

復元鉄鐘の音響特性

日本古鐘研究会 大熊恒靖

1 音の測定方法

1) 測定位置

鐘身を打撃する方向の軸（撞座の軸）に直角な軸を 0° として、その軸から 45° 回転した軸及び 90° において、鐘身から 0.5 m 離れた点を測定位置とする。

一般に梵鐘の基音（最も低い周波数成分の音）は、 0° 及び 90° 方向の音にはうなりがなく、 45° の方向の音は顕著なうなりを伴う。したがって、二つの方向の音を測定すると、うなり現象を明確に観測することができる。

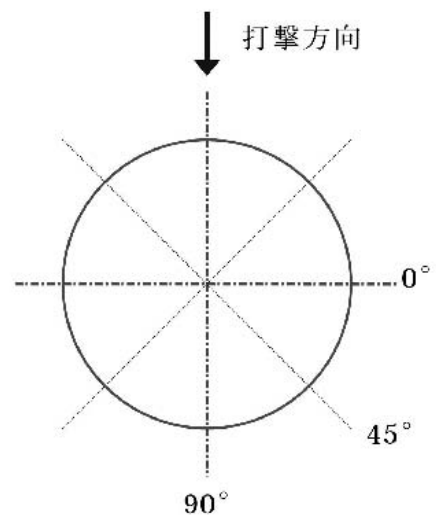


図1 測定位置

2) 測定系

復元鉄鐘の音の周波数成分及び減衰時間を知るために、図2のような測定系を用いた。

(1) 録音

測定対象の音は、騒音計を経てMD（ミニディスク）録音器によって録音される。MD録音器は、

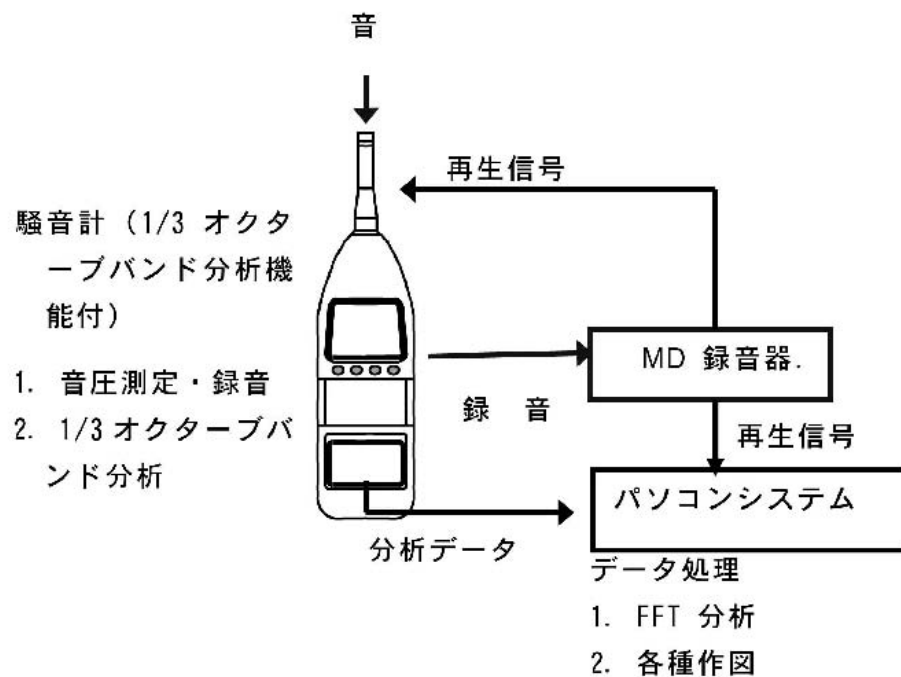


図2 測定系

長時間録音をするために信号圧縮を行っているのですが、対象の音の種類によっては信号圧縮の影響を受けるが、梵鐘の音の場合には分離したスペクトルによって構成されるので、信号圧縮の影響は全く受けないことを各種実験によって確認してある。

(2) 音の周波数分析

対象の音の周波数分析は、MD 録音器の再生音をパソコンソフトの FFT(高速フーリエ変換) によって行う。

(3) 音の減衰時間測定

対象の音の減衰時間は、同様に再生音を 1/3 オクターブバンド周波数分析機能を備える騒音計に電気信号として加え、メモリー機能を用いて 1/3 オクターブバンド音圧レベルの減衰特性を記録し、その特性から音圧レベルが 60 dB 減衰するのに要する時間を、すなわち減衰時間を算出する。

