ケミカルタンカー用管装置設計作業分析と効率化に関して

正員 池 崎 英 介* 正員 梶 原 宏 之**

On improving the efficiency of pipe design for chemical tankers based on its work analysis

by Eisuke Ikezaki, *Member* Hiroyuki Kajiwara, *Member*

Summary

Recently, some shipbuilding companies have a serious shortage of manpower in pipeline design. As the result, it is pressed to make various works related to pipeline design more efficient for the succession planning. The purpose of the paper is to present a case study on making pipe-design works for chemical tankers more efficient based on the work analysis by utilizing both database software (ACCESS) and 3D-CAD (CADMATIC) with collaboration from designers outside.

1. 緒 言

近年、造船業においては、管装置設計における人材不足が深刻となって来ており、後継者育成対策及び人材不足に対応する為の設計作業効率化の検討を迫られている。船の全ての区画、及び設置機器には、パイプラインが導設されており、その用途は、船種固有のものを除いても、数十種類に及ぶ。管装置設計は、船内に導設する全パイプラインに対し、用途別の仕様（管系統仕様）を決定し、管敷設を表現する設計作業であり、作成図面の表現区画は船全域に渡り、パイプラインを構成する多くの製作物図面（管一品図、管サポート図）を管理する必要がある。管系統及び管敷設に関しては、文献^{1), 2), 3)}に設計指針が記述されているが、実設計は、これらに、接続機器メーカーからの要求基準、就航船からのフィードバック及び現場要望を反映した経験則に基づく造船所独自の基準をもとに設計されている。機関室を除く区画（以下、船体部と記述する）の場合、特に貨物区画においては、船種により管敷設量は大きく異なり、船種によっては管装置設計が艤装設計の中心的存在であるにも拘らず、後継者育成が遅れ、昨今の建造数増加に伴う図面作成者確保が難しい設計部門となっている。また、特に管敷設において経験則を多用する設計内容は、後継者の育成をより難しいものとしている。本論文は、管装置設計後継者育成と設計作業効率化を目的とし、造船所スタッフ、図面作成者の作業内容、及び成果物

（図面及び書類）内容の分析を行い、外注設計事務所と協力し、データベース（ACCESS）と3D-CAD（CADMATIC）を、ケミカルタンカー船体部実設計に適用した結果を示すものである。なお、このような試みは、多くの造船所において計画され、実用化には各社固有の方策が採られ、その効果が検証されていると推察されるが、本論文は、生産設計部をもたず、図面作成を外注設計事務所に依存した造船所における、適用例を紹介するものである。

2. 管装置設計の作業内容

計画設計時、管系統概略仕様及び機器配置に関連した管敷設を計画し、実設計開始時に、管系統詳細仕様を決定し、管敷設構想を計画し、実際の図面作成作業を開始する。通常、管系統仕様及び管敷設計画者（以降、管設計担当者と記述する）と図面作成者は分離されている。図面作成を100%外注設計に依存する場合、造船所の管設計担当者および設計事務所との役割分担は、以下になる。

【造船所の管設計担当者】

(1) 設計仕様の収集及び設計事務所への伝達

- ・ 主要管系統に関する設計
- ・ 契約建造仕様書及び適用規則から注意事項を抽出
- ・ 機器メーカーとの仕様打ち合わせ及び図面取得
- ・ 他設計部署作成図面の入手

(2) 設計工程管理（他設計部署との連携）

(3) 現場出図及び対応（図面出図管理）

(4) 設計変更、設計ミスへの対応（改正図作成）

(5) 船主、船級検査官への対応

(6) その他（計画船見積もり検討、改正規則調査）

* 福岡造船(株) 設計部

** 九州大学大学院 工学研究院海洋システム工学部門

原稿受理 平成 19 年 4 月 12 日

設計担当者は、(3),(4) ⇒ (2),(5) ⇒ (1),(6)の順に実務作業に習熟して行く。(2),(3),(4),(5)の実作業習熟と並行し、(1)の中の一般知識を収得し、自身の考えをもって、(1),(6)を開始するためには、5年は必要といわれている。

