

東京大学院新領域創成科学研究科

環境システム学専攻

2019 年度

修士論文

大学実験室における音響情報の解析

2020 年 2 月 25 日提出

指導教員：大島 義人 教授

廖 智聡 (リョウ チソウ)

目次

第 1 章 研究背景	4
1.1 大学実験室のモニタリング	4
1.2 実験室学	4
1.3 音響情報を活用した既往研究例.....	4
1.4 実験室における音響情報.....	5
1.5 研究目的	6
第 2 章 研究方法	7
2.1 実験方法	7
2.1.1 実験対象.....	7
2.1.2 実験装置と分析ソフトウェア	7
2.2 音の発生	11
2.3 音の測定	11
2.4 音の構成	12
2.5 波形分析 (Wave Analysis)	15
2.6 スペクトル分析 (Spectrum Analysis)	17
2.7 スペクトログラム分析 (Spectrogram Analysis)	19
2.7.1 時間分解能・周波数分解能.....	19
2.7.2 スペクトログラム特徴の抽出.....	19
第 3 章 実験室全体の音の分析	22
第 4 章 実験装置音	26
4.1 超音波洗浄器.....	27
4.2 TOC 計	31
4.3 GC-FID	34
4.4 バッチ式加熱装置.....	37
4.5 蒸留水製造装置.....	39
4.6 ヒュームフード.....	42
4.6.1 同種のヒュームフードに対して異なる風量の分析	42
4.6.2 同一ヒュームフードに対して異なる風量の周波数成分分析	46
4.7 遠心分離機	51
4.7.1 試験管数の影響.....	53
4.7.2 加減速パターンの違い.....	59
4.7.3 回転数の違い.....	63

4.7.4 試験管の割れた音.....	69
4.8 夜間の低周波音.....	73
4.9 本章のまとめ.....	77
第5章 実験者の同一動作について再現性の検討	78
5.1 「ゴミ箱の開閉作業」	78
5.2 同一動作の周波数スペクトログラム.....	78
5.3 本章のまとめ.....	79
第6章 実験者行動音	83
6.1 蒸留水を入れる.....	84
6.2 物を置く	87
6.3 試薬庫の開閉.....	91
6.4 会話	94
6.5 足音	95
6.6 本章のまとめ.....	98
第7章 結言	99
7.1 まとめ	99
7.2 今後の展望.....	99
参考文献	100
謝辞.....	102

第1章 研究背景

1.1 大学実験室のモニタリング

場の状態を正確に把握するために、対象とする場で起こる様々な事象をモニタリングすることによって解析可能な客観的かつ定量的なデータとして取得する手法が用いられる。大学実験室のような実験研究現場では、行われる作業のほとんどが非定常作業である^[1]ため、定常的な作業が行われている場と比較して、あるべき通常の状態を規定することが困難であり、どのような場で何が起きているかを把握し解析するためのモニタリング手法の開発がより重要な意味を持っていると考えられる。

1.2 実験室学

大学実験室のような実験が行われる「場」には、作業を行う「人」や、作業に必要な「モノ」、三つの要素が存在している。任意性や非定常性の高い実験研究現場の安全を議論するためには、実際の研究現場におけるこの三つの要素を科学的な手法によってデータを取得し、より定性的かつ定量的に解析することで、「人」「モノ」「場」の関連性を新たな視点から究明することが可能と期待される。^[2]

科学的なデータ所得手法としては、視線カメラにより実験者が実験室内を歩行した際の視線情報^[3]や、RFID (Radio Frequency Identification) などの通信機器を用いたモノや被験者の位置情報^[4]、気流解析を用いた実験室内の場の情報^[5]の取得などである。これらは、実験室の状態を定量的かつリアルタイムに表す情報であり、これらのデータを組み合わせることによって、実験室の状態をより客観的に表現する手法となることが期待される。

本研究は、大学実験室の稼働状況を表すもう一つの情報として、音響情報に着目した。

1.3 音響情報を活用した既往研究例

様々な分野では、画像情報の他、音響情報が重要な役割をしている。人が会話する時や物を扱う時に音響が発生し、その音響が人に情報や影響を与える。

宇野らは、サービス業における従業員の業務改善に取り組んでいた際、プライバシーの観点からビデオカメラでの撮影が難しく、コストがかかるなどの問題点を解決するため、マイクロフォンを使って発話や発生する雑音から行動や状況に関する情報を得て、作業音と環境雑音を分類して作業推定を行った。^[6]

夏目らは、ホームロボットの研究開発で朝食準備作業の中で「トースタを用いたパンの焼き作業」を取り上げ、パンを焼く過程に複数の環境音をあらかじめ学習させ、ステップ

毎の終わった時刻を識別し、ロボットにパン焼き作業の動作を実現させることができた。^[7]

NTTメディアインテリジェンス研究所では、音響の情報を活用し、動作音から機器の異常を検知する研究が行われている。しかしながら、異常音の収集の難しさ、騒音への対応、二つの課題が存在する。そこで、正常稼働音のみを学習データとする「異常音検知技術」と「周囲雑音抑圧技術」を開発した。^[8]

森山らは、人の含む感情と音声の声質の関係を研究し、音声の声質が感情を含むことによつてどのように変化するかを、様々な感情を含んだ音声のメル周波数ケプストラム係数MFCCの時間変動に対して主成分分析を行うことにより明らかにした。その結果、音節がアクセント核であるか否かにより、感情を含むことによる声質の変化に関する主要な成分が異なることが示され、音響情報から会話者の感情を知ることが期待される。^[9]

松田宅司は、知的作業の効率化を目標として、各種の音環境が知的集中にどのような影響を与えているのかを考察した。知的集中の定量評価手法として、集中時間比率CTR(Concentration Time Ratio)、集中の深さ指標CDI(Concentration Depth Index)を上げた。また、個人の好みの影響も存在することを示し、個人差を表すことが期待される。^[10]

あこのような既往の研究例から、音響情報の活用例は主に二種類に分けられる。一つ目は、音響による動作・作業の判断や、個人の感情・状態など、音響データを用いて潜んでいる情報の抽出である。二つ目は、音響情報・音環境の人への影響を究明することで、作業性の向上である。これらの研究により、実験室における音響情報を活用することが期待される。

1.4 実験室における音響情報

実際の実験研究現場では複数の実験者が各々の作業を行い、複数の実験機器や分析機器が稼働している状況であり、様々な音が組み合わさって実験室の音は構成されている。これらの音響情報は、実験者の行動に起因するものや、実験機器の運転状況など、様々な情報が取得でき、音とその要因を紐づけた形で情報を抽出可能と期待される。

また、室内の状態を観察や解析に画像情報(ビデオカメラ)がよく用いられるが、画像だけでは、実験機器や什器の稼働情報を取得することが困難であり、音響情報に潜んでいる実験室全体の稼働状況を反映することが期待される。一方で、実験者が実験中に視覚情報だけではなく、音の情報を活用して行動していることや、音環境自身が実験者の作業性に及ぼす影響を考えると、音響情報を用いて実験室の分析が必要と考えられる。

このように、新たに実験室の音響解析をすることは、実験室の稼働状況を可視化する指標が明らかになるだけでなく、実験者の行動と音の関係が明らかになることが期待される。

1.5 研究目的

本研究は、実験室の状態を記述するための一つ的手段として、音響環境に関するモニタリング手法の開発のために、その基礎情報として、実験室内の音の周波数成分を分析し、測定結果と実験作業との関係性について議論することを目的とする。

音響情報を活用した既往研究例がたくさんあるが、実験室を対象とした音響研究はまだ始まる段階であり、本研究は音響情報を切り口として実験室の分析を行った。まず、実験室の稼働状況を表す前に、先行情報としてどのような音の実験室に存在するかを究明して音の分類を行うべきである^[11]。そこで、バックグラウンド以外の音を実験装置音、実験者行動音に分類した。また、実験装置音について、再現性が高いというメリットが存在するため、画像情報のわからない実験装置の稼働情報に着目して分析した。さらに、実験装置の一つである遠心分離機の異常音を取り上げ、音響情報によって安全と密接している異常検知の可能性を検討した。次に、実験者行動音について、音の特徴が周波数スペクトログラムから判断可能かどうかと、非定常性を考慮した上で、実験者の行動による音を分析した時、実験装置音とは違って再現性に関する検討が必要と考えられる。さらに、どのような音の実験者にどのような影響を及ぼすかを究明するために基礎情報とした実験者行動音の周波数分析を行うだけでなく、実験者行動音の判別方法も議論した。

本論文は七つの章から構成され、音響情報を用いて大学実験室に対する分析を行った。

第1章：研究背景、既往の研究例、研究目的について記述した。

第2章：研究方法について詳細に説明する。

第3章：実験室全体の音を分析し、バックグラウンド音以外の音を実験装置音と実験者行動音に分けたことについて説明する。

第4章：実験装置音の稼働状況と音に紐付けて各機器の音響に関する特徴を抽出し、稼働状況の反映と異常検知の可能性について検討する。

第5章：実験者行動音の再現性に関することについて検討する。

第6章：実験者行動音の周波数成分分析と特徴抽出した結果を報告する。

第7章：本研究のまとめや今後の展望について記述する。

第2章 研究方法

2.1 実験方法

2.1.1 実験対象

工学系の研究室であり、SUS 管を用いて合成や分解反応を各実験者がそれぞれのテーマに従って随時実験を行っている。主な使用装置は、ヒュームフード、ガスクロマトグラフィ、遠心分離機、TOC 計等である (Fig. 2.1.1-1)。

2.1.2 実験装置と分析ソフトウェア

本研究は一本のマイクロフォンと複数台のウェブカメラを用いて実験室をモニタリングした、音響情報と画像情報を紐付けた。また、音響データに対し、波形分析と高速フーリエ変換 (スペクトル) と短時間フーリエ変換 (スペクトログラム) のソフトウェアを用いて分析した。

マイクロフォン

Table 2.1.2-1 マイクロフォンのスペック

項目	内容
カメラ型番	リオン UC-59
口径	1/2 インチ
周波数レスポンス	音場
測定周波数範囲	10~20000 Hz
バイアス電圧	0V
感度レベル	(Fig. 2.1.2-1 に示した)
静電容量	
最大入力音圧レベル	148 dB
A 特性自己雑音レベル	18 dB

測定目的に応じて配置位置の変更があり、具体的な配置位置は Fig. 2.1.1-1 に示した。

音響測定パラメータの設置

Table 2.1.2-2 音響測定条件

項目	内容
操作装置	リオン SA-A1
プリアンプ	リオン NH-22A
ビット長	24 Bit
サンプリング周波数	51200 Hz
窓関数	ハミング
オーバーラップ	75%
サンプリング点数	2^{12} 、 2^{16}

分析目的に応じてサンプリング点数の変更があり、各スペクトログラムに記載した。

ウェブカメラ

Table 2.1.2-3 ウェブカメラのスペック

項目	内容
カメラ型番	Qwatch TS-WLC2
カメラ	100 万画素 CMOS センサーカメラ
音声	無指向性マイク×1

ソフトウェア

Table 2.1.2-4 分析のソフトウェア

項目	内容
波形分析	リオン AS-70
高速フーリエ変換	GoldWave
短時間フーリエ変換	

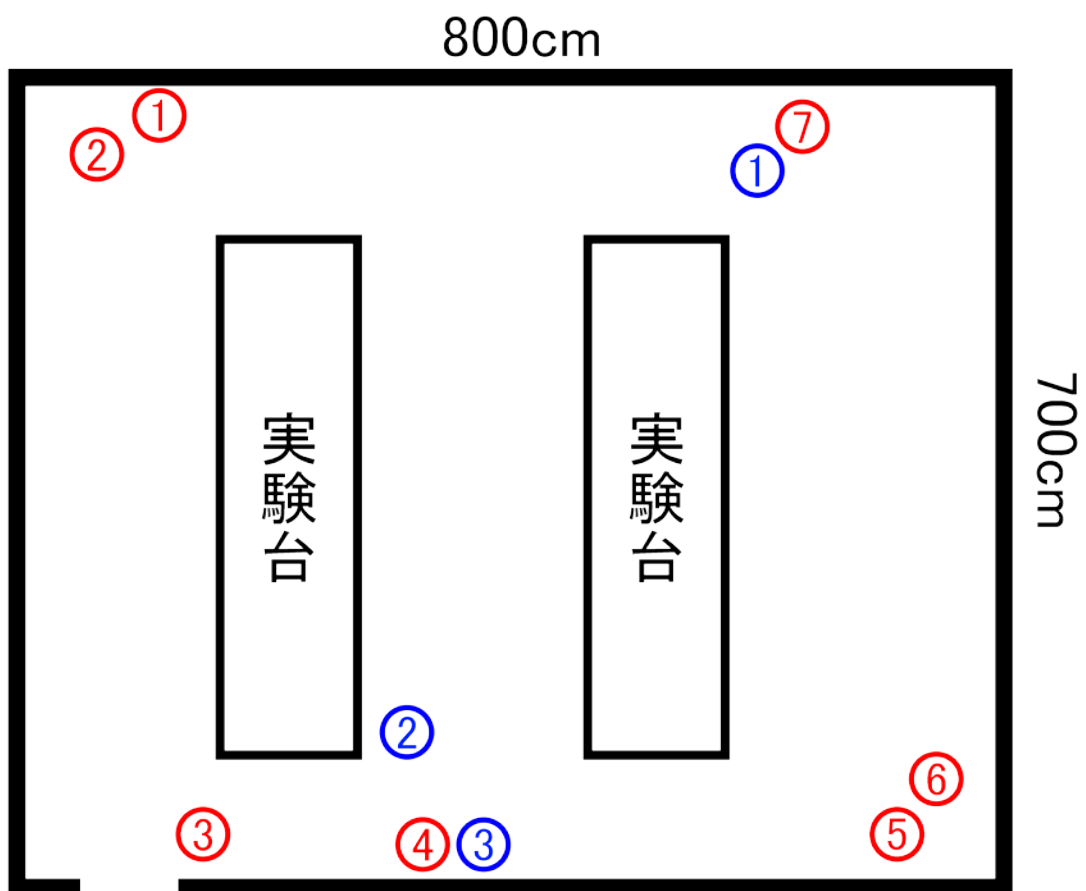
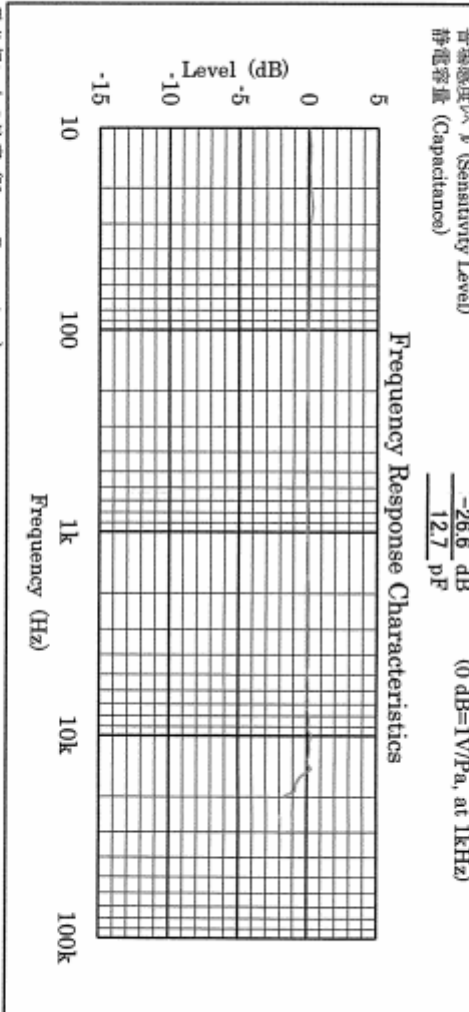


Fig. 2.1.1-1 マイクロフォンとカメラの配置位置
 (○ : カメラの配置位置 ○ : マイクロフォンの変更位置)



CALIBRATION CHART FOR CONDENSER MICROPHONE

品名 Description	1/2インチ 電静電マイクロホン (1/2-inch Electret Microphone)		測定者 Measurer	鈴木 (Suzuki)
型式 Model	UC-59	気圧 Barometric pressure	製造番号 Serial No.	14752
校正日 Date of adjustment	2019/1/9	温度・湿度 Temperature・Humidity	備考	
音場感度 V/m (Sensitivity Level)		-26.6 dB	(0 dB=1V/Pa, at 1kHz)	
静電容量 (Capacitance)		127 pF		



取り扱い上の注意 (Usage Precautions)

- 水濡れ、その他の液体の付着は絶対避けてください。(Never allow the microphone to become wet or subject it to any liquids.)
- 高温多湿環境下での長時間使用は避けてください。(Avoid measuring in a high humidity area for an extended period.)
- 大きな衝撃を加えないでください。(Always protect the microphone from the possibility of shocks.)
- 保管には高温多湿な場所を避けてください。(Avoid storing the microphone in a high temperature/humidity area.)

2016014

Fig. 2.1.2-1 マイクロフォンの感度レベルと静電容量

2.2 音の発生

音は物体の振動によって発生する。音が発生する物体（声は人の声帯の振動）は、音源と呼ばれる。Fig. 2.2-1 のように音源の振動は、疎密波の形で固体、液体、気体などの媒質中に伝わっていき、人の耳・収集装置に拾われる。

2.3 音の測定

音を測定することは、Fig. 2.3-1 のようにマイクロフォンの振動膜が空気の振動を拾い、デジタル信号 (Digital Signal) に変換する。この時、空気の振動はアナログ信号 (Analog Signal) と呼ばれ、A/D コンバータを通じてデジタル信号に変換させる。

マイクロフォンを使って空気の振動を拾う時に、マイクロフォンの指向性の有無により、測定結果に影響を及ぼす。どの角度の音をはっきりと捉えることができるか、どの向きに感度が良いかを、指向性と呼ぶ。その中の無指向性のマイクロフォンは、振動膜の向きや角度に関係なく、音の大きさだけに反応する特性を持つ。^[12]

次に、アナログ・マイクロフォンを通じてアナログ信号をデジタル信号に変換する際、マイクロフォンの感度はアナログ出力電圧値の入力音圧に対する比を表し、マイクロフォンの重要な仕様である。入力既知の場合、音圧領域の単位を電気領域の単位に対応させることにより、マイクロフォン出力信号の振幅を求める。一般に、94 dB 音圧レベル (dB SPL) または 1 パスカル (Pa) 音圧の 1 kHz 正弦波を基準入力音圧として感度を測定し、対数表示の dBV 単位で規定され、与えられた音圧レベルに対して出力信号が何ボルト (V) になるかを表す。線形的な単位 mV/Pa で表した感度は、次のようにデシベル値で対数表現することができる。^[13]

$$Sensitivity_{dBV} = 20 * \log_{10} \left(\frac{Sensitivity_{mV/Pa}}{Output_{REF}} \right)$$

$Sensitivity_{dBV}$: 対数表示の感度 [dBV]

$Sensitivity_{mV/Pa}$: 線形表示の感度 [mV/Pa]

$Output_{REF}$: 基準出力比、 $Output_{REF}=1000$ mV/Pa

また、アナログ信号は連続的であるため、離散的なデジタル信号に変換するには標本化が必要である (Fig. 2.3-2)。A/D 変換の際、1 秒間に何回でデータを収集する数値は、サンプリング周波数 (Sampling Rate) と呼ばれる。サンプリング定理 (標本化定理とも呼ばれる) により、原信号に含まれる最大周波数成分を、二倍より高い周波数でサンプリングした信号は、原信号を完全に復元することができる。

2.4 音の構成

本節は波形 (Fig. 2.4-1) を例として音の仕組みを説明する。横軸は時間、縦軸は振幅である。

振幅 (Amplitude) : 空気から伝わった疎密波がマイクロフォンの振動膜を動かした振幅であり、音の大きさを示す。音の振幅が距離・障害物・反射などたくさんの影響を受けられ、定量的な指標としては信頼性が低いと考えられるが、定性的な指標にすれば参考にする価値がある。

波長 (Wavelength) : 音源の1回の振動の時間長である。波長によって周波数が計算でき、音響分析の中で周波数がよく使われる。

周波数 (振動数, Frequency) : 音源が1秒間に振動する回数で、単位がヘルツ (Hz) であり、音の高さを示す。周波数で見ると、純音と複合音が存在する。純音は、波形で見れば正弦波で表される音で、自然界には存在しない単一周波数の音である。例えば、実験装置のアラーム音は人工的な音である。純音以外の音はすべて、複合音と呼ばれる。複合音は、波形がより複雑で、周波数の異なる純音を重ね合わせた音である。ある複合音がどんな純音から構成されているかを示すため、スペクトルやスペクトログラムで解析する。

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

λ : 波長 [m]

c : 波の速度 [m/s]

f : 周波数 [Hz]



Fig. 2.2-1 音の発生 (振動→媒質→耳)

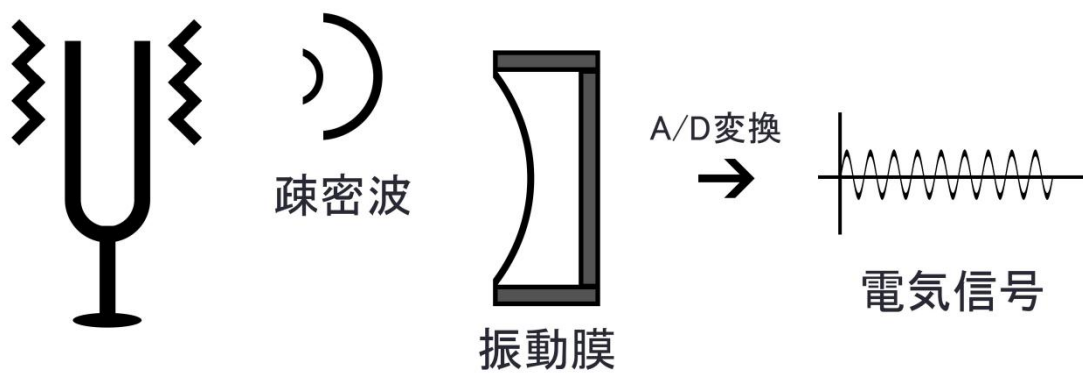


Fig. 2.3-1 疎密波→振動膜→電気信号

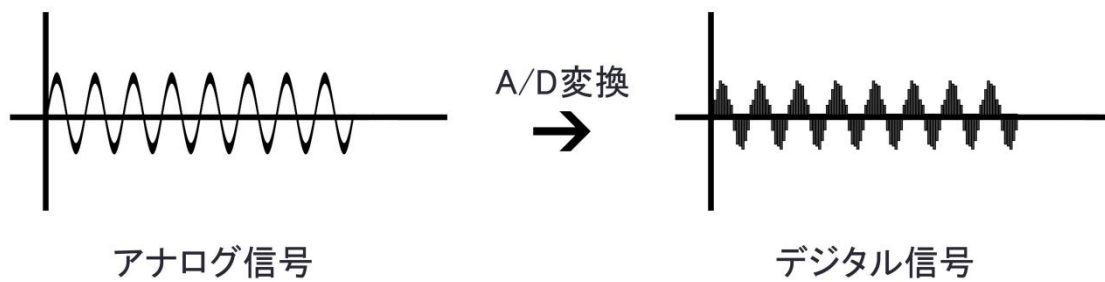


Fig. 2.3-2 標本化

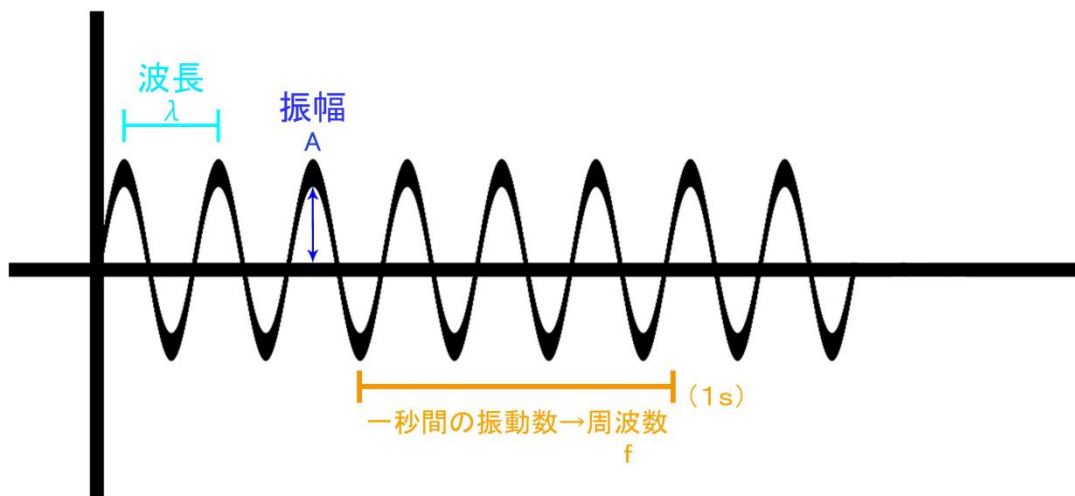


Fig. 2.4-1 音の構成

2.5 波形分析 (Wave Analysis)

Fig. 2.5-1 のように、横軸が時間、縦軸が音の大きさを示す振幅で表せられるのが波形である。縦軸の単位としては、パスカル (Pa)、デシベル (dB) がよく使われる。

パスカルは、音源から発生した振動が、マイクロフォンの振動膜まで伝えられた実際の圧力の変化を表す単位である。しかしながら、ウェーバー・フェヒナーの法則により、人の耳が音の圧力への感覚量は、直線的な関係ではなく、対数的な関係である。そこで、波形分析の時に、人間の感じる音の大きさの尺度を合わせるため、デシベルがよく使われる。

$$dB SPL = 20 * \log_{10} \left(\frac{p}{p_{ref}} \right)$$

dB SPL (L_{SPL}) : 音圧レベル、Sound Pressure Level [dB]

p : 測定した音圧値 [Pa]

p_{ref} : かつて人間の 1 kHz における最小可聴値を基準値とした値、 $p_{ref}=20 \mu Pa$

また、音の高さから見ると、人が聴くことができる周波数の範囲は 20 Hz~20000 Hz であるが、等ラウドネス曲線によって周波数が小さいほど、耳の感覚が鈍くなっている。そこで、人の耳の特性に合わせた周波数重み付け特性を使う。全ての周波数帯域に渡り同じ音圧の音は、Fig. 2.5-2 で Z 特性と同じ直線になります。一方、人の耳の感度は周波数により異なり、A 特性の曲線で表し、低い周波数と高い周波数帯域では感度が低くなっている。A 特性を付けたデシベルも、騒音レベル (L_A) と呼ばれる。C 特性の曲線は、音が大きい場合に、低い周波数帯域で人の耳の感度がより高くなることを表している。本研究では、Z 特性と A 特性を併用する。

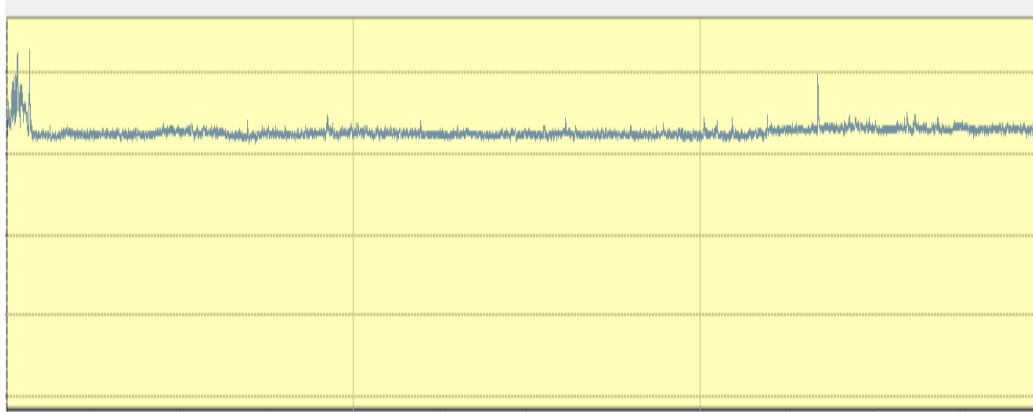


Fig. 2.5-1 例：人のいない実験室の波形
 (周波数重み付け：A 横軸：時間 縦軸：dB SPL)

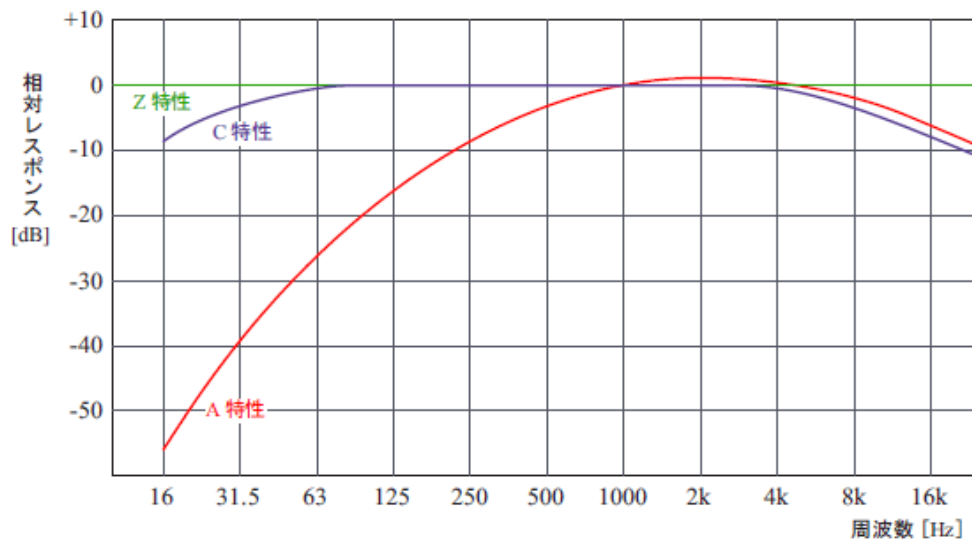


Fig. 2.5-2 周波数重み付け特性^[14]

2.6 スペクトル分析 (Spectrum Analysis)

Fig. 2.6-1 のような、スペクトル分析は高速フーリエ変換 (Fast Fourier Transform) を用いてある時間長の音の周波数領域での構成 (周波数成分) を見ることである。横軸の単位は周波数 (Hz)、縦軸は dBV である。dB SPL と似ているが、一般的には音響測定時のパラメータを容易に変えるため、基準値を 1V にした dBV が採用される。

$$dBV = 20 * \log_{10} \left(\frac{V}{V_{ref}} \right)$$

dBV : デシベルボルト、Decibel Volt

V : 測定した電圧値 [V]

V_{ref} : 1V を基準値とした値、 $V_{ref}=1V$

本研究では人の可聴域以内の音響情報に着目し、サンプリング定理が二倍のサンプリング周波数を要求されるが、フーリエ変換をした時のエイリアジングの影響を考慮した上、51200Hz のサンプリング周波数を設置した。周波数成分を見ると、波形で分けられない異なる音響は、周波数領域においてどのような特徴を持っていることが分かる。

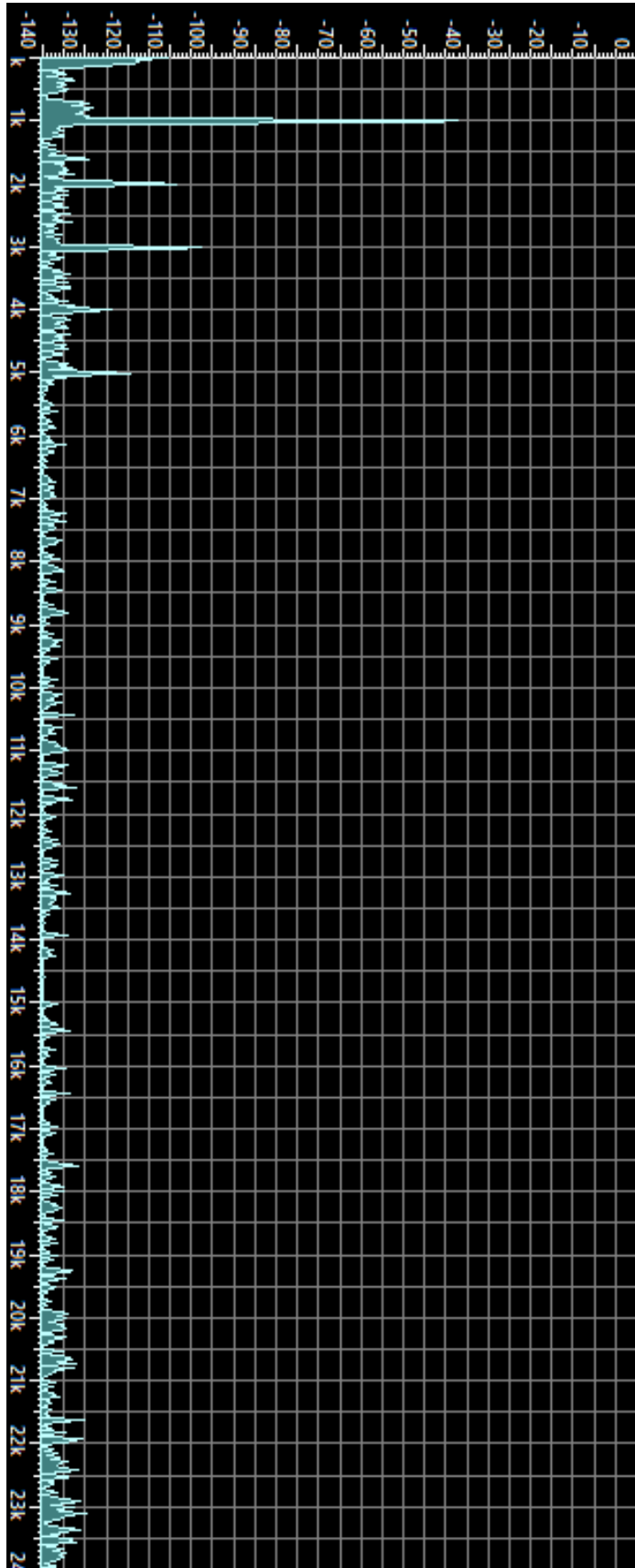


Fig. 2.6-1 例：1000 Hz 校正器のスペクトル

2.7 スペクトログラム分析 (Spectrogram Analysis)

スペクトルで見れば、ある時間長の音の周波数成分が見えるが、時間領域における変換が見えなくなった。そこで、スペクトログラムは短時間フーリエ変換 (Short-Time Fourier Transform) を用いて、時間領域と周波数領域を両方同時に見えるための分析方法となる。横軸は時間、縦軸は周波数 (Hz)、色が周波数帯に対応した音の大きさを dBV で表している。簡単に言うと、スペクトログラムはスペクトル分析した結果を時間領域に組み立てたグラムである。

しかしながら、スペクトログラムの局限性も存在している。フーリエ変換を用いて非周期的信号に対する処理は、この信号を窓関数の時間長を取り出し、その周期を無限長と見なすことである。その結果、組み立てた二つのスペクトルの間には不連続で、スペクトル漏れ (Spectral Leakage) が存在する。故に、実際のスペクトログラム分析の中で、二つのスペクトルが重なった部分が存在し、その dBV の値の平均を取ることにした (Fig. 2.7-1)。

2.7.1 時間分解能・周波数分解能

次に、Fig. 2.7.1-1 を用いてスペクトログラムにおける時間分解能と周波数分解能のことを説明する。

フーリエ変換した結果は、時間窓長 (あるいはサンプリング点数) に影響がある。

$$\text{時間窓長 } T = \frac{\text{サンプリング点数 } N}{\text{サンプリング周波数 } SR}$$

Fig. 2.7.1-1 は同一信号に対する同じサンプリング周波数の条件で異なる時間窓長を使った結果であり、時間窓長が長いほど、周波数分解能が高く、時間分解能が低くなる。分解能が高いほど、相応した時間領域または周波数領域での精度が高くなる。故に、分析の目的により、適当な時間窓長を選ばなければいけないと考えられる。

2.7.2 スペクトログラム特徴の抽出

実験室における各種の音を定性的かつ定量的に見るため、本研究の中では音のスペクトログラムにおける特徴を議論する必要があると考えられる。

- 低・高周波数帯域

本研究で分析した 0 Hz から 20000 Hz までの周波数帯域に現れたピークにより、比較的

に低い（高い）部分を低（高）周波数帯域と定義した。

- **音の「持続時間」**

スペクトログラムにおいて音が現れたあと、音の大きさを示した色がどれくらい時間長に持続することを、持続時間と定義する。

- **「特徴周波数」**

実験装置に対し、単一操作の運転音またはアラーム音が、ある周波数における色の持続時間が操作や提示の停止前にずっと存在していた場合、この周波数（あるいは周波数帯域）を相応する実験装置の特徴周波数と定義する。

