

技術貢献賞

製造ラインの品質を支える精密機械部品向け内壁検査システムの開発

=自動検査実用化の難しさ（課題）と解決策=

Development of an inner wall inspection system for precision machine parts that supports the quality of the manufacturing line

=Difficulties (Issues) and Solutions for the Practical Application of Automated Inspection=

○正 江崎 泰史 (ANALYZER 株式会社)

Yasufumi Esaki ANALYZER.Inc 3-13-60Kagamiyama,Higashihiroshima-shi,Hiroshima,Japan

1. はじめに

自動車部品などの加工工程で生ずる円筒形状内壁の鑄巣／傷やバリなどの欠陥は、重大な問題の原因になることがあるが、多くは人海戦術による検査員の目視検査に頼っている。

製造業においては、コスト低減と品質を両立させることが大きなテーマとなっている。また、人手不足も顕在化し始め検査の自動化は待ったなしの状況である。量産現場では、搬出入の自動化の為、ロボット活用が進み、運搬には AGV が多く使われている。検査工程が自動化出来れば、工場の自動化は大きく進展するのである。現行、多くは検査員による検査が実施されている為、検査のバラツキや見逃しが発生する可能性がある。その為、2重・3重検査を実施している製造業も多い。また、海外工場においては、検査の信頼性を高める事が急務となっている。製造業において競争力を高める為には、コスト低減と品質向上は必須の条件であるが、内壁検査は難易度が高く実用化が難しい分野である。また、同じ製品でも取引関係によって違う検査規格が存在しており、規格の統一も求められている。

本稿では、自動車部品などの円筒形状内壁のレーザーによる自動検査の実用化及び今後の活用について説明する。

2. 検査装置【ANALYZER】開発経緯

当社の親会社は、広島県呉市にある自動車部品等を製造するメーカーである。2000年頃、自社工場において多くの製造工程ではロボット等の導入により省力化／自動化は進んでいた。

しかし検査工程においては、客先の品質要求の高まりにより検査員を増員する必要があった。そこで、自社だけでなく多くの製造業において同様の課題があるのではと考え、産業技術総合研究所と量産ラインで活用可能な検査装置を共同開発するプロジェクトをスタートさせた。

2000年から開発を開始し、リーマンショック不況の間も粛々と開発を進め2010年に現行モデル【ANALYZER】の開発に成功した。このモデルは、安定的に高速検査（15000rpm）が可能な装置で大手自動車メーカー・部品メーカーをはじめ、これまでに世界11か国以上で70社450台以上を出荷している。

3. 検査装置【ANALYZER】概要

当社が開発・製造・販売しているレーザー傷検査装置【ANALYZER】は、自動車重要保安部品のバルブボディ／ブレーキマスターシリンダー／エンジンプロック、最近ではモータコア／コンプレッサーなど円筒形状内壁に発生する欠陥を自動的に検出する検査装置である。検査装置は、レーザー光を円筒形状内壁に照射し取得したスキャン画像から欠陥の有無判定を行うものである。

図1 レーザ傷検査装置【ANALYZER】による欠陥判定の流れ

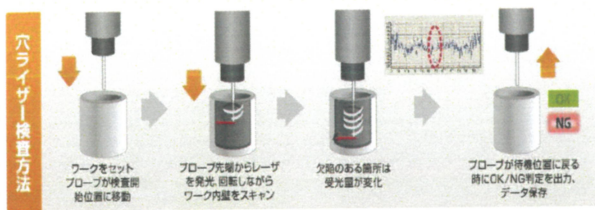


図2 「铸巣」の検出

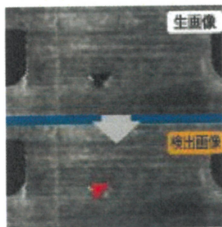
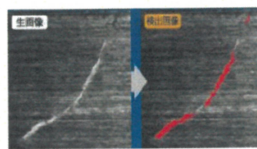


図3 「キズ」の検出



4. 自動検査実用化の課題

自動検査を進める為には、これまでの「経験と勘」による官能検査から「数値データ」を基にした判定基準を作成し、更に量産ライン流動による影響にも対応可能な運用方法を作る必要がある。量産ラインでは、日々ツールは摩耗するし洗浄液は汚れてくる。その結果、取得したデータはその影響を受けて変化してしまう。この変化に対応する為、測定条件及び判定条件の最適化を進める事の難しさが自動化を阻む大きな課題となっている。また、製造業の生産技術担当者はモノを作る製造ラインの自動化の経験はあるが、自動検査を成功裏に立ち上げた経験は少ない。よって、多くの自動検査装置がホコリをかぶり使われなままに放置されているのが現状である。

