

# 艦艇用蒸気タービンの諸問題

## Various Problems Concerning Steam Turbines for Naval Vessel Use

玉木 福宜\*

### 内容梗概

艦艇蒸気タービンは、その使用目的上、一般船舶用のそれと種々の点において相違がある。これらの特質とその理由を前段に説明した。次にその進歩的な点において世界をリードしている観のある米国海軍艦艇タービンの最近の傾向を主として文献によつて紹介し上記特質との関連を説明した。

### 〔I〕 緒言

今次の大戦で永い伝統と世界的偉容を誇つた旧日本海軍が姿を消して以来すでに10年を経過した。その間に米英を始め各国海軍艦艇が技術的に長足の進歩をなしつゝあることは文献<sup>(1)(2)</sup>その他によつても窺われる。我国においても防衛庁海上警備隊として実質上の海軍が発足し、戦後初建造の警備艦(旧駆逐艦に相当)以下小型艦艇が少数ながら昨年より今年にかけて就役しつゝあるが日立製作所においても防衛庁昭和30年度甲型警備艦主機タービン(17,500 HP×2)を受注し目下製作中である。この機会に艦艇タービンの特質とこれに関連する諸問題を検討し若干の私見を述べてみよう。

### 〔II〕 艦艇タービンの特質

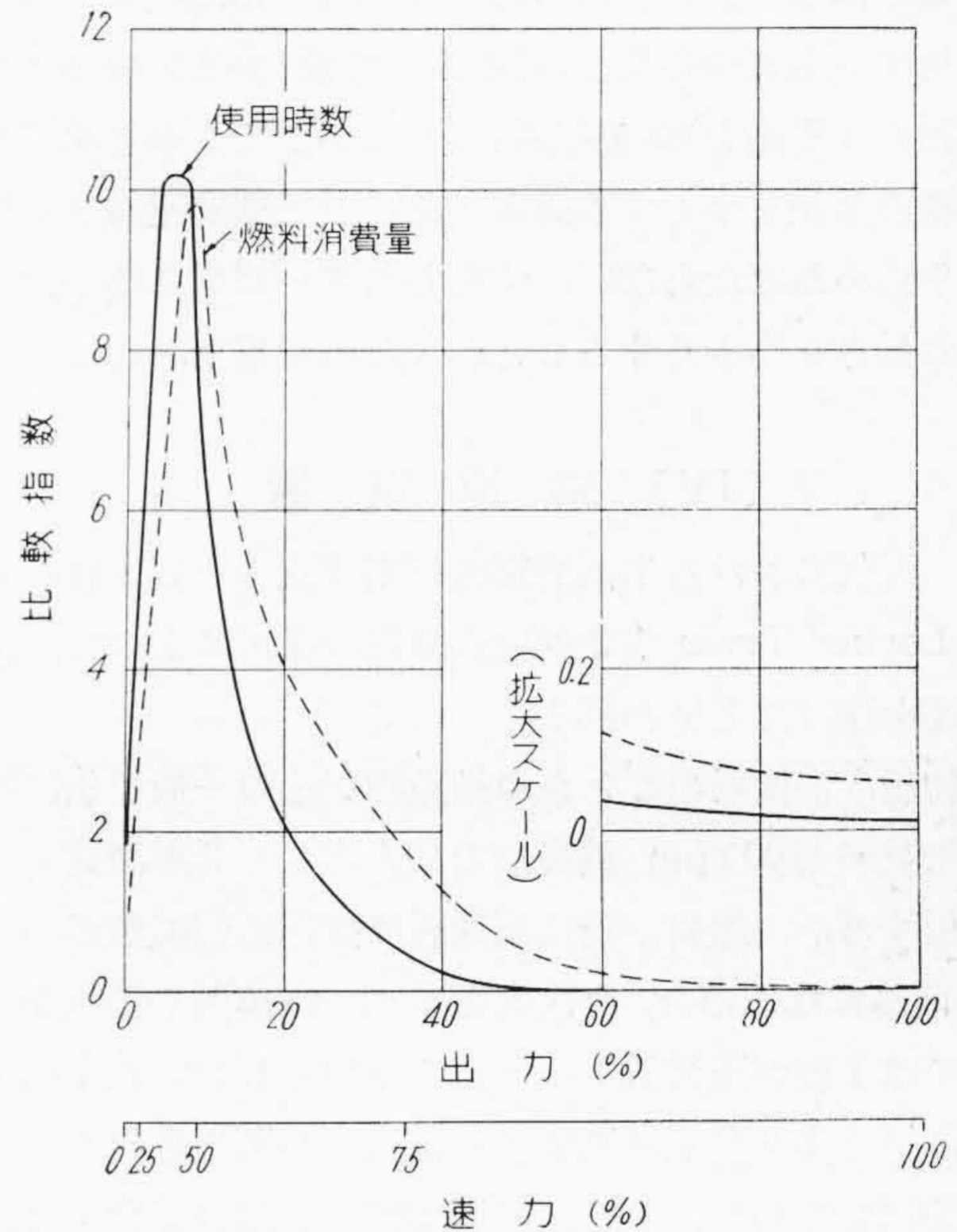
艦艇はその目的が一般船舶と根本的に異なるため、その主機関としての蒸気タービンも一般船舶のそれと種々の点において相違がある。

