

システム技術開発調査研究

20 - R - 14

ハンマー鍛造の騒音の大幅低減システム

に関する調査研究

報告書

- 要 旨 -

平成 21 年 3 月

財団法人 機械システム振興協会

委託先 社団法人 日本鍛造協会



この事業は、競輪の補助金を受けて実施したものです。

<http://ringring-keirin.jp/>



序

わが国経済の安定成長への推進にあたり、機械情報産業をめぐる経済的、社会的諸条件は急速な変化を見せており、社会生活における環境、防災、都市、住宅、福祉、教育等、直面する問題の解決を図るためには、技術開発力の強化に加えて、ますます多様化、高度化する社会的ニーズに適応する機械情報システムの研究開発が必要であります。

このような社会情勢に対応し、各方面の要請に応えるため、財団法人機械システム振興協会では、財団法人JKAから機械工業振興資金の交付を受けて、機械システムに関する調査研究等補助事業、新機械システム普及促進補助事業を実施しております。

特に、システム開発に関する事業を効果的に推進するためには、国内外における先端技術、あるいはシステム統合化技術に関する調査研究を先行して実施する必要がありますので、当協会に総合システム調査開発委員会（委員長 東京大学 名誉教授 藤正 巖氏）を設置し、同委員会のご指導のもとにシステム技術開発に関する調査研究事業を実施しております。

この「ハンマー鍛造の騒音の大幅低減システムに関する調査研究報告書」は、上記事業の一環として、当協会が社団法人日本鍛造協会に委託して実施した調査研究の成果であります。今後、機械情報産業に関する諸施策が展開されていくうえで、本調査研究の成果が一つの礎石として役立てば幸いであります。

平成21年3月

財団法人機械システム振興協会

はじめに

本報告書は、平成20年度「システム技術開発に関する調査研究事業」の一つとして、財団法人機械システム振興協会殿より受託した調査研究の成果を取りまとめたものであります。

我が国の鍛造産業は、基幹産業への部材の供給産業として重要な役割を担っており、高品質かつ低コストの鍛造製品を自動車、建設機械産業等のユーザーへ供給しております。

この一方、鍛造産業における技術開発の課題として、平成18年3月に中小企業庁が取りまとめた「我が国重要産業の国際競争力強化に向けた鍛造技術の高度化の方向性等に係る基礎調査」より、「環境対応型工法、製法の開発」が挙げられており、これについては、ハンマー型鍛造の騒音・振動を社会的要請や制約に対応するための技術として低騒音・低振動プレスの開発が挙げられております。

また、当協会におきましては経済産業省の策定した素形材産業ビジョンを受けて、平成18年11月に「鍛造業ビジョン」を策定しました。このなかの一つとして、騒音・振動の低減に向けた努力を行う必要性が唱われており、具体的には、サーボプレスの導入、吸音板の導入、アクティブノイズの活用といった騒音・振動の低減に係る技術開発に呼応して、これらの成果をできる限り鍛造現場に取り入れていくことが望まれるとも唱われております。

このような背景から当協会では、本調査研究テーマでは、最も国際競争の激しい自動車の省エネ・環境問題に対応する鍛造品の軽量化を可能にする薄肉成型技術に強みをもつ、ハンマー型鍛造について、ハンマー鍛造機の騒音低減に向けた取り組みを行うこととなりました。

本調査研究は、ハンマー型鍛造機の各部位から生じる騒音について騒音を定量的に把握し、騒音低減対策となる指針を検討することで、これらの諸課題の解決のための道筋を明確にすることを目標としております。

本調査研究の実施及び事業推進にあたりご協力を頂いた株式会社コミヤマ 小宮山委員長をはじめとするハンマ鍛造騒音低減システム技術指針策定委員会の委員各位及び財団法人建設工学会殿、関係各位並びに財団法人機械システム振興協会殿に厚く御礼申し上げます。

平成21年3月

社団法人 日本鍛造協会

目 次

序

はじめに

1 . 調査研究の目的	1
2 . 調査研究の実施体制	3
3 . 調査研究内容	6

第1章 音源特性の測定

1 . 1 測定の目的及び概要	6
1 . 1 . 1 音響インテンシティーと音響エネルギー	6
1 . 1 . 2 音響インテンシティーの測定原理	8
1 . 2 測定方法	10
1 . 3 測定結果	14
1 . 3 . 1 音響インテンシティーの測定結果	14
1 . 3 . 2 音響エネルギーレベルの測定結果	19
1 . 3 . 3 振動加速度レベルの測定結果	22
1 . 4 作業環境騒音に関する検討	23

第2章 騒音低減要素技術の調査研究

2 . 1 要素技術の検討及び技術指針の策定	26
2 . 2 要素技術の検証	27
2 . 2 . 1 測定方法及び測定条件	27
2 . 2 . 2 測定結果	29
4 . 調査研究の成果(まとめ)	36
5 . 調査研究の今後の課題及び展開	37

資料編

1. 調査研究の目的

我が国鍛造産業は、基幹産業への部材の供給産業として重要な役割を担っている。鍛造産業が高品質かつ低コストの鍛造製品をユーザーに供給しているからこそ、世界で高い評価を得ている自動車、土木建築機械などが生み出されているといっても過言ではない。また、川下産業の国際競争の激化と市場の成熟を背景に、鍛造産業に求められている技術開発課題は、平成18年3月に中小企業庁が取りまとめた「我が国重要産業の国際競争力強化に向けた鍛造技術の高度化の方向性等に係る基礎調査」に、高機能化、軽量化、コスト削減、短納期化、環境対応型工法、製法の開発の5点が挙げられている。

本調査研究テーマで採り上げているハンマー型鍛造は、最も国際競争の激しい自動車の省エネ・環境問題に直結する鍛造品の軽量化を可能にする薄肉成型技術に強みを持ち、ハンマー型鍛造の高精度化が前述の鍛造技術の高度化の方向性に唱われている一方、環境対応型工法において、ハンマー型鍛造の騒音・振動を社会的要請や制約に対応するための技術として、低騒音・低振動プレスの開発を挙げている。

また、平成19年度に経済産業省が行った「素形材技術ロードマップ」でも「社会的要請や制約に対応するための技術」の中で、安全・安心・快適な生活のための素形材技術として低騒音低振動のための鍛造プロセスの開発を重要度高の位置づけで重点技術開発事項に挙げている。

当協会が平成18年11月に、経済産業省の策定した素形材産業ビジョンを受けて策定した「鍛造業ビジョン」においては、我が国鍛造業が国際競争力を維持し続けていくためには、正社員を中心に人材を確保、定着させ、生産技術者、熟練技能者として育成していく策を講じていくことが不可欠であるとし、業界としては、まずは騒音・振動の低減に向けた努力を行い、労働環境の改善を進める必要がある。サーボプレスの導入、吸音板の導入、アクティブノイズの活用など、騒音・振動の低減に係る技術開発が進められており、これらの成果をできる限り現場に取り入れていくことが望まれると唱われている。

当協会では、平成19年度、ハンマー鍛造の騒音振動の削減に向けて「鍛造工場と地域住民との共存」をテーマにした騒音・振動実態調査とハンマー鍛造の騒音・振動の測定を行った。騒音・振動実態調査（対象企業数：170社、回答数69社）において、騒音で困っていると回答した会社は48%に上っている。困っている設備の回答のトップはハンマー（40%）であり、夜間操業制限があると回答した会社は38%である。過去に地域と騒音問題が発生したことがあるとの回答が44%、今後、騒音問題への対策を考えている会社は51%に達してい

る結果が得られて、本テーマの必要性、重要性、緊急性が確認された。

また、ハンマー鍛造の騒音・振動の測定について、ハンマー鍛造の騒音振動対策としての最新技術である「シリコンゲルダンパーによる振動対策」(ハンマー鍛造機の基礎に設置)の効果測定した。その結果、対策実施前後の最大騒音レベルで11.6dB(10%)の騒音減少とハンマー型鍛造の瞬間的最大騒音レベルが100～105dBであることが確認された。ハンマー鍛造工場内の騒音レベルは労働安全衛生法における作業環境基準値：85dB以下(時間平均値)を上回る原因となっている。

このような状況を踏まえて、本調査研究の目的は、騒音の音源特性の測定によりハンマー鍛造工場内におけるハンマー鍛造機の各部位から発生する衝撃的騒音の発生特性を詳細に調べ、騒音を低減する対策技術の方向性を明確にするものである。

昨年度実施した騒音測定は、一定距離離れた点における音圧レベルや騒音レベルの測定であり、作業者が直接暴露される量を直接評価するためには有効であるが、騒音低減に向けた対策を構築するためには十分でない。本年度実施した「音源特性の測定」は、鍛造機の衝撃的騒音の発生特性を詳細に調べて騒音発生部位へ騒音低減対策を打つための音のエネルギーの流れを、直接測定することができる音響インテンシティ法を適用して、ハンマー鍛造機の近傍において、各部位ごとの発生音響エネルギーを測定する。これにより、ハンマー鍛造機を構成するプレスフレーム、ラム、アンビル、金型(上型・下型)などの騒音発生部位に適切な新着想に基づく対策を講じることにつながるものと期待できる。

2. 調査研究の実施体制

本調査研究の実施体制について、財団法人機械システム振興協会内に「総合システム調査開発委員会」を、社団法人日本鍛造協会内に「ハンマ鍛造騒音低減システム技術指針策定委員会」を設置して本事業を推進した。また、音源特性の測定は、財団法人建設工学研究会に業務を委託して調査研究を推進した。実施体制について下記の図に示す。

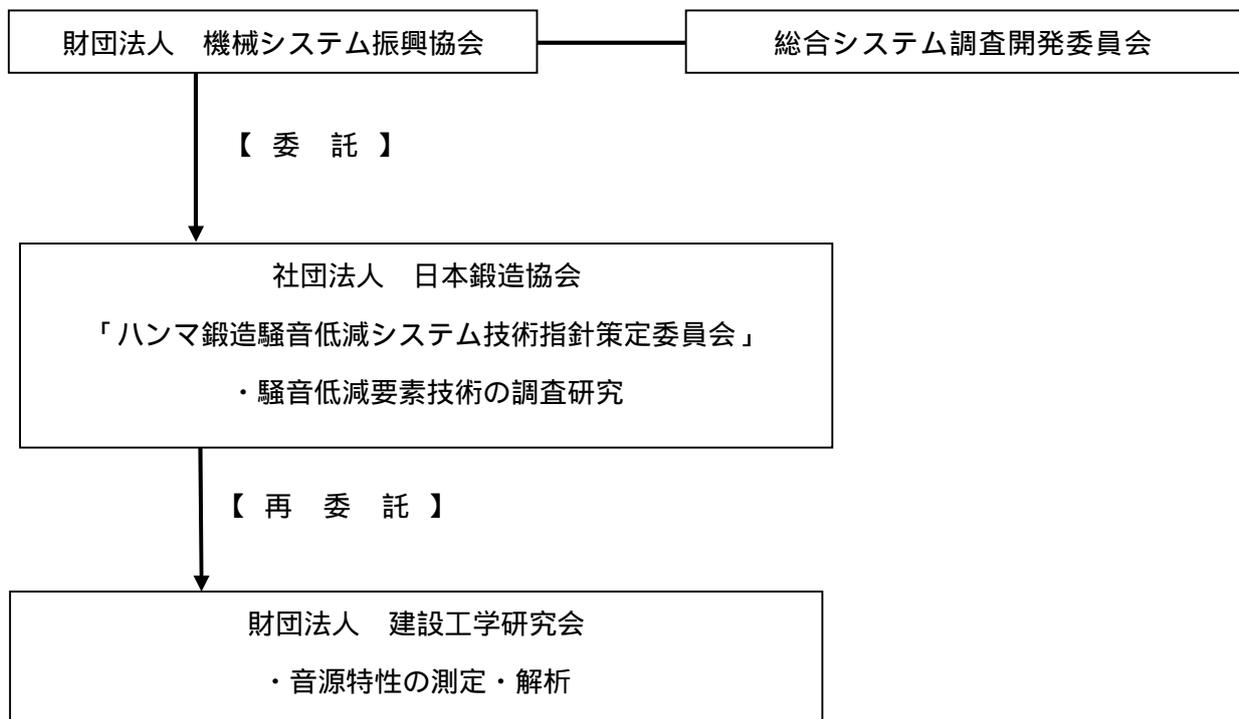


図 調査研究実施体制図

そして、「ハンマ鍛造騒音低減システム技術指針策定委員会」にて音源特性測定結果に基づいて、労働安全衛生法基準の適合を目指して、騒音低減要素技術を検討及び騒音低減技術の方向性を明確なものとするための技術指針策定の検討を行った。

総合システム調査開発委員会、ハンマ鍛造騒音低減システム技術指針策定委員会名簿を示す。

総合システム調査開発委員会委員名簿

(順不同・敬称略)

委員長	東京大学 名誉教授	藤 正 巖
委 員	埼玉大学 総合研究機構 教授	太 田 公 廣
委 員	独立行政法人産業技術総合研究所 エレクトロニクス研究部門 研究部門長	金 丸 正 剛
委 員	独立行政法人産業技術総合研究所 デジタルものづくり研究センター 招聘研究員	志 村 洋 文
委 員	東北大学 工学研究科 教授	中 島 一 郎
委 員	東京工業大学大学院 総合理工学研究科 教授	廣 田 薫
委 員	東京大学大学院 工学系研究科 准教授	藤 岡 健 彦
委 員	東京大学大学院 新領域創成科学研究科 教授	大 和 裕 幸

ハンマ鍛造騒音低減システム技術指針策定委員会委員名簿

(順不同・敬称略)

委員長	株式会社コミヤマ 取締役副社長	小宮山 完治
委員	株式会社イチタン 取締役技術部長	一ノ瀬 進
委員	TDF株式会社 プロジェクト推進室 室長	工藤 順一
委員	株式会社ジェイテクト 鋳鍛造生技部 鍛圧技術室 室長	鈴木 達志
委員	理研鍛造株式会社 常務取締役	元 廣 嘉 光
委員	東京大学 名誉教授 千葉工業大学 情報科学部 情報工学科 教授	橘 秀 樹
委員	千葉工業大学 情報科学部 情報工学科 教授	矢野 博 夫
委員	財団法人 小林理学研究所 理事 騒音振動第三研究室長	加来 治 郎
委員	株式会社大谷機械製作所 取締役副社長(技術担当)	藤澤 正 美
委員	株式会社大谷機械製作所 取締役副社長	植田 隆 義
委員	元 本田技研工業株式会社 鍛造課 課長	鈴木 宗 夫
委員	有限会社ウェイブ 代表取締役	江口 元 勝
委員	株式会社イーエス 専務取締役	水野 和 英

3 . 調査研究内容

第 1 章 音源特性の測定

1 . 1 測定の目的及び概要

ハンマー鍛造機から放射される衝撃音を低減するための基礎的音響データを得ることを目的とし、音源に近接して測定可能な音響インテンシティー法によりハンマー鍛造機の詳細な音響放射特性の測定を実施した。ここでは、ハンマー鍛造機の各部位について詳細に測定した結果について述べる。

