

## 技術資料



## Technical Data

# 非線形位置合わせ技術の工業製品検査への適用検討

布施直紀\*, 湯藤隆夫\*

## Application of the Non-linear Registration Technique to Industrial Product Inspection

Naoki FUSE and Takao YUTO

### Synopsis

Pattern matching processing and the subtraction technique are frequently used as an inspection method by image processing. The pattern matching process is for determining the degree of coincidence of images with reference to common features in the inspection image, and is used for image alignment or the like. On the other hand, the subtraction technique is a method of extracting different portions of an image by difference between inspection images, and is intended to detect defects.

However, in practice, particularly in the case of image inspection of three-dimensional complex-shaped workpieces, if image processing is carried out with positional deviations and individual differences of workpieces, defect detection performance is reduced due to deterioration of alignment accuracy.

The following effects were obtained by applying the non-linear registration technique already used in medical radiography inspection to image inspection of industrial products as a method to eliminate the influence of such positional deviation of work and individual differences in dimensions.

- (1) It has become possible to perform highly accurate positioning compared to linear registration.
- (2) In image inspection, misalignment with the reference image is improved, and false detection of defects is reduced.

## 1. 緒言

画像処理を利用した検査にて頻繁に用いられる処理として、パターンマッチング処理および差分処理がある。パターンマッチング処理は検査画像内の共通する特徴物を基準にして画像の一致度の判断を行うものであり、画像の位置合わせなどに用いられている。一方、差分処理は、検査画像間の差分により画像内の異なる部分を抽出する手法であり、異常部分の検出を目的とするものである。

しかし、画像検査においては現実問題として、検査ワーク撮像時の物理的位置ずれ、ワーク寸法個体差など

が存在し、これらをなくすことは不可能といっても過言ではない。特にワークが立体複雑形状の場合、これら位置ずれ、個体差を含んだ状態で撮像し、前記のような画像処理を行うと、パターンマッチング精度（位置合わせ精度）の悪化、差分値の増大による欠陥検出性能低下などに至る場合がある。

このようなワークの位置ずれ、寸法個体差の影響をなくす方法として、非線形位置合わせ技術（以下、本技術と記す）が既に医用検査業界では用いられている。本技術では、基準画像として用いる画像に対し別の検査画像を強制的に位置合わせできる方法であり、前記に示したような位置ずれ、寸法個体差を排除した位置合わせが可

2019年5月8日 受付

\* 大同特殊鋼(株)技術開発研究所 (Corporate Research & Development Center, Daido Steel Co., Ltd.)

能となるため、差分処理後の欠陥抽出性能が向上するというメリットがある。

本稿では工業製品の画像検査に対し本技術を初めて適用した例とし、ターボチャージャ部品であるタービンハウジング（以下 T/H と記す）の内部欠陥検査について報告する。

## 2. T/H内部欠陥検査の概要と課題

### 2. 1 T/Hについて

T/H はターボチャージャを構成する重要部品であり、ターボチャージャはエンジンからの排気ガスを取り込み、その噴射エネルギーを制御しながら T/H 内部のタービンホイールやコンプレッサーホイールを高速回転させることでエンジンシリンダ内に圧縮空気を送り込み、大きな出力を得るというものである (Fig. 1)。T/H は高温の排気ガスにさらされるため、高い高温強度が必要であり、薄肉・軽量化が可能な鋳造方法である DLCC : Daido Low pressure Cold box Casting 法で製造される。

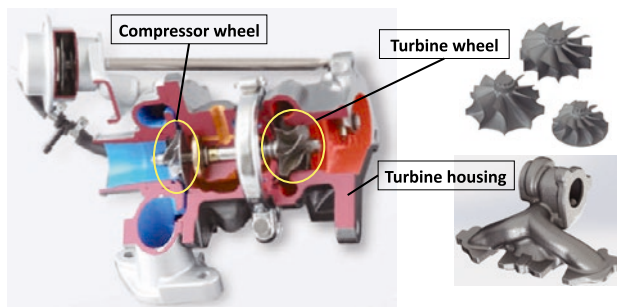


Fig.1. Structure of turbocharger <sup>1), 2)</sup>.