一口に艦艇といつても大は戦艦、航空母艦から小は駆潜艇、魚雷艇等に至る多くの種類があつてその任務もそれぞれ異なるのであるが、タービン主機関は一般に比較的大型の高速艦すなわち駆逐艦級以上の艦に使用せられ馬力は1基(1軸)2万馬力程度より8万馬力程度のものが2軸または4軸装備せられる。しかしてこれら艦艇タービンに対して要求せられる特質の主なものを挙げると次に記すごとく艦艇の種類によつて各要素の重要度の色合いは異なるが一般船舶用に比べてはるかに苛酷なものである。

- (1) 信頼性大なること
- (2) 重量および容積の小なること
- (3) 低力時の熱経済性が良好なること
- (4) 力度の変換が容易で操縦性良好なること
- (5) 艦の動揺に対し安全なること
- (6) 震動および衝撃に対し安全なること
- (7) 取扱が簡単で整備保守が容易なること

上記(1)、(2)についてはあらためて説明の必要はない。(3)はタービン艦艇は一般に最高速力が30~38節

\* 日立製作所日立工場



第1図 艦艇の速度および出力対使用時数および燃料消費料曲線(駆逐艦の例)

Fig. 1. Curve of Service Hours and Fuel Consumption for Speed and Output of War Vessel (An Example of Destroyer)

であるため、巡航速度(16~18節)時の力度が全力の10%程度以下となりしかも巡航速度以下での使用時数が80%以上になるのが普通なので、当然低力経済が強く要求せられる。(第1図参照)(4)は艦艇は使用速度の範囲が広く、かつ編隊航行を行うので絶対必要事項である。(5)(6)は戦闘航行中の急速転舵、波浪、射撃、被弾に対し当然要求される事項である。(7)は乗員の必要訓練度を少くし非常の場合に即応しやすくするためである。

なお低力時の熱経済を良くすると高力時特に全力時の熱消費量が増大し、ボイラ補機が大となるので上記中(2)と(3)とは相反する要素であるが具体的には所要航続距離に対する搭載燃料の重量を考慮してその間の調整をはかる。以下これらの諸要素に関連して艦艇タービンの各部構造がいかに進歩しつゝあるかを主として米海軍



