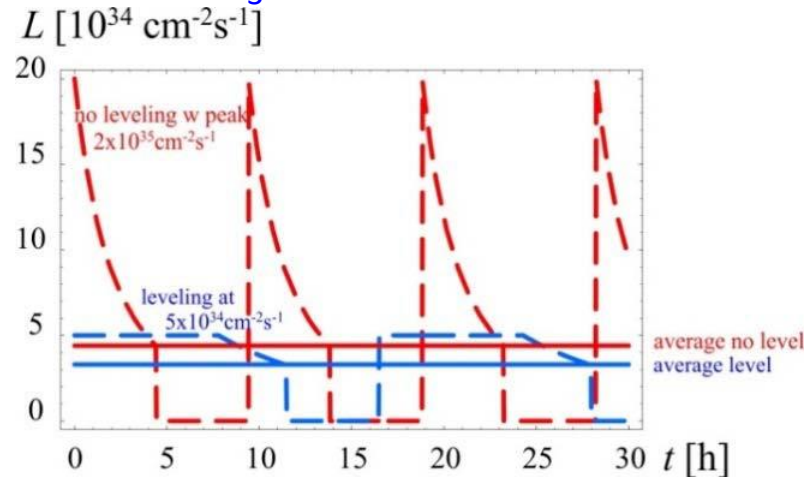
$$L = \underbrace{\gamma_r}_{\text{Energy}} \underbrace{\frac{N_b^2 n_b f_{rev}}{4\pi\epsilon_n \beta^*}}_{\text{Beam Size}} \underbrace{F}_{\text{Beam current}}$$

$$F = 1 / \sqrt{1 + \frac{(\theta_c \sigma_z)^2}{4\epsilon_n \beta^*} \gamma_r}$$

Geometric reduction factor



- ビーム増強、高品質化
 - LHC入射器アップグレード
 - エミッタンスの抑制
 - クラブ空洞の導入
- β^* の低減(0.55m→0.15m)
 - 新しいビーム光学&磁石配置
 - 大きなビーム交差角
 - ビーム最収束部磁石の高性能化
 - 収束4極磁石(Nb₃Sn製 12.2T)



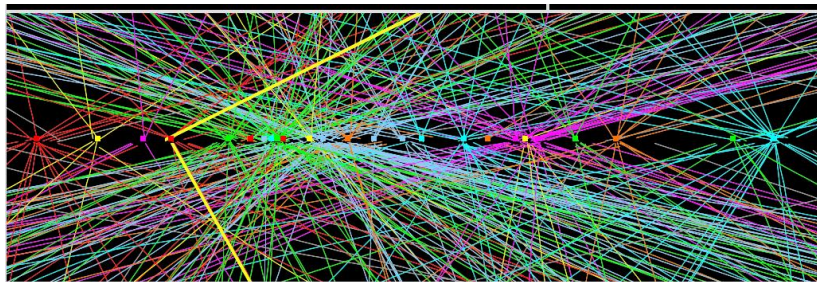
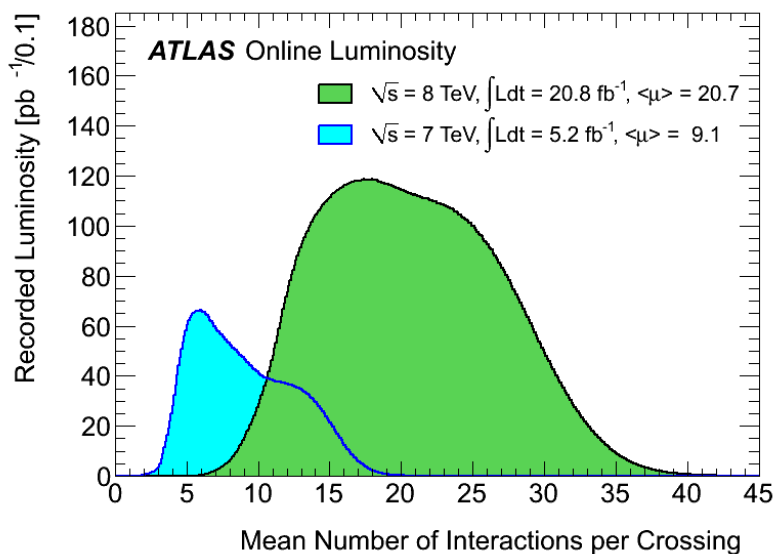
検出器アップグレード

事象あたりの陽子衝突数

現在まで $(0.7 \times 10^{34} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1})$

平均10-35 衝突 (デザインは25)

$5 \times 10^{34} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ では？



検出器アップグレード

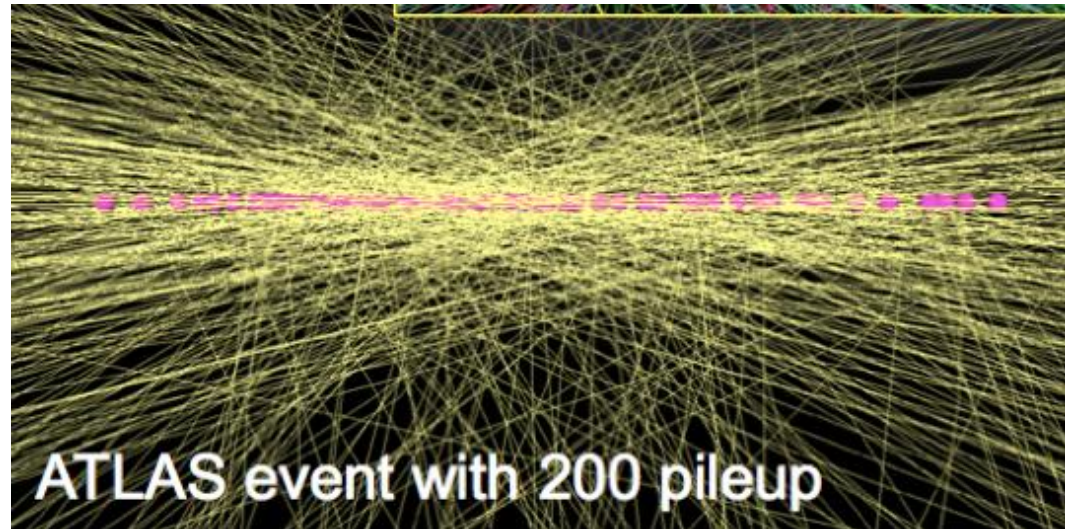
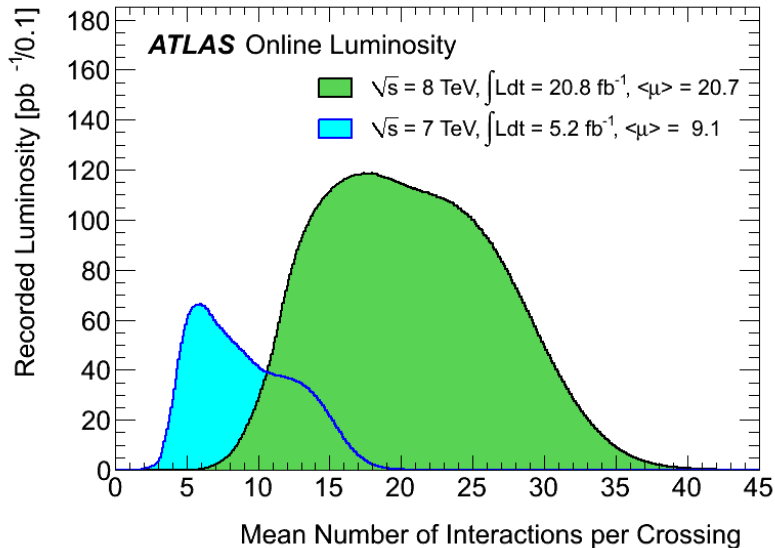
事象あたりの陽子衝突数

現在まで ($0.7 \times 10^{34} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$)

平均10-35 衝突 (デザインは25)

$5 \times 10^{34} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ では？

平均140衝突



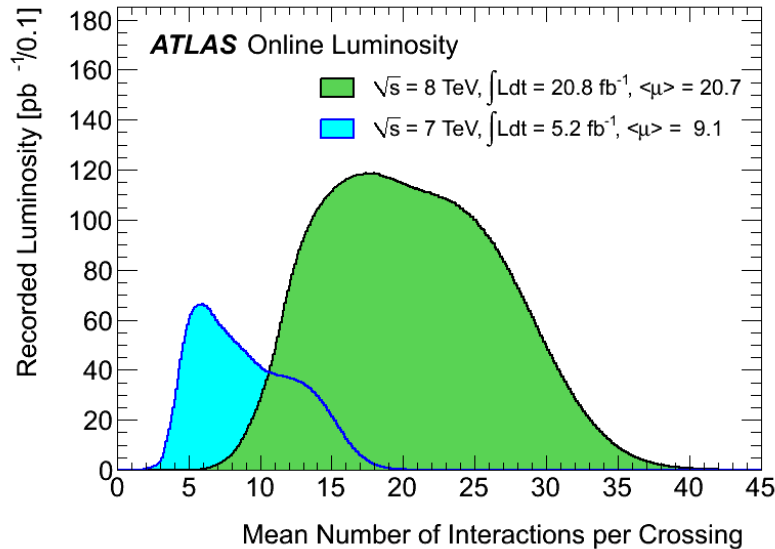
これを識別する検出器が必要！
特にトラッキングが重要

検出器アップグレード

事象あたりの陽子衝突数

現在まで ($0.7 \times 10^{34} \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$)

平均10-35 衝突 (デザインは25)



$5 \times 10^{34} \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ では？

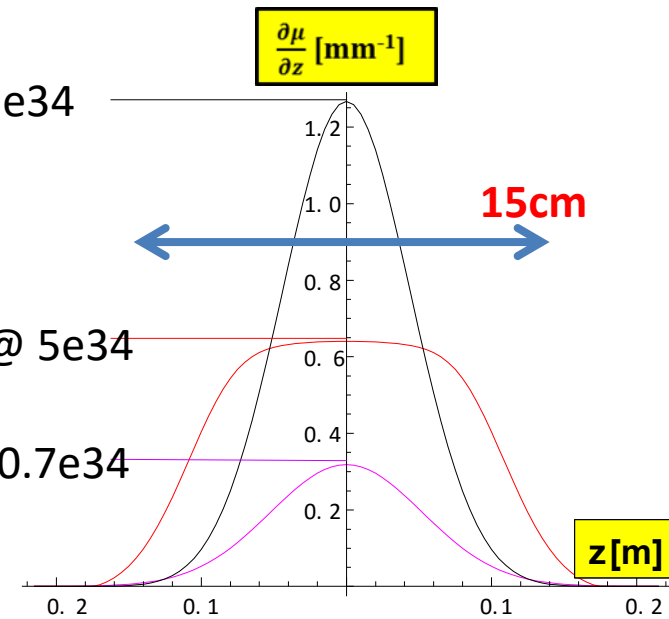
平均140衝突

HL-LHC $\mu=140 @ 5e34$



HL-LHC++ $\mu=140 @ 5e34$

現行LHC $\mu=40 @ 0.7e34$

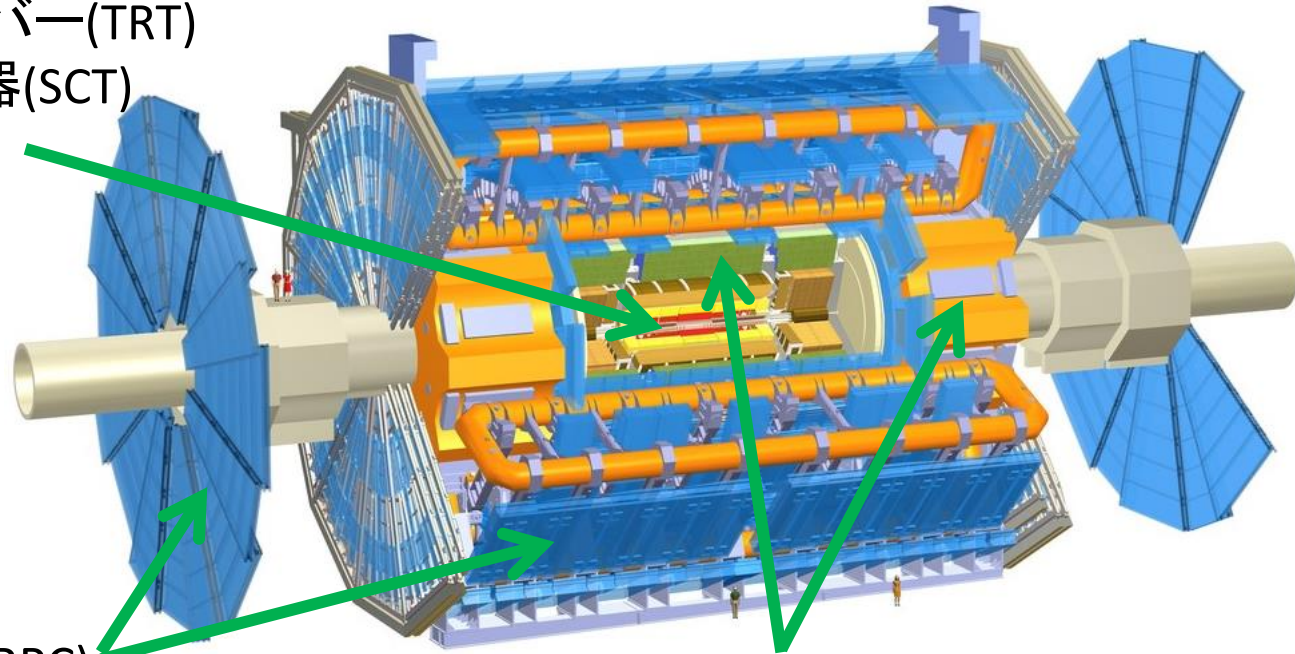


これを識別する検出器が必要！
特にトラッキングが重要

検出器アップグレード

内部飛跡検出器

ストローチューブチェンバー(TRT)
シリコンストリップ検出器(SCT)
ピクセル検出器(Pixel)



ミュー粒子検出器

トリガーチェンバー(TGC, RPC)
ドリフトチューブチェンバー(MDT)
[トロイドマグネット]

カロリメータ

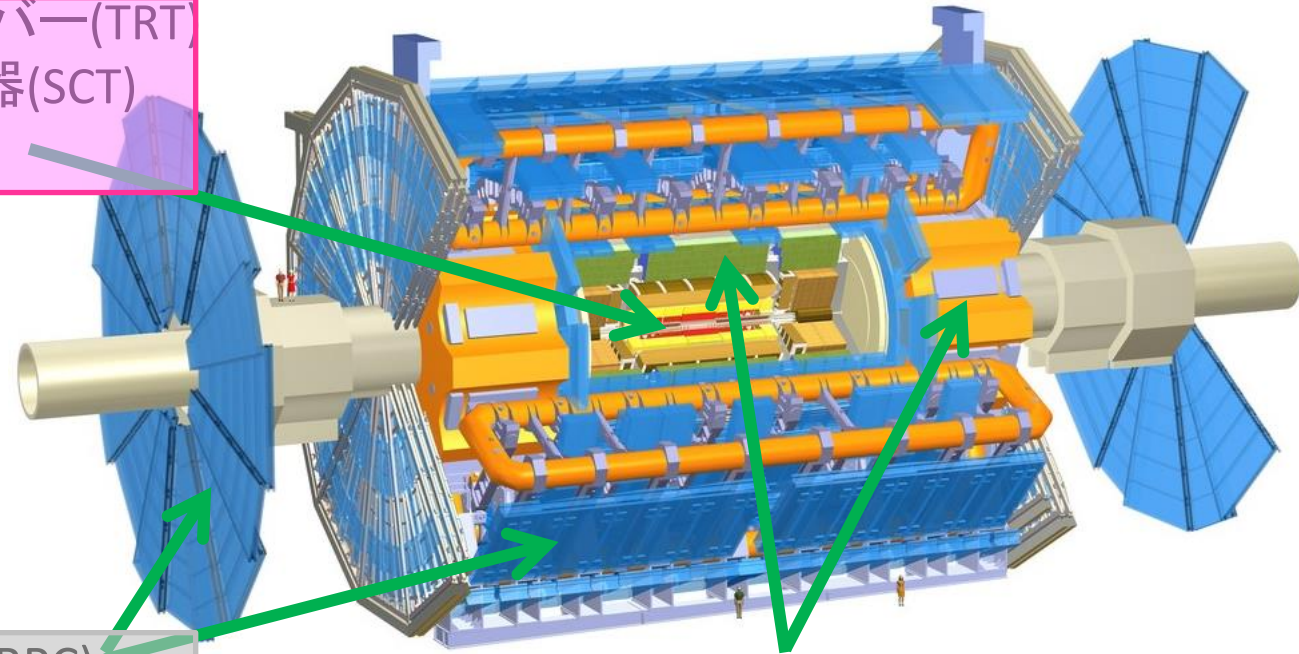
LAr 電磁カロリメータ
ハドロンカロリメータ
前方カロリメータ
[ソレノイドマグネット]

検出器アップグレード

内部飛跡検出器

ストローチューブチェンバー(TRT)
シリコンストリップ検出器(SCT)
ピクセル検出器(Pixel)

総入れ替え！
すべてシリコン検出器



ミュー粒子検出器

トリガーチェンバー(TGC, RPC)
ドリフトチューブチェンバー(MDT)
[トロイドマグネット]

検出器の入れ替えは無し

カロリメータ

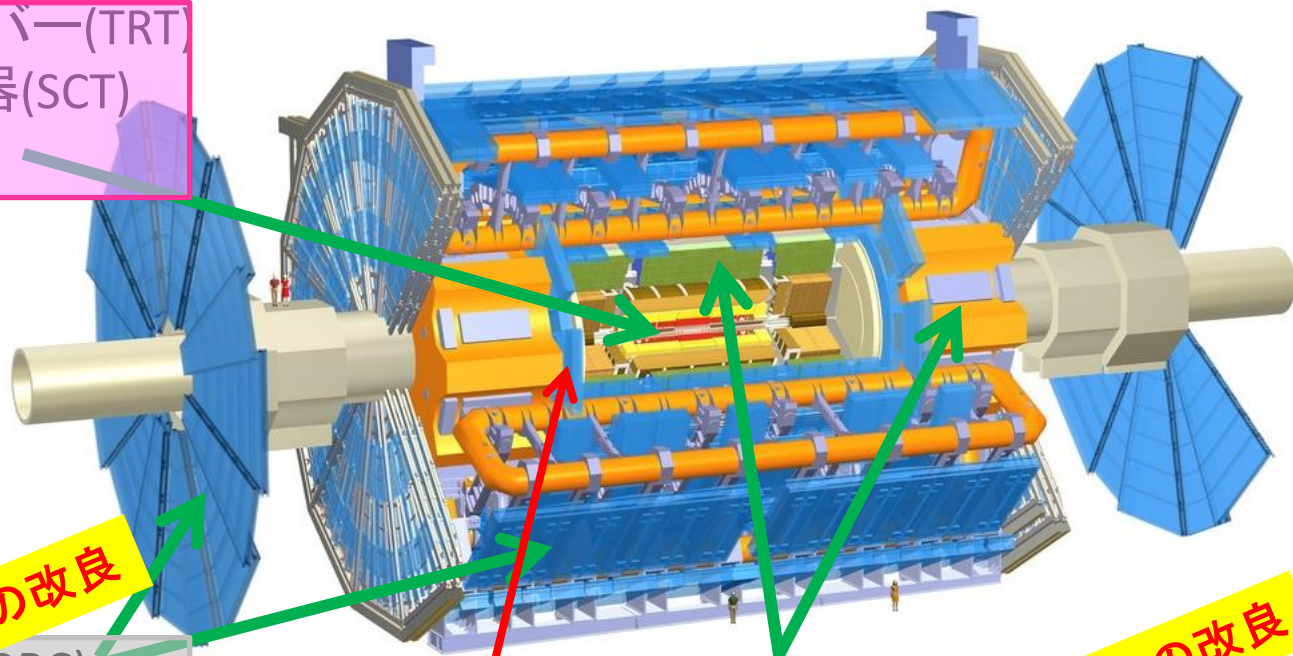
LAr 電磁カロリメータ
ハドロンカロリメータ
前方カロリメータ
[ソレノイドマグネット]

検出器アップグレード

内部飛跡検出器

ストローチューブチェンバー(TRT)
シリコンストリップ検出器(SCT)
ピクセル検出器(Pixel)

総入れ替え！
すべてシリコン検出器



ミュー粒子検出器

トリガーチェンバー(TC, RPC)
ドリフトチェンバー(MDT)
[トロイドマグネット]

トリガーロジックの改良

内層に新たなチェンバー
(New Small Wheel)

検出器の入れ替えは無し

カロリメータ

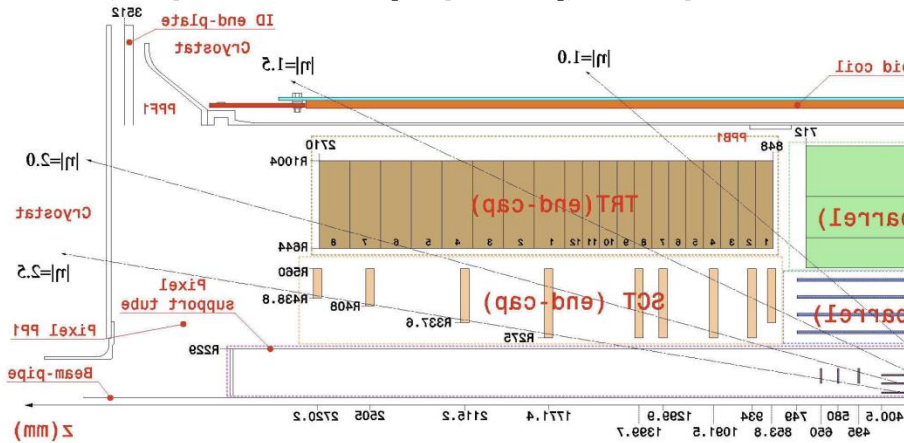
LArカロリメータ
ハドロンカロリメータ
前方カロリメータ
[ソレノイドマグネット]

読み出しエレキの改良

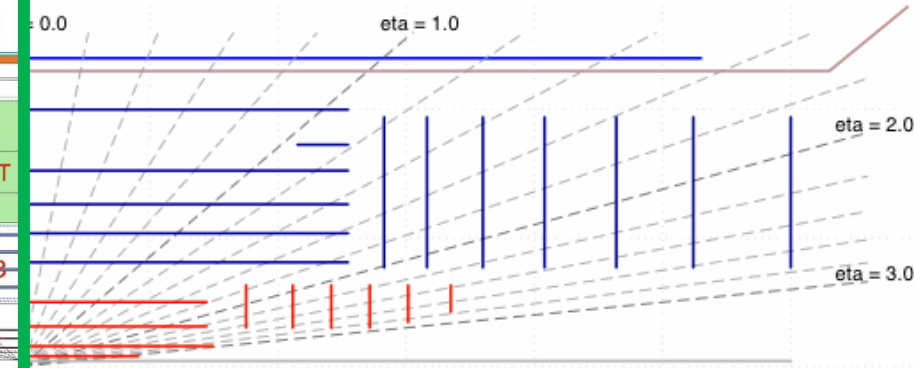
日本グループが狙っていること

内部飛跡検出器

現行の内部飛跡検出器



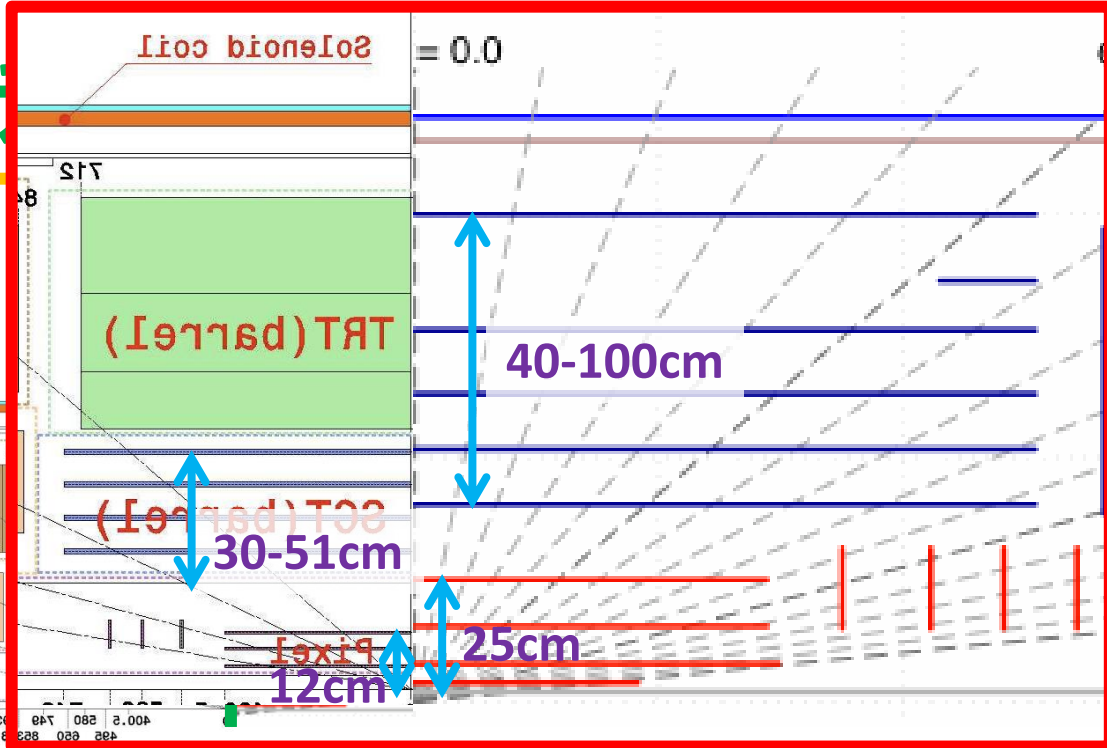
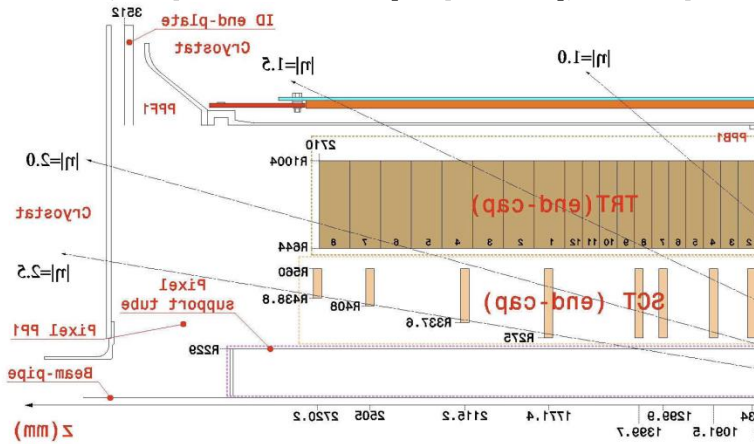
アップグレード後のデザイン(仮)



$$\eta = \log \tan \frac{\theta}{2} .$$

内部

現行の内部飛跡検出器

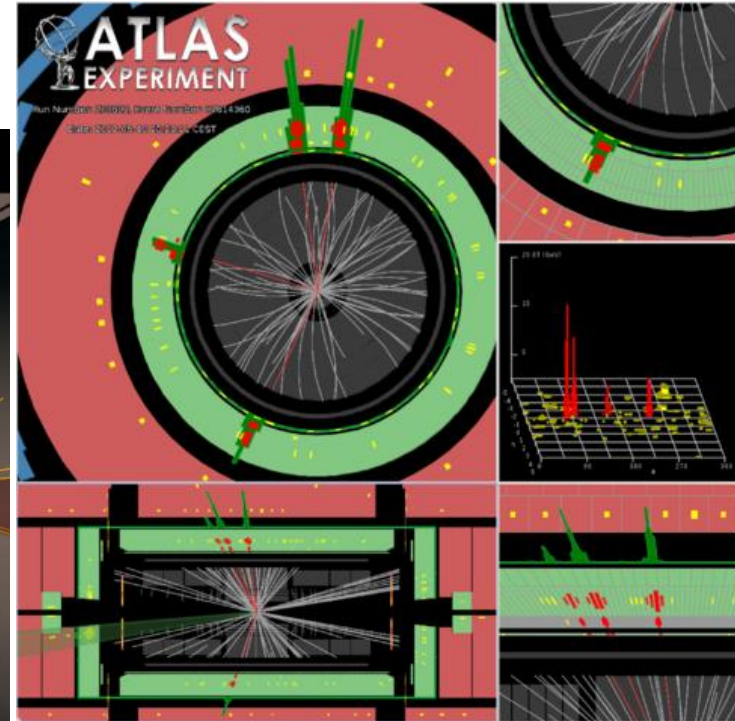
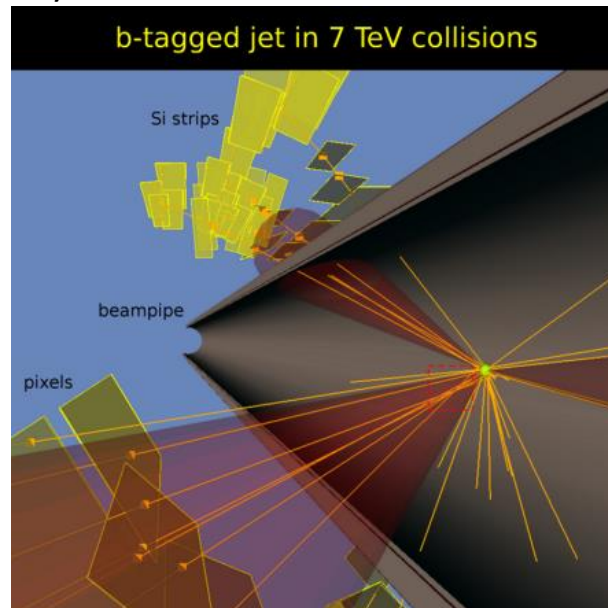
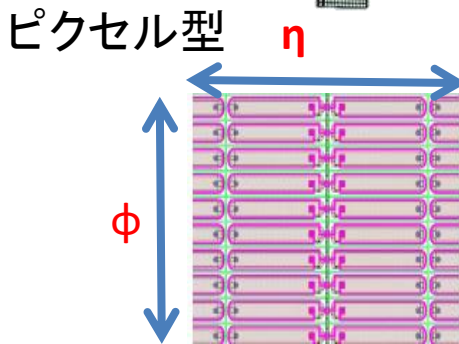
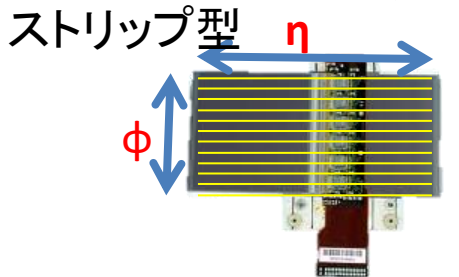
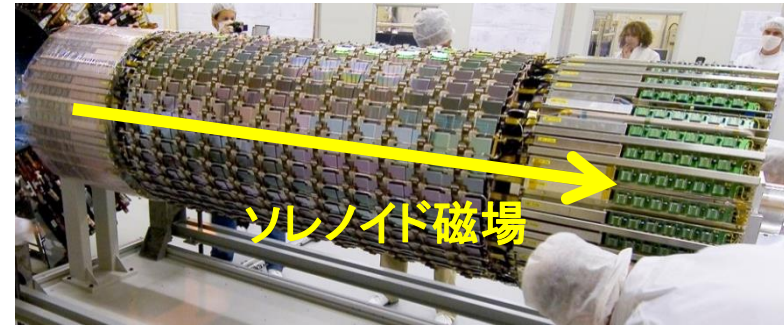


