研究論文

ここちよい打音・打感のゴルフクラブに関する研究

中部　昇[**]　船山　智成[*]　酒井　智幸[*]　有吉　建[*]　高井　光太郎[*]
菅家　章[**]　山崎　栄一[**]　今泉　祥子[***]

Evaluation of Comfortableness of Impact Sound and Feel in Golf Club

NAKABE Noboru[**], FUNAYAMA Tomonari[*], SAKAI Tomoyuki[*], ARIYOSHI Ken[*], TAKAI Kohtaro[*]
KANKE Akira[**], YAMAZAKI Eiichi[**] and IMAIZUMI Shoko[***]

抄　録

プレーヤーの生体情報，すなわちボールを打ったときに聴こえる打音と，身体に伝達する振動に着目し，これを基にして打音，打感のここちよさを定量化する手法について検討した。打音の時間－周波数応答から打音の快適性評価パラメータを提案し，官能検査結果と比較することによってその妥当性の検証を行った。また，ボール打撃時におけるシャフトの曲げひずみと手への伝達振動との関係を実験によって調べ，シャフトの曲げひずみを計測することで打感の推定が可能であることを明らかにした。スイングロボットを用いボール打撃時におけるシャフトの曲げ，ねじれひずみを計測し，クラブ間での比較によって，打感評価がどのような特性に起因するかを把握した。

1．緒　　言

従来，ゴルフクラブの開発においては，飛距離の向上を目的とした高反発性の発揮が最重要項目とされており，これまでにもさまざまな材料，構造設計が行われている [1),2)]。しかしながら，平成 20 年の SLE ルール施行に伴い，今後高反発クラブが規制されることから，反発性に基づく他社との差別化が困難となり，現在，これに替わる市場優位性を得るための新たな付加価値が求められている。打音，打感に関する快適性（ここちよさ）は反発性や方向性と並び重要視される特性であり，新たな付加価値となり得る機能といえる。しかしながら，これらはプレーヤーの感性に依存する部分であるため，これら感性情報と構造，材料などゴルフクラブの機械的特性との関連は明らかでなく，各メーカーとも定性的な訴求に留まっているようである。

本研究では，プレーヤーの生体情報，すなわちボールを打ったときに聴こえる打音と，身体に伝達する振動に着目し，これらと感性情報，クラブの機械的特性との関係を把握することによって両者の関係を明らかにし，ここちよい打音，打感を有するゴルフクラブの材料および構造設計技術の構築を目的とする。本報ではボールインパクト時においてゴルフクラブが発する音響，振動特性を基にした，打音および打感を数値化する手法について報告する。

2．打音評価手法の検討

打音に関して，プレーヤーの感性に適合しうる快適性評価パラメータを，音響特性から算出する手法を提案した。音響解析においては，一般にその音の周波数特性，すなわちどの周波数（高さ）の音が発生しているかに着目し，オクターブ分析などを用いて解析を行うが，衝撃音である打音においては，音の高さに加えてその長さ（音の伸び）もその評価において重要であると考えられることから，本研究では周波数応

*　株式会社遠藤製作所
**　研究開発センター
*** 下越技術支援センター

表 1　実験に用いたゴルフクラブ

クラブ	ヘッド体積	備考
A	415cc	SLEルール適合モデル
B	415cc	高反発モデル
C	460cc	SLEルール適合モデル
D	460cc	高反発モデル

