…平成21年度助成研究より…
手作りハンドベルに関する基礎研究

小山工業高等専門学校
機械工学科　准教授
博士（工学）　**田中　好一**

小山工業高等専門学校
一般科物理　准教授
理学博士　**柴田　洋一**

1．はじめに

毎年のことであるが、12月の暮れになると本校ハンドベル部のコンサートが校内で行われ、年甲斐も無く、もー今年もおしまいか？と、昼下がりの研究室で感傷的な気分になる。

しかし、この時期には、ハンドベル部顧問の先生の愚痴話が決まって始まる。その内容は、学校の予算措置が今年も得られず、クラブ所有のハンドベルが買えなかったこと、小山市が貸し出すハンドベルは、利用者が多くなると予約が大変であること、ハンドベルが借り物なので扱いが大変である……等々である。一見華やかな楽器ではあるが、団体演奏の指導者ともなると苦労が絶えないなと感心する。

もっぱら聞き役の私としては、「こつこつと演奏会を開けば、学校側も予算のことは考えてくれるよ」となだめ役になっていた。しかし、２年前のある日、顧問の先生が私の研究室に現れ、満面の笑みを浮かべながら「ハンドベルが何とかなりそうだ！作ることにした」と得意げに言う。そのとき、気の小さい私としては、「それで誰が作るの？」と言い出せないでいると、「呑み友達の田中さんしか頼めないんだ！頼むよ」の言葉が続いた。

この一言が、これまで楽器作りに全く無縁であった私達の、無謀とも言える“手作りハンドベル”の始まりとなる。

2．天使のハーモニー“ハンドベル”

ハンドベルは正式名をイングリッシュハンドベルといい、今から約400年前にイギリスの教会で聖歌隊が賛美歌とともに、ハンドベルを鳴らしたのが始まりと言われている。本格的な楽器として登場したのは19世紀以降、アメリカに渡ってからのことで、教会を中心に広まったようである。また、日本にハンドベルが入って来たのは1960年代で、本格的に演奏活動が始まったのは、宣教師M. I. ケリーがチームを結成した1970年と言われている。その後、1976年に日本ハンドベル連盟[1)]が結成され、現在では600を超えるチームが活動を行っている。

ここで、楽器としてのハンドベルを簡単に説明する。図１は、ハンドベルの内部の構造を表

図１　ハンドベルの構造

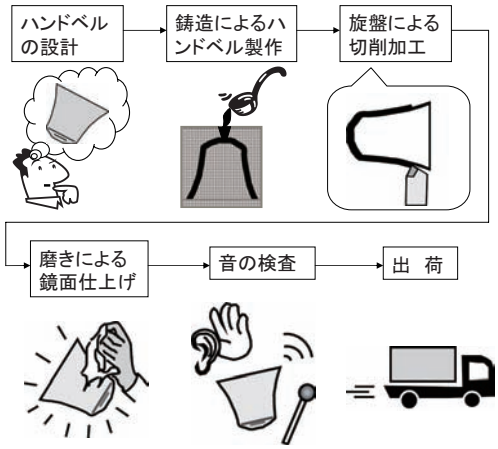


図２　ハンドベルの製造工程

したものである。ハンドベルはキャスティングと呼ばれる青銅製のベル本体を、その内部に取り付けられたクラッパー（一方向に往復する振り子）で叩くことで音が発生する。

ハンドベルは高音域ほど小さな形状で、その重さは約200グラム、低音域になると大きくなり、約８キログラムにもなる。従がって、低音域のハンドベルを演奏するには、大きな力が必要となり、軽いハンドベルへの要求があることも事実で、本研究を始めようとしたきっかけでもある。

３．ハンドベルの製作方法

代表的なハンドベルのメーカーは、アメリカの２大メーカーとされ、独自の製作方法でその音色も微妙に異なる。従がって、その製造方法も明らかにされていない部分が多く、各々のメーカーのノウハウとして受け継がれている。

