論説◆解説

特集：ガスタービンに使用しているレアメタル，レアアース

ガスタービンへの期待と資源供給

古宇田亮一*1
KOUDA Ryoichi

キーワード：レアメタル資源，レアアース，資源供給，探査

1．ガスタービンへの期待とレアメタル資源

2011年３月11日，Mw9.0の記録的大災害をもたらした東北地方太平洋沖地震の犠牲者に心から哀悼の意を表し，被災者にお見舞い申し上げる次第である。

早期の復旧・復興が望まれるものの，被害の甚大さと，地震・津波・原子力発電所からの放射能拡散という複合した性質から，将来にわたる全体像が見えにくい難点があり，作業も容易とはいえないが，進めるしかない。

地震で原子力発電所が停止した分の電力供給をカバーするため，休止火力発電所の復活や新たなガスタービン発電所の新増設などが検討された。その高温・高負荷部に使われるニッケル・コバルトや，電気モーター等高磁力機器のためのレアアース等のレアメタルが注目されている。レアメタルは鉄やアルミなどのようには大量に必要とされない鉱物資源ながら，投機筋の対象になり，値段の高騰が続いた。2008年６月のリーマン危機時に他の商品同様一斉に価格が下がったが，再び上昇に転じている。

価格上昇の原因は，レアアースを含むレアメタル資源が世界的に偏在し，少しの需給ギャップで価格が乱高下しやすいこともある。高温タービンの他，電気自動車や電池の高効率化など数多くのハイテク製品が必要とするレアメタルの役割が増大して，供給が追いつかなくなったことなどがある。

一方，東日本の震災で日本製重要部品のサプライチェーンが大きく損なわれたことは，天災・人災・内戦などにより，偏在する資源の供給が不安定化することを明確化しており，世界的な関心も高まった[(1)]。

2．資源リスクの分散

資源開発にリスクはつきものである。ある資源量予測のもとに一定の確信で膨大な探鉱投資をかけ，地下にボーリングするとしよう。ところが，掘ってみたら，その鉱区での鉱量が少なく，儲けが出なかった，という探鉱リスク事例なら，枚挙に暇がないほど多い。

探鉱に成功し，目指す鉱量が確保でき，開発に取り掛かっても，長期にわたる開発時間が流れるうちに経済環境が変化する。生産時に供給過多や需要急減などで，生産しても利益を出せなくなる経済リスクの可能性がつきまとう。

更に，鉱区のある資源国で，クーデターなど政変や，政権の対応変化などのカントリーリスクが発現し，生産そのものが不可能になり，破綻した例も多い。資源は偏在しているので，簡単に国を変えればよいわけにはいかない。

事前にリスクを評価することで，リスクの影響の大きさを推定し，資源開発の意思決定に役立てることは，手法も色々あって，必ず行われる。多様な要因からなるリスクをダイナミックに評価して適切な対応をとることが求められる。偏在する資源量確保のため，自然科学的な知識と経験を蓄積することは重要で，更に，工学的に鉱量推定と開発リスク評価を行う。リスク評価には，開発対象の深度・遠隔度による技術リスクなどの他，資源の存在する場所の政治的・文化的な環境と歴史から来るカントリーリスクや，世界的な消費動向と今後の技術革新動向など需要側の長期的動向の把握と投資資金不足リスクなどの経済リスクの評価も必須となる。

そこで，資源開発に携わる企業は，手持ち資金のみや自社のみで開発することが少なくなってきた。数社で共同開発したり，一般の出資者を募る投資セミナーを開催するなどして，可能な限りリスク分散をはかるのが一般的である。そのため，正確な情報を公開する傾向が強まっている。

資源供給を世界的に安定化することが，資源の関係者に共通した思いであろう。そのためには，偏在する資源のリスクを評価しつつ，探鉱・開発から生産までの長期的な投資を継続して利益をあげなければならない。

3．資源開発と国の関わり

一般の商取引で国の関与する割合はあまり多くない。もちろん，公正なルールの適用と規制などはあるし，国際取引で政府保証などを得られるなら非常に大きい。ところが，開発が長期にわたり，カントリーリスクを含む資源開発では，国の役割が更に大きくなる。まず，探鉱には資源国政府の許可が必要なだけでなく，一般に，国

原稿受付　2011年５月23日
＊1　独立行政法人 産業技術総合研究所
〒305-8568　つくば市梅園１－１－１

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

軍と警察，及び，地元自治体と，場合によっては地域の顔役のような方々と密な連携が必須になることが多い。その場合，国をバックに行くのと，単なる一企業で行くのでは雲泥の差が生じる。

世界各国には，英国地質調査所をモデルとした「地質調査所」あるいは「地球科学研究所」と称する国立機関が大体一つないし二つあり，最大は米国地質調査所（USGS）である。資源保有途上国では，例えば鉱山省の一部局として地質調査所が存在し，地質調査の他，鉱区権管理や鉱山開発環境管理などを担当する。地質調査所同士には国際的なつながりがあり，研究者交流や共同研究も積極的に行われ，同じ専門家同士として親交のあることが多い。レアメタルの多い資源国には途上国が多く，地質調査所同士で助け合うことが一般的である。

例えば，住友商事がマダガスカルでAmbatovyニッケル鉱山を2007年から開発中で，2010年暮から生産に入ったとされ，2013年には世界のニッケル生産量の5%を供給し，利益も大きい優良鉱山になるという。

マダガスカルは，元フランス植民地である。その首都にフランス地質調査所マダガスカル支所があり，その周りに同国の鉱山エネルギー省や地質調査所があるほどである。同国の資源量評価の基礎になる総合的地質図も1970年代にフランス人が作成したものが最新だった。世界銀行のプロジェクトで，米・英・仏・独・南アの地質調査所が協力して，その改訂を進めている。Ambatovy鉱山の場所に豊富なニッケルを発見したのは1960年代のマダガスカル地質調査所による。ところで，1950年代から60年代を通じて，日本の地質調査所も調査員を送り込んで，協力してマダガスカルの地質調査を進めたことがある。また，日本の中堅建設会社がJICAプロジェクトで水力発電所建設等のODA事業に従事し，その後も，同国の建設事業に協力してきた。

Ambatovy鉱山は，南半球のゴンドワナ大陸起源の超塩基性岩が風化したラテライト型ニッケル鉱床で，平面的分布が約 3 km×2.4kmのAmbatovy鉱床と，約 4 km×2.8kmのAnalamay鉱床があり，垂直的厚さは平均約40m，最大約100mと極めて厚い形状的特徴を持つ。確認推定埋蔵量1.25億トン（品位：ニッケル1.04%，コバルト0.099%，カットオフ：ニッケル0.8%）とされる[2]。その規模と産状から世界最低コストで開発できると期待され，酸化鉱石の加圧酸性溶解・溶媒抽出により，金属量でニッケル 6 万トン/年，コバルト5.6千トン/年の生産を27年間と見込んで開発された[2]。

20世紀のマダガスカルの政情が不安定だったことと外国資本の参入を容易に認めなかったことなどで開発が遅れたが，21世紀に入って投資が促進され，カナダのDynatec社（現在，Sherritt International社に継承）が2005年 1 月に米国大手のPhelps Dodge社から100%の権益を獲得した。当初の開発コストに22.5億米ドルをかけ，住友商事と韓国国営のKorea Resources社が各々 27.5%づつ分担し，2007年から開発に入っていた。数年で生産できるのは，かなり早いスピードである。各種の自然環境問題をクリアするのに相当のコストをかけたという[3]。

ところが，韓国の大宇グループがマダガスカルの全農地の半分を越える130万haを99年間無償で貸借する協定を締結して，生産された食糧を全量韓国に送る計画が明らかにされると，2009年 1 月―3 月に反政府暴動が発生，政権が倒れ，計画を批判していた首都の市長が暫定大統領に就任，2009年 6 月に暫定政府が契約を破棄した。これもカントリーリスクの一つである。

2007年の米国住宅バブル崩壊に伴う2008年の経済危機により，2009年はニッケル価格も急落，経済リスクも倍化した。しかし，鉱山投資企業とその本国であるカナダと日本が鉱山開発によるマダガスカル経済への寄与を力説したおかげで，暫定政権でも開発継続が認められ，ニッケル価格も再び上昇したため，リスクは大幅に減少できた。

マダガスカルはアフリカでも最貧国の一つではあるが，ゴンドワナ大陸にしか存在しない希少動植物の宝庫であり，国民も自然保護には力を入れている。歴史的にポリネシアと共通の祖先を持ち，インドネシアーマレーシアーフィリピンー日本などと共通の文化的要素がある。

そこで，世界銀行のプロジェクトに補完的なJICAプロジェクトが政変後に開始されたことを契機に，産業技術総合研究所・地質調査総合センター（GSJ）も変成岩地質学の専門家を数名送り，新たな知見を得るなど成果をあげた。今年（2011年）も専門家を 3 人ほど現地調査に派遣する予定である。GSJは，各国で地質調査所として歓迎されており，現地でも地元と極めて友好的に調査を進めている。この調査が直接的に鉱物資源の場所を特定することは目指していないが，ここで蓄積された科学的知見は，従来の常識を塗り替え，新たな資源開発と環境保全に役立つ基礎データとなることが期待される。

4．深部資源の開発

これまでの大規模資源開発の多くが露天掘りと称する，青空が見える状態で地表から次第に深く掘削する低コストでの採掘が多かった。このため，世界的に資源供給は安定し，価格も低落傾向で，かつて欧州や日本で行われていたような，竪穴を掘って，そこから地下トンネルで鉱石を採掘する坑内掘りはほとんど陰を潜めた。南米やアフリカなど人件費等のコストが安く，鉱石品位が極めて高い場合に行われてきた。

20世紀前半は資源の確保をめぐる悲惨な戦争が続いたが，20世紀後半は安定した資源供給により，局地的紛争・内戦を除いて，資源をめぐる大きなトラブルは生じていなかった。ユーゴスラビアが崩壊したとき，ボスニアのコバルトを巡って欧米諸国の介入があったり，アフリカ中央部で大虐殺を伴うレアメタル利権を巡る内戦などがあったが，継続していない。

Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

しかし，露天掘りで可能な鉱物資源は，もはや限られており，環境問題も大きい。次第に低コスト露天掘りの可能性が減少している。レアアースのように，環境を犠牲にした低価格供給で世界の9割を握った後，そのシェアを武器に禁輸に近い措置がとられたことは記憶に新しい。そのため，価格が上昇すると，坑内掘りのレアアース鉱山が生産復活を目指した再開発に入ったが，安定的に供給が始まるのは2012年から後といわれる。資源生産は，短期間に再開できるものではない。

開発の前に，資源を探す探鉱活動は数十年から世紀をまたぐほど長期に及び，データベースの充実が鍵になる。探鉱したからといってすぐに開発できるわけではなく，探鉱リスクが極めて高いため，世界的には地質調査所のような国家機関がリスクを負って広域調査を進め，開発を目指した精密探鉱段階になるとリスク分散のための投資セミナーなどが各国政府肝いりで開催されるようになった。

露天掘りの時代は，資源情報があればすぐに鉱区を押さえるため戦争に訴えることも少なくなかったが，地下深部などのコストがかかり開発リスクもはるかに高まる場合には，むしろ積極的に広域的な探鉱情報を公開して，専門家の間の議論を高め，より多くの投資を得て協調する方が効果が高くなっている。21世紀の資源開発は，リスク分散のポートフォリオを求めることが多くなった。

レアアースは，存在確率から言えば必ずしもレアではないが，コスト面から高品位の鉱石の分布がレアである。レアアースを含むレアメタルは，ニッケルですら年産数万トン規模というほど，大規模な量ではない。そのため，需要が減少すると必ず低価格化が発生し，コストの高い鉱山から廃業していくほかないのである。レアアースで中国が世界の９割を握った背景にもそのような事情がある。

ニッケル・コバルトに関しては，日本企業もよく健闘している。これは，日本企業に旺盛なニッケル・コバルト需要があることが大きく，また，価格が高くなっても量的に大きくないため受け入れ可能という事情があるだろう。

ガスタービンの需要は，燃料価格が割高で，生産に要するコストが割高という従来の障害を越え，安定した需要が長期に期待できるなら，資源開発側も積極的にリスクをかけた投資を行うことができる。あくまでリスクのあることなので，将来的な大暴落の可能性が全くないわけではない。

しかし，中東諸国で巨額のオイルマネーを手にしたり，行き所のない資金の投資先を探している資金ソースは新興国経済の活況と共に増えているため，当面は投資家が見向きもしないことはないと考えられる。

深部資源については，過去に世界の地質調査所の横の連携で基礎的研究が行われており，採掘法さえ低価格化すれば，かなりの量の資源が開発可能となる。日本においても地下深部になれば資源は多く，経済水域の深海底資源の量も大きい。しかし，投資家が深部資源を深く理解する機会は少ない。レアメタルの需要家も深部資源の割合が増大した後にくる世界についての展望が必ずしもあるわけではなく,そのために必須なインテリジェンスを含む情報提供の必要性が増すだろう。

5．おわりに

資源供給の安定性確保のため，20世紀に探検家による探鉱調査活動が世界に広まったのと同様に，21世紀は地下深部・深海底資源の調査にリスクをかけた活動がより多く展開されてしかるべきであろう。そのためには，国の役割が重要である。

海外の資源開発に関係した国の機関には，関係省庁と各国の日本公館，ODAプロジェクトと国際協力機構（JICA），日本政策金融公庫（JFC）と国際協力銀行（JBIC），石油天然ガス・鉱物資源機構（JOGMEC），貿易振興機構（JETRO），及びそれらの関係法人などがある。また，貿易保険法などの制度的支援がある。実際に資源開発を行っているプレーヤには，鉱山会社，商社，電力・エネルギー会社等があるが，リスクの大きい探鉱については直営で実施するより，中小の企業を合弁で設立したり独立系探鉱会社が資金を集めて探鉱し，成功したら会社ごと権利を売却する方法が普及している。

このような様々な資源に関する活動を支えるのは，各国ともインテリジェンス部門である。各国の地質調査所も政府機関としてその一翼を担うことがあるが，その本来目的ではない。

レアメタル・レアアースのように，ガスタービンなど産業的な重要性が増すことがありながら，リスクも高い鉱物資源の長期的な安定供給のためには，統合したインテリジェンス活動が不可欠である。この分野では，日本も欧米に学ぶことは，まだ多いと思われる。

参考文献

(1) Menzie, W.D., Baker, M.S., Bleiwas, D.I., and Kuo, Chin, Mines and mineral processing facilities in the vicinity of the March 11, 2011, earthquake in northern Honshu, Japan: U.S. Geological Survey Open-File Report 2011-1069, (2011), 7 p.
(Available at http://pubs.usgs.gov/of/2011/1069/.)

(2) 高橋健一，マダガスカル初の大型鉱山開発案件となる日加韓企業によるAmbatovyニッケル・コバルト・プロジェクトの現況. JOGMECカレント・トピックス (2007), No.36.
(Available at http://www.jogmec.go.jp/mric_web/current/07_26.html).

(3) 金子憲治，藤田 香,鉱山開発　ものづくりの最上流のリスク．日経エコロジー，(2009.11)，pp.40-43.
(Available at http://eco.nikkeibp.co.jp/article/special/20091113/102635/)

Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

論説◆解説

特集：ガスタービンに使用しているレアメタル，レアアース

ニッケル，コバルトの需要・供給・価格動向等

佐々木洋治*1
SASAKI Yoji

キーワード：ニッケル，コバルト，ラテライト，資源

ニッケル

はじめに

ニッケルは銀白色の光沢のある金属で，塊状のものは空気及び湿気に対して常温では極めて安定であるが，微粉状のものは発火性を有する。またアルカリとの反応は極めて遅く，アルカリ製造時の容器に金属ニッケルが用いられている。

用途としては，主にステンレス，耐熱・耐食性特殊合金，メッキ，電池，触媒など多岐にわたるが，消費の70%はステンレス用といわれている。

ニッケル資源の供給は，硫化鉱とラテライトの二タイプの鉱床から生産されている。比較的少数の国，企業によって生産されているという特徴があり，また，ニッケル原料は，鉱石のほか，マット，フェロニッケル，地金，その他中間産物（酸化物，水酸化物等）等の形態で取引されており，複雑な構造を有する。したがって，ニッケル原料の供給を理解するためには，それぞれの産物に含まれるニッケル純分を推定して，その流れを把握する必要がある。

表１　世界のニッケル鉱山生産量推移

	2001年		2002年		2003年		2004年		2005年	
ロシア	235	19.2%	235	18.8%	240	19.1%	264	19.9%	280	20.2%
インドネシア	102	8.3%	122	9.7%	144	11.4%	143	10.8%	150	10.8%
豪州	205	16.8%	208	16.7%	180	14.3%	187	14.1%	190	13.7%
カナダ	194	15.9%	189	15.2%	163	12.9%	187	14.1%	200	14.4%
ニューカレドニア	118	9.6%	100	8.0%	112	8.9%	118	8.9%	112	8.1%
フィリピン	23	1.9%	24	1.9%	22	1.7%	17	1.3%	20	1.4%
中国	52	4.2%	55	4.4%	61	4.8%	63	4.7%	60	4.3%
コロンビア	53	4.3%	59	4.7%	71	5.6%	75	5.7%	89	6.4%
キューバ	77	6.2%	75	6.0%	71	5.6%	76	5.7%	76	5.5%
ブラジル	34	2.8%	37	2.9%	38	3.0%	38	2.8%	36	2.6%
ボツワナ	24	2.0%	27	2.1%	31	2.5%	25	1.9%	28	2.0%
南アフリカ	36	3.0%	39	3.1%	41	3.2%	41	3.1%	43	3.1%
その他	72	5.9%	79	6.3%	85	6.8%	93	7.0%	104	7.5%
合　計	1,224	―	1,248	―	1,257	―	1,327	―	1,387	―
上位5ヶ国計	854	69.7%	854	68.4%	838	66.7%	898	67.7%	932	67.2%

	2006年		2007年		2008年		2009年		2010年	
ロシア	286	19.5%	288	18.1%	268	18.1%	262	19.4%	270	17.1%
インドネシア	150	10.2%	188	11.8%	204	13.8%	203	15.1%	236	14.9%
豪州	168	11.4%	184	11.5%	191	12.9%	165	12.3%	170	10.8%
カナダ	233	15.9%	255	16.0%	257	17.4%	137	10.1%	158	10.0%
ニューカレドニア	103	7.0%	125	7.8%	103	6.9%	93	6.9%	130	8.2%
フィリピン	59	4.0%	80	5.0%	35	2.4%	119	8.8%	119	7.5%
中国	69	4.7%	68	4.2%	68	4.6%	79	5.9%	79	5.0%
コロンビア	94	6.4%	101	6.3%	77	5.2%	72	5.3%	72	4.6%
キューバ	78	5.3%	78	4.9%	71	4.8%	60	4.5%	66	4.2%
ブラジル	43	2.9%	38	2.4%	0	0.0%	38	2.8%	59	3.7%
ボツワナ	30	2.0%	35	2.2%	35	2.4%	32	2.4%	32	2.1%
南アフリカ	42	2.8%	38	2.4%	31	2.1%	35	2.6%	40	2.5%
その他	115	7.8%	118	7.4%	138	9.3%	52	3.9%	147	9.3%
合　計	1,469	―	1,595	―	1,477	―	1,346	―	1,578	―
上位5ヶ国計	940	64.0%	1,040	65.2%	1,022	69.2%	885	65.7%	964.3	61.1%

＜出典：国際ニッケル研究会＞

原稿受付　2011年６月８日
＊１　（独）石油天然ガス・金属鉱物資源機構
〒105-0001　港区虎ノ門２-10-１

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

1．需要・供給

1.1　世界の需給状況

表１に2001～2010年のニッケル鉱石生産量（国別）の推移を示す。ニッケルの鉱石生産量は，2001年の1,224千t から2009年の世界金融危機による減産を経て2010年には1,578千t と金融危機以前の生産量へと戻りつつある。2010年における国別生産量は，ロシア270千t（世界生産の17.1%），インドネシア236千t（同14.9%），豪州170千t（10.8%），カナダ158千t（10.0%），ニューカレドニア130千t（8.2%）であり，上位５か国で61.1%に達するとみられる。また，インドネシア，ニューカレドニア，フィリピンにおける2006年以降の生産量の伸びは，主に中国向け鉱石輸出の増加に伴うものとみられる。

世界の一次ニッケル（Primary Nickel）生産量

表２に2001～2010年間の一次ニッケル生産量第10位までの国別推移を示す。国際ニッケル研究会（INSG）の統計において，一次ニッケルは，「ニッケルマット，混合硫化精鉱（品位 Ni + Co 35%以上），その他の中間産物（塩化物，酸化物を含む）に含まれるNi純分量」と定義されている。ニッケルは，鉱石，マット，その他の中間産物の形態で取引されているので，ニッケルの供給構造を把握するためには，取引されている品目中に含まれるNi 純分を一次ニッケルとしてとらえる必要がある。

ニッケル一次生産量は，2001年1,163千/tから2010年1,444千tと前年比24.2%増となるとみられる。ニッケルの一次生産量は国別では中国，ロシア，日本，カナダ，豪州の順となるが，特に中国の生産量が2001～2010年間に約７倍に増加している点が注目される。そのほか，ロシアで増加が見られる他，ノルウェー，コロンビアの伸び率が高くなっている。これらの国の内，ロシアは国内資源が豊富で自国内の原料で一次ニッケル生産をまかなえるので鉱石輸入はないが，中国は国内資源が不足しており，ニッケル原料を，鉱石，マット，フェロニッケル，地金等の形で輸入して国内需要をまかなっている。

世界の一次ニッケル（Primary Nickel）消費量

2001～2010年間の世界のニッケル消費量を表３に示す。世界のニッケル需要量は，2007 年をピークに金融危機の影響で一時落ち込みを見せたが，2010 年に再び回復局面に入り，金融危機以前の水準に近づいている。ステンレス生産は，中国などの新興国を中心に堅調に推移しニッケル需要を下支えしている。ステンレス以外の分野では，油田・ガス田開発資材やパイプライン向けの高級特殊鋼が伸び，航空機向け耐熱合金も拡大に転じた。また近年，自動車，電器製品向けニッケル水素二次電池

表２　世界のニッケル一次生産量

	2001年		2002年		2003年		2004年		2005年	
中国	50	4.3%	54	4.5%	65	5.4%	73	5.8%	98	7.7%
ロシア	252	21.7%	239	20.2%	263	22.0%	263	21.0%	248	19.4%
日本	154	13.2%	158	13.3%	165	13.8%	170	13.5%	166	13.0%
カナダ	141	12.1%	145	12.2%	124	10.4%	152	12.1%	140	11.0%
豪州	128	11.0%	132	11.1%	116	9.7%	123	9.9%	131	10.3%
ノルウエー	68	5.9%	69	5.8%	77	6.4%	71	5.7%	85	6.7%
フィンランド	55	4.7%	55	4.7%	51	4.3%	50	4.0%	41	3.2%
コロンビア	38	3.3%	44	3.7%	48	4.0%	49	3.9%	53	4.1%
ニューカレドニア	46	3.9%	49	4.1%	51	4.2%	43	3.4%	47	3.7%
キューバ	41	3.5%	39	3.3%	36	3.0%	39	3.1%	39	3.0%
その他	240	20.6%	256	21.6%	265	22.2%	293	23.4%	327	25.6%
合　計	1,163	―	1,185	―	1,197	―	1,251	―	1,274	―
上位5ヶ国計	743	63.9%	742	62.6%	746	62.3%	780	62.3%	781	61.3%

	2006年		2007年		2008年		2009年		2010年	
中国	137	10.1%	199	13.9%	199	14.2%	254	19.1%	332	23.0%
ロシア	286	21.1%	272	19.0%	258	18.3%	254	19.1%	262	18.1%
日本	153	11.2%	162	11.3%	161	11.5%	144	10.9%	166	11.5%
カナダ	154	11.3%	163	11.4%	177	12.6%	117	8.8%	105	7.3%
豪州	114	8.4%	111	7.8%	116	8.2%	129	9.7%	102	7.1%
ノルウエー	82	6.0%	88	6.1%	89	6.3%	89	6.7%	92	6.4%
フィンランド	47	3.5%	55	3.8%	57	4.1%	41	3.1%	47	3.3%
コロンビア	51	3.8%	49	3.5%	42	3.0%	51	3.8%	49	3.4%
ニューカレドニア	49	3.6%	45	3.1%	38	2.7%	38	2.9%	40	2.8%
キューバ	42	3.1%	42	2.9%	36	2.5%	33	2.5%	33	2.3%
その他	379	28.0%	443	31.0%	433	30.8%	433	32.6%	547	37.9%
合　計	1,357	―	1,429	―	1,405	―	1,329	―	1,444	―
上位5ヶ国計	843	62.1%	907	63.4%	911	64.8%	898	67.6%	967	67.0%

＜出典：国際ニッケル研究会＞

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

表３　世界のニッケル消費量

（単位：純分千ｔ）

	2001年		2002年		2003年		2004年		2005年	
中国	83	7.1%	94	7.9%	125	10.4%	150	12.0%	189	14.8%
日本	162	13.9%	191	16.1%	193	16.1%	193	15.4%	173	13.6%
アメリカ	129	11.1%	121	10.2%	118	9.8%	129	10.3%	135	10.6%
ドイツ	110	9.5%	107	9.0%	100	8.3%	100	8.0%	100	7.8%
韓国	75	6.5%	83	7.0%	98	8.2%	103	8.2%	100	7.8%
その他	545	46.8%	580	48.9%	586	48.9%	572	45.7%	547	42.9%
合　計	1,104	―	1,175	―	1,219	―	1,246	―	1,243	―
上位5ヶ国計	559.2	48.1%	595.2	50.2%	633.1	52.9%	673.9	53.9%	696.5	54.7%

	2006年		2007年		2008年		2009年		2010年	
中国	255	18.8%	330	23.1%	360	25.6%	443	33.3%	575	39.8%
日本	183	13.5%	169	11.8%	158	11.2%	121	9.1%	149	10.3%
アメリカ	145	10.7%	135	9.4%	127	9.0%	90	6.8%	120	8.3%
ドイツ	106	7.8%	97	6.8%	91	6.5%	80	6.0%	86	6.0%
韓国	93	6.9%	63	4.4%	56	4.0%	67	5.0%	74	5.1%
その他	620	45.7%	530	37.1%	495	35.2%	440	33.1%	461	31.9%
合　計	1,401	―	1,323	―	1,286	―	1,241	―	1,464	―
上位5ヶ国計	781.5	57.6%	792.6	55.5%	791.1	56.3%	801.1	60.3%	1,003.2	69.5%

＜出典：国際ニッケル研究会＞

表４　日本のニッケル供給推移

（単位：千ｔ）

		2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年
ニッケル地金	生産量	29.8	29.3	30.3	34.8	29.3	40.2
	輸入量	49.7	47.3	49.8	40.4	26.1	43.2
	計	79.5	76.6	80.1	75.2	55.4	83.4
フェロニッケル	生産量	76.4	66.1	68.3	58.9	58.9	67.5
	輸入量	13.5	12.5	15.4	11.9	7.5	12.7
	計	89.9	78.6	83.7	70.8	66.4	80.2
酸化ニッケル	生産量	56.7	53.8	60.3	49.5	53.6	53
	輸入量	0.6	0.8	0.4	0.5	0.5	5
	計	57.3	54.6	60.7	50	54.1	58
ニッケル粉	輸入量	9.3	9.4	8.7	4.6	4.9	5.5
合計		236	219.2	233.2	200.6	180.8	227.1

（JOGMEC 資料）

表５　日本の分野別ニッケル（メタルニッケル，フェロニッケル，酸化ニッケル）需要量

（単位：ｔ）

	1999年度	2000年度	2001年度	2002年度	2003年度	2004年度	2005年度	2006年度	2007年度	2008年度	2009年度
需　要	213,675	227,665	222,541	226,472	244,560	253,718	241,062	230,304	226,827	204,803	211,834
内　需	149,966	153,083	147,676	160,457	163,411	167,875	142,033	150,878	139,332	109,435	111,230
特殊鋼	123,479	129,180	130,078	145,710	149,545	151,799	127,406	135,589	124,771	95,094	97,850
磁性材	3,534	2,480	1,381	2,063	1,878	2,212	1,892	2,482	2,399	1,938	2,255
伸銅品	3,929	3,505	1,919								
めっき	5,495	5,309	3,714	2,679	2,970	2,790	3,306	2,450	2,452	2,082	1,831
触媒	497	355	433	390	448	416	439	321	358	371	350
蓄電池	4,316	4,082	3,593	3,906	3,152	4,487	2,903	3,690	3,610	2,945	2,345
その他	8,716	8,172	6,558	5,709	5,418	6,171	6,087	6,346	5,742	7,005	6,599
輸　出	36,431	46,102	52,529	42,933	52,151	55,397	63,401	56,679	57,096	58,131	78,344
期末在庫	27,278	28,480	22,336	23,082	28,998	30,446	35,628	22,747	30,399	37,237	22,260

（出典：日本鉱業協会「鉱山」）

の普及が進み，ニッケルの消費分野として今後大きな成長が期待される。

1.2　日本の需給状況

表４に日本の品目別ニッケルの生産量と輸入量（2005～2010年），表５に日本の分野別ニッケル需要量（1999～2009年）を示す。2010年の日本のニッケル生産量は2009年の金融危機による減産を経てほぼ金融危機前と同じ水準か，それ以上に回復している。

また，分野別需要量では，特殊鋼が主な用途であるが，磁性材料も2000～3000t/年と安定的に推移している。一方，めっき，蓄電池需は減少傾向にある。また，2009年の輸出向け製品へのニッケル需要は1999年の約２

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

表６　世界のニッケル主要生産者

主要生産者	国	生産品目
住友金属鉱山／日向製錬所	日本	ニッケル地金、フェロニッケル
ヴァーレ・ジャパン	日本	酸化ニッケル
日本冶金工業	日本	フェロニッケル
大平洋金属	日本	フェロニッケル
Vale	カナダ、イギリス	ニッケル地金、オキサイドシンター
XSTRATA	ノルウェイ	ニッケル地金
SHERRITT International	カナダ	ニッケルブリケット
ERAMET	フランス、ニューカレドニア	ニッケル地金、フェロニッケル
Norilsk Finland（OMG）	フィンランド	ニッケル地金
BHP Billiton	オーストラリア、コロンビア	ニッケルブリケット、フェロニッケル
Queensland Nickel	オーストラリア	オキサイドシンター、ニッケルコンパクト
MINARA Resources	オーストラリア	ニッケルブリケット
Anglo American	南アフリカ、ベネズエラ、ブラジル	ニッケル地金、フェロニッケル
IMPALA Platinum	南アフリカ	ニッケルブリケット
PT ANEKA TAMBANG（ANTAM）	インドネシア	フェロニッケル
Votorantim（Tocantins）	ブラジル	ニッケル地金
PT International Nickel Indonesia（PTI）	インドネシア	ニッケルマット

（USGS「Minerals Information, Stastistics and Information by Country」ほか）

表７　LMEニッケル価格の年平均価格推移（ドル／ lb）

2002 年	2003 年	2004 年	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年
3.07	4.37	6.27	6.69	11	16.89	9.58	6.65	9.89

倍と堅調に推移しており，中国をはじめとする，新興国の旺盛なニッケル製品需要が日本のニッケル産業を下支えする構図になっている。

なお，国内の生産者は住友金属鉱山，ヴァーレ・ジャパン，日本冶金工業，大平洋金属で主にフェロニッケル等を生産している。（表６）。

２．価格

ロンドン金属取引所〔LME〕ニッケル価格は，いわゆるIT 不況であった2001年を底に上昇に転じ，2006年に大幅に高騰，2007年５月に月間平均23.67ドルの最高値〔月間平均〕を記録した。しかしそれ以降は調整局面が続き，2008年後半は金融危機により一時４ドル台まで下落した。その後，金融情勢が落ち着き地金需要が回復するとともに2009年から再度上昇に転じ，2010年は８～12ドルで推移した。

３．資源

ニッケル鉱床のすべては，超塩基性岩類または塩基性-超塩基性岩類に伴っており，成因的にもそれらの岩体と関係がある。主要なニッケル鉱床は，次の３タイプに大別される。

⑴火山性超塩基性岩類に伴う硫化物鉱床（Kambalda 型鉱床）

⑵塩基性・超塩基性層状貫入岩体に伴う硫化物鉱床（Sudbury 型鉱床）

⑶ラテライト質ニッケル鉱床（New Caledonia 型鉱床）

硫化鉱と酸化鉱（ラテライト鉱）の分布は地域ごとに明確に分かれている。大まかには，赤道付近に風化残留鉱床中の酸化鉱（ラテライト鉱）が存在しており，未開発資源のほとんどは酸化鉱（ラテライト鉱）である。

ラテライト鉱は品位が低く，従来，経済的なニッケル回収は困難とされてきた。しかし近年，低品位酸化鉱を低コストで処理するHPAL（高圧硫酸浸出）法の開発が進み，今後は埋蔵量が多いラテライト鉱の開発が進展する可能性が高い。特に，西豪州では，Murrin Murrin（1999 年生産開始）・Cawse（1998年）・Bulong（1999年）の３鉱山においてHPAL法によって，ニッケル，コバルトが生産されている。しかしこれらのプロジェクトにおいて，技術的困難さから操業率が十分に上がらず生産が伸び悩んでいる。これに対してフィリピンにおいて住友金属鉱山㈱が進めているCoral Bayプロジェクトでは，同社が独自に開発したHPAL法プロセスにより低品位鉱からニッケル，コバルトの生産が開始され良好な成績を収めている。同社が技術的に優位な立場に立っていることは，今後日本のニッケル原料獲得の戦略にとって重要な意味を持つと考えられる。さらに中国では，価格高騰を背景に低品位ラテライト鉱からニッケル銑鉄を経由してフェロニッケルを生産する方法が2006年頃から始まっている。この方法は生産コストが高いので，ニッケル価格高騰時に重要なニッケル供給源となったが，最近の価格下落状況では，その生産量は減少している。ただし，中国では，新規に電気炉を導入し，より低コストでニッケル銑鉄を生産する計画も始まっている模様で，ニッケル低品位鉱は，今後も中国にとって重要なニッケル原料となる可能性がある。

表８に2010年，世界のニッケル鉱山鉱石生産量の上位20鉱山を示す。上位20鉱山の生産量は939.2千t（2010年）であり，2010年の世界の鉱山生産の約60%を占めている。鉱石タイプ別では，上位20位中で，硫化鉱タイプが全体

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

表８　2010年世界のニッケル鉱石生産量上位20鉱山

順位	鉱山名	所在国	採掘法	鉱床タイプ	2009年生産量（千t）	2010年生産量（千t）
1	Antam Nickel/Cobalt Mines	Indonesia	OP	L	134.0	155.0
2	Sorowako Nickel Mine	Indonesia	OP	L	69.0	78.0
3	Oktyabrsky Nickel/Copper Mine	Russia	UG	S	75.0	75.0
4	Taimyrsky Nickel/Copper Mine	Russia	UG	S	73.0	75.0
5	Jinchuan Nickel/Copper Mine	China	UG	S	60.0	60.0
6	Manitoba and Ontario Nickel/Copper Mines	Canada	UG	S	60.0	52.0
7	Montelibano Nickel Complex	Colombia	OP	L	51.8	49.4
8	Talnakhskoye Nickel/Copper Mines	Russia	OP,UG	S	43.0	45.0
9	Voisey's Bay Nickel/Copper Mine	Canada	OP	S	40.0	42.0
10	Kola Nickel Mines	Russia	OP,UG	S	36.8	37.0
11	Adlay-Cagdianao-Tandawa Nickel Mines	Philippines	OP	L	61.0	36.0
12	Leinster (Agnew) Nickel Mine	Australia	OP,UG	S	30.0	35.0
13	Mount Keith Nickel Mine	Australia	OP	S	30.0	35.0
14	Moa Nickel Mine	Cuba	OP	L	33.0	34.0
15	Murrin Murrin Nickel Cobalt Mine	Australia	OP	L	33.0	28.4
16	Raglan Nickel Mines	Canada	UG	S	29.3	28.2
17	Rio Tuba Nickel Mine	Philippines	OP	L	21.0	20.0
18	Hinatuan Nickel Mine	Philippines	OP	L	10.9	18.7
19	Taganito Nickel Mine	Philippines	OP	L	7.5	18.0
20	Coral Bay Nickel Mine	Philippines	OP	L	17.0	17.5
				小計	915.3	939.2
		L:ラテライト		小計（内ラテライト）	438.2	455.0
		S:硫化鉱		小計（内硫化鉱）	477.1	484.2
				平均生産量（ラテライト）	43.8	45.5
				平均生産量（硫化鉱）	47.7	48.4
				世界生産	1346.0	1578.0

（JOGMEC 資料）

の52%，ラテライトタイプが48%（2010年）を占めており，2009年に比べ，ラテライトタイプからの生産が増加している。

生産量１万t/年以上を生産する生産プロジェクトは，硫化鉱タイプでは，Oktyabrsky，Taimyrsky，Talnakhskoye，Kola，ラテライトタイプではAntam，Soroako等がある。

表９に世界のニッケル埋蔵量を示す。世界のニッケル埋蔵量は76,000千tで，オーストラリアに約30%（24,000千t），ブラジル，ニューカレドニアに合わせて約20%（15,800千t）と３か国に世界の約半分の埋蔵量が存在している。

表９　世界のニッケル埋蔵量

国 名	埋蔵量（千t）	
オーストラリア	24,000	31.6%
ブラジル	8,700	11.4%
ニューカレドニア	7,100	9.3%
ロシア	6,000	7.9%
キューバ	5,500	7.2%
インドネシア	3,900	5.1%
カナダ	3,800	5.0%
南アフリカ	3,700	4.9%
中国	3,000	3.9%
その他	10,300	13.6%
合 計	76,000	