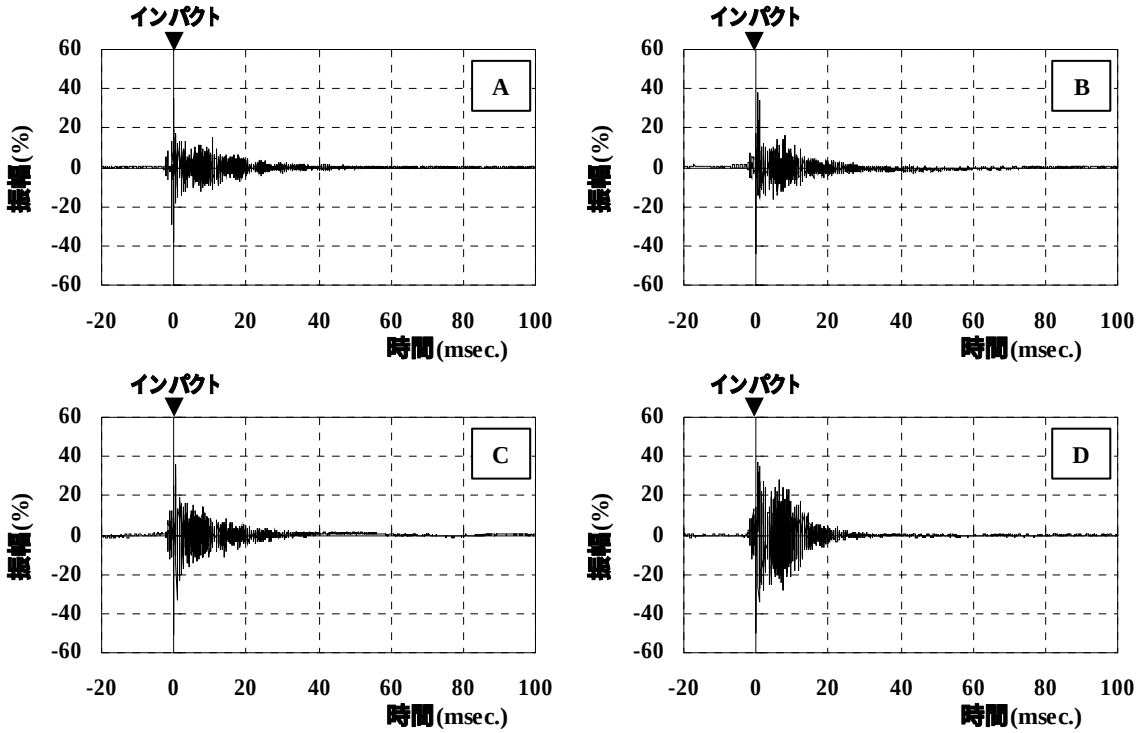

図 1　打音の時系列波形

答の時間変化に着目し，これを基に打音評価を行うこととした。

2.1　方法

実験には表 1 に示す，4 種類の特性の異なるクラブ（ドライバー）を用いた。ここで，シャフト，グリップは各クラブとも同一とした。シングルプレーヤーに各クラブを用いて同一のボールを打たせ，その打音を精密騒音計を用いて測定した。計測した各クラブの打音の時系列波形を図 1 に示した。打音の時間―周波数特性の解析にはガボールウェーブレットによる連続ウェーブレット変換を用いた。この特性を基に，「ここちよい打音」は「高周波音が低周波音にかき消されずに残響する」との仮説を立て，打音のここちよさを数値化するパラメータ（以下打音評価パラメータ）を算出した。

一方，対象となるクラブの打音に対し，ゴルフ経験者 26 名を用いて官能検査を実施し，その快適性について比較した。官能検査は SD 法と一対比較法の 2 種類を用いた。前者は音に対する様々な印象を点数付けすることによって，その特性を抽出するために用いた。また，後者は全体のうち 2 種類を抽出し，聴き比べてどちらが良いかを判定するもので，打音の嗜好の順位付けに用いた。

