

CDF実験の検出器開発と 電弱物理の最新結果

筑波大学 物理 原 和彦

CDF Run2a の現状

– TEVATRON, CDF検出器 –

Run2bのための検出器増強

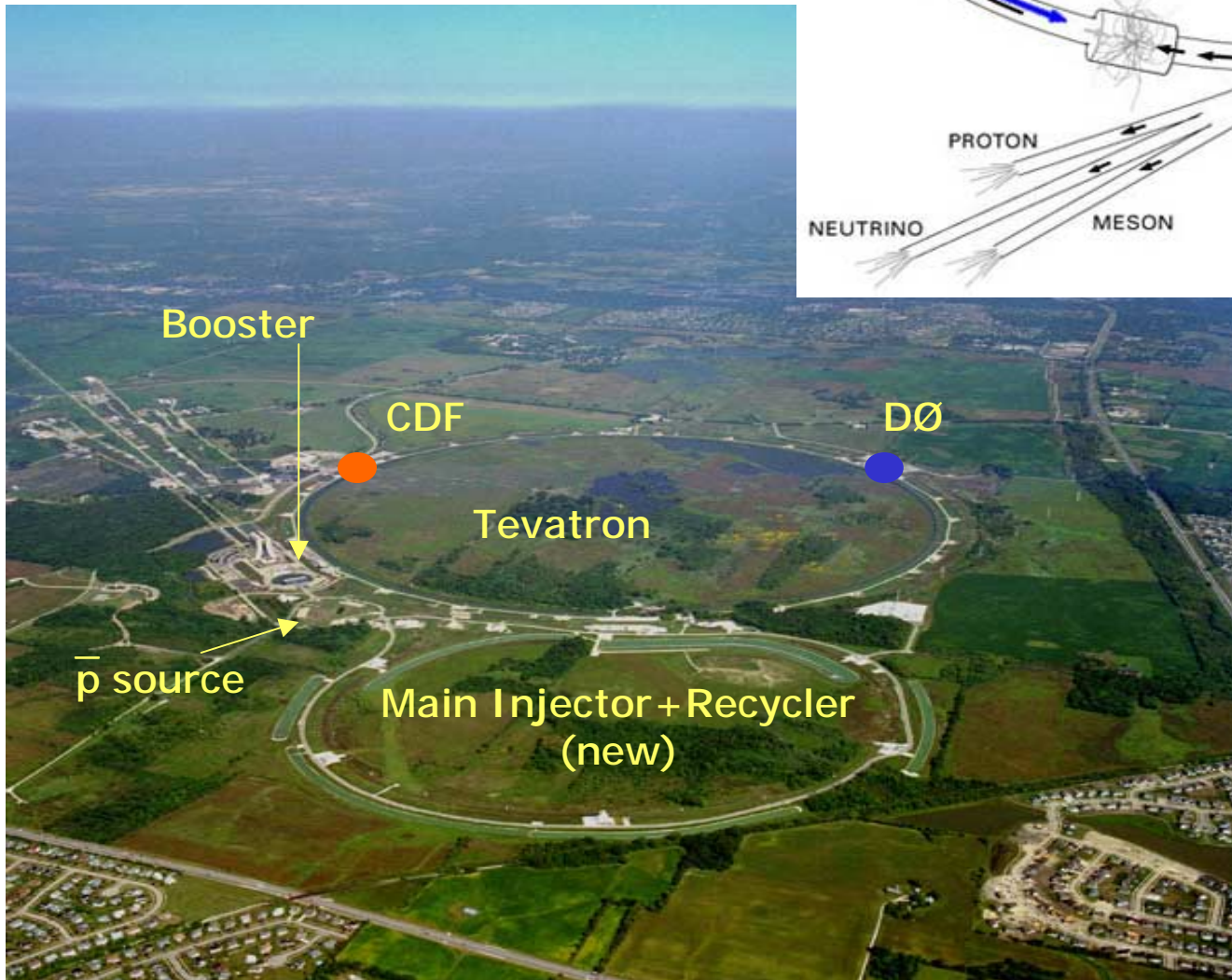
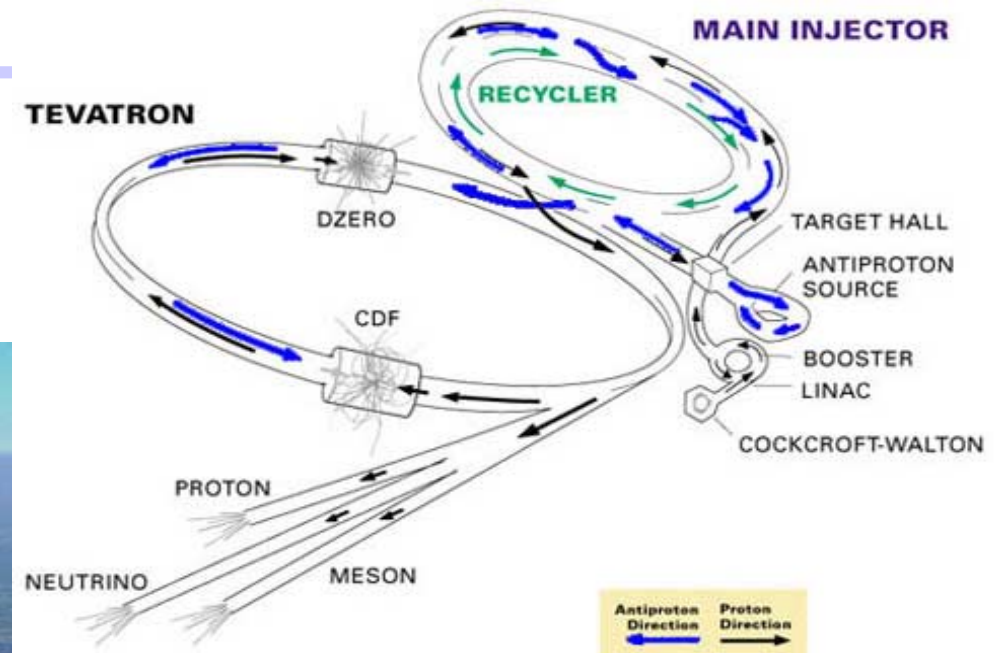
– 主に SVX2b シリコン検出器 –

Run2aでの電弱物理

まとめ

CDF Run2a Status

Tevatron の増強



Main Injector:

反陽子生成率、

I_{beam}

Recycler ring:

反陽子の再利用

CDF Run2a Status

$\sqrt{s} = 1.8 \rightarrow 1.96 \text{ TeV}$

$\sigma(W), \sigma(Z) \sim 10\% \text{ higher}$

$\sigma(tt) \sim 30\% \text{ higher}$

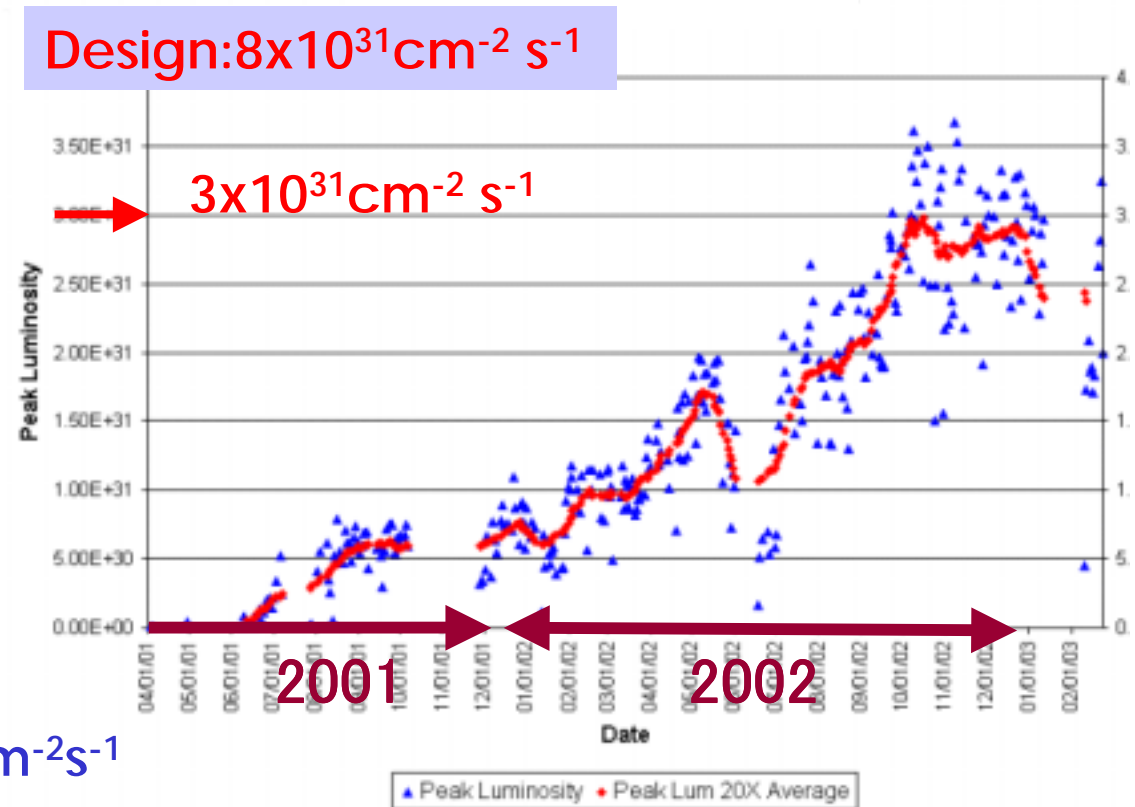
Tevatronルミノシティ

Run 1 (1996終了):

- 積分ルミノシティ: 110 pb^{-1}
- 初期ルミノシティ $\sim 2.4 \times 10^{31} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$

Run 2 (Mar '01開始):

- 初期ルミノシティ(best): $3.7 \times 10^{31} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
- 最近は: $\sim 7 \text{ pb}^{-1} / \text{week}$
- 目標積分ルミノシティ: 2 fb^{-1}



デザインと比較して

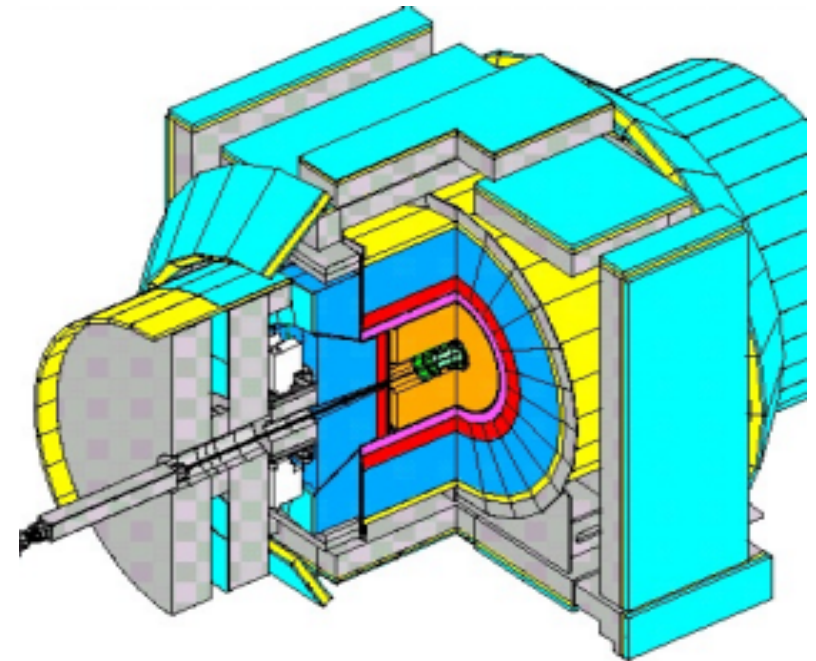
$\bar{p} \sim 2/3$ (emittance...)

