

〔事例報告〕

往復動圧縮機吸吐弁の状態把握に必要な 基本波形先頭位置検出による周期性分析

近藤 善隆*, 沖田 和久*², 平野 智也*³, 徳富 響*³, 福島 学*³

*株式会社ジェイテック

*²日本文理大学大学院工学研究科環境情報学専攻*³日本文理大学工学部情報メディア学科

Periodicity Analysis by Detecting the Basic Waveform Leading Position for Condition Monitoring of Reciprocating Compressor Intake and Discharge Valves

Yoshitaka KONDO*, Kazuhisa OKITA*², Tomoya HIRANO*³,
Hibiki TOKUTOMI*³, Manabu FUKUSHIMA*³

*J-TEC Co., Ltd.

*²Department of Environmental Engineering and Applied Information Science,
Graduate School of Engineering, Nippon Bunri University*³Department of Media Technologies, School of Engineering, Nippon Bunri University

1. はじめに

化学プラントにおいて原材料となる気体を効率よく供給するためには、圧縮して伝搬することが一般的である。気体を圧縮するために使用される圧縮機の中でも、往復動圧縮機は古くから使用され、現在でも多く使用されている。原材料をプラント内に供給することを目的として使用するため、生産的にも品質的にも最重要機器であり、法令に基づき定期修繕が義務付けられているが、装置への環境を含めた負荷により、定期修繕前に不具合が発生する場合や、定期修繕で改善しきれずに劣化が累積している場合がある。そのため、定期的なモニタリングにより機器の状態を把握し、適切なタイミングでメンテナンスを行うことが必要である（CBM: Condition Based Maintenance）。

往復動圧縮機を構成する部品の中でも比較的劣化しやすく、修繕の際には消耗品の扱いとなっている部品の中

に吸吐弁がある。劣化の原因は長時間稼働による機械的な摩耗がほとんどであるが、定期修繕時にはまだ使用可能な状態のものが多く、CBMにより交換のタイミングを延ばすことにより修繕にかかるコストを最適化することが望まれている。

著者らはこれまでに、振動診断で用いられるアタッチメントの特性⁽¹⁾の調査、劣化診断に向けた劣化進行状況把握の検討⁽²⁾に取り組んできた。これは、周波数振幅包絡に着目した微振動計測⁽³⁾、振動センサによる計測⁽⁴⁾による計測技術の検討に基づいた計測技術に基づきデータ化されている。計測データの分析に関して、目的データを正しく抽出する手法⁽⁵⁾の検討を経て、短時間事象の分析⁽⁶⁾によりデータ解析手法の検討を進めてきた。これらの基礎技術に基づき、状態把握のための周期性計測⁽⁷⁾を行い、定期修繕において累積される劣化改善が計測データにどう計測されるのか⁽⁸⁾を明らかにした。また、定期修繕前後の違いについてPLATE分析を用いて行っている⁽⁹⁾⁻⁽¹²⁾。

機器の振動について周期分析を行う際、分析区間内に機器が駆動している1周期分の振動波形が入っていないと、分析結果に大きな変化が出ることが分かった。PLATE 分析では分析区間の後ろ部分については自動検出しているが先頭部分については手動で調整する必要がある、自動化することが人為的なミスを防ぐ上で必要となる。

そのため本報では、波形先頭位置の自動検出に向けて検討している帯域分割による方法について、計測事例を記す。

2. 波形先頭位置検出

往復動圧縮機の吸吐弁部にて測定した加速度時間波形は図1⁽⁹⁾に示すような波形となる。図1は横軸に時間(s)、縦軸に振幅で示している。図1から吸吐弁の動作は、弁の開動作から始まり、圧縮工程、開動作、圧縮した気体の吐出を経て、次の閉動作となることがわかる。ここでの1周期は閉動作から吐出までの約2(s)であることがわかる。

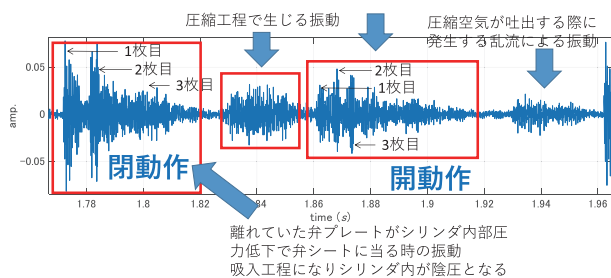


図1 吸吐弁の加速度時間波形例⁽⁹⁾

また弁の開動作の振幅が大きく、周期性が見つけやすいことから、これを周期の開始位置とする。この1周期を観測データから抽出することが求められる。1動作周期を観測信号から抽出し、その周期の乱れが図2に示すように劣化累積および定期修繕による改善の数値化が必要とされている⁽⁸⁾。

