

〔事例報告〕

## 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

近藤 善隆\*, 沖田 和久\*<sup>2</sup>, 林 友哉\*<sup>2</sup>, 福島 学\*<sup>3</sup>, 手島 祐二\*

\*株式会社ジェイテック

\*<sup>2</sup>日本文理大学大学院環境情報学専攻\*<sup>3</sup>日本文理大学工学部情報メディア学科

### A Case Study of Reciprocating Compressor Measurements Before and After Periodic Repairs to Understand the Condition of the Compressor

Yoshitaka KONDO\*, Kazuhisa OKITA\*<sup>2</sup>, Yuya HAYASHI\*<sup>2</sup>,  
Manabu FUKUSHIMA\*<sup>3</sup>, Yuji TESHIMA\*

\*J-TEC Co., Ltd.

\*<sup>2</sup>Department of Environmental Engineering and Applied Information Science,  
Graduate School of Engineering, Nippon Bunri University\*<sup>3</sup>Department 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供給のために使用する往復動圧縮機は、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る。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様子を把握することはプラント周辺の安全確保からも確立すべき技術である。

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<sup>(1)</sup>の調査、劣化診断に向けた劣化進行状況把握の検討<sup>(2)</sup>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<sup>(3)</sup>、振動センサによる計測<sup>(4)</sup>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<sup>(5)</sup>の検討を経て、短時間事象の分析<sup>(6)</sup>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<sup>(7)</sup>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<sup>(8)</sup>を明らかにした。

本報では、これらの過程で収集した計測事例を記す。

#### 2. 周期性計測に着目した劣化診断

計測対象の往復動圧縮機は4月に定期修繕が実施されている。観測波形は図1に示すように閉動作・開動作を1周期とする周期性を有している。図は横軸に時間を示し、縦軸に時間波形の振幅を示している。

吐出に伴い内部圧力が低下すると、シリンダ内に圧力が入るが、逆流防止のために弁プレートが閉動作を行う。その後ピストンにより圧力が上昇し、バネにより気体の流動を止めていた吐出側の弁が開く開動作となる。

図1は、閉動作の振動が大きいことを示している。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。前報では、この1動作周期を観測信号から抽出し、その