【設計事務所】 次の図面及び書類の作成を行う(付録参照)。

- (1) 管系統図
- (2) バルブ等金物注文仕様書
- (3) 管装置図
- (4) 管一品製作図、管一品材料集計書
- (5) 管サポート製作図、材料集計書

設計者は、(4),(5) ⇒ (1),(2) ⇒ (3)の順に実務作業に習熟して行く。(1),(2)は一般知識であり、その作業を行うために、(4),(5)に習熟している必要はない。(3)を開始していくためには(4),(5)の体得は必須であり、その上で、(1),(2)の知識が、(3)の完成度に寄与する。

(3)の管装置図の作成作業とは、(4),(5)の実務習熟作業を経て体得した根気と知識(パイプライン 同士の干渉、製作上の遵守事項)と(1),(2)に関する知識を基に、限られた区画内に、操作性を考慮しパイプラインを配置する作業と考えられる。通常、(4),(5)の習熟(単純作業であるが、その作業速度、作業精度が実工程に適用できる迄)には2年は必要であり、(1),(2)の一般知識を含めて、競争力のある(3)を作成するには、更に10年は必要であるといわれている。

ケミカルタンカー船体部の場合、管設計主導により、諸機器配置が行われ、船主要求は、管接続機器および管装置操作性に集中しがちであり、諸変更に対する他部署との連携作業は、他船種に比して格段に多い。管設計効率化を実現するためには、第1に、管装置設計者から日常の設計業務負担を減少させ、成果物(特に管装置図)の設計段階での確認を容易にする対策、第2に、図面作成者から管一品図作成、製作材料集計に関する負担軽減対策が必要であり、両者が管系統図と管装置図に集中できる環境整備が必要である。

3. 文書データを対象としたデータベース化

管装置設計における成果物は、作図データ以外に着目すると、下記情報の分類形態を変えて作成した文書と考えられる。

- ・管系統毎に遵守すべき仕様(材質、使用圧力、接続継ぎ手形式、ガスケット、表面処理等)
- ・管系統毎の使用金物の仕様および個数
- ・管系統毎に注文仕様書を発行するパイプおよび継ぎ手仕様(管一品製作に使用する部品)

これらのデータは船主要求等による仕様変更に従い、関連書類に反映していかなければならない。これを円滑に実施

するためには、データと書類作成を分離し、Fig.1のようなデータベースが有効であると考え、以下の手順で構築した。

(1) 基本データの収集整理

- ・管系統別標準仕様の整理
- ・バルブ等金物仕様の整理(機器を除く管装置に使用する全金物に対し、注文仕様書記載事項標準作成)

(2) (1)を引用し、船毎の(1)を作成する。

(3) 諸書類の形式を統一し、図面中に記載される諸リストも、図面から分離し、書類の形態にまとめ、(2)の内容更新を反映させるようにする。

(4) 社内LANにおいて運用し、(1),(2)は管設計スタッフのみが更新できることとし、(3)を用いた任意の内容参照、印刷はLAN接続全員が利用できる事とする。

書類中、管一品、管サポート製作材料集計書は実図面内容との連動が必要になるため除外した。このデータベース構築の目的は、管設計スタッフが、管装置関連書類に関する内容保守、そして、現場スタッフ、製作工場および資材部等からの確認問い合わせに対応する処理負担軽減に寄与する事にある。Fig.1中[A],[B],[C]をデータテーブルとして、サーバに保存し、データテーブルからのデータ抽出プログラム、入出力フォームおよび諸印刷機能を[D]として全クライアント機に置き、データの一元管理を行った。また、同じデータベースを外注設計事務所にも置き、外注設計事務所がデータを入力し、出力書類を郵送納入すると同時に、入力データテーブル[C]のみを電子メールに添付してもらい、[C]のみを更新するという運用形態をとっている。

本データベースは建造仕様書、船主要求から抽出した管系統毎の確認すべき仕様、バルブ等の管装置取り付け金物の注文仕様のみであるが、基本データにおいて、金物仕様等の表記を統一しているため、系統別、使用圧力別、名称別等、データベース項目別の自在の検索集計閲覧が可能である。図面出図工程、および現場検査工程等をデータベース化し、連携して運用すれば、管設計スタッフの雑務からの開放に更に寄与するはずである。なお、管一品、管サポート製作材料集計書については、ここでは、図面作成後、同様のデータベースに手入力し、諸集計書を作成している。

