

ERLメインライナック用周波数 チューナの現状について

江並 和宏, 古屋 貴章, 阪井 寛志,
佐藤 昌史, 篠江 憲治,
梅森 健成, 沢村 勝, Enrico Cenni

2015.1.19

チューナ開発の目的・流れ

- 目的: ERL用チューナの性能確認
- 旧チューナ基礎実験による性能試験
(メカ駆動, ピエゾ駆動, 必要トルク等)
- 実機用チューナによる性能試験
(半割によるアライメント改善)
- クライオモジュールでの性能確認
(周波数調整能力)
- ビームオペレーションの結果

チューナ仕様

- 用途

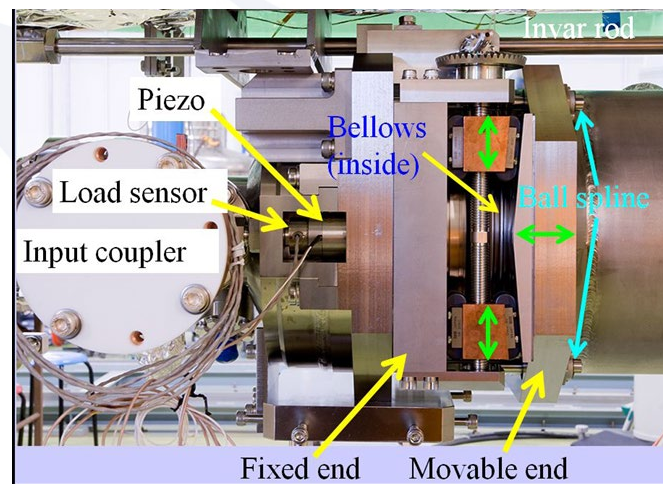
- キャビティの長さを変化させ、周波数を調整する (約300Hz/mm)

- 駆動方法

- 粗動:ねじ-スライドジャッキ 約3mm
 - 微動:ピエゾにより駆動
 - ・ 常温で 約40um (ピエゾ単体80um)
 - ・ 低温時見込み 約4um

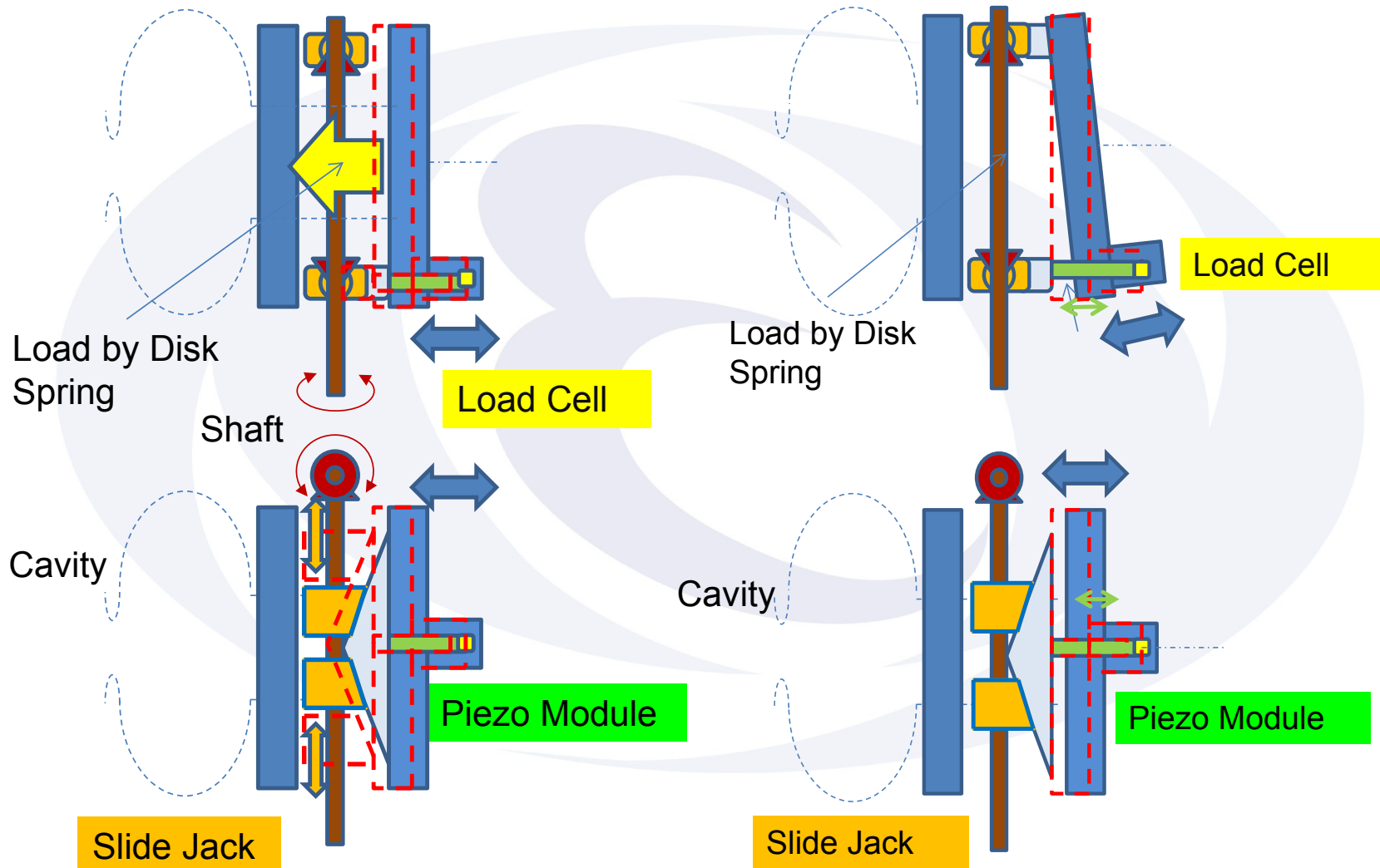
- 特徴

- キャビティには最大約1000kgfの力がかかる
 - 超伝導で使用



STFチューナ

駆動方式

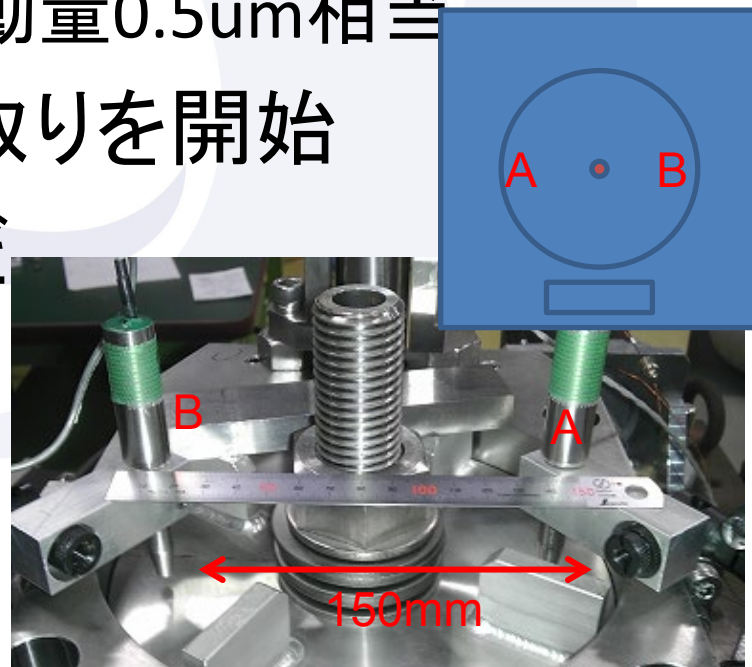


粗動: メカ駆動 (スライドジャッキ)

