

石油プラント向けバタフライ弁のプロジェクト報告

Project Report of Butterfly Valve for Petrochemical Complex

中村勝彦* 丸井佳博*

Katsuhiko Nakamura, Yoshihiro Marui

今回、石油化学プラント向けに多数のバタフライ弁を製作し納入した。本稿では、そのバタフライ弁の強度検討、操作機の検討を含め、これらの概要を報告する。

We delivered many butterfly valves for petrochemical complex. This paper reports on examinations into strength and operation of butterfly valves.

1. はじめに

近年、大型バタフライ弁の国内需要は減少傾向にあるが、海外では、中近東の石油化学プラント、海水淡水化プラント向けに、また東アジアでは上下水道設備、発電プラント向けなど、依然として大型バタフライ弁の需要は多い。こういう中、コスト的には国際的な競争力が必要になってきているが、この度、当社では石油化学プラ

ント向けに呼び径 $\phi 750 \sim \phi 3,500$ バタフライ弁約200台を受注した。

本プロジェクトは、石油化学プラントにおいて、ポンプ設備、冷却水設備および熱交換器設備に使用するバルブを製作するものである。その中の一つであるポンプ設備でのバルブ配置状況を図1のレイアウト図に示す。

本稿では、バルブの概要、強度検討および油圧操作機の検討について、以下に報告する。

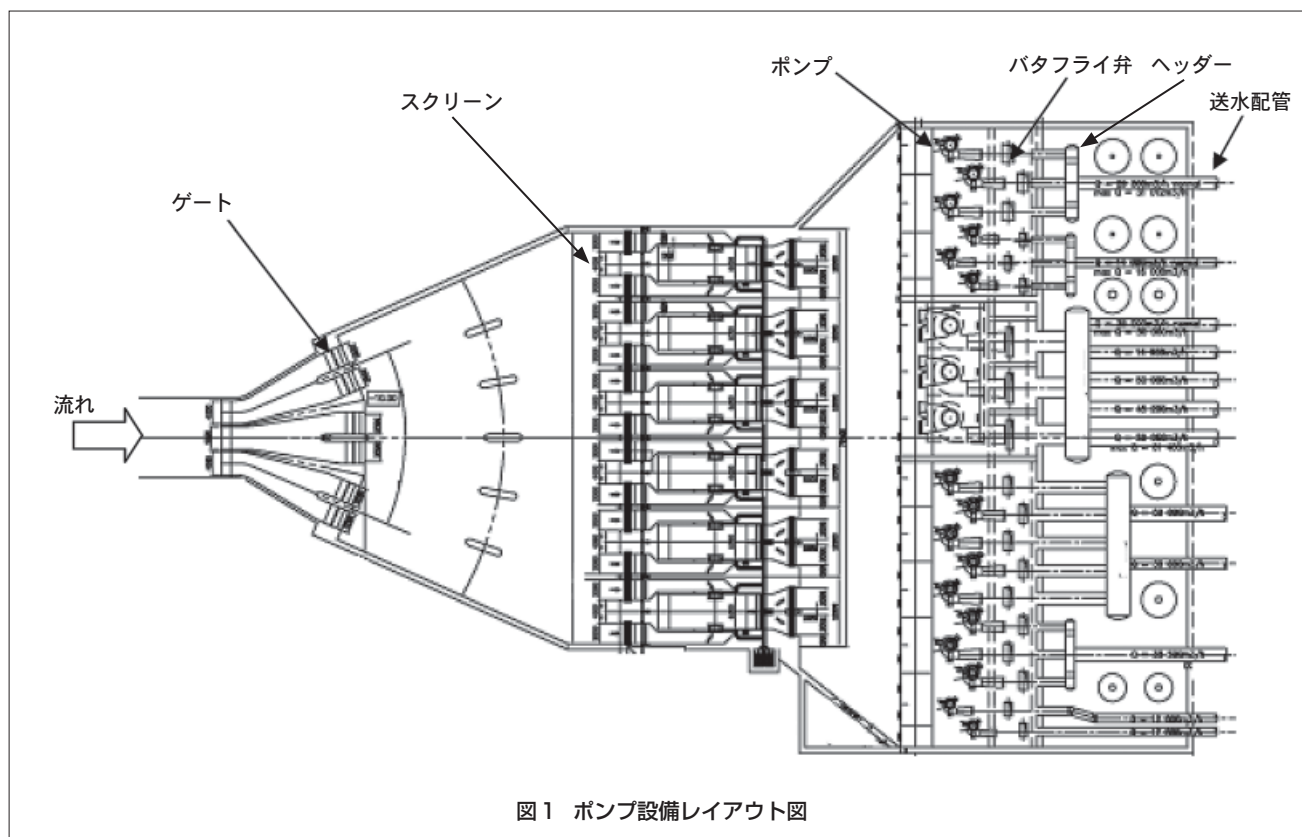


図1 ポンプ設備レイアウト図

* バルブ事業部 バルブ技術部

2. バルブの概要

今回納入したバルブの機種と呼び径を表1に示す。また、主要部品材質を表2に示す。

