

Higher Order Mode studies of superconducting cavities for ILC

Ken Watanabe^{1,A)}, Eiji Kako^{B)}, Toshio Shishido^{B)}, Shuichi Noguchi^{B)}, Hitoshi Hayano^{B)}

^{A)} GUAS/AS

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

^{B)} KEK

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

Abstract

Four TESLA-type 1.3 GHz 9-cell superconducting cavities, which will be installed in STF at KEK, have been developed for future ILC project [1]. Total 14 times of vertical tests were carried out for four cavities. The surface treatment and pre-tuning for the accelerating mode (to obtain the field flatness of about 98%) were done in each cavity at every time before the vertical test, so then, the cell length of each cavity changes by the tuning of accelerating mode. We measured amount of change of HOM frequencies in vertical tests at 2K. The HOM couplers equipped in the four cavities are tuned by the changes of the insert length from the beam line and the antenna tip geometry at each cavity. We have measured and compared the effect of polarization direction of main dipole modes by changing the geometry and the position of the HOM coupler. In addition, the HOMs of TESLA cavity (No. Z84) were measured in KEK. In this report, a result of HOM studies for ILC SC cavities is presented.

ILC超伝導空洞の高次モードに関する研究

1. はじめに

KEKで建設が進んでいるSTF (Superconducting RF Test Facility[2]) に使用される、ニオブ製TESLA形状改良型 (STF Baseline Cavity) 9セル超伝導空洞4台が製作された。この4空洞に対して計14回の表面処理と縦測定が行われ、そのつど加速モードの軸上電界分布を確認し、電界平坦度が98%以上になるようにプリチューニングを行った[3]。その際、空洞は加速モード (TM010 π) にのみ周波数および電場平坦度(Field Flatness)を調整するため、各セルのセル長および空洞長が変化する。このときの高次モード (HOM) の周波数特性等の変化を測定した。また、4台の空洞に装備されたHOMカプラ[4]は空洞ごとに挿入長、HOMカプラ先端形状を変えている。これによる主なダイポールモードにおける偏極方向などの特性の比較を行った。またDESYで使用されているTESLA空洞実機 (Z84) のHOM測定も行った。

本論文では昨年に続き4空洞のHOM測定の結果およびTESLA空洞との比較について報告する。

2. 表面処理におけるHOM周波数の変化

超伝導空洞は各種表面処理のあと縦測定を経て、クライオモジュールに内に設置される。縦測定の前には加速モードに対するプリチューニング、電界研磨 (EP: 研磨量 \sim 50 μ m)、HPR (超純水高圧洗浄) といった処理が行われる。プリチューニングはあくまで加速モードのみに焦点を絞っているため

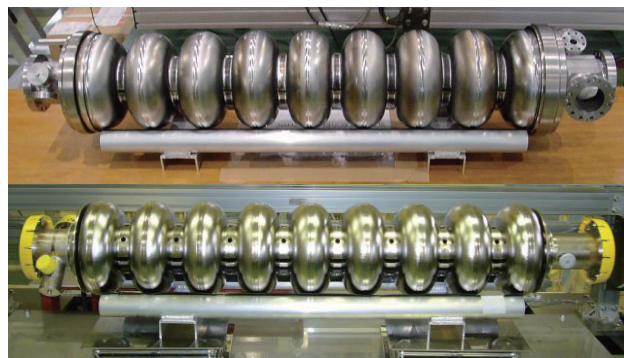


図1. STF空洞 (上図) とTESLA空洞 (下図)

HOMの周波数は処理回数によって変化する。

表1はSTF#4空洞とTESLA空洞(Z84)のHOM周波数をまとめたものである。STF空洞は以下の処理を行った後測定した。

- ①: 空洞製作後 \rightarrow CBP (機械研磨) \rightarrow EP \rightarrow プリチューニング
- ②: ①の後再度 \rightarrow CBP,EPでさらに研磨 \rightarrow プリチューニング

図1はSTF空洞とTESLA空洞の写真である。図2、図3にSTF空洞の再研磨前後におけるHOMの周波数変化、STF空洞とTESLA空洞のHOM周波数を示す。STF空洞は②の処理で空洞長が約7mm延びた。この効果による周波数変化は大きく、TE111で9.5 \sim 15MHz、TM110で2 \sim 7.5MHz、TM011で9.7 \sim 23.5MHz低くなった。TE111のように空洞のビーム軸方向の長さで周波数変化が敏感なモードは変化量が大きいことが分かる。また、STF空洞とTESLA空