微動: ピエゾ駆動

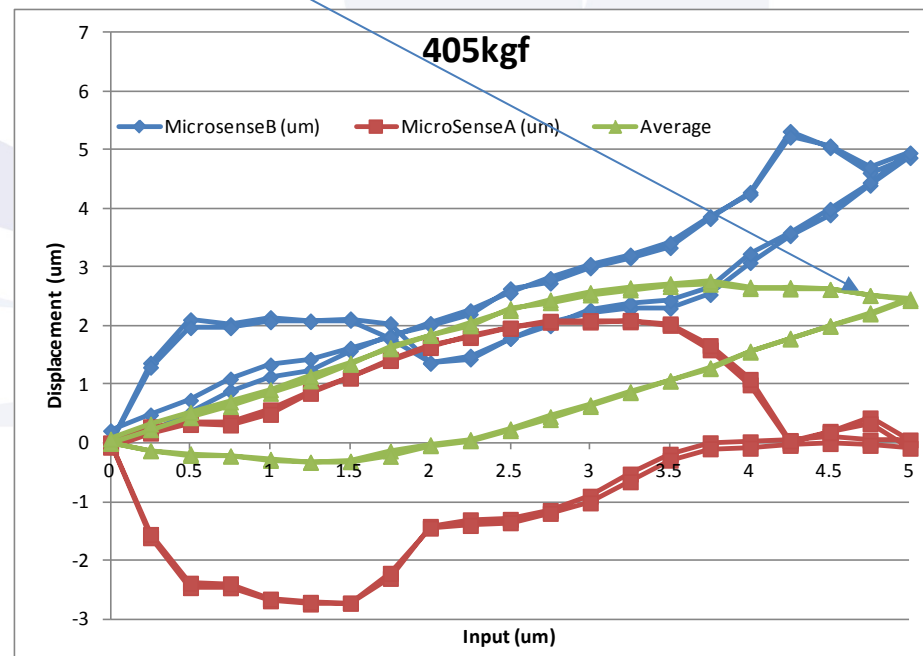
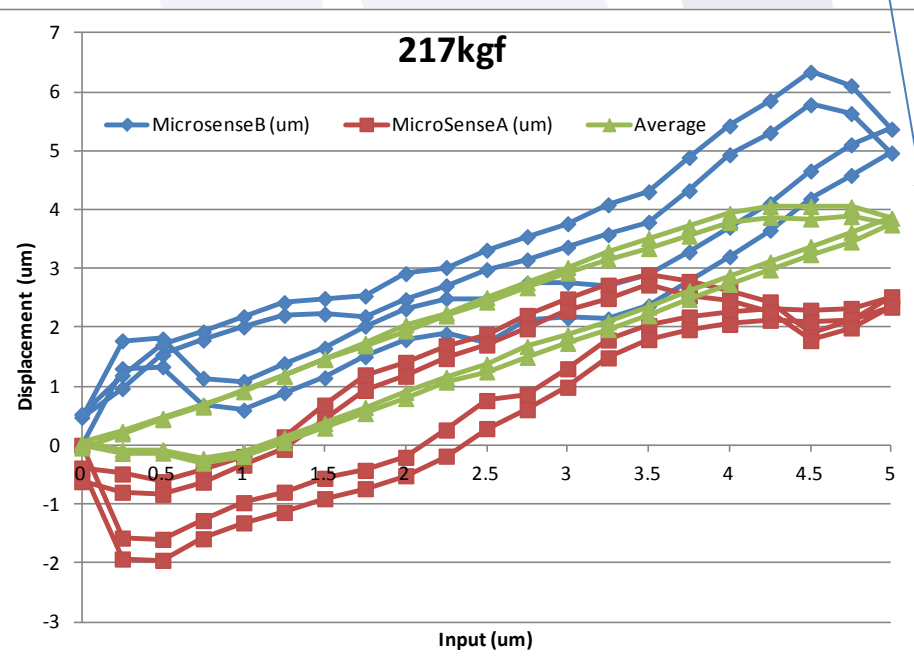
メカ駆動実験

- チューナのメカ駆動(ねじ-スライドジャッキ)の特性(動きの滑らかさ等)をみる
- 0~100pulseまで1step 5pulseで指令・往復
 - 1step = 5pulse=0.1rot, 移動量0.5um相当
- 一往復させてからデータ取りを開始
- キャビティ軸中心を挟んだ2点(A,B)で測定



Result (Average)

- 2点の平均(中心の変位)をとると, きれいなヒステリシスカーブを描く.
- 中心部バックラッシュは0.4um ピエゾ変異見込み4umに比べて小さい
- 繰り返し性をもつ



メカ駆動まとめ

項目	値	考察
変位量	2500um	端50umは挙動がおかしく利用できない. 2500umは線形に利用できる範囲. 問題ない
分解能	7° /1um	1回転72分割で問題なし
傾き	0.15mm	チューナの反対側に換算しての値. 問題ない
バックラッシ(測定) @186kgf	中央0.4um	傾きはあるが, 中央部は問題なし
ヒステリシス	10um	周波数をモニタしての制御では問題ではない.
トルク	3.8Nm	取り付け・繰り返しにより変化. 今後の課題 →実機用のアライメント改善により改良
シャフト	φ8mm	8mmでは, ねじれが生じており剛性が足りていない →実機用で改良
アライメント		→実機用で改良

ピエゾ動作評価試験

- ピエゾの動作を確認する
- 500±500V, 1Hzのサイン波を印加し変位測定.
- ピエゾ単体, チューナに組み込んだ状態で測定.
- 室温25°C, 湿度20%