- **「構成音」**

実験者行動と実験装置の稼働によるたくさんの音が存在しているが、実際に一部分の行動は各ステップの動作から構成され、複数の音が一つの行動に含まれたので、こういう動作の音を構成音と定義する。一般的には、構成音がいくつかの動作の順序が存在するため、このパターンに基づき構成音の識別することが期待される。

- **「倍音」の有無**

倍音 (Overtone) とは、音高とされる周波数に対する 2 倍以上の整数倍の周波数を持つ音の成分である。また、1 倍の音高とされる成分を基音と呼ばれる。例えば、弦楽器や管楽器などの音をスペクトルで見ると、基音の他に、その倍音が多数（理論的には無限個）現れる。

しかしながら、現実の音源の倍音は必ずしも厳密な整数倍ではなく、倍音ごとに高めであったり低めであったりするものが普通で、揺らいでいることも多い。逆に、実験装置のアラーム音のように完全に整数倍の成分だけの音は人工的な響きに感じられる。また、すべての音が倍音を持っているが、音源振動のパターンや位相のズレなど様々な影響によってスペクトルに倍音が見えない場合もある。

本研究では、スペクトログラムにおいて明らかに見える整数倍の周波数の音を「倍音がある」と定義する。

- **スペクトログラムにおける「ピーク」**

もともとピークというのは、波形分析の中で時間に沿って振幅が急に高くなった時にピークが現れることであるが、スペクトログラムにおけるピークは、時間に沿って低周波数帯域から高周波数帯域まで急に振幅を示す色が現れることである。

- スペクトログラムにおける「形状」

実験装置の操作音などの音のスペクトログラムにおいて規則的な形状で現れることにより、どの実験装置のどの音から容易に分けられる。

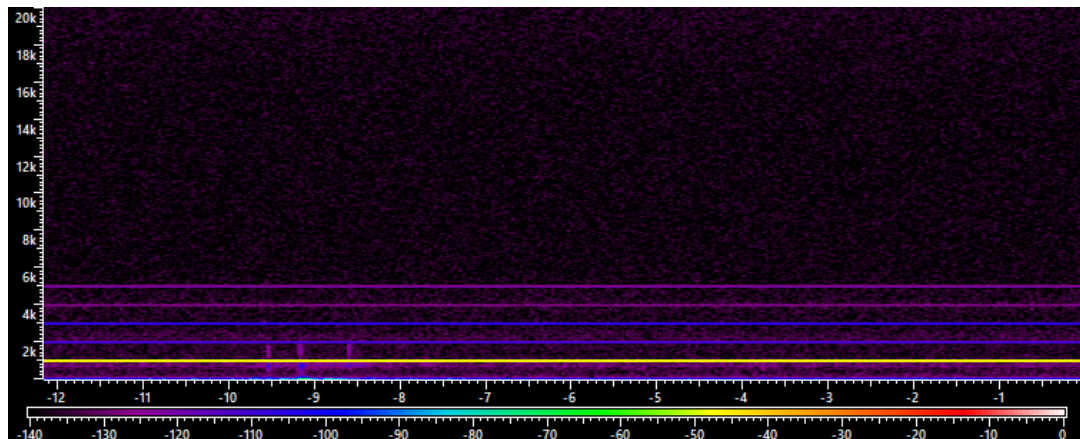


Fig. 2.7-1 例：1000 Hz 校正器のスペクトログラム

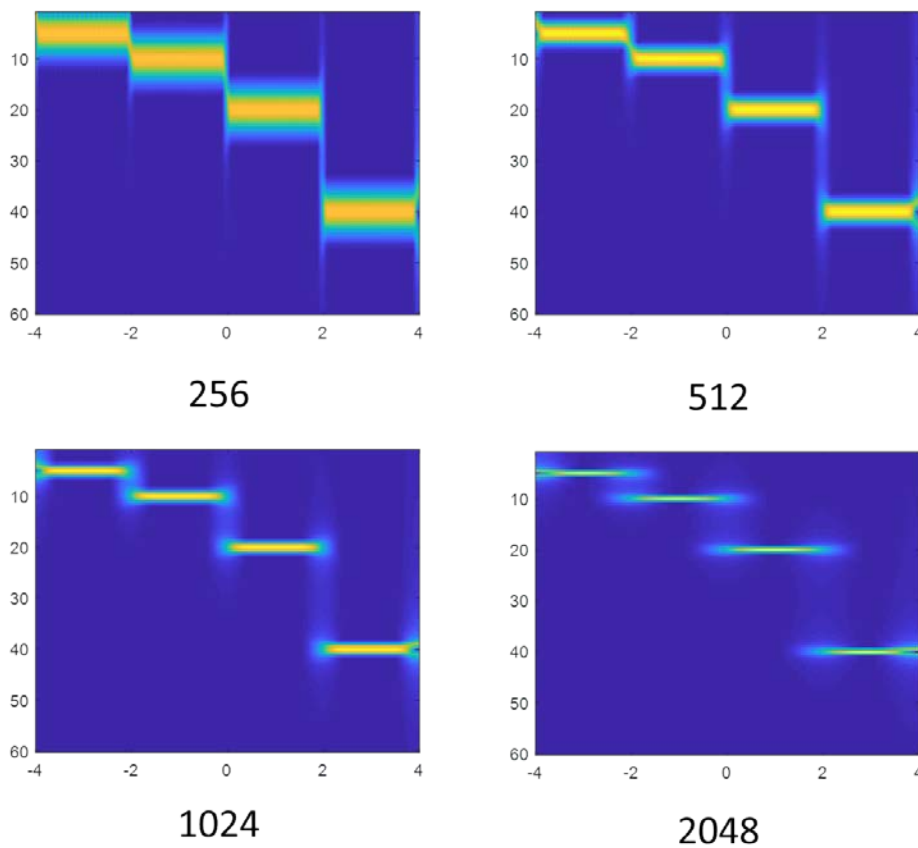


Fig. 2.7.1-1 周波数分解能と時間分解能の比較

第3章 実験室全体の音の分析

本章では、実験室をモニタリングし、どのような音が実験室に存在するかを究明した。測定したデータにより、実験室に存在する音に対して大まかに持続時間とスペクトログラム特徴の安定さを比較した (Table 3-1)。

Table 3-1 実験室全体の音

種類	持続時間 (s)	スペクトログラム特徴の安定さ	説明
会話音 (第 6.4 節)	0.1-0.3	×	主には実験者の行動から由来した音であり、やり方や物の種類など、様々な影響が存在するため、同種音のスペクトログラムにおける周波数成分と持続時間が変わる
足音 (第 6.5 節)	0.1-0.3		
物が落とす (例: Fig. 3-1)	0.1-0.4		
物を扱う (例: Fig. 3-2)	0.1-3.7		
物の摩擦音 (例: Fig. 3-3)	0.2-1.6		
装置の機械音 (第 4 章)	0.4-4.0	○	同一作動の周波数成分と持続時間が大体同じ
装置のアラーム音 (第 4 章)	1.0		特徴周波数が存在
装置運転中の特徴音 (第 4 章)	持続		
バックグラウンド音 (例: Fig. 3-4)	-	-	換気音、実験室外の音等 (ベースに影響を与える)
夜間の不明音 (第 4.8 節)	0.2	△	-
補足	実験者の動作による音は、たまに倍音あるいは長い持続時間などの特徴を持つが、本研究の観察によって実験者の同一動作は毎回の持続時間が変化し、再現性が低い		

この結果に基づき、バックグラウンド音以外、実験室音は実験装置音と実験者行動音に分類できると考えられる。実験装置音は、持続時間がより長く、同種の音が安定なスペク

トログラム特徴を持っている。実験者行動音は、スペクトログラムにおける持続時間が比較的短く、同一動作の周波数成分が一定ではなく、持続時間も毎回変化するという特徴を持っている。

次に、バックグラウンド音を検討する。バックグラウンド音は分析目的音以外の音であり、音響分析に影響があると考えられる。**Fig. 3-5** は実際に分析した際の実験装置音・実験者行動音・バックグラウンドのスペクトログラムである。**Fig. 3-5** に示した通り、バックグラウンド音は小さくなく、実験装置と実験者行動音が重ならないため、装置・実験者による音の変化に着目しスペクトログラムにおけるピークの現れた・消えた瞬間に、画像情報を見ることと音響データを直接に聞くことで、バックグラウンド音による測定結果への影響が抑えられると考えられる。さらに、バックグラウンドである音は、未同定の装置音や実験室外の人の行動音であると考えられ、個々の音の周波数成分を分析することで、対象とする音の抽出が容易になる。

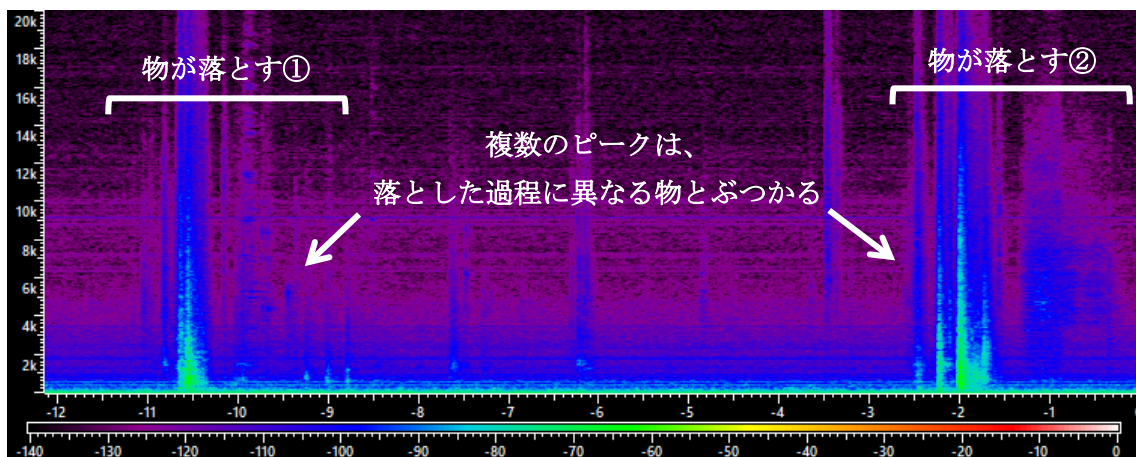


Fig. 3-1 金属小箱が机に落とした (N : 2¹²)

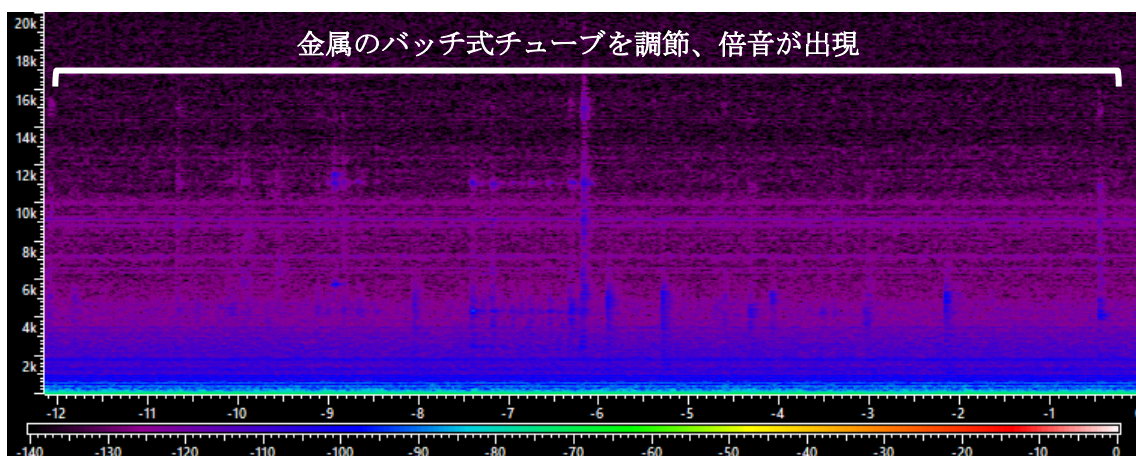


Fig. 3-2 バッチ式チューブの調節 (N : 2¹²)

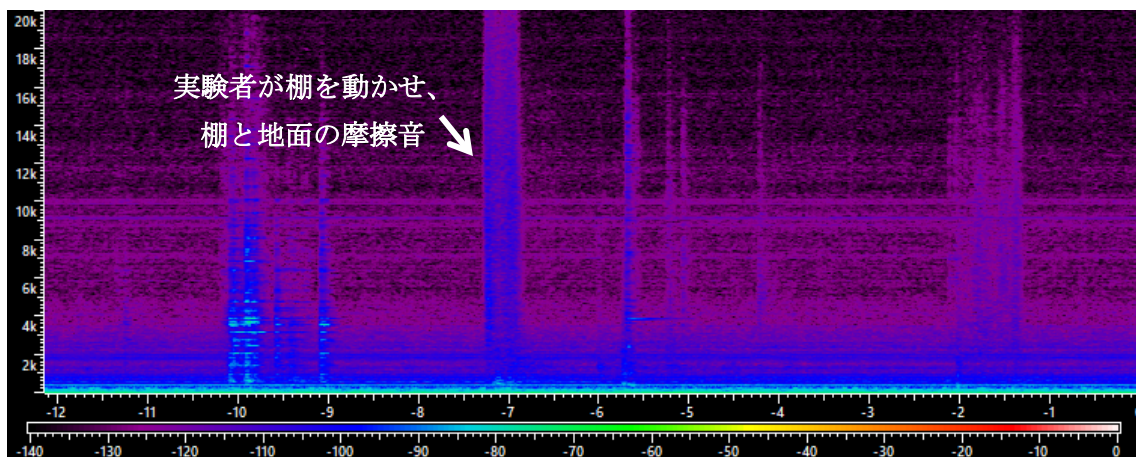


Fig. 3-3 棚と地面の摩擦音 (N: 2¹²)

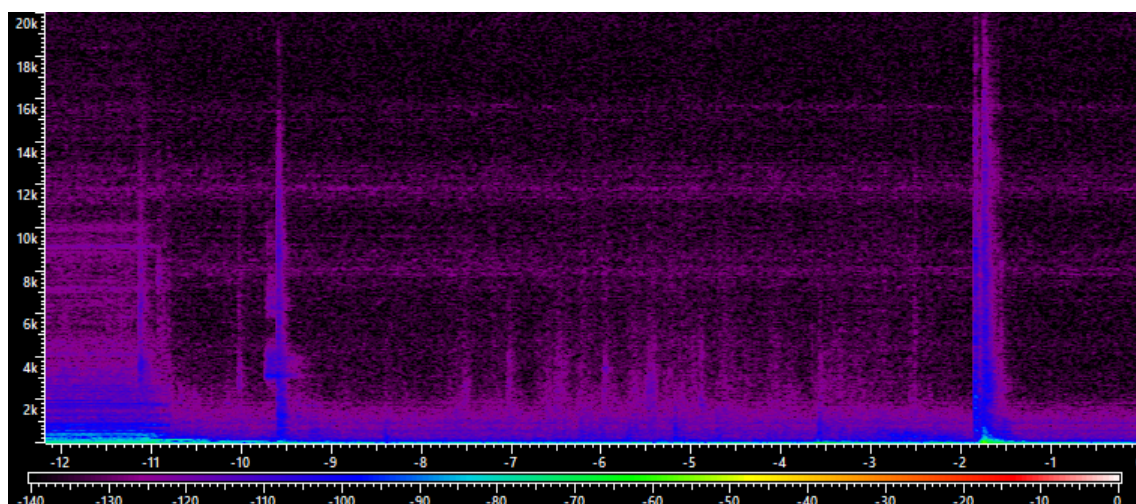


Fig. 3-4 バックグラウンド音・実験装置音・実験者行動音 (N: 2¹²)
 (①: 実験装置音 ②: 実験者行動音 ③: バックグラウンドである他の音)

第4章 実験装置音

実験装置音は、個人差の影響がなく、一つの機器から発せられる音は同種のスペクトログラム特徴を有する。例えば、異なる装置のアラーム音はそれぞれの特徴周波数を持つため、どの実験装置の音かを判別できる。また、運転中の実験装置の音の変化により、画像情報から分からない実験装置の稼働状況を反映することが期待される。これにより、実験装置音を第2章で解説したスペクトログラムの特徴に基づいてより定量的に分析した。

本研究で分析した実験装置は、超音波洗浄器、TOC計（Total Organic Carbon）、GC-FID（Gas Chromatography - Flame Ionization Detector）、蒸留水製造装置、バッチ式加熱装置、ヒュームフード、遠心分離機である。

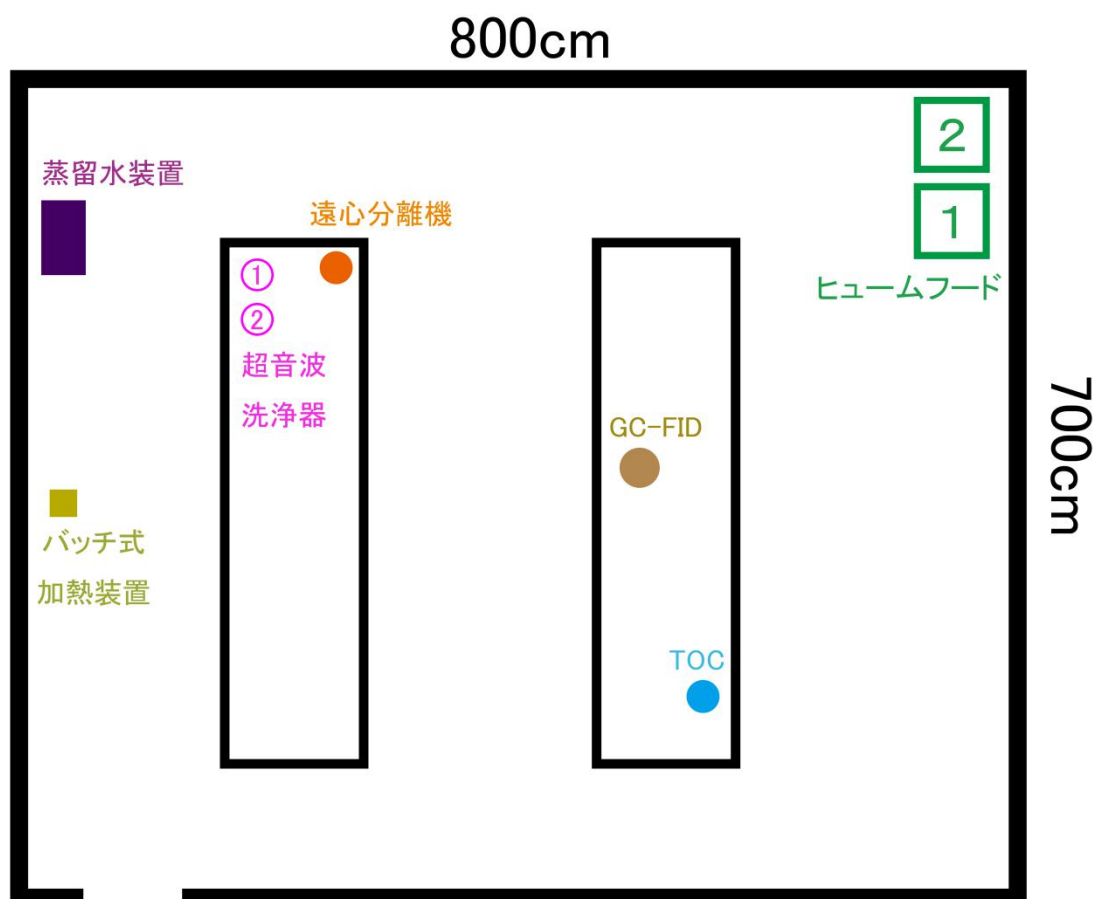


Fig. 4-1 実験装置の配置図

4.1 超音波洗浄器

本節は超音波洗浄器①と超音波洗浄器②を比較した (Table 4.1-1)。

Table 4.1-1 超音波洗浄器のスペック

項目	超音波洗浄器①	超音波洗浄器②
型番	アズワン US-4R	エスエヌディ US-1
出力	160 W	80 W
発振周波数	28 kHz/40 kHz	38 kHz

Fig. 4.1-1 は超音波洗浄器①をオンにした時の音であり、小さいピークが現れた直後、ベースが一瞬にして上がった。また、18200 Hz 付近で特徴周波数帯が現れた。次に、超音波洗浄器①の出力モード High と Low を 2^{16} のサンプリング点数を用いて分析した。Fig. 4.1-2 と Fig. 4.1-3 を比較すると、洗浄中の特徴周波数は変化しなかったが、ベースの部分は Low の方が約 5000 Hz 以上の周波数帯域の振幅がより低い。Fig. 4.1-4 は超音波洗浄器①をオフにした時の音であり、ベースが一瞬にして下がって約 0.1 s 小さいピークが現れた。

Fig. 4.1-5 は、毎回の操作のアラーム音である。Fig. 4.1-6 は超音波洗浄器②をオンにした時の音であり、アラーム音が現れた瞬間、約 0.1 s のベースがあがった。特徴周波数としては、19400 Hz 付近にある。Fig. 4.1-7 は 2^{16} のサンプリング点数を用いたスペクトログラムであり、超音波洗浄器①と比べ、特徴周波数が高いが、ベースはより小さい。Fig. 4.1-8 は超音波洗浄器②をオフにした時の音であり、アラーム音のピークはベースの下がりとはほぼ同時である。

これにより、超音波洗浄器であっても可聴域以内の特徴周波数と音の大きさの分析によって各種の超音波洗浄器の判別が可能と考えられる。

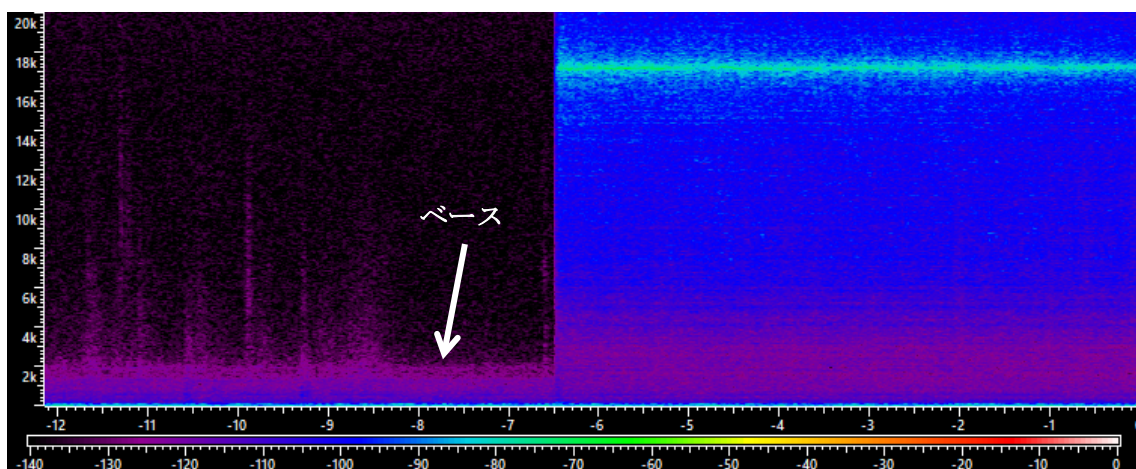


Fig. 4.1-1 超音波洗浄器①オン (N : 2¹²)

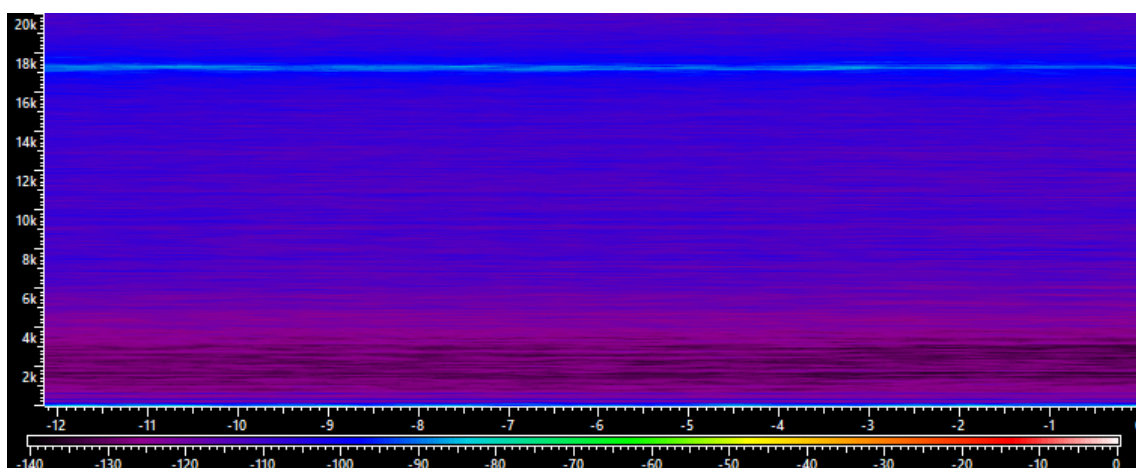


Fig. 4.1-2 超音波洗浄器①High (N : 2¹⁶)

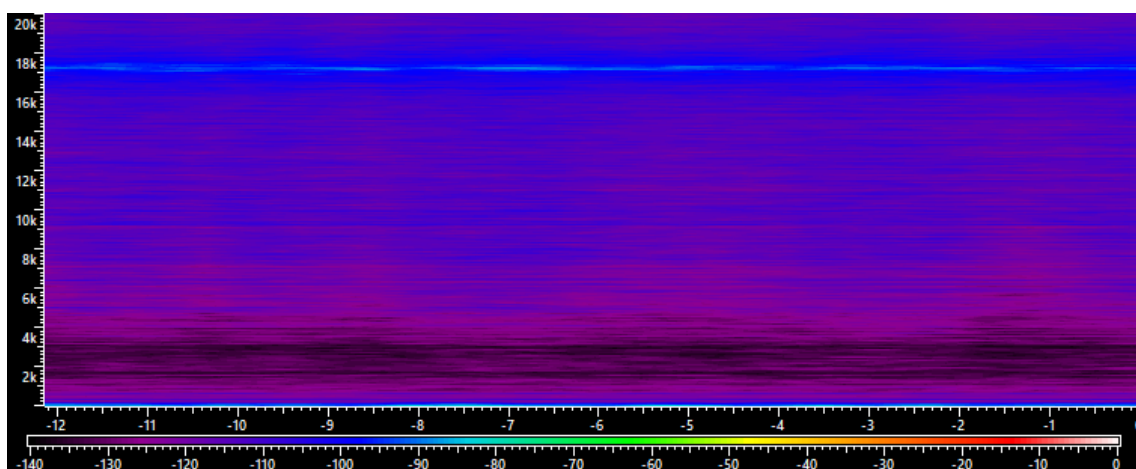


Fig. 4.1-3 超音波洗浄器①low (N : 2¹⁶)

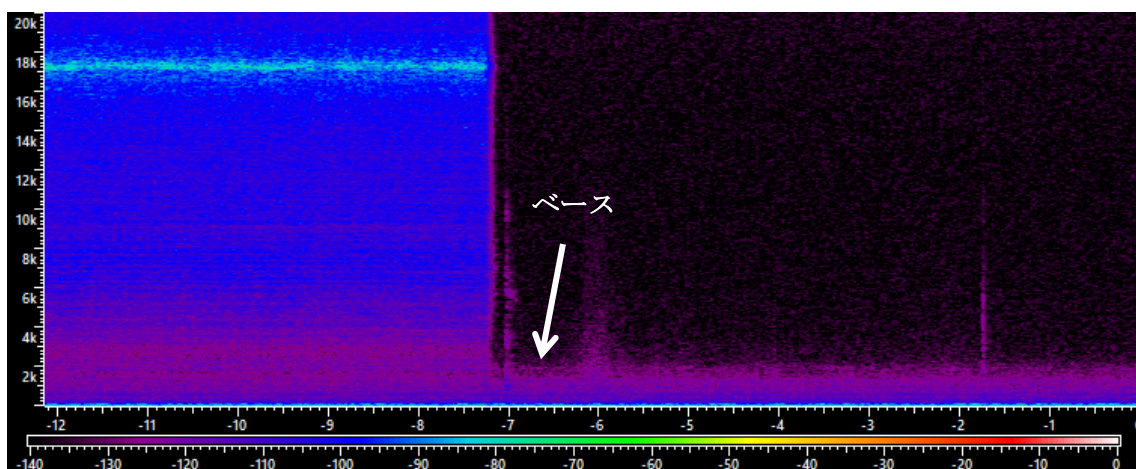


Fig. 4.1-4 超音波洗浄器①オフ (N: 2¹²)

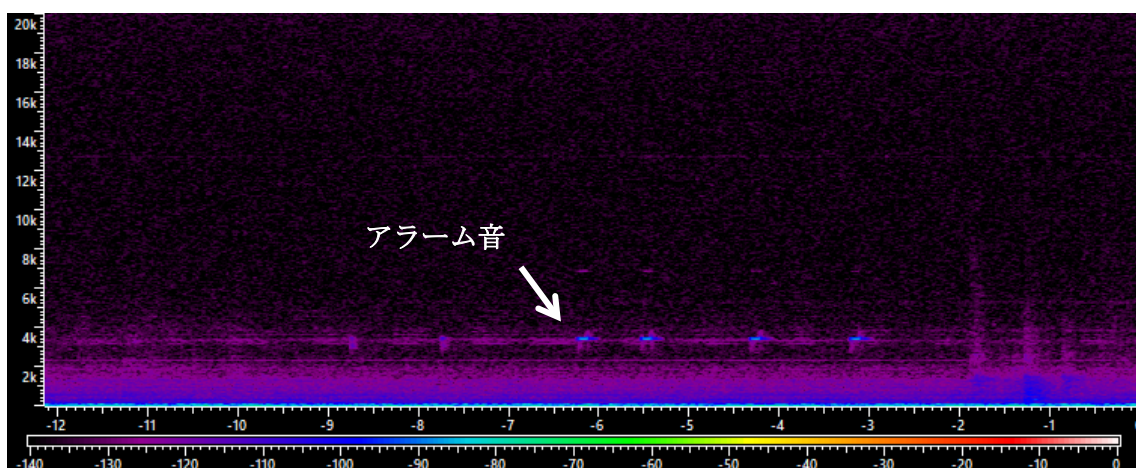


Fig. 4.1-5 超音波洗浄器②アラーム音 (N: 2¹²)

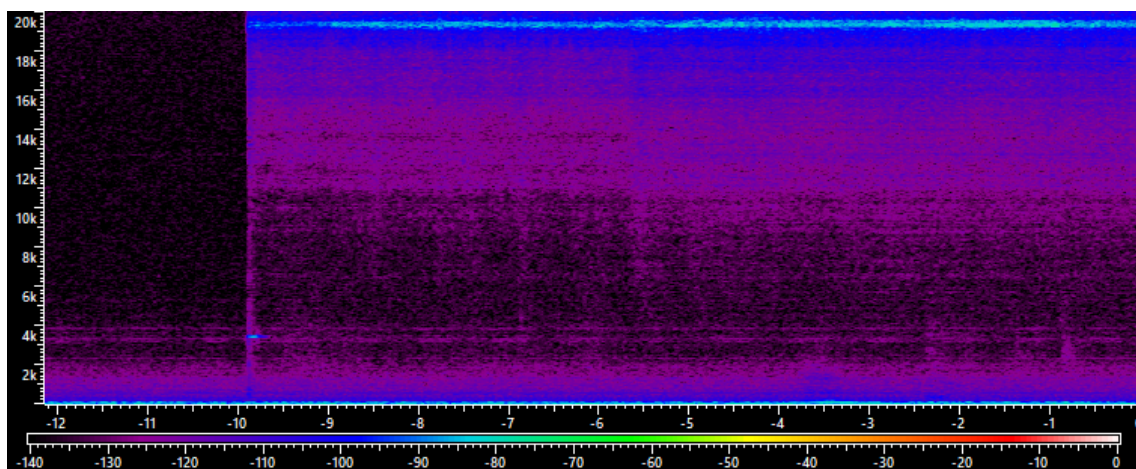


Fig. 4.1-6 超音波洗浄器②オン (N: 2¹²)

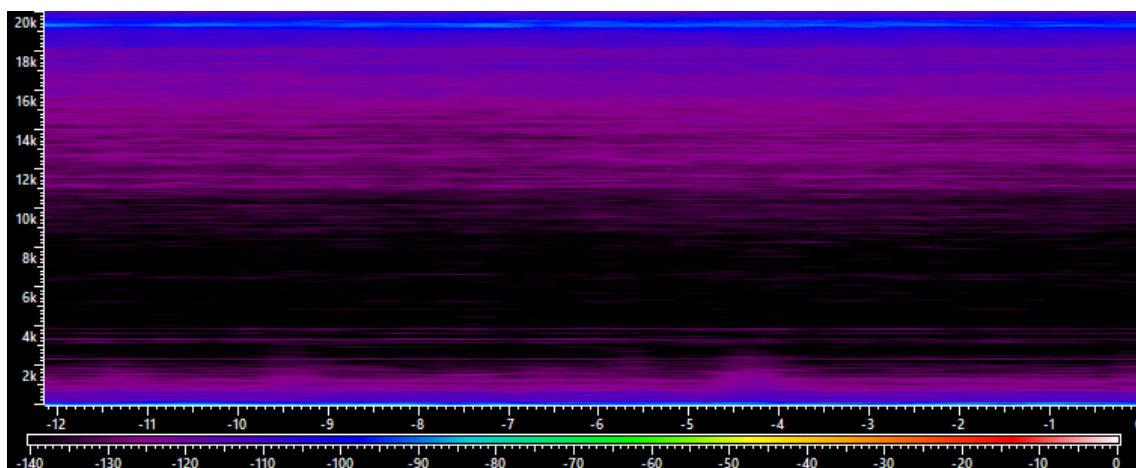


Fig. 4.1-7 超音波洗浄器②稼働中 (N : 2¹⁶)

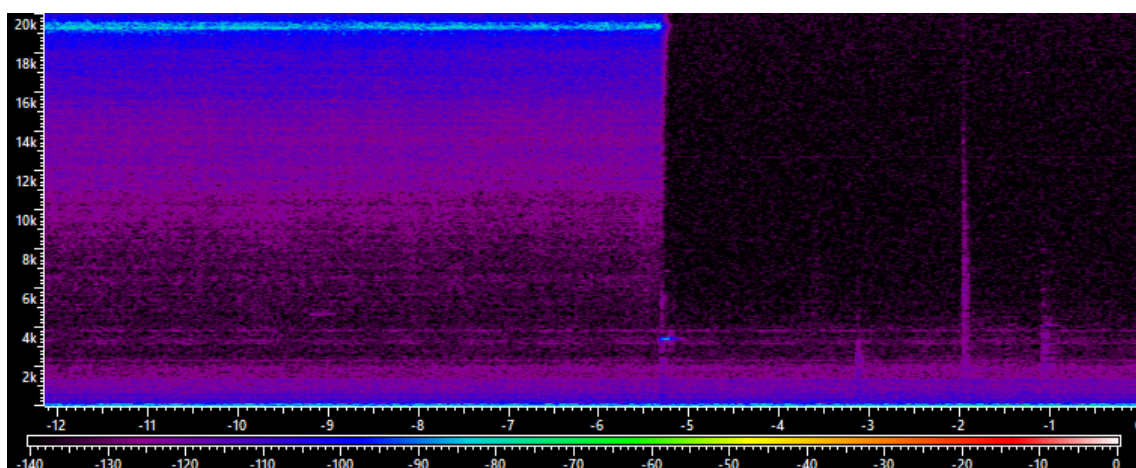


Fig. 4.1-8 超音波洗浄器②オフ (N : 2¹²)

4.2 TOC 計

本節では、TOC-5000 (A) SHIMADZU を対象として稼働状態の音を分析した。TOC 計を用いたサンプルの分析は、「通気」「標準液の調製」「稼働」「サンプルの測定」「停止」の順で行われる。ここでは、「稼働」「サンプルの測定」に対して分析した。

TOC 計が稼働している時に、約 9200 Hz と約 10000 Hz の特徴周波数を持つことが明らかになった (Fig. 4.2-1)。また、装置の稼働した直後、約 10000 Hz の特徴周波数が現れ、約 9200 Hz の特徴周波数がその後に現れた (Fig. 4.2-2)。約 10000 Hz の特徴周波数は TOC 計の電源を入れた際の音に由来するものであり、約 9200 Hz の特徴周波数は燃焼炉が高い温度を保った時のヒーターの稼働音に由来するものと推測される。

