

随 想

学術貢献賞を受賞して（40年間を振り返り）*

田中 豊**

* 2022年6月13日原稿受付

** 法政大学デザイン工学部，〒182-0843 東京都新宿区市谷田町 2-33

1. はじめに

このたび2021年度の学術貢献賞を頂くことになり、たいへん光栄なことで感謝している。歴代の受賞者の先生方に比べ、まだまだ若輩者と思っていたが、自分もこのような賞をいただく年齢になったのかと感慨深いものがある。

最初の共通一次試験が行われた1979年に東京工業大学工学部に入学し、1982年の卒業研究から修士研究で長津田の精密工学研究所（精研）の中野和夫先生・横田眞一先生にお世話になった。縁あってそのまま、1985年に精研の助手となり、フルードパワーシステムに関する教育研究を続けた。助手時代に中野先生より、省エネルギー形電気油圧サーボ系に関する研究テーマを与えられ、学生と研究を続け、1991年3月に工学博士の学位が取得できた。いま思うと、学生時代から助手時代にかけての精研での9年間は懐かしく思い出される。その後、1991年4月に法政大学に着任し、31年の時が流れ、現在に至っている。

本稿を執筆するにあたり、これまでの教育研究内容を自分なりに振り返る良い機会を得た。著者の40年間の教育研究の足跡を時代と共にたどることにしたい。

2. 東工大精研時代（1982～1991年）

卒論と修論の研究テーマは円筒形絞りを通過する振動流の挙動に関するものであった。円筒形絞り前後の圧力差と流量の関係をモデル化するために欠かせない流れの可視化や数値解析、圧力測定孔の位置などについて検討した。これらの結果は、2本の初めての投稿論文¹⁾²⁾として形となり、著者が油圧研究者の道を歩むはじまりとなった³⁾。

助手となって、学生と一緒にいくつかの研究テーマを進めることになった。その中で思い出深いのは、流動帯電現象の解明とそれを応用した流量センサの開発である。電気的絶縁性の高い作動油が何らかの原因で電氣的に絶縁されている金属製管路内を流動すると、両者の間で流動摩擦による帯電が生じ、多くの静電電荷が管路に蓄積し、火花放電が観察されることがある。さまざまな種類の管路を用いて帯電量を測定したり、その帯電量を用いて流量センサを開発したりした。雰囲気などに左右される難しい現象で、正負の極性も含めて測定結果が安定せず、一度投稿した論文を取り下げ、幻の研究論文となったことなどが思い出される。摩擦帯電という物理現象の難しさをあらためて実感した。研究成果の一部は1989年10月のドイツ（当時は西ドイツ）の国際会議（FLOMEKO'89）における著者の初めての海外発表となり、その成果が後に研究論文⁴⁾として採択されたことが思い出される。

省エネルギー形電気油圧サーボ系に関する研究テーマとして、油圧ポンプは一定回転で運転するものというそれまでの固定観念を捨て、インバータにより三相誘導電動機を可変速運転することで省エネルギー化を図る新たな油圧の利用法を提案した。アキュムレータと可変速ポンプ駆動の油圧源と位置決め油圧サーボ系を精研のC棟実験室内に構築し、その省エネ効果を実験的に明らかにした。1986年には科研費による補助も受けた。いまでこそサーボモータと油圧ポンプの組み合わせによる省エネ化は普通だが、当時は事例が存在せず、先駆的な発想だったと自負している。一連の研究成果⁵⁾⁶⁾は1991年3月「定容量形油圧ポンプの回転数制御による電気油圧システムの省エネルギーに関する研究」として学位論文にまとめられた。また研究論文⁷⁾は1991年5月、(社)日本油空圧学会（当時）の第1回SMC賞（現在のSMC高田賞）の対象者として

表彰された。

学位論文の作成執筆と並行して、法政大学工学部機械工学科のメカトロニクス分野の教員としての採用人事の話が進んでいた。もちろん学位の取得は必須の条件であった。こうして退路が断たれたことも学位取得にまい進する大きな原動力となった気がする。当時、中野和夫先生や横田眞一先生から若いうちは、「バスが来たら行き先はともかくドアが開いたらすぐ乗ることだ」とか「幸運の女神には前髪しかない（通り過ぎてから慌てて掴もうとしても後ろ髪が無いので掴めない・チャンスは一瞬のたとえ）」と、お酒を飲みながら叱咤激励されたことを思い出す。

