

製品紹介

工作機械モニタリングシステム Komtas Machine Tool Monitoring System Komtas

秋 充
Mitsuru Aki
島田 侑里
Yuri Shimada
吉川 幸宗
Yukimune Yoshikawa
中山 彰
Akira Nakayama

加工現場では人手不足や熟練技能者の減少を背景に、省人化・無人化ニーズが強まっており、コマツNTCではデジタルデータを活用したソリューションツールを開発して、熟練技能の補填やモノづくりの課題を解決する取り組みを行っている。

今回、加工現場での課題の一つである不良品低減に向けて、加工状態を視える化できるモニタリングシステムKomtasを開発したので概要や特徴について紹介する。

Against the backdrop of labor shortages and a decline in the number of skilled technicians at manufacturing sites, there is a growing demand for labor saving and unmanned operation. We are working on solving the problem.

This time, we have developed a monitoring system, “Komtas”, which can visualize the machining status to reduce defective products, which is one of the issues at the manufacturing site.

Key Words: 加工現場, マシニングセンター, 工作機械, モニタリングシステム, 工具, 折損, 破損, 加工異常, 設備異常

1. はじめに

製造業の加工現場では、マシニングセンターを使用してエンジン部品等の加工が行われている（図1）。マシニングセンターとは、加工送りを行う直交3軸（X軸、Y軸、Z軸）で構成され、主軸にドリルやリーマ、フライスなど穴加工や面加工に必要な工具を取り付け、主軸を回転させることで切削を行い、マガジンと呼ばれる工具交換装置から自動で主軸に取り付けた工具を交換しながら多種の加工を行うことができる工作機械である（図2、図3）。

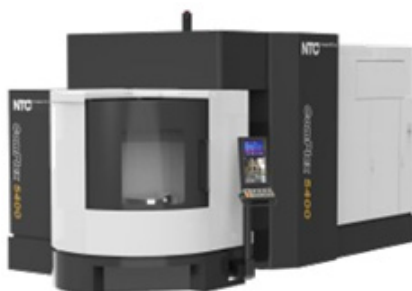


図1 マシニングセンター（横型）

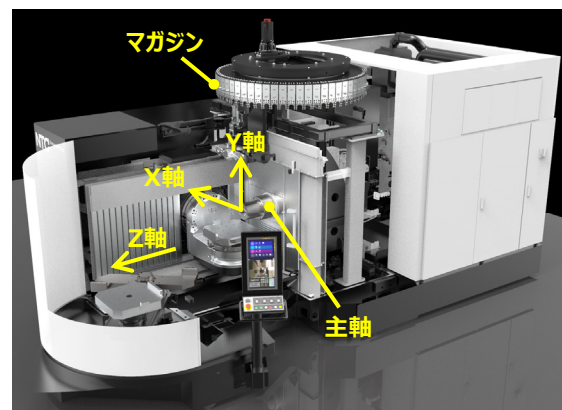


図2 マシニングセンターの構造（横型）

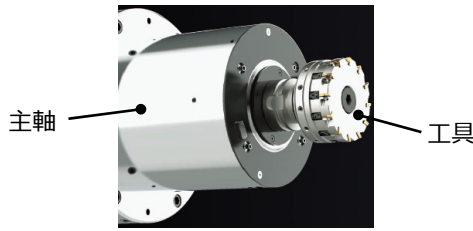


図3 主轴と工具

マシニングセンターによる加工では、加工時の切削負荷が高い場合に、工具刃先の破損（欠け）が不定期に起こる（図4）。工具の破損に気付かず加工を継続することで、製品不良の流出や工具の廃棄、マシニングセンターの破損など、さまざまな損失が発生する。

対策として、加工回数による工具の定期交換を行い、加工ワークの定期品質チェックを行うなどの予防措置を実施することで損失を抑えることが可能だが、まだ使用可能な工具を交換してしまい、無駄な工具費や作業時間を費やす課題がある。



図4 工具刃先の破損（欠け）

2. Komtasの概要

本課題に対し、加工中のデータを収集し、工具の破損や異変、摩耗状態をリアルタイムに監視することで製品不良や無駄な工具交換を抑制できると考え、Komasを開発した。

Komasは、Ethernetケーブルを用いてマシニングセンターと接続し、モーター情報や任意のアナログセンサーデータを加工工程毎に収集するエッジデバイスであり、“見える化”、“分析”、“判定”を行うことで、突発的な工具状態の変化による加工異常を逃さず検知できるシステムである（図5）。

