

レーザー干渉縞を用いた新竹モニタ ILCの実現に向けてのnm電子ビームサイズ測定

第4回 加速器・物理合同 ILC夏の合宿 2
呉羽ハイツ、富山県
2013年7月20日～23日

ジャクリン ヤン , 駒宮幸男 (東大理)

神谷好郎 (東大、ICEPP)

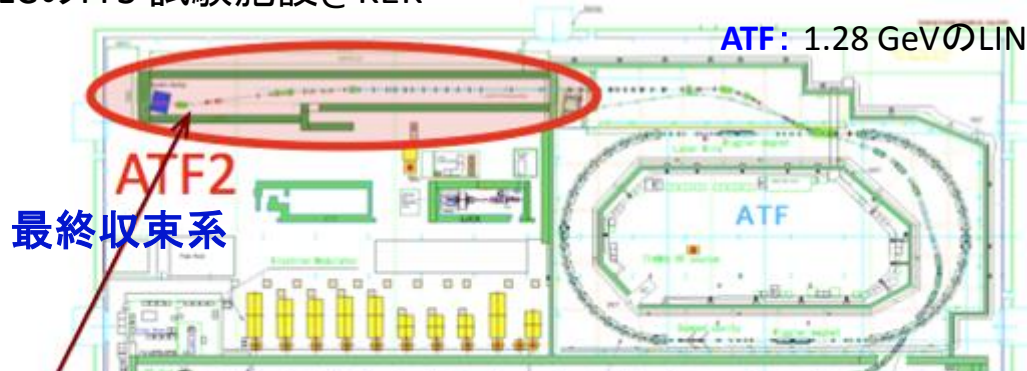
奥木敏行, 照沼信浩、田内利明、久保浄、浦川順治 (KEK)

新竹モニタの重要性

$$L = \frac{n_b N^2 f_{rep}}{4\pi \sigma_x \sigma_y} H_D$$

Luminosity の確保には
極小な垂直方向
ビームサイズが必須！！

ILCのFFS 試験施設@KEK



@ IP: レーザー干渉型
「新竹ビームサイズモニタ」 (“IPBSM”)

$\sigma_y < 100$ nm を測定できる唯一の手段

新竹モニターはATF2のGoalの
達成 + ILCの実現に不可欠！！

ATF2 Goal 1:

σ_y を設計値 37 nm まで収束

→ Local Chromaticity Correctionの検証

ATF2 Goal 2: nm 精度ビーム軌道制御

Outline

Introduction

Beam Time結果
2012秋～2013春

まとめ
+
今後の目標

- 性能評価
- 誤差分析

新竹モニタの測定原理

レーザー干渉型ビームサイズモニター

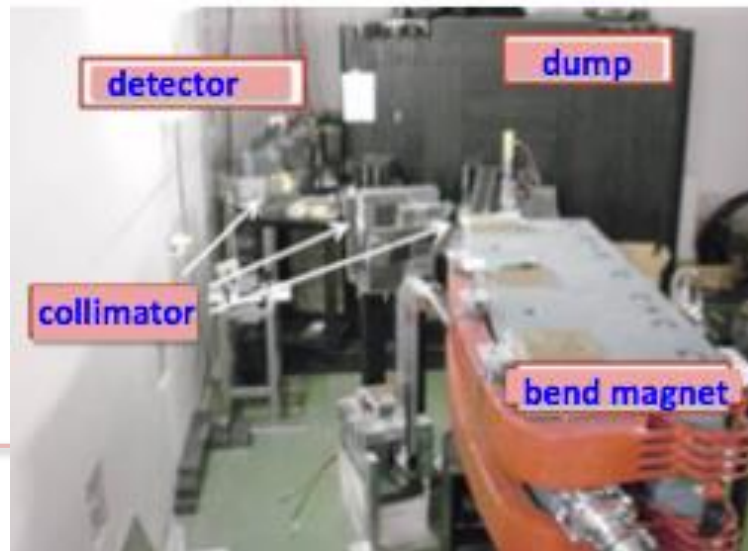
$\sigma_y^* < 100 \text{ nm}$ を測定できる唯一のデバイス
beam tuning における重要な役割

ATF2 のR&D

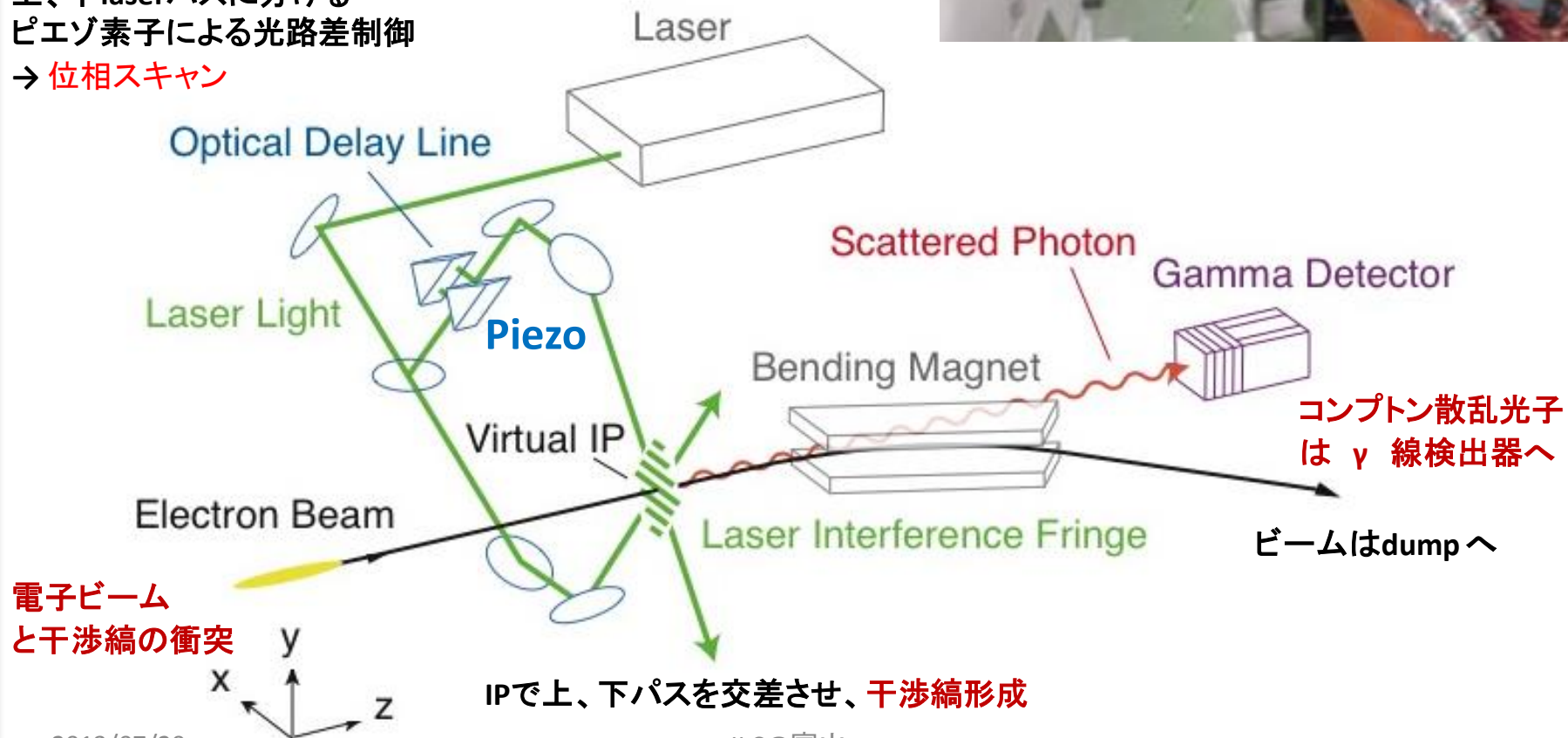


ILCの実現

に不可欠



上、下laserパスに分ける
ピエゾ素子による光路差制御
→ 位相スキャン



2013/07/20

ILC@富山

検出器で測定されるのは、
signal **Modulation Depth “M”**

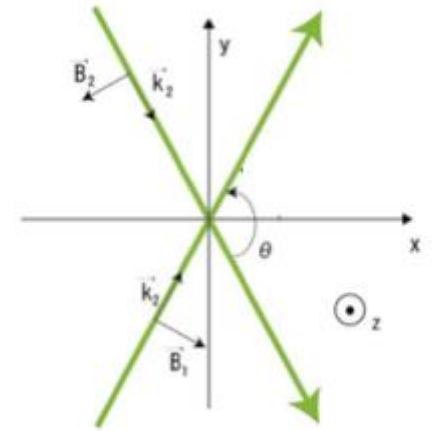
$$M = \frac{N_+ - N_-}{N_+ + N_-} = |\cos(\theta) \exp(-2(k_y \sigma_y)^2)|$$

$$\Rightarrow \sigma_y = \frac{d}{2\pi} \sqrt{2 \ln\left(\frac{|\cos(\theta)|}{M}\right)}$$

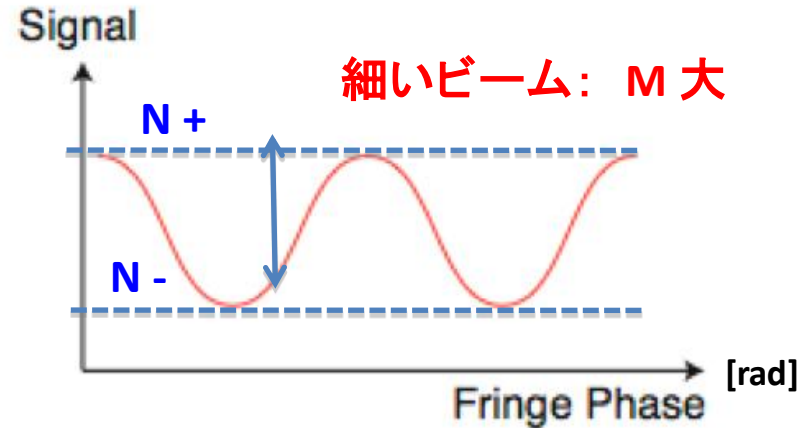
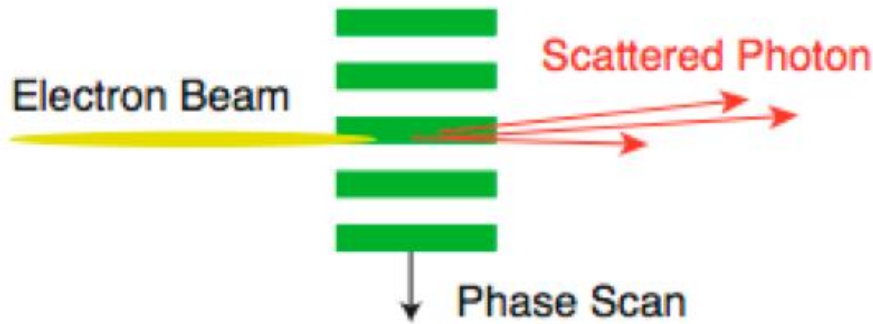
干渉縞間隔

$$d = \frac{\pi}{k_y} = \frac{\lambda}{2 \sin(\theta/2)}$$

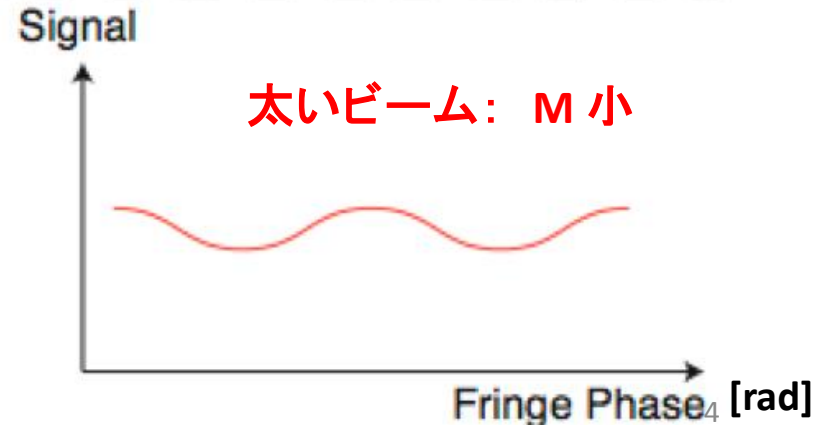
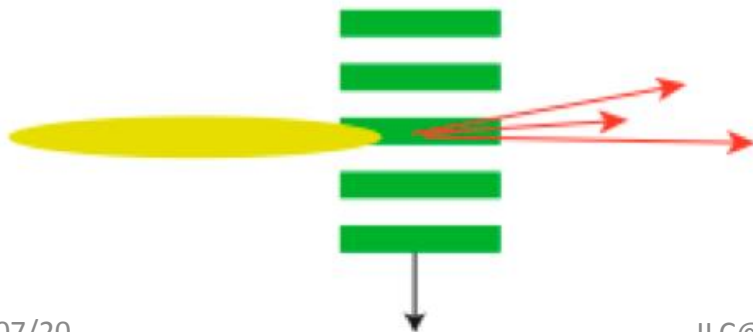
交差角 θ と λ
で測定範囲が決まる



Laser Interfere Fringe



N: Compton光子数;
ビームのプロファイルと干渉縞強度の重なりから算出



期待性能

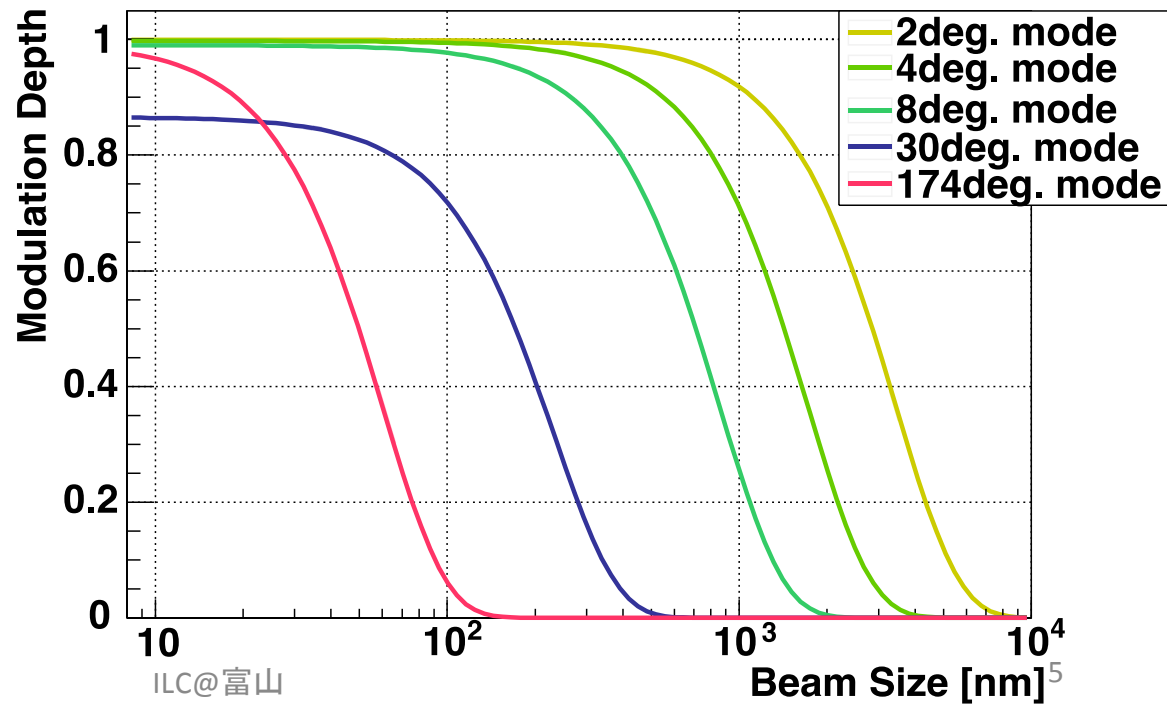
$\sigma_y = 25 \text{ nm} \sim \text{数 } \mu\text{m}$
 を分解能 < 10%
 で測定可能

$$\sigma_y = \frac{d}{2\pi} \sqrt{2 \ln \left(\frac{|\cos(\theta)|}{M} \right)}$$

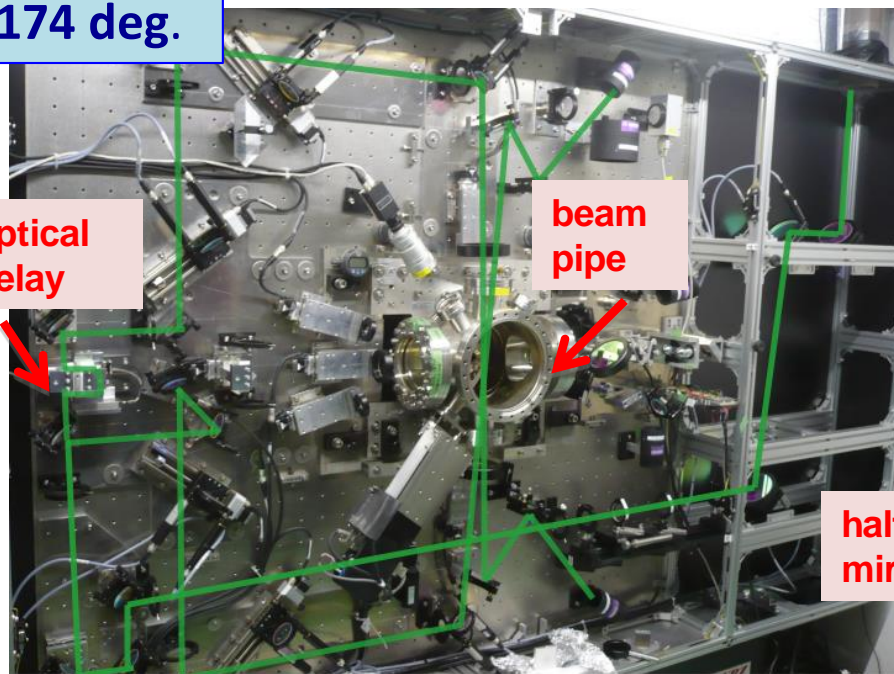
Crossing angle θ	174°	30°	8°	2°
Fringe pitch $d = \frac{\pi}{k_y} = \frac{\lambda}{2 \sin(\theta/2)}$	266 nm	1.03 μm	3.81 μm	15.2 μm
Lower limit	20 nm	80 nm	350 nm	1.2 μm
Upper limit	110 nm	400 nm	1.4 μm	6 μm