バタフライ弁の構造としては図2に示すように、弁箱は弁胴とその両端に配管するためのフランジおよび弁棒を支えるための弁箱ボスから構成される。弁体は1枚の円盤と4枚の天井板、パイプおよび弁棒と連結するための弁体ボスから構成される。弁体と弁棒はリーマピンで連結され、弁棒が90度回転することで弁体が開閉し、弁箱シートと弁体シートの密着で水密を保持する。弁箱内面と弁体外面には全面ゴムライニングを施し完全防食が可能である。また、流体抵抗が少なく、構造が簡単で経済性に優れ、操作力も小さい。

表1 バルブの機種と呼び径

機種	呼び径	台数 (台)
手動式 バタフライ弁	φ 750 ~ φ 1,000	120
	φ 1,000 ~ φ 2,000	40
	φ 2,000 ~ φ 3,500	10
油圧式逆止 バタフライ弁	φ 1,000 ~ φ 2,000	25
	φ 3,500	3

表2 バタフライ弁の主要部品材料

主要部品	材質
弁箱	FCD450-10 または SS400
弁体	SS400
弁棒	SUS329J4L または SUS329J3L
リーマピン	SUS329J3L
弁箱シート	軟質ゴムライニング (CR)
弁体シート	硬質ゴムライニング (HNR)

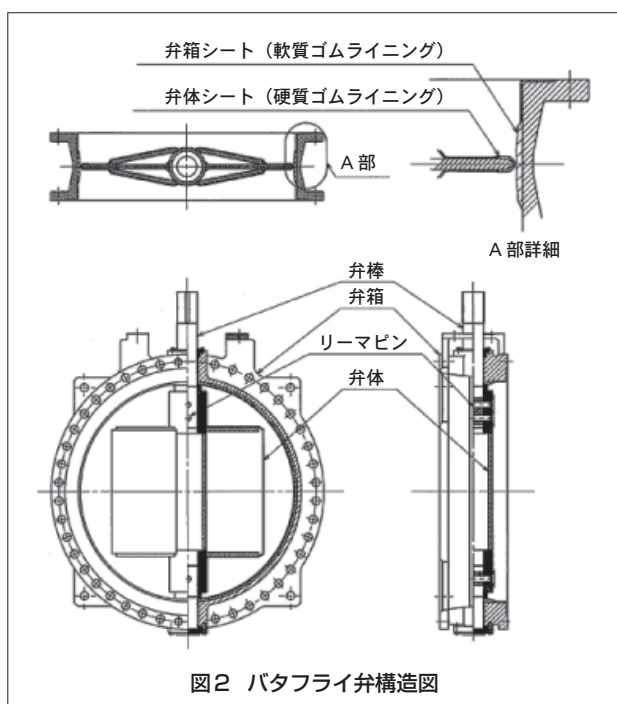


図2 バタフライ弁構造図

3. 強度検討

バタフライ弁は流体の圧力に耐えうる強度と、シート部の水密を確保するための剛性を兼ね備えるように設計する必要がある。

バタフライ弁は水圧を受けると、弁箱が内圧で膨らむことや、弁体が弁棒を支点としてたわむことに加えて、弁箱と弁体は、弁棒を介してお互いに影響を及ぼすもので、複雑な変形を生じる。

3.1 弁箱

弁箱の検討状況を図3に示す。水圧負荷状態において、弁箱は弁体とお互い複雑に影響し合う。それらを考慮して弁箱の強度検討を進めた。この弁箱の評価方法については既に報告されており¹⁾、本稿では省略する。