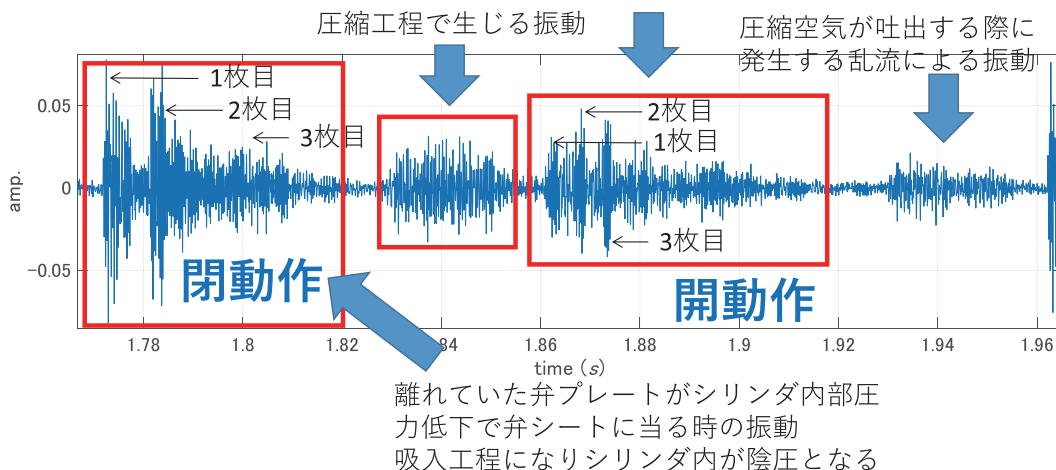


図1 往復動圧縮機における1周期

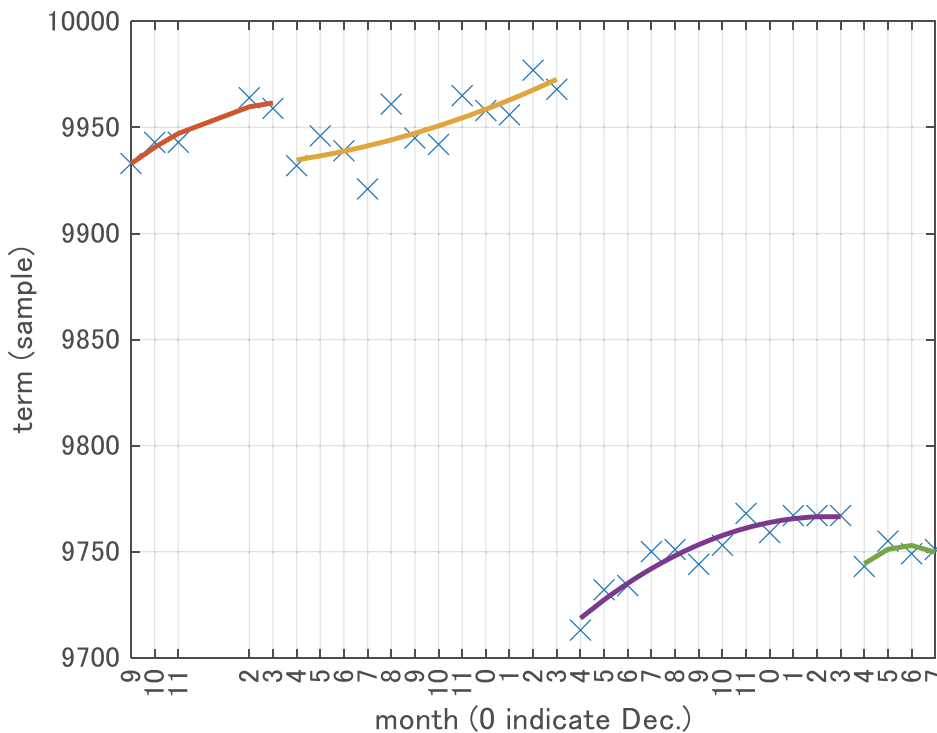


図2 劣化の累積と定期修繕による改善の様子<sup>(8)</sup>

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。

この自動処理には、周期を正確に検出しなければならない。それには、計測データの比較が重要である。そこで本稿ではそのための計測事例を記す。対象は図2に示した期間の内、定期修繕前後とし、時間波形(上段)と、PLATE法<sup>(9-11)</sup>により導出した時間周波数波形(下段)を示す。時間波形は、横軸が時間、縦軸が振幅を示している。時間周波数波形は、右手方向に時間、左手方向に周波数、高さ方向に大きさをdB単位で示す。

### 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。駆動側は駆動系のメカニカル振動が計測値に混入しやすい。駆動側および反駆動側のいずれの場所も、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。この各所を次の記号で示している。

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、便宜上各弁の名称を、

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。

図3から図6に吸入弁及びその測定位置を赤丸で示す。また、図7から図10に吐出弁及び測定位置を赤丸で示す。

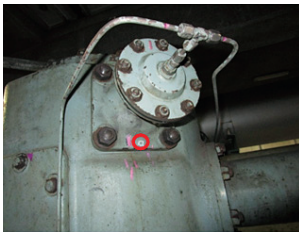


図3 S 1 の測定位置



図4 S 2 の測定位置

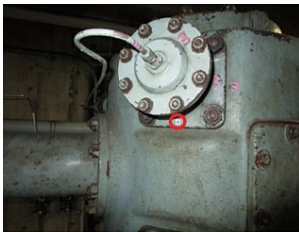


図5 S 3 の測定位置



図6 S 4 の測定位置



図7 D 1 の測定位置



図8 D 2 の測定位置



図9 D 3 の測定位置



図10 D 4 の測定位置

図11から図14に2019年3月、図15から図18に2019年4月に計測したS1～S4を示す。

図19から図22に2019年3月、図23から図26に2019年4月に計測したD1～D4を示す。

図27から図30に2018年3月、図31から図34に2018年4月に計測したS1～S4を示す。

図35から図38に2018年3月、図39から図42に2018年4月に計測したD1～D4を示す。

図43から図46に2020年3月、図47から図50に2020年4月に計測したS1～S4を示す。

図51から図54に2020年3月、図55から図58に2020年4月に計測したD1～D4を示す。

#### 4. おわりに

本研究は、化学プラントにおいて最重要機器である往復動圧縮機の状態把握を行い、安全・安心につながる検査の実現を目指している。該当機器は法令に基づく定期修繕が義務付けられている。しかし、天候等により定められた期間よりも早く劣化する場合がある。このため装置稼働状態で状態把握を行う必要がある。

これまでに圧縮行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。特に定期修繕前後の計測データの比較検討が重要である。

そこで本稿では、定期修繕前後の往復動圧縮機の弁プレート近傍での計測事例を、定期修繕前後で比較でき、計測部位で比較できるように事例報告として取りまとめた。

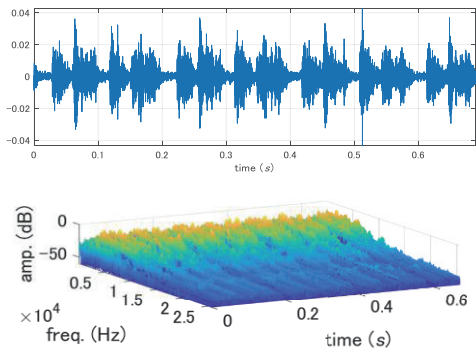


図11 2019年3月に測定したS1  
(上段：時間波形，下段：PLATE 分析結果)

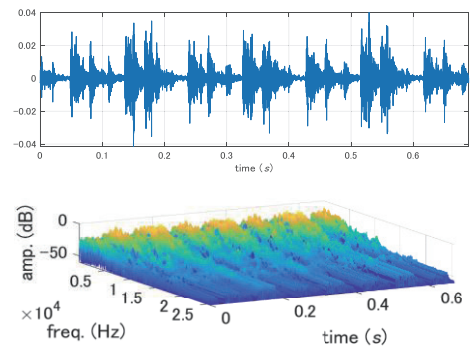


図15 2019年4月に測定したS1  
(上段：時間波形，下段：PLATE 分析結果)