1 . 1 . 1 音響インテンシティーと音響エネルギー

各種の音源の音響パワーあるいはエネルギーの放射特性や一般の音場における音響パワー、あるいはエネルギーの流れを捉えるためには音圧を測定するだけでは不十分であり、音響インテンシティーを測定する必要がある。これは、電気系で電圧と電流の積である電力を測定することに相当する。

音響インテンシティー (I) は、音響パワー密度、すなわち、音場内の単位断面積を単位時間に通過する音のエネルギーを意味するベクトル量であり、音圧 $p(t)$ と粒子速度 $u(t)$ の積の時間平均として次式で定義される。

$$I = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) \cdot u(t) dt = \overline{p(t) \cdot u(t)} \quad \dots \dots \dots (1)$$

時間的に定常的な音源の場合には、音源を取り囲む閉曲面上で法線方向のインテンシティーを測定して、個々の面積を掛け合わせれば音響パワーが求められ、それをレベル表示した音響パワーレベルで音源の強さを記述できる。

しかし、ハンマー鍛造機の打撃音のような過渡的・衝撃的な音源の場合には、時間平均の概念は成り立たないため、音源が発生する音響エネルギー(単位:J)に着目しなければならない。

単発性の音源の音響エネルギー J は、音源を取り囲む閉曲面上の音響インテンシティー暴露量を閉曲面全体にわたって積分することにより求められる。すなわち、

$$J = \int_S j \cdot ds \approx \sum_i j_i \cdot S_i \quad \dots \dots \dots (2)$$

ただし、 j_i : i 番目の測定点における音響インテンシティー暴露量 [Wm^{-2}s]

S_i : i 番目の測定点が代表する面積 [m^2]

ここで、音響インテンシティー暴露量 j は、瞬時インテンシティー $I(t)$ の時間積分値であり、次式で表される。

$$j = \int_0^{\infty} I(t) dt \quad \dots \dots \dots (3)$$

これを次式のようにレベル表示した量をここでは音響インテンシティー暴露レベルと呼ぶ。

$$L_j = 10 \log_{10} \frac{j}{j_0} \quad \dots \dots \dots (4)$$

ただし、 j_0 : 音響インテンシティー暴露量の基準値 10^{-12} [J/m^2]

以上より、音源が発生する音響エネルギーのレベル表示値は次式のように表すことができる。

$$L_J = 10 \log_{10} \frac{J}{J_0} = 10 \log_{10} \frac{\sum_i j_0 \cdot 10^{L_{j,i}/10} \cdot S_i}{J_0} = 10 \log_{10} \frac{1}{S_0} \left(\sum_i 10^{L_{j,i}/10} \cdot S_i \right) \quad \dots \dots (5)$$

ただし、 L_{ji} : 測定閉曲面上を分割した要素ごとの法線方向の音響インテンシティー暴露レベル
 S_i : 測定閉曲面上を分割した 1 要素の面積(m^2)、 $J_0 = 10^{-12} J$ (基準の音響エネルギー)
 $S_0 = 1m^2$ (基準の面積)

1.1.2 音響インテンシティーの測定原理

音響インテンシティーを測定するには先述の(1)式にしたがって瞬時音圧 $p(t)$ と粒子速度 $u(t)$ の積を時間積分平均する必要がある。音圧計測には騒音計などに用いられている計測用の圧力マイクロホンを用いることができるが、粒子速度については、音圧と位相関係を精度よく保ったまま直接的に計測することが困難である。そこで、現在一般的に用いられているインテンシティー計測は、微少な距離に置いた 2 つの圧力マイクロホンの差分、すなわち、音圧傾度から粒子速度を近似する方法(2マイクロホン法)により計測を行う。この場合の音響インテンシティーは次式で近似されることとなる。

$$I_r = -\frac{1}{\rho_0} \frac{1}{r} \frac{p_2(t) + p_1(t)}{2} \int_{-\infty}^t \{p_2(\tau) - p_1(\tau)\} d\tau \quad \dots (6)$$

ただし、 $p_1(t)$ 、 $p_2(t)$ は、それぞれ r 方向に微小距離 r だけ離れた 2 点の音圧

I_r : インテンシティー I の r 方向成分 (1次元方向成分)

ρ_0 : 空気の密度

この方法による場合の信号処理方法の原理を図 1.1 に示すが、2 つのマイクロホン及びその後の信号処理過程における特性は厳密に一致している必要があり、インテンシティープローブと呼ばれるペアマイクロホンとデジタル信号処理システムによる専用の分析システムが必要であることから、B&K 社の PULSE システムを用いて測定した。実際に用いた測定システムについては、1.2 測定方法にて述べる。

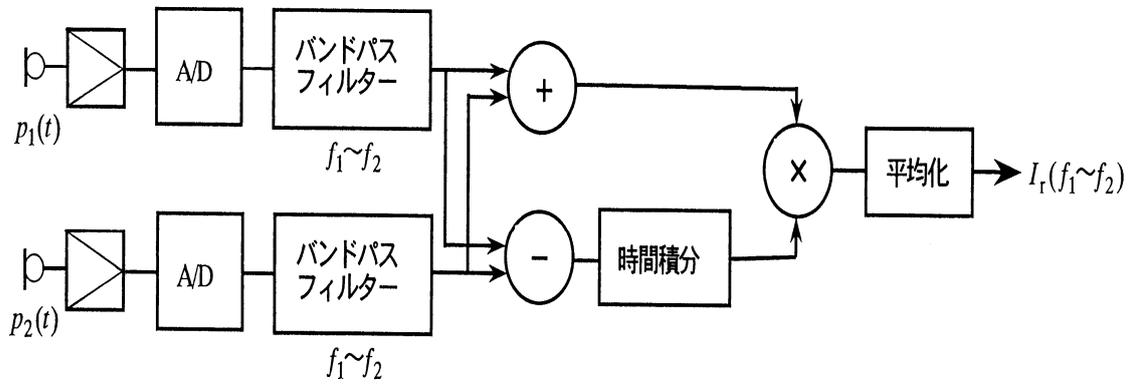


図 1.1 音響インテンシティの計測システム（直接法）

1.2 測定方法

測定対象音源として、以下の各条件について設定可能である(株)コミヤマ所有の4トンハンマー鍛造機(株)大谷機械製作所製、防音建屋内設置)を選定した。

- (1) 測定対象のハンマー鍛造機は、周囲からの音響反射ができるだけ少ない状態にある機器を選定する。これは、反射音による測定対象音への影響を少なくして正確な音響放射特性を得るために必要である。
- (2) 鍛造機のハンマーについては空打ちの状態とする。
これは、実際の作業時の状態では、高温であること、また、飛翔物があることによりマイクロホンが機器の近傍に設置不可能であることが事前調査により判明したことによる。
- (3) データ収録は、1測定点につき鍛造機ハンマーの1回の落下時に発生する衝撃音を対象とする。これは、ハンマー落下時の衝撃音は毎回発生音の状況が異なるため、固定の観測点を設置して監視し、各回の変動を基準化する。
- (4) 振動加速度についても主要部分について監視を行う。

測定は、平成20年12月23、24日に実施した。測定システムを図1.2に示す。図1.3に示すように、対象機器に近接して測定面を設定し、各測定面を代表する中心に音響インテンシティープローブを設置して、ハンマー落下時の発生音を8chデータレコーダに収録した。同時に、レベル監視用騒音計及び振動加速度の信号についても収録した。インテンシティーの測定位置を図1.4に、振動加速度の測定位置を図1.5に示す。

また、測定風景を写真1.1～5に示す。

音響インテンシティーの測定面は、40cm×40cmのメッシュで分割してハンマー鍛造機を対称と見なして正面(作業)側の中心を含む左半分に6列×8点、側面の右半分に3列×8点、計72点を配置した。また、各面の中心には、インテンシティープローブを設置し、その向きは機器から放射される方向をインテンシティーのプラス側とした。