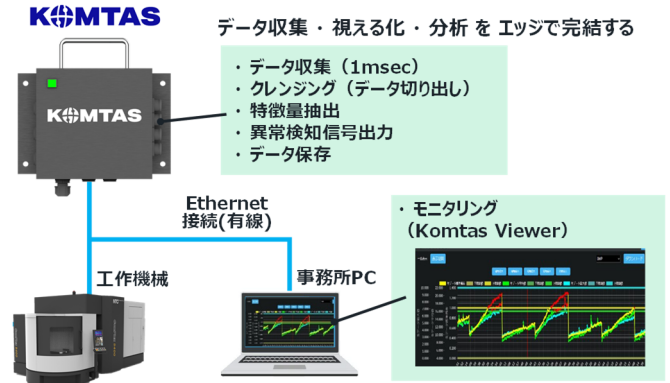


図5 システム概要

2.1 ハードウェア仕様

Komasの筐体は図6のような外観であり、マシニングセンターのカバー側面や制御盤扉に取り付ける事を想定し、ボルト取り付け穴や背面にマグネットシートを施している。

制御装置（NC）搭載のマシニングセンターからデータ8chが入力でき、また、さまざまなセンサーからのアナログデータ8chも同時に入力できる（表1）。

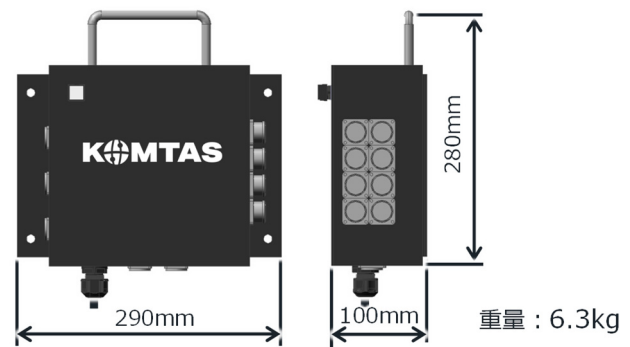


図6 Komtas外観

表1 ハードウェア仕様

NC データ入力	入力 ch 数	8ch
	サンプリング周波数	1kHz
アナログデータ入力	入力 ch 数	8ch
	入力レンジ	±10V
	分解能	16bit
	サンプリング周波数	1kHz
インターフェース	HDMI	1 ポート
	USB3.0 タイプ A	2 ポート
	USB3.1 タイプ C	1 ポート
	LAN 10/100/1000	1 ポート
	接続対象	FANUC 社製 CNC i シリーズ
電源	入力電圧	AC100~240V

