

はじめに

本シリーズは、現代産業に必要不可欠なレアメタルのうち、JOGMEC が国家備蓄を行っている 7 鉱種（ニッケル、クロム、タングステン、コバルト、モリブデン、マンガン、バナジウム）の中のニッケル以外の 6 鉱種について、順次需給動向等を取りまとめているものです。

本号では、第 4 回としてモリブデンを取り上げています。

< レアメタル備蓄制度についての詳細は、レアメタル備蓄のページ

(http://www.jogmec.go.jp/mric_web/organization/japan/g3/index.html)

からご覧になることができます。 >

モリブデンは、1720 年に発見された。語源はギリシャ語の “ Molybdos ” で、「鉛のような物」という意味である。一般的には、ドイツ語である「モリブデン」がそのまま用語として使われている（英語では「モリブデナム Molybdenum」）。モリブデンは、銀白色で硬く可鍛性のある金属で、常温では空気に侵されないが、温度が 600 以上になると燃焼し、酸化モリブデンとなる。

また、モリブデンは、融点約 2,600 と溶融点が高いこと、機械的強度が大きいこと、剛性が強いこと、電気伝導、熱伝導が良いこと、しかも線や板に加工出来て、靱性があること等の特性をもち、ニッケル、クロムと並んで特殊鋼の強度、耐食性などの特性を高めるために不可欠な原料である。また、各種合金、染料、潤滑油（二硫化モリブデン）等として利用されるほか、電子工業などでもハイテク材料として世界的に需要が伸びている。

1. 需要・供給

1-1. 世界の需給状況

表 1 に世界のモリブデン生産量を示す。世界のモリブデン生産量は、1980 年代から 2002 年頃までは、増減はあるものの全体的な傾向としては緩やかな増加傾向にあった。2002 年以降は中国を中心としたステンレス鋼生産の好調を反映し（なお、モリブデン需要にはステンレス鋼等特殊鋼用途が約 70 % を占めるため、その影響は非常に大きい）、増加の勢いが増している。また、供給の寡占状況を表す世界の生産国上位 5 か国の集中度は、1999 年の 89.0 % から 2005 年は 89.5 % とほぼ横ばいで、依然として高いレベルにある。

表1 世界のモリブデン生産量

国 名	2005年(純分千t)		国 名	1999年(純分千t)	
アメリカ	53.2	33.5%	アメリカ	44.4	39.4%
チリ	44.4	28.0%	チリ	27.7	24.6%
中国	23.1	14.6%	中国	15.9	14.1%
ペルー	13.1	8.3%	メキシコ	6.6	5.9%
カナダ	8.2	5.2%	カナダ	5.8	5.1%
その他計	16.7	10.5%	その他計	12.4	11.0%
合 計	158.7		合 計	112.8	
上位5か国計	142.0	89.5%	上位5か国計	100.4	89.0%

出典:平成17年度特殊金属プロジェクト報告書(特殊金属備蓄協会)

表 2 に世界のモリブデン需給を示す。2005 年の世界のモリブデン供給量は約 158.7 千 t で前年比約 6.0 % の増となった。また、2006 年には約 1.8 % 減少して約 155.9 千 t (見込) となる模様。2005 年は、価格の高値継続と銅の増産に伴う生産増により供給量が増加した。2006 年は、世界最大の生産者 CODELCO の減産（銅鉱石は増産予定だが、モリブデン含有率の低い鉱石を採掘する予定のため）があり、供給量は若干減少する見込みとなっている。一方、需要は、上記のとおり特殊鋼用途が好調で、2005 年は総需要量約 152.2 千 t で前年比約 7.0 % 増となった。また、2006 年も中国を中心に引き続き同傾向であるため、総需要量は約 0.9 % 増加して約 153.5 千 t となる見込みとなっている。