		現行	アップグレード
ピクセル	半径	3.3-12cm	4-25cm
	面積	2.7m²	8.2m²
ストリップ	半径	30-51cm	40-100cm
	面積	62m²	193m² : 122(B)+71(EC)
Transition Radiation Tracker		56-107cm	

内部飛跡検出器

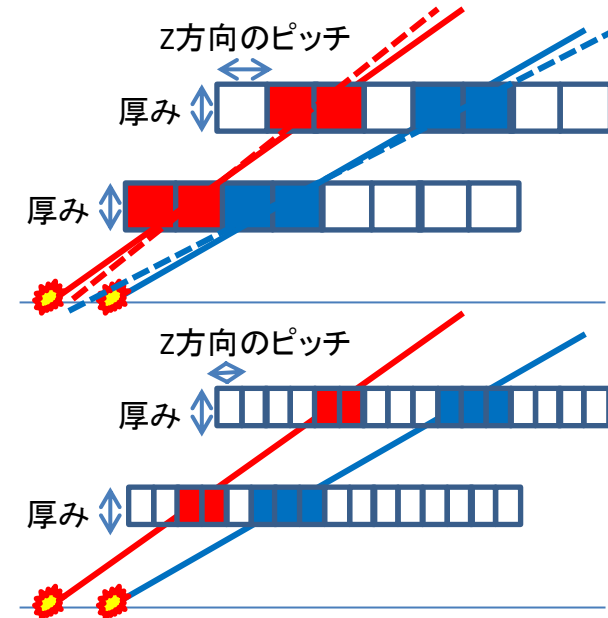
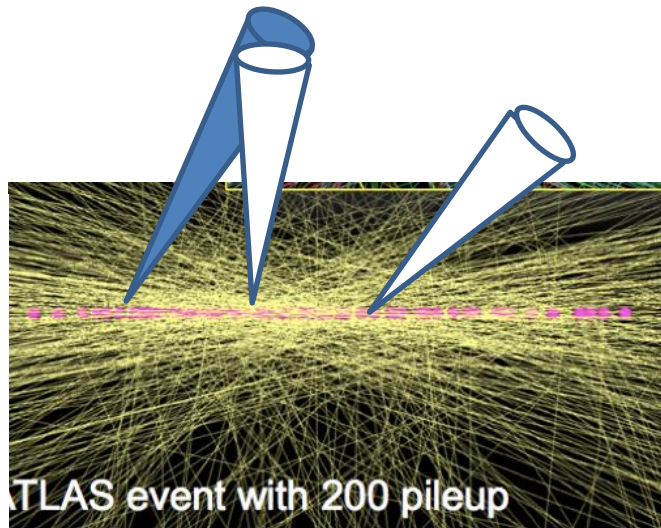
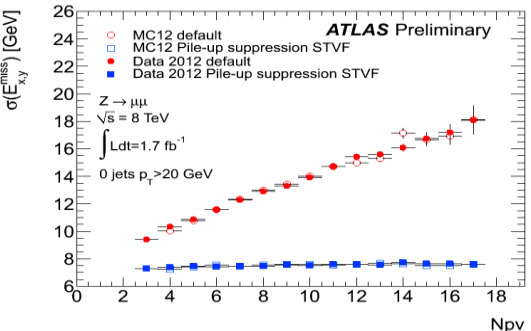
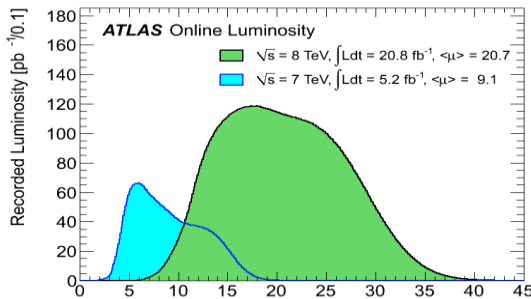
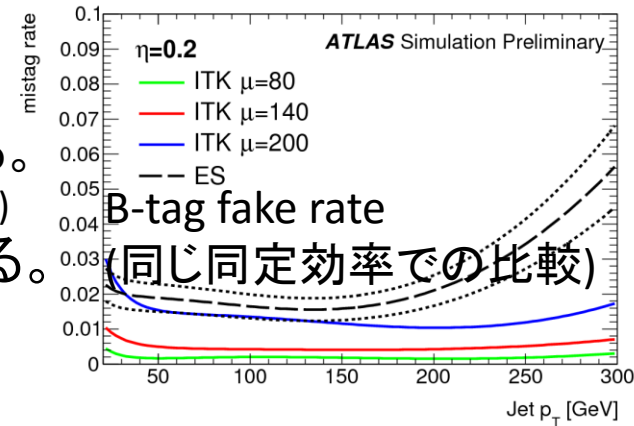
- ピクセル検出器が大事

- 運動量測定には ϕ 方向の分解能が大事(ストリップ検出器)
- η 方向の分解能が必要な理由
 - 長寿命粒子(b-jet, τ 粒子)の二次崩壊点を3次的に再構成
 - パイルアップ衝突点からの飛跡を識別
 - 衝突点(z座標)の決定



予想される性能と要求

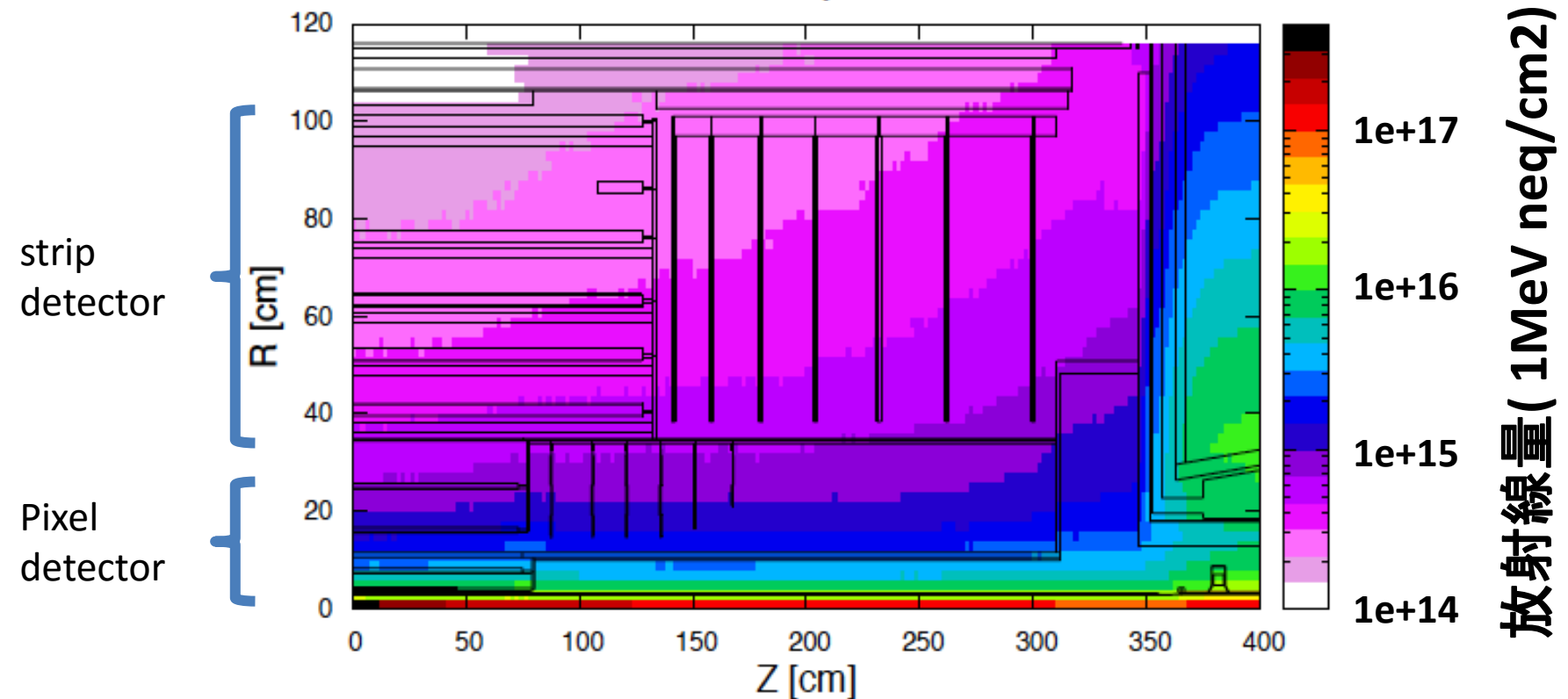
- B-tagの性能を140陽子衝突くらいまで保つ。
 → 同じ同定効率で比較して、fake rateは数倍程度悪化する。
 → (解析にもよるが)そんなにクリティカルではない。(fake rate<1%)
- Trackingを用いてMETのパイルアップ依存性を軽減する。
 → 厚みとZ方向のピッチの最適化は必要
 → **最適化と最後まで動く検出器を作ることが最も重要**



放射線耐性

- 3000fb^{-1} で予想される放射線量
 - ピクセルの外側 $3 \times 10^{15} \text{ neq/cm}^2$ 内側 $2.2 \times 10^{16} \text{ neq/cm}^2$

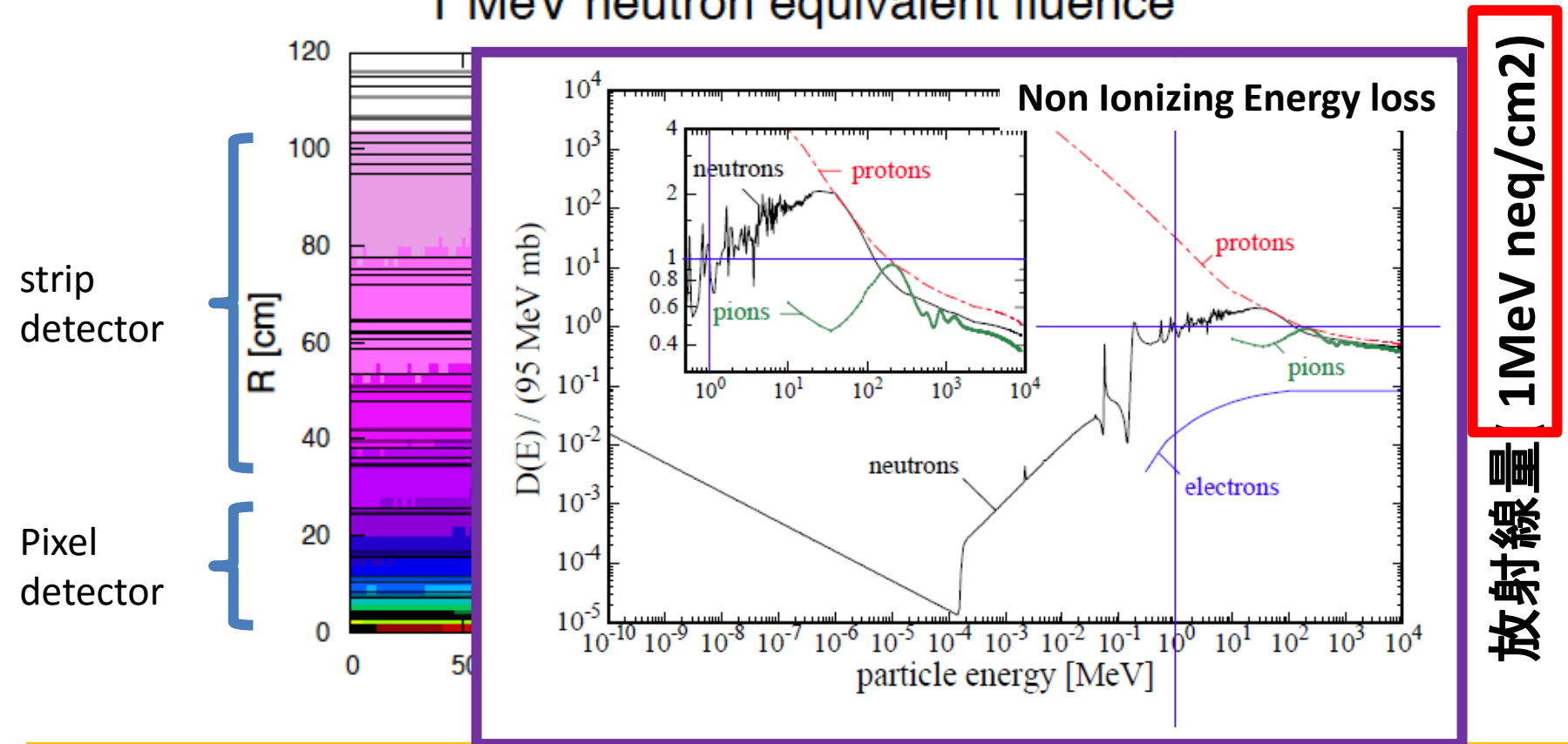
1 MeV neutron equivalent fluence



放射線耐性

- 3000fb^{-1} で予想される放射線量
 - ピクセルの外側 $3 \times 10^{15} \text{ neq/cm}^2$ 内側 $2.2 \times 10^{16} \text{ neq/cm}^2$

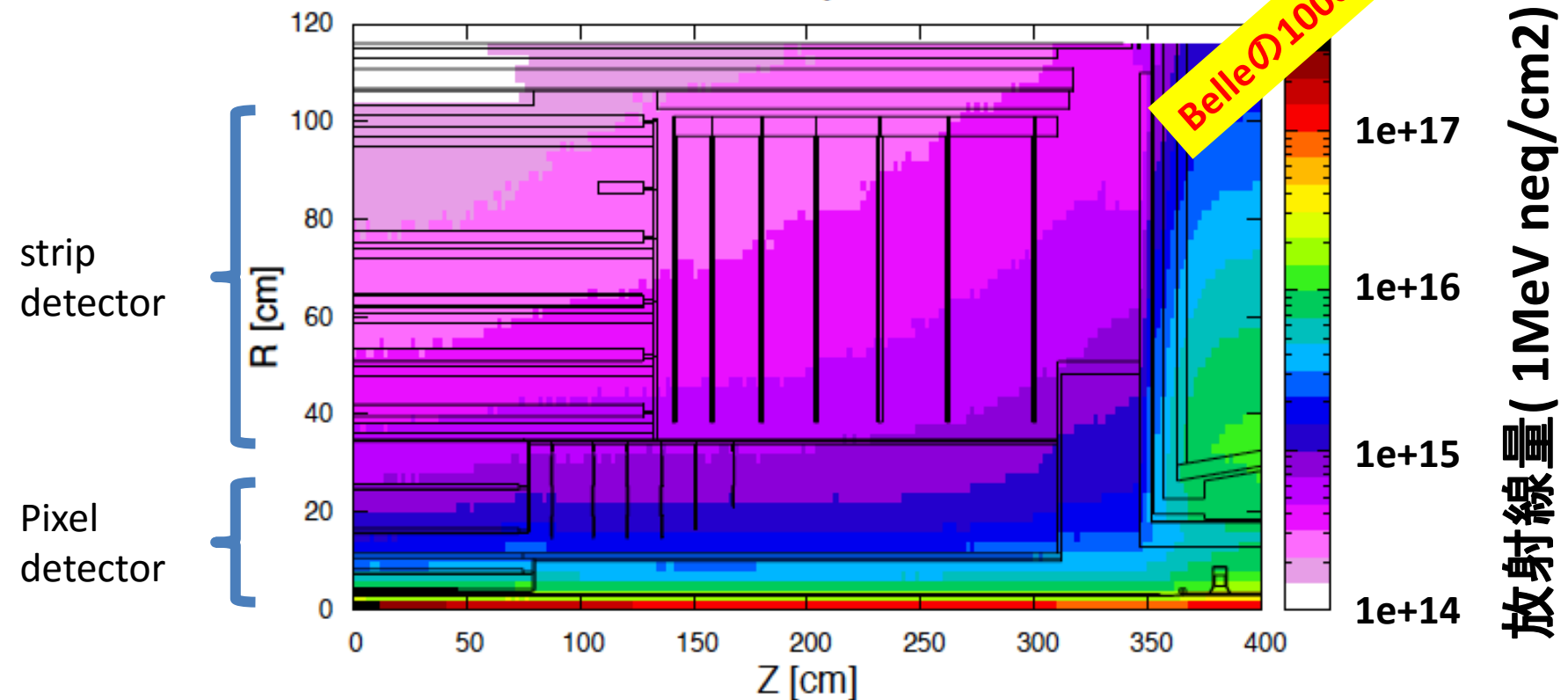
1 MeV neutron equivalent fluence



放射線耐性

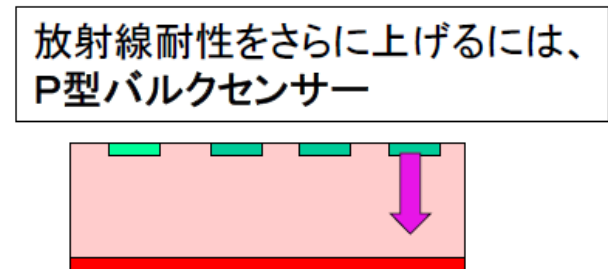
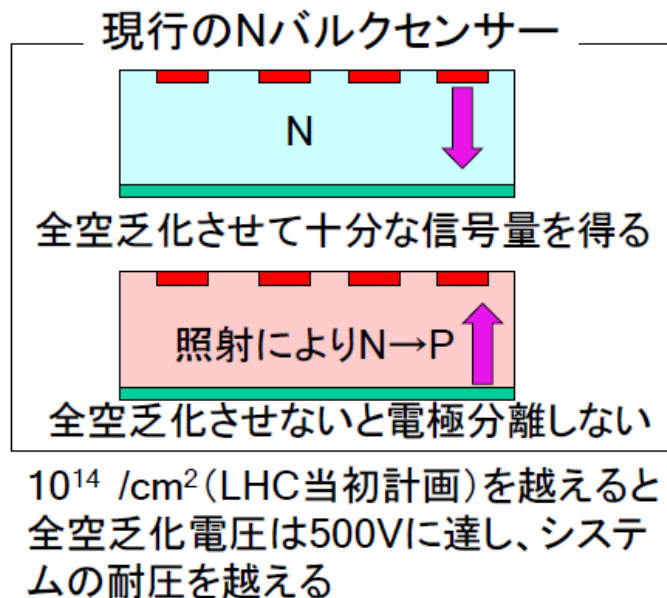
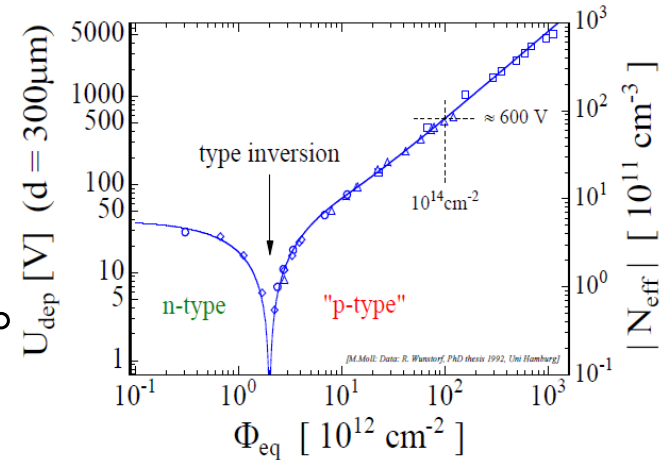
- 3000fb^{-1} で予想される放射線量
 - ピクセルの外側 $3 \times 10^{15} \text{ neq/cm}^2$ 内側 $2.2 \times 10^{16} \text{ neq/cm}^2$

1 MeV neutron equivalent fluence



シリコンのバルク損傷とn-in-p検出器

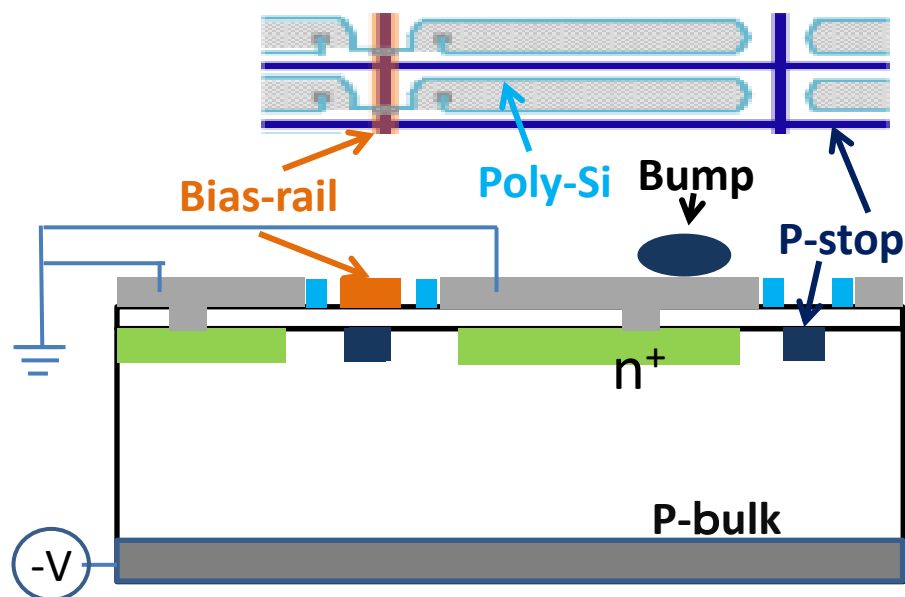
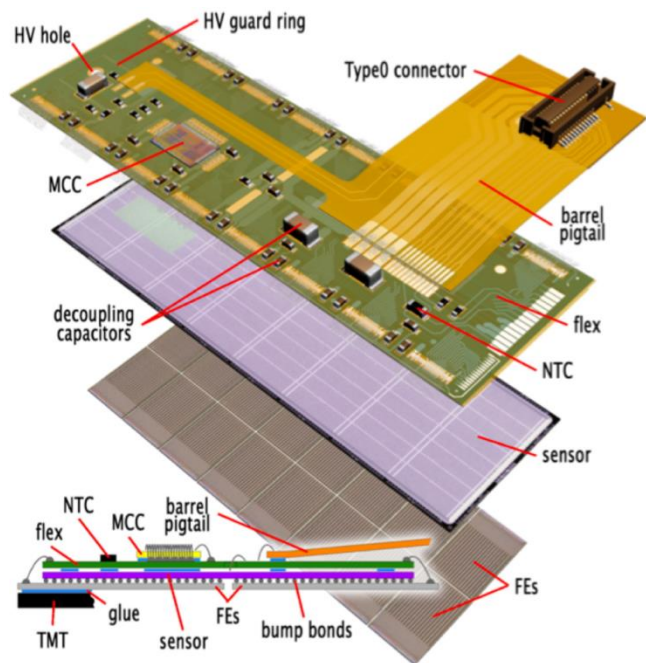
- n型バルクとp型バルク
 - 放射線損傷でn型バルクはp型に型変換する。
 - 型変換すると空乏層の広がり逆になるので、読み出しには全空乏化が必要。
 - センサーの耐圧で制限される。
- もしくは両面プロセス(ただし高価)



型反転しない
PN接合側の電極は部分空乏化でも分離
耐圧を越えたら、電圧を下げても運転
(信号量は減る)

技術的な難しさ/開発要素 ~センサー~

- 2次元的に電極が配置されているので...
 - センサー構造が複雑
 - (センサー単体試験用)バイアスレールやバイアス抵抗の構造
 - 各ピクセルの電極からの信号を読みだすため、読み出しチップ(ASIC)とシリコンセンサーの電極をつなげる。
 - (例) ASICを**バンプボンディング**という方法でセンサーに接着



技術的な難しさ/開発要素 ~読み出し~

- 現在R&Dに使用中の読み出しチップ(FE-I4B) – IBL 用に開発

- **サイズ**

- **50 μm (ϕ) x 250 μm (η) pitch**
- 336 rows x 80 columns (2x2cm²)

- 130nm bulk CMOS process

- Amp/Shaper/discriminator

- **読み出し(初段トリガをもらって)**

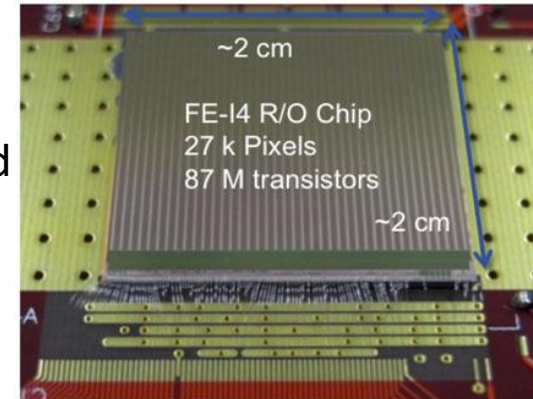
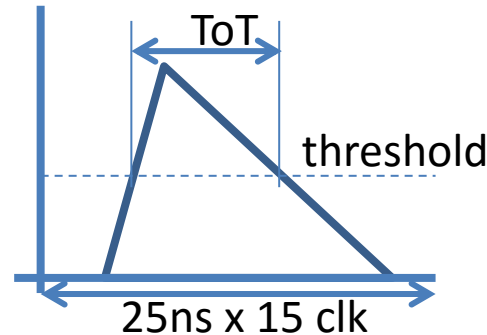
- **4-bit ToT(time over threshold) readout**
- Output : 8b/10b encoded with **160Mb/s**

- **放射線耐性**

- **300 Mrad ~ 6x10¹⁵neq/cm².**

- Operation Temp

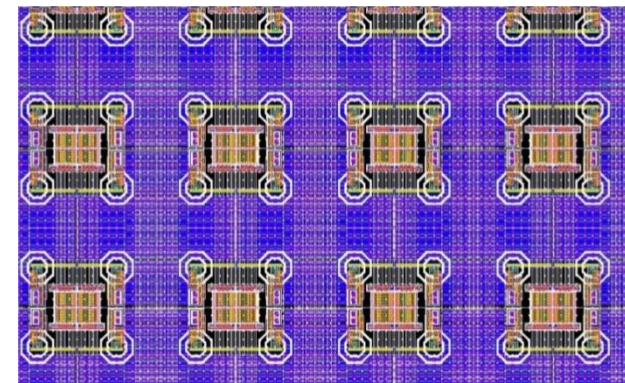
- -40-60°C



- 新しいチップの開発 (by RD53)

- **出力バンド幅増強の要請**

- IBM130nm process の不透明な将来
→ New RD53 chip の開発(CMSと共同)



ピクセルサイズ : 50x50 μm^2

65nm technology

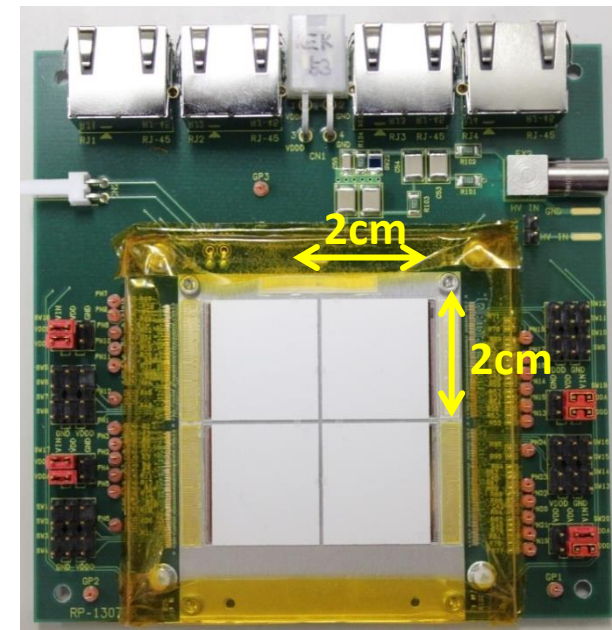
Up to 2Gb/s output

日本グループの開発研究

- 最も有力なPlaner pixel module の開発 (外層用).
 - センサータイプ(**n⁺-in-p⁺ type**) 読み出しチップ: FE-I4
 - ピクセルサイズ: **50x250 μ m(50x50 μ m)**, 厚み : **150 μ m**

国際的な競争は激しいが、日本グループが浜松ホトニクスと共同開発したピクセルモジュールをATLAS検出器にインストールすることを目標

- バンプボンディング技術の確立
- センサー構造の最適化
- チップ-センサー間の放電対策
- エッジ構造の最適化
- モジュールの放射線耐性
 - 読み出しチップの放射線耐性の評価
-



