日本フルードパワーシステム学会誌

フルードパワー

JOURNAL OF THE JAPAN FLUID POWER SYSTEM SOCIETY

システム

July 2023 Vol. 54 No. 4

特集「フルードパワーにおける品質向上技術の活用」



剛 148

日本フルードパワーシステム学会誌

フルードパワーシステム

目 次

特集「フルードパワーにおける品質向上技術の活用し

【巻頭言】

------「フルードパワーにおける品質向上技術の活用」発刊にあたって 北村

【解説】

連成解析における遠心ファン翼形状最適化 石澤 夏希 149 電磁切換弁の状態検出 永野 卓 153 建設機械用油圧機器の状態監視実施例 遠藤 寛和 156 松山、俊明、秋本、義和 センサ技術を利用した故障予知と遠隔メンテナンス 160 オイル状態監視による建設機械の見守り 淳 164 後藤 水グリコール系難燃性作動油の状態監視システムの開発について 三好 真介 167 ターボコンプレッサの稼働状況を見える化するリモートモニタリング 摩嶋 完治 171

【会議報告】

日本機械学会第21回機素潤滑設計部門講演会におけるフルードパワー関連技術の研究動向

谷□ 浩成 174

【トピックス】

学生さんへ、先輩が語る一油圧機器の設計・開発に携わる社会人の日常一 中山 大輔 176

【企画行事】

2022年度ウィンターセミナー開催報告「機械学習の基礎とフルードパワーシステムへの応用」

小林 亘 179

【会告】

 理事会・委員会報告
 181

 2022年度 学会賞表彰
 182

公益財団法人油空圧機器技術振興財団 2023年度研究助成募集のお知らせ	182
会員移動	183
学会創立50周年記念パーティーと特別記念講演のご案内	183
共催・協賛行事のお知らせ	184
2023年度(第42期)通常総会終了	185
次回予告	186

■表紙デザイン:浅賀美希 勝美印刷(株)

一般社団法人 日本フルードパワーシステム学会

〒 105-0011 東京都港区芝公園 3 — 5 —22 機械振興会館別館102 TEL: 03—3433—8441 FAX: 03—3433—8442 E-Mail: info@jfps.jp

JOURNAL OF THE JAPAN FLUID POWER SYSTEM SOCIETY

FLUID POWER SYSTEM

Contents

Special Issue "Utilization of Quality Improvement Technology in Fluid Power	ינ
[Preface]	
On the Special Issue "Utilization of Quality Improvement Technology in Fluid Power"	
Takeshi KITAMURA	148
[Review]	
Centrifugal Fan Blade Shape Optimization in Coupled Analysis Natsuki ISHIZAWA	149
Detection of Solenoid Operated Directional Valve Condition Taku NAGANO	153
Introduction of Condition Monitoring of Hydraulic Equipment for Construction Machine	450
Hirokazu ENDOH Predictive and Remote Maintenance using Sensor Technology	156
Toshiaki MATSUYAMA, Yoshikazu AKIMOTO	160
Monitoring Construction Machinery with Oil Condition Monitoring Jun GOTOU	164
Development of a Condition Monitoring System for Water-Glycol Fire Resistant Hydraulic Fluid	
Shinsuke MIYOSHI	167
The Remote Monitoring System of Centrifugal Compressor for online Condition Monitoring	474
Kanji MAJIMA	171
[Conference Report]	
Research Trend of Fluid Power System on the Machine Design and Tribology Conference, 2022 Japan Hironari TANIGUCHI	174

[Conference Report]		
Research Trend of Fluid Power System on the Machine Design and Tribolog	y Conference, 2022 Japan Hironari TANIGUCHI	174
[Topics]		
Senior talk to students— Daily Life of a Hydraulic Components Engineer	Daisuke NAKAYAMA	176
[JFPS Activities]		
Report of 2022 Winter Seminar	Wataru KOBAYASHI	179
[JFPS News]		
	181, 182, 183, 184, 18	35, 186

巻頭言

「フルードパワーにおける品質向上技術の活用」 発刊にあたって

者 紹 介

北 村 剛

油研工業株式会社研究開発部 〒251-0013 神奈川県綾瀬市上土棚中4-4-34 E-mail: ta.kitamura@yuken.co.jp

1989年油研工業株式会社に入社,研究開発部・ 売促進部・品質保証室を経て,2022年研究開 販売促進部・品質保証室を経て、 発部に赴任、現在に至る。主に、油圧ポンプの

品質とは、ISOでは「製品」「サービス」「プロセ ス」「人・組織」「システム」「資源」に本来備わっ ている特性の集まりが、要求事項を満たす程度、と 定義されている. 要求事項とは「明示されている、 もしくは義務として要求されている、ニーズまたは 期待」である.

つまり、製品の企画から購入品の品質、工程、検 査やサービスにおける顧客からの要求や、ニーズに 合っているかを決める特性である.

製造業が品質向上に取り組む重要性はさまざまな ものがあげられるが、根底にあるのは、顧客からの 信頼である.

モノづくりが企画され、設計、購買、製造、検査 そして販売、サービスに至るまでさまざまな要求品 質があげられるが、最も重要であるのは顧客(消費 者)のニーズを反映した製品であることを吟味し, 品質を向上させ、商品・サービスの顧客満足度を高 めることである.

本特集では、顧客満足の観点で製品企画・設計か らサービスに至るまでの工程で品質向上に携わる技 術を「設計の最適化」「機器のセンシング技術」「機 器の常態監視」をキーワードに「フルードパワーに おける品質向上技術の活用」と題して最新の技術動 向、活用事例を紹介する.

はじめに,「設計の最適化」では,石澤夏希氏 (株式会社IDAJ)に設計検証手法の品質向上技術と して「連成解析における遠心ファン翼形状最適化」 と題して最適化シミュレーション技術による解析手 法について解説いただく.

「機器のセンシング技術」では、永野卓氏(油研 工業株式会社)に「電磁切換弁の状態検出」と題し て特殊な機構を必要としない油圧電磁切換弁の状態 検出について、センサーレスでの検出技術について 解説していただく.

続いて、「機器の常態監視」では製品の常態を判 断する方法として、近年のセンサー技術の進歩によ る故障予知や状態監視の実施例について, 遠藤寛和 氏(コマツ)には「建設機械用油圧機器の状態監視 実施例」として、松山俊明氏、秋本義和氏、(株式 会社ハイダック)には「センサー技術を利用した故 障予知と遠隔メンテナンス」として解説いただく, そして建設機械に使用されるオイル状態監視システ ムとその事例について、後藤淳氏(日立建機株式会 社)には「オイル状態監視による建設機械の見守 り」として解説をしていただく、難燃性作動油の性 状を考慮したモニタリング装置の開発について、三 好真介氏(株式会社MORESCO)より「水グリコー ル系難燃性作動油の状態監視システムの開発につい て」として解説をいただく. 最後に摩嶋完治氏(株 式会社IHI回転機器エンジニアリング)に顧客サー ビスの観点から「ターボコンプレッサーの稼働状況 を見える化するリモートモニタリング」について解 説をいただく.

本特集では製品の企画からサービスに至るまで, フルードパワーの品質向上における技術・手法・事 例について解説をしていただいた.

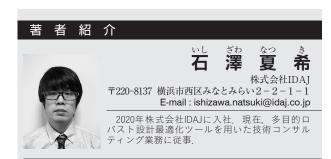
近年, 人手不足や業務の属人化により, 品質の維 持・向上が課題となっているが、これらを補うため に、通信技術やセンサー技術などの発達により、モ ノづくりにおける環境は進化している. 今後もフ ルードパワー技術のますますの発展を期待したい.

最後に、多忙にもかかわらず、ご寄稿いただいた 執筆者の皆様に深く感謝するとともに、厚く御礼申 し上げる.

(原稿受付:2023年4月28日)

解説

連成解析における遠心ファン翼形状最適化



1. はじめに

近年、製品市場においては、多機能・高性能・高 品質など, 各種製品に対する市場の要求が高度化の 一途をたどっている. また部品配置に厳しい制約が 見られる高密度設計品や大規模システム製品といっ た、各設計変数間に複雑な関係がある製品が増えて いるなかで、これらの製品のロバスト設計への対処 難易度が増大している.

本文では、このような現代の製品設計の課題に対 処するため、遠心ファンの翼形状を流体解析および 最適化シミュレーション技術で最適化したうえで、数 理近似モデルを活用し設計空間上における性能値や エネルギーロス量の分布を検討する手法を紹介する.

2. 最適化計算の流れ

多目的ロバスト設計最適化支援ツール(mode FRONTIER) をプラットフォームとして、翼形状の 変更から流体解析計算までをシーケンシャルに実行 する環境を構築し、形状最適化を行った.

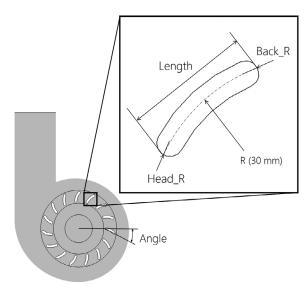
最適化計算の手順は以下の通りである.

- 形状変更
- ・表面メッシュ生成
- CFD計算実行

3. 最適化計算設定

3.1 最適化問題設定

本最適化問題における設計パラメータは、翼形状 に関する図1,表1の4寸法とした.翼は流入口を 中心とした円周上に、15枚を等間隔に配置するこ ととした. また, 回転方向は時計回りとした.



設計パラメータ位置

表1 設計パラメータの設定値

設計パラ メータ	オリジ ナル値	下限値	上限値	離散化幅
Angle [deg.]	25.0	0.0	50.0	5.0
Back_R [mm]	1.5	0.4	2.6	0.2
Head_R [mm]	1.8	1.0	2.6	0.2
Length [mm]	15.0	10.0	20.0	2.0

目的関数は以下の2つとした.

- ・ファン翼トルクの最小化
 - ▶粘性応力によるトルクと圧力によるトルクの和
- ・吸入口と吐出口の全圧差の最大化

最適化アルゴリズムは遺伝的アルゴリズムベース のものを使用した.

3.2 CFD計算設定

流体解析計算には、オートノマスメッシング熱流 体解析プログラム (CONVERGE) を使用した. 3 次元の定常解析を実施し、乱流モデルにはk-ω SST を使用した. ファン回転設定にはMRF (Multiple Reference Frame) を使用し、回転数は3,000rpm とした. 作動流体は空気とし、境界条件については、 図2の通りとした.

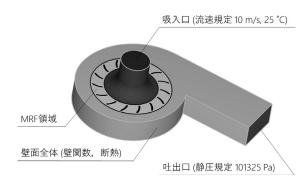


図2 境界条件設定

ベースメッシュサイズに対し、MRF領域やファン 翼周辺の領域は図3のように局所メッシュ再分割を 施した. MRF領域はスケール2 (ベースの1/4), ファン翼周辺はスケール3(ベースの1/8)とした.

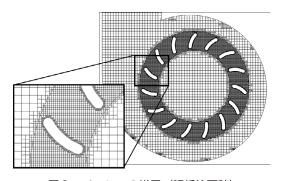
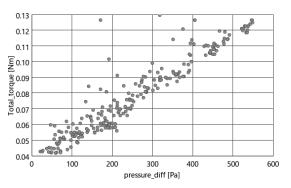


図3 メッシュの様子 (解析終了時)

4. 最適化計算結果

4.1 最適化計算結果

最適化計算の結果を示す. オリジナルデザインと 最適解となるパレート解の結果を比較した. 図4で は、横軸が全圧差(単位Pa)、縦軸がファン翼トル ク(単位Nm)である. オリジナルデザインに対し, トルクが同程度の場合、全圧差を6.73%増加させる ことができた. 一方, 全圧差が同程度の場合, トル クを5.43%減少させることができた.



最適化結果 (全体図) 図4

2つの目的関数に対し、バブル色を入力変数の Lengthで表したチャートを図5,同じく入力変数 のAngleで表したチャートを図6に示す.

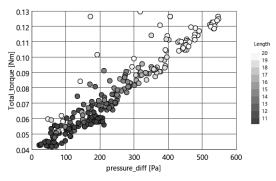


図5 バブル色:Lengthのバブルチャート

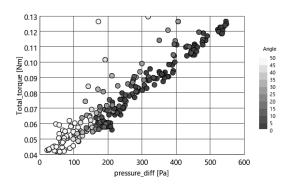
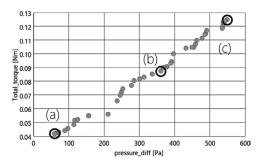


図6 バブル色: Angleのバブルチャート

どちらの変数についても, 目的関数と相関がみら れる. Lengthは増加に伴い、全圧差とファン翼ト ルクともに増加することがわかる. 一方, Angleは 増加に伴い、全圧差が逆に減少する.

4.2 最適解のデザイン比較

最適化結果のパレート解のうち、(a)、(b)、(c)の3 デザインについてモデル形状を比較した. 3デザイ ンの解分布を図7に、モデル形状画像を図8に示す. さて、ファン翼にかかるトルクの大きさは、流体 の粘性や圧力の効果によって生じる. まず粘性効果 によるトルクを評価するため、図9にて(a)~(c)の速 度コンター図(上段)と翼表面の速度コンター図



2D散布図上における3デザインの分布

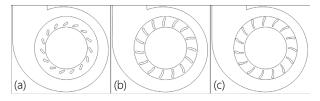
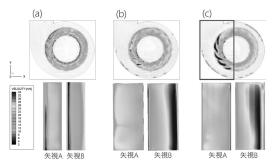


図8 各デザインのファン形状モデル

(下段)を比較した. なお, 取り出した翼および矢 視は図10のとおりとした.



速度コンター図比較

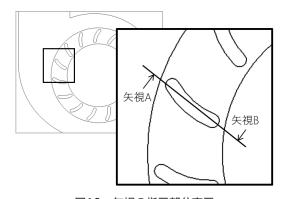


図10 矢視の指示部分表示

全圧差が大きくなっていくにつれて, 翼近傍で速 度が増大している. (c)に着目すると, 吐出口側(図 中四角部)でより速度が大きくなっている.

また、トルクが大きくなると、翼表面(矢視B) での速度勾配が大きくなっていることがわかる. こ れにより、粘性によるトルクが増大していると考え られる.

続いて, 圧力の効果によるトルクを評価するため,

図11にて(a)~(c)の静圧コンター図(上段)と翼表 面の静圧コンター図(下段)を比較した.

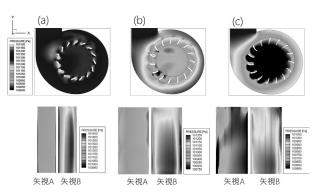


図11 静圧コンター図比較

全圧差が大きくなっていくにつれて, 翼近傍で速 度が増大している. (c)に着目すると、叶出口側(図 中四角部)でより速度が大きくなっている.

また、トルクが大きくなると、翼表面(矢視B)で の速度勾配が大きくなっていることがわかる. これに より、粘性によるトルクが増大していると考えられる.

4.3 近似モデルを利用した結果予測と品質向上

ある設計パラメータ値を選択した際、その近傍で 発生する性能値の変化がどれだけ急峻か、を可視化 することを考える. 例えば、デザイン(b)の近傍にお いて各設計パラメータが変化したとき、全圧差がど のように変化するか,を検討する.

そのため、本最適化計算結果データを用い、全圧 差に対して数理近似モデルを作成した. 設計パラ メータAngle, Lengthを軸に取り、Back Rおよび Head_Rを(b)のパラメータ値(Back_R=1.4, Head_ R=2.2) に固定した際の全圧差マップを図12にて 表示した.

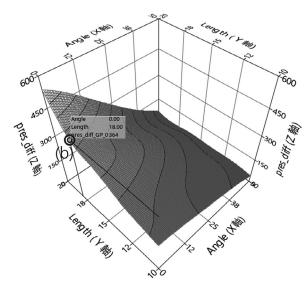


図12 Back_R=1.4, Head_R=2.2のときの3Dマップ

3Dマップからわかるとおり、(b)の近傍において 設計パラメータが変化したとき,

- ・Angle:値が増加すると全圧差は減少する
- ・Length:値が増加すると全圧差は増加する ことがわかる.

つぎに、設計パラメータBack_R、Head_Rを軸に 取り、AngleおよびLengthを(b)のパラメータ値 (Angle=0.0, Length=18.0) に固定した際の全圧差 マップを図13にて表示した.

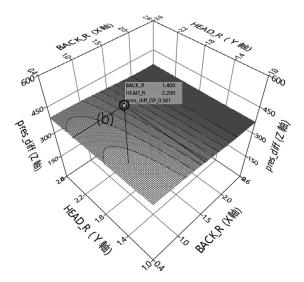


図13 Angle=0.0, Length=18.0のときの3Dマップ

先程とは異なり、Back_RやHead_Rを変化させて も、AngleやLengthのときほどの全圧差変化が見ら れないことがわかる.

このように、設計空間内の解空間を可視化するこ とで、ある設計パラメータ値近傍で発生する性能値 変化を明確にでき、品質向上を目的とした設計パラ メータ値選択の一助とすることができる.