$\bar{p} \sim 2/3$ (stacking rate...)

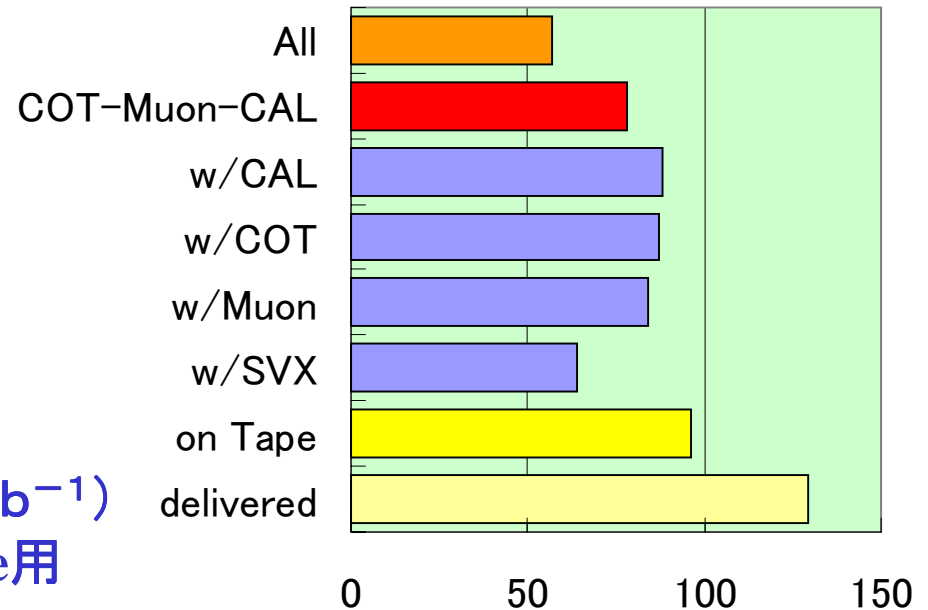
CDFII 検出器

Run2aからの新しい装置

- silicon検出器 (8層:L00+SVX-II+ISL)
71万チャンネル
- 中央飛跡検出器 (COT:ドリフトチェンバー)
3万ワイヤー、96dE/dx測定
- 飛行時間検出器 (TOF:シンチレータ)
- 端冠部カロリメータ (タイル/ファイバー)
- μ 粒子検出領域の拡張
- Trigger(パイプライン)
XFT: COTドリフトチェンバー@L1
SVT: シリコン@L2
- DAQ、...



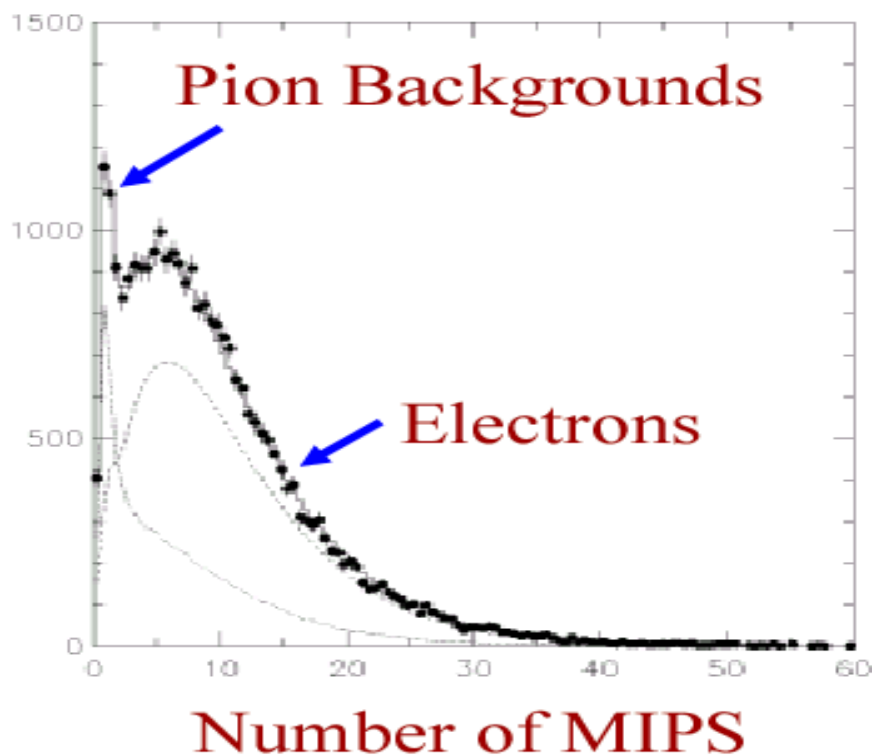
積分ミノシティ(pb^{-1})
Winter Conference用



Run2bのための検出器増強

Run2bパラメータ

1. 初期ルミノシティ: $\sim 50 \times 10^{31} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ トリガー/ DAQの性能向上⁽¹⁾
CPR応答の高速化⁽²⁾
2. 積分ルミノシティ: $\sim 15 \text{fb}^{-1}$ SVXII検出器の放射線損傷



(2) CPR2 (中央部プリシャワー)+
CCR(中央部クラック検出器)

中央部プリシャワーをシンチレータ
タイル/ファイバーに基づいた高速
応答性のあるシステムに更新+
8X₀Tungstenをクラック部に追加

Photonの物理

Bジェットエネルギー分解能

Missing ET分解能

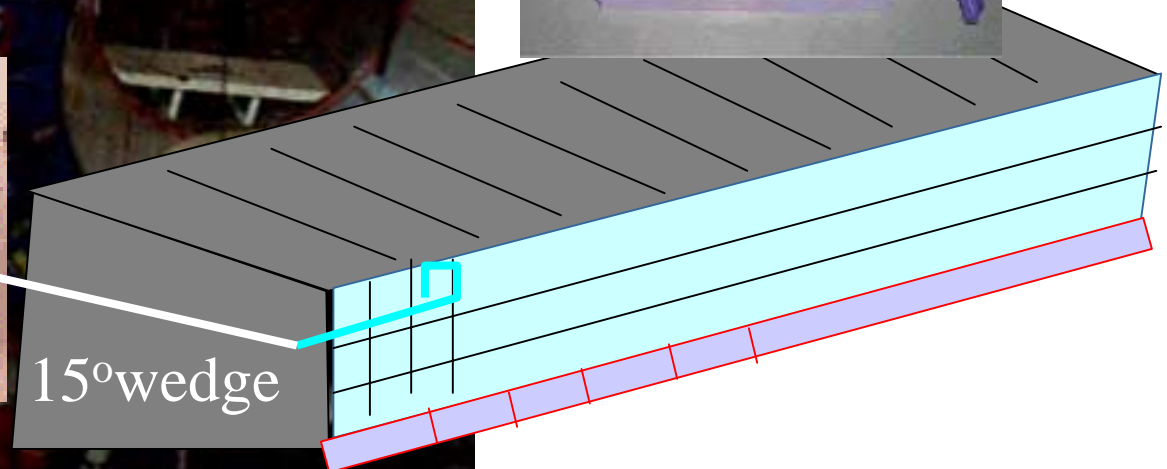
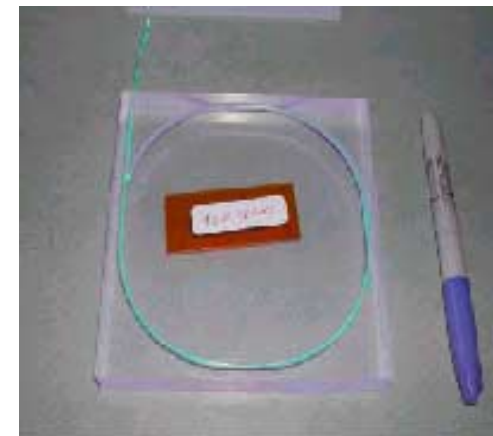
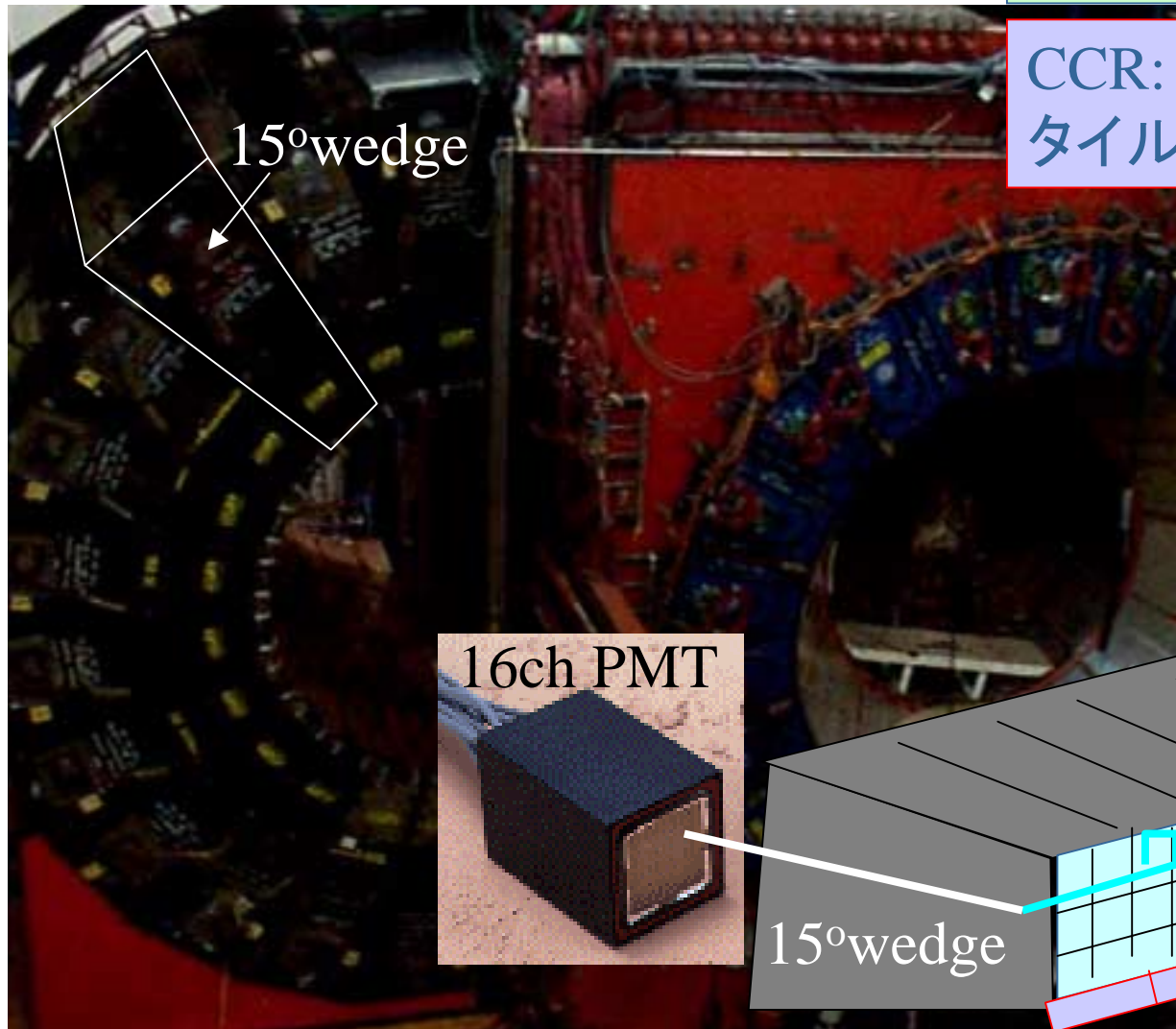
Run2bのための検出器増強

