

非破壊（小径）金属パイプ内面粗さ測定機

二九精密機械工業株式会社

代表取締役社長 二九 良三

二九精密機械工業(株) 営業部営業課技術係 主幹 須戸 文夫
二九精密機械工業(株) 営業部営業課技術係 副主事 古屋 秀幸

はじめに

二九精密機械工業は 1917 年の創業より金属の精密・微細加工に取り組み、2000 年頃より小径パイプ（図 1）の加工にも力を入れている。小径パイプの一貫生産と内面研磨、合わせて小径パイプに施すファイバーレーザーやフェムト秒レーザー加工などの技術を有している。



図1 当社製作のパイプ(ノズル)

小径（内径φ1.0mm 以下）金属パイプは、現在、精密分析機器に搭載されており、医療分野等で使用されている。精密分析機器においては、パイプ内を検体が流れるため、これらパイプ内面の滑らかさ（表面粗さ）が、機器の分析結果に影響を及ぼす（図 2）ため、より滑らかにするためのパイ

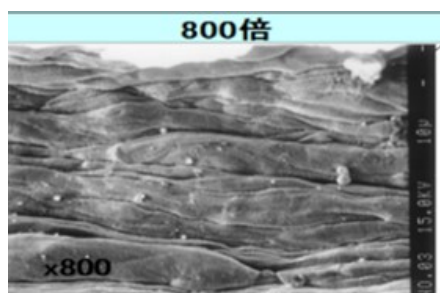


図2 粗い小径金属パイプの拡大写真
（内面の凹凸が大きいため、検体の流れを阻害するなどして、正しい分析結果が得られない）

プ内面研磨が実施される。当社は、前述したようにパイプ内面研磨技術を有しており、パイプ内面研磨後の内面粗さ測定は、内面研磨したパイプを半割り（破壊）し、測定面を露出し、表面粗さ測定機を使用するという手法をとっていた（図 3）。



図3 従来の粗さ測定
（内面研磨したパイプを半割（破壊）し、
1本あたり45分かけて表面粗さを測定する）

しかしこの手法は、測定用（破壊用）に余分にパイプを製造する必要があり、それを半割し測定するのに 1 本あたり 45 分もかかっていた。また、破壊してしまったパイプは当然、顧客には納品できず、さらに言えば、精密分析機器に搭載されるにも関わらず、顧客に納品する全てのパイプの測定を実施できていないという課題があり、非破壊でのパイプ内面粗さ測定機が望まれていた（2018 年）。

開発の経緯

別件で、パイプ内面の異物検査をファイバースコープを使用して実施していたところ、照明（光源）が一定なのに、測定されたパイプによって、明るい画像と暗い画像があることを偶然に発見した。そこで、この現象の原因は、「パイプ内面の粗さ（凹凸）の大小により画像の明るさ

（光の散乱）に違いが出ているのでは？」という仮説（図4）を立ててみた。

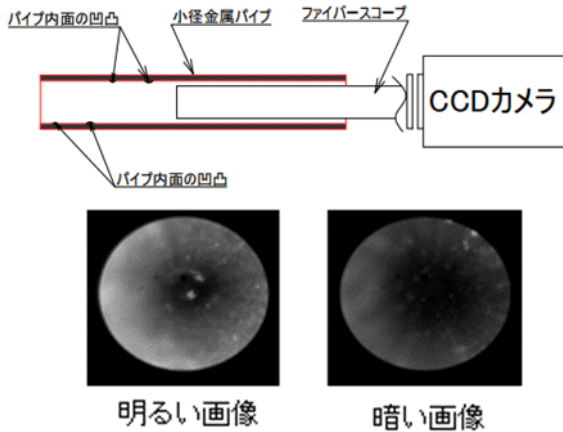


図4 立てた仮説
（パイプ内面の凹凸の大小が
画像の明るさに現れているのでは？）

仮説を検証するために、画像撮影したパイプを破壊し、内面粗さを測定してみたところ、画像の明るさと内面粗さに相関（図5）があることが判明した。

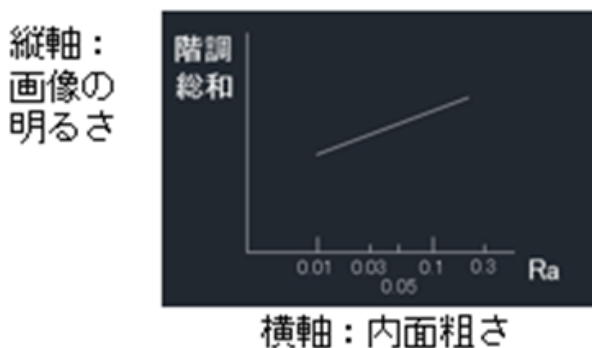


図5 画像の明るさと内面粗さの相関関係
（内面粗さの小さいものは画像が暗い）

相関があるということは、「事前にパイプ内面の明るさと粗さの関係を明確に（数値化）できていればパイプ内面の画像から非破壊でパイプ内面の表面粗さを求めることができる。」という結論に至った。

