

Femto-second Timing Synchronization

T.Naito, J.Urakawa, K.Ebihara, N.Terunuma (KEK)

M.Amemiya, M.Imae, Y.Fujii, T.Suzuyama(AIST)

ERL検討会(2010/10/08)

「光ファイバを用いた高精度同期技術の開発研究」科研費(C)

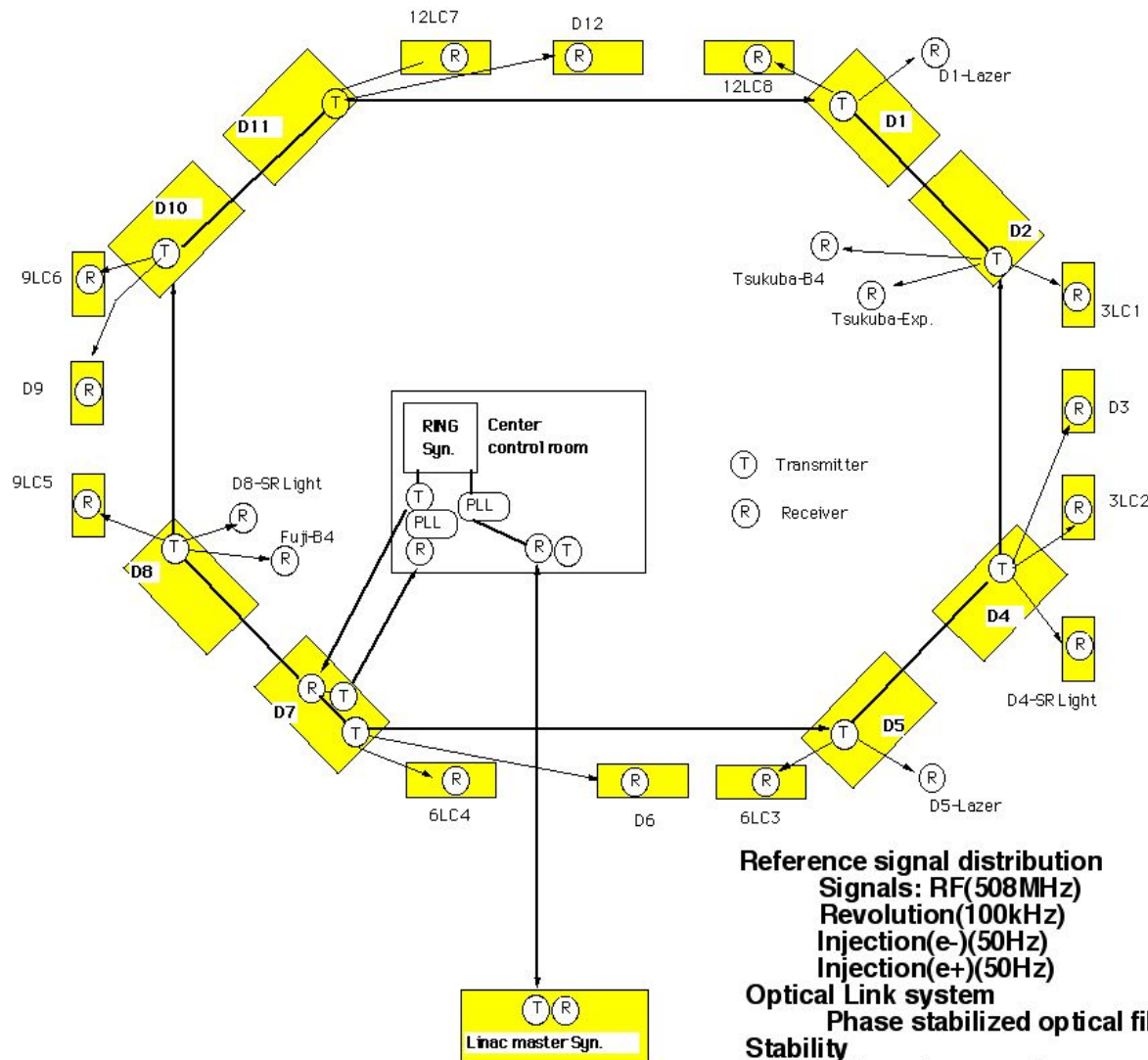
内藤 孝、浦川順治、海老原清一、照沼信浩 (高エネルギー加速器研究機構)

雨宮正樹、今江理人、藤井靖久、鈴山智也 (産業技術総合研究所)

A very precise reference clock distribution system is strongly required for current and future accelerators, for example, Super KEKB, ILC, ERL and FEL.

- | | | |
|---------------------|---------------|-------|
| •SuperKEKB (509MHz) | 0.1°(0.54ps) | ~3km |
| •ILC (1.3GHz) | 0.1° (0.21ps) | ~30km |
| •ERL, FELs | 50fs | ~1km |

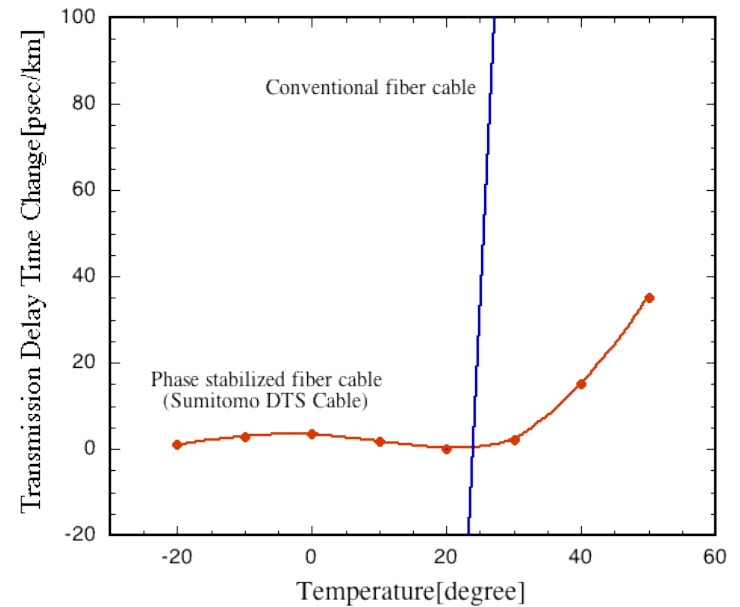
位相安定化光ファイバー KEKB Timing signal



Reference signal distribution
 Signals: RF(508MHz)
 Revolution(100kHz)
 Injection(e-)(50Hz)
 Injection(e+)(50Hz)

Optical Link system
 Phase stabilized optical fiber

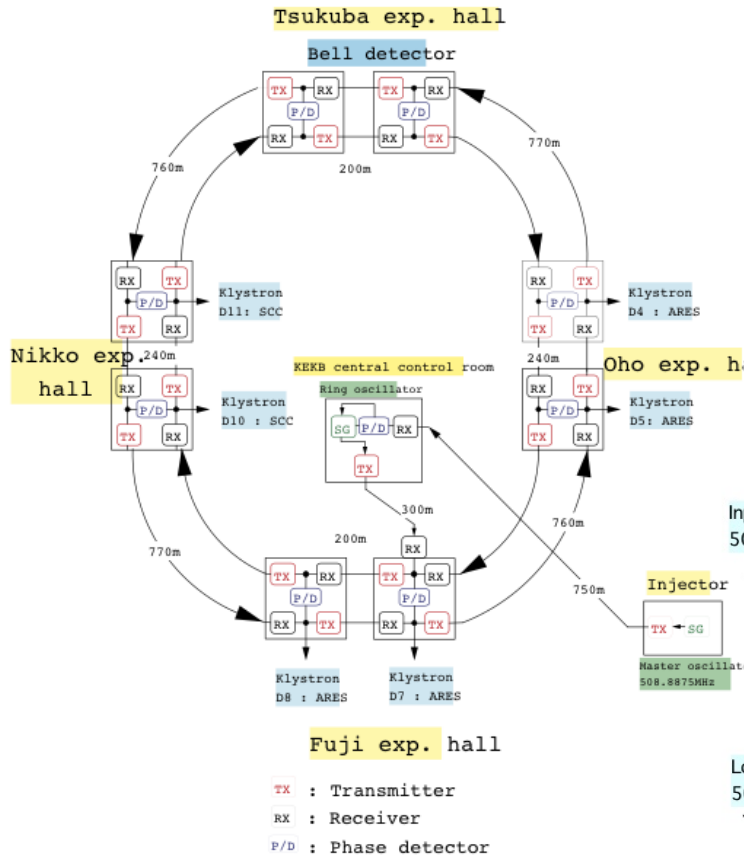
Stability
 RF section ~5ps
 Others ~30ps



