

冷延振動センサー設置によるチャタマーク検出技術の開発

Development of Chatter Mark Detection Technique Using Vibration Sensor

森 貴雄 MORI Takao JFE スチール 西日本製鉄所（福山地区） 制御部 制御技術室 主査

要旨

鋼板を生産する圧延機およびスキンパスミルにおいて、共振現象や機械的な損耗による振動（チャタリング）が発生し、鋼板に縞模様の欠陥（チャタマーク）が発生する場合があります。この問題を解決するために、欠陥発生時の異常振動に着目し、圧延機の上部に取り付けられた振動センサーの信号を監視・解析する振動監視システムを構築した。これにより初期段階でチャタマーク発生の傾向を捉えてオペレータに異常を知らせることで適切な処理が可能となり、製品の品質向上に寄与できた。

Abstract:

In cold rolling mills and skin pass mills used for producing steel sheets, vibrations caused by resonance phenomena or mechanical wear can sometimes lead to defects with striped pattern on the steel sheets. To address this issue, we focused on the abnormal vibration that occurs when defects are generated. We developed a vibration monitoring system that monitors and analyzes the signals from the vibration sensor installed on the upper part of the rolling mill. By detecting the tendency for chatter marks to occur at an early stage and alerting the operator to the abnormality, appropriate measures can be taken, contributing to the improvement of product quality.

1. はじめに

表面性状の厳格な鋼板を生産する冷間タンデム圧延機（Tandem Cold Mill: TCM）、連続亜鉛鍍金ライン（Continuous Galvanizing Line: CGL）および連続焼鈍ライン（Continuous Annealing Line: CAL）のスキンパスミルにおいて、共振現象や機械的な損耗による振動（チャタリング）が発生し、鋼板に数ミクロンの微小な厚み変動を伴う縞模様の欠陥（チャタマーク）が発生する場合があります。この問題を解決するために、チャタマーク発生時の異常振動に着目し、チャタリングを初期段階で検出する振動監視システムを構築した^{1,2)}。本稿では、振動監視システムを構築するにあたり留意した点を中心に述べる。

2. チャタリング発生要因

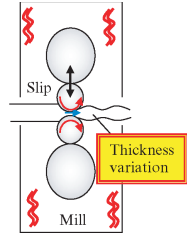
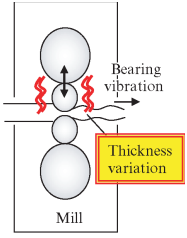
一般的にチャタリングの発生は、操業条件起因およびベアリング劣化起因に大別される（表 1）。操業条件起因によるチャタリングは、圧延時の通板速度とロール回転数が釣り合わない場合に、板がスリップすることで発生する。スリップにより発生する振動が、圧延機本体の固有振動数と一致する場合に共振現象を起こし、そのエネルギーが圧延荷重

を変化させる。

圧延荷重の変化により、板厚が変動しチャタマークが発生することが知られている。スリップの発生要因は主に以下のとおりである。

- ① 圧延速度を手介入した場合の張力変動
- ② 圧延油の特性（種類・濃度・温度）

表 1 チャタリング発生メカニズム
Table 1 Chattering occurrence mechanism

Form	Operating conditions-induced	Bearing deterioration-induced
Cause of occurrence	Vibration is generated by the slipping of the strip due to conditions such as rolling oil, rolling conditions, and roll wear, which then causes a resonance phenomenon with the mill body.	Rolls vibrate due to the deterioration and subsequent damage of the bearing components.
Overview mechanism		

2025 年 3 月 13 日受付



写真1 ベアリング損傷例
Photo 1 Bearing wear

- ③ 圧延条件（圧下率・圧延荷重）
- ④ ロール磨耗（摩擦力低下）

操業条件起因で発生するチャタリングは散発的で、その際の周波数成分は80 Hz～300 Hzであることが知られている。

一方、圧延機を構成するロールのベアリングが劣化し、ロールが振動することでチャタリングが発生する可能性がある。写真1にベアリング損傷例を示す。ベアリング劣化起因で発生するチャタリングは継続的で、周波数はベアリングの損傷箇所（コロ表面、外輪転動面等）および回転速度によって変動する。

3. チャタリング検出方法

チャタリング検出のために、圧延機のハウジング上部およびワークロール軸受に、振動センサーを設置した。表2に振動センサーの仕様を示す。振動を計測するパラメータには、変位、速度、加速度の3種類がある。変位は回転機械の軸振れのような比較的低い周波数の振動測定に適している。一方、加速度は、歯車の損傷のような比較的高い周波数の振動測定に適している。