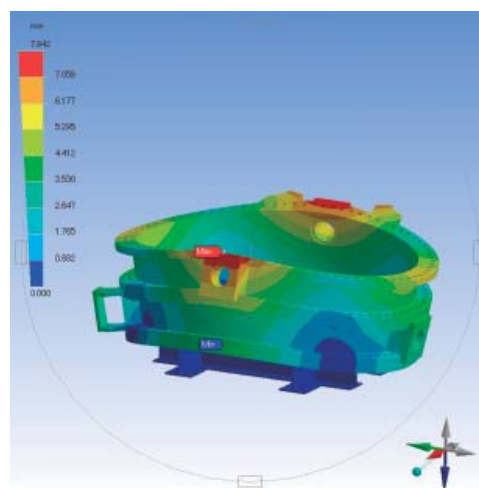


図3 FEM解析結果

3.2 弁体

FEM解析などを利用して、極限設計を行うために以下の手順で検討を進めた。

弁体を試作し実機試験において、弁体材質 (SS 400) の降伏点 (240 MPa) を超える応力が発生するまで水圧を上げ、弁体の限界性能を見極める。そして、同じ水圧条件でのFEM解析および理論式による計算結果と比較する。

対象モデルとして、本プロジェクトで最も台数が多い呼び径φ750を採用した。

3.2.1 実機による応力測定

実機試験では、呼び径φ750の弁体を試作し、応力測定、シート漏れの有無を確認した。試作弁体を図4に、水圧試験状況を図5に示す。

弁体の応力測定は、3軸歪みゲージを用いて、図6の位置を測定した。測定位置の全景を図7に示す。

応力測定結果を図8に示す。水圧1.4 MPa加圧時、弁体中心部 (位置①) で最大応力250 MPaが発生し、降伏点



図4 試弁体(呼び径φ750)

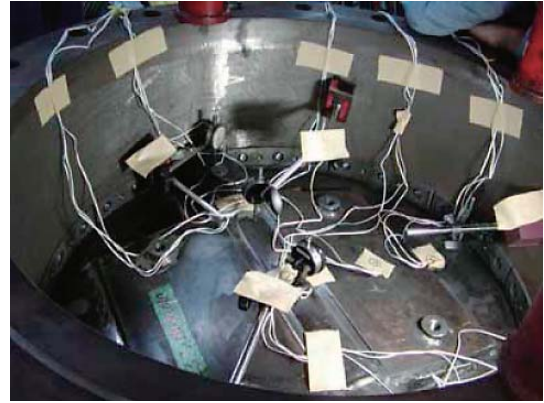


図7 測定位置の全景



図5 水圧試験状況

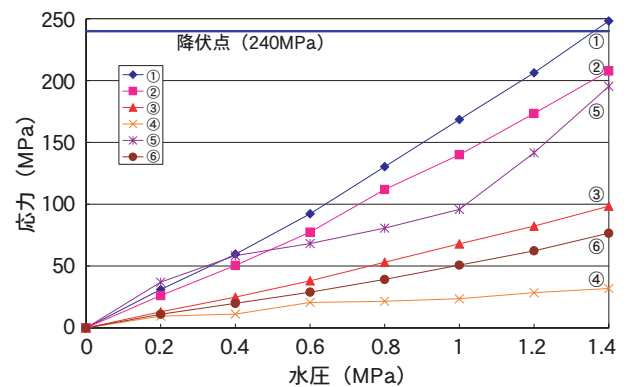


図8 応力測定結果

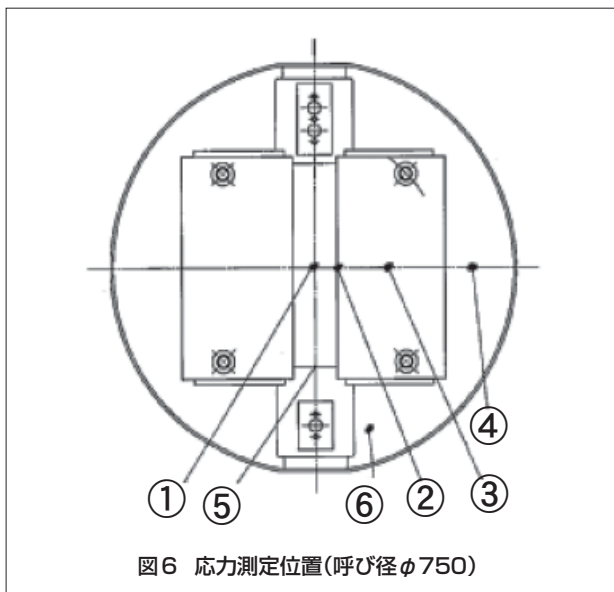


図6 応力測定位置(呼び径φ750)

