

ゴルフクラブの打振動を考慮した打球音の快音化 Improving Hitting Sound of Golf Club in Consideration of Hitting Vibration

精密工学専攻 54号 渡辺 大貴
Daiki Watanabe

1. はじめに

近年、ゴルフクラブの基本性能は技術の発達やルール上の規制によって大きく差がない状況にあるが、ゴルフクラブの材料は多様化し、ヘッドの一部やシャフトにCFRP(炭素繊維強化プラスチック)を使用する製品も登場している。そのため、使用感は様々となり、その使用感を向上させ、他の製品との差別化が図られている。特に、使用感に影響を与える打球音は、音質と印象の関係より、打球音を制御して製品価値を高めようとする快音化研究⁽¹⁾が行われている。

しかし、それらの研究は打球音のみにしか着目されていない。実際に使用する際には打球音とともに手から伝わる振動(以下、打振動)も使用者に影響を与える。人間の刺激に対する印象は提示する刺激の数や条件により変わり、音に関しても色や映像、振動と組み合わせさせた場合には印象に変化が生じる⁽²⁾。そのため、実打時を考慮すると、打球音と打振動を分離するのではなく、複合刺激として捉え、打振動の影響を考慮してゴルフクラブの打球音を快音化する必要がある。

そこで本研究では、ゴルフクラブの打球音だけでなく、打振動にも着目し、打球音の印象と打振動の関係性を明らかにする。また、その関係性をもとに、組み合わせると打球音の印象が更に向上する快音化に適した打振動の条件を導出する。さらに、打球音の嗜好度と音質を把握することで打球音の快音化を行い、導出した条件をもとに作成にした打振動と、快音化した打球音を組み合わせることで、音のみに着目した快音化では実現できない印象の向上を図る。

なお、本研究における評価において、被験者に十分なインフォームド・コンセントを行っている。

2. ゴルフクラブ打球音の快音化

本章では、1番ウッド打球音の印象を主観評価により比較し、各打球音の印象と特性から良音の条件を導く⁽³⁾。また、その条件をもとに研究対象ゴルフクラブAの打球音を音質変更し、印象が向上する打球音を検討する⁽⁴⁾。

2.1 打球音の良条件の把握

2.1.1 打球音の取得

8種のクラブを使用し、同一ボールで各打球音を録音する。録音実験のセットアップをFig. 1に示す。測定点は、安全面を考慮し、打球者が構えた時のボール位置に対して線対称となる耳位置とする。なお、打球者は上級ゴルファーである。

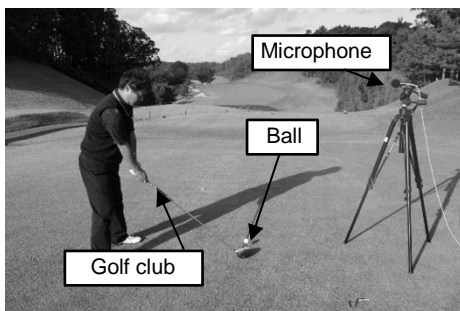


Fig. 1 Setup of recording

2.1.2 打球音の嗜好度評価

8種の打球音の嗜好度を把握するために、各打球音の良悪について7段階評価を行う。被験者は20-50代14名とする。

全被験者の平均値を嗜好度とし、各打球音の嗜好度をFig. 2に示す。中点である4点を基準としてグループを分け、C, E, F, G, Hは嗜好度が高い良音グループ、A, B, Dは嗜好度が低い悪音グループとする。

2.2.3 打球音の音質評価

本評価ではSD法により18の形容詞対を用いて7段階で絶対評価を行う。被験者は20代16名とする。因子分析より、綺麗さや爽快感を表す美的因子、甲高さや鋭さを表す高さ因子、響きや音の長さを表す残響因子、および迫力や力強さを表す迫力因子と名付ける。

美的因子と高さ因子の因子得点をFig. 3に示す。良音グループのC, E, F, G, Hは美的因子と高さ因子の得点が高いが、悪音グループの得点は小さい。また、残響因子の得点も良音グループの方が高いことが確認できた。

