

若手技術者へ贈る言葉

科学的思考とアプローチ



奥山繁樹

1. はじめに

筆者は、防衛大学の卒業後、本校の研究科(前期)教育を受け、その後防衛大の研究員、大阪大の研究員として、砥粒加工について研究する機会を得た。その間、自衛官として初級・中級幹部の教育課程に入り、さらに幹部学校で作戦やオペレーションズリサーチ(OR)などの教育を受けた。

30代半ばに防衛大の助教授に就任して、教育・研究に携わるようになったが、防衛省での教育が役立った。このような経験に鑑み、「科学的思考とアプローチ」と題して、つたない経験を披露することにしたい。

2. 科学的アプローチの例

2.1 法則探求のためのアプローチ

科学的アプローチの手法は種々提案されているが、法則を探求する場合には、一般に次のようなプロセスをとる。

- ① 現象の観察
- ② 現象の支配因子の把握
- ③ 現象を説明するモデル(仮説・関係式)の提起
- ④ 上記モデルによる結果の予測
- ⑤ 実験による検証(実験結果と予測した結果の比較、再現性が重要)
- ⑥ 結果の評価(提起した法則の適用範囲、等)

上記の③で、現象が決定論的モデルで説明できず、確率論的なモデルを用いざるを得ない場合がある。いずれの場合も⑤の検証結果が不十分なら、フィードバックのプロセスに入ることになる。

2.2 問題解決のためのアプローチ

オペレーションズリサーチでは各種の数学的手法が駆使されるが、ここでは問題解決のための一般的アプローチを紹介する。

- ① 問題とそれを取り巻く環境の観察・把握
- ② 解決すべき問題の把握(真の問題の発見)
- ③ 目標と評価基準の設定(どのようになれば解決したと言えるか)
- ④ 問題解決の手段・方法(複数)の提起
- ⑤ 解決策に沿った実験/シミュレーションの実施
- ⑥ 結果の評価

なお、⑥に至って再検討が必要であれば、上記い

ずれかのプロセスに戻る(フィードバックする)。

前記のプロセスと比べると、似ている部分が多い。

2.3 戦術的思考

戦術とは、作戦・戦闘において任務達成のために部隊・資源を効果的に配置・運動させ、戦闘力を最大限に発揮させる術であり、自衛隊で教えている思考過程は次のとおりである。

- ① 任務分析(具体的に達成すべき目標を定める)
- ② 作戦地域とこれを取り巻く環境、敵と我の状況の把握
- ③ 敵の可能行動(特徴のあるもの複数)の列挙
- ④ 我が行動方針(特徴のあるもの複数)の列挙
- ⑤ ③と④を組み合わせ、戦闘の推移を予測(シミュレーションを実施)
- ⑥ 解決策の良否/リスクを判断するための評価基準の設定
- ⑦ 評価基準に基づき、シミュレーション結果を評価(必要に応じ、上記プロセスのいずれかに戻って再検討)
- ⑧ 最良の行動方針の決定

戦術においては、任務が重視されるが、問題解決プロセスにおいても、命題を与えた者の思惑があり得るから、命題の分析を行うことが重要であることは言うまでもない。つまり、両者もまた似ていると言える。

3. 研削加工の研究を通じた経験

3.1 研削における除去機構への疑問

研削加工に出会ったのは、防衛大の本科(学部)での卒業研究である。テーマは「加圧研削に関する研究」であり、定圧で角柱状工作物の端面を研削して、加工速度や研削抵抗と砥石表面の「摩耗平坦面積率 η 」との関係を調べた。現象の支配因子は比較的少なく、問題の所在を把握するうえで良いテーマであった。おかげで、研削機構に関する強い興味と疑問をもつことができた。

当時の疑問は主に、 η と工作物の降伏圧力の積よりも小さい圧力で、なぜ工作物の切削除去が可能なのか、切削に関与しているミクロン領域の切れ刃はどうなっているのか、の2点であった。

研究科(前期)では、鏡面に仕上げた焼入れ鋼板を少し傾けてテーブル上に設置し、微細切込みでワンパス研削して、切れ刃の擦過痕の断面形状を調べた。定常研削状態($\eta \approx 1\%$)においても切削性能は高く、スクラッチ側面の盛り上がりはほとんど見られなかった。一方、ドレッシング直後の切れ刃は鋭利で切れ味はよいものと思っていたが、かえって除去能率が悪いことを知った。

