

2014 年度 修士論文

ピアノの音源指向性がホール内音楽聴取印象に
及ぼす影響の解明

Elucidation of the influence of directivity of the piano on music listening
impression in a hall.

上田 脩太郎

UEDA Shutaro

2015 年 1 月 26 日

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

Institute of Environmental Studies,
Graduate School of Frontier science, the University of Tokyo

目次

第 1 章	序論	5
1.1	研究背景	5
1.1.1	欧米のコンサートホールの歴史	6
1.1.2	日本のコンサートホールの歴史	8
1.1.3	近年のホール	9
1.1.4	研究の動機づけ	10
1.1.5	コンサートホールの評価手法	11
1.1.6	楽器の音源指向性	12
1.2	研究目的	14
1.2.1	研究フロー	14
1.3	本研究の構成	15
第 2 章	音響測定によるピアノの音源指向性の特性把握	17
2.1	概要	17
2.2	測定概要	17
2.3	インパルス応答測定によるホールの特性把握	19
2.3.1	室内インパルス応答	19
2.3.2	室内音響指標	19
2.3.3	インパルス応答測定方法	23
2.3.4	インパルス応答分析結果	25
2.4	ピアノの音源指向性が音圧分布に及ぼすの影響の検討	28
2.4.1	音圧分布測定方法	28
2.4.2	音圧分布測定結果 (各帯域打鍵の基音成分の分布)	30
2.4.3	音圧分布測定結果 (各帯域打鍵の基音と倍音成分の分布)	39
2.5	6ch 収音システムによる演奏録音と倍音構造の分析	50
2.5.1	演奏録音方法	50
2.5.2	倍音分析結果	56
2.5.3	まとめ	62
第 3 章	6ch 収音・再生システム	63

3.1	システムの概要・原理	63
3.2	システム補正	67
3.2.1	再生系の補正	67
3.2.2	收音系の補正	69
第4章	主観評価実験によるピアノの音源指向性が音楽聴取へ及ぼす影響の検証	71
4.1	概要	71
4.1.1	主観評価実験分析フロー	72
4.2	実験概要	73
4.3	実験1：一対比較法によるピアノ演奏の聴取印象への影響検証	76
4.3.1	条件設定	80
4.3.2	一対比較の全体的な影響確認	83
4.3.3	一対比較の評価傾向の確認	84
4.3.4	インタビュー内容による考察	95
4.3.5	まとめ	100
4.4	実験2：各音響条件における聴こえの好ましさをへ影響検証	101
4.4.1	条件設定	102
4.4.2	好ましさの全体的な影響確認	104
4.4.3	好みの評価傾向の確認	104
4.4.4	被験者のグループ化	107
4.4.5	聴感印象を表す評価語の選択傾向	109
4.4.6	まとめ	124
第5章	主成分分析による物理量と心理量の関係検証	125
5.1	概要	125
5.2	評価項目と物理量の関係	126
5.2.1	楽曲の分析	126
5.2.2	物理量の相関	129
5.2.3	評価項目と物理量の相関	130
5.2.4	主成分分析結果	132
5.3	好ましさと物理量の関係	134
5.3.1	楽曲の分析	134
5.3.2	好ましさと物理量の相関	136
5.3.3	主成分分析結果	137
5.4	まとめ	139
第6章	総括	141
6.1	本研究のまとめ	141
6.2	今後の課題	142

参考文献	143
謝辞	147
付録	149

第 1 章

序論

1.1 研究背景

音は我々の生活基盤の中で欠かせない要素である。情報の伝達手段や、文化活動、また近年取り沙汰される騒音問題を取り上げても、音環境がいかに重要な要素であるかが分かる。その中でも、文化活動としての音楽は古くから人々に親しまれており、現代に至るまでエンターテインメントとして必要不可欠な要素となっている。音楽の始まりはメソポタミア文明や古代エジプト、ギリシャ時代であると言われている[30]。現在広く親しまれているポピュラー音楽や軽音楽の歴史はまだ浅く、現存する最古クラシック音楽としてはグレゴリオ聖歌が挙げられる。このグレゴリオ聖歌を起源とすると現在のクラシック音楽(西洋音楽)の始まりは14～15世紀頃からと言われている。やがてルネサンス・バロック・古典派・ロマン派とクラシック音楽が派生していき様々な音楽が生まれることとなる。現在、このクラシック音楽が演奏される場として広く使われている会場の一つとしてコンサートホールがあげられる。演奏の場としてのコンサートホールは18世紀以降から発展したと言われている。まず始めに欧米におけるコンサートホールの歴史をたどってみる。

1.1.1 欧米のコンサートホールの歴史

上野らの著書 [35] によると、1700 年前後からイギリスでは私邸や居酒屋等で有料のコンサートが開かれるようになり、18 世紀に極めて盛んとなった事からコンサートホールが多く建てられるようになった。当時の客席数は数百席程度の比較的小さなホールが多く、現在のホールに比べると小規模なホールであった。その頃の代表的なホールとしては、ロンドンに建設されたハノーヴァー・スクエア・ルームズ (Hanover Square Rooms: London, 1774) が有名である。このホールはイギリスで始めて有料のコンサートが開かれたホールであり、ハイドン、モーツァルト等の著名な音楽家も演奏を行ったそうである。また、中世のヨーロッパ大陸においても、王族や貴族が舞踏場や音楽室などでコンサートを開いていたため、18 世紀後半から中産階級の台頭により次第に市民を対象とした演奏会が生まれた。代表的な例としてはゲヴァントハウス (Gewandhaus: Leipzig, 1781) が有名であり、ここでは市民階級を対象としたコンサートが開かれていた。このホールは 1894 年に取り壊され、ノイエス・ゲヴァントハウスが 1884 年に建設、1944 年に戦災で焼失した。その後 1981 年に現在のノイエス・ゲヴァントハウスが建設されることとなる。当時は演奏会場の規模と音響条件に合わせた作曲が多かったが、次第に演奏規模が増したことから 19 世紀になるとこれらを演奏するためにヨーロッパ各地でコンサートホールが建設されるようになった。数あるホールの中でも世界でも最高峰と名高い”世界三大ホール”と呼ばれるホールがあるが、Fig.1.1 のウィーン楽友協会大ホール (Wiener Musikverein: Wien, 1870)、コンセルトヘボウ (Concertgebouw: Amsterdam, 1888)、Fig.1.1 のシンフォニーホール (Symphony Hall: Boston, 1900) の事を指す。



Fig. 1.1: Left:Wiener Musikverein, Right:The Boston Symphony Hall.[31][32]

これらのホールはシューボックス型と呼ばれるホール形状であり、靴箱の形に似ていることから名付けられた。ホール形状は左右が対称型であり、初期反射音が豊富であることから豊かな響きを持つことが特徴としてあげられる。

ウィーン楽友協会大ホールの規模は室容積が 15 000 m³、1 680 席で大型のホールである。ベラネクの著書によると、壁面の装飾が音の拡散性を高めていることや、ステージ囲いを持たず、突き出したバルコニーに3方が囲まれており、これがオーケストラに強い反射音を返す作用を担っていることから、演奏者がホールの全体的な響きをより感じ取りやすいとの事である [12][13]。コンセルトヘボウは室容積が 18 700 m³ と、楽友協会大ホールよりもやや規模が大きい。ステージの奥に合唱席が設けられているが、合唱を伴わない演奏会では客席として使われており、現在で言う客席がステージを取り囲むアリーナ形式のはしりとも言える [35]。北米では 1900 年にボストン・シンフォニーホールが建設されており、このホールはセービンの残響理論 [19] を用いて音響設計がされた初めてのホールである。このセービンの残響理論の発表から今日における室内音響学の分野が発展したと言っても過言ではない。また、世界三大ホールのうちその他2つのホールは室内音響学が発展する前に設計されたホールであるにも関わらず、今日まで最高のホールとして評価されているのは不思議な話である。この様に、音響的に良いと評価されているシューボックス型のホールであるが、大きなホールとなると、客席の後方ではステージが見えにくくなることや、音の明瞭性に欠けると言った欠点がある。

その後シューボックス型の欠点を補ったヴィンヤード型と呼ばれるホールが誕生する。代表的なホールとして、ベルリン・フィルハーモニー (Berliner Philharmoniker:Berlin,1963) が上げられる。このホールはステージを取り囲むように座席が段々畑状に配置されたアリーナ形式のホールであり、その形態がぶどう畑に似ていることからヴィンヤード型と呼ばれている。この形式はステージの視認性や建築的なデザインとしては魅力的であるが、座席位置による音響的な不均一性が問題点として挙げられる。また、ステージ上部が高くなることによって反射音が不足してしまう等の欠点が上げられる。その為、ヴィンヤード型のホールにおいては浮雲が設けられることが多い。

その後、この様なアリーナ型のコンサートホールが各地に建設されるようになった。また、前述したノイエス・ゲヴァントハウスもこのタイプに属しており、1980 年以降に建てられた日本のコンサートホールの設計にも大きな影響を与えている。前述したシューボックス型やヴィンヤード型以外にも数々のホール形状が登場しており、ミュンヘン・フィルハーモニー (Münchner Philharmoniker:München,1985) は扇形、クライストチャーチ・タウンホール・フォー・パフォーミングアーツ (Christchurch Town Hall for Performing Arts:Christchurch,1972) は楕円形と、多様性に富んだホール設計がされるようになった。これらの形態は音響障害が起りやすいことから、音響拡散を始めとした様々なデザインが工夫されている。

1.1.2 日本のコンサートホールの歴史

日本の建築は古来木造が主流であったことから、ヨーロッパ諸国のような石造の響きの長い大空間もなく、響きを前提とする音楽は作られていなかった。大正から昭和初期にかけて公会堂などの建物が建設されるようになったが、ほとんどは多目的ホールであり、前述の響きを前提として作曲されてきたクラシック音楽の演奏に適したホールはほとんど存在していなかった。その中で明治23年に建てられた奏楽堂は、日本における最初のクラシック音楽専用ホールであると言える。また昭和4年に建てられた日比谷公会堂もクラシック音楽の演奏会場として利用されていたが、本来の用途としては多目的ホールであり、コンサートホールとしての適切な条件を備えているわけではなかった。第二次世界大戦後、全国各地に公共文化施設としてホールが数多く建設されたが、何れにせよ用途を多目的に設定せざるを得なかった。クラシック音楽のコンサートに重きを置いて設計されたホールの代表例としては1954年に建設された神奈川県立音楽堂が挙げられる。日本は欧米に比べるとコンサートホールの歴史としてはかなり浅いものがあり、多目的ホール建設の流れの中で、クラシック音楽専用ホールとなるようなホールが多く設計されるようになったのは1950年以降である。1961年に東京上野に本格的なクラシック音楽専用のホールとして東京文化会館が建設された。この施設にはオーケストラコンサート、オペラ、バレエなどの多目的用途のための2327人の大ホール、小規模コンサート、リサイタルのための653人収容の小ホールが含まれており、多目的とはいえクラシック音楽専用の施設といえる。この施設のほかにも1967年に開館した千葉県文化会館や1982年に開館した熊本県立劇場も同様に大ホールと小ホールが備えられており、徐々にコンサート専用ホールの建設が行われるようになった。その後1980年代に入って、本格的にコンサート専用ホールが建設されるようになった。

1982年に大阪に建設されたザ・シンフォニーホールは残響時間2秒を目標に掲げ設計がなされた。[47] その為日本では体験できなかった響きが実現した。また、この後に1986年サントリーホールが建設された。サントリーホールはアリーナ形式のホールであり、前述したゲヴァントハウスを参考にして建てられたものである。1980年以降の日本では全国各地で急速にコンサートホールが建設されるようになった。この様に日本は本格的にコンサート専用ホールが建設されるようになってから、まだ30数年しか経っていない事が分かる。

1.1.3 近年のホール

前述したように、コンサートホールはこの 100 年の間で大きく変遷しており、初めはサロンや小会場で行われていた演奏会が、徐々に規模が大きくなり、多目的ホールの様な複合施設が数多く登場した。近年ではコンサート専用ホールといったように、徐々に単一の目的に照準を合わせたホールも登場してきた。日本においては 2010 年にリニューアルされたヤマハホールがその 1 例である。ヤマハホールはクラシック音楽の専用ホールとしてリニューアルしたホールである。座席数は 333 席と小ホール程度の大きさであり、高さが特徴的なホール形状となっている。壁面の拡散性を高めるために 3 種類の木製タイルを用いて、アコースティック楽器演奏に最適な音響設計を行っている。

また、従来のホールとは異なる性状を持つホールも設計されるようになった。欧米に目を向けるとイザベラスチュアート美術館内にある 2012 年に建設されたカルダーウッドホール (Calderwood Performance Hall at Isabella Stewart Gardner Museum: Boston, 2012) がある。設計者はレンゾピアノで、ホールの特徴としては、まず 14m 四方の立方体のホール形状であることが挙げられる。ステージを囲うようにして客席が設置されており、縦長であることから二階から四階席以降はバルコニーから覗きこむような形式で演奏を受聴する形式をとっている。そのためピアノ演奏に関しては屋根を外して演奏をされたり、オペラ歌手はステージを回転しながら歌ったりと演奏方法や聴衆に対するアプローチの仕方等様々な設定を考えながら演奏を行っている。[42] また、同じく 2012 年に設計されたクレモナヴァイオリン美術館内にある室内楽ホール (Chamber Hall at Museo Del Violino: Cremona, 2012) はシューボックス型のホール形状であり、小型のホールでありながらセンターステージ形式をとっており、客席の 1/3 はステージの後ろ側に配置されるホールとなっている。このホールは主に室内楽専用のホールとして設計されており、元々は体育館として使用されていたものを、床を 4m 掘り下げてこのホール形状となった。ステージと客席の距離が近く、親密感の高いレイアウトが特徴である。また、客席に対する方向性がないことから、従来型のステージでのレイアウトに拘らない様な演奏が行われているようである。[41]

1.1.4 研究の動機づけ

この様に、近年のホールの特徴としては、比較的小型なホールであることや、ホール形状が従来の形式と異なっている事が特徴である。特に、カルダーウッドホールやクレモナヴァイオリン美術館の室内楽ホールに関しては、客席に対する方向性が無いため、ピアノの屋根を外して演奏を行ったり、聴衆に対するアプローチの仕方を工夫しながら演奏を行っているというが、ここで、筆者の中である疑問が生じた。それはそもそも演奏を聴くにあたって、どの位置で聴くのが良いのか。ということである。比較的演奏会などの頻度の多いピアノを題材にすると、演奏会でホールに出向いた際には、ステージ下手側の演奏者の手元が見える席で演奏を聴く事がある。しかし、ホールでの視聴経験の多い人によっては、音が良いと言われるステージ上手側で受聴する場合もある。これらは目的に応じて聴衆が座席を選択していることになるが、学術的な知見として明白に得られた結果ではなく、あくまで経験則に頼った結果である。また、カルダーウッドホールにおいては屋根を外して演奏を行っているが、屋根を外すことが演奏の方式として妥当なのか？等疑問は尽きない。これらの事象を学術的に明らかにしたいという事が本研究の動機づけである。

1.1.5 コンサートホールの評価手法

さて、実際にコンサートホールの設計順序に目を向けると、一般的なコンサートホールの設計は基本設計に始まり、オープン準備まで Tab.1.1 の様な順序で行われている [35]。特に設計や竣工時に行われる音響測定による評価は無指向性音源を用いて行われるのが一般的となっている。その為、特に指向性の強い楽器に関しては実際に我々がコンサートホールで聴く演奏と聴感印象の対応がとれていないのが現状である。その為、Otondo ら [4] はクラリネットやトランペットなどの指向性測定を行い、聴感実験やシミュレーションに応用している。Pätynen ら [7][8] はオーケストラの構成を想定した周波数特性、指向特性を有する音源を用いて測定を行っている。松尾ら [46] はヴァイオリンとヴィオラの2種の弦楽器対象にし音源指向性の測定を行い、その指向特性を付与したスピーカを作成し指向性スピーカと無指向性スピーカの両者を用いたホール音響測定を行うことで、室内音響設計に音源指向性を考慮することを指摘している。近年のホール設計の動向からも、今後ステージが客席に対する方向性の無いホールが数多く建設されていくと仮定すると、楽器の音源指向性の特性把握はホールの設計のみならず、その後の音響評価へも寄与するものと考えられる。

Tab. 1.1: The main flow of the concert hall design.[35]

フェーズ	検討事項	検討手法
基本計画	室配置・ボリューム	スケッチ, ボリューム模型
基本設計	基本的な室形状	数値シミュレーション(幾何音響) 模型(1/100~1/50)
実施設計	詳細形状, 内装仕上	音響模型実験(1/10~1/50) 残響計算 数値シミュレーション(波動音響)
施工	納まり, 施工方法	図面, モックアップ, 現場管理
竣工	響きの確認	物理測定, 試聴
オープン準備	オリエンテーション, 響きの微調整	試聴

1.1.6 楽器の音源指向性

楽器には固有の音源指向性がある。指向性とは、音源からの方向によって音の強さが異なる性質のことを指す。この指向性は周波数によっても異なり、一般的に高周波数になるほど指向性は強くなる。楽器の指向性に着目した研究は数多くあり、牧田ら [45] はコンピュータ・シミュレーションに用いる基礎資料として、トロンボーン、クラリネット、フルート、ヴァイオリン、チェロの5種類の指向特性を測定している。猪俣ら [34] は無響室内でコンサートホールの舞台上を想定した複数の楽器の指向特性の測定を行っている。また meyer の著書 [6] は楽器の音響学、室内音響学についてをまとめており、各楽器の音源指向性についても触れている。ここで演奏会などで最も用いられるグランドピアノに着目する。我々がピアノ演奏を受聴する際には、有限の残響時間のある環境で受聴しており、到達する音波は直接音と反射音を含んでいる。身近な例で言うと、ピアノの大屋根を開け閉めすることで音質が変化することはよく経験することであるが、これは放射パワーと共に、指向性が変化するためである。音源の大きさが波長に比べて小さい場合は方向への依存性が小さくなることから、低音域での音の指向性は小さくなり、高周波数になると指向性は大きくなる。グランドピアノは強い音源指向性を持っており、低音域では概ね無指向性となるものの、中高音域では垂直方向 30° 、水平方向 0° から 30° の方向に強い指向性を持つことが明らかにされている。[6]

また、Franck[3] は楽器の指向特性について研究しており、meyer[6] はピアノの上部のみの指向特性の測定結果であったことに対し、Franck はピアノを無響室内に入れて、ピアノの下部も含めた指向性の測定を行っている。また、片山ら [38] はピアノのニアフィールドにおいて角度や距離をパラメータとして、ピアノの音源指向性のマイキングへの寄与を調査しており、水平方向 30° 、垂直方向 $10^\circ \sim 15^\circ$ 、180cm 離れた位置でのマイキングが良いとの結論を得ている。中村 [40] はアップライトピアノの音響測定を行い、響板の性質や指向性等を明らかにした。一般的なシューボックス型のホールにおいては、正面を 0° とした時に客席に対して大体 $+60^\circ$ から -60° 位の範囲が視聴の対象となるが、楽器の持つ音源指向性によって受聴位置によって聴こえ方が変わってくるのは容易に想像ができる。また、前述したように近年のホールにおいては、アリーナ形式の様な客席に対する方向性の無いホールが登場してきており、この音源指向性が聴感に及ぼす影響は非常に大きいと考えられる。通常指向性の測定は無響室内等、響きのない空間で行われるがピアノの場合は音源としてのサイズが大きいため、十分な距離での計測が困難である [43]。一般的には音源近傍で行われているが、実際聴衆が音源近傍で聴く機会はあまりなく、むしろ離れた位置で聴くことが多い。その為、ホール内での指向特性を把握する事も比較的重要な要素となり得ると考えられる。Fig.1.2 に示すように、ピアノを構成する要素は多岐にわたっていることから、ピアノの研究は各分野ごとに行われることが多い。その為、物理量と聴感との関係性やその影響等、複合的な要素として研究を行っているものは数少ない。

以上の事から、音源指向性が聴感に及ぼす影響は大きいと考えられ、今後多様なホール設計が行われる際には音源指向性を考慮した設計や、客席の座席配置が行われる可能性がある。その為、ピアノの音源指向性に着目した研究は今後のホール設計や評価方法への新たな知見として寄与するものと考えられる。

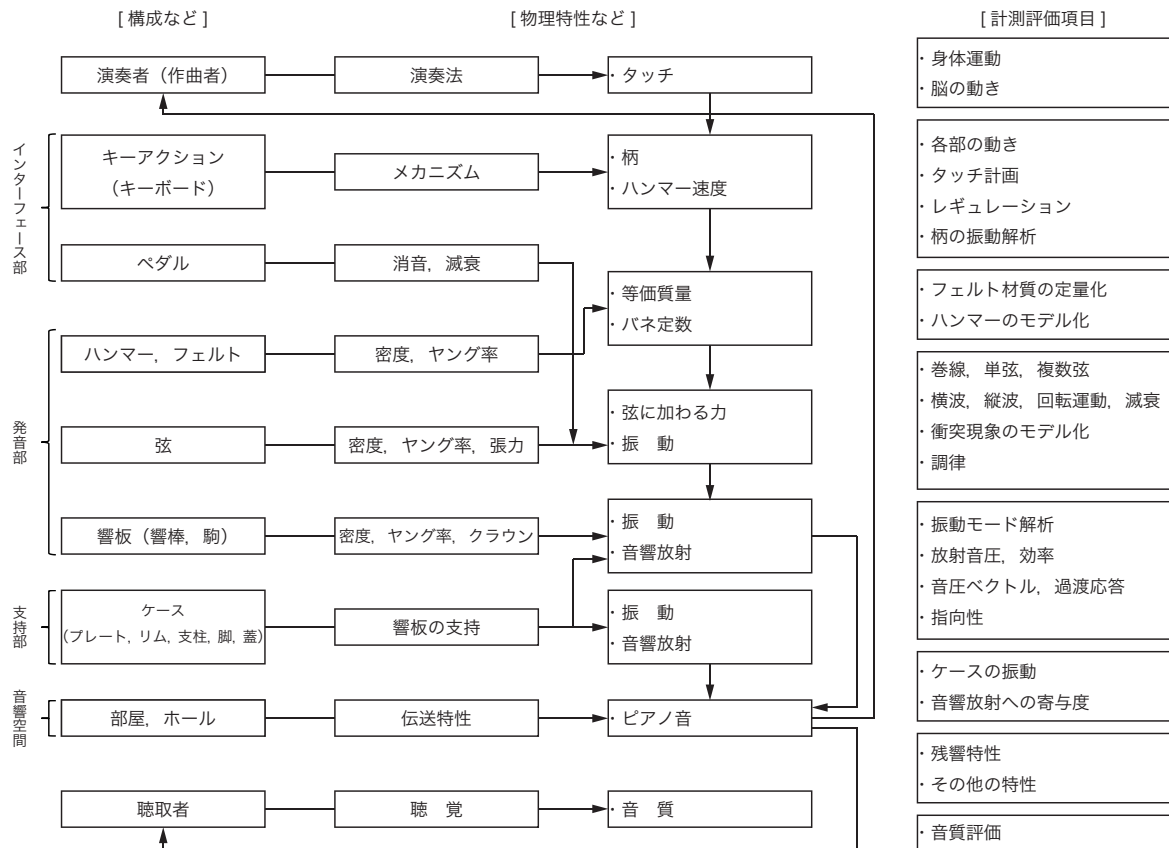


Fig. 1.2: Research system diagram of the piano.[43]

1.2 研究目的

本研究の目的はこのピアノの音源指向性が音楽を聴取するにあたってどのような影響があるのかを検証実験によって明らかにすることである。ピアノの音源指向性を、音圧分布測定による空間分布と、倍音構造分析を行うことで、音響測定に及ぼす影響についてを考察し、録音した音源を用いた主観評価実験により、音楽聴取に及ぼす影響についてを評価する。最終的には物理量と心理量(評価項目・好み)との関係についてを明らかにする。

1.2.1 研究フロー

本研究の概略図を以下 Fig.1.3 に示す。

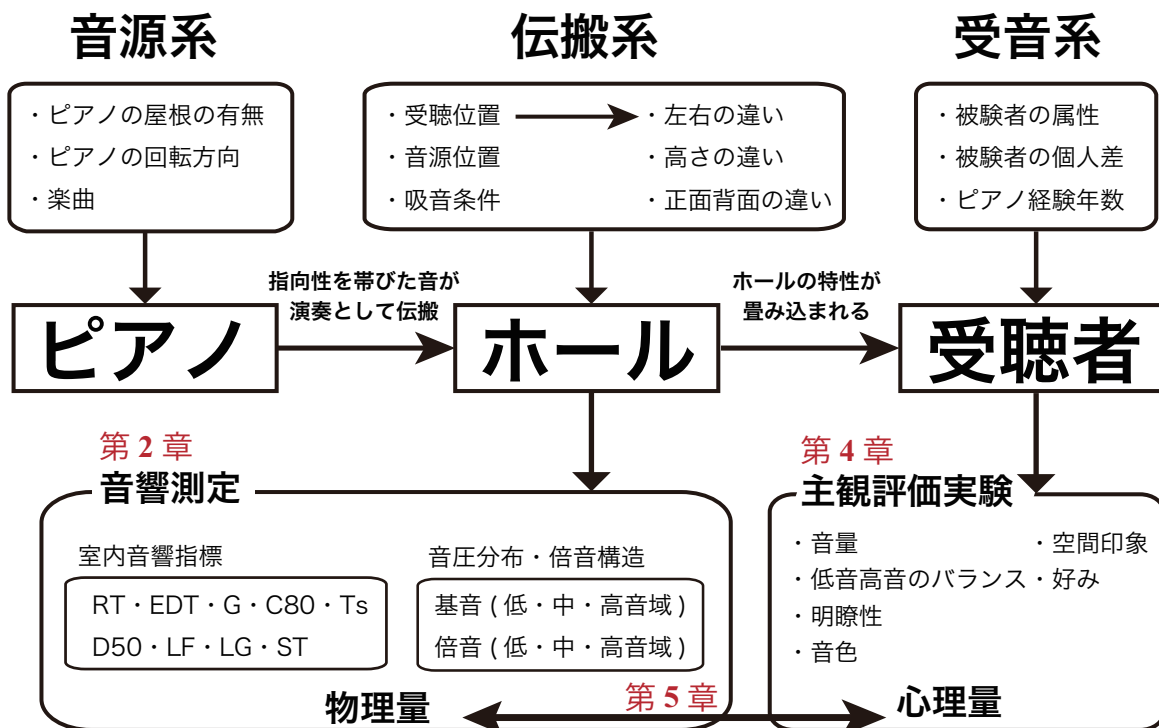


Fig. 1.3: A study flow in the present study.

本研究では物理的な音響現象の理解と、心理的な聴感印象評価の2つの側面から検討を行うこととする。ホール内での演奏受聴を想定すると、ピアノの演奏は指向性を帯びた演奏がホールを伝わって受聴者の耳に届く。また、その際にホールの特性が畳み込まれたものを受聴者は聴いている事となる。ピアノの音源指向性が聴感に及ぼす影響の要因として、音量や音高のバランス、等に影響があると考えられる。こういった聴感印象を受聴者は総合的に評価をし、好みや聴取印象の判断を下している。音源系から伝搬系までをパラメータとして変化をさせることで、音響測定項目や実際の聴感印象にその変化が反映される。物理量について着目すると、ホールの特性は第2章で後述する、インパルス応答測定によって得られた室内音響指標を算出することで得られる。また、ピアノを音源とした音圧分布測定による空間分布や、倍音構造の分析を行うことでピアノの音源指向性が音響測定に及ぼす影響についてを明らかにする。心理量に関してはピアノの音源指向性が聴感印象にどのような影響を及ぼすか、第4章の主観評価実験を行うことで明らかにする。最終的に第5章で物理量と心理量の分析を行うことで、両者の関係性を明らかにすることを目的とする。定性的な評価とはなるものの、基礎検討としてピアノの音源指向性の影響を明らかにすることで、今後行われていく多様なホール設計においては、本研究の結果及びその知見が音源指向性の客席配置、ホール設計における測定・評価方法へ寄与すると考えている。

1.3 本研究の構成

第1章ではコンサートホールの変遷を概観し、研究背景及び、研究の動機づけ、既往研究を踏まえ本研究の目的を述べた。

第2章では平土間ホールで行ったインパルス応答測定、音圧分布測定、録音音源の倍音分析結果から、ピアノの音源指向性の特性把握、及び音響測定に及ぼす影響についてを考察する。

第3章では主観評価実験に用いる6ch取音・再生システムの概要、及びその原理についてを述べ、システムの補正を行う。

第4章では録音した音源を用いた主観評価実験の結果からピアノの音源指向性が音楽聴取印象に及ぼす影響について、曲やピアノの演奏経験年数の違いに着目して分析、検討を行う。

第5章では物理量と心理量の関係性について分析・考察を行い、本研究の結論を得る。

第6章では本研究を総括する構成となっている。

第 2 章

音響測定による ピアノの音源指向性の特性把握

2.1 概要

本章では物理的側面からのアプローチとして、ヤマハ株式会社掛川工場内の試弾ホールにて音響測定を行った。音響測定として、無指向性音源を用いたインパルス応答測定を行いホールの特性を把握する。次に指向性を有する楽器として、グランドピアノを音源とした音圧分布測定を行い、ピアノの音源指向性の影響について検証を行う。また、4章の聴感実験で用いる音源を録音し、その点における録音音源の分析から指向性の影響について詳細に検証する。これらの結果を元に、聴感実験の条件設定を行う事とする。

2.2 測定概要

2014年3月25日から27日の3日間で Fig2.1 に示すヤマハ株式会社掛川工場ハーモニープラザ内にあるピアノ試弾ホールにて音響測定を行った。ホール寸法は 14 m × 22 m × 12 m(H)、室容積は約 3600 m² の平土間形式のホールである。測定内容として、インパルス応答測定、グランドピアノを音源とした音圧分布測定、聴感実験で用いる演奏録音を行った。インパルス応答測定ではホールの特性を抑えると共に、無指向性音源の音圧分布を確認する。次にグランドピアノを音源とした音圧分布測定を行い、両者を比較しピアノの指向性の影響を確認する。音圧分布測定と同様の条件で 6 ch 収音システム [50](3章にて説明)を用いて演奏録音を行い、録音データを用いて分析を行い、指向性の詳細な検討を行う。

Fig2.2 に試弾ホールの平面図を示す。



Fig. 2.1: Kakegawa factory external view.

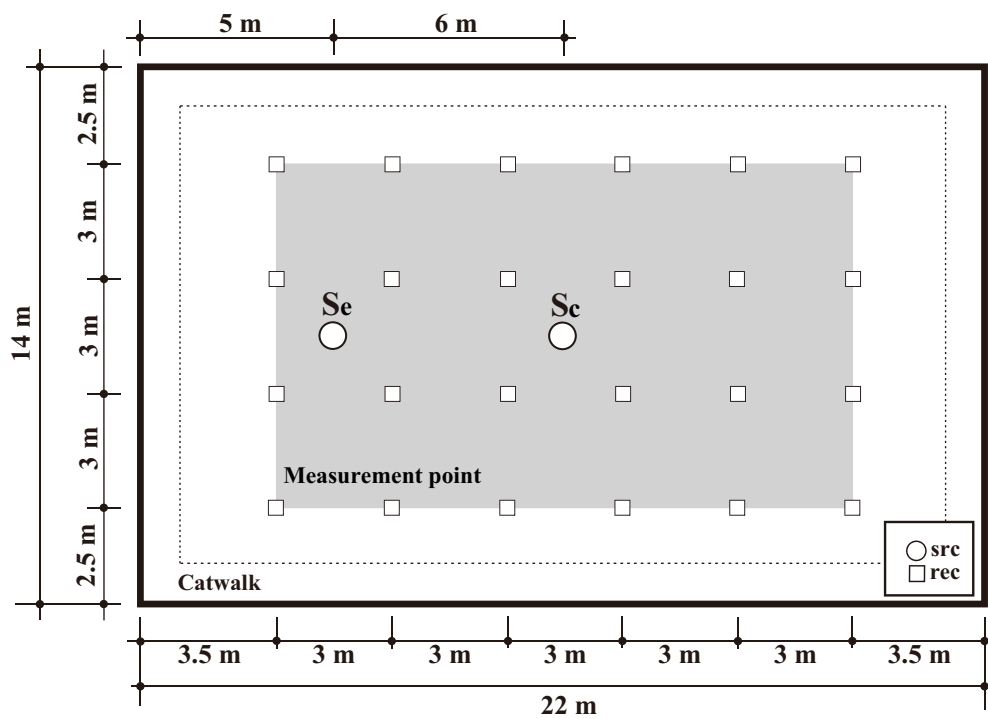


Fig. 2.2: Plan view of piano playing hall for distribution measurement.

2.3 インパルス応答測定によるホールの特性把握

2.3.1 室内インパルス応答

室内インパルス応答とは、ホール等の室内において音源からインパルスを放射し、ある受音点で得られる応答の事を指し、音源から放射された音が室内でどのような伝搬をしているのかを時系列信号として表したものである。このインパルス応答にはシステムの全ての時間的・周波数的情報が含まれていることからコンサートホールの音響計測等様々な分野で扱われている。(Fig.2.3) また、室内インパルス応答から室内音響指標が導出される。

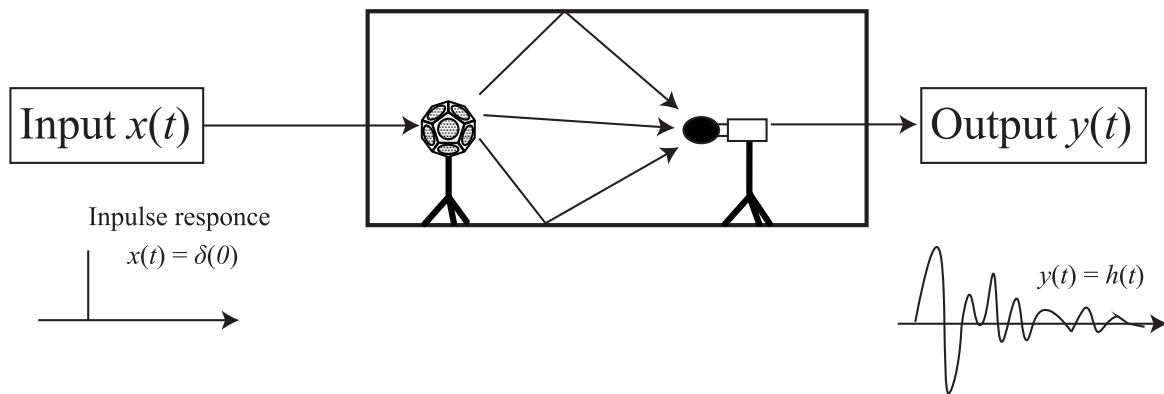


Fig. 2.3: Conceptual diagram of the room impulse response.

2.3.2 室内音響指標

コンサートホールやオペラハウス等を設計するにあたっては設計者の経験だけでなく、科学的な裏付けを行う意味でも聴感印象と対応する様に定義された物理量である室内音響物理指標が用いられる。室内音響指標は一部が ISO3382-1[5] として規格化されているが、ここでは本研究に関連のある室内音響物理指標についてを概説する。

残響時間 (T_{30}, T_{20})

残響時間は室内の平均エネルギー密度が定常状態で音源の出力を止めてから、音圧レベルが 60 dB 減衰するのに要する時間を残響時間という。残響時間は測定された残響減衰曲線を測定し、その減衰の傾きから計算される。この残響減衰曲線の測定においては一般的にインパルス応答 $h(t)$ から残響減衰曲線 $E(t)$ を求める。

$$E(t) = 10 \log_{10} \frac{\int_t^{\infty} p^2(\tau) d\tau}{\int_0^{\infty} p^2(\tau) d\tau} [dB] \quad (2.1)$$

インパルス応答 $p(\tau)$ にフィルタリングを行い、オクターブバンド、1/3 オクターブバンド毎に応答を出し、各周波数毎に残響減衰曲線を求める。残響減衰曲線の -5 dB ~ -35 dB の回帰区間とした回帰直線から

傾きを求め、60 dB 減衰に要する時間を求めたものを T_{30} 、-5 dB~-25 dB を回帰区間としたものを T_{20} と呼ぶ。

初期残響時間 (EDT)

残響時間は室全体の音響特性を表す代表的な物理量だが、これが聴感上の残響感と必ずしも対応するわけではない。同じホール内でも聴く位置によって残響感が異なることや、同じ残響時間を持つホールで残響感が異なると言った場合がある。残響減衰波形の定常状態に対して、0-10 dB を回帰区間とした回帰直線から残響時間を算出したものを初期残響時間 (Early Decay Time:EDT)[25] と呼んでおり、残響時間よりも聴感との対応があるとされている。EDT は残響減衰だけではなく、初期の反射音エネルギーや直接音によっても変化することから、ホール内の受聴位置によって変化する。一般的には残響時間が同一の場合、初期音エネルギーが大きいと EDT は短くなる。

sound strength(G)

室内で一定の音を出した時にどの程度物理的な大きさを伝えるかを定量的に表したものをストレングス G という。 G は定常状態の音圧レベルと等価な量であるが、無響室等の反射のない空間において、10 m の距離で測定した応答で基準化を行うことで、異なるホール間での相对比较が可能となる。

$$G = 10 \log_{10} \frac{\int_0^{\infty} p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p_{10m}^2(t) dt} [dB] \quad (2.2)$$

$p(t)$:測定点において無指向性マイクロホンで測定したインパルス応答

$p_{10m}(t)$:同一システムを用いて、無響室内 10 m の距離で測定したインパルス応答

Clarity(C_{80})

初期音と、残響音がそれぞれ主観的な印象に及ぼす作用は異なっており、両者のバランスも聴感上重要である。直接音の到来後 80 ms、までの初期音のエネルギーは直接音を補強することで音楽の明瞭性が高くなる効果がある。この評価指標が Clarity(C_{80}) である [28][29]。

$$C_{80} = 10 \log_{10} \frac{\int_0^{80ms} p^2(t) dt}{\int_{80ms}^{\infty} p^2(t) dt} [dB] \quad (2.3)$$

また、50 ms までを初期音としたものを Definition(Deutlichkeit) D_{50} と呼んでおり、音声との明瞭性と対応している。

$$D_{50} = \frac{\int_0^{50ms} p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt} \quad (2.4)$$

ISO3382-1[5] では C_{80}, D_{50} が初期対後期指標 C_{t_e} としてまとめられており、 t_e が評価する対象によって異なり、音声に対しては 50 ms、音楽に対しては 80 ms となる。

$$C_{t_e} = 10 \log_{10} \frac{\int_0^{t_e} p^2(t) dt}{\int_{t_e}^{\infty} p^2(t) dt} [dB] \quad (2.5)$$

これらの指標は積分境界によって初期音と後期音を分けることから、境界付近のレベルの大きな反射音の到来時間がわずかに異なるだけで値が大きく異なることから、ベンチマーク問題 [11][44] が作成されるなどまだまだ議論は尽きない指標である。

時間重心 (Ts)

上述の指標はインパルス応答の初期と後期の分離する時刻に依存する懸念があることから、この時刻に依存せずに明瞭性を表す指標として Schwerpunktzeit(center time) T_S が定義されている [18]。

$$T_s = \frac{\int_0^{\infty} t \cdot p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt} [s] \quad (2.6)$$

C_{80}, D_{50} は T_S と高い相関を示し、負の相関を持っている。すなわち、これら3つの指標に対応する主観印象はほぼ共通である。また T_S が大きいほど残響感が増すため、明瞭性と残響感のバランスを評価することが出来る。 [35]

初期側方エネルギー率 (J_{LF})

側方エネルギー率は、無指向性マイクロフォンで得られた初期のエネルギーと、直接音を覗いた初期の側方反射音のエネルギー比で表されるもので、ASW(auditory source width, apparent source width) と正の相関がある。 [15][16]ASW とは”みかけの音源の幅”のことを指し、音に包まれた感じ (LEV:listener envelopment) と共に音像の拡がり感を表す要素感覚の一つである [48, 49]。

$$J_{LF} = \frac{\int_{0.005}^{0.080} p_{\infty}^2(t) dt}{\int_0^{0.080} p^2(t) dt} \quad (2.7)$$

$p_{\infty}(t)$: 双指向性マイクロフォンで得られたインパルス応答

また、両耳軸への反射音エネルギーの到来角度 θ に関する ASW の変化は $\cos \theta$ と対応するが、 J_{LF} は $\cos^2 \theta$ と、急峻な特性となっている。この影響を補正するために J_{LFC} (lateral fraction cosine,LFC) が提案されている [14]。

$$J_{LFC} = \frac{\int_{0.005}^{0.080} |p_{\infty}(t) \cdot p(t)| dt}{\int_0^{0.080} p^2(t) dt} \quad (2.8)$$

後期側方反射音レベル (L_J)

側方から到来する後期反射音レベルが大きい時に顕著な LEV が得られる [9]。これを評価する指標が 80 ms 以降の後期側方反射音レベル L_J である。 J_{LF} と同様に双指向性マイクロフォンで測定を行うが、エネルギー率ではなく相対レベルを用いている。

$$L_J = 10 \log_{10} \frac{\int_{0.080}^{\infty} p_{\infty}^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p_{10}^2(t) dt} [dB] \quad (2.9)$$

Support(ST)

ステージ上で音楽演奏を行う際には、ホールの応答や演奏の聞き取りやすさ等が重要である。Gade[1, 2]は反射音のエネルギーを定量化する目的で ST (Support) を提案している。 ST_{Early} は、直接音到来後 100 ms 以内の初期反射音のエネルギーを表しており、 ST_{Late} はそれ以降の残響エネルギーを表している。

$$ST_{Early} = 10 \log_{10} \frac{\int_{0.020}^{0.100} p^2(t) dt}{\int_0^{0.010} p^2(t) dt} [dB] \quad (2.10)$$

$$ST_{Late} = 10 \log_{10} \frac{\int_{0.100}^{1.000} p^2(t) dt}{\int_0^{0.010} p^2(t) dt} [dB] \quad (2.11)$$

$p(t)$ はステージ上の演奏者位置に無指向性音源を設置し、音源の中心から 1 m の距離に無指向性マイクロフォンを設置し測定したインパルス応答を用いる。

これらの指標をまとめたものを Tab.2.1 に示す。

Tab. 2.1: Acoustic quantities grouped according to listener aspects.

Subjective listener aspect	Acoustic quantity	Single number freq. avg. [Hz]*	JND	Typical range**
Subjective level of sound	G	500 to 1000	1 dB	-2 to 10 dB
Perceived reverberance	EDT	500 to 1000	5%	1 to 3 s
Perceived clarity of sound	C_{80}	500 to 1000	1 dB	-5 to 5 dB
	D_{50}	500 to 1000	0.05	0.3 to 0.7
	T_s	500 to 1000	10 ms	60 to 260 ms
ASW	J_{LF} or J_{LFC}	125 to 1000	0.05	0.05 to 0.35
LEV	L_J	125 to 1000	Not known	-14 to 1 dB
Ensemble conditions	ST_{Early}	250 to 2000	Not known	-24 to -8 dB
Perceived reverberance	ST_{Late}	250 to 2000	Not known	-24 to -10 dB

*The single number frequency averaging denotes the arithmetical average for the octave bands, except for L_J which shall be energy averaged.

**Frequency-averaged values in single positions in non-occupied concert and multi-purpose halls up to 25,000 m^3 .

2.3.3 インパルス応答測定方法

試弾ホールを対象としてインパルス応答測定を行った (Fig2.5)。室条件として、1階部全周壁の吸音カーテンにより、残響時間 (500, 1k Hz 帯域平均) を 1.4 s (反射性) と 1.2 s (吸音性) に設定した。測定は Fig2.2 に示す通り、12 面体スピーカ (ONO SOKKI) を高さ 1.5 m、エンドステージ型とセンターステージ型を想定した 2カ所に設置し、受音点は 3 m 間隔の格子点上の高さ 1.5, 4.0 m に計 48 点を設置した。測定は以下のシステムを用いて測定を行った。Fig2.4 に測定システムを示す。音源から 17 次の TSP 信号を放射し、受音点で長さ 2.73 秒のインパルス応答を得た。同期加算回数は 2 回、サンプリング周波数は 44.1 kHz とした。なお、双指向性マイクロフォンは後述する Fig2.28 の演奏録音位置に設置し、同様にインパルス応答測定を行っている。こちらの結果については付録を参照されたい。

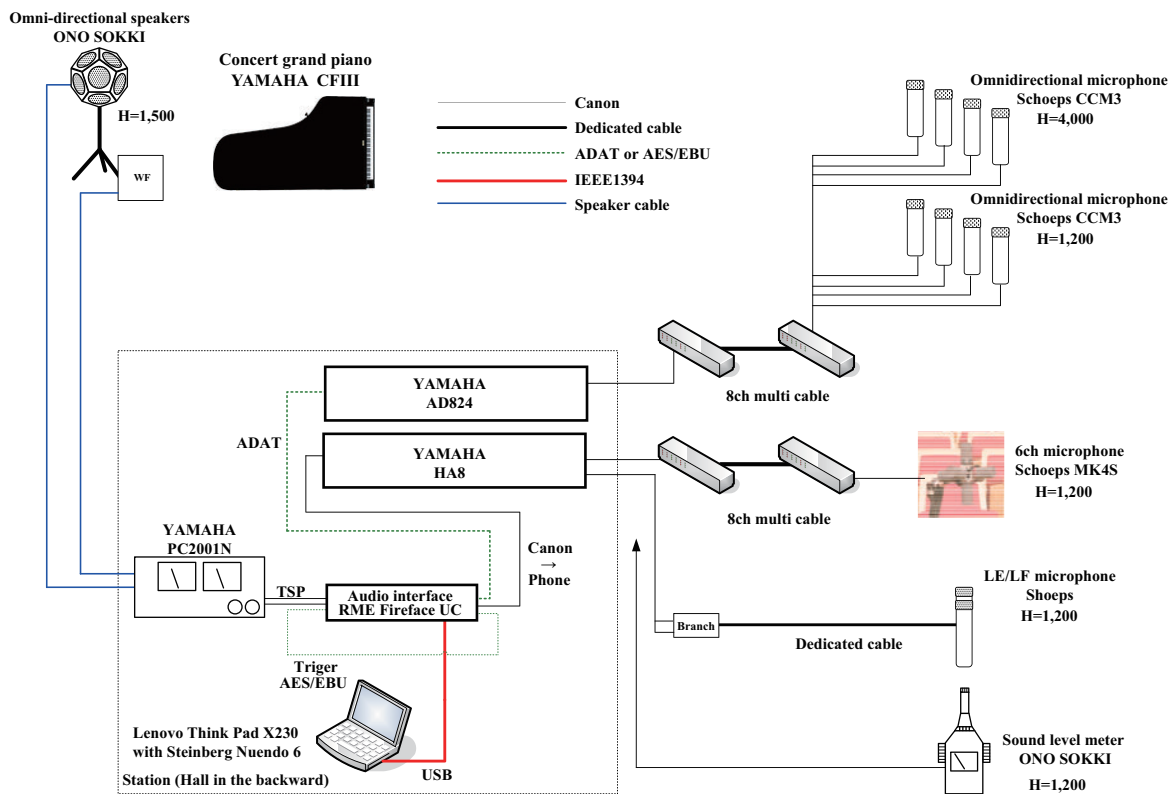


Fig. 2.4: System diagram of impulse response measurement and sound pressure distribution measurement for the piano playing hall.



Fig. 2.5: Appearance of the impulse response measurement.

2.3.4 インパルス応答分析結果

MATLABにより室内音響指標算出プログラムを作成し、得られた測定データから上述した各種室内音響指標を算出した。分析は1/1オクターブバンド幅で125 Hz～4k Hzまでの6帯域を分析範囲とした。まず始めに無指向性音源を用いた分布を算出する事で、ホールの特性を把握する。Fig2.6, Fig2.7にストレングスGの分布を示す。なお、その他の音響物理指標(RT, EDT, C80, D50, Ts)については付録を参照されたい。測定結果より、音源から離れた点では反射音の影響により分布の形が変化しているものの、音源近傍では直接音が支配的であり、エンドステージ型、センターステージ型の配置において、共に概ね均一な無指向性の分布となった。吸音カーテンの有無によって遠方ではレベルの低下に違いが見られる。また、125 Hzにおいてはモードが生じており、特に高所で顕著であった。この様に、無指向性音源を用いて分布を測定した結果、ホールの特性を含めても概ね無指向性となることが確認できた。

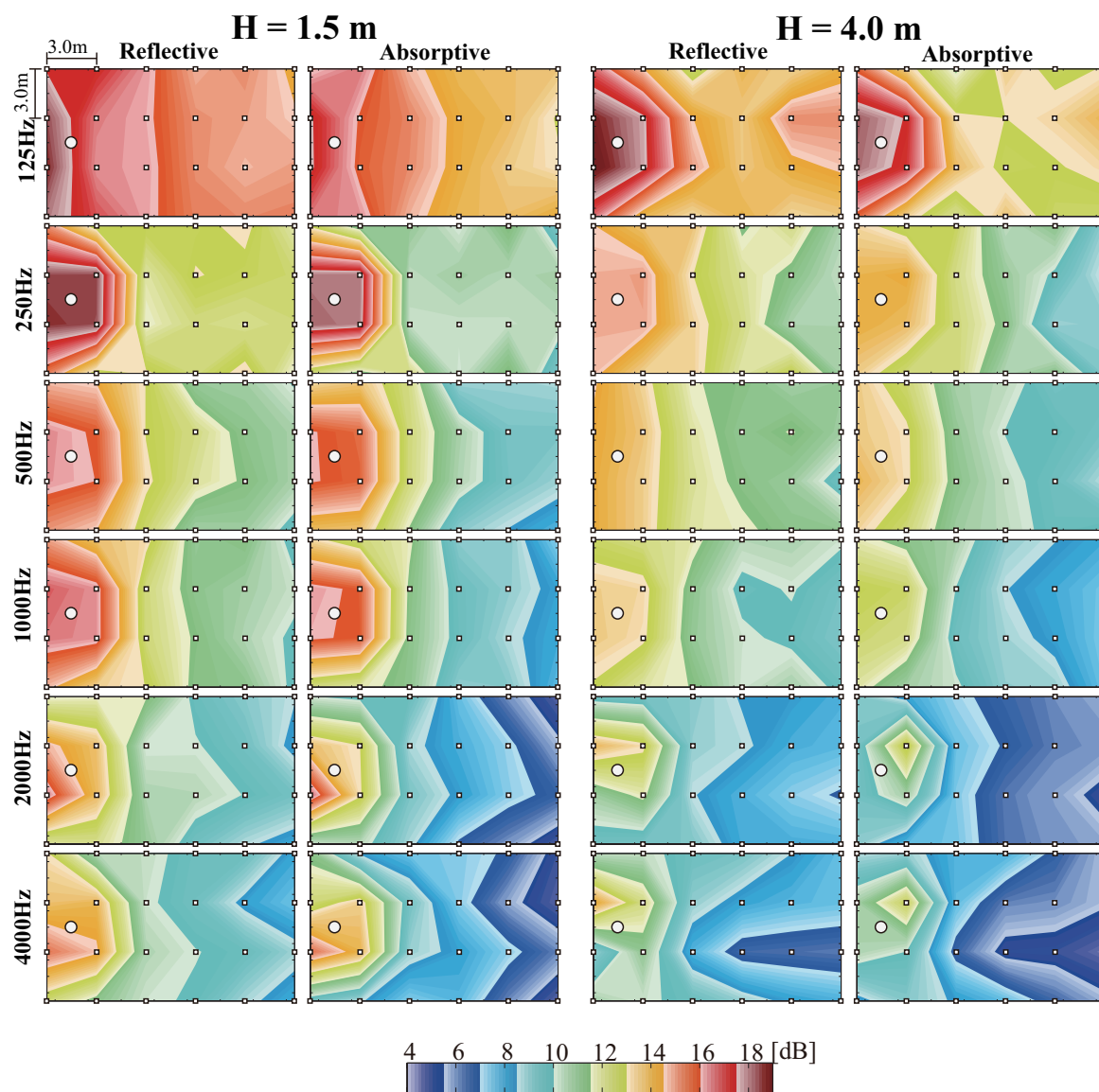


Fig. 2.6: Distribution of strength G in end-stage.

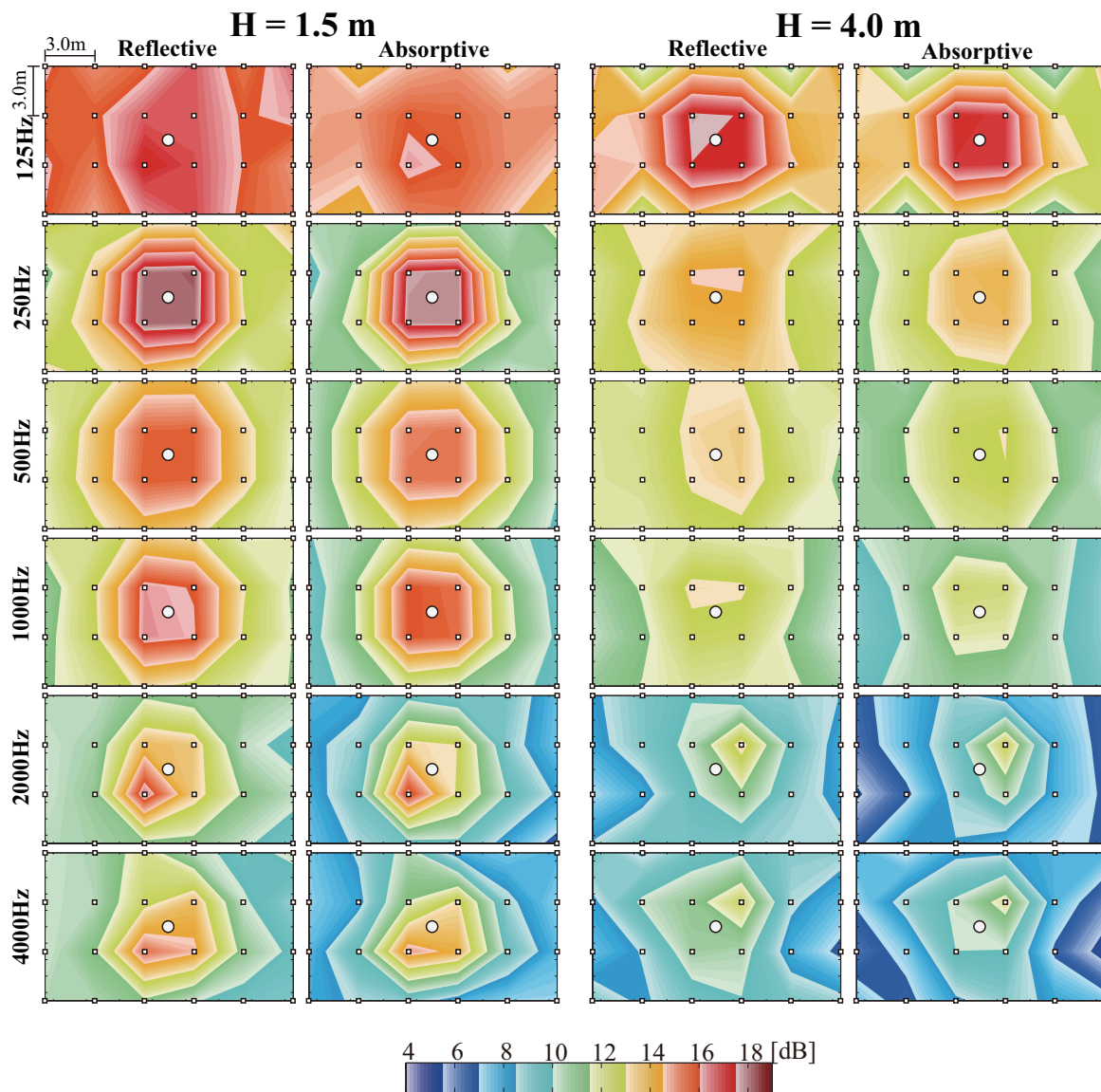


Fig. 2.7: Distribution of strength G in center-stage.

2.4 ピアノの音源指向性が音圧分布に及ぼすの影響の検討

無指向性音源を用いた室内音響指標 (G) の分布からホールの特徴を含めた状態で、概ね無指向性の分布となることが確認された。ここでは、指向性を持つピアノを音源とした音圧分布測定により、ピアノの音源指向性がホール内の音圧分布に及ぼす影響として、特に室条件・ピアノの方向・ピアノの屋根の影響について検討を行う。

2.4.1 音圧分布測定方法

Fig2.4 のシステムにて、Fig2.2 に示すホール内に自動演奏ピアノ (Yamaha CFIII) を設置し、音圧分布測定を行った。Fig2.9 に実際の測定の様子を示す。室条件として、1 階部全周壁のカーテン有無により残響時間 (500, 1k Hz 帯域平均) を 1.4 s (反射性) と 1.2 s (吸音性) に設定した。ピアノは、鍵盤中央のハンマー打弦位置を音源点として、エンドステージ型とセンターステージ型を想定した 2 カ所に配置し、ピアノの方向を正面または時計回り 30 度回転、および屋根の有無 (有りは開状態) を変化させた。受音点は 3 m 間隔の格子点上の高さ 1.5, 4.0 m に計 48 点を設置した。測定は、自動演奏により 63~2k Hz の各オクターブ内の増四度和音 6 つを一定速度で繰り返し打鍵し、各受音点における録音波形のオクターブバンド分析を行った。音圧レベルの基準として、反射性・エンドステージ型・正面・屋根有り条件のピアノ近傍点 (Fig2.10 の黒丸) 500 Hz の値で基準化を行った。

ここで、オクターブバンド分析とはオクターブバンドごとに行うスペクトル分析である。聴感としての周波数特性が等比であることから音響測定において用いられる手法である。本研究ではこのオクターブバンド分析によって音圧分布の算出や倍音構造の分析を行う事とする。

増四度とは三全音と呼ばれる音程であり、全音 3 つ分で構成されるものである。6 つを打鍵することで 1 オクターブを打鍵することになるため、本実験において採用した。以下 Fig.2.8 に譜例を示す。



Fig. 2.8: Score example of tritone.



Fig. 2.9: Appearance of sound pressure distribution measurement of piano (up:with lid, bottom:without lid).

2.4.2 音圧分布測定結果 (各帯域打鍵の基音成分の分布)

我々が聴いている音には基音とそれに対する倍音からなっている。基音とは基本となる周波数のことであり、その整数倍(2倍以上)の周波数を持つ音の成分のことを倍音と呼ぶ。なお、基音は1倍音である。本項では、まず基音の音圧分布測定結果の考察を行う。

室条件の影響

Fig2.10~Fig2.11 に室条件を変化させた場合の結果を示す。色味が変わる毎に 3 dB 変化のあるグラフとなっている。低音域ではカーテンの影響は小さく、概ね均一な無指向性の分布となっている。低音になるほど波長が長くなることから形状の影響を受け難い事に起因する結果である。中高音域では、音源近傍で直接音が支配的であり、ピアノから正面上手方向に強い指向性が現れている。また、その高所ではその方向の音源から離れた位置でレベルの上昇が見られ、斜め上方向への指向性が推察される。吸音性の室条件では反射音の抑制により遠方でのレベル低下が見られ、指向性の影響が若干大きくなる傾向にある。また、エンドステージ型とセンターステージ型の配置においては、両者共に同傾向である。また、ピアノ位置に関しては、ピアノから正面 8 m 付近まではほぼ同様の分布であることが確認された。

ピアノの屋根の影響

Fig2.12~Fig2.15 に屋根有無の場合の結果を示す。低音域では屋根の影響は小さく、概ね均一な無指向性の分布となっている。中高音域では屋根による指向性の影響が顕著となり、屋根無しの場合では上手方向からピアノ背面方向にかけて指向性が強まるとともに、高所では全体的にレベルが上昇することがわかる。エンドステージ型、センターステージ型共に同傾向であるが、センターステージ型では、屋根を外すことでピアノ正面と背面の差を小さくする効果が予想される。

ピアノの回転の影響

Fig2.16~Fig2.17 にピアノの方向を変化させた場合の結果を示す。中高音域では 30° 回転に伴って全体的な分布も同方向に移動し、ピアノから正面下手方向のレベル上昇が確認できる。特に、高所の上手下手両端では遠方にかけてのレベル変化は小さくなっており、両側バルコニー席の偏差を緩和する効果が予想される。

室条件の影響

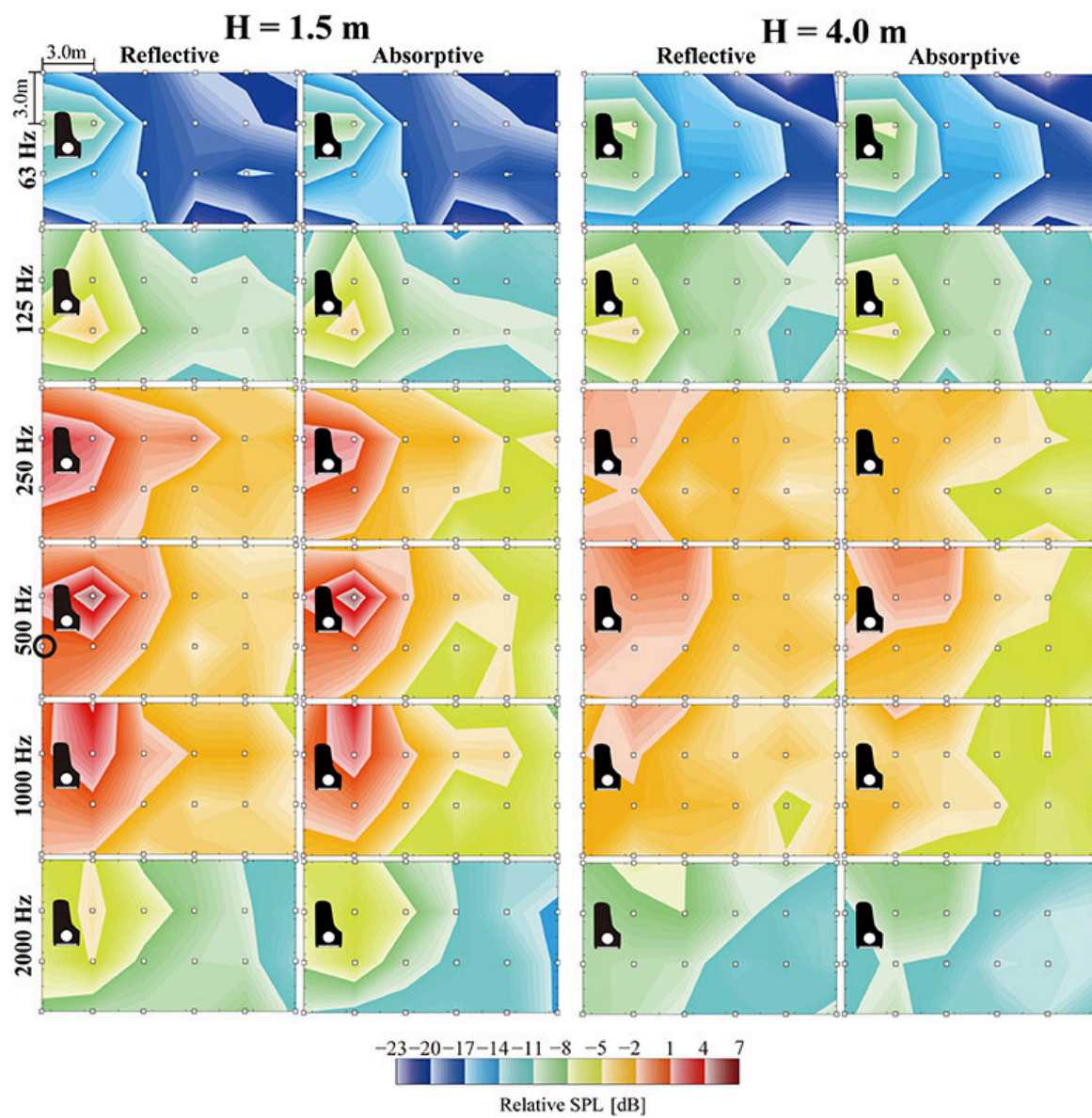


Fig. 2.10: Relative SPL distributions on the two planes ($H = 1.5, 4.0\text{ m}$) from the real piano in end-stage:reflective/absorptive room conditions.

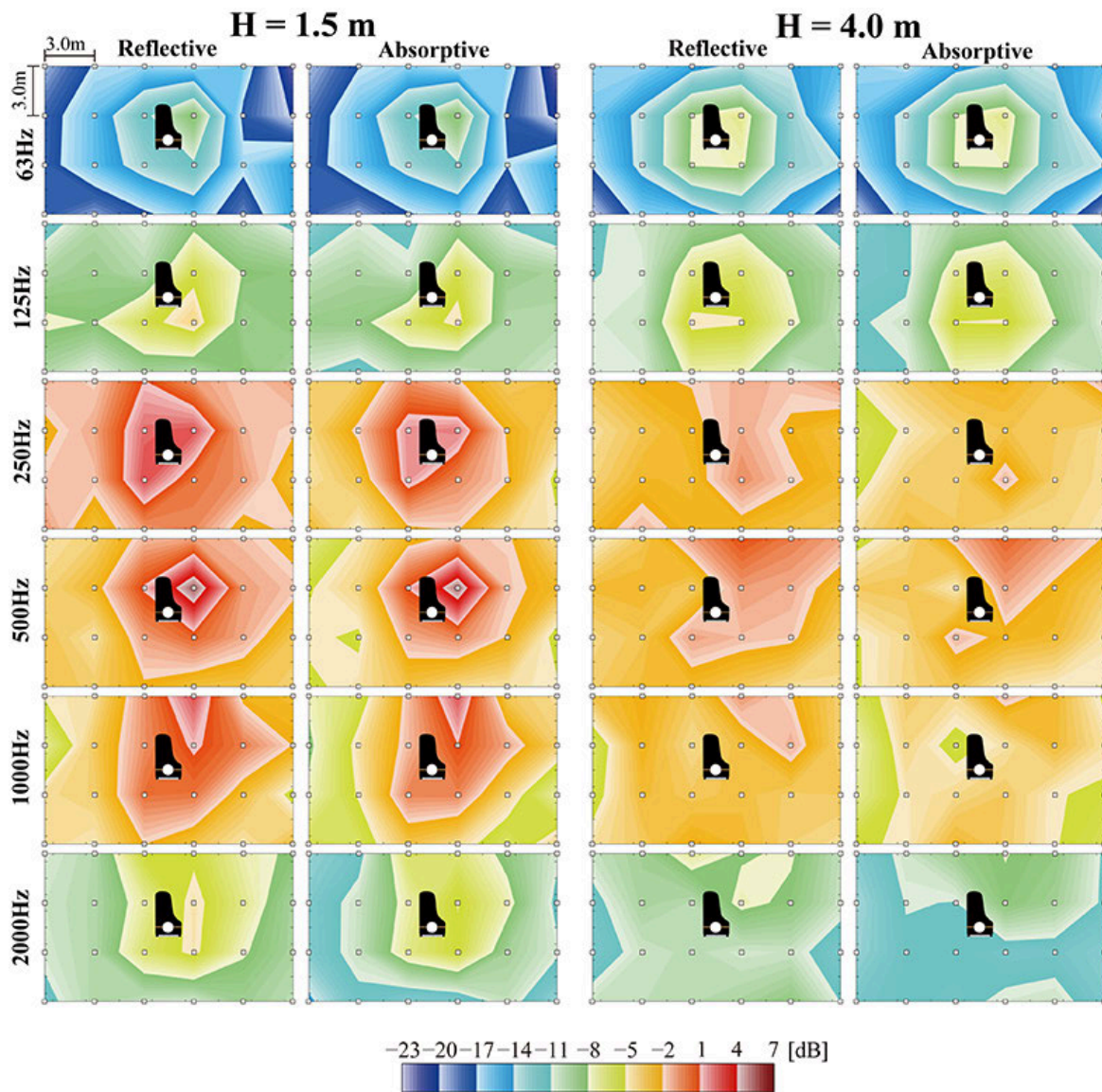


Fig. 2.11: Relative SPL distributions on the two planes (H = 1.5, 4.0 m) from the real piano in center-stage:reflective/absorptive room conditions.

ピアノの屋根の影響

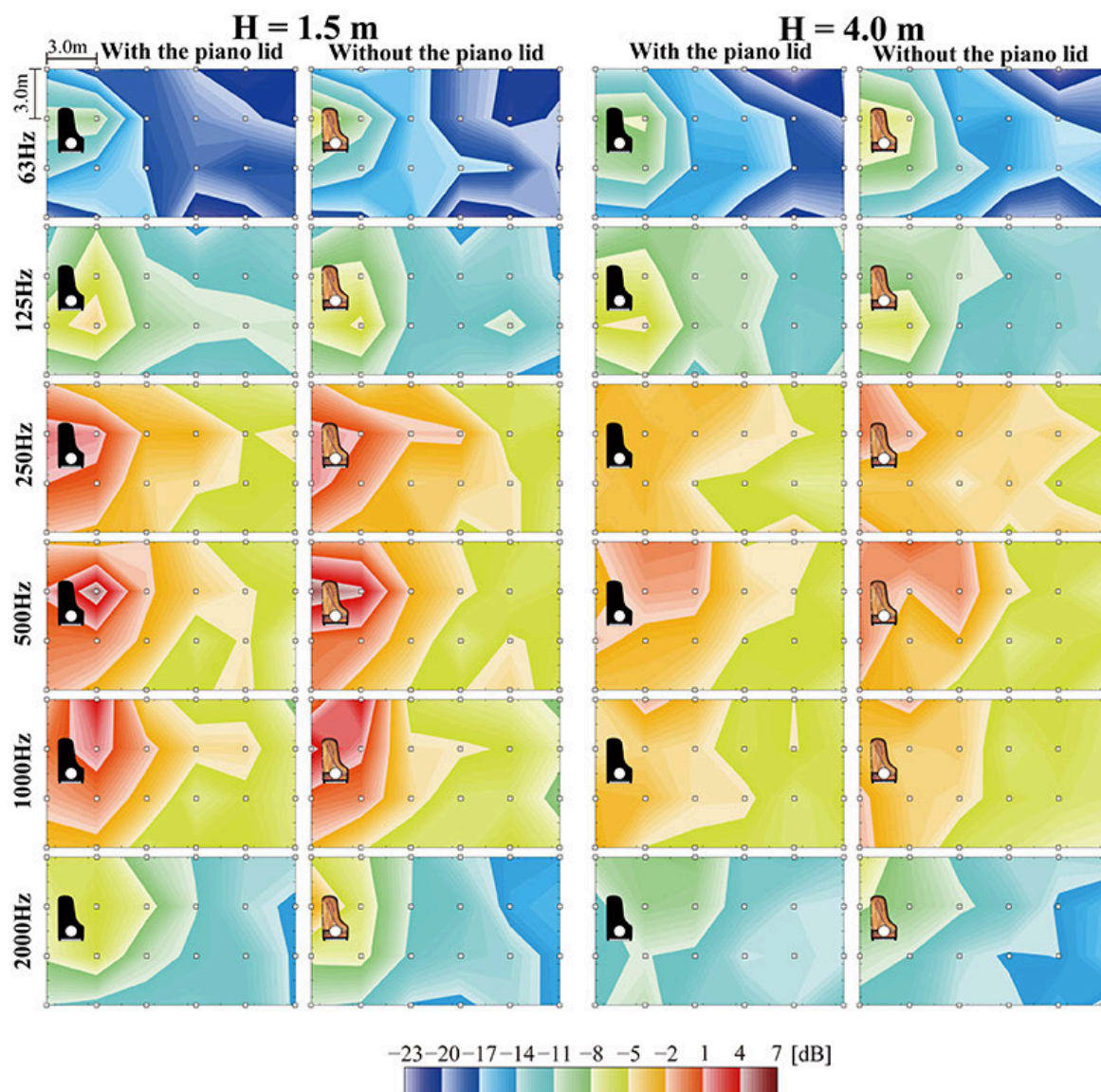


Fig. 2.12: Relative SPL distributions on the two planes ($H = 1.5, 4.0$ m) from the real piano in end-stage:with/without the piano lid(absorptive room conditions).

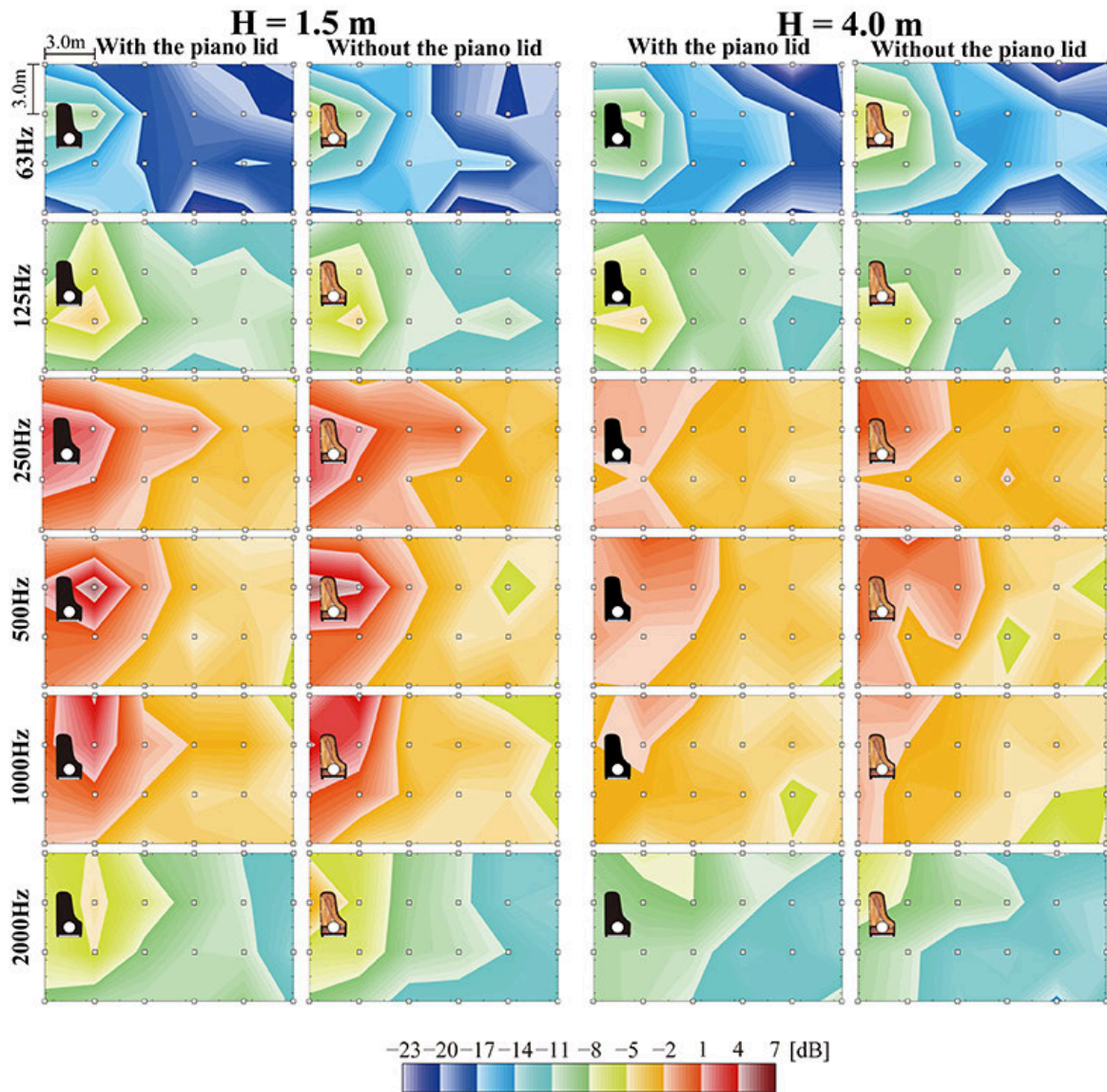


Fig. 2.13: Relative SPL distributions on the two planes ($H = 1.5, 4.0$ m) from the real piano in end-stage:with/without the piano lid (reflective room conditions).

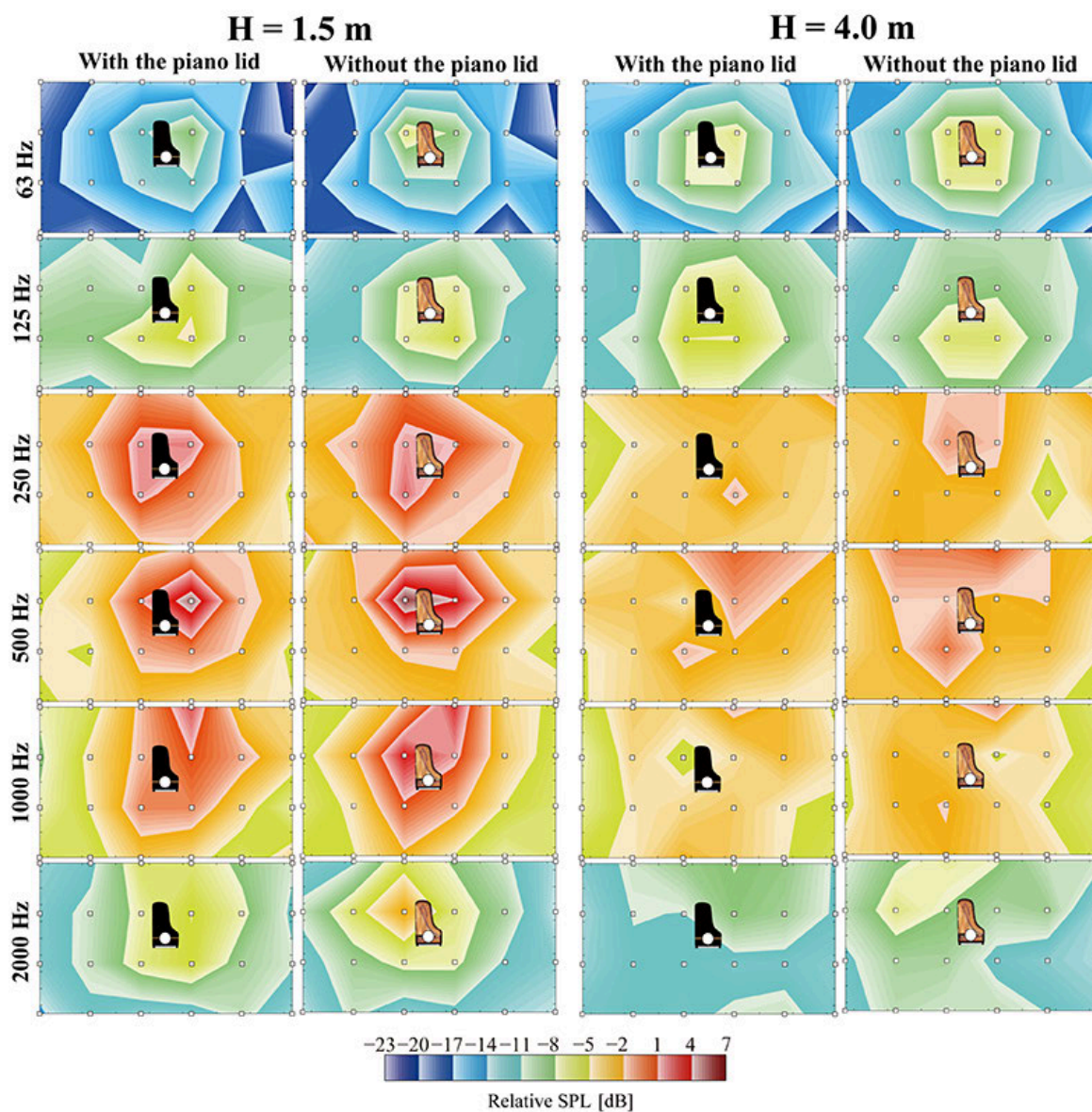


Fig. 2.14: Relative SPL distributions on the two planes (H = 1.5, 4.0 m) from the real piano in center-stage:with/without the piano lid (absorptive room conditions).

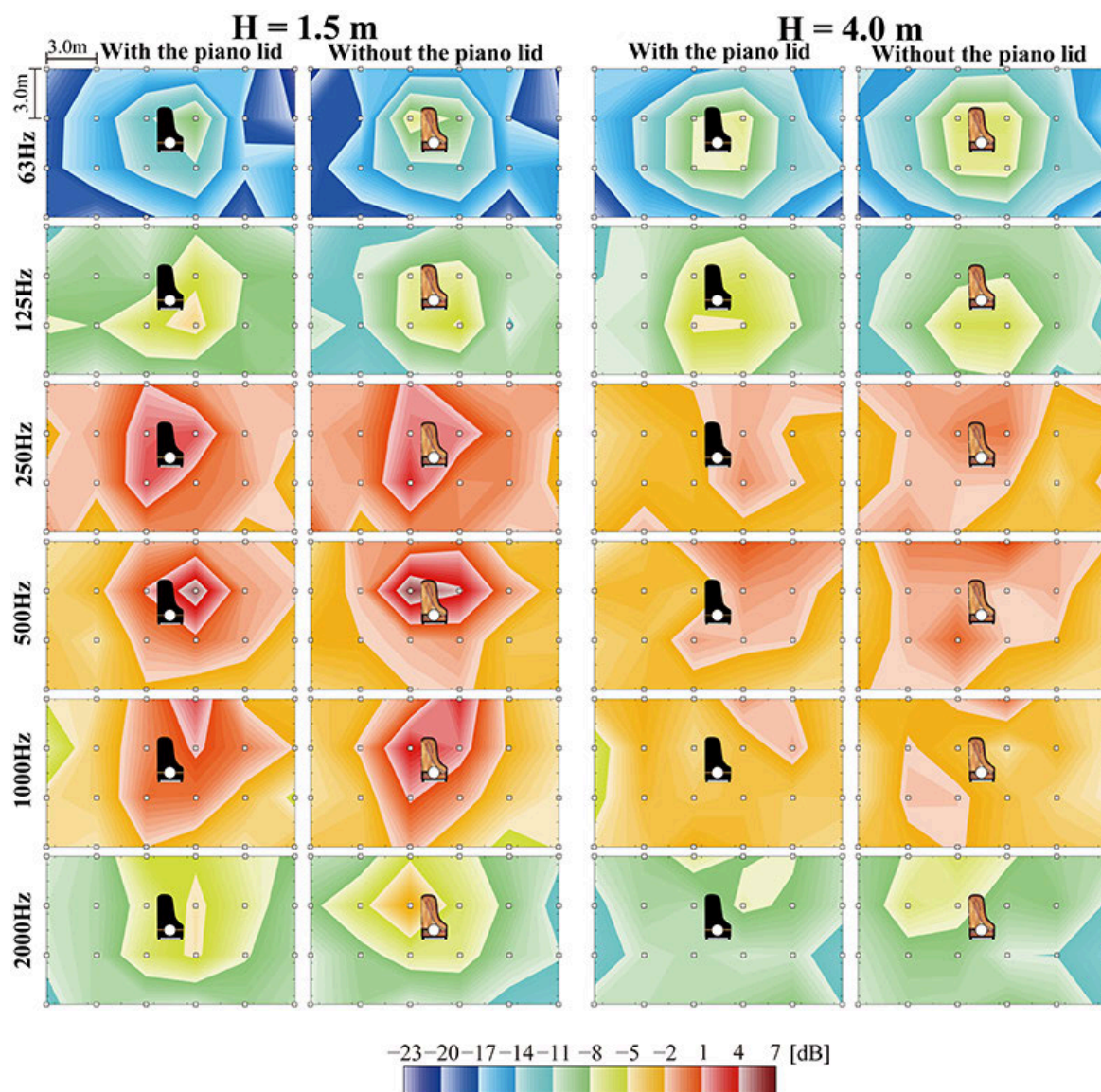


Fig. 2.15: Relative SPL distributions on the two planes (H = 1.5, 4.0 m) from the real piano in center-stage: with/without the piano lid (reflective room conditions).