2.2 ソフトウェア仕様

Komatasは、工具摩耗状態、加工異常を検出する為に必要なソフトウェア機能を搭載している。

(1) 高速データ収集

- 分析に必要なデータ（NCデータ/センサーデータ）を1msec周期で取得

(2) 自動クレンジング

- モーター加減速などの外乱となる情報を除外し、監視したい領域のデータを切り出す

(3) 最適特徴量抽出

- 数千点の時系列データを、一つの特徴量に変換
- 一般的な統計量以外にも、工具刃先の破損（欠け）を捉える為の専用計算式を提供

(4) リアルタイム視える化・異常検知

- 特徴量の値をプロットし、ユーザーが特徴データを理解しやすいように視覚化
- 閾値を設定し、NG判定が可能

(5) 異常検知信号出力

- 閾値を超えた場合に、マシニングセンターへ信号を出力

(6) データ保存

- 過去収集したデータを約6カ月保存可能（※1）
- 過去データと現在データの比較が可能

（※1）：取得データ量に依存

3. 主な特徴

3.1 高速データ収集

マシニングセンターで発生する工具刃先の異常現象を逃さず捉える為には、1sec以下の周期でデータ収集が必要となる（図7）。

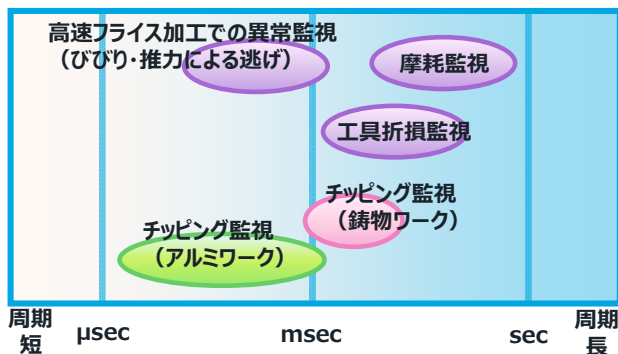


図7 マシニングセンターで発生する切削現象例

Komatasでは、加工中の微小な変化やフライスカッターなどの多刃工具の刃毎の状態変化を捉える為に、更に高速な1msec（1kHz）の周期でモーター負荷情報のデータを収集することが可能である。

図8は、6枚刃フライス工程の主軸モーター負荷を表示した図である。100msecの低速な周期でデータを収集した場合、微小な変化を捉えることができない（橙色波形）。

一方、1msecの高速な周期でデータを収集すると、各刃に応じた負荷変動を捉えることができ、他の刃に比べ⑥の刃だけモーター負荷が低い事が読み取れ、データから刃欠けや異常摩耗の推定が可能となる（黄色波形）。

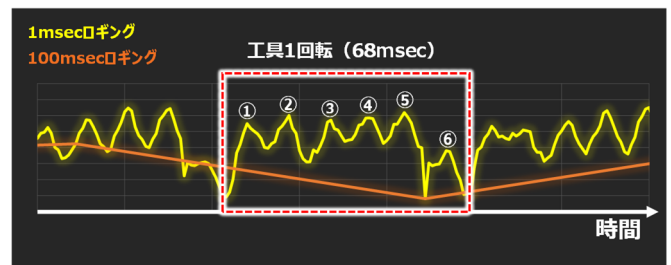


図8 フライス（6枚刃）の主軸モーター負荷

3.2 自動クレンジング（分析データ切り出し）

1msecで収集したデータは膨大なデータ量となる為、分析処理は非常に手間と時間がかかり、更にはコンピュータの計算負荷も高くなる。

また、加工状態を分析する場合は純粋な加工中のデータのみ必要となるが、収集したデータはモーター加減速中などの不要なデータも含まれており、加工状態を分析するには適していない。

Komatasでは、モーター加減速中などの余計なデータを除去して、加工中のデータや特定の異常に合わせたデータを自動で切り出すことができる。更には、不要部分のデータを取り除く事でデータ数を減らすことができ、計算負荷を軽減できる（図9）。

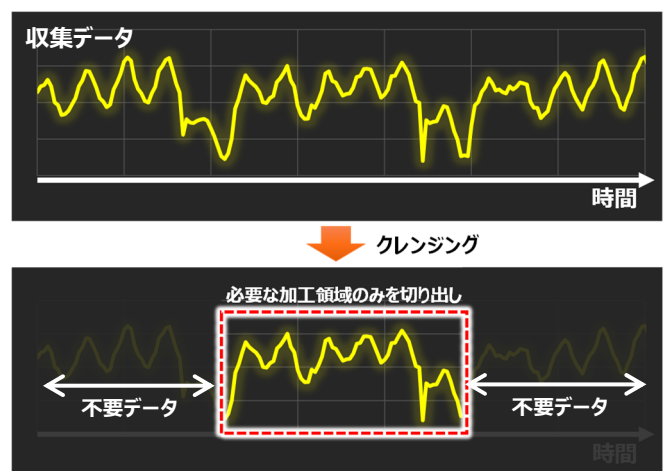


図9 自動クレンジング

3.3 最適特徴量抽出

クレンジング後のデータは断続的なデータとなっているため、ユーザーがデータを監視、分析するには適さない。

Komtasでは、マシニングセンターや切削で発生する力覚現象を、平均値や標準偏差などの統計量、ほかにも周波数処理や品質工学の考えを踏襲した計算式から、切り出した加工データを状態監視に最適な1点の特徴量に変換して、ユーザーがデータ監視や分析を行い易いようにしている(図10)。

また、切り出した加工データは数千点の膨大なデータ量であるため、分析を高速で行うことが困難であったが、1点の特徴量に変換することでデータ量が圧縮され、高速で分析を行うことが可能である。