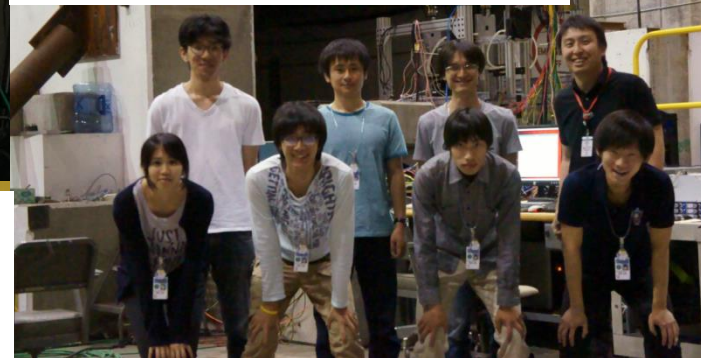
CYRIC@東北大



32コース



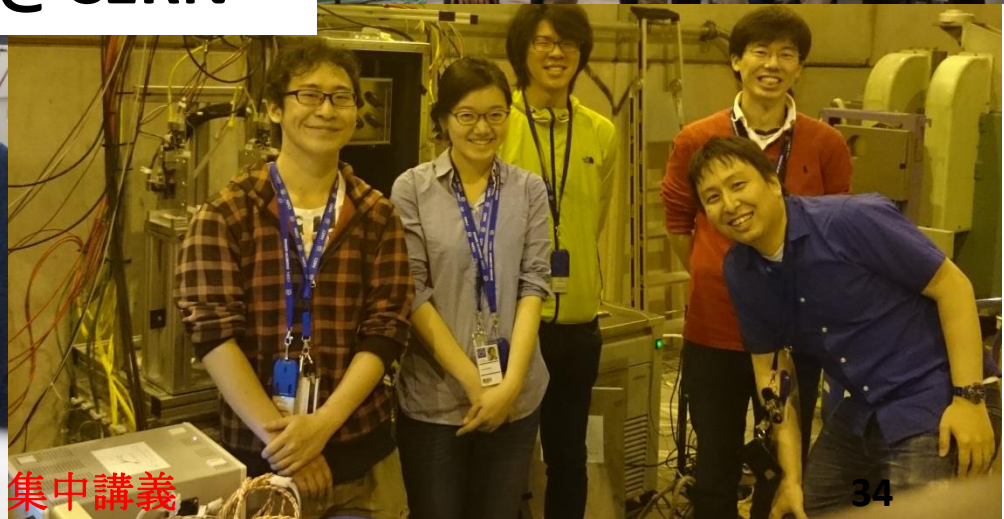
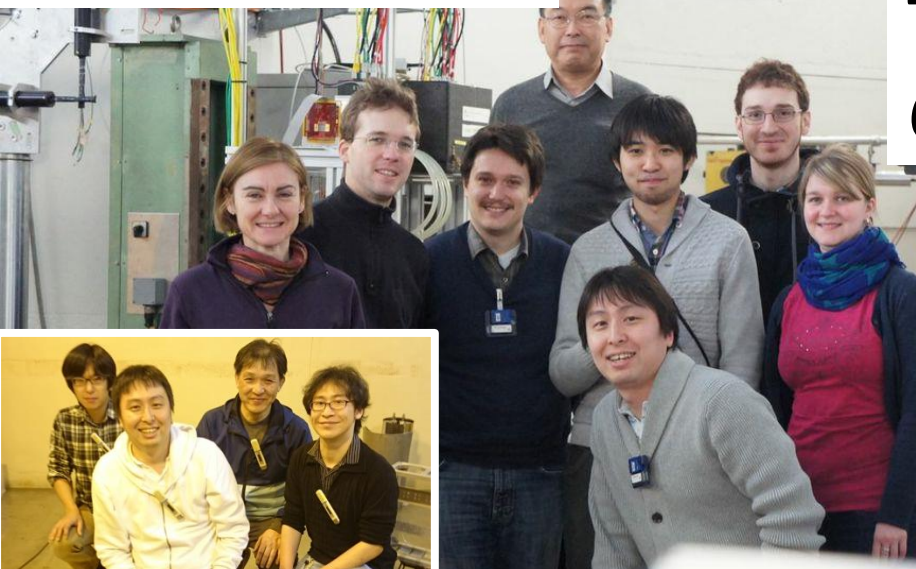
Testbeam@SLAC



Testbeam@DESY



Testbeam @CERN



γ 線照射@原研高崎

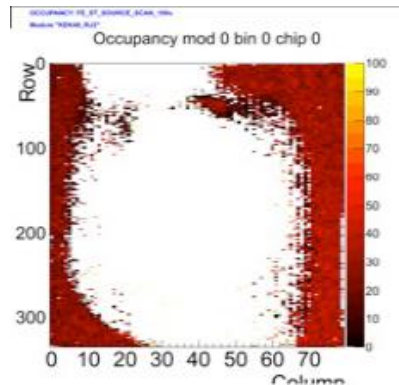
集中講義

最近の開発の現状と課題

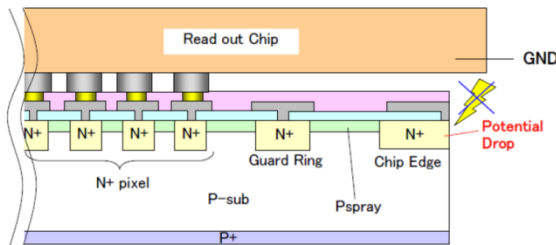
- 基本的な課題

- バンプボンディングの技術の開発
- センサーエッジ部のFEとの間の放電。保護方法の開発。
- 照射後、バイアスレール、抵抗の下で検出効率の低下

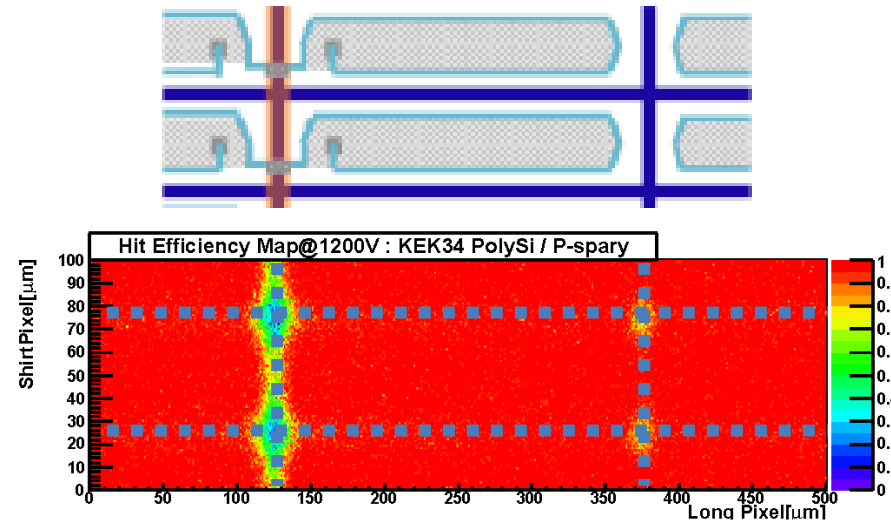
バンプボンディング
(2013年はじめごろ)



エッジ放電



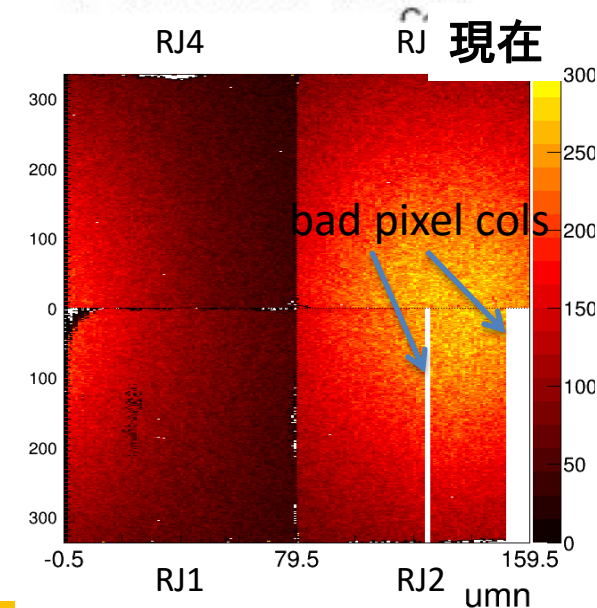
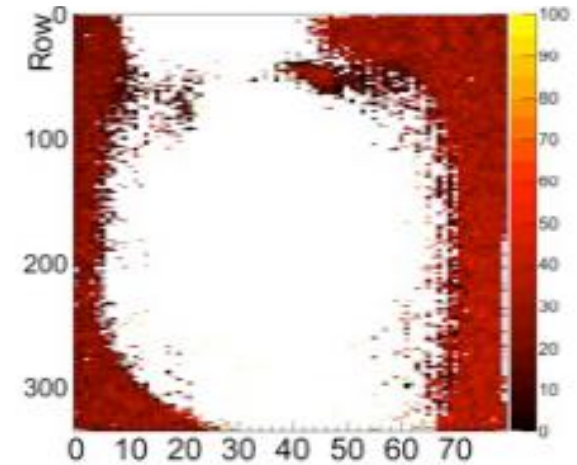
2012年9月の結果 (粒子検出効率)



バンプボンディング

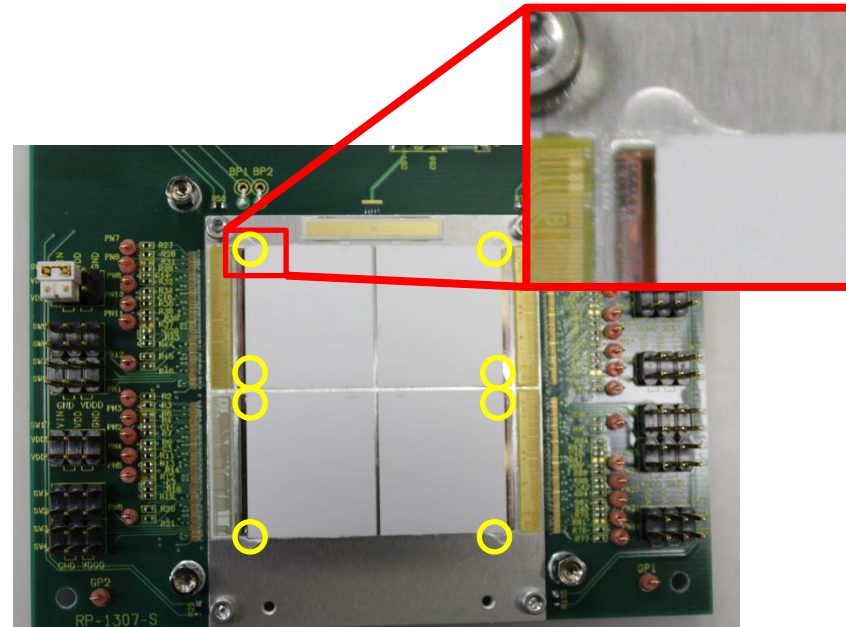
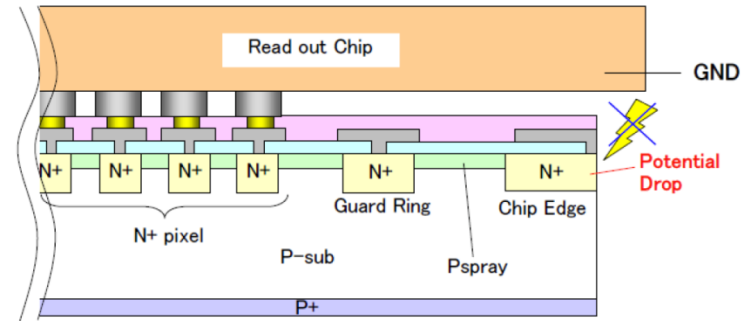
- 無鉛(SnAg) バンプボンディングの開発
 - センサーや読み出しチップの反りの補正
 - IBLでもちいられたガラス製のサポートは、はがす時に不具合→歩留りの低下
 - 薄いALの蒸着と真空吸着法を開発
 - 当初の問題と解決
 - バンプの抵抗が大 → under-bump-metallisation (UBM) で改善.
 - 薄いセンサー (150um)/薄い Asic (150um)のバンプボンディングでバンプはがれを観測 → 真空吸着ジグの形の最適化でほぼ解決
 - 温度サイクル耐性も確認 → **ほぼ完成**
- 今後の課題
 - エッジ部分に若干見られるはがれの改善 → 真空ジグの改善で可能?
 - より安価な方法を探る

β-source scan 2013年はじめ



エッジ部の放電対策

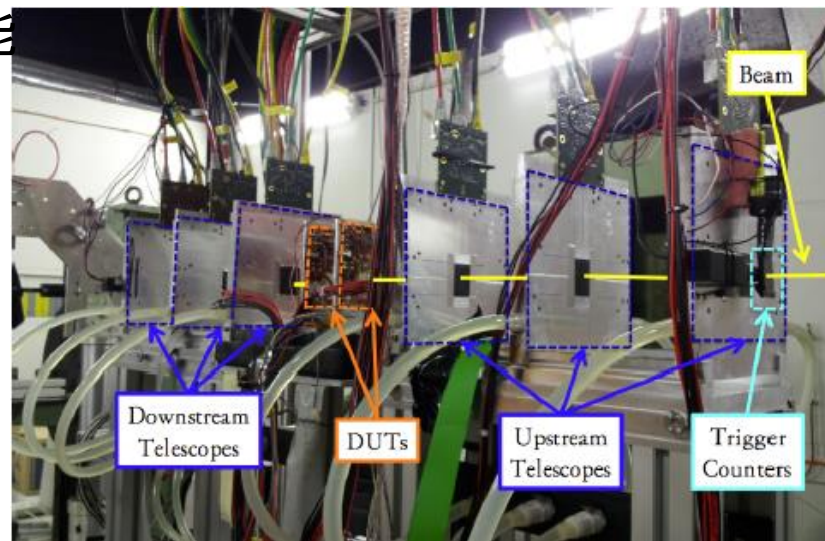
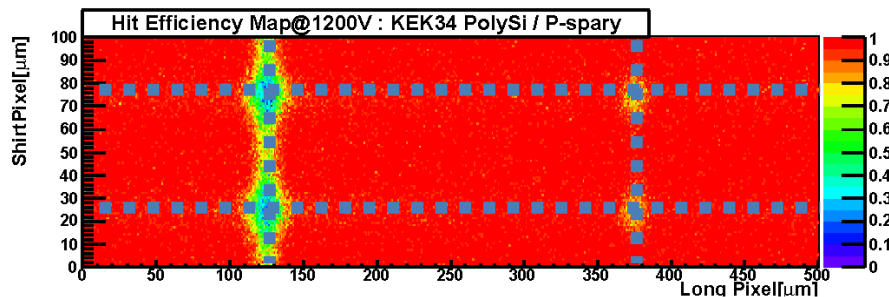
- 現在の所、モジュール完成後の対策のみ
 - シリコン製接着剤による保護
 - エッジ全体/2つ角のみ
 - 照射による硬化
 - パリレンコーティング
 - 放射線耐性に優れている
 - 1000Vの耐圧を確認
- 今後の課題
 - センサーの表面プロセスと同時に実装可能な保護の開発
 - N+ edge?
 - DRIEエッジング+アルミナ蒸着?



テストビーム@ CERN and DESY

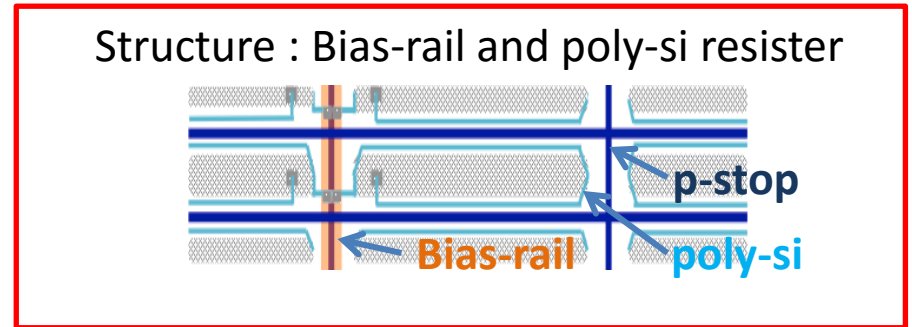
- テストビームの目的
 - 検出器としてのパフォーマンス(位置分解能など)
 - 検出効率のマップ(ピクセル構造による検出効率の低下の評価)
- ビームライン
 - CERN H6 beamline : 120GeV π^+ beam
 - DESY T22 beamline : 4 GeV e^+ beam
 - SLAC ESA beamline : 2.5GeV, 13GeV e^+ beam
- 6層のテレスコープ (ILC用に開発されたCMOS検出器 -- Mimosas26, $18.4 \times 18.4 \mu\text{m}^2$)
 - 多重散乱がないとき $< 5 \mu\text{m}$ の軌道分解能
- 冷却: ドライアイス、チラー

検出効率のマップ テストビーム@CERN

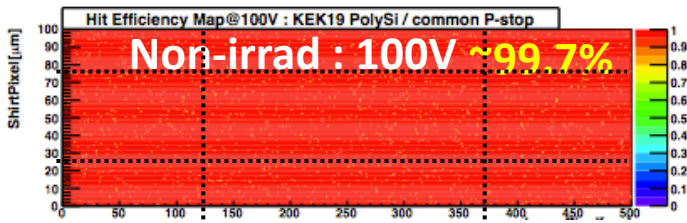


ピクセル境界部での検出効率

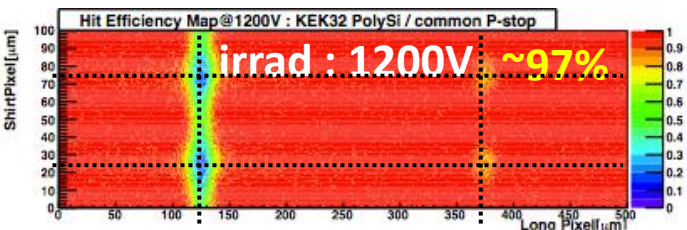
- 2012年のCERNでのテストビームでピクセル境界部の検出効率低下を観測
- 構造から、バイアスレール構造の下で起こっていると推測される



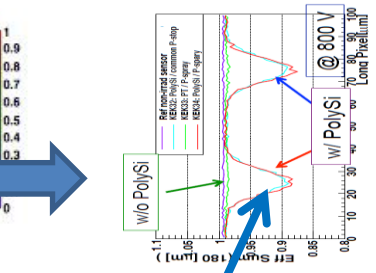
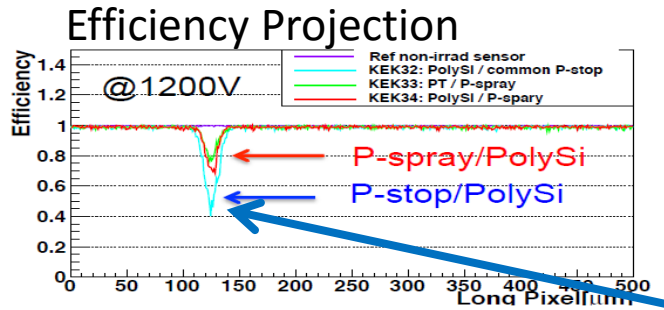
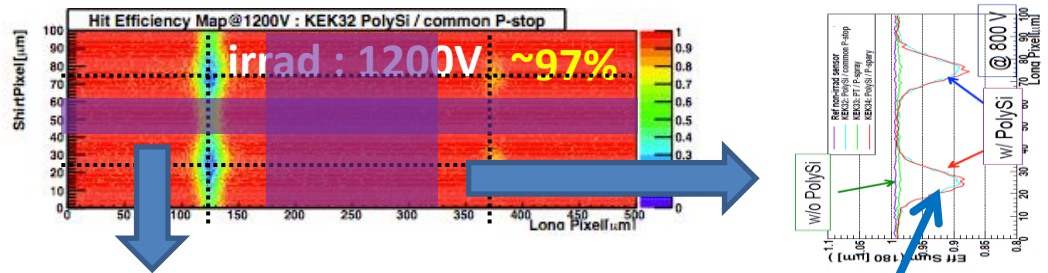
Pixel Efficiency map



陽子照射後



Overall efficiency ~97% is caused by inefficiency at pixel boundary region.

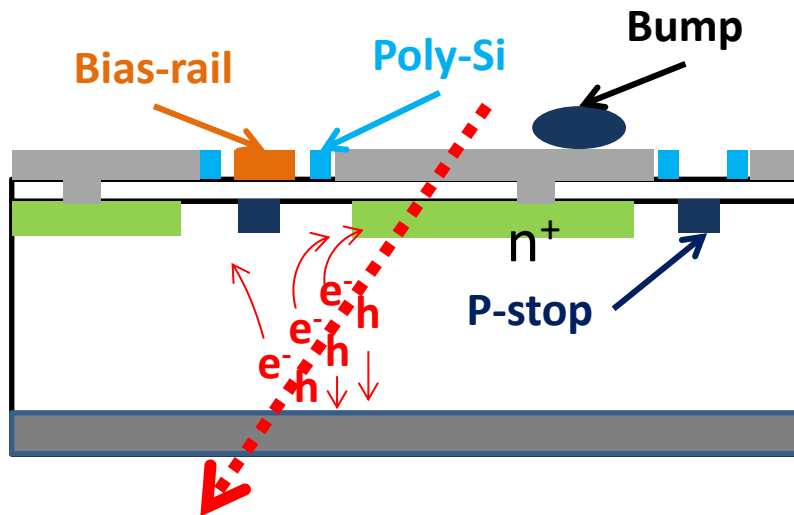


Charge loss (~10%) under the poly-si resister

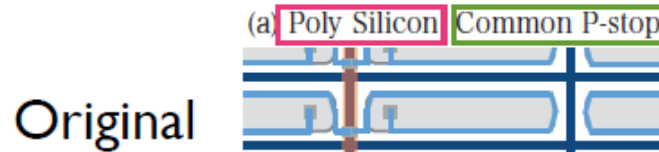
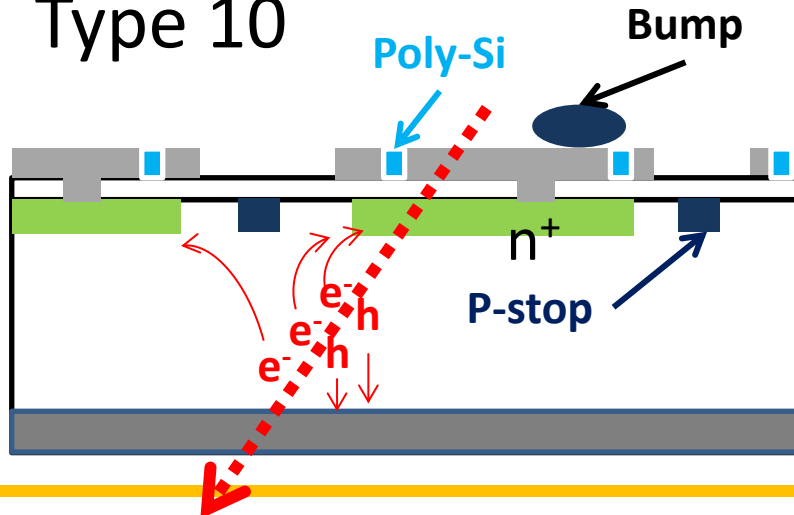
Efficiency loss under bias-rail.

メカニズムの理解と改良

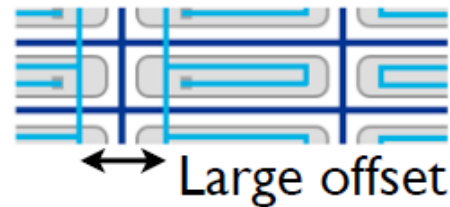
- Original Structure



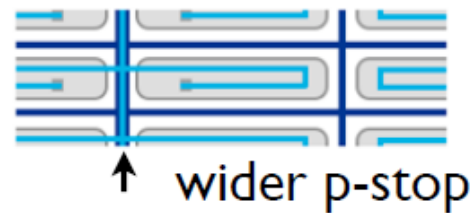
- Type 10



Type 10



Type 13



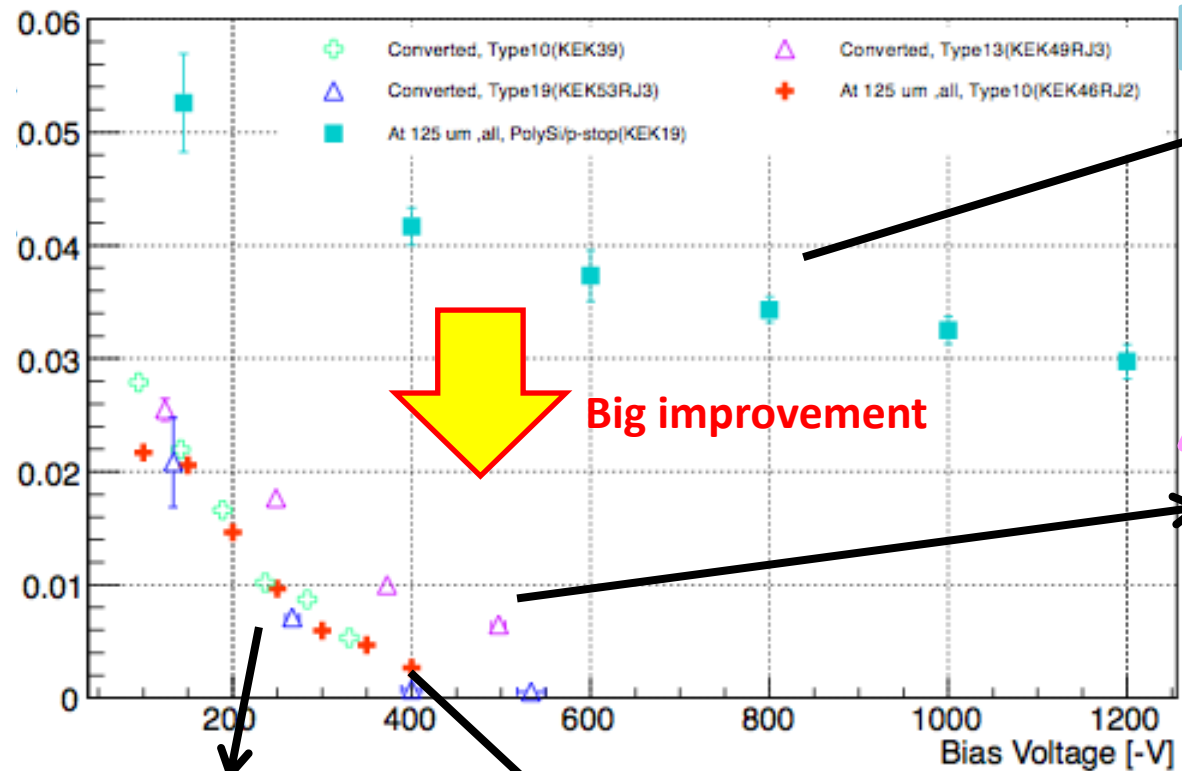
Type 19



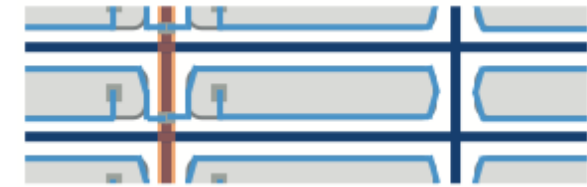
No bias structures (for ref.)

結果(150um, 5×10^{15} neq /cm² Equivalent)

境界領域での検出効率の低下度



Traditional Structure
Bias rail(Al)+ Resister(PolySi)



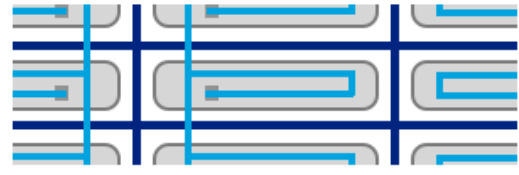
Type 13
Bias rail+Resister(PolySi)
Wide p-stop under bias rail
Bias res. is inside of electrode



Type 19
Ideal situation.
No bias rail and resister.