表2 世界のモリブデン需給

単位:純分千t

	1996年	1997年	1998年	1999年	2000年	2001年	2002年	2003年	2004年	2005年	2006年(見込)
アメリカ	56.2	59.8	54.9	44.4	42.0	37.9	31.8	33.1	40.6	53.2	52.7
チリ	17.1	23.1	24.6	27.7	32.3	38.1	31.5	37.7	41.8	44.4	44.3
中国	8.6	12.7	15.9	15.9	18.6	25.9	32.2	31.3	28.3	23.1	21.8
ペルー	4.0	4.3	5.4	5.0	5.0	3.3	4.9	5.4	12.2	13.1	13.1
カナダ	8.7	8.6	8.1	5.8	6.4	8.1	9.0	8.9	10.9	8.2	7.3
メキシコ	2.7	4.1	5.4	6.6	6.6	5.4	3.6	3.2	3.2	4.1	4.1
その他	5.9	5.6	7.2	7.4	7.3	11.2	11.3	11.9	12.7	12.6	12.6
供給合計	103.2	118.2	121.5	112.8	118.2	129.9	124.3	131.5	149.7	158.7	155.9
欧州	42.2	45.1	46.3	45.4	47.6	49.3	49.9	53.5	56.3	59.4	—
アメリカ	29.3	29.7	29.9	29.9	30.4	32.7	31.8	32.7	34.4	38.1	—
日本	19.0	22.5	22.0	19.1	21.8	23.6	23.6	23.6	27.2	28.6	—
その他	14.0	15.0	15.9	14.5	18.1	22.4	22.7	23.6	24.3	26.1	—
需要合計	104.5	112.3	114.1	108.9	117.9	128.0	128.0	133.4	142.2	152.2	153.5
需給バランス	-1.3	5.9	7.4	3.9	0.3	1.9	-3.7	-1.9	7.5	6.5	2.4

出典:平成17年度特殊金属プロジェクト報告書(特殊金属備蓄協会)

モリブデンは、世界生産の6割以上が銅生産の副産物として生産されるため、モリブデンそのものの需給・市況ではなく銅の需給・市況により生産量が左右されることもあり(ただし、銅鉱床中にモリブデンの濃集部が存在する場合には、モリブデンに特化した増産も可能との見方もある)必ずしも安定した供給体制にあるとは言えない。また、処理過程で鉱石の焙焼を行うが、環境問題から焙焼設備の新設・増設が困難となってきたことによる焙焼能力の不足と偏在の問題も、上記のとおり供給面にマイナスの影響を及ぼす一つの要素となっている。

なお、平成16年度特殊金属プロジェクト報告書(社団法人特殊金属備蓄協会)によると、世界的な銅生産

の増加により2006年以降も供給は増加すると想定されている。また一方、需要面でも引き続き中国を中心とした特殊鋼用途が好調であるとされ、2010年の需給バランス予想では若干のプラスとなっている。しかし、焙焼能力の不足、プライマリー鉱山(モリブデンのみを採掘する鉱山)の増産が順調に行われるかどうか、中国の公害規制強化等による減産等の問題が、供給面での不安要因として挙げられている。

また、表3に過去のモリブデンの供給障害事例を示す。銅鉱山でのストライキ・事故等による減産、ステンレス鋼等の生産増に伴う需要増、中国鉱山の事故・焙焼能力不足によるものが認められる。

表3 過去のモリブデン供給障害事例

時 期	事 例	障害状況
1967.7~12(6か月間)	米国:産銅大手Climax社のスト	供給減少
1987	米国:Amamax社及びCyprus社の減産	国際価格が高騰、世界のMo生産量の約10%減(推計)
1994~1995	世界:ステンレス鋼生産急増による供給不足	国際価格が約5倍に高騰、入手困難
1996	北米:Climax鉱山の休止、Henderson鉱山等の減産	世界のMo生産量の約20%減
2002	世界的な銅パイプ鉱山の減産	国際価格が約2.5倍に高騰
2003.10~2004.4	中国:遼寧省鉱山事故による生産休止	国際価格が約2.5倍に高騰
2004.7~2005.1	鉄鋼向け需要の増大に加え、焙焼能力不足による精鉱供給の遅れにより原料が不足(特に中国)	国際価格が約2倍に高騰(2002年までの約10倍まで高騰)

出典:日本金属経済研究所報告書等

1-2. 日本の需給状況

日本は、モリブデン全量を、モリブデン鉱、フェロモリブデン、酸化物、水酸化物、金属製品等の形態で輸入している。なお、国内の大半の中間製品生産企業は、長期にわたり価格が低迷している間(1982年から2002年半ばまでの間)に国際競争力を喪失して操業を中止しており、現在国内で輸入モリブデン鉱を原料にしてフェロタンングステン等の中間製品の生産を行っているのは、太陽鉱工と妙中鉱業の2社のみである。

表4にモリブデン全体の主要対日輸出国を示す。モリブデン全体の対日輸出国の上位5か国集中度は1999年の90.3%から2005年は87.5%と低下したとはいえ、その寡占化は非常に高いレベルで推移しているといえる。