の例により概見して見よう。

〔III〕 機関室配備

第2図に双推進器艦の機関室配備例を示す。図中、Aの配備は各機械室、缶室がそれぞれ独立しており浸水に対し有利に見えるが機械室浸水の場合艦が傾斜する不利があり、またBの配備は傾斜しがたいが同時に2軸が使用不能になる不利がある。そこで最近ではCの配備(Shift Engine)がよく使用されるがこの場合機関室全長が長くなる傾向になる。しかるに近時航空機の発達とともにこれに対する退避の必要上、艦の旋回性能(小さい旋回半径で運動しうる能力)が重視され、したがってこの意味において艦の全長を小とする必要があるので機関室長さを極力切り詰めねばならない。すなわちタービンあるいはボイラの長さを小さくすることがきわめて重要となる。

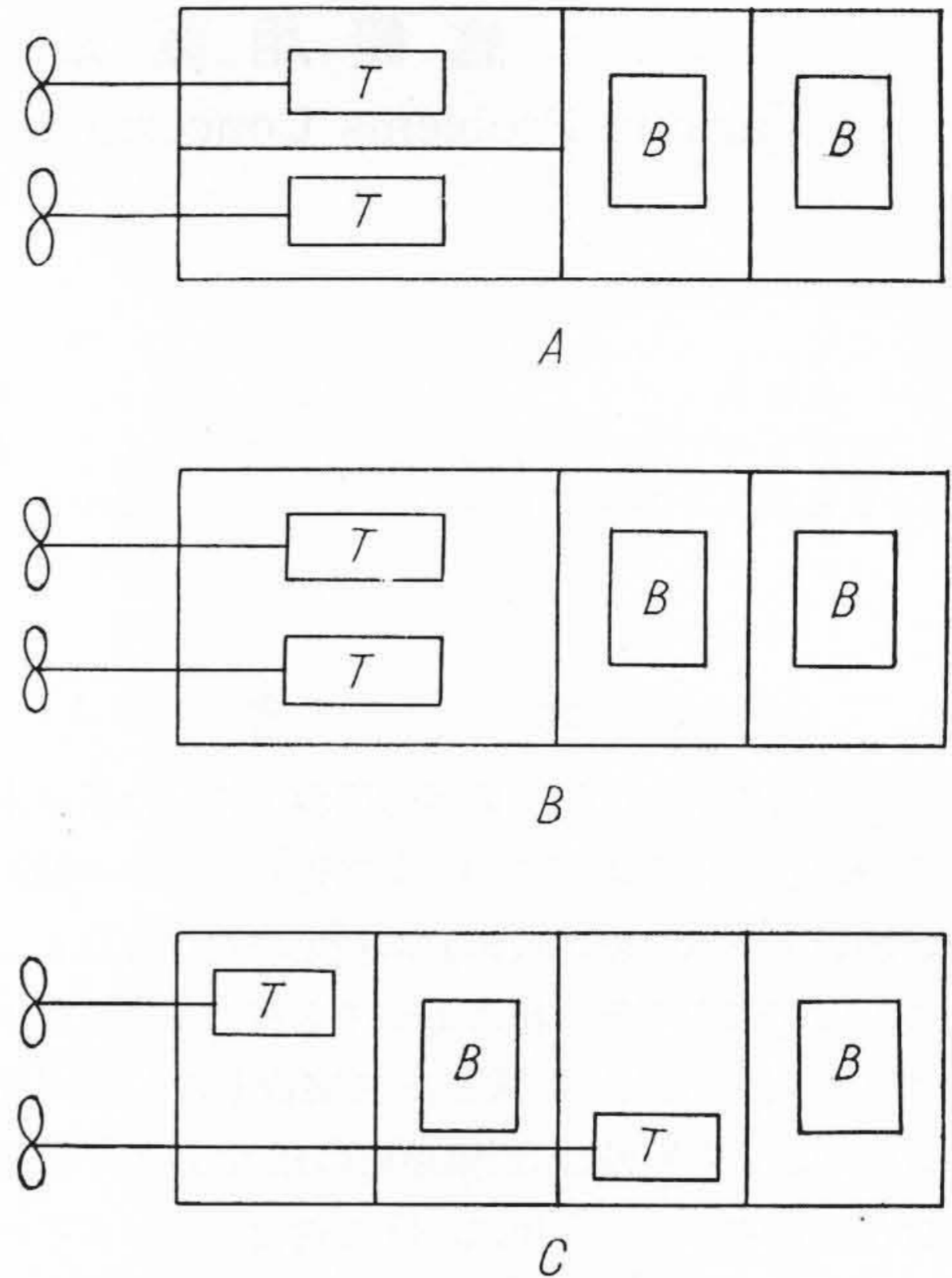
〔IV〕 減速装置

