

第50回「失敗学懇談会」in 東京

三菱重工業(株)長崎造船所 史料館

## 見学報告

2007年 7月20日

失敗体験ネットワーク

石山 秀雄

第50回「失敗学懇談会」in東京  
Copyrights Hideo Ishiyama 2007

1

## 1. 見学の経緯

### (1) 見学日

2007年 3月8日 (木)

### (2) 見学の経緯

(社)日本監査役協会の会員会社である同社の御協力により、監査役スタッフの合宿研修の一環として、長崎造船所内に開設された史料館見学の機会を得た。

今回は、失敗体験NW活動にも活用したく、破裂したタービンロータの破片を含めた展示物を見学した。

### (3) 見学者

約40名

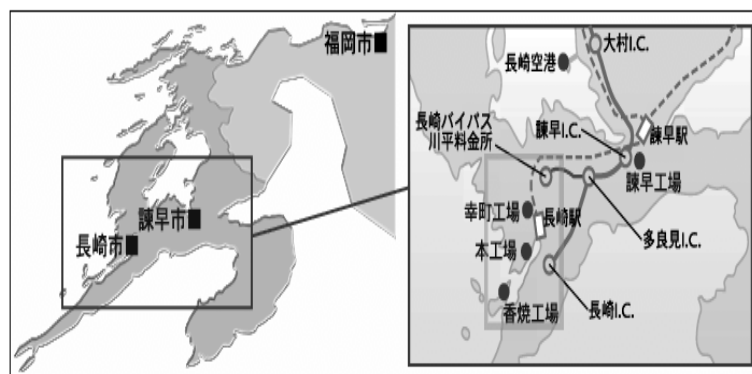
第50回「失敗学懇談会」in東京  
Copyrights Hideo Ishiyama 2007

2

## 2. 「三菱重工業(株)長崎造船所」の概要

- (1)所在地 〒850-8610 長崎県長崎市飽の浦町1番1号(本工場)  
[タクシー]長崎空港から約45分、長崎駅前から約10～15分
- (2)沿革 安政4年(1857年)、わが国最初の艦船修理工場「長崎よう鉄所」として設立。今日、本工場、香焼(こうやぎ)工場、幸町工場、諫早工場4工場を拠点に、活動を展開。大型タンカーや豪華客船、LNG船、LPG船などの各種船舶、火力・地熱・風力発電プラント、環境保全設備、海水淡水化プラントなど、多岐にわたる製品を手掛けている。
- (3)敷地面積 約726千坪(本社技術本部長崎研究所を含まず)
- (4)従業員数 5,884名(同上)
- (5)生産高 3,905億円(平成17年度実績)

## 長崎造船所の工場・施設配置図 (同造船所HPより転用)



### 3. 史料館の概要 (同造船所HPより抜粋引用)

#### (1) 史料館の開設

この建物は、長崎造船所が日本の近代化に果たした役割を  
永く後世に残そうと、昭和60年10月に開設されたものです。

#### (2) 史料館の建物(正面)



第50回「失敗学懇談会」in東京  
Copyrights Hideo Ishiyama 2007

5

#### (3) 史料館の一般公開

- ①公開日時 平日の午前9時～午後4時30分  
(土、日、祝日など、長崎造船所の休業日は休館。  
なお、会社の行事等にて見学不可の場合も有り)
- ②対象 一般市民
- ③見学申込 希望者は事前に予約が必要。  
史料館 TEL 095-828-4134、 FAX 095-828-4124
- ④その他 入場無料、写真撮影は館内のみ可。  
(注意)入場は、「三菱病院前」または「飽の浦門」  
からとなっている。

第50回「失敗学懇談会」in東京  
Copyrights Hideo Ishiyama 2007

6

## 4. 史料館の内部

### (1) 長崎造船所の歴代所長写真



第50回「失敗学懇談会」in東京  
Copyrights Hideo Ishiyama 2007

7

### (2) 官営期コーナー（1857年～1884年）



第50回「失敗学懇談会」in東京  
Copyrights Hideo Ishiyama 2007

8

(3)三菱創業期コーナー(1884年～1902年)



