

# DEVELOPMENT OF NON-CONTACT 3D MEASUREMENT SYSTEM FOR HALF CELLS

Kazuhiro Enami<sup>1,A)</sup>, Tatsuya Kume<sup>A)</sup>, Yasuo Higashi<sup>A)</sup>, Kenji Ueno<sup>A)</sup>

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

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

## Abstract

We strive to develop a 3D coordinate measuring machine, which can measure the shape of parts of accelerator cavity with without contact and rapidly. Currently, the ILC (International Linear Collider) project is progressing through international collaboration. The major goal of ILC is to produce and investigate Higgs bosons. ILC consists of two linear accelerators facing each other, and will hurl some 10 billion electrons and positrons toward each other at nearly the speed of light. The cavity is an important component to accelerate particles to near light speed. A cavity's inner 3D shape influences the accelerating performance. Therefore, it is important to measure the shape of the parts of a cavity. We are developing a highly accurate and non-contact shape measuring machine using triangulation method.

## ハーフセルの非接触形状測定

### 1. 緒言

現在、アジア-アメリカ-ヨーロッパの世界的協力で ILC (International Linear Collider) 計画が進められている。これは、理論的に存在が予測されているヒッグス粒子を検出し、宇宙や重力の起源を解明する計画である。この計画では、300GeV 以上のエネルギーを持つ電子-陽電子衝突実験が必要となる。そのため、世界に一台全長 50km 程度の線形加速器を建造する予定である。

従来の衝突実験には円形加速器が用いられていた。これは環状の加速管内を粒子を周回させて加速する方式である。しかし、粒子は円運動時にシンクロトロン放射をおこしてエネルギーを失ってしまう。このため、300GeV といった高エネルギーを与えることができない。このため、直線加速器を使用する。

円形加速器では周回させることで加速に必要な距離を稼ぐことが可能だが、直線加速器では射出点から衝突点までの直線区間で最終速度まで加速する必要がある。そのため、従来の加速器より高い加速勾配 (単位距離あたりのエネルギー増加量) が必要となる。この高加速勾配をもつ加速管の開発を現在おこなっている。

電子・陽電子を加速するためには Fig. 1 に示す形状の加速空洞を使用する。加速管の加速勾配など性能は、空洞内部の形状によって左右され、全体形状の変化や、クラック・突起部の発生は加速勾配の悪化を招く。

現在開発中の加速空洞の作製方法を以下に示す。まず、底の抜けたお椀状のハーフセルをニオブ板からプレス成形する (Fig.2)。ついで、アイリス部 (お椀の底) 同士を電子ビーム溶接してダンベル形状を

作成する、最後にダンベルの赤道部同士を溶接し、両端のエンドグループ等を溶接して加速空洞とする。基本部品となるハーフセルを設計値通りの形状を均一にプレス成形することは困難である。これは、材料コストのためプレス時の”みみ”を大きく取るとは困難なことや、その物性や異方性に起因する。また、ダンベル等の溶接によりセルには歪みが発生する。こうした状況から、大量生産においてはプレス時等の品質管理が重要になる。この時、CMM で全数測定することは以下の点で現実的ではない。

- 接触による傷がつく
- 測定用セッティングの手間がかかる
- 測定時間がかかる
- ジグによる変形が考えられる。

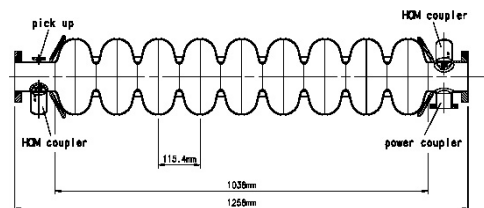
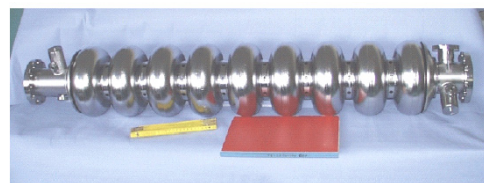


Figure 1: 加速空洞

そこで、本研究では、ハーフセルの非接触三次元形状測定装置の開発を目指す。また、ダンベル作製時の溶接における歪みの測定も目標とする。

<sup>#</sup> enami@post.kek.jp



Figure 2: ハーフセル (左) とダンベル (右)

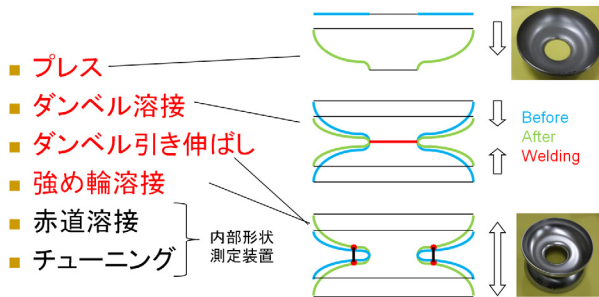


Figure 3: 製作工程における変形

## 2. 測定機の仕様と測定原理の決定

目標とする測定機に求める条件を以下に示す

- 非接触で測定する。
- 測定が容易であり，専門の人間を必要としない。
- 測定時間が短い。
- 測定用セッティングが容易である。
- ジグによる固定の必要がない。

