

## ERL Main Linac 実機用チューナの低温特性試験

### PERFORMANCE EVALUATION OF KEK ERL MAIN LINAC TUNER

江並 和宏 <sup>#,A)</sup>, 古屋 貴章 <sup>A)</sup>, 阪井 寛志 <sup>A)</sup>, 佐藤 昌史 <sup>A)</sup>, 篠江 憲治 <sup>A)</sup>,  
梅森 健成 <sup>A)</sup>, 沢村 勝 <sup>B)</sup>, Enrico Cenni <sup>C)</sup>

Kazuhiro Enami <sup>#,A)</sup>, Takaaki Furuya <sup>A)</sup>, Hiroshi Sakai <sup>A)</sup>, Masato Sato <sup>A)</sup>, Kenji Shinoe <sup>A)</sup>,  
Kensei Umemori <sup>A)</sup>, Masaru Sawamura <sup>B)</sup>, Enrico Cenni <sup>C)</sup>

<sup>A)</sup> KEK, High Energy Accelerator Research Organization

<sup>B)</sup> Japan Atomic Energy Agency (JAEA)

<sup>C)</sup> The Graduate University for Advanced Studies

#### Abstract

cERL project is now progressing. We are carrying on R&D for cERL main linac consisted of 1.3GHz superconductive cavity. We evaluate slide jack tuner, which is component part of cryomodule. KEK ERL main linac tuner has 2 mechanism to tune frequency. One is slide jack mechanism that tunes roughly and the other is piezo mechanism that tunes finely. We carried out basic experiment and cold experiment. We finally confirmed that slide jack tuning system can tuning to target frequency 1.3GHz.

#### 1. 緒言

現在, ERL (3GeV クラス) の要素技術・測定技術を獲得するために, compact ERL (35~200MeV) の開発が進められている (Fig.1) . その一環として, 我々は1.3GHz 超伝導空洞からなる compact ERL Main Linac のクライオモジュール製作に向けて R&Dを進めている (Fig.2) , 本報ではその構成部品の一つである KEK スライドジャッキチューナの低温特性試験をおこなった. 特性試験用のモデルチューナを用いて, 駆動に関して基本的な要求仕様を満たしている事といくつかの改善点を確認した.

これらの結果を元に, 実機用チューナでは compact ERL での使用に適応した装置改善をおこなった. 実機用チューナの基本特性試験及びモジュールに組み付けての低温実験をおこない, 目標周波数 1.3GHz にチューニング可能であることを確認することを目標とする.

#### 2. KEK スライドジャッキチューナの構成

compact ERL Main Linac クライオモジュールでは, 超伝導加速空洞のチューナとしてスライドジャッキ方式を採用している. これは, ピエゾ素子による微調整とスライドジャッキのメカ駆動による粗調整をおこない, キャビティの全長を弾性変形により変化させてチューニングをおこなうシステムである. 高剛性という利点を持っており, STF における運用実績がある<sup>[1]</sup> (Fig.3) .

compact ERL Main Linac の運転中はピエゾ機構で微調整をおこない, ピエゾ調整域への粗調整をスライドジャッキ機構で行う. 加速空洞の周波数  $f_0$  は, その全長の変動に対し約 280kHz/mm の割合で変動する. ピエゾ駆動は後述するように低温時に 4 $\mu$ m のス

トロークを見込んでいる. そこで, スライドジャッキにより 4 $\mu$ m 以内に粗調整する必要がある.



Figure 1 compact ERL

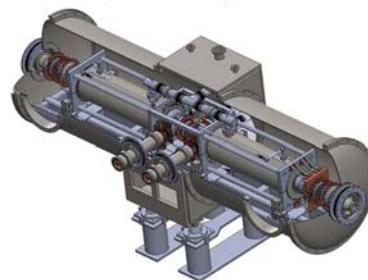


Figure 2 CryoModule

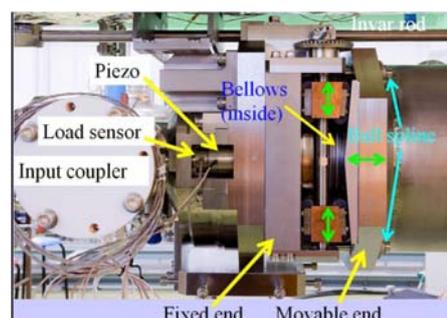


Figure3 KEK Tuner at STF

# enami@post.kek.jp

## 2.1 スライドジャッキ機構

Fig.4 にスライドジャッキ機構の構成を示す。物理的可動域は最大3mmである。動力伝達にかさ歯車を使用するため、バックラッシや動作の不連続性、トルクが機能に影響しない事を確認する必要がある。