Temperature dependence of the phase stabilized fiber
 The same system was employed at PF-AR, LEP, Spring8(SR ring), JPARC, etc

位相安定化光ファイバー(PSOF)は加速器ではKEKで最初に採用され、KEKBで本格的に採用されました。配線が屋外配線であったために十分にその効果発揮出来ませんでした。全制御室に~30psの精度で基準信号を伝送している。

RF reference line of KEKB



Coaxial cable and feedback circuit - stability(1week) ~1degree(5ps)

各加速セクションで同軸ケーブルによる基準信号が使われている。FBによって~5psの精度が保たれている。(加速器学会2003 海老原他)

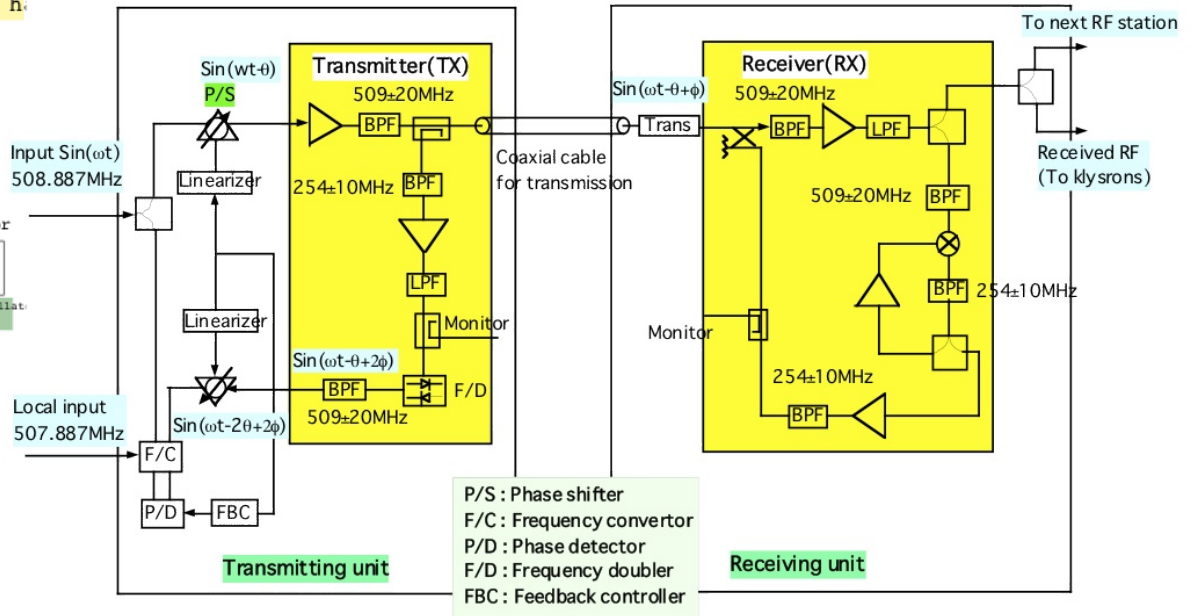
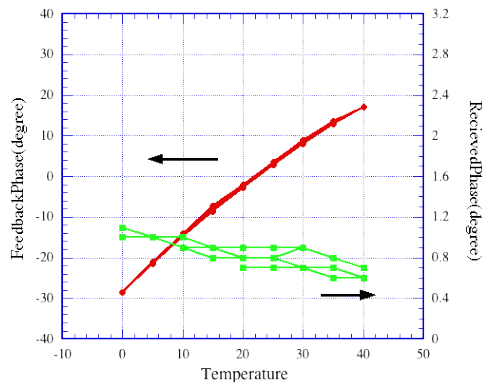
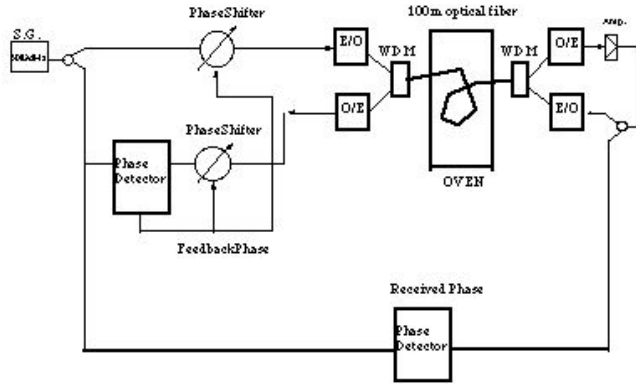


Fig. 2 Phase stabilization system

Timing Stabilization effort

DESY2008

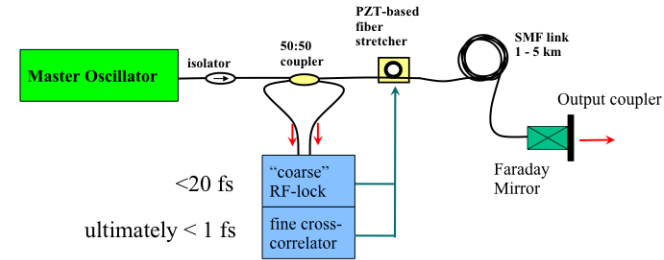


250ps -> 2.5ps

光ファイバーを使ったFBの開発テストを行い100倍のゲインで安定化出来る事を確認した。Naito et. al.(ICALEPCS99)



Timing stabilized fiber links

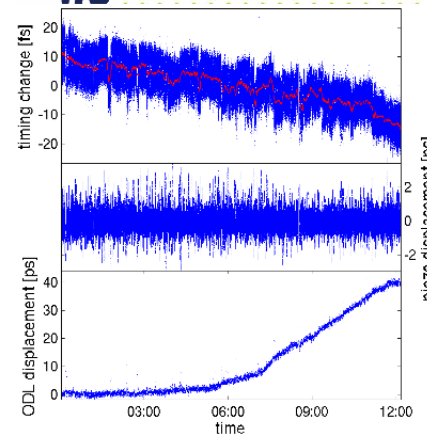


- Transmit pulses in dispersion compensated fiber links
- No fluctuations faster than $T=2nL/c$ (causality!)
- $L = 1 \text{ km}, n = 1.5 \Rightarrow T=10 \mu\text{s}, f_{\text{max}} = 100 \text{ kHz}$
- Fiber temperature coefficient: $\sim 5 \times 10^{-6} / \text{m}$ Lee et al. Opt. Lett. 14, 1225-27 (1989)