ピエゾ単体



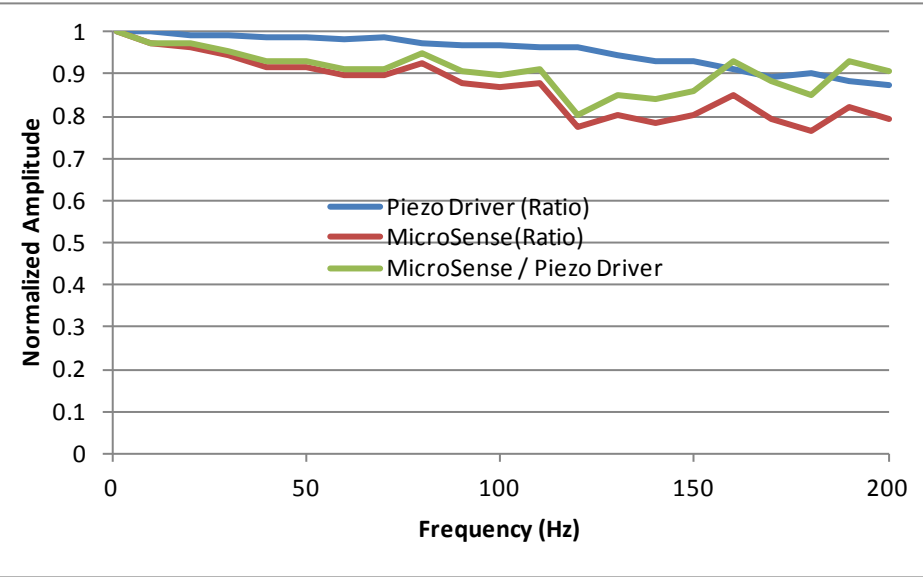
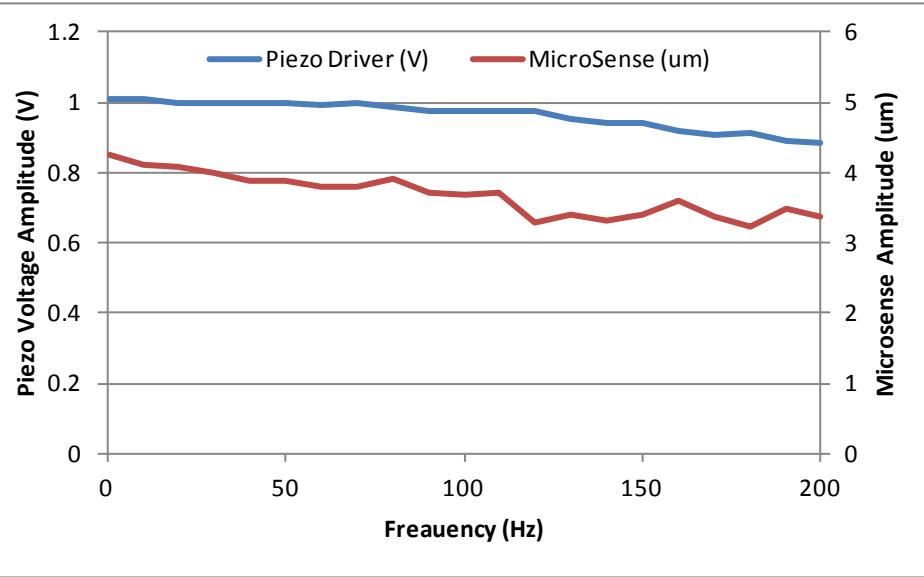
チューナ組み込み

ピエゾ変位測定結果



- 湿度20%で1000Vまで印加可能
- 振幅80umのヒステリシスカーブを描く
- チューナに組み込んだ場合, 振幅は74um

ピエゾ周波数特性測定実験



振幅

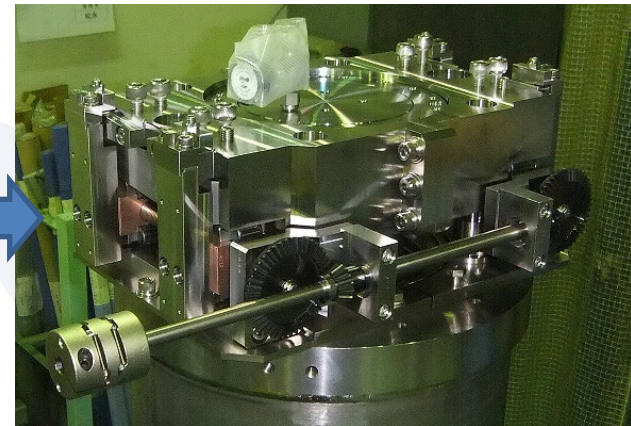
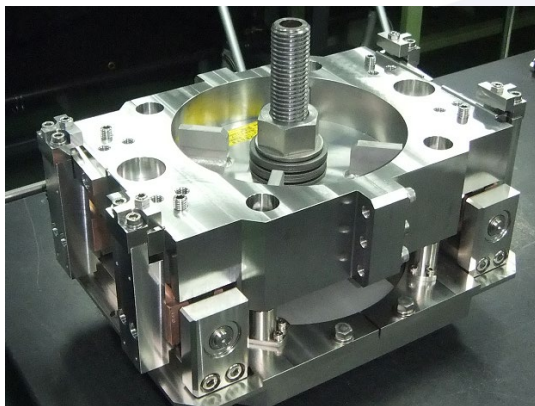
1Hzの時の振幅で正規化したもの

- ピエゾ単体に500V±50Vのサイン波を印加
- 周波数を1,10,20,...200Hzまで変化させ測定
- 200Hzまで共振なし
- 振幅は, 200Hzで80%まで低下. ピエゾドライバの低下を考慮すると90%

ピエゾまとめ

項目	値	考察
ストローク	80um	ピエゾ2個だと, チューナとしては80um. 実使用時1/10のパフォーマンスと見積もって4um
共振周波数	>200Hz	問題なし
ストローク vs 周波数	90%@200Hz	問題なし
バックラッシュ	なし	問題なし
ヒステリシス	20um	周波数をモニタしての制御では問題ではない.
放電	湿度70% 電圧700V	ピエゾ配線根元で放電. 個体差があるかどうか. →改良Verでは湿度70%で問題なし.

