

## 油圧技術の動向と展望

坂 間 清 子\*



### 1. はじめに

“油圧”は、電動や空気圧等の他の駆動方法と比べて小さな機器で大きな出力が得られることから、大きな力が必要とされる産業分野で広く利用されている。しかし、省エネ化、低騒音化、クリーン化等の観点からあらゆる産業分野で油圧システムの電動化が進んでおり、今後ますます電動化の動きは進んでいくと考えられている。それでは、将来的に油圧が全て電動に置き換えられる可能性はあるのだろうか。本稿では、油圧機器と電動機器の開発動向を比較しながら、油圧の今後について考えていきたい。

### 2. 油圧アクチュエータと電動アクチュエータの特性比較

油圧アクチュエータは、単位質量あたりの発生出力（パワー密度）が大きい、すなわち小形ながら大きな出力を有することは知られているが、実際に油圧アクチュエータのパワー密度が他のアクチュエータと比較してどの程度大きいかご存知だろうか。本稿では、まず、アクチュエータの発生トルク、パワー密度、パワーレートを評価指標として市販の油圧アクチュエータと電動アクチュエータの特性を比較し、各アクチュエータの特徴について概説していく。

なお、本稿で示す調査結果は全て回転アクチュエータを調査対象とし、市販のアクチュエータのカタログからデータを収集している。また、電動アクチュエータはACモータ、ブラシレスDCモータ、DCモータの3種類、油圧モータは斜軸式アキシャルピストンモータと斜板式アキシャルピストンモータ、ラジアルピストンモータの3種類に分類して比較した。

はじめに、各アクチュエータの質量に対する定格トルクの大きさを比較していく。図1に質量 $m$  [kg]と定格トルク $T_r$  [Nm]の関係を示す。横軸に各モータの質量、縦軸に定格トルクをとり、各モータのデー

タをプロットしている。ここでは便宜的に $10^3$ kg以上のアクチュエータを超大形、 $10\sim 10^3$ kgのアクチュエータを大形、 $10^{-1}\sim 10$ kgのアクチュエータを中形、 $10^{-3}\sim 10^{-1}$ kgのアクチュエータを小形、 $10^{-3}$ kg以下のアクチュエータを超小形アクチュエータと分類して比較していく。アクチュエータの質量について比較してみると、油圧のラジアルピストンモータは大形～超大形の領域に、アキシャルピストンモータは中形～大形の領域にプロットされるのに対し、電動のACサーボモータは中形～超大形、ブラシレスDCサーボモータとDCサーボモータは超小形～中形の領域にプロットされ、電動アクチュエータは油圧アクチュエータよりも広い領域で展開されていることがわかる。

アクチュエータの質量 $m$  [kg]と定格トルク $T_r$  [Nm]の関係についてみていくと、油圧モータと電動モータは、それぞれ $T_r \propto m^{4/3}$ の直線上に並んでプロットされる傾向にあり、質量が大きいほど定格トルクは大きくなることがわかる。また、電動アクチュエータのプロットが並ぶ直線よりも、油圧アクチュエータのプロットが並ぶ直線の方が定格トルクの大きい方向に1桁近くシフトしている。すなわち、同じ質量のアクチュエータで比較すれば、油圧アクチュエータの方が電動アクチュエータよりも10倍近く大きなトルクの発生が可能であると言える。

つぎに、アクチュエータの質量 $m$  [kg]とパワー密度 $P_d$  [W/kg]の関係を比較していく。パワー密度は、アクチュエータの定格出力を質量で除して算出される値で、パワー密度が大きいほど小形で出力が大きいアクチュエータであると評価できる。図2にアクチュエータの質量とパワー密度の関係を示す。

中形～大形領域で電動モータと油圧モータのパワー密度を比較すると、油圧モータの方が1桁から2桁近くパワー密度が大きいことがわかる。しかし、油圧モータは質量が大きいほどパワー密度は小さくなる傾向にあり、超大形領域ではACモータと大きく変わらないことがわかる。定格トルクは油圧モ