5. ま と め

オートノマスメッシング熱流体解析プログラム, および多目的ロバスト設計最適化支援ツールを用い て、遠心ファン翼形状の最適化を行った. 最適化計 算により、オリジナル翼形状よりも優越したデザイ ンを探索できた.

また、最適化計算から以下のことがわかった.

- ・トルク最小化と吸入口・吐出口の全圧差最大化と いう2つの目的関数はトレードオフの関係にある.
- ・Lengthと各目的関数は正の相関, Angleと全圧差 は負の相関,目的関数間では強い正の相関がある.
- ・全圧差が大きくなると、翼近傍で速度が大きくな り、ファン中心部で圧力が低下していることがわ かった.
- ・全圧差が大きいデザインは、翼表面での速度勾配 が増加し、また、表裏の圧力差が大きくなること でトルクが増大していることがわかった.

さらに、最適化計算結果データを用い数理近似モ デルを作成することで,解析を実施した点の近傍に おける解析結果を予測することができた.

本文では要求性能間のトレードオフ関係に焦点を 当てた最適化を実施したうえで、4.3節では近似モ デルを通じて計算結果の周辺における解の安定性を 可視化できることを紹介した. 今回紹介した流体解 析や最適化シミュレーション技術、数理近似モデル による設計空間の可視化技術を通して、フルードパ ワーを始めとする各種製品の品質向上に貢献できる と考える.

(原稿受付:2023年4月6日)

解説

電磁切換弁の状態検出

者 紹 介 野 永 油研工業株式会社 研究開発部 〒252-1113 神奈川県綾瀬市上土棚中4-4-34 E-mail: ta.nagano@yuken.co.jp 1987年 相模工業大学電子工学科卒業, 同年油研工業株式会社に入社, 同社研究開発部にて,油圧コンポーネントの電子機器開発に従事し, リニアサーボ弁,ポンプ制御などを手掛ける

1. はじめに

近年、製造・インフラの分野において予知保全が 注目されている.予知保全を行うためには各機器か らの状態を情報として得て活用する必要がある.

そうした予防保全が必要とされる分野に油圧機器 は使用されておりメンテンナンスが必要な機器でも ある. したがって、今後の油圧機器は、さまざまな 機器状態を情報として上位側に渡すことが可能な油 圧機器が望まれる.

そうした中, 電磁弁を駆動する専用ドライバによ り、センサなしにソレノイドの可動鉄芯位置を推定 する技術とそこから得られる機器情報の利用方法の 開発に取り組んでいるため、紹介させていただく.

2. センサレス位置検出の原理

電磁切換弁は、油圧装置であれば必ず使用されて いるといってよい油圧機器であり、単に流路を切り 換える機器であるため,一般的には自身の状態を上 位側に戻す機能は存在しない. しかし, 機械安全の 要求から、近年電磁切換弁の切換状態を検出する機 構を持った電磁切換弁の要求が増加している.

電磁切換弁のセンサレス位置検出は、電磁切換弁 ソレノイドの吸引力が可動鉄芯位置に応じて変化 (図1) することに着目し、駆動電流に搬送波を重 畳することで, 位置に応じた搬送波の波形変化から 吸着位置の変化を検出するもので原理自体は簡単な ものである.

搬送波を重畳する方法としては、印加電圧を制御 して搬送波電圧を重畳させ、搬送波電流波形の変化 により位置を検出する方法と, 印加電流を制御して 搬送波電流を重畳させ、搬送波電圧の変化により位

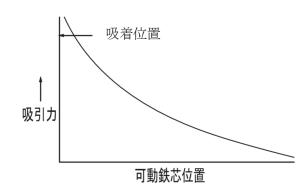


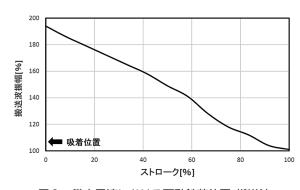
図1 吸引力イメージ図

置を検出する方法の2種類が考えられるが、ソレノ イドの吸引力は、電流量で決定されるため、微弱吸 引力を制御することを想定した場合、電流制御が望 ましい.

また、重畳する搬送波周波数は、弁が追従しない 高周波で、制御アンプが十分応答できる周波数であ る必要がある. 高周波すぎると電流制御の場合, 搬 送波電圧が大きくなりアンプ出力電圧が高電圧化し, バリスタ内蔵のソレノイドではバリスタが機能して しまう場合や、配線の容量性により搬送波電圧が減 衰することも考えられるため、比例弁のDITH周波 数より若干高周波が適当である.

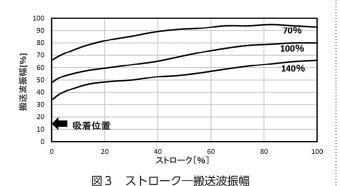
検出原理は微小電流の場合、ソレノイドの可動鉄 芯位置と搬送波電圧振幅の関係が、図2の特性となる. そこで、電磁切換弁の中立バネに影響しない程度 の微小電流に搬送波を重畳させることで、その電圧 振幅から可動鉄芯が中立点にあるか判断できる.

一方,吸着位置に関しては,ある程度の電流に対



微小電流における可動鉄芯位置-搬送波

して重畳された搬送波振幅は図3のように、微小電流 とは逆に吸着位置に近づくほど搬送波振幅が小さく なり、重畳する電流により搬送波振幅が変化する特 性となるが、搬送波を重畳する電流が特定できるた め搬送波電圧振幅から吸着位置にあるか判断できる.



また、図2,3の特性が安定的に得られるために は、ストローク―吸引力特性が吸着位置付近での飽 和や特性バラツキが大きいと問題だが、図4のよう に電流が定格の140%においても吸着位置まで飽和 することなく吸引力変化を維持しており、図5のよ うに吸着位置付近の吸引力バラツキも少ないため, 定格電流を超えても位置検出は可能である.

また、実際の位置判定にあたっては、このシステ

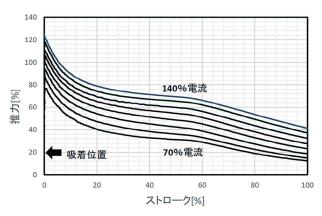
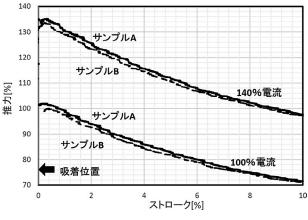


図4 ストローク―吸引力



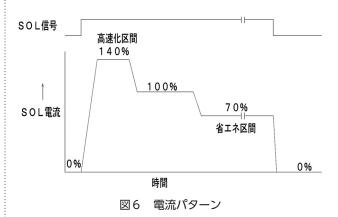
ストローク―吸引力(サンプルA,B)

ム導入時に使用する電磁切換弁をテストすることで, 吸着位置と中立位置における搬送波振幅を初期値と して記憶し補正することで多少の機差は吸収できる.

3. 駆動(動作)方式

位置検出の原理が定格電流以上でも得られること で、電磁弁ON時の高速化と省エネ化を図る電流パ ターン(図6)で駆動することが可能である.

具体的には、ON時ソレノイドに140%の電流 (200%ワット)を流し吸引力を高め高速でONする. 140%の電流に到達した時点で搬送波電流を重畳し、 その電流において位置判定を行う. その後, 電流を 100%として同様に搬送波振幅から位置判定するこ とで、2点の搬送波振幅が得られ、位置判定の確度 を上げることができる. さらに、搬送波振幅から可 動鉄芯の位置が吸着位置と判定した場合,電流を 70% (50%ワット) として省エネ化するが、おお むね開位置ではあるが、可動鉄芯位置が吸着位置に 達していない場合は、100%電流を維持して同時に 警報を出力することが可能である.



4. 駆動アンプ

ソレノイド駆動アンプは機能とコストのバランス を考え、DCソレノイドの駆動電源(AC/DC電源) とソレノイド駆動回路を一体化する方法を採用した $(\boxtimes 7).$

具体的には、ソレノイド電流が電流帰還制御され、 ソレノイド電流に必要な駆動電圧をスイッチングト ランス1次側のPWM制御によって得ている.

参考例は、トランスの駆動方式をフライバック式 としているが、他の駆動方式でも同様の構成で制御 できる.

この駆動方式とした理由は、AC/DC電源と一体化 が合理的であることもあるが、ソレノイド電流を高 応答制御する場合の印加電圧にある.

24V駆動の場合、センサレス位置検出システムを 実現するためには、24V電源の昇圧が必要となり、 コストUPとなる.一方,AC/DC電源と一体にすれ ばコストUPなしに、最大出力電圧を任意に設計で

き、電磁切換弁に必要な電圧のみ2次側に出力する ことで省エネ性を向上させることも可能である.

また,24V駆動に比較し十分な高電圧を印加でき ることで、電磁切換弁のON時の速度や吸着吸引力 を向上させ耐コンタミ性をUPすることもできる.

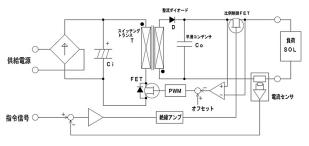


図7 駆動アンプの構成

また、アンプ制御はCPUで行うため、本来の目的 である吸着および中立位置の検出以外にも電磁弁コ イル温度・駆動電圧の変化(接触変化)・動作時間 の変化・中立に戻った位置の変化および時間の変化 など多数の情報も得ることを可能としている.

5. 従来品との比較

近接スイッチを利用したモニタ機能付き電磁切換 弁とセンサレス位置検出システムを比較する.

センサレス位置検出の最大の特徴は、電磁切換弁 自体に特殊な機構を必要としないことであるが、吸 着と中立位置の両方を検出できることも特徴である. 近接スイッチ方式においても吸着と中立位置の両方 を検出することは可能だが、その場合、切換弁側の 検出機構が大きくなる.

つぎに、センサレス位置検出は検出機構と駆動機 構が同一であるため、駆動機構に不具合がある場合、 検出ができないことが短所になるが、ソレノイド・ 駆動電線の断線・短絡・接触不良などの不良を検出 できる長所でもある. また, 得られる結果は, 吸着 と中立位置の両方とも値であるため、ON-OFFには ない変化が確認できる点も重要な特徴である.

加えて、図6の高速化と省エネパターンで駆動す ることが可能で、省エネ化においては、既存製品に ある一定時間後にソレノイドに印加する電圧を PWM駆動することで省エネ化する方式に比べ、吸 着位置を認識しているため、不完全な吸着状態では 100%電流を維持でき、省エネ状態によりソレノイ ド鉄芯が吸着から外れてしまう危険性を回避できる.

また、省エネ化により電磁切換弁自体の発熱を大 幅に下げられるので、温度劣化を防ぐこともできる.

6. 情報の活用

予知保全の観点において、多くの情報を得ること は重要である. センサレス位置検出システムでは,

単に位置がわかるだけでなく以下の状態が電磁切換 弁をONする前に確認できる.

- ①電磁切換弁が中立状態にあるか
- ②駆動電圧 (DC)
- ③電磁切換弁の温度
- ④切換回数(過去の累積回数)

これらの情報は、機械を動作させて良いかの判断 材料になり、故障・事故を未然に防ぐために有益で ある.

また、電磁切換弁がONした後では、

- ⑤ 開度が開になっているか・正常位置か
- ⑥動作中の弁温度
- ⑦駆動電圧 (DC)

などの情報が得られる.

これらの情報の中で温度は、あまり役に立ちそう にないが、省エネ駆動の効果でソレノイド発熱が低 く抑えられるため、油温などの影響を認識しやすく なっている. そこで機械起動の際, 電磁切換弁の温 度から動作部に近い油温の状況が把握しやすくなり, 暖機運転の時間や油温の最適化などが考えられる. あるいは、位置判定の元である搬送波振幅は値とし て得られるため、その値が日々低下するなど状況か ら、ソレノイドの劣化(水分の侵入)などの故障を 完全に故障する前に発見することや、駆動電圧の上 昇からコネクタの接触不良などを発見することも考 えられる.

このように機器の情報が多ければ、その活用方法 も考えられ、予知保全には有効な手段となる.

7. 課題と今後

電磁切換弁センサレス位置検出システムは、高応 答高精度の電流制御アンプが必要だが、スイッチン グトランス駆動部・演算・通信手段は, 年々低価格 化と小型化が進んでおり, アンプ側は進化すると予 想される. 電磁切換弁側では, このシステムを前提 としたソレノイド開発をすることで、電磁切換弁の 小型化や保持電流を極小化した切換弁の開発などが 考えられる.

一方,このシステムから得られる情報の活用方法 は研究の余地を残しており、劣化と機器情報との関 係・故障の前兆についての情報収集など機器情報に 関するテータは、まだ蓄積し調査する必要がある.

また、省エネ駆動の保持電流(図6の70%時) の機種ごとの最適化やバリスタ内蔵モデルの最大印 加電圧制限などのため、アンプに使用する電磁切換 弁の情報をアップデートさせる必要もあるため、接 続する電磁切換弁のモデルごとのパラメータをネッ トからダウンロードしアンプに読み込ませるための 環境整備も今後の課題である.

(原稿受付:2023年4月12日)

解説

建設機械用油圧機器の状態監視実施例



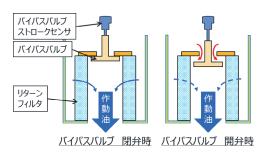
1. はじめに

モノ売りに加えてコト売りによる商品力の向上と いう声が日増しに大きくなっている. 弊社において も, 品質と信頼性という理念を掲げて, 製品開発に 従来から取り組んできたが,お客様のニーズ解決の ためのコト開発要求は非常に大きい.

その中のひとつに各種センサを用いた油圧機器の 状態監視技術がある。センサ技術の普及・精度の向 上は目覚ましいものがあり、また弊社では従来から 建設機械に情報通信技術(ICT)を織り込み市場の 車両の監視に取り組んできた. もちろん油圧機器も 例外なく状態監視に取り組んでいる. 今回は市場で 行っている建設機械用油圧機器の状態監視の実施例 を2つ紹介する.

2. バイパスバルブストロークセンサの エラー発報監視

2.1 バイバスバルブストロークセンサ



バイパスバルブの挙動の簡易イメージ

油圧機器が外部からの侵入異物によって損傷して, 機能を満たせなくなってしまうことはよく知られて いることである. 建設機械の油圧回路にはそれらを 防ぐため、濾過装置であるリターンフィルタが搭載 されているが、フィルタが目詰まりした際に回路自 体の損傷を防ぐため、バイパス回路が設けられてい る. そのバイパス回路の開弁を監視しているのがバ イパスバルブストロークセンサである(図 1).

このセンサのメリットは、バイパスバルブの挙動 を直接計測しているので、 濾過されない作動油が フィルタの下流に流れたことが確実にわかるように なっている. 差圧センサでフィルタの前後差圧を監 視して開弁圧と比較する方法もあるが、油温や油種 により圧損が変化するため、直接バイバスバルブの 挙動を見られる点が状態監視という面で優れている.

2.2 監視について

このバイバスバルブストロークセンサで開弁した 回数をカウントして、一定回数を超えるとエラー発 報するようにしている.そして車両ごとのエラー発 報回数を図2のように監視している.

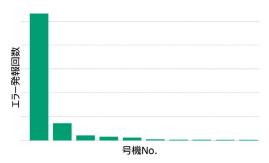


図2 エラー発報回数監視例1

建設機械では車両の稼働時間に応じて、定期的に フィルタを交換することとしているが、このセンサ をつけることによって、定期交換時間前であっても フィルタが目詰まりした場合, フィルタの交換をす ることをリコメンドすることができる. このように データをもとに語れることでお客様への説得性を増 すことができ、結果として油圧機器を良い状態で長 期間使っていただくことができる.

また図3に示すように各車両の稼働時間のいつエ

ラーが発報して、どのように増加したかもわかるよ うになっている. 図中b, d点においては, エラー 発報回数の増加が収まっているため、フィルタの交 換をしていることが状態監視で見て取れる. さらに a~bはエラーが発報してからもしばらくはフィル タ交換されなかったのに対して、c~dでは短い時 間で交換されていることがわかる.

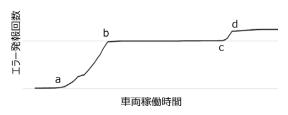


図3 エラー発報回数監視例2

2.3 監視状況やこれまでの調査結果について

監視を続ける中でエラー発報回数が極端に多い車 両があることがわかった. これは稼働環境により、 外部からの侵入異物が多く、短時間でフィルタの目 詰まりが起こってしまい、車両の稼働頻度も高いた めに、フィルタを交換する前にエラー回数が積みあ がってしまうものだと考えている. このようにエ ラーが多発した油圧ショベルの部品回収調査結果を 紹介する.

まずはエラー発生回数頻度が異なる2つのフィル タの調査結果を紹介する. 表1にそれぞれの車両の 時間あたりのエラー発生回数を示している.