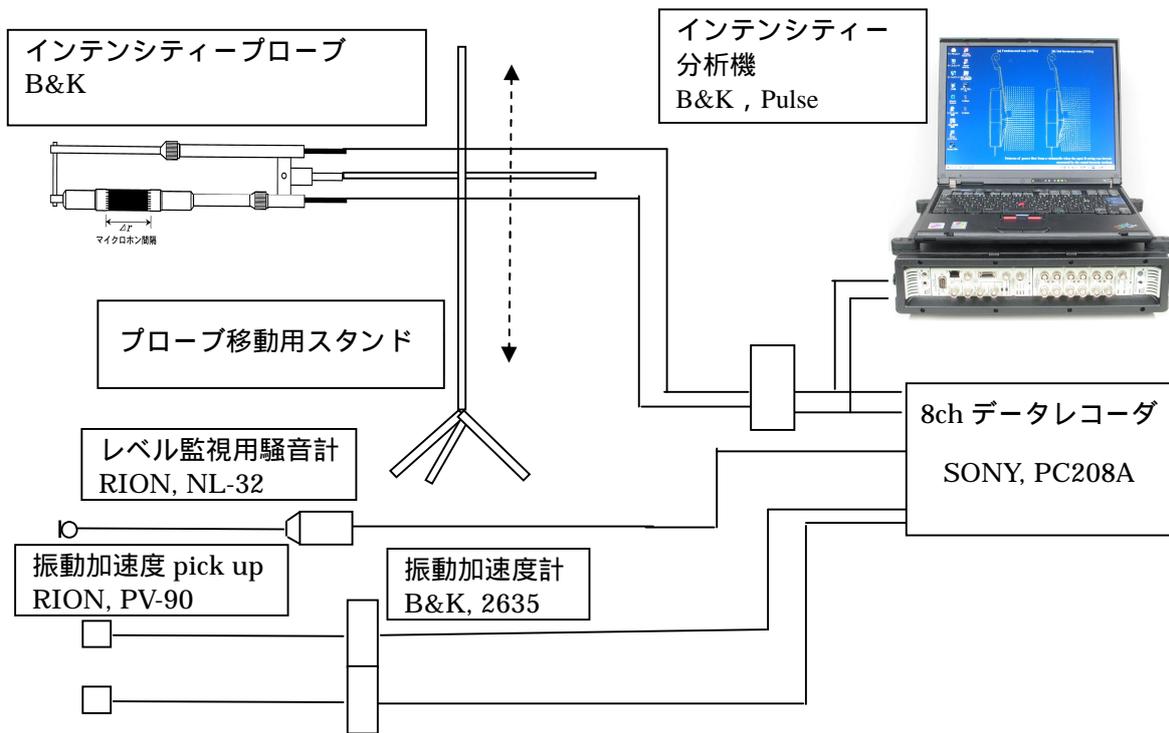


図 1 . 2 測定システム

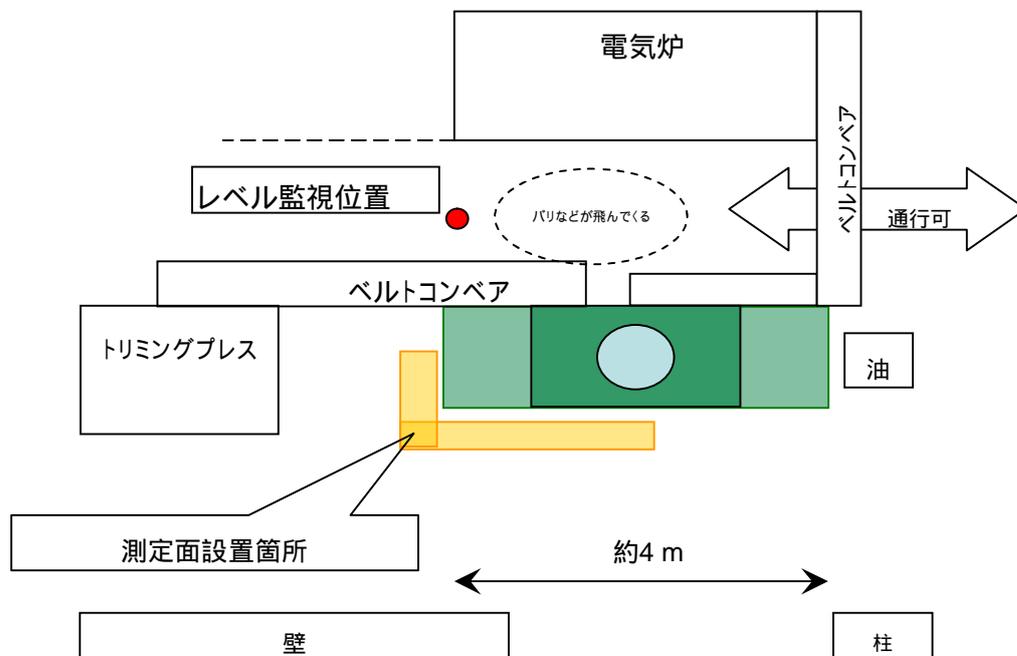


図 1 . 3 測定面の設置位置

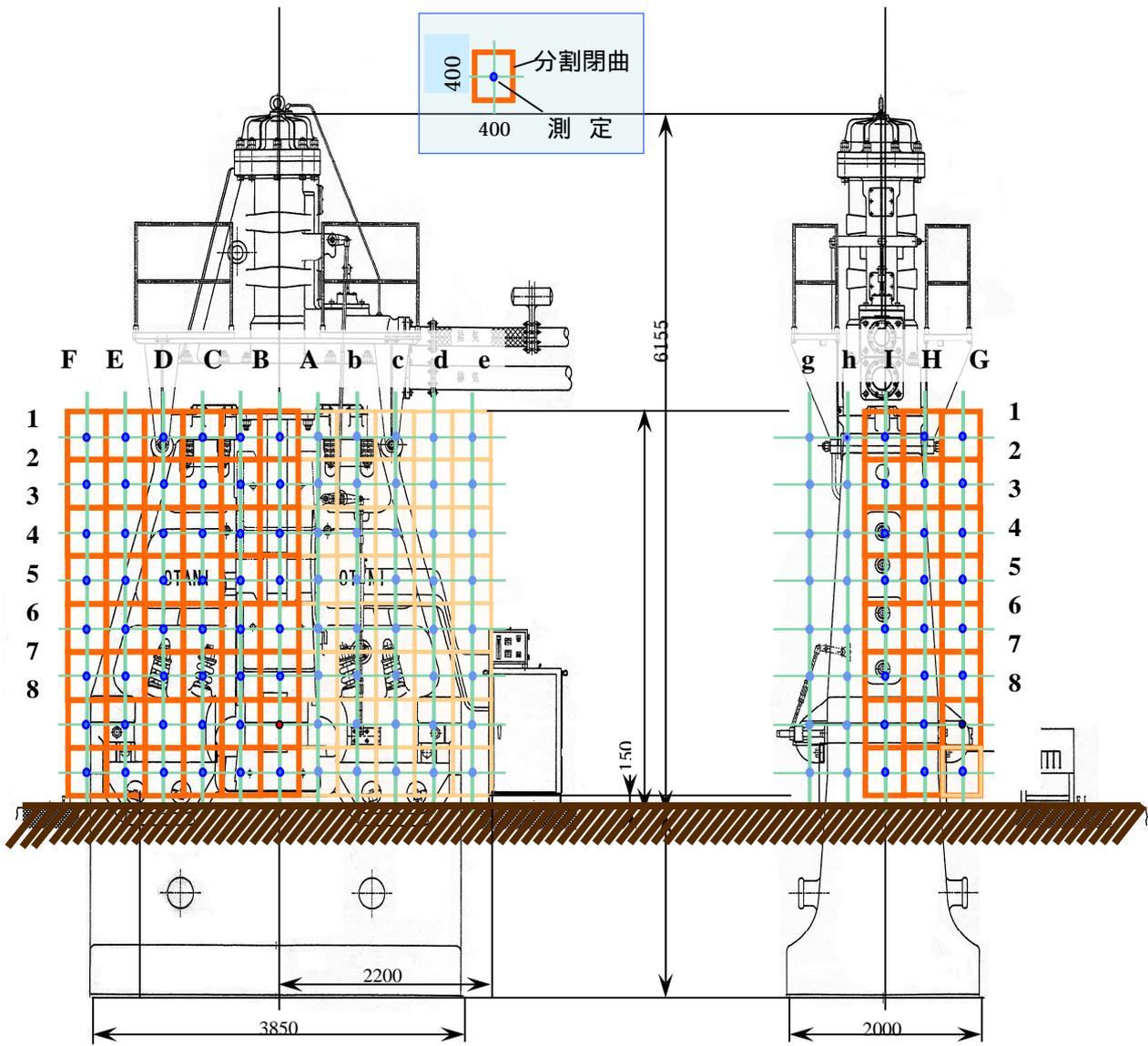


図 1 . 4 音響インテンシティの測定位置

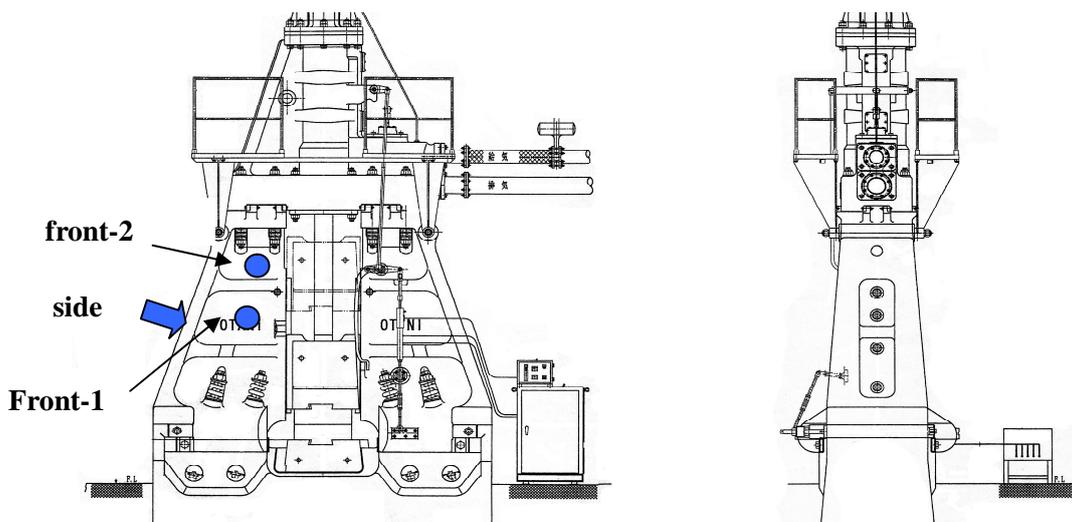


図 1 . 5 振動加速度測定位置

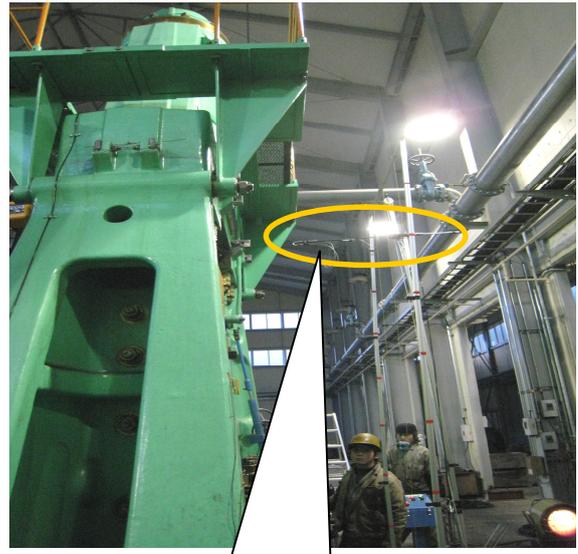
写真1.1

音響インテンシティーの測定風景



写真1.2

音響インテンシティーの測定風景



インテンシティープローブ

写真1.3

音響インテンシティーの測定風景



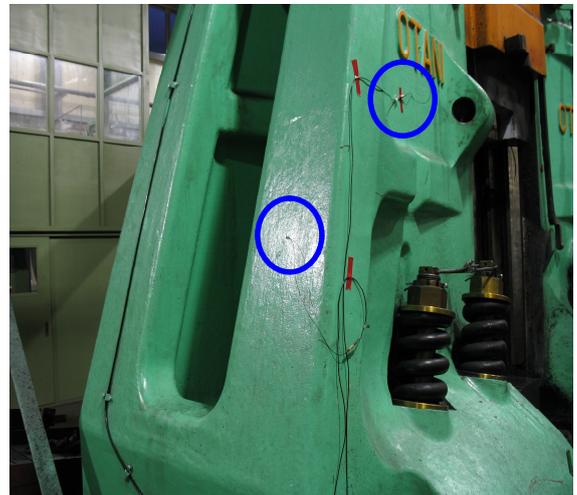
写真1.4

レベル監視用基準マイクロホンによる測定



写真1.5

振動加速度の測定



1.3 測定結果

1.3.1 音響インテンシティの測定結果

ハンマー鍛造機の音響放射特性としてハンマーの落下高さを30%とした時の空打ち状態の条件について、各測定点における音響インテンシティの解析を行った。まず、代表的な測定点として図1.6に示すA-1及びA-7(ハンマー部:打撃点近傍)において観測された音圧とインテンシティのレベル波形を図1.7及び図1.8の(a)、(b)に示す。ここでは波形の時間構造を詳細に観測するため平均化時間を2msとして記録した。(したがって、衝撃音の記録波形としてしばしば用いられるFASTによる記録より大きな値となっていることに注意する必要がある。)また、各図の(c)は、レベル監視のために設けた基準点における音圧レベル記録である。これらの波形記録についてみると、打撃時のピーク音圧、ピークインテンシティは非常に大きく、かつ、継続時間が短い衝撃性信号の特徴を持っていることがわかる。

なお、打撃後にハンマーが上部のストッパーにあたる音も聴感的にはかなり大きく感じられたが、これを含む場合と含まない場合のインテンシティ暴露レベルはほとんど変化がみられなかった。これ以後の解析については、打撃時の衝撃音の部分のみを切り出して積分し、測定点ごとの暴露量とした。

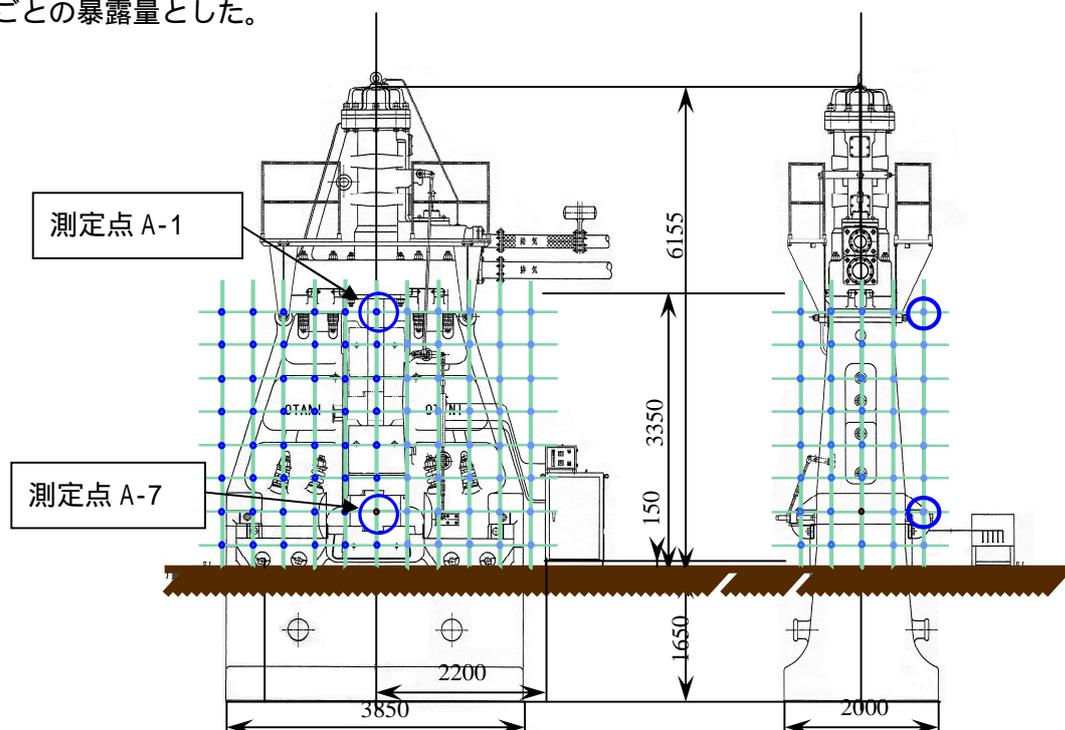


図1.6 音響インテンシティ及び音圧のレベル波形観測点

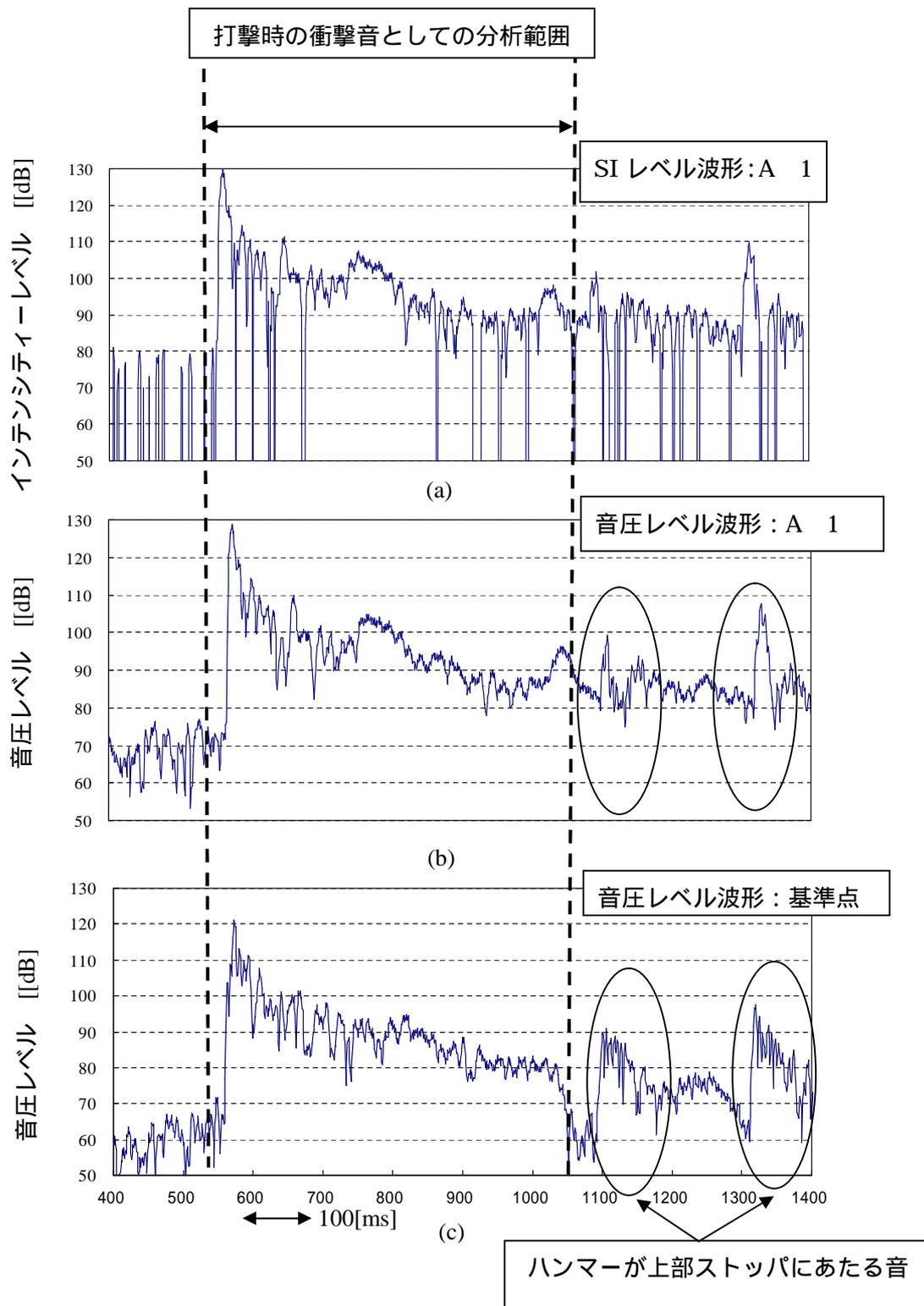


図1.7 測定点 A 1 におけるインテンシティ及び音圧のレベル波形
 (400Hz 1 / 3 oct.band、平均化時間: 2 ms)