ピアノの回転の影響

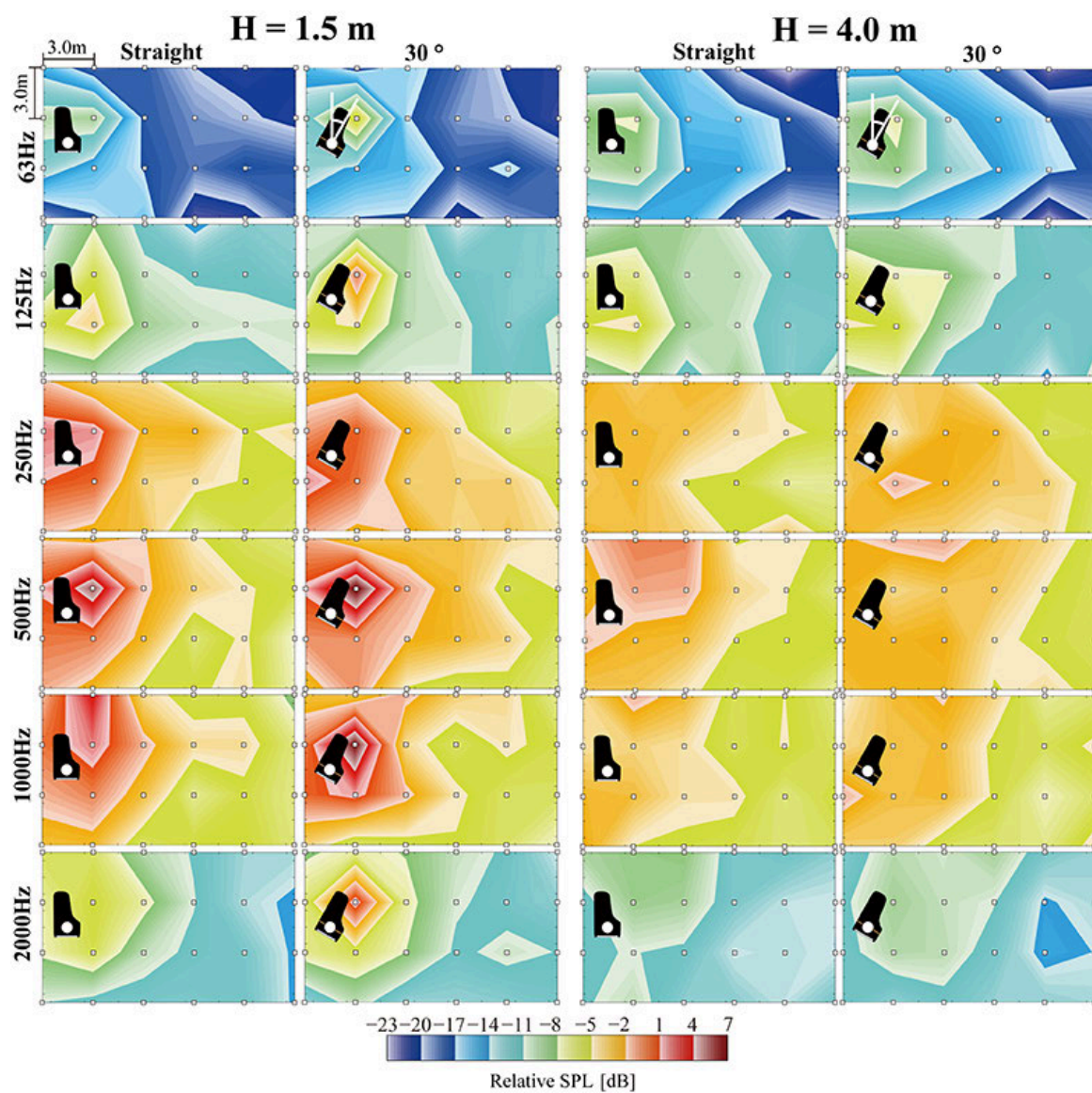


Fig. 2.16: Relative SPL distributions on the two planes ($H = 1.5, 4.0\text{ m}$) from the real piano in end-stage: straight and 30 degrees rotation in piano direction (absorptive room conditions).

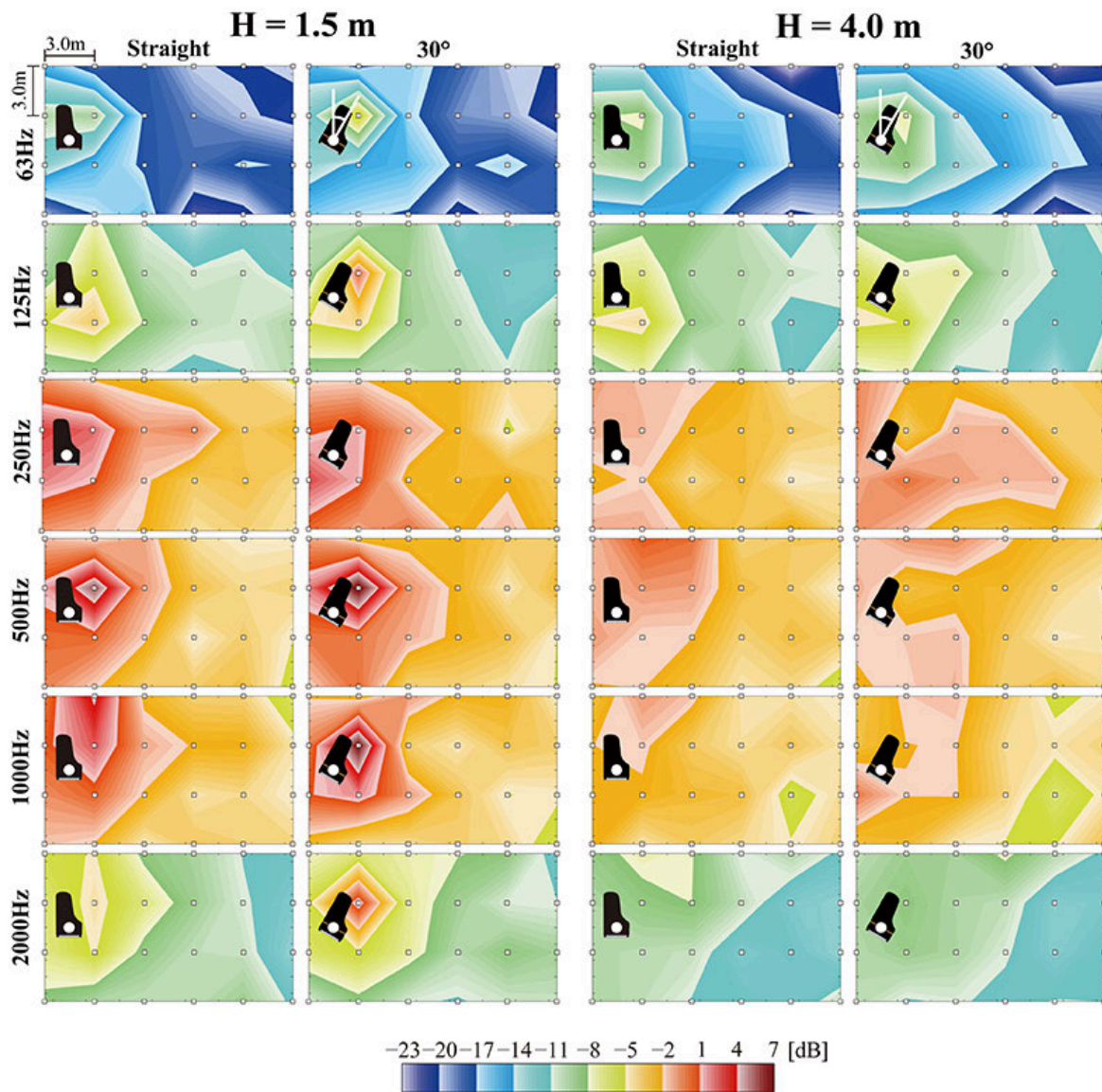


Fig. 2.17: Relative SPL distributions on the two planes ($H = 1.5, 4.0$ m) from the real piano in end-stage: straight and 30 degrees rotation in piano direction (reflective room conditions).

2.4.3 音圧分布測定結果 (各帯域打鍵の基音と倍音成分の分布)

先程は基音についての音圧分布測定結果を示した。しかし、基音と倍音の音源指向性は異なる可能性がある。次に 63~2k Hz の各オクターブ毎に増四度和音 6 つを一定速度で繰り返し打鍵した 6 帯域の録音データに関して、それぞれの帯域の倍音成分をオクターブバンド分析によって算出し、倍音成分の指向性の影響の検討を行う。なお、先程と同様に音圧レベルの基準として、反射性・エンドステージ型・正面・屋根有り条件のピアノ近傍点 (Fig2.10 の黒丸) 500 Hz の値で基準化を行った。

室条件の影響

Fig2.18~Fig2.21 に室条件を変化させた場合の結果を示す。色味が変わる毎に 5 dB 変化のあるグラフとなっている。低音域に関しては、基音よりも倍音成分のレベルが高くなっており、中高音域では基音のレベルが最も高くなる傾向を示している。また、低音域に関しては概ね無指向性の分布となっている。中音域以降の倍音成分からは正面上手方向、高所においては斜め上方向への指向性が推察される。吸音カーテンの影響により反射音が低減しており、指向性の影響が若干大きくなり、反射条件の高所においては遠方での反射音の影響により、高音域の音圧レベルに変化が生じている。

ピアノの屋根の影響

Fig2.22~Fig2.25 に屋根有無の場合の結果を示す。基音においては中音域以降で上手方向からピアノ背面方向にかけて指向性が強まっているが、倍音成分は低音域から高音域まで概ね無指向性の分布となっており、高音域打鍵の倍音成分に関しては背面方向の指向性が強まるものの、基音ほど明確に指向性が出ていないことが分かる。

ピアノの回転の影響

Fig2.26~Fig2.27 にピアノの方向を変化させた場合の結果を示す。中高音域では 30° 回転に伴って倍音成分の全体的な分布も同方向に移動し、ピアノから正面下手方向のレベル上昇が確認できる。特に、4kHz の倍音成分に関しては 30° 回転に伴い上手側から下手側にかけて概ね均一に分布が広がっている事が推察される。高所の上手下手両端では遠方にかけてのレベル変化は小さくなっており、両側の座席、及びバルコニー席の偏差を緩和する効果が予想される。

以上、ピアノの音源指向性がホール内の音圧分布に及ぼす影響として、中高音域ではピアノの方向と屋根の影響が比較的大きいことを確認した。また、倍音成分も概ね基音と対応する傾向となっており、ピアノの音源指向性が聴感上の差異に影響を及ぼしている可能性が示唆された。次頁では詳細に検討をすべく、主観評価実験に用いる音源を録音した受音点にて、倍音分析を行いピアノの音源指向性の影響を検討する。

室条件の影響

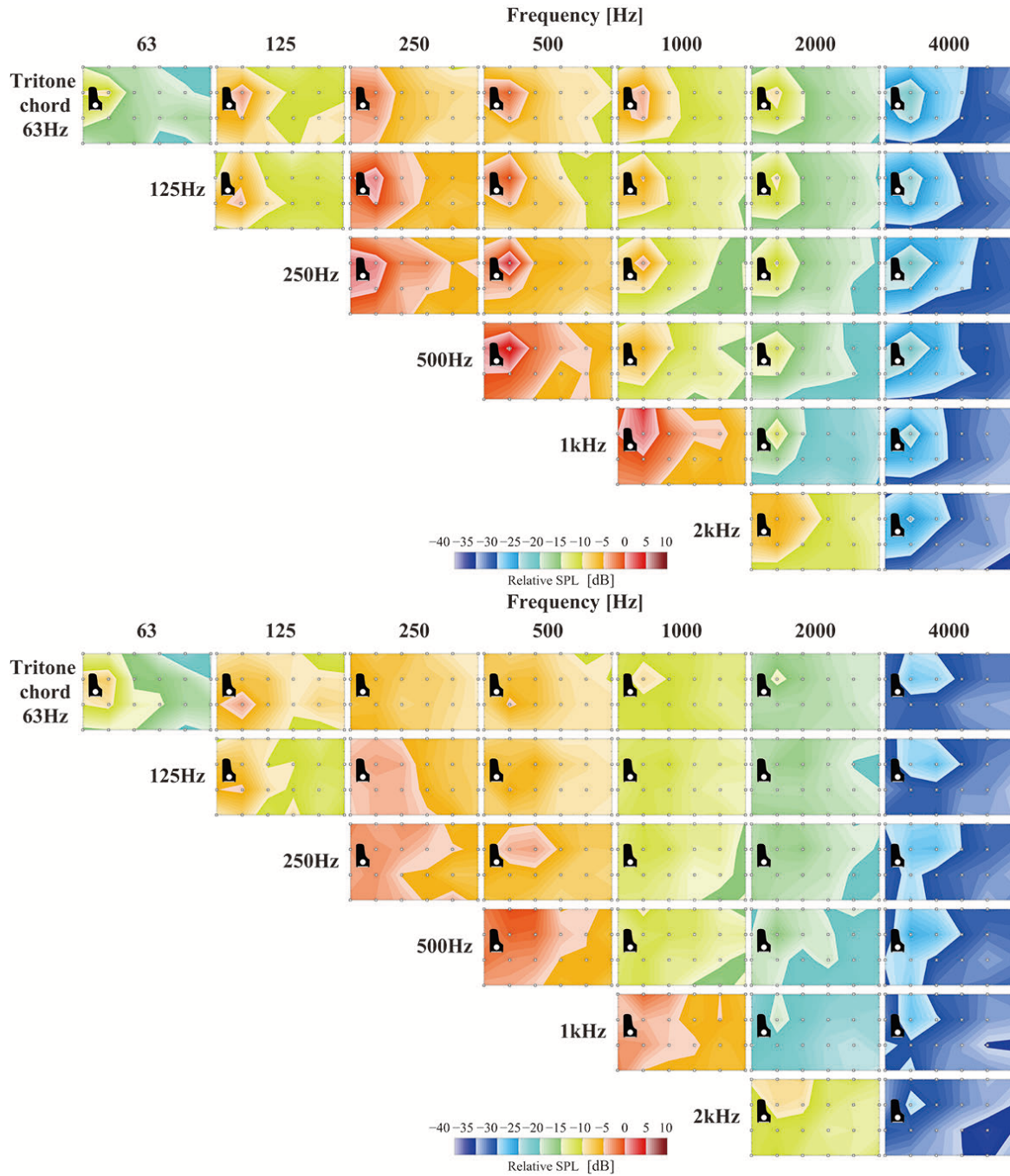


Fig. 2.18: Harmonic analysis of the relative SPL distributions on the two planes (up H=1.5m, bottom H=4.0m) of the real piano in end-stage:absorptive room conditions.

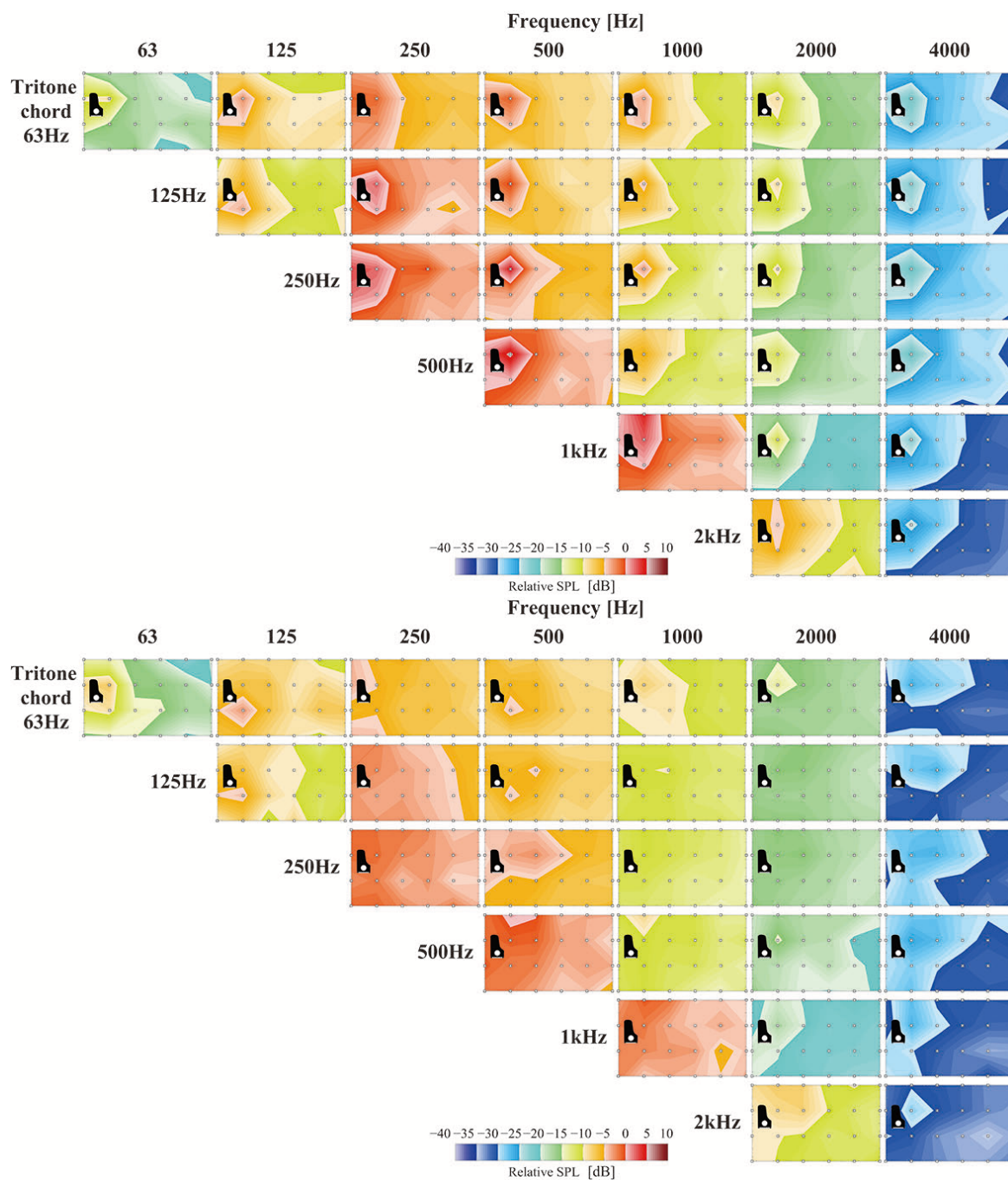


Fig. 2.19: Harmonic analysis of the relative SPL distributions on the two planes (up H=1.5m, bottom H=4.0m) of the real piano in end-stage:reflective room conditions.

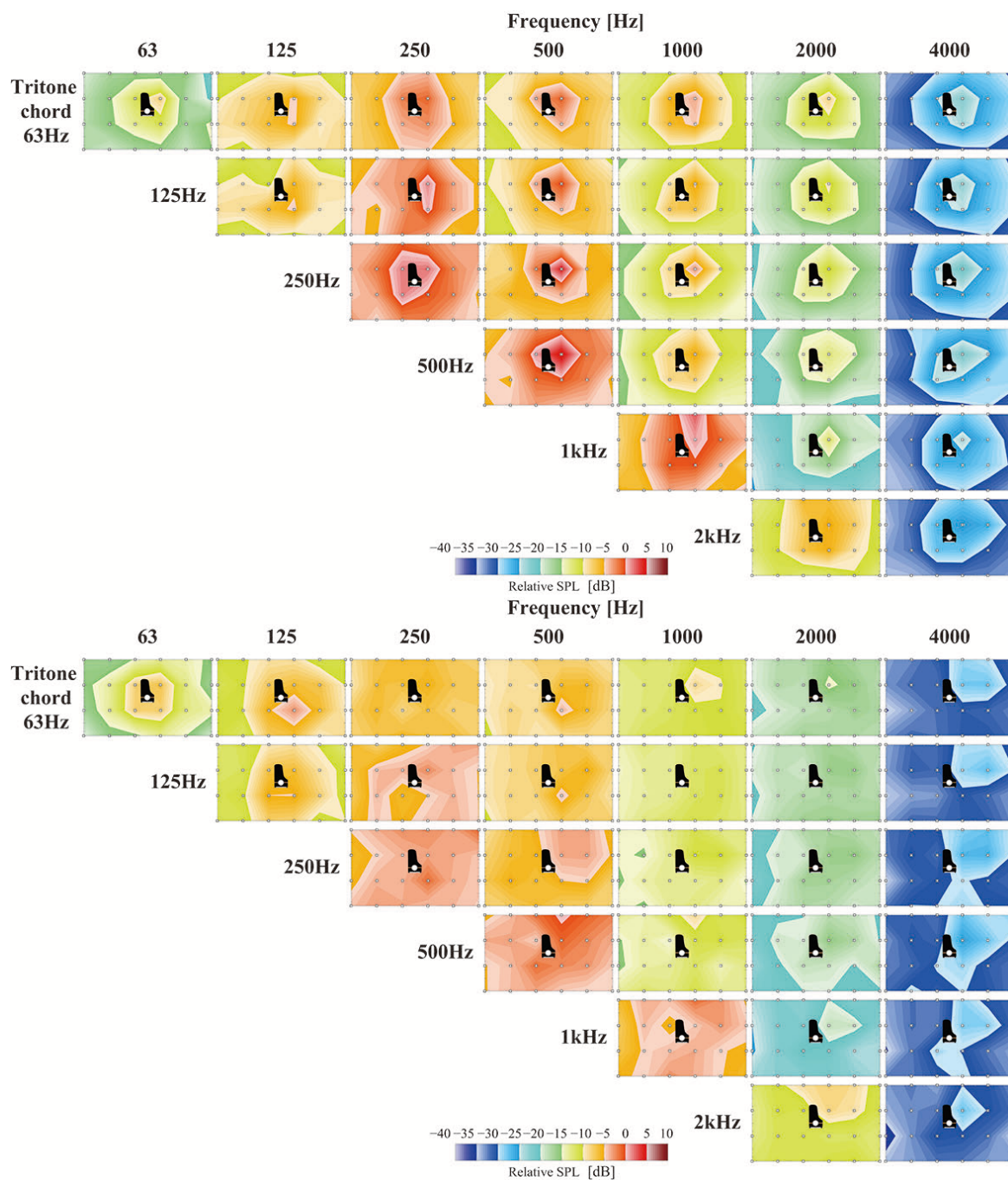


Fig. 2.20: Harmonic analysis of the relative SPL distributions on the two planes (up H=1.5m, bottom H=4.0m) of the real piano in center-stage: absorptive room conditions.

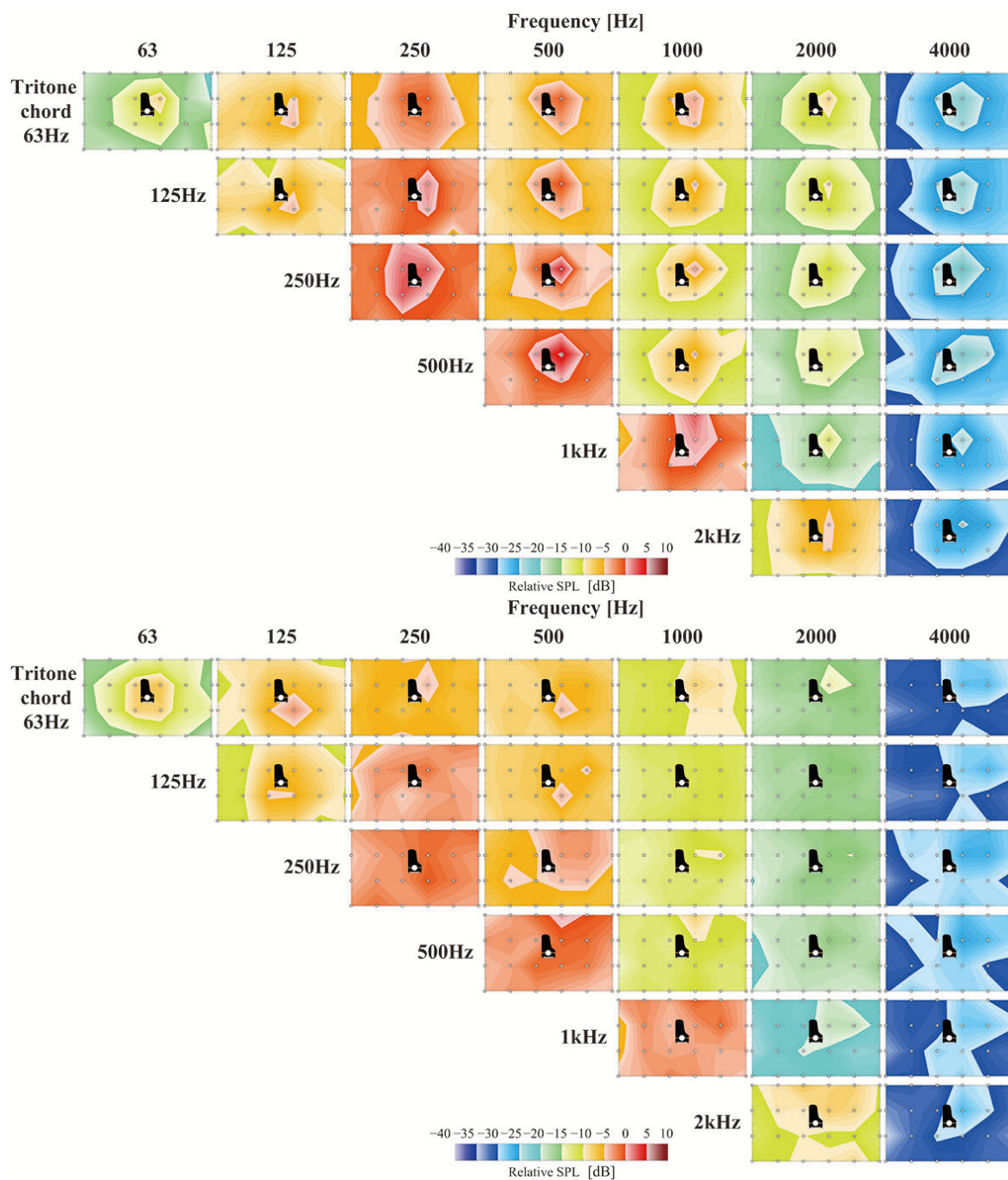


Fig. 2.21: Harmonic analysis of the relative SPL distributions on the two planes (up H=1.5m, bottom H=4.0m) of the real piano in center-stage:reflective room conditions.

ピアノの屋根の影響

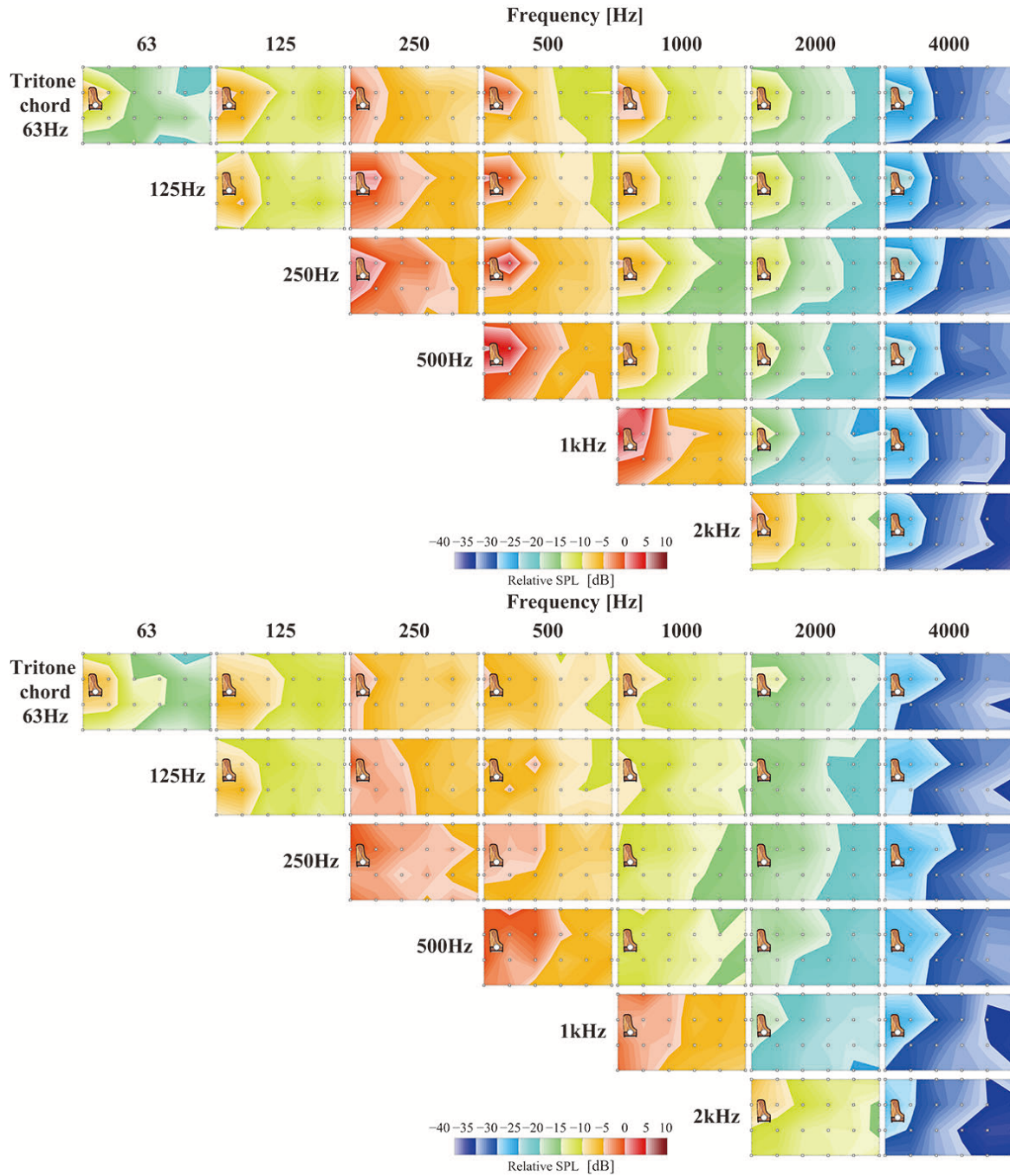


Fig. 2.22: Harmonic analysis of the relative SPL distributions on the two planes (up H=1.5m, bottom H=4.0m) of the real piano in end-stage: without the piano lid (absorptive room conditions).

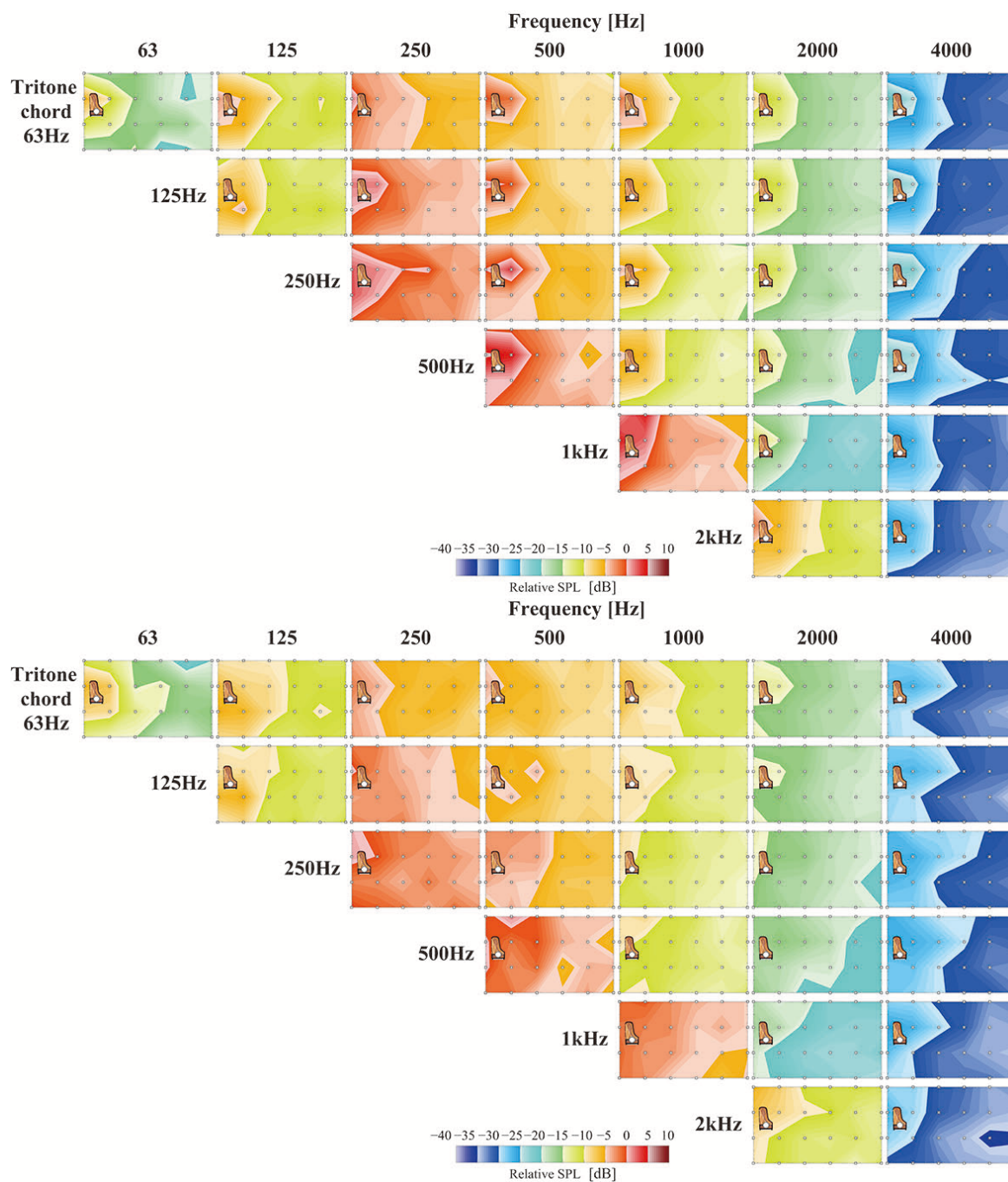


Fig. 2.23: Harmonic analysis of the relative SPL distributions on the two planes (up H=1.5m, bottom H=4.0m) of the real piano in end-stage: without the piano lid (reflective room conditions).

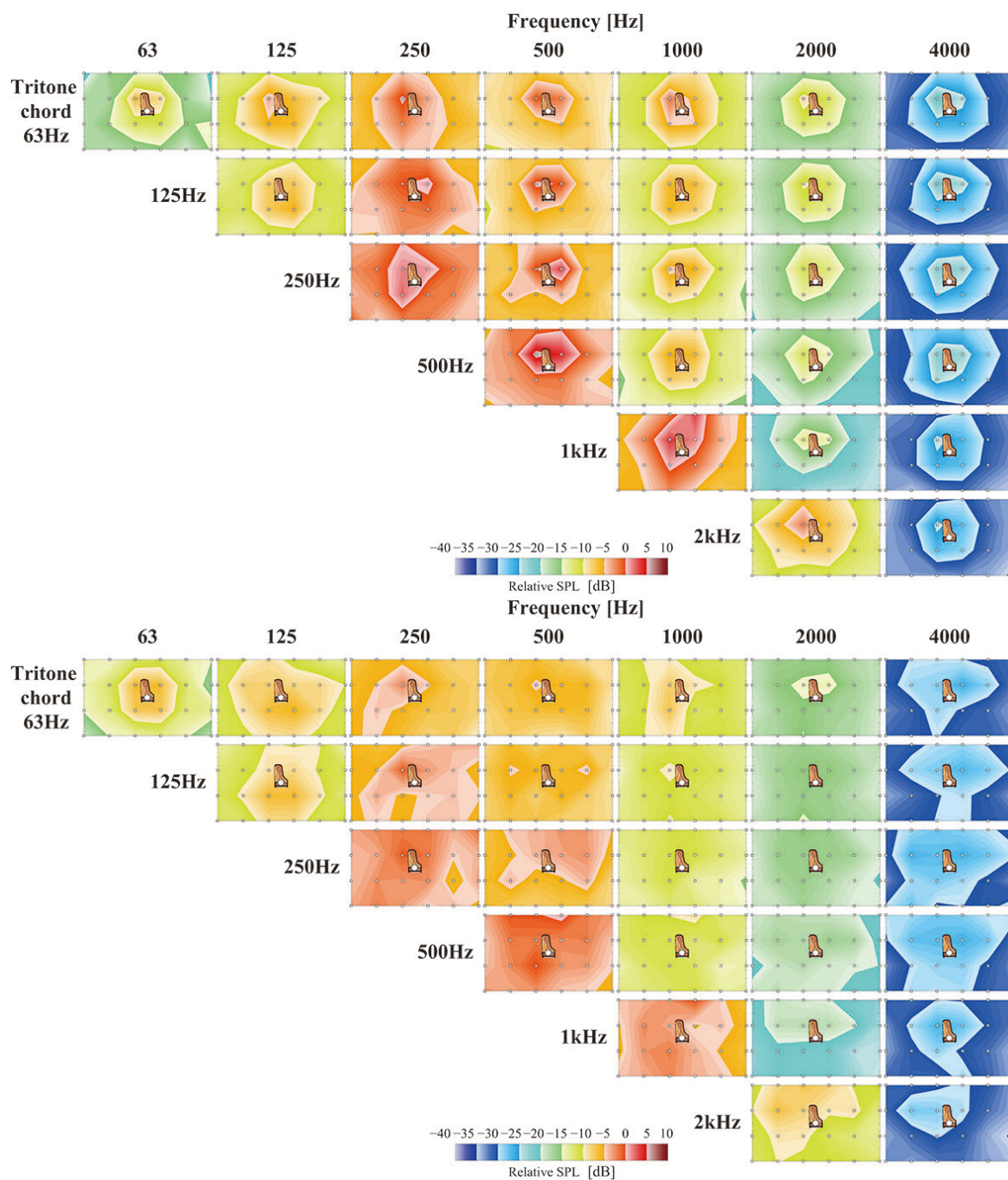


Fig. 2.24: Harmonic analysis of the relative SPL distributions on the two planes (up $H=1.5\text{m}$, bottom $H=4.0\text{m}$) of the real piano in center-stage: without the piano lid (absorptive room conditions).

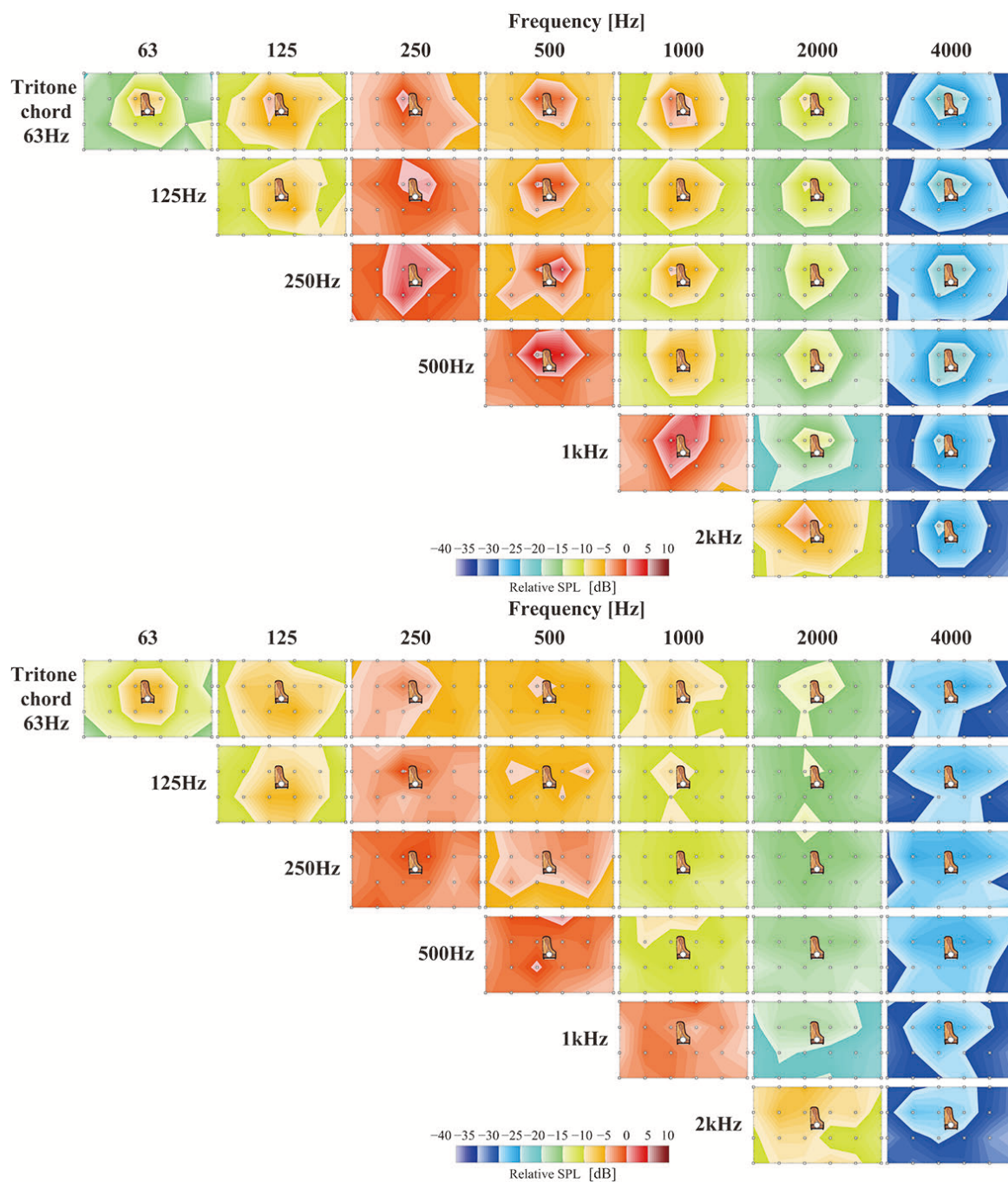


Fig. 2.25: Harmonic analysis of the relative SPL distributions on the two planes (up H=1.5m, bottom H=4.0m) of the real piano in center-stage: without the piano lid (reflective room conditions).

ピアノの回転の影響

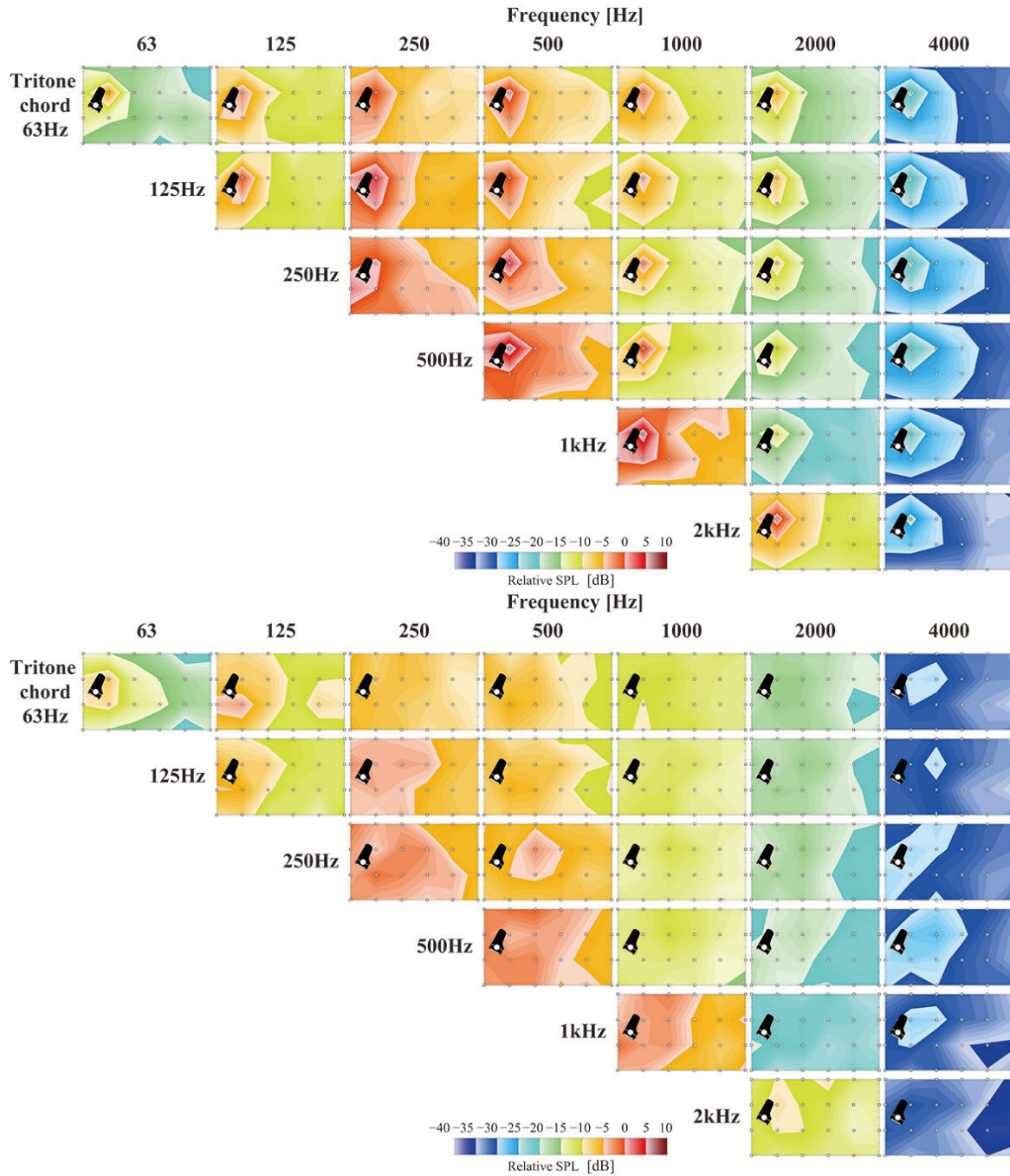


Fig. 2.26: Harmonic analysis of the relative SPL distributions on the two planes (up H=1.5m, bottom H=4.0m) of the real piano in end-stage:30 degrees rotation in piano direction (absorptive room conditions).

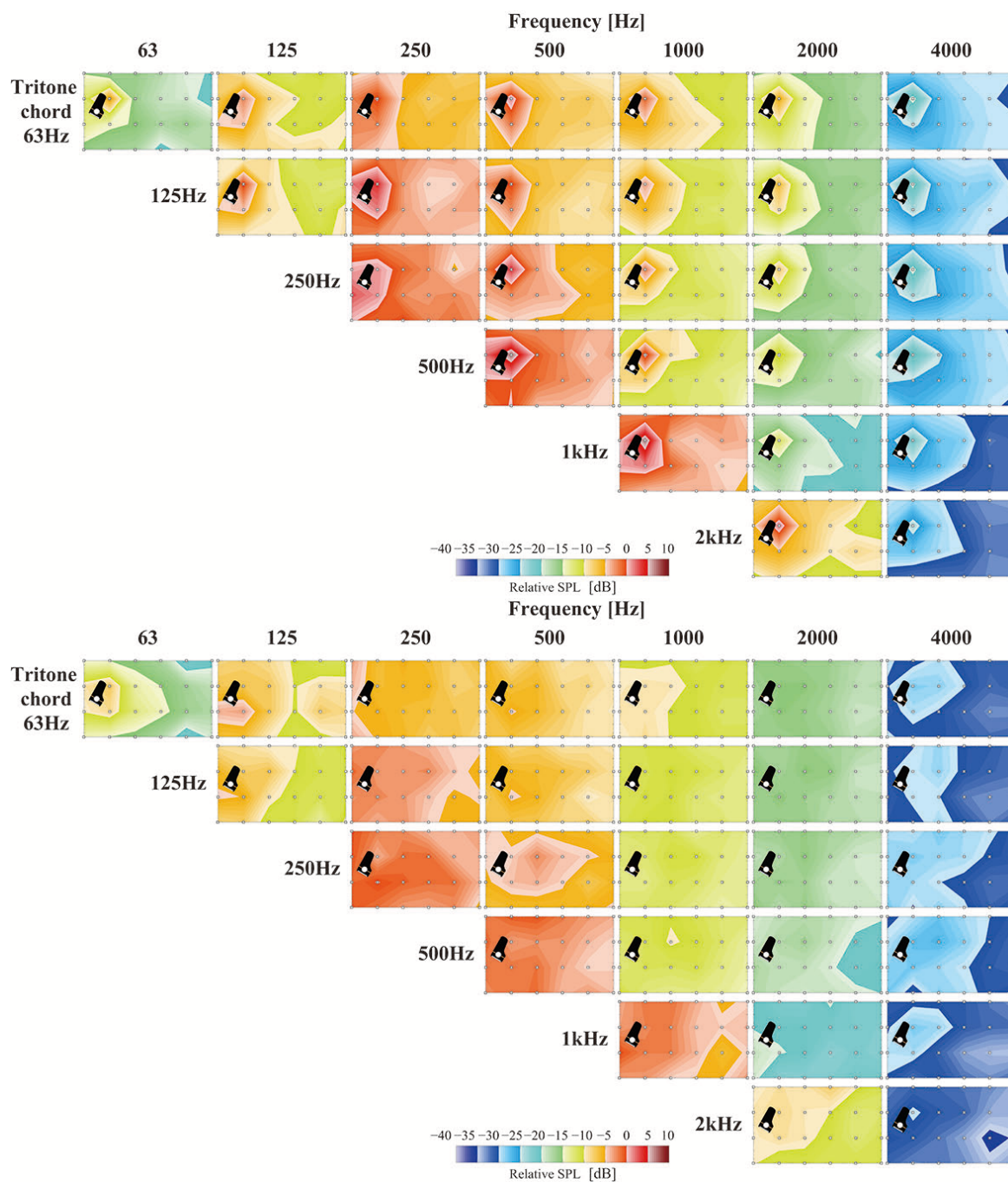


Fig. 2.27: Harmonic analysis of the relative SPL distributions on the two planes (up H=1.5m, bottom H=4.0m) of the real piano in end-stage:30 degrees rotation in piano direction (reflective room conditions).

2.5 6ch 收音システムによる演奏録音と倍音構造の分析

第4章の聴感実験の際に用いる演奏録音を、試弾ホールにて6ch 收音システム [50] を用いて行った。また前述した増四度和音も録音し、倍音分析を行い、ピアノの指向性の影響について詳細な検討を行った。收音システムの概要については再生システムと合わせて第3章で述べる事とする。

2.5.1 演奏録音方法

Fig.2.29 のシステムにて、Fig.2.28 に示すホール内に自動演奏ピアノ (Yamaha CFIII) を設置し、6 ch 收音システムを用いてピアノ演奏録音を行った (Fig.2.30)。主観評価実験を行うにあたって実際のホール内での受聴を想定し、室条件として、1階部全周壁の吸音カーテンを使用せず、残響時間 (500, 1k Hz 帯域平均) を 1.4 s (反射性) に設定した。ピアノは、鍵盤中央のハンマー打弦位置を音源点として、エンドステージ型 (Se) とセンターステージ型 (Sc) を想定した2カ所に配置し、方向 (正対または時計回り 30 度回転) および屋根の有無 (有りは開状態) を変化させた。受音点はピアノ中心から水平距離 8 m の背面 (Rc1)・正面 (Rc3, Re3)・上手 (Rc2, Re2)・下手 (Rc4, Re4)、高さ 1.5 m と 4.0 m に配置した。倍音分析は、自動演奏により 63~2k Hz の各オクターブ内の増四度和音 6 つを一定速度で繰り返し打鍵し、各受音点における録音波形のオクターブバンド分析を行った。用いた演奏曲は作曲された年代及びその特徴が異なる 4 曲を選定し、録音を行った。Tab.2.2 に使用した楽曲を、Fig.2.31~Fig.2.34 に録音範囲を示す。

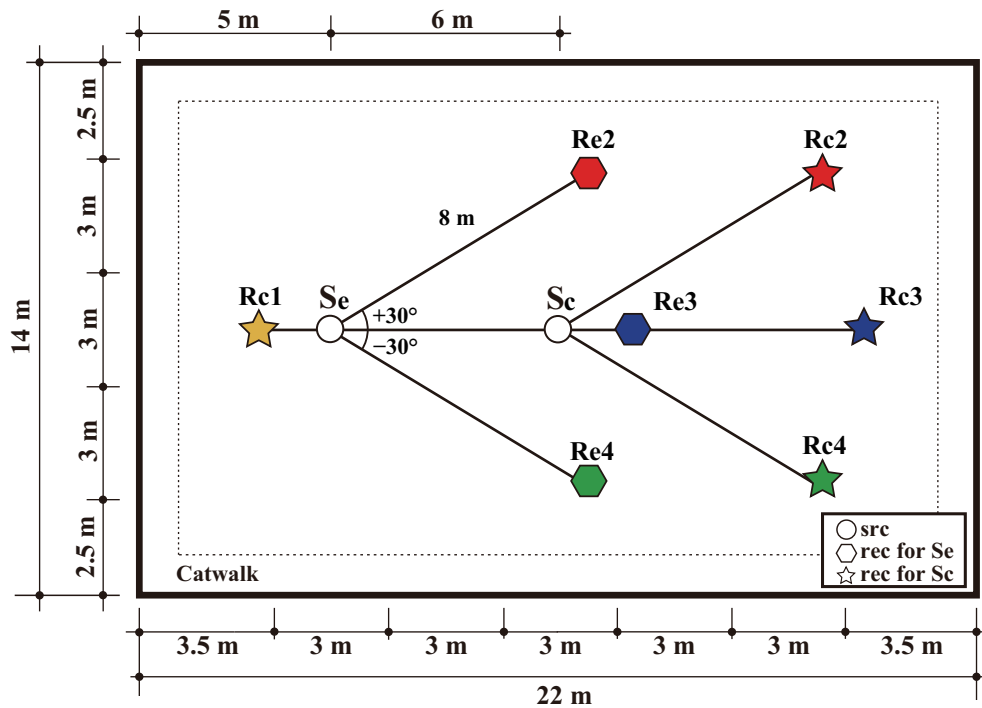


Fig. 2.28: Plan view of piano playing hall for 6ch recording system.

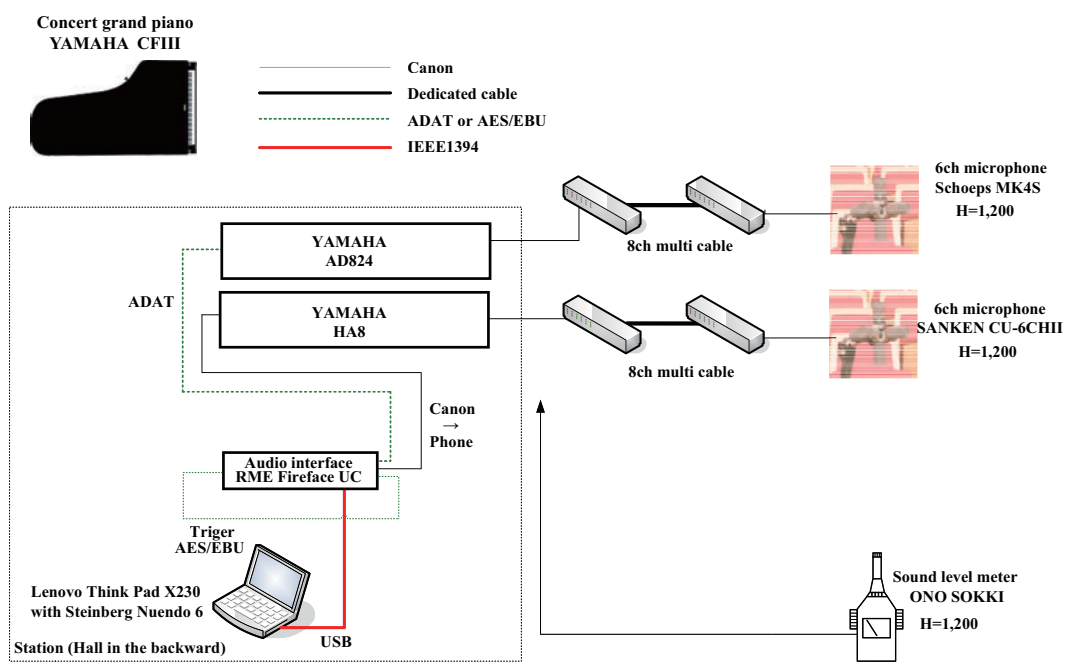


Fig. 2.29: System diagram of piano recording by 6ch recording system.

Tab. 2.2: Music and recording range that was used in the experiments.

Music	Recording range
Beethoven : Piano Sonata No.14, Op.27 No.2 III. Presto agitato	Bar 1-14 (20sec)
Chopin : Grande Polonaise Brillante, Op.22	Bar 1-16 (30sec)
Ravel: Jeux d'eau	Bar 1-6 (25sec)
Rachmaninoff: Prelude in G Minor, Op. 23, No. 5	Bar 1-9 (30sec)

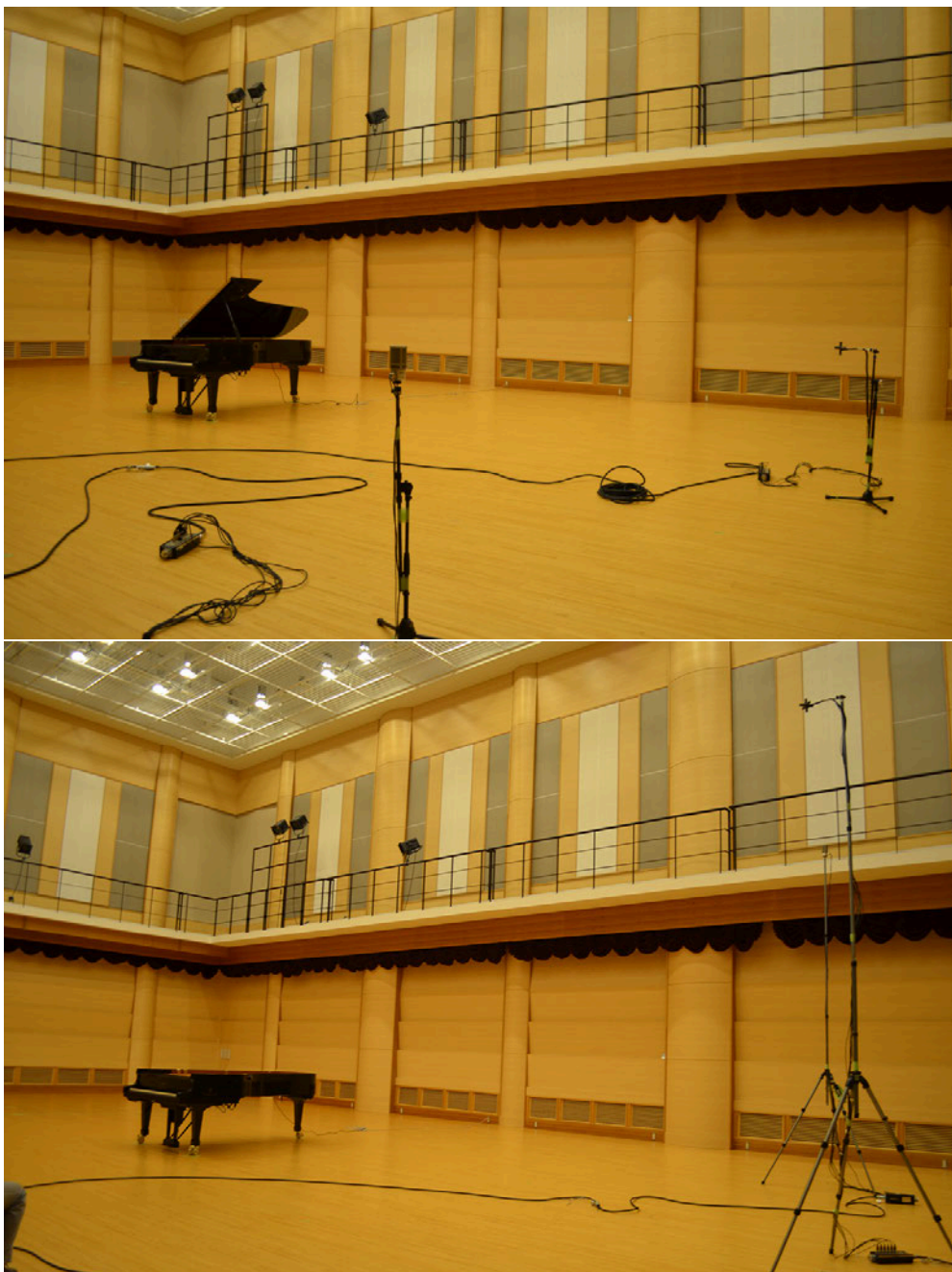


Fig. 2.30: Appearance of piano recording by 6ch recording system for the piano playing hall.

252 **Presto agitato.**

The image displays a musical score for Beethoven's Piano Sonata No. 23, Op. 81a, first movement, measures 252-261. The score is in G major, 3/4 time, and consists of five systems of grand staff notation. The first system starts with a red arrow pointing to measure 252. The piece is marked "Presto agitato". Dynamics range from piano (*p*) to fortissimo (*ff*). Fingerings and articulation marks are present throughout. A red arrow at the end of the fifth system points to measure 261. The score includes various musical notations such as slurs, accents, and dynamic markings.

Fig. 2.31: Recording range of Beethoven.

Meno mosso. (♩ = 96.)
Solo.

The image displays a musical score for Chopin's No. 1131, consisting of five systems of piano and bass staves. The tempo is marked 'Meno mosso. (♩ = 96.)' and the piece is a 'Solo'. The first system is marked 'sostenuto' and includes fingerings (3, 4, 4, 3, 4, 4) and accents. The second system continues with similar fingerings. The third system is marked 'f' and 'leggiere', with dynamics ranging from 'f' to 'ff'. The fourth system is marked 'p'. The fifth system includes the number '1131' and ends with a red bracket. The score is annotated with various musical notations such as accents, slurs, and dynamic markings.

Fig. 2.32: Recording range of Chopin.

(♩ = 144) Très doux

pp

2nd Ed.

8

Fig. 2.33: Recording range of Ravel.

Alla marcia (♩ = 108)

p

cresc.

dim.

pp

Op. 23, No. 3
(1901)

Fig. 2.34: Recording range of Rakhmaninov.

2.5.2 倍音分析結果

条件間の比較

Fig.2.35(a)に Fig.2.10 の黒丸の点の反射条件における各帯域の増四度和音の基音と倍音の分析結果を示す。塗りつぶしが基音、白抜きが倍音成分である。先ほどの音圧分布同様に、125 Hz までの低音域においては基音よりも中音域の倍音のレベルの方が高くなっており、中高音域では基音のレベルが最も高くなる傾向を示している。グランドピアノの低音域においては弦の長さが確保出来ないことから、芯となる弦の回りに銅製の線をコイル状に巻いて用いているが、十分な音量を出すだけの長さを確保できていない。その為、低音域は基音の成分があまり出ていない事から、基音よりも倍音成分の方がレベルが高くなると考えられる。

ピアノ位置の影響

Fig.2.35(b)はセンターステージ型とエンドステージ型の各位置における倍音構造の違いについてを見ており、エンドステージ型の各位置で基準化を行っている。結果より、センターステージ型の配置において下手側の基音の値が全体的に高くなっている。また、上手側においては125 Hz～250 Hzの基音倍音の値が高くなっている事から、センターステージの配置においては後壁と側壁が近いことから反射音の影響により音が増強されたと考えられる。

ピアノの屋根の影響

Fig.2.35(c)はセンターステージ型の条件におけるピアノの屋根の有無の影響についてを見ており、屋根ありの条件の各位置で基準化を行っている。結果より、屋根を外すことでピアノの背面は中音域以降で全体的なレベルが上昇しており、最大で2 dB程度の上昇が見られる。また、ピアノの正面側の各位置においては特に高音域においてレベルの低下が見られ、最大で4 dB程度低下している。これは前述の音圧分布測定結果から、屋根を外すことによって中高音域では背面側の指向性が強まった結果と対応している。

ピアノの方向の影響

Fig.2.35(d)はエンドステージ型の条件におけるピアノの回転の影響についてを見ており、正面の条件の各位置で基準化を行っている。結果より、回転に伴いピアノ正面は全体的にレベルが上昇し、最大で3 dB程度の上昇が見られる。また、下手に関しては2k Hz以上の倍音成分においてレベルが上昇しており、最大で2 dB程度の上昇が見られる。30°回転することにより、上手側の高音域の指向性が移動した為このような結果が得られたと考えられる。また、上手側の値にはあまり変動がないことから、正面に対する60°の位置においても指向性は強いものと推察される。

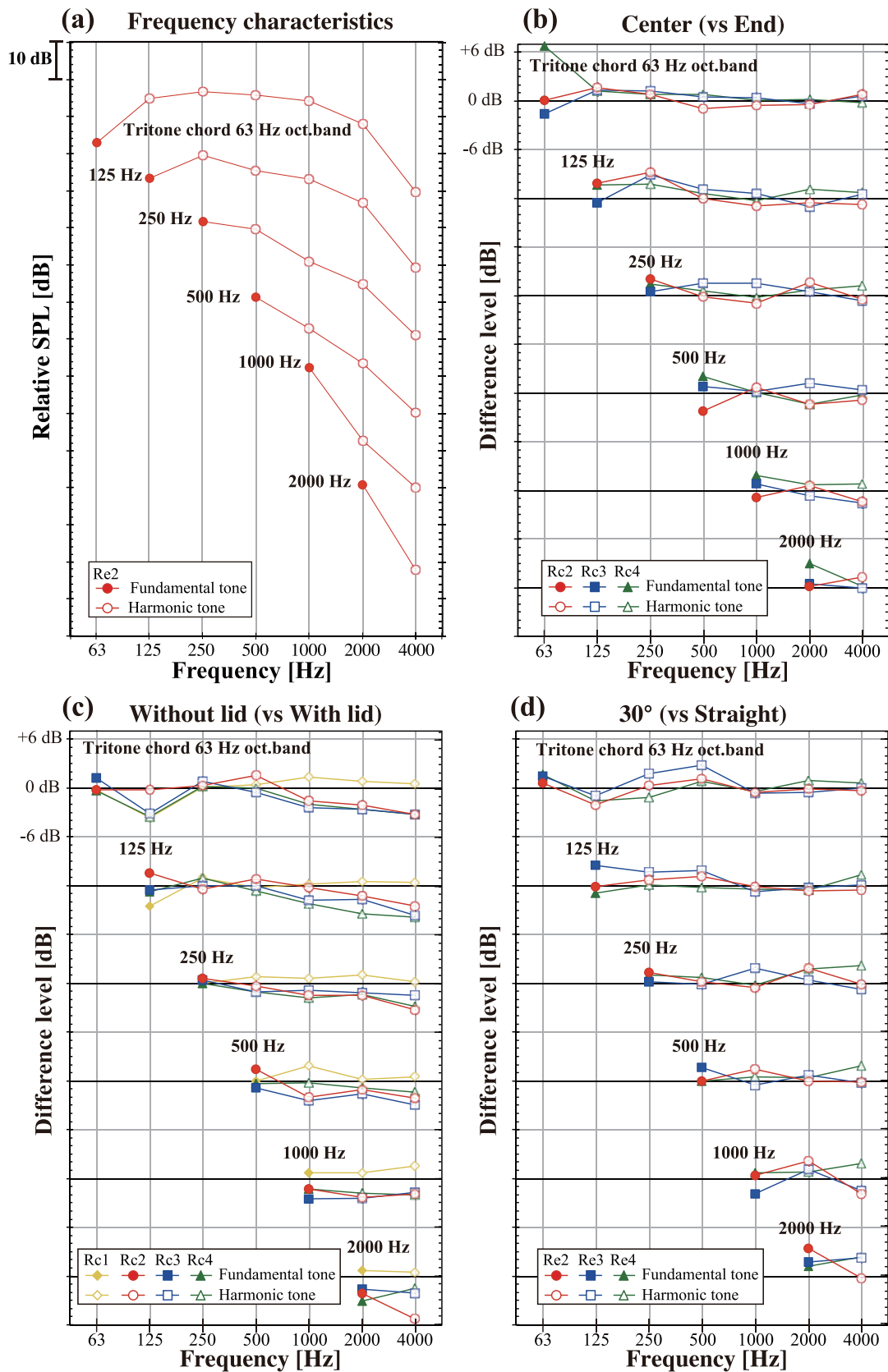


Fig. 2.35: Harmonic analysis results in H = 1.5 m from the real piano : (a) Frequency characteristics (Se straight), (b) center vs end stage, (c) without vs with the piano lid, (d) 30 degrees rotation vs straight in piano direction.

受音点間の比較

先程は条件間での比較を行ったが、次に同条件内における受音点間の比較を行う。各条件内のピアノ正面の値によって基準化している。

センターステージ型屋根あり

Fig.2.36(a) にセンターステージ型屋根ありの条件における倍音分析結果を示す。背面のレベルは屋根の影響により正面に対して最大で 4 dB 程度低下している。上手側は基音 2k Hz、倍音 4k Hz においてピアノの音源指向性によりレベルが上昇しており最大で 3 dB 程度の上昇が見られる。これは先程の音圧分布測定結果とも一致しており、正面上手方向に指向性が現れていることが示唆された。また、250 Hz あたりの周波数帯域ではピアノ背面の音量が正面よりも上昇している。これは高音域と高音域と低音域の間に発生する逆位相の干渉が抑えられたことにより、響板によって前方に発せられたエネルギーが後方に響いたものである。[6] また、下手側は帯域によって異なるものの、高音域においてレベルが低下しており、上手や正面に比べ指向性が弱い事が推察される。

センターステージ型屋根なし

Fig.2.36(b) にセンターステージ型屋根なしの条件における倍音分析結果を示す。屋根無しでは背面のレベルが中音域において若干上昇し、ピアノ正面側のレベルが全体的に低下したことにより偏差が小さくなっている。特に高音域での偏差が緩和していることが確認できる。これは、屋根よって増幅されていた音が、屋根が無くなることによりピアノ正面側のレベルが低下し、背面側との差が小さくなったと考えられる。この事から屋根ありの条件に比べ聴感印象として正面と背面との差が緩和される可能性が示唆された。

エンドステージ型正面

Fig.2.36(c) にエンドステージ型正面の条件における倍音分析結果を示す。先ほどのセンターステージ型の条件同様上手側のレベルが上昇し、下手側のレベルが低下しており、ピアノの指向性が正面上手方向に現れている事が確認された。

エンドステージ型 30°

Fig.2.36(d) にエンドステージ型 30° の条件における倍音分析結果を示す。30° 回転に伴い特に下手側のレベルが上昇しており、全体的な偏差が緩和していることが確認できる。この事から聴感印象として上手と下手の差が緩和されることが示唆された。

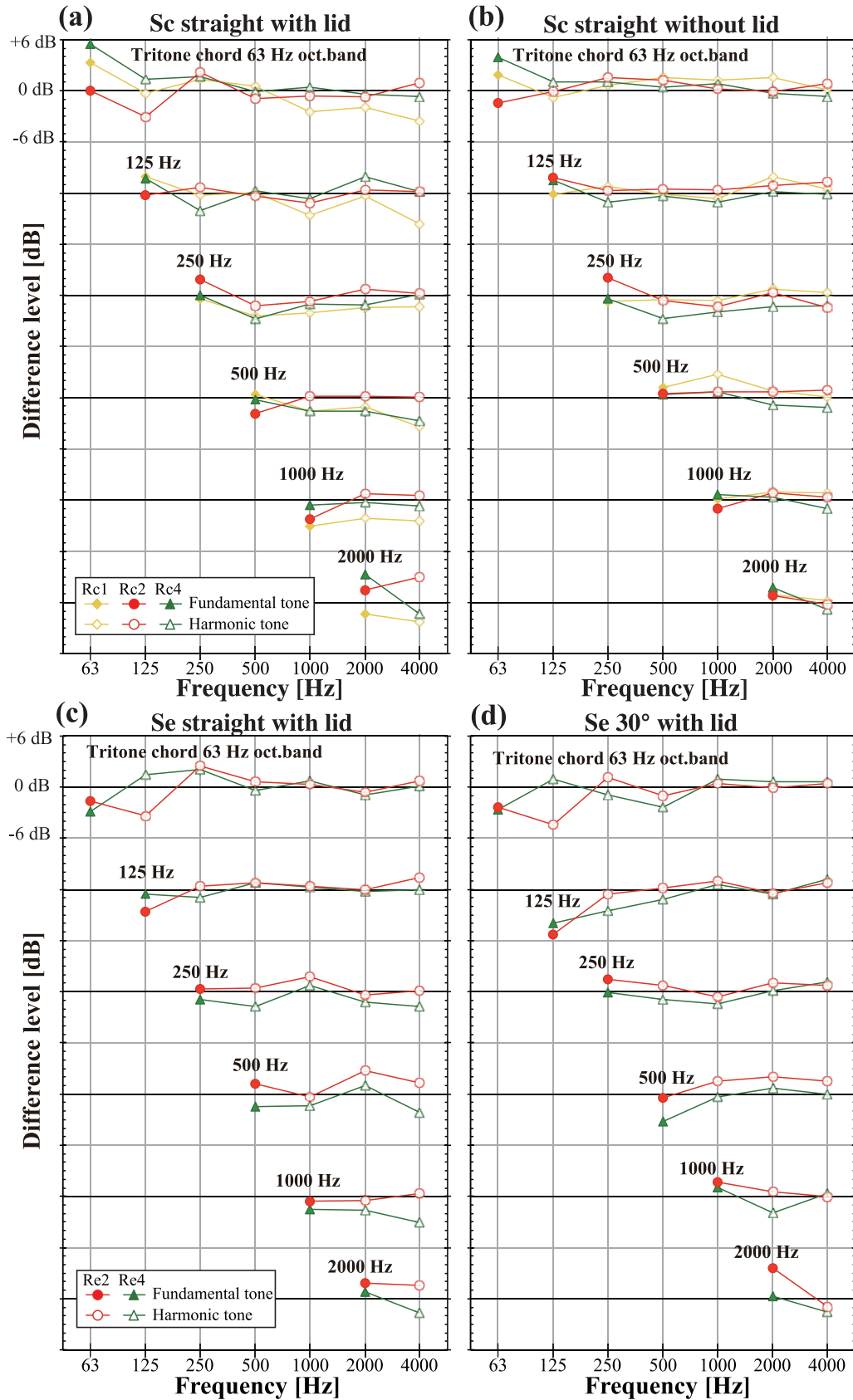


Fig. 2.36: Harmonic analysis results in $H = 1.5$ m from the real piano : (a)(b) with/without the piano lid, (c)(d) straight and 30 degrees rotation in piano direction.

上下の比較

最後に、各条件内における受音点の上下の比較を行う。各条件内の受音点の低所 (1.5 m) の値で基準化している。

センターステージ型屋根あり

Fig.2.37(a) より、全体的な傾向は掴みにくいですが、上手側の 4k Hz の倍音成分が上昇している事が確認される。この事から上手側の上下間においては 4k Hz の倍音成分に関して、高所の方が指向性が強いことが推察される。また、正面に関しては 63 Hz の基音に関して 5 dB 程度の上昇が確認でき、聴感印象として低音側の成分が強く感じられる可能性が示唆された。下手側に関しては低域の基音のレベルが 5 dB 程度低下しており、高音域においては各周波数によって変動はあるものの、倍音成分が低所よりも上昇する周波数が幾つか見受けられた。

センターステージ型屋根なし

Fig.2.37(b) より、各帯域でのバラつきが大きく全体としての傾向は掴みにくいですが、屋根を外すことで特に高音域のレベルの上昇が見られる。また、下手の基音に関しては低所に比べレベルが低下している事が確認された。

エンドステージ型正面

Fig.2.37(c) より、センターステージ型とは異なり、上手側は全体的に高所の方がレベルが下がっている。また、センターステージ型に比べると全体的なバラつきは抑えられており、後壁との距離が倍音構造に寄与していることが推察される。

エンドステージ型 30°

Fig.2.37(d) より、周波数によってバラつきの程度が変わっており全体の傾向が掴みにくい結果となった。回転に伴い上下間での周波数特性の変動があることから、聴感上の差があることが示唆されたが、現段階では不明である。

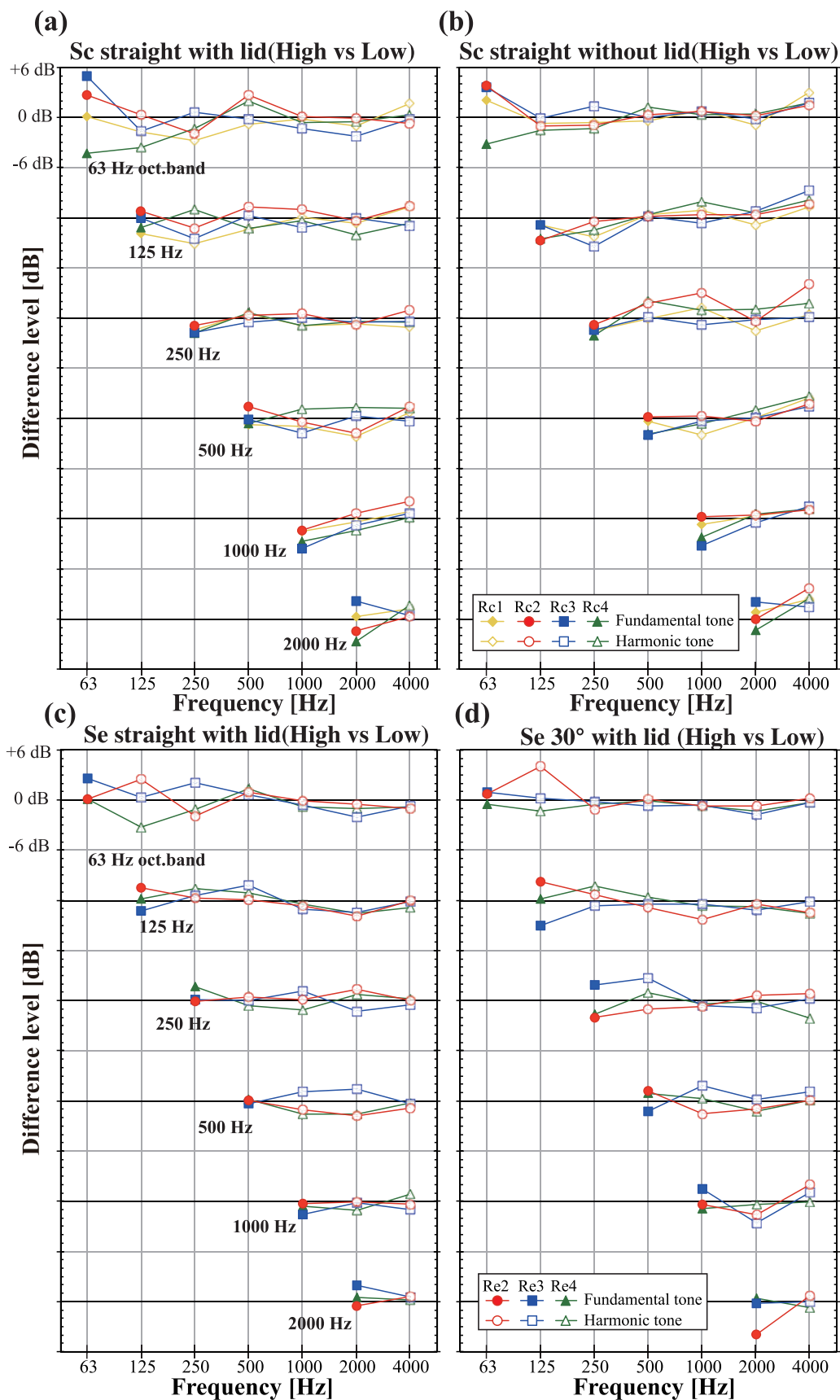


Fig. 2.37: Fig. 6: Harmonic analysis results in H = 4.0m vs H = 1.5m from the real piano : (a)(b) with/without the piano lid, (c)(d) straight and 30 degrees rotation in piano direction.

