

## 随 想

## 技術功労賞を受賞して\*

井上 淳\*\*

\* 平成 27 年 6 月 29 日原稿受付

\*\* 東京工業大学大学院理工学研究科，〒152-8550 東京都目黒区大岡山 2-12-1

## 1. はじめに

このたび、本学会から平成 26 年度の技術功労賞を授与された。

技術功労賞に選考されたことは、望外の喜びであり、大変光栄である。

ご指導頂いた恩師、上司をはじめ、活動を支えて頂いた関係各位に厚く御礼申し上げる。

今回、題記の記事執筆の依頼をいただいたので、私のフルードパワー、特に油圧に関するこれまでの活動について紹介するとともに、今後の油圧への思いを述させていただきます。

## 2. 油圧との出会い

私が油圧を知ったのは、母校の東京工業大学工学部制御工学科の「油圧工学」、「流体制御機器」、「制御工学実験」の授業にて、制御要素としての油圧機器や装置について習ったのに始まる。さらに、同期の者が卒業研究として実施していた「斜板式油圧モータの特性に関する研究」で油圧モータに興味を引かれ、大学院修士課程進学では油圧制御の池辺洋・中野研究室を希望し、修士論文の斜板式油圧サーボモータの低速特性改善の研究<sup>1)</sup>で、私の油圧との本格的な関わり合いが始まった。

## 3. 企業の技術者として

1973 年の大学院修士課程修了後、油圧制御の研究開発を続けたく、萱場工業(株) (現 KYB(株))に入社した。

研究部門への配属を希望したが、油圧装置の設計部門の配属になり、船舶用軸駆動発電機の開発、本州四国連絡橋のケーソン沈設システムの開発、防衛庁向けの補給艦に搭載される洋上補給装置の開発等、主に大形の油圧装置、システムの開発設計に従事した。

軸駆動発電機の開発<sup>2)</sup>では、基本設計、解析、1/4 モデルの製作と実験、さらに、制御法の開発まで行い、非常に良い性能を得たが、造船不況により、残念ながら中止となった。

ケーソン沈設システムの開発では複数台の油圧ウィンチを用いた位置制御系のシミュレーション技術を開発し、システム設計を行ったが、オイルショックにより本州四国連絡橋建設の事業が延期となった。

洋上補給装置の開発では、システムの挙動をアナログコンピュータによるシミュレーションにより解析し、要素機器の選定、システムの成立性を評価し、1/8 モデルでの設計とその作動実験を行った。実機の基本設計を行った 1977 年に、希望していた社内の技術研究所 (現 基盤技術研究所) に異動した。なお、洋上補給装置は、その後実用化され、当学会の技術開発賞を受賞している。

研究所への異動後、当初は油圧機器特性予測技術を中心に基礎研究に従事した。

研究対象としては、油圧緩衝器、油圧制御弁、斜板ピストンポンプ、ギヤポンプ、油圧シリンダ等のほとんどの油圧機器と、当時は新しい分野であった水圧ポンプ等を取り上げ、実験と特性解析によってシミュレーション技術の精度を向上し、機器のパラメータの影響を定量的に評価し、適切な設計ができる技術の開発を行った。これらの研究の一部は、論文としてまとめ外部発表した。主な論文は下記の通りである。

油圧制御弁のスプール周りの流れ解析<sup>3)</sup>は、当学会の技術開発賞を受賞していた流量増幅弁の改善のために、この弁で使用されているポートを有する中空スプール周りの流れを流れ関数、渦度を用いて差分法で解析したもので、複数のポートへの流入量の決定法や流れ関数を使うことによる計算上の矛盾の解決法を得た。

可変容量形斜板ピストンポンプの操作力特性改善の研究では、斜板の操作モーメントとポンプのシリンダ

内圧を計測し、これらの関係を検討して明らかにした。この研究結果を2編の研究論文<sup>4), 5)</sup>にまとめたが、このうち、参考文献5)の第2報にて平成元年度の当学会の学術論文賞を受賞した。また、この可変容量形斜板ピストンポンプの操作力特性改善と、その後実施した可変容量形斜板ピストンポンプの中立特性改善の研究<sup>6), 9)</sup>の結果をまとめた「可変容量形斜板式アキシャルピストンポンプの操作モーメントに関する研究」の論文で東京工業大学より博士(工学)の学位を1991年に授与された。