そこで，ラインレーザを用いた三角法による形状測定を採用し，現在別途開発中の内面形状測定装置の知見を応用することとした。

## 3. 測定機の構成

Fig.3 に開発した測定装置を示す。測定ヘッドはレーザユニットとカメラからなり，ラインレーザにそった 2 次元形状測定が可能である。ラインレーザとして，360°方向に照射可能なリングレーザを採用した。これは円錐ミラーを用いてリング状にレーザを照射するものである。これにより，回転楕円体に近い測定面への均一な光量での照射が可能になる。また，測定ヘッド回転軸上にレーザを当てることができるため，レーザのアライメントがしやすい利点もある。

形状測定には乱反射成分を利用してすることとする。測定される表面は，加速空洞製造の工程として，化学研磨を行うため，粗面から準鏡面と幅がある。化学研磨後も，弱くはなるが乱反射成分は帰ってくるため，これを用いることとした。

この測定ヘッドを回転させることで 3 次元測定をおこなう。現状ではラインレーザの片側だけの測定のため，1 回の測定にほぼ 1 回転が必要になるが，

最終的にはカメラを増設して両側を同時測定出来るようにする。これにより半回転で 1 ハーフセル測定出来るようになる。測定ヘッド下部はセルの上端と干渉しない構成になっているため，横から滑らせてセットすることが可能である。これにより，プレスしたハーフセルをその場で容易に検査することが可能となる。

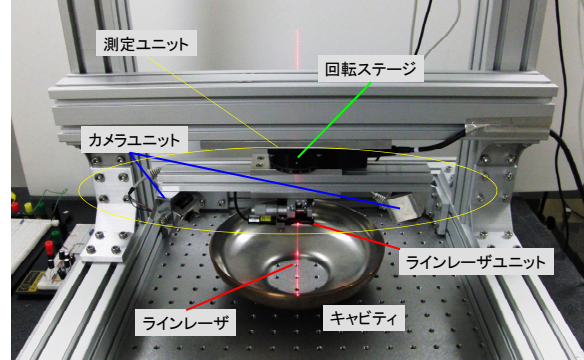


Figure 4: 測定機の構成

## 4. 測定実験

本測定機の実験手順を以下に示す。まず，ハーフセルを設置し，測定ヘッドを回転させながら単位角度ごとに画像を取得する。このとき，セルをジグ等でがっちり固定する必要はない。

カメラで取得した原画像から，中心線検出をおこない，次いでレーザ切断面上の 2 次元座標に変換する。これを各角度においておこなうことで 3 次元形状を測定する。本装置でハーフセルの測定実験を行った。測定時の取得映像を Fig.5，構成した 2 次元断面を Fig.6 に示す。2 次元断面データの色は Z 座標（高さ）を示している。また，Fig.7 に 1 断面の測定結果とその設計形状からの誤差を示す。X 方向，Z 方向及び法線方向の誤差を求めることで，プレスの改良や品質管理，溶接ひずみの監視を行うことが可能である。Fig.8 に 3 次元形状データを示す。これらから，本装置を用いてハーフセル形状が測定できていることを示した。

