

令和4年度

ロシア・中央アジア地域等貿易投資促進事業

1. 情報収集・提供事業

(2) ビジネス詳細情報収集提供事業

① ロシア市場環境調査

ウクライナ侵攻の日露製造業への影響

パラジウム、チタン等、関連業界の分析

2023 年3月

一般社団法人ロシア NIS 貿易会

ロシア NIS 経済研究所

序文

2022年2月、ロシアはウクライナへの侵略を開始した。ロシアは、ソ連崩壊後、様々な困難を経て国際社会の中で、経済関係を構築してきた。様々な問題を抱えつつも、年々、改善がなされてきた。90年代の苦境を克服し、世界経済の中で一定の地位を築いていた。過去の努力の成果を自ら棄損する極めて残念な行動であった。

戦争により、正常な経済関係は難しくなった。ロシアは世界経済の中で一定の役割を果たしていたため、ロシアとの経済関係に関わっていた当事者、ロシアの存在感の大きかった分野では、戦争による大小の影響が発生した。

こうした状況に鑑みて、本事業では、製造業に対する戦争の影響の調査を実施した。

工業国である日本は、原材料である金属の供給を海外に依存する。日本の工業で、自動車産業は最大勢力であるが、自動車産業で必須であるパラジウムをロシアに依存する。戦争のパラジウム供給への影響が心配された。また、日本は有力なチタン産業を持つが、ロシアも有力なチタン産業を持っていたため、競合関係が存在した。チタンでは、強力なロシア排除の動きがあり、業界に大きな影響を及ぼした。重要性、産業界での関心の高さ、影響の大きさ等を考慮し、このパラジウム、チタンが調査の中心となった。他金属の状況や、ロシア側で大きな影響があった航空産業についても、調査を行った。

本報告書は、令和4年度ロシア地域貿易投資促進事業ロシア市場環境調査の一環として、経済産業省の助成を得て刊行された。本事業の実施にあたり、多大なご協力を賜った経済産業省、調査の過程で貴重なご助言をいただいた金属産業、航空産業、素材産業、自動車産業、商社、関連団体、大学、研究機関の方々に改めて御礼申し上げます。

2023年3月

一般社団法人ロシアNIS貿易会

会 長 飯島 彰己

冒頭にて、戦争による産業への影響とウクライナでの戦争による日本側、ロシア側影響の一般論を述べる。

しかし、具体的影響の内容と大きさは業界により大きく異なる。具体的な影響は、業界毎に論じる必要がある。

産業界の懸念・関心が大きいパラジウム、日露双方の関連業界に大きな影響を及ぼしたチタンを中心に、今年度、調査を行った各業界について具体的に論じる。

なお、パラジウムとチタンは、分量が多いため、それぞれの冒頭に要約と状況のまとめを載せた。

目 次

ウクライナ侵攻 戦争影響の一般論	3
各論Ⅰ パラジウム	5
各論Ⅱ チタン	21
各論Ⅲ フェロクロム	56
各論Ⅳ アルミニウム	62
各論Ⅴ リチウム・レアアース等レアメタル	64
各論Ⅵ 航空機産業	66
提言	69

ウクライナ侵攻 戦争影響の一般論

戦争による製造業への影響

戦争による製造業への影響は、戦争への関与度合いによって異なる。交戦国になった場合は、生産手段が攻撃対象となり直接破壊される。ウクライナでは、実際に産業インフラが戦争により物理的に損害を受けている。また、戦時中の我が国のように、産業界全体が戦時体制に組み込まれることもある。

しかし、戦争による直接的破壊、戦時体制とまで至らなくても影響は発生する。戦争により正常な経済関係が不可能になった結果、特定範囲の顧客への販売不可能になったり、一部品目の調達に困難になったりする。営業上、調達上の問題が発生する。

営業上の問題の場合、売上を失うことになるが、影響は失った市場の範囲に限定される。しかし、製造業では一品目でも欠けると、他の品目がすべて揃っても生産は不能になる。近年、日本の半導体不足で自動車の減産が強いられた。不足の場合、不足している分だけの減産となるが、入手不能となった場合、生産停止で売上が立たなくなる。製造業では、調達難は、単価 1 円に満たない品目でも、生産を全滅させる破壊力を持つ。その性質上、製造業では避けようのない弱点は、認識されるべきである。なお、調達難は原材料だけでなく、設備や設備のアフターサポートでも発生する。

ウクライナ侵攻 戦争の影響の一般論

1. 日本側

日本は制裁参加国である。しかし、制裁以前の問題として、ロシア市場でのビジネスが成り立たなくなった場合も多い。事実上、ロシア市場を失った状態の日本企業は多い。しかし、大半の日本企業にとって、売上に占めるロシア市場の割合は、小さいものだった。ロシアを専門とする企業にとっては、極めて深刻な事態であったが、全体的に見て、日本側の営業上の影響は軽微であった。

ロシアの工業は未発達であるため、日本のロシアからの調達は、原材料が多い。パラジウムのようにロシア依存の高い品目は、調達難が心配された。しかし、パラジウムを含め、多くの品目において、ロシアからの供給は継続した。全体的に見ると、2022 年に関しては、深刻な問題はなかった。

一方で、局所的、散発的に調達不能が発生したのも事実である。例えば、耐薬品性があり、高温低温でも使用可能なパーフロ製 O リングは、原料となるエラストマーがロ

シアから供給されていた。結果、生産不能となった。特殊なポンプなど、用途は広くない。しかし、パーフロ製 O リングが用いられている限られた製品では、絶対に欠くことができない。関係者は製品が作れず困ることになった。ありとあらゆる産業技術と、各分野のサプライチェーンを知り尽くすことは不可能である。

現実には、どの企業でも、自社の全ての原材料、部品、設備のサプライチェーンの末端まで把握できていない。調達品目を並べ、部品点数を数えればすぐに全体の把握は不可能と分かる。今回の戦争のような事態が発生すると、思ってもみなかった調達困難が必ずどこかで発生するものと理解すべきである。

本件、工業が未発達のロシアであったため、予想外の散発的調達困難は、特殊な業界に留まった。しかし、これが、中国、台湾であった場合、どうであろうか。生産を維持できる企業のほうが、少数派となるのではないかと危惧するところである。

2. ロシア側

様々な品目でロシア製品忌避の動きが広がっている。一方、需給バランス上、一部資源等ロシア産品・ロシア製品がないと破綻するものも多い。完全なるロシア産品排除はなされていない。よって、制裁による営業上の被害は、業界によって異なる。

また、制裁非参加国はあるが、エネルギーに限らず、ディスカウントが行われているという観測もある。新規顧客開拓や安定した取引には苦勞が多いという話も漏れてくる。輸出ができていても、ロシア側に痛みが発生している場合もある。

調達・生産面では、ロシアは海外に大きく依存していた。自称国産であっても、原材料、設備、技術を海外に依存する場合も多かった。また、自称生産であっても、極めて付加価値の低い KD 生産やフルターンキーの輸入設備に全面依存も多かった。

制裁により、海外依存は不可能になった。外資系企業の大量撤退があったが、ロシア系企業でも海外依存は大きい。原材料部品の調達困難、サポートを受けられない故の設備停止等により、生産不能が多数発生したものと推察される。例えば、国内調達率が高いと言われていた AvtoVAZ の自動車生産も一時的に停止している。

本件、ロシアが短絡的に海外技術に頼り、自力での技術開発を怠った結果である。我が国も、近視眼的な技術開発軽視を続けると、ロシアのようになる。他山の石とすべきである。なお、日本は技術においては、ロシアのような丸投げ的海外依存は少ないと信じる。しかし、原材料・部品の海外依存は高い。仮に、中国からの輸入に困難が発生すれば、ロシアで発生した生産困難よりも、悲惨な状況になろう。

各論 I パラジウム

要約

ロシアでは、世界産出量の約 4 割ものパラジウムを産出する。市場におけるロシアの影響力が高いことは明らかである。また、南アフリカもロシアに匹敵する大産出国であり、資源の約 8 割がロシアと南アフリカに存在する。資源の偏在から、平時でも供給不安定金属の代表であった。

一方、パラジウムの用途の約 86% は、自動車の排ガス浄化触媒である（世界全体での数値）。自動車産業の勢力の強い日本にとって、欠くべからざる金属である。日本は年間 50~60 t のパラジウムを輸入し、その 35~50% はロシア産であった。高価なパラジウムはリサイクルが盛んであるが、それでも日本は需要量の 25% 以上をロシアに依存していた。

2022 年 2 月のロシアによるウクライナ侵攻に際し、ロシアへの依存度と日本の産業界にとっての重要性から、影響がもっとも不安視された品目はパラジウムであった。

しかし、2023 年 2 月の時点までに、パラジウムの不足や継続的価格上昇による大きな混乱はなかった。ロシアからの供給が途絶えなかった上、制裁非参加国中国による世界需要調整、中国の景気減速、半導体不足による自動車減産等、様々な要因が重なった結果、パラジウム不足は発生しなかった。また、一時的に上昇した価格も、開戦時の価格を下回っている。

現状では、パラジウムは深刻な問題を発生させていない。しかし、ロシアのパラジウム生産者ノリリスクニッケル社には、制裁の影響が及びつつある。また、ロシアの社会的混乱も、パラジウム供給のリスクとなり得る。戦争の推移によっては、パラジウムの供給に問題が発生する可能性は十分にある。

パラジウムの供給状況について、引き続き、注視が必要である。また、リサイクル、権益確保、代替調達先確保とともに、パラジウム入手困難時の「コールドエミッション規制一時緩和」に関する研究を、やっておくべきである。

状況整理

ロシアで採掘されるパラジウム資源から、ロシアがパラジウムを製造し、基礎的な原材料であるスポンジ・パラジウムの形態で日本に輸出していた。日本は自動車産業の

排ガス浄化触媒を中心に、パラジウムを利用していた。戦争により、ロシアへの依存度が高いパラジウムの供給が心配されることになった。

日本側影響整理

・営業面

営業面では、直接的影響はなし。

・調達面

パラジウムの輸入量の35～50%、使用量の25%程度をロシアに依存していた。日本ではパラジウムの用途の6割は、自動車用排ガス触媒であり、現状は技術的に代替不能であった。パラジウムに調達困難が発生し、自動車産業に影響が出ることが、心配された。

開戦後、一次値上がりしたものの、供給不足は発生しなかった。価格も下がっていた。2022年末の時点では、大きな混乱は発生しなかった。

ロシア側影響整理

・営業面

ロシアのパラジウムの事実上、唯一の供給者であるノリリスクニッケルは、制裁の対象になっていない。しかし、LPPM認定からのロシア企業排除や、ロシア製品忌避の影響を受けている。従来のお客様に、従来を数量を販売することは困難になっている。代わって、制裁非参加国である中国等への販売を行っているが、国際相場を下回る価格での販売を強いられているとの情報もある。

・調達面

パラジウムはロシアの資源から生産される金属であり、一見、制裁による調達困難の影響は発生しないように見える。しかし、ノリリスクニッケルの設備は、欧米の技術に依存するものが多く、設備更新等に影響が出ている。今後、生産に影響が出る可能性がある。

パラジウム本編

1. パラジウムとパラジウムの用途

パラジウムは、白金族元素の貴金属の一つである。白金族元素は、白金族は、プラチナ、ロジウム、パラジウム、ルテニウム、イリジウム、オスミウムの6種類の金属元素で、化学的性質、物性、資源産出等に一定の共通性がある。高い耐熱性・耐食性、触媒となる性質等、他の金属にはない性質により、高価でありながら、産業界で広く利用されている。プラチナには宝飾品のイメージがあるが、工業材料として産業界に欠かせない金属である。

日本の産業界にとって、特に重要な白金族の性質は、触媒として機能することである。ガソリン車、ディーゼル車等の内燃機関を用いた自動車では、パラジウム、プラチナ、ロジウムを用いた排ガス浄化を欠くことはできない。現状、3種類の金属で、パラジウムの使用量がもっとも多い。また、パラジウムのみロシアの産出量が突出して多い。よって、ウクライナの戦争により、パラジウムが特に問題となった。

JOGMEC 発行の 2021 年のマテリアルフローによると、パラジウムの用途は、自動車排ガス触媒(86%)、電子部品(6%)、化学工業(5%)、歯科(2%)である。突出して割合が高く、代替も難しいのが自動車用排ガス浄化触媒用途である。例えば、歯科材料はコンポジットレジン等、より高級とされる代替が存在する。

なお、JOGMEC のマテリアルフローでは、日本国内における触媒用途は6割ほどである。歯科材料とその他の数値が大きい。工業の発達する日本において、その他の工業的用途での使用も多い可能性があるが、リサイクル分のカウントやその他の実態等により、実際は自動車用途の割合が多いことも考え得る。本件については、十分な分析を行えていない。とはいえ、仮に日本でのパラジウムの用途における自動車用触媒の割合が6割に留まるとしても、最大用途であることには変わりがない。また、日本における自動車産業の重要性を考えれば、自動車産業に対するパラジウムの供給は、日本の経済全体にとっても極めて重要であることも、変わりない。

2. 自動車産業とパラジウム

現在、自動車の動力として電気の利用が進みつつある。しかし、2023年において、生産されている自動車の大半は、ガソリンエンジンまたはディーゼルエンジンによって走行する内燃機関車である。

内燃機関を搭載する自動車では、炭素と水素を含む燃料を燃焼させる。理想的には水と二酸化炭素のみが発生する。しかし、実際には燃え残りや燃え過ぎを完全に防止できない。燃料が燃え残った場合、炭化水素や一酸化炭素が発生する。逆に、燃え過ぎの場合、空気中に含まれる窒素まで酸化し、酸性雨の原因となる窒素酸化物が発生する。自動車の排ガスをそのまま排出した場合、膨大な量の大气汚染物質が排出されることになる。それでは、大气汚染により、自動車社会は成り立たなくなる。

公害が問題とされるようになってから、自動車メーカーは大气汚染物質の排出を減らすべく技術開発を続けてきた。電動化もその動きの一つと言える。

当面は、内燃機関を用いつつも、汚染物質を減らすことが必要であった。例えば、エンジンの燃焼条件の工夫により、大气汚染物質そのものの発生を抑えることがなされてきた。また、発生した排気ガスに含まれる炭化水素、一酸化炭素、酸化窒素を分解する触媒を搭載することで、大气汚染物質の排出を削減してきた。この排ガス浄化触媒にプラチナ、パラジウム、ロジウムが使用されてきた。これら、白金族を用いた触媒は、炭化水素と一酸化炭素を酸化して、比較的無害な二酸化炭素にし、酸化窒素を還元して窒素にする。エンジンから延びる排気管には、途中で触媒コンバーターと呼ばれるタンク状の部品が設けられている。中身は、セラミックのハニカムに白金族の触媒を組み合わせたものである。排気ガスは、触媒コンバーターを通過することで、白金族の触媒により浄化される。

実際、白金族を用いた触媒が存在しなければ、激しい大气汚染を発生させる。自動車が内燃機関によって走行する限り、白金族を用いた排ガス浄化触媒は、なくてはならないものになっている。排ガス中の有害物質に対する規制は、年々厳しくなる傾向にある。排ガス浄化触媒の必要性も高まる傾向にあり、重要さは増していると言える。

白金族は高価であり、産業界の中でもコスト管理に厳しい自動車業界にとっては極力使用したくないものである。よって、白金族の使用を減らす開発もなされてきた。例えば、同量の白金族でより効果が出る触媒の開発がなされてきた。また、燃焼のコントロールによって、有害物質を減らす開発もなされてきた。白金族の使用を減らす技術開発は成果を生んできたものの、年々強化される環境規制によって、触媒にはより高い能力が求められるようになってきている。白金族削減技術開発と環境規制強化の綱引きにより、白金族の使用量が決まる。自動車のサイズや対応すべき各国の環境規制により異なるが、極めて乱暴に大雑把なイメージを語ると、現在のところ、自動車1台あたり3g使用、その内、2gがパラジウムというのが平均的なところであるようだ。

前述のとおり、排ガス触媒に用いられる白金族は、プラチナ、パラジウム、ロジウムである。かつては、プラチナが用いられていたが、2021年以前はプラチナより安価だったパラジウムに置き換えられた歴史がある。パラジウムはプラチナが採掘・製錬される過程で、一緒に発生するものである。よって、自動車用触媒に用いられる以前は、需要も限定されて安価であった。しかし、自動車用触媒に用いられるようになり、パラジウムの需要は拡大した。近年では、中国の環境規制強化により、パラジウムの需要が激増し、2021年にはパラジウム価格はプラチナ価格を抜いた。