ハンドベルの製造方法は、各メーカーのカタログ等を参考に推察すると図２のように表せる。まず、任意の音階のハンドベルの形状をもとに見込み代の付いた模型（model）を作り、その模型を用いて鋳型（製品となる空洞部がある）を作る。この鋳型に溶かした材料を流し込み、ハンドベルの原型である鋳物品を作る。

その後、鋳物品は旋盤などの工作機械で切削加工され、表面を鏡のように綺麗にするための鏡面仕上げが行われる。最終的には、目的の音階に出来たかを検査し、購入者へ出荷される。

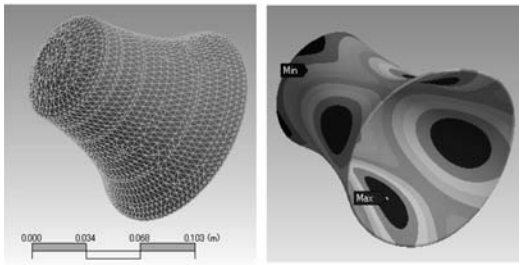
なお、ハンドベルの材料は、銅とスズの合金である青銅が使われることが多く、銅とスズの混合割合は、およそ８：２が最も美しい音色と言われている。しかし、ハンドベル表面の色を比較し判断すると、各メーカーの混合割合は、微妙に異なっているものと考えられる。

４．手作りハンドベルへの挑戦

小山工業高専のハンドベル作りは、始まったばかりである。ここでは、本校の卒業研究で得られたハンドベルの基本設計と振動解析の結果、そして旋盤を用いて加工した試作品作りの一部について紹介する。

４．１　ハンドベルの基本設計と振動解析

実際にハンドベルを製作するにあたり、どの音階のものを作るか、学生と話し合いをした。その結果、小さなハンドベルは材料費が安くて済むが、素人が作るのには加工が難しく、手ごろなＡ５（ラの音階、基本周波数：880Hz）のハンドベルを作ることにした。



（1）　　（2）

（1）：ハンドベルの格子モデル

（2）：第２振動モード（振動数：877Hz）

図３　設計したハンドベルの格子モデルと振動解析の結果

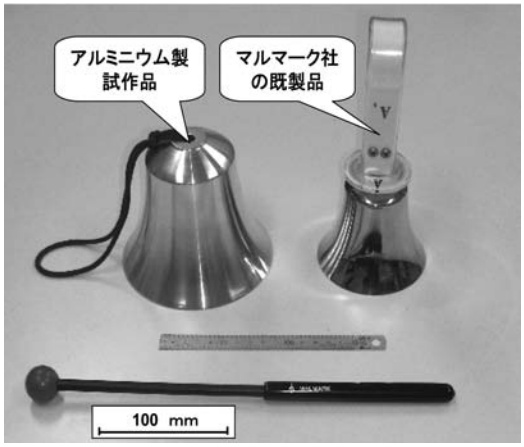


図４　A5ハンドベルの試作品と既製品

また、ハンドベルの材料としては、銅合金が最も美しい音色になると言われているが、本研究の目的の一部が、軽いハンドベルということもあり、アルミニウム合金（6061材）を用いることにした。

まず、Ａ５のハンドベルをパソコンCADで設計する。作図したハンドベルは要素分割し、振動解析ソフト（ANSYS 8.0）を用いて数値計算し、基本周波数が880Hzに近い形状を試行錯誤により決定する。そのときの要素分割の条件は以下に示す。

１）メッシュの要素サイズ：4.0㎜

２）メッシュの節点数：38121個

３）メッシュの要素数：19534個

なお、計算に必要な物性値は、アルミニウム合金6061材の値を入力した。

ハンドベルはベル本体をクラッパーで叩くと、複雑な変形パターンで振動し減衰する。これらの振動モードは数十種類にも分類できるが、これらの中で最も大きい音圧レベルのものが基本周波数[2)]となる。図３(1)は、今回の計算で用いたA5ハンドベルの格子モデルを示す。また、図３(2)は振動解析の結果を示したもので、最も音圧レベルの大きい第２振動モードを表し、その固有振動数は877Hzであった。このことより、Ａ５ハンドベルの音階の基本周波数は880Hzであり、今回試行錯誤で決定したハンドベルの形状が、ほぼ満足しているものと推察できる。

