

労働環境の整備に寄与する技術開発研究（第1報）

－騒音環境の改善に向けて－

阿部衣吹*・橋口智和*・重光和夫*・水江宏*・
疋田武士**・佐藤寿喜**・兵頭敬一郎**・佐藤幸志郎**

*機械担当・**製品開発支援担当

Research for technology development that contributes to the improvement of the working environment (1st Report)

－To improve the noise environment－

Ibuki ABE*・Tomokazu HASHIGUCHI*・Kazuo SHIGEMITSU*・Hiroshi MIZUE*
Takeshi HIKIDA**・Hisaki SATO**・Keiichiro HYODO**・Koshiro SATO**

*Machinery Section・**Product Design and Development Section

要 旨

大分県では、障がい者活躍日本一の実現に向けて、障がい者が心豊かに暮らし働ける社会づくりに向け取り組みを進めている。令和6年4月から事業者による障がい者への合理的配慮の提供が義務化されたが、労働環境等の整備が不十分で障がい者の雇用に課題があり、中でも衝撃音や機械音などの騒音が労働者に影響があるため労働現場での騒音対策が必要である。

これらの背景から、労働環境から生ずる騒音の改善につながる騒音対策物の研究開発を目的に、今年度はまず音に関する各種調査及び検討を行った。

1. はじめに

令和4年の大分県の障がい者雇用率は2.61%と全国第7位で、身体障がい者の雇用率は1.67%と全国1位を維持しているものの、知的障がい者は0.57%、精神障がい者は0.37%であり、知的・精神障がい者の企業での一般就労は依然として厳しい状況にある¹⁾。

さらに、令和6年4月から、民間企業の法定雇用率が2.5%へ引き上げられ、対象企業も従業員40人以上へ拡大されたこと²⁾から、一層の障がい者雇用への理解と浸透が重要になっている。特に、知的・精神障がいの方は感覚刺激に敏感であり、中でも発達障がいの方は、聴覚過敏を持つ割合が高く、特定の音域の音に対して激しい苦痛を感じており、日常生活や社会生活に支障をきたしている。障害者雇用促進法では、事業者は障がいのある人に対して「合理的配慮」を提供しなければならないとされている。

一方で、製造業では労働環境中に機械音やモーター音など様々な音量・音域の「騒音」が生じやすく、聴覚過

敏を持つ障がい者に対する配慮が必要であるが、対策は十分ではない。

これらの背景から、労働環境から生ずる騒音の改善につながる騒音対策物の研究開発を目的に、今年度はまず音に関する各種調査及び検討を行った。

2. 各種調査及び検討

2.1 騒音等に関する課題解決手法

まず、障がい者の労働環境について実際の労働現場の状況把握を行うため、本研究ではオムロン太陽株式会社にて聴覚障がい者を対象、社会福祉法人太陽の家別府工場にて聴覚過敏の症状がある方を対象に、聴覚過敏に関するアンケートおよび聞き取り調査を実施し、本研究のペルソナ設定を行った。

また、実際の労働環境における騒音測定として、精密騒音計(リオン製 NL-52)を用い、作業現場の騒音レベル測定を行った。測定箇所は作業現場である工場内3つのエリアで行い、騒音のターゲット領域となる周波数帯を

定めた。測定条件を Table 1 に示す。

Table 1 測定条件

測定時間	30 (s)
サンプリング周期	20.83 (μ s)
騒音計設置高さ	1000 (mm)
周波数重み付け特性	A 特性
時間重み付け特性	F (Fast)

2.1.1 アンケート及び聞き取り調査

聴覚過敏に関するアンケートは、「発達障害に伴う聴覚過敏と音環境に関する実態調査³⁾」を参考に作成した。

回答者は、平均年齢 31.5 才 (27~38 才) の男性 4 名 (工場の製造現場作業員 2 名, 部品取り揃え作業員 2 名) で、発達障害などに関する医師の診断を受けていた。

聴覚過敏症についての質問を 11 項目、聴覚過敏症を引き起こす音についての質問を 6 項目とし、各項目の回答内容確認時に対面で聞き取りを行った。

まず、聴覚過敏症の質問について、内容は日常生活や仕事で、周囲の音に対する感じ方や、集中力、ストレスなどについて「いつもある」～「全くない」の 5 段階で回答を得た。