CPR2+CCR検出器

中央部カロリメータ: 48 wedgeで構成

CPR2: 各wedgeの前面を
タイル/ファイバーで覆う

CCR: wedge間をTungsten+
タイル/ファイバーで覆う



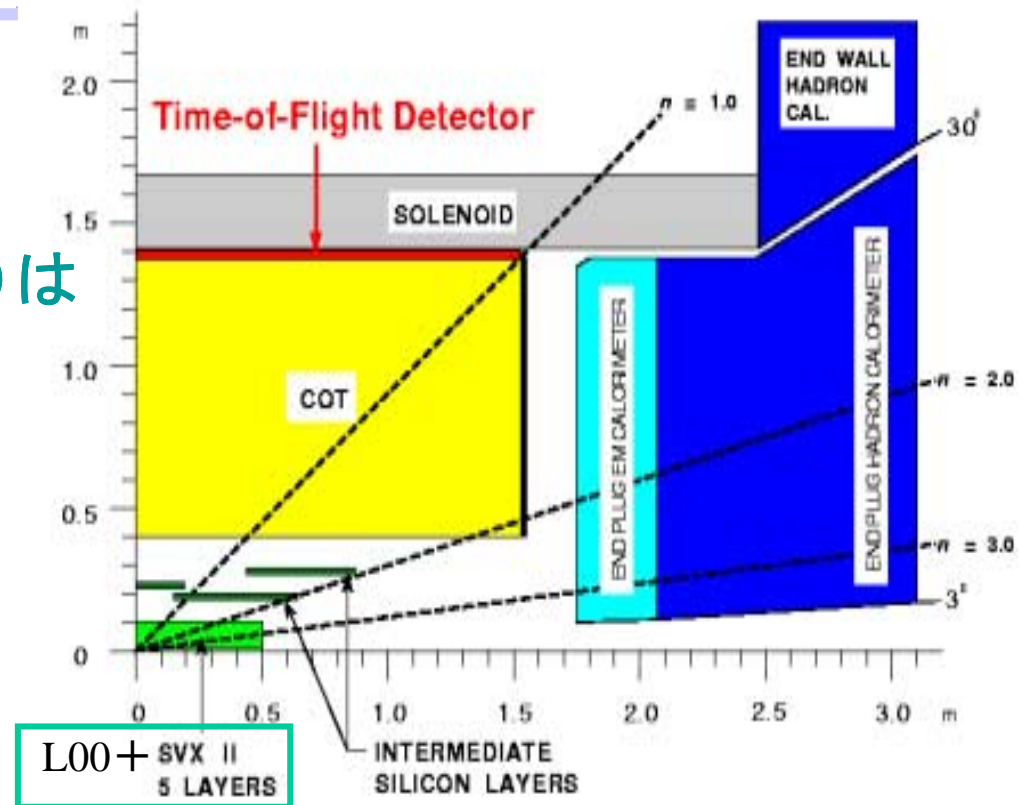
Run2bシリコン検出器

SVX-IIの寿命/ Run2bシリコンの設計

現在のL00とSVX-II(内側3層)は
放射線損傷によりRun2b中に
著しく性能が劣化する

→ Run2bシリコン検出器

CDF	R_{\min} (cm)	L (fb^{-1})
L00	1.35	7.4
L0	2.54	4.3
L1	4.12	8.5
L2	6.52	10.7
ISL	20 - 28	>40
DOI Ms	14	5.7



- 放射線耐性に優れた片面センサー
- 冷却パイプによる直接冷却
- 光コンポーネントを使わない
- New $0.25\mu\text{m}$ SVX4チップ

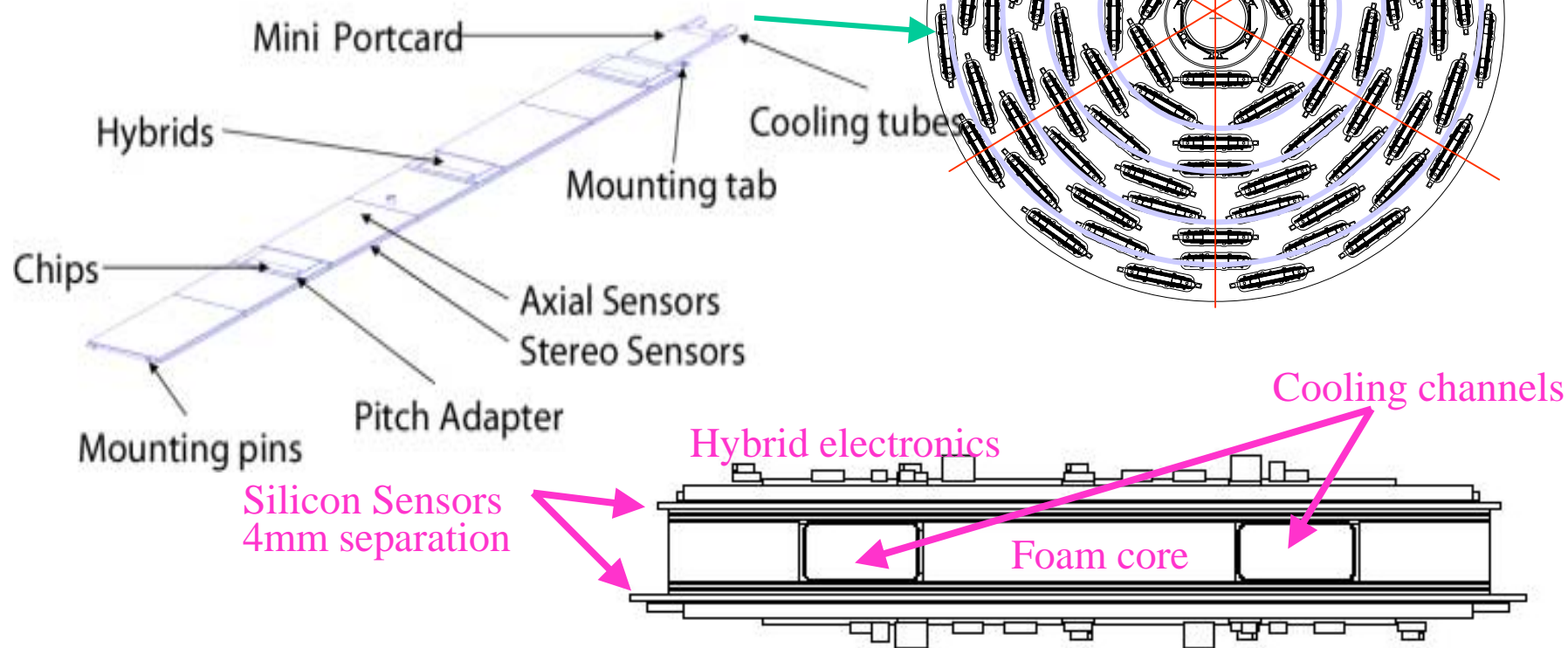
L00+SVX-IIと同等以上の性能
短期間に建設できること

Run2bのための検出器増強

L0~L5: R=2.1~16.6 cm

Run2bシリコン検出器

Run IIB Stave
(5cm幅x60cm長さ)



➤ 1.8% X_0 /stave

➤ Sensors 39%

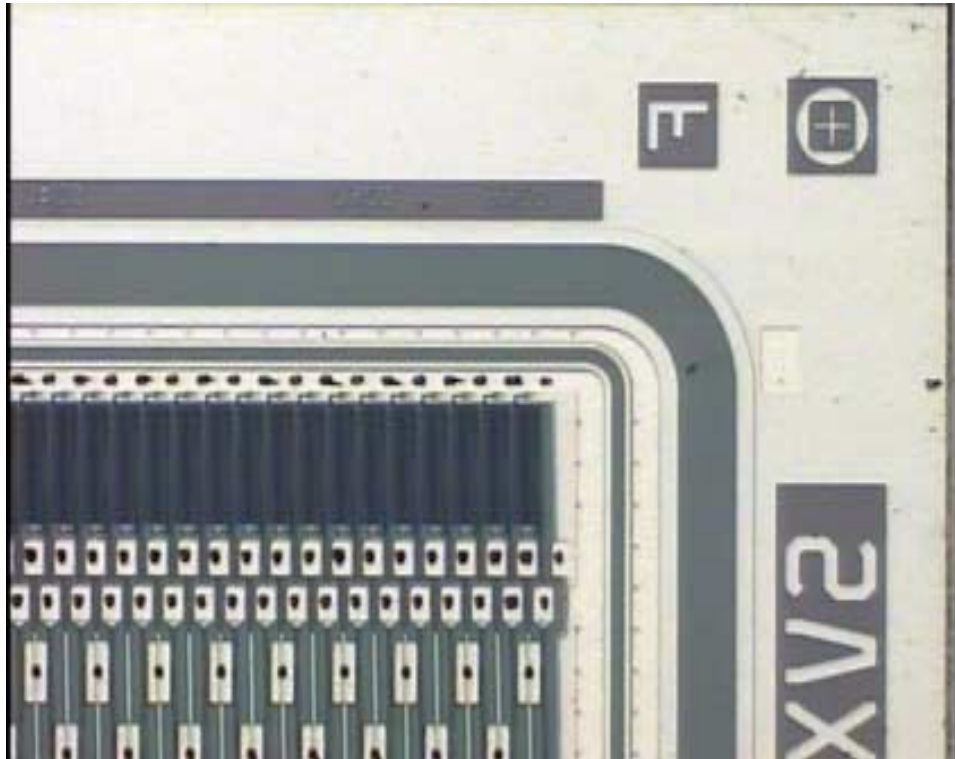
➤ Hybrids 13%

➤ Bus Cable 17%

➤ CF/Coolant 29%

- 冷却パイプ、ハイブリッドを一体化した同一形状のStave構造を採用する(L1~L5) ことで、製造期間の短縮を図る。
- L0はhybridをTracking領域の外に設置する(~L00)。

