

超音波探傷法によるスポット溶接の自動検査技術の研究

Research on Automatic Inspection of Spot Welding Using Ultrasonic Testing Methods

上 田 孝 治*
Koji UEDA

山 上 武*
Takeshi YAMAGAMI

阪 下 英 知**
Hidetomo SAKASHITA

要 旨

本研究は超音波探傷の検査熟練者の動作に着目し自動化技術を研究することで検査の信頼性が向上すると考え、探傷動作とスポット溶接部圧痕(以後スポット痕と呼ぶ)の認識技術について検討したものである。

探傷箇所に対しプローブを最適な傾きに対応させながら、均一な押し付け力が得られる機構と輪郭が捉えにくいスポット中心を認識できる技術を開発した。

これらを産業用ロボット(以下ロボットと呼ぶ)に搭載し、自動車部品を検証した結果、本システムにより熟練者と同等の検出精度が得られることを確認した。

ABSTRACT

This paper discusses research on inspection procedures and techniques for the identification of spot welding indentations ("spot indentations" below). The goal was to increase the reliability of ultrasonic testing methods by focusing on the procedures that are used by experienced inspectors.

A mechanism that is able to apply a uniform pushing force while optimizing the inclination of the probe with respect to the area being inspected has been developed. With this new system, the center of the spot indentation can be identified even when its outline is difficult to determine.

The system was fitted onto an industrial robot ("robot" below), and tested on the inspection of automotive parts. The results indicated that the system achieved the same level of accuracy as that of an experienced inspector.

1. はじめに

自動車軽量化の要求から、車体は高張力鋼板(以後ハイテン材と呼ぶ)が多く使われている。ハイテン材の接合には、スポット溶接が最も多く使われており、車1台当たりのスポット溶接点数は4000から5000点になる。スポット溶接の接合強さを示す静的引張りせん断強度を実測すると、ハイテン材の引張り強度が増すごとに静的引張りせん断強度も上昇している。一方、溶接品質を保証する方法として、破壊検査と非破壊検査があり、現在では抜き取りによるタガネ破壊検査が主流である。高張力化が進む中、破壊するのに大変な労力が必要となっている。

非破壊検査法には、主に放射線透過法、超音波探傷法、磁気探傷法、浸透探傷法、電磁誘導法がある。Table 1で示すように他の非破壊探傷法に比べ、自動車材料で使用される薄板領域の溶接探傷には超音波探傷が適していることがわかる⁽¹⁾。とくに、欧州においては超音波探傷による非破壊検査の導入が進んでいる⁽²⁾。日本においても海外自動車

Table 1 Applicability of nondestructive test methods in 6 mm sheets

Object	Metal steel	Nonferrous metal
Main nondestructive test methods		
(a) Radiographic test	Not applicable	Not applicable
(b) Ultrasonic flaw detection	Applicable	Applicable
(c) Magnetic inspection	Conditionally applicable	Not applicable
(d) Penetration test	Not applicable	Not applicable
(e) Magnetic induction test	Not applicable	Conditionally applicable

メーカーとの資本提携や技術提携から、超音波検査手法による非破壊検査の成功事例が国内にもたらされ、非常に高い関心が寄せられている。最近では本格導入および、稼働への準備を進めている段階にある。スポット溶接は6軸ロボットを用いた自動溶接が多く採用されているが、一方、超音波探傷によるスポット溶接部の検査は人間の手によっておこ

* 四輪開発センター

** 株式会社ダイヘン

なわれているのが現状である⁽³⁾。本研究では、検査熟練者の動作に着目し、自動化技術を研究することで、検査作業者の労力や習熟に依存しない定量的な探傷検査により信頼性を向上したいと考えた。

2. 超音波探傷法によるナゲット判定

超音波探傷波形(以後エコーと呼ぶ)の相対判断例を紹介する⁽⁴⁾。Fig. 1 (a)に示す、適正なスポット溶接で形成されたナゲットは材料の結晶粒が粗くなりエコーにある一定の減衰が生じる。これを適正波形と判断し、ナゲットも良好と判断する。探傷結果を検証するため、実ワークの断面を切りナゲット径との比較をする。Fig. 1 (b)はナゲットがプローブ径より小さい場合の波形を示し、この場合底面エコーとの間に中間エコーが出現する。Fig. 1 (c)は溶接部の厚みが不足し、ナゲットが薄い状態でエコーの減衰がFig. 1 (a)と比べ小さく長く出現する。Fig. 1 (d)はまったく板間の溶接がなされておらず、探傷面の上側板の反射エコーしか出現しない。これらの波形の出現の仕方により、Fig. 1 (a)以外は適正な波形ではないと判断できる。超音波探傷法は、このように適切な波形と相対比較して判定する検査方法である。