(1) 近代における米国海軍艦艇用蒸気タービンはいわゆる Locked Train 型 2重減速装置の採用によつて急速な発達を遂げたといわれる。

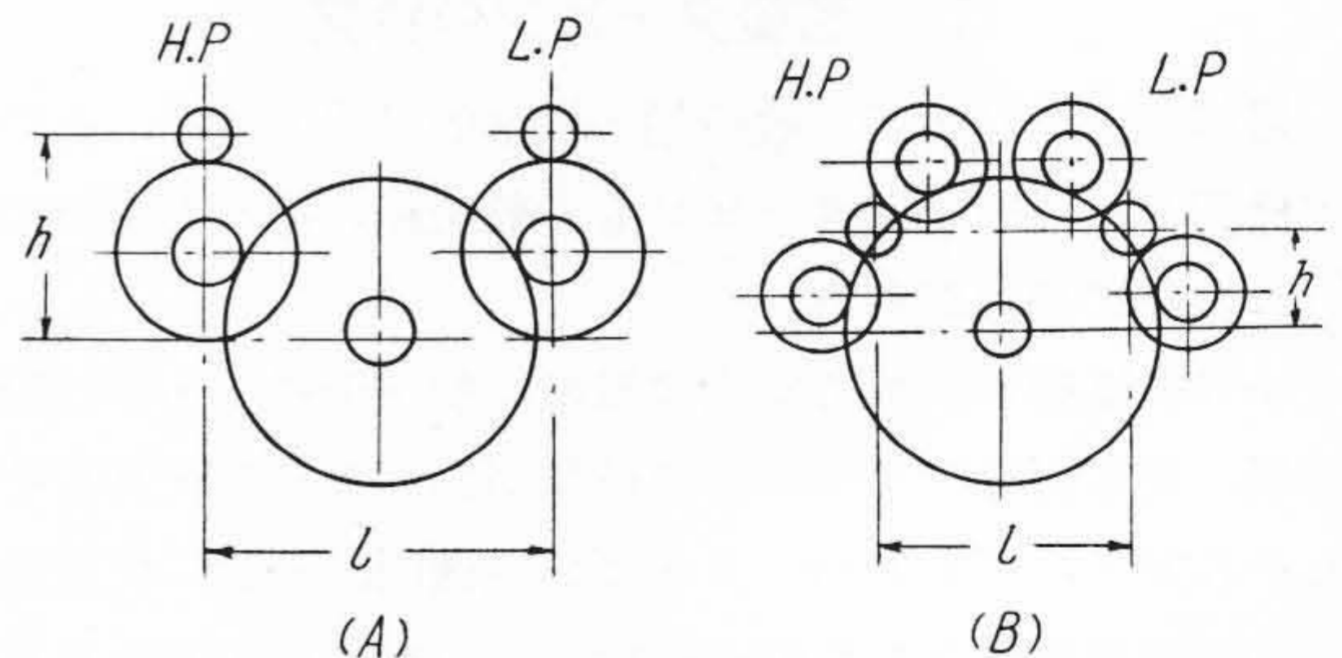
貨物船、油槽船のごとき単推進器低速の一般船舶は推進回転数が 100 rpm 前後なので否応なく 2重減速装置を使用するが、艦艇、特に高速艦は推進器回転数が 400 rpm 前後になるので、今次大戦頃までは英国や日本等においては 1段減速装置が主として使用された。たゞ米国海軍は早くより 2重減速装置を採用し高回転数のタービンを使用しており、これは同国伝統の高温高圧蒸気使用方針によるものと考えられるが、上記 Locked Train 型 2重減速装置を今次大戦直前に完成することにより高温、高圧蒸気使用高速タービンの進歩をさらに大ならしめたのである。