4. 管装置設計への3次元配管CADの適用

3次元配管CAD: CADMAT I Cを使用し、ケミカルタンカー船体部において、管が密集する区画: 貨物区画上甲板およびポンプ室に対し適用した結果を示す。

3次元配管CADは、ダイアグラム(管系統図)作成、3次元機器および部品登録、機器配置および管配置、干渉チェ

ック、2次元図面作成、管サポート図作成および編集、管一品図自動作成および編集の機能から成る。各機能の使用に際

【文書作成のためのdatabase(網掛け部)】

Fig. 1 Database application for documents made in piping design work

しては、使用者の判断に委ねられており、様々な設定が必要であるため、Fig. 1 の[B] に相当する情報を整理して置く必要がある。以下、順に機能概略および今回行った作業について記す。

4.1 ダイアグラム（管系統図）作成

2次元CADと同様の機能であり、使用する2次元シンボルを作成し、パイプラインで接続し管系統図を作成する。3次元モデルとの連携を考え、パイプラインには系統名称、各シンボルには重複のない識別文字列を付加しなければならない。シンボル毎に付加属性項目が任意に設定でき、作成した全系統に存在するすべてのシンボル属性を既定の形式でテキストファイルに出力する機能を有するため、シンボル分類と属性設定を一定の基準に沿って行えば、このファイル内容を使用し、バルブ等注文仕様書作成が可能である。今回、Fig. 1 のバルブ等金物基本データの分類に沿ってシンボルを設定し、出力ファイル内容と基本データとを連結し、バルブ等金物データの作成を自動化した。その処理形態を Fig. 2 に示す。

ダイアグラム（管系統図）作成において使用したシンボ

ルに対し、注文仕様書等の書類に記載する全ての属性を入力すれば、基本データとの関連付けは不要であるが、ケミカルタンカー船体部のバルブは、1500個を超え、誤記を防ぐ事は困難であり、労力を減少させ内容表記を統一するため、属性設定は、原則として、口径、使用圧力および銘板名称のみとし、Fig. 2 の方法をとった（なお、Fig. 2 処理フローは、Fig. 1 における[E] の処理に対応する）。

Diagram symbol を利用した注文書データ自動作成概略

Fig. 2 Automatic data processing for order specification data of pipeline fitting based on diagram symbol attributes

4.2 3次元機器、部品登録

基本図形を組み合わせ、実際の形状を単純化した部品形状を作成し、パイプラインとの接続部、そして接続条件を設定する。2種類の登録形態があり、ひとつは、図形形状を表現するパラメータ順序が厳格に既定され、寸法表、Catalog作成という手順が必要であり、複雑な形状表現はできないが、部品をパイプラインの一部であると認識させる事のできる登録形態、もうひとつは、複雑な機器形状を表現できるが、単に、パイプライン接続部をもつ部品としてしか使用できない登録形態である。前者は、パイプライン中に溶接にて連結する継ぎ手（レデューサ、ティー、フランジ等）、およびパイプライン中に挿入する金物（パイプライン接続部が4個以内）の登録に使用し、後者は、機器登録に使用する。前者の登録形態を Fig. 3 に示す。なお、登録を行った機器および部品については、その元となった図面又はカタログ資料を登録名称と対応づけて整理し、諸変更に対し、データと共に更

新して行く必要がある。また、Catalogにおいて設定された属性情報は、オブジェクトに対する属性情報として認識されるため、様々なオブジェクトモデル出力形態（諸図面）を意識し、現状の図面表記に一致させる様設定する必要がある。

バタフライ弁を例にとると、外形形状を単純化した一つのGDL (Geometric Description Language)ファイルを作成し、様々なメーカー規格寸法に対し、メーカー別の寸法表を作成し、更に、異なった材質を属性として設定したCatalogを作成し、管系統毎に、Catalogを選別して使用する、という利用形態となる。

