

## CONSTRUCTION OF CAVITY FABRICATION FACILITY IN KEK

Kenji Ueno <sup>#A)</sup>, Yasuo Ajima <sup>A)</sup>, Hitoshi Inoue <sup>A)</sup>, Yuichi Watanabe <sup>A)</sup>, Takayuki Saeki <sup>A)</sup>, Seiya Yamaguchi <sup>A)</sup>

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

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

### Abstract

In the development of the superconducting cavity for accelerator that is the main composition equipment of international linear collider (ILC), electron beam welding (EBW) becomes an important process on the cavity of which the Nb material is used. The technology of EBW influences the cavity performance that is cavity gradient. Because of EBW in the equator part of cavities and large amount of process is needed for cavity manufacturing process. In KEK we constructs the pilot plant where the superconducting cavity processing technology by EBW. A clean room was completed as of March of 2010, and the main process equipment except EBW and the CP processor were installed in a clean room. As for the EBW machine, it is scheduled to install it in March, 2011.

### 空洞製造技術開発施設（CFF）の建設

#### 1. はじめに

国際リニアコライダー（ILC）用の空洞製造技術開発は、電界性能上、製造コスト上から非常に注目されている。空洞の電界性能については、近年著しく改善が進んでいるものの、その性能を左右する要因が数多くあることと、空洞完成までに多くの工程を経ているため、各因子が十分管理されることが必要であり、まだ改善する余地があると考える。この製作の全工程中、電子ビーム溶接（以後 EBW という）についても、EBW 特有のビード幅の一定化、溶接部及びその付近にピットがないこと、安定したバンプであること等、まだ技術的に検討、すなわち R&D 要素を解決しなければならないことがあり、製造コストについても、現状の空洞製造に EBW の工程の費用が、相当の割合を占めていることから検討しなければならない。

このような背景に加えて、空洞完成後の表面処理（電解研磨処理）設備が KEK 内で既に機能しているので、空洞製造部が KEK 内で立ち上がれば一箇所で空洞性能に関する R&D が取り組める。この施設の目的は、空洞の製造技術の確立、製造コスト低減の他、日本国内に EBW 技術、空洞に関する製造技術を広めることである。例えば、空洞製造に関する共同開発を行なえる場を具体的に準備することであり、さらには、共通の場で R&D 活動を共有し、将来は、空洞製造の工業化のきっかけを目指すものである。

KEK においては、以上のような空洞製造上の技術的改善を目的とした理由を踏まえて、空洞製造技術開発施設の建設することが平成 21 年度に決定した。この空洞製造技術開発施設の建設状況について報告する。

#### 2. 建設の背景

##### 2. 1 EBW マシンの動向調査

空洞の製造工程に占める EBW は、非常に重要な加工工程であるが、現在の EBW においては、EBW 特有のビード幅の一定化、溶接部及びその付近にピットがないこと、安定したバンプであること等、まだ技術的に検討すなわち R&D 要素を解決しなければならないことが多い。一方 KEK においては既に空洞完成後の表面処理設備が機能しているので、空洞製造部が KEK 内で立ち上がれば一箇所で空洞性能に関する R&D が取り組める。R&D の目的は、空洞の製造コストが、目標とするコストに近づけるための対策を見出すこと、日本国内に EBW 技術、空洞に関する製造技術を広めることである。このためには、例えば空洞製造に関する共同開発を行なえる場を具体的に準備することである。さらには、共通の場で R&D 活動を共有し、将来は空洞製造の工業化のきっかけを目指すことである。

以上のような技術的改善を目的とした背景から、空洞製造技術開発施設の建設計画に関して、平成 21 年 4 月から具体的な活動を開始した。次ページに示す表 1 に記載のテーマを協議し、また国内の調査、海外の調査を経て、空洞製造技術開発施設の建設を視野に入れて EBW の最新技術及び動向調査の活動をした。調査先は、国内ベンダー 1 社、海外ベンダー 3 社、ユーザは、国内 4 社、海外 2 社及び研究機関 3 機関である。