Tuner Improvement



アライメントの改善

予めハーフベースプレートの上でアライメントをおこなう。

これによりアライメントが向上し、容易な設置作業及び必要回転トルク低下が見込める

シャフト強化

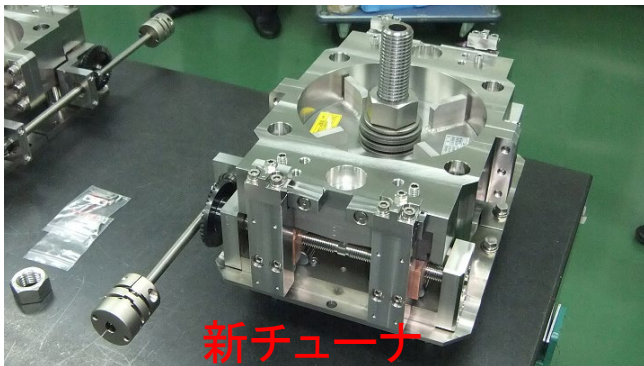
$\Phi 8\text{mm} \rightarrow \Phi 10\text{mm}$

ピエゾ多重化

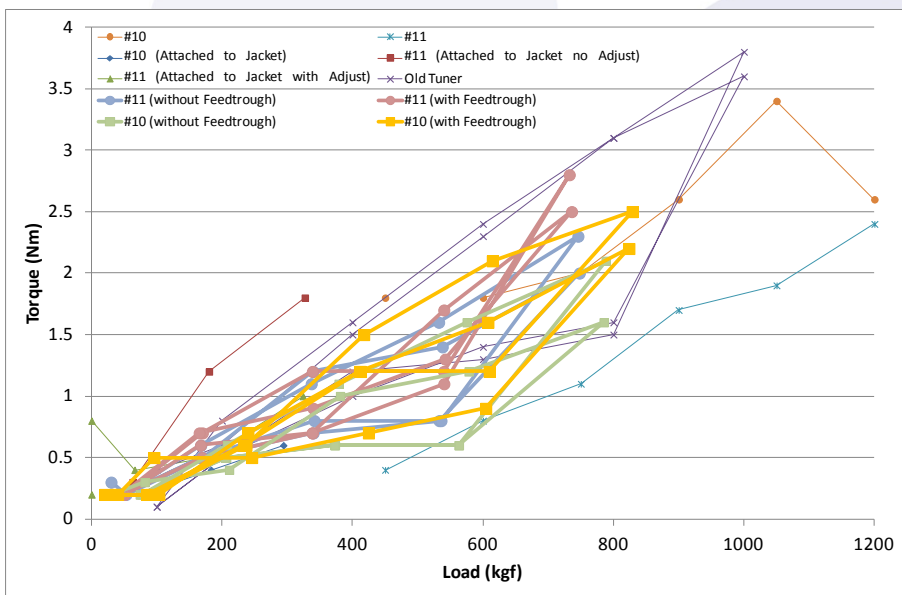
片側1個 \rightarrow 両側2個

Torque of new tuner is less than old one because of good alignment

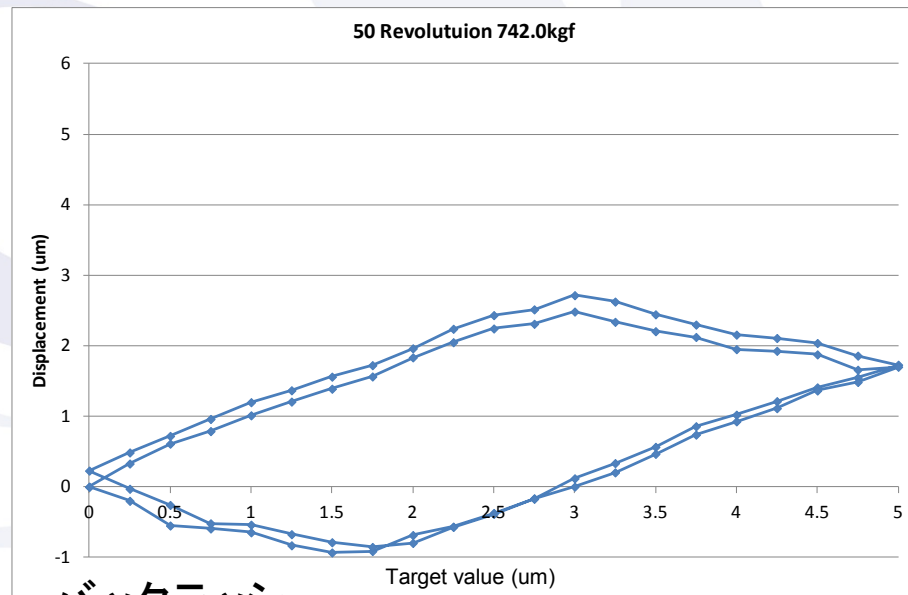
実機用チューナ評価実験



アライメントが取りやすいよう改良された新型チューナのメカ駆動部評価をおこなった。



