

FABRICATION OF 9-CELL CAVITY IN CAVITY-FABRICATION FACILITY AT KEK

T. Saeki ^{#,A)}, K. Enami ^{A)}, H. Hayano ^{A)}, H. Inoue ^{A)}, E. Kako ^{A)}, S. Kato ^{A)}, S. Noguchi ^{A)}, S. Satoh ^{A)}, T. Shishido ^{A)}, A. Terashima ^{A)}, N. Toge ^{A)}, K. Ueno ^{A)}, K. Watanabe ^{A)}, Y. Watanabe ^{A)}, S. Yamaguchi ^{A)}, A. Yamamoto ^{A)}, Y. Yamamoto ^{A)}, K. Yokoya ^{A)}, N. Kawabata ^{B)}, H. Nakamura ^{B)}, K. Nohara ^{B)}, M. Shinohara ^{B)}
^{A)} KEK

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

^{B)} しのはらプレスサービス (株)

34-2 Shiomi-cho, Funabashi-shi, Chiba-ken, 273-0016

Abstract

We are constructing a new cavity-fabrication facility at KEK from 2009. In the facility, we have installed a deep-drawing machine, a half-cup trimming machine, an electron-beam welding machine, and a chemical etching room in one place. We started the fabrication study of 9-cell cavity for ILC from 2009 using this facility. The study is focusing on the cost reduction in the mass production of 9-cell cavities in ILC. This article reports the current status of cavity-fabrication study in the facility.

KEK 超伝導空洞製造施設における 9 セル空洞製作

1. はじめに

国際リニアコライダー (ILC) のような将来の大型プロジェクトでは、超伝導空洞の量産技術が非常に重要であり、製造技術に関してさらなるコストダウンを進め必要がある[1]。このためには、研究所の努力により、先進的な製造方法を発案していかなければならない。そのような目的で、現在、KEK内に、超伝導空洞の量産製造技術の研究を行う施設の構築を行っている。この施設と、これを利用したKEK内での超伝導空洞の製作について報告する。

2. 超伝導空洞量産研究のため新しい施設

超伝導空洞量産研究のための新しい施設(通称、パイロットプラント)

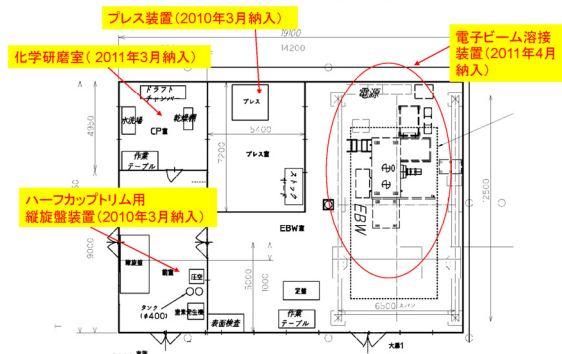
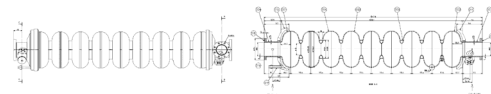


図1：パイロットプラントの見取り図

図1は、KEKで構築中の超伝導空洞量産研究のための新しい施設(通称パイロットプラント)の見取り図である。超伝導空洞を製作するために必要な、プレス機、旋盤、化学エッチング室、電子ビーム溶接機などが1か所に集約的に設置されている。

パイロットプラントにおける活動

Items	2010	Jan-11	Feb-11	Mar-11	Apr-11	May-11	Jun-11	Jul-11	Aug-11	Sep-11	Oct-11
KEK-01号 9-cell 空洞 (HOM無し) 製作	ハーフカップ製作	タンベル製作				中央部溶接	エンド部製作	終了			
電子ビーム溶接機		SSTドایت工場 検取	運搬	搬入	設置 試運転	空洞製作のための運転					
KEK-02号 9-cell 空洞 (HOM有り) 製作	エンド部、特にHOM部の量産化先進製造法について、しのはらプレスサービス (SPS) 社と共同研究で発案								SPSと共同で、エンド部の製作を開始		



KEK内製9-cell 空洞 (HOM有り)