今回、計測対象であるチャタマーク発生時の振動周波数帯域は、5 Hz～1 kHzであることから、この周波数帯域で安定的に計測できる速度を計測パラメータとした。

図1に操業条件起因（スリップ）およびベアリング劣化起因でチャタリングが発生した時の振動周波数解析結果を示す。操業条件起因によるチャタリングは、ピークが各ミルの共振周波数を中心に存在する。

一方、ベアリング劣化起因によるチャタリングは、ピークがライン速度とベアリング損傷位置から決まる周波数（基本

表2 振動センサー仕様
Table 2 Vibration sensor specification

Item	Specification
Voltage sensitivity	$5.0 \pm 10\% \text{ mV}/(\text{m/s}^2)$
Measurement frequency range	5～7 000 Hz
Maximum measurable acceleration	700 m/s^2
Supply voltage	15～25 V
Waterproof protection rating	IPX7

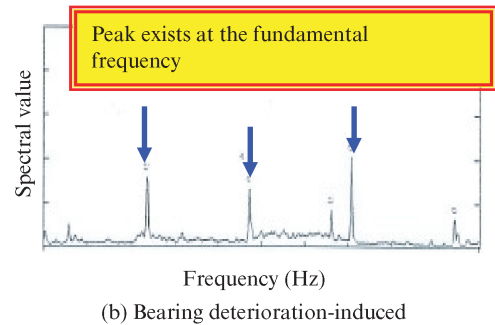
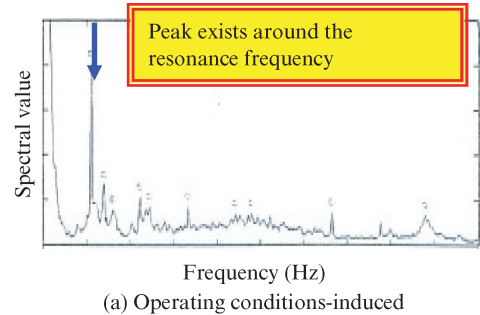


図1 周波数解析結果
Fig. 1 Frequency analysis result

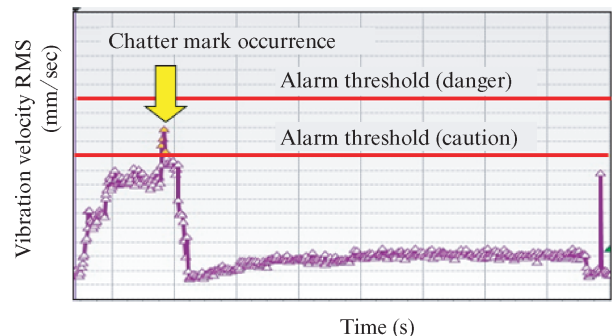


図2 チャタマーク発生状況
Fig. 2 Chatter mark occurrence situation

周波数と定義)で発生する特徴がみられた。従って振動速度信号を周波数解析し、その結果によりチャタマーク発生要因を特定できると考えられる。

上述の検討により、チャタリング検出方法として、振動速度によるリアルタイム監視と、チャタリング要因を特定する周波数解析による監視という2つの機能を設けた。

図2にチャタマークの発生状況を示す。リアルタイム監視では、振動速度が予め設定した閾値を越えた時に警報を出力することで、オペレータに異常振動が発生していることを知らせる。これによりオペレータが、ライン速度を下げる、潤滑油量を絞る、ロール交換を行うなど、操業条件を変更することで、操業条件起因のチャタマークの発生を抑止できるようになる。

図3に周波数解析による監視画面を示す。ライン速度によりベアリング劣化起因の異常振動は発生周波数が変化す

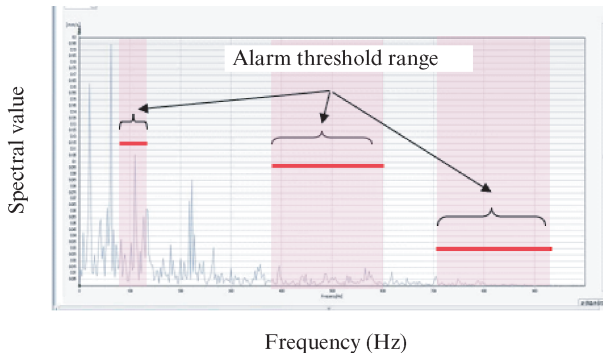


図3 周波数解析による監視画面

Fig. 3 Threshold monitoring through frequency analysis

る。そのため、周波数解析の警報判定値について、任意の周波数帯域で閾値を設定できるようソフトを設計した。あらかじめベアリングの基本周波数帯域で警報閾値を設定して異常判定を行うことで、ベアリング劣化起因のチャタマーク発生時に要因の特定が可能となる。

