



京都大学



画像処理技術を用いた 空洞内面検査システムの高度化

栗山(京大KURNS)、岩下(京大ICR)、早野(KEK)、広田(名大)、不破(JAEA)



内容



超伝導空洞内面検査システム



検査システムの課題



課題克服に向けた
新技術の検証

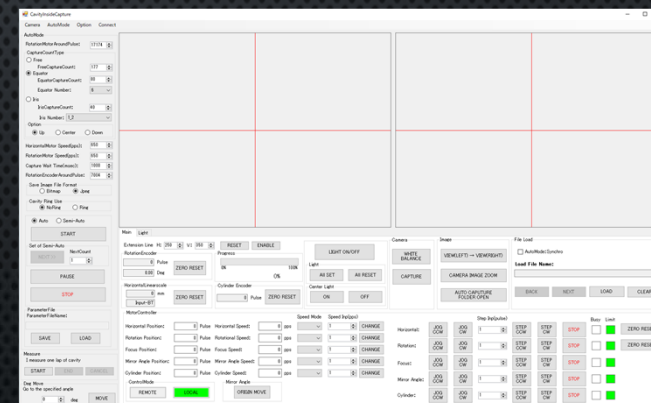
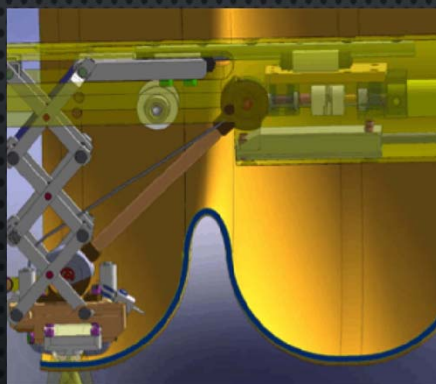
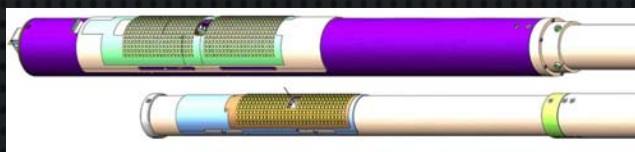
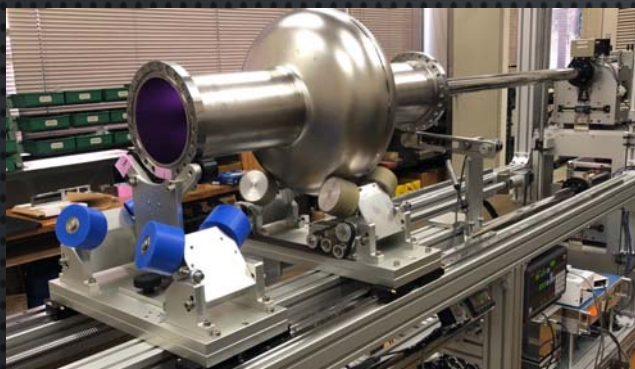
被写界深度合成
局所特徴量



今後の展開

超伝導空洞内面 検査システム

- 高性能カメラ
- LED照明
- グラインダー
- 空洞回転機構
- カメラ・グラインダー移動機構
- 制御ソフト



検査システムで撮影された 欠陥箇所画像

- 欠陥の大きさ
 - 0.2 ミリメートル程度
- 内視鏡カメラ等を用いた観測では発見が困難
 - 京都カメラで初めて観測
- 楕円型超伝導空洞の歩留まり向上に大きく貢献



検査システムの課題

- 高分解能撮影時に精密制御が必要
 - 空洞を回転させて円周方向を走査する際、僅かな非対称軸により焦点がずれる
 - EBWシームの盛り上がり高さが大きかったり、カメラ視線が空洞表面の法線方向でない場合、場所によって焦点が合わない
 - 空洞を回転させて円周方向を走査、または、固定焦点レンズカメラを前後させてフォーカス調整のための駆動後は、振動収束待機が必要
-
- 欠陥発見に必要な労力
 - 現在は、欠陥箇所の確認は、人力検索
 - ICL250では、8,000台の空洞を製作予定
 - Lバンド赤道部で1周80枚の撮影枚数
 - 空洞1台あたりの赤道部のみの検査で1,440枚程度 (9連×両サイド×80枚)
 - アイリス部分についても検査の必要性あり