表4 モリブデンの主要対日輸出国

国 名	2005年(純分換算t)		国 名	1999年(純分換算t)	
チリ	13,590	44.8%	チリ	8,116	42.6%
中国	4,661	15.3%	中国	3,453	18.1%
メキシコ	3,587	11.8%	アメリカ	2,947	15.5%
カナダ	2,445	8.1%	カナダ	1,568	8.2%
アメリカ	2,286	7.5%	メキシコ	1,112	5.8%
その他計	3,797	12.5%	その他計	1,848	9.7%
合 計	30,366		合 計	19,044	
上位5か国計	26,569	87.5%	上位5か国計	17,196	90.3%

出典:貿易統計よりJOGMEC換算

日本企業の海外への権益投資は、モリブデン・プライマリー鉱山に限れば、双日のカナダ・Endako 鉱山への出資（Thompson Creek 75 %、双日 25 %）1 件のみである。ただし、銅への出資ではあるが、銅パイプロ鉱山へ出資を行っている企業は多い。主なものとしては、チリ・Los Pelambres 鉱山（日鉱金属 15 %、三菱マテリアル 10 %、丸紅 8.75 %、三菱商事 5 %、三井物産 1.25 %）、ペルー・Antamina 鉱山（三菱商事 10 %）、カナダ・Huckleberry 鉱山（三菱商事 31.25 %、同和鉱業 6.25 %、古河機械金属 6.25 %、丸紅 6.25 %）が挙げられる。

日本のモリブデン需要では、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。日本においても、特殊鋼等の増産により近年需要量は伸びており、2005 年は前年比約 5 % 増の約 28.6 千 t となった。

なお、日本におけるリサイクルについて、全体を定量的に把握した統計は存在しないが、需要分野によってはある程度の状況が明らかになっている。特殊鋼分野では、業界調べによる推計値として、2003 年に 2.9 千 t（純分）、2004 年に 4.1 千 t（純分）のモリブデンがスクラップにより鋼材に添加されたとする報告がある。また、石油精製用使用済触媒からの回収量については統計が存在し、これによると 2003 年には 826 t（純分）、2004 年には 783 t（純分）の回収実績があり、2005 年にも 700 t（純分）の回収量があると見込まれている。

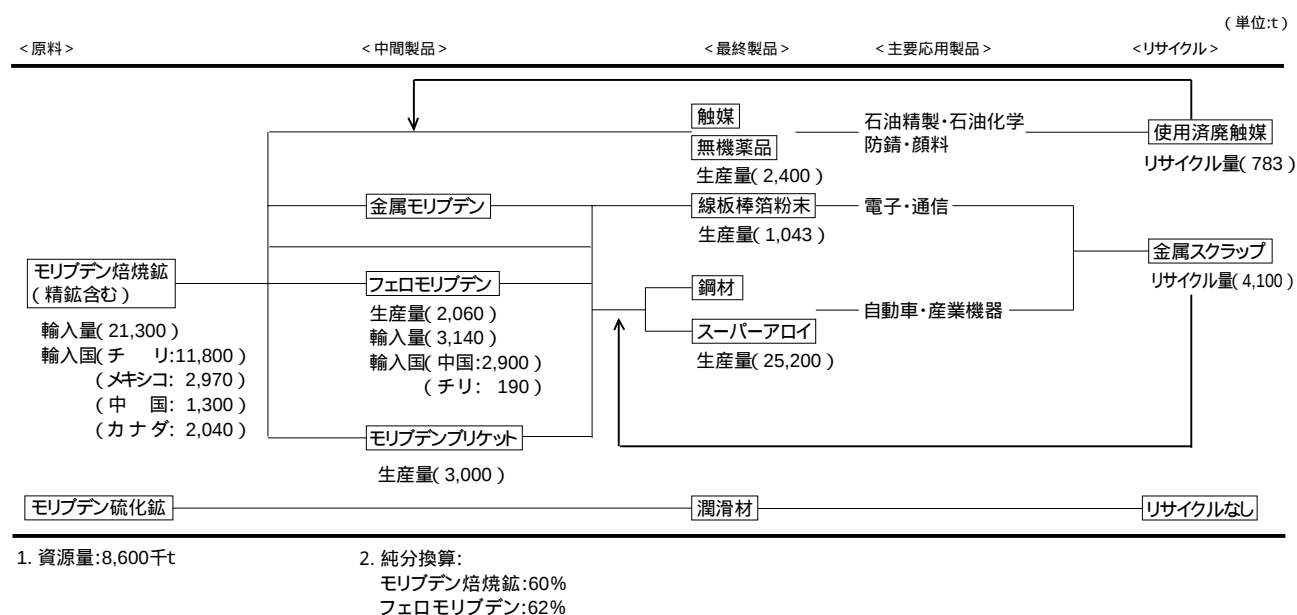
2. 価格

モリブデンに関する国際的な価格決定機構は存在せず、一般的には Metals Week 誌のモリブデン鉱の Dealer Oxide 価格（CIF）が指標として用いられている。

