ロボット型 X 線 CT – 製造モニタリング による第 4 次自動車産業革命 概要*

Overview of Robot guided Computed Tomography – Production Monitoring in Automotive Industry 4.0

長井超慧**
Yukie NAGAI

Key words robot CT, laminography, X-ray CT, inspection, NDT, automotive industry

現在、コスト減や属人性軽減の目的から各種製造分野において製造工程の自動化に向けた取り組みが進んでいるが、それは自動車産業でも同様である。とはいえ自動車という製品の特性上、安全性を犠牲にすることはできず、製品検査を安易に自動化できるとは考えられていなかった。それを実現しようとするシステムがある。可動式アームと X 線 CT スキャンを組み合わせたインライン検査用ロボット、RoboCT だ（図 1）。2つのアームの先端にそれぞれ X 線源と X 線検出器を取り付けることにより、検査箇所のみアプローチする。車を丸ごとスキャンする場合に比べ、精度面・設備面でアドバンテージがあり、検査時間・データ量も少なくてすむためインラインへの導入が可能になる。ドイツ Fraunhofer Development Center X-ray Technology EZRT が世界に先駆けて開発し、BMW や Audi といった自動車会社と連携しながら研究を進めている。RoboCT の仕組みと期待される活用例は続く解説記事本体で詳しく紹介されているが、本稿はその導入としての役割も果たす。解説記事著者の一人である同研究所 Wolfgang Holub 氏が DIR2019 で行った同内容の発表¹⁾に基づき、技術の概略を述べる。

まず、従来の一般的な X 線 CT スキャンの機構を図 2 に示す。スキャナの筐体内部に X 線源と検出器があり、計測物をそれらの中間に配置する。X 線源から計測物に向けて X 線を照射し、計測物を透過して減弱した X 線の強度を反対側にある検出器で計測する。計測中、計測物は鉛直方向の回転軸回りに一周回転し、各回転角において X 線強度の計測が行われる。X 線 CT スキャンでは数 μm から数百 μm オーダーの精度で非破壊に内部形状の計測ができるのが魅力であるが、重金属をはじめとする高密度物質の計測は未だ難しく、計測物のサイズには制約があり（数 m 立方の装置に対し計測物は数十 cm 立方）、計測には数十分～数時間かかり、出力データは 3 次元的であるた

めデータ量が大きく計算時間もかかるといった課題があり、インラインへの CT 導入は困難とみなされていた。

自動車製造においては、組み立てた車体のリベット、ねじ、接着といった接合部分の検査が必須であり、これらの品質検査では分解による破壊的検査が行われている。これら接合箇所は 5 千～6 千箇所に及ぶため、分解検査には時間と労力がかかるのはもちろん、応力解放による部品変形が生じることからも理想的な検査方法とはいえない。

この検査を自動化できれば大幅な検査時間の短縮になる。しかし上記の X 線 CT スキャンに関する制約上、従

図 1 RoboCT. 上：計測時の様子。下：RoboCT 単体。

*原稿受付 令和 2 年 3 月 1 日

**正 会 員 東京都立大学システムデザイン学部（東京都日野市旭が丘 6-6）

図2 一般的な X 線 CT スキャンの機構

来の CT 装置での検査の自動化は不可能であった。

これを解決するのが RoboCT である。先述の通り、RoboCT は可動性の高い 2 本のロボットアームの先端に X 線源・X 線検出器がついており、これらのアームが対となって動く。従来の CT 計測ではスキャナ筐体内部に計測物を収めて回転させる必要があったが、その代わりに線源と検出器を計測部位に近づけ、任意の回転軸を設定してその周りで線源と検出器を動かすことで、計測物の大きさに関する制約を取り去った (図 3)。ピラーなどの存在により回転軸回りを周回できない場合も、ラミノグラフィと呼ばれる CT 再構成技術を用いてデータ取得が可能である。

解説記事本体の図 1 は BMW 社工場内に設置された RoboCT である。アーム長 3m 以上、機構の可動範囲を定めるレールは直線状で 6m の長さがある。X 線の管電圧は 225kV、X 線焦点サイズは 50~200 μm である。現時点での計測精度は 50~100 μm 程度であり、さらなる精度を目指して研究を進めている。開発にあたり、X 線源と検出器の座標を高精度に定めることが課題となった。通常 0.5mm 程度であるアームの制御精度を数十 μm に高める必要があった。線源と検出器位置のキャリブレーション法を構築することで精度の課題をクリアした。

アームを複数備えることで、X 線 CT の機構を 1 つのみならず複数装備することができる。X 線 CT の他に例えばカメラ、ステレオグラフィ、サーモグラフィ、超音波検査装置などを搭載すればマルチモーダルな計測ができる。

解説記事本体の図 8・9 はリベットを通常の CT 装置と RoboCT で計測した結果の比較である。角度制限がある場合も、問題なくリベットの形状が取得できている。同記事図 10 はドアフレームの計測結果で、金属とゴムの組み合わせという X 線 CT にとっては難しい計測対象であっても、各素材の部品形状が捉えられていることが分かる。

今後は線源・検出器の周回軌道自動算出、CT データの画質向上、各種目的に最適な計測設定の提案を目指す。

謝 辞

本記事の執筆にあたり、Fraunhofer EZRT および同所

図3 装置の配置例。上：計測部位を挟みこむよう、線源（車内側）と検出器（外側）を配置した様子。下：車内側。銀色の筒が線源。

Wolfgang Holub 氏のご協力と写真提供を得た。

参 考 文 献

- 1) W. Holub et al.: RoboCT Application for in-situ Inspection of Join Technologies of large scale Objects, International Symposium on Digital Industrial Radiology and Computed Tomography (DIR 2019), Tu. 1. A. 1., Germany, July 2019.

長井超慧

2010 年東京大学大学院博士課程修了、博士（工学）。同年理化学研究所研究員。ウィーン工科大、東京大、アブドゥラ王立科学技術大学院大を経て、13 年東京大学特任助教のち助教。18 年首都大学東京（現 都立大）准教授。形状モデリングの研究に従事。

【執筆協力】

Wolfgang Holub

Wolfgang Holub is a researcher and engineer at Fraunhofer EZRT. Apart from his technical work on RoboCT, he is managing the software development team behind that technology and further develops the product RoboCT.