2.5.3 まとめ

本章では試弾ホールにて行った音響測定の結果からインパルス応答測定による無指向性音源の音圧分布により、ホールの特性を含めても概ね無指向性の分布となることを確認した。次に、指向性を持つピアノを音源とした音圧分布測定から、ピアノの音源指向性が音圧分布に及ぼす影響として、中高音域においてピアノの屋根や方向の影響が大きい事を確認した。また、これらの結果は meyer[6] や franck[3] らの報告とも概ね対応する結果となった。

次に、第4章で行う主観評価実験に用いる音源を6ch 収録システムによって録音を行い、倍音分析を行うことで、詳細な指向性の影響の検討を行った。その結果、各条件においてピアノの回転や屋根の影響が確認され、音圧分布測定結果とも傾向が概ね対応した。この事から、物理的にはピアノの指向性はホール内においても影響を及ぼしていることから、聴感上でも影響がある可能性がある。次章では主観評価実験に用いる6ch 収録・再生システムについて述べ、これらの結果を踏まえ、受聴位置やピアノの屋根の影響、ピアノの方向の影響を軸に実験条件を設定し、主観評価実験を行う事とする。

第3章

6ch 収音・再生システム

主観評価実験を行う際には、原音場による実験と実験室実験の2つが主として行われている。原音場実験においては、音場の臨場感や、その空間での心理的影響を直接的に判断できるが、音以外の誤差要因の排除や、複数の異なる音環境を比較して評価することが出来る利点を活かし実験室実験の機運が高まっている。実験室実験において、各種の音場をシミュレートする方法として、トランスオーラル方式やバイノーラル方式、マルチチャンネル方式等様々な手法が提案されているが、本研究においては受聴時の姿勢の制約が少なく、音像定位が良好な条件で自然な評価が可能なることから、各種聴感実験に用いられている6ch 収音・再生システム [50, 51, 52, 55] を採用し、主観評価実験を行うこととする。

3.1 システムの概要・原理

6本の単一指向性マイクロフォンを直交軸(x,y,z)上にそれぞれ指向性が外側を向くように組み合わせた収音系マイクロフォンシステムを用いて収音を行う。次に、無響室内にマイクロフォンの指向性に対応するように直交軸上に等距離に配置した6台のスピーカを通して、収音した音源データを再生することで、対象とした原音場を3次元的に正確に再現することが出来る [50]。

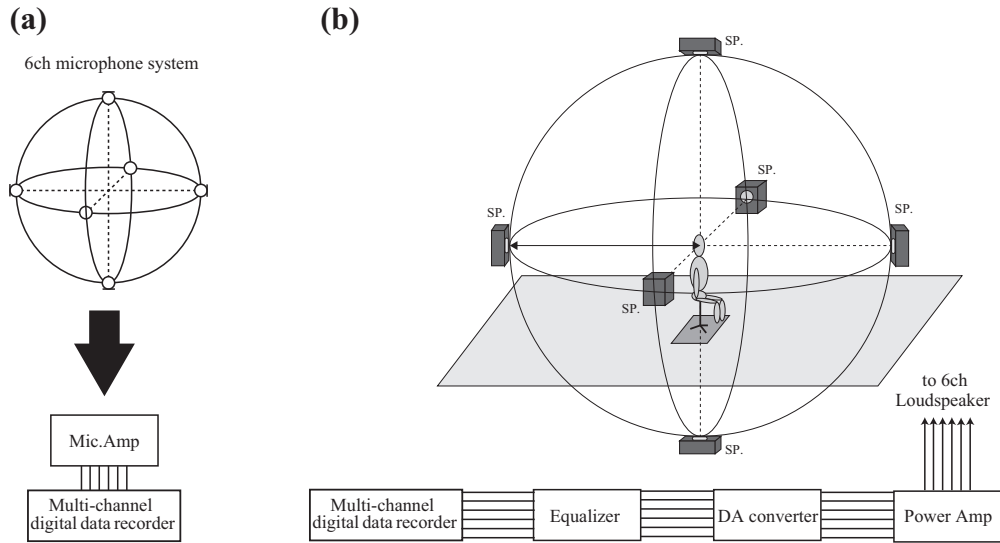


Fig. 3.1: Diagram of 6ch recording/reproduction system(a) 6ch recording system,(b) 6ch reproduction system (in an anechoic room).

6ch 收音・再生システムの原理を以下に示す。簡単のために2次元音場とし、マイクロフォンの指向性はカーゴイド特性であり(式3.1)、組み合わせるマイクロフォンの間隔が0であることを仮定する。

$$D(\theta) = \frac{1 + \cos \theta}{2} \quad (3.1)$$

受信位置にある角度(θ)で平面波が入射する場合、直交軸上でそれぞれ 90° ずつ指向性を回転させて配置した4つのマイクロフォンを通して信号(p_1, p_2, p_3, p_4)が收音される。(Fig.3.2(a)) それらを全て足し合わせると入射角度(θ)の項がなくなり、原音場における音波の入射角度にかかわらず、音圧は定数($=2p_0$)となる(式3.2)。

$$p_{total} = p_1 + p_2 + p_3 + p_4 = \left(\frac{1 + \cos \theta}{2} + \frac{1 - \sin \theta}{2} + \frac{1 - \cos \theta}{2} + \frac{1 + \sin \theta}{2} \right) p_0 = 2p_0 \quad (3.2)$$

收音系及び再生系のトータルのシステムゲインを1とすることでマイクロフォンの指向特性がカーゴイド特性となり、直交軸上で組み合わせるマイクロフォンを1点に集約した收音システムを用いることで音波の到来方向によらず、正確に原音場を再現することが出来る。

粒子速度についても同様に、ある角度 (θ) で平面波が入射する場合を考えると x, y 軸方向 (u_x, u_y)、絶対値 (u_{abs}) をそれぞれ式 3.3~3.5 の数式で表す事ができる。(Fig.3.2(b))

$$u_{1-3} = \frac{p_0}{\rho c}(p_1 - p_3) = \frac{p_0}{\rho c} \left(\frac{1 + \cos \theta}{2} - \frac{1 - \cos \theta}{2} \right) = \frac{\cos \theta}{\rho c} p_0 \quad (3.3)$$

$$u_{4-2} = \frac{p_0}{\rho c}(p_4 - p_2) = \frac{p_0}{\rho c} \left(\frac{1 + \sin \theta}{2} - \frac{1 - \sin \theta}{2} \right) = \frac{\sin \theta}{\rho c} p_0 \quad (3.4)$$

$$u_{total} = \sqrt{u_{1-3}^2 + u_{4-2}^2} = \frac{p_0}{\rho c} \quad (3.5)$$

音圧と同様に式 5 では入射角度 (θ) の項がなくなり、音波の入射角度にかかわらず、原音場における粒子速度 (合成ベクトル角度、絶対値) が正確に再現される。

これらの関係から 4 つのマイクロフォンの音圧出力から原点の音響インテンシティをベクトル量として求めることが出来る。また、この考え方を Fig.3.3 に示す 3 次元音場に拡張すると音圧、粒子速度についてそれぞれ以下の 2 式で表すことが出来、音波の入射角度にかかわらず原音場の音圧、粒子速度が正確に再現できる [50]。

$$\begin{aligned} p_{total} &= \left(\frac{1 + \sin \varphi \cos \theta}{2} + \frac{1 - \sin \varphi \cos \theta}{2} \right. \\ &\quad \left. + \frac{1 + \sin \varphi \sin \theta}{2} + \frac{1 - \sin \varphi \sin \theta}{2} \right. \\ &\quad \left. + \frac{1 + \cos \varphi}{2} + \frac{1 - \cos \varphi}{2} \right) p_0 \\ &= (p_{x+} + p_{x-} + p_{y+} + p_{y-} + p_{z+} + p_{z-}) p_0 = 3p_0 \end{aligned} \quad (3.6)$$

$$u_{total} = u_x + u_y + u_z = \frac{p_0}{\rho c} \quad (3.7)$$

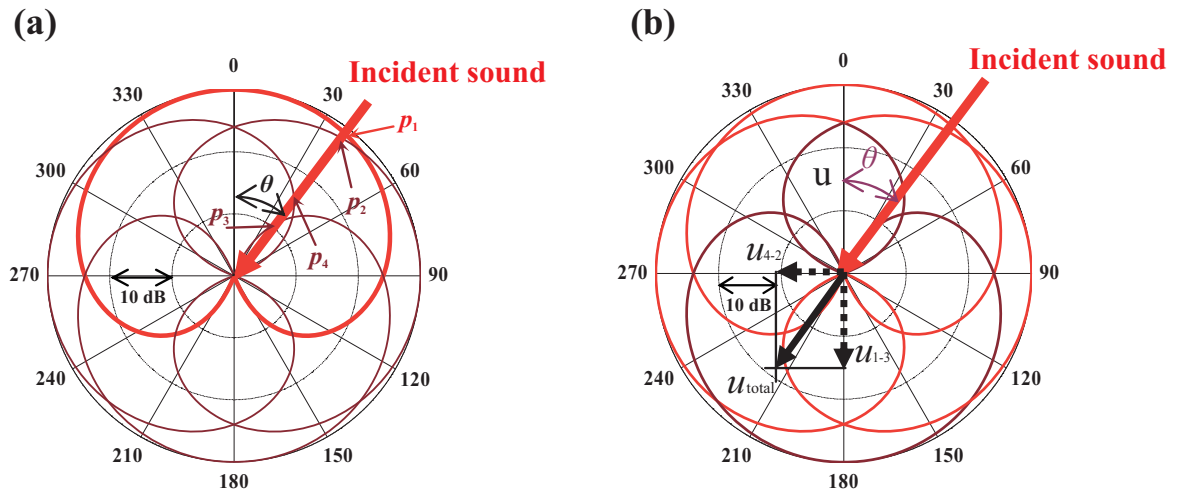


Fig. 3.2: (a) Directivity characteristics(Cardiod function), (b) Particle velocity.

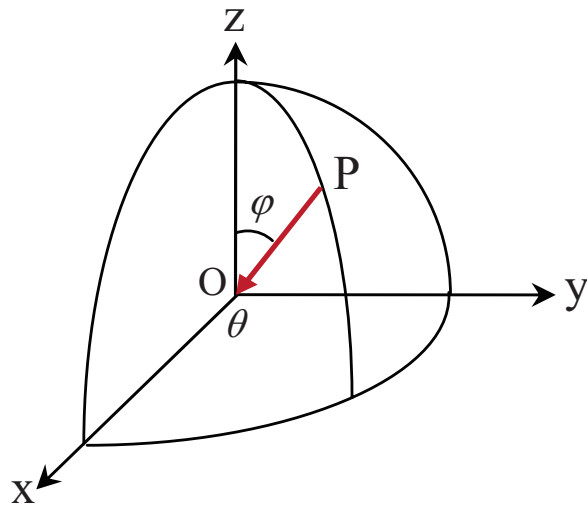


Fig. 3.3: Incident sound(3 dimensional).

3.2 システム補正

6ch 再生システムで実音場の再生を行うには、以下の補正が必要である。

- 再生系 (スピーカ) の補正
- 收音系 (マイクロフォン) の補正

再生系の各スピーカの周波数特性を均質にし、收音系のマイクの特徴を逆補正したものを補正值として用いることで、理論上原音場が再現されることになる。

3.2.1 再生系の補正

スピーカは同じ型番のものでもロットによって個体差が生じるため、周波数特性にばらつきが出る。そこで、再生系に用いるスピーカ (TANNOY T12) の補正を行った。無響室内に無指向性マイクロフォン (RIONNA-32) を設置し、各スピーカからピンクノイズを流し、周波数分析器 (Brüel&Kjær 7700-N3) を用いて周波数スペクトルを確認しながら、グラフィックイコライザー (YAMAHA DME64N) 以下 GEQ で 1/3 オクターブバンド幅で各チャンネルの補正を行った (Fig.3.4)。TANNOY T12 の再生周波数の範囲は 45 Hz~25k Hz の範囲であるが、100 Hz~10k Hz までの差が± 1 dB 未満になる様調整を行い、GEQ の補正值は± 5 dB に収まるように補正を行った。なお、床面側のスピーカ (6 ch) に関してはグレーチングの影響により、1k, 5k Hz の周波数特性が異なる事に注意したい。以下、Fig.3.5 に、補正後の再生系の周波数特性を示す。

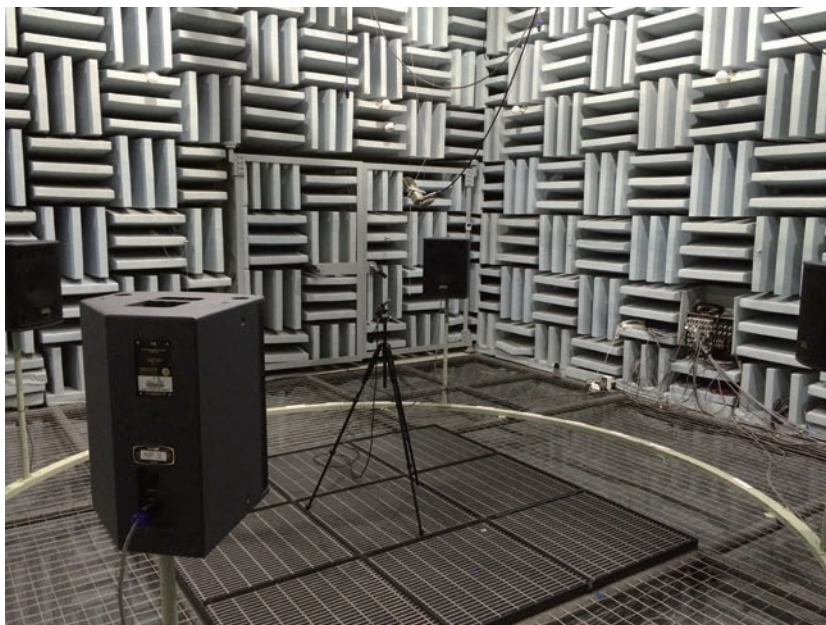


Fig. 3.4: Appearance of the reproduction system correction for 6ch speaker(TANNOY T12).

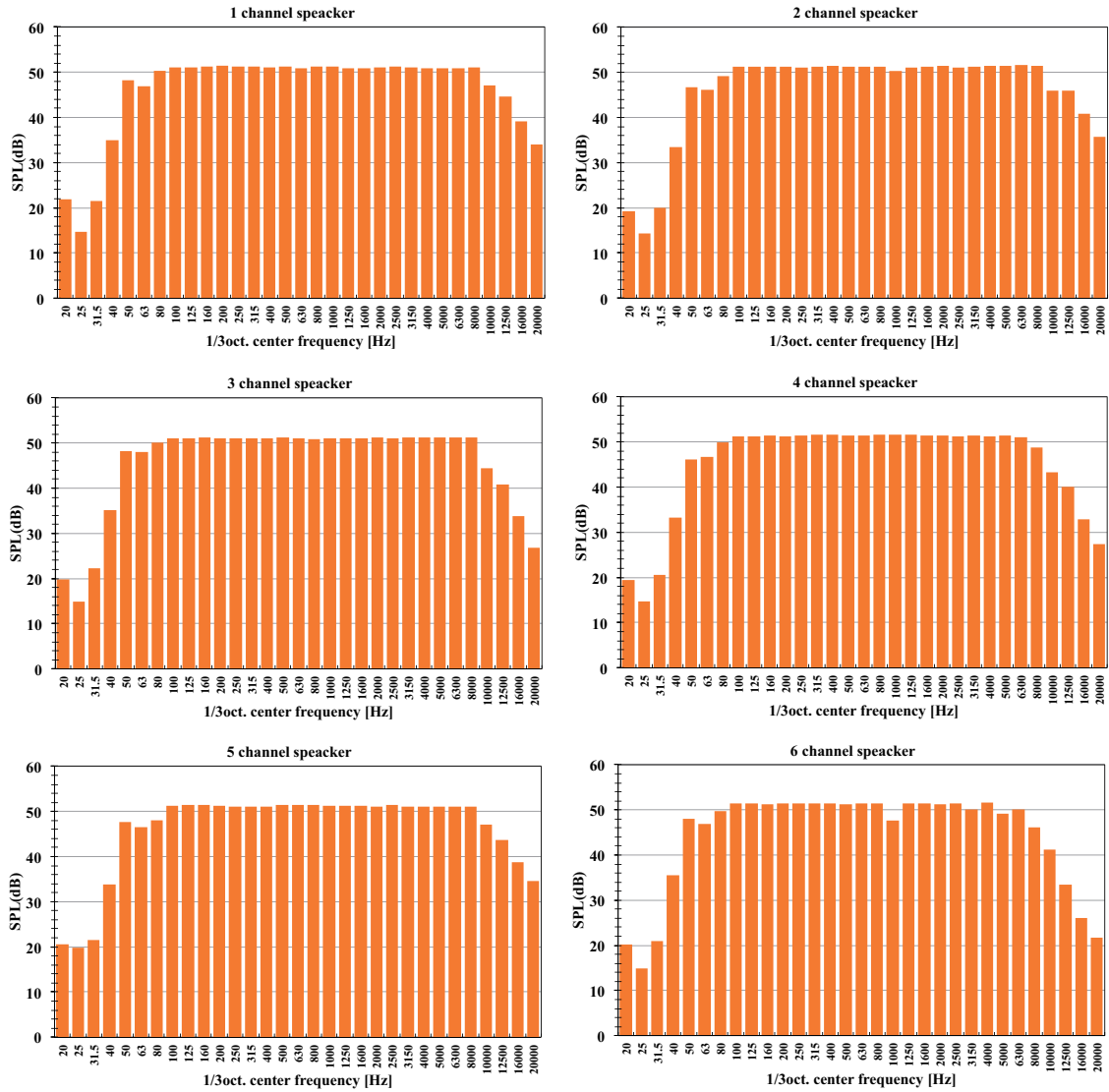


Fig. 3.5: Regenerating system correction for 6ch speaker(TANOY T12).

3.2.2 收音系の補正

次に音源を收音した 6ch マイクロフォン (schoeps MK4S) の補正を行った。

補正には拡散音場補正を用いた。拡散音場において收音を行った場合、システムが周波数特性を持たない場合にはその再生音場では入力した音の周波数特性が再現される。このことから、拡散音場が成立すると仮定されている残響室において、音源スピーカからピンクノイズを発生させ、收音系に用いたマイクロフォンシステムを通して 6 ch のデータを收音した。また、同時に無指向性マイクロフォンによる收音も行い、残響室における音場の周波数特性を把握した。收音した 6 ch のデータをそれぞれ無響室内の再生系スピーカシステムを通して再生し、再生音場の中心位置に無指向性マイクロフォンを置いて受音し、周波数特性を測定した。この特性が原音場と等しい特性にならない場合は拡散音場を原音場とした場合に、原音場と再生音場で周波数特性が一致しないこととなる。そのため、残響室と無響室に置いて測定された周波数特性の差の逆特性を用いて周波数特性の補正を行った。

上記を行うことで、收音系の特性をフラットにしたものが再生音場で再生される為、理論上実音場と同様の音場が生成される事となる。PEQ は 63~8k Hz までの 8 オクターブを設定し、Q 値を 0.7 として、大体 4 dB 位の誤差の範囲に収まるように補正を行った。以下、補正のために用いた周波数特性を Fig.3.6 に示す。

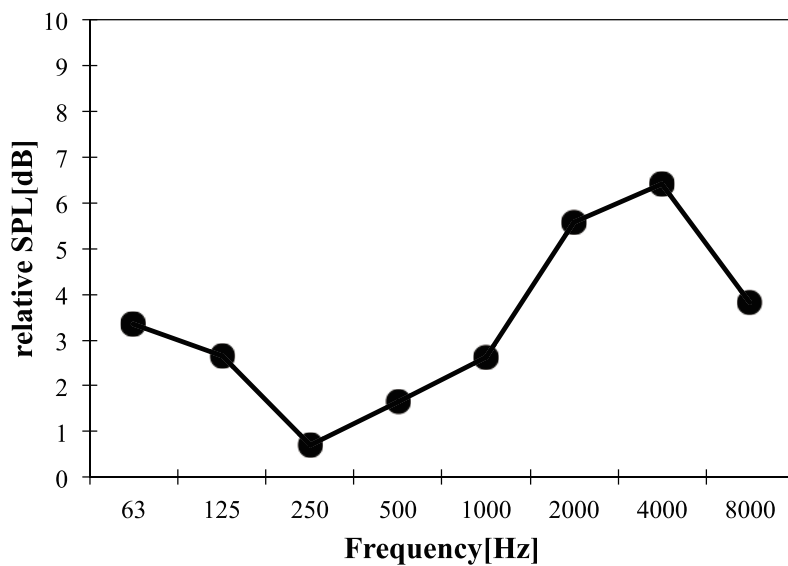


Fig. 3.6: Recording system microphone frequency characteristic correction spectrum.

第4章

主観評価実験によるピアノの音源指向性が音楽聴取へ及ぼす影響の検証

4.1 概要

第2章の音響測定による、ピアノを音源とした音圧分布、倍音分析結果を踏まえ、本章ではピアノの音源指向性がホール内の音楽聴取に及ぼす影響について、特に受聴位置・ピアノの屋根・ピアノの方向について6ch再生システムを用いた主観評価実験により検討を行う。また、下記について着目し、分析を行う。

- 各音響条件においてピアノの音源指向性がどの様に影響しているか？
- 評価傾向に個人差があるのか？同傾向なのか？
- ピアノの経験年数によって評価に差があるのか？
- ピアノの指向性の影響はどの条件対において差が大きいのか？
- ピアノの聴取条件として好ましい位置ははどこか？
- 被験者の好みは分類分け出来るか？
- 心理量と物理量との対応関係はどうなっているのか？

本実験では一対比較法による異なる条件間のピアノ演奏の聴取印象への影響検証(実験1)と、SD法による各音響条件の聴こえの好ましさをへの影響検証(実験2)の、2種類の実験を行った。前章の結果より、ピアノの音源指向性は音圧分布や倍音成分に影響があることが確認されたが、聴感印象においては微妙な差を判断する事になると推察される事から一対比較を採用し、各条件間における差を検出することを目的としている。

4.1.1 主観評価実験分析フロー

以下に実験後の分析の流れを示す。

1. 実験1の結果より音響条件・個人差・ピアノ経験の有無・曲による差の確認を分散分析によって行う。
2. 分散分析結果を基に、各条件について平均値の検定を行い、条件群毎に効果の整理を行い、ピアノの音源指向性の影響について考察を行う。また、実験中のインタビュー内容から評価傾向の考察を行う。
3. 実験2の結果より音響条件・個人差・ピアノ経験の有無・曲による差の確認を分散分析によって行う。
4. 各条件の好みの個人評点より順位付け、及び評価に用いられた評価語の割合を算出しを行い、評価傾向の確認を行う。
5. 各条件の好みの個人評点より、クラスター分析と主成分分析を行いグループ化とその傾向を分析する。
6. 実験1, 2で用いた曲の分析を行い、得られた物理量と心理量の関係を主成分分析によって明らかにする。

4.2 実験概要

2014年12月8日～14日の7日間で東京大学生産技術研究所音響実験室内の無響室にて主観評価実験を行った。無響室の寸法は6.96 m × 6.96 m × 7.00 m(H)であり、室容積は339.1 m³である。

本実験で使用したシステムをFig.4.1に示す。ピアノ演奏の聴き比べにおいては微小な差を聞き分ける事も想定されるため音楽演奏経験や、音楽に対する教養がある被験者を選定した。被験者は音響専門家、プロピアニスト、専門教育を受けている音大生を含む、10代～60代の男女20名である。ここではピアノの経験年数に着目し、ピアノの経験年数15年以上と、それ以下で分類した。(ピアノ経験年数15年以上：12名、15年未満：8名)使用楽曲は前章で録音した4曲から2曲を選択し、実験に使用した。Tab.4.1に使用した楽曲を、Fig.4.2～Fig.4.3に楽譜を示す。

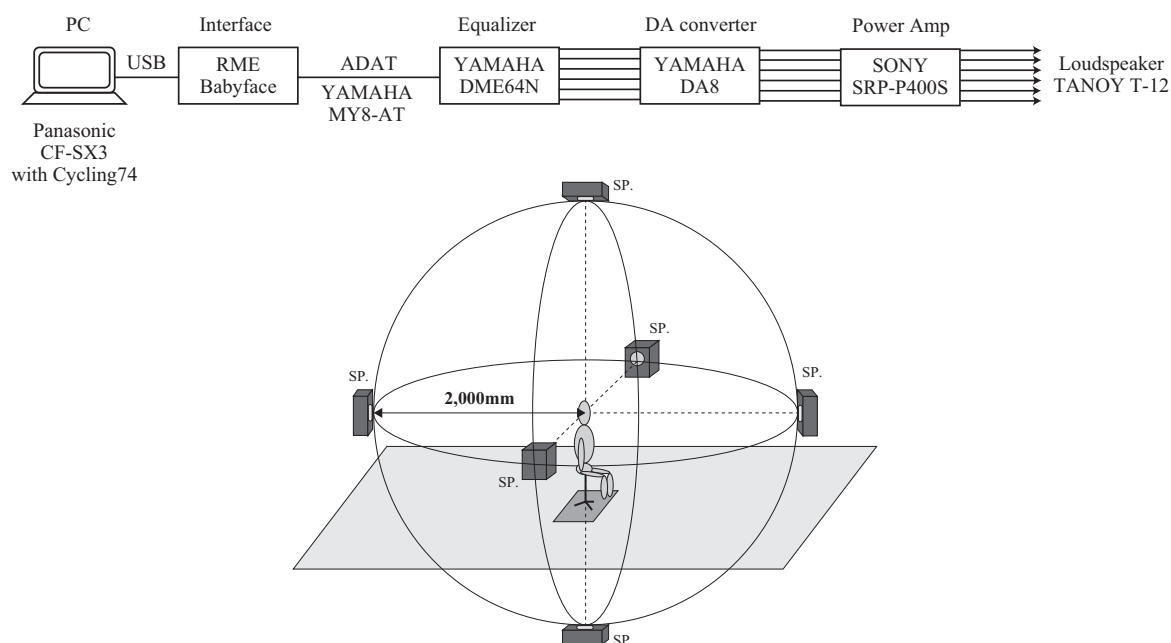


Fig. 4.1: Diagram of 6ch reproduction system (in an anechoic room).

Tab. 4.1: Music and recording range that was used in the experiments.

Music	Recording range
Beethoven : Piano Sonata No.14, Op.27 No.2 III. Presto agitato	Bar 1-14 (20sec)
Chopin : Grande Polonaise Brillante, Op.22	Bar 1-16 (30sec)

252 **Presto agitato.**

The figure shows a musical score for Beethoven's Piano Sonata No. 18, Op. 28, first movement, measures 252-266. The score is in G major, 2/4 time, and consists of five systems of grand staff notation. The tempo is "Presto agitato." The dynamics range from piano (*p*) to fortissimo (*f*). The score includes various fingerings, slurs, and articulation marks. A red arrow points to measure 252, and another red arrow points to measure 266. The word "Red." with an asterisk is written below the bass staff in several measures.

Fig. 4.2: Recording range of Beethoven.

Meno mosso. (♩ = 96.)
Solo.
sostenuto

The image displays five systems of musical notation for a recording range. Each system consists of a piano staff (left) and a vocal staff (right). The tempo is marked 'Meno mosso. (♩ = 96.)' and the piece is a 'Solo'. The first system is marked 'sostenuto'. The second system has 'p' (piano) in the piano staff. The third system has 'f' (forte) in the piano staff, 'leggiere' (light) in the vocal staff, and 'ff' (fortissimo) in the piano staff. The fourth system has 'p' in the piano staff. The fifth system has 'p' in the piano staff and the number '1131' below it. The score includes various musical notations such as notes, rests, slurs, and fingerings (e.g., 1, 2, 3, 4, 5). There are also asterisks and 'Ra' markings in the vocal staff. A red arrow points to the beginning of the first system, and another red arrow points to the end of the fifth system.

Fig. 4.3: Recording range of Chopin.

4.3 実験1：一対比較法によるピアノ演奏の聴取印象への影響検証

実験1では以下に述べる12条件について、基準条件に対して比較条件の聴感印象を評価する聴き比べ実験を2曲について行った。ホール内での演奏視聴時に、想定できる評価語を音量・音質・音源・空間の印象について2つずつ設定し、計8つの評価項目を用いた。また、実験開始時に教示文を読んでもらい、分からない点については説明を行った。評価項目及び評価尺度をTab.4.2に、実験に用いた教示文をFig.4.4示す。

本実験では、実験の操作を被験者が行う事から、Cycling 74社のMax6を使用した。Maxはプログラミング言語であり、音響から映像作品までインタラクティブなメディアを創ることが出来、使いやすいユーザーインターフェイスであることから、メディアアートや作曲、ネットワーク作品等の分野で広く使用されているソフトウェアである。

被験者は無響室内でPCを操作し、各条件について聴き比べを行い、画面上でスケールバーを動かし回答をした。回答終了後、各条件についての総合的な印象や、違いについてインタビューを行った。以下Fig.4.6～Fig.4.5に実験で使用した操作画面及び、実験の様子を示す。

Tab. 4.2: Evaluation items and rating scales used in the experiments.

区分	評価項目	略称	評価尺度						
			-3	-2	-1	0	1	2	3
			非常に	かなり	やや	同じ	やや	かなり	非常に
A. 音量	全体の音量	A1		小さい		⇔		大きい	
	音量のバランス	A2		低音寄り		⇔		高音寄り	
B. 音質	音の粒立ち	B1		ぼんやり		⇔		はっきり	
	音色(柔らかさ)	B2		硬い		⇔		柔らかい	
C. 音源	音源の大きさ	C1		小さい		⇔		大きい	
	音源までの距離	C2		近い		⇔		遠い	
D. 空間	残響感	D1		残響感がない		⇔		残響感がある	
	音に包まれた感じ	D2		包まれていない		⇔		包まっている	
	好ましさ			嫌い		どちらでもない		好き	

評価項目

音量について

- 『全体の音量』 : 演奏の音量が大きい小さいか
『音量のバランス』 : 演奏音の低音と高音のバランスがどの様に聴こえるか

音質について

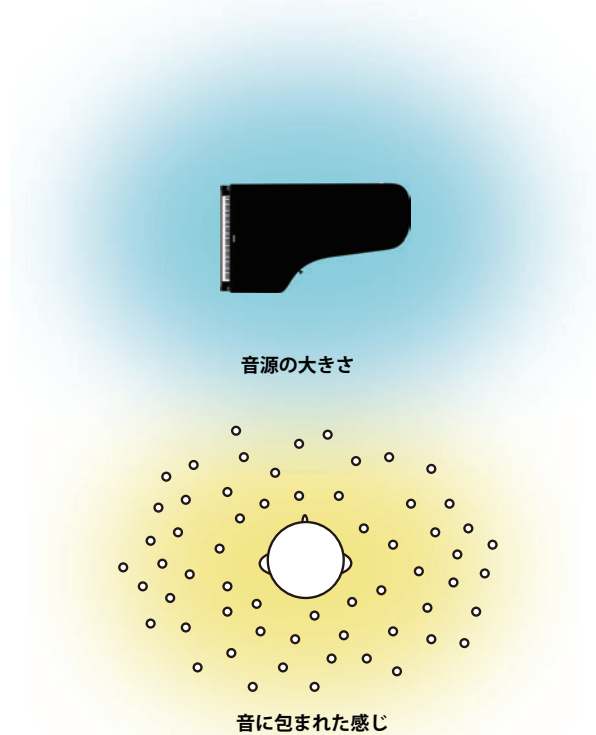
- 『音の粒立ち』 : 打鍵音が一つ一つ明瞭に粒立って聴こえるかどうか
『音色』 : 演奏音が柔らかいかどうか

音源について

- 『音源の大きさ』 : ピアノの音源の大きさがどうか
『音源までの距離』 : ピアノまでの距離が近い遠いか

空間について

- 『残響感』 : 空間が響いていると感じるか
『音に包まれた感じ』 : 自分が音につつまれているか



図：『音源の大きさ』と『音に包まれた感じ』のイメージ

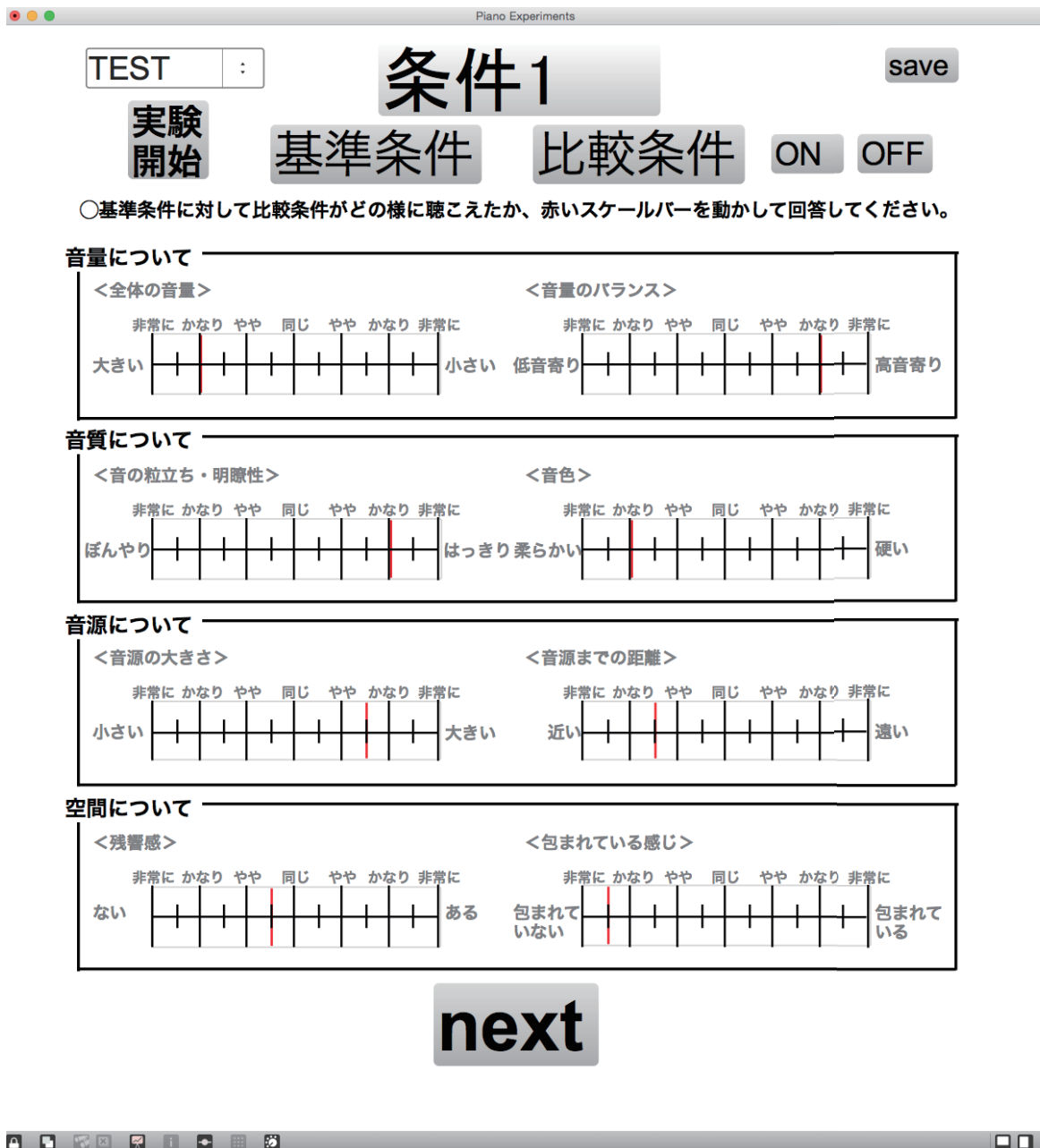


Fig. 4.5: Operation screen of the listening compared experiment.

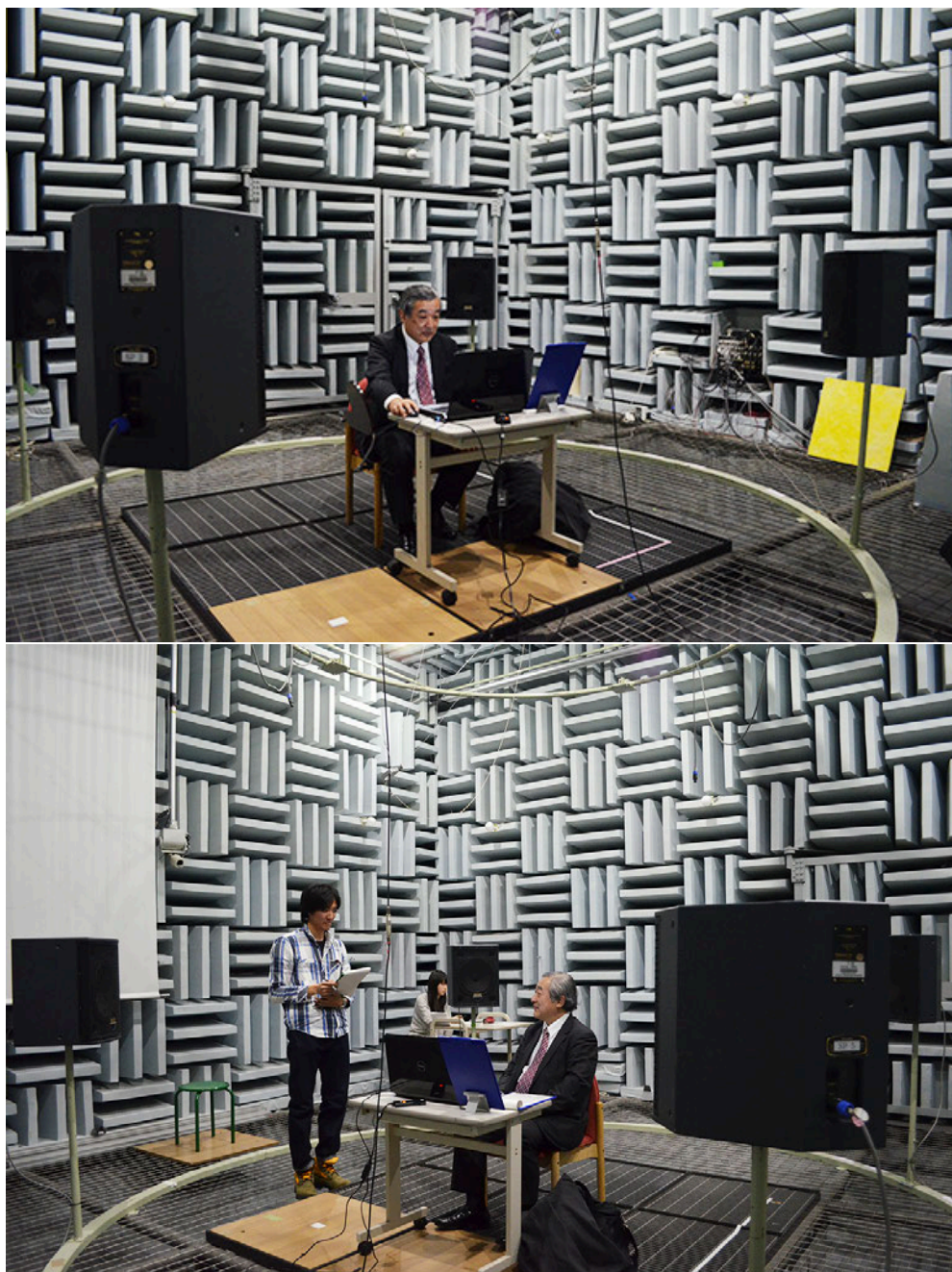


Fig. 4.6: Appearance of subjective evaluation experiments in an anechoic room.

4.3.1 条件設定

前章の結果を考慮して以下の12対の条件を設定した。Fig.4.7～Fig.4.9に実験に使用する条件対とその図を示す。1と2はそれぞれ高音域の指向性が強い上手側と、指向性が弱い下手側の比較として、受音点方位の影響について検討を行う条件として設定した。3～5は各位置における受音点高さの影響を、6～8は正面上手側の指向性がピアノを30°回転させる事で各位置に及ぼす影響を、9～12はピアノの屋根の影響についてを検討するために、正面と背面における屋根有無をパラメータとした条件対を設定した。なお、低所においては各点で音源から8mの等距離となっているが、高所においては音源から約9mの位置となっており、1mほど遠くなっていることに注意されたい。本来はこれらの条件を用いて実験を行う予定であったが、実験準備時のトラブルにより、エンドステージ型の条件がセンターステージ型の条件に置き換わり、上手と正面の音源データが同一となってしまったためFig.4.10～Fig.4.12の条件で実験を行った。Tab.4.3に変更前と変更後の実験条件を示す。

Tab. 4.3: Conditions pairs used in the experiments:(a)before,(b)after.

(a)

Variable factor	No.	Reference	Target
Orientation(Rec.)	1	Rc3	Re2
	2	Rc3	Rc4
Height(Rec.)	3	Re2	Re2(High)
	4	Rc3	Rc3(High)
	5	Rc4	Rc4(High)
Rotation(pf.)	6	Re3	Re2(Rot)
	7	Re4	Re3(Rot)
	8	Re5	Re4(Rot)
Lid(pf.)	9	Rc3	Rc1
	10	Rc3(w/oLid)	Rc1(w/oLid)
	11	Rc1	Rc1(w/oLid)
	12	Rc3	Rc3(w/oLid)

(b)

Variable factor	No.	Reference	Target
Orientation(Rec.)	1	Rc3	Rc2(High)
	2	Rc3	Rc4
Height(Rec.)	3	Rc3	Rc3(High)
	4	Rc4	Rc4(High)
	5	Re2	Re2(Rot)
Rotation(Pf.)	6	Re3	Re3(Rot)
	7	Re4	Re4(Rot)
	8	Rc3	Rc1
Lid(Pf.)	9	Rc3(w/oLid)	Rc1(w/oLid)
	10	Rc1	Rc1(w/oLid)
	11	Rc3	Rc3(w/oLid)

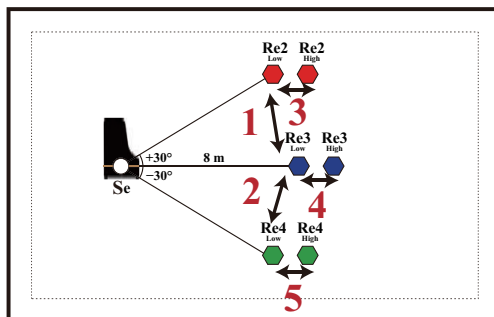


Fig. 4.7: Conditions pairs were used for the subjective evaluation experiment: difference of left and right, difference of up and down.

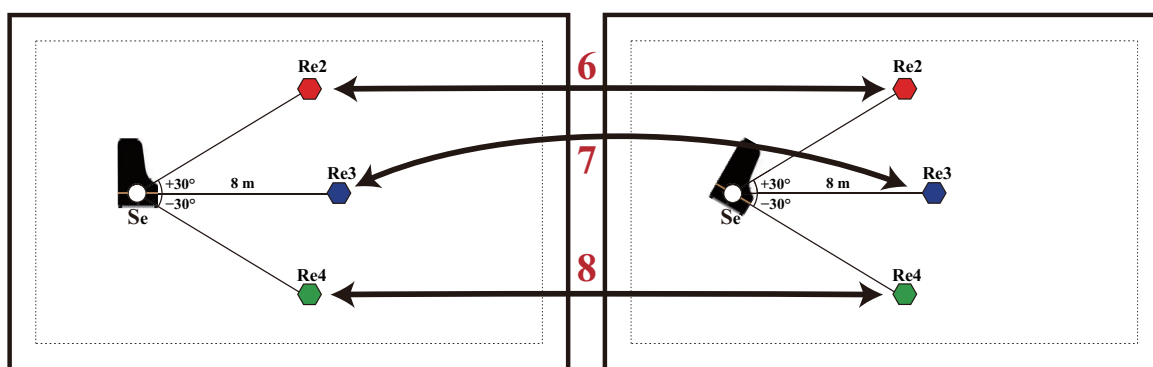


Fig. 4.8: Conditions pairs were used for the subjective evaluation experiment: effects of rotation of the piano.

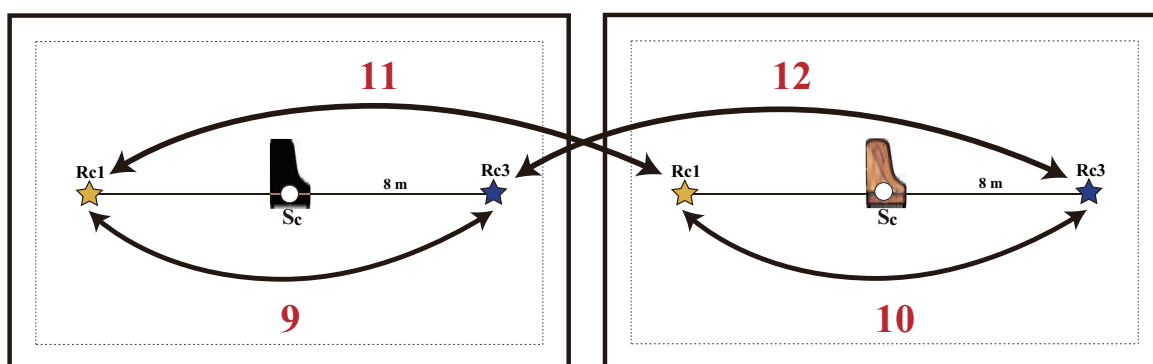


Fig. 4.9: Conditions pairs were used for the subjective evaluation experiment: effects of lid of the piano.

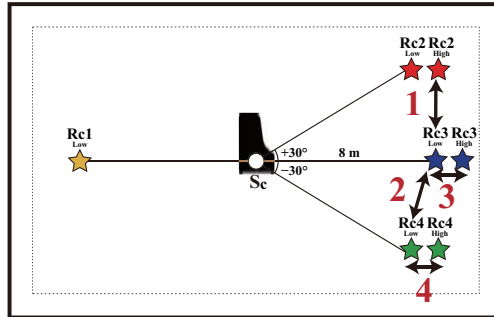


Fig. 4.10: Conditions pairs were used for the subjective evaluation experiment: difference of left and right, difference of up and down.

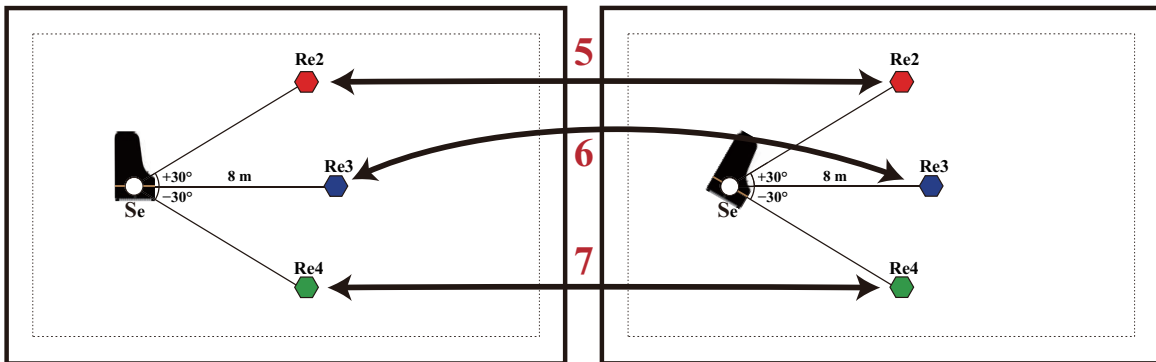


Fig. 4.11: Conditions pairs were used for the subjective evaluation experiment: effects of rotation of the piano.

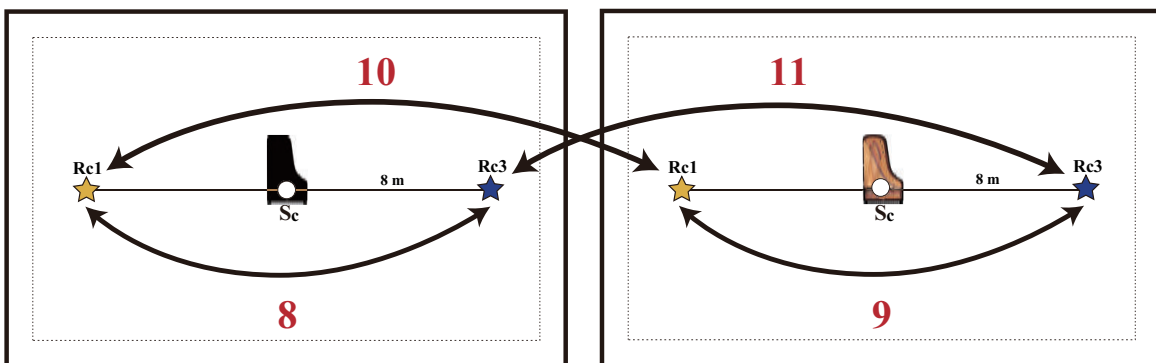


Fig. 4.12: Conditions pairs were used for the subjective evaluation experiment: effects of lid of the piano.

4.3.2 一対比較の全体的な影響確認

実験によって得られた回答を用いて、前述した評価項目 (Tab.4.2) について、まず始めに音響条件・被験者間の個人差・ピアノの演奏経験年数・曲を要因とした多元及び二元配置分散分析を行い、各要因の検定を行った。分散分析を行う目的は各要因毎の有意差についてを調べている。主効果の検定結果を Tab.4.4, Tab.4.5 に示す。

Tab. 4.4: factorial ANOVA results.

	全体の音量	音量のバランス	音の粒立ち	音色(柔らかさ)	音源の大きさ	音源までの距離	残響感	音に包まれた感じ
音響条件	**	**	**	**	**	**	**	**
被験者	**	**			**	*		**
曲	*	**	**	*	*		*	*
音響条件×曲	**					**	**	

**p<0.01, *p<0.05

Tab. 4.5: 2-way ANOVA results.

	全体の音量	音量のバランス	音の粒立ち	音色(柔らかさ)	音源の大きさ	音源までの距離	残響感	音に包まれた感じ
音響条件	**	**	**	**	*	**	**	**
ピアノ経験有無								
音響条件×ピアノ経験有無								

**p<0.01, *p<0.05

音響条件・個人差・曲の影響確認

Tab.4.4 より、音響条件においては全ての項目で主効果が得られた。個人差については音量や音源、空間に関する評価項目に関しては個人差が認められるものの、音質に関する項目では個人差が認められなかったため、この項目について被験者は共通の評価をしていると考えられる。なお、曲による差は音源までの距離以外の全ての項目で主効果が認められた。

ピアノ経験年数の影響確認

Tab.4.5 より、被験者間の個人差が認められたため、ピアノの経験年数と音響条件の検定を行った。音響条件については再確認となるが、全ての項目で主効果が認められた。また、ピアノの演奏経験の有無については主効果が認められなかった。

これらの結果を踏まえ、以降では曲による差を考慮して分析を進めていく。

4.3.3 一対比較の評価傾向の確認

評価項目間の相関

まず評価項目間の相関を確認することで、全体の評価傾向の把握をする。8つの評価項目の平均評点を用いて、評価語間の相関係数を算出した。結果を Tab.4.6 に示す。全体の傾向としては、「全体の音量・音量のバランス・音の粒立ち・音源の大きさ」の4項目(グループ1)と「音色(柔らかさ)・音源までの距離・残響感・音に包まれた感じ」の4項目(グループ2)が負の相関が得られていることから、2つのグループに分けることが出来ると考えられる。また、曲毎の相関係数からも同様の傾向が得られた(Tab.4.7,4.8)。今回、音源の大きさを評価項目として設定しており、ASW とほぼ同義として用いている。ASW は音圧レベルが大きくなるほど ASW が大きくなるとの報告がある [26][27]。実際の物理量との対応関係については第 5 章にて考察を行うが、心理量の中では概ね傾向が一致していると考えられる。

Tab. 4.6: Correlation matrix of evaluation items.

評価項目	全体の音量	音量のバランス	音の粒立ち	音色(柔らかさ)	音源の大きさ	音源までの距離	残響感	音に包まれた感じ
全体の音量		0.68	0.93	-0.93	0.90	-0.93	-0.92	-0.79
音量のバランス			0.74	-0.81	0.69	-0.75	-0.81	-0.67
音の粒立ち				-0.96	0.89	-0.98	-0.96	-0.85
音色(柔らかさ)					-0.85	0.97	0.97	0.87
音源の大きさ						-0.90	-0.83	-0.70
音源までの距離							0.97	0.89
残響感								0.92
音に包まれた感じ								
相関係数 $r =$					0.0-0.5	0.5-0.7	0.7-0.9	0.9-1.0
					0.0-0.5	-0.5-0.7	-0.7-0.9	-0.9-1.0

Tab. 4.7: Correlation matrix of evaluation items: Beethoven.

評価項目	全体の音量	音量のバランス	音の粒立ち	音色(柔らかさ)	音源の大きさ	音源までの距離	残響感	音に包まれた感じ
全体の音量		0.55	0.80	-0.80	0.80	-0.86	-0.67	-0.51
音量のバランス			0.80	-0.74	0.81	-0.71	-0.75	-0.48
音の粒立ち				-0.94	0.81	-0.91	-0.91	-0.70
音色(柔らかさ)					-0.89	0.97	0.88	0.70
音源の大きさ						-0.93	-0.83	-0.61
音源までの距離							0.89	0.73
残響感								0.87
音に包まれた感じ								
相関係数 $r =$					0.0-0.5	0.5-0.7	0.7-0.9	0.9-1.0
					0.0-0.5	-0.5-0.7	-0.7-0.9	-0.9-1.0

Tab. 4.8: Correlation matrix of evaluation items: Chopin.

評価項目	全体の音量	音量のバランス	音の粒立ち	音色(柔らかさ)	音源の大きさ	音源までの距離	残響感	音に包まれた感じ
全体の音量		0.45	0.96	-0.90	0.81	-0.94	-0.92	-0.82
音量のバランス			0.50	-0.74	0.01	-0.50	-0.60	-0.51
音の粒立ち				-0.94	0.76	-0.99	-0.95	-0.87
音色(柔らかさ)					-0.57	0.92	0.96	0.88
音源の大きさ						-0.74	-0.61	-0.59
音源までの距離							0.91	0.84
残響感								0.94
音に包まれた感じ								
相関係数 $r =$					0.0-0.5	0.5-0.7	0.7-0.9	0.9-1.0
					0.0-0.5	-0.5-0.7	-0.7-0.9	-0.9-1.0

平均値の検定結果

次に、各条件における評価傾向の把握を、被験者20名の個人評点を用いて、仮説平均を0とした時の平均値の検定(t検定)によって行った。表中、有意差が検出された条件対を平均値の正負で色分けを行った。評価に顕著な差が現れたNo.8,11では両曲で同様の傾向となったが、全体的にショパンで有意差が多く検出された。このことから本実験においてはショパンの方が条件の影響を受け易いと考えられる。全体の傾向としては、ショパンのNo.2、No.6,7、No.8,10,11において有意差が多く検出されていることから、下手側の条件、及びピアノの回転や、屋根の影響が比較的大きい事が推察される。Tab.4.9に各条件の検定結果と平均値を、Fig.4.13～Fig.4.20に評価項目毎の各音場の被験者平均値と標準偏差及び検定結果を示す。

Tab. 4.9: Results of t-test for mean values.

曲	区分	評価尺度	平均値										
			受音点方位		受音点高さ		ピアノ回転			ピアノ屋根			
			No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9	No.10	No.11
Beethoven	音量	全体の音量	-0.15	-0.38	-0.30	-0.15	-0.58	-0.03	0.38	-0.55	0.60	0.28	-1.00
		音量のバランス	-0.30	-0.88	-0.60	0.05	0.08	-0.58	0.40	-0.88	-0.43	0.40	-0.85
	音質	音の粒立ち	0.43	-0.78	-0.53	0.40	-0.30	-0.20	0.83	-1.78	0.15	0.38	-1.83
		音色(柔らかさ)	0.38	0.55	0.63	-0.05	0.35	0.08	-0.48	1.55	0.00	0.15	1.43
	音源	音源の大きさ	-0.28	-0.20	-0.15	-0.05	-0.03	-0.08	0.25	-0.48	0.10	0.18	-0.38
		音源までの距離	0.33	0.23	0.35	0.05	0.25	-0.20	-1.15	1.78	-0.50	-0.45	1.70
	空間	残響感	-0.13	0.18	-0.05	-0.08	-0.05	0.03	-0.35	1.38	0.05	-0.55	0.98
		音に包まれた感じ	-0.08	-0.28	0.03	-0.05	0.25	-0.13	-0.05	0.83	0.20	-0.45	0.48
Chopin	音量	全体の音量	0.23	-0.85	-0.15	0.30	0.23	0.43	1.00	-0.85	0.35	0.20	-1.10
		音量のバランス	-0.45	-0.40	0.00	0.08	0.20	0.28	0.15	-0.65	0.25	0.73	0.20
	音質	音の粒立ち	0.70	-0.73	-0.45	0.83	0.48	0.90	1.53	-1.58	0.53	0.65	-1.23
		音色(柔らかさ)	0.23	1.08	0.70	-0.23	0.05	-0.40	-0.60	1.43	-0.25	-0.48	0.80
	音源	音源の大きさ	0.45	-0.1	-0.10	0.05	0.43	0.08	0.63	-0.03	0.20	0.08	-0.48
		音源までの距離	-0.75	1.03	0.45	-0.45	-0.25	-0.58	-1.35	1.95	-0.15	-0.48	1.23
	空間	残響感	0.30	1.20	0.88	-0.28	0.55	-0.63	-0.85	1.58	-0.05	-0.50	1.53
		音に包まれた感じ	0.18	0.60	0.90	0.23	0.55	-0.45	-0.58	0.93	0.15	-0.25	0.85

網掛け部p<0.05,太字p<0.01

A1. Overall volume

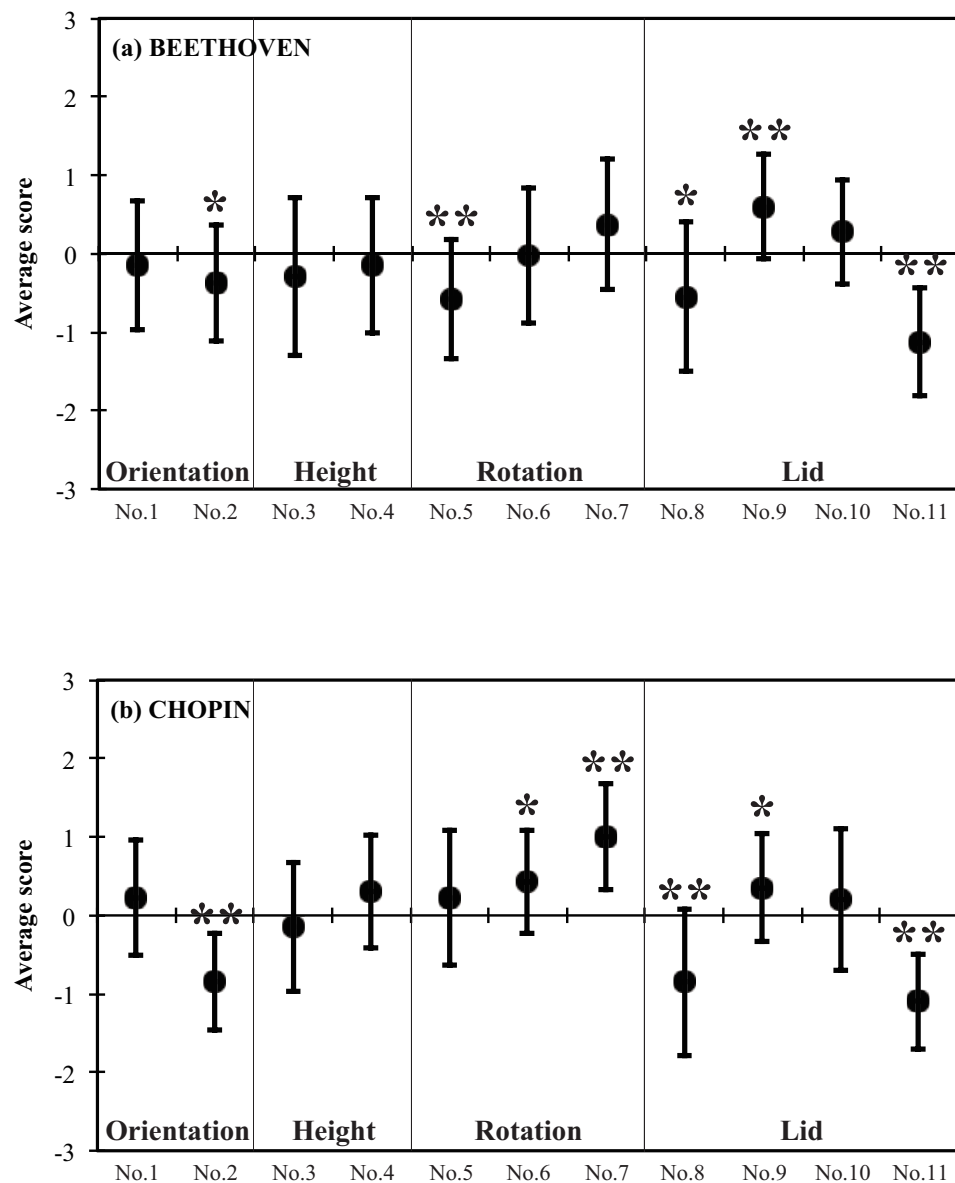


Fig. 4.13: Mean value of overall volume:(i) Orientation,(ii) Height,(iii) Rotation,(iv) Lid (**:p < 0.01, *:p < 0.05).

A2. Blance of volume

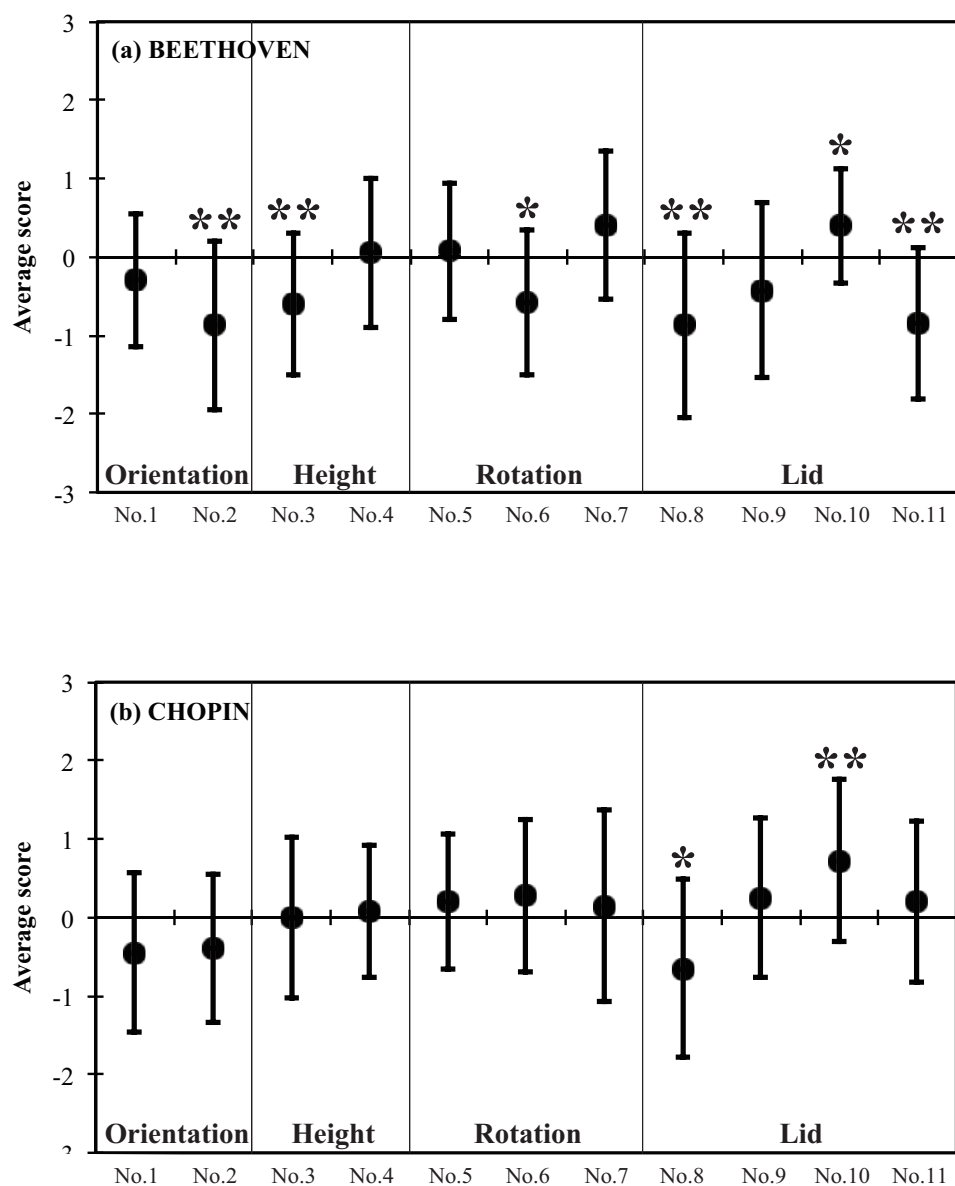


Fig. 4.14: Mean value of balance of volume:(i) Orientation,(ii) Height,(iii) Rotation,(iv) Lid (**:p < 0.01, *:p < 0.05).

B1. Clarity of sound

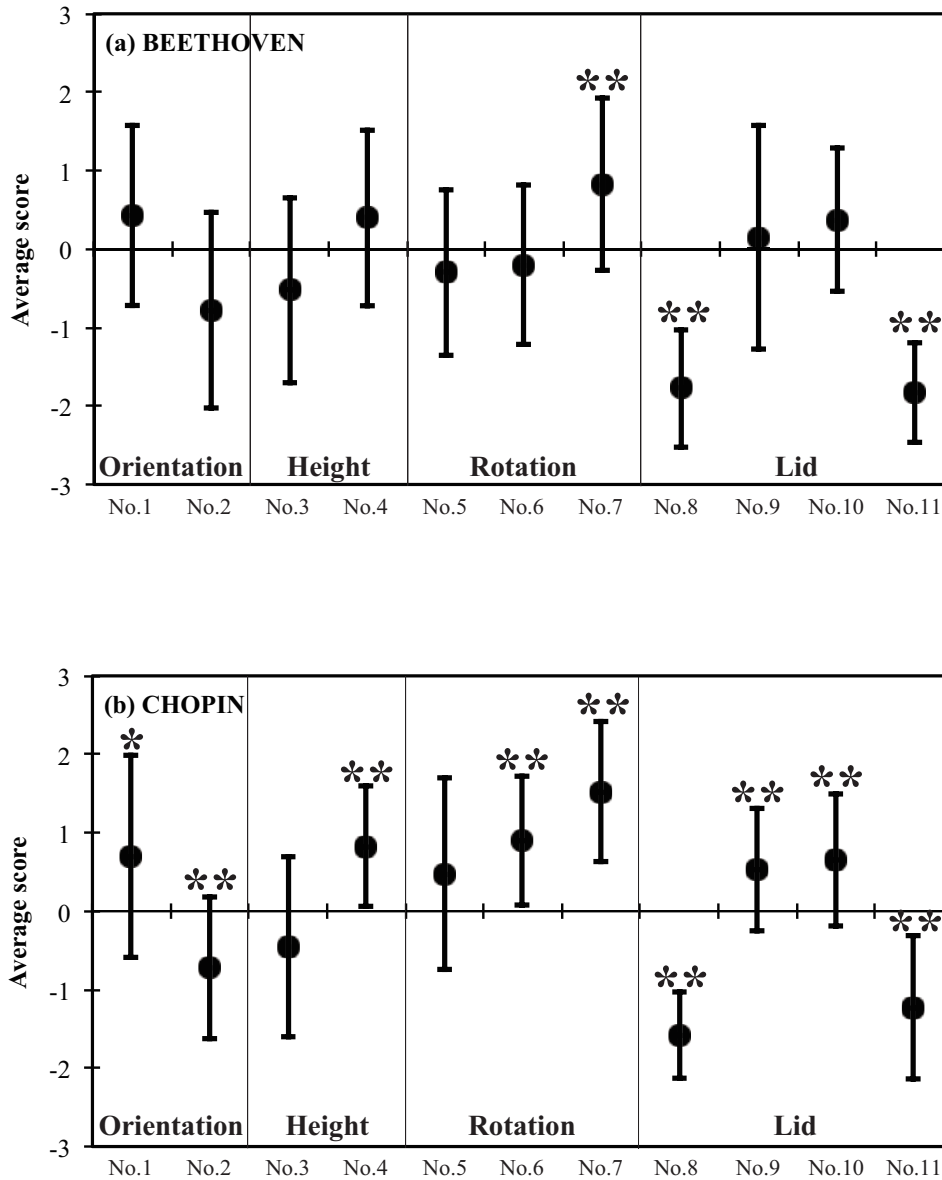


Fig. 4.15: Mean value of clarity of sound:(i) Orientation,(ii) Height,(iii) Rotation,(iv) Lid (**:p < 0.01, *:p < 0.05).

B2. Tone(softness)

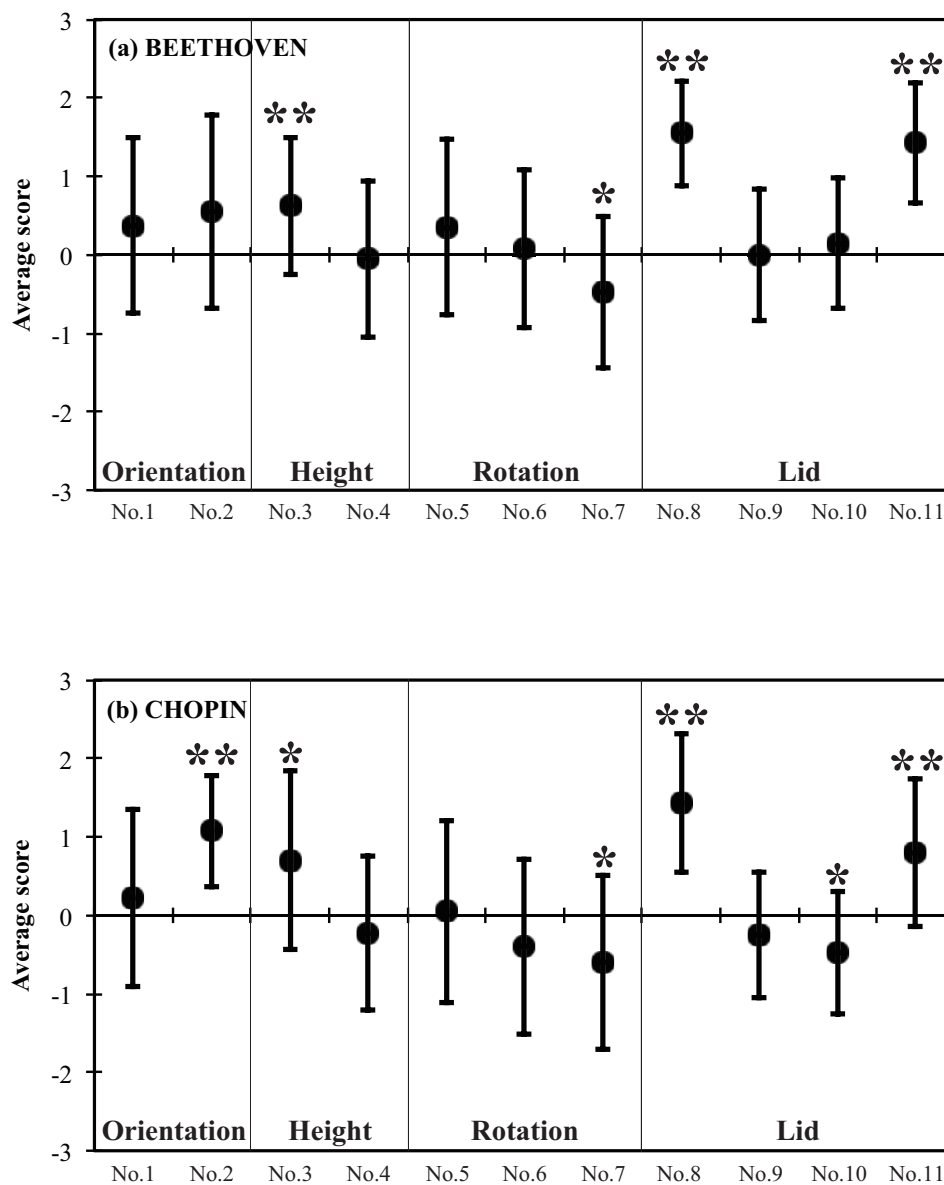


Fig. 4.16: Mean value of tone(softness):(i) Orientation,(ii) Height,(iii) Rotation,(iv) Lid (**:p < 0.01, *:p < 0.05).

C1. Size of the sound source

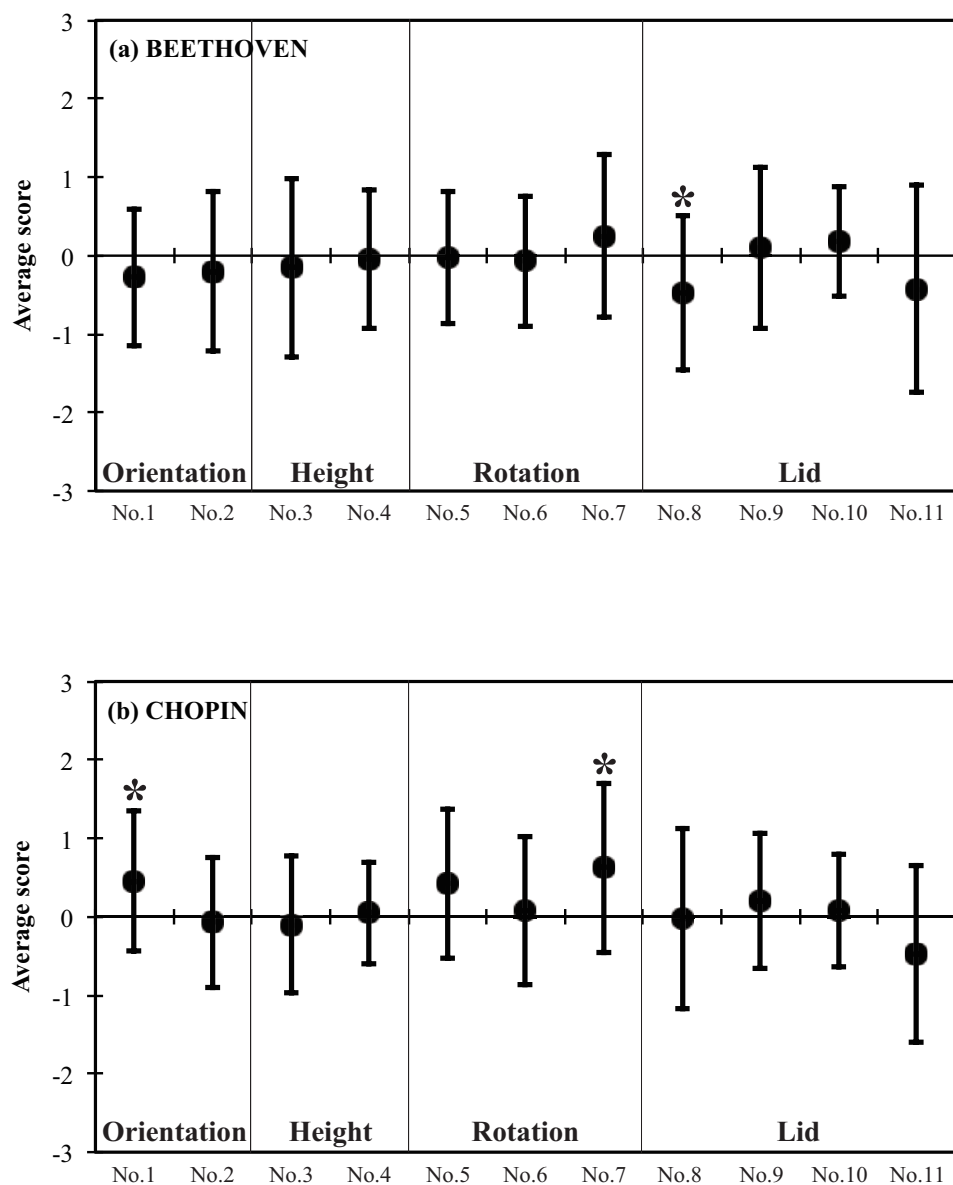


Fig. 4.17: Mean value of size of the sound source:(i) Orientation,(ii) Height,(iii) Rotation,(iv) Lid (**:p < 0.01, *:p < 0.05).

C2. Distance to the sound source

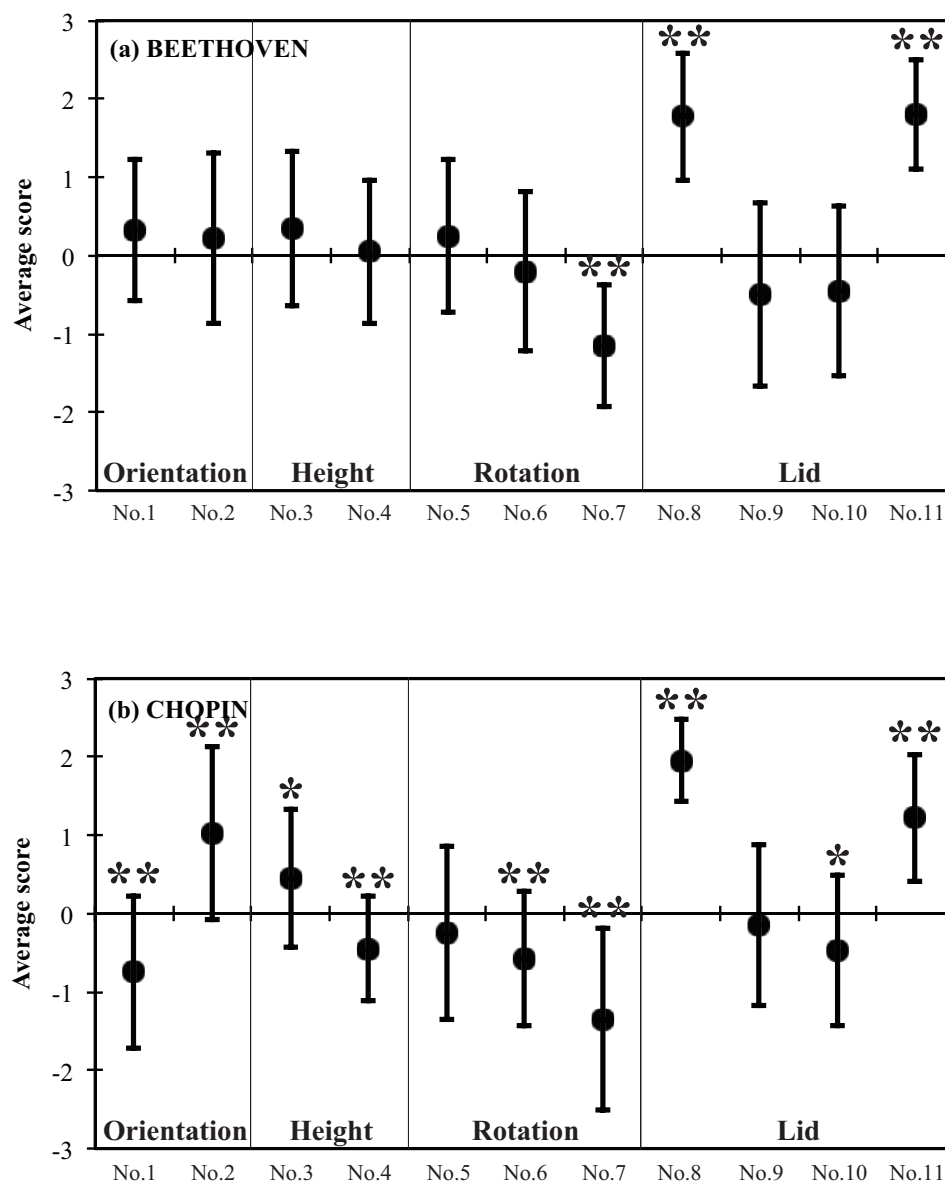


Fig. 4.18: Mean value of distance to the sound source:(i) Orientation,(ii) Height,(iii) Rotation,(iv) Lid (**:p < 0.01, *:p < 0.05).

D1. Reverberation

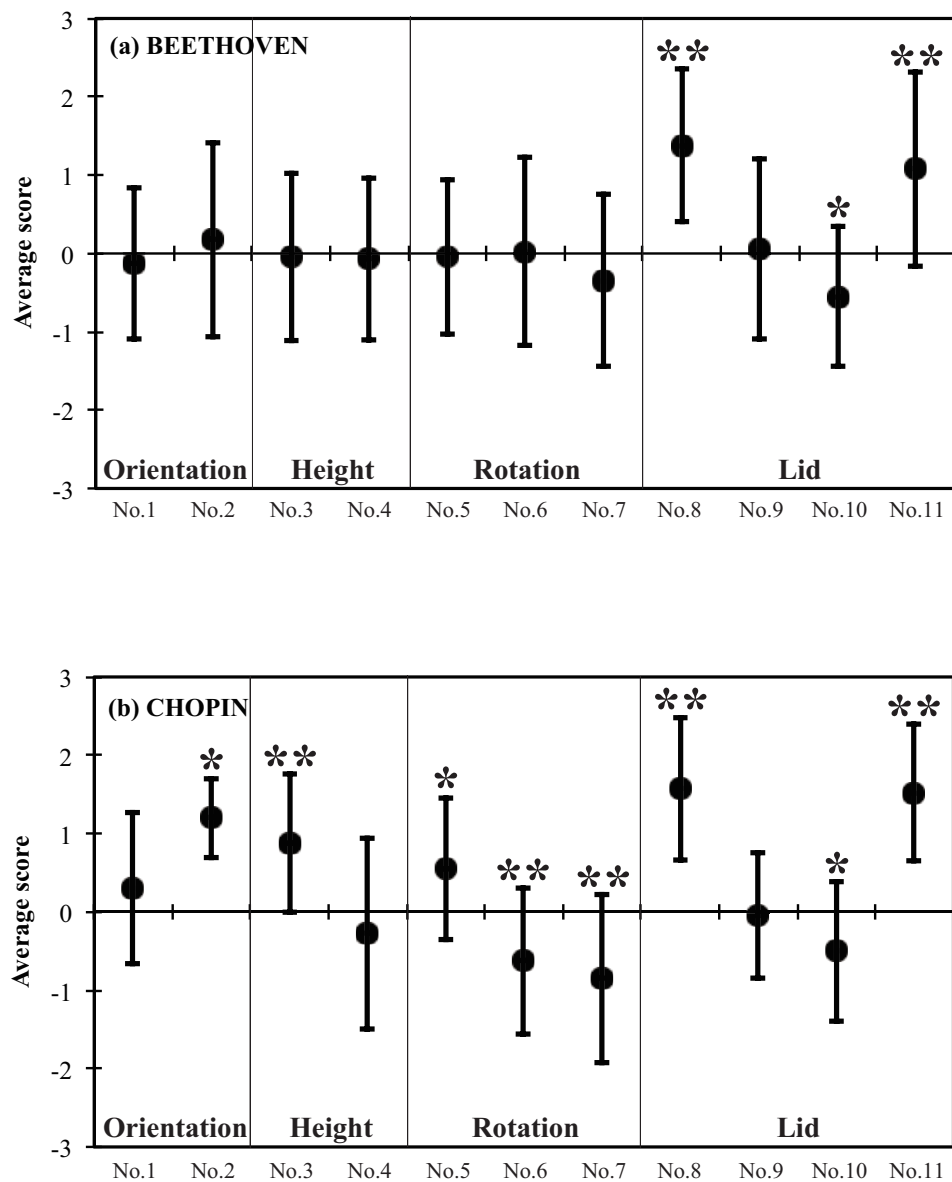


Fig. 4.19: Mean value of reverberation:(i) Orientation,(ii) Height,(iii) Rotation,(iv) Lid (**:p < 0.01, *:p < 0.05).