2.2　実験結果

図 2 に 4 種類の打音のウェーブレット解析結果を示す。グラフ横軸は時間，縦軸は周波数を

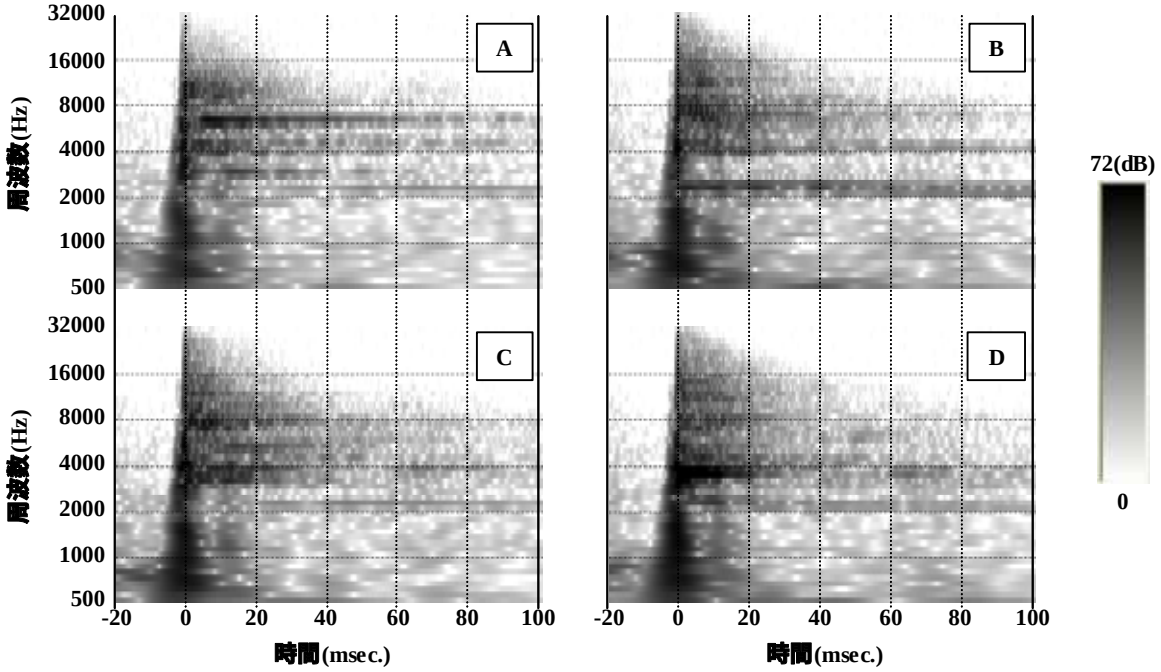

図 2　打音の時間－周波数解析結果

それぞれ表しており，レベルの大きさは色の濃淡で表示した。各クラブで特性を比較すると，インパクト瞬間（時刻 0）付近においてはいずれのクラブとも同様の周波数特性を示すが，その後では，ピークを示す周波数帯やその減衰が異なることが観察された。これらから打音評価パラメータを算出して比較を行った結果を，官能検査結果と併せて図 3 に示す。なお，これらはいずれも値が大きいほうがここちよい打音であることを表す。打音評価パラメータはクラブ A－D－B－C の順となり，官能検査結果とよく適合していた。以上の結果，本研究で提案した打音評価パラメータによって，打音のここちよさの数値化を可能にした。

3．打感評価手法の検討

プレーヤーが感じる打感が，手に伝達する打撃時の振動（衝撃荷重）に起因すると考え，プレーヤーが打感を評価するにあたり，どのような振動特性に起因するか，そのメカニズムを実

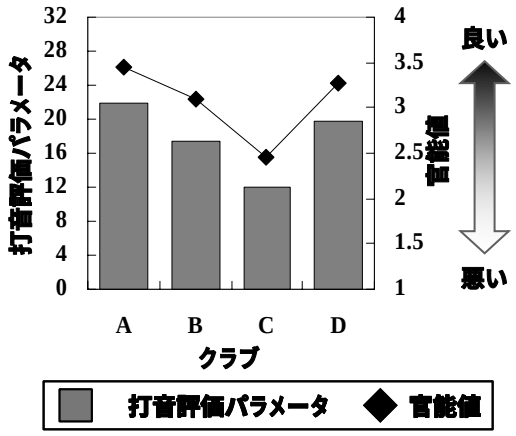

図 3　打音評価パラメータと官能検査結果

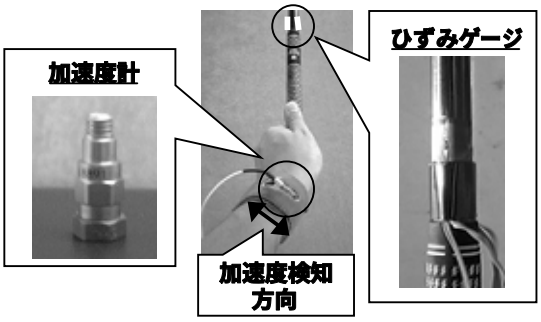

図 4　計測方法

験によって調べた。

3.1　打撃時における上肢への振動の計測

加速度計とひずみゲージを用いて，ボール打撃時におけるゴルフクラブ（ドライバー）の振動がどのように手に伝達するかを調べた。加速度計は図 4 に示すように，ベルトを用いて手首に固定した。このとき加速度検知方向を掌背方向とし，ボール打撃に伴うシャフトの曲げ方向と同一となるように設定した。シャフトの振動計測はひずみゲージを用い，グリップ部近傍の，フェースと垂直方向，すなわちボールの衝突方向の曲げ振動を測定対象とした。グリップを握った状態でゴルフボールをヘッドに衝突させ，そのときの加速度およびひずみ信号を，データロガーを用いて測定した。

図 5(a)(b)にシャフトの曲げひずみおよび手の加速度応答の時系列変化と，FFT を用いて算出した両者の周波数特性を示す。両者の周波数特性は，測定時のシャフトのたわみを除いた 25Hz 以上の領域でほぼ同様の傾向を示した。両者に対し，25Hz から手が感知できる上限といわれる [3]，1500Hz の周波数領域でフィルタリングした結果，図 5(c)に示すように両者はよく対応していた。以上の結果から，シャフトの曲げひずみ波形を計測し，その低周波のたわみを除いた成分を用いることによって，手に伝わる振動の特性，すなわち打感の推定が可能であることが明らかとなった。