「サンプルの測定」は、「オートサンプラーの稼働音」「サンプリング」「注射」「測定」「洗浄」「完了アラーム音」を含めていた。その中、「サンプリング」 (Fig. 4.2-3) はオートサンプラーの針からサンプルを取る音である。高周波数帯域における持続時間内の振幅が僅かに変化した。全周波数帯域における持続時間 (約 0.3 s) が大体同じだけでなく、毎回の再現性が高い。「洗浄」 (Fig. 4.2-4、Fig. 4.2-5、Fig. 4.2-6) について、三回の洗浄音はスペクトログラムにおける形状がほぼ同じである。また、「完了アラーム音」は毎回のサンプルの測定完了を示す音であり、持続時間は約 0.5 s で、約 2100 Hz と約 4200 Hz の特徴周波数を持つ。しかしながら、これら以外の装置音もあるが、背景音に重なっている可能性と、今日対象としている周波数領域では観測できない可能性があると考えられる。

これにより、稼働中の特徴周波数 (約 9200 Hz と約 10000 Hz)、洗浄過程の機械音、測定完了時のアラーム音から、TOC 計の稼働状況を確認することが可能と考えられる。

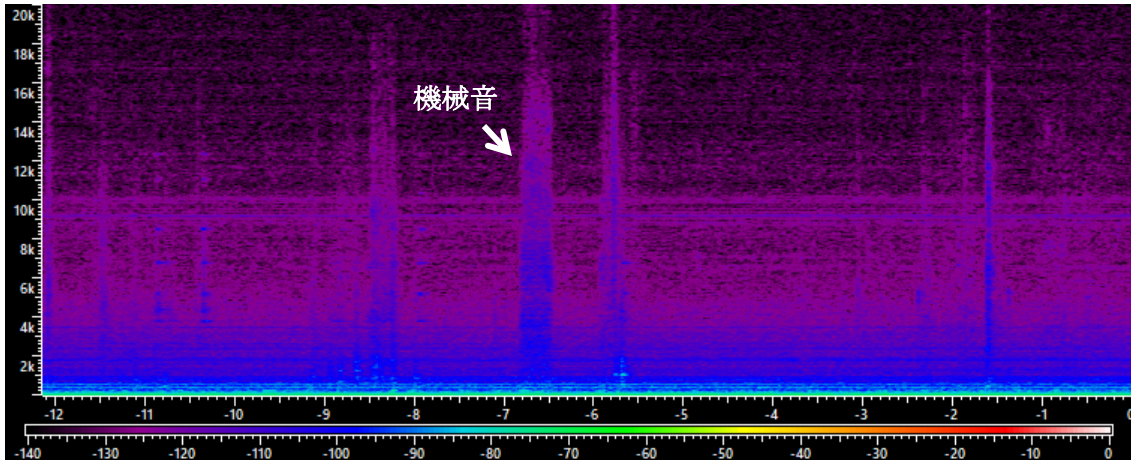


Fig. 4.2-1 TOC 計の特徴周波数・TOC 「サンプルの移動」 (N : 2¹²)

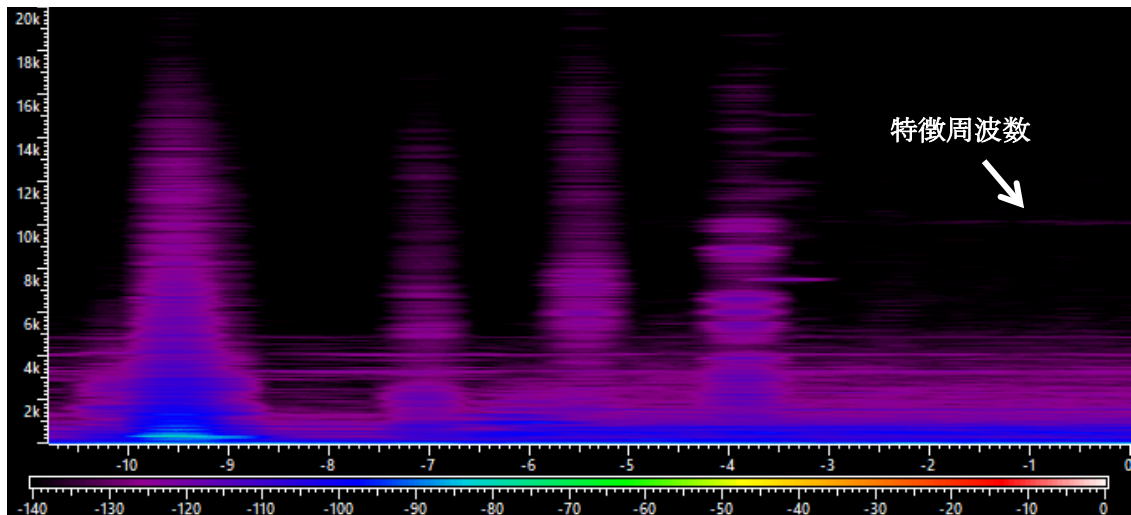


Fig. 4.2-2 TOC 計オンにした直後の特徴周波数 (N : 2¹⁶)

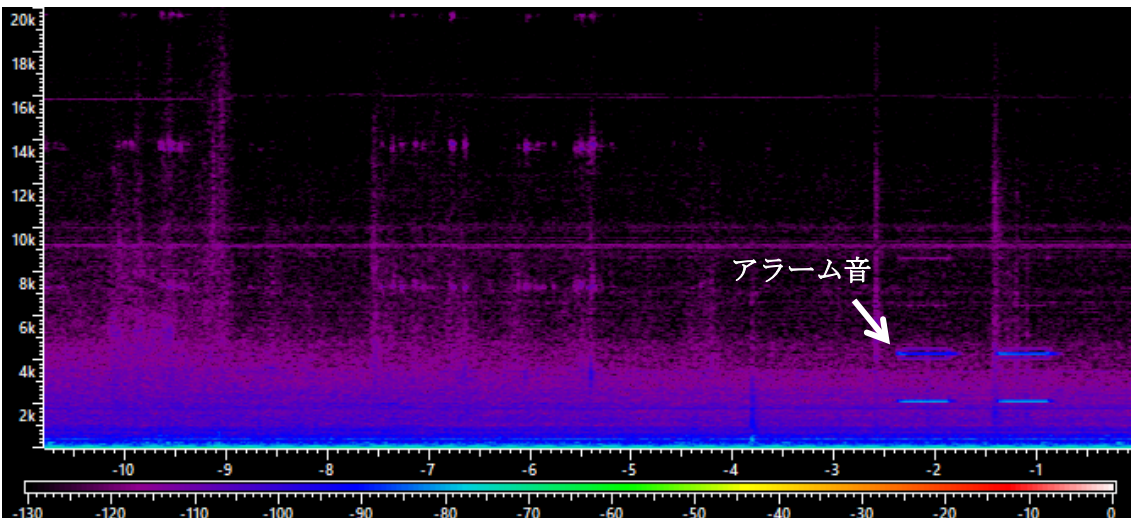


Fig. 4.2-3 TOC 計「完了アラーム音」 (N : 2¹²)

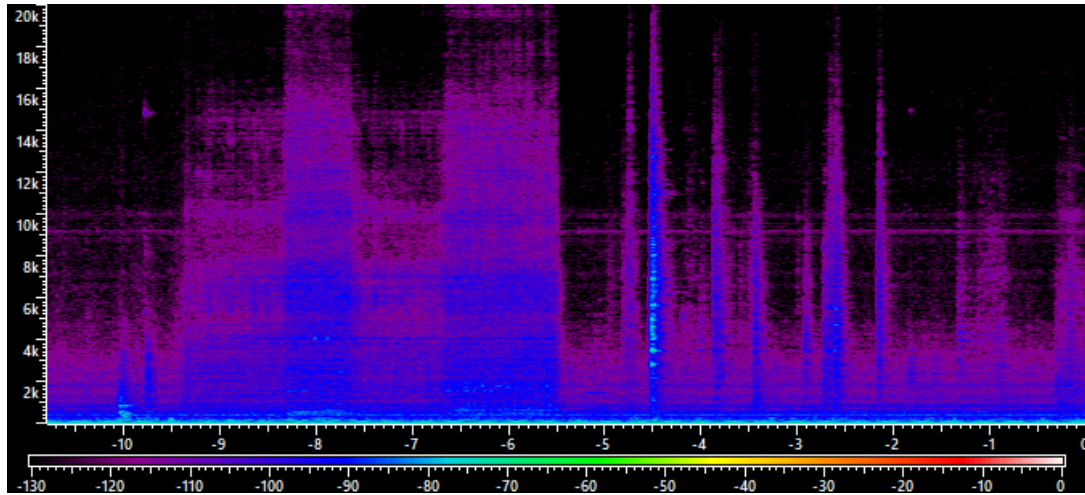


Fig. 4.2-4 TOC 計「洗淨」① (N : 2¹²)

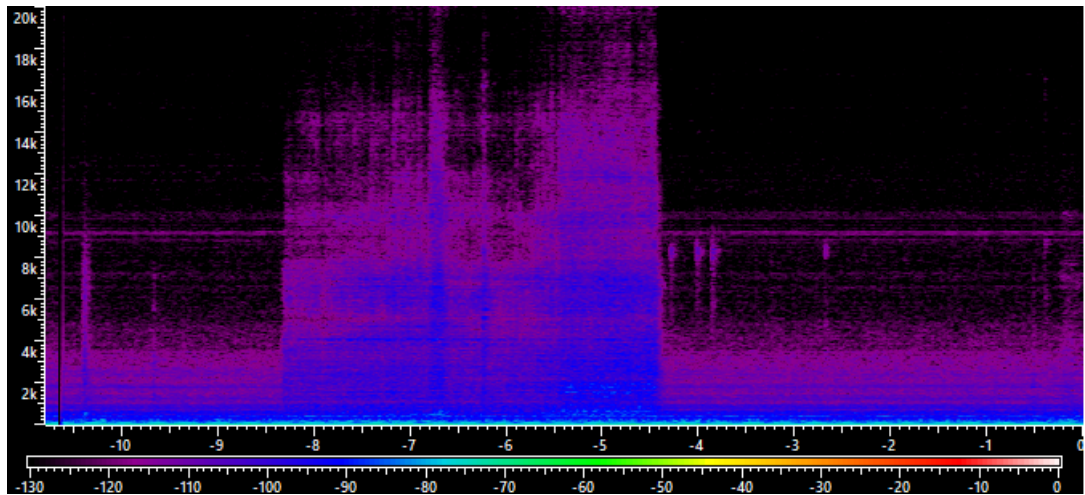


Fig. 4.2-5 TOC 計「洗淨」② (N : 2¹²)

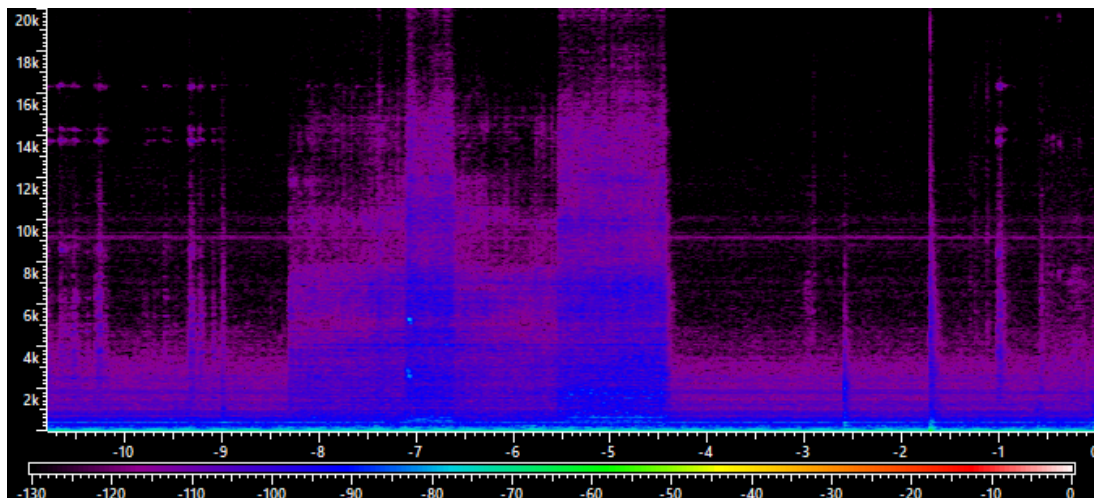


Fig. 4.2-6 TOC 計「洗淨」③ (N : 2¹²)

4.3 GC-FID

「GC-FID」は、「ポンベの操作」「電源入」「パラメータ設定」「点火」「昇温過程」「試薬交換」「冷却過程」などたくさんの手順から構成されている。「ポンベの操作」はガスの調節弁を開閉する作業で、周波数領域にある程度の倍音が存在する。また、「電源入」「パラメータ設定」などの動作は、持続時間が短く、特徴として信頼性が高くないと考えられる。ここで、実験装置自体の音である「点火」「昇温過程」「アラーム音」「冷却過程」に着目して分析した。

「点火」(Fig. 4.3-1)は、スペクトログラムにおいて約 5000 Hz と 10000 Hz の特徴周波数を持つ。「昇温過程」(Fig. 4.3-2)は、 2^{16} のサンプリング点数を用いてより高い精度で特徴周波数を分析した結果、他の特徴周波数も存在していたが、最も大きい振幅を有した約 10000 Hz の特徴周波数が、判別の根拠と考えられる。「アラーム音」(Fig. 4.3-3)の持続時間は約 1.0 s であり、昇温と冷却過程の中で一定の温度に至った時に現れた。「冷却過程」(Fig. 4.3-4、Fig. 4.3-5)は、 2^{16} のサンプリング点数を用いて解析した結果、10000 Hz 付近の特徴周波数の消失を確認したが、5000 Hz 付近にはまだ残っていた。続いて、冷却が完了した際には、残っていた 5000 Hz 付近の特徴周波数も消失した。

故に、スペクトログラムにおける特徴周波数により、GC-FID の稼働状況を表すことが可能と考えられる。

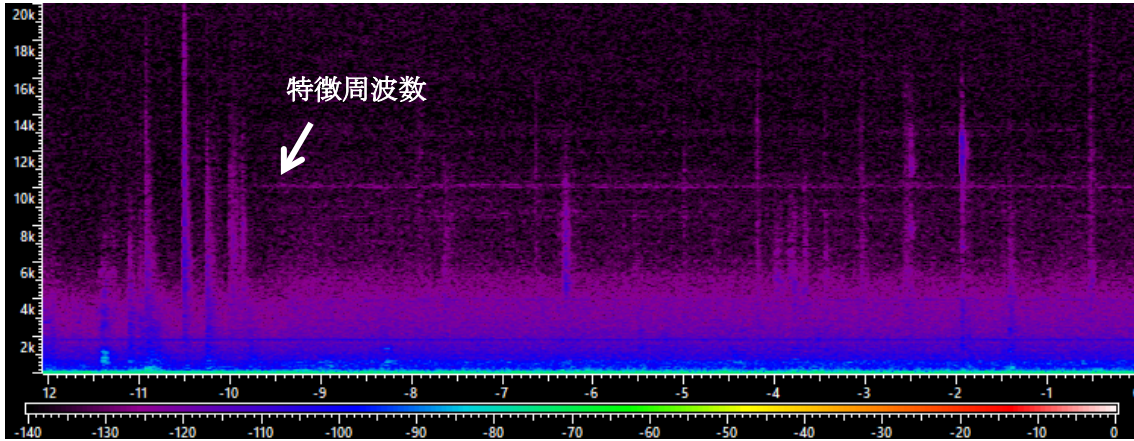


Fig. 4.3-1 点火 ($N : 2^{12}$)

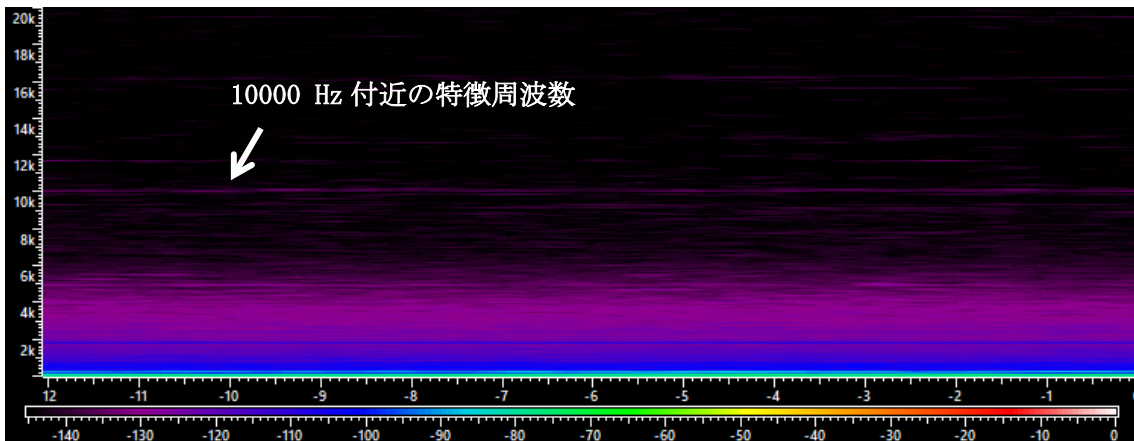


Fig. 4.3-2 昇温過程 ($N : 2^{16}$)

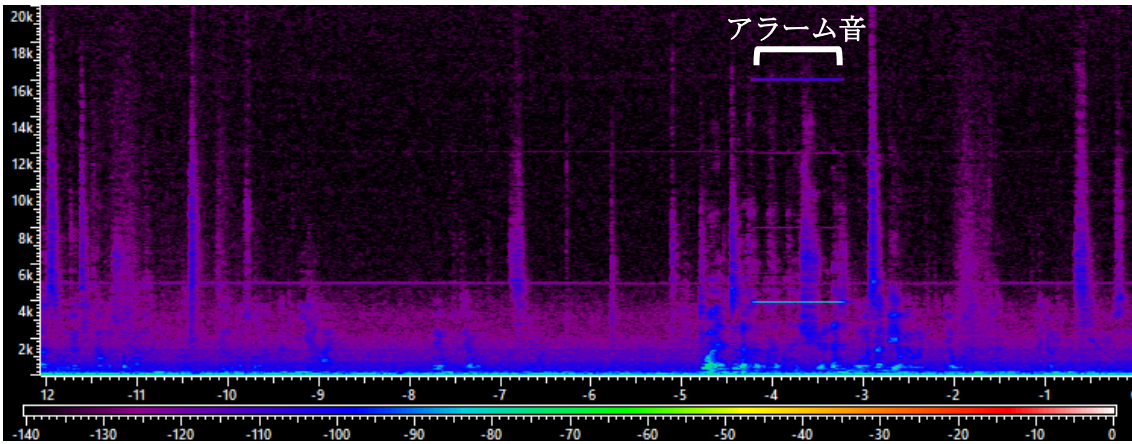


Fig. 4.3-3 アラーム音 (N : 2¹²)

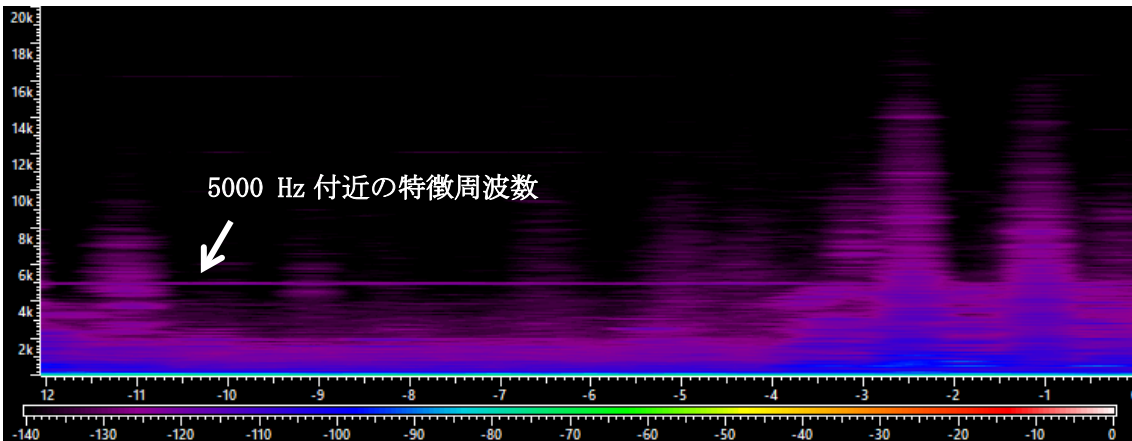


Fig. 4.3-4 冷却過程 (N : 2¹⁶)

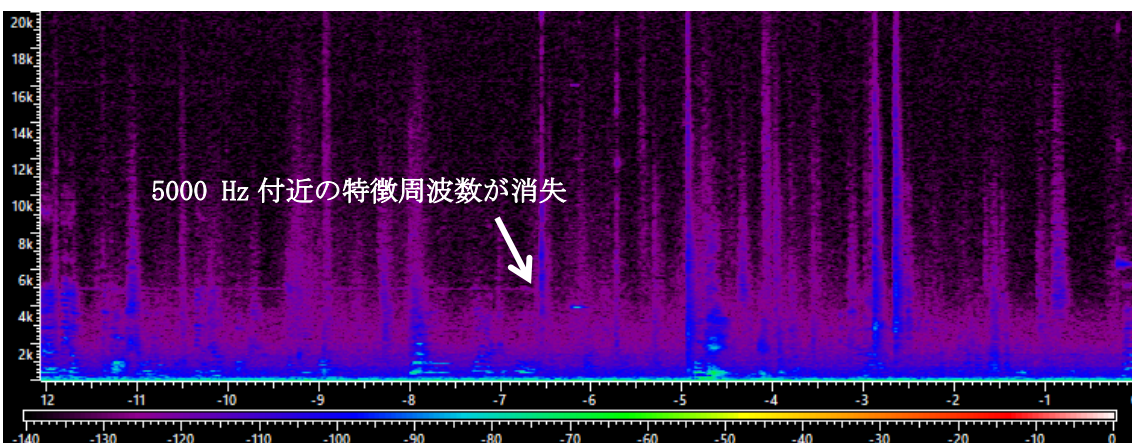


Fig. 4.3-5 冷却完了 (N : 2¹²)

4.4 バッチ式加熱装置

バッチ式加熱装置の作動は「加熱」と「冷却」しかなく、また画像情報だけで判別するのは十分と考えられるが、本研究の対象である工学系実験室での使用頻度が高いため分析した。

バッチ式加熱装置は、「加熱」において約 8600 Hz から約 9800 Hz までの特徴周波数帯を持つ (Fig. 4.4-1、Fig. 4.4-2)。また、「冷却」は電源が切れた後 (Fig. 4.4-3)、約 30 秒間は稼働音がしていた (Fig. 4.4-4)。その後、稼働音はなくなり、ベースに戻った (Fig. 4.4-5)。

このように、バッチ式加熱装置の特徴周波数帯が存在から、他の音を分析する時にバッチ式加熱装置の音が測定結果への影響を与える可能性は低いと考えられる。

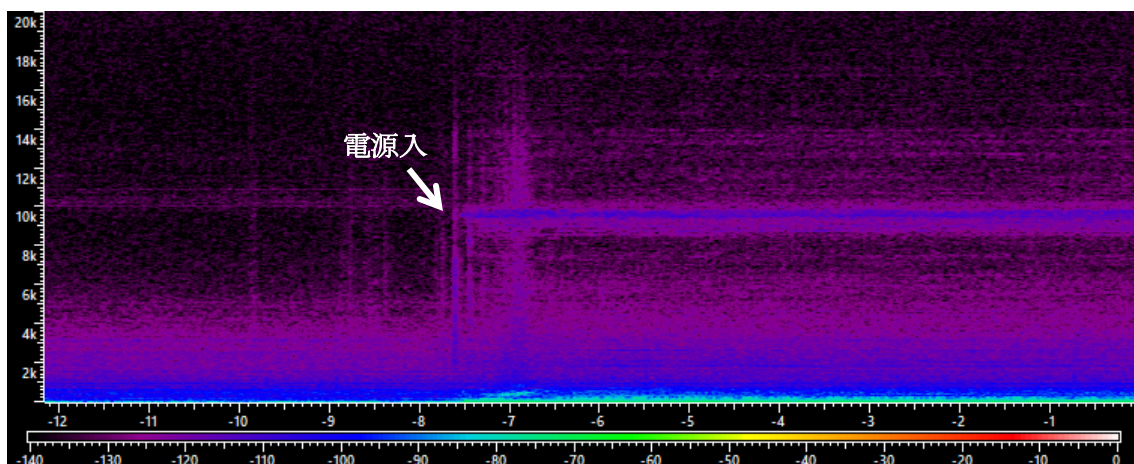


Fig. 4.4-1 バッチ式加熱装置オン (N : 2¹²)

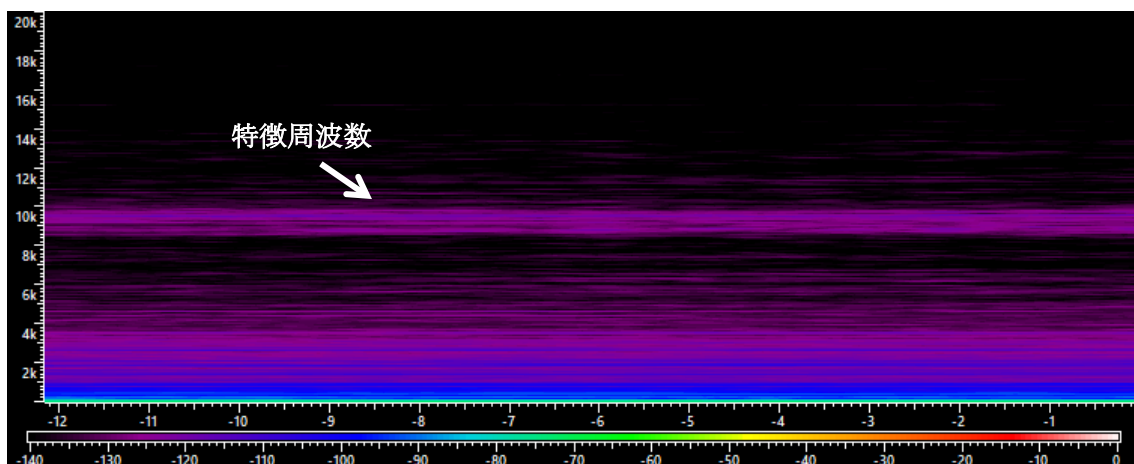


Fig. 4.4-2 バッチ式加熱装置の特徴周波数 (N : 2¹⁶)

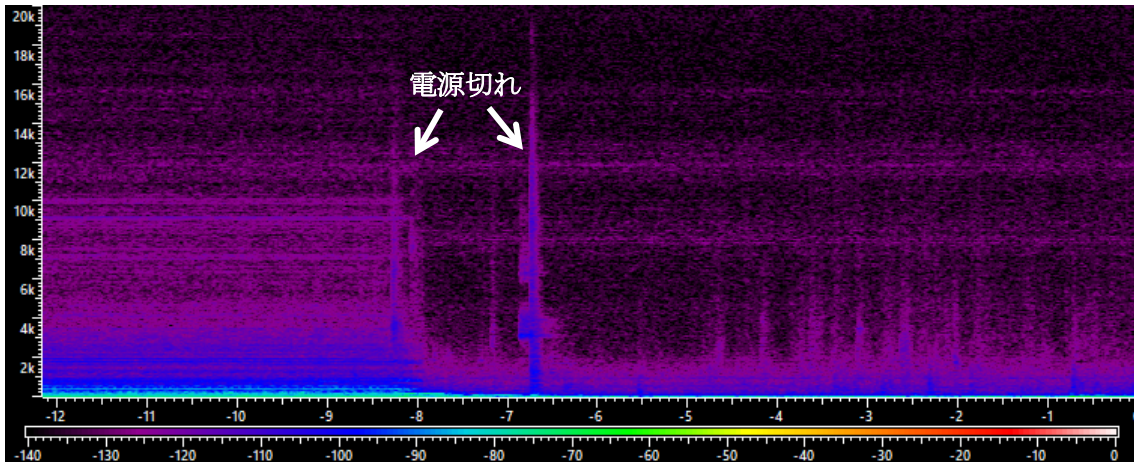


Fig. 4.4-3 バッチ式加熱装置の特徴周波数 (N : 2¹⁶)

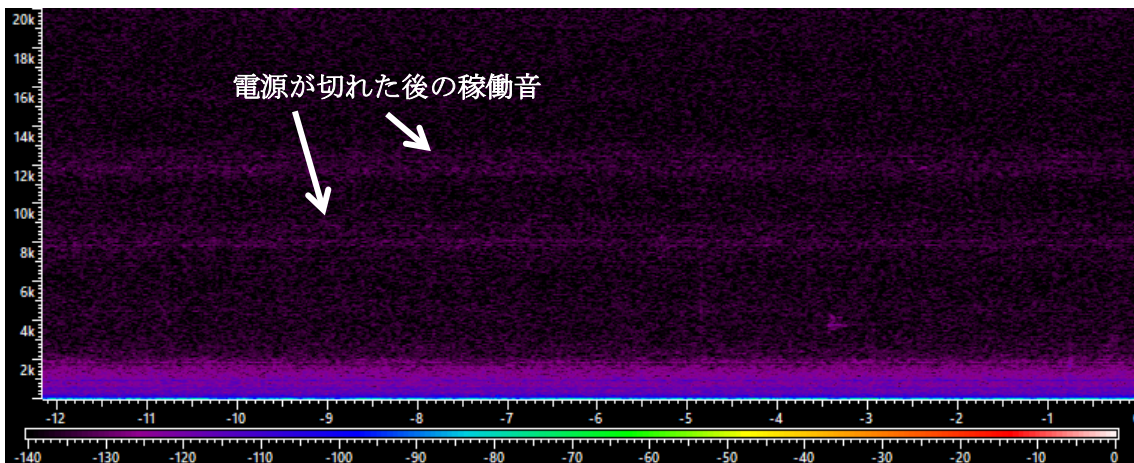


Fig. 4.4-4 バッチ式加熱装置の特徴周波数 (N : 2¹⁶)

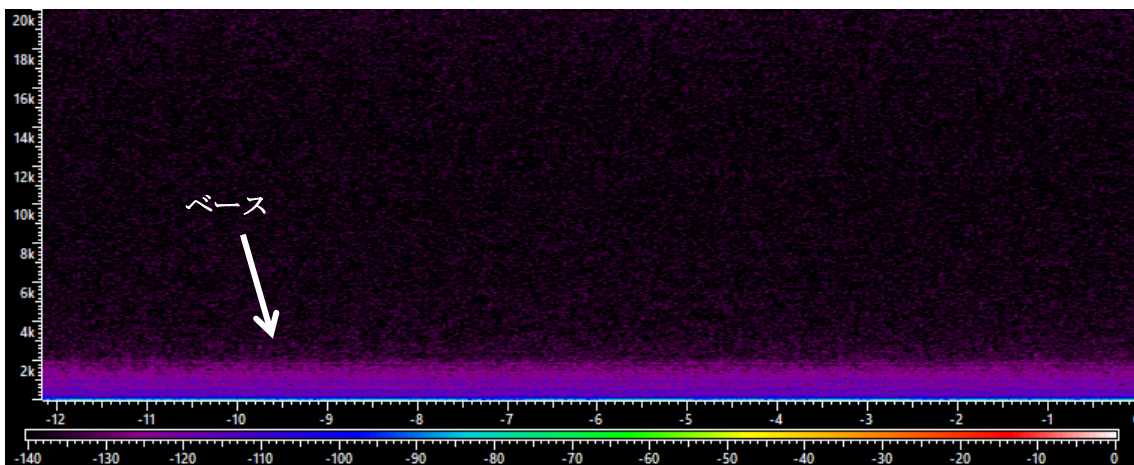


Fig. 4.4-5 バッチ式加熱装置の特徴周波数 (N : 2¹⁶)

4.5 蒸留水製造装置

蒸留水製造装置の型番は RFD240HA であり、操る手順は「蛇口調節」「蒸留水の製造（ボタン①）」「蒸留水の採水（ボタン②）」「容器に蒸留水が入る」「蒸留水の採水を停止（ボタン②）」「蒸留水製造の停止（ボタン①）」から構成されたが、対象装置の蒸留水は常に蒸留水を製造しているため、「蒸留水製造の停止（ボタン①）」の部分抜いて分析した。「蛇口調節」（Fig. 4.5-1）は装置に給水するプロセスであるが、持続時間が不安定であったが、明らかな倍音が存在していた。ボタン①を押す時（Fig. 4.5-2）は、アラーム音（特徴周波数：約 1900 Hz と 3800 Hz、持続時間：約 0.4 s）が現れた。「蒸留水の採水（ボタン②）」（Fig. 4.5-3）はアラーム音が現れたが、ボタン①を押す時のアラーム音と特徴周波数・持続時間が同じである。「容器に蒸留水が入る」（Fig. 4.5-4）は水が容器にぶつかる音が存在すべきであるが、音が小さいので観察できなかった。

次に、「蒸留水の製造（ボタン①）」について検討する。蒸留水が製造したまま、蒸留水の採水を停止した後（Fig. 4.5-5）、約 30 秒間をかかって新しい蒸留水が製造され（Fig. 4.5-6）、約 2200 Hz から 2500 Hz までの周波数帯域が縮んだ。

以上より、アラーム音と特徴周波数帯域を根拠とし蒸留水製造装置の特定が可能と示された。また、実験装置の異なる作動が同じアラーム音を使った場合、「蛇口調節」のような実験者行動音と合わせて分析すれば、実験装置の稼働状況を判別するための一つの手法になると考えられる。

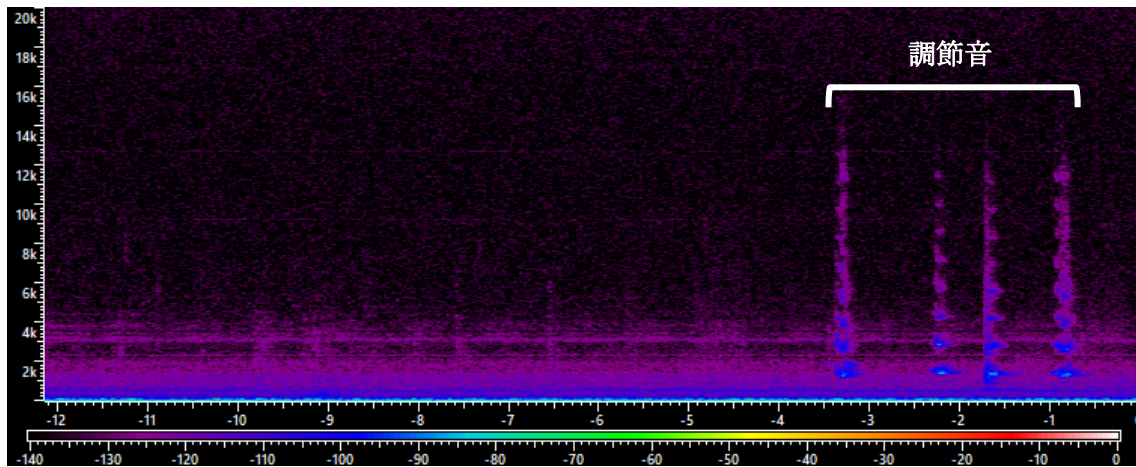


Fig. 4.5-1 「蛇口調節」 (N : 2¹²)