聞き取りの際に、身の回りで気になる音について、「するどい音」「高い音」「声が高い方のしゃべり声」「大きい音 (花火、太鼓、雷など)」、職場で気になる音について「機械音」「空調の立ち上げの音」など、症状や生活環境、職場環境によって様々であることがわかった。

症状は、「仕事中に聞こえる音全てを理解しようとして混乱する」「頭が真っ白になる」「商業施設や駅で音が全部入ってきて、わーってなった」など、混乱やパニックになる場合もあることがわかった。また、ヒアリングの結果、触覚や視覚に対する過敏を伴う場合もあるようで、聴覚過敏の症状は、体調や時間帯、外部環境の影響を受けて変化することもわかった。

次に、聴覚過敏症を引き起こす音についての内容は、音を過敏に感じる場所を「室内」「屋外」「施設」「学校や仕事場など」の中から選択してもらい、その音をどのように感じたかを「特に過敏に感じる」～「全く過敏に感じない」の 4 段階で回答を得た。

「学校や仕事場など」を選んだ方は、「職場の集塵機」の音が特に過敏に感じ、ヘッドホンなどで耳を塞いで遮音する対策をしていた。

また、過敏に感じる音として、「特定の人の声」が挙げられ、その対策については「イヤーマフを使ってみたが頭を締め付ける感じが不快で、あまり効果がなかった」との回答があった。このことから、身体に接触して遮音

する方法が不快と感ずる場合があることがわかった。

聴覚過敏を引き起こす音は「人の声」「機械の音」「電車の音」「商業施設の音」など、音の質や大きさ、周囲の環境も様々であるが、特に防音する周波数は、高周波域を対象とし、症状や環境に応じて調節して遮音することが有効な対応策と考えられる。

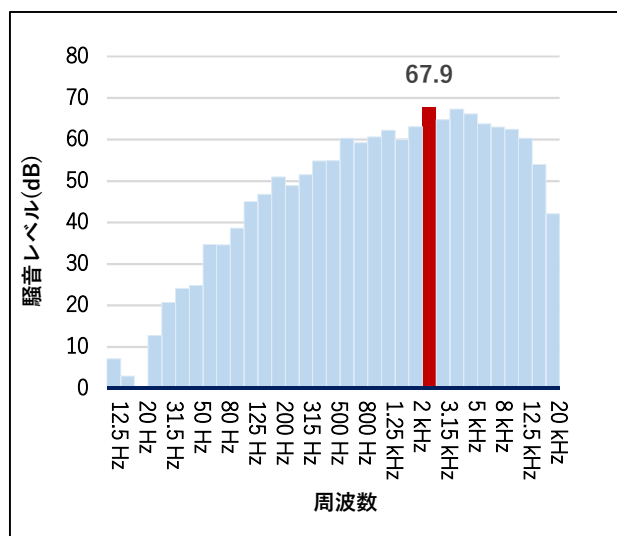
以上の調査を踏まえ、ペルソナは、聴覚過敏症の他に触覚過敏症を併せ持ち、製造現場の機械の音などの高周波域に過敏で時間帯や外部環境により症状が変化する 30 代の男性と設定した。

2.1.2 労働環境の騒音測定

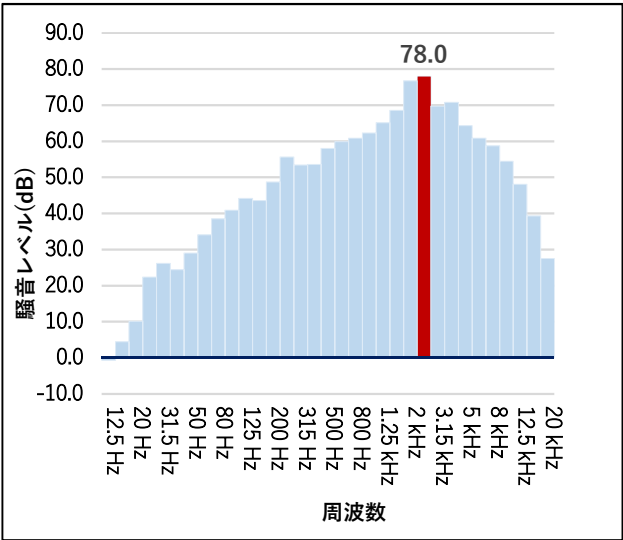
実際の作業現場の 3 つのエリア (A, B, C) で騒音を測り、1/3 オクターブバンド分析した結果を Fig. 1 に示す。