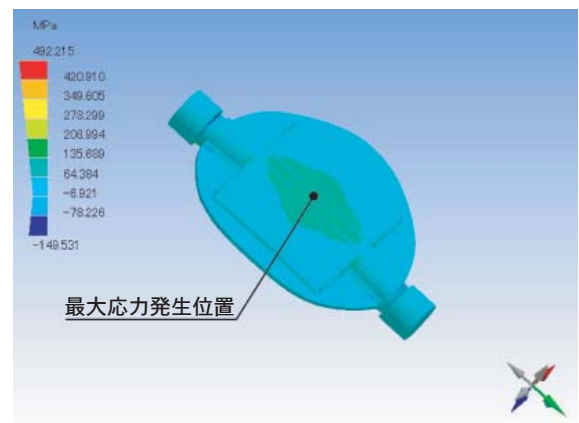


図9 FEM解析結果(呼び径φ750)

(240 MPa)を超えた。

シート漏れについては、水圧1.4 MPaまで加圧したが、漏れは全く無かった。また、弁体の永久変形も無かった。

3.2.2 FEM解析による計算

1) 境界条件

(1) 荷重条件：弁体表面(片面)に水圧1.4 MPa負荷

(2) 拘束条件：プッシュ端部両端固定

2) 計算結果

FEM解析結果を図9に示す。水圧1.4 MPa加圧時、弁体中心部で最大応力120 MPaが発生した。

3.2.3 理論式による計算

弁体の理論式による曲げ応力は、水圧によって弁体に発生する曲げモーメントを断面係数で除して算出する。

曲げ応力の計算は、弁棒平行方向と弁棒垂直方向の2方向について各々計算する。弁棒平行方向および弁棒垂直方向の説明を図10および図11に示す。

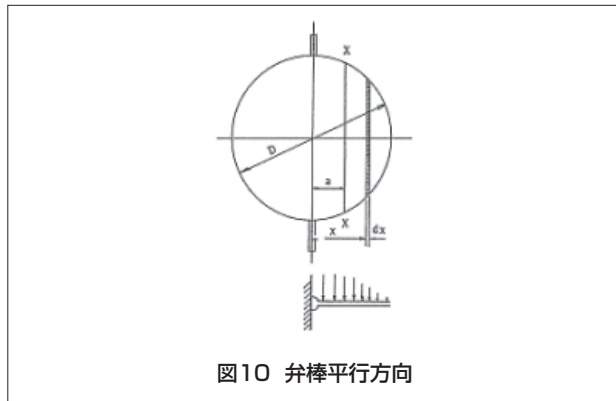


図10 弁棒平行方向

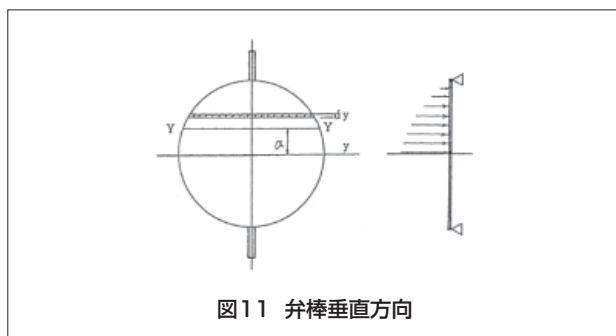


図11 弁棒垂直方向

水圧1.4 MPaにおける弁棒平行方向および弁棒垂直方向の各断面の曲げ応力を算出した。その結果、弁棒垂直方向で弁体中心部に最大曲げ応力195 MPaが発生した。図12に最大応力発生位置を示す。

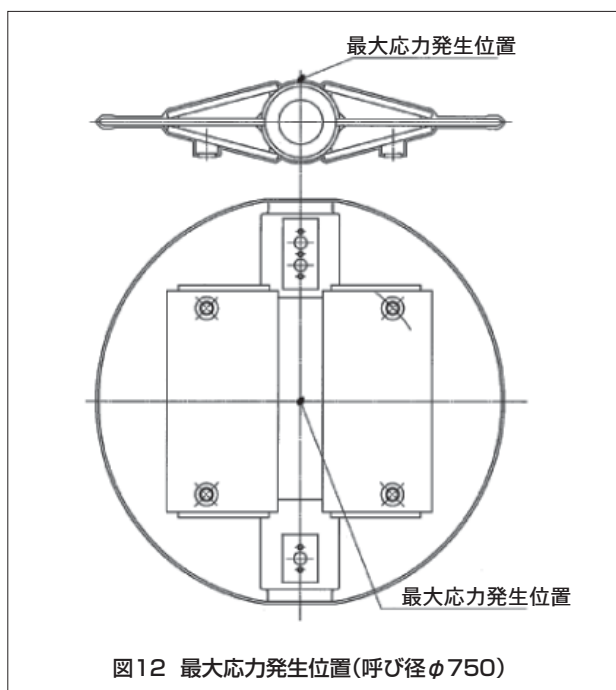


図12 最大応力発生位置(呼び径φ750)