Run2bシリコン検出器



- p⁺n 片面読み出し (2 sensors /6" wafer)
- 256 AC 結合型読み出しストリップ
(75um/80um pitch)
p⁺ 幅 = 8 um; Al 幅 = 14 um
- 読み出さない中間ストリップ
- poly-Si バイアス抵抗 (1.5M Ω)
- 単ガードリング

放射線耐性のある“LHC型”センサー
高圧耐性～500V

axial:40.6 x 96.4 mm²

1.2°: 41.1 x 96.4 mm²

Axial型 : 1656 + spares

Stereo型 : 648 + spares

L00型axial: 144+spares

Outer Axial/Stereo Si センサーの試作

浜松ホトニクス社で試作

電気的特性

機械的特性

放射線照射後の特性

を評価した。

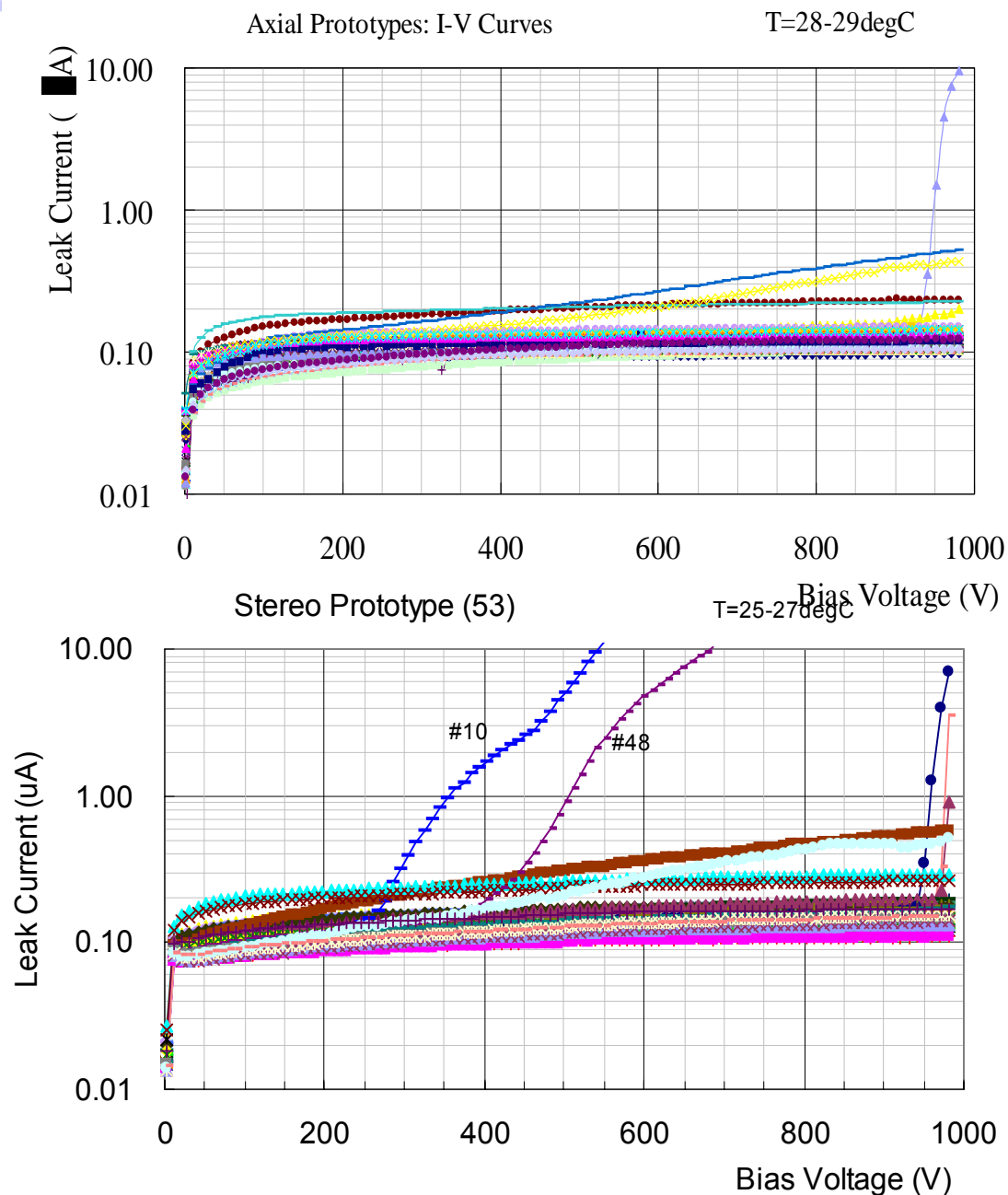
→ いずれも優れている

I-V特性:

(右上) 全60台

(右下) 全53台

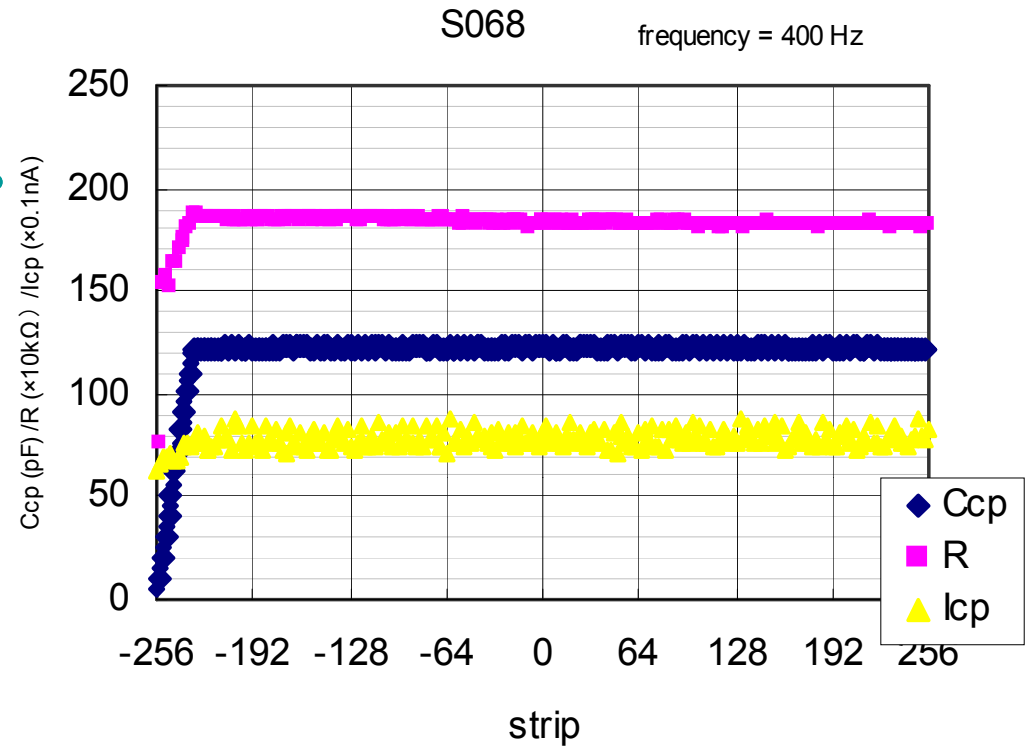
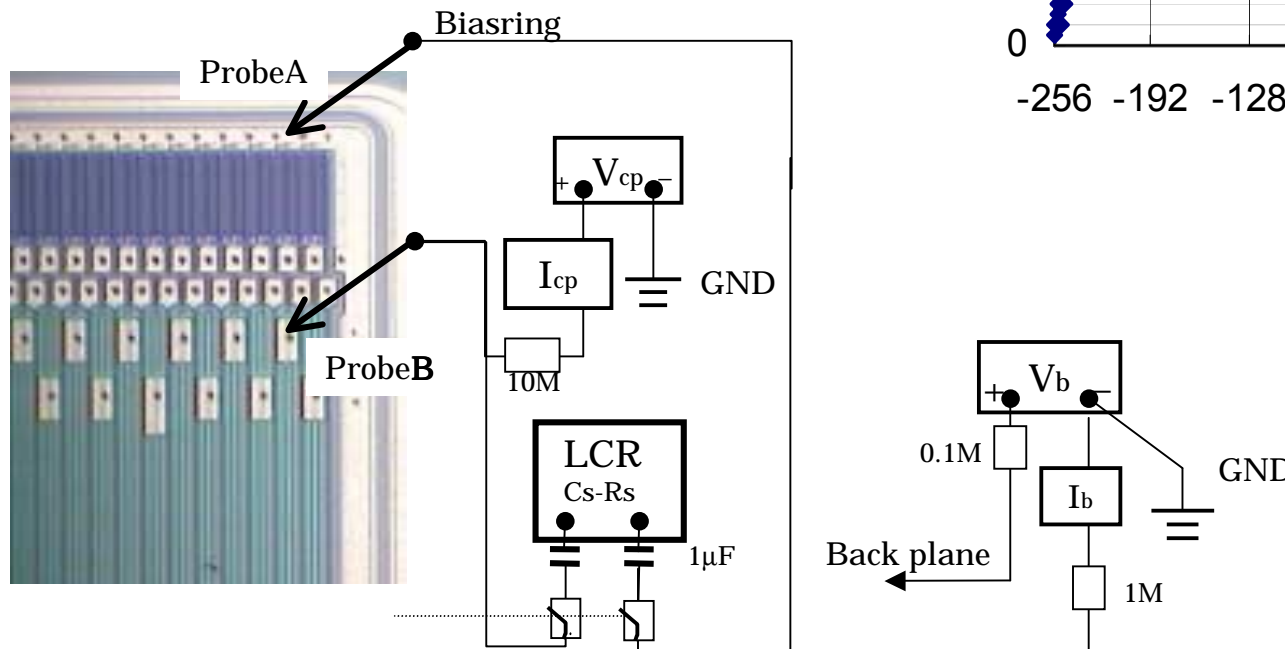
→ 殆どが1000VまでOK



試作センサーの性能評価結果:電気的特性

ストリップの欠陥をaxial/stereo各18台ずつ測定し、浜松の結果と比較した。

- 浜松の欠陥はすべて検知され理解できた。



Ccp: AC結合容量 ~ 120 pF

R: 直列抵抗 ~ 1.9 MΩ

~ implant + bias抵抗

Icp: 絶縁リーク電流

Figure 3: Setup for the full strip scan (AC scan)