第50回「失敗学懇談会」in東京  
Copyrights Hideo Ishiyama 2007

9

(4)大正期コーナー(1912年～1926年)



第50回「失敗学懇談会」in東京  
Copyrights Hideo Ishiyama 2007

10

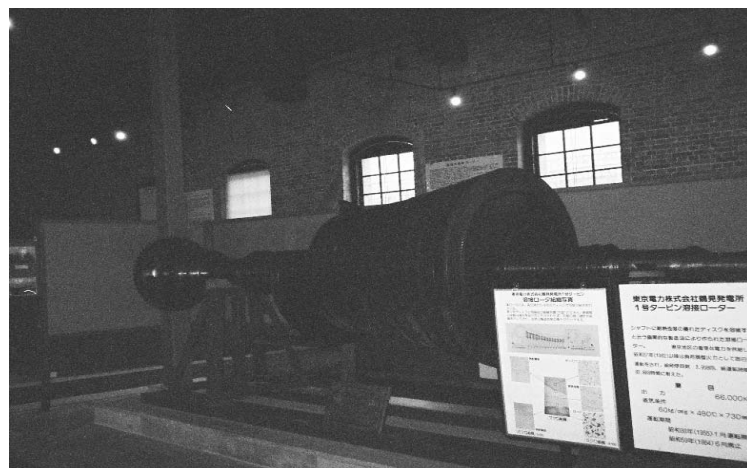
### (5)佐渡丸の被弾外板の一部(1904年)



第50回「失敗学懇談会」in東京  
Copyrights Hideo Ishiyama 2007

11

### (6)東京電力(株)鶴見発電所1号タービン溶接ローター



第50回「失敗学懇談会」in東京  
Copyrights Hideo Ishiyama 2007

12

## (7) スペイン向けタービンローター破裂

### [ 事故概要 ]

1970年(昭和45年)10月24日、組立完了した大型タービンの安全及び性能確認のため試運転していた際、直径(最大)1,778mm、胴部長さ3,590mm、重さ50トンの高速回転のローターが突然破裂し、重さ11トンもの破片が1.5km離れた地点まで飛散し、死者4名、重軽傷者61名の犠牲者を出し、タービン史上に残る事故となった。

此の時期は、エネルギー需要増大のためタービンの大型化が必要とされ、更にタービン技術において日本のメーカーが欧米企業からの技術導入による開発から、独自の技術開発へと転換し始めた時期でもある。

そして、展示されている事故破片は、破壊力学上貴重な資料であり、材料強度に携わる者にとって必見の価値がある。

更に、此の事故を契機として日本のローター製造技術が飛躍的に改善された、といわれている。

→ 事故の詳細は、下記文献をご参照。

① サイドローズ >> 知識データベース >> 失敗百選

「失敗百選～長崎のタービンローターの破裂」

(中尾政之氏)

( <http://www.sydrose.com/case100/201/> )

② JST失敗知識データベース

「長崎のタービンローターの破裂」(中尾政之氏)

( <http://shippai.jst.go.jp/fkd/Search> )

「検索条件式 タービンローター」4件中の3件目

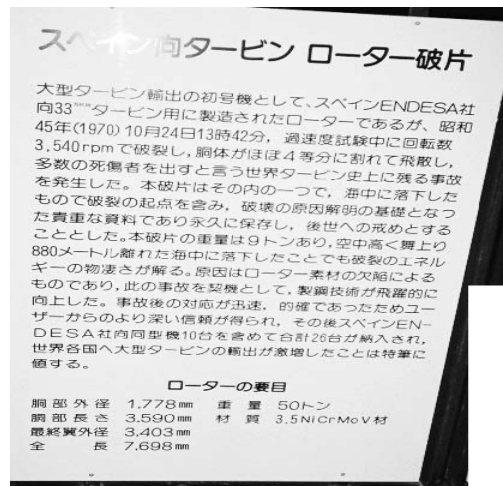
[ 事故概要説明パネルーその1 ]