3. 自動化技術の課題

3.1. プローブの押し当て方

超音波探傷法によるスポット箇所の検査は、プローブの押し当て方が難しく熟練を要する作業となっている。スキルが要求されている理由を探り自動化技術課題を抽出するため、検査熟練者の押し当て方をロボット動作で検証する

こととした。

6軸のロボット Fig. 2 を使用し、一打点スポット痕の溶接サンプルを固定した状態でプローブをスポット痕中心に押し当てテストをおこなった。プローブの Fig. 3 (a) 傾き角許容値、Fig. 3 (b) 位置ずれ余裕についてテストした上で、ロボット動作の Fig. 3 (c) ねらい位置再現性について確認した結果をTable 2に示す。ロボット動作による一打点のスポット痕に対するねらい位置への再現性は高く探傷は十分可能であることを確認した。しかしながら、今回使用した溶接サン



Fig. 2 Six-axis robot

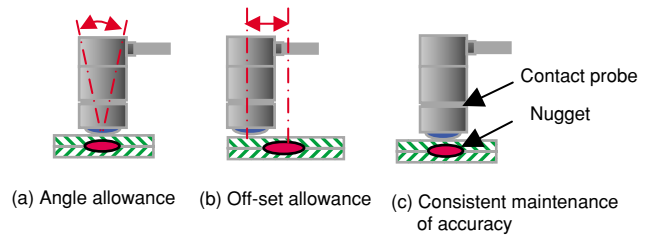


Fig. 3 Test of position and inclination

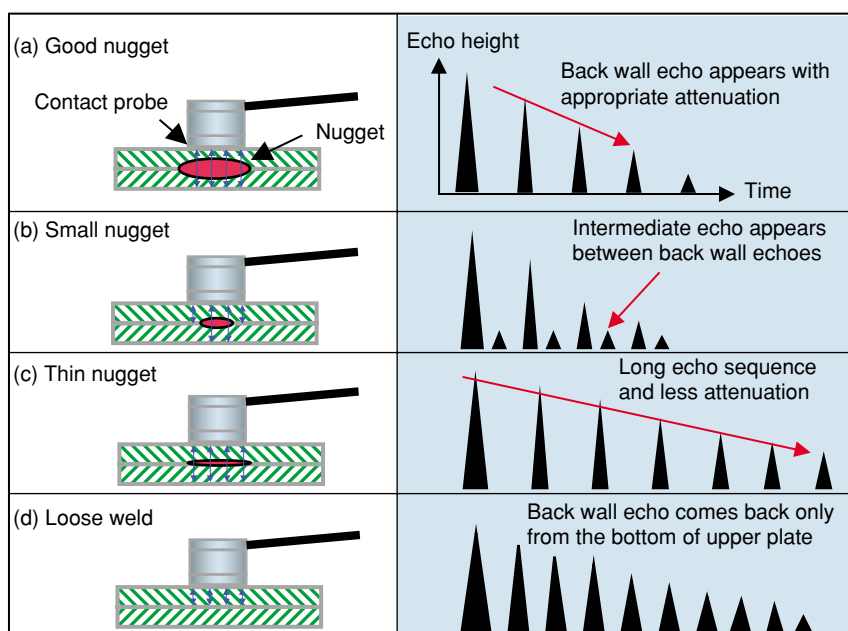


Fig. 1 Ultrasonic detection of spot welding

Table 2 Robot inspection test

Item	Result
(1) Angle allowance	$\pm 1^\circ$ below
(2) Off-set allowance	$\pm 1\text{mm}$
(3) Consistent maintenance of accuracy	Possible

プルは Fig. 4 (a) のように母材表面に平行にナゲットが形成されているのに対し、実際のワークは溶接ガンの姿勢、ワークの傾き、溶接電極の当たり方等により板面に Fig. 4 (b) のように傾いてナゲット形成される場合がある。これを検査するにはプローブ先端を Fig. 5 のようにナゲットに対し法線方向で押し当て、Table 2 の (1), (2) に示す精度が必要となる。実際に傾きのあるナゲットでは先述のテストでは波形が出現しなかった。実際の溶接ワークは形状に対応しながら複数の連続したスポット打点で構成され、一打点ごとに微小なナゲット傾きを持っていると考えられる。検査作業者は板やナゲット傾きに対応してプローブを自在に押し当てることが可能であるのに対し、ロボットはスポット外観から板内部のナゲット傾きを判断しプローブを押し当てることが困難である。このことが検査作業者にスキルが求められる理由であり、自動化する上で大きな課題となる。