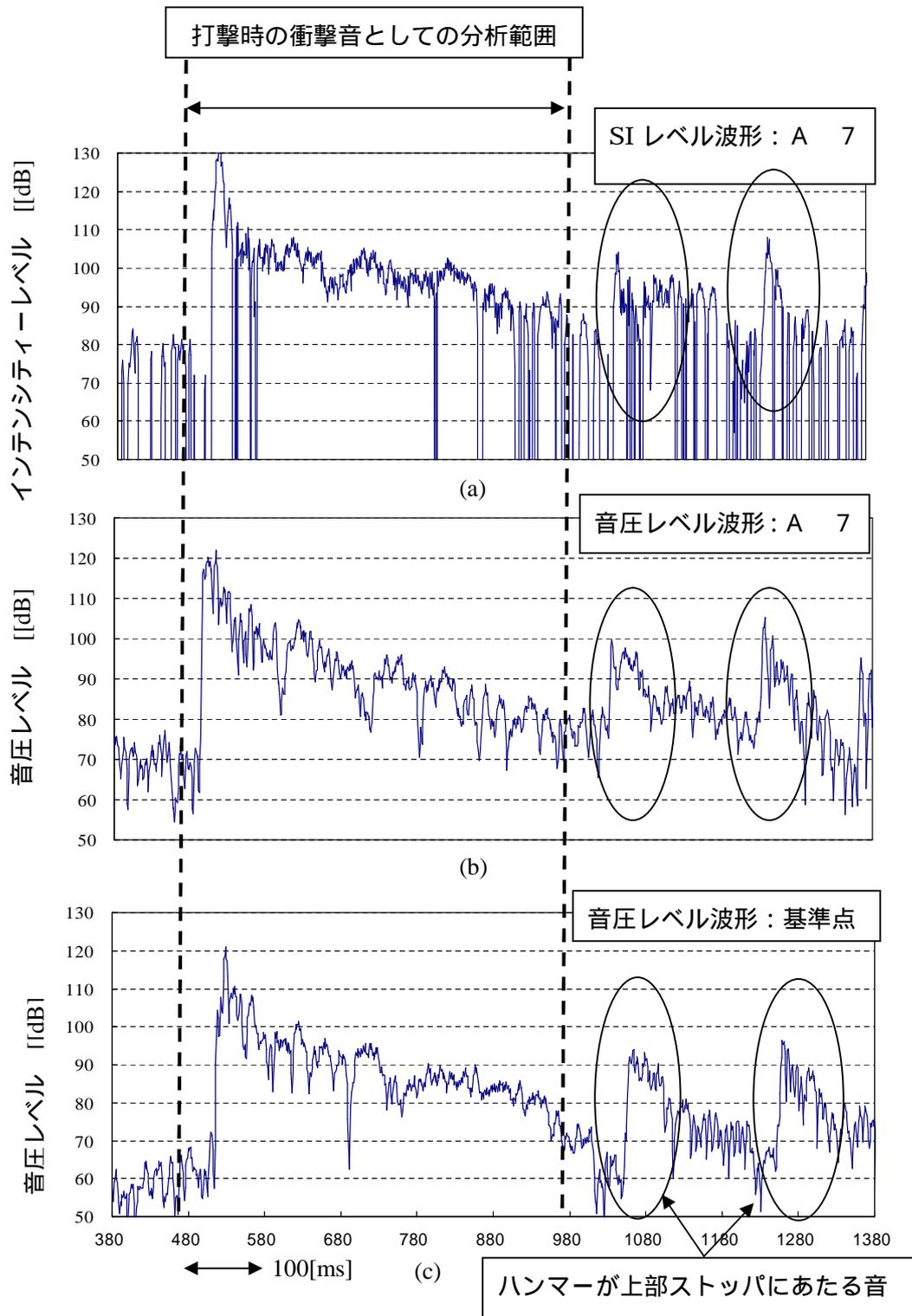


図 1 . 8 測定点 A 7 (ハンマー部：打撃点)におけるインテンシティー及び音圧のレベル波形 (400 Hz、1/3 oct.band、平均化時間: 2 ms)

次に、各回のレベル監視点における1/3オクターブバンド毎の周波数について次式で表される単発音圧暴露レベルを求めた。その結果を図1.9に示す。

$$L_{pE} = 10 \log_{10} \frac{1}{T_0} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p^2(t)}{p_0^2} dt \dots \dots (7)$$

ここに、 $p(t)$: 対象とする騒音の瞬時音圧 (Pa)、 p_0 : 基準音圧 (20 μ Pa)

$t_1 \sim t_2$: 対象とする騒音の継続時間を含む時間 (s)、 $T_0 = 1$ s (基準の時間)

図中の破線は各回のエネルギー平均値である。この結果をみると、400Hz帯域をピークとするなだらかな周波数特性となっており、各回のばらつきの範囲はおよそ9dB程度となっている。次に、各回の音響インテンシティの分析値について、レベル監視点の結果を用いて各回毎のインテンシティレベルを周波数帯域毎に補正を行った。その結果について、図1.9で単発音圧暴露レベルが高いピークを示している400Hzと1600Hzの等インテンシティーマップとして図1.10及び図1.11に示す。

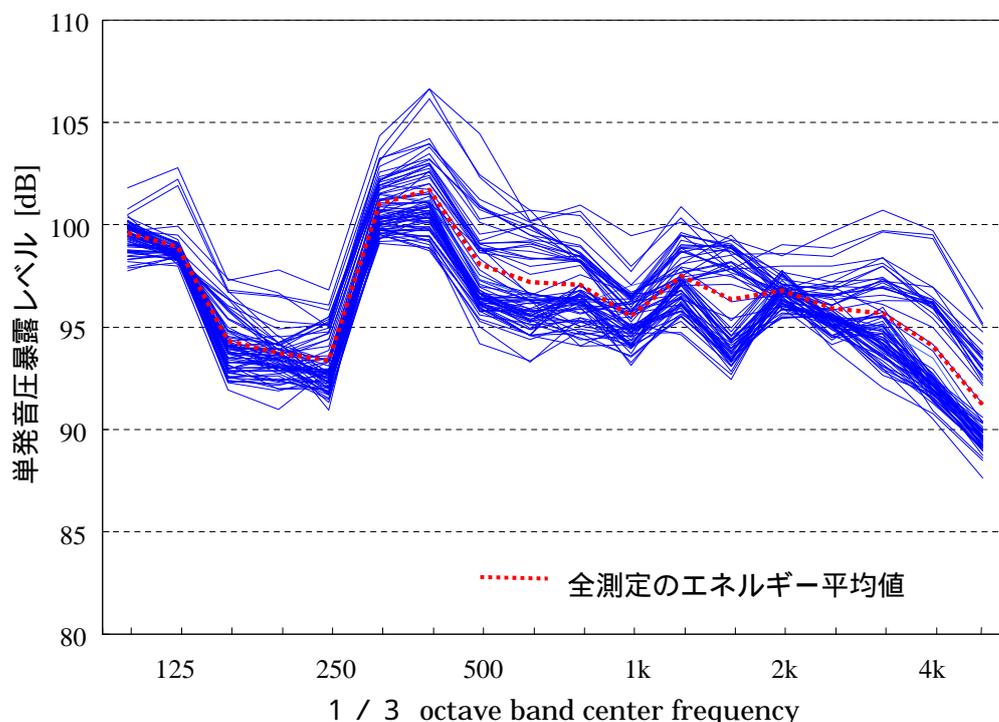


図1.9 レベル監視位置における周波数特性と各回毎のばらつき

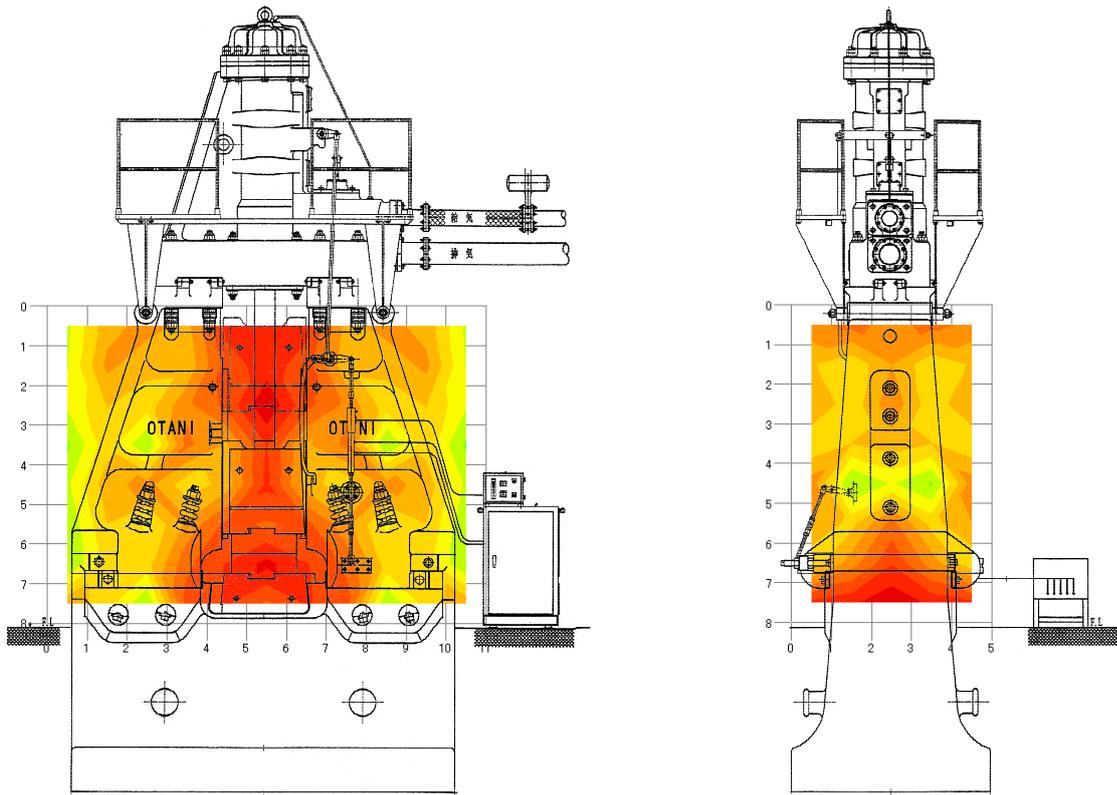


図 1 . 1 0 等インテンシティーマップ：400Hz

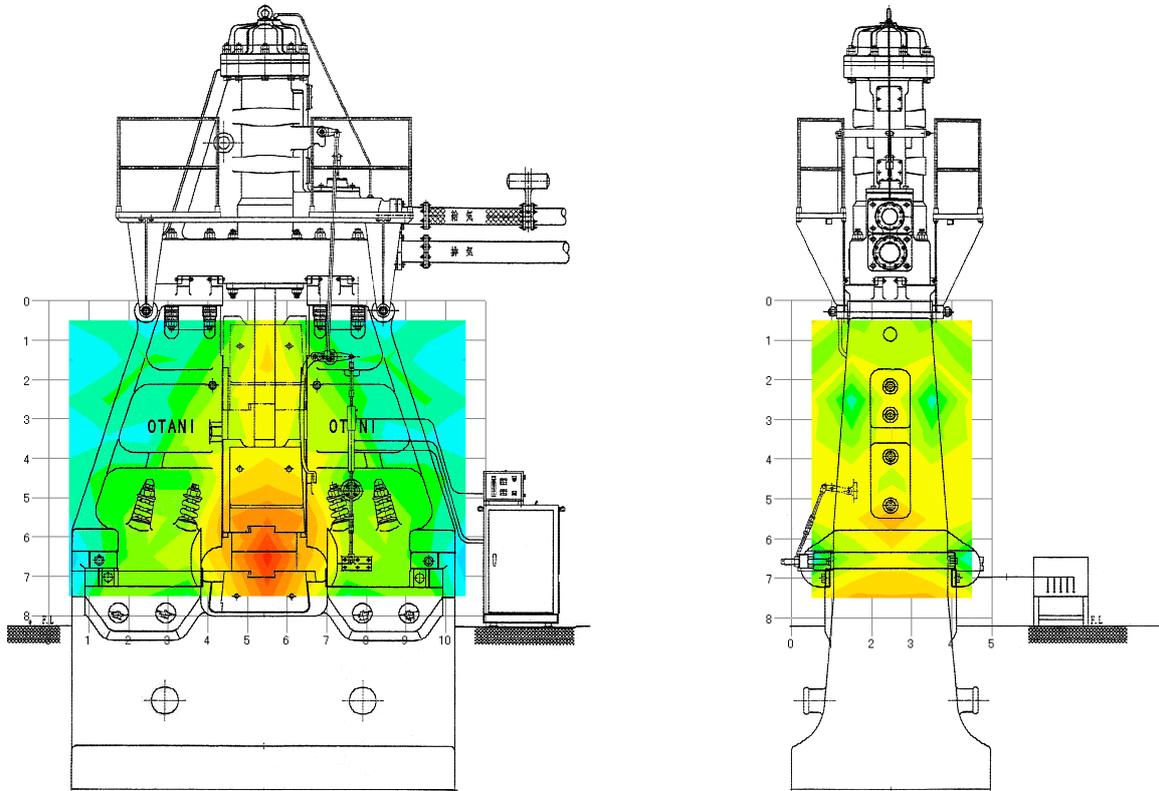


図 1 . 1 1 等インテンシティーマップ：1600Hz

上記の等インテンシティーマップによれば、400Hz 周波数帯域ではハンマー部分、ハンマー上部のシャフト部分、側面の下部などの付近が高い測定結果となっており、そのなかでもハンマー部分の打撃点付近が最もレベルの高い結果となっている。なお、等インテンシティーマップは、色の明るさが増すにしたがって dB の値が高いことを示す。

1.3.2 音響エネルギーレベルの測定結果

前述の音響インテンシティーの測定結果を用いて、ハンマー鍛造機から放射される音響エネルギーレベルを算出した。1.1.1の(5)式に基づいて求めたハンマー落下時の音響エネルギーレベルの算出結果を図1.12に示す。

次に、主要な部位ごとについて部位別エネルギーレベルの算出を行った。その部位は次のような5つの部分に分類した。分割した領域を図1.13に示す。それらの結果についても図1.12に合わせて示す。

- (1) ハンマー部(hammer) : ハンマーを中心とした3列分下部のエネルギー、
部位 : A 5~8、B 5~8、b 5~8
- (2) ハンマー上部のシャフト付近のエネルギー (ここではシャフト部(shaft)と呼ぶ)
部位 : A 1~4、B 1~4、b 1~4
- (3) フレーム部(frame) : 正面部分のハンマー部、シャフト部を除いたエネルギー部位
: C 1~8、D 1~8、E 1~8、F 1~8、
c 1~8、d 1~8、e 1~8、f 1~8
- (4) 側面上側(side-U) : 側面上部のエネルギー部位
: G 1~6、H 1~6、I 1~6、h 1~6、g 1~6
- (5) 側面下側(side-B) : 側面下部のエネルギー
部位 : G 7~8、H 7~8、I 7~8、h 7~8、g 7~8

図1.12の測定結果をみると、全体のエネルギーは400Hz帯域をピークとしてそれ以下の周波数ではほぼ平坦、400Hz以上ではなだらかに下降する周波数特性となっている。これらのエネルギーを部位毎にみると、全体のピークとなっている400Hzではどの部位も同じくらいの大きさとなっており、400Hzから1.25kHzまではほぼ同様の寄与となっている。315Hz以下の周波数ではシャフト部、フレーム部、ハンマー部の寄与が高く、

