

順に表示器の色を変更させることで、作業者は転造ダイスの状態を間接的に把握し、製品の品質管理の強化を促す仕組みになっている。

また、昨年の生産機評価試験結果を基にして、マイクロ分析の閾値は、チッピングによって増加した総スペクトル強度の変動分から決定し、マクロ分析の閾値はマイクロ分析によるチッピングの発生状況と過去のマクロ分析の分析結果から決定した。両分析ともに定常状態から遷移した状態も検出するため、総スペクトル強度の変動分にも閾値を設けている。さらに、マイクロ分析は微小なチッピングによって生じた総スペクトル強度の小さなパルスも検出できるように、パルス閾値も設けている。

なお、AE センサを転造ダイスに取り付けた際、ダイスの表面状態（金属粉や機械油の影響など）や配線ノイズの影響によって総スペクトル強度が通常より高めに推移することがある。この影響を少なくするため、強度の絶対値ではなく、基準値（正常で安定した状態）からの変動分を考慮したデータ分析を実施できるように、システムのソフトウェアを構築した。このため、本研究報告のマイクロ分析・マクロ分析グラフの総スペクトル強度は、基準値からの変動分を示している。

3 結果及び考察

3.1 発生したチッピングが多数のケース

作業者が製品の外観にバリを確認した時に取り外した転造ダイスの写真を図3に示し、固定側1のチッピングの拡大写真を図4に示す。図3より、可動側には5箇所、固定側には7箇所チッピングが発生していた。通常転造ダイスに確認されるチッピングは、ほとんどが横幅3mm以下である。しかし、図4に示すように固定側には横幅11.1mmという巨大なチッピングが発生していた。

次に、この転造ダイスを用いて生産していた時のマイクロ分析とマクロ分析の結果を図5、図6に示す。図5のマイクロ分析結果を概観すると、転造回数5,977回と転造ダイス交換直前の16,765～16,821回に、システムが複数のチッピングを検出したことがわかる。

しかし、これらのチッピングパルスのみでは固定側1のチッピングの形成過程が説明できない。図5をさらに詳しく観察すると、転造回数12,500～13,500回と15,200～15,400回に多数の微小パルス波形が断続的に発生していることが確認できる。この領域のパルス波形から、固定側1のチッピングは1回の転造加工で全体がチッピングしたのではなく、最初に小さなチッピングが発生し、転造加工を重ねることによって徐々にその周辺が欠け、やがて巨大なチッピングに成長した過程を示していると推定できる。

この様子を図6のマクロ分析の該当する箇所を確認すると、12,500～14,000回にかけてさらに総スペクトル強度が上昇して閾値3を超え、システムは固定側1のチッピングを異常として検出していたことがわかった（ミク

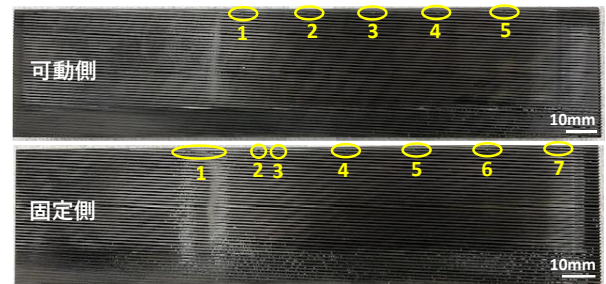


図3 取り外した転造ダイスの写真

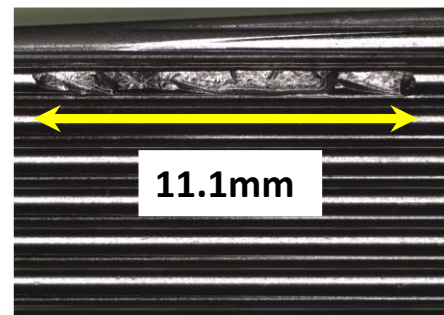


図4 固定側1のチッピングの拡大写真

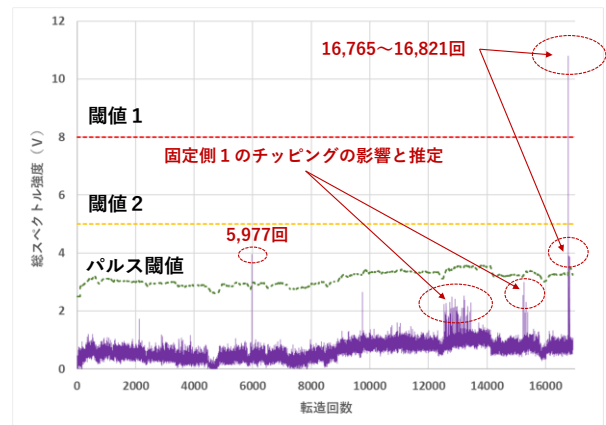


図5 ミクロ分析結果

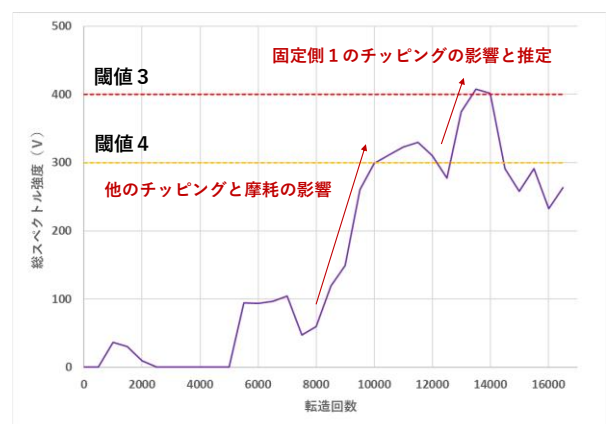


図6 マクロ分析結果

ロ分析はこの領域をチップング異常として検出していない)。ただ、その後に総スペクトル強度が若干低下している。これは、転造ダイスに付着したチップングの金属片が転造加工によって微細に粉碎され、製品に付着して払い出されたか、転造ダイスの表面を流動する機械油の影響でダイスの表面から除去された影響が考えられる。