著者の学位論文の研究と同じ時期、中野先生の提案により、空気圧シリンダの精密位置決めに関する研究が進んでいた。助手の最後から法政大学に移籍した最初の年、装置の試作や実験を手伝った。また著者と交代で助手に着任した日系ブラジル人のオズワルド・ホリカワ博士が修士の学生と一緒に研究に加わった。空気圧シリンダと圧電超音波アクチュエータを組み合わせたハイブリッド形の精密位置決めシステムを提案試作し、その性能を実験的に検討する研究であった。30 mm のストロークに対して位置決め誤差 $\pm 2 \mu\text{m}$ を実現した。2つ以上の長所を組み合わせる複合ハイブリッド化の考え方は、今でこそ普通に使われているが、当時としては画期的であったと思う。これらの成果をまとめた研究論文¹⁰⁾が1995年度日本油空圧学会学術論文賞を受賞した。

3. 法政大学工学部時代（1991～2007年）

1991年4月、東小金井にある法政大学工学部機械工学科に着任した。法政は六大学の一つであるが、著者はそれまで理系工学部の存在すら知らず、東小金井という中央線沿線のキャンパスも馴染みが無かった。前任者は振動工学が専門の方で、パソコン等のメカトロニクスに関する必須設備はほとんど整っていなかったため、新たな研究設備の立ち上げ整備から取り組むこととなった。当時、学会活動を通じて多くの企業の方々からご支援を賜ったことが思い出される。学生室に加えて学内のグランドレベルに、猫の額ほどの実験場所を確保し、油圧ポンプやシリンダ、配管系を配置してフルードパワーの研究を開始した。その後、1993年には学内補助金により高圧油圧源設備が導入され、油圧サーボの研究が進められた。

油圧の研究を進めるにあたり、油圧ポンプの回転数制御による省エネルギー形油圧システムの研究に加え、東工大精研時代から面識のあったオーパス株式会社（当時）の鈴木隆司氏による旋回流を用いて油圧作動油から気泡を取り除く「気泡除去装置」に関する研究も行うことになった。流れの数値解析や可視化、油温測定や騒音測定など油中気泡を除去することによるさまざまな効果を実証する一連の研究^{12)~14)}を進め、装置の宣伝も兼ね積極的に海外の国際会議などで発表した。その後、一連の研究成果をまとめた鈴木隆司氏（当時79歳）は「液中気泡の除去に関する研究」で2009年9月、法政大学から博士（工学）の学位が授与された。この研究に関連したテーマは、鈴木氏が亡くなられた今でも続いており、自動車業界をはじめ各方面から注目を集めている。

一方、着任して間もなく、フルードパワー（FP）の研究を柱に据えつつ、知的好奇心の高い優秀な学生確保のため、当時、最初のブームが到来していたバーチャルリアリティ（VR）に関する研究¹⁵⁾¹⁶⁾やネットワークを用いたロボットの遠隔操作（NR）に関する研究¹⁷⁾¹⁸⁾をもう一つの柱に据えた。研究スタッフは著者一人で、テーマの設定から設備装置の整備と維持管理、予算の管理、研究資金や研究装置の調達など、国立大学とは比べ物にならない人的には厳しいが自由な環境であった。零細中小企業の社長の心構えで、学生を叱咤激励しながら指導に取り組む充実した日々を過ごした。幸い、1993年～1996年にかけて3件の科研費の支援をいただき、優秀な学生たちにも恵まれ、国内外の学会で研究成果の一端を発表するなど、少しずつ成果が出るようになった。また1997年には文部科学省の大型研究装置補助金により「仮想空間作業システム」が導入され、VRやNRの研究に広く活用した。

2000年には学内の在外研究制度を活用して米国ソルトレイクシティにある州立ユタ大学に1年間滞在する機会に恵まれた¹⁹⁾。受け入れ先のHollerbach教授はロボティクスや力触覚提示の第一人者で、油圧や空気圧のロボットなども研究に活用していた。滞在中は米国西部や北部中部の国立公園を車で回るなど非常に貴重な体験をすることができた。

