

4.2.5.2 コンパクト性の評価

主機燃料油供給モジュールのパターンA～Dにおける高さ、幅、長さにおいて、高さの制限は最も重要な項目で、モジュールが据付不可能になる。

表 4.2 は主機燃料油供給モジュールの評価を示す。

表 4.2 主機燃料油供給モジュールのコンパクト性評価

	高さ mm	幅 mm	長さ mm	評価
制限数値	910 以内	700 以内	2200 以内	
モジュールA	1070	780	1450	×
モジュールB	930	655	1600	×
モジュールC	830	720	1635	
モジュールD	720	700	1800	

モジュール評価 はすべてが制限以内である場合、
は幅のみ制限をクリアしていない場合である。

4.2.5.3 メンテナンス性の検証

総トン数 499 貨物船では、サイドストリンガー棚上に機器を配置するケースでは、モジュールを配置する場合にはサイドストリンガーの棚の船内中央側にのみ操作場所、メンテナンスが必要なものは、中央側に配置する必要がある。サイドストリンガー棚上にモジュールを配置する場合には、重要機器のメンテナンスは中央側に配置する必要がある。

例えば、図 4.26 に示すモジュールCの場合におけるメンテナンス、場所に人が近づくことが可能である。人が中に入って重要機器、例えば燃料油供給ポンプのメンテナンスがする事が困難な場所となる。このような場所はメンテナンス性が良いと判断出来ない。

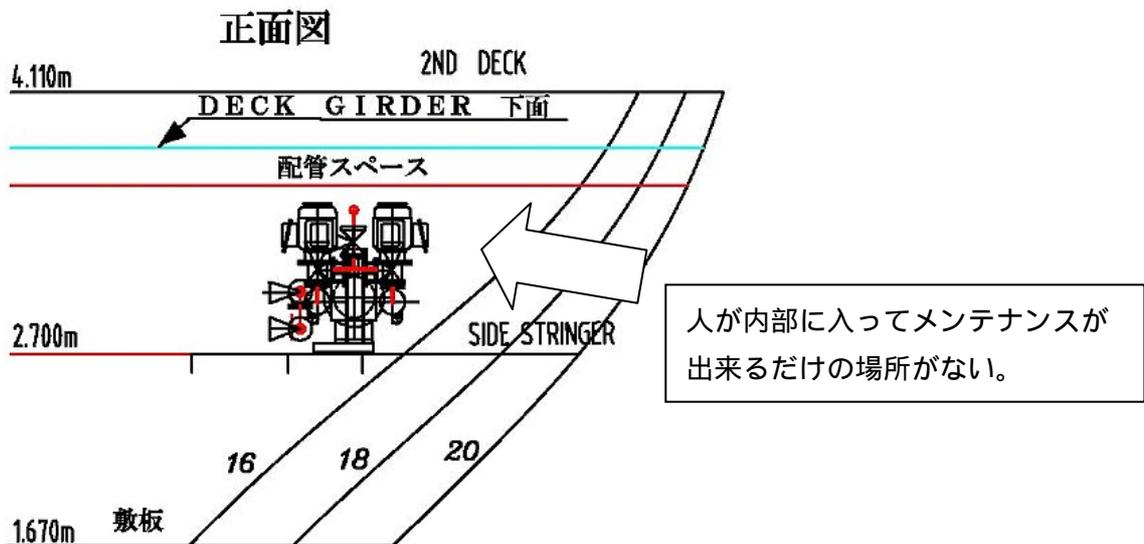


図 4.26 モジュールCの場合におけるメンテナンス

4.2.5.4 評価検討結果

主機燃料油供給モジュールの初期検討では、配置、操作性、コンパクト性およびメンテナンスを考えるとモジュールA～Dのパターン4機種中でパターンDが最良と判断できる。

今回は、主機燃料油供給モジュールは、配置の特異性として、棚状の場所にモジュールを搭載することを考えると、モジュール幅と高さの制限を如何にクリアするかがポイントである。配置を追求する場合には機器の据え付け面積の大きい割合を占めるポンプの据付床面積を極小化できるかが重要なポイントとなる。次に配管の規格化の考え方が大きく配置に影響を受ける。4.2.3項で述べた、ポンプの据付が如何にフレキシブルな組み合わせが出来るかで配管の規格化で成否が決まる。主機燃料油移送ポンプの吐出側を向かい合わせに2台のポンプを配置する事で配管の規格化出来たことで、幅の狭い配置が可能となったと考えられる。

4.2.6 主機燃料油供給モジュールの汎用性

評価検討結果に従って主機燃料油供給モジュールの試設計を行った。

汎用性は、顧客のニーズに対応出来るパターンを想定したうえで、基本の構成が崩れないことが重要である。次に想定する5つのパターンを考慮した設計を行い検証した。

従来の総トン数 499 型で燃料油供給ポンプをC重油移送ポンプでバックアップする方式の場合。

燃料油供給ポンプを2台の場合。

電気式燃料油加熱器を省エネ型とした場合。

燃料油粘度計を追加して装備した場合。

他の機器にコミュニケーションをとるためにPLC等を設けた場合。

これらのパターンを次に示すように試設計を実施した。

- 1) 従来の燃料油配管系統に対応した主機燃料油供給モジュール系統を図 4.27 に示す。図 4.27 に示すように、主機燃料油供給ポンプを1台と、C重油移送ポンプをバックアップポンプとする。従来の電気式燃料油加熱器、燃料油流量計と組合せたものをTYPE-01とする。この場合は、燃料移送ポンプモジュールのC重油燃料油移送ポンプの使用圧力と容量は主機燃料油給油ポンプに対応した、燃料油移送ポンプモジュール系統に示すように、系統に弁V9とV10を追加変更出来る考慮が必要である。従来仕様に従ったTYPE-01主機燃料油供給モジュールの試設計を図 4.28 に示す。

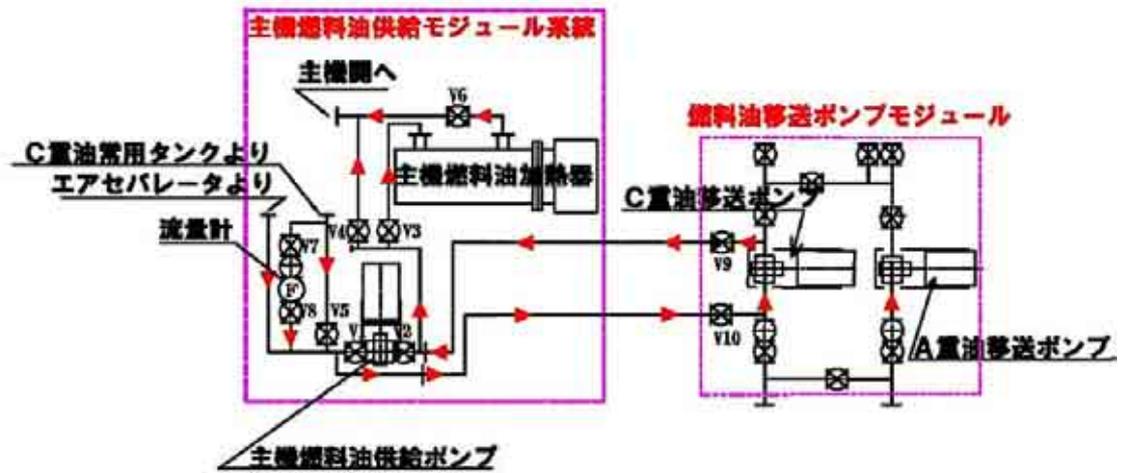


図 4.27 従来の燃料油配管系統に対応した主機燃料油供給モジュール系統

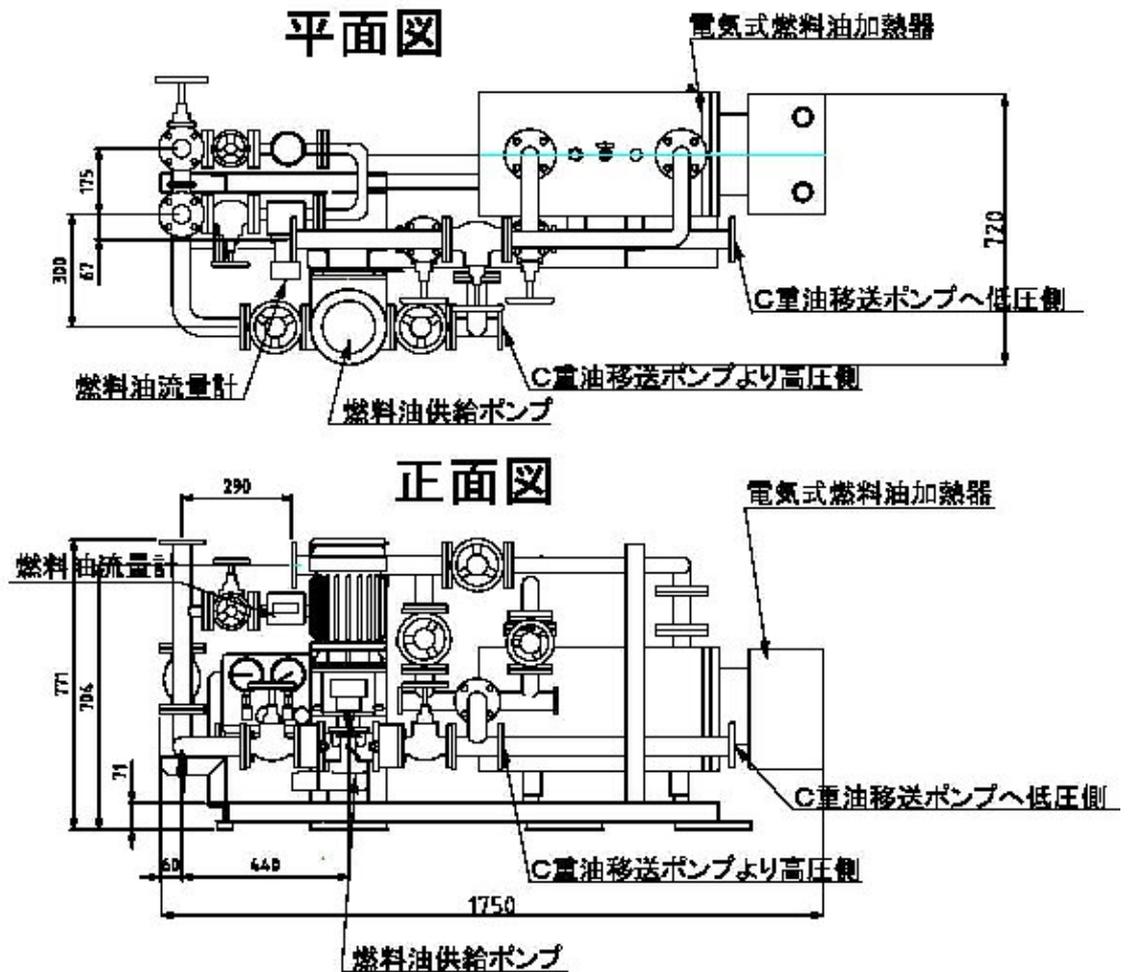


図 4.28 TYPE-01 主機燃料油供給モジュール

- 2) 従来の主機燃料油供給モジュール系統に、燃料供給ポンプ 1 台を追加し 2 台とした系統を図 4.29 に示す。図 4.29 に示すように、主機燃料油供給ポンプを 2 台とすることで、操作も単純になる本主機燃料油モジュールを基本型 TYPE-02 とする。

基本型 TYPE-02 とした主機燃料油供給モジュールの基本型モジュールとして、図 4.30 に示す。この基本モジュールを基として、顧客ニーズに対応できるようにして、この型を崩すことなく維持できることを重点に試設計を行った。

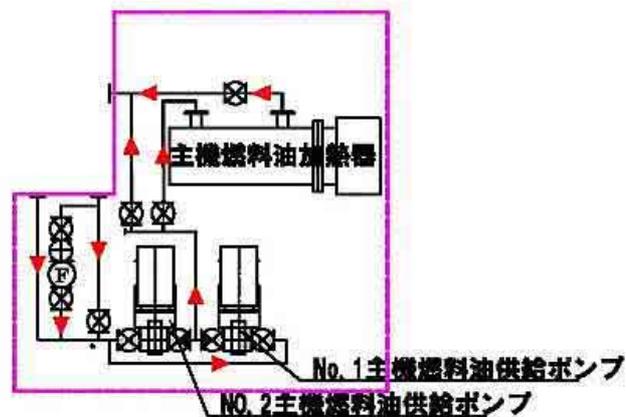


図 4.29 燃料油供給ポンプを2台装備した主機燃料油供給モジュール系統

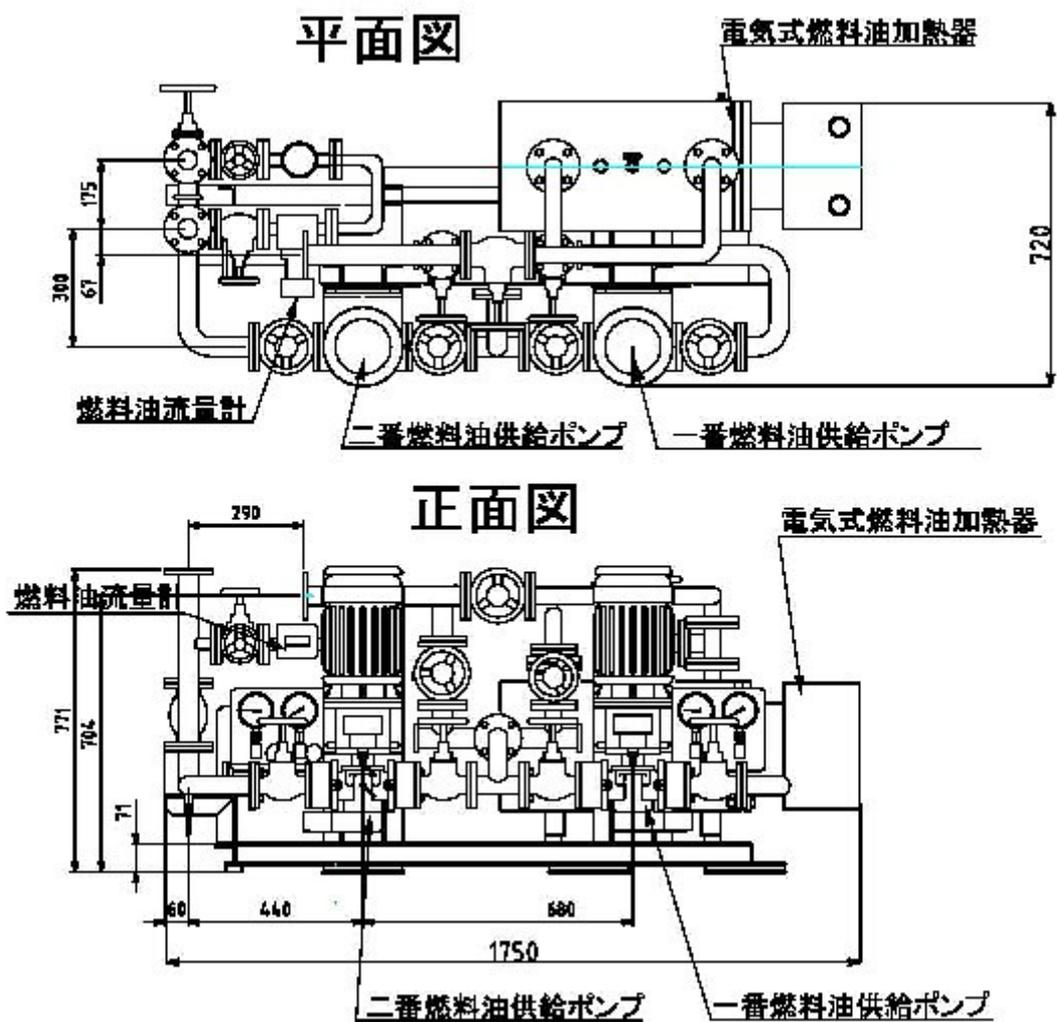


図 4.30 TYPE-02 主機燃料油供給モジュール

- 3)基本型から TYPE-02 から電気式燃料油加熱器を省エネ型にしたモジュールを TYPE-03 として、図 4.31 に示す。

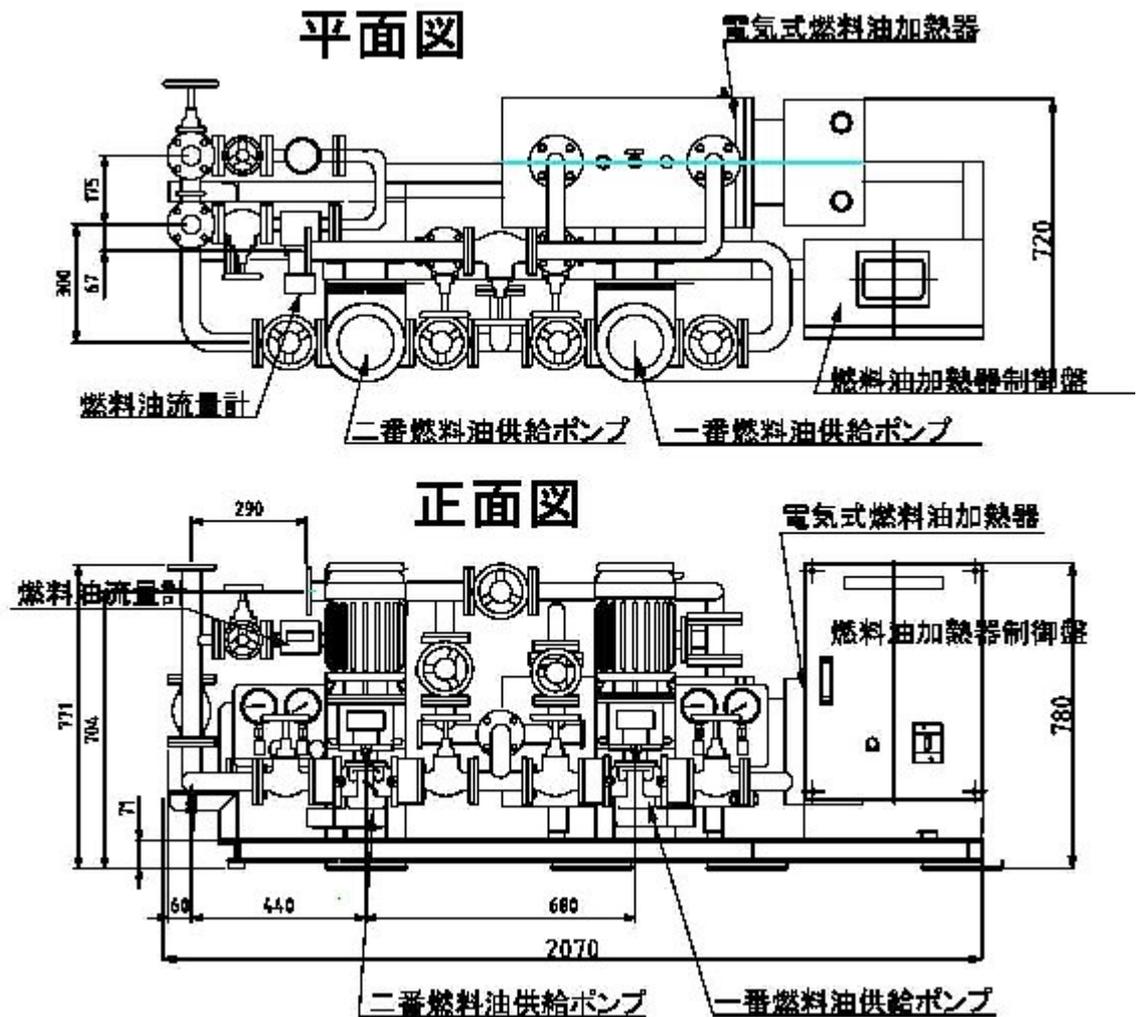


図 4.31 TYPE-03 省エネ型主機燃料油供給モジュール

- 4) TYPE-03 主機燃料油供給モジュールの系統に燃料油粘度計を加えた系統を TYPE-04 として、図 4.32 に示す。

燃料油粘度計を付加した TYPE-04 主機燃料油供給モジュールを図 4.33 に示す。

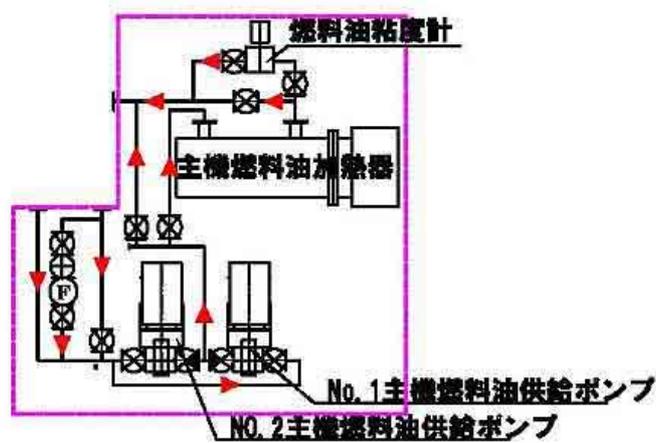


図 4.32 燃料油粘度計を装備した主機燃料油供給モジュール系統

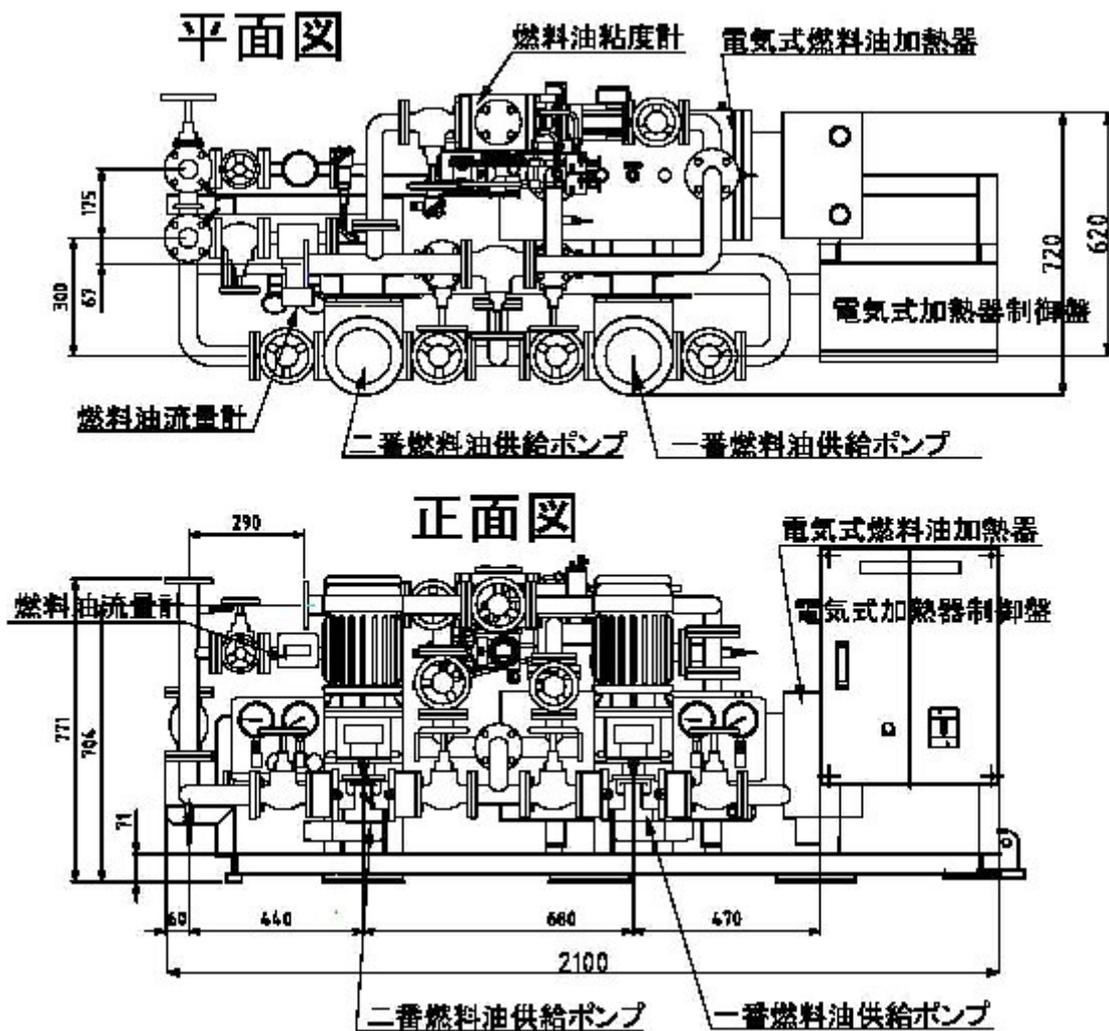


図 4.33 TYPE-04 粘度計装備の主機燃料油供給モジュール

5) 実船搭載した主機燃料油供給モジュール

本調査研究では TYPE-04 の主機燃料油供給モジュールに対して、温度、圧力、モジュール内の電力量、燃料油粘度を把握するためのデータ収集装置を搭載した。図 4.34 は実船搭載した主機燃料油供給モジュールを示す。