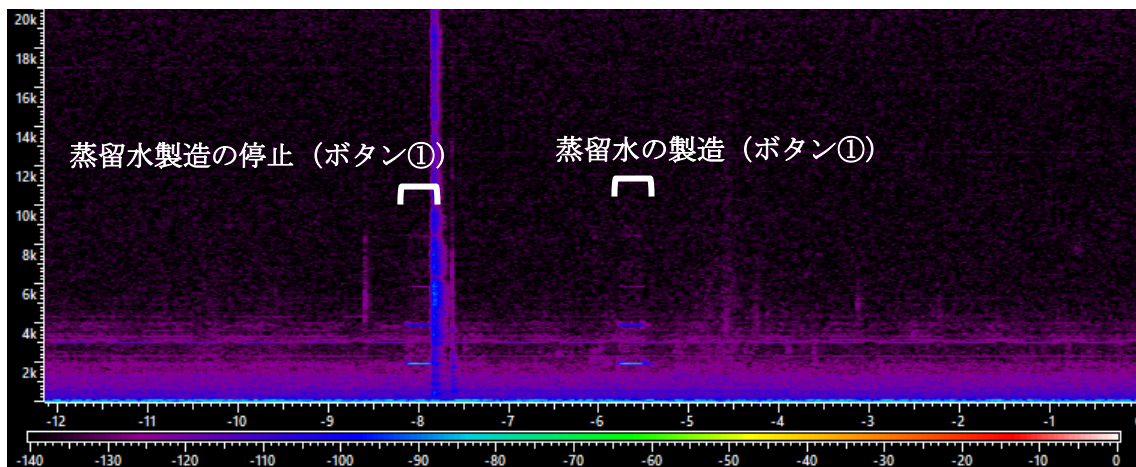


Fig. 4.5-2 「ボタン①を押す」 (N : 2¹²)

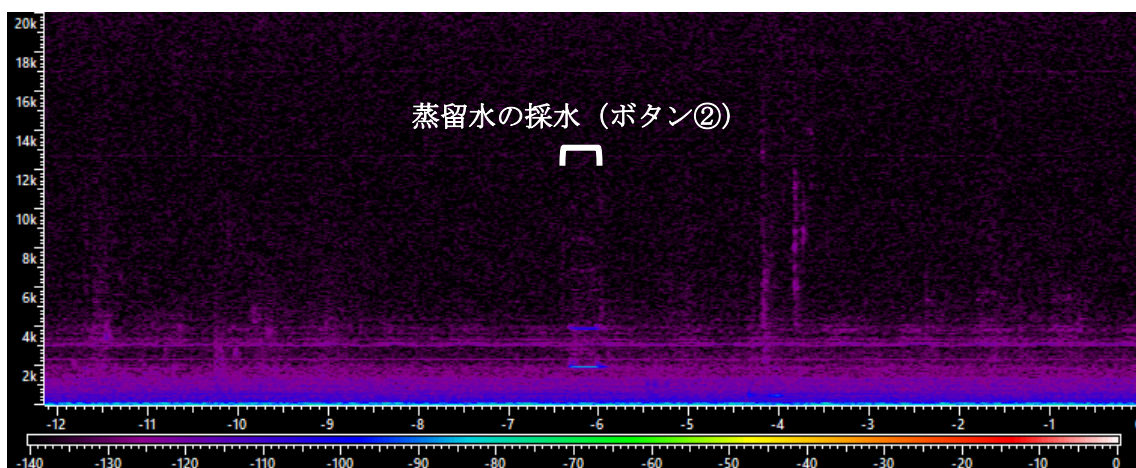


Fig. 4.5-3 「蒸留水の採水 (ボタン②)」 (N : 2¹²)

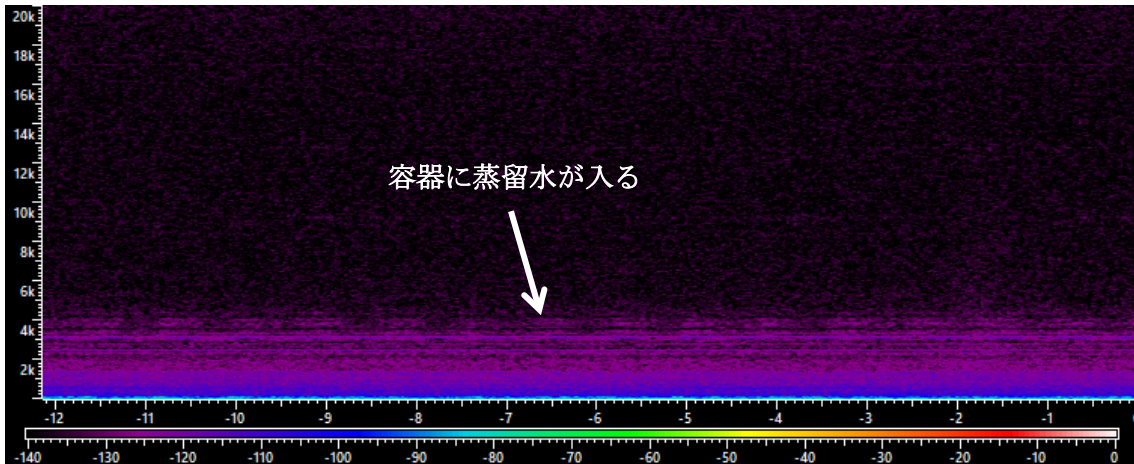


Fig. 4.5-4 「容器で蒸留水を取る」 ($N: 2^{12}$)

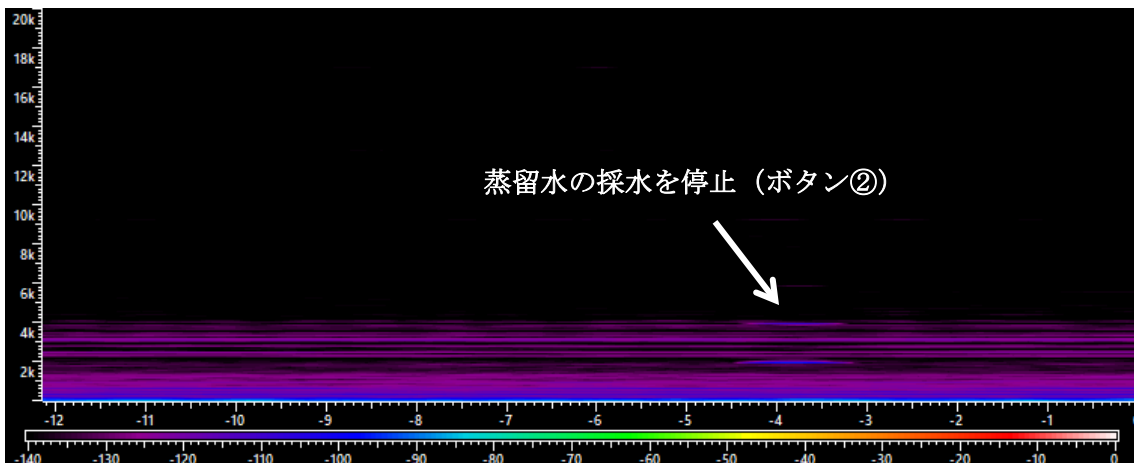


Fig. 4.5-5 「蒸留水の採水を停止 (ボタン②)」 ($N: 2^{16}$)

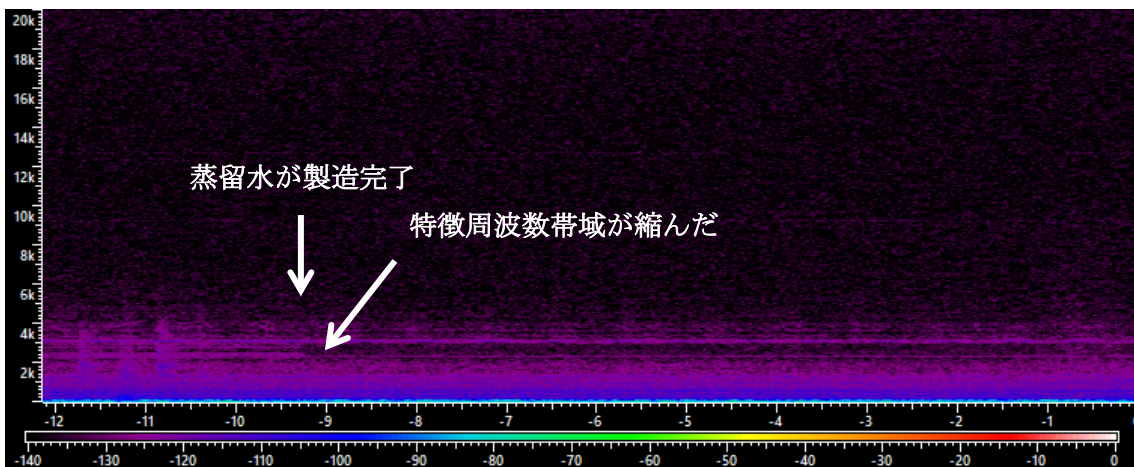


Fig. 4.5-6 蒸留水製造完了 ($N: 2^{12}$)

4.6 ヒュームフード

4.6.1 同種のヒュームフードに対して異なる風量の分析

本節では、同型番（イトーキ BP-F126CLS）の二つのヒュームフード①、②の稼働前後の音と稼働音を分析し、②の風量が①より大きい。

波形（Fig. 4.6.1-1）を見ると、稼働したらベースが明らかに上がり、ヒュームフード①より、ヒュームフード②の振幅が大きいと見える。これは、風量の違いと考えられる。スペクトログラムで見ると、ヒュームフード①の稼働直前の音は、Fig. 4.6.1-2 のように「ボタンを押す」「機械音」「ベースが上がる」の三つの部分から構成された。「ボタンを押す」は短い持続時間であり、約 16000 Hz までの周波数帯域の振幅が近い。「機械音」は二つのピークが存在し、約 12000 Hz に分布する。また、高周波数帯域より、低周波数帯域の持続時間が長い。「ベースが上がる」は「ボタンを押す」の後、約 2.6 秒間をかかり、高い周波数の振幅がどんどん大きくなり、約 5000 Hz に至って安定する。ヒュームフード①の稼働中の音（Fig. 4.6.1-3）は、約 1400 Hz と 5000 Hz の特徴周波数を持つ。また、約 3000 Hz 以下の音が 3000 Hz と 5000 Hz の間より、振幅が大きい。ヒュームフード①の稼働直後の音（Fig. 4.6.1-4）は、「ボタンを押す」「ベースが下がる」「機械音」三つの部分から構成された。「ボタンを押す」は稼働音と重なったので、小さいピークしかなかった。「ベースが下がる」は「ボタンを押す」後、約 1.0 秒間をかかって元のベースに下がった。「機械音」は稼働直前と違い、ベースが変化した後一つピークで現れた。低周波数帯域から約 12500 Hz までの高周波数帯域で持続時間が短くなり、低周波数帯域の振幅が稼働直前の「機械音」より大きい。

ヒュームフード②の稼働直前の音（Fig. 4.6.1-5）は「アラーム音」「機械音」「ベースが上がる」三つの部分から構成された。「アラーム音」の持続時間は約 0.2 s であり、約 2600 Hz と約 5200 Hz の特徴周波数を持つ。「機械音」は「アラーム音」の直後に現れ、低周波数帯域から約 16800 Hz までの高周波数帯域で持続時間が短くなった。「ベースが上がる」は「アラーム音」後、約 1.5 秒間をかかり、高い周波数の振幅がどんどん大きくなった。ヒュームフード②の稼働中の音（Fig. 4.6.1-6）は、約 600 Hz と 1800 Hz の特徴周波数を持つ。また、約 9000 Hz と 13000 Hz を境にして低周波数帯域は高周波数帯域より振幅が大きい。ヒュームフード②の稼働直後の音（Fig. 4.6.1-7）は、「アラーム音」「機械音」「ベースが下がる」三つの部分から構成された。「アラーム音」は約 2600 Hz の特徴周波数を持つが、約 5200 Hz の特徴周波数が稼働音に重なっていたと考えられる。「機械音」も同様に、小さいピークしか見えない。「ベースが下がる」は約 1.5 秒間かかって元のベースに戻った。

この結果により、構成音であるヒュームフード稼働前後の音と風量の増減のパターンが

わかり、ヒュームフードの稼働条件が判別できる。

次、ヒュームフードの稼働音の周波数成分を分析することで、ヒュームフードの風速を測ることが期待され、模擬実験を行った。

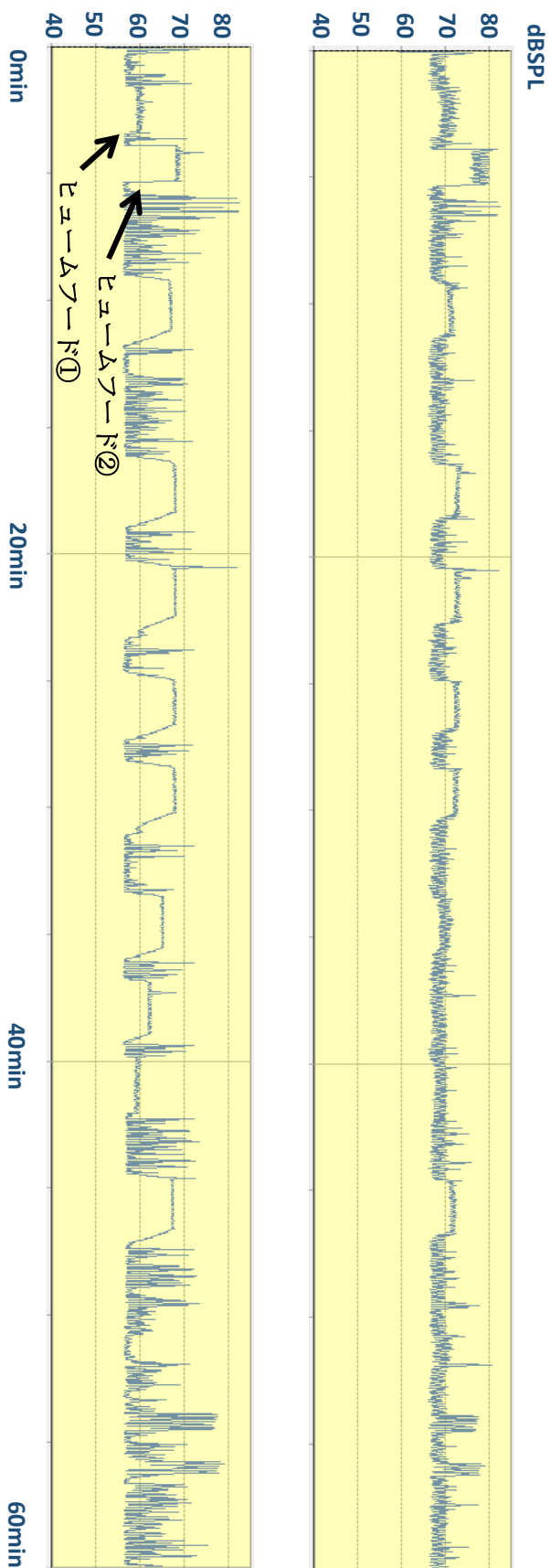


Fig. 4.6.1-1 ヒュームフード①、②の波形
(上：Z 下：A)

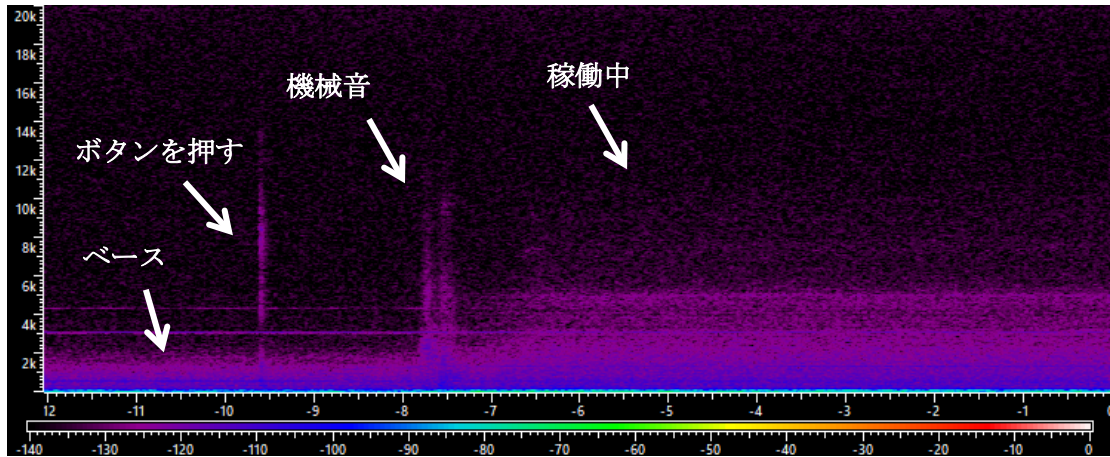


Fig. 4.6.1-2 ヒュームフード①稼働直前 (N : 2¹²)

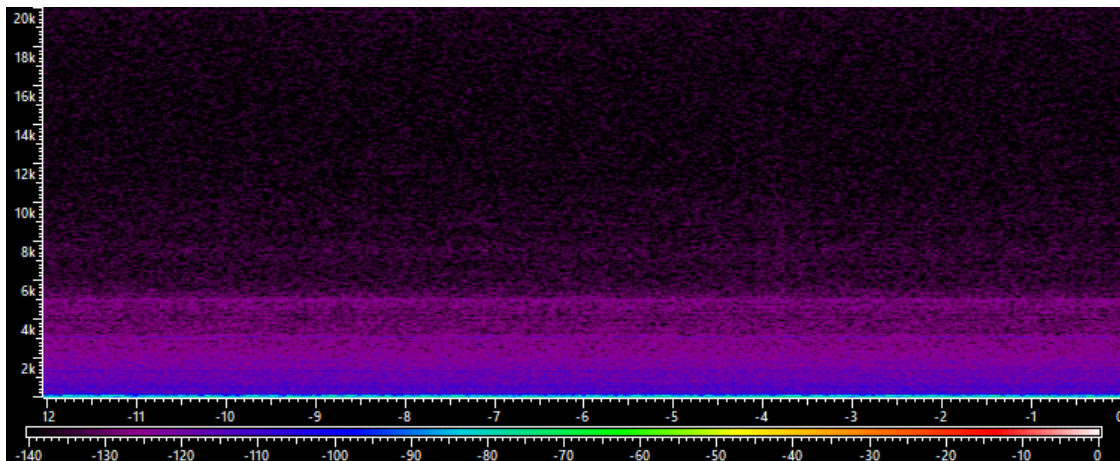


Fig. 4.6.1-3 ヒュームフード①稼働中の特徴周波数 (N : 2¹²)

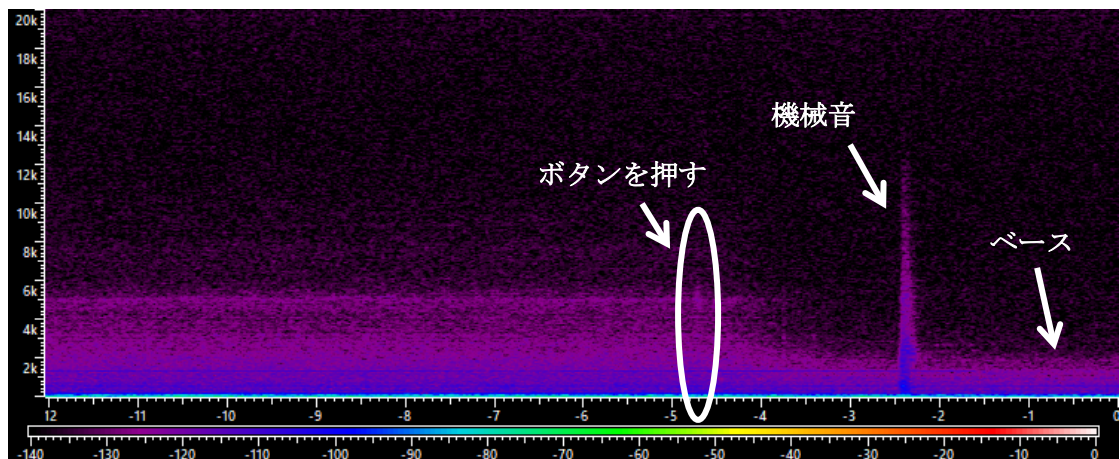


Fig. 4.6.1-4 ヒュームフード①稼働直後 (N : 2¹²)

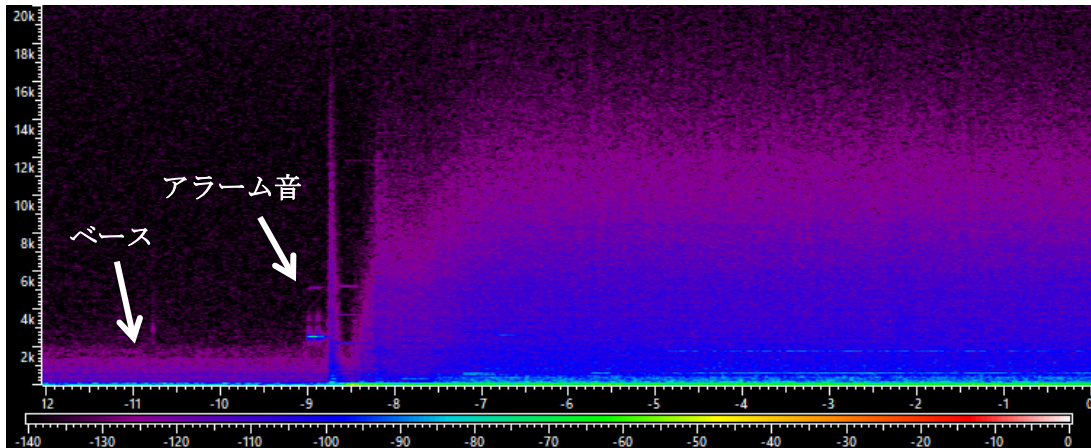


Fig. 4.6.1-5 ヒュームフード②稼働直前 (N : 2¹²)

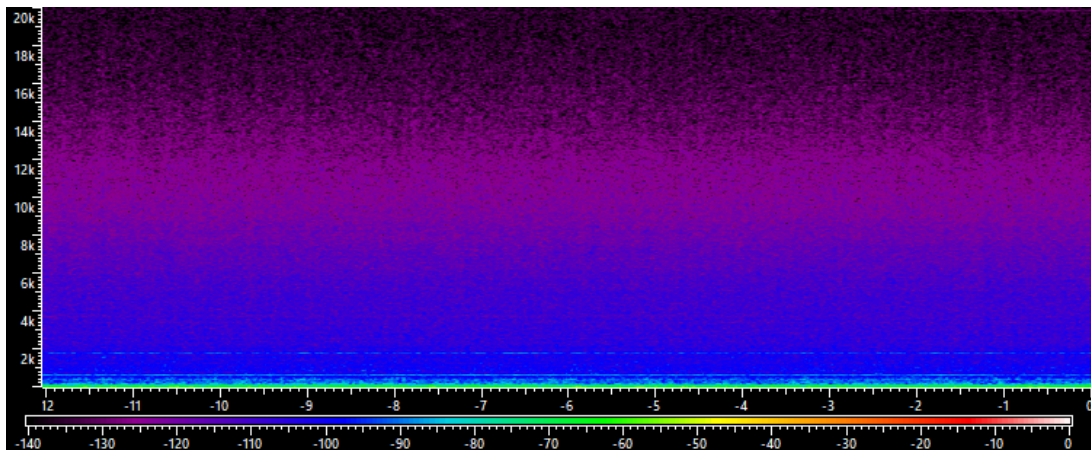


Fig. 4.6.1-6 ヒュームフード②稼働中の特徴周波数 (N : 2¹²)

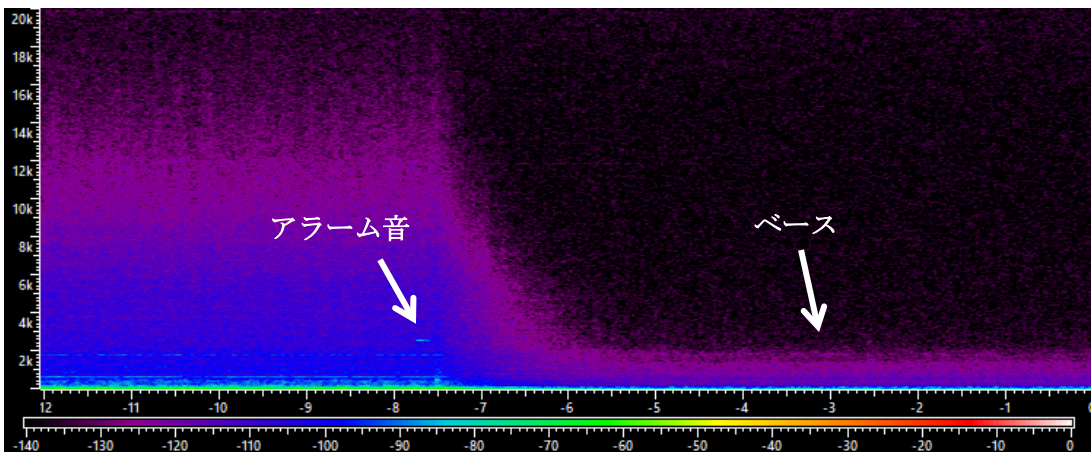


Fig. 4.6.1-7 ヒュームフード②稼働直後 (N : 2¹²)

4.6.2 同一ヒュームフードに対して異なる風量の周波数成分分析

模擬実験は Fig. 4.6.2-1 の静かな部屋（ヒュームフード③しかない）で行われた。Fig. 4.6.2-2 は電源を入れ、ベースが二段階で上がったスペクトログラムである。

まず、排気と給気の出力を変更した同時に、クリモマスター 6501-00 風速計を用いてヒュームフードの面風速を測定し、それぞれのスペクトログラム (Fig. 4.6.2-3 ~ Fig. 4.6.2-7) を比較した。出力とヒュームフード面風速の関係は Table 4.6.2-1 に示した。(風速計を読んだ数値は三秒間以上保たなければ、無効な数値と見なす。) これにより、給気出力が上がったと共に、ベースが上がった。しかしながら、排気出力を変化しても、スペクトログラムにはほぼ変化がなかった。

Table 4.6.2-1 出力と面風速の関係

Fig. 番号	排気出力 (Hz)	給気出力 (Hz)	風速 (m/s)
Fig. 4.6.2-3	45.00	38.00	0.18-0.21
Fig. 4.6.2-4	50.00	30.00	0.22-0.25
Fig. 4.6.2-5	72.50	39.90	0.32-0.35
Fig. 4.6.2-6	85.00	39.90	0.40-0.44
Fig. 4.6.2-7	72.50	60.00	0.33-0.37
ヒュームフードサッシの開口サイズ：135cm (W)*68cm (H)			

次に、出力を保ち、ヒュームフードサッシの開口高さを変更して風速とスペクトログラムの関係进行分析した (Fig. 4.6.2-8 ~ Fig. 4.6.2-10)。ヒュームフードサッシの開口サイズと面風速の関係は Table 4.6.2-2 に示した。三つのスペクトログラムが大体同じであり、風速の変化がスペクトログラムに反映できないと考えられる。

Table 4.6.2-2 サッシの開口部のサイズと面風速の関係

Fig. 番号	サッシの開口部サイズ (W*H)	風速 (m/s)
Fig. 4.6.2-8	135*58	0.39-0.41
Fig. 4.6.2-9	135*48	0.50-0.53
Fig. 4.6.2-10	135*39	0.64-0.65
出力：72.50 Hz (排気)、39.90 Hz (給気)		

また、Fig. 4.6.2-11 によりヒュームフード③がオフになった時に、ベースが三段階で上がった。

この模擬実験を行ったところ、主な音源は給気音であった。また、風量を一定として開口部の面積を変化させ、風速を変化させたが、周波数成分はほとんど変化しない結果が得

られた。風速の変化に伴ういわゆる“風切り音”の変化を観察できれば、ヒュームフードの稼働状態を記述することが期待できるため、今後はマイクの位置などについてさらに検討することが必要であると考えられる。

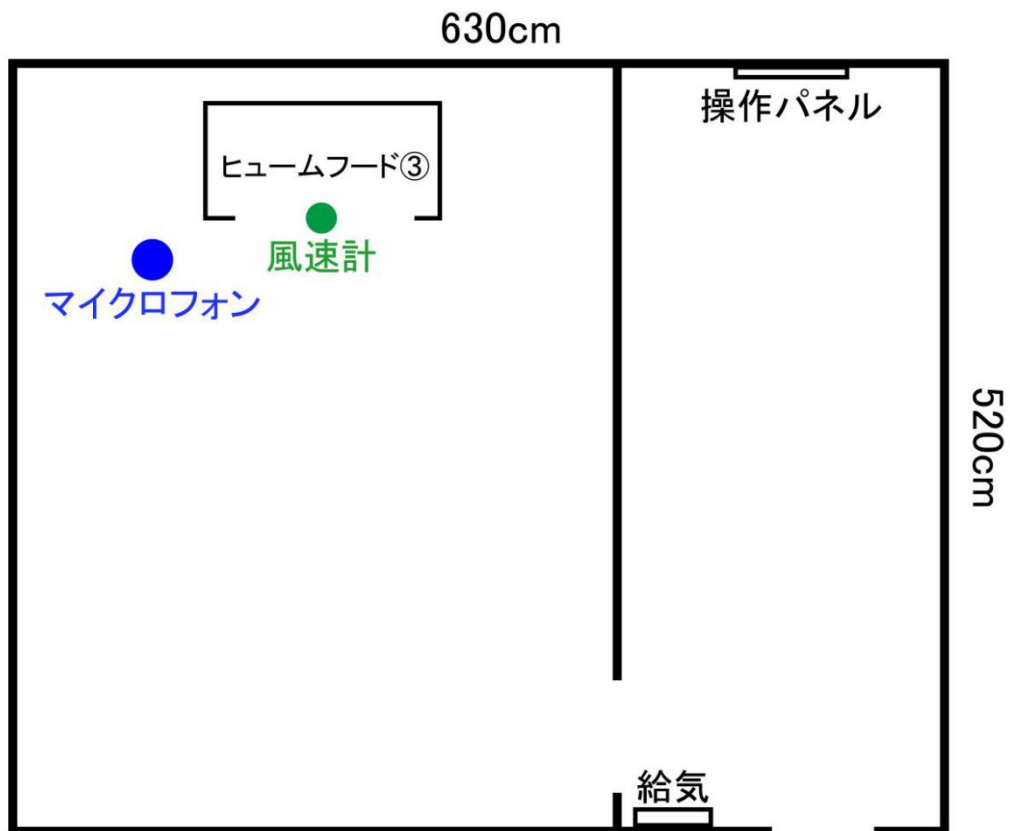


Fig. 4.6.2-1 レイアウト

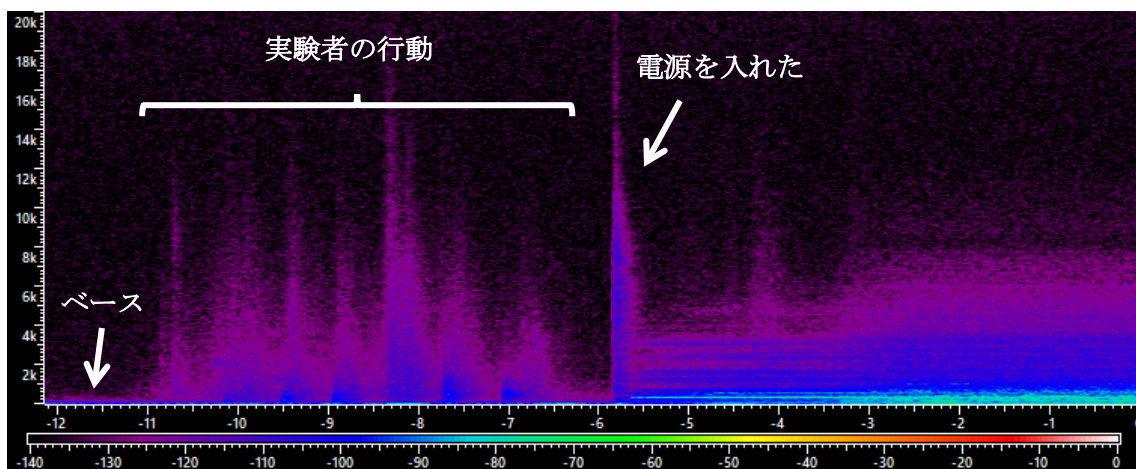


Fig. 4.6.2-2 ヒュームフード③オン (N : 2¹²)

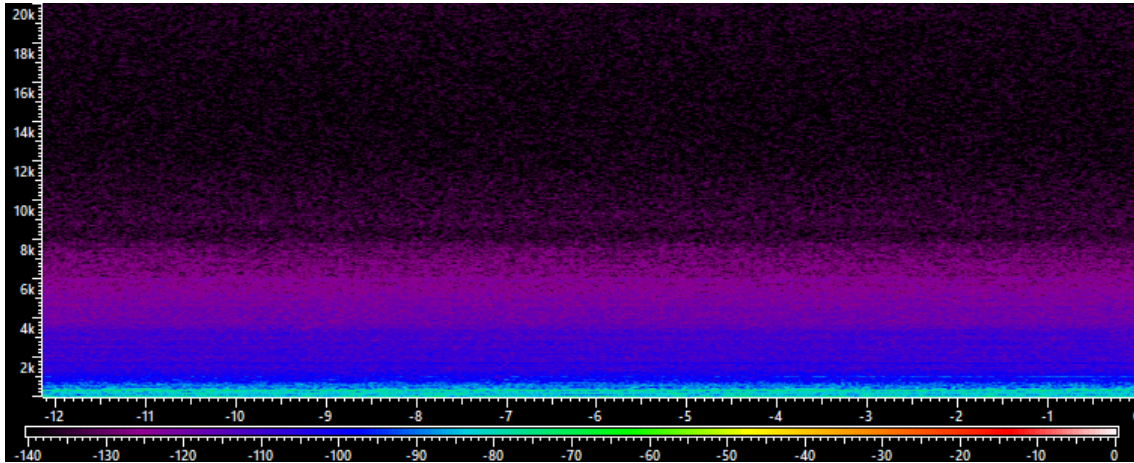


Fig. 4.6.2-3 ヒュームフード③ (排気 : 45.00 Hz 給気 : 38.00 Hz) ($N : 2^{12}$)

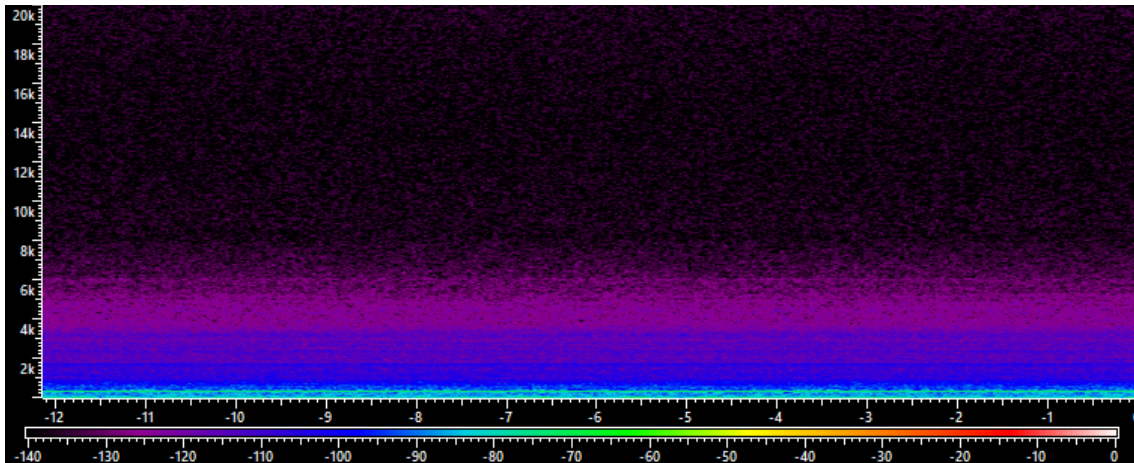


Fig. 4.6.2-4 ヒュームフード③ (排気 : 50.00 Hz 給気 : 30.00 Hz) ($N : 2^{12}$)

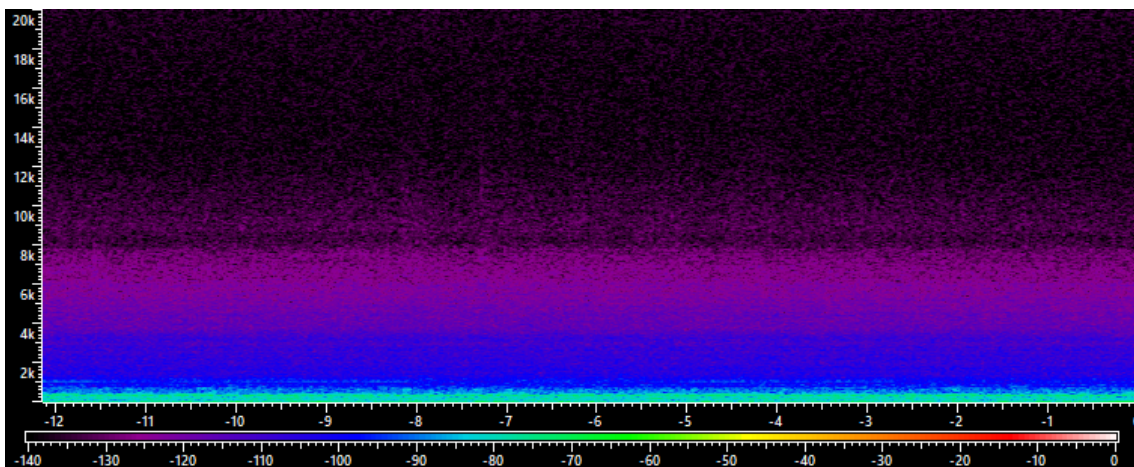


Fig. 4.6.2-5 ヒュームフード③ (排気 : 72.50 Hz 給気 : 39.90 Hz) ($N : 2^{12}$)