D2. Listener envelopment(LEV)

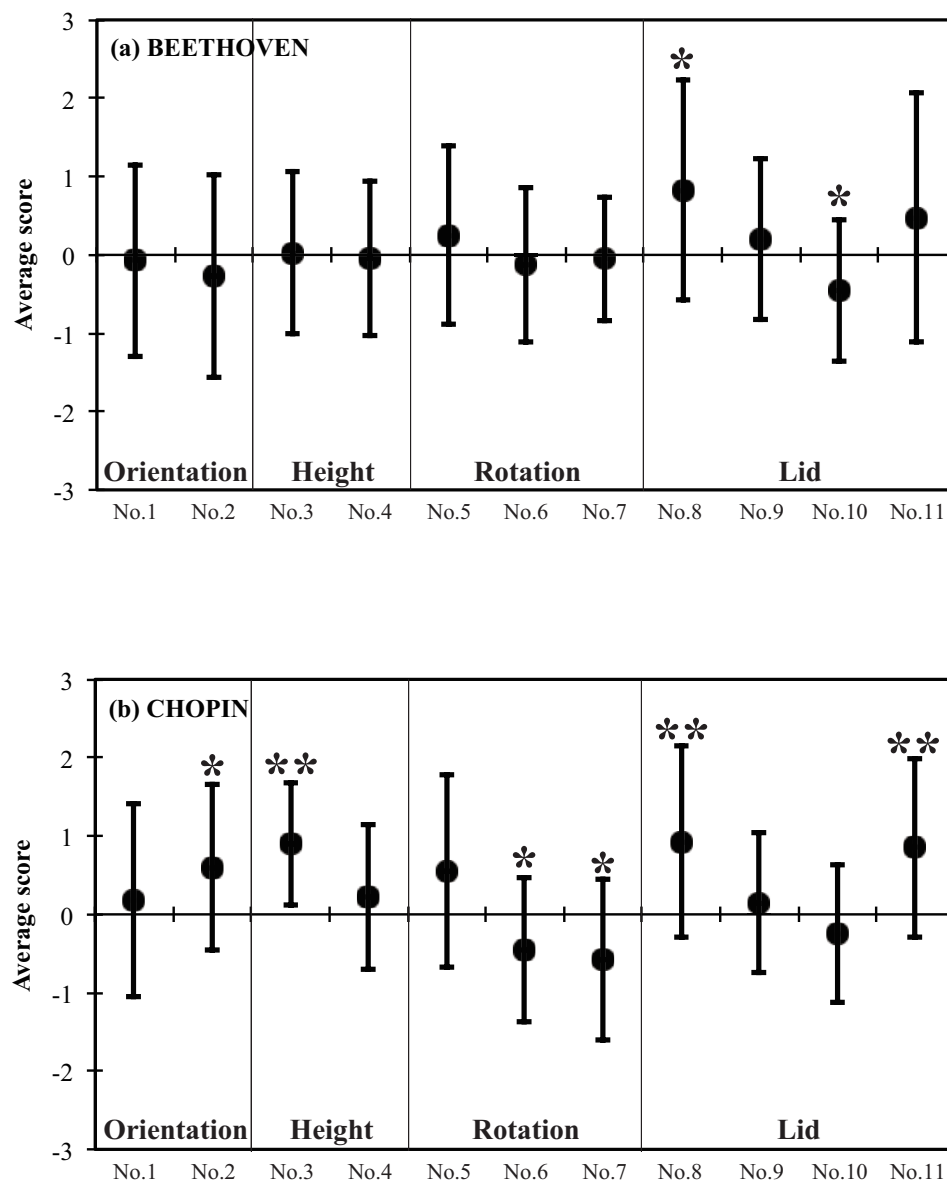


Fig. 4.20: Mean value of Listener envelopment(LEV):(i) Orientation,(ii) Height,(iii) Rotation,(iv) Lid (**:p < 0.01, *:p < 0.05).

受音点方位の影響

高音域の指向性が強い上手高所においては音の粒立ちがはっきりし、音源の大きさが大きくなると評価されており、距離が離れているにも関わらず、音源までの距離が近くなると感じている。対照的に、指向性が弱い下手側においては音量感の低下とともに逆評価となり、柔らかさ・残響感・包まれている感じは大きく上昇している。

受音点高さの影響

正面高所においては音色が柔らかさ・残響感・包まれている感じが上昇し、距離が遠くなると評価されている。対照的に下手高所においては No.2 で低評価の低所よりも音の粒立ちがはっきりし、距離が近くなると感じている。下手高所においては後壁や側壁からの反射音だけでなく、天井からの反射音の影響により音が補強されこの様な結果となったと考えられる。

ピアノ回転の影響

回転の影響は全体的に上手で小さく、正面と下手で大きい。上手はピアノの回転の影響により、全体の音量が小さくなり残響感が増すと評価されている。また、その他の項目について有意差が得られていないことから、指向性の強度の変化量は小さいと推察される。正面と下手においては指向性の強度が増すことで、音の粒立ちがはっきりし、距離が近くなると評価されている。また、残響感や音に包まれた感じの空間印象に関する評価が小さくなる傾向であった。特に下手においては No.2 と明確に逆傾向にあり、回転より指向性が強まることで正対時正面の印象に近づいたものと考えられる。

ピアノ屋根の影響

屋根あり (No.8) の正面に対する背面は全ての項目について有意差が得られており、変化量が大いことが推察される。指向性の明らかな影響として、距離感が大幅に遠くなるとともに、音量感・音量のバランスや音の粒立ちが低下しており、音源が小さく感じている。また、柔らかさ・残響感・音に包まれている感じも大きく上昇している。一方で、屋根を外すことにより (No.9)、正面と背面の差は小さくなり、むしろ背面では全体の音量や、音の粒立ちが上昇している。背面 (No.10) では屋根を外すことで音のバランスが高音寄りになり、粒立ちがはっきりし距離が近くなると感じている。対照的に正面においては屋根を外すことで No.8 と同傾向にあり、音量が小さくなり、粒立ちが悪くなる評価傾向となった。この事から屋根あり背面の印象に近づくことが示唆される。屋根の影響としては、正面と背面において差が大きく、屋根を外すことでその偏差が緩和する事が確認された。また、背面においては屋根を外すことで音量が大きく、粒立ちが良くなり、正面においては屋根を外すことで逆の傾向を示すことが確認された。

4.3.4 インタビュー内容による考察

次に、一対比較実験中に行ったインタビュー内容をPCMレコーダにて録音し、各被験者の評価傾向の分析を行った。ここでは被験者何名かの回答を抜粋して考察を行う。インタビュー内容の詳細は付録を参照されたい。先ほどの平均値の検定結果と合わせて考察を行う。

受音点方位の影響

No.1の正面と上手高所の比較においては、評価傾向にバラつきはあるものの、全体の傾向としては差が小さく似たような印象である回答が得られた。また、比較の音源の方が、距離が近くなった・はっきり聴こえる・明瞭性がはっきりするといった、音源の距離が近くなり、粒立ちが良くなったと評価する傾向にある事が推察される。また、高所の条件である事から、一部の被験者はあまり聴いたことのない音・バランス感との指摘が得られた (Tab.4.10)。

Tab. 4.10: Result of interview (Condition: No.1).

No.1	BEETHOVEN	CHOPIN
2人目	基準はよく聞いたことのある音。比較はあんまり聞いたことのない音で、正面ではないみたい。	特になし
15人目	比較はすごく近くでとったものを足している様な感じ。打鍵の音がより聞こえるけど、すぐそばで聞いている印象ではないので両方混ぜたような印象。	比較はあまり聞いたことのないバランス感で、変な感じがする。
17人目	はっきりしていて聞きやすい感じ。	ほとんど差がなかった。
18人目	比較は全体的にちょっと控えめな感じ。	音の粒立ちがはっきりしている。
20人目	比較の方が最初の一発目の低音の響きが豊か。明瞭性がかなりはっきりして、音色が若干硬くなった。	比較の方が近づいてははっきりした。明瞭性はすごく良くなり、低音側が強調されているので若干低音寄り。真ん中の音がすごい持ち上げられ、低音の響きはすごい暗い。

No.2の正面と下手の比較においては、下手の方がぼやけている・粒立ちが悪い等の明瞭性の低下を指摘する回答や、残響感や包まれ感が増加するといった空間印象の違いを指摘している。また、正面の方がポジティブな評価が得られている。先ほどの平均値の検定結果とも傾向は一致しており、高音域の指向性が強い上手側では音の粒立ちが良くなると感じており、下手側においては逆傾向となることが推察される (Tab.4.11)。

Tab. 4.11: Result of interview (Condition: No.2).

No.2	BEETHOVEN	CHOPIN
3人目	基準比較とも、ぐわーんとかなりぼやけて、上にいっている。音源が定まらず、もわっと広がっている。	比較は少し遠くなくてもやっとして、小さくなった感じ。
4人目	だいぶ差がある。比較はずいぶんぼやけている。	音色は相当変わっている。比較の方が若干響きの余韻が長く、少しぼんやりして低音がちで音量的にも少し落ちている。
7人目	比較は遠く感じてぼやけている。	比較は遠くて柔らかめな印象。
16人目	基準のlowが全然なっていないので比較はlowがなっている様に感じる。基準と比較で、音に包まれた感じが異なる。基準は近くてくっきりきゅっとしている。比較は遠く全体的にふわっとしている。	シンセサイザーだと、2割くらいホンキートンクを足すとこんな音になる。基準はショパン向きではない気がする。比較の方が落ち着いてまるやかで優しく、優等生な印象。
20人目	低音がすごく持ち上がっているの、明瞭性がかなり落ちている。低音側がブーストされている感じに聞こえるので、音量が若干大きくなった。遠くの方から聞こえてきて、中高音部の反射音の様なものがあるので残響が増えて聞こえる。音源の大きさは大きくなって見える。	音源の大きさはあまり変わらない。低音の響きは基準よりも比較の方がバランスが良くなっている。基準は最初のソの音がかなり鋭く、すごく明瞭性がある。パチンコ玉を投げつけられた様な感じ。比較は角が取れて、ショパンの曲だと丸みを帯びていて良い。暖かみがあり、明瞭性はぼんやり。

受音点高さの影響

No.3の正面高所においては、全体の評価として、ぼんやり・柔らかい・ぼけているといった明瞭性の低下を指摘する回答が多く得られた。また、距離が遠くなった・残響が多いといった意見も得られた。この傾向は平均値の検定結果とも対応している。また、1mくらい遠いけど、座っている席は同じとの回答が得られており、被験者によっては距離感や違いを的確に弁別している事が推察された (Tab.4.12)。

Tab. 4.12: Result of interview (Condition: No.3).

No.3	BEETHOVEN	CHOPIN
2人目	比較はどこで弾いて、どこで聞いているかわからない。頭の上を音が通って行く。上の音がカットされ、高い音が伸びず詰まっている。遠い感じはするのでもうさくはない。すごい悪い席で聞いているみたい。	1mくらい遠いけど座っている席は同じ。音色はかなり違う。基準は低音も高音も全部バラバラで、ピアノ自体がなっていない。発音した音がそのまま響かずに聞こえてくるので、聞いていて疲れる。比較はあの席で聞くには良い。
4人目	比較の方は和音のところが少しぼけている。	基準は悪くはないが、包まれ感・残響感をあまり感じなかった。比較のほうが好き。ずいぶんマイルドで、最初の打鍵音が良い意味でクリアだが、耳触りではない。
7人目	比較はかなり遠く、高い方も少ない。遠くて、バランスが悪いので残響を感じない。	比較は少し柔らかく、高い方のエネルギーが少なくなっている感じ。音像が大きいので好みの条件で癒される。リファレンスはきつくて、硬い。
12人目	3小節目1拍目がこの演奏は転んでいるが、基準では一つ一つの粒がまともに聞こえる。比較は演奏者のうまくっていなさが露骨に出てしまう。	比較は残響が多く、ピアニストの演奏する意図がわからないくらい全てが重なっている。ピアニストの個性が薄くなっている。CDを発売するとして何回も聞くのは耐えられない。
13人目	マイクが少し遠くなり、その分残響成分が増えた。音像が気持ち後ろで、音源との距離が少し遠くなり、リバース成分が増えたので、その分マイルドに聞こえる。	ピアノの向こうにある板の材質が硬いものに変わって、自然な反射をする成分に変わった感じ。左右に広がった感じもする。くっきりさは失われないままで、残響というよりは初期反射が悪くない方向に作用した。

No.4の下手高所においては、似ているので差が難しい。微妙な差であるとの回答が得られた。その為評価傾向にバラつきがあり傾向を掴みにくいが、高所の方が明瞭性が上昇している評価傾向にある。曲による評価の違いが見受けられ、ベートーヴェンにおいては両条件ともネガティブな評価をしているものの、ショパンにおいては特等席できいているみたいと評価する被験者もいた。

受音点高さの影響に関しては、指向性の強い条件の上下においては差はわかりやすいものの、指向性の弱い位置での上下に関してはあまり差がない可能性が示唆された (Tab.4.13)。

Tab. 4.13: Result of interview (Condition: No.4).

No.4	BEETHOVEN	CHOPIN
2人目	基準と比較の差はあまりない。基準は聞いたことのない音。低音は左から、高音は右から聞こえるので1点から聞こえてこない。低音はまだ良いが、高音の出かたが変。比較は上の音が全然足りなく、生の音では無いように聞こえる。残響がなく、音がステージ上から動いていない様に聞こえる。	基準は特等席で聞いているみたい。比較は基準と同じ席だけどピアノの位置が異なり、少し近づいた。響きが足りない。
4人目	基準はもこもこして低音寄り。比較は音量が若干小さいがクリア。相対的に芯があり、ネガティブな硬さではない。	差はそんなに大きくない。基準比較とも、高音域がクリアで明瞭で、バランスも悪くない。比較の方が少しきらびやか。
10人目	少し遠い感じだが、割と好きな印象。	比較は良い音で基準よりも会場が良い印象。
12人目	音の重さ軽さを感じる。基準はドーナツのように中がない。比較はあんがずっしり入ったあんぱんみたい。	比較はかなり距離が自分に近い感じで、残響感がたいぶ減っている。
16人目	基準の方が響いている。基準の方が大きく聞こえるのが変。比較はレンジもダイナミクスもせまい。比較の方が粒立ちが良いのに、音量は結構小さめに感じる。比較は響いていない分highはキラキラしている。音量バランスは帯域によって異なるので何とも言えない。	基準比較とも残響が長く、high寄り。比較は残響が少し長く、highの中のmidが高い。

ピアノ回転の影響

No.5の上手の回転の影響はあまり差が感じられないといった意見が多かった。距離感については近づいたという評価が比較的多かったが、評価傾向にも差があり、粒立ちの評価は被験者間で異なることから傾向が掴みにくい。しかし、回転後の変化があまり感じられないということは、上手側の指向性は回転後もあまり変わらない可能性があり、正面に対し上手60°の方向もピアノ正対時上手側と同傾向であることが示唆された (Tab.4.14)。

Tab. 4.14: Result of interview (Condition: No.5).

No.5	BEETHOVEN	CHOPIN
4人目	あんまり差がない。基準比較とも上昇アルペジオの粒立ちは聞こえる。比較の方が若干クリア。	基準比較とも近くてクリア。基準は音的にクリアだが、倍音構造の響き的に少し気持ち悪い。比較の方が、高音がよりクリアで、低音中音が若干落ちて音が濁り感はない。
5人目	非常に似ていて、全体的に判断しにくい。	音色の差は近く、空間印象の差が耳につく。比較は少し遠く、残響が増え包まれた印象が強くなった。直接音に着目して聞くと、レンジが少し狭くなって、結果硬い印象。
10人目	音像が少し小さく、粒立ちが悪くもこしている。	音源はほぼ同じで空間が違う印象。音像はほぼ同じ大きさ。空間の明瞭度が高く、少し残響がある気がする。
13人目	ホールの大きさは同じだが、楽器に近づいた印象。楽器に近づきすぎたがために音が飽和している感じ。	リバーブが増えて非常に良い録音。楽器自体の変化というよりは、リバーブ成分が楽器に及ぼす部分の効果は少ない良質な響きをするホールの大きさが中ホールから大ホールに変わった。低音のリバーブ成分はそんなに伸びていないので、高域をブーストしたリバーブを足した、またはリバーブ成分の高域だけを上げた感じ。
16人目	比較の方がレンジが狭い。基準比較とも、lowとhighのなりの程度は同じくらいだが、そのレンジが異なっている。	音量バランスはよくわからない。比較の方がほんやりして少しlow寄りなのでつやがある。違いはわかるがlow寄りで高音につやがあるからと言って、レンジが広いわけではない。

No.6の正面の回転の影響は回転後の方が粒立ちが良い、聴きやすい、スッキリしているといったポジティブな意見が得られた。また、曲による評価の差があり、ベートーヴェンに関してはポジティブな意見が多かったが、ショパンに関してはバランスの違和感を指摘する評価が見受けられた。また、被験者によっては評価が難しいとの回答が得られており、この条件においては個人差が多い傾向となった (Tab.4.15)。

Tab. 4.15: Result of interview (Condition: No.6).

No.6	BEETHOVEN	CHOPIN
2人目	比較は聞きやすい。基準は雑音がすごく聞こえて、座ってられない感じ。	音像が右に聞こえて、ピアノのなり方が全然違う。低音も高音も同じように聞こえてくるけど音質が全然違うので、バランスの評価がしにくい。正面から聞いている感じがせず、下か右からピアノが聞こえる。比較はポツンポツンと聞こえ、響きが全然足りない。弦がなまってすぐ音が飛んでいかないので、つまった感じ。変な響きがついて、あるべき響きがない。
3人目	基準は2つにわかれたような横に広がり、少しぼけた。比較は少しシュツと縮まり、少し前に出てくる感じ。	音源の幅が少し変わった。比較は広く、近くなった。
7人目	比較は粒立ちが良いので良く聞こえる。バランスはすごく良い。	違うけど似ている。
10人目	比較はすっきりしている様に聞こえる。明瞭度は少し有り、近い。	小さい部屋で響きがなく寸詰まりな感じ。楽器が変わった印象。
12人目	比較は低音部がたいぶ補強されているので、全体の響きがよくなった。	基準は音のバランスが整っているが、比較は崩れている。

No.7の下手側の影響に関しては回転後の方がすっきりしている・近くてはつきりしているなどの距離感や明瞭性の上昇を示唆する回答が得られ、また、空間印象に関する回答はあまりないことから、距離感と明瞭性の変化量が大きかったことが推察される。

平均値の検定結果とも概ね対応しているが、回転の影響として最も変化を感じられたのは下手の条件であり、上手側の差があまりないことを考慮すると、ピアノを30°回転させることで上手と下手の聴感上の偏差を減らすことが出来ると考えられる (Tab.4.16)。

Tab. 4.16: Result of interview (Condition: No.7).

No.7	BEETHOVEN	CHOPIN
1人目	基準は柔らかくもややして低音だけがもっている感じ。比較は音源の距離感が近く、音色がはっきり硬めに感じる。明瞭性がかなりはっきりしているが、空間感はその間に差を感じない。すっきりしていて、高音寄り。	クリアで明るい。見通しが良くなりはっきりしているが包まれている感じはある。
3人目	基準は少しぼやけている。比較は高い方がより聞こえ目立っている。高い方も低い方も、すっきり・はっきりしていて、明瞭になっている。	基準はそうとう軽く遠く感じる。中低域があまりないので、とても軽く感じた。ホールの中で少し離れたところで弾いている感じで、響きを感じ、残響成分が聞こえやすくなった。比較は中高域が前に出てきて、高い方の残響がマスクされている感じ。少し近づいているので、基準で聞こえた残響成分はないので残響感を感じない。
10人目	近くてはつきりしている。	オンマイクで録った残響のない感じ。
14人目	比較は横からの音が少なく、距離感を感じた。音量は低いように感じ、音像の大きさは見えにくい。	近くへピアノを移動した感じ。距離感が近くなり、明瞭性が上がり、音量が増えた。
20人目	基準はかなりぼやけている。結構はつきり異なる。比較は基準に比べかなりはつきり音が聞こえ、音量が大きくなっている。明瞭性が上がっているのので、高音寄りに聞こえ、音色が硬くなっている。音源の大きさはあまり変わっていない印象。	基準比較とも後ろからの音が無いので、包まれていない。比較は音が非常にはつきりしたので残響感がほとんどなくなりきつい印象。ラトがキーンとするが明瞭性はとても良い。低音がなっているのでも音量は大きく聞こえ、距離は近くなった。顔の前に音を近づけられた感じで包まれた感じよりも、近さが際立っている。

ピアノ屋根の影響

No.8の屋根ありの正面と背面の比較においては遠くなった・残響感がある・音量が小さくなる・不明瞭・ぼんやりしているといった回答が得られ、被験者間の傾向はほぼ同傾向であった。また、平均値の検定結果を見ても、差が大きいことから比較的差は分かりやすく、変化量が大きかったものと推察される (Tab.4.17)。

Tab. 4.17: Result of interview (Condition: No.8).

No.8	BEETHOVEN	CHOPIN
8人目	直接音がこない感じ	大きい空間に入って遠くなった。空間印象が変わった。
10人目	差がわかりやすい。音源が遠く、残響感もある。	ものすごい遠いけど、音源のバランスの差なのかはよくわからない。残響感あまり違いがない。
12人目	比較は全く不明瞭で上手に聞こえない。速いパッセージが多い曲でこの録音は困る。	比較は響きすぎて遠いので、このホールでは弾きたくないと感じた。大きいホールで響いているかつ聞こえにくい印象。
18人目	比較は柔らかくて、ぼんやりしている。	音量が小さくて、音源がちよつと遠い感じ。
20人目	差は歴然。板を通して聞いている様な感じで、低音寄りで柔らかくぼんやりしている。音像は基準比較とも前側に聞こえ、大きさは比較が若干小さくなった。側方、後方反射音は全く補強されている感じはない。自分が正面に対して180°側の音像の感じは変化した。残りの後ろ側の包まれた感じはない。包まれ感の手前側での変化を評価。	基準の方が好み。こもっている。比較は低音のくもったペールをとると良い音になりそう。音量は低音が大きくなって高音が小さくなっているの、トータルのバランスだと小さい。遠くでなっているのでも残響感があり、粒立ちはぼんやり。音源の大きさは低音のブーンという音だけを聞くときと大きくなっている。距離は真ん中になっているのでも音が遠い感じ。

No.9の屋根なしの正面と背面の比較においては評価傾向にバラつきがあり傾向を掴みにくい結果となった。また、距離感や明瞭性は背面の方が近く感じており、No.8の屋根ありの条件と対称的な評価となった。また、ショパンにおいては全体的に差が分かりにくいとの指摘があり、これらの回答より、屋根を外すことによって正面と背面の偏差が無くなる傾向が示唆された (Tab.4.18)。

Tab. 4.18: Result of interview (Condition: No.9).

No.9	BEETHOVEN	CHOPIN
3人目	基準比較とも、遠くはなれた。基準は高い方があまりはっきり出てこない感じ。比較は高い方がもう少しちゃんと聞こえている。	ほとんど差がない。基準比較とも離れた。
7人目	比較はバランスが良い。基準はもやけて聞こえる。	非常に難しい。比較は近い感じがしなくもない。
8人目	基準は物足りなさを感じた。粒建ちの差がわかりやすい。比較はピアノを聞いている気になった。	すごい微妙。空間印象がわかりづらい。
11人目	距離がだいぶ違うという印象。	微妙な感じ。
12人目	低音部が少し強調された分、下手に聞こえる。高音部に耳がいけなくなり、高音部の軋んでいる箇所が増幅して聞こえる。	基準比較とも、好きではない。基準は音は遠いけどクリアに聞こえる。比較は近いのに混ざってしまっている。

No.10の背面の屋根の有無を比較した条件においては、両条件においてぼんやりしている・遠いとの回答が得られた。また、差が殆ど無いとの意見もあるが、屋根を外した方が明瞭性が上昇するとの回答が多く得られた。また、屋根を外すことで背面側の評価が良くなるわけではなく、どちらかというとながティブな回答や、どちらも言えない様な抽象的な回答が得られた (Tab.4.19)。

Tab. 4.19: Result of interview (Condition: No.10).

No.10	BEETHOVEN	CHOPIN
1人目	基準比較とも粒があまりきれいではない。比較はかなりタッチが変わり、音源の距離は近めに感じる。	基準は少しぼんやり。比較は、はっきりしていて距離感が近く、残響感が少ないように感じる。
4人目	基準比較ともひどい粒立ち。比較の方が少しははっきりしていて、少し高音の芯が出ている。	基準比較とも、遠く残響感がある。比較の方がかなりクリアで、高音の芯が多少感じられる。
12人目	基準比較とも、この音でCDが発売されたらかわいそうな印象。比較は音が軽いので印象が薄くなってしまっている。	比較は音の印象として割と小さいスケールでまとまっている。
15人目	基準はよりホール感じがして、それなりの距離感がある感じ。比較はオーディオセットに近い印象で、音量は若干全体的に大きくなった。低音も高音も強調されている印象なので、低音よりも高音よりもない。	比較は距離が近くなったが、響きがそれにに応じて変わっていないので不自然な印象。基準は聞こえる響きと距離感が一致している。
17人目	微妙な差で残響は有る様な、無い様な感じ。はっきりしているけどぼんやりした感じ。	ピアノ自体が音に包まれているので音がもわんとしている。

No.11の正面の屋根の有無を比較した条件においては、距離感が遠くなり・ぼやける・ぼんやりしているといった明瞭性の低下を指摘する回答が多く得られた。また、どの回答もネガティブな評価であり、正面においても屋根を外すことは望ましくないと考えられる。これらの結果から、水平方向において屋根を外した条件で視聴するのは、聴感印象上好ましくない可能性が示唆された (Tab.4.20)。

Tab. 4.20: Result of interview (Condition: No.11).

No.11	BEETHOVEN	CHOPIN
4人目	あきらかに違う。基準は割と良い席。比較は遠く、音が小さく低音寄り、非常にぼんやりして柔らかい。	比較は響きがあり、音量がずいぶん小さく、低音がちでぼんやりしている。
8人目	比較が遠いのが一番気になった。	基準の方が好き。すごい安い席に来た感じ。遠くなりBGMっぽくなった。
10人目	ずいぶん違う印象。すごい遠いので少し小さいが、ぼわっとしている。エネルギー感が残っている。アンビエンスマイクみたい。	距離が遠くて残響過多。音色は同じように感じるが距離と残響感によって音源がぼけている感じ。
12人目	比較はこれだけ速いパッケージだと、残響に埋もれてしまい、何をやっているかわからない。	比較はピアニストが下手に聞こえる。音が重なっているのでペダルがすぐまずいと感じる。
20人目	相反する様な条件。基準は自分側に向かってくる様な感じ。比較の方が残響はある。板を一枚挟んで聞いている様な感じで、奥の方に向かって音が放射されている感じの聞こえ方。	音が跳ね返ってきて二重に聞こえる。舞台の裏側で聞いているみたい。基準比較とも粒立ちは良く、音色は硬い。比較の方がエコーのようなものがかかって若干ぼんやりし、丸みを帯びた。比較はかなり高音寄り、幅が狭くなったので若干包まれていない。全体の音量は若干小さくなったが、低音の問題だと感じた。

4.3.5 まとめ

結果より、ピアノの音源指向性が聴感印象に及ぼす影響として、受音点方位の違いや、ピアノの回転、屋根の影響が大きいことが確認された。また、指向性の強い位置においてはグループ1の評価項目が上昇し、グループ2の評価項目が低下し、指向性が弱い位置においては逆の傾向となる事が確認された。なお、聴感印象への影響は確認されたものの、これらの結果からはどの条件での受聴が望ましいかは判断できない。次項では、この音源指向性が聴感上の好ましさにどのように影響しているかを明らかにする。

4.4 実験2：各音響条件における聴こえの好ましきへの影響検証

実験2では音響条件の異なる13条件について、ピアノ演奏の聴こえの好ましきについて評価実験を2曲について行った。使用した曲は実験1で使用した2曲(Tab.4.1)を用いた。被験者はPC上で画面を操作し、好ましきについての評価項目に加え、聴感印象を表す語を設定しチェックボックス形式で回答を行った。実際の実験に用いた操作画面をFig.4.21に示す。



Fig. 4.21: Operation screen of the listening compared experiment.

4.4.1 条件設定

実験1で使用した音源を用いて、以下の13条件を設定した。

Fig.4.22 に実験に使用する条件図を示す。本来はこれらの条件を用いて実験を行う予定であったが、実験準備時のトラブルにより、上手高所と正面高所の音源データが同一となってしまったため Fig.4.23 の条件で実験を行った。Tab.4.21 に変更前と変更後の実験条件を示す。

Tab. 4.21: Conditions pairs used in the experiments.(a)before,(b)after.

(a)			(b)			
Variable factor	No.	Target	Variable factor	No.	Target	
Orientation(Rec.)	1	Re2	Orientation(Rec.)	1	Re2	
	2	Re3		2	Re3	
	3	Re4		3	Re4	
Height(Rec.)	4	Re2(High)	Height(Rec.)	4	Re3(High)	
	5	Re3(High)		5	Re4(High)	
	Rotation(pf.)	6	Re4(High)	Rotation(pf.)	7	Re3(Rot)
		7	Re3(Rot)		8	Re4(Rot)
Lid(pf.)	8	Re4(Rot)	Lid(pf.)		9	Re5(Rot)
	9	Re5(Rot)		10	Rc1	
	10	Rc1		11	Rc3	
Lid(pf.)	11	Rc3	Lid(pf.)	12	Rc1(w/oLid)	
	12	Rc1(w/oLid)		13	Rc3(w/oLid)	
	13	Rc3(w/oLid)				

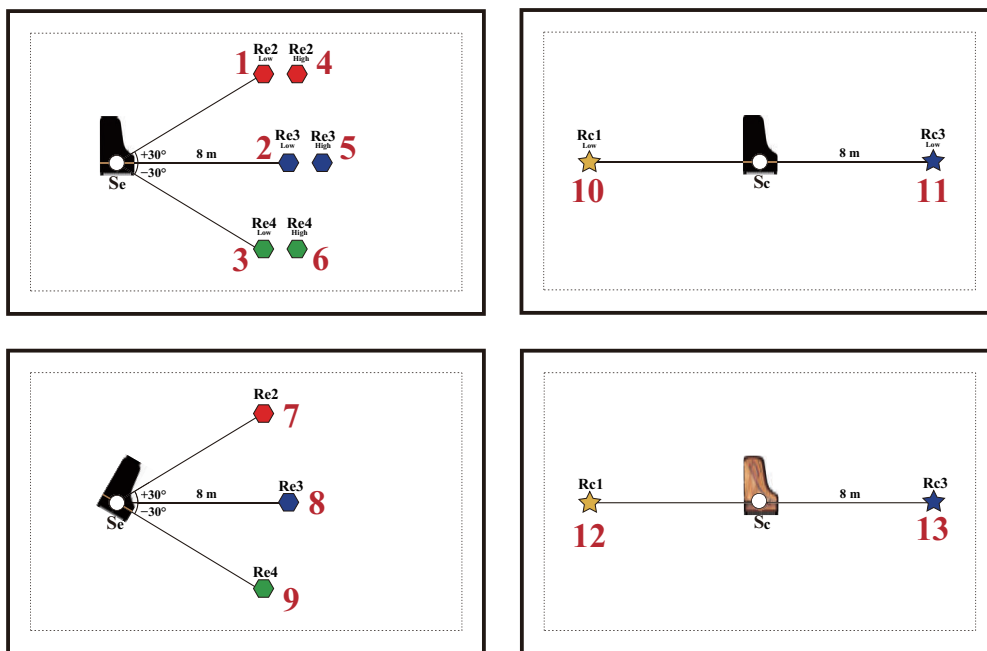


Fig. 4.22: Conditions of preferences experiment of music listening impression(before).

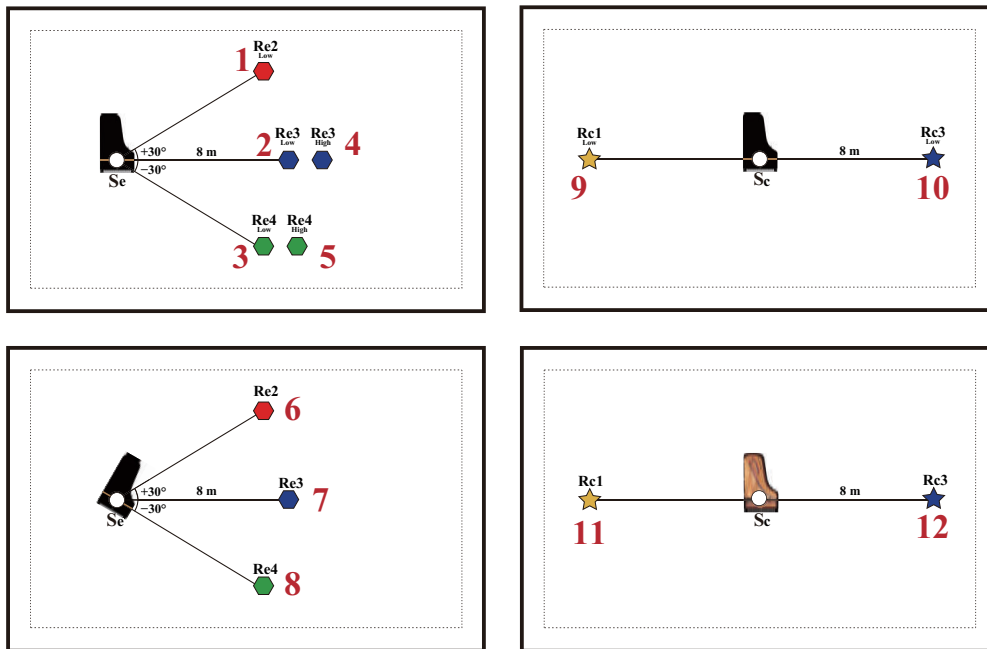


Fig. 4.23: Conditions of preferences experiment of music listening impression(after).

4.4.2 好ましさの全体的な影響確認

まず始めに一对比較同様に音響条件・被験者間の個人差・ピアノの演奏経験年数・曲を要因とした多元及び二元配置分散分析を行い、各要因の検定を行った。結果を Tab.4.22 に示す。

Tab. 4.22: ANOVA results:(a)Factorial ANOVA,(b)Two-way ANOVA

(a)		(b)	
	好ましさ		好ましさ
音響条件	**	音響条件	**
被験者	**	ピアノ経験有無	
曲		音響条件×ピアノ経験有無	
音響条件×曲			**p<0.01,*p<0.05

**p<0.01,*p<0.05

音響条件と被験者間の個人差については主効果が認められたが、曲やピアノ経験の有無には主効果が認められなかった。好みについては一般的な知見を得るために全体的な評価傾向を把握するとともに、被験者の個人差についても検討を行うこととする。

4.4.3 好みの評価傾向の確認

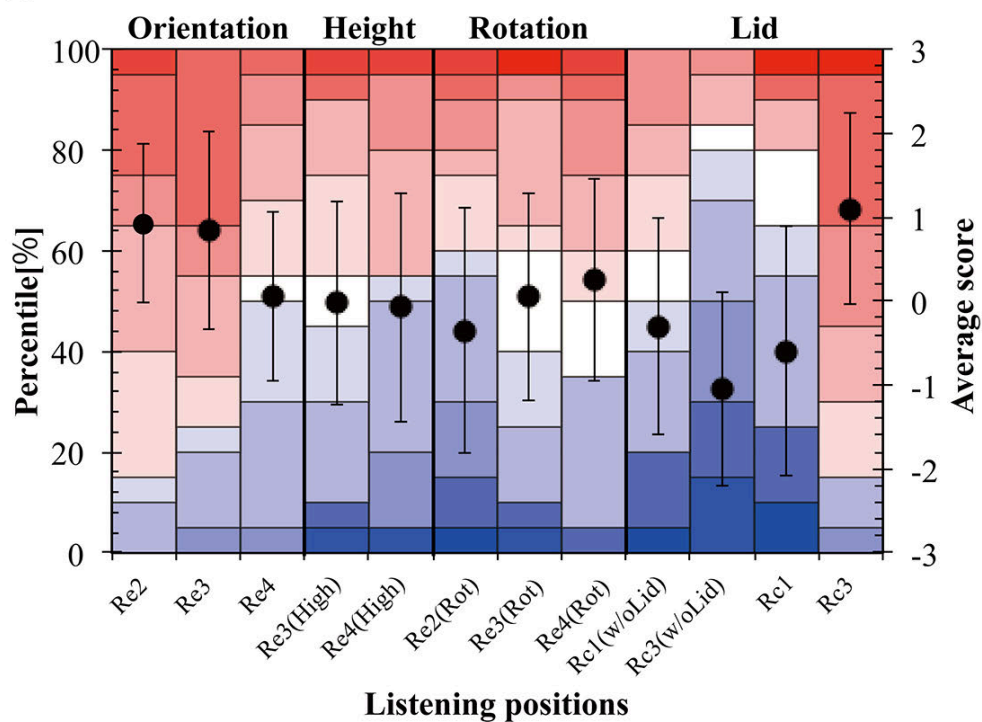
好みの評価傾向を確認するために、被験者の好ましさの個人評点を用いて、各条件ごとに評価の割合及び、平均値と標準偏差を算出した。結果を Fig.4.24 Fig.4.25 に示す。Fig.4.24 は各条件ごとに評価割合を並べたものであり、黒丸が平均値を示している。受音点方位においては指向性の強い上手、正面を好ましいと評価する傾向となっている。また、受聴高さについて Beethoven においては差がないものの、Chopin においては正面高所を好ましいと評価する傾向にある。ピアノの回転においては指向性の強度が強まる正面、上手の評価が高くなっており、上手側は同条件内においては低評価となった。屋根の影響については屋根あり背面、屋根なし背面、正面の条件はネガティブな評価となっており、屋根あり正面のみが高評価となった。

Fig.4.25 は平均値の値の上位順にソートしたものである。結果から両曲共に、上位3条件に正面・上手が入り、回転時下手も次に高評価である。一方で、下位2条件は屋根なし正面と屋根あり背面であり、屋根なし背面も次に低評価である。つまり、通常の屋根あり状態では高音域の指向性が強い正面・上手の条件を好ましいと評価され、背面や屋根なし状態は好まれなことが検証された。以上の事から指向性の強度が好ましさに影響している事が示された。

注目すべき点は全ての条件において好ましいと評価をしている人が見受けられる事から、全体の傾向としては指向性の強度が強い位置を好ましいと選ぶ傾向があるが、評価傾向に個人差がある可能性が示唆された。

以上を踏まえ、次項では被験者毎の個人差に着目し、グループ化を行う。

(a) BEETHOVEN



(b) CHOPIN

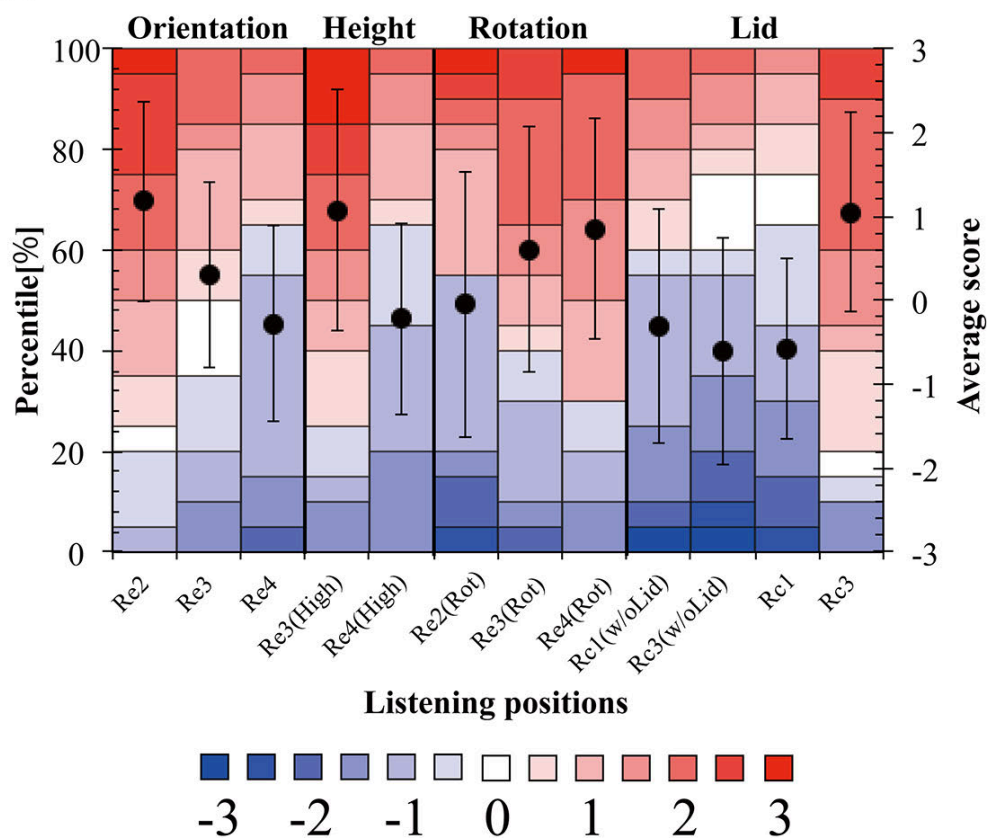
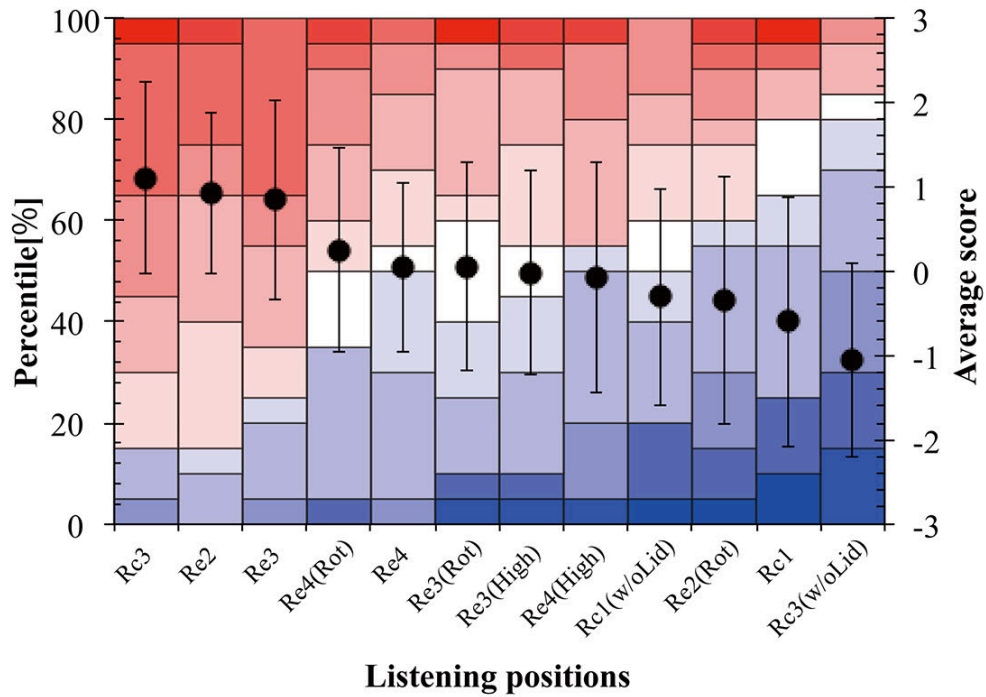


Fig. 4.24: Averages and distributions of preference score for the variety of listening conditions(Each condition).

(a) BEETHOVEN



(b) CHOPIN

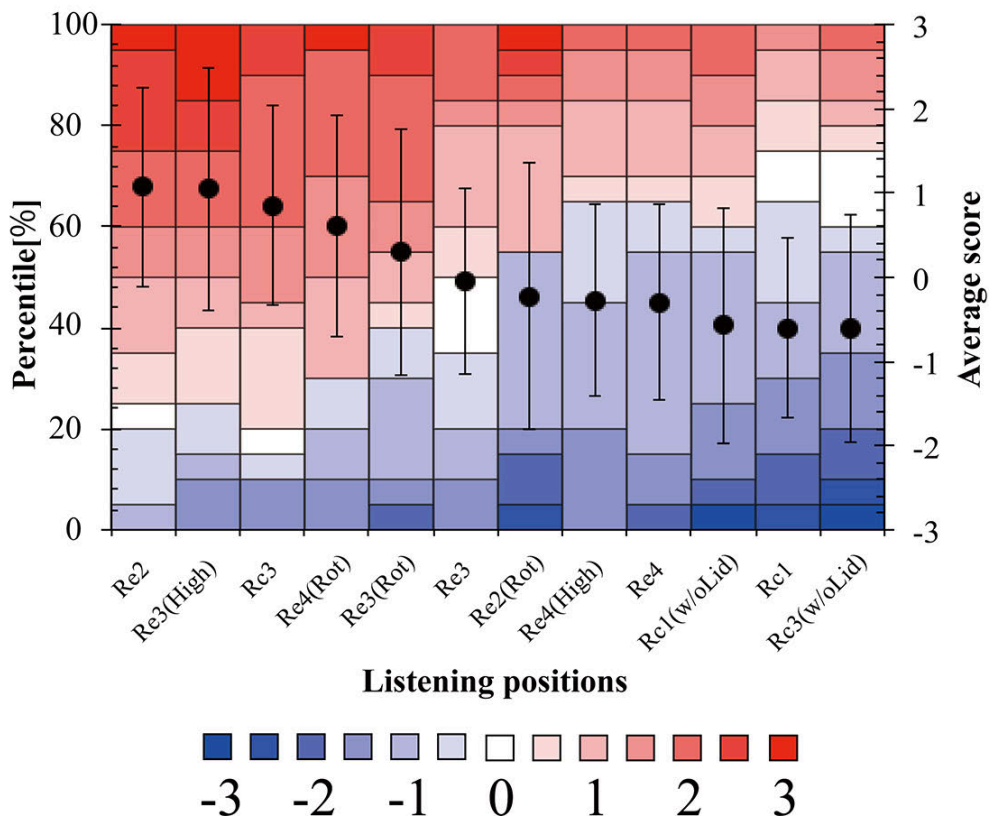


Fig. 4.25: Averages and distributions of preference score for the variety of listening conditions(Sort version).

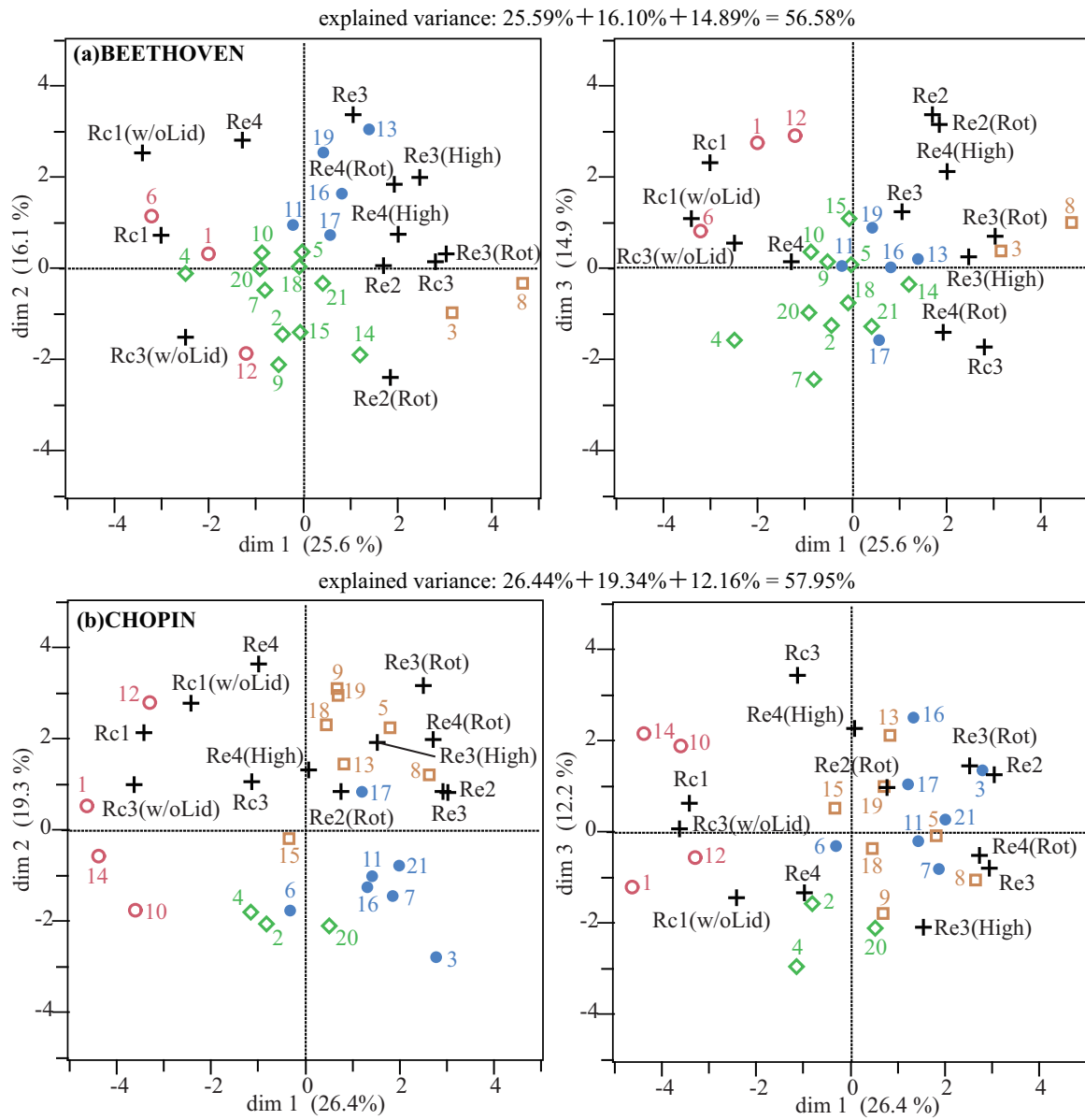


Fig. 4.27: Principal component analysis result of preference:(a)Beethoven,(b)Chopin.

4.4.5 聴感印象を表す評価語の選択傾向

全条件における、総回答数をまとめたものを Fig.4.28 に示す。今回設定した評価語の選択傾向を把握する目的で算出した。回答数が多いものほど、多く使われた評価語である。結果より、全体の傾向としては極端に回答数に差があるわけではなく、一定数の回答が得られている事から、評価語としては適切な設定であったと考えられる。回答数が多かったものとしては、明瞭性を表すはつきり、ぼんやりや、残響感、距離感を表す語や、バランスを表す語が多く選択される傾向となった。また、その他音色に関する評価語は、明るい・物足りない・迫力のある・濁った・心地良い等の評価語が選択される傾向となった。回答数が少なかったものとしては、静かな・冷たい・音源が小さいといった評価語であった。回答数の多い群についてはポジティブ・ネガティブな評価語の両者回答割合は同じくらいであるが、下位になるとネガティブな評価語が多くなる傾向にある。また、音量感を表す評価語が比較的下位に位置していることから、音量の違いについてはあまり感じられなかったことが推察される。

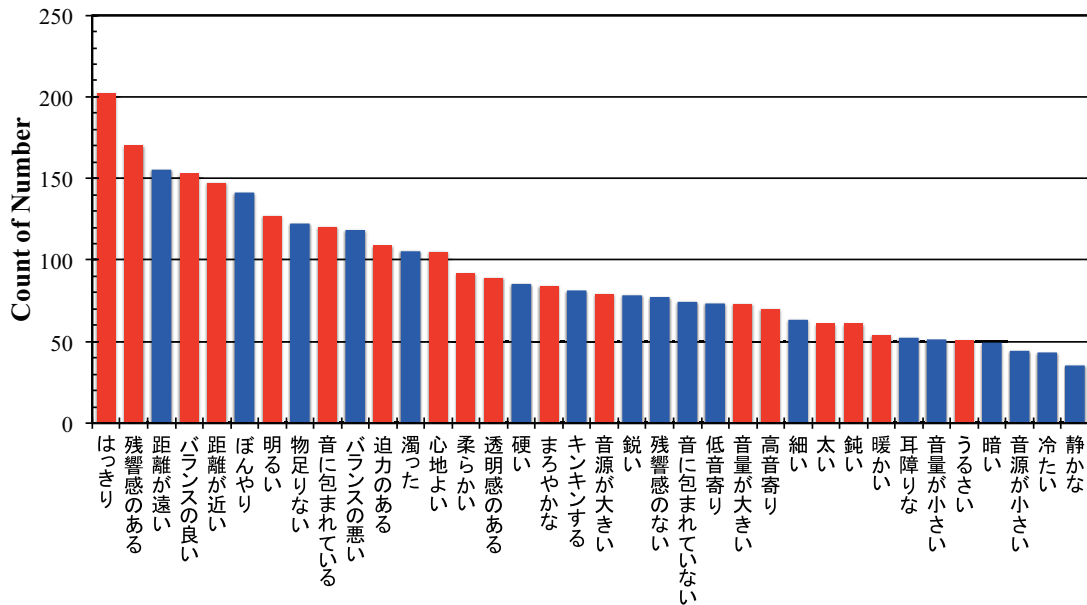


Fig. 4.28: The total number of responses of assessment words in all conditions.

次に、チェックボックス形式で回答を行った各条件における評価語の選択傾向を示す。被験者全体の回答割合を条件毎に算出したものを Fig.4.29～Fig.4.40 に示す。

Re2:エンドステージ型上手

上手においては迫力のある・バランスの良い・はっきりといった評価語の回答率が 50 %を超える結果となった。また高音域の強い指向性の影響から鋭い、キンキンする・硬いといった評価語の回答も見受けられた。また、その他ポジティブな回答としては明るい・距離が近いといった評価語の回答が得られた (Tab.4.29)。

Re3:エンドステージ型正面

先程の上手と同傾向であるが、はっきりの回答割合が減少し、明るい・距離が近い・残響感のある・音に包まれているの回答割合が増加している (Tab.4.30)。

Re4:エンドステージ型下手

上手・正面に対して下手では、距離が遠い・ぼんやり・物足りないといった評価語が選択される傾向にあり、ネガティブな回答が多く得られた (Tab.4.31)。

Re3(High):エンドステージ型正面高所

正面高所においてベートーヴェンでは、正面低所 (Tab.4.30) に比べてネガティブな回答割合が増加し、濁った・バランスの悪いの回答割合が増えている。一方、ショパンにおいてはバランスの良い・はっきり・透明感のある・心地良いといった評価語の回答割合が増えており、対照的な結果となった (Tab.4.32)。

Re4(High):エンドステージ型下手高所

下手高所においては低所と概ね同傾向であり、低所に比べてネガティブな評価語の回答割合が減少している (Tab.4.33)。

Re2(Rot):エンドステージ型上手 30° 回転

上手の回転後に関しては、回転前に対しベートーヴェンにおいて、バランスの悪い・物足りない・耳障りなといったネガティブな評価語の回答割合が増加している。ショパンに関しては多少の変動はあるものの、回転前と同傾向であった (Tab.4.34)。

Re3(Rot):エンドステージ型正面 30° 回転

正面の回転後に関しては、回転前に対しベートーヴェンにおいて、物足りない・キンキンするといったネガティブな評価語の回答割合が若干増加している。ショパンにおいては回転前、回転後共に概ね同傾向であった (Tab.4.35)。

Re4(Rot):エンドステージ型下手 30° 回転

下手の回転後に関しては、回転前に対しポジティブな評価語の回答割合が増加しており、明るい・距離が近い・心地よいといった回答割合が増加した。また、距離が遠い・ぼんやりといったネガティブな回答割合が減少している (Tab.4.36)。

Rc1:センターステージ型背面

背面においては (Tab.4.38) の正面との比較を行うと、ぼんやり・距離が遠い・物足りないといった回答割合が非常に多く、まろやかな・鈍い・柔らかいといった音色を表すの評価語の回答割合が多かった (Tab.4.37)。

Rc3:センターステージ型正面

エンドステージ型の正面との比較を行うと、センターステージ型の正面においてはバランスの良い・はっきり透明感のある、といった評価語の回答割合が増えており、ネガティブな評価語の回答割合が減少している (Tab.4.38)。

Rc1(w/oLid):センターステージ型屋根なし背面

屋根なし背面において、ネガティブな評価語に関しては、物足りない・ぼんやり・距離が遠いといった評価語の回答割合が多く、鈍い・柔らかい・残響感のある等の評価語の回答が多く得られている (Tab.4.39)。

Rc3(w/oLid):センターステージ型屋根なし正面

屋根なし正面においても屋根なし背面と同様の傾向を示しており、屋根を外すことで全体的に明瞭性が低下し、ぼやけた印象になることが推察される (Tab.4.40)。

全体の傾向として、指向性の強度が強い条件においては、はっきりや明るい迫力のある、距離が近いといった評価語の回答割合が多く、全体としてはポジティブな評価語を用いられる傾向であった。また、指向性の強度が弱い条件においては、ぼんやり、濁った、物足りない、距離が遠いといったネガティブな評価語が用いられる傾向となった。

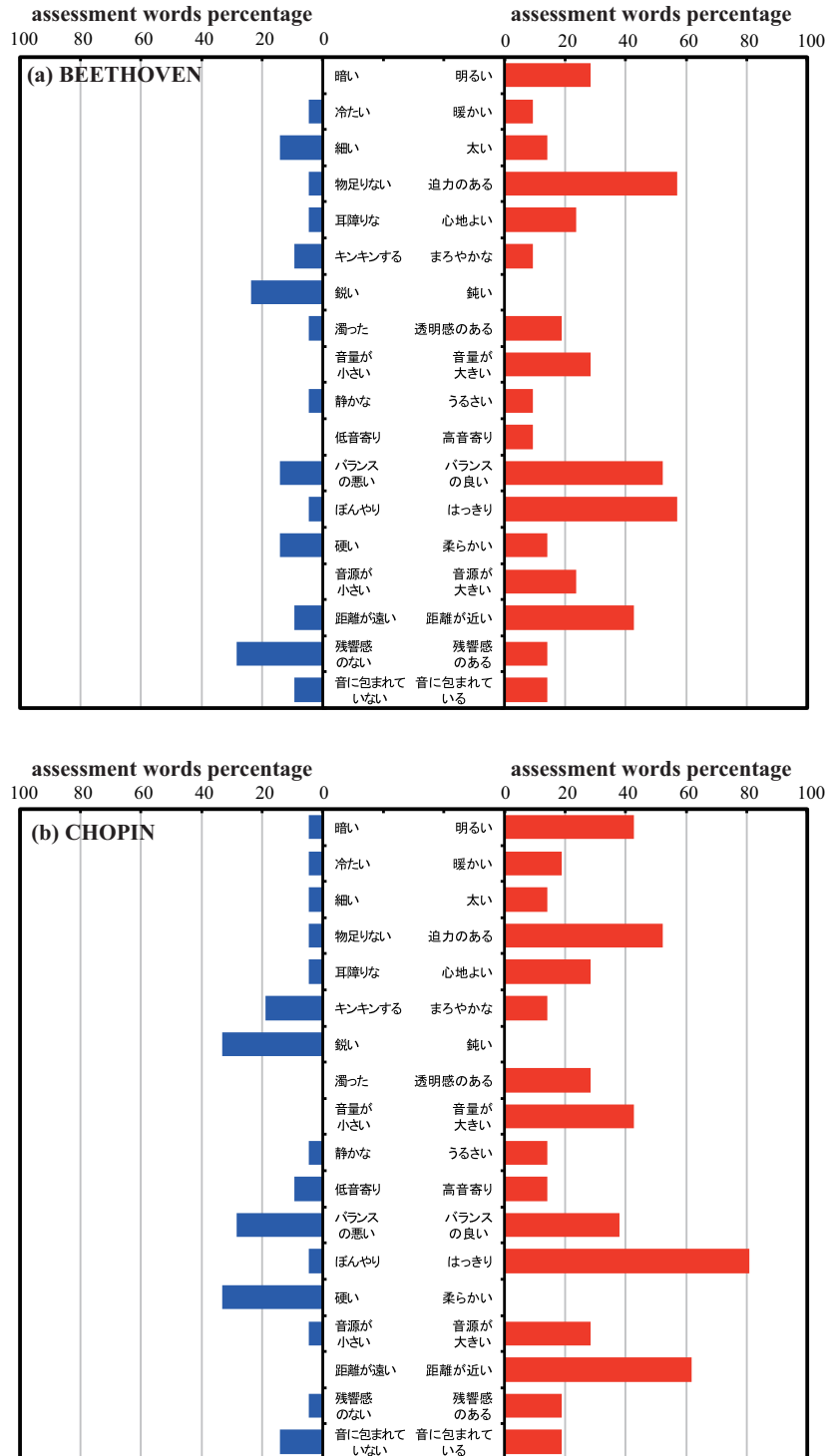


Fig. 4.29: Answer percentage of assessment words in each condition:Re2.

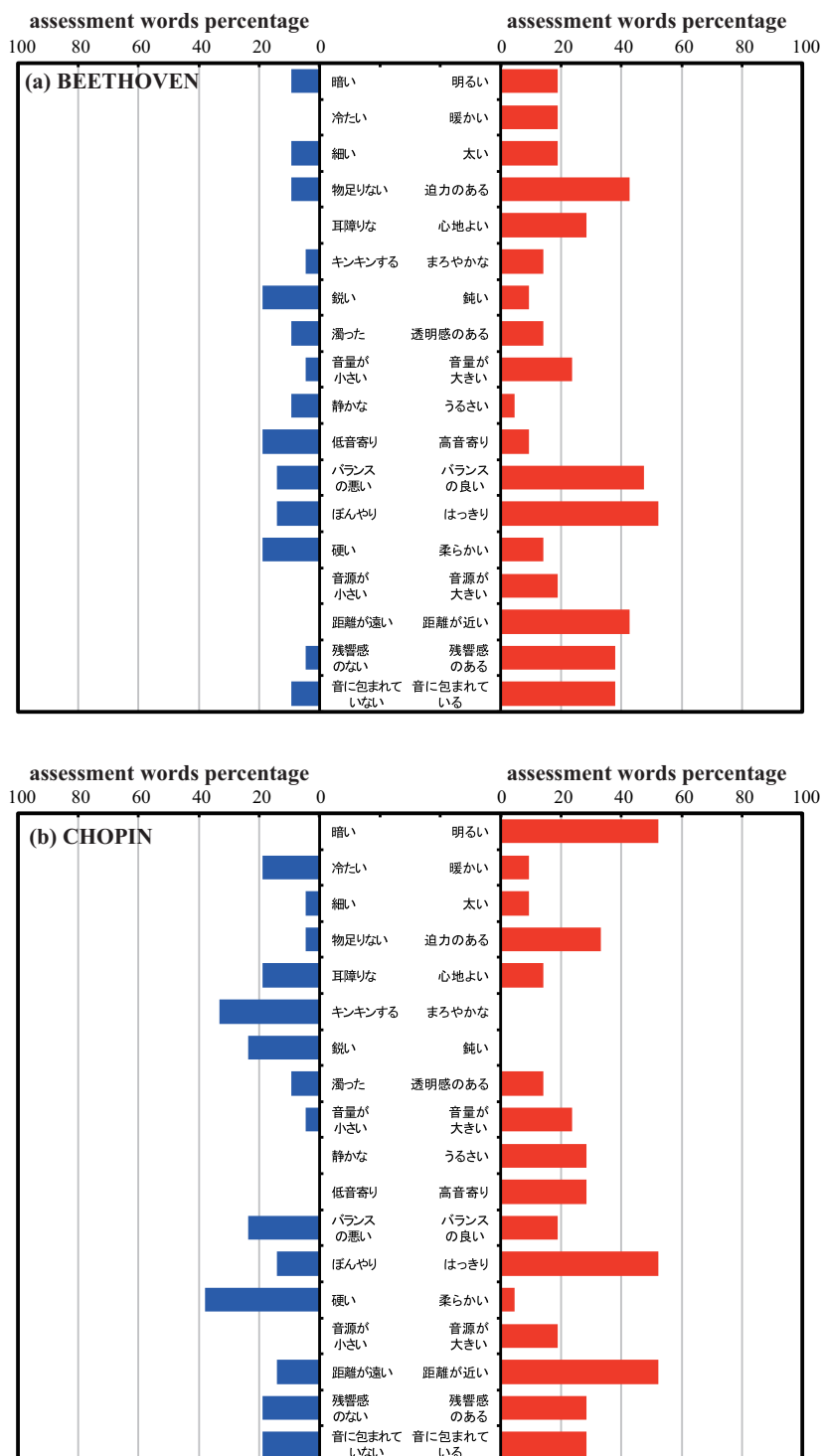


Fig. 4.30: Answer percentage of assessment words in each condition:Re3.

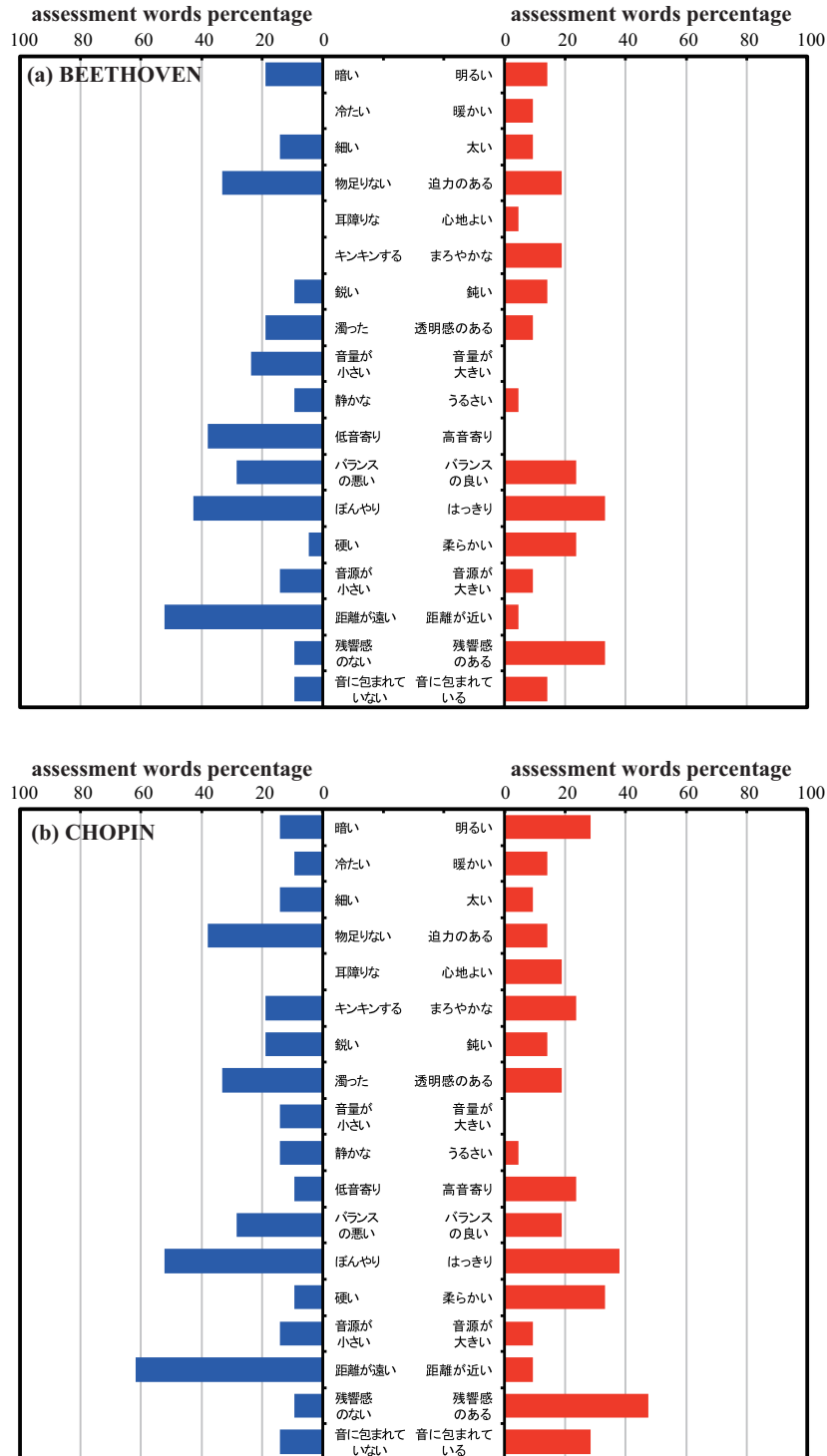


Fig. 4.31: Answer percentage of assessment words in each condition:Re4.

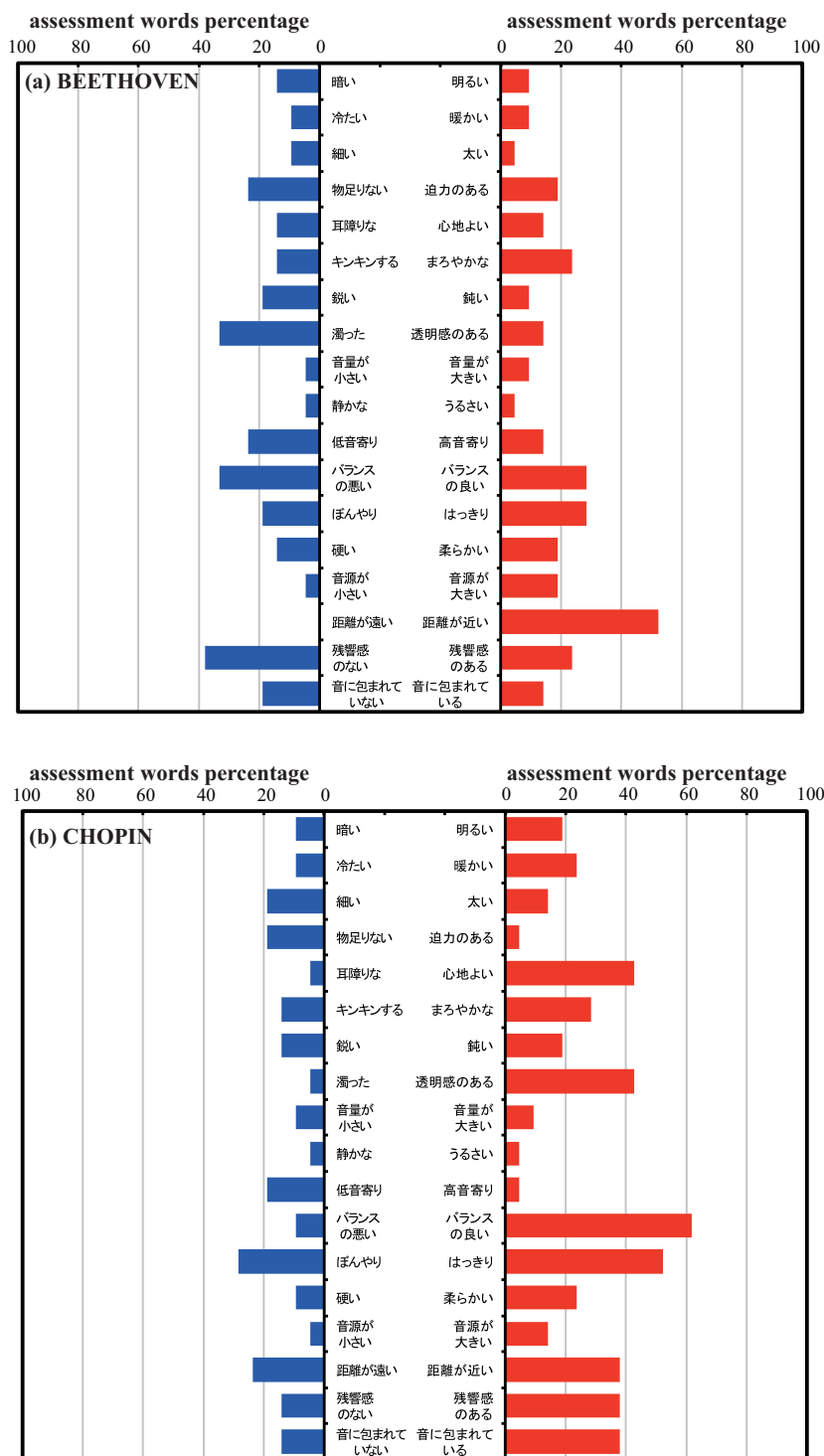


Fig. 4.32: Answer percentage of assessment words in each condition:Re3(High).

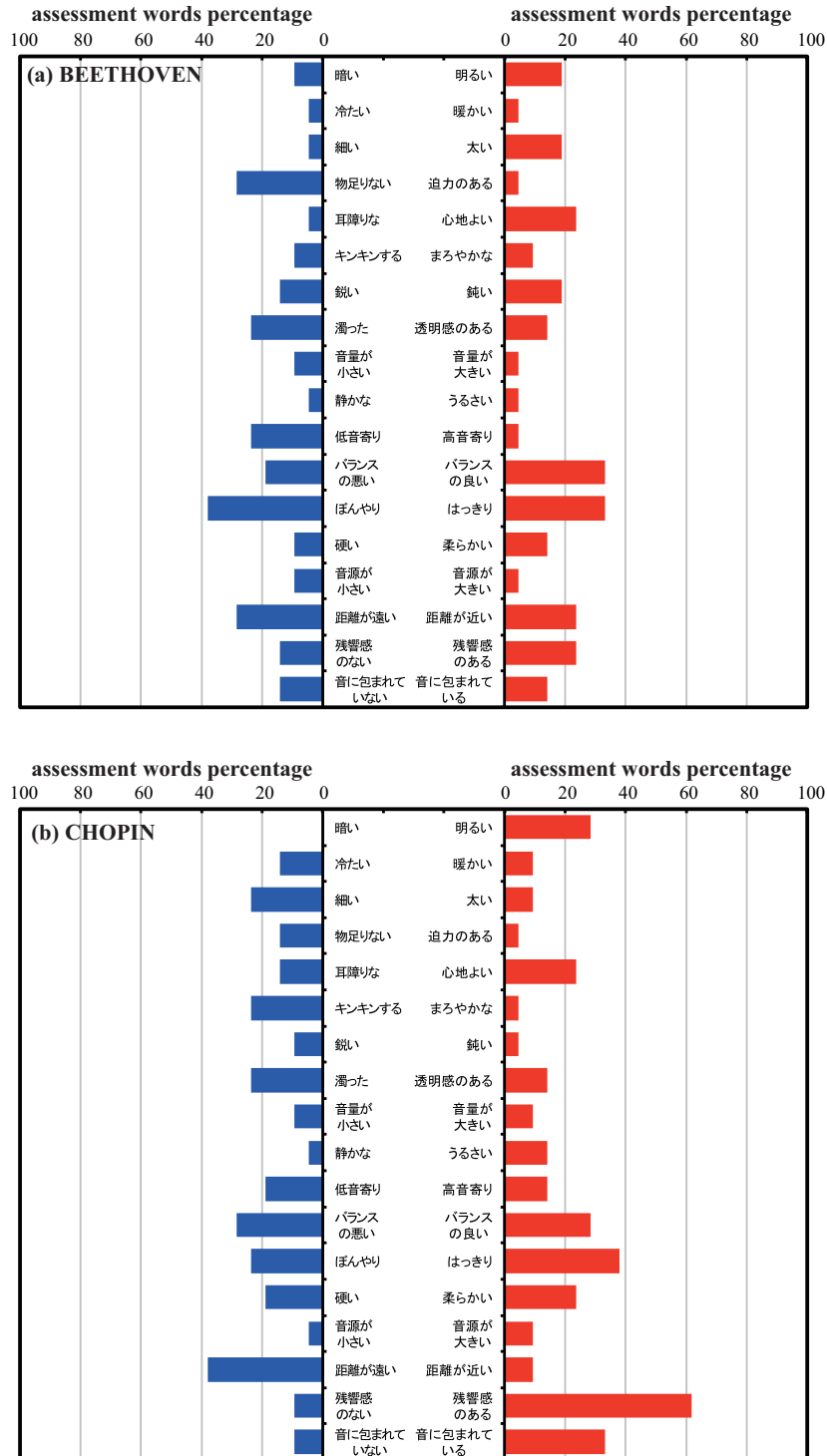


Fig. 4.33: Answer percentage of assessment words in each condition:Re4(High).

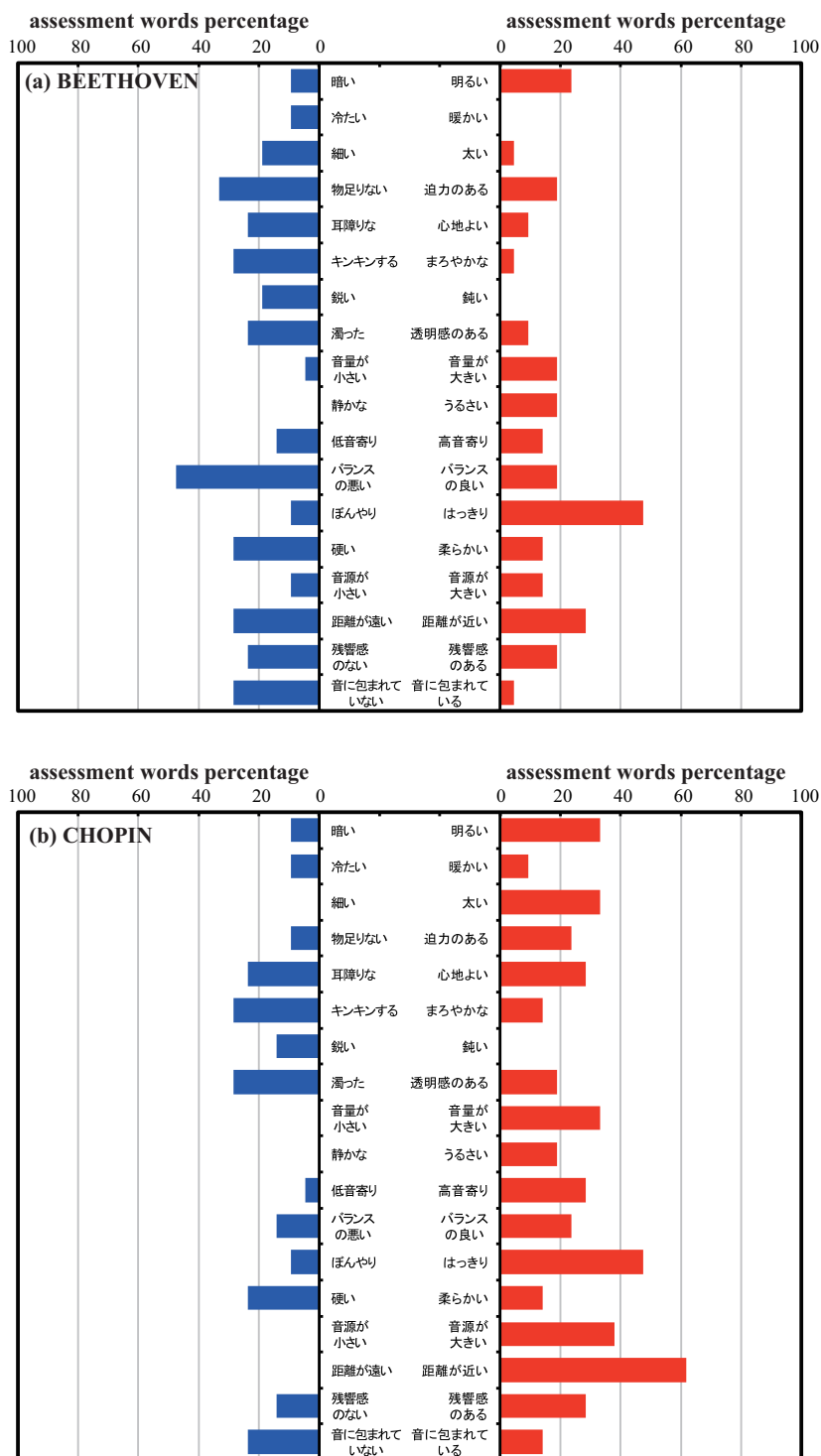


Fig. 4.34: Answer percentage of assessment words in each condition:Re2(Rot).

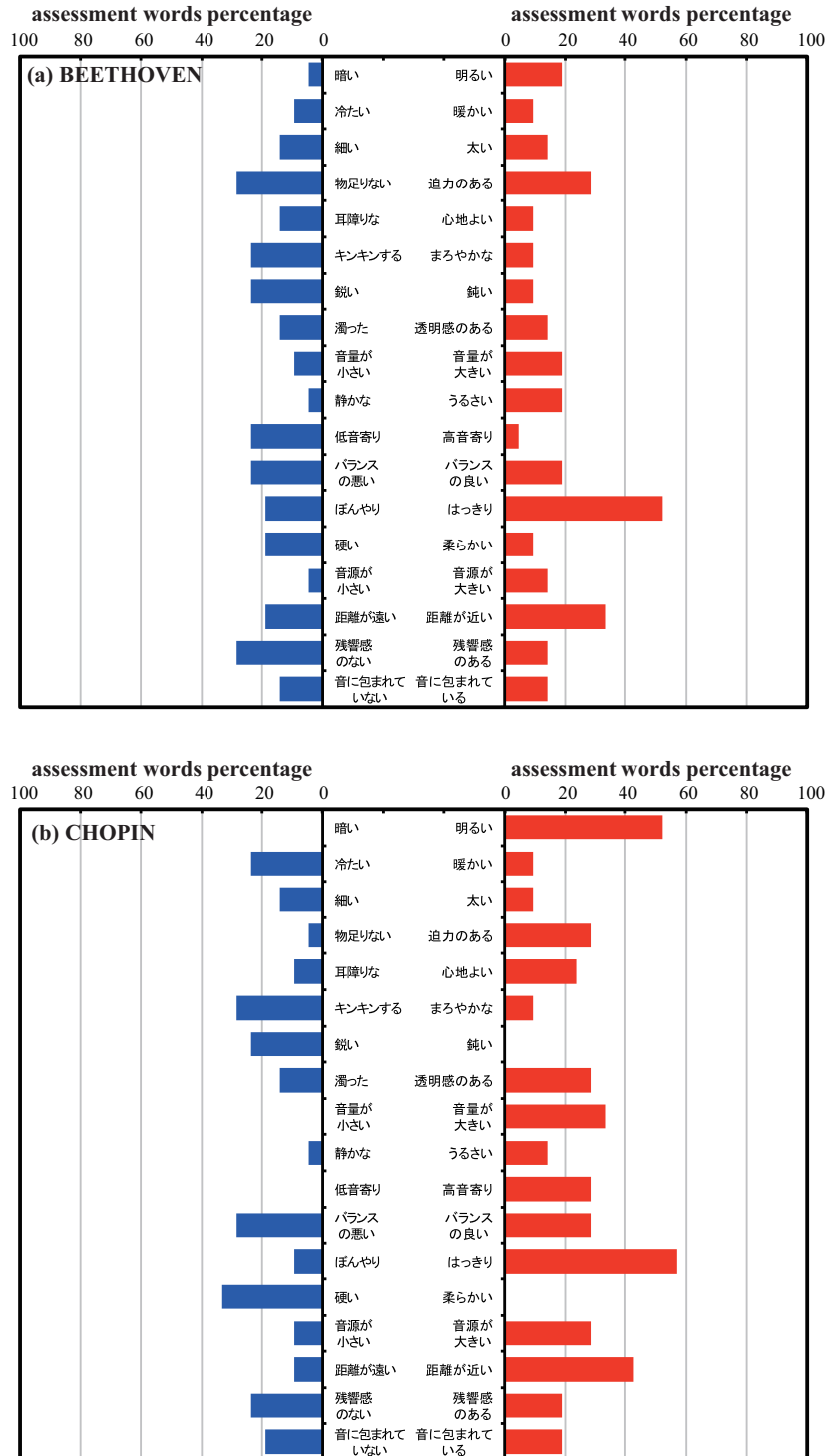


Fig. 4.35: Answer percentage of assessment words in each condition:Re3(Rot).

