

スマート ECI プローブユニットの開発

木澤 啓^{*1} 佐藤 仁壺^{*2}
Kizawa Kei Sato Jinichi

航空機や自動車等の産業では、使用する部品に対して、高い安全性かつ全数検査が求められる。これら部品の表面クラックやきずの検査は、蛍光浸透探傷検査もしくは渦流探傷検査が主流である。当社は IHI と協力して、渦流探傷検査の自動化によるタクトタイム削減を目的とし、2016 年度から検討を始め、2017 年度から 2019 年度にかけて渦流探傷の自動検査装置を開発した。本稿では、工作機械、ロボット等にて実装でき、部品の渦流探傷を行うセンサ部となるスマート ECI (渦流探傷検査) プローブユニットと、探傷結果を可視化する C スキャン表示機能の開発について紹介する。

キーワード：渦流探傷、非接触給電、Wi-Fi、C スキャン

1. はじめに

部品生産工場では、加工後の金属部品の表面クラックやきずの検査に蛍光浸透探傷検査や渦流探傷検査が生産ラインに組み込まれる。蛍光浸透探傷検査は、処理工程が多くあることから、ライン生産効率においてボトルネックとなる。また、蛍光浸透探傷検査で発生する廃液処理にかかるコストや環境負荷の課題がある。一方、渦流探傷検査は、前処理の工程がなく廃液の問題も発生しないが、手動の場合、検査者によって結果にばらつきがでる。また、電源・通信ケーブルが干渉するため、動きに自由度がない等課題がある。そこで当社は IHI と協力し、生産効率向上を狙い、生産ラインで用いられる工作機械やロボット等へ組み込み可能なスマート ECI プローブユニットを開発した。スマート ECI プローブユニットを用いた自動検査装置のシステム構成を図 1 に示す。

2. システム概要

システムの各構成の概要を以下に記載する。

(1) スマート ECI プローブユニット

市販の渦流探傷用プローブを脱着可能な無線通信・非接触充電方式のプローブユニットであり、ワイヤレス化で、自在に取り回し可能である。かつ検査対象の探傷信号を信号処理して外部へ送信する。

(2) 制御部

スマート ECI プローブユニットから探傷データ、走査部から軸座標データを受信し、A スコープ(信号強度)、リサージュ(きず深さと体積)、C スキャン(きず大きさと位置)をリアルタイムで表示する。

(3) 走査部 (工作機械、ロボット等)

スマート ECI プローブユニットを取付け、制御部のスキャンパス指令により走査する。

*1：制御システム事業部 防衛・宇宙システム部 課長

*2：制御システム事業部 産業システム部

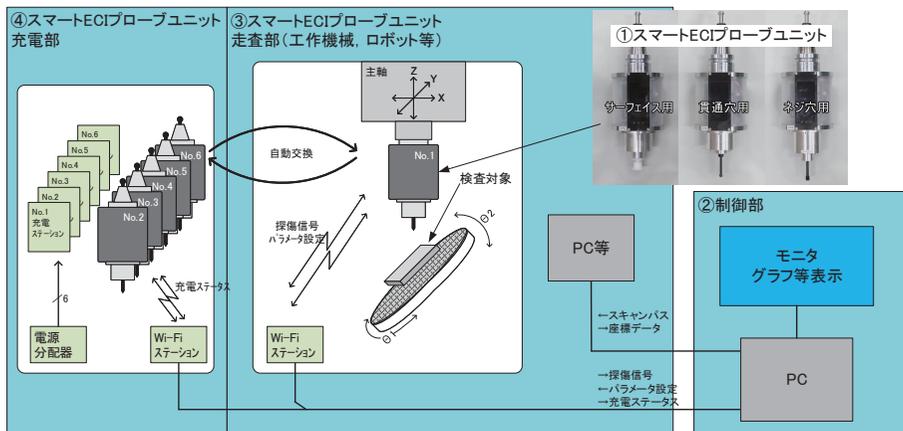


図1 自動検査装置のシステム構成

本開発では、航空機向けの部品をターゲットとしたため、微小なきずを検知する必要があり、0.1mm以下のごく小さな幅のきずサイズと想定した。さらに、貫通穴、ネジ穴探傷に回転が必要であることから、マシニングセンタ(以下、MC)(精度:±1 μ m)を使用した。