1. 6 kHz 以上の帯域では周波数により多少の違いがあるがハンマー部、フレーム部、側面部分などが高い寄与となっている。

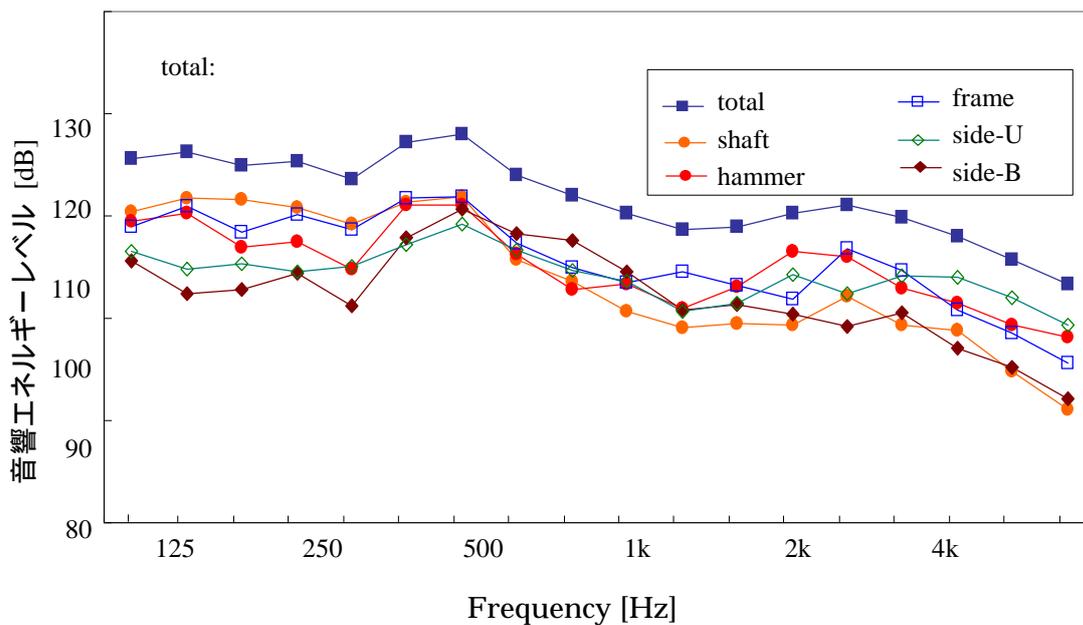
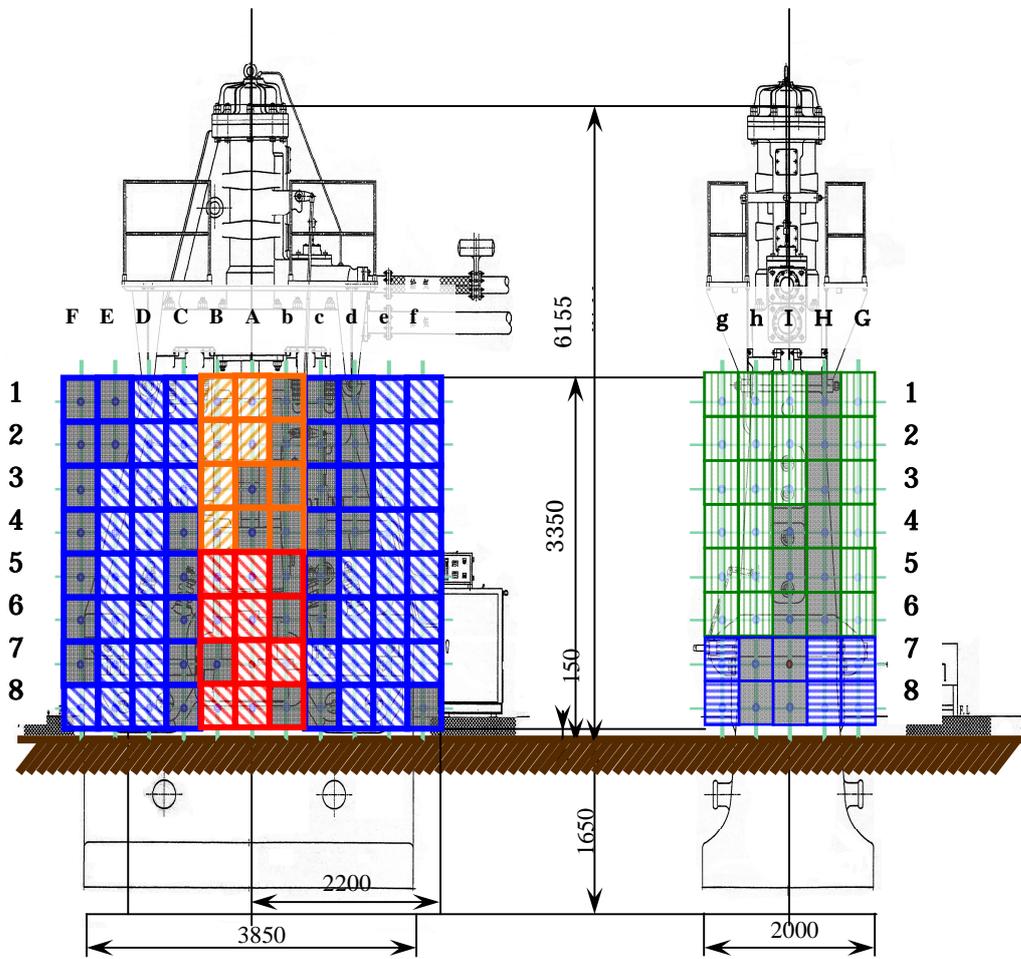


図1.1.2 全体及び部位別の音響エネルギーレベル算出結果



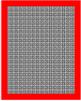
- | | | | |
|---|------------------|---|---------|
|  | : シャフト部 (ハンマー上部) |  | : ハンマー部 |
|  | : フレーム部 |  | : 側面上部 |
|  | : 側面下部 | | |

図 1 . 1 3 部位別放射エネルギーの分割領域

1.3.3 振動加速度レベルの測定結果

ハンマー鍛造機のフレーム部分について、3箇所（正面：上、下、側面）で測定したハンマー一落下時の振動加速度レベルを1/3オクターブバンド分析した結果を図1.14に示す。

これによると、これらの周波数特性はほぼ同じ傾向であり、周波数が高くなるほど大きな振動加速度となっている。正面上部及び側面では、160Hz、正面下部の測定点では125Hz帯域にわずかなピークがみられる。315Hz以上の周波数帯域では、正面下部の位置で高い振動加速度が発生している。

測定した3点について、より詳細な周波数分析としてFFTによる分析を行った。

この場合の解析は、解析ライン数800、周波数分解能6.25Hzとした。この3点の測定点のうち、正面下部の測定点を図1.15に示す。正面下部の測定点では、およそ150Hz、450Hz、650Hzなどにピークが存在していることがわかる。

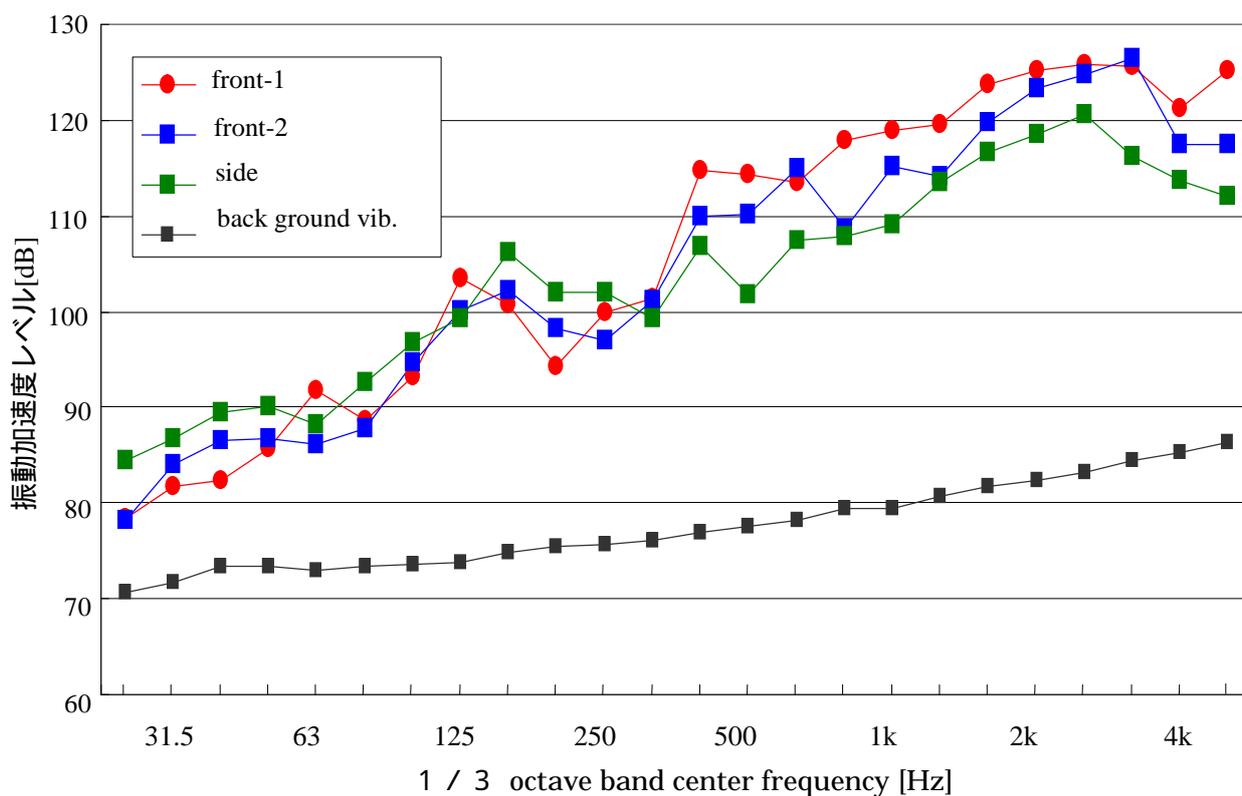


図1.14 振動加速度レベルの測定結果(1/3オクターブバンド分析)

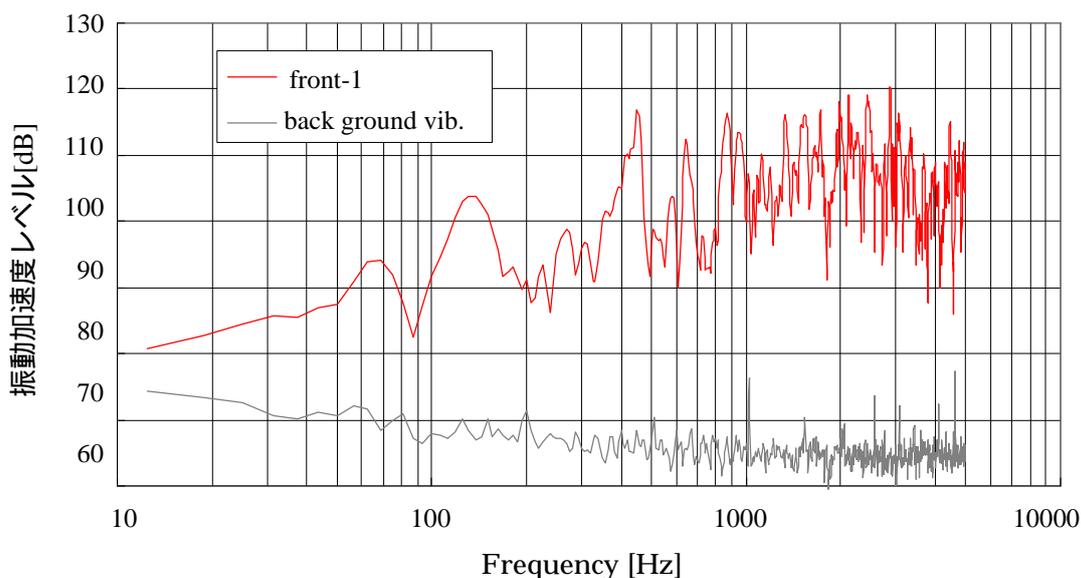


図1 . 1 5 振動加速度レベルの測定結果(正面下部：FFT 分析)

1 . 4 作業環境騒音に関する検討

工場・事業所等に係る騒音の問題のうち、工場内の作業環境騒音については騒音障害防止の観点からガイドラインが定められている。その限度値は、等価騒音レベルで85dBとなっているが、鍛造工場のようにその主要な騒音が衝撃性騒音である場合には、発生ごとの衝撃音の大きさから長時間の平均値である等価騒音レベルに換算して推定することが必要となる。

そこで、ここでは騒音計のfast及びslowによる最大値、単発騒音暴露レベルと等価騒音レベルとの関係について述べる。

一般に、騒音レベルを測定する場合には騒音計を用いて、A特性の聴感補正を行ったうえで時間平均特性をfastとしてレベル記録することが行われている。衝撃性の信号についても同様の手法を用いていることが多い。しかし、一般に、fast最大値は入力された衝撃信号のもつエネルギーには比例しない、あるいは、継続時間に対して比例関係を保てないため、信号のもつエネルギーを正確に捉える測定方法としてfast特性の最大値を用いるのは適当ではない。

物理的に正確に測定するためには1.3.1の(7)式に基づく単発騒音暴露レベルを用いる必要がある。なお、slow最大値は、衝撃性信号の継続時間が短い場合には単発騒音暴露レベルに近い値となることが知られている。図1.16は、ハンマー鍛造機の1回の衝撃音についてのfast特性及びslow特性のレベル記録例であり、このときのfast最大値は114.9dB、slow最大値は107.8dBとなっている。これに対して、単発騒音暴露レベルは108.2dBであり、slow最大値に近いことがわかる。

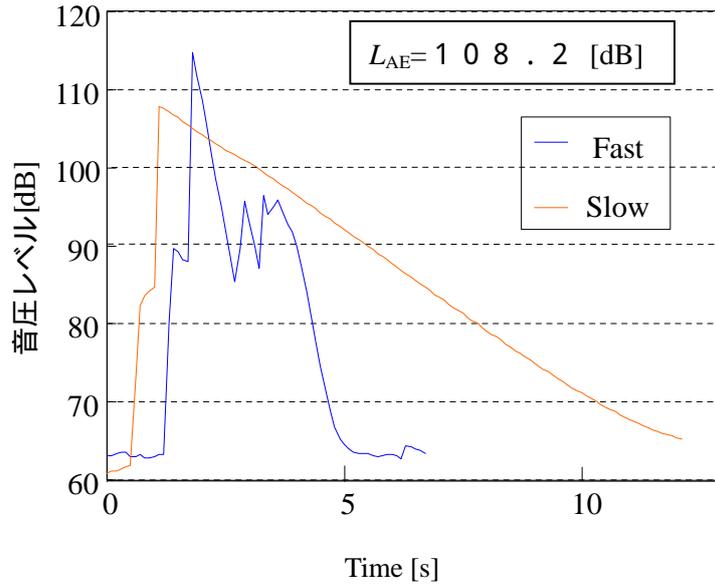


図 1 . 1 6 ハンマー打撃時のレベル記録例

次に、インテンシティー測定時に個々の打撃音ごとの基準化を目的として設置したレベル監視用マイクロホンに関する分析結果について述べる。この測定位置では騒音計のマイクロホンにより、インテンシティー測定時は空打ちの条件で72点の収録を行った。それらのデータについて1/3オクターブバンドごとに周波数分析を行い、単発音圧暴露レベル L_{pE} を算出し72回の平均を求めた。その結果を図1.17に示す。また、図中には、単発騒音暴露レベル： L_{AE} 及び単発音圧暴露レベル： L_{pE} （オーバーオール値）も示した。これによれば単発騒音暴露レベルでみると107.1 dB となっている。