### 2. 2 検査の概要

T/H で発生する欠陥形態には Table 1, Fig. 2 で示すようなものがあり、外観検査として検査可能なもの、内部欠陥として放射線を用いて検査をするものに分類される。本稿では放射線による内部欠陥検査を対象にする。従来、放射線検査ではデジタルフィルムに記録された画像を検査員が観察することにより欠陥の有無を判定していた。しかし、人による検査では見逃しの発生、判定閾値の変動など検査員の技量に依存するところが多く、定量的な品質が担保できないことなどから、早期の機器検査化が望まれていた。

Table 1. Defect type.

Category	Defect type	Figure
Internal defect	Blow hole, Shrinkage hole Sand inclusion, Misrun	Fig. 2
Surface defect	Convex, Concave, Burr, Pin hole	

### 2. 3 機器検査化コンセプト

T/H では内部欠陥以外に表面部の凸欠陥、バリ、浅い凹みなどの手直し補修可能な欠陥も含めて放射線画像に撮像されるため、これらを機器検査で検出はできても分類することは困難である。したがって、機器検査を目視検査の置き換えとすることは可能であるが、手直し可否を判断する作業は残ってしまう。そこで、機器検査化の目的を、検査性能の安定化、目視判定工数削減（判定補助）とし (Fig. 3)、以下のようなコンセプトに基づき開発を進めた。

Defect type	Radio graph images	Defect type	CCD camera images
Internal defects		Surface defects	
Sand inclusion (Sand mark)		Pin hole	
Blow hole/ Shrinkage hole		Concave	
		Burr (inside hole)	

Fig. 2. Example of defects in T/H.

- (1) 客先仕様での欠陥見逃しが無いこと
- (2) 画像判定時間は 30 sec/枚以下であること
- (3) 検査ワークの位置ずれ, 寸法個体差に影響されない欠陥判定が可能であること

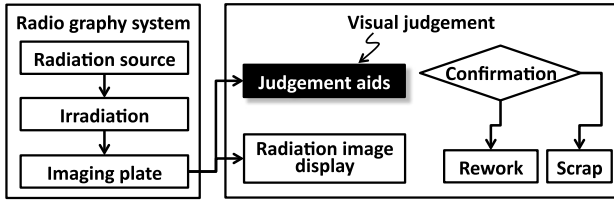


Fig. 3. Inspection process for internal defects.

## 2. 4 機器検査化における課題

T/H は複雑自由形状であるため、放射線源に対しわずかな位置ずれが生じても投影放射線画像としては3次元的な位置ずれを反映したものとなる (Fig. 4). これはワーク寸法個体差についても同様であり、線形位置合わせである従来のパターンマッチングでは正確な位置合わせが困難となる。したがって、位置ずれが生じた状態で画像の差分処理をすると、健全部が差分として抽出される場合があり、それを欠陥と誤判定するという課題があった。

## 3. 非線形位置合わせ技術の概要

基準画像 A とそれに対し位置合わせをしたい画像 B がある場合、アフィン変換のような拡大・縮小、回転、せん断のような変形を伴う位置合わせは「線形位置合わせ」となる。一方、画像 A, 画像 B の両方あるいはどちらかに非線形的な変形が生ずる位置合わせを「非線形位置合わせ (非線形ワーピング)<sup>3), 4), 5)</sup>」と呼び、医療用で適用されている技術を例にその概要を説明する。

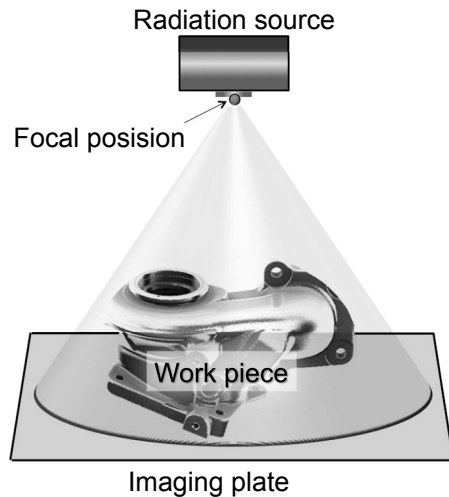


Fig. 4. Radiographic testing .