##### 2. 2 対象空洞と機械工学センターのこれまでの EBW とのかかわり

EBW の対象空洞は、図 1 に示す空洞である。この

空洞は、大きく分けて中央 9 セルの本体部と両端におけるエンドグループ部に分けられる。中央部の空洞の 8 セル分は同一仕様の EBW 作業となる。具体的には赤道部、アイリス部、及び空洞の剛性を高めるスティフネスリングの固定部である。本体部の EBW 箇所は、合計で 24 箇所存在する。両端のエンドグループの EBW 部は、12 箇所、左右 2 個のエンドグループのため、計 24 箇所の EBW 箇所が存在する。全てを併せて 48 箇所である<sup>1)</sup>。

表 1 調査内容

1. 加速電圧 高電圧：150 kV、低電圧：60 kV
2. 電子銃移動方式 電子銃自体の移動 または 電子銃固定でワーク（テーブル）移動
3. 最先端 EBW 技術、ビームサイズ、ビーム位置再現性、フィラメント寿命、真空度、ハード面、ソフト面、メンテナンス面
4. 周辺整備 クリーンルーム（ISO 程度）、搬送装置、等
5. 将来の拡張性、発展性のある装置
6. マンパワー 設備維持の必要人数、作業員の必要レベル、等

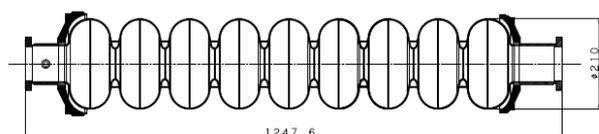


図 1 ILC 用超伝導空洞

図 1 は、判りやすくするために、ビームパイプ部は、簡略している。

機械工学センターには、出力電力 6 kW、加速電圧 150 kV、真空チャンバが 1 m × 1 m × 1 m の EBW マシンを所有しており、これまで多くの部品レベルの EBW 作業を経験している。また、超伝導空洞の小物部品を EBW 作業してきた。この作業目的は主として EBW の条件出しである。今回の動向調査には、この経験が非常に役立った。

### 2. 3 KEK が求める EBW マシン

半年間の調査、研究会等の議論の結果、KEK が求める EBW マシンの主仕様は、表 2 に示す仕様である。

EBW の主仕様中最も重要と判断した項目は、ビーム品質である。これに大きく影響する項目として使用出力電力と加速電圧がある。空洞部の Nb 板の EBW あるいはエンドグループの Nb 部品の EBW の電力は、6 kW 程度でも十分対応できると判断しているが、対象 EBW マシンの将来一定の制限の中でどの

ような部品の EBW を求められても可能なように 15kW とした。また、加速電圧に関しては、高電圧 150 kV と低電圧 60 kV との比較を行い、それぞれにメリットデメリットがあることを確認し、最終的に、ビームの質とビームの絞れる大きさ、電子銃（または天井）から焦点までの距離（ワークディスタンスという）が大きくとれること、及びフィラメント交換時のビーム位置再現性を重視し、60 kV を含む高電圧型とした。近年の EBW マシンのソフト機能は、PC の発達にも支えられ、相当進化している。さらに、各市販の EBW マシンのソフトウェアの内容は、一部を除けばほぼ各 EBW マシン横並びである。従って、最終的に表 2 の仕様を採用することにした理由は、突き詰めれば EBW のビームの質による判断基準としたことによる。このマシンは、平成 23 年 3 月に納入される予定である。

表 2 動向調査に基づいて検討した KEK 向けの EBW マシンの主仕様

1. 定格出力電力	15 kW
2. 加速電圧	60~150kV 間で連続可変 また、出力電圧の最小表示単位 0.1kV でデジタル表示のこと。
3. 電圧長時間安定度	60kV~150kV 間で、設定電圧値に対して±0.5% (p-p) 以下であること。
4. 電子ビーム電流	60kV~150kV 間で 0mA から 100mA まで連続可変可能なこと。電子ビーム電流の最小表示単位は、0.1mA でデジタル表示のこと。
5. ビーム最小半径	0.25mm (ワークディスタンス 200mm)
6. ビームの位置再現性	±0.05mm
7. 非点収差補正機能 (Stigmator)	付属のこと