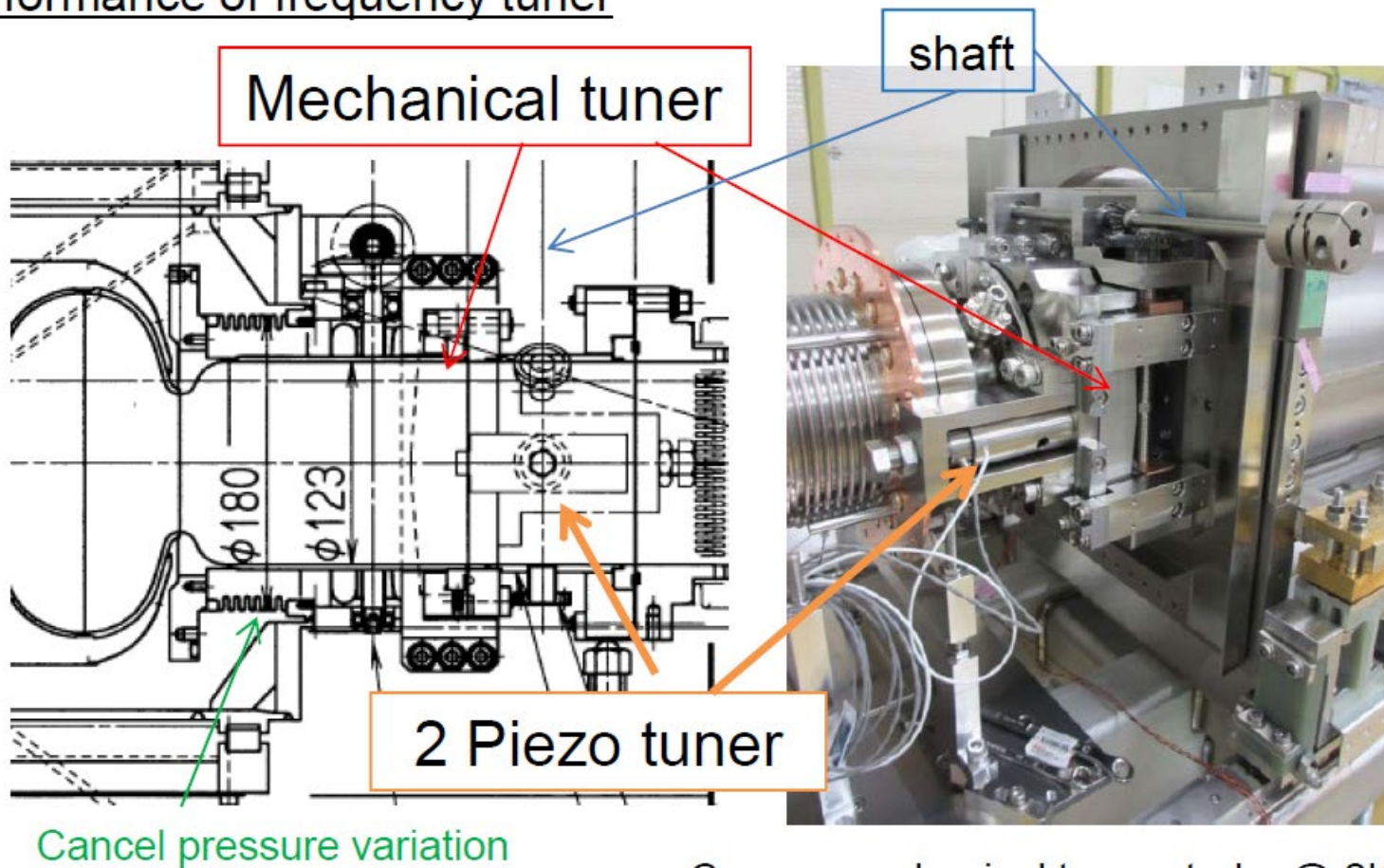
必要シャフト回転トルク
旧チューナよりトルクが減少



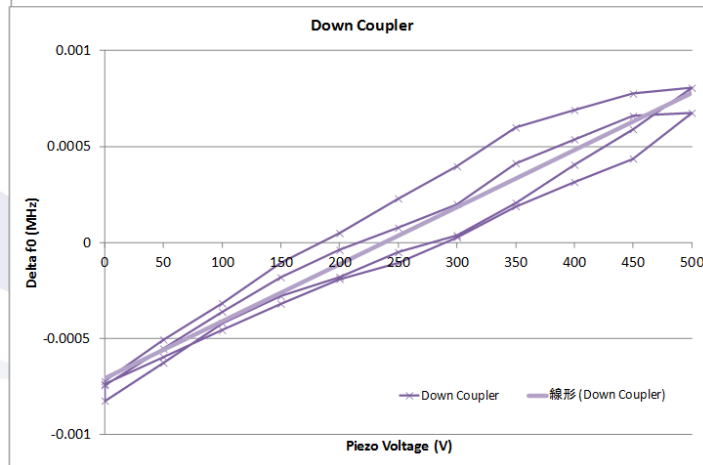
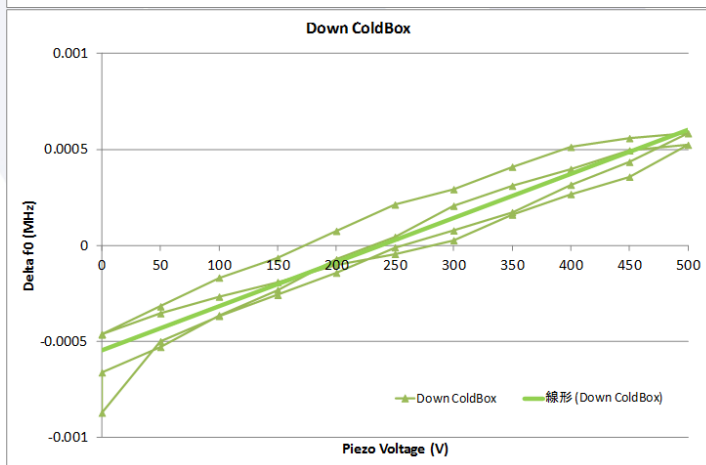
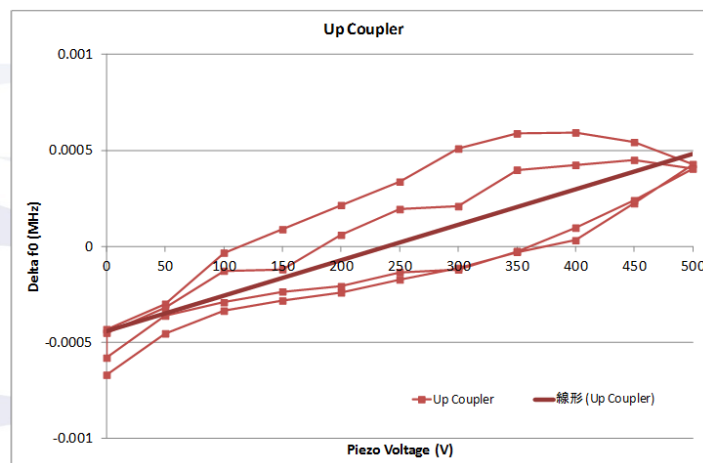
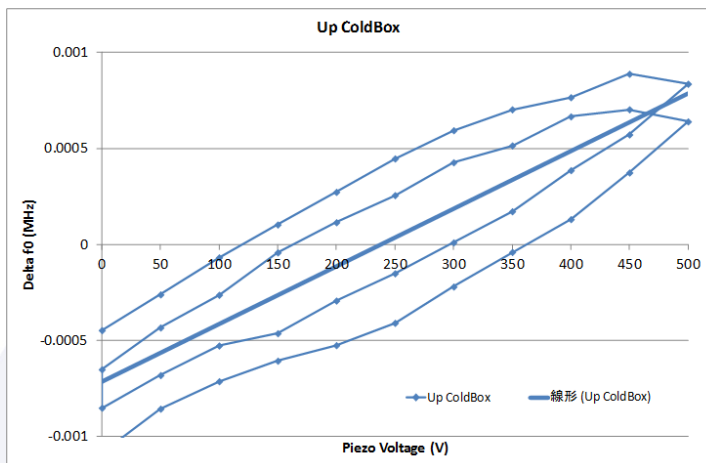
バックラッシ
最悪でも1um程度.
2um分の移動指示必要

クライオモジュールへの組込

Performance of frequency tuner



低温試験: ピエゾストローク測定



上流側空洞と下流側空洞の2チューナの低温実験 チューナ温度約30K

500Vの印加電圧で900~1600Hzのチューニングが可能

低温環境では17%~29%まで性能が低下している。

各ピエゾの低温特性(定常状態)