3.2　ヘッド構造の差異におけるシャフトの曲げ，ねじれひずみの比較

スイングロボットを用い，ボールを打った場合のシャフトの曲げひずみを，表 1 に示す 4 種類のクラブで測定し，比較することによって，打感に影響を与える因子について検討を行った。併せて，シャフトのねじれひずみも測定し，各クラブで比較した。測定例として，シャフトの曲げひずみ，ねじれひずみの時系列変化と周波数特性，および 25Hz から 1500Hz でフィルタリングした周波数成分の測定結果を図 6 および図 7 に示した。これらを各クラブで比較することによって，打感評価がどのような特性に起因するかを把握することができた。

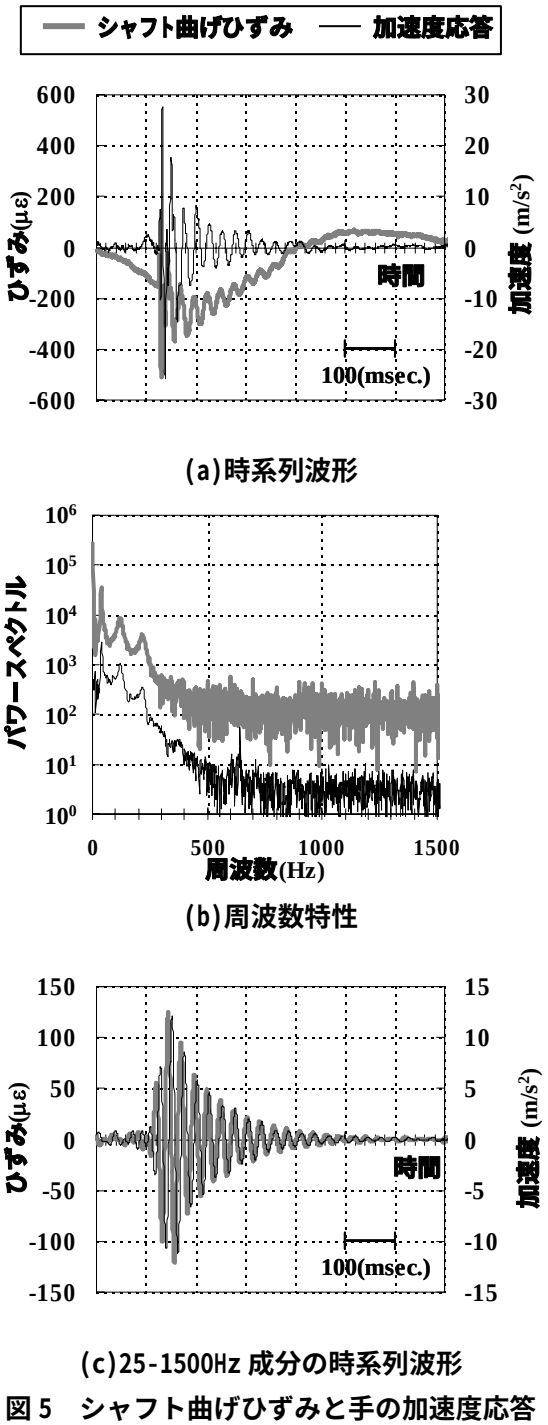

図 5　シャフト曲げひずみと手の加速度応答

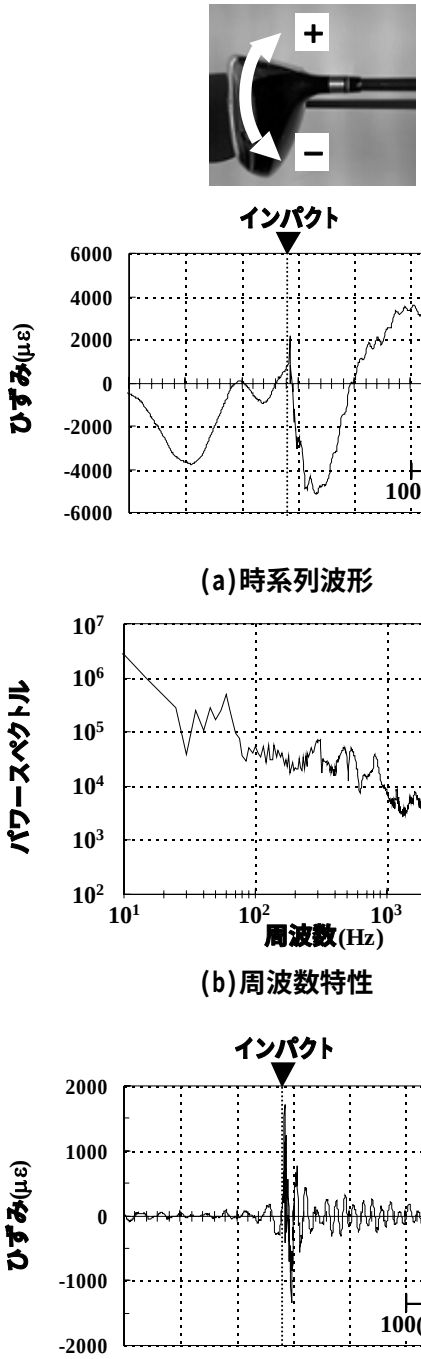

図 6　シャフトの曲げひずみ計測例

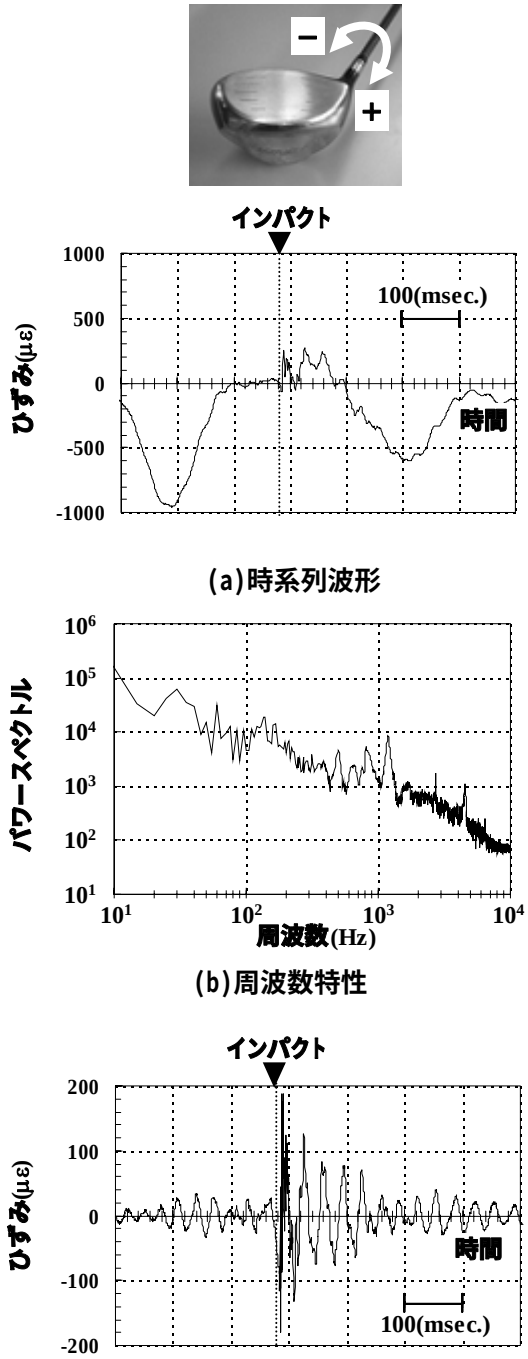

図 7　シャフトのねじれひずみ計測例

4．結　　言