Stefan Simrock 3rd LC School, Oak Brook, IL, USA, 2008, Radio Frequency Systems



Fiber link PZT stabilization



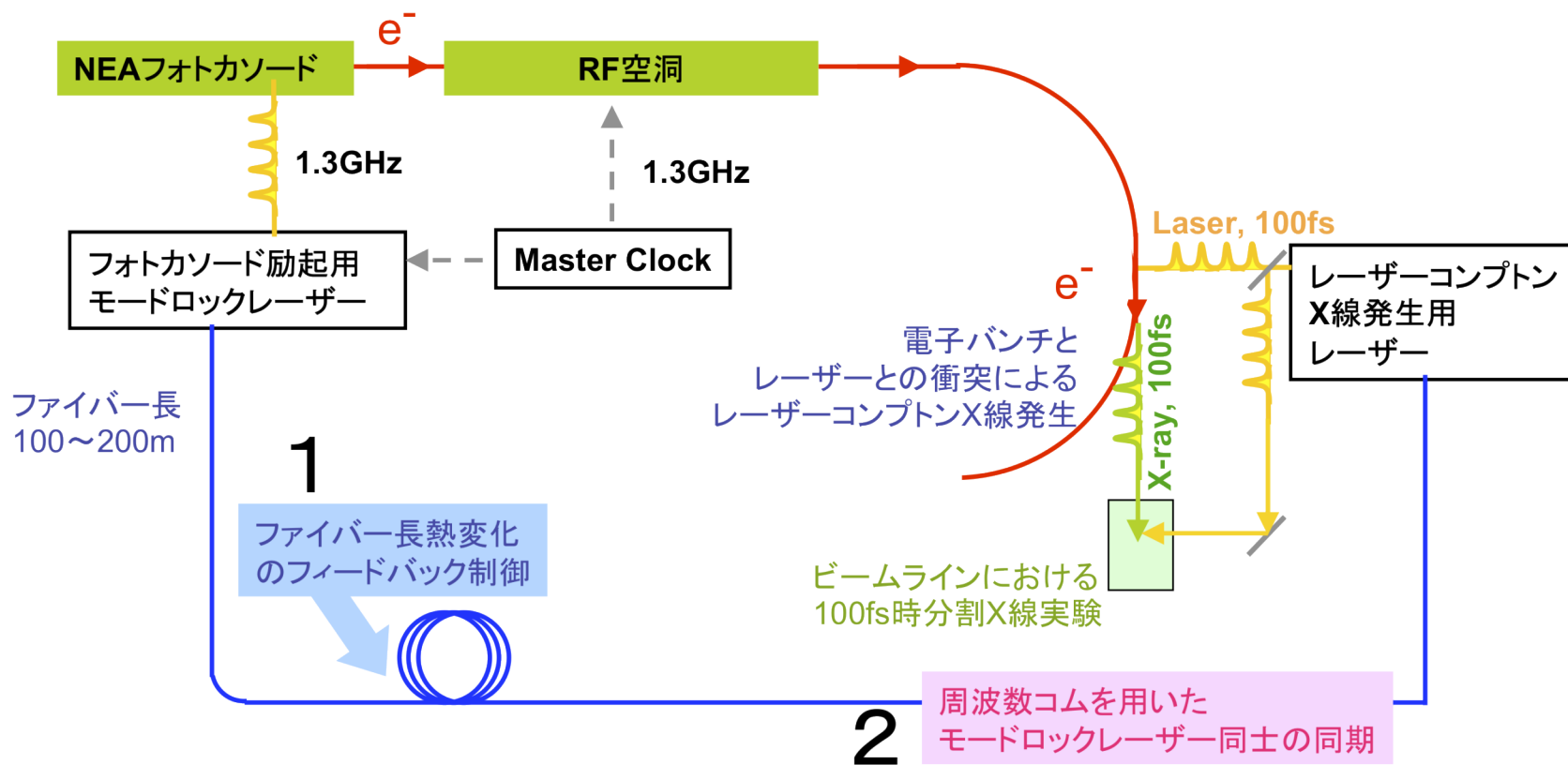
- 400 meter stabilized test link in Hall 1 at DESY
- Jitter 7.5 fs rms during 12 hours
- Additional 25 fs rms drift during that time

40ps->25fs

Courtesy F. Loehl, DESY

Stefan Simrock 3rd LC School, Oak Brook, IL, USA, 2008, Radio Frequency Systems

cERLにおける同期技術開発 逆コンプトン散乱による100fs-X線発生



レーザーコンプトンX線発生用レーザーと、電子バンチとの同期 (jitter<100fs)

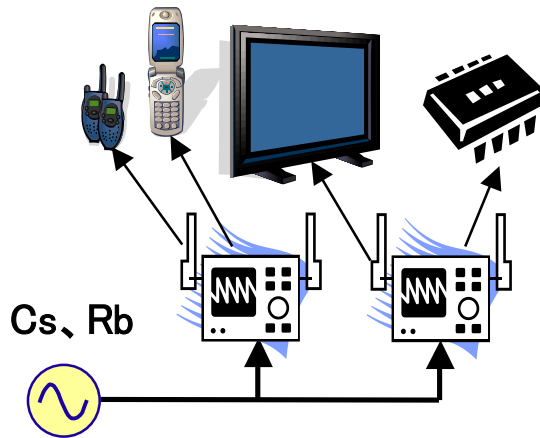
1. ファイバー長熱変化のフィードバック制御
2. RF空洞と電子軌道変化に起因するjitterを担保した光学系

周波数標準を必要としている分野(産総研 周波数システム研究室)

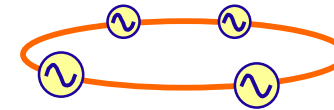
■時間(周波数)標準の校正事業者



■製造業(通信機器、測定器メーカー...)



■通信事業者、放送事業者



■大学

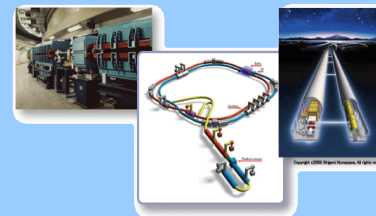
(電気、電子、情報、通信工学)



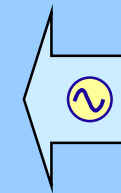
■研究機関(宇宙、天文、素粒子物理...)



VLBI、ALMA計画



粒子加速器

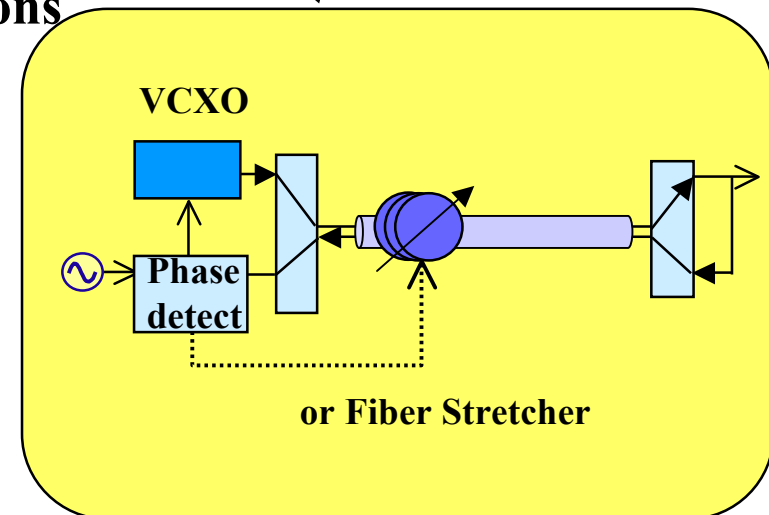
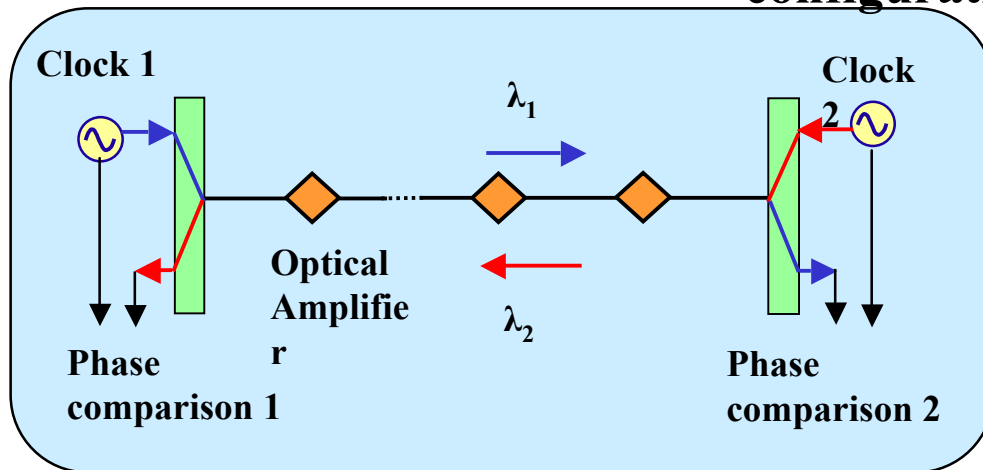