第50回「失敬学懇談会」in東京  
Copyrights Hideo Ishiyama 2007

15

[ 事故概要説明  
パネルーその2 ]



第50回「失敬学懇談会」in東京  
Copyrights Hideo Ishiyama 2007

16



[ 前右横側から見たタービンロータの破片ーその1 ]



第50回「失敗学懇談会」in東京  
Copyrights Hideo Ishiyama 2007

17

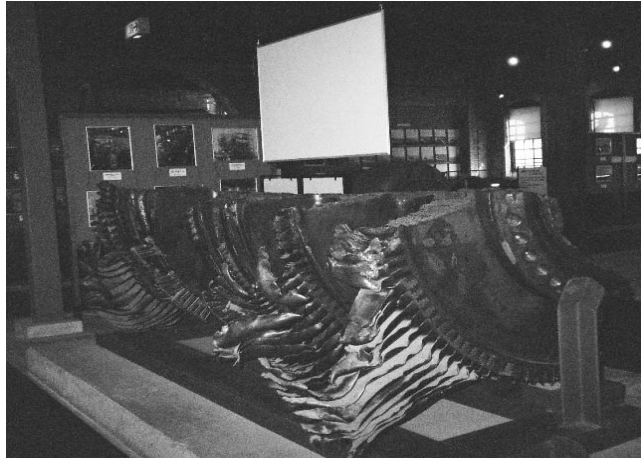
[ 前左横側から見たタービンロータの破片ーその2 ]



第50回「失敗学懇談会」in東京  
Copyrights Hideo Ishiyama 2007

18

[ 裏側右横から見たタービンロータの破片ーその3 ]



第50回「失敗学懇談会」in東京  
Copyrights Hideo Ishiyama 2007

19

[ 裏側左斜めから見たタービンロータの破片ーその4 ]



第50回「失敗学懇談会」in東京  
Copyrights Hideo Ishiyama 2007

20

### (8) 関西電力(株) 尼崎第1発電所1号タービン



第50回「失敗学懇談会」in東京  
Copyrights Hideo Ishiyama 2007

21

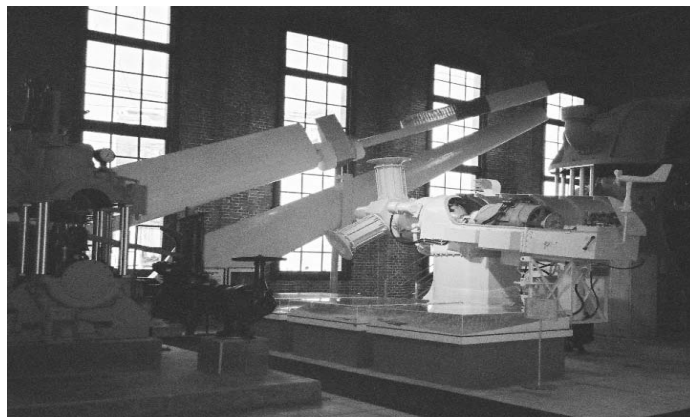
### (9) 九州電力(株) 知名風力発電所 一わが国初の風力 発電設備(プロペラ型可変ピッチ式風車)ーその1



第50回「失敗学懇談会」in東京  
Copyrights Hideo Ishiyama 2007

22

[ 九州電力(株)知名風力発電所 一わが国初の風力  
発電設備（屋内部分）—その2 ]



第50回「失敗学懇談会」in東京  
Copyrights Hideo Ishiyama 2007

23

(10)91式魚雷の  
説明パネル

**91式魚雷**

この魚雷は平成9年6月、沖縄県豊見城村にて発見された旧海軍の魚雷9本のうちの1本を沖縄県から買い受け、防錆・手入れの上カットモデルとしたものである。

弾頭部は発見直後、海上自衛隊の手により処理されたので、ここに装着されているのは模造品である。

91式魚雷は昭和2年頃、航空用魚雷（航空機から投下し、水上艦艇を目標とする魚雷）として、海軍により設計され、昭和6年（皇紀2591年）、兵器として採用されたため91式魚雷と命名された。

