

モリブデン鉱

1. モリブデン鉱の種類

モリブデン鉱の主要な鉱石は次のものである。^[1]

- (a) 輝水鉛鉱 (molybdenite, MoS_2) (硫化モリブデン)
- (b) モリブデン鉛鉱 (wulfenite, PbMoO_4) (モリブデン酸鉛)

モリブデンは元素鉱物としては存在せず、他の元素と結合して存在する。鉱石鉱物としては上記鉱物の他に、パウエライト ($\text{Ca}(\text{Mo}, \text{W})\text{O}_4$)、鉄水鉛鉱 ($\text{Fe}_2(\text{MoO}_4)_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) などが存在しているが、現在採掘されているのは輝水鉛鉱からなる鉱石である。

2. モリブデン (Mo : molybdenum) の特性値と概要

- ・陽子数：42
- ・価電子数：-
- ・原子量：95.94
- ・融点：2617°C
- ・沸点：4612°C
- ・密度：10.22
- ・存在度(地球)：1000ppm ^[2]

モリブデンは人体にとって必須元素で、尿酸の生成、造血作用、体内の銅の排泄などに関わる。モリブデンを添加したステンレス鋼は航空機やロケットのエンジンなどに使用されている。モリブデンは産業上重要性が高い金属であるため、万一の国際情勢の急変に対する安全保障策として国内消費量の最低 60 日分を国家備蓄すると定められている。

3. 産地

モリブデン鉱石の鉱床型は斑岩鉱床、スカルン鉱床、石英脈鉱床、ペグマタイト鉱床、堆積鉱床などがあるが、生産量の多くは斑岩鉱床からである。また埋蔵量も南北アメリカ大陸のコルディラ山系中の鉱床が多い。また、コーカサス東部、中国、モロッコなどでは、花崗岩質貫入岩と石灰岩の接触により形成されたスカルン鉱床から採掘される輝鉛水鉱は一般に灰重石や銅の硫化物とともに産出している。

モリブデン鉱石の品位はモリブデンを主体に採掘している鉱山では 0.2~0.5% MoS_2 で、銅鉱の副産物として回収している場合には 0.02~0.08% MoS_2 程度である。このように輝水鉛鉱の含有量は微量であるが、浮遊選鉱法による濃集が効果的で、採算がとれている。^[3]

モリブデンの世界の埋蔵量は約 860 万トン(純分)と推定されている。国別の埋蔵量は中国(38%)、アメリカ(21%)、チリー(13%)、カナダ(5.2%)、ロシア(2.8%)、アルメニア(2.3%)である。

モリブデン鉱石の 2007 年における世界の生産量は約 18 万 7 千トンである。国別の生産量はアメリカ(32%)、中国(25%)、チリー(22%)、ペルー(9.4%)、カナダ(4.3%)、ロシア(1.7%)である。^[4]

日本においては、輝水鉛鉬を含む石英脈鉬床が存在し、島根県の小馬木鉬山、東山鉬山、岐阜県の平瀬鉬山が採掘していたが、現在はすべて休山状態である。

4. 輸入先国

日本はモリブデン全量を輝水鉛鉬から浮遊選鉬により選別された硫化精鉬を焙焼して得られた粗三酸化モリブデン(MoO_3)、潤滑材用途にはモリブデン硫化鉬、フェロモリブデン、酸化物、水酸化物、金属製品の形態で輸入している。2005年におけるモリブデン鉬（粗三酸化モリブデン及びモリブデン硫化鉬）の国別輸入量を表-1に、中間製品であるフェロモリブデンの国別輸入量を表-2に、モリブデン酸化物・水酸化物の国別輸入量を表-3に、金属製品の粉・塊・棒・線については輸入量が多い上位3ヶ国の輸入量を表-4に示す。^[5]

表-1に示す通り、モリブデン鉬を焙焼した三酸化モリブデンの輸入量は4万トンであり、国別ではチリー（53%）からの輸入が多く、次いでメキシコ、カナダ、中国の順である。フェロモリブデンの輸入量は4,119トンであり、国別では中国（81%）からの輸入が圧倒的に多い。その他モリブデン酸化物を1,281トン、モリブデン粉・塊・棒・線などの金属製品を2,155トン輸入している。

表-1 モリブデン鉬国別輸入量

品目名	2005. 1~12 輸入実績				比率
	単位	合計	輸入国	輸入量	
モリブデン鉬（精鉬を含む。）	トン	40,406	チリ	21,530	53.4
			メキシコ	5,956	14.8
			カナダ	4,075	10.1
			中華人民共和国	2,800	6.9
			アメリカ合衆国	2,455	6.1
			ベルギー	2,276	5.6
			オランダ	1,171	2.9
			ロシア	80	0.2
			大韓民国	40	0.1
			グルジア	18	0.0
			オーストリア	5	0.0