2 測定結果

1) 部分音の周波数

部分音の周波数は、次の通りであった。

基 音	364.05 Hz
第 2 部分音	992.55 Hz
第 3 部分音	1878.1 Hz

周波数分析の例を図 3 に示す。

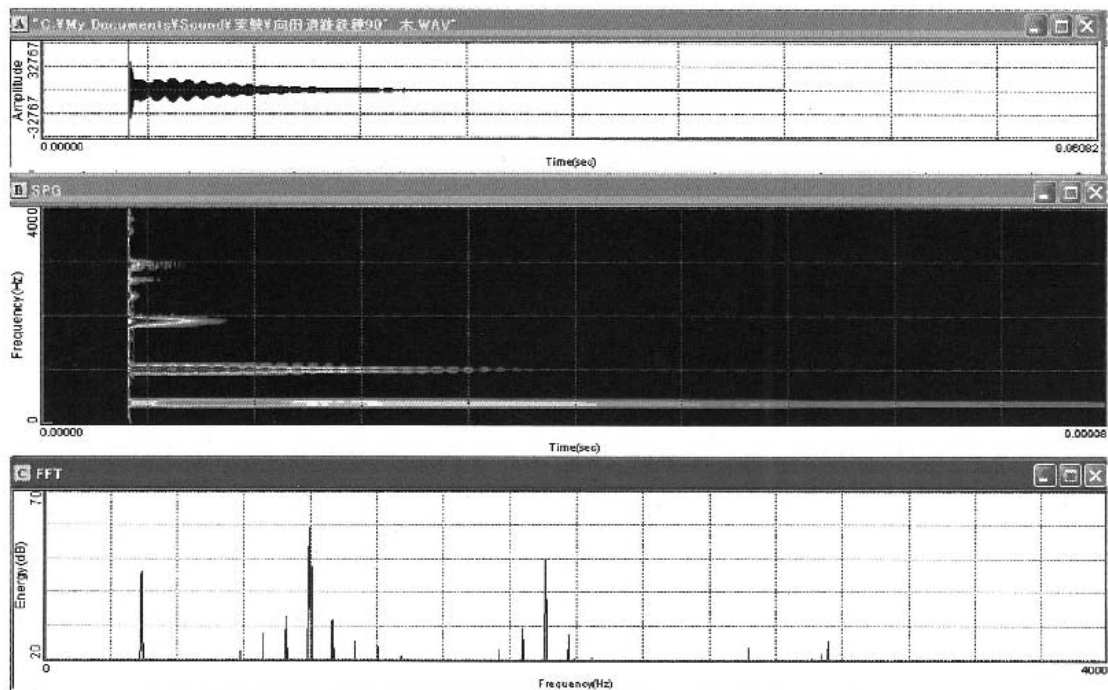


図 3 復元鉄鐘の周波数分析の例

図3の最上段の図は、音圧波形である。縦軸は音圧（単位はPaとなるのであるが、ここでは絶対値は用いていなくて、相対的な目盛である）、横軸は時間（単位は秒、10秒間の記録）である。同図の中央の図はスペクトルグラフといい、縦軸を周波数（単位はHz、最大目盛は4000 Hz、横軸を時間（単位は秒、最大目盛は10秒）、色の濃淡が音の強さである。白が最大の表示となっている。

同図の最下段の図は、FFT分析の結果である。縦軸が相対スペクトルレベル（単位はdB、分析範囲50 dB）、横軸は周波数（単位はHz、最大目盛は4000 Hz）である。

この復元鉄鐘の音は、打撃時には第2部分音が優勢であるが5秒程度で消滅し、その後は基音の余韻が長く残る様子が示されている。第3部分音は打撃後1秒程度で消滅する。

2) 音の減衰時間

音の減衰時間を測定する際に用いたハンマーは、図4に示す木ハンマー（質量500 g）及びゴムハンマー（質量300 g）である。

木ハンマーを用いたときの1/3オクターブバンド音圧レベルの減衰特性を図5及び図6に示す。また、ゴムハンマーを用いたときの1/3オクターブバンド音圧レベルの減衰特性を図7及び図8に示す。音は、青銅鐘に比べるとスペクトル数の少ない音ではあるが、減衰時間の長い、すなわち余韻の長い非常にきれいに聞こえる音となっている。



