

****株式会社

レアメタル微細加工の技術整理

— 10 μ m領域の加工難易度構造 —

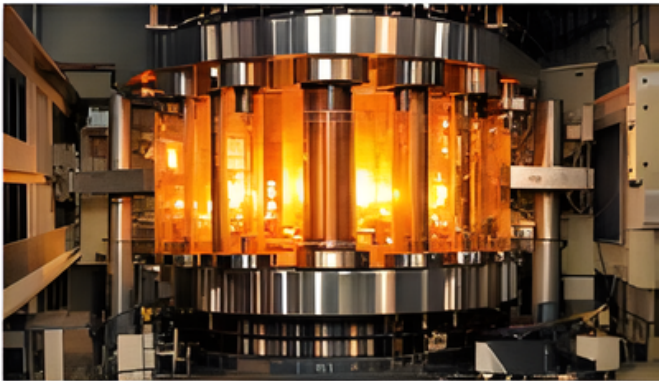
1 レアメタルが選ばれる理由

半導体製造装置や産業用炉では、高温・真空・腐食といった極限環境下で安定した物性が求められます。特に高温下での寸法安定性、真空中での低蒸気圧、腐食環境における長期耐久性は、一般材料では十分に確保できません。

タングステン・モリブデン・タンタルは、これらの条件下でも物性を維持できる材料です。しかしその高い安定性は加工時には大きな負荷となります。性能要求が高まるほど精密・微細な形状が求められ、加工の難易度も必然的に上がります。微細加工ではその影響がさらに顕著に現れます。

環境耐性と使用用途

	高温環境	真空環境	腐食環境	長期信頼性	
材料特性	高融点	低蒸気圧	耐腐食性	化学的安定性	代表的な部品
タングステン	◎	◎	△	◎	フィラメント、X線ターゲット
モリブデン	○	○	△	○	半導体プレート、ガラス炉電極
タンタル	○	○	◎	○	酸用ノズル、医療インプラント