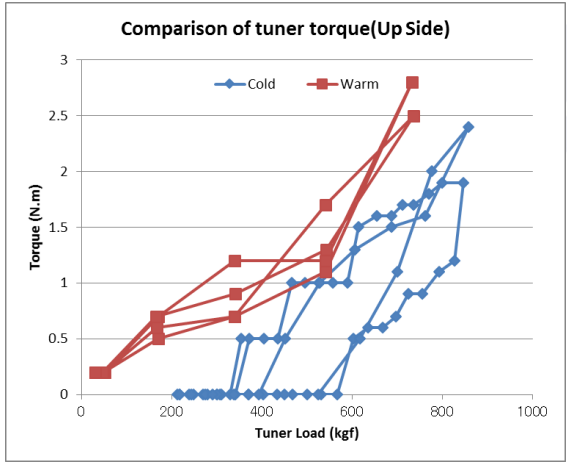
	Range MHz	Cavity MHz/V	Lord KgF	Cavity MHz/mm	Piezo mm/V	Piezo Performance
Down Coupler	1.49e-3	2.97e-6	399	0.270	22.0e-6	28%
Down ColdBox	1.14e-3	2.29e-6	405	0.270	17.0e-6	21%
Up Coupler	0.92e-3	1.84e-6	483	0.277	13.3e-6	17%
Up ColdBox	1.6e-3	3.21e-6	487	0.277	23.2e-6	29%
Normal Temperature (Nominal)					80e-6	100%

- 十分な調整域をもっている

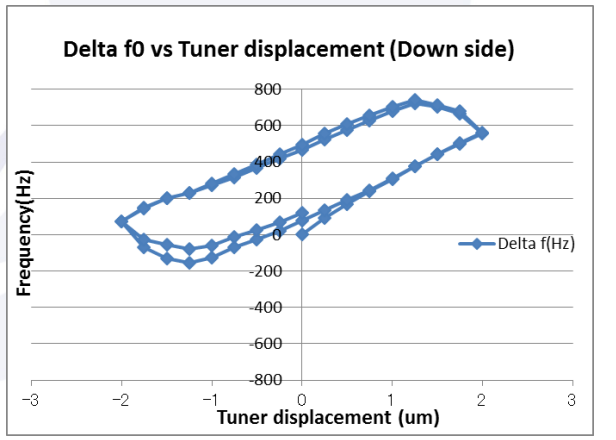
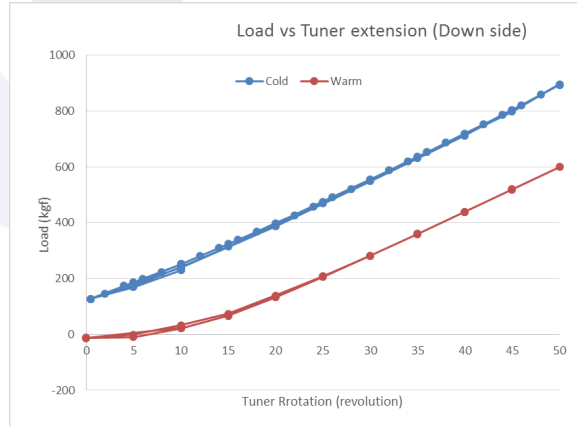
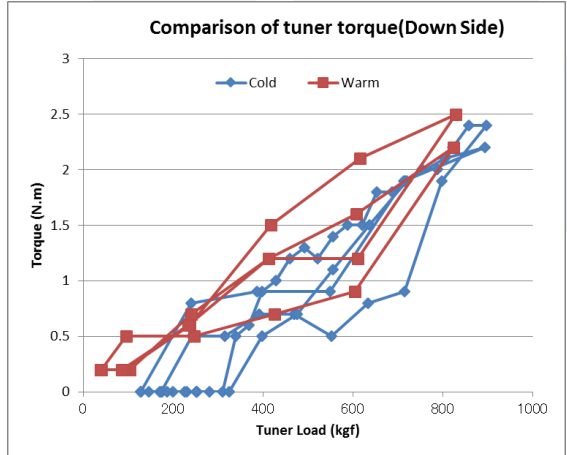
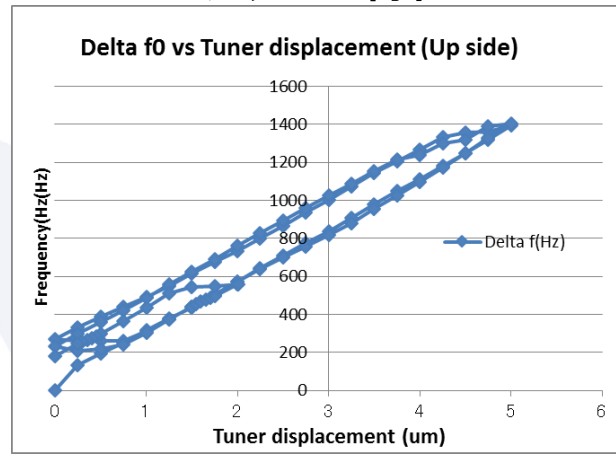
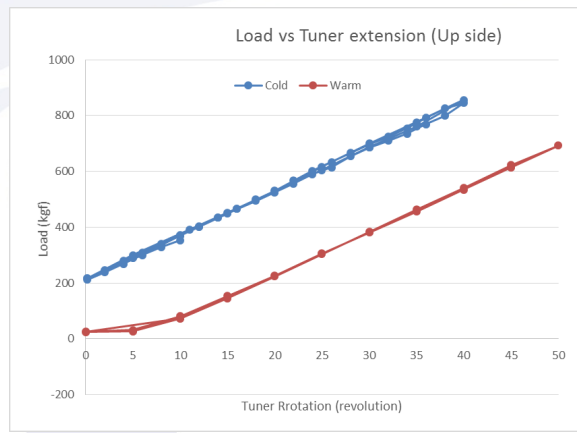
メカ駆動各種試験 (低温)