まとめ

ニッケルの原料供給において，今後ラテライトタイプからの供給が増加する可能性が高いが，そのためにはニッケル抽出が技術的に難しいとされる酸化鉱の処理技術が確立される必要がある。また，資源としての遍在性も顕著で，ニッケルの鉱石生産では，ロシア，インドネシア，オーストラリア，カナダ，ニューカレドニアの5か国が全体の約50%を占めている他，埋蔵量においてもオーストラリア，ブラジル，ニューカレドニアの３か国で世界の約50%のニッケル資源を保有している。

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

コバルト

はじめに

コバルトは銀白色の磁性の強い金属で，化合物としてガラス等にきれいな青色を出す性質は古くから知られていた。現在でも，鮮やかな青色の空に対して“コバルトブルー”という表現がよく用いられる。元素としては，1735年にスウェーデンの化学者G.ブラントが発見したものである。

コバルトは，主に携帯電話，ノートパソコン等のリチウムイオン二次電池に使用されている。その他の応用製品としては，航空機のジェットエンジン，ガスタービン用のスーパーアロイ（超耐熱合金），プラント等に使用される高速度鋼や耐熱鋼，アルニコ磁石やサマリウム・コバルト磁石等の永久磁石，ビデオテープ等の磁性材料，炭化タングステンとの合金による超硬合金の硬質材料等がある。また，石油精製・脱硫等の触媒としても使用されており，現代社会には欠かせない素材となっている。

1．需要・供給

1.1　世界の需給状況

コバルトは，銅またはニッケル生産の副産物として生産されるため，銅またはニッケルの価格状況により生産量が左右されることもあり，必ずしも安定した供給体制にあるとは言えない。

表10に世界のコバルト鉱石の生産量を示す。世界のコバルト鉱石の生産量は，1990年代半ばには低迷していたが，2000年代に入ってからは中国，日本を中心とした全世界的なリチウムイオン二次電池需要の好調を反映し，基本的には増加してきた。その間，供給の寡占状況を表す世界の鉱石生産国上位５か国の集中度は，2001年の76.3％から2008年にはは83.8％とコンゴ民主共和国（旧ザイール：以下「DRC」という）での生産増を背景に上昇した。その後，2009年の金融危機による減産を経て，2010年にはDRC，ザンビアでの増産を受け79.8%となっている。また，未だ政情不安の絶えないDRCが鉱石生産国の１位でもあり，これも供給面で不安定と見られる一つの要素となっている。さらに，米国SEC（証券取引員会）が企業に対してDRC産の紛争鉱物（金，タンタル，錫，タ ングステンの４鉱種）に関する情報公開義務を課すことを検討しており，産業界からの注目を集めている。

表11に世界のコバルト地金需給を示す。世界のコバルト供給量は，2005 ～ 2007年には54,000t前後でほぼ横ばい状態であったが，2008年には56,618tと過去最高の供給量を記録した。また，2010年には中国，DRCでの増産を背景に63,350tの供給量であったと予想されている。

2005 ～ 2007年は，世界第１位の鉱石生産国であるDRCにも資源ナショナリズムが台頭しコバルト鉱石・精鉱の輸出規制が行われたこと，M＆Aにより業界の寡占化が進んだこと（スイス・Xstrataによるカナダ・Falconbridgeの買収，ブラジル・Valeによるカナダ・Incoの買収，ロシア・Norilsk Nickelによるフィンランド・OMGの買収等），新規プロジェクトの開発遅延等の要因により，供給量は横ばい状態であった。しかし，

表10　世界のコバルト鉱石生産量

（単位：純分ｔ）

	2001年		2002年		2003年		2004年		2005年	
DRC	4,700	12.8%	12,500	26.3%	12,000	24.8%	16,000	30.5%	22,000	38.0%
カナダ	5,300	14.4%	5,100	10.7%	4,300	8.9%	5,200	9.9%	5,500	9.5%
ザンビア	8,000	21.8%	10,000	21.0%	11,300	23.3%	10,000	19.1%	9,300	16.1%
豪州	6,200	16.9%	6,700	14.1%	6,900	14.3%	6,700	12.8%	6,000	10.4%
ロシア	3,800	10.4%	4,600	9.7%	4,800	9.9%	4,700	9.0%	5,000	8.6%
キューバ	3,400	9.3%	3,400	7.1%	3,000	6.2%	3,600	6.9%	3,600	6.2%
その他	5,300	14.4%	5,300	11.1%	6,100	12.6%	6,200	11.8%	6,500	11.2%
合　計	36,700	―	47,600	―	48,400	―	52,400	―	57,900	―
上位5ヶ国計	28,000	76.3%	38,900	81.7%	39,300	81.2%	42,600	81.3%	47,800	82.6%

	2006年		2007年		2008年		2009年		2010年	
DRC	28,000	41.5%	25,300	38.6%	32,000	44.6%	25,000	40.3%	45,000	51.1%
カナダ	7,000	10.4%	8,300	12.7%	8,300	11.6%	5,000	8.1%	2,500	2.8%
ザンビア	8,000	11.9%	7,600	11.6%	7,800	10.9%	2,500	4.0%	11,000	12.5%
豪州	7,400	11.0%	5,900	9.0%	6,300	8.8%	6,300	10.2%	4,600	5.2%
ロシア	5,100	7.6%	6,300	9.6%	5,800	8.1%	6,200	10.0%	6,100	6.9%
キューバ	3,800	5.6%	3,800	5.8%	3,900	5.4%	3,500	5.6%	3,500	4.0%
その他	8,200	12.1%	8,300	12.7%	7,700	10.7%	3,200	5.2%	4,700	5.3%
合　計	67,500	―	65,500	―	71,800	―	62,000	―	88,000	―
上位5ヶ国計	55,500	82.2%	53,400	81.5%	60,200	83.8%	46,000	74.2%	70,200	79.8%

＜出典：Mineral Commodity Summaries＞

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

表11　世界のコバルト地金需給・主要なコバルト地金生産企業

（単位：純分t）

	生産国	生産者	2000年	2001年	2002年	2003年	2004年	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年（予想）
	中国	―	1,200	1,470	1,842	4,576	8,000	12,700	12,700	13,245	18,239	23,138	23,000
	フィンランド	OMG	7,700	8,100	8,200	7,990	7,893	8,170	8,580	9,100	8,950	8,850	8,500
	ノルウェー	Xstrata (Falconbridge)	3,433	3,314	3,993	4,556	4,670	5,021	4,927	3,939	3,719	3,510	3,000
	カナダ	ICCI (Sheritt)	2,855	2,943	3,065	3,141	3,325	3,391	3,312	3,573	3,428	3,721	3,500
	ベルギー	Umicore	1,110	1,090	1,135	1,704	2,947	3,298	2,840	2,825	3,020	2,150	2,000
	豪州	Murrin Murrin	925	1,452	1,838	2,039	1,979	1,750	2,096	1,884	2,018	2,350	1,800
		Queensland Nickel	1,520	1,818	1,863	1,800	1,900	1,400	1,600	1,800	1,600	1,700	1,500
		Bulong	192	203	200	―	―	―	―	―	―	―	―
	DRC	Katanga Mining	―	―	―	―	―	―	―	―	749	2,535	5,500
		Gecamines	4,320	3,199	2,149	1,200	735	600	550	606	300	415	300
	ブラジル	Vale Inco	1,470	1,450	1,480	1,000	1,562	1,563	1,711	2,033	2,200	1,193	1,200
		Votorantim	792	889	960	1,097	1,155	1,136	902	1,148	994	1,012	1,000
	ロシア	Norilsk	4,100	4,600	4,200	4,654	4,524	4,748	4,759	3,587	2,502	2,352	2,500
	ザンビア	Chambishi	2,316	2,789	4,344	4,570	3,769	3,648	3,227	2,635	2,591	1,000	2,500
		Mopani Copper	1,026	1,876	1,800	2,050	2,022	1,774	1,438	1,700	1,250	1,300	1,250
	モロッコ	CTT	1,200	1,200	1,354	1,431	1,593	1,613	1,405	1,591	1,711	1,600	1,700
	日本	住友金属鉱山	311	350	354	379	429	471	920	1,084	1,071	1,332	1,800
	その他生産者		1,150	1,335	1,152	721	1,501	2,352	2,371	2,290	2,076	2,278	2,100
	アメリカ戦略備蓄放出		3,083	1,893	1,284	1,987	1,632	1,199	294	617	200	180	200
供給　合計			38,703	39,971	41,213	44,895	49,636	54,834	53,632	53,657	56,618	60,616	63,350
	日本		8,700	8,200	9,400	11,000	12,600	13,000	14,000	14,500	15,000	14,000	15,000
	中国		3,800	4,000	5,000	6,400	8,500	11,400	12,400	14,700	14,400	16,000	18,000
	米国		11,600	11,800	9,800	10,000	10,000	11,000	11,000	9,600	10,700	7,338	9,000
	欧州		7,800	8,000	7,200	7,800	8,200	8,600	9,400	9,800	9,500	8,000	8,800
	その他		2,900	3,400	4,400	5,100	5,700	6,600	7,600	8,000	8,200	6,962	7,500
需要　合計			34,800	35,400	35,800	40,300	45,000	50,600	54,400	56,600	57,800	52,300	58,300
需給バランス			3,903	4,571	5,413	4,595	4,636	4,234	−768	−2,943	−1,182	8,316	5,050

＜出典：工業レアメタル ANNUAL REVIEW、特殊金属プロジェクト委員会報告書（特殊金属備蓄協会、国際鉱物資源開発協力協会）、他＞

表12　コバルトの主要対日輸出国

（単位：純分換算t）

	2000年		2001年		2002年		2003年		2004年	
フィンランド	1,116	9.5%	1,583	17.5%	2,383	20.5%	3,480	22.9%	4,339	25.5%
カナダ	1,942	16.5%	1,789	19.8%	2,040	17.5%	2,016	13.3%	2,318	13.6%
豪州	986	8.4%	995	11.0%	1,781	15.3%	2,938	19.3%	3,370	19.8%
ノルウェー	1,144	9.7%	914	10.1%	912	7.8%	1,054	6.9%	1,272	7.5%
ザンビア	1,427	12.1%	873	9.6%	1,458	12.5%	1,512	9.9%	1,712	10.1%
米国	95	0.8%	176	1.9%	211	1.8%	242	1.6%	392	2.3%
ベルギー	2,892	24.6%	1,368	15.1%	1,702	14.6%	1,967	12.9%	1,735	10.2%
その他	2,174	18.5%	1,347	14.9%	1,146	9.8%	1,995	13.1%	1,855	10.9%
合　計	11,776	―	9,045	―	11,632	―	15,204	―	16,993	―
上位5ヶ国計	8,521	72.4%	6,649	73.5%	9,364	80.5%	11,914	78.4%	13,475	79.3%

	2005年		2006年		2007年		2008年		2009年	
フィンランド	4,259	29.9%	4,442	29.5%	4,674	32.8%	5,127	32.8%	3,847	35.2%
カナダ	2,203	15.4%	1,995	13.2%	1,997	14.0%	2,722	17.4%	2,069	18.9%
豪州	2,431	17.0%	2,487	16.5%	2,032	14.2%	2,568	16.4%	2,186	20.0%
ノルウェー	943	6.6%	908	6.0%	1,148	8.0%	1,602	10.2%	810	7.4%
ザンビア	1,279	9.0%	1,170	7.8%	1,003	7.0%	847	5.4%	186	1.7%
米国	601	4.2%	830	5.5%	560	3.9%	0	0.0%	0	0.0%
ベルギー	832	5.8%	714	4.7%	568	4.0%	645	4.1%	313	2.9%
その他	1,716	12.0%	2,519	16.7%	2,281	16.0%	2,136	13.7%	1,515	13.9%
合　計	14,265	―	15,064	―	14,263	―	15,647	―	10,926	―
上位5ヶ国計	11,115	77.9%	11,001	73.0%	10,854	76.1%	12,866	82.2%	9,225	84.4%

＜出典：貿易統計より JOGMEC 換算＞

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

2008年には，中国企業が長期契約によりDRCの鉱石・精鉱を調達するようになったこと（むしろ大量の在庫を抱えることとなった。），DRC・Katanga Miningの生産開始 等により過去最高の供給量となった。2009年は，既存鉱山からの供給が減少傾向なのに対し，Katanga Mining等の新しい鉱山からの供給が増加したことに加え，中国での地金生産が急増した事を背景に供給量は60,000tを超えた。今後のマイナス要因としては，アフリカ諸国等の資源ナショナリズムの動きの活発化とそれに伴う鉱石・精鉱の供給不足，及び低価格が要因と見られる生産及び輸出停止，前述した米国SEC（証券取引員会）によるDRC産紛争鉱物に対する取り扱いが考えられる。また，プラス要因としては，新規プロジェクト（立ち上がりの遅れも懸念される）による供給量増，が挙げられる。

一方，需要は，2006年は需要量54,400tで前年比約7.5％増，2007年は需要量56,600tで前年比約4.0％増，2008年は需要量57,800tで前年比約2.1％増と，好調に推移してきた。これは，二大需要である，リチウムイオン電池等二次電池向け需要及び航空機向けスーパーアロイ需要が好調を維持していたためである。しかし，2008年後半の米国サブプライムローン問題に端を発した金融危機に伴う景気後退の影響により，2009年の需要は52,300t（前年比約9.5％減）となり，大きく落ち込む結果となった。2010年は米国経済の回復，中国をはじめとする新興国での需要増を背景に2008年を超える58,300tの需要が予想されている。

1.2 日本の需給状況

日本は，コバルトを，地金，金属微粉末，酸化物，水酸化物等の形態で輸入している。なお，国内の生産者は住友金属鉱山1社のみで，同社は愛媛県新居浜市の同社ニッケル工場にて，ニッケルの副産物としてコバルト地金の生産を行っている。

表12にコバルト全体の主要対日輸出国を示す。コバルト全体の対日輸出国の上位5か国集中度は2000年の72.4％から2009年は84.4％と上昇したが，全体的には80％前後の比較的高いレベルで推移している。

表13に日本の分野別コバルト需要量を示す。日本のコバルト需要量は，2008年には15,580tと2000年の1.5倍に増加したが，2009年の世界的金融危機を受け13,000tまで減少した。また，2010年は前年比300t増の13,300tが予想されている。2008年までの需要量増の主要因としては，リチウムイオン二次電池向け需要の急増が挙げられる。2000年の4,440tから2008年は10,820tと約2.4倍になり，日本のコバルト需要の約３分の２を占める大きな需要分野へと成長してきている。なお，2010年は，金融危機前の水準には回復しないまでも，二次電池需要の増加を軸に14,000tと予想されている。

2．価格

コバルトは2010年２月22日にLME（London Metal Exchange：ロンドン金属取引所）に上場されている。これについては，「市場が活性化する」「ヘッジ機能ができる」とポジティブに捕らえる声がある一方，「市場の規模が小さいため，ファンド等の動きによる影響が大きくなる（簡単に買い占められる）」という懸念の声も聞かれる。そのため，現状では大半の需要家はLMEの価格動向を観察している状態だと考えられる。よって一般的にはMetal Bulletin誌のコバルト地金のヨーロッパ倉庫渡し価格が指標として用いられている。

コバルトは，市場規模が比較的小さい（年間５万数千t），供給側の不安定性（政情不安のある国が主要生産国であり，かつ銅またはニッケルの副産物であるため急な増産ができない）等の理由から，投機筋の買い占めや米国備蓄物資放出時における高値応札等による価格操作を受け易いと言われている。

コバルト地金の価格は，1990年代半ばまでは，DRCの政情不安に反応してきたと言っても過言ではない。1977，1978年のシャバ紛争により約５倍（10 US $/kg弱→50 US $/kg弱）に，1991年の暴動による生産停止により約３倍（約20 US $/kg→60～70 US $/kg）に，価格は高騰した。また，1994年には同国の政情不安による減産だけでなく，他の主要生産者にも減産等があり，この時も約３倍（約20 US $/kg→60～70 US $/kg）に高騰した。その後，短期的に生産者のストライキ等はあったものの，価格はゆるやかに下がり続け，2002年頃には10 US $/kg台まで下落した。しかし，日本，中国

表13 日本の分野別コバルト需要量

（単位：純分t）

	2000年	2001年	2002年	2003年	2004年	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年(予想)
二次電池	4,440	4,200	5,300	7,300	8,400	8,700	8,750	9,400	10,820	9,100	9,800
特殊鋼	1,045	1,000	700	800	870	850	890	770	1,030	910	980
磁性材料	520	320	240	240	300	320	470	490	590	520	560
超硬工具	780	650	550	600	680	680	560	570	590	520	560
触媒	260	250	300	300	360	390	420	440	520	390	420
その他	1,655	1,780	2,310	1,760	1,990	2,010	2,140	2,250	2,030	1,560	1,680
消費量 合計	8,700	8,200	9,400	11,000	12,600	12,950	13,230	13,920	15,580	13,000	14,000

＜出典：特殊金属プロジェクト委員会報告書（特殊金属備蓄協会、国際鉱物資源開発協力協会） 他＞

Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

を中心にリチウムイオン二次電池の需要が増大し，供給不足となり，また，生産者のストライキも相まって，2003年後半から国際価格は急騰し，2004年初めには約60 US $/kgまで高騰した。更には，一時期落ち着いていたものの，2006年末から約2.8倍（約40 US $/kg弱→約110 US $/kg）に高騰し，2008年上半期には史上最高価格を更新した。また，2009年には，金融危機に伴う景気後退の影響等により，軟調に推移（40 US $/kg前後）し，現在も新規鉱山からの生産増を受け，ほぼ同じ水準で推移している。とはいえ，アフリカ諸国等の資源ナショナリズムの動きの活発化及び価格低迷，それに伴う鉱石・精鉱の供給不足傾向という状況を背景に，2003年以前よりは高いレベルで推移している。

3．用途

二次電池分野は，日本では最大の用途であり，2008年においては国内コバルト総需要の約３分の２を占めていると推定されている。二次電池では，コバルトはリチウムイオン電池，ニッケル水素電池，ニカド電池に使用されているが，特にリチウムイオン電池は他の電池よりコバルトの構成比率が大きくなっている（リチウムイオン16%，ニッケル水素４%，ニカド３%）。リチウムイオン二次電池は，高エネルギー密度の特性を持ち，携帯電話やノートパソコン等の小型・軽量化に大きく寄与している。

特殊鋼及び粉末冶金分野では，スーパーアロイ（超耐熱合金），超硬合金，高速度工具鋼等に使用されており，スーパーアロイは，1,000℃以上の高温にさらされるジェットエンジンやガスタービンの部材として使用される。また，超硬合金，高速度工具鋼は，高温環境下で高硬度の被加工物を切断・切削する切削工具として使用される。

磁石分野では，アルニコ磁石（コバルトとアルミ，ニッケル，鉄等の合金）等の鋳造磁石や，サマリウム・コバルト磁石等の希土類磁石を製造する原料として用いられている。これらのコバルト含有永久磁石は，高エネルギー密度，高温に強い等の特性を持ち，各種モーター，通信・計測・制御機器，音響機器の重低音スピーカー，小型ヘッドホン等に使用されている。

その他の需要分野では，ビデオテープ等に使用される磁性材料，石油精製・重油脱硫時の触媒，顔料等の化成品等が挙げられる。

4．生産・製錬

コバルトの製錬法を大別すると，①銅・コバルトの硫化鉱，酸化鉱からの製錬，②ニッケル製錬時の回収物からの製錬，③含コバルト黄鉄鉱からの製錬，がある。①の場合は，コバルトは銅の副産物であるが，この対象鉱物は不純物が少なく，銅・コバルトの分離は容易である。DRC及びザンビアではこの①の製錬法が用いられている。②の製錬法では，ニッケルとコバルトの化学的性質が非常に似ており，製錬技術も複雑で高度の技術から成るものである。例えば住友金属鉱山は，Coral Bay Nickelにおいて，HPAL法（高圧硫酸浸出）によりニッケル－コバルト硫化物を生成し，その硫化物を日本の同社工場に運搬して溶媒抽出を行い，ニッケル，コバルトを生産している。また，③の製錬法は，Outokumpu（現OMG）の鉱山から産出されていた含コバルト黄鉄鉱の製錬に用いられる。なお，これらの場合，コバルトはニッケルの副産物となっている。

このように，コバルトは銅またはニッケルの副産物として生産されている。副産物である故に，その生産量に自律性が働く余地が少ないと言えるのである。

5．資源

コバルト資源として採掘されているものは，DRC及びザンビアの堆積性層状銅鉱床（カッパーベルト），カナダ，豪州及びロシアの正マグマ性銅・ニッケル鉱床並びにキューバ，ニューカレドニア等の含ニッケル・ラテライト鉱床である。その他にキースラーガー型層状含銅硫化物鉱床（フィンランド），多金属硫化物鉱脈（モロッコ等）等がある。

表14に世界のコバルト埋蔵量を示す。世界のコバルト埋蔵量は7,302千tで，DRC及びザンビア（カッパーベルト）に3,670千t（約50.3%），カナダ，豪州及びロシア（銅・ニッケル鉱床）に1,800千t（約24.7%），キューバ及びニューカレドニア（含ニッケル・ラテライト鉱床）に870千t（約11.9%）存在しており，資源の偏在性は認められる。

上記の資源の中でも，南部アフリカのDRC・カタンガ州からザンビアにまたがるカッパーベルトは，延長500kmにも及び，その埋蔵量が膨大であること，銅品位の高いことから世界の銅生産において重要な位置を占めてきた。この銅鉱床にはコバルトが0.1 ～ 0.2%程度含まれ，銅生産の副産物としてコバルトも生産しており，鉱

表14　世界のコバルト埋蔵量

国 名	埋蔵量（純分千t）	
DRC	3,400	46.6%
豪州	1,400	19.2%
キューバ	500	6.8%
ニューカレドニア	370	5.1%
ザンビア	270	3.7%
ロシア	250	3.4%
カナダ	150	2.1%
ブラジル	89	1.2%
中国	80	1.1%
米国	33	0.5%
モロッコ	20	0.3%
その他	740	10.1%
合 計	7,302	

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

量も膨大であることから重要なコバルト資源となっている。

なお，ほかに，コバルト，マンガン，ニッケル等のレアメタルを豊富に含有するマンガン団塊，コバルト・リッチ・クラスト等の深海底鉱物資源も地球上には存在している。これらの資源はいずれも陸上資源に比べて桁違いの埋蔵量があるものと推定されているが，採掘・製錬コスト，環境問題等クリアしなければならないハードルは高いものがある。

6．まとめ

コバルトにおいては，未だ政情不安の絶えないDRCが埋蔵量及び鉱石生産国の世界１位となっており，これが供給面でのリスクとなっている。実際に，中国では原料（中間原料）のほぼ全量をDRCから輸入しており，それに加えて近年は，同国等の資源ナショナリズムの動きの活発化及び価格低迷，それに伴う鉱石・精鉱の供給状況が供給量を左右している状況になっている。一方，需要面では，金融危機に伴う景気後退の影響等で減となった後，リチウムイオン電池等二次電池向け需要及び航空機向けスーパーアロイ需要が今後どの程度回復していくかが大きな焦点となると考えられる。また，リチウムイオン二次電池及び燃料電池の代替となる非コバルト系電池の開発状況については注視していく必要がある。これら動向によって，将来の需給バランスが左右されるものと考えられる。

参考文献等

(1) World Nickel Statistics　国際ニッケル研究会
(2) World Bureau of Metal Statistics
(3) Mineral Commodity Summaries　U. S. Geological Survey
(4) 工業レアメタル ANNUAL REVIEW（2006 ～ 2010）アルム出版社
(5) 特殊金属プロジェクト報告書（平成17 ～ 19年度）㈳特殊金属備蓄協会
(6) 平成20年度特殊金属プロジェクト報告書　2010年３月㈶国際鉱物資源開発協力協会
(7) JOGMEC金属資源レポート　2010年１月号　南博志「コバルト及びモリブデンの需要・供給・価格動向等
(8) 日本鉱業協会「鉱山」

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

論説◆解説

特集：ガスタービンに使用しているレアメタル，レアアース

モリブデン，レニウムの需要・供給・価格動向等

濱井　昂弥[*1]
HAMAI Takaya

キーワード：モリブデン，レニウム，資源

【モリブデン】

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，潤滑用（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，表２に世界のモリブデン需給を示す。

世界のモリブデン生産量は，1999年から2009年まで，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鉄鋼特殊鋼用途が約70％を占めるため，その影響は非常に大きい），順調に増加してきた。なお，供給の寡占状況を表す世界の生産国上位５ヶ国の集中度は，2000年の87.5％から2006年は93.2％に上昇し，2010年には89.8%に下落しているが寡占度は依然高い傾向にある。

一方，需要は，2007年までは順調に増加してきたが，

表１　世界のモリブデン生産量

（単位：純分千t）

	2000年		2001年		2002年		2003年		2004年		2005年		2006年		2007年		2008年		2009年		2010年	
米国	41.1	31.9%	37.6	28.9%	32.6	26.5%	33.6	26.9%	41.5	29.4%	58.0	31.4%	59.8	32.5%	57.0	27.8%	55.9	25.6%	47.8	21.6%	56.0	23.9%
チリ	29.1	22.6%	33.0	25.4%	29.5	24.0%	30.0	24.0%	41.5	29.4%	47.7	25.8%	43.3	23.5%	44.9	21.9%	33.7	15.5%	34.9	15.8%	39.0	16.7%
中国	28.9	22.4%	28.2	21.7%	29.3	23.8%	30.6	24.5%	29.0	20.6%	40.0	21.6%	43.9	23.9%	59.8	29.2%	81.0	37.2%	93.5	42.3%	94.0	40.2%
ペルー	7.2	5.6%	7.5	5.8%	9.5	7.7%	9.6	7.7%	9.6	6.8%	17.3	9.4%	17.2	9.3%	16.7	8.1%	16.7	7.7%	12.3	5.6%	12.0	5.1%
カナダ	6.8	5.3%	7.0	5.4%	7.5	6.1%	7.5	6.0%	5.7	4.0%	7.9	4.3%	7.3	4.0%	12.0	5.9%	7.7	3.5%	8.8	4.0%	9.1	3.9%
メキシコ	6.9	5.3%	7.0	5.4%	3.4	2.8%	3.5	2.8%	3.7	2.6%	4.2	2.3%	2.5	1.4%	2.5	1.2%	7.8	3.6%	7.8	3.5%	8.0	3.4%
その他	9.0	7.0%	9.7	7.5%	11.2	9.1%	10.2	8.2%	10.0	7.1%	9.9	5.4%	10.0	5.4%	12.1	5.9%	15.2	7.0%	15.9	7.2%	15.9	6.8%
合　計	129.0	―	130.0	―	123.0	―	125.0	―	141.0	―	185.0	―	184.0	―	205.0	―	218.0	―	221.0	―	234.0	―
上位5ヶ国計	112.9	87.5%	112.8	86.8%	108.4	88.1%	111.3	89.0%	127.3	90.3%	170.9	92.4%	171.5	93.2%	190.4	92.9%	195.0	89.4%	197.3	89.3%	210.1	89.8%

＜出典：USGS　Mineral Commodity Summaries 2011＞

原稿受付　2011年６月８日

＊１　（独）石油天然ガス・金属鉱物資源機構　金属企画調査部
〒105-0001　港区虎ノ門２-10-１

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

表２　世界のモリブデン需給（地域別）

（単位：純分千t）

	2001年	2002年	2003年	2004年	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年
供給　合計	130.0	123.0	125.0	141.0	185.0	184.0	205.0	218.0	221.0	234.0
欧州	49.3	49.9	53.5	57.6	59.4	61.7	61.7	59.9	41.7	49.9
米国	32.6	31.8	32.7	34.4	38.1	39.9	39.9	38.6	25.4	32.7
日本	23.6	23.6	23.6	27.2	28.1	29.0	29.9	29.5	20.4	24.0
その他	22.5	22.7	23.6	24.3	26.6	29.0	31.8	30.8	24.9	31.8
需要　合計	128.0	128.0	133.4	143.5	152.2	159.6	163.3	158.8	112.4	138.4

＜出典：USGS　Mineral Commodity Summaries 2011、経済産業省＞

2008年は総需要量約158.8千tで前年比約7.0％減となった。2009年も，鉄鋼特殊鋼用途での日米欧のモリブデン需要量の回復は遅れ，総需要量は約30％も減少して約112.4千tとなったが，2010年には景気回復にあわせ約140千tと需要は持ち直した。

モリブデンは，世界生産の８割以上（中国を除く）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ていることによる焙焼能力の不足と偏在の問題は，2007，2008年の設備拡張により今のところ解消しているが，将来，需給の量が更に伸びていく場合，供給面でマイナスの影響を及ぼす一つの要素となる可能性がある。

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・銅減産等による減産，ステンレス鋼等の生産増に伴う需要増が認められる。近年では，他の鉱種と同様，政策動向も含めて，中国の影響が大きくなっている。

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（FeMo：鉄とモリブデンの合金），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モリブデ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。

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 Creek75％，双日25％）１件のみである。ただし，銅への出資ではあるが，銅バ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（JX日鉱日石金属15％，三菱マテリアル10％，丸紅8.75％，三菱商事５％，三井物産1.25％），チリ・Collahuasi（三井物産7.43％，JX日鉱日石金属3.6％，三井金属鉱業0.97％），ペルー・Antamina鉱山（三菱商事10％），カナダ・Huckleberry鉱山（三

表３　過去のモリブデンの供給障害

時　期	事　例	障害状況
1967.7-12 （6ヶ月間）	米国：産銅大手Climaxのスト	供給減少
1987	米国：Amax及びCyprus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	世界的な銅バイプロ鉱山の減産	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）
2006.1-2007.5	中国：輸出抑制政策の強化懸念 南米：銅バイプロ鉱山の減産による供給不足傾向	国際価格が約1.5倍に高騰 （緩やかに値を戻した）

＜出典：日本メタル経済研究所報告書　等＞

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

表４　主要対日輸出国

（単位：純分換算t）

	2000年		2001年		2002年		2003年		2004年		2005年		2006年		2007年		2008年		2009年	
チリ	8,962	38.0%	7,671	32.4%	8,514	37.6%	7,866	31.2%	12,660	44.5%	13,590	44.8%	13,165	43.1%	14,150	47.6%	13,112	44.5%	12,239	56.3%
米国	3,179	13.5%	2,176	9.2%	1,089	4.8%	1,455	5.8%	2,395	8.4%	2,286	7.5%	2,995	9.8%	3,397	11.4%	4,718	16.0%	3,949	18.2%
メキシコ	2,480	10.5%	2,611	11.0%	2,760	12.2%	3,733	14.8%	2,991	10.5%	3,587	11.8%	3,930	12.9%	3,512	11.8%	2,890	9.8%	1,891	8.7%
中国	5,167	21.9%	6,706	28.3%	5,324	23.5%	7,032	27.9%	5,171	18.2%	4,661	15.3%	4,576	15.0%	3,141	10.6%	2,389	8.1%	378	1.7%
カナダ	1,676	7.1%	1,971	8.3%	2,394	10.6%	2,275	9.0%	2,042	7.2%	2,445	8.1%	2,687	8.8%	2,178	7.3%	1,965	6.7%	1,523	7.0%
その他	2,104	8.9%	2,547	10.8%	2,567	11.3%	2,830	11.2%	3,161	11.1%	3,797	12.5%	3,168	10.4%	3,331	11.2%	4,362	14.8%	1,741	8.0%
合　計	23,568	―	23,682	―	22,648	―	25,191	―	28,420	―	30,366	―	30,521	―	29,709	―	29,436	―	21,721	―

＜出典：貿易統計より JOGMEC 換算＞

菱商事31.25％，DOWAメタルマイン6.25％，古河機械金属6.25％，丸紅6.25％）等が挙げられる。

なお，日本におけるリサイクルの現状を定量的に把握した統計は存在しないが，鉄鋼・特殊鋼分野では，工場内でのスクラップはほぼ全量回収されているほか，使用済み製品となった鋼屑からも割合は不明だが回収されている。その他，触媒分野でもほとんどが回収されているほか，金属モリブデンでは，照明器具材料製造用等の製品から分離できる場合にはほとんど全て回収されている。

２．価格

価格に関しては長らく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たが，2010年２月22日にLME（ロンドン金属取引所：London Metal Exchange）に上場した。LME上場後間もないことから，ここではそれまでの価格動向について記載する。

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 US $/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 US $/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 US $/kgを下回り，低迷状態に戻ることとなった。しかし，2002年半ばに，銅バ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 US $/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 US $/kg台まで高騰。更に，2004年から2005年にかけては，史上最高価格を更新し60 ～ 80 US $/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付かず，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島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。その後，2006年に入り若干沈静化し，50 US $/kg台まで下落したものの，中国の輸出抑制政策強化の影響及びそれに関する懸念，南米の銅バイプロ鉱山の減産による供給不足傾向（チリ・CODELCOの国内の低品位鉱床の採掘による生産量減も含む）等により緩やかに上昇，2008年には70 US $/kg台まで値を戻した。2008年10月以降は，金融危機に伴う景気後退の影響等により，価格も20 US $/kg前後まで大きく下落したが，2009年第２四半期に入り，鉄鋼特殊鋼用途での日米欧の需要の回復は遅れているものの，中国の需要が堅調で価格は回復した。

３．用途

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80％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

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

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，これら需要の内，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無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。

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（FeSi：鉄とシリコンの合金），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。

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，更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，Ca（Mo,W）O_4），水鉛華（Ferrimolybdite，$Fe_2O_3 \cdot 3MoO_3 + 8H_2O$），藍水鉛鉱（Ilsemannite，$MoO_3 \cdot nH_2O$），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％，銅バイプロ鉱山の鉱床で0.02～0.08％である。

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		2010年生産量（千t）
米国	Freeport McMoRan Copper & Gold	Henderson	P	13.6
		Sierrita	C	8.2
		Bagdad	B	5.4
	Kennecott (Rio Tinto)	Bingham Canyon	B	11.3
	Thompson Creek	Thompson Creek	P	9.0
	その他			0.3
	計			47.8
チリ	CODELCO	Codelco Norte、Andina	B	22.7
	Antofagasta、日鉱金属、三菱マテリアル 他	Los Pelambres	B	12.2
	計			34.9
ペルー	BHP Billiton、Xstrata、Teck、三菱商事	Antamina	B	5.4
	計			12.3
カナダ	Thompson Creek、双日	Endako	P	4.5
	計			8.8
合　計				221.0

＜出典：経済産業省　他＞

Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

表6　フェロモリブデン生産者

国名等	会 社 名	想定される生産量(t)
中国	計	32,000
イギリス	Climax Molybdenum	6,820
	FMP Metallurgical	3,410
	計	10,230
ベルギー	Sadaci	6,200
米国	Thompson Creek	1,800
	Shieldalloy	2,500
	Bear Metals and Alloys	1,240
	計	5,540
チリ	Molymet	5,000
韓国	Korvan	3,600
	Woojin	2,250
	計	5,850
日本	妙中鉱業	3,000
	太陽鉱工	2,500
	計	5,500
アルメニア	Yereven Pure Iron Plant	1,500
	Armenian Molybdenum	3,000
	計	4,500
ロシア	Soyuzmetal	10,600
インド	計	1,650
カナダ	Aimcor	650
合　計		119,340

＜出典：経済産業省＞

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。

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，モリブデンを銅のバ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Chuquicamata鉱 山 やEl Teniente鉱山，チリ・Antofagasta他のLos Pelambres鉱山，米国・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（鉱山では米国・Freeport McMoRan Copper & Gold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他のEndako鉱山）に多く存在する。

表7　世界のモリブデン埋蔵量

国 名	埋蔵量(千t)	
中国	4,300	43.7%
米国	2,700	27.5%
チリ	1,100	11.2%
ペルー	450	4.6%
ロシア	250	2.5%
アルメニア	200	2.0%
カナダ	200	2.0%
モンゴル	160	0.3%
メキシコ	130	1.3%
カザフスタン	130	1.3%
キルギス	100	1.0%
ウズベキスタン	60	0.6%
イラン	50	0.5%
合 計	9,830	

＜出典：Mineral Commodity Summaries＞

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（全国合計で輝水鉛鉱：１万t程度を産出）がかつて稼行していたが，現在は全て休山状態である。

6．まとめ

モリブデンは，世界生産の８割以上（中国を除く）が銅生産の副産物として生産されるという特殊性がある。一方，最大需要分野である鉄鋼・特殊鋼分野において，代替性が無いため，需給両面でリスクがある鉱種と言える。

また，他の鉱種と同様に，金融危機に伴う景気後退の影響等により，鉄鋼・特殊鋼分野での需要量が日米欧を中心に大きく落ち込んでいる。また，新規プロジェクトや既存鉱山の拡張計画も相次いで延期・無期限延期・中断に追い込まれており，中長期的には世界経済が回復し需要が増加した際に供給側が対応できるかどうかが焦点となってくる。

なお，中国は既に純輸入国となっており，かつ，近年は同国における輸出抑制政策の実施，鉱山の操業停止（事故，環境問題，政策上の理由）等が価格高騰の原因の一つとなっている。したがって，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。

参考文献等

(1) World Metal Statistics Yearbook 2011　World Bureau of Metal Statistics

(2) Mineral Commodity Summaries　U. S. Geological Survey

(3) 工業レアメタル ANNUAL REVIEW（2006 ～ 2009）アルム出版社

(4) JOGMEC金属資源レポート　2006年９月号　南博志「コバルトの需要・供給・価格動向等」

(5) JOGMEC金属資源レポート　2006年11月号　南博志「モリブデンの需要・供給・価格動向等」

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

【レニウム】

レニウムは，融点がタングステンの次に高く，弾性率も高く高温でも強度を失わず，クリープ性が低いという特性から，耐熱用スーパーアロイとして航空機用エンジンのタービンブレードや，無鉛ガソリン製造時の改質反応触媒として使用されている。