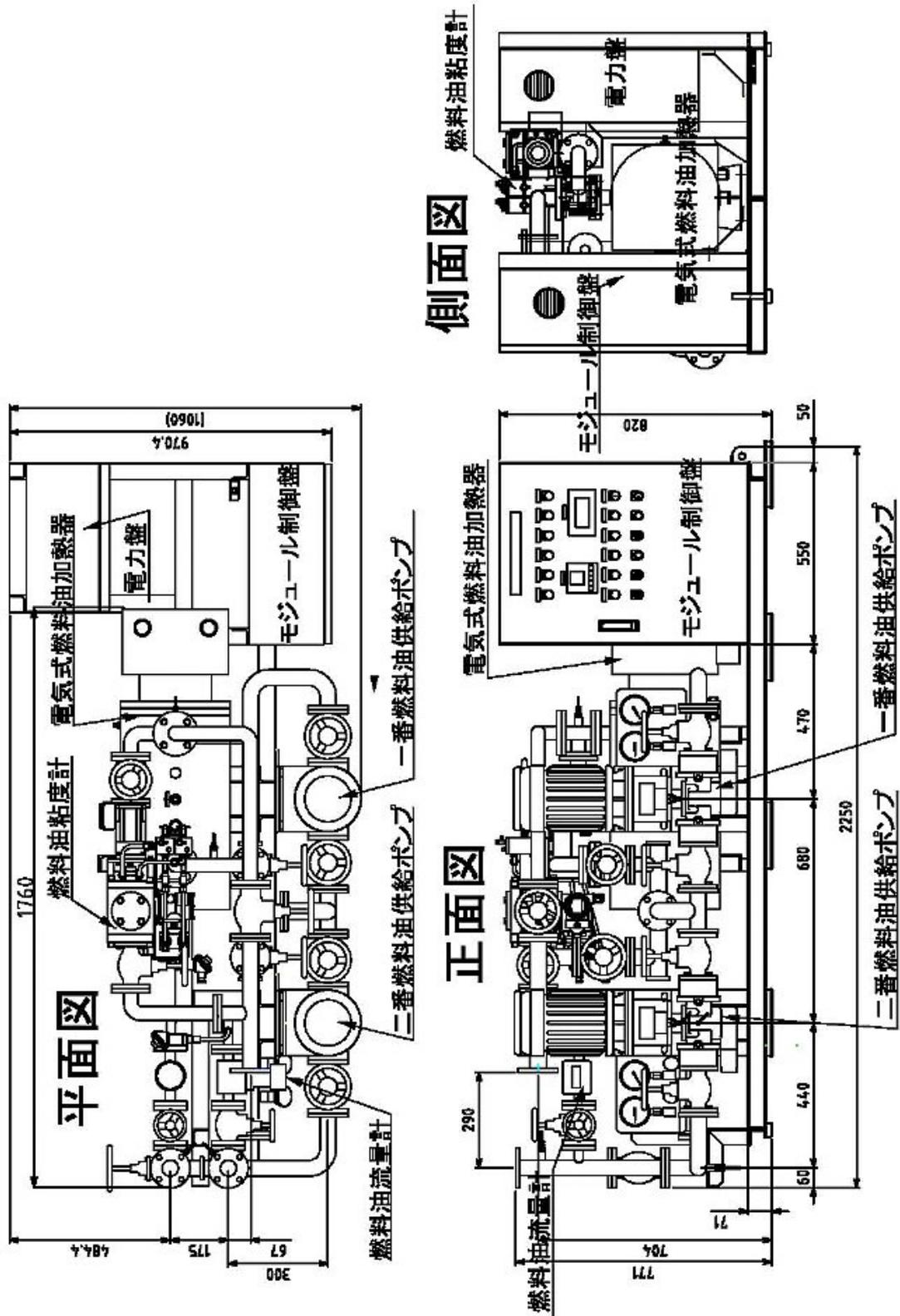


図 4.34 実船搭載した主機燃料油供給モジュール

4.2.7 モジュールの機能化の追求

従来の設計に対するモジュール化する手法について述べてきた。しかし、モジュールを機能的に調整する手法も重要な研究課題である。

モジュールの機能性を高めるには、機器の改良と機能の向上を図らなければならない。

主機燃料油供給モジュールを例にとり、モジュール化の機能面から従来から改良した項目を説明する。

- 1) 先にも述べたように、主機燃料油供給ポンプのフレキシブルな組み合わせを可能とすることで、据付面積を減少させた。従来のポンプで図 4.35 示す、豎据付ポンプでは、吸入の方向が一定となり 2 台のポンプの配管が交差する配管となり、シンプルな配管とすることが出来ない。今回の開発したポンプでは吐出方が自由な組み合わせが可能となり、電気式燃料油加熱器の長さ方向に沿わせた配管が可能となり、幅を狭くできた。

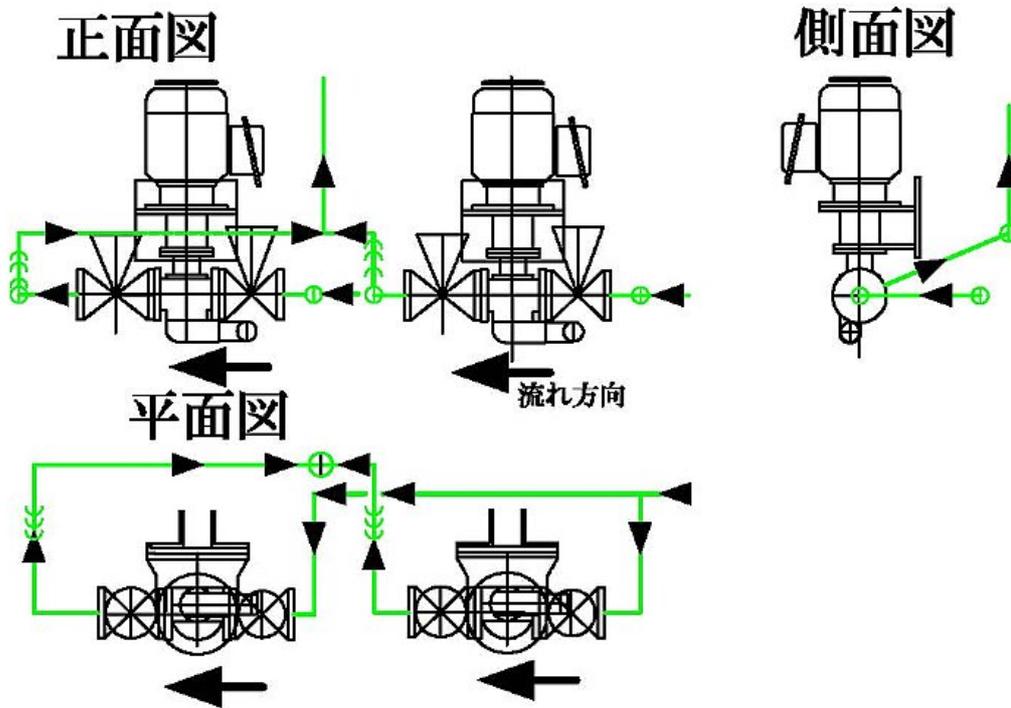
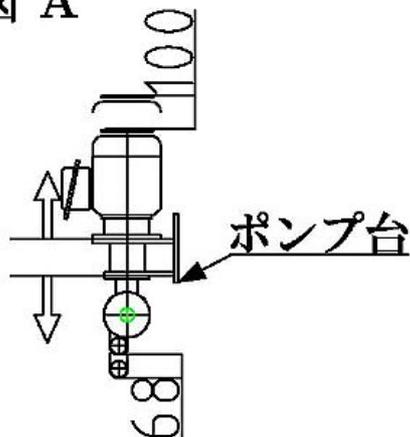


図 4.35 従来の流方向一定の場合の配管配置

- 2) 主機燃料油供給ポンプは、据付位置が高く、上部にもスペースがないので従来の豎型ポンプでは上方にポンプを抜きとり高さが必要であったが、今回のポンプではポンプ台をベースとして、電動モーターおよびポンプのみが取り出すことが可能とすることで、メンテナンスを容易にした。図 4.36 の側面図 A では、ポンプはポンプ台より下方に卸すことで、または、電動モーターはポンプ台より上方に 100mm のスペースを確保できれば取り出すことが可能とした。側面図 B ではポンプ全体をポンプ台の 4 本のボルトを外すことで、前面に引き出すことを可能とした。

側面図 A



側面図 B

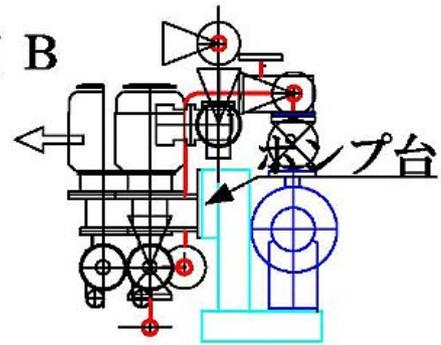


図 4.36 主機燃料油供給ポンプのメンテナンススペース

3) 主機燃料油供給ポンプは、ポンプと電動モーターの接続カップリングにマグネットカップリングを採用した。これにより、ポンプの軸シール部がなくなることで、グランドパッキンまたは、メカニカルシールが必要でなく、信頼性の高いシール機能、メンテナンスフリー、駆動側と従動側が完全分離となり、シール部から燃料油が漏れることがなくなることで、安全であり、環境性も向上出来た。

4) 電気式燃料加熱器

電気式燃料加熱器において 12kw の加熱ヒーターを 6kw + 6kw に分離して、別々に温度制御機能を設けることで、安全性の向上を図った。

さらに、2つの温度制御装置は、一方は温度調整器と電磁リレーの組合せた温度制御方式と、温度調整器と無接点リレーの組合せた温度制御式で 6kw 以上のときは、温度調整器と電磁リレーの組合せた温度制御方式は 6kw を常に通電を行い ON - OFF 制御は行わない、一方の温度調整器と無接点リレーの組合せた温度制御方式で温度調整器を行う方式で、6kw 以内の制御時は停止し、温度調整器と無接点リレーの組合せた温度制御方式で運転方式を採用することで、制御制度の向上及び省エネ化ができた。

5) 燃料油粘度計

従来の燃料油粘度計では燃料油供給ポンプに比べて大きく内航船のモジュール化には非常に困難である。そこで研究を進める上で欠かせないものであるので、メーカーの協力を得て燃料油粘度計の開発に挑戦したものである。しかし、寸法的には満足するものでなかったが何とか設置出来る範囲になった。実船では順調に作動してデータを収集することができた。

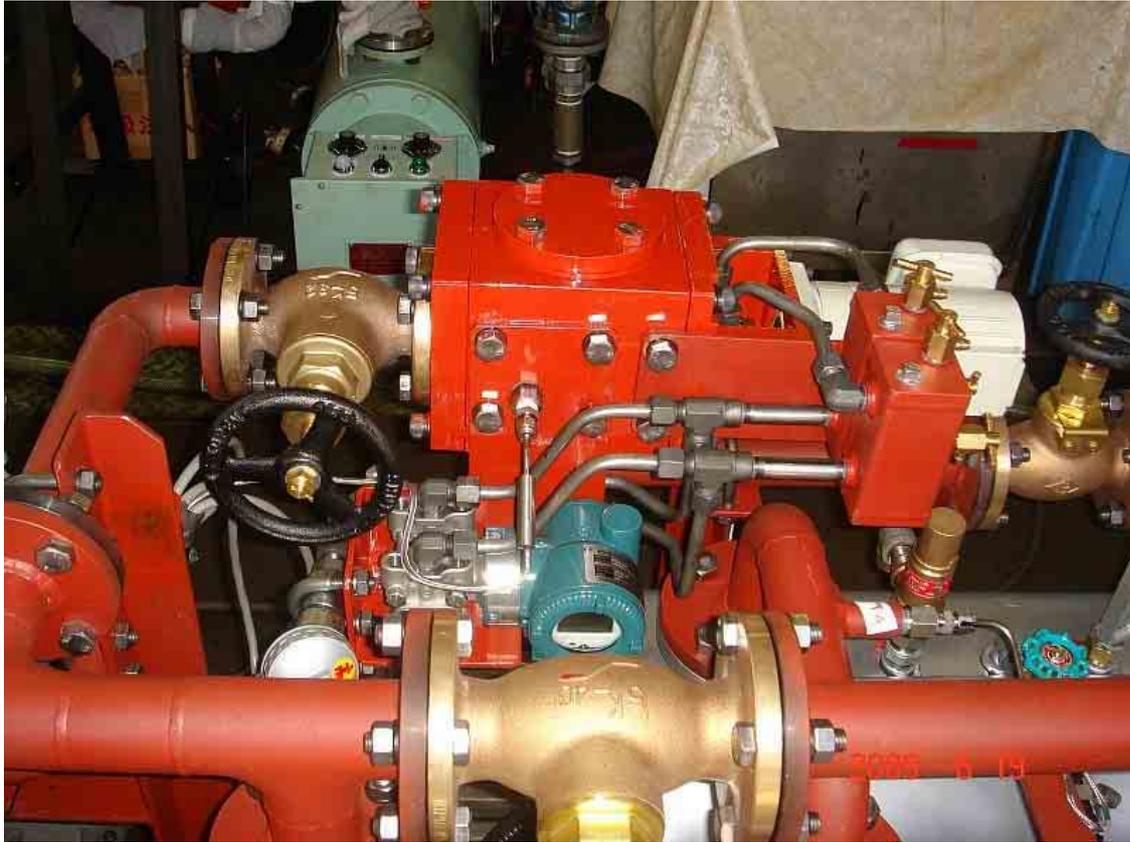


写真 4.1 開発した粘度計



写真 4.2 主機燃料油供給モジュール正面



写真 4.3 主機燃料油供給モジュール右斜面

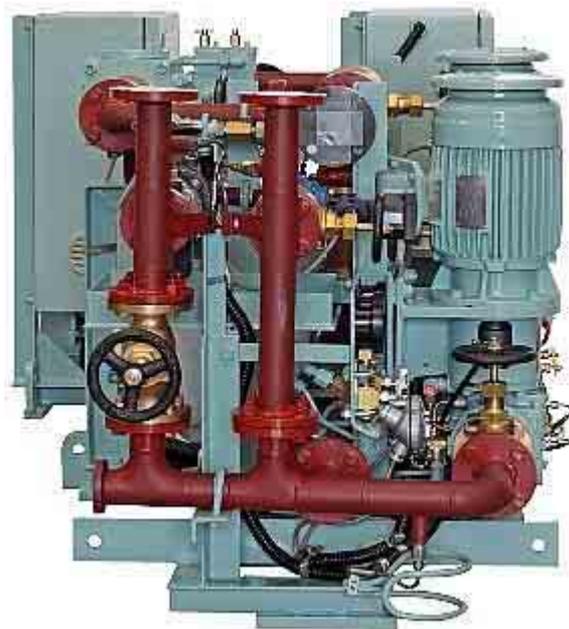


写真 4.4 主機燃料油供給モジュール左側面

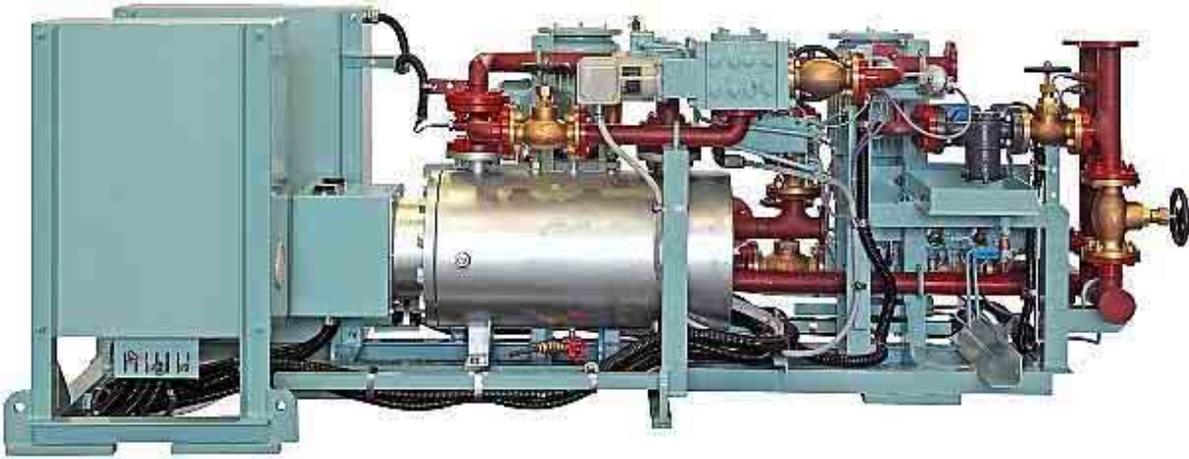


写真 4.5 主機燃料油供給モジュール背面



写真 4.6 実船搭載した主機燃料油供給モジュール

4.2.8 ビルジ前処理モジュールの設計

従来の総トン数 499 トン型機関室ビルジ配管系統は、図 4.7 に示した通りである。4.1.13 項で述べたように、油水分離器はスラッジ等によりコアレッサーエレメントの目詰まりが発生すると、性能低下を招きビルジの排出が正常に出来ないことになる。

このため、ビルジが油水分離器を通過する前に、スラッジおよび油、浮遊物を除く目的でビルジ前処理モジュールを設け、前処理後に油水分離器へと導くことによりスラッジの目詰まりを少なくする。

図 4.36 に示す系統で、ビルジウエル に溜まったビルジを、油水分離器用ビルジポンプで汲み上げて、経路 をへて、ビルジ前処理槽のビルジ入口 に移送する。

次に、ビルジは、ビルジ前処理槽出口 から油水分離器用ビルジポンプ で汲み上げ、経路 を経由してスラッジコレクター に至る。スラッジコレクター からスラッジを分離されたビルジは、出口 を経由して油水分離器に送る。一方、スラッジコレクターの出口 から出たスラッジは、ストレーナ に溜まり、スラッジに含まれていた水分はビルジタンクに溜められる。

前処理槽から油水分離器に送られたビルジは、ビルジアラームにて 15ppm 以内の油分であれば 3 方弁 の排出口 1 から船外に排出する。船外排出時には、データ収集装置に位置情報が記録されるようにした。また、15ppm 以上のビルジの場合は 3 方弁 の出口 から船内ビルジタンクに戻る系統に改善した。

図 4.37 にビルジ前処理槽の断面を示す。

油分を処理する方法として、従来は、漏斗状排水管の弁 を閉鎖した状態で、油水分離器用ビルジポンプは、フロートスイッチにより下限液面で起動して上限液面で停止した後、上限液面付近に軽い油分が浮上している部分を漏斗状排水管の弁 を解放することで上限液面から漏斗上面までの浮上油部分のビルジを取り除いていた。しかし、この方法では浮上油の表面に流れが生じないと油分は漏斗状排水管には流れ込まないことが判明した。

その対策として、表面に流れが生じるようにするには、漏斗状排水管の弁 を解放した状態で、油水分離器用ビルジポンプは、フロートスイッチにより下限液面で起動して液面は上昇する間に軽い油分が浮揚し、漏斗上面より漏斗状排水管にビルジが流れ込む時に液面の表面に流れが生じる。フロートスイッチで漏斗上面を検知した時を基準点として、従来の上限液面から漏斗上面までの容量と同じ量になる時間だけタイマーにより油水分離器用ビルジポンプで補給を続ければ漏斗状排水管に油分の多い浮上油は取り除くことが出来るように改善した。

性能確認をするために、従来の方法を「B」として、改良型を「A」として、1.0% (10,000mg/L) A 重油を混合してテストを行った後、残りビルジをハンドミキサーで攪拌後ほぼ均一になってから、試験水を採取し、油分解析を行った。

分析結果を図 4.38 に示す。この結果では第 1 室では「A」では 510mg/L、「B」では 1300mg/L と改良型が良好な結果で、第 2 室では「A」では 370mg/L、「B」では 271mg/L と大きな差はなかった。結果、改良型は人手をかけずに表面水（浮上油）を排水できる。

「B」の従来方法ではサンプルコックや覗き窓で確認しながら手動で排出する必要がある。また、サンプルコックは閉塞しやすく覗き窓は汚れ、浮上油の排出を怠ると前処理槽が油タンクとなり、役目を果たさない結果となる。よって「A」改良型が、油膜が薄くかつ省力化できる。

次にスラッジの分離方法は、液体をサイクロンの中に流速をつけて流入させることで、重い物質は遠心力で下方に、軽い物は上方に流出する原理を使用してスラッジコレクターを開発した、10ミクロンのアルミ粉はほぼ完全に分離した、5ミクロンのアルミ粉は50%取り除く結果を得た。分離されたスラッジを300ミクロンのコシ器で濾過して残留固形化することで廃棄が容易となった。