例えば、病巣の有無、病状の進行具合などを X 線画像により医師が診断する場合、同一人物について異なる時期に撮影された X 線画像を比較し判断するが、人体は撮影の都度、体位が微妙に変動し、その変動は三次元的なものとなるため、二次元の画像に投影された場合、平行移動、回転といった線形処理のみで画像間の位置合わせを正確に行うことは不可能である。したがって、医師は人体の位置変動を考慮しながら診断をする必要がある。そこで、X 線画像を複数の小領域に区分し、小領域ごとの変動を解析した結果を統合することにより、ある時期の撮影画像と、別のある時期の撮影画像の変動状態を非線形な変動モデルとして推定することができる。この推定モデルを用いて非線形な座標変換を行うことで、撮影体位全体としての変動を補正することができる。さらにこれら補正後の撮像画像間の差分を求めることにより、本当の意味での変化部位を抽出可能となる。その結果、医師はその変化部分のみに注目し、診断対象とすることができるため、撮影時期の異なる画像を目視で観察比較するよりも高精度な判断が可能となる (Fig. 5)。

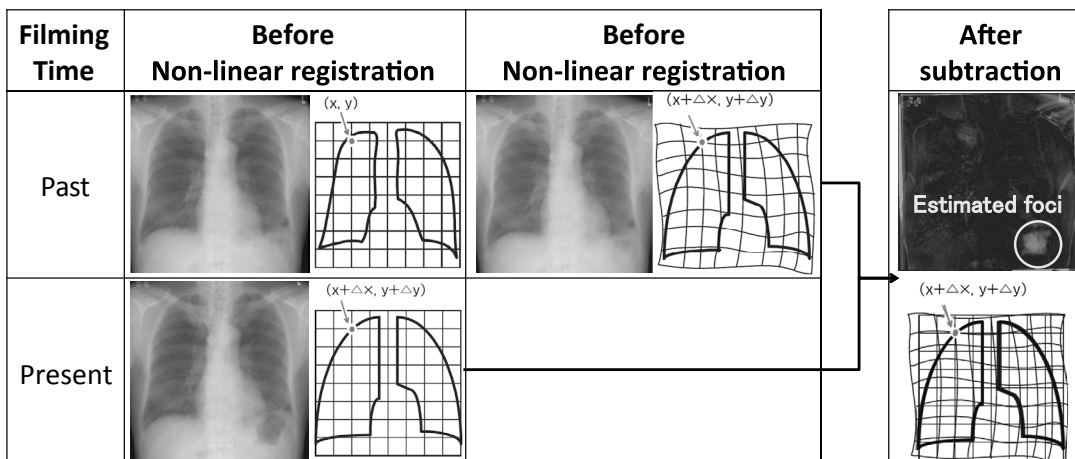


Fig. 5. Non-linear registration using radiographs of human body.

## 4. T/H 内部欠陥検査への非線形位置合わせ技術の適用

本技術は医用分野のみならず工業用製品の画像検査にも利用することが可能であり、以下 T/H 内部欠陥検査への適用事例として、その方法を示す。

### 4. 1 非線形位置合わせ処理フローチャート

本技術を利用した欠陥検査のフローチャートを Fig. 6 に示す。次項に主な処理内容を説明する。

### 4. 2 非線形位置合わせ方法

はじめに前処理として、放射線透過画像によく見られる輝度ムラを低減すべくルックアップテーブルによる濃度補正を行い、空間フィルタによる欠陥部の強調処理、背景のノイズ除去などを行う。その後、位置合わせのベースとなる欠陥のない画像を基準画像とし、その画像内に特徴エリアを設け、それをテンプレートとしたパターンマッチングを被検査画像に対し行う。これは平行移動、回転などの線形的位置合わせにより両者の画像全体の大きな位置合わせを行うことを目的としている(グローバルマッチング)。したがってこの時点ではワーク位置ずれ、寸法個体差による位置ずれは排除されていない。次に、非線形位置合わせを行う前の準備としてローカルマッチングを行う。この処理では、基準画像内にある特徴部分を ROI (Region Of Interest) とし