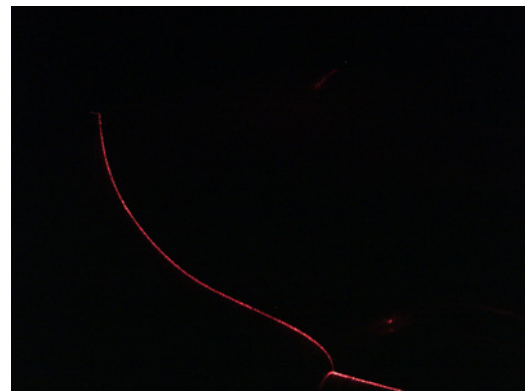


Figure 5: ラインレーザ画像

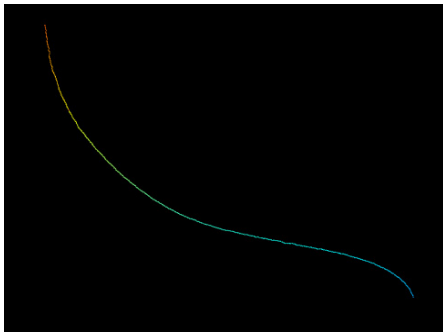


Figure 6: ラインレーザ画像と2次元断面形状

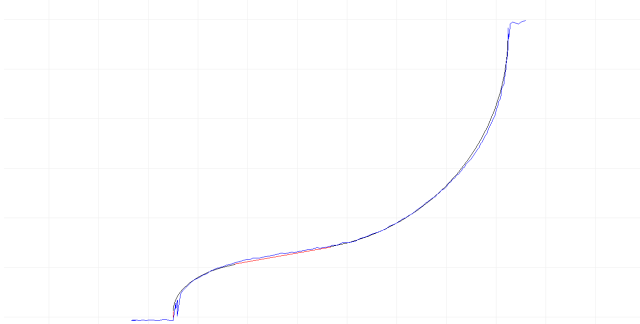


Figure 7: 測定結果と設計値の比較

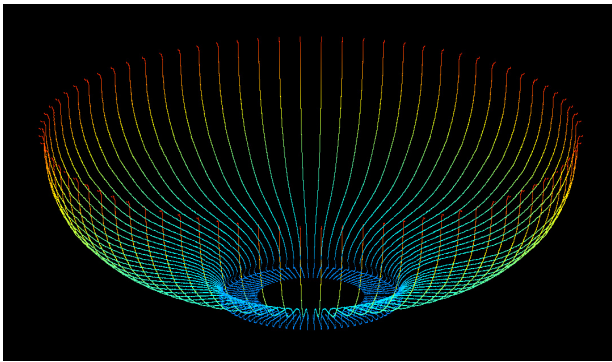


Figure 8: ハーフセルの3次元形状  
(下面は測定台平面)

## 5. 誤差の原因と対策

測定精度の評価のため、CMM での測定結果との比較をおこなった。Fig.9 は設計値からの法線方向のずれの測定結果を CMM, レーザ測定で比較したものである。各々90°ごとに4プロファイル測定している。

測定結果は、ほとんどの領域で CMM 測定結果との誤差は 0.1mm に収まっている。しかし、X 面の測定では、一部のデータに 0.4mm 程度の誤差が生じている。これは、レーザと測定面、カメラの位置関係のわずかな変化のため、測定画像のレーザ輝度変化が大きくなってしまうためである。カメラ上のレーザラインの輝度が強すぎるためサチュレーションをおこし、中心検出がうまく行っていないことに起因する。そこで、サチュレーションに対

応した中心検出アルゴリズムを開発し、形状算出をやり直した。結果を

Fig.10 に示す。CMM 測定（紫線）とレーザ測定（水色線）で結果がずれている箇所があるが、改善後のレーザ測定データ（赤の十字）では、CMM の測定結果と一致しており、CMM との誤差は 0.1mm 以下に抑えることができた。今後、サチュレーションに依る誤差発生を検出するアルゴリズムと、2つのアルゴリズムによる測定結果をマージするアルゴリズムを作成する必要がある。

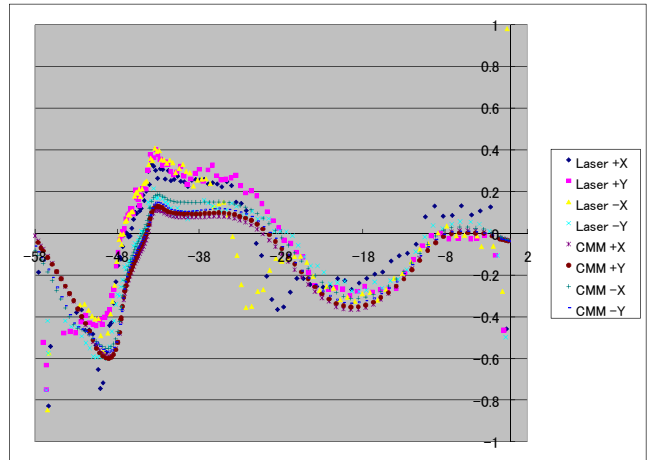


Figure 9: 測定結果

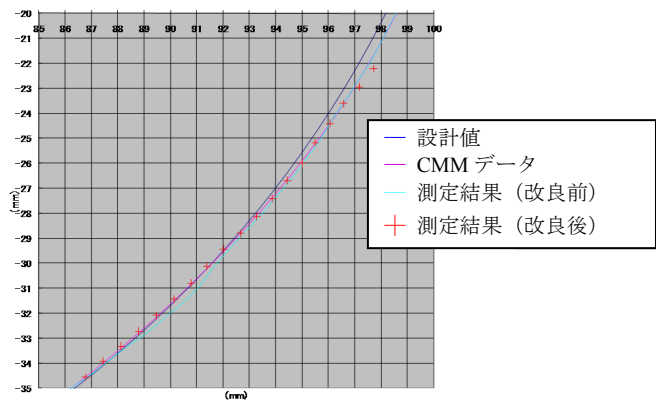


Figure 10: データ改良結果

## 6. 結言

加速空洞の開発及び製作におけるハーフセル測定の意義について説明し、その要求について述べた。この要求に従い、ハーフセル形状測定装置を考案・開発し、測定実験をおこなった。ほぼ全面にわたって 0.1mm の精度で測定できていることを示した。今後、一部誤差の大きい箇所の改良と、全体的な精度向上、測定速度の向上などの改良を行う。