FRIENDSHIP 用総合減速装置*

赤沢 政彦** 芝 丈夫**

Integrated Propulsion Gearing for "Friendship" Vessels

By Masahiko Akazawa, Takeo Shiba

Two new advanced design multi-purpose standard cargo ships – "Friendship" and "Freedom Mark II" – have been developed jointly by IHI and the Canadian naval consulting firm of G.T.R. Campbell, to meet the pressing needs of shipowners faced with the current rise in fuel prices and the depressed shipping market, as well as the increasing severity of regulatory requirements. In realizing these designs embodying many departures from customary practices, a prominent role was played by innovations brought to the main propulsion gearing.

Both types of ship feature a propulsion system comprising mainly an IHI-SEMT Pielstick medium-speed diesel engine, Integrated Main Reduction Gearing, and IHI-LIPS controllable-pitch propeller, engineered to combine overall economy of operating cost and ease of operation with enhanced plant reliability.

The Integrated Main Reduction Gearing features:

- (1) Power take-off gearing for electric generator permitting its operation with main propulsion engine running at either 520 or 340 rpm.
- (2) Special gear arrangement permitting the auxiliary diesel for generator to propel the ship in the event of main engine failure or for any other special purpose (attainable speed about 6 knots).
- (3) Main reduction gear assembly incorporating power take-off not only for the generator but also for all essential service pumps.

The resulting Integrated Main Reduction Gearing represents a compact, efficient, reliable and easily maintained assembly capable of operating in any of the six operational modes depicted in Fig. 6.

1. ま え が き

石川島播磨重工業(株)では、標準型の多目的船について、いわゆる「Fシリーズ」の「FREEDOM」および「FORTUNE」において、既に多くの就航実績を有しているが、近年の海運界における市況の低迷、燃料価格の上昇、人件費の高騰、各種規則の厳格化等により、体質的な変化が迫られている状況を踏まえて、新しい「Fシリーズ」として「FRIENDSHIP」22,000 DWt (FS)および、「FREEDOM MARK-II」15,600 DWt (FV-II)が次のごとき思想をベースとしてG.T.R. Campbell社と共同設計計画された。

- ・燃料費の節減
- ・保守、整備作業の容易化
- ・少人員による容易な操船
- ・システムの簡素化による誤操作の防止
- ・海上汚染防止、安全規則に対する十分なる配慮
- ・システムとしての信頼性の向上

これらの思想を具体的な設計に反映するに当っては、一つの目的に片寄る事のないよう、十分な時間を掛けて検討を重ね、装置全体としてバランスが取れた設計となるよう、配慮されている。

上記の思想を具現するために、両船の主減速装置は後述するように重要な役割りを荷なうこととなったが、以下に本機の特徴について計画中の経緯も取り混えて述べることにする。なお、FRIENDSHIPとFREEDOM MARK IIとは船形を異にし、また、機関仕様も異なるが、減速装置に関しては同一の目的・課題をもち、また、両船が同一時期に量産的に併行建造されることを考慮に入れて、両者出来得る限り共通化の思想で設計がなされた。

本文は両者のうち原形ともなるFRIENDSHIPの減速装置について述べる。

2. 減 速 装 置

2.1 仕 様

減速装置型式	SMSE-143
主減速比	3.979
主機関	IHI-SEMT ビールスティックディーゼルエンジン

* 原稿受付 昭和53年1月10日

** 正会員 石川島播磨重工業(株)(東京都江東区豊洲3-2-16)

*** 石川島播磨重工業(株)(東京都江東区豊洲3-2-16)

	12PC 2-5V	
	7800PS/520rpm	
推進器速度	高速時	130.7rpm
	中速時	85.5rpm
推進器	IHI-LIPS	可変ピッチプロペラ
主推力軸受	ミッチェル型推力軸受	

