



平成30年度

“高効率・省エネ”ヘビーリフトクレーンの技術開発  
成果報告書

令和2年1月

一般社団法人 日本船用工業会



## はしがき

本報告書は、BOAT RACE の交付金による日本財団の助成金を受けて、平成 29 年度、平成 30 年度の 2 年計画で、一般社団法人日本舶用工業会が眞鍋造機株式会社に委託して実施した、「“高効率・省エネ”ヘビーリフトクレーンの技術開発」の 2 年間の成果をとりまとめたものである。

ここに、貴重な開発資金を助成いただいた日本財団、並びに関係者の皆様に厚く御礼申し上げる次第である。

令和 2 年 1 月  
(一社)日本舶用工業会



## 目 次

第 I 部 平成 29 年度 .....	1
1. 事業の目的 .....	1
2. 事業の目標 .....	4
2.1 本事業の最終目標 .....	4
2.2 平成 29 年度の目標 .....	4
3. 平成 29 年度の実施内容 .....	4
3.1 高圧電磁比例制御弁の設計・開発 .....	4
3.2 高圧電磁比例制御弁の性能試験 .....	7
3.3 巻上・俯仰・旋回装置の設計 .....	13
3.4 巻上・俯仰・旋回装置の試作 .....	16
3.5 巻上・俯仰・旋回装置の性能試験 .....	17
3.6 ハイテン材の調査・性能試験 .....	18
3.6.1 ハイテン材（降伏応力 40kg/mm <sup>2</sup> ）の調査 .....	18
3.7 クレーン本体の設計 .....	20
3.7.1 クレーン底板の設計 .....	20
4. 平成 29 年度の目標の達成状況 .....	25
4.1 有効圧力 290～300kg/cm <sup>2</sup> の巻上・俯仰・旋回装置の設計・試作・性能試験を実施 .....	27
4.2 ハイテン材（降伏応力 40kg/mm <sup>2</sup> ）調査・性能試験を実施 .....	27
第 II 部 平成 30 年度 .....	28
5. 平成 30 年度の実施内容 .....	28
5.1 クレーン本体の試作 .....	28
5.1.1 特殊購入品 .....	28
5.1.2 ドラム溝加工 .....	29
5.1.3 クレーン底板 .....	30
5.1.4 ジブトップ、ハウストップ、ハウス .....	32
5.1.5 組立 .....	34
5.2 クレーンの性能評価 .....	37
5.2.1 速度試験 .....	37
5.2.2 操作性評価 .....	42
5.2.3 アイドリング時におけるエネルギー効率（省エネ）評価 .....	43

5.2.4 自重評価	43
6. 平成30年度の目標の達成状況	45
6.1 一般貨物を想定した30TONの荷役における荷役効率(荷役時間)を他社と比較して約30%強向上	45
6.2 アイドリング時におけるエネルギー効率(省エネ)を従来のインバータを使用しない場合と比較して約5~10%(当社比)改善	46
6.3 他社製品の中で最も軽い自重300~320TONを実現する。	46
7. 本技術開発における自己評価	47
7.1 クレーン使用性能	47
7.2 クレーン自重	47
7.3 工程管理	47
8. 今後の取り組み	47
8.1 設計・製造の振り返り	47
8.2 試作機完成報告会の実施	47
8.3 本船上への搭載	47
8.4 製品標準化	47

## 第 I 部 平成 29 年度

### 1. 事業の目的

一般的に 150TON 以上の荷役能力を持つクレーンをヘビーリフトクレーンと呼び、2016 年現在で、ヘビーリフトクレーンが搭載された多目的船・重量物運搬船（以下、重量物運搬船）が約 200 隻以上運航されている。しかし、ヘビーリフトクレーンの定格能力が発揮される荷役は年に数回行われる程度であり、ほとんどが定格能力以下の一般貨物の荷役が行われている。こうした軽負荷の荷役は重量物の荷役に比較して、速い荷役速度が求められるが、重量物の運搬に特化した従来のヘビーリフトクレーンでは十分に実現できていない。本技術開発では、重量物・一般貨物の何れにおいても高効率・省エネを実現する世界初の油圧システムを持った「日本初の 500TON クレーン」を開発する。

以下に、個別事項を補足する。

#### 【ヘビーリフトクレーンの各部名称と動作】

ヘビーリフトクレーンの各部名称を以下の図 1 に示す。また、ヘビーリフトクレーンの動作は①巻上巻下、②俯仰、③旋回の 3 動作からなる。

- ①巻上巻下：貨物を上下方向に動かす動作
- ②俯仰：ジブ部を上下方向に動かす動作
- ③旋回：旋回軸を中心にして、クレーンハウジングが右又は左に回転する動作

#### (主巻と補巻)

図 2 に示す通り、ヘビーリフトクレーンはジブの先端に主巻フックと補巻フックの 2 つのフックを備える場合がある。これは重量物の荷役の際と軽負荷の荷役の場合で巻上巻下の駆動装置を分けることによって、軽負荷の一般貨物の荷役効率（荷役時間）を向上させるためである。一方、俯仰および旋回装置はヘビーリフト用をそのまま使用しなければならないので能率が悪い。また、従来のヘビーリフトクレーンはクローズド回路方式を採用しているため、主巻用油圧ポンプは補巻には活用出来ず、補巻専用の油圧ポンプを搭載している。従来のヘビーリフトクレーンの補巻 30TON クラスの巻上・巻下速度は 35m/min であり、一般貨物用デッキクレーン(21/min)より速いが俯仰および旋回の能率の悪さを挽回するには不十分な速度である。今回開発するヘビーリフトクレーンは、主巻・補巻・俯仰・旋回各々のアクチュエータ(油圧モータなどの駆動部)が必要能力を発揮出来るよう複数の油圧ポンプを組み合わせ共通化することにより、補巻 30TON クラスの巻上・巻下速度は従来の 1.4 倍、一般貨物用の 2 倍強の 50m/min を実現する。俯仰および旋回速度も各々従来の 1.5 倍、2 倍の高速化を計り荷役効率の大幅な改善を図る。

なお、従来のヘビーリフトクレーンと、本開発のヘビーリフトクレーンおよび一般貨物用 30TON 型デッキクレーンの速度性能の比較は以下の通り。

本開発ヘビーリフトクレーン

巻上速度	補巻	30t	50.0m/min
俯仰速度	補巻	30t	230sec (10.5~40m)
旋回速度	補巻	30t	0.4rpm

従来のヘビーリフトクレーン

巻上速度	補巻	30t	35.0m/min
俯仰速度	補巻	30t	360sec (10.5~40m)
旋回速度	補巻	30t	0.2rpm

一般貨物用 30TON 型デッキクレーン

巻上速度	主巻	30t	21.0m/min
俯仰速度	主巻	30t	73sec (4.5~32m)
旋回速度	主巻	30t	0.45rpm

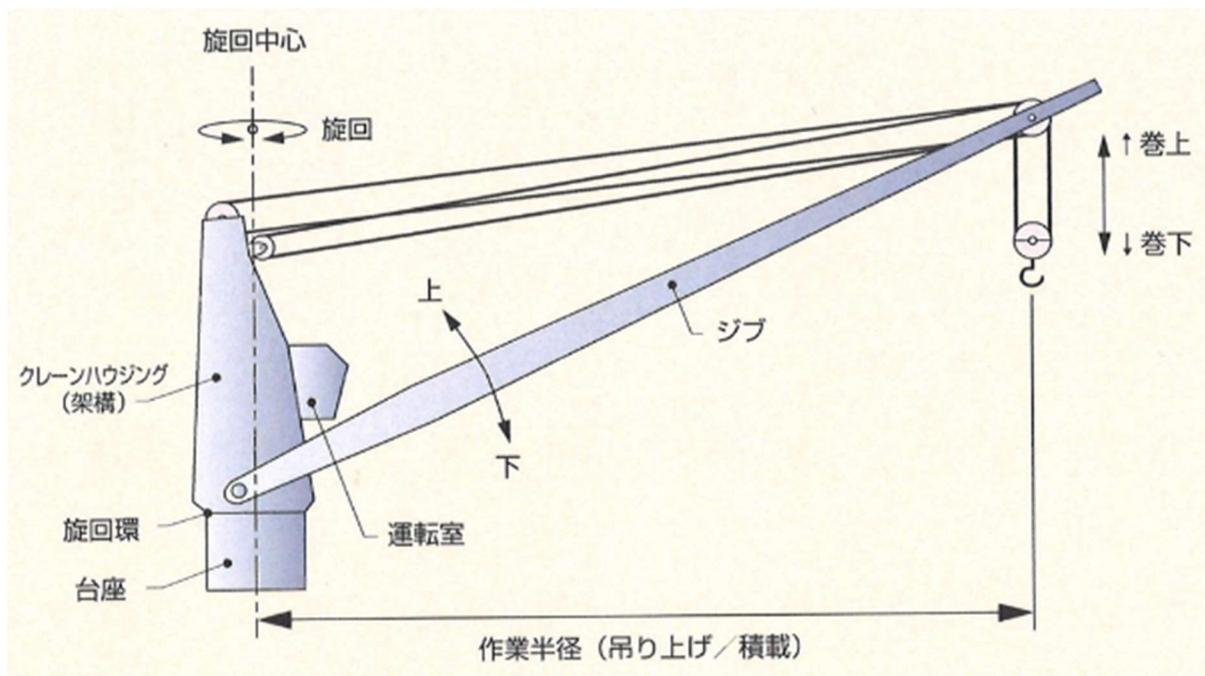


図 1. クレーン本体

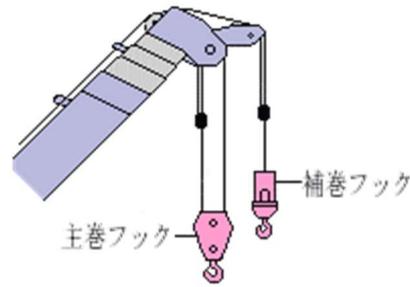


図 2. 主巻と補巻

**【オープン回路とクローズド回路】**

油圧回路には大きく分けて、オープン回路とクローズド回路とが存在する。オープン回路を図 3、クローズド回路を図 4 に示す。

オープン回路：ポンプはタンクから油を吸込み、油圧モータの戻り油もタンクに戻る。アクチュエータ（油圧モータなどの駆動部）の速度と方向は制御弁によって制御される。オープン回路では一つのポンプで複数のアクチュエータを動かすことができ、主巻・補巻・俯仰・旋回を備えるヘビーリフトクレーンにおいても、複数の油圧ポンプを各々のアクチュエータが必要能力を発揮出来るよう、最適に組み合わせ共通化することにより、高能率・省エネを実現する世界初のコンパクトな油圧回路を構成することができる。

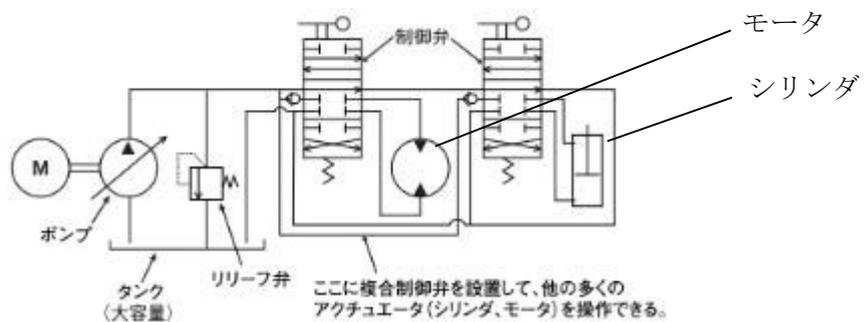


図 3. オープン回路

クローズド回路：ポンプから送られる油で油圧モータを回転させ、その戻り油はポンプの吸入口に戻る。アクチュエータの速度と方向はポンプ吐出方向と流量を変化させることによって制御する。一つのアクチュエータに対して一つのポンプが必要となり、主巻・補巻・俯仰・旋回を備えるヘビーリフトクレーンにおいては、各アクチュエータにそれぞれの油圧ポンプが必要となる。

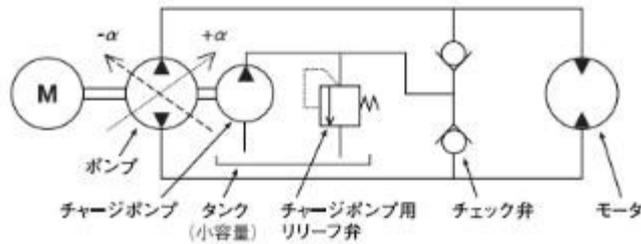


図 4. クローズド回路

### 【圧力と高压化】

圧力は単位面積当たりの力で表すことができる。

$$\text{圧力} = \text{力} / \text{面積}$$

つまり、力は圧力と面積の積となり(力 = 圧力×面積)、同じ力を得るのに、圧力の高い油圧回路では、より小さな面積で油圧システムを構築することができる。本開発では油圧回路の高压化を図り、油圧システムをコンパクトにすることによって自重の軽減を図る。

## 2. 事業の目標

### 2.1 本事業の最終目標

- 1) 一般貨物を想定した 30TON の荷役における荷役効率(荷役時間)を他社と比較して約 30%強向上する。
- 2) アイドリング時におけるエネルギー効率(省エネ)を従来のインバータを使用しない場合と比較して約 5~10%(当社比)改善する。
- 3) 他社製品の中で最も軽い自重 300~320TON を実現する。

### 2.2 平成 29 年度の目標

- 1) 有効圧力 290~300kg/cm<sup>2</sup> の巻上・俯仰・旋回装置の設計・試作・性能試験を実施する。  
(現状は有効圧力 225~235kg/cm<sup>2</sup>)
- 2) ハイテン材(降伏応力 40kg/mm<sup>2</sup>) 調査・性能試験を実施する。(現状は 36kg/mm<sup>2</sup>)