試作センサーの性能評価結果:電気的特性

ストリップの欠陥をaxial/stereo各18台ずつ測定し、浜松の結果と比較した。

- 浜松の欠陥はすべて検知され理解できた。
- 浜松では、readout implantの切断を検知できないことが分った。

→ 欠陥率*が極めて低い(<0.01%)ため見過ごしても問題ないと合意した。

*15 defects / 113 sensors
= 15 / 58k strips = 0.0026%

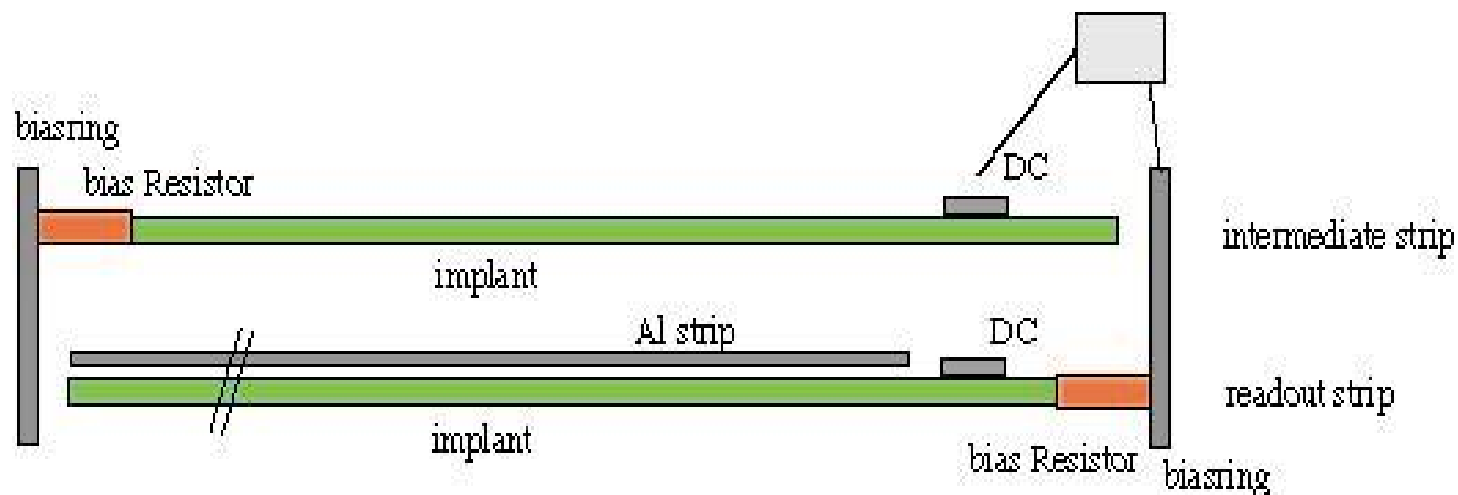
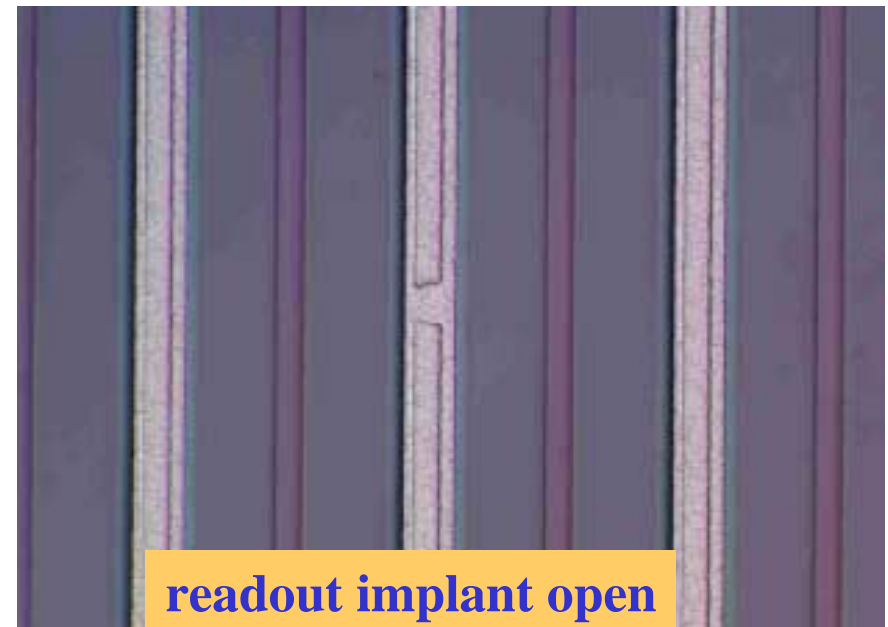
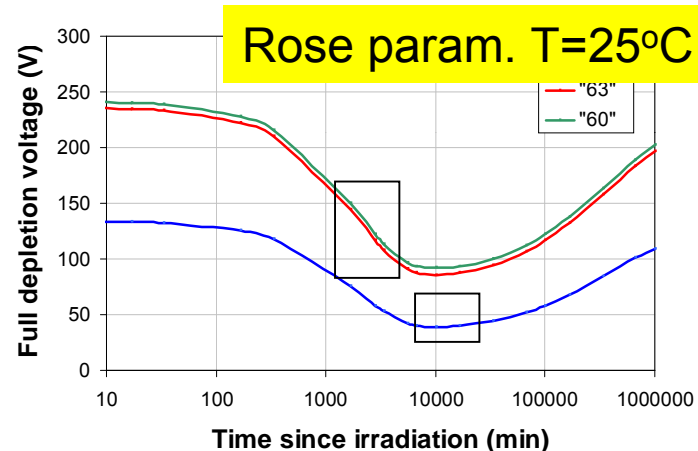
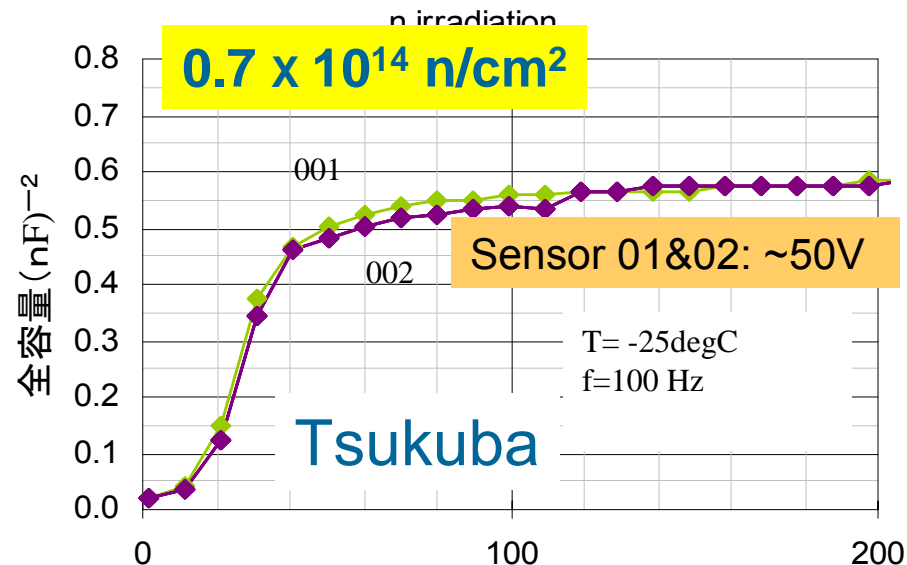
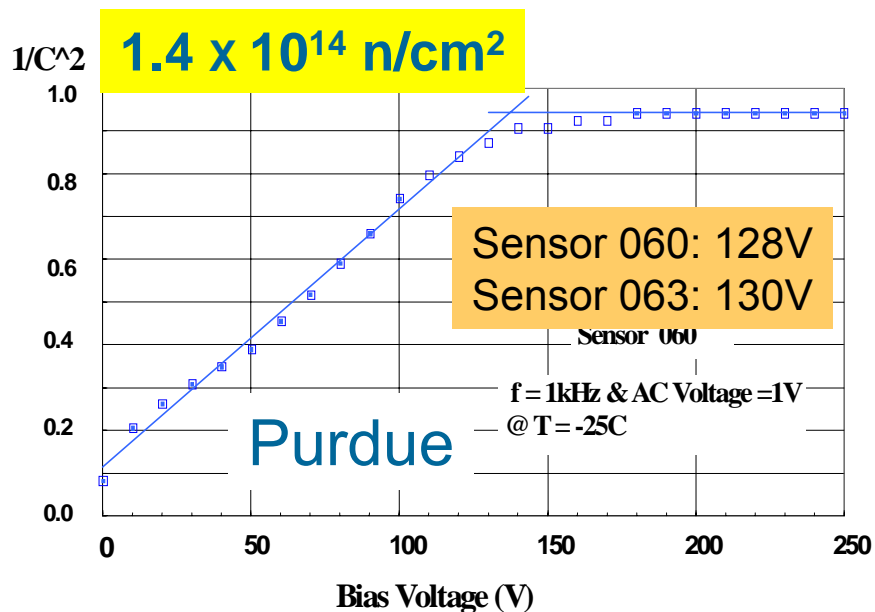


Fig. 9. Illustration of measurement configurations of readout and intermediate implant strips.

試作センサーの性能評価結果:中性子照射後

CDFでの放射線量: $(0.46 \pm 0.14) \times 10^{14}$ 1-MeV n/cm²/fb⁻¹ @L0

1.4×10^{14} n/cm² for 30 fb⁻¹ @L0 (r=2.1 cm)