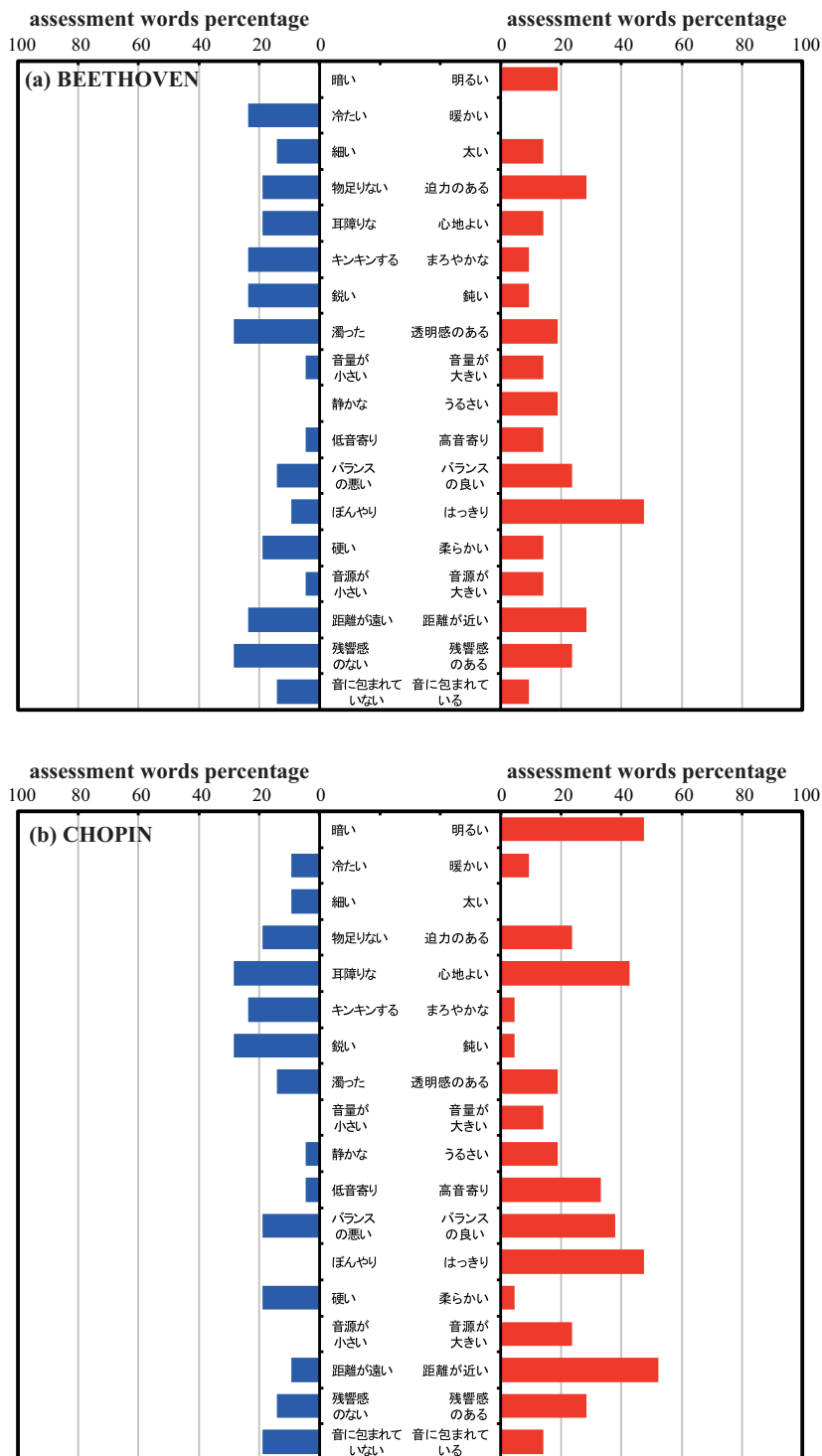


Fig. 4.36: Answer percentage of assessment words in each condition:Re4(Rot).

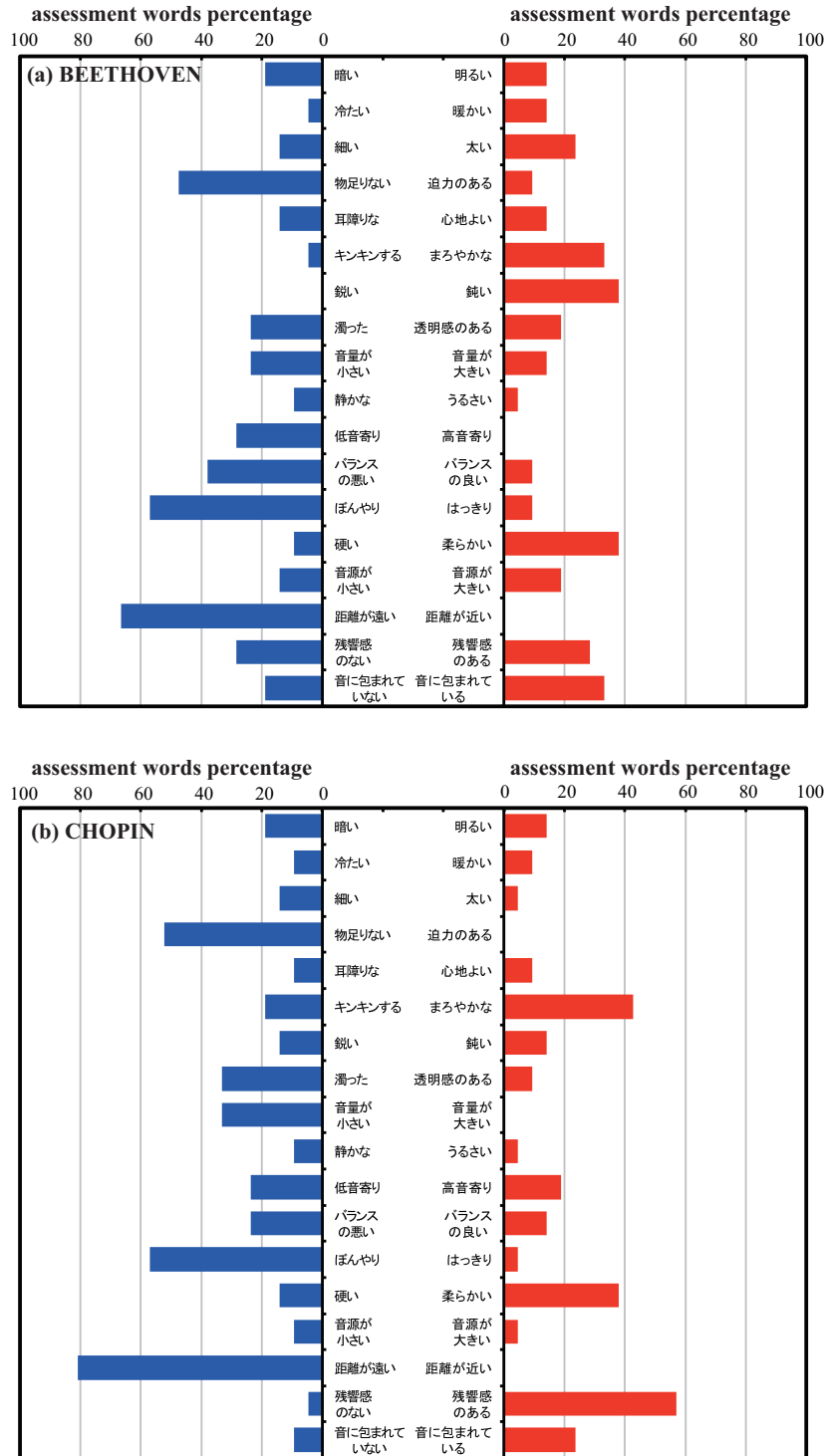


Fig. 4.37: Answer percentage of assessment words in each condition:Rc1.

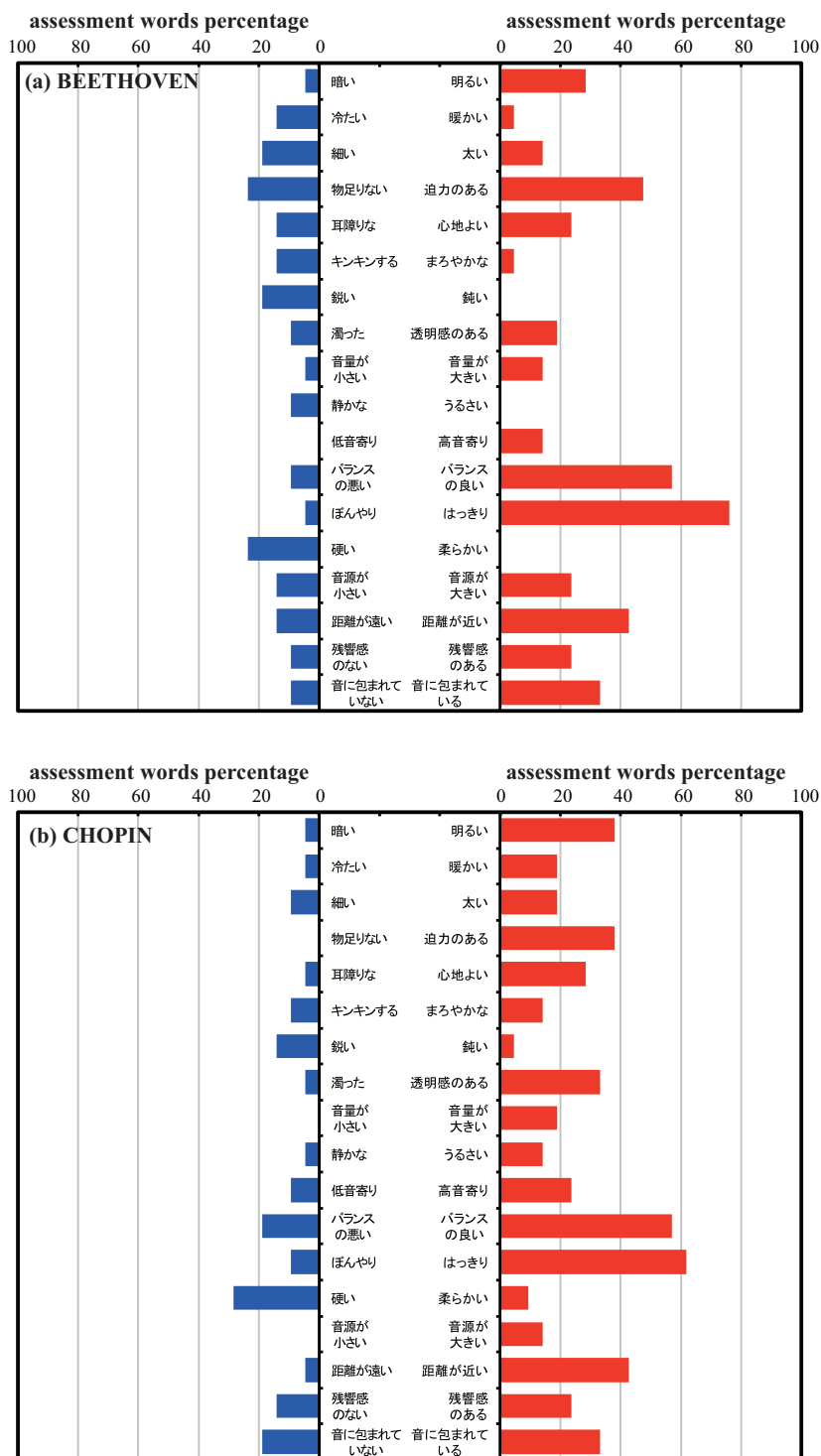


Fig. 4.38: Answer percentage of assessment words in each condition:Rc3.

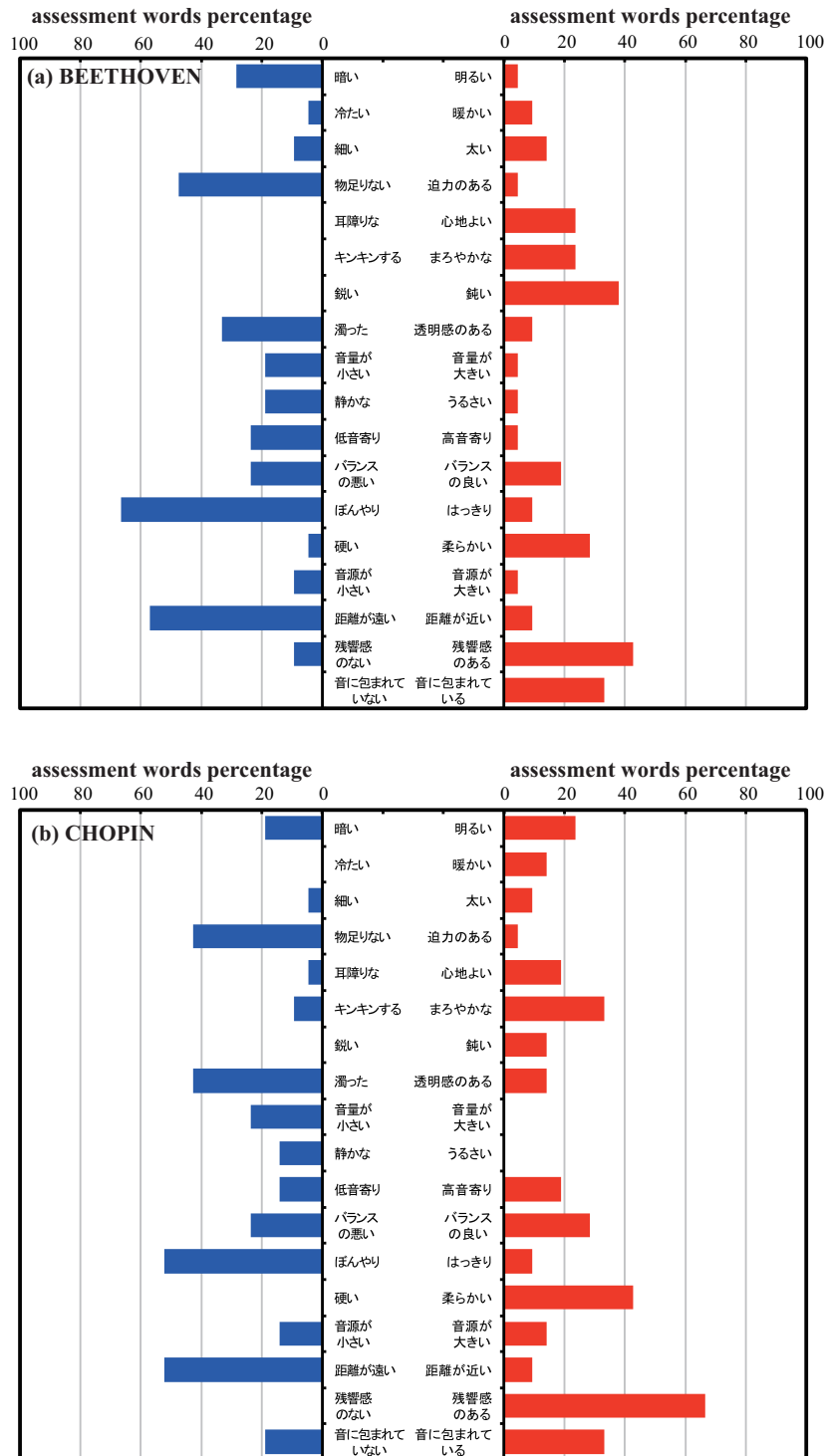


Fig. 4.39: Answer percentage of assessment words in each condition: Rc1(w/oLid).

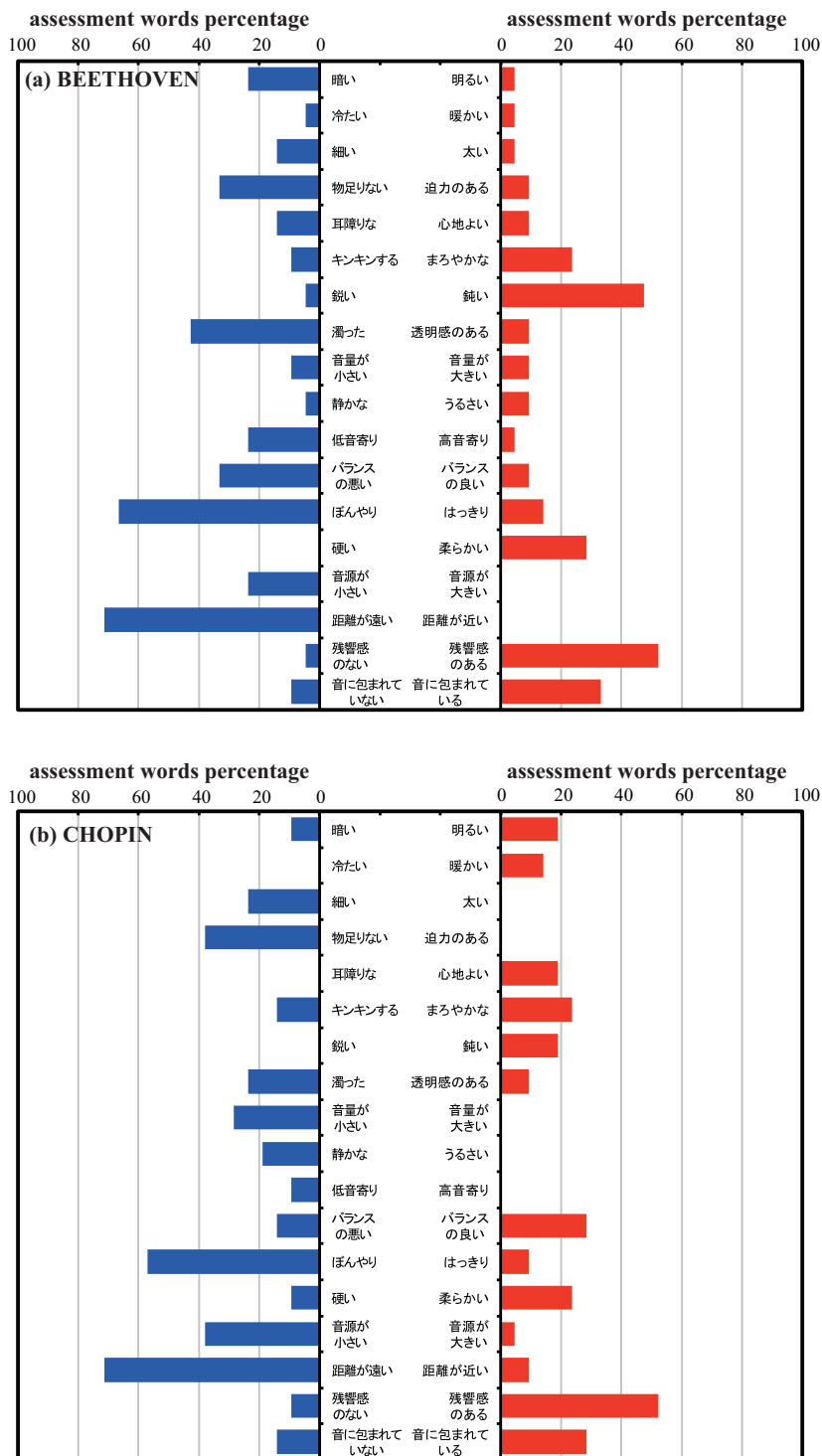


Fig. 4.40: Answer percentage of assessment words in each condition:Re3(w/oLid).

4.4.6 まとめ

以上の結果から、ピアノの音源指向性が聴感印象の好ましさに及ぼす影響として、全体の傾向から比較的高音域の指向性が強い条件を好ましいと評価する傾向が確認された。しかし、評価傾向にはバラつきがあり、評価が両極に分かれていることから、好みは必ずしも同傾向ではないということが確認された。各条件を説明する評価語は、指向性の強度によって異なり、指向性の強度が強い条件においてはポジティブな評価語が用いられ、弱い条件においては逆の評価がなされる事が確認された。

本章では評価項目や好ましさにあつての心理量として、ピアノの音源指向性が音楽聴取印象に及ぼす影響について検討を行つた。その結果、受音点の違ひや、ピアノの回転、屋根の影響が大きいことが確認された。また、指向性の強い位置においてはグループ1の評価項目が上昇し、グループ2の評価項目が低下し、指向性が弱い位置においては逆の傾向となる事が確認された。また、好ましさにあつては高音域の指向性が強い上手や正面の条件を好ましいと評価する傾向にあり、背面や屋根なしの条件は好まれない事が検証された。聴感印象への影響は確認されたが、物理量との関係性については明らかにされていない。次章では測定した物理量と、本結果を用いて物理量と心理量の関係についてを明らかにする。

第 5 章

主成分分析による 物理量と心理量の関係検証

5.1 概要

前章ではピアノの音源指向性がホール内の音楽聴取印象に及ぼす影響について、受聴位置やピアノの回転、屋根の有無による影響が大きい事が明らかとなり、聴感印象の好みについては高音域の指向性が強い位置において、好ましいとされる傾向が確認された。しかし、これらの傾向と物理量との対応関係については明らかとなっていない。物理的な事象と心理的な聴感印象の対応を検討すべく、本章では主成分分析によって明らかにする。

5.2 評価項目と物理量の関係

5.2.1 楽曲の分析

主観評価実験に用いた楽曲2曲の分析を行い、主成分分析に用いる物理量として、各条件対の基準条件に対する比較条件の音圧レベル差及び、相互相関係数を算出した。

オクターブバンド分析

受聴位置の音圧レベル測定結果として、周波数ごとに63 Hzから4k Hzまで2オクターブ毎に、それぞれ低音域(63~125 Hz)、中音域(250~500 Hz)、高音域(1k~2k Hz)、4k Hzの4つを算出し、各条件の基準条件に対する比較条件のレベル差とした。結果をFig.5.1に示す。結果より、両曲でのレベル差の傾向は必ずしも一致していないが、高音域と4k Hzのレベルの差においては傾向が対応している。また、前章のTab.4.9, Fig.4.15より、心理量との対応を見ると、音の粒立ちの評価傾向と傾向がよく対応している。

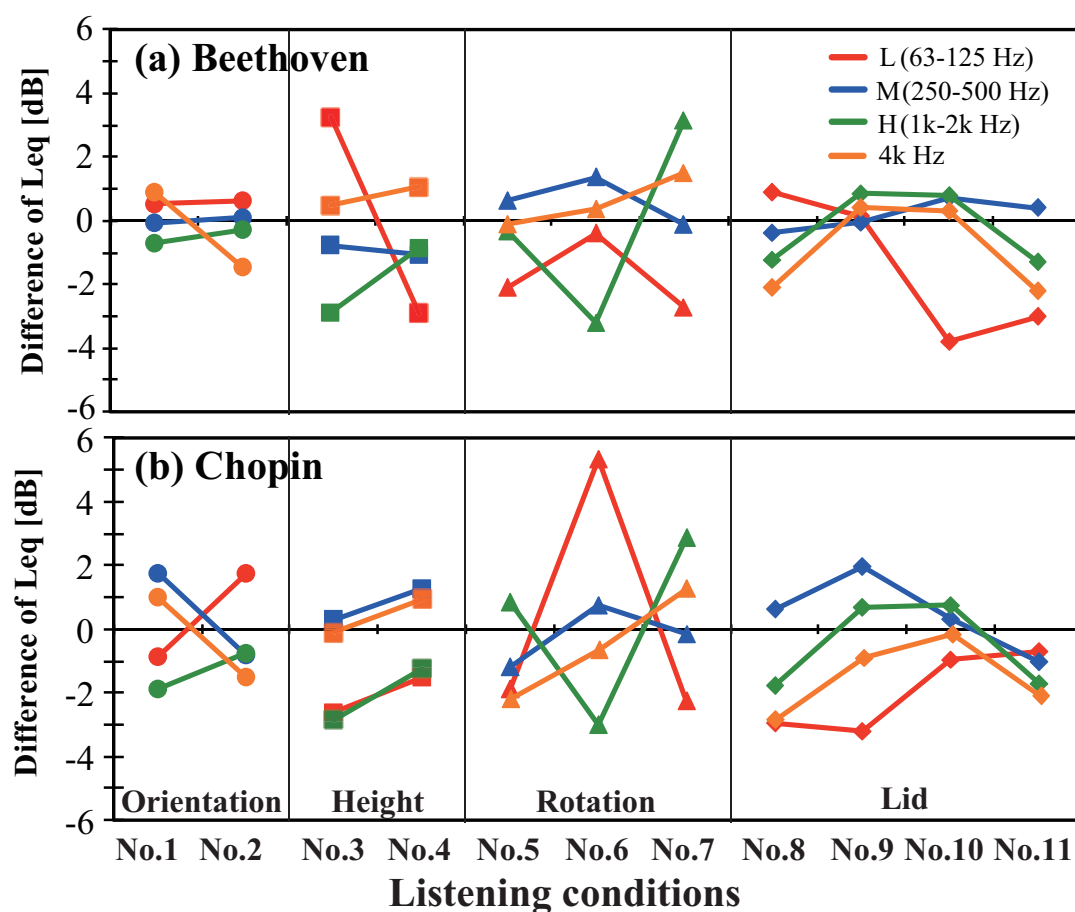


Fig. 5.1: L_{eq} differences of target-to-reference in octave bands.

相互相関係数

人間は両耳効果によって音像の方向低位や空間の拡がり感を得る。[26] この差異を定量化した両耳相関度 (inter-aural cross correlation coefficient:IACC) という指標があるが、これは式 5.1 の正規化両耳間相関関数 (normalized inter-aural cross correlation function:IACF) を基にして、式 5.2 で定義されており、0 から 1 の値を取る。0 は無相関で 1 は完全に一致するということになる。通常ダミーヘッドマイクロフォンを用いて測定されるインパルス応答から算出される [22]。ISO 3382-1[5] では弁別閾は 0.075 とされており、この値が小さいほど ASW が大きいとされているため、本実験において評価項目として設定した音源の大きさと相関がある可能性がある。

$$IACF_{t_1,t_2}(\tau) = \frac{\int_{t_1}^{t_2} p_l(t) \cdot p_r(t + \tau) dt}{\int_{t_1}^{t_2} p_l^2(t) dt \int_{t_1}^{t_2} p_r^2(t) dt} \quad (5.1)$$

$p_l(t)$:左耳の外耳道入り口のインパルス応答

$p_r(t)$:右耳の外耳道入り口のインパルス応答

$$IACC_{t_1,t_2} = \max | IACF_{t_1,t_2} | \text{ for } -1\text{ms} < \tau < +1\text{ms} \quad (5.2)$$

相関係数は通常インパルス応答から算出するため、楽音を用いた場合には曲の分析範囲や、周波数帯域等の検討が必要となるが、本実験では便宜的に傾向を探るために、6 ch 收音システムによって得られた各方向別の音源を使用し、それぞれ左右方向 (左: 2-5 ch, 右: 3-4 ch) と、上下方向 (上: 1 ch, 下: 6 ch) を用いて相互相関係数を求めた (Fig.5.2 参照)。

結果を Fig.5.3 に示す。結果より、曲による相関係数の差の傾向は受音点高さ (No.3,4) の条件以外では左右の相関係数が同様の傾向を示している。Fig.5.1 との対応を見ると高音域のレベル差と傾向が対応している。また、上下の相関係数に関しては、Fig.5.1 の低音域のレベル差と逆の傾向を示している。

以上傾向観察より物理量との大まかな相関が示唆されたが、次項ではこれらの相関係数を算出し、物理量間での相関及び、心理量との相関について検討を行う。

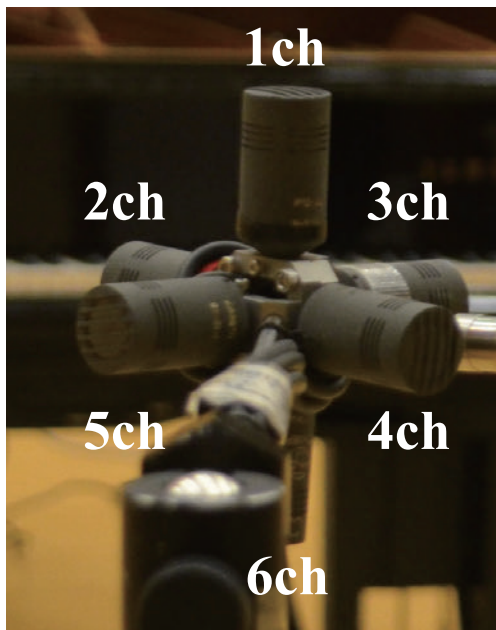


Fig. 5.2: 6ch direction microphone.

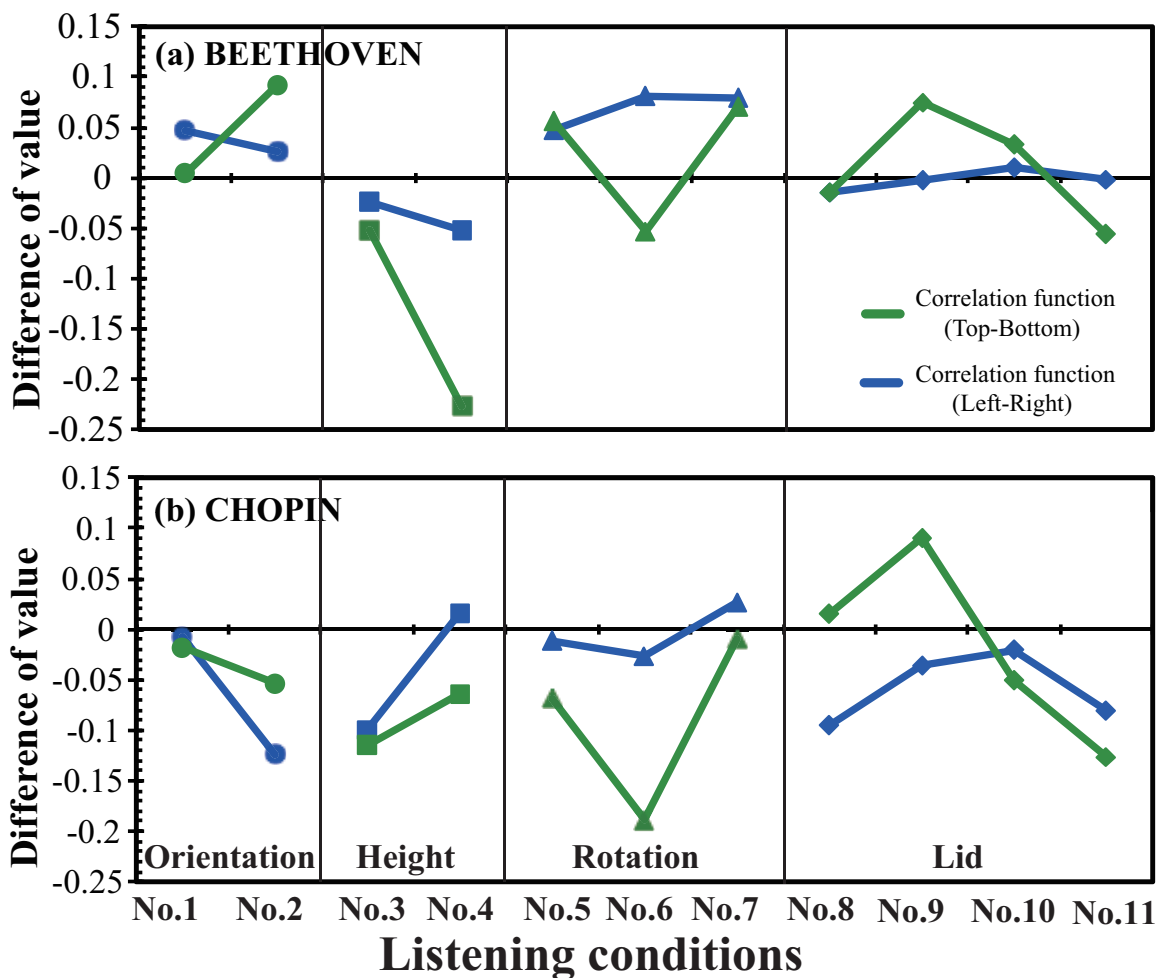


Fig. 5.3: Correlation function differences of target-to-reference.

5.2.2 物理量の相関

先程算出した物理量を用いて相関係数を算出した。以下 Tab.5.1 に全体の傾向を、Tab.5.2～Tab.5.3 に曲毎の相関係数マトリクスを示す。

Tab. 5.1: Correlation matrix of the physical quantity.

物理量	低音域	中音域	高音域	4kHz	左右相関	上下相関
低音域		0.27	-0.68	-0.11	-0.13	-0.23
中音域			-0.12	0.34	0.37	0.09
高音域				0.28	0.47	0.67
4kHz					0.59	-0.08
左右相関						0.12
上下相関						
相関係数 $r=$		0.0~0.5	0.5~0.7	0.7~0.9	0.9~1.0	
		0.0~-0.5	-0.5~-0.7	-0.7~-0.9	-0.9~-1.0	

Tab. 5.2: Correlation matrix of the physical quantity of Beethoven.

物理量	低音域	中音域	高音域	4kHz	左右相関	上下相関
低音域		-0.30	-0.50	-0.11	-0.12	0.12
中音域			-0.07	-0.15	0.69	0.40
高音域				0.29	0.24	0.51
4kHz					0.24	-0.11
左右相関						0.55
上下相関						
相関係数 $r=$		0.0~0.5	0.5~0.7	0.7~0.9	0.9~1.0	
		0.0~-0.5	-0.5~-0.7	-0.7~-0.9	-0.9~-1.0	

Tab. 5.3: Correlation matrix of the physical quantity of Chopin.

物理量	低音域	中音域	高音域	4kHz	左右相関	上下相関
低音域		-0.12	-0.40	-0.02	-0.08	-0.68
中音域			-0.19	0.48	0.33	0.42
高音域				0.19	0.49	0.54
4kHz					0.65	0.04
左右相関						0.13
上下相関						
相関係数 $r=$		0.0~0.5	0.5~0.7	0.7~0.9	0.9~1.0	
		0.0~-0.5	-0.5~-0.7	-0.7~-0.9	-0.9~-1.0	

結果より、全体の傾向としては、低音域と高音域が負の相関を示しており、4k Hz と左右の相関係数が、高音域と上下の相関係数が正の相関を示している。ベートーヴェンにおいては左右の相関と上下の相関係数が正の相関を持っており、ショパンにおいては低音域と上下の相関係数が負の相関を示していることから、曲によって物理量の相関に差異があることが確認された。

5.2.3 評価項目と物理量の相関

これら物理量と、4章の実験で得られた評価項目の個人評点を用いて、心理量と物理量の相関係数を算出した。全体の傾向を Tab.5.4 に、曲毎の傾向を Tab.5.5～Tab.5.6 に示す。全体の傾向としては 4k Hz と左右の相関係数において、全ての評価項目において相関が見られた。特に 4k Hz と音の粒立ちが高い正の相関を示している。また、低音域と音量のバランスが負の相関を、中音域は全体の音量と正の相関、高音域は全体の音量、音量のバランス、音源の大きさと正の相関を示している。曲毎の相関においても概ね同傾向であるが、ベートーヴェンにおいては左右の相関において相関係数が低下しており、項目によって差があることが確認された。

本実験では評価項目として”音源の大きさ”を設定しており、ASW とほぼ同義として用いている。また、音圧レベルが大きくなるほど ASW が大きくなるとの報告がある [26][27]。Barron ら [15] も、ASW は音圧レベルにも依存し比例することを確認しており、Okano ら [24] は低音域ほど ASW に寄与することを示している。本実験においては、音圧レベルに関する物理量として 4kHz の値が全体の音量と高い相関を示しており、低音域はほとんど相関が得られなかった。

また、IACC は ASW と負の相関を持っていることが知られており [17]、すなわち IACC の値が低下すると音源の幅が大きくなるというものである。しかし、IACC を想定して算出した左右の相関係数は正の相関を持っており、相関係数の値が大きくなると音源の大きさも大きくなっていることから、逆の傾向を示している事が確認された。第4章の平均値の検定結果 (Tab.4.9, Fig.4.17) より、音源の大きさの項目については有意差があまり得られていないことから、この傾向について明白な結論を得ることは出来ない。

先述のように、相関係数は通常インパルス応答から算出するため、楽音を用いた場合には曲の分析範囲や、周波数帯域等の検討が必要となるため、詳細については今後の検討課題とする。

Tab. 5.4: Correlation matrix of a physical quantity and psychological quantity.

	低音域	中音域	高音域	4kHz	左右相関	上下相関	
全体の音量	-0.15	0.54	0.51	0.83	0.69	0.27	
音量のバランス	-0.54	0.17	0.56	0.58	0.60	0.03	
音の粒立ち	-0.18	0.44	0.48	0.91	0.78	0.11	
音色(柔らかさ)	0.19	-0.44	-0.49	-0.81	-0.77	-0.06	
音源の大きさ	-0.26	0.28	0.70	0.72	0.79	0.42	
音源までの距離	0.11	-0.39	-0.49	-0.87	-0.78	-0.14	
残響感	0.11	-0.45	-0.41	-0.87	-0.73	-0.01	
音に包まれた感じ	-0.05	-0.46	-0.38	-0.76	-0.70	-0.02	
相関係数 r=				0.0~0.5	0.5~0.7	0.7~0.9	0.9~1.0
				0.0~-0.5	-0.5~-0.7	-0.7~-0.9	-0.9~-1.0

Tab. 5.5: Correlation matrix of a physical quantity and psychological quantity of Beethoven.

	低音域	中音域	高音域	4kHz	左右相関	上下相関	
全体の音量	-0.03	0.00	0.51	0.72	0.22	0.29	
音量のバランス	-0.58	0.06	0.61	0.75	0.25	0.09	
音の粒立ち	-0.25	-0.04	0.50	0.94	0.31	0.07	
音色(柔らかさ)	0.26	-0.08	-0.46	-0.89	-0.40	-0.11	
音源の大きさ	-0.41	0.19	0.59	0.71	0.32	0.27	
音源までの距離	0.17	-0.12	-0.49	-0.85	-0.42	-0.26	
残響感	0.17	-0.07	-0.31	-0.89	-0.31	-0.09	
音に包まれた感じ	0.15	-0.12	-0.16	-0.63	-0.22	-0.03	
相関係数 r=				0.0~0.5	0.5~0.7	0.7~0.9	0.9~1.0
				0.0~-0.5	-0.5~-0.7	-0.7~-0.9	-0.9~-1.0

Tab. 5.6: Correlation matrix of a physical quantity and psychological quantity of Chopin.

	低音域	中音域	高音域	4kHz	左右相関	上下相関	
全体の音量	-0.02	0.40	0.48	0.72	0.86	0.14	
音量のバランス	0.10	-0.10	0.37	0.21	0.43	-0.24	
音の粒立ち	0.13	0.34	0.47	0.76	0.88	0.06	
音色(柔らかさ)	-0.12	-0.30	-0.49	-0.64	-0.86	-0.01	
音源の大きさ	-0.18	0.25	0.60	0.50	0.71	0.41	
音源までの距離	-0.11	-0.31	-0.44	-0.80	-0.87	-0.01	
残響感	-0.20	-0.39	-0.43	-0.73	-0.82	-0.02	
音に包まれた感じ	-0.35	-0.30	-0.45	-0.63	-0.74	0.00	
相関係数 r=				0.0~0.5	0.5~0.7	0.7~0.9	0.9~1.0
				0.0~-0.5	-0.5~-0.7	-0.7~-0.9	-0.9~-1.0

5.2.4 主成分分析結果

前述の評価項目8つと物理量6つを用いて評価項目と物理量を布置する主成分分析を行い、どの評価項目と物理量が相関の高い組なのか、検証を行う。各変数は標準化を行い単位の影響を除いてある。分析には統計解析ソフトウェアである JMP11 を使用した。Fig.5.4～Fig.5.5 に全体の傾向、及び曲毎の分析結果を示す。

第1、第2主成分得点の散布図と第1、第3主成分得点の散布図、第3主成分までの累積寄与率を示す。累積寄与率は80%を超えている事から、説明力が高いと言える。全体の傾向としては、心理量は2つのグループに分けられており、左右の相関係数と4k Hzの値が全体の音量や音の粒立ちと正の相関を持っていることが確認できる。曲毎の傾向も概ね同傾向であるが、両曲に共通している相関としては、音の粒立ち、全体の音量と4k Hzの相関が高い事が推察される。また、第二主成分に関しては低音域から高音域までの大きさであり、上下相関と高音域、低音域と中音域が相関がある可能性があるが、この分析結果からは明白な結論は得られない。以上のことから、全体の音量や、音の粒立ちの評価項目においては倍音成分である4kHzや左右の相関係数の物理量が大きく影響していることから、倍音成分の変化や、左右の音圧の差異が聴感印象に寄与している事が示唆された。

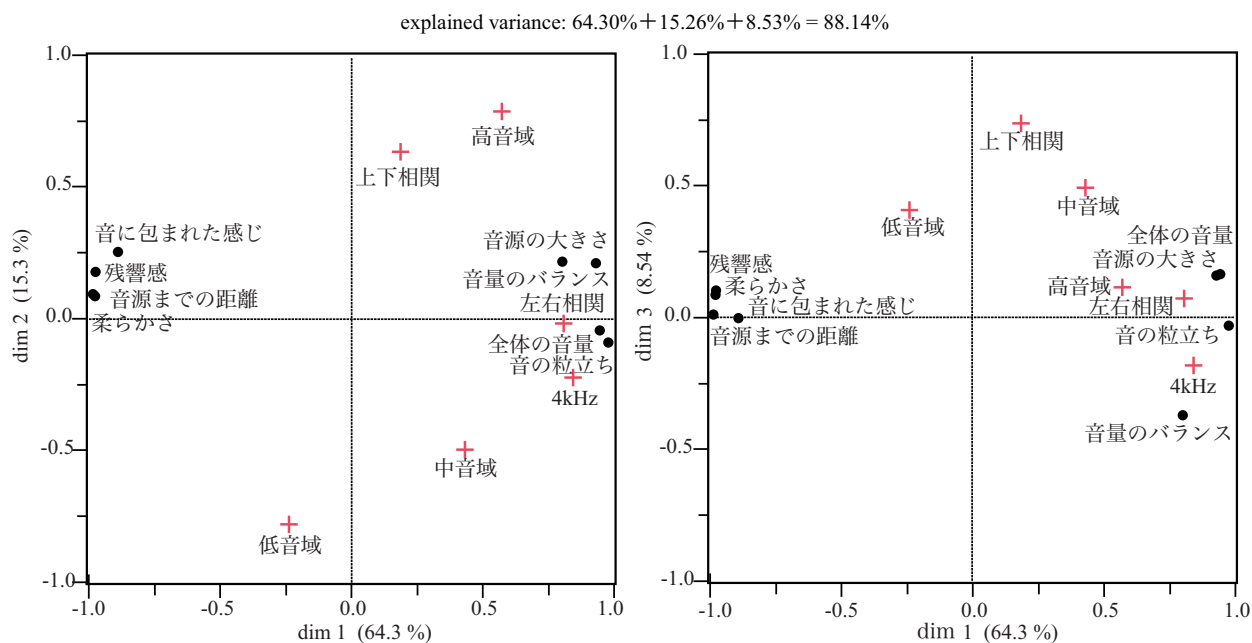


Fig. 5.4: Principal component analysis result.

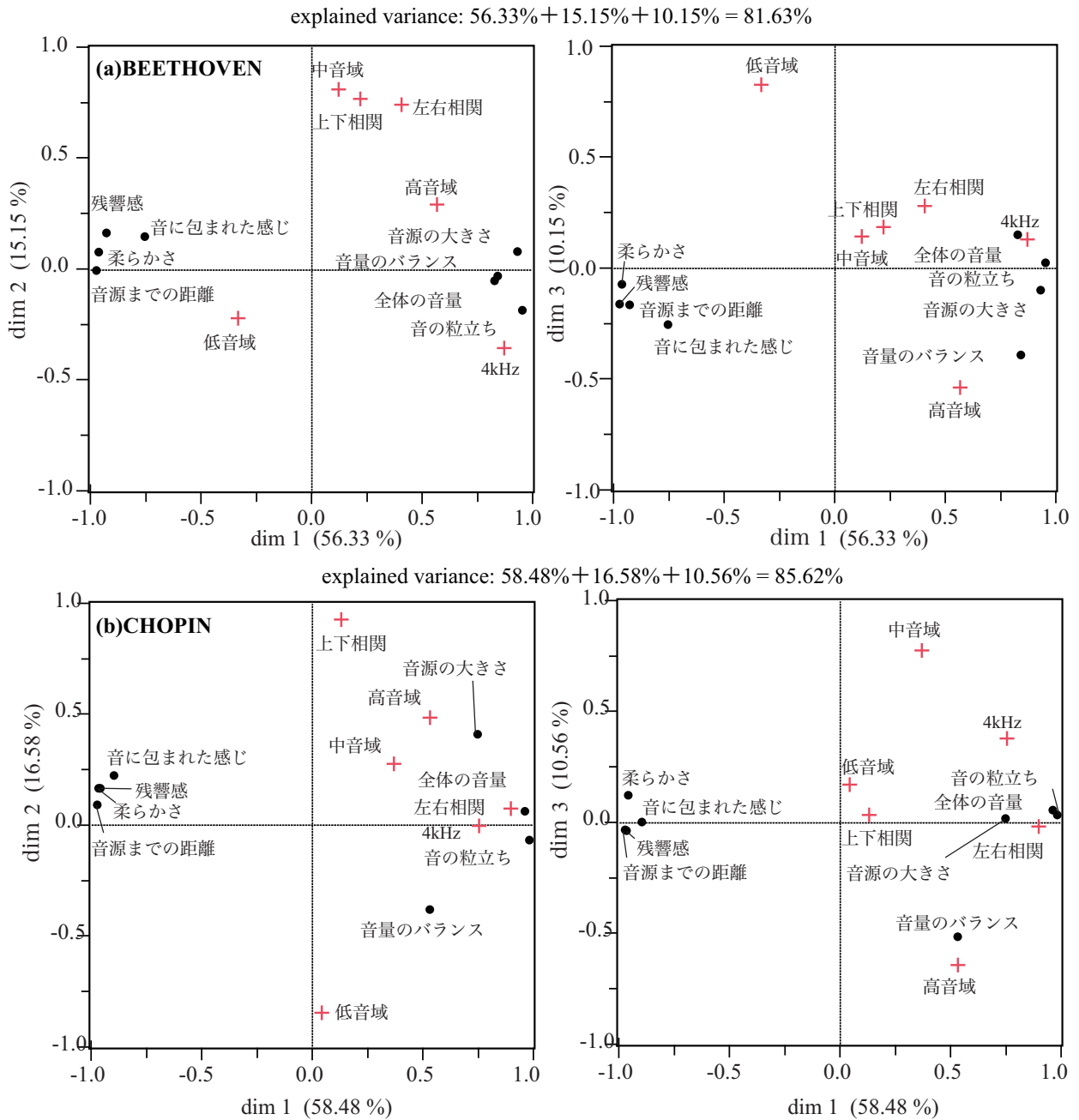


Fig. 5.5: Principal component analysis result:(a) Beethoven,(b) Chopin.

5.3 好ましさと物理量の関係

5.3.1 楽曲の分析

好ましさの評価と、各種物理量との関係を明らかにするため、先述の分析同様にオクターブバンド分析と相互相関係数を算出した。先程は差分値を算出したが、好ましさの実験においては個別呈示であることから、絶対値を算出している。結果を以下 Fig.5.6~Fig.5.8 に示す。Fig.5.6, Fig.5.7 より、各帯域毎の傾向は曲によらず概ね同傾向を示している。また、Fig.5.8 より、相関係数においても同傾向である事が確認された。

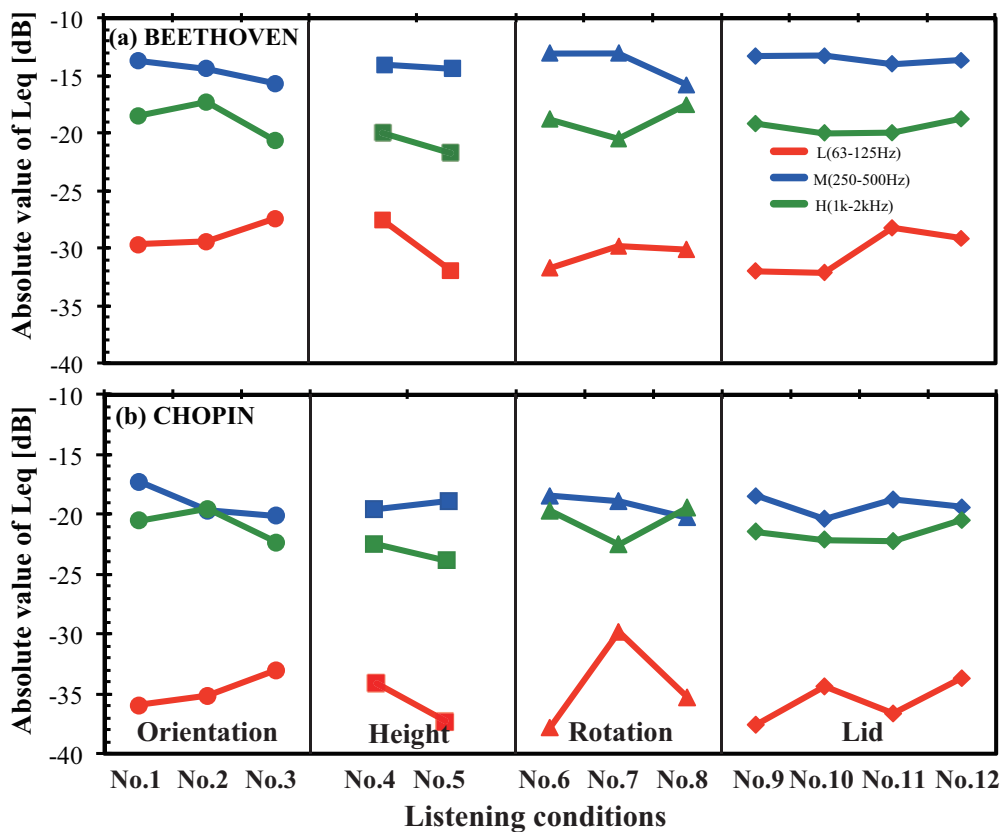


Fig. 5.6: L_{eq} of target in octave bands.

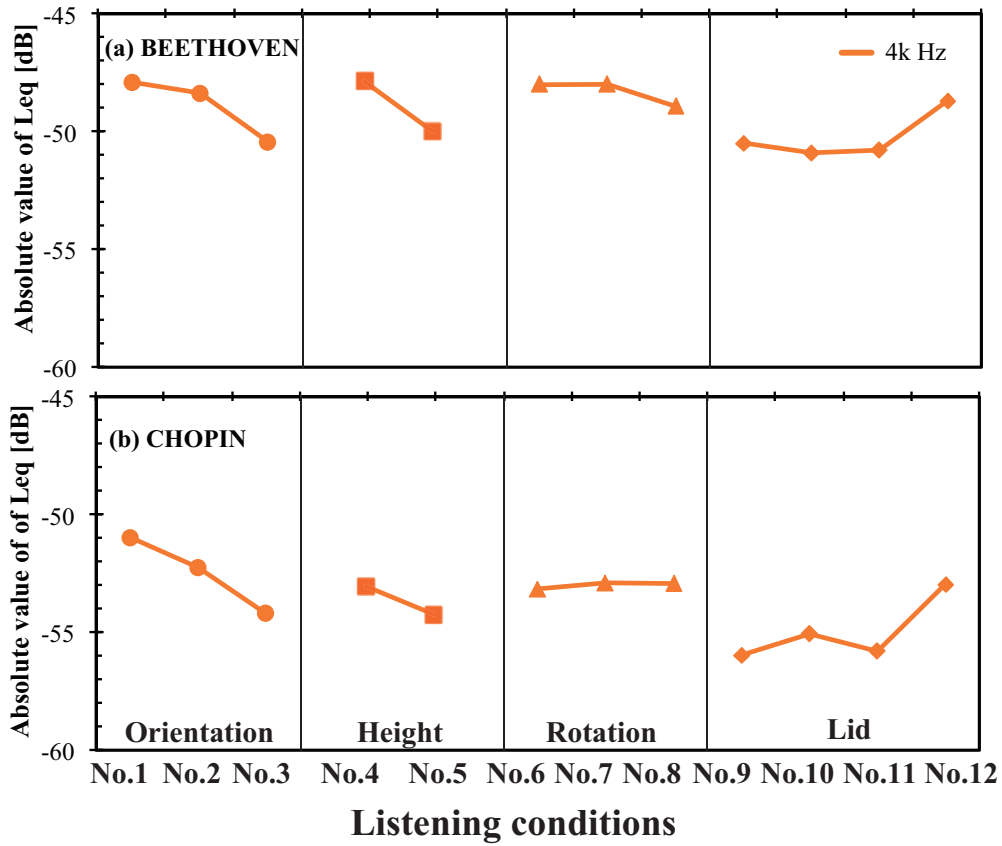


Fig. 5.7: L_{eq} of target in octave bands.

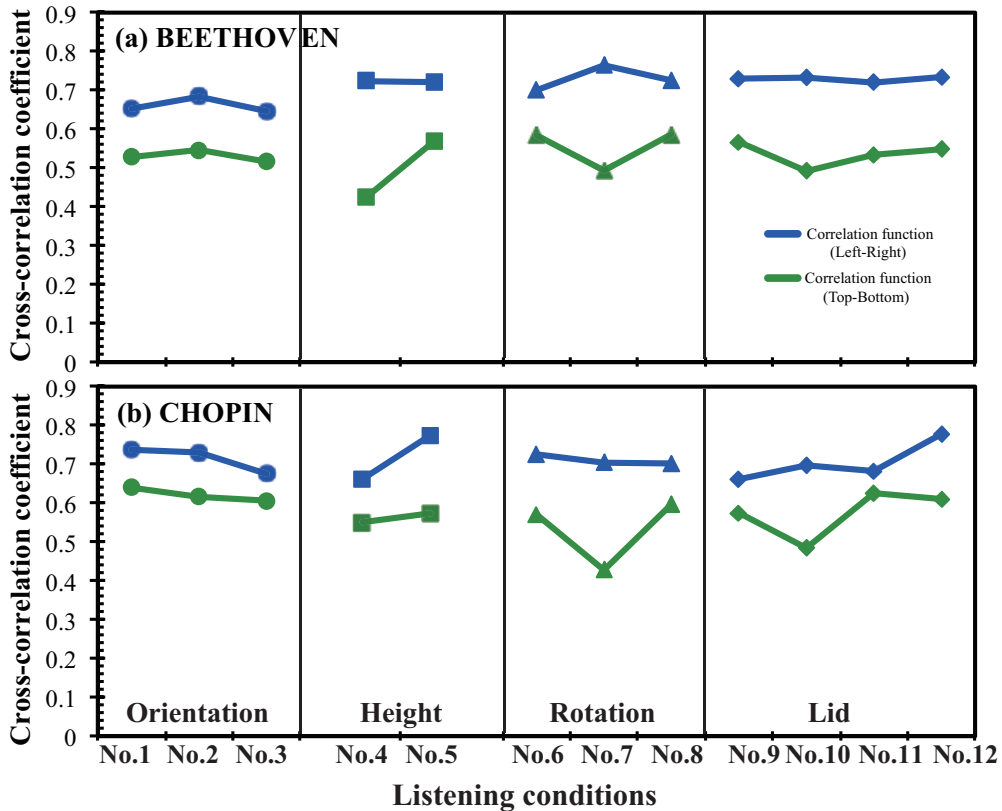


Fig. 5.8: Cross-correlation coefficient of target.

5.3.2 好ましさと物理量の相関

これら物理量と、好ましさの評価項目を用いて、相関係数を算出した。全体の傾向を Tab.5.7 に、曲毎の傾向を Tab.5.8~Tab.5.9 に示す。全体の傾向としては好ましさと 4k Hz の倍音成分が高い相関を持っており、ベートーヴェンにおいては高音域と 4k Hz と相関が得られた。

Tab. 5.7: Correlation matrix of a physical quantity and psychological quantity.

	好ましさ	低音域	中音域	高音域	4kHz	左右相関	上下相関
好ましさ		0.40	0.01	0.46	0.84	0.21	0.15
低音域			-0.33	-0.14	0.29	-0.17	-0.47
中音域				-0.04	0.17	0.23	-0.08
高音域					0.48	-0.05	0.50
4kHz						0.16	-0.01
左右相関							-0.06
上下相関							
相関係数 $r=$		0.0~0.5	0.5~0.7	0.7~0.9	0.9~1.0		
		0.0~-0.5	-0.5~-0.7	-0.7~-0.9	-0.9~-1.0		

Tab. 5.8: Correlation matrix of a physical quantity and psychological quantity of Beethoven.

	好ましさ	低音域	中音域	高音域	4kHz	左右相関	上下相関
好ましさ		0.35	-0.25	0.50	0.59	-0.29	0.15
低音域			-0.44	0.02	0.20	-0.33	-0.50
中音域				-0.11	0.17	0.43	-0.16
高音域					0.42	-0.19	0.36
4kHz						-0.04	-0.14
左右相関							-0.10
上下相関							
相関係数 $r=$		0.0~0.5	0.5~0.7	0.7~0.9	0.9~1.0		
		0.0~-0.5	-0.5~-0.7	-0.7~-0.9	-0.9~-1.0		

Tab. 5.9: Correlation matrix of a physical quantity and psychological quantity of Chopin.

	好ましさ	低音域	中音域	高音域	4kHz	左右相関	上下相関
好ましさ		0.34	0.19	0.35	0.85	0.27	0.10
低音域			-0.37	-0.20	0.27	-0.11	-0.57
中音域				0.04	0.23	0.22	0.23
高音域					0.49	0.17	0.41
4kHz						0.45	0.15
左右相関							0.20
上下相関							
相関係数 $r=$		0.0~0.5	0.5~0.7	0.7~0.9	0.9~1.0		
		0.0~-0.5	-0.5~-0.7	-0.7~-0.9	-0.9~-1.0		

5.3.3 主成分分析結果

好ましさの個人評定と物理量6つを用いて評価項目と物理量及び、音響条件を布置する主成分分析を行い、好ましさと物理量が相関の高い組なのか、検証を行う。分析には先程と同様に統計解析ソフトウェアである JMP11 を使用した。Fig.5.9~Fig.5.10 に全体の傾向、及び曲毎の分析結果を示す。

第1、第2主成分得点の散布図と第1、第3主成分得点の散布図、第3主成分までの累積寄与率を示す。累積寄与率は約80%を超えている事から、十分な説明力と考えられる。第1主成分は高音域の指向性の強さ、第2主成分は低音・高音の強度となっている。また、音響条件に関してはクラスター分析したものを布置している。クラスター分析により、正面30°回転後を除く、高音域で比較的指向性が強い条件と、指向性の弱い条件に分類された。全体の傾向としては好ましさと4kHzの倍音成分が高い相関を持っており、曲毎においても、概ね同様の傾向を示しており、ベートーヴェンにおいては高音域と4kHzと相関が得られた。この結果から、音楽聴取における好ましさの評価としては、高音の倍音成分が大きく寄与しており、4kHzの変化に伴い、各音響条件の評価に影響が及ぼされている事が確認された。

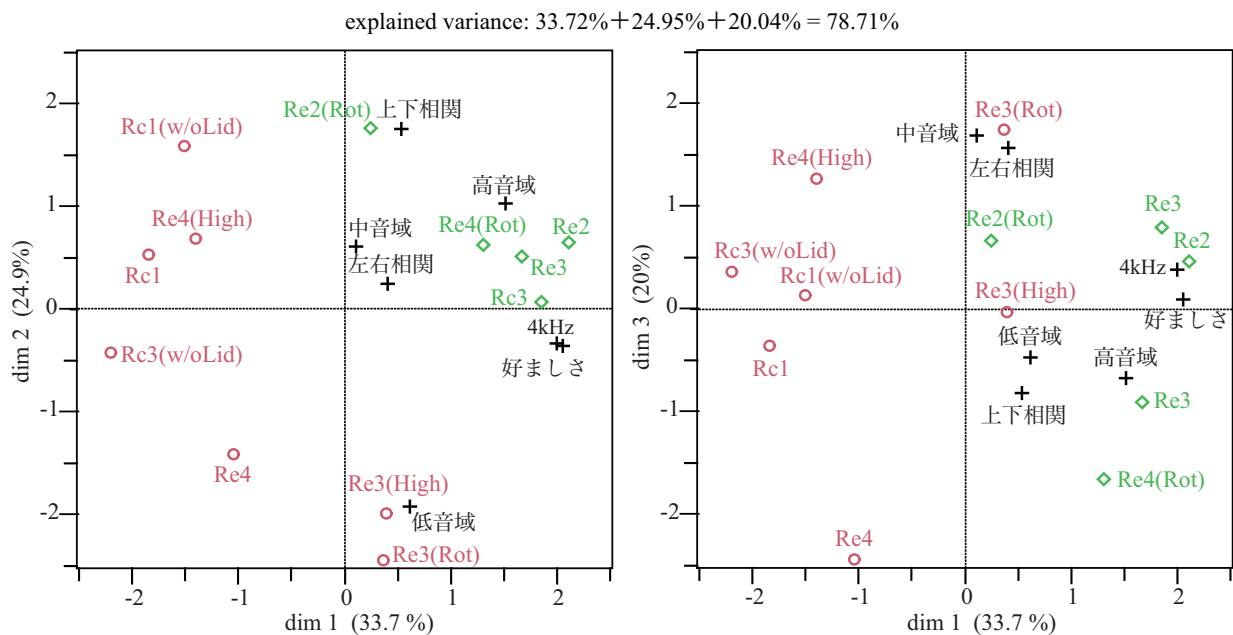


Fig. 5.9: Principal component analysis result.

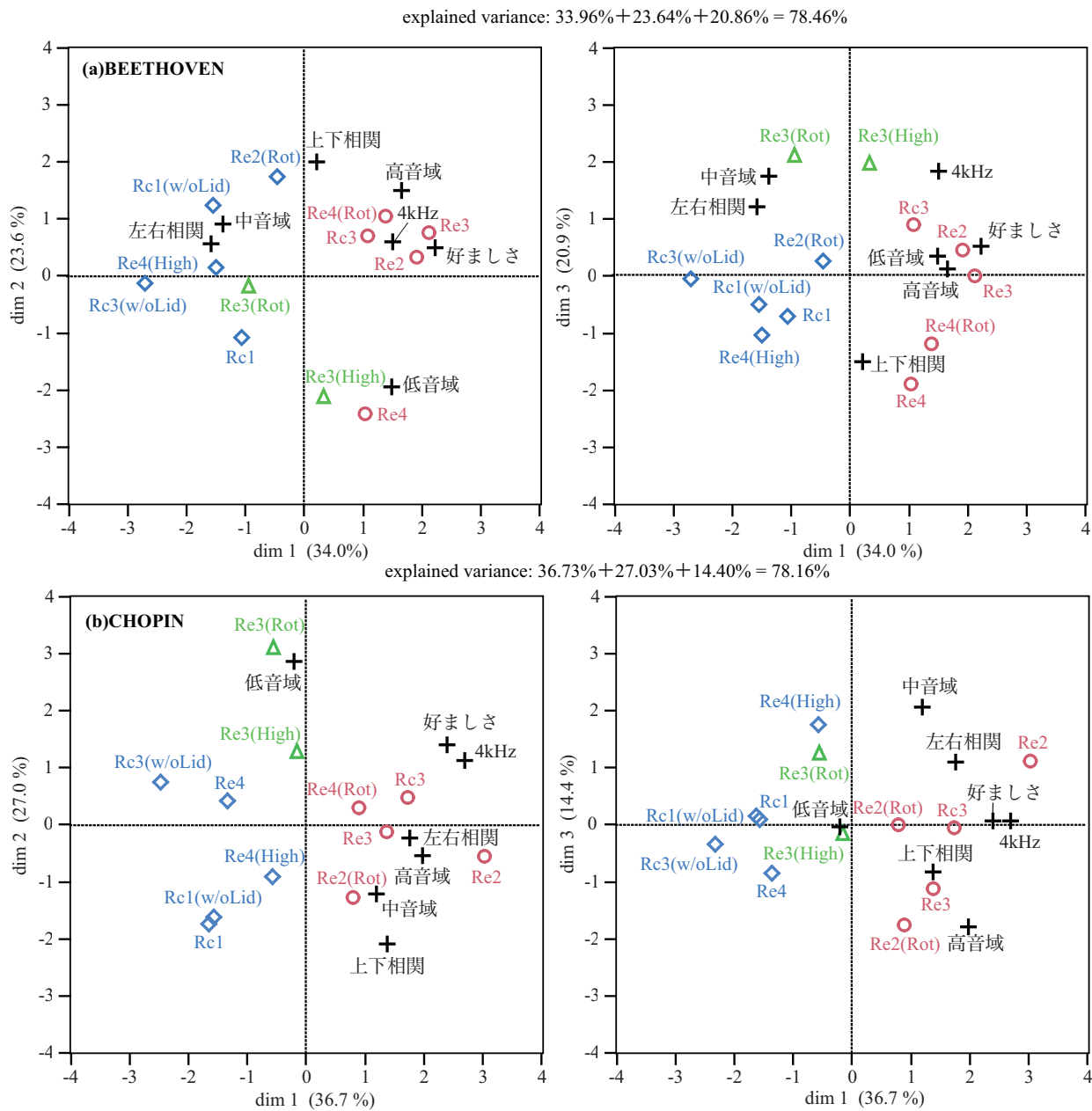


Fig. 5.10: Principal component analysis result:(a) Beethoven,(b) Chopin.

5.4 まとめ

ピアノの音源指向性がホール内の音楽聴取印象に及ぼす影響として、主観評価実験に用いた音響条件における曲の分析を行い、6つの物理量を算出した。得られた物理量と評価項目、好ましさを変数として、主成分分析を行ったところ、各評価項目には高音成分が大きく影響しており、特に4k Hzの倍音成分の強度が強い条件においては、音の粒立ちがはっきりし、好ましいと評価される事が確認された。その為、ピアノの音源指向性が聴感印象へ及ぼす影響としては、高音域の倍音成分の影響が大きく、倍音成分の変化に伴い、特に音の粒立ちや好ましさへの評価に影響が及ぼされていることが明らかとなった。しかし4章より、好みについては一概にこの傾向に従うものではなく、逆の条件を好ましいと評価する人も存在することから、好ましさの評価傾向は個人差が大きいということが確認された。つまり、音の粒立ちや好ましさの評価には4k Hzの倍音成分が影響しており、音の粒立ちの評価の傾向としては、被験者によらず概ね同様の評価傾向をもつが、好ましさに関しては人によって違うという結果が得られた。

第 6 章

総括

本研究は、音響測定によるピアノの音源指向性の把握と、主観評価による聴感実験により、ピアノの音源指向性がホール内の音楽聴取印象に及ぼす影響についてを解明することを目的とし、検討を行った。ここでは本研究で得られた知見を総括し、今後の課題を述べ、結びとする。

6.1 本研究のまとめ

第 1 章ではコンサートホールの変遷をたどり、本研究のモチベーション及び、研究背景や既往研究を概観することで音源指向性が音楽聴取に与える影響の可能性を指摘し、本研究の目的についてを述べた。

第 2 章では掛川工場で行われた音響測定により、ホールの特性及び、ホール内におけるピアノの音源指向性の特性の把握として、ピアノの位置や向き、屋根による影響の検証を行った。その結果ピアノの音源指向性は位置や回転、屋根による影響を強く受けており、特に高音域において影響が顕著であった。

第 3 章では実験に用いる 6 ch 收音・再生システムについて、概要と原理を述べ、システムの補正を行い結果を示した。

第 4 章では音響測定の結果を踏まえ、音響条件を設定し 6 ch 再生システムを用いた一対比較による聴感実験を行い、ピアノの音源指向性が音楽聴取印象に及ぼす影響について検証を行った。その結果音響測定と同様に受聴位置やピアノの向き、屋根の影響が大きいことが確認された。また、総合的な好ましさは高音域の指向性が強いピアノ正面や上手方向で高評価となる傾向が確認されたが、被験者によるバラつきがあり、好ましさの評価は個人差があるということが示唆された。

第 5 章では実験に用いた曲の分析を行い、得られた物理量と評価項目を持ってクラスター分析、主成分分析を行った。その結果、各評価項目と高音成分が大きく寄与しており、特に音の粒立ちと 4k Hz の相関が大きく、好ましさについても 4k Hz との相関が大きいことが示された。これらの結果を踏まえ、音楽聴取印象への影響としては、倍音成分が大きく影響しており、倍音成分の変化に伴い音の粒立ちや好ましさの評価に影響があるとの結論を得た。

本研究によって得られた結果としては、音源指向性が音楽聴取印象に及ぼす影響として、4k Hzの倍音成分が音の粒立ちや好ましさをへの評価に影響が及ぼされているということである。音の粒立ちの聴感印象は被験者による評価傾向の差はなく同傾向の評価を行い、好ましさに関しては個人差はあるものの、ピアノ演奏においては高音域における指向性の強い上手側の条件を好ましいと評価される傾向が得られた。通常のコンサートホールにおいてはS席・A席等グレードに分かれているが、視覚的に優位である席がS席とされる場合が多い。即ちS席が必ずしも音が良いわけではないということである。また、演奏家の手元が見れる様な下手の席は本研究の結果から、音は良いものではないとの結果が得られている。本研究の成果を今後のホール設計に生かすとするならば、ピアノ演奏においては視覚を優先するか、音質を優先するかで座席の計画は変わりうると考えられる。例えば、各コンサートホール毎に明瞭性の良い位置や、残響感が得られる位置など、演奏内容や曲に応じたゾーニングを行い、聴衆の好みに合わせて聴衆が容易に選択できる様な計画を行う事が考えられる。本研究によって得られた知見が今後のホール設計に役立つことを祈念し、結びとする。

6.2 今後の課題

本研究では傾向把握のために、要因を排除した平土間のホールを使用して実験を行った。その為今回の検討においては音源位置と座席位置が同一平面上であることや、座席の影響が含まれていないことから、今後実験が進められる上では実際に演奏会等で行われるコンサートホールでの検討も必要であると考えられる。また、実験時のトラブルによりデータが得られなかった条件についても再度検討を行う必要性があると言えるであろう。実験においてはMIDIによる自動演奏にて評価を行ったが、被験者よりピアノの演奏が不自然であったとの指摘があった。実際に実験対象とするホールにて演奏を行い、その演奏をMIDIで録音をし、実験に用いる等の工夫が考えられる。また、高音域の指向性が強い正面から上手にかけての指向性の詳細な測定や、受聴位置や受聴高さの詳細検討を行うことで、より音源指向性の影響について議論が考察できると考える。

参考文献

- [1] A. C. Gade. Investigations of musicians' room acoustic conditions in concert halls. Part I: Methods and laboratory experiments. *Acustica*, Vol. 69, pp. 193-203, 1989.
- [2] A.C.Gade. Investigations of musicians' room acoustic conditions in concert halls. Part II: Field experiments and synthesis of results. *Acustica*, Vol. 69, pp. 249-262, 1989.
- [3] F.Giron, Investigations about the Directivity of Sound Sources, Ph.D. dissertation, Ruhr- Universität Bochum.
- [4] F. Otondo and J.H. Rindel. The influence of the directivity of musical instruments in a room. *Acta Acustica united with Acustica*, 90(6):1178-1184, 2004.
- [5] International Organization for Standardization. ISO 3382-1:2009 Acoustics - Measurement of room acoustic parameters - Part 1: Performance spaces, Vol. 2009. Geneva, Switzerland, 2009.
- [6] J. Meyer, *Acoustics and the performance of music* Springer, 1978
- [7] Jukka Pätynen. A virtual symphony orchestra for studies on concert hall acoustics. Dissertation, Aalto University, 2011.
- [8] Jukka Pätynen, Sakari Tervo, and Tapio Lokki. Analysis of concert hall acoustics via visualizations of time-frequency and spatiotemporal responses. *The Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 133, No. 2, pp. 842-57, 2013.
- [9] J. S. Bradley and G. A. Soulodre. Objective measures of listener envelopment. *The Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 98, No. 5, pp. 2590-2597, 1995.
- [10] K. Ueno et.al., Experimental study on the evaluation stage acoustics, *Acoust. Soc. & Tech.*, 24,130-138 (2003).
- [11] Kazuma Hoshi, Hiroyuki Okubo, Jun Kanda, Takumi Asakura, Atsushi Marui, Hideo Miyazaki, Motoki Yairi, and Yosuke Yasuda. A Study on establishing benchmarks for acoustical parameters derived from impulse responses. In *Proceedings of International Symposium on Room Acoustics*, No. P107, p. 11, Toronto, Canada, 2013.
- [12] Leo Beranek. *How they sound: Concert and opera halls*. American Institute of Physics, 1996.
- [13] Leo Beranek. *Concert halls and opera houses: music, acoustics, and architecture*. Springer, 2004.
- [14] Mendel Kleiner. A new way of measuring the lateral energy fraction. *Applied Acoustics*, Vol. 27, pp. 321-327, 1989.
- [15] M. Barron and A. H. Marshall. Spatial impression due to early lateral reflections in concert halls: The

- derivation of a physical measure. *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 77, No. 2, pp. 211-232, 1981.
- [16] Michael Barron. *Auditorium acoustics and architectural design*. E&FN SPON, 1993.
- [17] M.Morimoto and K.Iida. A practical evaluation method of auditory source width in concert halls, *J.Acoust.Soc.Jpn.(E)*,16,pp.59-69(1995)
- [18] R. Kurer. Zur Gewinnung von Einzahlkriterien bei Impulsmessungen in der Raumakustik (To the extraction of single criteria with impulse measurements in the room acoustics). *Acustica*, Vol. 21, No. 6, pp. 370-372, 1969.
- [19] SABINE, Wallace C. *Reverberation*. The American Architect, 1900.
- [20] Sakae Yokoyama, Kanako Ueno, Shinichi Sakamoto and Hideki Tachibana 6-channel recording/reproduction system for 3-dimensional auralization of sound fields, *Acoust. Sci & Tech.*, 23, 2, 97-103 (2002).
- [21] Sakae Yokoyama, Hiroo Yano and Hideki Tachibana, 6-channel recording/reproduction system for 3-dimensional auralization and it's applications to psycho-acoustical experiments, *Proc. of INTER NOISE 06* (2006).
- [22] Thomas D. Rossing, editor. *Springer handbook of acoustics*. Springer, 2007.
- [23] T. Yokota, et.al., Sound field simulation method by combining finite difference time domain calculation and multi-channel reproduction system, *Acoust. Soc. & Tech.*, 25, 15-23 (2004).
- [24] Toshiyuki Okano, Leo L. Beranek, and Takayuki Hidaka. Relations among interaural cross-correlation coefficient (IACCE), lateral fraction (LFE), and apparent source width (ASW) in concert halls. *The Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 104, No. 1, pp. 255-265, 1998.
- [25] V.L.Jordan Acoustical criteria for auditoriums and their relation to model techniques *J.Acoust.Soc.Am.*,47,p.408(1970)
- [26] W. de Villiers Keet. The influence of early lateral reflections on spatial impression. In *Proceedings of the 6th International Congress on Acoustics*, No. E-2-4, Tokyo, Japan, 1968.
- [27] W.Kuhl. Räumlichkeit als eine Komponente des Höreindrucks (Spaciousness as a component of the auditory impression), *ACOUSTICA*,40,pp.167-181 (1978)
- [28] W.Reichardt,O.Abdel Alim,and W.Schmidt Abhängigkeit der Grenzen zwischen brauchbarer und unbrauchbarer Durchsichtigkeit von der Art des Musikmotivs, der Nachhall und der Nachhalleinsatzzeit *Appl.Acoust.* 7,pp.243-264(1974)
- [29] W.Reichardt,O.Abdel Alim,and W.Schmidt Dfinition und Messgrunglage eines objectiven Masses zur Ermittlungen Grenze zwischen brauchbarer und unbrauchbarer Durchsichtigkeit bei musikdarbietung *Acustica*,32,pp.126-137(1975)
- [30] Wallin, Nils Lennart, Björn Merker, and Steven Brown, eds. *The origins of music*. MIT press, 2001.
- [31] http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Wien_Musikverein_innen_2010_2.jpg
- [32] http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Symphony_hall_boston.jpg
- [33] 李, 他, 実空間を想定したサウンドマスキングシステムの評価実験 -マスキング性能に対する室内環境要素の影響-, *音講論 (秋)*,p.1013-1014 (2007.9).

- [34] 猪俣他 コンサートホール舞台上を想定した楽器演奏時の指向性の検討 学術講演梗概集. D, 環境工学 1994, 1735-1736, 1994-07-25
- [35] 上野佳奈子, 橋秀樹他 コンサートホールの科学：形と音のハーモニー コロナ社, 2012.6.
- [36] 上野, 他, 演奏者のためのホール音場シミュレーションシステム -プロ演奏家による評価実験, 音響教育研究会資料 EDU-2007-3, 音楽音響研究会資料 MA2007-12 (2007.7).
- [37] 上野, 他, 会話のしやすさに着目した自動車・車室内の音環境評価実験, 音講論 (秋), p.873-874 (2007.9).
- [38] 片山他, ピアノのニアフィールドにおける音圧分布の調査 千葉敬愛短期大学紀要, 1982.
- [39] 橋, 他, 音響教育のための音の可視化・可聴化, 音響教育研究会資料 EDU-2007-9, 音楽音響研究会資料 MA2007-18 (2007.7).
- [40] 中村勲 ”響板の振動・音響特性ーピアノの音響学的研究 第3報ー” 音響会誌 37(10), pp.510-517(1981)
- [41] 永田音響設計, クレモナのヴァイオリン博物館・室内楽ホールが完成!! 297号 12-09号 <http://nagata.co.jp/news/news1209.html>
- [42] 永田音響設計, イザベラ・スチュワート・ガードナー美術館 -音楽ホールの音響 295号 12-07号 <http://nagata.co.jp/news/news1207.html>
- [43] 西口磯春, 鈴木英男他 ピアノの音響学 コロナ社, 2014.8.
- [44] 日本建築学会環境工学本委員会音環境運営委員会室内音響小委員会インパルス応答予測・計測 WG. 室内音響指標ベンチマーク http://news-sv.aij.or.jp/kankyo/s24/benchmark/index_j.html Retrieved November 5, 2014.
- [45] 牧田他 楽器の指向特性の測定結果について 日本建築学会学術講演梗概集 D, 環境工学 1990, 259-260, 1990-09-01
- [46] 松尾他, 音源の嗜好性が室内音場評価に与える影響 -既存ホールの実測による検討- 九州大学大学院人間環境学研究院紀要 2003
- [47] 三上泰生 残響 2 秒ーザ・シンフォニーホールの誕生ー 大阪書籍, 2004.
- [48] 森本政之, 前川純一. 音像の拡がり感について, 日本音響学会聴覚研究会資料, H-87-31(1987)
- [49] 森本政之, 藤本久嘉, 前川純一. みかけの音源の幅と音に包まれた感じの差異 音響会誌, 46, pp.449-457(1990)
- [50] 横山栄, 矢野博夫他 6チャンネル收音・再生システムの原理と主観評価実験への応用例 建築音響研究会資料 AA2006-3
- [51] 横山栄, 大田達也他 6チャンネル收音・再生方式を適用した 実験事例とデモンストレーション 建築音響研究会資料 AA2007-48
- [52] 横山, 他, 6チャンネル方式收音マイクロホンの改良, 音講論 (春), p.855-856 (2007.3).
- [53] 横山, 他, 公共空間の音環境の評価, 騒音制御 Vol.30, No.6, pp.477-481 (2006).
- [54] 横山, 他, 道路トンネル内避難誘導のための 拡声放送システムの設計, 騒音・振動研究会資料 N-2007-26 (2007.6).
- [55] 横山他, 6チャンネルの指向性マイクロホンを用いた收音・再生法による音場シミュレーション, 日本音響学会春季講演論文集, p.833-834 (1998).

その他

- [56] 石村貞夫, 石村光資郎 入門はじめての分散分析と多重比較 東京図書,2001
- [57] 石村貞夫, 石村光資郎 入門はじめての多変量解析 東京図書,2006
- [58] 高橋信 統計学 [回帰分析編] オーム社,2000.7
- [59] 高橋信 統計学 [因子分析編] オーム社,2000.7
- [60] 前川純一, 森本政之, 阪上公博 :建築・環境音響学 (第2版), 共立出版, 2000.