この分析結果から、測定エリア A と B では 2.5kHz 帯において最大の騒音レベル値 (A: 約 68dB, B: 約 78dB) となり、測定エリア C では 2.0kHz 帯と 8.0kHz 帯において最大の騒音レベル (約 71dB) であった。今回測定した工場では、金属同士の衝突や圧縮空気の吹き出しによる音が多く、このことから比較的高周波の音圧が大きいことがわかる。これは、一般的な製造業でも同様な傾向であると考えられる。以上より、本研究でターゲットとする防音音域の周波数範囲は 2.0kHz~8.0kHz と定めた。

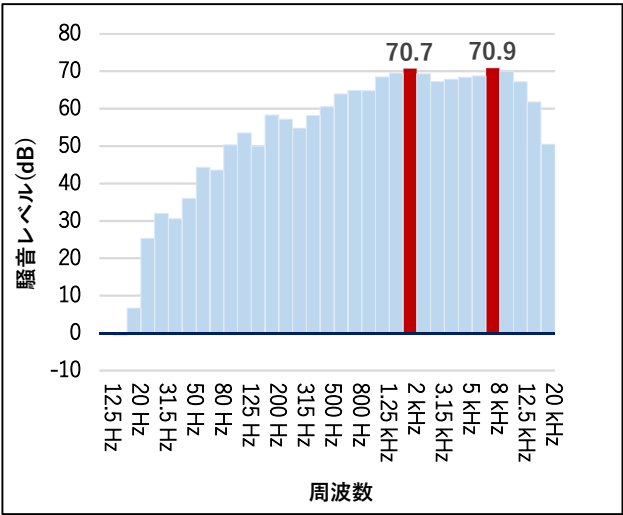
また、騒音対策の音圧目標値については、人が騒音と感ずるといわれているのは 70dB 以上であるが、感じ方は各個人で異なり、本研究で対象としている聴覚過敏者はより敏感で人の会話レベルも気になるときがあるという背景も踏まえ、環境省に掲載されている騒音の目安についての資料⁴⁾を参考に、50dB~今回の現場測定で得られた最大騒音レベルの約 80dB の音を対象とし、50dB 以下まで軽減することを目標とした。



エリア A



エリア B



エリア C

Fig.1 各エリアの 1/3 オクターブバンド分析結果

2.2 音の測定に関する調査・検討(防音性の評価方法)

今回想定している防音対策物は、音源と作業者の間に設置することを想定していることから、作業側側の音を測定する必要がある。したがって、防音対策物の試作品の性能評価方法として、試作品を透過する音を簡易的に評価する装置を作製した。

Fig. 2 に簡易評価装置の 3D 図面を示す。密閉型のスピーカー箱の上に蓋付きの箱が乗っており、蓋の部分には 100mm 角の穴を開け、穴部に防音対象物を載せて、精密騒音計（リオン製 NL-52）にて外側から防音対象物を透過してくる騒音レベルを測定するというものである。

完成した装置を用いて、Table 2 に示す条件で測定を行った。

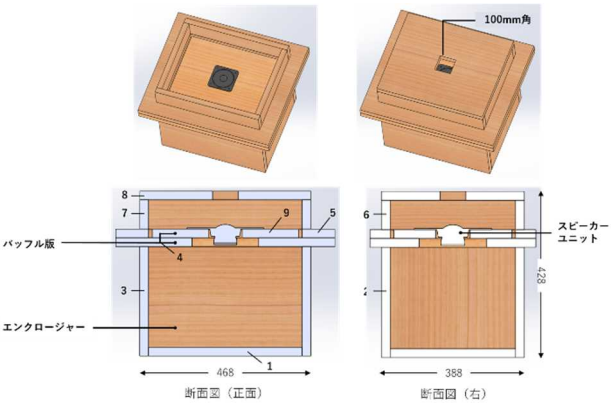


Fig. 2 簡易評価装置の図面

Table 2 簡易評価試験における測定条件

音源	ホワイトノイズ, 5 (V)
測定時間	20～30 (s)
騒音計の位置	試作品試料直上
騒音計と試作品試料の距離	100 (mm)
周波数重み付け特性	A 特性
時間重み付け特性	F (Fast)

