

# Automated image capture and defects detection by Cavity inspection camera

Yoichiro Kikuchi<sup>A)</sup>, Yoshimoto Hoshi<sup>A)</sup>, Ken Watanabe<sup>B)</sup>, Hitoshi Hayano<sup>B)</sup>, Yoshihisa Iwashita<sup>C)</sup>

A) Tohoku gakuin University, Faculty of Engineering

1-13-1 Chuo Tagajo-shi Miyagi 985-0873

B) KEK, C) Kyoto University

## Abstract

The defects as pit and scar make electric/magnetic field enhance and it cause field emission and quench in superconducting cavities. We used inspection camera to find these defects, but the current system which operated by human often mistake file naming and require long acquisition time. This study aims to solve these problems with introduction of cavity driving automation and defect inspection. We used rs232c of serial communication to drive of motor and camera for the automation of the inspection camera, and we used defect inspection software with defects reference images and pattern match software with the OpenCV lib.

By this automation, we cut down the acquisition time from 8 hours to 2 hours, however defect inspection software is under preparation. The defect inspection software has a problem of complexity of image back ground.

## 空洞内面検査カメラの自動画像取得と欠陥検出

### 1. はじめに

超伝導加速空洞内面に凹凸があると周囲の磁界が強調され、臨界磁場を超えると超伝導が破れて発熱し超伝導空洞をクエンチさせると考えられている。また加速電界が上昇したとき表面に付いた異物や突起からは電子が放出され、内部の電界によって加速されたそれが内面にぶつかるとその部分を発熱させ、これもクエンチの原因となる。

これらの空洞の性能を制限する空洞内面の欠陥を検出するために空洞内面検査カメラが使われてきたが、手動での操作では時間がかかり間違いも多い。そのような操作のミスをなくし、撮影時間を減らすために空洞の駆動と撮影の自動化を導入した。また、撮影した画像から欠陥を自動的に検出するソフト

ウェアを二つの方式で作成および評価をし、画像取得、欠陥検出を全自動で行えるシステムを開発中である。

### 2. 自動画像取得

#### 2.1 空洞の駆動制御機器

空洞内面の全域を撮影するためには空洞の周方向の回転、軸方向の移動、カメラのフォーカス、ミラー角度を制御する必要がある。それぞれRS232CでPCに接続し、VisualBasicで作成されたプログラムで制御される(図1)。

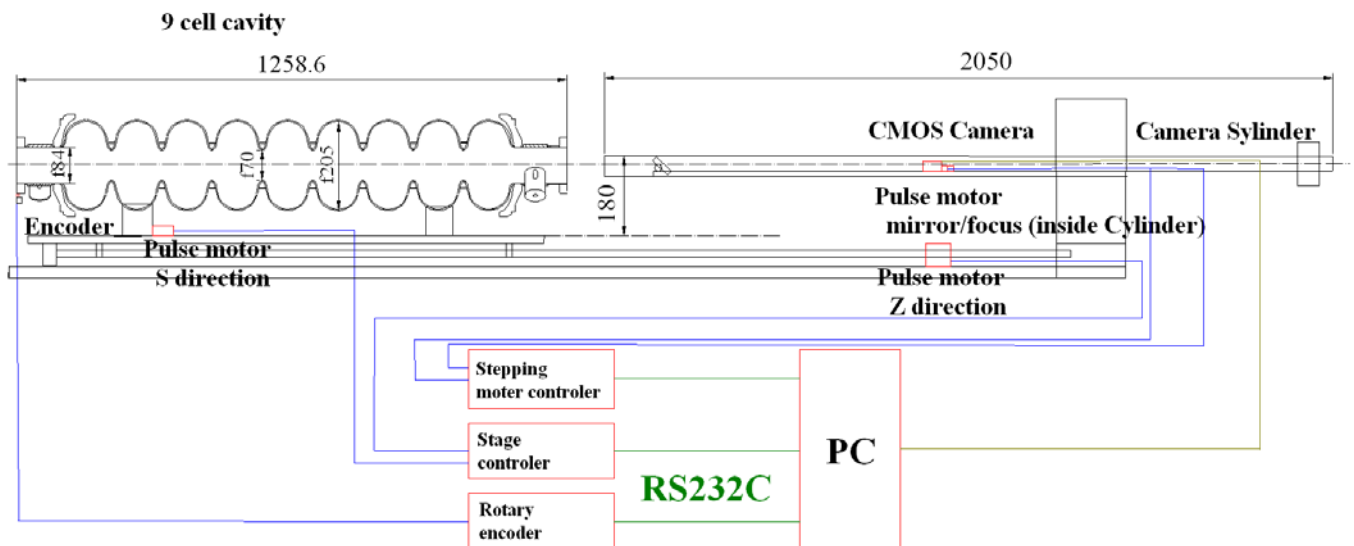


図 1 : 駆動制御機器

## 2.2 自動化ロジック

自動的に空洞の撮影を行うためには、主に周方向と軸方向の制御が重要になる。

一つのセルのアイリス、赤道の一周分を撮影するには、カメラを溶接ビードの直上に固定し、空洞を一定角度ごとに回転させ、画像をキャプチャする。回転量は円周とカメラの撮影範囲によって決まり、現在のカメラシステムでは赤道は80枚、アイリスは40枚ほどで一周分を撮影できる。多セル空洞の場合には一つの赤道(またはアイリス)の撮影が終わったら次のセルに移動し、再度一周分を撮影する。これを繰り返し、全セルでの撮影を行う。図2は自動化ロジックの概略である。

