

DEVELOPMENT OF STF BASELINE SC CAVITY SYSTEM

Shuichi Noguchi^{1,A)}, Hitoshi Hayano^{A)}, Eiji Kako^{A)}, Toshio Shishido^{A)}, Kensei Umemori^{A)}, Ken Watanabe^{A)},
Yasuchika Yamamoto^{A)}, Hiroshi Sakai^{B)}, Kenji Sinoe^{B)}, Moon Sung Ik^{C)}, Xu Qinjin^{D)}

^{A)} KEK, High Energy Accelerator Research Organisation

1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

^{B)} ISSP, University of Tokyo, ^{C)} POSTEC, Korea, ^{D)} IHEP Beijing, China

Abstract

4-cavity system including couplers and frequency tuners is under construction. The design feature of the system is very stiff jacket and tuner system, which can relax the effect of Lorentz detuning. The performance test in a vertical cryostat will be completed by the end of October, and the installation to the horizontal cryostat will start in December.

STF ベースライン超伝導空洞システムの開発

1. はじめに

TESLA空洞の問題点を改善し、更に35MV/mでの運転にも対応できるSTFベースライン空洞システム的设计・製作が行われている。主な構成要素であるニオブ製9セル超伝導空洞、HOMカップラーおよび高周波入力カップラーについては、製作がすでに完了し、単体での性能確認試験が現在進行中であり、ヘリウム槽ジャケットを含む周波数チューナーについても、設計が完了し製作の段階にある。12月始めには4連化を行い、年内にはSTFクライオスタット[1]に組み込まれる予定である。

2. ベースライン空洞システムの特徴

ILC (International Linear Collider) の運転仕様は、加速電界：31.5MV/m、ビーム電流：10mA、ビームパルス巾：1msec.、繰り返し：5Hzで、高加速電界でのパルス運転が大きな特徴である。このとき空洞壁に働くセルあたりのMaxwell応力の大きさはベースライン空洞の場合、径方向に109N、軸方向に-34Nと計算され、薄肉柔構造、高Q値の超伝導空洞をパルス運転する場合には大きな問題となる。空洞変形を小さく保つ為、空洞セル間にはスティフナーリングと呼ぶ補強リングを溶接するが、周波数変化は空洞バンド巾の数倍になる。このパルス内の変化はピエゾ素子のような高速、精密素子により空洞全長を変化させ補正するが、補正量は小さいほうが望ましい。

空洞の変形モードは2種類に分けることができる。第1は各セルの長さを変化しないもの (single cell modeと呼ぶ。) で空洞壁を厚くしないと変形を小さくできない。第2のものはセルの長さが変わるもので、空洞の軸方向の剛性を増やすか、全長を拘束するヘリウムジャケット、チューナーの剛性を大きくすることで対応できる。しかし実際には、プリチューニングや、周波数調整の必要性等から、空洞

自身の剛性はあまり大きく出来ない為、ジャケット、チューナーの剛性を十分大きくすることが重要となる。

この観点からTESLA空洞を観ると (図1)、一見して空洞両側のジャケットベースプレートの強度不足がわかる。ジャケット、チューナーの全体の剛性は13kN/mで、31.5MV/mの加速電界での定常状態では全長が2.6 μ m縮み、single cell modeの変形と合わせて、周波数変化としては-1.2kHzになる。さらにパルス運転では、機械振動にもオーバーシュートがありパルスエンドではこれより30%ほど大きくなると推定される。これを標準的なピエゾ素子で補正しようとする直径45mm、長さ14cmのものが2本必要となる。

図1のSTF空洞[2]では、ベースプレートを厚肉のチタンに変え、後述するチューナー自身の剛性も十分大きくし、全体の剛性を80kN/mに高めた。この結果、周波数変化は約1/3になり、ピエゾ素子は直径35mm、長さ7cmのもの1本で十分である。ベースプレートを厚くした結果、入力カップラーがセルから離れ、カップリングが取り難くなることから、ビームパイプ径は少し大きくする等、多少の変更を加えてあるが、本質的なものではない。

もうひとつの重要な改良点は、チューナー駆動用モーターを真空槽の外に出したことで、真空槽内のピエゾの交換を入力カップラー用のポートから出来るようにしたことである。500GeVの場合でも16000組という数を考えると、これらの動的部品の故障を運転に支障のない範囲に止めるのは非常に難しいことと考える。