各 θ モードに対する σ_y vs M

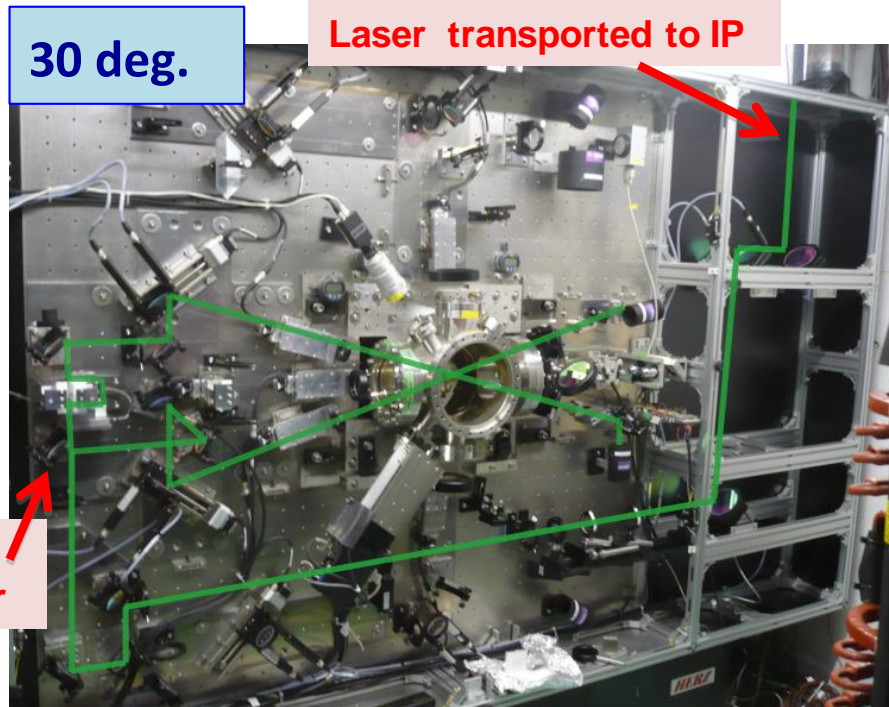
ビーム収束に応じて
 適切な θ モード
 (測定感度)を選ぶ



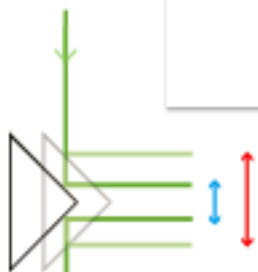
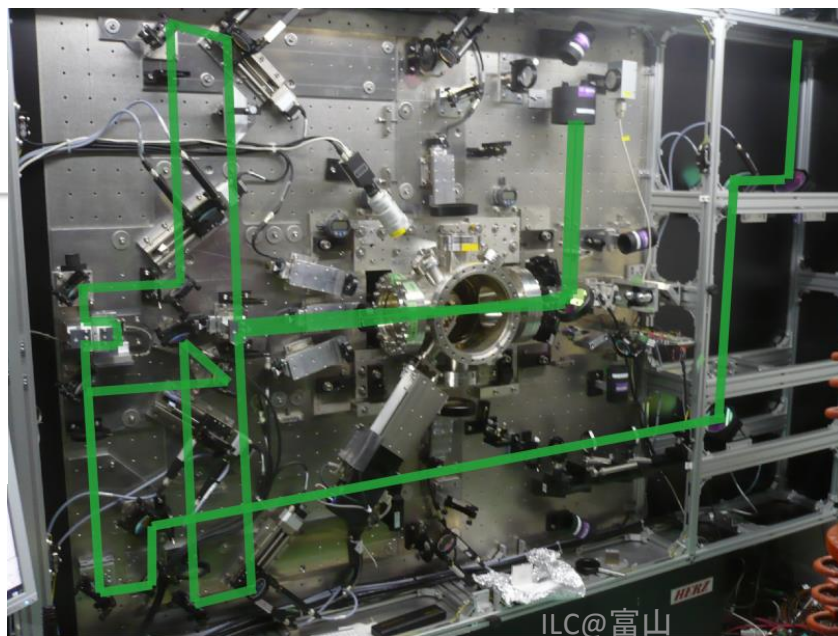
174 deg.



30 deg.



2 - 8 deg



プリズムにより θ が連続調整可能

Vertical table (垂直定盤)

1.7 (H) x 1.6 (V) m

- レーザー干渉計
- 位相制御 (piezo stage)

各 θ mode の光路

(auto-stages + mirror actuators)

Beam Tuning における役割

事前に光路を構築+タイミングをeビームに合わせる

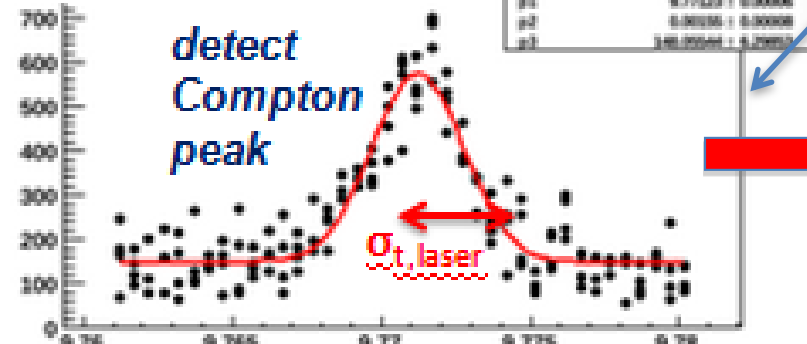


非常に高精度な位置アラインメント by リモート制御

transverse : laser wire scan

Longitudinal: z scan

MeV/ICT

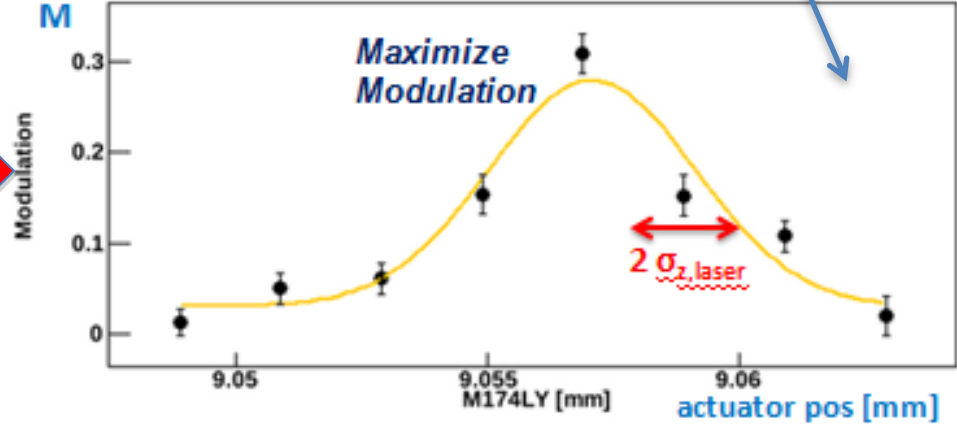


laser spot size : $\sigma_{t,laser} = 15 - 20 \mu m$

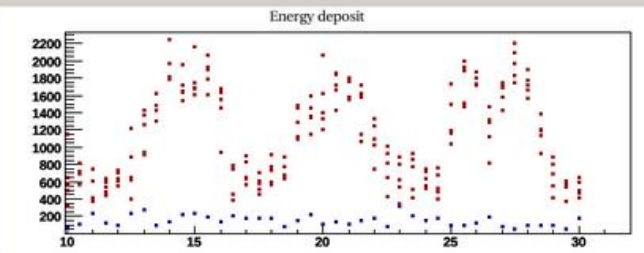
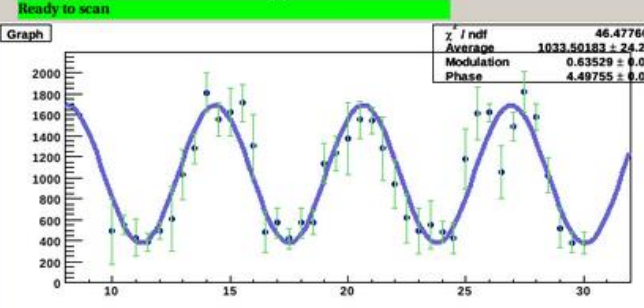
Zscan

crossing angle 174

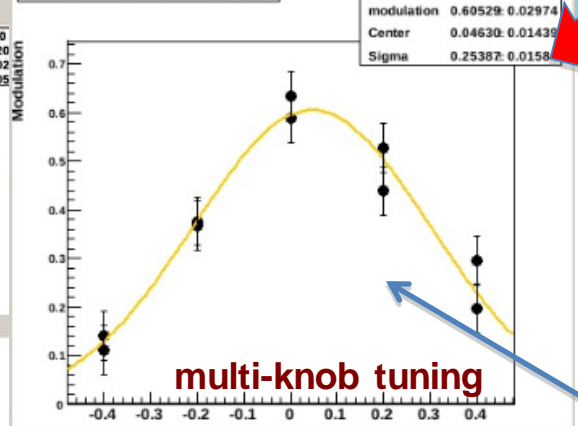
Date: 2013 03 14
Time: 23:08:04



Fringe Scan 30 degrees



Coup2 Scan 121220_144102



Modulation	0.635	+/-	0.028
Beam Size	128.8	+/-	6.8 nm
Average	1033.502	+/-	24.206
Phase	4.498	+/-	0.056

準備終わった時点で.....

干渉縞スキャンで σ_y を連続測定

→ 測定結果を tuning 過程へ feedback する

2012 Feb

30° モードで $\sigma_y \sim 150 \text{ nm}$ の安定な測定を達成

174° モード commissioning への準備

Beam time status

夏の大幅なハードウェア改良

KEKのATF2グループにより

- ✓ 様々な系統誤差要因を抑制
- ✓ モニタの安定性、信頼性が大きく向上

2012 秋～冬

174° モードで初の Modulation 検出 !!

最後の2日間

多数回 $M = 0.2$ を測定 ($\sigma_y \sim 70 \text{ nm}$ に相当)

低ビーム強度で

新竹モニタ自身の系統誤差補正前

ATF2 Goal 達成に向けての大きな前進 !!

2013 春

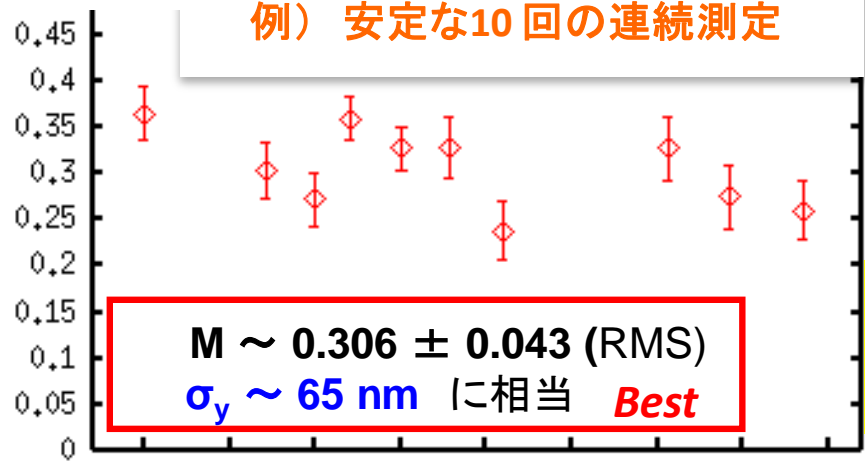
174° モード M十分に再確認

見事な安定性でATF2の連続ラン (beam収束、tuning study) に貢献

"consistency scan"

例) 安定な10回の連続測定

M測定値

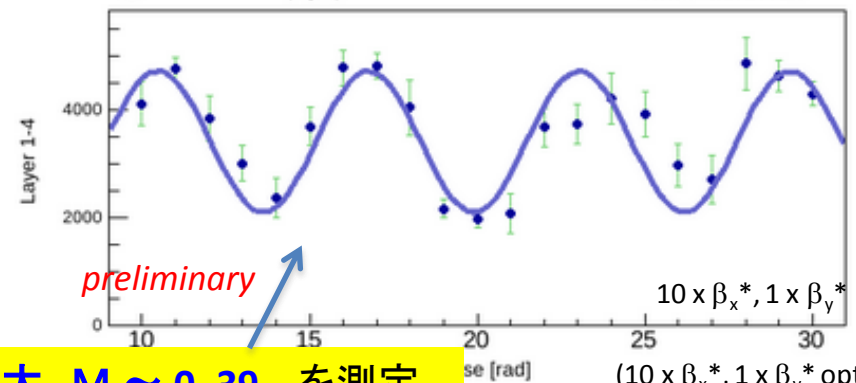


2013/07/20

time [min]

経過時間

Fringe scan crossing angle 174 Date: 2013 03 08 Time: 22:27:15



最大 $M \sim 0.39$ を測定 ($\sigma_y \sim 58 \text{ nm}$ に相当)

新竹モニタ自身の系統誤差補正前

Fit results: $A \sin(1.0 + M \cos(x + \Phi))$

Modulation: 0.385 ± 0.025

Beam Size: $58.4 + 2.0 \text{ nm} - 1.9$

「真のbeamsize」を評価する誤差studyは進行中

系統誤差の抑制、より高精度な光路の実現に向けて。。。。

2012年夏の大幅なレーザー光学系アップグレード

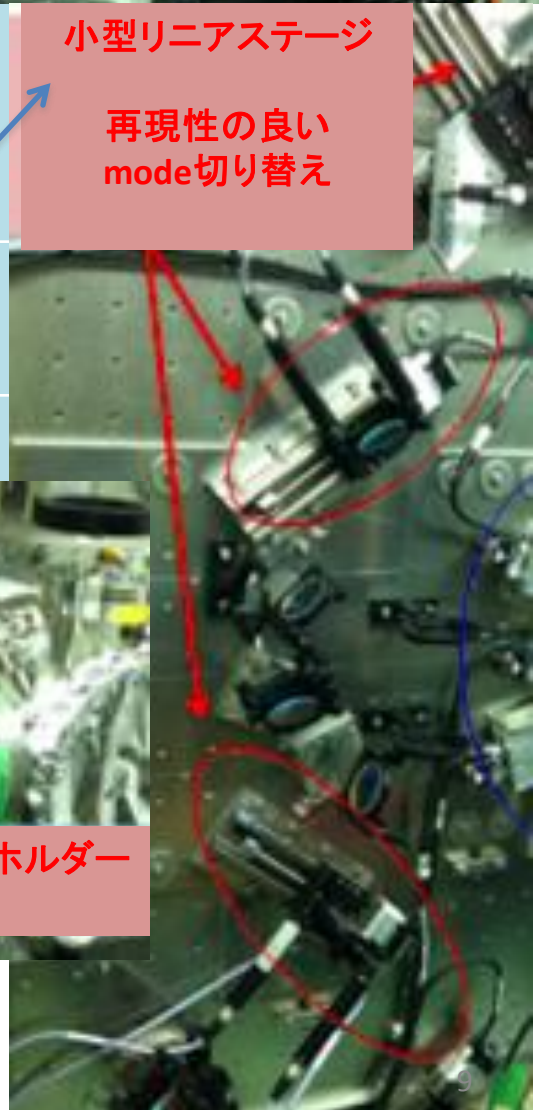
KEKのATF2グループにより



課題	改造後
alignment 精度 ➢ 焦点位置とIPの一致 ➢ Lens への入射位置・平行度	alignment手法とデバイスの工夫 <ul style="list-style-type: none">• CW laser + 透明targetを活用• 新しい光学定盤プレート+基準線• IP screen monitor の改良
mode switching 前後の光路の再現性	<ul style="list-style-type: none">• 小型リニアステージをθモード切り換えに採用• 全θモードに焦点スキャン機構を導入
上、下パスの間の不均等性 ➢ Profile imbalance ➢ 焦点位置のオフセット	上・下パス間の光路差を抑えた光学素子の新配置

小型リニアステージ

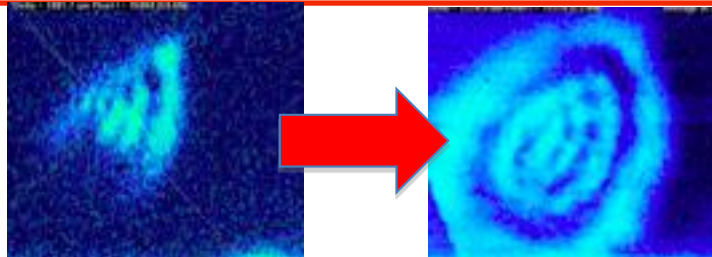
再現性の良いmode切り替え



2012年秋のビームタイムで効果を大いに発揮!!

!!