## 3. 平成 29 年度の実施内容

### 3.1 高压電磁比例制御弁の設計・開発

一般的に、油圧ポンプ、油圧モータ、安全弁等の高压用油圧機器の最高使用圧力は、現状 350kg/cm<sup>2</sup> 用が入手でき、建設機械においては多数用いられている。一方、船用で使用されている高压油圧機器の船用電磁比例制御弁は、現状最高使用圧力 250kg/cm<sup>2</sup> 用しか市場に無く、設計有効圧力は、最高 225~235kg/cm<sup>2</sup> と制限されていた。これは、船用機器が船級の承認を受ける必要があり、一般的な高压用油圧機器を船舶用として用いることができないといった理由があった。

本事業では、クレーンの主巻、補巻、俯仰、旋回各々に使われているアクチュエータ(油圧機器+機械部)をよりコンパクトにし、クレーン全体の重量を軽量化する為に、設計有効圧力

を  $290\sim 300\text{kg/cm}^2$  まで高圧化した高圧電磁比例制御弁を開発し、船級承認を受けるための試作機を設計・試作することとした。こうした高圧化から油圧機器のサイズをコンパクトにすることによって、クレーン内部の配置においても自由度が増し、コスト競争力も高め、他社と差別化する狙いである。高圧電磁比例制御弁の外形図を図 5 に示す。

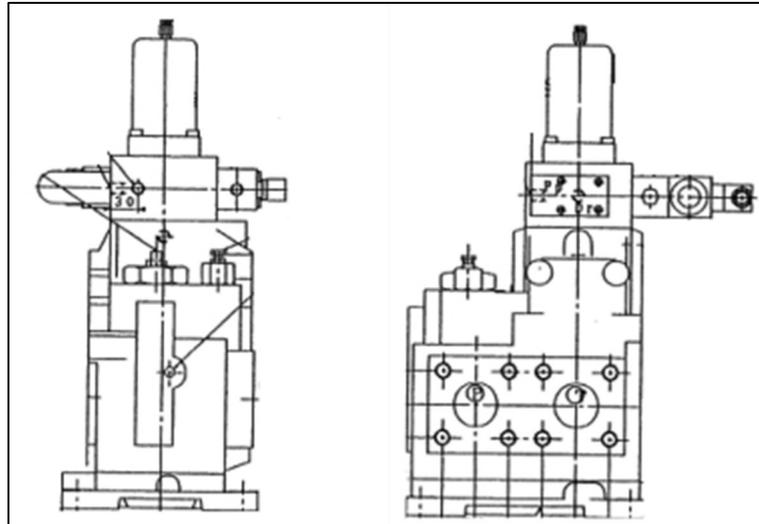


図 5. 高圧電磁比例制御弁の外形図

また、高圧電磁比例制御弁の流量特性においては、重量物の荷役の際には、巻上巻下、俯仰、旋回のすべての動作を、可能な限りゆっくりと滑らかに動かす必要があるため、高圧電磁比例制御弁を通過する作動油の低流量域での微小流量制御を実現させる必要があり、一般貨物の荷役の際には、速い荷役速度が求められるため、大流量域での制御も両立させる必要がある。

現在の標準仕様の電磁比例制御弁は、図 6 に示すように、流量は操作量の平方根に比例する特性がある。従って、操作始めの低流量域において流量の増加量が最も多い特性があり、操作量 50%において流量が約  $500\text{L/min}$  となり、操作量 100%にて  $900\text{L/min}$  となる。

今回開発する高圧電磁比例制御弁は、図 7 に示すように、操作量 50%において流量が約  $100\text{L/min}$ 、操作量 100%で  $900\text{L/min}$  となるような流量特性を持たせる必要がある。よって、操作量 60%までの流量の増加量は小さく、それ以上の操作量になると流量の増加量が大きくなり、増加量が二段階となる特性を持つ。このような特性を持たせることによって、微速領域での微小流量制御と高速流量制御の二つを両立する制御弁となる。

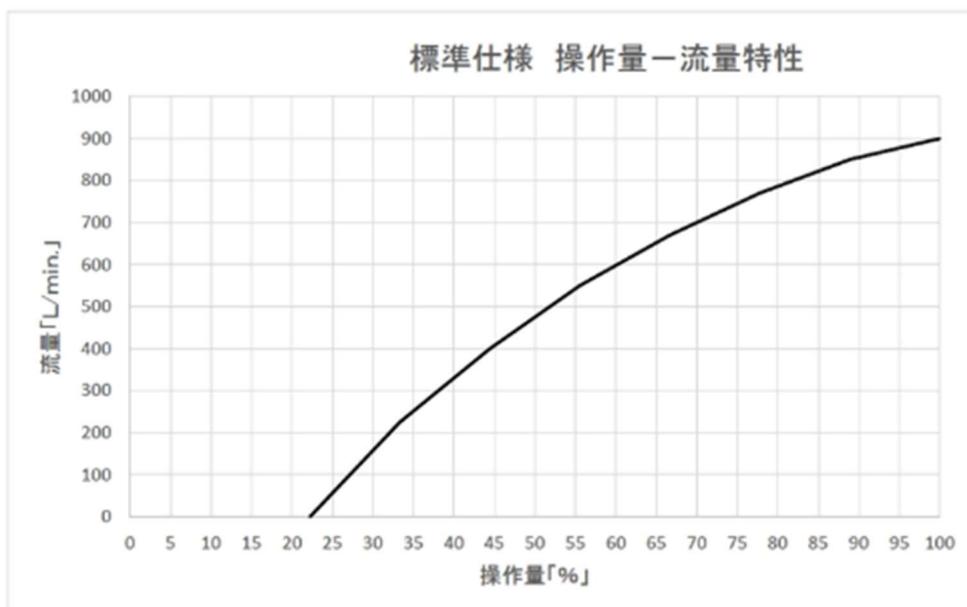


図 6. 標準仕様 操作量 - 流量特性図

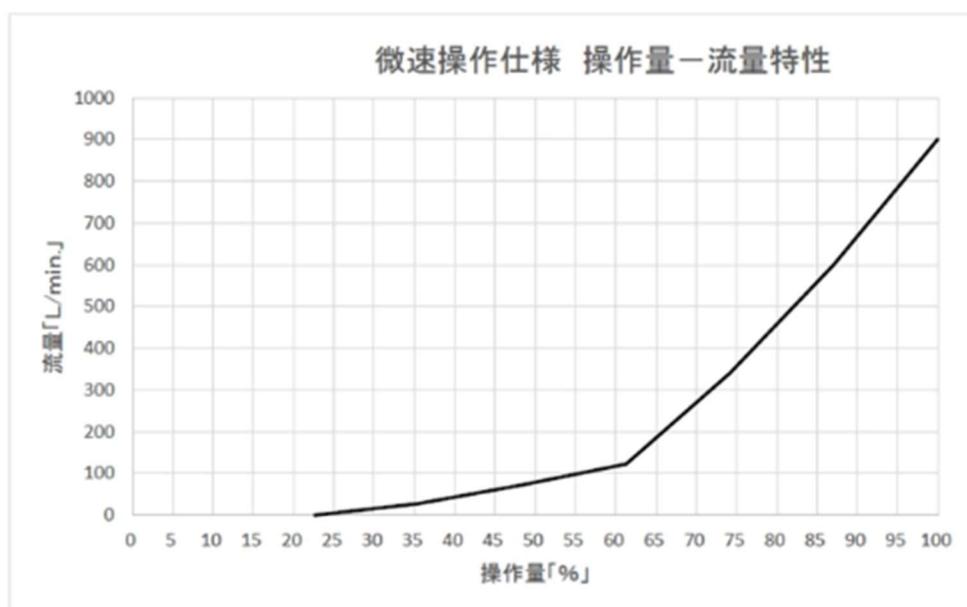


図 7. 微速操作仕様 操作量 - 流量特性図

一般的に制御弁の流量制御は串形状の弁体を通した「スプール」を軸方向に駆動させ、流路を開閉することによって行う。微速操作仕様の流量特性を実現させるため、スプール部に微小な溝を設けることにより微速流量制御を可能とした。従来の標準スプールと、微速流量制御を可能とする微速性能アップスプールの比較図を、図 8 に示す。

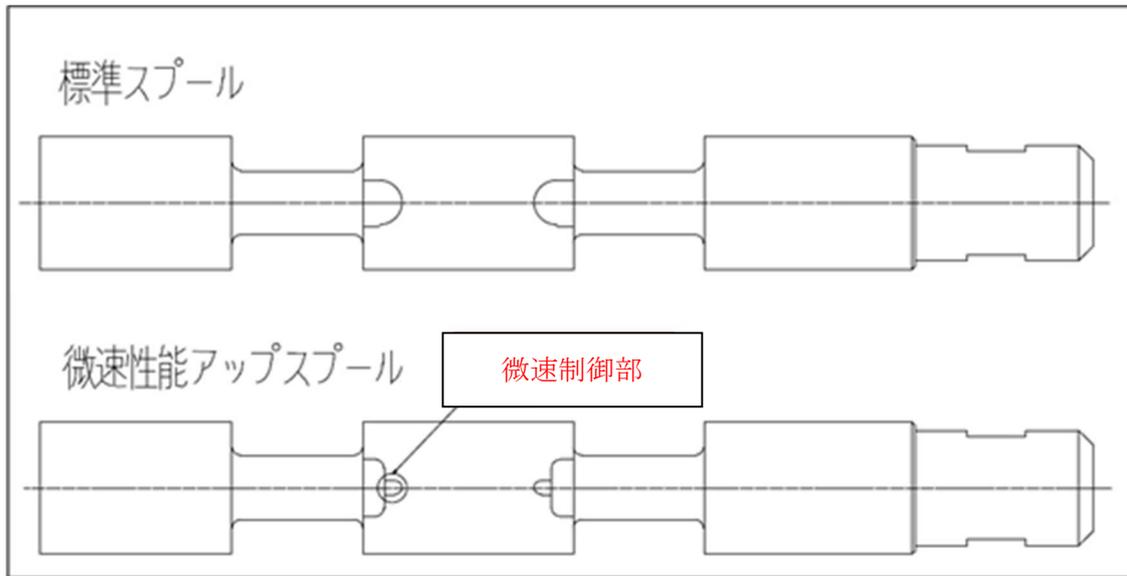


図 8. 標準スプールと微速性能アップスプールの比較図

これらの検討結果を基に、微速流量制御と高速流量制御を可能とした高圧電磁比例制御弁を試作した（図 9）。



図 9. 試作した高圧電磁比例制御弁

### 3.2 高圧電磁比例制御弁の性能試験

前項で試作した高圧電磁比例制御弁が、必要な性能を有するかどうかを確認するために性

能試験を実施した。油圧制御弁に対して船級により定められている試験は設計有効圧力の1.5倍の圧力をかけた圧力試験のみである。よって、本性能試験では、設計有効圧力での耐圧性能試験、船級で求められる設計有効圧力の1.5倍の圧力での耐圧性能試験、低流量での微小流量制御確認試験、最大流量試験を実施した。性能試験の評価項目を表1に示す。船級DNV/GLの性能試験該当箇所を図10に、船級ABSの該当箇所を図11に示す。

表 1. 高圧電磁比例制御弁の評価項目

試験内容	評価値
耐圧性能 (設計有効圧力)	300kg/cm <sup>2</sup> を 3 分
耐圧性能 (設計有効圧力の 1.5 倍の圧力)	375kg/cm <sup>2</sup> を 3 分
低流量での微小流量制御、最大流量	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 流れ始めの流量 10L/min 以下</li> <li>・ 微速制御切替付近の流量 100L/min 前後</li> <li>・ 最大流量付近の流量 900L/min 以上</li> </ul>

### 3.2 Hydrostatic tests

**3.2.1** All valve bodies shall be subjected by the manufacturer to a hydrostatic test at a pressure equal to 1.5 times the nominal pressure (The nominal pressure is the maximum allowable working pressure at room temperature). The test pressure need not be more than 70 bar in excess of the nominal pressure.

図 10. 油圧制御弁に対する DNV/GL 性能試験要求事項

### 7.3 Hydrostatic Tests (2002)

#### 7.3.1 Hydrostatic Test of Pipes Before Installation Onboard

All Classes I and II pipes and integral fittings after completion of shop fabrication, but before insulation and coating, are to be hydrostatically tested in the presence of a Surveyor, preferably before installation, at the following pressure.

$$P_H = 1.5P$$

where  $P_H$  = test pressure, and  $P$  = design pressure.