5. 自動検査実用化の進め方

過剰判定率を自動検査のゴール指標として、ステップに分けて過剰判定率のハードルをクリアして行く事をお勧めする。また、各ステップにおいて過剰要因は変化するので、逆戻りしない様に記録を残し進めて行って欲しい。これまでの経験から過剰判定率10%まで抑制する事は比較的多くの所で順調に達成する。但し、10%以下を目指し調整を進めて行く中で、多くの生

産技術担当者が悩む事となる。対策の基本は、物理的な過剰要因を排除する事。例えば、洗浄痕が要因の場合は、メンテナンス周期の変更やフィルターを追加する事で大きく過剰を減らした事例もある。また、検査装置メーカーエンジニアの経験を上手く活用する事も1つの手段だと思う。メーカーエンジニアは、多くの成功経験を持っており自動検査の立上げの道案内役として大きな役割を果たしてくれるであろう。自動検査において成功事例を参考にすると共に、新たな検査基準をいかに設定するかが重要である。これまで検査員が「経験と勘」で実施していた官能検査を、「数値データ」を基とした判定基準に変えて行く事を求められるのである。この基準を作成する際はJIS (Z 2324-1) に準拠したマスターピースを製作し抛り所として欲しいと思う。欠陥サイズの確からしさを保証する事が基準作りの第一歩になると考えているので是非とも参考して貰えればと思う。

6. 自動検査の今後

今後、データ活用は益々重要になってくる。

「検査装置はモノを作らない・・・」と言われてきたことがある。その通りで、検査装置は良品を不良と判定する事もあり、判定精度を高める事が求められる。それゆえ、日々蓄積されるデータを分析する事で大量不良を防いだり、これまで気付かなかった改善テーマを発見出来たりもする。大量不良の発生を予測し、更に不良箇所を特定する事が可能であれば、歩留り率目標の達成にも大きく貢献出来ると思う。また、最近では蓄積したビックデータを活用しAIによる検査精度の向上も進んできている。蓄積データを学習用データとして活用し、更に、答え合わせにも使用する事が出来る。ラインごとのデータ管理から工場全体、そして各拠点間でデータを活用する事が出来れば、AI学習は飛躍的に向上する事となる。検査の自動化の先にはデータ活用が待っており、そのデータ活用が今後の

製造業の勝敗を分ける事となる。まずは、蓄積したデータの分析からスタートしてみてもと思う。

血管シール性能向上を目的とした逆位相振動型超音波凝固切開装置の開発

Development of an Opposite-Phase Vibration Ultrasonic Surgical Device for Enhanced Vascular Sealing Performance

○正 森田 実 (山口大学), 江 鐘偉 (山口大学),
岡本 哲 (岡本産業株式会社), 石川博幸 (周南地域地場産業振興センター)

Minoru MORITA, Zhongwei JIANG, Yamaguchi University, 2-16-1 Tokiwadai, Ube City, Yamaguchi, 755-8611 Japan
Satoru OKAMOTO, Okamoto Sangyo Co., Ltd., 5-2-1 Minami-Hanaoka, Kudamatsu City, Yamaguchi, 744-0027, Japan
Hiroyuki Ishikawa, Shunan Regional Industry Promotion Center, 2-118-24, Kokai, Shunan City, Yamaguchi, 745-0814, Japan

Key Words : Ultrasonic Surgical Device, Sealing Performance, Composite vibration

1 背景

患者の高齢化が進む中で、依然として低侵襲手術への期待は増している。超音波凝固切開装置（いわゆる超音波メス）は、電気メスと比較して低温で血管をシール止血が可能であるため、組織の熱損傷が少ないという利点がある。しかしながら、出力が強い場合や血管に押し当てる力が強い場合には切開が起きやすく、逆に出力が弱い場合や押し当てる力が弱い場合にはシールが優先される。このため、切開とシールのバランスを取るための操作が必要となり、血管をシールする前に切開し出血してしまうなど、医師にとって技術の習得が大きな負担となっている。筆者らはこれまで、振動モードの工夫を通じた振動デバイスの高出力化を追求してきた。その成果を超音波メスへ応用することで、凝固性能を高め、止血を容易にするメスの開発が可能であるという考えから本技術の適用を目指した研究開発を開始した。

2 逆位相振動の考案と期待される効果

超音波メスにおいて、凝固と切開を効果的に制御するためには、摩擦発熱とせん断力の適切な調整が重要である。摩擦発熱は組織の凝固（シール）を促進し、せん断力は切開を効率的に行うために必要な要素である。この2つの要素を最適化することで組織の過剰な損傷を防ぎつつ、治療が可能となる。逆位相振動とは、図1に示すように、縦振動と曲げ振動が同期して励起される複合振動である。この振動は、押し付けと擦り動作を同時に実現し、摩擦による発熱が発生しやすいため、シール性能の向上が期待されている。励起メカニズムとしては、ブレードの根元から縦方向の超音波が照射され、縦波が先端の斜面に衝突することで軸に垂直な振動が励起され、曲げ振動モードが発生する。このとき、先端の二股部分が逆位相で曲げ振動を行い、それぞれの曲げモーメントが打ち消し合うことで、縦波のみがアクチュエータに戻る。さ