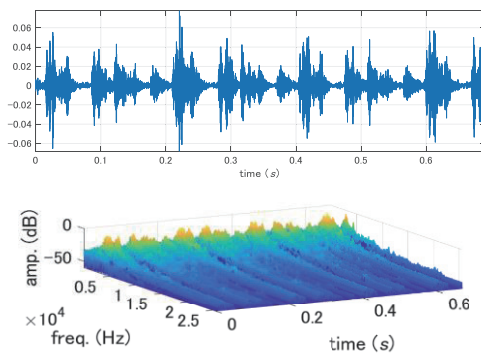


図12 2019年3月に測定したS2  
(上段：時間波形，下段：PLATE 分析結果)

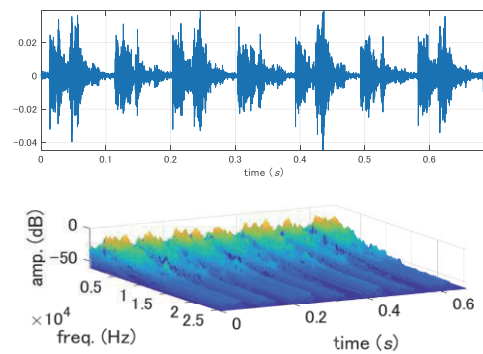


図16 2019年4月に測定したS2  
(上段：時間波形，下段：PLATE 分析結果)

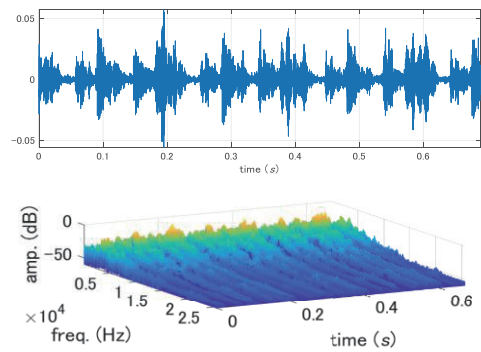


図13 2019年3月に測定したS3  
(上段：時間波形，下段：PLATE 分析結果)

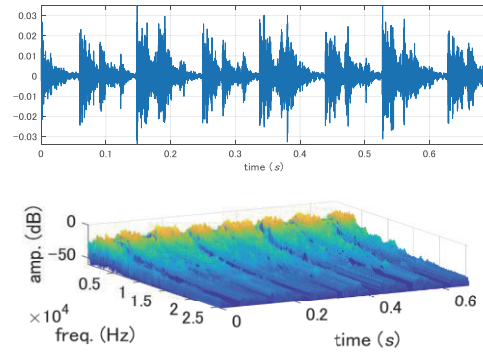


図17 2019年4月に測定したS3  
(上段：時間波形，下段：PLATE 分析結果)

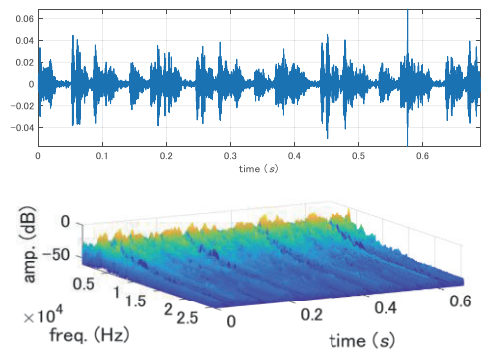


図14 2019年3月に測定したS4  
(上段：時間波形，下段：PLATE 分析結果)

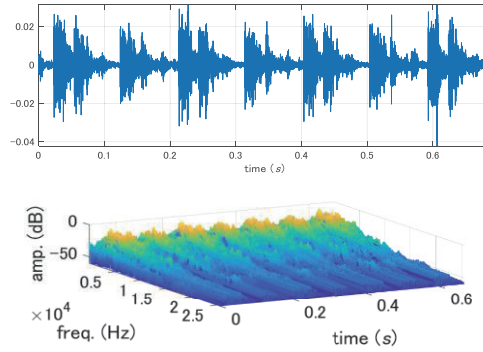


図18 2019年4月に測定したS4  
(上段：時間波形，下段：PLATE 分析結果)

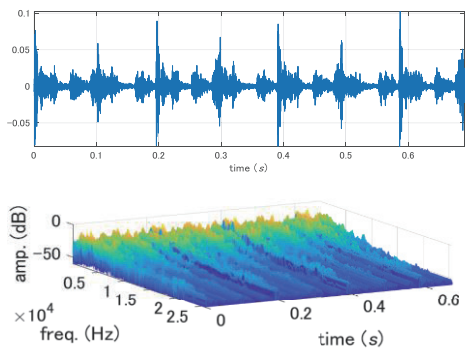


図19 2019年3月に測定したD1  
(上段：時間波形，下段：PLATE 分析結果)