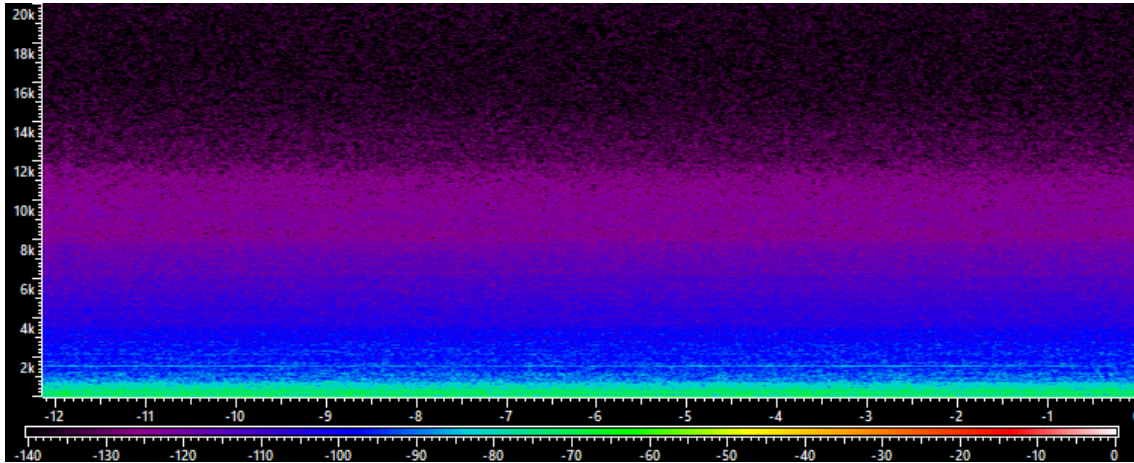


Fig. 4.6.2-6 ヒュームフード③ (排気 : 72.50 Hz 給気 : 60.00 Hz) ($N : 2^{12}$)

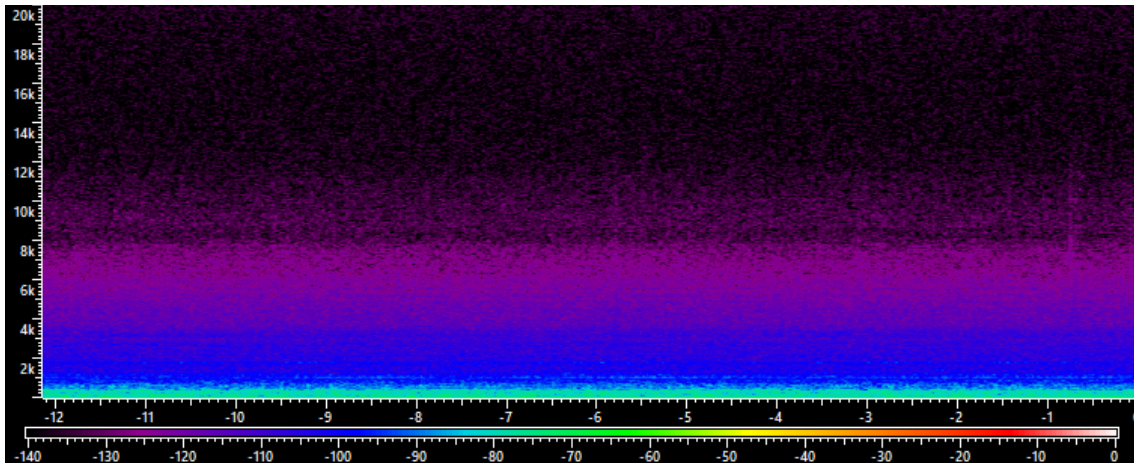


Fig. 4.6.2-7 ヒュームフード③ (排気 : 85.00 Hz 給気 : 39.90 Hz) ($N : 2^{12}$)

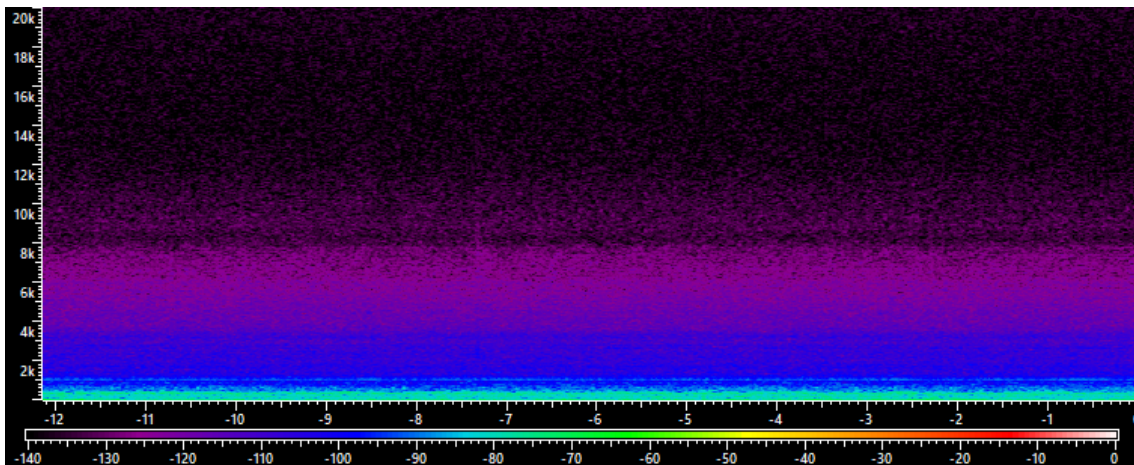


Fig. 4.6.2-8 ヒュームフード③ (開口部の高さ : 58 cm) ($N : 2^{12}$)

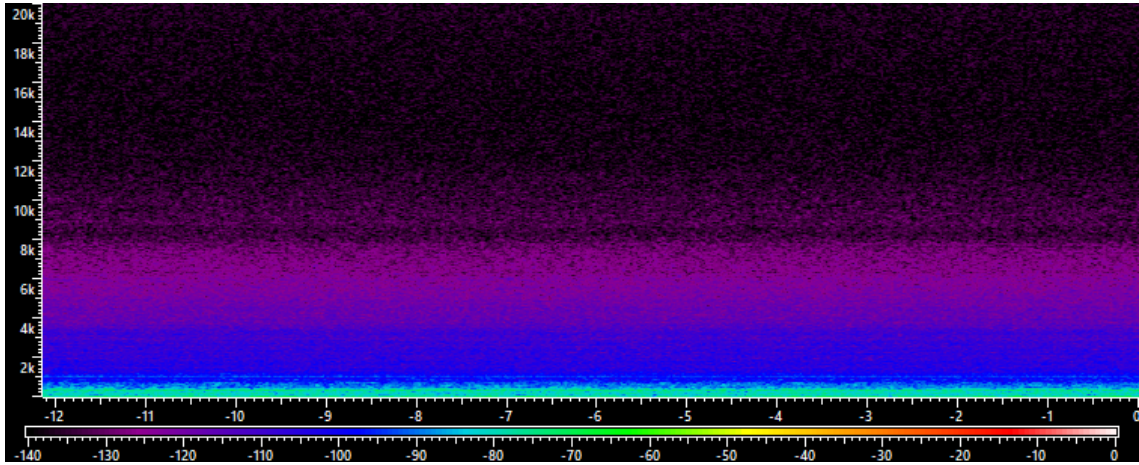


Fig. 4.6.2-9 ヒュームフード③ (開口部の高さ : 48 cm) ($N : 2^{12}$)

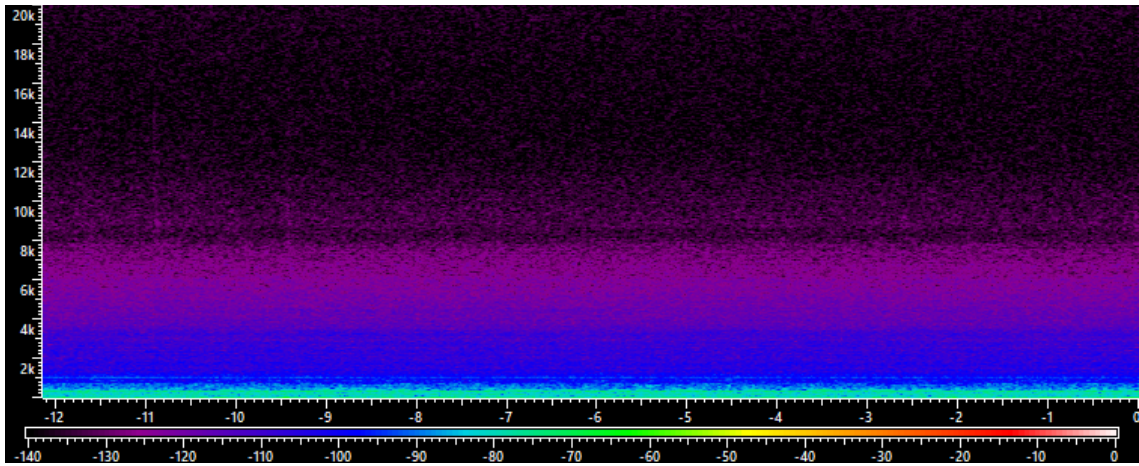


Fig. 4.6.2-10 ヒュームフード③ (開口部の高さ : 39 cm) ($N : 2^{12}$)

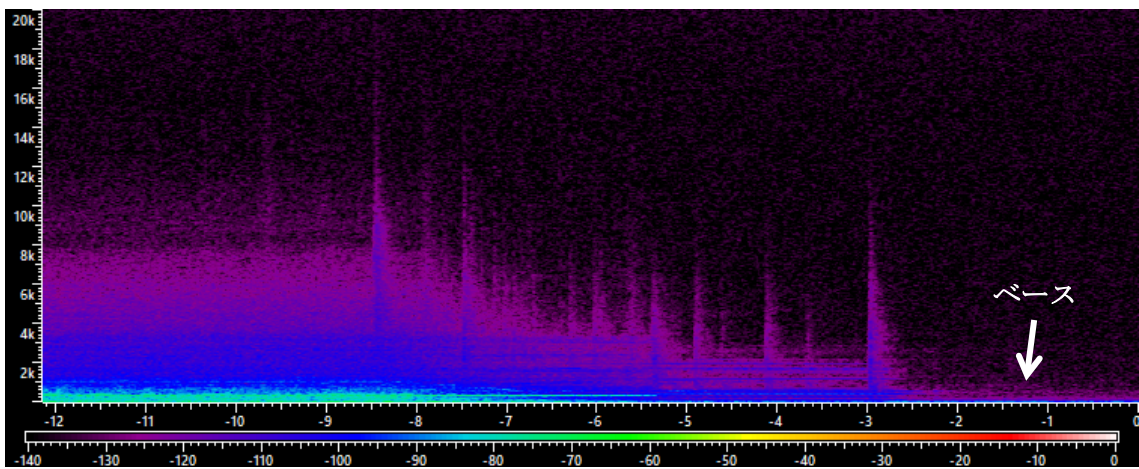


Fig. 4.6.2-11 ヒュームフード③オフ ($N : 2^{12}$)

4.7 遠心分離機

本節では、小型遠心機-2420KUBOTA を対象として異なる稼働状態の音を分析した。

小型遠心機-2420KUBOTA は、実験目的に応じてパラメータの設定ができ、最高回転数は4000 rpm である。また、**Fig. 4.7-1** のように加速と減速のモードは急・緩が存在し、まとめて四つの加減速パターンの切替が可能である。（各試験管に四分の三の水を入れた）

検討項目は、「試験管数の影響」「加減速パターンの違い」「回転数の違い」「試験管の割れた音」の四つにした。

サンプル・目的に応じて、加減速カーブを切り替えることができます。

舞い上がりしやすいサンプルのために、自然減速開始回転数を変更できます。(下のグラフをご覧ください。)

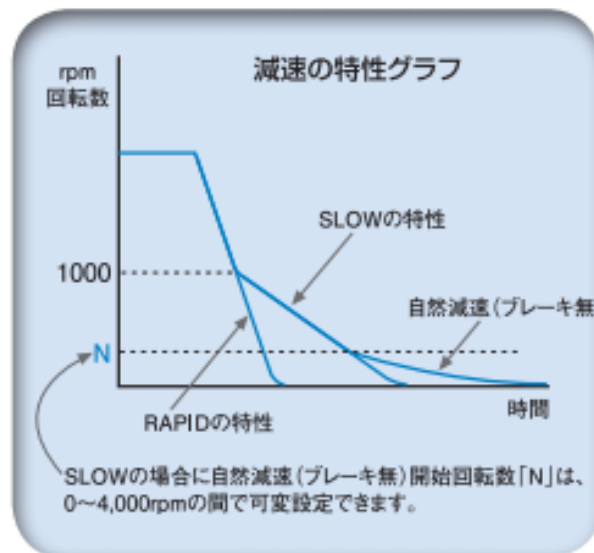
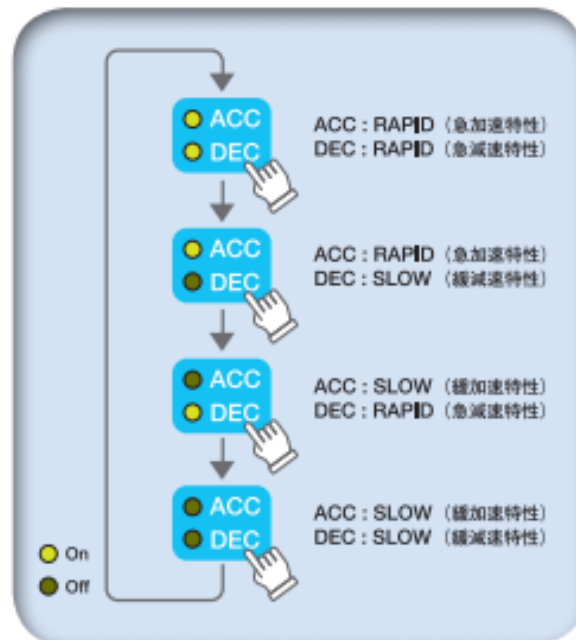


Fig. 4.7-1 小型遠心機-2420KUBOTA の加減速モード^[15]

4.7.1 試験管数の影響

4本 (Fig. 4.7.1-1) と12本 (Fig. 4.7.1-2) の試験管が4000 rpm、急加速、急減速の条件で遠心した結果を検討した。

Fig. 4.7.1-3により周波数重み付けAの波形は、振幅が大体同じに見えるが、Zの波形を見ると12本の方が振幅が明らかに大きい。

遠心分離機の装置音について、「加速過程」「遠心中」「減速過程」を分析した。「加速過程」(Fig. 4.7.1-4)は、二つのスペクトログラムでもアラーム音が存在し、加速が安定するまでの時間は大体同じであった。ただし、加速途中でピークが現れ、4本の場合は、数個のピークが現れ、12本の場合は一つだけであり、持続時間が4本の場合より長かった。

「遠心中」(Fig. 4.7.1-5)はスペクトログラムの差異が観察されなかった。「減速過程」(Fig. 4.7.1-6)はどちらも一つのピークしかないが、12本の場合のピークは4本の場合より持続時間が長かった。これは、加減速過程における試験管の揺らぎであると考えられる。

この結果は、周波数重み付けZの波形の振幅と、加減速過程に現れるピークを見れば、遠心分離機で何本の試験管が回転しているかを判別できる可能性を示している。



Fig. 4.7.1-1 4本の試験管



Fig. 4.7.1-2 12本の試験管

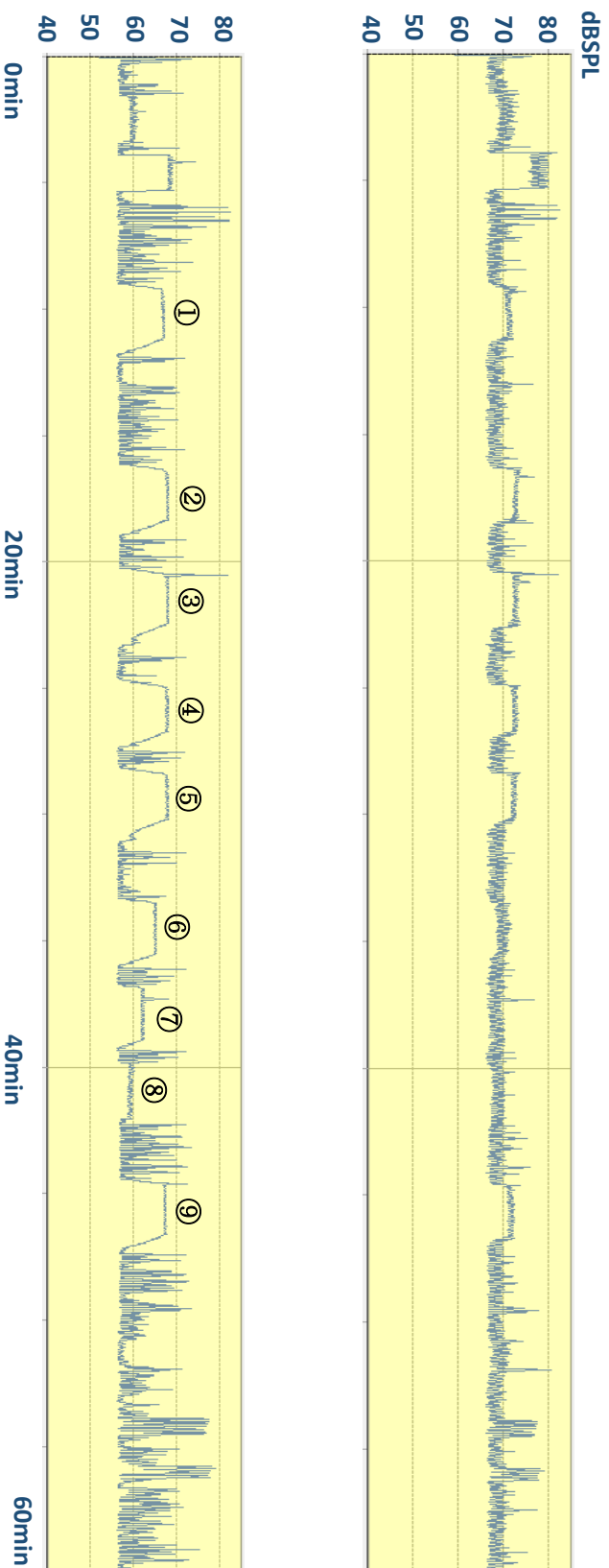


Fig. 4.7.1-3 遠心器の波形
(上: Z 下: A)

- ①: 4本、急加速、急減速、4000rpm
- ②: 12本、急加速、急減速、4000rpm
- ③: 12本、急加速、緩減速、4000rpm
- ④: 12本、緩加速、急減速、4000rpm
- ⑤: 12本、緩加速、緩減速、4000rpm
- ⑥: 12本、急加速、急減速、3000rpm
- ⑦: 12本、急加速、急減速、2000rpm
- ⑧: 12本、急加速、急減速、1000rpm
- ⑨: 16本、急加速、急減速、4000rpm)

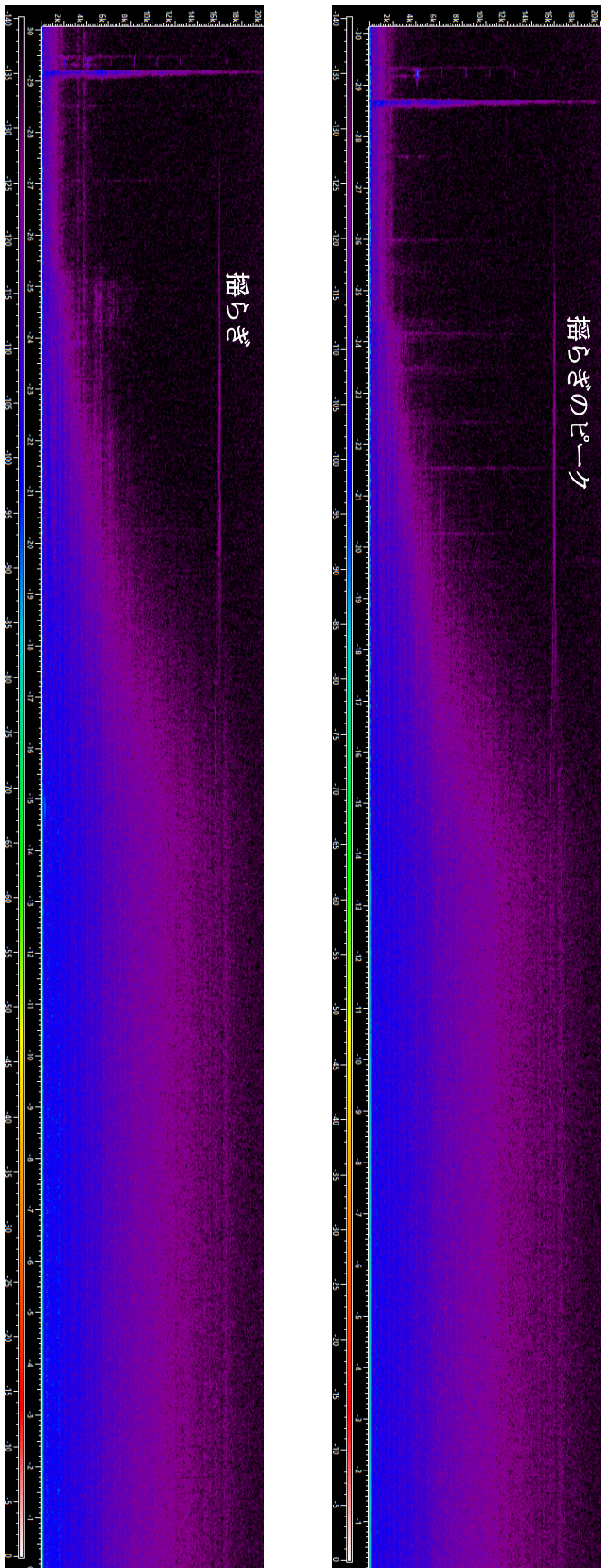


Fig. 4.7.1-4 遠心分離機「加速過程」(N: 2¹²)
 (上: 4本 下: 12本)

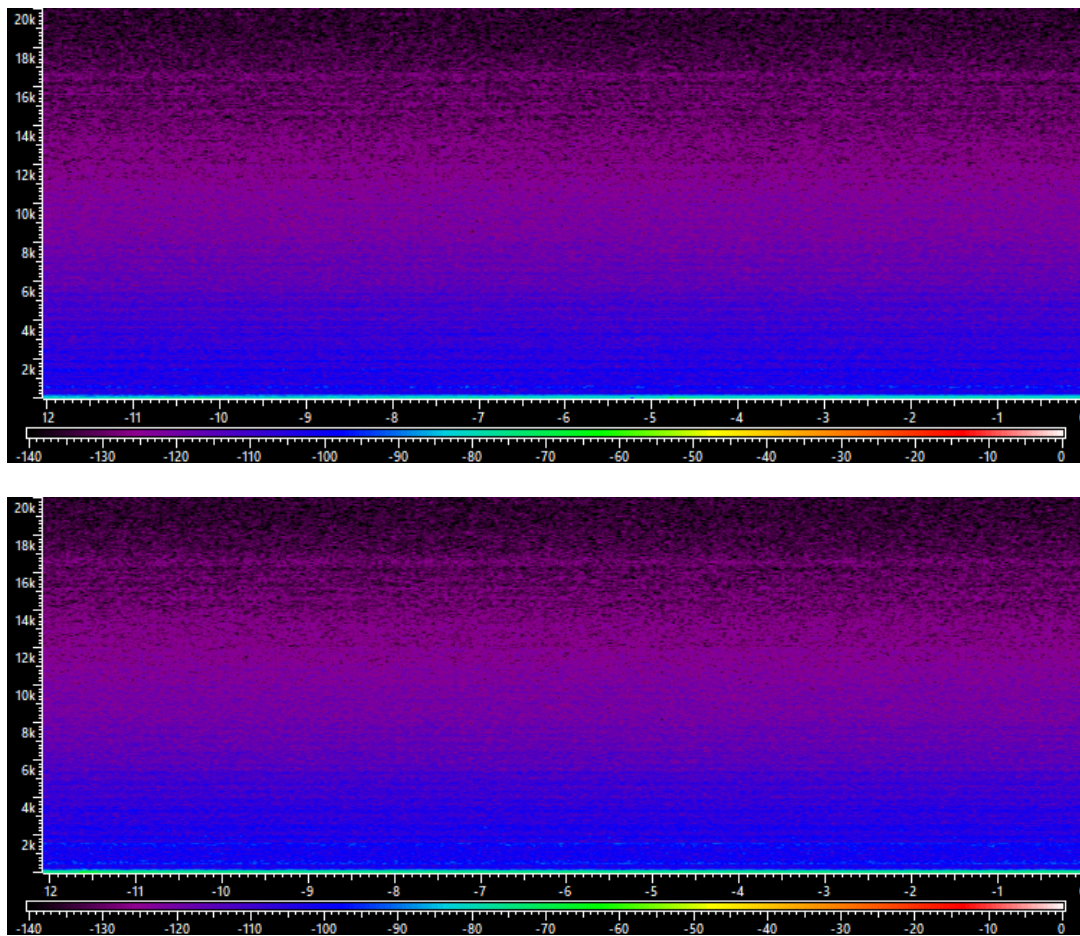


Fig. 4.7.1-5 遠心分離機「遠心中」 ($N: 2^{12}$)
(上: 4本 下: 12本)

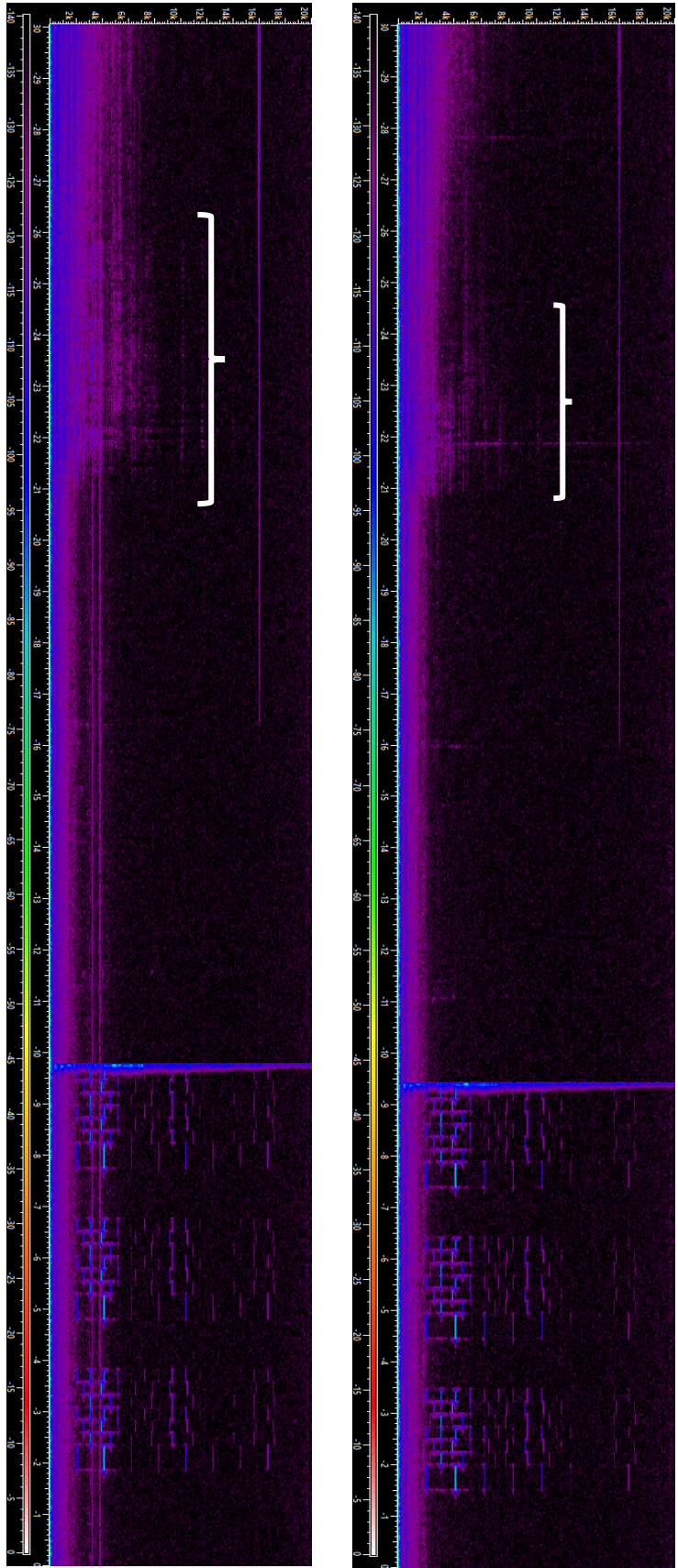


Fig. 4.7.1-6 遠心分離機「減速過程」(N: 2^{12})
 (上: 4本 下: 12本)

4.7.2 加減速パターンの違い

12本の試験管、4000 rpmの条件で加減速パターンを変えて遠心した結果を検討した。

まず、急加速と緩加速のスペクトログラム (Fig. 4.7.2-1) を比較する。開始アラーム音が現れた後、安定するまでに急加速は約 13 秒間をかかった。緩加速は約 22 秒間をかかった。また、第 4.7.1 節に試験管数の影響を分析した時のように、試験管の揺らぎと推測したピークの持続時間が長くなった。

次に、急減速と緩減速のスペクトログラム (Fig. 4.7.2-2、Fig. 4.7.2-3) を比較する。急減速は減速を初めるから、完了アラーム音を現れるまで、約 40 秒間をかかった。緩減速は約 61 秒間をかかった。ここで、減速過程で音が既に元のベースに戻ったが、約 16800 Hz の特徴周波数がまだ存在することは、完了アラーム音が遅く出る原因と推測する。

以上より、加減速過程の試験管の揺らぎがそれぞれ違ったが、明らかな特徴とした加減速にかかる時間に基づいてどのような加減速パターンかを判断しやすいと考えられる。

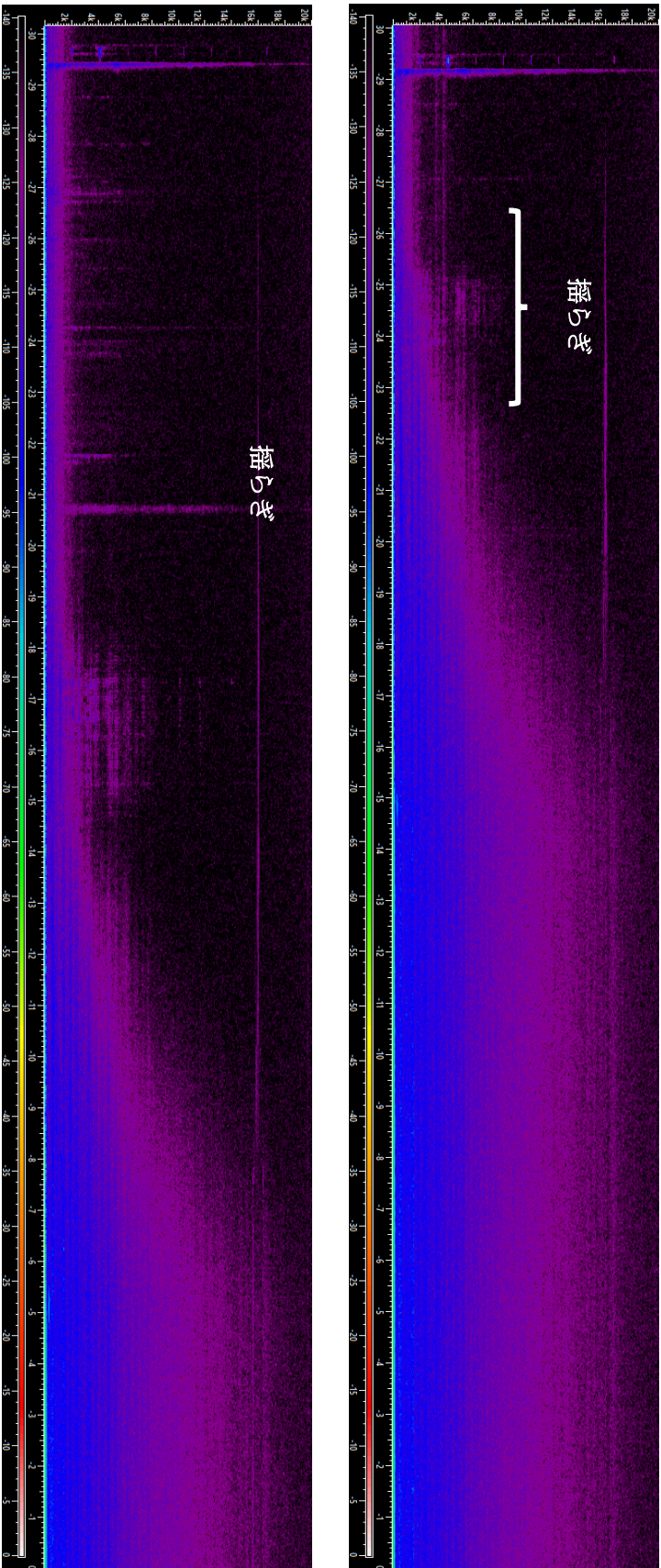


Fig. 4.7.2-2 遠心分離機の加速 (N: 2¹²)
 (上: 急加速 下: 緩加速)

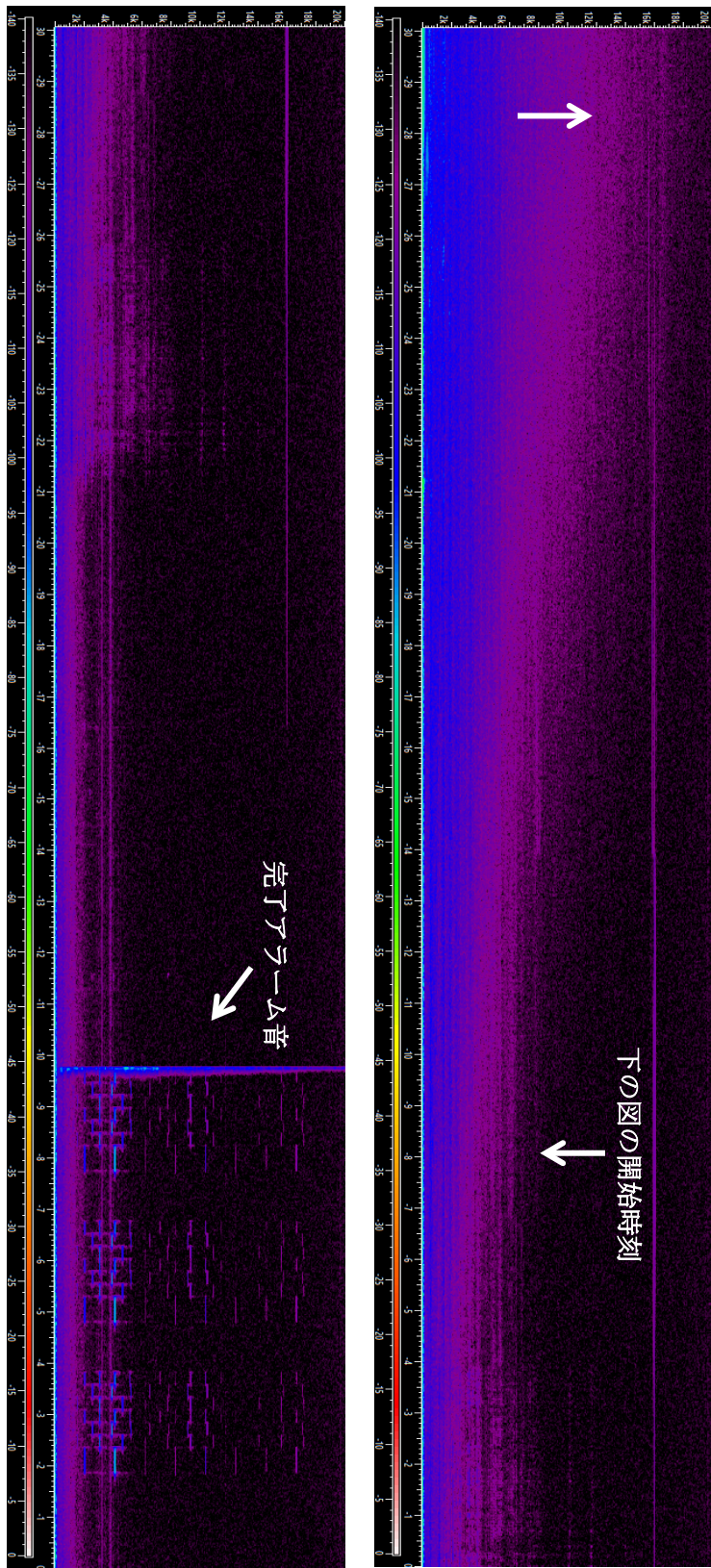


Fig. 4.7.2-2 遠心分離機の急減速 (N: 2¹²)