1．需要・供給

1.1　世界の需給状況

表８に世界のレニウム生産量を示す。

レニウムの需要は用途全体の６割以上と言われている飛行機のジェットタービンブレード用耐熱合金用の需要動向に大きく影響を受ける。航空機需要はリーマンショックに端を発した世界景気後退の影響を受け，足元まで冷え込んでおり，2012年以降にならなければ需要の回復が見込めないとの見方が強い。

供給面では，今後の需要増に生産量が対応できるかが課題となっている。チリのCODELCO社は，モリブデン生産の際にレニウムを回収しないことが多いが，世界のモリブデン製造設備でレニウム回収手段を備えていないところが回収を始めると，年に約12t程度のレニウム増産が可能との見方もある。

1.2　日本の需給状況

日本におけるレニウム需要の主力は，ガソリン製造の改質触媒であったが，1980年代半ばに触媒連続再生プロセスが開発されて以来，レニウムの消費量は減少傾向にある。なお，電子部品関連では，ヒーター用耐熱材にタングステン・レニウム合金が生産されていたが，生産の主体が韓国などに移行し，国内での生産はかなり減少している。

2．価格

金属レニウムの価格は，2007年から2008年にかけてカザフスタンの輸出停止問題で，ここ30年では最高の10,000ドル/kgを超える水準まで高騰した。しかし，その後主要用途である航空機の需要が低下し，それによる価格下落が続いており，2011年６月現在で3,000 ～ 4,000ドル/kg台で推移している。

3．用途

レニウムの主な用途は，耐熱Ni 基スーパーアロイ，ガソリン用アルミナ担持触媒，レニウム化合物などで，高融点，高強度，高耐食性，電気抵抗特性，タングステンへの少量添加による特性改善などから，国内での用途は，主にタングステン・レニウム合金として耐震用電球，高温用熱電体などの電子部品に用いられる。

レニウム合金（タングステン・レニウム）は，医療用Ｘ線管ターゲット，テレビのカソードヒーターワイヤ線，自動車用特殊耐震電球フィラメントなどに用いられている。

金属レニウムは熱的特性を生かし熱交換器など化学プラント部品に使われているほか，最近では，超硬工具用タングステンやモリブデン合金にレニウムを添加することで特性向上を図ることも検討されている。

ガソリン製造では，アルミナ担体に白金とレニウムを担持した触媒が無鉛ハイオクタン価ガソリン製造の接触改質触媒に使われているが，1980年代半ばに触媒連続再生プロセスが開発されて以来，レニウムの触媒市場は漸減傾向にある。しかし，2005年頃から天然ガスを原料に合成された環境対応の新規な液体燃料であるGTL（ガス・ツー・リキッド）用の合成触媒への需要が出現した。シェルやエクソン・モービルなどが大規模設備を建設している。

1998年頃から航空機用や産業用のガスタービンブレードへのレニウム合金の利用が増加してきた。エネルギーの高騰と温暖化対策を狙ったコンバインドサイクルと呼ばれる複合型の高効率火力発電タービンへの需要は，今後も増加することが見込まれる。また，2008年ごろには火力発電と同様な理由で，航空機用ジェットエンジンの燃焼率向上に向けた需要が増加したが，リーマンショックによる航空不況によって需要は大きく後退した。

4．代表的な製造法

モリブデン精鉱に随伴する硫化レニウム（ReS_2 またはRe_2S_7）は，モリブデン精鉱の酸化焙焼時に酸化揮発し，SO_2 ガス相に移行するが，ガス洗浄時に液中に溶解する。この溶液から直接イオン交換によって濃縮し，アンモニア性溶液で逆抽出し，過レニウム酸アンモニウム

表８　世界のレニウム生産量

（単位：純分千t）

	2004年		2005年		2006年		2007年		2008年		2009年		2010年	
チリ	18,100	49.3%	20,500	44.7%	19,800	41.9%	22,900	44.9%	27,600	48.8%	25,000	54.1%	25,000	52.1%
米国	5,900	16.1%	7,100	15.5%	8,100	17.2%	7,100	13.9%	7,900	14.0%	5,580	12.1%	6,000	12.5%
ペルー	5,000	13.6%	5,000	10.9%	5,000	10.6%	5,000	9.8%	5,000	8.8%	5,000	10.8%	5,000	10.4%
カザフスタン	2,600	7.1%	8,000	17.4%	8,000	16.9%	7,700	15.1%	7,700	13.6%	3,000	6.5%	2,500	5.2%
カナダ	1,700	4.6%	1,700	3.7%	1,700	3.6%	1,700	3.3%	1,600	2.8%	1,800	3.9%	1,800	3.8%
ロシア	1,400	3.8%	1,400	3.1%	1,400	3.0%	1,500	2.9%	1,500	2.7%	1,500	3.2%	1,500	3.1%
その他	2,000	5.4%	2,200	4.8%	3,200	6.8%	5,100	10.0%	5,200	9.2%	4,320	9.4%	6,200	12.9%
合　計	36,700	―	45,900	―	47,200	―	51,000	―	56,500	―	46,200	―	48,000	―

＜出典：USGS　Mineral Commodity Summaries 2011＞

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

（APR）として晶出させる方法，及びいったん硫化沈殿として濃縮した後，酸抽出後アンモニア性溶液で中和し，APR として晶出させる方法がある。図１に金属レニウム粉末の製造工程図を示す。

5．資源

レニウムを単独で含有する鉱石は無く，様々な希土類鉱物及び鉱石に微量含有する。レニウムは主に，銅，モリブデンに多く含まれるため，それらの生産量がレニウムの回収量に影響する。

世界のレニウム資源は，アメリカ，チリ，ペルーのほか，アルメニア，中国北西部，イラン，カザフスタン，ロシア，ウズベキスタンなどの主として斑岩銅鉱床のモリブデナイト中に存在する。表９に世界のモリブデン埋蔵量を示す。

6．その他

6.1　代替・リサイクル状況

レニウム製品のうちで，接触改質用触媒は，石油精製プラントで無鉛・高オクタン価ガソリン製造用に反応塔に充填して用いられ，充填時とほぼ同様の量が抜き出される。使用済み触媒から，溶解・加水分解などによって酸化レニウム，過レニウム酸アンモニウムとしてリサイクルされる。

使用量の多いスーパーアロイの合金くずは，工程内でリサイクルされていると考えられるが，製品回収量は不明である。電子部品材料は，現在のところリサイクルされていない。

レニウム製品の使用量では，スーパーアロイ向けのニッケル・レニウム合金や，電子部品向けのタングステン・レニウム合金などが増加すると考えられるが，リサイクルの実現が課題となる。

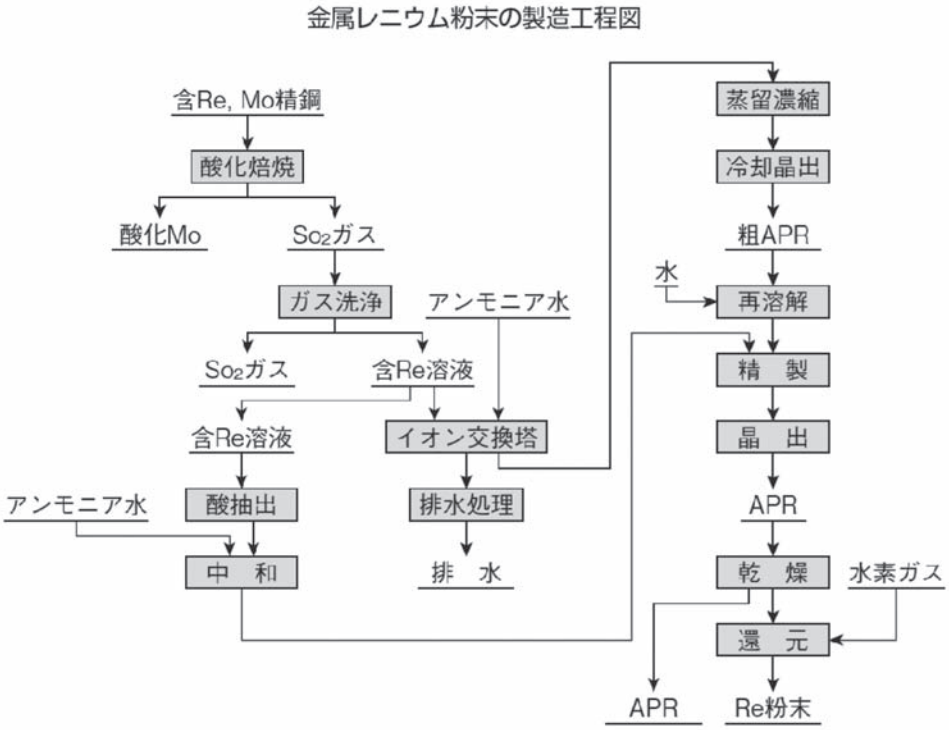
6.2　最近のトピックス

レニウムの最大市場は航空機用ジェットエンジン部材への添加で，2007年までGEなどにおける生産が好調で，価格高騰を招いたが，2008年後半の世界同時不況の影響で航空機生産が急落，レニウム価格も下落した。しかし，レニウムを添加したジェットエンジンの特徴は，耐熱性の向上による高温特性の改善によって大幅な低燃費化を図ることが可能になるほか，窒素酸化物の排出が削減で

表９　レニウムの埋蔵量

国 名	埋蔵量(t)	
チリ	1,300	52.0%
米国	390	15.6%
ロシア	310	12.4%
カザフスタン	190	7.6%
アルメニア	95	3.8%
ペルー	45	1.8%
カナダ	32	1.3%
その他	91	0.3%
合 計	2,500	

＜出典：Mineral Commodity Summaries 2011＞



＜出典：レアメタルハンドブック2010＞

図１　金属レニウム粉末の製造工程図

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

きる。さらに，レニウムはクリープ性が強く，急激な温度変化でもエンジン部材構造を維持できる特性を有している。ニッケル基合金に３～６％添加することによって，エンジン特性が大きく改善することから航空機市場の回復にともなって，エンジン向けの需要が回復することが見込まれている。

一方，供給側の話題として2009 年12月１日にチリのCODELCO Norte ディビジョンは，Chuquicamata レニウム製錬所での生産を再開するためのプラント改修に係る環境影響評価報告書を提出した。同製錬所では1991～1996年の間，レニウムを生産していたが，レニウム市況低迷から生産を停止していた。同社によると，2009年に入りレニウム価格が3,300ドル／kgに上昇するなど，市況改善を受けて再開が決定された。

レニウムは，現在操業中のモリブデン焙焼プラントの排ガスから回収されるもので，環境影響評価報告書が承認されると2010年第２・四半期から操業再開の計画で，レニウム地金を年産2.1t生産することを見込んでいる。なお，2022年以降の年産量は2.8tと想定している。いずれにしろ，チリ国内のレニウム生産量が世界生産のほぼ５割を占める状況はここ10年来変わりがないが，今後も続くものと思われる。

エアバス社が公表した最新の航空機市場予測では，2010年から2029年にかけてアジアにおける低コスト航空会社の拡大，市場自由化の進展，既存路線の航空交通量の増加等の理由により，約26,000機の新造旅客機及び貨物機が必要になると予想されている。長期的な視点では，安定的な需要が見込まれる。

参考文献等

(1) Mineral Commodity Summaries　U. S. Geological Survey

(2) JOGMEC レアメタルハンドブック2010

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

論説◆解説

特集：ガスタービンに使用しているレアメタル，レアアース

ガスタービンに使用するレアメタル（レアアース，タングステン）の動向

廣川　満哉[*1]
HIROKAWA Mitsuya

キーワード：レアアース，タングステン，中国

はじめに

ガスタービンは，強度や耐熱性や耐摩耗性に優れた材料である種々のレアメタルの合金で，いわば「レアメタルの塊」である。中国の輸出規制問題で話題となったレアアースもタービン翼の材料として数%使用されている。また，タングステンは，融点が金属の中で最も高いという特性を生かして，タービン翼本体のほか，ロータや燃焼器にも使用されている。

ここでは，レアアース及びタングステンの需給動向や価格動向とそれらを巡る資源の現状について述べる。

Ⅰ．レアアースについて

1．レアアースの概要

レアアース（希土類）とは，元素周期律表第Ⅰ族に属する原子番号57番から71番のランタノイド15元素（ランタン〈La〉，セリウム〈Ce〉，プラセオジム〈Pr〉，ネオジム〈Nd〉，プロメチウム〈Pm〉，サマリウム〈Sm〉，ユウロピウム〈Eu〉，ガドリニウム〈Gd〉，テルビウム〈Tb〉，ジスプロシウム〈Dy〉，ホルミウム〈Ho〉，エルビウム〈Er〉，ツリウム〈Tm〉，イッテルビウム〈Yb〉，ルテチウム〈Lu〉）に，同じ第Ⅰ族の21番のスカンジウム〈Sc〉及び39番のイットリウム〈Y〉の2元素を加えた17元素の総称である。

レアアースは，1794年にフィンランドの学者J.Gadolinが，1787年に発見されていた新しい鉱物中に未知の元素の酸化物の“新しい土”を発見し，それを“希な土 → rare earth”と名付けたことが語源となっている。この酸化物は1797年にイットリヤと名付けられ，また，1803年には同じくスウェーデンでセリヤと呼ばれる新しい土が発見された。これらの新しい土は，最初のうちはそれ自体純粋な元素の酸化物と考えられていたが，その後の研究の結果，実はそれぞれ非常に化学的性質の似ているいくつかの元素の混合物であることがわかってきたので，このような化学的性質の似ている一群の元素を総称して「レアアース（希土類）」と呼ぶようになったものである。なお，研究によりレアアースの個々の元素がすべて発見されたのは20世紀半ばであり，最初の発見から約150年の歳月を要している。

レアアース元素は，それぞれの化学的性質が類似しており，高融点で熱伝導性が高い。また，原子核を周回する電子の軌道が特殊なため他の金属にはない独特の機能を発揮する。そのため，用途は，永久磁石（希土類磁石），ガラス研磨剤・添加剤，触媒，蛍光体等と幅広く，最先端産業，特に日本の技術優位性を生かしているハイテク産業分野で用途が拡大している。

また，レアアース17元素は，その発見された経緯や元素ごとに分離する際の状況によって，軽希土（ランタン，セリウム，プラセオジム，ネオジム）と中重希土（サマリウム，ユーロピウム，ガドリニウム，テルビウム，ジスプロシウム，イットリウムなど）に分類されている。

2．レアアースの需要・供給

2.1　世界の需給状況

図1と表1に世界のレアアース供給の推移を示す。

世界のレアアース生産は，その90%以上を中国が占めており，この供給寡占状況は近年ますます強まり，2009年には97%を占めている。特に，西側最大のレアアース鉱山であったアメリカ・Mountain Pass鉱山が環境問題等により1998年に生産量を大きく減少させた（2002年休止）ことにより，中国による寡占は加速度的に進んだ。このように，レアアースは，タングステンと同様に，圧倒的な生産シェアを持つ中国の動向が世界の動向に大きく影響を及ぼすという異例の供給構造となっている。従って，中国以外の供給源を求める動きが世界で様々に行われている。今後開発が期待されるプロジェクトとしては，オーストラリア・Mt.Weldプロジェクト（Lynas社），カナダ・Thor Lakeプロジェクト（Avalon Ventures社）があり，また，アメリカ・Mountain Pass鉱山も再開予定である。

世界全体の生産量は，2005年まで中国の生産増によりほぼ単調増加の傾向にあったが，2005年以降は，中国の

原稿受付　2011年6月1日
＊1　独立行政法人　石油天然ガス・金属鉱物資源機構
〒105-0001　港区虎ノ門2-10-1

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

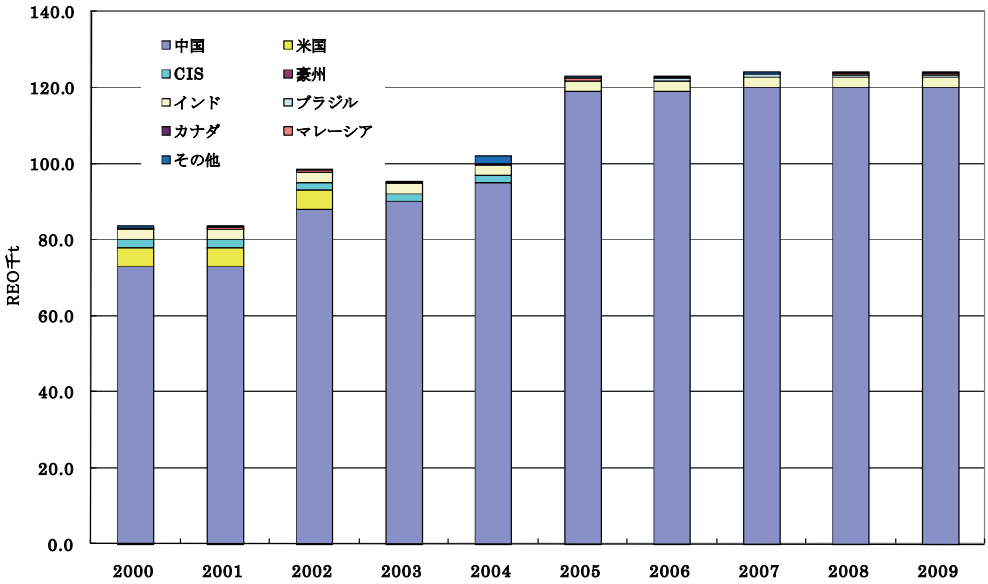


図１　レアアース鉱石の生産国推移

生産量は横ばいで推移したことから，世界の生産も伸びていない。中国国内最大のレアアース鉱山は内蒙古自治区にある包頭の白雲鄂博（Bayan Obo）鉱山で，軽希土を中心に生産し，現在世界で生産されるレアアースの約40％を供給している。一方，需要面では，ネオジム・鉄・ボロン（Nd-Fe-B）磁石の需要が日本，中国を中心に伸びており，特にハイブリッドカーや電気自動車など次世代自動車向けが急増傾向にある。

圧倒的な生産シェアを持つ中国では，レアアースを国家戦略物資と位置付け，この重要な国内資源を守り，内需を優先し，さらには輸出の高付加価値製品へのシフト（国内で加工度の高い製品にして輸出する）を推進するために，様々な政策を実施している。具体的には，外国企業や合弁企業（中国企業と海外企業）のレアアース産業への参入の禁止＜2002年＞，輸出増値税還付制度の撤廃＜2004年に鉱石について撤廃，2005年に酸化物について撤廃＞，委託加工貿易の禁止＜2005年，「海外から鉱石を中国に持ち込んで中間製品に加工して輸出する貿易」を禁止＞，輸出税の段階的増税＜2006年から鉱石・酸化物について10％，2007年から金属に10％課税，2008年から15～25％へ増税＞，2011年資源税大幅増税及び輸出許可枠の削減＜近年では毎年削減＞を実施してきている。これらの中国の動向は世界の需給・価格動向に多大なる影響を及ぼしており，特に日本をはじめとするレアアース消費国にとってはレアアース安定供給における最大の懸念材料となっている。

また，Nd-Fe-B磁石の需要増により，ネオジムのみならず，添加されることによってその高温域での保磁力・磁束密度を高める性質を有するジスプロシウム及びテルビウムの重要度が増してきている。これら２元素は中重希土類であり，中重希土類の量が多く含有されているのは，現在では中国華南地域で生産されるイオン吸着型鉱床（江西省，湖南省，広東省，福建省等に散在している）のみである。従って，新たな鉱山開発として最も期待されているのは，中重希土類に富む鉱床の鉱山開発である。

表１　レアアース鉱石別生産量の推移

単位：REO千t

		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2009比	09/00比
鉱石生産	中国	73.0	73.0	88.0	90.0	95.0	119.0	119.0	120.0	120.0	120.0	97%	164%
	バストネサイト	61.7	52.4	66.6	68.5	64.0	71.6	76.6	69.0	66.0			
	モナザイト	1.5	2.9	3.0	2.6	4.3	6.0	10.9	6.8	22.5			
	イオン吸着鉱	9.8	17.7	18.5	18.9	26.7	41.4	31.5	45.0	36.0			
	米国	5.0	5.0	5.0	－	－	－	－	－	－	－	－	－
	CIS	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	－	－	－	－	－	－	－
	豪州	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
	インド	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2%	100%
	ブラジル	0.2	0.2	－	－	－	－	0.7	0.7	0.7	0.7	1%	325%
	カナダ	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	
	マレーシア	0.3	0.5	0.5	0.3	0.3	0.8	0.2	0.2	0.4	0.4	0%	152%
	その他	0.4	0.2	0.1	0.0	2.1	0.6	0.4	0.4	0.3	0.3	0%	77%
	合計	83.5	83.5	98.3	95.0	102.0	123.0	123.0	124.0	124.0	124.0	100%	149%

出典：Roskill 2007、USGS等から作成、REOは酸化物換算量（Rare Earth Oxide）
注）中国の生産内訳2006年まではRoskill、2007年以降は北京中色再生金属研究所（USGSによる生産120tとほぼ一致）

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

2.2　日本の需給状況

日本は，レアアース全量を，酸化物，塩化物等の化合物，合金，金属の形態で輸入している。2009年の輸入量は，世界金融危機の影響を受けて，19,290t と前年に比べて大幅に減少したため，過去の輸入量と比較するには不適当と考え，2008年と1999年のレアアースの主要対日輸出国を比較した（表２）。輸入総量は，20,970tから35,327tと10年間で約68%増加している。また，生産における中国への寡占状況と同様に，中国1か国への集中度が1999年の72.4％から2008年は89.0％とより一層高まっており，日本の中国への直接的依存度はかなり進行している状況となっている。フランスから直接輸入の大部分は，中国からの原料の中間産物と推定され，その分を中国輸入分に含むと1999年93.4%，2008年93.8%となり，さらに依存度が上がることになる。

表３に日本のレアアース品目別需要を示す。日本のレアアース需要においては，前述のとおりNd-Fe-B磁石の需要（ネオジム，ジスプロシウム，テルビウム）が好調であるほか，光学ガラス（ランタン），フラットパネルディスプレイ関連（ガラス研磨剤：セリウム，蛍光体：セリウム，イットリウム他）及び自動車排ガス浄化触媒（ランタン，セリウム）が堅調で，今後も需要を牽引していくと期待されている。また，今後需要の伸びが期待できる分野として，Nd-Fe-B磁石以外に水素吸蔵合金（ハイブリッド電気自動車搭載のニッケル水素二次電池向け）や石油精製用接触分解触媒を挙げている予測も見られる。将来的には磁気冷凍技術の進展によりランタン，ガドリニウム，エルビウムの需要増も予想される。いずれにせよ，需要はさらに拡大していくと考えられる。

使用済み製品からのレアアースのリサイクルは，コスト面の理由からほとんどなされていない。ただし，ニッケル水素二次電池の分野では大部分の電池が回収されており，この中でニッケルだけでなくレアアースもある程度の量がリサイクルされていると考えられるが，この部材リサイクル率は企業秘密とされている。また，製造工程の発生屑からのリサイクルについては，Nd-Fe-B磁石の分野で行われている。磁石メーカーにおける工程屑の約50％は，磁石組成合金のメーカーが有償で買い取ってリサイクルしているが，残り約50％は海外に輸出されリサイクルされている。また，近年では磁石組成の多様化に伴いリサイクルの困難さが増してきているという問題もある。これらを踏まえると，日本としては経済性のあるリサイクルプロセスの開発・整備が今後のレアアースのリサイクルにおける課題として挙げられる。なお，国内Nd-Fe-B磁石メーカーのうち，唯一，信越化学工業だけが組成合金からの一貫生産を行っており，日立金属（旧NEOMAX：2007年４月１日に親会社であった日立金属が吸収合併）とTDKは組成合金を外部から購入している。また，組成合金のメーカーとしては三徳，昭和電工，住金モリコープがある。

表２　レアアース主要対日輸出国の推移

国 名	2008年（酸化物量t）	
中国	31,451	89.0%
フランス	1,712	4.8%
エストニア	1,220	3.5%
アメリカ	131	0.4%
その他計	813	2.3%
合 計	35,327	

国 名	1999年（酸化物量t）	
中国	15,185	72.4%
フランス	4,411	21.0%
台湾	570	2.7%
エストニア	411	2.0%
インド	194	0.9%
その他計	199	0.9%
合 計	20,970	

＜出典：財務省貿易統計よりJOGMEC換算＞

表３　レアアース品目別別国内需要の推移

単位：REO t

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
イットリウム	520	360	380	500	500	1,000	1,600	1,750	1,670	580
ユーロピウム	20	14	15	15	14	14	40	40	44	18
ランタン	900	600	700	900	1,000	1,800	2,200	3,300	3,300	2,450
セリウム	7,000	6,000	6,000	5,500	5,700	10,300	14,800	16,100	16,100	9,300
ミッシュメタル	2,000	1,300	1,200	1,200	1,700	2,400	2,800	2,900	2,800	3,200
サマリウム[2)]	200	120	120	120	100	100	100	100	100	70
ジジム+ネオジム[3)]	2,700	1,800	1,900	2,100	2,700	5,700	6,500	7,100	7,000	4,200
その他希土	350	280	290	320	350	1,000	1,000	1,100	1,050	700
合計	13,690	10,474	10,605	10,655	12,064	22,314	29,040	32,390	32,064	20,518

出典：新金属協会
注1）2005年以降新金属協会会員以外の需要を考慮した
注2）酸化サマリウムは出荷済み磁石不良品等からの回収量を含む
注3）酸化ネオジムは2005年以降ジジム（NdとPr混合物）を含む

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

3．レアアースの価格

レアアースの価格は，1980年代まで，限られた数の生産者のもとで安定的に推移してきた。しかし，1980年代に入ってから中国が参入，その中国では1990年代まで乱立した鉱山企業や分離・製錬メーカーが無秩序に乱売競争をくり返し，圧倒的な安値での輸出を続け，その輸出量を増加させてきた。このため，価格は低迷し，ほとんどの西側企業が撤退に追い込まれることとなった。2000年代に入ってからは，中国の資源保護・内需優先の政策実施，Nd-Fe-B磁石等の需要増により，上昇し，2005年に入ってからはNd-Fe-B磁石関連する元素（品目）の価格が高騰した。

レアアースに関する国際的な価格決定機構は存在しない。他の多くのレアメタルにおいてその掲載価格が指標として用いられているMetal Bulletin誌及びMetals Week誌にも，レアアースの価格は掲載されていない。実際の取引価格は，需給動向を鑑みて需要側と供給側の相対取引で決まっているものと思われる。実際の取引価格は不明であるが，我が国の輸入価格でその推移がわかる。2006年～2010年の元素毎の輸入価格の推移を図2に示す。

レアアースは各元素が同時に採掘されるため，元素により品位のばらつきはあるもののバランスして採掘されるという特徴がある。そのため，一部の元素の需要が増大しても，他の元素は残ってしまう場合がある。従って，このことにより元素によって価格差が生じ，価格動向もそのときの需要動向により変化する。

個別元素の価格動向を見ると，Nd-Fe-B磁石関連品目である金属ネオジム，ジスプロシウムの価格は，Nd-Fe-B磁石需要増の影響で2006年～2008年にかけて徐々に上昇したが，2009年には需要減を反映して下落傾向となった。2009年後半～2010年になると中国政策動向と需要増に対応して価格上昇に転じた。2010年7月以降，中国の輸出規制を受けて，価格が急騰し，2010年11月時点，元素によっては5倍以上となった。その後も価格上昇は続いており，2011年5月時点ではネオジムは200$/kg以上，ジスプロシウムは700$/kg以上まで高騰している。

4．レアアースの用途

表4にレアアースの主要用途を示す。レアアース各元素は様々に使用され，それらの用途は多岐にわたっている。

現在，最も注目されている用途は，Nd-Fe-B磁石である。Nd-Fe-B磁石は，その名のとおりネオジム、鉄，ホウ素を主成分としており，永久磁石のうちでは最も強力とされている。現在のところ，同じ性能を発現できる代替材料は実用化されていない。また，ジスプロシウム及びテルビウムも，添加されることによってNd-Fe-B磁石の高温域での保磁力・磁束密度を高める性質を有しているので重要度が増してきている。Nd-Fe-B磁石の日本における需要で最も多いとされているのはHDD（ハードディスクドライブ）向けで，磁気ヘッドの位置決めに用

表4　レアアースの主要用途

分類	レアアース等	主要用途
軽希土	ランタン（La）	光学レンズ、セラミックコンデンサー、触媒、蛍光体
	セリウム（Ce）	ガラス研磨剤、触媒、UV カットガラス、ガラス消色剤
	プラセオジウム(Pr)	Nd 焼結磁石、セラミックタイル発色剤（黄色）
	ネオジム（Nd）	Nd 磁石（焼結及びボンド）、セラミックコンデンサー
	サマリウム（Sm）	SmCo 磁石（焼結及びボンド）
	ユウロピウム（Eu）	蛍光体（赤色）
重希土	ガドリニウム（Gd）	光学ガラス、原子炉の中性子遮蔽材
	テルビウム（Tb）	蛍光体（緑色）光磁気ディスクターゲット、Nd 焼結磁石
	ジプロシウム(Dy)	Nd 焼結磁石、超磁歪材
	ホルミウム（Ho）	レーザー関係、磁性超伝導体
	エルビウム（Er）	クリスタルガラス着色剤
	ツリウム（Tm）	レーザー関係、光ファイバ増幅器
	イッテルビウム（Yb）	レーザー関係、可視アップコンバージョン
	ルテチウム(Lu)	シンチレーション
	イットリウム（Y）	蛍光体（赤色）、光学ガラス、ジルコニア安定化剤、二次電池の極材
	スカンジウム（Sc）	アルミニウムスカンジウム合金
その他	ミッシュメタル	発火合金、水素吸蔵合金（Ni 水素電池）、鉄鋼・非鉄金属添加剤、Sm_2O_3 還元剤
	バストネサイト	ガラス研磨剤
	粗塩化希土	FCC 触媒

Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

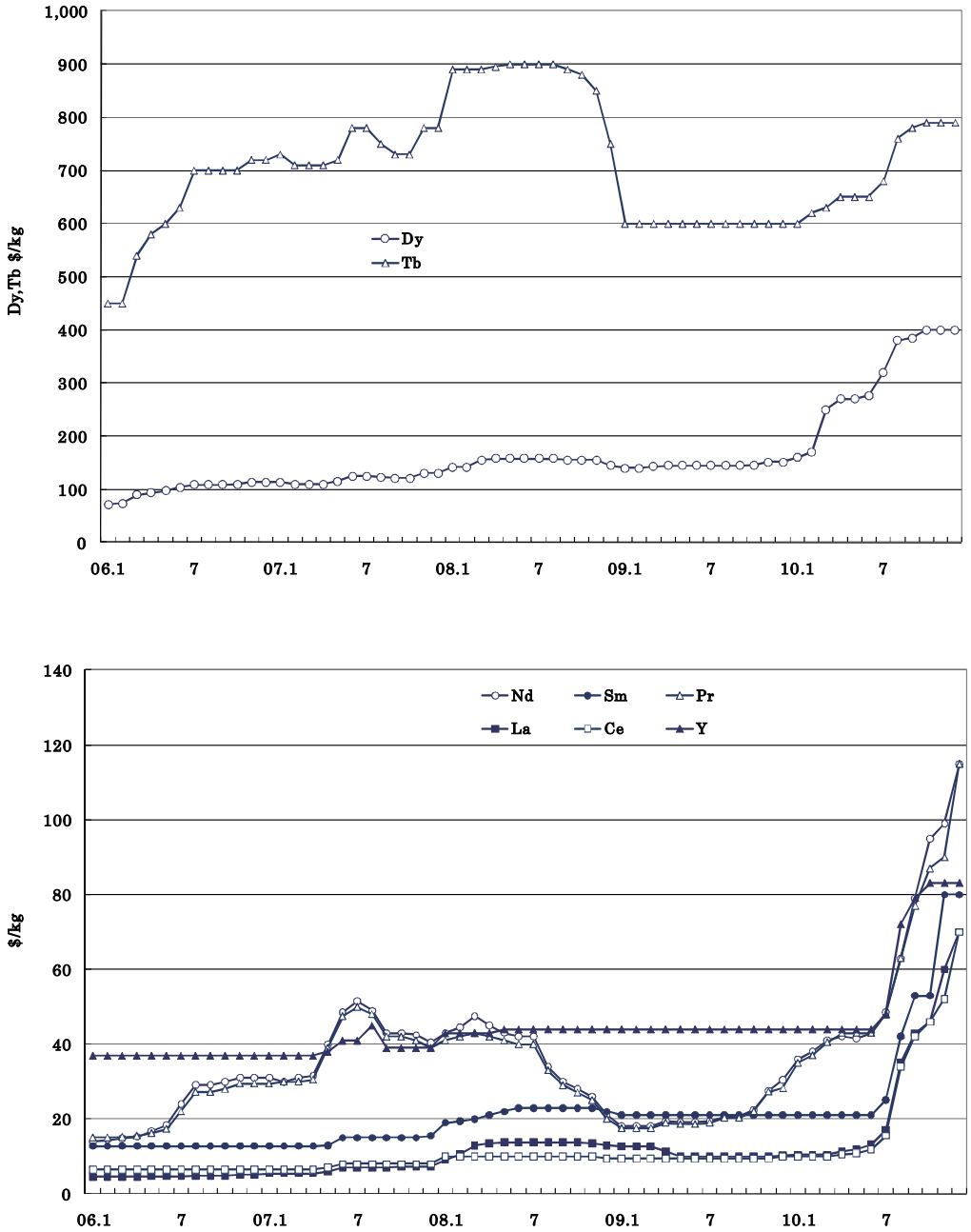


図２　金属レアアースの価格推移
出典：財務省貿易統計

いるVCM（ボイスコイルモータ）磁気回路にレアアース磁石を使用している。これは，日本製のほぼ全てのHDDに使用されている。また，ハイブリッド電気自動車（HEV），電気自動車（EV）のモータやエアコンの室外機の駆動素子にも用いられる。特に，電気自動車等モータ向け需要は，日本で今後最も有望な分野と予測されている。他には，自動車パワーステアリング用のアシストモータ，小型のMRI（Magnetic Resonance Imaging：磁気共鳴画像診断装置（医療機器の一つ）），CD-DVD用ピックアップ，携帯電話のスピーカー，バイブレーターの振動モータ等にも用いられている。なお，携帯電話用途には，性能は劣るが安価なSm-Co磁石，フェライト磁石が用いられることも多い。

その他の用途には，Sm-Co磁石，ガラス研磨剤，紫外線吸収ガラス添加剤，水素吸蔵合金（ニッケル水素二次電池向け），自動車排ガス浄化触媒，石油精製用接触分解触媒（FCC触媒），蛍光体，携帯電話・パソコン用コンデンサー，フィルター・センサー等のセラミック製品等がある。前述のとおり，中でも，フラットパネルディスプレイに用いられるガラス研磨剤，蛍光体，環境分野で今後も重要な自動車排ガス浄化触媒，ハイブリッド電気自動車ニッケル水素二次電池向けの水素吸蔵合金等が今後需要の伸びが期待される分野として挙げられている。

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

5．レアアースの生産・製錬

レアアースの生産は，まず鉱石を選鉱，レアアース鉱物（バストネサイト，モナザイト，ゼノタイム，イオン吸着型鉱等）の精鉱としてから，分解処理を行い混合希土の化合物（塩化希土等）を生成する。そして，その化合物を分離・精製することにより各元素の酸化物が精製され，さらにはそこから金属レアアースが製造される。

選鉱においては，バストネサイトでは浮遊選鉱等，モナザイトでは湿式比重選鉱，磁力選鉱等が用いられる。分解処理には，硫酸法，アルカリ分解法がある。硫酸法は，熱濃硫酸で鉱石を分解する方法で，現在ではほとんど使われていない。アルカリ分解法は，精鉱からまずレアアースに次いで多いリン成分を苛性ソーダで分離し，次にウランとトリウムを濃塩酸により分離，最後にレアアースを塩化物として回収する方法で，鉱石中の有用成分の全部と使用薬品のほとんどが回収できる経済性に富んだ方法である。分離は溶媒抽出法により行われる。有機溶媒を用いて，まず軽希土グループと中重希土グループに分離する。次いで，中重希土をサマリウム，ユーロピウム，ガドリニウム（中希土と呼ぶこともある）とそれ以外（重希土と呼ぶこともある）に分離する。その後，分別沈殿法，溶媒抽出法，イオン交換法を組み合わせて，各元素毎に分離し酸化物を精製していく。金属レアアースの製造では，一般的に，軽希土グループには溶融塩電解法，サマリウムには蒸留還元法，テルビウム，ホルミウム等の少量生産には金属熱還元法が用いられている。

なお，レアアースにおいては，放射性物質を含む鉱物が生産される場合があるため，その場合レアアースを分離精製した後の残渣（廃棄物）をいかに貯蔵するかが問題である。近年，世界各国で環境規制はより厳しくなっており，環境対策を講じることが不可欠であり，レアアース生産のコストアップにつながる可能性は大きい。また，環境対策をクリアして政府等の承認を得るのに，多くの時間と労力を費やすこともある。さらに，近年では，環境問題に関する関係団体の動きも活発になっており，その対応も重要となっている。