モリブデン鉱の価格は、1980 年以降の供給過剰により、1982 年から 2002 年半ばまで長期にわたり 10 \$ / kg を下回って低迷していた。その間、1994 年からの世界景気の回復に伴う鉄鋼、特にヨーロッパにおけるステンレス鋼生産の大幅増によるモリブデン供給不足により、1994 年末から 1995 年初にかけて 30 \$ / kg 台まで上昇したこともあったものの、休止・減産していた生産者が増産したため、1995 年半ばには早くも 10 \$ / kg を下回り、低迷状態に戻る事となった。しかし、2002 年半ばに、銅パイプロ鉱山における減産（銅が減産したため）により供給量が減少し、中国需要家や投機筋の狼狽買いにより、価格は 10 \$ / kg 台半ばまで上昇した。その後は、2002 年末のカナダ・Endako 鉱山に土砂崩落事故、2003 年の中国（陝西省）・金堆城鉱山の減産、2003 年から 2004 年にかけての中国遼寧省の鉱山事故、環境問題等による度重なる操業停止等により若干の供給不足となったことから、2004 年半ばには 30 \$ / kg 台まで高騰。さらに、2004 年から 2005 年にかけては、史上最高価格を更新し 60 ~ 80 \$ / kg まで高騰した。2004、2005 年は見掛け上は供給過剰になっているが、中国を中心とする鉄鋼・特殊鋼向け需要の増大に対して、モリブデン鉱の焙焼能力不足により供給が追いつかず、実質供給不足の状態になったと見られている。また、2005 年から続いている中国遼寧省葫芦岛地区鉱山の操業停止（国が採掘権を強制的にコントロールしようという動きに伴うもの）もその一因と考えられている。なお、2006 年に入ってから、高騰は若干沈静化し 50 \$ / kg 台で推移している。

3. 用途

図 1 にモリブデンのマテリアルフロー図（日本）を示す。



モリブデンは、モリブデン焙焼鉱（精鉱を含む）、フェロモリブデン、酸化モリブデンブリケット、金属モリブデンとして輸入され、各用途毎に使用される。

鉄鋼・特殊鋼分野は、日本のみならず世界のモリブデンの需要分野としても最大である（前述のように日本全体の約88%が鉄鋼・特殊鋼分野の需要）。ステンレス鋼、構造用合金鋼、高張力鋼、合金工具鋼、鋳鍛鋼、スーパーアロイ等の原料として添加され、硬度、強度、靱性を高めるとともに耐食性及び耐熱性を増進させる。しばしばクロム、ニオブ、ニッケル、タングステン、バナジウム等の金属と併用されている。また、これら需要のうち多くが自動車向けであり、自動車の生産動向により影響を大きく受ける場合が多い。また、土木、建築、機械、造船等のほか、ラインパイプ等の鋼管にも使用されている。

化学分野では、触媒及び薬品類や皮革の染料として用いられる。このうち触媒産業は、重油脱硫触媒や自動車排ガス処理触媒、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。触媒においてはコバルト、ニッケル、プラチナ、チタン等の他の元素も使用されているが、それらの中でもモリブデンはなくてはならない成分となっている。

金属分野では、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、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広く用いられている。

その他の需要分野では、硫化モリブデンが工業用潤滑剤として用いられている。

4. 生産・製錬

モリブデン鉱石は、モリブデン・プライマリー鉱山、銅バインプロ鉱山ともに、輝水鉛鉱（ MoS_2 ）からなる鉱石として採鉱されている。処理プロセスは、まず、採掘した鉱石の浮遊選鉱を行い、 MoS_2 品位平均85～90%の硫化モリブデン精鉱とするところから始まる。このモリブデン精鉱は、モリブデン純分にして約50%強となる。その後、精鉱を焙焼し、脱硫して、三酸化モリブデン（ MoO_3 精鉱）として出荷することになる。このうち高純度の三酸化モリブデンについては、主に金属分野（金属モリブデンの生産）で消費される。

