

# 本校蒸気タービン実験装置再生プロジェクト (第1報)

ダヴァ ガンバット\*・岡野 真也\*\*・水野 宗平\*\*\*

## Restoration Project of Our College Steam Turbine Workshop (1<sup>st</sup> Report)

Ganbat Davaa\*, Shinya Okano\*\* and Souhei Mizuno\*\*\*

### Abstract

A steam turbine workshop has been installed in 1969 at our college for the graduate research and for the engine course practice of 4<sup>th</sup> graders of the Maritime Technology Department. In 2002, this steam turbine had broken and since then it has been out of service. However, in 2008 with the aim to teach the students the structure and application of each part of turbine and to let them practice their turbine theory based knowledge, a project to repair the turbine has been started. This work has been done as a graduate research “Restoration Project of Our College Steam Turbine Workshop” and this article gives the details of the steam turbine conditions related with the repair work that was carried out for one year.

### 1. 緒言

本校実習工場蒸気タービン実験装置は昭和44年に設置され、商船学科の卒業研究及び4年生機関コースの実習や実験用として使用されていたが、故障のため平成14年より運転できない状態が続いている。現状では本校の学生が実習や実験に使用していたタービン船（北斗丸）が既に廃止されており、また平成23年度に航海訓練所のタービン船（大成丸）の廃止が決定している。このため図1に示す本校の蒸気タービン実験装置を再生することはますます重要に



図1 本校蒸気タービン

なってくる。そこで、平成20年度の卒業研究テーマとして「本校蒸気タービン実験装置再生プロジェクト」を設定し、学生に蒸気タービンの理論と各部の構造や作用について学ばせ、故障のため全く回転できない状態にある蒸気タービンの修理を行った。本稿では、卒業研究として1年間取り組んだ蒸気タービンの修理状況について報告する。

### 2. 目的

故障のため長い間運転できない状態が続いている蒸気タービンの壊れている可能性がある部分を明らかにし、どのように修理していくかを考え、必要な部品などを揃える。さらに、破損箇所の他に錆や汚れがひどい部分を探し、清掃を行う。

蒸気タービンの理論と各部の構造や作用について学び、実際に蒸気タービンの修理を行う。修理が終わった時点で試運転を行う。

### 3. 蒸気タービンの定義、原理

#### 3.1 蒸気タービンとは

タービンとは、羽根の付いた回転部分を持つ機械の総称で、蒸気、水、高温ガス、空気などの流体を噴出および流動させ、回転運動をする原動機の一つである<sup>[1]</sup>。

\* 電子機械工学科

\*\* 電子機械工学科5年生（現：今治造船株式会社）

\*\*\* 電子機械工学科5年生（現：(株)半導体エネルギー研究所）

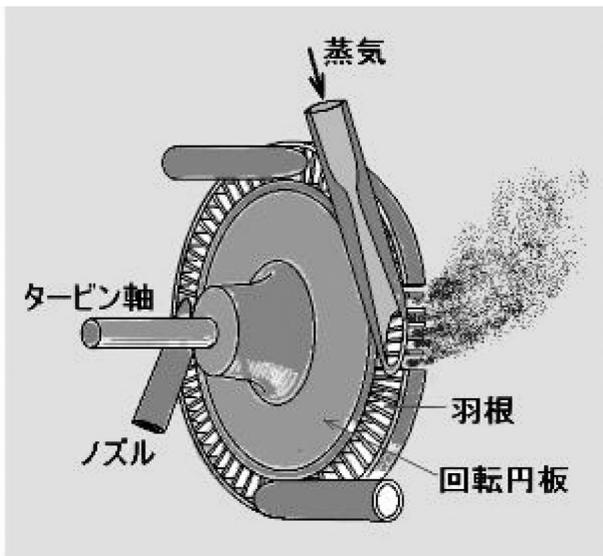


図2 タービンの原理

蒸気タービンとは、その回転部分の回転により、蒸気の熱エネルギーを運動エネルギーに転換し、さらに、運動エネルギーを機械仕事に転換する熱機関の一種である<sup>[1]-[4]</sup>。