図 11. 油圧制御弁に対する ABS 性能試験要求事項

性能試験は、大電株式会社工場内の試験設備を用いて行った。耐圧試験の状況を図 12 に示す。



図 12. 耐圧試験状況

高圧電磁比例制御弁の評価試験の結果を表 2 に示す。

表 2. 高圧電磁比例制御弁の評価試験結果

試験内容	評価値	試験結果
耐圧性能（設計有効圧力）	300kg/cm <sup>2</sup> を3分	300kg/cm <sup>2</sup> の圧力で3分間、圧力変動がないことにより、漏れがないことを確認した。
耐圧性能（設計有効圧力の1.5倍）	375kg/cm <sup>2</sup> を3分	375kg/cm <sup>2</sup> の圧力で3分間、圧力変動がないことにより、漏れがないことを確認した。
低流量域での微小流量制御、最大流量	<ul style="list-style-type: none"> <li>・流れ始めの流量 10L/min 以下</li> <li>・微速制御切替付近の流量 100L/min 前後</li> <li>・最大流量付近の流量 900L/min 以上</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・流れ始めの流量 3L/min</li> <li>・微速制御切替付近の流量 133L/min</li> <li>・最大流量付近の流量 902L/min</li> </ul>

耐圧試験を実施した結果、有効圧力 300kg/cm<sup>2</sup> の圧力で 3 分間、そして、有効圧力の 1.5 倍以上となる 375kg/cm<sup>2</sup> の圧力で 3 分間、圧力変動がなく、漏れがないことを確認し、耐圧試験において性能上の問題がないことを確認した。

耐圧試験時(有効圧力)の圧力計の写真を図 13 に示す。



図 13. 圧力計写真(30MPa $\approx$ 300kg/cm<sup>2</sup>)

耐圧試験時(有効圧力の 1.5 倍)の圧力計の写真を図 14 に示す。



図 14. 圧力計写真(36.8MPa $\approx$ 375kg/cm<sup>2</sup>)

また、微速流量制御、最大流量制御の流量試験を実施した結果、流れ始めの流量は 3L/min となり(図 15)、低流量域での微小流量制御において、操作量 50%付近で流量 100L/min 前後であることを確認し(図 16)、操作量 100%において最大流量が 900L/min を満たすことを確認

した(図 17)。従って、性能試験は良好な結果であり、設計通りに高圧電磁比例制御弁を完成させることができた。



図 15. 流れ始め



図 16. 微速制御切替付近



図 17. 最大流量付近

操作量（パイロット圧力）と流量の関係の計画値、実測値を図 18 に示す。横軸に操作量（パイロット圧力）、縦軸に流量を示しており、実測値は計画値と同等のカーブを示していることが分かる。微速制御領域では、操作量（パイロット圧力）の増加に比べて、流量の増加が緩やかになっており、微速で繊細な操作を可能とする。流量 100L/min 付近からは操作量（パイロット圧力）に対する流量の増加量が大きくなり、応答性のよい操作が可能となる。

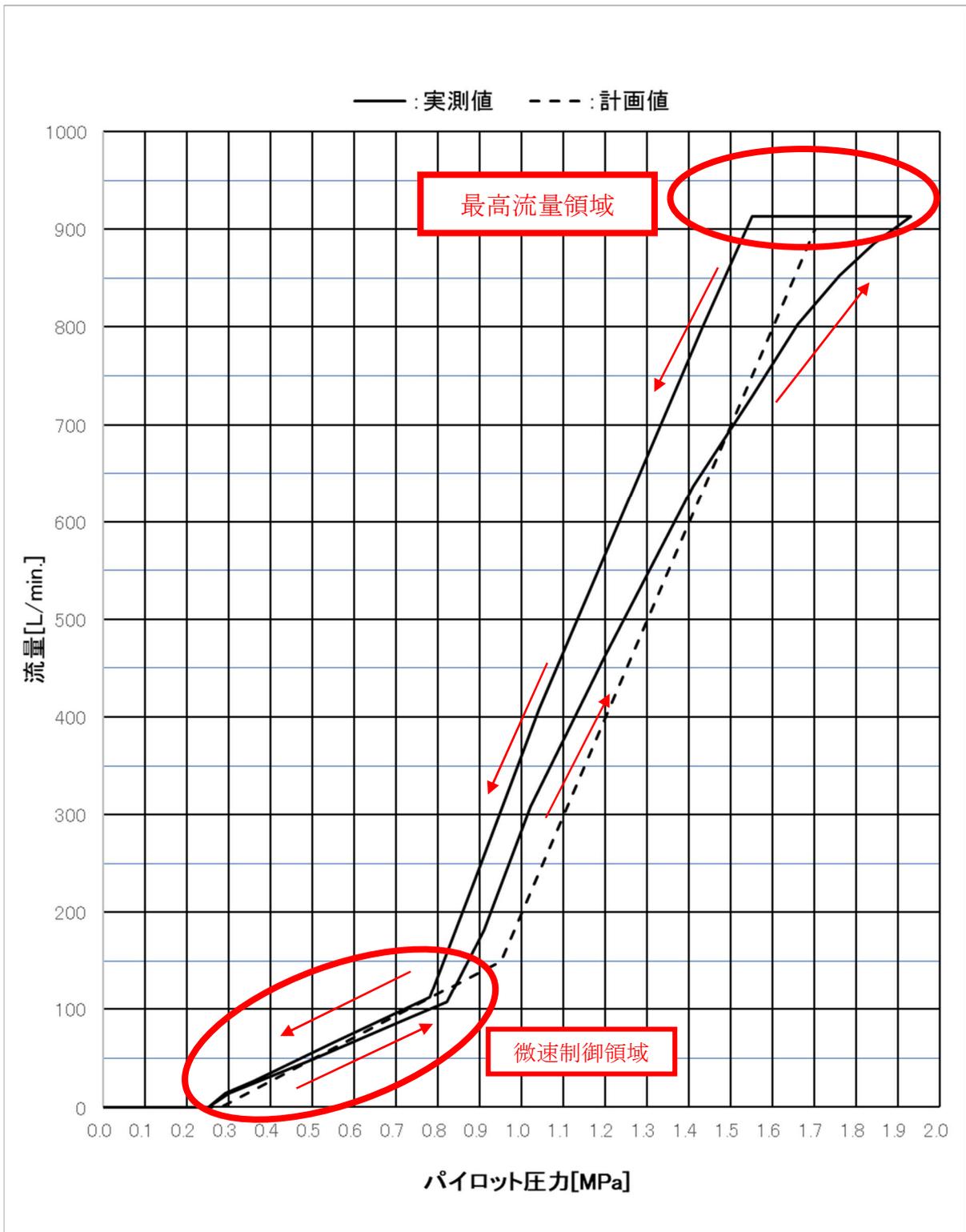


図 18. 操作量 (パイロット圧力) - 流量特性

### 3.3 巻上・俯仰・旋回装置の設計

3.1 項、3.2 項にて完成した高圧電磁比例制御弁を用いて、有効圧力 290～300kg/cm<sup>2</sup> を供給できる油圧システムを設計したが、最終的な製品仕様としては、有効圧力 250kg/cm<sup>2</sup> を採用することに決定した。理由としては、高圧化の目的であったクレーン自重の軽減は、クレーン本体の設計によって達成することができる目処がたち、また、今回の油圧機器の選定においては、初めて選定するような特殊な機器を用いることなく、十分な実績を持つ機器を組み合わせることによって、トラブル時の機器手配の迅速化など顧客への安心度・満足度を高めることを重視している中、高圧電磁比例弁以外の一部油圧機器において、船用の使用条件においては、有効圧力 250kg/cm<sup>2</sup> 以上のメーカー保証が得られなかったためである。

表 3 に 500TON クレーン試作機仕様を示す。主巻には 500T モード、300T モード、100T モードの 3 モード、補巻には 50T モード、30T モードの 2 モードが存在する。それぞれの荷重においてモード切替えを行い、最適な性能と安全性を発揮する仕様を定めた。モード切替えを設けず、荷重を検知して自動的にモード切替えを行うことも可能だが、荷振れなどによる荷重の変動によって、予期せぬモード切替えが発生することを防止するためにモード切替えは手動での切替えとなる。

一般的に、主巻を用いる重量物の荷役の際には、速い荷役速度が求められない一方、補巻を用いる一般貨物の荷役の際には、速い荷役速度が要求される。本試作機では、ヨーロッパメーカーが採用するクローズド回路（ポンプコントロール）（図 4）ではなく、オープン回路（バルブコントロール）（図 3）を採用し、油圧機器の組み合わせによって、最適なシステムを構築することが可能となっており、重量物の荷役と一般貨物の荷役に求められる早い荷役速度の両方を実現している。

基本計画完了時における、本開発ヘビーリフトクレーン、従来型ヘビーリフトクレーン、一般貨物用 30TON 型デッキクレーンの 30TON の荷役に対する速度性能の比較を表 4 に示す。また、本開発ヘビーリフトクレーン、従来型ヘビーリフトクレーンの 30TON の荷役に対する荷役サイクルをそれぞれ図 19、図 20 に示す。

表 3. 500TON クレーン試作機仕様

クレーン仕様	主巻			補巻	
	500T モード	300T モード	100T モード	50T モード	30T モード
巻上荷重	500T	300T	100T	50T	30T
巻上速度	2.5m/min	3.2m/min	5m/min	20m/min	40m/min
巻下速度	2.5m/min	3.2m/min	5m/min	20m/min	40m/min
旋回半径	20m~7m	33m~7m	33m~7m	36m~10.5m	36m~10.5m
俯仰時間	105sec	335sec	235sec	235sec	235sec
旋回速度	0.2rpm	0.2rpm	0.39rpm	0.39rpm	0.39rpm
旋回範囲	360°				
電動機容量	215kW 一定. 360kW 15% ED×2sets				
電力源	駆動源	AC440V 60Hz φ3			
	照明 & ヒーター	AC100V 60Hz φ1			
設計条件	荷役時 : 5° ヒール (荷振れ 2° 含む) 2° トリム ジブレスト時 : 30° ヒール				

表 4. 基本計画完了時の 30TON の荷役に対する速度性能比較

	本開発ヘビーリフトクレーン	従来型ヘビーリフトクレーン	一般貨物用 30TON 型デッキクレーン
巻上速度	40m/min	35m/min	21m/min
俯仰速度	235sec (36~10.5m)	360sec (36~10.5m)	73sec (32~4.5m)
旋回速度	0.39rpm	0.2rpm	0.45rpm
荷役サイクル	489.8sec	706.2sec	-
対従来比	約 31%短縮	-	-

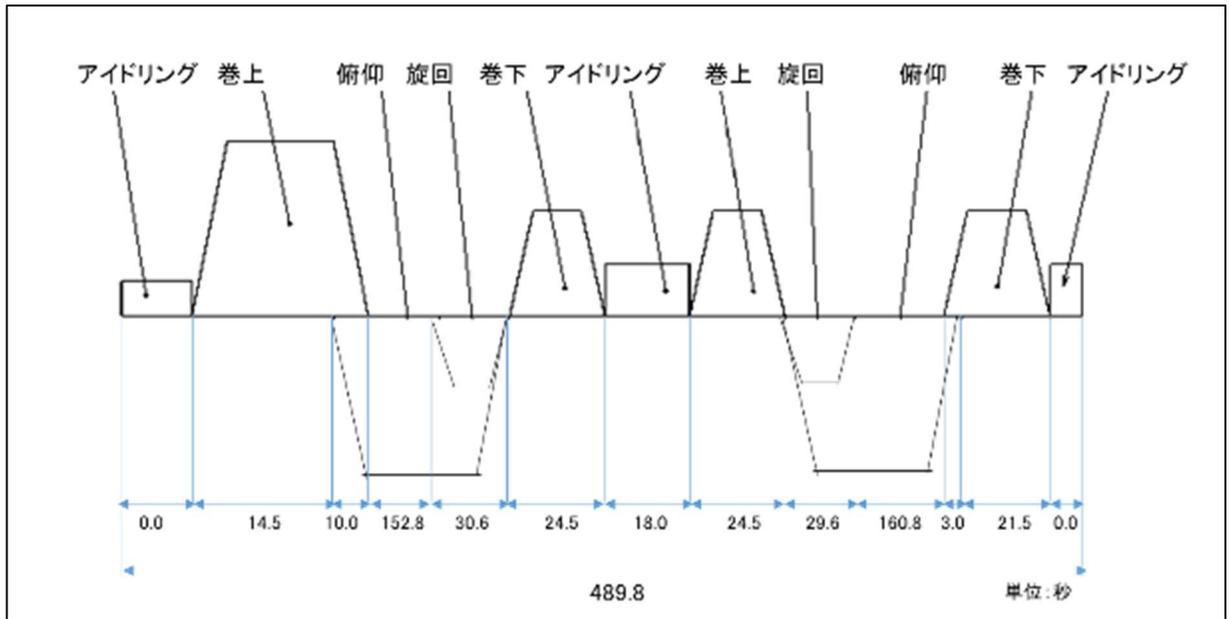


図 19. 本開発ヘビーリフトクレーンの 30TON の荷役に対する荷役サイクル

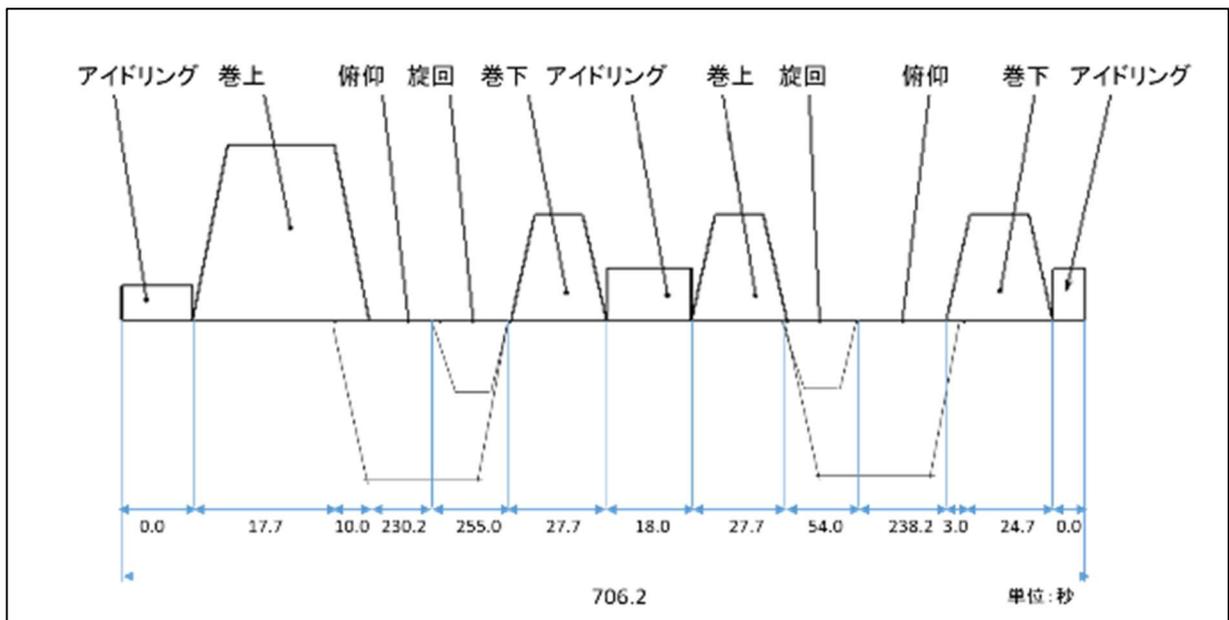


図 20. 従来型ヘビーリフトクレーンの 30TON の荷役に対する荷役サイクル

500TON クレーン試作機油圧回路図を図 21 に示す。重量物の荷役と一般貨物の荷役に求められる速い荷役速度を両立する油圧システムの考え方としては、油圧システムで供給される油の量・圧力が一定の中、“力=圧力×面積” (1. 事業の目的 - 【圧力と高圧化】参照) となり、重量物の荷役の際は油圧モータで駆動する面積を大きな面積として大きな力を出す一方、一般貨物の荷役の際には、油圧モータで駆動する面積を小さな面積とし、小さな力だが、システムで供給される油の量は一定のため、面積当たりの流量は多くなるため、速い速度を実現する。

