

工業用CTが見透す未来

Produced by Working Group 0

学生編集委員会（WG0）では、企画立案から取材，記事執筆にいたるまで，学生が主体となり活動を行っています。記事は1月号と6月号の年2回発行しています。本編では工業用CTの基礎的な技術から企業が取り組む最先端技術までを紹介し，学生の視点から描いた本記事を通して他分野の知見を少しでも増やしていただけたら幸いです。

○●○はじめに○●○

「CT (Computed Tomography)」という用語は，やはり，人間の体内の構造を検査するために使われる医療用CTが最初に思い浮かぶのではないのでしょうか。歯科用CTなども含めれば，皆さん一度はCT検査を受けたことがあると思います。非破壊で断面を見られるCTの誕生によって医療のレベルは格段に上がりました。しかし，この技術が他の分野にも貢献していることはご存知でしょうか。

今日，電子部品が小型化・高密度化するなかで，検査の精度は製品のクオリティにそのまま直結することになります。確かな技術によって組み立てられた製品も，部品内部のはんだ接合不良などの小さな不具合によって機能しなくなってしまうことはよくあることです。CTは，このような外からは見えない問題を，対象物を傷付けることなく見つけることができるため，多くの工業現場で利用されています。検査の役割を担う工業用CTは，世界に誇れる日本の製造業の品質の高さを支えているといっても過言ではないのです。

そこで，学生編集委員会では工業用CTにフォーカスを当てました。X線テクノロジーの専門メーカーとして工業用CTの開発・製造を行っている株式会社ユニハイトシステムへ取材に伺い，工業用CTについての基礎的な部分や会社独自の技術について紹介します。

○●○工業用CTとは○●○

X線は放射線の一種で，波長が1 pm から10 nm程度の電磁波のことを指します。近年，放射線に対して関心が高まり，放射線被ばくへの恐れを抱く方が増えたように思われます。今回のテーマである工業用CTは，人体よりX線を透過しにくい金属などが測定対象です。医療用CTのエネルギーは100 keV程度であるため透過能力が小さく，低密度なものの撮影に限定されるのに対して，工業用CTでは1 MeVを超える高いエネルギーのX線が必要¹⁾となることもあります。しかし，工業用CTは外部にX線が漏

れないよう遮蔽が施され，また，X線は撮影時のみに照射されて対象には残留しないため，人体に悪影響を与える可能性が低い安全な製品です。

CTスキャンは，物体にX線を照射した際の吸収率の違いで物質を調べることができます。X線の吸収率が異なる物質同士を区別することで，物体の形状がわかります。同じ物質でも密度が異なるとX線の吸収率に違いが生じるため，一種類の物質からなる物体であっても密度の違いがあればCTスキャンによる区別が可能です²⁾。

図1に，工業用CTスキャン装置の簡単なシステム構成を示します。X線源から放射されたX線は，試料にエネルギーを吸収されながら透過し，X線検出器に到達します。到達したX線を検出器により検出する方法には，蛍光体でX線を光電子に変換し，光電子を増幅した後，再び蛍光体に当て可視光線に変換し，CCDカメラで撮影する方法，または，半導体を用いて直接信号に変換する方法などがあります。検出器によって得られる画像のことを透過画像（透視画像，プロジェクションデータ，rawデータ）といいます。

X線によって得られた透過画像は，この段階では単なる撮影方向断面のX線強度分布であり，単体では意味の

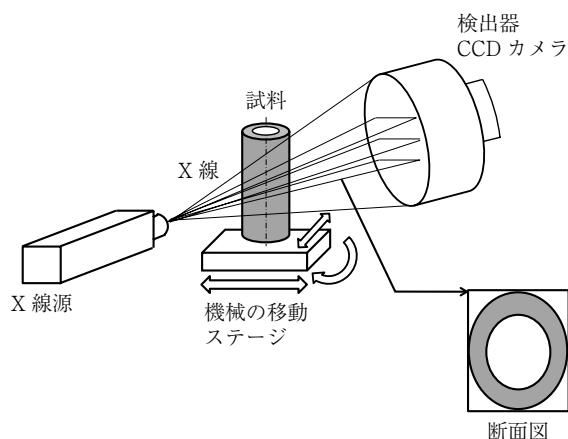
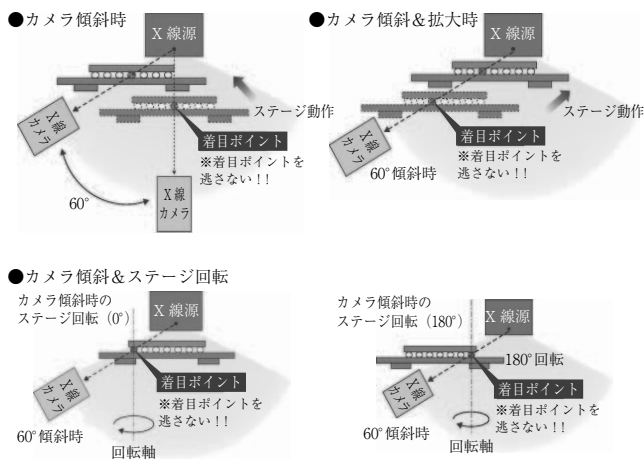