４．２　切削加工による試作品作り

図３に示したハンドベル形状のCADデータをもとに、CNC旋盤で直径120㎜のアルミニウム材を切削し、ハンドベルを試作した。

図４は、今回製作したアルミニウム製ハンドベルと比較のためにマルマーク社製Ａ5ハンドベル（青銅製）を示したものである。

また、製作したアルミニウム製ハンドベルの周波数を検査するため、無響室にて周波数測定を行った。図５は、試作したA5アルミニウム製ハンドベルとマルマーク社製ハンドベルの振動周波数と音圧レベルの関係を示した。

ハンドベルの基本周波数[2)]は、ほぼキャスティング（図１参照）の厚さに比例し、マウス部の直径に反比例する。また、材料のヤング率が大きくなると、基本周波数は大きくなり、密度が大きくなると逆に周波数は小さくなる傾向を示す。従がって、図４から分かるように、アルミニウムの密度は青銅に比べ小さいため、同じ音階のアルミニウム製ハンドベルを作るには、

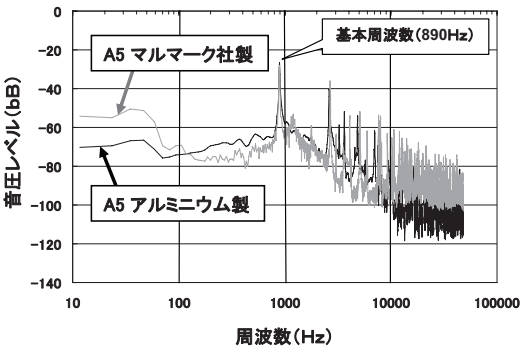


図５　無響室における周波数測定結果

図６　小山市のハンドベル演奏会[3)]

青銅製に比べ大きな形状となる。

また、試作品の音の周波数測定結果では、第２振動モードである基本周波数が890Hzで、設計段階で数値計算した基本周波数877Hzに比べ幾分大きな値となるが、ほぼ満足する結果が得られた。しかし、アルミニウム製ハンドベルは、高音域の音が小さく、減衰も大きい。

今後、研究の第二ステップとしては、ベル本体の材料を色々変化させること、ベルの形状を決定する際、基本周波数だけでなく、音色のことも考慮すること等が挙げられる。

５．今後の展望

図６は、栃木県小山市で開催されたハンドベルフェスタ in OYAMA の様子である。小山市では、ハンドベルを『小山ブランド』の一つとして定め、その普及に努めている。このようなハンドベルに対する地域性も手伝ってか、地元の企業や学校の中でハンドベルを作ってみたいという要望も生れている。

小山高専のハンドベル作りは、始まったばかりで試行錯誤の連続でもある。しかし、ハンドベルを作ってみたいと言う要望に応えるためにも、技術的な問題を早急に明らかにしたいと考えている。そして、本研究の成果が企業や学校に技術的なノウハウとして共有され、日本中にハンドベル作りの文化が広まる端緒になればと考えている。

謝　　辞

本研究に対して研究助成を賜りましたサウンド技術振興財団に心より感謝申し上げます。

参考文献

１）日本ハンドベル連盟：ハンドベル連盟の歴史と歩み, http://www.handbell.org/.

２）楽器の物理学：N. H. フレッチャー／T. D. ロッシング著, 岸　憲史／久保田秀美／吉川　茂（訳）, シュプリンガー・フェアラーク東京.

３）ハンドベルフェスタ in OYAMA：開催場所（栃木県小山市立文化センター), 2009年10月18日.