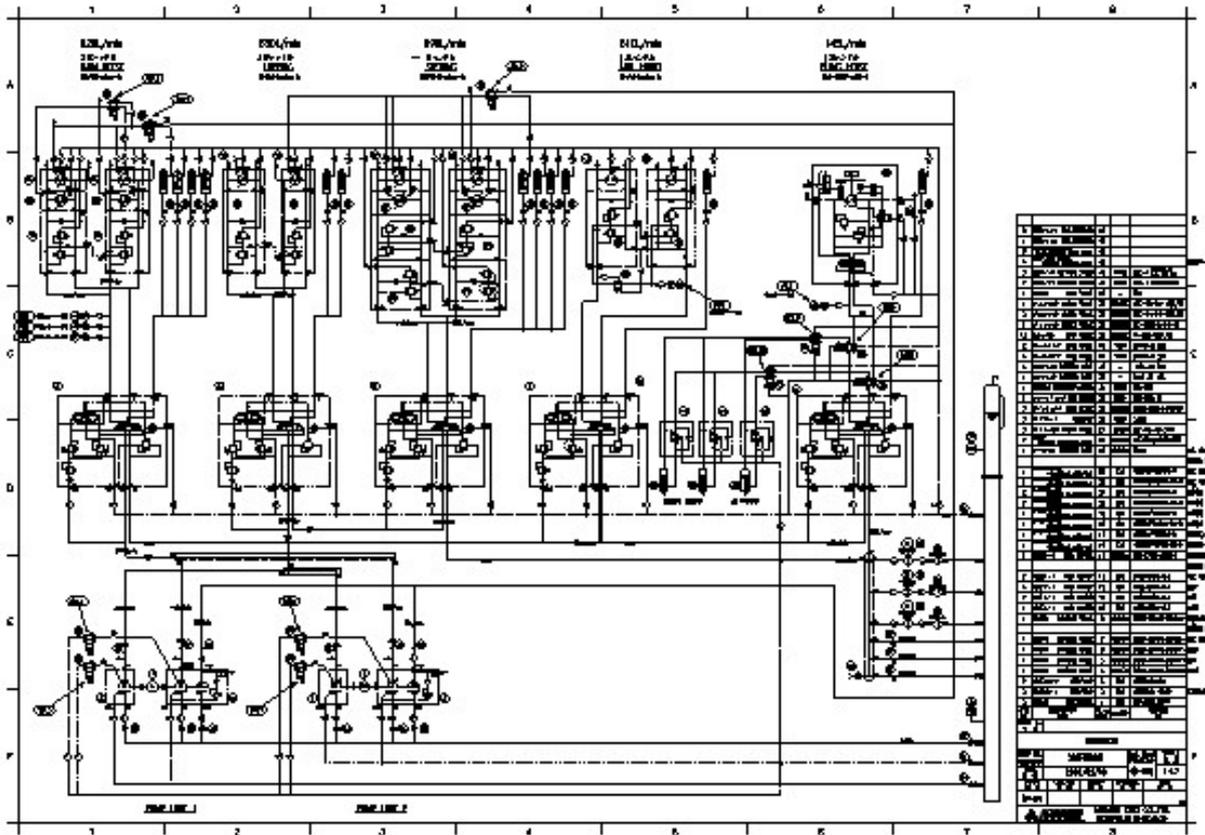


図 21. 500TON クレーン試作機油圧回路図

### 3.4 巻上・俯仰・旋回装置の試作

3.3 項を基に巻上・俯仰・旋回装置に用いられる、油圧システムとウインチを試作した。一般的なデッキクレーンのウインチ部のドラム素材は一般鋼材が用いられるが、今回の試作機に用いられるドラム部の素材は、降伏点の高いハイテン材で設計されており、まずは一般鋼材を用いてドラム部を製作し無負荷での性能試験を実施した。試作したウインチの外形図を図 22 に示す。

今回試作したドラムの大きさは、巻上ドラム P. C. D892mm、俯仰ドラム P. C. D629mm であるが、来年度の試作機完成品には主巻ドラム P. C. D1,910mm、補巻ドラム P. C. D892mm、俯仰ドラム P. C. D1,675mm の径を持つウインチを製作する予定であり、今回の無負荷試験に加えて、荷重試験も実施する。(p. c. d: ドラムに巻き取られるワイヤのピッチ円直径)

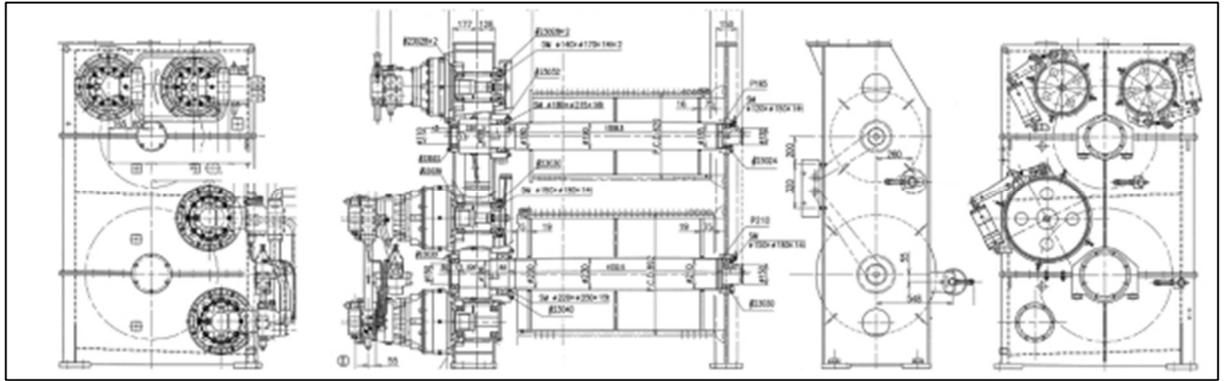


図 22. 試作機ウインチの外形図

試作したウインチの写真を図 23 に示す。



図 23. 試作機ウインチ写真

### 3.5 巻上・俯仰・旋回装置の性能試験

前項 3.4 で試作した油圧システムと駆動装置の動作確認のため、無負荷での速度性能試験を眞鍋造機株式会社西条工場にて実施した。表 3 で示された仕様を満足するためには表 5 で示された評価項目を満足する必要がある、速度の計測はドラム 2 回転にかかる秒数から換算

値として回転速度を算出している。

表 5. 巻上・俯仰・旋回装置の速度試験評価項目

速度試験内容	評価値
巻上(無負荷のウインチドラム回転)	35.68rpm
俯仰(無負荷のウインチドラム回転)	12.29rpm
旋回(無負荷のウインチドラム回転)	0.65rpm

巻上・俯仰・旋回装置の速度試験の結果を表 6 に示す。

表 6. 巻上・俯仰・旋回装置の速度試験結果

速度試験内容	評価値	試験結果
巻上 (無負荷のウインチドラム回転)	35.68rpm	37.58rpm (3回計測の平均)
俯仰 (無負荷のウインチドラム回転)	12.29rpm	13.4rpm (3回計測の平均)
旋回 (無負荷のウインチドラム回転)	0.65rpm	0.65rpm (3回計測の平均)

以上、速度試験において評価値を満たすことを確認し、3.3 項の設計通りに巻上・俯仰・旋回装置の試作機を完成させることができた。

### 3.6 ハイテン材の調査・性能試験

#### 3.6.1 ハイテン材（降伏応力 40kg/mm<sup>2</sup>）の調査

一般的に引張強度が 490Mpa 以上の鋼材をハイテン材と呼び、一般鋼材用圧延鋼材（降伏応力 24kg/mm<sup>2</sup>）（以下、一般鋼板）においては引張強度が 400Mpa である。ヘビーリフトクレーンの自重を出来る限り軽量化する為、一般鋼板より降伏応力の高いハイテン材（降伏応力 36～40kg/mm<sup>2</sup>）を最大限に活用できるようハイテン材の調査を行った。

降伏応力 40kg/mm<sup>2</sup> のハイテン材については、降伏応力 36kg/mm<sup>2</sup> のハイテン材よりも市場での入手性に問題があり、溶接作業においても割れ等の欠陥を防ぐために場合によっては予熱が必要となることから、メンテナンス性を考慮し、現在、ハイテン材(36kg/mm<sup>2</sup>)が使用されている箇所は、降伏応力 40kg/mm<sup>2</sup> のハイテン材は使用せず、降伏応力 36kg/mm<sup>2</sup> のハイテン材を活用することに決定した。また、通常、一般鋼板が用いられていた箇所においてもハイテン材を最大限に用いることとし、その中でもウインチドラムについてはクレーン内部に配置され、補修が発生するケースも少ないため、降伏応力 85kg/mm<sup>2</sup> 以上のハイテン材を用いることにした。表 7 にハイテン材の使用箇所を示し、図 24 にクレーン部位名称を示す。

表 7. ハイテン材の使用箇所と降伏応力

使用箇所	降伏応力
ウインチドラム	85kg/mm <sup>2</sup>
ジブ	36kg/mm <sup>2</sup>
ジブトップ	36kg/mm <sup>2</sup>
ハウス	36kg/mm <sup>2</sup>
ハウストップ	36kg/mm <sup>2</sup>
底板	30kg/mm <sup>2</sup>

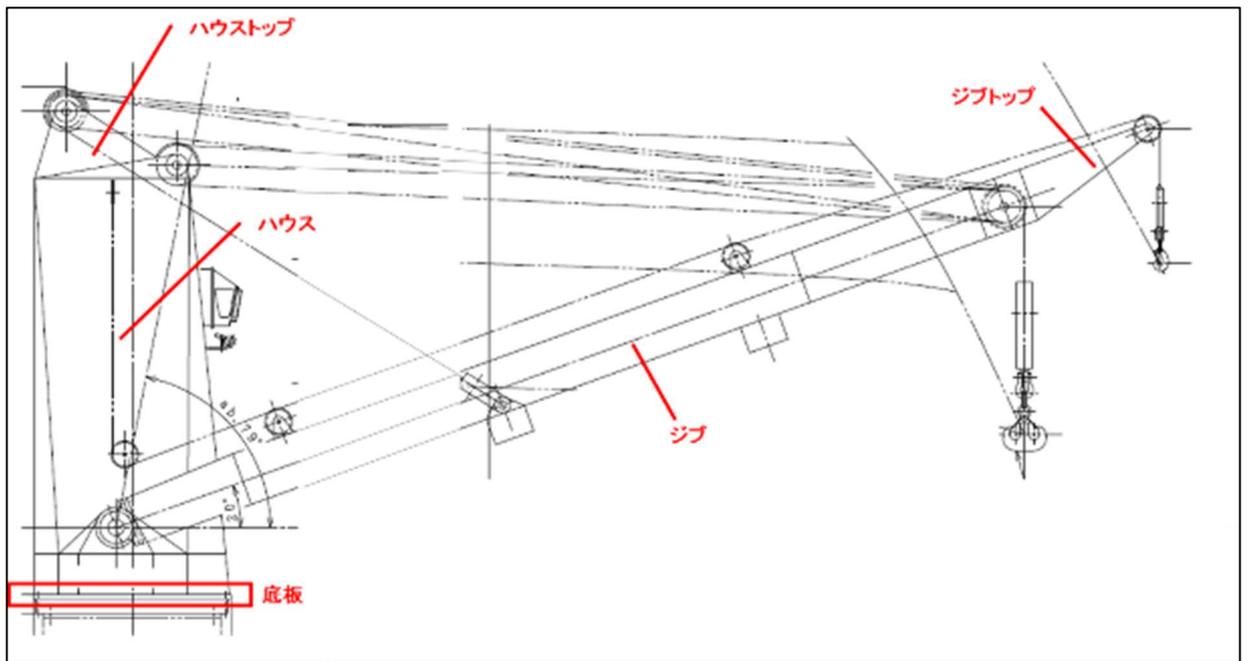


図 24. クレーン部位名称

ハイテン材における溶接施工上の注意点・対策は以下の通りである。（高圧力第7巻第5号“高圧力鋼の溶接性と施工上の注意”八幡製鉄（株）鈴木春義著 参照）

- ①溶接棒の乾燥、空中の湿度に応じて、2～4時間後の再乾燥
- ②開先の乾燥と予熱温度
- ③溶接条件とくに立向き上進溶接の入熱制限
- ④角変形軽減のための非対称開先と適正溶接条件
- ⑤補修溶接のやり方、とくに層間温度の制限
- ⑥2日以後のX線検査
- ⑦アンダカット（とくに角変形凹側）除去
- ⑧トウ部の余盛ビードの平滑化
- ⑨ガウジング部の研磨（カーボンと銅粒の除去）
- ⑩低炭素含量の素材選定（炭素当量よりも低炭素含量を重視）