図1 工業用CTスキャン装置システム構成図

図2 ユーセントリック機能概要³⁾

あるデータにはなりません。ある断面のCT画像を得るためには、試料を複数の方向からスキャンし、その透過画像をもとに計算する必要があります。例をあげると、図の位置で撮影された透過画像と90度回転させたときの透過画像を見比べて、試料がどのようなX線の吸収率分布をしているのかを推測する計算が必要になるということです。正面図と側面図から上面図を書くようなものです。以上に示したように、透過画像を解析し、物体の断面画像を取得することを「断面画像を再構成する」といいます。

○●○ユニハイトシステム○●○

今回、さまざまな独自技術で工業用CTの特徴である非破壊検査の高倍率化を目指し、X線非破壊検査の新たな可能性を追求する、株式会社ユニハイトシステムにお話を伺いました。

ユニハイトシステムは、X線非破壊検査装置の専門メーカーとして2000年に設立され、後に紹介するユーセントリック機能³⁾(図2)を独自技術を持った解析装置を製造しています。解析を依頼される部品に3次元実装を施されたものが多くなってくると、平面で見ることが難しくなったため、「斜めから見る」という今までにない斜め型の解析装置を開発しました。その装置にCTを付けることで今の形である3次元斜めCT³⁾を開発し、6~7年前からは自動検査装置の研究開発を行い、5年ほど前にリリースしました。現在では主にプリント基板はんだ付け実装の検査を行い、その他半導体製品や各種電子デバイス、車載部品・自動車関連、素材・複合材料、メディカル関連といったあらゆる分野の研究、開発、製造を支援しています。

そもそも、最初何を作りたいかといえば、SF映画の世界のような、何かわけのわからないものを電子レンジのような箱に入るとその元素比率や中の構図がどうなっているのかわかる、ブラックボックスを解き明かすようなものだったといえます。ユニハイトシステムはこうした夢をもち続け、X線テクノロジーがもつあらゆる可能性を追求しています。

☆ユーセントリック機能☆

ユーセントリック機能は、拡大・縮小、斜め・回転透視などを行う際に、着目する位置を基準としてサンプルを動かすことができる機能です。

従来、ステージのみを動かす移動方法ではX線カメラが固定されているため、拡大・縮小、斜め・回転透視などを行う場合、着目していた位置がずれてしまいます。ユーセントリック機能ではステージとX線カメラの動きを同期させることによって着目位置をずらすことがなく、検査部位を見逃すことがありません。また、従来製品のようにマニピュレータでつかんで回したり、発生器やカメラ部を傾けたりするだけでは得られない操作性を実現しています。さらに、拡大率入力、各位置での座標表示機能などを備えているため、再現性のある定量的な解析が可能です。

☆3次元斜めCT☆

CTには例えば横から観察するもの、人間用ならばスパイラル型のものなどさまざまな種類があります。医療用CTであれば被検体は人間であり、観察対象の大きさが極端に変わるわけではありません。しかし、工業用CTでは医療用に比べて観察するものの大きさがさまざまです。今日は1 μ m大の小さいものを見たい、明日はこの製品の応力変化の巨視的な動きを追いながら観察したいといった具合です。また、工業用CTは一般的に、サンプルに対して垂直にX線を照射する横照射のX線源とカメラがあり、その間のワークの位置をX線源に近づけたり遠ざけたりすることで拡大率を変えて撮影するようなシステムになっています。このような一般的な横型CTでは、アスペクト比のある大型基板などは断層データがノイズだらけになってしまいます。それに対し、図3に示す3次元斜めCTはユーセントリック機能を利用して斜め方向からX線を照射するため、大型基板でも360度同一条件での撮影ができます。また、X線焦点に着目部位を近づけることができるため、高拡大倍率での断層撮影も可能です。特別な道具も不要で、サンプルをステージ上に置くだけで断層撮影ができるという高い操作性も実現しています。この技術を用いて観察し、撮影した画像を従来のCT技術の撮影画像と比較したものが図4です。

