

ポンプ・ブロワの比例則の解説

質問

高い吐出圧力が必要なルーツポンプ（汚水処理プロセスにおけるエアレーションタンクのブロワポンプ等）においては、ポンプの比例則は成り立たない（動力は回転数の3乗ではなく1乗に比例する）と聞きましたが、このことについて、解説をお願いしますか。

回答

おっしゃる通り、汚水処理場のエアレーション（曝気）などで使われるルーツブロワ（容積形ポンプの一種）においては、遠心ポンプのような「3乗の法則」は成立せず、**動力は回転数の1乗に比例**する挙動を示します。

なぜこれほどまでに差が出るのか、その理由は「圧力の作り方」の違いにあります。

1. 原理の違い：ターボ形 vs 容積形

遠心ポンプ（ターボ形）とルーツブロワ（容積形）では、エネルギーを流体に伝えるメカニズムが根本的に異なります。

遠心ポンプ（ターボ形）

- **メカニズム:** 羽根車の回転による「遠心力」で流体に速度を与え、その速度エネルギーを圧力に変換します。
- **特性:** 回転数を下げると、発生する圧力（揚程）も2乗で下がってしまいます。そのため、ある程度回転数を落とすと、配管の抵抗や水深に負けて流体が流れなくなります。

ルーツブロワ（容積形）

- **メカニズム:** 2つの繭型のローターが噛み合いながら回転し、吸い込んだ空気をそのまま反対側へ「押し出す」構造です。
- **特性:** 1回転あたりに送り出す体積がほぼ決まっています。そのため、回転数を下げても、押し出す「力（圧力）」を維持したまま、送り出す「量」だけを減らすことができます。

2. なぜ動力は「1乗」に比例するのか

物理的な計算式で見ると、その理由が明確になります。ポンプの軸動力（P）は、一般的に以下の簡略式で表されます。

$$P = K \times \Delta p \times Q$$

（K: 定数、 Δp : 吐出圧力と吸込圧力の差、Q: 吐出流量）

ルーツブロワの場合

エアレーションタンクの底にある散気管から空気を出す場合、水深による「背圧」に打ち勝つ必要があります。この背圧（ Δp ）は、水深が変わらない限り**常に一定**です。

- **圧力（ Δp ）:** 回転数を変えても、水深は変わらないので**一定**。
- **流量（Q）:** 回転数（N）に正比例する（ $Q \propto N$ ）。

したがって、動力（P）は $P \propto \text{一定} \times N$ となり、**回転数の1乗に比例**することになります。

3. 遠心ポンプとの「3乗」の差はどこから来るのか

遠心ポンプで「3乗」と言われるのは、送り出す先の抵抗が「配管摩擦のみ」である場合です。

- 配管摩擦による圧力損失（ Δp ）は、流速（流量）の2乗に比例します（ $\Delta p \propto Q^2$ ）。
- 流量（Q）は回転数（N）に比例します。
- これらを動力の式に代入すると、 $P \propto Q^2 \times Q = Q^3 \propto N^3$ となり、3乗が出てきます。

しかし、ルーツブロワが使われる「高い吐出圧力（水深による背圧）が必要な現場」では、圧力損失の大部分が摩擦ではなく「一定の背圧」であるため、3乗の恩恵は受けられません。

まとめ：実務上のインプレッション

項目	遠心ポンプ（ターボ形）	ルーツブロワ（容積形）
主な負荷	配管抵抗（速度の2乗に比例）	静圧・背圧（常に一定）
流量と回転数	$Q \propto N$	$Q \propto N$
動力と回転数	$Q \propto N^3$ （省エネ効果大）	$Q \propto N^1$ （省エネ効果は限定的）

ルーツブロワをインバータ化しても、遠心ポンプのような劇的な（3乗的な）電力削減は見込めませんが、「**必要以上に空気を送りすぎていた分（バルブでの逃がし分）をカットできる**という点では、依然として1乗分の省エネメリットは確実に存在します。

この「背圧の有無」による違いは、省エネ計算の見積もりにおいて最も見落とされやすいポイントの一つです。