以後昭和7年から終戦の昭和20年までの間に、三菱長崎兵器製作所にて約9,000本製造された。

この間、航空機の速度増加に対応するための強度アップ、空中及び水中の姿勢安定化等の改善を行っており、この魚雷も改善型である。

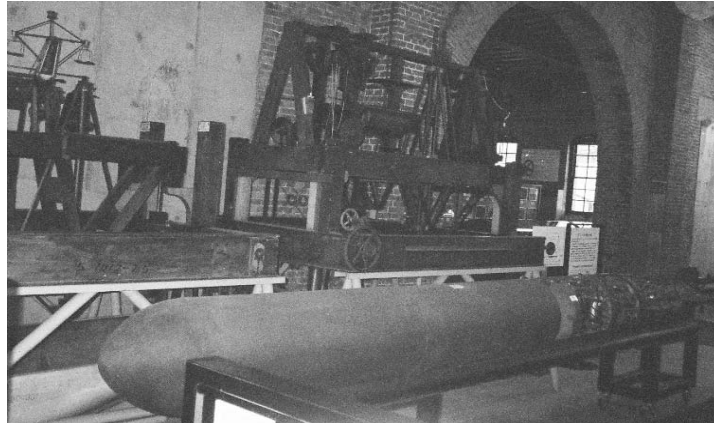
この魚雷は、当時の世界に航空用魚雷多しと言えど、唯一高速度・高高度からの投下に対応した強度・信頼性を有し、命中率及び破壊力とも世界に冠たる性能を有していた。

要 目	
直 径	450mm
全 長	5,470mm
重 量	850kg
さく薬量	240kg (TNT火薬)
速 力	42kt
主 機 関	180PS 8気筒星形(4気筒タンデム) 燃料：ケロシン

第50回「失敗学懇談会」in東京  
Copyrights Hideo Ishiyama 2007

24

[ 91式魚雷の現物 ]



第50回「失敗学懇談会」in東京  
Copyrights Hideo Ishiyama 2007

25

(11)客船コーナーその1

[ 大型客船の火災事故概要 ]

①発生日時;

2002年(平成14年)10月1日17時頃、長崎造船所内、向島岸壁で建造中の世界最大級の豪華客船「ダイヤモンド・プリンセス号(113,000トン)」第5デッキ320号室付近より火災が発生。

②被害状況;

36時間後に鎮火するまでに、船体床面積の約4割に相当する約5万平方メートルを焼損、此の事故による損害額は300億円を超える。

第50回「失敗学懇談会」in東京  
Copyrights Hideo Ishiyama 2007

26

### ③関連文献

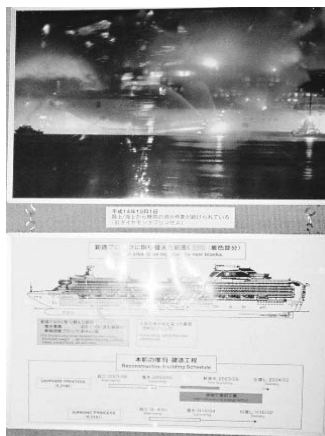
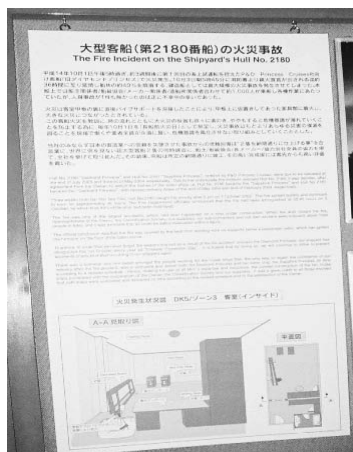
- ・「濱田逸郎2006/4/15ダイヤモンド・プリンセス号火災事故」について解説。  
( [http:// www.edogawa-u.ac.jp/~hamada/etc/ocha-diamond.pdf](http://www.edogawa-u.ac.jp/~hamada/etc/ocha-diamond.pdf) )
- ・ **ダイヤモンド・プリンセスの火事(現サファイヤ・プリンセス)**  
火災発生前後から鎮火を経て、香焼工場修理ドックの船名変更で、「サファイヤ・プリンセス」となった経過を写真で紹介。  
( <http://www1.cncm.ne.jp/~mmatsuo/kazi/kazi.htm> )
- ・ **建造中の世界最大級の豪華客船で火災...長崎**  
起工式の様子、並びに火災により延焼中の状況を写真で紹介。  
( <http://yokohama.cool.ne.jp/fleetcool/news/021002.html> )