以上より、嗜好度が高い打球音は綺麗で、甲高く、残響感のある印象であるといえる。

2.1.4 打球音の周波数分析

各打球音で周波数分析を行い、良音グループと悪音グループの各グループで音圧を平均した周波数特性をFig. 4に示す。0-8000 Hzの帯域で卓越周波数が確認できる。また、0-1000 Hzの帯域における音は主にシャフト部分の風切り音や暗騒音である。そのため、2000-8000 Hzの帯域に着目して特性の違いを比較する。Fig. 4より、2000-3800 Hzの帯域において、良音グループには卓越周波数が存在しないが、悪音グループには卓越周波数が存在することが確認できる。

以上より、良音の周波数特性として2000-3800 Hzの帯域に卓越周波数が存在しないことがいえる。

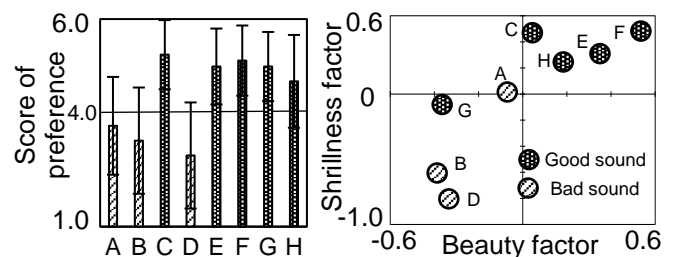


Fig. 2 Preferable degree

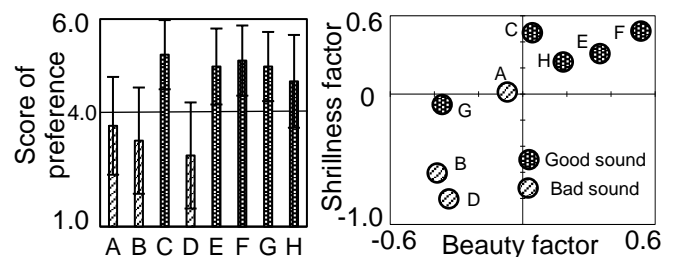


Fig. 3 Factor points by SD method

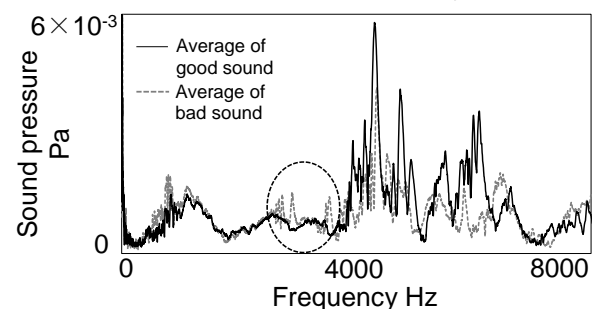


Fig. 4 Average of frequency characteristics

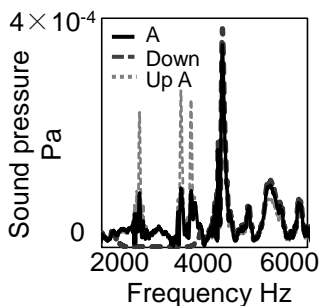


Fig. 5 Spectrum of evaluation sounds

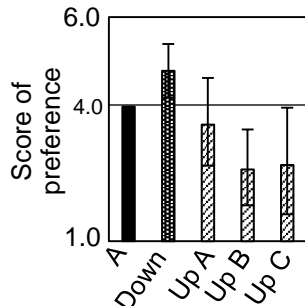
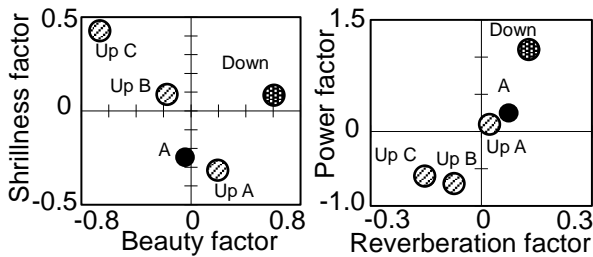


