

DEVELOPMENT OF ILC SUPERCONDUCTING HIGH-GRADIENT CAVITY PACKAGE

Fumio Furuta^{A)}, Yasuo Higashi^{A)}, Toshiyasu Higo^{1,A)}, Juho Hong^{B)}, Hitoshi Inoue^{A)}, Daizo Iwai^{C)}, Sergey Kazakov^{A)}, Hiroshi Matsumoto^{A)}, Mingqi Ge^{D)}, Yuichi Morozumi^{A)}, Robert S. Orr^{E)}, Takayuki Saeki^{A)}, Masashi Sato^{A)}, Kenji Ueno^{A)}, Yuichi Watanabe^{A)}, Hiroshi Yamaoka^{A)}, Kenji Saito^{A)}

^{A)} KEK, High Energy Accelerator Research Organization
 1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

^{B)} PAL, Pohang Accelerator Laboratory, POSTECH
 Nam-gu Hyoja-dong San 31, Pohang, Kyungbuk, 790-784, Korea

^{C)} Shimizu Seisakusho, Co., Ltd.
 335-5, Saime-cho, Yodo, Fushimi-ku, Kyoto, 611-0033, Japan

^{D)} IHEP, Institute of High Energy Physics
 Yu Quan Road 19, 100049, Beijing, P.R.China

^{E)} University of Toronto
 M5S 1A7, Toronto, Ontario, Canada/JSPS Japan

Abstract

Starting from ITRP recommendation, the ILC, International Linear Collider, has been proceeding based on the high-gradient 1.3GHz superconducting 9-cell cavity assuming its design operating gradient of the order of 35MV/m. In order to realize such high-gradient cavities, a research development of the cavity package targeting 45MV/m has started at KEK in the framework of ILC Asia WG5. The accelerating gradient of ~50MV/m was proved in the single-cell tests limited at a theoretical limit in magnetic field. Now the proof with 9-cell cavity is on-going. A pair of couplers with capacitive-coupled inner conductor was tested up to 1MW, 1.5ms, 5Hz. A coaxial ball-screw tuner mounted on a cavity was tested and proved to compensate 2.5kHz using 276Hz mechanical resonant mode. A 3-cell copper model was fabricated from a seamless tube through necking and hydroforming processes. A sealing of MO-type gasket was proved at 2K. In this paper are described these key issues needed for a robust and cheap mass production of ILC cavities.

ILC超伝導高電界空洞パッケージの開発

1. ILC空洞を巡る状況

ITRPの勧告^[1]の後、KEKではILC Asia WG5^[2]のグループを立ち上げた。ここでは主にILCで要求される空洞性能のうち特に高電界性能実現への研究開発を使命としている。ILC用の高電界を実現するためには、空洞表面が高電界に耐えるのみでなく、空洞関連の全体がILC運転に適用している必要があるとともに、量産での安価で安定した量産に耐えるものでなくてはならない。そのために必要な開発要素群を揚げると

- 空洞の電気・機械設計の最適化
- 空洞製作、及び内表面処理技術の確立
- 高電力カップラーの実現
- 大ダイナミックレンジのチューナー実現
- シームレス空洞製作技術
- シール開発

等である。我々はこれらを総合的に開発することが重要だと考えている。

DESYではTESLA^[3]計画として9連空洞を開発してきており、KEKとの共同研究により電解研磨 (EP) による40MV/mレベルの実証を行ったが、未だ安定した実現には至っていない。XFEL計画^[4]が採択され、それに最適化した開発に重点を移しているため、ILCに必須の高電界化への研究が若干滞っていることは否めない。また、3極の一端を担う米国内の開発はこれから本腰が入る状況である。そこでKEKを中心としたILC Asia WG5の開発研究が現在非常に重要である。本論文では、WG5周辺の空洞パッケージに関する現状を紹介し、到達点と今後早急に進めるべき項目、量産時を狙った技術の実証研究の必要性などについて述べる。

2. 高電界の安定実現への開発

WG5ではまず空洞形状として、磁場限界から決まる原理的限界が50MV/mまでのびる「イチロー空洞^[5]」を採用することにより、45MV/mを目標加速電界

¹ E-mail: toshiyasu.higo@kek.jp

と設定して35MV/mを目指すILC用空洞パッケージの研究開発を進めてきた。Fig. 1にイチロー空洞の写真を載せた。Low Loss型設計のレギュラーセル9連をTESLA型HOMダンパーを連結した構造であり、現在4空洞を製作してある。



Fig. 1 ICHIRO 9-cell cavity.