\*青山学院大学理工学部 機械創造工学科 助教

タの方が大きいにも関わらず、パワー密度で比較すると同程度の値になるのは、モータの回転速度の違いが影響している。モータの出力は、トルクと回転速度の積で算出される値である。すなわち、超大形領域の油圧モータは、ACモータよりも10倍大きなトルクを発生させることができるが、回転速度はACモータの10分の1程度になる。モータの発生力と速度のどちらを優先させるかで、適したモータは変わってくると言える。

最後に、モータの応答性を表す指標である、パワーレート $Q$  [W/s] を用いて油圧モータと電動モータの性能を比較していく。パワーレートは、モータの定格トルクの2乗を慣性モーメントで除して算出される値で、この値が大きいほど応答性に優れること

を意味する。図3にモータの質量とパワーレートの関係を示す。油圧モータと電動モータでパワーレートの大きさは大きく異なり、油圧モータは電動モータよりも応答性に優れることがわかる。

### 3. 油圧モータと電動モータの性能の変遷と今後の予測

ここまで、モータの定格トルク、パワー密度、パワーレートの3つの指標を用いて油圧モータと電動モータを比較してきたが、いずれの指標でも油圧モータは高い性能を示すことがわかった。現状、小形で大きな発生力がもとめられる機械システムでは、全ての油圧モータを電動モータに置き換えることは困難であると言える。それでは、今後もすべての油

