

電業社機械

DENGYOSHA KIKAI

Vol.39 No.1 2015

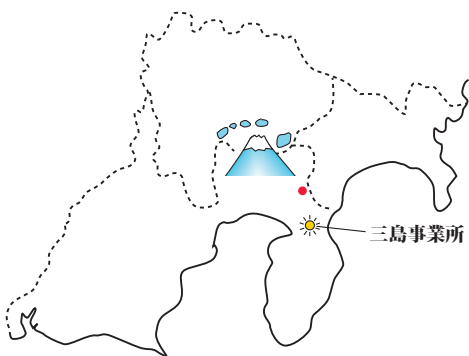
No.76





Open up the future.

～新しい風が未来を切り開く～



三島事業所

表紙説明

御殿場高原ホテルから望む富士山
(写真提供：元当社製造部機械工作課 故市川康夫氏)
撮影場所は左記地図の●印です。

電業社機械

第39巻 第1号 通巻第76号 2015

目次

◆巻頭言

スパコンの性能向上と流体解析の進展…………… 加藤千幸 1

◆技術報文

ポンプ開発におけるキャビテーションCFD…………… 富松重行 4
角晃太郎
大谷亮介

◆技術資料

ブラジル洋上FPSO船向け高圧多段ポンプ…………… 池田侑樹 10

◆製品紹介

中部地方整備局 鳥居トンネル向け送風機設備…………… 遊馬誠 14
関晃平
野知誠

トルコ Zorlu社 地熱発電プラント用ポンプ…………… 江口崇 18

LNG受入基地向けスーパー二相ステンレス製ポンプ…………… 秋山祐 21
鈴木伸一

インドネシア KRAKATAU POSCO向け COGブロワ…………… 中山淳 24
鈴木重雄

ここで活躍しています -2014 製品紹介-…………… 28

◆ニュース

日本産業機械工業会送風機技術者連盟より優秀製品表彰を受ける…………… 35

高松市上下水道局殿 福岡ポンプ場ポンプ設備受注…………… 37

Malaysia TNB Fast Track 3A Project向けFGD Absorber Spray Pump 3台

およびFGD Aeration Blower 3台受注…………… 38

Inter Aqua 2015 第6回・国際水ソリューション総合展GWRAパビリオン内にブース出展…………… 39

東京都下水道局殿より安全管理優秀現場の表彰を受ける

-浮間水再生センター送泥ポンプ設備改良・補修工事-…………… 40

東京都下水道局殿主催「第35回見える！わかる！下水道工事コンクール」入賞…………… 41

食堂・医務室・倉庫棟 完成…………… 42

◆特許と実用新案

…………… 43

DENGYOSHA TECHNICAL REVIEW

DENGYOSHA KIKAI

Vol.39 No.1 2015

CONTENTS

◆Foreword

- Performance improvement of supercomputers
and progress in numerical computations of fluid flows 1
C. Kato

◆Technical Paper

- Cavitation CFD in Pump Development 4
S. Tomimatsu, K. Kado and R. Otani

◆Technical Data

- High Pressure Multistage Pumps for FPSO..... 10
Y. Ikeda

◆Product Introduction

- Fan Equipment for Torii Tunnel of Chubu Regional Development Breau 14
M. Asoma, K. Seki and M. Nochi
- Pumps for Geothermal Power Plant , Zorlu/Turkey 18
T. Eguchi
- Super Duplex Stainless Steel Pump for LNG receiving terminal 21
Y. Akiyama and S. Suzuki
- COG Blowers for PT KRAKATAU POSCO in Indonesia 24
J. Nakayama and S. Suzuki

◆Activities 28

◆Patent 43



スパコンの性能向上と 流体解析の進展

加藤 千幸

東京大学生産技術研究所教授

革新的シミュレーション研究センター長

事業仕分けで一躍有名になった京が8.162ペタ・フロップスという実効性能を記録し、世界一になったのは2011年6月のことであった。京が本格運用を開始した2012年9月の時点では、残念ながら京の世界ランキングは3位になっていたが、10ペタ・フロップス^{注)}級の性能を有する京の登場は、多くの計算科学分野の研究を大幅に加速させることを期待させた。京は幅広い分野で活用されることを前提に開発されたものであり、汎用のCPUを搭載している。文部科学省は2011年度に、5つの分野を選定し、京を利用して革新的な研究成果を創出すること、および当該分野における計算科学技術を飛躍的に進展させることを目的とした「HPCI戦略プログラム」を開始した。その内の一つの分野が「ものづくり」分野であり、当所が中核機関となり、宇宙航空研究開発機構、ならびに日本原子力研究開発機構の3機関が協力してプロジェクトを推進してきた。また、2020年までに京の100倍の実効性能を達成することを目標として、ポスト京の開発プロジェクトが一昨年度にスタートした。ポスト京向けのアプリケーション開発プロジェクト（いわゆる重点課題）も昨年度から開始されている。重点課題としては全部で9課題が決定されたが、その内の4課題がものづくり分野に直接関係したものである。文部科学省ではスパコンを利用した産業競争力強化に非常に力を入れている。

京をはじめとする高性能なスパコンの登場により、大規模流体解析や流体構造連成解析などの実用化の目途が立ってきた。本稿では、このような解析の今後の展望と設計応用に向けた課題を説明したい。大規模流体解析としてその実用化に大きな期待が集まっているのが、Large Eddy Simulation (LES) である。工学的には時間平均流れが所定の精度で予測できれば十分な場合が多いが、時間平均流れに影響を与える乱流の渦の扱い、いわゆる乱流モデルが重要となる。現在、一般的に用いられている乱流モデルであるReynolds-Averaged Navier-Stokes (RANS) に代表される時間平均乱流モデルと比較した場合のLESの最大の特長は、散逸スケールの渦のように流れの中で受動的な役割を担っている渦の運動のみをモデル化することであり、単純なモデルであってもDirect Numerical Simulation (DNS) と同程度の予測精度を与えることが期待されている。また、格子で直接計算されるスケールの渦の変動を予測することができるので、流れに起因する振動や疲労強度の予測、流れから発生する音の予測ツールとしての実用化にも期待が集まっている。

注) フロップスとは計算機の性能を表す指標の一つであり、10ペタ・フロップスとは1秒間に10京回(10¹⁶回)の演算をすることができる性能を表す。

精度の高いLESを実現するためには、乱れの生成スケールまでは計算格子で直接計算する必要があるが、乱れの生成スケールは、壁面摩擦速度と動粘性係数により決まる粘性スケールに比例し、マクロな流れのレイノルズ数にほぼ反比例して、マクロな代表スケールに対する比は小さくなる。たとえば、ポンプの動翼表面に発達する境界層中の生成スケール（境界層中の縦渦）の大きさは30 μm程度と見積られる。従来、実用的な流体解析で用いることができた計算格子の数は高々数千万点程度であり、このような微細な渦まで解析することはとても不可能であったが、京に代表される最先端のスパコンを利用すれば数百億点から最大数千億点の計算格子を用いることが可能となった。このことにより、比較的レイノルズ数の高い流れでもLESを実用化できる目途が立ってきた。たとえば、**図1**は約320億の計算格子を用いて船体まわりの乱流境界層を計算し、予測された推進抵抗を曳航水槽試験と比較した結果を示す⁽¹⁾⁽²⁾。実験値と解析値との差は0.8%程度であり、実験の計測精度と同程度の差で予測が実現されている。

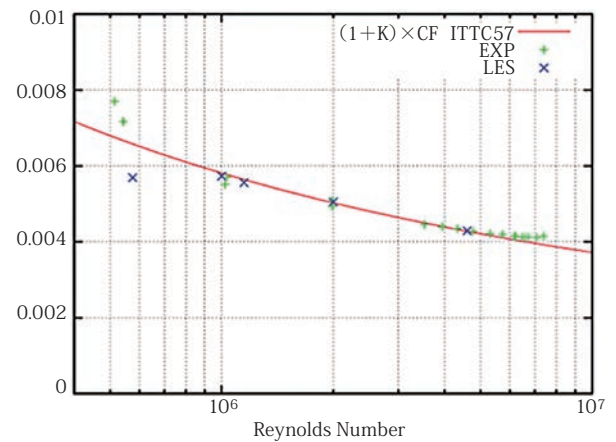
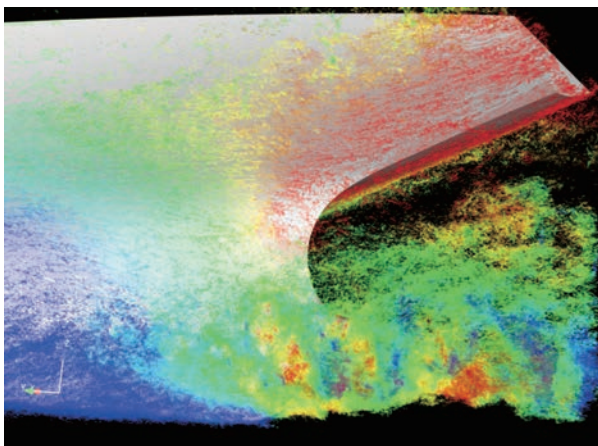


図1 船体まわりの乱流境界層のLES解析（左）と推進抵抗の実験との比較（右）

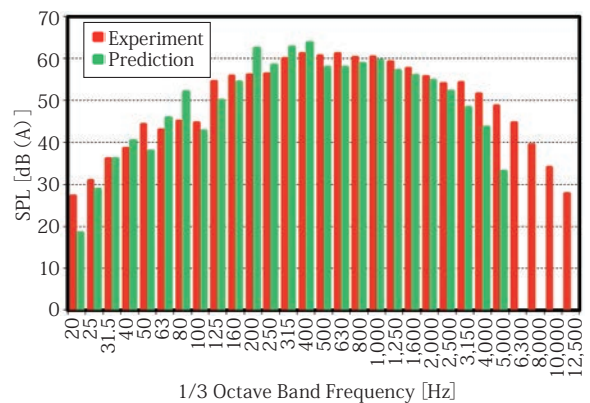
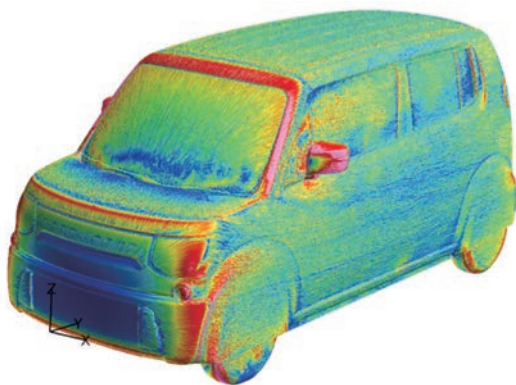


図2 自動車まわりの乱流境界層のLES解析（左）と車内騒音の実験との比較（右）

LESでは計算格子で捉えられているスケールの渦の変動に起因する表面圧力変動や流速変動も同時に計算されている。したがって、これらを加振源として用いて振動解析を実施したり、音源として用いて音の解析を実施したりすることも可能である。たとえば、**図2**は自動車まわりの流れをLESにより解析し、ボディの振動解析を実施し、最後に車室内の音響解析を実施し、風洞試験により計測された音と予測さ

れた音とを比較したものである⁽³⁾。LESに用いた格子数は約50億点であるが、かなりよく一致した結果が得られている。

このような大規模解析や連成解析を実用化するための課題に関して考察したい。まず、精度の高いLESを実現するためには高品質な計算格子を作成しなければならない。実証研究のフェーズであれば時間を掛けて修正を繰り返しながら格子の品質を上げていっても構わないが、モデル試験や水槽試験などの代替としてLESを使用するためには、品質が保証された格子を短時間に生成することができなければならない。最適な格子生成方法は対象とする製品毎に異なり、万能な格子生成方法は存在しないが、ある程度の手作業が入ったとしても、誰が作成しても同じ品質の格子を作る方法を確認する必要がある。また、動翼先端周速度が20 m/sから30 m/sの空気機械であれば数億点から数十億点の計算格子で必要な解像度を確保することが可能であるが、多段の遠心ポンプの動翼表面に発達する境界層をまともに解像しようとすると、数千億点から数兆点の計算格子が必要となる。そこで、このような製品に対してLESを適用するためには、流れのレイノルズ数相似性に留意しながらレイノルズ数を落とした解析を実施し、実機の性能を推定することが必要になる。ターボ機械の開発では縮尺モデルによる性能評価はよく行われているが、LES解析でも同様な処理が必要になるということである。最後にポスト処理に関しては、空力性能や水力性能の評価などにLESを用いるのであれば予めそのような計算ルーチンを用意しておけば大規模計算でも問題はない。ただ、膨大な流れ場のデータを設計や開発に活かすための方法論は未だ確立されていない。大規模解析の真のメリットを活かしていくためにはこのような方法論の研究開発も重要な課題である。

以上、筆者らが実施している大規模流体解析や流体・構造・音響連成解析などを具体例も含めて紹介した。巻頭言としてはやや専門的になり過ぎてしまったきらいもあるが、本拙稿により、このような解析がどのような状況にあるのか、その一端でもおわかりいただけたなら幸いである。

<参考文献>

- (1) NISHIKAWA, T.; YAMADE, Y.; SAKUMA, M.; KATO, C. (2013), Fully resolved large eddy simulation as an alternative to towing tank resistance tests - 32 billion cells computation on K computer, 16th Numerical Towing Tank Symp. (NuTTS), Mülheim.
- (2) Nishikawa, T. (2015), Application of Fully-resolved Large Eddy Simulation to Self Propulsion Test Condition of Double-Model KVLCC2, 14th Conference on Computer and IT Application in the Maritime Industries (COMPIT), Ulrichshusen, Germany, pp.191-199.
- (3) 飯田明由・他：流れに起因する自動車車室内騒音の予測, 第28回数値流体力学シンポジウム, F11-3, 2014年12月9日-11日, 船堀・東京.

ポンプ開発におけるキャビテーション CFD

富松重行 角 晃太郎 大谷亮介

Cavitation CFD in Pump Development

By Shigeyuki Tomimatsu, Kotaro Kado and Ryosuke Otani

Cavitation is a well-known phenomenon which degrades pump performance. Therefore, prediction and consideration of cavitation are important in development of pumps. In the past, those were done by the experimentation. Therefore, it was difficult to shorten the developing period of pumps. However, in recent years, enhanced accuracy of the commercially available CFD (Computational Fluid Dynamics) softwares has led to a fairly accurate prediction of the occurrence of cavitation during the development stage of the pump. In addition, the time to simulate and analyze the cavitation has been so much reduced compared with about 10 years ago thanks to development of computer performance. As the result, in the pump design review using the analysis data from commercial software, the generation of the cavitation could be reduced to a considerable extent. In this report, the analysis theory of the cavitation and the simulation case studies for the cavitation of mixed flow pumps using commercially available ANSYS CFX software is introduced.

1. はじめに

CFDソフトの発展は目覚ましく、ポンプの場合、例えば仕様点付近の流量と揚程の関係であれば定量的にも実験結果とよく一致する結果が得られるようになってきている。このため、ポンプの開発において、デザインレビューを効果的かつ効率的に行うために、CFDを利用してポンプの性能を事前に予測することは日常的なこととなった。

流量と揚程、また軸動力と揚程の関係のみならず、ポンプの吸込性能の予測も精度良く行えるようになれば、デザインレビューがより充実したものになるという願望はポンプ開発に関わるエンジニアにとって共通のものであると考える。また、設計段階でキャビテーションがどこに発生するかをあらかじめ把握できるということは、設計者にとっては有益な情報となる。しかしながら、キャビテーション解析手法が確立されていない現状を考えると、市販ソフトで手軽にキャビテーション解析が行えるようになった現在でも製品開発の限られた時間内でポン

プ吸込性能の予測やキャビテーションの発生位置の把握を精度良く行うということはまだまだ難しい状況にあると感じられる⁽¹⁾。また、キャビテーションの発生が、ポンプの振動、騒音、性能低下、羽根表面の損傷を引き起こす可能性があるという事実を考えると、キャビテーション解析の精度向上は今後も継続的に取り組むべき課題の一つであると考え。

本稿では、当社で実施したポンプのキャビテーションCFD解析事例を紹介する。なお、ここで紹介する解析事例はすべて市販ソフトであるANSYS CFX 14.0を用いて実施したものである。

2. ANSYS CFXのキャビテーションモデル

ANSYS CFXのキャビテーションモデルは液体中の単一気泡の球面対称な運動における境界面の運動を支配する下記のRayleigh-Plessetの式をベースとしている^{(2)~(4)}。この式は気泡の力学的なバランスを表した式であり、気泡の変形や気液境界面での熱・物質伝達は考慮していない⁽⁵⁾。このため、種々の適用限界があることに注意しなければならない⁽⁶⁾。

ターボ機械協会誌2014年11月号(第42巻11号) pp.35-40に掲載されたものを一部加筆・修正した。

$$R_B \frac{d^2 R_B}{dt^2} + \frac{3}{2} \left(\frac{dR_B}{dt} \right)^2 + \frac{2\sigma}{\rho_f R_B} = \frac{p_v - p}{\rho_f} \quad \dots(1)$$

ここで、

R_B : 気泡半径 [m]

p_v : 気泡内の圧力 (液体温度における蒸気圧に等しいと仮定している) [Pa]

p : 気泡を囲む液体中の圧力 [Pa]

ρ_f : 液体密度 [kg/m³]

σ : 液体と蒸気間の表面張力 [N/m]

である。

ANSYS CFXで使われているのは二次の項 (低周波数成分に対応) と表面張力を無視した次に示す簡略式である。

$$\frac{dR_B}{dt} = \sqrt{\frac{2}{3} \frac{p_v - p}{\rho_f}} \quad \dots(2)$$

気泡体積の変化率は、

$$\begin{aligned} \frac{dV_B}{dt} &= \frac{d}{dt} \left(\frac{4}{3} \pi R_B^3 \right) \\ &= 4\pi R_B^2 \sqrt{\frac{2}{3} \frac{p_v - p}{\rho_f}} \end{aligned} \quad \dots(3)$$