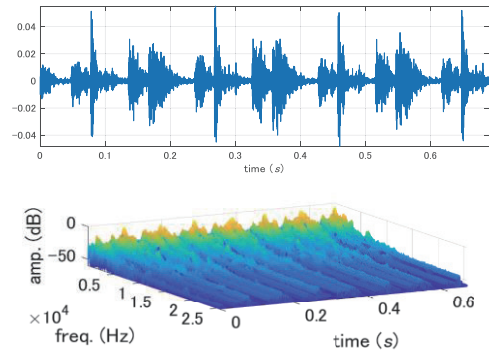


図23 2019年4月に測定したD1  
(上段：時間波形，下段：PLATE 分析結果)

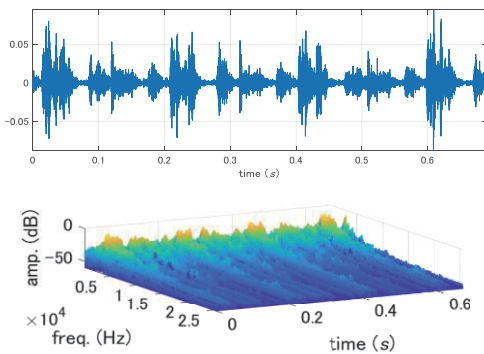


図20 2019年3月に測定したD2  
(上段：時間波形，下段：PLATE 分析結果)

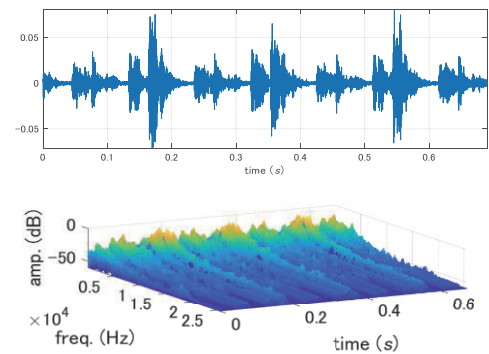


図24 2019年4月に測定したD2  
(上段：時間波形，下段：PLATE 分析結果)

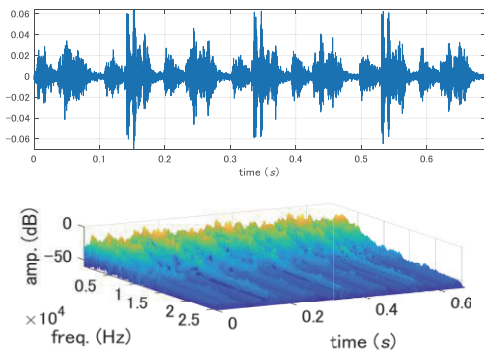


図21 2019年3月に測定したD3  
(上段：時間波形，下段：PLATE 分析結果)

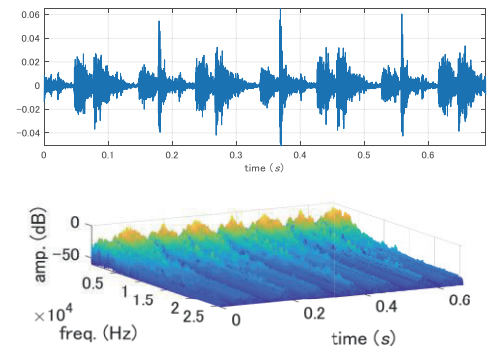


図25 2019年4月に測定したD3  
(上段：時間波形，下段：PLATE 分析結果)

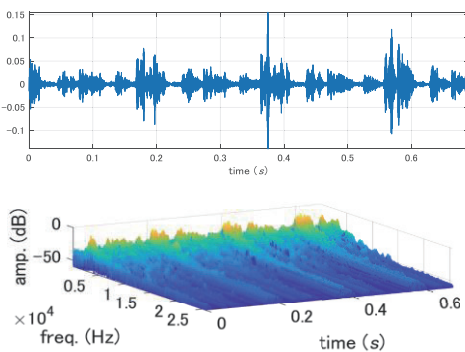


図22 2019年3月に測定したD4  
(上段：時間波形，下段：PLATE 分析結果)

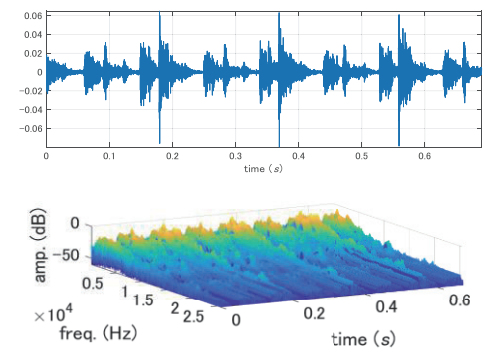


図26 2019年4月に測定したD4  
(上段：時間波形，下段：PLATE 分析結果)

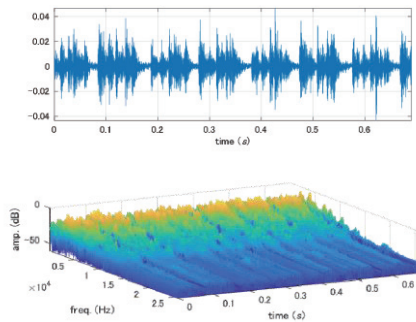


図27 2018年3月に測定したS1  
(上段：時間波形，下段：PLATE 分析結果)