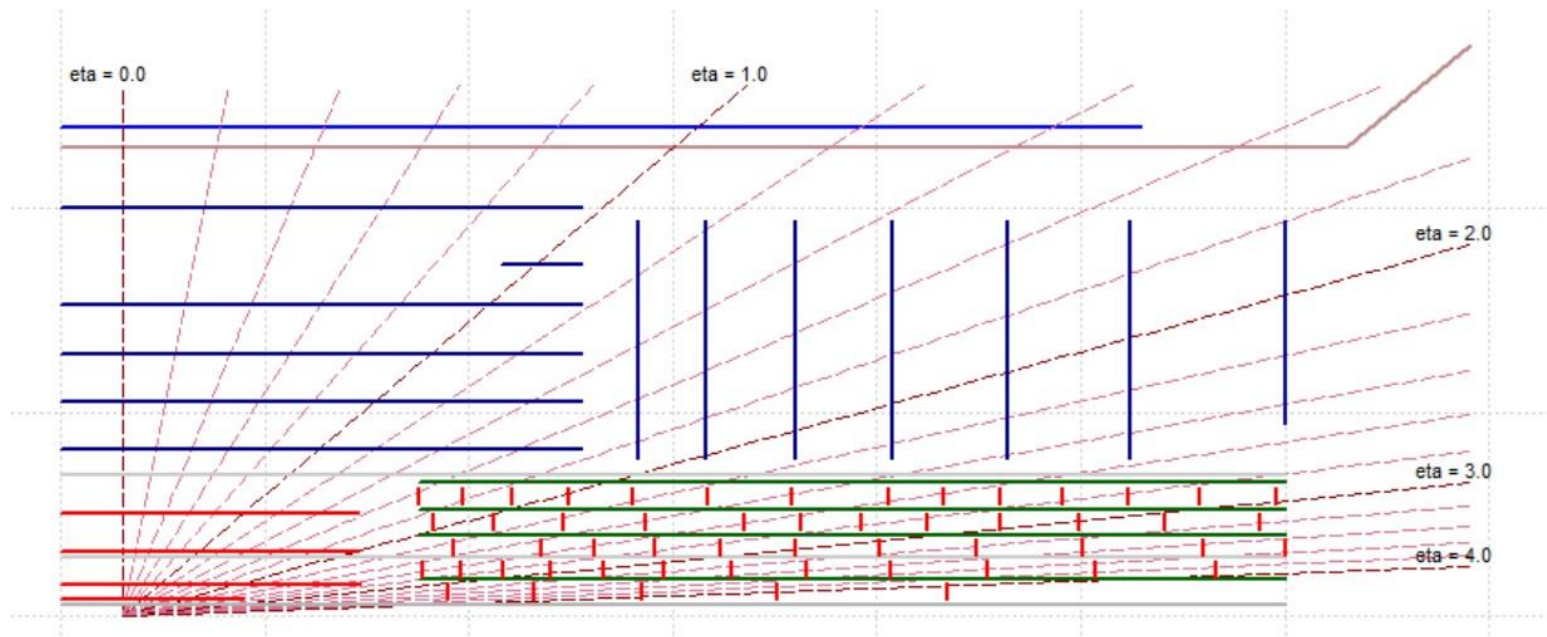
Type 10
Shifted Bias rail position.
Bias res. is inside of electrode



Type 10 is the best option
→ Almost similar to ideal case

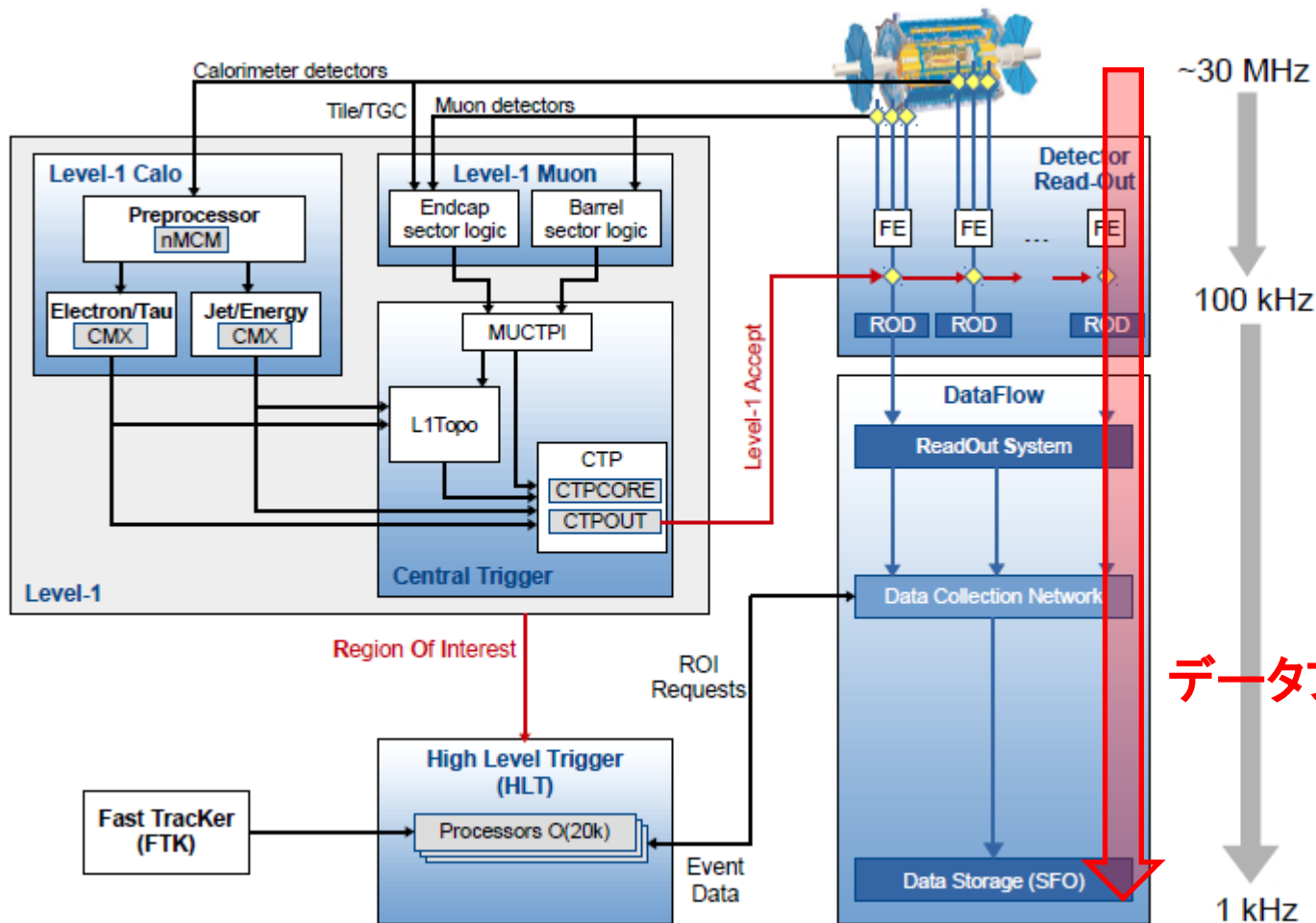
議論(High Eta tracking)

- 現在のトラッキングは $|\eta| < 2.4$ のみ
- $|\eta| < 2.4$ まで拡大するとよいことがあるか？
 - $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4l$ のアクセプタンスが35% up
 - Missing Energy のパイルアップ依存性を軽減
 - $VBS \rightarrow WW + jj$ でトップペア背景事象を落とすための前方b-tagging
 - 他は？ 何かあったら今すぐ叫んでください。



トリガー

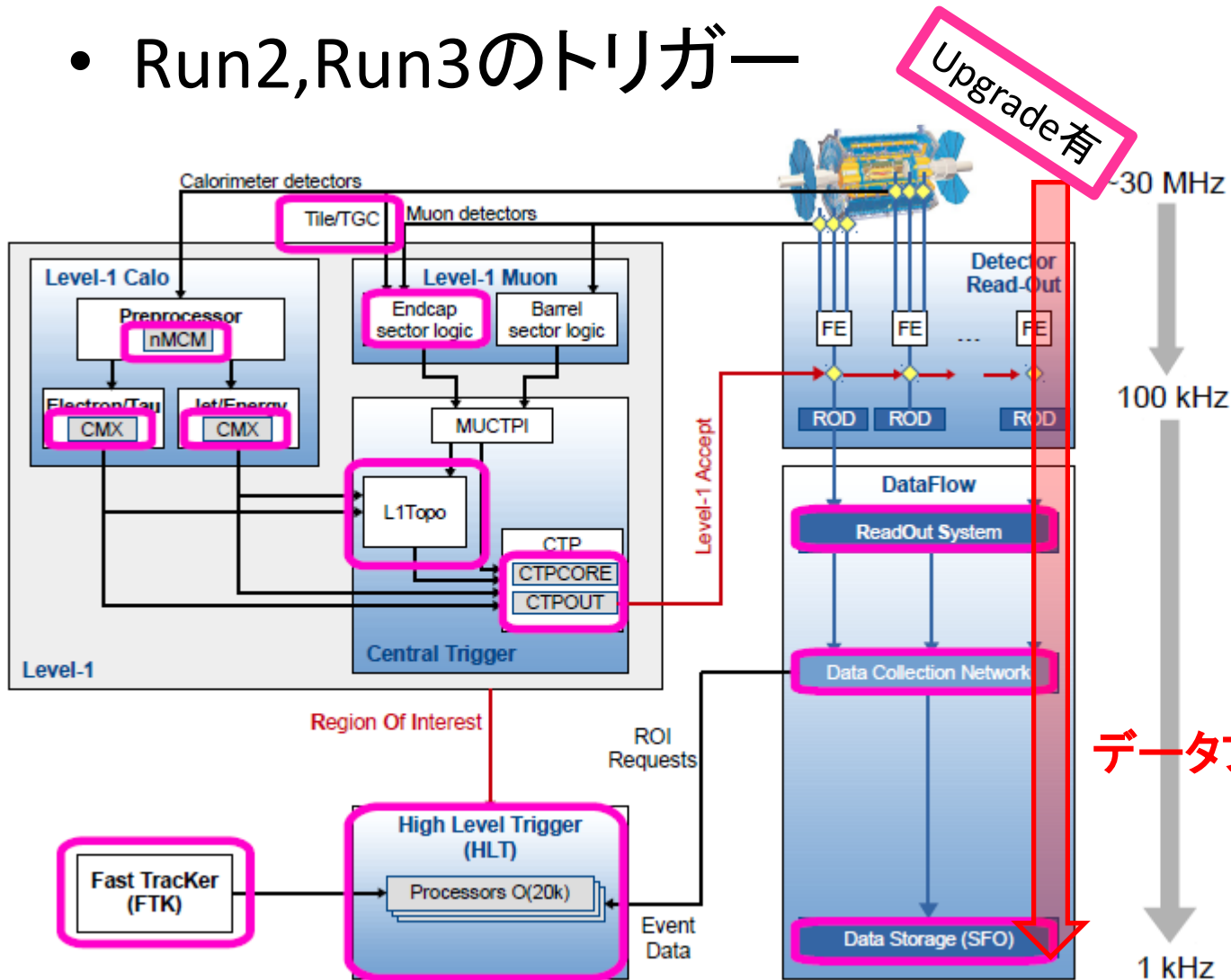
- Run2, Run3のトリガー



データフロー

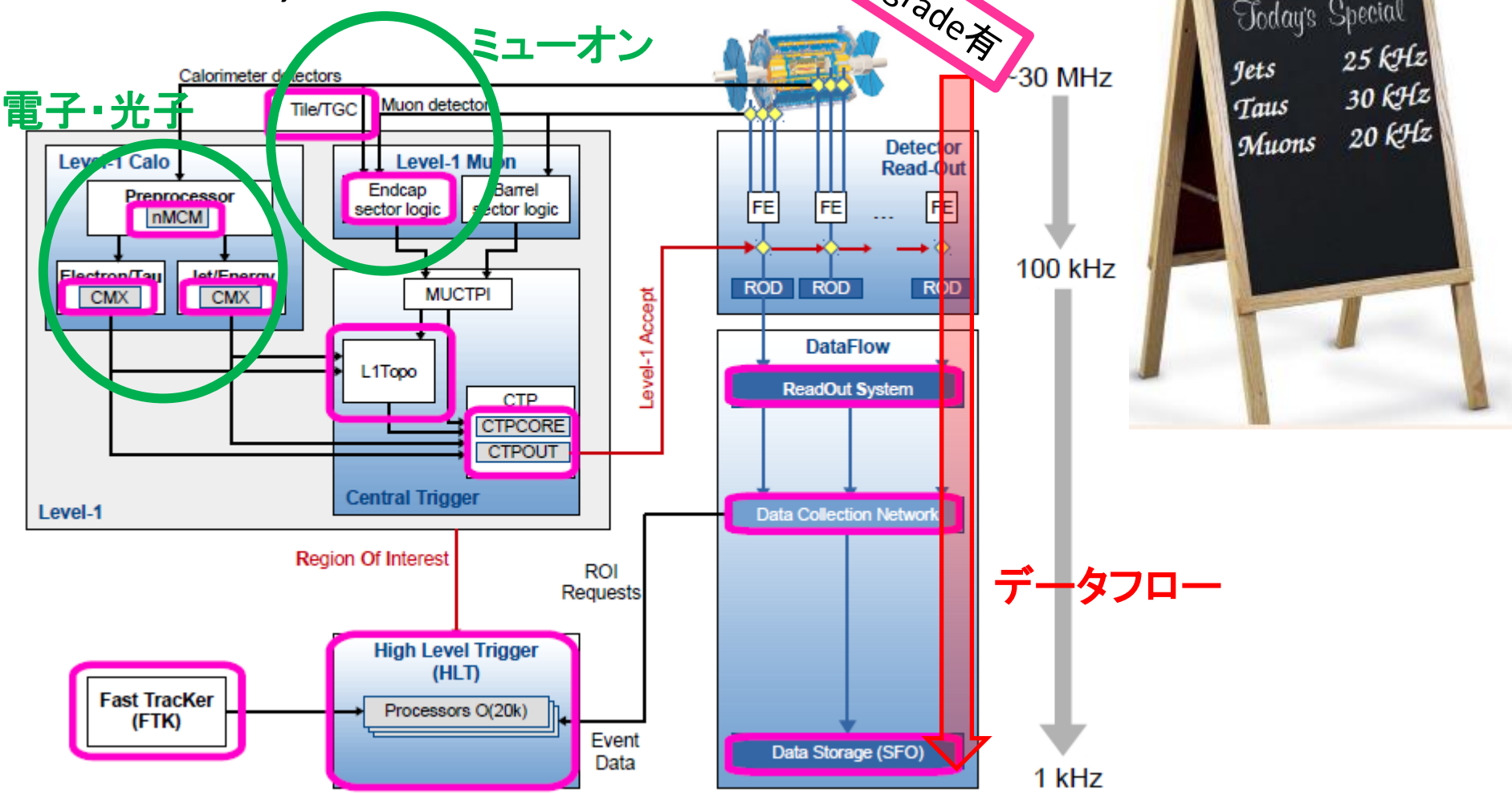
トリガー

- Run2, Run3のトリガー

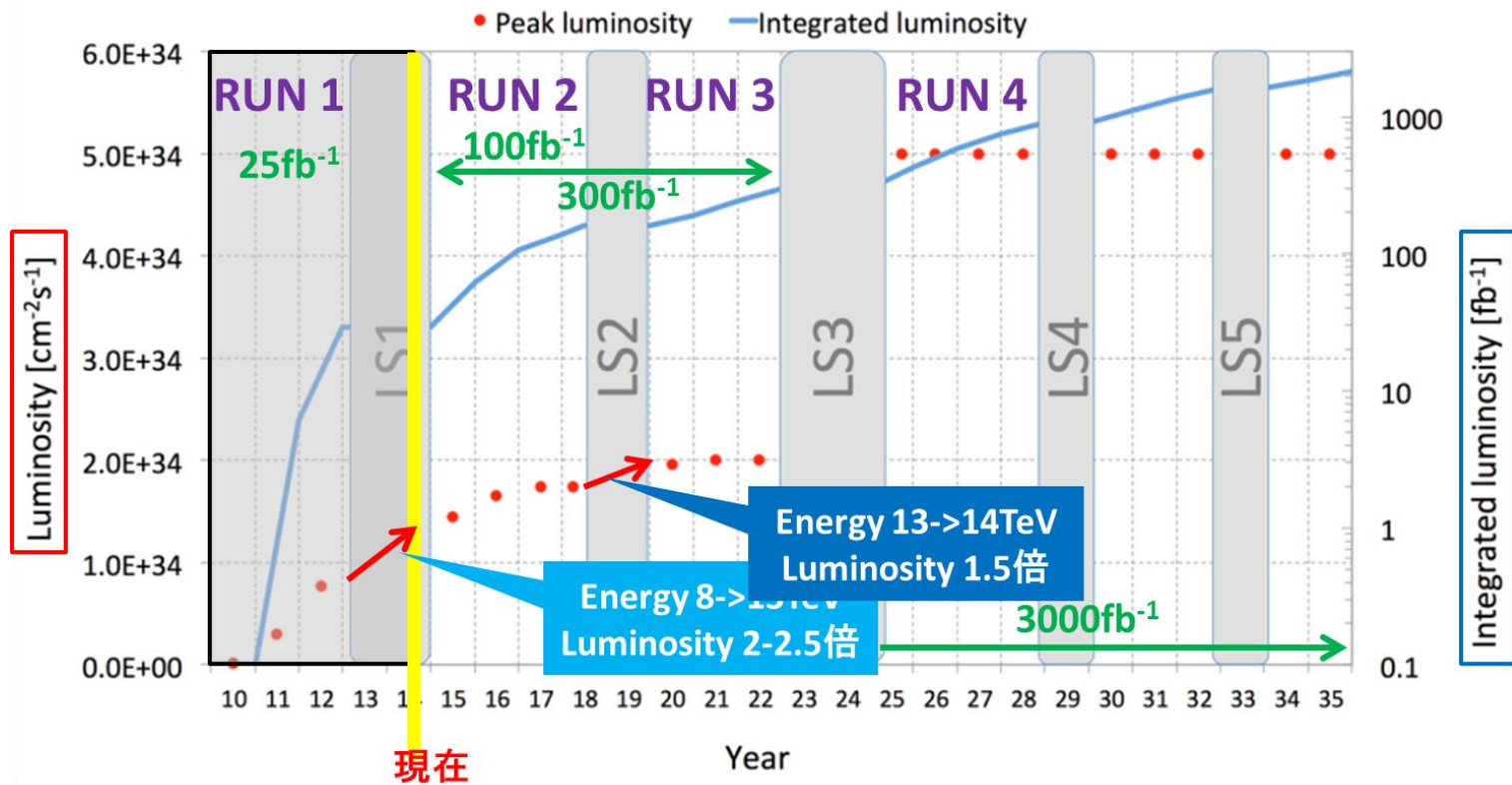


トリガー

- Run2, Run3のトリガー



Run 2 & Run3



レベル1 ミューオン トリガー

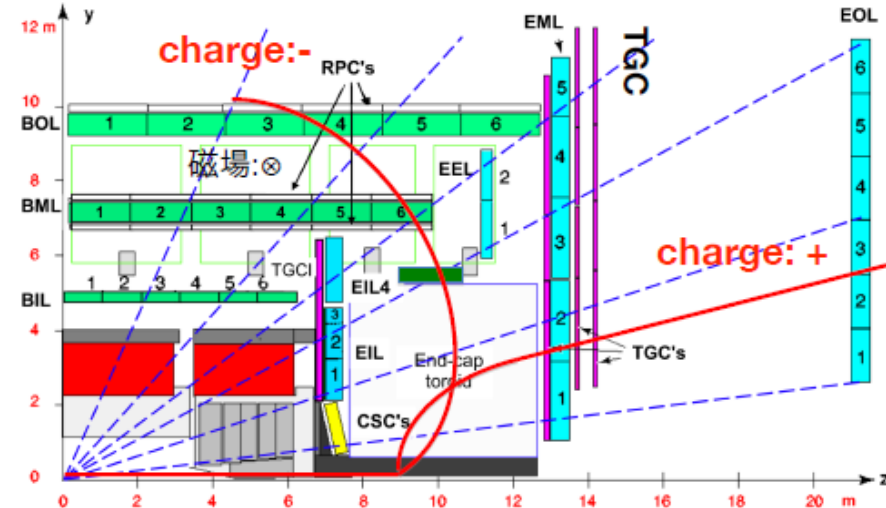
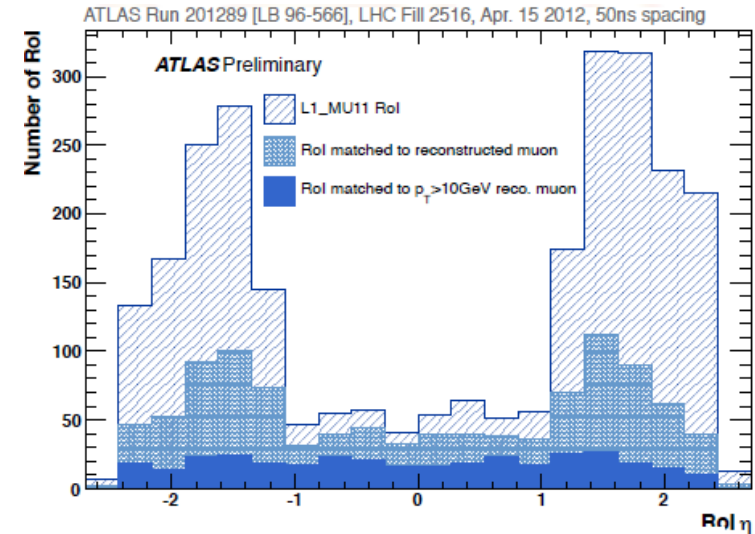
- フェイクトリガー問題
 - Run1でエンドキャップ領域のL1muonトリガーには、データから再構成したMuonとのマッチングが取れないものが非常に多い。→ゴミばかりとってた。
- 問題の原因
 - (minimum bias event などによる)陽子がビームパイプを叩く

↓

 - 陽子(中性子)が生成

↓

 - 陽子が磁場で加速されトリガーを鳴らす



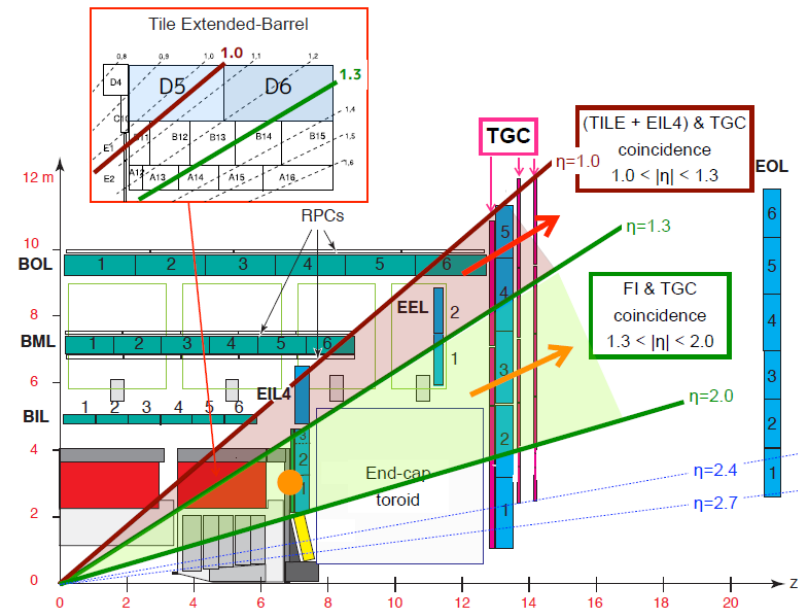
レベル1 ミューオン トリガー

- Run2に向けて(Run1はL1MU15で9kHz)
 - 8TeV→14TeV (断面積2.2倍)
 - $0.77 \times 10^{34} \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1} \rightarrow 2 \times 10^{34} \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
 - L1MU15→L1MU20 (rate が2/3になる)
 - $9\text{kHz} \times 2.2 \times (2/0.77) \times 2/3 = \mathbf{34\text{kHz}}$

	Rate reduction[%] (EndCap)	Efficiency[%]	L1_MU20 total trigger rate [kHz]
Run1 condition	100	100	34

レベル1 ミューオン トリガー

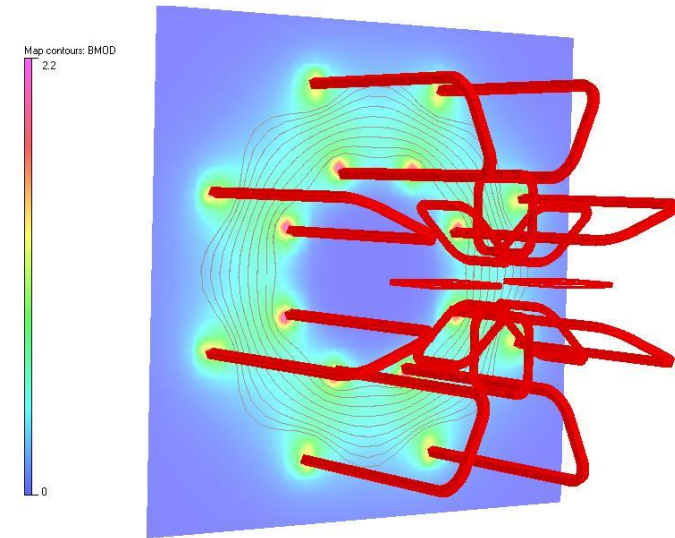
- Run2に向けて(Run1はL1MU15で9kHz)
 - 8TeV→14TeV (断面積2.2倍)
 - $0.77 \times 10^{34} \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1} \rightarrow 2 \times 10^{34} \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
 - L1MU15→L1MU20 (rate が2/3になる)
 - $\rightarrow 9\text{kHz} \times 2.2 \times (2/0.77) \times 2/3 = \mathbf{34\text{kHz}}$



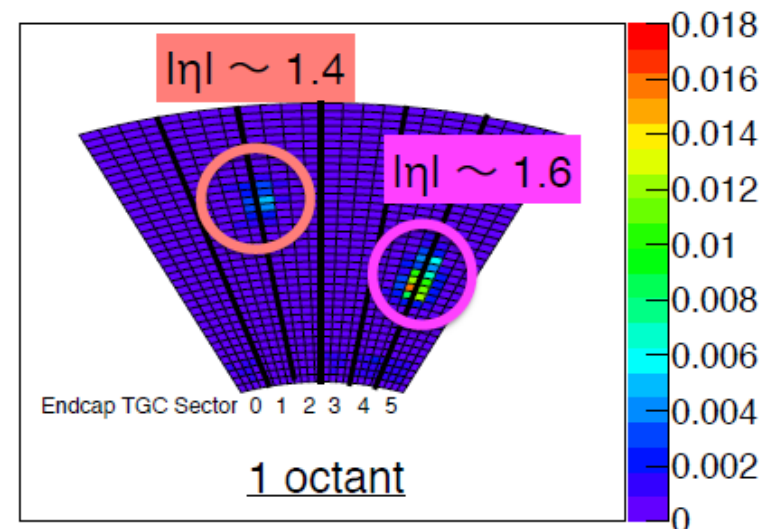
	Rate reduction[%] (EndCap)	Efficiency[%]	L1_MU20 total trigger rate [kHz]
Run1 condition	100	100	34
TileCal + FI ($1.0 < \eta < 1.9$)	53.4	98.1	21

レベル1 ミューオン トリガー

- Run2に向けて (Run1はL1MU15で9kHz)
 - 8TeV → 14TeV (断面積2.2倍)
 - $0.77 \times 10^{34} \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1} \rightarrow 2 \times 10^{34} \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
 - L1MU15 → L1MU20 (rate が2/3になる)
 - $9\text{kHz} \times 2.2 \times (2/0.77) \times 2/3 = \mathbf{34\text{kHz}}$

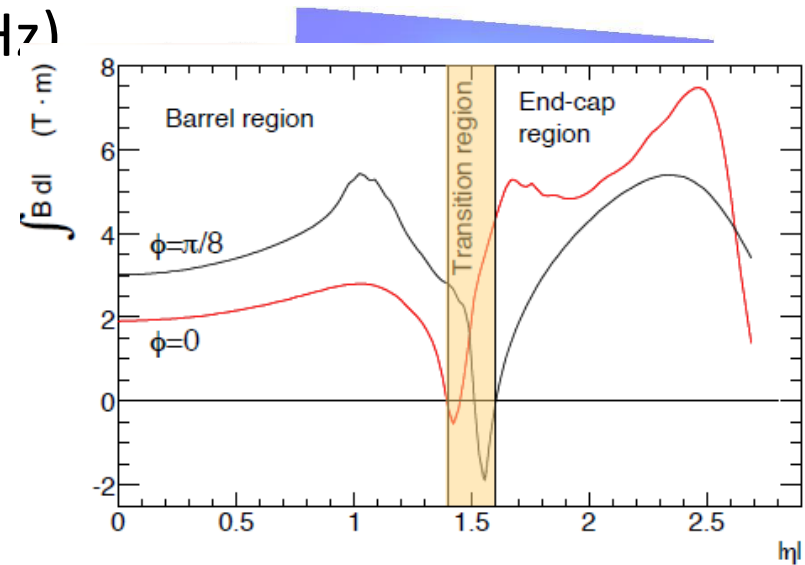


	Rate reduction[%] (EndCap)	Efficiency[%]	L1_MU20 total trigger rate [kHz]
Run1 condition	100	100	34
TileCal + FI ($1.0 < \eta < 1.9$)	53.4	98.1	21
Hot Rol Mask ($1.3 < \eta < 1.7$)	48.9	97.4	19

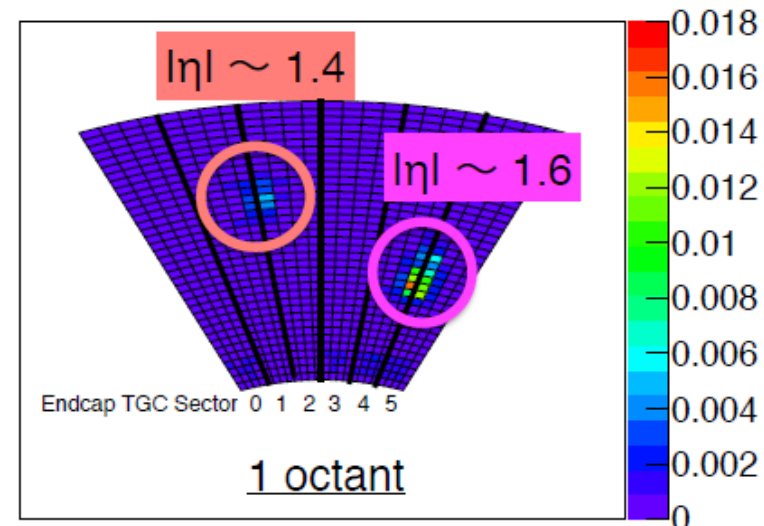


レベル1 ミューオン トリガー

- Run2に向けて (Run1はL1MU15で9kHz)
 - 8TeV \rightarrow 14TeV (断面積2.2倍)
 - $0.77 \times 10^{34} \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1} \rightarrow 2 \times 10^{34} \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
 - L1MU15 \rightarrow L1MU20 (rate が2/3になる)
 - $\rightarrow 9\text{kHz} \times 2.2 \times (2/0.77) \times 2/3 = \mathbf{34\text{kHz}}$

