

## トライボロジーにおける AI : 科学と学習

### AI in Tribology: Science and Learning

九大（名誉） \*杉村丈一

Joichi Sugimura, Kyushu University

#### 1. はじめに

世の中で AI の利用が急速に拡大するなか、多くの因子が複雑にからみあうトライボロジーの諸プロセスの理解と技術開発においても、AI に期待する場面はたくさんある。本講演では、人工ニューラルネットワークを中心として、トライボロジ一分野における AI 手法の応用をふりかえるとともに、AI 利用の功罪と方向性について考えたい。

#### 2. AI に思い描いていたこと

1990 年代の半ば、誤差逆伝播法により急速に発展した第 2 次 AI ブームのなか、筆者らはニューラルネットワークを用いた摩擦状態の診断を試みた<sup>1,2)</sup>。匠の技や職人の目を機械に習得させてモノづくりや状態診断を高度化させる夢を抱き、当時定性的であった油中摩耗粉の分析を高度化させることができることが目的であった。Figure 1 に示すような階層型ニューラルネットワークに摩耗粉の形態と運転条件の関係を学習させるもので、特定の摩擦試験について、運転条件と摩耗粉形態との非線形の関係をネットワークはよく学習し、摩擦係数の推定も可能であることがわかったが、それは極めて限定的なものであった。当時のもう一つの目的は、ネットワーク内で学習によって得られた諸係数から摩耗に係る諸因子の物理的な作用、すなわち摩耗のメカニズムに迫る洞察や科学的発見を得ることであったが叶わなかった。

その後、畳み込み処理の導入などにより学習技術が進歩して第 3 次ブームを迎える。いまや文字認識や顔認識などは日常的に使われている。トライボロジーにおいても、例えば文字認識の手法にならって摩耗粉の画像から直接診断を行う試みなど行われている<sup>3)</sup>。このようなアプローチは、基礎研究の場面よりも状態診断といった産業での応用場面において、学習データを充実させることで実用性が高まるものと思われる。

#### 3. トライボロジーにおける AI の活用

教師ありのニューラルネットワークは分類や回帰に用いられ、教師なしのニューラルネットワークはクラスタリングや次元削減に用いられる。トライボロジーでは、陽に表現することが困難な多数の関連因子間の複雑な相互関係を、入力と出力の関係として把握するために有効であり、状態診断や状態制御、状態予測、材料や潤滑剤開発への適用が試みられている。

ニューラルネットワークで扱うデータとしては、荷重や速度、温度、摺動材料、潤滑剤、雰囲気などを入力データとし、摩擦係数や摩耗量の推定値を出力とする典型的なパターンのほか、表面の微視的形状や応力分布、表面層の材料学的变化や化学的变化、微視的損傷形態など、現象に関連する諸因子を入力ないし出力とできる。また、摩擦の変化から異常を検出したり、数値解析の一部をニューラルネットワークで置き換えて高速化したり、ネットワークに理論モデルを組み込むなど、応用の形態はさまざまである。対象となる現象に応じて、有効なデータサイズは異なり、基礎研究における解析の高度化においては小規模なデータで、また機械の状態診断や寿命予測などの実用場面で信憑性の高い結果を得るには良質かつ大量のビッグデータを扱う必要がある。最近の進歩については文献 4~9 などで詳しく紹介されているので本予稿では割愛する。

#### 4. 期待と懸念

ニューラルネットワークのさまざまな手法は、学習にもとづくブラックボックスとして、前述のとおり状態診断や危険予知、実験解析のさまざまな場面で活用を進めていくべきであり、それらを通じて新たな展開が期待できる。また、技術者や研究者が言葉にしなかった、文書として残さなかった多くのノウハウや知識は沢山あり、これらをデータとして再びとりあげ整理統合することも重要な課題である。一方、ブラックボックスであるニューラルネットワークの内部を探る試みは続けられているようであるが容易ではない。トライボロジーの諸現象は複雑系の最たるものであり、トライボ現象を学習したネットワークから諸因子間の関係を陽に抽出する手法を編み出すことができれば、科学的手法として他の分野にも応用可能な画期的なものになるであろう。

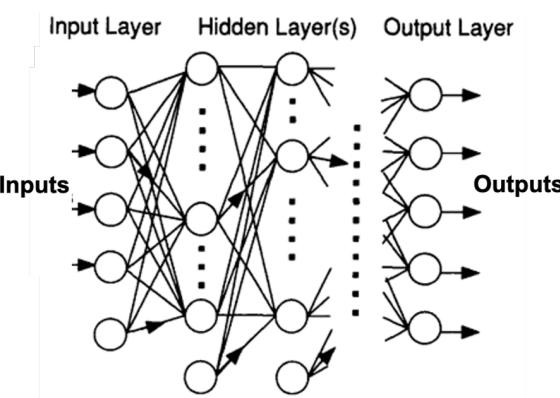


Fig. 1 Artificial neural network

注意しなければならないことは、素人考であるが、AIの悪用やAIの独り歩きである。トライボロジーのビッグデータを学習材料としてAIの能力が向上することは悪いことではないが、昨今生成AIに端を発した知的財産の問題はすべての分野において慎重に検討していくべき共通の課題である。近年、論文やデータのオープン化が加速し、人力・財力をかけて得たデータや創造的成果を誰でも簡単に利用することが可能になった。この動きが加速すれば、近い将来、トライボロジーを知らない人間、またはAIが、それらを利用して問題を解決できるようになるであろう。AIが最新のデータにもとづいてあたかも新事実を発見したかのように答えをだし、そんなこと昔の技術者は知っていたのに、とシニアの技術者が嘆く場面があるかもしれない。そのようなAIとも上手につきあっていくことが必要であり、またトライボロジー発展の根本は、技術者・研究者の英知と創造的活動にあることを忘れてはいけない。

## 5. おわりに

AIに関わる大きな社会的問題が今後どう解決され、どのように発展するか、トライボロジーの科学と技術にどう入りこんでいくのか楽しみでもあり怖しくもある。

## 文献

- 1) 杉村、梅田、山本：摩耗粉の形態識別におけるニューラルネットワークの適用、日本機械学会論文集C編、61, 590 (1995) 4055-4060.
- 2) 梅田、杉村、山本：摩耗粉形態識別におけるニューラルネットワーク入出力の評価、日本機械学会論文集C編、63, 612 (1997) 2839-2844.
- 3) 例えは、Peng Y et al. WP-DRnet: A Novel Wear Particle Detection and Recognition Network for Automatic Ferrograph Image Analysis. *Tribol Int.* 2020; 151: 106379.
- 4) Argatov I. Artificial Neural Networks (ANNs) as a Novel Modeling Technique in Tribology. *Frontiers in Mech Eng.* 2019; 5: 30.
- 5) Rosenkranz A, et al. The Use of Artificial Intelligence in Tribology – A Perspective. *Lubricants* 2021; 9: 2.
- 6) Marian M, Tremmel T. Current Trends and Applications of Machine Learning in Tribology – A Review, *Lubricants* 2021; 9: 86.
- 7) 特集・トライボロジ一分野におけるAI技術、トライボロジスト, 67, 12, 2022.
- 村島基之：トライボロジーにおける機械学習：AI活用への導入、トライボロジスト, 68, 2023, 552-554.
- 8) Sose A T, et al. A review of recent advances and applications of machine learning in tribology, *Phys Chem Chem Phys* 2023; 25: 4408-4443.
- 9) Marian M, Tremmel T. Physics-Informed Machine Learning – An Emerging Trend in Tribology, *Lubricants* 2023; 11: 463.