帰国後の2001年から、当時、東京工科大学に着任した一柳健教授に声をかけていただき、パラレルメカニ

ズムの技術を用いた3次元曲げ加工機の開発プロジェクトに参画した。NEDOの大学発事業創出実用化研究開発事業で中小企業と大学が共同で補助金を活用して新しい技術開発を行うスキームであった。このプロジェクトに参加することにより、産学連携による研究の進め方や補助金の利用方法、獲得方法など、多くのことを学ばせてもらった。この経験はその後の新たな研究プロジェクトの獲得や運営にたいへん役立っている。さらに技術開発の研究成果²⁰⁾を基に、プロジェクトメンバーであった機械振興協会技術研究所の五嶋裕之氏（当時）が長年のパラレルメカニズムに関する研究をまとめ、「パラレルメカニズムを用いた産業機械システムの研究」で2010年3月に法政大学より博士（工学）の学位が授与された。また成果の一部をまとめた研究論文²⁰⁾は2010年度日本フルードパワーシステム学会学術論文賞を受賞した。

2002年4月に教授に昇格し、学部改革のための執行部に所属することになり、学科再編の大きなうねりの中で過ごすことになった。2004年4月には工学部内に新しい学科としてシステムデザイン学科が設置され、著者も機械工学科からシステムデザイン学科への移籍が決まった。また将来的には、理系学部の一部を小金井キャンパスから市ヶ谷キャンパスに展開することも計画され、著者にとっては大きな環境の変化を予感させた。

一方、学部学科再編と並行して、学内に新しい研究センター（マイクロ・ナノテクノロジー研究センター）の設置構想が進められ、2004年3月研究センターが竣工した。研究センター内のマイクロナノメカトロデバイスのプロジェクトリーダーを任せられ、研究室のテーマにもう一つの柱、マイクロメカトロデバイスの研究（MM）が新たに加わった。ちょうど同時期の2004年から科研費の特定領域研究として「ブレークスルーを生み出す次世代アクチュエータ研究（領域代表：樋口俊郎教授（東京大学）」が始まったところで、この領域の公募研究テーマとして2005年～2008年まで「機能性流体を用いたマイクロメカトロデバイスの研究」が採択され、研究費の確保と研究センターの高度な当時最先端の設備を用いた研究が動き出した。学生たちも目を輝かせて研究を進めたことを懐かしく思い出す。この研究成果の一部は出版社Springerより単行本²¹⁾として出版された。

4. 法政大学デザイン工学部時代（2007年～現在）

2007年4月に新しい理系学部であるデザイン工学部が小金井の工学部から分離独立する形で設置され、研究環境の一部が市ヶ谷に展開されることになった。新設のシステムデザイン学科もデザイン工学部に再配置された。2007年度はシステムデザイン学科の学部1期生が卒業研究を実施する年度でもあった。これまでの機械工学科と比べ、デザイン思考の強い学生が多く、また三分の一が女子学生ということもあり、最初は卒論指導にも苦労したが、パラレルメカニズムを用いたモーションベースの研究²²⁾などが新たに加わったことで、研究テーマの幅も広がった。

鈴木隆司氏が学位を取得したのをきっかけに、タマティーエールオーや学内研究開発センターの関係者の協力で申請した補助金「油圧動力伝達システムに使用する油中気泡除去技術の開発」が、2010年7月に経産省の平成22年度戦略的基盤技術高度化支援事業（通称サポイン）に採択された。鈴木博士の開発した気泡除去装置を高度化し、建設機械や各種産業機械の油圧動力伝達システムに搭載するための諸課題を解決することを目的として、株式会社ティーエヌケー（当時）と法政大学および機械振興協会技術研究所の産官学の連携プロジェクト（受託先：タマティーエールオー）であった。高速ビデオカメラを用いた流れの可視化により、これまで鈴木氏によるノウハウと勘で行われていた気泡除去装置の設計パラメータと設計条件を定量的に明確にした。当時、学部卒論生として2010年4月から研究に携わるようになった坂間清子氏がプロジェクトメンバーとして参加した。