表1 調査フィルタ搭載車両のエラー発生頻度

	No. 1	No. 2
エラー回数/時間	0.7	16.7

それぞれのフィルタと未使用品のフィルタの圧力 損失のテスト結果が図4である. No.1のフィルタは 未使用品と比べて、圧損が5~6倍まで大きくなっ ているのに対して、№2のフィルタは低流量でも圧 力損失がNo.1よりも大きいことから、相当量の異物

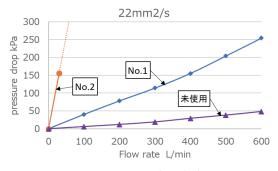


図4 フィルタ回収調査結果

を捕捉していることがこのグラフから見て取れる.

さらにその確認結果として, このフィルタのろ材 を拡大観察した結果が図5である. №1のフィルタ ろ材の間に異物が捕捉されていることが観察できる が、№2ではろ材が見えないほど表面がダストで覆 われている. これにより、エラーの発生頻度(=バ イパスバルブストロークセンサが開いた回数)が フィルタの目詰まり状態を示していることがわかる.

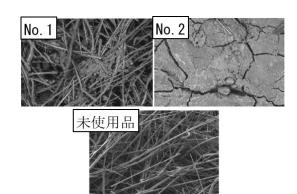


図5 フィルタ回収調査結果(×200倍)

つぎに油圧機器の分解調査結果であるが、こちら は先述のフィルタを回収調査した車両とは異なるが、 エラー多発車両からピストンポンプと油圧シリンダ を調査した結果を紹介する. ピストンポンプについ てはポンプの斜板を支持するロッカーカムとクレー ドルのしゅう動面に、図6に示すように凝着摩耗が 確認された、これは混入した異物がしゅう動面に入 り込み、局所的に面圧が大きくなって損傷したと考 えられる.



ピストンポンプ分解調査結果

続いてシリンダの分解調査では、シールの損傷と シール部への土砂の侵入が確認された(図7). ま



シリンダ分解調査結果

たこのシリンダに使用されていたシールが弊社の純 正品ではないことが分かった. シールの損傷と非純 正による修理によりシール状態が不十分であったこ とから、エラー多発の原因である外部異物がシリン ダから侵入したと考えられる.

3. 油圧駆動ファン回転フィードバック量の 監視

3.1 油圧駆動ファン回転フィードバック

建設機械には、エンジンや作動油のクーラー用の 冷却ファンに図8に示すような油圧駆動ファンポン プ・モータを用いているものがある.油圧駆動ファ ンのメリットは低騒音・コンパクト・車載レイアウ トの自由度の高さ等がある.

しかしファンポンプ・モータの内部部品の摩耗に よる効率低下に伴い、ファンの回転数が減少してし まうと、本来の冷却機能を満たせずに車両のオー バーヒートに繋がってしまう. そのためファンモー タに回転センサを取り付けて実回転数を計測し、目 標回転数と実回転数の差分を補正するフィードバッ ク制御を行うことで、これを防止している. この補 正値であるファン回転フィードバック量により,ファ ンポンプ・モータの効率低下量の監視を行っている.

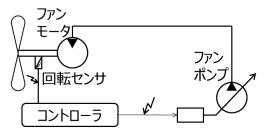


図8 油圧駆動ファンポンプ・モータ

3.2 ファン回転フィードバック量監視

このファン回転フィードバック量の数値を監視し て、油圧機器の効率低下を捉えられるが、 監視結果 は図9のような3つのパターンがあると考えている. ①変化なし

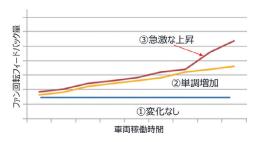
良好な状態で稼働している.

②単調増加

過負荷や外部侵入異物により定常的な摩耗が発生 し,効率が低下している.

③急激な上昇

何らかの影響で油圧機器に重篤な損傷が起こって いる.



油圧駆動ファン回転フィードバック監視例 図 9

油圧駆動ファンポンプ・モータに限らず、油圧機 器の使われ方で考えられることではあるが、状態監 視をするときにはこのパターンを意識して監視をす ることが重要となる.

また外部侵入異物による効率低下が発生している 場合は本監視によって,同じ油圧回路上で使用され ている他の油圧機器も同様の損傷・効率低下が起 こっていることが想定される.

3.3 監視状況について

実際にファン回転フィードバック量を用いたファ ンポンプ・モータの状態監視結果を紹介する.

まず状態監視をした結果が図10である。今回の実 施例では前節の②に該当する徐々にファン回転 フィードバック量が増加していて稼働時間が15,000 時間を超えた車両のファンポンプ・モータの現物調 査を実施することができた.

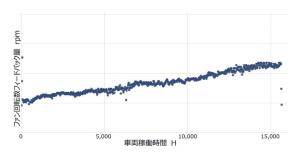


図10 状態監視結果

ポンプ・モータの性能テストの結果. 効率低下か ら算出される回転数低下とファン回転フィードバッ ク量がおおむね一致することが確認できた.

また、回収したファンポンプを分解したところ、 斜板を支える支持部の球部にかじり痕が見られ, 250~300 μm程摩耗をしていた (図11). また別 のか所には異物が堆積していた(図12). このよう な異物が徐々にしゅう動部位を摩耗させて、ファン ポンプの効率低下につながったと考えられる.

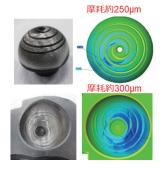


図11 分解調査結果

4. おわりに

油圧機器の状態監視の実施例について紹介をした. 今回の例では重篤な症状が油圧機器に起こる前のも のであったが、状態監視技術がなければより深刻な 結果に陥っていた可能性がある. 今後もICTを活用





図12 堆積異物結果

した車両監視技術を用いて車両の状態の見える化を 進めていき、お客様の満足度を高めるべく状態監視 の技術開発を実施していく所存である.

(原稿受付: 2023年3月31日)

解説

センサ技術を利用した故障予知と遠隔メンテナンス

者 紹 介



Ш 俊 明

株式会社ハイダック 〒274-0053 千葉県船橋市豊富町616-19

E-mail: toshiaki.matsuyama@hydac.com



秋 本 和 莪

株式会社ハイダック 〒274-0053 千葉県船橋市豊富町616-19 E-mail: yoshikazu.akimoto@hydac.com

1. はじめに

機械の故障は、工場のみならず、建設機械におい ても故障したときは、解決するまでに膨大なコスト や時間を要することが起こりうる. 故障のために 失った、ユーザーの信頼を取り戻すには、膨大な時 間とコストを費やす. その様な事態を起こさないた めに、故障するであろうことを予知し、故障が発生 する前に防ぐことが重要である.機械の状態を予知 するためには、絶えず状態を監視 (Condition monitoring) する必要があり、監視するための適切 なセンサが必要である. これらセンサの導入で重要 なことは、測定値がどの程度の値になった時に警報, 異常を発し、どの様な対応処置をするかを決定する 閾値(しきい値)を決めることが重要なポイントで ある. タイトな閾値による度重なるチョコ停やルー ズな閾値による異常判定の遅れは大きな事故につな がりかねない. 閾値は理論値をベースに今までの経 験から判断して決定することが望ましい。適切な手 順を踏むことで、故障を防ぐことができる.

つぎに、システムも納入当初の状態と比較すると、 経年変化や仕様変更などでシステムの特性が変化す ることがあり、納入時に設定した閾値を見直す場合

がある、設定を変更するために、その都度、現地に 赴き作業をするのではコストや時間効率が悪い. そ れを補うために、最近ではセンサによるシステムの 状態監視情報をクラウドに保存し、遠隔で監視、設 定値を変更する方法が採用されている. 弊社では, それらを実現するためのセンサ, 監視装置, データ 記録器, 制御装置を有しているので, 予知保全とと もに遠隔監視の使用実績例をいくつか紹介する.

2. 保 全

JISでは、保全は「故障の排除および設備を正常・ 良好な状態に保つ活動の総称」と定義され、保全活 動は図1の通りに分類されている.

保全活動 維持活動 予防保全 -定期保全 事後保全 予知保全 改良保全 改善活動 保全予防

保全活動の分類 (JIS Z 8141-6107参照) 図 1

図1にあるように、保全には故障の発生の都度修 理する事後保全と、故障する前に計画的に実施する 予防保全があり、さらに予防保全は一定時間ごとに 点検・修理を行う定期保全と、機械の状態から故障 を予知し、事前に手を打つ予知保全がある. 事後保 全が実施されるとき、機械は故障によりダウンタイ ムが発生しているので、損失が生じている. また、 スケジュールに従って行われる定期保全は、ダウン タイムの発生は未然に回避できるが、不必要なコス トや人件費が生じる.一般的に機械が故障する時に は、何らかの兆候が現れると考えられる. この兆候 を事前に状態監視より得られた情報からどのように 察知するかが予知保全のキーである.

3. メンテナンス方法による違い

メンテナンスの方法により、ダウンタイム時間、 コストが大きく変わってくる. つぎに3つのメンテ ナンスの違いを列記する

3.1 事後保全 (Reactive maintenance)

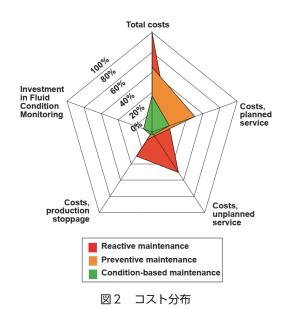
故障が生じた後に対処する方法であり、コスト, 時間をもっとも要する.

3.2 予防保全 (Preventive maintenance)

機器の寿命などを決めて、定期的に機器をメンテ ナンスし交換していくので、定期的にコスト、時間 が発生してしまう.

3.3 予知保全 (Predictive maintenance)

機械の状態変化を監視しておいて、寿命を予測し て対処する. 図2に、上記3つの保守、保全を行っ た時のコスト分布を示す. トータルコストとしては 事後保全(Reactive)が一番悪く、予知保全 (Predictive) が一番コストを抑えられることがわ かる.



4. フィルタの役割

油圧機械の故障の主要因は固体汚染粒子による摩 耗や固着であり、フィルタの役割は固体汚染粒子を 除去し、油圧機器が正常に機能する作動油の清浄度 を維持することである. 機械の作動油の清浄度を維 持するには、決められた周期で行う定期保全が一般 的である. 定期保全ではある一定の期間でフィルタ エレメントの交換を行う. しかし, この方法ではエ レメントにまだ濾過能力が残っている状態で交換し ている可能性もあり得る. エレメントの濾過能力を 余すところなく使用できれば、エレメントを交換す るタイミングは長くなり、機械のライフサイクルコ ストも削減される. フィルタエレメントの残りの寿 命時間が察知できれば、予知保全が可能となる.

5. フィルタエレメントを交換するタイミング

5.1 目詰まりインジケータによる交換時期の検出

今までは目詰まりインジケータによる目詰まりの 検知でエレメントの交換タイミングを知る方法が一 般的だった. 目詰まりインジケータはエレメントが 目詰まりすることで発生するフィルタ前後の差圧を 検知して、視覚的またはON/OFF信号の出力によ りエレメントを交換するタイミングを表示している. しかし、従来の目詰まりインジケータによる方式で はエレメントを交換すべきタイミングはわかるが、 それはエレメントが完全に目詰まりする状態のわず かに手前のタイミングでインジケータが表示する. これによりエレメントの交換が早過ぎるということ は回避される. しかし, 予防保全としては, インジ ケータの表示からエレメントの完全目詰まりまでの 時間が短いため、計画的に保全することは困難であ

5.2 バーチャルセンサによる交換時期の検出

当社のバーチャルセンサ(図3)は従来の目詰ま りインジケータと同様にフィルタハウジングに組み 付け、フィルタハウジング内の圧力と、油温の測定 値からバーチャルセンサの内部アルゴリズムより フィルタハウジングに組み込まれたフィルタエレメ ントの寿命時間を定量的に計算し、残り時間で表示 する. これによりフィルタエレメントを適切なタイ ミングで交換する「予知保全」が可能になる.



図3 バーチャルセンサ

図4のチャートでフィルタエレメントの寿命時間 が「0」になった時、エレメントが完全目詰まりの 状態であることが判る.

6. 予知保全の利点

予知保全を行うことにより下記の利点が得られる. ・フィルタエレメントの耐用年数を最大限に活用す ることで, エレメントの交換回数を削減し, エレ

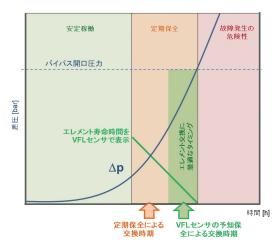


図4 エレメントの交換時期

メントの使用量を節約

- ・最適化された保全計画が可能になる
- 予期しないダウンタイムが減る
- ・保全スタッフの配置人数が最適化できる
- ・機械の稼働率の向上

7. KPI [ISO22400]

ISO22400では、製造業で活用されている保全の KPI(Key Performance Indicator:重要業績評価指 標)のひとつとして、平均故障間隔(MTBF)が定 義されている. ISO22400ではIoTで取得したデー タでKPIを算出することを前提としている. バー チャルセンサを導入することによりフィルタエレメ ントの寿命時間を保全のKPIとして捉え、見える化 をすれば、より正確な予知保全の実現につながり、 効率化の向上が図れる.

8. 状態監視センサ

他に作動油の状態監視モニタ用として、油の清浄 度をモニタリングする「コンタミネーションセン サ」, 作動油中の飽和水分量を計測する「アクアセ ンサ」、作動油中の一定サイズ以上の金属粒子数を カウントする「金属コンタミネーションセンサ」が ラインアップされており、これらを用いて先回りし た保全活動が実現可能である.

表1に流体の状態監視センサの一例を示す.

特にオンラインで状態監視センサを常設すること でリアルタイムに状態監視ができ、油の状態の推定 が可能となる.

8.1 圧力センサによるポンプの制御

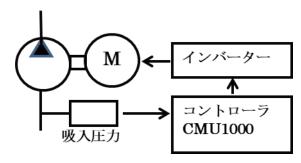
つぎに圧力センサを使用して, ポンプのキャビ テーションを防止する制御の例を紹介する.

機械の出荷時にタンク内を清浄して、機械ごとに ISOまたはNASで表示される清浄度の記録を保存す

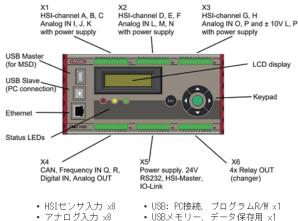
表1 状態監視センサ

機器の摩耗	粒子センサ	
不適切な油の侵入	フィルタ差圧	
油中水分	水分量センサ	
油の劣化	酸価値、フィルタ差圧	

ることで作動油の清浄度管理を浄油機で行う. 弊社 では、プログラミング可能で制御からデータ保存ま で行えるモニタリングユニットを用いて制御を行っ た. 制御方法はオープン制御とクローズ制御を組み 合わせた制御を採用した. ブロック図を図5に. 実 際に使用したコントローラを図6に示す.



制御システム系統 図5



- アナログ入力 x8
- DI ×4
- アナログ出力 x2
- DOリレー出力 ×4
- Ethernet インターフェース $\times 1$ • RS232 インターフェース x1
- · LCD x1, LED x3

図6 コントローラ外観

8.1.1 オープン制御

- 1. 油の温度対粘度特性油の温度による粘度の特性 をコントローラにデータテーブルとして設定する
- 2. 温度対粘度テーブル、配管径、長さから計算し て、ポンプの吸入抵抗を算出する. そしてポン

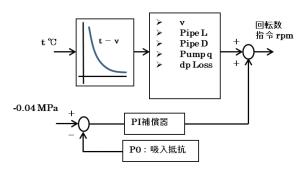
プの吸入抵抗がポンプの許容吸入抵抗を超えな い流量を算出

- 3. その流量を発生するポンプの回転数を求める
- 4. その回転数になるようにインバーターに回転数 指令を送る

8.1.2 クローズ制御

オープン制御のみでは、油圧系のさまざま要因 (温度対粘度誤差,変化,配管の状態,配管内のエ アー,等)により吸入抵抗を許容吸入抵抗と一致さ せることができない、そこで、オープン制御と並行 してクローズ制御を加える. 図7にクローズ制御方 法の過程を示す.

- 1. ポンプの吸入ラインに負圧対応の圧力センサを 取り付ける
- 2. 今回のケースはポンプの許容吸入抵抗 -0.04MPaなので、目標値として設定する
- 3. 圧力センサの信号をフィードバックし、その偏 差をPI(比例、積分)補償器を介してコント ローラからアナログ信号 4~20mAを出力する
- 4. コントローラから出力された信号を、インバー ターに回転数指令として入力する
- 5. インバーターで電動機の回転数を制御してポン プの流量を調整して吸入圧力が一定になるよう に制御する



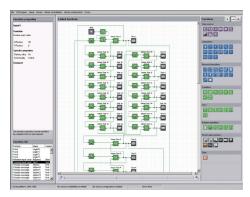
オープン/クローズ制御

本制御を実施することで、10~60℃の油温度変 化,油種の粘度変化,給油口の口径,配管径,配管 長の変化に対してキャビテーションなくポンプの負 担を軽減できた.