図4 試作2号鐘と使用したハンマー（左：ゴムハンマー、右：木ハンマー）

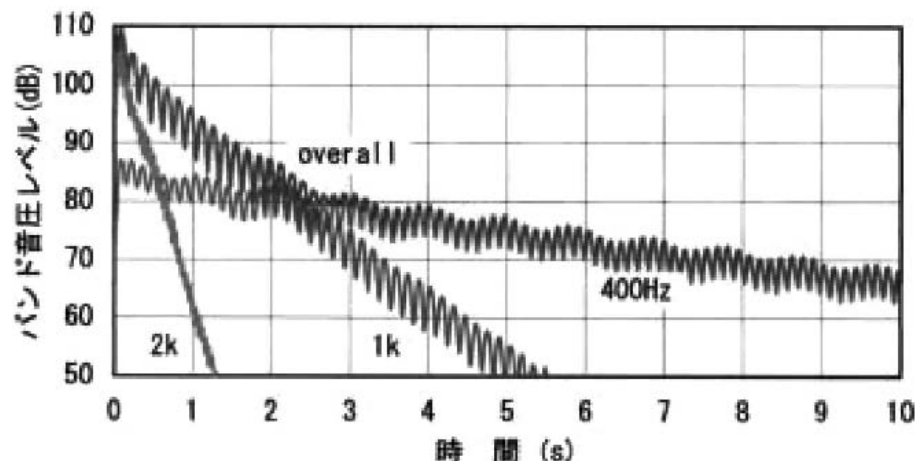


図5 木ハンマーによる音の減衰特性、測定点90°、0.5 m

以上の減衰特性から算出した音の減衰時間は、次の通りである。

基音 36 秒
 第2部分音 6 秒

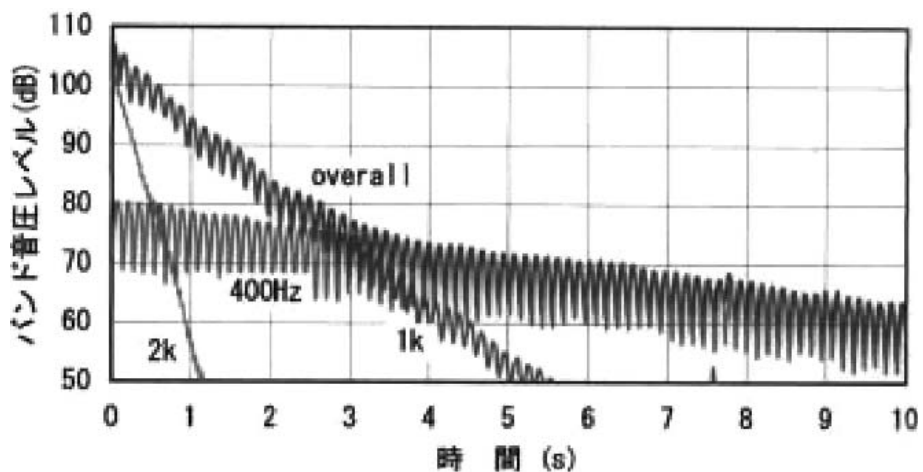


図6 木ハンマーによる音の減衰特性、測定点 45°、0.5 m

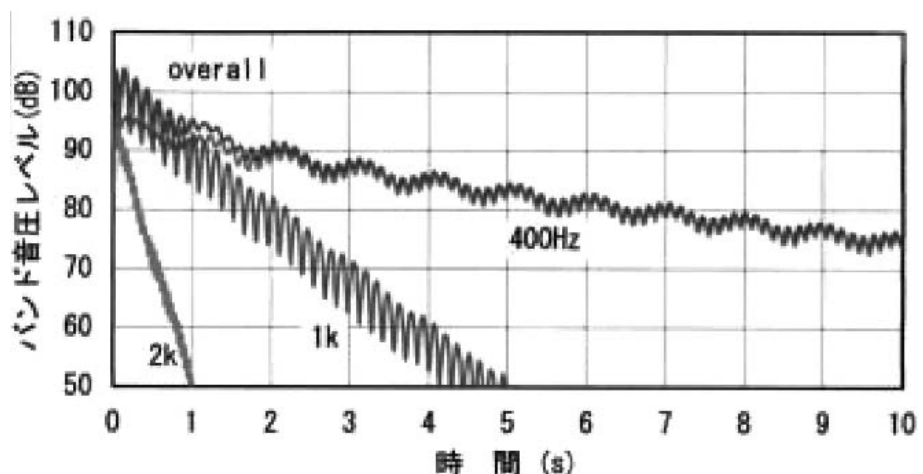


図7 ゴムハンマーによる音の減衰特性、測定点 90°、0.5 m

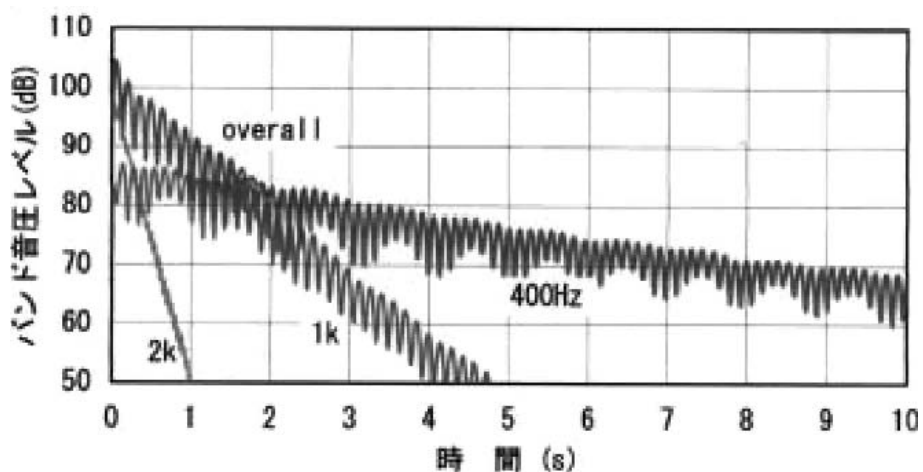


図8 ゴムハンマーによる音の減衰特性、測定点 45°、0.5 m

3) 試作1号鐘及び試作3号鐘

以上のデータは試作2号鐘について行ったものである。試作1号鐘は肉厚が不足して鑄

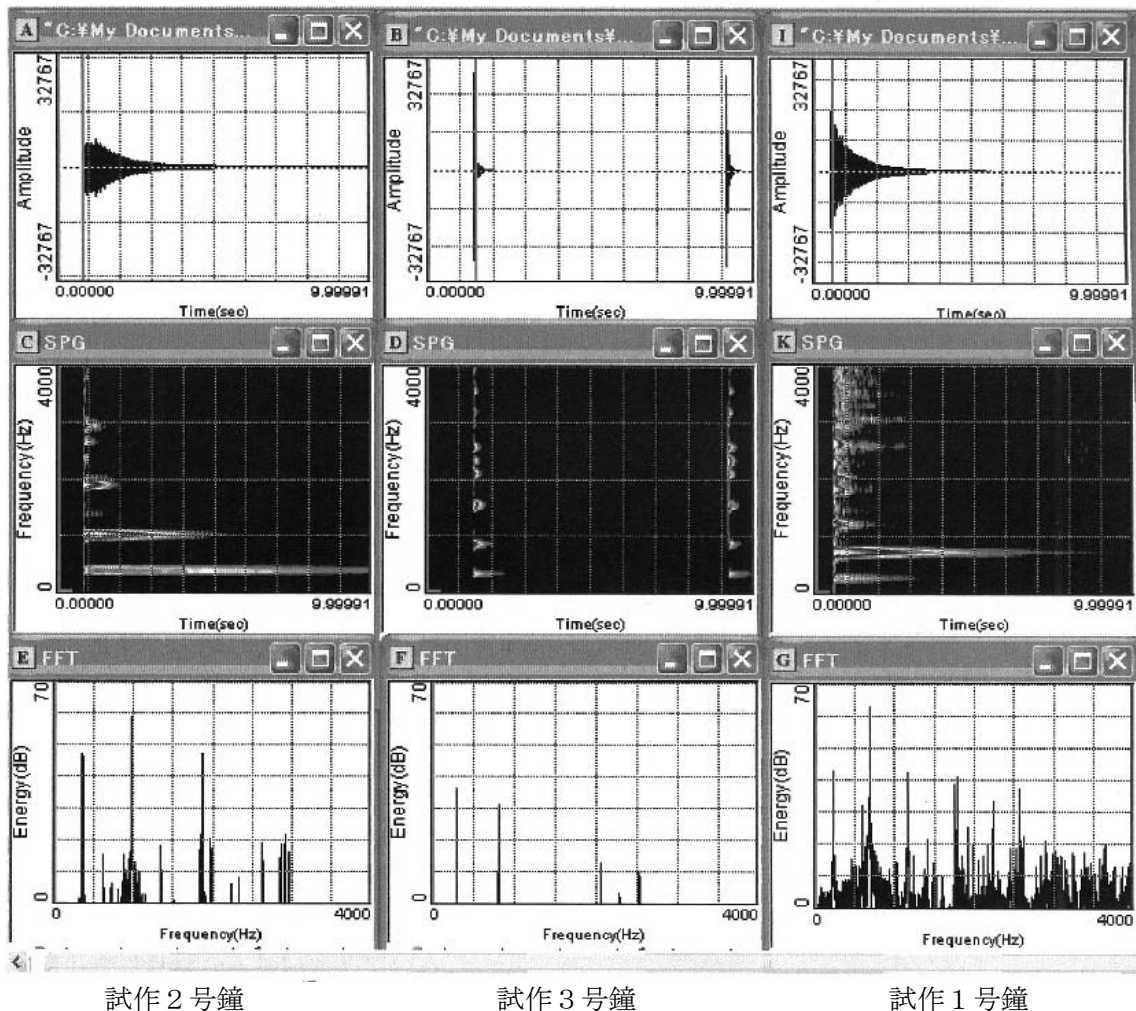


図9 三つの試作鐘の音響特性



図10 試作1号鐘（左）と試作3号鐘（右）

造に失敗し、試作3号鐘は材料の選定を仕上がり状態に重点を置いたために、音については満足すべきものとならなかった。基音の減衰時間は1号鐘が7秒、3号鐘が4秒であった。

参考資料として三つの試作鐘の音響特性を図9に示す。

試作3号鐘は全く音が出ず、試作1号鐘はいわゆる破鐘(われがね)の音である(図10参照)。

3 考 察

梵鐘の材質は、銅・錫(Cu-Sn)系合金(青銅)である。これは古代から現在まで継承されている。和鐘の音は、一般に荘厳さが求められることから、全体の形状、鐘身の厚さ、駒の爪の厚さ(開口部の縁の厚さ)等が中国鐘あるいは洋鐘とは異なる独特のものとなっている。また、和鐘は、錫の配合比が13～15%程度が適当といわれ、現代鐘はそのような配合比となっていると思われる。(注1) 明治時代以前の和鐘は錫の配合比が7%程度と推定され、(注2) かつ駒の爪(開口部の縁の厚さ)が現代鐘に比べて厚いために音の減衰時間が短いのが特徴である。(注3)