そうすると、かつてはプラチナが用いられていたものなので、パラジウムからプラチナへの逆置き換えが起り得るように見えてしまう。重量あたりの触媒としての性能は、プラチナのほうがパラジウムより優れると言われる。実際、白金族触媒の中のプラチナ、パラジウム、ロジウムの使用比率は、価格によって一定の調整がなされているという話も聞く。

しかし、事はそう単純ではない。解像度を上げて見ると、環境規制は単純に強化されたわけではない。また、プラチナとパラジウムでは、温度によって触媒としての機能に差が出る。パラジウムのほうが、低温から触媒として機能する。だが、エンジン始動時の温度は低い。環境規制の中に、コールドエミッション規制と呼ばれる始動時の規制が設けられた。コールドエミッション規制により、低温時でも排ガスを浄化できるパラジウムが必須となった。パラジウムがプラチナの価格を抜いたとは言え、現在の環境規制下では、パラジウムをプラチナに置き換えることは不可能である。

白金族そのものを代替できる触媒開発による解決は誰もが思いつくことである。当然、そのような開発もなされてきた。しかし、現在のところ白金族を使用しない排ガス浄化触媒の開発は、目途が立っていない。

現在、ガソリン車、ディーゼル車、その他、内燃機関を搭載する自動車を製造する限り、パラジウムは必須の金属である。

3. パラジウム生産とロシア

(1) 概要

ロシアがパラジウム市場において、存在感を持つ理由は、豊かなパラジウム資源である。ロシアの工業力は高くはないものの、一定水準には達している。金属の製錬は盛んである。パラジウムにおいても、鉍石の輸出は行わず、製錬を行っている。一方、

パラジウムを自動車用触媒等の高度な製品に加工するほど、製造業のレベルは高くない。また、パラジウムの最大の需要者である自動車産業も未発達である。ロシア国内には十分なパラジウム需要はない。ロシアで製錬されたパラジウムの大半は、“スポンジ・パラジウム”と呼ばれるフレーク状、粉末状の原材料の形態で輸出している。

白金族の資源的な問題は、南アフリカとロシアに産地が偏っていることである。双方とも、安定感に難があると看做されてきたため、白金族は供給不安定元素の代表であった。とは言え、開戦前は、ロシアと南アフリカでは、明らかに南アフリカのほうが不安定であった。

プラチナでは、南アフリカが世界産出量の7割を超えるシェアを持つ。ロシアがプラチナの大供給国であることは間違いないが、南アフリカと比べれば霞んでしまう。一方、パラジウムでは南アフリカとロシアがそれぞれ4割であり、ほぼ拮抗している。年によって異なるが、ロシアが世界最大の産出国になる場合もある。

ロシアがパラジウムの大供給国になっている理由は、極めて良質のパラジウム資源を持つからである。ロシアは資源大国として定評があるが、パラジウム、ニッケルに関しては、その定評がそのまま当てはまる。

一方、その他金属では、必ずしもロシアは資源大国であるわけではない。本件、誤解が多く注意が必要である。金属資源において、他の資源産出国と比べ圧倒的に優位性のある金属は、本項目で扱うパラジウム、ニッケル、バナジウムくらいである。アルミニウム、チタン、銅等、多くの金属で、ロシアは資源を輸入している。一部金属では、まったく採掘が行われてこなかった。

パラジウムでは、ロシアの産出量におけるシェアが高いとともに、もう片方の産地が南アフリカである。開戦後、もっとも供給が不安視されることになった。

(2) ノリリスクニッケル

ロシアにおけるパラジウムを含む白金族の採掘、製錬は、事実上、ノリリスクニッケルが独占している状況である。2021年の実績では、ノリリスクニッケルは約80.5tのパラジウムを製造した。

恐らく、他社でも副産物等からのパラジウムの回収が若干存在すると思われ、少数生産者は存在する。しかし、生産量はせいぜいノリリスクニッケルの数%のレベルであろう。少数生産者がどうであろうが、世界のパラジウム供給には影響しない。

ノリリスクニッケルは、大きくノリリスク部門とコラ部門に分かれる。双方とも鉱山と製錬の機能を持つ。白金族の採掘は、ノリリスク部門が大半を占めるが、製錬は分担されておりコラ部門も、ノリリスク部門も不可欠である。どちらがより重要とは言い難い。なお、パラジウム生産量はコラ部門で約 47.6t、ノリリスク部門で、約 32.9t である。

世界のパラジウム供給の安定には、ノリリスクニッケル社が鉱石を安定して採掘し、安定して製錬を行い、ロシアから安定して輸出されることが必要である。

(3) 資源と採掘

ロシアにおいて、パラジウムの主要産地はタイミル半島のノリリスク周辺の硫化銅・ニッケル鉱床である。タルナフ、オクチャブリスキー、ノリリスク I 等、複数の鉱床があるが、煩わしいので、以下、ノリリスク硫化鉱床と表現する。

ノリリスク硫化鉱床では、黄銅鉱、キューバ鉱、磁硫鉄鉱、タルナフ鉱、ペントランド鉱など、銅、鉄、ニッケルを含む硫化鉱物が混合した鉱石が採掘される。黄銅鉱やキューバ鉱が目立ち、金色に見える。この硫化鉱物を主体とした鉱石の中に、白金族の鉱物が含まれる。例えば、プラチナを含む砒白金鉱 (PtAs_2) やパラジウムを含むパオロヴォ鉱 (PdSn_2) などである。例外的に数 cm のサイズに達する場合もあるが、ほとんどの場合、白金族の鉱物は非肉眼的サイズである。ロシアに限らず、世界の類似の硫化銅・ニッケル鉱床では、同様に微小な白金族元素の鉱物を伴う場合が少なくな。しかし、ノリリスク硫化鉱床の場合、白金族元素の含有率が桁違いに高い。また、含まれる白金族元素の内、パラジウムの割合が高い。

例えば、フィンランドに近いコラ半島にも同様の鉱床があり、わずかながら白金族を含む。しかし、コラ半島における鉱石 1 t あたりの白金族の量が約 0.3g なのに対し、ノリリスク周辺で約 6.7g に達する。20 倍以上の差がある。ノリリスクニッケルのパラジウム製錬量は、同社のプラチナ製錬量の 4 倍であるが、これは鉱石中のパラジウムとニッケルの比を反映したものである。

ノリリスク硫化鉱床の規模と性格が、ロシアをパラジウム大国にしていると言ってよい。

なお、コラ半島の硫化銅・ニッケル鉱床もノリリスクニッケルによって、採掘される。コラ半島の鉱石からも白金族が取り出されている。しかし、白金族資源としては、ノリリスク硫化鉱床が圧倒的である。細かいことにこだわるのであれば、ノリリスク

硫化鉍床が、ロシアの白金族資源そのものと理解してよい。また、プラチナでは極東を中心に砂鉍が採掘されている。一定の存在感があるものの、ロシアのプラチナ生産量のせいぜい20%以下と推察する。こちらについても、マニア的な探求を行う場合以外は、追求しても仕方ないところがある。

なお、ノリリスクニッケルは、極東でノリリスク硫化鉍床とタイプの違う鉍床を開発しているが、こちらは白金族もニッケルも伴わないので、日本から見ればどうでもよい存在である。

(4) 製錬

パラジウムは、製錬の副産物として回収されているものである。ノリリスクニッケルの銅、ニッケル製錬の状況は、パラジウム供給に影響する。設備の稼働状況は、パラジウムの供給に直結するので、要監視である。

ノリリスクニッケルでは、製錬部門も、大きくノリリスク部門、コラ部門に分けられる。また、フィンランドに、ノリリスクニッケル・ハルヤヴァルタという生産子会社がある。ノリリスクニッケルの製錬は、ノリリスク部門、コラ部門で複雑に分担して行われている。かつては、ノリリスク部門、コラ部門のそれぞれで採掘から製錬まで完結できた。しかし、現在、ノリリスクニッケルは製錬機能の再編を行っている。古い製錬設備が取り壊された結果、ノリリスク部門のみでは、完結できない状態になっているようだ。特にニッケル、白金族で製錬の分担が複雑になっている。ロシア発の雑な情報や紛らわしいネーミングと相まって、製錬の流れは非常に分かりにくいものになっている。

ノリリスクニッケルは、各部門毎の金属生産量を公開しているが、パラジウムはコラ部門での生産が多く、コラ部門の生産量とノリリスク部門の生産量は6:4である。採掘した鉍石中のパラジウムが少ないコラ部門で、パラジウムの生産量が多いのは、一見すると奇異である。これも、上記の複雑な生産分担の結果と生産量カウントの方法によるものである。白金族の生産量は、後述する貴金属委託生産に出した白金族濃縮物（後述）中の純分をカウントしていると思われる。鉍石の生産量とは無関係である。

なお、ノリリスクニッケル・ハルヤヴァルタは、ニッケルの世界では一定の重要性を持つ。硫酸ニッケルを製造し輸出しているが、ヨーロッパでは、電池金属製造の重要拠点の一つと看做されているようだ。しかし、パラジウム生産量はノリリスク部門、コラ部門と比較すると数%と限られる。白金族供給の観点からは、無視できる存在である。

ノリリスク硫化鉍床で採掘された鉍石は、ノリリスク I 選鉍場とタルナフ選鉍場で選鉍が行われる。

ノリリスク硫化ニッケル鉍床の鉍石は、高品位ニッケル硫化鉍石、低品位ニッケル硫化鉍石、鉍染鉍石に分けられている。高品位ニッケル硫化鉍石と低品位ニッケル硫化鉍石は、ともにほぼ全体が硫化鉍物から成る鉍石と推定される（実物を見ていないので、あくまでも推定である）。高品位鉍のニッケル品位はだいたい 2.5～3.5 重量%、低品位ニッケル硫化鉍石はだいたい 0.25～0.8%程度のニッケル品位である。銅品位は双方とも大きな差はない。一方、鉍染鉍石は苦鉄質の岩石に硫化鉍物が散らばって含まれるものと推察される（こちら実物を見ていないため、推察である。）。苦鉄質の岩石は、硫化銅・ニッケル鉍床の成因等に関わるものの、所謂ただの石ころである。鉍染鉍石に含まれる金属量は硫化鉍石に比べ少ない。

選鉍工程では、鉍石から有用成分でない“ただの石ころ”を取り除くとともに、銅とニッケルの分離が行われる。銅精鉍、ニッケル精鉍ができる。選鉍工程では、完全に銅とニッケルを分離できない。特に、ニッケル精鉍には少なからぬ銅が含まれてしまう。なお、パラジウムを含む白金族も、選鉍工程で分離ができないが、半分以上はニッケル精鉍側に行く。本件、ノリリスク部門のナデージュダ冶金工場が重要であるとともに、コラ部門によるパラジウム生産量が多い理由である。

銅精鉍はノリリスク部門の銅工場に送られる。以下、電気銅までの製造をノリリスク部門で行う。恐らく、銅精鉍には分離しきれなかったニッケルが一部含まれる。また、白金族も含まれる。ノリリスク部門の生産量に現れる白金族は、選鉍の過程で白金族が銅側にも行くことも原因であり、銅の製錬工程由来と推測される（ただし、後述のとおり全量が銅製錬由来かは疑問が残るところもある。）。

ニッケル精鉍は、ノリリスク部門のナデージュダ冶金工場の自溶炉でニッケルマットにされる。コラ部門の鉍石の白金族含有率の低さから考え、コラ部門生産のパラジウムのほぼ全量が、ナデージュダ冶金工場のニッケルマット由来である。ノリリスクニッケルのパラジウムの少なくとも 6 割程度がナデージュダ冶金工場のニッケルマット由来と推察される（ノリリスク部門の白金族生産を完全に解明できなかった。よって、残り 4 割のパラジウムが銅精鉍由来と考えていいのか、ニッケルマット由来の割合が更に大きいのかも解明できなかった。）。細かい点だが、ナデージュダ冶金工場でのマット製造の過程で、ニッケル精鉍に含まれる銅が分離されるため、ナデージュダ冶金工場でも粗銅の生産が行われている。粗銅はノリリスク部門の銅工場に送られる。なお、ナデージュダ冶金工場でも銅精鉍の一部が処理されていたとの過去の情報もあるが、現時点では不明である。

ノリリスク部門では、ニッケルマット以降のニッケル製錬工程は、2016年までとなっている。工場は解体されている。電解槽等を含む工程であったが、単に“冶金工場”としか呼ばれていなかったため、ノリリスク部門で、製錬を止めたとの誤解を生みかねなかった。ニッケルマットまでの工程は、現在でもノリリスクで行われている。

ニッケルマットはコラ部門に送られる。コラ部門で、電気ニッケルまでの製錬が行われる。白金族がニッケルから分離されるのは、主にコラ部門に送られて以降の電解採取等の工程であると推定される。

ノリリスクニッケルが採掘する鉱石は銅・ニッケルの鉱石であり、銅・ニッケルの製錬を行っている。パラジウムを含む白金族は、副産物に過ぎない。銅・ニッケルの採掘、製錬の状況が、ロシアからの白金族の供給に直接影響する。ノリリスクニッケルは、ノリリスク周辺で新しい硫化銅・ニッケル鉱床を探索するとともに、製錬設備の更新・増設を進めていた。2030年には、白金族の生産を2017年比で1.5倍にする計画だった。資源探査・採掘に対する制裁の影響は少ないと推察されるが、製錬には輸入設備を多用している。制裁により、製錬能力拡大計画は見直しを迫られている。

電解工程以降で、白金族濃縮物なるものを作った上で、クラスツヴェットメット等の貴金属メーカーに最終的な処理を依頼している。電解工程以降の白金族製造の過程は、詳細に解明できなかった。白金族濃縮物なるものの正体と、製造工程は不明である。資料によっては、コラ部門からノリリスク部門へ、ニッケルから分離したものが戻る線が引かれているが、電解以降でノリリスク部門での処理を要するのかが判然としない。白金族濃縮物がどこでどのように作られているかを解明できれば、ノリリスク部門での白金族製錬が銅精鉱由来か、コラ部門のニッケル製錬設備由来か解明できる。ノリリスク部門の銅工場のパラジウム供給への関与度合いが判明する。

白金族濃縮物は、貴金属メーカーで、販売されるプラチナ、パラジウム等になる。参考用写真に用いられるロシア産パラジウムは、クラスツヴェットメットのロゴが入るインゴットである。しかし、工業用に使用されるパラジウムは“スポンジ”と呼ばれるフレック状、粉末状のものである。ロシアから輸出されるパラジウムの大半は、スポンジ・パラジウムである。なお、クラスツヴェットメットがノリリスクニッケルの委託先として、最大勢力と思われるが、他にも白金族処理・製品化の委託先が存在するようだ。

貴金属メーカーは、委託料を受け取って処理を行うため、白金族の所有権はノリリスクニッケルが持つ。ノリリスクニッケルに戻されたのち、販売される。

4. 開戦によるパラジウムへの影響

(1) 開戦時の状況

述べてきたように、ロシアがパラジウムの大生産国であり、資源をロシアと南アフリカに依存することは、以前より懸念されていた。2022年2月の開戦により、パラジウムは金属の中で最も供給が不安視された。

市場は不安感のみでも反応するが、侵攻後、パラジウムの価格は上昇し、最高値を更新した。一方、中国の景気後退、白金族削減のための技術開発等で、実需の観点から、パラジウムは余り気味と見られていた。

(2) 世界のパラジウム市場への影響

懸念されたロシアからのパラジウム輸出は途絶えなかった。また、制裁非参加国である中国へのロシア産パラジウム輸出は、南アフリカ等、他の産地のパラジウムの需要減をもたらした。全世界で見ると、需給調整がなされた。パラジウムの価格は4月には開戦前の水準に戻った。

(3) 日本への影響

パラジウムで不足が発生すれば、もっとも影響を受けるのは、自動車産業である。日本の製造業で最も有力なのは自動車産業で、自動車産業への悪影響が発生すれば、極めて深刻な状況になる。よって、日本においても、パラジウムの供給に対する不安は大きかった。輸入量におけるロシアへのパラジウム依存量は、35～50%に達していた。

しかし、JOGMEC発行のマテリアルフローの数値によれば、リサイクルや日本国内における製錬での回収によって、需要量の3割程度を賄っていた。開戦前の実際の依存度は25%程度であったようだ。