図2：パイロットプラントにおける活動と KEK内製空洞の図面

図2に、パイロットプラントに関する活動状況をまとめた表を示す。この図には、大きく分けて3つの活動が示されている。それは、KEK内製9セル超伝導空洞 (HOM無し) 0号の製作、パイロットプラントへの電子ビーム溶接機の設定、KEK内製9セル超伝導空洞 (HOM有り) 1号の製作である。図2の表の下には、KEK内製9セル超伝導空洞 (HOM有り) の図面が示されている。以下では、これらの3つの活動について、順に説明する。

3. KEK内製9セル超伝導空洞 (HOM無し) の製作

図3に、9セル超伝導空洞の部品と製作手順を示した。9セル空洞は、中央の9セル部分、両端のハーフカップとビームパイプから成るエンドグルー

プで、全体的には3つの部分に分けることができる。エンドグループには、粒子ビームの加速に寄与しない高調波の電磁波を除去する高調波 (HOM) カプラーがあるが、この部分は複雑な形状であることから、KEK内製9セル超伝導空洞0号では、HOMカプラーを省略して製作し、1号機からHOMカプラーを含んだ完全版を製作する方針とした。

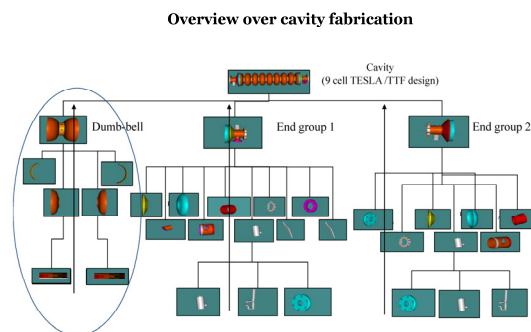


図3：9セル超伝導空洞の部品と製作手順

以下では、KEK内製9セル超伝導空洞0号の製作状況を報告する。図3において、線で囲んだ左の部分は、中央のセル部分の製作手順を示している。セルの半分をハーフカップとして製作した後、2つのハーフセルを溶接してダンベルと呼ばれる部品を製作する。8個のダンベルを溶接することで、中央のセル部分が完成する。図4に、KEK内製9セル超伝導空洞0号のために製作したハーフカップの写真を示す。図中左のプレス機は、パイロットプラントに設置されたプレス機で、サーボモーターにより、プレスモーションを自在に制御することができる。このプレス機によって、26枚のニオブのハーフカップを深絞りして製作した。ハーフカップは、深絞りした後、その両端をトリミングして正しい部品寸法に加工されている。

Deep-drawing of center-cell half-cups at Pilot Plant (September – November 2010)

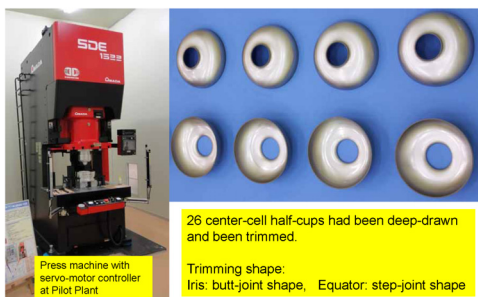


図4：ハーフカップの深絞り

図5に、2つのハーフカップを溶接し、ダンベルを製作したときの写真を示した。まだパイロットプラントに電子ビーム溶接機が設置されていないため、東成エレクトロビーム (株) の電子ビーム溶接機によって溶接を行った。試験溶接も含めると、合計13個のダンベルを作成した。ダンベルは、その中央部分をアイリスと呼ぶが、アイリス部は細く機械的強度が弱いため、強め輪という補強部品を溶接する。その後、8個のダンベル同士を溶接して、KEK内製9セル超伝導空洞0号の中央のセル部を製作した。今後、秋までにはKEK内製9セル超伝導空洞0号を完成させたいと考えている。

EBW of Dumb-bell at Tosei Electronbeam Co. Ltd. (December 2010 – February 2011)