2.2.1 簡易評価装置の作製と性能評価

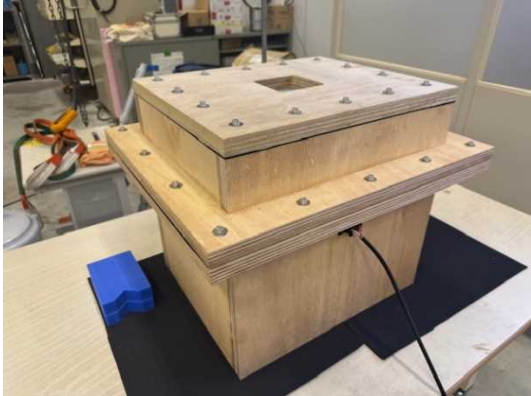
Fig. 3 (a)～(c)に簡易評価装置の完成図を示す。材質は厚み 24mm の合板で、幅 468mm× 長さ 340mm× 高さ 300mm の密閉型エンクロージャーにスピーカー (Fostex 製 P1000K)を設置し、天面の蓋には試作品を評価するための 100mm×100mm の穴を開けた構造となっている。エンクロージャー内での音の干渉や反響を防ぐため、装置内部の空間には高密度ポリエステル製の吸音材を敷き詰めた (Fig. 3(c))。

スピーカー箱の性能を確認するため、スピーカーからホワイトノイズを発生させ 1/3 オクターブバンド分析した結果を Fig. 4 に示す。周波数重み付け A 特性を用いた測定では、一般的に低周波数帯になるほど騒音レベルが緩やかに減少していくが、80～200Hz 帯で騒音レベルが盛り上がる形で大きくなっている (Fig. 4 箱上部あり) ことから、装置に依存する周波数帯があることがわかった。この要因を突き止めるために、蓋のない状態 (Fig. 4 蓋なし) とスピーカーから上部の筐体である箱上部を外した状態 (Fig. 4 箱上部なし) で測定したところ、箱上部がある場合のみ、約 80～200Hz 帯で騒音レベルが大きくなっている。このことから、箱上部に依存した音が装置の外側に出ていると示唆された。更に、箱が振動しているかを確認するために、ホワイトノイズ発生時の装置の振動状況をレーザードップラ振動計（ポリテックジャパン製 VibroFlex）で測定した。測定箇所は、装置の一

番上の蓋部分である。

Fig. 5 はレーザードップラ振動計で測定した変位量（図中の青線）と FFT 分析（図中赤線）の結果である。この結果から、低周波数帯にて箱の蓋部分が振動していることが確認できた。以上より、約 80～600Hz 前後においては、測定結果に装置由来の振動の影響が出ることが分かった。