3. 空洞

4空洞の製作は完了し、3空洞について5回の表面処理、6回の性能測定を行った。受け入れから測定までには以下の作業が行われた。

¹ E-mail: shuichi.noguchi@kek.jp

Improvement in the STF Baseline Cavities

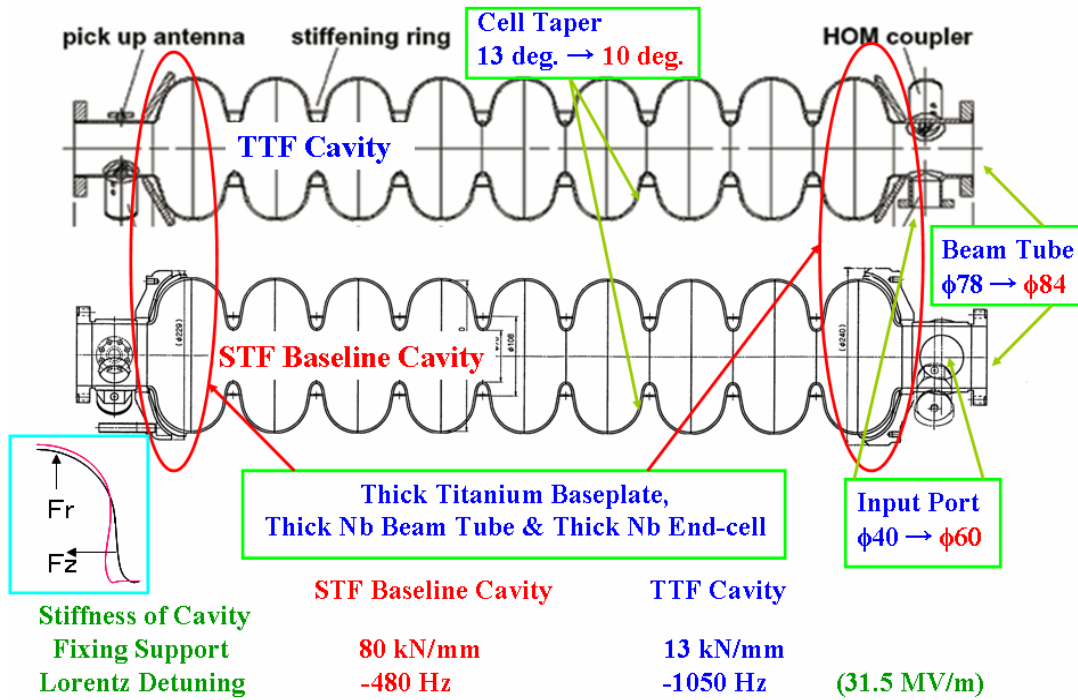


図 1 : STF ベースライン超伝導空洞と改良点

- 1 : 受け入れ検査 (寸法、周波数、電界分布)
- 2 : アルミナ砥石によるバレル研磨 (50~100 μm)
- 3 : 多量電解研磨 (100 μm)
- 4 : 水素脱ガス (3時間@750℃)
- 5 : プリチューニング[3] (1297.5 ± 0.2GHz, 電界フラットネス98%以上)
- 6 : 仕上げ電解研磨 (~30 μm)
- 7 : 高圧超純水洗浄 (~80気圧, 8時間)
- 8 : 組立て排気 (~120℃ベーキング60時間)

性能測定では、高周波表面抵抗の温度依存性や、4.5k, 2k での $Q-E_{acc}$ の他、当初は HOM カプラー[4] の特性も調べた。しかし、最初の 2 回の性能の特異な振舞いが HOM カプラーの出力コネクタのアンテナの発熱であるとの推測から、3 回目以降の測定ではアンテナを短い物に変えた為、HOM カプラーの定量的な性能測定は十分行っていない。このアンテナの発熱現象にはエージング効果が認められるが、1, 2 回目の測定での最大加速電界は、それぞれ 19, 14MV/m であった。3 回目以降の測定では、アンテナの発熱



図 2 : ベースライン超伝導空洞

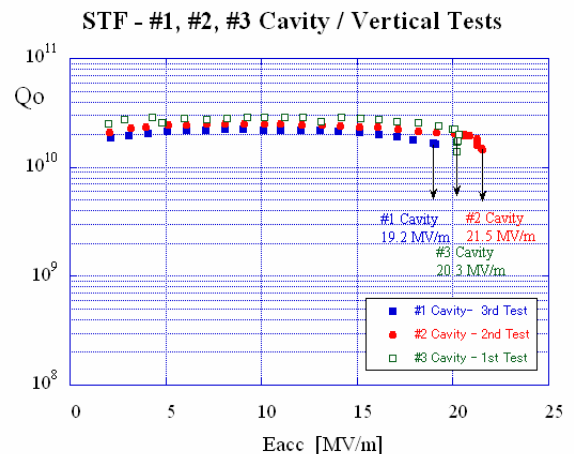


図 3 : ベースライン超伝導空洞の性能

現象により性能が制限されることは無くなったが、すべての場合において、セル赤道部でのマルチパッキングにより 20MV/m 付近に止まっている (図3)。6 回目の測定の仕上げ表面処理では、フッ酸処理を追加し、高圧水洗の時間も 5 時間延ばした。多少の性能改善が認められたが、解決には至っていない。4 台目の空洞はプリチューニングまで完了、8 月下旬に性能測定の予定である。