(1)「ここちよい打音」＝「高周波音が低周波音にかき消されずに残響する」との仮説を立て，ウェーブレット解析によって得られた打音の時間－周波数応答を基にした，打音の快適性評価パラメータを提案した。

(2)特性の異なる 4 種類のクラブの打音から評価パラメータを求め，官能検査結果と比較し

た結果，両者はよく対応しており，これによって打音のここちよさを数値化することができた。

(3)ボール打撃時におけるシャフトの曲げひずみと手への伝達振動と関係を実験によって調べ，シャフトの曲げひずみを計測することで，打撃によって手に伝達する振動，すなわち打感の推定が可能であることが明らかとなった。

(4)スイングロボットを用い打撃時の曲げ，ねじれひずみを計測し，4 種類のクラブ間で比較することによって，打感評価がどのような特性に起因するかを把握することができた。

参考文献

1)岩壷卓三ほか, “高反発特性を有するゴルフクラブヘッドの設計に関する研究”, 日本機械学会講演論文集, No.00-38, 2000, p100-103.

2)森山圭治ほか, “ ゴルフクラブ，ゴルフボールの固有振動数の初期条件に及ぼす影響 ”, 日本機械学会講演論文集，No.06-35，2006, p142-145.

3)佐藤方彦監修, “人間工学基準数値数式便覧”, 技法堂出版, 1992.