Fig. 6 Preferable degree



(a) Beauty-Shrillness (b) Reverberation-Power
Fig. 7 Factor points by SD method

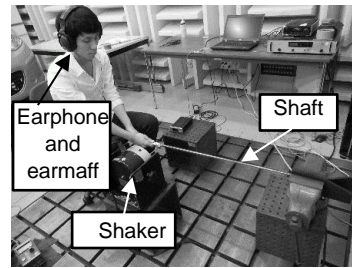


Fig. 8 Setup of evaluation

Table 1 Kinds of stimuli

Name	Stimuli	
	Sound	Vibration
Al	A	Large
Ar	A	Regular
As	A	Small
Bl	B	Large
Br	B	Regular
Bs	B	Small
Fl	F	Large
Fr	F	Regular
Fs	F	Small

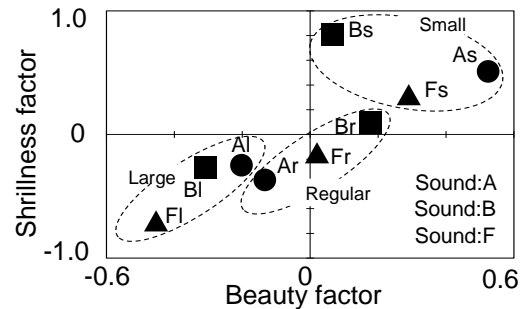


Fig. 9 Factor points by SD method

2.2 対象クラブの快音化打球音の検討

2.2.1 評価音の作成

研究対象クラブの打球音 A に、音質変更を施して計 5 種の評価音を作成する。2000-3800 Hz の帯域の卓越周波数を削減した評価音を Down および、卓越周波数を徐々に増幅して作成した評価音を Up A, Up B, Up C とする。Fig. 5 には代表して A, Down および Up A の周波数特性を示す。

2.2.2 評価音の嗜好度評価

5 種の評価音の嗜好度を把握するために、各評価音の良悪について A を基準 (4 点) とした 7 段階の相対評価を行う。被験者は 20-50 代 10 名とする。

各評価音について全被験者の平均値を嗜好度とし、評価音の嗜好度を Fig. 6 に示す。卓越周波数を削減した Down は嗜好度が最も高く、卓越周波数を増幅した評価音は嗜好度が低い。そのため、対象クラブにおいて、2000-3800 Hz の帯域の卓越周波数を削減すると、嗜好度が向上するといえる。

2.2.3 評価音の音質評価

評価音の音質を把握するために、SD 法により、16 の形容詞対を用いて、A を基準 (4 点) とした 7 段階の相対評価を行う。被験者は 20 代 15 名とする。因子分析より、綺麗さや爽快感を表す美的因子、迫力や力強さを表す迫力因子、響きや音の長さを表す残響因子、および甲高さや鋭さを表す高さ因子と名付ける。

美的因子と高さ因子の因子得点を Fig. 7(a) に示し、残響因子と迫力因子の因子得点を Fig. 7(b) に示す。良音の印象と関係が強い美的因子、高さ因子および残響因子に着目すると、Fig. 7(a) より、Down は美的因子と高さ因子で共に得点が高い。Up B, Up C も高さ因子については高い得点を得ているが、美的因子の得点は低い。また、Fig. 7(b) より、Down は残響因子においても得点が高いが、卓越周波数を増幅した評価音の残響因子は A よりも得点が高い。