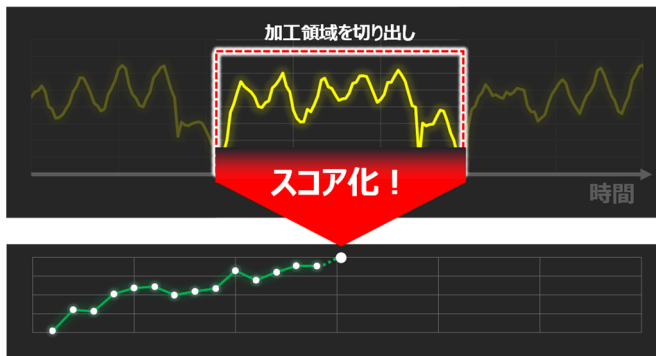


図10 数千点の加工データの特徴量(スコア)化

3.4 スキル不要簡単設定画面

最適な特徴量抽出には、ユーザー側で専門的なノウハウが必要とされるが、Komtasでは監視目的や加工条件を選択すれば、それに合わせた最適な特徴量を抽出する設定を自動で行うことができるスキル不要簡単設定画面を用意している(図11)。

また、本設定画面は、実証試験を長期に渡り繰り返し行うことで確立できた最適な特徴量を抽出するノウハウをもとに提供している。

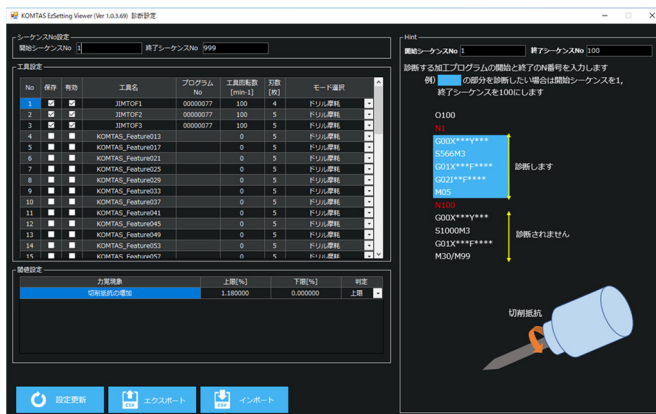


図11 簡単設定画面

3.5 リアルタイム見える化・異常検知

抽出した特徴量は、縦軸に特徴量スコア値、横軸を時系列となるようにしてグラフへプロットする。プロットした結果はモニタリングソフトウェア「Komtas Viewer」で確認することができる(図12)。

異常を判定する閾値は、現場の環境に合わせてユーザーにて設定や調整することが可能である。閾値を超えた場合は赤色で表示し、視覚的に分かり易く表現している。

特徴量を見える化することで、リアルタイムに工具の破損や摩耗状態を監視でき、製品不良の防止に役立てることができる。

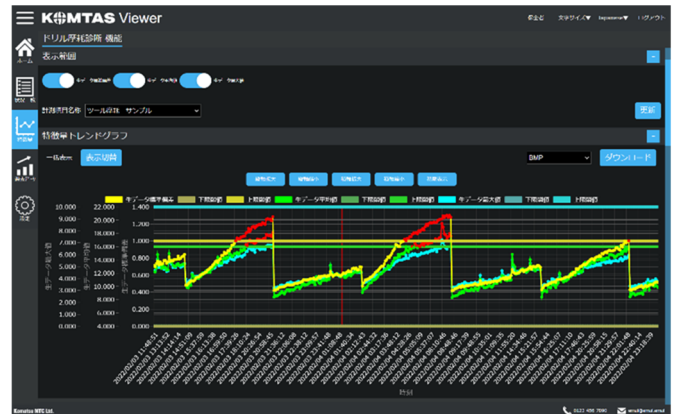


図12 Komtas Viewer

3.6 データ比較・分析

特徴量をプロットしたグラフで、閾値を超えたデータや詳細分析が必要なデータがある場合は、生データ(1msecで収集したデータ)を活用して比較や分析ができる(図13)。