これらの結果から、ビルジ処理において省力化することができた。

図4.38はビルジ前処理モジュールの図面を示す。

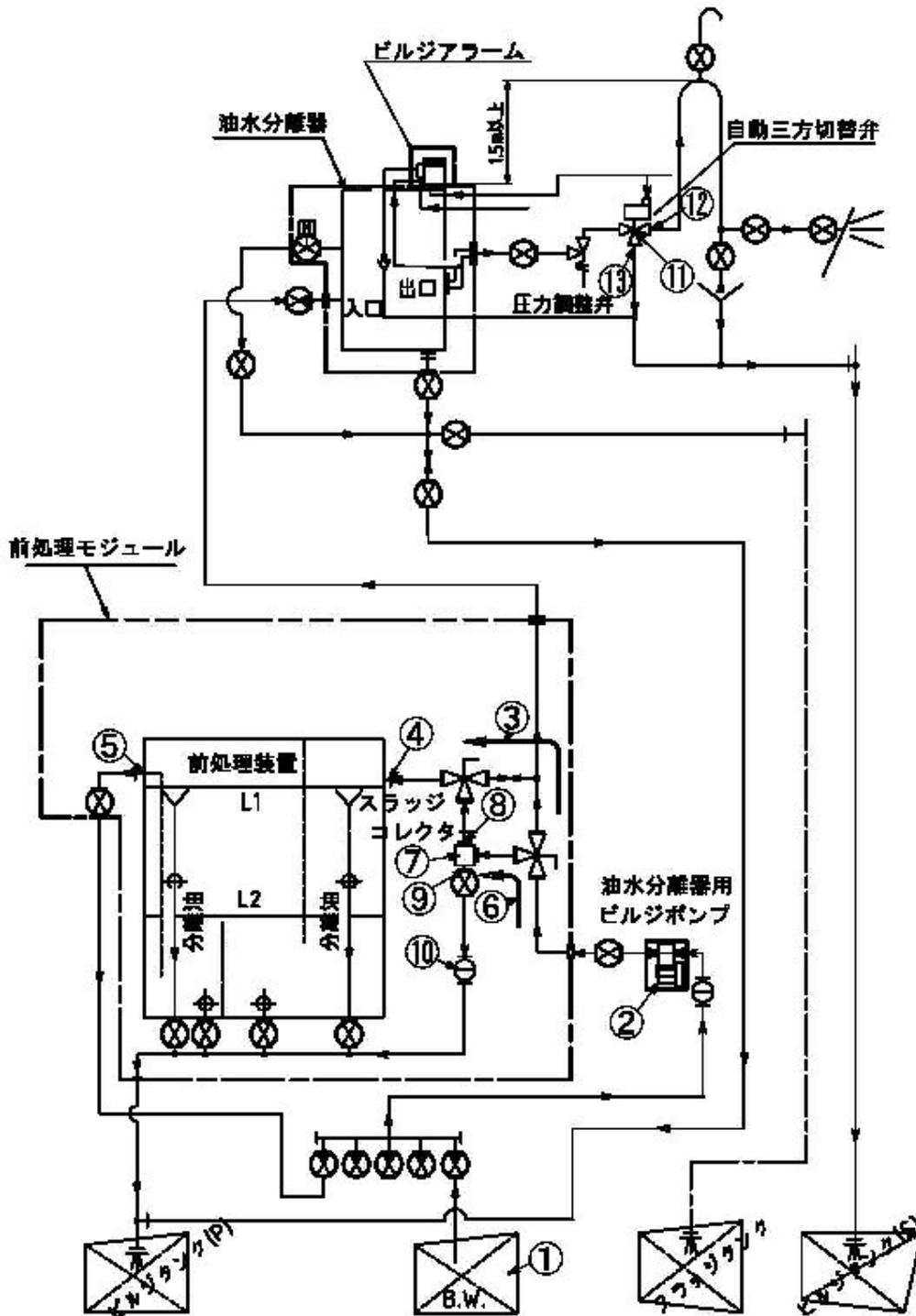


図 4.36 ビルジシステム

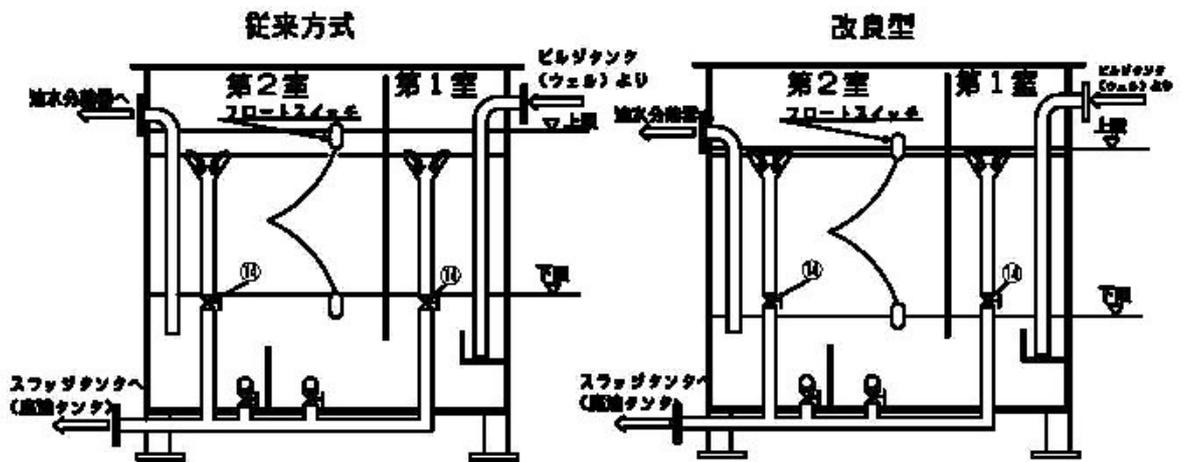


図 4.37 ビルジ前処理槽の断面

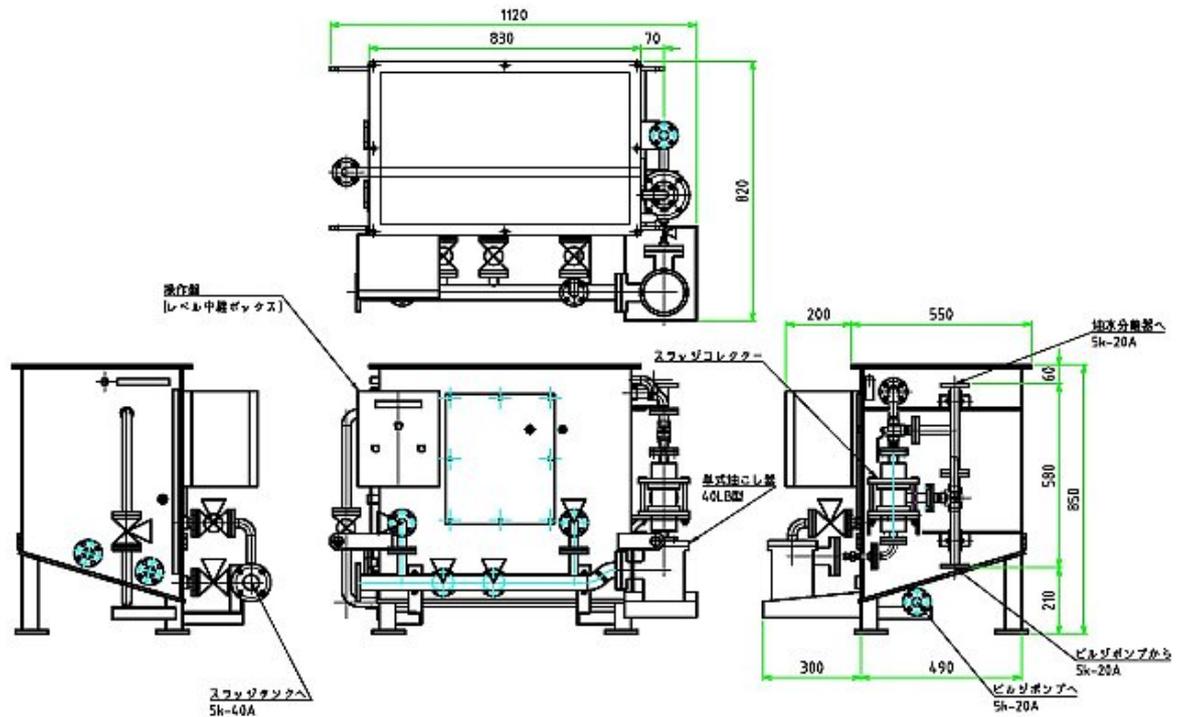


図 4.38 ビルジ前処理モジュール

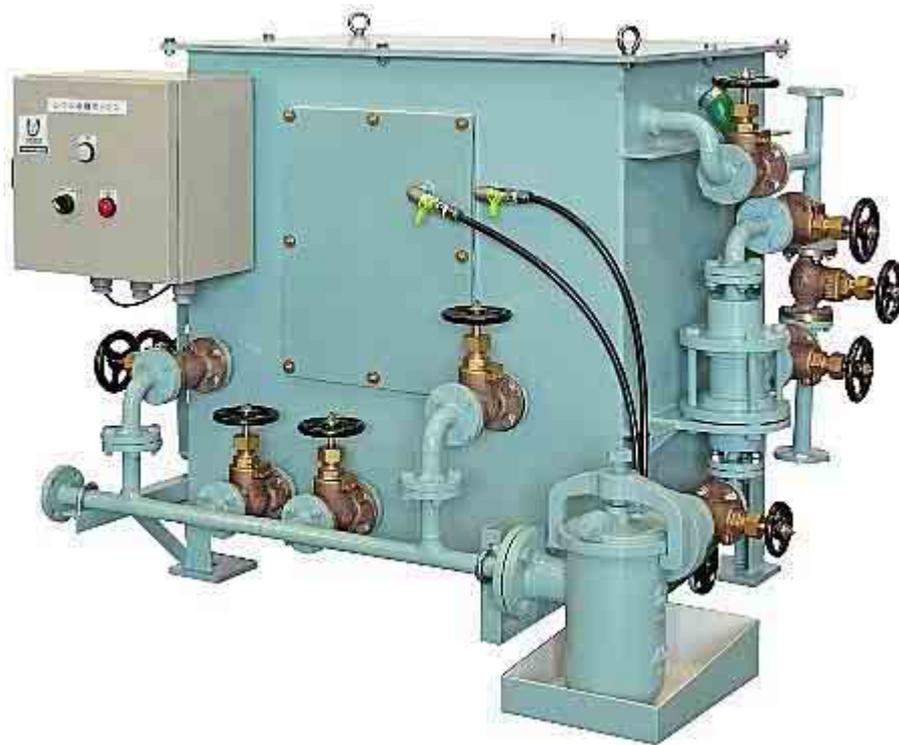


写真 4.7 ビルジ前処理モジュール写真（製作工場時撮影）



写真 4.8 ビルジ前処理モジュール実船搭載写真（出港時撮影）

4.2.9 燃料油移送ポンプモジュールの設計

燃料油移送ポンプモジュールは、C重油移送ポンプとA重油移送ポンプの2台装備しているため相互にバックアップを取っているシステムとした。コンパクト性、保守性、環境性能向上も大きなテーマであるのでポンプの選択にも重点を置いた。

従来は、燃料油ギヤポンプを保守する場合には、吸入側、吐出側の配管を本体から外す必要があった。配管を外すことで油漏れが発生した。縦型2連ポンプは箱型ケースに2台の燃料ポンプ装備されたコンパクトである。また箱型ケースから燃料ポンプを引き上げることで、燃料ポンプの開放時間の短縮、保守性の向上と油漏れがないように工夫した環境にやさしい2連縦型ギヤポンプを採用した。

燃料油移送ポンプモジュールの初期計画では、長さ700mm、幅850mm、高さ910の設定であったが、燃料油移送ポンプモジュール(1案)では、図4.39に示すように、ポンプ部の寸法は、長さ750mm、全長さ1450mm、幅910、高さ840mmとなった。保守、メンテナンス性を重視した結果、コンパクト性が多少犠牲になったが、従来の2台のC重油移送ポンプとA重油移送ポンプ据付長さ(1850mm)と比べれば短くなっている。

次に、燃料油移送ポンプモジュール(2案)を図4.40に示す。長さ560mm、幅793mm、高さ890mmとコンパクトにすることが出来たが、メンテナンス性、環境性は1案の燃料油移送ポンプモジュールより悪くなった。

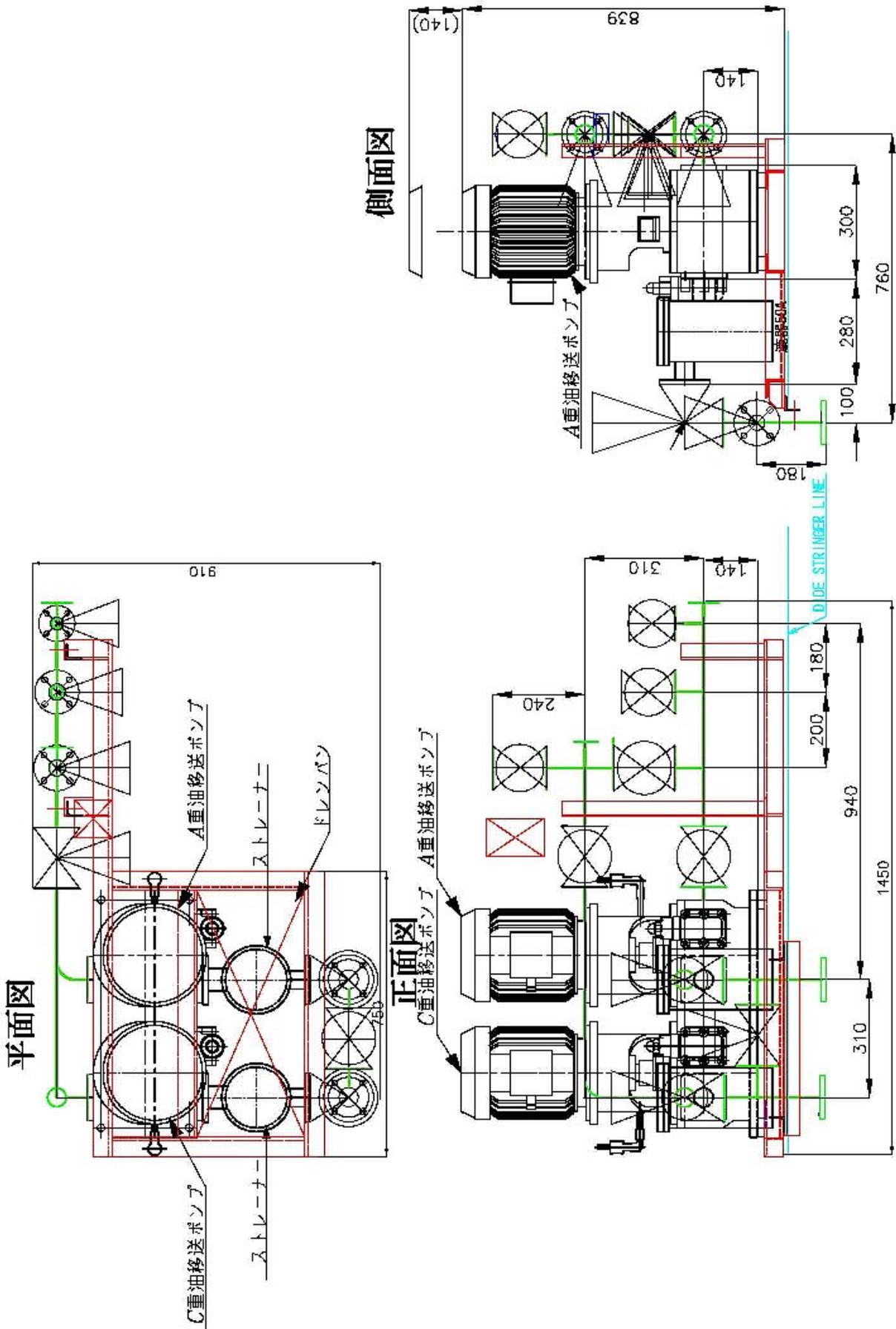


図 4.39 燃料油移送ポンプモジュール (1 案)

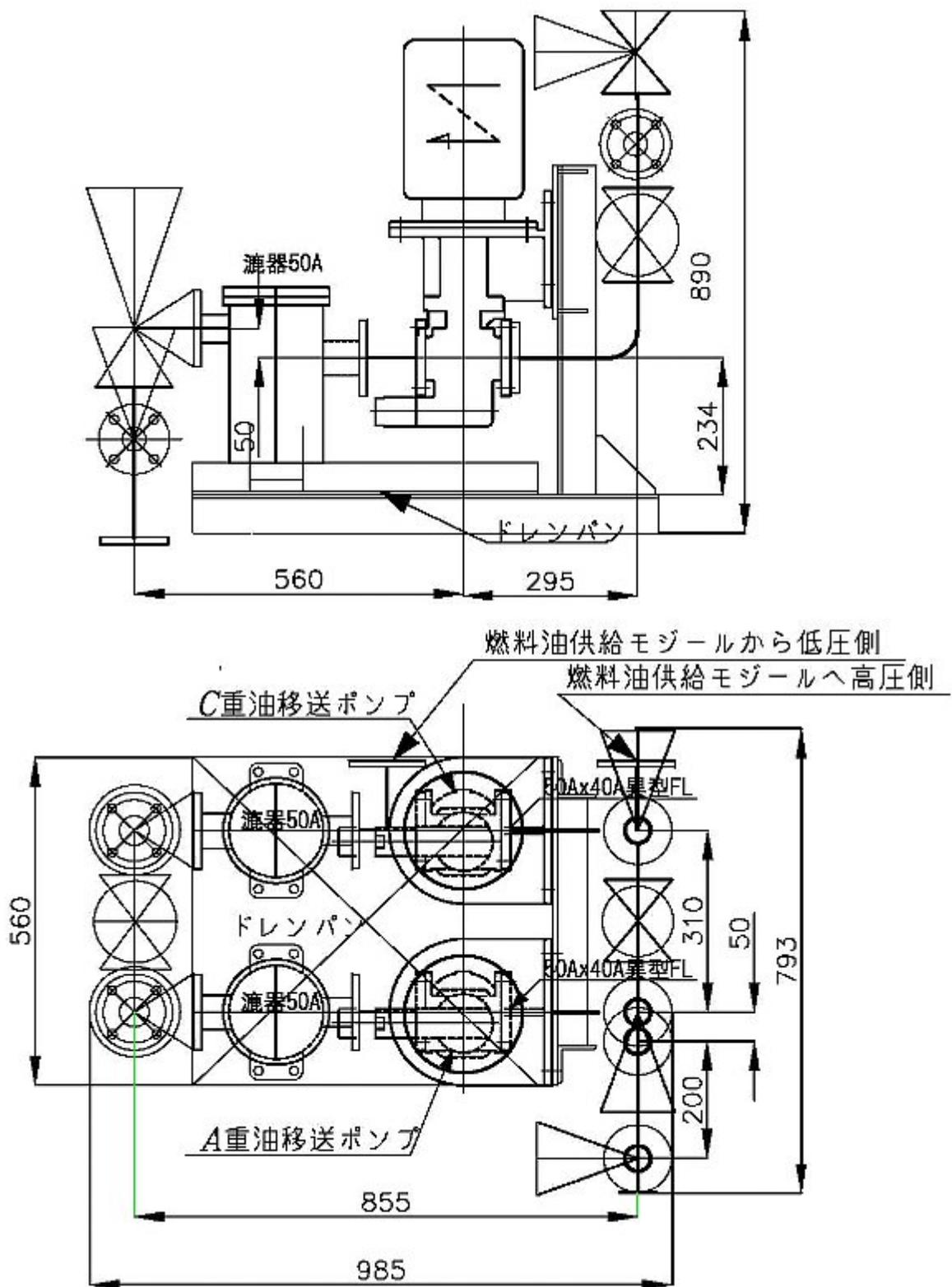


図 4.40 燃料油移送ポンプモジュール (2 案)



写真 4.9 燃料油移送ポンプモジュール（工場にて撮影）



写真 4.10 燃料油移送ポンプモジュール（工場にて撮影）



写真 4.11 燃料油移送ポンプモジュール実船搭載写真

4.2.10 機関室全体のおおまかな配置等

4.2.9 の内航船の運航管理される立場の意見の中で、採用可能な $100\text{m}^3/\text{h}$ 以上の容量を持つ清海水ポンプには縦型ポンプとして、消防兼雑用水ポンプ、ビルジバラストポンプ、主機冷却海水ポンプ、主機低温冷却清水ポンプの 5 台および主機燃料油供給モジュール、燃料油移送ポンプモジュール、ビルジ前処理モジュール潤滑清浄機モジュールを（赤色で示す）採用した場合の機関室全体のおおまかな配置を図 4.41 二重底上機関室平面図および、図 4.42 第 2 甲板上機関室平面図として基本計画をまとめたものを示す。

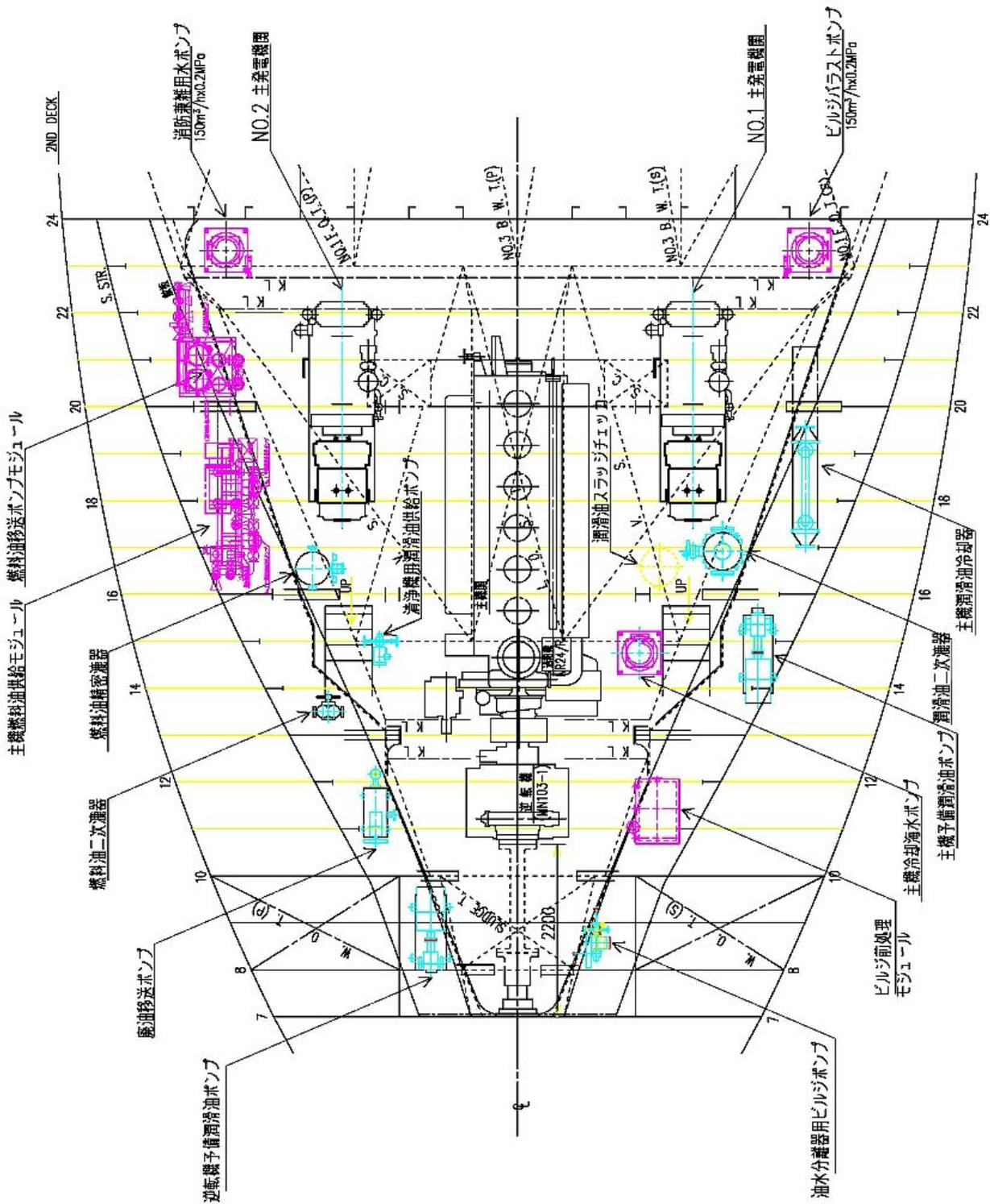


図 4.41 二重底上機関室平面図

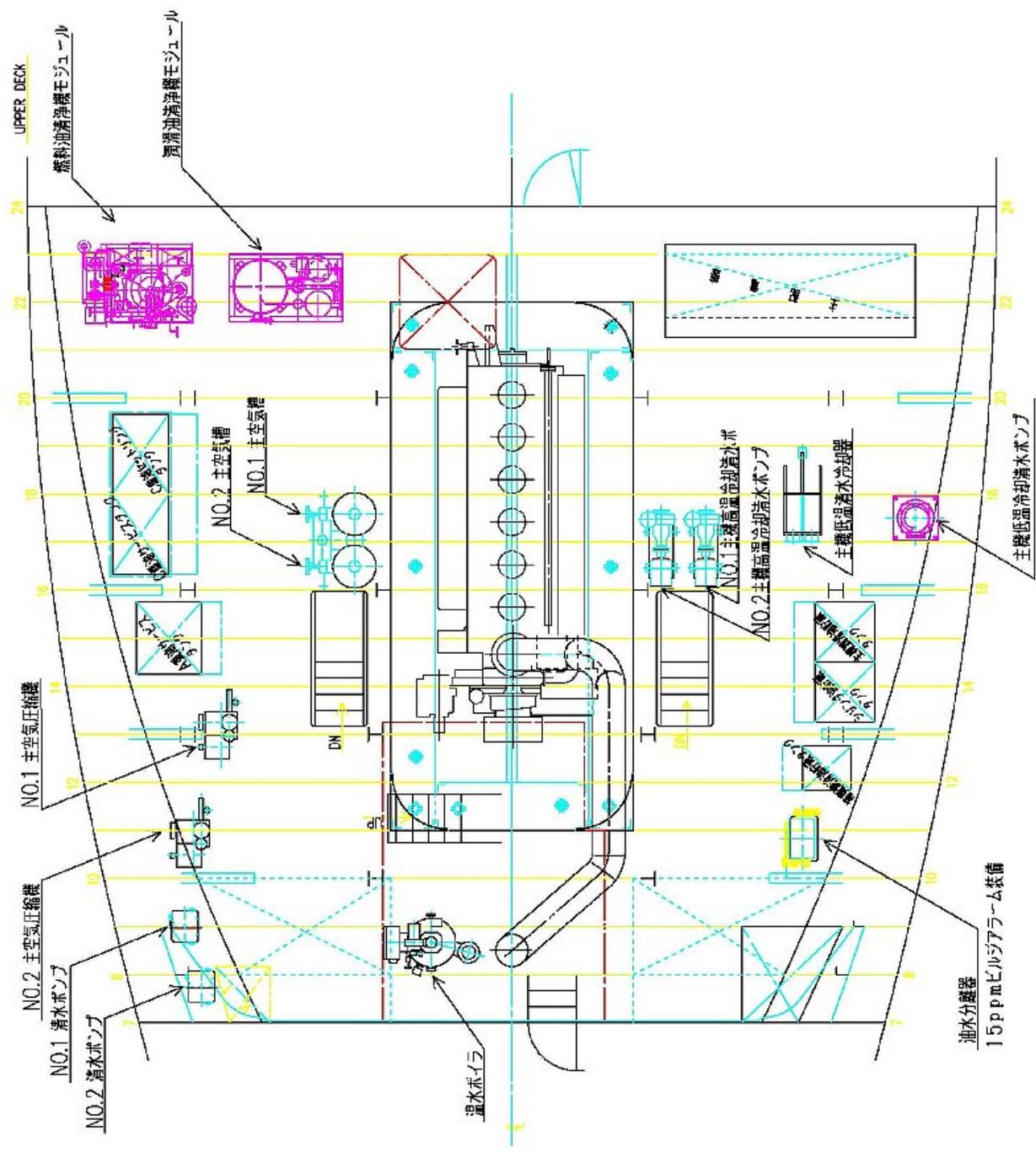


図 4.42 第 2 甲板上機関室平面図

4.3 実船搭載、データ取得

4.3.1 データ収集装置

データ収集装置は、主機燃料油供給モジュールを主体として、燃料油の温度、燃費、粘度、ポンプ軸受部の温度、機関室内温度、主機回転数、GPSによる位置情報、電気式燃料油加熱器の作動状態を収集した。