2.1 単セルでの実証とレシビ確立へ

Fig. 2に これまでの6個全ての単セルイチロー空洞の縦測定結果を示す。30MV/m付近以下のサンプルは電子電界放出や別の処理方法試験中に発生したQスロープ等を原因とするもので、今後回避できると考えている。これらを覗くと 44 ± 6 MV/mのほぼガウス分布に近い結果^[6]得られた。また、全ての単セルで45MV/m以上を達成しており、溶接や材料に起因する致命的な問題は無いことを認識している。

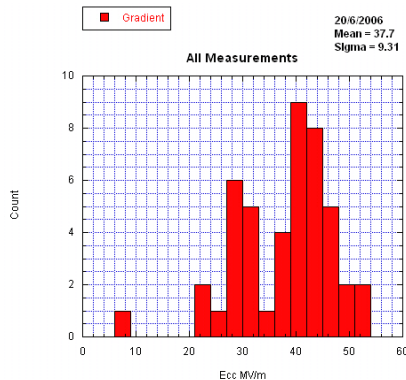


Fig. 2 Maximum gradient in all of single-cell measurements.

2.2 9セルでの実現状況

単セルの高電界実証に基づき、9セル空洞の試験を遂行している。製作4空洞中1個は製作途中でエンドグループの無い状態のまま残した。この空洞のVTでは ~ 30 MV/mが達成されており、空洞方端のビームパイプテーパ部に局在するマルチパクター(MP)が原因^[7]であると考えている。エンドグループを備えた空洞では**エラー! 参照元が見つかりません**。に掲げた典型例のようにEacc ~ 20 MV/mまで達成されている。 $\pi/9$ や $8\pi/9$ モードと π モードの様子から、エンドグループに起因する原因の他にレギュラー部分にも問題が潜んでいると考えられ、これらを解明するのが現在の最大の課題である。

2.3 今後の方針

今後、単セル全てをCBP(機械研磨)まで戻して

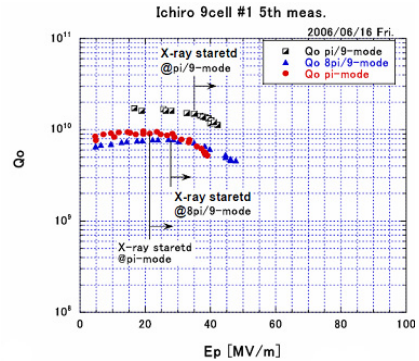


Fig. 3 Q vs. Ep of a 9-cell cavity.

表面処理をリセットし現在至っている表面処理方法を適用した時の歩留まりが充分高いことを確認する予定である。また、新規の単セルを製作し初期の工程からの歩留まりも確認する計画である。これらと並行して、2台の9セル空洞を用いて、原因解明と30MV/mを優に超える電界実証を目指す。その後は、国際共同開発R&Dの一環として提案されている”S0”の課題^[8]で実施する「タイトループ試験」に供する予定である。これは、EP又はHPRまで表面処理工程を何度も戻してプロセスの評価を行い改善に向けたR&Dへの指針を与える研究である。

3. チューナー

高電界化に伴い、ローレンツデチューニング量が大きくなるので、2 \sim 3 kHzの速いチューニングが必要とされる。**エラー! 参照元が見つかりません**。



実施した。

Fig. 4 Tuner with He jacket.

に示した同軸ボールスクリー型チューナー^[9]を開発試験している。メカ動作試験は液体窒素温度までの動作試験を行える真空チェンバーにて、常温、真空引き、冷却の各段階で

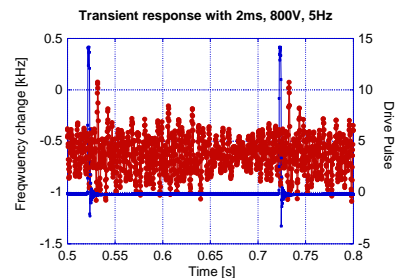


Fig. 5 Frequency change driven by 2ms-5Hz pulse.