6．レアアースの埋蔵量

表5に世界のレアアース埋蔵量を示す。

USGSによるレアアースの世界の埋蔵量は，レアアース酸化物にして1億1,300万tと推定されている。このうち，中国は全世界の48.3％を占めており，偏在性は比較的高いとは言えるものの，生産量ほどの極端な偏りは見られない。このことにより，中国以外の供給源の開発の可能性は決して少なくないと言える。

レアアースの鉱床タイプは，カーボナタイト鉱床，鉄希土類鉱床，イオン吸着型鉱床，漂砂鉱床，アルカリ岩鉱床の5種類である。これら鉱床は，主にアメリカ，中国，オーストラリア等の大陸地域に分布している。

カーボナタイト鉱床は，方解石またはドロマイトからなる炭酸塩岩の貫入岩を母岩とし，アルカリ複合岩体の形成と成因的に密接な関係があるため，アルカリ岩に随伴し，その組成は軽希土に富んでいる。鉄希土類鉱床には，マグマから直接鉱物が沈殿した「マグマ性鉱床」と高塩濃度熱水から鉱物が沈殿した「熱水性鉱床」とがある。鉱床の規模は比較的大きく，どちらかというと軽希土に富んでいる。イオン吸着型鉱床は，花崗岩の風化殻の鉱床であり，鉱物の分解に伴って放出されたレアアースが風化によって形成された粘土鉱物に吸着し濃縮されたものである。品位は低く，鉱床規模は比較的小さいが，中重希土に富む場合が多く，放射性元素を含まない鉱床が多い。漂砂鉱床は，花崗岩や変成岩類を後背地とする大陸の海岸に沿った砂鉱として存在しているが，現在ではほとんど採掘されていない。鉱床規模は大きく，主に軽希土に富んでいる。アルカリ岩鉱床は，アルカリ岩火成岩に随伴し，アルカリ岩体，熱水性鉱床等の中にレアアースを含有している。熱水性鉱床は比較的規模が大きく，中には中重希土に富む場合もある。

表5　世界のレアアース埋蔵量

国 名	埋蔵量（千t）＜レアアース酸化物量＞	
中国	55,000	48.3%
CIS 諸国	19,000	16.7%
ブラジル	48	0.0%
アメリカ	13,000	11.4%
オーストラリア	1,600	1.4%
インド	3,100	2.7%
マレーシア	30	0.0%
その他	22,000	19.3%
合 計	113,778	

＜出典：Mineral Commodity Summaries2011（USGS）＞

主な鉱石鉱物としては，バストネサイト，モナザイト，ゼノタイム，イオン吸着型鉱が挙げられる。また，中国には，バストネサイトとモナザイトが共生している複雑鉱も存在する。このうち，バストネサイト，モナザイトは軽希土類に富んでおり，ゼノタイム，イオン吸着型鉱は中重希土類に富んでいる。

現在のレアアース鉱山には軽希土類を主体として生産している鉱山が多く，今後さらに重要となる中重希土類は，現在のところ中国華南地域のイオン吸着型鉱からの生産のみとなっている。従って，中重希土類に富む新たな鉱山開発も含めて，中重希土類の安定供給の確保が最も重要となってくる。

7．まとめ

レアアースは，日本のみならず世界全体が供給のほとんどを中国1か国に依存している。そのような状況下で，中国は，国内資源や環境を保護し，内需を優先する様々

Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

な政策を実施しており，需給面，価格面に大きな影響を及ぼしている。従って，レアアースについては，中国の動向を常に把握し供給上のリスクを常に考えておかねばならず，なおかつ，中国以外への供給源の分散，国内リサイクル率の向上，代替材料の開発を早急に進めていく必要がある。特に，中国以外への供給源の分散という観点では，当面はアメリカ・Mountain Pass鉱山の再開，オーストラリア・Mt.Weldプロジェクトの開発に，中期的には中重希土類に富む新たな鉱山開発に注目することが必要である。

Ⅱ．タングステンについて

1．タングステンの概要

タングステンという名称は，スウェーデン語における「重い（Tung）」「石（Sten）」に由来する。タングステンは最も重い元素のひとつで，光沢のある灰色の白金に似た金属である。また，金属中最も高い融点（3,410℃ ±10℃）を有する他，常温で空気中では酸化せず，400℃以上に熱すると酸化が始まり，水とも常温では反応しない。タングステンは，耐食性，熱伝導性及び電気伝導性に優れ，膨張率が低く，高温下（温度1,650℃以上）では金属中最高の引張り強度を発揮する。また，その合金並びに炭化物は優れた切削性と耐摩耗性を有している。これらの性質から，タングステンは，高速度鋼等の特殊鋼や超硬合金，照明用のフィラメント等に使用されている。なかでも，高速度工具鋼には，代替のできない必要不可欠な材料として，高硬度，耐摩耗性，耐熱性を発揮させるために添加されている。

2．タングステンの需要・供給

2.1　世界の需給状況

世界のタングステン鉱石の生産量は，1990年代には低迷していたが，2000年代に入ってから現在までは中国を中心とした高速度工具鋼用や超硬工具用需要の好調を反映し，増加している。その間，供給の寡占状況を表す世界の鉱石生産国上位５か国の集中度は，2000年の98.8％から2009年は95.5％と減少傾向ながらも高いレベルを維持している（表６）。

このうち，最大の供給国である中国による鉱山生産の寡占は2000年の82.9％から2004年に92.0％へと上昇した後，2009年には84.5％まで下落した。これは，80年代から90年代にかけては，中国の安値攻勢により価格的に対抗できなくなった西側の鉱山が次々と閉山し，中国への集中度が増加してきたが，ここ数年の価格高騰により鉱山の生産再開等があったためと考えられる。このように，タングステンは，圧倒的な生産シェアを持つ中国の動向が世界の動向に大きく影響を及ぼすという異例の供給構造が継続している。なお，中国以外の国からの供給では，カナダ・Can Tung鉱山が有名であるが，2002年に再開，2003年末に一旦休止，2005年末から再開，2009年10月休止と繰り返してきた。価格高騰を受けて，2010年10月には出荷を再開している。新規開発プロジェクトでは，ベトナム・Nui Phaoプロジェクトが2013年生産開始に向けて鉱山設計・建設に着手する計画がある。また，カナダ・Mac Tungプロジェクトも有望であると発表されている。

中国は，1991年にタングステンを国家保護鉱種に指定し，選鉱，製錬，加工，販売，輸出において許可制（生産量割当制，輸出量割当制等）を採用して国家管理している。また，2001年からの有色金属工業第10次５か年計画においては，「国家保護鉱種は，国内消費と合理的な輸出需要に基づき，資源保護と合理的な開発を強化し，鉱山能力・製錬能力と生産量を厳格に管理し，資源の優越を確実に産業の優越に転化する」としており，従来からの高付加価値化政策を継続させると共に，輸出奨励から国内需要優先への政策転換，環境汚染対策の強化を図っている。高付加価値化政策（保有する資源の価値を高めて輸出する，鉱石生産から最終製品製造までの産業の振興を図るもの）では，鉱石での輸出を禁止し，中間原料（WO_3（三酸化タングステン），APT（パラタングステン酸アンモニウム），フェロタングステン等）での輸出，さらには最終素材（金属タングステン等）や最終製品（超硬工具製品等）での輸出へとシフトさせている。

最近の国内需要を優先する施策としては，輸出許可証発給枠の縮小（2003年：18,100t→2006年：15,800t→2010年：14,300t），輸出増値税還付の縮小・撤廃（タングステン精鉱：2004.1.1に13％→０％，金属タングステン：2005.5.1に13％→８％・2006.1.1に８％→５％・2006.9.15に5％→０％，タングステン線：2005.5.1に17％→13％・2007.7.1に13％→５％　etc.），輸

表６　世界のタングステン鉱石生産量

（単位：純分t）

	2000年		2001年		2002年		2003年		2004年		2005年		2006年		2007年		2008年		2009年	
中国	29,575	82.9%	34,645	84.4%	45,305	84.0%	45,630	82.1%	75,595	92.0%	65,000	89.1%	56,700	83.6%	52,000	80.8%	52,300	80.7%	65,000	84.5%
ロシア	3,000	8.4%	3,000	7.3%	3,000	5.6%	3,000	5.4%	3,000	3.7%	3,000	4.1%	3,000	4.4%	3,000	4.7%	3,000	4.6%	3,000	3.9%
カナダ	—	—	—	—	2,295	4.3%	3,636	6.5%	—	—	565	0.8%	2,612	3.8%	2,700	4.2%	2,608	4.0%	2,501	3.3%
ルワンダ	144	0.4%	163	0.4%	324	0.6%	120	0.2%	156	0.2%	557	0.8%	1,436	2.1%	1,673	2.6%	1,700	2.6%	1,650	2.1%
ボリビア	496	1.4%	671	1.6%	474	0.9%	556	1.0%	508	0.6%	669	0.9%	1,094	1.6%	1,395	2.2%	1,430	2.2%	1,290	1.7%
オーストリア	1,420	4.0%	1,429	3.5%	1,377	2.6%	1,381	2.5%	1,335	1.6%	1,280	1.8%	1,153	1.7%	1,117	1.7%	887	1.4%	1,122	1.5%
ポルトガル	743	2.1%	700	1.7%	693	1.3%	715	1.3%	720	0.9%	735	1.0%	740	1.1%	847	1.3%	983	1.5%	1,037	1.3%
その他	300	0.8%	433	1.1%	488	0.9%	541	1.0%	873	1.1%	1,131	1.6%	1,127	1.7%	1,623	2.5%	1,911	2.9%	1,298	1.7%
合　計	35,678	—	41,041	—	53,956	—	55,579	—	82,187	—	72,937	—	67,862	—	64,355	—	64,819	—	76,898	—
上位5ヶ国計	35,234	98.8%	40,445	98.5%	52,670	97.6%	54,362	97.8%	81,158	98.7%	70,684	96.9%	64,901	95.6%	60,768	94.4%	61,038	94.2%	73,441	95.5%

＜出典：World Metal Statisatics Yearbook＞

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

出関税の賦課（WO_3及びAPT：2007.1.1に０％→５％・2008.1.1に５％→10％・2009.7.1に10％→５％，フェロタングステン：2006.11.1に０％→10％・2008.1.1に10％→20％ etc.），環境汚染対策としては，環境保護基準を厳しくして鉱山の生産を規制している。この結果，中間原料においても中国が世界の供給のほとんどを占める構造となっている。

世界の需要は，中国の超硬工具需要やインフラ整備用の特殊鋼需要が旺盛なことにより，増加傾向にある。中国は，需要，供給共に世界の１位となっている（表７）。2006年については，需要が過去10年間で最大となった。2007年以降は，価格高騰時に需要家が抱えた大量の在庫の調整が入ったため，下落傾向となっている。また，タングステン需要も例外ではなく，前述の2008年後半の景気後退により大きく影響を受けている。2009年については，中国需要は比較的順調に推移するが，世界全体としては，自動車生産の大幅な落込みにより，かなりの減となった。

また，表８に過去のタングステンの供給障害事例を示す。中国国内の状況（大規模な混乱，鉱山の鉱量枯渇，新規開発鉱山の計画遅延等）に大きく左右されている。

1.2 日本の需給状況

日本のタングステン自給率は０％で，その全てをWO_3，APT，フェロタングステン等中間原料からタングステンカーバイド，金属タングステンまで様々な形態で輸入している。

表９にタングステン全体の主要対日輸出国を示す。

タングステン全体の対日輸出国の上位５か国集中度は2000年の96.1％から2009年は89.6％とやや低下したものの，そのうち中国1か国集中度は1999年の79.2％から2009年は81.3％とやや上昇し，日本においても，中国による供給の寡占化はより一層高いレベルにある。日本では，WO_3，APT，フェロタングステン等の中間原料については生産が無く（西側世界の例にもれず中国の安値攻勢により無くなった），タングステンカーバイドや金属タングステン等の最終素材については生産を行っている企業がある。

なお，日本企業のなかでは，双日が2007年に友好的な株式公開買付け（TOB）を実施し，ポルトガル・Panasqueira鉱山を所有するPrimary Metal社を買収した。また，住友電気工業系のアライドマテリアルは，1995年に中国福建省の金鷲特殊合金有限公司に出資し，タングステンカーバイドの安定供給，また，2000年には同じく福建省のアモイタングステンに出資し，APTの安定供給を図っている。日本の需要は，表10に示したとおりである。

2002年以降は，日本のタングステンの最大需要分野である超硬工具（自動車産業向け超硬工具，携帯電話やゲーム機等のハイテク向けPCBドリル等），自動車産業

表７　世界のタングステン需給

（単位：純分t）

		2000年	2001年	2002年	2003年	2004年	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年
供給	中国	35,550	43,000	33,100	42,900	42,800	49,100	51,400	48,550	51,300	38,000
	ロシア	5,350	3,950	1,850	3,600	3,600	4,600	4,850	4,300	13,200	11,150
	その他各国	3,200	3,550	5,350	5,700	5,250	6,100	9,550	10,600		
	DLA放出	2,600	2,500	1,800	900	1,050	2,750	3,700	1,150	1,600	750
供給 合計		46,700	53,000	42,100	53,100	52,700	62,550	69,500	64,600	66,100	49,900
需要	中国	12,900	14,550	16,000	17,950	21,450	25,150	29,800	28,800	32,700	32,250
	欧州	12,350	17,600	8,050	15,150	11,700	16,150	16,650	13,850	12,050	5,850
	アメリカ	8,950	9,700	8,300	8,850	7,400	8,800	10,200	8,400	9,250	7,100
	日本	8,000	6,850	5,450	5,950	7,150	7,950	7,900	6,850	7,750	2,500
	その他各国	4,500	4,300	4,300	5,200	5,000	4,500	4,950	6,700	4,350	2,200
需要 合計		46,700	53,000	42,100	53,100	52,700	62,550	69,500	64,600	66,100	49,900

＜出典：工業レアメタル＞

表８　過去のタングステン供給障害事例

時 期	事 例	障害状況
1989（6ヶ月間）	中国：天安門事件によって国内混乱	日本への入荷遅延
1991.1-4（4ヶ月間）	中国：鉱石の新規契約締結を一時中止	国際価格が約1.5倍に高騰
1994	中国：新規鉱山開発遅延、既存鉱山の鉱量枯渇による生産減、施設補修等による一時停止	国際価格が約2倍に高騰
2001	中国：輸出許可証の発給枠制限による輸出規制	国際価格が約1.5倍に高騰
2004-2008	中国：既存鉱山の鉱量枯渇による閉山、採掘コストの上昇、国内需要の増大	国際価格が約4倍に高騰

＜出典：日本メタル経済研究所報告書 等＞

Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

表9　タングステンの主要対日輸出国

（単位：純分換算t）

	2000年		2001年		2002年		2003年		2004年		2005年		2006年		2007年		2008年		2009年	
中国	5,214.6	79.2%	3,912.1	77.6%	2,694.9	74.1%	3,233.4	78.5%	3,710.5	86.5%	3,999.2	78.9%	3,561.7	83.2%	3,013.8	85.7%	3,470.1	85.6%	2,652.0	81.3%
アメリカ	51.4	0.8%	62.0	1.2%	46.9	1.3%	71.8	1.7%	120.2	2.8%	557.6	11.0%	327.1	7.6%	111.0	3.2%	150.7	3.7%	51.0	1.6%
韓国	135.8	2.1%	237.3	4.7%	104.6	2.9%	126.2	3.1%	109.9	2.6%	223.7	4.4%	113.4	2.6%	111.7	3.2%	149.6	3.7%	131.0	4.0%
オーストリア	108.2	1.6%	78.3	1.6%	41.5	1.1%	52.1	1.3%	88.2	2.1%	66.3	1.3%	83.7	2.0%	94.7	2.7%	89.0	2.2%	76.6	2.3%
ドイツ	177.4	2.7%	131.0	2.6%	100.7	2.8%	67.5	1.6%	90.7	2.1%	56.4	1.1%	118.4	2.8%	129.9	3.7%	54.6	1.3%	11.2	0.3%
ロシア	618.2	9.4%	466.4	9.2%	472.2	13.0%	382.8	9.3%	78.6	1.8%	3.6	0.1%	0.2	0.0%	0.8	0.0%	0.2	0.0%	1.0	0.0%
ポルトガル	182.4	2.8%	90.6	1.8%	48.0	1.3%	72.0	1.7%	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
その他	98.5	1.5%	66.4	1.3%	126.4	3.5%	110.9	2.7%	91.8	2.1%	159.8	3.2%	76.2	1.8%	55.4	1.6%	138.0	3.4%	337.2	10.3%
合　計	6,586.5	—	5,044.0	—	3,635.2	—	4,116.6	—	4,289.9	—	5,066.6	—	4,280.6	—	3,517.3	—	4,052.3	—	3,260.0	—
上位5ヶ国計	6,328.4	96.1%	4,837.3	95.9%	3,420.4	94.1%	3,886.1	94.4%	4,119.5	96.0%	4,903.2	96.8%	4,204.2	98.2%	3,461.1	98.4%	3,914.1	96.6%	2,921.8	89.6%

＜出典：貿易統計よりJOGMEC換算＞

向けの特殊鋼を中心として，需要は増加傾向となっている。ただし，2009年には世界の需要と同様に大きく落込んだ。

なお，日本におけるリサイクルの現状を定量的に把握した統計は存在しないが，鉱物資源マテリアルフロー2009（JOGMEC）では，超硬工具で300t，金属スクラップ他33tがリサイクルされ，全消費量の約27％がリサイクルされている。

2．価格

タングステンに関する国際的な価格決定機構は存在せず，タングステン鉱（ウォルフラマイト），APT，フェロタングステンでは，一般的にはMetal Bulletin誌のCIF価格が指標として用いられている。タングステン価格は，含有する３酸化タングステン（WO_3）のトン単位（MTU）で表示される。1MTUは10kgのWO_3を含んでおり，これが，タングステン売買の標準的な重量単位である。

タングステン鉱（ウォルフラマイト）の価格は，中国における生産・価格の統制等により1980年代前半までは100US$/MTUを超える高い価格で推移した。その後，中国は，外貨獲得を目的として生産量を増加させたため，安価な中国品が大量に世界の市場に出回るようになり，1980年代半ばには価格は下落した。それ以降，2000年代前半までの約20年間，タングステンの状況は，中国の増産→供給過剰→国際価格下落→中国国内状況による供給減→国際価格上昇→中国の増産というスパイラル構造に陥っていた。この間，価格としては30～70US$/MTUの安値で推移し，具体的には表７に示した供給障害のとおり，中国国内状況（1989年の天安門事件による混乱，EC・米国におけるダンピング提訴等による1991年の鉱石新規契約締結の停止，1994年の新規鉱山開発遅延，既存鉱山の枯渇化等による供給減，2001年の輸出許可証の発給枠制限による輸出規制）による供給減があった場合に価格は上昇傾向にあった。ところが，2004年以降は，上記スパイラル構造を脱して新しい状況に入った。2004年以降の価格は，中国の需要増，同国国内鉱山の閉山等により急騰し，その後やや下がったものの，150US$/MTU前後の非常に高い価格を現在まで保っている。また，APTの価格も2004年以降，鉱石と同様に急騰し，その後徐々に下落し，2009年には200US$/MTU弱となったが，2010年から再度高騰し，2011年５月には史上初の400US$/MTU台に入っている。

価格動向でも中国国内状況の影響は非常に大きく，今後も同様であると考えられる。

3．用途

タングステン鉱石からは，WO_3，APT，フェロタングステン等の中間原料やタングステンカーバイド，金属タングステン等の最終素材が製造され，また，タングステン鉱石が直接使用される場合もある。

超硬合金・工具分野は，日本のタングステンの需要分野としては最大であり，タングステンカーバイドの形で切削，耐摩耗，耐触，鉱山土木用工具として広く使用さ

表10　タングステンの国内需給

純分t

		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
供給	原料（輸入－輸出）	8,062	6,052	4,602	5,448	5,778	7,096	6,585	5,525	6,231	2,016
	国内リサイクル				9	240	100	207	199	194	333
	合計	8,062	6,052	4,602	5,457	6,018	7,196	6,792	5,724	6,425	2,349
需要	超硬工具	5,118	4,154	3,908	4,642	5,466	5,566	5,427	5,262	4,980	2,471
	特殊鋼	63	30	55	55	47	63	44	146	45	23
	線板棒	534	444	256	319	361	346	334	340	267	107
	接点	191	203	83	4,794	197	162	114	133	154	31
	その他	153	170	47	48	56	54	53	49	60	46
	合計	6,058	5,001	4,350	9,857	6,126	6,191	5,972	5,931	5,507	2,677
需要－供給		-2,004	-1,051	-253	4,400	108	-1,005	-820	207	-919	329

出典：経済産業省鉄鋼・非鉄金属統計

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

れている。

特殊鋼分野では，高速度鋼を始め，耐熱鋼，強靱工具鋼等にフェロタングステンやタングステン酸カルシウムの形で添加して広範囲に使用されている。

金属製品分野では，金属タングステンやタングステン合金の形の最終素材を加工して最終製品を製造している。照明，電気・電子部品，各種抵抗材料等は，金属タングステンの線・棒・板，機械加工品等の形状で使用されている。他に，金属タングステンの形では，白熱電灯・電子管のフィラメント，ヒータ，グリッド，アンカー等及び電気化学用電極，高温炉ヒータにも利用されている。また，銅，銀及びニッケル等とのタングステン合金の形では，合金電気接点，放電加工用電極，半導体積層基板用放熱板（ヒートシンク）及びタングステン重合金（ヘビーアロイ）等に使用されている。

その他の需要分野では，主なものとして脱硝・高分子化学用等の触媒，顔料等の化成品，ダイヤ工具の副砥粒等が挙げられる。

4．生産・製錬

タングステン鉱石のうちウォルフラマイトは電気炉に投入されフェロタングステンに加工される他，シーライトも特殊鋼用に直接電気炉に投入される。これ以外の用途では，鉱石を処理し中間製品，最終素材の形で，最終ユーザーに供給されている。

一般的な鉱石の処理工程は次のとおり。

①鉱石から苛性ソーダ，炭酸ソーダによるアルカリ抽出法及びアルカリ溶融法によりタングステン酸ナトリウム（Na_2WO_4）溶液を生成する。→②タングステン酸ナトリウム溶液に，順次塩化カルシウム，塩酸，アンモニア水を反応させ純化処理（沈殿法）を行い，タングステン酸カルシウム（$CaWO_4$）を生成する。→③タングステン酸カルシウムを酸分解しアンモニア溶解した後，加熱・濃縮しパラタングステン酸アンモニウム（APT）を晶出する。→④APTを空気中でか焼してWO_3等酸化物を生成する。→⑤酸化物を水素中で加熱・還元し金属タングステン粉を生産する。→⑥金属タングステン粉に炭素を加え，加熱・炭化しタングステンカーバイドを生産する。

上記工程のなかの中間製品・最終素材それぞれの段階で流通があり，それぞれから種々のタングステン製品が生産されることになる。なお，処理方法としては，他にタングステン酸ナトリウム溶液の溶媒抽出法やイオン交換法もある。タングステン精鉱，フェロタングステン，APTの生産は，ここまで幾度も書いたとおり世界の大宗を中国が占めており，今後も続くと見られている。また，タングステンカーバイドは，比較的生産国の拡がりはあるが，今後中国の勢力は増えていくと見られている。

5．資源

タングステンの主な鉱石鉱物は，灰重石〔シーライト：Scheelite（$CaWO_4$），W63.8％〕，鉄マンガン重石〔ウォルフラマイト：Wolframite（Fe,Mn）WO_4，W60.5％〕，鉄重石〔Ferberite（$FeWO_4$），W60.5％〕，マンガン重石〔Hubnerite（$MnWO_4$），W60.7％〕，の４種類である。

タングステン鉱床は鉱脈型鉱床，スカルン型鉱床，角礫岩鉱床，斑岩型鉱床，漂砂鉱床等に区分される。世界のタングステンの約70％は中－高温鉱脈型鉱床から，20～25％はスカルン型鉱床から生産されており，これら以外の鉱床は鉱床数，生産量ともに少ない。

鉱脈型鉱床の代表例のひとつとしては，中国江西省の西華山鉱床が広く知られている。この鉱床には，燕山期の花崗岩類に伴われた592条の気成－高温熱水性鉱脈があり，これらの鉱脈は，花崗岩類の中～粗粒部では優勢，岩体周縁部の細粒相や被貫入岩層中では劣化する傾向を示す。主要鉱石鉱物はウォルフラマイトで，少量のシーライト等を伴う。鉱石の平均品位はWO_3：１％，精鉱品位はWO_3：65％である。

タングステンの世界の埋蔵量は290万tと推定されている。埋蔵量は中国（65.5％），ロシア（8.6％），アメリカ（4.8％），カナダ（4.1％）に集中しており，なかでも中国の地位は需給等と同様に圧倒的なものとなっている。これは，タングステン資源が中国を中心とした特定の資源国に偏在していることを表している。

表11に国別埋蔵量を示す。

表11　世界のタングステン鉱石埋蔵量

国 名	埋蔵量（純分千t）	
中国	1,900	65.5%
カナダ	120	4.1%
ロシア	250	8.6%
アメリカ	140	4.8%
ボリビア	53	1.8%
オーストリア	10	0.3%
ポルトガル	4	0.1%
その他	423	14.6%
合 計	2,900	

＜出典：Mineral Commodity Summaries2011＞

日本国内のタングステン鉱山は，そのピーク時の1955年には21鉱山を数えたが，中国の安値攻勢による価格の低迷及び円高の影響により採算が悪化し次々と閉山に追い込まれた。なかでも山口県の喜和田鉱山と玖珂鉱山は最も遅くまで稼行していたが，1992年に採掘中止となり，1993年には選鉱も終了し，それ以降日本のタングステン鉱石の生産は無くなった。

Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

6．まとめ

タングステンの我が国における自給率は０％であり，そのほとんどを中国１か国に依存している。また，全世界においても，タングステンの供給のうち80％以上を中国が占めており，中国１か国の政治経済等の動向がその需給面に大きな影響を及ぼし，価格は史上最高値を推移し，今後も上昇するとの予測もある。これらの状況は近年変わっていない。従って，常に中国の動向を把握し供給上のリスクを考えておかねばならず，なおかつ，中国以外への供給源の分散，国内リサイクル率の向上をさらに考えていく必要がある。

参考文献等

⑴　廣川満哉「資源政策の動向から見るレアアース輸出規制」，中国年鑑2011

⑵　土屋春明「激動の中国レアアース」，JOGMEC金属資源レポート2009年７月号

⑶　山岡幸一「中国レアアース産業の現状と動向及び日本レアアース産業への影響」，JOGMEC金属資源レポート2006年３月号

⑷　工業レアメタル 2010　ANNUAL REVIEW，2010年７月　アルム出版社

⑸　レアメタル便覧Ⅰ，2010 年12月，丸善

⑹　The Economics of Rare Earths & Yttrium〈13th Edition〉2007年，Roskill

⑺　レアメタルハンドブック2010，JOGMEC

⑻　非鉄金属のしおり＝40鉱種の紹介＝，2010年 JOGMEC企画調査部

⑼　The Economics of Tungsten ＜9th Edition＞2007年，Roskill

⑽　南博志「タングステンの需要・供給・価格動向等」，JOGMEC金属資源レポート2006年７月号

⑾　鉱物資源マテリアルフロー 2009，JOGMEC　2010年10月

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

論説◆解説

特集：ガスタービンに使用しているレアメタル，レアアース

レアメタル鉱床の成因 －地球物質循環機構の観点から－

高木　哲一*1
Takagi Tetsuichi

キーワード：レアメタル，鉱物資源，親銅元素，親石元素，親鉄元素，沈み込み帯，火成活動

1．はじめに

特定の元素や鉱物などが経済的に採掘可能なレベルにまで濃集した部分が鉱床と呼ばれる。レアメタルを含む特定の金属元素が濃集するメカニズムは実に多様であるが，大局的に見ると地球の物質循環機構における元素の分別作用が主体であり，鉱物の沈殿場（鉱床形成時）における元素の濃集が副次的な役割を果たしている。ここでは，主に前者に焦点をあてて，レアメタルを含む金属資源全般の成因を概説してみたい。

2．地球の分化・分別作用

地球は，中心部に鉄やニッケルを主体とする内外核，その周囲に超苦鉄質岩からなるマントルが取り巻き，表層部を珪長質岩（シリカに富む岩石）からなる薄い地殻（厚さ30～100km）が覆っている。この構造は主に重力による分化作用が原因であり，相対的に比重が軽い物質がより浅部を構成する。地殻の内部では，二相間の分配係数の違いにより分別作用が生じる。すなわち，地殻の一部が溶けてマグマができると，マグマ（液相）に入りやすい元素と溶け残り（固相）の間に分別が生じ，次第に上部地殻が液相濃集元素に富むようになる。さらに，地球表層では熱水（マグマで熱せられた地下水）や海水に溶けやすい物質と岩石の間で分別作用が生じる。岩塩鉱床や塩湖型リチウム鉱床（図１）など海水や温泉水が干上がって形成された鉱床は，このような地球の分化・分別作用の最もシンプルな最終生成物と言える。

しかし，地球上層部ではプレートテクトニクスにより物質が大規模に循環しており，さらに生物活動により非常に酸化的な大気・海洋が岩石圏と非平衡に存在する。したがって，鉱床を形成する元素の実際の挙動はかなり複雑である。

3．金属鉱床区

特定の種類の金属鉱床が卓越する地質帯のことを金属鉱床区（Metallogenic province）と呼ぶ。日本列島を例に取ると，瀬戸内地域には金属鉱床が分布せず，山陽地方にはタングステン鉱床が，山陰地方にはモリブデン鉱床が卓越する傾向がある（図２）。したがって，これらの地域はそれぞれ不毛区，タングステン鉱床区，モリブデン鉱床区と呼ばれている[1]。金属鉱床区は，環太平洋地域に視点を広げても明瞭に認識される（図３）。南北アメリカ大陸の西部は大規模な銅鉱床が卓越する一方，タイからマレー半島西部はスズ鉱床が卓越することから，前者はPorphyry copper belt，後者はTin beltと呼ばれている（Porphyryとは銅を伴う斑岩という岩石の名称）。金属鉱床区の成因解明は，鉱床探査の指針を開発するために重要であることから，1970年代より精力的な研究が続けられてきた。

図１　米国ネバダ州のシルバーピーク塩湖。湖水（かん水）を精製してリチウムを生産している。

金属鉱床区の種類と関連するマグマ（火成岩）の性質には密接な関係がある。すなわち，銅，鉛，亜鉛，モリブデンなど硫化物として鉱石が沈殿する鉱床は磁鉄鉱を多量に含む火成岩類に伴い，一方，スズ，タングステンなど酸化物として鉱石が沈殿する鉱床は磁鉄鉱を少量しか含まない火成岩に伴う[3]。磁鉄鉱の量はマグマの酸化度に比例するので，この事実は，硫化物鉱床は酸化型マグマに，酸化物鉱床は還元型マグマに伴われることを意味する。今日までの地球化学的な研究により，酸化型マグマは沈み込み海洋地殻の影響を，還元型マグマは堆積岩類の影響を強く受けて形成されたものであることが明

原稿受付　2011年５月30日
＊１　（独）産業技術総合研究所・地圏資源環境研究部門
〒305-8567　つくば市東１－１－１

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

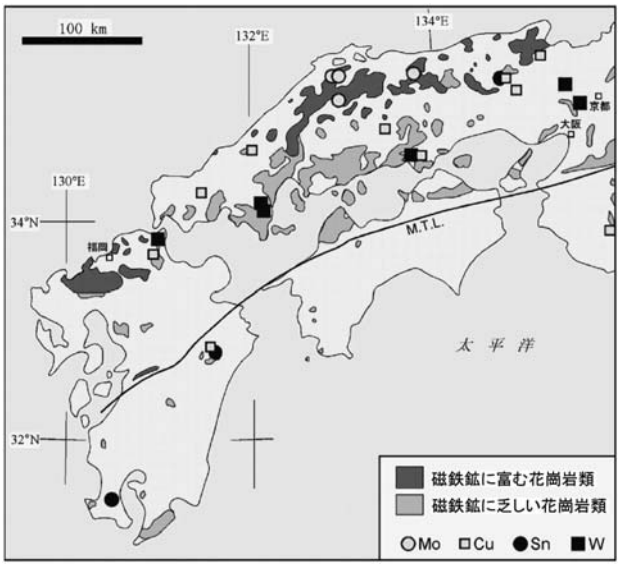


図２　西南日本における磁鉄鉱に富む花崗岩類と磁鉄鉱に乏しい花崗岩類および金属鉱床の分布[1],[3]。

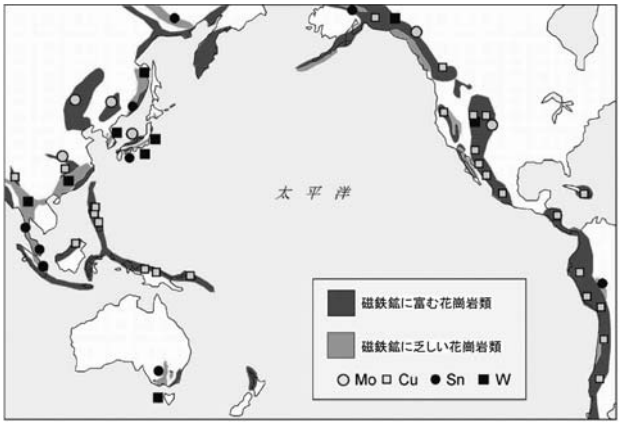


図３　環太平洋地域における磁鉄鉱に富む花崗岩類と磁鉄鉱に乏しい花崗岩類および金属鉱床の分布[2]。

らかになってきた[4],[5]。それでは，このようなマグマ酸化度の背景と鉱床区の成因的関係はどのようなものであろうか。

４．大陸ー海洋ー沈み込み帯の物質循環

マグマの酸化度と金属鉱床区の関係を明らかにするには，地球表層部での物質循環機構を総合的に理解する必要があるが，まだ不明な点が多い。しかし，各元素群の性質と地質学的な状況証拠からある程度の制約を与えることができる。ここでは，まず親銅・親石・親鉄元素群の地球表層での挙動を概観してみる。

4.1　親銅元素の挙動

親銅元素（Chalcophile elements）とは，硫黄と親和性の強い元素群であり，地球浅部では硫化物を形成する傾向が強い。銅，鉛，亜鉛，ヒ素，銀などのほか，インジウム，ビスマス，水銀，アンチモンなどのレアメタルもこの仲間である。モリブデンは親銅元素と後述する親鉄元素の中間的性質を持つ。地表のような酸化的環境下で硫化物が風化すると，親銅元素イオン＋硫酸イオンに分解して水に溶解し，河川を通じて海洋に移動する[6]。ところが，海洋地殻は地球内部の環境を反映して元来は非常に還元的物質なので，海水が海嶺付近の熱水反応で海洋地殻と反応すると硫酸イオンが還元され，再び親銅元素の硫化物＋酸化鉄として海洋地殻内に沈殿する[7]。言わば，海洋地殻が海水中の親銅元素を吸収するのである。海洋地殻（プレート）が沈み込むと，温度・圧力の上昇と共に硫化物は酸化鉄と反応して親銅元素イオンと二酸化硫黄に分解し，マグマと共に上昇し上部地殻で熱水溶液側に分配され，硫化物鉱床＋磁鉄鉱を形成する。このように親銅元素は，硫黄と鉄の酸化・還元反応を媒介として大陸と海洋の間を循環しており，鉱床は基本的に酸化的マグマに伴われるのである[8]。

4.2　親石元素の挙動

親石元素（Lithophile elements）は，酸素と親和性の強い元素群であり，地球上では酸化物を形成する傾向が強い。スズ，タングステン，チタン，リチウムなどのほか，ニオブ，タンタル，ジルコニウム，レアアース，ウランなどのレアメタルもこの仲間である。親石元素イオンは一般に価数が大きいので，多くの酸化物は強固な鉱物を作り地表では水にほとんど溶けない[6]。したがって，親石元素鉱物が地表で風化すると，砕屑物として河川を通じて移動し，海底に沈殿して堆積岩類に取り込まれる。親石元素は一般にイオン半径が大きく液相濃集度が高いので，堆積岩類が部分溶融してマグマが形成されると親石元素は液相（マグマ）側に濃集し，上部地殻でさらに熱水溶液側に分配され，酸化物鉱床を形成する。堆積岩類は一般に陸源の有機物を含むが，有機物は強力な還元剤であるため，親石元素鉱床は基本的に還元的マグマに伴われるのである。

4.3　親鉄元素の挙動

親鉄元素（Siderophile elements）は，親銅元素と親石元素の中間的な性質を持つ元素群であり，地球上では酸化物と硫化物の双方を形成する傾向がある。鉄，金，白金のほか，ニッケル，クロム，コバルト，パラジウム，レニウム，ゲルマニウムなどのレアメタルもこの仲間である。タングステンを親鉄元素に含めることもある。親鉄元素鉱物は比重が大きく，地殻よりマントルに濃集する傾向がある。したがって，金・白金族元素やニッケル・コバルトは，マントルの一部が地殻に取り込まれたような部分（オフィオライトなど）やマントル起源の苦鉄質深成岩類に伴って鉱床を形成する。したがって，広域的な鉱床区を形成する傾向に乏しい。