Fig.3 Standard component registration process
in CADMATIC(3D piping CAD)

4.3 パイプライン 仕様

3次元機器、部品登録が完了すれば、管配置は可能であるが、使用するバルブ、諸継ぎ手等が、正しい仕様のあるものを使用しているかどうか、モデリング時に多くの確認作業が必要となり、非現実的である。そのため、管系統毎に、仕様を作成し、その中で使用する、パイプ、エルボー、フランジ、レデューサ等全ての継ぎ手類、およびバルブ、エダクター等全てのパイプラインに接続する金物に対し、該当するCatalogを対応づけ、管系統モデリング時には、この設定内容のみしか使用できない、という設定の下にモデリングを行っていく。各管系統に対する仕様内容を細かく設定しておけば、自動作成される管一品に、Catalogにて設定した属性が反映されるため、設計者はそれだけ管配置に集中できること

になる。パイプラインに対する管系統の分類（同一管系統でも材質が異なれば、別系統として設定する）及び仕様設定は、最も検討が必要な作業である。この仕様設定内容は、Fig.1 [B-1], [B-2] の内容を反映する必要がある。

4.4 機器配置および管配置

2次元CADにて概略の構想（機器配置および大口径管配置）を検討し、3次元空間に、登録機器に対する配置原点対応座標を入力し、配置する。機器登録時に、配置を考慮した配置原点の設定、および機器周辺の部品を含む管配置が固定化しているならば周辺部も含めモジュール化し、一登録部品として取り扱う配慮が必要である(Fig.4 参照)。

Fig.4 Example of equipment([A]) or module([B])
arrangement in CADMATIC(3D piping CAD)

また、機器配置および管配置は、3次元空間における視点位置および深さを設定して得られる画面の中で行って行く。機器配置完了後、管系統別に仕様を基に管配置を行い、その後、管一品作成のためのフランジ、スリーブ挿入を行い、干渉チェック後、管一品を自動作成する。CADMATICの場合、干渉チェックは、空間内に存在する全てのオブジェクトを任意のグループに分け、グループ対グループに対して行う、という形態をとっており、あらゆる干渉チェックが可能である。ただし、予めチェック項目を限定し、干渉チェック用設定ファイルを準備しておかないと、煩雑になり、本来の干渉を見落とす危険がある。なお、管サポートに関しては、プライマリ・サポート（Uボルト、ナットのようにパイプラインとの接触部に使用する金物）、センカダリ・サポート（架台）の2種類に分類されており、前者の定義は、4.3節において、各管系統に対し設定し、後者は、一般モデリング部材として定義する。管サポートモデリング時には、最初に、パイプラインを指定し、使用するプライマリ・サポートを認識させ、次に架台として使用する部材を指定し、形状をモデリングするという入力形態をとる。上記作業完了後のバラストポンプ室上部のモデルを Fig.5 に示す。

4.5 管一品図自動作成

管配置区画内に含まれる全ての管一品に対し、管系統を単位とし、現場溶接部の設定、現場合わせ管伸ばし代の設定を

行い、それぞれの管一品の接続確認（枝管、ソケット等の部品が確実に対象一品に接続されているか）後、管一品作成機能により、全ての管一品図面および部品表ファイルが出力される。ただし、作成された管一品図面には一方向からの表示しか対応付けができないため、編集機能を使用し、表示方向を変更し、見やすい図面に仕上げ、更に、フランジ練れ角に対する注釈、必要ならば、用紙出力後、手書きにより、別の断面を追加記載する必要がある。