ユニハイトシステムはプリント基板はんだ付け実装の検査をはじめ、3次元実装された厚さの薄い試料内部のX線非破壊検査を得意としています。図5は、われわれが伺った際に、実装された基板内部の配線内のボイドをX線CTで観察したものです。白丸の配線内に黒い点のように見えるものがボイドです。このように独自技術の積み重ねで、高精度の非破壊検査を可能にしています。

☆インタビュー☆

株式会社ユニハイトシステムの代表取締役 小泉和人氏(図6)に、これまでの機器の進歩や用途、こだわりや将

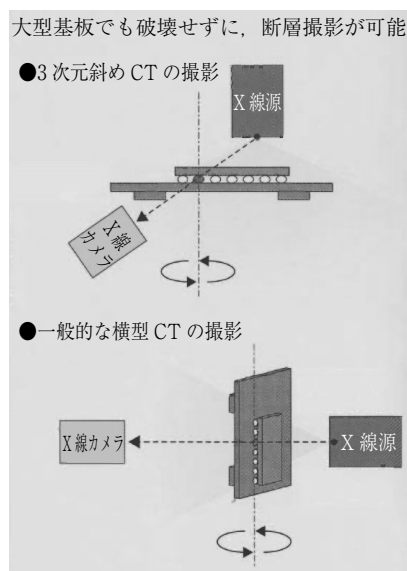


図3 3次元斜め CT の概要³⁾

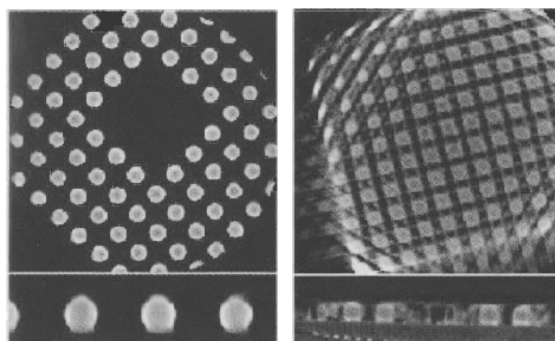


図4 3次元斜め CT (写真:左) と従来 CT (写真:右) との比較³⁾

来像などについてお話を伺いました。

編集員：「工業用 CT の現状について聞かせてください」

小泉氏：「少し昔の画像診断のテキストでは再構成に計算時間が掛かるようなことが書いてありましたが、現在

では1年半に2倍ともいわれるコンピュータ演算速度の向上とグラフィックボード (GPU) を利用した並列計算技術の採用により、次の箇所の撮影時間内に計算が終わる程度まで短縮され、主に撮影 (一周20~30秒程度) や出し入れ・位置決めが検査あたりの時間を左右する状況となっています」

編集員：「主にどのような用途に利用されていますか？」

小泉氏：「解像度は撮影範囲と CCD 素子によっておおよそ決定されるため、高速化したとはいえ現在でもなおプリント基板全体を細かく検査しようとするとは基板製造スピードに間に合いません。外部から光で検査可能

～コーヒブレイク～

精密工学会学生委員の OB である埼玉工業大学の長谷亜蘭先生に、当時を思い出していただきながらお話を伺いました。

Q. 学生編集委員会に入った理由は？

A. 自分の視野を広げるとともに、大学の垣根を越えた交友関係を築きたかったからです。大学の研究室という閉ざされたコミュニティの中で、おとなしく実験して論文を書いて無難に卒業していくよりも、研究室の外に出てさまざまなことに目を向けてアクティブに活動する方が成長できると思い、勇気を出して学生編集委員に応募しました。また、目標としていた大学教員の仕事を意識して、学生のころから一学会員として学会に貢献できる活動に携わっておきたかったというのも理由の一つです。