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

5．金属鉱床と地球表層環境

各金属元素の挙動とマグマの酸化度との関係はおおよそ把握することができたが，なぜ金属鉱床区という地域性が生じるのか，という基本的な問題はまだ解決していない。最近の研究で，金属鉱床区の形成が地球表層環境とリンクしていることが指摘されている[9]。沈み込み帯では海洋プレートと共に大量の堆積岩類や侵食された大陸物質が沈み込んでいる。その一部は島弧マグマとして，または大陸地殻に底付けされて地殻にリサイクルしている[10]。環太平洋の沈み込み帯に注目して（図３），親石元素鉱床区を見ると，主要部はアジア大陸の低緯度地域に分布する。一方，主な親銅元素鉱床区はアメリカ大陸西側と太平洋の島嶼部に分布する。これらの地域の地理的位置づけは，中生代以降大きくは変化していない[11]。これらの事実から類推すると，親石元素鉱床区は，熱帯多雨気候下で陸域から大量の砕屑物と有機物が沈み込み帯に供給され，それらをマグマが溶かし込んだために形成された可能性が高い。一方，アメリカ大陸西側と太平洋の島嶼部は，陸域が乾燥地帯あるいは狭小であるため，砕屑物や有機物の沈み込み帯への供給に乏しい。したがって，沈み込み海洋地殻から放出された物質が大きな変化を受けずにマグマと共に上部地殻にまで達し，親銅元素鉱床を形成した可能性が高い（図４）。沈み込み海洋地殻からの物質放出はどの沈み込み帯でも生じるが，マグマが堆積岩のような還元的物質を多く同化すると親銅元素が硫化物として岩石中に分散・固定され，親銅元素鉱床を形成しにくくなると推測される。

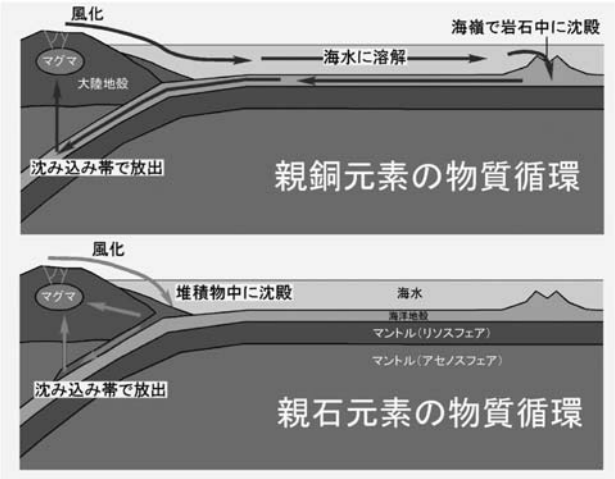


図４　地球表層部における親銅・親石元素物質循環の摸式図。

このように，金属鉱床区とは，地球表層部における各元素群の化学的挙動と古気候のコントラストが，沈み込み帯を通じて地球深部にもたらされ，それが再び地球表層部に反映したものと捉えることができる。鉱床の年代やマグマの酸化度などの，より解像度を上げた解析ができるようになれば，気候変動，大陸の隆起率や沈み込み速度・角度の変化など複雑な要因が金属鉱床の性質変化に関係する様子が明らかになるかもしれない。

6．マントルから来る鉱床

これまでは地球表層環境と関連する金属鉱床，すなわち地球の比較的浅部で循環・濃集する金属について述べてきたが，実はマントル由来の金属鉱床も数多く存在する。前述の親鉄元素は，元々マントル中の存在量が多く，したがってマントルが部分溶融してできたマグマにも比較的多く含まれる。南アフリカ共和国のブッシュフェルト岩体は約20億年前にマントルが大規模に溶融して形成された巨大な苦鉄質深成岩体であるが，世界最大の白金族元素およびクロム鉄鉱の産地である[12]。

親石元素鉱床も，前述のような堆積岩類と関係の深いものの他に，マントル由来の鉱床が少なからず存在する。レアアース，ニオブ，ジルコニウムなどの鉱床の相当な部分がそれである。これらマントル由来の鉱床は，アルカリ岩およびカーボナタイトに付随する（図５）。アルカリ岩とは，カリウムやナトリウムに富みシリカに乏しい火成岩類の総称で，マントルが部分溶融して形成される[13]。カーボナタイトとは炭酸塩火成岩の総称で，アルカリ岩と同様にマントルの部分溶融で形成される。石灰岩がマグマとして上昇してくると考えるとわかりやすい。これらは，アフリカ東部の大地溝帯や米国西部のベーズンアンドレンジのように大陸が分裂しつつあり，地球深部物質が上昇しやすい地域などに多く分布する（図６）。これらマントル起源火成岩が必ずしも親石元素鉱床を伴う訳ではないので，鉱床区とは言いにくいが，時に非常に高品位な鉱床を形成する。マントル起源火成岩にレアアースなどの親石元素が濃集する理由は，まだよくわかっていない。レアアース，ニオブ，ジルコニウムなどの地殻の平均濃度は，マントルのそれよりもはるかに高いが[14]，地殻全体に薄く分散しているので鉱床を形成しにくい。前述のように，親石元素鉱物の一部（ジルコンなど）は非常に強固であるため，沈み込みプレートと共にそのままマントル深部まで持ち込まれ，長い期間をかけてレアアースなどをマントルの局所に滞留・蓄積させているのかもしれない。ちなみに，日本列島はアルカリ岩やカーボナタイトに非常に乏しく，隠岐島後などに小規模に分布するのみである。

図５　米国カリフォルニア州，マウンテンパス鉱山の露天採掘場。1990年代の主力レアアース鉱山であり，一時休山していたが，2011年から生産を再開した。左側の明色部がカーボナタイト岩脈。

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

図６　世界のカーボナタイト岩体の分布[16]。アフリカ大地溝帯，米国西部，ブラジル南部などに集中して分布する。

７．日本のレアメタル鉱床

最後に，鉱床成因論を離れて，日本のレアメタル鉱床の可能性について述べる。日本は地下資源に乏しい島国であるが，過去に多くのレアメタル鉱山が稼行していた。北海道の豊羽鉱山は，閃亜鉛鉱を主体とする鉱脈型鉱床を対象に採掘していたが（2006年採掘終了），副産物としてインジウムを産し世界最大の産出量を誇っていた。前述の中国地方のモリブデン・タングステン鉱床区でも多数の鉱山が稼行していた。島根県東部のモリブデン鉱山（大東，清久，東山など）は，花崗岩中に発達する石英－輝水鉛鉱脈を対象に，1980年代中頃まで採掘していた。山口県東部のタングステン鉱山（玖珂，藤ヶ谷，喜和田など）は，石灰岩を交代したスカルン型鉱床（灰重石，鉄重石）を対象に1990年代初頭まで採掘していた。鳥取県西部のクロム鉱山（若松，広瀬，高瀬など）は，蛇紋岩体中のクロム鉄鉱鉱床を対象に1990年代中頃まで採掘していた。これらの鉱山から産出したレアメタルは，高度経済成長期の工業発展に大きな役割を果たした。しかし，いずれの鉱床もまだ鉱量を残しているものの，採掘コストの増大や円高により採掘を継続することが困難となり休閉山に至った。

レアアースは近年供給不安が著しいレアメタルだが，国内に有望鉱床は見つかっていない。最近，一部のマンガン鉱床に高濃度なレアアースが含まれることが明らかになったが[15]，鉱床としては小規模で現状では採掘が困難である。日本近海の海底にコバルト，アンチモン，レアアースなどのレアメタルが豊富に賦存する可能性が近年指摘されており，注目されている。海底のレアメタル鉱床は巨大なポテンシャルを持っており，経済水域内は自国の資源となるとため開発への期待が大きい。しかし，深海での採掘技術，さらには採掘による海洋汚染の問題などもあるため，具体的開発にはまだ多くの技術的課題の克服を要するであろう。

参考文献

(1) Ishihara, S., Jour. Geol. Soc. Japan, 77-7, p.441-452 (1971).
(2) Ishihara, S., Geol. Surv. Japan Rep., 263, p.173-208 (1984).
(3) Ishihara, S., Mining Geol., 27, p.293-305 (1977).
(4) Sasaki, A. and Ishihara, S., Contrib. Min. Petrol., 68, p.107-115 (1979).
(5) Shibata, K. and Ishihara, S., Contrib. Min. Petrol., 70, p.381-390 (1979).
(6) Gregor, C.B., Garrels, R.M., Mackenzie, F.T., and Maynard, J.B., Chemical cycles in the evolution of the earth. (1988), p.276, John Wiley & Sons.
(7) Alt, J.C., Anderson, T.F., and Bonnell, L., Geochim. Cosmochim. Acta, 53, p.1011-1023 (1989).
(8) Takagi, T. and Tsukimura, K., Econ. Geol., 92, p.81-86 (1997).
(9) Takagi, T., Am. Jour. Sci., 304, p.169-202 (2004).
(10) Scholl, D.W. and von Huene, R., Geol. Soc. Am. Mem., 200, p.9-32 (2007).
(11) Allen, J.R.L., Hoskins, B.J., Sellwood, B.W., Spicer, R.A., and Valdes, P.J., Paleoclimates and their modelling. (1994), p.140, Chapman & Hall.
(12) 中川　充, 地質ニュース, 479, p.35-40 (1994).
(13) Mitchell, R.H., Can. Min., 43, p.2049-2068 (2005).
(14) Rudnick, R.L. and Fountain, D.M., Reviews Geophys., 33-3, p.267-309 (1995).
(15) 守山　武・神谷雅晴・寺岡易司・奥村公男・平野英雄・村上浩康・渡辺　寧, 地質調査研究報告, 58-11/12, p.389-410 (2007).
(16) 神谷雅晴, 地質ニュース, 362, p.24-33 (1984).

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

論説◆解説

特集：ガスタービンに使用しているレアメタル，レアアース

東芝のカザフスタンにおけるレアメタル回収について

藤田　玲子*1
FUJITA Reiko

金村　祥平*1
KANAMURA Shohei

大里　哲夫*1
OOSATO Tetsuo

水口　浩司*1
MIZUGUCHI Koji

キーワード：Minor metals，Rhenium，Recovery，Electrolysis

1．はじめに

ウランの埋蔵量が世界で第二位のカザフスタン共和国（以下，カザフスタン）ではIn-Situ Leaching process（ISL法）と呼ばれる方法で図1に示すようにウラン鉱山からウランを硫酸溶液に溶解し，回収している。カザフスタンの国営企業であるカザトムプロム社（以下KAP）と東芝（以下，当社）は，カザフスタンにおけるKAPが操業しているウラン鉱山のウランを回収した後の残液（ウラン抽出尾液）中に含まれる希土類及びその他レアメタル等を回収する可能性を共同で検討している。

一方，当社は日本原子力研究開発機構（JAEA，旧サイクル機構）と共同で，“先進オリエントサイクル”によりピューレックス法*1の再処理工場の高レベル廃液中に含まれる白金族元素の核分裂精製物（FP）と再利用する技術開発を進めている[(1),(2)]。レニウム（Re）は白金族FPのうち，放射性であるテクネシウム（Tc）の代替物質として研究開発に使用してきた。

そこで，Reを回収するプロセスを新たに提案し，実際のウラン抽出尾液を用いて本プロセスの成立性を確認した。本稿では，ガスタービンの高温材料に使用されるReの回収技術について述べる。

2．背景

当社は，2008年6月のカザフスタン大統領訪日時にKAPとレアメタル，レアアース分野において協力することを確認，覚書を締結した。以後，両者はレアメタル，レアアース検討ワーキンググループを結成し，主としてカザフスタンに存在するレアメタル，レアアースの事業化検討を進めてきた。

2.1 ウラン抽出後の残液に含まれるレアメタル

カザフスタンでは種々の企業がウラン鉱山の開発を行

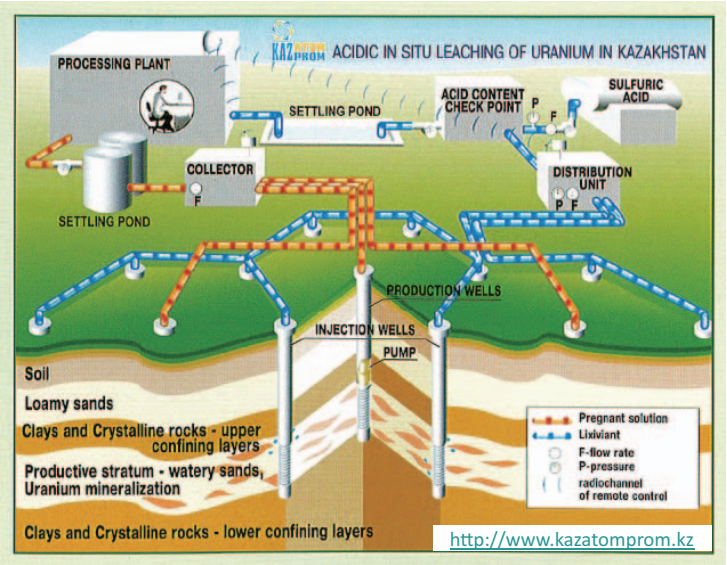


図1　ウランISL法のイメージ

原稿受付　2011年5月20日
＊1　㈱東芝　電力・社会システム社　技術開発センター
〒210-0862　川崎市川崎区浮島町4－1

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

い，また，そのウラン権益を保有し，年間約１万トンのウランを採掘している。しかしながら，ウラン抽出尾液に含まれるレアメタルの回収についてはこれまでほとんど検討されておらず，ウランを抽出した後の溶液はしばらく保管された後，廃棄され残土となっていた。

2.1.1　調査対象ウラン鉱石等の組成

カザフスタンのウラン鉱山では，ISL法により硫酸でウランを溶出し，イオン交換樹脂によりウランを吸着，回収している。このウランを吸着，回収した後のウランの抽出尾液には高温のガスタービンの材料であるRe等のレアメタルが含まれていると言われている。そこで，KAPが所有するAk Dala鉱山について，ウランの抽出尾液に含まれている種々のレアメタルの詳細な種類と濃度を調査した。

2.1.2　課題

これまで，比較的品位の低いレアメタルについては，回収されていなかった。しかしながら，世界的にレアメタルの需要が伸び，今後，逼迫する可能性がでてきた。そこで，品位の低いレアメタルを効率良く回収する技術を開発する必要があるが，未だにそのような技術は提案されていない。

2.1.3　当社提案プロセス

当社は以下に示す要件を満たすプロセスの考え方を適用して，ウランの抽出尾液からレアメタルを回収できるプロセスを提案した。

①前処理工程：実ウラン抽出尾液のレアメタルを二次廃棄物*2の発生量を極力低減させることができる経済性のあるプロセスで濃縮する。カザフスタンでウランの回収に使用実績のあるイオン交換樹脂法による濃縮法を選択した。すなわち，二次廃棄物となるイオン交換樹脂はISLのUの回収において発生する使用済みイオン交換樹脂と同様な方法で処理することができる。

②Re回収工程：使用済み抽出剤などの二次廃棄物が発生しない電解回収法によりReを回収する方法を選定した。

3．内容

3.1　カザフスタンのウラン鉱山のウラン抽出尾液成分の確認（実抽出尾液の分析）

カザフスタンには，前述したようにウラン抽出尾液にRe等のレアメタルが含まれていることが明らかになっている。しかしながら，レアメタル回収プロセスの成立性を確認するためには，共存する他のイオンの濃度および存在状態が必要である。そこで，Reだけでなく，他の共存イオンについても合わせて成分を調査した。

3.2　当社が提案したレアメタル回収プロセス

当社が提案したReの回収プロセスの成立性に関し，実抽出尾液を用いて確認した。当社は現在，図３に示すようなプロセス概念でReの回収を考えている[(3),(4)]。すなわち，前処理工程で実抽出尾液中のReをイオン交換樹脂法によりReを濃縮し，電解回収法によりReO_2を回収する。

ISLウラン鉱山
- 鉱山：　Uvanas, Kanzhugan, Mynkuduk, Akdala
- 原料：　ウラン抽出尾液
- 可能レアメタル：ニウム、レアアース
- 抽出法：　東芝の電解還元法、KAPのイオン吸着法
- 課題：　化学粉末（酸化物など）、金属粉末

図２　ISLウラン鉱山の位置

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

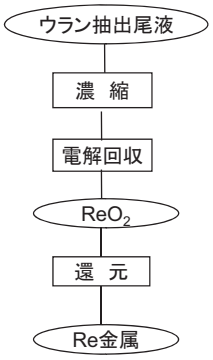


図３　当社の提案プロセス

3.3　提案プロセスの確認試験

3.3.1　模擬尾液試験

実尾液試験に先立ち，模擬尾液を用いてRe回収試験を行い，得られた試験条件を実尾液試験に適用した。

3.3.2　実尾液試験

１）　濃縮試験

カザフスタンの実際のウラン鉱山（Ak Dala鉱山）の抽出尾液240Lを陰イオン交換樹脂に連続して通水し，Reを吸着させた。また，溶離はアンモニア水を用いて行った。

２）　電解回収試験

溶離液を用い，Reの電解回収試験を行った。

ウラン抽出尾液中のレアメタルのうち，Reのみを電解法により陰極に析出回収した。

電解条件を以下に示す。

・電解液：0.5M-$(NH_4)_2SO_4$
・陰極：SUS316
・陽極：PtメッキTi

使用した電解試験装置を図４に示す。

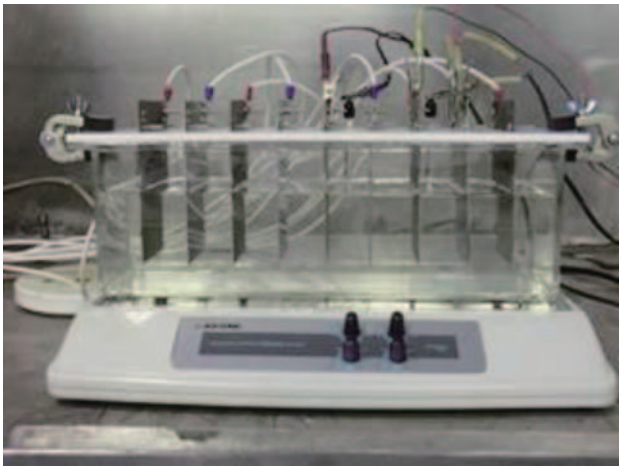


図４　Re電解回収試験装置

４．結果および考察

4.1　カザフスタンのウラン鉱山のウラン抽出尾液成分の確認（実抽出尾液の分析）

実際のウラン抽出尾液中の元素の分析を行った。その結果を表１に示す。表１に示すように，対象としたRe濃度は0.43ppmで当初予想した濃度（2.0ppm）に比べて約１桁低いことがわかった。

表１　ウラン抽出尾液の組成

元素	濃度(ppm)
Re	0.43
Dy	0.64
Nd	4.5
Fe	549.2
Al	320.2
Ca	403.3
Mg	448.9
K	57.4
Na	1416
pH	2.14

4.2　提案プロセスの確認試験

4.2.1　模擬尾液試験

実尾液試験に先立ち，模擬尾液を用いて，Reの電解回収試験を行い，得られた試験条件を実尾液試験に適用した。陰イオン交換法により，Reを濃縮した後，電解法によりReを陰極に析出回収できることがわかった。

4.2.2　実尾液試験

１）　濃縮試験

実抽出尾液を通水し，Reを吸着させた陰イオン交換樹脂をアンモニア水で溶離し，４Lの濃縮液を得た。Re濃度の溶離液量の依存性を図５に示す。濃縮率は約54倍となり，ウランや鉄などの不純物をほとんど含まない濃縮液を得ることができた。

２）　電解回収試験

実濃縮液を用いて，Reの回収電解試験を行った。その結果を図６に示す。

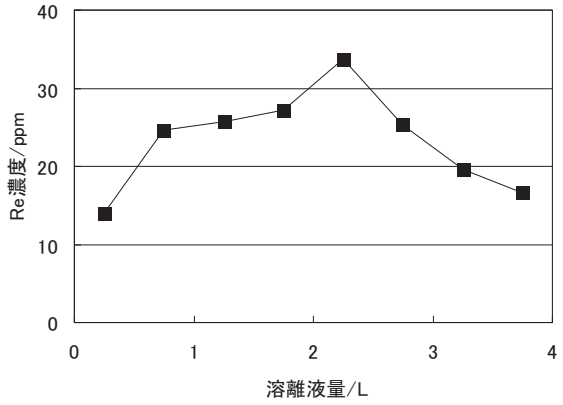


図５　Re電解回収率の経時変化

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

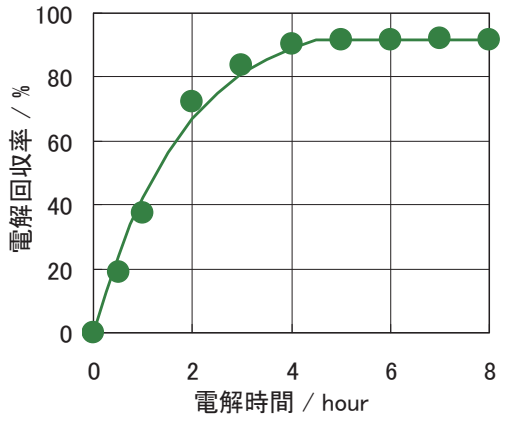


図６　Re電解回収率の経時変化

図６に示すように，５時間で約90％以上のReを回収できることを確認した。

また，電解回収試験に使用した陰極をSEM/EDSにより分析した結果と合わせて図７に示す。陰極のEDSの結果から陰極析出物はReO_2ではなく，金属Reであることが確かめられた。陰極において競争反応により発生する水素ガスにより析出したReO_2が金属に還元されたものと推定される。

陰極反応:

$$ReO_4^- + 4H^+ + 3e^- \rightarrow ReO_2 + 2H_2O$$

$$2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$$

陽極反応：

$$2H_2O \rightarrow O_2 + 4H^+ + 4e^-$$

カザフスタンのウラン鉱山の実際の抽出尾液を用いて，Reの濃縮試験および電解回収試験を行い，提案したプロセスにおいてReが金属として回収できることを確認した。

4.2.3　プロセス成立性の評価

上記試験結果をもとに，提案プロセスの成立性について評価を行った。プロセスとして，Re濃縮および回収プロセスはいずれも原理的に成立することがわかった。今後，上記プロセスが経済的に成立するかどうかを評価する必要がある。

5．まとめ

カザフスタンにあるAk　Dala鉱山のウラン抽出尾液を用いて，高温のガスタービンの材料に使用されるReを純度良く，金属の形態で回収できることを示すことができた。

今後，経済性を評価すると共にパイロットプラントの概念設計を行う予定である。

＊1　ピューレックス法：硝酸と有機溶媒を用いて使用済燃料を処理する方法

＊2　二次廃棄物：プロセスを採用することによりそのプロセスから新たに発生する廃棄物。

参照文献

(1)　Masaki OZAWA, Akihiro KAWABE, Reiko FUJITA, “Separation and Utilization of Fission Products in Nuclear Fuel Cycle as Hydrogen Production Catalyst”, 水素エネルギーシステム, 33(1), pp1-7, (2008)

(2)　金村祥平，水口浩司，藤田玲子，大森孝，山岸功，小山真一，小澤正基，“白金族，Tc,Reの電解析出メカニズムと析出物電極の触媒活性”，電気化学会第76回春の大会　1H23

(3)　藤田玲子，“原子力産業におけるレアメタルとリサイクルの課題”，第36回レアメタル研究会，2009.6.26

(4)　藤田玲子，中村等，金村祥平，水口浩司，宇都宮一博，大森孝，野村俊自，”レアメタルの製造システム”，特願2009-142565

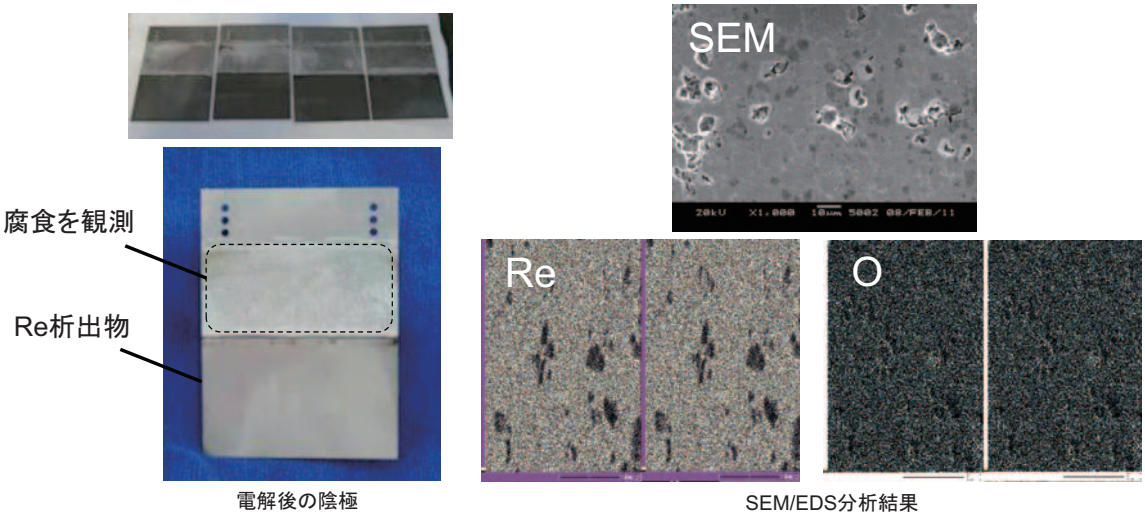


図７　Re電解回収試験後の陰極の概観とSEM/EDS

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

論説◆解説

特集：ガスタービンに使用しているレアメタル，レアアース

Ni基超合金素材の供給に及ぼすレアメタル調達環境の影響と対応

松井　孝憲*1
MATSUI Takanori

キーワード：Ni基超合金，Ni-base superalloy，レアメタル，minor metal，near-net-shape，数値解析，modeling，リサイクル，recycle，超硬合金，cemented carbide，コーティング，coating

1．はじめに

ジェットエンジン，発電用ガスタービン等では高温高負荷部位を中心にNi基超合金が多用されている。ジェットエンジンではセラミックマトリックス複合材料や金属間化合物の適用が試みられる等，より一層の高温化や高効率化を目的とした代替材料の探求が継続的に進められているものの，総合的な高温材料としての優秀さと実績から当面はNi基超合金が高温部位の主要材料であり続けるものと考えられる。一方，発電用ガスタービンにおいても燃焼温度の高温化に伴い，Ni基超合金の重要性が益々高まるものと推察される。

キーマテリアルであるNi基超合金を高い品質レベルで安定的に供給することは素材メーカーの使命であるが，近年の世界的なレアメタル，レアアースの需給逼迫や価格高騰は液晶パネル，希土類磁石や二次電池といった話題性の高い用途だけではなく，Ni基超合金の供給にも大きな影響をもたらしている。

本稿では鍛造材を中心にNi基超合金におけるレアメタルの役割を概観するとともに，Ni基超合金の安定供給に向けた当社の取組み，関連する三菱マテリアルグループの取組みを報告する。

2．レアメタルから構成されるNi基超合金

超合金（superalloy）という言葉やカテゴリーに対する明確な定義はないが，例えば超合金を扱う材料技術者に広く知られるSimsらの著書SuperalloysⅡでは“A superalloy is an alloy developed for elevated-temperature service, usually based on group ⅧA elements, where relatively severe mechanical stressing is encountered, and where high surface stability is frequently required.”と記述されている[1]。基調となる金属はFe，Ni，Coの３種の遷移金属であり，大きくはFe基，Ni基，Co基に分類される。それぞれの用途で求められる特性やコストを勘案し，適用合金が選定，使用されているが，現在の主流はNi基であり，狭義の超合金はNi基超合金を指す。

タービン入口温度に代表されるガスタービンの高温化は設計技術と材料技術が両輪となって実現されてきたと言われるが，この場合の材料技術とはNi基超合金の合金開発と関連する製造技術の開発に負ってきたところが大きい。Ni基超合金は高温部を中心とした主要部に適用され，例えばBoeing 747，767やAirbus 300，310，330等に搭載される代表的なGE Aviation社のCF6エンジンおよびPratt & Whitney社のPW4000エンジンにおけるNi基超合金の構成比率が重量比でそれぞれ48%，39%に達し，構成比率の面からも重要かつ不可欠な構成材料と位置付けられる[2],[3]。発電用ガスタービンではジェットエンジンほどの構成比率とはなっていないが，Ni基超合金は動静翼に代表される高温部を中心に適用され，燃焼温度の高温化に伴って役割を増す傾向にある。

高温材料に求められる使用上の基本的要件は高温強度特性，耐環境性とそれら特性の高温安定性で，実用上は製造性やコストが加味されなければならないが，Ni基超合金は総合的なバランスに優れることが，中心的材料として適用されてきたことの背景となっている。表１に代表的な鍛錬材用Ni基超合金の化学成分を示す。1987年に当時の通商産業大臣の諮問機関，鉱業審議会レアメタル総合対策特別小委員会が定めたレアメタル31鉱種を基準にすると，表1に記載した元素のうち，Al，Fe，C以外は全てレアメタルに分類される[4]。複雑な成分構成は個々の合金が高温強度特性，耐酸化性，耐食性，加工性等について目標とする水準を実現すべく検討された結果である。高温強度特性の付与を例にすると，Ni基超合金は基調となる金属として融点が高く，融点まで最密構造をとるNiを選択し，Mo，W等による母相γ相の固溶強化制御，γ'相（Ni_3Al），γ''相（Ni_3Nb）等による析出強化相制御と結晶粒度制御の組合せで所望の特性を得ることを基本として合金設計がなされてきた。代表的なNi基超合金における耐力の温度依存性を図１に示す。図１には固溶強化型Ni基超合金の代表例としてAlloy600とAlloyXを，析出強化型Ni基超合金の代表例としてAlloy718とWaspaloyの特性を掲載している。併せて掲載した代表的な耐熱鋼Alloy304Hと比較すると固溶強化

原稿受付　2011年５月16日
＊1　MMCスーパーアロイ㈱　技術開発部
〒364-0023　埼玉県北本市下石戸下476

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

型合金でも1.5～2倍程度，析出強化型合金では5～7倍程度の高温強度を有しており，高温材料としての有意差は明らかである。表1に記載したようなレアメタル主体の成分構成は図1に代表される高温強度特性を得るために，個々の元素の効果とそのバランスを探求していった結果と言える。また諸特性を高価なレアメタルに依存する傾向は，表1に掲載された鍛錬材よりも高温域で使用することを意図したタービン動静翼用の鋳造材等ではさらに顕著になり，Ta，Re，Ruといった元素が組込まれるようになる。少しでも地合せを下げていくことが期待されつつも，特性維持や向上の要望に応えるには引き続き高い構成比率でレアメタルを使い続けなければならない状況にある。

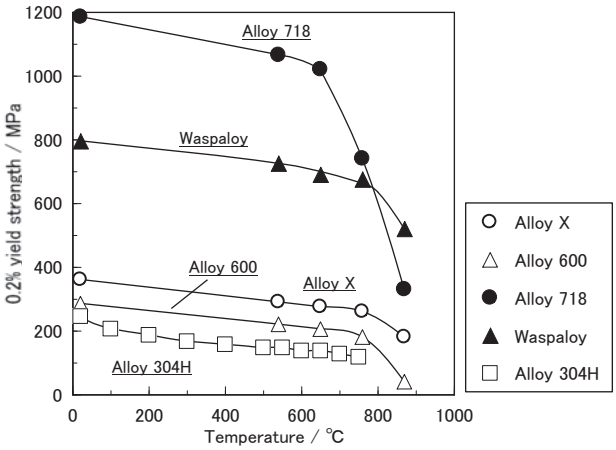


図1　代表的なNi基超合金における耐力の温度依存性[1],[5]

3．レアメタル価格の影響

図2はNi基超合金に関わる金属価格履歴を整理すべく，財務省貿易統計の統計品別推移表から塊を中心とした素材の輸入単価推移を算出したものである[6]。非鉄金属の価格指標としてはLondon Metal Exchange（LME）におけるLME価格が最も著名で国際的な認知度も高いが，Cr，W，Tiといった金属は取扱対象となっておらず，Co，Moは2010年2月に取引を開始したばかりであるように，基調となるNiは継続的推移を把握できるものの，Ni基超合金の構成主要元素を網羅するだけの情報を提供するものではないことから，為替の影響も反映している財務省貿易統計によって2002年以降の価格推移を整理した。なお，直接対比できるNiで見ると財務省貿易統計から算出された輸入単価とLME価格とは絶対値，変動傾向ともに概ね良い一致を示しており，輸入依存度が高い金属については財務省貿易統計データに基づいてNi基超合金の地合せ推移を評価しても差支えないものと考える。図2では世界的な需要の高まりを背景にした継続的な単価の上昇傾向と特定国，地域での実需および需要見通しや輸出制限等の政策によって単価が大きく変動する傾向が見て取れる。Ni基超合金の中で最も使用されている$\gamma-\gamma''$型析出強化合金Alloy718と代表的な$\gamma-\gamma'$型析出強化合金Waspaloyについて，Niが図2で整理される期間内で最安値となった2002年1月時点と最高値を記録した2007年6月時点での地合せ単価を対比すると，2007年6月時点の地合せ単価は2002年1月時点の地合せ単価のそれぞれ6.7倍，5.7倍と算出される。製品コストに占める原料費の比率が50%となる製品があったならば，製品コストが3倍程度の水準になったことを意味する。また製品の不純物制御の観点から，適用できる原料が品位の高いものに成らざるを得ないという特徴もある。航空機用材料の公的規格として最も広く知られるAerospace Material Specification（AMS）におけるAlloy718の化学成分要求を例に取ると，Pb，Bi，Se の上限はそれぞれ5ppm，0.3ppm，3ppmと規定されており，Pb，Bi，Se，Ag，S，Pといった不純物元素の含有量は厳しく制限されている[7]。不純物の制御は原料選定と溶解技術の組合せによって達成されるもので原料のみで決まる訳ではないが，上述のような要求レベルになると原料は自ずと制限される。加えて価格と連動し，かつより深刻な現象として，原料によっては供給，すなわち需要側から見た入手性に問題が発生する可能性も認識する必要がある。

表1　代表的な鍛錬材用Ni基超合金の化学成分

Alloy	Chemical composition（mass%）												
	Ni	Cr	Co	Mo	W	Nb	Al	Ti	Fe	C	B	Zr	Others
Alloy X	bal.	22.0	1.5	9.0	0.6	−	−	−	18.5	0.10	−	−	−
Alloy 230	bal.	22.0	−	2.0	14.0	−	0.3	−	−	0.10	−	−	La:0.02
Alloy 214	bal.	16.0	−	−	−	−	4.5	−	2.5	−	−	−	Y:0.01
Alloy 600	bal.	15.5	−	−	−	−	−	−	8.0	0.08	−	−	−
Alloy 617	bal.	22.0	12.5	9.0	−	−	1.0	0.3	−	0.07	−	−	−
Alloy 625	bal.	21.5	−	9.0	−	3.6	0.2	0.2	2.5	0.05	−	−	−
Tomilloy	bal.	22.0	8.0	9.0	3.0	−	1.0	0.3	−	0.07	−	−	−
Alloy 706	bal.	16.0	−	−	−	2.9	0.2	1.8	40.0	0.03	−	−	−
Alloy 718	bal.	19.0	−	3.0	−	5.1	0.5	0.9	18.5	0.04	−	−	−
Alloy X750	bal.	15.5	−	−	−	1.0	0.7	2.5	7.0	0.04	−	−	−
Alloy 263	bal.	20.0	20.0	5.9	−	−	0.5	2.1	−	0.06	0.001	0.02	−
Alloy 41	bal.	19.0	11.0	1.0	−	−	1.5	3.1	−	0.09	0.005	−	−
Alloy 720	bal.	18.0	14.7	3.0	1.25	−	2.5	5.0	−	0.035	0.033	0.03	−
Alloy 720LI	bal.	16.0	14.7	3.0	1.25	−	2.5	5.0	−	0.01	0.015	0.03	−
Waspaloy	bal.	19.5	13.5	4.3	−	−	1.4	3.0	−	0.06	0.006	0.05	−

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

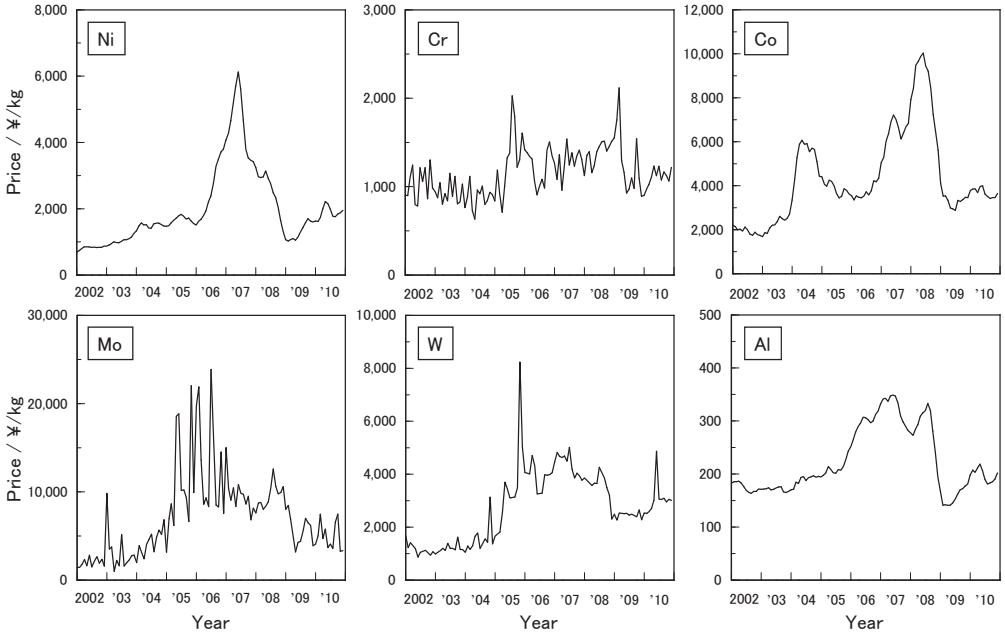


図２　Ni基超合金に関わる各種金属の輸入単価推移[6]