システムデザイン学科がデザイン工学部として市ヶ谷に展開し、偏差値の高い、知的好奇心旺盛な優秀な学生が多く所属し、一部の学生が修士・博士まで進学するようになり、新たな研究室の運営も軌道に乗ってきた。所属学生も学会発表などで最優秀講演賞を受賞するようになった。また大学院生も積極的に国際会議で発表するようになった。そんな矢先、2011年3月に大震災が発生し、学内外活動の一部に支障が出たことを思い出す。しかし今のコロナ禍に比べれば、電力需給のひっ迫などを除けば、制約は少なかったといえるだろう。

作動油中からの気泡分離除去の研究は多くの研究成果を生み出し、設計方法を中心とした内容について坂

間氏が研究論文²²⁾⁻²⁴⁾をまとめ、「油圧動力伝達システムにおける油中気泡の分離除去に関する研究」で2015年3月に博士（工学）の学位を取得した。またこれらの研究に対して坂間氏は2014年度SMC高田賞を受賞している。

学位授与式と同じ月の2015年3月、著者は急性出血性十二指腸潰瘍により学内で突然倒れ、救急車で通信病院に搬送され緊急入院した。この時の1か月の入院生活は人生初であった。健康には留意していたつもりであったが、どこかで無理が来ていたのかもしれない。お酒の飲みすぎという説もある。退院後、胃炎の原因であるピロリ菌を除去し、その後は快調な生活が続いている。心と体、健康のありがたさをしみじみと感じる年となった。

研究室が市ヶ谷に移動しても、マイクロ・ナノテクノロジー研究センターにおけるマイクロメカトロデバイスに関連した研究は継続して行われている。2010年～2013年には「機能性流体を用いたマイクロ流体パワー素子の研究」が科研費基盤研究（C）、2011年～2012年には「ビークル用小形シミュレータ研究」、2013年～2014年には「高出力密度を有するマイクロ液圧アクチュエータの開発」がそれぞれ公的な受託研究費を獲得し、研究環境の充実と展開に寄与した。

さらに2015年5月に工業製品製造に適した革新的な多次元制御方式による3Dプリンタの技術開発が経産省の平成27年度サポイン事業に採択された。パラレルメカニズムを使って造形物のステージ姿勢を6自由度で動かし、サポートレスでステージ上に立体物を造形する付加造形装置の研究開発テーマである。武藤工業殿と法政大学との産学連携事業でパラレルメカニズムを用いたシステムを試作し、その後の研究にも活用されている。

2016年6月にハルピン工大の李教授の紹介で、彭敬輝博士がマイクロ・ナノテクノロジー研究センターのPDとして研究に参加することになった。それ以前の2014年に李教授の学部生の范想想氏が中国留学生として修士に在籍し、機能性流体を用いた小形制動装置の研究で多くの成果を残していた。この縁で彭氏のPDとしての採用が決まったのである。二人ともたいへん優秀な学生で、多くの研究成果²⁶⁾²⁷⁾を残した。またこの研究テーマは2016年より社会人博士課程の外川貴規氏に引き継がれ、「小形自律移動ロボットのための機能性流体を用いた制動装置に関する研究」として2021年9月、外川氏に博士（工学）の学位が授与された。

研究室では毎年夏に合宿を行っている。2018年9月8日～10日の夏合宿は精密工学会の秋季講演会への参加を兼ね、北海道の函館で行われた。このとき、1日目の夜、地震により北海道内大停電（ブラックアウト）が発生し、宿泊先の温泉旅館で足止めされてしまった。レンタカーで移動していたので、急遽予定を変更したが、温泉旅館の配慮もあり、また函館空港は幸い稼働していたので、翌日予定の飛行機で無事、帰京することができた。忘れられない思い出である。また次の年の2019年の夏合宿は、九州の福岡と長崎で実施することを計画した。しかし初日の夜に九州地方に降った豪雨の影響で、鉄道や道路が寸断され、福岡から長崎への移動手段が断たれてしまった。急遽、予定を変更してもつ鍋と博多ラーメンを食べただけで、1日早く、新幹線により帰京することになった。自然災害の影響で、ここ数年、研究室の通常行事に多くの支障が出ている。さらに2020年度と2021年度はコロナウィルスの影響でほとんどの行事が実施されていない。2年間で研究室の通常の運営体制が大きく変わってしまったのは残念である。今年度は、少しでも通常に戻せるように鋭意、工夫している最中でもある。