POWER TAKE OFF

主発電機	450kW×900rpm
主機関, 主減速機用潤滑油ポンプ	40kW×900rpm
主機関, 主減速機用清水ポンプ	45kW×1800rpm
主機関用, 海水ポンプ	20kW×1800rpm

2.2 歯車要目

	主小歯車	主大歯車	発電機小歯車
歯車形式	シングルヘリカルギヤ		
モジュール		12	
圧力角		20°	
ネジレ角		10°	
歯数	47	187	27
P. C. D.	572.90	2278.62	329.00
歯幅	650	650	250
熱処理	浸炭焼入れ	調質	調質
仕上加工	研削	シェービング	シェービング

2.3 軸継手およびクラッチ

高弾性継手	スピロフレックス 形式 KJR350N
高弾性摩擦クラッチ	ニューマフレックス 形式 KAF120N
摩擦クラッチ	エヤーフレックス 形式 10CB300

2.4 構造概要 本機は主機関の動力をプロペラに伝える主減速機と、後述する特徴をもった各種補機類を駆動するための動力取り出し用の歯車列とを結合して一体構造とした減速装置である。

図3に示すように、溶接構造・調質高硬度の主大歯車の左舷側に浸炭研削・軸と一体の主小歯車を配し、反対

側には調質シェービング仕上げの発電機駆動用小歯車を噛み合わせてある。主小歯車の船尾側には、LOポンプを駆動する歯車列を配し、主小歯車に別体小歯車を取り付けて、これで駆動する。さらに、この船尾側には主小歯車噛み合い推力を受けるカラーが設けてある。右舷側には、発電機用小歯車軸端にスプライン止めた小歯車に噛み合わせて清・海水ポンプ駆動用と後述する変速機構を兼用した歯車列を配してある。これら補機駆動用の歯車も浸炭研削あるいは調質シェービング仕上げタフトライド処理として信頼性を増した設計としている。

減速車室は鋼板溶接構造で、主機関・発電機用機関およびプロペラの関係配置条件を満たす範囲で極力コンパクトとするため、図2に示すような三角形とした。下車室の上部水平継手は左右に延長して補機類を据える。

車室は各種補機への接続される配管から来る外力・モーメントや補機の振動が歯車噛み合いに影響を及ぼさないよう強固に補強されている。また補機駆動用の各種歯車列は万一の場合も考慮して車室内を別室に分けて格納し、主減速歯車からは独立した構造としている。油受はサンプタンクも兼ねる構造で、内部にスプラッシュパンを備えている。

各歯車・軸受はすべて強制給油であり、計画として油冷却器その他の給油補器の減速車室への一体化も考えたが、配管のアレンジの観点から、また、保守点検時の減速車室の汚れを考慮して、結局別置きとした。

主大歯車の船首側にはミッチェル形推力軸受を減速車室内に組み込んでいる。さらに、船首端にはIHI-LIPS製可変ピッチプロペラ用のOil Distribution Boxが取り付けられる。主大歯車軸は中空としてプロペラ用油圧配管を通してある。この中空孔は仕上がり後のジャーナルと同芯でないと、配管は曲げ荷重を受けることになる。一方、大歯車は軸と一体の溶接構造であるが、あえて、溶接前の軸粗材の段階で中空孔を抜いておいて許容偏心量以内におさめることが出来た。

主減速大歯車および小歯車の軸受については、計画当初、先例のFORTUNE船と同様ころがり軸受を採用して軸受損失の減少を計り、循環油量を減らし、また、起動時の潤滑油ポンプによる予備給油を省略することを計画したが、減速装置全体の機能と配置形状を検討してよく従って、ころがり軸受では減速装置を小形化し、また、簡素化した構造とすることが難しいことが判明し、一方、すべり軸受を採用しても数値的に大きな損失とならないので、結果としてはすべり軸受を使用することになった。

軸継手・クラッチとしては、主機関用としてスピロフレックス高弾性軸継手を、発電機用としてニューマフレックス高弾性摩擦クラッチを、LOポンプ用としてエヤーフレックスクラッチを使用している。