Q. 大学生活はどうでしたか？

A. 今考えると、とても充実していたと思います。学部生のときは、最前列に席を陣取って真面目に講義や実験・実習を受講していました。機械加工実習なども集合時間前の早朝から、誰よりも先に来て工具準備や加工練習するなど、学ぶことに努力を惜しみませんでした。レポート課題などは、人のレポートは写さない、人にレポートは見せない……というように一匹狼的に大学生活を送っていました。もちろん、趣味やサークル (軽音部ギター) にも打ち込みました。アルバイトもしていましたが、自分の学習と教育スキルを養う場として時間を有効に使えるように、学生時代はずっと家庭教師でした。特に、工作機械メーカーでのインターンシップや職業訓練施設での教育実習は、職業体験を通して人間的にも大きく成長できた貴重な経験でした。卒業研究は、試行錯誤しながら日々夜遅くまで実験を行い、十分な考察ができないなりに研究室ゼミで指導教員に報告し、そこで議論に議論を重ねることで研究能力が鍛えられました。大学院生のときは、とにかく専門分野の論文・解説記事を読みあさり、知見を広めるだけでなく論文の書き方や言い回しなども意識しながら勉強しました。積極的に学部生や修士学生の研究サポートに努め、そこで人材育成や研究マネジメントを自然に学ぶことができました。さらに、英会話や資格取得の勉強、自己啓発にも常日頃から心掛けていました。とにかく、大学では将来就きたい職業分野をしっかりと意識し、それに向けて失敗を恐れず積極的かつ継続的に努力することで、後になって後悔しない充実した学生生活が送れると思います。

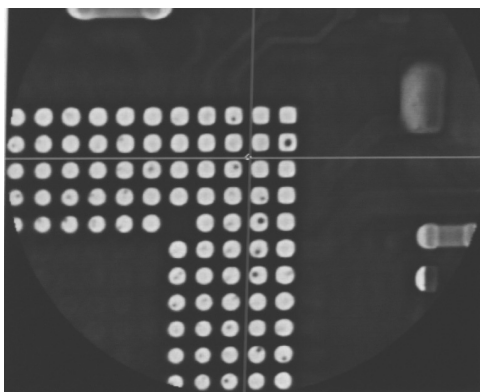


図5 実装基板内部のボイドの様子 (図中白丸の中に見える黒い点がボイド)

な箇所については可視光カメラ検査を行い、CPUと基板の接続にはんだボールを利用するBGA (Ball Grid Array) など、透過するX線でなければ観察できず不良が信頼性に影響する部分の検査を中心に利用されています。BGAも以前はボールサイズやピッチ間隔が大きく多少の不良は影響しなかったのですが、チップの高密度化とともに直径 $1\mu\text{m}$ のボイドが無視できなくなってきているため、自動車のコンピュータなど人命に関わる箇所に使用する基板は検査が必要です。BGAのように規則的な配列はアーティファクト

(再構成時の偽信号)を生みやすいので、そういったところでは斜めCT機能を活用しています。

また、ハイクリティカル用途では他に、ハイブリッド車のモータに流れる大電流を制御するIGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) の放熱用熱的接続部にはんだを利用していますが、その欠陥が熱応力で拡大していくと火災などの重大な結果をもたらすので検査されています」

編集員：「一般的な検査機器はジョイスティックとマウスを併用してコマンド入力も必要なものもありますが、マウスだけで位置決めから再構成後の操作まででき、ユーザインターフェースが大変シンプルに見えました。何かこだわりはありますか？」

小泉氏：「ユーザインターフェースは装置機能として大変重要です。当社の装置はラインで自動化する際に、まずどのような欠陥を不良と判断するかを決定するための解析機能を中心としておりますが、研究者以外の方でも直接的に操作できるようにしてあります。

また、解析を元に撮影条件が決定しますが、ある程度量をこなす検査の際は、工場の誰もが操作できるよう、例えば製品を装置に設置してボタンを押すだけでCT撮影を行い、3次元検査を行えるようにカスタマイズすることもできます。生産拠点が海外であることは、当たり前のことですので、高度な検査機器でも誰

～コーヒーブレイクつづき～

Q. 最近の学生について一言お願いします。

A. “チャレンジし続けること”と“自分の頭で考えること”を忘れないでほしいと思います。学生だけでなく社会全体にいえることかもしれませんが、現代はモノに溢れ、生活が豊かになったことで、ハングリー精神が低下し、挑戦意欲が失われているように感じます。またIT化が進むにつれ、書いたり覚えたりする習慣が減り、頭を使わなくてもよい世の中になっています。このままでは人類が退化していく一方だと感じます。文明の利器に頼るのも作業を効率化する上で重要ではありますが、物事の本質を考える上では原始的・アナログ的な作業の方がむしろ重要と考えています。将来を担っていく学生諸君には積極的にいろいろなことにチャレンジして、今のうちからさまざまな経験を積んでおいてほしいと思います。そのときに、何かしらの問題意識や目的意識をもって、論理立てて考える習慣を身に付けておくことで、今後の成長速度が雲泥の差となるはずですので。就職して社会に出るまでに、できる限り経験値を増やしてレベルアップしておいてください。