たテンプレート画像を画像内全域に複数設定し、一方、被検査画像中には探索 ROI というものを設定しておき、基準画像のテンプレート画像をこの探索 ROI 内で走査し、画素解析した上で相関の強い位置をマッチング位置とすることができる。この場合も従来と同様な線形パターンマッチングを利用している (Fig. 7)。すると基準画像内のテンプレート画像位置座標と被検査画像のマッチング位置座標の差が局所的な位置ずれとしてベクトル量で表すことができる。さらに、複数ある他の基準画像内のテンプレート画像についても同様な処理を行うことにより、被検査画像内の広範囲な部分で複数の局所的な位置ずれをベクトル量で算出することができる (Fig. 8)。T/H の放射線透過画像の性質から、ワーク内での大きな位置変位、不連続な位置変位はあり得ないことから、前述の複数の局所的な位置ずれのベクトル量と被検査画像内の画素座標の関係をプロットした場合、それを非線形近似式として推定可能である。この非線形近似式をモデルとして、被検査画像を基準画像に対し非線形位置合わせを行い、同時に画像間の差分を求めると、基準画像にはなかった欠陥が被検査画像に存在した場合、その欠陥のみが差分として抽出される。Fig. 9 に 4 種類の T/H に対する線形位置合わせおよび非線形位置合わせ後の差分画像の比較を示す。

さらに、差分として抽出した想定欠陥画素に対し、二値化、膨張、収縮など、実際の欠陥と同形態、同寸法になるような処理を施したうえで、画素要素を解析し、長さ、面積、フェレ直径、形状寸法などを算出する。最後に欠陥判定仕様の閾値に従って正常/不良の判定を行っている。

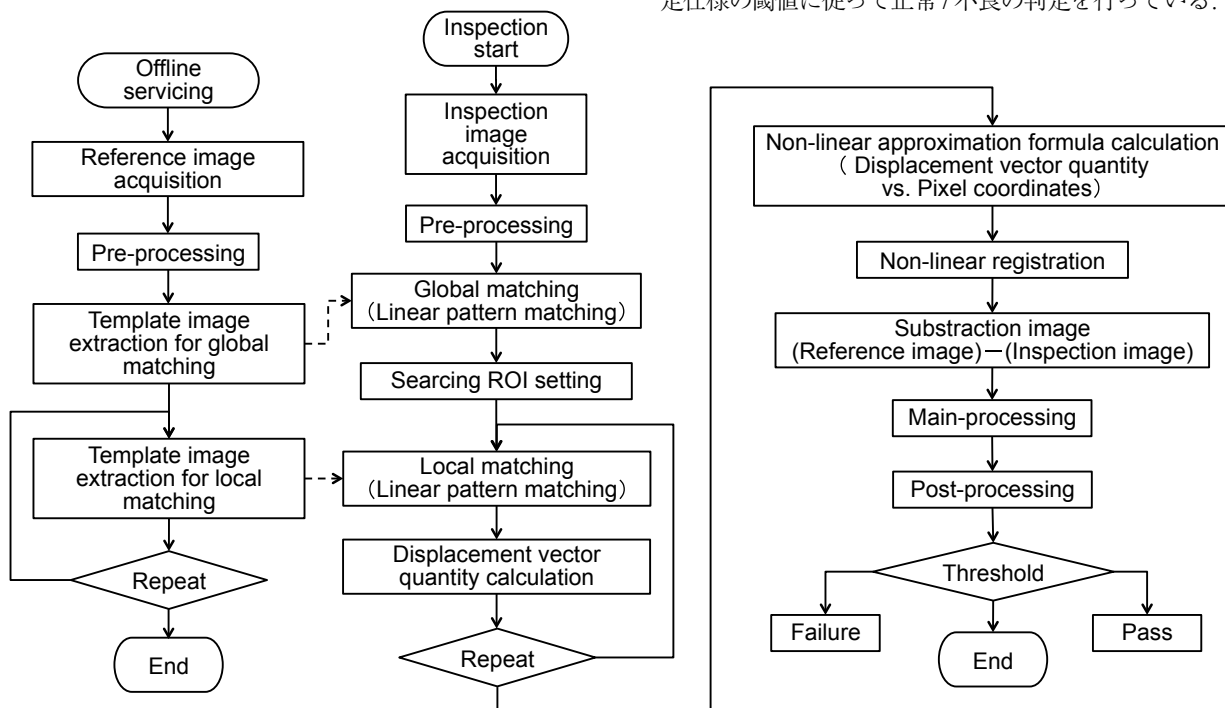


Fig. 6. Flowchart for detecting defects with Non-linear registration technique.