写真4.12は、主機燃料油供給モジュールの横側にデータ収集装置を搭載した写真であり、PLC（プログラマブルコントローラ）によりデータ収集を行い、ブリッジのPC（パソコン）にデータを転送した。

2009年9月5日愛媛県今治市を出港して2009年10月末までの9次航海までのデータを5分間隔で収集した。次頁以降は、分析を行うためにグラフ化したもので、1次航海の記録データを示す。



写真 4.12 データ収集装置の内部を撮影

4.3.2 データ分析

粘度計精度の検証

図 4.43 は主機燃料油供給モジュール配管系統温度のデータで、図 4.44 は粘度計内の差圧と粘度を示す。図 4.43 で電気式燃料加熱器の出口温度をヒーター出口で表示している温度は 125 で、図 4.44 では燃料油の粘度を粘度で示した値は 9.0cSt となっている。図 4.45 は本船から回収した C 重油を粘度の鑑定を実施した分析結果報告書と図 4.46 では、C 重油粘度と温度線図を示す。

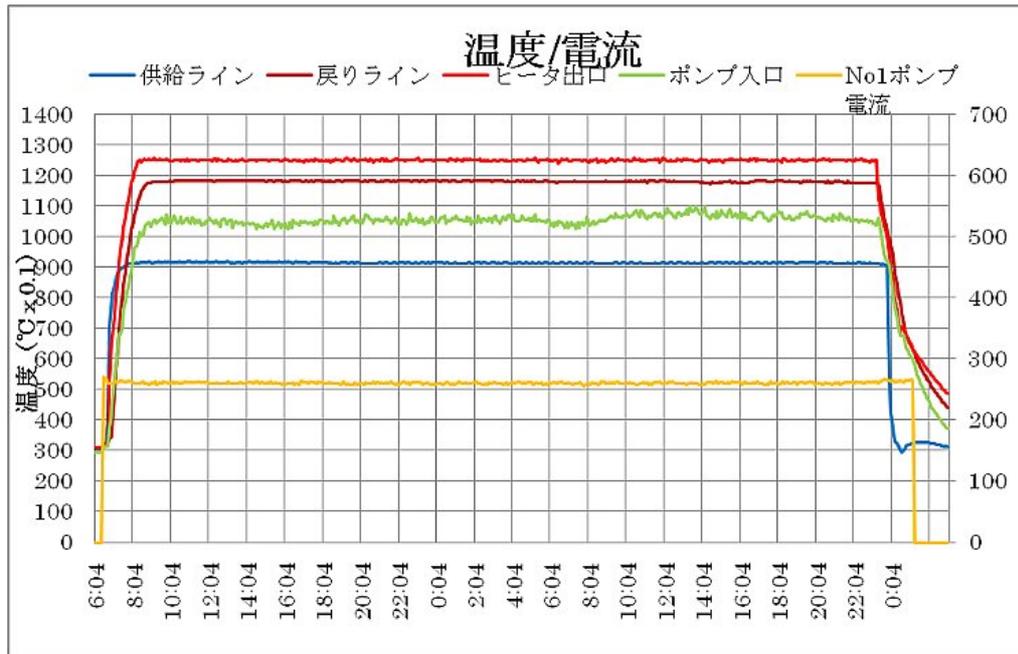


図 4.43 主機燃料油供給モジュール配管系統温度

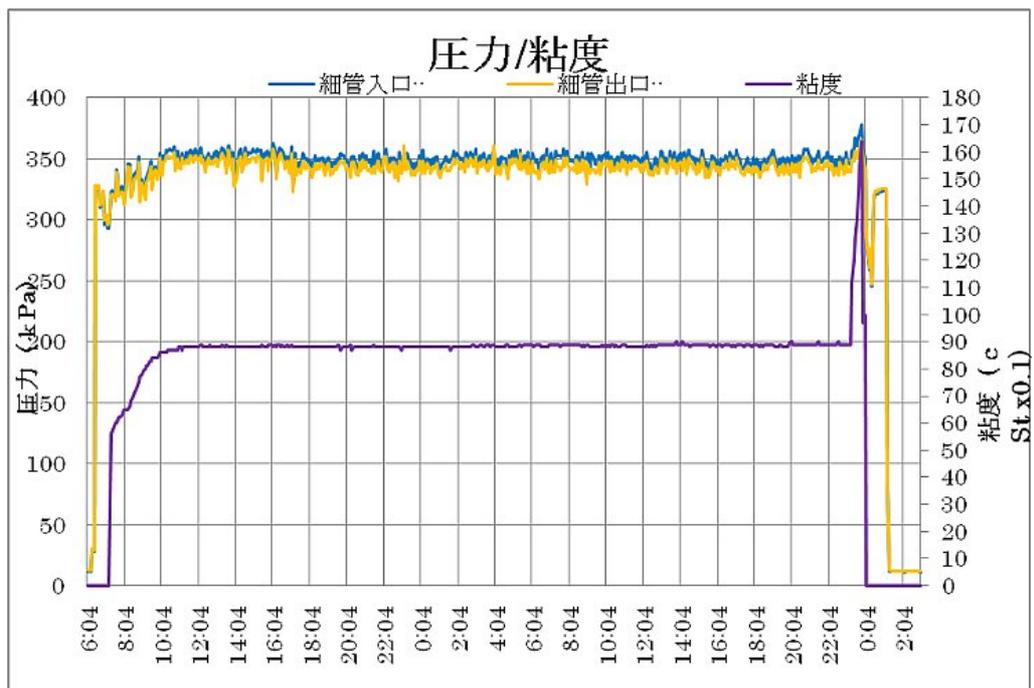


図 4.44 粘度計差圧と粘度

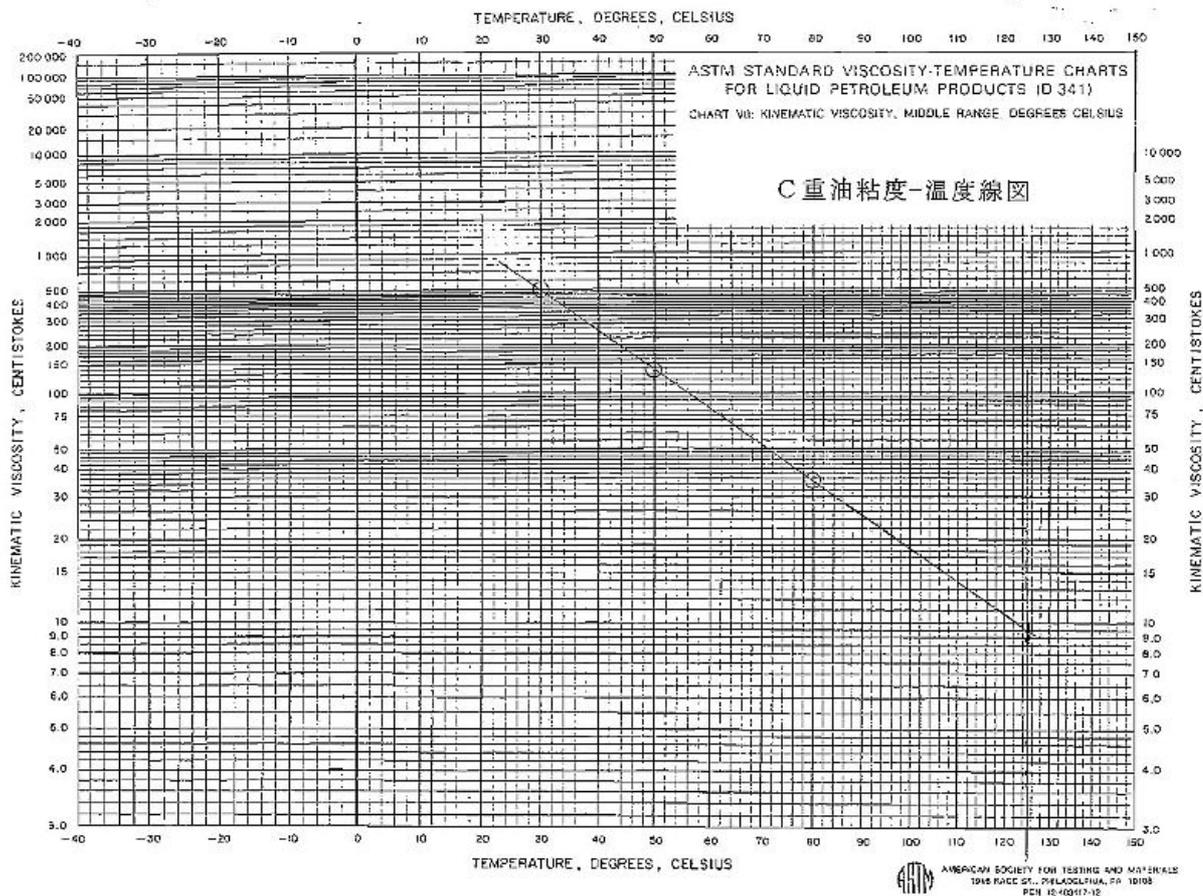


図 4.46 本船C重油の分析結果のC重油粘度と温度線図

図 4.46 に示すC重油粘度と温度線図から電気式燃料加熱器出口温度 125 の粘度は 9.3cSt で、記録では 9.0cSt で若干低めの値であるが、出入港時にA重油が混合したものが残留していると考えると正しい値と言える。図 4.44 で見た場合に出港時から時間経過するに従い粘度値が少しずつ上がっていることから正しいと判断できる。

燃料油粘度の検証

表 4.3 では、航海日時ごとに燃料油加熱温度と粘度および給油日を示した。表 4.3 では給油後C重油の粘度が大きく変化していることが分かる。これらから燃料油は製品にかなりの製品差があると言える。

加熱温度 125 の一定で粘度は低い時は、6.8cSt ~ 高い場合は 9.5cSt と変化している。新潟原動機(株)がリコメンドしている粘度 11cSt ~ 14cSt 範囲内の設定粘度を 14cSt に設定値とすれば加熱温度は 95 ~ 110 の範囲でよい。

粘度計で電気式加熱器の温度を制御すれば 15 から 30 の温度を低く設定が可能になる。電気式加熱器の温度制御範囲の精度が高まれば可能となり、大きく省エネにも繋がる。

表 4.3 燃料油加熱温度、粘度および給油日

	日付	加熱温度	粘度 cSt	給油 kl
	出港時			30
1次航海	9月9日	125	9.0	
給油	9月11日			30
2次航海	9月15日	125	6.6	
3次航海	9月23日	125	7.0	
回航	9月25日	125	6.8	
4次航海	9月28日	125	6.8	
給油	9月30日			30
回航	10月1日	125	6.8	
5次航海	10月4日	125	8.0	
6次航海	10月10日	125	8.0	
7次航海	10月14日	125	8.4	
8次航海	10月17日	125	8.3	
給油	10月18日			35
9次航海	10月25日	125	9.5	

電気式燃料加熱器の制御検証

図 4.43 で示した電気式燃料油加熱器出口温度は、 ± 0.25 度の範囲に高精度に制御が行われていることが検証出来た。その中で、2件の問題が明らかになった。

図 4.44 粘度グラフで示すように、1件目は出港時 A 重油から C 重油に切替えた場合にスタート時は、燃料油は配管系統中には A 重油にて満たされている。

図 4.47 に電気式燃料油加熱器の電力を示している。図 4.47 では、電気式加熱器出口で温度検知しているために、混合初期は設定温度よりかなり低いために最大電力 12kw 最大出力で加熱する結果になっている。しかし、粘度はかなり低い値と成っているため最大電力まで投入しなくてもよいことになる。

2件目は上記と反対の現象が発生している。入港前に C 重油から A 重油に切替える場合に C 重油の中に A 重油の冷えた油が混合されることにより C 重油の粘度が温度低下となり粘度が高くなる現象が発生している。推奨値よりかなり大きく粘度が高くなっている。図 4.44 で示すように急激に粘度が高くなっている。

いずれの場合にも粘度計で制御すれば良い結果が得られる。

ヒーター電力

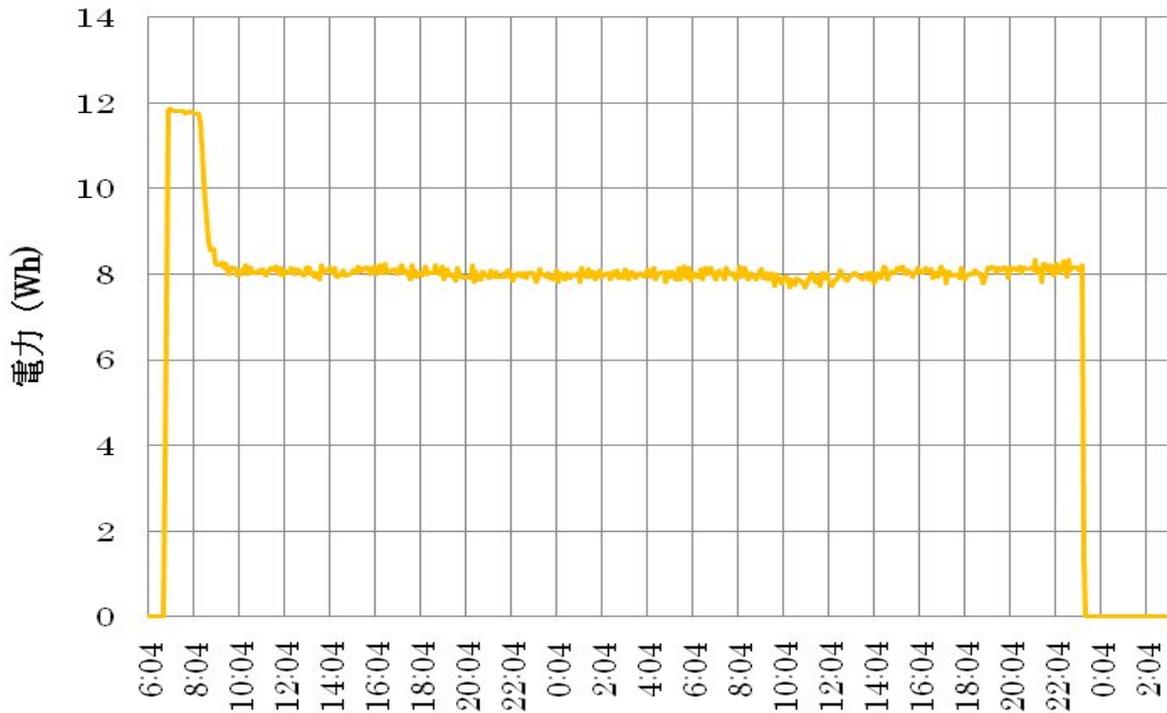


図 4.47 電気式燃料油加熱器の電力量

電気式燃料油加熱器の制御による変化

図 4.48 は制御方式の差を検証した結果を示す。

電気式燃料油加熱器のヒーターは6kw+6kw合計12kwのヒーターで2系統の制御機を設けている。初めに、6kwを常時通電し、もう1台の6kwをSSR（無接点リレー）により制御した場合と、6kw+6kwを従来方式で制御した結果の温度変化を示している。初めの6kwを常時ONとして、もう1台をSSRで制御した場合には電気式燃料油加熱器出口温度安定した状態である。しかし、従来方式で12kwに制御すると大きく温度が振れる。また、図 4.49 粘度計の圧力と粘度で示すように、粘度計の粘度計測値も先の温度計測結果と同じ様な変化となり、従来方式の12kw同時制御よりも6kw+6kwで制御する方式が粘度も安定する結果となった。