表5に世界の主要なモリブデン鉱石の生産者・鉱山を示す。

表5 世界の主要なモリブデン鉱石の生産者・鉱山

国名等	会 社 名	鉱 山 名		2004年生産量(千t)
チリ	CODELCO	Codelco Norte, Andina	B	32.2
		El Salvador, El Teniente	B	
	Antofagasta	Los Pelambres	B	7.8
	Desputada	Los Bronces	B	1.8
	計			41.8
アメリカ	Phelps Dodge	Henderson	P	12.5
		Sierrita	C	9.1
		Bagdad	B	4.5
	Kennecott	Bingham Canyon	B	6.3
	Thompson Creek	Thompson Creek	P	4.1
	Montana Resources	Butte	B	2.7
	Molycorp	Questa	P	1.4
	計			40.6
中国	Jinduicheng 他	Jinduicheng 他	P	28.3
ペルー	SPCC	Toquepaa, Cuajone	B	9.1
	Antamina	Antamina	B	3.1
	計			12.2
カナダ	Thompson Creek	Endako	P	5.9
	Teck Cominco	Highland Valley	B	3.6
	Imperial Metals	Huckleberry	B	1.4
	計			10.9
メキシコ	Mexicana de Cobre	La Caridad	B	3.2
イラン	National Iran Copper	Sar Cheshmeh	B	2.0
モンゴル	Erdenet	Erdenet	B	1.3
CIS	——	——	B	3.4
その他	計			6.0
合 計				149.7

(注) P:プライマリー鉱山、B:銅バインプロ鉱山、C:銅との併産鉱山

出典:平成17年度特殊金属プロジェクト報告書(特殊金属備蓄協会)

フェロモリブデンには、電気炉で硫化モリブデン精鉱に消石灰、炭材、鉄源等を加え還元製錬して得られる高炭素品と、テルミット炉で三酸化モリブデンに鉄源、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得られる低炭素品がある。フェロモリブデンは主に鉄鋼・特殊鋼分野で消費される。

表6に世界の主要なフェロモリブデンの生産者を示す。

表6 世界の主要なフェロモリブデンの生産者

国名等	会社名	生産能力(千t)
中国	計	31,000
ロシア	ChEMK	9,920
	JSC Vanady-Tula	682
	計	10,602
イギリス	Climax Molybdenum	6,820
	Eastlink Ferro Alloys	3,410
	計	10,230
ベルギー	Sadaci	6,200
オーストリア	Treibacher Industrie	4,340
チリ	Molybmet	3,720
アメリカ	Thompson Creek	1,550
	Bear Metals and Alloys	1,240
	American Flux & Metal	155
	計	2,945
日本	太陽鉱工	1,116
	妙中鉱業	744
	計	1,860
インド	計	1,612
カナダ	Masteralloy Products	434
合 計		72,943

出典:平成17年度特殊金属プロジェクト報告書(特殊金属備蓄協会)

酸化モリブデンブリケットは、三酸化モリブデンを必要に応じて粘着剤を混ぜたのち成型乾燥させて得られるもので、主に鉄鋼・特殊鋼分野で消費される。

金属モリブデンは、三酸化モリブデンを更に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、パラモリブデン酸アンモンまたは酸性モリブデン酸アンモンを経て水素還元して得られる。ただしこの時点ではまだモリブデン粉末の段階であり、さらにアーケ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)に加工される。

5. 資源

モリブデンは、地殻中の平均存在量は13ppmで、鉱物としては輝水鉛鉱(Molybdenite、 MoS_2)、パウエル鉱(Powellite、 $\text{Ca}(\text{Mo,W})\text{O}_4$)、水鉛華(Ferrimolybdate、 $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{MoO}_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$)、藍水鉛鉱(Ilsemanite、 $\text{MoO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$)、黄鉛鉱(Wulfenite、 PbMoO_4)等があるが、現在主に採掘されているのは、輝水鉛鉱である。輝水鉛鉱の品位は、モリブデン・プライマリー鉱山の鉱床で0.2～0.5%、銅パイプロ鉱山の鉱床で0.02～0.08%である。