これによりオペレータが異音等では感知できなかった異常も、データから微小な変化を確認することができ、異常を検出することが可能となる。



図13 生データグラフの比較

4. 専用アプリケーション

先の5つの特徴を組み込み、データ収集設定や特徴量抽出設定を簡略化し、ユーザーに簡単に使用してもらう為に開発した3つの専用アプリケーションを紹介する。

なお、この専用アプリケーションは、鉄や鋳物量産加工でドリルおよびリーマ工程を対象としている。

4.1 工具摩耗監視アプリケーション

使用中の工具の切れ味を監視し、本来の寿命まで使い切ることと工具費や交換作業を最小化にできるアプリケーションである。

工具使用毎に特徴量（摩耗度）をグラフにプロットしていく為、工具使用回数に応じて特徴量が上がっていく様子が確認でき、工具寿命の限界まで使用することが可能となる。

また、摩耗度閾値を設定することができ、閾値を超えるとユーザーやマシニングセンターへ発報することも可能である。

最適な工具交換タイミングが把握できる為、工具破損を避ける為に工具使用回数を安全な回数に設定しているユーザーに対して効果的なアプリケーションである（図14）。

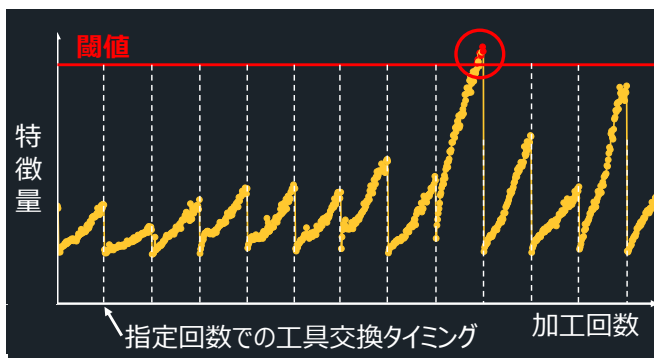


図14 工具摩耗監視例

4.2 工具破損監視アプリケーション

工具破損監視アプリケーションは、突発的な微小な工具の破損（欠け）を検知することができるアプリケーションである。

従来の工具破損検知方式では、接触式の検知装置を使用している為に、工具刃先の微小な破損（欠け）を検知することができず、そのまま加工を継続してしまい、製品不良の流出やマシニングセンターの破損による長期生産ラインの停止を発生させていた。

工具の破損の兆候を把握できる為、その兆候に対して破損閾値を設定することで簡単に破損監視ができ、連続不良品の流出や長期生産ラインの停止を未然に防止することが可能である（図15）。

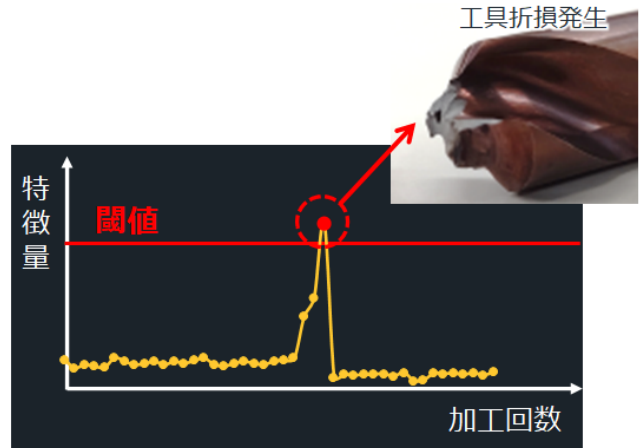


図15 工具破損監視例

4.3 設備診断補助アプリケーション

マシニングセンター部品の異常劣化や突発故障の予兆を捉え、修理の必要性の診断を補助するアプリケーションである。部品故障前に対応の判断ができる為、計画保全が可能となる。

設備診断補助アプリケーションでは、マシニングセンターの各軸（主軸、X軸、Y軸、Z軸など）から収集したモーター負荷データをグラフにプロットして、波形として状態を見ることができる。

収集したモーター負荷データは、約6カ月分（データ保存サイズに依存）のデータが保存可能な為、マシニングセンターの挙動異常や異音発生した際に、過去の正常状態と異常状態のモーター負荷データの波形を比較することで異常兆候が把握できる。