高温環境



腐食環境

なぜレアメタルが必要なのか

極限環境下でも物性を維持できるため。半導体、IT、航空宇宙、医療分野で他の材料では代替できない重要な役割を担っています。

レアメタルの加工課題

高融点・高硬度ゆえに、工具摩耗の加速、切削熱の集中、微細加工時にクラックが発生しやすくなります。

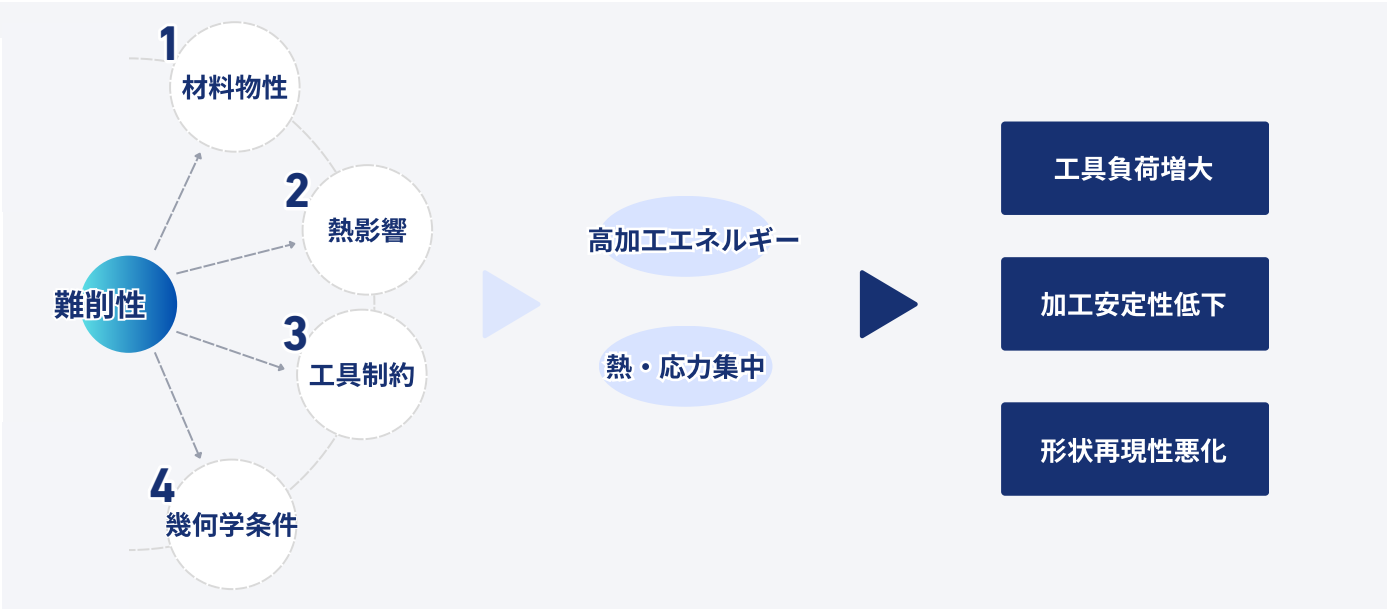
2

難削性の構造分解

タングステン・モリブデン・タンタルは、高融点・高強度・高耐食性を備え、極限環境下でも物性が変化しにくい材料です。しかしその安定性ゆえに、加工時には大きなエネルギーを必要とし、発生した熱や応力は加工点に集中します。これが工具摩耗や表層変質を引き起こす要因となります。

難削性の本質は、材料特性・熱影響・工具制約・幾何学条件という複数の要因が重なることで、高い加工エネルギーの発生と熱・応力の集中が同時に生じる点にあります。その結果、工具負荷の増大、加工安定性の低下、形状再現性の悪化につながります。

難削性の構造分解



	タングステン	タンタル	モリブデン	鉄	アルミ
比重(g/cm ³)	19.3	16.6	10.3	7.9	2.7
融点(°C)	3,380	2,996	2,620	1,500	660
硬度(HV)	310	140	260	110	25