### 「ダイヤモンド・プリンセスの火事」掲載写真より転用

(出島・常磐埠頭から客船を見守る人々)



(11)客船コーナーその2(展示パネル上段)



第50回「失敗学懇談会」in東京  
Copyrights Hideo Ishiyama 2007

29

(11)客船コーナーその3(展示パネル下段)



第50回「失敗学懇談会」in東京  
Copyrights Hideo Ishiyama 2007

30

## 5. 「失敗体験ネットワーク」のご紹介

### (1) 分科会の構成:

- ①責任者 : 中田 邦臣
- ②事務局 : 上原 龍
- ③会員数 : 25名(2007年 7月20現在)
- ④連絡先 : SIGMUSE@shippai.org

### (2) 目的:

2004年12月27日付で発表された失敗学会の提言-「事故や失敗、またそれらの原因の保存」を具現化し、それら保存物による“失敗に学び、再発も防止する”文化の醸成

### (3) 活動内容:

- ①事故や失敗の原因の保存に係わる活動
- ②保存物による“失敗に学ぶ”活動
- ③その他 分科会の目的に合う活動

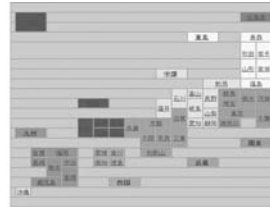
2ヶ月に一回定例会議を開催し、全国に点在する失敗の展示品に関する調査及び事故や失敗、またはそれらの原因の保存を推進する活動を行う。

活動結果のフィードバックを、HP・失敗学懇談会で行い、半期ごとのレポート、年次総会などを通じて活動状況を発表する。



#### (4)失敗体験施設名鑑のご紹介

日本全国の失敗体験に関する施設のデータベースを作成し、失敗学会HPで公開。( <http://www.shippai.org/shippai/exhibit/index.php> )



#### [ 最後に ]

日本各地の施設に関する情報提供にご協力下さい。

→ 学会事務局または、失敗体験ネットワークメンバーまで

**ご静聴ありがとうございました。**



## 失敗百選 ～長崎のタービンロータの破裂～

### 【概要】

組立完了した大形タービンの安全および性能確認のため、造船所内で試運転していたところ、直径(最大)1,778mm、胴部長さ3,590mm、重さ50トンのロータが、不純物による脆化と切り欠き効果が原因で突然破裂し、破片が飛散した。この事故で、死者4名、重軽傷者61名を出した。エネルギー需要増大のためタービンの大型化が必要とされ、また、タービン技術において日本メーカが欧米企業との技術提携による開発から、独自の技術開発に転換し始めていた時期でもあった。

### 【日時】

1970年10月24日

### 【場所】

長崎県長崎市

### 【事象】

組立完了した大形タービンの安全および性能確認のため試運転していたところ、直径(最大)1,778mm、胴部長さ3,590mm、重さ50トンのロータが突然破裂し、破片が飛散した。死者4名、重軽傷者61名の犠牲者を出した。

### 【経過】

タービンの大形化・大出力化のなかで、それまで高圧1軸・中圧1軸・低圧2軸だったものを、図1に示すように高圧と中圧を併せて1軸・低圧2軸として軸数を減らし、さらに最終段ブレード(翼)の取付け部のリング部材を一体化して大径化することになった。タービンロータは外周にブレードを植え付けた高速回転体である。