蒸気タービンは図2のように、回転軸（タービン軸）の周囲に、環状に連なって取り付けられている羽根に、蒸気が作用し回転する装置である<sup>[5]</sup>。

長所：燃料の選択肢が多様である。高温高压の水蒸気が得られればその方法は問わず、原子力、固形廃棄物燃料、ごみ焼却場の熱も利用できる。劣悪な燃料であっても燃焼を最適化することで比較的排気をクリーンにできる。

短所：ボイラーや復水器をはじめとする付帯設備が大掛かりになり、大きな空間を占め大重量となる。高効率とするには、規模を大きくする必要がある。始動に時間がかかり、変動負荷、部分負荷運転に適していない。一般的には電動機のように回転方向を変えることが出来ない。ボイラー用精水の補給が常に必要である。

### 3. 2 タービン羽根の並び

図2では簡略化により、蒸気を吹き出すノズルが4つだけ描かれているが、実際にはノズルも羽根に沿って次々と連なって取り付けられた構造をしている。

また羽根の列が上の図では1段だけだが、蒸気の持つエネルギーを効率よく吸収するために、羽根の列が何段も備えられているのが一般的である。その場合、回転羽根に作用して出てきた蒸気が、図3のように固定羽根で方向を変えられて、また次の列の羽根に作用するようになっている<sup>[5]</sup>。

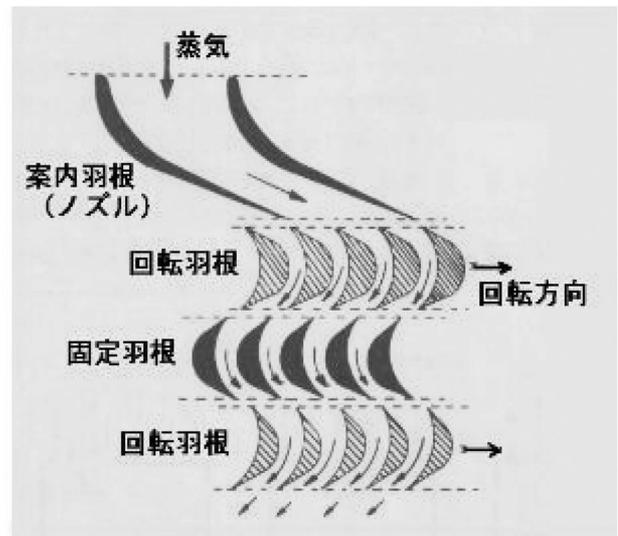


図3 タービン羽根の並び

### 3. 3 タービンの羽根の構成

図4では羽根の立体的構成が、やや不明瞭であるが、外側のケーシングに取り付けられている固定羽根と、回転するローターに取り付けられている回転羽根が、それぞれに環状にセットされ、交互になるように何段も組み合わされている<sup>[5]</sup>。

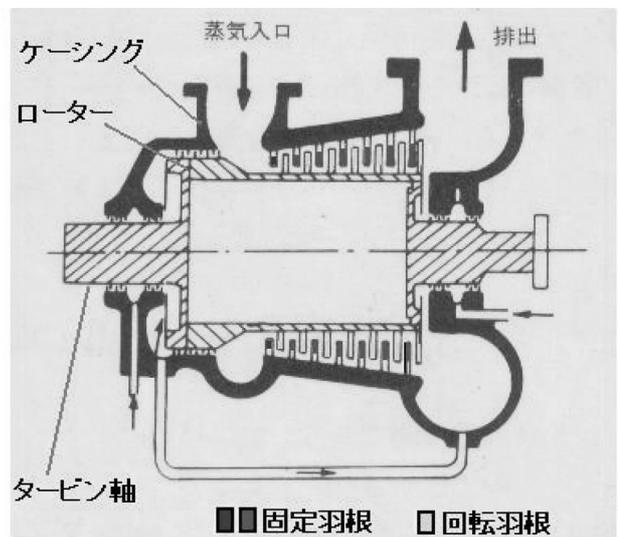


図4 タービンの羽根の構成

### 3. 4 渦電流式電気動力計

渦電流式電気動力計は渦電流（フレミングの右手の法則）を基礎にしている。渦電流ブレーキの構成は図5に示すように原動機（エンジンなど）によって駆動される切欠円盤（ローター）があり、その外周にギャップを設けて磁極（ステータ）が配置されている。