### 3.7 クレーン本体の設計

ヘビーリフトクレーンにおいて、クレーン自重をなるべく軽くすることは、船体の設計や積載量に大きな影響を与える。本事業では、他社製品の中で最も軽い自重 300～320TON を実現することを目標に掲げている。当初検討時の重量は機械本体部重量 234.5ton、購入品重量 94ton、計 328.5ton であったが、クレーン底板の設計を見直すことによって、機械本体部重量を 210.5ton に軽減した。また、購入品の中で最も重量の大きい旋回ベアリングについても、ドイツ旋回ベアリングメーカーとクレーンの使用条件を詳細に詰めることによって、購入品重量も 82.7ton に軽減することができた。当初計画時と基本計画完了時のクレーン重量を表 8 に示す。

表 8. クレーン重量

	機械本体部重量	購入品重量	クレーン重量
当初計画時	234.5ton	94ton	328.5ton
基本計画完了時	210.5ton	82.7ton	293.2ton

#### 3.7.1 クレーン底板の設計

クレーン底板は、旋回ベアリングを介してクレーン本体を船体に搭載する箇所となり、荷重×ジブ長さのモーメントがかかり、もっとも応力がかかる部位の一つである。当初、一般的なデッキクレーンの設計と同様に鋼板一枚からなる鋼板構造を採用し、自重軽減のためにハイテン材(降伏応力 36kg/mm<sup>2</sup>)の活用を前提に計画を進めていたが、厚さ 140mm×幅 6,000mm×奥行 6,000mm(約 40ton)の素材が必要となった。このような大きさの一枚ものの素材は市場になく、厚さ 140mm のハイテン材の溶接工法を確立する必要性が発生した。溶接工法としては造船においても活用されているサブマージアーク溶接を採用することで検討を進めたが、膨大な工数がかかることが予想されたため、工数の低減、自重の軽減の双方を実現する為に、最終的にはリング鍛造構造を採用することが決まった。リング鍛造構造とすることによって、製造工数は 1/10 以下、また自重も 1/2 以下(40ton→16ton)になることが期待できる。鋼板構造とリング鍛造構造の断面を図 25 に示す。

リング鍛造構造では、最も負荷のかかる部位(図 25:①赤枠部)に厚さ 145mm のリング鍛造を採用し、その他の負荷のかからない部位(図 25:②青枠部)については、40～45mm の鋼板をリング鍛造部(図 25:①赤枠部)に隅肉溶接する。

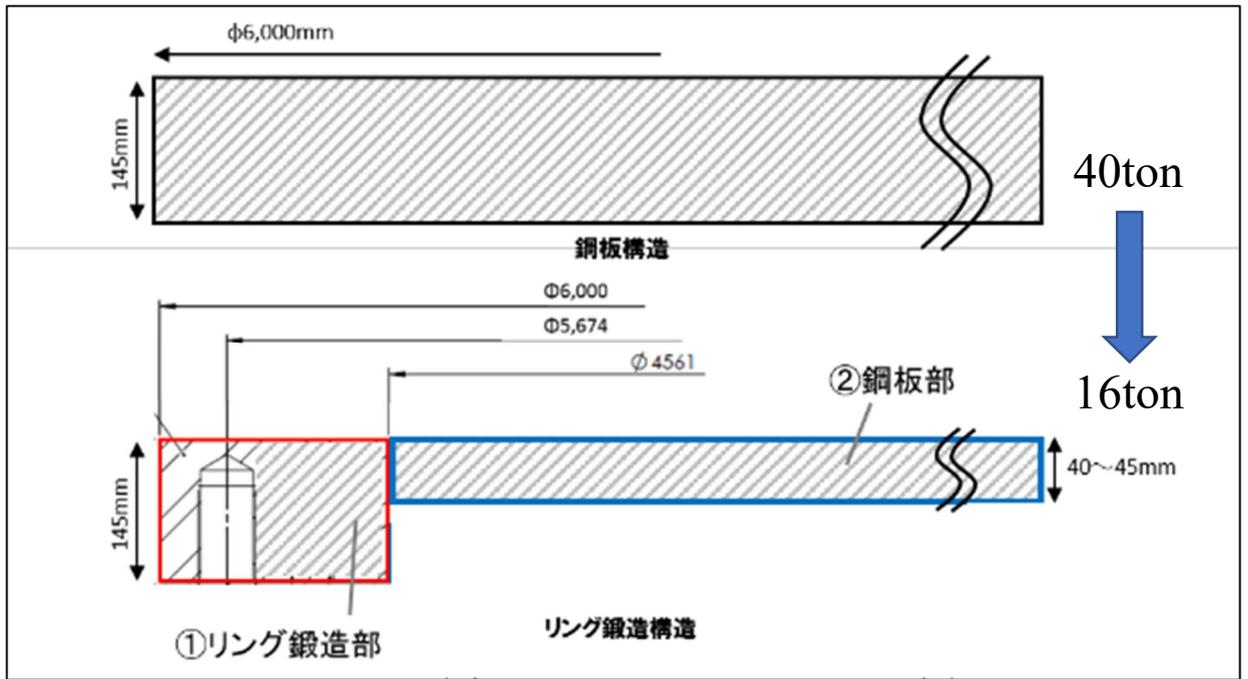


図 25. 鋼板構造とリング鍛造構造断面

クレーン底板、旋回ベアリング、台座の関係を図 26 に示す。クレーン底板を旋回ベアリングにボルトで締結し、旋回ベアリングを船体の台座にボルトで締結することによって、クレーン本体を船体に搭載する。

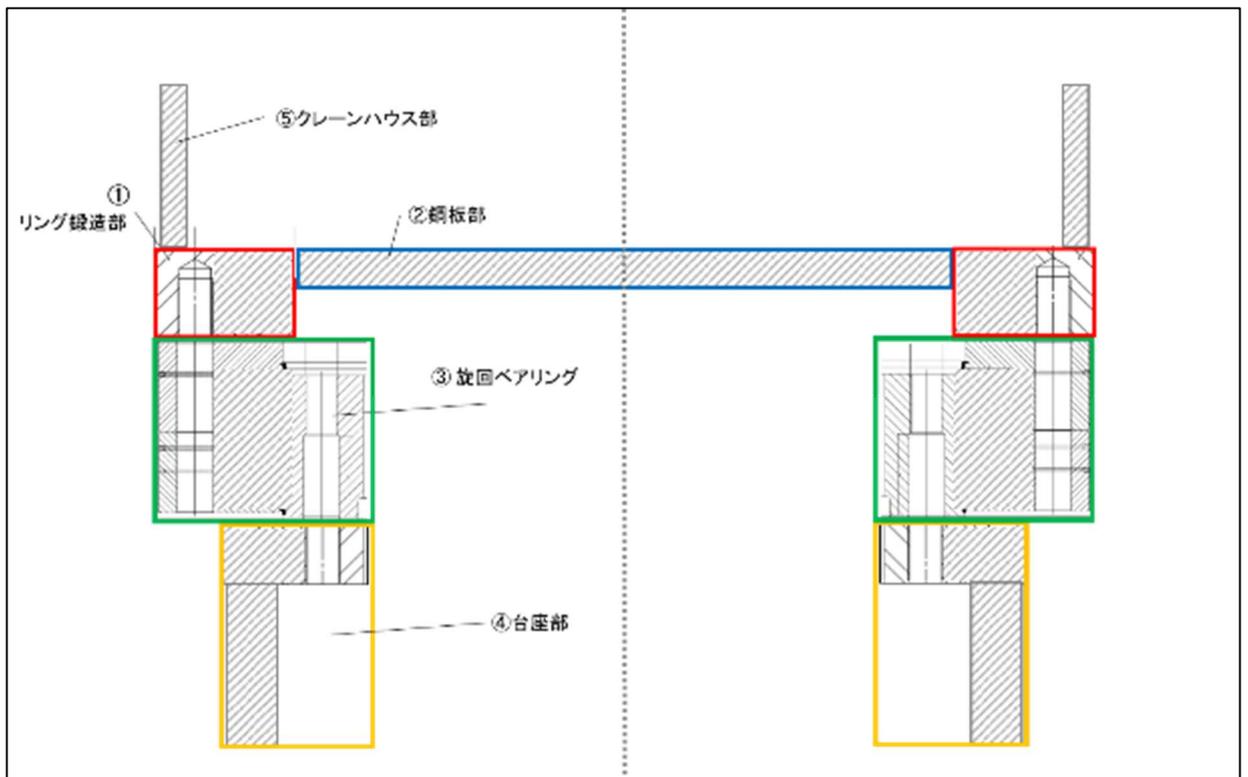


図 26. 底板、旋回ベアリング、台座断面

鋼板構造を採用した場合の溶接工法として、サブマージアーク溶接の概要を以下に示す。

サブマージアーク溶接法の原理は、図 27 に示すように予め粒状フラックスを溶接線に沿って散布しておき、その中にソリッドワイヤを送給装置によって連続的に供給し、フラックスに覆われた状態で母材とワイヤ間にアークを発生させて融接することである。フラックスはアーク熱によって溶融してスラグとなり、アークおよび熔融金属を覆ってそれらを大気から保護する。

サブマージアーク溶接法の特徴は、太径ワイヤに大電流を流すので、手溶接の数倍から十数倍も能率が良いことである。このため、この溶接法は構造用鋼に対する高能率溶接に最も多く使用されている。また、一般に溶込みが深く、溶接条件が適切であれば、ビード断面形状がすり鉢状で溶接品質が安定しており、均一で美しいビード外観が得られ継手の信頼性が高い。図 28 と図 29 にビード外観と溶込み形状を示す。さらに、アーク光がフラックスで遮蔽されるため遮光保護具が不要であり、ヒュームの発生もほとんど無く長時間の継続作業ができ、作業者の疲労が少なく作業性が優れている。しかし、突合せ溶接では高い開先精度が要求されることやフラックスを散布するため、下向や横向の溶接姿勢に使用が限定されることが短所である。また、溶接中にアーク状態を直接見ることができないので溶接の良否を確かめながら溶接ができない。

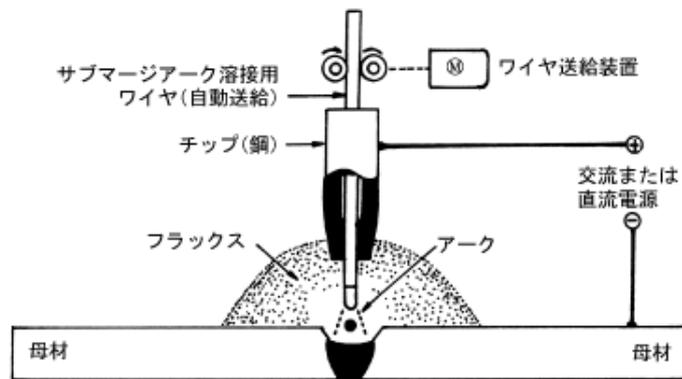


図 27 サブマージアーク溶接法の原理  
© (社)日本溶接協会, 2004

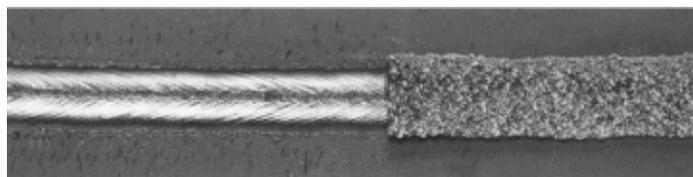


図 28 サブマージアーク溶接のビード形状  
© (社)日本溶接協会, 2004

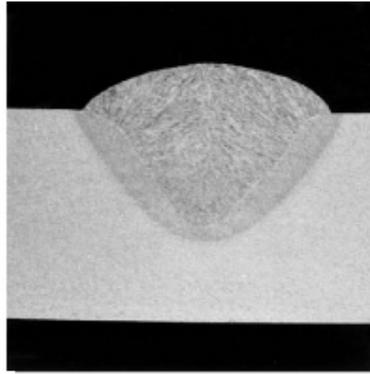


図 29 サブマージアーク溶接の溶込み形状  
© (社)日本溶接協会, 2004

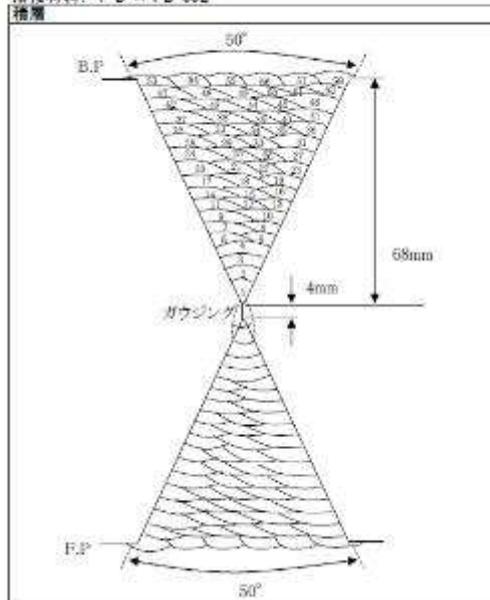
次に、底板鋼板構造に対してサブマージアーク溶接を採用した場合の溶接条件の検討結果を以下に示す。日本国内では 80mm のハイテン材に対するサブマージアーク溶接が最大厚さとなり、140mm の実績がないため、結論としては、下記溶接条件 1-2 の X 開先、開先角度 50°、大入熱条件で試作し、歪みなどの問題がある場合は溶接条件 2-2 など開先角度のみを変えて最適条件を探りながら進める必要があるとの結論に至った。検討した溶接条件を表 9 に示す。