3.2.4 実機によるたわみ測定

弁体のたわみ測定は、応力測定と同時に行った。ダイヤルゲージを用い、図13の位置を応力測定と同様水圧1.4 MPaまで測定した。その結果を図14に示す。水圧0～0.2 MPa加圧時、各位置のたわみ量が急激に変化している。これは、弁棒と軸受のクリアランスによるものである。

位置Dのたわみ量は、水圧1.4 MPa加圧時4.8 mmであった。この時、シート部の漏れは発生しなかった。これは、図15に示すように弁体シートが弁箱シートから4.8 mm移動したとしてもシートの接触幅が十分保たれたため、漏れは発生しなかったと考える。この結果を基に、その他バルブの許容たわみ量を決定した。

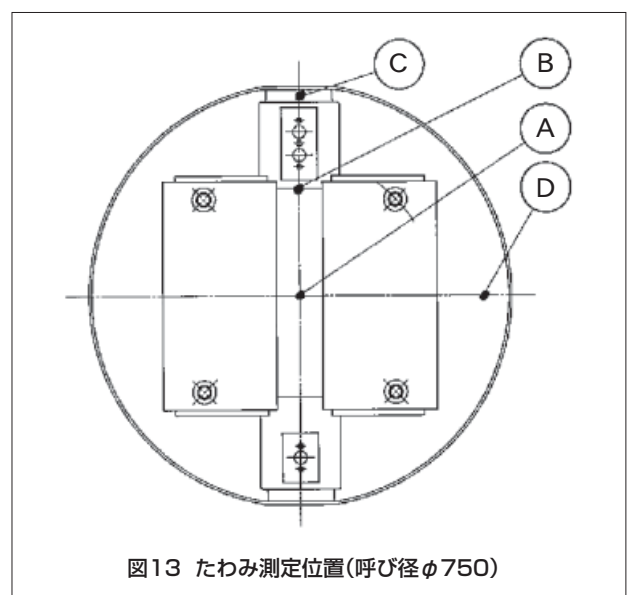


図13 たわみ測定位置(呼び径φ750)

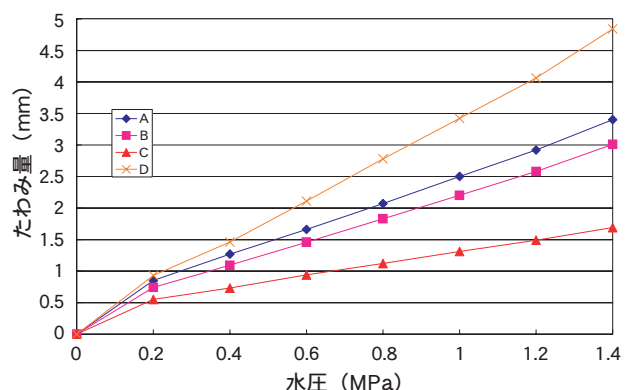


図14 たわみ試験結果

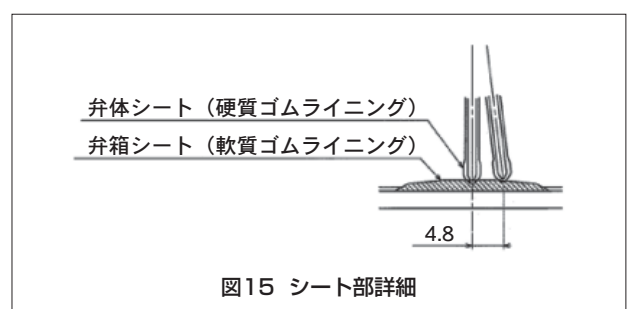


図15 シート部詳細

3.2.5 考察

呼び径 $\phi 750$ の弁体応力の実機試験による実測値、FEM解析および理論式による計算値を比較すると図16となる。いずれも最大応力は弁体中心部で発生した。