検査システムの課題

被写界深度合成

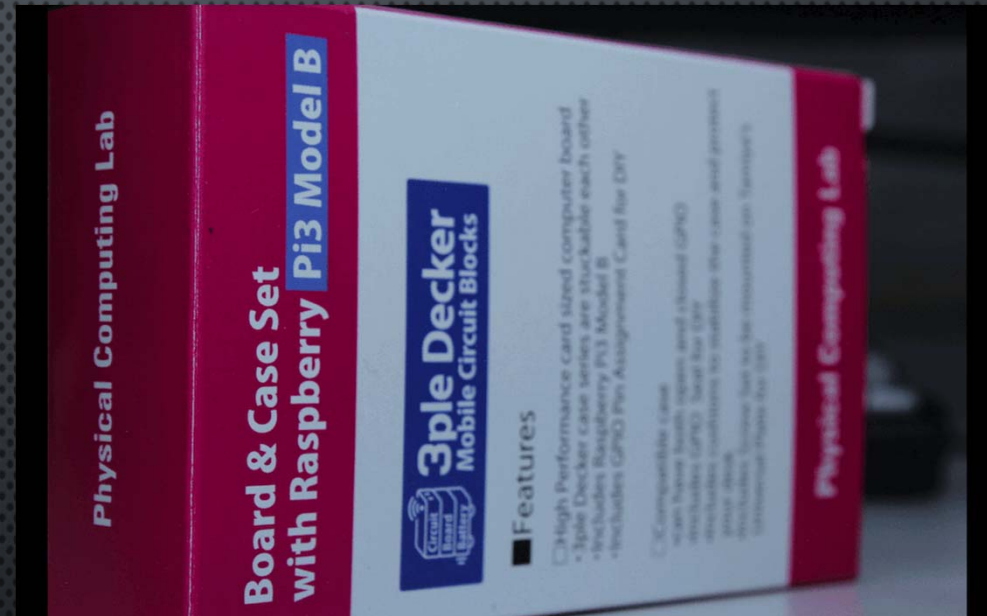
- 高分解能撮影時に精密制御が必要
 - 空洞を回転させて円周方向を走査する際、僅かな非対称軸により焦点がずれる
 - EBWシームの盛り上がり高さが大きかったり、カメラ視線が空洞表面の法線方向でない場合、場所によって焦点が合わない
- 空洞を回転させて円周方向を走査、または、固定焦点レンズカメラを前後させてフォーカス調整のための駆動後は、振動収束待機が必要

画像局所特徴量による自動検出

- 欠陥発見に膨大な労力が必要
 - 現在は、欠陥箇所の確認は、人力検索
 - ICL250では、8,000台の空洞を製作予定
 - Lバンド赤道部で1周80枚の撮影枚数
 - 空洞1台あたりの赤道部のみの検査で1,440枚程度 (9連×両サイド×80枚)
 - アイリス部分についても検査の必要性あり