和鐘の鉄鐘は、いわゆる梵鐘といわれる鐘には戦艦「陸奥」の遺材による鎮魂をこめた宇治・万福寺鐘があるのみである。鉄鐘では和鐘に求められる音が出ないのである。

洋鐘は、古くから青銅(錫配合比23%程度)で造られているが、第一次世界大戦時に多くの鐘が溶解され、それに代わる鋼材の鐘が造られた。ドイツではそれが契機となって研究が進められ、鋳鋼で青銅の鐘に劣らない良い鐘が造られた。鋳鋼ならばコストが青銅の1/3で済むといわれる。(注4)

中国鐘は、紀元前400年頃の編鐘に見られる優れた青銅技術が引き継がれている。中国の鉄鐘は、比較的多く見ることができ、例えば日本人が興味をもっている蘇州・寒山寺鐘が鉄鐘であるが銅鐘に劣らない音を出している。しかし、現存する多くの鉄鐘はやはり梵鐘らしい音は出していない。

鉄の和鐘の音については文献(注5)と(注6)がある。そこでは理論と実験鉄鐘によって検討されている。モデル実験では青銅の鐘の音質とできるだけ同じになるように鉄の鐘を作るには次の点を考慮しなければならないとしている。

- (1) 同じ形状で、基音(余韻)の周波数を同じくするには、鉄の鐘の厚さを薄くする。
- (2) 一様に薄くすると、上音の固有周波数が強く起こりかん高くなる。この上音の固有周波数を抑えるためには、鐘の上部を青銅に比べて厚くしなければならない。
- (3) 根本的に音質を同じくすることはできないが、梵鐘のもつ冥想的な響きを失わないように調整しなければならない。

しかし、鍛鉄、鋼鉄の鐘の基音は青銅鐘と一致させることはできるが、上音の周波数には著しい差があるので、青銅鐘と同じ音質にすることは不可能であるという結論である。この研究の成果として、前述の宇治・万福寺の鉄鐘が造られた。万福寺鉄鐘については後述するが残念ながら青銅鐘とは全く異なる音である。