気泡質量の変化率は、

$$\begin{aligned} \frac{dm_B}{dt} &= \rho_g \frac{dV_B}{dt} \\ &= 4\pi R_B^2 \rho_g \sqrt{\frac{2}{3} \frac{p_v - p}{\rho_f}} \end{aligned} \quad \dots(4)$$

でそれぞれ表される。なお、

ρ_g : 気体密度 [kg/m³]

である。

単位体積あたりに N_B 個の気泡が存在する場合、体積分率 r_g は、

$$r_g = \frac{4}{3} \pi R_B^3 N_B \quad \dots(5)$$

と表される。単位体積における全相間質量輸送率 \dot{m}_{fg} は、

$$\begin{aligned} \dot{m}_{fg} &= N_B \frac{dm_B}{dt} \\ &= \frac{3r_g \rho_g}{R_B} \sqrt{\frac{2}{3} \frac{p_v - p}{\rho_f}} \end{aligned} \quad \dots(6)$$

となる。式(6)は蒸発を考慮して表された式になるが、凝縮も考慮するように一般化すると次式のようなになる。

$$\dot{m}_{fg} = F \frac{3r_g \rho_g}{R_B} \sqrt{\frac{2}{3} \frac{|p_v - p|}{\rho_f}} \times \text{sgn}(p_v - p) \quad \dots(7)$$

また、凝縮と蒸発が異なる速度で起こりうるという事実を考慮して、蒸発は式(7)にさらに修正を加えた式(8)で表される。

$$\dot{m}_{fg} = F \frac{3r_{nuc} (1 - r_g) \rho_g}{R_{nuc}} \sqrt{\frac{2}{3} \frac{|p_v - p|}{\rho_f}} \times \text{sgn}(p_v - p) \quad \dots(8)$$

ここで、

F : 経験定数

R_{nuc} : 核生成サイトの半径 [m]

r_{nuc} : 核生成サイトの体積分率

である。

ユーザーが設定可能なパラメータに関しては、デフォルト値から変更することでより精度の良い解析を行える場合があると考えられるが、限られた時間内で解析を終えることを考えるとポンプ開発においてはこのようなパラメータサーベイがほとんど行えないのが実状である。したがって、本稿で紹介する解析事例に関しては、ANSYS CFXのデフォルト値を使用している。すなわち、

$R_B = 2.0 \times 10^{-6}$ [m]

$R_{nuc} = 1.0 \times 10^{-6}$ [m]

$r_{nuc} = 5.0 \times 10^{-4}$

$F = 50$ (蒸発の場合)

$F = 0.01$ (凝縮の場合)

として解析を実施している。また、本稿で紹介する事例に関しては、すべて乱流モデルとしてSST (Shear Stress Transport) モデルを用いて解析を実施した。

3. 斜流ポンプのキャビテーション解析

3-1 重力および寸法の影響

図1に横軸斜流ポンプを解析した際に用いた形状モデルを示す。重力がキャビテーションに与える影響については議論の余地があるが、NACA0015単独翼を対象とした解析では顕著な違いが見られないとの報告がある⁽⁷⁾。図2は重力の影響について調べた結果であり、ボイド率

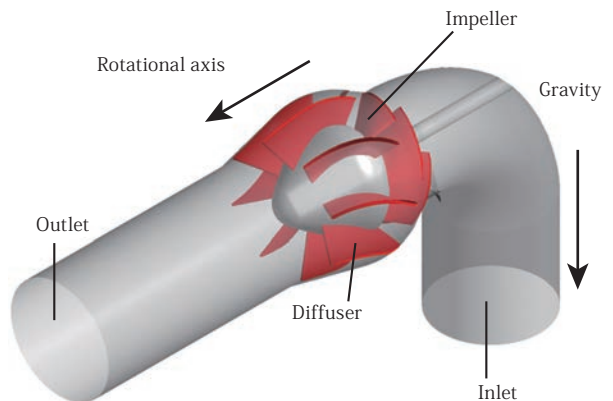


図1 解析モデル
Fig.1 Analysis Model

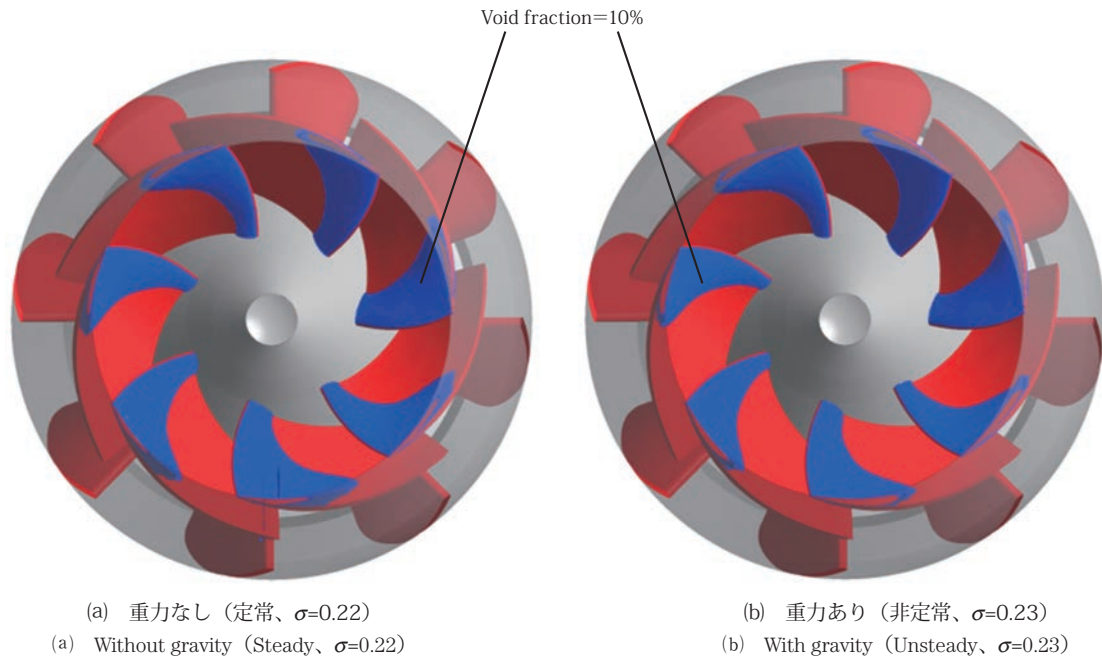


図2 重力の影響 (ポンプ口径：500 mm)
 Fig.2 Influence of gravity (Pump diameter : 500 mm)

10%の等値面を可視化している。ボイド率10%の等値面がキャビティ界面を表しているか否かについては、キャビテーション長さを正確に規定する上でも重要なため詳細な検討を行って議論をする必要があると考えるが、筆者らの知る限りではボイド率10%の等値面を使って可視化処理した報告が多く見受けられるので、ここではそれらの前例に倣った可視化処理をしている⁽⁸⁾⁽⁹⁾。 σ はキャビテーション数で、式(9)で定義している。

$$\sigma \equiv (NPSH) \times \frac{2g}{U^2} \quad \dots(9)$$

ここで、

g : 重力加速度 [m/s²]

U : 羽根車チップ周速 [m/s]

である。

なお、重力なしの場合は定常解析を行い、重力ありの場合は非定常解析を行っている。これは、定常解析を行うことによって解析時間を短縮し解析パターンを増やす目的と、回転軸と重力の方向が異なる場合、非定常で解析を行わなければならないというANSYS CFXの機能上の制約のためである。今回のキャビテーション解析では、1 stepあたり非定常解析は定常解析の約5.5倍の計算時間を必要としたが、これはANSYS CFXがPCクラスタなどで並列計算する場合、MPI (Message Passing Interface) を介してデータの送受信を行う以外に、非定常解析では解析中にNFS (Network File System) を介してハードディ

スクに頻繁にアクセスすることも一因であると考えられる。

図より、重力なしの定常解析結果と重力ありの非定常解析結果の間には顕著な違いはないことがわかる。したがって、ポンプ開発の現場で、解析に長い時間をかけられないが大まかな傾向は把握しておきたいといった場合は、重力なしの定常解析を実施することも一つの手段になり得るといえる。

図3にキャビテーション数と揚程係数の関係を示す。揚程係数 ψ は次式で定義している。

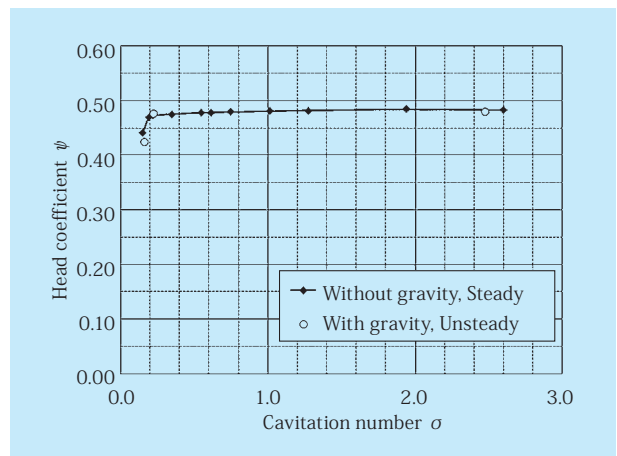


図3 キャビテーション数と揚程係数の関係
 (ポンプ口径：500 mm)

Fig.3 Relationship between cavitation number and head coefficient
 (Pump diameter : 500 mm)

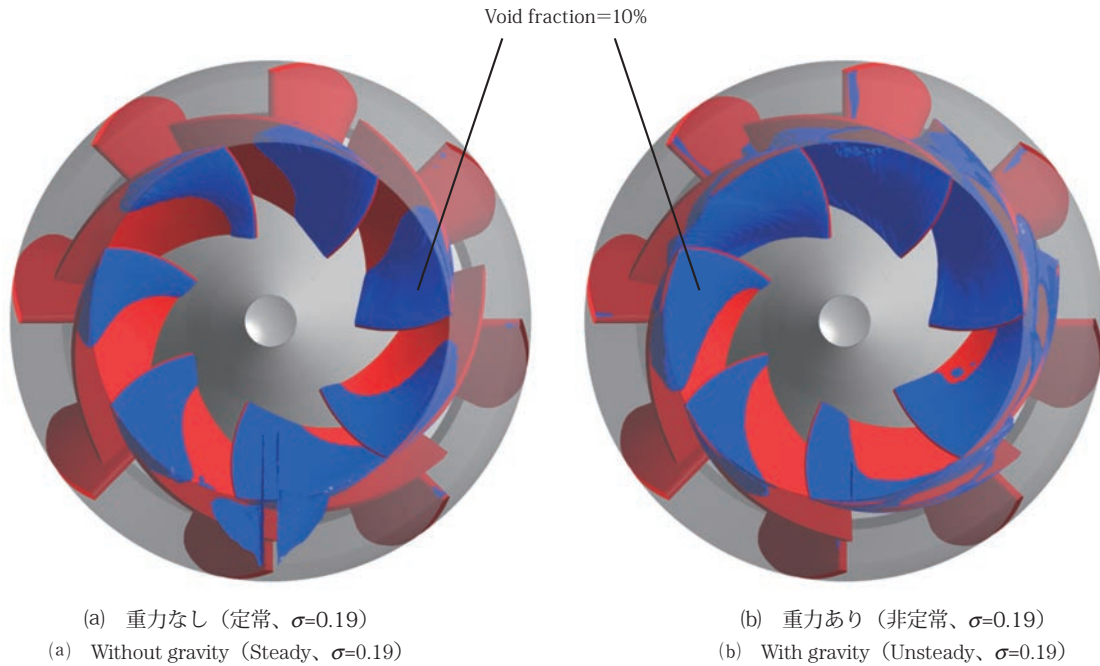


図4 重力の影響 (ポンプ口径：2 000 mm)
 Fig.4 Influence of gravity (Pump diameter : 2 000 mm)

$$\psi \equiv H \times \frac{2g}{U^2} \quad \dots(10)$$

ここで、

H : 揚程 [m]

である。

図より、非定常解析では解析時間が長くなるため多点での解析が不可能であったが、キャビテーション数が約0.15の位置では重力なしの定常解析と重力ありの非定常解析の間で揚程係数の違いが見られたが、それ以外の部分では違いは見られなかった。したがって、揚程低下が起こる付近では、解析を行う際により注意する必要があるといえる。

次に羽根のプロファイルは口径500 mmの場合と相似で、口径を2 000 mmとした場合の横軸斜流ポンプのキャビテーション解析結果を図4に示す。解析を行うにあたって、口径500 mmの場合と羽根車チップ周速が同じになるように回転速度を、ポンプ内の平均流速が同じになるように流量を設定した。図中の等値面は図2の場合と同様にボイド率10%の等値面を表す。

図より、重力なしの定常解析の結果ではボイド率10%の等値面が下側で広範囲に分布しているのに対して、重力ありの非定常解析では上側で広範囲に分布していることがわかる。また、口径500 mmの横軸斜流ポンプの解析結果と比較して、キャビテーション数の違いはあるが、ボイド率10%の領域が全体的により広範囲に分布してい

る。さらに、ボイド率10%の等値面の広がりにはディフューザの羽根前縁にまで及んでおり、この傾向は重力ありの非定常解析のほうが顕著である。

同じ流速であれば寸法の大きいポンプのほうが気泡の成長時間が長くなり、気泡自身が大きくなるため変形が生じやすくなると考えられる。したがって、液体中の単一球形気泡を対象としたRayleigh-Plessetの式では、式の利用の前提条件が崩れてしまうため、キャビテーションを捉えきれない可能性がある。また、気泡の成長過程が変わることで、蒸発と凝縮にも何らかの影響を及ぼすと考えられる。これらの理由からボイド率10%の等値面の広がり口径500 mmと口径2 000 mmの解析結果の間で異なると考えられるが、キャビテーションの寸法効果に関する研究データは少ないようである¹⁰⁾。実験および解析を組み合わせた今後の研究の発展に期待するところである。

図5にキャビテーション数と揚程係数の関係を示す。取得したデータ数が少ないため解析数を増やして全体についてのさらなる詳細検討を進める必要があるが、キャビテーション数が0.19の位置で重力なしの定常解析と重力ありの非定常解析の間の揚程係数に大きな違いが見られた。また、図中の矢印は重力ありの非定常解析で得られた揚程係数の最大値と最小値の振れ幅を示している。重力ありの非定常解析における揚程の変動は口径500 mmの解析時にも見られたが、口径2 000 mmの解析時

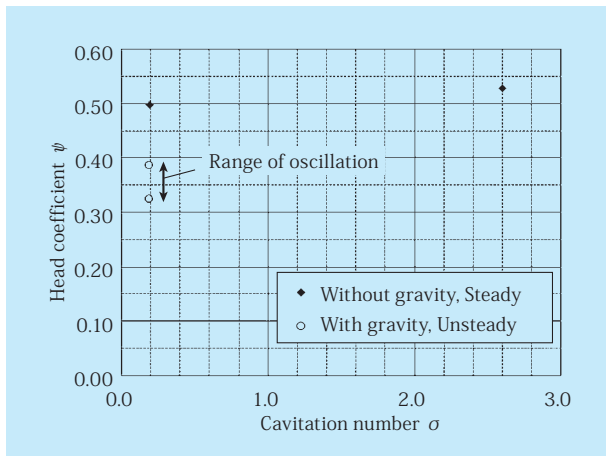


図5 キャビテーション数と揚程係数の関係
(ポンプ口径：2 000 mm)

Fig.5 Relationship between cavitation number and head coefficient
(Pump diameter : 2 000 mm)

のほうが変動幅は大きかった。

ポンプ全体をモデリングしてキャビテーション解析を行う場合、必然的に解析時間が長くなるのが問題の一つである。近年のコンピュータの性能向上は目覚ましいものがあるが、開発のリードタイム短縮が必要不可欠な現状を考えると、ポンプ全体をモデリングしたキャビテーション解析は、RANS (Reynolds Averaged Navier-Stokes Simulation) を乱流モデルとして選択した場合でもある程度形状を詰めてから実施するのが現実的と考える。また、デザインレビューの段階で短時間のうちに定性的に傾向を把握するという意味では、定常解析の利用も有益であるとする。

3-2 1ピッチモデルによる解析

キャビテーション現象を物理的に把握することを目的とするのであれば、解析を精度良く実施するために全周解析を行ったほうが良いのは明らかである。しかしながら、設計開発の初期段階では3%揚程低下がどの程度の位置で起こるかを大まかに把握しておきたいといった場合がよくある。ここで紹介するのは短時間で定性的に傾向を把握することを目的として実施した1ピッチモデルを用いたキャビテーション解析の一例である。図6に解析に使用した口径300 mmの斜流ポンプの1ピッチ分の形状モデルを示す。解析は定常解析で行い、重力の影響は考慮していない。

図7にキャビテーション数と揚程係数の関係を示す。図より仕様点に対して100%流量、120%流量の場合ともに実験結果と解析結果はほぼ一致しており、設計時にポンプのパラメータサーベイを行うには十分な精度を有し