## 2.2 ピエゾ機構

Fig.5 にピエゾ機構の構成を示す。素子単体のストロークは常温で 80um である。片側駆動のため、空洞の伸長量は 40um となる。低温による素子の特性が 10%まで低下すると見込み、低温では 4um の調整域を目標とする。ヒステリシスや低温による性能低下が問題となる。

## 2.3 モデルチューナを用いた基礎実験

STF で実績のあるチューナを ERL 用にモディファイしたものをモデルチューナとして基礎実験をおこない、組付前のデータを収集し、実機用チューナへの改善点を調査した。この結果、基本的な要求仕様を満たしている事を確認するとともに、アライメントの容易化や一部機械剛性の向上、ピエゾの絶縁能力向上といった改善点を示した<sup>[2]</sup>

## 3. 実機用チューナ

モデルチューナの評価実験に基づき cERL 用に開発した実機用チューナについて、スライドジャッキ部の評価実験をおこなった。チューナを Fig.6 に示す。

モデルチューナは動力伝達軸同士のアライメントをジャケットへの組付時に行うのに対し、実機用チューナは半割ベース上で予め軸同士のアライメントを行なってからベースごとジャケットへ取り付ける。このためアライメントが容易になり、モデルチューナより低トルク特性が期待される。

単体時、ジャケット組付時、単体に真空回転導入端子を介した時のトルクを Fig.7 に示す。モデルチューナ単体よりもトルクが減少している。

写真ではピエゾは設置されていないが、実機では 2 個のピエゾが設置される。1 個は予備とし、モデルチューナ同様 1 個のチューナで駆動をおこなう。

## 4. 実機用チューナ低温実験

### 4.1 スライドジャッキ実験

実機用チューナの低温試験をおこなった。冷却状態でスライドジャッキを駆動して空洞を伸長させ、周波数  $f_0$  を測定した。結果を Fig 8 に示す。

上流側、下流側空洞共に目標周波数 1.3GHz を通過しており、目標周波数にチューニング可能であることを示した。トルクの常温と冷却時の変化を Fig.9 に示す。冷却によるトルク増大は認められなかった。微調時の周波数の挙動を Fig.10 に示す。250Hz 程度の周波数変化の逆転が見られる。逆転域を通過すれば 1step の移動量は 100Hz 以下であり、周波数調整が可能である。この値に比べてピエゾ調整域が十分大きければスライドジャッキは粗調整の機能を満たすことになる。

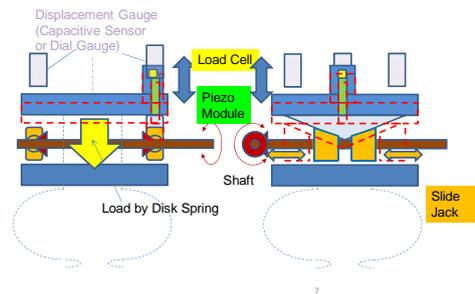


Figure 4 Slide jack mechanism

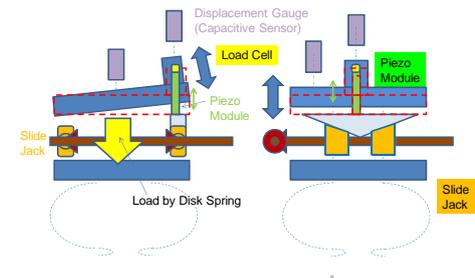


Figure 5 Piezo drive system



Fig.6 Tuner attached to a jacket

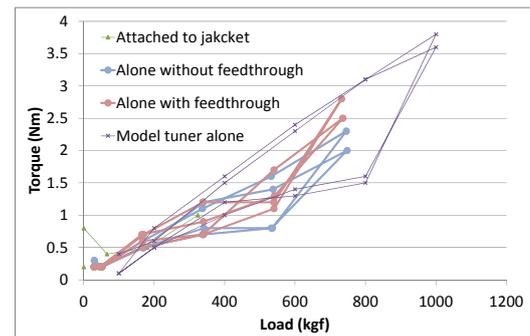


Figure 7 Torque of tuner

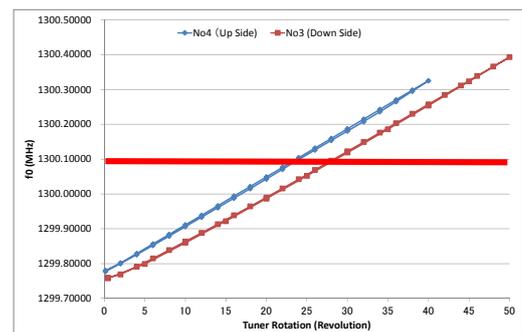


Figure 8 Frequency of down side cavity

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

Table 2 Piezo performance at low temperature

	Range (MHz)	Cavity (MHz/V)	Lord (KgF)	Cavity (MHz/mm)	Piezo extension (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%