3.2. スポット痕の認識

先述の探傷技術に次いで、スポット痕をカメラで撮像し圧痕や色の状態から白黒2値化することでスポット痕と判断させる(以後スポット痕の認識と呼ぶ)技術が自動化する上で必要になる。複数の連続したスポット痕を認識した上でその一つずつの中心にプローブを正確に合わせることで探傷することが可能になる。本テストではスポット痕をCCDカメラで

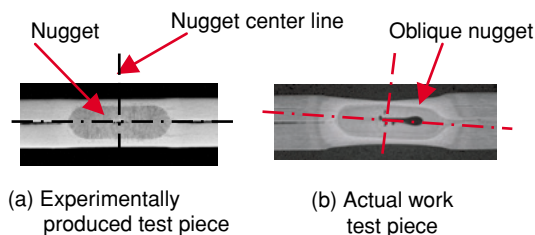


Fig. 4 Comparison of nugget test pieces

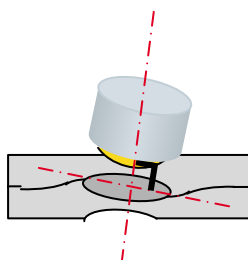
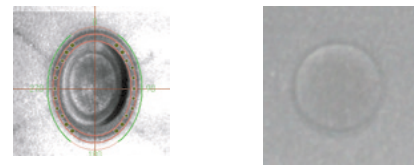


Fig. 5 Correct inclination of contact probe



(a) Normal steel (b) Galvanized sheet iron

Fig. 6 Spot indentation image by CCD

撮像し、その圧痕の輪郭から重心を割り出す方法により確認した。その結果、一般鋼板は溶接熱による褐色の焼け色により輪郭が明確に撮像され[Fig. 6 (a)], スポット痕の中心がすぐに求められた。しかし、自動車用鋼板で多く使用される亜鉛メッキ鋼板は、明瞭なスポット痕を撮像できないことがわかった[Fig. 6 (b)]。これは、亜鉛メッキ鋼板が焼け色も無くスポット痕の形跡も少ないため、輪郭の認識が困難になっていると考えられる。自動車部品は一般鋼と亜鉛メッキ鋼板が同時に両方使われていることがあるため、どちらの板のスポット痕も認識可能な技術が求められる。

4. 実験検証

4.1. ナゲット傾きに対応する機構の検証

ワーク面、スポット痕、ナゲットの微小な傾きに対応するため、プローブにスポット痕表面から任意の角度まで倒れるように揺動を与え、ナゲットを探傷する機構を開発した。一般のロボットでは人間の手のように探傷するプローブ姿勢を再現できないため、ロボット先端に XY スライダとウレタンゴムを配置した(Fig. 7)。本機構は、プローブがスポット痕に接地後、垂直方向からそれぞれ 3° 迄傾き、12分割した方向に揺動する。一つのスポット痕探傷時間は6秒間の仕様とした(Fig. 8)。

最適な波形を検出することが可能なテストピースを用意

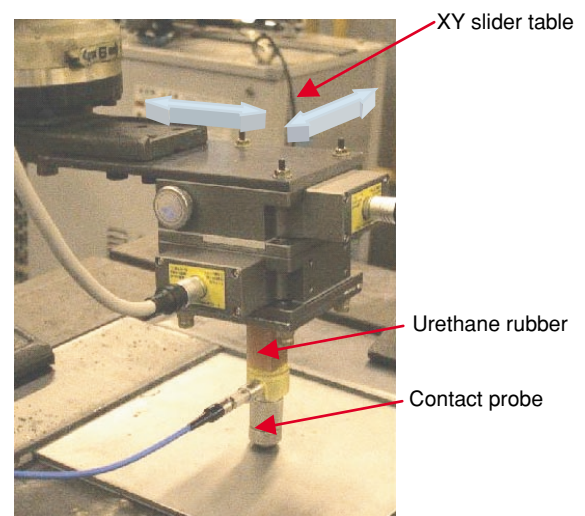


Fig. 7 Mechanism enabling response to change in nugget angle

し、ワーク面とナゲット傾きに対応する機構の確認テストをおこなった。最初に、テストピースを固定し、その機構全体を任意の角度で傾けた。開発した揺動機構がプローブの揺動角でナゲットを捉え、最適な波形が出現するかをテストをおこなった。その結果、傾き角 2° にて波形が出現する結果が得られた(Fig. 9)。これにより、本揺動機構はワークやナゲット傾きに対応可能であることが確認できた。次に、本機構のワーク傾きに対する能力を把握するため、 45° 、 90° のワーク傾きに対しテストをおこなった(Fig. 10)。その結果、問題なく垂直時と同様な波形が得られた。これにより、実ワークに近い条件でも自動検査が可能であることを確認した。