懸念に反し、日本での戦争影響でのパラジウム不足は発生しなかった。日本では半導体不足による自動車生産減で、パラジウムの需要は減っていた。ロシアからの供給も続いた。2022年の間に、南アフリカや米国への調達先変更が行われた。2021年の輸入量に占めるロシア産パラジウムの割合は、35.1%であった。2018年は50%を超え、2019年と2020年も40%を超えていた。2021年の段階で、例年よりも依存度は少なかったと言える。2022年パラジウム輸入量におけるロシアの割合は26.8%に落ち、代わって米国が2021年の5.9%から12.2%に、南アフリカが47.7%から51.9%に増えてい

る。リサイクルと製錬副産物による日本国内発生分もあり、ロシアへの依存度は2割前後に落ちているものと推測される。

(4) ロシアへの影響

海外における影響が少なかった一方、ロシア側では影響が出ている。意外なことに、現時点では、ロシア側の影響の方が大きい。

2022年の間、実際のパラジウム供給減は発生しなかった。2022年、ノリリスクニッケル社は2021年比で生産を増加させた。2021年に約80トンであったパラジウム生産量は、2022年には約86トンになっている。2022年中、ノリリスクニッケル社において、制裁の生産への影響は顕在しなかったと言える。

しかし、前述のとおり、制裁により欧米からの設備購入に支障が発生している。設備増設・後進計画の見直しが強いられた状況である。影響は将来計画に留まらない可能性がある。既存の設備も、設備メーカーからのサポートや交換部品が必要となる。場合によっては、今後、既存設備においても、制裁に起因する問題が発生するかもしれない。

営業面でも、影響が出ている。クラスツヴェトメット等、ノリリスクニッケルが利用する貴金属製錬業者が、LPPM（London Platinum and Palladium Market）から認定取り消しを受けた。結果、ノリリスクニッケルのパラジウムの忌避が起きている。報道によると、ノリリスクニッケルは、中国を中心としたアジア地域での新規販売先開拓を強いられている。同社は否定しているが、ディスカウントが要求されているとの話もある。ノリリスクニッケル社幹部による、制裁影響に関する発言はたびたび報道される。生産、営業に対する悪影響を訴えるものが多い。実際に、制裁による生産・販売への有害事象が発生していると見られる。

5. 今後のパラジウム供給の不安

2022年は前述のとおり、ノリリスクニッケルの生産への影響は顕在化しなかった。むしろ、生産量を増やしている。しかし、2023年の生産計画は、2022年に対してだけでなく、2021年に対しても減らしている。パラジウムは2022年比で約10%減産するとしている。本件、制裁の影響だけかどうかを現時点で判断することはできない。

仮に、制裁による影響が深刻化した場合や、戦争による経済・社会の混乱がノリリスクニッケルを襲った場合、パラジウムの供給にどこまで影響するかは誰にも予測できない。前述のとおり、パラジウムは副産物として生産されているもので、銅・ニッケルの製錬が回らなければ得ることができない。ロシアからのパラジウム供給は、ノリリスクニッケルの採掘と製錬が、維持できることが前提となる。この前提を維持できているかどうかは、注視が必要である。

ロシアへの依存度を下げても、採掘量の40%を供給するロシアがパラジウム供給から脱落すれば、需給バランスが大きく崩れる。パラジウム不足により、他の産地からの調達の難易度が上昇するし、価格も上がる。ロシアが不安定な状態である限り、パラジウムの供給に対する不安が消えることはない。

6. パラジウム確保の対応策

パラジウムは、以前より供給不安定金属の代表であったので、確保に対する対策はなされてきた。また、リサイクルも盛んで、ロシアへの依存度はリサイクル等による供給で薄まっていた。前述のとおりパラジウムの需給バランス等から、2023年初頭までに、パラジウム不足は発生しなかった。

しかし、パラジウムが供給不安定金属の代表であることには変わりがない。採掘量の40%をロシアが握り、もう40%を南アフリカが握る。資源の供給が不安定である一方、自動車業界で必須である上、代替も存在しない。

2023年初頭にパラジウム不足が発生していなくても、戦争によるロシアの経済混乱や需給の変化によって、パラジウムはいつでも不足し得る金属である。パラジウムが自動車産業の必要量を満たせない場合、2021年以降に見られた半導体不足のように、自動車生産の足を引っ張ることになりかねない。日本の産業の自動車産業への依存度を考えれば、極めて深刻な事態となる。

現在行われているパラジウム確保対策の継続は必要である。加えて、パラジウムの供給が本当に不足した場合に備え、コールドエミッション規制の一時的な緩和に関する研究を行っておくべきである。

当然、環境保護は大切であるので、やたらに緩和するべきではない。しかし、パラジウムが原因で自動車の生産量を大きく減らさざるを得ない事態が発生した場合、経済への打撃は計り知れない。パラジウムが必須であるのは、コールドエミッション規制

の存在による。不足している間だけでも、コールドエミッション規制を一部緩和できれば、パラジウムの必要量を減らすことができる。自動車メーカーのライン停止を避けることができる。万が一の事態への備えとして、検討をしておく価値があると思われる。本件、急に触媒の組成を変更した部品を製造できるわけではないので、単純緩和では済まない複雑な検討となる。いざ不足してからでは、間に合わないと思われる。

補足. ニッケル・コバルト

ニッケル、コバルトは、パラジウムと同じノリリスクニッケルの鉱山から採掘され、ノリリスクニッケルで製錬が行われている。ロシアは、ニッケル、コバルトにおいても、豊かな地下資源を持つが、ニッケル、コバルトの市場において、ロシアの存在感はパラジウムほどではない。

ニッケル生産量のシェアは10%程度である。コバルトの産出量でロシアは世界2位だが、シェアは5%程度にとどまる。日本に対するロシアのニッケル、コバルトの影響は限定される。しかし、ニッケル、コバルトともに、電池材料として注目されているため、状況について簡単に触れる。

(1) ニッケル

製造業の規模が限られるロシアでは、ニッケルの需要は限られる。また、ニッケルを、競争力のある特殊鋼や、その他の高度なニッケル製品に加工する技術力はない。ノリリスクニッケルで製造されたニッケルの大半は、電気ニッケル等の基礎的な形態で輸出される。

ニッケルにおける戦争影響は、日本の産業界に関しては、限定される。日本の産業界は、ロシアからニッケルを調達していないので、直接的な影響は少ない（詳細は後述）。2023年、ニッケルの価格は高値で推移する。その点、影響は受けている。しかし、2022年中旬以降の価格変化につき、戦争影響と言い切れるかは精査が必要である。今年度は、精査ができなかったため、本報告書では触れない。

仮に日本に対する影響がなかったとしても、ニッケル市場において、ロシアとノリリスクニッケルが重要であることには変わりがない。また、ニッケル業界を見る限り、見かけのシェア以上の重要性がある。約10%とされるのは、ニッケル純分の単純カウントであり、ニッケルの形態や市場における性格は計算に含まれていない。

ニッケルの最大用途はステンレスであったが、最近では、電池材料として注目されることが増えた。車載用リチウムイオン電池には、燐酸鉄リチウムを使用するものと、三元系と呼ばれるものの、2種類がある。後者には、ニッケル酸リチウムが用いられる。すべてのニッケルが、電池材料に適しているわけではないが、ロシアのニッケルは電池材料に向く。

ニッケルには、鉄と混じったフェロニッケルと、ニッケル以外の金属が含まれない一次ニッケルがある。一次ニッケルには、金属ニッケルだけでなく、電池材料の原料となる硫酸ニッケル等の化合物も含まれる。

ニッケル鉱床には、品位の高い硫化鉱床と、低いラテライト鉱床がある。ラテライト鉱床のニッケル鉱石は、大量の鉄分にニッケルが微量含まれるものである。ラテライト鉱床の鉱石では、硫化鉱床の鉱石と比較して鉄分排除に多くのコストがかかる。一方、ニッケルの最大用途であるステンレス鋼は、鉄にニッケルやクロムを混ぜたものである。どのみち、鉄と混合するため、原料の鉄分排除に意味はなく、鉄とニッケルの混合物であるフェロニッケルを原料とする。よって、硫化鉱床の鉱石から一次ニッケルを製造し、ラテライト鉱床の鉱石からフェロニッケルを製造するのが一般的である。

ノリリスクニッケルの鉱床は、ノリリスク周辺の鉱床も、コラ半島の鉱床も、硫化鉱床である。ノリリスクニッケルは、一次ニッケルを生産し、輸出している。

また、ノリリスクニッケルからのニッケルは、ほとんどが輸出に回る。自国内で消費され輸出に回らない中国分を除くと、ロシアのシェアは上がる。

日本では、輸入鉱石から一次ニッケルを生産する住友金属鉱山があり、ノリリスクニッケルに依存する必要はない。しかし、欧州の自動車産業は、自動車電動化に必要なニッケル調達元として、ロシアに注目していた。

現在、フィンランドのノリリスクニッケルの生産子会社であるノリリスクニッケル・ハルヤヴァルタが、物流等で制裁の影響を受けている。一方で、同社との関係継続の動きもあるようだ。微妙な存在だけに、今後の動向が注目される（なお、日本もフィンランドから硫酸ニッケルを輸入するが、ノリリスクニッケル・ハルヤヴァルタ製の可能性もある。）。

(2) コバルト

三元系のリチウムイオン電池では、ニッケル酸リチウムと並び、コバルト酸リチウムも使用される。

コバルトは地球化学的挙動がニッケルに非常に近い。よって、ニッケルを含む鉱物は、必ず不純物としてコバルトを含む。言い換えれば、豊かなニッケル資源があれば、豊かなコバルト資源もある。低品位のラテライト鉱床では、必ずしも、コバルトを回収できていない場合もあるようだが、超優良硫化鉱床を採掘するノリリスクニッケルでは、ニッケル製錬の過程で、コバルトが回収されている。コバルトに関しても、ロシアでは十分な需要がなく、また、コバルトを用いた高度な製品も製造されていない。よって、電気コバルト等、基礎的な状態で輸出される。

コバルトも資源の偏在が極端な金属である。コバルト資源は、コンゴ民主共和国に集中する。世界産出量の7割近くを生み出す圧倒的世界一のコンゴに対し、世界第二位でありながらロシアのシェアは5%程度にとどまる。ロシアはコバルトの産地として、あまり認識されていない。

各論Ⅱ チタン

チタンもパラジウムと同じく、ロシアの影響が大きいいため、詳述する。長文になったため、冒頭に要約を載せる。また、チタンでは日本側、ロシア側双方に、大きな状況の変化が生じた。他の金属と異なり、ロシアのチタンはコモディティでなかったため、状況は複雑である。本編の前に、状況整理を載せ、理解の促進を図った。

要約

ロシアの製造業は未発達であるが、チタンは例外的に技術力があつた。一般的にコモディティである他の金属と、チタンでは、大きく事情が異なる。

航空産業から見た場合、ロシアは全世界のチタン供給量の3割程度のシェアを持っていた。ロシアのチタン産業は、事実上、VSMPO-AVISMA社1社であるが、同社の売上の半分は、ボーイング、エアバス等の航空産業大手への販売によるものだった。一方、最盛期はボーイング4割、エアバスが6割のチタンをVSMPOに依存した。

日本の航空産業は、ボーイングの機体やエアバス機向けエンジンに部材を供給する。チタンにおける航空産業とロシアの相互依存関係に組み込まれていた。また、日本には有力なチタン産業が存在する。

航空機用チタンは、他のロシアの金属よりも強い忌避を受けた。また、チタン業界において、VSMPOの存在感は極めて大きかった。日本のチタンメーカーは、なんらかの形で、VSMPOと競合していた。以上より、ロシア側でも、日本側でも、チタン業界に与えた影響は極めて大きかった。

戦争により、経過は複雑だが、ロシアのチタン産業ではチタン鉱石の輸入、設備の維持に問題が発生している。しかし、それ以上に、営業上の打撃のほうが致命的である。欧米の航空産業によるロシア製チタン使用忌避により、ロシアのチタン産業は顧客の大半を失った状態になった。

ロシアの外から見ると、航空機用チタンの世界では、数十%のシェアを持っていたロシアが脱落した。結果、航空機用チタンの世界では、ロシア代替需要が発生した。日本でチタン製錬を行うスポンジチタンメーカーは、その代替の一部として期待されている（ただし、詳細は要分析。）。

大雑把には、シェアの高いロシアが脱落し、日本に一種の特需が発生しているのを見るのが正しいと考える。しかし、この理解を個別事象に当てはめて良いか、また長期的な影響については、慎重な判断が必要である。VSMPOが市場から脱落したままか、将来復活するかについて、予想は困難である。本件、業界の大きな不安定要素となる。精度の高い需給バランスの調査は別途必要である。また、日本のチタン業界をどう守

っていくかについても、検討が必要である。本件は、戦争の影響調査の枠内でできるような軽い問題ではない。

なお、チタン業界は複雑である。正確に状況を把握するには、下記事項の正確な理解が必要である。本編では、下記事項を理解できるよう、詳述した。

- ・ スポンジチタン製造と展伸材製造の二層に分かれる業界の構造
- ・ 航空機用チタンと非航空機用チタンの違い
- ・ CPチタン（純チタン）とチタン合金の違い
- ・ チタン材料の加工の流れ

状況整理

1. 開戦前状況

製造業が未発達ロシアにおいて、例外的にチタンはロシアが技術的に競争力を持つ分野であった。事実上、ロシア唯一のチタンメーカーであるVSMPO-AVISMA（以下VSMPO。ただし、必要に応じてVSMPO-AVISMAとも表記する）は、特に、航空機用大型チタン材に強みを持っていた。約6割の製品を輸出し、輸出の内、約8割5分が航空機用であった。

チタンにおいては、他の金属と異なり、ロシアが輸出する製品は、鍛造材を中心とする展伸材であった。ロシアのパラジウムはコモディティであるが、ロシアのチタン製品は決してコモディティではなく、一定の付加価値のある専用品である。他の金属と違い、数量の計算のみでない難しさがある。

ロシア製チタンは、航空産業で大きな勢力を持ち、最盛期には、重量ベースでボーイングが4割、エアバスが6割のチタン合金材をロシアに依存していたとされる。

日本の航空産業でも、ボーイング787用を中心にロシアのチタン材を使用していた。また、日本はチタン生産国であり、ロシアと競合していた。

VSMPOは売上の半分以上を海外に依存していたが、調達面でも海外依存が大きかった。ロシアはチタン資源に恵まれておらず、VSMPOが使用するチタン鉱石は、全量が輸入であった。また、財政的に恵まれていたVSMPOは、欧米より最新の製造設備を輸入し、生産に用いていた。ロシアは資源大国であり、チタン資源にも恵まれていると誤解されるが、ロシアのチタン鉱石は全量が輸入であった。開戦前から、チタン鉱石確保は問題になっていた。

2. 開戦による状況変化

(1) 日本側

開戦により、2022年3月に、ボーイングがロシアからのチタンの調達を停止すると発表した。エンジンメーカーも続き、エアバスも最終的に追従した。この動きは、欧米の動きであるが、日本の航空産業の主要ビジネスは、欧米航空産業の下請であるので、日本の航空産業でも、動きはほぼ同じとなる。

欧米・日本におけるロシア製チタンユーザーは航空機産業であったが、航空機産業でのロシア製チタンの使用が困難になった。

日本のチタンメーカーにとっては、突如として、競合先が消滅した。一見すると、世界のチタンの需給構造に、大きな変化が生じた。

(2) ロシア側

VSMPOは欧米航空産業という、最大の顧客を失った。生産面においても、輸入機械のサポートを受けられなくなった。

3. 現在の影響

(1) 日本側

・営業面

航空産業において、数十%のシェア（詳細は後述）を持っていたVSMPOが脱落したことで、チタン不足が心配された。結果として、日本のスポンジチタンメーカーに特需が発生したように見える状況が発生した。本特需については、**要分析**であるが、日本のスポンジチタンメーカーの利益改善の一因として機能したことは確かである。しかし、チタン需給の変化に対し、生産能力をどうするのかは、特に難しい問題である。

・調達面

日本の産業界では、ロシア製チタン製品を使用していた。しかし、ロシア製チタンは、多くの場合、技術的に代替可能なものである。ロシア製チタンに依存していたのは、主にボーイング787の製造であった。しかし、代替、生産減等の影響により、近年ではロシアからの調達必要量も減っていた。全体的に見ると、ロシア製チタン調達困難による生産停止等の、問題は発生しなかったと見られる。

一方、不足問題を発生させなかったとしても、チタン製品価格上昇の可能性はある。また、不足は需要が増大すれば発生し得るので、世界的なチタンの需給については、今後も要注視である。