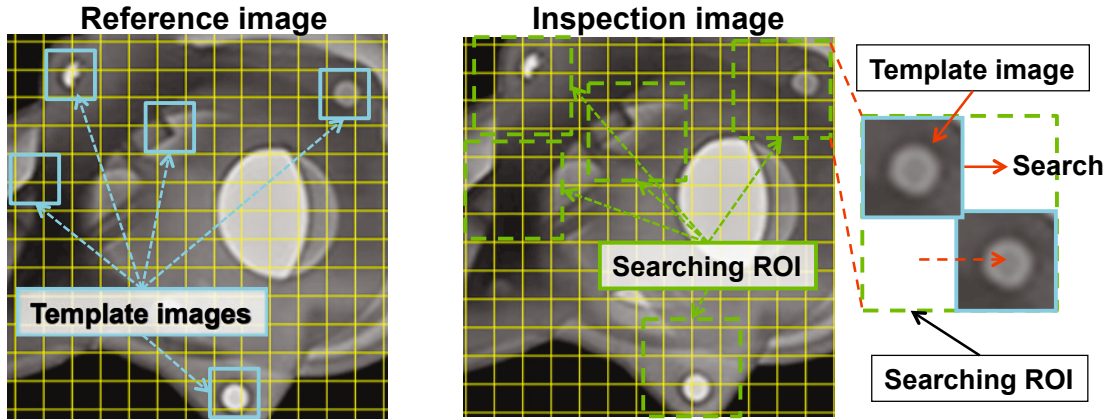


Fig. 7. Discription of local matching.

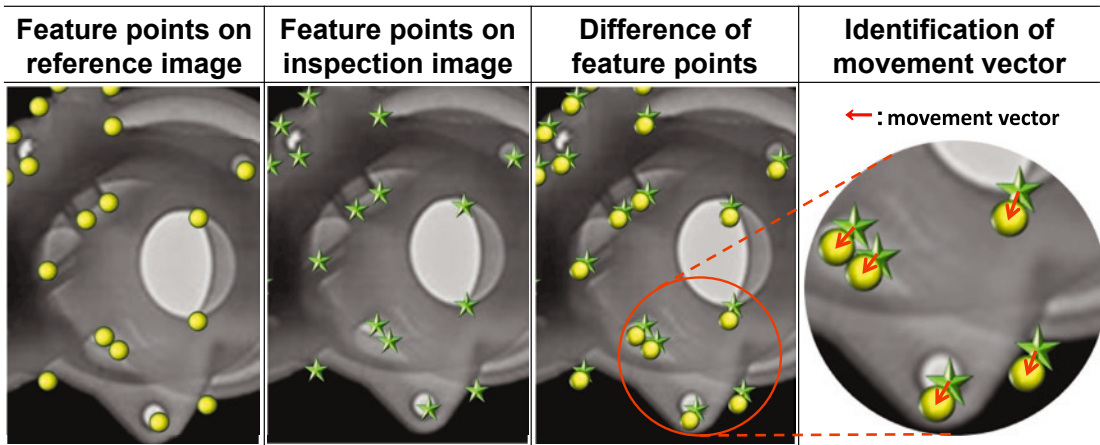


Fig. 8. Identification of displacement vector quantity.

T/H Type	Reference images	Inspection images	Subtraction images	
			Linear registration	Non-linear registration
1				
2				
3				

Fig. 9. Difference between linear and Non-linear registration.