以上より、2000-3800 Hz の帯域の卓越周波数を削減することで印象が向上することを明らかにし、以後 Down を快音化打球音とする。

3. 快音化に適した打振動の条件

本章では打振動の違いが打球音の評価に影響を与えるこ

とを確認する。また、打振動の振幅、減衰、含有周波数の変化が打球音の印象に与える影響を把握することで、快音化に適した打振動の条件を導出する⁽⁴⁾。

3.1 打振動の違いによる打球音の印象変化

3.1.1 打球音と打振動の提示条件

実験環境を Fig. 8 に示す。ゴルフシャフトを固定し、加振器より打振動を、イヤホンより打球音を提示し、被験者は評価音以外の音が聞こえないようイヤーマフを装着する。提示する打振動は毎回同じレベルになるよう、手元のシャフトに取り付けた加速度計で確認する。使用する振動と音を Table 1 に示す。評価音は対象の打球音 A に加え、2 章より印象の異なる B, F の打球音 3 種を使用する。打振動は打球時を想定し、25, 50, 100, 200, 400, 600, 800, 1000 Hz の正弦波を合成した 0.5 秒間の波形に指数窓をかけた打振動を使用し、最大振幅が 245 m/s² の Regular に加え、その最大振幅に対して 1/2 倍の Small と、3/2 倍の Large の 3 種とする。本評価では音と振動の組み合わせ、計 9 種の刺激を評価する。

3.1.2 打球音の印象変化

本評価では SD 法により 11 の形容詞対を用いて 7 段階で絶対評価を行う。因子分析より、綺麗さを表す美的因子、甲高さを表す高さ因子、響きを表す残響因子と名付ける。

美的因子と高さ因子の因子得点を Fig. 9 に示す。点線で囲む Small と組み合わせた刺激は、美的因子と高さ因子の得点が高いことが確認できる。また、残響因子についても、振動が異なると、同じ打球音でも得点に違いが確認できた。そのため、打振動が打球音の印象に影響を与えるといえる。

3.2 打振動の各パラメータと打球音の印象の関係

3.2.1 打球音と打振動の提示条件

打球音と打振動の提示方法は 3.1 節と同様である。打振動は打球時を想定し、12.5, 25, 50, 100, 200, 400, 800 Hz の正弦波を合成した 0.5 秒間の波形に自由減衰を模擬する指数窓をかけた打振動 Def を作成する。各評価では Def を加工し、比較する打振動を作成する。各評価では 2 種の打振動と、3.1 節と同様に A, B, F の打球音 3 種を組み合わせた計 6 種の複合刺激を評価する。評価方法は一対比較法を用い、良音と関係がある綺麗さ、甲高さおよび残響感の印象を表す 3 つの形容詞で行う。各評価の被験者は 20 代 10 名である。

3.2.2 振幅の違いによる打球音の印象変化

本評価では打振動 Def に対し、振幅が 1/2 倍の打振動 Small-amp を使用し、振幅の条件を変えた際の打球音の印象変化を把握する。

各形容詞における評価結果を Fig. 10 に示し、得点が高ければ、各形容詞についての印象が大きいことを示す。Fig. 10(a) より、すべての打球音において Small-amp では、綺麗さの印象が向上している。また、Fig. 10(b), (c) より、甲高さと残響感についての得点も Small-amp との打球音の方が高く、甲高さと残響感の印象が向上している。

以上より、振幅が小さい打振動と組み合わせることで打球音の綺麗さ、甲高さ、残響感の印象が向上し、より良い打球音の印象が得られるといえる。

3.2.3 減衰の違いによる打球音の印象変化

本評価では指数窓の乗数を変化させ、低減衰を模擬した打振動 Small-damp を作成し、減衰の条件を変えた際の打球音の印象変化を把握する。

各形容詞における評価結果を Fig. 11 に示す。Fig. 11(a), (b) より、綺麗さと甲高さについての得点はすべての打球音において Small-damp との打球音の方が低い。しかし、Fig. 11(c) より、残響感の得点は Small-damp との打球音の方が高くなる傾向がある。