(2) ロシア側

・営業面

ロシアのチタン産業は、事実上、VSMPO-AVISMA一社により成り立っていた。同社のチタン製品の6～7割が輸出され、その顧客のほとんどは欧米の航空機メーカー、航空エンジンメーカーであった。開戦後、欧米の航空機産業は、ロシア製チタンを忌避した。ロシアのチタン産業は、顧客の大半を失い、営業的に壊滅的打撃を受けたとみられる。なお、パラジウムと異なり、中国等の航空産業は、欧米の代替販売先とはなり得ない。

・調達面

顧客の大半を失った営業面の問題があまりに大きい。原材料の調達や設備の可動維持に不安が発生しているが、売上減により生産必要量も激減している。生産への障害が発生しても、そもそも仕事がないという理由で、問題が顕在化しない可能性もある。

ロシアはチタン資源に恵まれず、チタン鉱石を全量輸入していた。輸入元の中でウクライナのシェアが高かった。2014年以降も、ウクライナからのチタン鉱石輸入を続けていたが、年々調達が難しくなっていた。現在はベトナムにチタン鉱石調達元を切り替えている。また、成否はまだ判断不能であるが、国内でのチタン鉱床開発を推進している。

財政的に恵まれていたVSMPO-AVISMAは、海外からの設備調達に熱心であった。欧米企業による忌避や制裁で、サポートを受けられない設備が発生していると予想される。工作機械については、仕事そのものが消滅しているので、設備が動かなくても実質的に問題ない可能性が高い。一方、旧ソ連向けや非航空産業向け需要が残る冶金系設備でも、生産に影響する可能性がある。

チタン本編

ほとんどの工業分野では、ロシアの存在感は小さい。しかし、チタンは例外で、ロシアの存在感が大きかった。そのロシアが、世界市場から脱落したため、チタン産業への影響は大きい。しかし、ロシア国外において、ロシアのチタンが使用されていたのは、主に航空産業であった。影響も、チタン業界で航空産業に関わりのある部分に限定される。

非航空産業用途のチタン業界については、本報告書が扱うウクライナ戦争の影響は薄いと見られる。よって、非航空機用途について詳しい説明は省略する。

航空産業において、どれだけのチタンが利用され、その内、どれだけロシアが担ってきたか。これが、チタン業界に対するウクライナ戦争の影響の大きさである。仮に、ロシアが担ってきた役割を質的、量的双方において、同コストで代替可能であれば、ロシア以外のチタン関連業界への影響はない。しかし、質はともかくとして、量とコストでの代替は困難である。影響は需給バランス次第となる。

1. チタンとチタンの用途

チタンは、軽く錆びない金属として知られる。耐食性を利用して、化学プラント、熱交換器、海水に曝される用途等に用いられる。また、アルミニウムより比重が大きいものの、鉄やニッケルと比較すれば軽量である一方、チタン合金はアルミ合金よりも強度と耐熱性がある。よって、航空機において、強度や耐熱性が必要な部位に用いられる。全世界で見れば、航空機分野が、チタンが最も使用される分野である（航空産業の規模が相対的に小さい日本では、必ずしも用途として優勢ではない。）。

性質を見る限り、チタンは構造材料として極めて優秀である。しかし、製錬や加工に極めて大きなコストを要する高価な金属である。よって、使用は高コストが許容される場合に限られ、鉄やステンレスを代替できるに至っていない。航空機は性能が優先される世界であるが、むやみやたらにチタン合金を使用できるわけではない。

2. 航空産業とチタン利用

チタン業界に対する戦争の影響を語る上で、航空産業におけるチタン利用についての理解は必須である。本項目において、詳述する。

一方で、エンジンを含めた航空機の材料構成を正確に把握することは、部外者には困難である。本件、チタン合金材の需要を読みにくいものになっている。

(1) 航空機用材料

航空機は重力に逆らい空を飛ぶため、軽量であることが強く要求される。よって、軽量な材料が採用される。従来、航空機の大部分は2000系、7000系のアルミ合金で製造されてきた。

航空機には、局所的に高い強度や耐熱性が必要な部位が存在する。例えば、エンジンはその典型例で、高速で回転する部位や衝突に対応する部位等に強度が要求され、高圧部や高温の燃焼ガスに曝される部分は耐熱性が要求される。アルミ合金は耐熱温度が200°C程度と低く、強度にも限界がある。そうした部位にチタン合金が使用される。

(2) 航空機用チタン合金使用拡大の歴史

かつて、アルミ合金で耐えられない部位は、鉄鋼で製造され、鉄鋼で耐えられない温度に達する部位はニッケル基・コバルト基の耐熱合金で製造されてきた。しかし、これらは、比重8を超え、軽量ではない。

戦後、鉄鋼製航空部品と同等の強度を実現でき、比重約4.5のチタン合金が工業的に製造されるようになった。チタン利用の初期に開発されたアルミニウム6%、バナジウム4%を含むTi-6Al-4V（通称64合金）は、現在でも航空業界でもっとも広く使われているチタン合金である。例えば、当時、ジェットエンジンが普及し始める時期であった。鉄鋼製のコンプレッサーブレードやディスク等の置き換えから、チタン合金の航空機への使用が広がっていった。

特に機体においては、チタン合金の使用は戦闘機において先行した。しかし、戦闘機は機体もエンジンもサイズが限られる。旅客機にチタン合金使用が普及したことは、チタン合金使用の量的拡大に大きく貢献した。

機体では引き続き、大部分はアルミ合金で製造された。しかし、フラップのトラックレール、エンジンパイロン、APU排気口など、強度や耐熱性が必要な部分で、局所的にチタン部品が用いられるようになっていった。一方、ジェットエンジンでは、低圧部の大半がチタン合金で製造されるようになった。ジェットエンジンでは、全体重量におけるチタン合金重量の比率は、数十%にも達している（重量ベースにおいてCF6エンジンで25%に達する。多い機種では40%に達するとの情報もある。）。旅客機1機のチタン合金使用量の内、エンジンでのチタン合金使用量は数十%に達している場合もあると推測される。

1960年代末、ジェットエンジンの高バイパス比エンジンの開発により、低圧部が大型化した。1990年代には、鉄鋼で製造されてきたランディングギアにチタン合金が多用されるようになった。航空機におけるチタン合金の使用は、年々増えていく傾向にあった。

2010年代に入ると、ボーイング787やエアバスA350のように、従来アルミ合金を置き換え、機体の大半を炭素繊維複合材で製造する大型機が登場した。チタン合金は炭素繊維と触れても電蝕を起こさない等、炭素繊維複合材と相性が良い。炭素繊維複合材製部材の結合部分等に、大型のチタン合金部材を使用するようになった。これらの機種では、構造重量におけるチタン合金の使用比率は15%程度に達している。結果として、更に、航空機におけるチタン合金の使用が増えることになった。

おって詳述するが、ロシアのVSMPO-AVISMAが航空業界で勢力を拡大した背景には、航空機用チタン合金使用拡大、チタン合金製大型部材の需要増の流れに乗ったことがある。

(3) 航空機用チタン合金の将来

これまで、順調に量を増やしてきた航空用チタンである。エアバスA350 やボーイング787などの生産が続いた上で、航空機需要が拡大している間は、航空機用チタンの使用は拡大していくと予想できる。

また、エンジンにおいては、比重の大きいニッケル合金を、チタン合金で置き換える事例が、引き続き発生している。例えば、かつてニッケル合金で製造されていたファンシャフト（耐熱性ではなく、強度を目的とした材料選定と推察される）に、チタン合金が用いられるようになった例がある。また、GEnxやGE9Xエンジンでは、ニッケル基耐熱合金で製造されていた低圧タービンブレードを、後部の2段のみだがチタンアルミナイドで置き換えている。

しかし、今後登場する新型機も含めると、長期的に航空機用チタン合金の需要増が拡大するかは不透明である。チタン合金を使用する理由は、主に強度、耐熱性、炭素繊維複合材との親和性だが、耐熱性以外の部分は、炭素繊維複合材で実現できる。

確かに、機体におけるチタン合金使用は拡大してきた。しかし、航空エンジンにおけるチタン合金使用は縮小傾向と見るべきである。航空エンジンにおいて、鉄鋼製やアルミ合金製のコンプレッサーブレードをチタン合金で置き換えて以来、低圧部はチタン合金で作られてきた。また、耐熱チタン合金の進歩により、高圧コンプレッサーの一部の耐熱合金も、チタン合金で置き換えられる傾向にある。しかし、低圧部で最もサイズの大きいファンブレードやファンケースは、炭素繊維複合材や新型アルミ合金に置き換える事例が増えている。例えば、V2500エンジンではファンとファンケースは、チタン合金製であった。しかし、後継のPW1100Gエンジンでは、ファンはアルミ合金製、ファンケースは炭素繊維複合材製となっている。また、GEでは90年代にGE90-94Bで炭素繊維複合材製ファンブレードを導入している。ロールスロイスは、70年代のRB211-22B開発時に炭素繊維複合材製ファン開発に失敗して以降、最新のト

レント7000エンジンまでチタン合金製ファンブレードを用いてきた。しかし、次世代のUltra Fanでは、炭素繊維複合材製ファンブレードを採用する。

機体においても、チタン合金を炭素繊維複合材で置き換える動きがないわけではない。例えば、ランディングギアの部品において、チタン合金を炭素繊維複合材で置き換えた事例がある。また、ボーイング787やエアバスA350などの炭素繊維複合材製機体で大量にチタンが使用される理由は、セクション間の結合部分に炭素繊維複合材を使用するからである。結合部分の存在は、コストアップ要因である。よって、一体化によって結合部分をなくすべきとの主張が存在する。ボーイング787でチタン合金を最も使用するのは、中央翼である。左右の主翼を接合する部分と、前後の胴体を結合する部分にチタン合金が使用される。特に主翼を接合する部分に大型チタン合金材が用いられている。仮に、炭素繊維複合材製の左右の主翼と中央翼を一体成型できれば、大幅にチタン合金材を削減できる。なお、この部分のチタン合金製大型部材には、ロシアVSMPO製が多用されていた。

今後の機種におけるチタン合金使用は、技術開発動向次第となる。機種あたりの航空機用チタン合金材の使用量は、使用率、機体規模、生産数の掛け算である。航空産業でのチタン合金材使用量は、機種あたりの使用量の和である。生産数は中長期的には拡大傾向と考えられている。しかし、一機当たりのチタン合金使用量も、無制限に増えていくべきでなく、減る可能性もあることは、認識されるべきである。

(4) 機種によるチタン合金使用量の違い

ウクライナ戦争の影響の大きさと、影響を受ける範囲を理解するには、航空産業におけるチタン合金使用量の推定が必要になる。機種によって複雑に異なるので、以下詳述する。

①民間機と軍用機

軍用機には、戦闘機のように高速性や運動性を重視した戦闘用の航空機と、輸送機のように旅客機と類似の航空機が存在する。戦闘用航空機は高いGに耐える強度が必要であり、機内に高温のエンジンを抱えるため、機体重量に対するチタン合金使用率は多い。しかし、戦闘用航空機は小型であり、軍用機の実数は民間機に比べ少ない。航空産業におけるチタン合金需要における軍用機の割合は、限定される。

実際にロシア製チタンが、日本を含む西側の軍用機に使われていないかということ、使われているのが実態であろう。広い範囲の機体に使用される定尺の板材等、汎用の材料では使用されている可能性は少なくない。また、チタンファスナー等規格品の材料としても、使われているのだろう。しかし、軍用機において、専用材となる型を用いた鍛造材等では、わざわざロシアの材料を選ぶとは、考えにくい。言い換えると、ロ

シア国外の軍用機において、質的、量的に、ロシア製チタンが重要な役割を果たしていることはない。

ウクライナ戦争で影響を受けるのは、旅客機用のチタン合金である。航空産業におけるチタン合金使用の最大勢力は旅客機であり、特にボーイングやエアバスが生産する比較的大型の旅客機である。リージョナルジェットやビジネスジェットは、生産数が限られる上、機体サイズが小さい。更に、機体が小型化すると、チタン合金採用のメリットも減り、チタンの使用割合も減る。小型機民間機の発生させるチタン合金需要は少ない。

確かに、航空産業全体でのチタン供給量不足が発生した場合において、軍用機、小型民間機も間接的に不足の影響を受ける可能性がある。しかし、ボーイング、エアバスの旅客機生産に関係する部分のみ分析できれば、量的な影響はほぼ判明するものと考えられる。実際に、ロシア製チタンを大量に使用してきたのは、ボーイング、エアバス製旅客機および両社で使用するエンジンである。なお、リージョナルジェットメーカーであるエンブラエルは、100%のチタン合金材をロシアに依存していたとの情報もある。しかし、エンブラエル製旅客機の機体規模は小さい。計算に含めたところで、せいぜい数%程度の影響に留まると推察される。

②民間機機体

過去数十年、一機当たりのチタン合金使用量は拡大の傾向にあった。しかし、機種によって、チタン合金使用量は大きな違いがある。

チタン合金使用量が極端に多い機種は、炭素繊維複合材を用いた機種である。ボーイング787とエアバスA350では、機体の構造重量の約15%がチタン合金であると言われる。しかし、炭素繊維複合材で機体の大半を製造した機種は、787とA350の二機種に限られる。なお、エアバスA220やロシアのMC-21のように、主翼のみ炭素繊維複合材で製造し、胴体がアルミ合金製の機種も開発されている。しかし、A220は787やA350よりも小型である上、生産数が限られる。また、MC-21は量産の立ち上がりか危ぶまれる上、仮に量産されたとしても、A220以上に生産数が限られる可能性が高い。現状、複合材多用によるチタン合金大量使用機種は、ボーイング787とエアバスA350のみと見て良い。

生産中の機種も含め、787とA350以外の世の中の大半の機種はアルミ合金製であり、構造重量中のチタン合金の割合は10%を下回る。ただし、数量の極端に多い機種は要注意である。旅客機の生産数の大半を占めるボーイング737とエアバスA320は、アルミ合金製である。2010年代に、両機種とも、737MAX、A320neoとアップグレードがなされたが、機体の基本構造には、従来モデルと比較して大きな差がない。しかし、多い年では合計1,000機以上、2021年も合計903機が製造されている。

737、A320は大量生産機種として、787、A350はチタン大量使用機種として、特に航空機用チタン材の需要に大きな影響力を持つ。

③民間機エンジン

航空産業におけるチタンの使用量で、重要な点は、エンジンのチタン合金使用も多いことである。しかし、エンジンでのチタン合金需要の正確な把握は、機体以上に難しい。

旅客機のエンジンは、機体全体と比較すると小さく見える。しかし、機体の内部が空洞であるのに対し、エンジンは密度が高い。機体より強度が要求される部品が多く、部品サイズに対する板厚は大きい。また、エンジン部品の大半は強度が要求されるため、前述のとおりチタン合金の使用割合も多い。乱暴に言うと、ジェットエンジンは、チタン合金とニッケル合金で作られてきた。前述のおおり、旅客機1機のチタン使用量において、エンジンの比率は最大数十%になると推測され、決して無視できない。前述のとおり、エンジンにおけるチタン合金使用量は減りつつある。チタン合金の比重は約4.5であるが、アルミ合金は約2.7、炭素繊維複合材は2以下である。強度等が異なり、板厚を含めた部品寸法も必ずしも自由でないため、比重が部品重量にそのまま反映されるわけではない。しかし、比重4.5のチタン合金は、航空材料の中では、比較的比重が大きいのも事実である。材料選定の動向を見る限り、ファンやファンケース等は軽量材料への置き換えが進む。一方、ロールスロイスは前述の事情で、軽量材料採用に慎重であり、生産中のエンジンではチタン使用率に大きな差がある。

例えば、エアバスA350は、ロールスロイス製トレントXWBエンジンを採用した。トレントXWBエンジンは、ファン、ファンケースともにチタン合金製である。一方、ボーイング787はGE製GENxと、ロールスロイス製トレント1000の双方からエンジンを選択できる。トレント1000のチタン合金使用率は高いが、GENxではファンを複合材化しており、チタン合金使用率は下がる。機体も含め、航空産業においてチタン合金需要に最も影響のある機種は、ボーイング787とエアバスA350であるが、機体が大型であることに加え、エンジンのチタン合金使用量も多いため、特にA350が1機あたりのチタン合金使用が大きい。ただし、その程度の把握は困難である。