図8はFBD (Function Block Diagram) エディタ の画面である

8.2 遠隔監視による試運転,メンテナンス

試運転時もしくは, 事情により機械の仕様を変更 せざるをえない事態が急に発生した場合、通常は現 地に赴き変更作業をすることが必要になる. もちろ



プログラム機能

ん、能力以上の変更はできない、客先のネットワー クに接続できないので、コントローラ側にルーター を使用し、PC側には、ポケットWIFIを接続すれば 簡単にセンサの値をモニタしながらプログラム変更 が可能である. 遠隔操作ができることで. 対処の即 応性,時間の節約が可能となる. 図9に接続の一例 を示す.

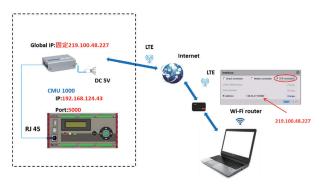


図 9 遠隔メンテナンス

9. おわりに

の発展を期待したい.

本稿では弊社の事例をもとに、センサ技術を利用 した故障予知と遠隔メンテナンスについて紹介した. 接点信号が多い組立産業のFA(Factory Automation)と比べ、PA(Process Automation) である油圧機械の測定データは、温度、圧力、流量、 レベル、清浄度といったアナログデータが多いため、 FAと比較してセンサの普及が少ない. 予知保全と IoTにクラウドを連携した遠隔メンテナンスで今後

(原稿受付: 2023年 4 月 6 日)

解説

オイル状態監視による建設機械の見守り

者 紹 介



後 藤

日立建機株式会社 〒300-0013 茨城県土浦市神立町650番地 E-mail: j.gotou.gj@hitachi-kenki.com

2003年筑波大学第一学群自然学類物理学専攻 2023年日立建機株式会社にて、建設機械製品の オイル状態監視サービスの開発およびデータ分 析業務に従事

1. はじめに

当社はICT(情報通信技術)を活用した建設機械 用オイル状態監視サービスを展開している. 中でも オイル性状の常時監視に対する要望は非常に強いも のがある. これは、より効果的な予防保全には状態 監視が重要であるという認識からである. 一般にオ イルの状態監視は主に定期時間間隔でオイルを採取 して性状分析が行われているが¹⁾,分析間隔の間に おいては突発的なオイル性状の変化を捉えることは 難しい、この解決策として、当社では、センサを用 いてオイル性状の常時監視および定期的なオイル分 析を提案し、上市している、本稿では、オイル状態 監視システムの概略とその運用事例を紹介する.

2. 建設機械におけるオイルの状態監視

2.1 オイルの状態監視の現状

建設機械の安定稼働には、適切なメンテナンスに よる予防保全が不可欠である。特にエンジン、油圧 系、駆動系の各種しゅう動部に使用される油脂類の 性状管理は建設機械の重要なメンテナンス事項のひ とつとされている. オイルの状態監視の一般的な方 法として,オイル分析がある.オイル分析とは,機 械や装置のオイルから得られる情報を解析すること により、機械の状態やトラブルの可能性を評価する 手法である. 通常, 定期的に機械からオイルをサン プリングし、分析会社によってオイル分析が行われ る. 分析会社はオイル中に含まれる金属粒子や化学 物質、水分、汚染物質、およびオイルの物理的・化 学的特性を解析する. オイルの状態を監視すること により、機械の異常を早期発見し、予防保全の計画 を立てることができる.

2.2 オイル状態監視の課題

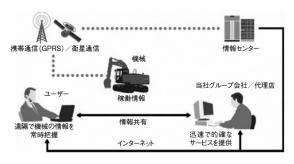
オイルの状態監視は建設機械のメンテナンスにお いて欠かせないものではあるが、次のような課題が あげられる.一点目は、費用がかかることである. オイルの状態監視を行うためには、専門知識を持っ た人材や専門機器が必要であり、そのために費用が かかる. 一般に専門の分析会社に分析を委託してい るケースが多いが、それに伴う委託費用が発生する. 二点目は、時間がかかることである. オイルの状態 監視には採油して専門機器で測定を行う必要があり, そのために時間が必要となる. 三点目は, 適切な採 油と管理が必要なことである. これらが不適切な場 合, 誤った結果を得ることがある. 四点目は, 結果 が解釈しづらいことである. オイルの状態監視の結 果は、数値化されたデータで表される. これらの データを正しく解釈するためには、専門知識が必要 である. これらを考慮し適切に状態監視を行う必要 があるため、顧客によっては敷居が高くオイルの状 態監視を実施できていないケースもある.また,オ イル分析を行ってもオイル性状に問題がない場合も 多く、オイル分析で発生するコストに対し不満を持 つ顧客もある2).

3. ICTを活用したオイル性状の遠隔監視技術

3.1 オイル性状の遠隔監視

以上に述べたオイルの状態監視における課題を捉 え、2017年に当社は、業界初のICT(情報通信技 術)を活用した遠隔によるオイルの状態監視技術を 開発し市場に導入した3). 図1にその概略を示す. これにより、エンジン、油圧系などの機器に使用さ れるオイルの状態を遠隔地から日々監視することが 可能になった. この技術では、オイルの温度、動粘 度,密度,誘電率の物性値を用いることにより、オ イルの酸化や動粘度異常による劣化に加え、水分や すす、燃料が混入することによる汚染を推定するこ とができる. エンジン内や作動油の配管に取り付け

られた音叉型の監視センサを用いて測定し、それら の情報を機械に取り付けられた通信端末から通信シ ステムを経由し、クラウド上のデータベースに蓄積 している. 蓄積されたデータはシステムによって監 視され、異常を検知した際には、アラームを発報す ることで、オイルの状態を監視し予防保全に役立て ることができる. オイル性状の遠隔監視技術は. 従 来の定期的なオイル分析に比べ、より効率的な監視 が可能であり、異常が検出された場合には、迅速に 対処することができる. また、遠隔地から監視でき るため, 安全面の利点やオイル分析に伴う費用を低 減することもできる.



オイル状態監視のフロー概略図 図 1

3.2 オイル監視センサを用いた作動油の状態監視例

図2に当社の20tクラス油圧ショベルの作動油の 監視状況の一例を示す. 図中のグレーのエリアは作 動油の劣化を判断するハザードエリアである.この 図の例では、作動油は約2,500時間を経過した頃か ら徐々に値が増加し、劣化が進んだことを示してい る. さらに4,000時間程度経過した時点で、ハザー ドエリアに到達したため、作動油の交換を推奨する 状態になったことがわかる. このことはオイル分析 の結果と比較しても同様の状態が確認されている. なお, ハザードエリアの設定については, 予防保全 の観点から安全側に設定しているものであり、ただ ちにそのオイルが寿命を迎えたり、建設機械の異常 を示すものではない. それらの可能性を示唆するこ とにより、より詳細な点検を推奨するものである.

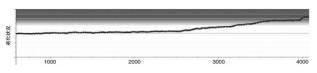
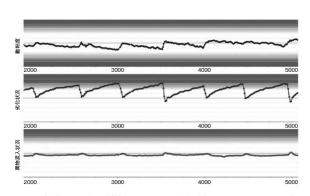


図 2 稼働する建設機械のオイル監視状況:20tクラス油圧 ショベル・作動油の例

3.3 オイル監視センサを用いたエンジンオイルの 状態監視例

図3に当社の20tクラス油圧ショベルのエンジン オイルの状態監視例を示す. 建設機械のエンジンオ イルにおいては500時間ごとのメンテナンスが要求 される. 図中の横軸は稼働時間, 縦軸は上段から動 粘度, 劣化状況, 異物混入状況を示している. この 図における劣化状況の推移からエンジンオイルはオ イル交換後から時間経過と共に性状が変化している ことを確認できる. また、オイル交換を実施すると 各値が初期状態に戻る. 同様のサイクルがオイル交 換のたびに繰り返される. この図では稼働2.000時 間から5,000時間までの間にオイル交換が6回行わ れたことがわかる. 実際にヒヤリングの結果からも 同様のオイル交換履歴が得られている.



稼働する建設機械のオイル監視状況:20tクラス油圧 図3 ショベル・エンジンオイルの例

このように、オイル監視センサのシステムを用い ることにより、オイルの性状のみならず、メンテナ ンスの履歴も可視化することができる.

3.4 オイル監視センサとオイル分析の組合せ

以上、オイル監視センサの特徴について述べたが、 これにより従来から実施されてきたオイル分析が不 要になるという訳ではない. オイル監視センサは、 エンジンや油圧システムのオイルの性状を監視する ことはできるが、オイル分析のようにオイル中に含 まれる微量の金属粉等を詳細に検出することはでき ない. したがって、オイル分析とオイル監視センサ を併用することで、より正確な診断が可能になる.

3.5 オイル分析の結果を診断システムで簡潔化

オイル分析の課題のひとつには、2.2にもあげた 通り、結果が解釈しづらい点がある. これを解決す るため,当社は世界地域の主要なオイル分析会社と 提携し, オイル分析の結果データを当社の診断シス テムに登録することで、顧客へ診断結果をレポート で提供するサービスを導入した. この診断ロジック には当社がオイル分析から得た知見や経験が盛り込 まれており、顧客は診断結果を見ることによりオイ ルの状態を容易に把握することができる. また, 新

しい油種に対しても予め必要な情報をシステムのマ スタに登録することにより対応が可能である.

4. オイルの状態監視サービスを活用したメ ンテナンス

これまで当社のオイルの状態監視サービスの仕組 みについて述べてきた. 次にそのサービスを活用し たメンテナンスの具体的な流れを説明する. 基本的 に、オイル監視センサがオイルの状態を監視し、特 に異常がないときには顧客や代理店が能動的にアク ションを取る必要はない. 異常が観測されたときに, データを受け取ったクラウドサーバが内部に持つ診 断ロジックやしきい値により異常を診断し、顧客や 代理店にメールやアプリケーションを介して通知を 行う. 通知を受け取った代理店は顧客にコンタクト を行い、必要なメンテナンスやオイル分析のための 採油を行い、分析を進める.その結果は前述のクラ ウドサーバに蓄積され、必要な情報が自動配信され る. 配信された情報には、分析結果に応じた適切な 指示が記載されており、代理店は分析情報を見なが ら効率的なメンテナンスを行える. 当社はオイルの 性状の悪化レベルに応じて「Normal」「Caution」 「Critical」といった基準を設け必要なアクションを 迅速に実行できるようマニュアルを整備している.

5. おわりに

当社は、これまで建設機械のオイル状態監視にお いて、定期的に機械から採油を行い分析機関に発送 し、得られた分析結果からその機械の傾向を判断す ることで、メンテナンス計画のひとつの目安として

きた. しかし、分析機関を用いた場合の費用負担や 採油方法も無視することはできない、オイルの状態 監視が予防保全に貢献することは公知のことである が、同様のサービス、分析精度を建設機械向けに展 開するにはハードルが高い. 今回述べたように、オ イル監視センサを用いたオイル状態監視システムを 建設機械に導入することにより、これまでオイルの 状態監視を実施できなかった顧客に対してもリーズ ナブルな形でオイル状態監視サービスを提供できる ようになっただけでなく、これまで定期オイル分析 を行ってきた顧客には、より確実なオイルの状態監 視サービスが可能となった. このオイル状態監視シ ステムは2017年10月から欧州での導入がスタート し、現在では日本を含めたほぼ全世界でサービスを 提供している4-6).

参考文献

- 1) 秋田秀樹:建設機械のメンテナンス・トライボロジー、 トライボロジスト, 59, 6, p. 345-350 (2014).
- 2) 濱町好也ら:ICT技術を活用した建設機械オイル監視シ ステムの開発, 潤滑経済(2020. 10月号)(2020).
- 3) 濱町好也ら:ICTを活用した次世代サービスソリュー ション, 日立総論, p. 287-290 (2015).
- 4) 小野瀬宏: ConSite OIL マシンダウンゼロへの挑戦, TIERRA+, 日立建機(2017) 122号.
- 5) 秋田秀樹:建設機械のメンテナンスとトライボロジー, 潤滑経済(2017. 9月号)No.629, p.345-350(2017).
- 6) 濱町好也ら:建設機械オイル監視システム"ConSite OIL", 潤滑経済(2018. 4月号) No. 636, p. 7-11 (2018)

(原稿受付:2023年4月5日)



水グリコール系難燃性作動油の 状態監視システムの開発について

著 者 紹 介



好 真

株式会社MORESCO 機能材事業部 機能材開発部 〒650-0047 神戸市中央区港島南町5丁目5-3 E-mail: miyoshi@moresco.co.jp

2002年近畿大学大学院総合理工学研究科修了 同年株式会社MORESCOに入社し,以来油圧作動油の開発,営業活動に従事.現在新たな作動油 分析管理の開発にも携わっている

1. はじめに

油圧作動油は、油圧システムにおいてポンプに よって生み出された力をアクチュエータまで伝達す る役割を果たすもので、人体における血液に当たる 重要な存在である.油圧システムのトラブルの大部 分は、この血液である作動油の汚染によるとも言わ れている. ゆえに油圧システムの安定稼働のために は適切な作動油を用いるだけでなく、適切な状態で 管理することも非常に重要である. 作動油の状態を 知るということは普段われわれが健康診断で行う血 液検査のように重要かつ必要不可欠である.

当社は作動油を製造販売しているメーカーである. とはいっても,一般的な石油系(鉱物油)の作動油で はなく難燃性作動油に特化したメーカーであり、中で も水グリコール系難燃性作動油(以下、水グリ)を得 意としている. 鉱物油は各種性能のバランスも取れて おり、コストも安いため、油圧システムで用いられる 作動油のほとんどは鉱物油である. しかし"油"である ため、当然ながら火が付けば激しく燃焼する、そのよ うな火災の危険性が高い現場で用いられるのが難燃 性作動油であり、その中でも水グリの安全性は非常に

表 1 各作動油の燃焼性

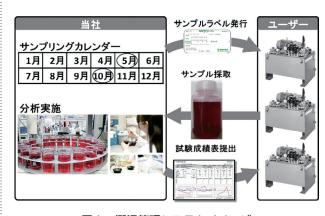
試験項目	鉱物油	脂肪酸 エステル	りん酸 エステル	水グリ
消防法危険物該非	第四石油類	指定可燃物	指定可燃物	非危険物
引火点	250℃未満	250℃以上	250℃以上	なし
高圧スプレー試験	爆発的に着火	着火	着火	着火しない
ホットマニホールド試験	瞬時に発火	管上で燃焼	発火しない	発火しない

優れている (表1). 水グリは約40%の水を含有して おり、使用しているうちに徐々に蒸発していき状態が 変わってしまうため、管理が面倒な作動油と言われる ことが多い. しかし. この面倒な管理を怠ると. どう しても鉱物油と比べるとトラブルが発生しやすい傾向 がある. そのため当社は水グリの製造だけでなく, 適 切に使用していただくための管理にも力を入れている.

2. 作動油の分析による管理

当社は当社製水グリをご使用いただいている設備 については、潤滑管理システムと呼称するシステム に登録して定期的に分析を行っている. 潤滑管理シ ステムでは、設備ごとに分析のタイミングを設定して おり定期的に作動油の状態を確認することができる (図1). 分析設定月になれば販売店に通知するように なっているため、分析予定のサンプルを漏れなく採 取することができる. 採取したサンプルは当社に送 付され、当社にて分析を行った後、販売店に試験成 績表を発行,販売店よりお客様に結果を報告すると いう流れである。現行のシステムであれば、サンプ ル輸送などの期間が必要になるため、サンプル採取 から結果を知るまでに一定の時間がかかってしまう. 通常時であればそれほど問題にならないが、機械ト ラブルが発生した場合はそういうわけにはいかず, 少しでも早く作動油の状態を知って、トラブル原因 の解明を行いたいというのが使用者側の思いである.

このような欠点を克服するためには、作動油の状



潤滑管理システムイメージ

態を分析できるセンサを直接油圧システムに設置す ればよい. そうすることによって, 作動油の状態を 知りたいときにタイムラグなく知ることができる. 作動油の動粘度や汚染度(清浄度)などを測定でき る個別のセンサなどはすでに世の中に存在するが, いずれも水グリには対応していない. 当社では現在, 作動油の適切な管理のために必要な項目を複合的に 分析して,継続使用可否などを判断できる作動油管 理システムを開発中である. 水グリメーカーである 当社が作っているため、当然水グリにも対応してい る. まだ開発中の内容も多いが、概要について作動 油の分析項目と併せて以下に述べる.

3. 作動油の分析内容

3.1 作動油のトラブルに直結する汚染度(清浄度) について

作動油中の汚染物質(ゴミ)は油圧ポンプの異常 摩耗、バルブ詰まりによる動作不良、フィルタの目 詰まりなど、油圧システムのトラブルに密接に関係 する. そのためゴミの有無を知ることは予防保全と して非常に重要である. 汚染物質の量を定量する方 法はいくつかあるが当社の定期分析では主に二種類 の方法を実施している.