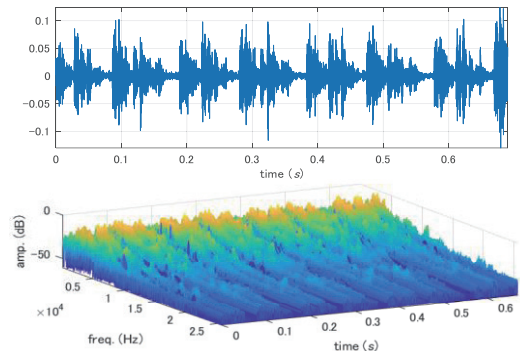


図31 2018年4月に測定したS1  
(上段：時間波形，下段：PLATE 分析結果)

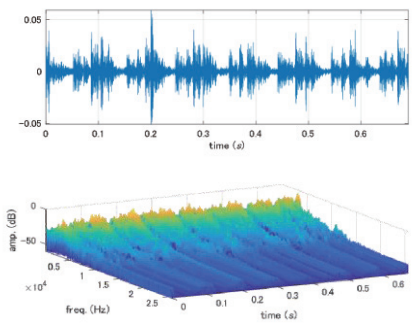


図28 2018年3月に測定したS2  
(上段：時間波形，下段：PLATE 分析結果)

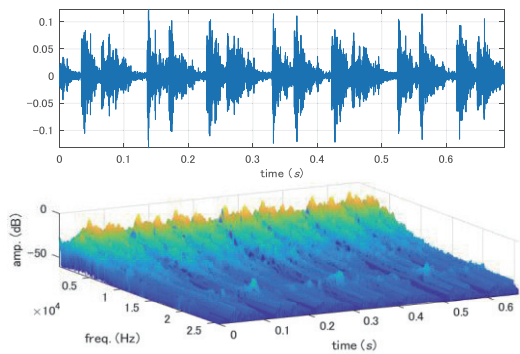


図32 2018年4月に測定したS2  
(上段：時間波形，下段：PLATE 分析結果)

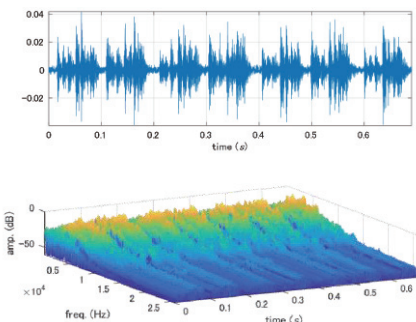


図29 2018年3月に測定したS3  
(上段：時間波形，下段：PLATE 分析結果)

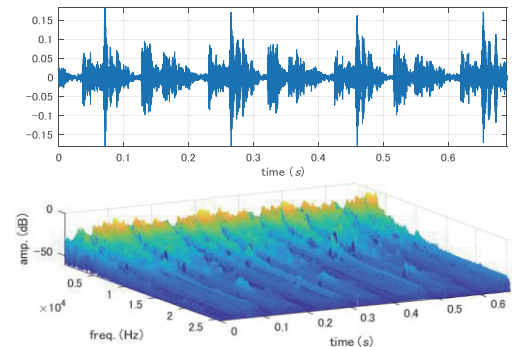


図33 2018年4月に測定したS3  
(上段：時間波形，下段：PLATE 分析結果)

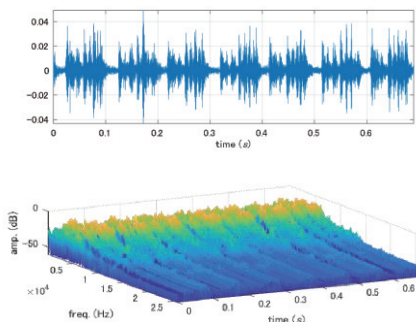


図30 2018年3月に測定したS4  
(上段：時間波形，下段：PLATE 分析結果)

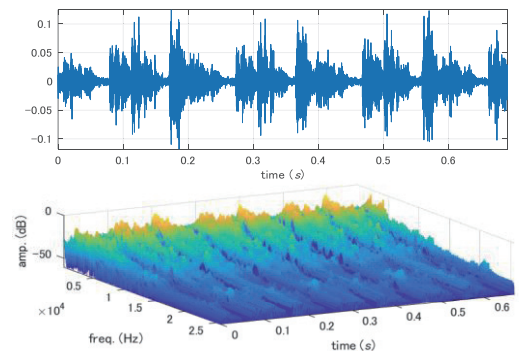


図34 2018年4月に測定したS4  
(上段：時間波形，下段：PLATE 分析結果)

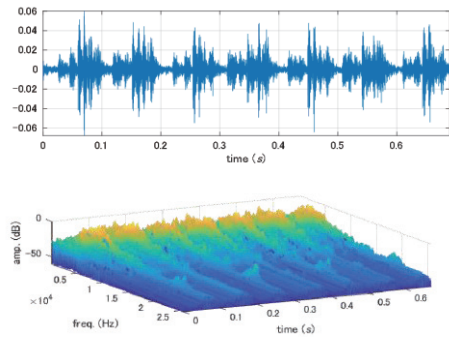


図35 2018年3月に測定したD1  
(上段：時間波形，下段：PLATE 分析結果)