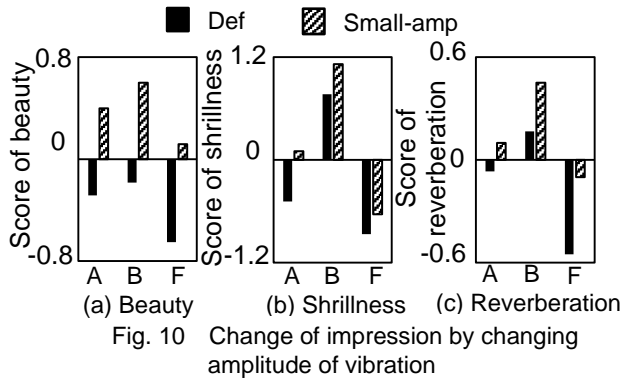


Fig. 10 Change of impression by changing amplitude of vibration

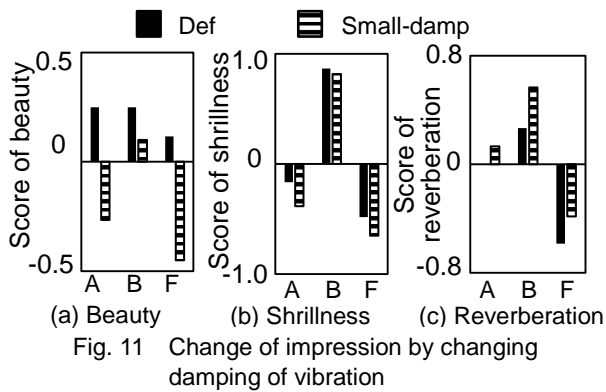


Fig. 11 Change of impression by changing damping of vibration

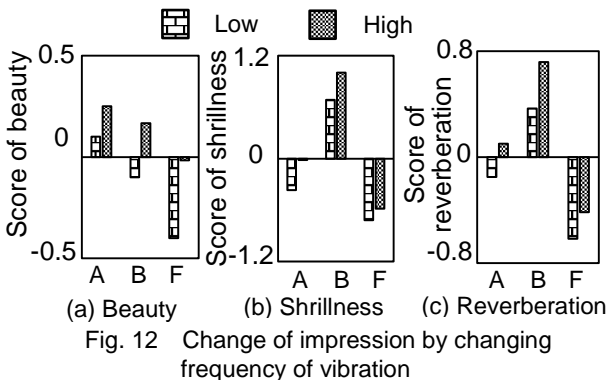


Fig. 12 Change of impression by changing frequency of vibration

以上より、減衰が低い打振動と組み合わせることで、打球音の残響感の印象は向上するが、綺麗さと甲高さに関しては印象が低下するといえる。

3.2.4 含有周波数の違いによる打球音の印象変化

本評価ではこれまでとは異なり含有周波数が一部異なる 8, 12.5, 25, 50, 100, 200, 800 Hz の打振動 Low と、Low の含有周波数 8 Hz を 20 Hz に変えた打振動 High を使用し、含有周波数を変えた際の打球音の印象変化を把握する。また、異なる周波数においては JIS B 7761-3 を参考に、周波数補正手腕系振動が等価になるように設定している。

各形容詞における評価結果を Fig. 12 に示す。Fig. 12(a) より、綺麗さの得点がすべての打球音において High との打球音の方が高く、印象が向上している。また、Fig. 12(b), (c) より、甲高さと残響感についての得点も同様に High との打球音の方が高い。

以上より、含有周波数が高い打振動と組み合わせることで打球音の綺麗さ、甲高さおよび残響感の印象が向上し、より良い打球音の印象が得られるといえる。

3.3 快音化に適した振動条件の導出

これまでに明らかになった打球音の印象変化より、打振動の振幅、減衰、含有周波数の変更が各印象に与えた影響を把握し、快音化に適した振動条件を導出する。

Fig. 13(a) には 3.2.2 項より、打振動を Def から Small-amp に変化させた際に、同じ打球音での得点の変化量を形容詞ごとで加算した値を示し、振幅を変えた際に打球音の各印象に与える影響度を表す。そのため、打球音の印象への影響がなかった場合は値が 0 となり、値が正の場合は打振動を変更したことで形容詞の得点を増加させる影響があることを示す。Fig. 13(a) より、振幅を小さくした際にはすべての印象の得点が向上していることが確認できる。また、綺麗さに関する評価の変化量が最も大きいため、振幅を変化させると打球音の印象の中でも特に綺麗さに影響を与えるといえる。