この磁極を励磁するコイルが円周方向に巻かれて

いる。励磁コイルに電流を流すとコイルの周辺にステータ、ローターを通して磁束ループができる。ローターが回転するとローターの切欠部により磁束に激しい疎密が生じ、ステータに渦電流が流れる。この渦電流と磁束とのベクトル積によりローターに回転方向と逆向きの電磁力が働き制動力となる<sup>[6]</sup>。

一方渦電流は熱に交換するため、これを冷却する必要がある。本機は吸水口から入った水がフレームの中を還流して排出される構造になっていて本体内部には水が流れない。従って冷却水による損失トルクがなく低出力の測定が可能である<sup>[7]</sup>。

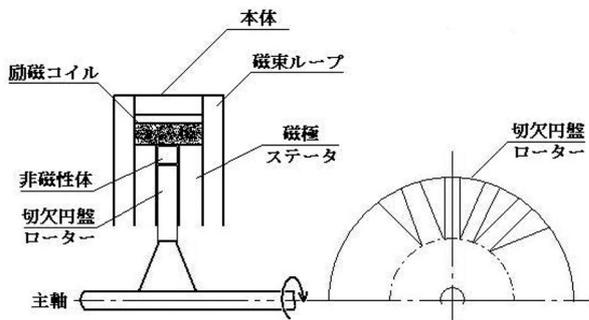


図5 渦電流式電気動力計

#### 4. 蒸気タービンの修理

##### 4.1 修理

はじめに、タイヤ型カップリングを外して、タービン側に問題があるか、または発電機側に問題があるかを調べた。その結果タービン側には特に異常はみられなかったが、発電機側のカップリングがうまく回らなかったため発電機側に異常がみられた(図6 参照)。発電機側の問題が如何なるものかをつ

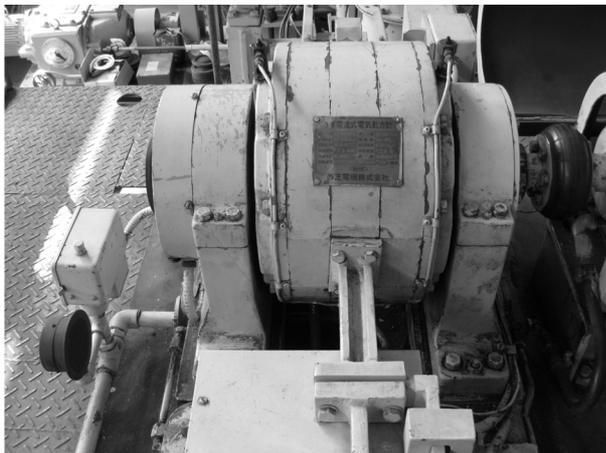


図6 渦電流式電気動力計

きとめるために、発電機につながれた水道管を外し、管内の状態を確認してみるとサビや汚れがひどかったので管内部の清掃を行った(図7 参照)。

さらに、発電機側に問題があることがわかったので、内部を調べるために発電機(渦電流式電気動力計)を分解した(図8 参照)。いくつかのネジが錆について緩めるときに折れてしまった(図9 参照)。



図7 かなりのサビが見られる

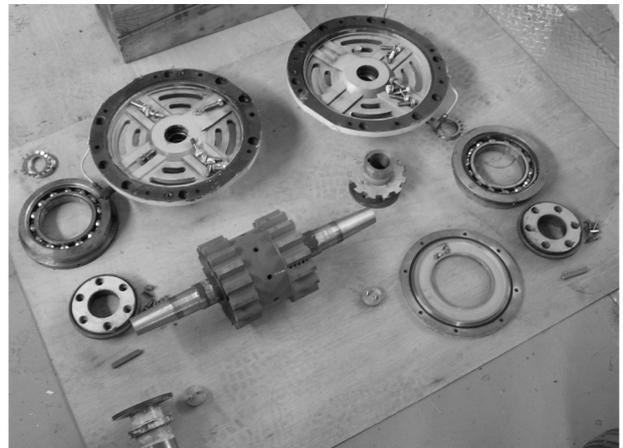


図8 分解した電気動力計



図9 折れたねじ

#### 4. 2 折れたねじの摘出

渦電流式電気動力計の外側フレームのねじ穴に折れたねじが詰まってしまったので、折れたねじの中心部にセンターポンチを打ちドリルで折れたボルトの中心に穴を開けた。センターポンチを打った後ハンマーと細い鉄棒でその上から叩き、ねじが少しでたあたりでペンチを使用し折れたねじを摘出した。この時ドリルでは除去しきれなく、ねじ穴に残ってしまったものはタップでねじ穴を作成すると同時に取り除いた (図10 参照)。