同期用の安定な
タイミング信号が必要

周波数の遠隔比較及び供給について

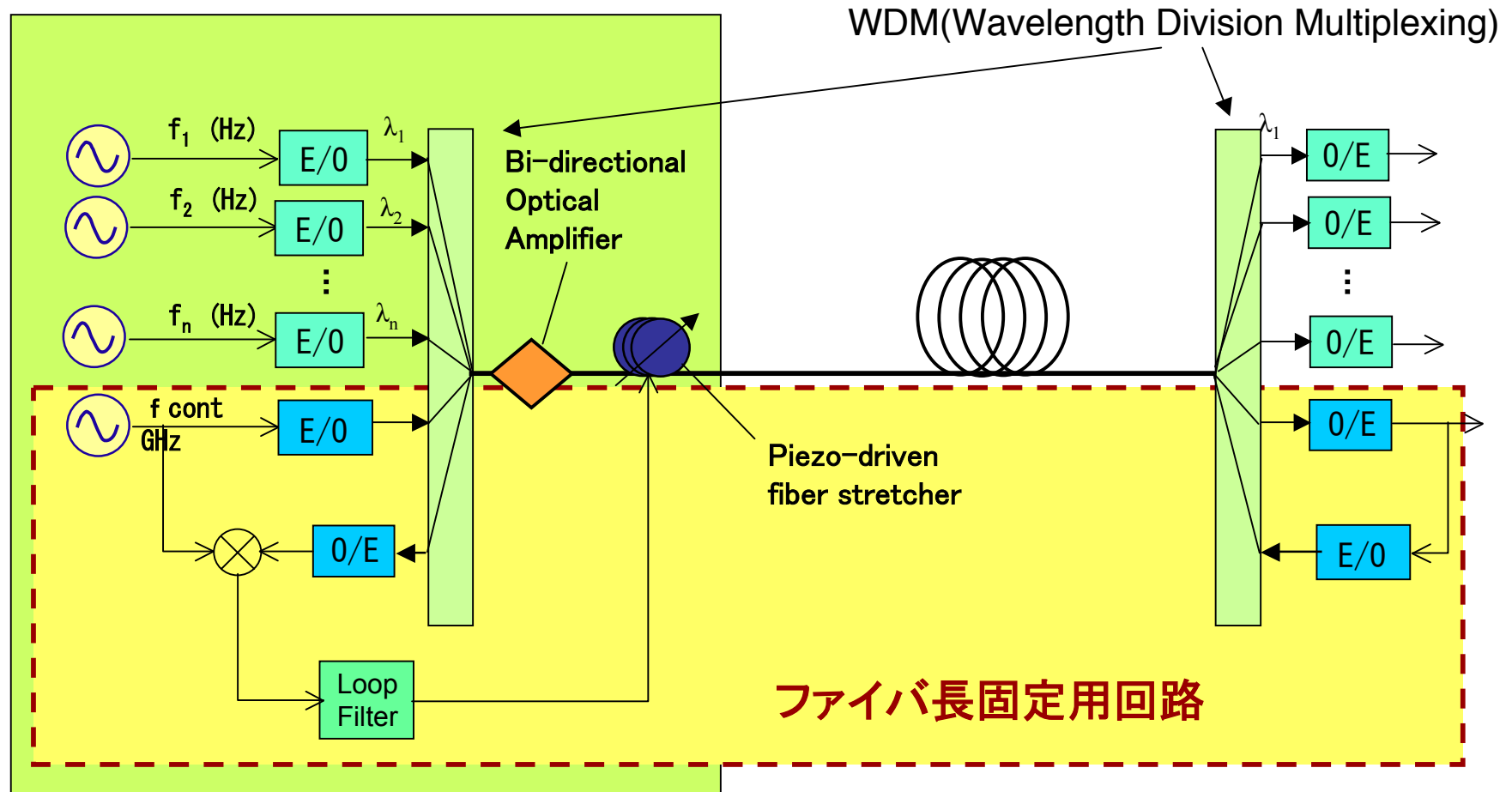
	Comparison	Distribution
用途	標準器の周波数比較	粒子加速器、電波天文
特徴・条件	Real time: desirable 長距離 究極; 1万 km (Round trip time: 0.1 s)	Real time: must 短距離 50 km at most