表 9. 溶接条件

	開先条件	開先角度	開先深さ	入熱条件
1-1	X 開先	50° +50°	1:1	50kJ/cm 以下
1-2	X 開先	50° +50°	1:1	大入熱：110kJ/cm 以上
2-1	X 開先	55° +60°	1:1	50kJ/cm 以下
2-2	X 開先	55° +60°	1:1	大入熱：110kJ/cm 以上
3-1	X 開先	60°	1:2	50kJ/cm 以下
3-2	X 開先	60°	1:2	大入熱：110kJ/cm 以上
4	V 開先	4°	-	60kJ/cm 以下

【溶接条件 1-1】 : X 開先、開先角度 50°、開先深さ 1:1

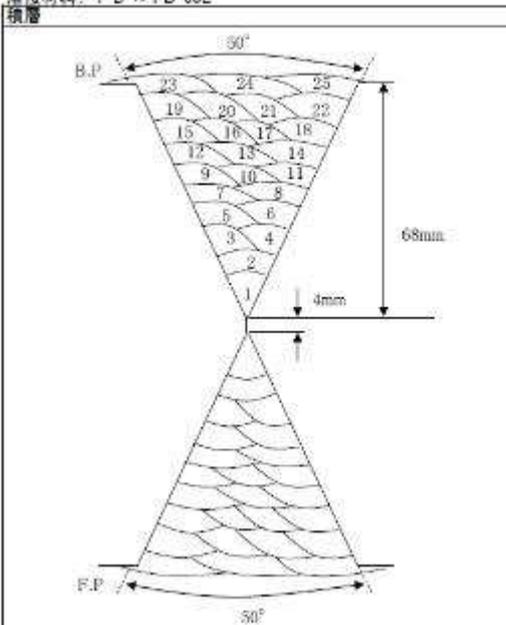
1-1 X開先 開先角度50°  
溶接材料: Y-D × PB-55E  
積層



溶接条件							
	層	パス	ワイヤ径 (mmφ)	溶接電流 (A)	アーク電圧 (V)	溶接速度 (cm/分)	溶接入熱 (kJ/cm)
B.P	1	1	4.0	700~800	29~31	30	40.6~49.6
	2~17	2~52	4.0	550~700	29~32	28~35	27.3~48.0
	18 (最終)	53~58	4.0	600~700	29~32	28~35	29.8~48.0
F.P	1~2	1~2	4.0	700~800	29~31	30	40.6~49.6
	3~18	3~53	4.0	550~700	29~32	28~35	27.3~48.0
	19 (最終)	54~59	4.0	600~700	29~32	28~35	29.8~48.0

【溶接条件 1-2】 : X 開先、開先角度 50°、開先深さ 1:1、大入熱

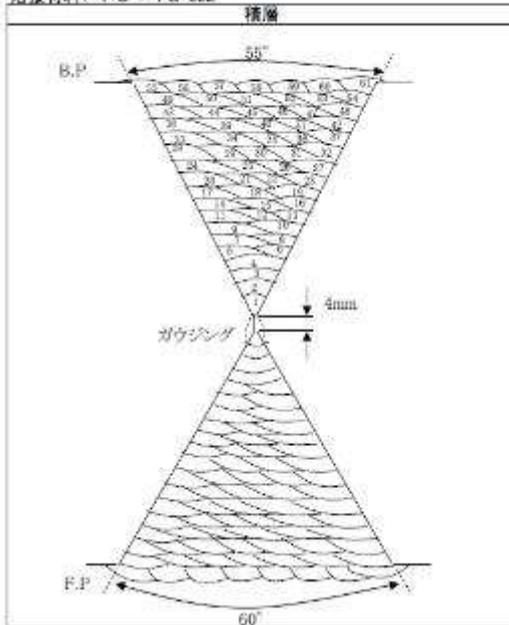
1-2 X開先 開先角度50° 大入熱条件  
溶接材料: Y-D × PB-55E  
積層



溶接条件							
	層	パス	ワイヤ径 (mmφ)	溶接電流 (A)	アーク電圧 (V)	溶接速度 (cm/分)	溶接入熱 (kJ/cm)
B.P	1	1	4.8	600~700	29~31	30	34.8~43.4
	2~8	2~22	6.4	1000~1200	30~35	25~28	64.3~100.8
	9 (最終)	23~25	6.4	1000~1100	35~40	25~30	70.0~105.6
F.P	1	1	4.8	900~1000	29~31	25~30	52.2~74.4
	2~8	2~22	6.4	1000~1200	30~35	25~30	70.0~100.8
	9 (最終)	23~25	6.4	1000~1100	35~40	25~35	60.0~105.6

【溶接条件 2-1】：X 開先、開先角度  $55^\circ + 60^\circ$ 、開先深さ 1:1

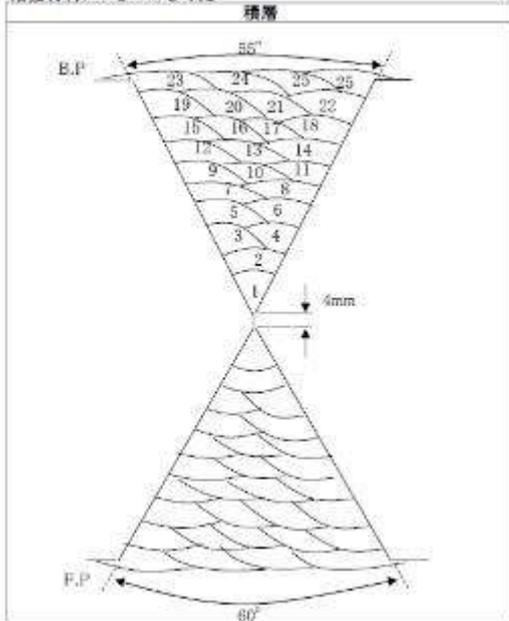
2-1 X開先 開先角度 $55^\circ + 60^\circ$   
溶接材料: Y-D × PB-55E



		溶接条件					
	層	パス	ワイヤ径 (mmφ)	溶接電流 (A)	アーク電圧 (V)	溶接速度 (cm/分)	溶接入熱 (kJ/cm)
B.P	1	1	4.0	700~800	29~31	30	40.6~49.6
	2~17	2~54	4.0	550~700	29~32	28~35	27.3~48.0
	18 (最終)	55~61	4.0	600~700	29~32	28~35	29.8~48.0
F.P	1~2	1~2	4.0	700~800	29~31	30	40.6~49.6
	3~18	3~65	4.0	550~700	29~32	28~35	27.3~48.0
	19 (最終)	66~73	4.0	600~700	29~32	28~35	29.8~48.0

【溶接条件 2-2】：X 開先、開先角度  $55^\circ + 60^\circ$ 、開先深さ 1:1、大入熱

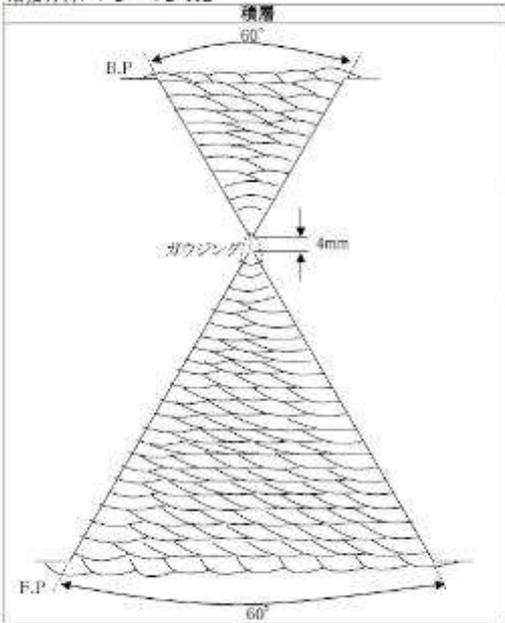
2-2 X開先 開先角度 $55^\circ + 60^\circ$  大入熱条件  
溶接材料: Y-D × PB-55E



		溶接条件					
	層	パス	ワイヤ径 (mmφ)	溶接電流 (A)	アーク電圧 (V)	溶接速度 (cm/分)	溶接入熱 (kJ/cm)
B.P	1	1	4.8	600~700	29~31	30	34.8~43.4
	2~8	2~22	6.4	1000~1200	30~35	25~28	64.3~100.8
	9 (最終)	23~26	6.4	1000~1100	35~40	25~30	70.0~105.6
F.P	1	1	4.8	900~1000	29~31	25~30	52.2~74.4
	2~8	2~25	6.4	1000~1200	30~35	25~30	70.0~100.8
	9 (最終)	26~29	6.4	1000~1100	35~40	25~35	60.0~105.6

【溶接条件 3-1】 : X 開先、開先角度 60°、開先深さ 1:2

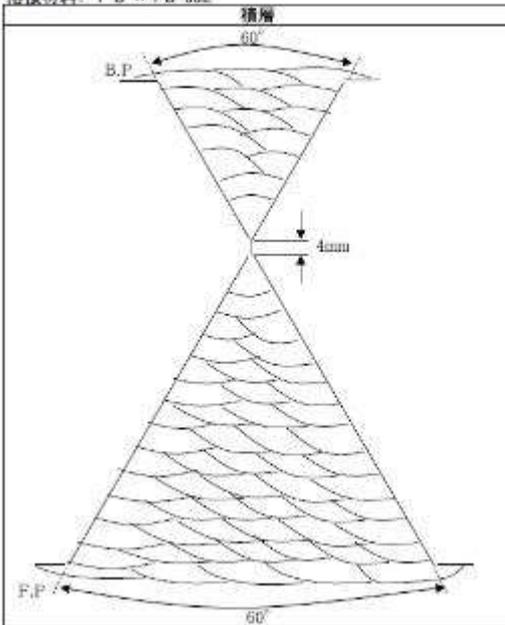
3-1 X開先 開先角度60° 開先深さ1:2  
溶接材料: Y-D × PB-55E



		溶接条件					
	層	パス	ワイヤ径 (mm φ)	溶接電流 (A)	アーク電圧 (V)	溶接速度 (cm/分)	溶接入熱 (kJ/cm)
B.P	1	1	4.0	700~800	29~31	30	40.6~49.6
	2~11	2~23	4.0	550~700	29~32	28~35	27.3~48.0
	18 (最終)	24~29	4.0	600~700	29~32	28~35	29.8~48.0
F.P	1~2	1~2	4.0	700~800	29~31	30	40.6~49.6
	3~23	3~98	4.0	550~700	29~32	28~35	27.3~48.0
	19 (最終)	99~118	4.0	600~700	29~32	28~35	29.8~48.0

【溶接条件 3-2】 : X 開先、開先角度 60°、開先深さ 1:2、大入熱

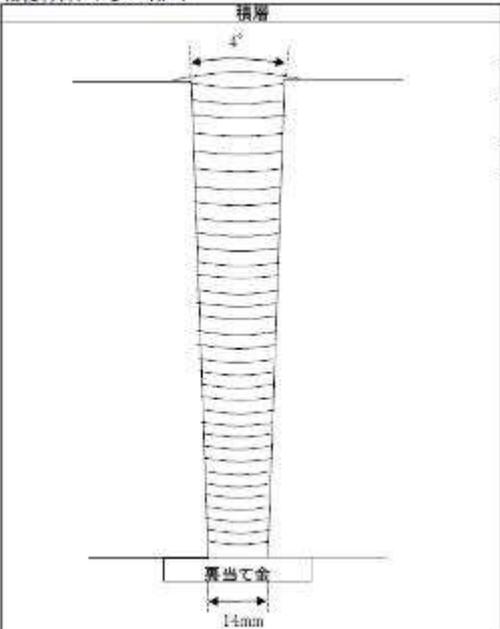
3-2 X開先 開先角度60° 開先深さ1:2 大入熱  
溶接材料: Y-D × PB-55E



		溶接条件					
	層	パス	ワイヤ径 (mm φ)	溶接電流 (A)	アーク電圧 (V)	溶接速度 (cm/分)	溶接入熱 (kJ/cm)
B.P	1	1	4.8	600~700	29~31	30	34.8~43.4
	2~6	2~12	6.4	1000~1200	30~35	25~28	64.3~100.8
	7 (最終)	13~15	6.4	1000~1100	35~40	25~30	70.0~105.6
F.P	1	1~2	4.8	900~1000	29~31	25~30	52.2~74.4
	2~13	2~49	6.4	1000~1200	30~35	25~30	70.0~100.8
	14 (最終)	50~54	6.4	1000~1100	35~40	25~35	60.0~105.6

【溶接条件4】：V開先、開先角度4°

4 V開先 開先角度4° 狭開先溶接  
溶接材料：Y-D × NF-1



		溶接条件				
層	パス	ワイヤ径 (mmφ)	溶接電流 (A)	アーク電圧 (V)	溶接速度 (cm/分)	溶接入熱 (kJ/cm)
1	1	4.0	500	33	30	33
2~34	2~34	4.0	500~600	33~35	25~30	33.0~50.4
35 (最終)	35	4.0	500~600	34~36	22~28	36.4~58.9