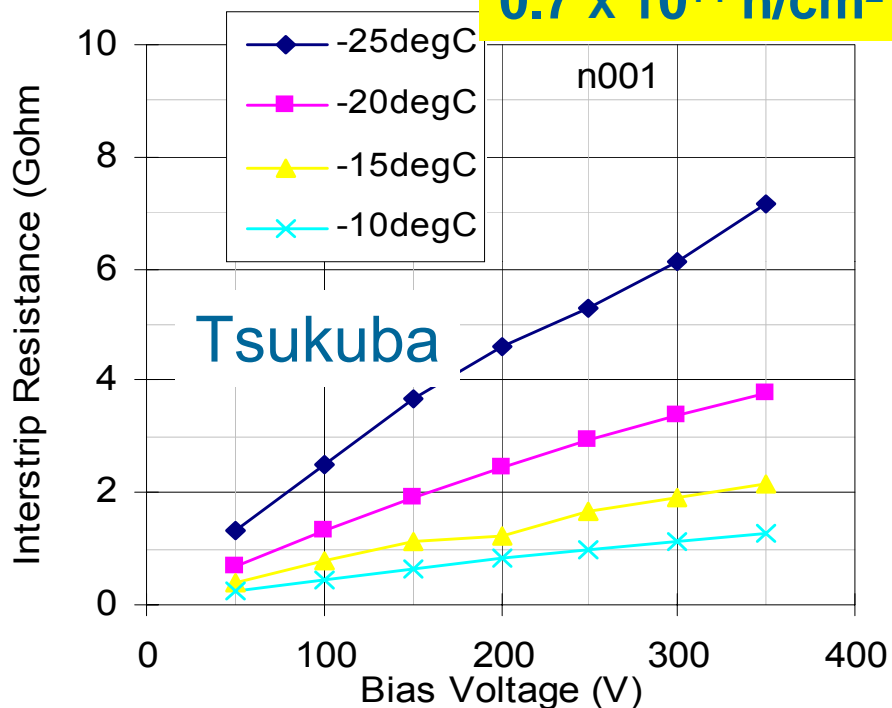


全空乏化電圧の変化は、Roseの結果と矛盾しない

試作センサーの性能評価結果:中性子照射後

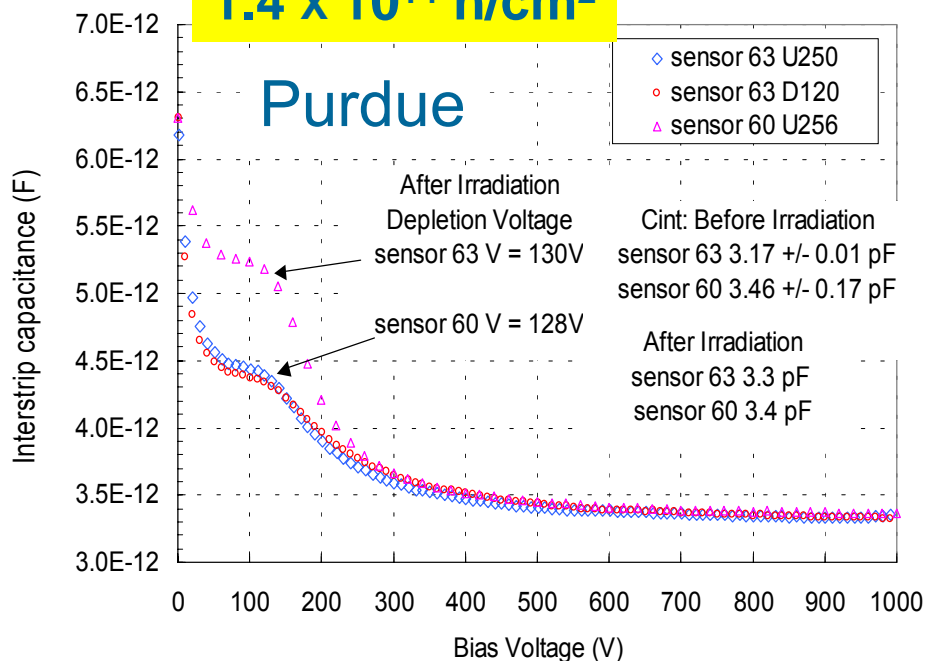
ストリップ間抵抗 ~ 1 GΩ

$0.7 \times 10^{14} \text{ n/cm}^2$



ストリップ間容量 ~ 3.3pF

$1.4 \times 10^{14} \text{ n/cm}^2$



全空乏化電圧より高いバイアス(~250V)を与えることで、電気的特性を適正にできる。 ➡ センサーの高耐圧特性が発揮できる

Run2での電弱物理

- overview -

1. 最優先(～現状): Run 1での基本的な測定を再確認する

- $W \rightarrow l \nu$ 生成断面積
- W/Z cross section Ratio, W崩壊幅
- Z生成断面積の前後方非対称性

2. W生成のcharge asymmetry

- PDF を評価する

3. W質量

- 系統誤差の評価

4. ボゾン対生成

- WW, ZZ, $W\gamma$
- TGC \Rightarrow new physics

2 fb⁻¹でのEvent 数予想

Sample	Run I	Run IIa
$W \rightarrow l \nu$	77k	2300k
$Z \rightarrow ll$	10k	202k
WV ($W \rightarrow l \nu$, $V=W, \gamma, Z$)	90	1800
ZV ($Z \rightarrow ll$, $V=W, \gamma, Z$)	30	500
tt (mass sample, ≥ 1 b-tag)	20	800

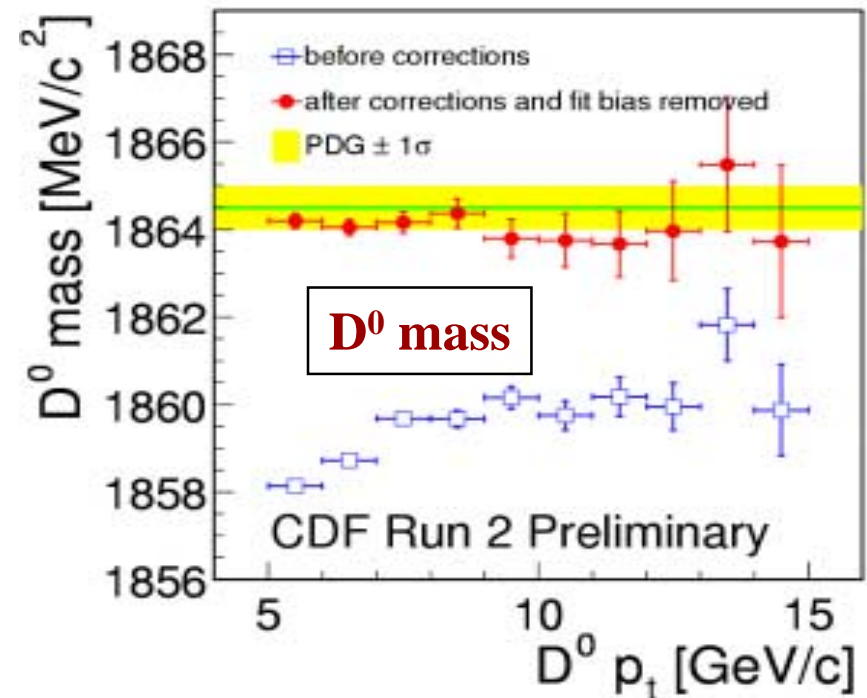
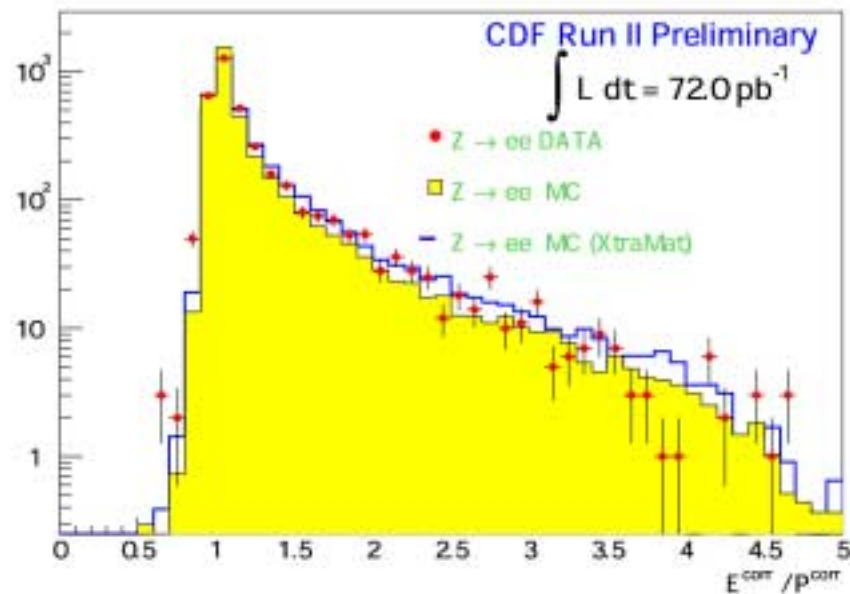
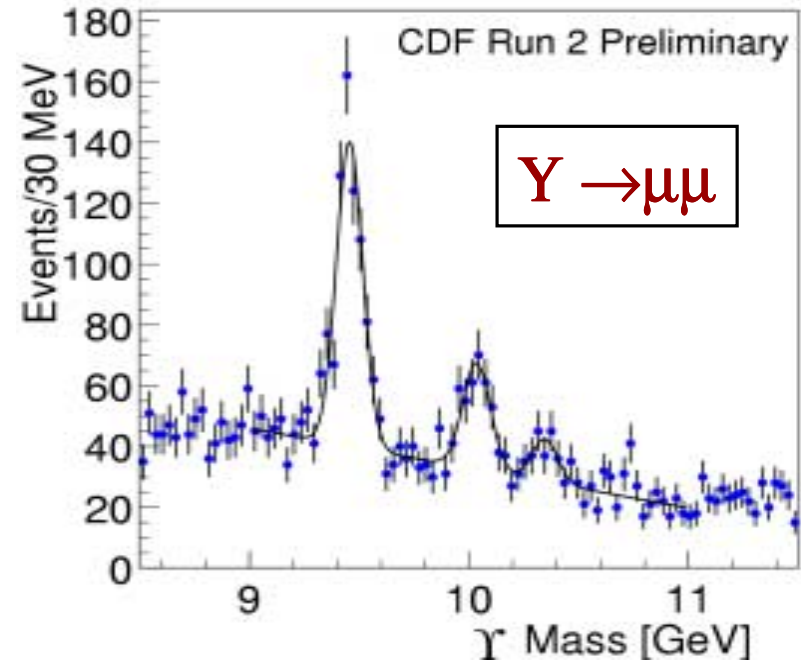
Lepton energy scale

ミュー粒子の運動量scale:

Ψ のresonanceを使ってを決める
(E-lossやB-field corrections)
Yや他のピークでcorrectionのcheck

電子エネルギーscale:

E/pで決定する



W → eν/μν cross section

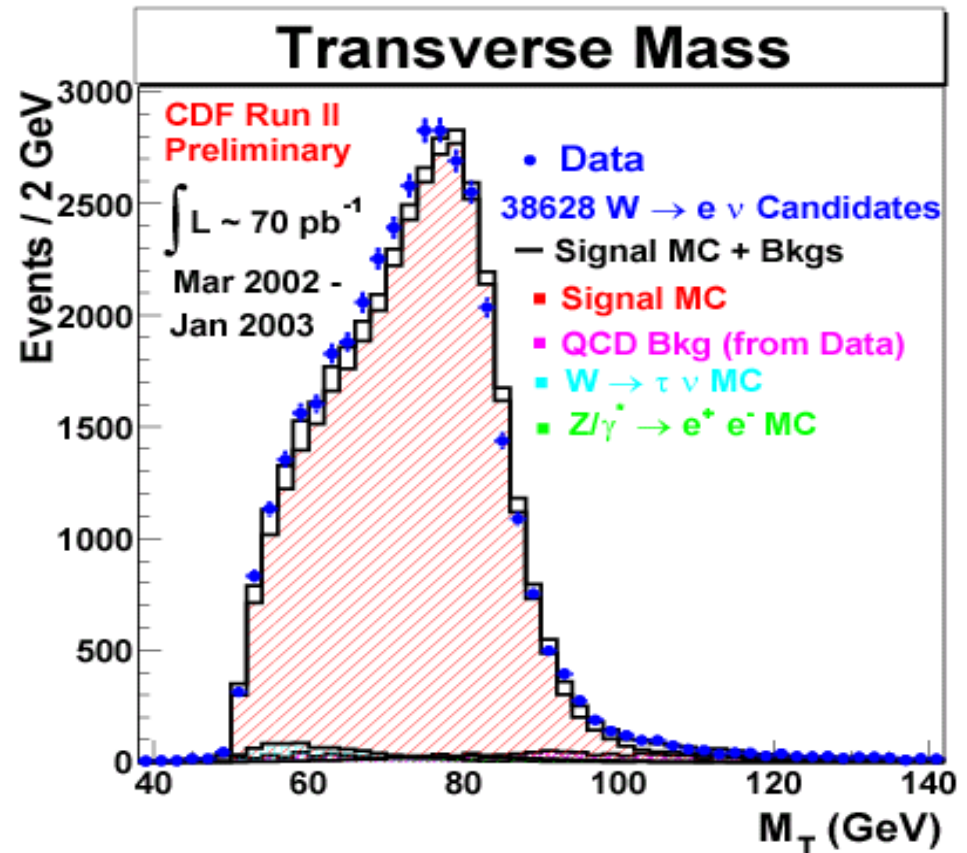
$$\sigma \cdot B = \frac{N_{\text{obs}} - N_{\text{BG}}}{\int L dt \cdot A_W \cdot \epsilon_{\text{trig}} \cdot \epsilon_{\text{ID}}}$$