ひとつ目が質量法(重量法)と呼ばれる方法で, 簡単にいえばサンプルのろ過を行い、ろ過前後のろ 紙の重量変化から汚染物質の量を算出する方法であ る. この手法では、たまたま大きい汚染物質が入り 込んだ際、結果に大きい影響を与えるなどの欠点も あるが、ろ紙に捕捉された物質の成分分析を行うこ とによって汚染物質の由来を直接的に解析すること ができるという長所もある.

もう一方が計数法であり、汚染物質の大きさとそ れらの数を同時に測定できる手法である. これは粒 子径ごとの汚染物質の数を級数(スケール番号)で 表し、NAS等級(表2)やISOコード(表3)とし

表 2 NAS等級における粒子数と級数

粒径の範囲		級												
WITH COMPANY	00	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
5 ~15 μm	125	250	500	1,000	2,000	4,000	8,000	16,000	32,000	64,000	128,000	256,000	512,000	1,024,000
15∼25 µ m	22	44	89	178	356	712	1,425	2,850	5,700	11,400	22,800	45,600	91,200	182,400
25∼50 µ m	4	8	16	32	63	126	253	506	1,012	2,025	4,050	8,100	16,200	32,400
50~100 μm	1	2	3	6	11	22	45	90	180	360	720	1,440	2,880	5,760
100 µ m以上	0	0	1	1	2	4	8	16	32	64	128	256	512	1,024

※粒子径ごとに汚染物質を計数し、上表よりそれぞれの級数を決める その中で最も大きい級数をNAS等級として表す(例)10級、12級など

表3 汚染度計数法における粒子数と級数

粒子個数		スケール番号													
個/mL	< 1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
上限領≤	0.01	0.02	0.04	0.08	0.16	0.32	0.64	1.3	2.5	5	10	20	40	80	160
下限値>	0	0.01	0.02	0.04	0.08	0.16	0.32	0.64	1.3	2.5	5	10	20	40	80
粒子個数										ケール番号					
fff/mL	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	28>
like me															
上限領≤	320	640	1,300	2,500	5,000	10,000	20,000	40,000	80,000	160,000	320,000	640,000	1,300,000	2,500,000	-

て報告する手法である. 汚染物質といってもさまざ まな大きさの物質が存在するが, それぞれ油圧機器 の隙間に"ちょうど"はまる大きさの汚染物質がト ラブルに結びつく. そのため、汚染物質の大きさと 量を測定できれば、現在の作動油の状態が油圧機器 のどの部分のトラブルにつながる可能性があるかを 知ることができる.

この様な汚染度測定を現場で行おうとすると計数 法の方が適していると考えられる. しかし、稼働中 の油圧システムにおいて作動油の汚染度を測定しよ うとすると気泡が大きな障害となる. 作動油中に存 在する気泡も汚染物質としてカウントされてしまう ため、気泡が入っている状態では汚染度は悪い結果 となってしまい、本来の作動油の状態を知ることが できない. 当社のシステムではそのような課題は解 決しており、気泡の影響を軽減して正確な汚染度を 測定できる.

汚染度の変化をリアルタイムに知ることができれ ば、すぐに汚染物質の除去などの対応ができるので、 装置のトラブルを未然に防ぐことができる.油圧シ ステムはほんの一時間でも停止すれば莫大な損害を 引き起こすものも存在するので、このような清浄度 の常時監視はそのような事態を避けるために大きく 貢献できると考えている. さらには浄油機と組み合 わせて、清浄度が一定の値を超えると自動的に浄油 機が作動するように設定できれば、なお一層トラブ ルを軽減させられると考えている.

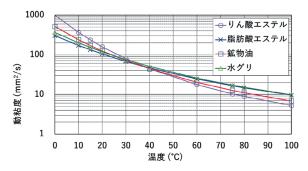
3.2 動作の安定に関わる粘度について

※正確には、粘度を密度で除した動粘度が油圧で は用いられる

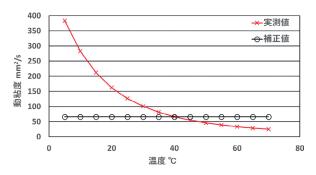
作動油に限らず潤滑油は使用による劣化によって 粘度が変化する. 通常の鉱物油では劣化とともに粘 度が増していくのが普通だが、水グリに関しては劣 化によって粘度が低下する傾向がある. しかし実際 には劣化だけではなく、配合している水分の増減に よっても粘度が大きく変化する. つまり, 配合され ている増粘剤のせん断劣化による粘度低下と, 水分 の減少(蒸発)による粘度上昇とがバランスしあい、 意外と粘度は初期値に近い値を維持することも多い. そのため, 実際には水分の増減を加味して本来の粘 度を管理し、その劣化状態を把握する必要がある. また粘度が変化するとアクチュエータの動作が不安 定になるため一定の状態を保つのが望ましい. 粘度 は温度が変われば数値が大きく変わることが知られ ている (図2). そのため、測定値そのものからは 作動油が適正な粘度を維持しているのかを判断する のは難しい.

そこで当社のシステムでは作動油ごとにパラメー

タを設定したプログラムにより粘度を補正すること によって、温度の変化にほとんど影響されずに40 ℃粘度に換算した数値を示すことを実現できた(図 3). これによってタンク内の油温が変化する設備 であっても、粘度の推移(経時変化)を知ることが でき、作動油の劣化速度を推し量ることができる.



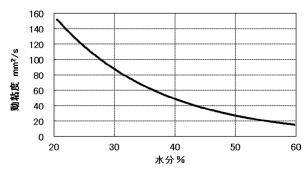
作動油の動粘度と温度との相関図 図 2



動粘度の実測値と40℃動粘度補正値との比較

3.3 水グリ特有の重要項目である水分について

水分は、鉱物油であれば水の混入を知るために測 定する項目である. 水が存在すると鉱物油の劣化促 進につながるため、あくまで微量成分として分析を 行う.一方、水グリははじめから40%の水分を配 合しているため、分析の意味合いが異なる. 水グリ の使用中, 水分は蒸発によって徐々に減少していき, 粘度に大きな影響を与える(図4). また通常の使 用上はほとんど考慮する必要はないが、極端に水分 が低下すれば水グリの特長である難燃性が失われる. 反対に冷却水の混入などで急激に水分上昇が起こり



水グリの水分変動による動粘度の変化

潤滑性不良に陥るケースもある. そのため粘度の項 目で述べた作動油の劣化状態を知るためだけでなく、 突発トラブル防止のために水分の監視は有効である.

3.4 水グリの劣化指標となるpHについて

水グリが使用により劣化すると, 液中に酸性の劣 化生成物が増加してpH(水素イオン指数)が低下 する. つまり、pHを測定することで劣化生成物の 濃度を間接的に知ることができる. pHが劣化した まま使用し続けるとゴミが発生しやすくなり、金属 が腐食しやすい状態になるため、作動油の交換が必 要となる(図5左). そのため、水グリの劣化度合 いを知る直接的な項目であると言える.

また、当社ではアルカリ価という分析項目もあり、 これは作動油中の気化性防錆剤の量を知るための値 でpHとは別に管理している. アルカリ価が低下し た場合はオイルタンクの天板が錆びやすくなるため (図5右)、調整剤の添加を行う必要がある.





水グリ状態異常による不具合事例

4. 測定結果の取扱い

設備の安定稼働を助けるためのシステムとしては, 重要なのは測定データをただ表示させるのではなく, その結果が何を表し、どのような対処を取れば良い かをお客様が簡単に理解できる状態にすることであ ると考える. 複数の分析項目を一括して管理するシ ステムであれば,作動油の状態を正確に把握し,作 動油の交換が必要なのか、調整が必要なのか、それ ともろ過による浄油が必要なのか、などの情報を提 供できる.極端な例では、測定データは必要ではな く、処置内容だけ知らせてくれるだけでいいという ようなご意見も存在する. (たしかにわれわれも健 康診断の数値よりもA, B, Cなどの判定を重視する のではないか)

これらのデータはWi-Fiなどの技術で担当者はデ スクにいながら作動油の状況を知ることができるた め、過去のデータと合わせて予知保全につなげるこ とにも役立てられる. また異常が発生した際にはア

ラーム通知もできる.

5. 作動油管理の有効性と今後の展望について

このような作動油の分析というのはあまり重要視 されないことも多いが、作動油の状態を把握するこ とができれば、異常が発生したときの対処が迅速に できるようになるので、作動油を適切な状態に管理 することは油圧システムの安定稼働に大きく貢献で きる. 直接的には製品の品質やコストダウンには結 びつかないため、軽視されがちではあるが、結果的 には設備停止による損害などを減らすことができて コストダウンにつながるケースも多い. 今回紹介し たようなシステムを用いれば管理の手間を大幅に軽 減できるため、日常の保全の負担を減らすことがで きるというメリットもある.

しかしながら、予防保全にかける費用がなかなか 確保できないというお客様も多いのが現状である. そのため、当社は常時監視システムと併せて、持ち 運べるタイプ(図6)も用意している. これならば、 常時監視はできなくとも1台保有しているだけで複 数台の油圧システムの作動油を即時に分析できるた め、コストを抑えることができる。特に重要な油圧 システムには常時監視を行い、その他の油圧システ ムにはこのポータブルタイプによって必要時に分析

を行うといった使い分けができれば、よりコスト面 での負担をかけずに適切な作動油管理ができるもの と考えている.

本稿では, 当社が得意とする水グリを中心に述べ たが、この様なシステムは水グリ以外の作動油にも 当然有効と考えているため、今後全ての油圧システ ムに対応できるようさらに開発を進める所存である.



図6 作動油管理システム (ポータブルタイプ)

(原稿受付:2023年4月7日)

解説

ターボコンプレッサの稼働状況を見える化する リモートモニタリング

著 者 紹 介

嶋 元



株式会社IHI回転機械エンジニアリング 〒235-8501 神奈川県横浜市磯子区新中原町1番地 E-mail: majima3019@ihi-g.com

1989年石川島播磨重工業株式会社(現株式会社IHI) 入社,2018年株式会社IHI回転機械エンジニアリングへ移籍 産業用回転機械の研究開発に従事,日本機械学会,ターボ機械協会などの

1. はじめに

産業界におけるコンプレッサ(圧縮機)は工場設 備へ圧縮空気を供給するユーティリティ装置である. 圧縮空気はその使いやすさから、さまざまな工場で 広く使用されており、エアシリンダなどの動力源や、 塗装工程,洗浄後の水切り・乾燥,機械加工後の切 粉飛ばしなど、用途は多岐にわたる.

この圧縮空気を作り出すためにコンプレッサは電 力を消費するが、その消費量は一般的な工場におけ る総電力使用量の10~30%に達しており、コンプ レッサのライフサイクルコスト (Life Cycle Cost: LCC) の大半を電力費が占めている. したがって、 工場全体の省エネを進めるためには、コンプレッサ の効率的な運用は重要なポイントであり、より高効 率な運用を多くのお客さまが求めるようになってき ている.

一方で、コンプレッサは工場内のユーティリティ 供給装置として重要ではあるが、生産設備ほど人も お金もかけられず、効率良く運用したいが、人員の 削減やメンテナンス保守費用の確保が後回しになる など、保全担当者の業務負担は日々増加している. このような状況下で機械の健全性を維持し、かつ、 運用コストの低減を図ることは、お客さまにとって 大きな課題となっている. このお客さまの「困りご と」を解決することを目的に、コンプレッサの稼働 状態を遠隔から監視できるリモートモニタリング サービスの提供が開始されている.

2. リモートモニタリングサービスの概要

2.1 コンプレッサのメンテナンス

コンプレッサをメンテナンスする場合. コンプ レッサの運転に支障が出そうな部位を抽出し、日常 点検項目に指定して稼働状態を記録として残すよう な管理を行っている.

リモートモニタリング(遠隔監視)システムを導 入すれば、圧力や温度、流量、振動などの運転デー タを容易に収集できるため、これらをデジタルデー タとして記録・保存することで、 コンプレッサの稼 働状況が詳細に把握できるようになり、メンテナン ス業務が効率化されるものと期待される.

2.2 リモートモニタリングサービスの概要

リモートモニタリングサービスを活用することで, お客さまは機器を設置している現場に出向くことな く、コンプレッサの稼働状況を遠隔で監視し、Web ブラウザ画面等(図1)で「見たいときに、見たい 場所で見る」ことが可能になる.

また、お客さまとサービスを提供するメーカで、 リアルタイムに稼働状況を共有し、データ分析によ る省エネ提案や適切なメンテナンスが実行できるよ



図1 Webモニタリング画面イメージ

うになる. さらにトラブル発生時には、お客さまと サービスエンジニアへ電子メールが自動配信され, 情報を共有することで、迅速に適切な対応が可能と なる1).

2.3 簡単で安全なネットワーク構築

これらのモニタリングサービスシステムは, コン プレッサ側に設置するEdgeデバイスとIoTサービス で構成され、ユーザはインターネットを通じて、機 械の稼働状況を遠隔で見ることが可能となる.

IoTサービスが使用するM2M (Machine to Machine) ネットワークは、不正アクセスによる情報漏洩の心配 がない、セキュアな環境で構築されている、稼働デー タは、インターネットを介し、Webブラウザで稼働状 態やメンテナンス情報などを閲覧することができる.

2.4 長期間にわたるデータ活用

記録したデータは、リモートモニタリングサービ スの契約期間中はクラウドサーバに保管されるため, 機械状態の監視を通じて、適切なメンテナンスと設 備の運用方法改善に活用できる.

コンプレッサは通常、短いスパンで簡易点検を行う ほか、中・長期のスパンで機械内部を開放する保全整 備(時間基準保全:Time Based Maintenance:TBM) が必要である. リモートモニタリングサービスでは, 長いスパンで機械状態が監視でき、そのデータを用い て定量的に対比評価することで、時間保全基準に加え て、状況に応じた適切なメンテナンス (状態基準保 全:Condition Based Maintenance:CBM) も行うこ とができる.

通常は単年で契約・実施するメンテナンスを複数 年分同時に契約し、お客さまの使い方にあったコー スや費用支払いが選べる長期メンテナンスパックと の組合せで、機械のさらなる安定稼働が可能となる.

3. ターボコンプレッサのリモートモニタリ ング

パッケージ型ターボコンプレッサ制御盤には、機 械安全や機械保護、お客さまにとっての運用し易さ などを考慮して, 圧力や温度, 流量, 振動などの各 種情報を監視し、制御する機能が内蔵されている.

IoTという言葉が普及する以前は, 巡視点検で現 場指示計器の値を紙の帳票に記録して稼働実績を把 握し、メンテナンスに活用してきた.

そのため、デジタル化された制御盤はお客さまに とって扱い易い制御装置という位置づけに留まり, 通信機能に対するニーズは少なかった.

しかし、DX化が進むことで、デジタル化された 制御盤がEdgeデバイスとしての役割も担うことか ら、ネットワークに接続させて、データの二次利用 を検討する事例や, IoT Gatewayを追加して, クラ ウドシステムに接続して遠隔監視を行うような事例 が増えてきた²⁾.

ターボコンプレッサは、インペラを取り付けた ロータを高速回転させることにより、空気を所定の 圧力まで昇圧する圧縮機である. したがって、機械 保護のために高速回転しているロータの軸振動値を モニタリングしている.

軸振動異常の原因を究明する場合には、軸振動 データを波形データとして収集する必要がある. し たがって、軸振動解析までを考慮する場合は、比較 的ゆるやかに変化をとらえる傾向監視データ(時間 ~日単位)と異なり、高速回転するロータの波形 データを解析するための瞬時データ(μS単位)の 取得というサンプリング間隔が異なるデータの収集 が必要となる.

ターボコンプレッサは、相対的に故障率が低く, メンテナンス周期が長い傾向がある. 実際に軸振動 の傾向監視を行っても予防保全で検知できる故障は 全体の1~3%という報告がある30.このような状 況の中, サンプリングタイプが短い瞬時データをリ モートモニタリングデータとして常時データ伝送, 保存することになると、その費用は莫大となる.

EdgeデバイスによるEdgeコンピューティングと は、情報処理システムの概念であり、Edgeデバイ スとは、末端(現場)にあるセンサ群から情報を集 め, その情報を加工し, 加工した情報を外部へ伝送 する機能を有する装置と定義できる. Edgeデバイ スをコンプレッサ制御盤に組み込むことにより、こ の異なるデータ収集ニーズに対応したリモートモニ タリングが可能となる(図2).

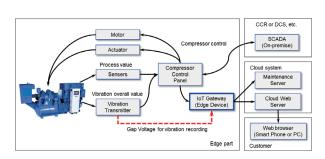


図2 リモートモニタリングシステム例

4. 軸振動解析への応用事例

IoTが一般化する以前は、現地に機材と専門の技 術員を派遣して, 軸振動解析に必要なデータを採取 するとともに、お客さまから圧縮機の運用状況をヒ アリングすることによって、精密診断を行ってきた. しかし、クラウドシステムに対応したターボコン

プレッサ制御盤に内蔵可能な常設Edgeデバイスを 設置すれば、軸振動の傾向監視に必要とされる正常 時と特異事象発生時の状況が適切に把握できるよう になるため、軸振動の傾向監視とその診断がより効 率的に進められるものと期待される.