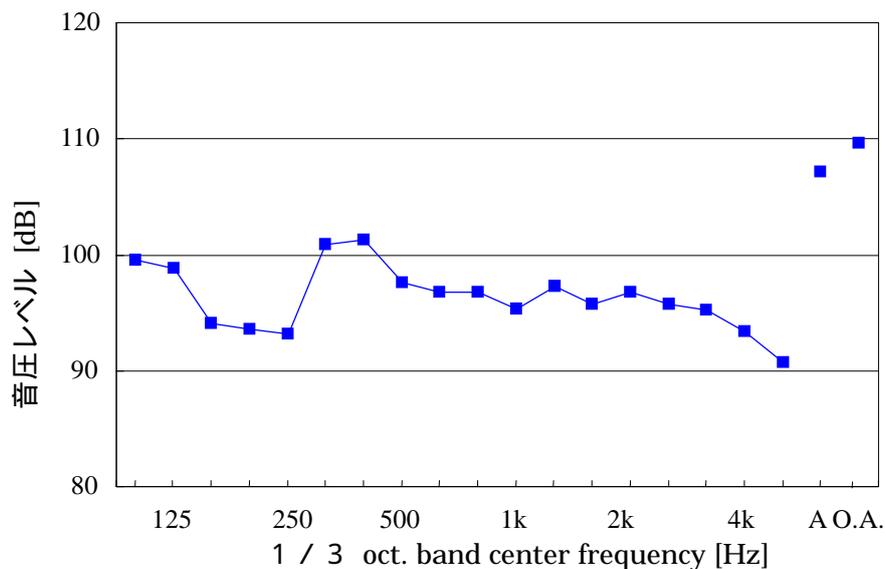


図 1 . 1 7 基準点における単発音圧暴露レベルの測定結果（平均値）

単発騒音暴露レベルがわかれば、1日（8時間）の作業でどれくらいの平均騒音レベルになるかを計算することができる。ここで測定した例では、30個の製品を製造する時間はおよそ15分であったので、60秒間で2個の製品ができると仮定し、1個を仕上げるのに4回の打撃を行った場合について計算してみた。このときの8時間の平均騒音レベルLは次式のように表すことができる。

8時間連続作業の場合：

$$L = 10 \log \left(\frac{4[\text{回}] * 120[\text{個/時間}] * 8[\text{時間}] * 10^{L_{AE}/10}}{60[\text{秒}] * 60[\text{分}] * 8[\text{時間}]} \right) = L_{AE} - 8.7 \quad \dots (8)$$

8時間のうち1時間休憩の場合：

$$L = 10 \log \left(\frac{4[\text{回}] * 120[\text{個/時間}] * 7[\text{時間}] * 10^{L_{AE}/10}}{60[\text{秒}] * 60[\text{分}] * 8[\text{時間}]} \right) = L_{AE} - 9.3 \quad \dots (9)$$

ただし、 L_{AE} ：単発騒音暴露レベル[dB]

したがって、単発騒音暴露レベルが $L_{AE} = 107.1$ dB の場合には、8時間のうち1時間休憩の場合の1日についての等価騒音レベルは 97.8 dB と計算される。当然のことながらここで行ったのはあくまで作業の方法を仮定して行った計算であり、今後、作業実態を捉えるための現場測定による作業環境の調査が必要となる。

第2章 騒音低減要素技術の調査研究

2.1 要素技術の検討及び技術指針の策定

社団法人日本鍛造協会内に設置した「ハンマ鍛造騒音低減システム技術指針策定委員会」にて、技術指針策定と騒音低減に適用できる要素技術について検討を行った。これについては、先述した音源特性の測定結果より測定対象となった(株)コミヤマ所有のハンマー鍛造機の各部位のうち、ラム部、シャフト部、側面下部を中心とした部位から特に大きな音が発生していることを踏まえて、ハンマー鍛造機の騒音低減要素技術を検討したところ下記の結論を得た。

まず、要素技術に先立つ技術の方向性として、(1)発生騒音自体を小さくするための技術(消音技術)、(2)発生騒音を遮音するための技術(遮音技術)が挙げられ、これが技術の指針(技術の方向性)となる。また、これらの指針により騒音低減要素技術として下記を挙げる。

騒音低減要素技術

- 1) 発生騒音自体を小さくするための技術(消音技術)に対応する騒音低減要素技術
 - ・金型とアンビルの接触面に制振鋼板を敷く。
 - ・金型側面に制振鋼板を取り付ける。
- 2) 発生騒音を遮音するための技術(遮音技術)に対応する騒音低減要素技術
 - ・金型側面、上金型、下金型に遮音材を取り付ける。
 - ・金型の上金型について、制振塗料を塗布して遮音材を取り付ける。
 - ・ハンマー鍛造機について、正面上部とシャフト部(ピストンロッド)に遮音材を取り付ける。
 - ・アンビルについて、その側面に遮音材を張る。

上記から、音源特性の測定の実施によるハンマー鍛造機の特定期間から発生する大きな音の定量的な把握及びハンマー鍛造機の騒音低減対策の指針並びに騒音低減要素技術の検討結果を得ることにより今後の騒音低減化への取り組むべき方向性を見出すことができた。これらの要素技術が、騒音低減にどれほど寄与するかの検証については、2.2 要素技術の検証にて述べる。

2.2 要素技術の検証

音源特性の測定の実施によるハンマー鍛造機の特定期間から発生する大きな音の定量的な把握及びハンマー鍛造機の騒音低減対策の指針並びに騒音低減要素技術に基づいて、制振鋼板の適用によるハンマー部からの騒音発生の低減の可能性、制振材料の適用によるフレーム部からの騒音発生の低減の可能性を調べるため、実機を用いた実験を下記のとおり実施した。

2.2.1 測定方法及び測定条件

測定対象音源として、以下の各条件について、設定可能である(株)コミヤマ所有の4トンハンマー鍛造機(株)大谷機械製作所製、防音建屋内設置)を選定した。

なお、この測定方法については、1.2測定方法の(1)~(3)までの方法により実施し、測定条件を次の3条件とした。

パターン1：ハンマー鍛造機の正面作業側(測定側)のフレームクラウン部に、防音材(シート)と遮音材と防音材による複合材を、ピストンロッドに防音材(防音シート)を取り付ける。また、ハンマー正面部には、防音材(防音材)と吸音材による集合壁を取り付ける。金型については対策なし。

パターン2：上記パターン1の状態、上下金型に制振鋼板を(12mm)で囲う。(ただし、上金型は測定途中で破損)

パターン3：ハンマー鍛造機及び金型への対策をしていない状態。

測定システムを図2.1に示す。図2.2に示すように、対象機器に近接して測定面を設定し、各測定面を代表する中心に音響インテンシティープローブを設置して、ハンマー落下時の発生音を8chデータレコーダに収録した。同時にレベル監視用騒音計の信号についても収録した。音響インテンシティーの測定面は、前回と同じ設定とした。すなわち、40cm×40cmのメッシュで分割し、ハンマー鍛造機を対称と見なして正面(作業)側の中心を含む左半分は6列×8点、側面の右半分は3列×8点、計72点を配置した。今回は、これらのうち、騒音対策が行われた部分の近傍点として、A列(0から8)及び17、18を測定の対象とした。(参照：図1.4)各面の中心にインテンシティープローブを設置し、その向きは機器から放射される方向をインテンシティーのプラス側とした。

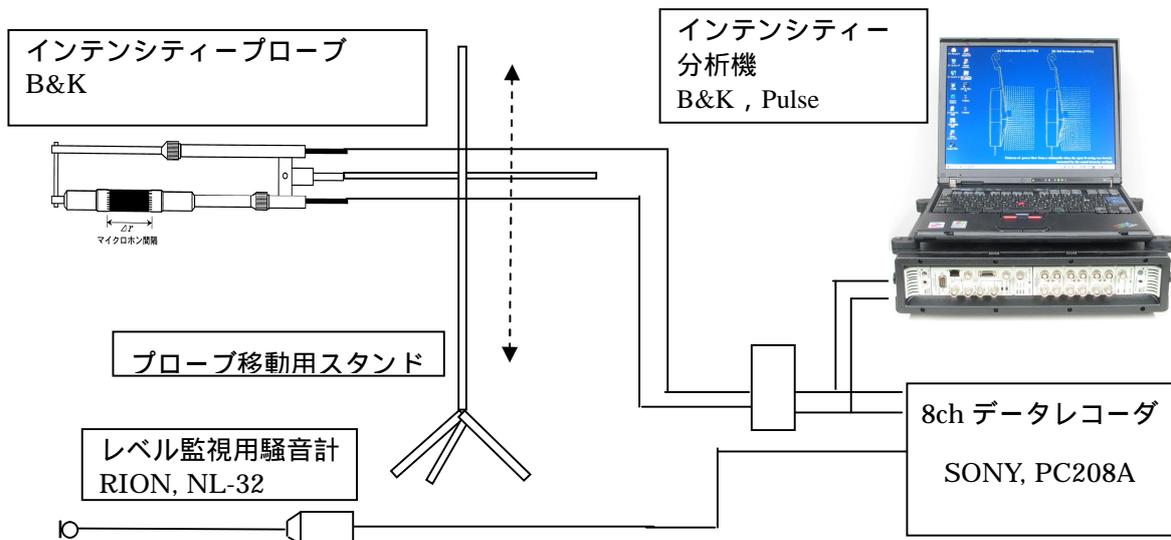


図 2 . 1 測定システム

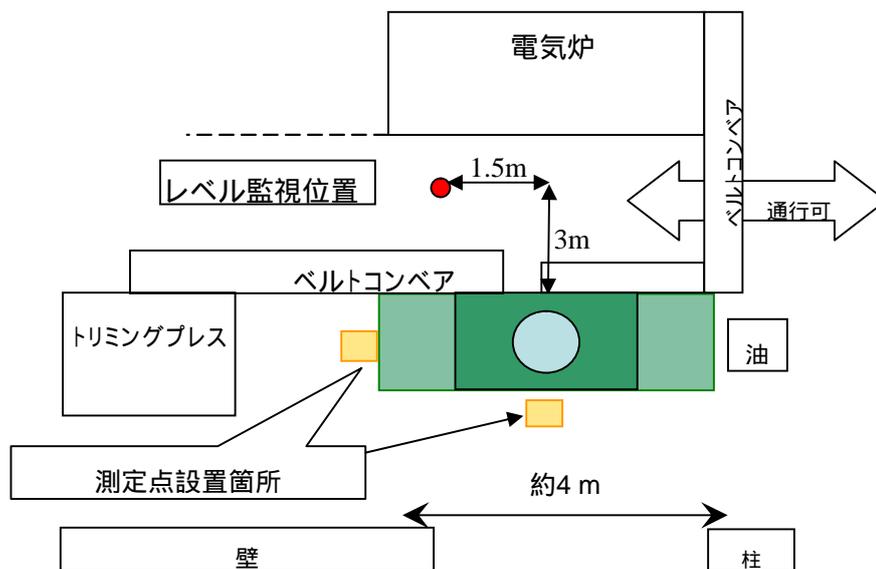


図 2 . 2 測定点の設置位置

2.2.2 測定結果

ハンマー鍛造機から放射される音響特性として、前回と同様にハンマーの落下高さを30%とした時の空打ち状態の条件について各測定点における音響インテンシティの解析を行った。

(1) 音圧監視点の測定結果

まず、今回の全ての測定における音圧レベル監視点の分析方法として、1/3オクターブバンド毎の周波数について、前回と同様の方法で単発音圧暴露レベルを求めた。すなわち、次式で表される単発音圧暴露レベルを求めた。

$$L_{pE} = 10 \log_{10} \frac{1}{T_0} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p^2(t)}{p_0^2} dt$$

ここに、 $p(t)$: 対象とする騒音の瞬時音圧 (Pa)、 p_0 : 基準音圧 (20 μ Pa)

$t_1 \sim t_2$: 対象とする騒音の継続時間を含む時間 (s)、 $T_0 = 1$ s (基準の時間)

各回のすべての事象についての分析結果を図2.3に示す。さらに、これらの結果について上記のパターン1から3の実験条件毎にエネルギー平均を行った結果を図2.4に示す。これによれば、パターン1 (ハンマー鍛造機に遮音材、吸音材等を取り付けた状態) は、パターン3 (対策を施さない状態) に比べて低音域を除いておよそ1~3 dB程度の対策効果が認められ、騒音レベルでは2 dB小さくなっている。さらに、パターン2 (金型を制振した場合) は、400 Hz帯域ではおよそ5 dB小さく、その他の周波数はおおむねパターン1の場合と同程度の効果となっている。この場合の騒音レベルはパターン1と同程度となっている。

(2) 音響インテンシティの測定結果

次に、各点で測定したインテンシティレベルについて、音圧監視点における各実験条件の差をもとに測定結果を基準化した。その結果を実験条件毎に比較して測定点毎のスペクトルとして図2.5から図2.15に示す。これらの結果についてみると、測定点A0からA4について、パターン1ではパターン3と比べるとすべての周波数帯域にわたり数dBから15 dB程度も低くなっており、大きな低減効果が認められる。測定点A5からA8については、パターン1はパターン3と比べて中音域以下ではやや低くなっているが、高音域では両者はほぼ同様のレベルとなっており対策効果は低くなっている。これは金型が衝突する部分は覆われていないた

め当然のことと考えられる。側面の測定点17、18については、パターン1ではパターン3と比べるとおよそ5 dB から20 dB 程度も低くなっており、大きな低減効果が認められる。

金型下部を制振鋼板で覆った条件(パターン2)については、A0 からA3 においては中音域以上の周波数ではパターン1と同程度、低音域ではパターン1より大きなレベルとなっており、パターン3より大きくなる場合も生じている。A4 からA8 及び17、18の測定位置についても、パターン2はパターン1とほぼ同様のレベルとなっており、制振鋼板を貼り付けた効果はほとんど認められない。