今回ターゲットとした音域調節の周波数範囲 2～8kHz では影響が軽微と考えられるため、この装置を使い防音対策物の試作品の評価を行うこととした。



(a) 装置全体



(b) 蓋を取外した様子

(c) 吸音材

Fig. 3 完成した簡易評価装置

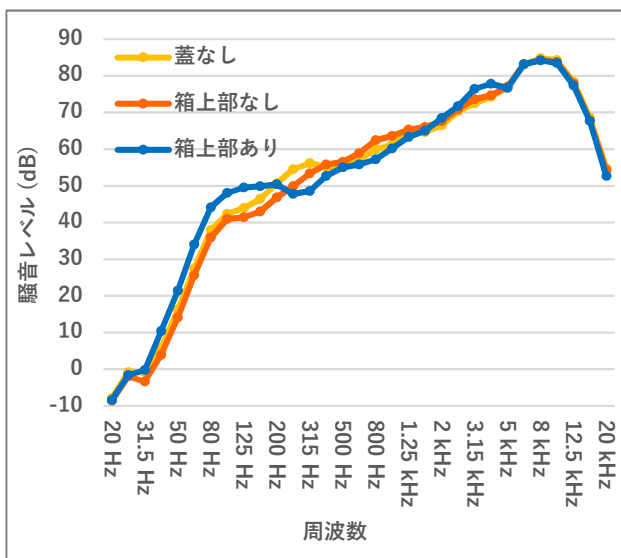


Fig. 4 簡易評価装置の 1/3 オクターブバンド分析結果

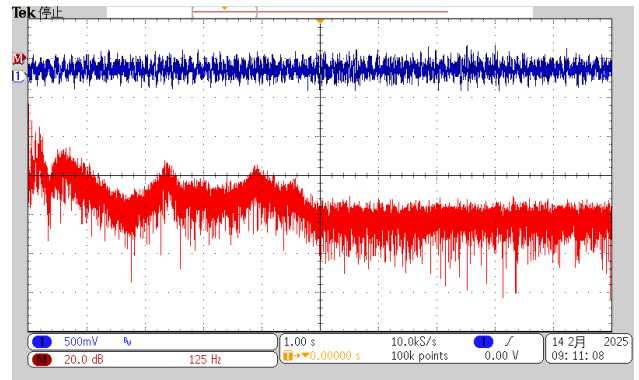


Fig. 5 レーザードップラ振動計による測定結果

2. 3 音域調節技術の調査・検討

防音する音域を作業現場の状況に応じて調節する手法の検討では、文献調査から音を吸音する仕組みの 1 つであるヘルムホルツ共鳴器の原理を用いることで、ターゲットとなる周波数帯を比較的容易にコントロールできるとの想定から、この原理をベースとして用いることとした。ヘルムホルツ共鳴器の原理は、Fig. 6 に示すように、音が入射すると音波に押された空洞部の空気が圧縮と膨張を繰り返してバネとして働き、ある特定の周波数で開口部の空気が激しく振動（共鳴）し、ネック長部分での摩擦損失によって空気の振動が減衰するというものである。ここで、 c は音速 m/s 、 S は開口面積 m^2 、 V は体積 m^3 、 L はネック長 m 、 D はネック部直径 m 、 ΔL は開口端補正值 m である。このとき、共鳴器により減衰する周波数 f (Hz) は次式で表される⁵⁾。

$$f = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{V(L + \Delta L)}} \quad (1)$$

一般的には、ネック部の開口端補正值 ΔL を考慮し、以下の式を用いることが多い。

$$f = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{V(L + 0.8D)}} \quad (2)$$

本研究でもこの(2)式を採用して、減衰する周波数を求めた。この原理で吸音効果が得られることを実証するため、まずヘルムホルツ共鳴器の基本形状であるフラスコ型の空間を複数設けた試作品を作製し、その吸音効果を評価した。

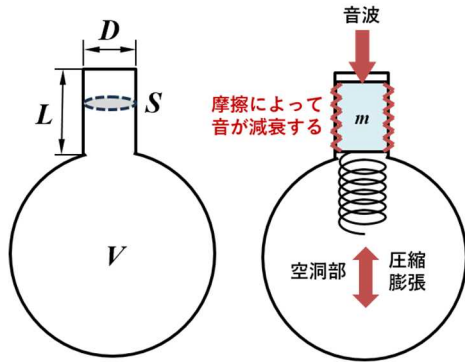


Fig. 6 ヘルムホルツ共鳴器の原理

加えて、CAE による解析でこの周波数を得ることができれば、3D データから周波数を直接求めることができる。そこで、CAE による音響解析結果と (2) 式を用いて計算した結果との比較も行った。解析には、Ansys2024R2 を用いた。

2.3.1 共鳴器の基本モデルの作製と CAE 解析について

1191.5Hz の周波数を吸収するよう設計し、3D プリンターにて作製した。設計図と作成した共鳴器を Fig. 7 および Fig. 8 に示す。

Table 3 に、CAE による音響解析結果の値と (2) 式にて計算した値の比較を示す。解析結果は計算値よりも約 160Hz 高い周波数の値を示した。これは、今回行った音響解析では開口端補正 $\Delta L = 0.8 \times D$ を考慮していないため、ネック部直径 D が大きいと結果に開口端補正の影響が大きく出ることになる。具体的には、ネック部直径 D が大きいほど、開口端補正による補正 ΔL は大きくなるが、逆に D が小さければ、補正は小さくなる。今回作成した共鳴器は、ネック部直径 D が比較的大きいためこのような結果になったと考えられる。