さらに、上記の斜板の操作モーメントとポンプのシリンダ内圧のほかに、斜板に作用する主軸方向の力と騒音レベルも含めた同時計測を追加し、この力、操作モーメントと騒音の関係を周波数領域で検討した結果を加えて、ポンプの弁板形状から騒音特性を予測する方法<sup>10)</sup>を提案した。以上の斜板操作力の特性予測法は、斜板式ピストンポンプの操作力特性と騒音特性を考慮して弁板設計をする社内標準ツールとなっている。

水圧ポンプの研究では、新たに考案した構造の斜板式ピストンポンプの開発を行った。製品化までは至らなかったが、この結果は、1998年にイギリスのバース大学の国際学会PTMC'98で発表した<sup>11)</sup>。

1998年からは基盤技術研究所長として、油圧だけでなく電子、材料、CAE、自動車機器等の研究開発の企画立案、業務の推進のための管理、支援を行った。

主な油圧関連の活動としては、油圧用比例ソレノイド、油圧用電動モータの開発、電子制御ミキサーの研究開発、新幹線用セミアクティブサスペンション用電装品の新規開発、油圧緩衝器の特性改善、電子制御式油圧パワーステアリングシステム、CVT用ベーンポンプの研究開発等の開発を指導した。なお、CVT用ベーンポンプの研究開発では、当学会の技術開発賞を受賞している。

2004年より電子機器事業部長として、KYBグループの電子機器事業を統括した。油圧関連では、基盤技術研究所で開発した油圧用電動モータの生産、小型電磁比例弁、新規の新幹線用セミアクティブサスペンション用コントローラの量産ライン構築と生産を行うとともに、従来から生産していた各種電装品に関して、生産性向上、品質改善、コスト削減等の事業経営を経験した。さらに、2009年には、関連事業本部長として、電子機器事業部、特装車両事業部、シールセンターの各事業を統括した。

2010年6月からは、技術顧問という立場で、新しい研究開発、製品のシーズ探索を実施した。このために、油圧を中心に、電子、機械も含めた国内外の学会、講演会、展示会、新技術説明会に出席し、新しい技術、製品の情報収集と分析、さらに、新研究開発テーマの提案を行った。

油圧関連では、ドイツのアーヘン工科大学とドレスデン工科大学が交代で2年毎に開催されるIFK(International Fluid Power Conference)、スウェーデンのリンシェーピング工科大学とフィンランドのタンペレ工科大学が交代で2年毎に開催されるSICFP(Scandinavian International Conference on Fluid Power)、イギリスのバース大学がASMEと交代で毎年開催されるFPMC(Bath/ASME International Symposium on Fluid Power and Motion Control)、および当学会の国際学会には可能な限り出席した。その他に、タンペレ工科大学とオーストリアのヨハネス・ケプラー大学が主催して、毎年開催している新しい国際学会DFP(Digital Fluid Power Workshop)、フランスのツールーズ工科大学が2年毎に開催しているR3ASC(Recent Advances in Aerospace Actuation Systems and Components)、また、中国の北京航空航天大学、上海交通大学、ハルビン工業大学、武漢理工大学等が交代で4年毎に開催されるFPM(International Conference on Fluid Power and mechatronics)、および国内で開催されたFLUCOME等の油圧に関連する国際学会にも出席した。

電子機器事業部、関連事業本部で活動していた時は油圧とはやや疎遠となり、最新のフルードパワー関連の情報収集ができていなかったため、これらの国際学会参加は、欧米を中心とする研究開発の最新動向を知る非常に良い機会であった。また、新旧のフルードパワーの研究者、技術者との交流も再開できた。

2014年6月に、技術顧問を最後に、KYBを退社した。

#### 4. 学会活動について

当学会には、まだ、日本油空圧協会の名称であった1973年に入会した。

研究所に異動になってからは、春季・秋季の講演会に参加するようになり、また、国際学会には第1回から参加している。

研究委員会には、入会から10年以上経過して、当時東京工業大学の中野和夫教授が委員長をされた「油空圧技術の将来問題特別研究委員会」に委員として初めて参加する機会を得た。その後、いくつかの研究委員