機体の部分で説明したとおり、ボーイング737とエアバスA320が最も数量の多い機種である。両機種はボーイング787やエアバスA350と比較すると小型であるが、前述のエンジンにおけるチタン合金使用減少の影響を受けている。2010年代、ボーイング737はNGと呼ばれた世代からMAXへ改良がなされた。A320はceoと呼ばれた世代から、neoに改良がなされた。MAXやneoへの進化の過程で様々な改良がなされたが、機体の基本構造には変化はなく、機体においてチタン合金使用量が増えていない。一方、エンジンは切り替えとなった。A320ceoではCFM56-5A/BとV2500エンジンを採

用していたが、A320neoでは、LEAP-1AエンジンとPW1100Gエンジンが採用された。737NGではCFM56-7Bエンジンを採用していたが、LEAP-1Bエンジンが採用された。LEAPやPW1100Gでは、ファンブレード等のチタン合金から、軽量材料に置き換えている。確かに、エンジンは大型化しているが、チタン使用量は減少していると思われる。しかしながら、その程度について、具体的な数値を知るのは困難である。機体に対し、エンジンにおけるチタン合金使用量に関する情報は限定される。また、前述のとおり、同じ機種でも、チタン合金使用量の異なる複数機種のエンジンが採用されている場合もある。そうでありながら、チタン合金使用量は少なくないため、無視できない。エンジンという要素は、航空産業におけるチタン合金需要を推定する上で、極めてやっかいである。本調査でも、上記の複雑な状況を数値で表すことはできなかった。

3. チタン産業の構造と性格

チタン産業は、チタン鉱石を製錬してスポンジチタンを製造する工程と、スポンジチタンから展伸材を製造する工程の2層構造になっている。

(1) 前工程 スポンジチタン製造

チタンの製錬は、チタン鉱石から、酸化チタンを製造し、酸化チタンを還元して行われる。製錬後、多孔質のスポンジチタンが得られる。スポンジチタンは、金属チタンの最も基礎的なものである。

ルチル (TiO_2) やイルメナイト (FeTiO_3) が、チタンの鉱石として使用される。鉱石として、利用されているものは、砂鉱である。ルチルやイルメナイトを含む岩石が風化し、砂状になって堆積したものが、チタン鉱床として採掘される。

イルメナイトは鉄を除き、人工ルチルとされチタン製錬に用いられる。なお、酸化チタン (TiO_2) での産業的用途は多く、金属チタンよりも酸化チタンとして用いられる量のほうが圧倒的に多い。酸化チタンの主な用途は白色顔料である。

この文章だけを見ると、酸化鉄である鉄鉱石を還元する製鉄と同様に見えるかもしれない。しかし、チタンの化学的性質は複雑であり、チタン製錬も複雑である。

チタンは常温常圧では表面に強固な酸化膜ができるため、前述のとおり、優れた耐食性を示す。しかし、酸化膜が機能しない状態では、極めて反応性に富むため、扱いが困難である。

製錬は四塩化チタンを製造した上で、マグネシウムで還元するという複雑な方法が必要である。また、純度の管理も難しい。技術的難易度故に、チタンの製錬が可能な国

は限定される。日本、ロシア、カザフスタン、中国、ウクライナ、米国に限られる（東邦チタニウムのサウジアラビア工場は日本企業の一部とみなし得る）。この内、米国の生産量は申し訳程度とする説もあり、実際にスポンジチタン供給を支える存在とはみなしがたい。

現状、世界で最も多くのスポンジチタンを製造するのは、中国である。中国の生産量を含め、シェアを見ると、他の多くの業界と同じく、中国の存在感が圧倒的に見える。しかし、中国のスポンジチタンは、ボーイング、エアバス等の航空機用に使用するレベルには達していないとされる。ロシアの戦争による影響は、航空産業用チタンである。生産者としての中国は、ロシアの戦争の影響を考える上で無視できる。逆に言うと、航空産業においては、中国がロシアの代替になり得ない。中国の生産量が多くても何の救いにもならない。中国の役割が小さいことは、極めて特殊である。本件は、航空機用チタン合金材の世界の特徴として重要である。一方、非航空機用チタンにおいては、中国の巨大な生産量と需要の影響が大きい。ロシアがいよいよがいがまいが、大勢に影響はない。

なお、中国に加え、ウクライナ製スポンジチタンも航空産業用には使用できないとされる。よって、現在、航空機用スポンジチタン製造が可能なのは、日本の東邦チタニウム、大阪チタニウム、ロシアのVSMPO-AVISMA、カザフスタンのUKTMCのみである（VSMPO-AVISMAのAVISMAがスポンジチタンを生産する。詳細は後述。）。航空機に使用できるスポンジチタンでは、ロシアのシェアは3割に達する。後述するように、ロシアのスポンジチタンのほぼすべてがVSMPOの展伸材製造に使用され、スポンジチタンの輸出を長らくしていない。しかし、ロシアの展伸材を航空産業が拒否する限り、代替の展伸材を製造するためのスポンジチタンが別途必要になる。よって、理論上は、ロシアが航空機用チタン市場から脱落したことで、その分の航空機用スポンジチタンの需要が発生することになる（実際に発生したかの分析は後述。）。

（2）展伸材・鋳造材製造

金属チタンの用途の多くは、航空機に限らず構造材料である。粒上のスポンジチタンを、構造材料として利用できる形態に加工することが必要となる。

機械メーカー等で利用する構造用材料には、板材、棒材、型材、鍛造材、鋳造材等がある。これらの内、鋳造材を除き、金属の延性を利用して製造されるので、展伸材と呼ばれる。展伸材・鋳造材と表現するのは、煩わしいので、展伸材と表現する。なお、航空機でもチタン鋳造材等は使用されているが、今回問題となるロシアが輸出する航空機用チタンの大半は、鍛造材と板材である。よって、板材、鍛造材を中心に述べていく。

航空機用チタン展伸材においては、欧米の航空産業が優勢なことを反映し、欧米企業に多い。TIMET(米)、ATI(米)、RTI(米)、Aubert & Duval(仏)、Wayman Gordon(米)、Boehler(奥)が代表である。ロシアのVSMPOも開戦前はチタン展伸材大手として、大きな存在感を持った。一方、日本では神戸製鋼、日本製鉄、JFE、大同特殊鋼等が、チタン展伸材を製造する。日本では鉄鋼メーカーによるチタン展伸材製造が多いが、鉄鋼の設備を流用して主にCPチタンを製造する。航空機用チタンの分野では、主に神戸製鋼と日本エアロフォージ(神戸製鋼が日立金属等とともに設立)が、航空機用チタン展伸材を製造している。神戸製鋼、日本エアロフォージは、VSMPOと直接競合していた。

展伸材製造において、最初に行われる工程は、溶解である。粒状のスポンジチタンを圧着させて電極と呼ばれる塊を作り、真空中で放電することで溶解し、インゴットと呼ばれる塊を作る。溶解時、リサイクルされるチタンスクラップも投入される。チタンの化学的性質は、スポンジチタン製造時と同じであり、溶解以降の工程も一定の技術力が要求される。

工業材料としてのチタンは、合金成分をあまり含まないCPチタン(純チタンとも呼ばれる)と、合金成分の多いチタン合金に大別される。CPチタンは耐食性に富むが、強度が弱い。航空機構造に用いられるチタンは、チタン合金である。航空機で用いられるチタン合金には、複数の種類があるが、大半は前述の64合金である。

溶解の過程で、合金成分が加えられる。ここで、成分が確定する。64合金では、バナジウムとアルミニウムを含むマスターアロイが添加される。他の合金では、バナジウム、アルミニウム以外に、クロムやモリブデン等が成分元素として添加されることがある。

チタンインゴットは、円筒形の多孔質のものである。最大10 t以上にも達する場合もあり、アルミや金のインゴットとは大きく印象が異なる。

チタンインゴットは、分塊鍛造と呼ばれる工程を経て、鍛造材の材料となるビレットや、板材の材料となるスラブに加工される。

チタンには α 相と呼ばれる組織と、 β 相と呼ばれる組織がある。64合金等航空機で用いられるチタン合金の大半は、 α 相と β 相の双方が組み合わさった組織を持つ。鍛造も圧延も熱して軟化させて行うが、この組織を維持できる温度域で加工が必要となる。十分に軟化する温度で、加工を行うことができない。よって、チタン合金の加工には、極めてハイパワーな鍛造機や圧延機が必要になる。

鍛造材には、鍛造型による型鍛造と、型を用いないフリー鍛造がある。航空機では双方を用いる。型鍛造材は部品形状に近い形を持つため、専用材となる。実際は、ビレットやインゴットの状態で、サイズを調整している場合があるため、鍛造前に事実上、

専用材になって転用不可能な場合がある。転用の難しさは、単純に数量のバランスだけで需給が決まらないことを意味する。

板材はスラブを圧延して作られる。厚板は熱間圧延であるが、薄板は冷間圧延となる。板材は特殊なものを除き、一定の汎用性があるが、大型品は事実上の専用材である場合もある。

薄板加工等、一部を除き、チタンの加工の大半はチタンを熱して熱間で行われる。チタンの加工には膨大なエネルギーを要する。

一般的に、チタンメーカーの仕事は、鍛造材や板材等の展伸材を製造する時点までである。鍛造材や板材が機械メーカー等に出荷される。

(3) 材料以後の加工

航空機メーカーや航空エンジンメーカーは、材料として鍛造材や板材を購入して社内で部品加工を行う場合と、部品メーカーから部品を購入する場合がある。一部、耐熱性や強度が要求される外板での使用がある。しかし、航空機用チタン部品の多くは強度が要求される板厚の厚い立体的形状の部品である。こうした部品は、分厚い材料から、工作機械により切削して製造されるが、切削量が多い傾向にある。展示会において、チタン合金は技術力を示す加工サンプルとして用いられることが多い。チタン合金は、工作機械による加工が困難な難削材の一つとされる。

(4) 航空宇宙用チタンの諸問題

①数量把握に関する問題

チタンは、製錬の最初の段階から、部品加工の最後の段階まで、技術的難易度の高い材料である。よって、鉄鋼やアルミに対し、桁違いのコストが発生する。航空機においても、チタンが局所的にしか用いられない理由の一つである。裏を返せば、アルミ合金の5倍、10倍に達するコストをかけてでも必要な材料であり、優れた性質を持つ材料と言える。チタンは高価な材料であるが、歩留まりが悪い材料としても知られ、更なるコストアップ要因となっている。材料の重量に対し、切削量は8～9割に達するものもある。

歩留まりの悪さは、チタンのバリューチェーンの全体像を見えにくくするという問題も発生させている。チタンの需要量の把握は容易ではない。切削量が多い上、部品によって切削量が全く異なる。物質としてのチタン投入重量を、部品側から推察することは極めて難しい。よって、機体の構造重量中のチタン合金の使用割合が分かっても、そこからチタン合金材料を推計することは極めて困難である。

また、航空業界が使用する材料の量を正確に把握することも困難である。機体メーカ

一や部品メーカーが購入するチタン合金製品には、板材、鍛造材、部品等、異なる加工段階のものが混じる。また、鍛造材や板材の段階で、すでに材料歩留まりがバラバラである。

航空業界で使用するチタンの量はどれだけかは、ロシアの戦争の影響を算出する上で極めて重要なのだが、何を以てチタンの使用量、必要量とするかについて、一定の曖昧さが残らざるを得ない。スポンジチタンの使用量でチタン使用量を測ると、チタン溶解能力や展伸材製造能力を検討できない。一方、展伸材生産重量とスポンジ必要重量は、必ずしも、結びつかない。スクラップも原材料に用いられる上、そもそも展伸材の歩留まりが形状、形態により異なるため、投入チタン量と展伸材製品重量が製品によりバラバラである。

数量的な分析の精度には大きな限界がある。実際、業界関係者でもロシア影響で、チタン不足が発生しているかどうか意見の相違が存在する。

②航空機用チタン合金材代替に関する問題

・性質上の問題

パラジウムやアルミのようなコモディティの場合、代替は数量と価格の問題に過ぎない。しかし、チタン展伸材の場合、ある種のハイテク製品で、コモディティとは言い難い。切り替えの相手先が限られる上、技術的制約も発生する。

VSMPOの航空機用チタン合金材の場合、確かに技術的、設備能力的にVSMPOでしか製造できない品目は存在しないように見える。VSMPOは価格競争力があつたが、技術的には決して、オンリーワンではなかった。しかし、切り替え先や切り替え先のキャパは限られる。定性的に他社でできる場合も、切り替えが容易に成立しない場合がある。

・価格上の問題

VSMPOと同じコストで製造できるかどうかは、難しい場合も多いと推定する。仮に、数量的になんとかなくても、航空機用チタン合金材の価格上昇は発生させるものと推察される（本件、様々な立場があるため、必ずしも悪いことではない。特に、日本にはチタンメーカーも存在する。チタン価格上昇は、日本のチタンメーカーには追い風となる。）。

・航空機用材料特有の問題

航空機は事故を起こした際の破壊力が大きいいため、安全のための規制が厳しい分野である。航空機を製造する材料にも、認定が要求される。認定のない材料は使用することができない。また、材料として認定されていれば、必ずしも使用可能なわけではない。部品によっては、材料から製造工程までのすべてが、当該部品固有の認定の対象になり、材料変更をする場合に、認定をやり直す必要が発生す

る場合もある。認定やり直しには、費用も時間もかかる。

チタン展伸材は、展伸材になった時点で、すでにコモディティとは言い難いものが多い。加えて、航空宇宙用途の場合、技術的に同等のものがあっても、認定を経なければ代替できないという更なるハードルがある。代替できる場合でも、一定の時間がかかる。エアバスがVSMPOからの調達をしばらく継続した要因の一つである。

4. ロシアのチタン産業

(1) ロシアのチタン産業の構造

ロシアのチタン産業は、事実上、VSMPOのみで構成されると理解してよい。細かいことを言うと、少数生産者が存在するが、VSMPOの生産量が圧倒的である。また、元々海外での存在感が乏しかった少数生産者は、日本から見ればないに等しい存在である。これまで、ロシアのチタンのシェアや航空産業での存在感について触れてきたが、それらはすべてVSMPOの話である。

本段落は読み飛ばして構わなが、少数生産者としてスポンジチタン製造のソリカムスクマグネシウム工場、チタン溶解能力を持ちチタンパイプを製造するChMZ（ロシアトム傘下）等が存在する。しかし、ソリカムスクマグネシウム工場の生産能力は2000t/年程度であり、AVISMAのスポンジチタン製造能力の20分の1以下である。また、ChMZはパイプ等に製造が限られる上、海外で大きな存在感を持っている様子はない。そもそも、海外での存在感が乏しい企業は、ロシアがどうなろうと、ロシア国外の材料調達には影響しない。但し、チタン開発に従事する技術者にとっては、これら企業の技術開発は参考になる場合もあり得なくはない（費用対効果的に、手間に見合うものかは疑問である。）。

(2) VSMPOの生産内容

①概要

VSMPOは、スポンジチタンと展伸材の製造の双方を行う。前述のとおり、チタン業界はスポンジチタン製造と、展伸材製造の二層構造になっているので、双方を手掛けるVSMPOは例外的である。VSMPOの正式名称は、VSMPO-AVISMAであるが、VSMPOが展伸材を製造し、AVISMAがスポンジチタンを製造する。元々は別の会社であったが、合併した。

VSMPOは、ソ連崩壊後すぐにチタンの輸出を開始している。90年代のロシアは、経

済が混乱していたが、VSMPOは収益を維持し、優良企業であったと言われている。90年代から、航空機用チタンの認定取得を行い、2002年頃から、航空機用展伸材を世界中に拡販し始めた。その後、すぐにチタン合金を多用するボーイング787の開発が始まり、VSMPOは躍進することになった。

②原材料

前述のとおり、ルチルやイルメナイトの砂鉱が堆積した鉱床が、チタン鉱山として採掘される。ロシアには、こうした鉱床が少なく、鉱石は全量が輸入である。

ロシアは資源大国として、定評があるため、多くの人々が誤解するが、ロシアは全鉱種において金属資源が豊かであるわけではない。繰り返すが、ロシアはチタン資源にも恵まれず、これまでチタン鉱石を全量輸入していた。ロシアは、ウクライナからのチタン鉱石輸入が困難になった後、トゥガンスコエ鉱床等の開発を行っている。VSMPOもロシア国内でのチタン鉱床開発に関与をはじめている。しかし、現時点で、ロシア国内のチタン鉱床開発の成否は不透明であり、2023年初頭の段階では、VSMPOのチタン原料は全量輸入と理解すべきである。なお、ウクライナの代替として、ベトナムより鉱石を調達している模様である（ウクライナからの第三国経由でのチタン鉱石密輸は、継続しているとの報道もある。）。