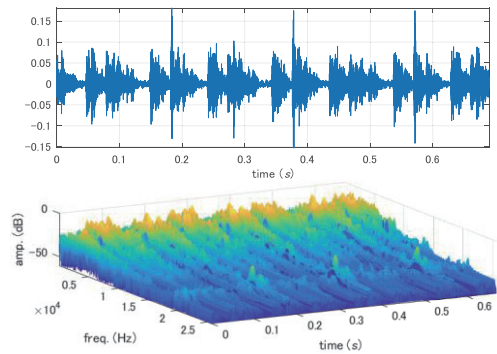


図39 2018年4月に測定したD1  
(上段：時間波形，下段：PLATE 分析結果)

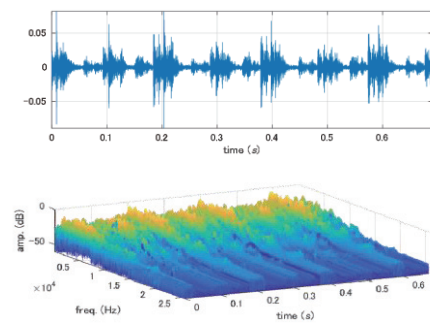


図36 2018年3月に測定したD2  
(上段：時間波形，下段：PLATE 分析結果)

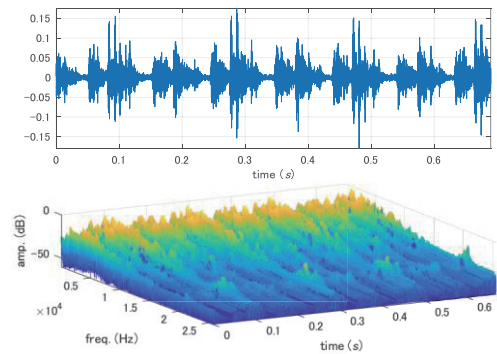


図40 2018年4月に測定したD2  
(上段：時間波形，下段：PLATE 分析結果)

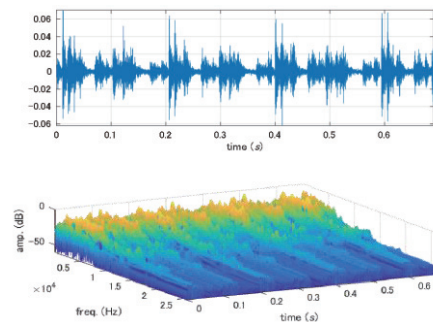


図37 2018年3月に測定したD3  
(上段：時間波形，下段：PLATE 分析結果)

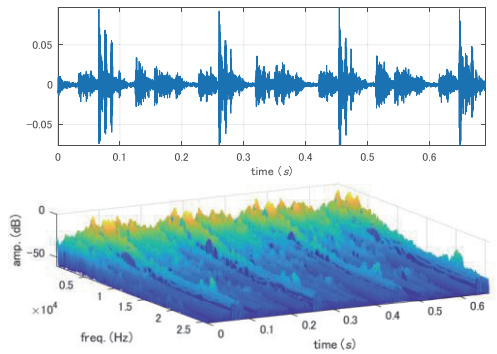


図41 2018年4月に測定したD3  
(上段：時間波形，下段：PLATE 分析結果)

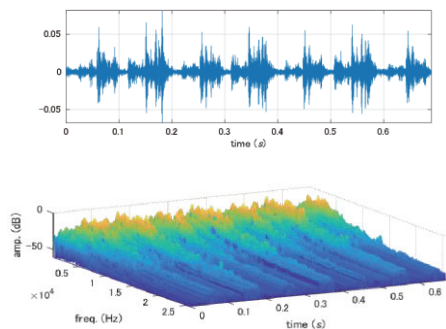


図38 2018年3月に測定したD4  
(上段：時間波形，下段：PLATE 分析結果)

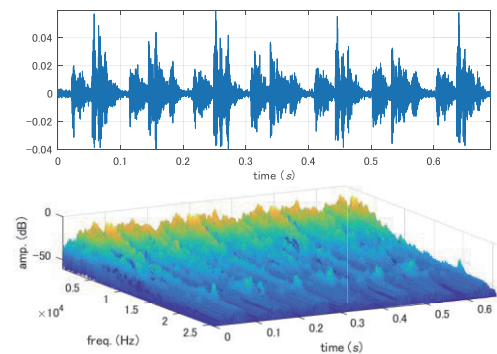


図42 2018年4月に測定したD4  
(上段：時間波形，下段：PLATE 分析結果)

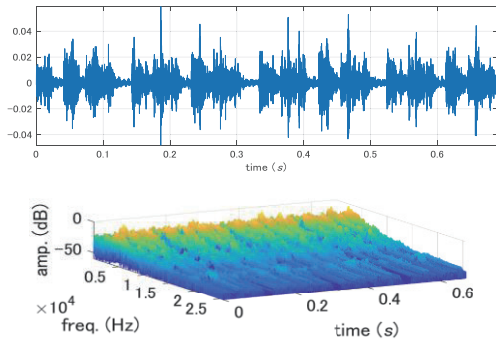


図43 2020年3月に測定したS1 (上段：時間波形, 下段：PLATE 分析結果)

