

平成 21 年 3 月 31 日現在

研究種目：基盤研究 (C)  
研究期間：2007～2008  
課題番号：19560797  
研究課題名 (和文) 熟練機関員の聴覚技能を組み込んだ多変量解析型音響診断ハンマーの開発  
研究課題名 (英文) The development of the diagnosis hammer having the hearing skill of the expert engineer  
研究代表者  
木村 隆一 (KIMURA RYUICHI)  
神戸大学・大学院海事科学研究科・教授  
研究者番号：20093544

研究成果の概要： 船舶機関の保全作業に点検ハンマーを用いた機器の診断を聴覚で行っている。本研究では、連接棒ロッドボルトの締結力を変化させてそのときの打撃音を録音した。その打撃音を機関員に聴取させ、どの程度締結力を判断することができるのかをアンケート方式で調査した。熟練者と非熟練者の間には判断力に差が出たが、熟練者といえども正確に判断できないことがわかった。次に、打撃音をデータ化して、統計解析により締結力を算定できるかを試みた結果、特定のボルトに対して精度の高い重回帰式を求めることができ打撃音から締結力を推定できることが判った。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2008年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,800,000	840,000	3,640,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・船舶海洋工学

キーワード：船舶機関・燃料、保全作業

## 1. 研究開始当初の背景

船舶は入港して出航するまでの短い停泊時間の中で次の航海に向けた点検保守を実施する。点検は機関員の目視や触診などにより注意深く行われるが、ディーゼル機関の各部材を締結しているボルトのゆるみや部材

内部の亀裂は目視で確認できないため、それらの箇所は熟練した機関員が点検ハンマーにより打撃してその打撃音から異常の有無を調べている。

しかし、機関の内部は非常に狭く、この中で点検ハンマーの操作は熟練者でも困難

な上に、高温環境下で適切に打撃音を聴取して、微妙な音の違いを判断することは難しい作業である。この打撃点検は保全作業にとって有効な手段であるが、高度な熟練と経験を必要とする。従って、すべての機関員が同じ技能を有することは難しく、団塊の世代が第一線を退く 2007 年以降は各分野で高度技能者の減少が危惧され、技術の伝承が危ぶまれている。このような事態はいずれ保全レベルの低下をまねき海難事故につながる危険性がある。このような背景下、本課題は懸念される船員の熟練技能問題にこたえるべく取り組んでいる研究である。

## 2. 研究の目的

船舶機関員は機器の点検作業において、打撃音より保全に関する情報を取得としている。しかし、その精度がどの程度のものであるかが調査されていないのが現状であるため、実際の船舶機関員の聴覚技能について精査することを 1 つの目的とする。

さらに、その技能を支援するシステムへの展開を図るが、その第 1 段階として、ディーゼル機関の主要部分の締結ボルトを打撃して、その打撃音の周波数成分と音の減衰時間を分析することにより、締結力と音の関係を明らかにする。その結果より、締結力の異常を判定する数学モデルアルゴリズムを考案し、狭いディーゼル機関の内部で簡単に操作でき、的確な情報を機関員に与える音響診断ハンマーの開発を目的とする。

## 3. 研究の方法

(1) **実験装置**： ボルトを打撃したときに発する打撃音はその締付けトルクによってどのように変化するかを調べるためにボルト打撃実験を行った。実験には 4 サイクル中

速ディーゼル機関に使用されているクランクピンボルトを用いた。実験ではクランクピンボルトが接続棒大端部の部材表面に接した状態から締付け過多状態の  $750\text{N}\cdot\text{m}$  まで締付けトルクを変化させ、締付けトルクの異なる合計 28 種類の打撃音響を收音した。

ボルトへの打撃力は個人差があるため、一定の打撃力が得られるように単発の打撃を与える電磁打撃ハンマーを開発し、この打撃ハンマーを用いてクランクピンボルト頂部に打撃を加え、発生した打撃音響をマイクロフォンで收音して音響レコーダに記録した。音響レコーダで記録したデータはパーソナルコンピュータへ取り込み、締付けトルクごとのデータファイルとして保存した。なお、実験は図 1 に示すような形で実施した。