発振の安定化、レーザープロファイルの改善



新レンズホルダー
回転防止

2013/07/01

よりGaussian的なprofileへ

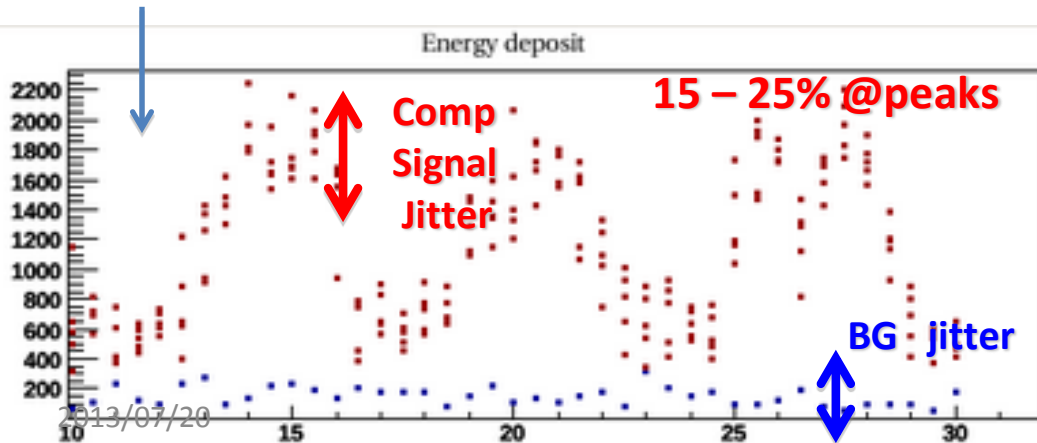
統計的ふらつき要因

Sig Jitter $\Delta E_{sig} / E_{sig, avg}$ への寄与

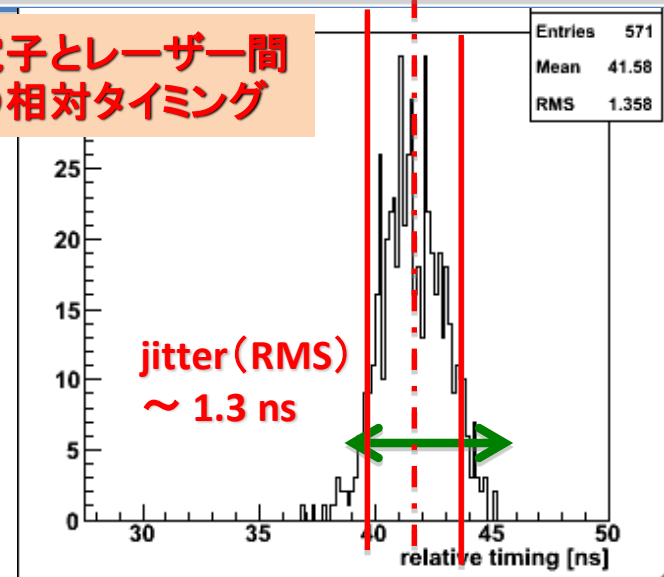
Timing, power jitter が大きい
事象をoffline でveto 可能

Laser timing	6 - 7 % (PIN-PD)
Laser power	< 1.5 % (photo-diode)
Relative beam -laser position	調査中 ← Δy and Δx からそれぞれ数%
BG fluc	< 10% <i>ビーム状態や S/N比 によって変動</i>
detector energy resolution	< 1 %
Comp γ stat.	~ 3 %
ICT monitor accuracy	< 5 % ← シグナルを電子ビーム強度で規格化 → カレントモニタの分解能限界

直接干渉縞スキャンから導出した Signal Jitter :



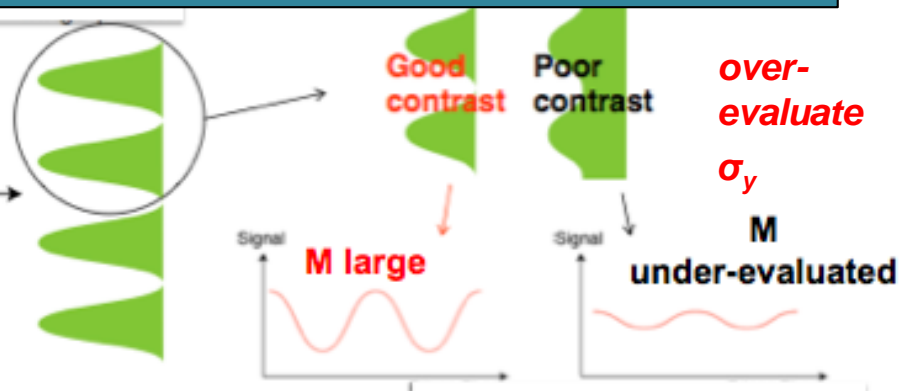
電子とレーザー間の
相対タイミング



M Reduction Factor

$$M_{meas} = C_1 C_2 \dots M_{ideal} = \left(\prod_i C_i \right) M_{ideal}$$

$$\sigma_{y,ideal}^2 + \frac{1}{2k_y^2} \left| \sum \ln C_i \right|$$



系統誤差の評価

優先順位

1st: M reduction の抑制

2nd: 残留エラーの精密評価 → “真の σ_y ” の導出

❖ 直接手法:

同じ電子ビームの状態で、異なる交差角度(θ)モードで測ったM の間の consistency を観測

Goal: (1) 全体的なM reduction ある特定のデータサンプルだけに適用

(2) 特定の “未知エラー” の調査 (worst limit)

- まず最初に
- ✓ その他のすべてのエラーを押さえる事!!
 - ✓ θ モードに依存しないことを示す事

❖ 間接手法:

各種の系統誤差要因を offline で評価し加算する

注) ある時期の典型的な状態を反映 → 一般化しやすい

しかし..... 全体的なM reduction が得られにくい

時間とともに変動、 定量的な評価法が未確定 → worst limit しか得られず

各種系統誤差

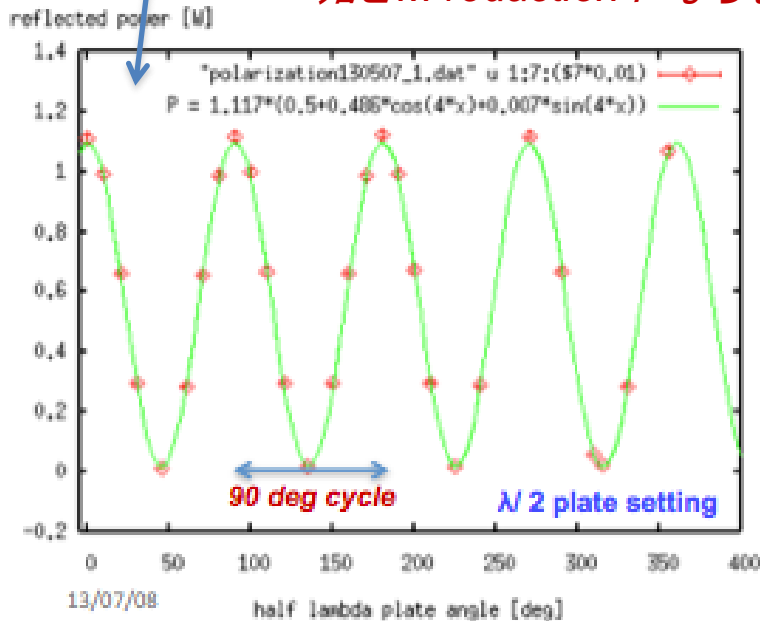
2013年春の典型的な状態を代表

Error source	M reduction factor
Fringe tilt (z, t)	Beamtime → “tilt scan” による最適化 alignment 精度が大事！！ 抑制しなければ主要バイアス
Laser polarization	偏光測定 と “ $\lambda/2$ 板” の最適化 により精密に評価・理解できた ！！
定量的評価が未だ不確定 : 調査中 主要バイアス要因 であり得る	
Relative position jitter	最近解明されつつある !!
Phase drift	
Spatial coherence	ハードウェアで改善、CCD で監視予定

「その他」の軽い要素: レーザーパス間の信号量やspot size の不均等、アラインメント誤差など

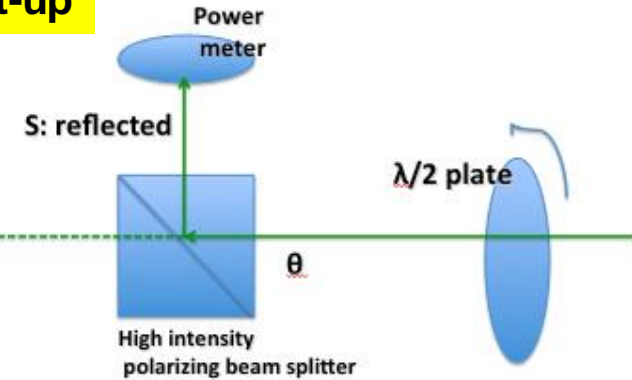
これまでに最も高精度な偏光測定

- 非常にS線偏光に近い
- 殆どM reduction にならないことを判明



レーザー光学系はS線偏光用に設計されている

Set-up



「P 汚染」：
 $P_p/P_s =$ power ratio
 $(1.46 \pm 0.06) \%$

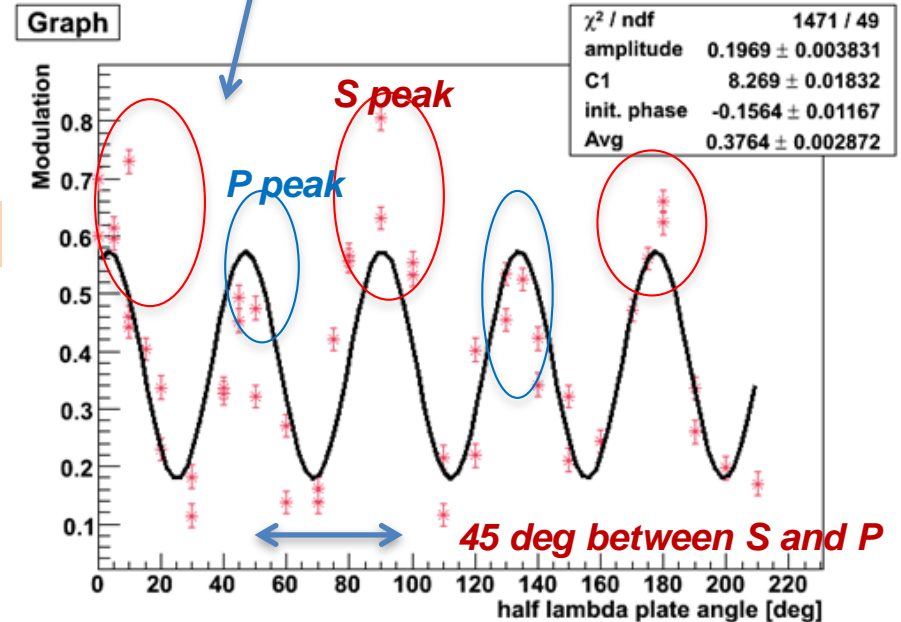
Beamtime : “ $\lambda/2$ plate scan

“S peaks” は最大のMを与えることを直接検証

更に “half mirror” の反射特性を測定



$R_s = 50.3 \%$,
 $R_p = 20.1 \%$
 → デザインスペックと一致

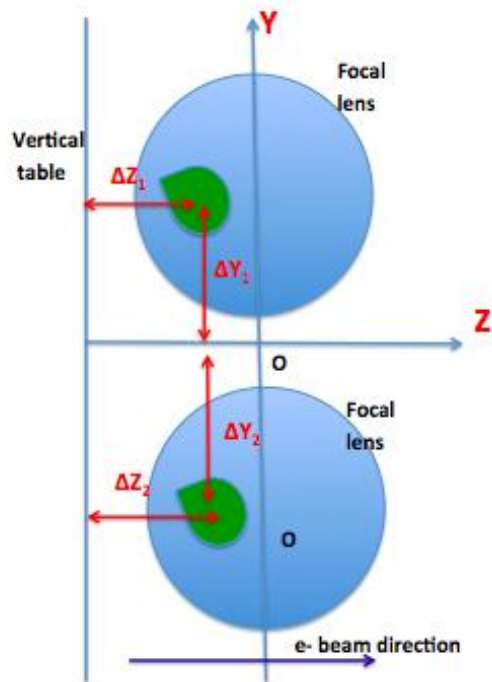
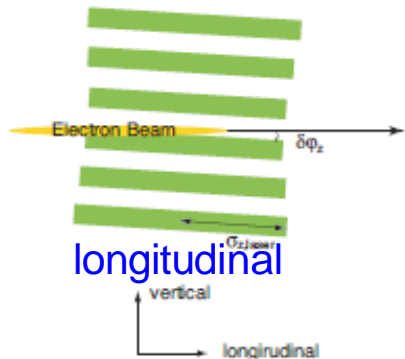
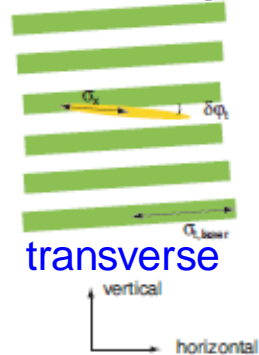


“S peaks” は最善のパワーバランスをも与える！

Fringe Tilt

干渉縞がbeam軸に垂直でない場合

Laser Interference Fringe



問題点:

- 現場確認精度
~ 0.5 mm (数 mrad)
- ドリフト
- 電子ビームの回転

NEW

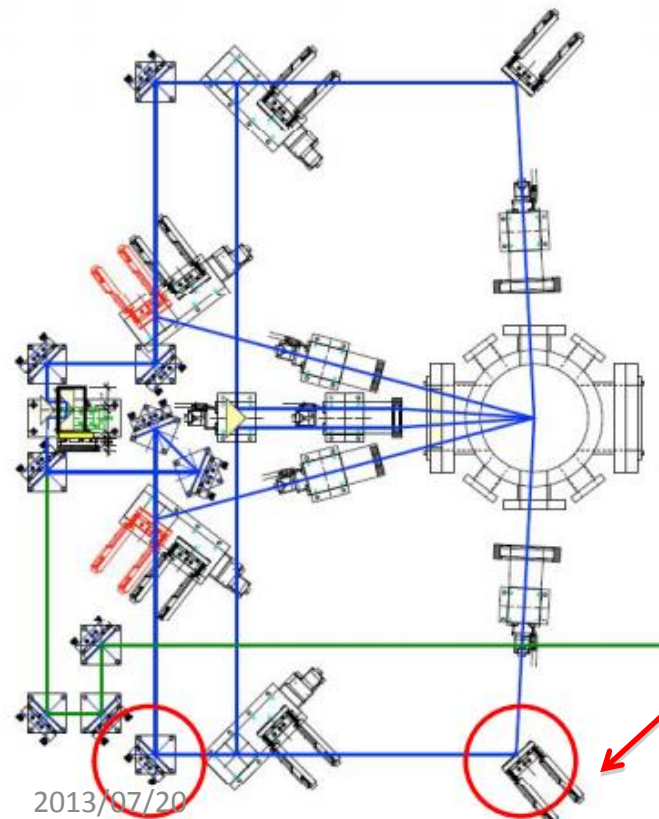
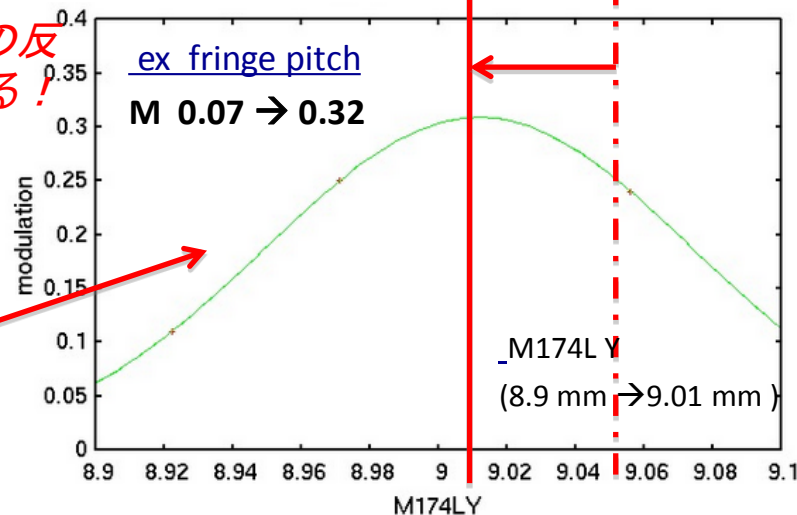
“tilt scan”

Beamtime中:
積極的に干渉縞の傾きを
変えて最大Mを探す

この過程はM最大化に重要!!

直接ビームとの反
応を基準にする!
!

リモート操作で
これらのミラー
を調整



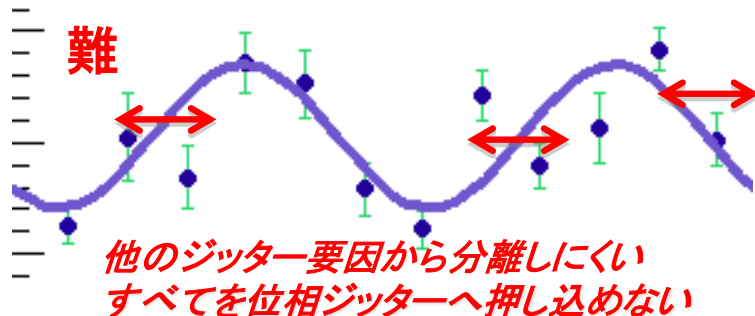
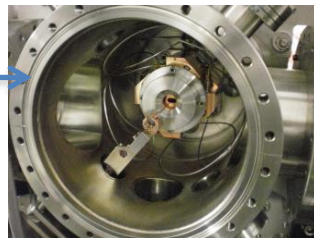
2013/07/20

(by Okugi-san)

相対位置ジッター (位相ジッター)

時間とともに変動
定量評価が難しい

”IPBPM”は現在commissioning 中
数nm分解能でIPでの電子ビーム位置ジッターを測定、feedback 補正可能



$\Delta y \rightarrow M$ reduction

極小な σ_y^* は相対位置ジッターに敏感!!!



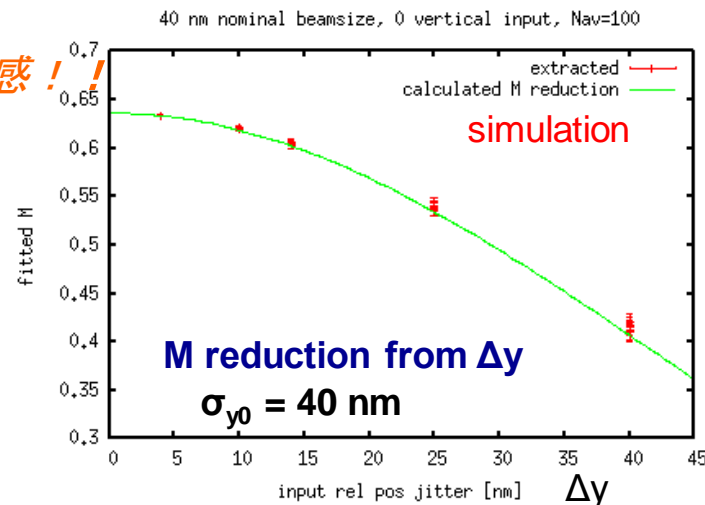
$$y \rightarrow y + Dy$$

$$S_y^2 \rightarrow S_y^2 + (Dy)^2$$

$$C_{Dy} = \exp\left(-2\left(k_y Dy\right)^2\right)$$

$$k_y = \frac{2\rho}{l} \sin\left(\frac{q}{2}\right)$$

if $\Delta y < 0.3 * \sigma_y$ (ATF2 design): $C_{\Delta y} > 90\%$ for $\sigma_y^* = 65$ nm



ECFA LC 2013 での結論:

相対位置ジッターは 極小 σ_y の測定への最大、最難(唯一?)のIPBSM 関連制限
これまでに妥当な導出方法は開発されていない

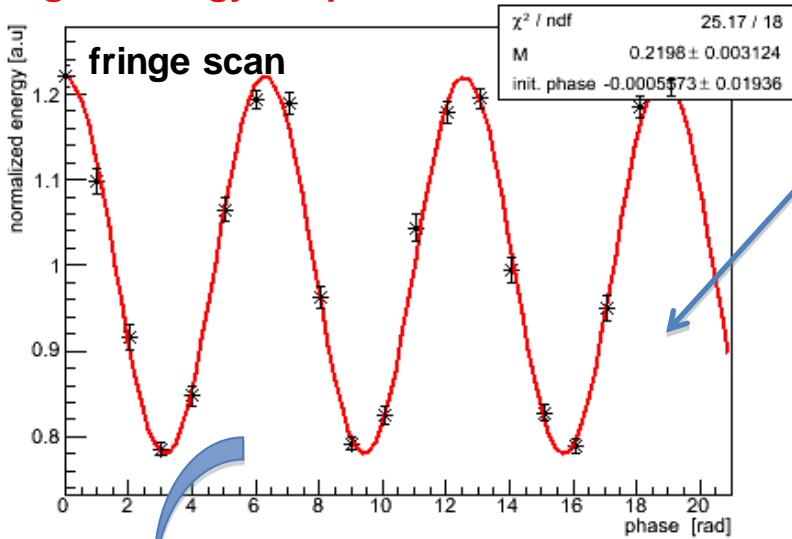
ここで!! 初めて適用できそうな Δy ($\Delta\phi$)の導出手法が最近開発されてきた

真のビームサイズを導出するためには全ての M reduction factors を解明する必要がある!!

