

ロボットによる超音波探触子の垂直押し付け法 Vertical pressing methods of ultrasonic probes by robots

○辻 絢人, 井上 健司
○Kento Tsuji, Kenji Inoue

山形大学
Yamagata University

キーワード: 6脚ロボット (Six-legged robot), ロボットハンド (Robot hand),
超音波探傷 (Ultrasonic testing), 超音波厚さ計 (Ultrasonic thickness meter)

連絡先: 〒992-8510 山形県米沢市城南 4-3-16
山形大学大学院理工学研究科応用生命システム工学専攻 井上健司
TEL&FAX: 0238-26-3335, E-mail: inoue@yz.yamagata-u.ac.jp

1. はじめに

人が立ち入ることのできない危険な環境で活動するロボットは, 1 台で高い移動能力と作業能力を併せ持つ必要がある. そこで, 著者らの研究室では, 脚の一部を腕に転用して作業を行うことができる 6 脚作業移動ロボットを開発している[1]. 先行研究[2]では, ロボットの全ての脚先に, 柔らかい部材を介して 4 本指ハンドを取り付け, 歩行能力と物体把持能力を向上させることができた.

原子力発電所やガスパラント, 災害現場における建造物等は, 人の安全性を確保しながら, 劣化や損傷を非破壊で検査する必要があり, 検査のロボット化が期待されている. 非破壊検査専用のロボットの場合, 非破壊検査能力は優れているが, 他の作業に対応することは難しい.

そこで, 先行研究[2]のロボットを超音波非破壊検査に応用することを試みる. 5 脚状態で 1 脚を腕に転用し, その先のハンドで超音波探触子を把持して対象物に垂直に押し付け, 検査を行う. 本論文では, 超音波探触子をハンドで把持するためのアダプタを開発する. アダプタは接触センサを有し, 探触子が対象物に垂直に当たっているかどうかを検出できる. 探触子を対象物に垂直に接近させた状態から, ロボットを前進させて対象物に押し付けるまでを実験し, ロボットによる超音波非破壊検査の実現可能性を探る.

2. 6 脚作業移動ロボットと 4 本指ハンド

4 本指ハンドを備えた 6 脚作業移動ロボットの 5 脚 1 腕姿勢を図 1 に示す. 脚は 3 自由度で, ハンドは 4 本指が一斉に放射状に開閉する 1 自由度である. ハンド用モータはボディに置かれ, ワイヤを介してハンドを駆動する. 脚先とハンドの間 (以下, 手首と呼ぶ) はゴムで結合され, 外力に応じて変形することで対象物になじむ効果を発揮する. 1 脚の第 1 関節からハンドまでの長さは 415mm, 6 脚の第 1 関節間の距離は縦 240mm, 横 160mm, 高さ 61mm, ハンドの長さは 85mm である. ロボットの詳細は文献[2]を参照されたい.



図 1 4 本指ハンドを備えた 6 脚作業移動ロボットの 5 脚 1 腕姿勢

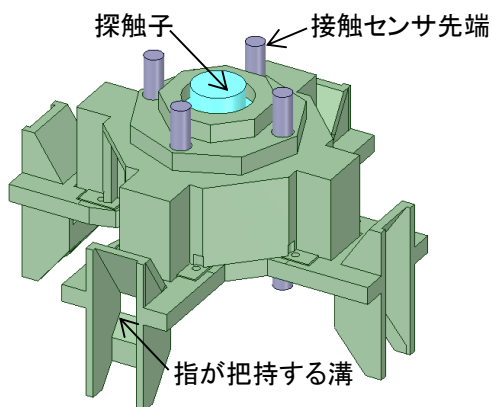
3. 超音波探触子アダプタ

3.1 構造

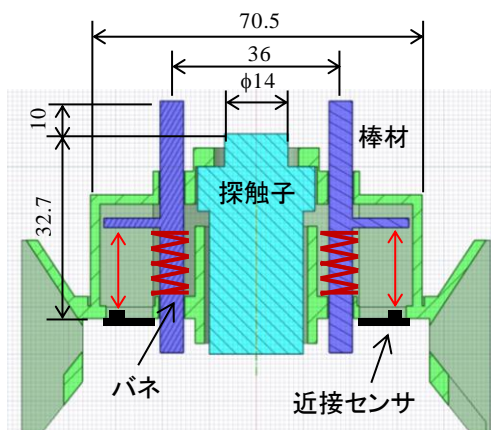
超音波非破壊検査では、超音波探触子を対象物に垂直に押し付ける必要がある。よって、探触子をハンドで把持するためのアダプタは、4本指で探触子を剛に把持できること、探触子が対象物に垂直に当たっているかどうかを検出できることが求められる。

開発したアダプタの構造を図2に示す。図2(a)の中央部分には、探触子が埋め込まれる。側面の4つの溝は、ちょうど4本の指が嵌まるように設計されており、探触子を剛に把持できる。

図2(b)のように、接触センサの棒材はバネで外向きに押し出され、棒材先端は探触子よりも10mmだけ突き出ている。探触子が対象物に接近すると、棒材先端が先に対象物に当たり、棒材が押し込まれる。この押し込み量を、棒材の他端に置かれた近接センサで計測する。近接センサには、Best Technology社のIRPXセンサ(赤外反射型、計測距離3~17mm)を用いた。