AVISMAはウラル山脈の西側のペルミ地方に位置し、VSMPOは東側のスヴェルドロフスク州に位置する。ウラル山脈は、伝統的に金属資源が豊富な地域であり、誤解を生みやすい。しかし、ウラル山脈には、資源として利用できるチタン鉱床は存在しない。VSMPOの立地には、チタン資源の存在は一切関係ない。一方、前述のとおり、チタン製錬にはマグネシウムが必要であるが、AVISMAの立地にはマグネシウム資源の存在が関係した。チタン資源には恵まれないが、ロシアはエネルギー資源には恵まれる。前述のとおり、チタン材製造には大量のエネルギーを使用する。エネルギー価格が安価であることは、ロシア製チタンの低コストの一要因である。

③スポンジチタンの製造

前述のとおり、VSMPO-AVISMAの一工場であるAVISMAにて、スポンジチタンの製造が行われている。かつて、AVISMAのスポンジチタンは輸出商品となっていた。しかし、過去10年以上、AVISMA製スポンジチタンは、事実上、全量がVSMPOで展伸材に加工されている。

例外として、製造技術上、どうしても発生する鉄を多く含むスポンジチタンが、製鉄用脱酸素材として外販されている。この不純物の多いスポンジチタンは、チタン展伸材の原料にはなり得ないものである。金属チタン製品の原料となり得るスポンジチタンは、全量が展伸材になると理解してよい。

AVISMAのスポンジチタンは、航空機用に使用できるものである。開戦前、航空機用

に使用できるスポンジチタンの内、AVISMAのシェアは30%程度であったと見られる。

VSMPOはスポンジチタンの生産量を公表しなくなり久しい。公式資料から確認できる近年の生産数は、2018年の42,000t、2019年の44,000 tのみである。ボーイング品質問題、コロナにより、2020年の生産は大きく落ち込んでいたはずである。VSMPO幹部の発言として、2021年に50,000tを生産したとの報道があったが、信憑性は不明である。

2018年は旅客機の製造がピークに達した時期で、チタンを多用するボーイング787とエアバスA350の生産数も多かった。約45,000tが、VSMPOのスポンジチタン生産量の最大値に近いのではないかと推察する。ただし、本数値にはローグレード品が含まれるのかどうか等、詳細の点は不明である。

④展伸材の製造

AVISMAで製造されたスポンジチタンは、VSMPOに運ばれ、溶解される。溶解の際、スポンジチタンともに、合金成分が添加される。

リサイクルされるスクラップ材も混ぜられる。スクラップが大量に原料に投入されることも、スポンジチタンの需要量推定を難しくする。前述のとおり、航空機用チタン合金材の製造では、大量の切削を行う。部品になる重量よりも、切粉になる重量のほうが多い。後述するとおり、VSMPOは機械加工部門を整備し、粗加工を行って出荷する品目を増やしていた。大量に発生する切粉を効率良くリサイクルすることができた。本件も、低コストに貢献したはずである。

物の性質上、インゴット重量を超えるチタン合金製部材は製造できないが、VSMPOは10tを超える大型のインゴットを製造可能である。なお、インゴットの段階で、成分が確定し、部品寸法も制約されるので、必ずしも流用ができない場合が発生する。もし、流用する場合、組成が調整の範囲内であっても、溶解工程まで遡りやり直す必要がある。インゴット以降の工程を経る毎に、流用の範囲は狭まる。特に大型部材では、比較的川上で事実上の専用材となる。流用が難しいチタン合金材がいくら余っていても、他で使用できないため、存在しないも同然となる。在庫があるように見えても、使用可能とは限らない。本件も、市場におけるチタンの過不足の判断を難しくする。

溶解はチタン展伸材を製造するために、絶対に経由する工程である。スポンジチタンが足りていたとしても、溶解炉のキャパが不足すれば、チタン展伸材供給量が減ることになる。

インゴットはビレット、スラブ等に加工される。VSMPOは、インゴット、ビレット等の販売も行っていた。航空産業において、特に、鍛造材の中間材料として、ビレッ

トや丸棒をVSMPOから仕入れるケースが存在したようである。VSMPOのインゴットやビレットを購入し、展伸材に加工する展伸材メーカーも存在した。VSMPO製インゴット、ビレットを利用した展伸材は、ロシア国外の展伸材製造としてカウントされるが、VSMPOの溶解能力に依存している。本件により、VSMPOの航空機チタン材市場からの脱落の影響は、見かけの展伸材製造量以上に及ぶ可能性が否定できない。一方、展伸材需要と思われているものの中には、事実上のダブリが存在する可能性もある。

スラブは圧延機で板材に加工される。日本製のチタン板材は、製鉄用圧延設備を流用して製造されるが、VSMPOはチタン専用の圧延設備を持つ。前述のとおり、チタン圧延には鉄鋼以上の圧が必要である。VSMPOの圧延機は、強力な圧延能力を持つため、他社より大型の板材に対応できるようだ。なお、定尺の板材では、板厚による制約はあるものの一定の汎用性がある（航空機用チタンでは96×48インチが定尺とされる）。定尺の板から複数個を製造できるサイズの64合金製チタン部品は、材料の切り替えが比較的容易である。言い換えれば、VSMPO脱落の影響が少ない。一方、板材から製造する材料でも、メートルサイズの大型の部品では、事実上の専用材料となっている場合もあり、材料切り替えの難易度が増す。更に、航空機用材料が多く、同等品でも認定の問題が発生する。

⑤機械加工と高付加価値戦略

チタン製品は、スポンジチタン→展伸材→部品と加工されていく。当然、川下に行くほど、付加価値が高くなる。

VSMPOは、かつてスポンジチタンを輸出していた。しかし、高付加価値化を目指し、展伸材の販売にシフトし、展伸材の中でも付加価値が高い鍛造材の拡販を行った。2000年代後半からは、鍛造材に機械加工を施して出荷するようになった。

一方、VSMPOがチタン部品メーカーになったのかということ、そこまでは至っていない。鍛造材の機械加工は粗加工に留まる。仕上加工や部品として完成させる工程は、海外で行っている。なお、粗加工をVSMPOで施すことは、VSMPOの収益に貢献する以上の意味がある。前述のとおり、航空機用チタン合金部品製造の過程で大量の切粉が発生する。特に、粗加工の段階で大雑把な部品形状までの加工を行うため、多くの切粉が発生させる。チタンインゴット製造の段階で、スクラップを投入する。溶解炉の存在するVSMPOの近くで機械加工を行うことにより、効率よくスクラップをリサイクルできる。

2000年代以降、VSMPOは欧米より旧MAG Cincinnati等の大型の工作機械を多数導入し、機械加工部門を充実させていった。2007年より、敷地内にボーイングと機械加工を行う合弁企業Ural Boeing Manufacturing（以下UBM）を設立した。エアバス向

けとボーイング向けの一部の機械加工は社内の機械加工部門で、ボーイング向け専用大型材はUBMで加工する体制を組んだ。更に、2018年からはUBMの第二工場の操業を開始していた。

このVSMPOの高付加価値戦略は、顧客であるボーイングやエアバスが推進したものか、VSMPOの主体的行動によるものか、判然としないところがある。しかし、結果だけを見ると、開戦前は成功を収めていたように見える。

⑥VSMPOの特色

他社と比較した場合のVSMPOの特色は、下記の2つである。

- ・大型材製造経験が豊富
- ・コスト競争力
- ・大型材製造経験

VSMPOはソ連時代から大型チタン合金材の製造の設備を持ち、メートルサイズ的大型材を大量に生産してきた。設備があるだけでなく、長年、大型材を製造してきたため、ノウハウが蓄積されている。大型材に強いことは、時代の流れにも合い、航空産業でのVSMPOの地位を高めることに繋がった。

ソ連は、チタン合金製潜水艦を建造し配備していた。船殻の大部分をチタン合金で製造した他国に例のないものである。現在でも、艦艇の一部にチタン合金が使用されているらしい。潜水艦建造に対応するため、VSMPOは大型のチタン材製造のための技術を開発し、設備を導入していた。例えば、世界最大級の75,000tプレスや、圧延ロールが二段で配置された大型チタン合金板に適した圧延設備を持つ。航空機用チタン合金の多くは、前述のとおり、 α - β 合金が組織を維持する温度域で加工が必要である。圧延抵抗が大きい状態で、鍛造や圧延をする必要があるため、ハイパワーでの鍛造や圧延が必要となる。当然ながら、大型になればなるほど、必要な面圧が大きくなり、より強力な設備が必要になる。1990年代以降、旅客機において、数メートルに達する大型チタン部材の需要が拡大していった。VSMPOは大型チタン合金材の製造能力を持っていた。旅客機のチタン合金使用量拡大とチタン合金部材大型化の流れに乗って、航空業界で存在感を持つに至った。

2000年代に開発されたボーイング787では、アルミ合金に代わり炭素繊維複合材を機体の構造部材の主要材料に採用した。セクション同士の結合に、炭素繊維複合材と相性の良いチタン合金の大型部材が多数用いられた。ボーイング787では、VSMPOの材料が大量に採用された。特に、主翼と胴体の結合分に多く用いられている。エアバスもA380やA350でVSMPOの材料を多数採用している。2000年代以降、VSMPOは大きく躍進することになった。同時に、ボーイング、エアバス等、海外の航空産業との関係を深めた。

なお、VSMPOが製造する大型チタン合金部材は、米国のWayman-Gordonや、フランスのAubert & Duvalでも技術的には製造が可能である。また、日本でも日本エアロフォージが大型鍛造機を導入したため、同様の大型チタン合金材を製造できる。日本エアロフォージ製のチタン合金材のほうが、品質は良い。しかし、コストも含めた総合的な競争力では、VSMPOが極めて強かった。

・低コスト

VSMPOの競争力は、低コストである。品質に関しては、欧米の鍛造材と一長一短、日本エアロフォージよりは明らかに劣ると見られる。しかし、大型チタン合金材においては、VSMPOは強いコスト競争力を持っていた。VSMPOは製造能力的に需要に応えただけでなく、航空機用チタン材のコストダウンにも貢献した。VSMPOの低コストは、航空産業に歓迎され、勢力拡大の原動力の一つとなった。

逆の見方をすると、チタン合金材の価値を下げたとも言える。本件、チタン製造も行う日本にとっては、必ずしも歓迎すべきことではないことに注意が必要である。

なお、生産可能な企業が多い小型の展伸材においては、必ずしもVSMPOが強い価格競争力を持つわけではない。また、最小購入単位が大きい等の不満も聞くことがあり、必ずしも圧倒的な優位性や競争力を持つわけではなかった。VSMPOが競争力を発揮する場合は、大型のチタン合金材である。すべてのチタン材において、優位性があるわけではない。

VSMPOは以下の低コストで生産できる条件を持つ。

- 安いエネルギー価格

大型チタン合金材の加工は、熱間で行われる。チタン合金の中間材料を、何度も過熱する必要がある。最終製品に行きつくまで、大量のエネルギーを消費するため、ロシアのようにエネルギーコストが安い国は有利である。

- 償却済み設備

鍛造機や圧延機などの冶金設備は、改造が施されているとはいえ、基本的にソ連時代の設備である。近年導入した設備を除き、すでに減価償却済みである。建物も同様である。極めて安価な減価償却費はコストに反映される。

なお、人件費に関しては、単純な人日あたりの単価に関しては欧米日本に比べ、ロシアのほうが廉価である。しかし、生産性の低さを考慮した場合、必ずしも優位性に貢献しているかは不明である。

- 技術の蓄積

チタン合金材の加工は、熱伝導率が悪い、変形圧延抵抗が大きい温度域での加工が要求される等、大型になればなるほど難しくなる。

VSMPOは長年大型材を製造してきた。生産に慣れているため、品質には劣るも

の、スペック内には入る製品を安定して製造することが可能である。また、新規の鍛造材を製造する場合、製造のプロセスの開発が必要であるが、経験が豊富で優位である。低品質についても、見方を変えると経験による過剰スペック排除の結果でもある。ある種の生産効率については、VSMPOに一日の長があると言える。

なお、品質の評価は必ずしも単純ではない。工業製品では、スペックに基づいて品質管理が行われる。その点、検査をクリアしている製品は十分な品質を満たしていると言える。しかし、スペックには幅があり、記載していない事項もある。寸法公差ギリギリである場合や、表面に異物の噛みこみがある場合、部品メーカーの製造現場では極めて使いにくいものとなる。そうした点で比べると、VSMPO製チタン合金材は日本エアロフォージ製チタン合金材と比べ、品質に劣る。机の上のコスト比較では、VSMPOに優位性があるが、現場でチタン合金材を使用する立場では、日本エアロフォージ製が歓迎されている。

(3) VSMPOと欧米の関係

VSMPOはソ連崩壊前から、スポンジチタンを西側に輸出した実績があった。どうも、ソ連崩壊後の米国の旧ソ連技術力調査の過程で、VSMPOの廉価なチタン供給源としての価値が見いだされたらしい。

2000年初頭から、VSMPOは世界の航空産業へのチタン合金材売込を強化していった。ちょうどボーイング787の開発以降、VSMPOが欧米の航空産業で存在感を高めていったのは前述のとおりである。結果、営業、生産両面で、欧米の航空宇宙産業への依存度を高めていった。

①営業面における航空産業との関係

開戦前、VSMPOの売上の内、6～7割が旧ソ連圏外への輸出によってもたらされていた。内、8割以上が航空産業向けであった。機体メーカーであるボーイング、エアバス、エンブラエル、エンジンメーカーであるGE、プラット・アンド・ホイットニー、ロールスロイス、加えて部品メーカーが、VSMPOからチタン合金材を調達した。また、欧米の航空産業用チタン合金展伸材を製造する材料メーカーも、インゴットやスラブなどの中間材料をVSMPOから調達していた。

最盛期には、重量ベースでボーイングが4割、エアバスが6割のチタン合金材をVSMPOから調達していた。欧米航空産業側も、VSMPOに大きく依存していた。一方、VSMPOは上記の比率を単純に計算すると、売上の約半分をボーイング、エアバス等の欧米の航空産業に依存していたことになる。なお、Volga Aeroやリープヘル・

ロシア等、ロシア国内でチタン合金材を加工し、欧米の航空産業に販売していた企業もある。これらの企業の使用するチタン合金材の出所は、VSMPO以外に考えられない。VSMPO発表の売上構成比の内、旧ソ連諸国の航空宇宙産業向けのものには、実質的客先が欧米航空産業であるものも含まれる可能性がある。そうであれば、VSMPOの欧米航空産業への依存度は更に高かったことになる。

②生産面における設備メーカーとの関係

チタンの輸出に成功し、財政的に恵まれていたVSMPOは、最盛期には日本円で年間百億円に達する設備投資を継続していた。ロシアの設備産業は一般的に競争力がなく、新規設備の大半は輸入となった。現状、VSMPOの生産は、欧米を中心とした海外の技術・設備に大きく依存する。

VSMPOが誇る75,000t大型鍛造プレス機、30,000t大型鍛造プレス機の内1機、圧延機はソ連時代のものである（詳細は後述）。しかし、90年代以降に導入した設備は、欧米からの輸入機械が大多数である。例えば、鍛造機に投入する中間材料を熱する炉にはドイツRoecher社のものが多く、熱処理設備は米国Solar社のものが入る。その他、多数の欧米製の設備が並ぶ。チタン合金材完成後の機械加工を行う工作機械は、すべて輸入である。

（４）VSMPOの弱点

開戦により、地政学リスクがVSMPOの弱点として顕在化したとも言える。しかし、開戦前から、VSMPOの長期的な将来には一抹の不安があった。開戦前から存在したVSMPOの弱点について述べる。これらの弱点は、長期的なVSMPOの不安材料であったが、開戦によりすべてが突如としてVSMPOに襲い掛かることになった。

①航空機用大型材料売上への大きな依存

VSMPOは航空機用大型チタン合金材使用拡大の流れに乗って発展した。しかし、売上の半分が、航空機用大型材料を中心とする欧米の航空産業となっていた。特定の産業に大きく売り上げを依存していた。

航空機用大型チタン材の需要は中長期的には減らないと思われていたが、2020年には、コロナやボーイング787品質問題の影響を受けることになった。それでも、中期的には航空機用大型チタン材の需要は増加傾向であり、回復が見込まれていた。しかし、2022年2月の開戦によって、航空機依存体質はVSMPOの経営を直撃することになった。