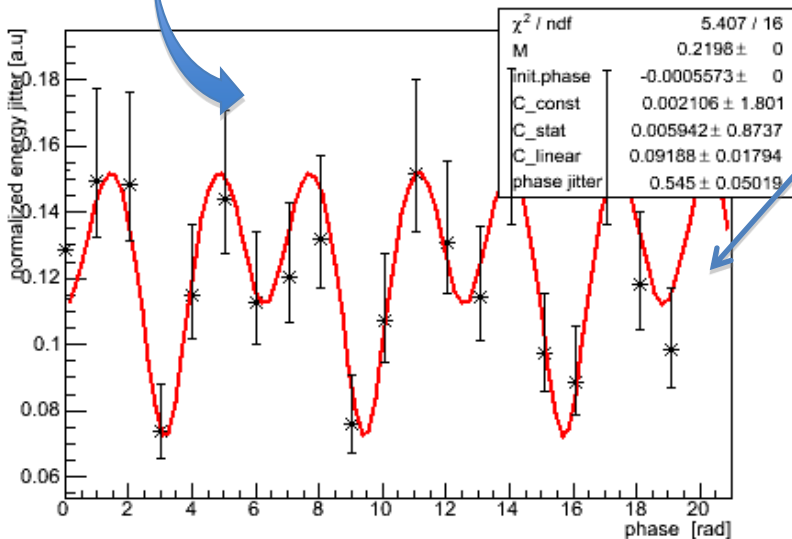
相対位置ジッター Δy (位相ジッター $\Delta\phi$) の解明

シミュレーションで Δy ($\Delta\phi$) 導出手法の性能を評価

Signal energy vs phase



fix M from fringe scan to jitter plot



signal jitter vs phase

STEP1: 干渉縞スキャンを生成

“現実的な” ATF 状態を仮定

e.g. $\sigma_{y0} = 70$ nm, 174 deg mode, S/N, BG, beam intensity, timing jitter, power jitter, ect.....

$$E = E_{avg} \cdot \{1 + M \cdot \cos(2k_y y + j_0)\}$$

$$y \rightarrow y \pm Dy$$

$$E_{avg} \cdot \{1 + M \cdot \cos(2k_y (y + (\text{Random} \rightarrow \text{Gaus}(0, Dy)) + j_0))\}$$

STEP2: Fittingから Δy を抽出

Model

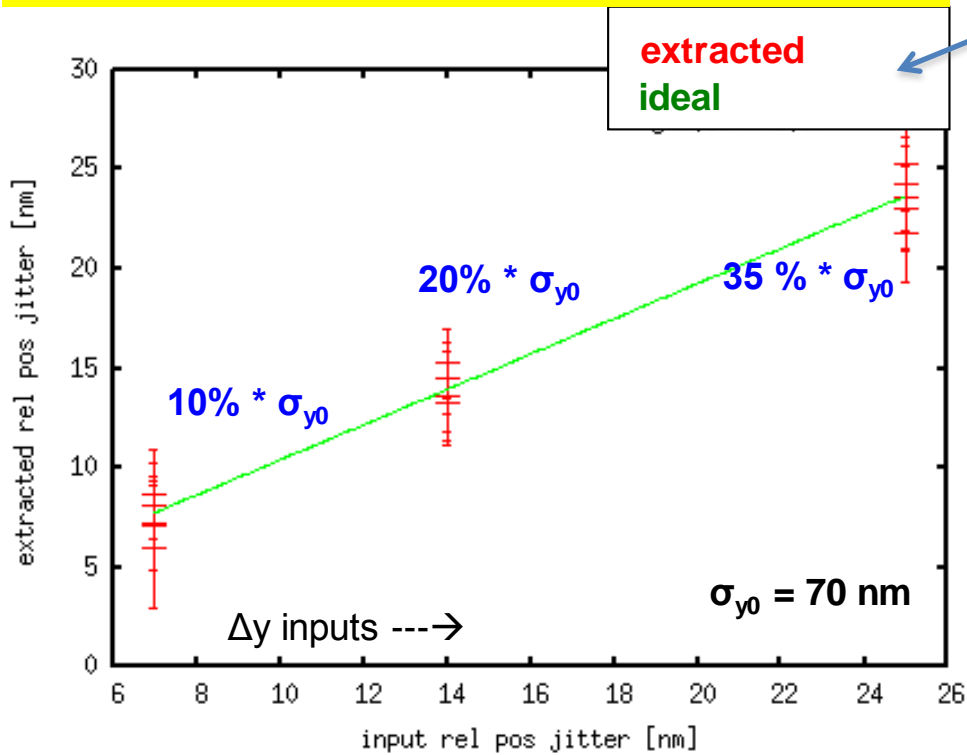
$$DE \equiv S_{tot} = \sqrt{S_V^2 + S_{pos}^2}$$

縦方向ジッター

σ_{pos} :
 Δy ($\Delta\phi$) からの
横方向ジッター

$$S_V = C_{const} \oplus C_{stat} \sqrt{E} \oplus C_{linear} \cdot E$$

シミュレーションで Δy 導出手法の性能を評価



- エラー範囲内ではinputと一致
- 本物のfringe scanにも試験済み

しかし!!!! 精度よくて適用できる限界がある
 → simulationを用いた多次元な調査進行中
 ex) 大きい Δy や 縦方向signal jitter
 ドリフトによる精度が悪化

課題:

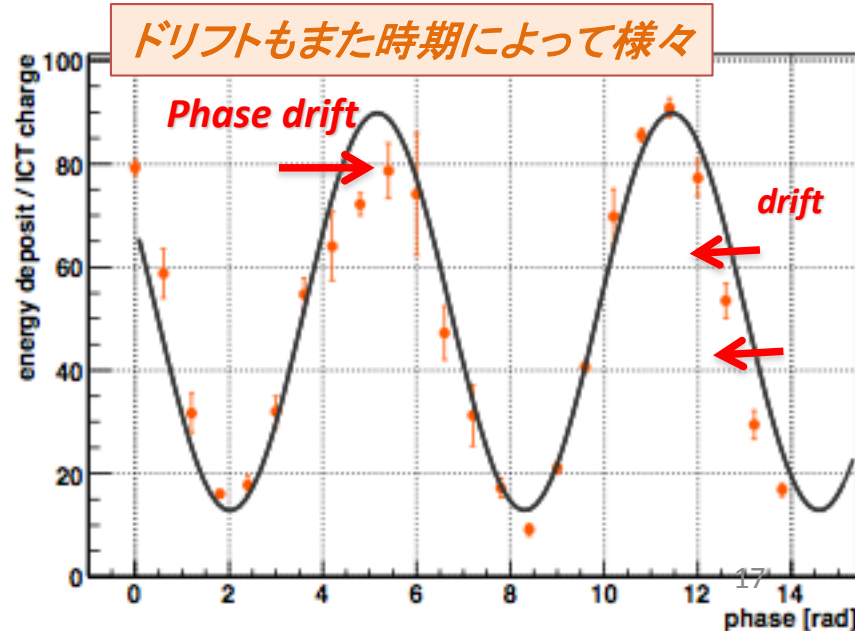
- ◇ Hardwareでsignal jitter を押さえる
- ◇ データ取得手法を最適化 (高い統計量)
- ◇ 現存のモデルに対する補正
- その他

更に !! ドリフトに耐える新解析手法を開発中

補正因子 “C_drift” を含んだ
 新しいM fitting 関数の提案

$$E = 1 + M * \cos (C_drift * \phi + \phi_0)$$

- ドリフトによる M reduction を解消
- Δy 抽出の信頼性向上



新竹モニタ まとめ

- レーザー干渉縞を用いた電子ビームサイズモニター
- ❖ 数十nmのビームサイズを測れる(実用上)唯一の装置
 - ❖ ATF2の目標達成 & **ILCの実現** に不可欠

< Status >

- ❖ 安定な連続運転で極小電子ビームの収束とstudyに貢献
- ❖ **M > 0.3 ($\sigma_y \sim 65 \text{ nm}$ に相当) の安定な測定** を達成 (174° モード)
新竹モニター由来のエラー補正後、 $\sigma_y^ < 60 \text{ nm} ??$*

<性能向上と誤差評価>

❖ 主要な 系統誤差の抑制と解明

- 2012年夏～： 光学系とアライメント手法のアップグレード
→ 信頼性、再現性の高い光路作り

今後の 目標

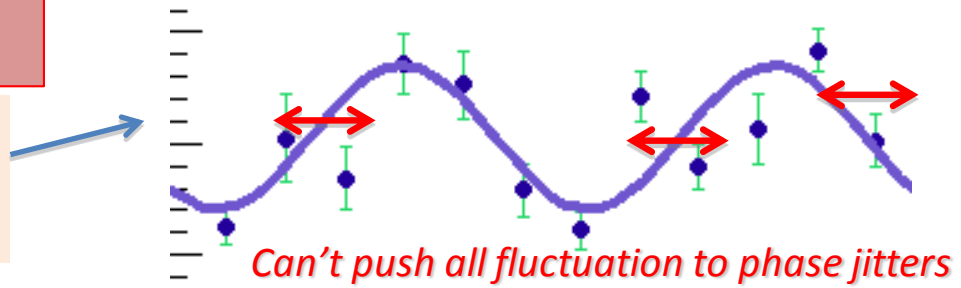
- ◆ 測定安定性の維持 / 向上
- ◆ 残留誤差の抑制と精密評価 → **「真のビームサイズ」** の導出
- ◆ 今年中に $\sigma_y < 50 \text{ nm}$ の連続測定
→ ATF2 設計値 $\sigma_y \sim 37 \text{ nm}$ の収束を達成

ILC@富山

Backup

Phase Jitter / Relative Position Jitter

- hard to separate from other fluctuation sources (laser pointing jitters, drifts, ect....)
- Vary over time



take high statistics scans (Nav ~ 100) under optimized conditions for dedicated analysis

Issue 1: $\Delta y \leftrightarrow M$ reduction

residual M reduction factors must be assessed in order to derive the true beamsize !!!

$$y \rightarrow y + Dy$$

$$S_y^2 \rightarrow S_y^2 + (Dy)^2$$

$$C_{Dy} = \exp\left(-2\left(k_y Dy\right)^2\right)$$

if $\Delta y < 0.3 * \sigma_y$
 (ATF2 beamline design)
 $C\Delta y > 90\%$ for $\sigma_y^* = 65\text{ nm}$

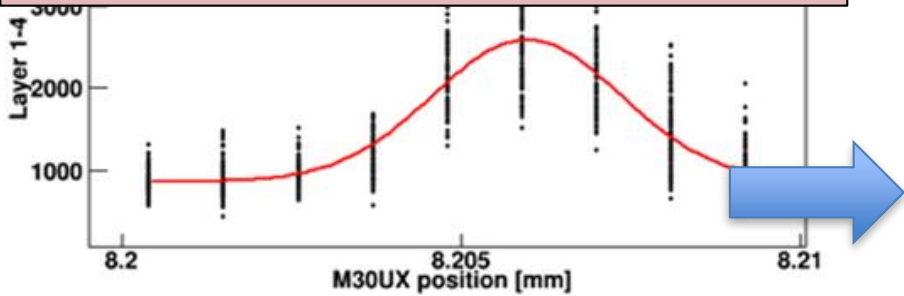
$$k_y = \frac{2\rho}{l} \sin\left(\frac{q}{2}\right)$$

Issue 2 : fluctuation source during fringe scan

If $\Delta x \sim 2.5\ \mu\text{m}$ cause $\sim 4\%$ signal jitters (assume Gaussian profile $\sigma_{\text{laser}} = 10\ \mu\text{m}$)

Laser Wire crossing angle 30 Laser path Upper Date: 2013 05 19 Time: 23:52:39

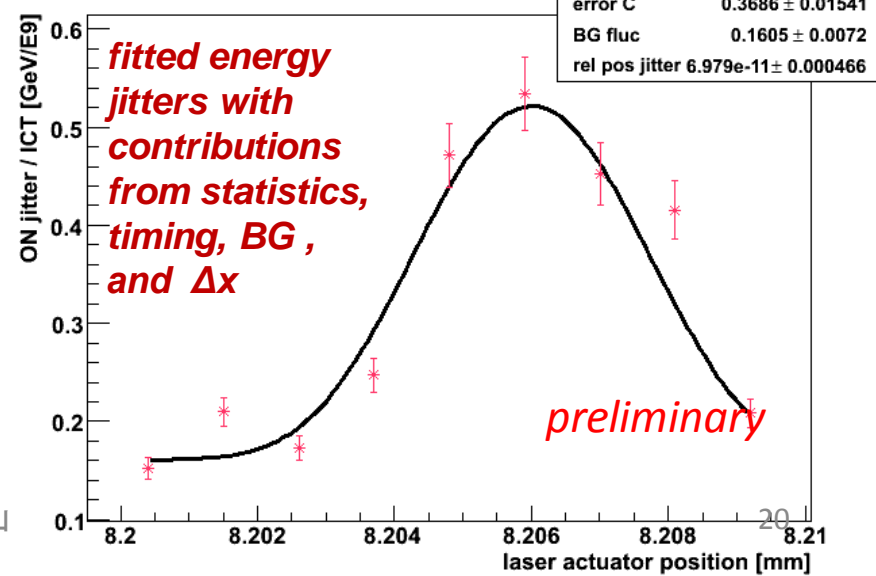
derive horizontal rel position jitter Δx using high statistic laserwire scan



Focal lens: F30U 0.00
 2013/07/20
 Event selection
 Point/step: 99
 Intensity cut [e9]: 0.05 < I < 0.50

Fit results: $A \cdot \exp(-0.5 \cdot (x-c)^2 / s^2) + P$
 Amplitude: 1705.50 +/- 34.24
 Center: 8.2060 +/- 0.0000
 Sigma: 0.00139 +/- 0.00004

Graph



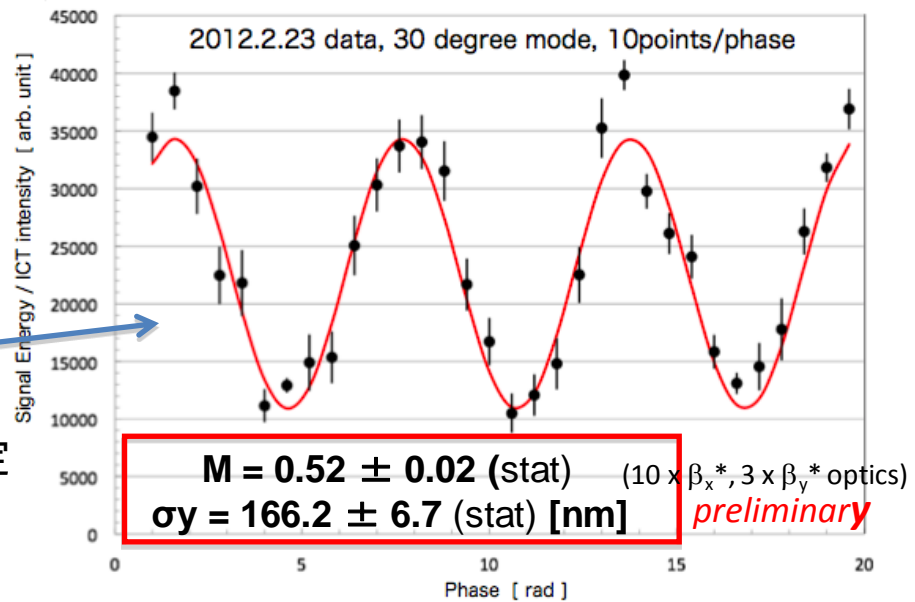
Beam time status in 2012

春のラン

Feb 17; 30° モード full commissioning
初の M検出

$\sigma_y^* \sim 150 \text{ nm}$ の安定な測定

2 - 8° モードで明瞭なcontrast (M ~ 0.9) を測定
(比較的大きい σ_y で)
174° モード commissioningへの準備



夏の大幅なハードウェア改良

KEKのATF2グループにより

多くの系統誤差要因を抑制 (詳細は後ほど)
モニターの安定性、信頼性が大きく向上

秋～冬のラン

- 30° mode で高いMを測定
- 安定なoperationでATF2の連続ラン (beam収束、tuning study) に貢献

12/20

174° モードで初の
Modulation検出！！

2012年ランの最後の2日間で
多数回 $M = 0.15 - 0.25$ を測定
($\sigma_y \sim 65 - 85 \text{ nm}$ に相当) 低ビーム強度で
新竹モニタ自身の系統誤差補正前

ATF2 Goal 達成に向けての大きな前進 !!