これらの結果を総合評価すると主機燃料油供給モジュールには粘度計は必要機器であることは疑う余地がない。

1. 温度

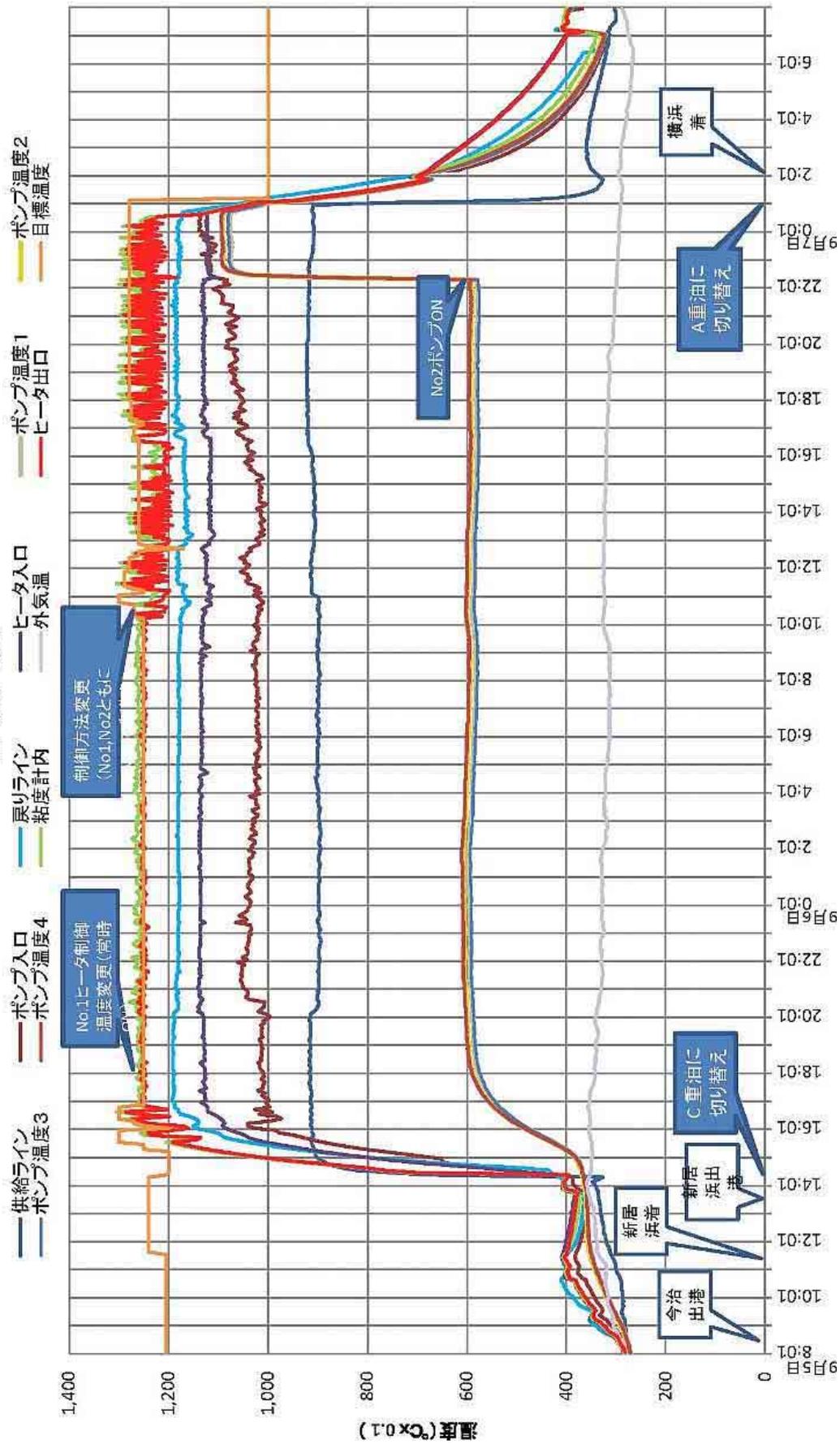


図 4.48 電気式燃料油加熱器の温度

2. 圧力 / 粘度

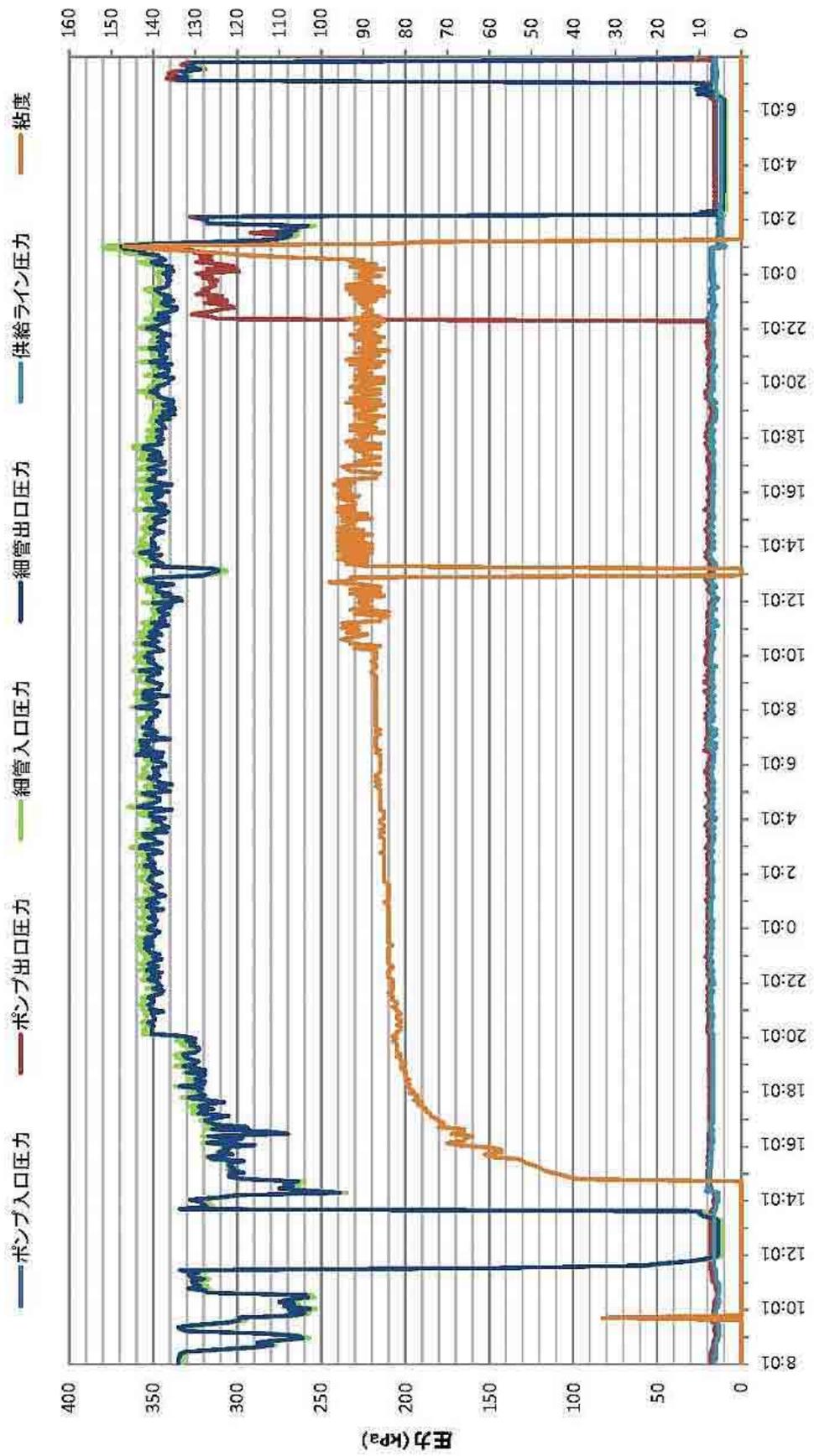


図 4.49 粘度計の圧力と粘度

3. F.O.流量

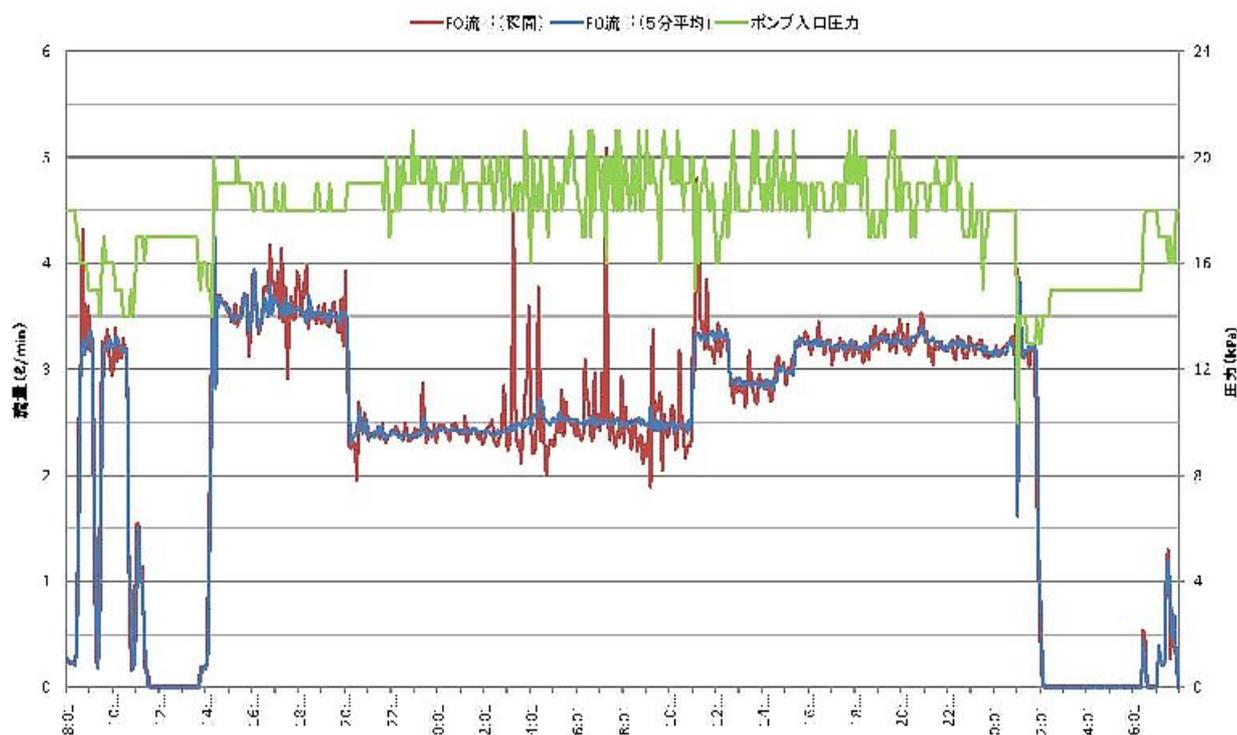


図 4.50 主機燃料油供給モジュールの燃料流量

データ計測結果で燃料油系統中の燃料油流量計と燃料油供給ポンプ入口圧力に大きなブレが生じている原因が解らない、いづれにしても、主機関の圧力調整弁から発生したものが、燃料油中の水分が蒸発して、エアセパレーター中での液面変化が生じているのかデータから読み取ることができなかった。

4.3.3 航海データの情報活用

主機燃料油供給モジュールの多くのデータを、PLC（プログラマブルコントローラ）を介して収集しているため、ITを利用した統合化を研究する為に、操舵室にコンピュータと7インチディスプレイをPLCと繋いで航海情報を見られるようにした。

船速情報としてGPS、電磁ログ、主機回転数、リアルタイムの燃料油消費量から船速力とリアルタイムの燃料消費量および対地と対水速力の比較、プロペラスピードとスリップなどの情報と計測点の温度と圧力および粘度を操舵室の7インチディスプレイに表示出来るように設けた。さらに、ビルジセパレーターの排出の記録、電力量等のデータも採れるように設備した。

さらに、一航海ごとに、出港地、入港地、その間の平均速力、A重油、C重油の燃料消費量、航続距離等の記録を作成する支援システムも導入した。

今後は、機関室機器のモジュール化を推進することで、機関室全体の機器のIT化を図り、情報の統合化を推進し、船と陸上の管理者との情報共有化を図るべきである。



写真 4.13 操舵室 7 インチディスプレイの画面

4.4 実船での検証

21年度のモジュールの試作、実船搭載の結果を基に、機関室の最適な配管系統の設計を行なうには、実船の検証する必要がある。従来船とモジュール搭載船についての、系統別、管長さ、重量の比較等については、後の節で取り上げる。

本節では実運航時のデータに基づいてシステムの問題点から改善点、着眼点を検証して配管系統に反映できる項目について検証する。データ収集装置の詳細は4.3節で詳しく説明をしているので、取得データから問題点、着眼点を浮かびあがったものを取り上げる。データは図4.51に示すように航海した航跡を明確にすることが出来る。

1例として、本船では、ビルジを船外に放出した場合に記録が残るように設備されている。また、機関室内の温度も記録に残しているので、季節と機関室の温度関係も時間が経過すれば、システムの温度設定なども利用できる。今後のシステム設計時に根拠のある数値として利用ができる。

図4.43では主機燃料供給モジュール内の温度として、燃料油常用タンクからの供給燃料油の温度、エアセパレータからの帰り燃料油の温度、燃料加熱器の入口、出口温度、燃料供給ポンプ入口温度等の記録が残る。

このデータを基に燃料加熱器のヒートバランスを計画時と本船実績とを比較して検証する。表4.4は計画時と実船の実績値の比較表である。

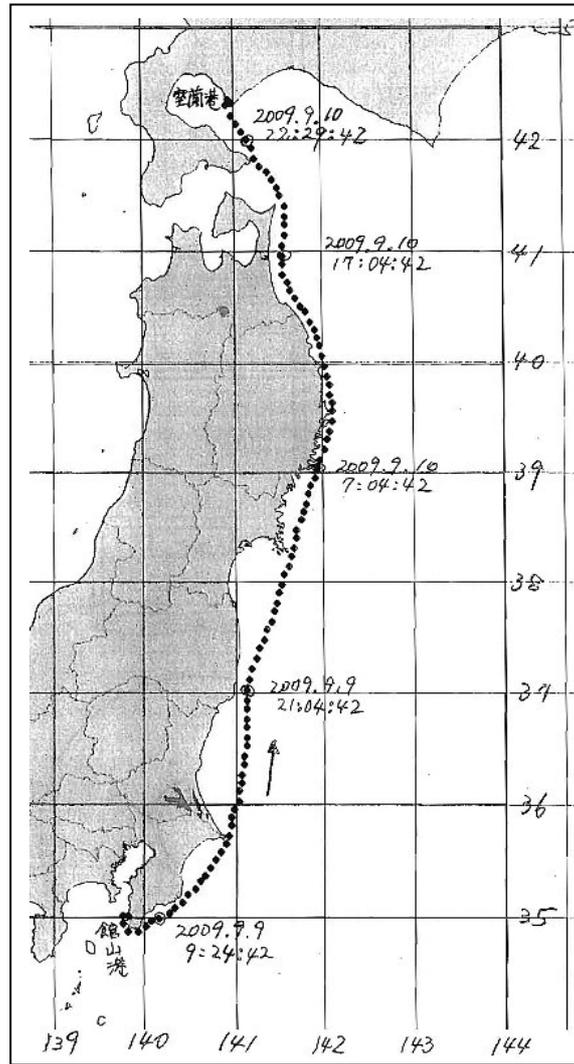


図 4.51 航海航跡図

表 4.4 計画時と実船航海時の燃料供給モジュール内の温度比較表

項 目	計画時	実績値
流量 (燃利用供給ポンプ容量) Qm^3 / h	0.7	1.0
t 1 : C 重油常用タンク設定温度	90.0	91.0
t 2 : 燃料油加熱器設定温度	115.0	124.0
t 3 : リターン時燃料油温度	105.0	118.0
t 4 : 合流点燃料温度	98.6	112.6
t 5 : 燃料油加熱器入口温度	98.6	110.0

表 4.4 の比較表を持って主機燃料油加熱器のヒートバランスを検証すると、

比重 $sg = 980 \text{ kg/m}^3$ 、比熱 $sh = 1.884 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$ 、加熱時間 $h = 1$ 時間、

効率 $= 0.85$ 、 $1 \text{ kWh} = 3600 \text{ kJ}$

計画交換熱量 $H = Q_f \times sg \times sh \times (t_2 - t_1) = 0.7 \times 980 \times 1.884 \times (115 - 98.6) = 21196 \text{ kJ/h}$

計画加熱電力 $kW = H / (3600 \times \eta \times h) = 21196 / (3600 \times 0.85 \times 1.0) = 6.93 \text{ kW}$

実績交換熱量 $H = 1.0 \times 980 \times 1.884 (124 - 110) = 25848 \text{ kJ/h}$

実績加熱電力 $kW = 25848 / (3600 \times 1.0) = 7.18 \text{ kW}$

熱交換器の効率は実績値からでは計画値 0.85 としていたが電力実績値 $kW = 8kW$ でヒーターの効率を計算するとヒーター効率 $= 7.18 / 8 = 0.90$ となった。

計画値は 0.85 であったが劣化を考えるとよい結果であった。

また、図 4.43 では、平常運航時には電力量は 8kW と安定しているが、図 4.47 の実船航海時の燃料加熱器の電力使用は、12kW の最大電力をしている、次の図 4.52 に示すように目標温度までの到達時間が計画時の 1 時間より多く伸びて 1 時間 40 分時間となっているこの間最大電力を使用している。このように燃料油の粘度が低いに係らず最大電力 12kW を消費電力は、制御方法を考慮すると 8kW で加熱する事で問題はない。

図 4.52 の、立ち上がり時の温度制御と温度制定時間を考えると、計画値より目標温度まで到達時間が伸びたことを推察すると、燃料加熱器の系統後部に精密フィルターが設けられ、容積が 50L あった場合に加熱熱量が大幅に増加したことから、計画値と目標温度到達時間が異なると考える。

また、入港時について考察すると、C 重油から A 重油に切り替え時に、C 重油が消費しないと A 重油は主機関に至らない。このことは図 4.44 においても、入港時の粘度が高くなっている時間が 30 分程度掛かっていることから推察できる。

燃料加熱器から主機関との間の管容積だけではこれほどの時間を粘度が高いことは考えられない。加熱器の系統後に大きな容積の精密フィルター等の容積の大きいものを設備した場合の対策の考慮が必要で、精密フィルターを使用する時は容積の少ない方がよい。フィルターメーカーも通常航海の時だけでなく、内航船では出入港の回数は多いことも考慮する必要がある。

次に計画時と実航海で異なる点は、燃料油加熱器の設定温度が計画時は 115 であったものが、実船航海では、124 まで加熱されている。主機メーカーによって幾分異なるが 10 異なると燃料油加熱器の容量に大きな影響が生ずる。モジュール化する場合には注意する必要がある。図 4.43 に示すように設定温度の上下に振れは少ない、電気ヒーター 12kW の容量を 6kW + 6kW に分割制御と無接点リレーの採用か温度差が 1 度以内に温度制御されて、成功した事例と言える。

また、表 4.3 の燃料油加熱温度、粘度及び給油日で示した通り、加熱温度が 125 時に燃料（給油日）により 6.6 ~ 9.0cSt と大きく変化している状態では粘度計は必需品であり設備は欠かせない。乗組員の使用する立場から考えた場合に安全性からも欠かせない設備であると言える。

2009.09.09～2009.09.11 神邦丸

温度制御開始時詳細

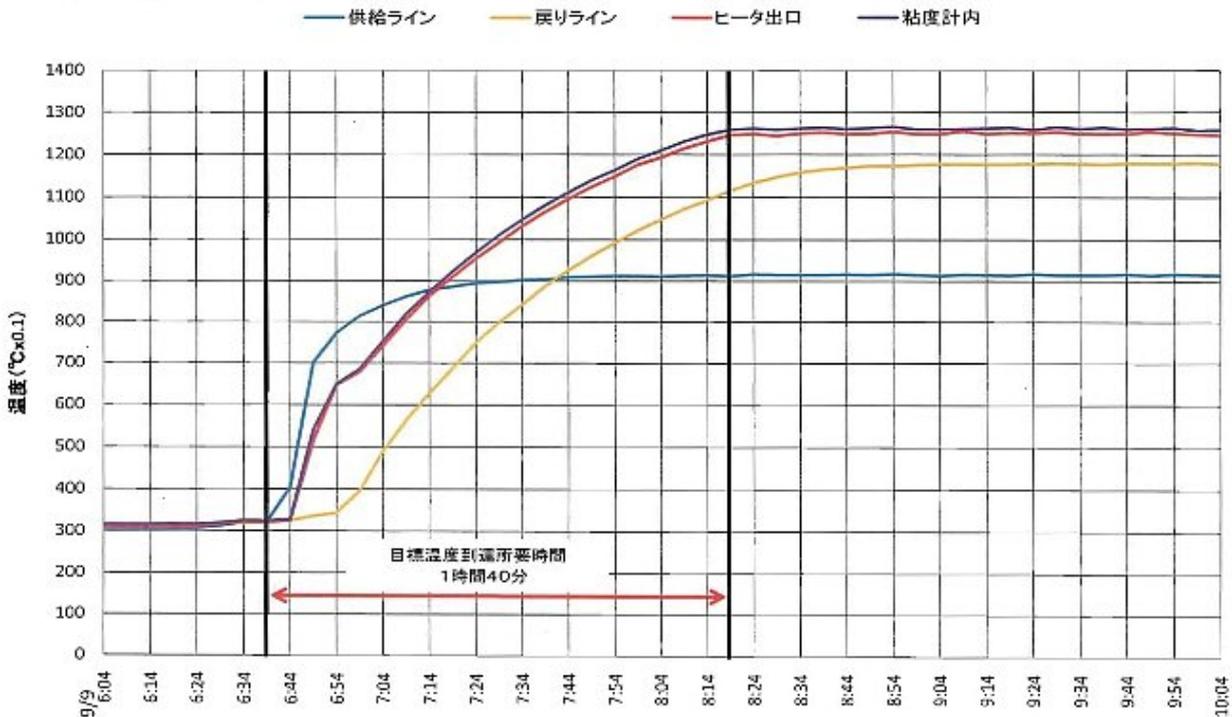


図 4.52 立ち上がり時の温度制御と温度制定時間

4.5 実船搭載結果を基にした最適な機関室配管系統

モジュール化の概念とは、標準化する過程で製品全体システムをどのようなサブシステム（機能単位・一定の規格に基づいて交換可能な状態で、ひとまとまりになっている部品群）に切り分け、サブシステム間の機能的、構造的な相互作用（インターフェイスが規格化、標準化されている）を、いかに調整するかに関する基本構想である。

配管は各機器を結ぶ装置として、機器と同等の重要性を持つとの認識が必要で、機関室配管系統を機関室システムとしてみなすことが出来る。よって機関室モジュール化は、製品のサブシステムが出来ただけ完結した機能をもつようにサブシステムを切り分け、インターフェイスを持って集約化・標準化する設計思想である。

モジュール化を機関室の設計に適用するには、以下の条件を考慮しなければならない。

- ・各船舶で使用できる汎用性が必要である。
- ・モジュールの容積、特に据え付け面積を最小とする。
- ・操作が容易で機器構成が簡単に理解できる。
- ・配管系統を規格化する。
- ・モジュールの独立性を高め完結したものとする。
- ・仕様変更時にも、モジュールの基本構成を変更せずに対応可能にする。
- ・モジュールを構成する各装置は、信頼性の高いものとする。
- ・モジュールの据え付け面積が外板や隔壁に跨らない。
- ・運搬が容易である。
- ・制御装置及び動作に必要な電力、圧縮空気、蒸気等を含めて、システムとして構成される必要がある。

これらの要件を満たすことで、機関室機器モジュールの利点が活かされる。
 モジュール化は、コストダウンや軽量化のみならず、品質向上、機能向上、納期短縮、コンパクト化等につなげる。

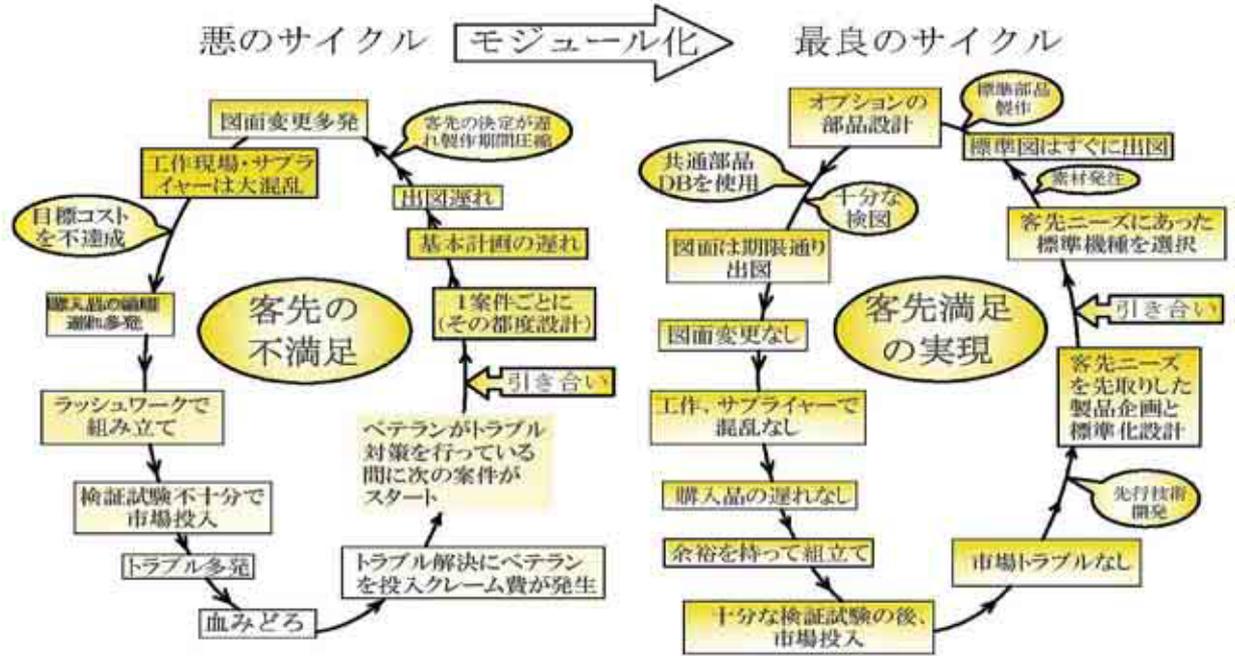


図 4.53 モジュール化による利点の活用

実船搭載の経験を踏まえ、機関室内の配管系統の最適化や、モジュール化が可能な機器の切り出しなどの検討を行った。その結果を以下の図に示す。

- | | | |
|-------|-----------------|--------|
| 1 / 8 | 燃料油管系統 | 図 4.54 |
| 2 / 8 | 冷却清水管系統 | 図 4.55 |
| 3 / 8 | 潤滑油管系統 | 図 4.56 |
| 4 / 8 | 清水サービス、温水管系統 | 図 4.57 |
| 5 / 8 | 海水、冷却海水、バラスト管系統 | 図 4.58 |
| 6 / 8 | ビルジ管系統 | 図 4.59 |
| 7 / 8 | 燃料油及び潤滑油ドレン管系統 | 図 4.60 |
| 8 / 8 | 圧縮空気、排ガス管系統 | 図 4.61 |

これらの系統図の中で赤く囲まれた 5 つの範囲を切り出し、「燃料油清浄機モジュール」、「燃料油移送ポンプモジュール」、「主機燃料油供給モジュール」、「潤滑油清浄機モジュール」、「ビルジ前処理モジュール」として、モジュール化の設計を行なった。