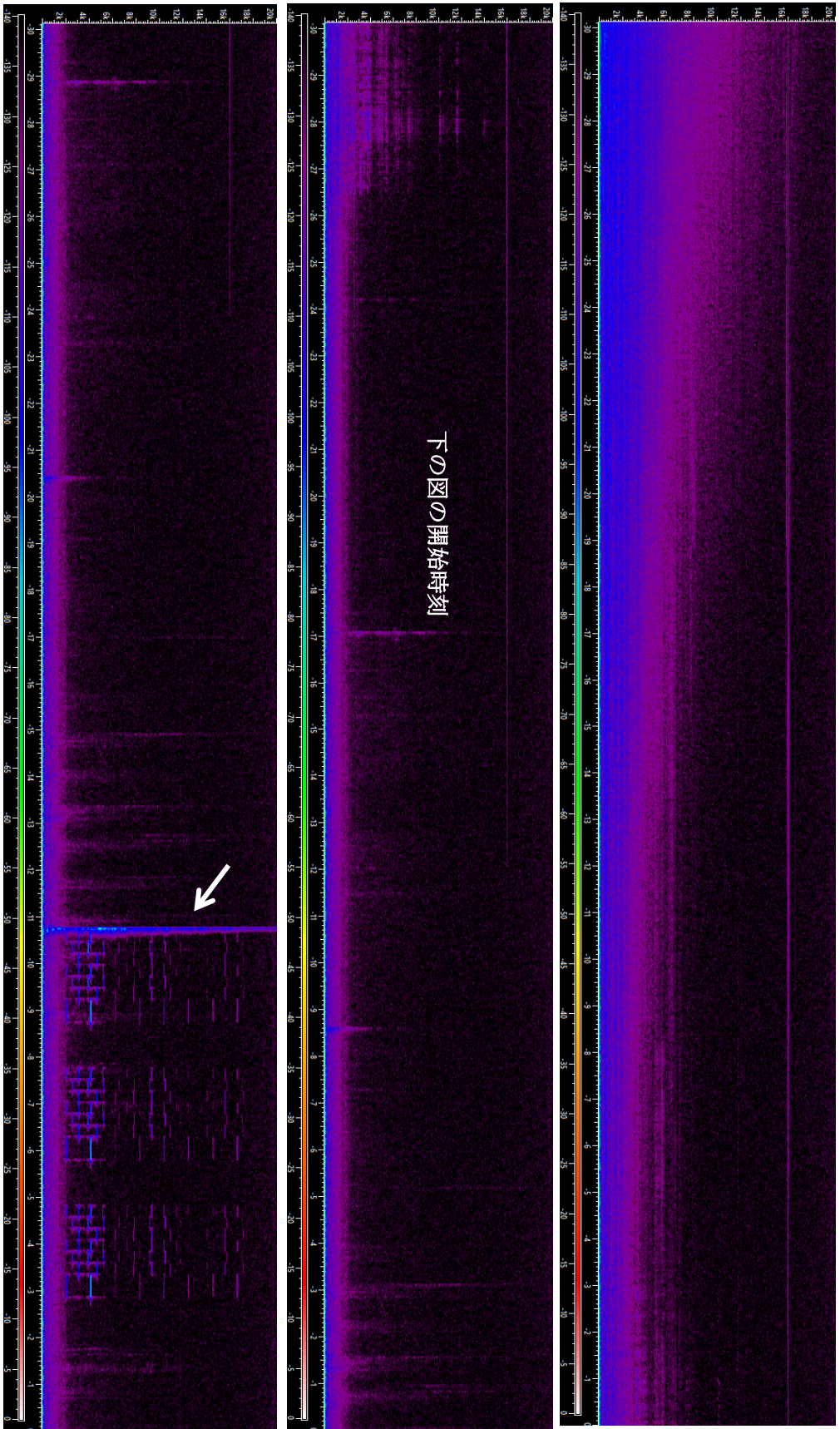


Fig. 4.7.2-3 遠心分離機の緩減速 (N: 2¹²)

4.7.3 回転数の違い

12本の試験管、急加速、急減速の条件で最高回転数を変えて遠心した結果を検討した。

Fig. 4.7.3-1 ~ Fig. 4.7.3-6を見ると、回転数の違いによって主な差異は、加減速時間、遠心中の周波数成分、試験管の揺らぎと推測したピークの持続時間、この三つである。

加減速時間は、回転数が低いほど短くなった。

遠心中の周波数成分は、高回転数ほどより高い周波数帯域に広がった。また、1000 rpmのスペクトログラムには他の特徴周波数が見えるので、稼働音の周波数成分にかざされないと考えられる。

試験管の揺らぎと推測したピークは、持続時間が変化するが、1000 rpmでこういうピークが消えた。

この結果により、加減速時間と遠心中の周波数成分は回転数を判断する根拠と考えられる。

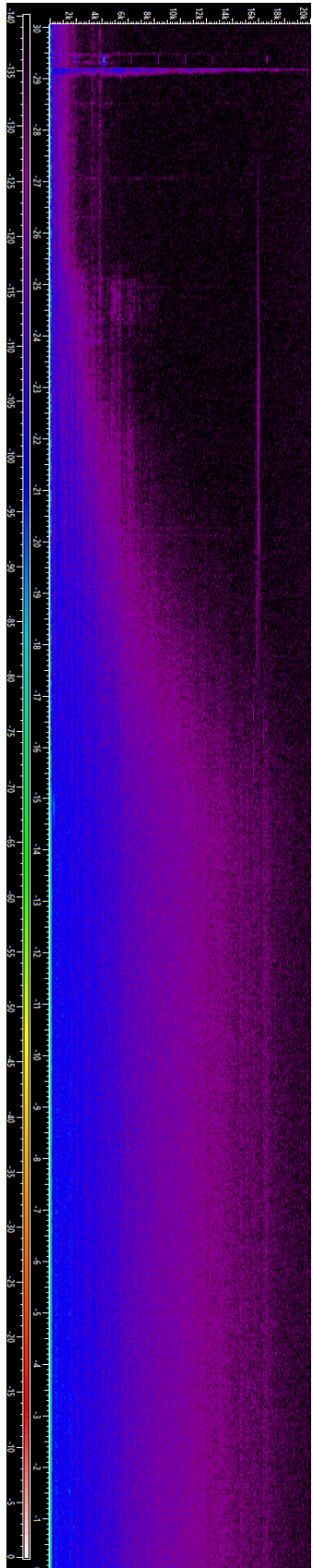


Fig. 4.7.3-1 回転数 4000 rpm の加速過程 (N : 2¹²)

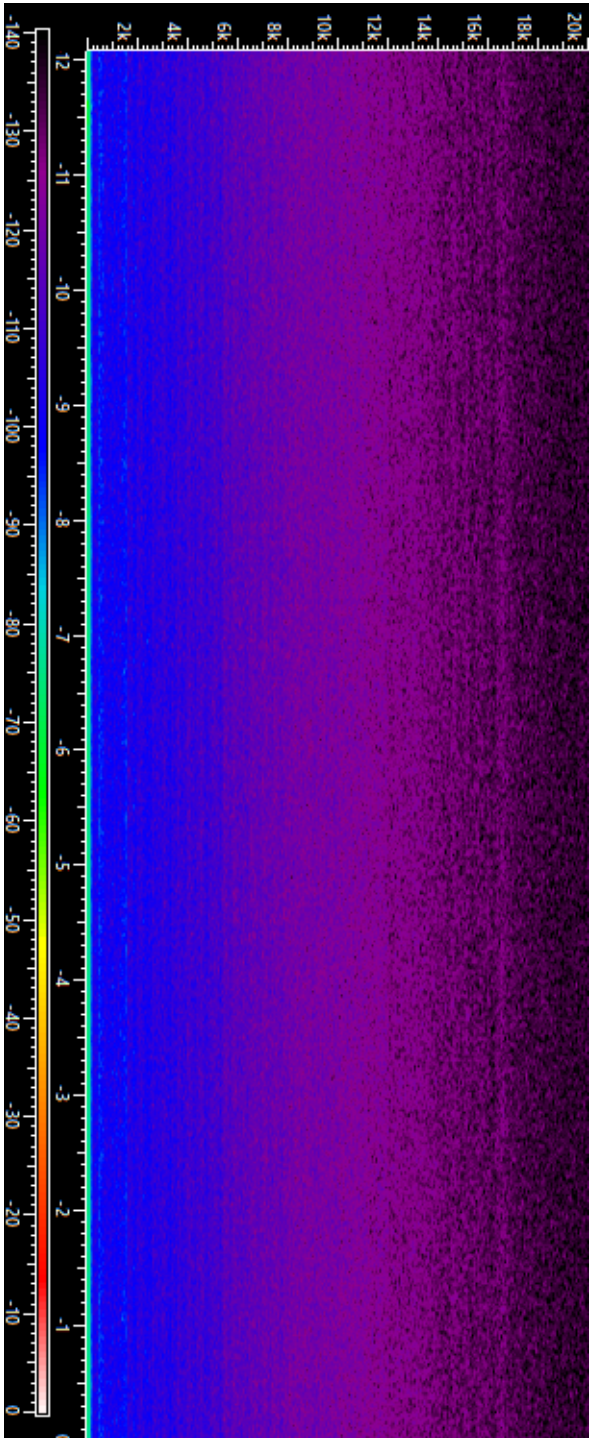


Fig. 4.7.3-2 回転数 4000 rpm の速心過程 (N : 2¹²)

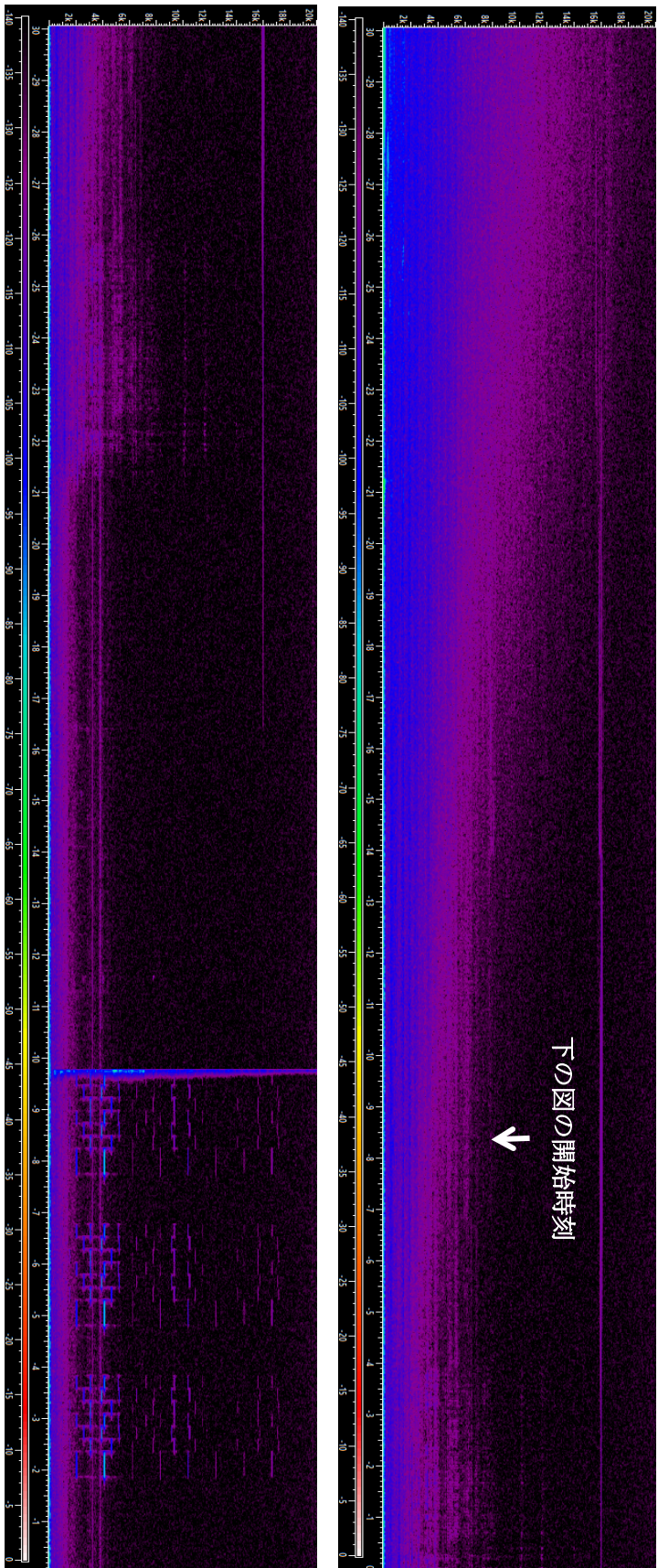


Fig. 4.7.3-3 回転数 4000 rpm の減速過程 (N : 2¹²)

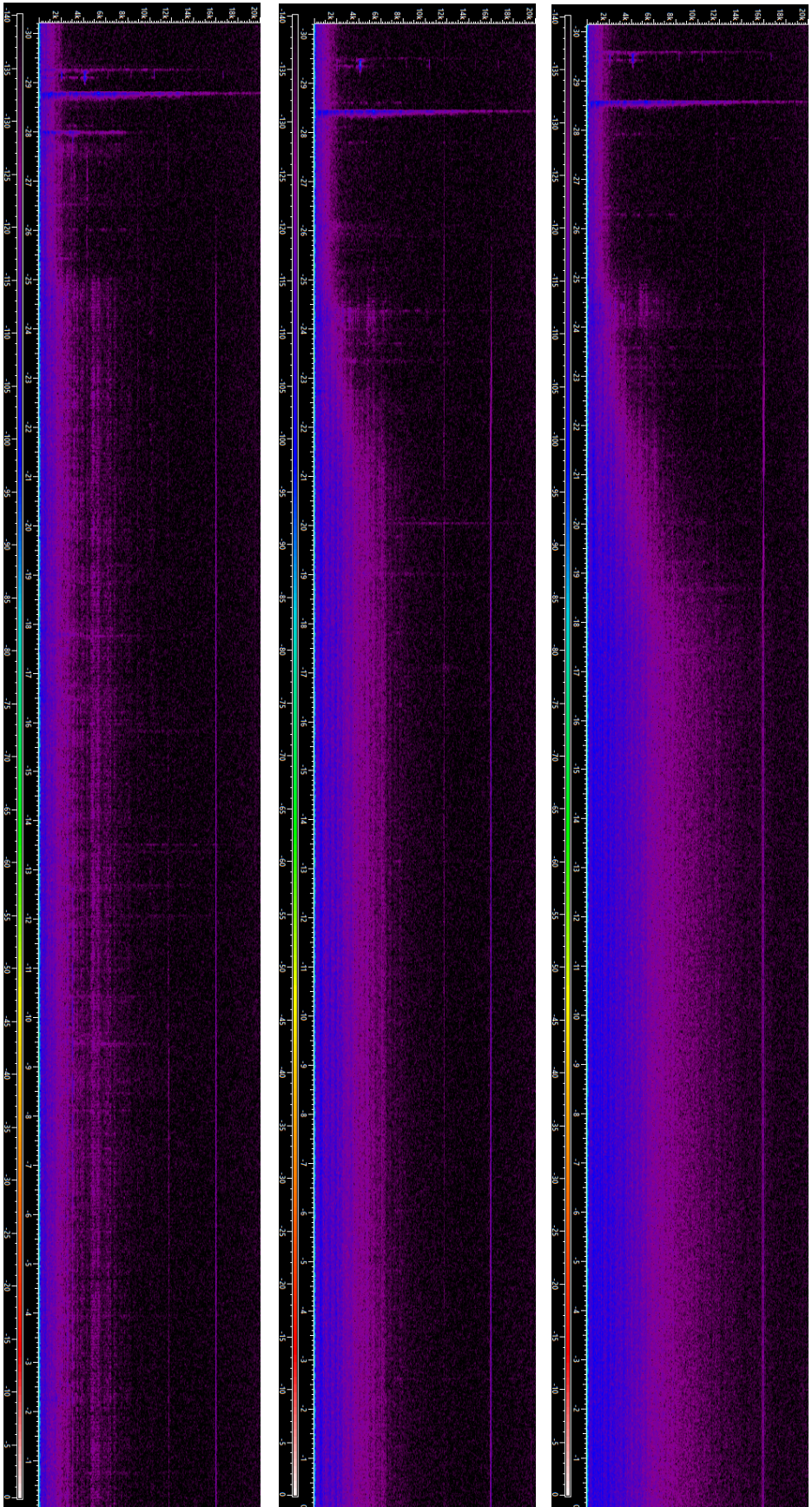


Fig. 4.7.3-4 他の回転数の加速過程 (N : 2¹²)
 (上 : 3000 rpm 中 : 2000 rpm 下 : 1000 rpm)

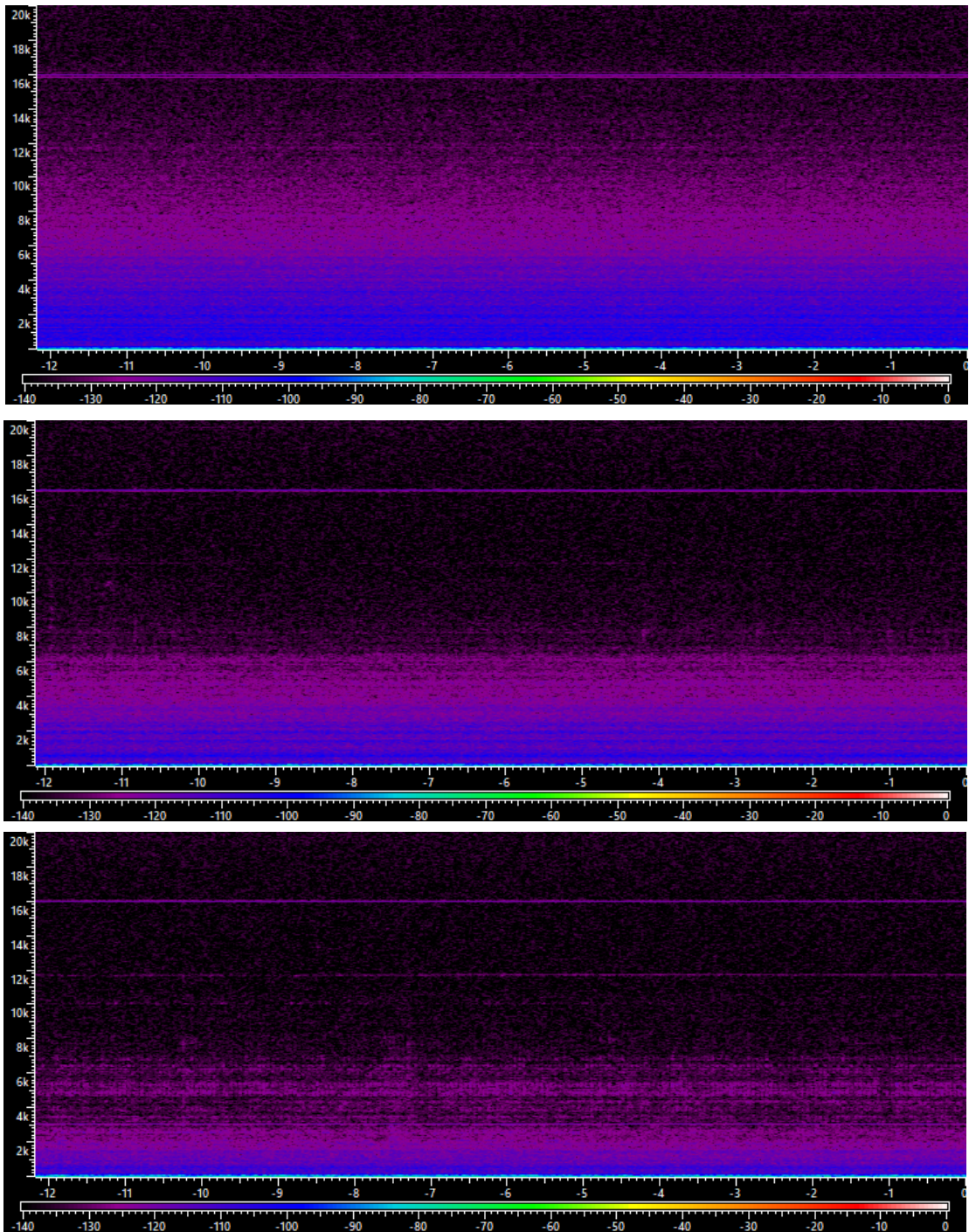


Fig. 4.7.3-5 他の回転数の遠心過程 ($N : 2^{12}$)
 (上 : 3000 rpm 中 : 2000 rpm 下 : 1000 rpm)

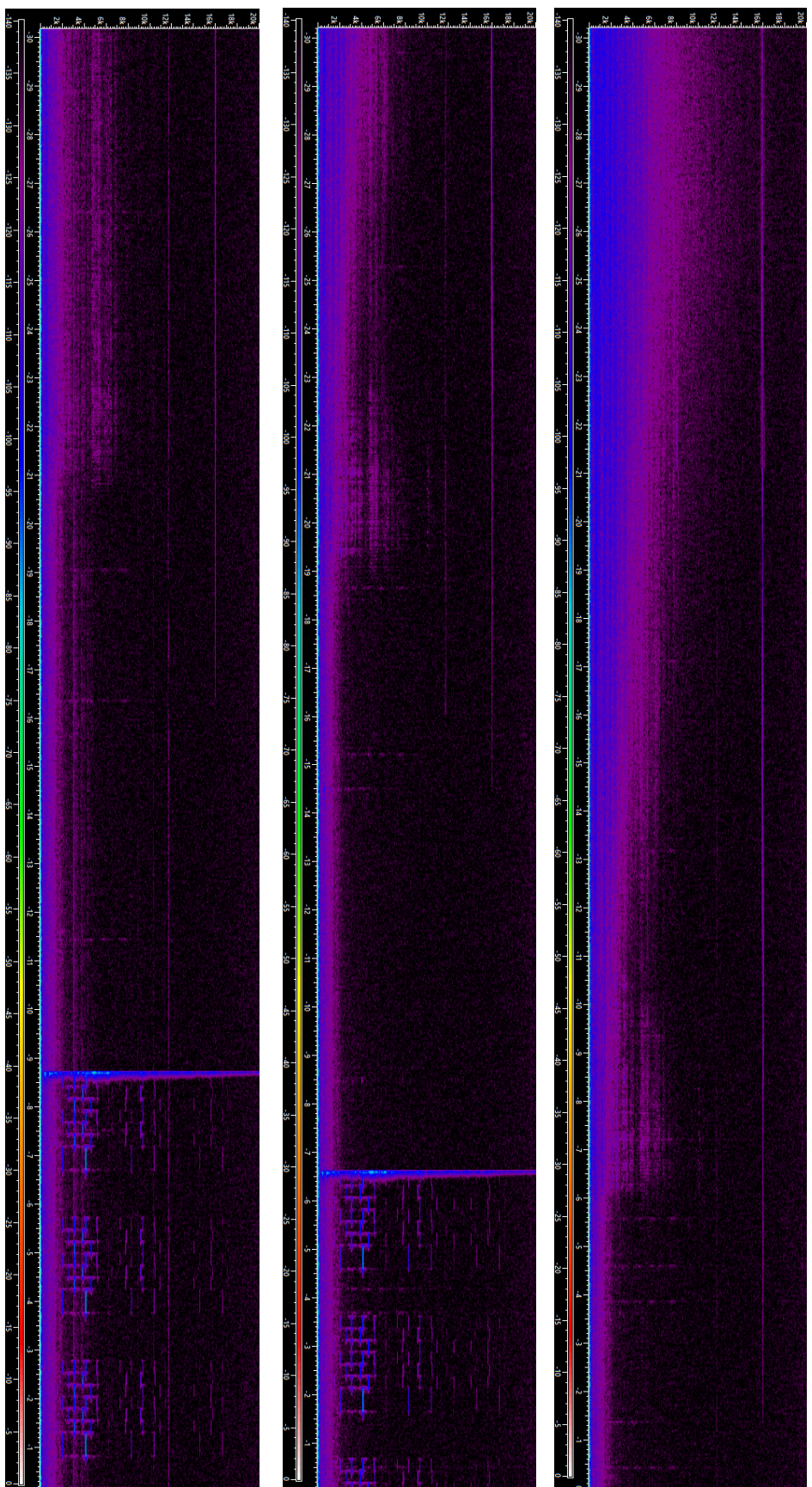


Fig. 4.7.3-6 他の回転数の減速過程 (N : 2¹²)
 (上 : 3000 rpm 中 : 2000 rpm 下 : 1000 rpm)

4.7.4 試験管の割れた音

小型遠心機-2420KUBOTA に試験管を固定するマットがあり、本検討では異常音である「試験管の割れた音」を分析するため、マットを省いて試験管を割らせた。Fig. 4.7.4-1 のように 16 本の試験管を入れ、4000 rpm、急加速、急減速の条件で遠心した。スペクトログラムの結果は、Fig. 4.7.4-2 ~ Fig. 4.7.4-4 で示した。Fig. 4.7.3-1、Fig. 4.7.3-2 の正常状態のスペクトログラムと比較すると、遠心中と減速過程に異常が見えないが、加速過程では二つの異常なピークが現れた。一つ目のピークは、最高測定域である 20000 Hz までに広がり、持続時間が約 0.1 秒間である。これは、試験管が部分的に割れたことによる特徴と推測した。二つ目のピークは、同様に 20000 Hz までに広がり、普通より大きな振幅が現れ、持続時間が約 1.2 秒間である。これは、試験管が完全に割れ、水が溢れたことによるものと考えられる。

一般に、異常音の取得がかなり難しいが、今回の実験は「試験管の割れた音」を測定した。今回の異常音は、通常状態の実験装置音とは異なったので、通常状態の音を収集し、異常音の判別することが期待できる。しかしながら、異常が様々なケースがあり、異なる異常音が発生するので、音による異常検知はまだ大きな課題が存在している。



Fig. 4.7.4-1 16本の試験管

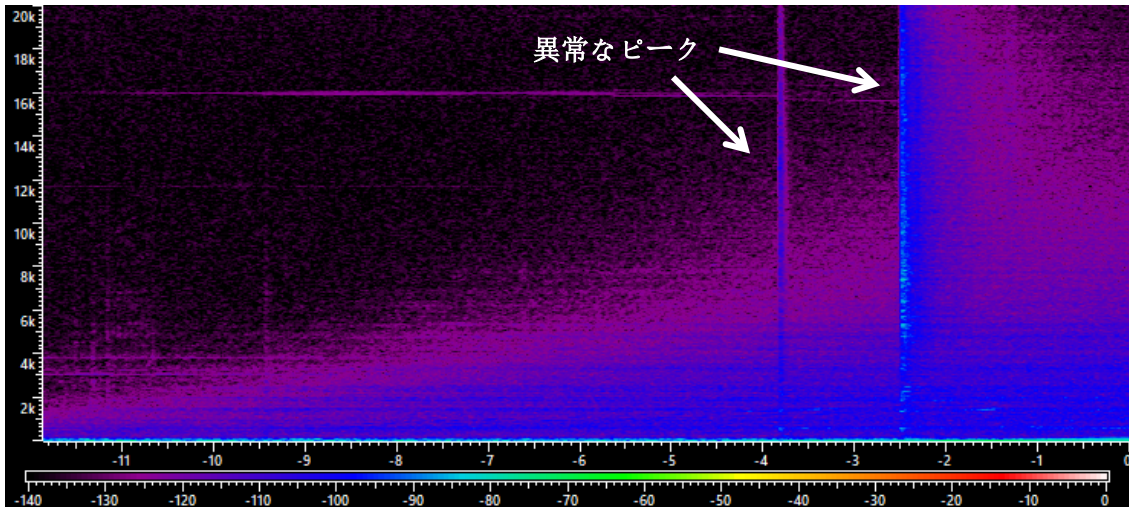


Fig. 4.7.4-2 「試験管割れ」の加速過程 (N : 2¹²)

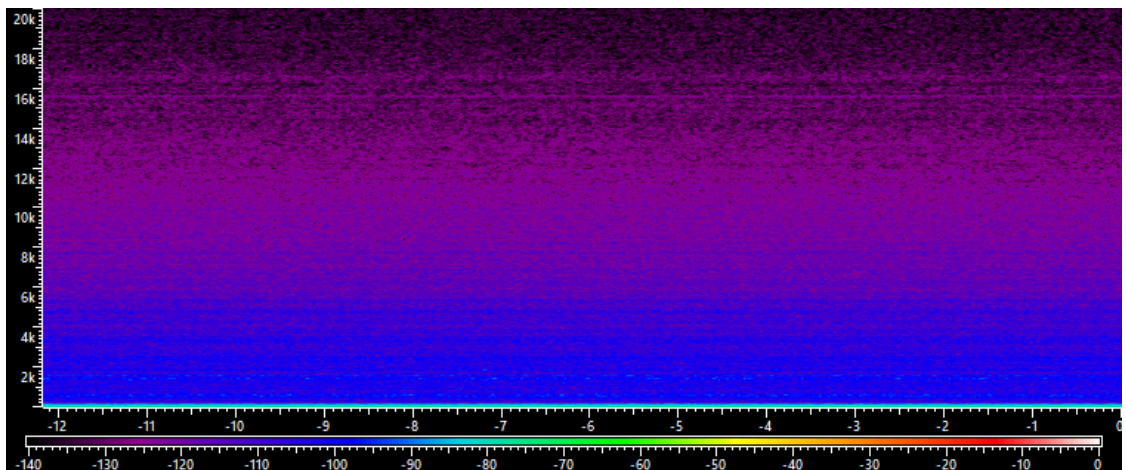


Fig. 4.7.4-3 試験管割れの遠心過程 (N : 2¹²)

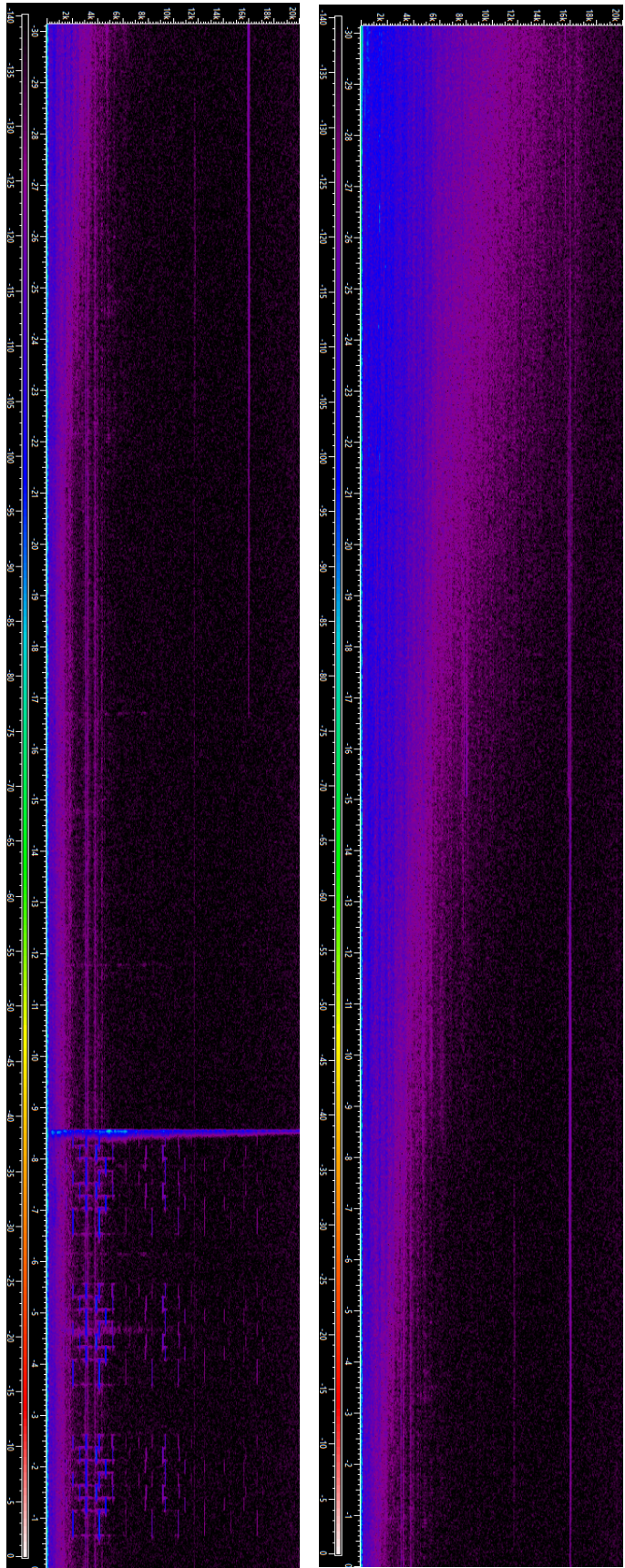


Fig. 4.7.4-4 「試験管割れ」の減速過程 (N: 2¹²)

4.8 夜間の低周波音

本研究における対象とした実験室を、24 時間の波形データで測定した。その中で、人のいない夜間には、**Fig. 4.8-1** のようにピークが現れた。第一のピークは、夜間に運転していた装置のアラーム音である。第二と第三のピークは、音量を拡大しても聞こえないピークであり、同定は難しいが、周波数重み Z と A の波形を比較すると、この二つのピークは低周波数の成分が多いと分かった。

次に、この二つのピークのスペクトログラムを分析する。**Fig. 4.8-2** と **Fig. 4.8-3** に表し、他の周波数帯域には変化がほぼないまま、低周波数成分が急に増大した。ピークが現れた時のスペクトル (**Fig. 4.8-4**、**Fig. 4.8-5**) と合わせて見ると、約 100Hz 以下の周波数成分が増大した。しかしながら、この二つの音の周波成分が異なるため、同種の音ではないと判別できる。当然、この夜間の音は実験室の外からの音かもしれないが、人の可聴域以外の音から、実験室の情報の抽出が期待できる。また、本研究に使われたのは、人の可聴域以内の音響を分析するマイクロフォンであるので、低周波数を分析するためにはより専門的な測定装置必要と考えられる。