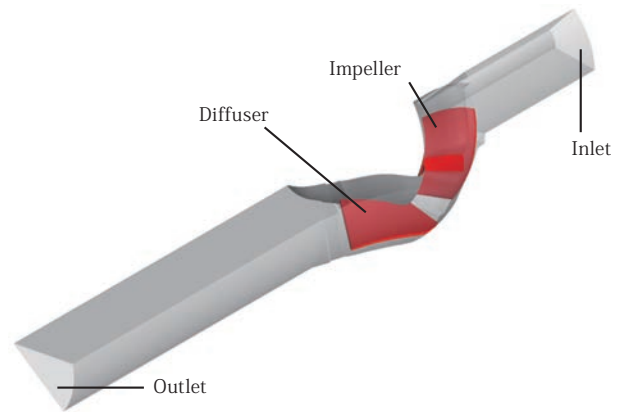


図6 解析モデル
Fig.6 Analysis model

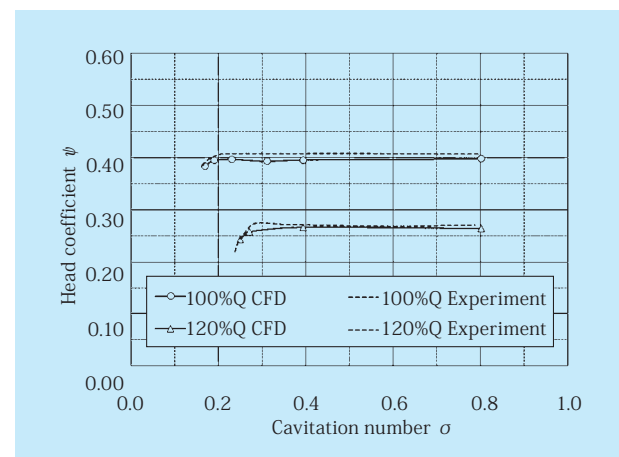


図7 キャビテーション数と揚程係数の関係

Fig.7 Relationship between cavitation number and head coefficient

ているといえる。したがって、サンプル数が少ないため他のポンプについても調べる必要があるが、ポンプ設計時に行う揚程低下点の把握は1ピッチモデルを用いた解析でも可能な場合があるとする。

4. おわりに

当社で実施したポンプ開発におけるキャビテーション解析事例を紹介した。キャビテーション解析はポンプの開発を進めるうえで有用なツールの一つとなっているが、特にポンプ全体をモデル化した非定常解析の場合は解析時間が長くなり過ぎるため、開発のリードタイム短縮という製造業の至上命題を鑑みると、まだまだ気軽に解析数を増やすわけにはいかないという印象を受ける。したがって、解析モデルを簡略化して計算量を減らすなどして、開発のリードタイムに合うように工夫しながらキャビテーション解析を行っているというのが現状であ

ろう。

しかしながら、コンピュータの性能向上に伴って、ポンプの揚程および軸動力と流量の関係を調べる性能解析が、1ピッチの解析から全体をモデリングした解析へ、使用する乱流モデルもRANSからLES (Large Eddy Simulation) へと変遷してきたように、将来キャビテーションの大規模解析が設計開発の現場で当たり前のように使われる時代が訪れることはまず間違いない。そのような来たる時代のために、キャビテーションモデルの改良や解析技術の研究を今後も進め、将来より高精度な解析がポンプ開発時に利用できるように研究に取り組む所存である。

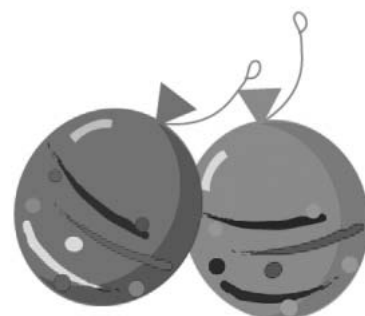
<参考文献>

- (1) Chisachi Kato, "Industry-University Collaborative Project on Numerical Predictions of Cavitating Flows in Hydraulic Machinery-Part 1: Benchmark Test on Cavitating Hydrofoils, Proc. ASME-JSME-KSME Joint Fluids Engineering Conference 2011, AJK2011-06084, 2011.
- (2) M. S. Plesset and A. Prosperetti, "Bubble Dynamics and Cavitation", Ann. Rev. Fluid Mech., 9, pp.145-185, 1977.
- (3) "ANSYS CFX-Solver 13.0 理論ガイド (日本語版)", ANSYS, Inc., pp.189-191, 2010.

- (4) 日本流体力学会編集, "混相流体の力学", 朝倉書店, pp.80-82, 1991.
- (5) 加藤洋治編著, "新版 キャビテーション", 槇書店, pp.26-28, 1999.
- (6) C. E. Brennen, 辻本良信訳, "ポンプの流体力学", 大阪大学出版会, pp.131-134, 1998.
- (7) "CFDによるターボ機械のキャビテーション予測手法の高度化プロジェクト「最終成果報告書」", ターボ機械協会, pp.87-91, 2011.
- (8) "「キャビテーション研究分科会 研究成果報告書 (通算第7期)」", ターボ機械協会, 2009.
- (9) "「キャビテーション研究分科会 研究成果報告書 (通算第8期)」", ターボ機械協会, 2012.
- (10) 岡村共由, "ポンプのキャビテーション (損傷を中心として)", ターボ機械協会第72回セミナー 水力機械のキャビテーションとその対策について, pp.25-36, 2006.

<筆者紹介>

- 富松重行：2003年入社。ポンプ、送風機および流体関連機器の研究開発に従事。現在、技術研究所研究課長。博士(工学)。技術士(機械部門)。
- 角晃太郎：2009年入社。ポンプ、送風機および流体関連機器の研究開発に従事。現在、技術研究所開発課。
- 大谷亮介：2012年入社。ポンプ、送風機および流体関連機器の研究開発に従事。現在、技術研究所開発課。



ブラジル洋上FPSO船向け高圧多段ポンプ

池田 侑樹

High Pressure Multistage Pump for FPSO

By Yuki Ikeda

We hereby introduce a high pressure pump to a FPSO (Floating Production, Storage and Offloading system), which is moored at offshore Rio de Janeiro.

The pump is titled as “Flow line circulation pump” and its application is for cleaning riser pipe between sea bottom and the FPSO periodically.

Type of pump is double-casing, radially-split, multistage-centrifugal, between-bearing i.e. API standard 610 Pump type BB5.

We shipped the pump after having passed our shop inspection and witness inspection by the customer.

This paper describes the outline of the pump and various analysis taken during the design stage.

1. はじめに

今回、ブラジルのペトロbras社が保有するガス田の開発に用いられる洋上FPSO船向けに横軸高圧多段ポンプとしては初号機となる1台のフローラインサーキュレーションポンプを三井海洋開発株式会社殿から受注した。

現地調査から始まり、設計・製作・工場立会検査を経て、この度出荷を完了したので以下に紹介する。

納入先である本FPSOはリオデジャネイロ市の沖合約160 kmの海上、ヘリコプターで約1時間30分の位置に係留されている。

概略位置を図1に示す。

2. ポンプ仕様および構造と特徴

2-1 ポンプ仕様

仕様を表1に示す。

表1 ポンプ仕様

Table 1 Specifications of pump

形 式	横軸バレル形多段ポンプ (API type BB5)
口 径	吸込100 mm×吐出し100 mm
段 数	8 段
吐 出 量	60 m ³ /h
全 揚 程	720 m
ポンプ回転速度	3 400 min ⁻¹
取 扱 流 体	ディーゼル油
台 数	1 台

2-2 用途

海底から生産される油層流体をFPSOの生産設備に受



図1 FPSO船の位置

Fig. 1 Location of FPSO

け入れたり、FPSO上の生産設備で分離されてガスや水を海底に再注入するために用いられるライザー（Riser）と呼ばれる海底とFPSOをつなぐパイプなどを総称してフローライン（Flowline）と呼ぶが、今回のフローラインサーキュレーションポンプは、このライザーを定期的に洗浄する用途として使用される（図2）。

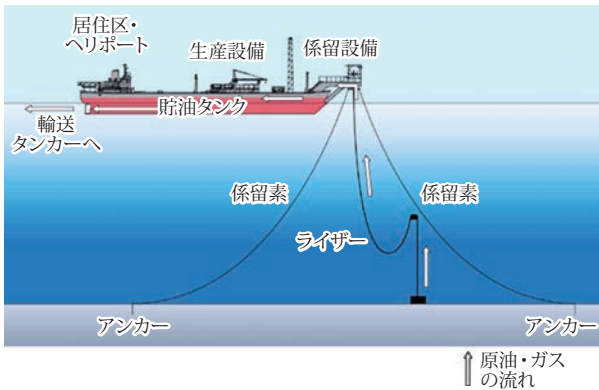


図2 FPSOの概念図
Fig.2 FPSO model

2-3 構造と特徴

本ポンプはAPI610規格に準拠しており、バレル構造（二重胴）ケーシング、8段のインペラを持つ電動機駆動の横軸バレル形多段ポンプである。電動機とポンプ間に増速機を用い、ポンプ回転速度を3 400 min⁻¹まで増速させている。

設計段階において幾つかの特別な配慮を要したので、それらを含め、構造と特徴を以下に説明する。ポンプ構造図を図3に示す。

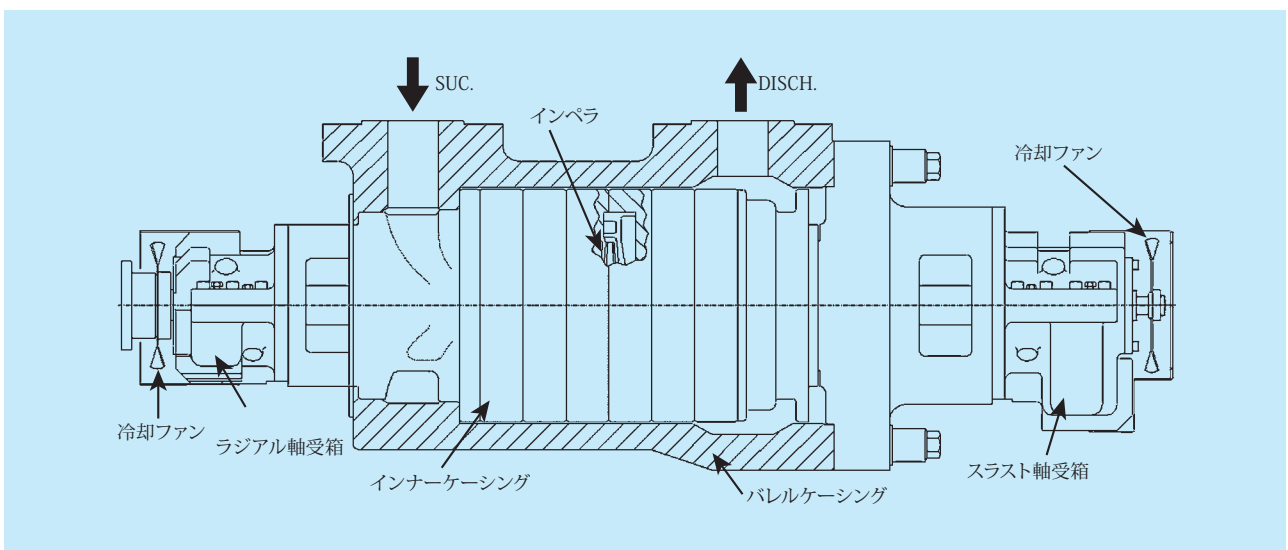


図3 ポンプ構造図
Fig.3 Pump construction

(1) 回転体

主軸の材質には洋上での過酷な環境における長期の運用を想定し、強度、耐食性において優れた特性を持つ二相ステンレス鋼（UNS S31803）を採用した。

また、ポンプ回転体の危険速度が運用回転速度に対して十分な離調を確保していることを確認するために、解析ソフトを用いてAPI 610にて規定されている評価方法にしたがって横振動解析（Lateral Analysis）を行うことにより、ポンプ運転中の共振振動に対する信頼性をより向上させた（図4）。

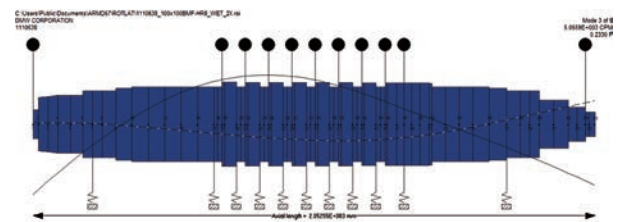


図4 横振動解析
Fig.4 Lateral analysis

(2) ケーシング

ケーシングは流体の外部への漏洩を防止するため、高いシール性を有する垂直割り、円形フランジ形状およびバレル形のケーシングである。

材質は耐食性の優れたSCS14Aを採用し、非接液部にはステンレス面への素地調整を実施した上、塗装を施すことによって、洋上という腐食性の高い環境にも耐えられるものとした。

また、主配管と接続されるフランジをバレルケーシング

グー一体形フランジ (Integral Type Flange) とすることにより、ポンプ中心から各フランジまでの距離を通常よりも短くした。このバレルケーシングのコンパクト化により、既設主配管を新製または改造することなしに現地に据付可能な構造となった。

(3) 軸受および軸受箱

軸受の潤滑は強制給油を必要としない油浴式+オイルリング潤滑、潤滑油の冷却には軸に直結したファンを使用した自己空冷式を採用した。

ラジアル軸受として使用されるジャーナル軸受のモデリングを行い、運転時の潤滑油温上昇などについて解析を実施し、仕様を満たしていることを確認した (図5)。

スラスト軸受は玉軸受を採用し、選定においては、FPSO船の傾きによる加速度も考慮に入れ、スラスト力を算出し、API 610にて規定されている軸受寿命を満足するものとした。

軸受箱は、ファン冷却による放熱効果をより効率的に行うため、大気部に複数のフィンをつけている。また、保守・点検が容易なように上下二ツ割構造としている。

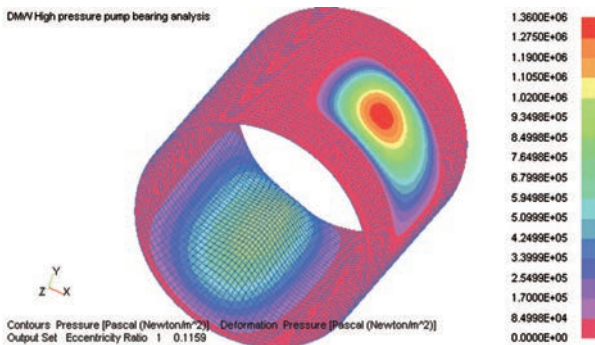


図5 ジャーナル軸受モデリング
Fig.5 Model of journal bearing

(4) 軸振動・軸受温度監視装置

プラントにおいて重要度の高い機器の運転状態を常に測定し評価することは、保守・保全の面において、プラント全体の信頼性を向上させる上で有効である。

本ポンプでは、運転中の軸振動および軸受温度を常時測定・監視・傾向管理を行い、異常の発生を未然に防止するとともに、異常が発生した場合、警報/停止信号を発信するためのセンサを付属している。

(5) ポンプユニット

ポンプ単体だけではなく、共通ベース上に搭載される主な機器である、既設の電動機および強制給油装置、新製の増速機を含めたポンプユニットとしての信頼性を確

保することが、現地での安定、安全な運用を確実にするために重要である。本ポンプにおいては構造体固有振動数解析 (Structural Natural Frequency Analysis)、動的応答解析 (Dynamic Forced Response Analysis) を実施し、ポンプユニット全体としても共振の問題が無いことを確認した。

ポンプ、減速機、電動機、強制給油装置および共通ベースを含めたポンプユニットのFEAモデルを図6に示す。また、電動機回転速度近傍の振動モードを図7-1に、ポンプ回転速度近傍の振動モードを図7-2に示す。

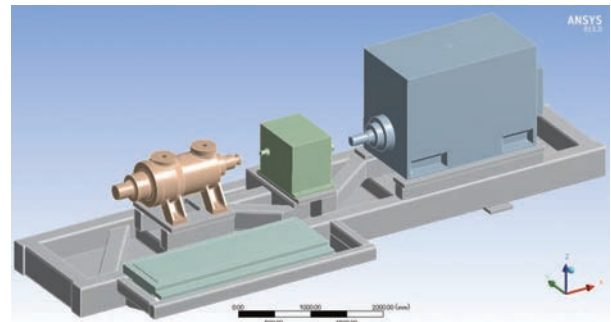


図6 FEAモデル
Fig.6 FEA model

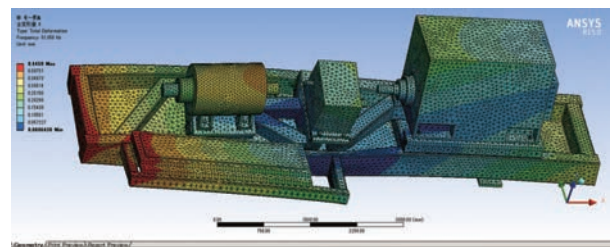


図7-1 電動機回転速度近傍の振動モード
Fig.7-1 Vibration mode
(Vicinity of motor rotational speed)

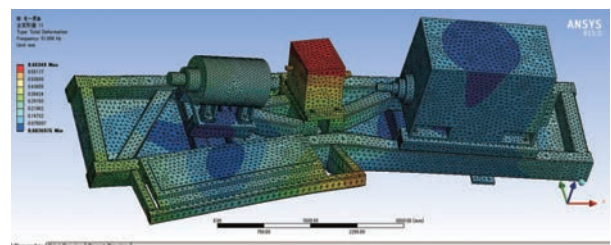


図7-2 ポンプ回転速度近傍の振動モード
Fig.7-2 Vibration mode
(Vicinity of pump rotational speed)

また、ノズルモーメント解析を実施し、ポンプ主配管取付け部にある規定されたモーメントが及んだ場合にポンプ主軸の変位がAPI 610に規定されている値以下であ



図8 軸変位
Fig.8 Shaft displacement

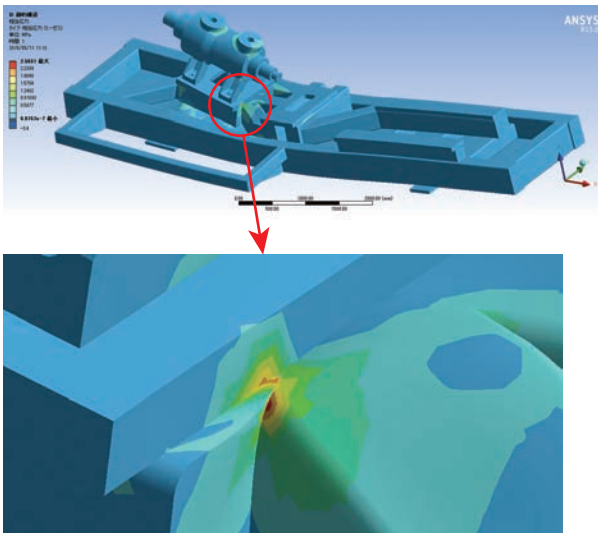


図9 応力解析
Fig.9 Stress analysis

ることを確認した。更に同条件においてポンプ取付け部や、ベースのリブ溶接部などに集中的に過大な応力が生じないことを確認した(図8、図9)。

3. 社内試運転

社内試運転は、現地での運転を可能な限り再現するため、計測機器などの付属品を取付けた状態で行った(図10)。

性能についてはAPI 610にて規定されている許容値、基準値に対して満足していることを確認した。機械的な健全性についてはポンプおよび増速機の各部における振動および温度の測定、各付属品の評価を行い、いずれも顧客の仕様を満足する結果が得られ、立会検査も合格となった。



図10 社内試運転
Fig.10 Shop test

4. おわりに

石油、天然ガスはエネルギーの中心として、世界の一次エネルギーの約6割を占めているが、これらの開発は陸上から海洋へ移行しつつある。世界の石油、天然ガスの生産量の3割程度が海洋から生産されており、海洋開発の占める比重は今後も増加傾向にある。海洋開発の中でも深海および超深海生産が注目されており、FPSOなどの浮体式生産設備を用いた開発が世界中で進められている。

今後も、当社はそのような世界の動向にマッチした需要を的確に把握し、顧客の要求する仕様を満足させることはもとより、顧客の更なる期待に応える信頼性を有する製品を設計、製作することに努力し続けていく所存である。

おわりに本ポンプの設計、製作にあたり終始適切な助言とご協力を頂きました三井海洋開発株式会社殿の関係各位に厚く御礼申し上げます。

<参考文献>

- (1) 三井海洋開発(株)ホームページ
<http://www.modoc.com/jp/>
(2015年4月27日アクセス)
- (2) 飯田隆二：船舶用立軸斜流ポンプ、電業社機械、37-1、(2013)、17-19

<筆者紹介>

池田侑樹：2006年入社。主に、高圧ポンプの設計に従事。現在、水力機械設計部 高圧ポンプ課。

中部地方整備局 鳥居トンネル向け送風機設備

遊馬 誠 関 晃平 野知 誠

Fan Equipment for Torii Tunnel of Chubu Regional Development Bureau

By Makoto Asoma, Kouhei Seki and Makoto Nochi

Since 1978, Torii tunnel has been operated in semi-transverse ventilation system by axial fans. But due to recent constraint of emission gas from automobiles and as the result of the efforts, air volume for the tunnel ventilation was decreased. Therefore, the ventilation system can be changed to longitudinal flow type by jet fans. In this paper, we will introduce the case that we re-use the jet fans by overhauling them which we delivered to the Odori tunnel in our fiscal year 2004. At the same time, we applied the inverter control to the jet fans for saving energy. This paper introduces the said overhaul and inverter control system.