図1 外形写真

図 2 全体外形図

3. 減速装置の特徴

さきに述べた設計思想を具現するために、本減速装置には一般の推進動力伝達機能（すなわち、主小歯車で推進器に継続する大歯車を駆動する機能）のほかに、次のような特徴を持たしてある。

1) 主機関動力の一部で主発電機および主機用補機械（清水ポンプ、海水ポンプ、潤滑油ポンプ等）を駆動すること。

2) 主機関回転数が中速（MANEUVERING SPEED）においても主機関動力の一部で主発電機を駆動し、NOR 時と同等の発電能力を発揮出来ること。

3) 主機関の故障時、または点検時（すなわち、主機関停止状態）においても航行出来ること。

4) 誤操作を生じないように、簡素化、堅ろうな構造であること。

5) 船外で補機類をとう載出来る INTEGRATED CONSTRUCTION で、且つ、小形化、軽量化されており、減速装置が機関室に占めるすべ付面積が小さいこと。

以下に、これらの特徴について、その必要が生じた背景、計画の過程を混えて説明する。

3.1 補機類の主機関駆動システム 個々の補機類をそれぞれ単独の原動機で駆動するのを止めて、主機関で直接駆動するのは、主機関という低燃費で、かつ

粗悪油の使用が可能な原動機で直接駆動出来るという顕著な経済効果の外に、下記のような諸効果にも着目する必要がある。

主機関運転の清・海水ポンプ、LO ポンプは一般には個々の電動機で駆動されたため、主機関の負荷状態に関係なく運転され、従って、主機関の必要とする冷却水量・潤滑油量以上に吐出し続けて、電力を徒に消費していた。また、これらポンプは個々にすべ付けられ、従って常備および予備ポンプによって機関室内の有効面積は少なからず専有されていた。また、この各種ポンプは主機関のまわりに主機関とは別に、分散して置かれているため、乗組員のポンプ発停、監視確認作業は繁雑となり、省力化を防げることであった。さらに、細かく見れば、各ポンプ、これを駆動する電動機は、それぞれのメーカーの標準品を購入する。従って、選択する標準品の容量は余裕のあるものを選択する訳であるから、電力需要も必要以上に計画されるとともにすべての電器類は容量アップする結果となる。船内発電装置についても同様なことがいえよう。

本減速装置は、以上のような補機の個別駆動の不経済性・運転上の繁雑性・労力の非合理性をなくすと同時に、補機駆動システムに一層の信頼性を与えるために、その駆動源を一元化することにした。その結果、図 3 に示すような歯車列を設けることによりその目的を可能にした。すなわち、主小歯車の船尾側より左舷側へ配列された小

図 3 歯車組立

歯車列は主機関と主減速装置用の潤滑油ポンプを駆動するもので、ポンプが下車室の上にすえ付けられるように主小歯車船尾端についている潤滑油ポンプ駆動大歯車とポンプ軸芯上の小歯車の間に中間歯車が設けられた。このような歯車列で、潤滑油ポンプは主機関が520rpmで運転される時に900rpmで駆動される。また、起動前の主機潤滑のために、クラッチを切って電動機でも駆動出来るように、駆動歯車はクラッチ・電動機を介してポンプに結合されている。右舷側で主大歯車に噛み合っている小歯車は船首側に伸びて、主発電機を駆動し、さらに、右舷側に歯車列を追加して、主機関用海水ポンプ、清水ポンプと補機冷却用清水ポンプを駆動するために、1,800rpmに増速を行なっている。これら補機ポンプ駆動歯車はいかなる場合にも主歯車列に不具合を与えないように主歯車列とは仕切りを隔てて歯車支持剛性が十分な別室に組み込まれている。また、補機歯車とはいえども、歯切り後はシエビング仕上げを施行し、熱処理としてタフトライド処理をする等を行なって信頼性が大なるように設計がされている。また、給油は強制給油潤滑を行なっている。損失馬力の軽減のために、これら補機歯車の軸受には自動調心コロ軸受を採用し、摩擦損失を出来るだけ小さくすると共に、組立時の芯出しを容易にしている。補機ポンプ類を減速機の車室上にとり載したことは次のような理由があった。