¹ E-mail: kenw@post.kek.jp

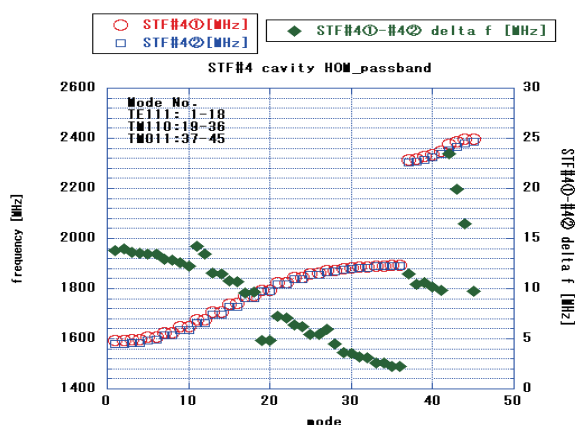
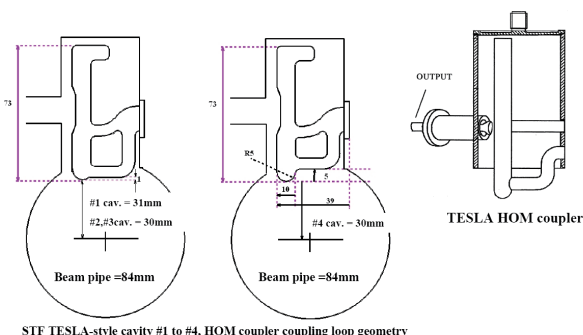


図2.STF空胴の再研磨による周波数変化

空胴ではTE111で～10MHz、TM110で～15MHz、TM011で～55MHzの周波数差があった。特にTM011の周波数差が大きかった。

また、図2には示していないが、4台のSTF空胴はそれぞれ①の処理後、HOM周波数を測定している。その変化のバラツキはTE111、TM110、TM011ともに周波数差～5MHz以内に収まっていた。縦測定直前にEP (20um～50um)を行うが、この効果はTE111、TM110、TM011ともに20umの研磨で～0.5MHz低下、50umで～1.5MHz低下と研磨量に依存する傾向が見られた。



STF TESLA-style cavity #1 to #4, HOM coupler coupling loop geometry

図4. STF#1～#4 and TESLA HOM coupler[5]

3. 各空胴の電磁界分布と偏極の違い

STF空胴とTESLA空胴ではセル形状とビームパイプ径が異なる。STF空胴は空胴形状がセンターセルを中心に両側に対称であるが、TESLA空胴は非対称である。TESLA空胴が非対称な理由はHOMの電磁界分布を非対称にし分布を片側に寄せることでトラップモードを無くしダンピングを行うためである。また、STF空胴ではそれぞれ若干ではあるがHOMカプラの形状や挿入長を変えている。図4に条件を示す。STF#1～#3と#4では空胴と結合するアンテナ先端形状と挿入長(#1=31mm、#2～#4=30mm)を変えている。一方、TESLA空胴にも同型の同軸型HOMカプラが装備されている[4]。STF空胴とTESLA空胴におけるHOMの電磁界分布の違いとHOMカプラの配置の違いによる偏極方向の差を測定した。電磁界分布と偏極はビーズ摂動法(使用ビーズ:電磁界分布