図10 外側フレームと折れたねじ

#### 4. 3 発電機側のカップリングが動かなかった原因

渦電流式電気動力計を分解してみたところ内部でフレームとシャフトが接触し、動かなくなっていたのでシャフトの削れている部分と削れていない部分の高さを合わせるため旋盤で1/10mm程度削った (図11, 図12 参照)。

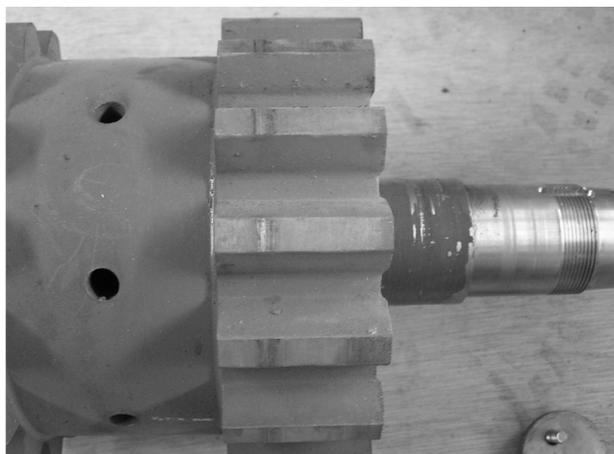


図11 中心がずれたコイル

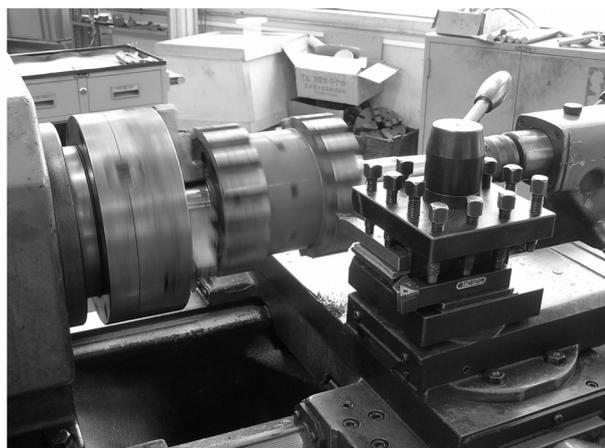


図12 旋盤で削る様子

#### 4. 4 ベアリングの取り付け

ベアリングを取り外す時はプーラーで引き抜いたが、逆に取り付けの場合そのままの状態では、はまらないのでベアリングを一定温度 (90℃ 程度) まで電気コンロであたためた油の中にしばらくつけておきそれからシャフトまで運びプラスチックハンマーで軽く叩きながらシャフトにはめ込んだ (図13 参照)。



図13 油で過熱しているベアリングの様子

### 5. エアによる試運転

長年使用されなかったタービンが通常通りに回転するか試みるために、初めに蒸気ではなくボイラーや復水器などの大掛かりな設備を使用しない、安全性の高いエアコンプレッサーのエアを用いてタービンの試運転を行った。

タービンにホースを取り付け (図14, 図15 参照), エアを流し, タービンにエアが流れ込んだところでタイヤ型カップリングを手でゆっくり回転させた。

この後本来ならば、カップリングはゆっくりと自然に回り始めるが、今回の試運転では回転を始めなかった。確認してみたところ、タービン側のマンومترにエアは $0.5\text{kg}/\text{cm}^2$ 以上は表示されなかったので、エアが管の一部分から漏れている(図16, 図17参照)可能性が高いと判明した。