謝辞

本論文は、筆者が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修士課程において、同専攻佐久間哲哉准教授のもとに行った研究をまとめたものです。指導教員の佐久間哲哉准教授にはテーマ設定を始め、研究の在り方から物事を論理的に考える事、研究活動の楽しさを一から丁寧に指導いただきました。時には厳しい指導もありましたが、ユーモアを交えながら分かりやすく指導を頂きました。そして、なにより私が入学当初から行いたかった本研究であるピアノの研究の機会を与えてくださりました。心から感謝を申し上げます。

同専攻副指導教員の味埜俊教授には、普段見落としがちな視点や研究の原点を振り返るアドバイスを頂きました。また、東京大学生産技術研究所の坂本慎一准教授、李孝珍博士には主観評価実験の準備から実施に当たるまでご指導、御協力を頂きました。ここに感謝を申し上げます。

共同研究者である明治大学理工学部建築学科 上野佳奈子准教授、小林理学研究所 横山栄博士、ヤマハ株式会社 宮崎秀生さん、池田雅弘さんには実験の立ち上げから方針に至るまで大変貴重なご意見を頂きました。また、有益な議論の場にも参加させていただきました。財団法人ヤマハ音楽振興会 七五三範明氏には被験者を募るにあたって尽力して頂きました。ここに感謝を申し上げます。

佐久間研究室の先輩である土屋裕造さん、石川聡史さん、特任研究員の李孝振博士には研究以外においても沢山のアドバイスを頂きました。また、博士課程の江田和司さん、井上尚久さんには研究内容を始め、音響の基礎からプログラミングまで手厚く丁寧に指導頂きました。2年間本当にお世話になりました。心より御礼申し上げます。

同研究室の卒業生である清家剛さん、竹下圭悟さんには沢山のアドバイスを頂きました。同期の澤幡麻佑子さん、西村裕喜子さんには2年間の研究生活において、多くの時間を共に過ごし、日々の生活からお互いの研究の議論等様々な知識や刺激を頂きました。後輩の橋本悌くん、福田雄也くんには短い終始生活ではありましたが、楽しい思い出をたくさんいただきました。本当にありがとうございました。同じ院生室で共に時間を過ごした社会文化環境学専攻の大学院生の皆様に謝意を表します。共同で実験を行った明治大学の添野結衣さんには実験準備等、大変お世話になりました。

また、私の研究生活を影でサポートしてくれていた木村昇太郎くん、伊堂寺航くん、田淵莞士くんに感謝の意を表します。最後になりましたが、私の学生生活を長い間暖かく支えて下さった両親、兄弟、親戚の皆様には深く御礼を申し上げます。

2015年1月26日

上田脩太郎

発表論文一覧

1. 上田脩太郎, 佐久間哲哉, 上野佳奈子, 横山栄, 宮崎秀生, 池田雅弘: ピアノの指向性がホール内の音圧分布に及ぼす影響, 日本音響学会秋季研究発表会講演論文集, pp.1227-1228, 2014.9.
2. 上田脩太郎, 佐久間哲哉, 添野結衣, 上野佳奈子, 横山栄, 宮崎秀生: ピアノの音源指向性がホール内の音楽聴取印象に及ぼす影響について, 日本音響学会秋季研究発表会講演論文集, 2015.3.
3. 修士論文要旨

ピアノの指向性がホール内の音圧分布に及ぼす影響*

☆ 上田脩太郎, 佐久間哲哉 (東大・新領域), 上野佳奈子 (明治大)
横山栄 (小林理研), 宮崎秀生, 池田雅弘 (ヤマハ)

1 はじめに

ピアノの音源指向性は, Meyer や Giron の研究により, 中高音域で強いことが明らかにされている^{[1][2]}. 本報では, ピアノの指向性がホール内の音圧分布に及ぼす影響として, 特にピアノの位置・方向・屋根の影響について実験的に検討する.

2 測定概要

図 1 に示す平土間ホール (14 m×22 m×12 m (H)) に自動演奏ピアノ (Yamaha CFIII) を設置し, 音圧分布測定を行う. 室条件として, 1 階部全周壁のカーテン有無により残響時間 (500, 1k Hz 帯域平均) を 1.4 s (反射性) と 1.2 s (吸音性) に設定した. ピアノは, 鍵盤中央のハンマー打弦位置を音源点として, エンドステージ型とセンターステージ型を想定した 2 カ所に配置し, 方向 (正対または時計回り 30 度回転) および屋根の有無 (有りは開状態) を変化させた. 受音点は 3 m 間隔の格子点上の高さ 1.5, 4.0 m に計 48 点を設置した. 測定は, 自動演奏により 63~2k Hz の各オクターブ内の増四度和音 5 つを一定速度で繰り返し打鍵し, 各受音点における録音波形のオクターブバンド分析を行った.

3 結果と考察

図 2 に指向性の影響が顕著に現れた中音域 500 Hz と高音域 2 kHz の基音の音圧分布測定結果を示す. 但し, 音圧レベルの基準として, 反射性・エンドステージ型・正面・屋根有り条件のピアノ近傍点 ((a) 図中黒丸) 500 Hz の値を 0 dB とした. また, 表 1 に上記条件の音源近傍点における相対音圧レベルを示す.

Table 1: Relative SPL at the nearest receiver on the reference condition.

Relative SPL [dB]	1/1 octave band center frequency (Hz)					
	63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz
	-12.5	-5.1	2.0	0	-0.5	-6.7

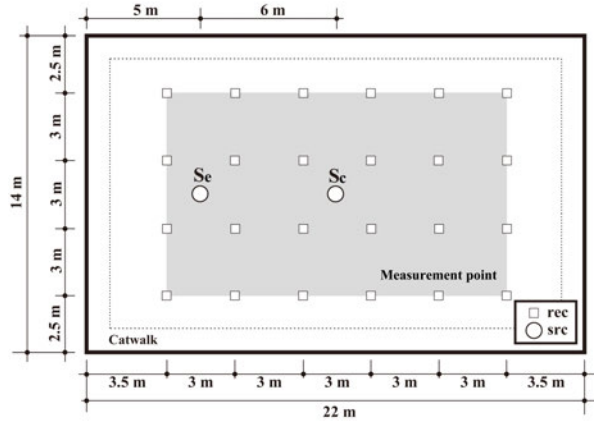


Fig. 1: Arrangement of the piano and receivers in the floor plan. S_e and S_c for end-/center-stage.

室条件の影響 図 2(a)に室条件を変化させた場合の結果を示す. 低音域ではカーテンの影響は小さく, 概ね均一な無指向性の分布となることを別途確認している. 中高音域では, 音源近傍で直接音が支配的であり, ピアノから正面上手方向に強い指向性が現れている. また, 高所ではその方向の音源から離れた位置でレベルの上昇が見られ, 斜め上方向への指向性が推察される. 吸音性の室条件では反射音の抑制により遠方でのレベル低下が見られ, 指向性の影響が若干大きくなる傾向にある. なお, 以降では吸音性の室条件における結果を考察する.

ピアノの屋根の影響 図 2(b)に屋根有無の場合の結果を示す. なお, 低音域では屋根の影響は小さく, 概ね均一な無指向性の分布となった. 中高音域では屋根による指向性の影響が顕著となり, 屋根無しでは鍵盤反対上手方向からピアノ背面方向にかけて指向性が強まるとともに, 高所では全体的にレベルが上昇することがわかる. センターステージ型では, 屋根を外すことでピアノ正面と背面の差を小さくする効果が予想される.

ピアノの方向の影響 図 2(c)にピアノの方

向を変化させた場合の結果を示す。中高音域では 30° 回転に伴って全体的な分布も同方向に移動し、ピアノから正面下手方向のレベル上昇が確認できる。特に、高所の上手下手両端では遠方にかけてのレベル変化は小さくなっており、両側バルコニー席の偏差を緩和する効果が予想される。なお、ピアノ位置に関しては、図 2(b,c)の正面・屋根有り条件で比較すると、ピアノから正面 8 m 付近まではほぼ同様の分布であることが確認された。

4 おわりに

本報では、ピアノの指向性がホール内の音圧分布に及ぼす影響として、中高音域ではピアノの方向と屋根の影響が比較的大きいこと

を確認した。今回は基音の結果のみを報告したが、今後は倍音の結果とあわせて、音色の空間分布を分析する。また、自動演奏録音の主観評価実験を通して、ピアノの指向性と客席位置が音楽聴取の印象に及ぼす影響についても検討を行う予定である。

謝辞 本実験の遂行にあたり、ヤマハ株式会社の堀田哲夫氏の多大なる御協力を頂いた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- [1] J.Meyer, *Acoustics and the performance of music* (Springer, 1978).
- [2] F.Giron, *Investigations about the Directivity of Sound Sources*, Ph.D. dissertation, Ruhr-Universität Bochum.

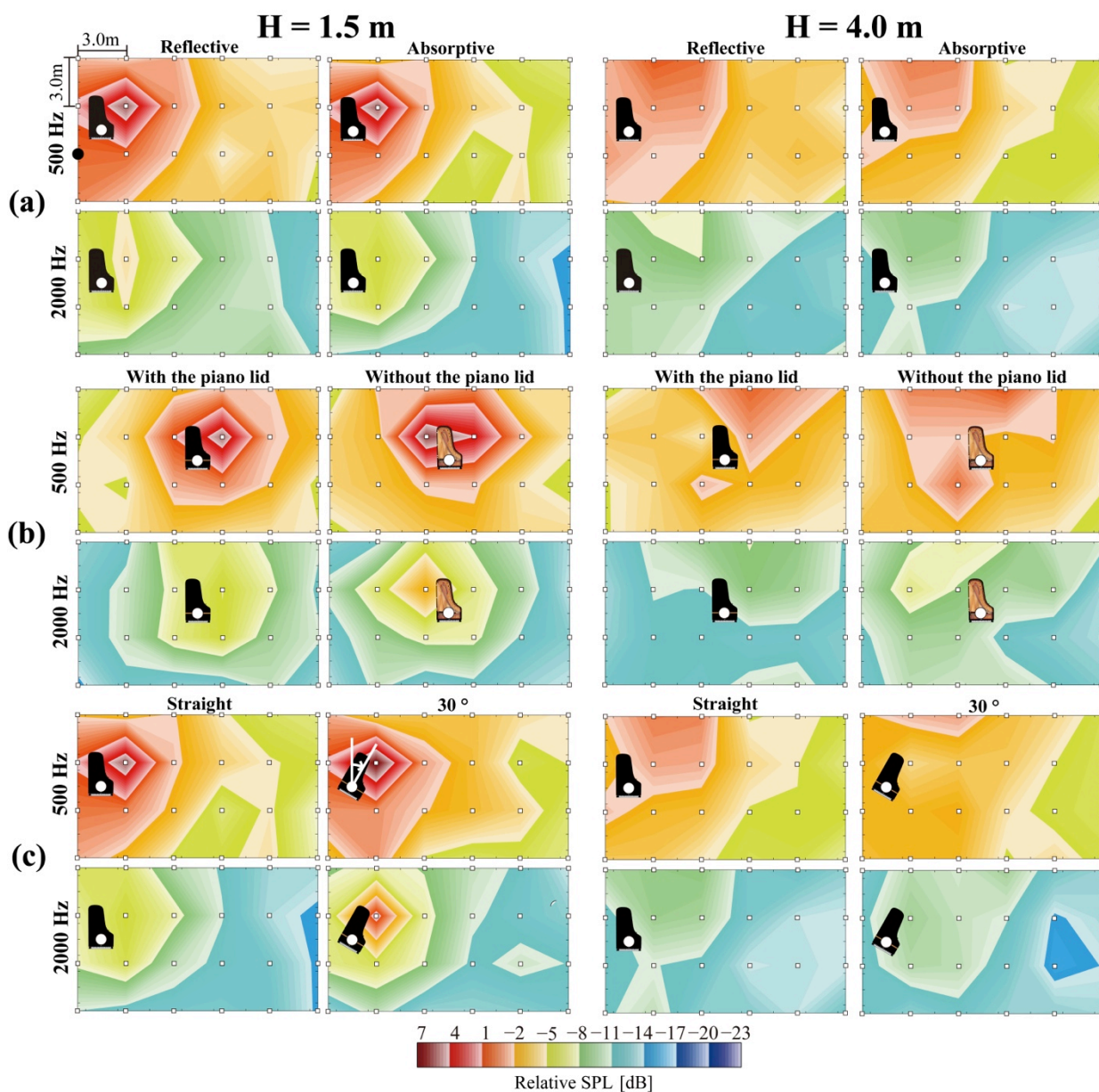


Fig. 2: Relative SPL distributions on the two planes ($h = 1.5, 4.0\text{ m}$) from the real piano: (a) reflective/absorptive room conditions, (b) with/without the piano lid, (c) straight and 30 degrees rotation in piano direction.

ピアノの音源指向性がホール内の音楽聴取印象に及ぼす影響について*

☆ 上田脩太郎, 佐久間哲哉 (東大・新領域), 添野結衣, 上野佳奈子 (明治大)
横山栄 (小林理研), 宮崎秀生 (ヤマハ)

1 はじめに

ピアノの音源指向性は, Meyer や Giron の研究により, 中高音域で強いことが明らかにされている^{[1][2]}. また, 既報ではピアノの指向性が音圧分布に及ぼす影響について, 中高音域ではピアノの方向と屋根の影響が比較的大きいことを確認している^[3]. 本報では, ホール内の音楽聴取印象への影響として, 特に受聴位置・ピアノの方向・屋根の影響について, 再現音場内の聴感実験により検討する.

2 聴感実験の概要

録音条件 図1の平土間ホール(14 m×22 m×12 m(H))に自動演奏ピアノ(Yamaha CF III)を設置し, 6ch 収録システム^[4]を用いて各条件で表1の2曲を録音した. ピアノはエンドステージ型(Se)とセンターステージ型(Sc)を想定した2カ所に配置し, 方向(正対または時計回り30度回転)および屋根の有無(有りは開状態)を変化させた. 受音点はピアノ中心から水平距離8 mの背面(Rc1)・正面(Rc3, Re3)・上手(Rc2, Re2)・下手(Rc4, Re4), 高さ1.5 mと4.0 mに配置した.

聴感実験 無響室内の6ch再生システム^[4]を用いて, 被験者(10~60代男女20名)に曲毎に表2の条件対の録音を提示し, 表3の評価語について一対比較評価(13段階)をさせた. 加えて, 各条件を個別に提示し, 好ましさを総合的に評価させた.

Table 1: Two pieces of music for the listening experiment.

Beethoven: Op.27-2 3rd Mov., Bar. 1-14 (20sec)
Chopin: Op.22 Grande Polonaise Brillante, Bar. 1-16 (30sec)

Table 2: Pairs of listening conditions for comparison.

Variable factor	No.	Reference	Target
Orientation(Rec.)	1	Rc3	Rc2(High)
	2	Rc3	Rc4
Height(Rec.)	3	Rc3	Rc3(High)
	4	Rc4	Rc4(High)
Rotation(Pf.)	5	Re2	Re2(Rot)
	6	Re3	Re3(Rot)
	7	Re4	Re4(Rot)
	8	Rc3	Rc1
Lid(Pf.)	9	Rc3(w/oLid)	Rc1(w/oLid)
	10	Rc1	Rc1(w/oLid)
	11	Rc3	Rc3(w/oLid)

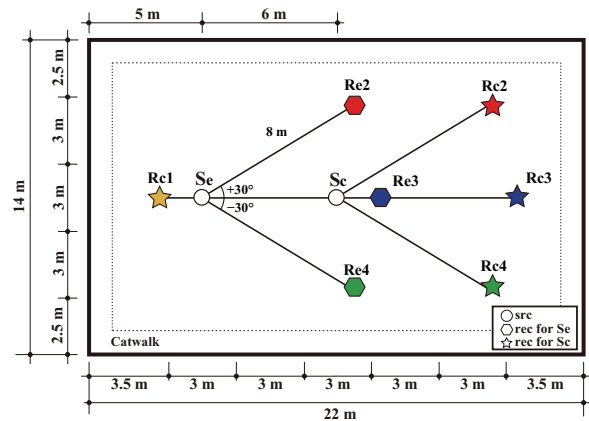


Fig. 1: Arrangement of the piano and receivers in the floor plan. Se and Sc for end-/center-stage style.

Table 3: Evaluation terms and rating scales.

区分	評価項目	評価尺度						
		-3	-2	-1	0	1	2	3
音量	全体音量	非常に小さい	かなり小さい	やや小さい	同じ	やや大きい	かなり大きい	非常に大きい
	バランス	低音寄り						高音寄り
音質	粒立ち	ぼんやり						はっきり
	柔らかさ	硬い						柔らかい
音像	音像幅	小さい						大きい
	距離	近い						遠い
空間	残響感	残響感がない						残響感がある
	包まれ感	包まれていない						包まれている
	好ましさ	嫌い			どちらでもない			好き

3 一対比較による聴取印象の検証

一対比較の条件対毎に平均値の t 検定を行った結果を表4に示す. 表中, 有意差が検出された条件対を平均値の正負で色分けした. また, 受聴位置の音圧レベル測定結果として, 各条件対の基準条件に対する比較条件のレベル差を図2に示す. 評価に顕著な差が現れた No.8,11 では両曲で同様の傾向となったが, 全体的に Chopin で有意差が多く検出された. 一方, レベル差の傾向は両曲で必ずしも一致していない. 但し, 曲によらず音の粒立ちの評価と 4kHz のレベル差の傾向はよく対応している. 以降では条件の影響を受けやすい Chopin の評価について考察する.

受音点方位の影響 高音域の指向性が強い上手高所では粒立ちがはっきりし, 距離を近く感じている. 一方, 指向性が弱い下手では音量感の低下とともに逆評価となり, 柔らか

* Influence of directivity of the piano on music listening impressions in a hall, by UEDA, Shutaro, SAKUMA, Tetsuya (Univ. of Tokyo), SOENO, Yui, UENO, Kanako (Meiji Univ.), YOKOYAMA Sakae (Kobayasi Inst. of Physical Research), MIYAZAKI, Hideo, (Yamaha Corp.)

さ・残響感・包まれ感も大きく上昇している。
受音点高さの影響 正面高所では柔らかさ・残響感・包まれ感が上昇するのに対して、下手高所では No.2 で低評価の低所より粒立ちがはっきりし、距離を近く感じている。

ピアノ回転の影響 回転の影響は全体的に上手で小さく、正面と下手で大きい。特に下手では No.2 と明確に逆傾向にあり、回転により指向性が強まり、正対時正面の印象に近づいたものと考えられる。

ピアノ屋根の影響 屋根あり (No.8) の正面に対して背面では指向性の明らかな影響として、距離感が大幅に遠くなるとともに音量感・バランス・粒立ちが低下し、柔らかさ・残響感・包まれ感も大きく上昇している。一方、屋根なし (No.9) では正面と背面の差は小さく、むしろ背面で音量・粒立ちが上昇している。背面 (No.10) では屋根なしでバランス・粒立ちが上昇し、柔らかさ・距離感・残響感が低下している。また、正面 (No.11) では屋根なしで No.8 と同傾向にあり、屋根あり背面の印象に近づくことが示唆される。

4 好ましさへの影響

個別提示による好ましさの評価結果として、平均値順に各条件の回答分布を図3に示す。両曲で上位3条件に正面・上手が入り、回転時下手も次に高評価である。一方、下位2条件は屋根なし正面と屋根あり背面であり、屋根なし背面も次に低評価である。つまり、通常の屋根あり状態では高音域の指向性が強い正面・上手が好まれ、背面や屋根なし状態は好まれないことが検証された。

5 おわりに

本報では、ピアノの音源指向性がホール内の音楽聴取印象に及ぼす影響として、受聴位置やピアノの向きと屋根の影響が比較的大きいことが確認された。また、総合的な好ましさは、高音域の指向性が強いピアノ正面・上手方向で高評価となる傾向が確認された。

謝辞 本実験の遂行にあたり、東大生研・坂本慎一准教授、李孝珍博士の多大なる御協力を頂いた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- [1] J. Meyer, *Acoustics and the Performance of Music* (Springer, 1978). [2] F. Giron, Ph.D. dissertation, Ruhr- Universität Bochum (1996). [3] 上田他, 音講論集(秋), pp.1227-1228, 2014. [4] 横山他, 建音研資料 AA2006-3.

Table 4: Results of t-test for mean values.

曲	区分	評価尺度		平均値															
		受音点方位		受音点高さ				ピアノ回転				ピアノ屋根							
		No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9	No.10	No.11							
Beethoven	音量	全体音量	-0.15	-0.38	-0.30	-0.15	-0.58	-0.03	0.38	-0.55	0.60	0.28	-1.00						
		バランス	-0.30	-0.88	-0.60	0.05	0.08	-0.58	0.40	-0.88	-0.43	0.40	-0.85						
		粒立ち	0.43	-0.78	-0.53	0.40	-0.30	-0.20	0.83	-1.78	0.15	0.38	-1.83						
	音質	柔らかさ	0.38	0.55	0.63	-0.05	0.35	0.08	-0.48	1.55	0.00	0.15	1.43						
		音像幅	-0.28	-0.20	-0.15	-0.05	-0.03	-0.08	0.25	-0.48	0.10	0.18	-0.38						
		距離	0.33	0.23	0.35	0.05	0.25	-0.20	-1.15	1.78	-0.50	-0.45	1.70						
		残響感	-0.13	0.18	-0.05	-0.08	-0.05	0.03	-0.35	1.38	0.05	-0.55	0.98						
		包まれ感	-0.08	-0.28	0.03	-0.05	0.25	-0.13	-0.05	0.83	0.20	-0.45	0.48						
	空間	全体音量	0.23	-0.85	-0.15	0.30	0.23	0.43	1.00	-0.85	0.35	0.20	-1.10						
		バランス	-0.45	-0.40	0.00	0.08	0.20	0.28	0.15	-0.65	0.25	0.73	0.20						
		粒立ち	0.70	-0.73	-0.45	0.83	0.48	0.90	1.53	-1.58	0.53	0.65	-1.23						
	柔らかさ	0.23	1.08	0.70	-0.23	0.05	-0.40	-0.60	1.43	-0.25	-0.48	0.80							
	音像幅	0.45	-0.1	-0.10	0.05	0.43	0.08	0.63	-0.03	0.20	0.08	-0.48							
	距離	-0.75	1.03	0.45	-0.45	-0.25	-0.58	-1.35	1.95	-0.15	-0.48	1.23							
	残響感	0.30	1.20	0.88	-0.28	0.55	-0.63	-0.85	1.58	-0.05	-0.50	1.53							
	包まれ感	0.18	0.60	0.90	0.23	0.55	-0.45	-0.58	0.93	0.15	-0.25	0.85							

網掛け部 p<0.05, 太字 p<0.01

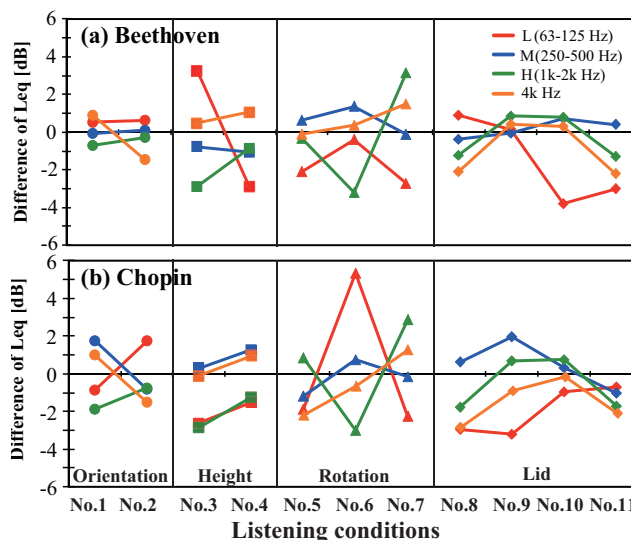


Fig.2: Leq differences of target-to-reference in octave bands.

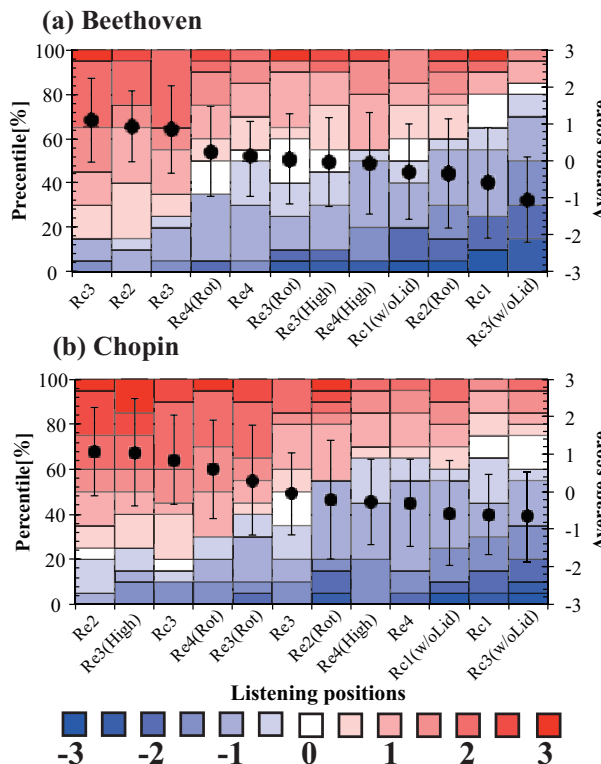


Fig.3: Averages and distributions of preference score for the variation of listening conditions.

ピアノの音源指向性がホール内音楽聴取印象に及ぼす影響の解明

Elucidation of the influence of directivity of the piano on music listening impression in a hall

学籍番号 47-136737
氏名 上田 脩太郎 (Ueda, Shutaro)
指導教員 佐久間 哲哉 准教授

1. はじめに

1.1 研究背景

ピアノの音源指向性は、Meyer や Giron の研究により、中高音域で指向性が強いことが明らかにされている^{[1][2]}。本研究ではピアノの音源指向性がホール内における音楽聴取印象に及ぼす影響を解明する事を目的とし、ピアノを音源としたホールでの音響測定と 6ch 再生システムを用いた聴感実験により明らかにする。本研究により得られた知見は、音源指向性を考慮したホール音響評価の一助となり得るだけでなく、実際のホール設計においても貢献するものと考えている。

2. 音響測定

2.1 測定概要

図1に示す平土間ホール(14 m × 22 m × 12 m (H))に自動演奏ピアノ(Yamaha CFIII)を設置し、音圧分布測定、及び 6ch 收音システム^[3]を用いて表2の2曲の演奏録音を行った。ピアノは、鍵盤中央のハンマー打弦位置を音源点として、エンドステージ型とセンターステージ型を想定した2カ所に配置し、方向(正対または時計回り30度回転)および屋根の有無(有りは開状態)を変化させた。音圧分布測定における受音点は3 m 間隔の格子点上の高さ 1.5, 4.0 m に計 48 点を

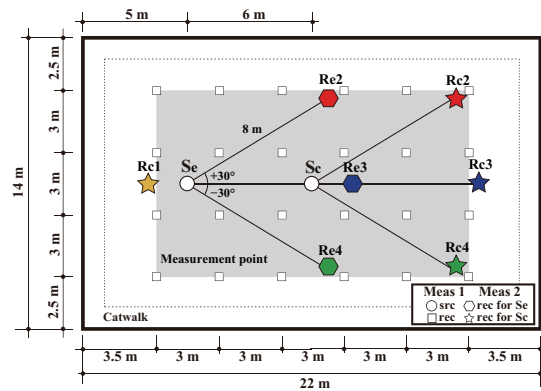


Fig.1 : Arrangement of the piano and receivers in the floor plan. Se and Sc for end-/center-stage style.

設置した。演奏録音における受音点はそれぞれ音源から 8 m の等距離に配置し、ピアノ背面 (Re1)、ピアノ正面 (Re3, Re3) 上手 (Re2, Re2)、下手 (Re4, Re4) とした。測定は自動演奏により 63 ~ 2k Hz の各オクターブ内の増四度和音 6 つを一定速度で繰り返し打鍵し、各受音点における録音波形のオクターブバンド分析を行った。

3. 結果と考察

3.1 音圧レベル分布測定

図2に指向性の影響が顕著に現れた中音域 500 Hz と高音域 2 kHz の基音の音圧レベル分布測定結果を示す。但し、音圧レベルの基準として、反射性・エンドステージ型・正面・屋根有り条件のピアノ近傍点((b)図中黒丸の位置)500 Hz の値を 0 dB とした。ま

た、表 1 に上記条件の音源近傍点における相対音圧レベルを示す。なお、倍音の音圧分布に関しては基音と概ね同傾向であったため、本報告では省略する。

Table1 : Relative SPL at the nearest receiver on the reference condition.

Relative SPL[dB]	1/1 octave band center frequency (Hz)					
	63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz
	-12.5	-5.1	2.0	0	-0.5	-6.7

ピアノ屋根の影響 図 2(a)に屋根有無の場合の結果を示す。なお、低音域では屋根の影響は小さく、概ね均一な無指向性の分布となった。中高音域では、音源近傍で直接音が支配的であり、屋根ありの条件においてはピアノから正面上手方向に強い指向性が現れている。また、高所ではその方向の音源から離れた位置でレベルの上昇が見られ、斜め上方向への指向性が推察される。屋根無しでは上手方向からピアノ背面方向にかけて指向性が強まるとともに、高所では全体的にレベルが上昇することがわかる。センターステージ型では、屋根を外すことでピアノ正面と背面の差を小さくする効果が予想される。

ピアノ回転の影響 図 2(b)にピアノの方向を変化させた場合の結果を示す。中高音域では 30°回転に伴って全体的な分布も同方向に移動し、ピアノから正面下手方向のレベル上昇が確認できる。特に、高所の上手下手両端では遠方にかけてのレベル変化は小さくなっており、両側バルコニー席の偏差を緩和する効果が予想される。

4. 聴感実験

4.1 聴感実験概要

無響室内の 6ch 再生システム^[3]を用いて、被験者(10~60 代男女 20 名)に曲毎に表 3 の

条件対の録音を提示し、表 4 の評価語について一対比較評価(13 段階)をさせた。加えて、各条件を個別に提示し、好ましさを総合的に評価させた。

4.2 一対比較による聴取印象の検証

一対比較の条件対毎に平均値の t 検定を行った結果を表 5 に示す。表中、有意差が検出された条件対を平均値の正負で色分けした。また、受聴位置の音圧レベル測定結果として、各条件対の基準条件に対する比較条件のレベル差を図 3 に示す。評価に顕著な差が現れた No.8,11 では両曲で同様の傾向となったが、全体的に Chopin で有意差が多く検出された。一方、レベル差の傾向は両曲で必ずしも一致していない。但し、曲によらず音の粒立ちの評価と 4kHz のレベル差の傾向はよく対応している。以降では条件の影響を受けやすい Chopin の評価について考察する。

受音点方位の影響 高音域の指向性が強い上手高所では粒立ちがはっきりし、距離を近く感じている。一方、指向性が弱い下手では音量感の低下とともに逆評価となり、柔らかさ・残響感・包まれ感も大きく上昇している。

受音点高さの影響 正面高所では柔らかさ・残響感・包まれ感が上昇するのに対して、下手高所では No.2 で低評価の低所より粒立ちがはっきりし、距離を近く感じている。

ピアノ回転の影響 回転の影響は全体的に上手で小さく、正面と下手で大きい。特に下手では No.2 と明確に逆傾向にあり、回転により指向性が強まり、正対時正面の印象に近づいたものと考えられる。

Table 2: Two pieces of music for the listening experiment.

Beethoven: Op.27-2 3rd Mov., Bar. 1-14 (20sec)
Chopin: Op.22 Grande Polonaise Brillante, Bar. 1-16 (30sec)

Table 3: Pairs of listening conditions for comparison.

Variable factor	No.	Reference	Target
Orientation(Rec.)	1	Rc3	Rc2(High)
	2	Rc3	Rc4
Height(Rec.)	3	Rc3	Rc3(High)
	4	Rc4	Rc4(High)
Rotation(Pf.)	5	Re2	Re2(Rot)
	6	Re3	Re3(Rot)
	7	Re4	Re4(Rot)
Lid(Pf.)	8	Rc3	Rc1
	9	Rc3(w/oLid)	Rc1(w/oLid)
	10	Rc1	Rc1(w/oLid)
	11	Rc3	Rc3(w/oLid)

Table 4: Evaluation terms and rating scales.

区分	評価項目	評価尺度				
		-3	-2	-1	0	1
音量	全体音量	小さい		⇔		大きい
	バランス	低音寄り		⇔		高音寄り
音質	粒立ち	ぼんやり		⇔		はっきり
	柔らかさ	硬い		⇔		柔らかい
音像	音像幅	小さい		⇔		大きい
	距離	近い		⇔		遠い
空間	残響感	残響感がない		⇔		残響感がある
	包まれ感	包まれていない		⇔		包まれている
	好ましさ	嫌い		どちらでもない		好き

Table 5: Results of t-test for mean values.

曲	区分	評価尺度	平均値											
			受音点方位		受音点高さ		ピアノ回転		ピアノ屋根					
Beethoven	音量	全体音量	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9	No.10	No.11	
		バランス	-0.15	-0.38	-0.30	-0.15	-0.58	-0.03	0.38	-0.55	0.60	0.28	-1.00	
	音質	粒立ち	0.43	-0.78	-0.53	0.40	-0.30	-0.20	0.83	-1.78	0.15	0.38	-1.83	
		柔らかさ	0.38	0.55	-0.63	-0.05	0.35	0.08	-0.48	1.55	0.00	0.15	1.43	
	音像	音像幅	-0.28	-0.20	-0.15	-0.05	-0.03	-0.08	0.25	-0.48	0.10	0.18	-0.38	
		距離	0.33	0.23	0.35	0.05	0.25	-0.20	-1.15	1.78	-0.50	-0.45	1.70	
	空間	残響感	-0.13	0.18	-0.05	-0.08	-0.05	0.03	-0.35	1.38	0.05	-0.55	0.98	
		包まれ感	-0.08	-0.28	0.03	-0.05	0.25	-0.13	-0.05	0.83	0.20	-0.45	0.48	
	Chopin	音量	全体音量	0.23	-0.85	-0.15	0.30	0.23	0.43	1.00	-0.85	0.35	0.20	-1.10
			バランス	-0.45	-0.40	0.00	0.08	0.20	0.28	0.15	-0.65	0.25	0.73	0.20
音質		粒立ち	0.70	-0.73	-0.45	0.83	0.48	0.90	1.53	-1.58	0.53	0.65	-1.23	
		柔らかさ	0.23	1.08	0.70	-0.23	0.05	-0.40	-0.60	1.43	-0.25	-0.48	0.80	
音像		音像幅	0.45	-0.1	-0.10	0.05	0.43	0.08	0.63	-0.03	0.20	0.08	-0.48	
		距離	-0.75	1.03	0.45	-0.45	-0.25	-0.58	-1.35	1.95	-0.15	-0.48	1.23	
空間	残響感	0.30	1.20	0.88	-0.28	0.55	-0.63	-0.85	1.58	-0.05	-0.50	1.53		
	包まれ感	0.18	0.60	0.90	0.23	0.55	-0.45	-0.58	0.93	0.15	-0.25	0.85		

網掛け部p<0.05,太字p<0.01

ピアノ屋根の影響 屋根あり(No.8)の正面に対して背面では指向性の明らかな影響として、距離感が大幅に遠くなるとともに音量感・バランス・粒立ちが低下し、柔らかさ・残響感・包まれ感も大きく上昇している。一方、屋根なし(No.9)では正面と背面の差は小さく、むしろ背面で音量・粒立ちが上昇している。背面(No.10)では屋根なし

でバランス・粒立ちが上昇し、柔らかさ・距離感・残響感が低下している。また、正面(No.11)では屋根なしで No.8 と同傾向にあり、屋根あり背面の印象に近づくことが示唆される。

4.2 好ましさへの影響

個別提示による好ましさの評価結果として、平均値順に各条件の回答分布を図4に示す。両曲で上位3条件に正面・上手が入り、回転時下手も次に高評価である。一方、下位2条件は屋根なし正面と屋根あり背面であり、屋根なし背面も次に低評価である。つまり、通常の屋根あり状態では高音域の指向性が強い正面・上手が好まれ、背面や屋根なし状態は好まれないことが検証された。

5. まとめ

ピアノの音源指向性がホール内の音楽聴取印象に及ぼす影響の解明として、音圧分布測定の結果から中高音域ではピアノの方向と屋根の影響が比較的大きく、ピアノの指向特性を確認した。また、聴感実験により、受聴位置やピアノの向きと屋根の影響が比較的大きいことが確認された。また、総合的な好ましさは、高音域の指向性が強いピアノ正面・上手方向で高評価となる傾向が確認された。音の粒立ちと4kHzのレベル差の傾向がよく対応していることから、結論として、高音域や倍音成分が音楽聴取印象や総合的な好ましさの評価に大きく寄与している事が考えられる。

参考文献

- [1] J. Meyer, *Acoustics and the Performance of Music* (Springer, 1978).
- [2] F. Giron, Ph.D. dissertation, Ruhr- Universität Bochum (1996).
- [3] 横山他, 建音研資料 AA2006-3.

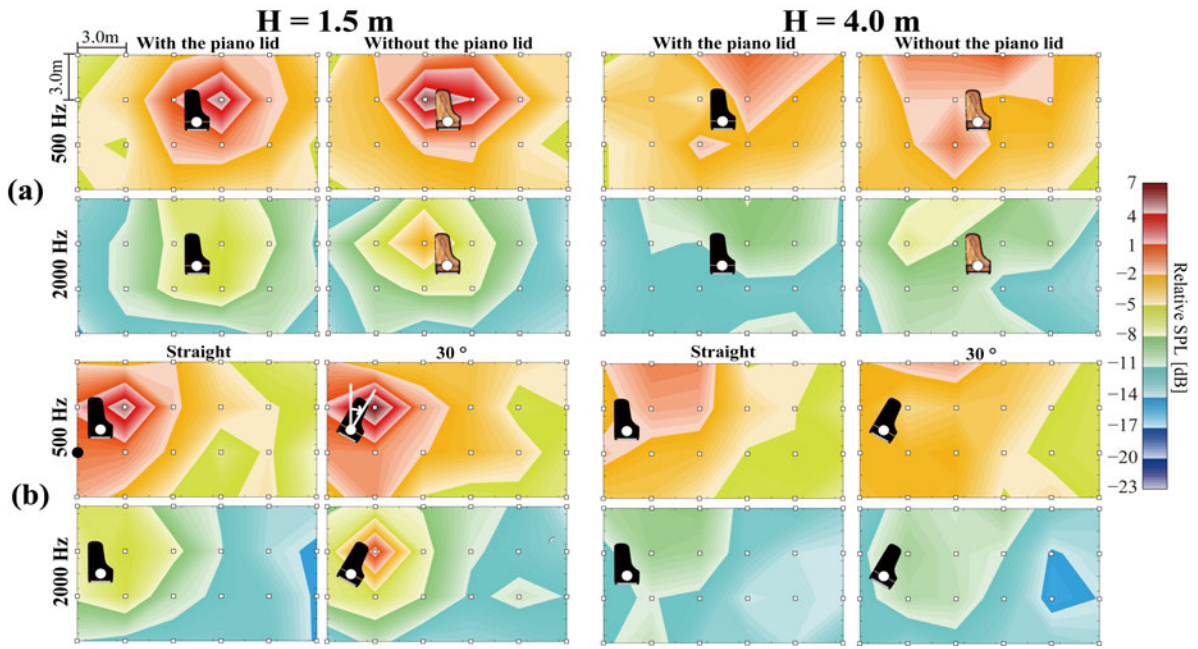


Fig. 2: Relative SPL distributions on the two planes ($h = 1.5, 4.0$ m) from the real piano: (a) with/without the piano lid, (b) straight and 30 degrees rotation in piano direction.

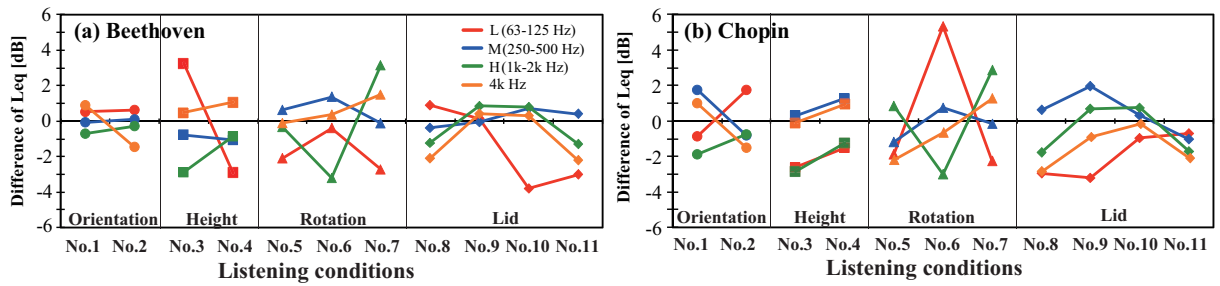


Fig.3: L_{eq} differences of target-to-reference in octave bands.

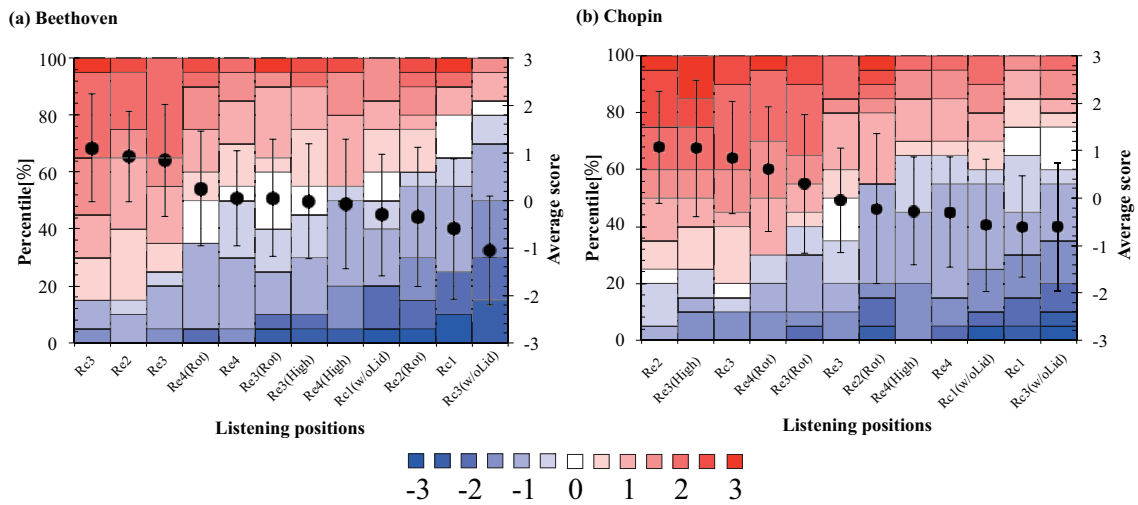


Fig.4: Averages and distributions of preference score for the variation of listening conditions.

付録

1. 室内音響指標分布 (RT,EDT,C80,D50,Ts)
2. 各受音点における室内音響指標値 (G,RT,EDT,C80,Ts,JLF,LJ)
3. インタビュー内容
4. 主観評価実験における教示文

残響時間 (RT)

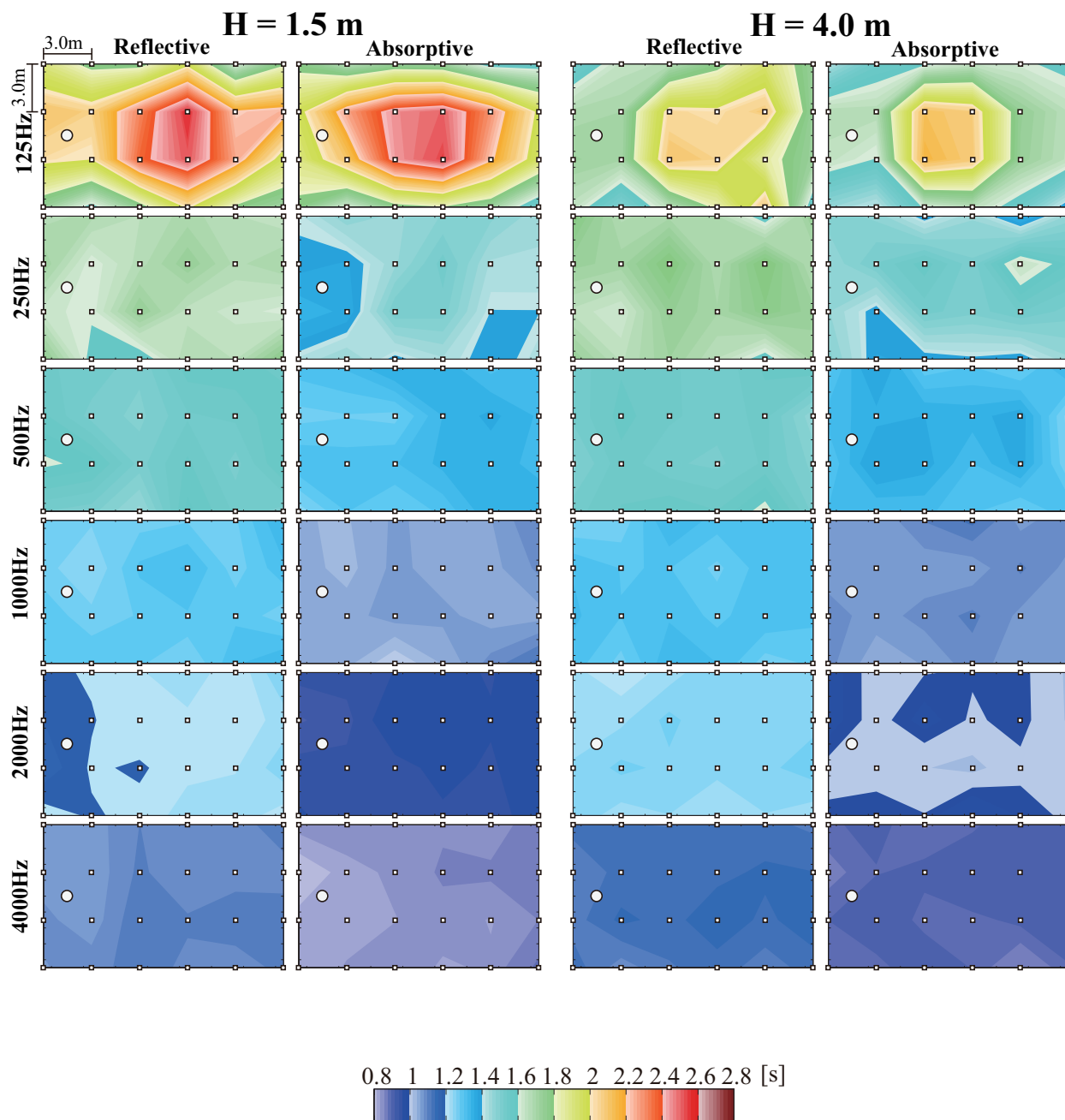


Fig. I: Distribution of strength RT in end-stage.

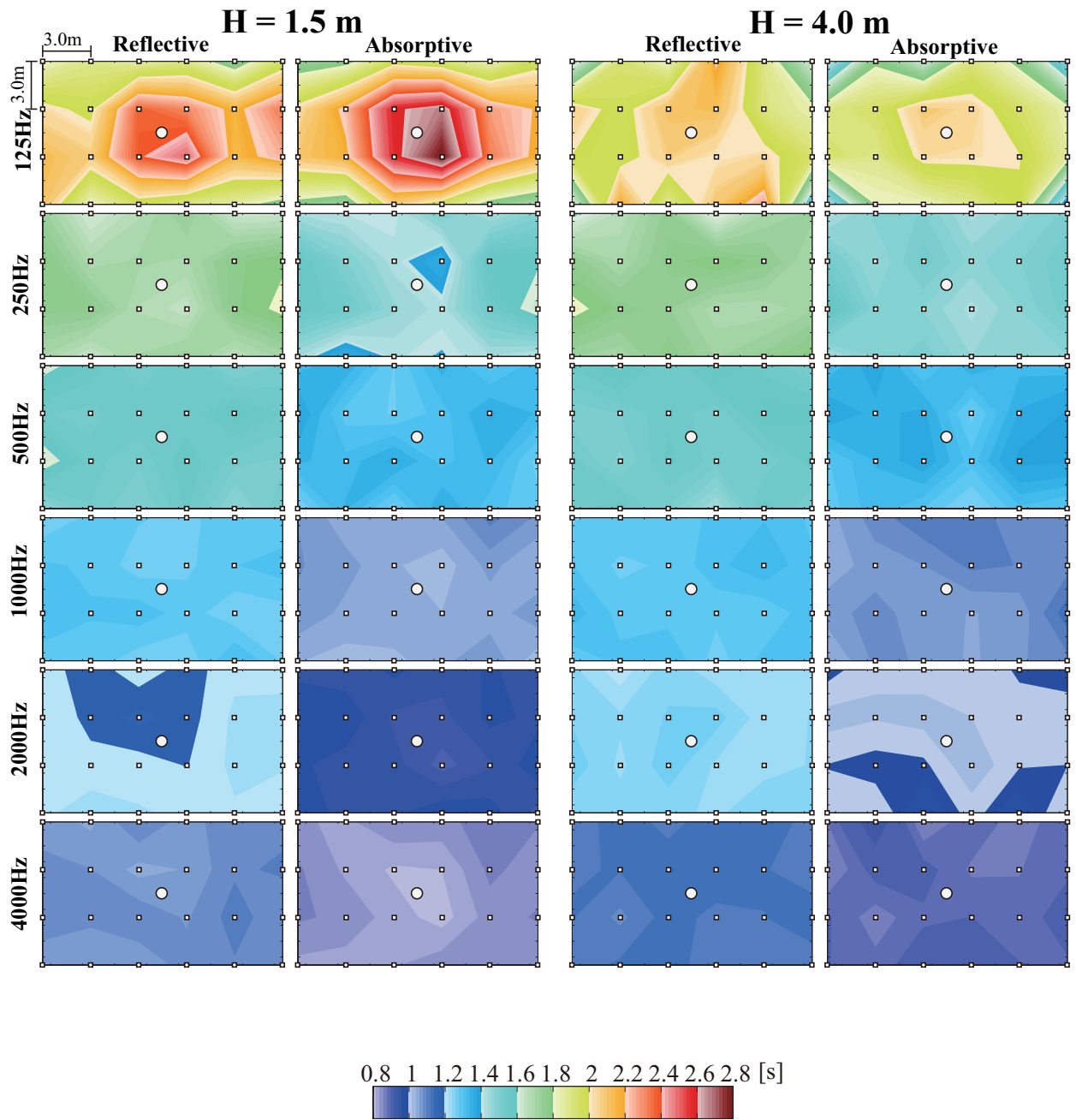


Fig. II: Distribution of strength RT in center-stage.

初期残響時間 (EDT)

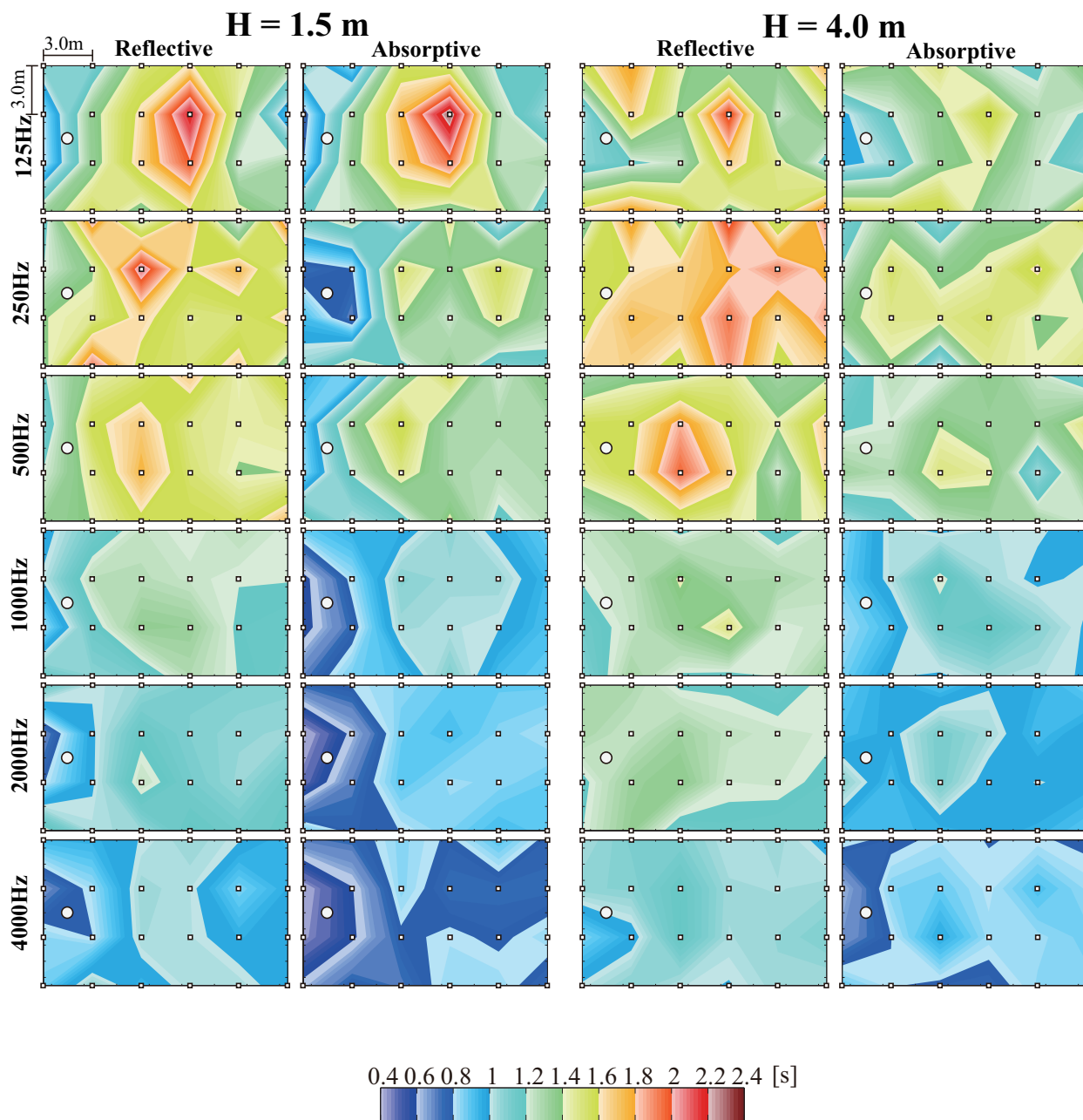


Fig. III: Distribution of strength EDT in end-stage.

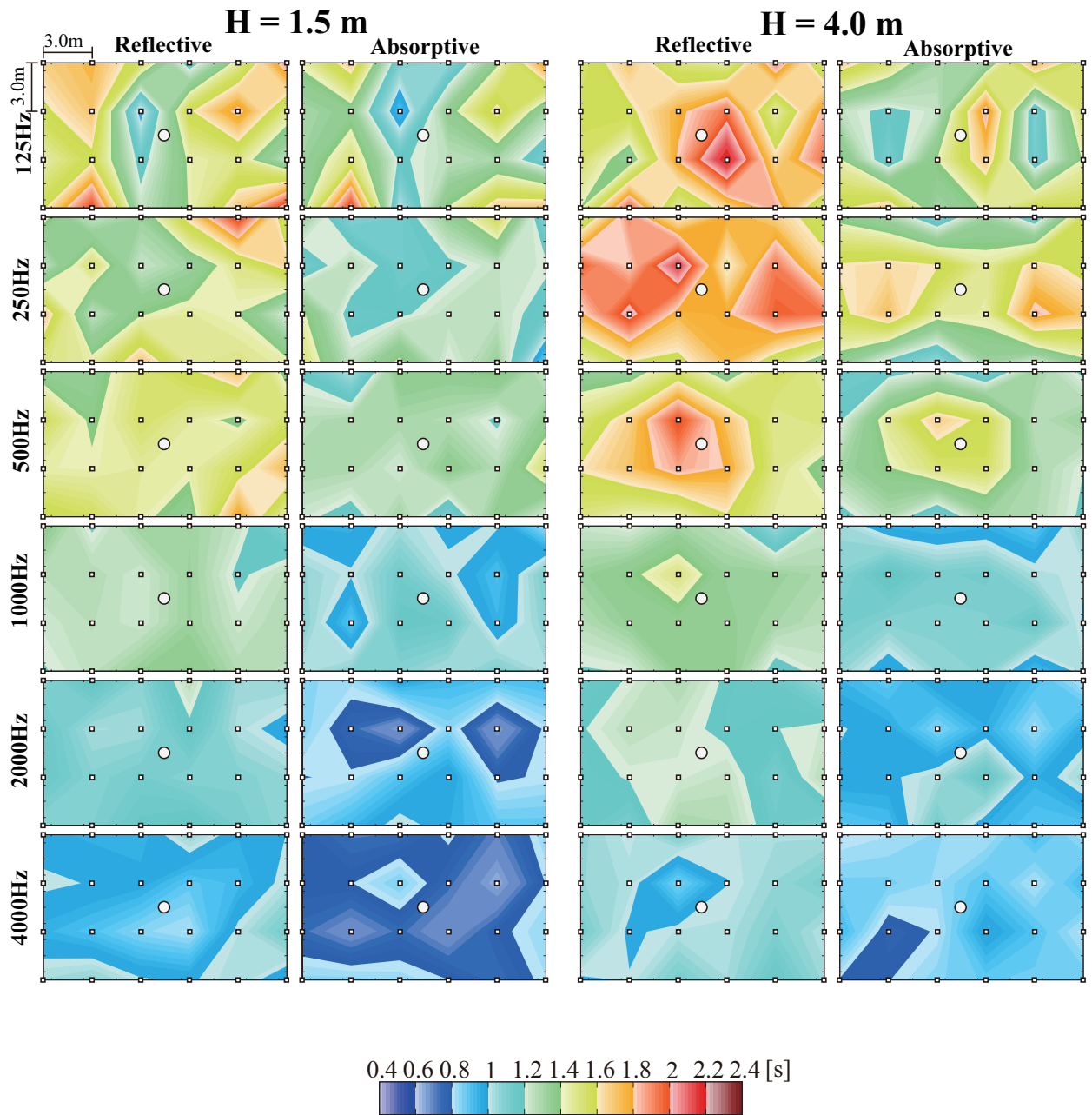


Fig. IV: Distribution of strength EDT in center-stage.

Clarity(C80)

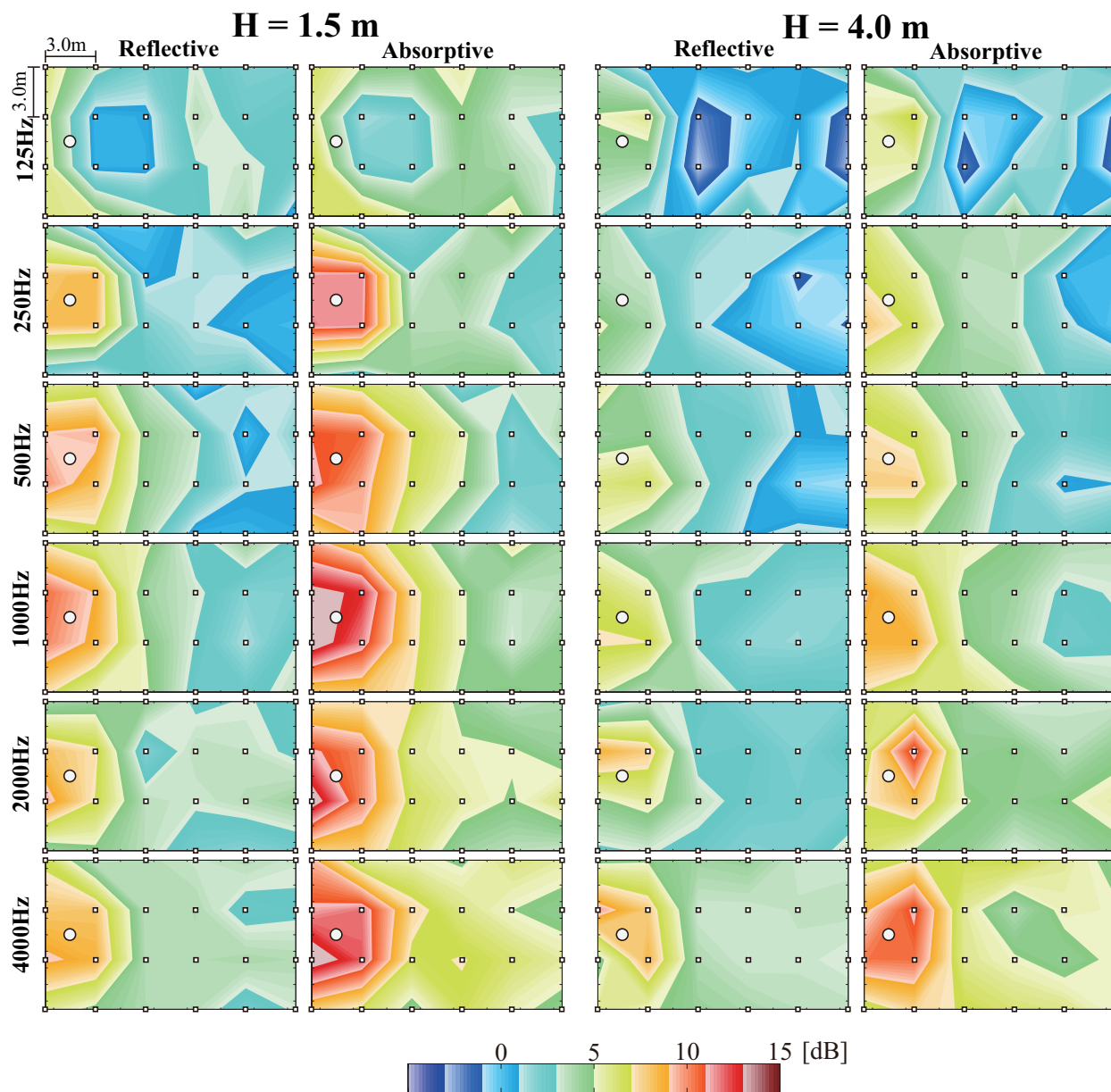


Fig. V: Distribution of strength C80 in end-stage.

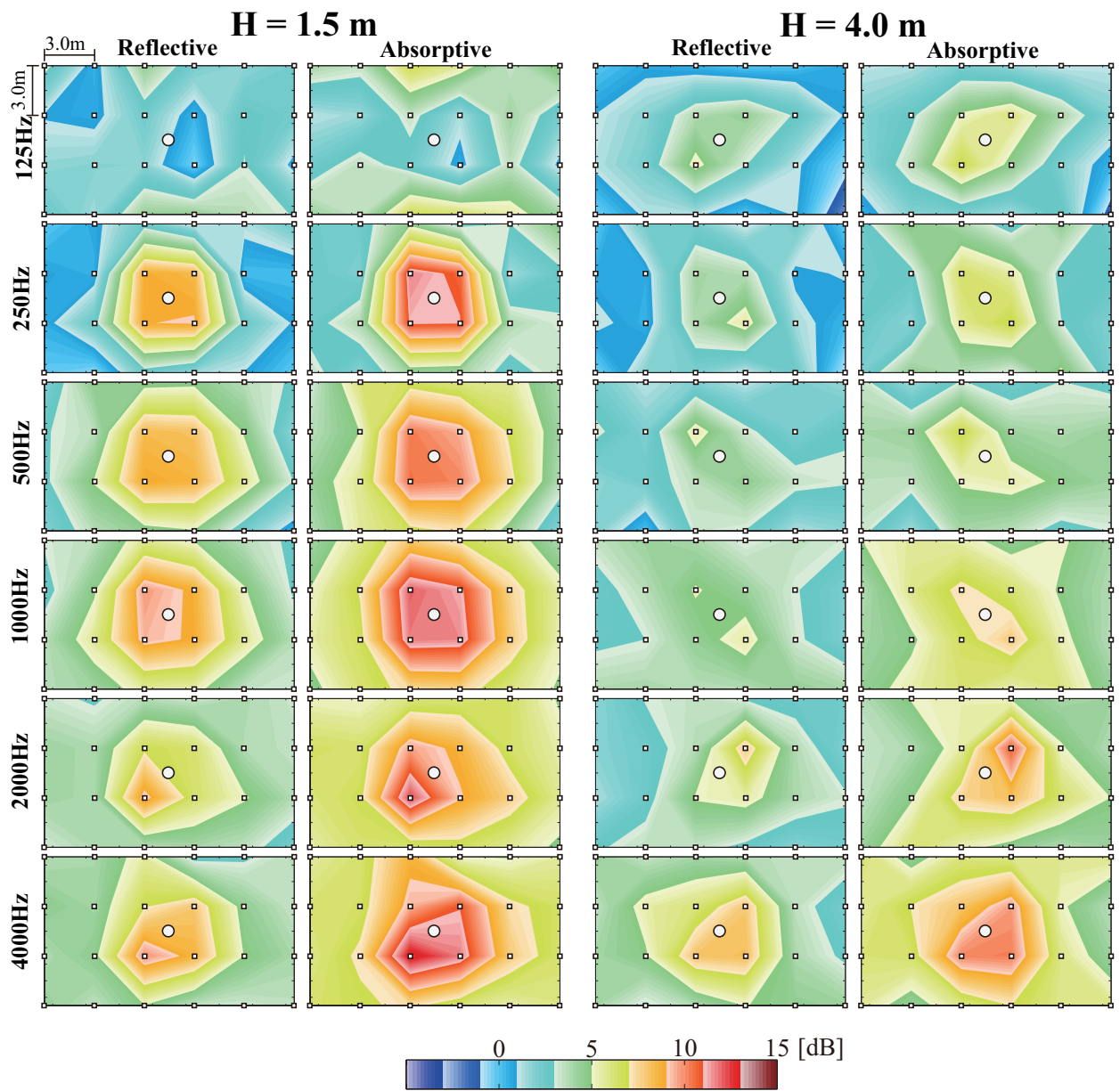


Fig. VI: Distribution of strength C80 in center-stage.

Definition(D50)

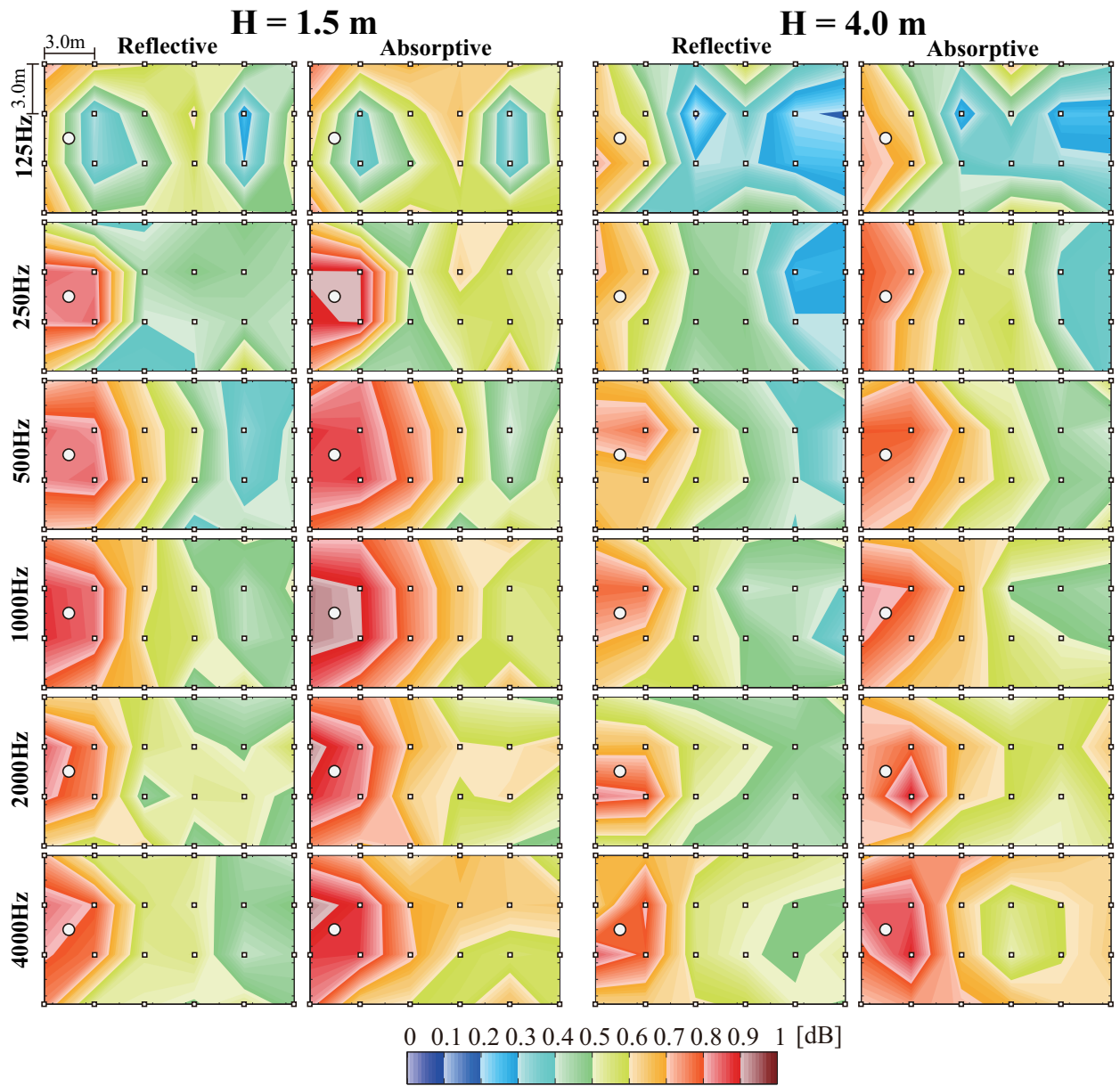


Fig. VII: Distribution of strength D50 in end-stage.

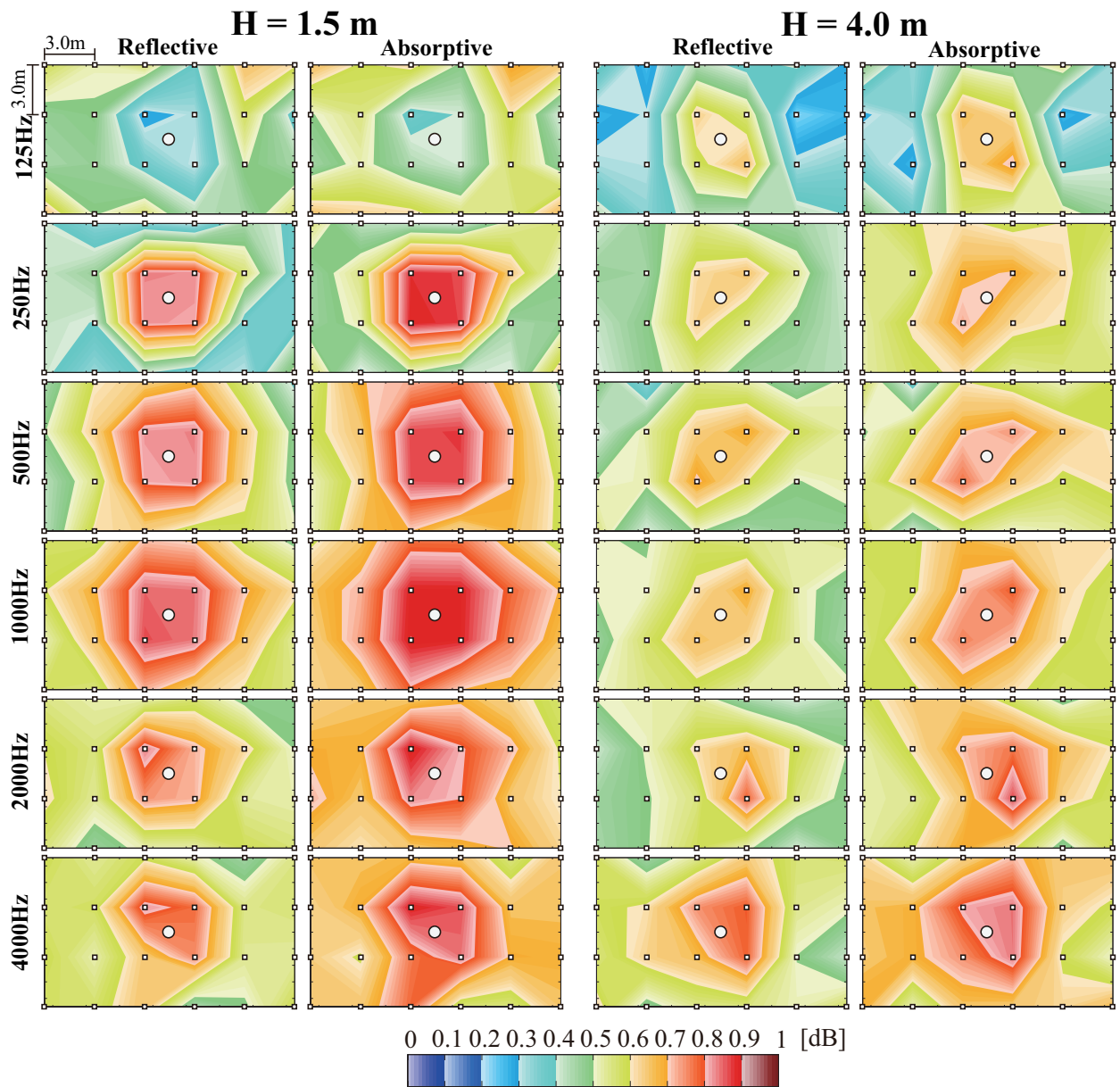


Fig. VIII: Distribution of strength D_{50} in center-stage.

時間重心 (Ts)

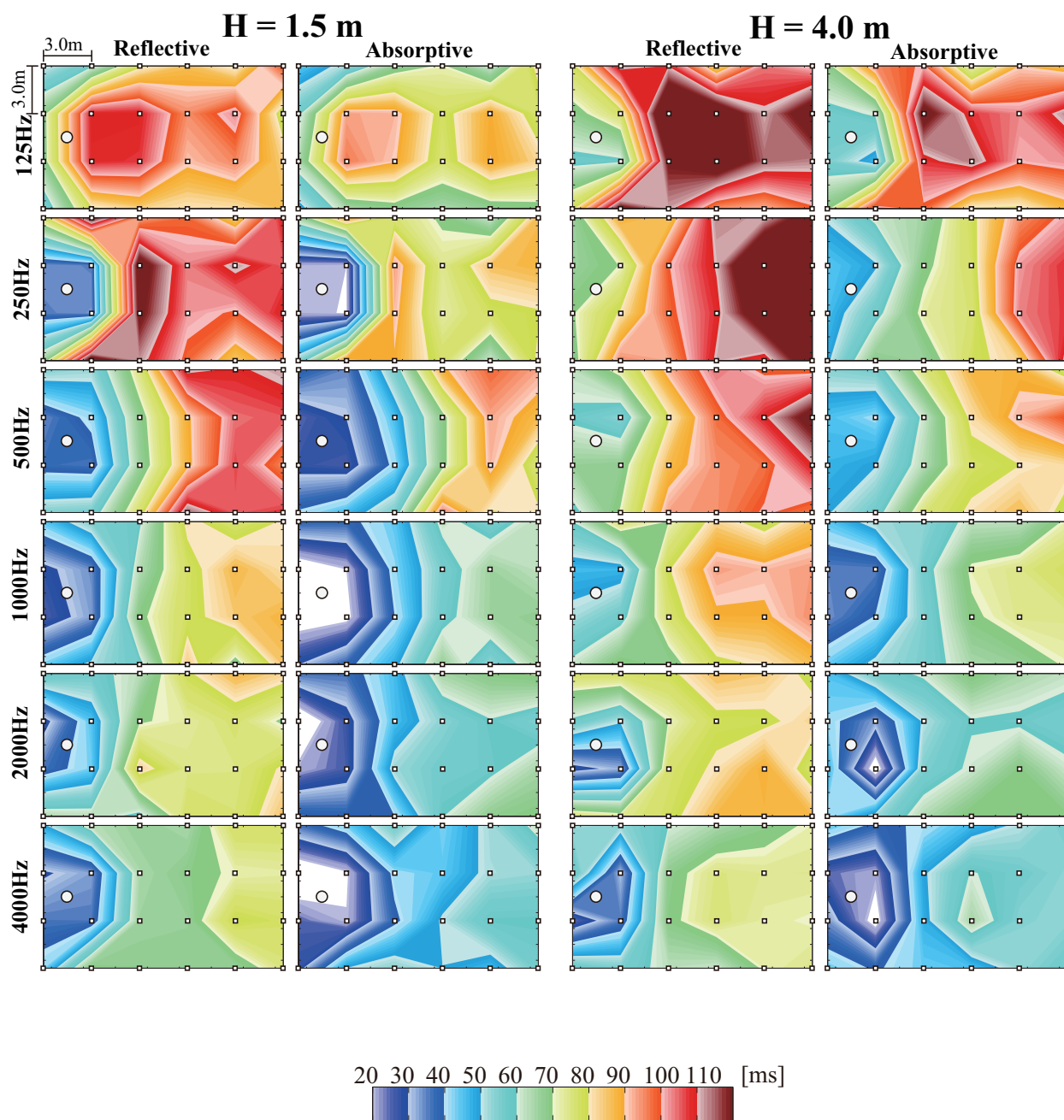


Fig. IX: Distribution of strength T_s in end-stage.

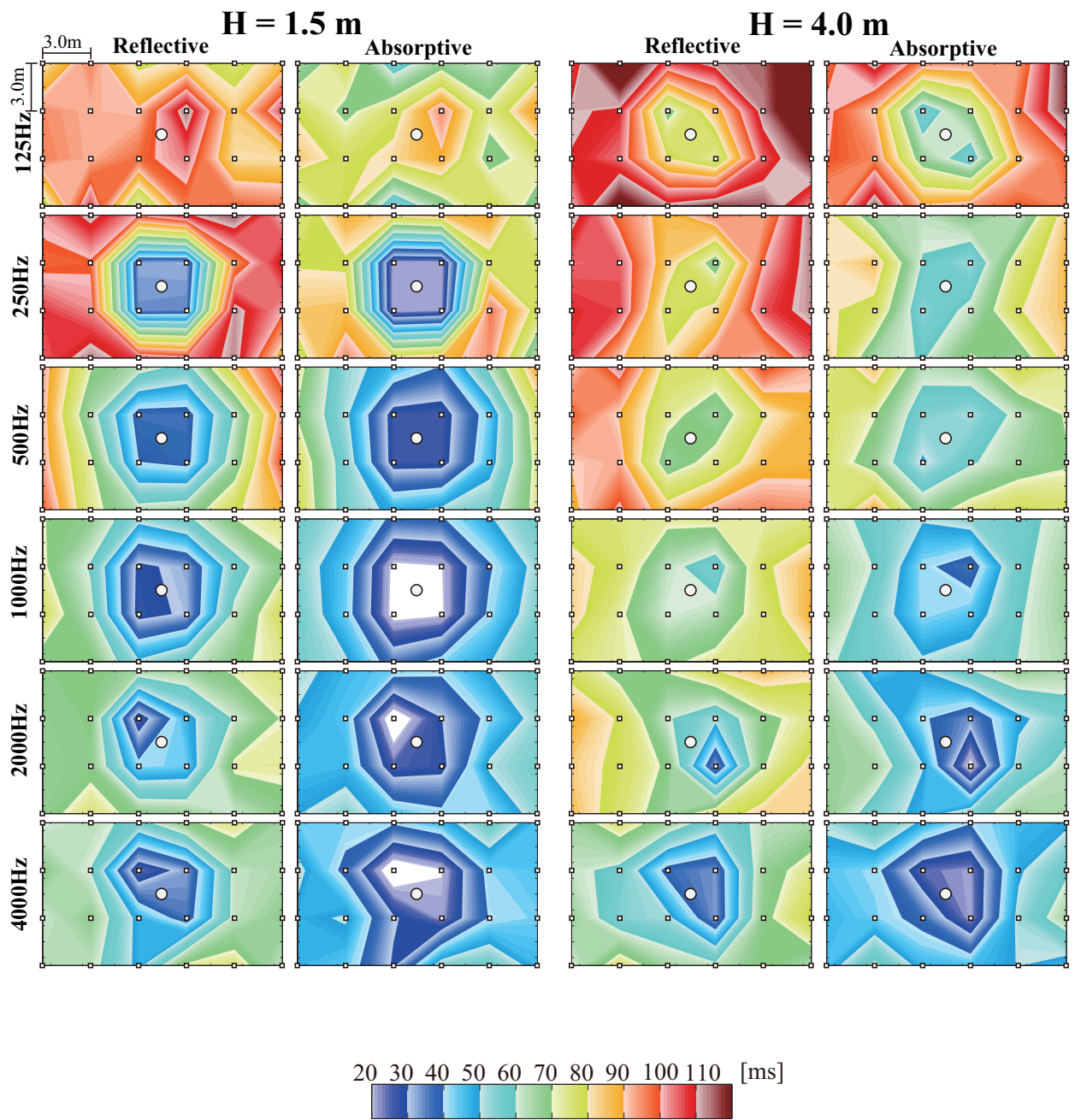


Fig. X: Distribution of strength T_s in center-stage.