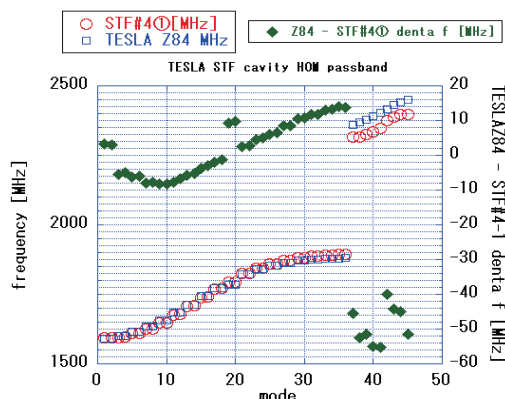


図3.STF空胴とTESLA空胴のHOMパスバンドの比較

ではメタルボール、偏極ではセラミックボールφ6mmにより電界のみ検出)を用いてネットワークアナライザで測定した。電磁界分布の測定ではビーズは空胴の中心を通した。偏極の測定ではビーズは空胴のオフセンター(ビーム軸から30mmの位置を通過させた。測定角度は90°～-90°:30°間隔、測定点7点)を通過させた。これで得られる量はΔfである。TE11やTM11モードといったダイポールモードでは、ビーム軸位置ZにおけるX-Y面内の半径方向:R=rの角度方向φにおける電界分布はEφ(R=r)∝cos(φ+b)で変化する。ここでbは偏極方向である。ビーズ測定で得られるΔf [Hz]はE∝(Δf)^{1/2}の関係がある。したがって、Δf(φ,R=r)∝cos²(φ+b)と表すことが出来る。したがって、空胴のある位置の角度方向のΔfの変化が分かれば、上記関数を用いて偏極方向が求まる。図5は偏極方向の定義である。ビームは紙面から奥に向かう方向に進むと考える。Y軸が90°、X軸が0°方向である。

電磁界分布では図6のTE111-1,2(π/9、2π/9)、図7のTM011-1,2,9に大きな違いが見られた。図6、7の横軸は空胴位置[mm]、縦軸はΔf[Hz]である。STF空胴のTE111-1,2,TM011-1,2の電磁界は端のセルに強く立つ分布であり、そのほかのTE111、TM110、

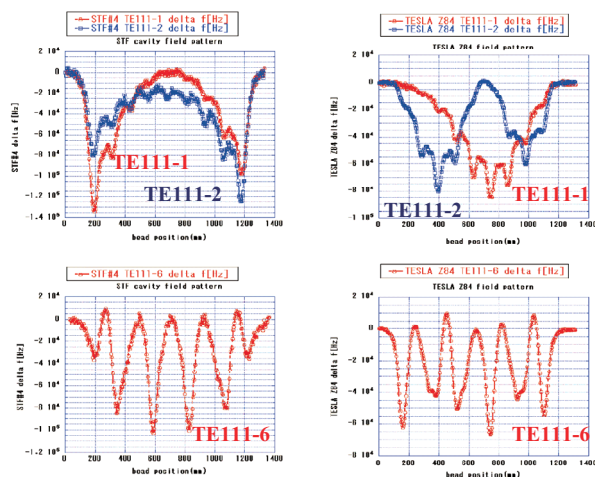


図6.TE111-1,2,6 modeの比較(左STF,右TESLA)

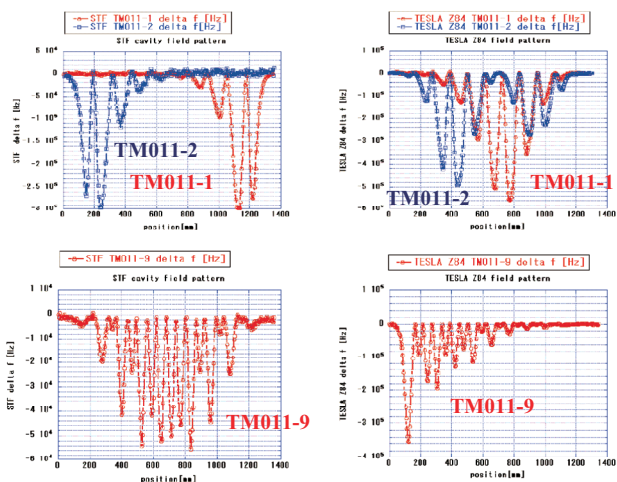


図7. TM011-1, 2, 9 modeの比較 (左STF, 右TESLA)

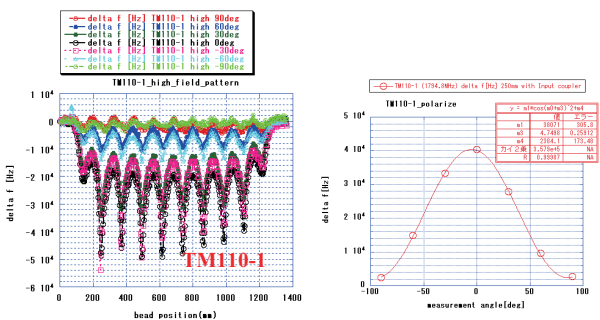


図8 オフセンターを通過させたときの電界分布と偏極方向のフィッティング

TM011では5セルを中心にTE111-6のように左右対称なパターンとなっていた。一方、TESLA空胴はSTF空胴と異なり、端に立つモードはTM011-9以外に無かった。そのほかのモードは#6もしくは#4セルを中心にどちらかが片方に偏る分布をしていた。