スライドジャッキ駆動
ヒステリシス特性

必要トルク



チューナにかかる荷重



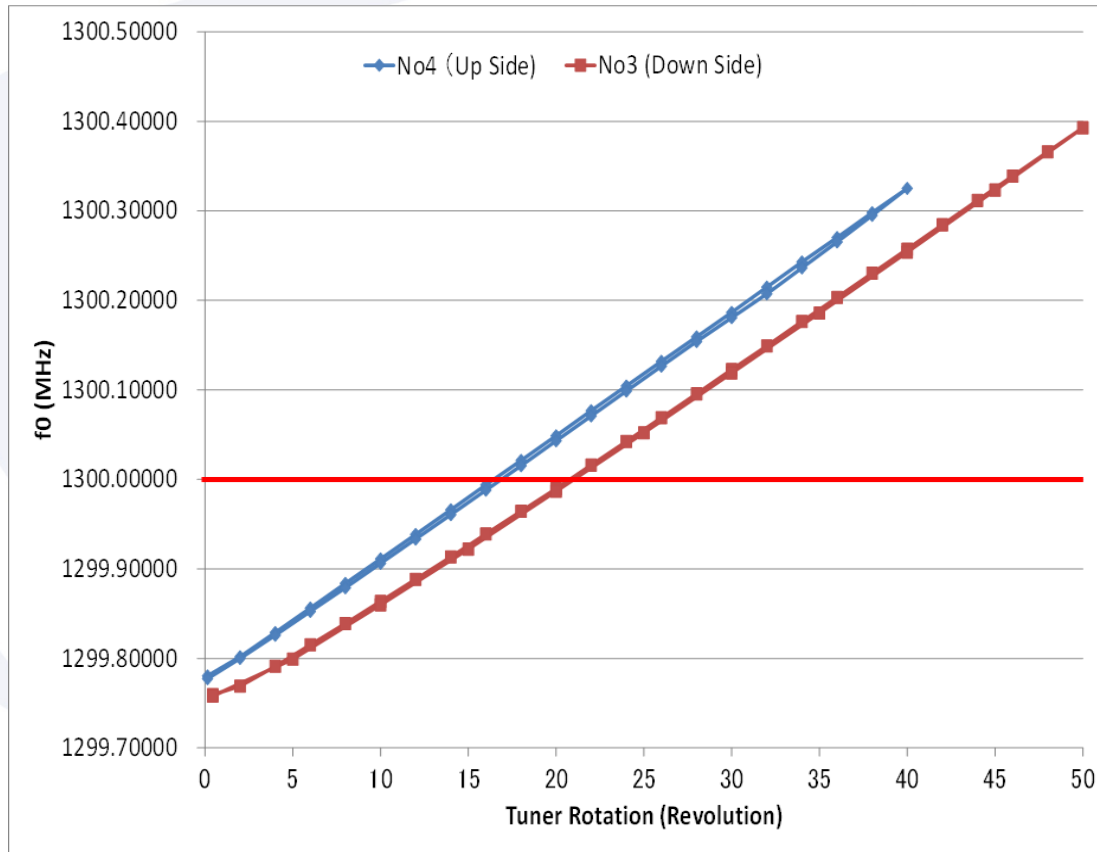
熱収縮によるトルク
増大は見られない

熱収縮により荷重は増加
するが、可動範囲内

ヒステリシスはあるが滑ら
かに動作している

低温時の駆動に問題はない

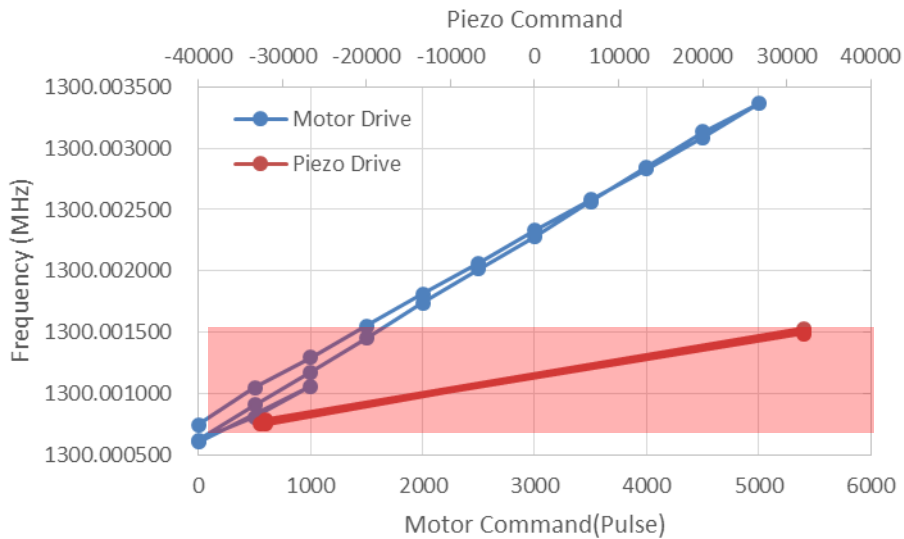
低温環境で目標周波数に到達



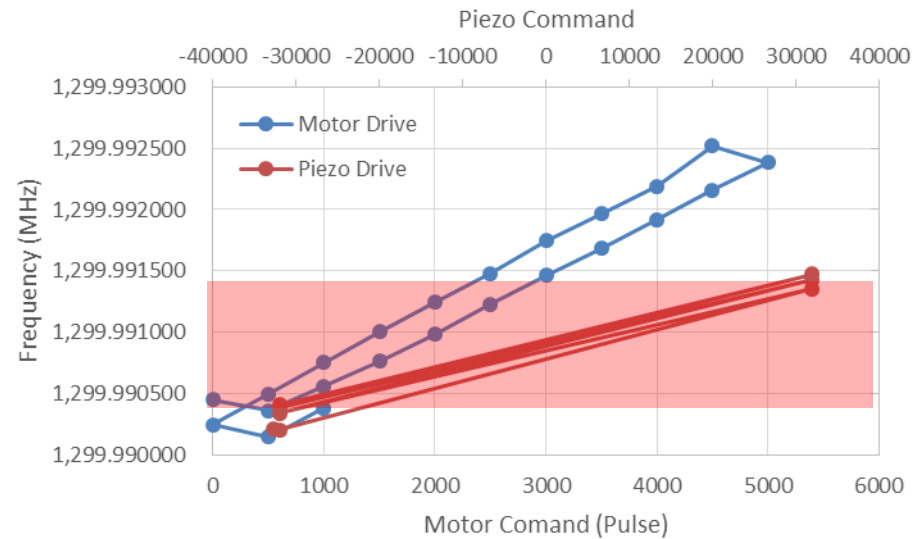
両空洞とも、1300MHzをメカ駆動で通過している

メカ駆動分解能

F0 Vs Motor Command and Piezo Command(Upper Side)



F0 Vs Motor Command and Piezo Command(Down Side)