次に、現存する鉄鐘と青銅鐘の音響特性を比較してみる(図11～図14参照)。

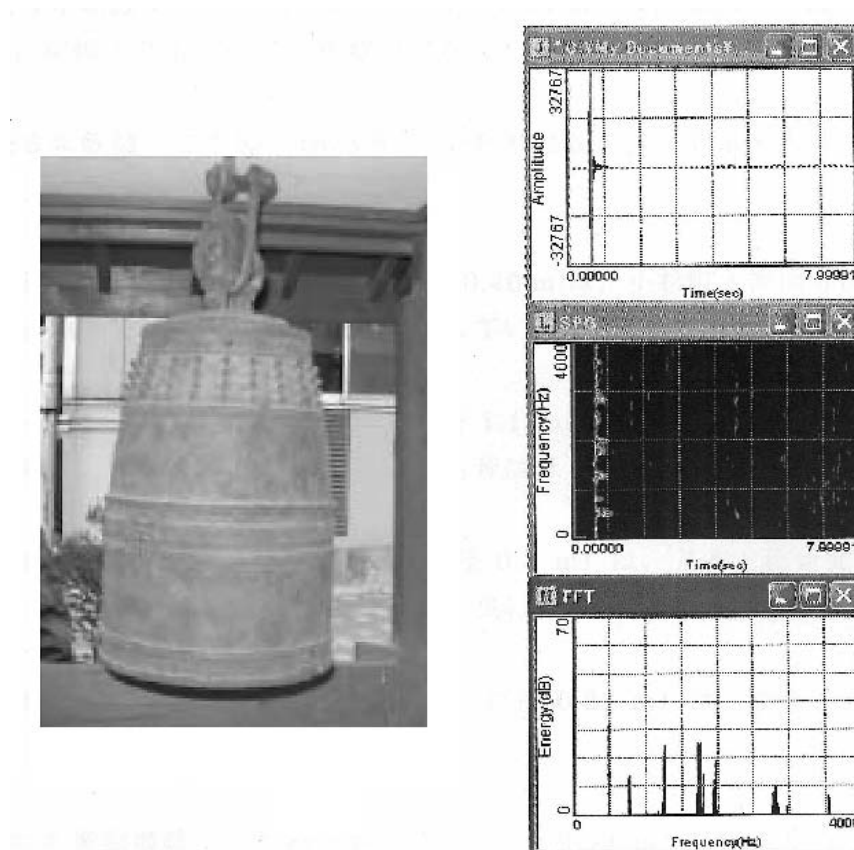


図 11 東大阪・長堂小学校記念鉄鐘（1991 年、口径 0.21 m）、音が出ない鐘

(1) 東大阪・長堂小学校記念鐘

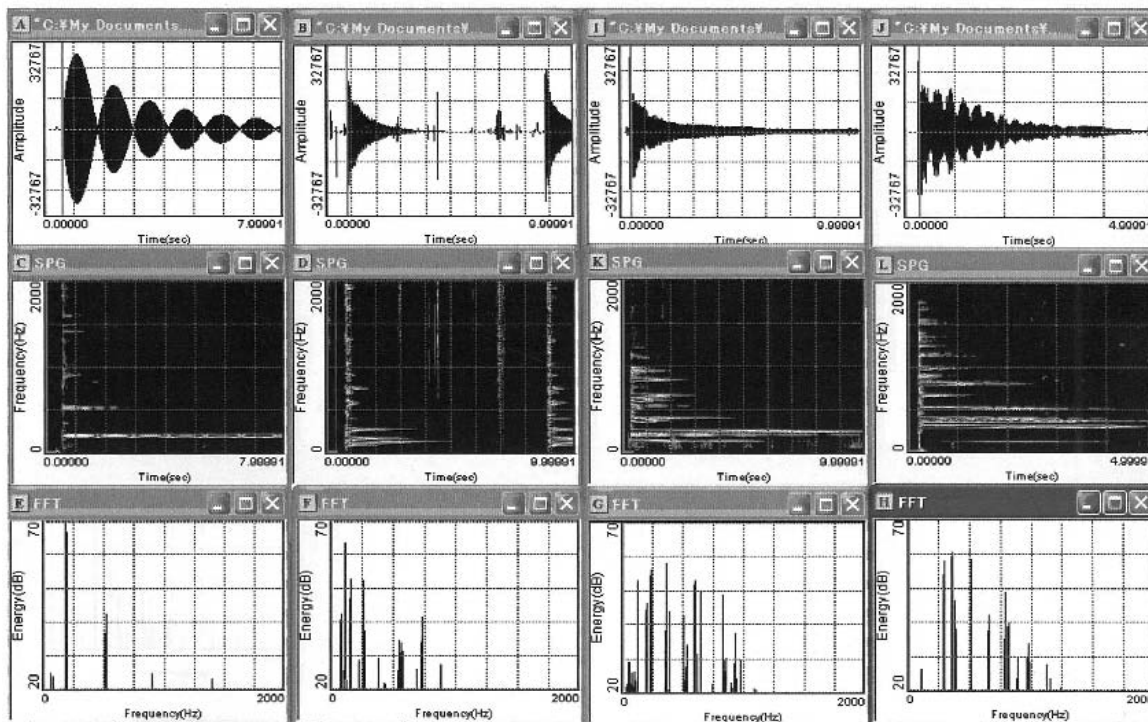
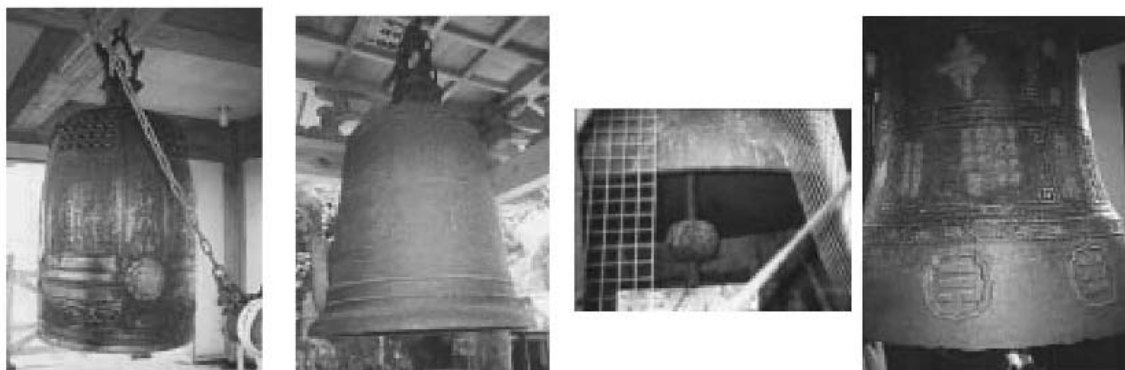
復元鐘と同じような口径の鉄鐘は、数口は現存していてもいずれも音響測定が不可能な鐘である。収集した資料の一つとして、図 11 は、口径 0.21 m の鉄鐘（東大阪・長堂小学校記念鐘）であるが、これは単にモニュメントとして造られ、音響については全く配慮されていないと思われ、木ハンマーで叩いても音は出ない。