(2) Locked Train 型減速装置は第一次大戦当時、米国 GE 社の技師によつて提唱せられその後同社ならびに Delaval 社の協同研究によつて改良せられたもので、現在米国タービン艦艇の 95% が本型減速装置を使用しているといわれるが、第3図Bに示す通り第1段子歯車が両側2個の第1段親歯車と咬合う方式であるため、同一伝達馬力に対し、第3図Aに示す普通型(Articulate型)に比して第1段子歯車の径と長さを小となしえ、したがって同一径の第2段親歯車に対し大なる準速比をうるとともに重量および長さを減少しうるもので艦艇タービン減速装置として正に一石二鳥、否一石三鳥の大なる利点を有するのである。

(3) 緒言に記したごとく日立製作所は目下防衛庁御注文の甲型警備艦用タービンを製作中であるが、これに対し両型式の減速装置を比較設計したところ Locked



第2図 艦艇機関室配備例(平面図) (T: タービン B: ボイラー 8: 推進器)  
Fig. 2. An Example of Engine Room Arrangement of War Vessel (T: Turbine B: Boiler 8: Propeller)



第3図 減速装置  
(A): Articulate 型  
(B): Locked Train 型  
Fig. 3. Reduction Gearing  
(A): Articulate Type  
(B): Locked Train Type

Train 型とすれば重量において約 20% 長さにおいて約 30% を減じうる事が分つたのであえて本型式を提唱した。

幸い防衛庁当局の英断によつて我々の提唱が認められ、ここに我国最初の本格的 Locked Train 型減速装置を日立製作所が製作することゝなつたのである。

Locked Train 型減速装置はこのように艦艇用として独歩の長所を有するがそれだけにその設計ならびに工作については慎重な配慮を必要とする。

我国戦時標準船用として多数作られた甲 25 型および



50型タービンの減速装置も、本型式減速装置を単式タービンに応用した設計であつたが、今から考えると設計工作上的の考慮が不十分であつたためその成績は決して堪ばしいものでなく幾多の事故を生じている。

日立製作所においてもこの点を考え米国海軍の設計工法を十分調査の上慎重に製作を進めている。

(4) 艦艇に Locked Train 型減速装置を整備する場合計画上考慮すべきことはタービンの軸心高さをできるだけ低くすることである。これは第3図の A, B を比較すれば分る通り第1段子歯車中心すなわちタービン中心と第2段親歯車中心の高さの差(図の h) が構造上 Locked Train 型の方が小さいため推進軸傾斜 (Shaft Rake) が大となる傾向があるからである。

故に復水器を低圧タービン下部に懸吊する一般の方式においては、復水器をできるだけ低く据付ける考慮が必要となる。この意味において高温高圧蒸気使用に対して必要な脱気器 (Deaerator) の装備は艦の動揺に対する復水器据付高さの考慮(復水ポンプに対するヘッドと給水ポンプとの関連)を緩和し Locked Train 型減速装置の装備にも好都合となる。

(5) 米海軍戦後の傾向として最も注目されるのは、歯車の設計歯面荷重を著しく増大していることで荷重係数(K値)を戦前の約100に対し戦後は200~300としている。これによつて減速装置の重量容積を大幅に減じうるわけであるがこれは歯車材料の改良により歯車硬度を戦前の2倍近くすなわち小歯車で400 BHN, 大歯車で300 BHN, 程度としまた歯車の工作仕上精度を向上させ、荷重状態で真のインボリュート曲線になるようにする等の改善でえられたものでこのためピッチ精度のみならずリード角および歯型を高精度の計測器具で検査している。