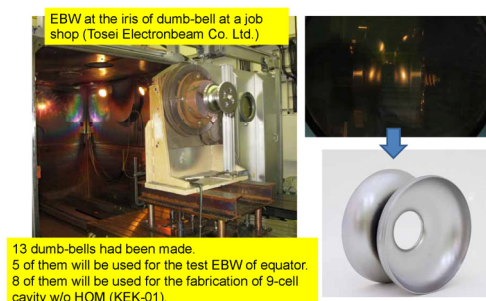


図5：ハーフカップの溶接によるダンベルの製作

4. 電子ビーム溶接機の設置

4.1 シュタイガーバルト社での Acceptance Test

パイロットプラントに設置される電子ビーム溶接機は、ドイツのミュンヘンにあるシュタイガーバルト社で製作され、この4月にパイロットプラントに納入された。ドイツの工場を出荷する直前に、著者を含むKEK職員の立会いの下、Acceptance Testが行われた。これは、性能仕様に関する数百におよぶ項目を実際の電子ビーム溶接機で全て確認するという作業で、1週間以上を要した。図6に、シュタイガーバルト社での Acceptance Testの際に撮影した電子ビーム溶接機の写真を示す。中央の真空容器の上に見える赤い部分が電子銃である。Acceptance Testにおいて、特に重要だったのは、真空容器内の真空度の達成とその達成時間である。図7は、この Acceptance Testの際に、実際に真空度の時間変化を記録したプロットである。横軸が時間で、0分から20分を示しており、縦軸が真空容器内の圧力で、大気圧から排気を開始して20分後に 4×10^{-5} mbarに到達している。この到達時間は大変重要で、この時間が長いと空洞の生産効率が悪くなるため、真空排気装置は、Poly-Cold と呼ばれる水分の除去装置と Cryo-pump を併用した仕組みとして、排気時間の短縮化を行っている。図7のプロットで、10分を超えたあたりで急激に圧力が低下しているのは、Cryo-pump を作動させたためである。

Steigerwald Strahltechnik GmbH (SST) Factory
Munich, Germany, 24th Jan – 4th Feb 2011

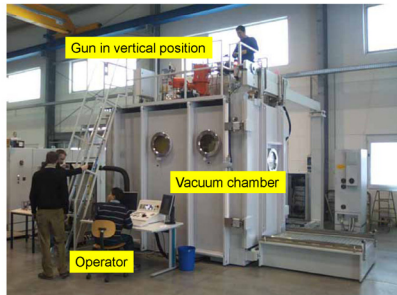


図 6 : ドイツのシュタイガーバルト社で
Acceptance Test を行った電子ビーム溶接機

Steigerwald Strahltechnik GmbH (SST) Factory
Munich, Germany, 2nd Feb 2011

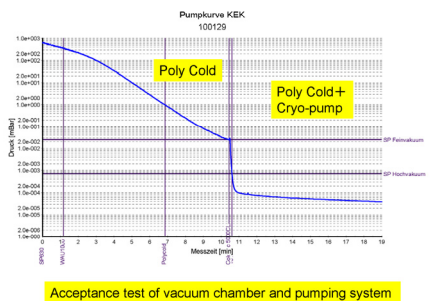


図 7 : 電子ビーム溶接機の真空容器の真空度と
時間の関係

パイロットプラントに仮置きされたEBW機



13th April 2011

図 8 : パイロットプラントへの電子ビーム溶
接機の仮設置

4.2 パイロットプラントへの電子ビーム溶接機の 設置

Acceptance Test を完了した電子ビーム溶接機は、船便でドイツから日本に輸送され、4月12日にKEKに到着し、13日には開梱と仮設置を完了した。図8は、パイロットプラントに仮設置された電子ビーム溶接機の写真である。5月23日に、ドイツからシュタイガーバルト社の社員が来日して、数週間にわたって最終調整を行い、6月末には試運転を開始した。KEK内製9セル超伝導空洞1号の製作では、この電子ビーム溶接機が使用されることとなる。

5. KEK内製9セル超伝導空洞（HOM 有り）の製作

前述したように、現在製作している空洞の1台目、すなわちKEK内製9セル超伝導空洞0号の製作では、HOMカプラーを省略した形状となっている。これに対し、この秋から製作を開始する2台目、すなわち、KEK内製9セル超伝導空洞1号では、HOMカプラーを含む完全な形状で製作を行う。さて、図3に示すように、9セル超伝導空洞の製作は大きく3つ、すなわち、中央のセル部分と、両端のエンドグループに分けられる。中央のセル部分については、いかにダンベルの製造を効率的に行うかが量産化の課題である。これに関しては、すでに海外の企業で複数のダンベルを同時に真空容器に入れ、ダンベルを順次ビームの下に移動して溶接することで、真空容器の排気時間を短縮し、生産効率を上げる方法が実行されている。パイロットプラントでは、この方法を実際に試験することも目標としている。これに対し、エンドグループの製造方法の効率化は複雑な形状のHOMカプラーをいかに効率的に製造するかという研究課題となる。KEKでは、パイロットプラントの活動として、2010年9月から、しのはらプレスサービス（株）と共同研究でこの課題に取り組んでいる。図9にその研究成果の一部を