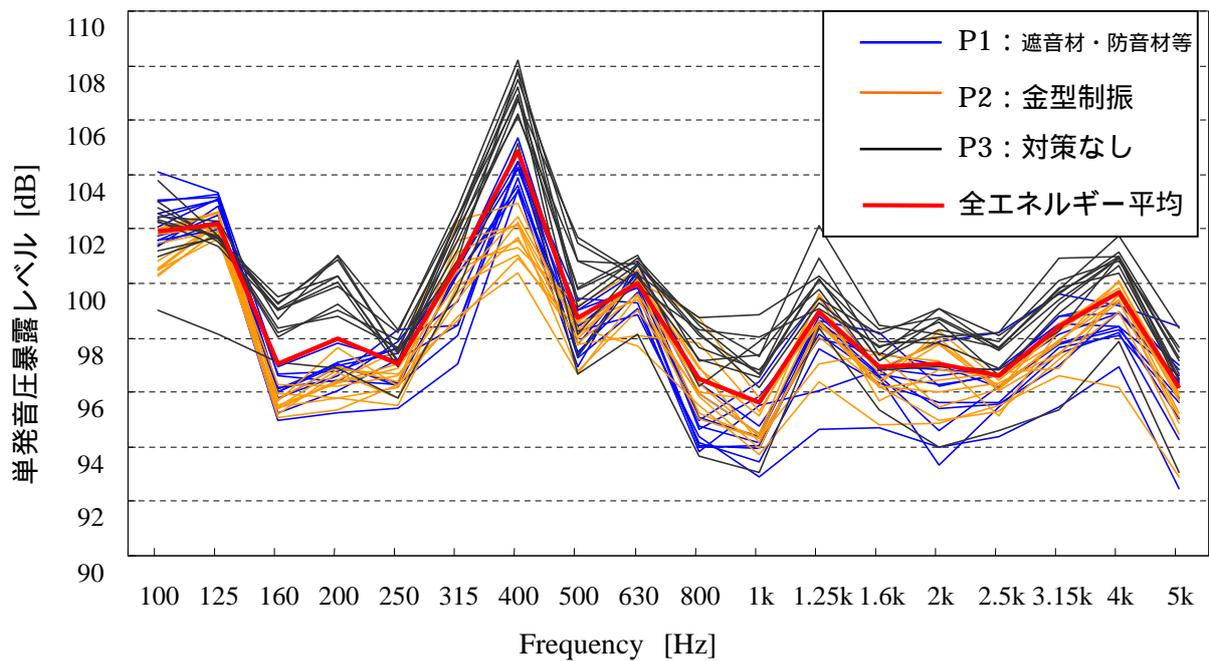


図 2 . 3 音圧監視点における単発音圧暴露レベルの測定

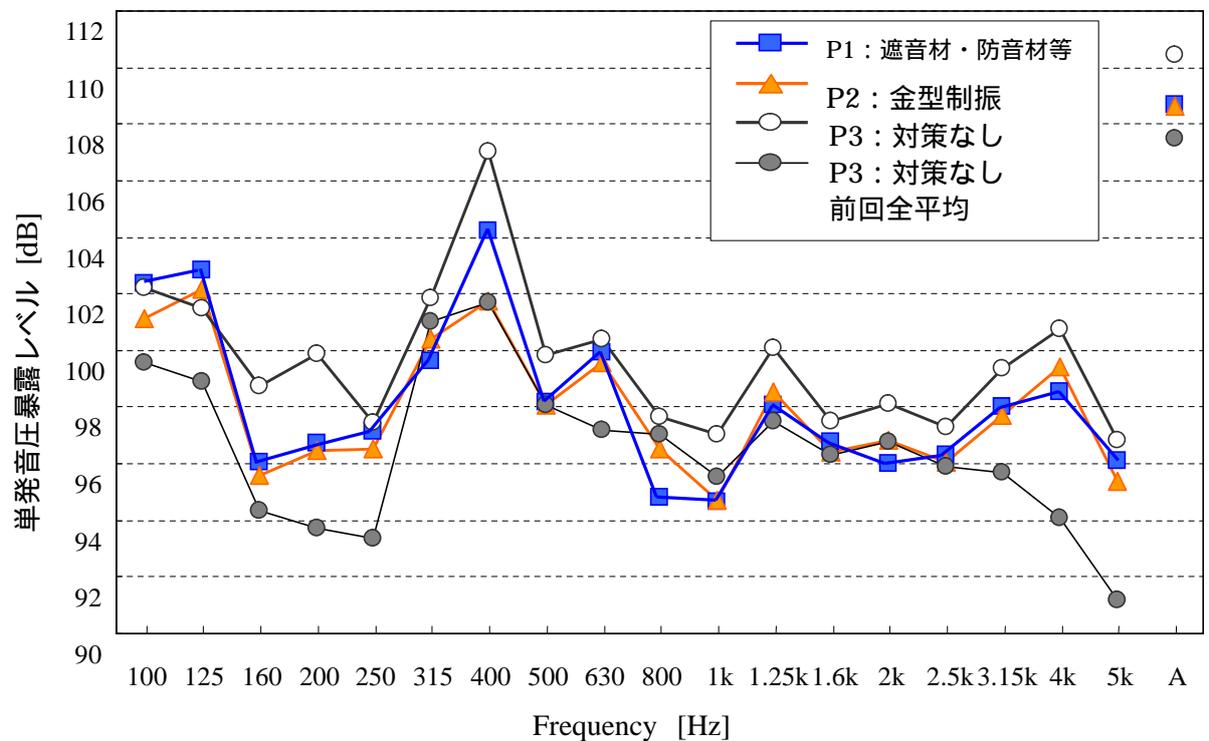


図 2 . 4 音圧監視点における単発音圧暴露レベルの測定結果
(実験条件ごとの平均値)

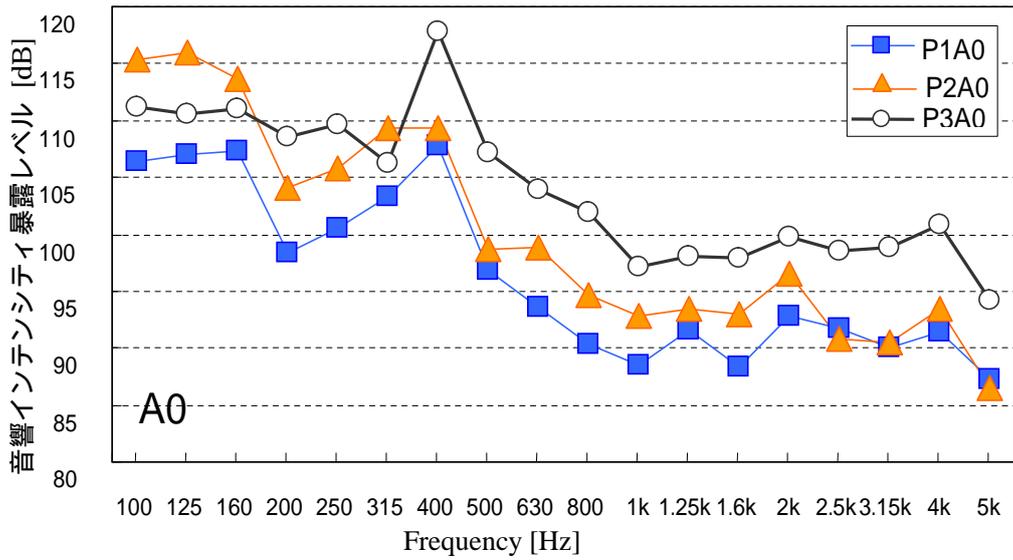


図 2 . 5 実験条件ごとの音響インテンシティーの測定結果 (測定点 A0)

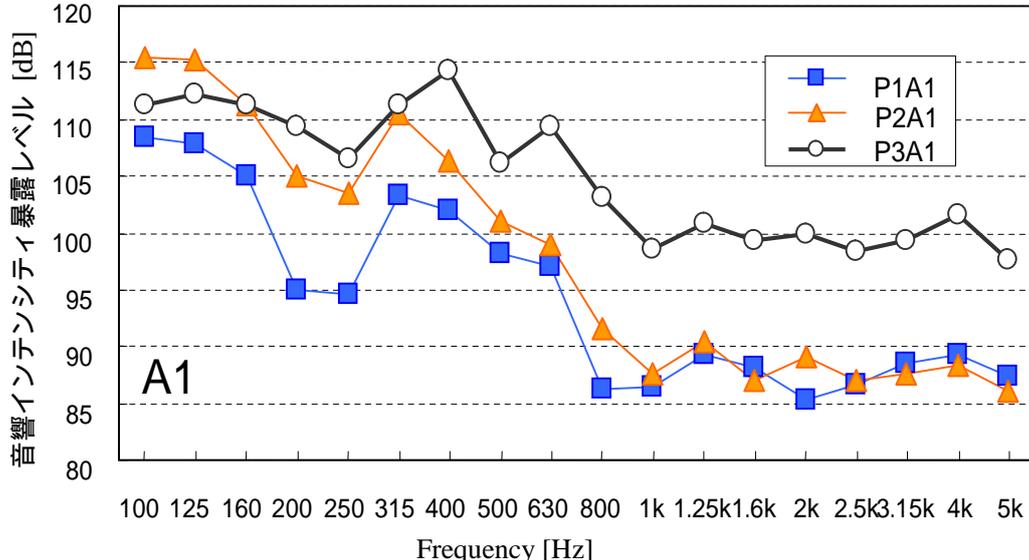


図 2 . 6 実験条件ごとの音響インテンシティーの測定結果 (測定点 A1)

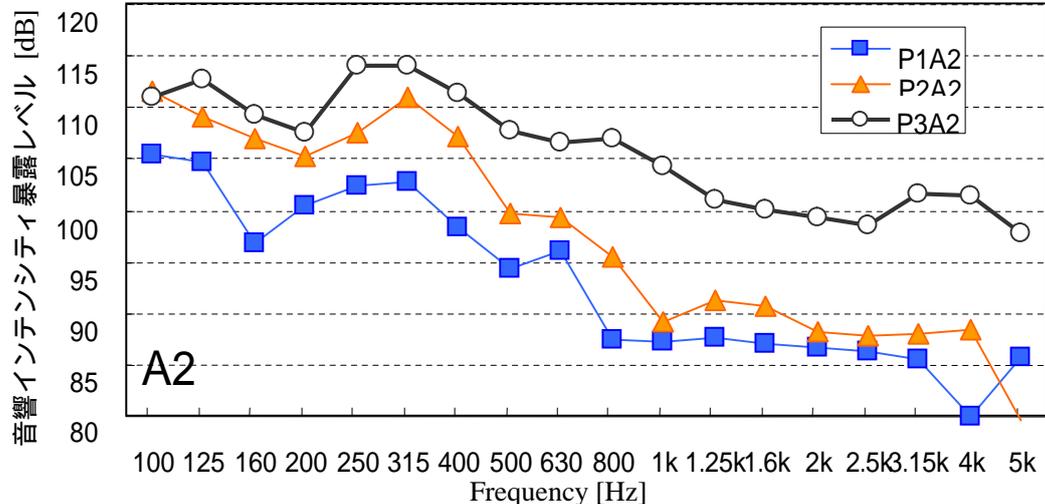


図 2 . 7 実験条件ごとの音響インテンシティーの測定結果 (測定点 A2)

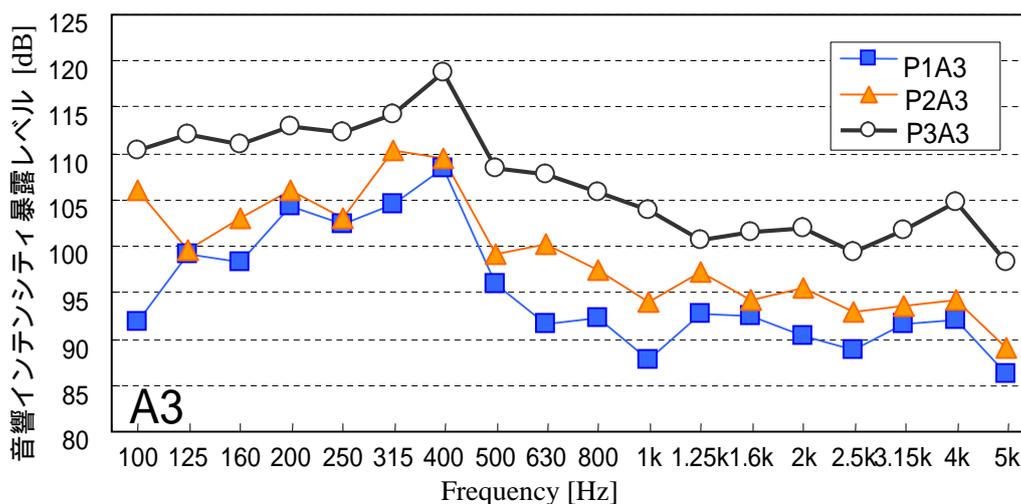


図 2 . 8 実験条件ごとの音響インテンシティの測定結果 (測定点 A3)

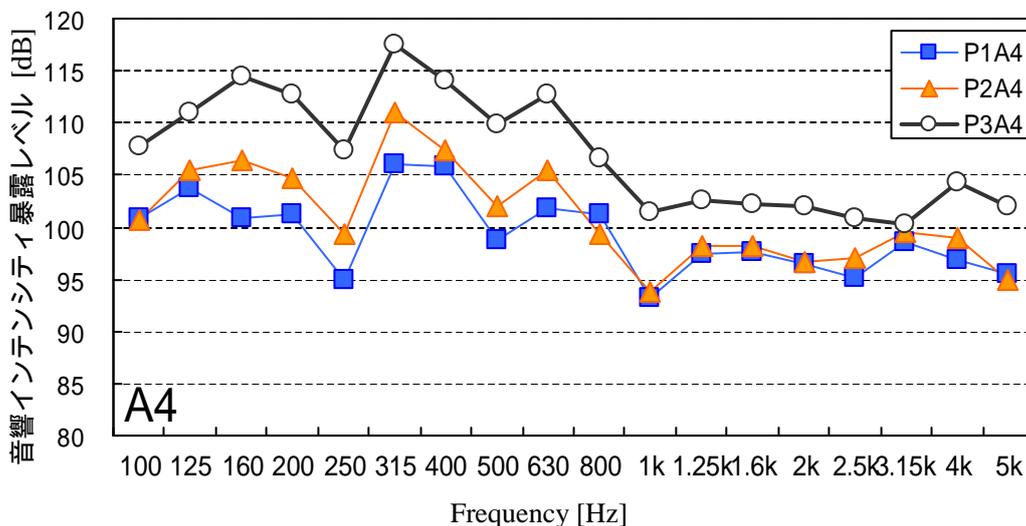


図 2 . 9 実験条件ごとの音響インテンシティの測定結果 (測定点 A4)

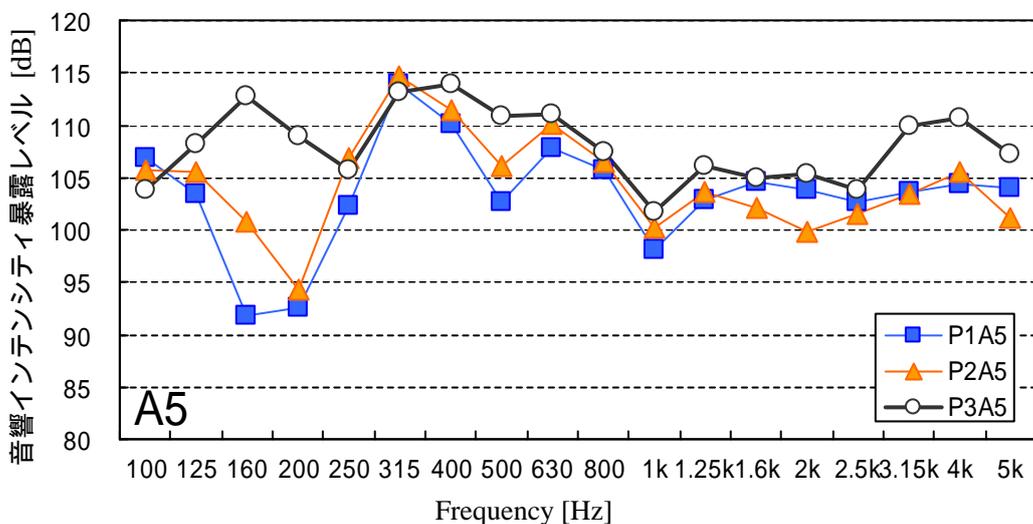


図 2 . 10 実験条件ごとの音響インテンシティの測定結果 (測定点 A5)