らに、縦振動と曲げ振動の固有振動数を一致させるように形状を設計することで、組織の凝固や切開に有効な出力を発生させる。この同期した振動により、押し付けながら擦る動作が強化され、摩擦発熱の効率が向上する。これにより、従来よりも高いシール性能が得られることが期待されている。^[1]

3 シミュレーションによる評価

逆位相振動が血管シール性能に与える効果を確認するため、有限要素法解析ソフト ANSYS Mechanical を用いてシミュレーションを実施した。2章の原理に基づき、超音波メスの先端形状を設計し、接触と伝熱の連成解析モデルにより評価を行った。比較対象として、先端加工を施さないメス、スリットのみを加工した縦振動モードのメス、逆位相振動モデルのメスを用意し、ゴムにメス先端を押し当て振動させた際

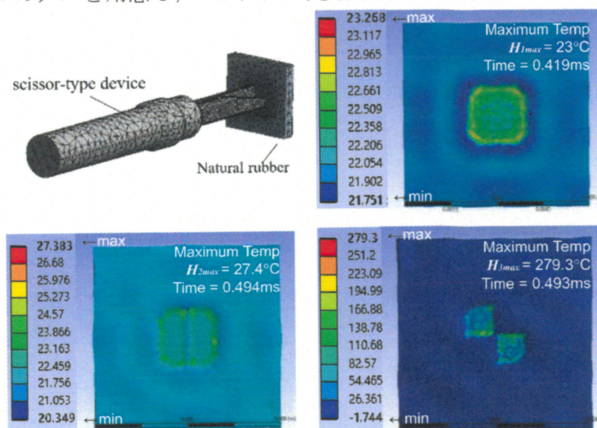


Fig.2. Temperature Contour Map at Peak Value for Longitudinal Vibration, Longitudinal Vibration with Slit, and Opposite-Phase Vibration Models.

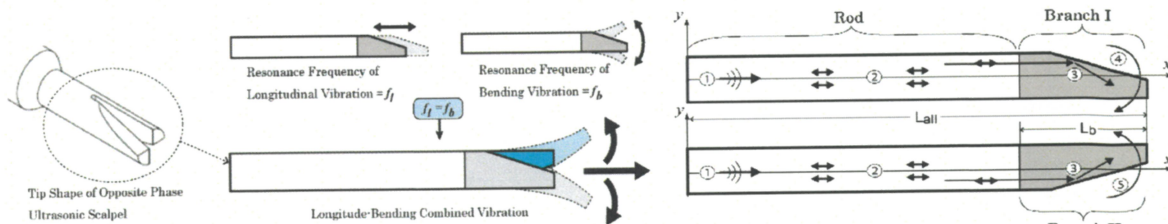


Fig.1 Operation of opposite-phase vibration ultrasonic actuator. Cutaway of two inverse symmetry beam (Right). ①: input signal, ②: longitudinal wave propagating to tip ③: mode conversion, ④: swing branch I, ⑤: branch II swing the opposite direction from branch I.

の発熱性能をシミュレーションした。その結果、図2に示すように、逆位相振動モデルは他のモデルと比較して発熱性能が著しく高いことが確認され、血管シール性能の向上に対する有効性が示唆された。^[2]

4 実験による評価

シミュレーションで発熱性能の向上が確認されたことを受け、牛血管内膜を用いた血管シール実験を実施した。超音波振動による摩擦発熱は、メスを血管に押し付ける強さ、超音波出力、共振周波数の追従、水分量などの要因により変動するため、図3に示すようにリニアステージとロードセルを用いた押し付け力の制御システム、および超音波出力と励起周波数を制御するシステムを構築し、再現性の高い凝固切開実験を実現した。図4に示すサーモカメラの画像から、メスを血管に押し当てることで発熱が生じていることが確認された。牛血管内膜は上下2枚の重ね構造となっており、発熱による切断を通じて上下の血管がシールされ、接着の強さはロードセルにより測定される(図5参照)。図6に示す結果から、逆位相振動を用いたメスの方がより強いシール性能を示すことが示された。