この改善努力は我々としても大いに参考としなければならない。

(6) 以上主として Locked Train 型減速装置について述べたが英国海軍はその保守的傾向の故か本型式減速装置の採用を渋つたので、タービンの高速化において完全に米国に立遅れた現状にあるらしい。しかし英国もさるものでお家芸のガスタービンに遊星歯車式減速装置を採用し米国に挑戦している。

米国の最新実験駆逐艦 Timmermann において1軸に Locked Train 型減速装置をまた他の1軸の第2段減速に上記遊星歯車式減速装置を採用し競演の形になつているのはこの意味においてまことに興味深い。

## 〔V〕 巡航タービン

(1) 全速36節程度の艦が12~15節で最大航続距離

を要求されるとこの時の出力(巡航出力)が全力の2~4%になるので次のような方法が考えられる。

- (a) 高圧タービン内に巡航段落を設ける。
- (b) 高圧タービンに巡航減速装置をへて巡航タービンを連結し、かつ巡航嵌脱接手を設けて巡航運転以外では巡航タービンを離脱する。
- (c) 高圧タービンに巡航減速装置をへて巡航タービンを直結し巡航運転以外でも巡航タービン連結のままで運転する。

(2) 上記(a)は高圧タービンの弁構造が複雑となりまた軸受スパンが大となるので巡航出力が全力の12~15%以上でないといふ一般に不利である。

しかし最近巡航速度が増大する傾向にあるので艦の種類によつては諸装置が簡単になるだけに本方式も妙味があり一部の大型艦に採用されている。

(b) は従前は旧日本海軍始め各国海軍に使用されたが手動嵌脱では巡航運転と主タービン運転の切替えに手数を要して増減速時に不便であり、また間違ふと超過回転の危険をとまなうので乗員の高度の訓練が必要となる。また自動嵌脱はもつとも理想的であるがかつて独海軍に失敗の例があり慎重にある期間の実績を確認する必要があると考えられる。

(c) は米海軍が戦前から採用している方法でもつとも簡単確実な方法であるが主タービン運転時も巡航タービンが連結されて回転するので、その過熱防止のため1個の巡航切替弁の操作により巡航タービンを真空に保つとともに、さらに若干の冷却用蒸気を通しうる設計となつている。この冷却用蒸気は損失となるがその量は全力時1%以下の程度である。

(3) 上記の(c)方法は米海軍がすでに数10年前より採用して今日に至つているのを見てもその実績は満足すべきものであることが分る。なお前に記した最新式実験駆逐艦 Timmermann においても同様の方式なることより米海軍にはこの方式を基本的に変える試みのないことが窺われる。日立製作所が現在製作中の防衛庁タービンもこの方式の巡航タービンを設ける設計である。

## 〔VI〕 後進タービン

(1) 戦闘航行中あるいは演習訓練中に衝突、座礁等により艦の船首部が損傷を受けることは決して稀でないが、かかる場合、後進運転で即急に自力帰航しうることもつとも望ましい。このような能力を大ならしめる見地からと思われるが、米海軍には以前から新造艦引渡し試験に後進全力1時間の規定があり当初の設計のもの(低圧タービンの一端に後進タービンを設けるもの)は過熱を生じてたまたまこの試験に合格しなかつた。



GE社における陸上実験ならびに海上実験により種々の改造が行われたがもつとも効果があつたのは後進タービンを低圧タービンの両端に設ける構造であつた。また排気室にソラセ板を設けて後進排気が前進翼に衝突しないように改造したことも有効であつた。

(2) 後進タービンを低圧タービンの両端に設ける設計は軸受スパンを若干増加する不利があるが、長時間後進運転に対する能力の増大することは、上記米海軍の実績より明かである。なお前進回転中の後進段落風損失の減少、後進排気の復水器流入の平均化等の副次的利点もある。これらの見地より日立製作所が現在製作中の防衛庁タービンにおいては後進タービンを低圧タービンの両端に設ける設計をした。