図 9 : HOM管の先進加工法

示した。現在のHOMカプラーの製造方法は、HOM外導体の管形状の部分については、パイプを製作してから、片側の端に電子ビーム溶接で蓋をして、その蓋の外側にHOMカプラー調整用のノブ（突起）を電子ビーム溶接で付加している。これに対し、しのはらプレスサービス（株）との共同研究では、HOMの外導体を、深絞りで成形し、さらに、HOMカプラー調整用のノブまでも同時に深絞りで成形することを目標としている。図9に示したHOM外導体の深絞りの試作では、1回目のプレスでHOM外導体の管形状を加工し、さらに2回目のプレスで突起部分の成形を行っている。今後の課題としては、深絞り後の端部の凹耳と凸耳の差が大きいことの解決や、突起部の形状がまだ完全ではないため、突起形状の完全な成形等がある。

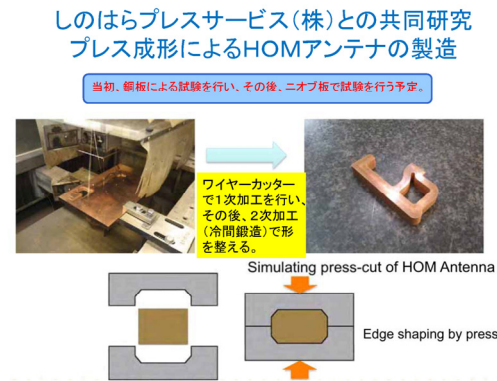


図10：プレス成型によるHOM内導体アンテナの製作

さらに、しのはらプレスサービス（株）との共同研究では、HOMカプラーの内導体アンテナの効率的な製作方法についても研究を行っている。図10に、そのアイデアを示した。現在は、HOM内導体のアンテナは、削り出しとヤスリ掛けによる最終形状への加工を行っており、大変手間のかかる製造方法になっている。これに対し、図のようにワイヤーカッターで1次加工した粗形状を、プレス加工（2次加工）によって成形する方法を研究している。現在、プレス加工のシミュレーションと、プレス加工用の試験金型の製作を行い、ニオブ材料によるプレス加工試験を行っている。これらの製作方法が実証された場合、複雑なHOMカプラーの製作は、大幅に簡素化されることが期待できる。今後、できればKEK内製9セル超伝導空洞1号の製作で、これらの技術を使用することを考えている。

6. まとめ

KEK内に、超伝導空洞の量産製造技術の研究を行う施設（パイロットプラント）の構築を行っており、

この施設の構築の現状と、これを利用したKEK内での超伝導空洞の製作について報告した。パイロットプラントのプレス機と東成エレクトロビーム（株）の電子ビーム溶接機を使用して、KEK内製9セル超伝導空洞（HOM無し）0号の製作が進んでおり、13個のダンベルの製作を行い、その内の8個を溶接して空洞の中央セル部を完成させた。今後、秋頃に0号空洞の製作を完了したい。パイロットプラントに設置される電子ビーム溶接機に関しては、ドイツのミュンヘンにあるシュタイガーバルト社で製作され、ドイツの工場を出荷する直前に、著者を含むKEK職員の立会いの下、Acceptance Testが行われた。この電子ビーム溶接機は、4月にパイロットプラントに仮設置され、5月後半から最終調整を行った後、6月末には試運転を開始した。

しのはらプレスサービス（株）との共同研究において、エンドグループのHOMカプラーについて、効率的な製作方法の研究を行っている。HOM外導体の深絞り成形について試作が行われ、深絞りによる成形法におおよその目処が立った。HOM内導体アンテナについても、プレス加工のシミュレーションに基づき、プレス加工用の試験金型の製作を行い、ニオブ材によるプレス試験を行っている。これらの技術は、今後、KEK内製9セル超伝導空洞（HOM有り）1号の製作で使用することを目標としている。

参考文献

- [1] ILC RDR, <http://lcdev.kek.jp/RDR/>.