4.2. 一般鋼と亜鉛メッキ鋼板のスポット痕認識

一般鋼と亜鉛メッキ鋼板どちらにも対応可能なスポット痕認識技術を開発した。CCDカメラで焼け色が無いスポッ

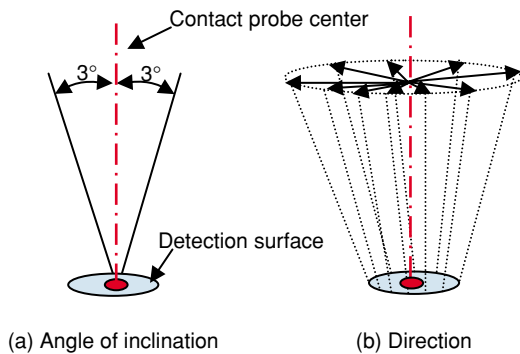


Fig. 8 Angle of inclination and direction

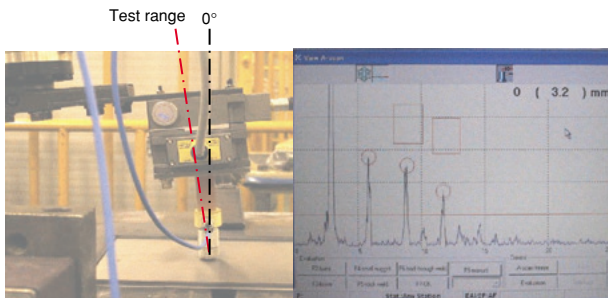


Fig. 9 Test : Change in nugget angle

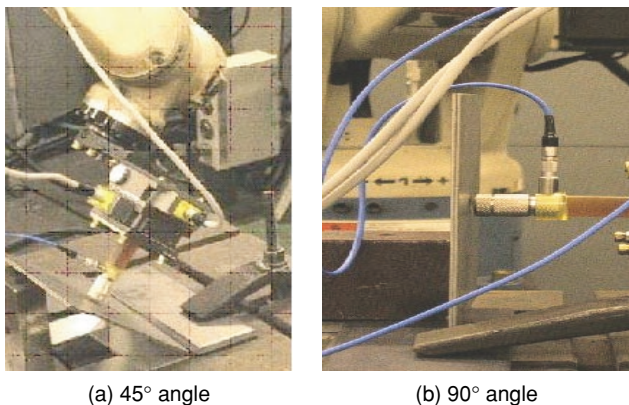


Fig. 10 Test : Change in inclination of work piece

ト痕の輪郭を捉えるため、亜鉛メッキ鋼板上に僅かにできるスポット痕に影と反射を生じさせ、精度よく撮像できるよう、照明とカメラ角度を設定した(Fig. 11)。照明は、赤色の LED とし、その角度は 5° から 30° 、CCD カメラ角度は 30° から 60° の範囲内であることを実験的に確認した(Fig. 12)。