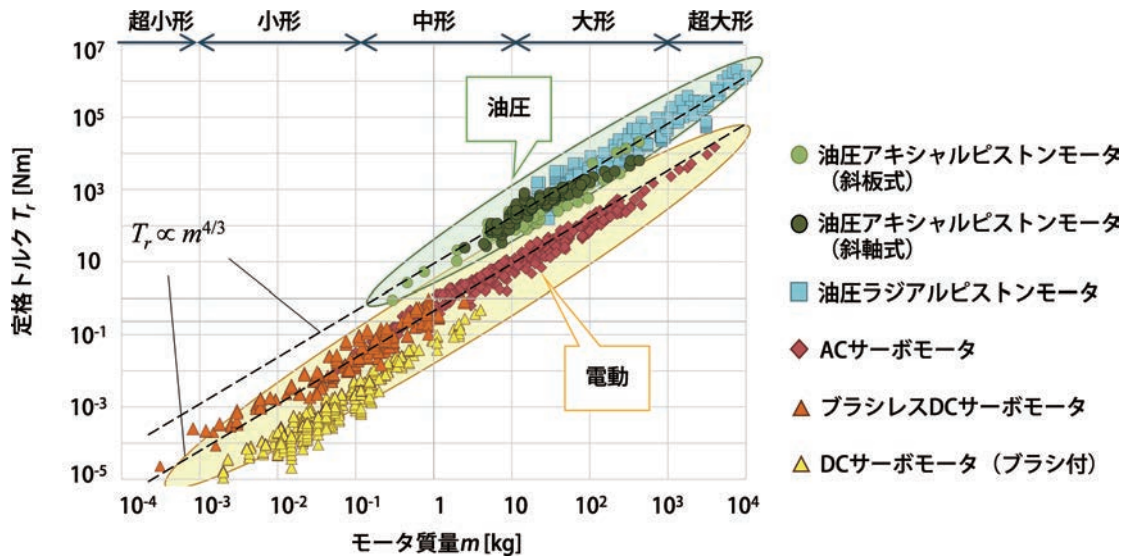


図1 油圧アクチュエータと電動アクチュエータの定格トルクの比較

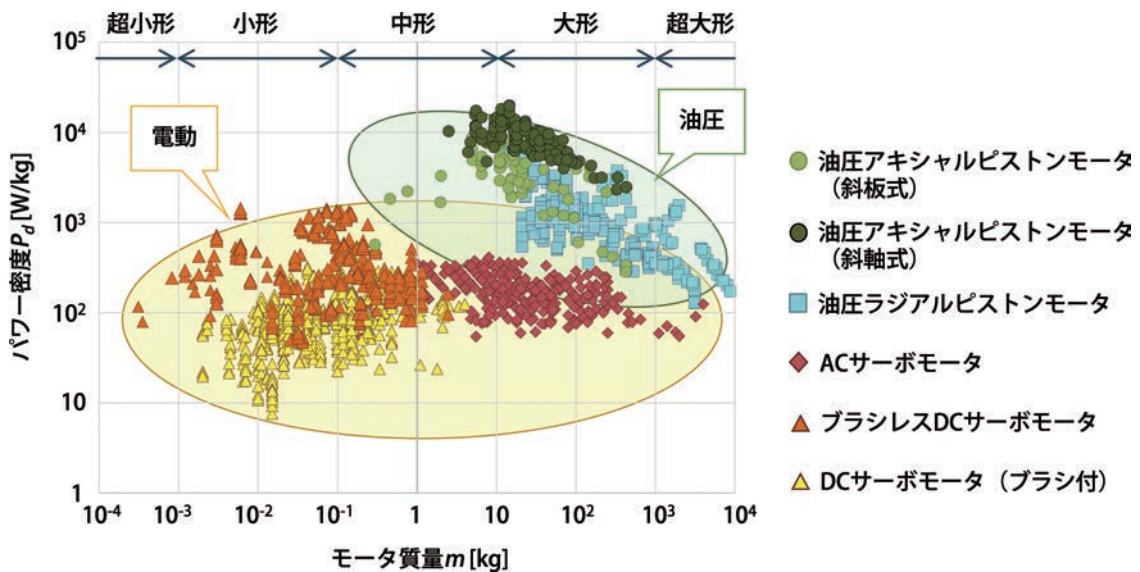


図2 油圧アクチュエータと電動アクチュエータのパワー密度の比較

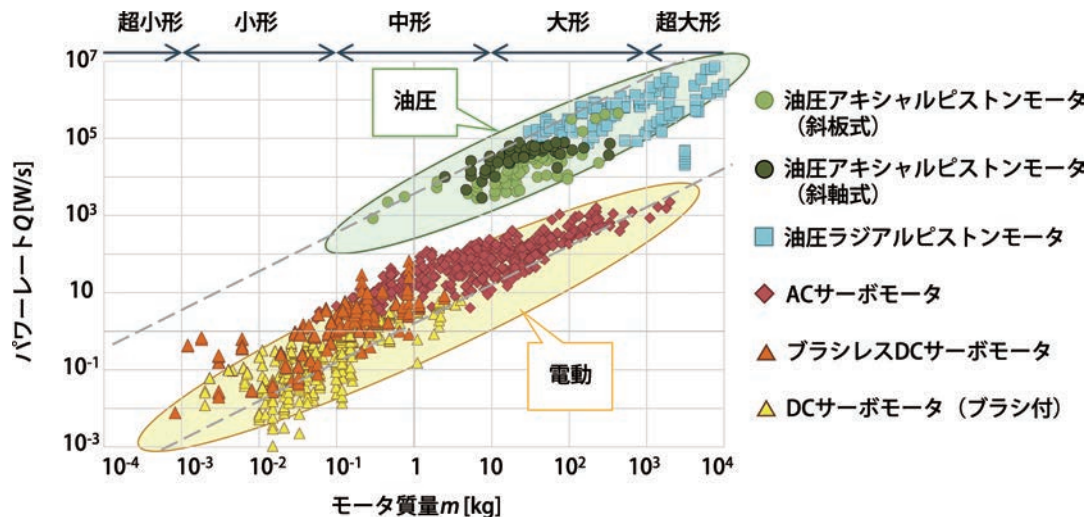


図3 油圧アクチュエータと電動アクチュエータのパワーレートの比較

圧機器が電動機器に置き換えられることはないと言えるだろうか。ここで、今後の油圧機器と電動機器の性能の変化を予測するために、前節で比較したデータに古いデータを追加し、油圧モータと電動モータのパワー密度の変遷を見てみる。