5. おわりに

著者の40年間の教育研究者人生を時系列で振り返った。こうしてみると、わずかでもフルードパワーに関連した学術に貢献してきたことを紹介することができたのではないだろうか。紹介した研究には、優秀な多くの学生諸君が関わっている。また著者の学術研究にご支援、ご協力をいただいたすべての方々にこの場を借りてあらためて御礼申し上げる。法政大学の教員としての任期はまだ少し残っている。これからも学術、特にフルードパワー研究の発展に貢献してゆく所存である。また今回の受賞に少しでも報いるべく、今後の学会活動へも積極的にかかわっていきたい。

参考文献

- 1) 横田眞一、中野和夫、田中豊：円筒形絞りの噴流における振動流の挙動（第1報 流れの可視化実験）

- 油圧と空気圧, Vol.17, No.6, p.469-475 (1986)
- 2) 横田眞一, 中野和夫, 田中豊: 円筒形絞りの噴流における振動流の挙動 (第2報 数値解析), 油圧と空気圧, Vol.17, No.6, p.476-481 (1986)
 - 3) 田中豊: 油圧の道を歩む, 油圧と空気圧, Vol.19, No.1, p.46-48 (1988)
 - 4) Kazuo Nakano, Yutaka Tanaka: Electrostatic Flowsensor, Journal of Flow Measurements & Instrumentations, Vol.1 July, p.191-200 (1990)
 - 5) 中野和夫, 田中豊, 戸田宜彦: エネルギー形電気・油圧サーボ系 (定容量形油圧ポンプの回転数制御), 油圧と空気圧, Vol.18, No.2, p.154-161 (1987)
 - 6) 田中豊, 中野和夫: インバータ運転を用いた省エネルギー形定圧油圧源 (油圧源電動機の状態量からの圧力の算定), 油圧と空気圧, Vol.20, No.3, p.247-252 (1989)
 - 7) 田中豊, 中野和夫: インバータ運転を用いた省エネルギー形定圧油圧源 (第2報 二圧制御システムの実現), 油圧と空気圧, Vol.21, No.4, p.408-416 (1990) (日本油空圧学会 SMC 賞)
 - 8) 田中 豊, 中野 和夫: 油圧用プラダ形アキュムレータのエネルギー収支 (第1報 熱時定数の実験的検討) 油圧と空気圧, Vol.22, No.6, p.666-672 (1991)
 - 9) 田中 豊, 中野 和夫: 油圧用プラダ形アキュムレータのエネルギー収支 (第2報 連続サイクルにおけるエネルギー効率の評価), 油圧と空気圧, Vol.23, No.3, p.317-323 (1992)
 - 10) 中野和夫, オズワルド・ホリカワ, 浅蔭朋彦, 田中豊: 空気圧・圧電超音波複合形アクチュエータによる精密位置決めシステム, 油圧と空気圧, Vol.24, No.3, p.394-398 (1993). (日本油空圧学会学術論文賞)
 - 11) 中野和夫, 田中豊: 空気圧・圧電超音波複合形ハイブリッド方式による精密直線位置決め, 油圧と空気圧, Vol.24, No.7, p.762-768 (1993)
 - 12) Ryushi Suzuki, Yutaka Tanaka, Shinichi Yokota: Reduction of Oil Temperature Rise by Use of a Bubble Elimination Device in Hydraulic Systems, Journal of the Society of Tribologists and Lubrication Engineers, Vol.54, No.3, p.23-27 (1998)
 - 13) Ryushi Suzuki, Yutaka Tanaka, Kazuyoshi Ara, Shinichi Yokota: Bubble Elimination in Oil for Fluid Power Systems, SAE 1998 Transactions, Journal of Commercial Vehicles Section 2, Vol.107, p.381-386 (1998)
 - 14) Yutaka Tanaka, Ryushi Suzuki, Kazuyoshi Arai, K. Iwamoto, K. Kawazura: Visualization of Flow Fields in a Bubble Eliminator, Journal of Visualization, Vol.4, No.1, p.81-90 (2001)
 - 15) 田中豊, 雨宮賢一: 力触覚提示に使用される空圧アクチュエータ, フルードパワーシステム, Vol.31, No.4, p.289-296 (2000)