## 2. 空洞製造技術開発施設とそのレイアウト

この空洞製造技術開発施設は、KEK の PS エネルギーセンター内に設備することにした。そのレイアウト図を、図 2 に示す。PS エネルギーセンターの大きさは、52m × 30m である。その中に 19m × 14m × 高さ 5m (一部 3.5m) のクリーンルームを建設した。図 3 にクリーンルーム内のレイアウトを示す。このクリーンルームは、清浄度が、数万値のクラスであるので、前室は存在するが、エアシャワー室は設けていない。室内が一定の清浄度が保たれば、EBW 作業はさらに真空チャンバ内で実施することから EBW の品質には影響がないと判断した。図 4 は、クリーンルームの外観図、図 5 は EBW マシン据付予定

のエリアの写真である。

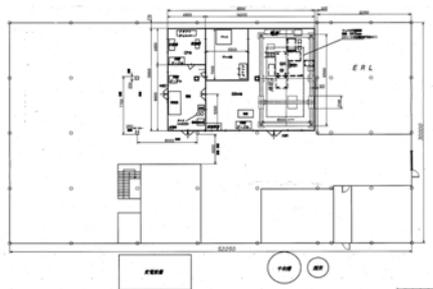


図2 PSエネルギーセンター全体レイアウト図  
—横52m、奥行き30m—

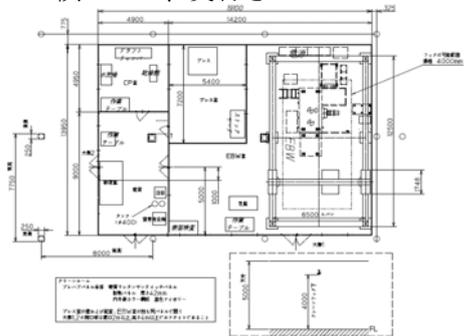


図3 クリーンルームのレイアウト図  
正面19m、奥行き14m、高さ5m  
(一部3.5m)



図4 クリーンルームの外観図



図5 EBWマシンの設置予定エリア

#### 4. 設備計画と導入設備

EBWマシンを核にして、このクリーンルーム内で空洞の製造が可能ないように計画した。空洞製造技術は、EBW技術が中心技術であるが、その前後にいくつかの工程(技術)を必要としており、一箇所で空洞製造するというコンセプト実現のために、必要な工程(マシン、装置)を計画、整理した。

表3に示す設備が、クリーンルーム内に必要な設備として計画したものである。表3の中、注\*を付記した装置は平成21年度末(平成22年3月末)に設置完了している。

空洞製造にあたり、現状の製造過程でR&Dを必要とする工程の一つに、プレス及びトリミング加工がセットとして必要であることから、対象工作機械を設備した。図6にサーボプレス機を、表4に同機の主仕様を示す。このサーボプレス機は、1500kNの加圧能力を備えており、また9種類のプレスパターンを有している。

表3 超伝導空洞製造技術開発施設に必要な設備  
注\*を付記した装置は平成21年度末(平成22年3月末)に設置完了

クレーン 2.8t(EBW用)*
コンプレッサ(EBW用)*
冷却水(EBW用)
EBW用ジグ
プレス機:サーボ式プレス150トン*
空洞専用3次元測定器、
定盤、*
空洞形状測定器ハイトゲージ
CP装置:ドラフト+純水製造装置+スクラバ(内部)+ダクトで外部へ
窒素発生装置(EBW用、素材冷却取り出し時に使用)*
CNC縦型旋盤*
ヘリウムリークディテクター*
表面検査装置、*
レーザー顕微鏡(機械工学センター既存)
バーリング機(カプラー穴、モニター穴をバーリング STF棟)
ネットワークアナライザと関連高周波機器(セルやダンベル周波数測定)
空洞形状矯正装置(既存)
ネットワーク+サーバ(データ通信)