Basic configurations

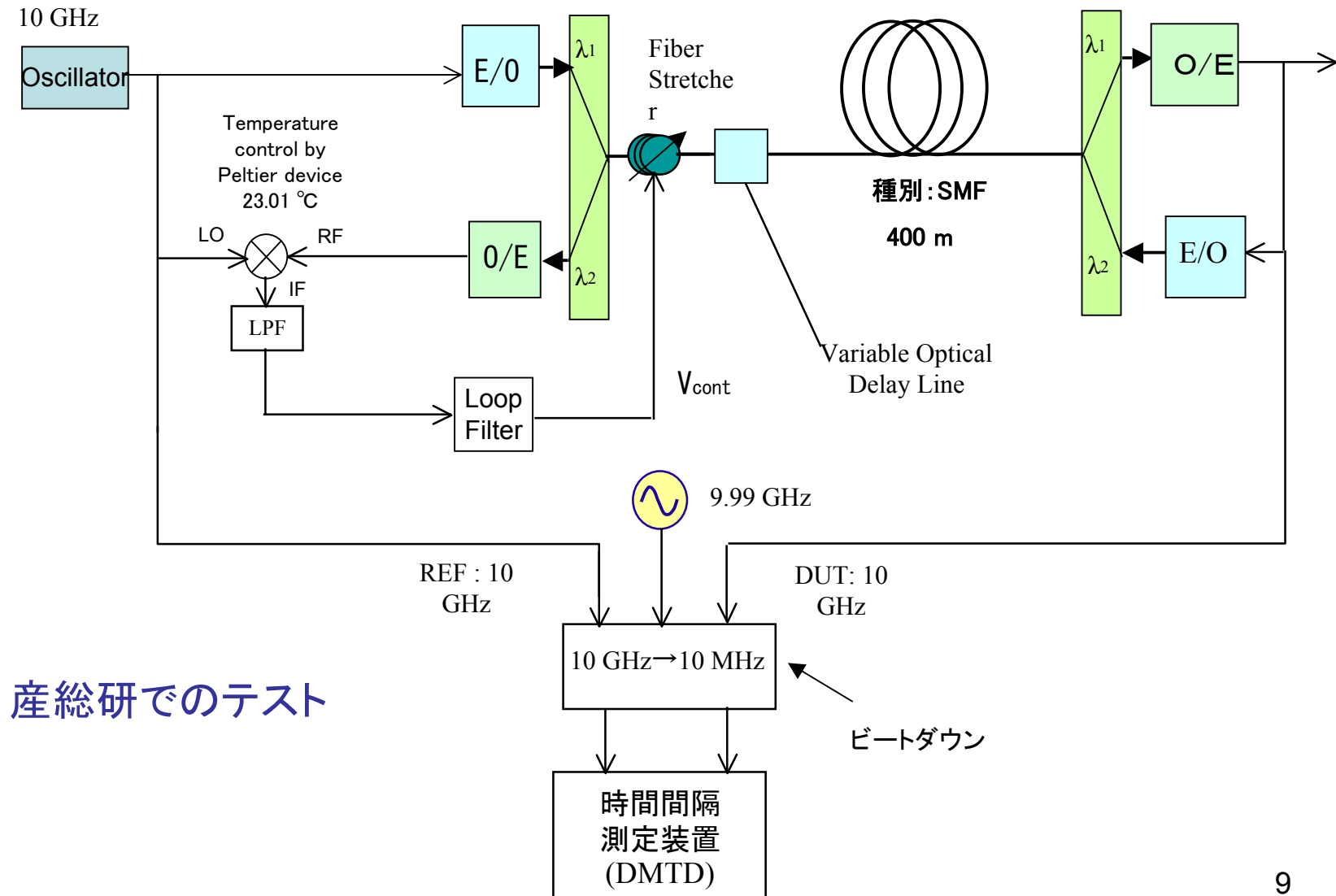


ファイバストレッチャーを用いた位相補償システム

複数信号、複数標準の多重伝送



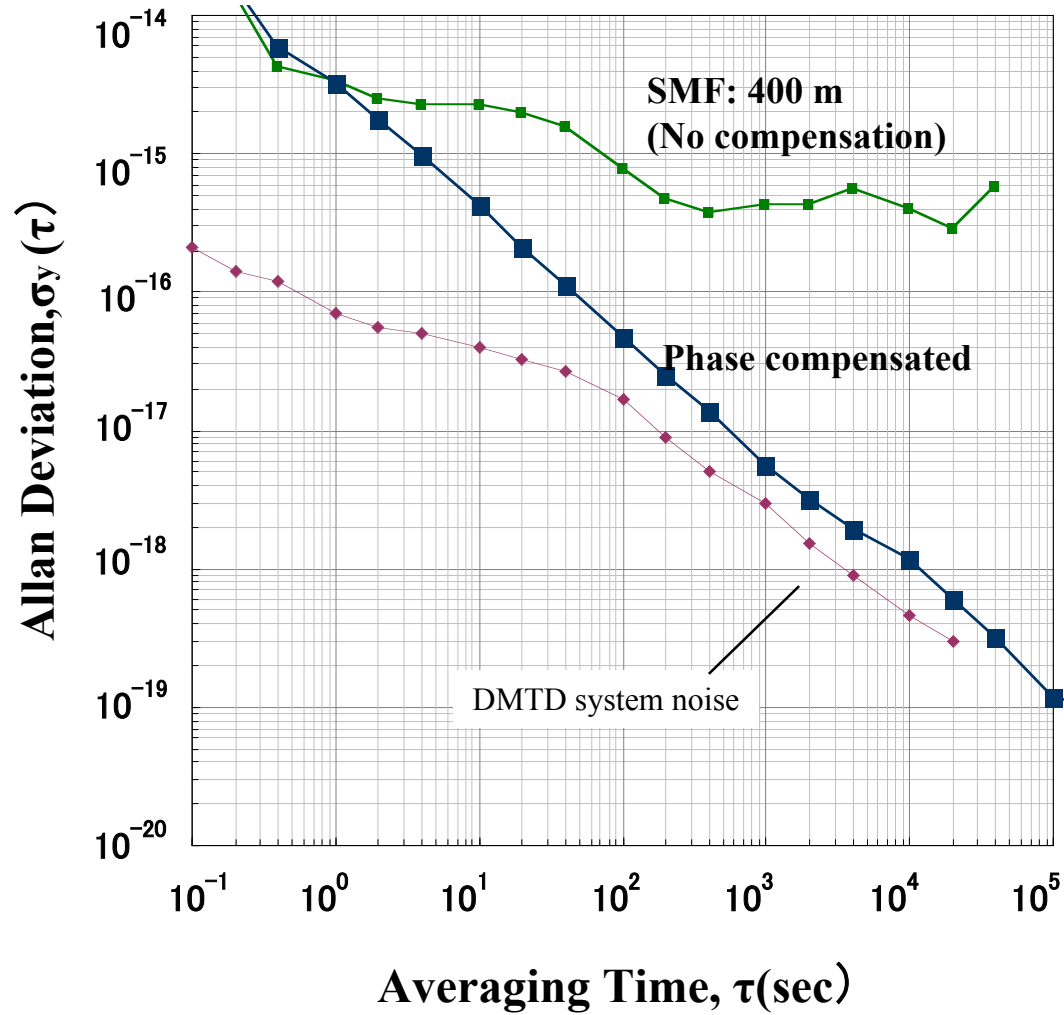
位相補償実験系 (周波数：10 GHz)