「真のbeamsize」を評価する誤差studyは進行中

Studies@30 deg (2-8 deg) mode

IPBSM phase drift study

Dedicated data for IPBSM error study

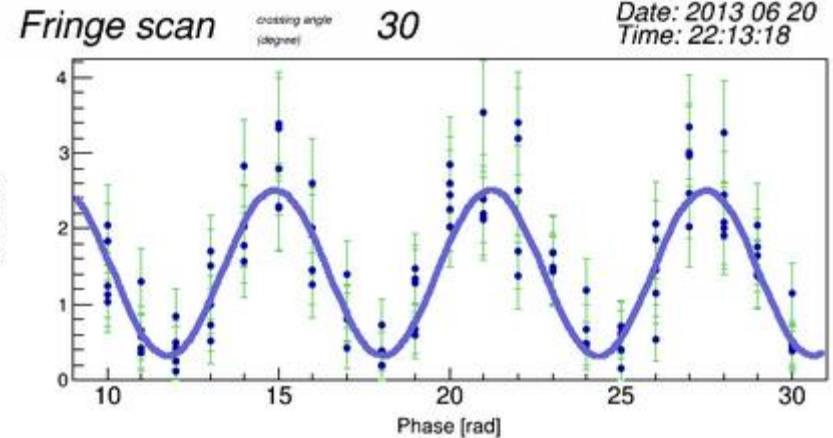
- H and V relative position jitter
- slow drifts (see next page and Okugi-san 's slides)

Study of wake-field effects

Ex) intensity dependence /ref cavity & bellows scan

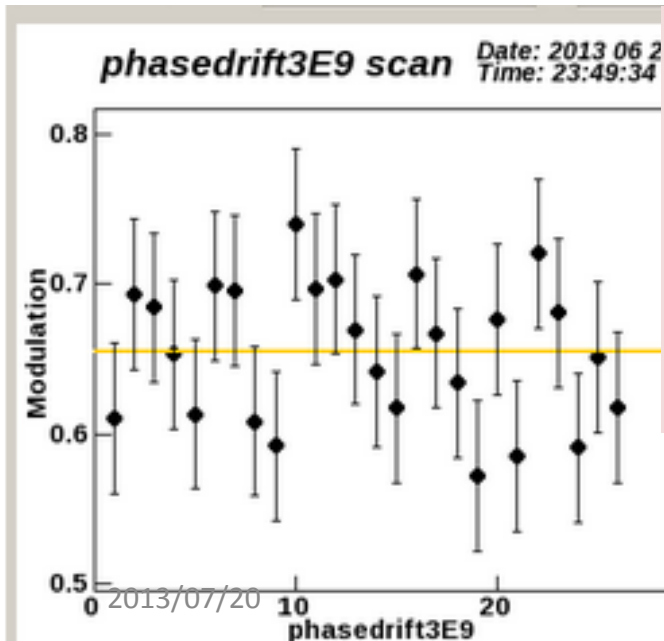
- consistency between Cherenkov and Csl results

Cherenkov S/N ~ 15, Csl S/N ~ 3



high M at 30 deg

Fit results: $A_v \cdot (1.0 + M \cdot \cos(x + Ph))$
Modulation: 0.783 +/- 0.035
 Beam Size: 73.3 + 15.0 -18.0 nm
 Average: 1.404 +/- 0.045
 Phase: -2.364 +/- 0.051
 Chi2/ndf: 1.0183e+02 / 102



Demonstration of Stability:

Consistency scan (x 26)

fitted M = 0.655 +/- 0.010
 ICT: 2.5 - 3.5E9

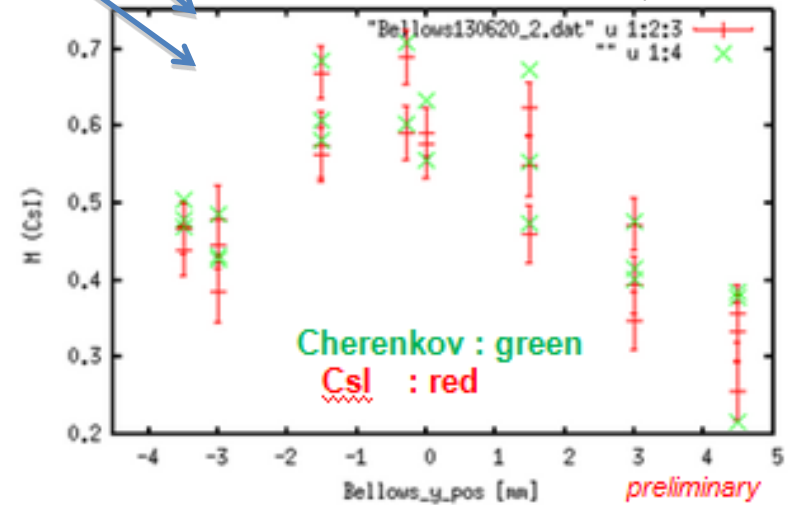
preliminary

Data file:

phasedrift3E9_fringe_130620_23493

TLC@富山

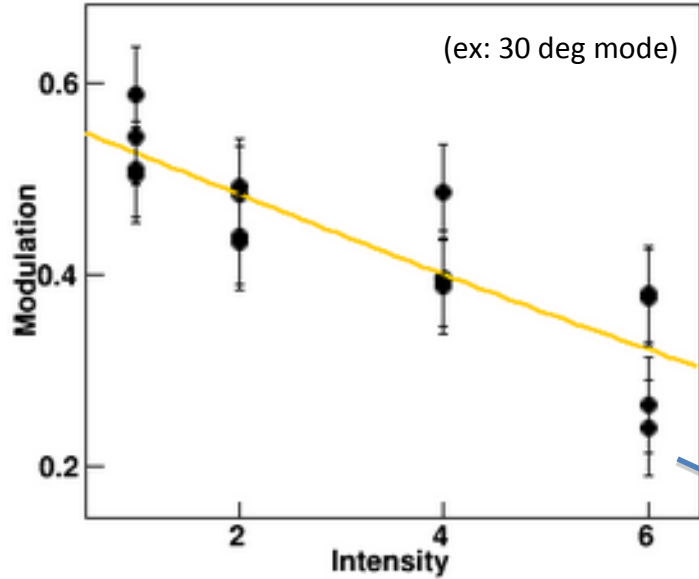
ICT: 4.5 - 5.5E9 / bunch 6/20 - 21



Other studies using IPBSM

Beam intensity scan

Date: 2013 05 19
Time: 04:13:02



Check linearity of BG levels in IPBSM detector
 → Observe “steepness” of intensity dependence
 compare with other periods to test effects of orbit tuning and / or hardware improvement for wake suppression

others:

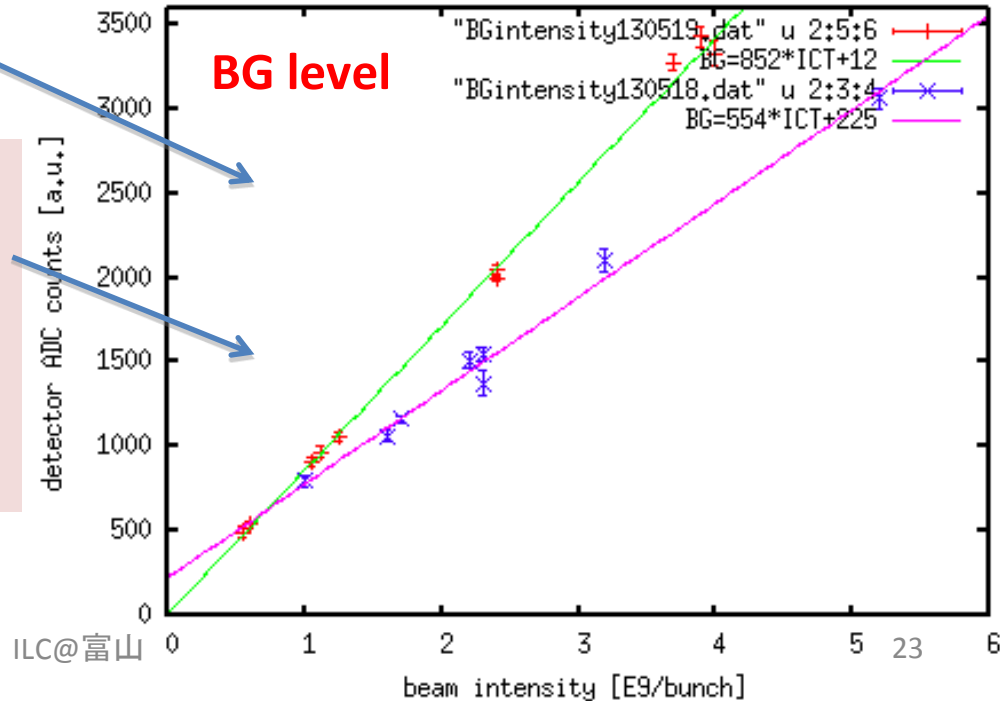
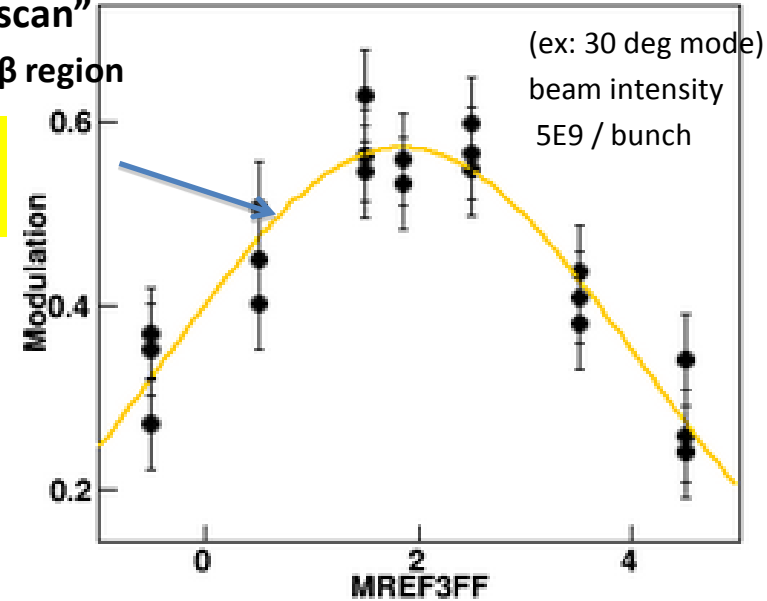
- Test various linear / nonlinear tuning knobs
- IPBSM systematic error studies

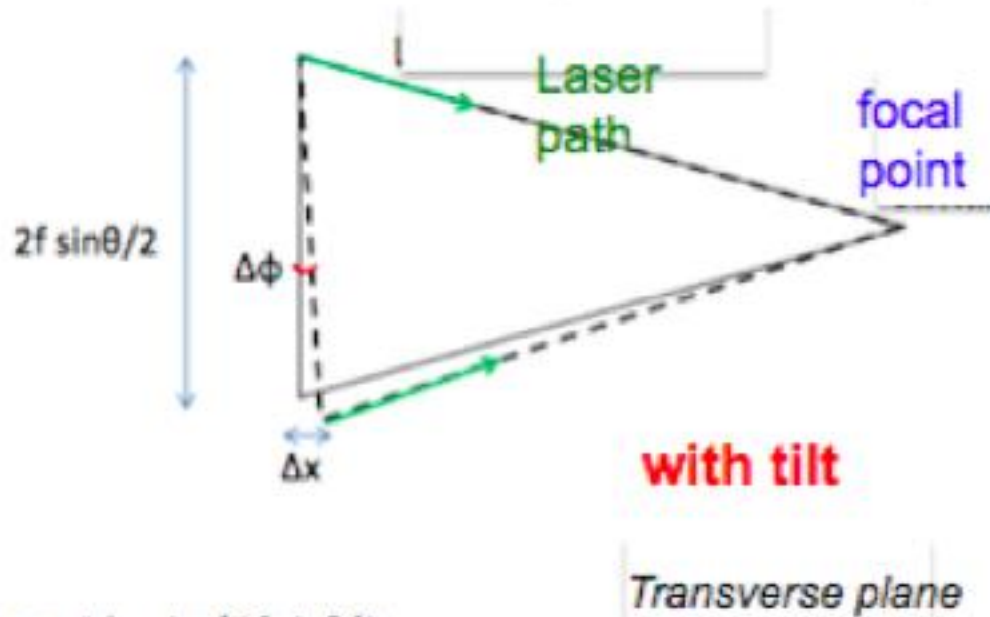
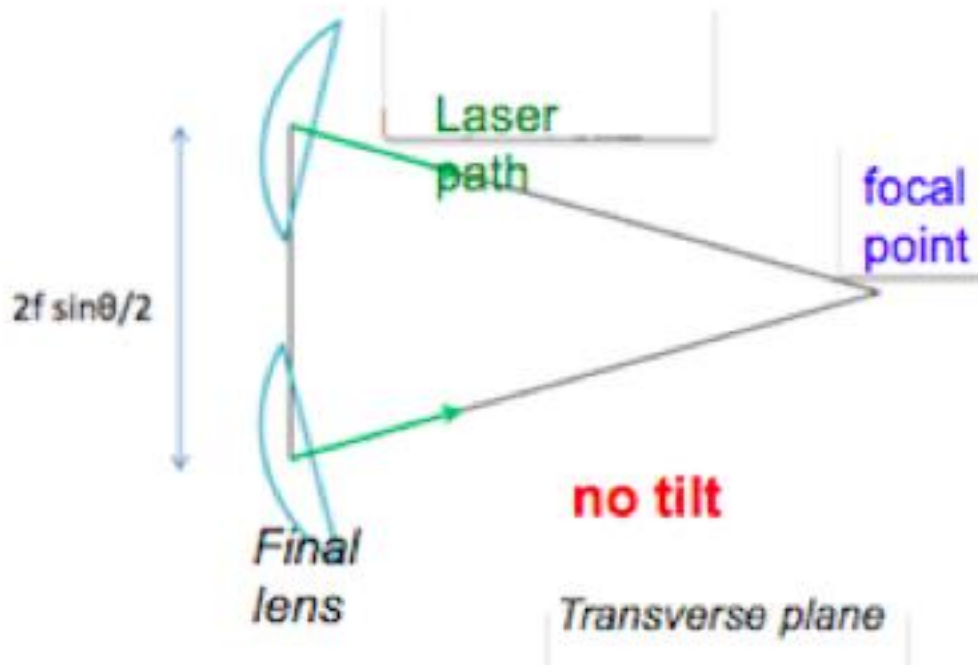
“Reference MREF3FF scan
Cavity scan”

Date: 2013 04 25
Time: 12:40:07

in high β region

wakefield studies



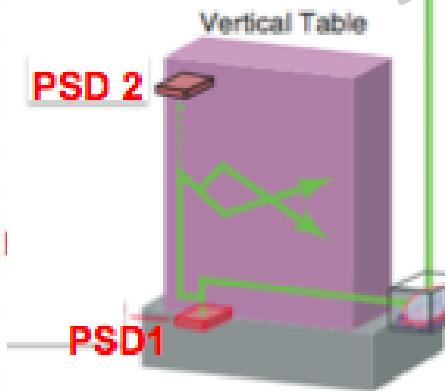
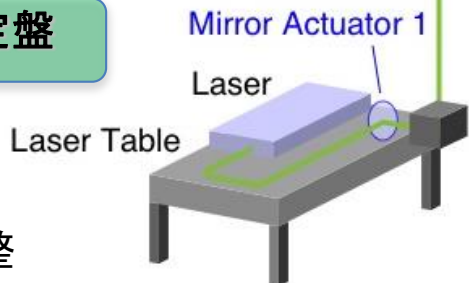


$$\tan \Delta\phi = \Delta x / 2f \sin\theta/2$$

レーザー光学系

レーザー定盤

- Laser 源
- 監視・調整



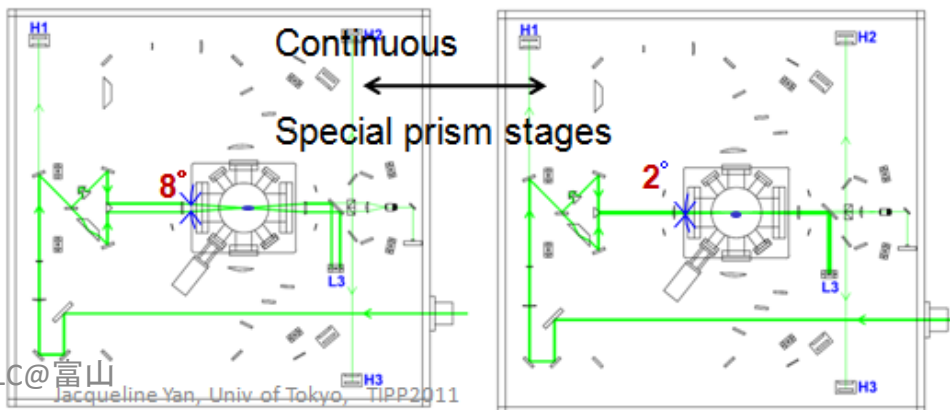
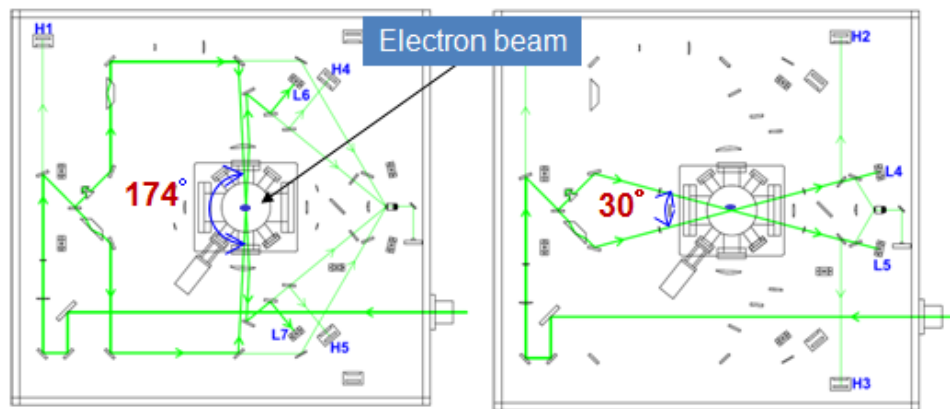
垂直定盤: 干渉縞の形成

- 位相制御 ← piezo stage
- 各モードの光路を作る (自動ステージ、とmirror actuator)

Nd :YAG
Q-Switch laser

PRO350
Spectra Physics

Wavelength	532 nm (SHG)
Pulse Energy	1.4 J
Peak power	164 MW
Pulse Width	8 ns (FWHM)
f_{rep}	6.25 Hz
Line Width	$< 0.003 \text{ cm}^{-1}$
Timing Stability	$< 0.5 \text{ ns}$
Energy Stability	$\pm 3\%$



2013/07/20

X and Y actuators



Rotation stage

ILC@富山

Jacqueline Yan, Univ. of Tokyo, TIPP2011

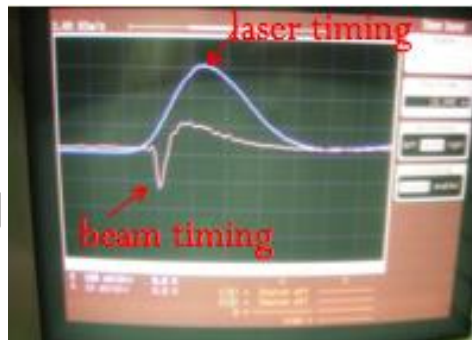
Beam tuning における新竹モニターの使用手順

① 光軸作り: IPエリアにアクセス (「目と手」で調整・確認)

次に電子ビームを出して、リモート制御

② Timing alignment :

レーザーQ-Switch
と e- beamの同期

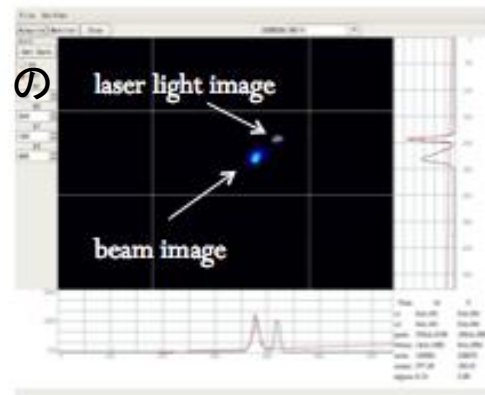


(高精度な
TD2 モジュール)

③ 初期位置 alignment

スクリーンモニター
上でlaser とe- beam の
スポットを重ねる

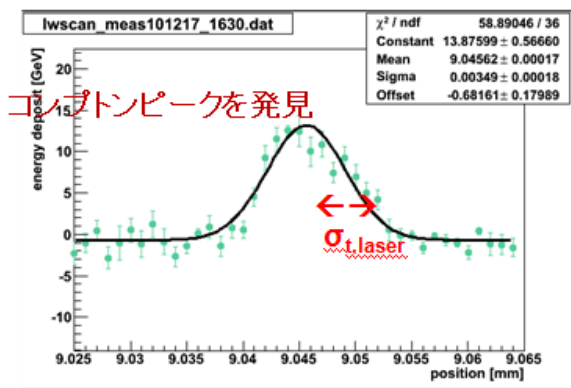
(精度 ~ 20 μm)



非常に高精度な位置alignment

④ transverse :

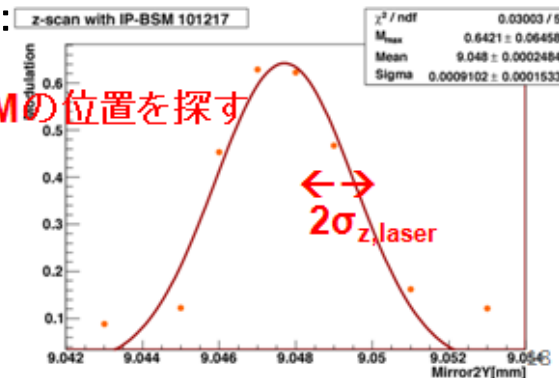
laser wire
scan



⑤ Longitudinal:

z scan

最大Mの位置を探す



⑥ 全ての準備が終えた上で

干渉縞スキャンで σ_y^* を測定し、beam tuning へフィードバックしながら
電子ビームを収束していく

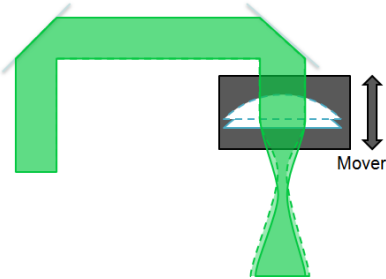
174 度モード(極小な σ_y^*)固有なバイアス要因を抑える!!