図2に示したように各月に測定した時間波形から周期の先頭位置である弁の開動作を見つけることは、これまで手動で行っていた。しかし前述したように人為的なミスを防ぐためには、適切な自動化が必要である。

3. 計測事例

往復動圧縮機は圧縮に必要なピストンを駆動するため、駆動部がつながっている側（以下、駆動側）と、そ

の反対側（以降、反駆動側）が存在する。

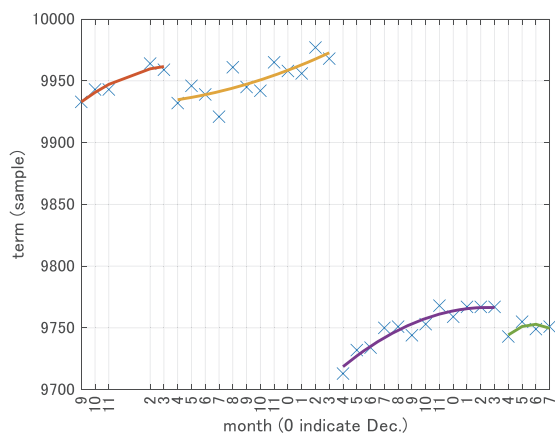


図2 劣化の累積と定期修繕による改善の様子⁽⁸⁾

また、ピストン中心から遠い場所を TOP、ピストン中心に近い場所を BOTTOM と呼んでいる。さらに、圧縮すべき気体を往復動圧縮機に取り入れる「吸入弁 (suction valve)」と、圧縮された気体を吐出する「吐出弁 (delivery valve)」があり、便宜上それぞれの弁は、

S 1 . . . TOP	反駆動側	吸入弁
S 2 . . . BOTTOM	反駆動側	吸入弁
S 3 . . . TOP	駆動側	吸入弁
S 4 . . . BOTTOM	駆動側	吸入弁
D 1 . . . TOP	反駆動側	吐出弁
D 2 . . . BOTTOM	反駆動側	吐出弁
D 3 . . . TOP	駆動側	吐出弁
D 4 . . . BOTTOM	駆動側	吐出弁

とする。

これまでの計測実績から、比較的振幅が大きく閉動作が見つけやすい吐出弁 D3、D3 の対となる吸入弁 S3 の2つの弁を対象とする。また図2から定期修繕前後であり、傾向の変化が顕著である3月と4月を検討対象とする。

一例として図3に2017年9月に計測した結果を示す。図の上段は時間波形であり、横軸に時間 (s)、縦軸に振幅で示している。下段は全帯域の時間変化であり、横軸に時間 (s)、縦軸に帯域番号、で示している。

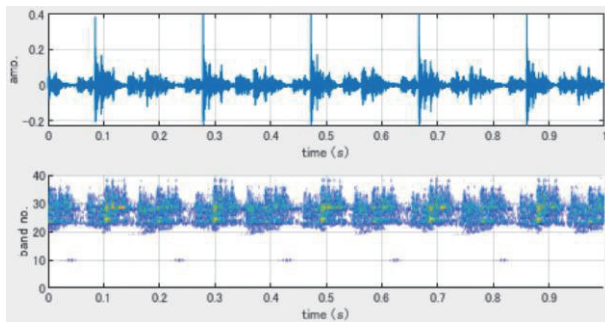


図3 2017年9月に計測した D3
(上段：時間波形，下段：帯域分割)

図3から帯域番号10に、閉動作の位置から若干ずれているものの、周期的に信号が出ていることがわかる。そのため、帯域番号5から15の位置を拡大表示した、各年の3月4月の計測データを示す。

図4に2018年3月に計測したS3を示す。

図5に2018年4月に計測したS3を示す。

図6に2019年3月に計測したS3を示す。

図7に2019年4月に計測したS3を示す。

図8に2020年3月に計測したS3を示す。

図9に2020年4月に計測したS3を示す。

図10に2018年3月に計測したD3を示す。

図11に2018年4月に計測したD3を示す。

図12に2019年3月に計測したD3を示す。

図13に2019年4月に計測したD3を示す。

図14に2020年3月に計測したD3を示す。

図15に2020年4月に計測したD3を示す。

各図の上下段、縦軸と横軸は図3と同様で示す。

4. おわりに

本研究は、化学プラントにおいて生産的にも品質的にも最重要機器である往復動圧縮機の部品の中でも、比較的劣化しやすく、修繕の際には消耗品の扱いとなっている吸吐弁に着目している。定期的なモニタリングにより機器の状態を把握し、適切なタイミングでメンテナンスを行うCBMを目的とし、これまでに圧縮工程開始から次の工程開始までの周期のばらつきが累積劣化に関係があることを明らかにした。これの社会実装にはさらなる検討が必要である。また、人為的なミスを減らすための自動化が必要となる。