図4に油圧モータと電動モータのパワー密度の変遷を示す。油圧サーボ全盛期と言われる1970年代以前から現在まで、油圧モータのパワー密度は電動モータよりも圧倒的に大きな値を示してきた。しかし、パワー密度の推移を比較すると、電動モータのパワー密度の方が急速に向上していることがわかる。油圧モータのパワー密度も向上しているが、特にこの数年は大きく変化していない。一方、電動モータのパワー密度は上昇し続けており、この30～40年で1桁以上大きくなっていることがわかる。このままのペースで電動モータの性能が向上していけば、電動モータが油圧モータのパワー密度を上回ることもないとは言いきれない。しかし、電動モータのデータをもう少し詳細に見てみると、近年パワー密度が急速に向上しているのはブラシレスDCモータである。すなわち、電動モータでは、超小形～中形領域のパワー密度の向上が著しいと評価できる。中形～超大形領域で展開されるACモータのパワー密度の推移に注目してみると、2000年代から大きく変化していないことがわかる。図2からわかるように、現在、油圧モータが利用される領域は中形～超大形領域であり、ACモータの性能が急速に向上しない限りは、油圧モータが電動モータに台頭される可能性は低いと言える。

#### 4. 油圧技術の今後

前節で示したように、油圧モータのパワー密度は

近年大きく変化していないが、2000年頃まではパワー密度は上昇傾向にあった。それは、油圧機器の高圧化が進んでいたからである。図5は、建設機械用の油圧ポンプのパワー密度と定格圧力の推移である。定格圧力は1975年から25年で1.5倍以上に上昇し、それに伴い、パワー密度は倍以上に向上していることがわかる。2000年代後半には、油圧機器の高圧化はさらに進むことも予想されていたが<sup>1)</sup>、実際には油圧機器の高圧化は進んでいない。油圧機器のさらなる高出力化・小形化を実現するには、油圧システムの高圧化が必要となるが、高圧化は機器にかかる負荷を増大させる。今後、油圧システムのさらなる高圧化を進めるには、コンタミやエア、騒音に対する対策、シール技術や冷却技術の向上など、基礎的な研究を積極的に進めていく必要がある。しかしながら、日本国内では、油圧技術に関連する研究は十分に行われていない現状にある。図6は、日本フルードパワーシステム学会<sup>2)</sup>の講演会で1998～2010年の間に発表された分野別の講演件数の推移を調査した結果である<sup>3)</sup>。油圧に関連するテーマでの講演件数は減少傾向にあり、日本国内で油圧技術に関連した研究を行っている大学・研究機関は減少していることがわかる。

しかし、近年、災害救助やロボット分野で油圧が再度注目され始めており、それらの研究開発の中で油圧コンポーネントの性能向上を目的とした研究も進められている<sup>4)</sup>。油圧に関連した研究を活発にし、油圧技術を発展させていくには、多くの技術者・研究者が注目する油圧の活用方法を見出していくことも必要である。