異常兆候が把握できれば、部品交換や部品延命といったさまざまな対策を講じることが可能となる（図16）。

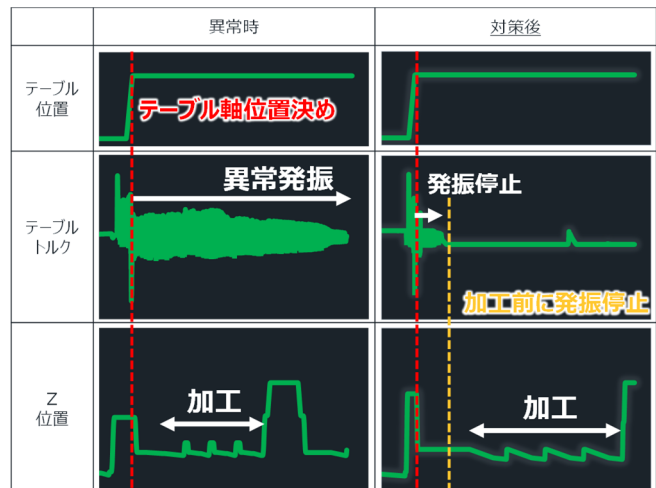


図16 設備異常時と対策後

5. 改善事例

工具摩耗監視アプリケーションを活用した工具寿命（工具使用回数）延長に関するユーザー改善事例を紹介する。

ユーザーの環境では、リーマ工具が破損する前に工具交換できるように、安全を考慮して工具本来の寿命より短めに工具交換回数を設定して加工しており、まだ使用できる工具でも廃棄している問題があった。

数週間分の加工データを収集し、そのデータを特徴量（摩耗度）に変換、分析を行ったところ、工具を使用するほど特徴量に傾向が表れることがわかった。更には、工具別で特徴量を比較すると、工具毎に個体差が大きいことも明らかになった（**図17**）。

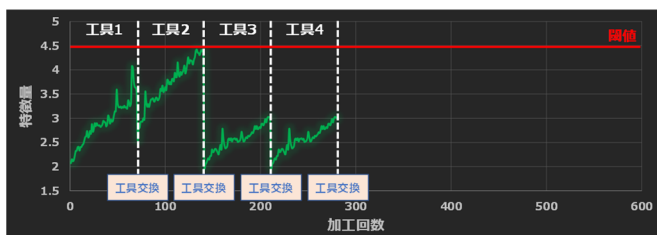


図17 工具毎の特徴量

特徴量の最大値を閾値（**図17** 赤色線）として、従来の設定工具使用回数を延長して工具を継続使用するテストを実施したところ、特徴量が閾値を超えない範囲で延長しても問題無いことが判明した。これにより、工具個体差を捉えて工具寿命（工具使用回数）を延長して使用することが可能となり、従来に対し最大76%延長できる効果が得られた（**図18**）。



図18 工具寿命（工具使用回数）延長化

6. おわりに

現状は、マシニングセンターによる鉄や鋳物材質の加工、かつドリルおよびリーマ工程を対象としたアプリケーションの展開のみである。今後は、タップやフライス工程を対象としたアプリケーションも展開していく。

また、コマツNTCの主なユーザーである自動車業界ではアルミ合金材質の加工品が多数を占める為、これに対応したアプリケーション開発が必須である。アルミ合金材質の加工品は、鉄や鋳物材質の加工品のように正常時と異常時にデータに大きな変化が表れず、正常と異常を見分けることが困難である。異常要因となる状態把握に必要なデータの検討や、データを取得する為に必要なセンサーの選定、取付け位置を実証しアプリケーション化を目指す。

筆者紹介



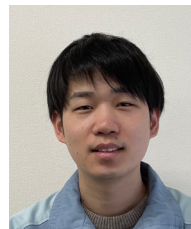
Mitsuru Aki

あき 充 2012年、コマツNTC入社。
開発本部 商品開発部所属



Yuri Shimada

しまだ ゆり 2017年、コマツNTC入社。
開発本部 商品開発部所属



Yukimune Yoshikawa

よしかわ ゆきむね 2020年、コマツNTC入社。
開発本部 商品開発部所属



Akira Nakayama

なかやま あきら 2012年、コマツNTC入社。
開発本部 商品開発部所属

【筆者からひと言】

将来的に工程の最適化など、省エネルギーに向けた取り組みも視野に入れた開発を行い、カーボンニュートラルの実現にも貢献できるアプリケーションの開発をしていきたいと考える。