このように、本事例は AE センサを用いた工程監視によって巨大なチップングの形成過程の概要が推定できる一例となった。

3.2 発生したチップングが少数のケース

本事例は、総転造回数 26,902 回目に転造ダイスに AE センサを取り付け、生産途中に作業者がシステムからの異常信号を確認したため、総転造回数 28,347 回で転造機を停止した。その後、製品を検査したところ製品不良が判明し、転造ダイスを取り外した。取り外した可動側の転造ダイスはへこみ 5 箇所のみでチップングがなく、固定側はチップングが 1 箇所（幅 5.5 mm）とへこみが 5 箇所に確認された。

本事例のマイクロ分析結果（図 7）を概観すると、総転造回数 28,168 回のみ閾値を超えるパルスが 1 箇所確認され、マクロ分析を含む他の領域には全く異常がなかった。このパルスはパルス閾値を超え、さらに直近の総スペクトル強度の推移と比較して変動分が大きかったため、システムはチップング異常と判断した。よって、このチップング異常は、固定側の転造ダイスのチップングの発生が唯一 1 箇所であることから、両者は一致していると断定できる。

次に、作業者が製品不良と判断した製品に着目する。図 8 に正常な製品と作業者が製品不良として取り出した製品を共焦点顕微鏡（レーザーテック株式会社 OPTELICS HYBRID L3）を使用して、ねじ山の 1 つの表面形状を測定した結果を示す。正常品はねじ山に沿ったゆるやかなカーブを描いた表面形状が確認された。しかし、不良品はねじ山の表面が正常品と比較して全体的に凸凹しており、また表面上に 52 μm と 37 μm の 2 つの突起（バリ）が確認された。よって、作業者が判別した製品は、目視やねじゲージにはめた検査から製品不良と判断したのみならず、顕微鏡観察からも不良品であることが再確認できた。

このように、本事例はシステムが検出したチップング異常と、唯一発生した 1 箇所の固定側転造ダイスのチップングと、作業者が判別した製品不良の 3 つが一致した事例となった。

4 まとめ

自動車部品のねじを生産する転造機に装着した転造ダイスのチップング検出を目的とした工程監視システムを開発し、生産機評価試験を実施した。その結果、低周波領域の総スペクトル強度の推移からチップングの形成過程が推定でき、システムが検出したチップング異常と

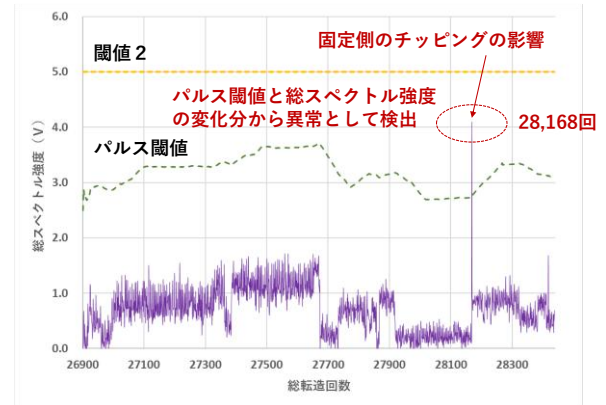


図 7 ミクロ分析結果

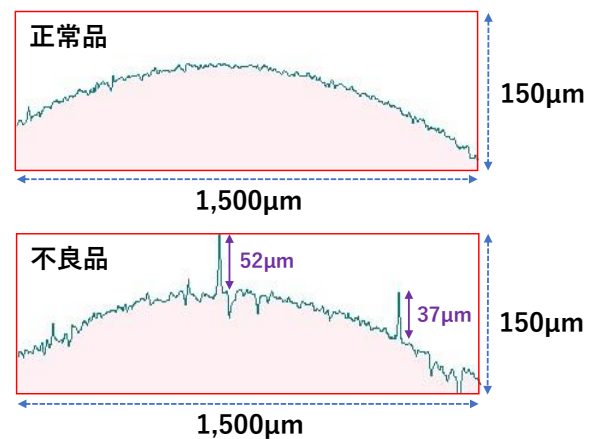


図 8 製品のねじ山の表面形状

転造ダイスのチップング・製品不良が一致した事例を確認することができた。しかし、チップングには様々な形成過程が想定され、現時点ではこれらのあらゆる状況に対応していないのが現状である。今後、生産機評価試験を継続し、システムで検出できるチップングと検出できない場合のパターンを区別し、ソフトウェアの修正を通じてチップングの検出能力を向上させることが必要になる。

【謝 辞】

本研究の遂行にあたり、生産機評価試験にご協力して頂きました株式会社ギフ加藤製作所様に深く感謝をいたします。

【参考文献】

- 1) 大津, アコースティック・エミッションの特性と理論, pp19-25
- 2) 西本ら, アコースティック・エミッションによる IoT/AI の基礎と実用例, pp20-25
- 3) 横山ら, 岐阜県産業技術総合センター研究報告 No.5, pp7-9, 2024