(2) 宇治・万福寺鉄鐘

戦艦「陸奥」は、1921 年に竣工、1943 年に広島湾において船内の爆発により沈没、1970 年に引き上げられた。その船体の鋼材によって 1971 年に鑄造された鉄鐘（口径 0.7 m）が万福寺・青少年文化研修道場の屋上に懸架されている。（注 7）この鐘の減衰時間は基音が 24 秒、第 2 部分音が 5 秒であり、銅鐘に比べて非常に短い。この音は、基音以外の部分音が弱く、一般の梵鐘の音とは異なっている。文献（注 5）によると、この鐘は引き上げられた戦艦陸奥の特殊鋼（鍛鉄に近い）を用いて、同型の青銅に比べて厚さを約 20～30%大きくしている。

(3) 倉吉・長谷寺中国鉄鐘

この梵鐘（1708 年、口径 0.77 m）は、現在鐘身表面が錆で覆われ、またクラックが入っている。（注 8）手で叩くと、余韻のない音が聞こえる。たぶん、この鐘は以前から音の余韻の短い音



171 万福寺鐘
青銅鐘の音とは異なる

1708 長谷寺鉄鐘
音が出ない

1862 London 教会鉄鐘
青銅鐘に類似の音

1906 寒山寺鉄鐘
青銅鐘に劣らない音

図 12 鉄鐘の例 1

であったことが予想できる。

(4) ロンドン・ペテロ・イタリア教会鉄鐘

この鐘（1862 年、口径 2.2 m）は、Steel bell であり、各部分音が青銅鐘よりも減衰時間が長い、青銅鐘に比べてそれほど奇異な音には聞こえない。（注 9）