※初層にカットワイヤを2mm散布

4. 平成 29 年度の目標の達成状況

2.2 項の 1), 2) に示した平成 29 年度の目標の達成状況は以下の通り達成できた。

4.1 有効圧力 290~300kg/cm<sup>2</sup> の巻上・俯仰・旋回装置の設計・試作・性能試験を実施する。

有効圧力 290~300kg/cm<sup>2</sup> の巻上・俯仰・旋回装置の設計・試作・性能試験を実施し、設計通りに巻上・俯仰・旋回装置を完成することができた。

高压電磁比例弁の開発に対しては、耐圧試験において、300kg/cm<sup>2</sup> の圧力で 3 分間、圧力変動がなく問題ないことを確認した。また、流量試験においても、低流量域での微小流量制御において、操作量 50%付近で流量 100L/min 前後であることを確認し、最大流量においても目標値の 900L/min を満足することを確認した。

巻上・俯仰・旋回装置の速度試験(無負荷)においても、それぞれのウインチドラムの回転数の評価値、巻上 35.68rpm、俯仰 12.29rpm、旋回 0.65rpm を満たすことを確認した。

4.2 ハイテン材(降伏応力 40kg/mm<sup>2</sup>) 調査・性能試験を実施する。

ハイテン材(降伏応力 40kg/mm<sup>2</sup>) について調査した。降伏応力 40kg/mm<sup>2</sup> のハイテン材については、降伏応力 36kg/mm<sup>2</sup> のハイテン材よりも市場での入手性に問題があり、溶接作業においても割れ等の欠陥を防ぐために場合によっては予熱が必要となる。こうしたメンテナンス性を考慮し、補修することも考えられる部位には、降伏応力 36kg/mm<sup>2</sup> のハイテン材を最大限に活用することとした。一方、クレーン内部に配置され、補修するケースが少ないウインチドラム部のみ、降伏応力 85kg/mm<sup>2</sup> のハイテン材を用いることとした。ハイテン材の使用箇所とそれぞれのハイテン材の降伏応力は以下の通り。ウインチドラム 85kg/mm<sup>2</sup>、ジブ 36kg/mm<sup>2</sup>、ジブトップ 36kg/mm<sup>2</sup>、ハウス 36kg/mm<sup>2</sup>、ハウストップ 36kg/mm<sup>2</sup>、底板 30kg/mm<sup>2</sup>

## 第 II 部 平成 30 年度

### 5. 平成 30 年度の実施内容

#### 5.1 クレーン本体の試作

平成 29 年度の設計・性能試験を基に、クレーン本体の試作を行った。

##### 5.1.1 特殊購入品

試作機の仕様を満たすサプライヤが国内に存在せず、いくつかの主要部品はヨーロッパからの調達となった。海外調達となった主要部品と海外調達理由は表 10 の通り。

表 10. 主要部品の海外調達理由

	部品名	海外調達理由
図 30	鍛造ドラム	要求仕様である降伏応力 85kg/mm <sup>2</sup> のドラム素材を海外メーカーは安価に製造できる。
図 31	リング鍛造底板部	要求仕様φ6,000mm のリング鍛造素材を海外メーカーは安価に製造できる。
図 32	旋回ベアリング	要求仕様φ5,830mm に対して、国内メーカーの対応できる最大径はφ5,000mm。海外メーカーはφ10,000mm 以上も対応可能。
図 33	フォーリングブロック	DNV/GL 対応ならびに荷重試験を国内では実施できない。
図 34	シーブ (滑車)	DNV/GL 対応ならびに荷重試験を国内では実施できない。
図 35	ワイヤーロープ	最小破断荷重 4,444kN のφ68mm のワイヤーロープを国内では対応できない。



図 30. 鍛造ドラム



図 31. リング鍛造底板部 (梱包)



図 32. 旋回ベアリング



図 33. フォーリングブロック

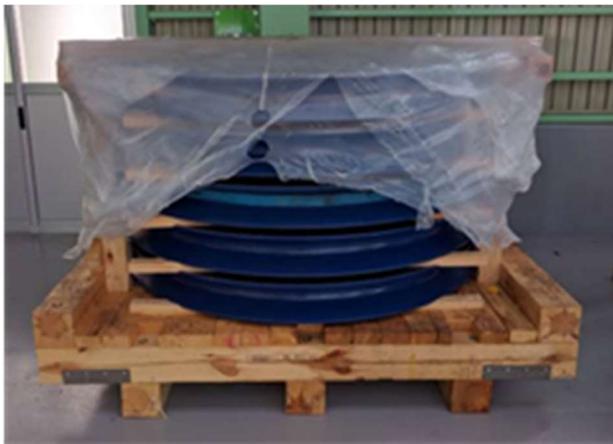


図 34. シーブ (滑車)



図 35. ワイヤロープ

### 5.1.2 ドラム溝加工

一般的にドラム溝加工は旋盤を用いて行われるが（図 36）、ドラム外径 $\phi 1,772\text{mm}$ の素材の加工に対応できる旋盤を所有していないため、横中ぐり盤のロータリーミーリング加工機能を活用し、溝加工を実施した（図 37）。（※ロータリーミーリング加工：テーブルの回転軸連続割り出し機能を使用して、円筒面や端面を連続的に加工。）



図 36. ドラム溝旋盤加工



図 37. ロータリーミーリング加工

### 5.1.3 クレーン底板

クレーン底板のリング鍛造素材は直径約φ6,000mmとなり、大型の横中ぐり盤（重量150tonのワークまで対応可能）を用いて素材（図38）を加工し、また、製缶されたクレーン底板部（図39）の加工においても、問題ないことを確認した。（図40）



図 38. φ6,000mm の素材を加工



図 39. クレーン底板製缶溶接



図 40. クレーン底板部機械加工

#### 5.1.4 ジブトップ、ハウストップ、ハウス

各部品の製造においても問題ないことを確認した。ただし、構造物の大きさから溶接による歪が大きく、今後においては、溶接による歪の影響が出にくい構造へと改善する必要がある。



図 41. ジブトップ製缶溶接



図 42. ハウストップ



図 43. ハウストップ一体機械加工



図 44. ハウス製作



図 45. ハウス塗装後

#### 5.1.5 組立

製造された各部品を仮組みし、仮組みされた部品を最終的な製品として組み上げた。



図 46. ポンプユニット



図 47. 補巻ホイストウインチ

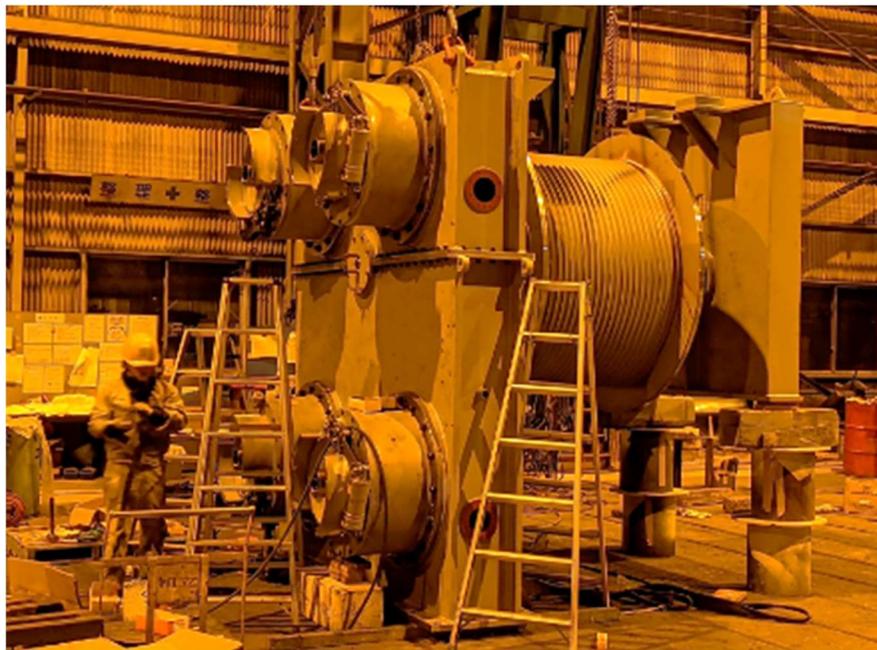


図 48. 主巻ホイストウインチ



図 49. ハウス組立



図 50. ハウス内ウインチ組立



図 51. ジブ取付け

## 5.2 クレーンの性能評価

### 5.2.1 速度試験

5.1 項で試作したクレーン本体の速度性能試験を眞鍋造機株式会社西条工場にて実施した。詳細設計完了後の仕様を表 11 に示す。仕様を満足するためには表 12 で示された評価項目を満足する必要がある。また、500ton、300ton の実荷重を吊ることは設備の制約を受けるため、500T モード、300T モードでは 150ton、100ton の実荷重を使用し、油圧圧力の換算値として 500ton、300ton の荷役が可能であることを評価する。

表 11. 詳細設計完了時の仕様

クレーン仕様	主巻			補巻	
	500T モード	300T モード	100T モード	50T モード	30T モード
巻上荷重	500ton	300ton	100ton	50ton	30ton
巻上速度	2.5m/min	3.2m/min	5m/min	20m/min	38m/min
旋回半径	20m~8m	33m~8m	33m~8m	36m~9.3m	36m~9.3m
俯仰時間	105sec	335sec	235sec	235sec	235sec
旋回速度	0.2rpm	0.2rpm	0.39rpm	0.39rpm	0.39rpm

クレーン仕様	主巻					
	500T モード					
巻上荷重	500ton	評価値	150ton	評価値	100ton	評価値
油圧圧力	239.6kgf/cm <sup>2</sup>		76.6kgf/cm <sup>2</sup>		53.3kgf/cm <sup>2</sup>	
巻上速度	2.5m/min	1.67rpm	2.5m/min	1.67rpm	2.5m/min	1.67rpm
俯仰時間(20m~8m)	105sec		105sec		105sec	
旋回速度	0.2rpm		0.2rpm		0.2rpm	

クレーン仕様	主巻					
	300T モード					
巻上荷重	300ton	評価値	150ton	評価値	100ton	評価値
油圧圧力	187.7kgf/cm <sup>2</sup>		98.2kgf/cm <sup>2</sup>		68.3kgf/cm <sup>2</sup>	
巻上速度	3.2m/min	2.13rpm	3.2m/min	2.13rpm	3.2m/min	2.13rpm
俯仰時間(33m~8m)	335sec		335sec		335sec	
旋回速度	0.2rpm		0.2rpm		0.2rpm	

クレーン仕様	主巻	
	100T モード	
巻上荷重	100ton	評価値
油圧圧力	106.2kgf/cm <sup>2</sup>	
巻上速度	5.0m/min	3.33rpm
俯仰時間(33m~8m)	235sec	
旋回速度	0.39rpm	

表 12. 速度試験評価項目

クレーン仕様	補巻			
	50T モード		30T モード	
巻上荷重	50ton	評価値	30ton	評価値
油圧圧力	188.2kgf/cm <sup>2</sup>		238.2kgf/cm <sup>2</sup>	
巻上速度	20m/min	14.27rpm	38m/min	27.11rpm
俯仰時間(36m~9.3m)	235sec		235sec	
旋回速度	0.39rpm		0.39rpm	

速度試験結果を表 13 に示す。

表 13. 速度試験結果

クレーン仕様	主巻					
	500T モード					
	500ton		150ton		100ton	
	評価値	試験結果	評価値	試験結果	評価値	試験結果
油圧圧力	239.6kgf/cm <sup>2</sup>	202.8kgf/cm <sup>2</sup>	76.6kgf/cm <sup>2</sup>	90.6kgf/cm <sup>2</sup>	53.3kgf/cm <sup>2</sup>	68.6kgf/cm <sup>2</sup>
巻上速度	2.5m/min	2.6m/min	2.5m/min	2.6m/min	2.5m/min	2.7m/min
俯仰時間(20m～8m)	105sec	99.7sec	105sec	99.7sec	105sec	99.7sec
旋回速度	0.2rpm	0.2rpm	0.2rpm	0.2rpm	0.2rpm	0.2rpm

クレーン仕様	主巻					
	300T モード					
	300ton		150ton		100ton	
	評価値	試験結果	評価値	試験結果	評価値	試験結果
油圧圧力	187.7kgf/cm <sup>2</sup>	180.3kgf/cm <sup>2</sup>	98.2kgf/cm <sup>2</sup>	112.7kgf/cm <sup>2</sup>	68.3kgf/cm <sup>2</sup>	88.2kgf/cm <sup>2</sup>
巻上速度	3.2m/min	3.7m/min	3.2m/min	3.7m/min	3.2m/min	3.4m/min
俯仰時間(33m～8m)	335sec	318sec	335sec	318sec	335sec	318sec
旋回速度	0.2rpm	0.2rpm	0.2rpm	0.2rpm	0.2rpm	0.2rpm

クレーン仕様	主巻	
	100T モード	
	100ton	
	評価値	試験結果
油圧圧力	106.2kgf/cm <sup>2</sup>	117.6kgf/cm <sup>2</sup>
巻上速度	5.0m/min	5.0m/min
俯仰時間(33m～8m)	235sec	235sec
旋回速度	0.39rpm	0.4rpm

クレーン仕様	補巻			
	50T モード		30T モード	
	50ton		30ton	
	評価値	試験結果	評価値	試験結果
油圧圧力	188.2kgf/cm <sup>2</sup>	171.5kgf/cm <sup>2</sup>	238.2kgf/cm <sup>2</sup>	205.8kgf/cm <sup>2</sup>
巻上速度	20m/min	20m/min	38m/min	40m/min
俯仰時間(36m~9.3m)	235sec	235sec	235sec	235sec
旋回速度	0.39rpm	0.4rpm	0.39rpm	0.4rpm