4. システム概要

図4に振動監視システムの構成図を示す。データ処理PCでライン運転中の振動速度を監視し、あらかじめ決められた閾値を超えたときに警報を出力してオペレータに知らせるのである。測定された振動データは実績収集サーバーに格納される。また、リアルタイム監視および周波数解析による監視ともに警報閾値（危険）を超えたコイルは、上位PCの出来高判定で保留とすることでチャタマーク発生懸念材の流出防止を図った。

さらに、コイル情報およびライン情報（ライン速度、圧延荷重、トラッキング長、張力）をチャタリング検出制御盤に取り込むことで、実績収集サーバー内の振動データを検索できるようにし、過去の操業状況と振動データを合わせて解析できるシステムを構築した。

チャタマーク発生状況を監視するにあたり、各ラインに構築した振動監視システムの振動データを事務所で遠隔監視できるようにシステムを構築した。遠隔監視システム構成図を図5に示す。これにより、実績収集サーバーに蓄積されたデータをリアルタイムに事務所PCで解析できるようになり、チャタマーク発生時のデータ解析作業を迅速に行えるようになった。

5. おわりに

チャタマーク発生対策として、振動監視システムを構築

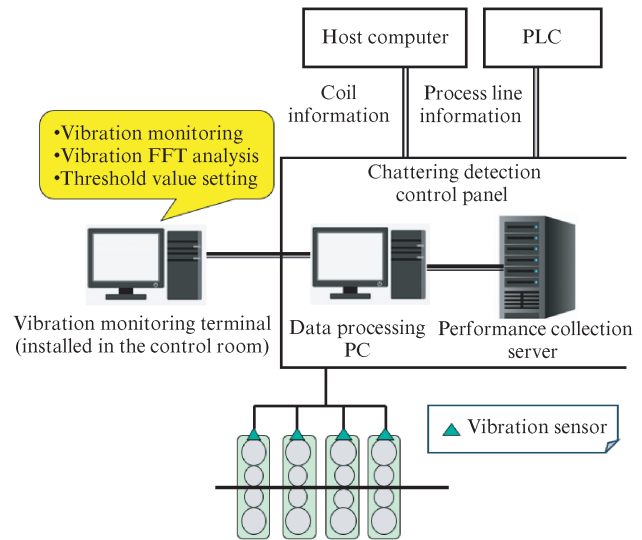


図4 振動監視システム構成図

Fig. 4 System configuration diagram of vibration monitoring

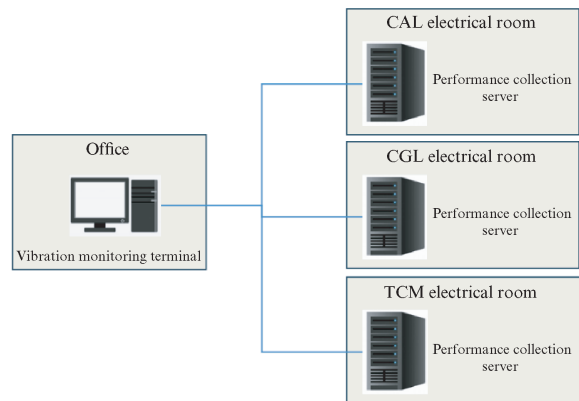


図5 遠隔監視システム構成図

Fig. 5 System configuration diagram of remote monitoring

し、冷間タンデム圧延機、CGLおよびCALのスキンプスミルへ導入した。この結果、チャタリング発生を早期に検出できるようになり、チャタマークのお客様への流出を防いでいる。

参考文献

- 1) 森貴雄, 廣山和敏, 山脇誠, 橋向智弘, 姫井義正. 冷延振動センサー設置によるチャタマーク検出技術の開発. 電気学会研究会資料, 産業応用部門ものづくり研究会. 2015, MZK15012, p. 17-19.
- 2) 森貴雄. 冷延振動センサー設置による品質安定化. 日本鉄鋼協会第153回制御技術部会. 2015, 制技 153計-4.

本稿は、主執筆者が同じく執筆した参考文献1)の論文の一部表現を変更して転載しております。