被写界深度合成

- 同一被写体に対して、焦点距離の異なる複数の画像を撮影
- 撮影した複数の画像から焦点の合致している領域を選択し、1枚の写真に合成



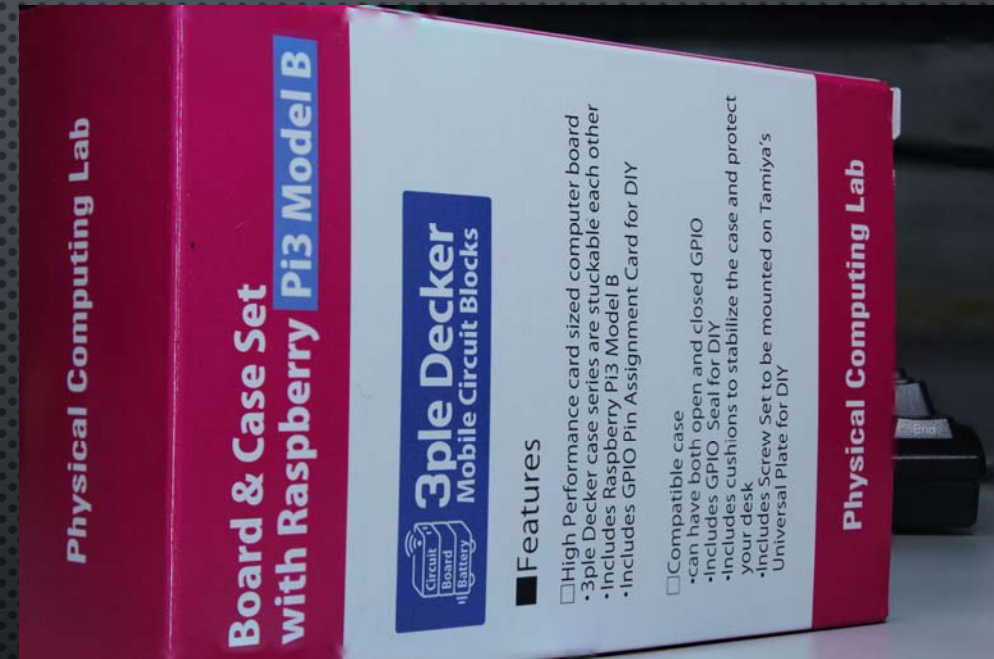
被写界深度合成

- 同一被写体に対して、焦点距離の異なる複数の画像を撮影
- 撮影した複数の画像から焦点の合致している領域を選択し、1枚の写真に合成



被写界深度合成

- 同一被写体に対して、焦点距離の異なる複数の画像を撮影
- 撮影した複数の画像から焦点の合致している領域を選択し、1枚の写真に合成



被写界深度合成の空洞内面画像への適応

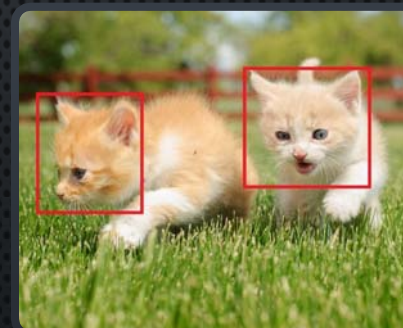
- 焦点距離を変更しながら撮影した画像6枚を用いて合成を実施



- 焦点移動のためのカメラ移動は僅かのため、振動発生は微量
- 空洞内表面のうねりや凹凸傾きなどの焦点問題に対応
- 高さ方向の情報取得の可能性（被写界深度が十分に浅い場合）

画像局所特徴量による欠陥箇所自動検出

- 物体認識技術の著しい進捗
 - 監視カメラ撮影画像からの人物特定（顔検出）
 - ドローン・自動車等の自動運転技術（障害物検出）
 - CT/X線撮影画像からの腫瘍発見（特定部位検出）
- 局所特徴量
 - ピクセル間の相関を数値（ベクトルデータ）に置き換える
 - 機械学習によって精度が向上