以上のようにジェットエンジン，発電用ガスタービンに不可欠なNi基超合金は成分構成上レアメタルの価格や供給の影響を強く受けざるを得ない。時々に急激な変動を伴いながら長期的には上昇傾向が続いてきたレアメタル価格の推移が今後も継続する可能性を認識し，安定供給のための取組みを実施していく必要がある。

４．安定供給に向けた取組み

前章に記載したようなレアメタル価格の上昇，変動に対してLME価格等に連動したサーチャージ制を導入し，コスト変動リスクを顧客と共有するような商取引上の取組みもあるが，本稿では技術面に的を絞ってレアメタルの価格上昇，変動影響を抑制し，安定供給を図るための当社の取組みを紹介する。

4.1　near-net-shape技術による投入量の抑制

レアメタルの価格上昇や変動の影響を緩和する手法の一つは投入量の抑制である。投入量が抑制できれば原料の調達費や製造リードタイム間の変動リスクが低減される。ここで言う投入量の抑制とは，ある決められた製品に対して品質要求を満足しつつ，如何に製品１ヶ当りの投入素材量を抑制できるかという技術的課題とその解決手段を意味する。本稿では鍛造品におけるnear-net-shape技術の展開を紹介する。

near-net-shape技術とは塑性加工段階で製品と極めて近く，余肉の少ない素材形状を得る技術である。図３は鍛造と引き続くリング圧延によって成形されるシームレスの異形リング製品において想定される複数の圧延方案を対比したものである。図３(a)は最もシンプルな方案であり，圧延段階で矩形素材を得るもの，図３(b)は製品形状に準じた滑らかな斜面からなる素材を得るもの，図３(c)は製品形状に極めて近い異形素材を得るもの，すなわちnear-net-shapeに相当するものである。断面図から見て取れるように，図３(a)の方案は最も余肉量が多く，相対的に多くの投入素材を必要とする。図３(c)の方案は対極に位置し，最も余肉量が少なく，投入素材量を抑制できる。

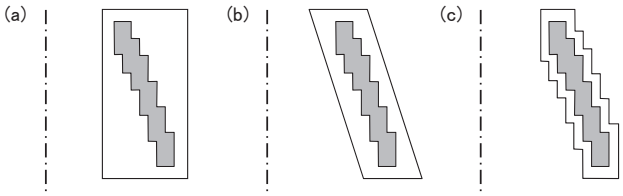


図３　異形シームレスリングの圧延方案例

投入素材量の抑制という点で図３(c)の方案が優れていることは明らかであるが，Ni基超合金のリング圧延品への展開は容易ではない。所定形状への成形が難しいという問題に加えて，金属組織制御の難易度も高いという問題がある。先に述べたようにNi基超合金は高温強度特性に優れるという特徴を持つが，同特徴の裏返しとして素材を高温で変形させるための応力，高温変形抵抗が大きい。特に高温強度への寄与が大きい析出相が分散した組織状態，すなわち相対的に低温側では，より高い変形抵抗となる。同時に伸びや絞りで評価される変形能は低下する。変形抵抗が相対的に小さくなる高温側でも，結晶粒の粗粒化等が発生する温度域になると変形能が低下する。実際に起き得る現象で言えば，変形抵抗が大きいために塑性加工に大きな荷重を要し，その延長上で必要荷重が設備能力を越えると所定形状に成形できない可能性がある。変形能が小さいために成形中に素材が割れてしまう可能性がある。

Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

さらに適切な金属組織への制御はより難しい問題である。製品に求められる強度特性を得るために製造工程の各段階で実際に制御されるのは主として金属組織である。すなわち強度特性制御は金属組織制御に置き換えられる。強度特性は結晶粒度や析出相の分散といった金属組織によって決定付けられることから，強度特性と金属組織との相関性が十分に理解されている材料であれば，強度特性よりも広い領域を評価できるという特徴とも相まって，金属組織は素材の適正を的確に表現する指標となる。実際，金属組織への要求は強度特性への要求と同等の重みを持って捉えられている。熱処理が金属組織に与える影響の大きさはよく知られるところであるが，鍛造品については塑性加工段階での制御も重要である。例えば結晶粒組織については，ある結晶粒度域の均一な等軸粒組織を要求されるのが一般的であるが，熱処理工程での制御が困難で，実質的に塑性加工工程で所望の組織を得なければならない場合が多々ある。塑性加工において結晶粒組織を左右する主なパラメータは温度，ひずみ速度，ひずみであり，これらのパラメータが要求される結晶粒組織を満たす範囲に制御されなければならない。形状や諸特性に対する要求を満たすために許容される適正塑性加工範囲はprocess windowと呼ばれるが，process windowが極めて狭いのがNi基超合金の塑性加工上の特徴である。複数のパラメータの組合せで成立する範囲というのはそれだけでも難しさを伴うものであるが，実際の鍛造素材では温度，ひずみ速度，ひずみに分布が発生し，時間推移も起こる。図３(a)のような矩形形状では個々の場所による違いは比較的小さく，起り得る現象も想像し易いが，図３(c)のような複雑な異形形状となると，場所による違いが大きくなりやすく，時間推移の影響も複雑になるため，塑性加工によって得られる組織を制御することが難しくなる。すなわちNi超合金鍛造素材のnear-net-shape化は固有の変形抵抗や変形能による形状付与の難しさを克服したうえで，最終的に必要とされる特性を得るための，より限られたprocess window内で各種パラメータを適切に制御できることが必要条件となる。

当社では上述のような複雑な現象を理解し，適切な工程設計を実現するために独自に開発した数値解析技術を活用している[8]。図４にシームレスリングの圧延模式図を示す。シームレスリングはメインロール（ドライブロール）とマンドレルロール（プレッシャーロール）との間で部分圧延を繰り返されることによって所定形状に成形される。鍛造に比べると複雑な製造方法であり，数値解析上も素材，メインロール，マンドレルロールが常に相対位置を変えながら成形が進む等，取扱いが難しい。そのため，素材全体をモデル化する全モデルでは予測精度は確保できるものの，計算時間が実用上の許容範囲内に収まらないという点で，解析対象を圧延領域に限定した部分モデルでは実用的な計算時間に収められる一方で予測精度が確保できないという点で，いずれも実用上の工程設計ツールとはならないという問題があった。当社では境界条件設定の独自性に特徴付けられる部分モデルによって実用的な計算時間で全モデルと等価な予測精度を実現する圧延解析技術を開発し，種々の製品開発や改善において工程設計ツールとしての有効性を確認している。図５にシームレスの異形リングを対象とした圧延解析例を示す。 数値解析によって複雑な異形素材についても形状，温度，ひずみ等の予測が可能となり，特性を確保しつつ投入素材量を減ずるnear-net-shape化の推進に寄与している。またnear-net-shapeにすることで製品機械加工時の加工代が減ることからnear-net-shape化は後述する切削工具の省資源化効果も同時にもたらす。なおリング圧延に先駆けて鍛造についても同様の数値解析技術を実現しており，リング圧延解析を含め，材種によっては直接的に結晶粒組織を予測する技術としている。解析技術は素材メーカーの工程設計ツールとしてだけでなく，設定した工程に対する顧客からの理解や承認を得る品質保証的ツールとしても機能しており，鍛造，リング圧延を問わず，near-net-shape化の推進に不可欠な技術となっている。

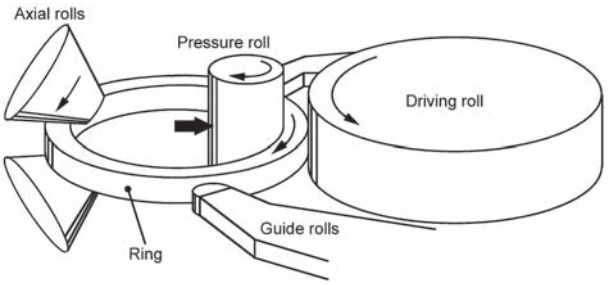


図４　シームレスリングの圧延模式図

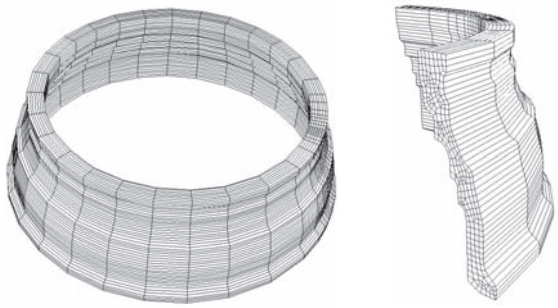


図５　典型的な異形リングの圧延解析例（圧延後形状）

4.2　リサイクルによるロスの抑制

2009年７月28日付で経済産業省より公表された“レアメタル確保戦略”においてレアメタル確保に向けた４つの柱（海外資源確保，リサイクル，代替材料開発，備蓄）のうちの一つにも掲げられているようにリサイクルの推進は資源を有効活用し，製品供給の安定化を図るうえで，素材メーカーが直接的に取組める重要な手段の一つである[9]。Ni基超合金の基調となっているNiについて

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

言えば主用途は特殊鋼である[10], [11]。用途分類上はNi基超合金も特殊鋼に含まれるが構成率は低く，ステンレス鋼向が主体である。そのため日本はNiの一大消費地であるとともに，Ni価格は世界的なステンレス鋼の需要動向に大きく左右される。

ステンレス鋼を中心とした特殊鋼については従来より素材メーカー内，市中を含めてスクラップリサイクル率は高く，全体として資源は有効に利用されていると言える。Ni基超合金の場合，リサイクルは再び同種あるいは類似のNi基超合金の原料となるか，ステンレス鋼等の他の特殊鋼の添加原料のいずれかとなるのが一般的である。廃棄されないという意味ではどちらの経路もリサイクルの効果は等しいが，個々に求められる役割を担うべく組込まれている種々のレアメタルがそれぞれの価値を維持しているかという点では両者の効果は大きく異なる。Ni基超合金スクラップが他の特殊鋼用原料として素材メーカーから放出される場合，スクラップの価値はNi純分のみで見積られるのが一般的である。例えば表１に掲載したAlloyXとAlloy600について2010年12月時点でのスクラップ価値を試算すると，相対的にNi純分の高いAlloy600のスクラップは原料地合せの90%弱程度の評価になるのに対して，原料地合せはほぼ同じであるにも拘らずNi純分の低いAlloyXのスクラップは原料地合せの60%弱程度にしか評価されないことになる。Alloy600についても相対的にNi価格が低い状況下，例えば2002年１月時点ではスクラップ評価は原料地合せの80%弱の水準になる。スクラップの価格は使用する側から見た価値と言えるが，Ni基超合金においては大きな役割を担うべく組込まれているNi以外のレアメタルは基本的に価値を持たないという扱いになっている。 Ni基超合金の素材メーカーから見ると，Ni基超合金以外の特殊鋼へのスクラップリサイクルは常にレアメタルの価値損失を伴うものであり，レアメタルが本来期待された価値を維持し，有効に活用されるという意味では同種あるいは類似のNi基超合金の原料としてリサイクルされることが重要である。

当社では上記の考え方に基づいて図６のようにスクラップの循環系を構築し，ロスの抑制，レアメタルの有効活用に継続的に取組んでいる。図６では原料から製品を作る流れを動脈，製造工程で発生したスクラップの流れを静脈と表現しているが，溶解から始まる素材の製造工程においては溶解，鍛造，圧延，機械加工等の各段階で塊状，板状，切粉状といった様々な形状のスクラップが発生する。鍛造後や熱処理後であれば表面に酸化スケール等を，機械加工後であれば切削油等を伴うといった点で性状も様々である。種々の材種が製造工程内に流れるなかで厳密な材種管理が必要であるとともに，ジェットエンジンあるいは発電用ガスタービン用途では厳しい主成分および不純物成分の制御が求められることから，溶解工程投入前の清浄化や溶解工程における方案設定の適正化も必要である。スクラップリサイクルは最終的に製品要求を満足することが大前提であり，要求が厳しいほど，あるいはスクラップの品位が低くなるほど関連製造技術や管理技術への要求は高まる。今後も必要に応じて技術開発を伴いながら社会的ニーズとも言えるスクラップリサイクルを推進する。

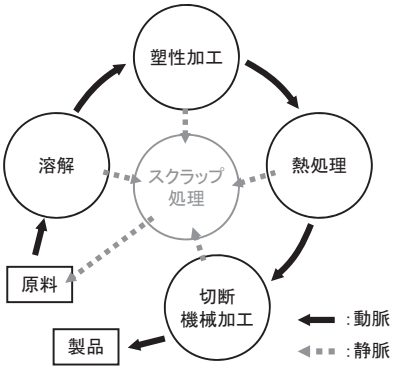


図６　素材製造におけるマテリアルフロー

５．製造工程に関わるレアメタル

Ni基超合金が主としてレアメタルから構成される材料であることは上述したとおりであるが，Ni基超合金素材の製造工程，すなわちものづくりにおいてもレアメタルは必要不可欠である。例えば，優れた高温強度特性は塑性変形時の高い変形抵抗を随伴するものであり，塑性加工工程において高い変形抵抗に抗するだけの強度を持つ特殊鋼の金型を必要とする。 機械加工工程に目を向けると，Ni基超合金は難切削材であり，硬質材料からなる切削工具を必要とする。本稿では超合金の切削加工において中心的な役割を担う超硬合金，コーテッド超硬合金について三菱マテリアルグループの取組みを紹介する。

超硬合金，サーメット等の硬質材料は切削工具，耐摩耗工具等の各種工具に用いられるが，硬質材料の中で最も使用されているのは超硬合金である[12], [13]。また，超硬合金の７割程度は切削工具用途である。Ni基超合金を対象にする場合に限らず超硬合金からなる切削工具は輸送機械，電子・電気機械等の様々なものづくりにおいて重要な役割を担っている。広義の超硬合金はⅣa，Ⅴa，Ⅵa族金属の炭化物粉末を硬質相とし，Fe，Co，Niなどの金属粉末を結合相とした焼結材料を示し，一般的には炭化タングステン（WC）を主体とし，必要に応じて炭化チタン（TiC），炭化タンタル（TaC），炭化ニオブ（NbC）等との組合せとなる硬質相とCo結合相から構成される材料を示す。Ni基超合金と同様にレアメタルの塊と言える。なかでもWCの構成率が高いことから元素としてはWの動向が問題となる[9], [10], [13], [14], [15]。Ni基超合金にも含まれるWは埋蔵量，生産量ともに中国への依存度が高く，供給や価格の安定性に対する懸念要因となっている。成分構成から見ると，W使用量の少ない代替材料への移行が望ましいが，容易ではない。切削用の硬質材料

Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

には耐摩耗性，耐欠損性，耐熱衝撃性等が求められるが，超硬合金は上記特性のバランスに優れることが，今日まで種々の硬質材料が開発されながらも，依然として切削工具用の硬質材料の主流であり続ける理由である。

代替材料の登場が期待される一方で現実的には超硬合金が切削工具用硬質材料の中心である状況下で，Wの使用量を抑制していく有効な手段の一つはスクラップリサイクルである。三菱マテリアルの関連会社である日本新金属では超硬合金工具のスクラップリサイクルに取り組んでいる[16]。具体的には鉱石の場合と同様にスクラップから中間原料となるパラタングステン酸アンモニウム（Ammonium Para Tungstate:APT）を製造し，最終的にW粉末やWC粉末を得ている。スクラップは超硬工具メーカーや超硬工具のユーザーで発生したものであり，形状，不純物の付着状態ともに多様であるが，鉱石を出発点とした場合と同等の品質を得ることができている。Wの国内最大需要は超硬工具向けであることから超硬工具のリサイクルを推進することはWの総輸入量を低減し，Wを使用する製品の供給，価格の安定に寄与するものと考えられる。三菱マテリアルグループでは超硬工具の販社を通じて積極的に使用済工具の回収を進めている。

Wの使用量を抑制していく有効な手段としてはセラミックコーティングの活用，すなわちコーテッド超硬合金の展開も挙げられる。図７に示すように一般に硬質材料においては耐摩耗性と耐欠損性は相反の関係を取り，両者を同時に向上させることは困難であるが，セラミックコーティングは耐欠損性を低下させることなく，耐摩耗性を向上させられるという魅力を持つ[16]。セラミックコーティングの開発は切削工具としての性能を向上させるために継続実施されてきたが，Wの希少性が問題となる現状では耐摩耗性が向上し，工具寿命が延びれば，超硬合金の使用量を削減できるという側面も強く意識されるようになってきた。実用化されているコーティングの成膜方法には化学蒸着（Chemical Vapor Deposition:CVD）法と物理蒸着（Physical Vapor Deposition:PVD）法があるが，例えばCVD法ではTiCの単層に始まり，アルミナ（Al_2O_3）+TiC複層の開発，比較的低温で成膜させる中温化学蒸着（Moderate Temperature Chemical Vapor Deposition:MTCVD）法を用いたAl_2O_3+TiCN複層の開発が進められる中で耐摩耗性の向上が実現されてきた。現在では成膜層の構成や厚さに加えて結晶方位や微細組織の制御によって特性を向上させるという技術開発が進められるに至っている。三菱マテリアルではセラミックコーティングの重要性に着目し，継続的な技術開発に取組むとともに開発した技術を順次量産に適用している。

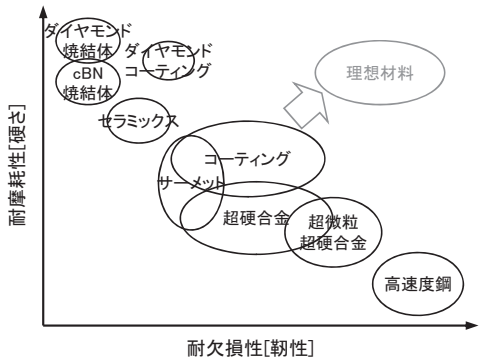


図７　硬質材料の耐摩耗性-耐欠損性相関図[12]

６．おわりに

燃焼温度の高温化，ジェットエンジンにおいては軽量化へのニーズも相まってNi基超合金を代替する材料の登場が期待され，実際一部用途については新たな材料の適用が試みられる状況にあるが，Ni基超合金が主要構成材料の役割を担う傾向は当面の間続くものと考えられる。素材メーカーとして良品の安定供給に繋がる活動を継続，推進することが責務と認識するが，一方で昨今のレアメタルの供給不安，価格上昇および価格変動は素材メーカーが企業努力として吸収できる範囲を越え始めていることも事実である。本稿が，関連する切削工具等を含め，必要とされるレアメタルを自国で産出できない我が国において上流から下流に亘る業界関係者が素材に関する現状認識を共有する一助になれば幸いである。

参考文献

(1) Sims，C.T. et al.，Superalloys Ⅱ，(1987)，John Wiley & Sons
(2) Barker，J.F.，Superalloys 718，(1989)，p.269
(3) Paulonis，D.F.，Schirra，J.J.，Superalloys 718，625，706 and Various Derivatives，(2001)，p.13
(4) 堂山昌男ら，レアメタル事典，(1991)，フジ・テクノシステム/日本工業技術振興協会
(5) 物質・材料研究機構クリープデータシートNo.32A，(1995)
(6) 財務省，貿易統計
(7) Aerospace Material Specification 5663M，(2004)
(8) Matsui，T.，Takizawa，H. and Kikuchi.H.，Proc. of Superalloys 2004，(2004)，p.907
(9) 経済産業省，レアメタル確保戦略，(2009)
(10) 浦辺徹郎ら，貴金属・レアメタルのリサイクル技術集成，(2007)，NTS
(11) 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 2009，(2010)，p.81
(12) 長田晃，精密工学学会誌，76-12（2010），p.1315
(13) 新エネルギー・産業技術総合開発機構，平成17年度成果報告書「レアメタル3R技術開発に関する調査」，(2006)
(14) 新エネルギー・産業技術総合開発機構，平成18年度成果報告書 「希少資源代替材料開発プロジェクト」に関する調査，(2007)
(15) 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 2009，(2010)，p.127
(16) 小山宏，機械と工具，(2007-10)，p.100

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

喫茶室

丹羽　高尚*1
NIWA　Takahisa

現役の仕事から身を引いて早や10年余，世の中の情勢は新聞やテレビでしか知る術もない生活を送っている。

そんな私に『喫茶室』に寄稿せよとの御指名が伝えられた。喫茶室というからには，その昔，まだ煙草を喫っていた頃　ダンヒルのパイプで紫煙をくゆらせながら取り止めもなく，あれこれと思いを廻らせていた時のような気儘な気分で書いてもよいのであろうと独り決めし安易に引き受けてしまった。

歳（昭和３年生まれ）が進むに連れ，様々な記憶や想い出が次々と消え去ってゆく。ジェットエンジンという語は時々メディアにも出てくるが「ガスタービン」となると，一般の人には馴染みの薄い言葉なのだろう，日頃メディアにも滅多に現れないので，私の記憶の中のガスタービンも次第に色褪せてきてしまった。

そんな最中，３月11日に地震，津波，原子力発電所，停電という大災害，大事件が同時に起きた。私は咄嗟にガスタービンによる電源補充を思いついたが，メディアの取り上げ方は軽く，例えば「ガスタービン発電機の特徴は設置は容易だがコストが高い」（４/９　読売新聞）という程度の小さい記事に終わってしまった。

昨今，企業は広告宣伝に使う費用の削減を進めており，またインターネットの勃興もあって，メディアは「質の良さ」よりも「視聴率の維持」だけを意識してプログラムの中味を決めているように見える。その結果，我々の先達が憂いていた通り，低俗化が益々ひどくなってきたのではないかと思う。かつては安心してみていたNHKだが，法律のもとに料金を徴収し，スポンサー集めの苦労も無いにも拘わらず，民放並みの大衆迎合的軽佻浮薄な番組や所作を取込んだり，客観報道と称して一方的な説を押し付けがましく述べるようになった。

時代と共に慣行が移り変わるのは人間社会に於いて避けられないことだが，そんな中でも非常に気懸かりなるのは日常の話し方の変わりざまであろう。私は2,30年の間，言葉の乱れに惑わされることが極めて多くなった。役所，銀行や商店だけでなくテレビに出てくる人達の言葉を聞いていると，必ずと言ってもよい位「アレッ変だ」「曖昧だ」「余計な語尾だ」などと途惑うことが多く，その間に相手の話を聞き損じてしまう。民族文化を代表するものの一つが言葉だが，若者はテレビから新語や奇抜な動作を逸早く取入れるし，一般の人はNHKの論述を鵜呑みに信じる傾向が強いので，諸相の激変を避ける為にも，せめてNHKだけは言葉の乱れや珍奇な行動は殿をつとめ品位と礼節と公正を保つよう努力して貰いたいものだ。

話は変わるが，近頃，パスモ，スイカと言うカードが広く用いられている。これ程便利なものは無い。目的地迄の料金を知らずに乗っても，改札口を出る時，機械がちゃんと計算してくれるし，また，乗ってから心変わりして行先を変えても料金の精算などという煩わしいことも無くなった。しかし，ここでもまた，他人への思いやりに欠け乱暴な仕草が助長されている。朝夕のラッシュ時に，出る人，入る人が同時に改札口に達したとき，一瞬早くタッチした人は誇らしげに一瞥を与えて通り過ぎ，タッチに遅れた人は恨めしげに睨み返すことが繰り返されている。それぞれの駅ごとに混雑の時間帯は当然把握されている筈だが，朝と夕に出口，入口を専用に決めることは出来ないのだろうか。JRや私鉄の人達はこれに感付いていないのだろうか。いや，感付いていても「慣行は変え難い」という悪習が妨げになっているのだろう。今のカードの使い方は，我勝ちに他人より先を行くことばかりを考える人を作る場の一つになっている。

利己主義傾向の増長は留まるところを知らず，例えば親は子供の躾を忘れ受験勉強のみに追い立て，或いは，生産年齢人口が明らかに減り始めているのに，やたら数ばかり増えた大学卒業生は自分の見識に欠けていることを棚に上げ，就職難を企業の雇用努力の不足の所為にし自助努力を失う傾向が強くなった。職業を選別し快適な仕事にしか就こうとしないので介護看護の分野には新人が集まらないという深刻な問題にもなっている。

これらの愚痴も年寄の浮世ばなれと言うのかも知れない。しかし今回の被災地では自衛隊，警察，消防に加え多くの若いボランティアが復興に向け労を惜しまず力強く活動してくれている。利己心を捨てた人々の手によって東北地方の，延いては日本の再起が達成されることを願っている。

原稿受付　2011年４月19日
＊1　公益社団法人 日本ガスタービン学会　元会長

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

法政大学理工学部機械工学科流体工学研究室

辻田　星歩[*1]　TSUJITA Hoshio
金子　雅直[*2]　KANEKO Masanao

キーワード：遠心圧縮機，軸流タービン，ラジアルタービン

1．はじめに

本研究室の現在のメンバー構成は教授１名，博士後期課程の学生１名，修士課程の学生14名および学部４年次の学生８名である。現行の研究テーマはターボ機械の空力的性能向上に関するものが中心となっている。その内容は軸流タービンに関するものが５件，遠心圧縮機に関するものが３件とラジアルタービンに関するものが１件である。以下に研究テーマの概要を紹介する。

2．軸流タービンに関する研究

2.1　高負荷化に関する研究

タービン翼の高負荷化は，多段に対してはタービン段数の削減を，同一段であれば翼枚数の削減およびタービン径の縮小を可能にする。その結果，タービン翼の冷却空気流量を低減させることもできる。しかしながら，転向角の増大による高負荷化は翼間圧力勾配の増大を伴い，翼前縁での馬蹄形渦の形成や翼間流路内での流路渦の形成に影響を与え，強い二次流れを誘起する。その結果，翼列性能が低下することが予想されている。したがって，空力性能の低下を抑えて高負荷化を実現するためには，翼列内の流れの挙動の詳細を解明する必要がある。

本テーマでは，究極とも云える転向角160°の超高負荷タービン翼を対象として，その直線翼列モデルの内部流れの詳細を実験的および数値解析的手法により解明する研究を行っている。さらにチップ径80mmの同超高負荷タービン円環翼列の単段の小型試験装置を製作し，それを用いて負荷性能を評価する実験を行っている。図１に本研究室で開発した３次元NSコードによる，直線翼列モデルに対する解析結果を示す。同図は翼前縁ハブ壁付近の馬蹄形渦の複雑な挙動を，翼列上流側およびスパン方向から見た様子である[(1),(2)]。図２には円環翼列試験装置の外観と，その内部に装着されている静翼と動翼を示す。また，円環翼列に対しても市販のCFDコードによる数値解析的研究を進めている。本テーマについては元JAXAの山本孝正氏およびJAXAの西澤敏雄氏らにご指導ご協力を頂いている。

2.2　トランスピレーション冷却に関する研究

タービン翼の空気冷却法の一つであるトランスピレーション冷却では，多孔質材料により形成された翼の表面から冷却空気が浸み出し，それが翼面を覆うことにより高温ガスから翼を保護する。また，多孔質材料内においても冷却空気と材料間の伝熱面積が他の空気冷却法と比べて大きく，熱伝達量が増加するため翼面全体において均一に高い冷却効率を得ることができ，さらに冷却に要する空気流量の低減が期待される。

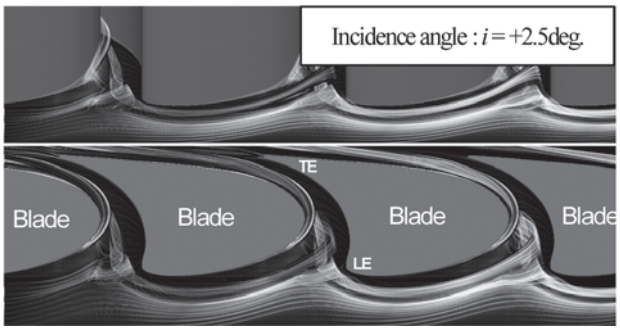


図１　超高負荷タービン直線翼列前縁付近の流れ

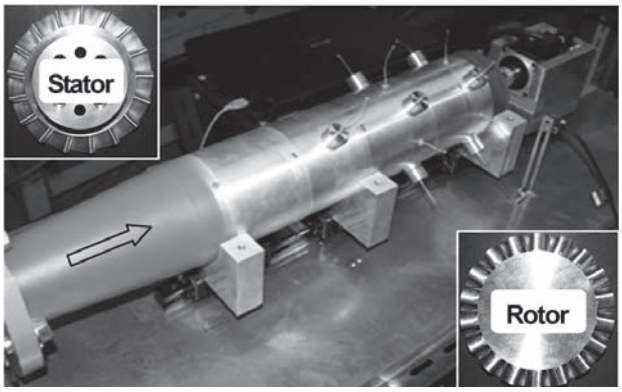
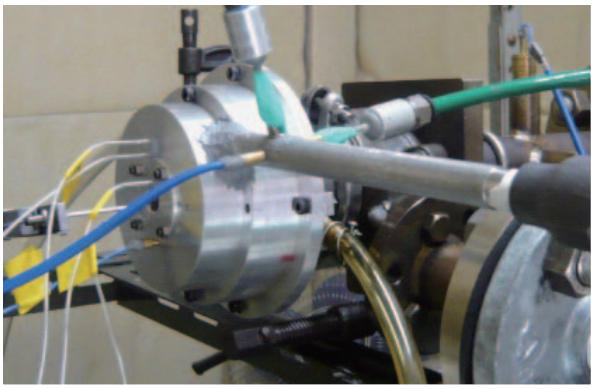


図２　超高負荷タービン円環翼列試験装置

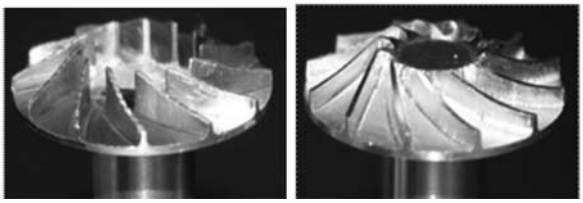
原稿受付　2011年６月16日
＊１　法政大学理工学部機械工学科
〒184-8584　小金井市梶野町３－７－２
＊２　法政大学大学院工学研究科機械工学専攻

Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

本テーマでは，多孔質材料で形成された直線タービン翼列流路内の流れを，市販のCFDコードを用いて解明する研究を行っている。現在は，多孔質材料の平均粒子径と空隙率，および冷却空気噴出し流量比の冷却効率への影響を調べ，それらの最適な組合せを検討している[3]。今後は馬蹄形渦や流路渦などの二次流れが，冷却効率へ与える影響について調べる予定である。



(a) 圧縮機試験装置



(b) 基準羽根車　　(c) 修正羽根車

図３　二次元翼遠心圧縮機試験装置

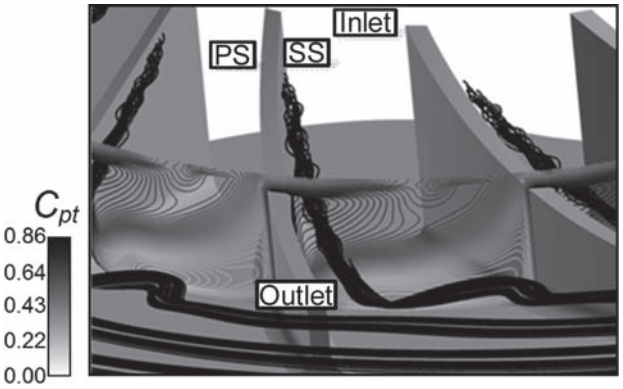


図４　翼端漏れ渦と流路方向中央断面における全圧損失係数C_{pt}分布（基準羽根車）

３．遠心圧縮機に関する研究

3.1　回転曲がりダクトによる二次流れと損失生成機構の解明

遠心羽根車内の相対流れには子午面内の流路の曲率による遠心力に加えて，回転によるコリオリ力が作用することにより流路渦が発生し，それが流路内の損失生成に強く影響を与える。流路渦生成の基本モデルとして回転曲がりダクトが考えられる。本テーマでは，回転曲がりダクトのベンド形状を遠心羽根車の子午面形状と関連付け，羽根車流路内の流れに影響を与えるパラメータを考慮して回転曲がりダクト内の流れの数値解析を行うことにより，遠心羽根車流路内の二次流れの形成およびそれによる損失生成機構の解明を行っている。これまでに，子午面内の流路の曲率による遠心力と回転によるコリオリ力の比を表わすRossby数[4]と，ピッチ方向速度分布[5]が流路渦の形成およびそれによる損失生成へ与える影響について解明した。

3.2　超小型化に関する研究

超小型ガスタービンを構成する超小型遠心圧縮機では，加工技術の制約により小型化に伴い相対的に翼端間隙が増大するため，漏れ流れが損失生成に与える影響が大きくなる。一方，羽根車形状は加工性と生産性の問題を考慮して二次元翼の採用が検討されているが，高速の設計回転数での運転では材料の強度の面で問題が生じる。このため二次元翼を採用するには，高速回転を考慮した羽根車の子午面形状の最適化が必要である。

本テーマでは，超小型ガスタービンのサイクル成立を可能にする超小型遠心圧縮機の開発を目的に，最終寸法の６倍モデル（外径24mm）の二次元翼遠心羽根車を設計・製作し，実験的手法により性能特性を評価している。また数値解析的手法により同羽根車内部の流れを解析し，二次流れや損失生成機構を解明する研究を行っている。これまでに，一次元性能予測に基づいて設計した基準モデルに対して，設計回転数に耐えうるように子午面形状を修正し，その修正が性能特性に与える影響を実験的に，また損失生成に与える影響を数値解析的に解明した[6]。図３に遠心圧縮機試験装置と，遠心羽根車の基本モデルと修正モデルを示す。図4には数値解析結果による，翼端漏れ渦が損失生成に与える様子を示す。

3.3　サージングの制御

遠心圧縮機の運転において，流量を設計点から低下させると旋回失速やサージングなどの不安定現象が生じる。これらの現象下での運転は圧縮機性能を著しく低下させ，特にサージングは激しい振動を伴うため圧縮機系の破壊をもたらすこともある。サージング発生流量を設計段階で正確に予測することは困難であるため，一般的に圧縮機はサージング発生流量より十分にマージンをとった高流量側で運転される。したがって，運転範囲の拡大のためにはサージングの制御が重要となる。

本テーマでは，遠心圧縮機の安定作動範囲の拡大を目的に，図５に示すように羽根車下流のスクロール出口付近の作動流体の一部を抽気し，バイパス管により再循環させ，羽根車入口へ吹込むことにより，サージング発生流量の制御を試みた。現在までに，サージング発生限界流量の低流量化に対して最も効果的な周方向吹込み位置

Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

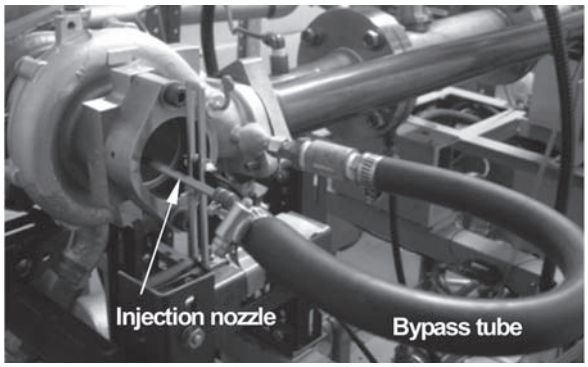


図５　吹込み装置を装着した遠心圧縮機試験装置

を調べ，さらに，その最適吹込み位置は機種および回転数に依存しない可能性があることを示した[7]。

４．ラジアルタービンに関する研究

車両用ターボチャージャにおける可変ノズル機構（VGS）は，その出力を各作動点において最適化し，広作動域での性能向上を図るために採用されている。このVGSはエンジン回転数の変化に応じてノズルベーンの開度が制御されるため，作動流体の流量およびタービン羽根車への流入角が大きく変化する。したがって，ラジアルタービンの空気力学的性能を向上させ，作動条件に応じて最適化を行うためには，羽根車内の流れの挙動や損失生成メカニズムを把握することが必要である。

本テーマでは株式会社IHIの車両用過給機セクター開発部様と共同で，VGSを有する車両用ターボチャージャの広作動域での性能向上を図ることを目的に，ラジアルタービン内部流れの挙動，およびそれが損失生成に与える影響を，数値解析的および実験的手法により解明する研究を進めている[8],[9]。

５．まとめ

本研究室で現在実施している研究の概要を紹介した。詳細については参考文献を参照して頂きたい。本誌の2004年５月号において，故水木新平先生と共著で「研究だより」を執筆させて頂いて７年が経過した。ここで紹介させて頂いた研究には，水木先生が提案された研究も多く継続されていることを記しておく。

参考文献

(1) 辻田星歩，山本孝正，“超高負荷タービン翼列内の二次流れ”，日本ガスタービン学会誌，Vol.36，No.5，pp.379-384（2008）.
(2) Tsujita, H. and Yamamoto, A.,“Complex Secondary Flow and Associated Loss Generation in Ultra-Highly Loaded Turbine Cascade”, ASME-GT2010-22594（2010）.
(3) 伏見雄一，辻田星歩，“トランスピレーション冷却を有するタービン翼列内の流れの数値解析”，日本機械学会，2009年度年次大会講演論文集（７），pp.17-18（2009）.
(4) 辻田星歩，水木新平，“回転曲がりダクトによる遠心羽根車内の二次流れと損失生成機構の解明（第1報，Rossby数の影響）”，日本機械学会論文集（B編），76巻737号，pp.111-120（2008）.
(5) 辻田星歩，右田和也，“回転曲がりダクトによる遠心羽根車内の二次流れと損失生成機構の解明（第２報，入口ピッチ方向速度分布の影響）”，日本機械学会論文集（B編），76巻765号，pp.814-822（2010）.
(6) 金子雅直，辻田星歩，“超小型遠心圧縮機内部流れの数値解析（子午面形状の影響）”，ターボ機械，第39巻，第６号，pp.349-357（2011）.
(7) 内田孝宜，辻田星歩，平野利幸，“吹込みによる遠心圧縮機のサージングの制御（最適吹込み位置の圧縮機への依存性について）”，2010年度日本機械学会流体工学部門講演会講演論文集，pp.333-334（2010）.
(8) 小松智哉，辻田星歩，山口諭，山方章弘，“ラジアルタービン内の流れの数値解析”，ターボ機械，第37巻，第12号，pp.722-729（2009）.
(9) 大塚賢太，小松智哉，辻田星歩，山口諭，山方章弘，“ラジアルタービン内部流れの数値解析（ノズルベーン角度の影響）”，ターボ機械，第38巻，第８号，pp.470-476（2010）.