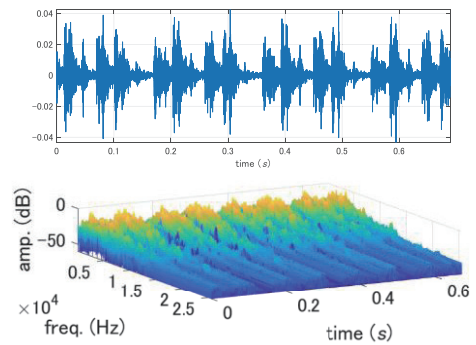


図47 2020年4月に測定したS1 (上段：時間波形, 下段：PLATE 分析結果)

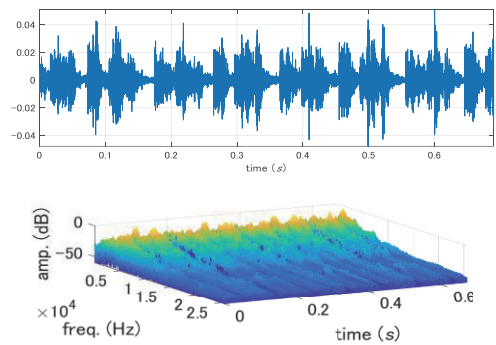


図44 2020年3月に測定したS2 (上段：時間波形, 下段：PLATE 分析結果)

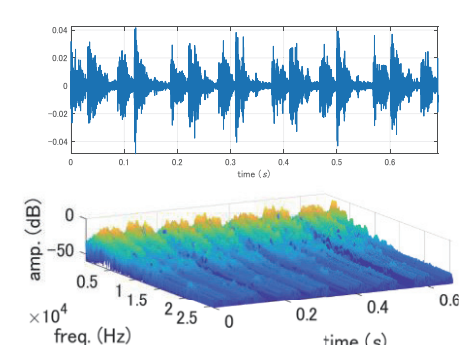


図48 2020年4月に測定したS2 (上段：時間波形, 下段：PLATE 分析結果)

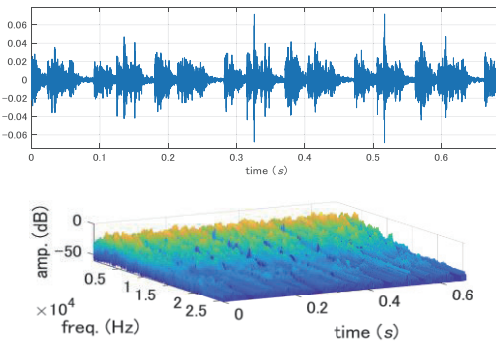


図45 2020年3月に測定したS3 (上段：時間波形, 下段：PLATE 分析結果)

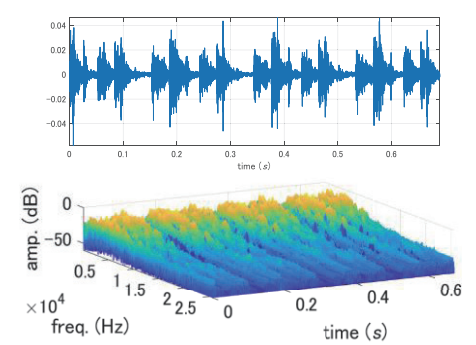


図49 2020年4月に測定したS3 (上段：時間波形, 下段：PLATE 分析結果)

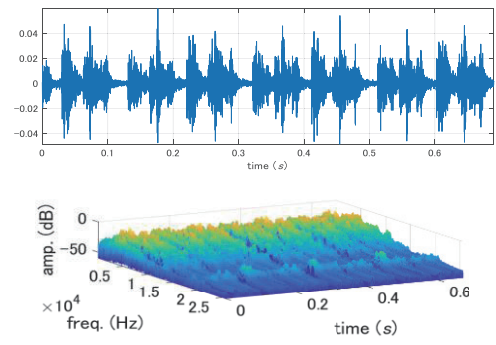


図46 2020年3月に測定したS4 (上段：時間波形, 下段：PLATE 分析結果)

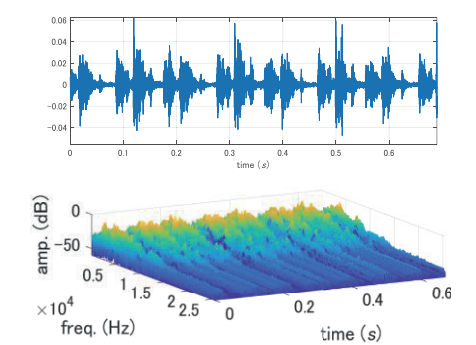


図50 2020年4月に測定したS4 (上段：時間波形, 下段：PLATE 分析結果)