4. チューナー

空洞の周波数調整は全長を変えて行う。ピエゾ素子等の高速高精度素子は、ストロークが小さい為、オフセット用の低速チューナーと直列に組み合わせて使うのが基本である。重要なのはチューナーも空洞長の拘束系の一部であるので、十分な剛性が必要であり、耐荷重も10万N程度が要求される。ベースライン空洞のチューナーを図4に示す。2個1組のローラー付楔を1本のボルトで駆動し、軸力を発生させる。軸力は、ジャケットを介して、空洞に伝わり長さを変える。楔システムは左右に1組ずつあり、共通の駆動シャフトにより外部のモーターで駆動される。一組の楔システムにはピエゾ素子が直列に置かれている。

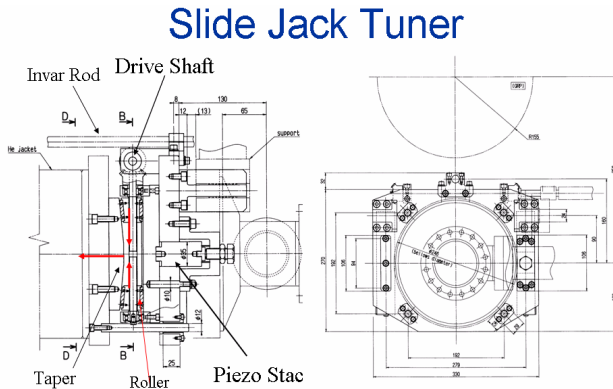


図4：ベースライン超伝導空洞のチューナー

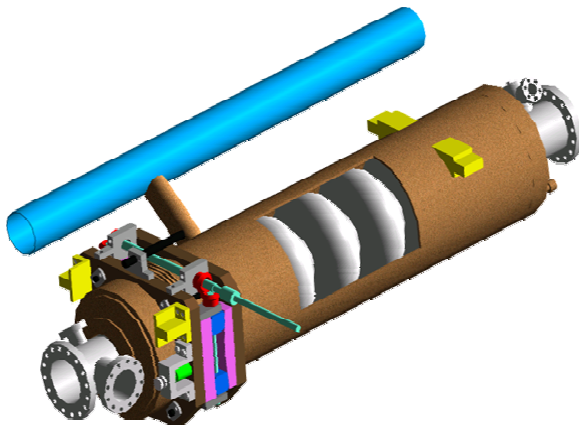


図5：ベースライン超伝導空洞のジャケット

5. 入力及びHOMクーラー

入力クーラー[5]に関する議論の争点は、加速電界調整の為のカップリングのチューナビリティである。我々は、ピエゾ素子によるディチューン制御により、加速電界の制御が可能であるとの認識から、クーラーのチューナビリティは不要と考えており、この実証がクライオモジュールテストでの大きな課題である。

HOMクーラーのアンテナ発熱の問題に関しては、デューティの低いパルス運転では問題にならないと認識していたが、CW運転での問題を忘れていた。HOMのダンピングの測定結果はダイポールモードについては十分であったが、モノポールモードについては目標より2桁ほど悪い。これはクーラーのループ角度をモノポールとカップルしない方向にセットしたため、今回そのようにしたのは、加速モードに対するフィルター特性に余裕を持ちたかった為である。フィルター特性の調整方法に習熟できたので、今後はループ角の最適化を行う予定である。

6. まとめ

4台のベースライン空洞製作が完了し、3台については約20MV/mの加速電界を達成した。加速電界はいずれの場合も赤道部のマルチパッキングで制限されており、最終洗浄方法の改善が大きな課題である。チューナーは9月下旬に単体での駆動試験を行う予定で、その後ヘリウムジャケットを装着し、12月には4空洞の連結、クライオスタットへの組み込みへと進む予定である。

参考文献

- [1] H. Hayano, "Status of STF for ILC", in this meeting.
- [2] S. Noguchi, et al, "Development of STF Baseline Superconducting Cavity System", Proc. of the 2nd Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Tosu Japan (2005) p194.
- [3] S. Shishido, et al, "Frequency Tuning of an accelerating mode in STF Baseline SC Cavities", in this meeting.
- [4] K. Watanabe, et al, "Higher Order Mode Study of Superconducting Cavity for ILC Baseline", in this meeting.
- [5] E. Kako, et al, "High Power Input Couplers for STF Baseline SC Cavities", in this meeting.