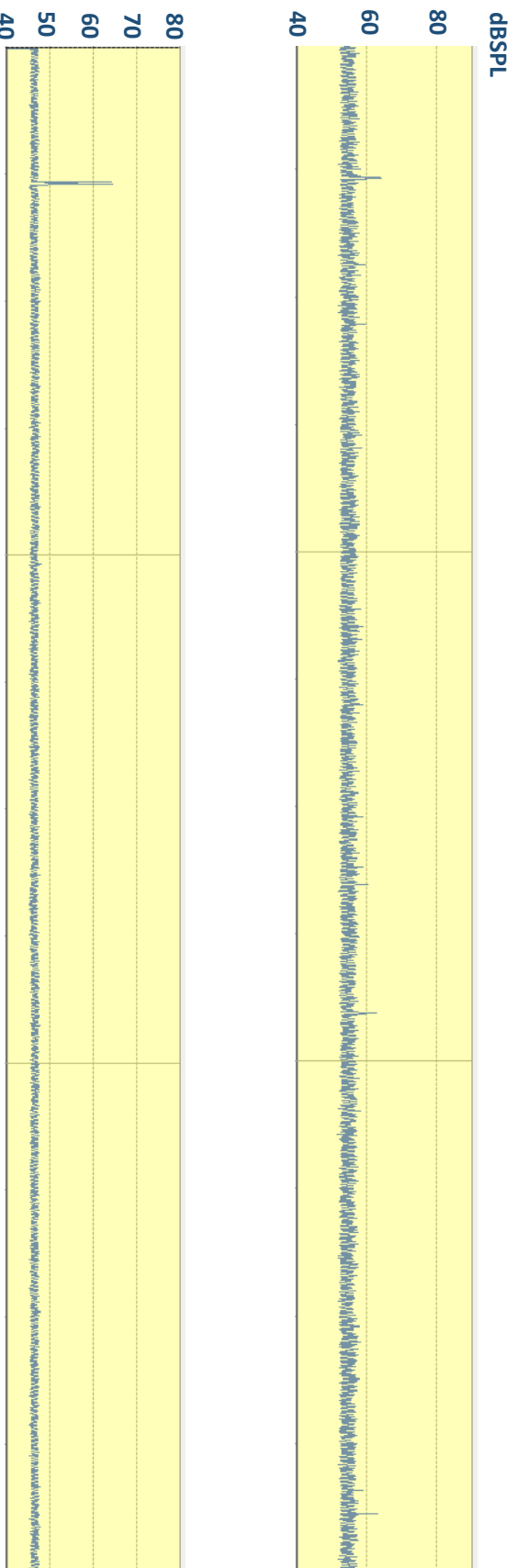


Fig. 4.8-1 夜間の音
 (上：Z 下：A
 10.29 22：38-23：38)

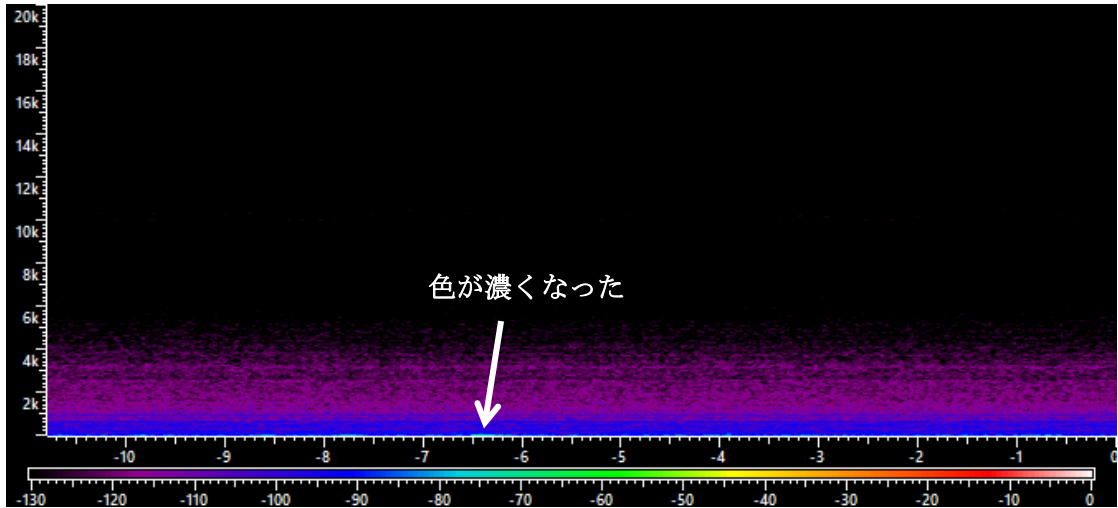


Fig. 4.8-2 低周波数音①スペクトログラム (N : 2^{12})

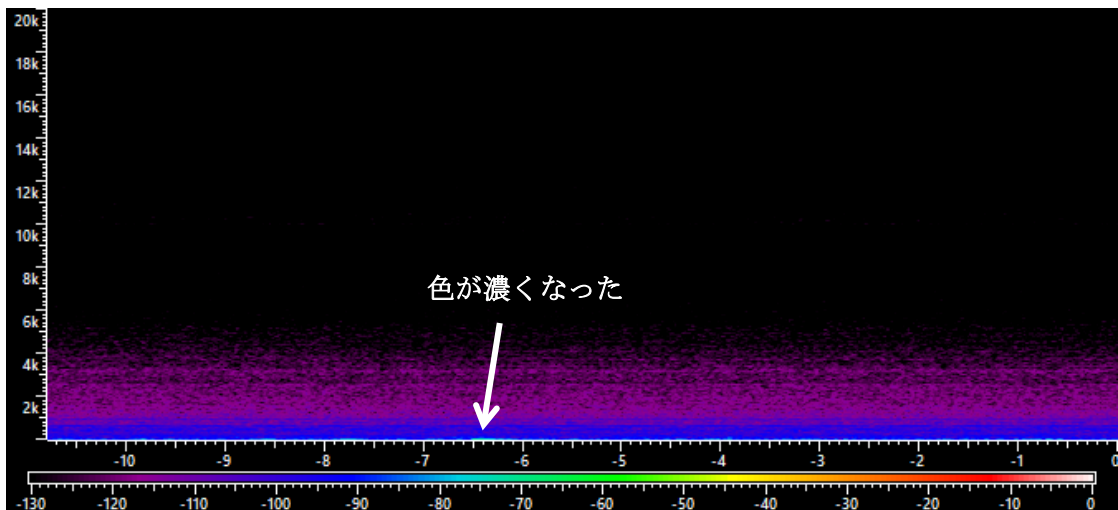


Fig. 4.8-3 低周波数音②スペクトログラム (N : 2^{12})



Fig. 4.8-4 低周波数音①スペクトル ($N: 2^{12}$)



Fig. 4.8-5 低周波数音②スペクトル ($N: 2^{12}$)

4.9 本章のまとめ

本章では、いくつかの実験装置音に対し、スペクトログラム特徴に基づいて分析した。まず、特徴周波数により実験装置が稼働しているかどうか、稼働する時の出力モードなどを判別することが可能である。また、個人差がないため、装置の機械音やアラーム音などの持続時間長が安定であるため、特定な動作の判別ができる。さらに、実験装置の異常・通常稼働音の差異も検知可能を示された。このように、実験装置音を介して、実験者の行動および装置稼働状態について情報を得ることが可能であり、通常性を定めた上で通常から逸脱の状態を検出でき、音響情報を安全の担保や実験の成否の為に活用されることが期待される。

また、本研究で分析した周波数範囲は人の可聴域以内の音であり、低周波音や超音波の音の分析により可聴域以内の音で実験室の稼働状況を反映することが期待される。また、同種類の実験装置は部品の違いにより音のスペクトログラムも違いと予想される。一方で、分析するためのデータの収集、特に異常音データの収集は難しいが、それに対して異常音検知についてより詳しい研究が行われることを期待している。

第5章 実験者の同一動作について再現性の検討

本章では、実際の実験室の音響データを取得し、実験者行動音の特徴が周波数スペクトログラムから判断可能かどうか、また音から個人を識別可能かどうかについて同一動作の周波数スペクトログラムを解析したことを報告する。

測定対象は、Fig. 5-1 に示した実験室である。部屋中央に二つの実験台が並び、ヒュームフードと実験装置がある。マイクロフォンを図に示す位置に設置し、音響測定を行った。また、音響測定と同時にビデオカメラを用いて実験室内の撮影を行い、実験室内の状況について音響情報との紐付けを行った。

5.1 「ゴミ箱の開閉作業」

初めに、実験者Aの行動によって発生する音を10分間測定した。また、具体的な作業の一つとして「ゴミ箱の開閉」を取り上げ、実験者Aと実験者Bそれぞれの周波数スペクトログラムを比較した。

10分間取得した音の波形分析 (Fig. 5.1-1) により、振幅の変化が強いピークが複数観測され、それぞれ22s (ヒュームフードで試薬を測る)、39s と62s (ゴミ捨てる)、145s (実験装置の確認)、235s (椅子の移動) であることが明らかになった。

次に、これらのピークを分析した。結果の例として、39sのピークについて説明する。まず、ビデオ映像により、このピークは「ゴミ捨てる」と判断した。次に、この行動による音は構成音であり、動作に分解すると：①手でゴミ箱の蓋を開け；②ゴミ捨てる；③蓋が閉まるに分けられる。その周波数スペクトログラムは、五つの部分に分けて説明できる。

I：体を横向かせる時に服の摩擦の音である。

II：蓋を開けた音である。

III：蓋が揺れる音である。

IV：ゴミ捨てるの音である。

V：蓋が閉まった時に連続的なピークが現れたが、後ろのピークVIが蓋とゴミ袋の接触の音と推測される。

このように、個々の動作を音響データから明らかにした。

5.2 同一動作の周波数スペクトログラム

実験者Bが「ゴミ箱の開閉」という作業を繰り返した結果、同じ実験者の同一動作によるスペクトログラムは似ているが、同一の動作でも実験者Aと実験者Bのスペクトログラムには大きな差異が観察された (Fig. 5.2-1, Fig. 5.2-2)。これは、実験者の蓋の開け方 (速度、角度) が違ったので、同じ周波数での振幅が対応せず、ピークの幅やそれぞれ構

成する周波数ごとの持続時間も変化したと考えられる。また、捨てたゴミの材質が違っていると、スペクトログラムにも差異があると予想できる。

この差異により、同一動作から実験者の個人差の判別が期待されるが、実際に実験者行動音を分析する時の課題となる。「ゴミ捨て」という実験者の行動は、その時の状況に応じて手順が変わりやすい。また、同じ「ゴミ箱の開閉」であるが、実験者 A による開ける音が閉まる音より振幅が大きい、実験者 B が逆であり、振幅だけによって実験者行動を判断することは、精度が高くないと考えられる。

5.3 本章のまとめ

実験室における音を分析する時には、画像情報以外、音響情報しか表せなく、実験室の特徴的な稼働状況を示す音に着目すべきである。また、個人差の影響が存在するため、どの実験者がどのような行動をしたかをスペクトログラムから特定することは困難であると考え、まずは周波数成分と行動との関係性の「パターン」に着目し、作業者の違いが音にどのような違いを生じているかについて検討したほうが良いと考えられる。

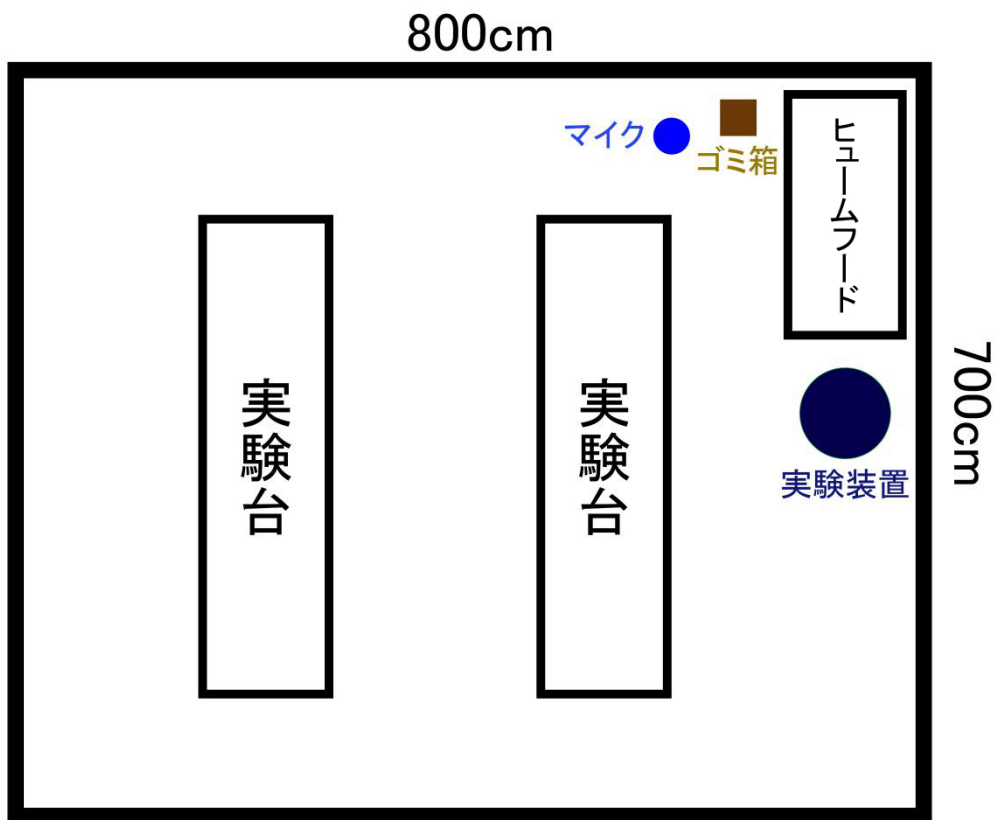


Fig. 5-1 レイアウトと測定装置の配置位置

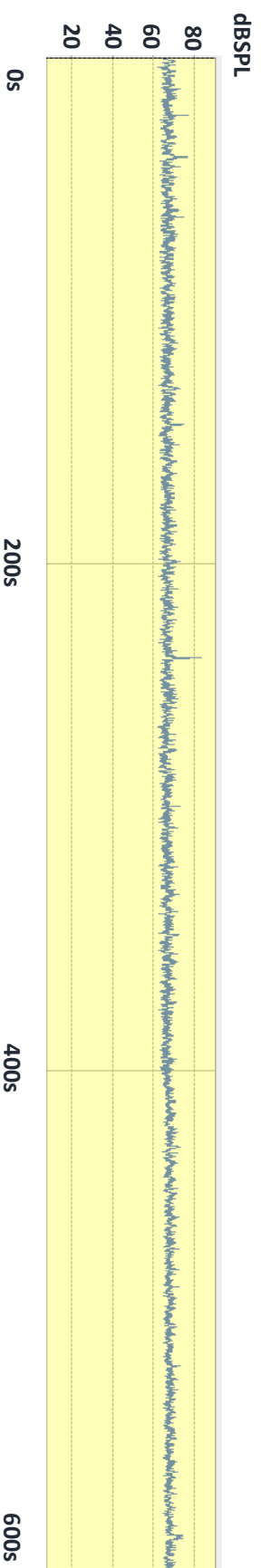


Fig. 5.1-1 10分間の波形

- (①22s 試薬を測る ②39s ゴミ捨て ③62s ゴミ捨て
- ④145s 実験装置の確認 ⑤235s 椅子を移動 ⑥544s 未同定)

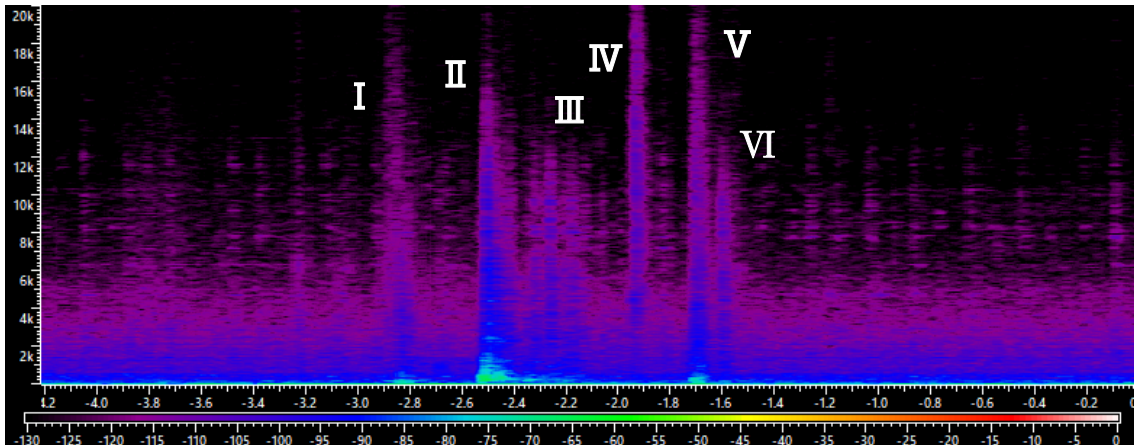


Fig. 5.2-1 実験者 A の 39s 「ゴミ捨て」 (N : 2¹²)

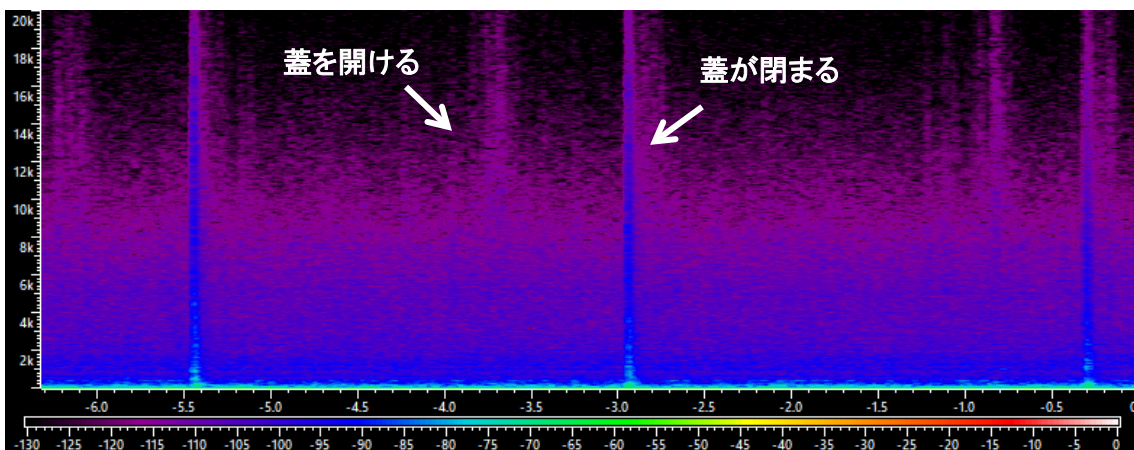


Fig. 5.2-2 実験者 B の同一動作「ゴミ捨て」 (N : 2¹²)

第6章 実験者行動音

実験者行動音は、個人差の影響が存在するため、細かい所までの分析が難しいが、周波数成分と行動との関係性の「パターン」に着目し、作業者の違いが音にどのような違いを生じているかについて検討したほうが良いと考える。また、音環境の作業性への影響や、実験作業における聴覚情報の役割などの研究には、どのような音の実験者にどのような影響を及ぼすかを究明するため、基礎情報とした実験者行動音の周波数分析が必要と考えられる。これにより、本章ではいくつかの実験者行動音を例としてあげ、周波数成分を分析した。また、第2章のスペクトログラム特徴に基づき、それぞれの実験者行動音を判別するための特徴を抽出した。

本研究で分析した実験者行動音は、「蒸留水を入れる」、「物を置く」、「試薬庫の開閉」である。また、実験室における「会話音」と「足音」も一緒に比較した。

6.1 蒸留水を入れる

洗瓶を用いた「蒸留水を入れる」動作は、様々な実験室で行われており、特に化学実験において蒸留水の使用頻度が非常に高いと考えられる。本節では、この動作を分析し、どのような個人差の影響が存在するかについて検討する。

まず、**Fig. 6.1-1** により「蒸留水を入れる」のスペクトログラムを分析したところ、四つの入れる動作の持続時間（約 0.1 s）は大体同じで、全周波数帯域に広く分布している。また、低周波数帯より高周波数帯の振幅が大きく、同一実験者を行った同一動作の周波数成分が大体同じと考えられる。しかしながら、蒸留水を入れ時に、蒸留水の量や押される力などの影響により、スペクトログラム特徴が変わると予想され、模擬実験を行った。

押される力について、**Fig. 6.1-2** は洗瓶の水量が十分である時のスペクトログラムであり、力加減が軽く、強く、軽くの順番で変わってきた。三つの入れる動作は、持続時間が短い、力加減の変化によって複数のピークが現れただけでなく、各周波数帯域の振幅も変化していた。これは、洗瓶を押した後最初に空気が出たことによるものと考えられ、水の量が足りない時にスペクトログラムで空気音のピークが検出された。

次に、洗瓶の蒸留水量について検討する。**Fig. 6.1-3** は洗瓶の水量が足りない時のスペクトログラムであり、故意に同じ力加減で洗瓶を押したが、水の出る音の周波数成分が完全に違った。また、水が出た後、空気が瓶の中に戻すピークが現れた。普通の洗瓶水の出口が一つしかないが、**Fig. 6.1-4** は出口以外空気の漏れが存在する洗瓶のスペクトログラムであり、空気漏れのピークが現れた。

これにより、単一動作である「蒸留水を入れる」は押される力や水量の違いによりスペクトログラムにおける周波数成分と持続時間が変わり、また押された時間の影響もあると予想され、このような持続時間の短い音の分析はとても難しく、より適切な分析方法が必要であると考えられる。

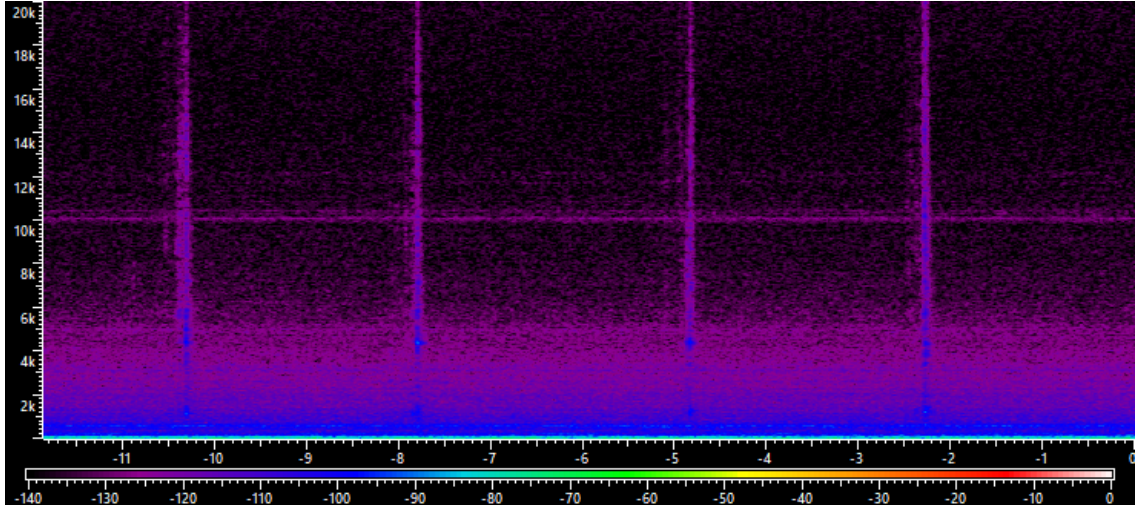


Fig. 6.1-1 蒸留水を入れる (N: 2¹²)

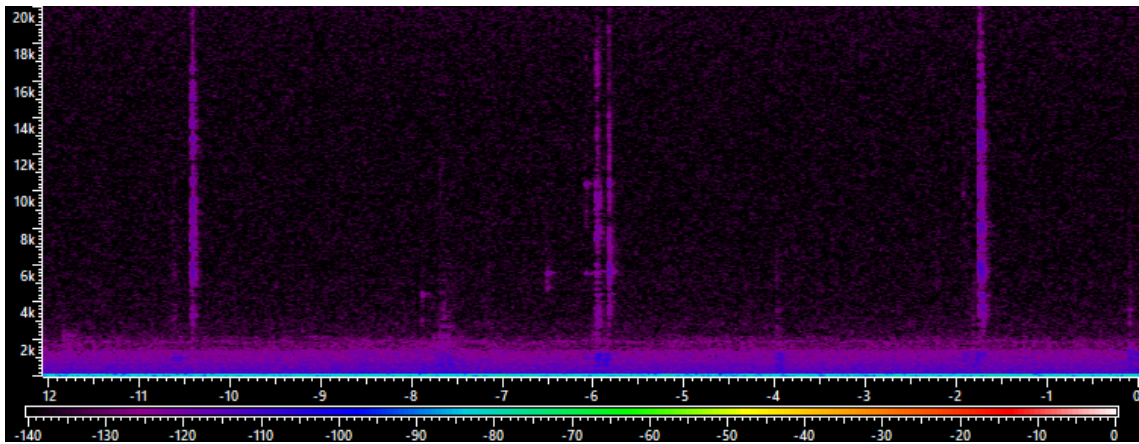


Fig. 6.1-2 模擬実験：洗瓶①水量足り (N: 2¹²)

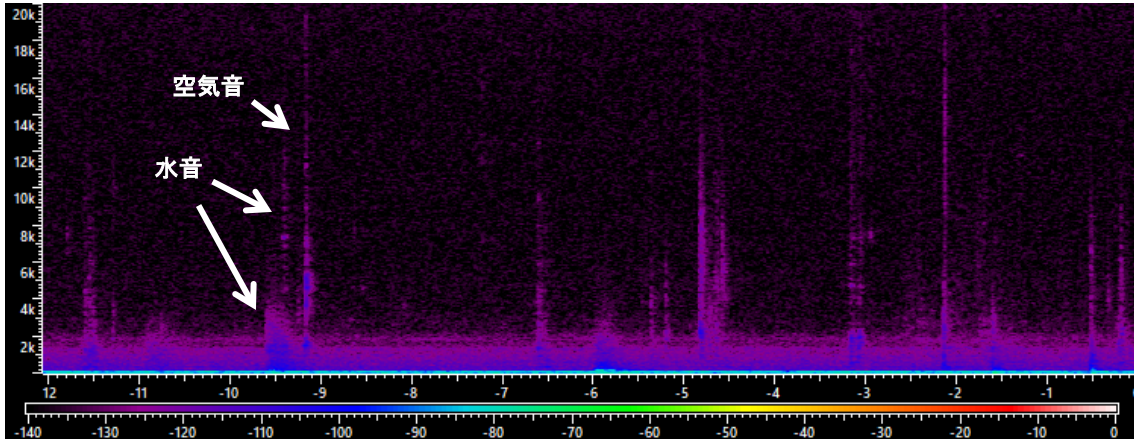


Fig. 6.1-3 模擬実験：洗瓶②（水量が少ない）（ $N: 2^{12}$ ）

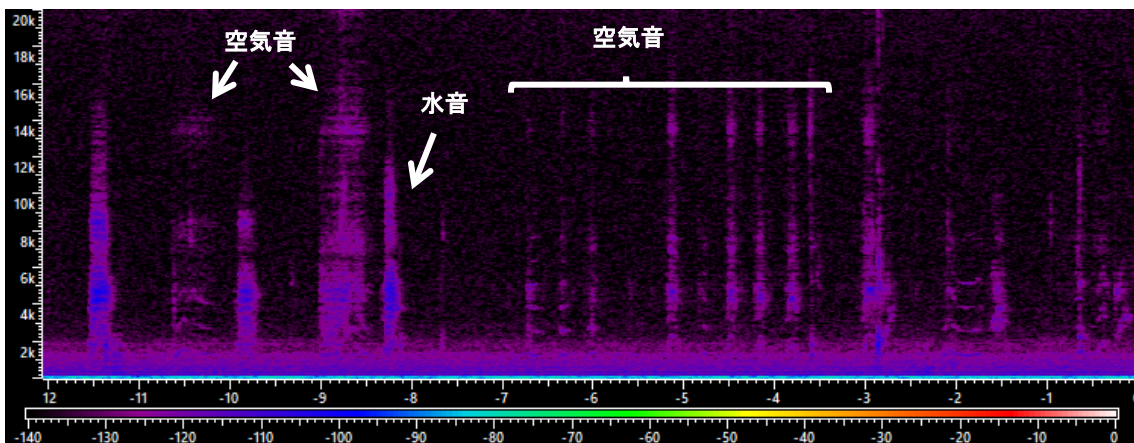


Fig. 6.1-4 模擬実験：洗瓶③（空気漏れ）（ $N: 2^{12}$ ）

6.2 物を置く

本節では、持続時間の短い音を比較するために物を置く音に対して分析した。

Fig. 6.2-1は「ガラス瓶を置く」、Fig. 6.2-2は「バッチ式チューブを置く」のスペクトログラムである。両者も物を置く音であるが、置き方や置いた物の材質や容器の液体・空気の割合によって倍音が現れることがある。また、共通である特徴は、低周波数帯域より高周波数帯域の音の振幅が明らかに大きく、持続時間がより長いことである。詳しく分析するために、100mLのビーカーを用いて水の量を変化させ、置いた時の音の測定した。

Fig. 6.2-3、Fig. 6.2-4、Fig. 6.2-5、Fig. 6.2-6、Fig. 6.2-7は、それぞれ0 mL、20 mL、40 mL、60 mL時にビーカーを置く音のスペクトログラムである。各スペクトログラム自身のピークを比較すると、細かい周波数成分の変化が見える。また、各周波数帯域の振幅と持続時間も僅かに変化している。これは、同一動作を重複する時の力や置き方の影響と考えられる。

次は、水量の違いについて議論する。水の量が多いほど高周波数帯域における振幅が大きいくということではなく、平均的に言うと、60 mL時の音は、高周波数成分が最も少ない。その原因は、主に振動した物は水かビーカーかと考えられる。全体的な傾向は、水の量が少ない時と多い時に、高周波数成分も多い。中間の40 mLと60 mLは、比較的に高周波数成分が少ない。また、倍音について議論すると、水のない時の倍音が最も明らかであり、水の量が多いほど、高い倍音がなくなった。

これにより、他の音と比べても、物を置く音は低周波数帯域の振幅がより大きい。また、全体的な持続時間が短く、低周波数帯域の持続時間が高周波数帯域より明らかに長いと分かり、持続時間の短い音を分析には役立つと期待される。しかしながら、模擬実験の結果により音から水の量を反映するのは難しく、また画像情報による判別の精度が高く、今の段階は実験室での音響情報の解析には適用性が低く、画像情報で見えない部分において補足として扱ったほうが良いと考えられる。

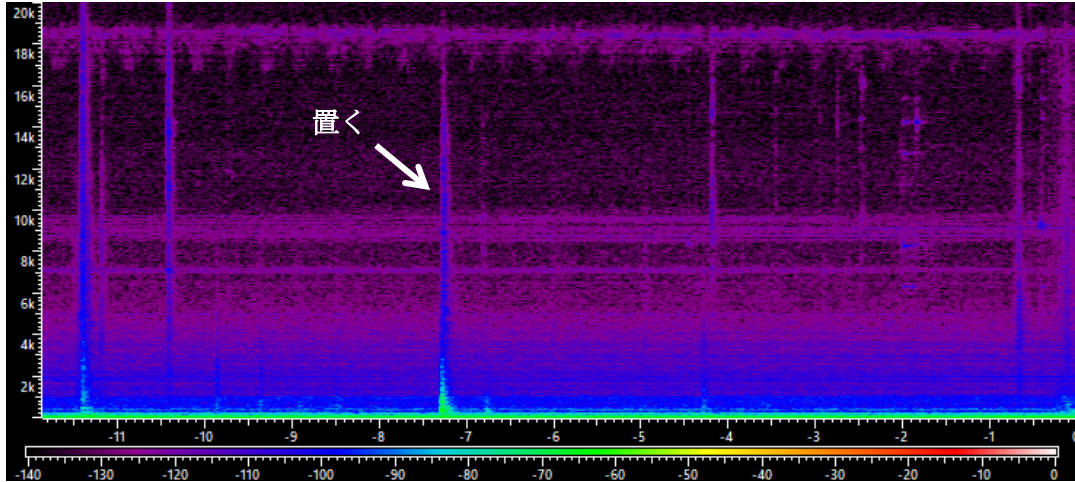


Fig. 6.2-1 ガラス瓶を置く (N : 2¹²)

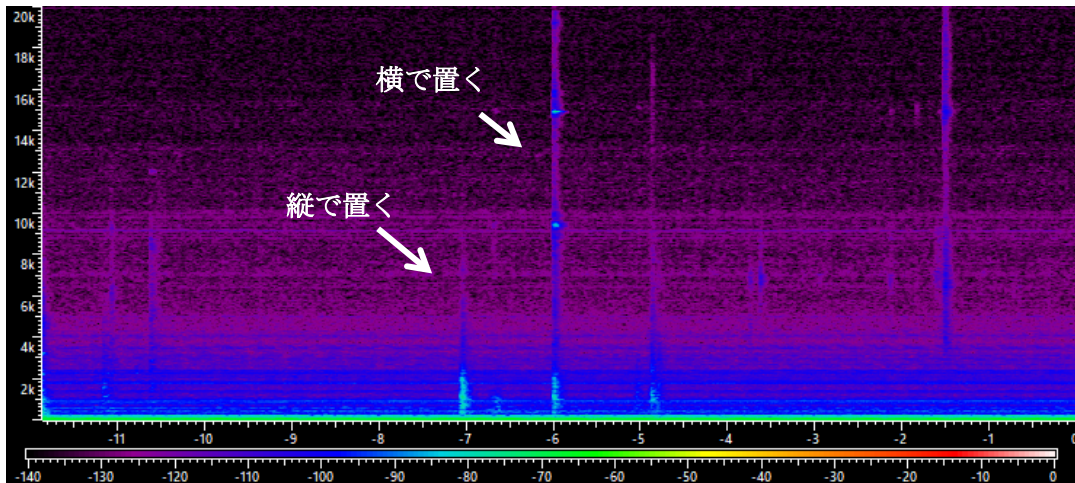


Fig. 6.2-2 バッチ式チューブを置く (N : 2¹²)

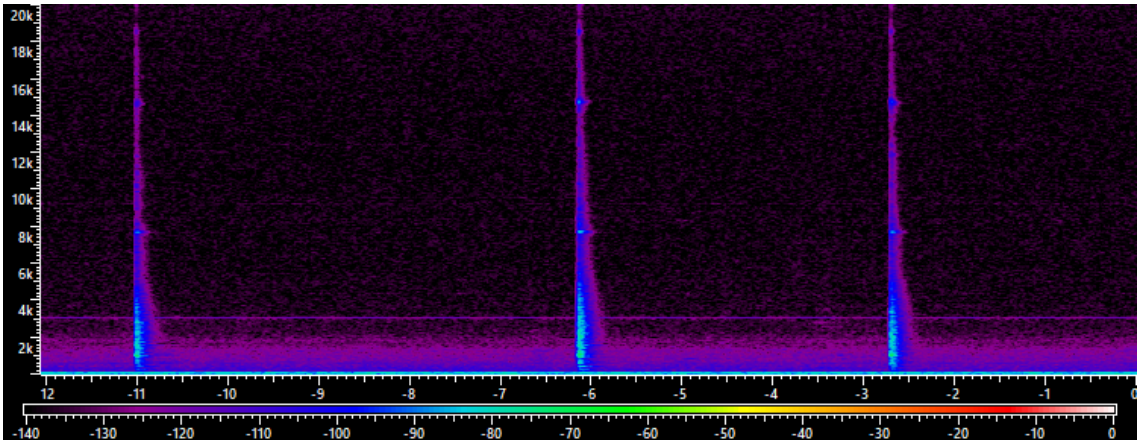


Fig. 6.2-3 ビーカー (水量 : 0 mL) (N : 2¹²)

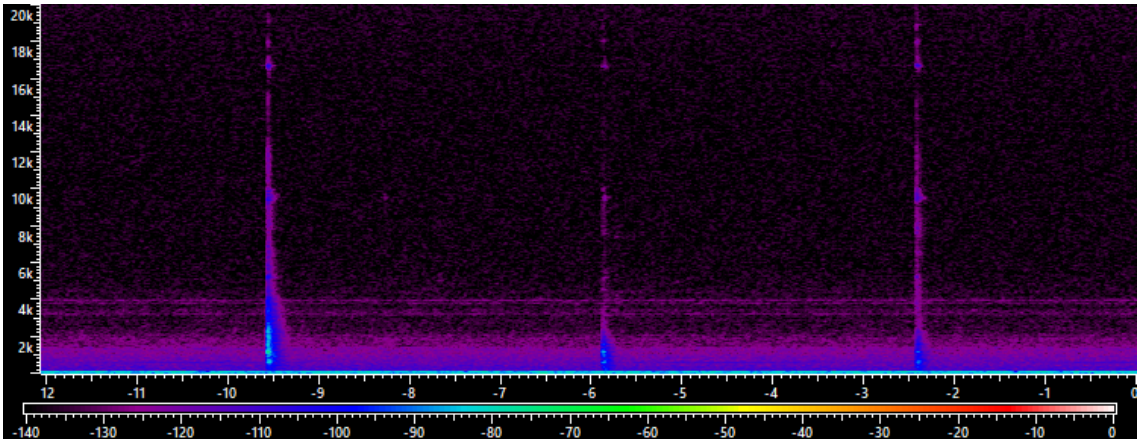


Fig. 6.2-4 ビーカー (水量 : 20 mL) (N : 2¹²)