図8は空胴のオフセンターにおけるTM110-1モードの電界分布と得られた電界分布から空胴のある位置Zにおける角度方向 ϕ と Δf を用いて偏極方向をフィッティングしたものである。図9はTM110-1モードのダブレットおよびダブレット間における空胴内の偏極の変化である。これより空胴内各セルで偏極方向がほとんど変化せず、円偏向になっていないことが分かる。STF空胴、TESLA空胴双方のTE111、TM110の高次モードについても同様の変化であった。

表1 各空胴の偏極方向の違い (高インピーダンスモードのみ、各セルの平均値)

L、Hはそれぞれダイポールモードのダブレットの低周波側、高周波側を示している。

Mode	STF#1 ①	STF#2 ①	STF#3 ①	STF#4 ①	STF#4 ②	TESLA Z84
TE111-6	L: ---, H: 64°	L: ---, H: 94°	L: ---, H: 1°	L: -10°, H: 83°	L: 95°, H: 4°	L: 55°, H: -35°
TE111-7	L: -7°, H: 93°	L: ---, H: ---	L: -68°, H: ---	L: ---, H: ---	L: -5°, H: 89°	L: 52°, H: -38°
TE111-8	L: ---, H: ---	L: ---, H: 34°	L: ---, H: 25°	L: 13°, H: 89°	L: -2°, H: 86°	L: 43°, H: -46°
TM110-4	L: ---, H: 27°	L: ---, H: 27°	L: ---, H: 25°	L: -3°, H: 88°	L: 0°, H: 92°	L: 77°, H: 5°
TM110-5	L: ---, H: 48°	L: ---, H: 25°	L: ---, H: 38°	L: -1°, H: 81°	L: -4°, H: 71°	L: 27°, H: 82°
TM110-6	L: ---, H: 14°	L: ---, H: 34°	L: ---, H: 40°	L: -14°, H: 68°	L: -8°, H: 83°	L: 93°, H: 9°

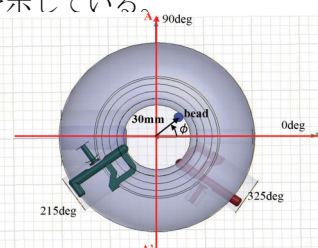


図5 偏極方向の定義

STF#1~#4空胴 (#1~#3 : ①処理、#4のみ①、②の処理の後測定した。)とTESLA空胴のTE111、TM110モードの高インピーダンスモードの比較を表1に示す。STF#1~#3のTM110モードの偏極方向はおおむね30~40°、TE111モードでは全体的にばらついていていた。また、STF#4の再研磨前後(空胴形状、周波数の変化があった。)ではTE111, TM110共に~10°程度の変化が見られた。STF#1~#3と#4では偏極方向の違いが見られた。このことから、HOMカプラの先端形状によりダイポールモードの偏極方向をコントロールできると思われる。

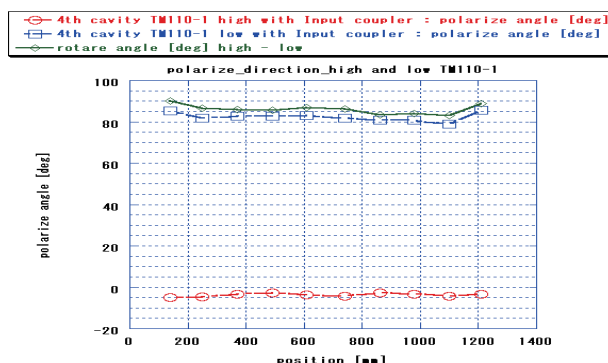


図9 TM110-1の空胴内各セルの偏極

4. まとめ

STF空胴とTESLA空胴のHOMについて比較を行った。結果、周波数ではTM011に大きな差が見られ、電磁界分布でもTE111-1, 2、TM011-1, 2, 9に違いが見られた。偏極方向では空胴内各セルでほぼ一定であることが測定より確認できた。

参考文献

- [1] E.Kako, "CONSTRUCTION OF THE BASELINE SC CAVITY SYSTEM FOR STF AT KEK", PAC07 proceeding
- [2] H.Hayano, "Status of Superconducting RF Test Facility", in this meeting
- [3] T.Shishido, "FREQUENCY TUNING OF AN ACCELERATING MODE AND VERTICAL TESTS IN STF BASELINE SC CAVITIES", in this meeting.
- [4] K.Watanabe, "Higher Order Mode study of Superconducting Cavity for ILC Baseline", Proc. of 3rd Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Sendai Japan 2006
- [5] TESLA Design Report