### 〔VII〕 復水器真空

前述したように艦艇機関は全力発揮に対する重量容積と全力に比して10%以下にもなる巡航時の熱経済をあわせ考える点に特色があるが、復水器真空の選択も当然この事に関連がある。一般に蒸気プラントはいうまでもなく定格状態で復水器真空を高く保ち熱経済をはるもので陸上プラントでは730 mmHg以上、また一般船舶でも720 mmHg以上が要求される。しかし艦艇タービンの場合は重量容積という至上要求のためと高力の使用時数が少いという特色のために一般の場合とことなり全力時の真空をやゝ低くし従来700 mmHg内外とされた(もつとも巡航時には720~730 mmHgになる)近時1基発生馬力の増大とともに復水器ならびにこれに関連して冷却水管、冷却水ポンプ等の重量容積がさらに問題となり、米海軍最近の設計は全力時635 mmHgとなつている。

米海軍が戦後、初蒸気の圧力温度を1,200 PSI 950°Fという艦艇タービンとしては各国の標準を抜いた数字としているのは単なる高圧高温化ではなく復水器真空の低下をこれによつて補う意図が多分に含まれていると考えられる。

### 〔VIII〕 タービン車室と据付寸法

タービン艦艇が戦闘行動中被弾または至近弾を受けた場合その衝撃でもつとも損傷を受けやすいタービンの部分はその船体取付部、すなわちタービン取付脚で旧日本海軍でも今次大戦中このような事故が多かつた。特に従前は各国共低圧タービン車室は一般に鋳鉄製であつたため取付脚の折損が多かつた。

米海軍は大戦初期より鋼板熔接製の低圧タービン車室を採用しており、その下半車室はガーダ兼用で高圧および巡航タービンをのせる他のガーダビームとともにその首端を機械室隔壁に吊下げ式可撓板によつてまた後端を

減速車室に取付ける構造のものが多い。

近時攻撃兵器の進歩とともに艦艇機関の衝撃強度はますます増大を要求され、特に機関の船体取付部は12~15g(重力加速度)の荷重に耐えるものでなければならぬことになつた。なお衝撃の他に特に駆逐艦のような軽快高速艦艇は航走による船体の変形も比較的大きいので、上記米海軍の方式は賢明な方法と考えられる。

### 〔IX〕 操縦弁

主機タービンの操縦は一般船舶と同様に前進後進各1箇の操縦弁で行い別にタービンのノズル弁を手動で開閉管理するのが従来の方法であるが、米海軍では前進に対しては高圧または巡航タービンのノズル弁を直接カム軸によつて開閉する構造とし、このカム軸を1箇のホイールで操縦する方式に改良した。

この方式によれば1箇の大なる主弁で管制する場合よりも絞り損失を減じると同時にノズル弁の手動管制が不要となり一挙両得である。

当初はサーボモータを介してカム軸を動かしたが、研究改良の結果、各部特にノズル弁の摩擦を軽減することにより最近では直接手動にてホイールを動かす方式になつた。これらの改善努力は操縦をよりいかに確実ならしめるのに大なる効果があつた。

### 〔X〕 結 言

以上簡単ながら艦艇用蒸気タービンの特質とこれに関連した設計構造上の諸問題について記述したが、本文がこの方面に興味と関心をもたれる方々に対し多少でも御参考になれば筆者として望外の幸いである。

### 参 考 文 献

- (1) Trans of the Society of Naval Architects and Marine Engineers (1954)
- (2) 生産技術 1954 No. 2~6

### 「日立評論」既刊号在庫案内

本誌「日立評論」の既刊号が少数ながら在庫しております。

御入用の方は下記へお問合せ下さい。

### 日 立 評 論 社

東京都千代田区丸の内1ノ4  
(新丸の内ビルディング7階)