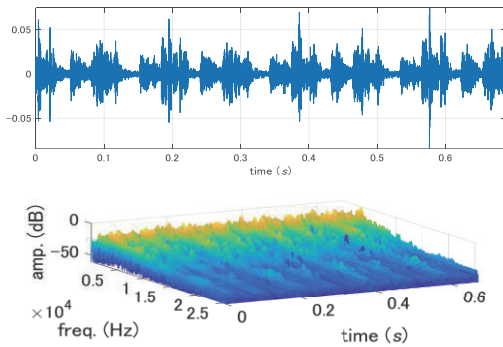


図51 2020年3月に測定したD1  
(上段：時間波形，下段：PLATE 分析結果)

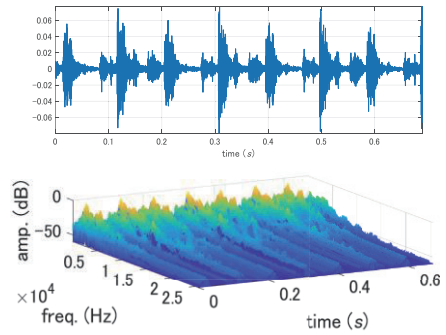


図55 2020年4月に測定したD1  
(上段：時間波形，下段：PLATE 分析結果)

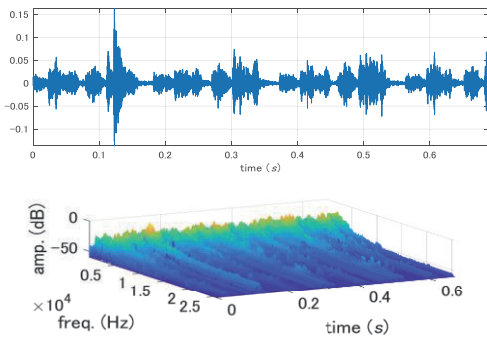


図52 2020年3月に測定したD2  
(上段：時間波形，下段：PLATE 分析結果)

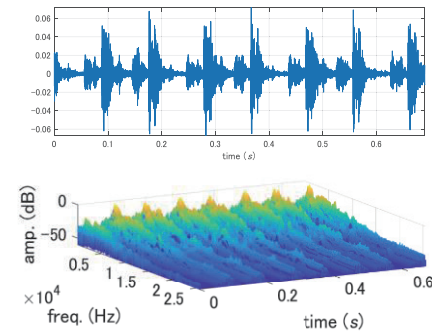


図56 2020年4月に測定したD2  
(上段：時間波形，下段：PLATE 分析結果)

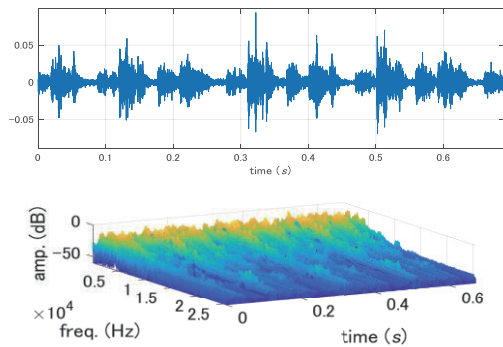


図53 2020年3月に測定したD3  
(上段：時間波形，下段：PLATE 分析結果)

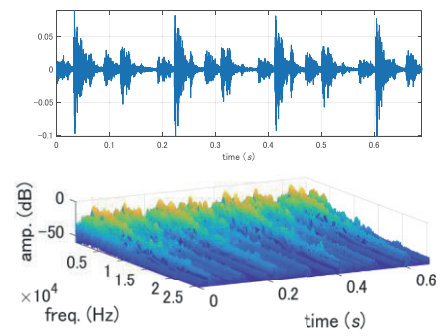


図57 2020年4月に測定したD3  
(上段：時間波形，下段：PLATE 分析結果)

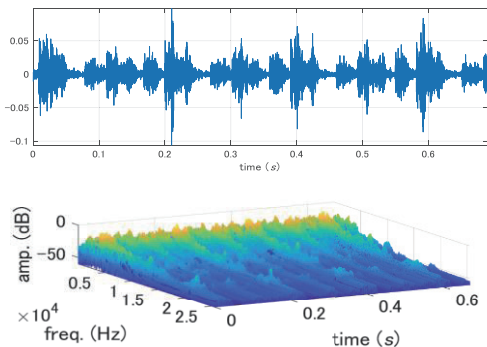


図54 2020年3月に測定したD4  
(上段：時間波形，下段：PLATE 分析結果)

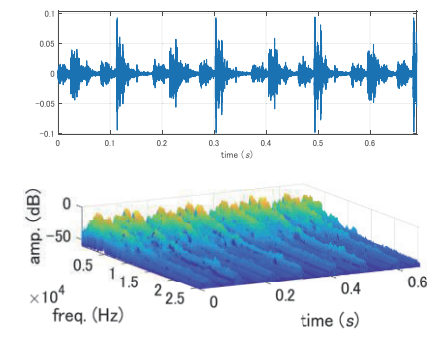


図58 2020年4月に測定したD4  
(上段：時間波形，下段：PLATE 分析結果)

## 参考文献

- (1) 福島学, 鶴飼拓也, 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, 鶴飼拓也, 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) 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
- (10) 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
- (11) 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

---

(2022年12月21日受理)