そこで本稿では、帯域分割した時間変化から波形の先頭位置の検出について検討できるように事例報告として取りまとめた。

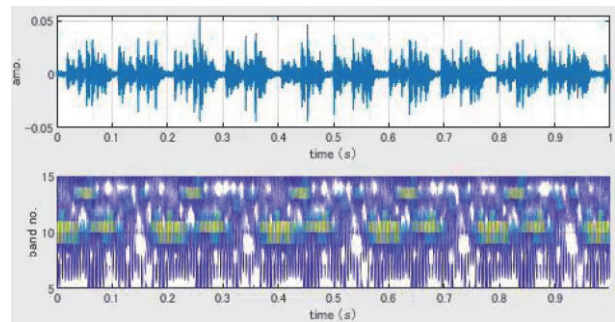


図4 2018年3月に計測した S3
(上段：時間波形，下段：帯域分割（5から15）)

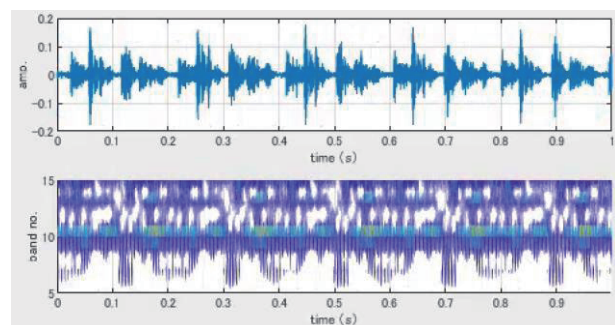


図5 2018年4月に計測した S3
(上段：時間波形，下段：帯域分割（5から15）)

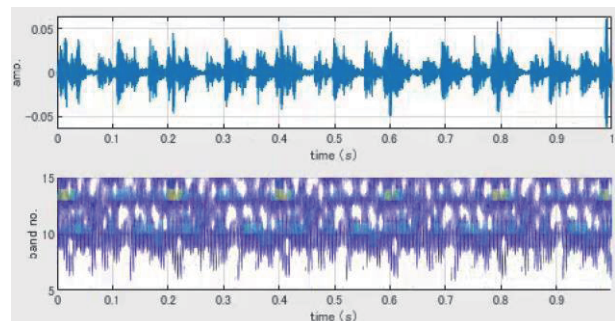


図6 2019年3月に計測した S3
(上段：時間波形，下段：帯域分割（5から15）)

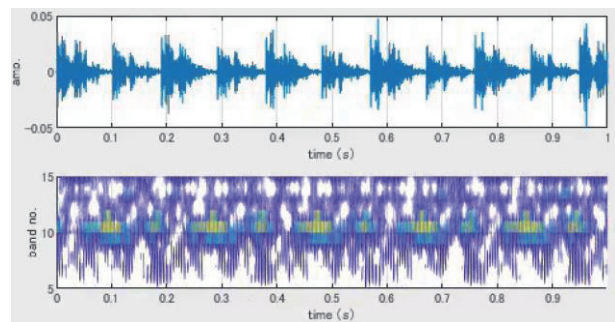


図7 2019年4月に計測した S3
(上段：時間波形，下段：帯域分割（5から15）)

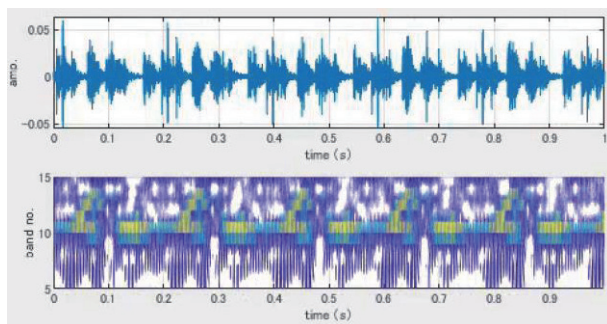


図8 2020年3月に計測した S3
(上段：時間波形，下段：帯域分割（5から15）)