図6 サーボプレス機の外観

以上の設備を含め、平成 22 年度中に立ち上げを目的の一つとして、現在進めている EBW の基礎試験を基に、この空洞製造技術開発施設で、平成 22 年度中に 1 本の空洞を製作する計画で取り組んでいる。

表 4 プレス機の主仕様

加圧能力	1500k N(150t)
ストローク数	0~50/分
ストローク長さ	225mm
ダイハイト	430mm
シャンク穴径	50.5(F7)mm
電動機	35 kW
制御機能	デジタルサーボプレス機能
スライドモーション機能	等速運動モーションなど9種類 のモーション機能を付属



図 7 トリミング用 CNC 縦型旋盤の外観

表 5 CNC 縦型旋盤の主仕様

ベッドの振り	600mm
最大加工径	450mm
最大加工長さ	448mm
主軸回転速度	30~3000回転/分
工具取り付け本数	8
電動機	18.5(30分)/15(連続)kW
NC 制御軸	X 軸、Z 軸の 2 軸
最小設定単位	0.001mm
最小移動単位	0.001mm
対話型自動プログラミング機能	付属

図 7 には、トリミング加工機の CNC 縦型旋盤の外観図を示す。また同機の主要仕様を表 5 に示す。

最後に、現在製作中の EBW マシンの全体計画図を図 8 及び真空チャンバの仕様を表 6 に示す。この真空チャンバの仕様は、空洞 1 本を立てて水平方向に EBW する、あるいは横方向に設備して EBW を天上から可能なこと。また将来数本をまとめて回転テーブルに載せ、1 度の真空引き後に EBW 作業が可能な場合を想定して決定した。エンドグループの EBW に関しては、サイズが小さいことから真空チャンバ内のスペース上十分余裕がある。

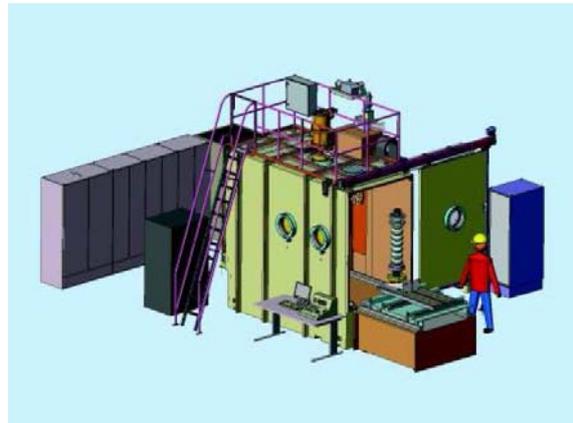


図 8 設備計画中の EBW マシンの全体計画図

表 6 EBW 用真空チャンバの主仕様

正面 (内寸)	3200mm
奥行き (内寸)	1500mm
高さ (内寸)	2200mm
真空度	$1 \times 10^{-2}$ Pa
その達成時間	20 分以内
真空チャンバの材質	ステンレス (SUS316L)
内面	ベーパーシールド付

## 5. まとめ

ILC 用の超伝導空洞の高電界性能向上の目的から、KEK 内に空洞製造技術開発施設を建設する計画に基づいて、平成 21 年度にその基本計画を定め活動した。この施設の目的は、空洞の製造技術の R&D と空洞製造技術の確立及び工業化準備である。基本的には、人材育成と開発できた技術の伝承(継続)であり、空洞製造技術の確立に向け積極的に取り組んでいく。

謝辞 EBW マシンの調査にご協力いただいた調査先の皆さまに心から感謝を申し上げます。

### 参考文献

- 1) 早野仁司「空洞部品の種類と点数」平成21年9月10日 第3回 AAA 会議 於 KEK