モリブデン鉱床は斑岩型、スカルン型、石英脈型、

ペグマタイト型、堆積型などに分類されるが、大部分は斑岩型鉱床からの産出である。

表7に世界のモリブデン埋蔵量を示す。

表7 世界のモリブデン埋蔵量

国名	埋蔵量(千t)	
中国	3,300	38.4%
アメリカ	2,700	31.4%
チリ	1,100	12.8%
カナダ	450	5.2%
ロシア	240	2.8%
アルメニア	200	2.3%
ペルー	140	1.6%
カザフスタン	130	1.5%
キルギス	100	1.2%
メキシコ	90	1.0%
ウズベキスタン	60	0.7%
イラン	50	0.6%
モンゴル	30	0.3%
その他	10	0.1%
合 計	8,600	

出典:Mineral Commodity Summaries

斑岩型鉱床は、主にカナダ、米国、チリ等に賦存し、北米、南米大陸のアラスカからロッキー、アンデス山脈付近に偏在し、世界のモリブデン資源の大部分を占めている。このうち、モリブデンを銅のパイプロとして回収している斑岩銅鉱床の鉱山の代表的なものとしては、チリ・CODELCOのChuquibambilla鉱山(Codelco Norteに含まれる)やEl Teniente鉱山、チリ・AntofagastaのLos Pelambres鉱山、アメリカ・KennecottのBingham Canyon鉱山等がある。また、斑岩モリブデン鉱床は鉱化作用に関係した貫入岩の相違等により花崗岩型と石英モンゾニ岩型に区別される。北米についてみると、花崗岩型はコロラド州からニューメキシコ州にわたる地域(鉱山ではアメリカ・Phelps DodgeのHenderson鉱山)に、また石英モンゾニ岩型はアラスカからネバダ州にわたる地域(鉱山ではカナダ・Thompson CreekのEndako鉱山)に多く存在する。

スカルン型鉱床は花崗岩質貫入岩と石灰岩の接触により形成されたもので、輝水鉛鉱を灰重石や銅の硫化物とともに産出している。中国、旧ソビエト連邦諸国等に存在する。

日本においては、輝水鉛鉱を含む石英脈鉱床が存在し、島根県大原郡の大東・清久・東山鉱山、岐阜県の平瀬鉱山等(全国合計で MoS_2 :1万t程度を産出)がかつて稼行していたが、現在はすべて休山状態である。

6. まとめ

モリブデンは、世界生産の6割以上が銅生産の副産物として生産されるという特殊性があり、かつ、焙焼能力の不足等、供給面で問題を抱えている。一方、需要面においても、将来、中国を中心とした鉄鋼・特殊鋼分野の需要増が予想されており、かつ、この分野で

は代替性も無いという状況であるので、需給両面でリスクがある鉱種と言える。

また、近年、中国における鉱山の操業停止（事故、環境問題、政策上の理由）が価格高騰の原因の一つとなっており、今後も中国の動向は常に把握しておかなければならない。

（2006.10.6）

参考文献等

1. 総合資源エネルギー調査会鉱業分科会レアメタル対策部会資料「レアメタル備蓄7鉱種の需給の現状について（個別分析）」
2004年6月 経済産業省資源エネルギー庁
2. 新金属データブック 2002
2002年8月（株）ホームマトアド・金属時評編集部
3. 工業レアメタル 2006 ANNUAL REVIEW
2006年7月 アルム出版社
4. モリブデンの供給および需要構造に関する報告書
1995年3月（社）特殊金属備蓄協会
5. 平成16年度特殊金属プロジェクト報告書
2005年3月（社）特殊金属備蓄協会
6. 平成17年度特殊金属プロジェクト報告書
2006年3月（社）特殊金属備蓄協会
7. 平成16年度希少金属鉱産物備蓄業務に関する調査報告書（年間回顧と展望）
2005年3月（社）特殊金属備蓄協会
8. 平成17年度希少金属鉱産物備蓄業務に関する調査報告書（年間回顧と展望）
2006年3月（社）特殊金属備蓄協会
9. JOGMEC カレント・トピックス
2006年9月21日 中山 健「ポーフリー銅鉱床に伴うパイプロダクト・モリブデン生産はどこまで銅生産と関連するのか？」
10. 新レアメタル講座
1998年3月 金属鉱業事業団備蓄部
11. レアメタル備蓄データ集
2006年3月 JOGMEC 希少金属備蓄グループ

お詫び

前号『金属資源レポート 2006.9 Vol.36 No.3』に掲載致しました本シリーズ「レアメタル 2006（3）コバルトの需要・供給・価格動向等」におきまして、「2. 価格」の本文中の単位に誤りがありました（＜誤：\$/lb＞→＜正：\$/kg＞）ので、ホームページ掲載において修正させていただきました。ご迷惑をおかけしました読者の皆様には深くお詫び申し上げます。