(5) 蘇州・寒山寺鉄鐘

この鐘（1906 年、口径 1.19 m）は、楓橋夜泊（注 10）に詠われた寒山寺の現代鐘である。鉄鐘ではあるが青銅鐘に遜色ない音となっている。

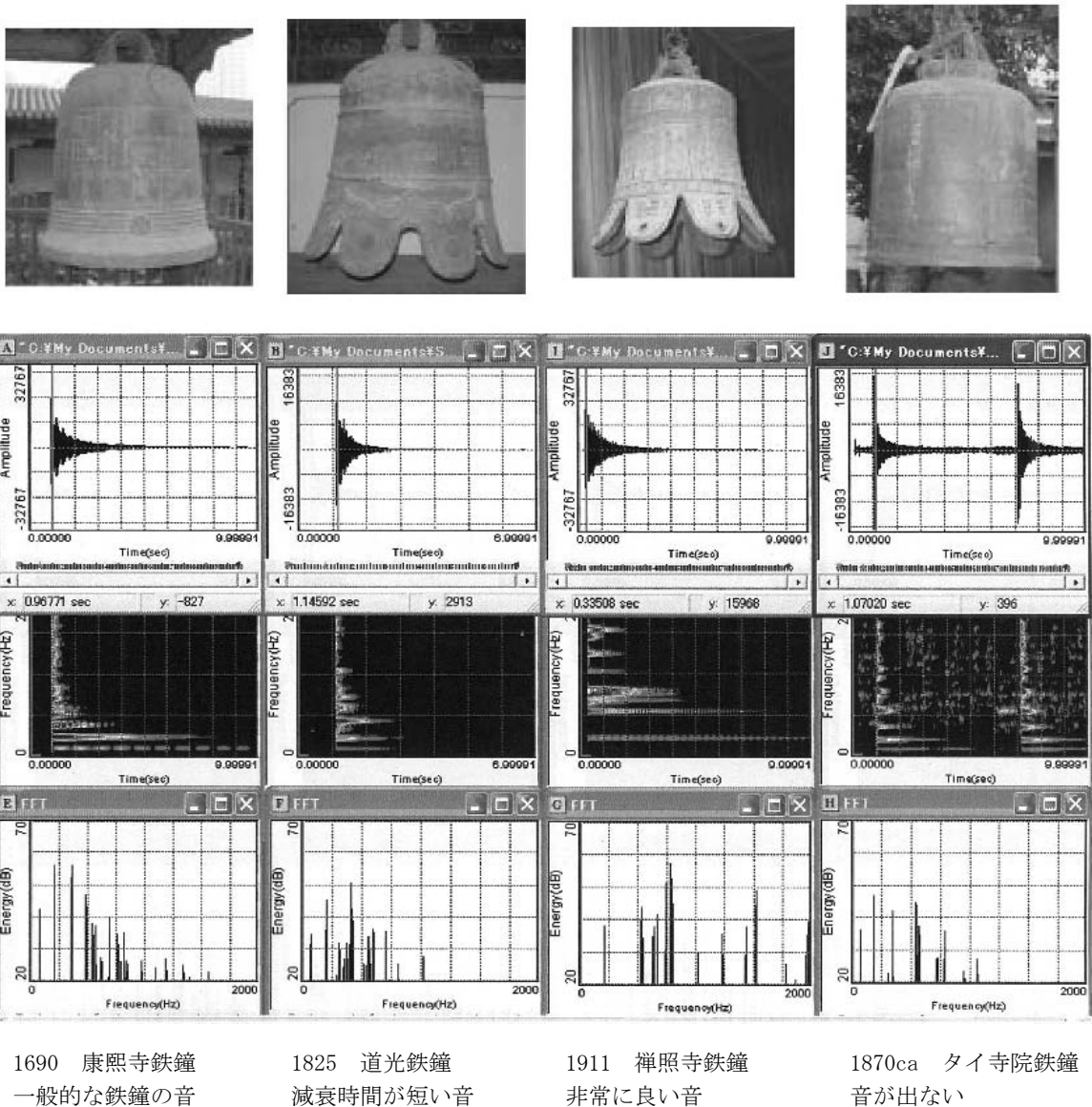


図 13 鉄鐘の例 2

(6) 北京・康熙 8 年鉄鐘

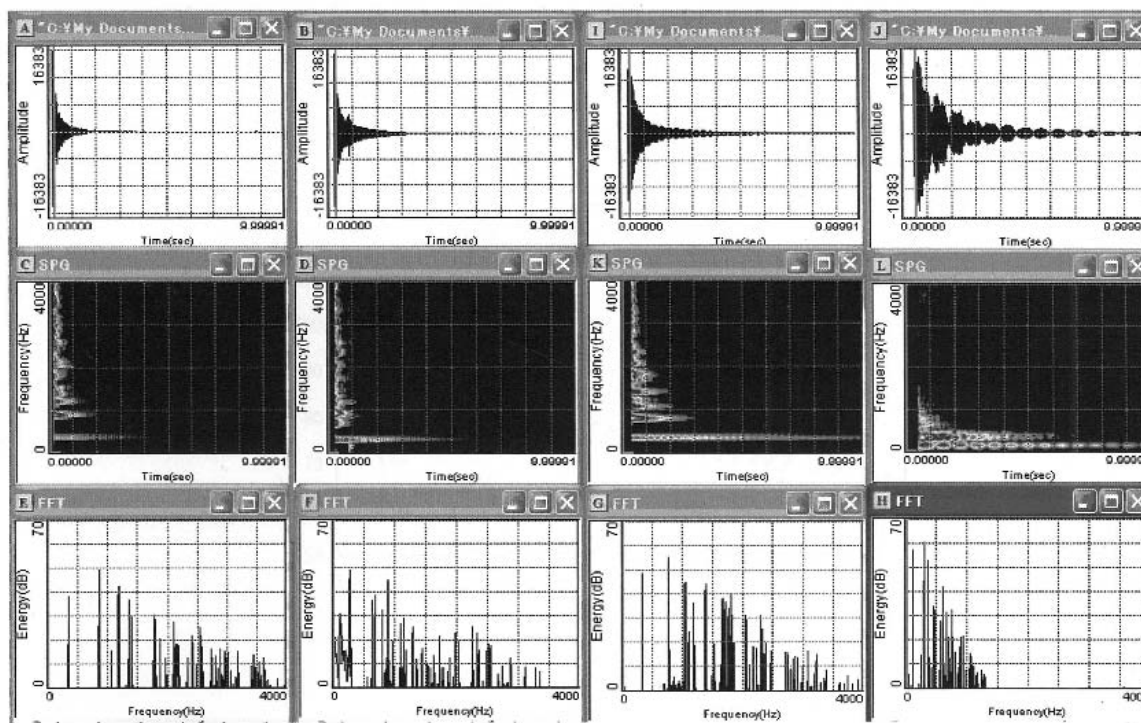
この鐘（1668 年、口径 0.89 m）は、北京・大鐘寺古鐘博物館所蔵の鉄鐘である。青銅鐘よりもスペクトル数が少なく、かつ減衰時間が短い音である。

(7) 北京・道光 5 年鉄鐘

この鐘（1825 年、口径 0.86 m）は、北京・大鐘寺古鐘博物館所蔵の鉄鐘であるが、音が出ない鐘である。

(8) 富山・禅照寺鉄鐘

この鐘（1911 年、口径 0.46 m）は、小杉町・禅照寺所蔵の中国鉄鐘である。鉄鐘にもかかわらず、非常に良い音を出している。



1795 真鍋鐘
一般的な喚鐘の音

1704 泉龍寺鐘
音があまり出ない

1697 大中寺鐘
良い音の喚鐘

福島県下現存最古鐘
1349 熊野神社鐘
非常に良い音の梵鐘

図 14 青銅鐘の例

(9) タイ・清代鉄鐘

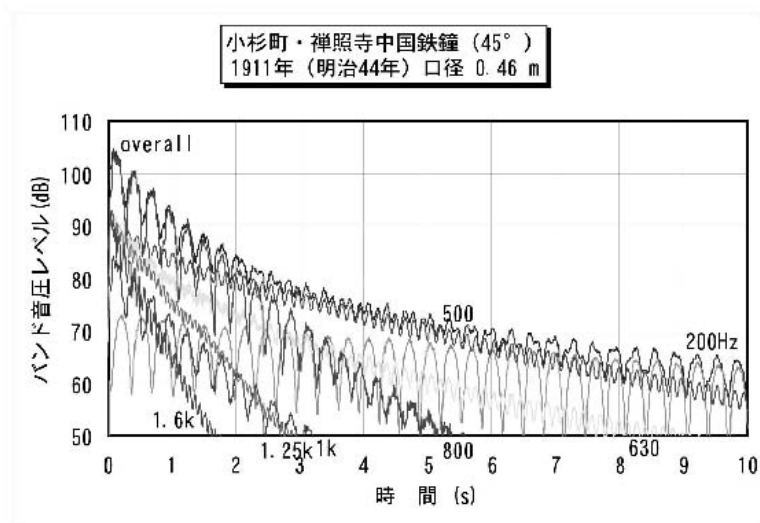
この鐘（1870年頃、口径1.1 m）は、フット ジャイデイ ナコンパトムの寺院鐘である。ステッキ状の撞木で叩いても音はほとんど出ない。