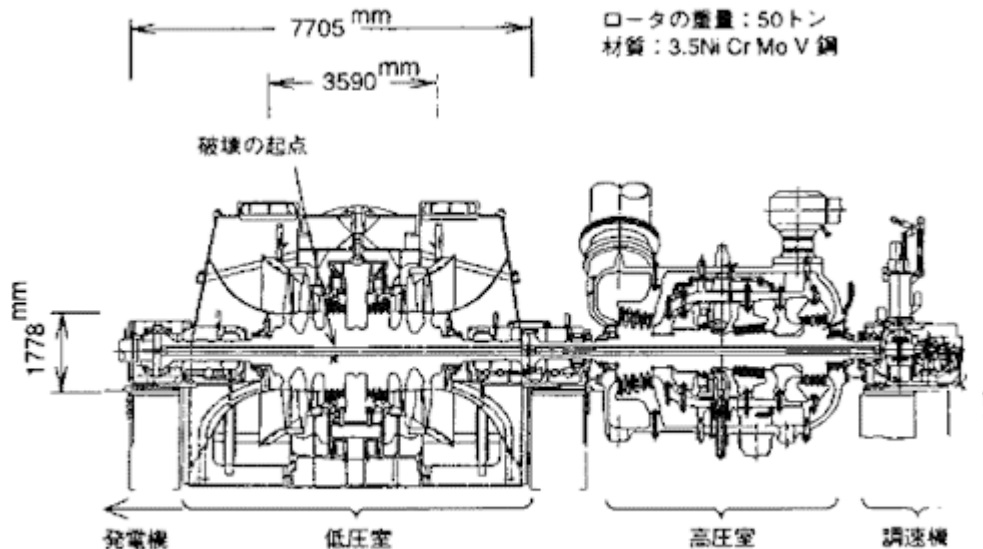


図1 ロータの破損が起った33万kW発電用タービンの構造

組立完了したタービンを、安全と性能の確認のために、定格速度(3,000rpm)の20%増しの速度(3,600rpm)まで回転数を上げる120%過速度試験を行なおうとした。ところが、速度を上昇させている途中、3,540rpm(定格の118%)で突然ロータが破裂した。破裂前の軸振動は良好で全く異常は認められなかった。試験温度は40~50℃であった(高温高压の蒸気を流しているのではなく、単に軸を外部からの動力で回転させて試験を行っていた)。破裂はロータ中心部から4等分の形で割れ(図2)、回転接線方向に向かって4方向に飛散した(図3)。回転試験場は長崎湾に面し、一方は海、他方は山になっているが、四散した重さが9トンある破片の1つ(図中で“S”と表示)は、空中を海に向けて880m飛び、重さが

11トンの他の破片(図中で“M”と表示)は空中を山に向かって飛び、1.5km先で標高200mの地点に落下した。他の1片(図中で“W”と表示)は、試験場のある工場の床に平行に進み、多くの人員と機器に損傷を与えて停止した。最後の1片(図中で“H”と表示)は、試験場の床に突き刺さる形で停止した。