a) 補機ポンプ駆動源が主機関で確かなものであっても、ポンプ類が船体付であればすえ付後において船体変形等により駆動小歯車軸とポンプ軸が芯ズレを生じると、これに起因して継手あるいはポンプの損傷が生じやすい。従って、ポンプ類を駆動小歯車と共通で強固な減速車室にとり載することによってこれらの損傷外因(船体変形等)から切り離すことが出来る。

b) 補機ポンプを船体付機械台にすえ付ける場合、機関室構造が複雑になるうえ、造船所としてはポンプ(小物)と減速機(大物)両者の日程管理が要求される。一方、これらを減速車室にとり載すると車室構造が多少複雑になるが機械工場で作製されるため作業環境は良く、容易にポンプすえ付面の加工およびすえ付作業が行なえる。また、ポンプの日程が従来より一つ前の段階で管理されることになる。

補機ポンプ類を減速車室にとり載した結果、機関室構造が簡素化し、合理化されていくのは言うまでもないが、概して大口径で剛性がある船体付配管と直にこれらポンプを結合することは、減速車室がポンプ配管の、あるいは配管を介して船体よりの外力を受けることになり好ましくない。この問題についてはポンプと船体付配管を弾性管継手で結合して解消している。

主発電機の駆動システムは前述したように、右舷の小歯車から動力を得て主発電機を駆動する訳であるが、一台の発電機をか動率よく使用するために該小歯車と主発電機は空気式高弾性クラッチを装備して切り放すことが

出来る。すなわち、主機関の高速時にはクラッチをかん合して、該小歯車より動力を得る。一方、主機関が停止している場合はクラッチを脱にして、主発電機船首側に配置された小形ディーゼル機関を運転し、これにより主発電機を駆動するものである。もちろん、主発電機と小形ディーゼル機関の間にも別途クラッチが取付けられている。前述のクラッチを操作するための作動空気は発電機小歯車の船尾端に取付けられたローターシールより歯車の軸芯に明けられた孔を通り、変速機構を経てクラッチの作動シリンダーにはいる。このクラッチは空気系統に不備が生じた場合に対処するために、機械的にもかん合出来るような構造となっている。

3.2 中速時の補機駆動システム 本船は可変ピッチプロペラ装備船であるから、本来は主機関の最も経済的なrpmの一速でも良いのであるが、本船は操船時の容易さを考慮して、高速・中速の二速方式を採用している。主機関のrpmが下がれば、当然、主機関駆動のサービスポンプ類および発電機のrpmも下る訳であり、まず発電機は使用不能となるが、主機関用のサービスポンプ類はどうであろうか。

一般に、主機関・減速機はその回転数および負荷が下がれば、それ自体の発生損失も減少し、従って必要な冷却水量・潤滑油量も当然減少するのではあるが、中速で回転するポンプ吐出量で十分かどうかは疑問である。このため、主機関および減速機の中速における必要水・油量は計算と実績の解析から推定し、さらに工場運転での実測によって、その量が裏付けられた。これらの必要量で設計されたポンプ類は、ポンプ完成と同時に性能テストを行なって、高速時の吐出量とともに中速時のシステムの安全性が確認された。