1. はじめに

国道19号鳥居トンネルは中京圏と木曾地区、中信および北信を結ぶ重要な幹線道路の一部として利用されている。1978年度に供用し現在までで35年が経過している(図1)。

既存のトンネル換気方式は、天井板を有する「送気半横流換気方式」が採用されている。今回、自動車排出ガス規制の強化による排気ガス排出量の減少により、ジェットファン「縦流換気方式」に変更した。

また、省エネルギーを目的としたジェットファンインバータ制御方式が採用されたので、ここに紹介する。

2. 工事概要

2-1 換気方式の変更

本トンネルは1978年および1995年に横形軸流送風機を両坑口各2台の計4台設置していた。本工事にてジェットファンによる縦流換気方式へ変更し、これにより天井板が撤去されることで、安全面も配慮されたトンネル環境となる。

当社では東北の楯台トンネル、笹谷トンネル、東京の小仏トンネルなどに続き本トンネルで5本目の半横流換気方式から縦流換気方式への変更となる。

換気方式の違いについて表1に示す。

2-2 工事概要

鳥居トンネルは全長1 738 mの対面通行トンネルであ



図1 位置図¹⁾

Fig.1 Site location

る。換気方式はジェットファン縦流式で口径1 250 mmの高風速型ジェットファンを4台設置した(図2)。

計測設備は、煤煙量を透過率で監視するVI計を2組、トンネル内風向風速を測定するAV計を1台設置し、一酸化炭素濃度を測定するCO計を2台既設改造した。

2-3 施工内容

今回の主な施工内容を表2に示す。

表1 換気方式
Table 1 Ventilation system

換気方式	送気半横流 (天井板撤去前の鳥居トンネルの換気方式)	縦流 (本工事のジェットファンによる縦流換気方式)
説明	両坑口の換気所より軸流送風機にて新鮮な空気をトンネル内に送り換気する。	坑口からジェットファンの推力にて新鮮な空気をトンネル内に送り換気する。
概略図		

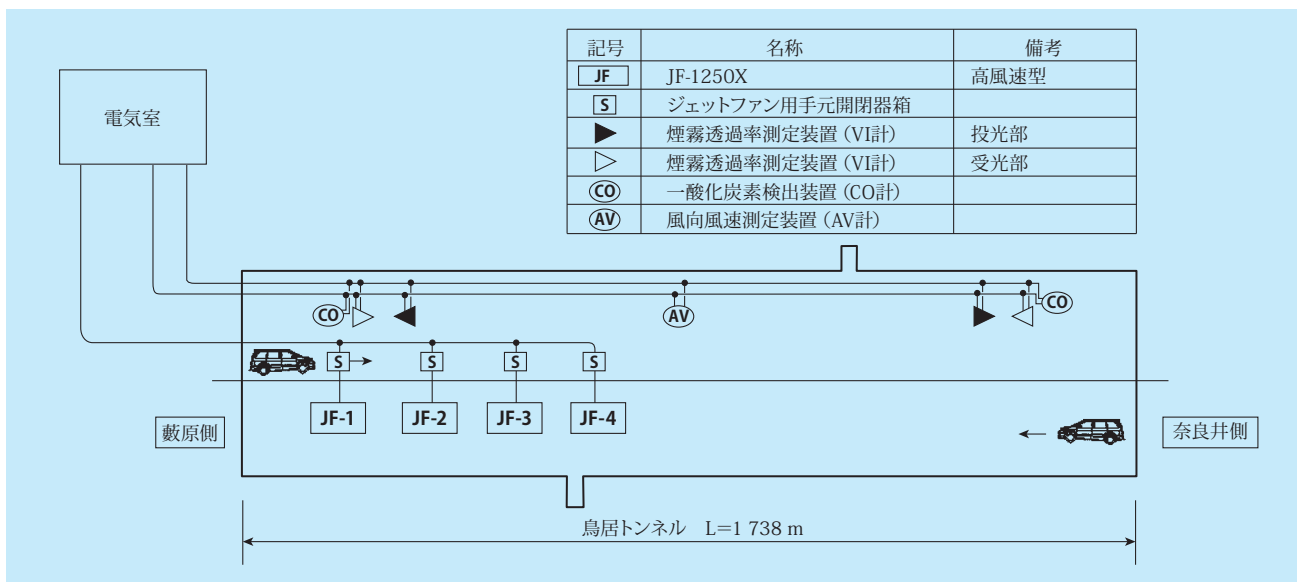


図2 トンネル内換気設備配置図
Fig.2 Arrangement of ventilation equipment in tunnel

表2 施工内容
Table 2 Construction contents

機器名称	数量	施工内容	備考
口径1250ジェットファン	4	工場分解整備・据付	転用
換気計測制御盤	1	製作・据付	
換気動力盤	1	製作・据付	インバータ
計測設備	1	製作・据付	CO計既設改造

本工事の特徴は、

- ①送気半横流換気方式から縦流換気方式へ
- ②ジェットファンの整備・転用
- ③ジェットファンのインバータ制御

である。

3. ジェットファン設備

3-1 ジェットファンの整備・転用

整備・転用するジェットファンは、高山国道事務所管内小鳥トンネルに当社が2004年度に納入している(表3)。納入から約10年経過した分解・整備状況を図3に示す。

発錆が見られるものの主要構造物の劣化は確認されず、吸音材などの消耗部品の交換を実施した。

3-2 インバータ制御

インバータ制御はこれまでも省エネルギーの社会的要請はあったものの、動力盤からジェットファンまでの配線距離が長く、次の3つの課題への対策が実証されていなかったため台数制御が主流であった。

表3 ジェットファン仕様
Table 3 Specification of jet fan

形 式	電動機直結内装軸流式
口 径	1 250 mm
吐 出 し 風 量	43 m ³ /s以上
有効吐出し面積	1.23 m ²
吐出し平均風速	35 m/s以上
効 率	75%以上
電 動 機 定 格	50 kW
台 数	4台(転用)

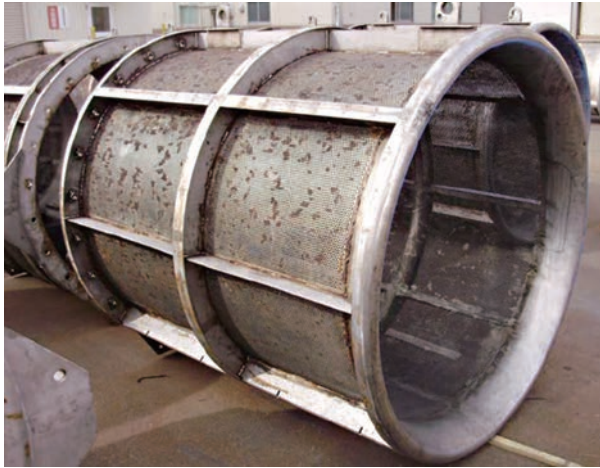


図3 ジェットファン分解整備状況(整備前)
Fig.3 Overhaul of Jet fan

- ①サージ電圧対策
- ②高調波対策
- ③高周波(電磁ノイズ)対策

各課題に対する本工事の対策を次に示す。

(1) サージ電圧対策

サージ電圧は短時間に大きな電流変化があるほど大きくなる。さらにインバータ二次側と電動機の間で反射を繰り返し重畳される特性があり、ジェットファンのような長距離配線では予測することが難しく、最悪の場合は電動機の耐電圧値を超えて絶縁破壊を起こす。

本工事ではジェットファン用電動機およびインバータ装置にて次の対策を実施した。

- ①電動機：絶縁強化した電動機に取替
- ②インバータ装置：サージ電圧を抑制できる3レベルインバータを使用

(2) 高調波対策

商用電源周波数の整数倍の周波数を持つ正弦波を高調波といい、機器の回路内に整流回路とコンデンサを利用した平滑回路を持つもので発生する。インバータ装置は内部に整流回路およびコンデンサを利用した平滑回路を

持つため高調波対策が必要となる。高調波は進相コンデンサの発熱などの原因となる。

ジェットファンのインバータ制御において高調波対策は次の2つがある。

- ①12相入力方式トランス
- ②PWMコンバータ

本工事ではコスト面で優位な12相入力方式トランスを採用した。

(3) 高周波(電磁ノイズ)対策

インバータ装置は装置内部で交流から直流へ変換し(コンバータ部)、さらに直流から交流へ変換(インバータ部)している。インバータ部での高速なスイッチングが高周波の発生原因である。一般に高調波が2~3kHz、高周波が10kHz~30MHzと言われる。高周波はラジオ再放送設備に雑音を発生させるなどの原因となる。

対策として、ジェットファンのインバータ制御用に開発された帰還回路付き正弦波化フィルタ(図4)を採用し、他設備への影響を防止している。

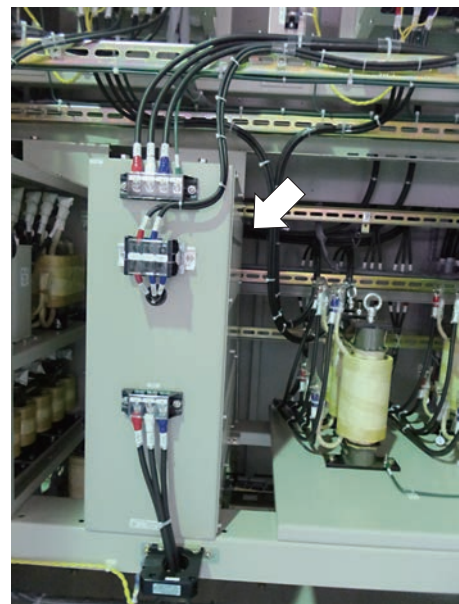


図4 帰還回路付き正弦波化フィルタ
Fig.4 Distance free surge absorber

3-3 インバータ制御による省エネルギー

トンネル内はジェットファンの推力で送気され、外気との交換がなされる。これまで必要推力を確保するため、ジェットファン1台毎の運転・停止による台数制御が用いられていた。

これに対し、インバータ制御はジェットファン羽根車の回転速度を制御することで、同じ推力を確保するための電力量を台数制御に対し抑制し、効率的な運転を行う

ことを可能とした。

3-4 インバータ制御設備

ジェットファンインバータ制御設備は換気動力盤および換気制御計測盤で構成される。

(1) 換気動力盤

インバータ、高調波および高周波対策機器を搭載している(図5)。



図5 換気動力盤外観

Fig.5 View of ventilation power panel

従来の台数制御で使用するコントロールセンタに比べ、幅および奥行が2倍程度大きくなる。

(2) 換気制御計測盤

トンネル内環境を計測し、ジェットファン運転を行う盤である(図6)。

4. おわりに

自動車排出ガス規制の強化による排気ガス排出量の減少により、既存のジェットファンが不要となり、今回のような転用が増加する傾向にある。また、省エネルギーを目的としたインバータ制御の導入も増加する傾向にあ



図6 換気制御計測盤外観

Fig.6 View of ventilation control panel

る。今回の経験を活かし、時代に合った合理的でかつ信頼性の高い製品を提供していく所存である。

最後に、本工事の実施にあたり、終始適切なご指導を頂いた飯田国道事務所殿ならびに関係各位に厚く御礼申し上げます。

<参考文献>

- (1) 飯田国道NOW (平成25年11月6日版)

<筆者紹介>

遊馬 誠：1998年入社。運転支援システム装置の設計を経て、送風機のエンジニアリングに従事。

現在、社会システム技術部 技術1課 主事補

関 晃平：2011年入社。送風機設備のシステム設計に従事。

現在、プラント建設部 システム設計課

野知 誠：1995年入社。製造部を経て、官公需の営業に従事。

現在、名古屋支店社会システム営業課 担当課長

トルコ Zorlu社 地熱発電プラント用ポンプ

江口 崇

Pumps for Geothermal Power Plant, Zorlu/Turkey

By Takashi Eguchi

We delivered Hotwell pump - 2 sets and Binary cooling water pump - 2 sets to Alasehir Geothermal Power Plant, Zorlu/Turkey. The type of Hotwell pumps are vertically suspended, double-casing volute pump i.e. API Standard 610 type VS7. The type of binary cooling water pumps are vertically suspended, single-casing diffuser pump i.e. type VS1. These pumps are the key machinery that requires reliability in the geothermal power plants. This paper summarizes the application, specification and construction of those pumps.

1. はじめに

近年、トルコでは今後の人口増加や内需の拡大に伴い発電需要が増加することが見込まれており、電源確保が大きな課題となっている。そのため、再生可能エネルギーへの関心も高まっており、同国に存在する地熱資源の有効利用が活発になってきている。そうした背景の中、トルコ政府により地熱資源が豊富なトルコ西部を中心に地熱発電所の開発が進んでいる。

今回、トルコのZorlu Energy Electricity Generation Co. Inc.社に、Alasehir Geothermal Power Plant内のHotwell Pumpを2台、Binary Cooling Water Pumpを2台、それぞれ納入した。現在Zorlu社が建設中のAlasehir Geothermal Power Plantはトルコ国内の地熱発電プラントであり、Geothermal Fluidを利用しエネルギーコンバージョンを行うことで、45 MW規模の安定かつ高品質な電力供給を行うことを主目的としている。同プラントは、アナト

リア半島の西に位置するManisaに建設される（図1）。

2. 各ポンプの概要と特徴

2-1 Hotwell Pump

Hotwell pumpは、復水器から出る温水を冷却塔や還元井に送水するために用いるポンプである。冷却塔で冷却された水は再び復水器に戻される。この復水器を循環する水は、硫化水素やシリカなどを多く含む地熱復水（Geothermal steam condensate）が用いられており、温水ポンプの設計においては、材質選定に十分留意する必要がある。

またHotwell pumpは、吸込側が復水器となることから、有効吸込ヘッド（NPSHav.）が厳しい条件となる。このため、吸込条件が有利となる立軸両吸込渦巻ポンプを採用している。

(1) ポンプ仕様および構造

Hotwell pumpの仕様を表1に、ポンプ構造を図2に



図1 Manisaの位置

Fig. 1 Location of Manisa

表1 ポンプ仕様

Table 1 Specifications of pump

用途	Hotwell Pump
形式	バレル形立軸両吸込渦巻ポンプ
吸込・吐出口径	44×28 inch
全揚程	32.2 m
吐出量	4 290 m ³ /h
出力	500 kW
NPSHav.	3.5 m
液質	Geothermal steam condensate