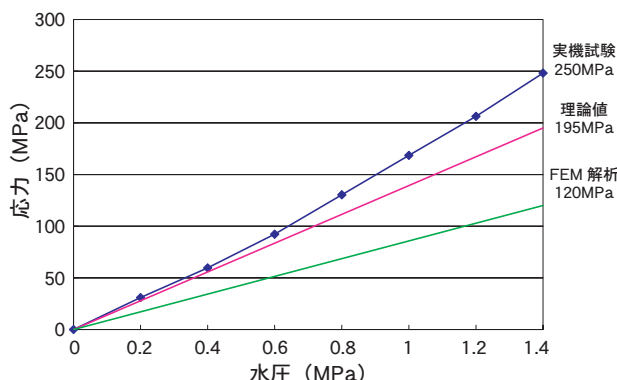


図16 弁体発生応力の比較(呼び径 $\phi 750$)

実機試験による実測値と、理論式による計算値を比較すると、計算値より実測値の方が約1.3倍大きい。これらの結果を、呼び径 $\phi 750 \sim \phi 3,500$ の実製品の弁体設計に利用した。また、参考とするFEM解析においても境界条件の妥当性の確認に利用した。これらとたわみ測定の結果と合わせ、弁体設計したことにより、強度と止水性能を兼ね備えた最適な弁体を製作できた。

実製品として製作した一例として、呼び径 $\phi 1,200$ 弁体を図17に示す。



図17 呼び径 $\phi 1,200$ 弁体

4. 油圧操作機の検討

従来、ポンプステーションには、ポンプトリップなどの緊急時、逆流を防止するために逆止弁、若しくは油圧式逆止バタフライ弁が設置されることが多い。特に逆止バタフライ弁には緊急遮断機能がついており、緊急時、遮断信号を受信することでカウンタウエイトの自重落下、つまり無動力でバルブを全閉にすることが要求される。カウンタウエイトによる閉時間は、一般に30～60秒程度である。開操作は油圧シリンダによる駆動が一般的である。参考として図18に $\phi 2,400$ 油圧式逆止バタフライ弁の据付外観を示す。



図18 $\phi 2,400$ カウンタウエイト付油圧式逆止バタフライ弁据付外観

今回、 $\phi 3,500$ 油圧式逆止バタフライ弁については、顧客から緊急時の閉時間3.5秒の指定があり、従来のカウンタウエイトによる自重落下だけでは、急閉に対応できない。その方策として、油圧ユニットにアキュムレータを搭載し、遮断信号を受信時に、カウンタウエイトの自重落下に加え、アキュムレータに蓄圧している油圧を解放して3.5秒で急閉を可能とした。 $\phi 3,500$ 油圧式逆止バタフライ弁を図19に、またバルブ仕様を表3に示す。

アキュムレータ $\phi 3,500$ バタフライ弁 油圧シリンダ



油圧ユニット

図19 $\phi 3,500$ 油圧式逆止バタフライ弁

表3 バルブ仕様

名称	$\phi 3,500$ BT-BS 形逆止バタフライ弁 (全面ゴムライニング形)
使用圧力	0.7 MPa
流体	海水
主要部品材質	弁箱: SS400 弁体: SS400 弁棒: SUS329J3L 弁箱シート: 軟質ゴムライニング (CR) 弁体シート: 硬質ゴムライニング (HNR)
操作方式	油圧式
開閉時間	通常開: 80 秒 (2段階スピード) 通常閉: 80 秒 (2段階スピード) 緊急閉: 3.5 ～ 8 秒 (調整可能)

5. おわりに

本プロジェクトでは、ここで紹介した弁箱・弁体の検討や、油圧操作機の検討の他に、以下に示す種々の改良を行い製品に反映させた。

- 1) 手動操作機の一部自社製作によるコンパクト化
- 2) 弁棒の軽量化
- 3) 構成部品点数の削減
- 4) グランドパッキン部の改善
- 5) 部品の共通化

以上は、台数が多かったため非常に有効であった。今回得た経験は非常に有意義なものであり、今後大いに活用できるものであると考える。

参考文献

- 1) 西川裕俊、大川耕司：大型バタフライ弁の応力・撓みの解析と評価について、クリモト技報、No.39 (1998) pp.45-58

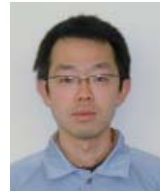
執筆者

中村勝彦

Katsuhiko Nakamura

平成12年入社

バルブ設計に従事



丸井佳博

Yoshihiro Marui

昭和43年入社

バルブ及びゲート設計に従事