②生産設備の海外依存

売上の輸出比率も高く、生産においても設備の海外依存が高かった。2014年までは、

何の問題もなかった。2014年以降もVSMPOの生産に影響がでるような制裁はなされなかった。これまで、弱点として顕在化することはなく、逆に欧米との強い関係は強みであった。しかし、2022年2月の開戦により、制裁のレベルが桁違いに強化された。多数の設備がアフターサポートを受けられなくなったと見られる。強みが弱みに反転することになる。

③マーケティング能力

VSMPOでは、航空機依存のリスクを理解し、他業界への販売拡大を意図していたように見える。例えば、医療用チタン材の拡販に熱心であった（なお、本件、目的と方法が合っていたかについては本報告書の埒外である。）。

しかし、マーケティングを得意としないVSMPOでは、用途開発や新規顧客開拓は必ずしもうまくいっていなかった。結局、航空機依存は変わらなかった。

これまでのマーケティング不足による悪影響を受けたのだが、営業上の打撃からの脱却においても、大きく足を引っ張る。

5. ウクライナ戦争の影響

2014年以降、ロシアに対する制裁が行われていた。例えば、2018年の新型旅客機MC-21材料調達不能等、制裁の影響が発生していた。しかし、ボーイング、エアバスとVSMPOの関係には影響がなかった（一部では異論もある）。2014年以降、ボーイングはUBM2の建設を進め、エアバスはVSMPOからの調達品目を増やしていた。

2022年2月の開戦後、状況は一変する。2022年3月にボーイングはVSMPOからのチタン合金材調達中止を発表し、認定を取り消した。エンジンメーカーも後に続いた。エアバスは当面の間、調達を継続するとしたが、2022年12月に調達取りやめを発表した（実際の購入停止までは、タイムラグがあるようだ）。エンブラエルの動向は調べきれなかったが、仮に調達を継続するとしても、ボーイング、エアバスの合計に比べ10分の1以下の調達量であり、大勢に影響しない。VSMPOは売上の半分以上を失った。VSMPOは、営業上、大打撃を受けた。

前述のとおり、VSMPOの航空機用チタン合金材でのシェアは高い。中国を除くチタン展伸材においても、航空機用スポンジチタンにおいても、VSMPOは3割程度のシェアを持つと推察される。VSMPOにとっては、営業上の大打撃であるが、航空産業やチタン産業にとっても、チタン合金の3割の供給力を市場から脱落させることになる。パラジウムと異なり、旅客機の製造はボーイング、エアバスが支配する世界であり、制裁非参加国が需給調整をすることはない。よって、関連産業には相応の影響が予想された。特に、航空機用材料は切り替えが容易ではない。

結論としては、航空産業への影響は現時点では限定的だが、チタン産業にとっては大きな影響が発生したように見える。

(1)日本側

①航空産業

航空産業は機体製造とエンジン製造に大きく分けられる。日本では同一企業内で双方の部門を持つ場合があるが、一般的には企業も別である。細かい括りでは、別の業界である。

日本の航空産業でも、ロシアのチタンが問題になるのは、民間航空機のほうである。防衛航空機にも汎用の板材等が使用されている可能性はあるが、すぐに代替できるものに限られるはずで、影響が出る可能性はないと言い切っている。日本の民間航空産業は、一部の例外を除き、欧米の航空産業の下請けである。なお、三菱スペースジェットは修了し、ホンダジェットはチタン使用量が少ない小型機である（日本の航空産業の一部と見るかは、意見の分かれるところでもある。）。よって、欧米の航空産業大手がVSMPOからの調達を止めれば、従わざるを得ない。

・機体

日本の民間航空産業の機体製造は、一部でエアバスやエンブラエルEmbraerの機体製造に参加するが、圧倒的にボーイングの機体製造への参加の割合が多い。特に、ボーイング787への関与が大きかった。また、787ではチタン合金の使用量が機体の中でも多い、中央翼や主翼が日本企業の担当となっている。この部分には、VSMPO製チタン合金材が多用されていた。

なお、日本が深く製造に関与してきたボーイング777や767の胴体では、チタン合金製部材は限られる。これらの機種は、アルミ合金製の伝統的な機体構造である。また、胴体は主翼と比べ、チタン合金の使用箇所が少ない。なお、777の新型777-Xでは、主翼の炭素繊維複合材化により、チタン使用量が増えるが、量産が立ち上がっていない。

一見すると、ボーイング787への影響が大きそうであるが、2つの要因から、現時点では大きな影響はないと見られる。

まず、ボーイング787は2018年が製造のピークであり、月産10機以上を生産していた。しかし、品質問題とコロナによる航空需要減速により、2020年以降の生産数は月産1～2機に落ちていた。部品製造のリードタイムを考えれば、最終組み立てラインで製造が少量続いても、月産10機時代の仕掛在庫が大量に存在するため、事実上、生産停止状態となった。2023年には新たな問題が発生しつつも、大きな品質問題は解消し正常化に向かうとされている。しかし、仮に目論見通りボ

ーイング787の生産が伸びるとしても、最盛期に作りためたチタン合金材部品の在庫消化には、まだ何年もかかる。要するに、ボーイング787において、チタン合金材を調達する必要性がないのである。

もう一つの要因として、ボーイングは日本アエロフォージ等を活用し、デュアルソース化を進めていたことがある。なお、デュアルソース化は、2014年以降にロシアリスクを考慮したとの見方もある。しかし、筆者は、かつては絶好調で生産されていたボーイング787の増産対応であった可能性のほうが高いと見る。ボーイングはUBM2の建設を進めていたことを見る限り、脱ロシアで一致していたようには見えない。

787のチタン合金材需要は消滅に近く、787以外の機種においては、元々VSMPOへの依存度はもともと高くなかった。つまるところ、ボーイングがVSMPOをあまり必要としない状況で、戦争が始まった。よって、早々にVSMPOと縁を切る宣言ができた。ボーイング787製造に参加する日本企業にとっても、同じく、VSMPOのチタンを必要とする状況ではなかった。デュアルソース化が終わっていない品目があったとしても、新規部品生産の必要性が発生する時期までには、認定完了を見込んでいると見られる。

ボーイングにとっても、機体製造を行う日本企業にとっても、ボーイング787の減産は打撃である。しかし、仕事が少ない状況で、材料調達がクリティカルになるわけもなく、VSMPOからの調達ができなくなっても、影響はほとんどなかった。なお、エアバスは、ボーイングよりVSMPOへの依存度が高かった上、ボーイングより生産が好調であった。新型コロナ発生以降、ボーイング787と同様、VSMPOへの依存度が高いと推測されるA350の生産は減少しているものの、787ほど落ち込んでいない。エアバスでは、ボーイングと異なり、VSMPOからの調達を止めると、生産に影響する状況であったと推察する。2月以降、代替ソースの認定や在庫の蓄積により、12月にロシアからの調達停止の目途が立ったと推察される。エアバスにおいても、A350の生産が最盛期の半分以下に落ちていたことは、救いになったと推察される。

日本の航空産業も、長期的には、新規調達先からのチタン合金材調達を行うことが必要になる。ボーイング787の生産が増え、これまでの仕掛在庫を消化した段階で、チタン合金材の不足が発生する可能性がある。2023年初頭の時点では、航空業界のチタン合金材需要は2018年のレベルを大きく下回る。しかし、需要が2018年レベルに回復した場合は、生産能力が不足することが強く推察される。本件、日本だけでできることではないが、航空産業全体で、世界の航空機用チタン業界の能力について、真剣に検討することが必要である。

戦争前、原材料値上がりやコロナからの航空機需要回復の影響で、チタン材は価格が上昇する傾向があった。VSMPOは価格の低さを売りにしていたため、VSMPOの脱落はチタン合金材の更なる価格上昇要因となる。航空産業にとっては、コスト悪化要因となる。

・エンジン

航空エンジンも機体と同じく欧米航空産業の下請けが中心となる。機体ではボーイングが中心であった。しかし、エンジンにおいては、欧米エンジンメーカー経由であるが、エアバスの仕事も多い。現状、大型機の需要が回復しない中、小型機の生産が回復している。2023年初頭の時点で、日本の航空産業におけるエンジンの仕事は、エアバスA320neoに搭載されるPW1100Gの部品生産が最も多い状態である。

日本はPW1100Gにおいて、低圧モジュールや燃焼器モジュール等を生産している。低圧モジュールは炭素繊維複合材が増えたとは言え、コンプレッサーのブリスケット等でチタン材を使用する。しかし、VSMPO製チタンが大量に採用されている様子はない。直接的影響は少ないと見られる。現時点では、VSMPOの脱落の影響はないと思われる。

航空機用チタン合金需要の本格的回復に至った場合は、機体と同様に世界のチタン業界全体の生産能力の限界が問題になる可能性がある。チタン合金の調達価格についても機体と同様のことが言える。

②チタン産業

日本には、スポンジチタンを製造する企業も、航空機用展伸材を製造する企業も存在する。これらの企業にとって、VSMPOは競合先であった。

航空機用チタン合金展伸材の世界では、突如として競合先が消滅することになった。中国を除いた場合、チタン展伸材におけるロシアのシェアは3割程度である。また、スポンジチタンでも、間接的に競合が消滅した。航空機に使用できるレベルのスポンジチタンの製造は、前述のとおり、日本、カザフスタン、ロシアしかできない。ロシアのVSMPOは、航空機に使用できるスポンジの世界生産量の約3割を生産していた。VSMPO製スポンジチタンが、航空機用チタン合金展伸材となり、航空産業に供給されることもなくなった。航空機に使用可能なスポンジチタンも、供給能力が3割消滅した。

確かに、供給能力の3割が脱落した。しかし、需要側の状況や他の供給者のキャパ等の要素がある。これだけをもって、航空業界で3割のチタンが不足するわけではない。本件は、状況を見誤らないために絶対に理解しておくべきことである。前述のとおり、日本の航空産業は機種構成や787の生産状況等、ロシア以外の要因で、深刻なチタン

不足は発生していない。しかし、海外ではVSMPOからの切り替えのため、チタン展伸材メーカーで、新規の案件が発生しているようだ。西ヨーロッパ、米国には、事実上、スポンジチタンメーカーは存在しない。ロシア以外の航空機用チタン合金展伸材メーカーは、日本かカザフスタンのスポンジチタンを使用するしかない。よって、展伸材メーカーだけでなく、日本のスポンジチタンメーカーにも、特需が発生しているように見えている。ただし、この特需が本物であるか、また、ロシア影響であるかについて、注意を要する。

・展伸材メーカーへの影響

現状、日本の展伸材メーカーに特需が発生したという報道はなされていないように見える。しかし、VSMPO脱落の影響で、新規の引き合いは発生したものと推察される。

・スポンジメーカーへの影響

スポンジチタンの需要は、2020年にコロナによる航空機需要急減で、激減していた。航空機需要急減からチタン合金製航空部品製造も急減した。スポンジチタンの需要の半分を占める航空産業での需要が急減したことにより、スポンジチタンは需要急減と価格低下に苦しんだ（なお、中国では状況が違ったとの情報もある。）。

2021年以降、航空機需要は回復に向かい、スポンジチタンの需要も回復していた。また、価格も回復傾向にあった。価格の回復の要因として、原材料等の価格上昇が発生し、コストアップ分が反映されたという側面もある。

2022年2月の開戦後、3月にボーイングがロシアからのチタン合金材の調達停止を発表した。エアバスは当面の調達を継続するとしていたが、この時点でエアバスも代替となるチタン合金展伸材メーカーの選定を開始したと見られる。航空機エンジンメーカーでも、VSMPO製チタン合金材の排除に動いたようだ。

ロシア以外のチタン合金展伸材メーカーは、原材料を日本とカザフスタンのスポンジチタンに頼る以外、選択肢がない。特に、航空機に使用可能なスポンジチタンのシェアでは、日本は50%を超え、日本のスポンジチタンメーカーの供給力に期待が高まったのは当然である。

2020年以降、スポンジチタンメーカーは、需要減に対応し、能力を絞っていた状況である。2021年から需要が回復しつつあったところに、VSMPOの代替材を製造するチタン展伸材メーカーからの引き合いが加わった。ロシア影響がどの程度であるかを算出することは困難であるが、事実としてスポンジチタンメーカーへの発注は増え、価格を上昇させることに成功した。日本のスポンジチタンメーカーの経営状況は、大きく後押しされることになった。株価上昇等が大きく報じられている。

短期的には、日本のスポンジチタンメーカーにとって、現在の環境は良い。しかし、

長期的に考えた場合、懸念も存在する。どこまで能力を拡大するべきかが課題になるからだ。能力拡大には、既存の設備をフルに動かす段階と、設備を増設する段階があるが、特に後者を検討する場合は、大きなリスクが伴う。スポンジチタンの価格は、需給バランスによって、大きく変化する。供給過剰が発生した場合、価格は下がり、スポンジチタンメーカーの経営は厳しくなる。過去、ボーイング787の開発時等、能力の増設が行われたが、その後、開発遅延やコロナ禍等、需要急減が起こっている。利益の維持に苦しむ事態も発生した。チタンの製錬は、高い技術が要求される一方で、価値が必ずしも正当に評価されてきたわけではない。

現在、表面的には日本のスポンジチタンには、特需が発生したように見える。また、VSMPOは一応、脱落している。能力増強をすると、将来、需要の急減が起きた場合、価格低下に苦しむことになる。一方、本当に需要が増えている場合、生産能力を増やさない限り、ビジネスチャンスを取り逃がすことになる。極めて難しい判断を要求されている。

・ロシア脱落特需の真偽

表面的に判断すると、中国を除くチタン展伸材、スポンジチタンの双方でシェア3割を持つロシアが脱落すると、双方とも3割不足するように見える。しかし、本件、それほど短絡的に判断していい問題ではない。

現時点では、単純に重量ベースで考えると、足りているのではないかとの印象を持つ。しかし、公開情報だけでは、精度の高い数値分析は困難である。普通に考えれば、旅客機製造が2018年頃のレベルに達すれば、必ず不足する。

一方、製造能力を実際の需要以上に増やした場合、チタン関連製品の価格下落、チタンメーカーの稼働率低下を招く恐れがある。航空機にチタン合金材が必要である以上、チタン業界が安定して経営できる状態を維持しない限り、その弊害は航空産業全体に跳ね返ってくる。航空産業、チタン産業双方にとって、VSMPOが存在しない状態での、正確な需給バランスの把握が必要である。

-需要

2023年初頭の段階では、旅客機生産は最盛期の2018年の水準に達していない。ボーイング・エアバスの年間生産機数合計は、2018年に1,606機であったが、2022年には1,143機となっている。数値上は7割まで回復したように見えるが、必ずしもチタン需要量と一致するわけではない。

もっとも大きく影響する事実、チタン合金材を多用する機体の生産は、それほど回復していないことである。1,606機も、1,143機も単に頭数を数えただけのものである。航空機需要回復を先導している機種は、比較的小型のエアバスA320neoと、ボーイング737MAXである。これら小型機は、もともと旅客機の内

で最大勢力である。2018年に生産機数の内74%であったA320、737は、2022年には79%となっている。A320、737でもチタン合金は使用するし、機種全体でのチタン合金材使用量は多い。しかし、チタン使用率が低いアルミ合金製の機体構造を持ち、小型であるので、1機あたりのチタン合金使用量は少ない。チタン合金を大量に使用する機種は、ボーイング787とエアバスA350である。エンジンを含めた1機あたりのチタン合金の必要量は、A320、737の4～5倍に達すると推察される。A350と787の年間生産数は2018年に238機であったが、2022年には93機と4割しか回復していない。精度の低い計算で大変恐縮だが、機種毎生産数と各種資料を組み合わせ産出したボーイング、エアバスのチタン合金必要量は、最盛期であった2018年の54%程度に留まる。本試算は、大変精度が低いものであるが、VSMPOのシェアが3割程度であることを考えれば、2023年初頭の時点では量的には足りていると推察される。

しかし、チタン合金材は専用材が多く、部品により事情がまったく異なる。全体的な重量では計算上で足りていても、機種によって、部品によって、航空産業内の位置によって、局所的な不足はいくらでも発生し得る。よって、本件だけで単純に足りているとは言えない。また、航空機生産は回復傾向である。2018年の水準にまで航空機生産が回復すれば、不足が予想される。