発電機については、主機関が中速の場合も発電機が使用出来るように変速機構を装備することとした。すなわち、発電機小歯車の船首側にポンプ類駆動歯車を兼用させた変速歯車を組み込み、チェンジレバーで車室外部から切り換えて、発電機を定格回転数で駆動出来るようにした。主機関の高速から中速への切り替え時には、摩擦クラッチを切って、発電機の駆動を小形ディーゼルに移す。長時間中速で走航する場合は、主機関を一時停止して変速機構のチェンジレバーを切り替えた後、主機関を再起動して、摩擦クラッチをかんとし、発電機の駆動を主機関へ移す。図4にこの変速機構を示す。図において、高速時に動力は発電機小歯車に取付いたセンター⑥からスリーブ⑦、センター⑧を経て高弾性クラッチ取付け軸に伝わり、クラッチを介して主発電機を駆動していたが、中速時にはチェンジレバーを切換えることにより、スリーブ⑦の位置が変わり、センター⑥とスリーブ⑦は噛み合いからはずれる。これと同時にスリーブ⑦はセンター⑤と噛み合うことになり、主機関動力は歯車①と歯車②および歯車③と歯車④で2段増速されて、センター⑤からスリーブ⑦に伝わり、センター⑧、高弾性クラッチ取

図4 変速機構

付軸、クラッチを経て主発電機を高速時と同じ回転数で駆動する。クラッチの作動空気は発電機小歯車の軸芯の孔を通して供給されることは前述した通りであるが、この変速機構を見てわかるように、中速時には発電機小歯車と高弾性クラッチ取付け軸の間に相対速度を生じるため、クラッチ取付軸にローターシールを組み込み、高速時および中速時においても空気供給になんら支障をきたさないようになっている。

3.3 主機関停止時の航行 主機関が万一故障して運転不能に陥った場合、従来は完全な航行不能の状態となり、漂流を余儀なくされることとなった。船舶として極めて危険な状態である。信頼性を増した現在のディーゼル機関では、ひん度としてまれということは出来るが、万一この状態に直面すれば施す術がない。

停船時の、いつシフト命令が出るかわからない状況下では、結果的には長時間停船していたことになるにもかかわらず、その間に主機関の点検・整備を行なうことは

出来ない。また、短距離をシフトするのに長時間引き舟を待つのは時間のロスである。

以上のほか、もしここに、もう一台の代替推進機関があればという状況は多くあって、実際にそれがあれば船舶の安全性・経済性をさらに増すことが出来よう。しかしながら、この対策として大掛りな装置を用意することは、装置の使用ひん度から考えて疑問のあるところであり、このような目的に使われる装置としては、簡単小形で価格も低く、かつ、堅ろうでなければならない。本船の場合は、特にその目的のみの装置を設けるのではなくて、他の目的の装置を共用することによって、その目的を達しているところに特徴がある。

すなわち、発電機の BACK UP 用小形ディーゼル機関を代替機関として使用し、主機関の発電機駆動システムをそのまま逆に使用する訳である。まず、主機関を主減速装置から高弾性継手の部分で切り放し、変速機構を中速時用の状態として、BACK UP ディーゼル機関の

ると、両機関の間の保守スペースがとれなくなる。逆にスペースが取れるまで歯車を大きくすると許容荷重より大分低く使うこととなって無駄となる。そこで、本減速装置は主小歯車にはしん炭研削歯車を、主大歯車には溶接構造の調質シェービング歯車を採用して、上記の諸条件を満たして全体的なバランスをとりながら小形軽量のものとする事が出来た。本機の重量は、補機ポンプ類をとう載した状態で約 31 ton である。

この種の大形減速装置は、その部品も大形でありかつきわめて高い精度を要するものが多いので、部品に互換性を与えることは実際的には容易な仕事ではない。しかしながら、本減速装置は連続建造船にとう載するものであるため工程管理をより容易に行なう必要がある。また、事後のアフタサービスに完全を期することを考えて、部品の品質管理を一層厳重に行ない、互換性をもたせることを計った。

たとえば、一般に船用主減速歯車の仕上げ法は、完成した大歯車に対して、相手小歯車の歯当りを見ながら、小歯車の修正仕上げを施して、一对の歯車を完成するのが通常の製作法である。本機の場合は、主大歯車、主小