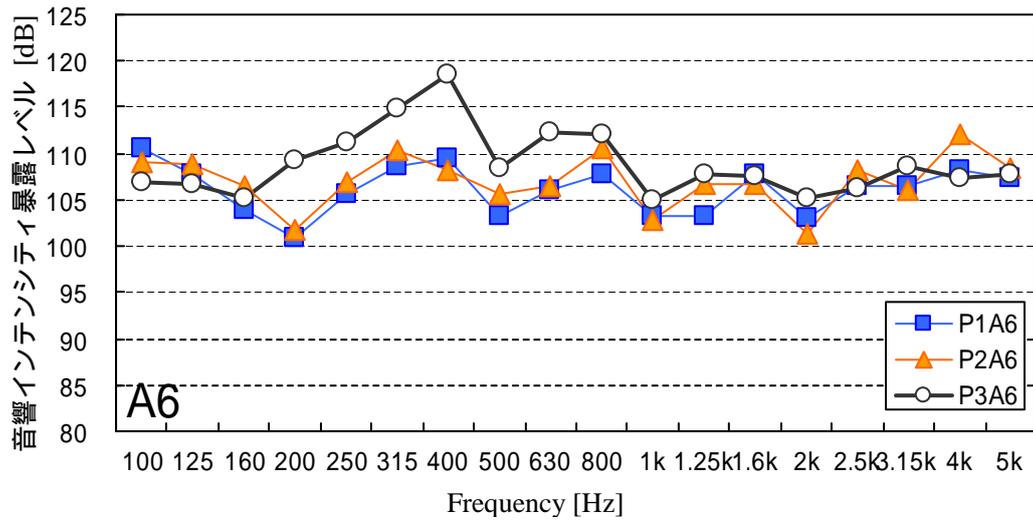


図 2 . 1 1 実験条件ごとの音響インテンシティの測定結果 (測定点 A6)

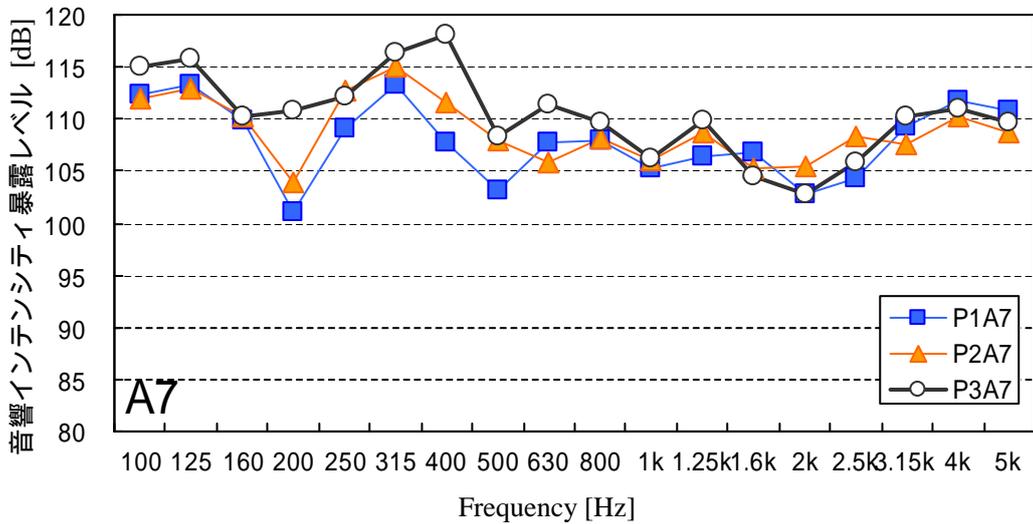


図 2 . 1 2 実験条件ごとの音響インテンシティの測定結果(測定点 A7)

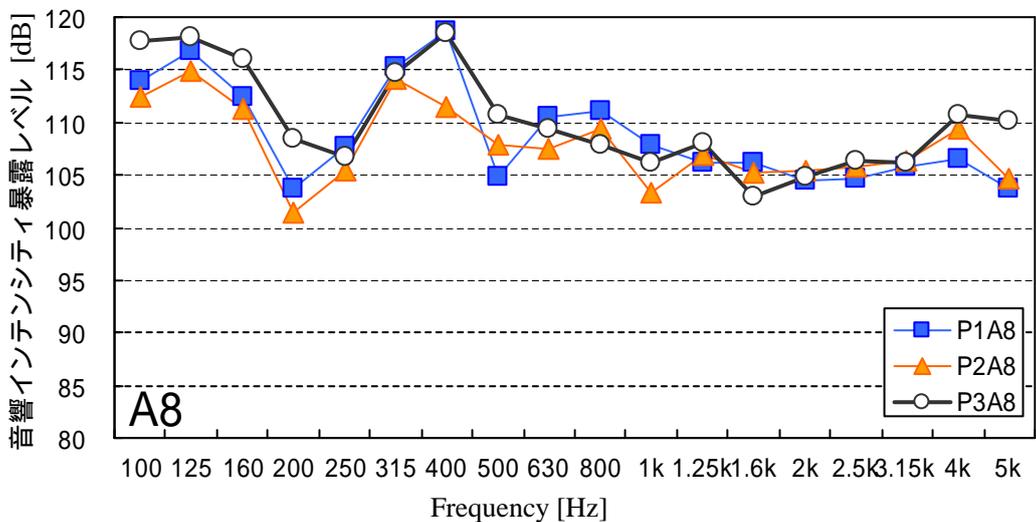


図 2 . 1 3 実験条件ごとの音響インテンシティの測定結果 (測定点 A8)

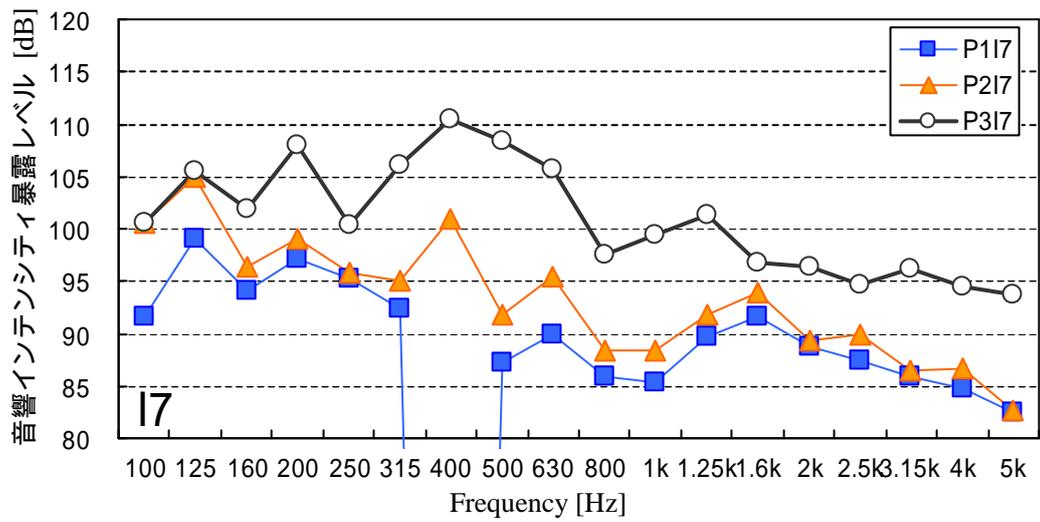


図 2 . 1 4 実験条件ごとの音響インテンシティの測定結果 (測定点 I7)

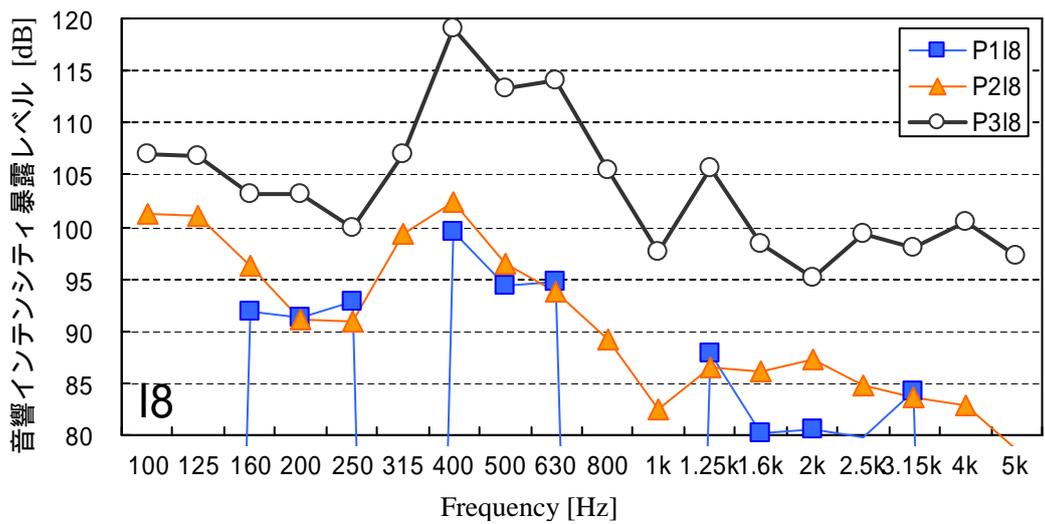


図 2 . 1 5 実験条件ごとの音響インテンシティの測定結果 (測定点 I8)

(3) まとめ

ここでは、ハンマー鍛造機の防音対策として、ハンマー鍛造機に防音材、吸音材等を適用した場合(パターン1)と、パターン1の状態に、金型下部に制振鋼板を取り付けて、金型自体の放射音を低減する方法(パターン2)の2方法について、対策をしない場合(パターン3)との比較測定を行った。

その結果、防音材、吸音材等による対策を施した部分の近傍点においては対策の効果が認められ、特に、高音域についてはその効果が大きいことがわかった。また、音圧監視点の音圧レベルでは、若干の対策効果がみられたもののそれほどの効果があるとはいえない。これは、今回の防音対策がハンマー鍛造機の正面側上部を中心とした対策であるため、機器から放射される全体の放射エネルギーについては大きな低減とはなっていないものと考えられる。

制振鋼板による金型の放射音低減効果については、今回の結果ではほとんど効果が認められないか、あるいは、放射音が増大した場合も発生したことから、制振鋼板の取り付け方法や装着位置についてさらなる検討が必要であると考えられる。

4. 調査研究の成果(まとめ)

従来、ハンマー鍛造機の騒音振動対策としてハンマー鍛造機の基礎に各種ダンパーを組み込む方法やハンマー鍛造機全体を防振支持する方法が検討されてきたが、これだけでは空気中に直接放射される衝撃騒音に対しては十分な効果が見られなかった。また、ラム、アンピルの衝突による衝撃音の発生を低減するための対策技術に関する調査研究及び開発は、皆無であった。

本調査研究では、騒音源の近傍における音のエネルギーを直接測定できる音響インテンシティー法を適用して、ハンマー鍛造機の部位毎の発生音響エネルギーを定量的に把握した結果、ハンマー鍛造機の騒音発生部位毎の放射音響エネルギーを定量的に明らかにすることができた。

そして、この成果に基づく騒音低減要素技術の調査研究からは、ハンマー鍛造機についての低騒音化に大きく寄与すると考えられる具体的対策部位の把握が可能となった。

さらには、ハンマー鍛造機の低騒音化のための対策及び技術指針を踏まえた騒音低減対策による実験からは、制振鋼板の金型への適用には、さらなる検討が必要といえるが、その他の対策では、一定レベルでの騒音低減効果も把握できた。従って、今後、この技術指針が、ハンマー鍛造機の騒音低減対策を実現するために活用できるとともに、ハンマー鍛造機の低騒音化への方向性を見出すことができた。

5 . 調査研究の今後の展開

本調査研究後については、本調査研究の成果と2 . 2 で述べた実機を用いた実験結果に基づいて、平成21年度戦略的基盤技術高度化支援事業を活用して、ハンマー鍛造における低騒音化のための騒音低減要素技術の開発に向けた取り組みを進める。これについては、上記2 . 1 で述べた技術指針に沿って、各々の取り組み内容を具体的な方法も含めて下記に示す。

- (1) ピストンロッド及びフレームを中空化構造とし、これにシリコンオイルなどの振動吸収材を封入して振動の低減を図る。また、フレームとアンピルの合わせ面がなくなるようなフレームの開発に取り組む。
- (2) 音響インテンシティ測定によるデータを基に、ハンマー鍛造機の構造の最適化と、振動吸収材及び制振材料を活用したフレーム、アンビル、ラムを開発するとともに、カバー類の最適化の研究に取り組む。

(3) 金型衝突音の低減

制振鋼材を活用して金型取り付け部に制振鋼材の適用と金型側面への振動吸収材や制振鋼材の貼り付け構造を研究開発する。これについて、騒音低減技術として制振鋼材の適用は鍛造周辺機器でも実績があり効果をあげている。しかし、既存の制振鋼材は非熱処理型のため衝撃値が低く金型材料として使用できない。このため、振動吸収材や制振鋼材による複合構造をもつハンマー鍛造金型の開発に取り組む。更に、ハンマー鍛造機に遮音カバーを設置した構造を採用して金型からの発生騒音を低減化する技術を確立する。

(4) 金型衝突速度の低減

ハンマー鍛造機に油圧制御システムを適用して、ハンマー鍛造機の打撃エネルギーの制御が可能となるような研究を行う。

本調査研究後は、より本格的な騒音低減対策に向けた取り組みの実施とその効果を検証することで低騒音化ハンマー鍛造モデル工場の構築を推進し、鍛造業界各社の環境改善意識の高揚と技術指針の活用による工場騒音低減による労働環境の改善、工場周辺地域の環境改善に役立つ。更には、低振動技術についての開発もすすめてこの効果を鍛造業界で水平展開する。

資 料

参考文献

3. 調査研究内容・第1章 音源特性の測定：

橘秀樹，矢野博夫共著 「環境騒音・建築音響の測定」 コロナ社
日本音響学会編音響テクノロジーシリーズ8 2004年

- 禁無断転載 -

システム技術開発調査研究 20 - R - 14

ハンマー鍛造の騒音の大幅低減システムに関する
調査研究
報告書
(要 旨)

平成 21 年 3 月

作 成 財団法人機械システム振興協会
東京都港区三田一丁目 4 番 2 8 号
TEL 03-3454-1311

委託先名 社団法人日本鍛造協会
東京都中央区日本橋本町
4 丁目 9 番 2 号 本栄ビル 9 F
TEL 03-5643-5321