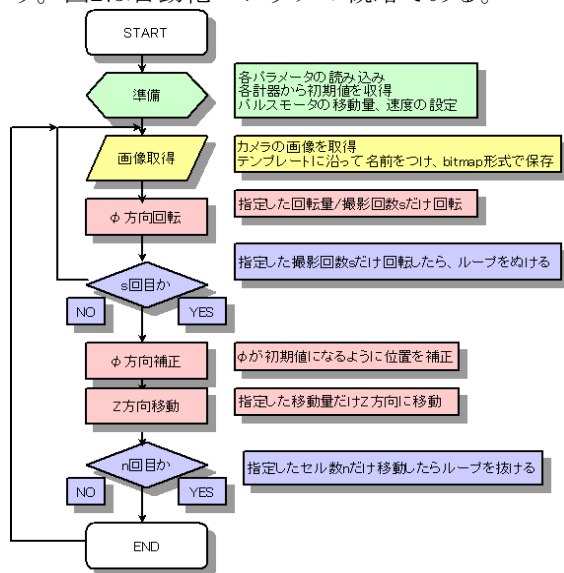


図 2 : 自動化ロジックの概略

## 2.3 ファイル名テンプレート

ファイル名のテンプレートを以下のように定めることによって、検索を簡単にし、重複によるファイルの損失が起こらないようにした。

Current Directory¥Image¥Date¥  
TMP001\_I01\_P00\_000.bmp

撮影した画像ファイルはアプリケーションのパス下に作られたImageフォルダ内の日付のついたフォルダに保存される。

ファイル名の詳細は以下となっている。

- TMP001 : 空洞の名称と製作番号
- I01 : 撮影部分  
アイリスならI+アイリス番号  
赤道ならE+セル番号
- P00 : ミラー角度、  
天頂角を0度としPなら空洞上部  
Mなら空洞下部へ向けた角度
- 000 : 空洞のインプットカプラから時計回りの角度

## 2.4 周方向、軸方向のずれの補正

モータの特性上、移動パルス量と実際の移動量は一致しない。これはモータのバックラッシュや空洞のトルク、ローラの滑りによって起こるが、事前にどれほどの量がずれるのかを予測することは難しい。したがって、モータを動かしたあとに実際の移動量との差を補正しなくてはならない。

周方向に対しては一回の移動量がそれほど多くなく、画像のファイル名に用いる角度はロータリーエンコーダから正確な値を得ているので、一回ごと補正をかけてやる必要はない。一周の撮影が終わったらロータリーエンコーダの一周分の値と実際に移動した一周分の値を比較し、0度になるように動かすことで補正をかける。

軸方向に対しては一回ごとのずれが大きいためそのたびに補正をかけてやる必要があるが、現在移動量を測るスケーラがないため補正を行っていない。今後導入して補正をかける予定である。

## 2.5 フォーカス

空洞の円周が完全な円で、空洞全体にゆがみがないなら、空洞を回転させても固定されたカメラの撮影する像のフォーカスがずれることはない。しかし、実際の空洞はそうはなっておらず、空洞を回転させるに従って像はぼやけていく(図3)。撮影の際のこうしたフォーカスのずれは現時点では人間が目で見えて修正してやるしかない。今後この問題をオートフォーカスソフトウェアの導入で解決したい。

オートフォーカスの原理は主に二つに分かれるが、フォーカスのための特別な光源はないので現在の照明とカメラのみを使用するコントラスト検出方式を採用し、キャプチャした画像を用いてコントラストが最大になるようにフォーカスを合わせる(図4)。

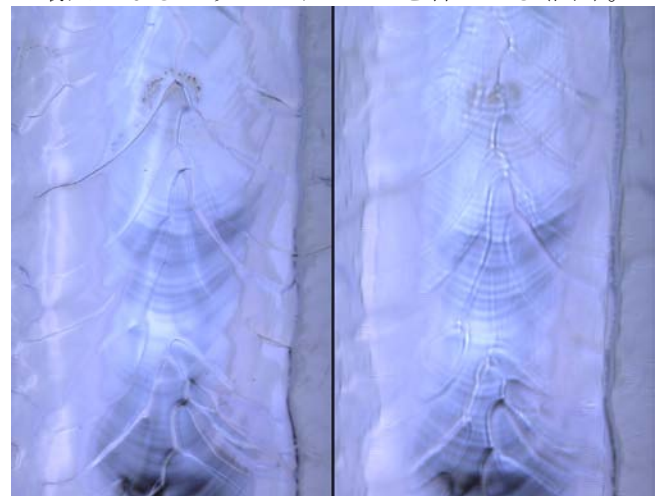


図 3 : フォーカスが合っている画像(左)と合っていない画像(右)