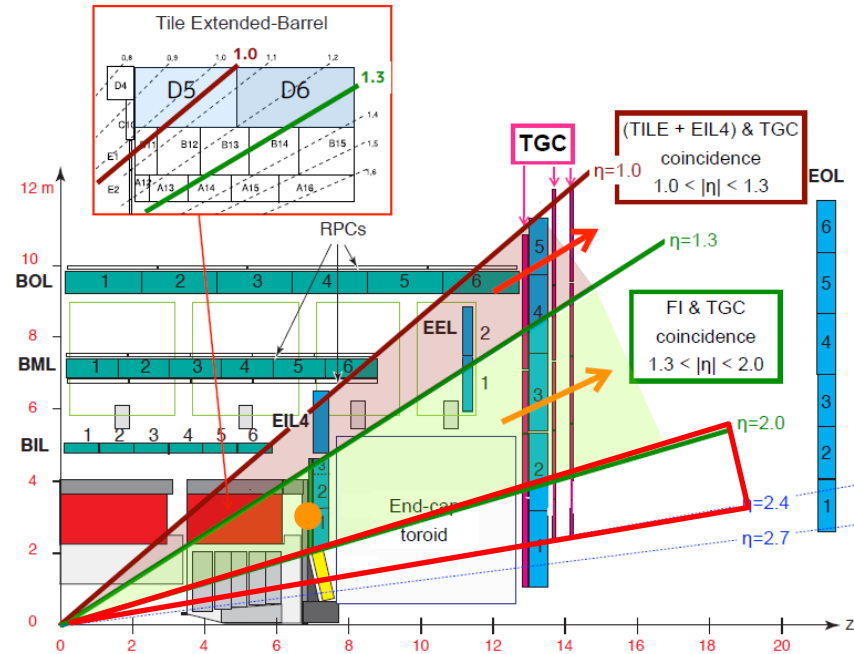


	Rate reduction[%] (EndCap)	Efficiency[%]	L1_MU20 total trigger rate [kHz]
Run1 condition	100	100	34
TileCal + FI ($1.0 < \eta < 1.9$)	53.4	98.1	21
Hot Rol Mask ($1.3 < \eta < 1.7$)	48.9	97.4	19



レベル1 ミューオン トリガー

- Run2に向けて(Run1はL1MU15で9kHz)
 - 8TeV→14TeV (断面積2.2倍)
 - $0.77 \times 10^{34} \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1} \rightarrow 2 \times 10^{34} \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
 - L1MU15→L1MU20 (rate が2/3になる)
 - $\rightarrow 9\text{kHz} \times 2.2 \times (2/0.77) \times 2/3 = \mathbf{34\text{kHz}}$



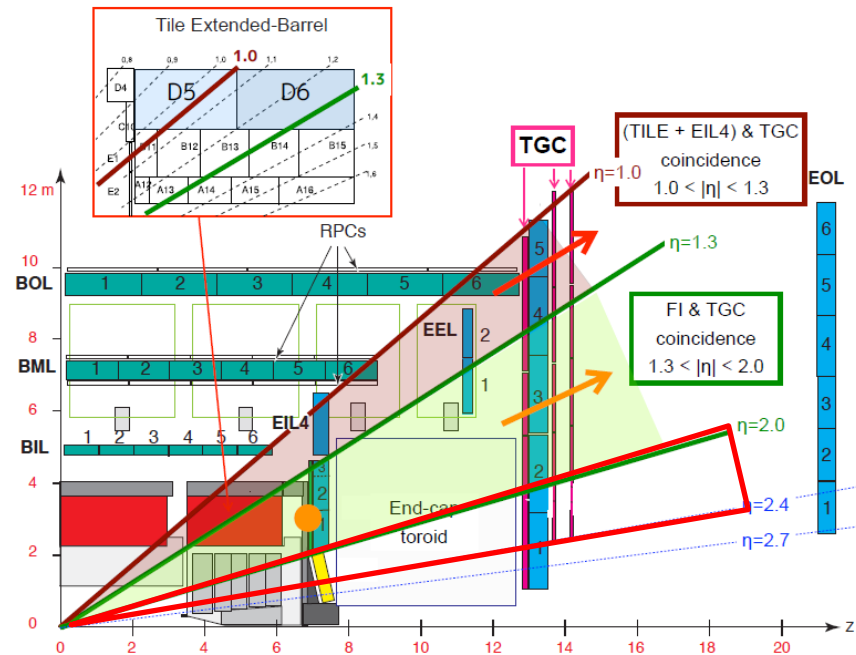
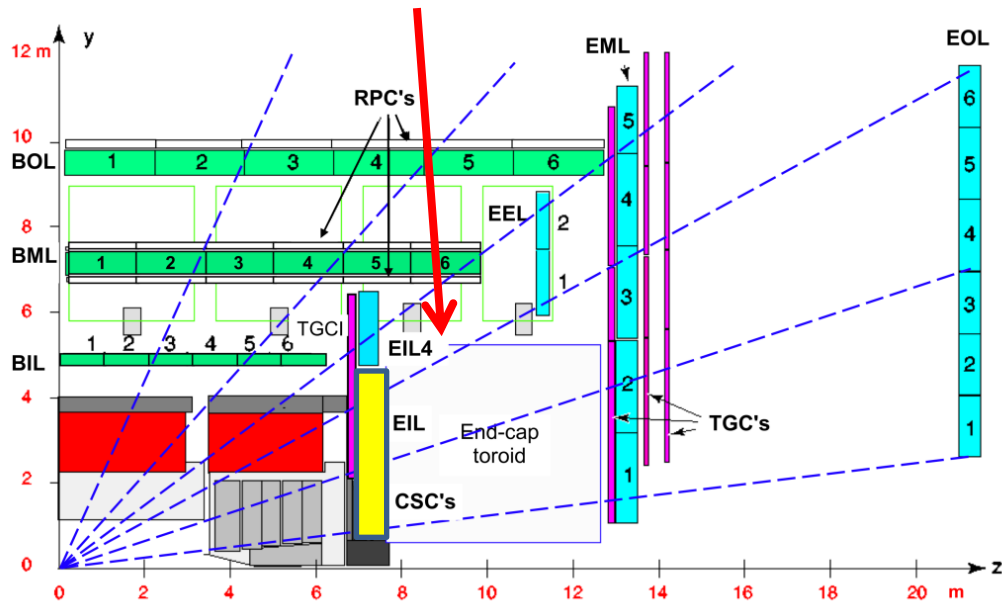
	Rate reduction[%] (EndCap)	Efficiency[%]	L1_MU20 total trigger rate [kHz]
Run1 condition	100	100	34
TileCal + FI ($1.0 < \eta < 1.9$)	53.4	98.1	21
Hot Rol Mask ($1.3 < \eta < 1.7$)	48.9	97.4	19
$ \eta < 2.0$ cut	29.8	84.5	12

←最悪の場合こんなオプションも

New small wheel

- Run3 に向けて新しいインナーのミュオンチェンバーをインストール

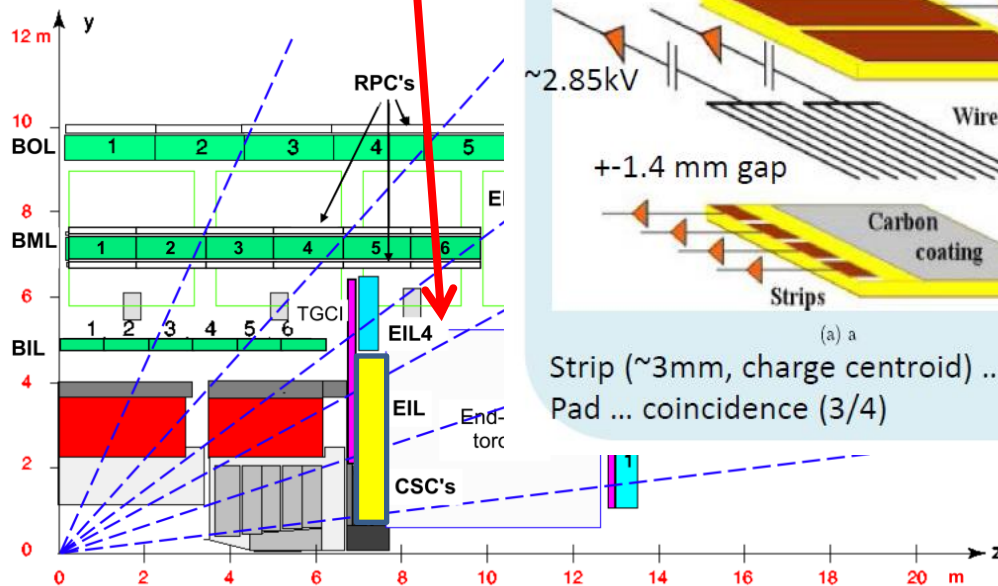
New small wheel



New small wheel

- Run3 に向けて新しいインナーのミュオンチェンバーをインストール

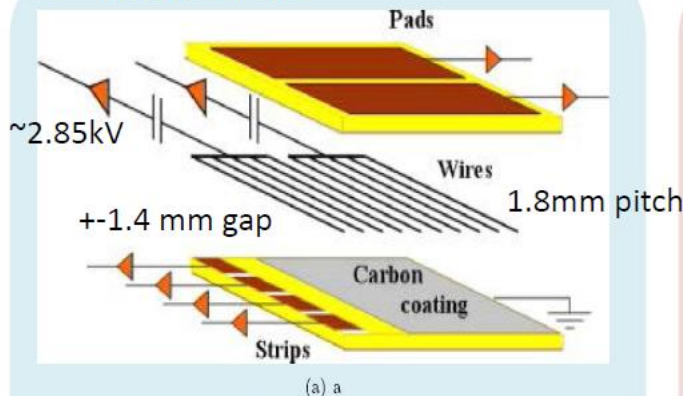
New small wheel



sTGC

角度分解能のよいNSWで Fake Trig.を抑える

- TGC with Pads

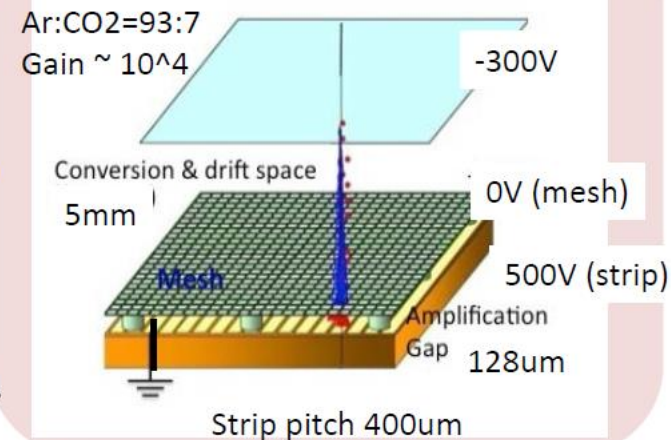


Strip (~3mm, charge centroid) ... bending cord.
Pad ... coincidence (3/4)

Micromegas

High Lumi.のBG環境下 現行性能を維持

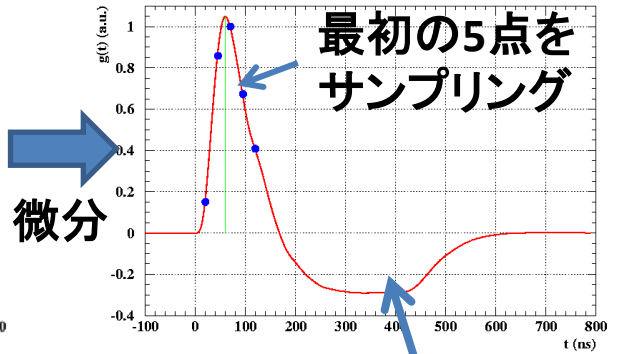
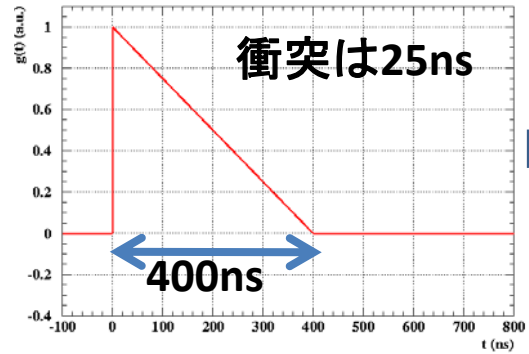
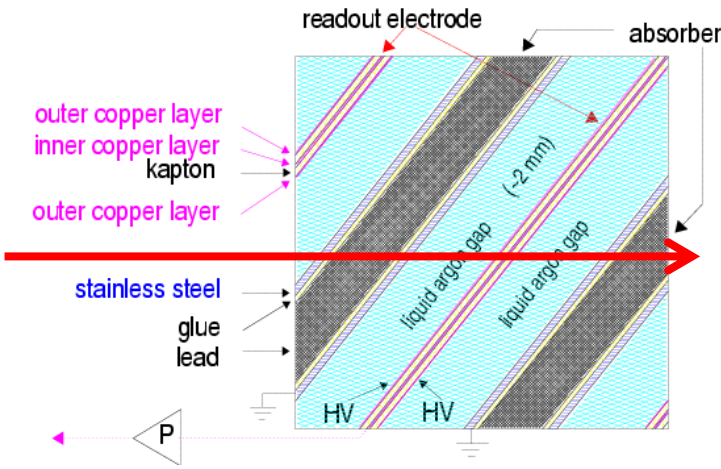
- Drift/Amp領域をmeshで分離したMPGD



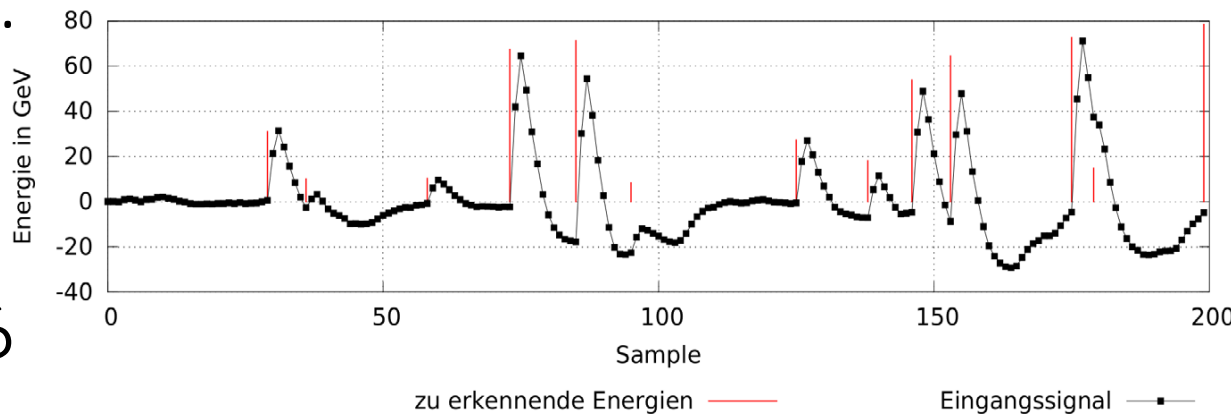
東大ICEPP・神戸大を中心に 日本グループも貢献

レベル1電子/光子トリガー

- トリガーの前に... Liquid Argon Calorimeter (LAr)

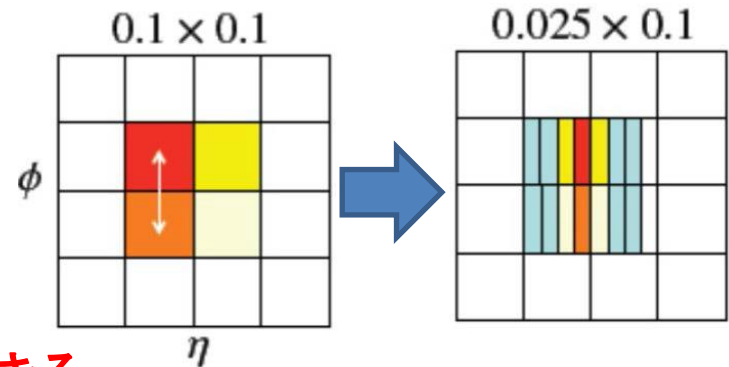


Occupancy が上がると...
 パルスが重なり合う
正しいタイミングで
正しいエネルギーで
トリガーする必要がある

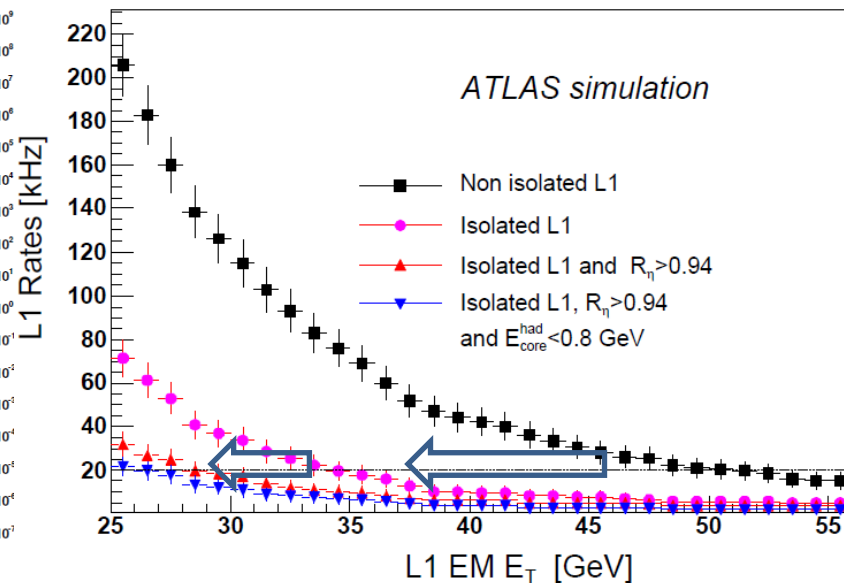
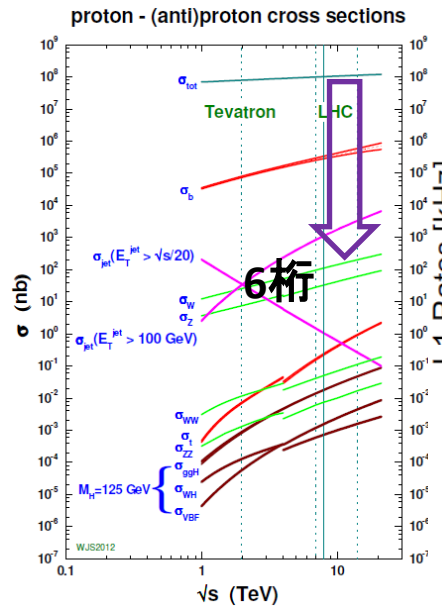
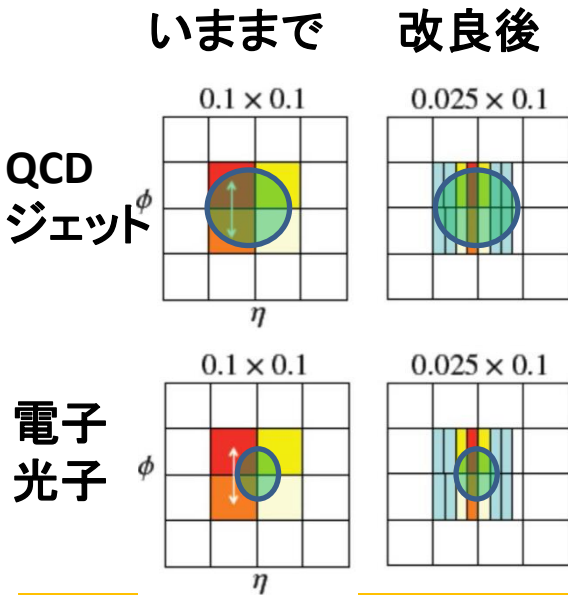


レベル1電子/光子トリガー

- レートの低減のために
 - 奥行き方向：各Layer毎
 - 横方向：4倍細かいセグメント
 - チャンネル数は10倍になる



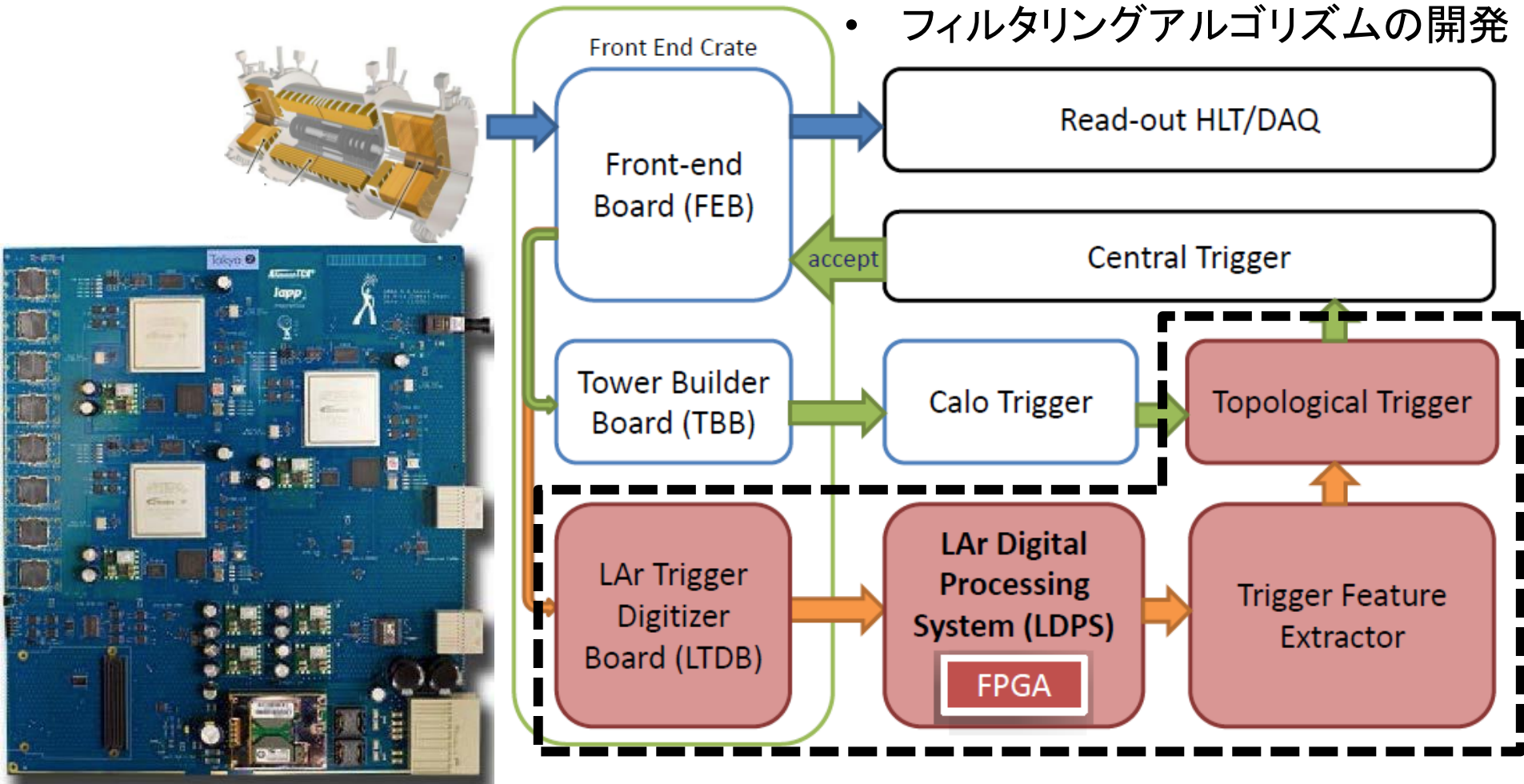
電磁シャワーの形を正確に知るとジェットを除去できる



レベル1電子/光子トリガー

- Demonstrator board

- Triggerの動作検証
- 高速データ通信のテスト
- フィルタリングアルゴリズムの開発



レベル1電子/光子トリガー

• フィルターの改良

従来のフィルタ

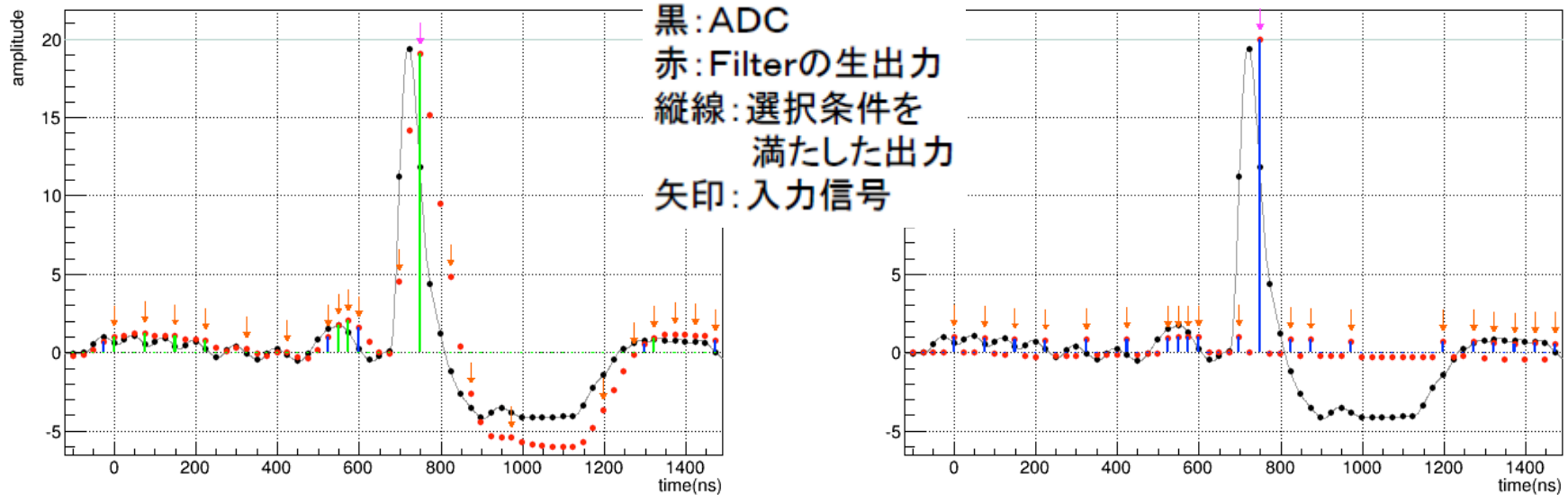
Optimal filtering
データ 5点 を使用

$$A = \sum_{i=1}^5 a_i S_i$$

新しいフィルタ (Inversion Filterの応用)

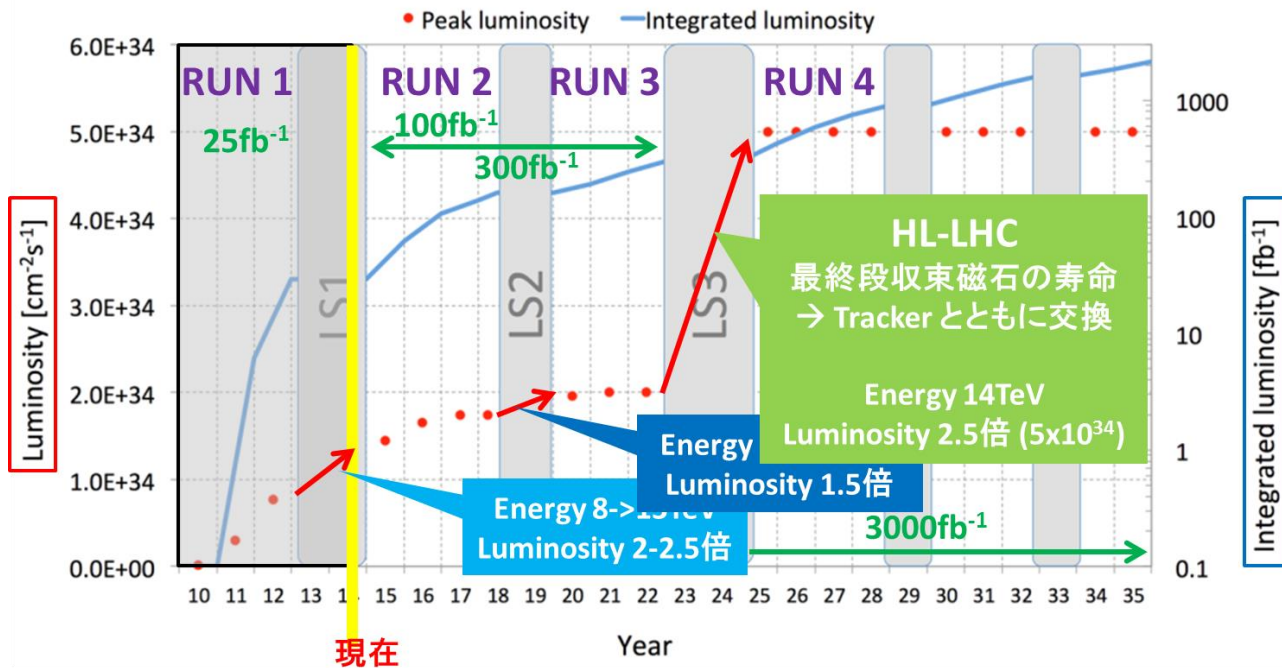
データ 32点 を使用 (Latencyは同じ)