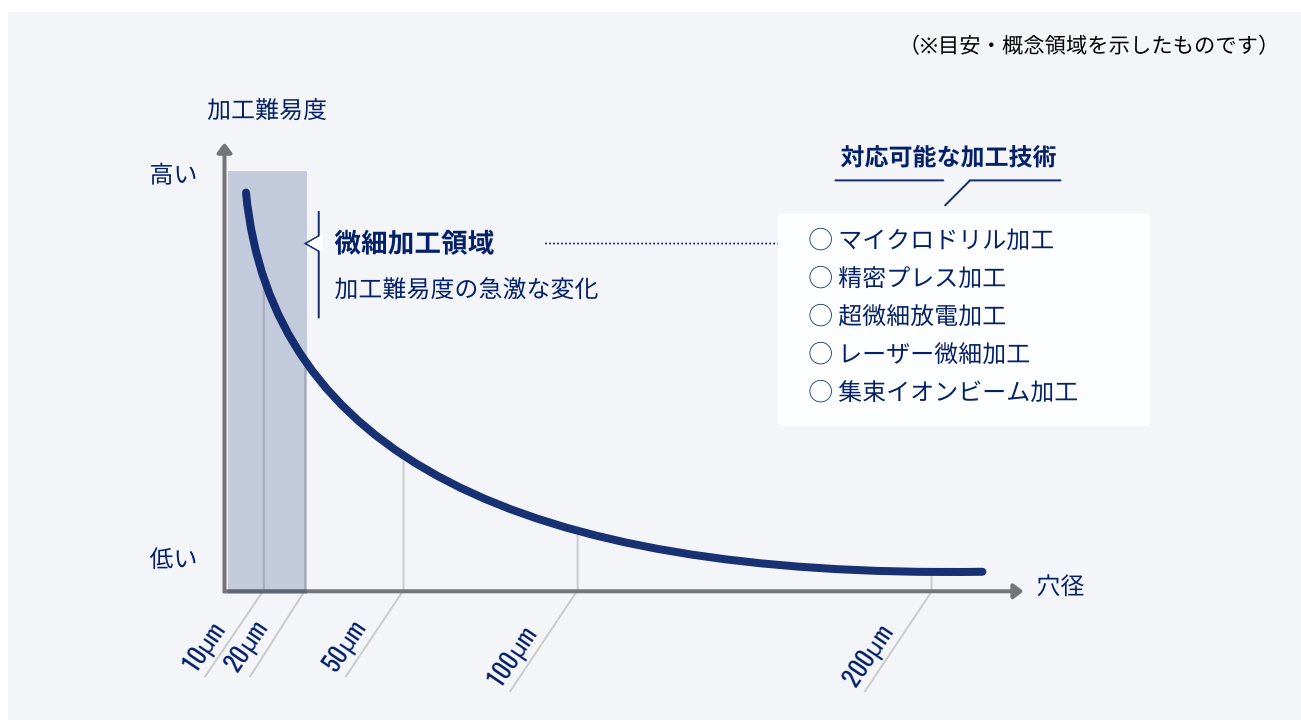
※融点や硬度の高さは、加工時に必要なエネルギーの大きさを示す一指標となる

さらに微細穴加工では、穴径の縮小により工具径の低下とアスペクト比の増大が同時に進行します。材料特性と幾何学条件（微細化）の影響で、加工安定性は急激に低下します。

3 微細化にともなう加工難易度の非線形増大

微細穴加工では穴径の縮小に伴い、工具径の低下とアスペクト比の増大が同時に進行します。とくに $20\mu\text{m}$ 前後の領域では、工具剛性低下と熱拡散条件の悪化の影響が顕著に出始め、加工安定性の確保が難しくなります。この領域では熱や応力を精密にコントロールしなければ加工精度が維持できないため、単純な材料除去ではなく、エネルギー制御を前提とした加工プロセスへと変化します。このように、微細化は連続的に進む変化に見えますが、ある領域を境に支配因子が切り替わる点が特徴です。

加工難易度と穴径の関係



「微細加工領域」で顕在化する現象

- 工具径の縮小により曲げ剛性が急激に低下、負荷変動が振れやたわみとして顕在化する。
- 除去体積の縮小により熱の拡散経路が制限され、加工点の温度が上昇しやすくなる。
- 排出断面積の縮小により切りくずが滞留し、局所的な負荷が増大する。
- 高アスペクト比化により振動や共振の影響が増幅される。