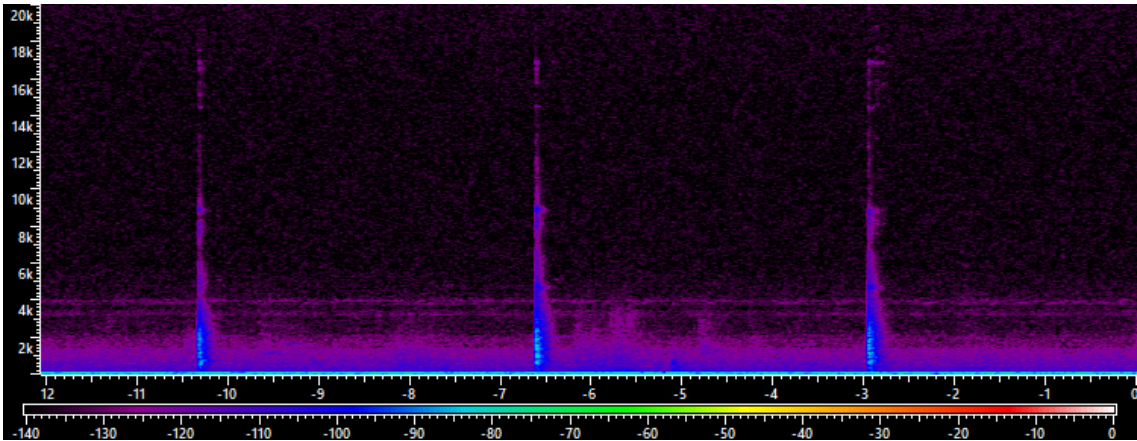


Fig. 6.2-5 ビーカー (水量 : 40 mL) ($N : 2^{12}$)

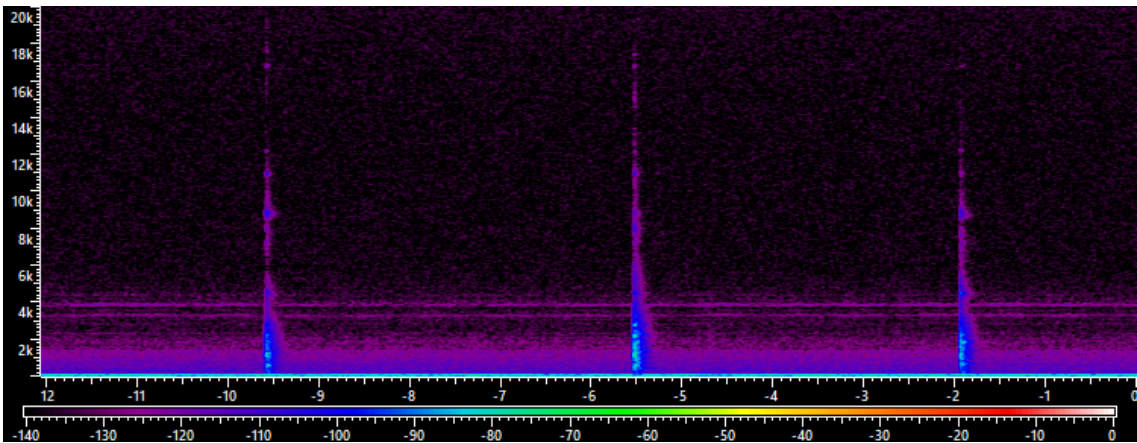


Fig. 6.2-6 ビーカー (水量 : 60 mL) ($N : 2^{12}$)

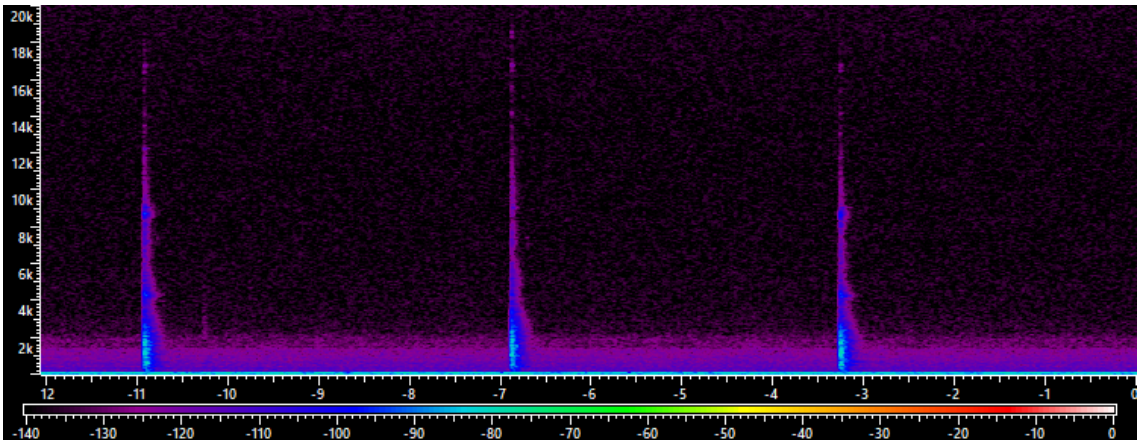


Fig. 6.2-7 ビーカー (水量 : 80 mL) ($N : 2^{12}$)

6.3 試薬庫の開閉

本節は Felica 式試薬庫を対象として分析した。Felica 式試薬庫はカードをかざした後、扉を開けるという操作手順であり、「アラーム音」が存在する。Fig. 6.3-1 と Fig. 6.3-2 は「試薬庫を開ける」スペクトログラムであり、試薬庫を開けるのは、「扉の取手を掴む」「アラーム音」「開ける」三つの動作から構成された。「扉の取手を掴む」は持続時間が短く、全周波数帯域に分布している。「アラーム音」は約 2200 Hz と 4500 Hz の特徴周波数を持つ。「開ける」の持続時間が短く、全周波数帯域に分布している。また、「アラーム音」以外の二つの動作音は、二つのピークを現れたことがあるため、「アラーム音」を判別の根拠としたほうがよいと考えられる。

Fig. 6.3-3 と Fig. 6.3-4 は「試薬庫を閉める」スペクトログラムであり、「閉める」「ロックした音」から構成され、アラーム音が存在しない。「閉める」と「ロック音」は、持続時間が短く、全周波数帯域に分布している。「閉める」は、約 1200 Hz 以上の周波数帯域において振幅の変化が弱く、特徴として見なせるが、実験者行動音は様々な影響を受けるため、判別の根拠としては十分ではないと考えられる。一方で、試薬庫自身の「ロック音」は、約 7000Hz、10000 Hz、14000 Hz 付近の周波数帯域に振幅が大きくなるため、「試薬庫をしめる」を判別する根拠として信頼性が高いと考えられる。

これにより、分析しにくい持続時間の短い実験者行動音に対して、構成音の中の実験装置音を探すことで行動の判別が可能と考えられる。また、開閉した者の特定は困難であるが、開閉までの時間などから試薬の出し入れという作業に関する異常性は検出できると期待される。

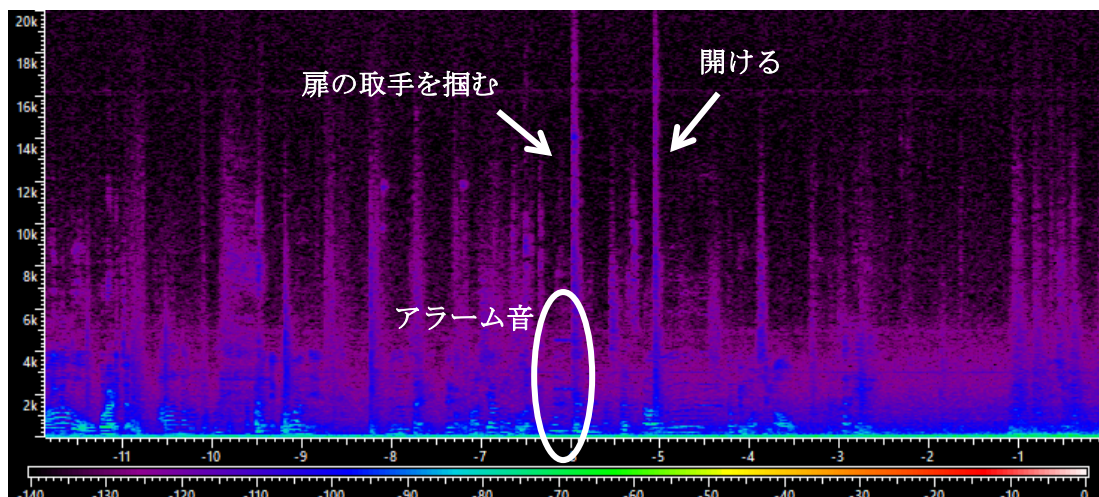


Fig. 6.3-1 試薬庫を開ける① (実験者 C) (N : 2¹²)

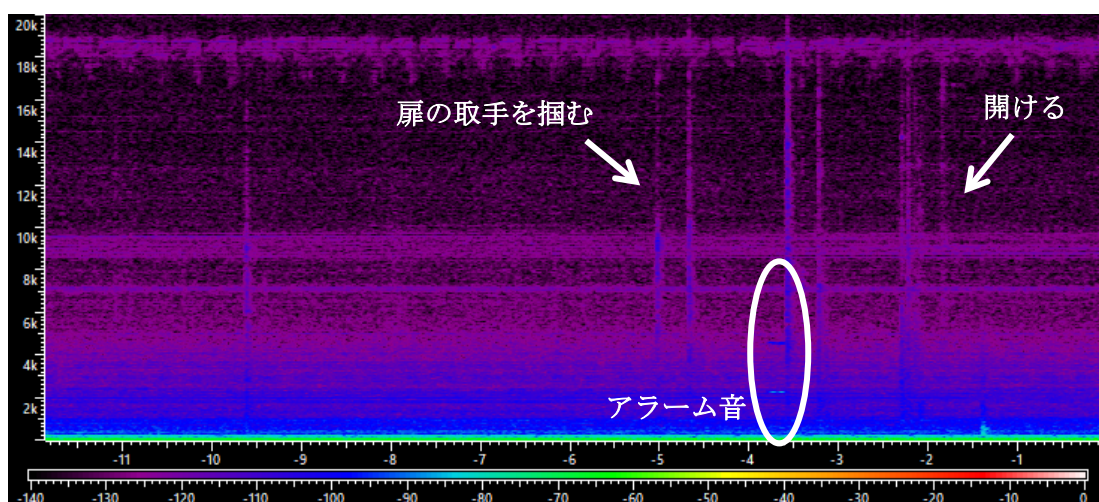


Fig. 6.3-2 試薬庫を開ける② (実験者 D) (N : 2¹²)

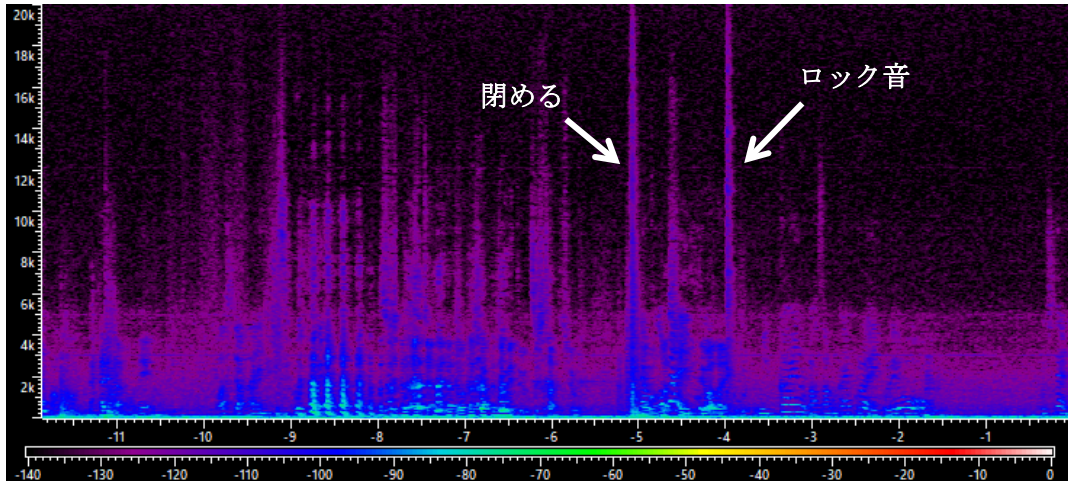


Fig. 6.3-3 試薬庫を閉める① (実験者 C) (N : 2¹²)

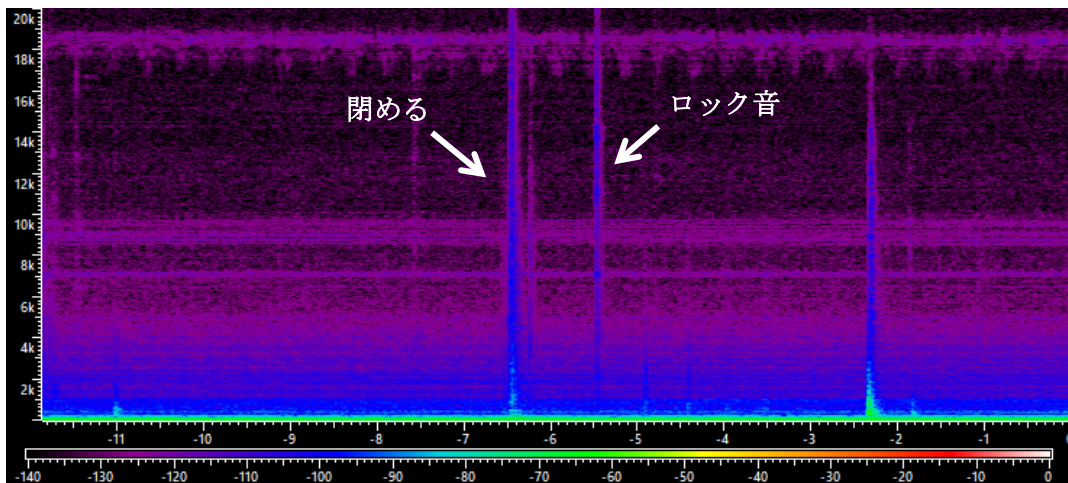


Fig. 6.3-4 試薬庫を閉める② (実験者 D) (N : 2¹²)

6.4 会話

本節は会話音に対して分析した。Fig. 6.4-2はFig. 6.4-1の最初三秒間のスペクトログラムである。音声に関わる検討がすでに多くあり、本研究は他の音と区別するために会話音を分析した。

Fig. 6.4-1は二人の実験者がずっと話し合っそれぞれ言葉に倍音が現れた。特徴的には、Fig. 6.4-1のように高周波数成分を持つピークが立った後、会話者の音節が延長し、スペクトログラムの低周波数帯域に持続的な倍音として現れた。

このように、ピークの現れた直後、低周波数帯域に持続的な倍音が存在する音により、会話音であると判別でき、実験室の音響分析において目的音以外の音として区別することが可能である。

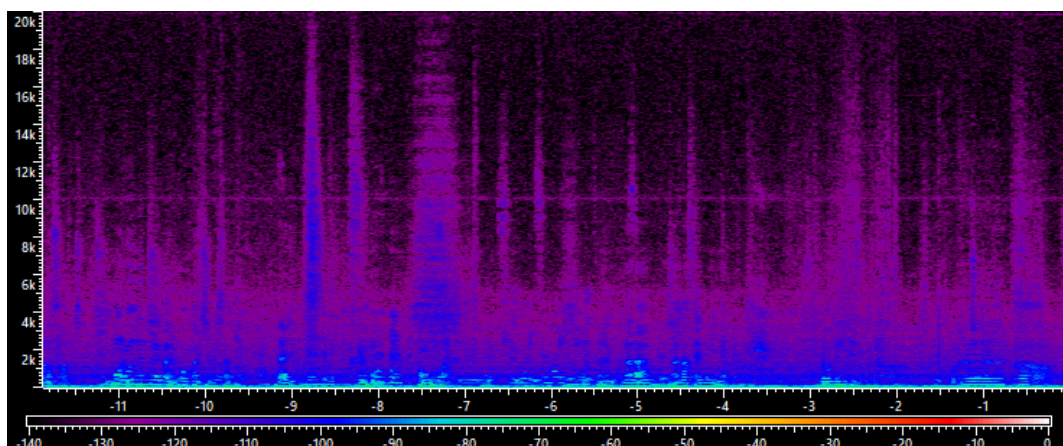


Fig. 6.4-1 会話音 (N : 2¹²)

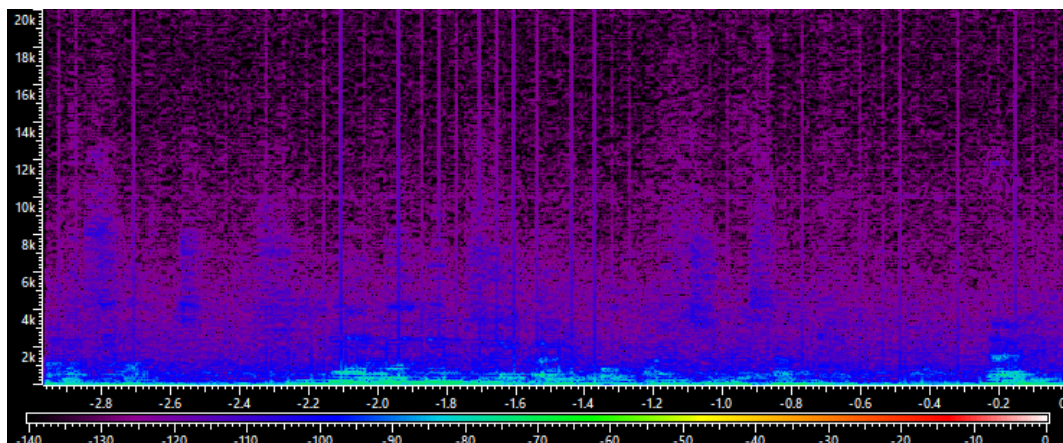


Fig. 6.4-2 最初三秒間の会話音 (N : 2¹²)

6.5 足音

Fig. 6.5-1 と Fig. 6.5-2 は実験者 C の「足音」、Fig. 6.5-3 は実験者 B の「足音」スペクトログラムであり、周波数帯域の分布や周波数ごとの持続時間が変化している。これは、マイクロフォンとの距離や実験者個人の歩き方による影響と考えられる。ここで、歩き方による差異を分析するため、「普通に歩く」と「速く歩く」の模擬実験を行った。

Fig. 6.5-4 は「普通に歩く」、Fig. 6.5-5 は「速く歩く」スペクトログラムである。まず、どちらの歩き方も周波数帯域の分布が変わり、ステップごとに一定な間隔があるが、スペクトログラムの特徴が変化していた。また、「普通に歩く」より、「速く歩く」の方が持続時間が僅かに短く、振幅が大きい。

以上より、歩くことによって発生する音は、ステップの周期性によってある程度判別可能であると考えられるが、各ステップの持続時間が短く、音量も小さいため、歩いている人の特定や歩き方について議論するためには、マイクの位置や雑音除去などの技術的な改良が必要であると考えられる。

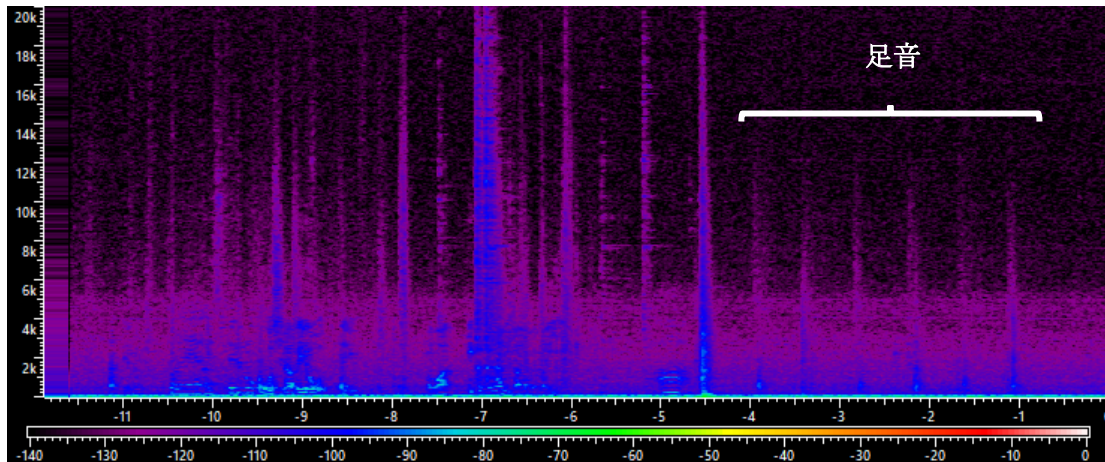


Fig. 6.5-1 足音① (実験者 C) ($N: 2^{12}$)

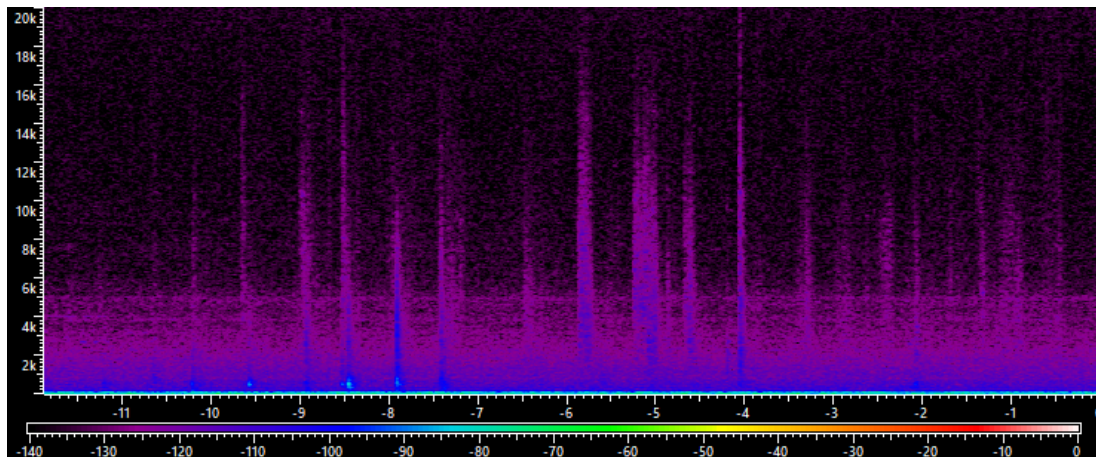


Fig. 6.5-2 足音② (実験者 C) ($N: 2^{12}$)

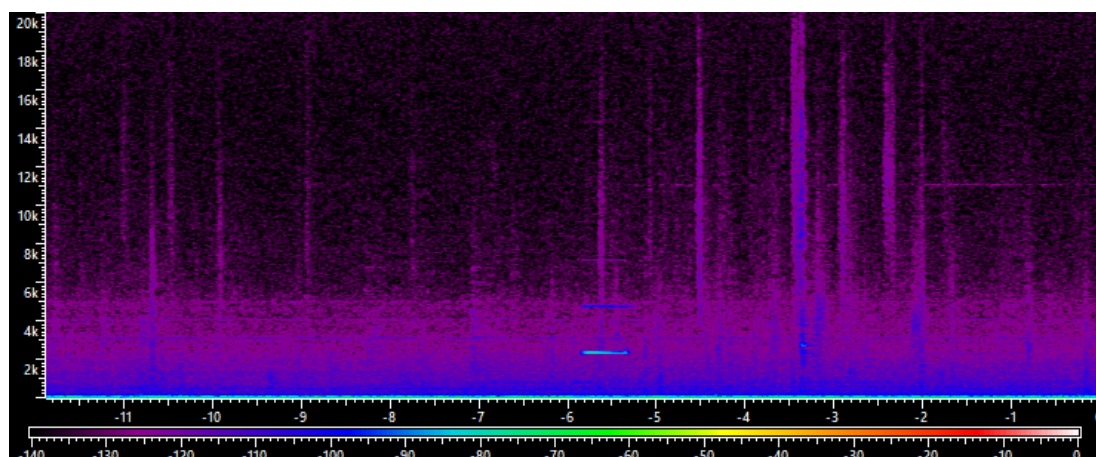


Fig. 6.5-3 足音③ (実験者 B) ($N: 2^{12}$)

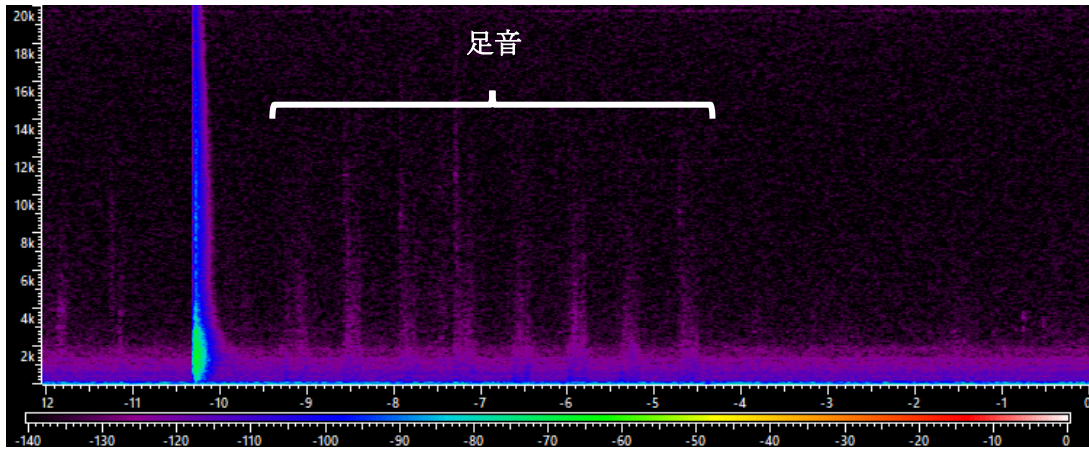


Fig. 6.5-4 普通に歩く (実験者 B) (N : 2¹²)

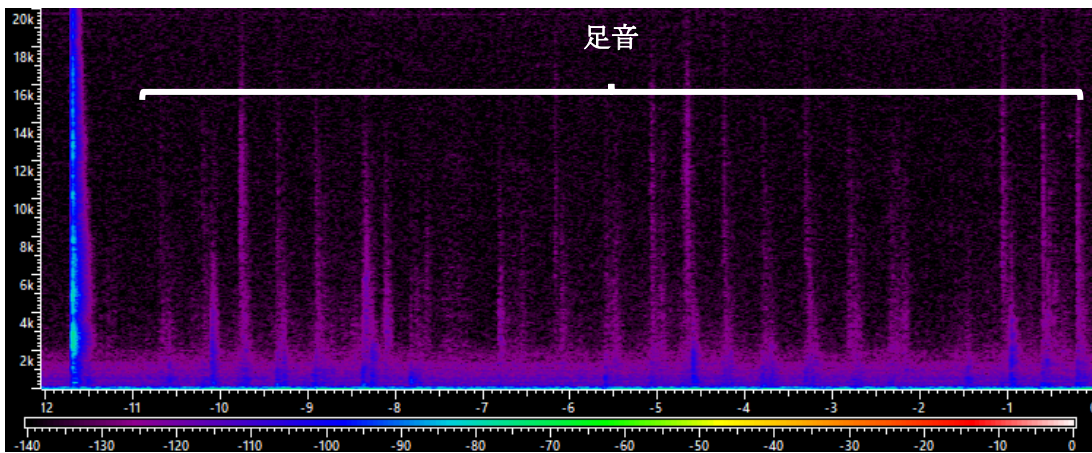


Fig. 6.5-5 速く歩く (実験者 B) (N : 2¹²)

6.6 本章のまとめ

実験室のいくつかの実験者行動音を例として周波数成分の分析したところ、スペクトログラム特徴を抽出し、スペクトログラムから実験者行動音を判別する方法を議論した。まず、持続時間の短い実験者自身が発生する行動音の分析が難しいが、実験者の操作により発生した装置音を利用して、実験者の行動を判別することは可能であることが示された。また、物を置く音は低周波数帯域に持続時間と振幅の大きさが明らかであり、分析しにくい短い持続時間の音でも一つのスペクトログラム特徴と考えられる。次に、水量の異なるビーカーを実験台に置く動作が、音にどれくらい反映されるかを定量的に分析したが、それぞれのスペクトログラム特徴が線形的な関係ではなく、短い持続時間の音を用いた情報からの判別は難しいと考えられる。さらに実験者の会話音と足音を分析し、会話音の特徴的な倍音と足音における各ステップの変化が明らかとなった。

実験者行動音について、実験者の個人差など様々な影響が出やすく、行動の違いを音の情報から直接明らかにするには至らなかったが、各動作に特徴的な音のパターンが存在することが明らかになった。また、同じ目的を持って行動した実験者たちは、目的を達成するためのやり方にバリエーションがあるため、同じ行動であるということを判別するにはこれらの課題を解決する必要がある。今後は、測定法の改良を含め、同じ行動の中でのパターンについてさらに詳細な解析を行う必要があることが示された。

第7章 結言

7.1 まとめ

本研究では実験室の音を収集、解析した結果、実験装置音と実験者行動音に大別することが可能であることを示した。実験装置音については、スペクトログラムの特徴的な周波数が装置の稼働状況にある程度対応することから、稼働状況の確認や異常の検知などにも適用できる可能性が示された。また、実験者行動音については、個人差など様々な影響が出やすく、行動の違いを音の情報から直接明らかにするには至らなかったが、各動作に特徴的な音のパターンが存在することが明らかになり、測定法の改良を含め、このパターンについてさらに詳細な解析を行う必要があることが示された。このように、音響情報が実験室の状態を記述するための手段としての有効性が示されたことから、今後は、実験室音をより多く収集してデータベースを作り、音響情報以外のモニタリング結果と組み合わせることによって、実験室全体の安全や異常検知に関する議論に展開することが期待される。

7.2 今後の展望

現在、音に関わる研究において、音声の認識・合成などの技術は既に広い分野で応用されているが、環境音技術^[16]の応用化はまだ広がっていない。実験室における音響分析は、環境音分析技術の実験室への応用と考えられる。しかしながら、一般的な環境音研究は無響室で分析するため、たくさんの音の混ざっている実験室にそのまま応用するのは難しい。これに対して実験室の雑音処理^[17]と音響分離技術^[18]が必要である。また、今回は周波数成分の分析に着目したが、音が音源の位置情報を含んでおり、音源位置の特定も可能である^[19]。次に、実験者行動音については、個人差や行動目的など様々な影響が出やすいので、多くのデータを収集してデータベースを作ることが必要と考えられる。ここで、多くのデータを収集することには、音の自己相関係数を用いて多数のピークの中で目的である音の抽出が期待される^[20]。また、AI技術の発展に伴い、機械学習^[21]やディープラーニング^{[22][23]}などの技術により、音のスペクトログラム特徴に基づき音響識別が可能であり、特に影響要素の多い実験者行動音への解析が期待される。一方で、実験装置音はそれぞれのスペクトログラム特徴を持つため、音の識別は難しくないが、異常音の所得とか、装置内部に各部品が音響への寄与とか、装置の異常検知までの応用にまだ課題がある。そこで、他の音響分析手段や評価方法が求められる。

当然、音響情報だけを用いて実験室を表すのは不十分と考えられ、実験室の他の情報を合わせ、またそれぞれの分析手法を用いることで、実験室の稼働状況がより詳細に明らかになることが期待される。

参考文献

- [1] Yukiko Nezu, et al., *Journal of Environment and Safety*, **5(2)**, 99-105(2014).
- [2] 大島義人, *環境と安全*, **8(3)**, 83-89(2017).
- [3] 主原ら, *安全工学*, **48(3)**, 148-154(2009).
- [4] 神田ら, *情報処理学会論文誌*, **49(5)**, 1724-1742(2008).
- [5] Rina Yamaguchi, et al., *Journal of Environment and Safety*, **10(2)**, 41-44(2019).
- [6] 宇野ら, *情報科学技術フォーラム講演論文集*, **13(2)**, 253-256(2014).
- [7] 夏目ら, *ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集*, **14(2)**, 1A1-004(1)-1A1-004(4)(2014).
- [8] 植松ら, *NTT技術ジャーナル*, **29(6)**, 24-27(2017).
- [9] 森山ら, *東京工芸大学工学部紀要*, 34(1), 58-64(2011).
- [10] 松田宅司, 京都大学修士論文 (2018).
- [11] GARY R. KIDD, et al., *Perception & Psychophysics*, 69(6), 839-855(2007).
- [12] Audio Technica HP,
<https://www.audio-technica.co.jp/microphone/navi/whatis/02.html>
(最終閲覧 2020年1月22日)
- [13] Jeard Lewis, *Analog Dialogue*, **46-05**, 1-3(2012).
- [14] NTi Audio HP,
<https://www.nti-audio.com/ja/サポート/測定ノウハウ/サウンドレベル測定の周波数重み付け特性について>
(最終閲覧 2020年2月22日)

- [15]Kubota HP,
https://www.kubotacorp.co.jp/products/kubota/centrifuge/2420_rotor.php
(最終閲覧 2020 年 2 月 22 日)
- [16]井本桂右, *日本音響学会誌*, **74(4)**, 198-207(2018).
- [17]呉淑珍ら, *北京大学学報 (自然科学版)*, **37(3)**, 365-370(2001).
- [18]大槻ら, *電子情報通信学会技術研究報告*, **104(164)**, 37-41(2004).
- [19]岡田ら, *計測自動制御学会論文集*, **39(5)**, 441-448(2003).
- [20]浅野ら, *電子情報通信学会誌*, **87(3)**, 175-181(2004).
- [21]永田ら, *電子情報通信学会技術研究報告*, 102(618), 25-31(2003).
- [22]高橋ら, *NAIS Journal*, **11**, 9-15(2017).
- [23]O. Abdel-Hamidi, et al., 2012 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), 4277-4280(2012).

謝辞

本論文は、東京大学大学院新領域創成科学研究科環境システム学専攻の修士過程において、大島研究室で行った研究成果をまとめたものです。多くの方々にお世話になりました。

指導教員である大島義人教授には、ゼミやディスカッションに通じて様々なご指導を頂き、研究に関する方向性や検討すべき所を教えてくださいました。また、音で大学実験室を解析するという新しい研究分野において、ゼロから一まで研究全体の構築方法や研究の奥深さについて、様々な知見を頂きました。厚く御礼申し上げます。秋月信講師には、私の研究生の段階で超臨界水に関する知見を教えてください、未熟な私に対し研究者として良い経験を頂きました。また、ゼミにおいて音響分析に関する分析対象とした実験装置を提案して頂き、大変参考になりました。深く感謝申し上げます。副査の中島謙一准教授には、面談を通じて研究方針についてのご助言を頂きました。また、研究全体の構築に関する知見を教えてください、自分自身の理解も深まりました。深く感謝申し上げます。本専攻の水野勝紀助教には、音響の専門家ではない私に方法論について紹介して頂きました。深く感謝申し上げます。特任研究員の根津友紀子さんには、たくさんのディスカッションをして下さり、安全に関する研究上の様々な知見を頂きました。また、論文における文章の日本語の問題についてご助言を頂き、大変助かりました。深く感謝申し上げます。同じ安全グループの主原愛さんには、中間発表についてのご助言を頂きました。また、安全講習で未熟な私を講演者にさせて下さり、安全研究に関する良い経験ができたと思っています。大島研究室の織田耕彦さんには、外国人の私に対して研究生段階で生活面において支援して頂きました。また、実験装置の使用方法を丁寧に指導して下さい、お世話になりました。大島研究室の Chanwit Apibanborirak さんには、ゼミを通じて様々なアドバイスを頂きました。誠にありがとうございました。超臨界グループの劉源さん、張端子さん、島田さん、紅林さんには、実験装置の操作や音の現れる段階を教えてください、大変参考になりました。誠にありがとうございました。卒業された先輩の齊藤陵賢さん、高橋侑佳さん、山口里奈さんには、研究上に様々な支援を頂き、誠にありがとうございました。同期である、村瀬文弥さん、七瀬浩希さん、那須雄太さん、今田佳那さん、中西泰介さん、阪田一真さん、引間脩さん、山本和範さんとは、いつもお互いに励ましあい、楽しく研究生活ができました。心より感謝申し上げます。後輩の皆さんとは、研究室で快適に生活が送れました。心より感謝申し上げます。

上記以外の非常に多くの方々の支援も受けました。誠にありがとうございました。私はまとめて2年半に渡って大島研究室で生活を送って、大変充実していたと思っています。大変お世話になりました。皆様に厚く御礼申し上げます。

2020年1月22日

廖 智聡