Fig. 5 Isometric view of piping arrangement in ballast pump room upper part

4.6 3次元配管CADのまとめ

本論文では省略したが、この他の作業として、管サポート図面作成作業、現場工事用2次元図面作成作業、管一品および管サポート製作材料集計作業が存在する。3次元配管CADに関しては、Fig.5のモデル完成後の作業は、ほぼ自動的に行われるとよく誤解される。現実には、作成された全ての管一品図および管サポート図に対するチェックおよび編集は不可欠であり、また、2次元図面作成には、現状の出図形態を踏襲する限り、多くの編集作業が必要である。更に、モデリング中間段階で、設計他部署への連絡（船殻設計、艀装設計、電装設計との諸機器配置確認）も必要であり、他部署が3次元配管CADを使用していない場合、連絡用2次元図面作成が必要になってくる。Fig.5のモデル完成時は、全作業工程の約40%完了というのが実感である。しかし、設計者が全ての作業の中で、従来の管一品およびサポート寸法算出の計算作業からは完全に解放され、材質等の図面に対する追記も3次元モデルからの属性取り出し作業に置き換えられているため、設計者の負担は大きく軽減されている。

4.4節の機器配置および管配置に関しては、管敷設に関する分析が成されておらず、モジュール化の進んでいない現状では、3次元配管CAD中で検討するには無理があり、機器

および管配置位置は、小口径管を含め2次元CAD中で目安となる寸法を予め決定しておき、3次元配管CAD中で調整して行く方法が効率的である。

今後の課題として、現状の管敷設状況を分析し、Fig.4[B]の適用範囲を拡大し、管敷設経路の見通しを良くする対策、4.5節の管一品図自動作成において出力される全ての管一品に関する使用材料データを利用した諸集計作業の自動化およびFig.5のモデル完成後の作業を見直し、2次元図面作成の負担軽減に関する分析が必要である。

5. 結 言

本論文で示した試みにより、船体部管装置設計全体に対する見通しが良くなり、データベースおよび3次元配管CADの運用形態を改善していけば、現状のスタッフ構成でも設計品質向上が期待できると実感している。また、Fig.5のような表現は、設計熟練者、設計初心者および現場作業員間の意思の伝達を容易にし、管敷設に対する検証および評価作業に寄与するはずである。

データベースの拡張により、管装置設計において遵守すべき事項を充実させ、3次元配管CADを使用し、管敷設状況を理解し易い形態で蓄積して行けば、管装置設計を目指す設計者にとって、有効な資料と成り得るであろう。

また、4.6節において記した今後の課題に対し、実用的対策を講じる事ができれば、設計工数削減、および設計品質向上が実現でき、更に、管一品使用材料データをデータベース化し、電子ファイル化した管一品図面と連携させれば、管一品製作工場における製作工程効率化も期待できる。

一方、3次元配管CADを使用するためには、船殻図および艀装品の3次元データが必須であり、管装置モデリング作業と連携をとり、更新していく必要がある。2次元CADにおいて、設計部署同士で、作成途中の図面を、レイヤを意識して取り込み該当図面の下絵として、更新してきた状況と比較すると、大きな作業負担が生じ、データ作成作業を外部に依存するとしても、資料およびデータ管理の負担は大きく、その管理者には、3次元配管CAD基本データ設定を行う事と同等の知識が要求される。

また、現在迄の分析では、作成済3次元モデルを変更し、他船に利用する際の作業量は、2次元CADを利用した場合と同等であり、編集およびチェック機能は、汎用的機能として提供されているが、未完成の感があり、今後の充実に期待するしかないのが現状である。

3次元配管CADは、その成果物に対する評価および利用形態が確立されていない現状では、関連する全ての作業を推定し、設計効果の見込める箇所のみに適用する事が実用的で

あり、使用する人材が確保でき、運用形態が確立できたとしても、一隻の船に対しては、2次元CADと混在した図面作成を行っていく事になる。

3次元配管CADは、多大な労力作業を要する管装置設計にとって有用であり、今、管装置設計に関する3次元配管CADを用いた運用形態を確立しなければ、管装置設計における技術継承は、今後困難の度合いを増すであろうと考える。

謝 辞

3次元配管CAD: CADMAT I Cを使用し、管装置モデリングおよび全図面作成に挑戦し実行された(有)豊南設計: 小野喜吉氏に、敬意と感謝の意を表します。また、3次元配管CAD: CADMAT I C基本データ設定および諸操作に関し、迅速かつ適切なサポートを下さった(株)SEA創研: 辻由季氏、山口荘一氏に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 教育テキスト研究会: 商船設計の基礎, 下巻, リプロ, 1978
- 2) 日本造船学会編: 甲板蒸気管装置設計基準, 海文堂, 1970
- 3) 日本造船学会編: イナートガス装置設計指針・ベント管装置設計基準, 海文堂, 1977