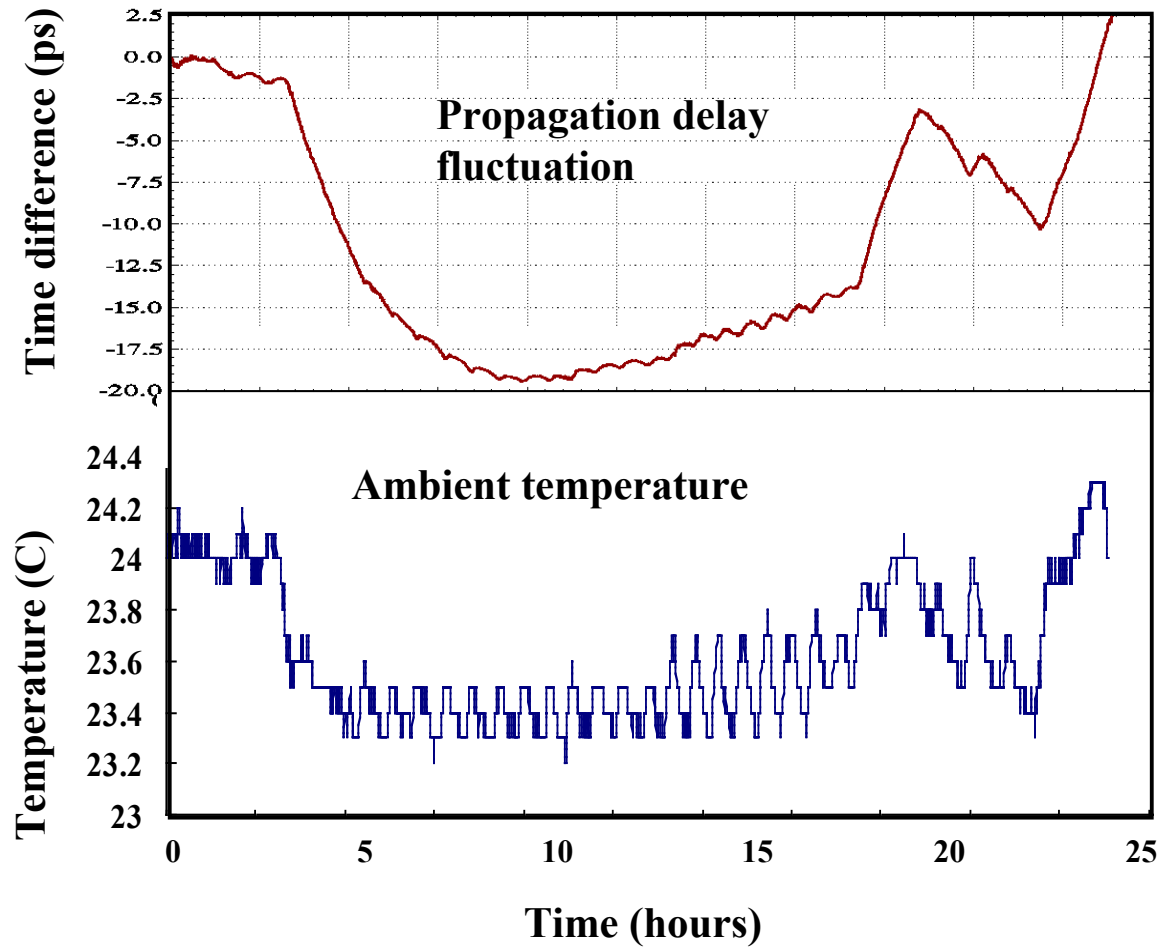
産総研でのテスト

位相補償システムの周波数安定度

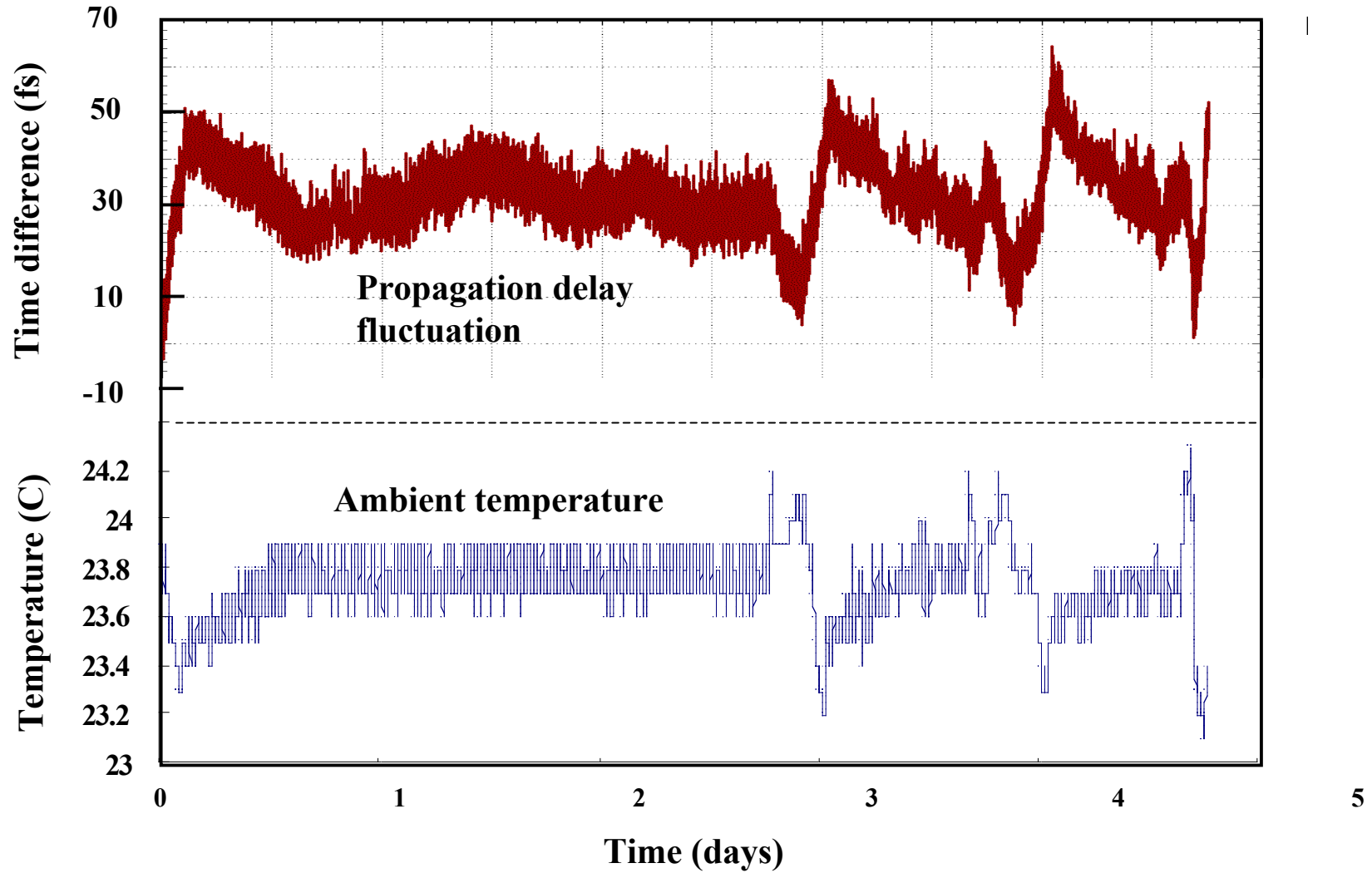
Ambient temperature
 23 ± 1 °C



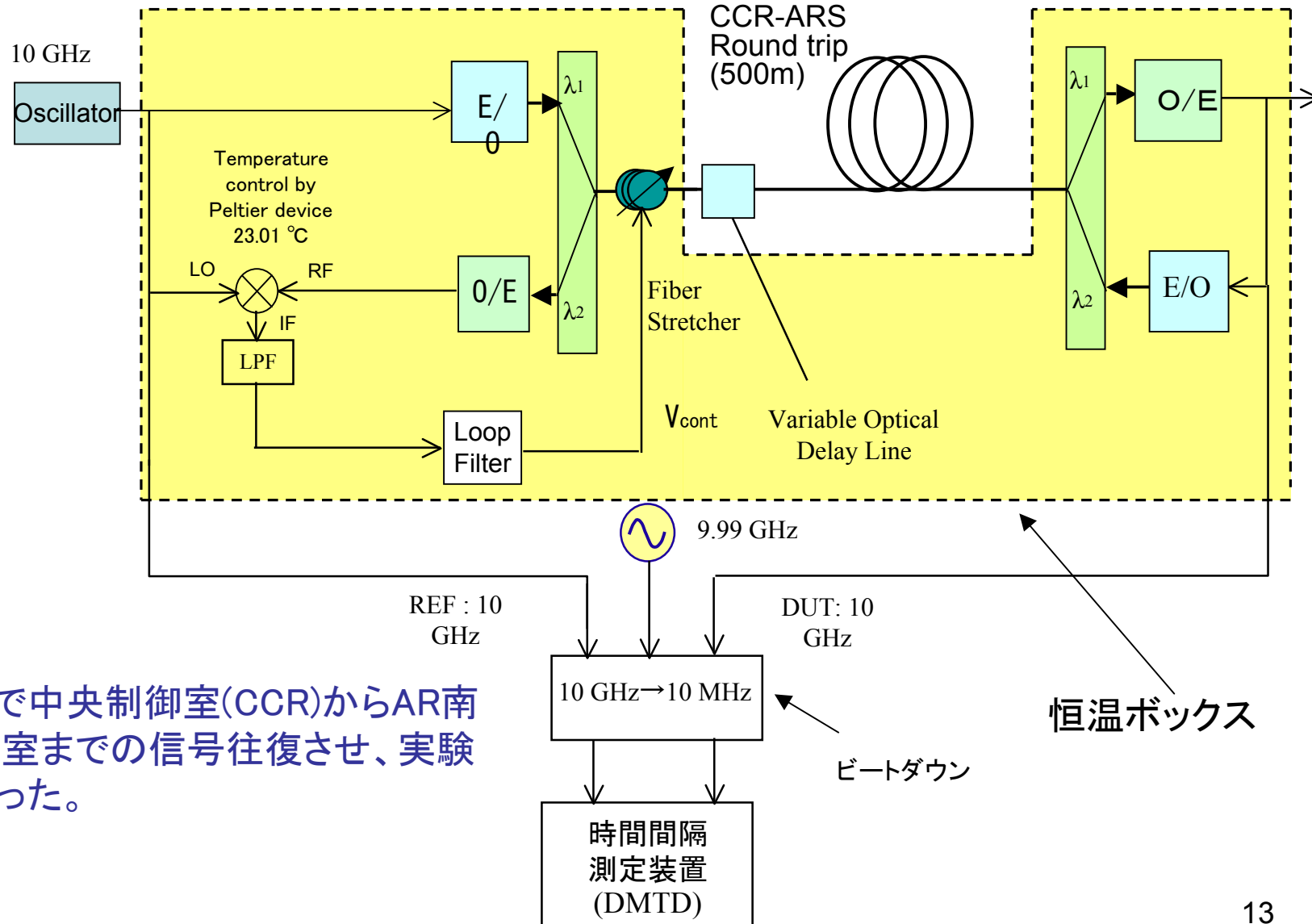
ファイバ伝播時間の変動量とファイバ周囲温度(補償無し)



ファイバ伝播時間の変動量とファイバ周囲温度(補償時)