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

資　料

2010年ガスタービン及び過給機生産統計

ガスタービン統計作成委員会

ガスタービン統計作成委員会は，関係各社の協力を得て2010年１月から12月の間（今年）におけるガスタービン及び過給機の生産状況を調査・集計し，生産統計資料を作成した。資料提供を，陸舶用ガスタービンについては15社，航空用ガスタービンについては３社，過給機は13社に依頼し，提供を受けた範囲で生産統計資料を纏めた。なお，過給機はすべて排気タービン方式のターボチャージャーであり，機械駆動によるものではない。

１．2010年陸舶用ガスタービン生産統計概要※

⑴　総台数（図１）は前年の396台に対し333台と，前年に比べて63台（16%）の減少となり，最近６年間（2005～2010年）では最少となった。出力区分別の前年との比較では（表１），小型が20台減少，中型が16台減少，大型が27台減少と，全ての区分で減少している。また，出力ベースでは前年の9,485MWに対し2,491MWと，前年から6,994MW（74%）の減少となった。前年は一昨年に比べて4,016MW（73%）の増加であったが，一転，今年は大幅な減少となり，最近６年間で最少となった。出力区分別の前年との比較では，小型が8MW減少，中型が45MW減少，大型が6,942MW減少と，こちらも台数同様全ての区分で減少している。

ア）小型（735kW以下）は前年と比べて，台数，出力ともに15％減で，それぞれ113台，45MWとなった。

イ）中型（736～22,064kW）は前年と比べて，台数，出力ともに８％減で，それぞれ195台，491MWとなった。

ウ）大型（22,065kW以上）は前年と比べて，台数は52%減の25台，出力は78%減の1,954MWとなり，台数，出力ともに大幅な減少となった。

⑵　用途別にみると（表１，図５，図６），ベースロード発電用（BL），ピークロード発電用（PL），非常用発電用（EM），艦艇用（MM）およびその他（MC）の用途向けで占められており，台数で最も多いのは非常用発電用の262台（79％），出力ではベースロード発電用の2,025MW（81％）である。前年と比べると，ベースロード発電用（BL）が大幅に減少したことにより占有率に変動はあるものの，全体的な構成は台数，出力ともほぼ例年と変わらない傾向である。

ア）非常用発電用（EM）は前年と比べて，台数は41台（14％）減の262台，出力では57MW（13%）減の387MWとなった。区分別にみると，小型は台数で18％，出力で22%の減少，中型は台数で11％，出力で12%の減少となっている。前年は小型が台数，出力ともに増加，中型が台数は増加，出力は減少であったが，今年は小型，中型ともに台数，出力が減少となっている。

イ）ベースロード発電用（BL）は前年と比べて，台数は36台（47%）減の40台，出力では7,009MW（78%）減の2,025MWと，大幅な減少となった。区分別にみると，小型が台数で57%，出力で36%の減少，中型が台数で29%，出力で49%の減少，大型は台数で52%，出力で78%の減少となっている。前年は台数・出力とも小型・大型が増加，中型が減少したが，今年は小型から大型まで台数，出力ともに減少しており，特に大型の減少が顕著である。このベースロード発電用の大型の減少が全体の減少に大きく影響している。１台あたりの出力を前年と比べると，小型：前年　約0.3MW/台　今年　約0.4MW/台，中型：前年　約8MW/台　今年　約6MW/台，大型：前年　約171MW/台　今年　約78MW/台となっており，ここでも大型の減少が顕著である。

ウ）その他用途向け（MC）は前年と比べて，台数は８台（47%）増の25台，出力では7MW（96%）増の14MWとなっている。

⑶　燃料の種類別にみると（表２，図７，図８），台数ではガス燃料が前年比53%減の40台，液体燃料が前年比５％減の293台となっている。出力ではガス燃料が前年比78%減の2,027MW，液体燃料が10%増の463MWとなっている。ガス燃料・液体燃料とも台数は前年より減少しているが，出力については液体燃料で増加したがガス燃料では大幅に減少している。構成比率は，台数ではガス燃料が全体の12%に対し，液体燃料が88％で，前年に比べると液体燃料の構成比が10%ほど高くなっている。一方，出力ではガス燃料が81%，液体燃料が19％で，こちらは前年に比べて，液体燃料の構成比が15%ほど高くなっている。なお，前年実績があったその他燃料であるが，今年は実績なしであった。

ア）液体燃料では，台数，出力ともに最も多いのが重油１種で，台数は194台で燃料全体の58％を占めている。出力は249MWで燃料全体の10%を占めている。重油１種は前年に比べて台数は３％の増加，出力は８％の増加となっている。次に台数が多いのは軽油の53台であるが，前年に比べると２％減となっている。最も少ない灯油は46台で，前年比31%減となっている。出力では軽油が130MW，灯油が84MWとなっており，前年と比べると，軽油が78%

※文中の前年との差異や増加率などの数値は，後に示す数表に基づきkW単位で算出している。

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

増加した一方，灯油は29%の減少となっている。前年は軽油よりも灯油の方が台数・出力ともに多かったが，今年は逆転している。軽油は台数が１台減にかかわらず出力が大幅に増加しており，特に中型クラスの単機あたり出力の増加（前年比で台数変わらず，出力は87%増）が顕著である。一方灯油は前年に引き続き台数，出力ともに減少している。

イ）ガス燃料では，台数が最も多いのは天然ガスの31台で，燃料全体の9％を占めている。出力も天然ガスが最も多く1,807MWで全体の73％を占めている。台数で次に多いのは都市ガスの４台，次が液化天然ガスと高炉ガスの各２台で，最も少ないのが石油プラントオフガスの１台となっている。出力では次に多いのは高炉ガスの173MW，次が石油プラントオフガスの33MW，液化天然ガスの7MWと続き，最も少ないのが都市ガスの7MW弱となっている。天然ガスが台数，出力ともに最も多い傾向は例年通りである。

ウ）燃料別比率を出力区分別にみると，台数の上位３種は，小型は重油１種（60%），灯油（21%），軽油（16％）（前年と構成比率大きく変わらず），中型は重油１種（65%），軽油（18%），灯油（11%）（前年から灯油と軽油が逆転），大型は天然ガス（88%），高炉ガス（8%），石油プラントオフガス（4%）となっている。全体では重油1種（58%），軽油（16%），灯油（14%）の割合になった。出力でみると，小型は重油１種（67%），灯油（17%），軽油（13％），中型は重油１種（45%），軽油（25%），灯油（15%），大型では天然ガス（89%），高炉ガス（９％），石油プラントオフガス（２％）となっている。全体では天然ガス（73%），重油１種（10%），高炉ガス（７％）の割合となった。前年は天然ガスが出力全体でも９割を超えるなど突出していたが，今年は７割強となっている。また，各出力区分の上位３種の順位が台数と出力の間で一致している。

⑷　納入地域別でみると（表３），台数では国内が前年比36台減の299台，輸出が27台減の34台。出力では国内が前年比1,129MW減の823MW，輸出が5,866MW減の1,668MWとなっている。

ア）国内向けは総台数の90%，全出力の33%を占めており，前年との比較では，全体に占める割合は台数で５％増，出力で12%増と台数・出力ともに増加しているが，台数および出力そのものはそれぞれ11%減および58%減となっており，出力は前年の半分以下と激減している。区分別でみると，小型は台数で22台減，出力で9MW減，中型では12台減，5MW増，大型では２台減，1,124MW減となっている。台数では各区分とも減少しているが，出力では中型で増加，小型，大型で減少（前年比：小型17%減，大型76%減）となっており，特に出力における大型の減少が顕著である。さらに国内の地域別にみると，台数で大きな変化があったのは中部で24台，九州で17台の減少，などである。出力では九州で68MWの増加，東北で306MW，中部で349MW，近畿で479MW，四国で141MWの減少，などである。全般的な減少傾向の中，九州では台数減に対し出力では増加となっているが，これは事業用の大型機種の実績によるものである。また，東北，中部，四国の出力の減少は主に前年実績があった大型機種の減少によるものであるが，当該地域では例年大型機種の実績がないため，今年は例年に近い状況と見ることもできる。なお，中部については全出力区分で台数，出力とも減少している。地域別のシェアは台数，出力ともに関東が最も多く，それぞれ国内全体の45%，30%を占めている。台数が最も多い地域は前年と変わっていないが，出力では前年33%を占め最も多かった近畿が，今年は19%となり３番目に多い地域となっている。（２番目は九州の21%）また，今年は昨年実績がなかった舶用主機向けに４台，58MWの実績があった。

イ）輸出は総台数の10％，全出力の67%であり，前年と比べた全体に占める割合は台数で５％，出力では12%，それぞれ減少している。前年よりそれぞれ27台（44％），5,866MW（78%）減少となっており，台数，出力ともに大幅な減少で，これが全体の減少の主要因となっている。前年は輸出の出力が前々年から4,326MWの大幅増となったが，今年はこの前年の増加分を上回る減少が見られた。前年との比較を区分別でみると，小型では２台，1MWの増加，中型では４台，51MWの減少，大型では25台，5,817MWの減少となっており，前年実績がなかった小型以外は台数，出力とも減少となっている。特に大型の大幅な減少が顕著で，台数，出力ともにこの大型の減少が輸出全体の減少の大半を占めている。輸出先別にみると，台数ではアジア（41%），中東（21%）欧州・アフリカ（各12%ずつ）の順になっており，出力ではアジア（39%），北米（31%），中東（19%）となっている。前年は台数，出力とも中東が最も多かったが，今年は例年どおりアジア向けが台数，出力ともに最も多くなっている。アジア向けは前年と比べて台数は変わらないものの，出力は407MW（163%）増となっており，特に大型機種が台数，出力ともに増加（３台，449MW）している。一方前年は台数，出力ともに最も多かった中東向けが今年は大幅に減少（台数前年比63%減，出力前年比89%減）し，台数で２番目，出力で３番目となっている。他に大きな変動があった地域は，北米が７台，1,346MWの減少，欧州が３台，973MWの減少，アフリカが台数の増減はないものの，出力は950MWの減少であった。また，前年実績があった大洋州では今年は実績がなかった。

⑸　被駆動機械別では（表４，図９，図10），これまでと同様に，台数，出力とも発電機がほとんどを占め，台数で92%，出力で97％であった。発電機について出力区分別にみると，前年に比べて全出力区分で台数，出力とも減少している。台数では前年は全出力区分とも増加していたが，今年は一転して減少しており，それぞれの前年比は小型が20%，中型で12%，大型で52%の減少である。また，出力では前年は小型と大型は増加，中型は減少であったが，こちらも一転して減少となった。それぞれの前年比は小型が22%，中型で

Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

20%，大型で78%の減少である。水ポンプは全体で前年に比べて８台，7MWの増加で，出力区分別にみると，小型は４台，3MWの増加，中型が４台，4MWの増加となっている。この他の被駆動機械では推進機が中型で４台，58MWの実績があった。

⑹ 出力区分別（表５）を前年と比べると，小型全体は台数，出力ともに減少した中，出力区分０～146kWは台数，出力ともに増加，147～367kWは台数，出力ともに減少，368～735kWも台数，出力ともに減少となっている。中型全体も台数，出力ともに減少した中，736～4,412kWは台数，出力ともに減少，4,412～10,296kWで台数増，出力減，10,297～16,180kWは前年実績がなかったが今年は実績あり（６台，82MW），16,181～22,064kWは台数，出力ともに減少となっている。大型は22,065～44,129kW，44,130kW以上とも台数，出力ともに減少しており，特に44,130kW以上が台数で前年比74%減，出力で前年比82%減となっている。台数の多い順では，736～4,412kW，368～735kW，147～367kWとなっており，これは前年の傾向と変わりない。また出力の多い順では44,130kW以上，22,065～44,129kW，736～4,412kWとなっており，こちらも例年どおりの傾向となった。

⑺ 発電用ガスタービンの台数と出力を前年と比較すると（表６），事業用は，国内では４台，237MWとなり，台数は前年から３台減，出力は1,222MW減となった。輸出では２台，54MWとなり，台数は前年から３台減，出力は95MW減となった。自家用は，国内が272台，546MWとなり，台数は前年から43台減であったが，出力は61MW増となった。輸出は29台，1,581MWとなり，台数で27台減，出力では5,804MW減であった。全体的な減少の中，国内自家用は出力が増加した。

⑻ 陸舶用ガスタービン向けモジュールは，2010年は実績がなかった。

２．2010年航空用ガスタービン生産統計概要

⑴ ターボジェット／ターボファン・エンジンではTJM3のデータは収集出来ず，新規製造はF-2用のターボファンF110に今年からP-1用のF7が加わり，合計出荷台数は９台，合計推力は875kNであった。（表７，図２参照）

⑵ ターボシャフト／ターボプロップ・エンジンは，前年同様にターボプロップ・エンジンの新規製造は無い。ターボシャフト・エンジンではT62およびTS1のデータは収集出来ず，新規製造はSH60J/KおよびUH60J/JA用のT700のみで，合計出荷台数は24台，合計出力は39,174kWであった。（表８，図３参照）

⑶ 近年の民間航空機業界の活況をふまえ，2007年から新たに民間航空機用エンジン向けモジュールの生産統計を加えた。機種の内訳は，PW6000の燃焼機モジュールはデータを収集出来ず，V2500のファンモジュール，CF34の低圧タービン及びアクセサリギアボックスに今年からTrent1000の中圧圧縮機（IPC）および燃焼器モジュールが加わり，合計出荷台数は966台であった。（図４参照）

⑷ 日本の航空用ガスタービン生産全体の動向としては，防衛省向けエンジン及び民間航空機用エンジン向けモジュールの新規製造が，いずれも減少傾向である。但し今年から，防衛省向けエンジンではP-1用のF7エンジンが，民間航空機用エンジン向けモジュールではTrent1000のIPCおよび燃焼器モジュールの量産が始まり，今後は全体動向としても増加傾向に転じていくと思われる。民間航空機用エンジン向けモジュールに関しては，2007年以降，V2500およびCF34のモジュール生産統計を掲載しているが，部品製造も含めるとGE90，PW2000/4000/6000，GP7200，TRENT500/700/800/900，BR710/715など多機種に渡り，その生産規模も相当な額に達している。また，今後，GEnX，PW1000G等の部品製造，モジュール製造も本格化するため，民間航空機用エンジン関連の占める割合が増加する傾向は続くと見られる。（出典：社団法人日本航空宇宙工業会「平成23年版　日本の航空宇宙工業」, ISSN 0910-1527）

３．2010年過給機生産統計概要

⑴ 生産台数（表９，図11）については，主に自動車向けに使用される圧縮機翼車外径100mm以下のClass１過給機の生産台数は前年比26％増加して約345万台に，また主に建設機械，陸上発電設備，船舶補機等向けに使用される圧縮機翼車外径101mm～200mmのClass２過給機の生産台数は前年比51％増加して約3.8万台となった。一方，主に船舶主機向けに使用される圧縮機翼車外径201mm以上のClass３以上の過給機については，Classごとの程度差はあるものの，総じて11％の減産となった。

⑵ 生産型式（表10，図11）は前年度に比べ５型式増え180型式（全Class含む）となったものの，2008年以降Class１の主要過給機メーカー１社の報告を得られず，集計上型式数は減少している。またラインナップは残すものの数年間生産実績のない機種も見られ，生産機種の多様化とは言い難い。

⑶ 市場動向としては，2009年は前年秋のリーマンショック以降の世界不況の影響を受け生産台数は著しく減少したが，2010年は不況からの脱却と共に生産活動の回復が見られ，リーマンショック直前の2008年には届かないまでも，2007年の生産台数を上回るまでに回復した。特に著しい回復が見られたのは，Class２の中の建設機械向け過給機である。リーマンショックの被害が最も深刻であった自動車業界向けのClass１の回復も顕著だが，2008年の生産台数の65％にしか及ばない。Class３以上は主に船舶主機向けだが，2009年にはさほど見られなかったリーマンショック以降の造船不況の影響が濃厚に表れ，Classによる影響差はあるものの，全体として11％の減産となった。造船業界における中国の台頭も国内造船所の建造量の低迷，延いては国内過給機メーカーの生産量の減少の一因になっていると思われる。

⑷ 製品ラインナップについてはさほど大きな変化は無いが，Class３以上の船舶主機用過給機として，2011年からのIMO NOx２次規制（排ガス規制），もしくは2016年からの３次規制への対応も見据えた，より高圧

Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

力比を実現する新機種が投入され始めている。船舶補機用としても某有力メーカーからClass 2 ～ 4 それぞれに新機種の投入が見られた。Class1の車両用過給機に関しても，欧州自動車メーカーを中心に過給ダウンサイジングによる低燃費化の流れがますます加速する方向にある為，過給機ラインナップも増加していくものと期待される。

Ⅱ．統計

1．最近 6 年間のガスタービン生産推移

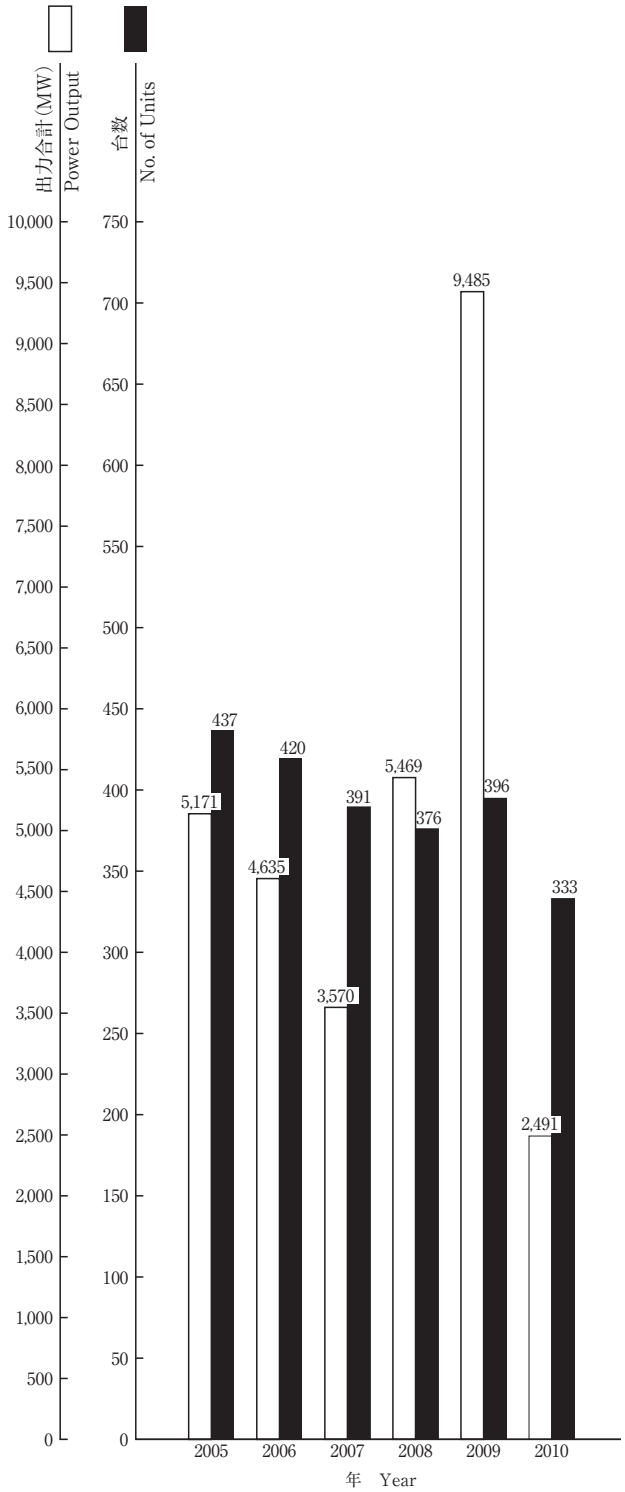


図１　陸舶用ガスタービン

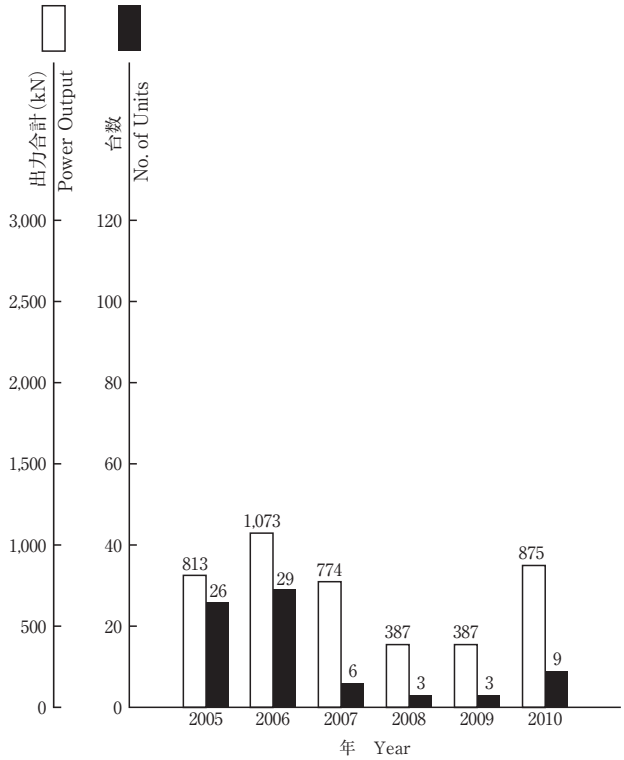


図２　ターボジェット／ターボファン・エンジン

Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

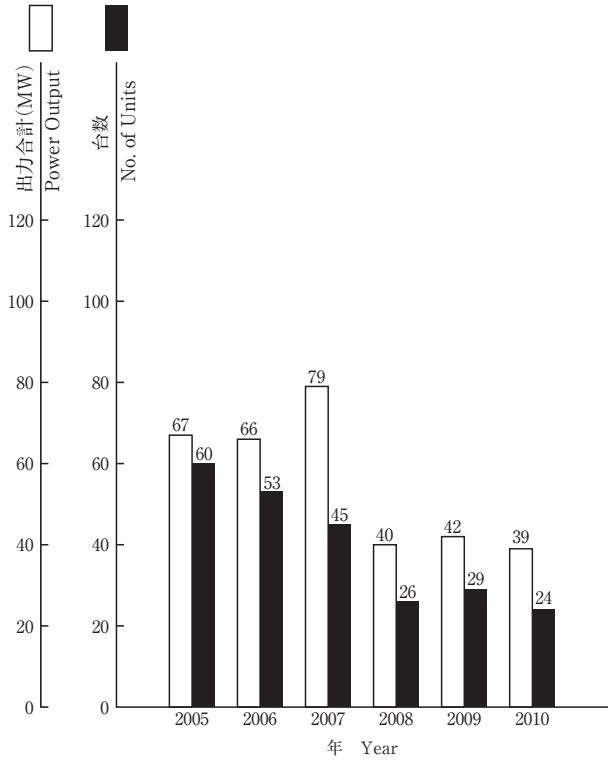


図3　ターボシャフト／ターボプロップ・エンジン

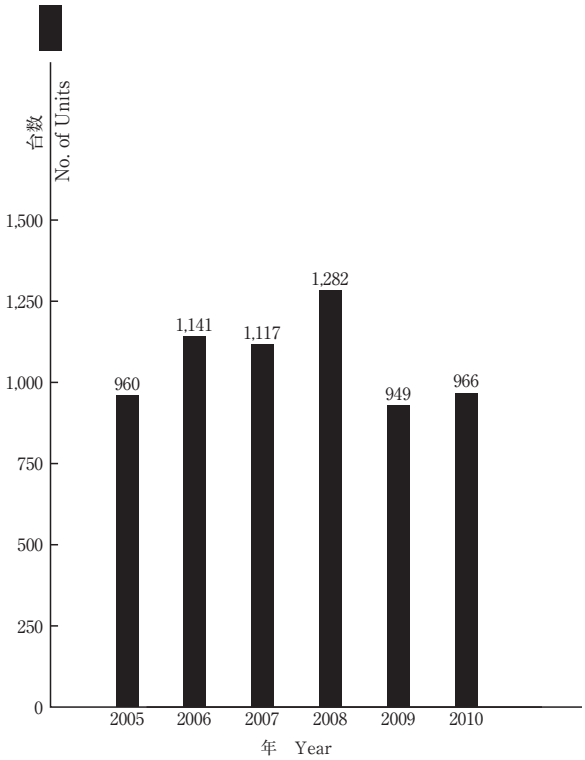


図4　民間航空エンジン用モジュール

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

2．陸舶用ガスタービン

表1　2010年用途別生産台数及び出力（kW）

区分 Size		小型 Small Unit ～735kW		中型 Medium Unit 736～22,064kW		大型 Large Unit 22,065kW～		全出力 Total	
用途 Application	コード Code	台数 Units	出力 Output(kW)	台数 Units	出力 Output(kW)	台数 Units	出力 Output(kW)	台数 Units	出力 Output(kW)
ベースロード発電用 Generator Drive for Base Load	BL	3	1,246	12	69,528	25	1,954,460	40	2,025,234
ピークロード発電用 Generator Drive for Peak Load	PL	0	0	2	6,000	0	0	2	6,000
非常用発電用 Generator Drive for Emergency	EM	92	37,695	170	349,430	0	0	262	387,125
商船用 Merchant Marine	M	0	0	0	0	0	0	0	0
艦艇用 Military Marine	MM	0	0	4	58,000	0	0	4	58,000
石油化学プロセス用 Oil Refinery and Chemical Process	OR	0	0	0	0	0	0	0	0
その他のプロセス用 Miscellaneous Chemical Process	PR	0	0	0	0	0	0	0	0
実験用 Experimental	XP	0	0	0	0	0	0	0	0
空調用 Air Conditioning	ACD	0	0	0	0	0	0	0	0
その他 Miscellaneous	MC	18	6,338	7	7,989	0	0	25	14,327
合計 Total		113	45,279	195	490,947	25	1,954,460	333	2,490,686

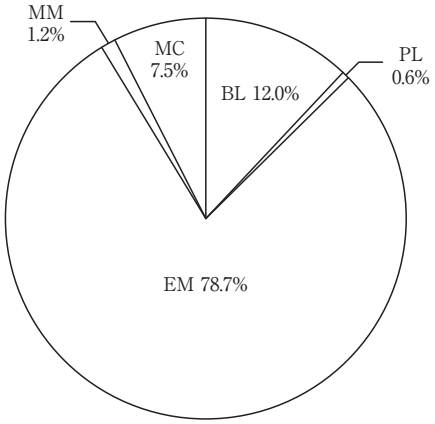


図5　2010年用途別生産台数割合（%）

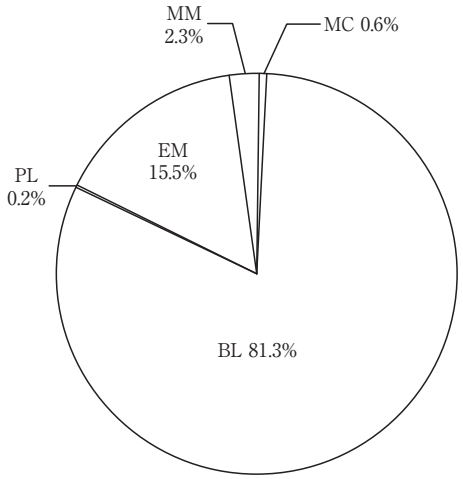


図6　2010年用途別出力割合（%）

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

表２　2010年燃料別生産台数及び出力（kW）

区分　Size			小型　Small Unit ～735kW		中型　Medium Unit 736～22,064kW		大型　Large Unit 22,065kW～		全　出　力 Total	
燃料種類 Kind of Fuel		コード Code	台数 Units	出　力 Output(kW)	台数 Units	出　力 Output(kW)	台数 Units	出　力 Output(kW)	台数 Units	出　力 Output(kW)
ガス燃料 Gaseous Fuel	液化天然ガス Liquefied Natural Gas	LNG	0	0	2	7,200	0	0	2	7,200
	天然ガス Natural Gas	GNG	1	650	8	58,328	22	1,748,130	31	1,807,108
	石油プラントオフガス Plant-off-gas	GOG	0	0	0	0	1	33,130	1	33,130
	高炉ガス Blast Furnace Gas	GBF	0	0	0	0	2	173,200	2	173,200
	都市ガス Town Gas	GTW	2	596	2	6,000	0	0	4	6,596
	ガス燃料　小計 Sub Total		3	1,246	12	71,528	25	1,954,460	40	2,027,234
液体燃料 Liquid Fuel	灯油 Kerosene	T	24	7,895	22	76,030	0	0	46	83,925
	軽油 Gas Oil	K	18	5,794	35	124,450	0	0	53	130,244
	重油１種 Heavy Oil No.1	H1	68	30,344	126	218,939	0	0	194	249,283
	液体燃料　小計 Sub Total		110	44,033	183	419,419	0	0	293	463,452
その他 Miscellaneous Fuel		MF	0	0	0	0	0	0	0	0
合　計 Total			113	45,279	195	490,947	25	1,954,460	333	2,490,686

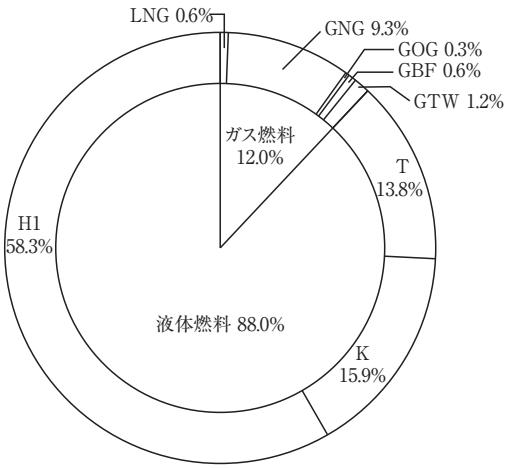


図７　2010年燃料別生産台数割合（%）

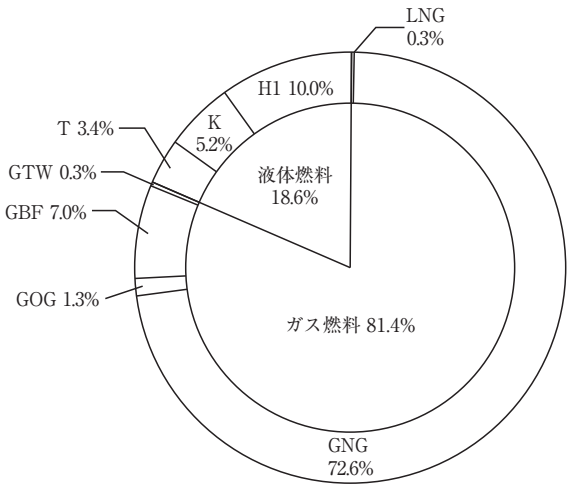


図８　2010年燃料別出力割合（%）

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

表3　2010年地域別生産台数及び出力（kW）

地域 Location	区分 Size	小型 Small Unit ～735kW		中型 Medium Unit 736～22,064kW		大型 Large Unit 22,065kW～		全出力 Total	
		台数 Units	出力 Output(kW)	台数 Units	出力 Output(kW)	台数 Units	出力 Output(kW)	台数 Units	出力 Output(kW)
国内向け Domestic Use	北海道 Hokkaido	4	1,860	3	3,200	0	0	7	5,060
	東北 Tohoku	11	4,060	6	7,200	0	0	17	11,260
	関東 Kanto	39	16,070	97	229,580	0	0	136	245,650
	中部 Chubu	17	6,795	16	20,829	2	74,880	35	102,504
	近畿 Kinki	18	6,287	30	63,650	1	87,200	49	157,137
	中国 Chugoku	10	4,573	9	10,720	0	0	19	15,293
	四国 Shikoku	2	800	5	8,740	1	33,130	8	42,670
	九州 Kyushu	8	3,780	6	6,800	2	162,140	16	172,720
	沖縄 Okinawa	0	0	3	5,400	0	0	3	5,400
	可搬型	2	4	0	0	0	0	2	4
	舶用主機 Marine Propulsion	0	0	4	58,000	0	0	4	58,000
	舶用補機 Marine Anxiliaries	0	0	3	7,200	0	0	3	7,200
	未定 Unknown	0	0	0	0	0	0	0	0
	国内向け 小計 Sub Total	111	44,229	182	421,319	6	357,350	299	822,898
輸出向け For Export	北米 North America	0	0	1	3,200	2	505,660	3	508,860
	中南米 South Central America	0	0	0	0	1	24,530	1	24,530
	アジア Asia	1	400	8	26,870	5	630,380	14	657,650
	大洋州 Oceania	0	0	0	0	0	0	0	0
	欧州 Europe	1	650	3	32,858	0	0	4	33,508
	旧ソ連 Fomer Soviet Union	0	0	1	6,700	0	0	1	6,700
	中東 Middle East	0	0	0	0	7	320,260	7	320,260
	アフリカ Africa	0	0	0	0	4	116,280	4	116,280
	輸出向け 小計 Sub Total	2	1,050	13	69,628	19	1,597,110	34	1,667,788
合計 Total		113	45,279	195	490,947	25	1,954,460	333	2,490,686

Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

表４　2010年被駆動機械別生産台数及び出力（kW）

区分　Size		小型　Small Unit ～735kW		中型　Medium Unit 736～22,064kW		大型　Large Unit 22,065kW～		全　出　力 Total	
被駆動機械 Driven Machinery	コード Code	台数 Units	出　力 Output(kW)	台数 Units	出　力 Output(kW)	台数 Units	出　力 Output(kW)	台数 Units	出　力 Output(kW)
発電機 Electric Generator	G	98	39,005	184	424,958	25	1,954,460	307	2,418,423
推進機 Propeller	PRR	0	0	4	58,000	0	0	4	58,000
水ポンプ Water Pump	W	15	6,274	7	7,989	0	0	22	14,263
合　計 Total		113	45,279	195	490,947	25	1,954,460	333	2,490,686

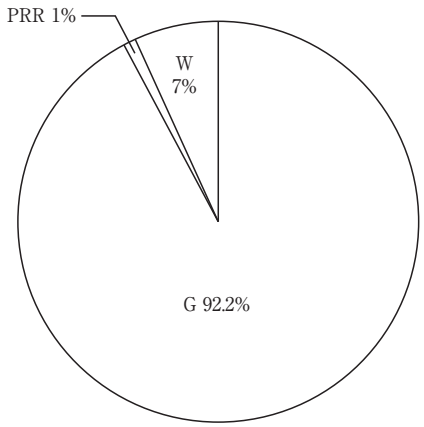


図９　2010年被駆動機械別生産台数割合（%）

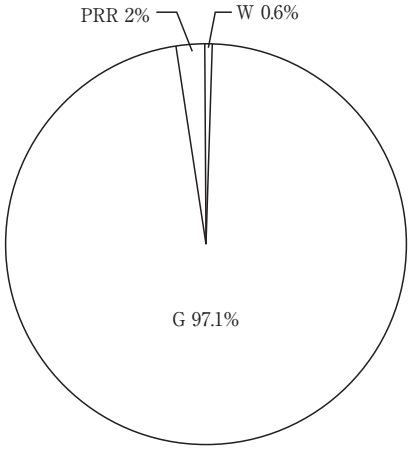


図10　2010年被駆動機械別出力割合（%）

表５　2010年出力区分別生産台数及び出力（kW）

出　力　区　分（kW） Units Output		台数 Units	出　力 Output（kW）
小　型 Small Unit 0～735kW	0～146	5	304
	147～367	34	8,180
	368～735	74	36,795
	小計　Sub Total	113	45,279
中　型 Medium Unit 736～22,064kW	736～4,412	173	304,269
	4,412～10,296	15	86,678
	10,297～16,180	6	82,000
	16,181～22,064	1	18,000
	小計　Sub Total	195	490,947
大　型 Large Unit 22,065kW～	22,065～44,129	16	474,280
	44,130～	9	1,480,180
	小計　Sub Total	25	1,954,460
合　計　Total		333	2,490,686

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

表6　2010年発電用ガスタービン用途別生産台数及び出力（kW）

区分　Size			小型　Small Unit ～735kW		中型　Medium Unit 736～22,064kW		大型　Large Unit 22,065kW～		全　出　力 Total	
用　途 Application		コード Code	台数 Units	出　力 Output(kW)	台数 Units	出　力 Output(kW)	台数 Units	出　力 Output(kW)	台数 Units	出　力 Output(kW)
国内事業用	ベースロード発電用	BL	0	0	0	0	4	237,020	4	237,020
	ピークロード発電用	PL	0	0	0	0	0	0	0	0
	非常用発電用	EM	0	0	0	0	0	0	0	0
Domestic/Public Use 国内事業用　小　計		Sub Total	0	0	0	0	4	237,020	4	237,020
国内自家用	ベースロード発電用	BL	2	596	8	46,958	2	120,330	12	167,884
	ピークロード発電用	PL	0	0	0	0	0	0	0	0
	非常用発電用	EM	91	37,295	166	341,230	0	0	257	378,525
	そ　の　他	MC	3	64	0	0	0	0	3	64
Domestic/Private Use 国内自家用　小　計		Sub Total	96	37,955	174	388,188	2	120,330	272	546,473
国内合計　Domestic Use Total			96	37,955	174	388,188	6	357,350	276	783,493
輸出事業用	ベースロード発電用	BL	0	0	0	0	2	54,120	2	54,120
	ピークロード発電用	PL	0	0	0	0	0	0	0	0
	非常用発電用	EM	0	0	0	0	0	0	0	0
For Export/Public Use 輸出事業用　小　計		Sub Total	0	0	0	0	2	54,120	2	54,120
輸出自家用	ベースロード発電用	BL	1	650	4	22,570	17	1,542,990	22	1,566,210
	ピークロード発電用	PL	0	0	2	6,000	0	0	2	6,000
	非常用発電用	EM	1	400	4	8,200	0	0	5	8,600
For Export/Private Use 輸出自家用　小　計		Sub Total	2	1,050	10	36,770	17	1,542,990	29	1,580,810
輸出合計　For Export Total			2	1,050	10	36,770	19	1,597,110	31	1,634,930
事業用	ベースロード発電用	BL	0	0	0	0	8	29,1140	8	291,140
	ピークロード発電用	PL	0	0	0	0	0	0	0	0
	非常用発電用	EM	0	0	0	0	0	0	0	0
Public Use 事業用　合　計		Total	0	0	0	0	6	291,140	6	291,140
自家用	ベースロード発電用	BL	3	1,246	12	69,528	19	1,663,320	34	1,734,094
	ピークロード発電用	PL	0	0	2	6,000	0	0	2	6,000
	非常用発電用	EM	92	37,695	170	349,430	0	0	262	387,125
	そ　の　他	MC	3	64	0	0	0	0	3	64
Private Use 自家用　合　計		Total	98	39,005	184	424,958	19	1,663,320	301	2,127,283
総　計　Grand Total			98	39,005	184	424,958	25	1,954,460	307	2,418,423

Note：Code Explanation　BL：for Base Load　PL：for Peak Load　EM：for Emergency　MC：any other miscellaneous use

Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

3．航空用ガスタービン

表7 2010年ターボジェット／ターボファン・エンジン
生産台数及び出力（kN）

生産台数 Number of Units	9	スラスト合計※1 Thrust	875

※1 海面上静止最大スラスト
Maximum Thrust at Sea Level Static Condition

表8 2010年ターボシャフト／ターボプロップ・エンジン
生産台数及び出力（kW）

区分 Size	0～735kW		736kW～		全出力	
用途 Application	台数 Units	出力※2 Output (kW)	台数 Units	出力※2 Output (kW)	台数 Units	出力※2 Output (kW)
固定翼機 Fixed Wing Aircraft	0	0	0	0	0	0
ヘリコプタ用 Helicopter	0	0	24	39,174	24	39,174
補助機関駆動用 Aux. Drive Units	0	0	0	0	0	0
合計 Total	0	0	24	39,174	24	39,174

※2 海面上静止常用出力
Normal Output at Sea Level Static Condition

4．過給機

表9 クラス別の年間生産台数

区分 Size Class	圧縮機翼車外径(mm) Outside Diameter of Compressor Impeller	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年
Class 1	0～ 100	約333万	約435万	約481万	約529万	約275万	約345万
Class 2	101～ 200	27,137	28,370	35,284	42,225	24,918	37,723
Class 3	201～ 300	615	557	551	508	503	482
Class 4	301～ 400	115	263	238	232	185	134
Class 5	401～ 500	122	173	169	175	131	110
Class 6	501～ 600	189	183	212	303	272	231
Class 7	601～ 700	223	224	249	322	290	282
Class 8	701～ 800	21	65	64	48	47	50
Class 9	801～ 900	136	193	176	205	194	150
Class 10	901～1000	0	0	0	0	0	0
Class 11	1001～	0	33	8	0	0	3
合計 Total※4		28,558	30,061	36,951	44,018	26,540	39,165

表10 クラス別の型式数※3

区分 Size Class	圧縮機翼車外径(mm) Outside Diameter of Compressor Impeller	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年
Class 1	0～ 100	92	87	89	61	62	62
Class 2	101～ 200	30	30	26	26	26	29
Class 3	201～ 300	23	22	14	14	15	16
Class 4	301～ 400	18	20	14	15	16	16
Class 5	401～ 500	15	15	11	11	12	12
Class 6	501～ 600	13	12	11	11	12	12
Class 7	601～ 700	12	13	13	13	13	14
Class 8	701～ 800	4	5	5	5	5	6
Class 9	801～ 900	14	11	11	12	12	11
Class 10	901～1000	0	0	0	0	0	0
Class 11	1001～	2	2	2	2	2	2
合計 Total※4		131	130	107	109	113	118

※3 型式はいずれも排気タービンである。
Every model is an exhaust turbine type supercharger.
※4 合計数は，圧縮機翼車外径100mmを越す分を示す。
The figure shows total number of superchargers over 100mm in impeller diameter.