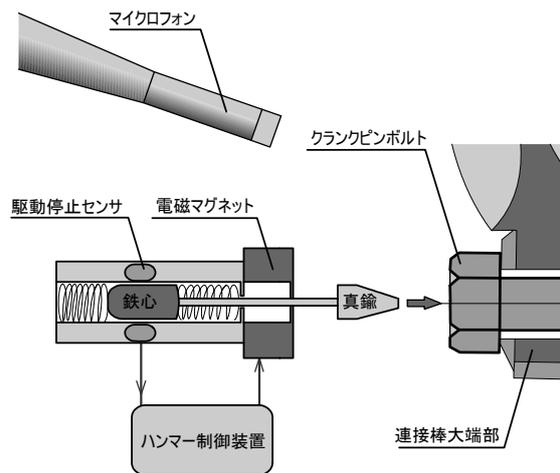


図 1. 電磁打撃ハンマー

(2) **聴取実験**： 打撃音の聴取によって人は締付けトルクをどの程度判断しているかを調べるため、経験年数 18 年以上の熟練技術者(6 名)のグループと 5 年以下の若年技術者(4 名)のグループに分けて聴取実験を実施した。聴取実験はボルト打撃実験にて收音した音データを聴取試料として用いた。実験は被験者が音データを聴取した後、締付けトルク

の違いに対してアンケート方式により回答させた。

(3) 締結トルクの感覚認識： ボルト打撃音に対する技術者の認識を知るため、適正トルクと不適正トルクで締め付けた場合のボルト打撃音を多数聴取させた。その結果をまとめると表1のようになり、不適正トルクを不適正と答える場合と適正トルクを適正と答える場合の2つについて記してある。表から実務経験が豊富な技術者ほど、ボルト打撃音に対する判別認識の精度が高く、適正なトルクにより締め付けられたボルト打撃音がどのような音響であるか、締め付けが異常になったボルト打撃音にはどのような特徴があるか、ボルト打撃音から保全情報を抽出して良否を判断しているものと思われる。しかし、熟練技術者においても、表1に示すようにボルト締め付けに対する正確な良否判断は難しくかなりの誤診断を下していることになる。そこで機関員の聴覚を支援するシステムに

表1 グループ別の正答

	就業年数	不適正トルク 正答率	適正トルク 正答率
若年技術者 グループ	2.8	50.0%	69.2%
熟練技術者 グループ	24.2	61.9%	85.9%

について検討した。

#### 4. 研究成果

##### (1) 統計解析による締め付けトルクの推定：

打撃音からボルトの締め付けの良否を判断する支援装置の開発を念頭において、締め付けトルク毎に打撃音を周波数分析した。締め付けトルクと打撃音の関係を統計解析することにより、締め付けトルク推定モデルのアルゴリズム構築を目指した。

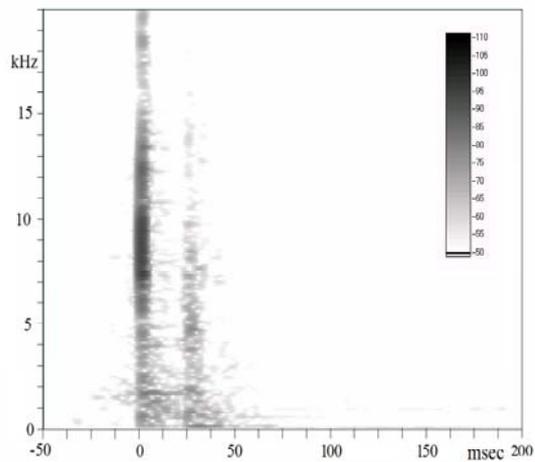
(2) 打撃音の時間変化： 図2はクランクピンボルトを打撃したときの音を可視化

したもので、(a)~(c)はそれぞれ0, 200, 650 N・mの締め付けトルクに対するものである。横軸は、時間、縦軸はスペクトル周波数であり、音圧のレベルはグラフの濃度で表される。打撃された瞬間が0 msecであり、(a)~(c)ともに、広い周波数帯域にわたって高音圧レベルが観測されていることがわかる。打撃後30 msec付近にも音圧の高い領域が見られるが、高速度カメラ(1000 fps)と音圧信号を同期させて検討した結果、これはハンマーがボルト頂部を打撃した後に元の位置へ戻ってきた時に電磁打撃ハンマーの本体と接触して発した音であることを確認している。

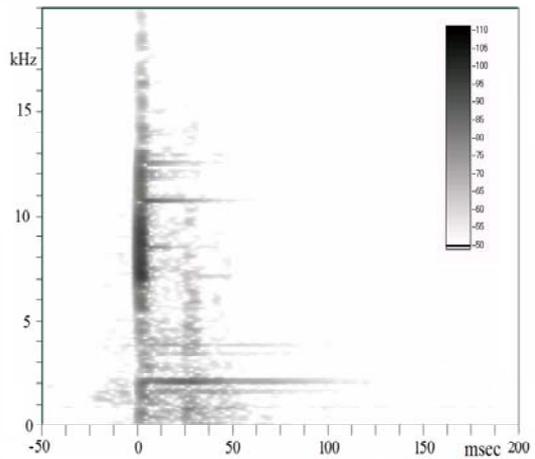
図において特徴的なことは、打撃直後の残響音に見ることができる。(b)図では、2kHz, 11kHz付近において明らかな残響音が確認されている。さらに締め付けトルクを増して650N・mになると(c)図、それぞれ2kHzでは190msec以上、11kHzでは120msec付近まで、倍以上の時間まで残響音が観測される。もちろん(a)図においても仔細に見るとハンマーの戻り音と重なってはいるがこの残響音の存在が確認できる。