Fig. 13(b) には 3.2.3 項より、打振動を Def から Small-damp に変えた際に、同じ打球音での得点の変化量を形容詞ごとで加算した値を示し、減衰を変えた際に各印象に与える影響度を表す。Fig. 13(b) より、綺麗さと甲高さは負の値になっているのに対し、残響感は正の値になっていることがわかる。これは減衰を小さくすると残響感は向上するが、綺麗さ、甲高さの印象は低下することを表している。よって、良音と関係がある綺麗さと甲高さと残響感のすべての印象を考慮すると、減衰の変更は快音化に適さないといえる。

Fig. 13(c) には 3.2.4 項より、打振動を Low から High に変えた際に、同じ打球音での得点の変化量を形容詞ごとで加算した値を示し、含有周波数を変えた際に各形容詞に与えた

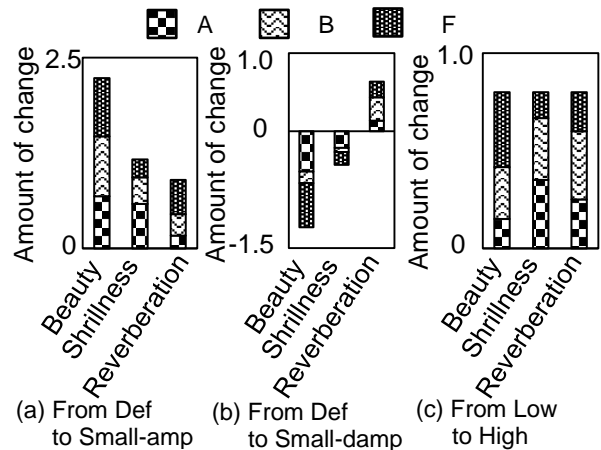


Fig. 13 Amount of change by changing vibration of each evaluation

影響度を表す。Fig. 13(c)より、含有周波数の一部を高い周波数に変更した際は、3つの形容詞すべての印象の得点が向上していることが確認できる。

以上より、打球音の綺麗さ、甲高さ、残響感のすべての印象を向上させる快音化に適した振動条件として、振幅が小さい打振動と含有周波数が高い打振動を上げることができ、この条件を適用した打振動と組み合わせることで打球音の印象が更に向上すると考えられる。特に、振幅を小さくすると綺麗さについて印象が向上すると考えられる。

4. 打振動の影響を考慮した打球音の快音化

3章で導出した快音化に適した打振動の条件を、打球時を模擬して測定した打振動に適用する。さらに、その打振動と快音化打球音を組み合わせ、更なる印象の向上を図る⁽⁴⁾。

4.1 使用する打振動の取得

評価で使用する打振動を測定するためのセットアップをFig. 14に示す。Fig. 15のボールハンマーにロードセルを装着し、シャフトのグリップ部に最も近い部分の加速度を測定することで伝達関数を測定する。本実験では、被験者によって変化する振動特性を考慮するために、6人分の伝達関数を測定し、それらを平均する。入力は、ロードセルより測定し、平均した伝達関数と掛け合わせることで、基準となる打振動(以下、V-Def)の作成を行う。

4.2 評価打振動の作成

3章で快音化に適した打振動の条件として、振幅が小さいこと、および含有周波数が高いことを導出した。そのため、振幅が小さい打振動としてV-Defの振幅を2/3倍したV-SAを作成する。また、含有周波数を変える打振動として、V-Defの20-40Hzの帯域の卓越周波数を削減したV-Highを作成する。評価で使用する打振動3種の周波数特性をFig. 16に示す。

4.3 評価概要

本評価では3章と同様に綺麗さ、甲高さ、残響感について一対比較法より評価する。被験者は20代10名である。使用する打球音は2章で使用したAおよび快音化打球音としたDownの2種、打振動は4.2節で作成したV-Def、V-SA、V-Highの3種を使用し、それらを組み合わせた計6種の複合刺激を評価する。

4.4 快音化打球音の印象変化

各形容詞における評価結果をFig. 17に示す。すべての形容詞において快音化打球音Downの方の得点が高く、3章と同様に良音の印象を得ていることが確認できる。Fig. 17(a)より、同じ打球音で比較すると快音化に適した振動条件を適用したV-SAとV-Highの打振動との打球音は、綺麗さの得点がV-Defとの打球音よりも高い。また、Fig. 17(b), (c)より、甲高さと同様に高い得点であることが確認できる。特に、V-Highとの打球音は各形容詞においてV-Defとの打球音と得点差が大きいことから、打球音の印象に影響を与えて