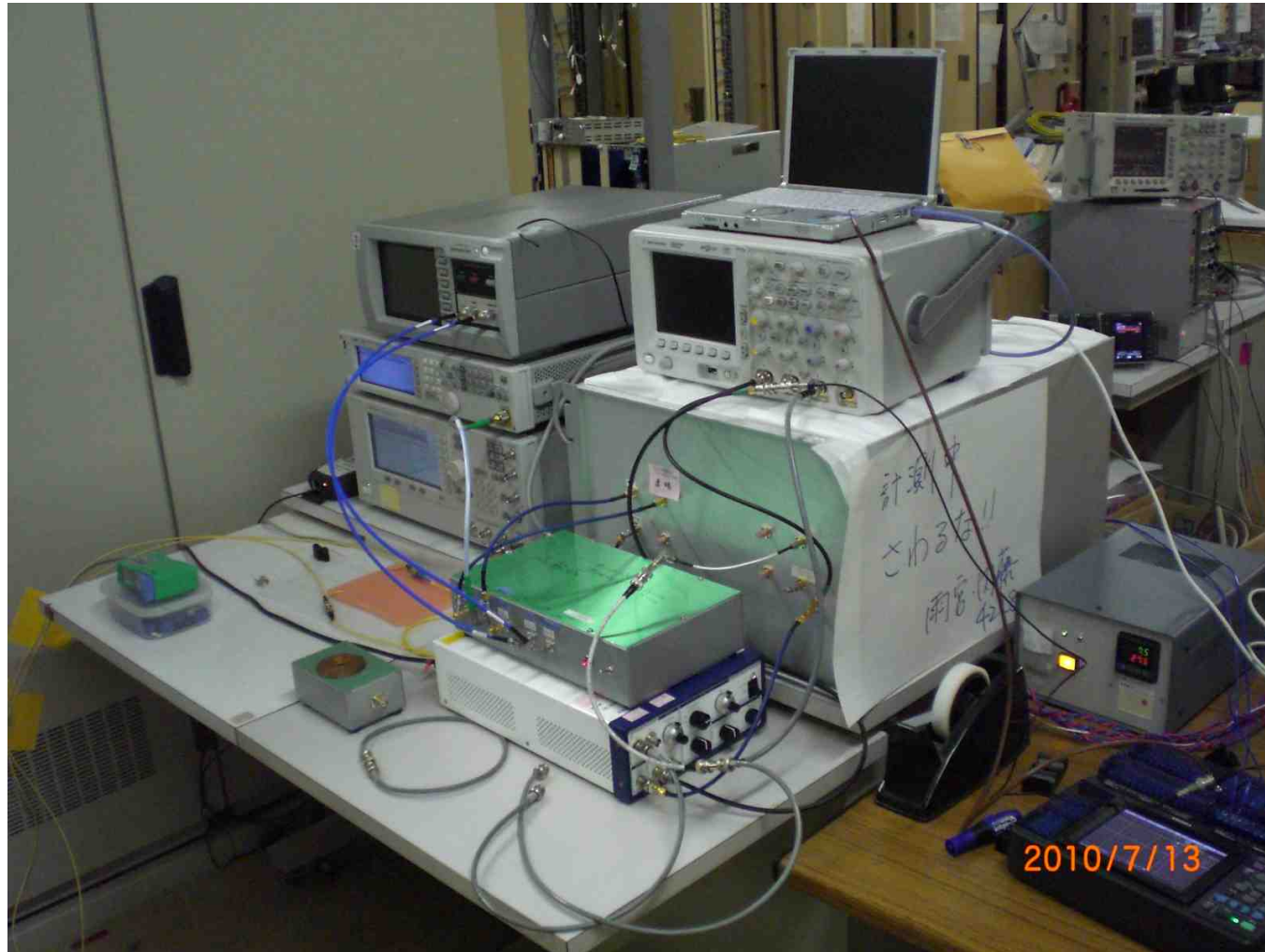


Phase stabilized fiber 500m + FB Timing at KEK

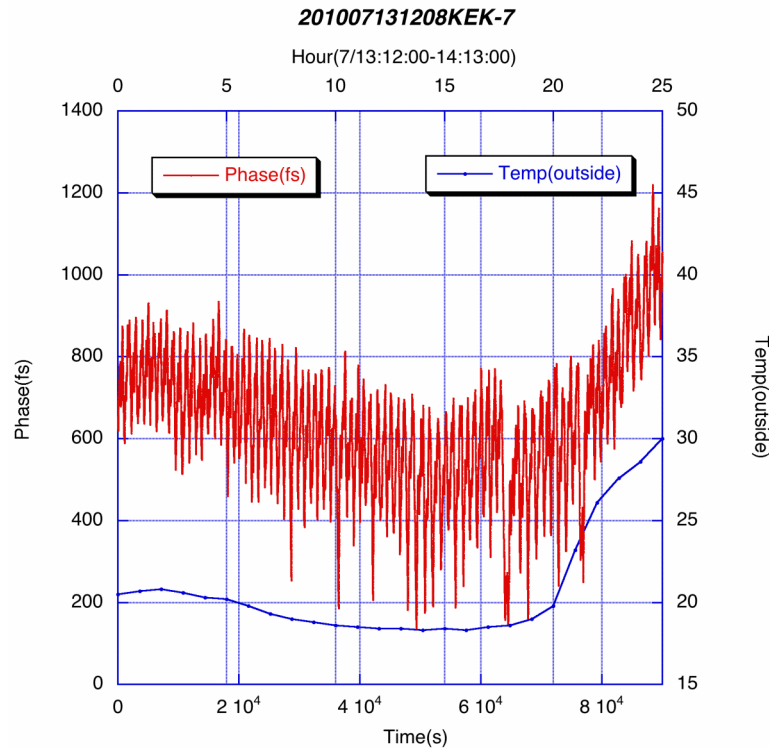


KEKで中央制御室(CCR)からAR南制御室までの信号往復させ、実験を行った。

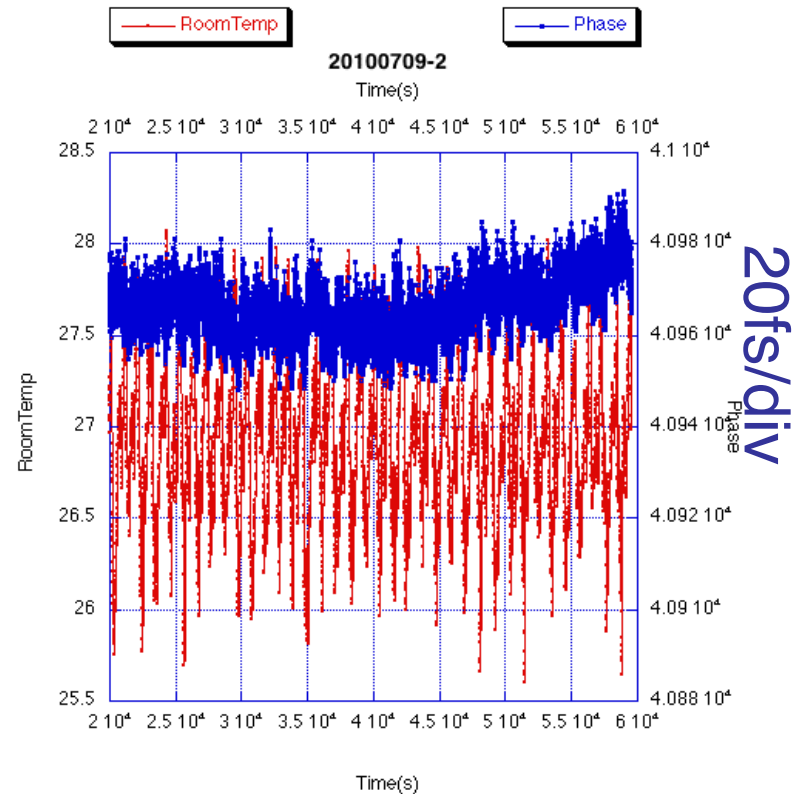
Phase stabilized fiber 500m + FB Timing(2)



Phase stabilized fiber 500m + FB Timing(3)



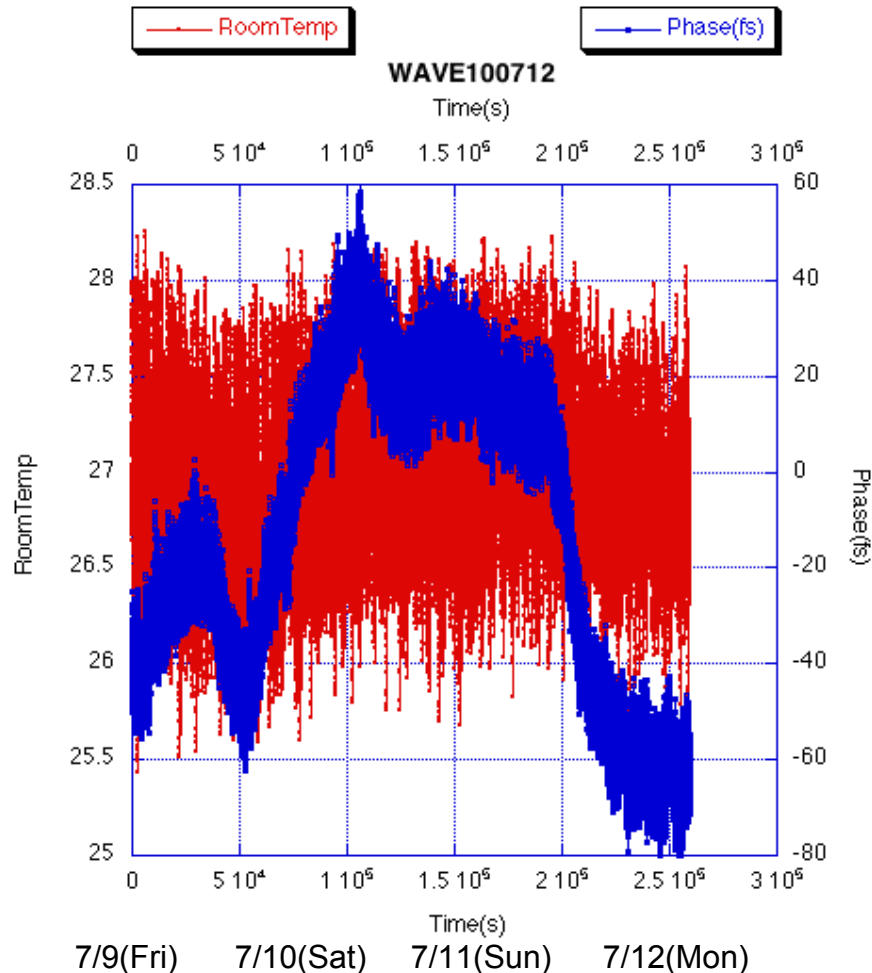
Without FB



With FB

約10時間で~40fs(P-P)の安定度が確認された。

Phase stabilized fiber 500m + FB Timing(4)