その理由を説明するため、切削開始時、切れ刃に衝撃的に加わる接線力によって逃げ面が傾き、その前端が工作物に食い込むモデルを案出した。その結果、研削抵抗の急増現象を説明することができた。つまり、法則探求のプロセスを適用し、論文賞を頂く結果につながった。しかし今思えば、検証が十分とは言えなかった。

次に連続する切れ刃の状態を調べた。図1の左下に示したように、砥石外周の点Aの左右5mmの範囲の切れ刃の包らく面形状を焼結グラファイトに転写した。同様にA点から15mm離れたB点でも転写するとともに、砥石全周の包らく面形状(極限粗さに相当)を転写した。図から、ドレッシング直後は転写形状A、Bに全く相関がないのに、定常研削状態では両者に強い相関が現れている。さらに、切れ刃先端を顕微鏡観察すると、摩耗面にはうねり(擦過痕)が生じており、後続切れ刃にも同じようなうねりが認められた。つまり、連続する切れ刃の高さは研削時間とともに急速に揃い、摩耗面のうねり形状まで似て来るのである。

このことは、研削仕上げ面粗さを理論解析した多くの先達が、切れ刃高さのランダム性を前提としていることと大いに矛盾するものであった。

このように、研削による工作物の除去機構の解明は一筋縄ではいかないことを知った。つまり、法則探求の第1段階で困難に直面したのである。

願わくは、若い皆さんに研削機構に対する強い興味と疑問を持ち、その解明に邁進して頂きたい。

3.2 研削プロセスにおける無駄時間の排除

筆者らは、研削開始時の砥石の工作物表面近くへの位置決めが危険でかつ時間もかかることや、テーブルドックによってテーブルを反転させると、無駄な領域を掃引させざるを得ない問題を解決しようと考えた。

回転中の砥石の工作物表面への自動アプローチのためには、砥石の接近を精度良く検出できるセンサを選ぶ必要がある。筆者らが試したのは、①レーザーセンサ(砥石が工作物に接近すると研削液が白濁する

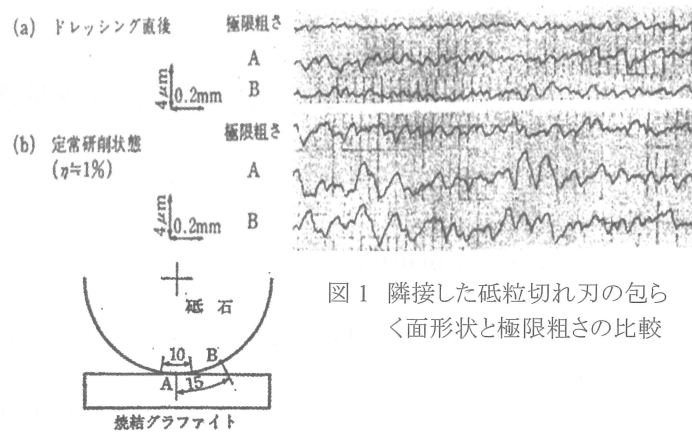


図1 隣接した砥粒切れ刃の包らく面形状と極限粗さの比較

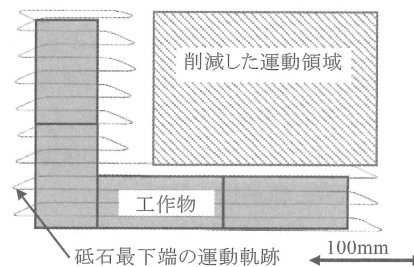


図2 テーブル反転制御システムを利用したL字型工作物の研削例

のでこれを検知する)、②水中マイク(キャビテーション音を検知する)、③高感度加速度センサをテーブル内に埋め込む(キャビテーション音等を検知する)、などであった。比較の結果③のセンサが最も安定かつ有効とわかった。

つまり、キャビテーションによる高周波の音圧レベルは、砥石の接近に伴って急増するから、トリガレベルを適切に設定することで、工作物表面にごく近い位置(10~30 μm)で砥石の接近を自動停止できた。

またこのシステムを用いれば、研削中の砥石が工作物と離れるタイミングがわかるから、その瞬間にテーブルの運動方向を切り替えることで、工作物形状に沿ったテーブルの反転制御が実現できる。

図2は、このシステムを用いたテーブル反転の様子を示したもので、図に示したL字型工作物の場合、加工時間を約40%削減できた。さらに、砥石の接近制御機能とテーブルの反転制御機能をともに生かすことで、無駄時間を大幅に削減できた。

以上、問題解決に取り組んだ経験を紹介したが、提案したシステムは未だ実用に供されていない。

「実用化」にはさらなる努力が必要であることを学んだ次第である。

おくやま・しげき:防衛大学名誉教授