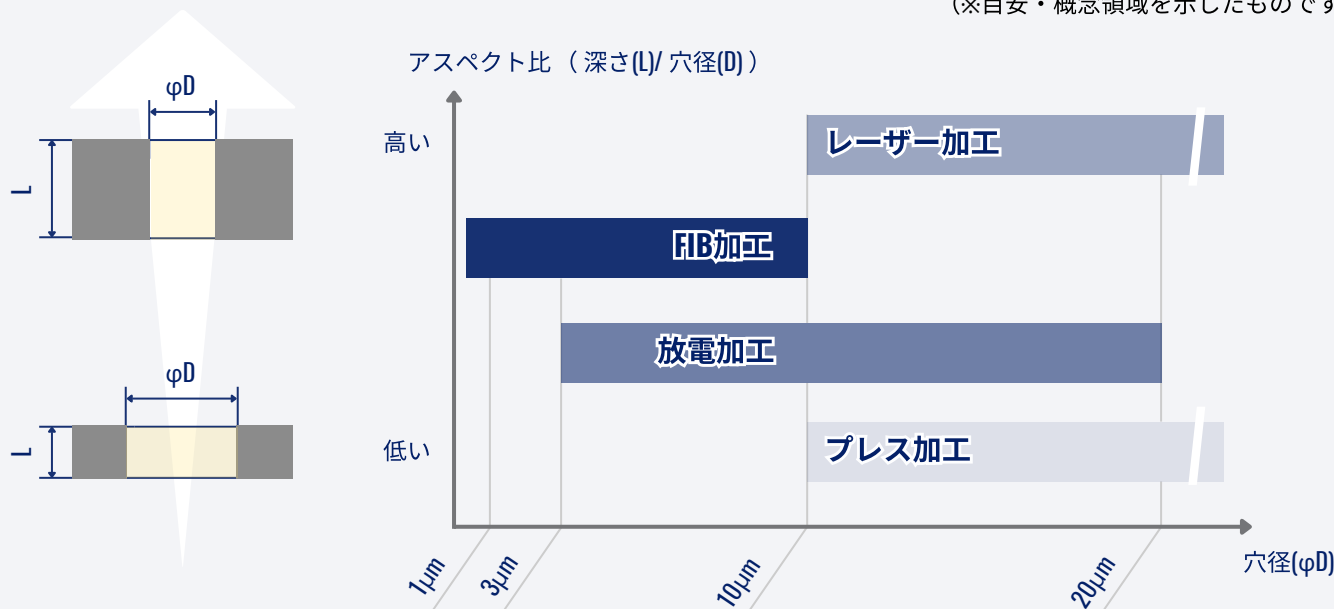
4 加工法の適合領域と支配条件

微細加工の各種プロセスは、単純な優劣で比較できるものではありません。加工できる最小寸法、形状の自由度、熱影響の大きさなど、評価の軸がそれぞれ異なるためです。各プロセスには固有の適合領域があり、微細化が進むほど選定基準は厳しくなります。

10 μ m以上の領域では、加工の安定性が確保しやすく量産性・再現性を優先できるため、レーザー加工や精密プレス加工が選ばれる傾向があります。一方、数 μ m領域では熱影響の抑制や高アスペクト比への対応が重要となり、放電加工やイオンビーム加工のような高精度プロセスが適しています。

微細加工の穴径とアスペクト比の関係

(※目安・概念領域を示したものです)



FIB加工

- ・1 μ m以下の加工
- ・超微細加工

高精度・低熱影響

放電加工

- ・3 μ m以上の加工
- ・超微細加工

高硬度材対応

レーザー加工

- ・10 μ m以上の加工
- ・微細加工

高速加工

プレス加工

- ・10 μ m以上の加工
- ・微細加工

量産適性

5 微細加工プロセス選定の考え方

最適な微細加工法は、最小寸法だけで決められるものではありません。材料特性に加え目標寸法やアスペクト比、品質基準、量産性・コストなど複数の条件を整理する必要があります。

たとえば同じ10 μ mの穴でも、求められるアスペクト比や熱影響の許容度が異なれば、適したプロセスは変わります。材料の融点や硬度が支配的になる場合もあれば、切りくず排出や振動の影響が支配的になる場合もあります。加工法選定で重要なのは、どの制約が最も影響を与えるかを見極めることです。微細化が進むほど、設計初期から意識する必要があります。

微細加工プロセスの選定手順

- | | | |
|---|--------|--|
| 1 | 材料特性 | 耐熱性・低蒸気圧特性・耐腐食性など必要な材料特性を整理する |
| 2 | 目標寸法 | 1 μ m、10 μ m、20 μ m以上など目標寸法を確認する |
| 3 | アスペクト比 | 必要な加工ピッチなどを元に、アスペクト比を計算する |
| 4 | 仕上がり基準 | バリや熱損傷の許容度などの品質基準を整理する |
| 5 | 加工法の選定 | 量産性やコストを含め、条件にあう加工法を決定する |

微細加工領域では、材料特性に加え、形状条件や熱影響、制御精度、生産要件までを含めて設計段階から総合的に評価する視点が求められます。加工の良し悪しを左右するのは個々の技術性能ではありません。微細加工の本質は技術力の優劣以上に、制約を読み解き最適解にどう導くのかという、課題を読む力にあるのかも知れません。