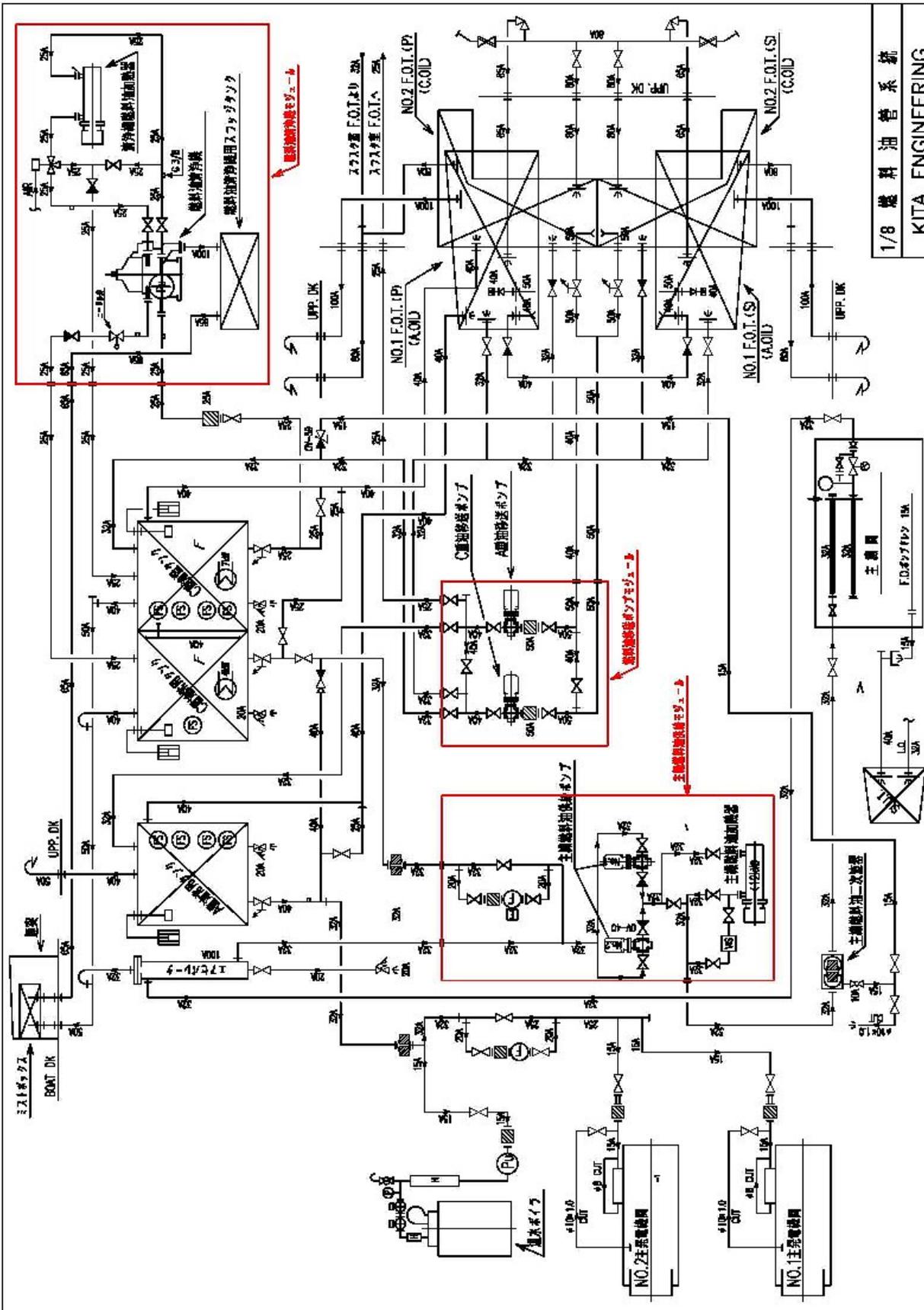


図 4.54 燃料油管系統

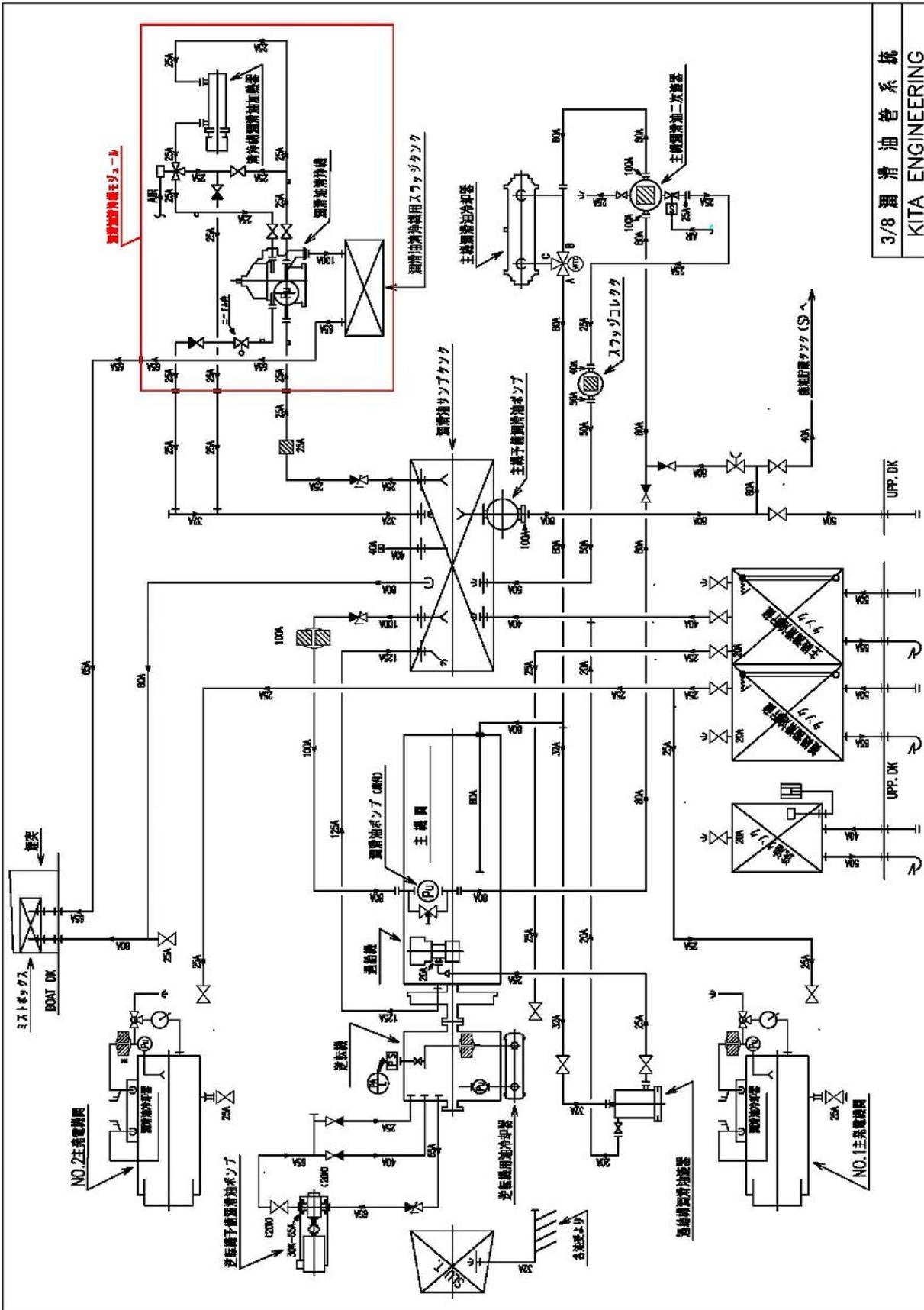


図 4.56 潤滑油管系統

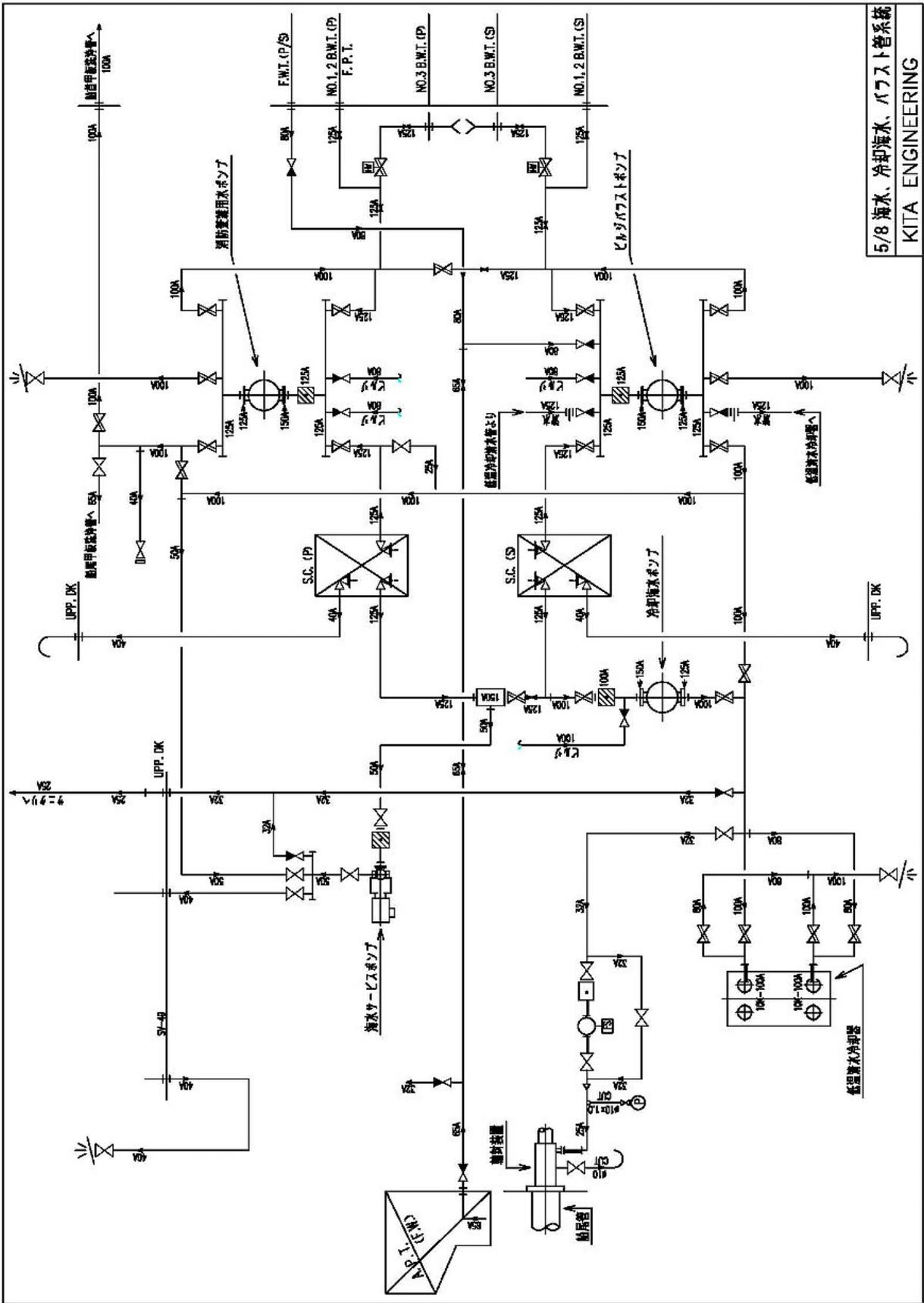


図 4.58 海水、冷却海水、バラスト管系統

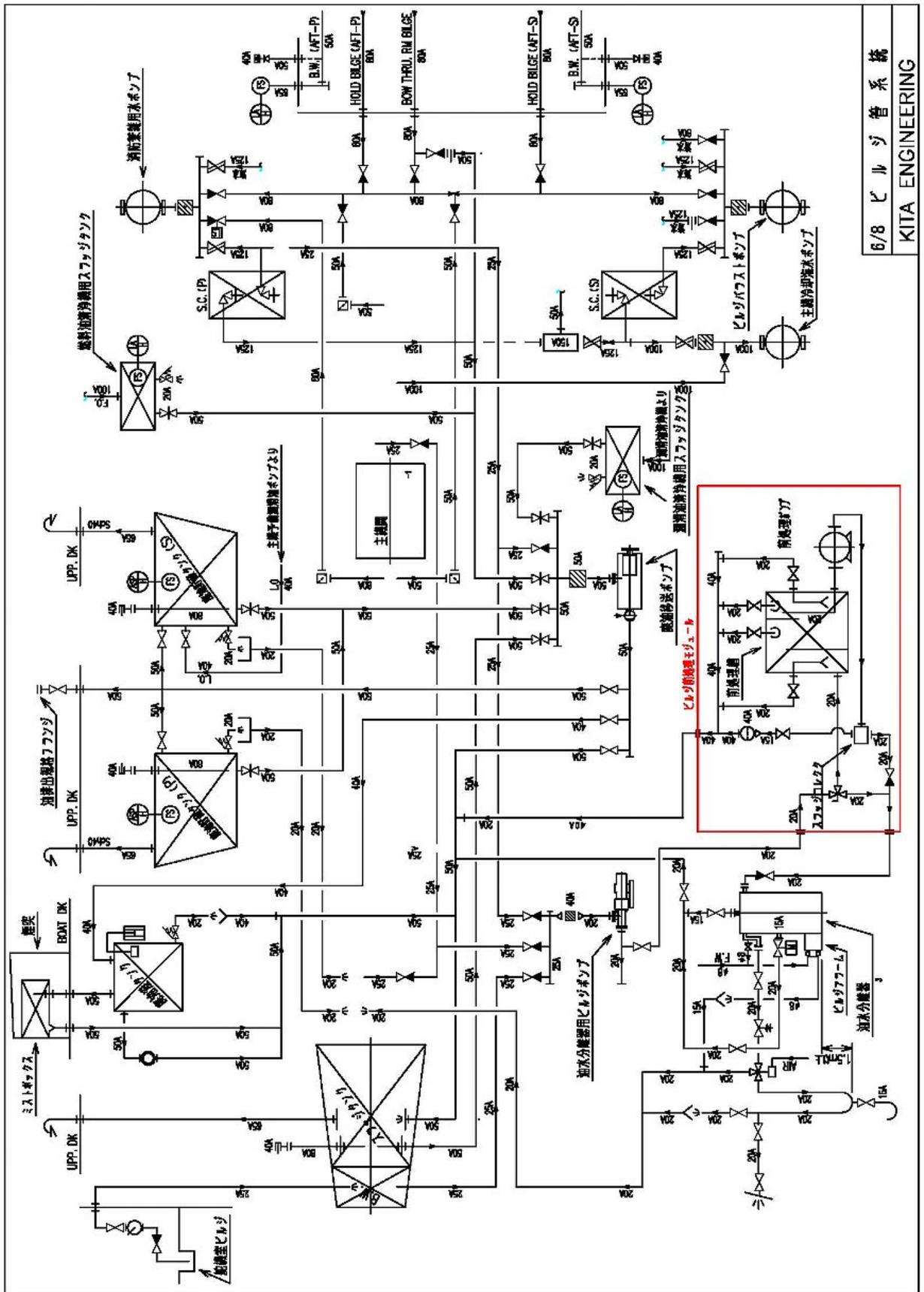


図 4.59 ビルジ管系統

4.6 3次元CADによるモジュール設計

前項の、機関室配管系統を基に切り出したモジュールについて、前年度の設計、試作結果も参考にして、次の5つのモジュールの設計を、3次元CADを用いて行った。

燃料油移送ポンプモジュール

図 4.54 燃料油管系統から切り出された燃料油移送ポンプの2台を共通台に合わせた燃料油移送ポンプモジュールとした。

A重油移送ポンプとC重油移送ポンプは同じ容量のポンプとし予備品の共通化を行った。燃料移送ポンプでは、粘度の高い燃料の移送を行う可能性が多いと考え、従来は、中段のストリンガー上に燃料油移送ポンプを配置していたが機関室二重底上に配置できる形状に考慮した。また、サクシオン効率の高いポンプを選択した。ギャーポンプにおいても、サクシオン効率が異なることも注意が必要である。

3次元CADで設計した前方右側から見た図 4.62 に示した。3次元ワイヤフレームで表したものを図 4.63 に示す。



図 4.62 燃料油移送ポンプモジュール

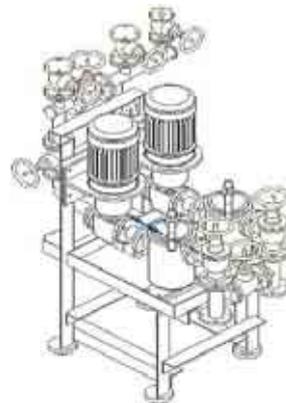


図 4.63 3次元ワイヤフレーム

主機燃料油供給モジュール

図 4.54 燃料油管系統から切り出された燃料供給ポンプの2台、燃料加熱器1台、加熱器制御盤1台、流量計1台及び粘度計1台を共通台にセットした主機燃料油供給モジュールとした。

従来の系統では、C重油供給ポンプは、C重油移送ポンプでバックアップしていたが、モジュールでは、操作性を考慮して、縦型燃料油供給ポンプを2台採用した。また、燃料油供給ポンプでは、前年度の調査研究では、シールレスポンプの開発を目指した1台に、マグネットカップリングを採用し、良好な運転状態が続いている。シールレスとすることでメンテナンスの軽減と信頼性、安全性を高める為に確認運転を続けている。内航船で燃料油の粗悪化が問題視されている中、燃料油粘度計の採用の要望があったがコスト高と、大きい場所が必要であったために採用できていなかったが、小型粘度計の開発品を装備できた。電気式燃料加熱器の安全性向上するために12kWヒーターを6kW+6kWヒーターの二重化仕様と電気ヒーターの制御に無接点リレーを採用し、省エネ化と品質向上を目指した設計とした。3次元CADで設計した前方右側からを図 4.64 に、ワイヤフレームで示したものを図 4.65 に示す。

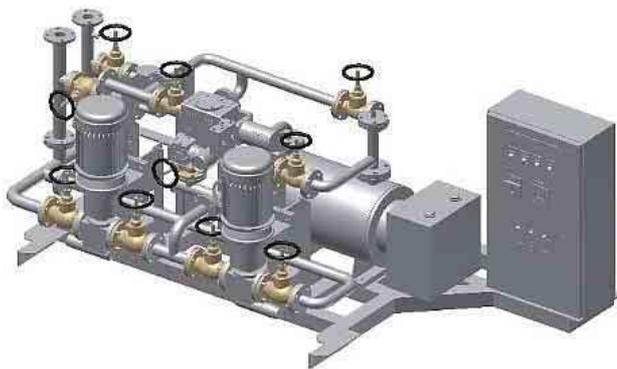


図 4.64 主機燃料油供給モジュール

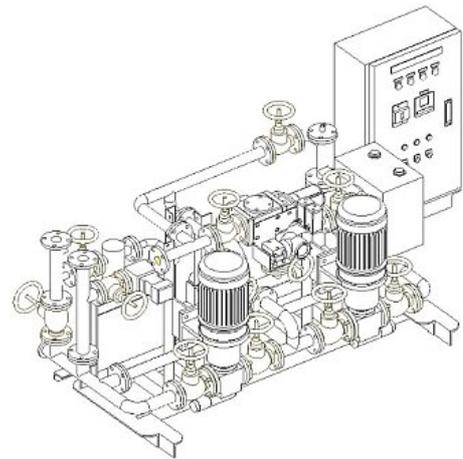


図 4.65 3次元ワイヤフレーム

ビルジ前処理モジュール

図 4.59 ビルジ管系統から切り出されたビルジ前処理装置を新しく変更を加えてビルジ前処理モジュールとした。ビルジ系統では、図 4.7 の従来の総トン数 499 型貨物船ビルジ配管系統図に示すように、機関室ビルジは、ビルジウエルから油水分離器用ビルジポンプにより油水分離器をへて、船外排出する系統であったが、ビルジウエルには水、油のみでなく、ごみ、スラッジなどが多く溜まり、直接に油水分離器用ビルジポンプにより油水分離器をへて、船外排出する系統では、特に内航船では、油水分離器でビルジ排出の中に目詰まりを起こし、排出できなくなる故障、クレームが多いと、報告されている。油水分離器の前にビルジのスラッジ等のごみを除去するビルジ前処理器が望まれていたが、据え付ける場所もなかった。研究開発したビルジ前処理モジュールでは、ビルジウエルから油水分離器用ビルジポンプによりビルジ前処理モジュールで油を分離した後、再度、油水分離器用ビルジポンプでビルジ前処理モジュールの中に溜まったビルジは、スラッジコレクターを通して油水分離器へ送り船外排出する系統としていたが、新しく自動で油水分離器へ送り、船外排出する方式を採用した。3次元 CAD で設計した前方右側から見た図を図 4.66 に、3次元ワイヤフレームで示したものを図 4.67 に示す。

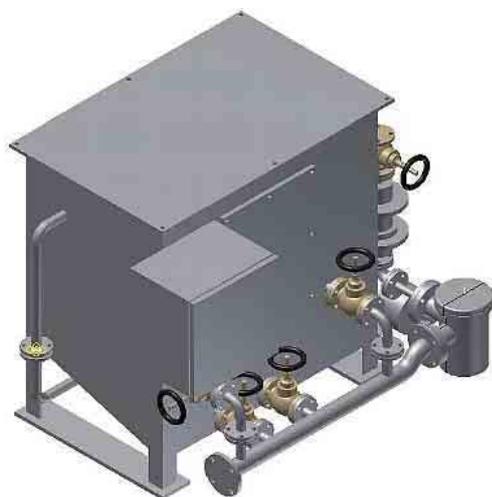


図 4.66 ビルジ前処理モジュール

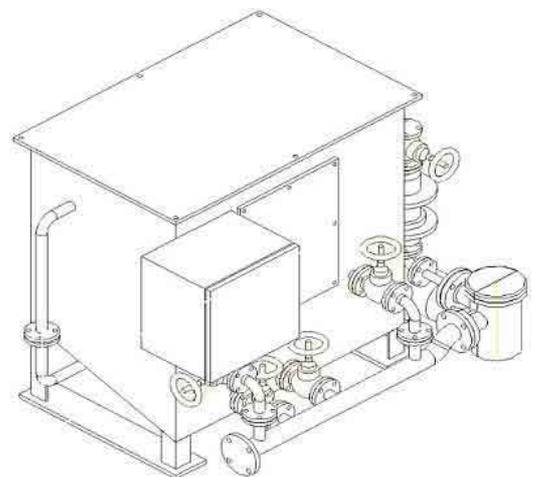


図 4.67 3次元ワイヤフレーム

燃料油清浄機モジュール

図 4.54 燃料油管系統から切り出された、清浄機、清浄機用加熱器、スラッジタンクを一体として新しくモジュール化を行った。

3次元 CAD で設計した前方右側から表現した図 4.68 を、3次元ワイヤフレームで示したものを図 4.69 に示す。



図 4.68 燃料油清浄機モジュール

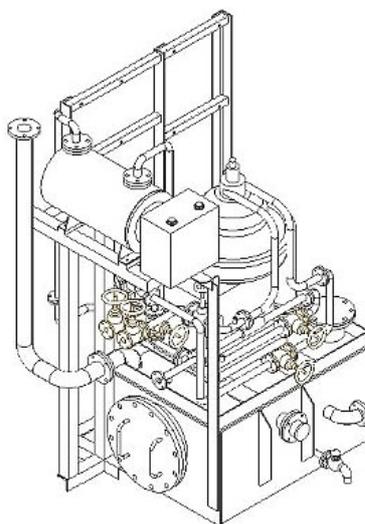


図 4.69 3次元ワイヤフレーム

潤滑油清浄機モジュール

新しく潤滑油清浄機モジュールも開発を行った。系統図 4.56 に示すように清浄機、清浄機用加熱器、スラッジタンクを一体としてモジュール化を行った。図面についてはほぼ燃料油清浄モジュールと同じであるので省略する。

4.7 機関室全体のモジュール化設計

4.7.1 船用機器のモジュール化を採用した機関室全体配置

設計した5つのモジュールを、機関室に適正に配置するため、モジュール機器を採用した場合の機関室全体の配置図の設計を行なった。

機関室の機器の配置は、機関室二重底上の配置は従来と大きく変わり、配置で乗組員の操作性が向上する機器等として、大型ポンプの縦型ポンプの採用、バラストタンク配管の開閉に油圧駆動弁を採用してメインアンドブランチ方式を採用、発電機を二重底上から第二甲板上に移す、主機潤滑油予備ポンプはデーブウエル型ポンプを採用するなど省エネ、操作性、安全性、環境性の向上など考慮した取り組みを採用した設計を試みた。

その結果を以下の図に示す。

- | | | |
|-------|-------------|--------|
| 1 / 5 | 機関室断面配置図 | 図 4.70 |
| 2 / 5 | 機関室船側配置図 | 図 4.71 |
| 3 / 5 | 機関室二重底上配置図 | 図 4.72 |
| 4 / 5 | 機関室第二甲板上配置図 | 図 4.73 |
| 5 / 5 | 機関室上甲板上配置図 | 図 4.74 |