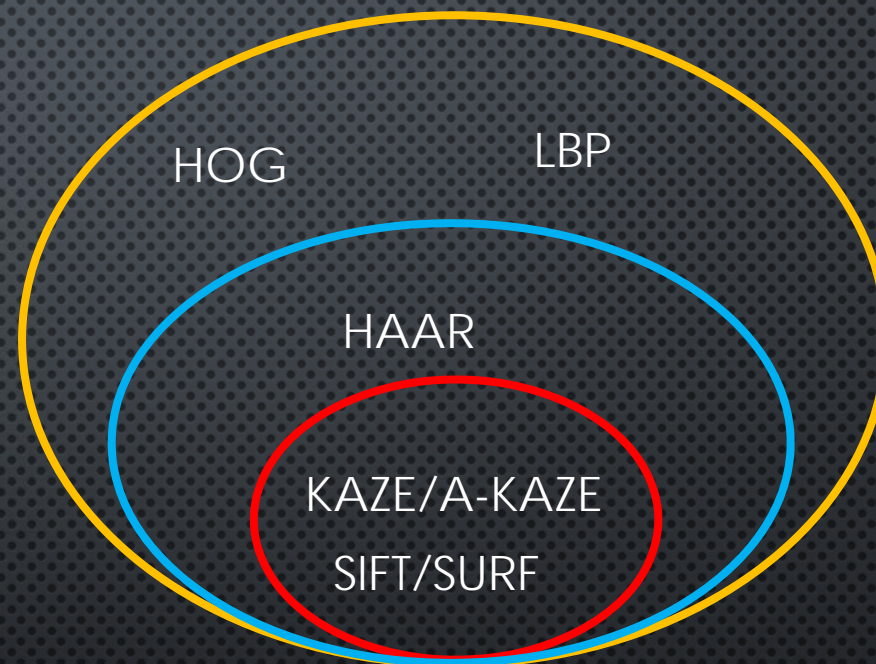
画像局所 特徴量

- SIFT (SCALE-INVARIANT FEATURE TRANSFORM)
- SURF (SPEEDED-UP ROBUST FEATURES)
- KAZE/A-KAZE
- HOG (HISTOGRAM OF ORIENTED GRADIENT)
- LBP (LOCAL BINARY PATTERN), 1994
- HAAR-LIKE
- (番外) SOBEL, CANNY, LAPLACIAN (エッジ検出)