歯車にも互換性を与えるため、まず、基準となるマスター小歯車を製造して、歯切を行なう各工場に配布し、これを基準に大小歯車を加工する。このことによって、大小歯車を加工する工場は違っても、組み合わせられた一对の歯車は要求される機能を発揮するに十分な精度が得られるばかりでなく、個々に歯車の加工を行なうことが出来る。そのため機械待ち、歯車待ちは解消して加工期間も短縮することが出来た。

また、新しく開発された FRIENDSHIP と FREE-DOM MARK-II とは、主減速装置に関する限り同一の目的と課題が課せられており、同一の設計思想で作られる訳であり、しかも、両船は同一時期に量産的に並行して建造されることとなる。そのため、出来る限り両者の共通化を計り材料の手配・部品の製造を単一化して、コストの低減・日程の短縮を期すとともにアフタサービスの迅速さを期待した。

4. 機能モード

前項までに述べた本減速装置の特徴によって、本船は運航に際して図 6 に示すような機能を発揮することが出

図 7 FRIENDSHIP 船の推進軸系の振り振動システム

Operation Mode of Integrated Propulsion System

Remark: CPP r/m in parenthesis show (FRIENDSHIP/FREEDOM MK-II) respectively.

図6 機能モード図

来る。図によってその概略を説明する。

なお、下記の6モードには、主機関で駆動するもの、BACK-UP ディーゼルで駆動するものがあるが、その6モードについて軸系のねじり振動の検討を行なっている。図7にFRIENDSHIPの補機ブランチも含んだ総合推進軸系のねじり振動システム図と機能モード1における振動モードを示す。

MODE 1：主機関が高速時の状態で、主機関により推進器と全補機を駆動している。

MODE 2：主機関が中速時の状態で、主機関により主発電機を除く補機と推進器を駆動している。主発電機は小形ディーゼル機関で駆動している。これは一般の港湾内の航行に該当する。

MODE 3：主機関が中速時の状態で、主機関により推進器と全補機を駆動している。河川・湖沼や奥行きが深い港湾等を航行する場合で、かつ、航行日数が長い場合に使用する。

MODE 4：主機関停止で、小形ディーゼル機関により主発電機を駆動している。接岸時等で船内発電をしている場合に該当する。

MODE 5：主機関停止で、小形ディーゼル機関で推進

器を駆動している。主機関故障時などのいわゆるTAKE HOMEである。船のシフト時にも使える。

MODE 6：主機関が中速時の状態で、主機関は推進器と全補機を駆動しているが、推進器の翼角が零ベッチである。停泊荷役中とか、沖投びよう、沖停船等、船舶は停止しているが、主機関は直結発電の状態を持続している状態である。

5. む す び

新しい船舶の方向として、弊社で建造されたFRIENDSHIP船を例にとり、主減速装置の構造・特徴を与えられた課題や計画中の経緯を混えて紹介した。

このようなシステムの開発に当っては、計画当初から造船・電気・機械の各専門家、計画担当者・詳細設計者をはじめ、工場現場の作業員にいたる各担当者が、一つのテーブルを囲んで検討してゆく時にこそ、その開発が約束されることを実感した。本拙文が今後の機関計画の一助となれば幸いである。

終りに、補機の選定についてはメーカー各位が心よく協力されたことに感謝の意を表する。

委員会報告要旨

船舶の定期的点検期間の拡大（4年間無入きょ）

機関研究委員会機関第一研究部会

従来1年間であった入きょ間隔を4年間に拡大することを課題とし、それにより安全性（つまり信頼性）は現状より悪くならないという条件のもとで、適正なメインテナンスを研究し対策することを目標としている。

また、この研究は、機関部の検討のみに限らず、船全体、つまり船の汚れおよびルール上との関連等も含めて、具体的な船を選んで、大学関係者、船会社、造船所、機器製造者に幅広く意見を求め、とりまとめている。