(a) 外観



(b) 断面図

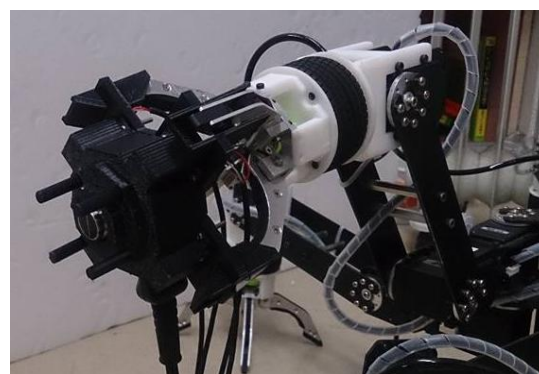
図2 超音波探触子アダプタの構造

接触センサは探触子の周囲に4個あるので、それらの押し込み量が同じであれば、対象物は探触子と垂直になっている。さらに、すべての棒材先端が探触子と同じ位置になったとき、探触子是对象物に垂直に接触している。

3Dプリンタで製作したアダプタと4本指で把持した状態を図3に示す。探触子は、NDTマート社の超音波厚さ計用探触子TC-510(直径14mm)である。



(a) 製作したアダプタ



(b) 4本指ハンドで把持した状態

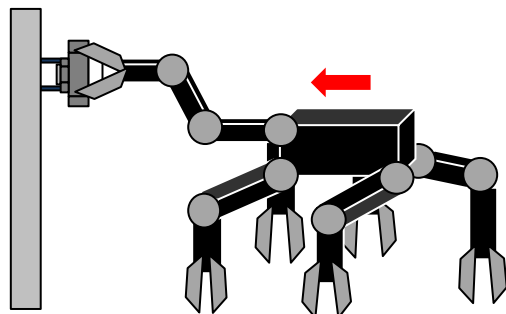
図3 製作した超音波探触子アダプタ

3.2 垂直押し付け法

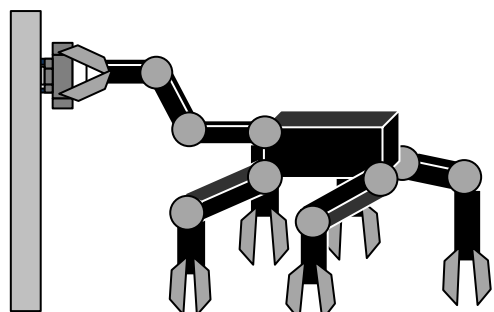
本研究では、探触子を対象物に垂直に接近させた状態から、ロボットを前進させて対象物に押し付けるまでを行う。

図4のように、4個の接触センサが対象物に均等に接触した状態を初期状態とし、ロボットを対象物に向かって前進させる。ただし、前進移動量はわずかなので歩行はせず、ボディを前に出す動きになる。4個の接触センサの押し込み量を計測し、すべての棒材先端が探触子と同じ位置になったら、押し付けを終了する。

ロボットの移動誤差やセンサの計測誤差のため、探触子是对象物に完全に垂直とは限らない。この垂直からの誤差を手首のゴムの柔らかさで吸収することで、垂直押し付けが可能となる。



(a) 初期状態



(b) 押し付け終了

図4 垂直押し付け法

4. 押し付け実験

NDT マート社の超音波厚さ計 UM-4D (分解能 0.01mm) を探触子 TC-510 に取り付け、スチールロッカーの扉に押し付ける実験を行った。同じ超音波厚さ計で人が扉の厚さを測定した結果、1.23~1.28mm であった。初期状態は、探触子が扉から約 5mm 離れた位置とした。

実験の様子を図 5 に示す。探触子を押し付けることができたときの測定結果は、1.38mm, 1.87mm, 2.33mm であった。測定値が大きくなったのは、探触子の密着が不十分だったためと思われる。探触子に働く力を測定し、密着を確認する必要がある。また、押し付け中に探触子が傾いてしまい、押し付けられないことがあった。4 個の接触センサの出力を用いて、垂直を保つようにロボットを制御する必要がある。

5. おわりに

4 本指ハンドを備えた 6 脚作業移動ロボットの超音波非破壊検査への応用を目指して、

1 腕のハンドで超音波探触子を把持するためのアダプタを開発した。探触子を対象物に垂直に接近させた状態から、ロボットを前進させて対象物に押し付ける実験を行い、超音波厚さ計測の可能性を示した。

今後の課題は、探触子の密着の検出、押し付け中の垂直維持、対象物への接近である。

なお、本研究は JSPS 科研費 26420193 の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] 井上, 大江: 3つのモードを切り替え可能な 6 脚作業移動ロボットの開発, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2008 講演論文集, 1A1-E04, 2008.
- [2] 佐々木, 井上: 手首が柔らかい 4 本指ハンドを備えた 6 脚作業移動ロボットの開発, 計測自動制御学会東北支部第 297 回研究集会, 297-2, 2015.



(a) 初期状態



(b) 押し付け終了

図5 押し付け実験