図 52. 荷重試験の様子 (50 トン)



図 53. 荷重試験の様子 (150 トン)

以上、速度試験において評価値を満たすことを確認した。なお、30t 補巻、俯仰速度については、有効圧力の制限などが影響し、仕様を変更したため、上記、性能評価においては、仕様変更後の数値に換算した値で評価した。仕様変更前に換算すると、30t 補巻の目標値が 50m/min(補巻)のところ、試験結果は 52m/min(補巻)、30t 俯仰の目標値が 230sec(作業半径 10.5m⇔40m 移動時)のところ、試験結果は 230sec となり、何れも目標を達成することができた。

また、500ton、300ton の荷重に対する油圧圧力の換算値も評価値内に収まっていることを確認し、3.3 項の設計通りに巻上・俯仰・旋回装置を備えたヘビーリフトクレーンを完成させることができた。

## 5.2.2 操作性評価

3.1 項で開発した微速操作仕様をクレーンの操作として実現されているか微速操作試験を実施した。評価方法としては3.1 項図7より、3分の1のハンドル操作量で速度が9分の1(0.111倍)以下となっていることを正として評価した。速度試験結果を表14に示す。

表 14. 微速操作試験結果

クレーン仕様	100T モード			
	100ton			
ハンドル操作量	100%		33.3%	
	評価値	試験結果	評価値	試験結果
巻上速度	3.33rpm	3.34	0.37rpm	0.22rpm

以上、微速操作試験において、3分の1のハンドル操作量で速度が0.066倍の微速を実現し、評価値である3分の1のハンドル操作量で9分の1(0.111)以下の速度となっていることを確認し、3.1 項の設計通りに微速性能仕様を備えたヘビーリフトクレーンを完成させることができた。

### 5.2.3 アイドリング時におけるエネルギー効率（省エネ）評価

駆動源としての電力、クーリング回路としてのラジエター電力とがあり、ラジエターをインバータ制御にすることによって、アイドリング時の省エネを図るとともに、低騒音も実現する。試作機と従来型とアイドリング時の電力比較を表 15 に示す。

表 15. アイドリング時の電力比較

	試作機		従来型	
	評価値	試験結果	評価値	試験結果
駆動源電力	64kW	72kW	64kW	72kW
ラジエター電力	0kW	0kW	16.5kW	16.5kW
電力合計	64kW	72kW	80.5kW	88.5kW

以上、アイドリング時のエネルギー比較を行ったところ、**19.6%**改善することができ、約**5~10%**改善するという目標値を達成することができた

### 5.2.4 自重評価

3.7 項の通り、基本計画完了時には、クレーン底板部をリング鍛造構造にすることにより、また、旋回ベアリングの使用条件を見直すことによって、クレーン自重の軽量化を達成していた。しかし、本試作機の詳細設計時に製作工法を考慮した構造に変更し、また安全性を考慮した結果、本体重量が増加した。

本試作機のジブ部は鋼板をボックス状としたボックス構造（図 54）となっており、製作工数・耐久性には優れるが、軽荷重とするためには、トラス構造（図 55）が適している。トラス構造を前提として、各部の形状を最適化することによって、80 トン強軽量化できるため、目標値の 320 トン以下のヘビーリフトクレーンを完成させることが可能である。



図 54. ジブ部ボックス構造

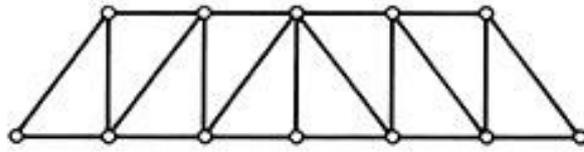


図 55. トラス構造

表 16 に、当初計画時、基本計画完了時、詳細設計完了時、完成時の自重を示す。

表 16. クレーン自重評価

	機械本体部重量	購入品重量	クレーン重量
当初計画時	234.5ton	94ton	328.5ton
基本計画完了時	210.5ton	82.7ton	293.2ton
詳細設計完了時	302.9ton	89.5ton	392.4ton
完成時	308ton	89.5ton	397.5ton



図 56. クレーン本体部搭載時（重量計測時）の様子

## 6. 平成30年度の目標の達成状況

2.1 項の 1), 2), 3) に示した平成30年度の目標の達成状況は、以下の通り達成できた。

6.1 一般貨物を想定した30TONの荷役における荷役効率(荷役時間)を他社と比較して約30%強向上する。

5.2.1 項の速度試験の結果より30TONの荷役における荷役効率を比較した結果を表17、図57、図58に示す。

当初計画通り、一般貨物を想定した30TONの荷役における荷役効率(荷役時間)を他社と比較して、30.5%改善することができ、約30%強向上させるという目標を達成することができた。

表 17. 試作機完了後の30TONの荷役に対する速度性能比較

	本開発ヘビーリフトクレーン	従来型ヘビーリフトクレーン	一般貨物用30TON型デッキクレーン
巻上速度	40m/min	35m/min	21m/min
俯仰速度	235sec(36~10.5m)	360sec(36~10.5m)	73sec(32~4.5m)
旋回速度	0.4rpm	0.2rpm	0.45rpm
荷役サイクル	491sec	706.2sec	-
対従来比	30.5%短縮	-	-

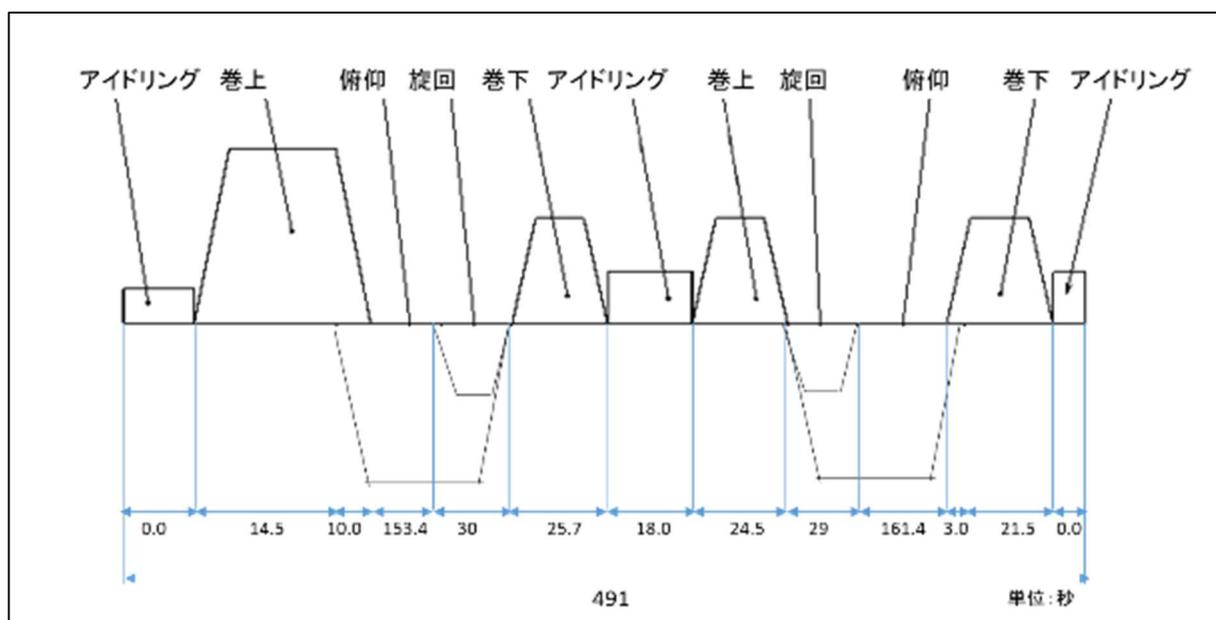


図 57. 本開発ヘビーリフトクレーンの30TONの荷役に対する荷役サイクル

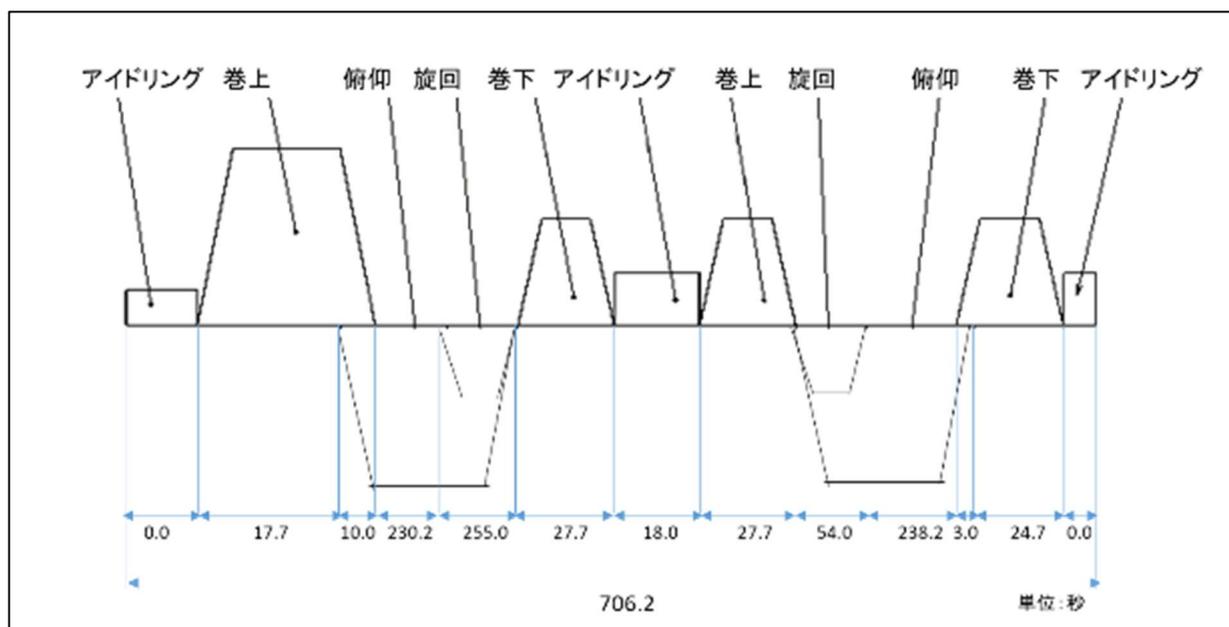


図 58. 従来型ヘビーリフトクレーンの 30TON の荷役に対する荷役サイクル

6.2 アイドリング時におけるエネルギー効率（省エネ）を従来のインバータを使用しない場合と比較して約 5～10%（当社比）改善する。

5.2.3 項の通り、ラジエターをインバータ制御にすることによって、アイドリング時のエネルギー効率を 19.6%改善することができ、約 5～10%改善するという目標を達成することができた。

6.3 他社製品の中で最も軽い自重 300～320TON を実現する。

5.2.4 項の通り、本試作機は、製作工法を考慮した構造とするとともに安全性を考慮した結果本体重量が増加したが、クレーンのジブ(腕)を実績のあるトラス構造として各部の形状を最適化することによって、目標値の 320 トン以下のヘビーリフトクレーンが実現可能である事を設計上確認した。

また、今回製作した試作機は、クレーン本体部にハイテン材（降伏応力 40kg/mm<sup>2</sup>）を使用することを検討したところ、溶接工法やメンテナンス性を検討したところワンランク低いハイテン材（降伏応力 36kg/mm<sup>2</sup>）が最適であると判断するとともに、安全性を重視した結果、補強材を多用することとなり、本体重量が目標値を上回ってしまった。今回の試作機製作の経験と最適設計並びに補強材の軽減により、ジブ部をトラス構造とすることを前提として、目標値の 320 トン以下のヘビーリフトクレーンの製作が可能である。

## 7. 本技術開発における自己評価

本技術開発における自己評価を以下に示す。

### 7.1 クレーン仕様性能

6.1 項、6.2 項で示した通り、一般貨物の荷役効率を 30%向上させることに成功し、また、アイドリング時のエネルギー効率も 19.6%改善することができた。よって、本事業の目的である「重量物・一般貨物の何れにおいても高効率・省エネを実現する世界初の油圧システムを持った『日本初の 500TON クレーン』を開発する。」は十分達成することができた。

### 7.2 クレーン自重

ジブの構造を見直し、各部の形状を最適化することによって、目標値の 320 トン以下のヘビークレーンを完成させることが可能である。

### 7.3 工程管理

西日本豪雨などの天災に加え、ハイテン材を破損するなど大幅に工程を遅らせることになった。また、今まで取り扱った製品と比較すると一つ一つの部品が大きく、溶接作業においても歪の大きさを予想できないなど初めての経験が多かったため、一つ一つの工程も想像以上に工数がかかってしまった。しかし、今回の経験のノウハウにより、製品展開する際には、大きく工数を削減することができると思われる。

## 8. 今後の取り組み

### 8.1 設計・製造の振り返り

2020 年 2 月～12 月において、今回の開発事業の振り返りを実施し、製品展開する際に、自重を低減し、また、製造工数を大幅に削減するために設計改善を行う。

### 8.2 試作機完成報告会の実施

2020 年 3 月に本事業の成果報告会を実施する。

### 8.3 製品標準化

2021 年 1 月以降に 500ton 以外の 200ton, 250ton, 300ton, 400ton についてもカタログ製品として基本計画を進める。

「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」

(一社)日本舶用工業会

〒105-0001

東京都港区虎ノ門一丁目13番3号(虎ノ門東洋共同ビル)

電話：03-3502-2041 FAX:03-3591-2206

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