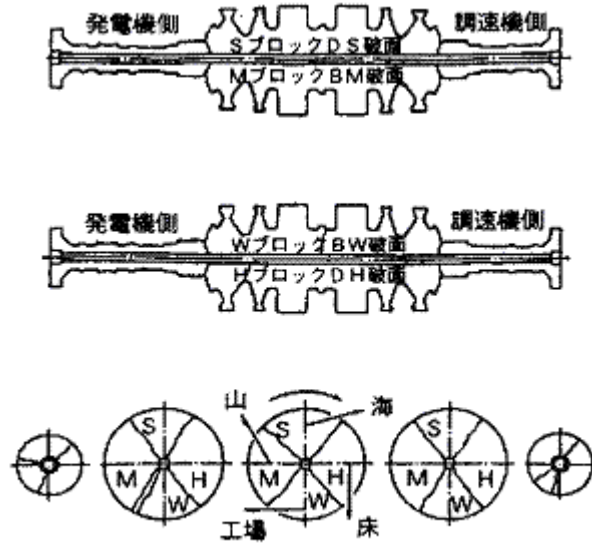


図2 破裂したタービンロータ

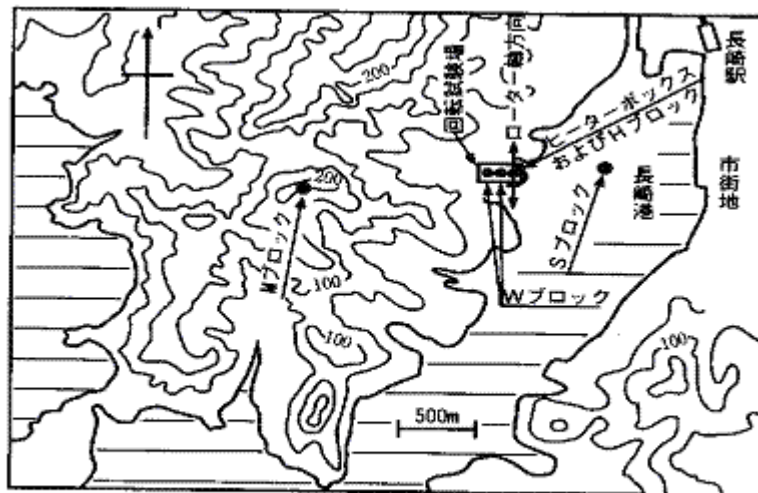


図3 飛散したロータの落下地点

【原因】

ロータ破損の原因および破壊に至るメカニズムは以下のとおりであった。(写真1、図4)

1. 材料中に含まれる不純物が造塊時に中心部に凝縮されるとともに、中心部には柱状晶の間隙に半径方向に小さな空孔(マイクロポロシティという)が発生した。
2. 鍛造によってこれらの偏析を解消し空孔を消滅させることができなかった上に、最終熱処理時では中心付近の冷却時の温度低下速度が遅く、中心部に脆性を与えていた。
3. ロータの大径化に伴い、中心付近に発生する接線応力が従来のものに比べて大きくなった。
4. 高速回転による大きな接線力とその限界をこえたとき、脆性破壊が発生し、次いで高応力の延性破壊が生じ、ロータは破裂した。

技術管理的には、材料の脆化の事実を把握していなかったこと。…無知  
ロータを超音波探傷法を用いて、内部欠陥の存在を測定していた。実際の検査で検出されたものは全て小さなエコーの存在のみであった(許容欠陥の大きさ5mm未満)。当時、小さいマイクロポロシティが集合することで6mmの欠陥と同じ破壊強度への影響(集合効果)があることは認識されていなかった。…未知  
が考えられる。