##### (2)推定締め付けトルクの算出：

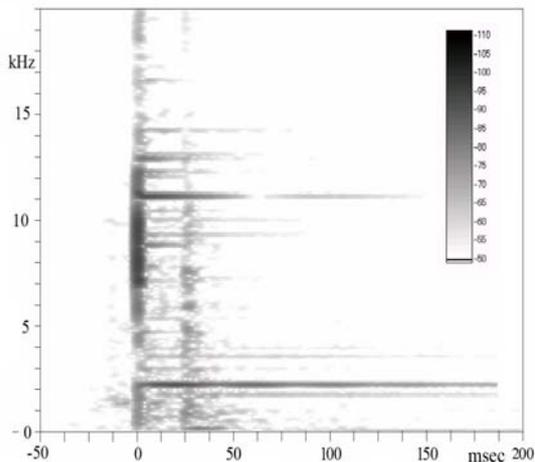
締め付けトルクによる差は、打撃音のスペクトルの時間変化となって現れる。打撃の瞬間(0 msec)から残響音が減衰する200msecまで、どの時点のデータを用いると締め付けトルクを精度よく推定出来るかという観点から検討を行った。打撃音から締め付けを推定するために多変量解析の重回帰分析を導入する。マイクロフォンによってとらえられた打撃音はFFTにより100Hzから20kHzまで100Hzごとの定帯域分析を実施したので200個のスペクトルデータが得られる。この200データは重回帰分析の説明変数に用いられることになる。ただし、すべての変数を用いて重回帰式を構



(a) 締付けトルク 0 N・m



(b) 締付けトルク 200 N・m



(c) 締付けトルク 650 N・m

図2. 打撃音の時間変化

築する必要はなく、重回帰式に有効な変数をステップワイズ法によって変数選択を行っている。また、打撃音は締付けトルクが 0 N・m から 750 N・m までの 28 種類のもので収録したものを用いた。なお、同じ締付けトルク

においては 6 ケースのデータを用意した。

図3は、打撃後 19 msec における締付けトルクを上記の方法で推定した結果を示したものである。実験した範囲では推定締付けトルクのバラツキは大きいところでも  $\pm 50$  N・m 程度であり、重相関係数は 0.995 とその精度は高いことがわかる。

打撃音を用いて判定する場合には、打撃直後の音を用いた時が締付けトルクの推定に対しては最も良い結果を与えるということが判明した。

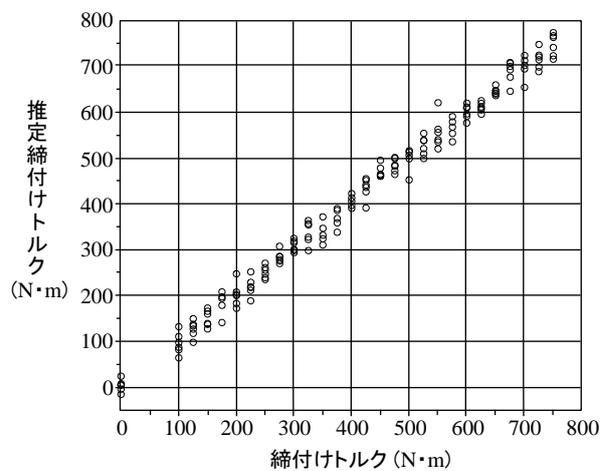


図3. 音響による締付けトルクの推定結果  
(19 msec)

これらの結果から実験に使用したディーゼル機関の接続棒クランクピンボルトに対して締付けトルクを推定する手法が得られた。そして打撃音響データから保全情報を抽出し技術者へ提供する打撃診断システムの基礎技術が確立できたと考える。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

①三輪 誠、井川雅博、木村隆一、船用ディーゼル機関の保全における音響情報の活用、日本マリンエンジニアリング学会学術論文集、第 43 巻 3 号、p111-p116、2008、査読有

〔学会発表〕（計 1 件）

井川雅博、船用ディーゼル機関の保全における音響情報の活用、日本マリンエンジニアリング学会学術講演会、発表年 2007 年 5 月 15、16 日、東京海洋大学

〔その他〕

神戸大学、科学技術振興機構主催の研究シーズ発表会で講演

講演題目：船舶の機関保全における音響情報の利用、

講演年月：2007.7

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

木村 隆一(KIMURA RYUICHI)

神戸大学・大学院海事科学研究科・教授

研究者番号：20093544

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

なし