(4) 充電部

非接触給電により、スマート ECI プローブユニットの充電を行う。

本開発では、MCのオートツールチェンジャー(以下、ATC)に非接触の給電モジュールを設置した。

本稿では、最も重要なスマート ECI プローブユニット(以下、プローブユニット)、および制御部のCスキャン表示機能の開発について紹介する。

3. スマート ECI プローブユニット

プローブユニットは、以下をコンセプトとして開発した。

- (1) サーフェイス(平面、湾曲面)、貫通穴、ねじ穴の探傷を可能とする。
- (2) 探傷結果をリアルタイムで表示する。
- (3) 工作機械、ロボットに搭載可能とする。

このコンセプトを基に、以下の機能を盛り込んだ。

- (1) 貫通穴、ねじ穴の探傷で回転が必要のため、PCとの通信をワイヤレス化した。
- (2) 電源をバッテリーとし、非接触給電機能を設けた。
- (3) 探傷信号は、内部基板上でリアルタイム処理することで、外部モニタにリアルタイム表示した。
- (4) 検査対象へのプローブ接触性を向上させるため、サスペンション機構を設けた。

図2にプローブユニットの構成を示す。

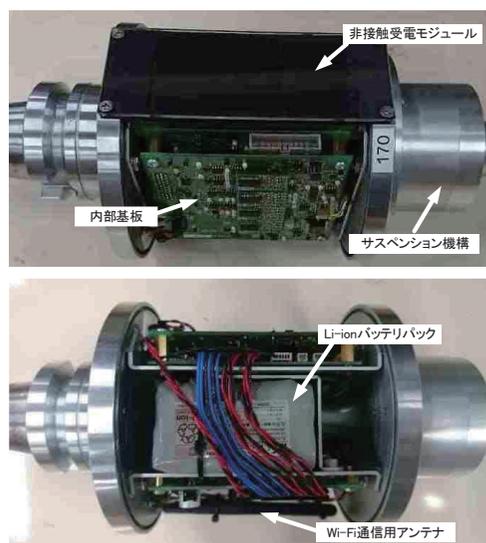


図2 プローブユニット構成

3.1 無線化通信

プローブユニットとPCとの通信には、複数のプローブからの探傷信号をリアルタイムで伝送するために、無線通信規格の中では高速なWi-Fi通信を採用した。プローブユニットと制御部間のWi-Fi通信速度は約3Mbps(実力値)である。

3.2 非接触給電

バッテリーへの充電は、非接触給電方式を採用した。電源供給は内蔵バッテリーを用い、交換作業をなくすため二次電池とした。二次電池には、重量、体積エネルギー密度に優位性を持ち、メモリ効果のないLi-ionバッテリーを採用した。

なお、8時間の連続稼働が可能なバッテリーを、プローブユニットの形状に合わせて特注し、組み込んでいる。

本開発では、MCのATC内に給電モジュールを設置し、未稼働のプローブユニットを待機中に充電する構成とした。図3にATC内で充電中のプローブユニットを示す。

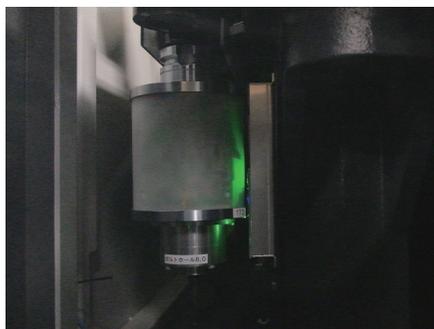


図3 ATC内で充電中のプローブユニット

3.3 内部基板 (信号処理機能)

制御部で、Aスコープ、リサージュ、Cスキャンをリアルタイム表示するため、プローブから取得した探傷信号を内部基板の同期検波回路⁽¹⁾で、I/Q信号に変換し、アナログ-デジタル変換(16bit)した後Wi-Fi通信で制御部に伝送する。

本開発では、リアルタイム表示がコンセプトであることから、可視化に足るサンプリング数をWi-Fi通信で遅滞なく伝送できることが必要となる。アナログ-デジタル変換のサンプリング周波数は、ターゲットの最小きず幅:0.1mm以下および最大走査速度:200mm/sにおいて10サンプル取得可能な25kHzとした。

なお、内部基板のサンプリング周波数の上限は、Wi-Fiの伝送レート3Mbps(実力値)、探傷信号データ32bit(I/Q信号各16bit)であることから、約85kHzである(1秒間に伝送できるサンプル数の上限は、約85,000個サンプル)。