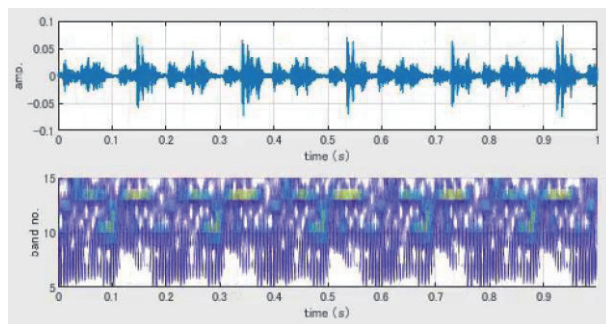


図12 2019年3月に計測した D3
(上段：時間波形，下段：帯域分割（5から15）)

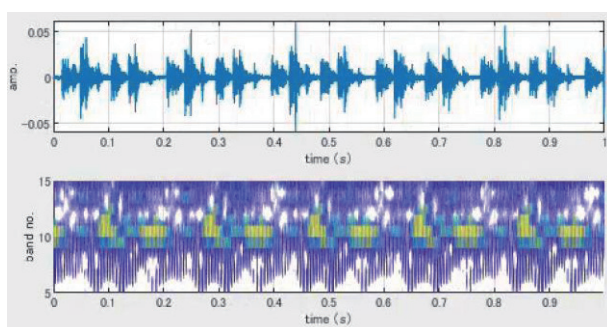


図9 2020年4月に計測した S3
(上段：時間波形，下段：帯域分割（5から15）)

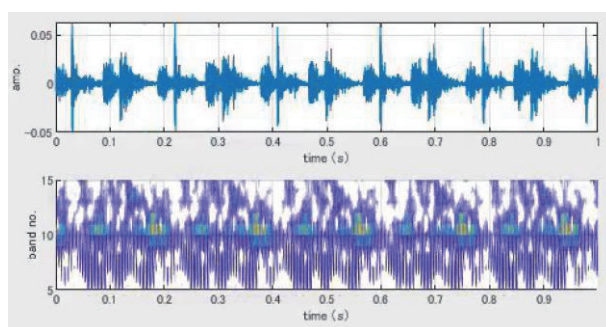


図13 2019年4月に計測した D3
(上段：時間波形，下段：帯域分割（5から15）)

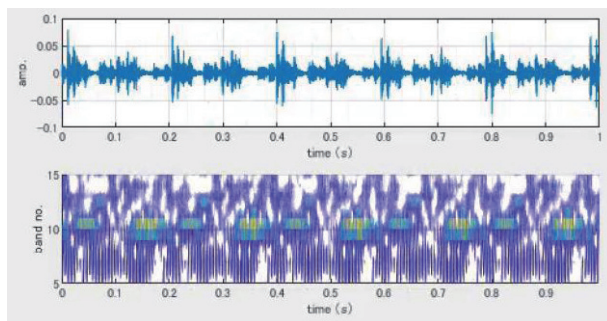


図10 2018年3月に計測した D3
(上段：時間波形，下段：帯域分割（5から15）)

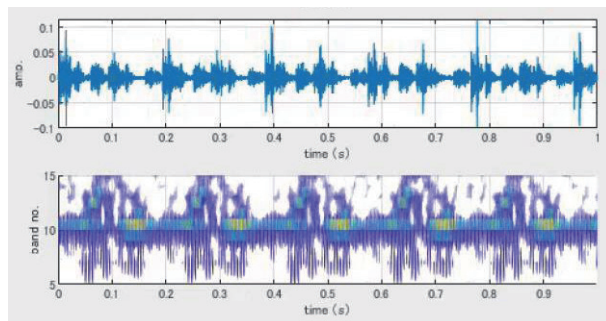


図14 2020年3月に計測した D3
(上段：時間波形，下段：帯域分割（5から15）)

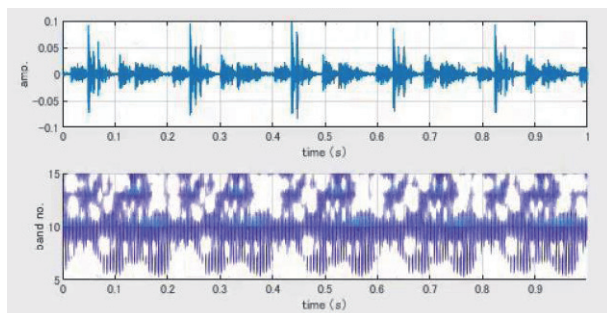


図11 2018年4月に計測した D3
(上段：時間波形，下段：帯域分割（5から15）)