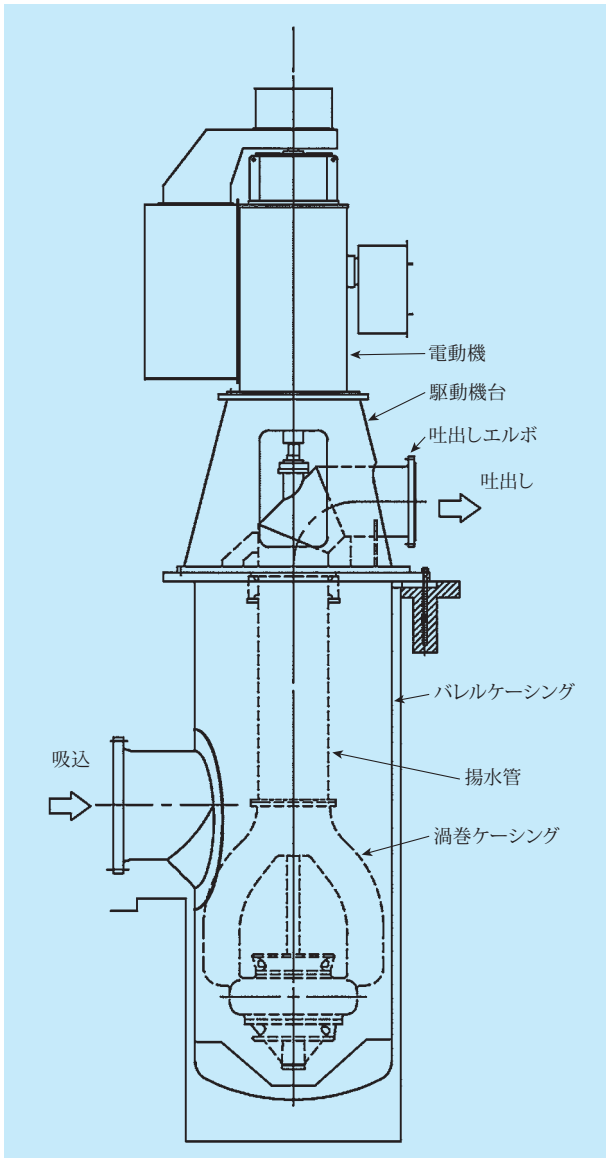


図2 Hotwell pump 構造図
Fig.2 Configuration of Hotwell pump

示す。また、ポンプの外観を図3に示す。

本ポンプは電動機直結駆動の一床式バレル形立軸両吸込渦巻ポンプであり、スラスト荷重はモータで支持している。軸封部には、二ツ割のメカニカルシールを採用し、電動機を取り外すことなく、メカニカルシールの交換ができるようにしている。また本メカニカルシールは無注水型であるが、自他圧切替式注水型のSeal Plan(API682: PLAN12+32)を採用することにより復水器系統全体の真空保持を確保している。ポンプ水中軸受は、ポンプが常時没水状態であることから、合成ゴム軸受を採用している。バレルケーシングはバレル径を極力小さくしつつ、整流リブを設けてポンプ吸込部への流れ込み状態や損失への影響を考慮している。



図3 Hotwell pump 外観
Fig.3 View of Hotwell pump

(2) ポンプ材質

本ポンプの取扱流体は、腐食性の高い硫化水素などを含む地熱復水であることから、耐食性を考慮した材質となっている。接液部となる吐出しエルボ、揚水管、バレルケーシングなどの溶接構造品および主軸についてはステンレス鋼：SUS316Lとし、インペラ、渦巻ケーシングなどはステンレス鋳鋼品：SCS16Aを採用した。

非接液部となる駆動機台については、経済性を考慮して炭素鋼：SS400としている。なお、これらの材質の組み合わせは、今回と同様の地熱プラントにおいて十分に実績があるものとなっている。

2-2 Binary Cooling Water Pump

Binary cooling water pumpは、復水器から出る温水を、プラント内のさまざまな冷却水用として送水するポンプであり、取扱流体はHotwell pumpと同じ地熱復水である。

ポンプの型式は、立軸斜流ポンプを採用している。

(1) ポンプ仕様および構造

Binary cooling water pumpの仕様を表2に、ポンプ構

表2 ポンプ仕様
Table 2 Specifications of pump

用途	Binary cooling water pump
形式	立軸斜流ポンプ
吐出し口径	32 inch
全揚程	30.1 m
吐出し量	5 710 m ³ /h
出力	610 kW
NPSHav.	13.7 m
液質	Geothermal steam condensate

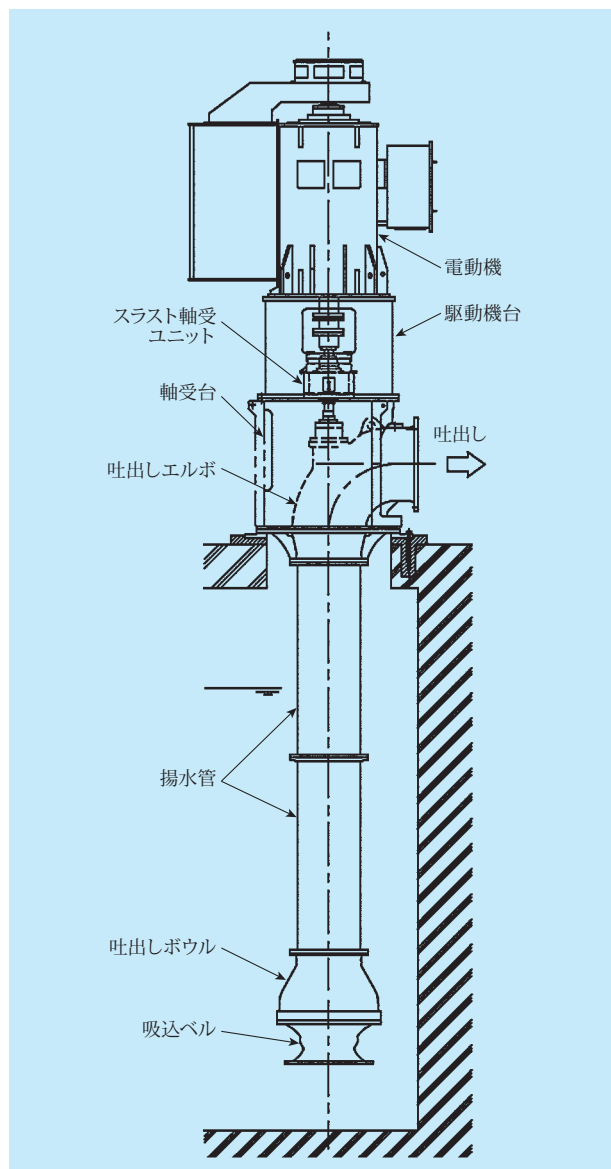


図4 Binary cooling water pump構造図

Fig.4 Configuration of Binary cooling water pump

造を図4に示す。

本ポンプは電動機直結駆動の一床式立軸斜流ポンプであり、スラスト荷重はポンプのスラスト軸受ユニットで

支持している。軸封部は二ツ割のメカニカルシールを採用し、スラスト軸受ユニットの分解を行わずにメカニカルシールの交換ができるようにしている。メカニカルシールは無注水型を採用しており、注水配管が不要のSeal Planを採用している (API682:PLAN13)。ポンプ水中軸受は、上部には初期無注水起動が可能なPTFEゴム軸受を採用し、常時没水となる下部には、合成ゴム軸受を採用している。軸封部同様、軸受への注水配管を無くし、設備の簡素化を図っている。

(2) ポンプ材質

本ポンプの取扱流体は、Hotwell pump同様地熱復水であることから、耐食性を考慮した材質となっている。接液部となる揚水管などの溶接構造品および主軸についてはステンレス鋼：SUS316Lとし、インペラ、吐出しボウル、吐出しエルボなどはステンレス鋳鋼品：SCS16Aを採用した。非接液部となる軸受台、駆動機台については、経済性を考慮して炭素鋼：SS400としている。

3. おわりに

再生可能エネルギーである地熱エネルギーを活用した地熱発電は、地球温暖化対策として有効であるため、地熱発電プラントの建設は今後増えてくるものと予想される。本地熱発電プラント用ポンプは、当社にとってヨーロッパ圏における初実績であり、従来のアジア、アフリカの実績に加え、今後ヨーロッパ圏地熱発電プラントにおける納入実績拡大が期待される。

当社にて納入したHotwell pumpは地熱発電プラントにおいて重要な機器であり、さらに連続運転機器でもあることから、その用途において電力の安定供給のため、設備の信頼性を確保しなくてはならない。

今後とも、顧客の期待に応え、その設備の重要性を十分に認識して、常に信頼性の高い製品を提供し、満足して頂けるよう努力していく所存である。

<筆者紹介>

江口 崇：2006年入社。主に、立軸斜流・横軸遠心ポンプの機器設計業務に従事。現在、水力機械設計部 水力機械1課 主任 博士 (工学)。

LNG受入基地向けスーパー二相ステンレス製ポンプ

秋山 祐 鈴木伸一

Super Duplex Stainless Steel Pumps for LNG receiving terminal

By Yu Akiyama and Shinichi Suzuki

We supplied 2 sets of vertically suspended mixed flow pump i.e. API Standard 610 type VS1 for an expansion project of Map Ta Phut LNG receiving terminal, which is known as the first LNG receiving terminal in Thailand. The sea water vaporizer pump is key machinery for regasification of the LNG. Nowadays, in the country, the demand for natural gas is increasing. Then, the reliability of the pump comes to very important. Therefore, we adopted super duplex stainless steel for the major pump parts considering the long durability. And, we confirmed the mechanical strength necessary to resist the external force expected at site by FEM analysis.

1. はじめに

世界的な地球環境への意識向上から、炭酸ガス排出量が石炭と比較して少なく、従い、環境負荷が小さい天然ガスの需要が高まっている。特に東南アジアでは、これまで天然ガスの輸出国であった国においても高度経済成長に伴う自国内の需要の高まりから天然ガス受入基地建設が進んでいる。とりわけ、タイでは国内の天然ガス生産がピークに達しつつある中で、天然ガスの70%が発電に使用されており、需要の増加に対応が必要となっている。

こうした中、タイにおける初めてのLNG受入基地であるMap Ta Phut LNG基地(図1参照)が2011年に稼働し、16万m³のLNGタンク2基で年間500万トンの液化天然ガスを受け入れており、現在進行中の拡張設備工事により年間LNG受入量1000万トンを目指している。

今回この拡張工事に伴う増設設備としてPTTLNG株式会社殿に気化器海水ポンプを製作し、納入した。以下にその概要を紹介する。

2. ポンプ仕様および構造と特徴

本ポンプの仕様を表1に、ポンプ外観を図2に、ポンプ構造を図3に示す。今回納入するポンプは増設機であり、プラント拡張に伴う運転や既設ポンプとの並列運転を可能とするため2パターン of ポンプ仕様を満足するよう性能に配慮したポンプとなっている。

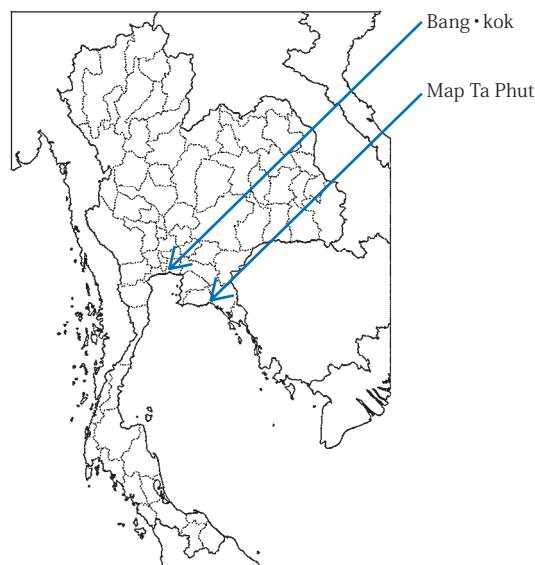


図1 Map Ta Phutの位置

Fig.1 Location of Map Ta Phut

表1 ポンプ仕様

Table 1 Specifications of pump

型 式	立軸斜流ポンプ
吐出し口径	40inch
全 揚 程	38 m (Phase1)、27 m (Phase2)
吐 出 量	7 673m ³ /min (Phase1)、10 300 m ³ /min (Phase2)
回 転 速 度	600 min ⁻¹ (同期)
出 力	1 100 kW
取 扱 流 体	海水
台 数	2台



図2 気化器海水ポンプ外観
Fig.2 View of sea water vaporizer pump

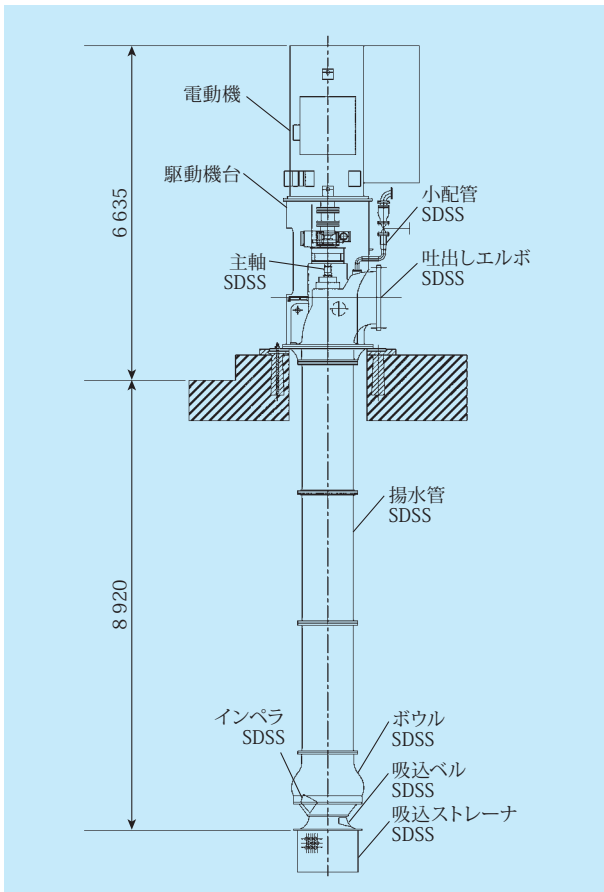


図3 ポンプ構造
Fig.3 Configuration of pump

2-1 ポンプ材質

本ポンプの主要部材質（インペラ、主軸、ケーシング）はスーパー二相ステンレス鋼（Super Duplex Stainless Steel 略してSDSSと記す）を採用している。オーステナイト組織とフェライト組織が共存した二相系ステンレス鋼の中でもPRE>40（耐孔食指数 PRE：Pitting

Resistance Equivalent $=Cr\%+3.3\times Mo\%+16\times N\%$ ）のものをSDSSと称し、オーステナイト系ステンレス鋼に比べ耐応力腐食割れ、耐孔食性、耐すきま腐食性に優れた特徴を持っているため、海水などの高腐食環境にさらされるポンプに対して長寿命化を計ることができる。またオーステナイト系ステンレス鋼に比べ約2倍の高強度を有しているため、ポンプの軽量化を計ることができる。さらにフェライト系ステンレス鋼に比べ溶接性に優れているため耐応力腐食割れ性を維持しつつ、溶接構造に適用できるなどの特徴を有している。

2-2 主要部品の強度評価

ポンプの高信頼性を確保するため、FEM解析を利用し、実環境に対して十分な強度を有する構造となるよう設計している。例えば、ポンプ・電動機自身の質量やポンプ運転により定常的に作用するスラスト荷重などに加え、過渡的な地震荷重や電動機短絡時の発生荷重などを負荷させ、ポンプ各部に掛かる応力が材料強度に対して十分余裕があることを確認した。また、ポンプの運転時に発生する吐出反力や配管側からの外力が吐出しエルボに作用した場合の応力や変形量を評価し、運用上問題のないことを確認した（図4、図5）。

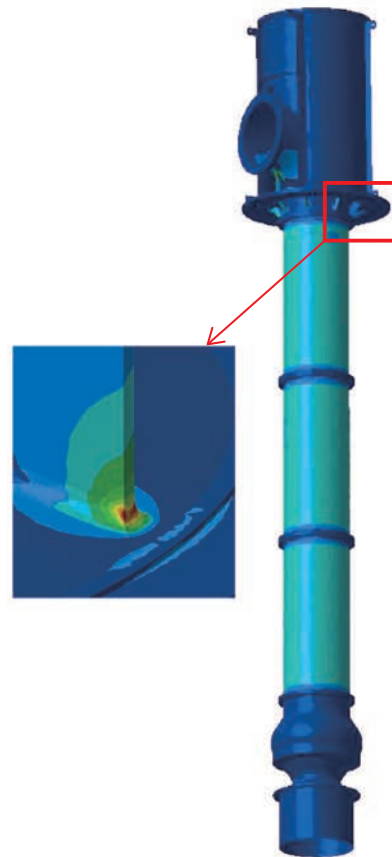


図4 FEM解析図（地震加速度など）
Fig.4 FEM analysis (Seismic acceleration etc.)



図5 FEM解析図（ノズルロード）

Fig. 5 FEM analysis (Nozzle load on the discharge elbow)

3. おわりに

環境負荷が低く安定供給が期待される天然ガスの需要は、東南アジアのみならず世界的に今後ますます拡大していくことが予想される。天然ガスを経済的に利用するためには液化天然ガス設備が欠かせず、なかでも気化器

海水ポンプ設備は液化天然ガスを気化させる上で、重要な役割を担う機器の1つであり、高い信頼性が求められる。今後とも、顧客のニーズに応えるため、設備の重要性を十分に認識し、高品質・高信頼性を満たすポンプの設計・製作に努力する所存である。

おわりに、本ポンプの計画・製作にあたり終始適切な御指導と御協力を頂いたPTTLNG株式会社殿、東京ガスエンジニアリングソリューションズ株式会社殿の関係各位に心より感謝の意を表します。

<参考文献>

- (1) PTTLNG Company Limited ホームページ
(<http://www.pttlng.com/en/default.aspx#>)
(2015年5月7日アクセス)
- (2) 東京ガスエンジニアリングソリューションズ(株) ホームページ
(<http://www.tokyogas-es.co.jp>)
(2015年5月7日アクセス)
- (3) JOGMECホームページ (<http://www.jogmec.go.jp/>)
(2015年5月7日アクセス)

<筆者紹介>

秋山 祐：2009年入社。主に、立軸斜流ポンプの機器設計業務に従事。現在、水力機械設計部水力機械1課。

鈴木伸一：2004年入社。主に、海外向け、営業に従事。現在、海外部シンガポール事務所 所長。



インドネシア KRAKATAU POSCO社向け COGブロワ

中山 淳 鈴木重雄

COG Blowers for PT KRAKATAU POSCO in Indonesia

By Jun Nakayama and Shigeo Suzuki

DMW delivered 2 units of Coke Oven Gas (COG) Exhausters (Blowers) to PT KRAKATAU POSCO, Cilegon, Indonesia. These blowers are used for delivering COG from Coke furnace to its refining facility. The Blower is axially split casing, double suction, one stage, centrifugal type driven by Electric Motor through Increasing Gear.