Fig. 5に5Hz, 2ms, 800Vでピエゾをパルス駆動したときの周波数変化を示した。ピエゾの定格の8割の駆動電圧で1kHzの振幅がとれているが、45MV/mに対応するには機械的な増幅メカニズムが必要であることが分かった。また、主要な周波数コンポーネントは276Hzであり、これにチューンしてサイン波でピエゾを駆動すると、200Vの電圧で2.5kHzの周波数振幅をとれることも分かった。大容量の電源を用いることにより、必要な振幅がとれると考える。

4. 入力カプラー

低温側に内導体を容量結合したセラミック窓を有するカプラー^[10] (Fig. 6)を開発した。2台を試験導波管を介して常温試験を行い、20時間程度で45MV/m運転での定格パワーの倍(1MW, 1.5ms, 5Hz)で安定な透過を確認した。また、500kWでの完全反射でも安定な運転を確認している。



Fig. 6 Input coupler assembly.

5. 将来へ向けての開発

5.1 ILCプロトタイプへの空洞最適化

現在のイチロー空洞はHOMダンピング特性が不十分^[11]であり、ビームパイプでのMP等の問題があるので、SSTの片空洞としてではなく、1空洞でのILCプロトタイプとしての設計を進めている。LL型の設計を汲み、イチロー空洞のセンターセルを用いて、エンドグループの最適化を図る^[10]ことにより、現在問題のMPとHOMダンピングの問題は解決できると考えている。この空洞を今年度製作する。

5.2 シームレス空洞製作

これまで単セルでの高電界実証まで行われたが、今回Fig. 7に示したように、銅シームレスパイプを用いて3セルを製作することに成功^[11]した。今後これを9セルに拡張すると共に高電界発生の実証に進む。



Fig. 7 Copper seamless 3-cell cavity

5.3 MO型シール

常伝導RF技術として開発されたシール技術を超伝導に応用^[12]する。真空側にギャップを持たない構造で、これが実現できれば今回用いた小パーツで構成されるカプラーの構成方法への応用にとどまらず、エンドグループのパーツ化や将来的にはSuperstructureを表面処理後の1m級2空洞の連結による実現など、様々な展開が考えられる重要な技術である。2Kでのシール特性に問題ないことを実証した。

5.4 大結晶粒、単結晶ニオブの試験

中国には単結晶ニオブを販売するメーカーがあり、中国IHEPと協力して単セルを製作し高電界特性と表面処理の関連について調べるプログラムを進めている。

6. 議論

KEKに立ち上げる超伝導施設STFにこの空洞パッケージを入れてシステム試験を行うと共に、現在まだ未実証の9セルでの高電界発生に集中して歩留まりをあげることに、高電界の歩留まり良く安定に発生させるための国際共同試験に改良型イチロー空洞を含めて貢献するつもりである。また、中国や韓国等アジア諸国の超伝導人材の育成と技術の確率のためにWG5の活動の節々を担ってもらうように進めている。

謝辞

空洞関連シュミレーションではSLACのK. Koらの協力は非常に重要である。またLL型設計に当初からの関連してDESYのJ. Sekutovicz氏には大変感謝します。

参考文献

- [1] ITRP, International Technology Recommendation panel, 2004, <http://www.linearcollider.org/cms/?pid=1000073>
- [2] ILC Asia WG5, lcdev.kek.jp/ILC-AsiaWG/WG5notes/
- [3] TESLA, http://tesla-new.desy.de/content/index_eng.html
- [4] XFEL, http://xfel.desy.de/xfelhomepage/index_eng.html
- [5] Y. Morozumi, 17 Dec. 2004, in ref. [2]
- [6] T. Saeki et al., EPAC 2006, MOPLS 087, Edinburgh, UK, 2006.
- [7] K. Ko and L. Ge, SLAC, private communication.
- [8] S0S1
- [9] Y. Higashi, in ref. [2]
- [10] H. Matsumoto et al., PAC05, 22A15, Knoxville, USA, 2005.
- [11] G. Mingqi, in ref. [2]
- [10] Z. Li, SLAC, private communication.
- [11] K. Ueno, this conference.
- [12] H. Matsumoto et al., EPAC 2006, MOPLS 085, Edinburgh, UK, 2006.