球面波効果

極細なbeamとlaser waist
の間の微小なずれ

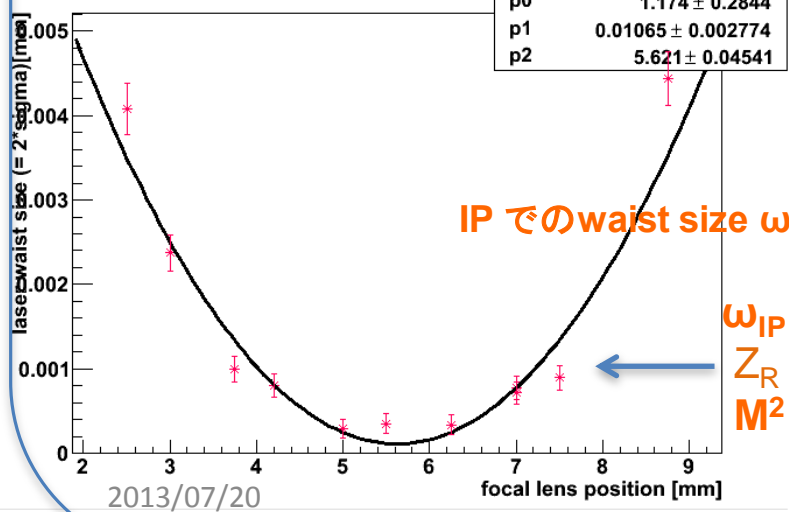
→ 歪んだ干渉縞
 $C_{sphere} > 99.7\%$

解決策は focal point scan



レンズにmoverを取り付け、
焦点をIPに $< 100 \mu\text{m}$
で合わせられる
($\sim 0.1 \cdot \text{Rayleigh 長 } Z_R$)

Graph

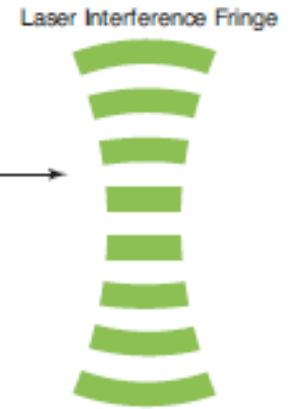


IPでのwaist size ω_{IP} の変化を観察

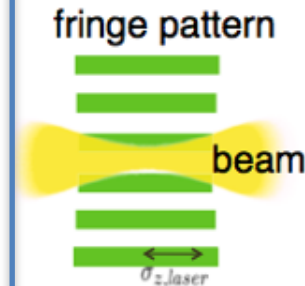
$\omega_{IP} \sim 10 \mu\text{m}$
 $Z_R \sim 2.2 \text{ mm}$
 $M^2 \sim 1.2$

2013/07/20

ILC@富山



干渉縞内の σ_y^* の変化

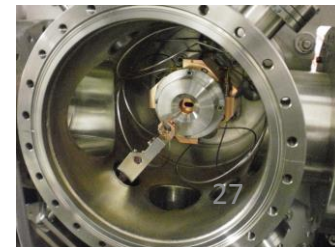


急収束された σ_y^* ,

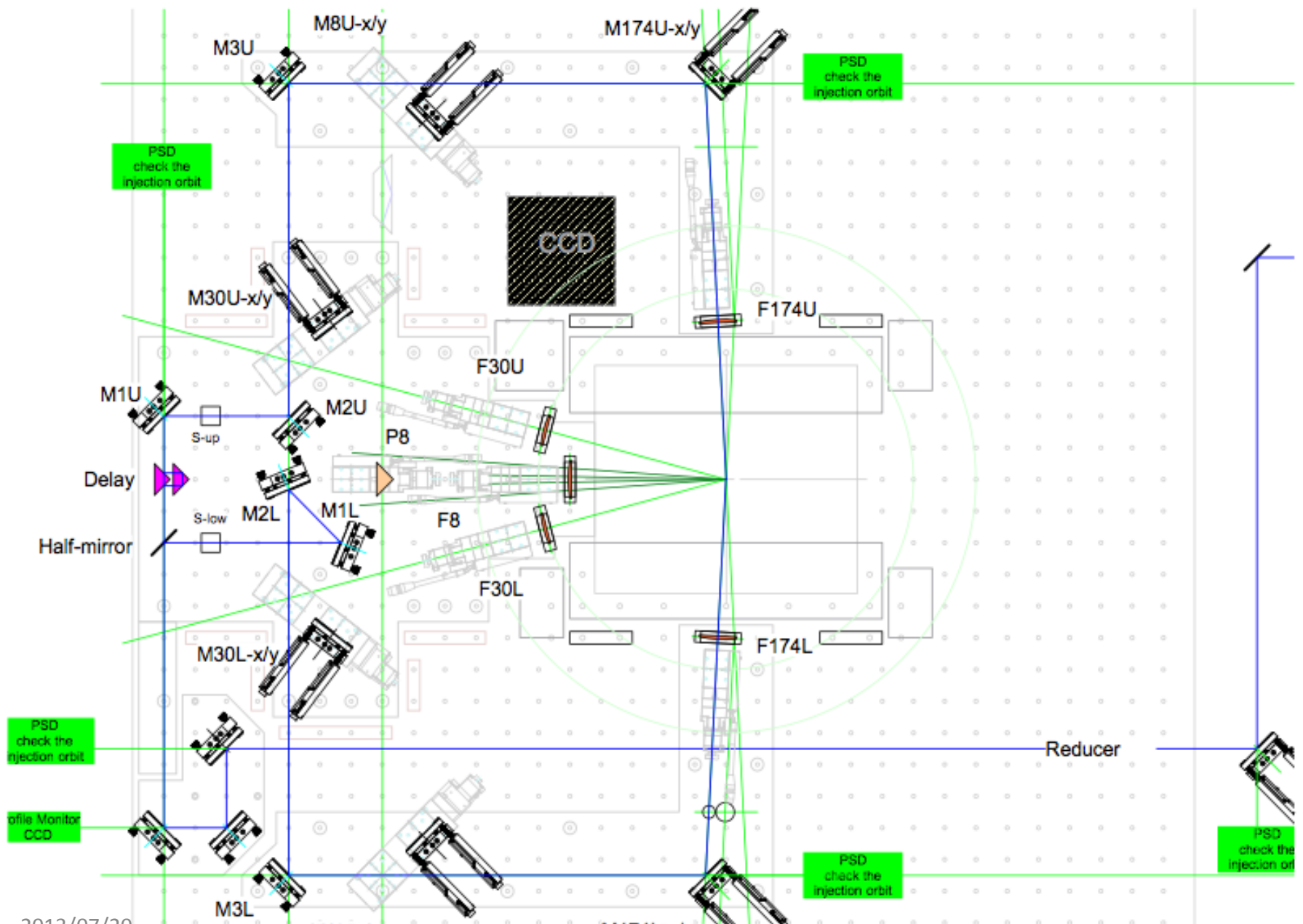
$C_{growth} \sim 99.7\%$

極小な σ_y^* は
相対位置ジッターに敏感!!

- IPBPM に対する期待
- 電子ビーム位置の
 - 数nm精度の測定
 - feedback補正



New 174 mode



ある特定の時期の状態を代表している

Error source	M reduction factor	
Fringe tilt (z, t) 主要 バイアス要因 alignment 精度による制限	Ct,tilt > 75 % (?) Cz,tilt > 80 % (?)	Beam time中の“tilt scan”より fringe pitch / roll を変えて → Mの変化を観測
profile imbalance	Cpro > 99.5 %	レーザーパス間の信号量やspot size の不均等
power imbalance	Cpow > 99.1 %	各パスの直接の高強度レーザーパワー測定
polarization	Cpol = 100 ± 1.3 % (λ/2 板により偏光の最適後)	偏光測定、光学素子の反射 特性の測定による精密評価
Phase drift	Cphase > 99.6 % Drift : 最大数 mrad / min : 十分に小さい	多数回連続スキャン中の位相安定性より
Laser path alignment	Ct,pos : ~ 99 %, Cz,pos : > 98 %	レーザーを e beam に合わせる Mirror actuator の性能が十分

その他、
定量的評価が
未だ不確定のもの :

- relative position jitter (phase jitter)
- Spatial coherence

主要バイアス要因 であり得る

M reduction Factor その1 (観測例)

低い交差角度(θ)モードでどこまで大きなMを測定できるか？

高い θ での測定結果とのconsistencyを比べる

注) 測定結果の再現性はbeam time条件で変わりうる
(ここでは1例)

2012 / 12/5
からのデータ

M (測定値)

M (高い θ のMmeasから期待された値)

系統誤差

θ [deg]	M_{meas}	M_{ideal} expected from 7 deg	M_{ideal} expected from 30 deg	$C_{total} = M_{meas} / M_{ideal}$
2.75	$0.944^{+0.056}_{-0.066}$	0.981 ± 0.013	0.987 ± 0.002	$0.962^{+0.038}_{-0.059}$
7	0.882 ± 0.071	-----	0.917 ± 0.01	$0.962^{+0.038}_{-0.078}$
30	0.214 ± 0.040 M max	-----	-----	

mode switching

2-8° モード内では同様な結果
→ (誤差範囲内で) $C_{total} \sim 1$

2012 / 12/20
からのデータ

M (測定値)

M (高い θ のMmeasから期待された値)

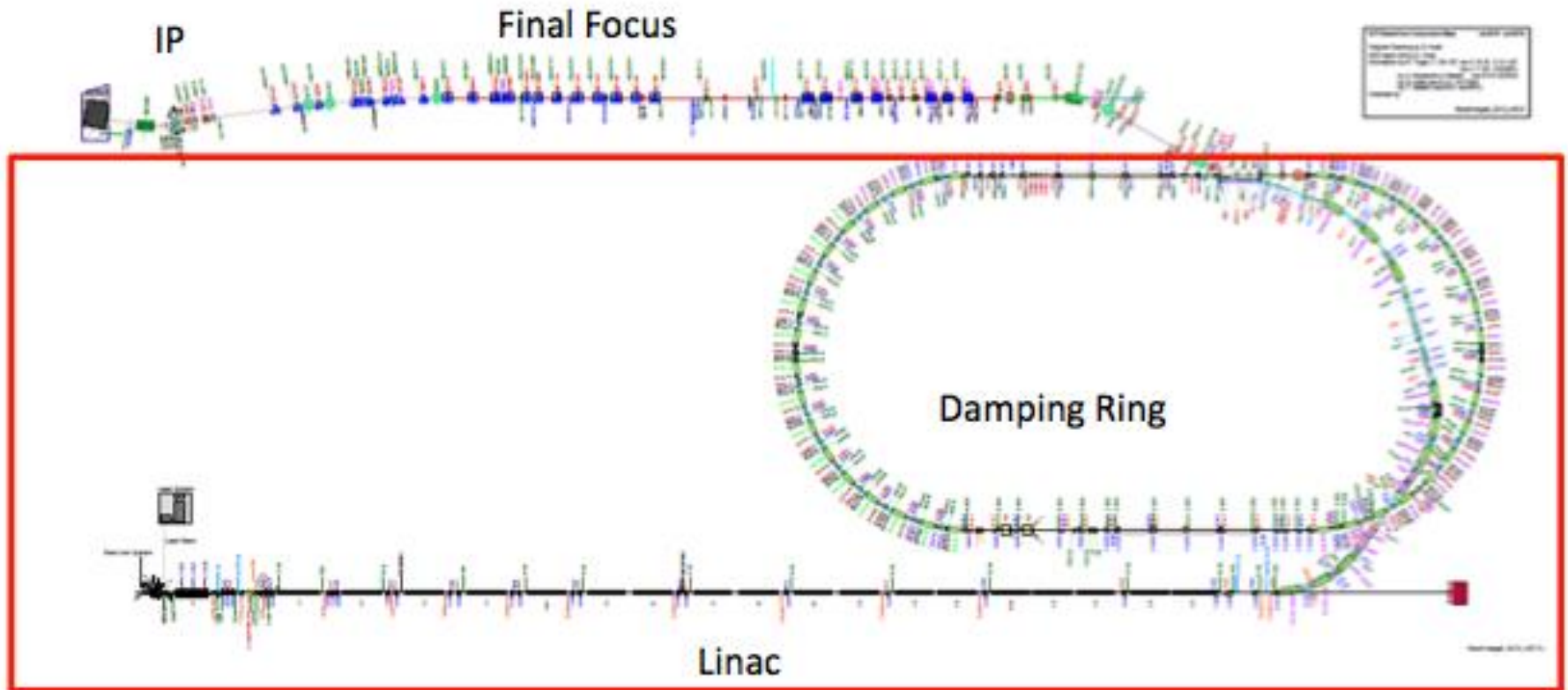
系統誤差

θ [deg]	M_{meas}	M_{ideal} expected from 174 deg	C_{total}
30	0.732 ± 0.034 M max	0.790 ± 0.006	0.926 ± 0.044
174	0.246 ± 0.027	-----	-----

mode switching

ある程度のバイアスあり

ATF

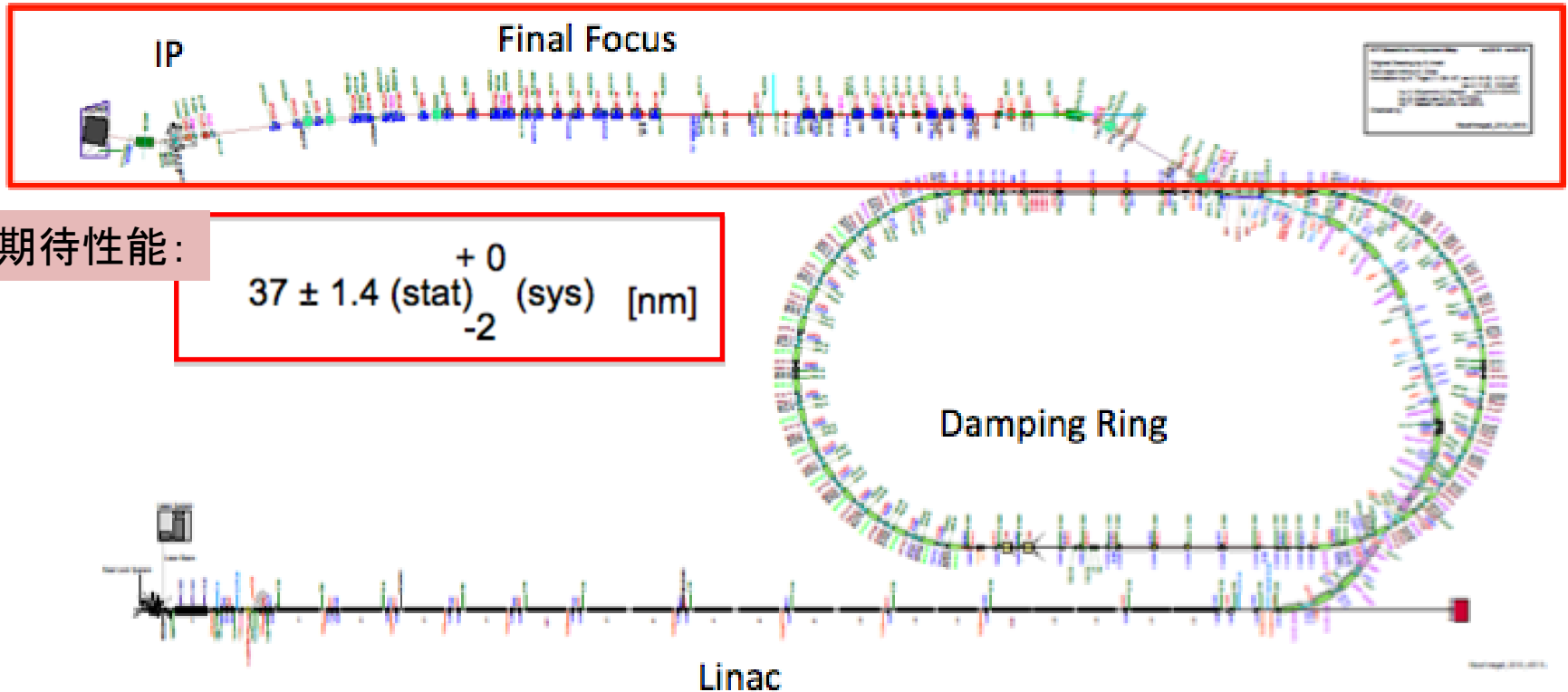


Linac: ビームエネルギー1.3 GeV
Damping Ring: 鉛直エミッタンス11 pm·rad



規格化鉛直エミッタンス30 nm·rad
ILCでの規格化エミッタンス35 nm·rad

ATF2



期待性能:

$$37 \pm 1.4 \text{ (stat)} \begin{matrix} +0 \\ -2 \end{matrix} \text{ (sys) [nm]}$$

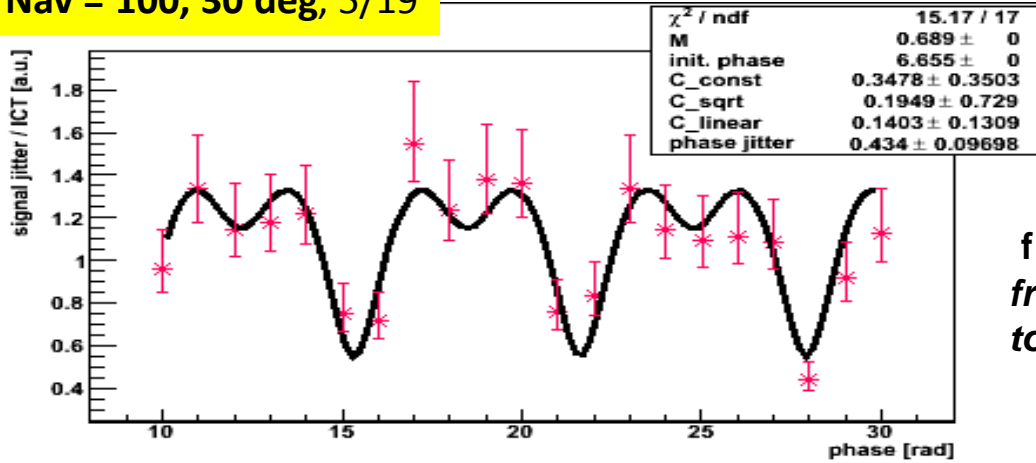
Final Focus: 局所色収差補正に基づいた設計

- 37 nmの鉛直ビームサイズ → 新竹モニタで測定
- nmレベルのビーム安定化 100 nm以下のビームサイズ測定に実績

Deriving Δy ($\Delta\phi$): apply to actual data

very preliminary attempts !!