そこで2018年末にプロジェクト（産学連携）を発足し、1年をかけて活動を実施し、2019年末には非破壊金属パイプ内面粗さ測定器の開発機を製作した。プロジェクト発足時にはデジタル画像に関する知識を有している者がいなかった

ため、フリーの画像処理ソフトを使用しながら画像の基本知識の習得と、画像の明るさの数値化の模索をしていった。

装置の概要

・基本構成。

開発した測定機の全体図および装置全体写真を図6、7に示す。測定すべき金属小径パイプの内径よりも小さいファイバースコープを小径パイプに挿入し、その内面の画像の明るさの情報と、事前取得した表面粗さと明るさの測定

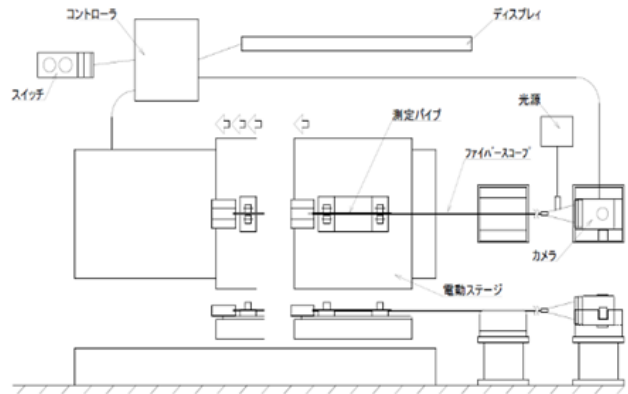


図6 装置全体図



図7 装置全体写真

データの相関関係を基に表面粗さを算出する。

また、装置構成は操作性を考慮して、図8に示す通り、パイプを電動ステージにセットすると電動ステージでパイプを自動移動させて小径パイプ内面の画像撮影を順次繰り返し実施するようにプログラムでコントロールされる。

・パイプ内面の撮影時間

パイプ 1 本当たり 20 箇所を撮影した場合の

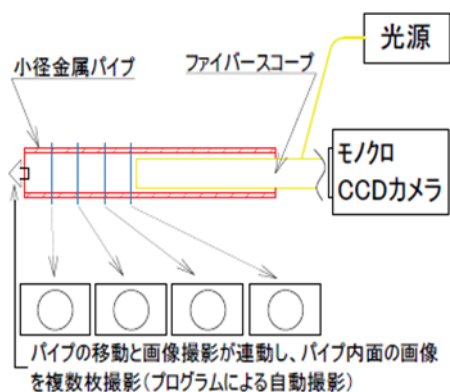


図8 画像撮影と電動ステージ(パイプ)の移動

撮影時間は20秒であり、画像撮影毎に表面粗さの値がリアルタイムで、ディスプレイに表示され、20箇所での測定が終了後、各表面粗さを合計し、平均値をそのパイプの表面粗さとしてディスプレイに表示する。

- ・画面配置 (レイアウト)

測定機の画面配置を図9のようにプログラムした。

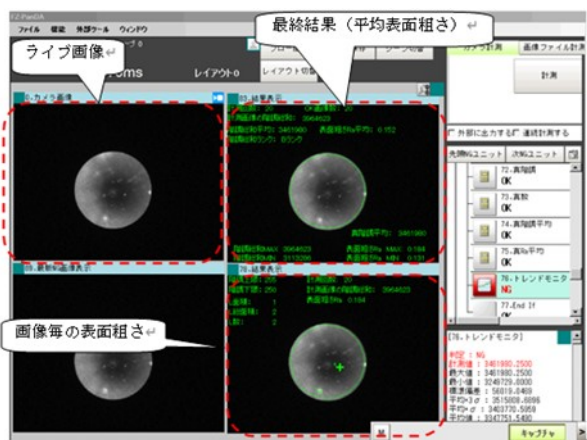


図9 画面レイアウト

技術上の特徴

前述したように、照明(光源)を一定に保ち、ファイバースコープを使用して、パイプ内面を画像で観察した場合、パイプ内面の画像がそのパイプ内面の表面粗さに応じた(明るさの)画像になるという原理を利用する。

画像の明るさは階調総和(画像の各ピクセルの階調0~255(8bit情報)を合計した値)を使うことにした(図10)。開発当初はフリーの画

像処理ソフト(図11)を試みたが、パイプ内の画像撮影と画像処理をリアルタイムにできないことから、最終的には有償のものを使用することにした。



図10 表面粗さと画像の明るさ(階調総和)