会に委員として参加した。研究委員会は、油空圧関連の新しい情報交換の場であるとともに産学官の方と知り合う絶好の機会であり、最新の技術の情報と多くの知己を得たのは大きな財産となった。このような機会を独占しないように、若い技術者と交代した。

また、1996年から2004年まで、理事として学会の運営に参加するとともに、編集委員会、企画委員会の副委員長、表彰委員会の委員長として活動し、最後の任期となった2002年からの2年間は学会副会長に選出され、国際シンポジウム実行委員会の副委員長の役割もいただいた。

その後は、評議員の立場で現在まで活動しているが、2010年には、フェローの認定をいただいた。また、2010年から2014年まで、神奈川大学の小嶋英一名誉教授を委員長とする「油圧基幹技術の伝承と活用」研究委員会にも委員として参加した。この研究委員会では、油圧を適用している各分野の機械、装置で用いられている既に完成した油圧の技術を中心に、各分野の専門家に記述してもらい、文書として残すことを目的にした。このために、委員会の活動報告は、執筆していただいた記事を、当学会編集の専門書「油圧基幹技術一伝承と活用」<sup>12)</sup>として発行した。油圧に携わる研究開発者、ユーザーに読んでいただき、業務に役立てていただくのが、編集委員会、学会の希望である。

## 5. 油圧の教育活動について

大学での油圧の教育活動については、企業の技術者としての活動と並行して、1993年から1996年まで、神戸商船大学商船学部（現 神戸大学海事科学部）にて非常勤講師として「油圧工学」の授業を担当した。また、1997年と1998年には、東京工業大学工学部にて非常勤講師として、可変容量型斜板ピストンポンプの分解・組立の実習の授業を担当し、分解・組立の指導とともに、油圧を適用している各種機械についても紹介した。さらに、1997年度には岐阜大学地域共同研究センターの客員教授として、水圧機器、および油圧機器の振動騒音低減の講演を行い、水圧機器については、資料<sup>13)</sup>としてまとめた。

日本フルードパワー工業会での活動には、2003年から技術・標準化委員会油圧部会長として参加し、特に、若手技術者懇談会では、企業の若手技術者を対象に、最新の研究開発の動向を考慮して、適切な大学の研究室の訪問先を選択し、大学では設備の見学、講義、質疑応答を行い、若手技術者のレベルアップと人脈づくりの場の提供を行った。

## 6. 国際学会に見る油圧の研究開発の現状について

最近の国際学会に参加して、油圧関連の研究開発の動向を見ると、つぎのようなことが感じられる。

- ① 欧州では、油圧の研究開発の拠点が増加し、産学が連携して、研究開発が以前に比べ活発になっている。
- ② アメリカでは、10年程前には油空圧関連の研究開発テーマの国際学会での発表は非常に少ない状況となっていたが、ミネソタ大学の Prof. Kim Stelson をセンター長とする CCEFP(Center for Compact and Efficient Fluid Power)の設立以降、ミネソタ大学、パデューイギリス大学を中心に、CCEFP 参加大学が多くの分野で、油圧の基礎的研究から適用研究まで幅広く取り組み、多くの発表が出されており非常に活性化している。また、CCEFP の性格上、産学の連携も進んでいる。
- ③ 中国は、浙江大学を筆頭に、北京航空航天大学、上海交通大学をはじめ、多くの大学が油圧の研究開発を進めており、発表論文の件数も大きく増加している。
- ④ 研究開発の主要なテーマとして油圧要素の特性向上があり、効率向上を目標に多くの研究開発が実施されている。特に、パデュー大学の Prof. Monika Ivantysynova, Prof. Andrea Vacca のグループは、それぞれ、アキシアルピストンポンプ、ギヤポンプを対象に非常に精密な解析モデルを開発して、特性向上に挑戦している。また、イギリスの Artemis Intelligent Power Ltd の Dr. Win Rampen, オランダの Innas B.V. の Dr. Peter Achten は、それぞれ、Digital Displacement Technology, Floating Cup Pump/Motor という名称の高効率のピストンポンプ/モータのユニットを開発している。
- ⑤ 風力発電、波力発電等の自然エネルギーを回収する発電装置への油圧適用の研究開発が多く行われている。特に、北欧が多いが、ドイツ、イギリス、アメリカ、中国でも着実に実施している。
- ⑥ 車両の駆動に油圧システムを適用した油圧ハイブリッドシステムが研究開発されている。