Nav = 100, 30 deg, 5/19



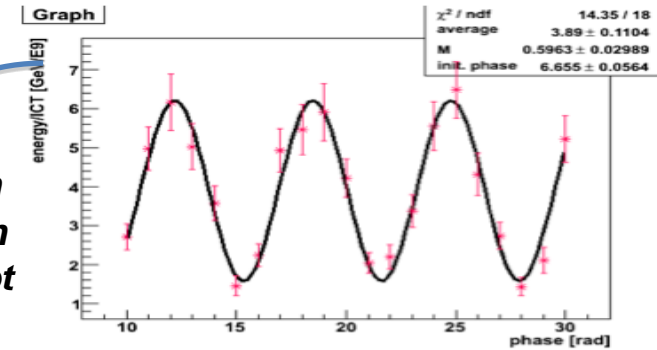
$\Delta y = 71.0 \pm 15.9$ nm
 $\Delta\phi = 434.0 \pm 97.0$ mrad

preliminary

Note:

- errors are only from fitting (we may have other systematic effects)
- Not enough (large Nav) data yet for drawing any conclusions

fix M from fringe scan to jitter plot



Fitted $\sigma_y : 141.3^{+8.9}_{-9.0}$ nm
 Corrected $\sigma_y : 122.2^{+10.2}_{-10.1}$ nm

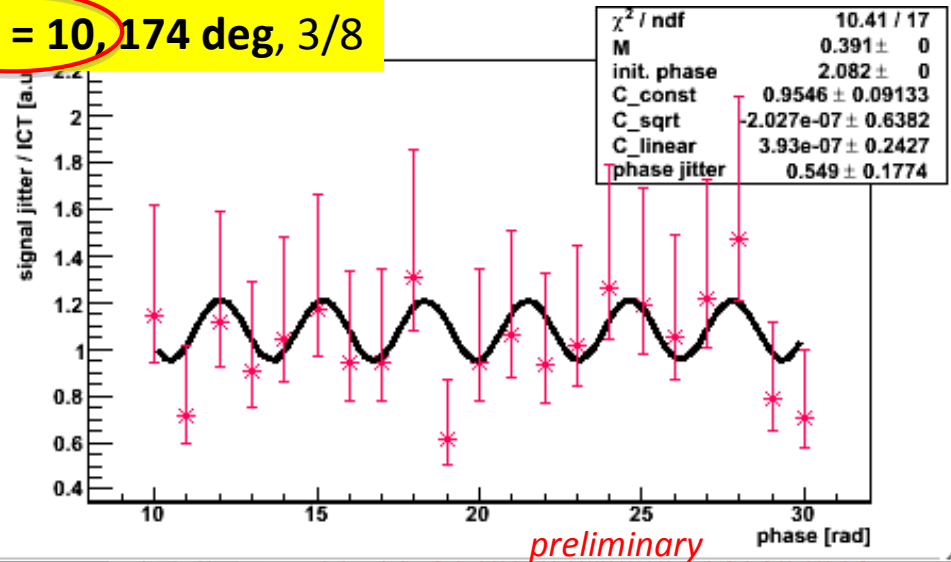
M reduction due to Δy about 85 – 95% (?)

Nav = 10, 174 deg, 3/8

no Nav = 100 data available for 174 deg

Fitted $\sigma_y : 64.9^{+2.7}_{-2.5}$ nm
 Corrected $\sigma_y : 60.6^{+2.8}_{-2.7}$ nm

$\Delta y = 23.2 \pm 9.6$ nm
 $\Delta\phi = 549.0 \pm 177.4$ mrad



preliminary

Deriving Δy ($\Delta\phi$): apply to actual data

very preliminary examples

M reduction due to Δy about 85 – 95%

Data	$\Delta\phi$ [mrad] / Δy [nm]	$C_{\Delta y}$
130519_233909 30 deg, $N_{av} = 99$	434.0 ± 97.0 / 71.0 ± 15.9	$(91 \pm 9) \%$
130621_001022 30 deg, $N_{av} = 5$	409.2 ± 109.0 / 66.9 ± 17.8	$(92 \pm 6) \%$
130308_222715 174 deg, $N_{av} = 10$	549.0 ± 177.4 / 23.2 ± 9.6	$(86 \pm 14) \%$
130314_155050 174 deg, $N_{av} = 10$	267.8 ± 345.5 / 11.3 ± 15.0	82 – 100 %

Current Status:

possibly valid model for deriving Δy ($\Delta\phi$) (???)

BUT !!!!! be aware of limitations on reliability

When applied to actual data.....

- Slow drifts, other large jitters,
- conditions always changing
- how realistic were assumptions in test simulation??

Proposal / Plan

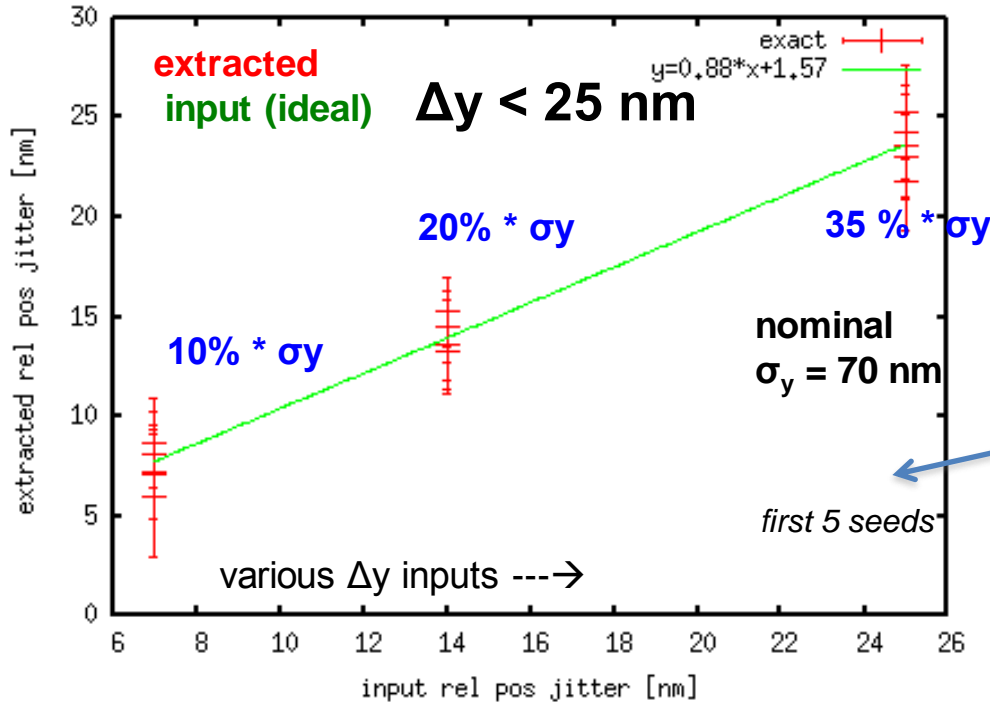
how to apply this method reliably ??
resolve slow drifts (laser & e beam)
and large jitters

take large N_{av} data occasionally under appropriate conditions

- further development of method
- optimize data taking scheme

nominal $\sigma_y = 70$ nm

Deriving Δy ($\Delta\phi$): effect of Δy

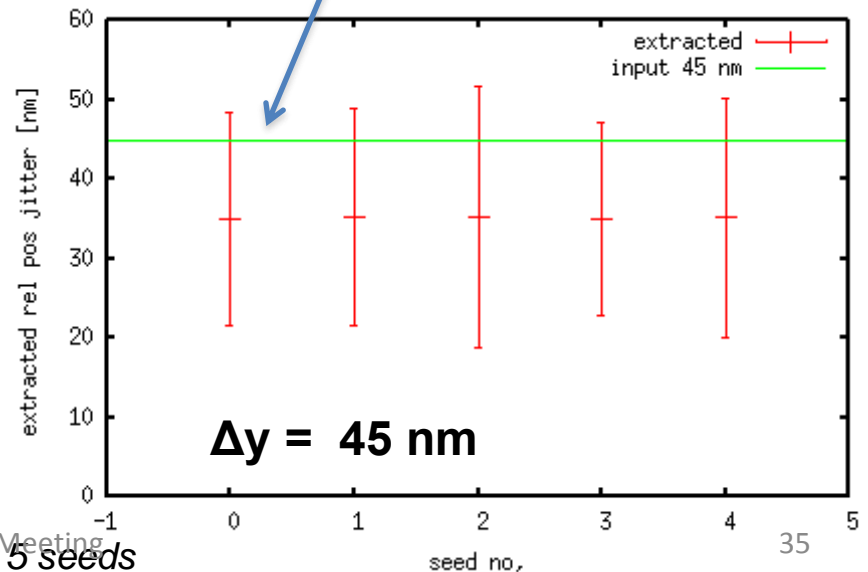
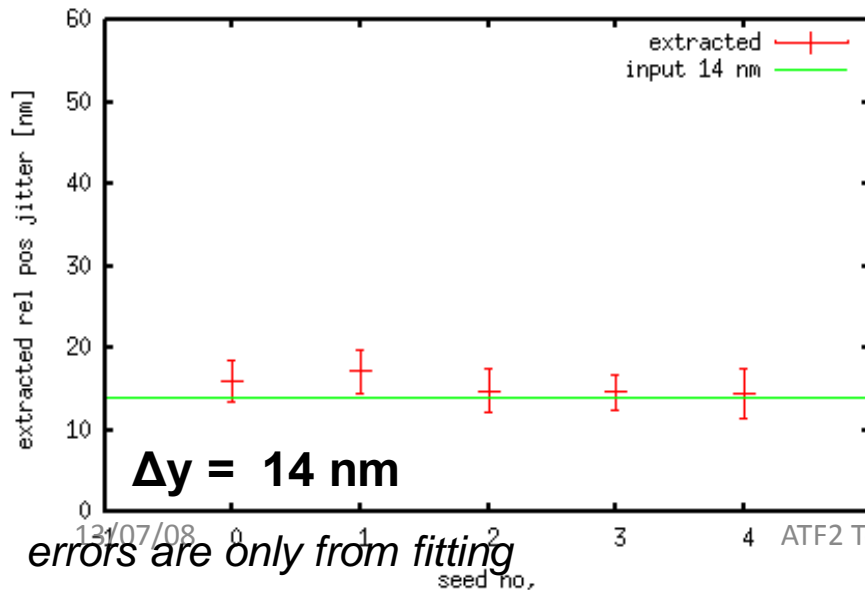


NO approximation for Δy (i.e. exact function \rightarrow see eq in BU slides)

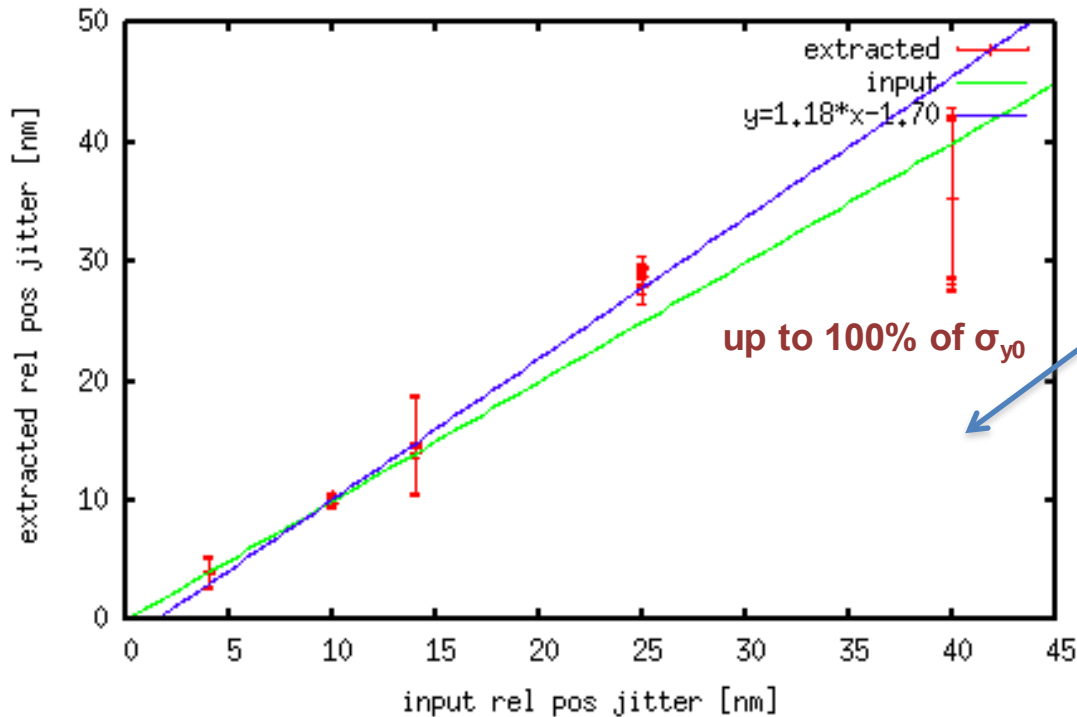
extracted Δy generally agree with input within errors

for not too large Δy
extracted Δy agree better with input

For large Δy ($> 50\% * \sigma_y$)
 Δy tend to be under-evaluated
(by a few nm ?)



40 nm nominal beamsize, 0 vertical input, Nav=100



Nominal $\sigma_{y0} = 40$ nm

Observe a wider range of Δy input

[1] Assumed 0 vertical jitter input

Coefficient still deviated from 1
1.18 +/- 0.03

errors are only from fitting

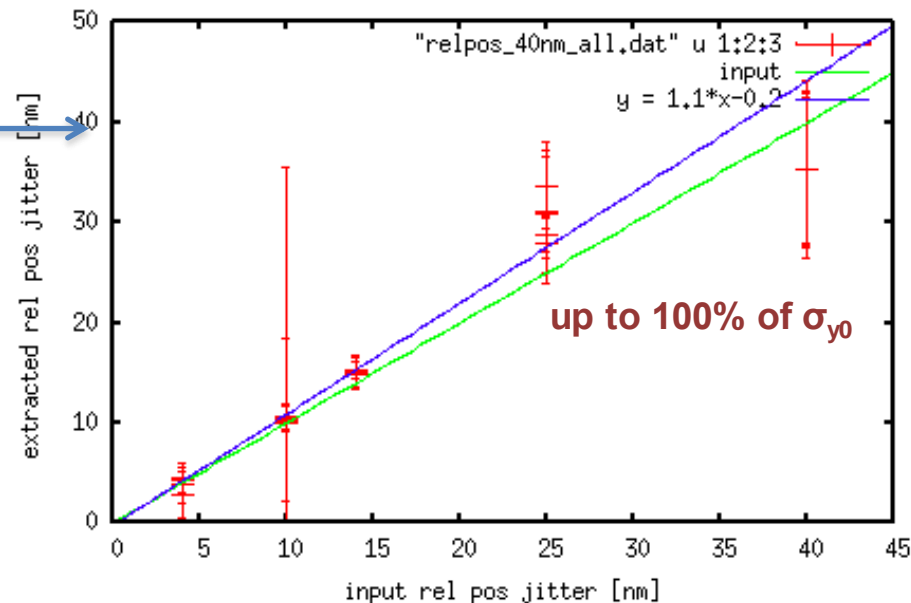
[2] Assumed a certain vertical jitter scenario
(about 13% signal jitter)

Coefficient still a little deviated from 1
1.11 +/- 0.04

problem with large Δy :

- Systematically under / over-evaluated
- Need further test of model
- maybe scan Δy in finer steps , try larger Nav ??