In view of safety and reliability, some instruments for monitoring the shaft vibration and bearing temperature are installed. To ensure uniform adhesion of tar and consequent rotor balance, low speed turning device for slow rotor turning is provided. These two blowers were now commercially operated continuously by switching the operating unit.

1. はじめに

近年、東南アジアではここ数年の堅調な経済成長でインフラ用建材などの鉄鋼需要が急増している。KRAKATAU POSCO社は、2010年に韓国鉄鋼大手POSCOとインドネシア国営鉄鋼大手KRAKATAU STEELの共同出資で、東南アジア初の一貫製鉄所建設と運営に向けた合弁会社として設立された。製鉄所は、インドネシアジャワ島西端のBanten州Cilegonに位置し、粗鋼生産量は年間300万トンとして、2013年12月に稼動を開始した。

今回、POSCO E&C殿経由でコークスプラント（図1）用コークス炉ガス（Coke Oven Gas、以下COG）ブロワ

を2台製作、納入したので以下に紹介する。

なお、納入先であるインドネシアのCilegonの位置を図2に示す。

2. コークス炉ガス（COG）ブロワ

製鉄においては、高炉の燃焼にコークスが用いられ、本製鉄所では石炭からコークスを乾留生成するコークス炉を併設している。コークス生成過程で発生するCOGは、水素やメタンなどの有効成分を含んでいることから、いくつかの精製工程を経て発電エネルギーや製鉄所内のエネルギーとして有効利用される。



図1 コークスプラント概観
Fig.1 View of coke plant



図2 納入先
Fig.2 Site location

この設備の中で、COGブロワは、炉内でコークスを焼いて発生させたガスを誘引し、COG精製設備へ圧送するものである。

2-1 ブロワの仕様

ブロワの仕様を表1に示す。

表1 ブロワ仕様
Table 1 Blower specifications

形式	鋳鉄製両吸込単段ターボブロワ
吸込/吐出し口径	1 200/1 000 mm
風量	2 140 m ³ /min
昇圧	22.5 kPa
取扱気体	コークス炉ガス
回転速度	約7 000 min ⁻¹
電動機出力	1 200 kW

3. ブロワの構造と特徴

ブロワの外観を図3、構成を図4に示す。本ブロワは両吸込単段ターボブロワとしては当社最大クラスであり、コークスプラントブロワ棟の2階に設置されている。



図3 ブロワ外観
Fig.3 View of blower

3-1 ブロワ

本ブロワにはブロワ電動機間に設置した増速機により電動機回転速度を増速する構成となっている。また、ブロワ軸受および増速機に給油するための強制給油装置、ブロワを低速回転させるためのターニング装置が付属している。

耐食性を考慮したステンレス合金製オープンインペラ、鋳鉄製でメンテナンス性を考慮して上下二分割構造ケーシングを採用している。軸受は、ティルティングパッド方式のジャーナル軸受を使用している。

また、ブロワの取扱気体が可燃性のため外気の侵入や有毒なCOGのリークアウトを防止する必要がある。そのため、軸封部には水封ラビリンスと停止時のリークアウト防止用のメカニカルシールを採用している。

3-2 強制給油装置

ブロワ軸受、増速機およびターニングクラッチの潤滑用に、強制給油装置を付属している。強制給油装置はブロワ棟の1階に設置され、2階に設置されているブロワへ潤滑油を供給している。強制給油装置の現地据付状態を図5に示す。

3-3 ターニング装置

ブロワの取扱気体であるCOGには付着性のあるタールが含まれている。ブロワ停止時には、タールの不均一な付着による回転体アンバランスを防ぐため、ターニング(低速回転)装置が必要となる。今回納入したターニング装置を図6に示す。

ターニング装置は、主電動機側とは反対側に設置されている。ブロワ停止時には、ターニングギヤ、ターニングクラッチを介してターニングモータで駆動される。

3-4 ブロワ監視装置

本ブロワには、軸振動計、軸移動計および軸受温度測定用測温抵抗体を付属している。今回付属している監視

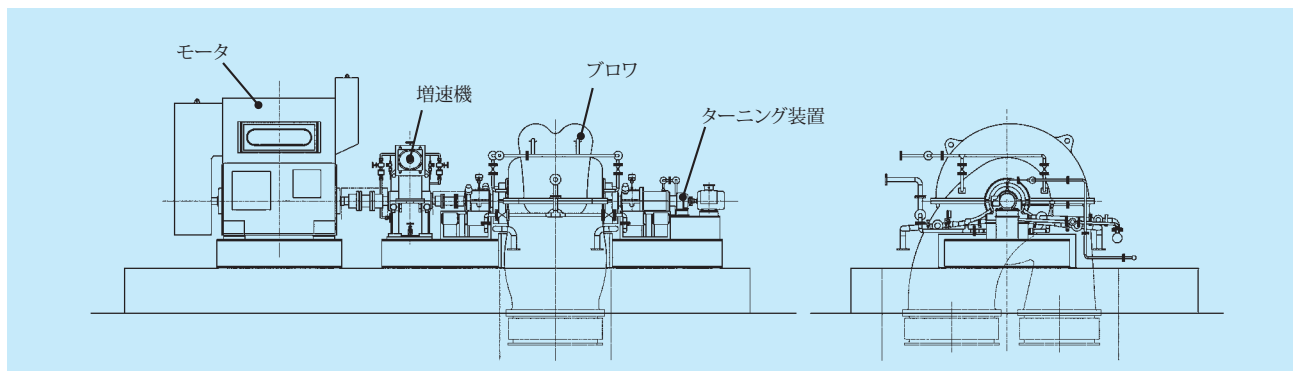


図4 ブロワの構成
Fig.4 Constitution of blower



図5 強制給油装置外観
Fig.5 View of lube oil system

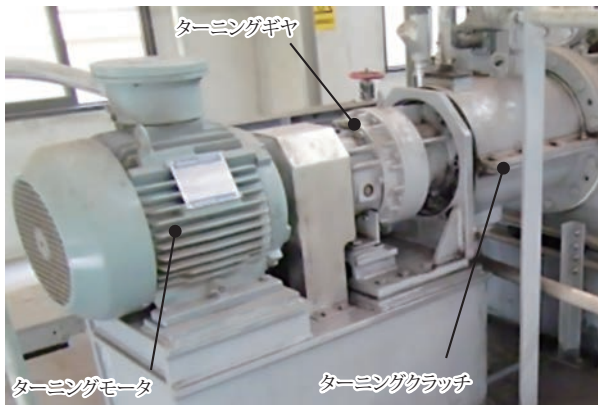


図6 ターニング装置
Fig.6 Turning device

装置を図7に示す。

運転中の軸振動を測定し評価することは予防保全の面から設備の信頼性を高める上で有効である。今回は、運

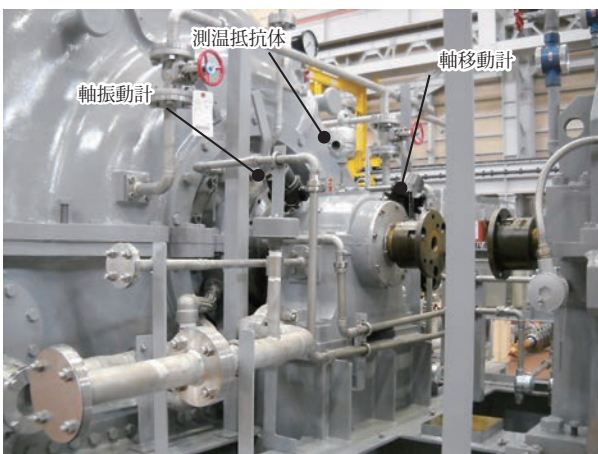


図7 ブロワ監視計器
Fig.7 Blower monitoring instruments

転中の軸振動および軸受温度を常時監視して傾向管理し、事故や故障の発生を未然に防止する。異常傾向となった場合には、アラーム／トリップ信号を発信し、ブロワを保護するための監視装置を取り付けている。

4. 社内試運転

社内試運転は、現地での運転をできるだけ再現するため、計測機器や小配管などの付属品を設置した状態で実施した。社内試運転の状況を図8に示す。

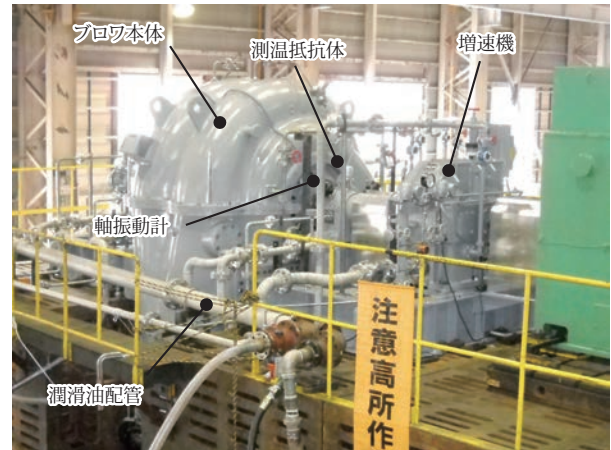


図8 社内試運転
Fig.8 Shop test

工場では空気による運転となり、実際の取扱ガスの密度とは異なる条件となる。そのため、密度の違いを考慮し、性能換算による現地性能予測を行って工場試験状況の妥当性を確認した。ブロワの性能ならびにブロワ各部における振動や軸受温度などの機械的な健全性の評価を行い、いずれも顧客の仕様を充分満足する結果が得られた。

5. 現地試運転

現地の据付・組立および試運転はすべてPOSCO E&C殿の所掌のもとで行われ、当社は据付、組立および検査の技術指導員を派遣した。

各種検査および試運転を実施し、ブロワの据付・組立をはじめ補機（強制給油装置、ターニング装置など）の調整および各種計装設備について適正な施工、調整が行われていることを確認した。現地の据付状態を図9、ブロワが設置されているコークスプラントブロワ棟を図10に示す。

現在は商用運転状態に入り、異常なく運転が継続されている。



図9 ブロワ現地据付状態
Fig.9 View of blower at site



図10 コークスプラントブロワ棟
Fig.10 Coke plant blower building

6. おわりに

今回、KRAKATAU POSCO社の一貫製鉄所建設にあたり、COGブロワを納入させて頂いた。納入したブロワはコークスプラントにおいて非常に重要な機器であり、さらに連続運転機器として、高い信頼性を確保しなくてはならない。現地据付完了後の試運転を無事に終え、商用運転まで至ることができた。

今後も、顧客の期待に応え、その設備の重要性を十分に認識して、常に信頼性の高い製品を提供し、満足して頂けるよう努力していく所存である。

おわりに、本ブロワの計画・製作にあたり適切なご指導、ご助言を頂いたPOSCO E&C殿、ブロワ設置および本誌作成にあたりご協力を頂いたPT KRAKATAU POSCO殿ならびに関係各位に厚く御礼申し上げます。

<筆者紹介>

中山 淳：1997年入社。主に、ブロワの設計業務に従事。現在、
気体機械設計部 ブロワ設計課 担当課長

鈴木重雄：1979年入社。主に、海外向け営業に従事。現在、海
外部 貿易2課 参事補

ここで活躍しています — 2014年 製品紹介 —

1. ポンプ

1-1 北海道開発局 帯広開発建設部 川合排水機場

(1) 概要

川合排水機場は、一級河川利別川に強制排水を行うものであり、建設後30年以上が経過し老朽化と排水能力の低下に伴い、機場および設備の更新を行った(図1)。

(2) 特徴

ポンプには無注水軸封装置が採用され、主エンジンおよび自家発電機にはラジエータ冷却方式が採用されており、真空ポンプ以外は無水化が実施されている。なお、主ポンプ駆動の電源は、2台の自家発電機(常用一予備)により供給される。

また、商用電力(単相電力)の受電容量を発電機負荷と分割し、契約電力の受電容量を低減する提案を実施し、維持管理費節減に貢献している。

(3) 仕様

口径1 000 mm横軸斜流ポンプ×2台123 m³/min×3.8 m×120 kW(ディーゼル機関駆動)



図1 口径1 000 mm横軸斜流ポンプ

1-2 日本下水道事業団

北名古屋市久地野ポンプ場

(1) 概要

久地野ポンプ場は北名古屋市久地野、二子および高田

寺地区に降った雨水を一級河川新川に強制排水し、浸水被害の軽減を目的として2010年に口径1 200 mmおよび口径800 mmの排水ポンプが各1台設置された。今回、新たにNo.3雨水ポンプとして口径1 200 mmのポンプ設備を増設した(図2)。

(2) 特徴

ポンプ形式は、減速機搭載型立軸斜流ポンプであり、減速機の潤滑油を自己冷却している。軸受にはセラミックス軸受、軸封部にはメカニカルシールを採用し、無水化を図っている。さらに、ディーゼル機関始動用の圧縮空気は、新たに設置した除湿器を介して供給されるので空気槽の腐食抑制に寄与している。

(3) 仕様

口径1 200 mm減速機搭載型立軸斜流ポンプ(ラムダ21)×1台

183.6 m³/min×6.2 m×269 kW(ディーゼル機関駆動)



図2 口径1 200mm減速機搭載型エルボ(ラムダ21)

1-3 静岡県東部農林事務所

新毘沙門排水機場

(1) 概要

毘沙門排水機場は、1981年に口径1 500 mm横軸斜流ポンプ(電動機駆動)が3台設置された。今回、排水能力を増強するために既設機場の隣に新毘沙門排水機場と

して口径1 650mmのポンプ設備を増設した(図3)。

(2) 特徴

ポンプの軸封部には無注水型メカニカルシール、水中軸受にはセラミックス軸受を採用し、無注水化を図っている。

ディーゼル機関と減速機の冷却水には水道水を使用し、クーリングタワーで冷却循環している。

(3) 仕様

口径1 650 mm立軸斜流ポンプ×1台

396 m³/min×5 m×480 kW (ディーゼル機関駆動)



図3 ポンプ室外観

1-4 栃木県下水道管理事務所
巴波川浄化センター

(1) 概要

巴波川浄化センターは、巴波川流域下水道事業として1982年に供用開始された設備である。

本工事は、建設後30年以上が経過し老朽化した設備の健全性の回復を目的とし、汚水ポンプ設備の更新を行ったものである(図4)。

(2) 特徴

ポンプの軸封部には無注水軸封装置が採用されている。

ポンプ駆動機は、高効率低圧三相かご形誘導電動機を採用し、インバータによる速度制御を行っている。このことにより、設備の効率向上ならびに操作性の向上を図っている。

(3) 仕様

口径350 mm三床式立軸渦巻斜流ポンプ×2台

15 m³/min×9 m×37 kW (電動機駆動)



図4 口径350 mm立軸渦巻斜流ポンプ

1-5 山口県柳井土木建築事務所 曾根排水機場

(1) 概要

曾根排水機場は、山口県熊毛郡平生町曾根地区に設置された排水機場であり、建設後35年以上が経過している。今回、老朽化に伴い1号雨水ポンプ、補機類および監視装置の更新を行った(図5)。

(2) 特徴

更新に当たり、機場の無水化を図るため、雨水ポンプの軸封部には無注水軸封装置が採用され、駆動機は空冷式ディーゼル機関が採用されている。また、横軸ポンプ設備に必要な真空ポンプも、乾式としているため、完全な無水化が実施されている。

(3) 仕様

口径 1 500 mm横軸斜流ポンプ×1台

仕様 300 m³/min×3.5 m×230 kW (ディーゼル機関駆動)



図5 口径1 500 mm横軸斜流ポンプ

1-6 九州農政局 河地揚水機場

(1) 概要

河地揚水機場は、徳之島三町にまたがる畑地3 451 haを対象に安定した農業用水供給を目的とし、島内最大の流域を持つ秋利神川に水を貯めるための徳之島ダムを造り、基幹的な整備の一環として新規に設置された(図6)。

(2) 特徴

ポンプ室は地下1階に位置し、吸込弁を開くと満水状態になる押し込み方式を採用しているため、真空ポンプ設備が不要である。

(3) 仕様

口径200 mm両吸込渦巻ポンプ×2台
4.47 m³/s×73 m×90 kW (電動機駆動)



図6 口径200 mm両吸込渦巻ポンプ

1-7 日本下水道事業団 いの町相生雨水ポンプ場

(1) 概要

本ポンプ場は、高知県のいの町中心部に降った雨水を一級河川の仁淀川に強制排水するもので、1967年に供用開始した。

今回、ポンプ設備の老朽化に伴い、雨水ポンプ2台を更新した(図7)。

(2) 特徴

既設設備ではディーゼル機関と減速機の間クラッチがなかったが、今回は遠心クラッチを設けたため、ディーゼル機関単独の管理運転が可能となった。また、床コンクリートに埋設されていた小配管を地上に配置し、維持管理性を向上させている。

(3) 仕様

口径1 000 mm横軸斜流ポンプ×2台
12 m³/min×6.2 m×170 kW (ディーゼル機関駆動)



図7 口径1 000 mm横軸斜流ポンプ

1-8 大阪市建設局 平野市町抽水所

(1) 概要

平野市町抽水所は、大阪市東南部を集水区域とする雨水排水機場である。

今回、1972年に設置されたNo.15雨水ポンプの老朽化に伴い、当該設備の排水能力を増強し、No.8雨水ポンプとして更新した。

(2) 特徴

本ポンプは、急激な雨水の流入に対応するために全速先行待機形を採用し、あらゆる水位でもポンプ起動を行うことが可能である。また、設計時には、ポンプに有害な吸込渦流の発生に対する流れ解析と模型水槽試験を実施し、最適な形状の渦流防止壁を吸込水槽に設置した(図8)。

(3) 仕様

口径1 800 mm全速先行待機形立軸斜流ポンプ×1台
431 m³/min×8.2 m×830 kW (ディーゼル機関駆動)



図8 渦流防止壁

1-9 インド BPCL Mahul Refinery向け Sea Cooling Water Recirculation Pump

(1) 概要

インドEIL社経由Bharat Petroleum Corporation Limited 向けSea Cooling Water Recirculation Pump 4 台を受注し、納入した。当該製油所はムンバイにあるDMW India のオフィスより西に約20 km、Chemburという地区にあり、冷却塔にて冷やされた冷却水を製油所内に300 m～1 kmにかけて送るために使用されるポンプである。