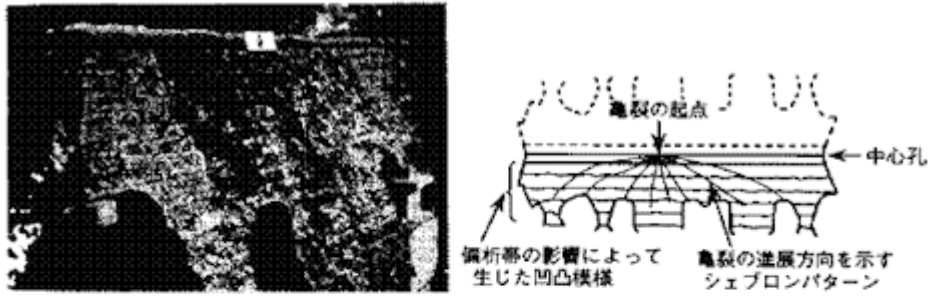


写真1 亀裂の起点を含む破面の写真

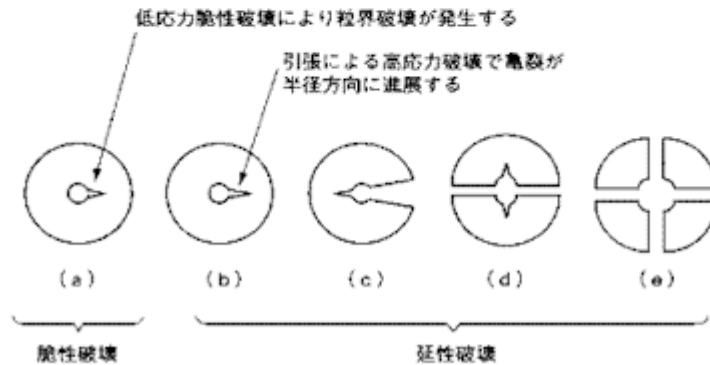


図4 タービンロータ破裂の進展課程と破裂の種類

#### 【対処】

技術的には、まず何が起こったかの現況把握、次に回収された破片の破損状況、材料特性および飛散状況などのデータに基づいた原因および破損メカニズムの究明が実施された。死傷した従業員に対しては、補償・職場復帰など手厚く対応された。社会に対しては情報の一元化を図って不正確な情報が流布しないようにした。また、顧客に対しては、新たな製鋼法による代替品のロータを作って2ヶ月後の納期を守り、顧客への迷惑を最小限に止めた。

#### 【対策】

本事故の原因は、ロータ中心部の延性が異常に低いことであり、それをもたらすのが含有不純物と偏析による脆化の素地生成である。したがってこれらを取り除くための新しい技術の採用が行なわれた。すなわち、製鋼法として従来おこなっていたけい素(Si)脱酸真空造塊法から、真空カーボン(C)脱酸造塊法に変更した。また、材料の素地を作る製鋼法の改善の他に、熱処理法の改善、および超音波探傷法などの検査法の改善も行なわれた。

また、破裂に続く破片の飛散により多数の死傷者を出したことに鑑み、回転試験装置も改めた。すなわち、試験装置をピット(地中に掘った開口穴)に埋め、回転部分に重厚な蓋を設け、たとえ破裂が起っても破片が飛散しない構造とした。

#### 【総括】

この事故は単にロータが破裂しただけでなく、多くの死傷者を伴う重大な事故となった。そのため、事故に対する対処は技術上のものおよび対顧客のものに限らず、人身に関するもの、対社会に関するもの、また法律的なもの(刑事事件として業務上過失致死傷に当たるかどうかということ)など、多くの課題を同時に扱う必要が生じた。

#### 【知識化】

1. 製作の全工程の内容とそこで生じる基本現象を把握する必要がある。…とくに造塊時の凝固現象、鍛造時の結晶組織の変化、鍛造と熱処理時の機械的性質の変化(とくに脆化)。
2. 材料は均一ではない。成分を決めれば、均一で一定の性質のものが自動的に得られると思うのは大間違い。
3. ものが壊れるメカニズムを知らなければならない。…とくに脆性破壊の条件とメカニズムについて。
4. 道に迷ったら必ず厳しい道を選ぶ。険しい道は頂上に上る道、平坦な道は里へ戻る道。…対策は根本的要因を絶たなければ解決しない。この例では不純物を溶け込ませない造塊法を採用す

ること以外にとる道はない。

また、万一事故が発生しても被害を最小限に抑えるための対策が必要である。…構造的な対策と十分な仮想演習が不可欠である。

#### 【背景】

タービンは、動力を電力に変換するシステムの基幹をなす機械である。高い圧力と温度の蒸気を、軸（タービンロータ）に円周状に配置された翼（タービンプレード）にぶつけて、軸の回転力を取り出す。タービンによって得られた回転エネルギーは、発電機によって電気エネルギーに変換され、社会に供給される。電力は最も使いやすいエネルギーの1つであり、人間生活の重要な基礎を提供する。事故の起こった1970年頃は、日本では経済の高度成長末期で、活発な経済活動が行なわれており、また世界的に見て石油エネルギーが最も安く大量に入手でき、電力への変換が容易で、エネルギー需要の増大のためタービンの大型化が必要であった（この事故から3年後の1973年には石油危機が発生し、世界のエネルギー事情が一転する）。また、タービン技術においても、それまでの日本の主要メーカーの技術提携による技術開発（アメリカのウェスティングハウス、ゼネラルエレクトリック、ヨーロッパのジーメンズなど）から、それぞれ独自の技術開発に転換し始めていた時期でもあった。

#### 【引用文献】

畑村洋太郎編著、実際の設計研究会著：続々・実際の設計、日刊工業新聞社(1996)