3.4 サスペンション機構

渦流探傷は、プローブがきず上を通ったときに発生するプローブ内部のコイルのインピーダンス変化を信号に変換している。プローブと検査対象の距離の変化(リフトオフ)は、SN比の低下をまねく。そこで、プローブ取付部にサスペンション機構を組み込むことでプローブと検査対象の接触性を向上させた。サーフェイス(平面、湾曲面)のプローブユニットでは、サスペンション機構にバネを内蔵し、検査対象へプローブを押し当てて走査させることで、プローブと検査対象の距離に変化が生じず、平面および湾曲面に対してもプローブが追従する構造とした。サスペンション機構を図4に示す。

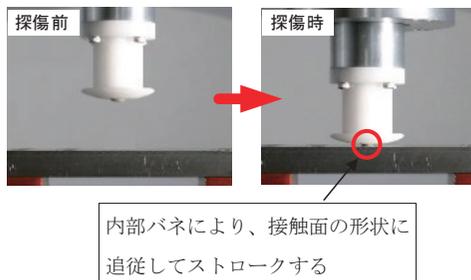


図4 サスペンション機構

4. 探傷信号の可視化

きずの大きさと位置を可視化するため、探傷信号の大きさを色分けし、二次元座標に表示するCスキャン表示機能を開発した。Cスキャン表示は、制御部に搭載するPCが、MCから軸座標データ、プローブユニットから探傷信号データを取得し、二つのデータを同期処理した上で行う。図5および図6に平面探傷をした場合のCスキャン表示画面を示す。

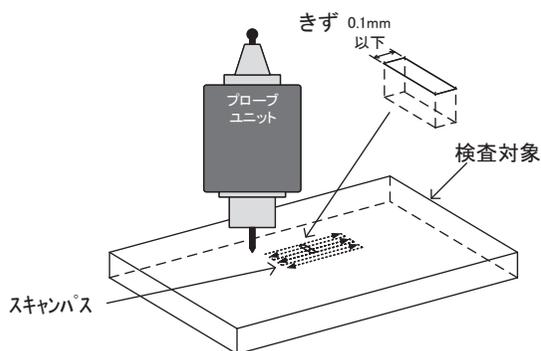


図5 平面探傷例

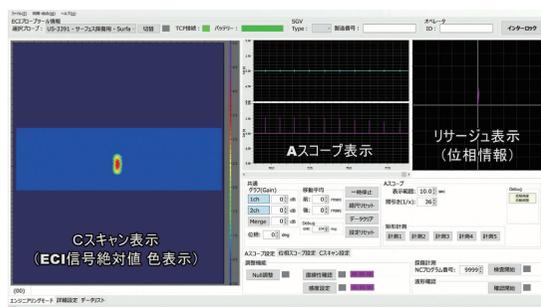


図6 Cスキャン表示画面

このとき、MCとプローブユニットは非同期であるため、制御部のPCが同時にデータ要求をかけても、MCとプローブユニットの応答速度の違いから軸座標データと探傷データの開始タイミングにズレが生じる。このズレを補正するため、既知のデータ取得ができる基準点を設け、プローブ先端が基準点上を通過した時点の探傷データを基に、軸座標データと探傷データを同期処理している。

5. まとめ

本稿では、スマートECIプローブユニットおよびCスキャン表示機能の開発について紹介した。

スマートECIプローブユニットは、本開発ではMCを使用したシステムに組み込んだが、取付部の形状や、非接触給電の給電モジュールの設置方法等を変更することで、他の工作機械やロボットへの適用が可能であり、航空機向けの部品以外への展開も可能である。

渦流探傷信号のワイヤレス通信や非接触給電、Cスキャンの手法等の技術要素は、他開発案件への活用が可能である。今後も本技術の維持発展を継続していく。

参考文献

- (1) AnalogDialogue ホームページ:「同期検波を活用し、微小信号を高精度に計測」、<https://www.analog.com/jp/analog-dialogue/articles/synchronous-detectors-facilitate-precision.html>



制御システム事業部
防衛・宇宙システム部
課長
木澤 啓
TEL. 042-523-8319
FAX. 042-523-8320



制御システム事業部
産業システム部
佐藤 仁壱
TEL. 042-523-8315
FAX. 042-523-8320