表-2 フェロモリブデン国別輸入量

品目名	2005.1～12 輸入実績				
	単位	合計	輸入国	輸入量	比率
フェロモリブデン	トン	4,119	中華人民共和国	3,345	81.2
			チリ	520	12.6
			大韓民国	118	2.9
			その他	136	3.3

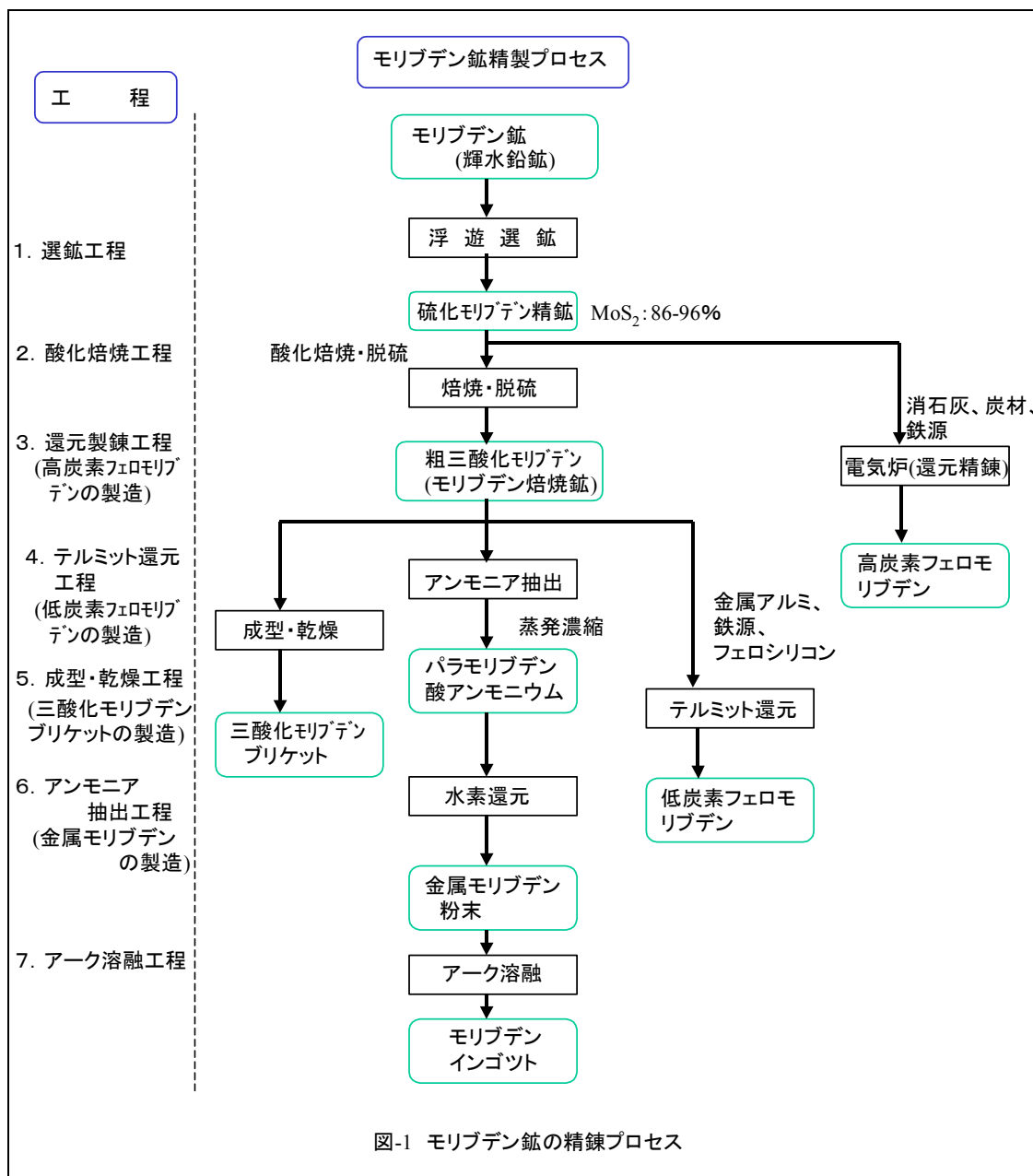
表-3 モリブデン中間生産物の国別輸入量

品目名	2005.1～12 輸入実績				
	単位	合計	輸入国	輸入量	比率
モリブデン及びその製品(塊、粉、棒、線等)	トン	2,155	中華人民共和国	537	24.9
			アメリカ合衆国	511	23.7
			ドイツ	440	20.4
			その他	667	30.9
モリブデンの酸化物及び水酸化物	トン	1,281	ウズベキスタン	410	32.0
			チリ	394	30.8
			アメリカ合衆国	241	18.8
			その他	236	18.4