2014年11月に据付けられ、現在稼働待ちの状態である(図9)。

(2) 特徴

通常の海水よりも塩分濃度が濃く比重が高いため、ポンプ材料はスーパー2相ステンレス材を採用した。EILより、当社が過去インドのオイル&ガス市場に納入した立軸海水ポンプの実績が強く評価され、今回の受注に至った。

(3) 仕様

Sea Cooling Water Recirculation Pump

口径26インチ立軸斜流ポンプ×4台

4 000 m³/h×63 m×1 150 kW×750 min⁻¹



図9 Sea cooling water recirculation pump

1-10 S-OIL敷地内発電所向け Circulating Water Pump

(1) 概要

韓国の製油会社S-OILの石油精製工場において、排熱を利用した発電設備を新たに増設するプロジェクトで、エンジニアリングは韓国国内の、第一毛織(旧サムスンエバーランド)が施工し、同社よりCirculating Water Pumpを受注し、当社として初めての取引となった(図10)。

S-OIL工場内に設置されるが、実際の運用および管理

はすべて、KD Powertechという本プロジェクトのために設立された運営会社により行われる。

(2) 特徴

本ポンプは軸封部に回転型メカニカルシールを採用した立軸斜流ポンプで、液質が海水のため、インペラ、シャフト、ケーシングに二相ステンレスを採用し、耐腐食性を向上させている。

(3) 仕様

口径42インチ 立軸斜流ポンプ×2台

12 428 m³/h×42.1 m×1 900 kW×600 min⁻¹(電動機駆動)



図10 Circulating water pump

1-11 富士電機(株) カモジャン地熱発電所向け Hotwell Pump

(1) 概要

インドネシア国営石油ガス会社PT. Pertaminaの地熱発電部門の子会社であるPT. Pertamina Geothermal Energy社カモジャン地熱発電所5号機向けにHotwell Pump 2台を納入した。

世界最大の地熱エネルギー国であるインドネシアでは、その電源開発プロジェクトとして国を挙げて計画を進めている。今回、西ジャワ州において地熱発電所を増設することでジャワ・バリ系統での電力需給逼迫の緩和および供給の安定性を改善することになる。

(2) 特徴

地熱発電所という特有の環境のため、取扱流体は腐食

性の高い地熱水となるので接液部においては本体はもちろんのこと、ボルト・ナット・ネジ・ビス類までも耐食性に優れた部材を選定した。

(3) 仕様

Hotwell pump (図11)

52×28インチ立軸斜流ポンプ×2台

4 600 m³/h×26 m×420 kW×600 min⁻¹



図11 Hotwell pump

(3) 仕様

ポンプ：口径350×200 mm横軸片吸込多段渦巻ポンプ×2台

15 m³/min×142 m×520 kW

バルブ：200 mmロート弁 (ACサーボ駆動)



図12 揚水場外観

1-12 JNC(株) 水俣製造所 下中村揚水場向け
揚水ポンプ設備

(1) 概要

本設備は内谷第一発電設備（水力発電所）の内、熊本県五木村の五木小川より取水し、最上流にある発電所用水路に揚水する設備で、本揚水場からさらに下流側にある発電所に圧力水を供給することを目的としている（図12）。

(2) 特徴

九州山地の南西に位置し、冬場は気温が低いため水撃防止用の油圧ダッシュポッド付スイングチェック弁の油圧動作が不安定になり、水撃現象が発生することがあった。

その対策として当社ロート弁を採用し、一年中気温の影響に関係ない水撃防止対策を図った。あわせて、電動機を巻線型からかご型（リアクトル起動）に変更し、ポンプ本体も水平二割構造を採用することでメンテナンス性を向上させた。

本揚水設備は、歴史のある建屋および設備であり、機器を設計する上で建屋躯体や既設配管などの改造を極力抑えるよう考慮した（図13）。



図13 ロート弁、横軸片吸込多段渦巻ポンプ

1-13 ミャンマー バルーチャン
第2水力発電所向け
Main Cooling Water Supply Pump

(1) 概要

本機場は、ミャンマーカレンニー州を流れるバルーチャン川に建設された、総出力168 MW（28 MW×6基）の、同国最大規模の水力発電所であり、1960年に建設、その後の設備の老朽化に伴う改修工事の一環として、2003年にMain Cooling Water Supply Pumpを10台、2014年に同ポンプを2台追加納入した（図14）。



(2) 特徴

本ポンプは、両吸込型の自吸式渦巻ポンプ（ホキレス）であり、従来の小口径自吸式片吸込み渦巻ポンプの運用範囲を超える自吸式ポンプとして本機器を採用頂くことにより、吸上げ方式の横軸両吸込渦巻ポンプでは、始動時に必要不可欠となる真空ポンプなどの関連補機が不要となる。

(3) 仕様

口径250 mm×200 mm横軸自吸式両吸込渦巻ポンプ×12台

6.8 m³/min×25 m×55 kW×1 500 min⁻¹

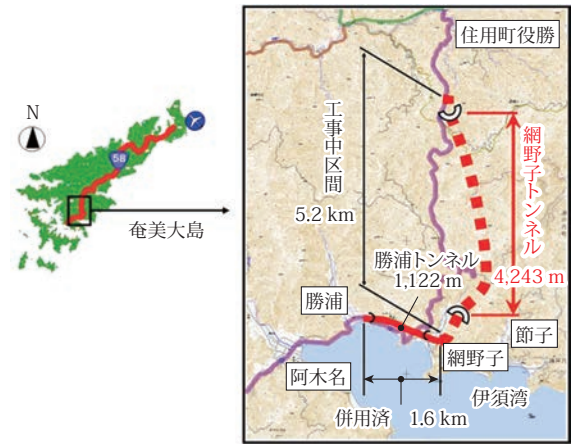


図15 網野子トンネル位置図



図14 ポンプ外観

2. 送風機

2-1 鹿児島県土木部 網野子トンネル換気設備

(1) 概要

鹿児島県奄美市と瀬戸内町を結ぶ国道58号に開通した網野子トンネル（4 243 m）は、1日に車両約2 700台が通行する網野子峠のバイパスとして整備された（図15）。今回ここに、口径1 030 mmのジェットファン設備を設置した。

(2) 特徴

本ジェットファンは、通常のトンネル換気用としての利用のほか、初夏から晩夏にかけて発生する濃霧によるトンネル内の視界不良を解消するためのプログラム制御による運転機能を有している。

(3) 仕様

口径1 030 mm高風速型ジェットファン×5台

29 m³/s×33 kW

2-2 東京都下水道局

三河島水再生センター浅草系送風機設備

(1) 概要

三河島水再生センターは、1922年に稼動した日本で最初の近代的な下水処理施設である。処理区域は荒川・台東区の全部、文京・豊島区の大部分、千代田・新宿・北区の一部で、処理した水は隅田川に放流している。

今回、浅草系送風機設備が老朽化したため、第二浅草系ポンプ室内にこれを再構築し、鋳鉄製多段ターボブロワを設置した（図16）。

(2) 特徴

本設備では省エネルギー対策として、送風機の全断熱効率を発注仕様（81%）以上としたこと、送風機潤滑油の冷却方式を空冷式オイルクーラとしたこと、逆止弁は従来形に比べて圧力損失を低減した低圧力損失形を採用したことが最大の特徴である。さらに、環境対策として



図16 口径550 / 500 mm鋳鉄製多段ターボブロワ



は、送風機の吐出圧力を利用してオイルミストを吸引する動力不要のミストセパレータシステムを採用した。

(3) 仕様

口径550 / 500 mm 鋳鉄製多段ターボブロワ × 4台
420 m³/min × 52.2 kPa × 470 kW

2-3 東洋エンジニアリング(株)殿

PUSRI II B PROJECT

(1) 概要

インドネシア国営肥料会社向け肥料プラント用送風機を東洋エンジニアリング株式会社殿経由にて納入した。プラント概要はアンモニア/尿素/ユーティリティ設備を新設する肥料プラントである。

(2) 特徴

用途は造粒塔に設置される軸流式の誘引ファンである(図17)。取扱気体が尿素ミストを含む空気のため、腐食対策としてケーシングをステンレス、インペラをステンレスとアルミニウムで設計製作した。

(3) 仕様

口径2 000 mm FVAP-DNM-VNO
3 390 m³/min × 55 kW × 750 min⁻¹



図17 口径2 000 mm立型軸流ファン

日本産業機械工業会送風機技術者連盟より 優秀製品表彰を受ける —大容量両吸込ブロー—

1. はじめに

このたび、一般社団法人日本産業機械工業会の会誌「産業機械」9月号特集「風水力機械②」に投稿した大容量両吸込ブローが送風機技術者連盟より平成26年度の優秀製品として表彰された。その投稿記事⁽¹⁾について紹介する。

近年、送風機の大型化、省エネ化の要求が高まっている。当社では、市場要求に対応した両吸込ブローを製鉄所、製錬所に納入している。その事例を紹介する。

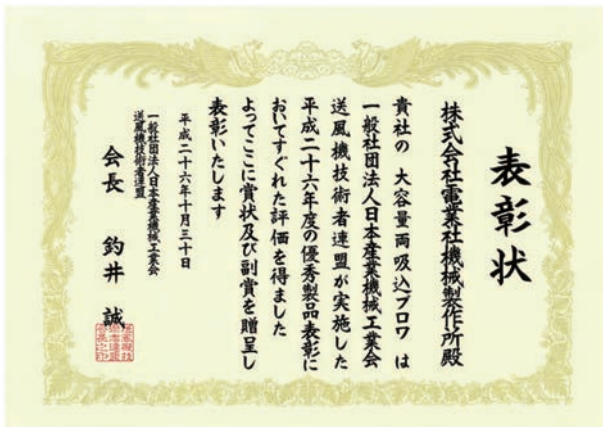


図1 表彰状

2. 特徴

(1) インペラ設計

スプリッタ翼形状の3次元インペラを採用することにより、従来の2次元インペラ形状に比べて、大容量化、高効率化を図っている。図2にインペラのCFD解析結果例を示す。インペラ内の流れは、翼に沿って流れていることが確認できる。また、子午面形状の最適化によりサージマージンも改善され、広い流量範囲で高効率を確保している。

性能面の高効率化のみならず、高周速羽根車のため強度面においても、FEM解析による強度および固有値解析を行い、強度評価することにより信頼性を確保している。

(2) ブロー構造設計

構造としては、下記の特徴を有している。

- ① インペラは、構造面や品質安定化のため両吸込一体削り出し構造を採用した。
- ② 軸シールは、ラビリンス構造のグリースシールを採用した。
- ③ 軸受は、高速回転時に生じるオイルウィップやオイルホワールなどの振動対策として、ティルティン

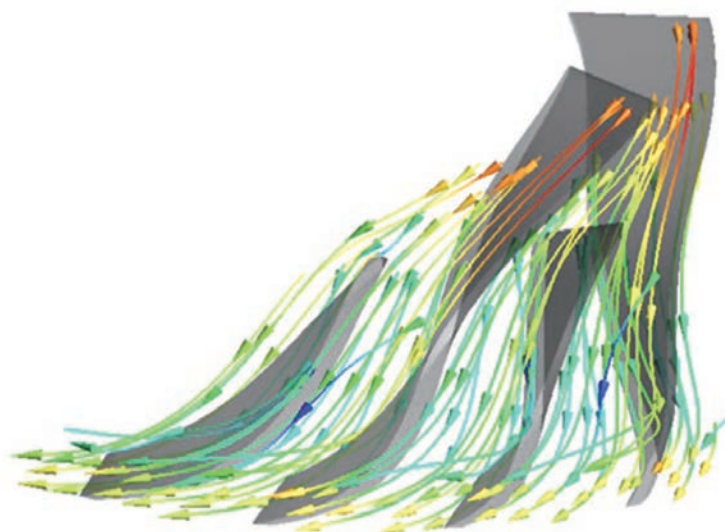


図2 CFD解析例 (設計風量)



グパッド軸受を採用した。

- ④ 運転制御として、インバータによるVSD制御を行う。それに対応するため、軸の曲げ振動解析、ねじり振動解析による危険速度計算を実施し、危険速度領域に運転点がないことを確認している。

3. 実績紹介

国内非鉄製錬プラント向けのSO₂ブロワとして既設ブロワの更新において、当社の両吸込ブロワの高効率化による省エネ効果が評価され採用された。当社従来比7%の効率改善を達成し、運転時消費電力の大幅な削減を実現したことにより、経済産業省が設備投資促進のために実施している「生産性向上設備投資促進税制」の対象設

備として認定されている。表1にブロワ仕様、図3にブロワ外観を示す。現在、本ブロワは、現地の据付、試運転が完了し、連続稼働されている。

4. おわりに

今回紹介した大容量両吸込ブロワは、プラント稼働においてなくてはならない重要な機器であり、今後もより一層の信頼性向上に努め、顧客満足が得られる製品を提供できるように努力していく所存である。

<参考文献>

- (1) 大場 慎：大容量両吸込ブロワ、産業機械No.768 (2014)

(文責：大場 慎)

表1 ブロワ仕様

ブロワ名称	型式	風量	昇圧	取扱気体	電動機出力	台数
SO ₂ ブロワ	口径 1 200×1 000 mm 両吸込ブロワ	1 676 m ³ /min	44.13 kPa	SO ₂ ガス	1 800 kW	1



図3 ブロワ外観



高松市上下水道局殿 福岡ポンプ場ポンプ設備受注

高松市上下水道局殿より福岡ポンプ場ポンプ設備（表1）を受注した。

高松市は、北は多島美を誇る海の国立公園、瀬戸内海に面し、南は讃岐山脈を臨む、風光明媚で温暖な香川県（うどん県）の県庁所在地である。緑豊かで都会的センスを併せ持ち、文化の風かおり、ひかりかがやく瀬戸の都である高松市、その中心部北東の福岡町三丁目に福岡ポンプ場は位置する。

福岡ポンプ場は、1933年から高松市下水道整備が開始されていたが、近年の都市化の進展が著しく、地表面に水が浸透しない土地利用になったことの対策、ならび

に、2004年10月の台風23号の未曾有の災害の降雨対策として、既存設備を拡大した、浸水対策のポンプ場として建設される。

受注概要は、高松市中心部の雨水を、中部バイパス幹線で集め、詰田川に速やかに排水するポンプ設備の設計・製作・据付工事である。

ポンプの型式は、先行待機形立軸斜流ポンプを採用しており、都市型洪水に見られる急激な水位上昇に対応可能なポンプである。現在、鋭意設計・製作を進めている。

（文責：奥川高広）



図1 ポンプ場外観



図2 ポンプ場位置

表1 設備仕様

ポンプ名称	型式	流量	全揚程	設置方式	台数
No.1、2 雨水ポンプ	口径1 500 mm先行待機形立軸斜流ポンプ	314 m ³ /min	9.8 m	2床式	2
原動機名称	型式	定格回転速度	起動方式	定格出力	台数
No.1、2 原動機	ディーゼル機関	1 000min ⁻¹	圧縮空気	695 kW	2
減速機名称	型式	減速比	潤滑方式	ポンプ水力	台数
No.1、2 減速機	直交軸傘歯車減速機、油圧クラッチ内蔵	約3.57	強制	ポンプ受	2

Malaysia TNB Fast Track 3A Project 向け FGD Absorber Spray Pump 3台 および FGD Aeration Blower 3台受注

このたび、三菱日立パワーシステムズ株式会社殿 (MHPS) より、Malaysia TNB Fast Track 3A projectにFGD Absorber spray Pump 3台、FGD aeration blower 3台を受注した。本機器はMalaysia Manjungに建設される1×1 000 MWの石炭火力発電所における脱硫装置 (Flue Gas Desulphurization) 用として使用され、これまでも当社はMHPS殿より、国内外において海水取水用斜流ポンプなど多数の受注実績がある。本案件については、計画当初より積極的な技術協力を長期にわたり展開し、かつMHPS殿の御指導のもと、適切な機器選定など計画の一

端に関わらせて頂いた結果、その功績およびこれまでの実績における信頼を高く評価頂き、受注に至ったものである。

排煙脱硫装置は環境問題に対する取り組みとして今や海外の石炭火力発電所に存在する設備であり、その中で海水脱硫装置は簡素かつ低コストで設置できることから、東南アジアを中心に市場の拡大が見込まれる設備であり、同種の機器の受注に向けて鋭意活動をしていく所存である。

(文責：土肥敦郎)

表1 ポンプ仕様

ポンプ名称	型 式	流 量	全揚程	取扱流体	電動機出力	台数
FGD Absorber Spray Pump	50inchVPFO-M	16 700 m ³ /h	16 m	海水	970 kW	3

表2 送風機仕様

送風機名称	型 式	風 量	差 圧	取扱気体	電動機出力	台数
FGD Aeration Blower	口径1 250×1 200BIDB-CNM-SNOG	84 300 m ³ /h	47.55 kPa	空気	1 600 kW	3

Inter Aqua 2015 第6回・国際水ソリューション総合展 GWRA パビリオン内にブース出展

2015年1月28~30日の3日間、東京ビッグサイト東1ホール(図1)にて、InterAqua2015と題する第6回・国際水ソリューション総合展が開催された。当社は、GWRA(一般社団法人 海外水循環システム協議会)に所属しており、同協議会パビリオンの一角に、当社ブースを設けさせていただき出展した(図2)。逆浸透膜(RO)式海水淡水化設備用高効率・省スペースの高圧ポンプとエネルギー回収装置の組み合わせによる省エネ型海淡水装置を、パネルと動画を使いPRした。想定処理エネルギーは造水量250 m³/hで、2.0 kWh/m³程度という省エネ性能が特長である。省エネというフレーズのほかにも、コ