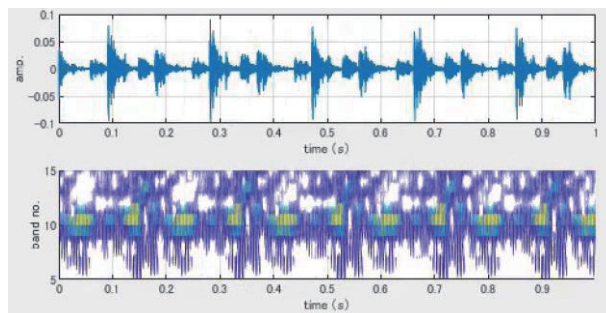


図15 2020年4月に計測した D3
(上段：時間波形，下段：帯域分割（5から15）)

参考文献

- (1) 福島学, 鵜飼拓也, 近藤善隆, 手島祐二, “現場機材による回転機械振動診断で用いるアタッチメントの簡易特性調査”, 日本文理大学, 第44巻, 第2号, pp. 45-54, 2016
- (2) 福島学, 近藤善隆, 山下涼介, 大里一矢, 山上洋志, “振動信号による圧縮機吸吐弁劣化診断に向けた定期計測データに基づく劣化進行状況把握の検討”, 日本文理大学紀要, 第47巻, 第2号, pp. 7-16, 2019年
- (3) 福島学, 黒岩和治, 近藤善隆, “伝送路特性の周波数振幅包絡に生じる変調分析による距離推定手法を用いた微振動計測の研究”, 日本文理大学紀要, 第40巻, 第1号, pp. 37-44, 2012
- (4) 福島学, 武村泰範, 星芝貴行, 川崎敏之, 近藤善隆, 安鍾賢, 重黒木啓介, “振動センサおよび光学センサによる計測に関する一検討—ロボットプロジェクトにおける取り組み事例報告—”, 日本文理大学紀要, 第40巻, 第1号, pp. 84-92, 2012
- (5) 福島学, 近藤善隆, 河納隼一, 平居宏康, “計測信号から目的データを正しく抽出するための手法について”, 日本文理大学紀要, 第41巻, 第1号, pp. 75-86, 2013
- (6) 福島学, 岩村直樹, 松井庸佑, 三角健太, 河納隼一, 平居宏康, 近藤善隆, “無歪周期分析法の時間追従への拡張”, 日本文理大学紀要, 第41巻, 第2号, pp. 33-41, 2013
- (7) 福島学, 鵜飼拓也, 篠原康平, 河納隼一, 近藤善隆, 窪田泰也, “短時間事象の時間周波数分析手法の一検討”, 日本文理大学紀要, 第43巻, 第2号, pp. 77-84, 2015
- (8) 福島学, 伊藤毅登, 沖田和久, 林友哉, 近藤善隆, 手島祐二, “往復動圧縮機における状態把握のための周期性計測”, 日本文理大学紀要, 第50巻, 2号, 2022年
- (9) 近藤善隆, 沖田和久, 林友哉, 福島学, 手島祐二, “往復動圧縮機における状態把握に向けた定期修繕前後の計測事例”, 日本文理大学紀要, 第51巻, 第1号, pp. 93-102, 2023年
- (10) 福島学, 大里一矢, 大塚柊, 河合修平, 上原正志, 河納隼一, 近藤善隆, 手島祐二, 柳川博文, “回転機械稼働状況把握への PLATE 法適用の一検討”, 日本音響学会, 日本音響学会2018年秋季研究発表会講演論文集, 1-P-44, 2018
- (11) 大里一矢, 大塚柊, 市田秀樹, 福島学, 河合修平, 上原正志, 樋口幸, 森竹隆広, 柳川博文, “筋音計測データの PLATE 法による時間・周波数分析に関する一検討”, 日本音響学会, 日本音響学会2018年秋季研究発表会講演論文集, 1-P-42, 2018
- (12) 長瀬翔斗, 大塚柊, 大里一矢, 高橋瑞希, 舟橋宏樹, 河納隼一, 近藤善隆, 福島学, 松本光雄, 風間道子, 手島祐二, 柳川博文, “位相情報に着目した高解像度周波数分析法 (PLATE) の提案”, 日本音響学会, 日本音響学会2018年春季研究発表会講演論文集, 1-P-40, 2018

(2023年11月24日受理)