(10) 東京・真鍋青銅鐘

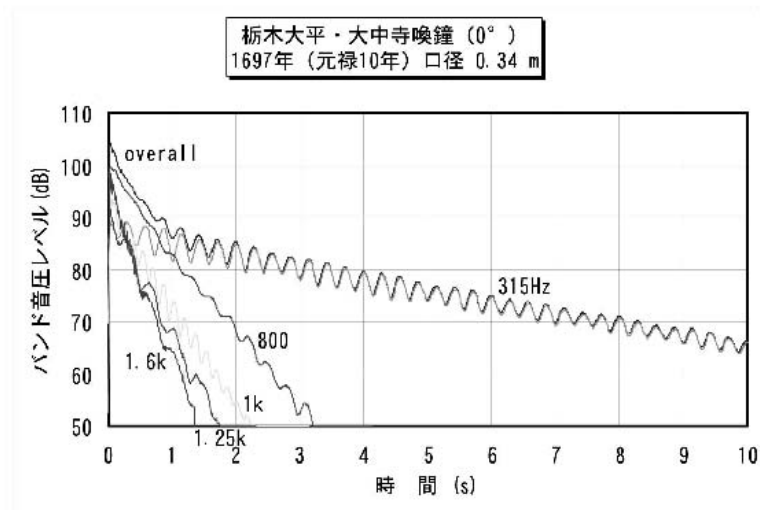
この鐘（1795年、口径0.3 m）は、日本古鐘研究会会長 真鍋孝志氏所蔵の喚鐘である。基音の減衰時間は短い、良い音を出している。

(11) 東京・泉龍寺青銅喚鐘

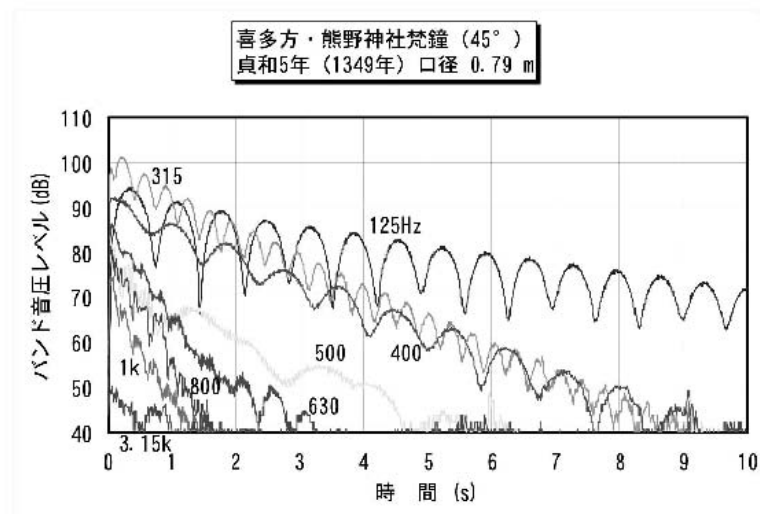
この鐘（1704年、口径0.25 m）は、狛江市・泉龍寺所蔵の喚鐘であるが、あまり音が出な



良い音の中国鉄鐘の例



良い音の青銅喚鐘の例



良い音の青銅梵鐘の例

図 15 良い音の鐘の例

い鐘である。

(12) 栃木・大中寺青銅喚鐘

この鐘（1697年、口径0.33m）は、大平町・大中寺所蔵の県指定重要文化財の喚鐘である。真鍋喚鐘よりさらに良い音を出している。

(13) 福島・熊野神社青銅鐘

この鐘（1349年、口径0.79m）は、喜多方市・熊野神社の県指定重要文化財の梵鐘であり、県内最古の南北朝時代の鐘である。梵鐘の典型的な音を出している。

<引用文献>

- (注1) 青木一郎 「梵鐘」『日本音響学会誌 27 1』42-50 1971年
- (注2) 大熊恒靖 「資料紹介『大東亜戦時供出梵鐘分析表』」『梵鐘 13』98-104 2001年
- (注3) 大熊恒靖 「梵鐘の音の減衰時間に関する時代的変遷」『音響学会誌 53 7』208-214 1997年
- (注4) 青木一郎 「鐘の音について - 梵鐘に関する二、三の問題を中心にして、-」『関西大学工学誌 2 4』95-97（発行年不詳）
- (注5) 小松沢 昶、伊勢雅昌、青木一郎 「鉄の梵鐘」『技苑（関西大学工業技術研究所）No. 15』38-45 1974年
- (注6) 小松沢 昶、伊勢雅昌、青木一郎 「鉄製和鐘について」『日本音響学会講演論文集』91-92 Nov. 1971年
- (注7) 齊藤善夫 「世界大平和之鐘」『梵鐘 第12号』79-81, 2000年
- (注8) 石田 肇 「日本現存支那鐘銘集成稿（下）」『群馬大学教育学部紀要 人文・社会科学編 46』65-102 1997年
- (注9) <http://www.hibberts.co.uk/>
- (注10) 植木久行 『唐詩の風景』講談社学術文庫（講談社、東京）pp. 242-248 1999年