これらを利用し撮像した画面から、スポットの中心位置が検出可能であることを確認した(Fig. 13)。本装置をロボッ

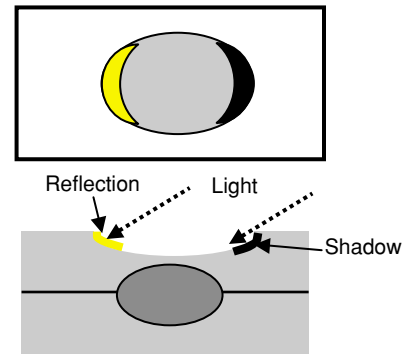


Fig. 11 Method of imaging of spot indentation outline

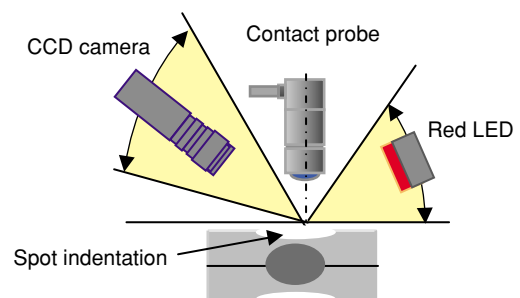


Fig. 12 Imaging test

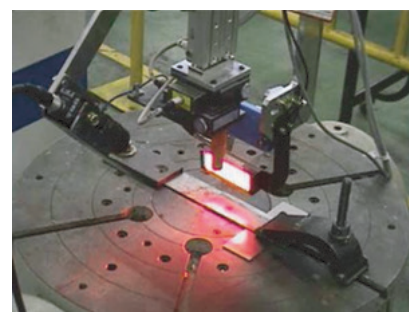


Fig. 13 Imaging equipment

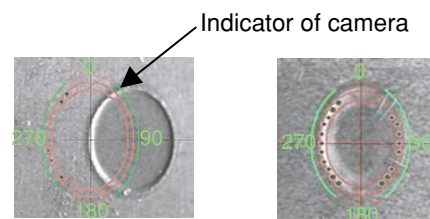


Fig. 14 Identification of spot indentation by developed system

トアームに搭載し送り速度 300mm/分にて確認した結果、スポット痕を認識して重心計算することがわかった (Fig. 14). これにより、材料種類に影響されること無くスポット痕認識が可能であることを確認した。

5. 部品による検証

先述の実験から得られた知見をもとに実際の部品で検証するための装置レイアウトを (Fig. 15) に、フローチャートを (Fig. 16) に示す。連続したスポット痕を探傷できるよう、