## 5. 評価結果

T/H 内部欠陥検査に対する非線形位置合わせ技術の適用について、以下を評価項目として検証した。本報告では紙面の都合上、主に (2)、(3) について記述する。

- (1) 非線形位置合わせによる位置決め精度
- (2) 欠陥検出性能
- (3) 非線形位置合わせ適用による検査タクトタイム

### 5. 1 欠陥検出性能

1 品種の T/H について 750 枚の放射線画像を撮像し、目視検査による判定結果を正としたときの、

- ・線形位置合わせ後の差分画像による判定結果
- ・非線形位置合わせ後の差分画像による判定結果

を Table 2 に示す。本結果より、非線形位置合わせ処理後は、線形位置合わせ処理後に比べて、過剰検出が半分以下となり、微小欠陥の見逃しもゼロとなった。

しかし、非線形位置合わせ後であってもワークエッジ部については完全な位置合わせは困難であり、差分画像ではわずかな位置の違いによる輝度濃淡部が発生する (Fig. 10)。そのため、画素解析による分別後でもこれら濃淡部を欠陥として過剰検出する場合がある。そこで、ワークの輪郭部についてはエッジ抽出により最小限のマスキングを施すことで微小なミスマッチングを排除でき、過剰検出は低減される (Fig. 11)。通常、放射線透過による内部欠陥検査では人体での撮影と同様、ワークに対し複数の角度から撮像するため、マスキング部は別角度の画像にて検査を行うことが可能である。



Fig. 11. Edge extraction with Non-linear registration image.

Table 2. Achieved Performance by Non-linear registration.

Registration method	Achieved performance			Number of samples
	Overlooking		Overdetection	
	Serious defects	Minor defects		
Linear registration	0	7	$\geq 8/\text{image}$	750
Non-linear registration	0	0	$\leq 3/\text{image}$	

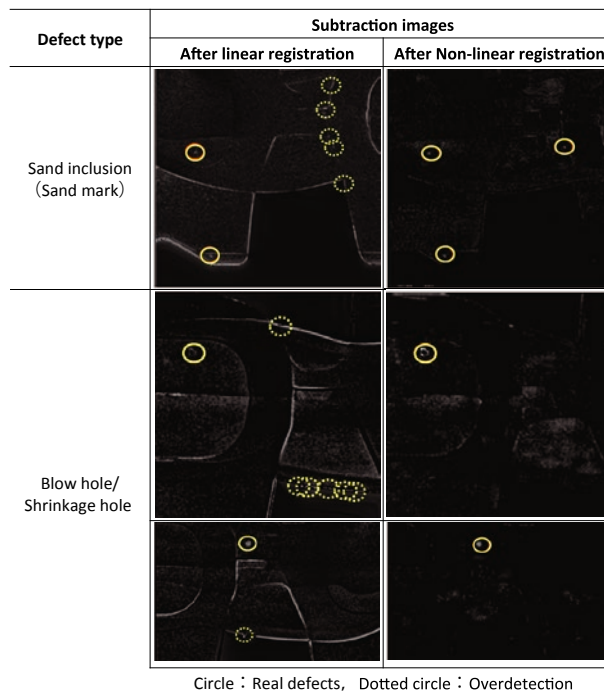


Fig. 10. Detecting defects after subtracting images.

### 5. 2. 検査タクトタイム

非線形位置合わせ処理時間はハードウェアの性能に依存するものの、コア数4、スレッド数8のCPUを使用した場合、およそ 20 sec/枚であった。したがって、欠陥検出含めた画像検査タクトタイムは十分 30 sec/枚以内となり当初の目標を満たすと考える。

## 6. 結 言

T/H の内部欠陥検査を例に、工業製品への非線形位置合わせ技術を適用し、以下のような効果が得られた。

- (1) 線形位置合わせに比べて高精度な位置決めが可能となった。
- (2) 画像検査において、基準画像との位置ずれが改善され、欠陥の誤検出が低減された。

## 7. おわりに

昨今の AI 技術の進歩により人体の X 線写真中の異常判定を、医者の判断とともにディープラーニングで判断補助する手法も報告されている。本事例についてもディープラーニングによる検証を今後トライしてみたい。

(文献, 引用)

- 1) 大同精密(株) ホームページ  
<http://www.daidoseimitu.co.jp/>
- 2) 大同特殊鋼(株) ホームページ  
<https://www.daido.co.jp/>
- 3) A. Kano, K. Doi, H. MacMahon, D. D. Hassell and M. L. Giger: Med Phys. , 21(1994 Mar), 453.
- 4) 尾崎修, 崎浩典, 赤坂賢洋, 鶴田尚江, 岡田年史, 卯川悟史, 石本学, 矢田裕宜, 藤原啓: MSS技報, 13(2001), 24.
- 5) 崎浩典: 日本放射線学会 画像部会誌「画像通信」25(2002), 2, 24.



布施直紀



湯藤隆夫