当社にて実施したターボコンプレッサのリモート モニタリング試験による軸振動解析事例を紹介する. 試験に使用したEdgeデバイスには、コンプレッサ 制御装置から取得した稼働情報を5分単位のサマ リーデータにまとめてクラウドサーバに送信する機 能が内蔵されている. 同時に5秒周期で取得した生 データはEdgeデバイス内部のストレージに保存さ れる. これらの機能を組み合わせると. 正常時と特 異事象発生時の軸振動波形がどのような状況でサン プリングされたのかを容易に比較検討できる.

図3の上側は正常時にサンプリングしたコンプ レッサ無負荷運転時のデータ、下側は特異事象(軽 故障)が発生してから2分後に採取されたデータで ある.

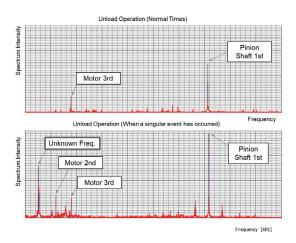


図3 軸振動解析例

FFT解析では、コンプレッサピニオン軸の振動が 正常時の1.5倍近くまで増加していたこと、回転体 要素では生み出されない発生源不明の大きなスペク トルが記録されていたことが特徴としてあげられる. この解析により、コンプレッサの回転体は正常で あるが、電気設備側の要因により電動機にトルク脈 動が生じ、これがピニオン軸に影響を及ぼした可能 性が高いと推測された.

以上の分析結果により、コンプレッサのオーバー ホールや軸振動の精密診断は必要とされず. トルク 脈動対策や運用による回避策の検討が有効であるこ

とが確認された.

軸振動異常でコンプレッサが停止したとき、異常 発生前後の情報が適切に把握できていないがゆえに 原因究明が難航し、問題解決に時間を要することが ある. 最悪の場合、損傷によって圧縮機が停止した 状態であったにもかかわらず、安易に再起動したこ とで、復旧ができない状態に至った事例も報告され ている. 軸振動異常の発生原因が短時間で把握でき, 安全に再起動できることが確認できれば、圧縮機の 停止期間は短くなり、稼働率が高まることで、工場 の安定操業にも寄与できる.

軸振動の精密診断は、お客さまから異常発生の連 絡を受けてから実施しているが、特異事象は必ずし も精密診断のタイミングで発生するとは限らない. しかし、本事例で紹介したように、ターボコンプ レッサ専用に設計されたリモートモニタリング用 Edgeデバイスを制御装置に内蔵させ、オンライン 接続によって稼働実績が常時把握できるようなシス テムを構築した上で、正常時と特異事象発生時の状 況が的確に把握できるイベントレコーダ機能を設定 できれば、軸振動診断や圧縮機メンテナンスに活用 できることが確認された.

5. おわりに

リモートモニタリングサービス, およびEdgeデ バイスによるデータ収集と解析による診断サービス 等を活用することにより、 コンプレッサをより健全 な状態で効率的に運用することが可能となり、 コン プレッサ全体のLCCの低減に寄与することができる. さらに、多くのコンプレッサから稼働データを蓄

積することにより、データ分析・評価技術の高度化 を図り、将来は予兆診断機能や機械の健康診断といっ た、故障するまでの予測時間や最適な保守提案など の高付加価値なサービスの提供が期待されている.

参考文献

- 1)株式会社IHI回転機械エンジニアリング、ターボコンプ レッサの稼働状況を見える化するリモートモニタリン グサービス、IHI技報、62(2022)、10.
- 2) 小松裕二,幸喜恒雄:Edgeデバイスを活用したターボ 圧縮機の振動解析事例, ターボ機械, 第51巻3号P 36-46 (2023)
- 3) 里永憲昭・他3名, 化学プラントにおける設備診断の 現状と課題, 潤滑経済, 504 (2007-11), 1.

(原稿受付:2023年4月5日)

会議報告

日本機械学会第21回機素潤滑設計部門講演会における フルードパワー関連技術の研究動向

者 紹 介



成

大阪工業大学 ロボティクス&デザイン工学部ロボット工学科 〒530-8568 大阪府大阪市北区茶屋町1-45 E-mail: hironari.taniguchi@oit.ac.jp

2003年東京農工大学大学院博士後期課程修了 津山工業高等専門学校准教授を経て,2017年大阪工業大学R&D工学部准教授,現在に至る.ソ スーペステースの研究に従事。日本 フトロボティクスの研究に従事。日本 パワーシステム学会、日本機械学会、 日本フル 日本口 ボット学会, IEEEなどの会員. 博士(工学)

1. はじめに

2022年においても、新型コロナウイルス感染症の 影響により、多くの国内外の会議・講演会において、 オンラインでの開催となった. 本報にて報告する日 本機械学会第21回機素潤滑設計部門講演会もオンラ イン開催となり、2022年12月5日(月)から6日(火) までの日程で開催された. 本講演会は、日本機械学 会機素潤滑設計部門の行事として隔年に開催されて おり、特別講演1件、基調講演4件、そして一般公 演として15のセッションにて56件の発表があった. 一般講演では、発表スライドを用いて10分間の口頭 発表を行い、その後5分間の質疑応答がなされた.

本報告では、フルードパワーに関連する研究動向 について、発表された研究をいくつかピックアップ して紹介する.

2. フルードパワー関連技術の研究動向

講演論文集をもとにした著者の分析によると、空 気圧関連6件,機能性流体関連1件,合計7件のフ ルードパワーに関連した研究発表が確認された。表 1にセッション別の発表件数を示す.次世代アク チュエータとその応用(1)のセッションでは、発表件 数4件のうち、空気圧に関連する発表が3件、機能 性流体に関連する発表が1件であった. 次世代アク チュエータとその応用(2)のセッションでは、発表件 数3件のうち、2件が空気圧に関連する発表であっ た. また、アシスト・ウェアラブルのセッションで は、発表件数4件のうち1件が空気圧に関連する発 表であった.

表1 セッション名とフルードパワー関連の論文数

セッション名	件数
次世代アクチュエータとその応用(1)	4
次世代アクチュエータとその応用(2)	2
アシスト・ウェアラブル	1
合計	7

3. フルードパワー関連技術の研究紹介

ここでは、フルードパワーに関連した発表の中か ら, 興味深い発表論文をいくつか紹介する.

江崎ら¹⁾は、ERF(electro-rheological fluid)の流 れを電界による粘度変化で制御するERマイクロバ ルブを用いた高圧力駆動ERマイクロアクチュエー タを提案している. 図 1 はERマイクロバルブと, コイルばね拘束形ゴムチューブアクチュエータを組 み合わせたERマイクロアクチュエータの構成図で ある. 特性実験では、アクチュエータの変位および 応答特性を明らかにしている.

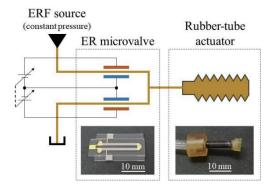
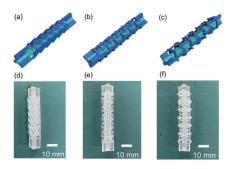


図1 ERマイクロアクチュエータの構成図

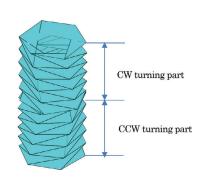
近藤ら2)は、ベローズ型チューブの周辺に負のポ アソン比を有するAuxetic構造で囲み一体化したシ リンダー状のソフトな構造体を検討している. 図2 は、試作した3種類のソフトシリンダー構造体であ る. これらの構造体へ空気圧を印加することにより, 先端部が上下に湾曲運動することや、ラチェット路 面上での歩行運動を示している.



(a)(d) DAH構造シリンダー, (b)(e) horizontal type構 図 2 造シリンダー, (c)(f) vertical type構造シリンダ-

吉本ら³⁾は、複数の空気圧McKibben型人工筋肉 を集積した多自由度ソフトマニピュレータの制御を 目的とした、機械学習によるマニピュレータの姿勢 推定について検討している. 姿勢推定モデルには、 リカレントニューラルネットワーク (RNN) を用 いている. 実験より, 実際のマニピュレータの姿勢 とRNNによる推定値は、同様の波形を示したこと が述べられている.

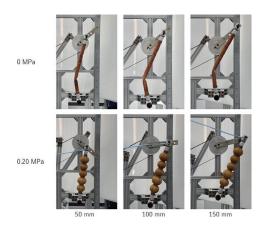
内田4)は、折紙構造を応用した空気圧駆動のソフト アクチュエータと、それを用いた軽量柔軟ロボットに ついて検討している. 図3に示すように、アクチュ エータは螺旋方向を逆向きにした2つの螺旋折紙構 造を上下2段に重ねたもので、長さと旋回角を制御 可能な2自由度アクチュエータとして提案されている.



2自由度螺旋折紙構造アクチュエータ

岡本ら⁵⁾は、足関節を対象とした関節可動域訓練 (Range of Motion: ROM) を行う装置について, その構造, ROM訓練方法, そしてユーザ試験の結 果について報告している. 提案する足関節運動支援 装置は、空気圧ソフトアクチュエータを駆動源とし て使用しており, 底背屈動作および回内外動作を実 現している.

山口ら6)は、空気圧ゴム人工筋肉を使用した歩行 リハビリ装置を検討している. 本装置は、1自由度 のリンク機構で脚部3関節の連動動作をリハビリす る装置として提案されている. 空気圧ゴム人工筋肉 には、ワルシャワ型人工筋肉が用いられており、図 4に示すように、開発している歩行リハビリ装置に 存在する運動限界位置を人工筋肉で補助する仕組み を実験的に検討している.



駆動補助部の実験結果 図 4

4. おわりに

本稿では、日本機械学会第21回機素潤滑設計部 門講演会において、その概要とフルードパワー関連 技術の研究動向および、一部の発表論文について紹 介した. 本講演会では、フルードパワー技術に関連 する研究として、アクチュエータに関連する研究開 発が多くみられた. 今後も、ますますフルードパ ワー技術に関連する研究・開発が増えることを期待 したい、日本機械学会第23回機素潤滑設計部門講 演会は、2024年4月に、大分県別府市にて開催さ れる予定である.

参考文献

出典は、すべて日本機械学会第21回機素潤滑設計部門講 演会講演論文集である. 著者, 題目, 講演番号のみを記す.

- 1) 江﨑陸, 吉田和弘, 金俊完: 高圧力駆動ERマイクロア クチュエータに関する研究, 1A11
- 2) 近藤駿太郎,遠藤洋史:Auxeticアーマードの立体変形 機構に基づくソフトアクチュエーション歩行, 1A12
- 3) 吉本依史, 浮田貴宏, 山本好恵, 脇元修一, 神田岳文, 山口 大介: リカレントニューラルネットワークによる 空気圧ソフトマニピュレータの湾曲動作推定の基礎検 討, 1A14
- 4) 内田博志: 螺旋折紙構造を応用したソフトアクチュエー タとソフトロボットの開発, 1A21
- 5) 岡本宙,森山龍騎,谷口浩成:足関節運動装置の開発 とユーザ評価試験, 1A23
- 6) 山口翔大, 遠藤功太郎, 南後淳, 戸森央貴: 平面リン ク機構と空気圧ゴム人工筋肉を用いた歩行リハビリ装 置の試作および評価、1A32

(原稿受付:2023年4月1日)

トピックス

学生さんへ, 先輩が語る 油圧機器の設計・開発に携わる社会人の日常-

著 者 紹 介



Щ 大

川崎重工業株式会社 〒651-2239 兵庫県神戸市西区櫨谷町松本234 E-mail: nakayama da@khi.co.jp

2019年山口大学大学院創成科学研究科専攻, 注課程修了. 同年川崎重工業株式会社に入社 し現在まで油圧ポンプの開発に従事

1. はじめに

1.1 自己紹介

はじめに、学会誌執筆という貴重な経験をさせて いただいたことに感謝する. 本執筆は油圧機器の設 計・開発に携わる者として、また、ひとりの社会人 として皆さんの今後の活躍の一助になればと思い執 筆した. 通読していただけると執筆者としては嬉し い限りである.

私は福岡県の北九州市で生まれ、高校卒業までの 18年間を同地で過ごした、祖父が大工だったこと もあり、幼少期からものづくりには興味があった. 高校時代、将来はものづくりに携わりたいとの思い より、卒業後は山口大学・大学院に進学し、機械工 学を中心にさまざまなことを学んだ. 卒業後は縁 あって川崎重工業㈱に入社し、油圧ポンプの設計・ 開発に携わっている.

1.2 企業および職場紹介

川崎重工業㈱は船舶・鉄道車両・航空機・モー ターサイクル・ガスタービン・ガスエンジン・産業 プラント・油圧機器・ロボットなどの多彩な事業を 展開する総合エンジニアリングメーカーである10. その中でも、私は建設機械や産業装置などさまざま な機械・装置に搭載される油圧機器を取り扱う精密 機械ディビジョンに勤務している. 勤務地である西 神戸工場は東経135°上に位置しており、現在は 2024年からわれわれの新しい事務所となる新総合 ビル(10階建て)が建設中であり、日々、完成に 近づくのを見るのが最近のちょっとした楽しみであ る (写真1).



写真1 建設途中の新総合ビル

2. 学生時代を振り返って

2.1 研究内容紹介

学生時代の講義で流体工学に興味を持った私は, 流体工学研究室を希望し配属された.配属後は開発 要素を含んだ研究テーマで興味が湧いたため、空気 などの流体と物体の摩擦により発生するせん断応力 の計測法開発に関する研究を選んだ.

ここで、研究内容について簡単に説明する、近年、 CO。排出量削減を背景に自動車業界などで省エネル ギー化が盛んに行われているが、自動車の省エネル ギー化に必要な要素として走行時の燃費向上がある. 自動車走行時の燃費悪化の要因に空気抵抗があり、 その中のひとつに研究対象のせん断応力がある. こ のせん断応力は三次元的に大きさや方向が変化する が、従来の計測法では方向の計測精度に課題があり 改善する必要があった. これらの背景より, 方向の 計測精度向上に着目し計測法の開発に関する研究を 行った. 計測としては、計測か所に簡単な障害物を 設置し、その障害物まわりに発生する圧力差より間 接的に求める方法となっている. この計測法により, せん断応力の方向の計測精度を向上できることを確 認した. この研究を進めるにあたって実験装置を準 備する必要があったが、不備があると妥当な実験結 果が得られず苦労した. この経験は現在の油圧ポン プの開発評価試験における設備の重要性を認識する 良いきっかけとなっている.

2.2 学生時代にやってほしいこと

多くの皆さんも感じているかもしれないが、私も 同じ学生時代のころ、将来に漠然とした不安があっ た. 社会人の今だから思う, 学生時代にやってほし いことをいくつか述べる.

ひとつ目は、目の前のことに真剣に取り組むとい うことである、皆さんの立場で言えば、学業や研究 にまじめに取り組んでほしいと思う. まじめに取り 組むといっても抽象的だが、具体的には目標を立て ることを勧める. そう考える理由としては「ゴール が明確になる」「継続性が上がる」点にある. 私が 学生時代のころ, アルバイトやサークル活動に明け 暮れたことで学業が疎かになり、怠惰な学生生活を 送る時期があった。研究室配属を機に危機感を覚え た私は「学会で賞を取る」を目標に研究を進めた経 験がある、結果として、日本機械学会(中国四国支 部)2)で優秀発表賞を受賞することができ、この経 験は現在も自らの自信となっている. その過程で得 られた経験や考え方は今でも活かされ、これは闇雲 に取り組むだけでは得られなかったと考える. 皆さ んも社会人になると会社や自身の目標達成に向け仕 事を進める機会があると思うが、学生のうちに目標 を立てまじめに取り組むクセを付けておけば、業務 のプロセスやスケジュール管理などさまざまな点で 将来役に立つと考える.

ふたつ目は, 少しでも興味があればとりあえず やってみるということである. これは学業に限らず, サークル活動やアルバイト, 趣味など何でも良い. そう考える理由としては「自分の得意・不得意を認 識できる | 点にある. 将来, 皆さんが仕事選びをす る際に自身の得意分野を認識しておくことは重要で あり、そのためには比較的時間のある学生時代にさ まざまな経験をして多くの選択肢を持つ必要がある. 皆さんにはぜひ、多くの選択肢から仕事を選んでほ しいと願う一方、油圧機器の設計・開発に携わる身 としてはフルードパワーシステムの分野を選んで貰 えると嬉しい限りである.