付録 管装置設計作成図面および文書

A.1 管系統図

全パイプラインを用途別に分類し、パイプライン接続を接続機器およびパイプライン中挿入金物を含めて記載した図面(全パイプライン材質、表面処理、使用バルブ等の記載を含み、管装置図の土台となる)。バルブ、ストレーナのようにパイプラインに溶接で取り付けるものでなく、管取り付け現場作業者が、資材倉庫から取り出し、現場取り付けを行っている金物については、1個1個独立した識別名称を記載する(この識別名称は、管装置図にも記載する)。

全てのパイプラインの口径を記載し、つながりを線として表現していくため、船体部の場合、背景として、居室配置図、一般配置図を使用し、パイプスペース(パイプラインを実際に設置する位置)の構想検討も兼ねる。管接続機器メーカーとの所掌範囲、陸上設備および船主支給機器との連結部仕様については、メーカーおよび船主との協議内容を、4.2節の内容と合わせ、確実に反映して行く必要がある。

A.2 バルブ等金物注文仕様書

管系統図において、識別番号が設定されている金物について、発注者が、製作メーカーに注文できる内容を記載した書類。JIS規格品、JIS規格品の一部材質を変更、製作図参

照、船級協会検査証明書添付等、注文に必要な事項を記載する。バルブのように現場にて手動操作を行う金物については、銘板の製作情報も付加する。

A.3 管装置図

- A.1, A.2の内容を反映し、以下の項目を記載した図面
- ・表現区画内の全パイプラインの取り付けができる事(パイプ一品識別名称およびパイプ中央線位置寸法値)
 - ・表現区画内の全パイプライン・サポートの取り付けができる事(パイプライン・サポートの一品識別名称のみ記載し、取り付け寸法値については、位置を厳守する箇所のみ記載)
 - ・パイプライン中に挿入されるバルブ、ストレーナ等の識別名称(系統図および注文仕様書の識別名称と同一)
 - ・パイプライン接続機器の外形状および接続位置
 - ・表現区画内に配置されるメーカー機器、造船所製作艤装品の外形状
 - ・船殻図抜粋(全ての船殻図でなく、上記項目の見易さを損なわず、パイプライン・サポート取り付けの基準位置となる部材、および、図面上でのパイプラインとの目視干渉チェックに必要と思われる部材を記載)

A.4 管一品製作図、管一品製作材料集計書

管装置図において記載されたパイプの識別名称(管番号)毎の製作図面。管装置図から3次元形状を読み取り図面化し、製作寸法を付加し、更に、管系統図を参照し、材質、使用圧力、表面処理、および継手仕様を付加した図面。取り付けブロック名称、および概略取り付け位置も記載する。

ひとつの管装置図は広い区画を表現しているため、いくつかの区画に分け、その区画毎に含まれる管一品を対象とし、更に、製作ミスを防ぐため、ステンレス管、油圧管、アルマ加工管、亜鉛メッキ管、表面処理不要の管に分類し、其々の分類の管一品に対し、使用する全てのパイプ、および継手の集計を行い、材料集計書として其々の分類の管一品をまとめた図面に対し、付加する。

数千本の管一品に対し作成され、製作図としての内容に関しては、完成形状寸法、使用管材料寸法(フランジ抜きしろ、ベンダー曲げにおける伸びおよび掴み寸法を考慮した管長さ)、管材料仕様、継ぎ手仕様、および完成品表面処理表記の全ての項目に完全な表記が要求される。

A.5 管サポート製作図、材料集計表

管装置図において記載されたパイプライン・サポートの識別名称(番号)毎の製作図面。管装置図から3次元形状を読み取り図面化し、製作寸法を付加し、更に、使用鋼材、Uボルト材質およびナット適用法(シングル、ダブル)まで記載した図面。工事区画毎にまとめて図面化し、使用鋼材、Uボルト材質毎集計書を付加する。