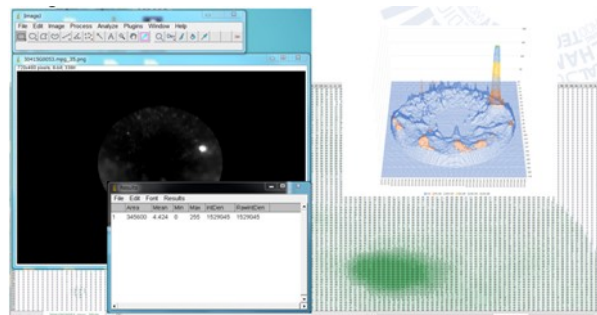


図11 フリーソフトによる階調総和の計算

事前に画像の明るさと表面粗さの関係(式)を画像処理ユニットに登録しておき、それに基づき画像から表面粗さを算出させる。

実用上の効果

- ・経済的效果

これまでの破壊試験のように余分に製品を製作する必要がない(省資源、コスト低減)。また、短時間でのパイプ内面粗さの非破壊測定が可能となったため、全数測定したものを顧客に納品できる(検査コストの低減、企業の経済的優位性)。

- ・波及効果

例: 小径パイプの内面検査装置

内面粗さを必要としない検査装置で、これまで観察できなかった小径パイプ内面が、小径ファイバースコープの使用により、観察が可能

となり、パイプ内面の異物（図12）、キズ（図13）、油分（図14）等の不良を発見／除去することで品質向上につながる。

異物確認

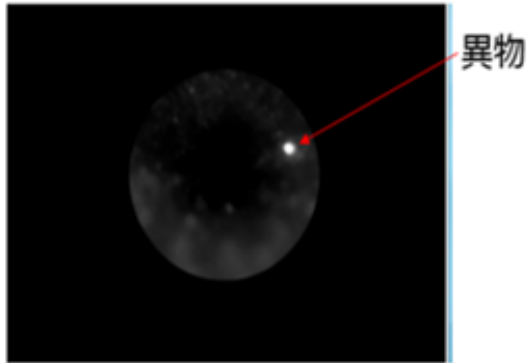


図12 パイプ内の異物

キズ確認

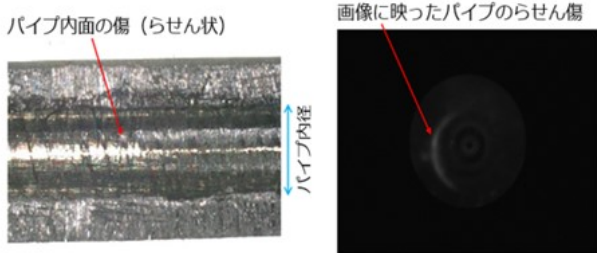


図13 パイプ内の傷

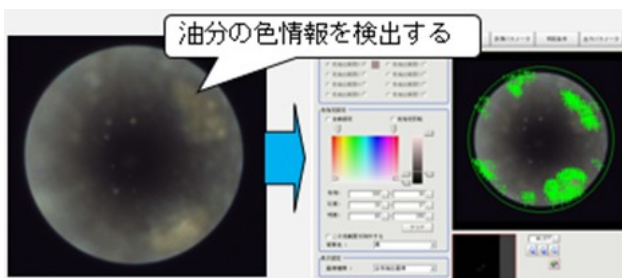


図14 パイプ内の油分と画像処理による油分検出

知的財産権の状況

本開発品の装置に関する特許登録は下記の通りである。

- ① 日本国特許 出願番号：2020-120
 名称：金属パイプ内面の表面粗さ非破壊測定装置
 概要：小径金属管内面の表面粗さを、事前に検

証できている小径金属管の内面画像の階調総和と表面粗さの相関関係を基に、小径金属管の内径と、小径金属管内面の画像の階調総和から計算し、ディスプレイ等へ出力、表示する装置

むすび

非破壊（小径）金属パイプ内面粗さ測定機は、これまでに述べたように、製品を余分に製作したくない、測定に時間をかけたくない等の製造業の共通の要望に応えるものとなっている。また全数測定の要望にも応えることも可能である。しかし、全数測定となると、測定作業者が測定機につきっきりになり測定をし続ける必要が生じ、この課題の解決が必須となる。

そこで、現在当社は、測定の自動化技術の確立に向けて取り組んでいる（図15）。人が実施するのに最も煩わしい作業である、パイプへのファイバースコープの挿入を、ハンドリングロボットを用いて行うことを目指している。

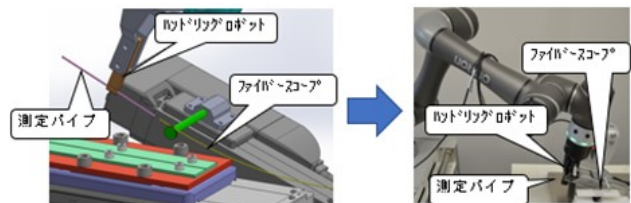


図15 測定の自動化

また、測定の自動化にあたっては他にもチャレンジングな課題があり、それらにも併行して取り組んでいる最中である。

当社はこれまでも必要に応じて、社内で測定機を設計・製作することを実施している。今回の測定機およびその自動化技術が、さらなる社内技術向上に資するよう、今後も真摯に向き合い、尽力していきたい。