2.3 就職活動

私が就職活動を始めた当初、ものづくりに携わり たいとの思いからフルードパワーシステムに関わる 業界だけでなくメーカー全体に視野を広げ業界研究 を行った. 業界研究は四季報, 大学の就職支援室, リクルーター面談, 工場見学などを活用し, 大学の 研究活動を進める傍らで行った. 自己分析や情報収 集の結果, 最終的には流体工学に関わる仕事をした いとの思いが募り、現在の職場に勤務している。研 究活動と就職活動の両立は難しいと思うが、その中 でも業界を絞らず、さまざまな業界を調べた上で皆 さんが納得する仕事に就けることを期待する.

3. 仕事紹介と社会人の日常

3.1 仕事紹介

入社後1ヶ月間は油圧の基礎知識を研修で学んだ 後、油圧ポンプの設計・開発を行う部署を希望し配 属された. その中でも, 私の担当製品は写真2に示 すような農業機械などに使用される油圧ポンプであ る. 私が配属された部門は新製品の開発中であった こともあり、日々の業務では周囲のサポートを受け ながら評価業務の対応に明け暮れていた. 当時のエ ピソードとして性能不具合への対応がある. さまざ まな部品を交換しながら評価業務を実施したが、部 品交換などの履歴の記録が疎かになったことで使用 部品と性能結果の紐づけが曖昧になり適切な対応策 を上司に仰げなかった. この経験から履歴を残すこ との重要性を認識でき, 現在の履歴を残す習慣が身 に付いたきっかけになっている.

現在の業務は開発製品の机上検討や解析による基 本・詳細設計、評価業務、各部門との製品レビュー 会など多岐にわたる.油圧ポンプの設計・開発の魅 力は製品に一から携われる点にあり、量産化された ときの達成感は一段と高い. ここで, 私の代表的な 出勤日のスケジュールの一例を紹介する(写真3). まず、始業後はメールチェックや所属チーム内で担 当業務や連絡事項を共有する. その後は上記で述べ た評価業務や製品設計などを行い、最終的に進捗報 告や翌日の業務内容を整理し終業となる. これらの 業務は基本的に他部署との連携が必要なためチーム ワークが重要になる. 最近では勤務形態や勤務時間 を比較的自由に設定できるようになった反面、業務 管理や情報共有の重要性がより一層高まったと実感 している.

3.2 入社後に感じた必要な能力

社会人に必要な能力として, 私が学生時代に想像



写真 2 私の担当製品

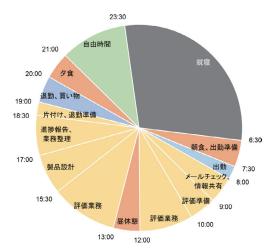


写真3 出勤日のスケジュール(一例)

していたものはコミュニケーション能力や問題解決 能力,4力学(材料力学、流体力学、熱力学、機械 力学)をはじめとした専門知識などであった.確か に、これらの能力はあるに越したことはないが、入 社後は他にも必要な能力があると実感したためその 例をいくつか述べる.

ひとつ目は、独善的にならず周囲のアドバイスを 頻繁に受ける素直さである. これは能力と少し異な るが、そう考える理由として、「業務の手戻りを最 小化できる」「仕事のアウトプットが早くなる」点 にある. 業務の効率化は企業の利益向上の重要課題 であり、そのためには少ない労力で多くのアウト プットを出す必要がある.特に、独善的になると視 野が狭くなり、業務で課題に直面すると身動きが取 れなくなる可能性が高い、業務上の課題は過去に解 決されていることが多いため、解決までのプロセス や考え方を積極的にヒアリングし、さまざまな視野 を持つことが重要だと考える.

ふたつ目は、プレゼン発表や報連相などで必要と なる説明能力である. それは、社会人になるとさま ざまな場面で説明の機会があり、説明次第で相手の 理解度が決まるためである. 学生時代は研究発表や 教授への進捗報告などくらいであり、説明の機会は 少ない. 一方で、社会人になると打合せ、情報共有、 顧客への製品紹介など説明の機会は増える. また. チームで仕事をする以上、必要な情報や自身の考え を相手に理解してもらう必要があり、 双方の認識に 違いがあるとミスなどにつながりやすくなる. した がって、社会人における説明能力の重要度は高く, 円滑に仕事を進めるうえで大切な能力だと考える.

3.3 社会人の休日

社会人になると休日に対する考え方が学生時代か

ら変化した. 学生時代は比較的自由な時間が多かっ たため、普段の学校生活と休日の境界が曖昧であっ た. 感覚でいうと経験・勉強・遊びといったものに 近い. 一方で、社会人の休日は仕事のリフレッシュ の意味合いが強く、休日の過ごし方が仕事の活力に 影響すると実感している。また、仕事では気付かぬ うちにストレスを抱えることがあるため、普段から ON-OFFを切り替えリラックスする習慣を身に付け た方が良いと考える. リフレッシュの方法は各個人 で異なるが、私の場合は身体を動かすことが好きな ため、休日は学生時代より続けてきた野球の試合で 汗を流すことが多い. また, 最近では体調管理やリ フレッシュの一環として、 仕事終わりに工場内にあ るトレーニングルームで筋力トレーニングを行うの が日課になっている (写真4).



写真 4 筋力トレーニングの様子(執筆者本人)

4. ま と め

本執筆により私自身もこれまでの人生を振り返る ことができた. まず思ったことは現在の自分は過去 の経験から形成されているということである. 当た り前のことであるが、皆さんが現在勉強している学 間や研究、サークル活動などの経験は社会人になっ ても活かされると考える. ぜひ, 皆さんにはさまざ まなことに興味を持ち、いろいろな経験をして社会 に出ることを期待する.

参考文献

- 1) 川崎重工業株式会社, https://www.khi.co.jp/
- 2) 一般社団法人日本機械学会中国四国支部, https:// www.jsme.or.jp/cs/ss-prizes.html

(原稿受付:2023年4月5日)

企画行事

2022年度ウィンターセミナー開催報告 「機械学習の基礎とフルードパワーシステムへの応用」

者 紹 介



小 林 百

岡山理科大学情報理工学部 〒700-0005 岡山市北区理大町1-1 E-mail: w-kobayashi@ous.ac.jp

2015年芝浦工業大学大学院理工学研究科博士 程機能制御システム専攻修了. 同大学ポスド 課程機能制御システム専攻修了 を保護を制御システム等攻修り、同人子ボスト ク研究員、2016年岡山理科大学助教を経て、同 大学講師、現在に至る、日本フルードパワーシ ステム学会, 計測自動制御学会などの会員. 博 士 (工学)

1. はじめに

2022年度ウィンターセミナー「機械学習の基礎 とフルードパワーシステムへの応用」が2023年3 月7日(火)にオンライン(Zoom)にて開催された. 本稿では、本セミナーの開催概要と当日行われた 講演の内容について報告する.

2. セミナー概要

機械学習に関する技術は近年ますます重要な役割 を担ってきており、今後も多くの分野での活用が期 待されている. 本セミナーでは、フルードパワーシ ステムへの機械学習の導入を検討している方、ある いはこれから学びたいと考えている方を対象に、機 械学習の基本的な仕組みから実際にフルードパワー システムへ適用した事例までを取り上げ、以下に示 す4件のテーマを選定して1件あたり50分で講演 が行われた.

本セミナーは、個人24名、団体5件、講師3名 の参加で完全オンラインにて開催された.

3. 講演内容

3.1 機械学習の基礎①

岡山理科大学の李天鎬氏より,「機械学習の基礎 ①」と題して、機械学習の基礎に関してご講演いた だいた.

本講演は機械学習をこれから学びたいと考えてい る方を対象とした基礎的な内容となっており,人間

が持つ学習にあたる仕組みを機械で実現する技術や 手法となる「機械学習」の文言の説明から始まり, 機械学習モデルやアルゴリズムについて、画像分類 やスパムメール判定、商品購買予測といった比較的 身近でわかりやすい例を含めてご紹介いただいた. その後、機械学習の分類として、教師あり学習、教 師なし学習、強化学習があることが説明された、教 師あり学習では分類と回帰に分け、入力とラベルの 関係を教師データとして用いてその関係を再現でき るようにモデルを生成する代表的な手法(分類:k 近傍法、決定木、サポートベクターマシン、ベイズ 法, ニューラルネットワーク, 回帰:短回帰分析, 重回帰分析,ロジスティック回帰分析など)が紹介 された. 分類の主な目的はデータが属するクラスを 予測することであり、分類モデルは教師データの分 類誤差を最小にする分け方を学習する. 具体例とし て、天気、風速、湿度といった環境データから試合 の開催・中止を決定する手法があげられた. また, 回帰の主な目的は連続する入力値に対する次の値を 予測することであり、回帰モデルは教師データのあ てはまり誤差を最小とする関係式を学習する. 回帰 問題ではダイヤモンドの重さに対して値段を予測す る例が示された.

3.2 機械学習の基礎②

岡山理科大学の李天鎬氏より、「機械学習の基礎 ②」と題して、1件目のご講演に続き、機械学習の 基礎に関してご講演いただいた.

本講演では、上記の「機械学習の基礎①」で紹介 された機械学習の分類における「教師なし学習」と 「強化学習」について、その概要と代表的な手法が 説明された.教師なし学習では,クラスタリングと 次元削減に分け、ラベルのない学習データを用いて パターン・法則・構造などが類似したグループを見 つけ出すモデルを生成する代表的な手法(クラスタ リング:階層的手法,非階層的手法,K-means法, X-means法, 混合ガウスモデル, 次元削減:主成 分分析 (PCA),) が紹介された. クラスタリングと はデータ間の類似度に従っていくつかのグループに 分類することであり、クラスラベルが与えられてい ないデータに対して、均質性と分離性について特徴 量に基づき計算された類似度から特徴空間での距離 によってクラスラベルを付ける手法のことである. このときの距離については、ユークリッド、マン ハッタン, チェビシフ, ミンコフスキーなどさまざ まな距離があることが紹介された. 次元削減とは高 次元のデータをもつ情報をなるべく損なうことなく 保持したまま低次元空間に情報を集約する方法のこ とであり、高次元のデータを2次元や3次元に集約 することができればデータ全体の可視化が可能とな ることに加えて, 汎化性能向上, メモリ節約, 高速 化,ノイズ除去などが期待できることが説明された.

強化学習では、状態、行動、報酬、状態遷移確率、 方策といった用語の説明から価値関数と方策関数や 学習方法の種類について紹介された. また, 強化学 習の活用事例として, 車両の幅に対して道路が狭く 車が密集した交差点という難易度が高い問題に対し て強化学習を活用した事例や、ロボットアームの動 作を最適化する研究において、複数の学習を同時並 行で進める分散型の自己学習などが紹介された.

3.3 東洋大学計算力学研究センターにおける機械 学習の利用

東洋大学の田村善昭氏より,「東洋大学計算力学 研究センターにおける機械学習の利用」と題して, 計算力学分野における機械学習の適用事例について ご講演いただいた.

本講演では、東洋大学計算力学研究センターで 扱った主なテーマである大規模流体・構造解析、練 成解析, 逆問題・最適化に対して, 近年は機械学習 を用いるようになってきていることが説明され、こ れまでの研究で用いた機械学習に関する手法として、 MLP(Multi-Layer Perceptron) ♥CNN(Convolutional Neural Network), SOM (Self-Organizing Map), GAN (Generative Adversarial Network), Random Forest, XGBoostなどが紹介された.

流体問題への応用として, SOMの似たベクトル がマップ上の近くに配置されることを利用し、流れ の状態が近い点を似た色で可視化する手法や円柱ま わりの非圧縮性流をナビエ・ストークス方程式で解 く手法などが紹介された. 深層学習を用いた数値解 析結果の予測に関しては、用いる手法や学習データ、 ネットワーク構成が示され、学習済みデータまたは 未学習データを予測、毎回正解画像から予測または 最初に正解画像を与えその後は予測画像を入力する といった4ケースを検証した結果について説明され た. また、数値解析の精度検証としてMES (Mean Square Error) & SSIM (Structural Similarity Index Measure) が紹介された.

最後に,流体問題以外での適用例として,油入変 圧器異常自動診断システムや血中アミノ酸プロファ イルによる未病診断,人物動作の自動生成,光学ガ ラスの良・不良自動判別などが紹介された.

3.4 機械学習のフルードパワーシステム適用事例 の紹介

株式会社日立製作所の清水自由理氏より、「機械 学習のフルードパワーシステム適用事例の紹介」と 題して、フルードパワーシステムにおける機械学習 の適用事例についてご講演いただいた.

本講演では、はじめに深層学習を活用したフルー ドパワーシステムのモデル化と制御に関する研究委 員会の概要および目的、これまでの活動実績などが 説明された.ついで、研究委員会で共有されたフ ルードパワーシステムにおける適用事例について, 分類、予測、生成といった深層学習の代表的な機能 に分けた調査結果について報告された. 分類では, エアグリッパの把持形状分類、高速アキシャルピス トンポンプのキャビテーション強度分類, 予測では, ポペット式比例弁の通過流量予測、ロケットエンジ ンの寿命設計における有限要素法の代替予測、水力 発電用タービンのキャビテーション予測、生成では、 CFD代替モデルによるコンタ図生成、ソフトアク チュエータの最適形状生成などが紹介された.

上記のポペット式比例弁の通過流量予測に関して, 実際にデータセットを生成して行った再現実験の結 果が説明され、規則的入力ベースとランダム入力 ベースで比較した通過流量の推定結果について、規 則的入力がカバーしていない範囲では推定精度が大 きく劣化し、網羅的にデータをそろえた方が高い推 定精度を得られることが示された.

4. おわりに

本稿では2022年度ウィンターセミナーの開催概 要および講演の内容について報告させていただいた. 2022年度のセミナーはオンラインが中心となった が、オンラインでの参加のしやすさや団体参加によ り多くの方にご参加いただいた. 機械学習を基礎か ら応用まで紹介する本セミナーの構成は多くの参加 者から好評をいただいており、本セミナーが機械学 習のフルードパワーシステムへの適用の一助となれ ば幸いである.

最後に、ご多忙の中講演を引き受けていただいた 講師の皆様,ならびに本セミナー開催にあたりご協 力いただいた関係各位に深く感謝を申し上げ、セミ ナーの開催報告とさせていただく.

(原稿受付:2023年4月4日)

会 告

〈理事会・委員会日程〉

4月18日~4月24日	論文集委員会
4月18日~5月17日	企画委員会
5月26日	理事会
5月31日	編集委員会
5月31日~6月2日	論文集委員会

〈理事会報告〉

2023年度第 1 回理事会

5月26日 12:10~13:00

機械振興会館地下3F B3-1 (参加者19名)

- (1) 総会の準備状況について
- (2) 評議員会書面開催報告
- (3) 2022年度の理事会みなし決議について
- (4) 国際シンポジウム広島2024開催準備状況
- (5) 2023年秋季講演会開催準備状況
- (6) 会員の推移
- (7) 各委員会からの報告
- (8) その他

〈委員会報告〉

2023年度第1回論文集委員会

4月18日~4月24日

書面審議 (参加者12名)

- (1) コンサルタントからの最終コメントについて
- (2) 学会沿革の英語版について
- (3) 学会HPのSSL化
- (4) その他

2022年度第6回企画委員会

4月18日~5月17日

書面審議 (参加者32名)

- (1) 2023年春季講演会プログラム案について
- (2) 2023年春季講演会役割分担表について
- (3) その他

2022年度第6回編集委員会

5月31日 15:00~16:30

Web開催 (参加者23名)

- (1) 会誌特集号の現状と企画
 - 1) Vol.54 No.4「フルードパワーにおける品質向上技術 の活用し
 - 2) Vol.54 No.E1 「緑陰特集」
 - 3) Vol.54 No.5「ゴム人工筋を駆動源する圧力源の新展
 - 4) Vol.54 No.6 「機能性流体フルードパワーシステムの フロンティア展開」
 - 5) Vol.55 No.1 「フルードパワーを活用した超高圧技術
 - 6) Vol.55 No.2 「油圧関連テーマ (未定)」
- (2) その他
 - 1) 企画委員会からの提案
 - 2) 会議報告
 - 3) 今後の特集について

2023年度第2回論文集委員会

5月31日~6月2日

書面審議 (参加者12名)

- (1) ITAの一部への追記について
- (2) 学会HPの更新について
- (3) 学会HPのSSL化やURLの英単語化
- (4) 英文略歴のHPへの掲載
- (5) インドFPSIへの論文集委員会の対応について
- (6) 2023年の英文論文集の発行について
- (7) ポリシーの宣言, 倫理的な管理等のHPへの掲示に係る件 について

2022年度 学会賞表彰

一般社団法人 日本フルードパワーシステム学会2022年度 … の学会賞の受賞者が決まりました.

2023年5月26日(金)に開催された2023年度(第42期) 通常総会の議案審議終了後に授賞式が行われ、受賞者に表彰状、 盾、副賞などが贈られた.