W → eν $\int L dt: 72.0 \pm 4.2_{\text{syst}} \text{ pb}^{-1}$

$N_{\text{obs}} : 38628$
 $N_{\text{BG}} : 2456 \pm 82_{\text{stat}} \pm 673_{\text{syst}}$
 $A_W : 23.4 \pm 0.05_{\text{stat}} \pm 0.7_{\text{syst}} \%$
 $\epsilon_{\text{trig}} : 96.3 \pm 0.1_{\text{stat}} \%$
 $\epsilon_{\text{ID}} : 84.2 \pm 0.7_{\text{stat}} \pm 0.2_{\text{syst}} \%$

W → μν

$N_{\text{obs}} : 21599$
 $N_{\text{BG}} : 2337 \pm 115$
 $A_W : 14.8 \pm 0.52 \%$
 $\epsilon_{\text{trig}} \epsilon_{\text{ID}} : 68.5 \pm 2.1 \%$



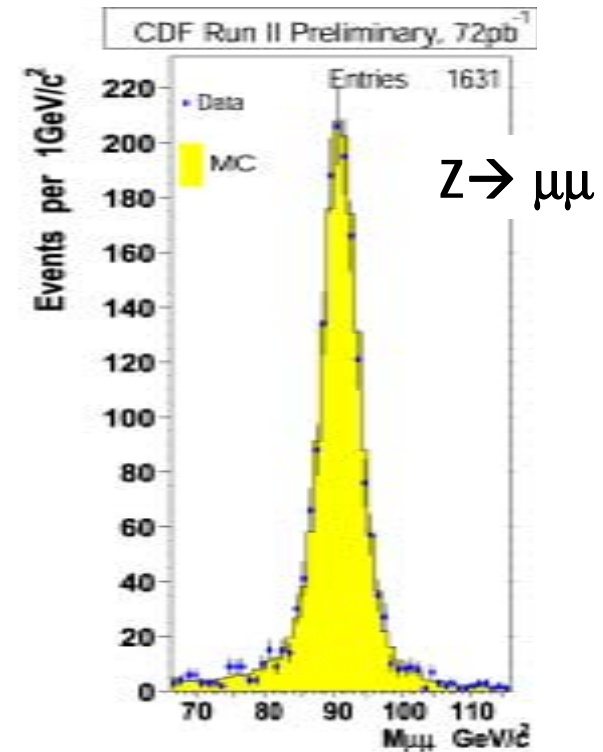
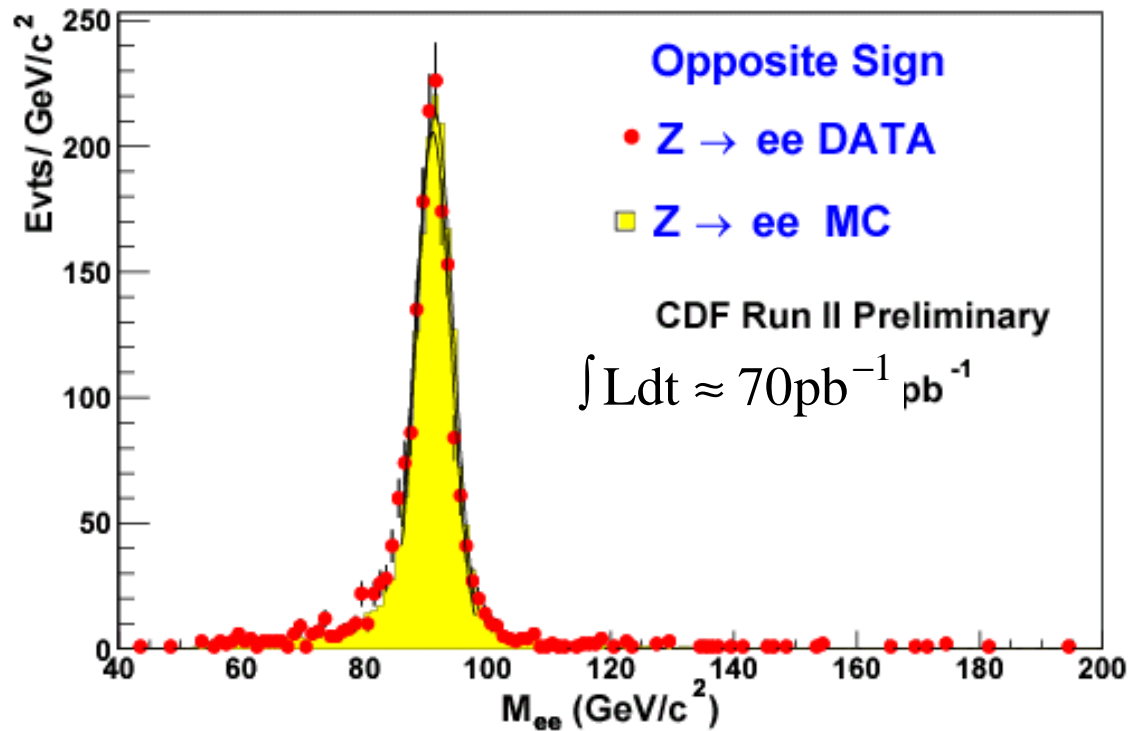
$$\sigma_W^* \text{BR}(W \rightarrow e\nu) = 2.64 \pm 0.01_{\text{stat}} \pm 0.09_{\text{syst}} \pm 0.15_{\text{lum}} \text{ nb}$$

RunIからの予想値(x1.09): $2.72 \pm 0.02_{\text{stat}} \pm 0.09_{\text{syst}} \pm 0.10_{\text{lum}} \text{ nb}$

理論値(MRST:NNLO): ~2.73 nb

$$\sigma_W^* \text{BR}(W \rightarrow \mu\nu) = 2.65 \pm 0.02_{\text{stat}} \pm 0.12_{\text{syst}} \pm 0.16_{\text{lum}} \text{ nb}$$

$Z \rightarrow e^+e^- / \mu^+\mu^-$ cross section



$$\sigma_Z^* \text{BR}(Z \rightarrow ee) = 267 \pm 6_{\text{stat}} \pm 15_{\text{syst}} \pm 16_{\text{lum}} \text{ pb}$$

$$\sigma_Z^* \text{BR}(Z \rightarrow \mu\mu) = 247 \pm 6_{\text{stat}} \pm 12_{\text{syst}} \pm 15_{\text{lum}} \text{ pb}$$

理論値 (MRST:NNLO): 250.2 pb

W/Z cross section ratio & W width

$$R_l = \frac{\sigma(p\bar{p} \rightarrow W) \cdot \Gamma(W \rightarrow l\nu) \cdot \Gamma(Z)}{\sigma(p\bar{p} \rightarrow Z) \cdot \Gamma(Z \rightarrow ll) \cdot \Gamma(W)} = \frac{N_W \epsilon_Z A_Z}{N_Z \epsilon_W A_W}$$

$$R_e = \sigma(W \rightarrow e\nu) / \sigma(Z \rightarrow ee) =$$

$$9.88 \pm 0.24_{\text{stat}} \pm 0.47_{\text{syst}}$$

$$R_\mu = \sigma(W \rightarrow \mu\nu) / \sigma(Z \rightarrow \mu\mu) =$$

$$10.68 \pm 0.27_{\text{stat}} \pm 0.30_{\text{syst}}$$

$$\Gamma(W) = \frac{\sigma(p\bar{p} \rightarrow W) \cdot \Gamma(W \rightarrow l\nu) \cdot \Gamma(Z)}{\sigma(p\bar{p} \rightarrow Z) \cdot \Gamma(Z \rightarrow ll) \cdot R_l}$$

$$\Gamma(Z \rightarrow ee) / \Gamma(Z) = 3.3662 \pm 0.0066\%$$

PDG

$$\Gamma(W \rightarrow e\nu) = 226.4 \pm 0.3 \text{ MeV}$$

PDG

$$\sigma(p\bar{p} \rightarrow W) / \sigma(p\bar{p} \rightarrow Z) = 3.39 \pm 0.03$$

MRST

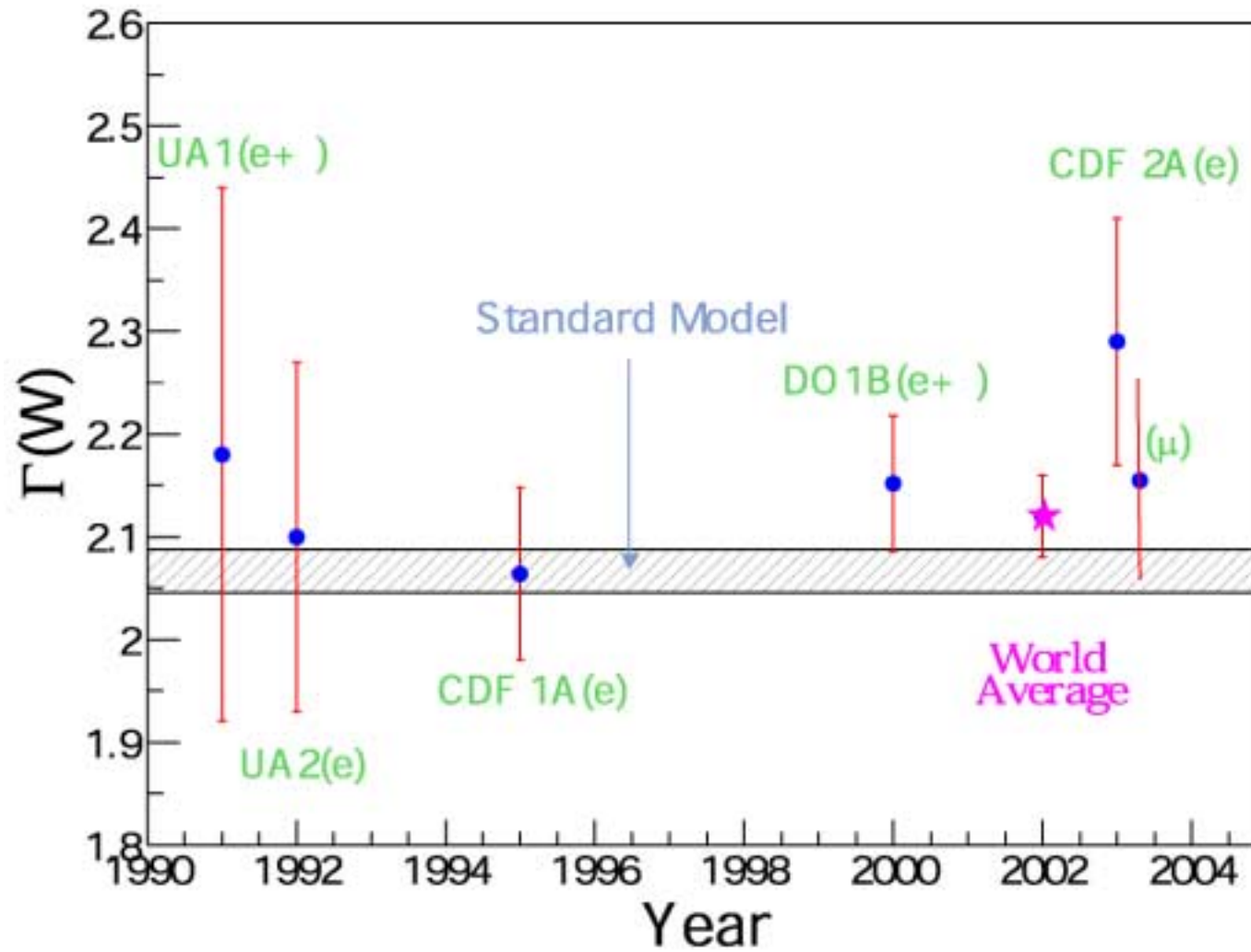
e-channel: $\Gamma(W) = 2.29 \pm 0.06_{\text{stat}} \pm 0.10_{\text{syst}} \text{ GeV}$