 - 16) 田中豊: 空気圧を用いた装着型力接触感覚提示装置, フルードパワーシステム, Vol.34, No.5, p.134-139 (2003)
 - 17) 田中豊: 仮想作業空間を用いた建設機械の遠隔操作, フルードパワーシステム, Vol.33, No. 6, p.383-387 (2002)
 - 18) 田中豊: 建設機械の遠隔操作システム, フルードパワーシステム, Vol.38, No.3, p.132-135 (2007)
 - 19) 田中豊: ヌタ通信・アメリカソルトレイクシティ一発, 日本機械学会誌 Vol.104, No.988, p.210-211 (2001)
 - 20) 五嶋裕之, 田中豊, 一柳健: パラレルメカニズムを用いた曲げ加工機による管材の三次元加工, 日本フルードパワーシステム学会論文集, Vol.41, No.4, p.74-79 (2010). (日本フルードパワーシステム学会学術論文賞)
 - 21) Yutaka Tanaka, Shinichi Yokota: Design and Fabrication of Micro Pump for Functional Fluid Power Actuation System, Next-Generation Actuators Leading Breakthroughs, Part III Micro Actuators, Chapter 14, p.153-164, Springer (2010)
 - 22) Yuichi Shiga, Yutaka Tanaka, Hiroyuki Goto, Hiroshi Takeda: Design of Six Degree-of-freedom Tripod Parallel Mechanism for Flight Simulator, International Journal of Automation Technology, Vol.5, No.5, p.715-721 (2011)
 - 23) 坂間清子, 田中 豊, 鈴木隆司: 気泡除去装置の設計と評価に関する研究 (第1報 放気口径の選定), 日本フルードパワーシステム学会論文集, Vol.44, No.2, p.43-48 (2013)
 - 24) 坂間清子, 田中 豊, 鈴木隆司: 気泡除去装置の設計と評価に関する研究 (第2報 スパイラル係数を用いた放気口径と流出口径の選定), 日本フルードパワーシステム学会論文集, Vol.45, No.5, p.79-84 (2014) (坂間清子博士・2014年度 SMC 高田賞)
 - 25) Sayako Sakama, Yutaka Tanaka, Hiroyuki Goto: Mathematical model for bulk modulus of hydraulic oil containing air bubbles, Bulletin of the JSME, Mechanical Engineering Journal, Vol.2, No.5 (2015) 10.1299/mej.15-00347.
 - 26) Jinghui Peng, Takanori Togawa, Takuma Tachibana, Yutaka Tanaka: Numerical and Experimental Investigation on Braking Characteristics of an Electro-Rheological (ER) Micro Brake, JFPS International Journal of Fluid Power System, Vol.11, No.3, p.124-129 (2019) 10.5739/jfpsij.11.124
 - 27) Takanori Togawa, Takuma Tachibana, Yutaka Tanaka, Jinghui Peng: Hydro-Disk-Type of Electrorheological

Brakes for Small Mobile Robots, International Journal of Hydromechatronics, Vol.4, No.2, p.99-115 (2021)
10.1504/IJHM.2021.116955.

著者紹介



たなか ゆたか

田中 豊 君

1985年東京工業大学大学院修士課程修了，その後東工大精密工学研究所助手を経て，1991年法政大学講師，1992年同助教授，2002年同教授，現在，法政大学デザイン工学部システムデザイン学科教授。この間，2000年5月から2001年3月まで米国ユタ大学工学部計算科学科客員助教授。工学博士（1991年東京工業大学）。日本フルードパワーシステム学会，日本機械学会，日本バーチャルリアリティー学会などの会員。
E-mail: y_tanaka@hosei.ac.jp