これは CCEFP の主要課題の一つでもあり、油圧ハイブリッドの優位性については、Prof. Kim Stelson

が国際学会の基調講演で紹介している。また、前述の Digital Displacement Technology, Floating Cup Pump/Motor のピストンポンプ／モータのユニットを適用した車両駆動システムの優位性も、多くの報告がなされている。

## 7. 今後の油圧の研究開発について

以上のような海外での状況から、今後の国内の油圧の研究開発に対して、非常に個人的な見解であるが、私は、つぎのように考える。

まずは、油圧の効率向上である。

油圧のメリットは多くあるが、効率の低さが、油圧から電動にシフトしてきた大きな要因であり、少しでも効率を上げる努力が必要である。日本では、このために、油圧回路の改善、制御方法の改善、電動ハイブリッドシステムの導入等、主に油圧システムとしての効率向上に重点を置いてきた。勿論、システムとしての効率向上を進めるのは当然であり、電子制御、電動ハイブリッド等の電子技術との融合は、機能の高度化に不可欠であるが、これと同時に、粘り強く要素機器としての効率向上にも取り組むべきと考える。たとえば、パデュー大学で実施しているような弾性一熱一流体の練成解析による機器の特性予測法とこれに基づく要素機器の継続的な改善が必要である。

なお、Digital Displacement Technology は、分配弁を廃して各ピストンに吐出用、吸込み用の高速ソレノイド弁を取り付ける構造変更とソレノイド弁のデジタル制御により効率を上げており、Floating Cup Pump/Motor はピストンの一部を球面とし、シリンダブロックの代わりに各ピストン 1 本毎に Cup をかぶせて機能させるもので、いずれも構造の大きな変更により要素機器の効率向上を図ったものである。このような構造変更による改善は難しいテーマとなるが、研究開発の範囲に入れて挑戦するべきである。

つぎに、新しい分野への油圧の適用である。

欧米を中心に海外では、風力発電、波力発電等に油圧を適用する研究開発が進められているが、日本では、一部を除きほとんど無い。油圧の低速、大パワーの特性が生かせるこの風力発電、波力発電用の油圧システム、要素機器の研究開発を進め、新しい適用分野として確立、拡大すべきと考える。

もう一つの新しい適用分野として、ロボットがある。私は、本年 2 月より、東京工業大学大学院理工学研究科の鈴森研究室の研究者として、ロボットに油圧を適用するための油圧アクチュエータの研究開発に従事している。最近のロボットは、一部を除き電動ロボットであり、可搬重量が小さく、衝撃にも弱いという弱点があるが、油圧を適用して、このような弱点を克服したタフなロボットを開発することを目標としたプロジェクトの一環である。このようなロボットへの適用に対応できる小形、軽量、高出力の油圧機器、システムを開発することにより、今後さらに拡大するロボットの市場が、新たに油圧の適用分野になる。

また、車両駆動用のハイブリッドシステムに関しては、日本では電動ハイブリッドが優勢となっているが、前述のように、欧米では油圧ハイブリッドで、研究開発を推進している。日本でも、油圧ハイブリッドシステムについて、高効率の要素機器の研究開発とともにその優位性、可能性から、適用分野としての評価をすべきと考える。

第 3 に、産学連携の強化である。

欧米の国際学会には、企業からさらに多くの参加者がある。CCEFP は、会員企業を募集しているので産学連携の強さは当然であるが、この CCEFP の設立でアメリカの油圧の研究開発体制が復活し、活性化しているのは確かである。また、欧州では CCEFP のような組織はないが、共同研究が非常に盛んである。

日本でも、各大学に TLO の組織があり、科学技術振興機構(JST)と各大学が開催する新技術発表会やイノベーション・ジャパンの展示会を開催するなど、産学連携の活動、環境は整備されているが、十分とはいえない状況である。