画像局所特徴量

- 特徴量に期待する性能

- 照明不変
- 拡大縮小不変
- 回転不変
- 少ない計算量

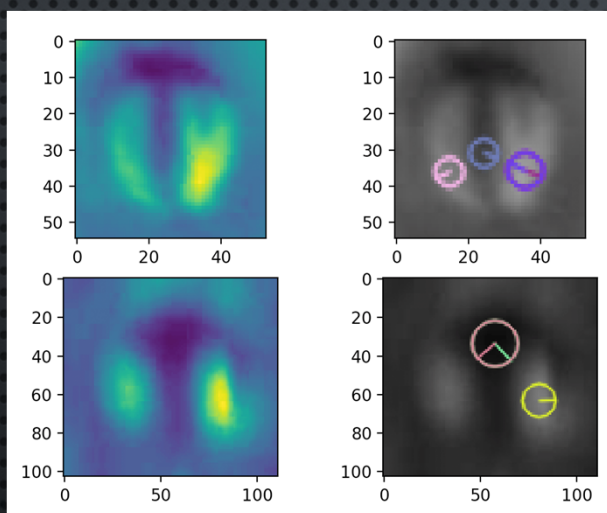


- リファレンスデータの作成次第
- 複数の特徴量の組み合わせ
- 日々アルゴリズムが改良

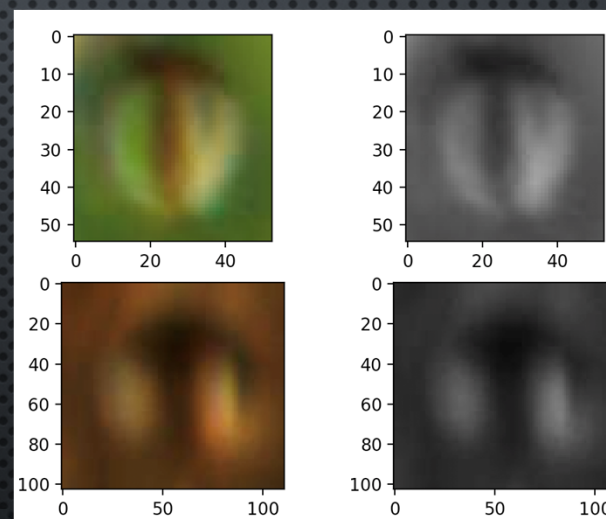
欠陥画像の画像局所特徴量の計算

- SIFT, AKAZEによる欠陥画像における特徴量の計算結果

SIFT



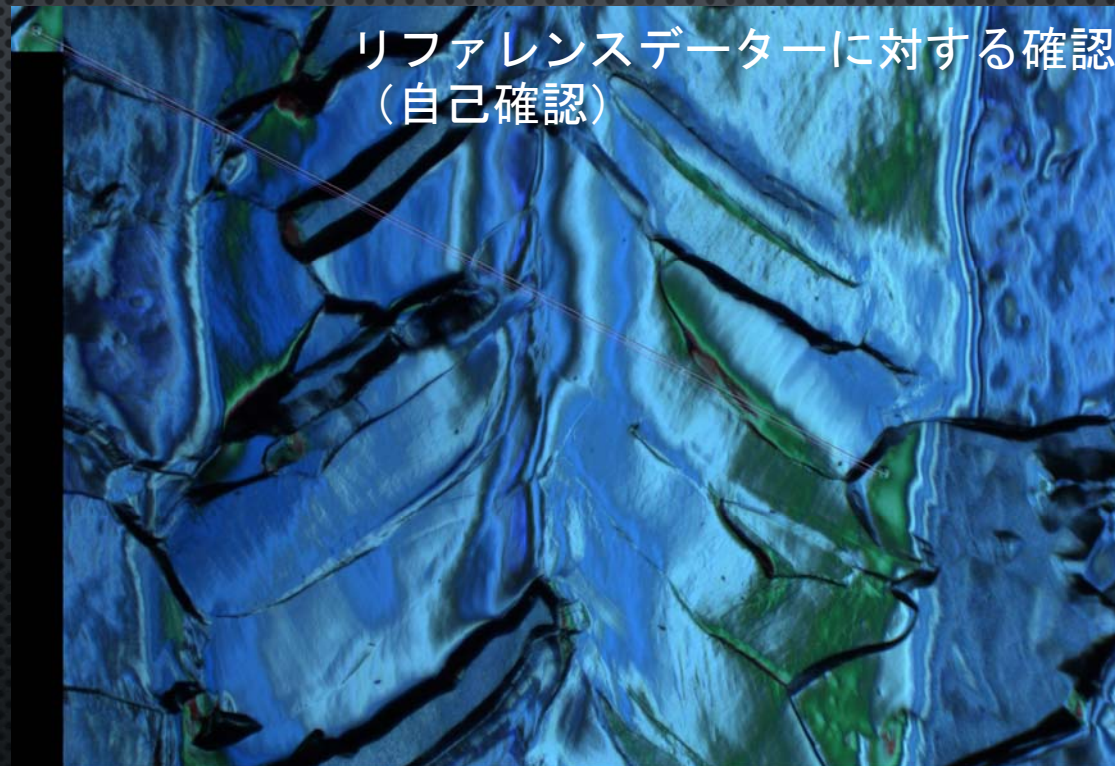
AKAZE



- SIFT特徴量の改良版であるSURF特徴量を用いて欠陥箇所の自動検出を試す

SURF特徴量による欠陥箇所検出

- 欠陥箇所画像と対象画像を一对一で付き合わせて特徴量の一致具合で嫌疑箇所をピックアップ



SURF特徴量による欠陥箇所自動検出

- 既知の欠陥箇所画像65枚をリファレンスデータとして自動検出を実施
- 局所特徴量が一致した箇所を示した合成画像を作成
 - 最後は目で見て確認



SURF特徴量による欠陥箇所自動検出結果

- 既知の欠陥箇所画像65枚をリファレンスデータとして自動検出を実施

* 厳密な計測ではありません。

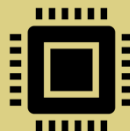
画像グループ名	画像数 [枚]	画像サイズ [pix.]	ファイル 容量 [KB]	嫌疑画像数 [枚]	誤認識率 [%]	処理時間 [秒/枚] *
20120410_KEK00_after_1st_VT	3,810	3,488x2,616	~450	141 (3.7%)	???	1.07
20140522_KEK#01_after_1st_VT	3,335	3,488x2,616	~450	124 (3.7%)	???	1.68
20170522_TB9-MHI#01_AfterEP1	3,335	1,920x1,376	~150	93 (2.8%)	???	0.52
20190329_UJI_Equator06(Up)	301	3,840x2,752	~500	6 (2.0%)	???	1.60



まとめと 今後の展開



超伝導空洞内面検査システムの高度化に向けて、被写界深度合成による焦点距離問題への対処、欠陥箇所検出のための画像局所特徴量による自動検出技術の検証を実施



撮影アルゴリズムの改修を行い、被写界深度合成技術の適用を行うことを予定



欠陥箇所の自動検出について、機械学習を取り入れた改良を予定