Fig.14 エアコンプレッサーに取り付けたホース



Fig.15 ホースをタービンに繋いだ様子



Fig.16 腐食している管



Fig.17 拡大図

## 6. 蒸気による試運転

蒸気でタービンを試運転することにした。なぜならば、エアコンプレッサー(最大圧力 $7\text{kg}/\text{cm}^2$ )よりも高い圧力(蒸気 $13\sim 14\text{kg}/\text{cm}^2$ )を得たからである。また、蒸気ならば配管の漏れが生じる部分が視覚で確認できるからである。この試運転のためには復水ポンプを使用する必要がある。復水タンク底部に溜まった復水を取り出すポンプを復水ポンプという。復水タンク(図18参照)も復水ポンプ(図19参照)も長い間使用しておらず貯水がほとんどなかった。そこで、水を入れるためバルブを開け、貯水を一定以上溜めた。また、復水ポンプ本体にも水を満たさなければならない(図20参照)。その理由としては、中にある空気だけではモーターが回転しても空気が圧縮されるのみで水が行き届かないためである。



Fig.18 貯水タンク内の様子  
(本来なら黒線まで水がなければならぬ)



Fig.19 復水ポンプ



Fig.20 復水ポンプ本体に水を入れる様子



Fig.21 腐食して破損した管

復水タンクと復水ポンプに十分な水量を加えたにもかかわらず水量が満たされる気配がなかった。復水ポンプに繋がれた水道管の内部を調べると管が完全に腐食し破損していた (図21 参照)。

## 7. 結果

- a. 修理を終えた後、エアコンプレッサーのエアを用いてタービンの試運転を行った。本来ならカップリングはゆっくりと回転を始めるが今回の試運転では回転しなかった。確認したところ、タービン側のマンオメーターのエア圧力が $0.5 \text{ kg/cm}^2$ 以下であった。その結果、エアが管の一部分から漏れている可能性が高いことが判明した。
- b. その後、エアの圧力 ( $7 \text{ kg/cm}^2$ ) より高い圧力 ( $13 \sim 14 \text{ kg/cm}^2$ ) を持つ蒸気による試運転を行うことにした。蒸気でタービンを動かすために復水ポンプを使用する必要があった。復水ポンプを運転しようと試みたが復水ポンプに十分な水量を加えたにもかかわらず水量が満たされなかった。復水ポンプに繋がれた水道管の内部を調べると管が完全に腐食し破損していた。
- c. 今回の研究で蒸気タービンの理論と修理技術を身に付けた。例えば、修理の過程で折れたボルトの摘出方法やベアリングの取り付け方などを学んだ。

## 8. 結言

試運転は長い間使用していないせいかほとんどの配管は腐食や劣化がひどく、動かすことはできなかった。そのために、少なくとも復水ポンプの腐食した吸入側、排出側の配管の交換という大がかりな修理が必要と考えたのでこれ以上の作業は来年度に持ち越すことを決定した。

## 謝辞

本プロジェクトは校長裁量経費の助成を受けて行われているものであり、ここに謝意を表します。

本プロジェクトのタービン修理において予算、工具、情報を提供してくださいました落合敏邦校長、商船学科の松下邦幸教授、実習工場の職員の皆さまに深く感謝いたします。

## 参考文献

- [1] 角田哲也, 斉藤朗: 蒸気タービン要論 (2005年2月), 1, 成山堂書店株式会社
- [2] 兵動務, 石田雄三: タービンの設計 (昭和49年11月), 55, 東京パワー社

- [3] 古川守, 杉田英昭: 船用蒸気タービン (1984年7月), 126-127, 成山堂書店株式会社
- [4] 山田廣中: 基本蒸気タービン (1976年5月), 2-3, 海文堂
- [5] 蒸気タービンの基礎 <http://ww3.tiki.ne.jp/~awata-a/sub1/turbine.htm>
- [6] 渦電流式電気動力計動作原理 <http://at1.tactnet.co.jp/tmc/cgi-bin/attodetl.cgi?pn=u-11>
- [7] 40 PS NEDZ-117 うず電流式電気動力計取扱説明書, (昭和46年3月), 4, 東京芝浦電気株式会社
- [8] 15kW蒸気タービン取扱説明書, (昭和46年3月) 東京芝浦電気株式会社
- [9] 15kW 600rpm実習用蒸気タービン見積仕様書, (平成5年6月28日) 新日本造機株式会社
- [10] 小林作太郎: 蒸気タービン/ターボ機械協会編, (1990年4月), 日本工業出版
- [11] 圧力制御弁について <http://www.ishinotec.com/Lecture/foundation/pressure.html>