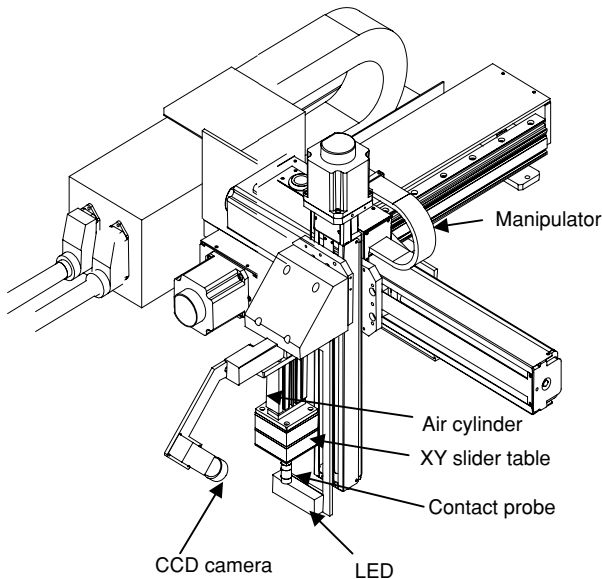


Fig. 15 Developed automatic ultrasonic flaw detection system

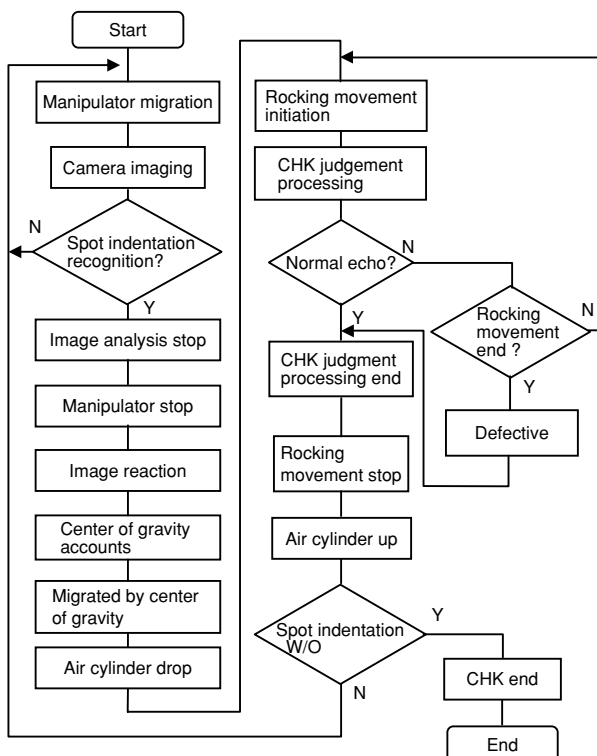


Fig. 16 Operational flowchart of developed system

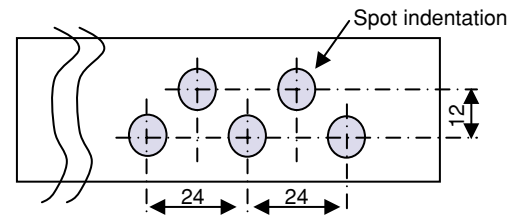


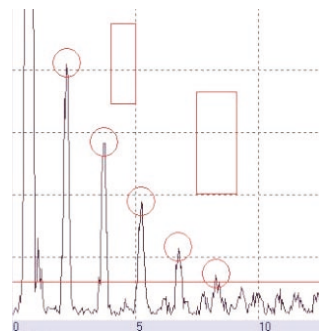
Fig. 17 Test piece



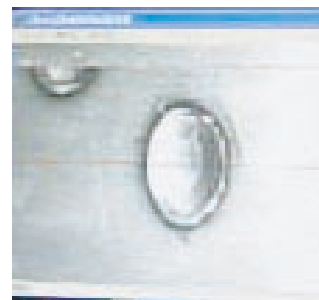
(a) Identify spot indentation



(b) Contact probe drop



(c) Back wall echo



(d) Identify next spot indentation

Fig. 18 Test results

6. まとめ

スポット溶接における超音波探傷法の自動検査技術の研究をおこない、将来、自動化を示唆する以下の知見が得られた。

- (1) ナゲットに傾きがある場合でも、スポット痕を中心とした傾きを持ったプローブの揺動により、自動探傷が可能であることが確認された。
- (2) メッキ鋼板やステンレス材のようにスポット痕の認識がしにくい材料でも、僅かに打痕表面に現れる影と反射を活用し、CCDカメラで撮像、輪郭認識して重心算出することにより、プローブをスポット中心に自動で運ぶことが可能となった。
- (3) (1), (2) 機構と産業用ロボットを使用したシステムを開発し、連続スポット打点の検証をおこなった結果、超音波探傷法による自動検査が可能であることが証明された。

参考文献

- (1) 日本非破壊検査協会：非破壊試験方法の概要と使い分け、非破壊検査便覧、日刊工業新聞社、p.9-10(1985)
- (2) 岡田慎一：自動車産業における最近の抵抗溶接技術、溶接技術、第 51 巻、第 3 号、p.76(2003)
- (3) 石川昌一：超音波探傷装置を利用したスポット溶接部検査、溶接技術、第 53 巻、第 3 号、p.117(2005)
- (4) 石川昌一：超音波探傷装置を利用したスポット溶接部検査、溶接技術、第 53 巻、第 3 号、p.114-115(2005)

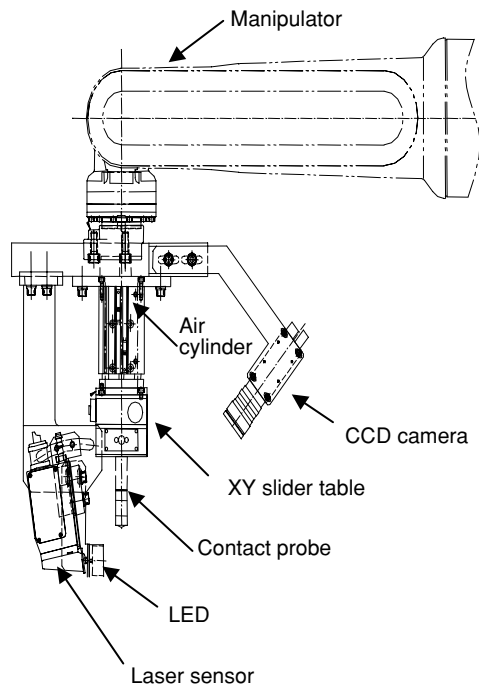
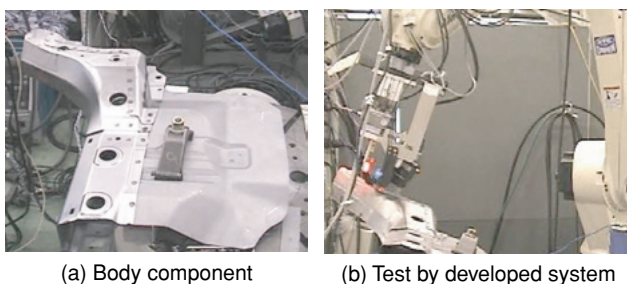


Fig. 19 Developed automatic ultrasonic flaw detection system fitted on six-axis robot



(a) Body component (b) Test by developed system

Fig. 20 Application of developed system

■著者■



上田 孝治



山上 武



阪下 英知