室内音響指標測定点 ※大文字 B は 4.0 m 点

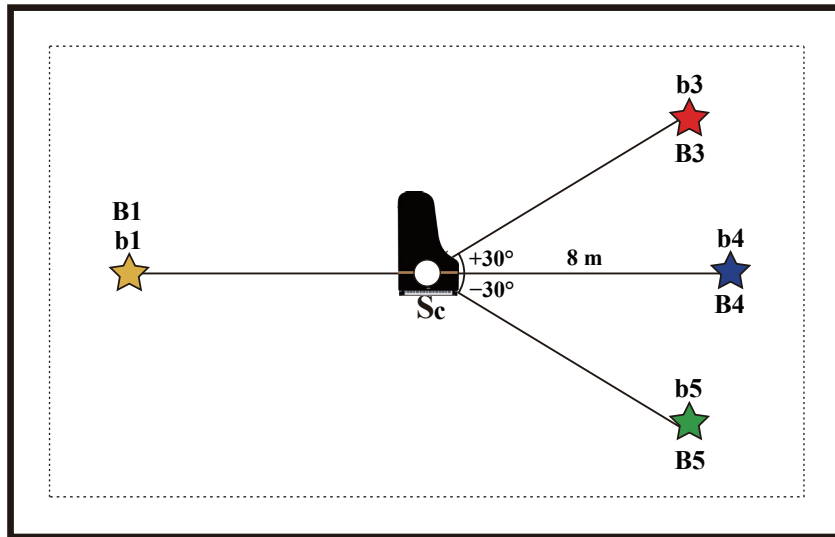


Fig.1 Receiving point of the center stage

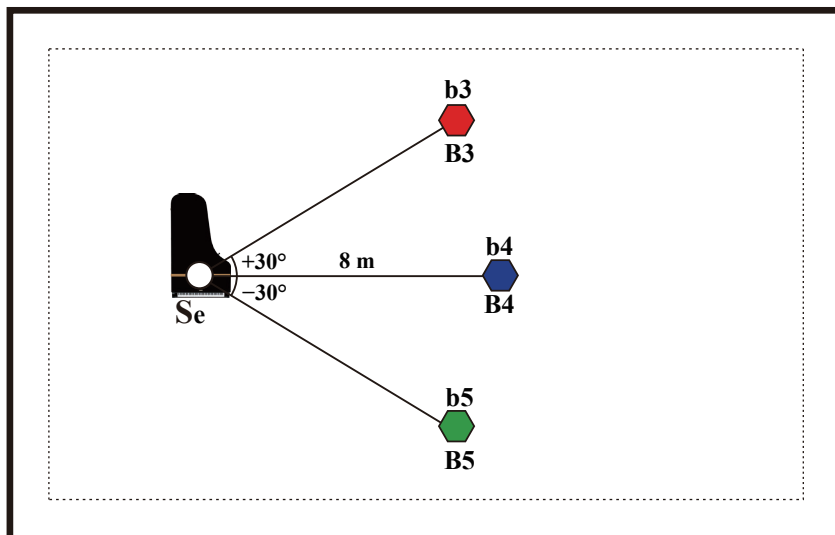
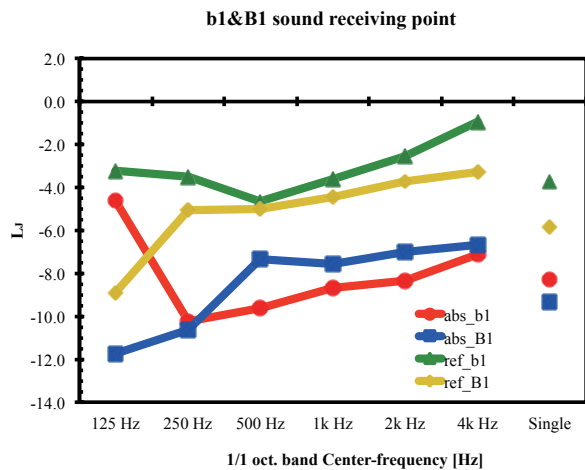
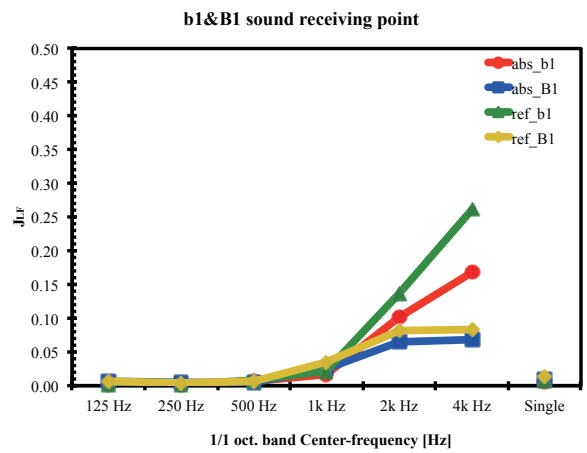
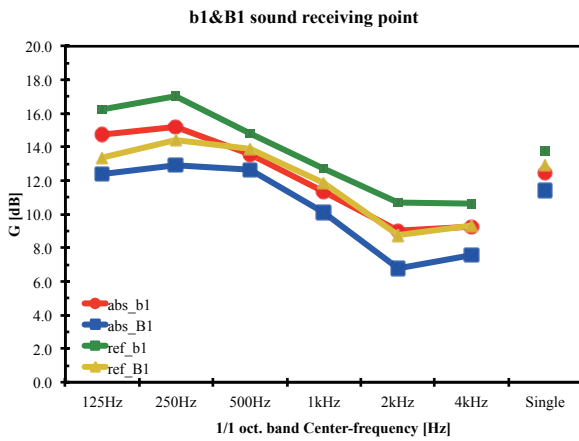
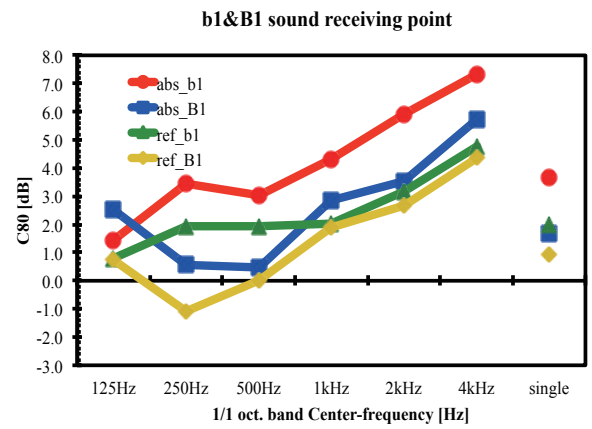
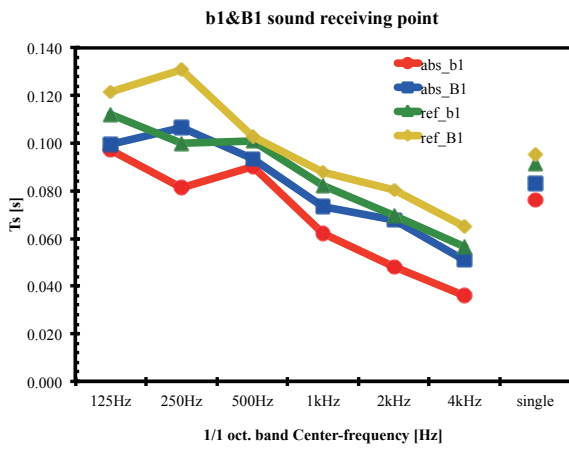
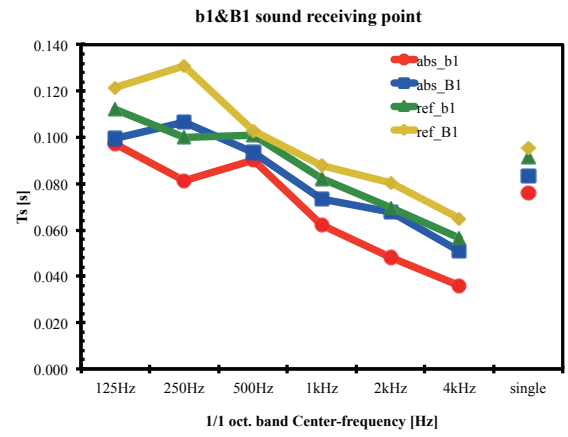
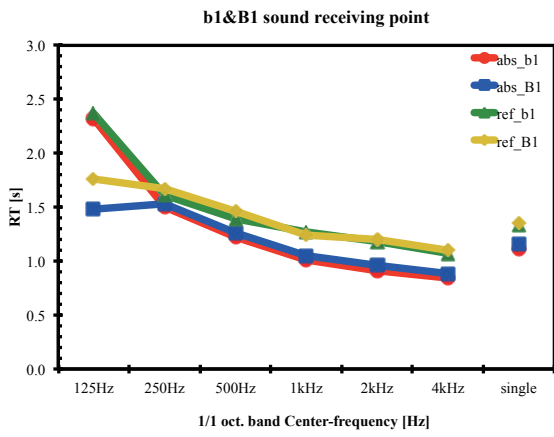


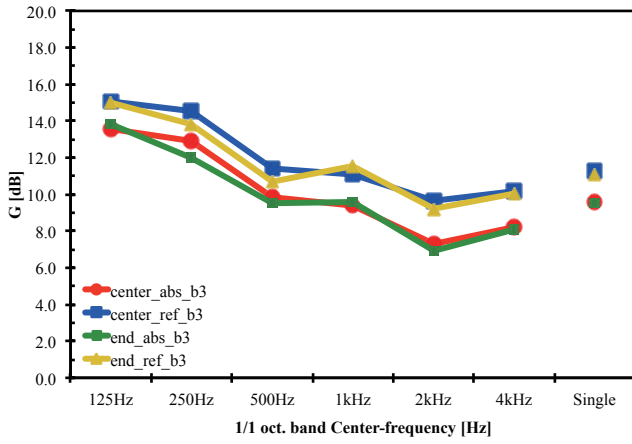
Fig.2 Receiving point of the end stage



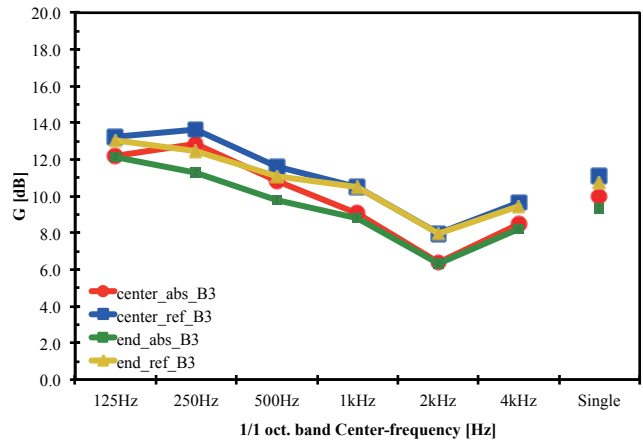
b1 & B1 ALL

G

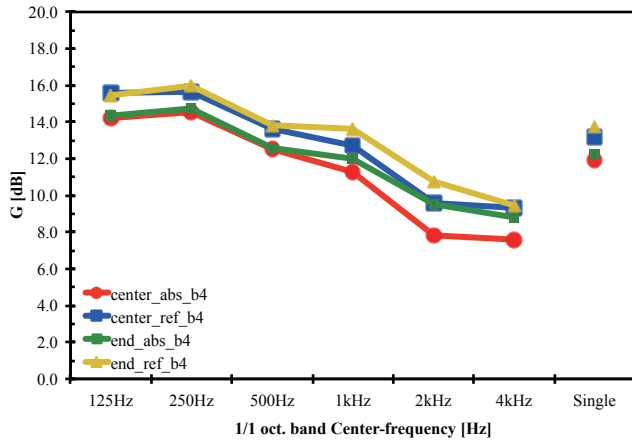
b3 sound receiving point



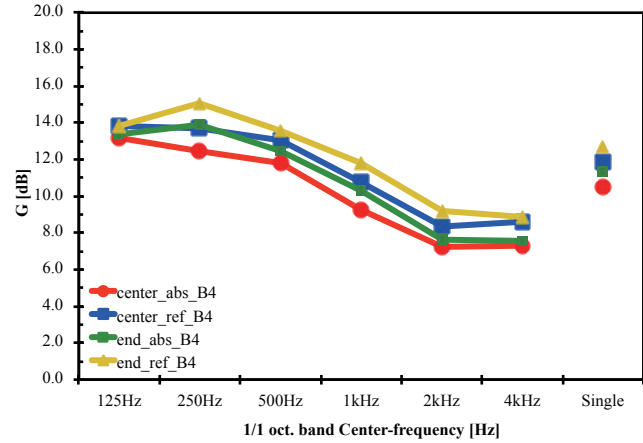
B3 sound receiving point



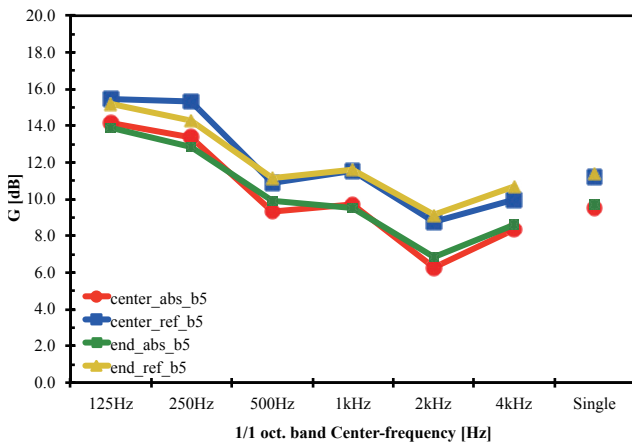
b4 sound receiving point



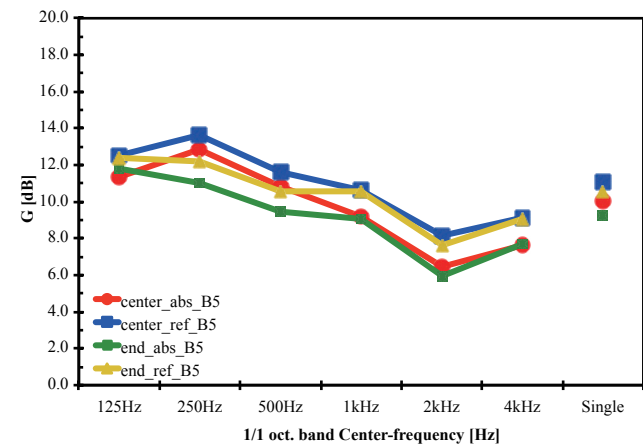
B4 sound receiving point



b5 sound receiving point

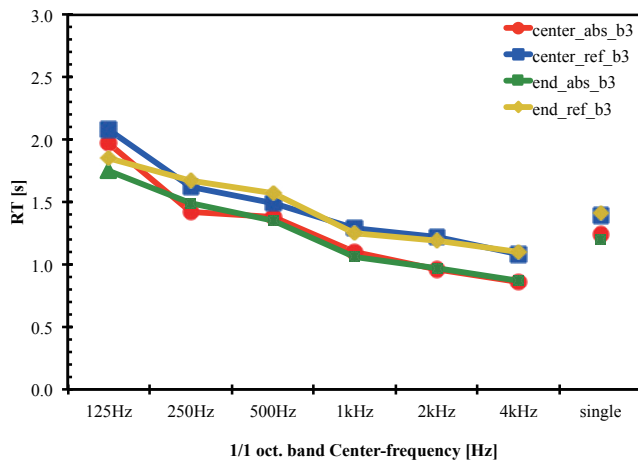


B5 sound receiving point

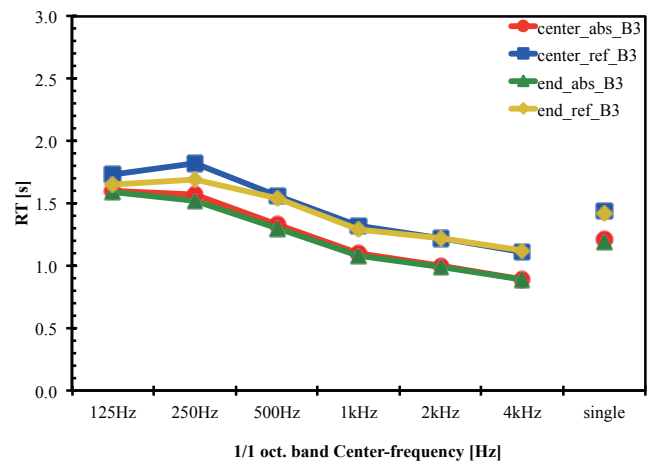


RT

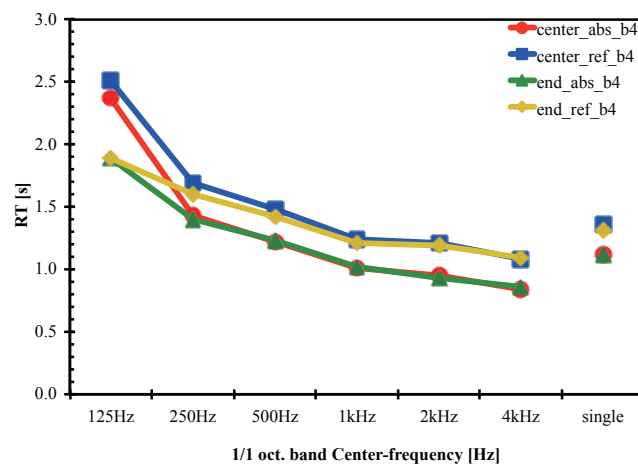
b3 sound receiving point



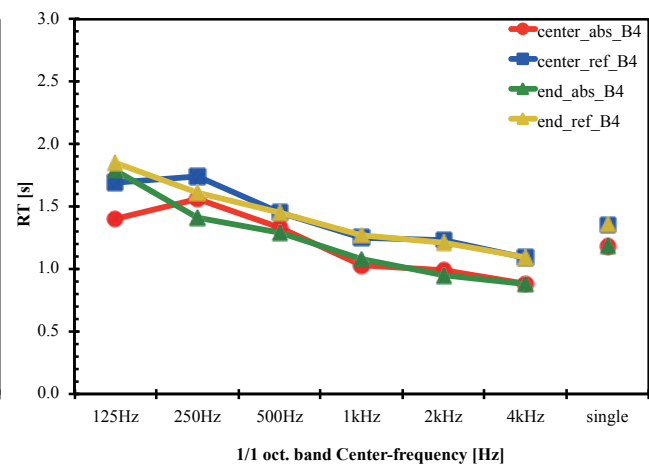
B3 sound receiving point



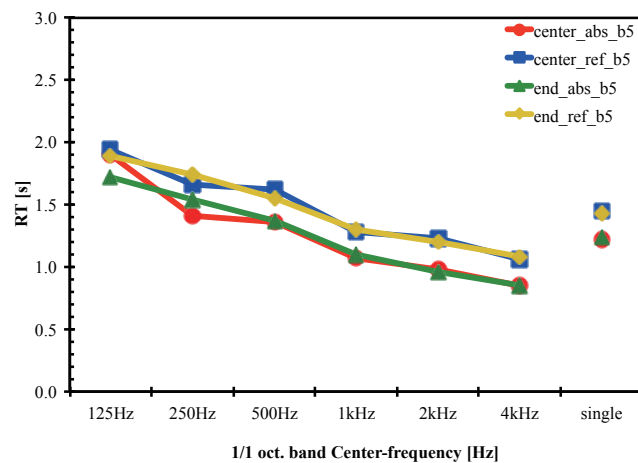
b4 sound receiving point



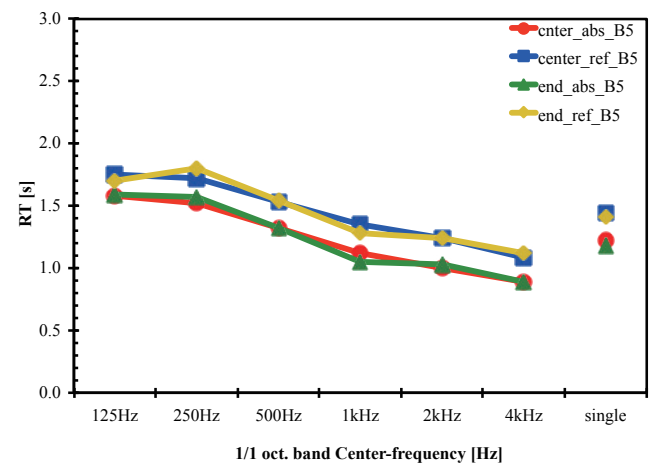
B4 sound receiving point



b5 sound receiving point

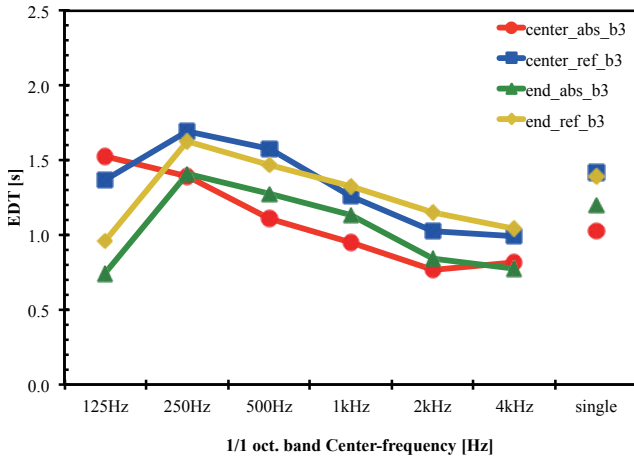


B5 sound receiving point

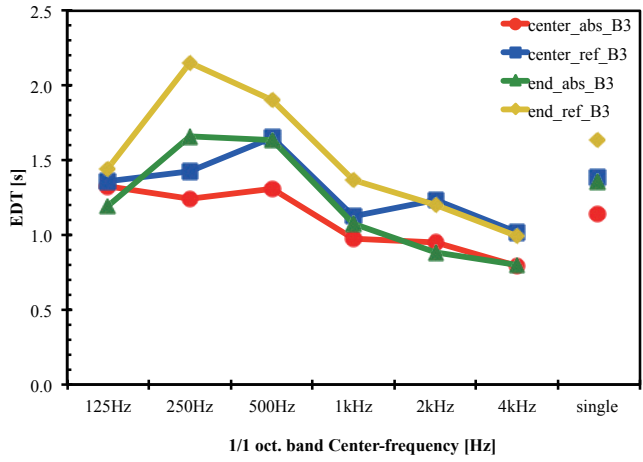


EDT

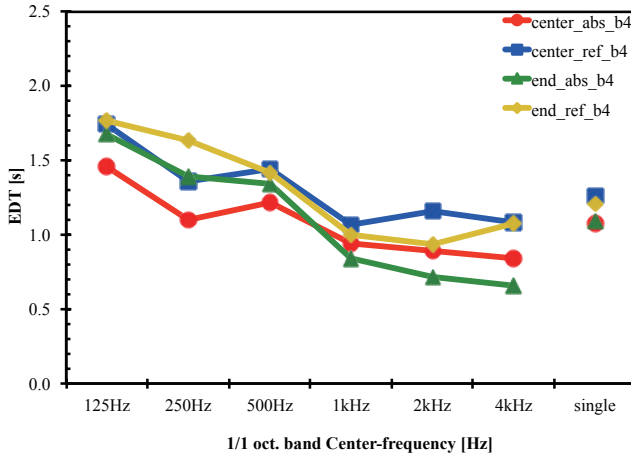
b3 sound receiving point



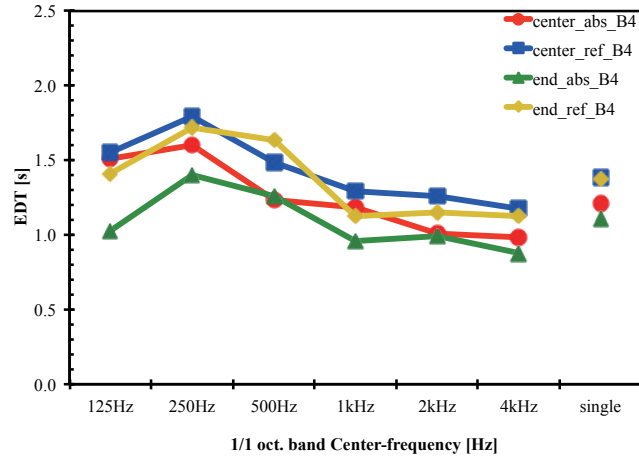
B3 sound receiving point



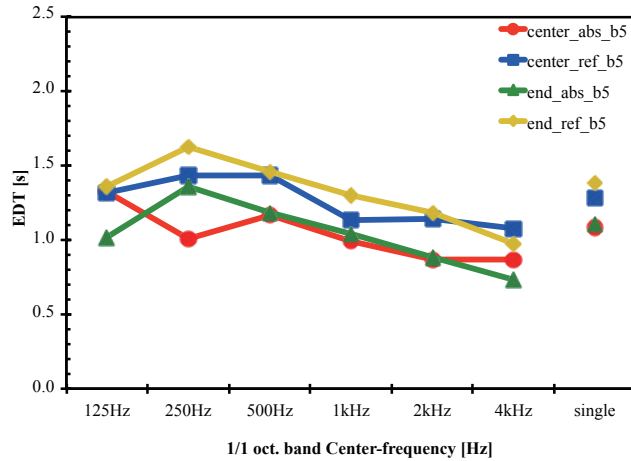
b4 sound receiving point



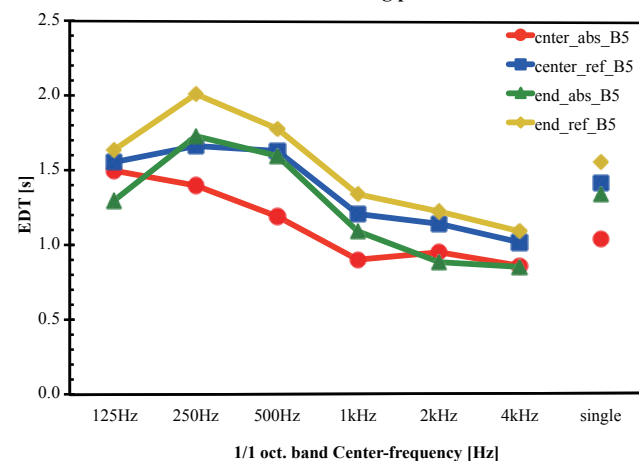
B4 sound receiving point



b5 sound receiving point

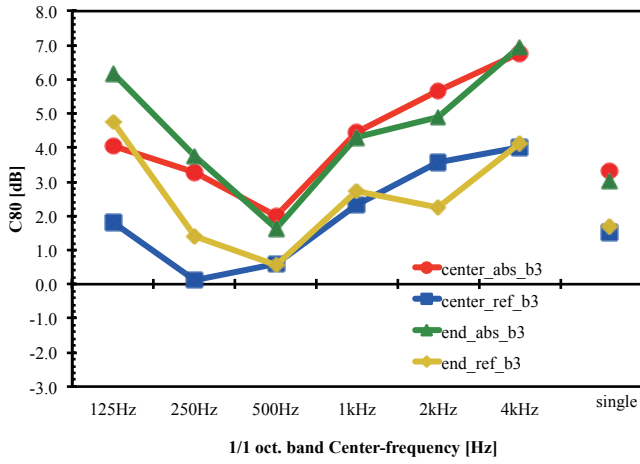


B5 sound receiving point

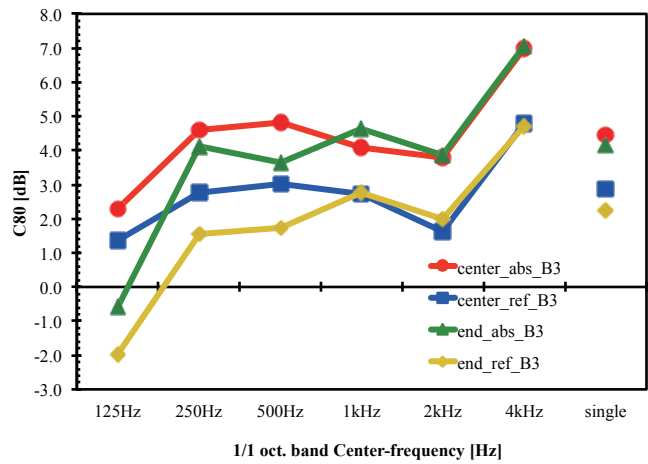


C80

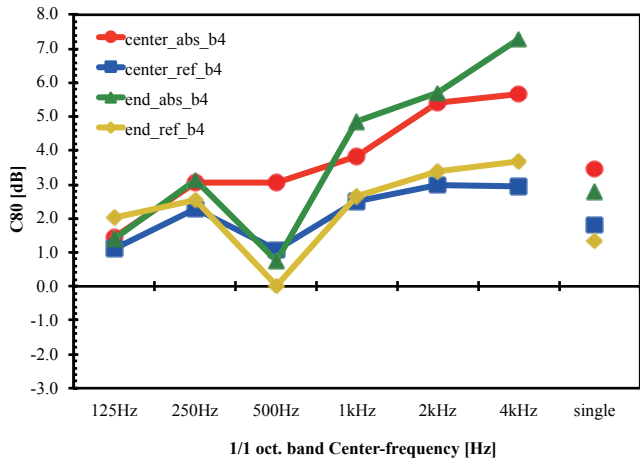
b3 sound receiving point



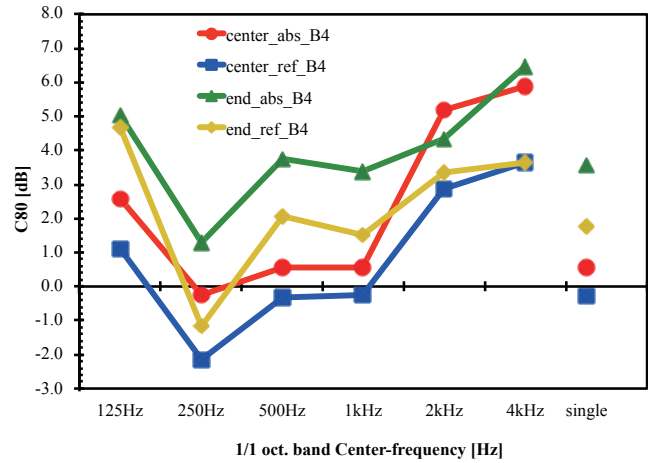
B3 sound receiving point



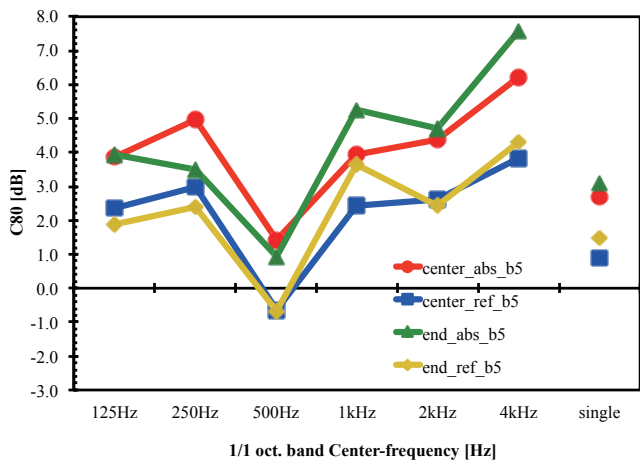
b4 sound receiving point



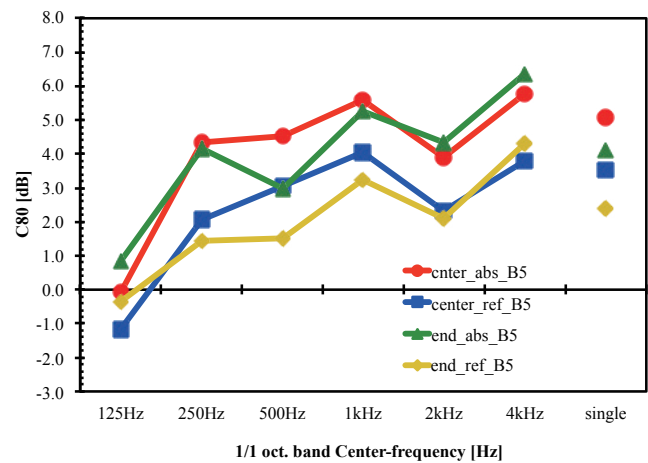
B4 sound receiving point



b5 sound receiving point

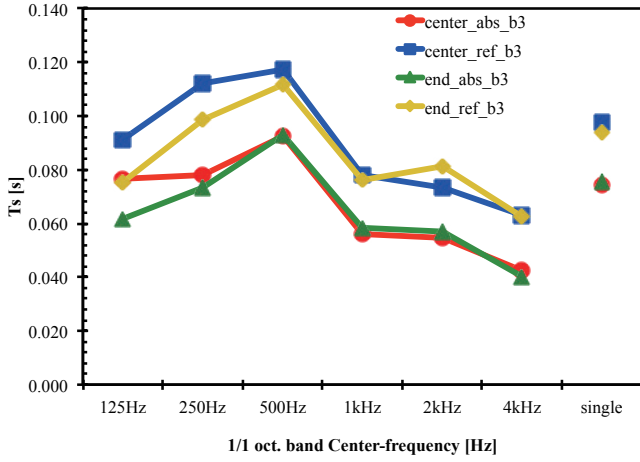


B5 sound receiving point

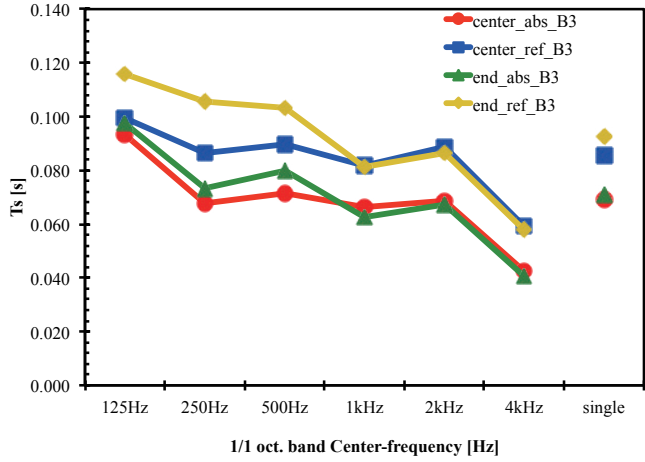


Ts

b3 sound receiving point



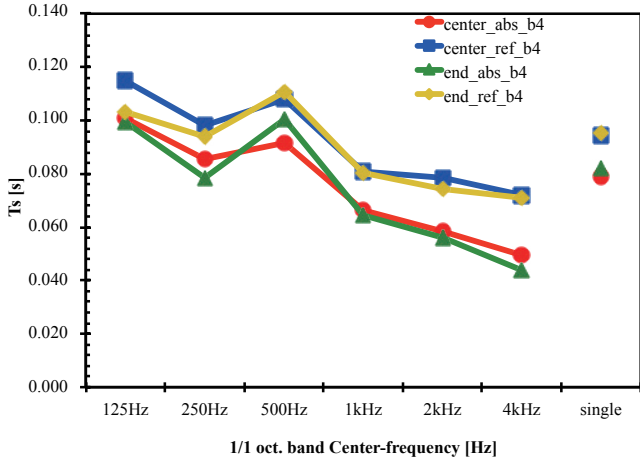
B3 sound receiving point



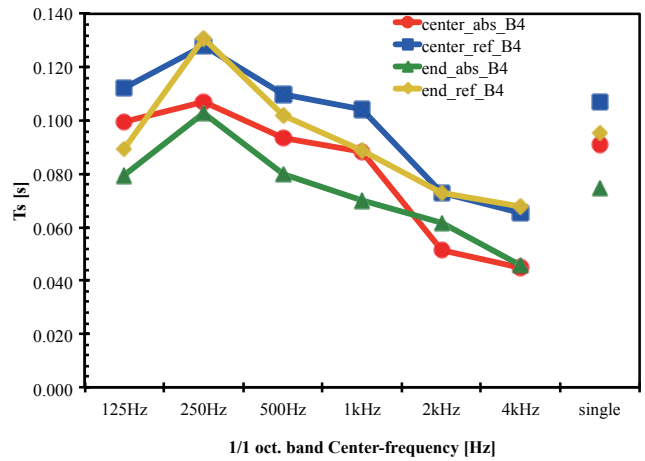
1/1 oct. band Center-frequency [Hz]

1/1 oct. band Center-frequency [Hz]

b4 sound receiving point



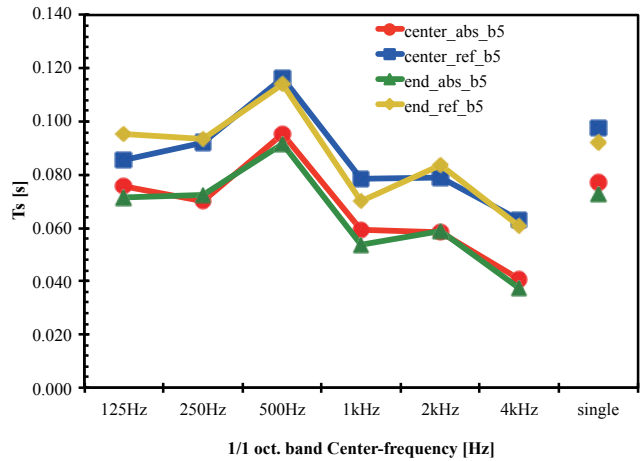
B4 sound receiving point



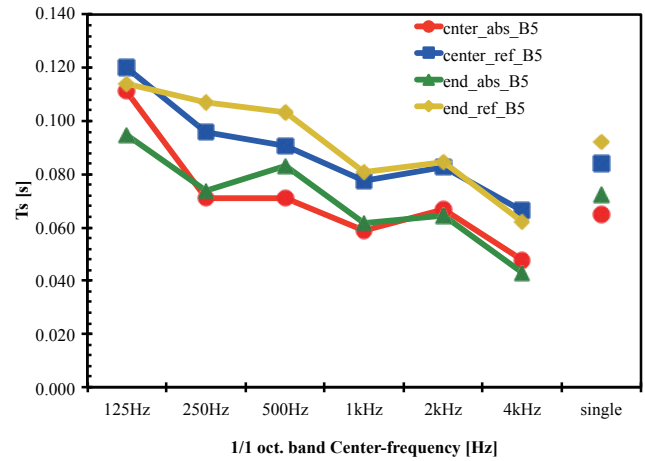
1/1 oct. band Center-frequency [Hz]

1/1 oct. band Center-frequency [Hz]

b5 sound receiving point



B5 sound receiving point

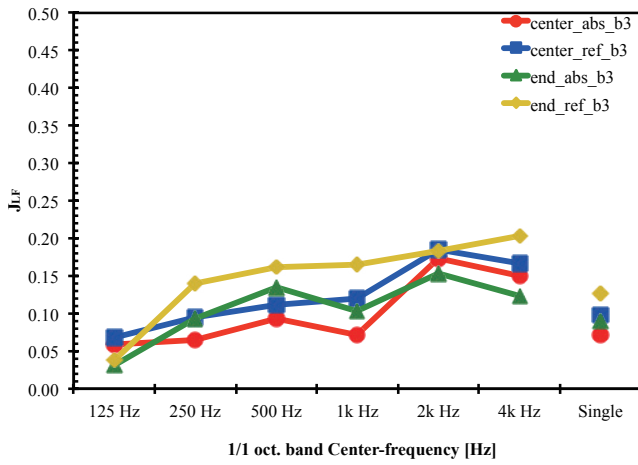


1/1 oct. band Center-frequency [Hz]

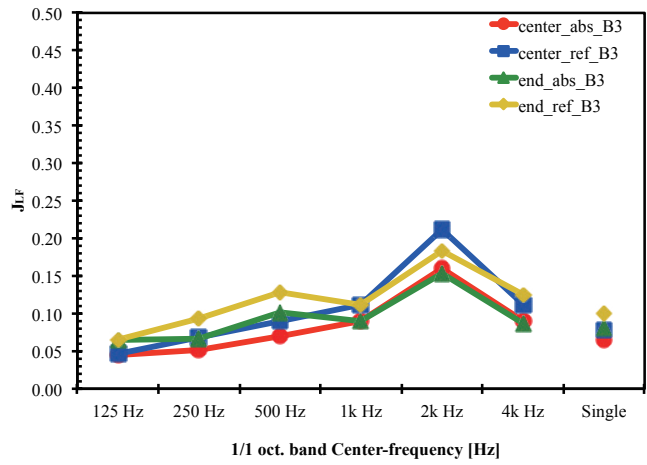
1/1 oct. band Center-frequency [Hz]

JLF

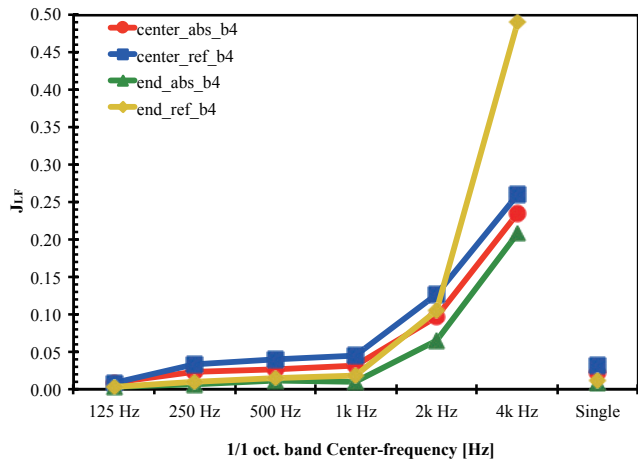
b3 sound receiving point



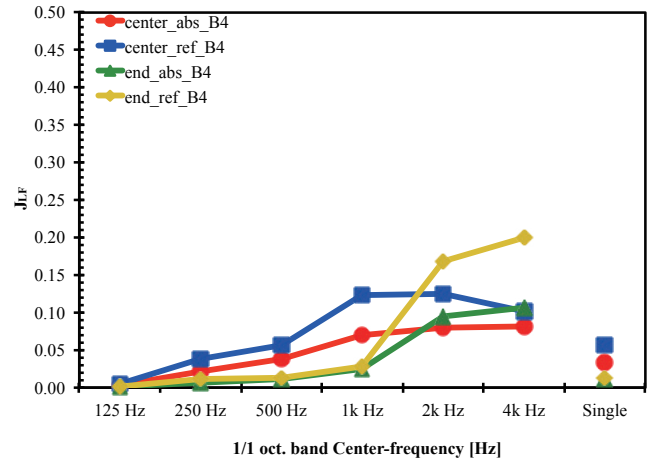
B3 sound receiving point



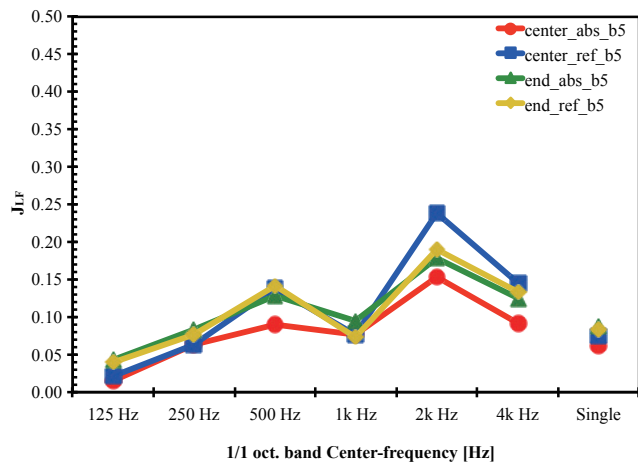
b4 sound receiving point



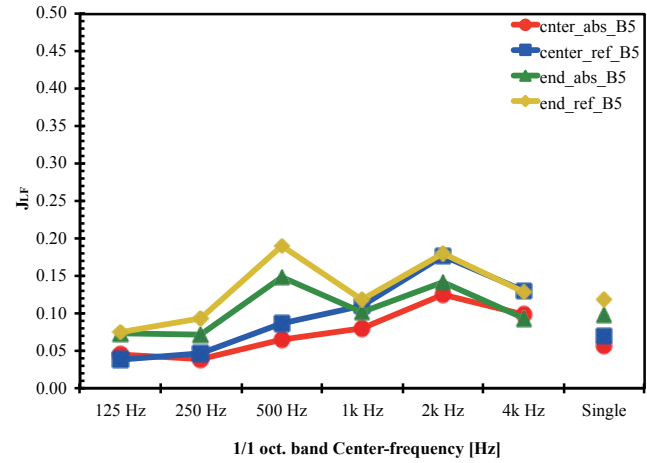
B4 sound receiving point



b5 sound receiving point

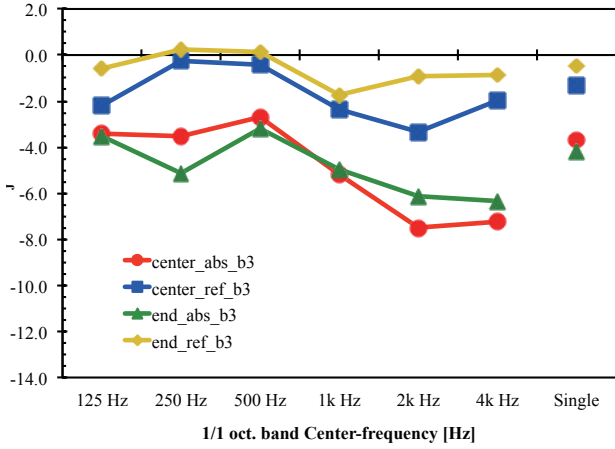


B5 sound receiving point

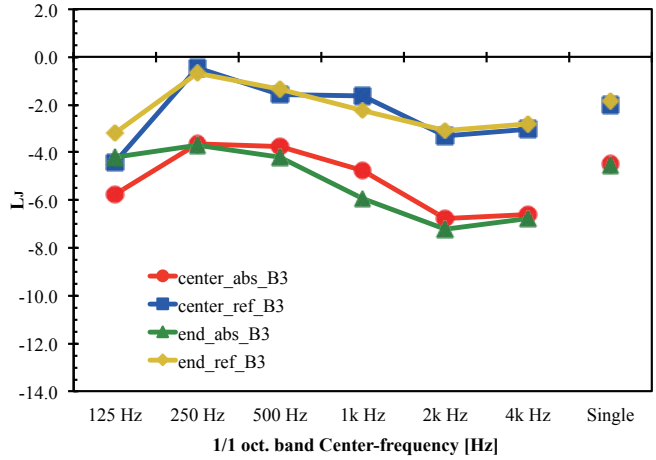


LJ

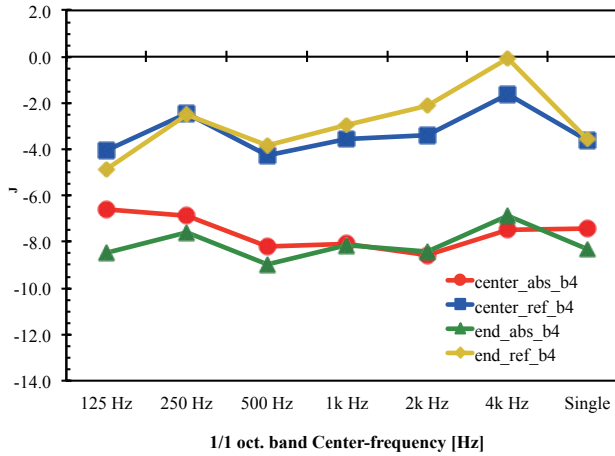
b3 sound receiving point



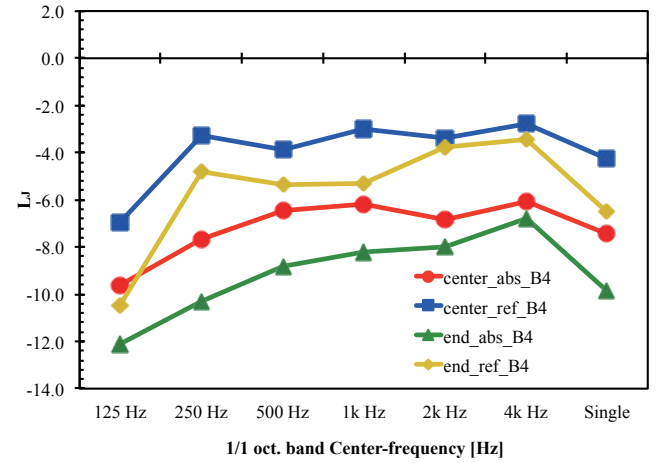
B3 sound receiving point



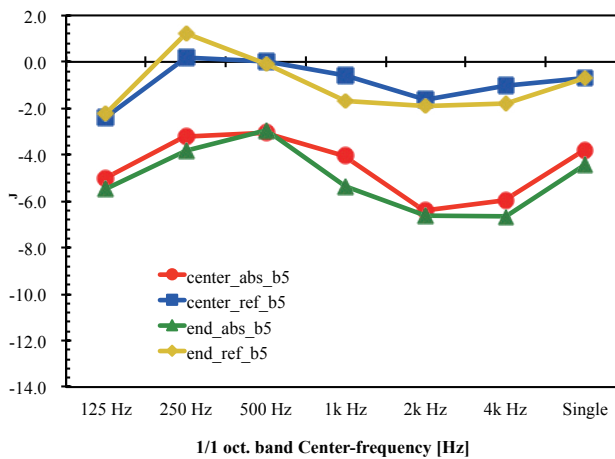
b4 sound receiving point



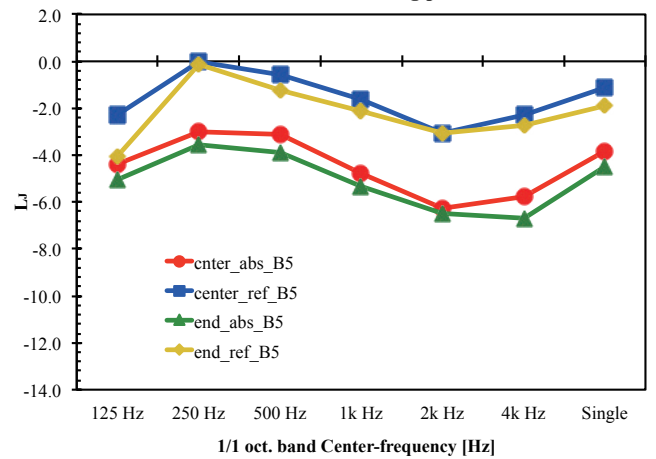
B4 sound receiving point



b5 sound receiving point



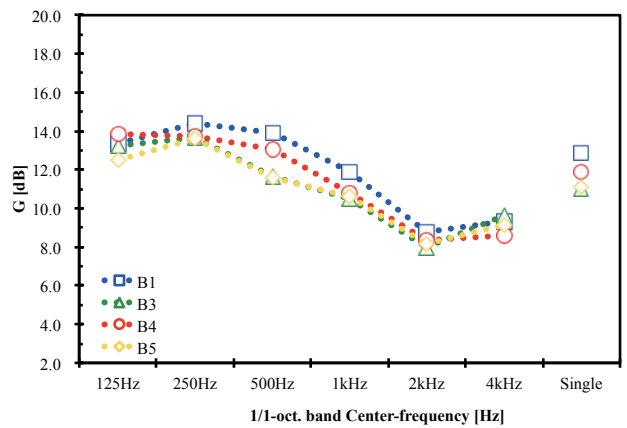
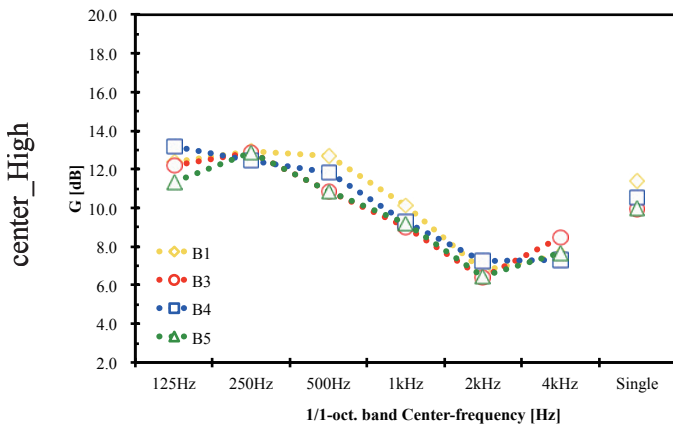
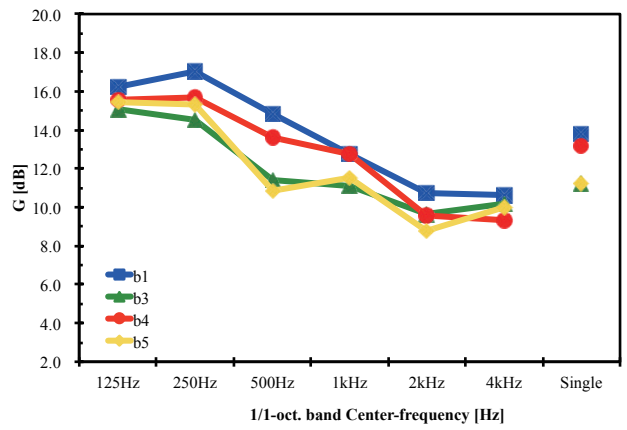
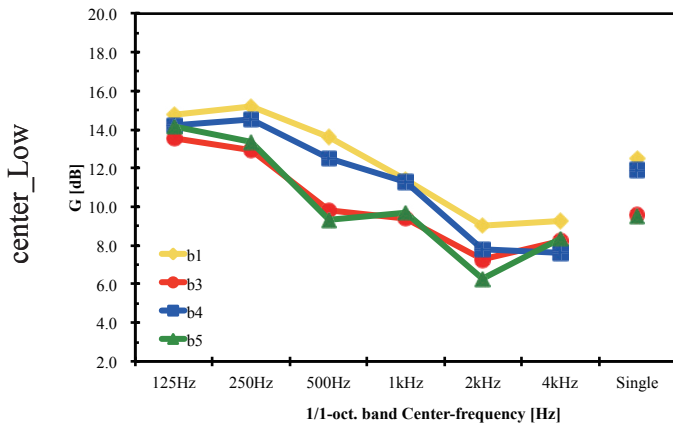
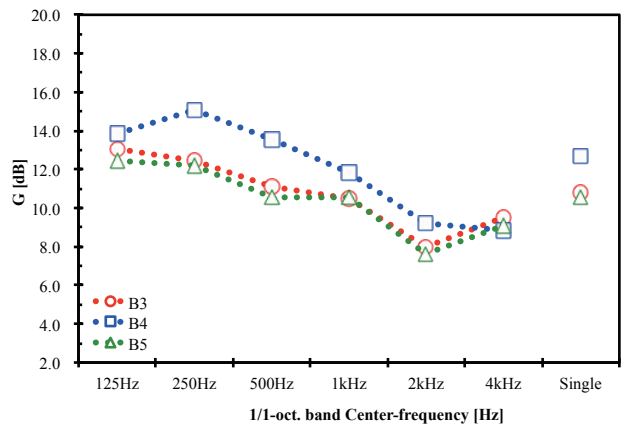
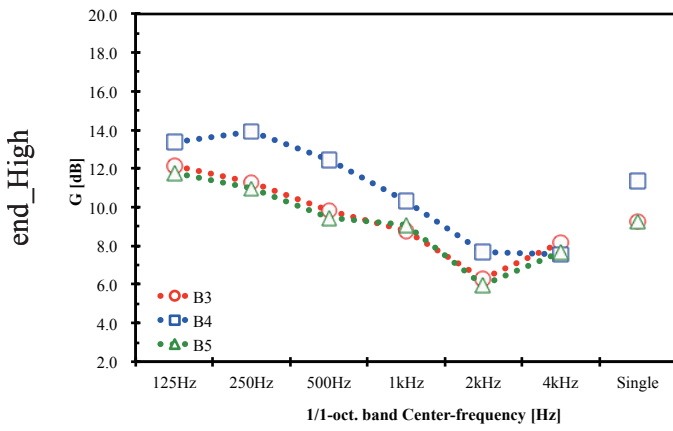
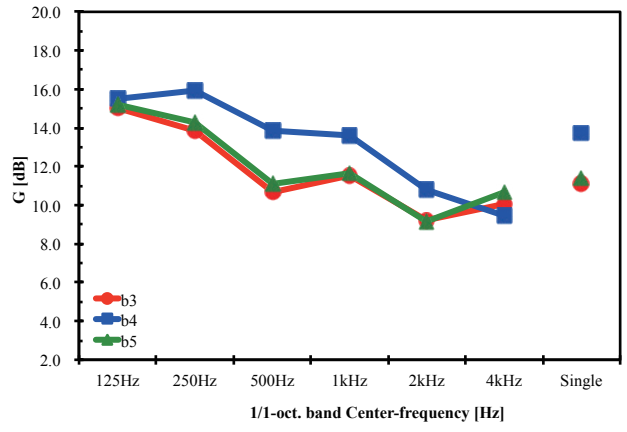
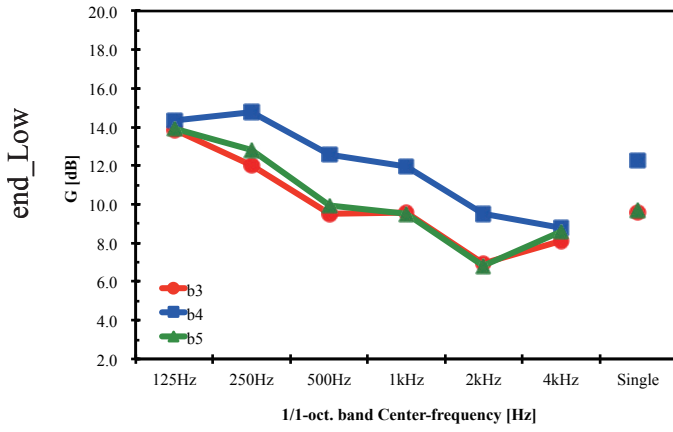
B5 sound receiving point



G

Absorption

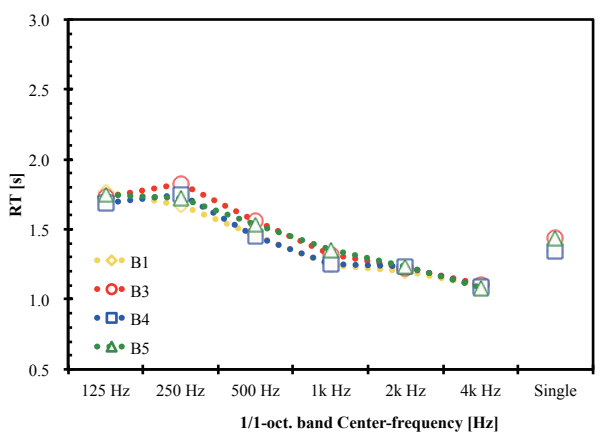
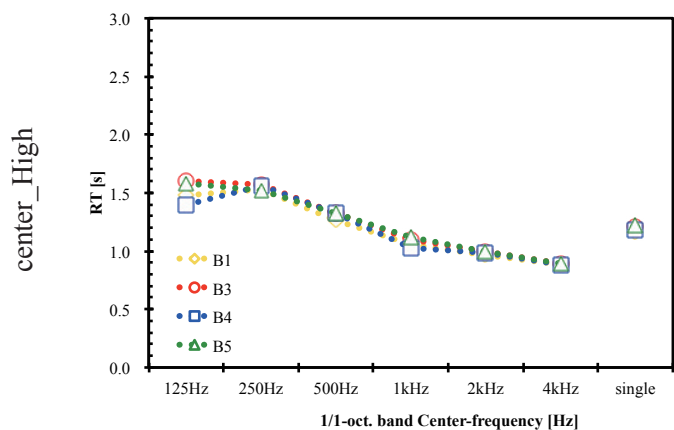
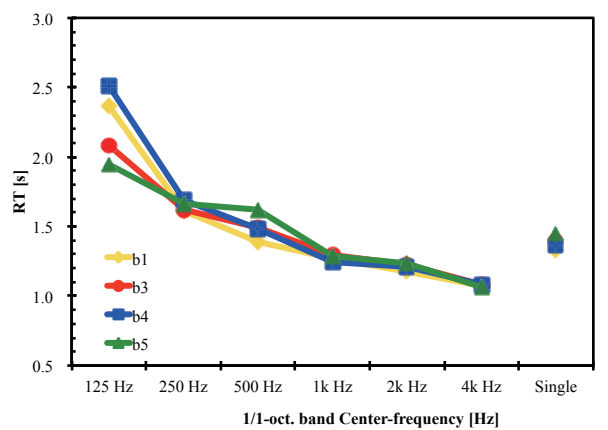
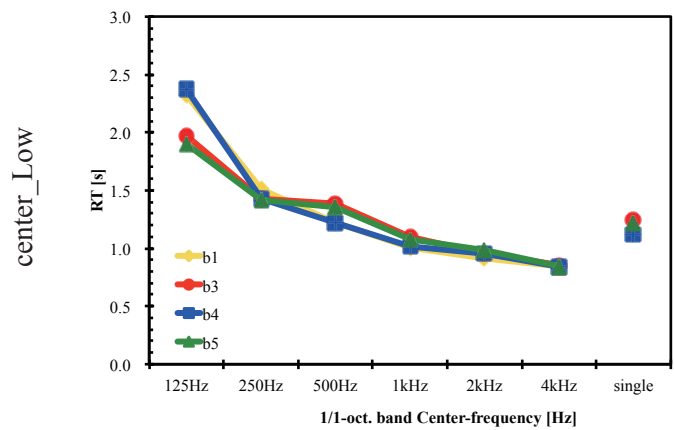
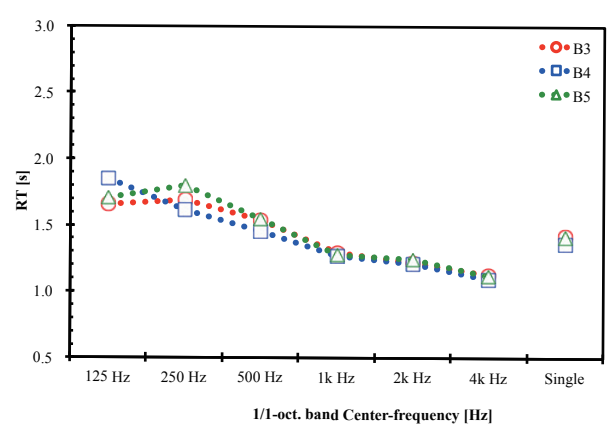
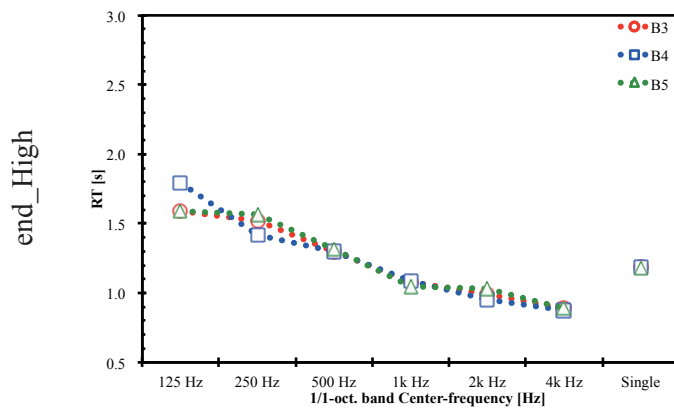
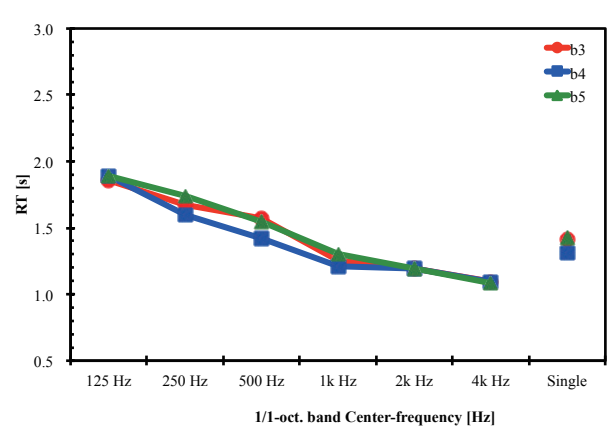
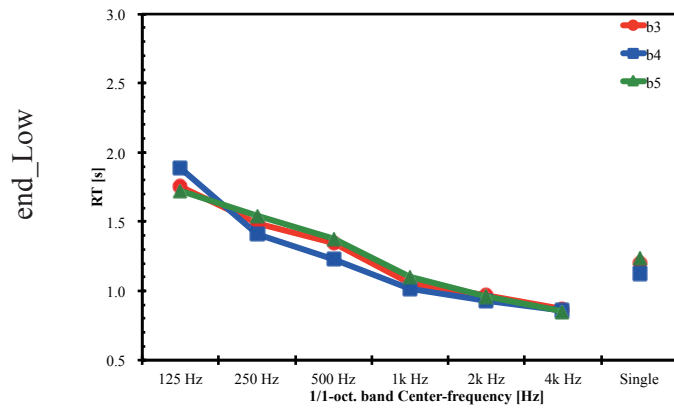
Reflection



RT

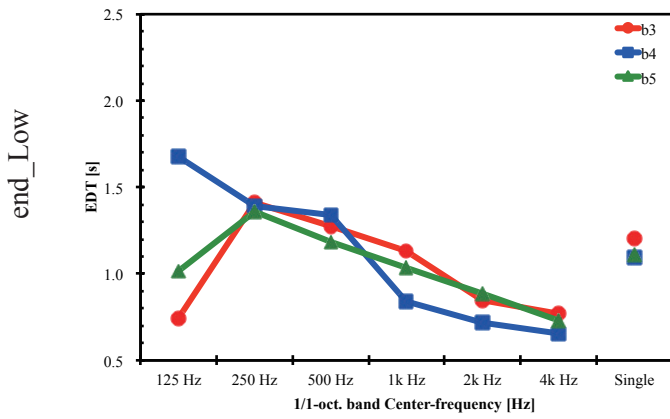
Absorption

Reflection

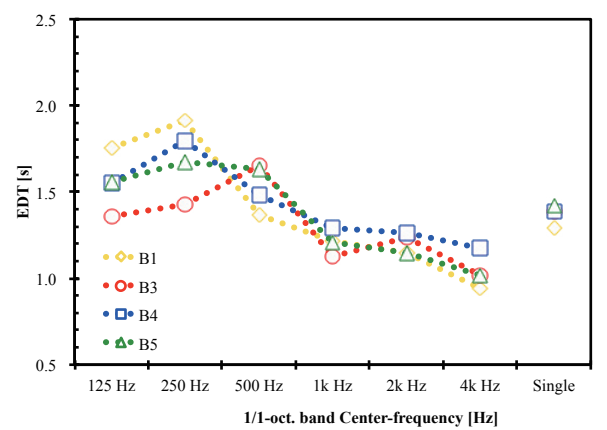
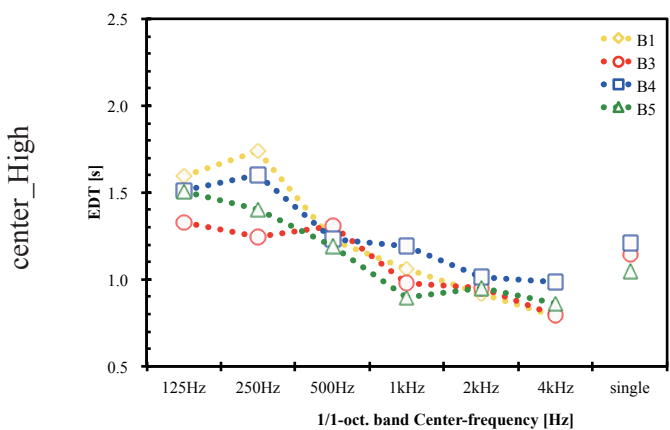
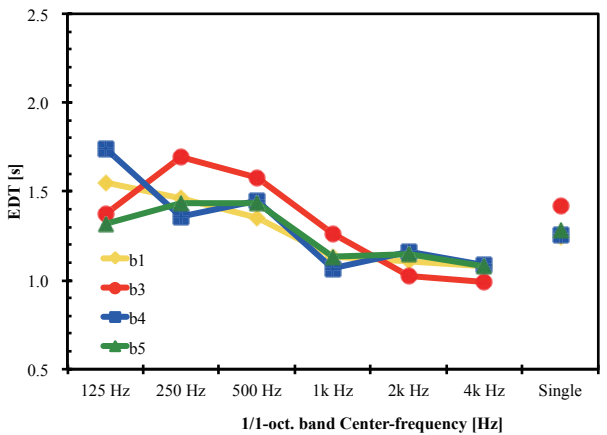
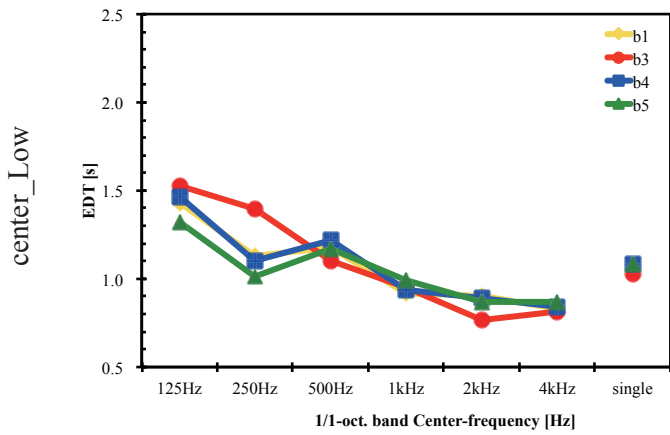
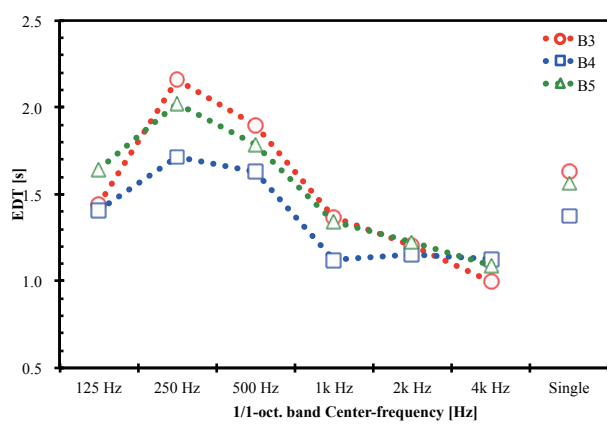
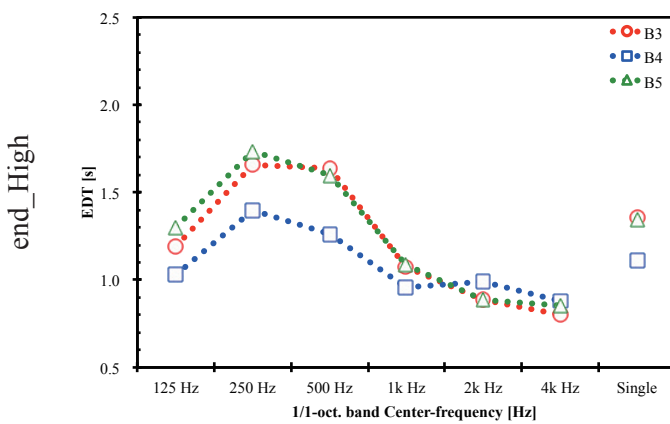
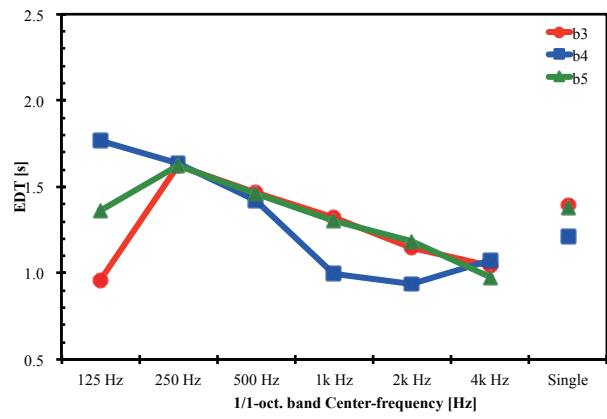


EDT

Absorption



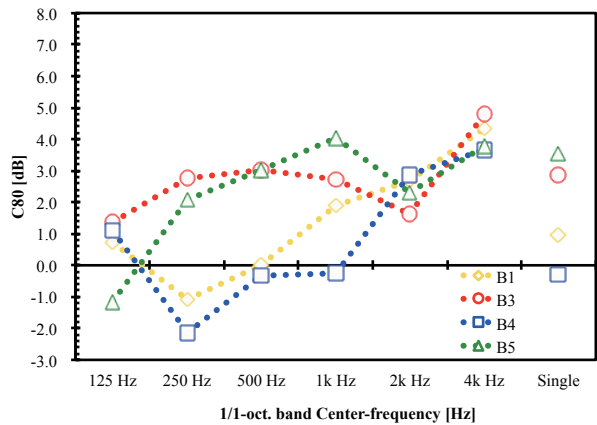
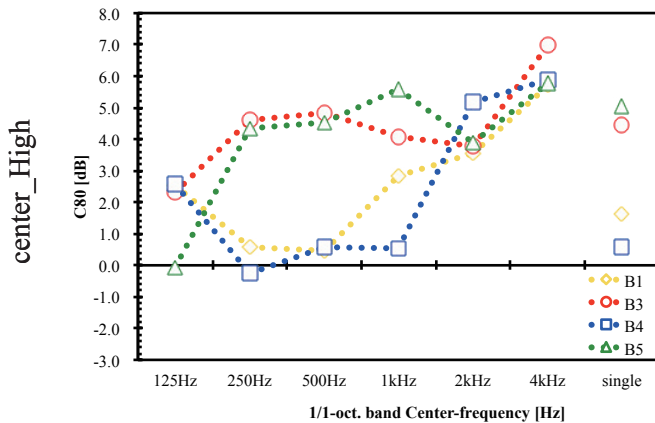
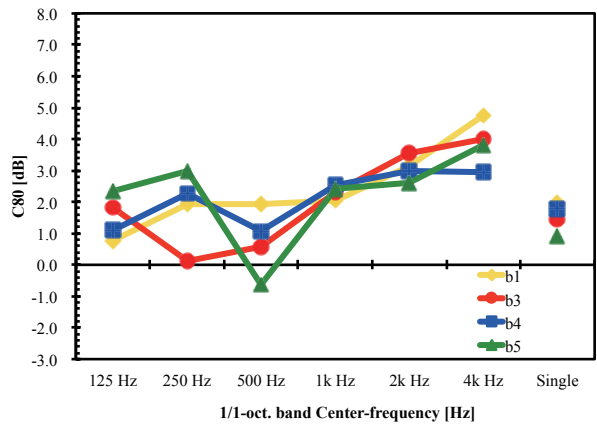
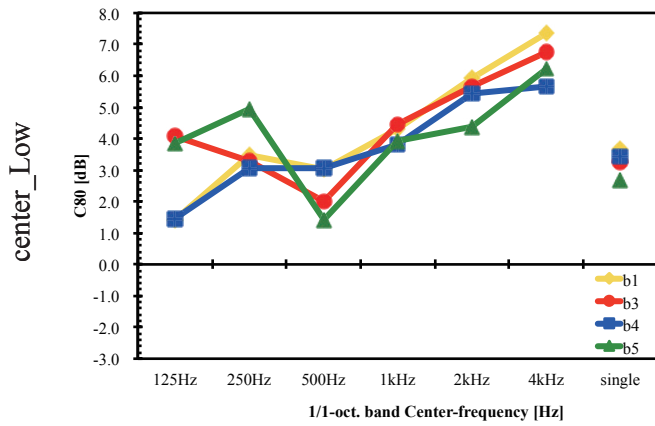
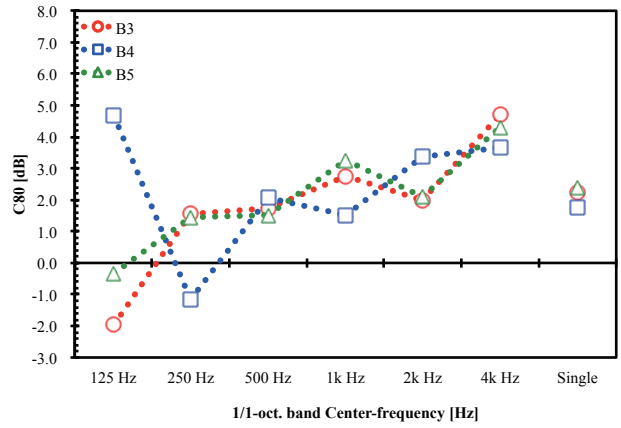
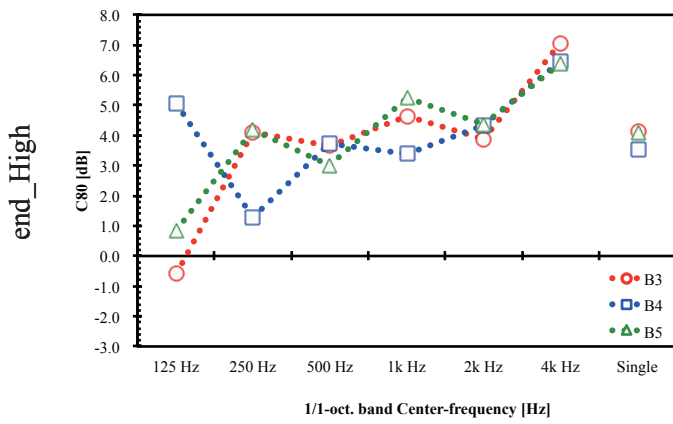
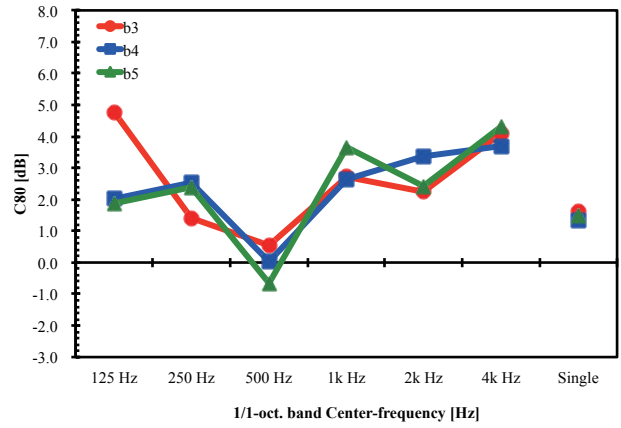
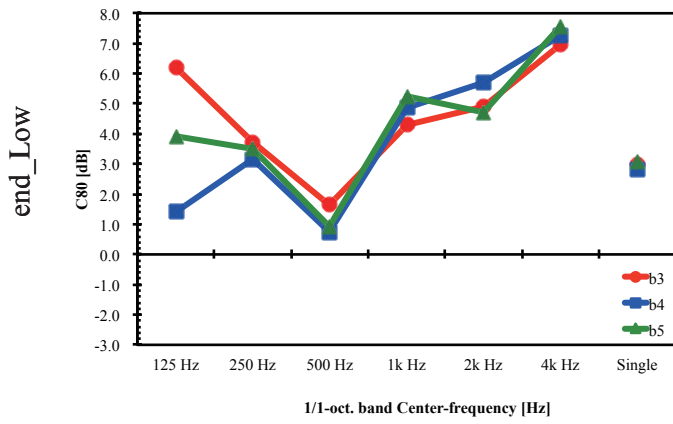
Reflection



C80

Absorption

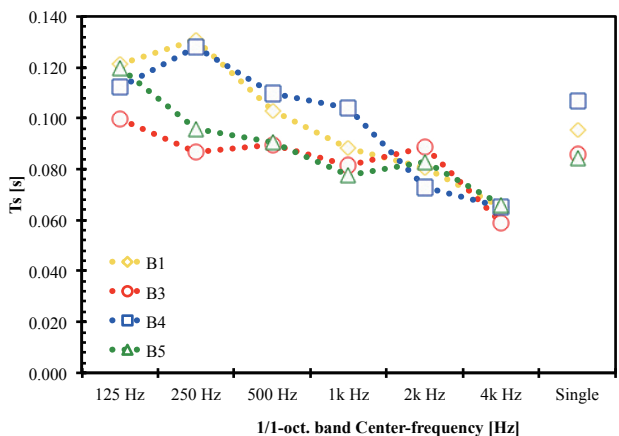
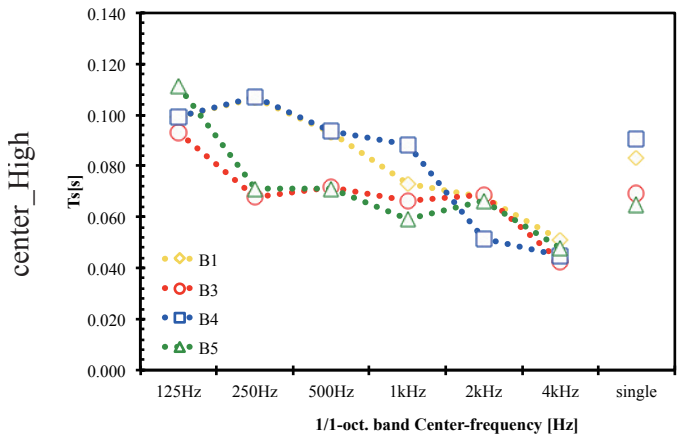
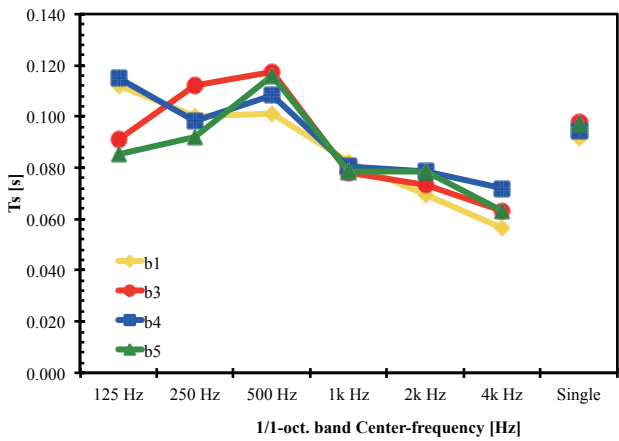
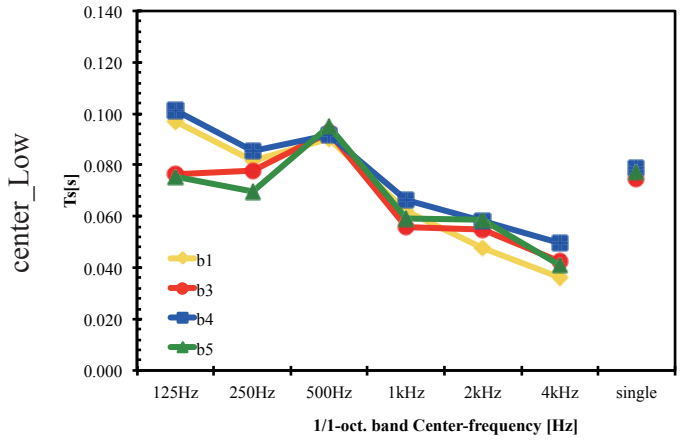
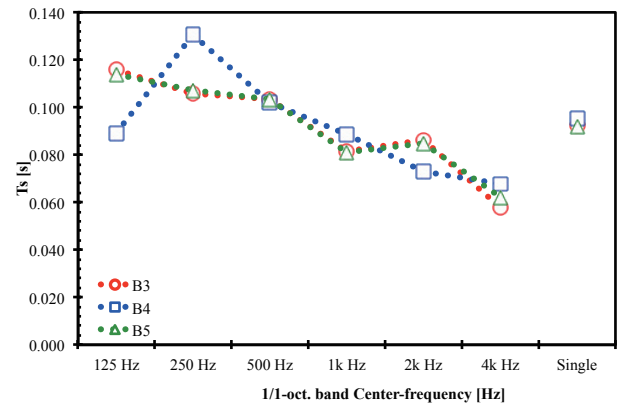
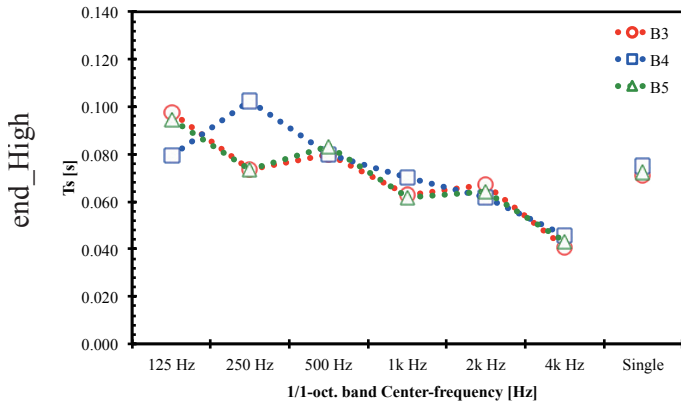
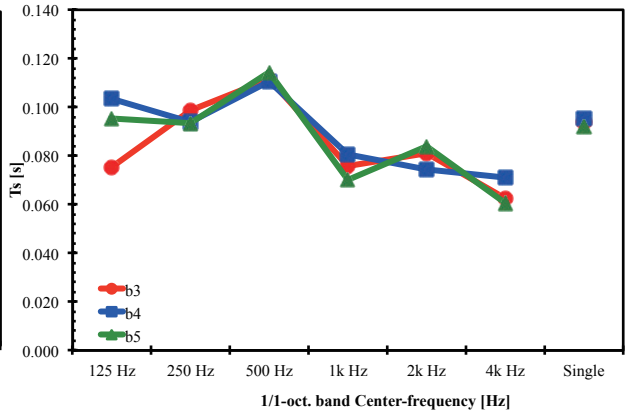
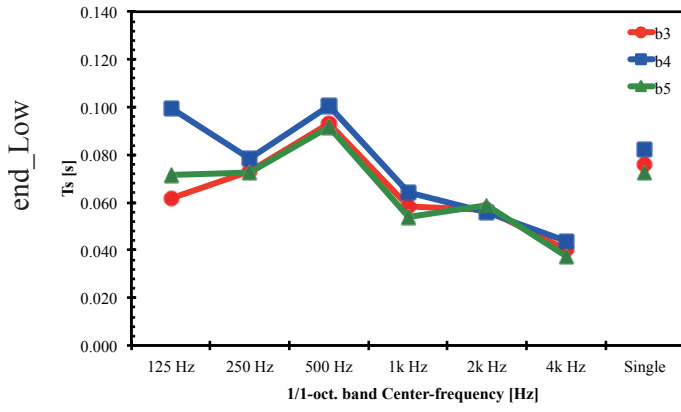
Reflection