産学連携を増やし、油圧の研究開発を活性化するためには、企業が興味を示す大学の研究テーマを増やす必要がある。このためには、学会の研究委員会テーマの選定に、企業側からの提案がより考慮されるシステムが必要と考える。また、国際学会での発表テーマから技術動向を検討し、国内で実施するテーマの選定の参考にすることは非常に有意義であり、本年度の新たな研究委員会「国内外のフルードパワーシステム研究開発動向調査委員会」にて、今後実施すべき研究開発テーマについても十分検討することを期待したい。

## 8. おわりに

私のこれまでの油圧関連の活動について紹介するとともに、今後の日本での油圧の研究開発について、思いを述べさせていただいた。

周知のように、油圧は、出力密度が高く、堅牢で劣悪な作業環境下でも十分機能を果たし、大出力が要求される大形の建設機械等には油圧システムは欠かせないものである。一方、小さな占有体積でも大出力が得られ、その堅牢さから、再びロボットに搭載する計画も進んでいる。このように、油圧の活躍する分野は広くある。油圧の技術者、研究者は、新分野に適用するために生ずる新しい問題に挑戦して、適用分野を広げていただき、油圧が先端技術を支える重要な技術であることを改めて示していただきたい。私も、微力ながら、油圧の発展に寄与できるように、今後も挑戦を続ける所存である。引き続きお力添えをお願いしたい。

### 参考文献

- 1) 池辺洋, 佐藤三祿, 井上淳, 坂元義昭: ディザによる油圧サーボモータの低速特性の改善, 油圧と空気圧, Vol.4, No.4 (1973)
- 2) 軸駆動発電機の制御装置, 特許第 1330587 号(1986) (特許願第 107387 号(1975))
- 3) 井上淳: ポートを有する中空スプールまわりの非軸方向 2 次元流れの数値解析, 油圧と空気圧, Vol.13, No.1 (1982)
- 4) 井上淳, 中里雅一: 可変容量形斜板ピストンポンプの操作モーメントに関する研究 (第 1 報), 油圧と空気圧, Vol.18, No.4 (1987)
- 5) 井上淳, 中里雅一: 可変容量形斜板ピストンポンプの操作モーメントに関する研究 (第 2 報), 油圧と空気圧, Vol.19, No.4 (1988)
- 6) 井上淳, 中里雅一: 零傾角近傍における可変容量形斜板ピストンポンプの特性 (第 1 報), 油圧と空気圧, Vol.21, No.6 (1990)
- 7) K. Inoue, M. Nakazato: Characteristics of a Swash Plate Type Axial Piston Pump in Quasi-Zero Swash Plate Angle Region, Proceedings of Third Triennial International Symposium on Fluid Control, Measurement and Visualization (FLUCOME '91), (1991)
- 8) 井上淳, 中里雅一: 零傾角近傍における可変容量形斜板ピストンポンプの特性 (第 2 報), 油圧と空気圧, Vol.22, No.1 (1991)
- 9) 井上淳, 中里雅一: 零傾角近傍における可変容量形斜板ピストンポンプの特性 (第 3 報), 油圧と空気圧, Vol.22, No.2 (1991)
- 10) 井上 淳, 中里 雅一: 可変容量形斜板ポンプの騒音特性の一研究, 平成元年秋季油空圧講演会講演論文集(1989)
- 11) K. Inoue, T. Teraoka, T. Itoh and E. Urata: Development of a novel water hydraulic pump, Proceedings of the Bath Workshop on Power Transmission and Motion Control (PTMC '98), (1988)
- 12) 日本フルードパワーシステム学会(編): 油圧基幹技術—伝承と活用, 日本工業出版社(2014)
- 13) 井上淳: 新しい水圧機器の現状, 岐阜大学地域共同開発センター研究成果報告書 第 8 号 (1998)

### 著者紹介



いのうえ きよし

井上 淳君

1947 年 11 月 11 日生まれ。

1973 年東京工業大学大学院修士課程修了。同年萱場工業(現 KYB)株式会社入社。油圧システムの開発設計, 油圧機器・システムの研究開発, 研究開発のマネジメント, 新技術・新製品の情報収集に従事。2014 年 6 月同社退社。

2015 年 2 月東京工業大学大学院理工学研究科研究員, 現在に至る。ロボット用の油圧

機器，システムの研究に従事．日本フルードパワーシステム学会員・フェロー，日本機械学会員，自動車技術会員．博士（工学）．

E-mail:inoue-kiyosh1@nifty.com

---