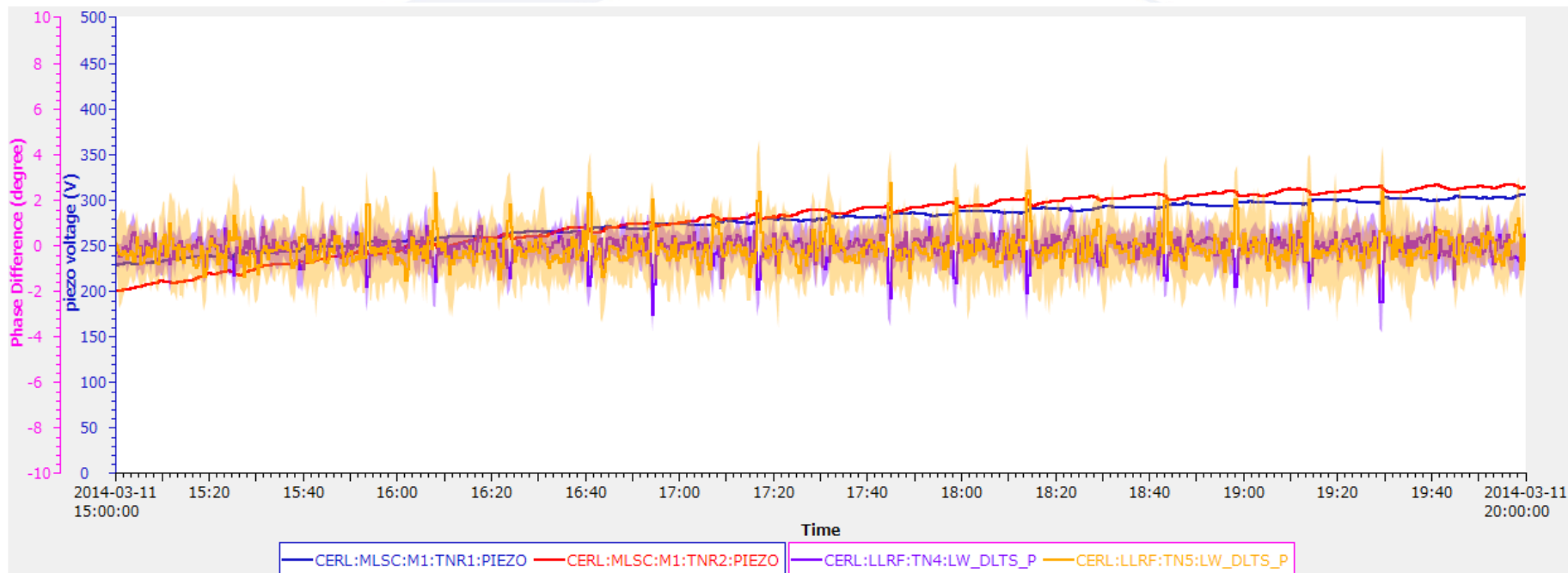
- **ピエゾ駆動域内にメカ駆動で調整可能**

チューナ性能評価結果

Table 1 Result of experiment

	Frequency vs Extended Length (MHz/mm)	Spring Constant (kgf/mm)	Max Frequency (MHz)	Min Frequency (MHz)	Max Mechanical Tuning Range (MHz)	Piezo Tuning Range (MHz)		Max Torque (Nm)
						Coupler	ColdBox	
Down Side	270	332	1300+0.39	1300-0.24	0.63	1.49e-03	1.14e-03	2.5
Up Side	277	317	1300+0.33	1300-0.22	0.55	9.20e-04	1.60e-03	2.5

ビームオペレーション結果

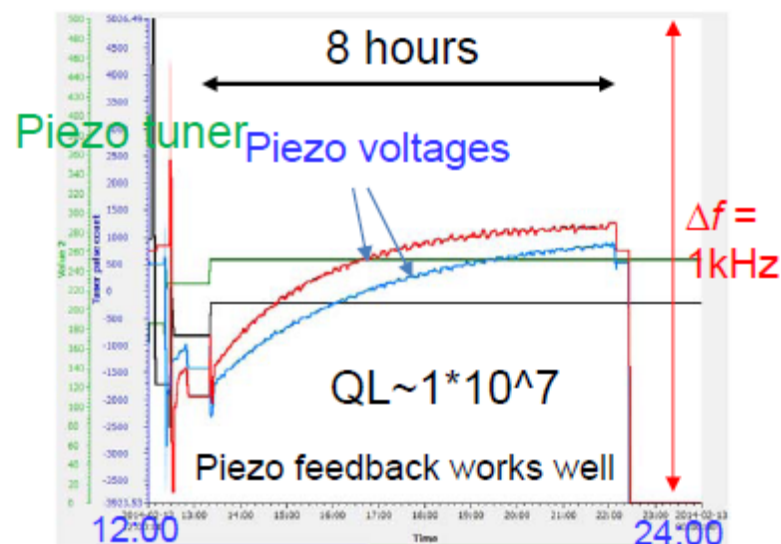
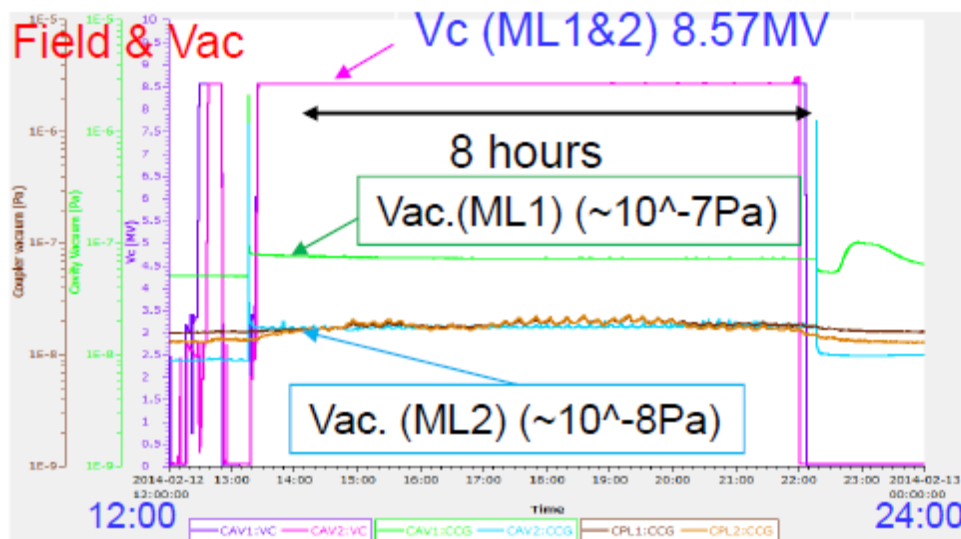


位相振動は物理的チューニングにより ± 3 度に抑えられている。
これは周波数 $\pm 3.4\text{Hz}$ に相当し、チューナ変位量 20nm に相当する
デジタルチューニングにより最終的に 0.02 度RMSに抑えられている。

運転状況

- ピエゾ駆動フィードバックにより安定運転

Main linac



ERLチューナ結果

- 旧チューナ基礎実験による性能試験
 - 基本性能問題なし
 - シャフト・アライメント・ピエゾに改善点あり
- 実機用チューナによる性能試験
 - 問題なし
- クライオモジュールでの性能確認
 - 1300MHzへの調整問題無し
- ビームオペレーションの結果
 - 位相安定:問題なし

現状のERL ML用チューナ

- 運転に使用できる
 - 周波数調整域
 - レンジ
 - 分解能
 - 荷重・アライメント
- 注意すべき挙動
 - メカ駆動のバックラッシュ
- 改良事項
 - バックラッシュ削減
 - 軽量化
 - アライメント・取付の改善