5 まとめと今後の展開

超音波メスの血管シール性能向上は、振動モードの工夫によって実現できる可能性が示された。しかし、先端の加工技術やその評価には高度な専門知識と技術を要し、開発は容易ではない。また、本研究の遂行にあたっては、先人の研究者の先行研究の蓄積があったことは勿論であるが、加工方法を共に検討していただいた岡本様、石川様の貢献、さらには研究をご理解いただき共同研究および助成を賜った関連機関の支援が不可欠であった。この技術は精密加工のみで安定して動作するため、他の医療機器への応用の可能性も高いと考えている。今後は、これらの成果を基に、医師にとって操作しやすく、患者への侵襲が少ない治療デバイスの開発に取り組み、より安全かつ効果的な低侵襲手術の実現を目指し、医療現場や患者に貢献していきたい。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費 18K12107 および 22K12866、ものづくり中小企業・小規模事業者試作開発等支援補助金、カテーテルならびに内視鏡用高機能手術デバイスの試作開発と実用化に向けた製造方法の確立の助成を受けた。

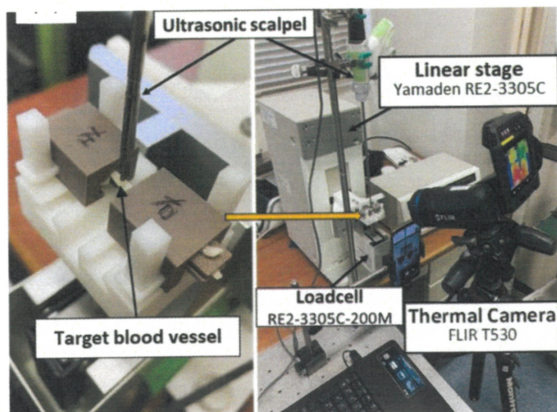


Fig.3. Experimental Setup for Coagulation-Incision of Blood Vessel with Constant Force and Speed.

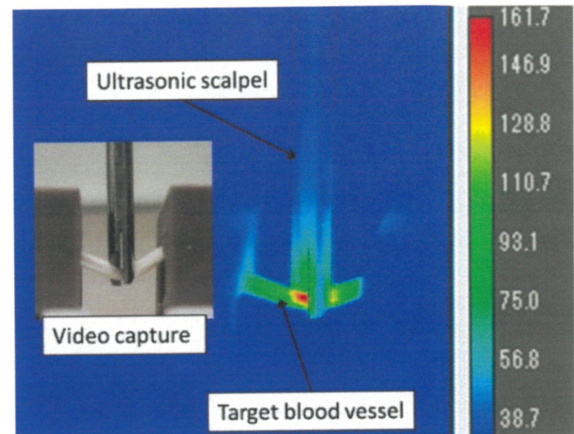


Fig.4. Thermal Camera Image Captured at Maximum Temperature During Coagulation-Incision Experiment.

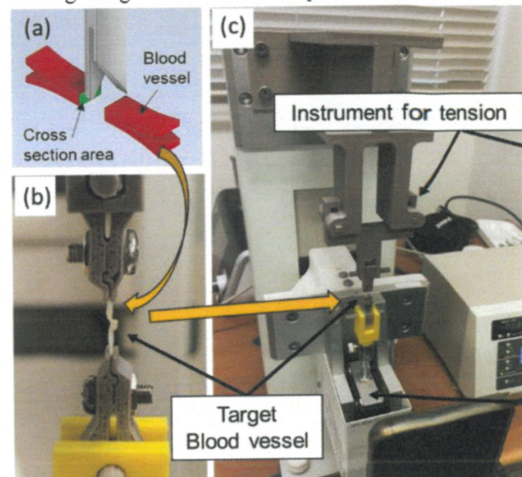


Fig.5. Photographs and Schematic Diagram of Tensile Test Experimental System.

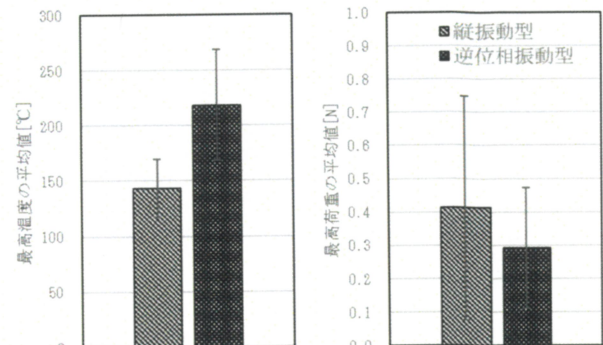


Fig.6. Results of Maximum Temperature and Maximum Strain

文献

- (1) Minoru Morita, Shunsuke Morikawa and JIANG Zhongwei, "Development of invitro blood vessel coagulation-incision experimental method and characterization of opposite-phase vibration type ultrasonic scalpel", The Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing, Vol. 17 Issue 4, 8 pages, 2023
- (2) Minoru Morita, Jingjing Yang, Zhongwei Jiang, Study on heat efficiency of scissor-type ultrasonic catheter device, BioMed Research International, vol. 2021, Article ID 5543520, 15 pages, 2021