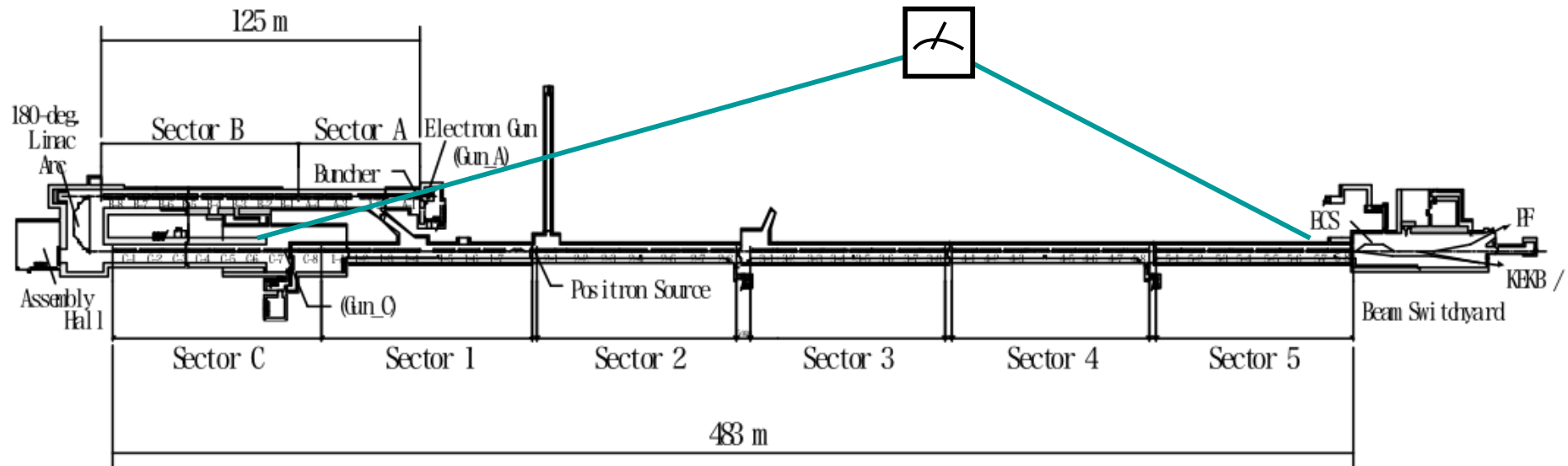


Long term drift ~ 100 fs, which have to be cured. We suspect the stability of the AC power line.

4日間の運転では ~ 100 fsのドリフトが計測された。この問題を解決すべく努力中。

4days trend

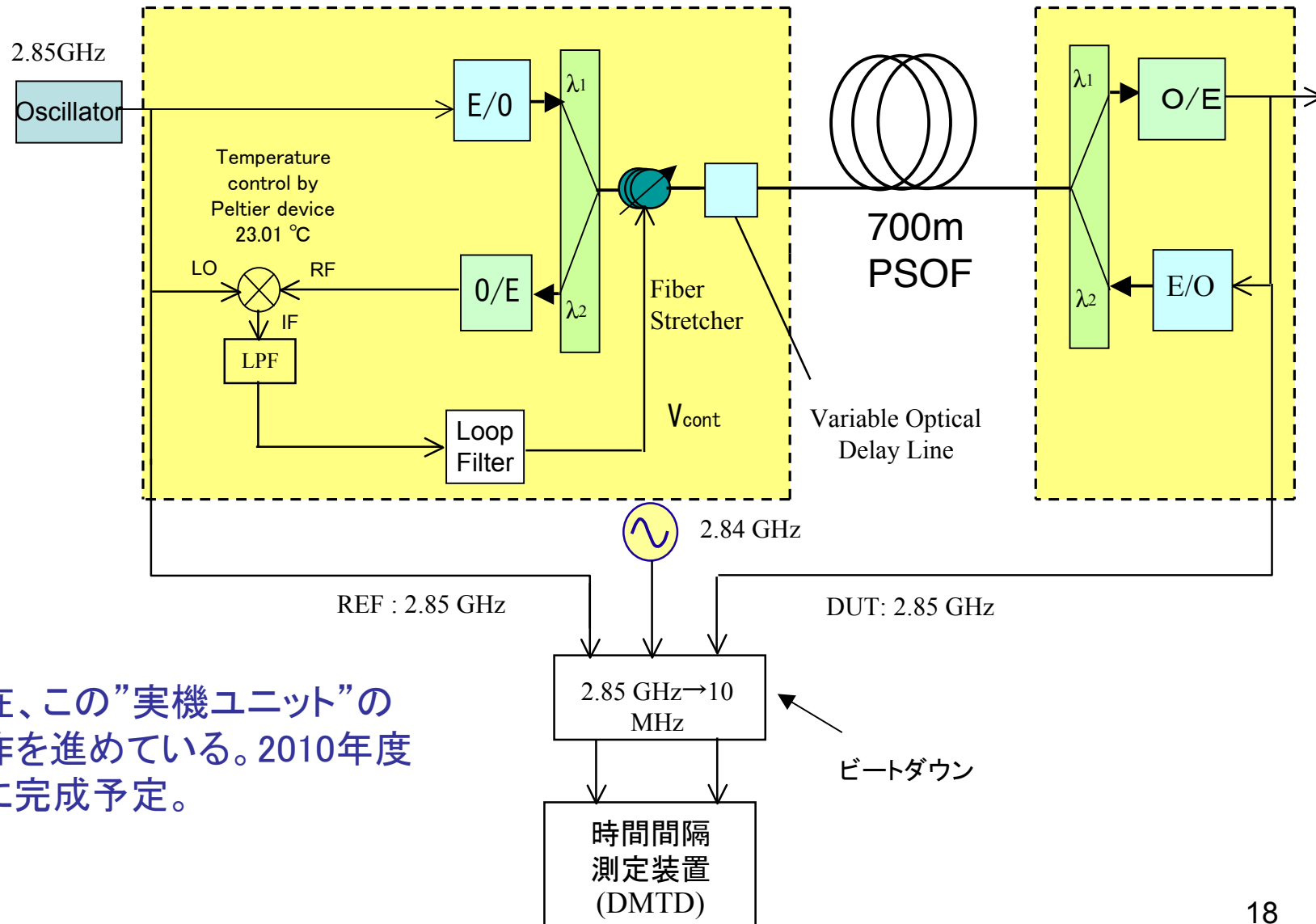
Proposal of KEKB linacRF stabilization



このシステムのアプリケーションの第一例として、400mリニアックの位相安定度計測を計画している。S-bandリニアックの基準信号は10ps以下の安定性が要求されるが、運転の経験から位相ドリフトがある様に推測される。しかし、長距離に渡り安定な基準信号がないため、どの場所でどれくらいのドリフトがあるのかを評価する手段がなかった。このシステムを使い下記のことを提案した。

- 1) 基準信号を各セクションまで伝送し、現在の基準信号と比較する。
- 2) 現在の基準信号のドリフトが明白であれば、このシステムを基準信号としてテスト運転。

KEKB Linac Test with separate Tx/Rx Unit



現在、この”実機ユニット”の製作を進めている。2010年度中に完成予定。

まとめ

- ・ 産総研との共同開発によって光ファイバを用いた基準信号伝送システムを開発している。
- ・ KEKの”うり”は、PSOFとFBの組み合わせによってより高精度に到達することが出来る。
- ・ KEKのテストでは $\sim 40\text{fs}$ (P-P)の安定度を得た。
- ・ まだ、解決すべき問題はあるが実用に供することが出来る段階に来ている。今後は、それぞれのアプリケーションに合わせた開発を進め、その結果からのフィードバックを考慮しながら到達精度を上げる努力を進めたい。