5. モリブデン鉍の精製法及び誘導品の製造法

モリブデン鉍石は、モリブデン・プライマリー鉍山、銅バイプロ鉍山ともに、輝水鉛鉍からなる鉍石として採鉍されている。図-1 にモリブデン鉍の精錬により得られる高炭素フェロモリブデン、低炭素フェロモリブデン、金属モリブデン、三酸化モリブデンブリケットの製造プロセスを示す。

- ① 選鉍工程：採掘した鉍石の浮遊選鉍を行い、MoS₂品位が85～90%の硫化モリブデン精鉍とする。
- ② 酸化焙焼工程：硫化モリブデン精鉍を、三酸化モリブデンの昇華温度以下で焙焼・脱硫して、粗三酸化モリブデン（MoO₃精鉍）を製造する。
- ③ 電気炉による還元製錬工程：電気炉で硫化モリブデン精鉍に消石灰、灰材、鉄源等を加え還元製錬して高炭素フェロモリブデンを製造する。主に特殊鋼の合金添加成分として使用される。



- ④テルミット還元工程：テルミット炉で粗三酸化モリブデンを鉄源、フェロシリコン、金属アルミと混合し、テルミット還元して低炭素フェロモリブデンを製造する。フェロモリブデンは主に鉄鋼・特殊鋼分野で消費される。
- ⑤三酸化モリブデンブリケットの製造工程：三酸化モリブデンに必要な応じて粘着剤を混ぜたのち成型乾燥させて得る。主に鉄鋼・特殊鋼分野で消費される。
- ⑥アンモニア抽出工程：三酸化モリブデンをアンモニアで抽出し、不純物を除去し純モリブデン酸アンモン溶液とし、蒸発濃縮してパラモリブデン酸アンモンを得る。このパラモリブデン酸アンモンを水素還元して金属モリブデン粉末を得る。、さらにアーク溶融してモリブデンインゴットとする等、需要家のニーズに応じて様々な形態（線・棒・板等）に加工する。 [3][6]

6. モリブデン鉱の最終用途

日本のモリブデン需要は、鉄鋼・特殊鋼分野が全体の約 88%を占めている。他には、化学分野（触媒、無機薬品）及び金属分野（線、板、棒、箔、粉末）が主な需要分野である。表-4 にモリブデンの主要応用製品を示す。

表-4 モリブデンの主要応用製品

原料	中間製品	最終製品	主要応用製品
モリブデン	モリブデン酸塩	化成品	触媒、オレンジ顔料、肥料、薬品
焙焼鉱	フェロモリブデン	特殊鋼（ステンレス鋼、高張力鋼、高速度鋼） モリブデン鋼	工具、掘削機械、自動車部品、航空機、 モーター回転シャフト、タービン、 パイプライン、
	金属モリブデン	線、板、棒、箔、粉末	白熱電球、放電灯、ハードディスク、 電極棒、電子材料、永久磁石 耐熱材料（電気炉、原子炉）
モリブデン 硫化鉱		潤滑材	グリース

- ①鉄鋼・特殊鋼分野：モリブデンを炭素鋼に 0.1%から 10%までの範囲でモリブデンを合金添加すると高温強さを改善する効果があり、靱性の向上に有効である。モリブデン鋼をはじめ各種の特殊鋼（ステンレス鋼、構造用合金鋼、高張力鋼、合金工具鋼、鍛造鋼、スーパーアロイ等）には合金添加成分として少量添加される。自動車、土木、建築、機械、造船などの他にラインパイプの鋼管にも使用されている。
- ② 化学分野：触媒及び薬品類や皮革の染料として用いられている。こううち触媒は、重油脱硫触媒や自動車排気ガス触媒、脱硝触媒等の公害防止分野において重要な役割を果たしている。その他オレンジ顔料としても使用されている。
- ③ 金属分野：モリブデン線、モリブデン棒、モリブデン板、機械加工品、組立部品等の形態に加工され、照明用では自動車のハロゲンランプ用の線及び板、加工品ではマグネトロン部品、半導体部品、電子管用部品、耐熱用途として電気炉や原子炉などの高温炉用発熱体及び支持体、硝子溶融電極材、耐熱治具用材として産業界では必要な金属として広く用いられている。
その他としては、硫化モリブデンが工業用潤滑剤として用いられている。^{[3][6]}

7. 参考資料

[1] 財務省貿易統計 関税率表解説

[2] Newton 別冊：完全図解 周期表，株式会社ニュートンプレス

- [3] 小野勝敏, モリブデン資源の現状と将来: 「エネルギー・資源」 Vol. 18, No. 3
(1997) pp. 266-270.
- [4] U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries 2008
- [5] 財務省: 貿易統計, 2005
- [6] 南博志: 金属資源レポート, P-71, 2006. 11. 独立行政法人 石油天然ガス・
金属鉱物資源機構
- [7] 独立行政法人 石油天然ガス・金属鉱物資源機構:
鉱物資源マテリアル・フロー2005