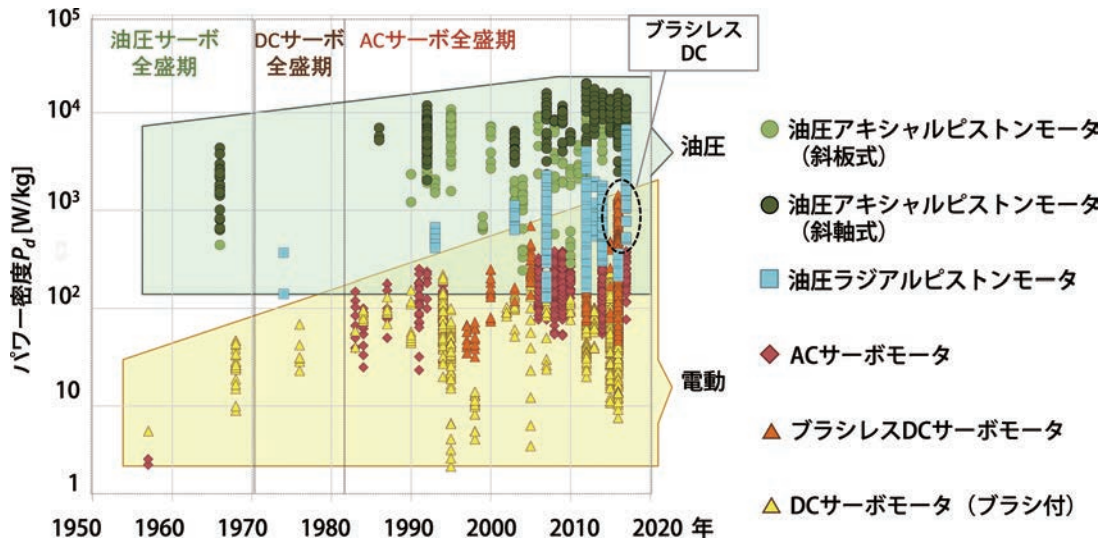


図4 油圧アクチュエータと電動アクチュエータのパワー密度の変遷

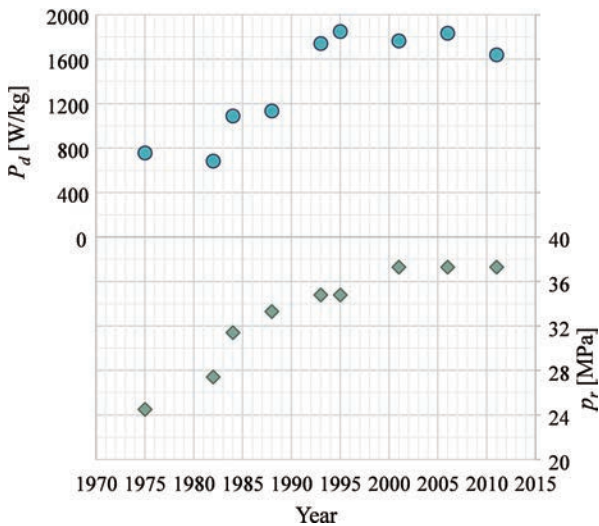
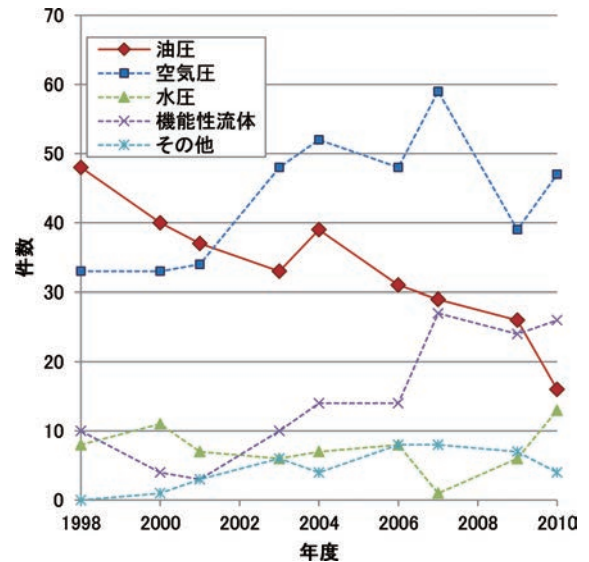


図5 建機用油圧ポンプのパワー密度と定格圧力



注) 国際会議が開催された年度のデータは除外

図6 日本フルードパワー学会講演会の分野別講演件数の推移

### 5. おわりに

本稿で示したように、電動アクチュエータで油圧アクチュエータほどの力を発生させることは困難であり、サイズや重量に制限のある中で大きな力を発生させるには、現在のところ油圧が最適である。油圧技術を今後さらに発展させていくために、大学・研究機関では、油圧の長所を生かした新たな油圧技術の活用方法を検討し、その技術を普及させていく必要がある。そのためには、世の中のニーズに合った技術開発が必要であり、産学間での連携が今後さらに重要になっていくだろう。

### 参考文献

- 1) Brendan Casey : Mobile Hydraulic Equipment: Increasing the Pressure, Machinery Lubrication Magazine. (January 2008).
- 2) <http://www.jfps.jp/>
- 3) 田中豊, 坂間清子 : 学会論文にみるフルードパワー研究15年の検証, 油空圧技術, Vol. 51, No. 11, pp. 104-111, (2012年).
- 4) 鈴森康一 : タフロボット用油圧アクチュエータ (「強さ」と「優しさ」をあわせ持つロボットを目指して), 油空圧技術, Vol. 55, No. 3, pp. 10-13, (2016年).