過去に信号があることを考慮することにより、すべての信号を正しく検出できる

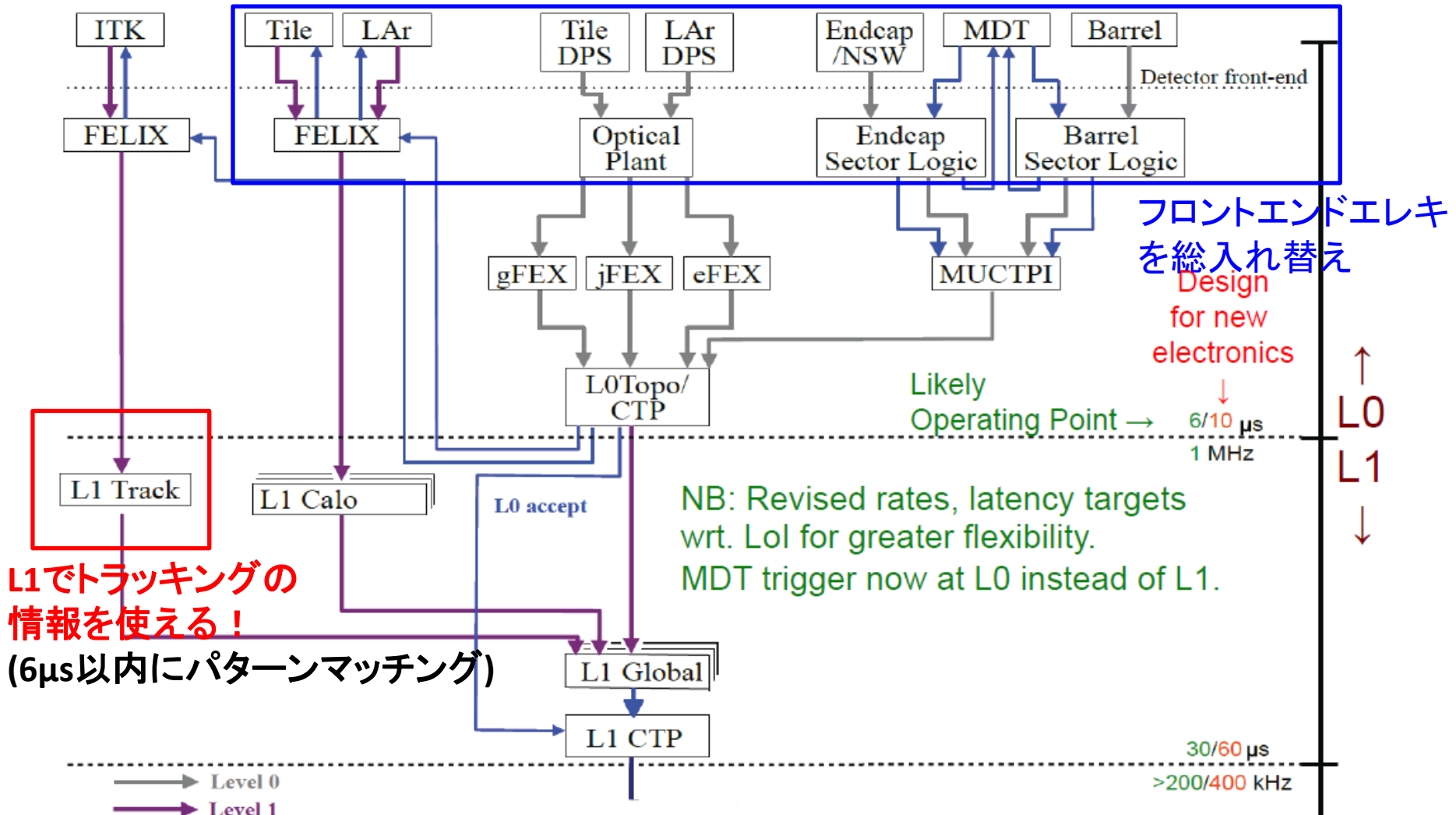


- **従来のフィルターでは検出できない信号もほぼ100%検出可能**
→ **エネルギー分解能が格段に向上(5倍程度)**
→ **ファームウェアを実装、テストする予定**

Run 4 (HL-LHC)



HL-LHCのL0/L1デザイン案



- バッファを増やしてもともとL1 \sim 2.5 μ sだったのを30-60 μ sに。

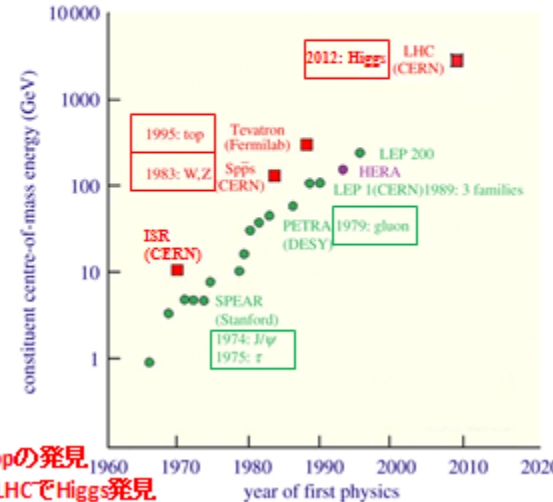
将来の加速器

将来何が見たいか？

- 陽子コライダーと電子コライダーは今まで相補的にやってきた。
 - と言いましたが、今後はどうなんでしょう？
- 精密測定で未発見の粒子のスケールとか新物理の兆候がわかるか？ → どうですか？

電子コライダーと陽子コライダー

- まずはコライダーの歴史から学ぶ
 - 1980年以前
 - 電子コライダーで低質量の粒子の発見
 - 1974 J/ψ
 - 1975 τ
 - 1979 gluon
 - 1980年以降
 - 陽子コライダーで重い新粒子の発見
 - 1983 W,Z
 - 1995 top
 - 2012 Higgs
 - 電子コライダーで精密測定
 - 1989 : neutrino 3世代
 - LEP Electroweak 測定
- いままで相補的にやってきた：
SppS でW、Zの発見 → LEPで精密測定
LEPでtop massの予言 → TevatronでTopの発見
LEPのEW測定+TevatronのTop質量 → LHCでHiggs発見



YES --- ILCのような電子陽電子コライダーを作る。

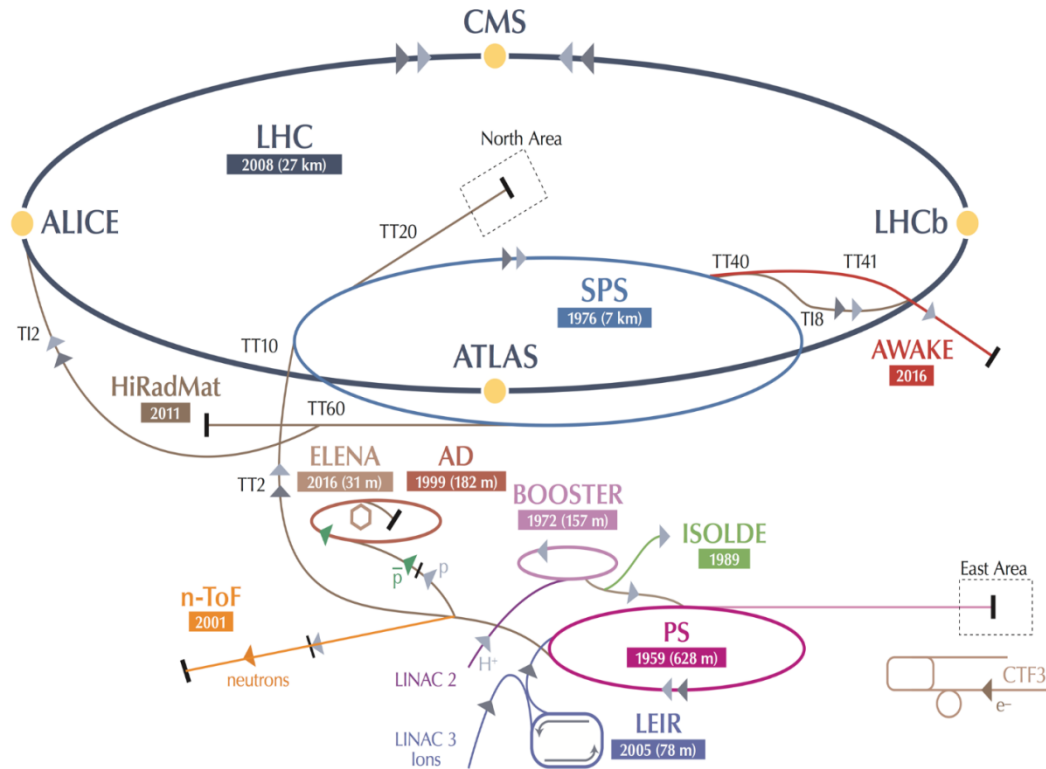
No --- エネルギーが高いハドロンコライダーをつくる方向が良いのでは？

→どこまで上げればよいか？そんな博打みたいなことに予算が降りるのか？

→確実にできること(かたい物理)を議論すべき。

CERNの将来計画1

Fabiola Gianotti



~20 experiments > 1200 physicists

AD: Antiproton Decelerator for antimatter studies

CAST, OSQAR: axions

CLOUD: impact of cosmic rays on aerosols and clouds → implications on climate

COMPASS: hadron structure and spectroscopy

ISOLDE: radioactive nuclei facility

NA61/Shine: ions and neutrino targets

NA62: rare kaon decays

NA63: radiation processes in strong EM fields

n-TOF: n-induced cross-sections

UA9: crystal collimation

Neutrino Platform: collaborating with experiments in US and Japan → see later

CERNの将来計画2

Fabiola Gianotti

Linear e^+e^- collider vs up to 3 TeV

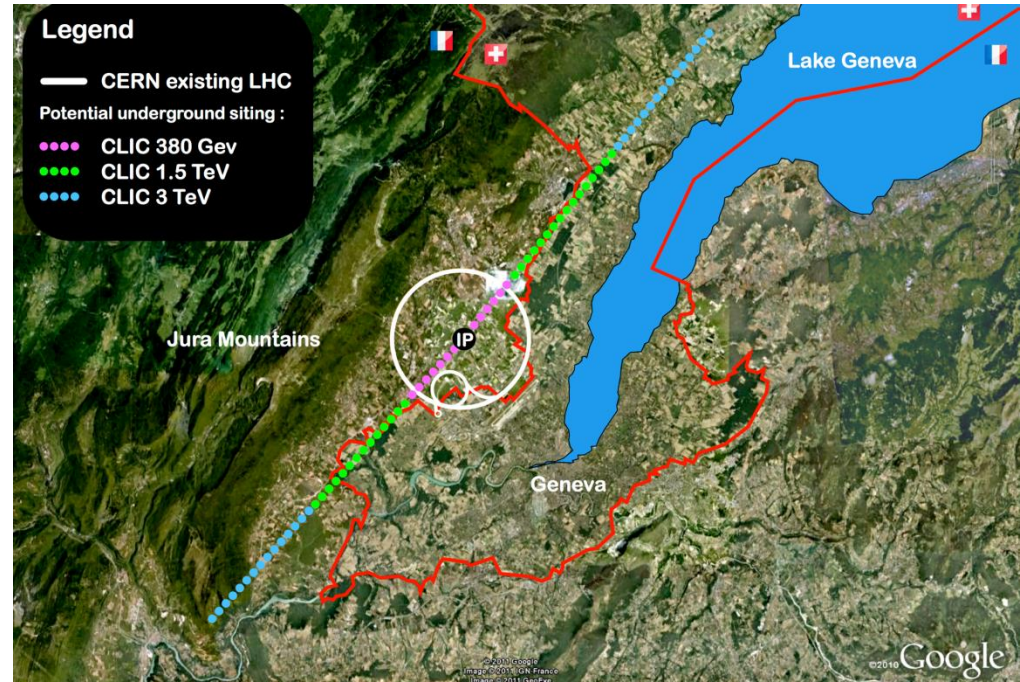
100 MV/m accelerating gradient needed for compact (~ 50 km) machine
 → based on normal-conducting accelerating structures and a two-beam acceleration scheme



- ❑ Direct discovery potential and precise measurements of new particles (couplings to Z/γ^*) up to $m \sim 1.5$ TeV
- ❑ Indirect sensitivity to E scales $\Lambda \sim O(100)$ TeV
- ❑ Measurements of “heavy” Higgs couplings: ttH to $\sim 4\%$, HH $\sim 10\%$

Most recent operating scenario: start at $\sqrt{s}=380$ GeV for H and top physics

2016/6/21-23



Parameter	Unit	380 GeV	3 TeV
Centre-of-mass energy	TeV	0.38	3
Total luminosity	$10^{34} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$	1.5	5.9
Luminosity above 99% of \sqrt{s}	$10^{34} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$	0.9	2.0
Repetition frequency	Hz	50	50
Number of bunches per train		352	312
Bunch separation	ns	0.5	0.5
Acceleration gradient	MV/m	72	100

CERNの将来計画3

Fabiola Gianotti

FCC-hh: 100 TeV

- explore directly the 10-50 TeV E-scale
- provide conclusive exploration of EWSB dynamics
- study nature the Higgs potential and EW phase transition
- say final word about heavy WIMP dark matter
- etc.

FCC-ee: 90-350 GeV

- indirect sensitivity to E scales up to $O(100 \text{ TeV})$ by measuring most Higgs couplings to $O(0.1\%)$, improving the precision of EW parameters measurements by $\sim 20-200$, $\Delta M_W < 1 \text{ MeV}$, $\Delta m_{\text{top}} \sim 10 \text{ MeV}$, etc.
- sensitivity to very-weakly coupled physics (e.g. light, weakly-coupled dark matter)
- etc.

FCC-ep: $\sim 3.5 \text{ TeV}$

- unprecedented measurements of PDF and α_s
- new physics: leptoquarks, eeqq contact interactions, etc.
- Higgs couplings (e.g. Hbb to $\sim 1\%$)
- etc.

Machines are complementary and synergetic, e.g. from measurement of ttH/ttZ ratio, and using ttZ coupling and H branching ratio from FCC-ee, FCC-hh can measure ttH to $\sim 1\%$

Future Circular Collider

- CERNが中心になって進める円形コライダーの将来計画を検討するコラボレーション

- 2014年2月キックオフミーティング @ Geneve



UNIVERSITÉ
DE GENÈVE



Future Circular Collider Study Kickoff Meeting

12-15 February 2014
University of Geneva -
UNI MAIL
Europe/Zurich timezone

Search

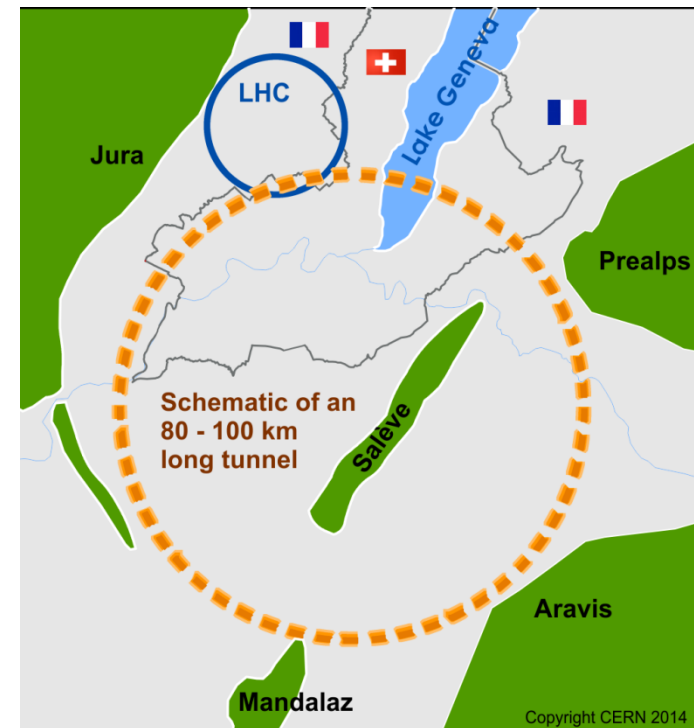
There is a live webcast for this event.

Future Circular Collider Study Kickoff Meeting

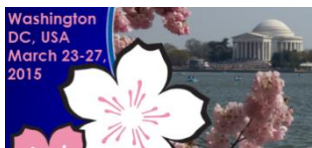
- コライダーの規模を考えて当然、国際協力コラボレーションであるべき。
 - International Collaboration Board(ICB) を作る
- コライダーのデザインアスペクトはサイトを限定しないで行うべき。
- Hadron collider(FCC-hh) が長期的なゴール
 - Lepton collider(FCC-ee) は、potential intermediate step
- LHC study started in 1983
 - ヒッグス発見まで30年
 - 今、議論を始めて完成はおそらく2035/2040

Working point for collision Energy

- FCC-hh : defining **100TeV** pp-collider
 - CERN に作ることを考えると**100km**が限界
 - 超伝導電磁石(bending)の技術的な制約から ($E=0.3 \text{ B[T]} \rho[\text{m}]$)
 - 16T(Nb_3Sn) 100km
 - 20T(HTC) 80kmcf. LHCは8.1T (NbTi) 27kmで14TeV
 - LHCに20T電磁石を並べると33TeV colliderができる。
 - 200km のトンネルを掘るとNbTiでも100TeV コライダーができる。
- 超伝導磁石のreadiness
 - Nb_3Sn : HL-LHCの最終収束磁石として導入予定(12Tで歩留りが悪い)。16Tのマグネットは2018年を目途に開発中。
 - Bi-2212 : 理論的には20Tまで可能。実質的な開発はこれから。



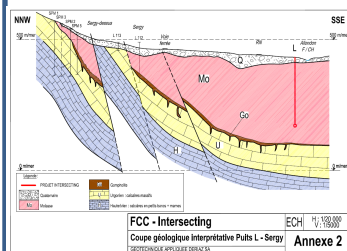
FCC CE study presented at FCC week, Washington 2015



Footprint, positioning and planarity assessed by review panel – Decision taken to focus on 100km, planar FCC machine



Extension of study into Prealps region. Updated contours for Jura, Vuache, Voiron-Faucigny.

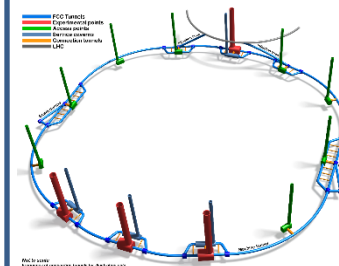


Inclusion of new geological data within the Tunnel Optimisation Tool (TOT). Three engineering studies by AMBERG.



Figure 28: London crossrail shaft, diameter 30 m, depth 45 m

Working with Infrastructure & Operation and Machine Detector Interface groups on underground infrastructure requirements.



March 2015

July 2015

July – August 2015

August 2015 – March 2016

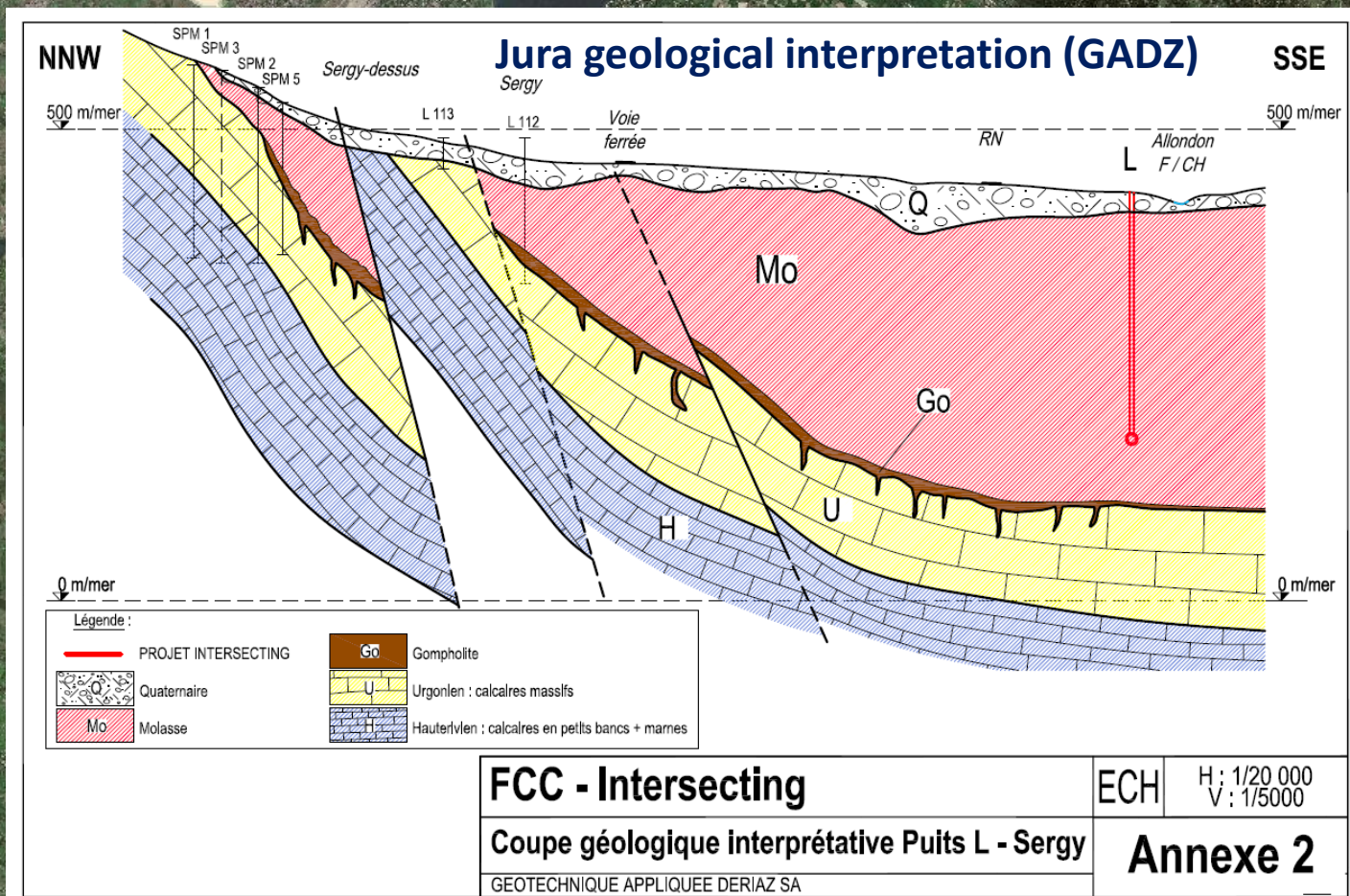
FCC Week 2015, Washington

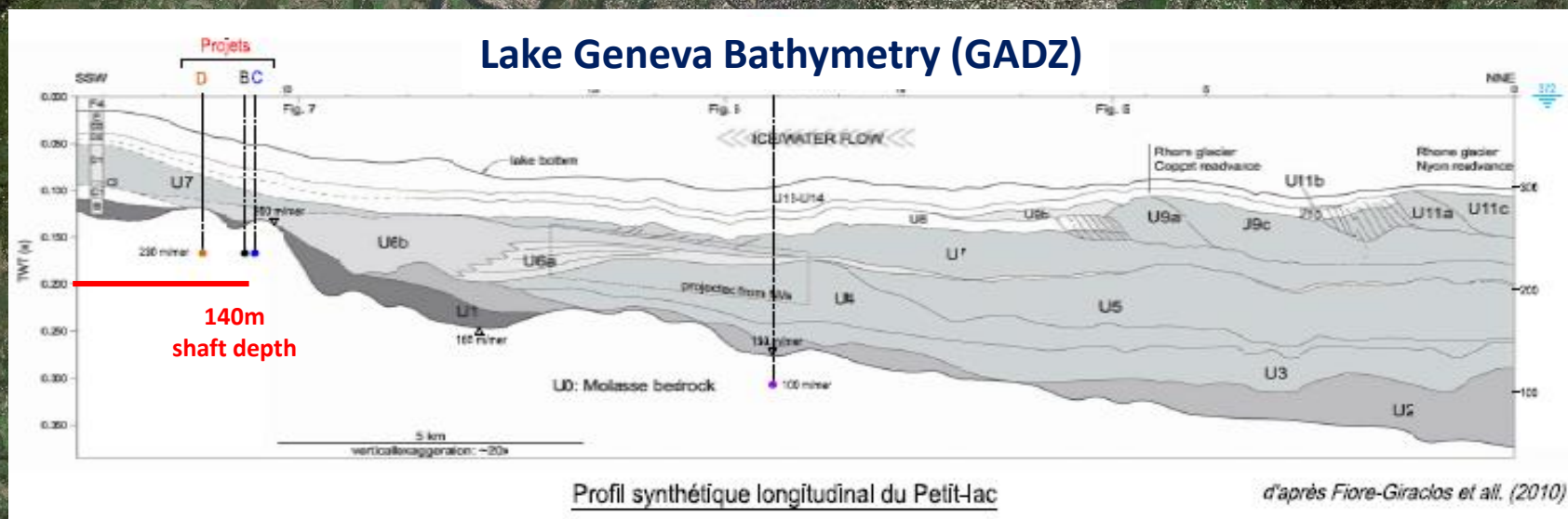
CERN's FCC Review

New geological interpretations (GADZ)

Engineering studies & TOT updates (ARUP & AMBERG)

CERN internal studies

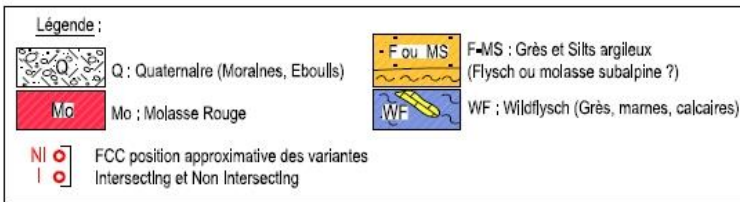
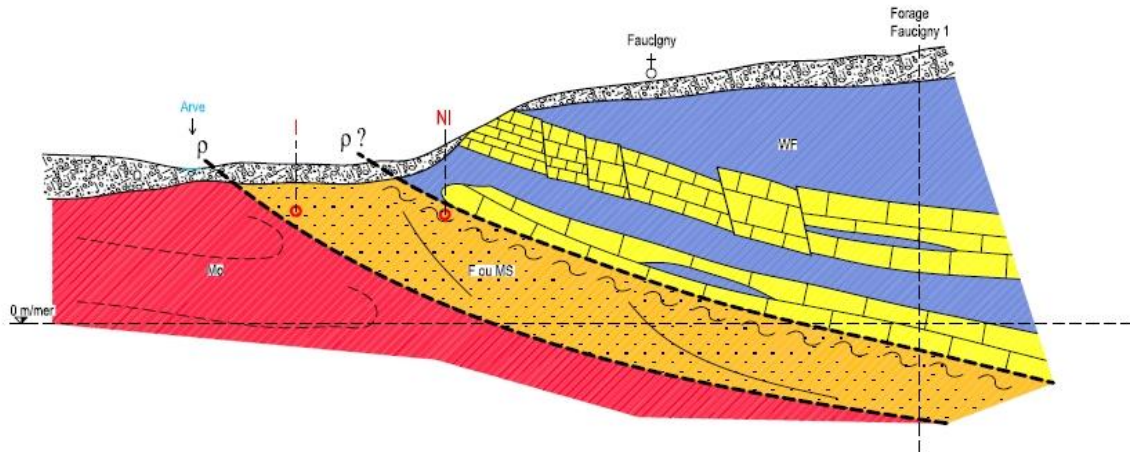




W

E

Voiron - Faucigny geological interpretation (GADZ)



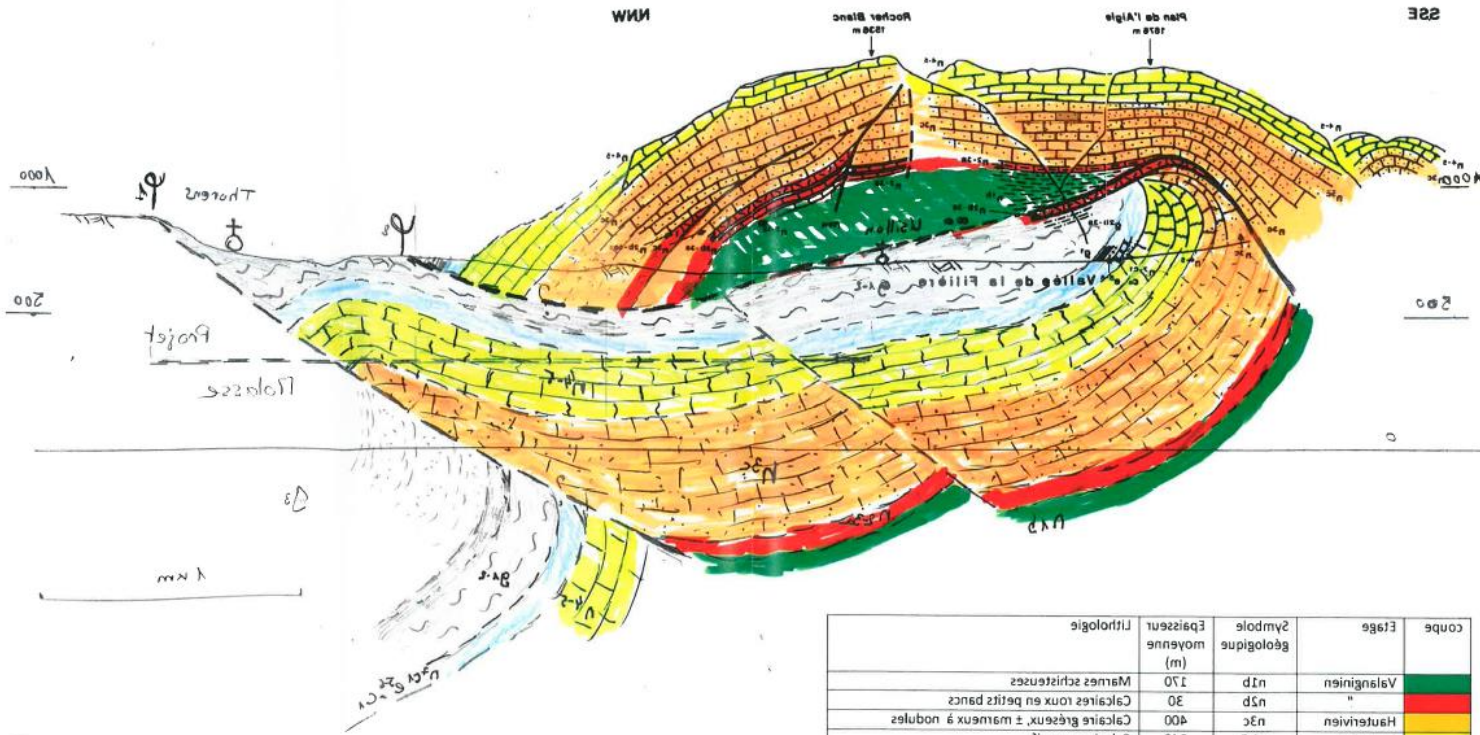
FCC - 100 km - Secteur Volrons - Faucigny ECH 1:10 000