Ts

Absorption

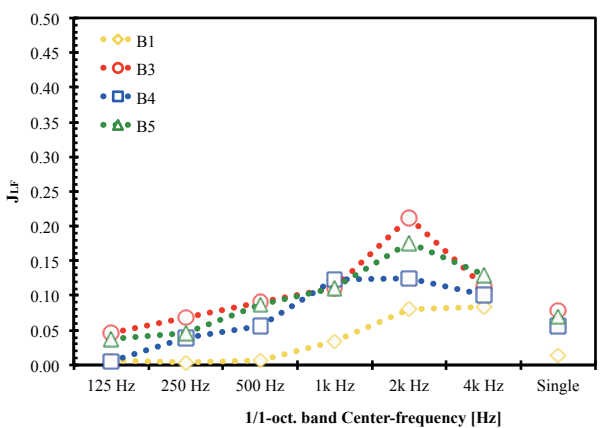
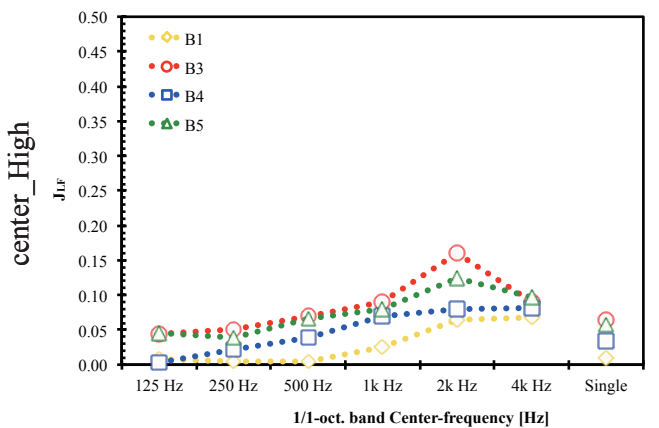
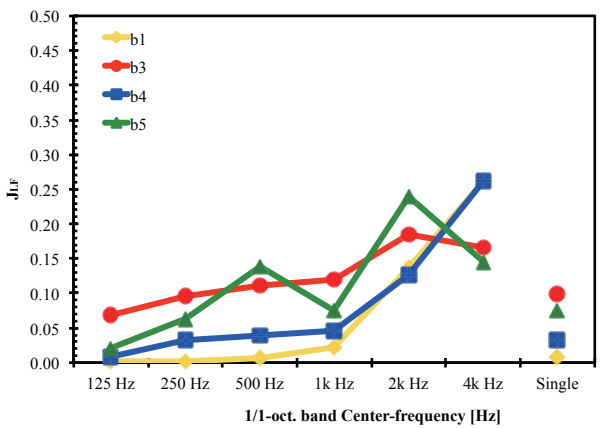
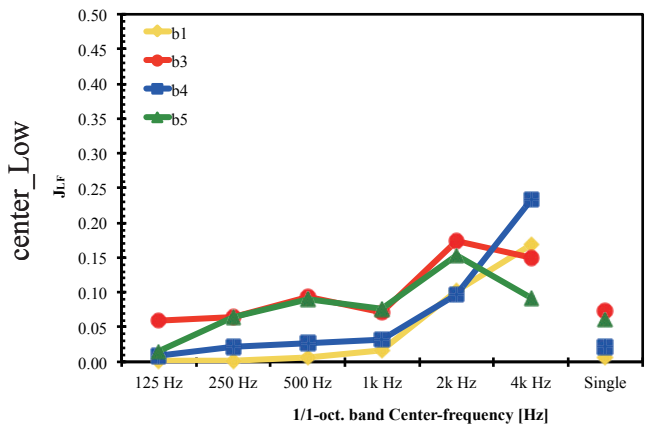
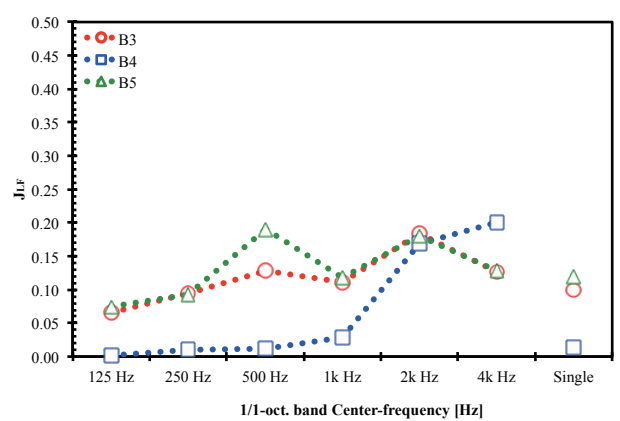
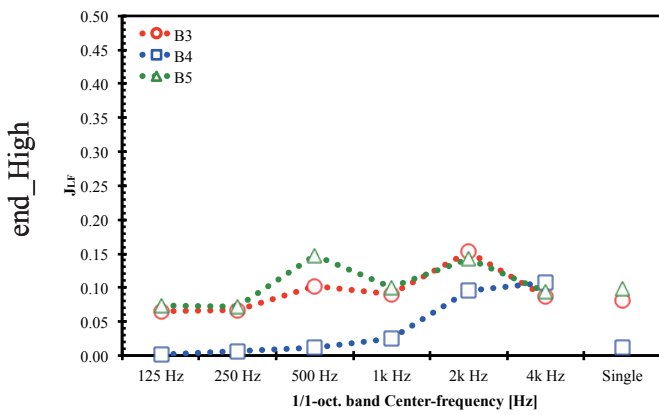
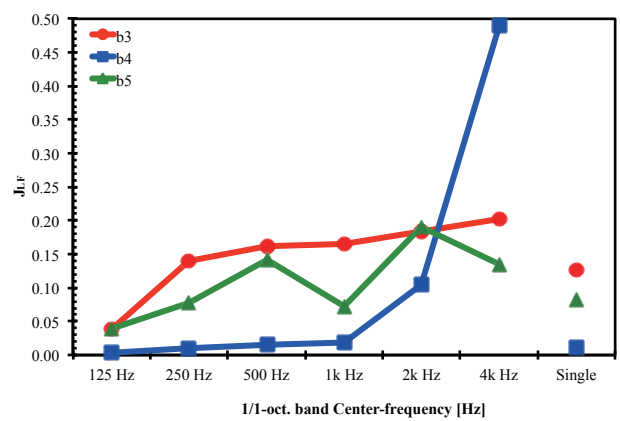
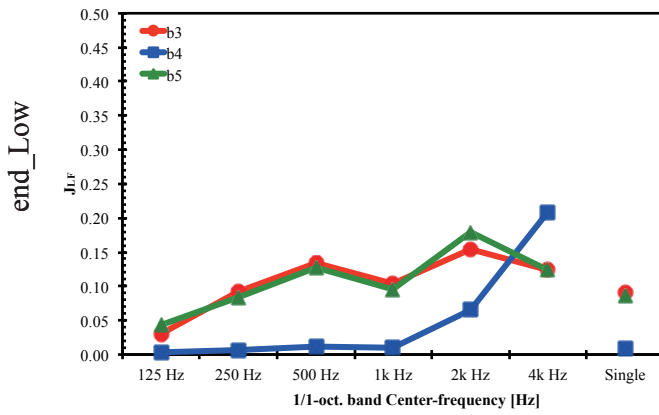
Reflection



JLF

Absorption

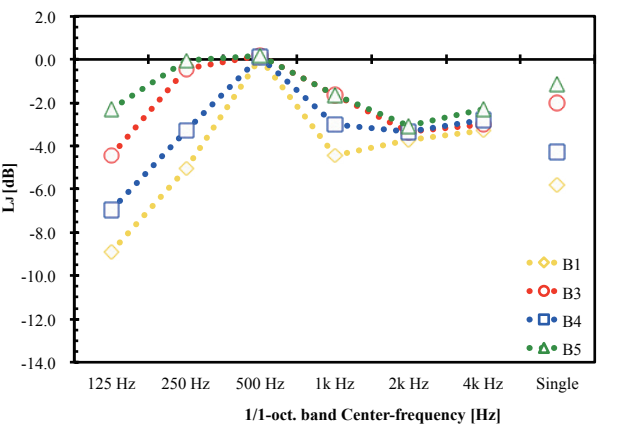
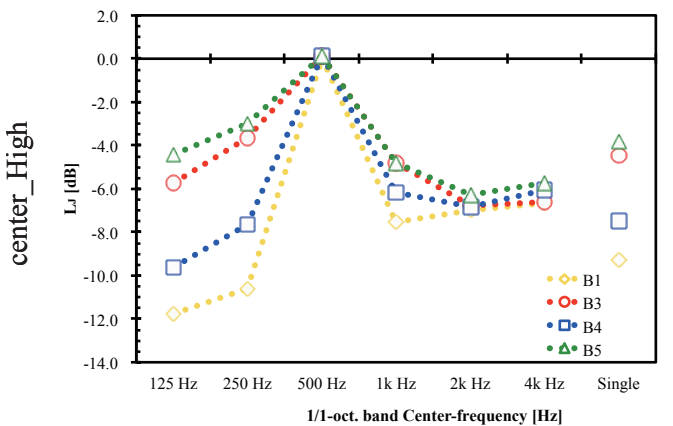
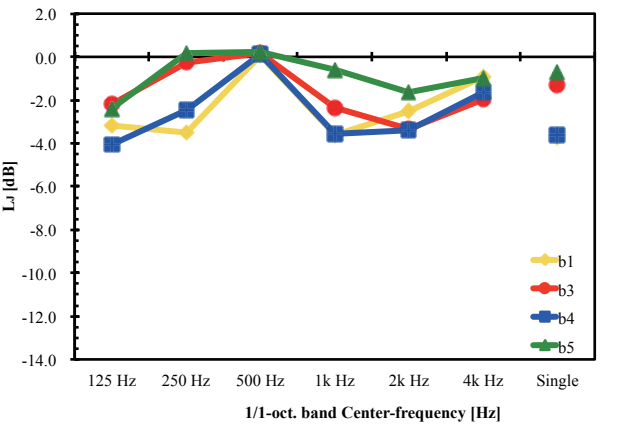
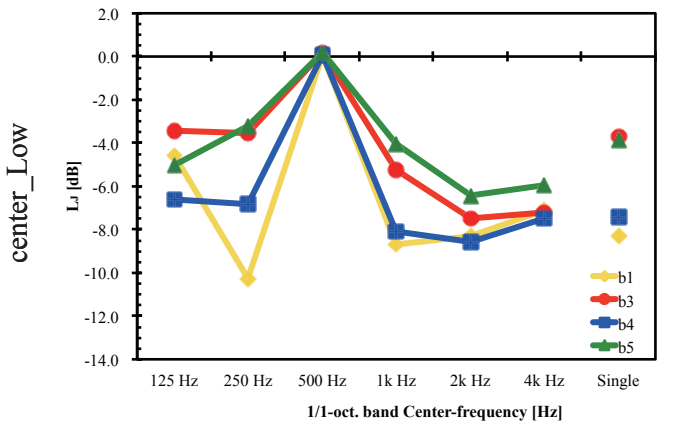
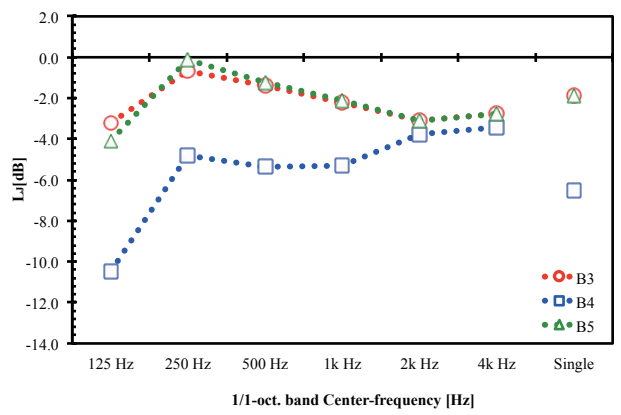
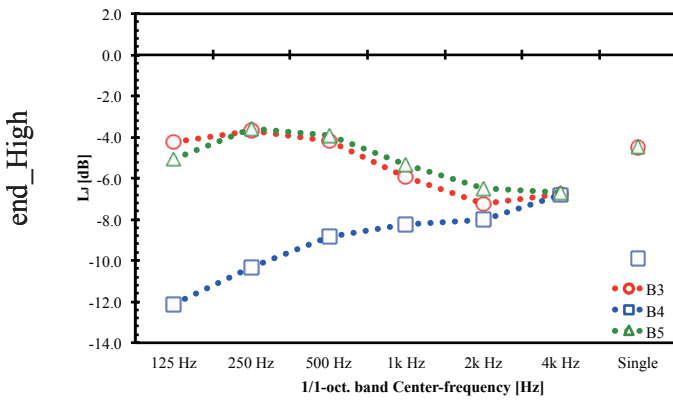
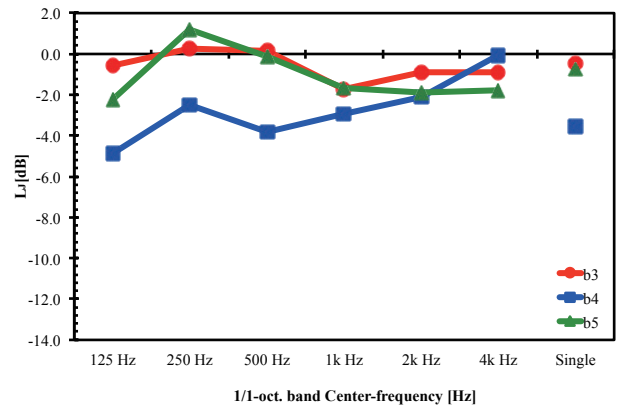
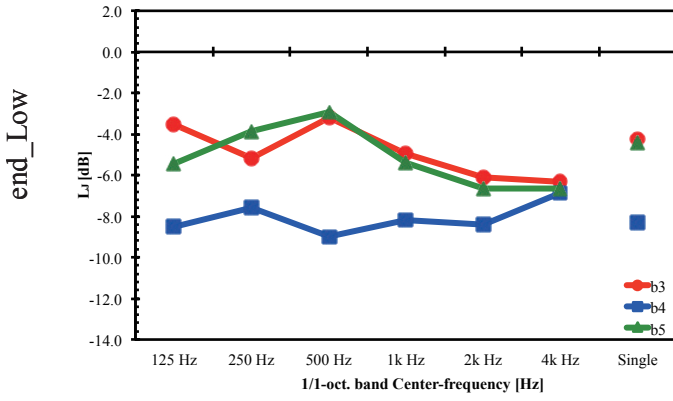
Reflection



LJ

Absorption

Reflection



インタビュー内容まとめ

Tab.1: Conditions pairs used in the experiments

Variable factor	No.	Reference	Target
Orientation(Rec.)	1	Rc3	Rc2(High)
	2	Rc3	Rc4
Height(Rec.)	3	Rc3	Rc3(High)
	4	Rc4	Rc4(High)
Rotation(Pf.)	5	Re2	Re2(Rot)
	6	Re3	Re3(Rot)
	7	Re4	Re4(Rot)
Lid(Pf.)	8	Rc3	Rc1
	9	Rc3(w/oLid)	Rc1(w/oLid)
	10	Rc1	Rc1(w/oLid)
	11	Rc3	Rc3(w/oLid)

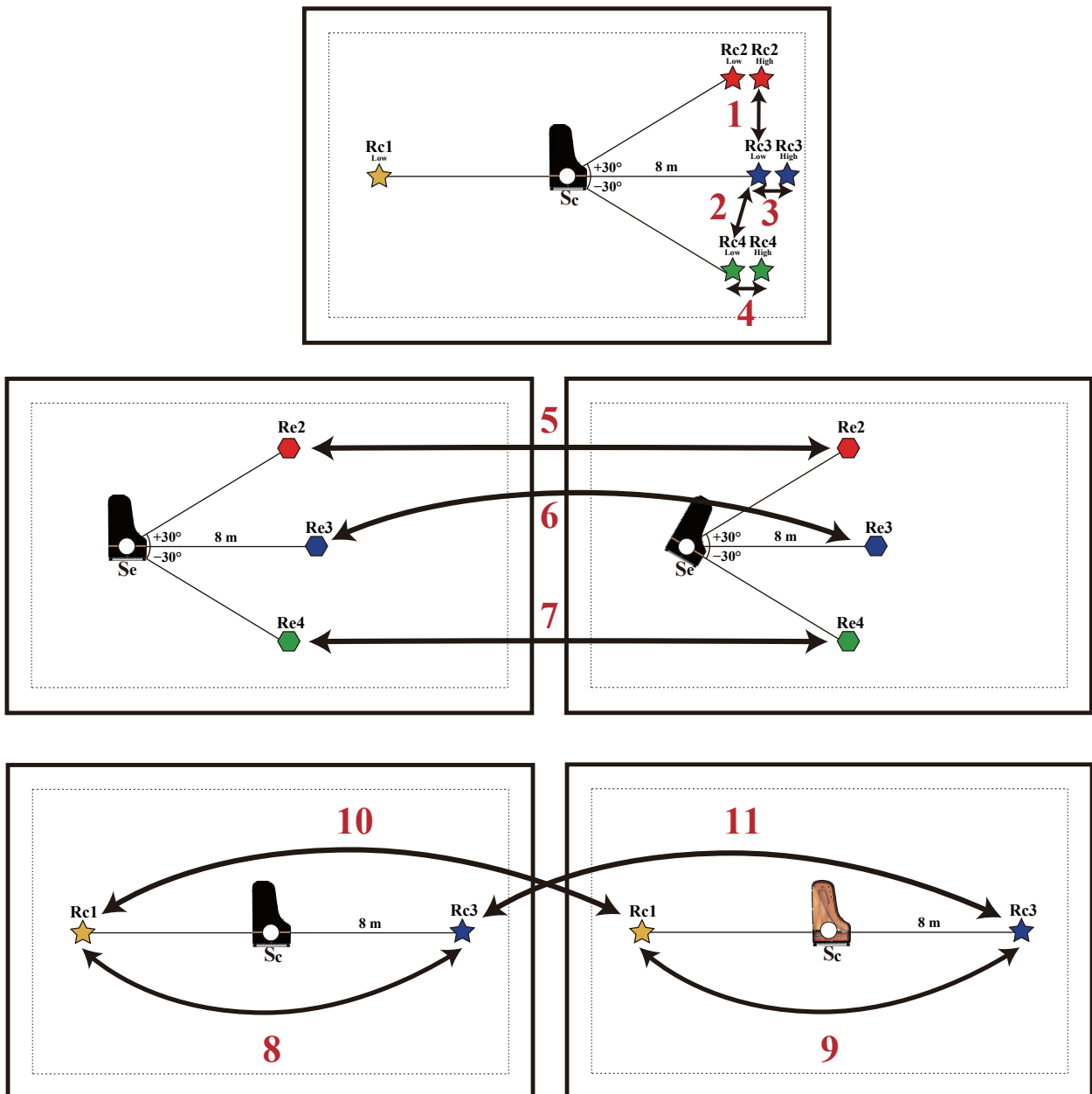


Fig.1: Conditions pairs were used for the subjective evaluation experiment

No.1	BEETHOVEN	CHOPIN
1人目	基準比較ともはっきりしていないが音量などは特に変わらない。比較はfの響きが柔らかくキンキンせず、速いパッセージはほとんど同じか少しはっきりしている。	音源の上下感が変化した印象。 基準は正面と上から音が返ってくる。 比較は高音が上から降ってくる。
2人目	基準はよく聞いたことのある音。比較はあんまり聞いたことのない音で、正面ではないみたい。	特になし。
3人目	基準比較とも、上の方にある。基準は少しはっきり低い方までガンと聞こえる。比較は同じ所から聞こえるが、少しぼけて低い方があまり出てこないで、少し柔らかくなってマスクされている感じ。	中音域の音色バランスが少し変わっている。比較は距離感が近くなり、中音域が若干増えている。バランスは良く聞こえ、少し柔らかい。楽器そのものの残響感を評価。
4人目	基準比較とも良い条件。後半部と前半部でかなり評価が異なる。上昇のところはものすごい粒立ちが良いが、fの所が折り重なってよく聞こえない。中音ははっきりしていて、折り重なっている所はぼんやりしている。基準の方が空間の広がりを感じるので良い。	高音が若干落ちていて、中音域が若干持ちあがっている。左手の伴奏ばかり耳につくので、バランスが悪くなっている。若干響きがあって、少しぼんやりしている。
5人目	距離と残響感の差を大きく感じる。直接音の印象、音色等は似ている。距離がほんの少し遠くなって残響感がぐっと少なくなった印象。	直接音の音色の印象がだいぶ異なる。基準は整ったフラットな音。比較は低域と高域を絞って、中域にかたまった様な音色。中域が強いので、その分距離感が近く感じる。
6人目	前に座っていて、音が上から後ろに飛んで行っている	比較ははっきり聞こえる。
7人目	似ている印象。比較は音がつままっていて暗く、低音寄り、柔らかくてぼんやりしている。	結構リバーブ感がある。 比較は低音がぼわんとしている印象。
8人目	少し遠くなった感じ。	比較の方がおそらく好き。 何が違うのかはよくわからない。
9人目	音量の差が微妙にある。	差がわかりにくい方。音源の大きさがわかりやすい。 比較は距離が近い。
10人目	良く聞けば差がわかる。基準は全体的に柔らかい感じで、少し遠く感じる。空間感で言えば残響感はあるが、ピアノの音としてはない。	残響が多い条件の中ではリアルな感じで一番好き。
11人目	比較は指向性から少し外れて、バランスが悪い感じ。	比較は高低のバランスが少し悪い。
12人目	比較は音が遠いのが残念だが、バランスは良い。	歴然と違う演奏。基準はとても軽く、比較はとても重いので、低音寄りという評価。比較の方が少し大きく聞こえる。
13人目	マイクを変えたくらいの違いで、ほとんど差はない。比較は少しミッドレンジが飛び出た感じがして、スタインウェイのピアノからヤマハにピアノを変えたのかと思った。midが飛び出た様に聞こえたので、残響が増えた様に感じた。	ミッドレンジがすごい飛び出てくるような感じになったので、音量が大きくなったように聞こえるが、高域成分と低域成分は変わっていないので、EQで広くmidを持ちあげた感じ。ピアノのおとがカンからコンに変わった。midが増えた分残響が増えたように感じる部分もある。
14人目	包まれていない感が大きい。	同じ線状でピアノを奥に運んだ印象。または、天板をとった印象。
15人目	比較はすぐ近くでとったものを足している様な感じ。打鍵の音がより聞こえるけど、すぐそばで聞いている印象ではないので両方混ぜたような印象。	比較はあまり聞いたことの無いバランス感で、変な感じがする。
16人目	比較はおとなしくて丸い。丸くてlow寄りなので残響感比較の方が長いと思った。比較はピアノを弾いたとき一個一個の音に対してレンジが狭いが、離れたときの残響感には変わらない感じ。	明瞭性や音の大きさは変わらず、音色が変わったという印象。比較の方が残響がかなりあるが、粒立ちがぼんやりしているわけではない。柔らかくなっているがツヤがある(派手とかうるさいとかではない)ので、バランスとしては高音寄り。
17人目	はっきりしていて聞きやすい感じ。	ほとんど差がなかった。
18人目	比較は全体的にちよっと控えめな感じ。	音の粒立ちがはっきりしている。
19人目	聞きやすい。	聞きやすい。
20人目	音量、音源の大きさ、距離、残響、音に包まれた感ほとんど変わらない。 基準比較とも音像は若干右側に定位している。比較の方が最初の一発目の低音の響きが豊か。明瞭性がかなりはっきりして、音色が若干硬くなった。	基準比較とも好きなバランスではない。比較の方が近づいてははっきりした。真ん中の音がすごい持ちあげられ、低音の響きはすごい暗い。高音の倍音成分が落ちている。ポロネーズの伴奏が強調されてよく聞こえるが、バランスはあまり良くない。明瞭性はすごく良くなり、低音側が強調されているので若干低音寄り。残響感は顔に近いので無くなっている。基本的に全て包まれていないが、包もうとしている。

No.2	BEETHOVEN	CHOPIN
1人目	比較は中音側の粒が少しはつきりし、やや残響感が無い。基準は中音がもやもやして弱く感じる。速いパッセージの粒の違いが気になる。	基準ははつきりしていて、すごくキラキラ。比較は少しまろやかでやわらかく、包まれた感じはするが少しもっている。
2人目	音の質が異なる。比較は打鍵の音があまりない。	中音がよく聞こえる。
3人目	基準比較とも、ぐわーんとかなりぼやけて、上にいっている。音源が定まらず、もわっと広がっている。	比較は少し遠くなってもやっとして、小さくなった感じ。
4人目	だいぶ差がある。比較はずいぶんぼけている。	音色は相当変わっている。比較の方が若干響きの余韻が長く、少しぼんやりして低音がちで音量的にも少し
5人目	音源がやや遠くなって、残響感がやや減った印象。	基準比較とも、音量等の印象は似ている。比較はほんの少し距離が遠く、響きの量が少し多くなり、ややぼんやり。特に包まれた感、空間かんが大きく感じた。
6人目	ドイツのピアノに変わった印象。	ちょっと遠くから聞こえる。
7人目	比較は遠く感じてぼやけている。	比較は遠くて柔らかめな印象。
8人目	音が本物っぽくなくなって遠くへいった。別のもので聞いている感じがする。	比較の方が好きじゃない。空間印象が全然よくわからない。
9人目	結構差が小さく難しい。	比較的わかりやすい。線形のホールで弾いているような感じ。包まれ感はないが、結構響いているホール。
10人目	粒立ちが悪い印象。残響は少ししかないが、音量音色は変わらない。	遠くて小さい印象。場所はあまり響きがなくて音像はすごく遠いけど、楽器は一緒。
11人目	基準は比較的バランスが良い。比較は少しぼやとした感じ。	微妙な差。
12人目	基準はクリアに聞こえる。比較はとても遠くに聞こえ、よりライブに近い。	空間のサイズ感が異なる。基準は100名程度のホールの印象。比較は400~500名程度のホールの印象。
13人目	比較の低音域の音の感じが好き。マイクを近づけた感じ。アタックが結構がっしり出てきて、lowも太い感じ。マイクが近くなったことで、弦の共鳴を拾いすぎてい	音源から遠ざかったというよりは、ピアノが向こうに行った。ステージの手前に置かれていたものが、天井反射板正面反射板ギリギリのところまで行った感じで、
14人目	特になし。	基準はかなりクリア。基準に比べると比較は残響感を感じた。
15人目	比較は基準より距離があるけどその割に響かなくて、	距離は一緒くらいだが、空間のボリュームがより広いと
16人目	基準のlowが全然なっていないので比較はlowがなっている様に感じる。基準と比較で、音に包まれた感じが異なる。基準は近くてくっきりきゅっとしている。比較は遠く全体的にふわっとしている。	シンセサイザーだと、2割くらいホンキートンクを足すとこんな音になる。基準はショパン向きではない気がする。比較の方が落ち着いてまろやかで優しく、優等生な印象。
17人目	良いけどちょっと遠い。	良い意味で包まれた感じがする。
18人目	音源の距離が近くなった。比較の方が残響感や包まれた感がある。	音質が柔らかかった。
19人目	比較はバラバラに聞こえた。	いいなと感じた。
20人目	低音がすごく持ち上がっているの、明瞭性がかなり落ちている。低音側がブーストされてる感じに聞こえるので、音量が若干大きくなった。距離感聞こえてほしい中高音が聞こえてこないの遠く感じる。低音がもこもこして遠くの方から聞こえてきて、中高音部の反射音の様なものがあるので残響が増えて聞こえる。低音のせいで、音像の大きさ等のイメージが変わり、音源の大きさは大きくなって見える。	音源の大きさはあまり変わらない。低音の響きは基準よりも比較の方がバランスが良くなっている。基準は最初のソの音はかなり鋭く、すごく明瞭性がある。パチンコ玉を投げつけられた様な感じ。比較は角が取れて、ショパンの曲だと丸みを帯びていて良い。暖かみがあり、明瞭性はぼんやり。テニスボールを投げつけられた感じ。

No.3	BEETHOVEN	CHOPIN
1人目	ふやけた感じでぼんやりがみだが、音源の大きさは少し大き目に感じる。低音がなるピアノに変わったが、上に客席がある場所で聴いている印象でこもってきこえる。聴こえてくる音はパワフル。	やわらかく距離感はあまり変わらないが音色が全然違う。キラキラして硬い部分はない。響きのふわっとした感じはすぐ感じるが包まれた感はあまり変わらない。違うピアノに変えたような印象。
2人目	比較はどこで弾いて、どこで聞いているかわからない。頭の上を音が通って行く。上の音がカットされ、高い音が伸びず詰まっている。遠い感じはするのさくはない。すごい悪い席で聞いているみたい。	1mくらい遠いけど座っている席は同じ。音色はかなり違う。基準は低音も高音も全部バラバラで、ピアノ自体がなっていない。発音した音がそのまま響かずに聞こえてくるので、聞いていて疲れる。比較はあの席で聞くには良い。
3人目	基準は正面のラインにある感じ。比較は下においてきて音像がぼわーんと少しぼやける。少しマスクされ何かが前に立っていて、音がこもっている。	音源の幅が少しぼやける。no.12、no.10は音源の残響感という感じだったが、no.6は音源より空間の残響があるように聞こえる。
4人目	比較の方は和音のところ少しぼけている。	基準は悪くはないが、包まれ感残響感をあまり感じなかった。比較のほうが好み。ずいぶんマイルドで、最初の打鍵音が良い意味でクリアだが、耳触りではない。
5人目	音量バランスなどの直接音の部分の印象はよくわからない。距離が少し遠くなり、残響感がやや増えた。	no.7程ではないが音色の違いを感じた。比較はやや低域を削り、高域も少し削った様な印象で、若干くもっている。側方からの反射音が大きいので、かなり包まれている。距離はあまり変わらないが、比較はやや遠く、その分ぼんやりしている。音像は大きく感じる。
6人目	遠いけど音ははっきりしている。	すごい響いていて、音色にも違いがでている。
7人目	比較はかなり遠く、高い方も少ない。遠くて、バランスが悪いので残響を感じない。	比較は少し柔らかく、高い方のエネルギーが少なくなっている感じ。no.4よりは差がある。音像が大きいので好みの条件で癒される。リファレンスはきつくて、硬い。
8人目	違和感が有り、ピアノっぽくない印象。	差が難しい。ピアノが変わったというより、少し席が変わったくらいの印象。
9人目	比較的わかりやすく、特に中音域の差が大きい。比較は中音域の明瞭性が高かった。	左手の部分の差が大きく、低音のタッチが強い感じ。
10人目	難しい。柔らかさはある。	楽器が悪いのかマイクが悪いのかわからないが、音の抜けが悪い。距離は少し遠く感じる。
11人目	あまり大きな差を感じなかった。	基準はもう少し高い音が聞こえてほしい。
12人目	3小節目1拍目がこの演奏は転んでいるが、基準では一つ一つの粒がまとも聞こえる。比較は演奏者のうまくなっていなさが露骨に出てしまう。	比較は残響が多く、ピアニストの演奏する意図がわからないくらい全てが重なっている。ピアニストの個性が薄くなっている。CDを発売するとして何回も聞くのは耐
13人目	マイクが少し遠くなり、その分残響成分が増えた。音像が気持ち後ろで、音源との距離が少し遠くなり、リバーブ成分が増えたので、その分マイルドに聞こえる。	ピアノの向こうにある板の材質が硬いものによって、自然な反射をする成分に変わった感じ。左右に広がった感じもする。くっきりさは失われないうまで、残響というよりは初期反射が悪くない方向に作用した。
14人目	比較の方がこもった様に聞こえた。	濁ったような残響が気になった。まわりつくような感じがして、あまり好きではない。
15人目	舞台に対して低い位置下から聞いている感じで、相対的に近い印象。	比較は響きが若干自然な印象。広さと距離感は変わらない。
16人目	音に包まれた感が難しかった。ダイナミクスはあまり変わらない。基準は粒立ちがすごいはっきりしている。比較は残響に対してなじむような程度の粒立ち。	基準は残響が圧倒的に無い分軽やかに聞こえて、曲調にあっている感じ。音源の大きさを同じにしているのは、距離が遠い分他の要因に影響を与えているから。
17人目	若干遠い感じ。	ちょっとインパクトが無いが、音量感はあまりかわらな
18人目	比較は低音寄りのバランス。	残響感があるが、音に包まれた感じは同じ。
19人目	特になし。	音源の大きさはあまり変わらない。
20人目	最初の出だしに部分に着目すると低音側の響きが豊かになっているので、全体的に音量は大きく感じる。音の粒立ちは結構はっきりしていて、中音が持ちあげられた感じ。全体的に細かいパッセージが目立つようになったが、音色は柔らかくキンキンしないので聞きやすい。音源の大きさは、中音部か低音部が持ち上がっているの大きく感じ、距離も近く感じる。響きは低音部が少し伸びがあるので残響感はある。	基準はキンキンする。比較は低音がすごく増長されているので全体的に音量が大きく聞こえ、柔らかくぼんやりした印象。残響感によく聞くと変わっていないが、低音のブーンという伸びを残響とを感じる人もいると思う。

No.4	BEETHOVEN	CHOPIN
1人目	基準と比較が似ていて粒立ちがはっきりしている。比較はfの時の音が少し柔らかく、とげがない。	クリアだが音がはりつく感じ。音源がすごく近くなった感じはそこまでしない。
2人目	基準と比較の差はあまりない。基準は聞いたことのない音。低音は左から、高音は右から聞こえるので1点から聞こえてこない(普通1台のピアノではそんな風に聞こえない)。低音はまだ良いが、高音の出かたが変。比較は上の音が全然足りなく、生の音では無いように聞こえる。残響がなく、音がステージ上から動いていな	基準は特等席で聞いているみたい。比較は基準と同じ席だけどピアノの位置が異なり、少し近づいた。響きが足りない。
3人目	no.2よりもしっかりしている。	比較はほんの少し音源が広がった。
4人目	基準はもこもこして低音寄り。比較は音量が若干小さいがクリア。相対的に芯があり、ネガティブな硬さではない。	差はそんなに大きくない。基準比較とも、高音域がクリアで明瞭で、バランスも悪くない。比較の方が少しざらびやか。
5人目	直接音の部分の差はわからない。少し遠くなり、かつ残響感が減った印象。	音色の違いを一番感じる。ハイパスフィルターを通して、低音をかなりカットしたような音。高域の方もほんの少し布をかぶせたようななくもり方。比較は残響感が少なく、側方からの反射音について特に無いように感じる。後方からの反射音はとても感じ、音源の中に頭を入れたような印象で、包まれ感を感じる。
6人目	あまり差はない。基準は低音がたくさん聞こえたが、比較はあまり聞こえなかった。	特になし。
7人目	比較はパッセージが聞き取りにくく、高い所に変な強調がある。	似ているので難しい。
8人目	足りなかったものが足された感じ。柔らかい、硬いを普段言っているものとは違うところを聞いている気がし	差が難しい。
9人目	音量の差があるので結構わかりやすい。	微妙な差。 音量に関して低音が若干大きかった。
10人目	少し遠い感じだが、割と好きな印象。	比較は良い音で基準よりも会場が良い印象。
11人目	差がわからない。	特になし。
12人目	音の重さ軽さを感じる。基準はドーナツのように中がない。比較はあんがずっしり入ったあんぱんみたい。	比較はかなり距離が自分に近い感じで、残響感がだいぶ減っている。
13人目	不思議な印象。同じ空間でマイキングを変えるとこんな感じの違いがありそう。基準はマイキングが変で、下手なエンジニアがやるとこんな感じ。細かいアタックが全部つぶれてた。比較はマイクの位置が基準とは変化した。結構明瞭度があるにも関わらず、低音域は少しぼんやり。	基準はやや響き、少し大きめの教室の様なところで、スピーカーでピアノ音源を再生している。比較は実際に目の前でピアノを弾いてくれている。空間として同じ空間にいる。リバーブ感というより部屋がなっている。
14人目	あまり差が無いので、差を見つけようと同じフレーズを何度も聞いた。	基準はバランスがとれていて、ホールの距離感がある。
15人目	印象はほぼ一緒。比較は音量がちよっと弱かった。	比較は近い中音域があまりならない場所な感じ。
16人目	基準の方が響いている。基準の方が大きく聞こえるのが変。比較はレンジもダイナミクスもせまい。比較の方が粒立ちが良いのに、音量は結構小さめに感じる。比較は響いていない分highはキラキラしている。音量バランスは帯域によって異なるので何とも言えない。	基準比較とも残響が長いく、high寄り。 比較は残響が少し長く、highの中のmidが高い。
17人目	CDでよくある感じ。	主に音色に差があり、硬い感じ。
18人目	軽い感じ。	比較は近い。
19人目	差は感じるけどよくわからない。	特になし。
20人目	基準の方が低音側に大きい。比較は全体的に縮こまった印象なので、残響感が若干ある。音像も遠くなって聞こえるし、音もやや硬いようなイメージ。音の粒立ちはあるポイントに着目すると、はっきり聞こえて若干包まれた感に変わったイメージ。	比較は響きが豊かで色味がついたが、ライブ感や残響感は小さくなった。周波数成分の違いで音色が変わっていて、比較はどちらかというと柔らかい。音量は若干大きくなり、バランスは低音寄りになった。

No.5	BEETHOVEN	CHOPIN
1人目	少しぼんやりしていて、低音がこもりぎみ。基準と比較の音量感は近い。	オールド楽器を弾いているみたい。大きい音を出しても痛い音がでない。キンキンせずやわらかい。
2人目	ほとんど差はない。基準は音が飛んでこない。聞いているピアノからの距離が比較の方が少し奥。	音像の高さが違う。比較は低音が足りず、近いので音像が少し大きく感じる。
3人目	基準は音源が下がって横に広がり正面にある感じ。比較は上の方にいて音が軽くなり狭くなった。パワーがなくなり、少し細くなった。	ほとんど変わらない。高い方が切れていて、中域の方に少しよっている。比較はバランスが良く感じ、高い方がなくなったせいで、残響感を感じる。
4人目	あんまり差がない。基準比較とも上昇アルペジオの粒立ちは聞こえる。比較の方が若干クリア。	基準比較とも近くてクリア。基準は音的にクリアだが、倍音構造の響きの少し気持ち悪い。比較の方が、高音がよりクリアで、低音中音が若干落ちているが濁り感はない。
5人目	非常に似ていて、全体的に判断しにくい。	音色の差は近く、空間印象の差が耳につく。比較は少し遠く、残響が増え包まれた印象が強くなった。直接音に着目して聞くと、レンジが少し狭くなって、結果硬い印象。
6人目	比較は硬くて、楽器自体が小さい。	特になし。
7人目	比較は音がつまっていて、周波数レンジダイナミックレンジが狭い感じ。	難しい条件で、no.12と似ている。
8人目	何かが抜けた所がある。包まれ感がとってつけたような感じがして気持ち悪い。	比較の方が近すぎて、演奏を聞いている立場とは違う感じ。右側から聞こえる感じ。
9人目	すこしばやけた感じ。	比較的わかりやすい。後ろからの反射音が強い。
10人目	音像が少し小さく、粒立ちが悪くもこもこしている。	音源はほぼ同じで空間が違う印象。音像はほぼ同じ大きさ。空間の明瞭度が高く、少し残響がある気がす
11人目	f時の違いを一番感じる。	音の飛び方が違うが、あまり距離感はかわらない。
12人目	基準の方が好き。	基準はあくまでもホールではなくて大きな部屋で一人で弾いている感じ。比較は少し距離が離れているが、小さいホールで弾いている印象ではない。柔らかくてぼんやりした印象。
13人目	ホールの大きさは同じだが、楽器に近づいた印象。楽器に近づきすぎたがために音が飽和している感じ。	リバーブが増えて非常に良い録音。楽器自体の変化というよりは、リバーブ成分が楽器に及ぼす部分の効果は少ない良質な響きをするホールの大きさが変わった。中ホールから大ホールに変わった。低音のリバーブ成分はそんなに伸びていないので、高域をブーストしたリバーブを足した、またはリバーブ成分の高域だけを上げた感じ。
14人目	比較は音量が小さい。	側方からの音を多く感じた。
15人目	同じ演奏を弾いている位置(基準)と聞いている位置(比較)みたい。	弾いている位置で聞こえる印象。比較はバランスが悪く、もう少し調整しないとイケないと思いながら弾いている感覚に近い。
16人目	比較の方がレンジが狭い。基準比較とも、lowとhighのなりの程度は同じくらいだが、そのレンジが異なっている。	音量バランスはよくわからない。比較の方がぼんやりしていて少しlow寄りなのでつやがある。違いはわかるがlow寄りで高音につやがあるからと言って、レンジが広いわけではない。
17人目	ちょっと明確な感じはしない。持続性がない。	そこまで大した差はなかった。
18人目	比較は音源の距離が近い。	比較はちょっと小さい。
19人目	特になし。	音が大きいと感じた。
20人目	聞く場所によって印象がかなり異なる。距離感と残響感あまり差が無く、他の印象によって変化しているように感じる。比較の方が全体的に音量が小さく、低音よりでぼけていて柔らかい印象。強く押した時の音の大きさは基準比較とも大きい、音の広がり方が異なる。範囲で考えると音源の大きさは比較の方が大きい。	基準比較とも明瞭性はかなり良く、音色は全然違う。和音の濁り方に差を感じた。基準は、濁る瞬間があり、平均律でならしている感じ。比較は、比較的うまくまとまって純正律でならしている感じ。比較の方が明瞭性が高く、真ん中らへんが持ち上がっているの若干音量が大きく感じる。相当音が近く、若干ワイドになった。単音の横らへんについて響きだけ聞くと比較の方が響いている。空間の横の広がり感が包まれた感じに反映されている。

No.6	BEETHOVEN	CHOPIN
1人目	なし。	基準はのっぺりしていて高音がカチカチ。 比較はつややかで高音がみずみずしい。
2人目	比較は聞きやすい。 基準は雑音がすごく聞こえて、座ってられない感じ。	音像が右に聞こえて、ピアノのなり方が全然違う。低音も高音も同じように聞こえてくるけど音質が全然違うので、バランスの評価がしにくい。正面から聞いている感じがせず、下か右からピアノが聞こえる。音そのものが基準と比較では異なって聞こえる。比較はポツンポツンと聞こえ、響きが全然足りない。弦がなつてすぐ音が飛んでいかないので、つまった感じ。響きがない訳ではないが変な響きがついて、あるべき響きがない。
3人目	基準は2つにわかれたような横に広がり、少しぼけた。 比較は少しシュッと縮まり、少し前に出てくる感じ。	音源の幅が少し変わった。比較は広く、近くなった。
4人目	比較の方が折り重なって明瞭性が落ちてるので、ぼやけている。	基準比較とも、遠い。比較は相当高音寄りのでクリアで硬い印象。音色が変で音像はコンパクト。比較の方が距離が近い。
5人目	非常に印象が似ていて、直接音の差がわからない。 後半の和音のところ残響感とそれにもなう包まれ感に差が生じる。 比較は残響感と包まれた感が減る。	比較は口に手を当てているみたいな感じ。反射によって干渉が生じ、ピークディープが強く生じているような音色で結果的に硬い。距離感、残響感あまりかわらない。残響、側方後方の反射だけに集中すると、そんなに大きな差はない。直接音の印象が異なるので、残響感包まれた感もそれに引っ張られて、比較の空間感はやや少なめ。音質の点で比較はやや硬いので、その明瞭性は上がっている(直間比という意味ではない)。比較は打鍵一個一個が分離して聞こえるという意味でくっきりしていて、聞き分けやすい。
6人目	音量と音源の大きさが同じ。	距離は同じだが、音が大きくなった感じ。
7人目	比較は粒立ちが良いので良く聞こえる。 バランスはすごく良い。	違うけど似ている。
8人目	すごい難しい。基準比較とも、不自然な印象があるが違う不自然さ。基準は何か違うものがくっついている。 比較は極端に反対側に振っているような感じ。	よくわからない。
9人目	結構左手が強い印象だったので、低音が大きく、明瞭性が高く、硬い。	音量感の違いが比較的わかりやすい。 はっきりしているので硬く感じた。
10人目	比較はすっきりしている様に聞こえる。 明瞭度は少し有り、近い。	小さい部屋で響きがなく寸詰まりな感じ。 楽器が変わった印象。
11人目	あまり差はなかった。	少しピアノの距離感が違う様な印象。
12人目	比較は低音部がだいぶ補強されているので、全体の響きがよくなった。	基準は音のバランスが整っているが、比較は崩れている。
13人目	EQをかけて、録音するHAを変えた様な感じ。YAMAHAからNEVEに変えた様な、メーカーのキャラが変わっている様な。ベーシックな部分は同じだが、細かい所の細部が変わっている印象。位相特性に近い部分に変化した感じ。	ピアノを演奏している規模が、300~400人規模のホールからラウンジ(天井が低く、くっきり反射する部屋)に変わった。構えなくても聞ける音聞き流せてストレスが少ない。リバーブが少し大人しくなった。
14人目	残響感の所があまりなかった様に感じた。	音源の距離感が少しありすぎた感じ。
15人目	ピアノの大きさが違う。 比較は小さいピアノで弾いている印象。	距離が近くなって、より高さがあるような印象。
16人目	基準は最後の高いソ#の所で強く上から降ってくる感じ。近いのにパーンとくる。比較は遠く感じる。	基準はmidのもたつきが気になる。比較の方はつやがあるが、残響が無いのでその分スカスカ。lowが無くてhighが上がっている。
17人目	はっきりしている様なぼんやりしている様な。基準は最初の方がかなりはっきりしている。比較は最初もわんとして、良い意味で包まれている。	なし。
18人目	比較は音の粒立ちがぼんやり。	音色が硬い。
19人目	特になし。	特になし。
20人目	ほとんど差はない。音源の大きさ、距離感、残響感、包まれた感ほとんど変わらない。基準は高音側がかなりキンキンする。比較はf特が変わっているので若干低音寄り。角が取れてやわらかく、聞きやすい。	倍音の周波数構造が異なる。基準は全体的にさびしく、高音のキンキンが目立つので残響感があるように感じる。比較の方は真ん中の音が全体的に上がっているので柔らかい印象。音源の大きさは近づいた気がするので大きくなった印象。

No.7	BEETHOVEN	CHOPIN
1人目	基準は柔らかくもややして低音だけがこもっている感じ。比較は音源の距離感が近く、音色がはっきり硬めに感じる。明瞭性がかなりはっきりしているが、空間感はその間に差を感じない。すっきりしていて、高音寄り。	クリアで明るい。見通しが良くなりはっきりしているが包まれている感じはある。
2人目	特になし。	基準比較ともバランスは同じだが、音の出方が違う。真ん中が落ちて聞こえるので、両側が持ち上がっている。
3人目	基準は少しぼやけている。比較は高い方がより聞こえ目立っている。高い方も低い方も、すっきりはっきりしていて、明瞭になっている。	基準はそうとう軽く遠く感じる。中低域があまりないので、とても軽く感じた。ホールの中で少し離れたところで弾いている感じで、響きを感じ、残響成分が聞こえやすくなった。比較は中高域が前に出てきて、高い方の残響がマスクされている感じ。少し近づいているので、基準で聞こえた残響成分はないので残響感を感じない。
4人目	あまり差がない。基準比較とも高音の音があまり聞こえない。比較の方がずいぶんぼけている。	基準はすごいぼんやりしていて、残響も感じる。比較の方が距離がだいぶ近く、明らかにクリア。
5人目	差は感じるがほんの少し。 距離は近くなったが、一目盛り分の差しかない。	距離感が全然違うという印象で、他のものはそれに伴った印象。基準は相当遠く、比較は近い。空間感と比較の方が包まれていない感じだが、残響の長さは変わらない。比較は直接音がクリアな分、相対的に残響が少ないが、響きが極端にデッドになった感じはしない。比較はクリアなので音色は硬く、音質もかなりはっきりしている。音源の大きさはASWの印象だとすると基準は遠く感じるのでぼんやりと大きい印象だが、比較は印象が近いという意味で大きく感じる。音源の大きさは頭の中でイメージする絵が大きく感じたので大きい評価を意図的にしている。音量も同様で、全体的なエネルギーの大きさにそんなに大小を感じないが、距離が近いので大きい評価を意図的にしている。
6人目	比較は、音に包まれてる感じがあった。	距離が近くなって、音が硬くなった。
7人目	比較は中音のバランスが良い。基準はもけていて、中抜けみたいになっているのでバランスが良くない。	比較はピアノに近づいた印象。
8人目	あまり違いを感じない。	比較はバランスが良くて聞きやすい。
9人目	音量の違いが割とわかりやすい。	楽器が近くなった印象が強く、それが他のパラメーター
10人目	近くてはっきりしている。	オンマイクで録った残響のない感じ。
11人目	基準は音源の大きさがかなり広く感じた。	基準はホールの後ろの方から聞いている感じ。 比較はかなり近い所で聞いている感じ。
12人目	基準は左手の八分音符の刻みが全く聞き取りにくいので、土台が感じられず不安定。比較の方が基準よりも上手に聞こえる。	比較のホールの方がずっと良い演奏会になるのではないかと感じた。 演奏者の音が近くから聞こえるので、安い席を買って
13人目	ピアノを囲っている、ホールで言う反射板のサイズが変わった印象。	楽器に近づいた印象。離れて録っていたマイクを近づけたので、相対的に直接音が増えてリバース成分が減り、アタック成分が目立つことにより少し硬くはっきりした音になった。アタックがしっかりしている分、少し高域に寄っている。周波数バランスは変わっていない。
14人目	比較は横からの音が少なく、距離感を感じた。 音量は低いように感じ、音像の大きさは見えにくい。	近くへピアノを移動した感じ。 距離感が近くなり、明瞭性があがり、音量が増えた。
15人目	総合するとそんなに違いはない。比較は若干細かい音は聞こえるけどその割に全体の印象はぼわっとしている。	同じ会場のようなだが、聞いている場所が全然違う。そんなに大きくないホールの後ろと舞台上。
16人目	基準比較とも個性的。基準の音量はlowとhighが派手なので大きく聞こえる。比較はだいぶmidが持ちあがっていて、mid寄り。	基準は圧倒的に残響がなく、指に吸いついているみたいな感じがする。比較ははっきりしている。
17人目	良い意味で一番じっくりくる。比較ははっきりしていて、あまり残響はないけど近くで聞いてて良いと感じる。	比較は基準よりちょっと大きい。硬かったり柔らかすぎたり、ポイント毎で印象が変わる。
18人目	基準比較とも控えめな印象。音源の距離はちょっと違うが、音の大きさは同じくらい。	ちょっと柔らかい感じ。
19人目	特になし。	特になし。
20人目	基準はかなりぼけている。結構はっきり異なる。比較は基準に比べかなりはっきり音が聞こえ、音量が大きくなっている。明瞭性が上がっているので、高音寄りに聞こえ、音色が硬くなっている。音源の大きさはあまり変わっていない印象。音量が大きくなった分近く感じるので残響感はなく、包まれてる感はなく聞くとあまり変わっていない。	異なる性質を持っている。基準比較とも後ろからの音が無いので、包まれていない。比較は音が非常にはっきりしたので残響感がほとんどなくなり、きつい印象。ラbがキーンとするが明瞭性はとても良い。低音がなっているので音量は大きく聞こえ、距離は近くなった。顔の前に音を近づけられた感じで包まれた感じよりも、近さが際立っている。音源の大きさは顔の近くにきたので、大きく感じる。

No.8	BEETHOVEN	CHOPIN
1人目	少しぼんやりしていて、特に高音域がもやっとしている。	やわらかく(どちらかと言えばぼんやり)遠めにあり少しこもっている。
2人目	基準の距離感はずっと良い。離れているのであまりうるさくない。	学生の頃はよくこんな席で聞いた。
3人目	特になし。	だいぶ遠くなって、高い方があまり鋭くない。遠くはなれたとこの、ホールトーンのように聞こえるものが残響感のように感じる。
4人目	全然違う。	相当差があり、空間の響きが異なる。比較の方がまろやか。
5人目	遠くなった印象が一番強く、他はそれに伴う印象。残響感と距離感が異なるので少しわかりづらいが、遠くなった分相対的に残響が大きい。音像はビジュアルイメージの問題で、遠いので小さいイメージ。	比較は音源が遠く、かなりくもった印象。no.11の様な反射が多い印象とは少し異なり、一枚ベールをかぶせたような感じで、それによって帯域が狭くなったよう。音色はやわらかさ、ぼんやりさという印象。空間かんは、最初比較の方が包まれ感が大きいと感じたが、何度かきくとその差はあまり大きくないと感じた。音源が遠いと自動的に包まれた印象が生まれると思いついて
6人目	ホールの後ろの方で大きいピアノを聴いている感じ。比較は距離が遠いけど、音源の大きさはあまり変わらない。	結構遠くの席から聞いていて、柔らかい。
7人目	比較はhighが無く、低音ばかり聞こえてくる。highがつかまっているような感じ。	音質とバランスが関係していて、低音に寄っていると柔らかく感じる。
8人目	直接音がこない感じ。	大きい空間に入って遠くなった。空間印象が変わった。
9人目	残響感の違いがわかる。	音源が遠い感じが強い。遠いが故に、ぼんやりで柔らかめな印象のように他の評価に関わっている。
10人目	差がわかりやすい。音源が遠く、残響感もある。	ものすごい遠いけど、音源のバランスの差なのかはよくわからない。残響感はまだ違いがない。
11人目	比較は低域がかなり出ている感じ。	比較は少し遠いが、聞きやすく、バランスは良い気がし
12人目	比較は全く不明瞭で上手に聞こえない。速いパッセージが多い曲でこの録音は困る。	比較は響きすぎて遠いので、このホールでは弾きたくないと感じた。大きいホールで響いているかつ聞こえにくい印象。
13人目	後ろの材質が硬い。リフレクションというよりは、リバーブの成分が増えた。後ろに座ったお客さんが全員いなくなったという印象。楽器の距離は少し遠くなったように感じるが、座っている位置は変わらない。音が後ろに回ってきて後ろから聞こえる分、相対的に遠くなった	リバーブをかけすぎている(普通のホールだと中々このような響きにはならない)。リバーブを後づけした感じがするが、リバーブ自体は嫌味ではない。
14人目	ピアノがくもっている様に聞こえた。低音がくもったのでぼんやりして、音量が大きくなった。	残響感を感じた。特が変わり、音量が減った。
15人目	基準は小さい空間で近いところで聞いているみたい。比較は広いホールで裏側で聞いているみたい。	基準比較とも、同じくらいよく響く所。比較は高い所から吊したマイクで録った音みたい。
16人目	比較の方が圧倒的に残響があるので、全体的に丸い。同じ音源に対してリバーブのルームサイズを変えるとこうなる。リバーブを加えた時に変なEQはかかっ	手を離してからの残響が、残響として特に加わるが、一発目のアタックがだいぶ異なるので立ち上がりの音量が全然違う。基準の方がアタックの立ち上がりやす
17人目	比較は図太い感じがした。	音が周りに響いているので、結構包まれる感じはするが、ちょっと遠くにいる感じ。演奏者も包まれちゃってこもっているが、音量はあまり変わらない。
18人目	比較は柔らかくて、ぼんやりしている。	音量が小さくて、音源がちょっと遠い感じ。
19人目	明らかに違いがわかり、特に距離感が違う。	比較は遠い感じがした。
20人目	差は歴然。板を通して聞いている様な感じで、低音寄りでも柔らかくぼんやりしている。音像は基準比較とも前側に聞こえ、大きさは比較が若干小さくなった。側方、後方反射音は全く補強されている感じはない。自分が正面に対して180°側の音像の感じは変化した。残りの後ろ側の包まれた感じはない。包まれ感を手前側での変化を評価。	基準の方が好み。一番最初のミ♭だけに着目すると比較の音の響き具合は良いが、こもっている。比較は低音のくもったベールをとると良い音になりそう。音量は低音が大きくなって高音が小さくなっている。トータルのバランスだと小さい。遠くでなっている。残響感はある、粒立ちはぼんやり。音源の大きさは低音のブーンという音だけを聞くと大きくなっている。距離は真ん中でなっている芯の音が遠い感じ。ミ♭の音が横にピーンとある影響が大きい。包まれた感と残響感是对応関係があると感じた。

No.9	BEETHOVEN	CHOPIN
1人目	比較はすごく粒がぼんやりしてやわらかい。基準は硬い。	基準比較とも硬くなくはっきりしていない。基準に比べ比較の音源が横に動いている感じ。比較はクリアで上からの反射音がふわっと降りてくる感じ。
2人目	比較は近づくと普通高音が出てくるが低音が出てきた。基準比較ともクリアさはあまり変わらず、残響も同じくらいある。基準はホールの残響で、遠すぎて細かい音が何をやっているかわからない。比較は残響がステージのものかホールのものかわからない。細かい音も良く聞こえていて響いているけど、やや遠い感じ。ステージの奥にいったまたは、席が下のせいかわからないが、高音の伸びが足りないのでクリアさがない。ピアノ自体の音は良く聞こえるが、変なバランスがして変な席で聞いているみたい。ステージ上のピアノの位置がよくわからない。	音量バランスは同じだけど高音がきつく聞こえるので硬い。聞いたことのない音。
3人目	基準比較とも、遠くはなれた。基準は高い方があまりはっきり出てこない感じ。比較は高い方がもう少しちゃんと聞こえている。	ほとんど差がない。 基準比較とも離れた。
4人目	基準比較ともひどい。	基準比較とも遠くてぼけている。比較の方がメロディーラインがクリアになった感じ。
5人目	音色面で差はほとんどない。比較は残響が多く、塊で音が大きく感じる。音像の幅は、塊として大きい小さいかで評価。	音色や距離感是非常に似ている。比較は残響が少ない様に感じるのでやや包まれていない印象。
6人目	ぼんやりしている。音量は変化していない。	比較は明るくなった。
7人目	比較はバランスが良い。基準はもやけて聞こえる。	非常に難しい。比較は近い感じがしなくもない。
8人目	基準は物足りなさを感じた。粒建ちの差がわかりやすい。比較はピアノを聞いている気になった。	すごい微妙。空間印象がわかりづらい。
9人目	少しわかりにくい。	聞き所として、低音高音、右手左手があるので着目どころをどこにするかが難しい。
10人目	はっきりしていてわかりやすい。空間感によくわからない。	遠い以外よくわからない。
11人目	距離がだいぶ違うという印象。	微妙な感じ。
12人目	低音部が少し強調された分、下手に聞こえる。高音部に耳がいかなくなり、高音部の転んでいる箇所が増幅して聞こえる。	基準比較とも、好きではない。基準は音は遠いけどクリアに聞こえる。比較は近いのに混ざってしまっている。
13人目	自分とピアノの間に毛布のようなアイソレーターのようなものがあり、音が回り込んで聞こえる。ホールのサイズが横に広がったのか、残響成分が多くなったのか。位相特性の部分が広く感じられた。2.0chだったものが5.1chに拡張された様な感じ。低域の部分はそんなに伸びていないので1というよりはギア側の成分が増えたのかもしれない。音像感はあまり変わらない。直接	向こう側で響いていた成分が後ろ側にもちゃんとやってきた。例えば、前が木の床で後ろにカーペットがあったものが、カーペットが取り払われた様な感じ。自分が響いている方の成分に入った。音源に近づいたら、音像音量が大きくなるし、音像のステレオ感的な部分が変わっている。後ろが響き始めた。
14人目	音源の距離が感じられた。	音源が正面ではなく左にある。
15人目	基準は大ホールで聞いているみたい。比較は中ホールくらいの大きさ。	基準比較とも、かなり響く所な感じ。比較はだいぶ近いイメージ。
16人目	比較の方がダイナミクスが大きい。maxとminの差が違うので、音量自体の比較がしづらい。	基準はすごい響いているので派手な印象で、指に吸いついている感じがする。2k、4kが痛い。比較の方は全体的にhigh寄り。
17人目	ちょっと遠くて、聞いている側よりも演奏者が包まれてもっている感じ。	ほんのちょっと遠くにいる感じ。壁の向こうで自分だけが包まれている感じ。
18人目	比較は音源の距離が近い。	包まれている感じがあり、音量も結構大きい。
19人目	特になし。	特になし。
20人目	低音側がもこもこしているせいで、全体的に音像が大きくなりややもやして聞こえる。距離感はあまり変わらず、若干近くなった。音色はもこもこしているが、芯の部分は結構しっかりして聞こえるのであまり差は感じない。	基準比較とも残響感があり、差はほとんどない。基準は二重に聞こえる。比較は低音側がかなり持ち上がっているので、バランスがかなり良くなっている。音色の印象はかなり柔らかく、音量も増幅している。音の粒立ちは、低音に着目すると比較の方がぼんやりしているが、全体でみた時の明瞭性のバランスは変わらない。音像の大きさは低音側の音像が見えてきたので、大きくなっている。包まれた感は、右側が高い音、左側が低い音の様に幅が広がったので増えている。

No.10	BEETHOVEN	CHOPIN
1人目	基準比較とも粒があまりきれいではない。比較はかなりタッチが変わり、音源の距離は近めに感じる。	基準は少しぼんやり。比較は、はっきりしていて距離感が近く、残響感が少ないように感じる。
2人目	基準は遠すぎる。	左に聞こえる。
3人目	基準比較とも、もやもやして離れた。比較はわずかにf 特の違いがあり、低い音のものにやっとしたものがなくなって、多少明瞭性がでた。低い音がなくなった分すつきり。音色は変化している。	差はほとんど無し。比較は高い方が少し明瞭性があり、音色も少し違う。音源の大きさ、残響感はほとんど変わらない。
4人目	基準比較ともひどい粒立ち。比較の方が少しはっきりしていて、少し高音の芯が出ている。	基準比較とも、遠く残響感がある。比較の方がかなりクリアで、高音の芯が多少感じられる。
5人目	非常印象が似ている。距離感、残響感に若干差がある。	ほとんど差を感じないくらい、非常に似ている。比較はやや低音が少ないような音色。低音が少ない事に注目すると、やや残響が多く包まれた印象。
6人目	比較はちょっと前に座っている感じがして、音源の大きさが少し大きくなった。	高音が結構聞こえる。
7人目	特になし。	違いはわかるが非常に難しい。距離感基準比較とも遠い所なので差は小さい。
8人目	3階のバルコニーの奥から2階のバルコニーの前に来た感じ。 比較は非常にしっかり聞こえるようになったのでよかつ	包まれ感が難しく、空間印象と少し違う尺度で評価しているかもしれない。空間印象の差はあるが、リファレンスが変わっているかもしれない。
9人目	明瞭性の差が大きく、比較がぼんやりしている。	聞き所で、左手と右手で低音に着目した方が差を感じとりやすい。
10人目	よくわからない。少しちゃきちゃきしている。	同じ空間で異なる楽器。距離が少し近くなって、音が硬くなった。音源の大きさや残響感あまり変わらない。
11人目	特になし。	特になし。
12人目	基準比較とも、この音でCDが発売されたらかわいそうな印象。比較は音が軽いので印象が薄くなってしまっている。	比較は音の印象として割と小さいスケールでまとまっている。
13人目	ホールの間口が少し広くなり、天井が気持ち高くなり、客席から離れた感じ。	音がしなやかになった。柔らかいがはっきりしていて、その分若干つやがでて、リバース感みたいな感じ。良い楽器でないと感じない感じ。
14人目	あまり差を感じなかった。 音源の大きさを聞くようにして評価をした。	似ている。 包まれ感を優先して聞いた。
15人目	基準はよりホールの感じがして、それなりの距離感がある感じ。比較はオーディオセットに近い印象で、音量は若干全体的に大きくなった。低音も高音も強調され	比較は距離が近くなったが、響きがそれにに応じて変わっていないので不自然な印象。基準は聞こえる響きと距離感が一致している。
16人目	難しい。 回数を重ねるごとに印象の差がわからなくなっていく。	音色自体はだいぶ異なるので、色々差がでると感じる。比較の方がダイナミクスが大きい、音量は少し大きい。
17人目	微妙な差で残響は有る様な、無い様な感じ。 はっきりしているけどぼんやりした感じ。	ピアノ自体が音に包まれているので音かもわんとして
18人目	比較は音に包まれていない感じ。	あまり包まれていない感じ。
19人目	特になし。	特になし。
20人目	真ん中あたりの周波数特性が変わった感じ。基準比較とも遠くてぼやけた感じなので、音源の大きさはあまりわからない。基準は低音がすごいので、音に包まれた感残響感基準の方が大きい。比較の方が若干明瞭性が上がった気がする、はっきり高音寄りの評価にしているが、全体としてはぼやけたイメージ。	基準比較とも真ん中らへんの音は柔らかい響き。低高音のバランスがかなり異なり、違う質の音源の大きさを感じる。低音がかなり抑えられているので高音寄りな印象。ミ♭が小さくなっている、全体の音量も小さくなっている気がする。和音のバランスで言うと、比較の方は真ん中らへんを持ちあげている感じ。低音側の響きが無くなったので、バランスが高音寄りになっている感じがするが、中音高音のバランスは変わっていない。低音が無くなったので明瞭性が上がった。音源の距離は真ん中がすごい近くなっているが、低音はなっていないので遠くなっている。真ん中だけ強調されているので、音源は大きい。

No.11	BEETHOVEN	CHOPIN
1人目	高音域を切り落とした印象でやわらかくぼんやり聞こえる。弱音ペダルを踏みながら弾いているようなやわらかさ。グランドピアノの音だが、高音のキンキンさがな	やわらかくぼんやり。遠くから聞こえるのに近くでなっている感じ。
2人目	距離感が全く違う。遠くで聞いた方が良い音がすると思っていたが、離れすぎても良くない。	響きの量と音量が違う。
3人目	基準比較とも、上の方にきて同じような所から聞こえてくる。基準は少し近づいて、はっきり。比較は少し離れてもやーんとしたので残響や包まれた感が増えた。	比較は離れて聞こえ、空間の響きとして聞こえた。ホールトーンらしく聞こえるので、少し離れた方が残響が聞こえやすくなっている。
4人目	あきらかに違う。基準は割と良い席。比較は遠く、音が小さく低音寄り、非常にぼんやりして柔らかい。	比較は響きがあり、音量がずいぶん小さく、低音がちでぼんやりしている。
5人目	音源の距離が若干遠くなった印象。遠くなった割に残響感が増えない。残響の量はトータルで少なく、それにともない、音量が小さく、粒立ちがぼんやり、音色が柔らかく暗く感じる。	音色的差はない。近くで聞いたものと、遠くで聞いたものの差。遠くなった分、残響感は相対的に多くなったように感じる。音像の大きさは頭の中に描くビジュアルイメージが小さいので小さく感じる。ASWIに着目した印象とは少し違う。
6人目	比較はぼんやりしている。	ピアノが小さくなった感じ。
7人目	差は分かりやすい。比較は遠く感じてぼやけていて、バランスが非常に良くない。	かなり似ているが、少し離れている感じ。
8人目	比較が遠いのが一番気になった。	基準の方が好き。すごい安い席に来た感じ。遠くなってBGMっぽくなった。
9人目	比較的わかりやすい。明瞭性が違うので、残響感がわかりやすい。	比較的わかりやすい。 遠い感じがあった。
10人目	ずいぶん違う印象。すごい遠いので少し小さいが、ぼわっとしている。エネルギー感残っている。アンビエンスマイクみたい。	距離が遠くて残響過多。音色は同じように感じるが距離と残響感によって音源がぼけている感じ。
11人目	距離の違いを感じた。	特になし。
12人目	比較はこれだけ速いパッセージだと、残響に埋もれてしまい、何をやっているかわからない。	比較はピアニストが下手に聞こえる。音が重なっているためペダルがすぐくまると感じる。
13人目	小さいホールの中程から後ろ、極端に言うと出入り口あたりで、響いている空間を外側から聞いているような違いがある。	明瞭度が失われないうまま、リバース感が増えた。音質感がはっきりで残響感がある印象。音の芯は失われないうまま、初期反射後ろの部分が増えた感じ。
14人目	音源の遠さを感じて、音量が小さいと感じた。	基準がダイレクトに聞こえたので、比較は残響感が増
15人目	同じホールで近くで聞いているか遠くで聞いているかの違い。	基準は狭くてあまり響かない所。比較は広くてよく響く所。
16人目	基準の方はかなりスカスカ。比較は高音のhighの方に倍音がかかなり出ている。残響によって高い方の音が伸びているのかも。	迫力や臨場感が全く異なる。 比較はとても遠く、一番後ろで聞いている感じ。
17人目	遠くにいて、隅の方で弾いている感じ。	自分が包まれている印象。明瞭性音量にあまり差はない。
18人目	比較は小さい音。	音色が柔らかい。
19人目	クレッシェンドの時にはっきりしづらく埋もれてしまっ	特になし。
20人目	相反する様な条件。基準は自分側に向かってくる様な感じ。比較の方が残響はある。板を一枚挟んで聞いている様な感じで、奥の方に向かって音が放射されている感じの聞こえ方。	エフェクターがかかっているみたいで、変な所に音が跳ね返ってきて二重に聞こえる。舞台の裏側で聞いているみたい。基準比較とも粒立ちは良く、音色は硬い。比較の方がエコーのようなものがかかって若干ぼんやりし、丸みを帯びた。比較はかなり高音寄りで、幅が狭くなったので若干包まれていない。全体の音量は若干小さくなったが、低音の問題だと感じた。

実験 フェイスシート

1)氏名	
2)性別	1.男性 2.女性
3)年齢	() 歳代
4)職種	1.学生 2.音響関係者 3.ピアノ講師 4.演奏家 5.その他 () (複数当てはまる方は主に活動しているものを選んでください)
5)ピアノ演奏歴	() 年
6)ピアノ以外の楽器演奏歴	() 年 楽器名称 ()

※いただいた個人情報は本研究のみに使用し、第三者に開示することはありません。

実験参加同意書

本実験はホールにおいて条件を変えて演奏されたピアノ演奏を聴いて聴感印象にどのような差が生じるのかを調べる実験です。

- 1.本実験中に被験者として参加するのは自由意思によるものです。
- 2.実験中に体調不良等がございましたら、実験が進行中でも実験を中止することができます。
- 3.本実験で得られたデータ・個人情報は厳重に保管し、学術目的にのみ利用します。

以上の事に同意を頂けましたら、下記にご署名をお願い致します。

平成 年 月 日

署名 _____

ホール内のピアノ演奏の聴感印象に関する実験

本日は、お忙しい中実験に参加して頂きありがとうございます。
これからホールでの視聴を想定したピアノ演奏の聴き比べを行っていただきます。
PCを操作していただき、各評価項目についてご回答ください。

本日の流れ

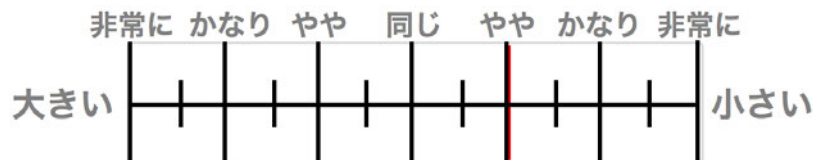


実験1

基準条件と比較条件の聴き比べをし、全部で12対の評価して頂きます。音源は各条件で最大で3回まで聴くことができます。

- 各評価項目について、基準条件に対して比較条件がどのように聴こえたかについて赤いスケールバーを動かしてご回答ください。

例：基準の演奏に比べて音量がやや大きいと感じた場合



- 総合的な印象や、気になったことについてインタビューしますので、何か御座いましたら、お答えください。

評価項目

音量について

- 『全体の音量』 : 演奏の音量が大きい小さいか
『音量のバランス』 : 演奏音の低音と高音のバランスがどの様に聴こえるか

音質について

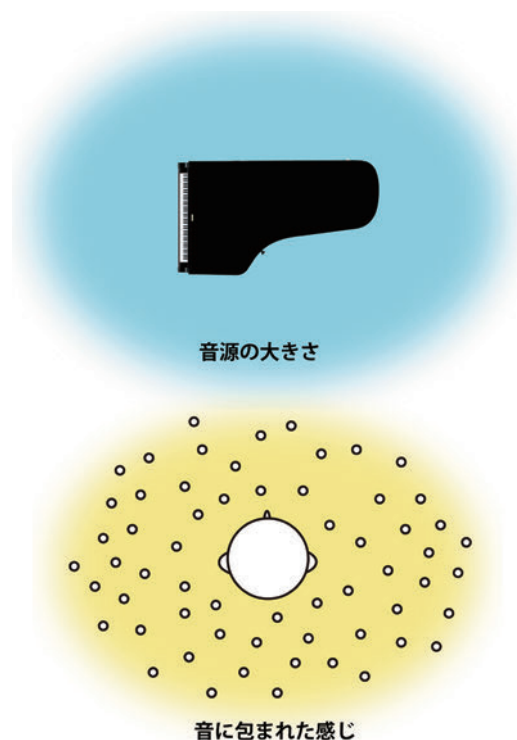
- 『音の粒立ち』 : 打鍵音が一つ一つ明瞭に粒立って聴こえるかどうか
『音色』 : 演奏音が柔らかいかどうか

音源について

- 『音源の大きさ』 : ピアノの音源の大きさがどうか
『音源までの距離』 : ピアノまでの距離が近いか遠いか

空間について

- 『残響感』 : 空間が響いていると感じるか
『音に包まれた感じ』 : 自分が音につつまれているか

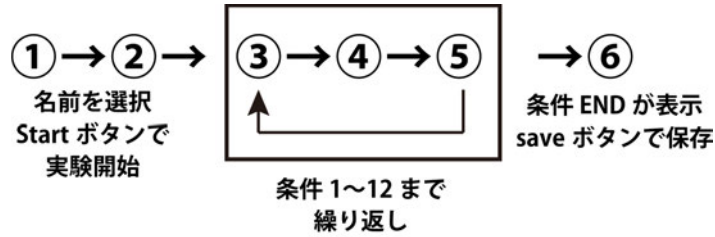


図：『音源の大きさ』と『音に包まれた感じ』のイメージ

操作方法

下記の①～⑥の手順に従って回答を行ってください。

※nextボタンを押すと前の条件には戻れませんのでご注意ください。



① まず始めに自分の名前を選択してください。

② 実験開始を押すと試験が始まります。条件1と表示されていることを確認して下さい。

③ 聴きたい音源をクリックしてください。演奏が再生されます。

④ 基準条件に対して比較条件がどの様に聞こえたか、赤いスケールバーを動かして回答してください。

⑤ ④の回答が全て終わったらnextをクリックし次の回答に移ってください。 ※注意※ クリック後は前の回答には戻れません。

⑥ 全ての回答が終了し条件ENDが表示されたら担当者がデータの保存を行いますのでそのままにしてください。

曲のストップ・再生が出来ます。

音量について

- <全体の音量>: 非常に大きい | かなり | やや | 同じ | やや | かなり | 非常に小さい
- <音量のバランス>: 非常に低音寄り | かなり | やや | 同じ | やや | かなり | 非常に高音寄り

音質について

- <音の粒立ち・明瞭性>: 非常にぼんやり | かなり | やや | 同じ | やや | かなり | 非常にはっきり柔らかい
- <音色>: 非常に硬い | かなり | やや | 同じ | やや | かなり | 非常に柔らかい

音源について

- <音源の大きさ>: 非常に小さい | かなり | やや | 同じ | やや | かなり | 非常に大きい
- <音源の距離>: 非常に近い | かなり | やや | 同じ | やや | かなり | 非常に遠い

空間について

- <残響感>: 非常にない | かなり | やや | 同じ | やや | かなり | 非常にある
- <包まれている感じ>: 非常に包まれていない | かなり | やや | 同じ | やや | かなり | 非常に包まれている

④ 基準条件に対して比較条件がどの様に聞こえたかを赤いバーをスライドさせて評価してください。

next

⑤ ④の回答が全て終わったらnextをクリックし次の回答に移ってください。 ※注意※ クリック後は前の回答には戻れません。

実験2

各演奏の聴こえ方の好ましさと、その印象について、評価して頂きます。
こちらは1つの音源について(絶対評価)の評価になります。
最大で2回まで演奏を聴くことができます。

1. 演奏の聴こえ方の好ましさについて、赤いスケールバーを動かしてご回答ください。

例：かなり嫌いと感じた場合



2. 演奏の特徴としてふさわしいものをチェックボックスから選択し、回答してください。

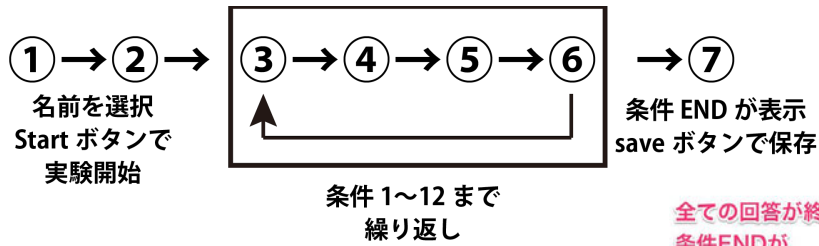
明るい <input checked="" type="checkbox"/>	——	<input type="checkbox"/> 暗い	太い <input checked="" type="checkbox"/>	——	<input type="checkbox"/> 細い
迫力のある <input checked="" type="checkbox"/>	——	<input type="checkbox"/> 物足りない	透明感のある <input checked="" type="checkbox"/>	——	<input type="checkbox"/> 濁った
暖かい <input type="checkbox"/>	——	<input type="checkbox"/> 冷たい	心地良い <input checked="" type="checkbox"/>	——	<input type="checkbox"/> 耳障りな
まろやかな <input type="checkbox"/>	——	<input checked="" type="checkbox"/> キンキンする	鋭い <input type="checkbox"/>	——	<input type="checkbox"/> 鈍い

3. 総合的な印象や気になったことについてインタビューしますので、何か御座いましたらお答えください。

操作方法

下記の①～⑦の手順に従って回答を行ってください。

※**nextボタンを押すと前の条件には戻れません**のでご注意ください。



全ての回答が終了し
条件ENDが
表示されたら担当者がデータの保存
を行いますので
そのままにしてください。⑦



② **実験開始**
実験開始を押すと
試験が始まります。
条件1と表示されて
いることを
確認して下さい。

条件再生を
クリックすると
演奏が再生されます。

○演奏の聴こえの好ましさについて、赤いスケールバーを動かして回答してください。

<好ましさ>



④
赤いバーをスライドさせて
評価してください。

○演奏を聴いた印象を表す語句に印をつけてください

明るい <input checked="" type="checkbox"/>	暗い <input type="checkbox"/>	太い <input checked="" type="checkbox"/>	細い <input type="checkbox"/>
迫力のある <input type="checkbox"/>	物足りない <input type="checkbox"/>	透明感のある <input checked="" type="checkbox"/>	濁った <input type="checkbox"/>
暖かい <input checked="" type="checkbox"/>	冷たい <input type="checkbox"/>	心地良い <input type="checkbox"/>	耳障りな <input checked="" type="checkbox"/>
まるやかな <input type="checkbox"/>	キンキンする <input checked="" type="checkbox"/>	鋭い <input checked="" type="checkbox"/>	鈍い <input type="checkbox"/>
音量が大きい <input checked="" type="checkbox"/>	音量が小さい <input type="checkbox"/>	低音寄り <input type="checkbox"/>	高音寄り <input type="checkbox"/>
静かな <input type="checkbox"/>	うるさい <input type="checkbox"/>	バランスの良い <input type="checkbox"/>	バランスの悪い <input type="checkbox"/>
はっきり <input checked="" type="checkbox"/>	ぼんやり <input type="checkbox"/>	柔らかい <input type="checkbox"/>	堅い <input checked="" type="checkbox"/>
音源が大きい <input checked="" type="checkbox"/>	音源が小さい <input type="checkbox"/>	距離が近い <input type="checkbox"/>	距離が遠い <input type="checkbox"/>
残響感のある <input type="checkbox"/>	残響感のない <input type="checkbox"/>	音に包まれている <input type="checkbox"/>	音に包まれていない <input type="checkbox"/>

⑤
聴いた印象を表す語句の
チェックボックスを
クリックしてください(複数回答可)

next

⑥
④・⑤の回答が終わったら
nextをクリックし
次の回答に移ってください。
※注意※
クリック後は前の回答には戻れません。