Q. 精密工学会学生編集委員へのメッセージをお願いします。

A. 精密工学会学生編集委員会では、日本刀の製作工程やからくり工房の見学、鍵・金庫の解錠、前回取り上げた魔鏡など、普段大学の講義では学ぶことのできない素晴らしい経験および勉強ができます。自分の研究だけでなく、幅広いさまざまな分野への経験・知識は大変有用です。「学業や研究との両立は大丈夫かなあ？」などの不安も最初はあったと思いますが、この学生編集委員会で積極的に活動することで、研究以外の刺激を受けることができ、必ず今後の自分の自信や人生のプラスにつながると 생각합니다。また取材や編集作業を通じて、学生編集委員会に参加しなければ知り合えなかった他大学の学生さんや先生方との親交も深められたことと思います。私の場合、ここで知り合った学生メンバーや先生方と学会などでお会いすることがあり、編集合宿などで苦楽を共にした当時は思い出して懐かしい気持ちになると同時に、学生編集委員会を卒業した後もつながりがあることを嬉しく思います。学生編集委員会の活動を通して得た多くの知識・経験、当時築いた友好関係が今でも大きな財産となっています。ぜひ、この精密工学会学生編集委員会の活動で各自がつかみ取って得たものを今後の人生に役立ててほしいと思います。

もが使えるようにすることが大切です」

編集員：「これからの工業での CT 利用についてお聞きします。今よりもさらに進歩したとき、どのようなものになると考えますか？」

小泉氏：「可視光線との違い、X 線の特徴はなんといってもその透過力です。ですから、「透過する」という線源の性質を利用した、「検査から測定」への発展をしていくと考えています。これまで外側しか測れなかったような形状の中空部寸法や厚さ情報などが高精度に得られるようになるでしょう。また、現在分光によって行われている材料の組成分析は、金属を透過しない以上、表面の分析をしていることになりませんが、X 線を利用すれば改質された表面と内部の組成を分析することができるので、CT と組み合わせてピンポイントで形状と組成を対応した情報が得られるようになるのではないのでしょうか。

また、静的観察だけでなく動的観察も製造業からの要請が高まれば行われるようになるでしょう。現在は実装の終わった部品の検査をしていることが多いですが、これを例えばはんだのリフロー工程を動的観察すれば、事前に製造条件出しを行わなくても、不良品を生み出さない工程ができてしまう可能性があります。また、引張試験機などの各種ストレス試験機との組み合わせも面白いと思います」

編集員：「より複合化した情報の得られる機器へ……ということですね。本日は大変お忙しい中お時間いただきありがとうございました」

○●○お わ り に○●○

今回の学生編集委員会では、工業用 CT について取り上げ、簡単な原理や株式会社ユニハイトシステムが誇る独自の技術などを紹介しましたが、いかがだったでしょうか。



図 6 小泉氏（前列中央）と学生編集委員

医療用とは違った工業用ならではの仕様や、検査精度の向上のために注がれてきた努力などを伝えることができたのなら幸いです。私自身も、取材を通して何事も見透かしてしまう工業用 CT の鋭い観察眼のおかげで、私たちは身の回りの製品を安全かつ長時間使うことができているのだと実感しました。

さて、今回は工学と医学の要素が融合する人工関節に注目し、それを扱う 2 つの会社での取材で得られた内容についてそれぞれ紹介します。

最後になりますが、ご多忙中、取材および資料の提供にご協力してくださいました株式会社ユニハイトシステム代表取締役の小泉和人氏に深く御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 定岡紀行：X 線 CT によるデジタルエンジニアリングとタービン機器への活用，日本ガスタービン学会誌，33，2（2005）86。
- 2) 森一生，山形仁，町田好男：CT と MRI—その原理と装置技術一，コロナ社，（2010）。
- 3) 株式会社ユニハイトシステム：機能情報，<http://www.unihite-system.co.jp/function01.html>

— 会誌編集委員 WG0 メンバー（平成 24 年度） —

市本大和（千葉大学 M1），銀屋真（徳島大学 M2），清水和樹（埼玉工業大学 B4），下方昇大（埼玉工業大学 B4），高橋健斗（職業能力開発総合大学校 B4），高見昂亮（大阪大学 M1），高村智彦（東京大学 D1），成澤慶宜（埼玉大学 M1），森田翔（千葉工業大学 D1），八木悠介（千葉大学 M1），長谷亜蘭（埼玉工業大学 WG0 顧問）