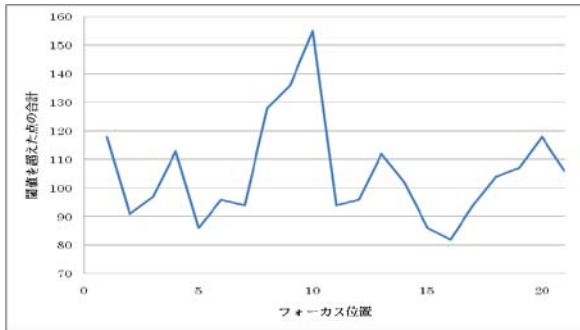


図 4 : フォーカスを変えたときのコントラストが閾値を超えたピクセル数

## 2.6 自動画像取得の結果

撮影時間は9セル空洞で以前の8時間からアイリス一周4分を10か所、赤道6分を9か所、その他の設定などを含めて2時間へと短縮され、ファイル名となる角度などの情報をつけ間違ふことはなくなった。だが現時点では連続で撮影するとフォーカスがずれ、画像がぼけてしまうため人間がついてフォーカスを調整しなくてはならない。今後、その問題をオートフォーカスの導入で解決する。

## 3. 欠陥検出

### 3.1 テンプレートパターンマッチング方式

実際の撮影画像から傷やピットなどの部分を切り出したものをテンプレート画像とし、検出対象の画像に対し合致している部分がないかを探す方式である。はじめに合致率を定め、テンプレートと対象の画像の画素を比べ一致率が定めた値を超えているならそれを欠陥として検出する(図5)。しかし検出はテンプレートの数に依存し、テンプレートが増えるとも誤検出が増え、時間がかかるなどの問題がある。

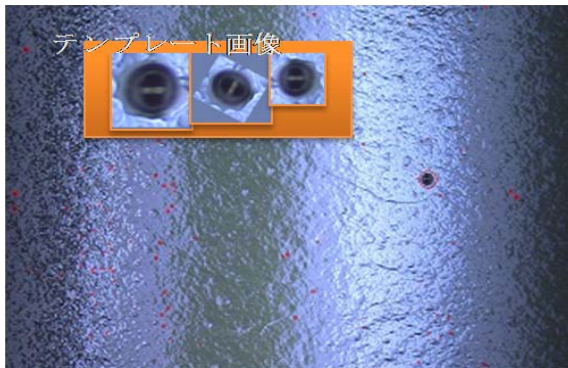


図 5 : テンプレート画像と検出結果

### 3.2 領域特徴量抽出方式

ピットの領域はカメラの方向への反射が少なく、周辺の領域より暗く見えてくる。取得した画像に

対して2値化処理を行うとこうした輝度の異なる領域を抜き出すことができる。その後抜き出した領域が円形かどうか調べることで、画像からピットの領域を検出することができる(図6)。欠陥検出の精度は閾値、円形度の決定に依存し、適した値以外では誤検出が増える。

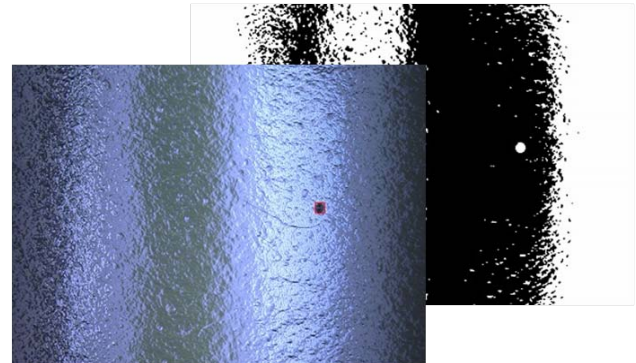


図 6 : 2値化画像(左)と検出結果画像(右)

### 3.3 欠陥検出の結果

図5、図6に見られるように領域特徴量抽出方式は円形の欠陥をよく検出できるが、テンプレート方式は欠陥を検出できるものの誤検出も多い。また傷などの欠陥に対してはテンプレート方式のほうが適していて、使い分けていく必要がある。はじめに両方式とも一致率、閾値、円度などのパラメータを指定しておく必要があり、適した値でないと誤検出が増える。

## 4. まとめ

本プログラムを作成したことで、9セル空洞のアイリス、赤道溶接ビードの撮影はマニュアル操作時の8時間から2時間に短縮できた。角度情報、位置情報は撮影画像ファイル名に組み込まれ、人間操作のときのような間違いは起こらなくなった。

しかし、フォーカスのずれに対してはいったんプログラムを止めマニュアルで補正をかけてやる必要がある。今後この点はオートフォーカスの導入で改善する予定である。

欠陥検出は二つの検出方式を用いて行い、ほとんどの欠陥を検出することができた。しかし誤検出も多い。今後、空洞を撮影し、その画像を自動で欠陥検出にかけ、欠陥を画像上にマークするという一連のシステムを構築する予定である。

## 参考文献

- [1] Y. Iwashita, et al., Phys. Rev. ST Accel. Beams 11, 093501 (2008).
- [2] OpenCV リファレンスマニュアル <http://opencv.jp/>