40 nm nominal beamsize, Nav=100

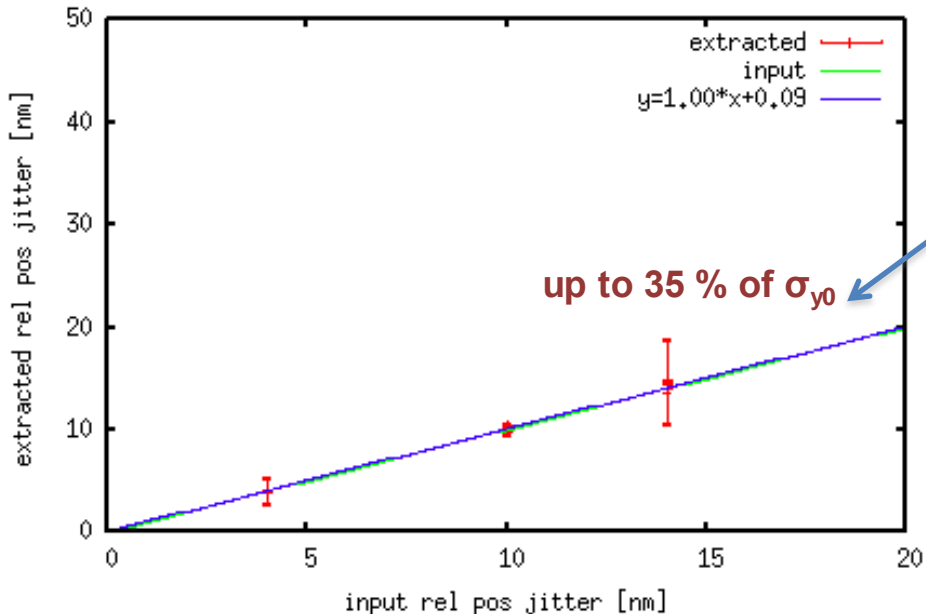


If omit larger “unrealistic” Δy :
coefficient agree with “1” within error range

Nominal $\sigma_{y0} = 40$ nm

Omitted $\Delta y = 25$ nm & 40 nm

40 nm nominal beamsize, 0 vertical input, Nav=100



[1] Assumed 0 vertical jitter input

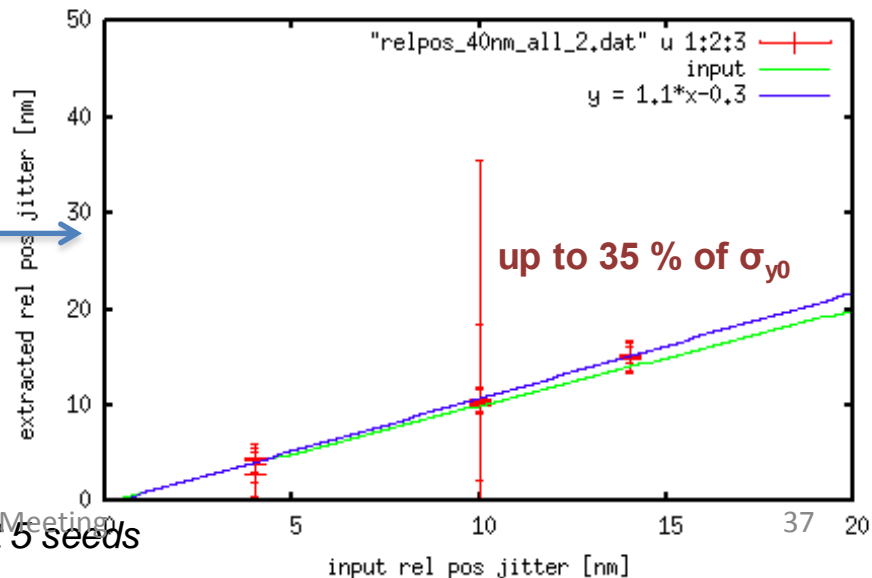
Coefficient NOW agree with 1
1.00 +/- 0.02

[2] Assumed a certain vertical jitter scenario
(about 13% signal jitter)

1.10 +/- 0.02 :
Coefficient still a little off from “1”

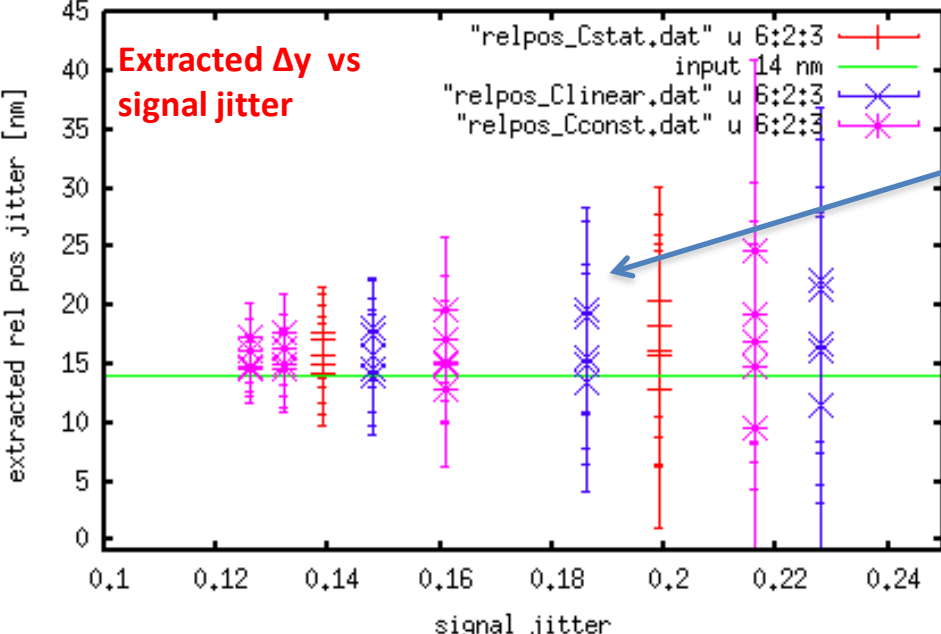
errors are only from fitting

40 nm nominal beamsize, Nav=100



effect of overall signal jitter

Nominal $\sigma_y = 70$ nm, $S/N = 5$,
 Different combinations of C_{const} , C_{linear} , C_{stat}

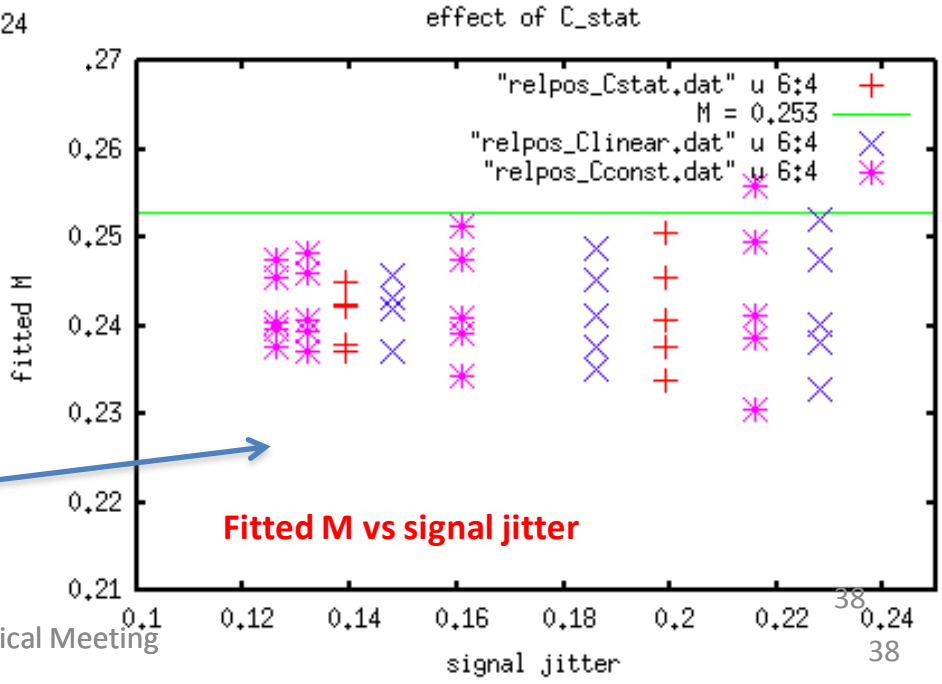


for large signal jitters
 Uncertainty on extracted Δy is larger

- Not very good beyond 18% signal jitter
- This will be even harder if Δy is larger !!

we should suppress signal jitter < 18% in fringe scans

for large signal jitters
 Discrepancy in M is more significant



13/07/08
 errors are only from fitting

ATF2 Topical Meeting

How to assess phase drift in fringe scans ??

currently developing a method to precisely fit M and Δy ($\Delta\phi$) even with phase drift

[1] Observed effect of phase drift

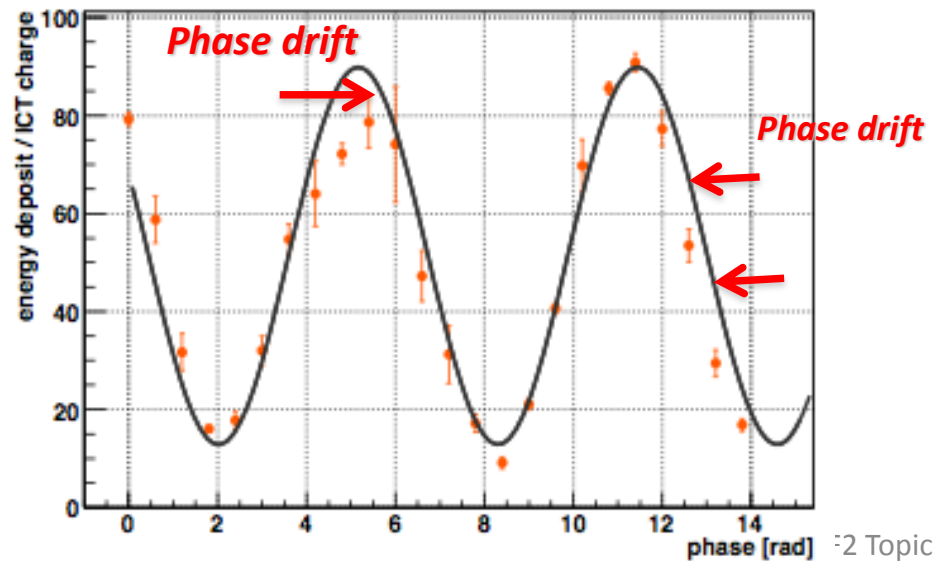
- Uncertainty on extracted Δy is larger for heavier drifts
- M reduction due to phase drift \rightarrow produce a correction function (??)

[2] Upgrade method to be robust against phase drift

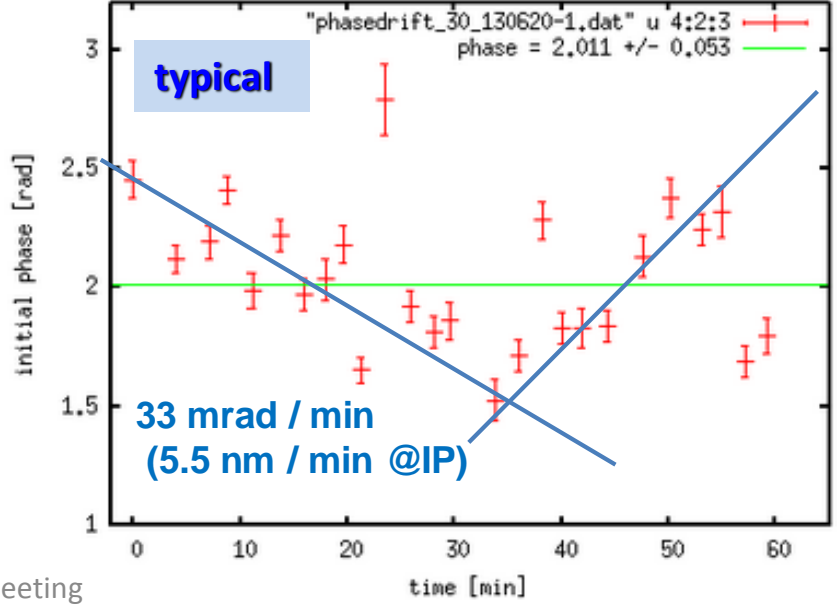
- consider a new function fitting M spectrum with function
- however must be aware of extra systematic this may bring

Drift varies for different periods

drift is not necessarily in single direction nor constant



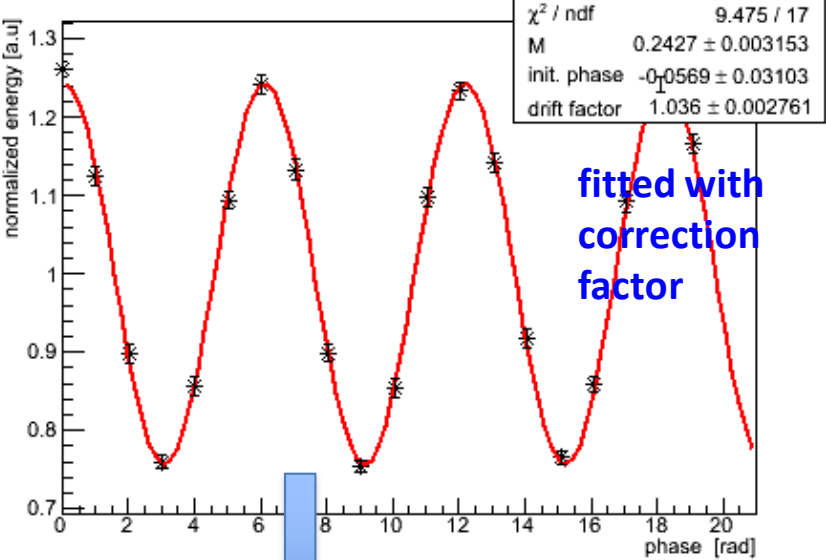
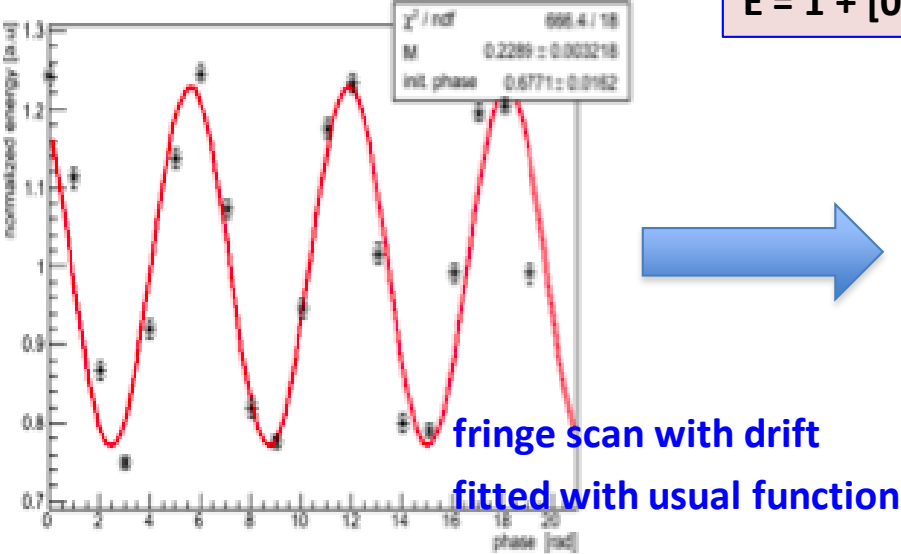
26 scans over 1 hr @ 30 deg (6/21)
init. phase = 2.01 +/- 0.05 rad (~ 2.5%)



Proposal: correct for phase drift

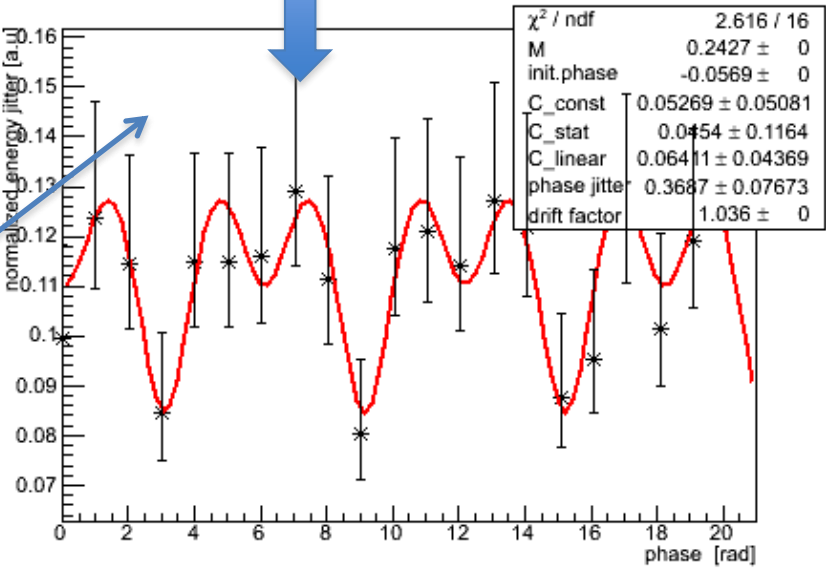
Consider a correction factor "C_drift" in fitting function!
possibly alleviate M reduction due to drift

$$E = 1 + [0] * \cos ([2] * \phi + [1])$$



- Note !!
- this is only a correction factor:
not necessarily completely due to phase drift !!
 - may even add systematics under certain conditions
 - drift in multiple directions, not constant
 - vertical drift, large signal jitters, ect....

may also improve Δy extraction precision
if apply to 2nd plot of {jitter vs phase}



$$E(j, Dj) = E_{avg} (1 + M \cos(j + Dj + j_0))$$

$$P(Dj) = \frac{1}{\sqrt{2pS_j}} \exp\left(-\frac{Dj^2}{2S_j^2}\right)$$

$$\begin{aligned} \overline{E(j)} &= \int E(j, Dj) \cdot P(Dj) dDj \\ &= \frac{1}{\sqrt{2pS_j}} E_{avg} \int \exp\left(-\frac{Dj^2}{2S_j^2}\right) (1 + M \cos(j + Dj + j_0)) dDj = E_{avg} \left(1 + M \cos(j + j_0) \exp\left(-\frac{S_j^2}{2}\right)\right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \overline{E(j)^2} &= \int E(j, Dj)^2 \cdot P(Dj) dDj \\ &= E_{avg}^2 \left(1 + 2M \cos(j + j_0) \exp\left(-\frac{S_j^2}{2}\right) + \frac{1}{2} M^2 [1 + \cos(2j) \exp(-2S_j^2)]\right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{pos}(j) &= \sqrt{\overline{E(j)^2} - (\overline{E(j)})^2} \\ &= E_{avg} M \sqrt{\frac{1}{2} [1 - 2 \cos^2 j \cdot \exp(-S_j^2) + \cos(2j) \exp(-2S_j^2)]} \end{aligned}$$

if S_j is small:

$$S_{pos}(j) \approx E_{avg} M \sqrt{S_j^2 \sin^2 j + S_j^4 \left(\frac{3}{2} \cos^2 j - 1\right)} \dots\dots\dots$$

$$\left(\frac{DE}{E}\right)_{\text{timing}} = 1 - \frac{\int dt \frac{1}{\sqrt{2\rho S_{Dt}^2}} \exp\left(-\frac{t^2}{2S_{Dt}^2}\right) P_{\text{laser}}(t)}{\int dt d(t) P_{\text{laser}}(t)} = 1 - \sqrt{\frac{S_t^2}{S_t^2 + S_{Dt}^2}} \approx \frac{1}{2} \left(\frac{S_{Dt}}{S_t}\right)^2$$

relative timing: $t \equiv t_{\text{beam}} - t_{\text{laser}}$

laser temporal profile: $P_{\text{laser}}(t) = P_0 \exp\left(-\frac{t^2}{2S_t^2}\right)$ (laser pulse width: $S_t = 3.4$ ns)

$$\langle P(Dt) \rangle \approx P_0 \left\{ 1 - \frac{1}{2} \frac{S_{Dt}^2}{S_t^2} + \frac{3}{2} \left(\frac{S_{Dt}^2}{S_t^2}\right)^2 - \dots \right\}$$

$$\frac{DP(Dt)}{P_0} \approx \frac{S_{Dt}^2}{\sqrt{2} \cdot S_t^2} \sqrt{1 - 3 \frac{S_{Dt}^2}{S_t^2} + \dots}$$