ンパクト、低騒音、作動が穏やかで圧力変動が小さいという点で当社製品に関心を持たれた方、また、出・入口の近くという場所的好条件も重なり、来訪者は多く、100名近くの方と名刺交換をさせていただいた。パンフレットのみをお渡しした方も含めると、300名程度の来訪者であった。ご来場いただいた方々には、厚く御礼申し上げます。また、広報として大変良い機会をご提供いただいたGWRA殿にも、厚く御礼申し上げます。

なお、今後は、装置導入の可能性を、関係各社とよく協議して調整を図り、客先ニーズにマッチし、高性能、高耐久性、環境にやさしい装置として認識され、多くのご注文をいただけるよう、努めていく所存である。

(文責：鈴木重雄)



図1 入場口受付



図2 当社ブース

東京都下水道局殿より安全管理優秀現場の表彰を受ける

ー浮間水再生センター送泥ポンプ設備改良・補修工事ー

1. はじめに

東京都下水道局殿において、2003年度より「東京都下水道局事故予防対策会議」が設置され、より一層の事故予防の取り組みが実施されている。その一つとして、安全衛生管理体制の整備と労働災害の防止について、受注者の自主的な安全対策の取り組みを推進するため、他の模範となる安全衛生に優れている現場の表彰が年1回行われている。

今回は、「浮間水再生センター送泥ポンプ設備改良・補修工事」について、安全管理優秀現場表彰を受けた。

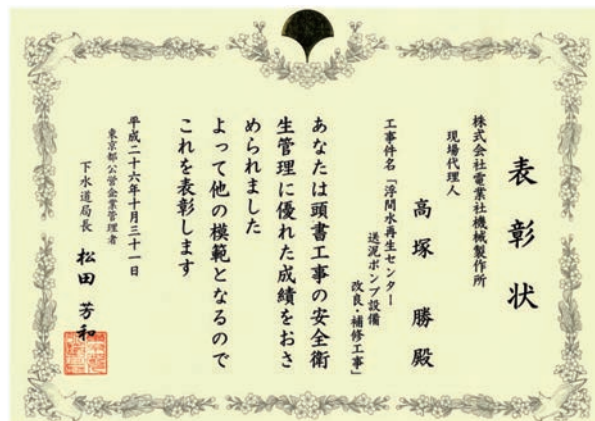


図1 表彰状

2. 表彰工事

工 期：2013年9月12日～2014年3月14日

工事内容：①送泥ポンプ2号整備工事

②送泥連絡管改良工事

工 事 名：浮間水再生センター送泥ポンプ設備改良・補修工事

3. 推薦理由

推薦された理由は、特に優れた安全衛生管理対策として、

- ① 「第3者にも分かりやすい開口部養生の実施（人感センサー付音声告知装置の設置など）」
- ② 「使用機材の安全性の見える化の実施（絶縁抵抗測定実施写真の掲示、仮設分電盤へのチェックリスト掲示）など」
- ③ 「現場に即した仮設材の選定（仮設アンカーボルトの強度計算および引き抜き試験の実施など）」の理由により今回の表彰対象となった。

4. おわりに

今回の表彰は、東京都下水道局殿のご指導、ご協力なくしては成しえないものであり、ここに改めて感謝申し



図2 表彰式状況

上げます。

また、同様に工事に携われた下請負業者や関係業者の方々の多大なるご協力なくしては成り立たないことであり、この場をお借りし厚く御礼申し上げます。

この表彰を契機に、より一層精進して行きたいと考えております。

(文責：高塚 勝)

東京都下水道局殿主催 「第35回見える！わかる！下水道工事コンクール」入賞

1. はじめに

「見える！わかる！下水道工事コンクール」は、東京都下水道局殿が起工した工事のうち、工事情報の提供、地域への配慮および作業環境の快適化で創意工夫を凝らした優れた取組を行った受注者を表彰することによって、すべての受注者の意欲的な活動を喚起するとともに、工事の円滑な遂行および都民とのパートナーシップの充実に資することを目的としている。コンクールは、年1回（前年の4月1日から表彰する年の3月31日までの間に完了または施工中の工事が対象）募集され、応募した2件の工事が入賞したので、以下に紹介する。

2. 表彰工事

2-1 入賞工事：浅川水再生センター送風機設備

2号改良補修工事

工 期：2013年8月21日～2014年2月20日

工事内容：送風機2号（口径450×400 mm 鋳鉄製多段ターボブロウ）補修工事

表 彰：水再生センター・ポンプ所部門改良・補修工事の部 流域下水道本部技術部長賞

2-2 入賞工事：新河岸水再生センター送風機設備再構築工事

工 期：2013年4月2日～2014年3月17日

工事内容：送風機（口径350×300 mm 鋼板製小型多段ターボブロウ）3台設置工事

表 彰：水再生センター・ポンプ所部門 建設工事の部第二基幹施設再構築事務所長賞

3. 入賞理由

各現場作業の特色を捉えて実施された「工事情報の提供」、「地域への配慮」、「作業環境の快適化」について評価され、今回入賞した。

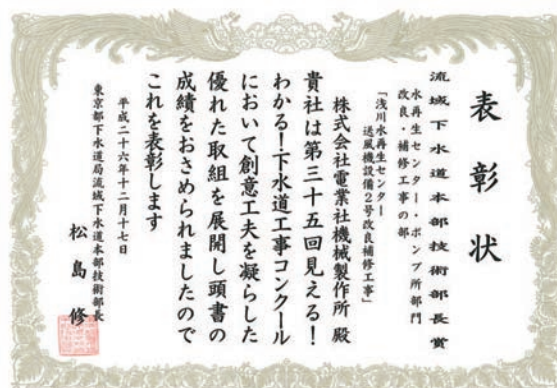


図1 水再生センター・ポンプ所部門改良・補修工事の部
流域下水道本部技術部長賞



図2 水再生センター・ポンプ所部門 建設工事の部
第二基幹施設再構築事務所長賞

4. おわりに

今回の入賞は、東京都下水道局殿のご指導、ご協力なくしては成し得ないものであり、ここに改めて感謝申し上げます。また、同様に工事に携われた下請負業者や関係業者の方々の多大なるご協力なくしては成り立たないことであり、この場をお借りし厚く御礼申し上げます。

この入賞を契機に一層精進し、東京都下水道事業に対し意欲的に参加して行きたいと考えている。

(文責：坂根 寧)

食堂・医務室・倉庫棟 完成

創立60周年記念事業の一環として三島工場北側エリアの開発を進めてまいりました。このたび「食堂・医務室・倉庫棟」が完成し、5月11日より運用を開始しました。

食堂・医務室・倉庫棟は、1階が医務室、素材および加工済み部品の受入れ倉庫として運用し、2階が社員食堂、多目的ルームとなります。

倉庫は、小型部品の保管を行うためフォークリフトによるパレットでの移動を基本とし、搬出入のアプローチをスムーズにするため3箇所開口を設けました。シャッターは開閉時間の短いシートシャッターを採用し、開閉時の待ち時間の短縮と日中の明かりの確保による照明電力の削減を図りました。なお、荒天時を考慮し重量シャッターを外側に配置しました。

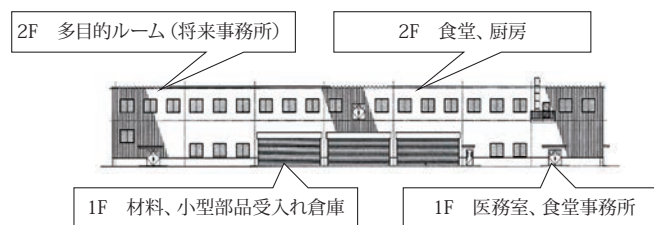
社員食堂は、30年間使用し老朽化に伴い移転となりました。新社員食堂は、給食センター方式を採用し、厨

房は最小限の調理器具の設置となり、管理費や水道光熱費の削減となります。また、フロアは200席を完備しており一度に多くの社員が利用可能となりました。清潔な広々とした空間で、おいしく食事を召し上がっていただきたいと思います。

医務室は、長期間使用し老朽化に伴い移転となりました。レトロな旧医務室は、貴重なものでもありましたが、衛生管理面からも今回新たに建設され移転となりました。医務室に常駐する看護師は、社員の健康管理などに職務いたします。

屋根については、真夏時の屋上からの熱による室温上昇の防止およびCO₂の削減など環境に配慮し、屋上緑化を採用しました。

(文責：泉 浩克、加藤信二)



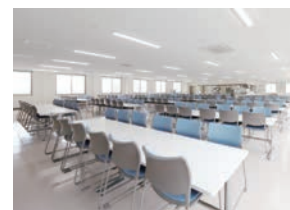
南立面図



外観



倉庫



社員食堂



医務室



屋上緑化

特許と実用新案

「立軸ポンプ」 特許第5473154号

1. 従来技術の問題点

図1は、設置高さを横軸ポンプと同程度に低くした立軸ポンプの減速装置構造図である。この立軸ポンプは、吐出しエルボ1の外壁に減速装置2を付設し、吐出しエルボ1の外壁を貫通突出したポンプ軸3を吐出しエルボ1の外壁と減速装置2との間に設けられた空間部4を介して減速装置2のケーシング内に挿入し、この減速装置2内でポンプ軸3を減速歯車列に駆動連結している。

しかし、この減速装置2は入力軸5の配設位置を低くするために、減速装置2にポンプ軸3と平行に中間軸6を設け、入力軸5とポンプ軸3とを中間軸6を介して連結する2段減速機構にする必要があり、歯車列の摩擦などにより動力損失が大きくなるという問題がある。この動力損失を小さくするには、中間軸6を設けない1段減速機構を採用すれば良いが、中間軸6の分だけ入力軸5の位置が高くなるため駆動装置の配設位置も高くなり、駆動装置を含めた立軸ポンプ全体の高さが高くなるという問題がある。

2. 本発明の内容

本発明は上記のごとき従来の立軸ポンプの問題点を鑑みてなされたもので、本発明の立軸ポンプは図2に示すように、吐出しエルボ10が、吐出し方向に対して略45°の斜めの平面B-Bで上側部分10aと下側部分10bに2分割され、分割された上側部分10aには減速装置11のケーシング12が一体的に付設されている。そしてケーシング12の底板13の下方で吐出しエルボ10の吐出し中心より下方位置に空間部14が形成され、この空間部14に吐出し方向と逆方向に向けて大気に連通する大きな開口部19が設けられている。空間部底板15には、ポンプ軸16の軸心位置に貫通孔17が穿設されて軸封部材の一部であるパッキン箱18が設けられる。ケーシング12内に一段減速の傘歯車列が配設され、ケーシング12

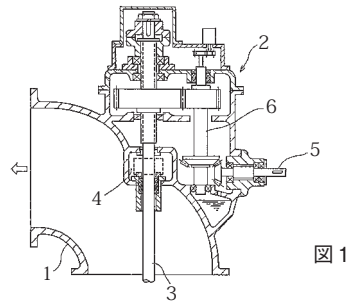


図1

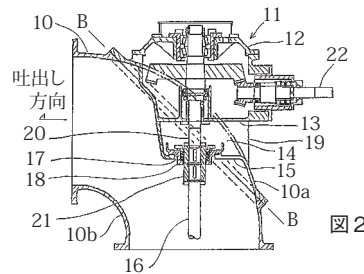


図2

の底板13を貫通した出力軸20の下端部が、ポンプ軸16の上端部に固定された円筒形の固定軸継手21に挿入されてポンプ軸16と出力軸20が連結されている。パッキン箱18と固定軸継手21との隙間にシール部材が装填されて軸封部が水密構成され、ケーシング12に出力軸20と直交して、吐出し方向と逆方向に向けて入力軸22が設けられる。

3. 本発明の効果

吐出しエルボの外壁と減速装置との間に設けられる空間部を吐出しエルボの吐出し中心より下方位置に形成したので、吐出しエルボの外壁に付設する減速装置を低い位置に配置でき、1段減速機構であっても立軸ポンプの設置高さを低くすることができる。また、空間部に吐出しエルボの吐出し方向と逆方向に向けて大気に連通する大きな開口部を設けたので、この開口部から空間部内に作業員が手を入れて、空間部底板に設けられた貫通孔内の位置で減速装置の出力軸とポンプ軸とを容易に連結および分離することができる。

(文責：山田正嗣)

編集後記

◆この度の巻頭言は、東京大学生産技術研究所教授の加藤千幸先生に「スパコンの性能向上と流体解析の進展」という題目でご執筆いただきました。

当社でも製品開発を行う際に流体解析が必要不可欠なツールとなっております。より高性能な製品を開発するためにはより高精度な解析結果が必要となります。また、多段ポンプ、多段ブロワでは、各段での相乗効果を検討するために製品全体の一体解析が重要になっています。結果として、流体解析の計算規模は年々大きくなっているのが現状です。このように年々大規模化している流体解析の分野のみならず、流体・振動・音響の連成解析も含めて今後解析の分野がどのような方向に向かおうとしているのかを考える上で非常に示唆に富んだ内容でした。

ご多忙なご公務の間をぬって、大変興味深いご寄稿をいただきありがとうございます。

◆ポンプ開発におけるキャビテーションCFDについて紹介しました。ポンプに発生するキャビテーションの研究には長い歴史がありますが、現象を表現する確固とした物理方程式はまだ見つかっておりません。したがって、解析は仮定に基づいて行われているのが現状です。今後もこの分野の解析技術向上に向けた研究に取り組む所存です。

◆当社がお納めした製品を紹介する“ここで活躍しています”の2014年度版を掲載しました。当社製品は国内のみならず、海外にもお納めさせていただいておりますが、今回インドにお納めさせていただいたポンプのように、液質が通常の海水と異なる場所で使用される場合があります。今後もこのような課題を解決した製品をご提供できるよう技術向上に取り組む所存です。

今後とも当社の製品をご愛顧いただきますようよろしくお願い申し上げます。



株式会社 電業社機械製作所

DMW CORPORATION

本 社	〒143-8558	東京都大田区大森北1丁目5番1号 (大森駅東口ビルディング) TEL 03 (3298) 5115 (代表)・FAX 03 (3298) 5149
関東支店	〒330-0802	さいたま市大宮区宮町2丁目96番1号 (三井生命大宮宮町ビル) TEL 048 (658) 2531・FAX 048 (658) 2533
横浜営業所	〒231-0013	横浜市中区住吉町5丁目64番1号 (石渡ビル) TEL 045 (662) 7415・FAX 045 (662) 4419
沖縄営業所	〒902-0066	沖縄県那覇市字大道55-7番地 TEL 098 (887) 6687・FAX 098 (887) 6688
北海道支店	〒060-0061	札幌市中央区南1条西10丁目4番地 (南大通ビルアネックス) TEL 011 (271) 5144・FAX 011 (221) 5530
東北支店	〒983-0852	仙台市宮城野区榴岡4丁目5番22号 (宮城野センタービル) TEL 022 (290) 7754・FAX 022 (290) 7762
静岡支店	〒420-0858	静岡市葵区伝馬町9番地の1 (河村ビル) TEL 054 (253) 3701・FAX 054 (253) 4980
名古屋支店	〒460-0008	名古屋市中区栄2丁目4番18号 (岡谷ビル) TEL 052 (231) 6211・FAX 052 (201) 6920
大阪支店	〒541-0054	大阪市中央区南本町2丁目6番12号 (サンマリオンNBFタワー) TEL 06 (6251) 2561・FAX 06 (6251) 2846
中国支店	〒730-0021	広島市中区胡町4番21号 (朝日生命広島胡町ビル) TEL 082 (242) 5456・FAX082 (545) 8581
四国支店	〒760-0024	高松市兵庫町8番地1 (日本生命高松兵庫町ビル) TEL 087 (851) 8953・FAX 087 (822) 7603
九州支店	〒812-0013	福岡市博多区博多駅東2丁目10番35号 (博多プライムイースト) TEL 092 (409) 3173・FAX 092 (409) 3183
事務所		新潟・山口・熊本・米国 (ヒューストン) 欧州 (アムステルダム)・東南アジア (シンガポール)・中国 (大連)
三島事業所	〒411-8560	静岡県三島市三好町3番27号 TEL 055 (975) 8221・FAX 055 (975) 5784

< 関連会社 >

電業社工事(株)	〒411-0848	静岡県三島市緑町10番24号 (株)電業社機械製作所内 TEL 055 (975) 8233・FAX 055 (975) 8239
(株)エコアドバンス	〒411-0943	静岡県駿東郡長泉町下土狩20番地の3 (山光ビルA棟403号) TEL 055 (980) 5822・FAX 055 (988) 5222
DMW India Private Limited		309, 3F Great Eastern, Galleria, Sector4, Off Palm Beach Road, Nerul, Navi Mumbai, 400 706, India TEL +91-22-2771-0610/0611・FAX +91-22-2771-0612

本誌はインターネットで御覧いただけます。 電業社ホームページ <http://www.dmw.co.jp>

主要製品

- 各種ポンプ
- 各種送風機
- 各種ブロワ
- ロートバルブ
- ハウエルバンガーバルブ
- 廃水処理装置
- 廃棄物処理装置
- 自動除塵機
- 水中排砂ロボット
- 配電盤
- 電気制御計装装置
- 電気通信制御装置
- 流量計
- 広域水管理システム

編集委員

監 修	浅見幸男	
委員長	青山匡志	
委 員	坂本 浩	伊藤誠剛
	小澤文雄	石澤勇人
	上杉浩一郎	川原敦之
	柚木孝洋	大場 慎
	鈴木重雄	
幹 事	飯田隆二	富松重行
事務局	坂根久美子	田上愛香

電業社機械 第39巻第1号

発 行 日	平成27年7月27日
発 行 所	株式会社電業社機械製作所 〒143-8558 東京都大田区大森北1丁目5番1号 TEL 03 (3298) 5115 FAX 03 (3298) 5149
編集兼発行者	浅見幸男
企 画 製 作	日本工業出版株式会社 〒113-8610 東京都文京区本駒込6丁目3番26号 TEL 03 (3944) 1181 FAX 03 (3944) 6826



DMW CORPORATION



GREEN
PROPORTION

リサイクルコートT-6を使用しています

電業社機械は環境保全・環境負荷低減に貢献する
PEFC認証紙を使用しています。