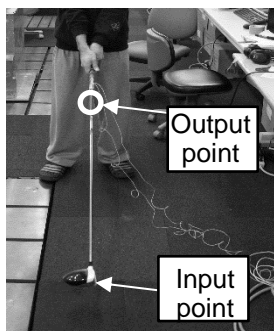


Fig. 14 Setup of experiment

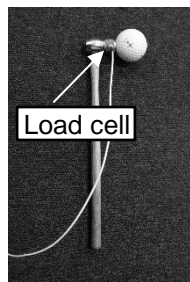


Fig. 15 Ball hammer and load cell

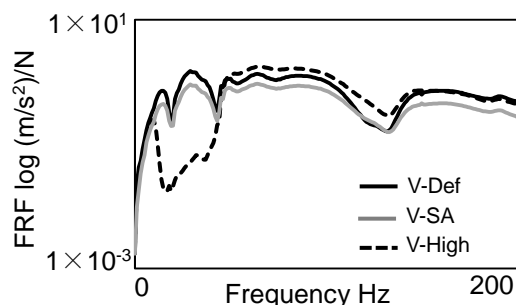


Fig. 16 Spectrum of vibration for evaluation

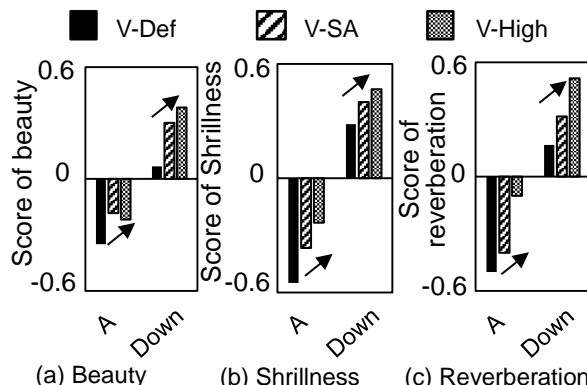


Fig. 17 Change of impression by changing vibration

いることが確認できる。

以上より、適切な打振動と快音化打球音を組み合わせることで更なる打球音の印象の向上を実現できることを明らかにし、ゴルフクラブの打球音を快音化する上で打振動を考慮する有効性を示した。

5. 研究成果

- (1) 嗜好度が高いゴルフクラブの打球音は2000-3800 Hz帯域に卓越周波数が少ないことを把握し、対象クラブの打球音において、2000-3800 Hzの卓越周波数を削減することで嗜好度、綺麗さ、甲高さ、残響感の印象が向上することを示した。
- (2) 打球音の評価において打振動が影響を与えることを示し、打振動のパラメータと打球音の印象にある関係性を明らかにした。
- (3) 快音化に適した打振動の条件を検討し、「振幅を下げる」と「低周波の卓越周波数を削減すること」の2つの条件を導出した。
- (4) 快音化に適した打振動の条件を適用し、快音化打球音と組み合わせることで打球音の印象が向上し、打振動を考慮した快音化の有効性を示した。

参考文献

- (1) 古屋耕平, 高木一晃, 大久保信行, 久松吾朗, 戸井武司, “音質評価指針に基づいたゴルフクラブの構造設計”, 日本機械学会論文集, C編, 78巻, 790号, (2012), pp. 71-79.
- (2) 波多野滋子, 橋本竹夫, “映像とシート振動が車内音の音質評価に与える影響について”, 第16回環境工学総合シンポジウム講演論文集, (2006), pp. 53-56.
- (3) 渡辺大貴, 有光哲彦, 戸井武司, “スポーツ用具の打球時における音および振動の印象変化”, 日本音響学会講演論文集(春), (2015), pp. 1449-1450.
- (4) 渡辺大貴, 有光哲彦, 戸井武司, “ゴルフクラブの打振動を考慮した打球音の快音化”, 日本音響学会講演論文集(春), (2016), 2-4-13.