Coupe géologique 3

GEOTECHNIQUE APPLIQUEE DERIAZ SA



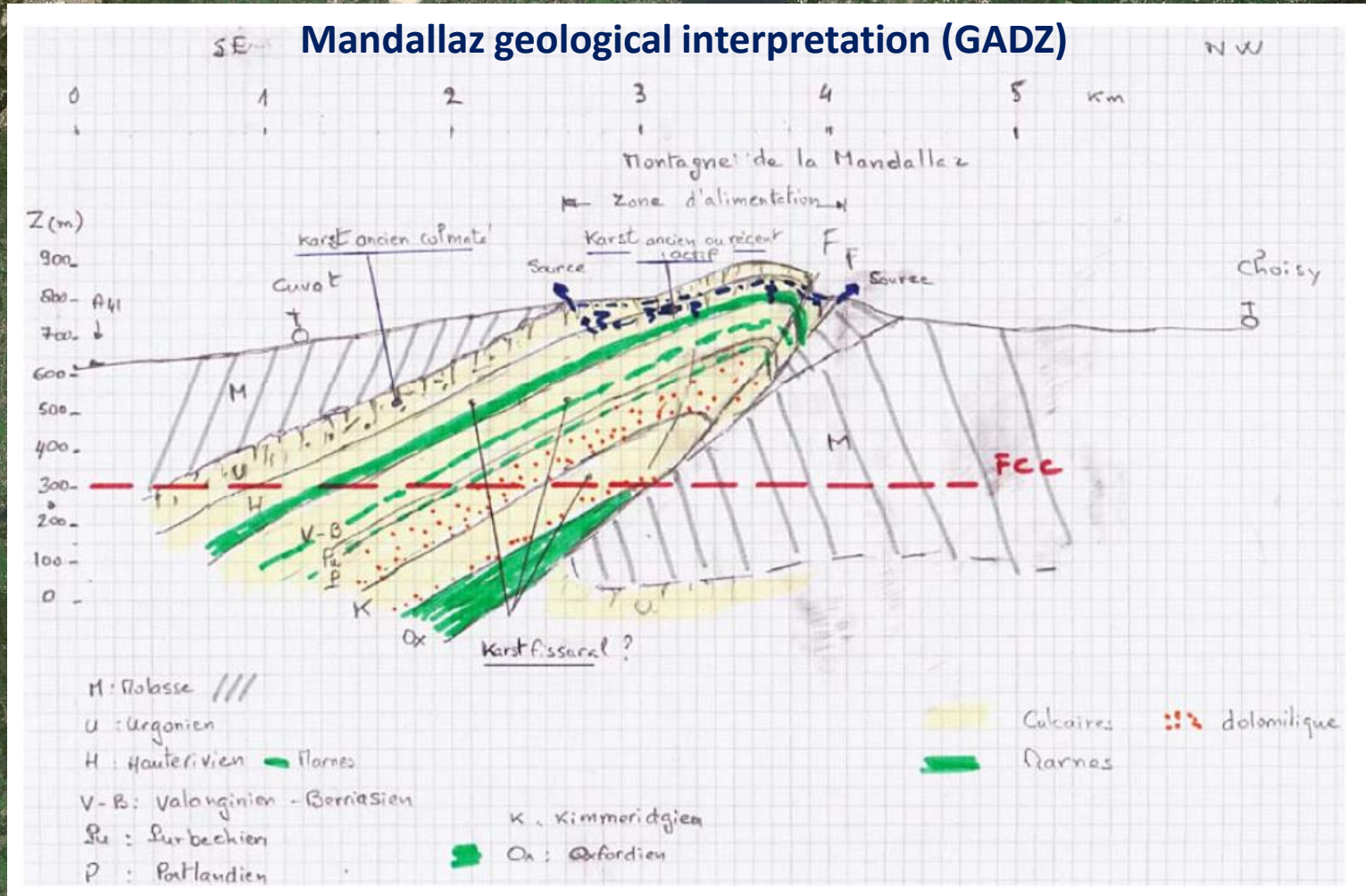
Prealps geological interpretation (GADZ)

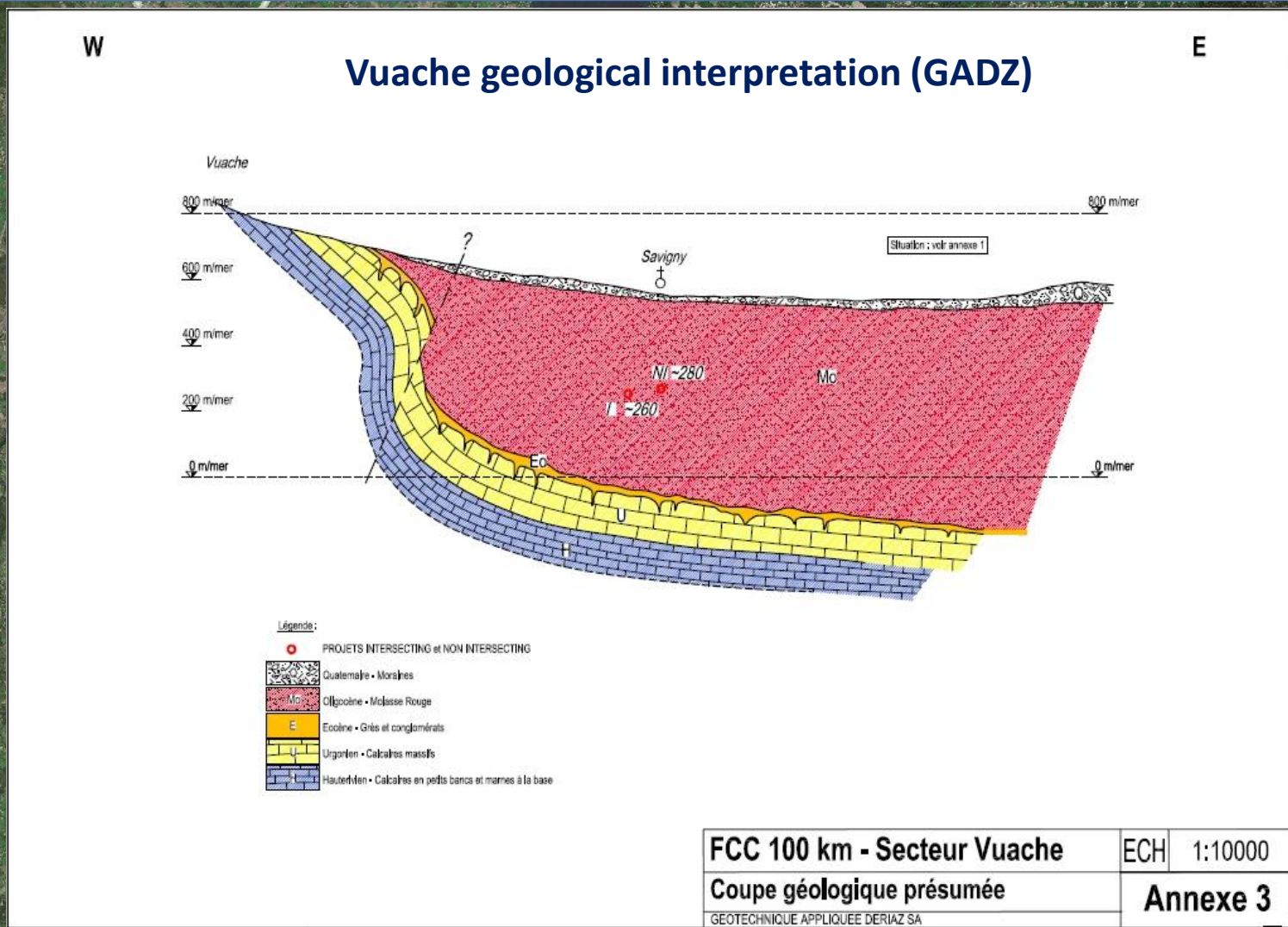


Extrapolation en biotopogent
 Versant lève gauche interprétation 1. Chablaisais

code	Étage	symbole géologique	Épaisseur moyenne (m)	Lithologie
g3	"	"	>1000	Molasse
B3	"	"	200-250	Flysch (Grés, marnes siliceuses et schistes)
R1	Oligocène	R1	30	Marnes
E-6	Éocène	E-6	30	Grés ferrugineux
C2	"	C2	20	Calcaire
n3 C1	Crétacé sup	n3 C1	20	Grés glauconieux
n4-2	Ugonien	n4-2	240	Calcaires massifs
n3c	Hauteriviens	n3c	400	Calcaires gréseux ± marnes à nodules
n3p	"	n3p	30	Calcaires lous en petits bancs
n1p	Valignien	n1p	170	Marnes schisteuses

Coupe géologique 1
 FCC - Option 100km - Variante préalpes (non intersecting) 1:12000
 Annexe 3





100km 'Intersecting' option

Alignment Shafts Query

Choose alignment option
100km quasi-circular

Tunnel elevation at centre: 261mASL

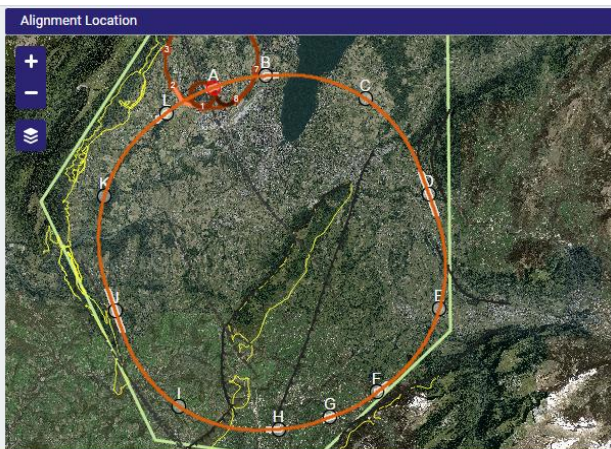
Grad. Params

Azimuth (°): -20
Slope Angle x-x(%): 0.65
Slope Angle y-y(%): 0

LOAD **SAVE** **CALCULATE**

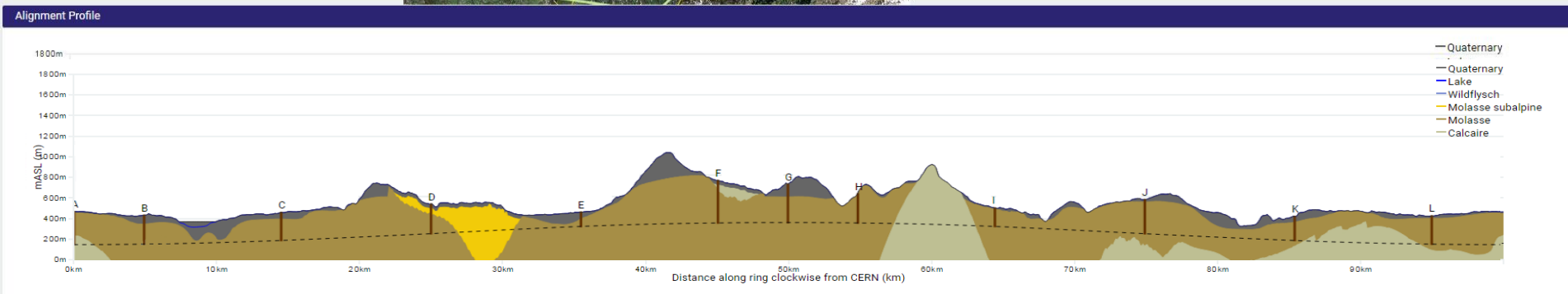
Alignment centre
X: 2499731 Y: 1108403

	Angle	Depth	Angle	Depth
LHC	-64°	220m	64°	172m
SPS		242m		241m
T12		235m		241m
T18		242m		170m



Geology Intersected by Shafts Shaft Depths

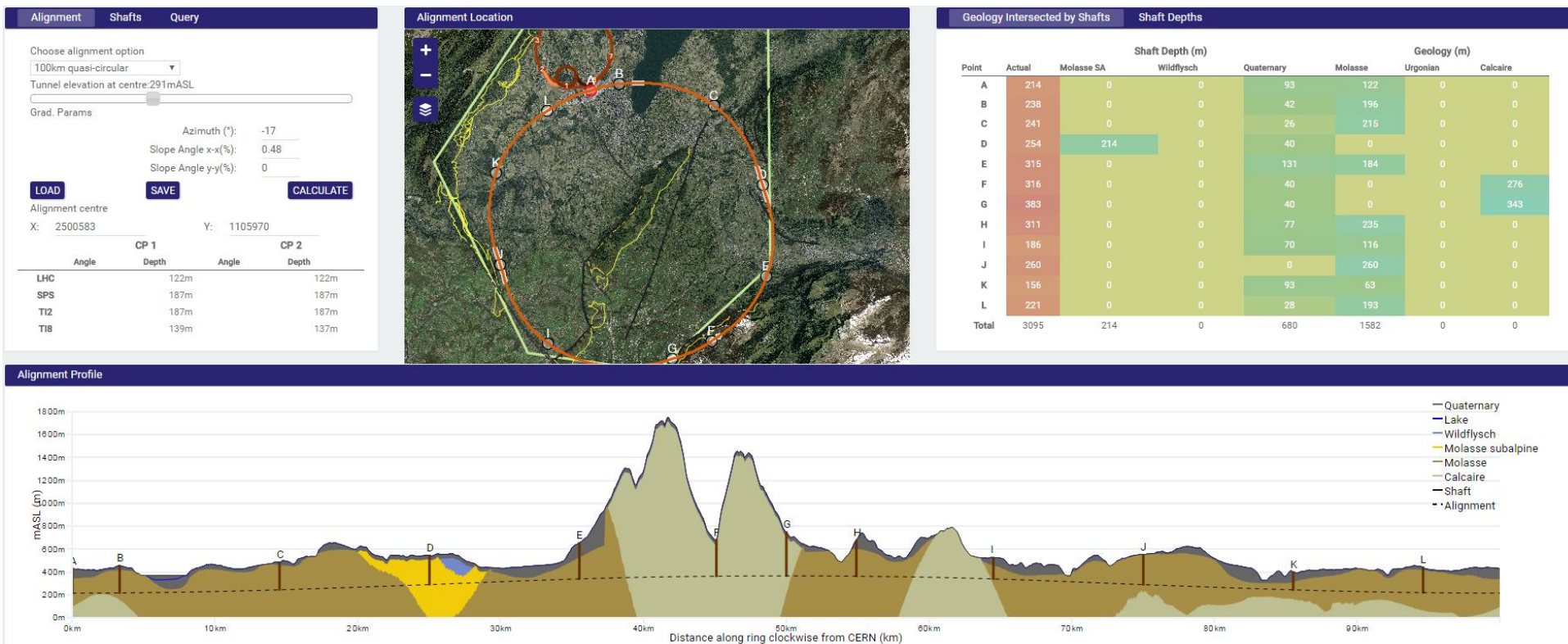
Point	Actual	Molasse SA	Shaft Depth (m)				Geology (m)		
			Wildflysch	Quaternary	Molasse	Urgonian	Calcaire		
A	304	0	0	12	213	0	79		
B	266	0	0	80	156	0	30		
C	257	0	0	58	199	0	0		
D	272	52	0	40	181	0	0		
E	132	0	0	64	68	0	0		
F	392	0	0	40	296	0	56		
G	354	0	0	116	237	0	0		
H	268	0	0	0	268	0	0		
I	170	0	0	12	158	0	0		
J	316	0	0	22	293	0	0		
K	221	0	0	52	169	0	0		
L	260	0	0	21	239	0	0		
Total	3211	52	0	517	2478	0	109		



Challenges:

- **7.8km** tunnelling through Jura limestone
- **300m-400m** deep shafts and caverns in molasse

100km 'Non-Intersecting' option

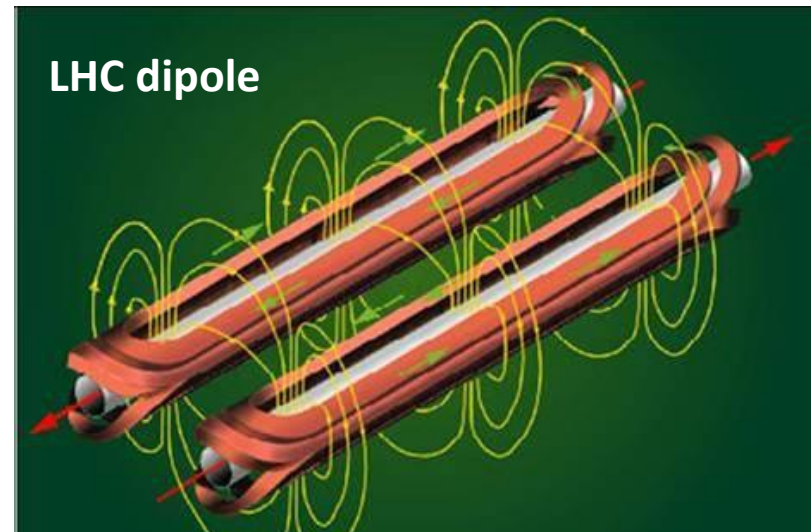


Challenges:

- **11.6km** tunnelling through Prealps geology
- **300m-400m** deep shafts and experimental caverns in molasses
- **1.35km** maximum tunnel overburden

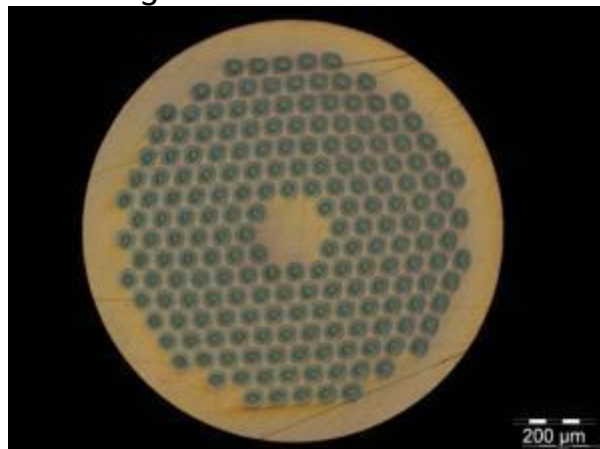
超伝導電磁石の開発

- 基本的にはLHCのdipoleマグネットと同じような形のものを作る。
 - 14m長に何周も巻き付けるので長い超伝導の線材が必要。
 - NbTiは合金だったので引き延ばすことができた。
 - Nb₃Snの線材は、化合物なのでボロボロ崩れてしまう。
 - →NbとSnを配置して線にした段階で熱処理をしてNb₃Snの線材を作る。



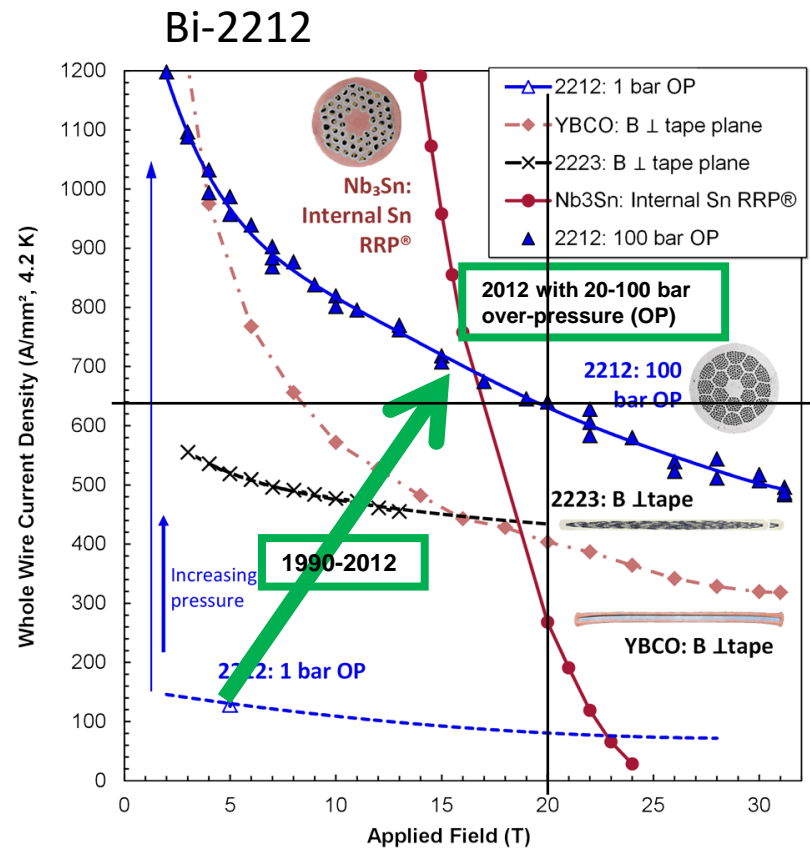
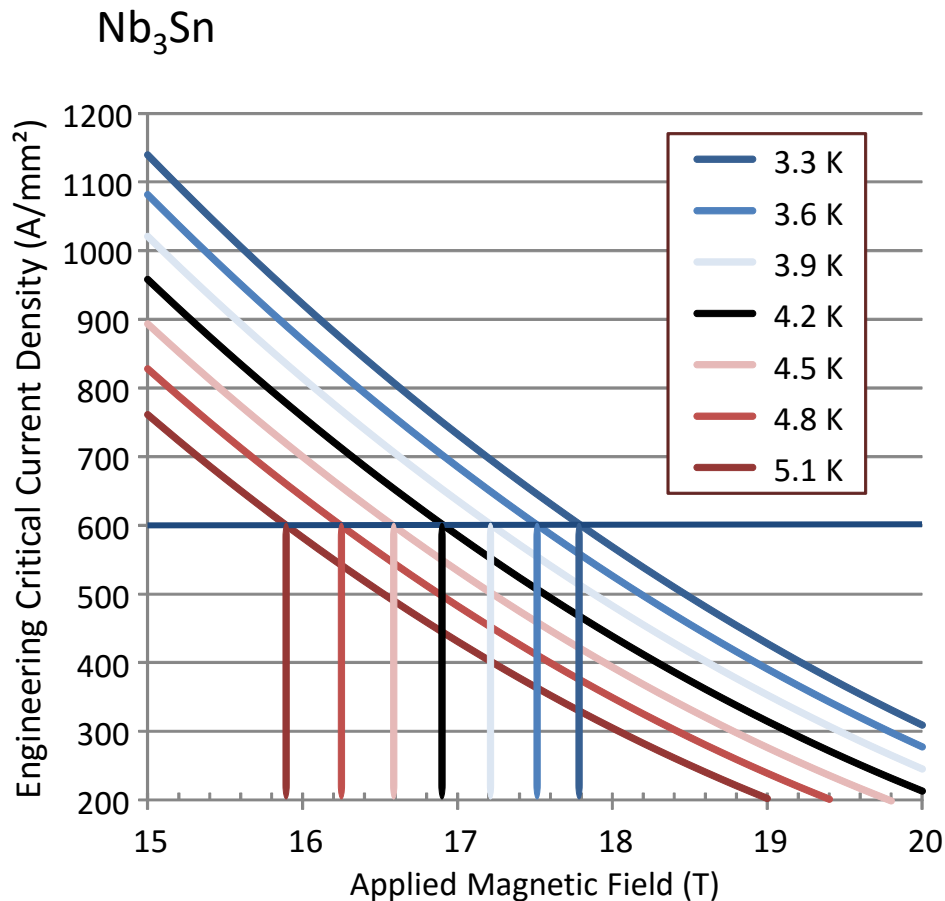
技術的に難しい

Nb₃Snの線材



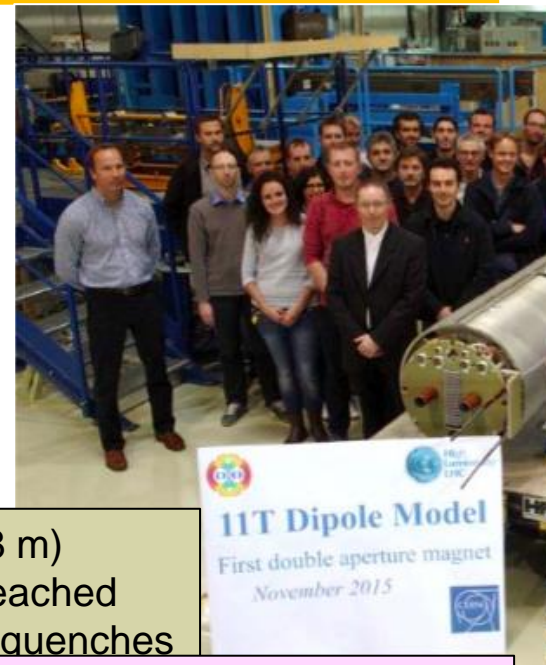
臨界電流密度の上限

- 磁場が上がると臨界電流密度が下がり超伝導が崩壊



超伝導電磁石の開発

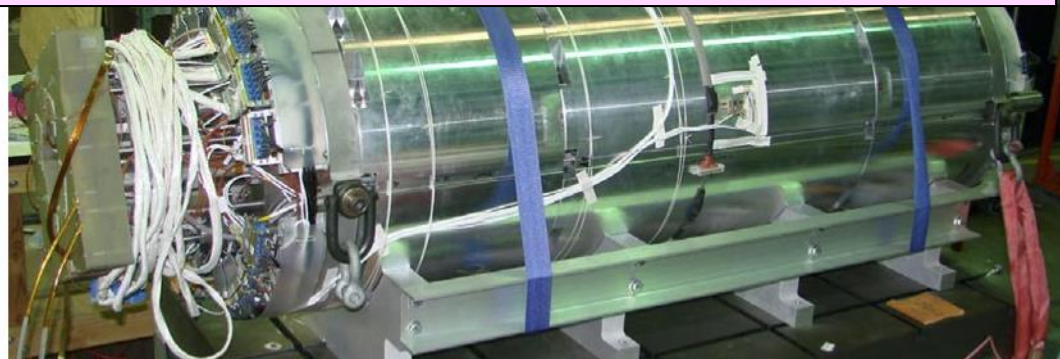
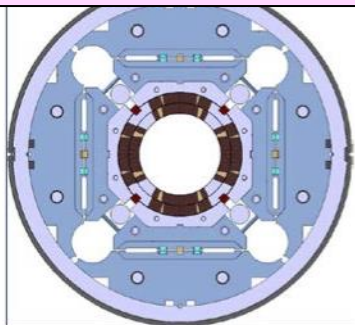
- LHCのNbTiの超伝導電磁石では100TeVコライダーはできない。
 - 16Tや20Tの磁石の開発が必要だが、FCC-hhのプロジェクトとして堂々と超伝導電磁石を開発することは難しい。
 - HL-LHCの収束マグネットの開発の一環としてNb₃Snの超伝導磁石の開発を進めている。



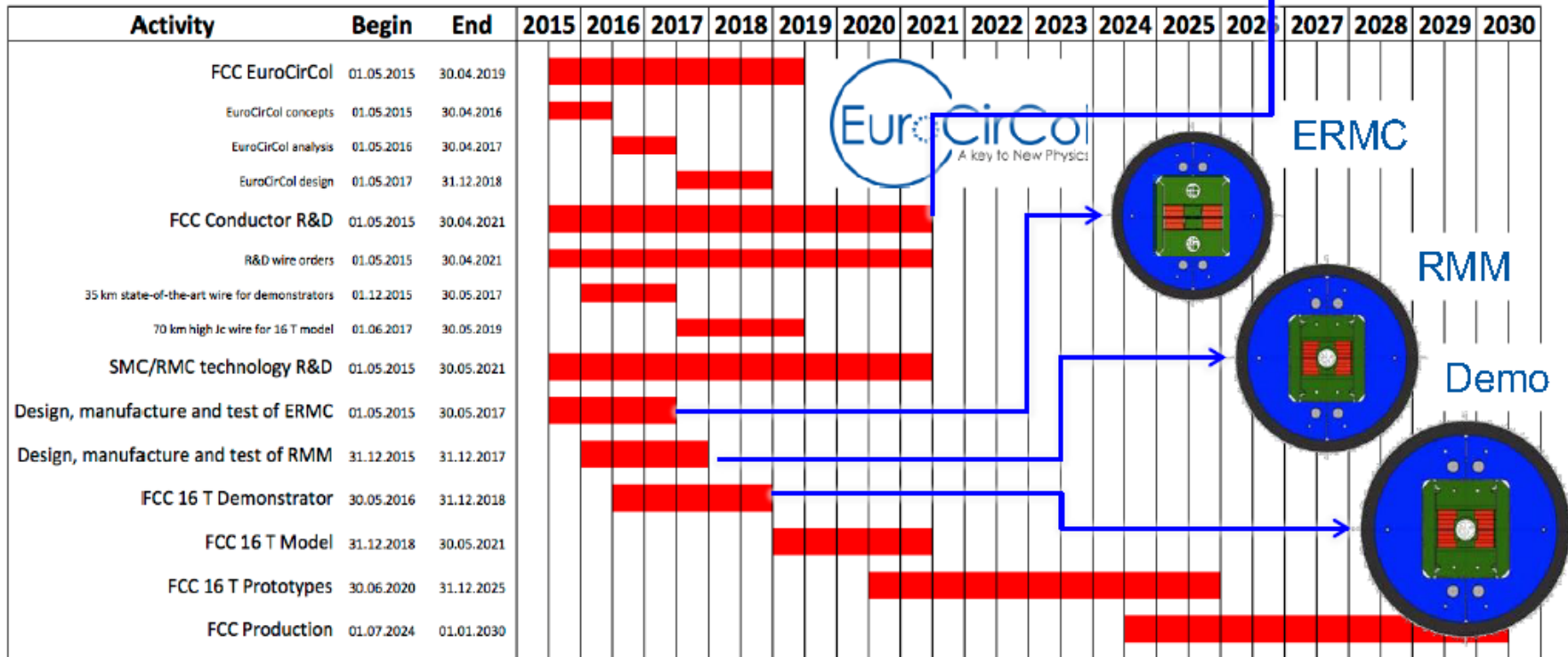
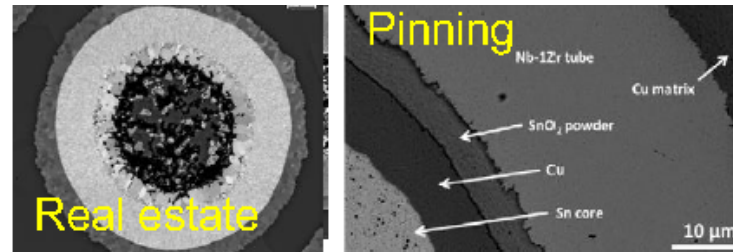
すでにプロトタイプができている！