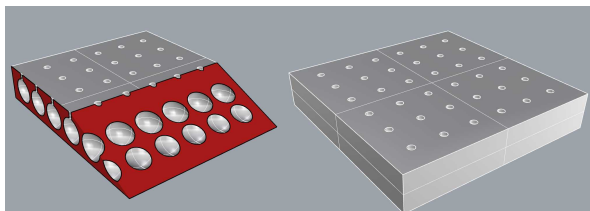


Fig. 7 共鳴器モデル設計図

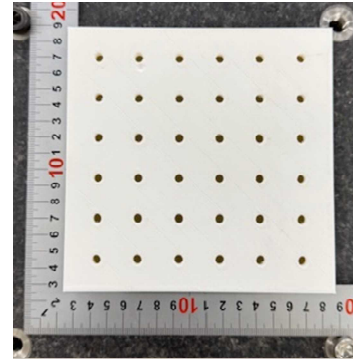


Fig. 8 共鳴器モデル試作品

Table 3 解析結果と計算した値との比較

解析結果 (Hz)		計算値 (Hz)
1	1351.2	1191.5
2	11014	

2.3.2 共鳴器の基本モデルでの吸音効果について

Fig. 9 に実験の様子を示す。作製した約 1200Hz の共鳴器を装置に置き、共鳴器の垂直方向約 100mm のところに騒音計を設置した。それぞれ共鳴器を置いていないときと置いたときで 1/3 オクターブバンド分析を行い、得られた分析結果の差分を取ることで簡易的な透過損失の評価とした。その結果を Fig. 10 に示す。吸音の効果が出ていれば、ある特定の周波数帯で際立った減音効果が確認できると考えていたが、吸音の効果を捉えているようには見えず、この測定では吸音しているかの判断が難しいことが分かった。そこで、吸音されていれば、反射音側が特定の周波数帯の音だけ小さくなると仮定し、共鳴器と騒音計の設置方法を Fig. 11 のように 45 度傾けて、共鳴器の反射音を測定してみることにした。まず、スピーカーからの反射音をできるだけ多く拾うために、ほぼ剛体とみなせる鉄板を置いて測定し、その後、共鳴器を置いて測定した。得られた鉄板と共鳴器の測定結果を 1/3 オクターブ分析した後、両者を差分した結果を Fig. 12 に示す。計算値である約 1200Hz 帯で大きく差が出ており、このことから共鳴器が吸音効果を有していることを確認できた。

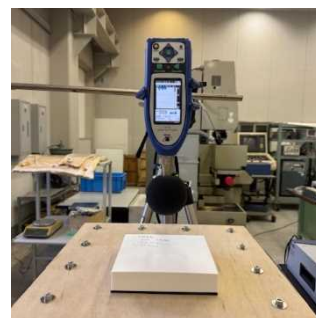


Fig. 9 透過音測定時およびマイクの設置方法

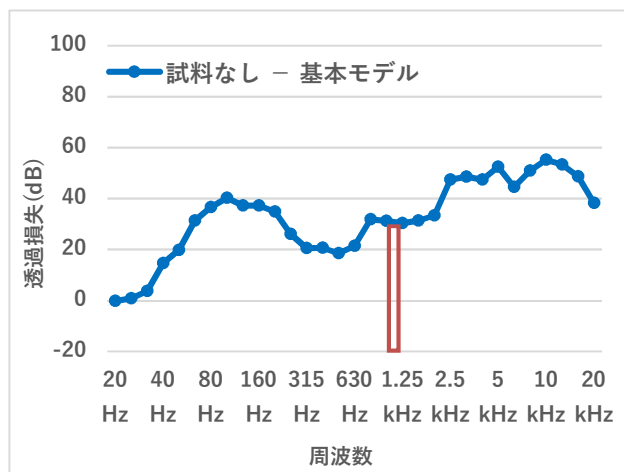
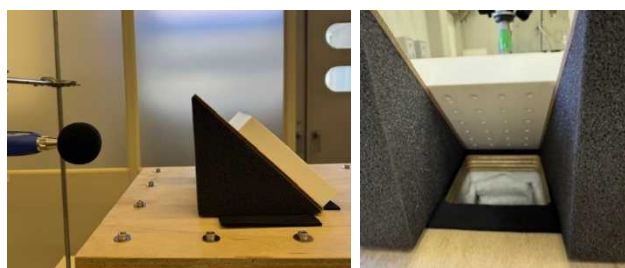
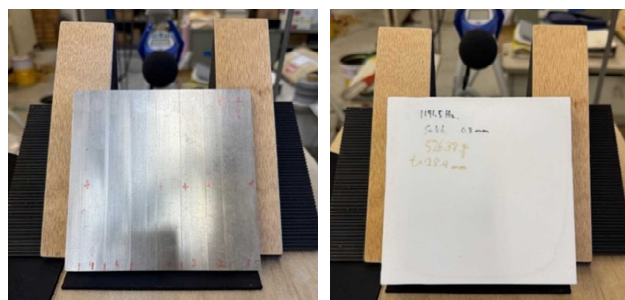