4.2 ピエゾ実験

ピエゾ駆動による周波数変動域の測定実験をおこなった。前述のように 1 個のチューナにピエゾは 2 個取り付けられており、それぞれ“冷凍機側”，“カプラ側”と呼ぶ。素子には最大 1000V 印加可能であるが、安全のため 500V まで印加した時の周波数変化量を測定した。下流側空洞の冷凍機側ピエゾの結果を Fig.11 に示す。この時約 1140Hz の調整域を持つ事がわかる。この値は前述のスライドジャッキの調整能、反転域と比較して十分大きく、スライドジャッキ粗調整、ピエゾ微調整が可能であることが確認できた。実験結果を Table 1 に示す。

また、Table2 に各ピエゾによるチューニングの低温時の特性低下を示す。ピエゾアクチュエータの性能は常温時の 17~29%まで低下している。これは見込んでいた 10%より良好で、使用に問題はない。この性能低下はピエゾ素子単体の性能低下だけでなく、ピエゾ変位を空洞の伸長に伝達する機構が熱収縮により低下している可能性がある。

5. まとめ

cERL 用に改善された実機用チューナの基本特性を確認した。ついで低温実験をおこない、スライドジャッキ機構、ピエゾ駆動共に要求を満たし、装置全体として所定の目標周波数に設定できることを示した。今後、ヒステリシスやバックラッシュなど細かい挙動のメカニズムを解明することでさらなる性能向上や他のチューナ設計の指針としたい。

参考文献

[1] Y. Yamamoto et al.: Experimental Result of Lorentz Detuning in STF Ppase-1 at KEK-STF, SRF 2009.  
 [2] Kazuhiro Enami, Takaaki Furuya, Hiroshi Sakai, Masato Sato, Kenji Shinoe, Kensei Umemori, Masaru Sawamura, Enrico Cenni: Performance Evaluation of KEK ERL Main Linac Tuner, Mechanical Engineering Workshop 2012 at KEK, 2012

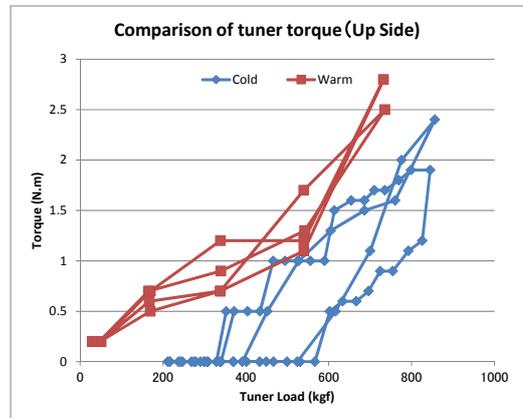


Figure 9 Torque under low temperature

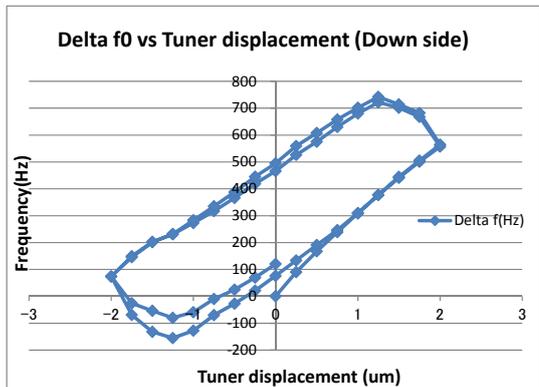


Figure 10 Hysteresis of slide jack mechanism

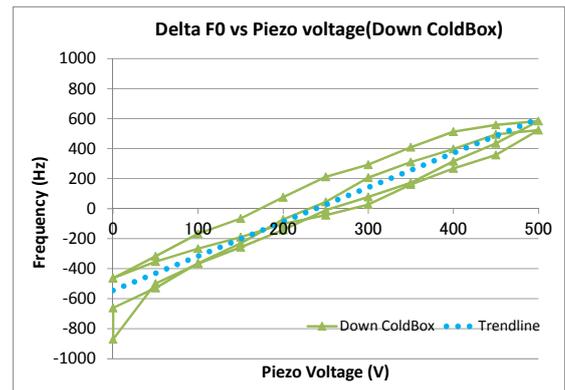


Figure 11 Hysteresis of Piezo tuning