December 2015: short (1.8 m) Nb₃Sn two-in-one dipole reached 11.3 T (> nominal) without quenches

March 2016: short (1.5 m) Nb₃Sn quadrupole model (final aperture =150 mm) reached current 18 kA (nominal: 16.5 kA). CERN-US LARP Collaboration (2 coils from CERN + 2 coils from US)



超伝導電磁石の開発~プラン

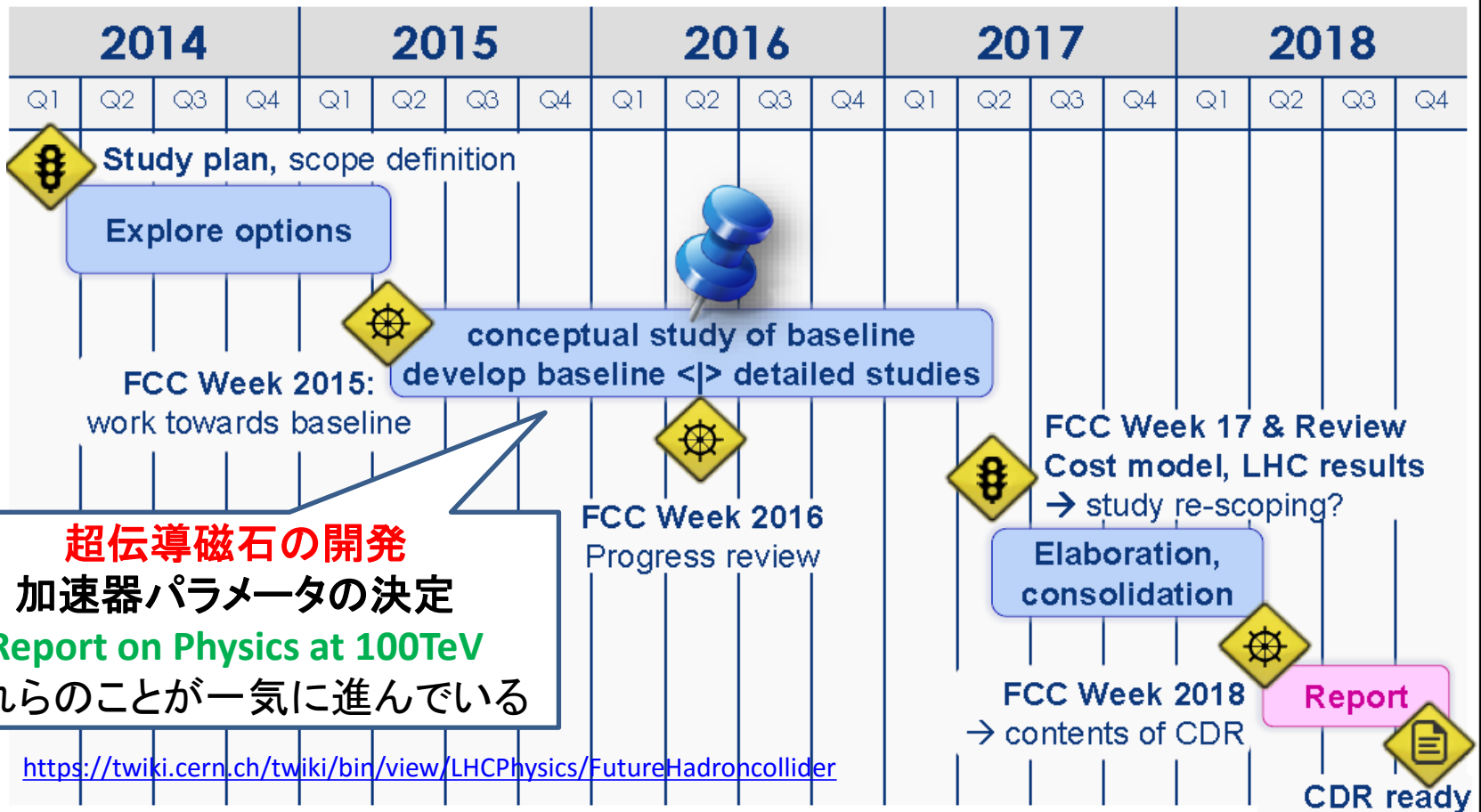


- 2024-2030の量産を目指す！

個人的な感想

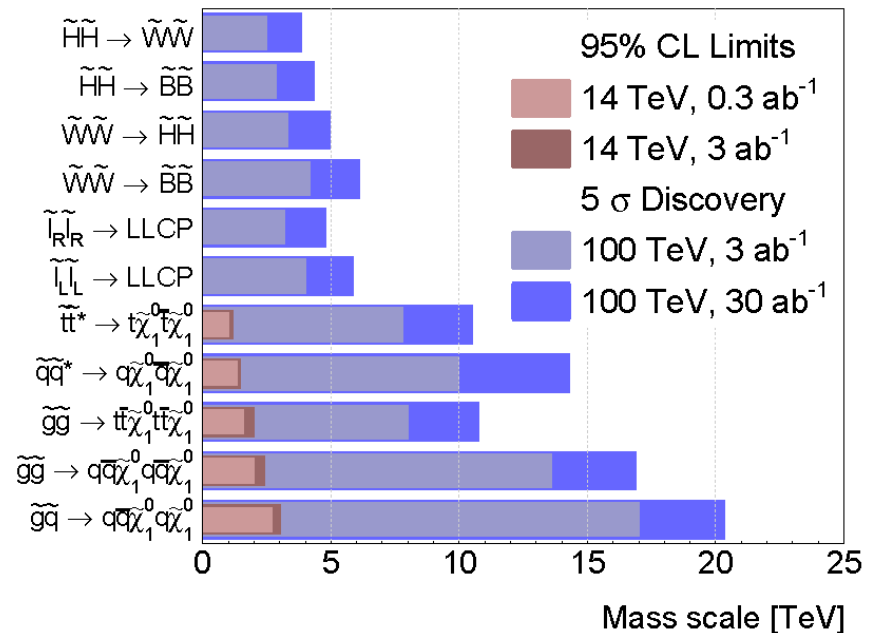
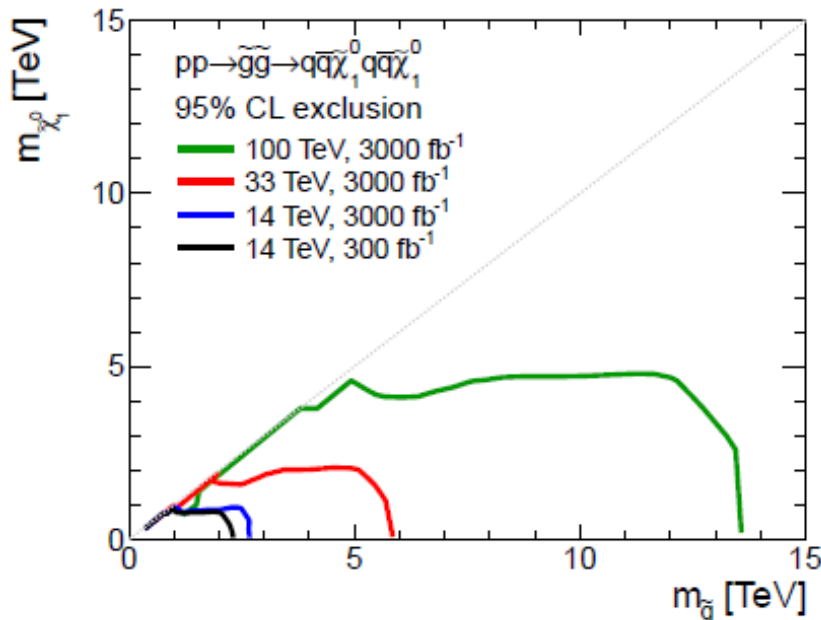
- 100TeVのコライダーができるならやらない理由はない。
 - 世界的な動きに日本のコミュニティが乗り遅れてはいけない。
 - 2018年のCRDに向けて理論、実験の双方から貢献すべき。

この1年で相当進んだ



個人的な感想

- **100TeVのコライダーができるならやらない理由はない。**
 - 世界的な動きに日本のコミュニティが乗り遅れてはいけない。
 - 2018年のCRDに向けて理論、実験の双方から貢献すべき。
- 100TeVで十分なのか？の議論はもちろんあって、この辺は是非理論屋さんの意見が聞きたいです。(Naturalness?)
 - Di-jet/di-lepton mass バンプ探索 → 20-30TeV領域まで探索可能
 - Strong int. SUSY → 10-15TeV領域まで探索可能、EWも数TeV

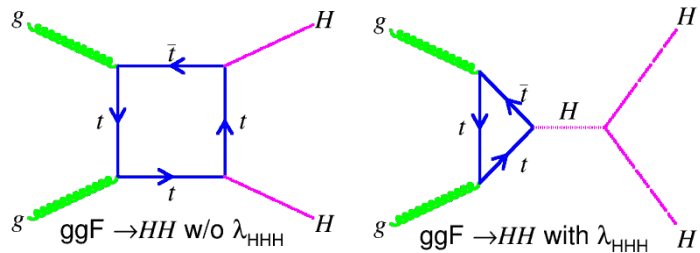


個人的な感想

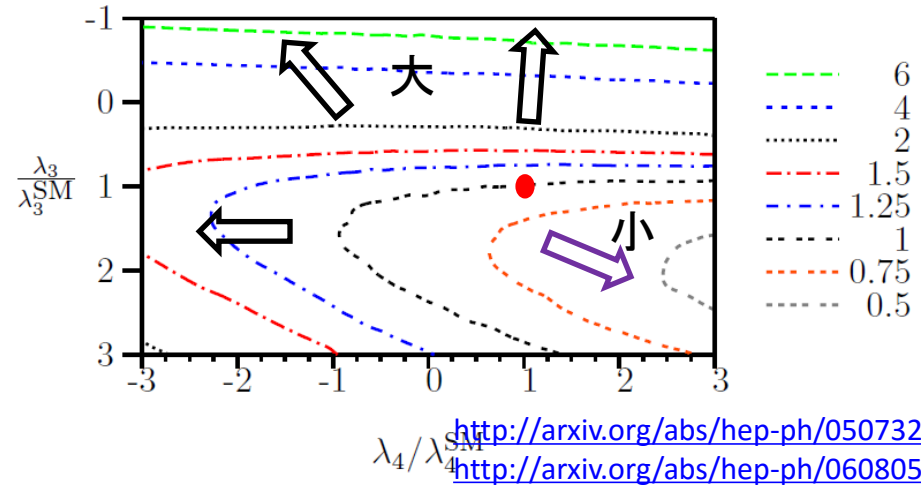
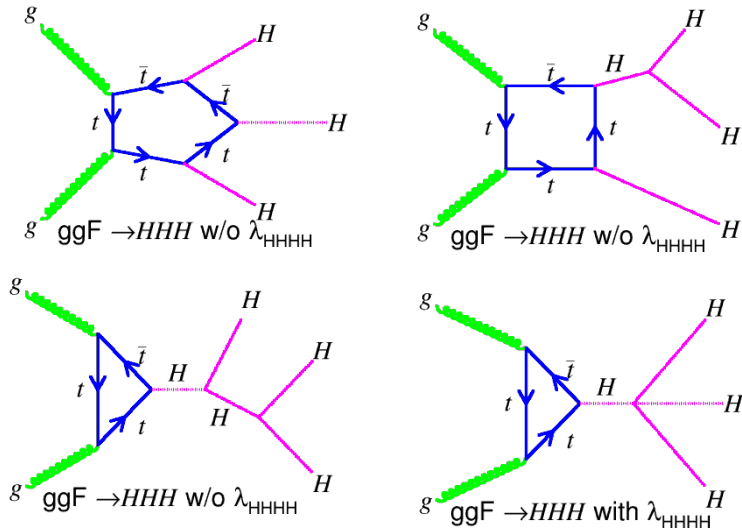
- **100TeVのコライダーができるならやらない理由はない。**
 - 世界的な動きに日本のコミュニティが乗り遅れてはいけない。
 - 2018年のCRDに向けて理論、実験の双方から貢献すべき。
- 100TeVで十分なのか？の議論はもちろんあって、この辺は是非理論屋さんの意見が聞きたいです。(Naturalness?)
 - Di-jet/di-lepton mass バンプ探索 → 20-30TeV領域まで探索可能
 - Strong int. SUSY → 10-15TeV領域まで探索可能
- 実現のためには確実にあげられる成果が必要なかもしれない。
 - Di- tri- Higgs production (3点/4点結合)
 - Vector Boson Scattering (Effective field theory の検証)
 - WIMPダークマターの発見or棄却 (<3TeV)

Higgs 3点/4点結合？

- Di-Higgs 生成(3点結合)



- Tri-Higgs 生成(4点結合)

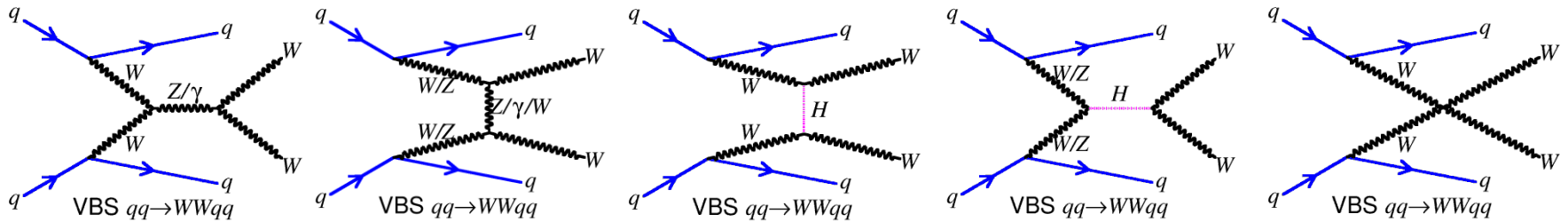


process	precision on σ_{SM}	precision on Higgs self-couplings
$HH \rightarrow b\bar{b}\gamma\gamma$	2%	$\lambda_3 \in [0.97, 1.03]$
$HH \rightarrow b\bar{b}b\bar{b}$	5%	$\lambda_3 \in [0.9, 1.5]$
$HH \rightarrow b\bar{b}4\ell$	$\sim 25\%$	$\lambda_3 \in [\sim 0.6, \sim 1.4]$
$HH \rightarrow b\bar{b}\ell^+\ell^-$	$\sim 15\%$	$\lambda_3 \in [\sim 0.8, \sim 1.2]$
$HH \rightarrow b\bar{b}\ell^+\ell^-\gamma$	-	-
$HHH \rightarrow b\bar{b}b\bar{b}\gamma\gamma$	$\sim 100\%$	$\lambda_4 \in [\sim -4, \sim +16]$

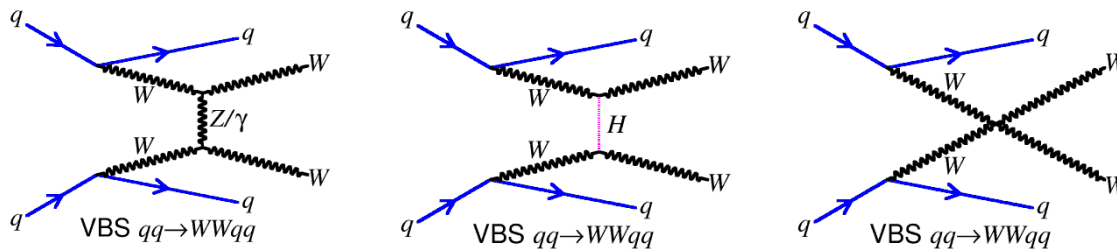
*注) 系統誤差は入っていない

Effective Field theory

- Prove Quadratic Gauge Coupling
- Vector Boson Scattering process ($qq \rightarrow WWjj$)



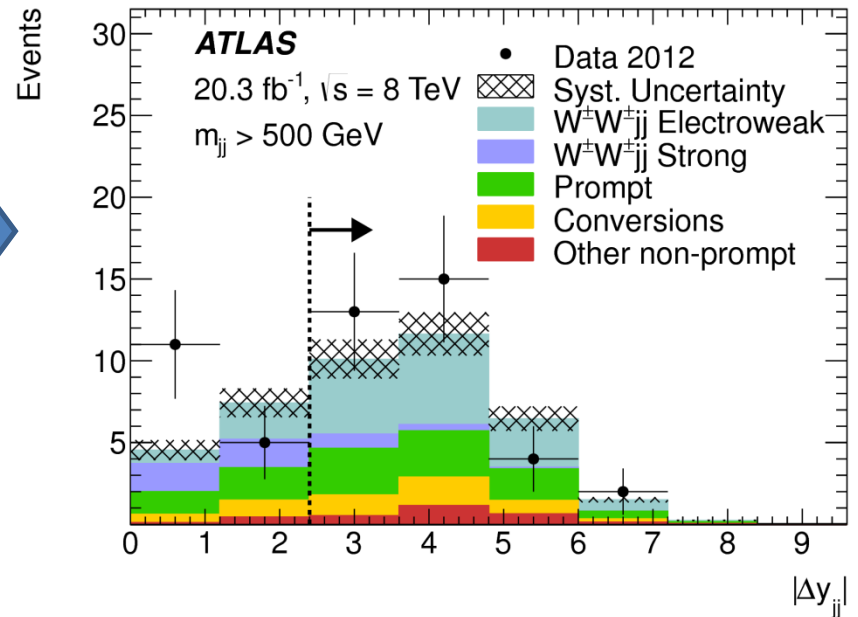
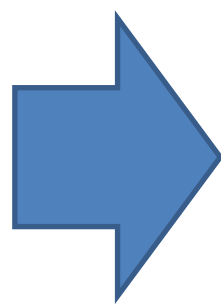
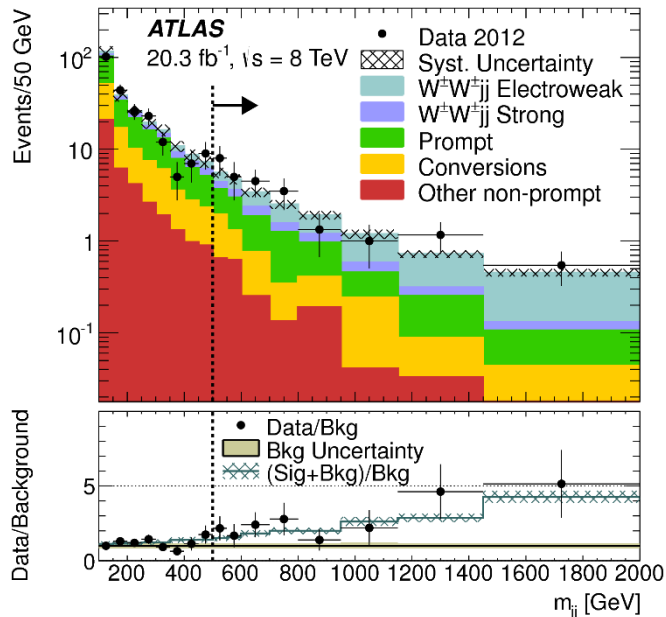
- LHCではSame sign W ($W^\pm W^\pm$)を見る



- Anomalous differential cross sections would indicate extended Higgs sector (e.g. **George-Machacek H^{++}**), new particles, or (giant) **anomalous QGCs**)

8TeVでの結果

- The 8 TeV data have been searched by both CMS and ATLAS for same-sign WW+2 jets.
- VBFのHiggsチャンネルと同様 $m_{jj} > 500 \text{ GeV}$, $dE_{tjj} > 2.4$ で信号が支配的な領域を作ることができる。(observation!!)
- 高いエネルギースケールでの検証が面白い。



個人的な感想

- **100TeVのコライダーができるならやらない理由はない。**
 - 世界的な動きに日本のコミュニティが乗り遅れてはいけない。
 - 2018年のCRDに向けて理論、実験の双方から貢献すべき。
- 100TeVで十分なのか？の議論はもちろんあって、この辺は是非理論屋さんの意見が聞きたいです。(Naturalness?)
 - Di-jet/di-lepton mass バンプ探索 → 20-30TeV領域まで探索可能
 - Strong int. SUSY → 10-15TeV領域まで探索可能
- 実現のためには確実にあげられる成果が必要なのかもしれない。
 - Di- tri- Higgs production (3点/4点結合)
 - Vector Boson Scattering (Effective field theory の検証)
 - WIMPダークマターの発見or棄却 (<3TeV)
- $e^+ e^-$ コライダーとの関係
 - ヒッグスの結合の測定、全幅の測定はもちろん重要
 - ただ、希望としては別に作って100TeVを遅らせることのないようにしたい。
 - ILC (or CEPC) とはコンフリクトしないのでは？(もちろんお金とかは要再考)

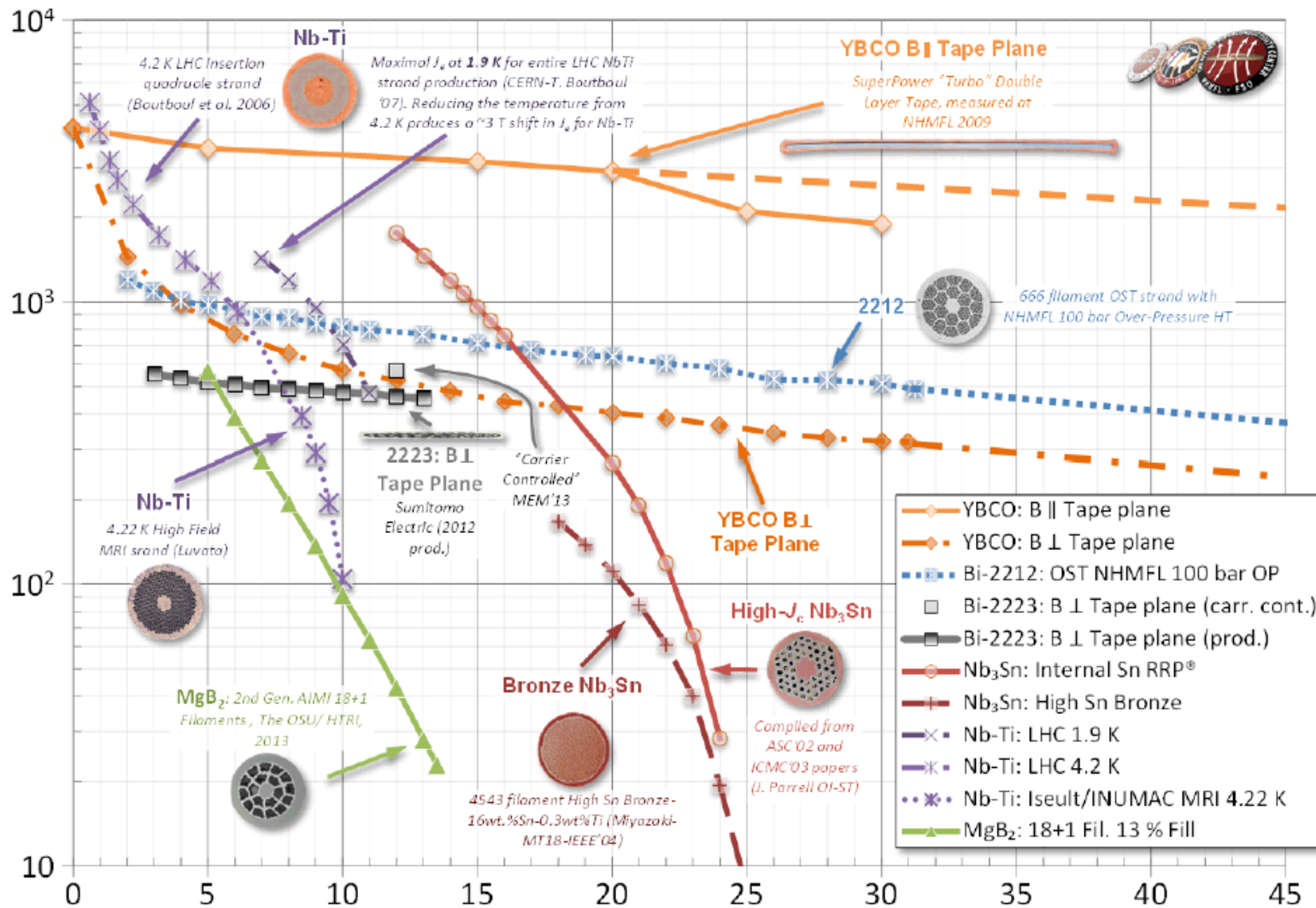
まとめ

- 中期的(15-20年)なプランとしてはHL-LHCを成功させる。
 - ヒッグス粒子の精密測定、稀崩壊の探索
 - Weak scale BSMの探索
 - ヒッグス自己結合の発見
- 長期的(20-40年)なプランとしては次世代加速器の建設運転
 - ILC/CLIC : 電子-陽電子線形加速器($\sim 500\text{GeV}$, $\sim 1\text{TeV}$, 3TeV)
 - FCC-ee : 電子-陽電子円形加速器($\sim 350\text{GeV}$)
 - FCC-hh : 陽子陽子円形加速器 ($\sim 100\text{TeV}$)

よくILCはHL-LHCと比べて...という話がありますが、ILCはHL-LHCの後の実験です。検討すべきはFCCに比べて本当に魅力的な実験なのか？ということ。もちろんお金はILC \ll FCCだと思います。

backup

Whole Wire Critical Current Density (A/mm^2 , 4.2 K)



どこまで測るのか？測れるのか？

- できれば世にはびこってる理論を確認・否定したい。
- たとえば、SUSY, Composite Higgs, Littlest Higgsの場合

SUSY:

$$g(\tau\tau)/SM = 1 + 10\% \left(\frac{400 \text{ GeV}}{m_A} \right)^2 \quad \leftarrow m_A \text{ が重ければどこまでも...}$$

$$g(b\bar{b})/SM = g(\tau\tau)/SM + (1 - 4)\% \quad \leftarrow \text{これなら多少...でも...}$$

Composite Higgs:

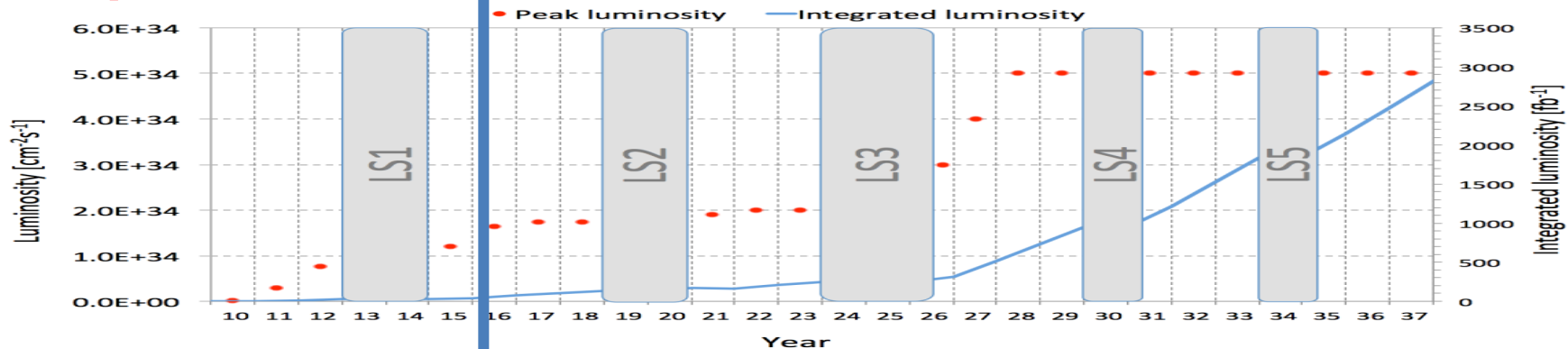
$$g(f\bar{f})/SM = 1 + (3 - 9)\% \left(\frac{1 \text{ TeV}}{f} \right) \quad \leftarrow \text{これはいけそう？ topがちょっと厳しいか？}$$

Littlest Higgs:

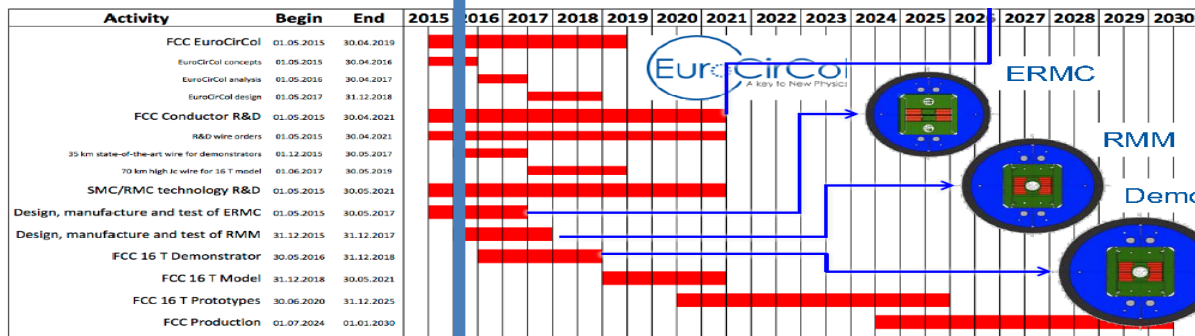
$$g(gg)/SM = 1 + (5 - 9)\% \quad \leftarrow \text{無理...}$$

$$g(\gamma\gamma)/SM = 1 + (5 - 6)\% \quad \leftarrow \text{どうでしょう？}$$

LHC → HL-LHC



FCC-hh : magnet



Operation?



ILC

Operation?