Fig. 10 共鳴器の透過損失 (赤線: 共鳴周波数)



(a) 共鳴器と騒音計の設置方法



(b) 鉄板

(c) 基本モデル

Fig. 11 反射音測定時の設置方法

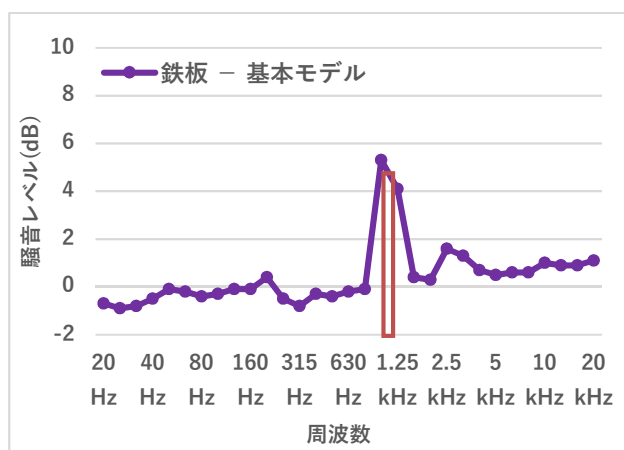


Fig. 12 共鳴器の吸音効果 (赤線: 共鳴周波数)

3. まとめ

労働環境から生ずる騒音の改善につながる騒音対策物の研究開発を目的に、今年度はまず音に関する各種調査及び検討を行い、以下の結果を得た。

- ① 騒音等に関する課題解決手法では、労働環境での騒音測定を行い、2～8kHz 帯で騒音レベルが大きく発生していることがわかった。
- ② 音の測定については、簡易評価装置作製し、性能を確認した結果、約 80～600Hz 前後の周波数帯では、箱上部が振動していることが確認でき、その周波数帯の測定結果にも影響が出ることが分かった。一方で、今回ターゲットとしている周波数範囲 2～8kHz においては問題なく測定できることがわかった。
- ③ 音域調節技術については、ヘルムホルツ共鳴器による吸音効果の評価を透過損失の測定で行うことは難しいことが分かった。一方、反射音を測定することで、吸音効果を評価できることがわかり、今後の測定方法の目途がついた。

今年度得られた結果を基に、次年度は本格的な防音対策物の作製および評価を行う予定である。

謝辞

本研究において、労働環境の測定およびアンケートや聞き取り調査にご協力いただきましたオムロン太陽株式会社ならびに社会福祉法人太陽の家別府工場の皆様には、貴重なお時間を割いていただき、心より感謝申し上げます。皆様のご協力により、本研究において有益な知見を得ることができました。この場をお借りして、厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 大分県商工観光労働部. おおいた産業活力創造戦略 2023 ～事業者の「元気」創出、産業の「未来創造」～
- 2) 大分県. 令和6年度県政重点方針, 2023
- 3) 松井温子: 発達障害に伴う聴覚過敏と音環境に関する実態調査, 東京大学大学院新領域創成科学研究科社会文化環境学専攻 2018 年度修士論文
- 4) 「騒音の目安について」
<https://www.env.go.jp/air/ippan/meyasu.pdf>
- 5) 坂上公博. 建築音響. コロナ社, 2019