μ -channel: $\Gamma(W) = 2.14 \pm 0.06_{\text{stat}} \pm 0.06_{\text{syst}} \text{ GeV}$

PDG: $2.118 \pm 0.042 \text{ GeV}$

Run1 CDF: $2.04 \pm 0.11_{\text{stat}} \pm 0.09_{\text{syst}} \text{ GeV}$

W width



Z F/B decay asymmetry

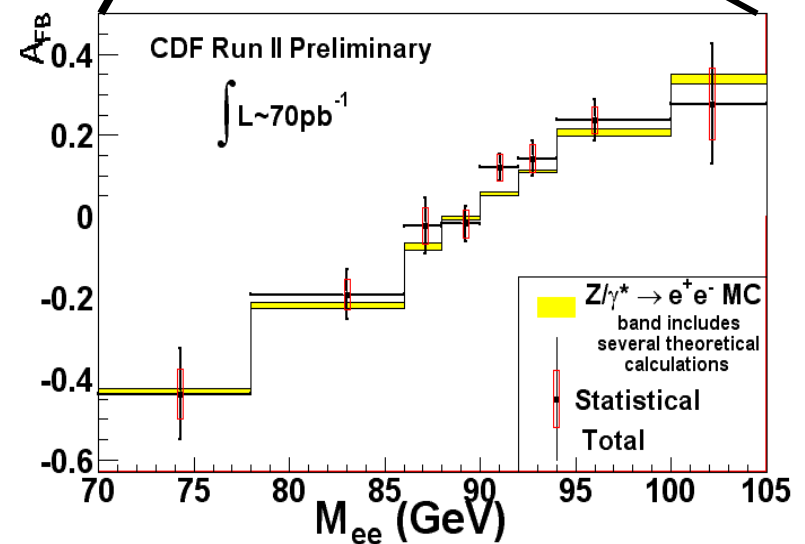
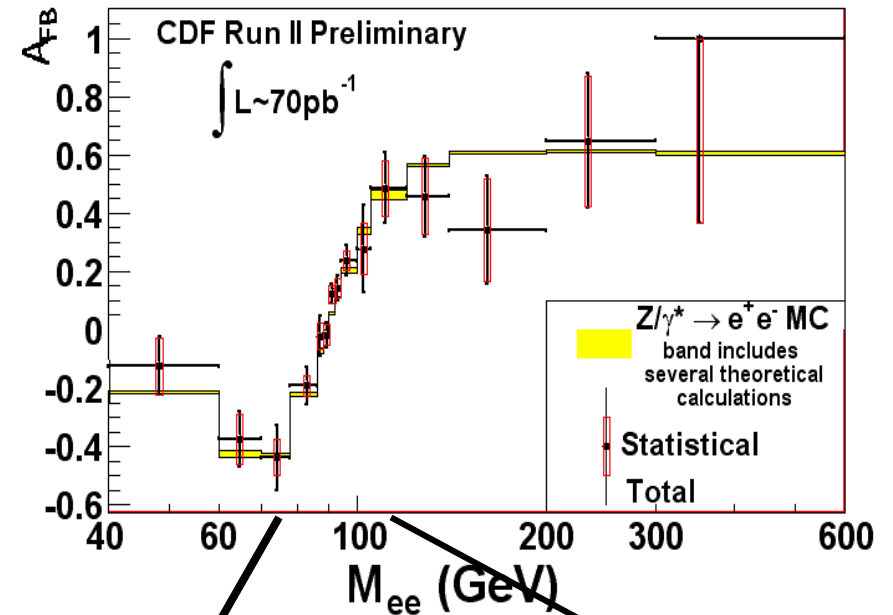
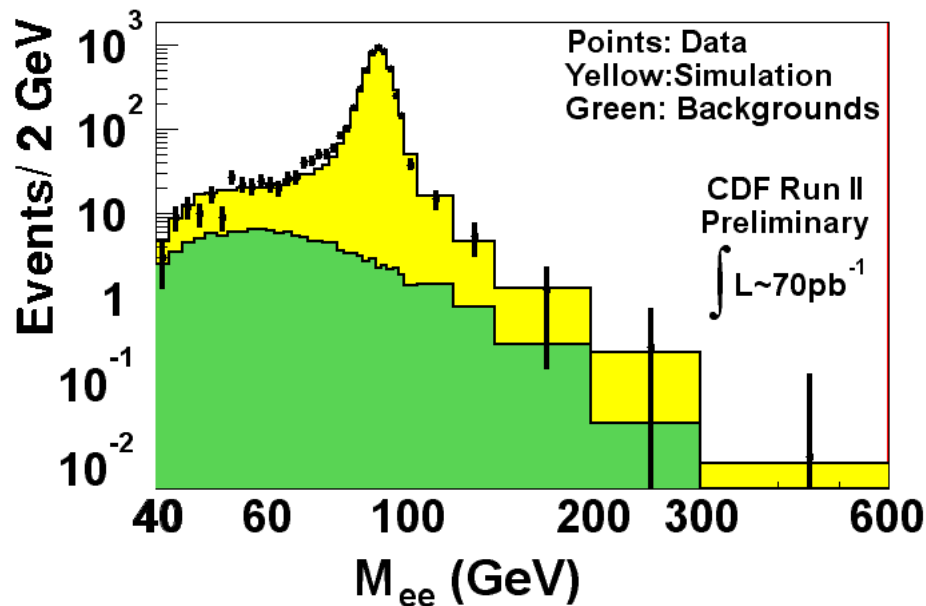
tree levelでは...

$$\frac{d\sigma(q\bar{q} \rightarrow Z/\gamma \rightarrow ll)}{d\cos\theta} = A(1 + \cos^2\theta) + B\cos\theta$$

$$A_{FB} = \frac{N_F - N_B}{N_F + N_B} = \frac{\sigma(\cos\theta > 0) - \sigma(\cos\theta < 0)}{\sigma(\cos\theta > 0) + \sigma(\cos\theta < 0)} = \frac{3B}{8A}$$

A, Bは $I_{\text{weak}}, Q_q, M_{ll}$ に依存する。

- V, A成分の直接測定
- New 中性ゲージボゾンの影響を受ける



W Mass Precision Measurement

CDF RunIでの M_W (e/μ)

統計誤差: 65/100 MeV

系統誤差: 92/103 MeV

Energy scale: 75/85 MeV +

Recoil model: 37/35 MeV +

Energy resolution: 25/20 MeV +

PDF: 15 MeV * +

➤ Tevatron ではLEP2と同程度の測定が可能

+ 統計とともに改善できる

* CDF/D0で共通

➤ Run 2 で期待される精度

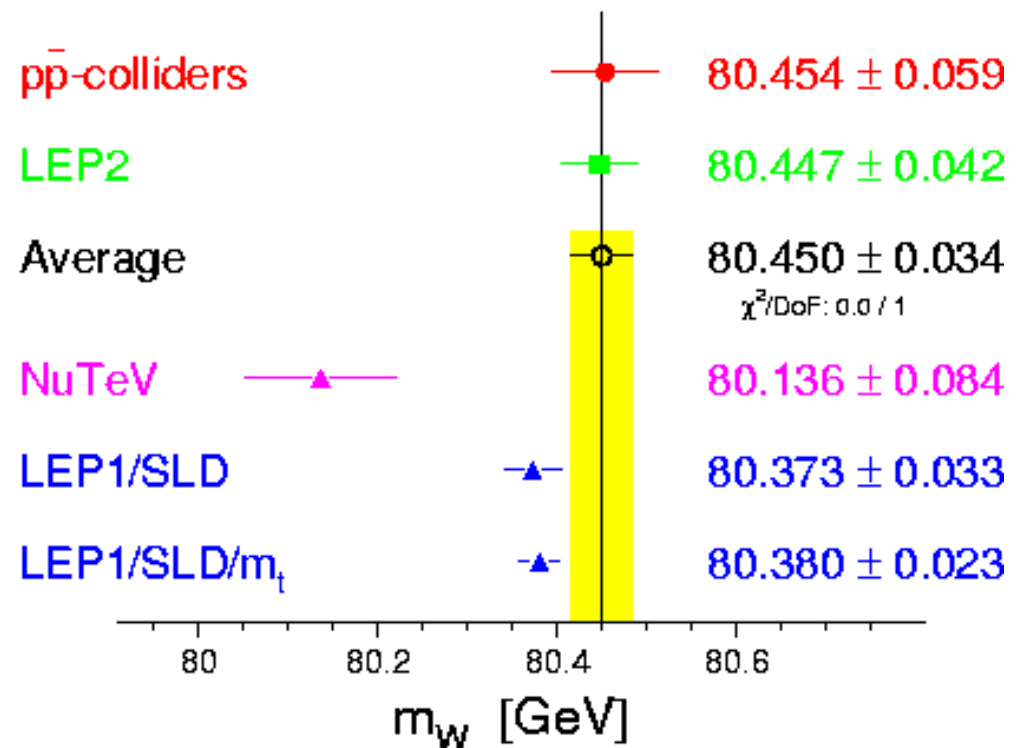
$\delta M_W = 30$ (20) MeV/c²

CDF/D0 combined @2 (10) fb⁻¹

$\delta M_W = 15\sim 20$ MeV/c²

World average @2 fb⁻¹

W-Boson Mass [GeV]



RunI CDF: 80.433 ± 0.79 GeV

Summary

- Run2aはslow startであったが、現在順調にデータ収集中
データ量: $\sim 120 \text{ pb}^{-1}$ 記録済 (この内、 $\sim 70 \text{ pb}^{-1}$ が2003冬)
データ量予測: $\sim 250 \text{ pb}^{-1}$ (2003夏)
 $\sim 2000 \text{ pb}^{-1}$ (Run2a)
- Run2bのための検出器増強がapproveされた。
SVX2bシリコン検出器はプロトタイプ/初期量産の段階にある。
2005年秋のCDF設置を目標。
- $\sim 70 \text{ pb}^{-1}$ を用いて、W/Z cross sectionなどの測定を行い、Run1の結果を再現した。
W質量、TGCなどの結果は今後。