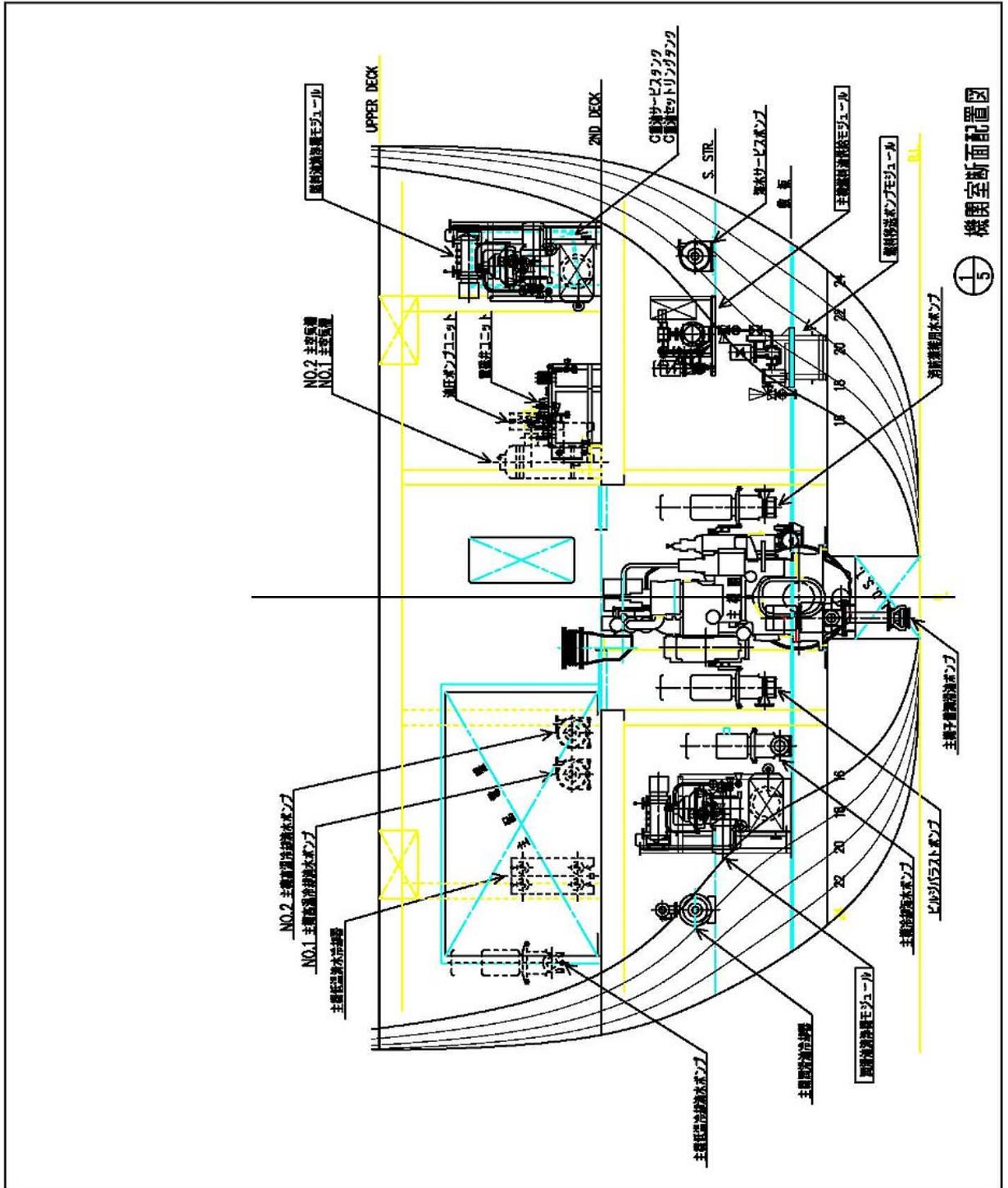


図 4.70 1 / 5 機関室断面配置図

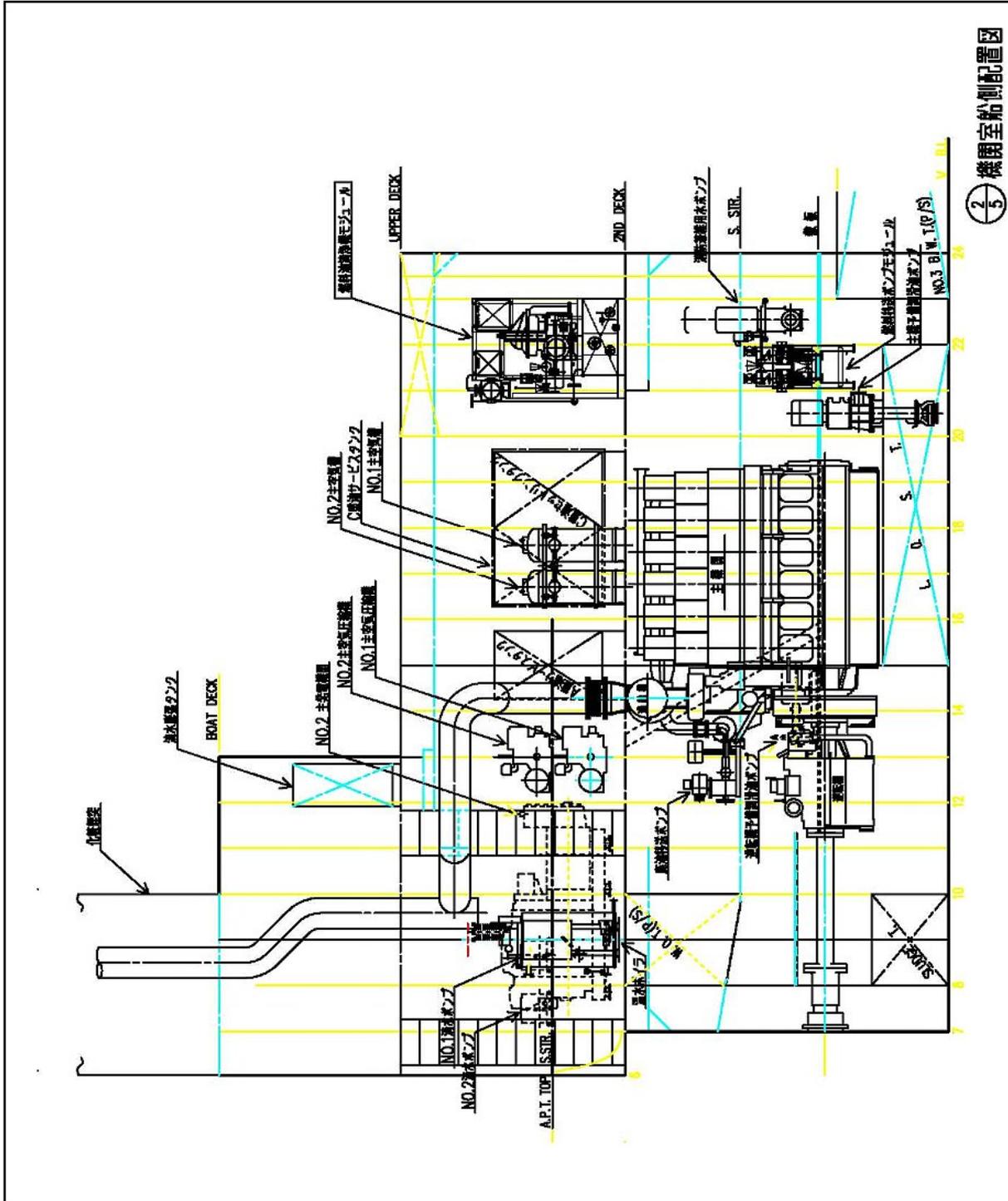


図 4.71 2 / 5 機関室船側配置図

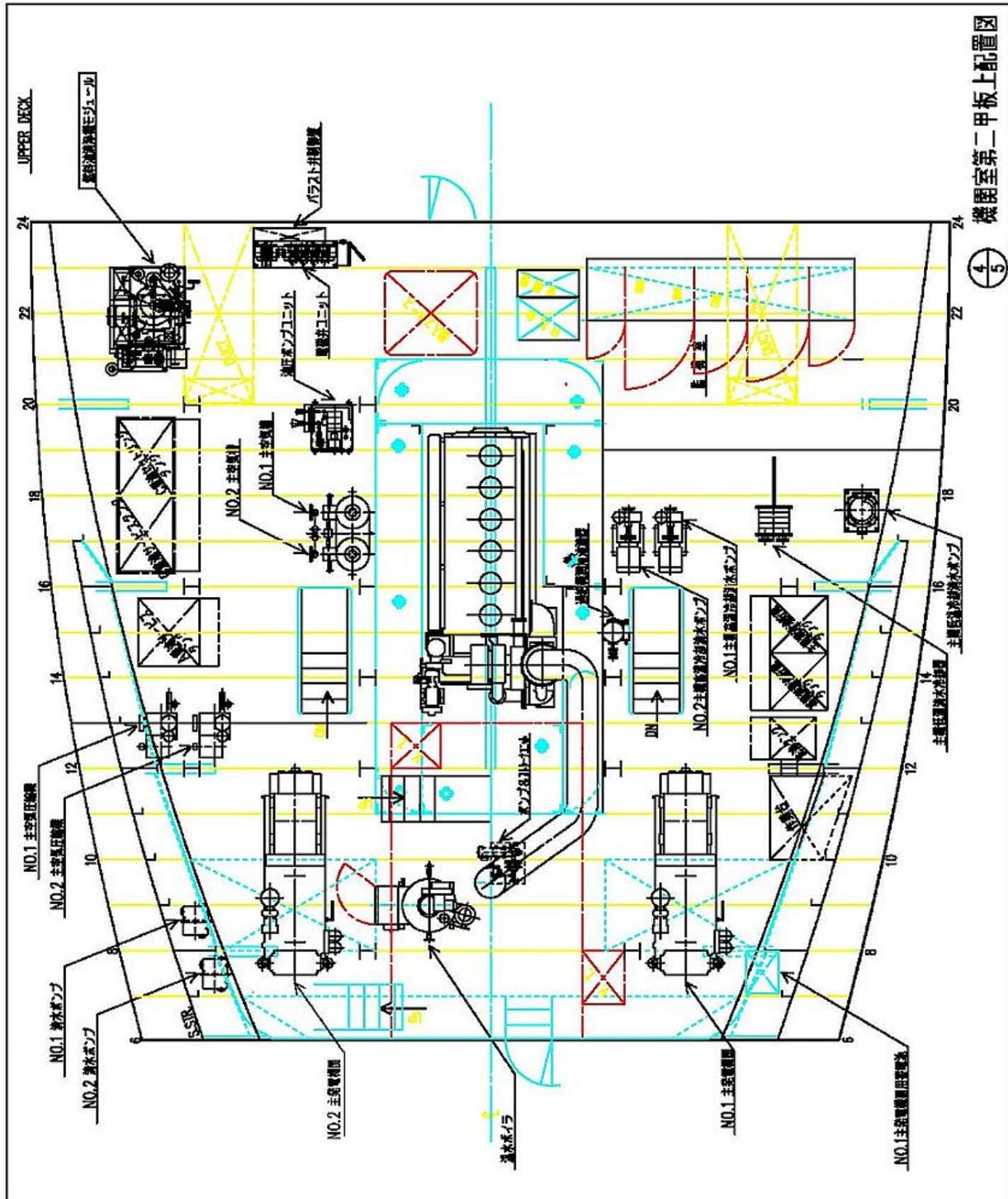
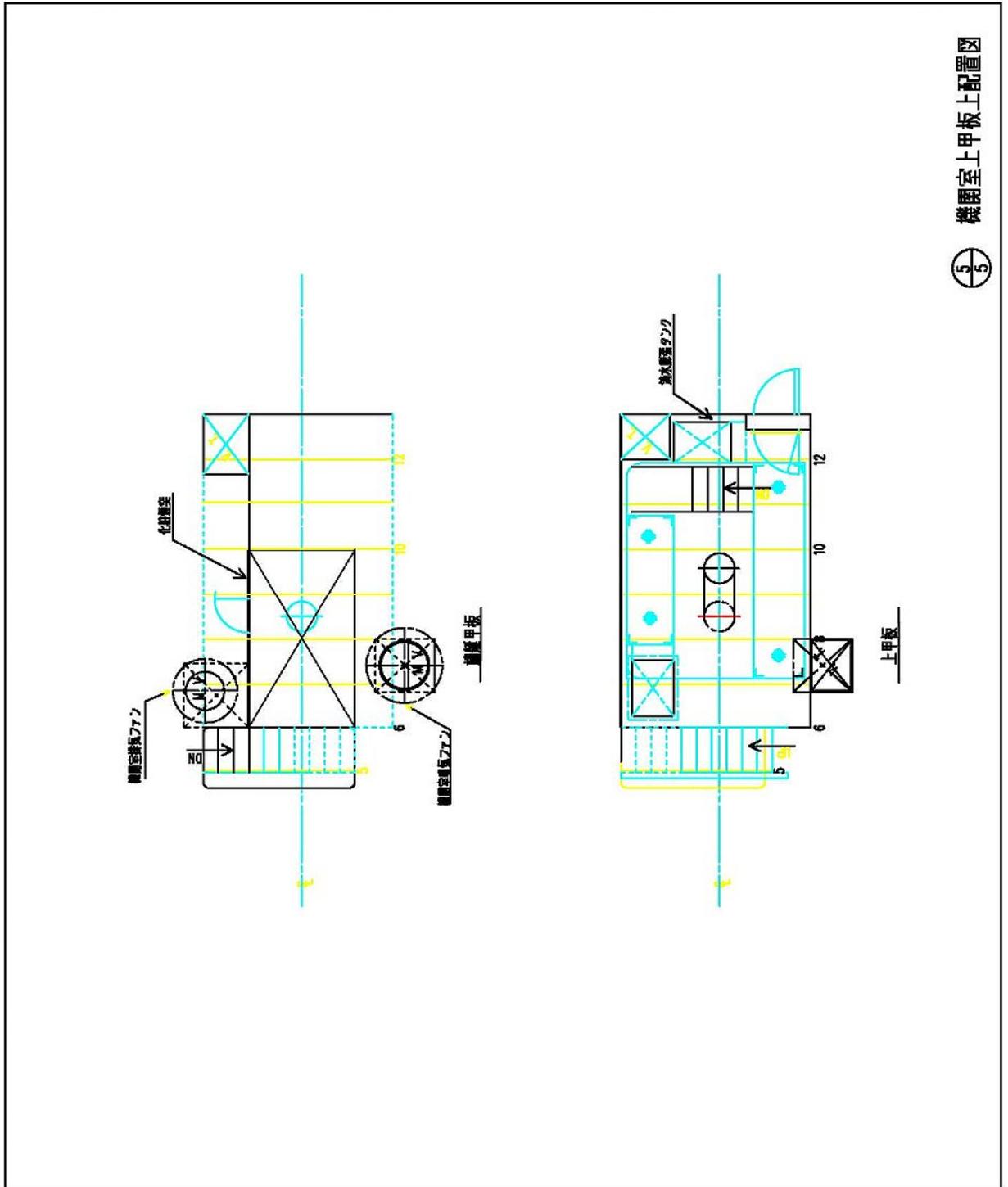


図 4.73 4 / 5 機関室第二甲板上配置図



⑤ 機関室上甲板上配置図

図 4.74 5 / 5 機関室上甲板上配置図

4.7.2 モジュールを採用した機関室配管装置図の設計

以上述べた配管系統図及び機関室配置図をもって3次元CADを使用して配管装置設計を行なった。

図 4.75 は、管一品図で、管の製作のための3次元鳥瞰図である。リストを添付することで、1000本近い管の仕訳には、製作する側、あるいは取り付ける作業者にも大きくメリットがある。