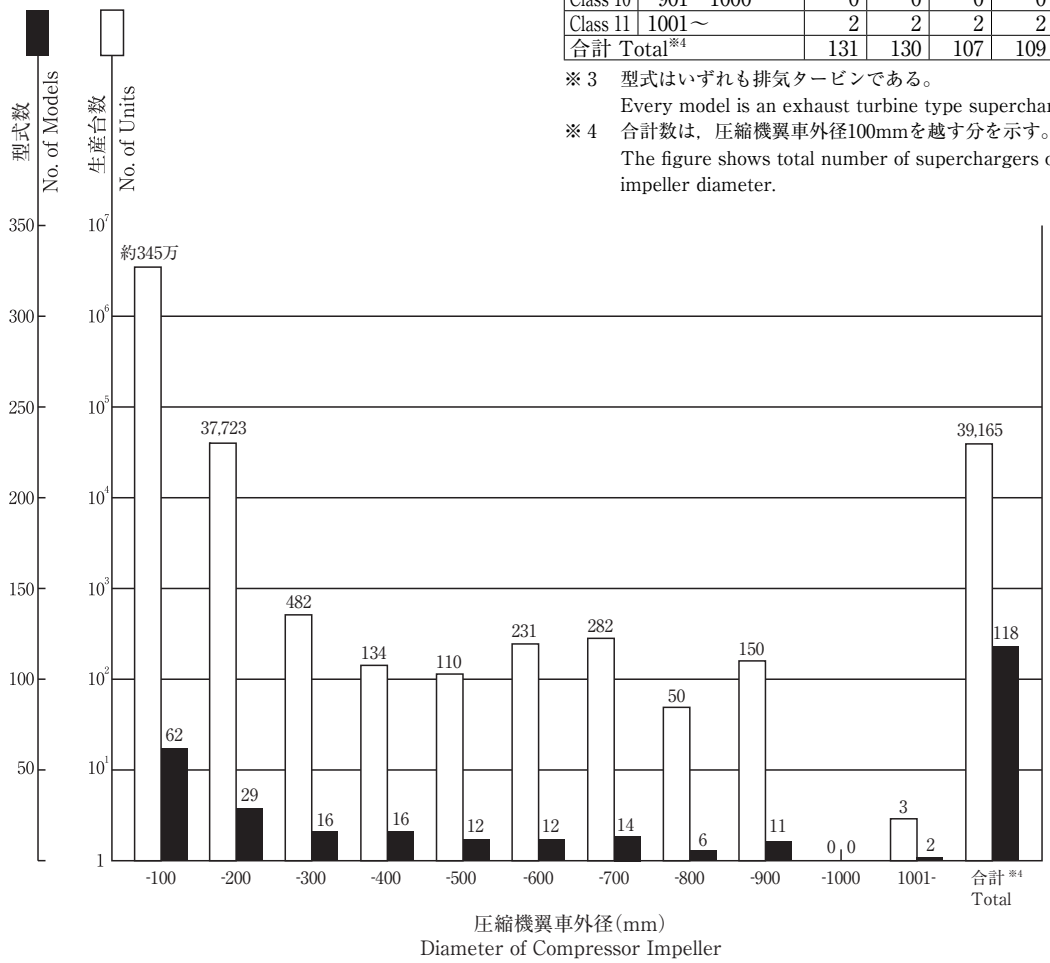


図11 2010年過給機生産台数及び型式数

Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

報　告

2011年度第１回見学会報告

秡川　宏樹
HARAIKAWA Hiroki

山本　　誠
YAMAMOTO Makoto

2011年５月28日㈯，千葉県成田市成田国際空港内の㈱JALエンジニアリング・エンジン整備センターおよび成田航空機整備センターにおいて，今年度第１回の見学会が開催された。定員50名程度で募集したところ，最終的に60名の参加者が得られ，大盛況であった。今年度の見学会では，学会の公益法人化に伴って学会を社会に開かれたものとするべく，参加者の資格を学会員に限定せずに非会員や子供（保護者同伴）の参加も許容したため，参加者資格の内訳は，正会員：29名，学生会員：５名，非会員：17名，学生非会員：１名，高校生以下：８名と，バラエティに富んだものとなった。最年少は２歳の幼児であり，子供達の賑やかな声が飛び交う明るい見学会となった。

見学会は，13時に成田空港第２ターミナルビルに集合し，バスでエンジン整備センターへ移動して始まった。まず，ビデオを見ながらエンジンと機体の整備について概要説明が行われた。次いで，３グループに分かれ，各グループに説明者がついて，CF6，GE90などのジェットエンジンの分解・検査・補修・再組立など一通りの工程を２時間弱かけて見学した。大きなエンジンがファンやタービンといった要素に分割され，また部品に分解された状態を間近で見ることができ，貴重な経験になったようであり，会員・非会員を問わず時間を忘れて活発な質疑応答が行われていた。

次に，徒歩により機体整備場へ移動し，B777の機体整備の様子を３グループに分かれて見学した。ピトー管，避雷針，フラップ，緊急時燃料放出ポート，翼端灯，降着装置など機体外側に装置されている各種機器の説明，ナセル（エンジンカバー）を開いた状態でジェットエンジンの取り付け状況，逆噴射の機構，検査方法などの説明が行われた。エンジンの空気取り入れ口に上ってファン動翼を背に写真を取ったりした後（写真１），エンジンの前で参加者全員を記念写真に収めた（写真２）。バスで成田空港第２ターミナルへ戻って流れ解散とし，無事見学会を終了した。

最後に，休日にもかかわらず，本見学会の実施に多大なご協力をいただいた㈱JALエンジニアリングの関係者の皆様に心より御礼申し上げます。

（集会行事委員会委員）

写真１　ジェットエンジンに乗って

写真２　参加者全員で記念撮影

Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

訃 報

名誉会員　**梁 玉 龍** 氏

2011年３月22日 83歳にて逝去されました。

同氏は本学会の発展に多大な尽力をされるとともに，韓国のガスタービン研究の発展に力を尽くされ，日韓のガスタービン研究者，技術者の交流にも大いに貢献されました。

ここに謹んで哀悼の意を表します。

略歴

1956年	慶應義塾大学工学部機械工学科卒業
1956年-1957年	慶應義塾大学工学部　助手
1957年-1965年	(韓国)東亜大学校工科大学　専任講師，助教授
1962年-1963年	(米国)コーネル大学　客員教授
1962年-1964年	慶應義塾大学工学部　助教授待遇研究員
1965年-1993年	(韓国)仁荷大学校工科大学　副教授，教授
1967年-1969年	慶應義塾大学　訪問教授
1969年	工学博士（慶應義塾大学）
1993年	仁荷大学校名誉教授

梁　玉龍先生を偲ぶ

川口　修[*1]

名誉会員 梁玉龍先生は，2011年３月22日に韓国ソウルにて逝去されました。韓国と日本の幅広い学術交流に貢献された先生の突然の訃報に接し，まことに哀惜の念に堪えません。

梁先生は韓国済州島に生まれ，1942年に来日されて旧制錦城中学校を卒業後に慶應義塾大学工学部予科に入学されました。朝鮮戦争の勃発で学業を中断され，在日学徒義勇軍の一員として仁川上陸にも加わられましたが，戦争終結後には大学工学部に復学されました。その際に暖かく迎えられたのが昨年亡くなられた佐藤豪先生だったと伺っております。

梁先生は大学卒業後に佐藤研究室で助手として勤務された後，韓国釜山市にある東亜大学校工科大学に移られ，内燃機関の研究と学生の指導に当たられました。その間，米国コーネル大学，慶應義塾大学で研究生活を送られ，1965年にはソウルにある仁荷大学校工科大学に移籍されました。1967年には再来日され，佐藤先生の下で学位論文「ガスタービンと冷凍機の組み合わせサイクルに関する熱力学的研究」をまとめられ学位を授与されました。その内容の一部は1971年開催の第一回国際ガスタービン会議で発表されております。

学位取得後に仁荷大学校に戻られ，内燃機関の性能向上の研究や燃焼の基礎研究，液体の微粒化に関する研究を続けられて多くの業績を残されるとともに，多数の研究者，技術者を育てられました。また，大韓機械学会動力工学部門委員会長，韓国微粒化研究会会長なども務められ，韓国の工学教育，研究の分野で大きな役割を果たされました。さらに，国際学生技術研修協会（IAESTE）を通じて多くの学生の国際交流にも力を尽くされました。

日本ガスタービン学会との関わりも深く，本会設立当時からの会員として，国際ガスタービン会議には毎回出席され，国内外の研究者と研究討論されるなど交流がありました。また，アジアガスタービン会議ACGTのスタートにあたり，韓国の大学，企業のガスタービン関係者に広く呼びかけ，ソウルでの第1回会議の開催を成功に導かれました。

梁先生とは私の学生時代から親しくさせて頂き，私が韓国を訪れるたびに韓国の研究者，技術者との交流の機会を与えて下さいました。近年は来日される度に我々後輩に声を掛けてくださり，一緒に食事をしながら種々のアドバイスを頂きました。大先輩として，歳の離れた兄貴分として大いに尊敬していた梁先生がこの世の人ではなくなったことが今でも信じられない思いです。

先生のご冥福を心よりお祈りいたします。

＊1　慶應義塾大学名誉教授
日本ガスタービン学会元会長

Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

会　告

IGTC'11事前登録のご案内

IGTC'11実行委員会

2011年国際ガスタービン会議大阪大会（IGTC'11）が，2011年11月13日㈰から18日㈮の予定（18日㈮はプラントツアー）で，大阪国際会議場（グランキューブ大阪）にて開催されます。IGTC'11の詳細につきましては，会議Webページ

http://www.gtsj.org/english/igtc/IGTC11/

をご覧願います。多くの皆様のご参加をお待ち申し上げております。

さて，この度はIGTC'11の事前登録を開始しましたのでご案内申し上げます。2011年９月30日（日本時間）までにご登録いただけますと登録料が割安になりますので，是非お早目に登録されますようお願い申しげます。

記

１．登録料（税込）

登録者区分	2011年９月30日まで	2011年10月１日以降
発表者	55,000円	事前登録必須
会員（当学会，共催・協賛学協会）	55,000円	60,000円
非会員	65,000円	70,000円
学生	15,000円	同左

※ 登録料には，全てのセッションへのアクセス，Welcome Reception，Coffee Break，電子論文集が含まれます。プラントツアーとバンケットは別料金になります。

２．登録方法

IGTC'11 Registration Desk（c/o 株式会社イーサイド）にてオンラインで受付

登録受付WebページURL：https://amarys-jtb.jp/igtc2011/

にて，IDを取得し（ID Application），ログインの後，必要情報を入力します。

３．登録料お支払い方法

上記Webページを通じてのクレジットカード支払（引落名義：JTB Internet Settlement（AMARYS）），または同Webページを通じての登録の後，Webページ記載口座（口座名義：IGTC11登録事務局 事務局長 荒井秀和）への振込にてお願いします。

４．本件問合せ先

株式会社イーサイド　横浜支店　担当：太田 奏（おおた かな）

Tel：045-534-3881　Fax：045-534-3882　E-mail：igtc2011-office@e-side.co.jp

以上

Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

IGTC'11写真・資料展示ご協力のお願い

IGTC'11実行委員会・総務委員会

2011年国際ガスタービン会議大阪大会（IGTC'11）につきましては，会員諸氏及び関係各位のご協力を得て，鋭意準備を進めてきております。

さて，本年の会議は1971年の東京大会から数えて第10回にあたり，40年にも及ぶ同会議の歴史を振返り，感慨を深めるとともに，若手技術者や学生の皆様にはガスタービン関連技術の長足の進歩を感じとることで将来への励みとしたく，関連写真及び資料等の展示を計画しております。

このため本会事務局や実行委員会委員で保有しております過去の会議の写真や資料を集め，整理中ですが，広く会員の皆様からも，これはと思う写真・資料などございましたら是非貸与いただきたくお願い申し上げます。ご不明点，ご相談等は下記にてお願い申し上げます。

本件問合せ先

IGTC'11総務委員会
藤岡 照高（ふじおか てるたか）
Tel: 070-6568-9457（PHS), E-mail: fujioka@criepi.denken.or.jp
長谷川 武治（はせがわ たけはる）
Tel: 070-6568-9464（PHS), E-mail: takeharu@criepi.denken.or.jp
c/o（財）電力中央研究所　エネルギー技術研究所
〒240-0196 横須賀市長坂２－６－１　（Fax: 046-856-3346）

以上

Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

会　告

2011年度日本ガスタービン学会賞候補募集のお知らせ

応募締切日：2011年10月31日(月)

日本ガスタービン学会では，下記の趣旨により２年毎に学会賞（論文賞，技術賞および奨励賞）の贈呈を行っております。つきましては，今年度も下記要領により学会賞の募集を行うこととなりましたので，お知らせ致します。

募集要領

１．日本ガスタービン学会賞の趣旨

本会はガスタービンおよび過給機に関連する工学および技術の発展を奨励することを目的として，優れた論文，技術ならびに新進会員個人の業績に対して，それぞれ日本ガスタービン学会論文賞，技術賞，奨励賞を贈り，表彰を行う。

２．対象となる業績

(1) 論文賞　日本ガスタービン学会誌および日本ガスタービン学会英文電子ジャーナルに2007年12月以降2011年10月迄に公表された論文で，独創性があり工学および技術に寄与したもの。

(2) 技術賞　ガスタービンおよび過給機に関連し，同上期間に完成した新技術（画期的な新製品の開発，製品の品質または性能の向上あるいは生産性の向上，材料開発，制御計測および保守技術の向上等）に寄与したもの。

(3) 奨励賞　日本ガスタービン学会誌および日本ガスタービン学会英文電子ジャーナルに2007年12月以降2011年10月迄に公表された独創的な論文（本人が中心的役割を果たしたもの）。なお，萌芽的研究も対象とする。

奨励賞の候補者は，1976年４月２日以降生まれの個人とする。ただし，論文賞，技術賞あるいは奨励賞をすでに受けた者および今年度の論文賞，技術賞内定者は奨励賞を受けることはできない。

３．受賞件数　論文賞２件，技術賞２件，奨励賞２名程度とする。

４．表彰の方法　審査の上，表彰状および賞牌を授与する。

５．表彰の時期　表彰は，2012年４月開催予定の日本ガスタービン学会総会において行う。

６．応募の方法　公募によるものとし，論文賞，技術賞は推薦または本人より申請，奨励賞は推薦による。なお，一度申請して受賞しなかったものでも，再度応募して差し支えない。

７．提出書類　推薦または申請には，本会の所定用紙に必要事項を記載して，１件につき正１通，副２通（コピーで可）の計３通を提出する。申請書は，学会HPに掲載する予定である。

８．提出締切日

2011年10月31日(月)17時必着

９．提出先

〒160-0023 東京都新宿区西新宿７－５－13
第３工新ビル402
公益社団法人日本ガスタービン学会
表彰委員会宛

Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

GTSJ2011年度委員名簿（順不同）

○は委員長

企画委員会

○幸田栄一（電中研）　太田　有（早大）　加藤泰弘（日立）　鈴木　健（ＩＨＩ）
六山亮昌（三菱重工）　渡辺紀徳（東大）

創立40周年事業準備委員会

○筒井康賢（高知工科大）　太田　有（早大）　福山佳孝（ＪＡＸＡ）　二村尚夫（ＪＡＸＡ）
船崎健一（岩手大）　山本　誠（東理大）　渡辺紀徳（東大）

集会行事委員会

○二村尚夫（ＪＡＸＡ）　吉田征二（ＪＡＸＡ）　岡　芳彦（三井造船）　木村武清（川崎重工）
酒井英司（電中研）　澤　徹（東芝）　谷光玄行（ＩＨＩ）
仲村　晋（ＪＡＬエンジニアリング）　中村友行（防衛省）　西村英彦（三菱重工）
松沼孝幸（産総研）　三嶋英裕（日立）　山形通史（富士電機）　山根秀公（防衛省）
山本　誠（東理大）　吉田英生（京大）

ガスタービン技術普及委員会

○山根秀公（防衛省）　秋山　陵（日立）　木村武清（川崎重工）　斉藤大蔵（東芝）
仲村　晋（ＪＡＬエンジニアリング）　福山佳孝（ＪＡＸＡ）　古川洋之（ＩＨＩ）
宮原忠人（東京ガス）　村田　章（農工大）　屋口正次（電中研）　山本　誠（東理大）
渡辺紀徳（東大）

学会誌編集委員会

○船崎健一（岩手大）　壹岐典彦（産総研）　坂野貴洋（中部電力）　佐藤哲也（早大）
辻田星歩（法政大）　宮原忠人（東京ガス）　荒木秀文（日立）　柏原宏行（川崎重工）
廣光永兆（ＩＨＩ）　吉野展永（ＩＨＩ）　刑部真弘（東京海洋大）　加藤千幸（東大）
川上龍太（東京電力）　岸根　崇（三菱重工）　佐々木直人（ＩＨＩエアロスペース）
鈴木伸寿（東芝）　檀原伸補（防衛省）　寺本　進（東大）　中野　健（ＩＨＩ）
早田陽一（ダイハツ）　服部学明（三井造船）　北條正弘（ＪＡＸＡ）　山下一憲（荏原）

ガスタービン統計作成委員会

○辻田星歩（法政大）　山上展由（三菱重工）　荒木伸二（日立）　井出琢磨（ＩＨＩ）
里見智弘（ターボシステムズユナイテッド）　澤　徹（東芝）　白石　隆（三菱重工）
原田　純（川崎重工）　米田幸人（ヤンマー）

広報委員会

○杉本隆雄（兵庫県立大）　東部泰昌（川崎重工）　姫野武洋（東大）　船崎健一（岩手大）
松沼孝幸（産総研）　山根　敬（ＪＡＸＡ）

表彰委員会

○佃　嘉章（三菱重工）　佐藤哲也（早大）　壹岐典彦（産総研）　二村尚夫（ＪＡＸＡ）
船崎健一（岩手大）　六山亮昌（三菱重工）　渡辺紀徳（東大）

Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

▷入会者名簿◁

〔正会員〕

五十川　武士(ＩＨＩ)　杉山　幸久(ＩＨＩ)　山崎　佑希(ＩＨＩ)　島田　秀敏(ＩＨＩ)

安藤　正晴(ＩＨＩ)　高松　喜久雄(ＩＨＩ)　根岸　幹(ＩＨＩ)　稲垣　真人(住重フォージング)

冨田　勲(三菱重工業)　瀧口　智志(三菱重工業)　鳥居　功(三菱重工業)　若島　幸司(三菱重工業)

黒坂　聡(川崎重工業)　岡田　邦夫(川崎重工業)　小田　剛生(川崎重工業)

兼重　信之(シーメンス・ジャパン)

〔学生会員〕

Wan Aizon Bin Ghopa(岩手大学)　Mohammad Kami Bin Abdullah(岩手大学)

斎藤　拓(岩手大学)　脇　英正(同志社大学)　KHAIRIL AKMAL BIN NAN(拓殖大学)

〔学生→正会員〕

吉新　哲也(ＩＨＩ)　辻本　翼(本田技研工業)

Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

◯本会共催・協賛・行事◯

主催学協会	会合名	共催/協賛	開催日	会場	詳細問合せ先
日本機械学会	「機械の日・機械週間」記念行事	協賛	2011/8/6-7	大阪科学技術センター8階 大・中・小ホール	日本機械学会 URL:http://www.jsme.or.jp/kikainohi/
日本エネルギー学会	第20回日本エネルギー学会大会	協賛	2011/8/9-10	関西大学 千里山キャンパス	日本エネルギー学会 URL:http://www.jie.or.jp/2011/taikai/20taikai.htm
日本マリンエンジニアリング学会	技術者継続教育2011「基礎コース」講習会	協賛	2011/8/25-26, 9/15-16,10/6-7	神戸国際会館	日本マリンエンジニアリング学会 URL:http://www.jime.jp
日本機械学会	2011年度計算力学技術者(CAE技術者)認定事業(固体力学分野の有限要素法解析技術者・熱流体力学分野の解析技術者)	協賛	2011/09/18-19, 12/10		日本機械学会 担当職員 関根 TEL:03-5360-3506, URL:http://www.jsme.or.jp/cee/cmnintei.htm
日本燃焼学会	第49回燃焼シンポジウム	協賛	2011/12/5-7	慶応義塾大学 日吉キャンパス 来往舎・協生館	第49回燃焼シンポジウム事務局 TEL:045-566-1496,E-MAIL:sympo49@combustionsociety.jp,URL:http://www.combustionsociety.jp/sympo49/

Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

日本ガスタービン学会入会のご案内

日本ガスタービン学会は，「エネルギー」をいかにして効率よく運用し，地球規模の環境要請に応えるかを，ガスタービンおよびエネルギー関連技術において追求する産学官連携のコミュニティーです。

会員の皆様からは，「ガスタービン学会に入会してよかったと思えること」の具体例として次の様な声が寄せられています：

- タテ（世代）とヨコ（大学，研究機関，産業界）の交流・人脈が広がった。
- 学会誌が充実しており，学会・業界・国外の専門分野の研究動向や技術情報が効率的に得られた。
- ガスタービンに熱い思いを持った人達と，家族的雰囲気で階層を意識せず自由な議論ができ，専門家の指導を得られた。

学会の概要（平成22年12月現在）

会員数：2,035名（正会員 1,959名，学生会員 76名）　　賛助会員：108社

会員の出身母体数：企業・研究機関・官公庁等 約300，学校 約100

会員のメリット

個人会員（正・学生会員）：

学会誌無料配布（年 6 回），学術講演会の論文発表・学会誌への投稿資格，学会賞受賞資格，本会主催の行事の参加資格と会員参加費の特典，本会刊行物の購入資格と会員価格の特典，調査研究委員会等への参加

賛助会員：

学会誌の無料配布，学会誌広告・会告掲載（有料），新製品・新設備紹介欄への投稿，本会主催行事参加および出版物購入について個人会員と同等の特典，学会賞（技術賞）受賞資格

入会金と会費

正 会 員：　入会金　500円，年会費 5,000円

学生会員：　入会金　500円，年会費 2,500円

賛助会員：　入会金 1,000円，年会費 一口 70,000円とし，一口以上

入会方法

学会ホームページにて入会手続きができます（http://www.gtsj.org/index.html）。

学会事務局にお電話いただいても結構です。申込書を送付致します。

GTSJ 公益社団法人 日本ガスタービン学会
Gas Turbine Society of Japan

〒160-0023 東京都新宿区西新宿 7 - 5 -13 第 3 工新ビル402
電話番号：03-3365-0095
E-mail: gtsj-office@gtsj.org

Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

編集後記

本日，スペースシャトルの最後の打ち上げが無事成功し，その勇姿は人々に感動を与えました。世界で唯一の再使用型ロケットとして，およそ30年間にわたって人類と夢を宇宙に運んできました。技術的には，1970年代に開発されたもので，その後を引き継ぐ再使用型宇宙輸送システムは，いまだ出現していません。発電システムも同様ですが，新しいシステムの開発には長い時間と大規模なコストを必要とするものです。我々技術者としては，近視眼的にならず，大局観をもって，着実な開発，研究を進めていくべきであると考えています。

さて，今月号の特集は，「ガスタービンに使用しているレアメタル，レアアース」と題し，８編の解説記事を掲載致しました。レアメタル，レアアースは，資源の偏在性と資源国の資源ナショナリズムとが重なり，近年では，価格の高騰や供給の不安定化が問題となっております。半年前に，いくつかの特集テーマ候補が挙がった中，編集委員会では，圧倒的支持で「レアメタル特集」が選ばれました。ところが，記事を集める段階になり，ガスタービン関連でのレアメタル解説記事を書ける方が数少ないという壁にぶつかりました。また，どのような切り口で，特集号を組んでいくかについても皆目検討もつかず，執筆者の方々から多大な御指導を賜りました。どうもありがとうございます。

詳細につきましては各記事に譲りますが，ガスタービンに関連するレアメタルの動向，レアメタル鉱床の偏在化に関する地球化学的考察，各種レアメタル，レアアースの生産量と需給関係に関する分析，レアメタルの回収や部品製造，再利用の面からの最新技術の紹介等，多岐にわたる貴重な情報を掲載できたことを喜ばしく思います。

喫茶室では，元会長の丹羽髙尚様に執筆して頂きました。マスメディアの重要性や現在の風潮と今後への提言ということで，多分に耳の痛い話もありましたが，大変参考になりました。ありがとうございます。

また，今月号には，例年通り，ガスタービンおよび過給機に関する生産統計が掲載されています。正確な資料を毎年出し続け，後に残していくことは，本学会の重要な活動のひとつであります。作成いただいた統計作成委員会の方々にお礼申し上げます。

最後になりましたが，執筆者の方々には，ご多忙の中，快くお引き受けいただきましたことを心から感謝致します。今年は猛暑の上，電力事情により，室内や電車の中など設定温度も高くなり，厳しい夏になると思います。会員の皆様方には，健康にご留意の上，良い夏をお過ごしいただけるようご祈念申し上げます。なお，本号の企画編集は，川上委員（東京電力），鈴木委員（東芝），北條委員（JAXA），と佐藤（早稲田大学）が担当致しました。

（佐藤哲也）

（表紙写真）

米国ネバダ州中部シルバーピーク・リチウム鉱床

米国ネバダ州の中部に発達するベーズンアンドレンジ地域には多くの塩湖（プラヤ）が分布します。シルバーピーク塩湖もその１つです。シルバーピーク塩湖のかん水には100-300ppm程度のリチウムが含有されており，塩湖型リチウム鉱山のパイオニアとして1970年代に開発されました。チリ・アタカマ塩湖でもリチウムを生産するケメタル社によって現在も生産が続けられています。

☘事務局だより✉☘

こんにちは，平岡克英と申します。５月に就任したばかりの新米事務局長です。ご承知のように，日本ガスタービン学会は３月１日から公益社団法人に移行しましたが，ごく自然に新年度を迎えたように見えます。これは伊藤高根前事務局長の緻密な準備と的確なマネージメントのなせる技であると事務を引き継いでみて初めてわかることで，改めて敬服しています。私としては何とかブレーキにならないよう努めてまいりたいと日々思っているところです。

さて少し自己紹介をさせて下さい。1971年に旧運輸省船舶技術研究所に入り舶用ガスタービンの研究に携わりました。テーマは極低質重油の利用から一転して超クリーンな水素を利用することへと移り，さらに太陽水素エネルギーシステムや船舶のライフサイクルアセスメントなど環境とエネルギーシステムの評価にも手をだしました。この間，1972年のガスタービン会議創立時に会員となって以来，ガスタービンの発展を身近に感じることができましたし，多くの方々のご厚誼をいただき，ガスタービン学会には良い時を過ごさせて頂きました。定年後は外に出る機会がめっきり減りましたが，今は，学会に戻ってきて，旧知の方々にお会いし，また，新たな方とも面識ができて，ガスタービンやエネルギーについて語りあえることができます。おおいに愉しませて頂いています。

ところで，面白いことばかりでないのが現実です。法律とのお付き合いです。身近なのは，交通違反と確定申告くらいでしたが，法人登記，法人税，消費税，社会保険料，労働保険料の申請や計算など一気に増えました。さらに法人法や公益法人認定法に根拠を置いた「公益」とのつきあいは，係わりようによっては学会の存続に影響しますので，大切です。今年はガバナンス，コンプライアンスと何やら難しいことにも向き合わなければならないようです。

どうかご指導，ご鞭撻，ご支援の程よろしくお願い致します。

（平岡）

Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.

学会誌編集規定

2003.8.29改訂

１．本学会誌の原稿はつぎの３区分とする。
Ａ．投稿原稿：会員から自由に随時投稿される原稿。執筆者は会員に限る。
Ｂ．依頼原稿：本学会編集委員会がテーマを定めて特定の人に執筆を依頼する原稿。執筆者は会員外でもよい。
Ｃ．学会原稿：学会の運営・活動に関する記事（報告，会告等）および学会による調査・研究活動の成果等の報告。

２．依頼原稿および投稿原稿は，ガスタービン及び過給機に関連のある論説・解説，講義，技術論文，速報（研究速報，技術速報），寄書（研究だより，見聞記，新製品・新設備紹介），随筆，書評，情報欄記事，その他とする。刷り上がりページ数は原則として，１編につき次のページ数以内とする。

論説・解説，講義	6ページ
技術論文	6ページ
速報	4ページ
寄書，随筆	2ページ
書評	1ページ
情報記事欄	1/2ページ

３．執筆者は編集委員会が定める原稿執筆要領に従って原稿を執筆し，編集委員会事務局まで原稿を送付する。事務局の所在は付記１に示す。

４．会員は本学会誌に投稿することができる。投稿された原稿は，編集委員会が定める方法により審査され，編集委員会の承認を得て，学会誌に掲載される。技術論文の投稿に関しては，別に技術論文投稿規程を定める。

５．依頼原稿および学会原稿についても，編集委員会は委員会の定める方法により原稿の査読を行う。編集委員会は，査読の結果に基づいて執筆者に原稿の修正を依頼する場合がある。

６．依頼原稿には定められた原稿料を支払う。投稿原稿および学会原稿には原則として原稿料は支払わないものとする。原稿料の単価は理事会の承認を受けて定める。

７．学会誌に掲載された著作物の著作権は原則として学会に帰属する。
　但し，著作者自身または著作者が帰属する法人等が，自ら書いた記事・論文等の全文または一部を転載，翻訳・翻案などの形で利用する場合，本会は原則としてこれを妨げない。ただし，著作者本人であっても学会誌を複製の形で全文を他の著作物に利用する場合は，文書で本会に許諾を求めなければならない。

８．著作者は，学会または学会からの使用許諾を受けた者に対し著作者人格権を行使しない。

９．本会発行の著作物に掲載された記事，論文などの著作物について，著作権侵害者，名誉毀損，またはその他の紛争が生じた場合，当該著作物の著作者自身又は著作者の帰属する法人等を当事者とする。

付記1．原稿送付先および原稿執筆要領請求先
〒105-0004 東京都港区新橋5-20-4
Tel. 03-5733-5156　Fax. 03-5733-5164
ニッセイエブロ㈱ 制作部 編集制作課
E-mail：eblo_h3@eblo.co.jp
学会誌担当　佐藤孝憲

技術論文投稿規定

2010.8.27改訂

１．本学会誌に技術論文として投稿する原稿は次の条件を満たすものであること。
1）主たる著者は本学会会員であること。
2）投稿原稿は著者の原著で，ガスタービンおよび過給機の技術に関連するものであること。
3）投稿原稿は，一般に公表されている刊行物に未投稿のものであること。ただし，要旨または抄録として発表されたものは差し支えない。
２．使用言語は原則として日本語とする。
３．投稿原稿の規定ページ数は原則として図表を含めてＡ４版刷り上がり６ページ以内とする。ただし，１ページにつき16,000円の著者負担で４ページ以内の増ページをすることができる。
４．図・写真等について，著者が実費差額を負担する場合にはカラー印刷とすることができる。
５．投稿者は原稿執筆要領に従い執筆し，正原稿１部副原稿（コピー）２部を学会編集委員会に提出する。原稿には英文アブストラクトおよび所定の論文表紙を添付する。
６．原稿受付日は原稿が事務局で受理された日とする。
７．投稿原稿は技術論文校閲基準に基づいて校閲し，編集委員会で採否を決定する。
８．論文内容についての責任は，すべて著者が負う。
９．本学会誌に掲載される技術論文の著作権に関しては，学会誌編集規定７．および８．を適用する。

日本ガスタービン学会誌
Vol.39　No.4　2011.7
発行日　2011年７月20日
発行所　公益社団法人日本ガスタービン学会
編集者　船﨑　健一
発行者　筒井　康賢
〒160-0023 東京都新宿区西新宿7-5-13
第３工新ビル402
Tel. 03-3365-0095　Fax. 03-3365-0387
郵便振替 00170-9-179578
銀行振込 みずほ銀行 新宿西口支店
㊔ 1703707
印刷所　ニッセイエブロ㈱
〒105-0004 東京都港区新橋5-20-4
Tel. 03-5733-5156　Fax. 03-5733-5164

©2011，公益社団法人日本ガスタービン学会

複写をご希望の方へ
本学会は，本誌掲載著作物の複写に関する権利を一般社団法人学術著作権協会に委託しております。
本誌に掲載された著作物の複写をご希望の方は，㈳学術著作権協会より許諾を受けて下さい。但し，企業等法人による社内利用目的の複写については，当該企業等法人が社団法人日本複写権センター（㈳学術著作権協会が社内利用目的複写に関する権利を再委託している団体）と包括複写許諾契約を締結している場合にあっては，その必要はございません（社外頒布目的の複写については，許諾が必要です）。

権利委託先　一般社団法人 学術著作権協会
〒107-0052　東京都港区赤坂９－６－41　乃木坂ビル３Ｆ
FAX：03-3457-5619　E-mail：info@jaacc.jp

複写以外の許諾（著作物の引用，転載，翻訳等）に関しては，㈳学術著作権協会に委託致しておりません。直接，本学会へお問い合わせください。

Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.204, 2025/07/04.