名誉員推挙

・東北大学 早瀬 敏幸 殿

フェロー称号授与

·KYB株式会社 伊藤 隆 殿

学会賞表彰

学術論文賞

「伝熱と摩擦を伴う空気圧管内定常流に関する研究(モデ ル化と実験的検証)」

· 東京工業大学 中野 和夫 殿

伊藤 陸殿. · 芝浦工業大学

村山 栄治 殿,

川上 幸男 殿

技術開発賞

「デジタルコントローラ制御による複合アクチュエータ AC100-011の開発」

・ピー・エス・シー株式会社

佐々木勝美 殿, 久保 秀夫 殿, 佐々木春彦 殿

技術功労賞

·株式会社工苑 五嶋 裕之 殿

学術貢献賞

· 横浜国立大学 眞田 一志 殿

SMC高田賞

[Design Guideline and Investigation of Accumulator Parameters for a Novel Hybrid Architecture]

· RWTH Aachen University 土方 聖二 殿 「剛性可変指モジュールを用いた空気圧駆動高性能ロボッ トハンド」

・東京工業大学 見上 慧殿

公益財団法人 油空圧機器技術振興財団顕彰

[Research on an Oil-hydraulic Component to Reduce Pressure Pulsation |

· 足利大学 櫻井 康雄 殿

株式会社ミツバ 橋本 岬 殿

·澤藤電機株式会社 前原 護喬 殿

·東京計器株式会社 兵藤 訓一 殿

最優秀講演賞

2022年11月に開催された2022年秋季フルードパワーシ ステム講演会において、特に優秀な講演発表をされた受賞者

- ・社会人部門 該当者なし
- ・学生部門
 - · 法政大学 駒屋 耕大 殿 「気泡を含む油の加圧減圧過程における挙動(油中気泡 の可視化)」
 - 横浜国立大学 下岡 隆雅 殿 「直動・回転2自由度アクチュエータを用いた可変重合 スプール弁に関する研究」

詳細は学会ホームページ(http://www.jfps.jp/)をご覧ください.

公益財団法人油空圧機器技術振興財団 2023年度研究助成募集のお知らせ

公益財団法人油空圧機器技術振興財団では、毎年、油圧・空 気圧機器およびこれらに関連した研究に対して研究助成金を交 付しており、今年度も、以下のとおり助成金を交付する研究者 を募集いたします.

詳細は、学会ホームページ(http://www.jfps.jp/)の「公 募情報」、または、油空圧機器技術振興財団ホームページの 「研究実施者募集要綱」をご覧ください. http://zaidan. taiyo-ltd.co.jp/outline.html

会 員 移 動

会員の種類	正会員	海外会員	学生会員	賛助会員
会員数 (6月10日現在)	804	8	101	123
差引き増減	+3	± 0	+7	± 0

正会員の内訳 名誉員17名・シニア員69名・ジュニア員70名・その他正会員649名

<新入会員>

正会員

佐々木春彦(ピー・エス・シー株式会社)

高橋 宏政(日立建機株式会社)

向井 健人 (SMC株式会社)

宮原 康平 (SMC株式会社)

亀野 祐輝 (SMC株式会社)

久保 秀夫 (ピー・エス・シー株式会社)

下岡 隆雅 (元・横浜国立大学)

石井 達也 (SMC株式会社)

北條 秀実(SMC株式会社)

伊藤 陸(トヨタ自動車株式会社)

学生会員

ユートレヒト フローリアン (東京大学)

阿部 悠人(横浜国立大学)

前島 恭佑(横浜国立大学)

木下 真穂 (横浜国立大学)

高橋 拓己 (芝浦工業大学)

小野 和輝 (信州大学)

原 悠月 (法政大学) 佐々木 新(横浜国立大学)

增田浩太郎 (横浜国立大学)

伊神 岳欧(横浜国立大学)

八坂 成悟(横浜国立大学)

長谷川あゆみ (芝浦工業大学)

江口 剛紀(信州大学)

梅本 諒(信州大学)

学会創立50周年記念パーティーと特別記念講演のご案内

新型コロナウイルスの感染症法上の位置づけが5月8日から … 季節性インフルエンザなどと同じ「5類」に移行し、「ウィズ コロナ」で社会活動を行う時期がまいりました. 心配された大 型連休後の新型コロナウイルス感染者数の大幅な増加も生じて おりません.

そこで、2020年の春季講演会とあわせて開催予定だった 学会創立50周年記念パーティーを、特別記念講演とあわせて 以下の要領で開催いたします.

なお、新型コロナウイルス感染が拡大した場合、延期とする 場合もありますこと、ご承知おきください.

皆様の積極的なご参加をお待ちしております。参加申し込み 17:00~18:30 50周年記念パーティー

など、詳細は学会HPをご覧ください.

日 時:2023年9月29日(金) 15時30分~

場 所:機械振興会館(東京都港区芝公園3-5-8)

研修1 (特別記念講演), 地下2階ホール (50周年

記念パーティー)

参加料:無料 ※学生会員は参加できません

スケジュール:

15:30~16:30 特別記念講演

講演者:早川 恭弘 演題:介護ロボットの現状

会 告

共催・協賛行事のお知らせ

共催・協賛行事

日本機械学会関西支部 第386回講習会 「実務者のための振動基礎と制振・制御技術」

催:一般社団法人 日本機械学会関西支部 開催日:2023年7月25日(火)~7月26日(水)

会 場:オンライン開催

U R L: https://jsmekansai.org/Seminar/kou386.html

日本機械学会 No.23-26講習会 「柔軟媒体ハンドリング技術の理論と応用

~若手からベテランまで 1 から学べる!フィルム・用紙の搬出/搬送から巻取技術~ |

主 催:一般社団法人 日本機械学会情報・知能・精密機器部門

開催日:2023年7月25日(火),7月27日(木)

会 場:オンライン開催

U R L: https://jsme.or.jp/event/23-26/

第51回可視化情報シンポジウム

主 催:一般社団法人 可視化情報学会

開催日:2023年8月8日(火)~8月10日(木)

会 場:グランドパーク小樽(北海度小樽市築港11-3)

U R L: https://www.vsj.jp/symp2023/

日本混相流学会 混相流シンポジウム2023

主 催:日本混相流学会

開催日:2023年8月24日(木)~8月26日(土)

会 場:北海道大学札幌キャンパス(北海道札幌市北区北13条西8丁目)

URL: http://www.jsmf.gr.jp/mfsymp2023/

第41回日本ロボット学会学術講演会

主 催:一般社団法人 日本ロボット学会

開催日:2023年9月11日(月)~9月14日(木)

会 場:宮城県 仙台国際センター展示棟(宮城県仙台市青葉区青葉山無番地)

U R L: https://ac.rsj-web.org/2023/

第66回自動制御連合講演会

催:計測自動制御学会(幹事)、日本機械学会、システム制御情報学会、化学工学会、精密工学会、電気学会、日本

航空宇宙学会

開催日:2023年10月7日(土)~10月8日(日)

会 場:東北大学川内キャンパス(宮城県仙台市青葉区川内41)

U R L: https://www.sice.jp/rengo66/

EcoDesign2023 第13回環境調和型設計とインバースマニュファクチャリングに関する国際シンポジウム

主 催:エコデザイン学会連合

開催日:2023年11月29日(水)~12月1日(金)

会場: 奈良県コンベンションセンター(奈良県奈良市三条大路1-691-1)

U R L: https://ecodenet.com/ed2023/

2023年度 計算力学技術者(CAE技術者)資格認定事業(固体力学分野・熱流体力学分野・振動分野)

催:一般社団法人 日本機械学会 計算力学技術者資格認定事業委員会

試験日程:2023年12月1日(金) 1級認定試験(固体力学分野・熱流体力学分野・振動分野)

2023年12月7日(木) 2級認定試験(熱流体力学分野・振動分野)

2023年12月8日(金) 2級認定試験(固体力学分野)

場:下記HPを確認ください

U R L: https://www.jsme.or.jp/cee/

キャビテーションに関するシンポジウム (第21回)

催:日本学術会議第三部

第21回キャビテーションに関するシンポジウム実行委員会

開催日:2023年12月7日(木)~12月8日(金)

場:大阪大学吹田キャンパス 銀杏会館(大阪府吹田市山田丘2-2)

U R L: https://cav21-mech.eng.osaka-u.ac.jp/

第24回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2023)

催:公益社団法人 計測自動制御学会システムインテグレーション部門

開催日:2023年12月14日(木)~12月16日(土)

会 場:朱鷺メッセ 新潟コンベンションセンター(新潟県新潟市中央区万代島6-1)

U R L: https://sice-si.org/

新型コロナウイルスの影響で協賛行事の開催予定が変更になっている場合があります. 各行事の最新情報は、主催者のホームページまたは各行事のURLからご確認ください。

2023年度(第42期)通常総会終了

1. 日 時 2023年5月26日(金)

15時10分~16時20分

2. 場 所 東京都港区芝公園3丁目5番地22号 機械振 興会館 地下3階 研修1会議室

3. 議事の経過および結果

15:10開会, 事務局より, 出席者数, HPからの議案承 認者数、およびはがきによる委任状の数を報告し、その総 数が定款の定め(総正会員の過半数および総正会員の2/3 以上)を上回り、本総会および本総会の審議結果(2022 年度決算、定款の一部変更) は成立することが報告された. ついで早川恭弘会長からあいさつが行われたのち、定款第 15条「総会の議長は、会長がこれにあたる」にもとづき議 長となり、議事録署名人として、株式会社小松製作所 名倉 忍殿, 東京計器株式会社 兵藤訓一殿を指名したのち, 議事 に入った.

(報告事項)

報告 1 2022年度事業報告(2022年度事業報告書)の件 報告2 2023年度事業計画(2023年度事業計画書)の件 報告3 2023年度収支予算(2023年度収支予算書)の件 報告1~3に対し、庶務委員会 川上委員長、会計委員会 塚越委員長から説明および報告があった.

(議案)

第1号議案 2022年度決算(貸借対照表,正味財産増減計 算書, 財産目録(財務諸表に対する注記, 附属 明細書を含む), 監査報告)の件

第1号議案に対し、会計委員会 塚越委員長から説明および 報告があり、全会一致で可決承認された.

第2号議案 定款一部変更(電子提供制度)の件

第2号議案に対し、早川会長から説明および報告があり、全 会一致で可決承認された.

以上で総会を終了し、10分間の休憩の後、日本フルードパ ワーシステム学会賞などの受賞式が行われた.

2023年度(第42期)通常総会は、4年ぶりの対面での開 催となり、多数の出席者を得て盛会裡に終わり、16時30分 より簡単な軽食とソフトドリンクによる技術懇談会が開かれ. 久しぶりの対面による懇談がなごやかな雰囲気のうちに行われ、 すべての行事が終了した.

編集室

次号予告

―特集「ゴム人工筋を駆動する圧力源の新展開」―

【巻頭言】「ゴム人工筋を駆動する圧力源の新展開」発行に当たって

藤田壽憲

空気圧駆動Mckibben型人工筋を用いたアシストスーツとその性能の評価

佐々木陽一

油圧駆動の高出力ゴム人工筋 EHDポンプ駆動源による人工筋 大野 信吾

Mckibben型人工筋の水圧駆動化に関する検討

三井 和幸 小林 \equiv

気液相変化により駆動されるゴム人工筋アクチュエータ

加藤 友規

DMEの燃焼により駆動する人工筋肉アクチュエータ

学. 澤橋龍之介. 中村 太郎

水の電気分解を利用したゴム人工筋アクチュエータ

鈴森 康一, 難波江浩之

【会議報告】

The 9th International Conference on Manufacturing, Machine Design and

Tribology - ICMDT 2023におけるフルードパワー関連技術の研究動向

竹村研治郎

【トピックス】

学生さんへ, 先輩が語る一高専教員になるという働き方一

門脇 惇

【企画行事】

2023年春季講演会併設セミナー「フルードパワーとハイブリッド」

落合 正巳

2023年度「フルードパワーシステム」編集委員

委員長柳田秀記(豊橋技術科学大学) 委 中野 政 身 (㈱Smart TECH Lab) 員

副委員長山 田宏尚(岐阜大学) 中山 晃(日立建機株) 壽憲(東京電機大学) 藤 田

尾昭一郎(信州大学) 飯 飯 田武郎(コマツ)

丸 田 和 弘 (コマツ)

藤 友 規(福岡工業大学) 加 北. 林 剛(油研工業株)

哉 (CKD㈱) 水 上 和 村 出 裕之(㈱コガネイ)

窪 田 友 夫 (KYB傑) 山本 久 嗣(富山高等専門学校)

嶋 裕 之(㈱工苑) 五

吉 見 浩 司 (川崎重工業㈱)

藤直樹(秋田県立大学) 佐々木 大 輔(香川大学)

吉 満俊拓(神奈川工科大学)

佐藤恭一(横浜国立大学)

谷 口 浩 成(大阪工業大学)

担当理事 伊藤 隆(KYB㈱) 学会事務局 成 田 晋

妹 尾 満 (SMC(株)) 編集事務局 竹 内 留 美 (勝美印刷㈱)

(あいうえお 順)

会

複写される方へ

本会は下記協会に複写に関する権利委託をしていますので、本誌に掲載された著作物を複写し たい方は、同協会より許諾を受けて複写してください. ただし(公社)日本複写権センター(同 協会より権利を再委託)と包括複写許諾契約を締結されている企業の社員による社内利用目的の 複写はその必要はありません. したがって, 社外頒布用の複写は許諾が必要です.

権利委託先:(一社)学術著作権協会

〒107-0052 東京都港区赤坂9-6-41 乃木坂ビル

TEL: 03-3475-5618 FAX: 03-3475-5619 E-mail:info@jaacc.jp

なお、著作物の転載・翻訳のような、複写以外の許諾は、学術著作権協会では扱っていません ので、直接本会へご連絡ください.

2023年7月15日

一般社団法人

日本フルードパワーシステム学会

2023年度会費納入のお願い

拝啓 時下益々ご清祥のこととお慶び申しあげます.

さて、2023年度(2023年4月1日~2024年3月31日)の会費を、下記の通りご納入賜わりたくお願い申しあげます。なお、すでにご納入くださいました場合は、なにとぞご容赦ください。

敬具

記

2023年度

正会員会費 8,000円 (40歳未満で入会された方は、入会から5年間にかぎり4,000円となります。) 学生会員会費 2,000円

お願い

- ・2022年度以前の会費を未納の方は、新年度分(2023年度)とあわせてお振り込みくださいますようお願い申しあげます。
- ・会員名を必ずご記入ください.
- ・便利な自動振り込みは手数料が不要です。ご希望によりお申し込み書をお送りいたしますので、FAXまたはE-mailにてご一報いただきたく、よろしくお願い申しあげます。

以上

	0 (東京	払	込 耳	文	扱	票			払ジ	\ 票兼受領証
各票の	0	口座番号 (右詰めにご記) 0 I I 0 = 3 =	(ください) 3 3	6 9 0	金 **	百 -	十 万 千 百 十 円		- 1	立 0 0	1 1 0 = 3
※印欄は、	加入者名	一般社団法人 日本フルードバ	プーシスラ	テム学会	料金		特殊取扱			番	詰めにご記入ください I 3 3 6 9 0
- 1		該当するものに○をつけ、お振込の内容をご言					入ください。	切り取らないで記載事項を訂正	記載事項も	加入 者 名	人 日本フルードパワーシステム学会
払込において記載してください。	通	1.() 年度	()会費	ないでで	を訂正	金 千 百	十万千百十円
	信欄	企業名·[会員名·[郵便局	した場合は、	額 *	
		2. ()の代金	I III '	1	弘込人主所氏	
	払込人住所氏名	(郵便番号) ※				受付		ださい。	その箇所に訂正印を押して	3 7 3 7 4	
	· 所氏名	(電話番	:号 —	_)	局日附			正印を	(消費税込み	受付局日附印
	裏面	の注意事項をお読みください。(郵政		製承認東第23	957号)	即			押してく	金	
									ください。	持 殊 取 汲	

お振り込み先金融機関一覧

1. 郵便振替貯金 00110-3-133690

*下の振替用紙をご利用いただけます.

(なお,この振替用紙は会費納入・資料購入・セミナー等受講料など総てにご利用いただけます.)

2. 三井住友銀行 日比谷支店 (普) 7611417

- (注) *口座名はいずれも「シャ)ニホンフルードパワーシステムガッカイ」です。
 - *誠にお恐れ入りますが、振り込み手数料はご負担くださいますようお願い申し あげます.
 - *上記2をご利用の方で、会社名・大学名にてご送金の方は、個人名・内容・振 込金融機関名を、FAXまたはE-mailで学会宛にご連絡くださいますよう、お願い 申しあげます。

FAX: 03-3433-8442 E-mail: info@jfps.jp

この受領証は、郵便局で機械 処理をした場合は郵便振替の払 込みの証拠となるものですから 大切に保存してください。

ご注意

この払込書は、機械で処理しますので、口座番号及び金額を記入する際は、枠内に丁寧に記入してください。

また、下部の欄(表面及び裏面)を汚したり、本票を折り曲 げたりしないでください。

(日本郵政公社)