図 4.75 管一品図

図 4.76 は、二重底上右舷配管装置図で、図 4.77 は第二甲板下配管装置図を示す。

図 4.78 は、3次元CADによる機関室配管装置図で船殻図及び配管装置を合体したものである。

図 4.79 は、配管装置の内部を人が歩いてみている状態を示す3次元CADウォークスルーで見た状態を示す。

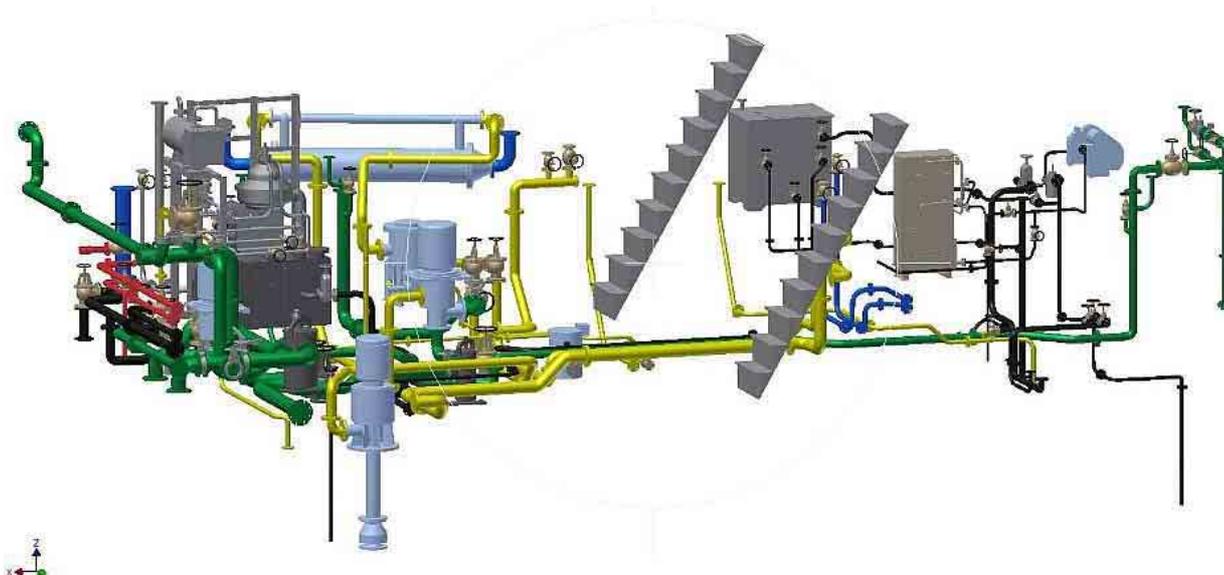


図 4.76 二重底上右舷配管装置図

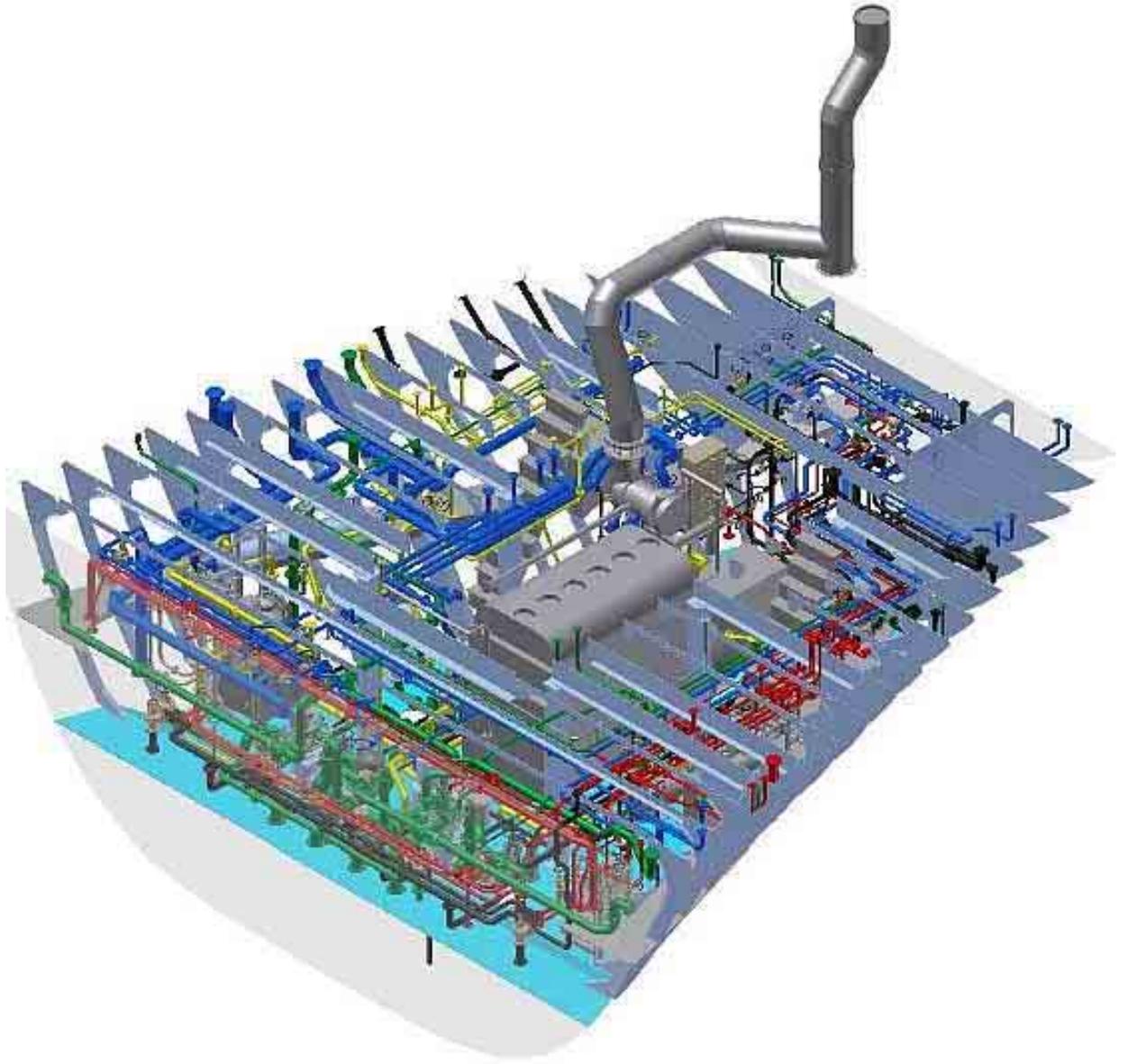


图 4.77 第二甲板下配管装置图

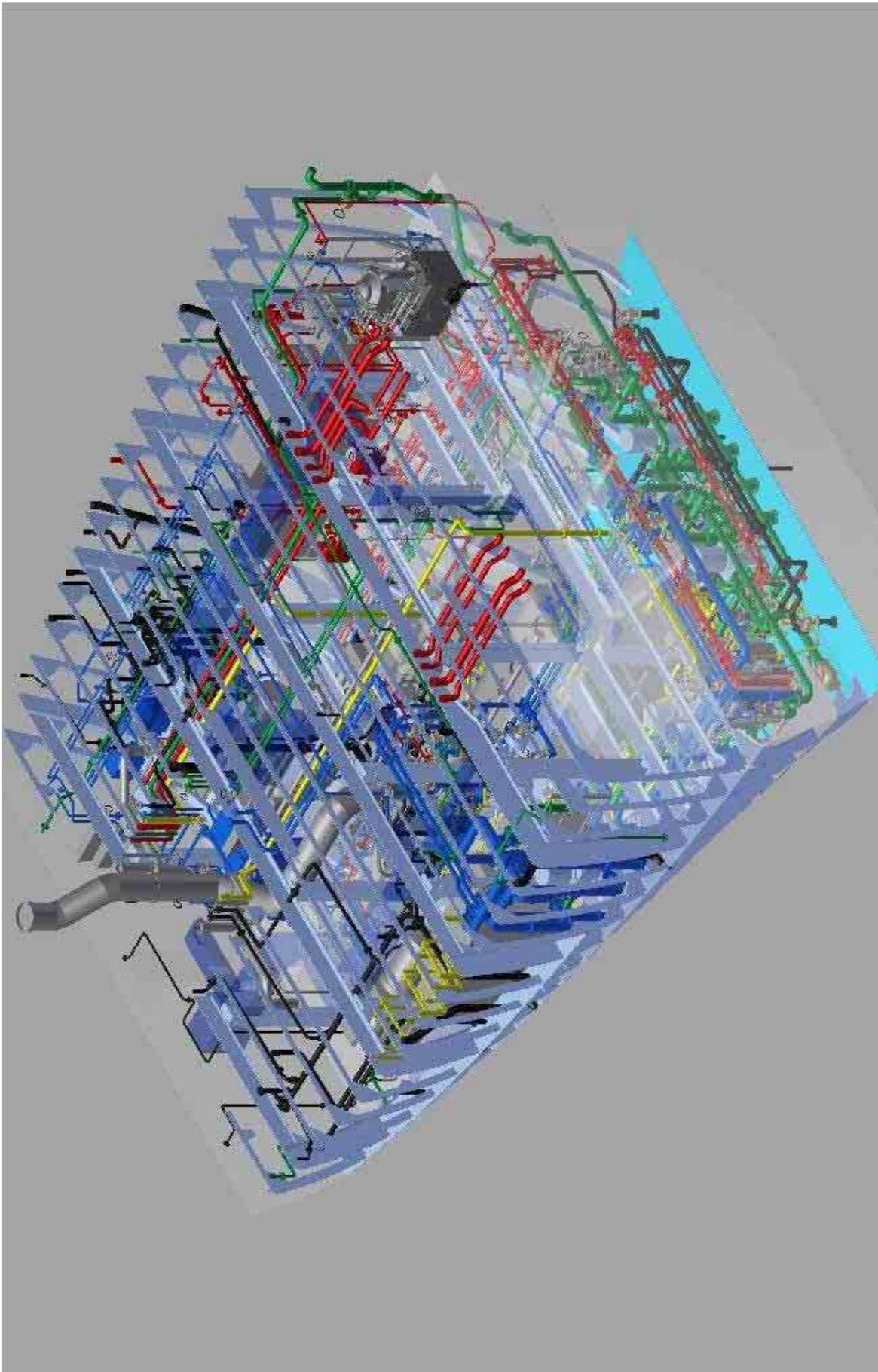


図 4.78 3次元 CAD による機関室配管装置図

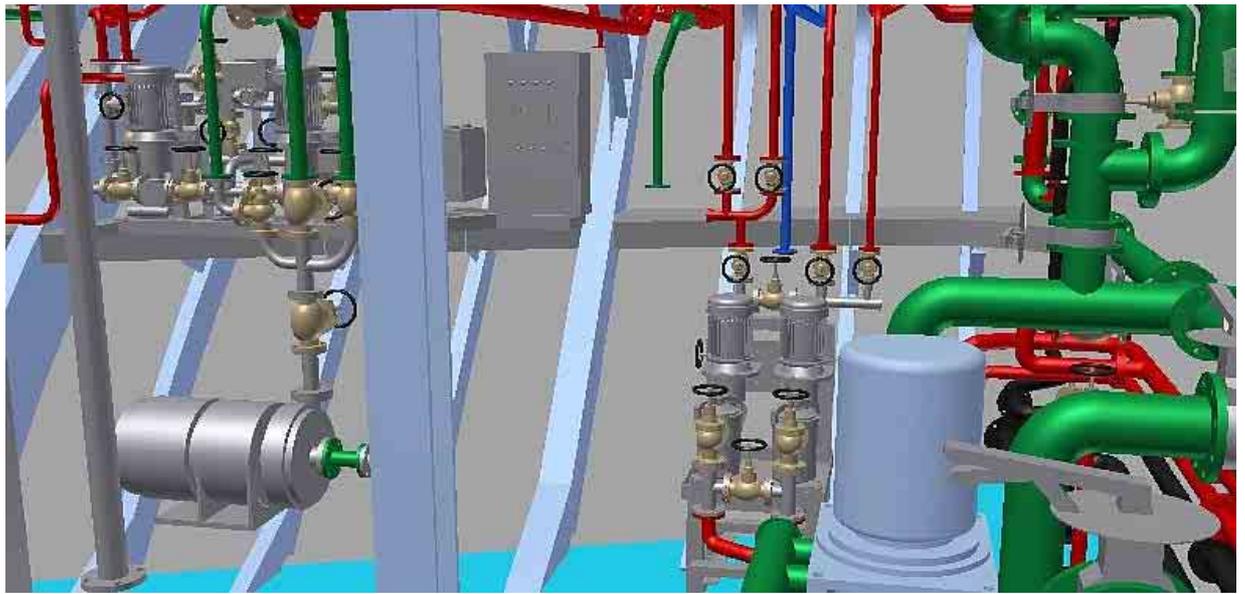


図 4.79 機関室ウォークスルー

4.7.3 3次元CADによる検証

図 4.80 は、3次元CADにより配管全体装置図から燃料油配管系統を切り出した例で燃料系統の全体像で主機燃料油供給モジュール、燃料油清浄機モジュール、燃料油移送ポンプモジュールを採用している系統で、3次元CAD化することで、設計から末端の現場工作者まで一目で理解が可能である。

このようにシステム全体が把握できるとともに、管の干渉、配管の良否も明確である。

また、図 4.79 に示すように3次元CADのウォークスルーに示すように機関室内を人が歩くように表示ができることで弁のハンドルの向きなどで人と干渉することがないかなど乗組員の立場で見ることも出来る。

船に人が入らなくてもコンピューター上で説明も可能となる。

部品管理についても図面を作成することで部品管理票も作成ができるなど管理面でも利点が多々ある。

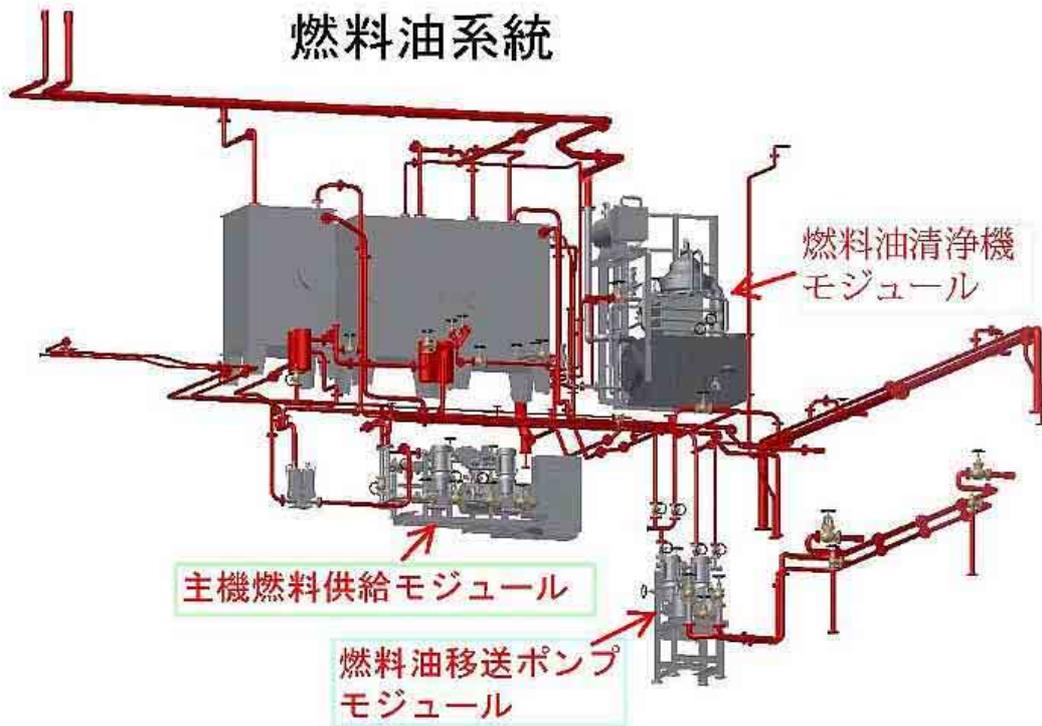


図 4.80 3次元CAD燃料油配管系統

4.6.4 モジュール化による管装置の物量評価

3次元CADによる配管装置図を基に、管装置について、従来船とモジュール採用船で、どの程度異なるか物量による比較を行った。

その結果を図 4.81、図 4.82、図 4.83 に示す。

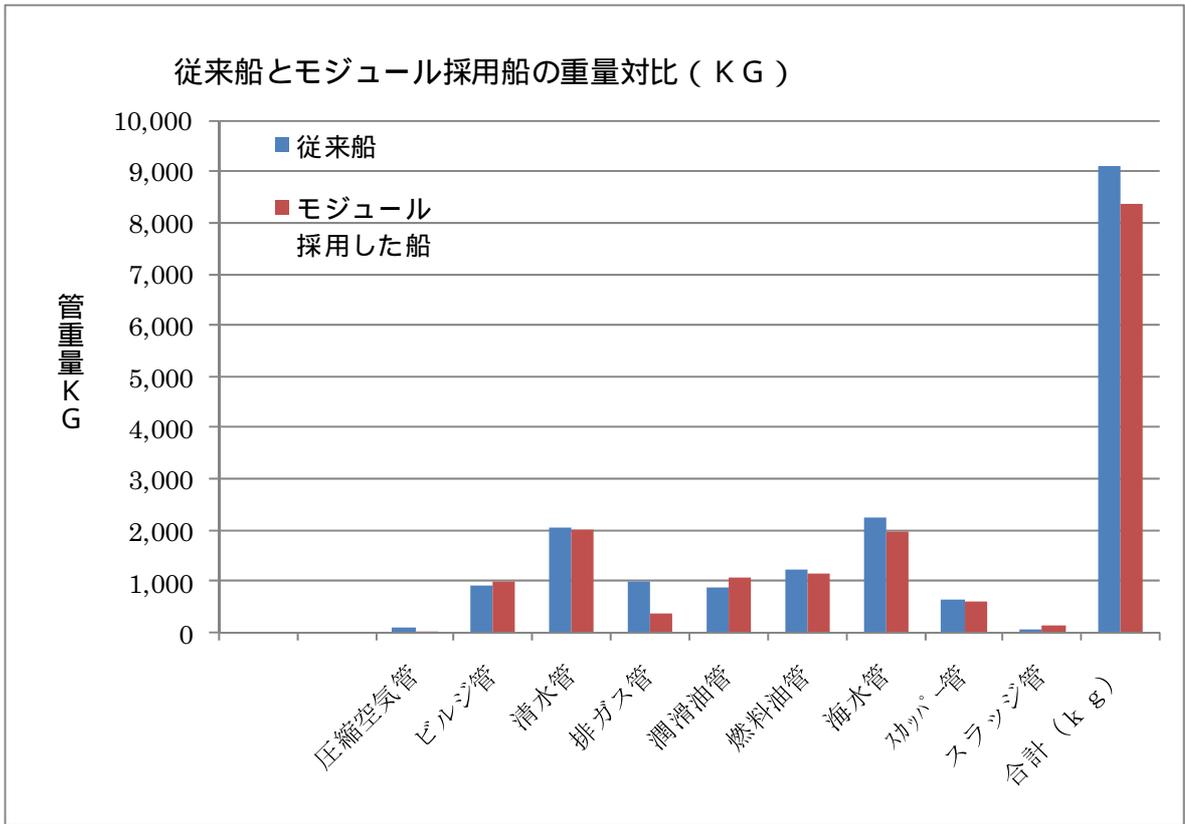


図 4.81 従来船とモジュール採用船の重量対比

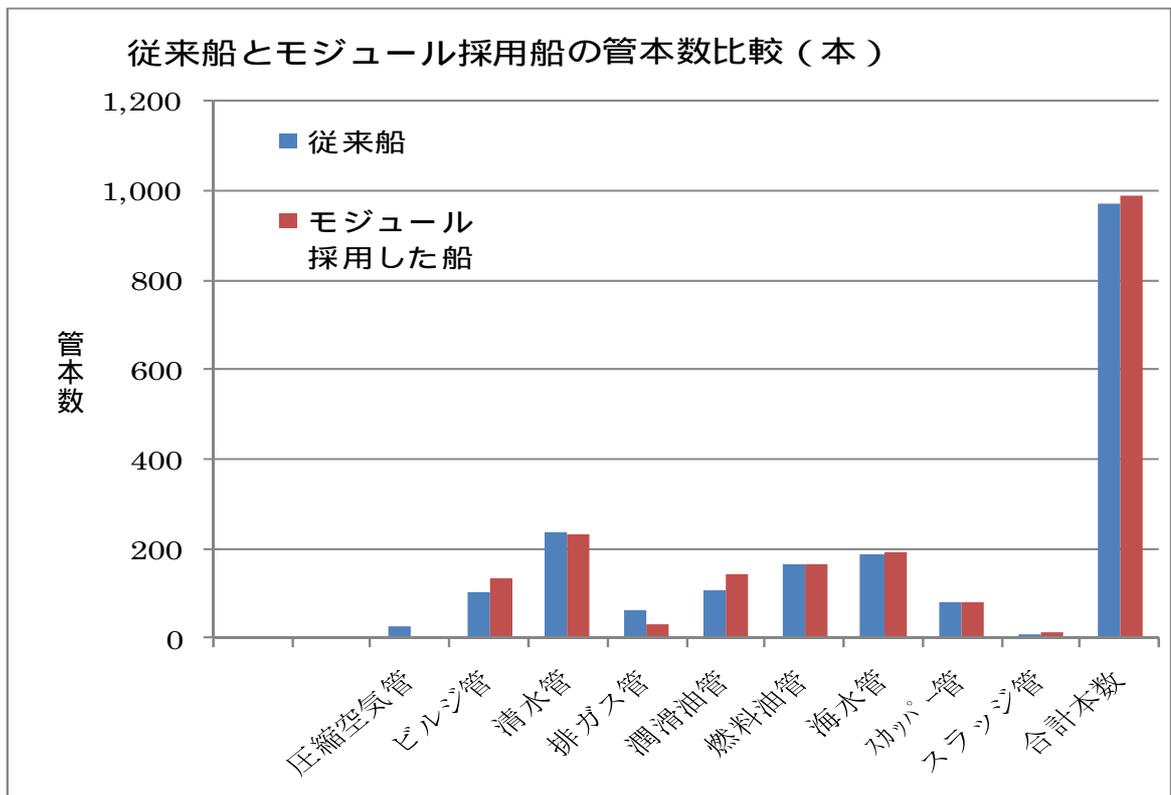


図 4.82 従来船とモジュール採用船の管本数対比

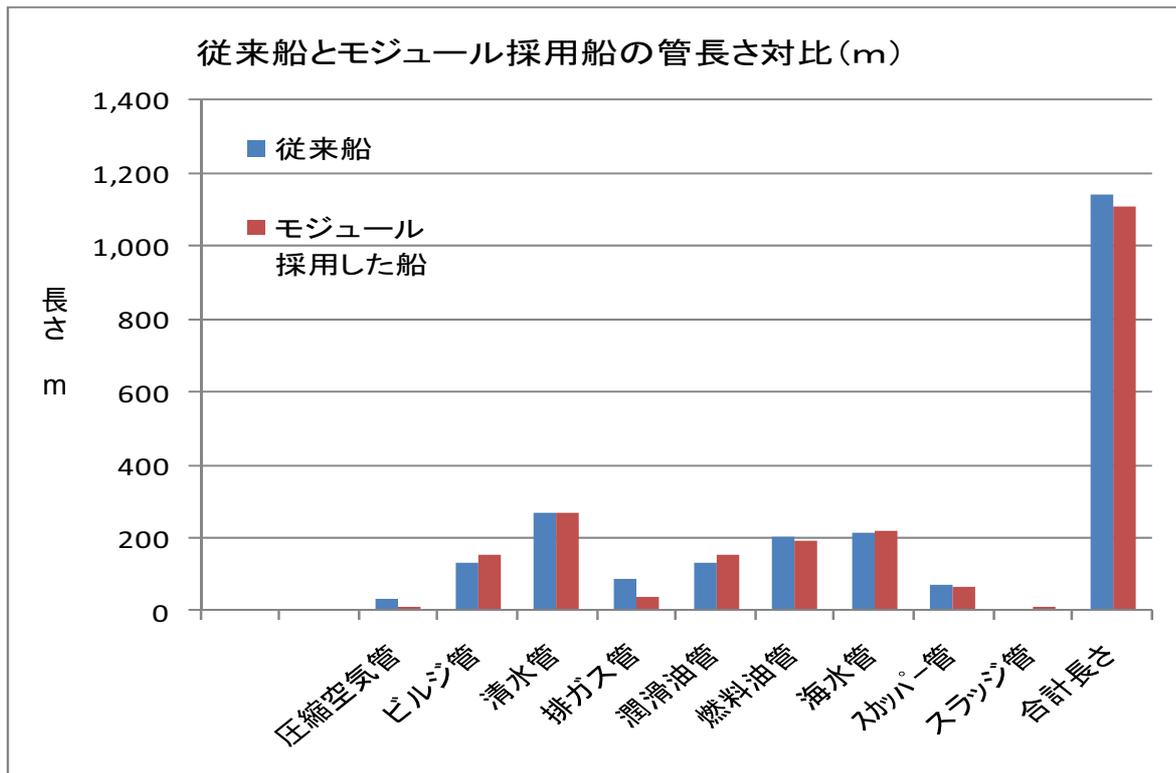


図 4.83 従来船とモジュール採用船の管長さ対比

表 4.5 従来船とモジュール採用した機関室の管の比較

系 統	従 来 船			モジュール採用した船		
	パイプ本数	パイプ長さ	パイプ重量	パイプ本数	パイプ長さ	パイプ重量
圧縮空気管	26	32	86	5	8	24
ビルジ管	102	133	929	(5) 134	(4) 154	(10) 993
清水管	237	271	2033	230	270	1995
排ガス管	62	87	985	32	37	365
潤滑油管	105	130	873	(12) 143	(6) 151	(26) 1072
燃料油管	164	203	1235	(33) 165	(16) 191	(78) 1153
海水管	189	212	2262	191	218	1986
スカッフ管	80	70	628	78	68	611
スラッジ管	7	5	75	12	11	153
合計	972	1,143	9,106	(50) 990	(26) 1,108	(114) 8,352

モジュール採用船の合計にはモジュールを含む()内がモジュール内の数字
管口径20A以下は含まれない。

このことから、モジュール化することにより以下のようなことが評価できる。

- ・系統別比較では潤滑油管は清浄機の位置が第二甲板から二重底右舷に移動した為に管の合計長さが増加したと考えられる。
- ・合計では管本数、管長さ合計は従来船とモジュール採用船では変わらないが管合計重量は92%と8%軽減されている。
- ・燃料油管ではモジュール内配管が本数では2割占めている。現場配管が2割削減されている。燃料油管は、防熱、トレース、フラッシングと施工時難易度の高い管の本数、長さが削減しているのは現場工数の削減効果は高い。
- ・モジュールを採用する事でスペースにゆとりが出来ることで機器配置の自由度の変更が大きくなった。機関室には二重底上のスペースにもゆとりができたことで新しい機器、環境問題で焼却炉なども設置スペースができるなどのスペースに余裕ができたことは、乗組員の操作性、安全性、保守スペース等の向上が可能となった。

4.8 内航船モジュール化にあたっての評価、課題等

平成21年度に本調査研究がスタートして約2年経過した中で、船主、オペレータ、造船所にも関心が高くなってきたと言える。今回の調査研究で、モジュールの実船搭載にご協力いただいた山中造船(株)では、次世代標準船にモジュールを採用するなどの動きも出て来ている。

本調査研究を通じて得られた採算性の基礎データ、課題等は以下のとおりである。

4.8.1 モジュール化の採算性についての基礎データ

基礎データとして同じ仕様での採算性について検討を行って見た。

主機燃料油供給モジュールおよび燃料油移送ポンプモジュールは従来の仕様に合わせた上でコスト分析を行った。

単価を合わせる為にモジュール製作費での単価に合わせて比較する。

表4.6に主機燃料油供給モジュールと従来工法とのコスト分析を示す。

表4.7に燃料油移送ポンプモジュールと従来工法とのコスト分析を示す。

表4.6 主機燃料油供給モジュールと従来工法とのコスト分析

主機燃料油供給モジュール		モジュール (TYPE-01)			従来工法		
	加工費	重量、長さ	数量	金額	重量、長さ	数量	金額
補機台	¥1311/kg	38.01kg	50×50×5ang.	¥36,318	54.02kg		¥51,616
配管	¥8100/p	6.08m	10本	¥81,000	7.62m	11本	¥89,100
組立費	¥3500/p		13p	¥45,500		14p	¥49,000
搬入費			1台	¥10,000		2台	¥10,000
設計費							¥52,500
運送費				¥33,000			
合計				¥205,818			¥252,216

製作費はモジュール単価に合わせて場合

表 4.7 燃料油移送ポンプモジュールと従来工法とのコスト分析

燃料油移送ポンプモジュール		モジュール			従来工法		
	加工費	重量、長さ	数量	金額	重量、長さ	数量	金額
補機台		28.22kg	50×50×5ang.	¥30,000			
配管	¥9367/p	3.02m	6本	¥56,200	6.19m	12本	¥112,404
組立費	¥3500/p		8p	¥28,000		14p	¥49,000
搬入費			1台	¥5,000		2台	¥5,000
設計費							¥50,000
運送費				¥33,000			
合計				¥152,200			¥216,404

製作費はモジュール単価に合わせた場合

単価を合わせればモジュールは設計費、開発費は計上せずに比較すればコストは何とか採算出来ている。しかし、実際は、配管製作費の単価差が大きく異なり、造船所は大量発注もあり管1本の製作費は約3,000円程度であると予想されるのに対し、モジュール製作会社では1本の製作費が8,100円から9,300円と大きく差が生じている。その結果、配管製作費だけでも主機燃料油供給モジュールでは従来の工法では56,000円低減されるのでモジュールが高くなってしまい競争力がなくなる。また、モジュール製作会社から造船所までの運賃が掛りメリットも運賃で消えてしまうことになる。

モジュール製作する場合は、従来の仕様で、ただコストのみの競争では普及は困難が予想される。

機能を上げることで船主側にもメリットがあるものや、造船所における艤装の合理化のメリットがあるものなどを開発し、採算性が向上するモジュール化を推進する必要がある。

4.8.2 モジュール化の課題等

コスト面から見た場合には単品比較ではメリットは出ていない。しかし、トータルで見た場合には、少し異なる面として、従来の船とモジュールを採用した船で見ると、管本数では現場取り付け管は、従来型とモジュール採用では3.3%削減、管長では5.4%の削減、管重量では5.5%の削減できる。仮に、1月に22日出勤した場合、単純に5%工期が削減できれば、単純に1日短縮できることになる。造船所では2日は短縮可能であると評価している。年間で24日短縮できることになれば、年間に1隻多く建造できることになる。単品のコスト比較で評価するのではなく、トータルコストで見れば十分な効果ある評価できる。ただし、年に2隻～3隻建造している造船所と年間12隻建造している造船所では評価が異なる。

標準船として採用する場合には、船主側から見た場合には、船のグレードは高く、従来より安価に提供できれば当然船主側にも大きくメリットが出てくる。

省スペース化の評価はコストでは表せないが、今回の試験船をみると総トン数 499 トン型の今までの機関室のスペースとは思えないほどのスペースが生まれた。この結果、機関室監視室、ビルジ前処理モジュール、焼却炉などの多くの設備を採用することができ、主機関前などは、随分広いスペースとなった。このことは、交通性、安全性にも繋がり、船主、乗組員にもいい評価と受け入れられる。モジュールを製作する場合には、運賃が評価に大きく作用される。運賃をどれだけ削減できるかが事業化に大きな課題となる。

いかに汎用化した設計ができるかが、モジュール化の成否に繋がる。経験では、考え方が各造船所で異なるので造船所の考えをはじめから考慮にいった設計ができるかが重要である。造船所の配管系統でも同じように見えるが今までに生じた問題点が造船所では常に考えの中心にあるので、それぞれの造船所で異なる。モジュールメーカーとなるには、造船所、現場を理解し、知ることが重要である。

モジュール化はただコストのみで評価が出来ない場合がある。今後はモジュール化をしないと人材不足となり建造できない場合も生じる可能性もある。



「この報告書は BOAT RACE の交付金による日本財団の助成金を受けて作成しました」

(社)日本船用工業会

〒105-0001

東京都港区虎ノ門一丁目15番16号(海洋船舶ビル)

電話：03-3502-2041 FAX: 03-3591-2206

<http://www.jsmea.or.jp>