もう一つの攪乱要因は、在庫問題である。2019年ボーイングで737MAXの品質問題が発生したため、生産数もチタン合金需要も減少を始めた。しかし、A350と787は生産拡大が続き2019年には合計270機に達した。その後、2020年にコロナによる減産がなされ、加えて787では品質問題により事実上の生産停止に陥った。リードタイムは、材料調達から完成した旅客機が引き渡されるまで、年単位の時間がかかる。コロナ禍発生時、すでに2020年、2021年納入機体分のチタン合金材は、発注されていた可能性が高い。2019年水準かそれ以上での生産を前提に、発注量が決められていたと推測される。A350は2019年に112機を生産した後、コロナで急減したが2020年59機、2021年55機、2022年62機と半分程度の生産は維持した。一方、787では2019年に158機を生産した後、2020年に53機、品質問題で納入不能になった2021年は14機、2022年は31機と落ち方が大きい。航空機用チタン合金材は、他機種、他の部品に転用が難しい場合が多い。特に、大型鍛造材を多用する787では、その傾向が強い。年間150機レベルでの生産が続く前提で発注されたチタン合金材が、サプライヤーの様々な工程で滞留していることは間違いない。787の品質問題は、一応は解消されたとされるが、大量に滞留した在庫の消化には何年もかかる。その間、787用のチタン合金材の発注はなされないのでは、需要が発生させない。

一方、A320、737の生産が回復したが、これらの機体の製造に787のチタン合金材在庫を流用できる場合は限定される。よって、787用のチタン合金材の在庫がいくら存在しようが、これらの機種が生産が回復すれば、チタン合金の需要を発生させる。

コロナや787品質問題等の突発的な事象は予想不可能である。一方、今後の旅客機の生産は、長期的には増えていくとの予想が多い。エアバスも、ボーイングも、増産傾向である。しかし、コロナでリストラを行った航空業界の生産能力は回復していない。2022年にはエンジンの供給がボトルネックになり、A320、737の増産が思うように進まなかったと報道された。今後も、エンジン生産量が足を引っ張るとの業界関係者の発言も報道される。2022年、PCCのエンジン用溶接部品が、エンジン生産の足を引っ張ったと報道された。しかし、スポットライトがあたったのがPCCだったというだけで、他にも能力を回復できていないサプライヤーは多いものと推察する。航空機の生産回復のスピードは、しばらくの間、機体メーカーの予定より低い可能性がある。チタン合金材もその影響を受ける。2018年に、VSMPOの供給力に匹敵する生産能力が余っていたとは考えにくい。中国が需給調整能力を発揮しない前提で考える限り、航空需要が回復すれば、いずれかの時点で、スポンジチタンも、展伸材も不足することが予想される。また、787の中間在庫の消化の具合により、急激に需要量が増える可能性がある。攪乱要因が多いため、いつVSMPOが抜けた分のチタンが不足するのかは、予想が難しい。

供給

航空業界の供給能力は、2020年に絞られた。航空機用チタン材に関わる業界でも、状況は同じである。2018~2019年の生産量が現在でも可能かは、不明である。現状の供給能力の実態は、極めて分かりにくい。

チタン業界は複雑で、数量的供給力のボトルネックとなり得る工程は複数ある。航空機用チタン材が不足した場合に、どこかの能力が不足しているか把握することは容易ではない。ロシア国外の展伸材製造において、ビレット等のロシア製中間材料を使用している場合があり、VSMPOへの依存は見かけより大きい可能性も存在する。

現在、航空機用チタン材について、足りているとする見方と不足しているという見方の双方が存在する。業界関係者でも、必ずしも意見が一致していない。供給能力の実態について、精度の高い調査が必要である。

・VSMPOの将来の扱い

航空産業のロシア排除の動きから、VSMPOは世界のチタン産業から脱落した状態である。

現時点では、短期的にVSMPOが世界市場に元通りに復活する将来像は描きにくい。しかし、戦争やロシアの体制がどのようになるか、現時点ではまったく予想できない。ロシアで民主的な政権が登場する等、国際社会がロシアの経済復興を支援する状況も発生し得る。VSMPOはロシア経済復興のための優良アイテムとなり得る。政治により左右されるため、極めて予想しにくい。

チタン業界は、需給バランスの悪化時に大きな値下げ圧力にさらされてきた歴史がある。VSMPOがどう扱われるのかは、需給バランスに大きく影響する。VSMPOが突如復活する可能性は、チタン業界が、生産能力を増強する場合の、大きなリスクとなる。航空産業がチタン合金材不足に陥った場合でも、リスクが予想されている限り、設備増強判断は極めて難しい。

VSMPOの扱いが不明瞭であることは、業界にとって、極めて大きな不安定要因となる。本件、ボーイング、エアバスでも、はっきり決められることではないと思われる。チタンの生産能力増が必要な場合、能力増のリスクをチタンメーカーに負わせない仕組みが必要となる。

(1) ロシア側

VSMPOは経営状態を公開しなくなったため、最近の状況はつかみにくい。しかし、売上の半分を失っているため、極めて大きな打撃を受けたことは間違いない。また、残った生産の維持にも不安を抱えた状態である。

下記に詳細をまとめるが、政治情勢が大きく変化しすべてが戦争前の状況に戻らない限り、経営再建は厳しいと見られる。

①営業面

欧米航空産業のVSMPO製チタン合金材排除の動きにより、売上の半分以上を失った。パラジウムでは、中国等への販売が可能であったが、チタンでは恐らくそううまくはいかないだろう。

パラジウムは基礎的な原材料の形態で輸出しており、コモディティ商品である。どの製錬業者のパラジウムでも一定の共通性があり、理論上は需要さえあればどこにでも販売できる（ノリリスクニッケルは、それでも営業に苦勞していると報道される。）。一方、チタンでは展伸材を販売していた。VSMPOが販売していた製品には顧客も用途も決まった専用材が多かった。パラジウムと異なり、他の用途では利用困難な場合

も少なくない。

確かに、中国でのチタン需要は大きい。しかし、中国で必要とされているチタン材は、一般産業用である。一般産業用途では主にCPチタンが用いられ、形態も板材、棒材、管材等が多い。VSMPOが得意とするチタン合金の鍛造材や大型板材が必要とされているわけではない。VSMPOは、欧米航空産業の動向上、都合の良い設備を持っているため、航空産業で勢力を拡大できた。言い換えれば、設備は航空産業向けであり、他用途には向いていない。航空産業向け以外では、VSMPOがコスト競争力を持つとは限らない。弱点で触れたとおり、VSMPOのマーケティング能力は高くないと推察される。つまり、VSMPOは条件が悪い中、苦手な仕事を成し遂げる必要性に迫られている。

中国でのチタン需要を見る限り、VSMPOは、CPチタンやスポンジチタンを売ることが現実的である。しかし、CPチタンやスポンジチタンの販売に仮に成功しても、VSMPOの誇る大型設備は活用できない。これまでのような競争力や売上を達成できる可能性は低い。

VSMPOが持つ設備を上手く活かせるような、新規用途、新規販売先の開拓は困難と見られる。

②生産面

生産面では、調達難により発生する原料や設備の問題も存在する。しかし、それ以前に、販売急減による仕事量減少の影響が大きい。作るものがなくなれば、原料や設備の心配以前の問題となる。少なからぬ設備は輸出製品の仕事のみで回っていたはずで、稼働が不要となる。

・仕事量減少

営業面の打撃が大きいため、目下のところ、生産面への最大の影響は仕事量減少であろう。売上の半分が消滅した状態だが、大型鍛造機はボーイング、エアバス向け大型材のための稼働が多く、機械加工についてはほとんどが輸出用チタン合金材の加工に用いられていたと推定される。大型鍛造機はロシアの戦闘機のバルクヘッド鍛造などの仕事がある可能性もある（ロシアの戦闘機の構造が分からないので、推測である。）。しかし、VSMPOの工作機械は限られた例外を除き、停止することになると思われる（限られた例外は、酸化膜を落としたり、治具用の穴を開けたりする等の付随的なもの。）。

VSMPOは、制裁で撤退した米国系アルコアSMZから大型鍛造機を譲り受けた。しかし、この鍛造機にやらせる仕事は存在しないと見られる。平時であれば、VSMPOの生産能力強化として、大きな意味があったはずだが、現状では、過剰設備を抱えたに過ぎない。

なお、2023年2月にUBMが生産停止と報道されたが、UBMはボーイング向けの機械加工を行っていた。報道より遙か前に生産停止になっていたと思われる。

・原料

ロシアはチタン資源に恵まれず、全量を輸入していた。かつてはウクライナに依存していた。2014年以降、ベトナム等からの調達に切り替えたとされていた。一部、ウクライナからの密輸もなされていたようであるが、開戦前からある程度の影響を受けていたと言える。

ロシア国内で、TGOK Ilmeniteによるチタン鉱床開発や、VSMPO自身でのチタン鉱床開発も進む。しかし、これらの鉱床が経済的に成り立つ鉱石調達ソースとなり得るかについては、まだ判断できない。

仕事量減少を考えれば、原料が多少不足したところで、影響は限定的である可能性が高い。

・設備

前述のとおり、VSMPOは設備を海外に大きく依存していた。主要な大型材用設備はソ連製であったものの、ソ連製設備でも海外に全く依存していないわけではなく、大型材用設備だけでは生産が成り立たない。

大型材用設備とは圧延機と鍛造機であるが、圧延機と古い30,000t鍛造プレスはロシアのウラルマシュ製、75,000tプレスはウクライナのNKMZ製である。75,000tプレスに関しては、本当にこれまで通りの運用ができるのかにつき、微妙なところである。更に、仮に旧ソ連製設備に制裁の影響がないとしても、その後の改造に欧米企業の関与している可能性があり、今後も同じように運用できるとは断言できない（なお、2016年に、ドイツSMS MEERから増設のための30,000tプレス機の購入を決めているが、本鍛造プレスの納入、運用については追い切れていない）。

加熱炉、熱処理設備、工作機械等は、ほぼ輸入である。輸入設備は、工作機械等、制裁によりアフターサポートのための輸出許可が出なくなっているものがある。また、制裁の対象となっていなくても、ロシア忌避の動きにより、アフターサポートを受けることが困難になっている。現時点で運転可能としても、今後、生産に支障が出る可能性がある。

UBMやUBM2の設備は完全にボーイング向けであり、VSMPO内機械加工部門の工作機械も、輸出用チタン合金材の加工に使用していたと見られる。これらの工作機械は、仮に稼働しなくても、仕事が消滅しているので、ある意味では問題ない。しかし、鍛造機、圧延機、加熱炉等は、ロシア向けチタン材製造にも使用されていたと見られる。今後、ロシア向けのチタン材製造にも影響が出る可能性は否定できない。

5. 日本のとるべき対応

(1) 精度の高いチタン需要予測確立

述べたとおり、航空需要が回復していけば、いずれ現行の生産能力を需要を超える時が来る。しかし、チタン合金材の本当の使用量の精度の高い把握は容易ではない。高い材料歩留まりやバリューチェーンの各段階で、加工の程度が全く異なるチタン材が混在する等、極めて困難である。公開されていない精度の高いデータとともに、スポンジ製造から航空機・航空エンジン完成に至る各段階での状況の詳細な調査が必要である。航空機生産が回復するに従い、いつかチタン合金材の供給能力が本当に不足する時が来る。その時に混乱を起こさないよう、航空産業において、精度の高い調査をするべきである。

精度の高い調査には、複数社に渡る調達情報と、供給能力の調査が必要である。また、日本国内の情報だけでは、精度に限界がある。とても一人で公開情報を用いて行う調査では不可能である。業界を挙げての調査が必要であると思われる。

(2) チタン業界防衛支援

日本はチタン製造において、優れた技術が蓄積されている。スポンジチタンは、航空機用に使用できる高品質の製品において、世界の半分以上のシェアを持つ。世界の航空産業は、日本のスポンジチタンに依存している状態である。展伸材でも、歴史の蓄積が浅いが、日本エアロフォージの高品質が評価される。日本の産業界は半導体に代表されるように、バブル以降、大きく衰退し競争力を失ったものが多い。しかし、日本のチタン産業は、エネルギー価格が高く、原料を輸入に頼るといった不利な条件でありながら、技術的優位性を維持している。日本にとって、貴重な資産である。

一方で、チタン製造は経営的には容易ではないと考えられている。2023年時点では、スポンジチタン製造の環境は劇的に改善した。しかし、チタンは、これまで需要の波に翻弄されてきたことに注目するべきである。需給バランスが悪化すれば、再度、厳しい状態が発生することが予想される。チタン製造には、高い技術力が要求される一方、価値は必ずしも正当に評価されてこなかった。また、業界構造上、コストダウン圧力を受けやすい。展伸材においても、需給バランスが供給過剰に傾くと、コストダウン圧力が大きくなる。航空業界の構造やエネルギーコスト等は、一企業の努力だけでは必ずしも対応できない問題である。需給バランス悪化時のチタン産業保護、海外航空産業での日本製チタンの価値認知向上に対する支援等が、望まれる。また、日本のチタンメーカーが能力増強をする場合、前述のVSMPO復活リスクを負う必要のない状況が必要となる。戦争による影響の有無に関わらず、日本の貴重な資産であるチタン産業を残すための長期的な戦略策定が望まれる。

各論Ⅲ フェロクロム

ロシアは、フェロクロムを含むフェロアロイの生産大国である。クロムのフェロアロイであるフェロクロムの内、炭素含有率の低い低炭素フェロクロムでは、世界生産量の約 20%とロシアが特に大きなシェアを持つ。日本は輸入量の半分をロシアに依存していた。開戦後、低炭素フェロクロムの供給が不安視されることになった。

クロムの用途の内、最大勢力はステンレスの生産である。また、ステンレス以外に、鉄鋼への添加や、特殊鋼への製造、鋳鋼や特殊鋼の成分調整にも使用される。これら、用途はすべて鉄と混ぜて使用するものである。クロム鉱石として使用される鉱物はクロム鉄鉱 (FeCr_2O_4) であり鉄を含む。多くの場合、鉄と混ぜて使用するものなので、製錬の際、わざわざ鉄とクロムを分離する合理性はない。よって、クロムの大半は、製錬により鉄とクロムの混合物であるフェロクロムとして利用されている。

フェロクロムは、クロム鉱石を還元して製造される。安価なコークスで還元すると、炭素分の多い高炭素フェロクロムになる。ステンレスの生産工程では、脱炭を行うことができるため、炭素分が多くても廉価な高炭素フェロクロムを使用する。

一方、工程上、脱炭を行うことが困難な特殊鋼製造や成分調整等の用途では、炭素分の少ないフェロクロムが必要になる。アルミニウム等、コークス以外を還元用いることで、炭素含有率が低い低炭素フェロクロムが用いられる。

低炭素フェロクロムは、2021年にすでに値上がりしていたが、開戦後は更に値上がりした。しかし、ロシアからの低炭素フェロクロムの供給は途絶えず、不足は発生しなかった。2022年後半には、価格も開戦前の水準に落ち着いた。結果的には、日本において戦争の影響は限定された。ロシアにおいても、クロム鉱石の調達先は国内とカザフスタンであることから、原料調達問題は発生しにくい。しかし、低炭素フェロクロムメーカーChEMKは安定性に難がある。また、戦争による経済混乱は、今後、悪化する可能性もある。ロシアの低炭素フェロクロムのシェアの高さを考えれば、今後も警戒が必要である。

1. 低炭素フェロクロムについて

クロムという金属は、金属単体で使用されることは稀である。ステンレス材料、特殊鋼材料、合金材料、鉄鋼添加材料、クロムメッキ材料（最終的には単体になるがメッキ材料は化合物）、顔料等に使用される。

最大の用途はステンレス材料である。金属クロムは強固な酸化膜を形成する性質があり、他の金属に混ぜることにより、耐酸化性を持たせることができる。一般的なステンレス鋼 SUS304 では、18%のクロムが含まれる。

ステンレス、鋼、特殊鋼製造等、クロムの用途の9割以上では、鉄と混ぜて使用する。クロムの鉱石はクロム鉄鉱という、鉄とクロムの酸化物を主成分とする。鉄とクロムをわざわざ分離する合理性に乏しいため、ほとんどの場合、製錬によって鉄とクロムの混ざったフェロクロムを製造し、利用する。

一般的なフェロクロム製造工程では、炭素を主成分とするコークスを還元を用いる。よって、フェロクロムには、どうしても炭素が多く残ってしまう。6重量%以上の炭素を含むと、高炭素フェロクロムと定義される。ステンレス鋼の製造の場合、ステンレスを製造する過程で、専用設備で大規模な脱炭（炭素を除く工程）を行う。そのため、安価な高炭素フェロクロムを用いることが可能である。

ステンレス鋼以外の用途では、工程上、脱炭をすることが難しく、炭素が少ない低炭素フェロクロムが必要になる。なお、定義上は4重量%以下が低炭素フェロクロムだが、実際は重量0.1%以下のものが、使用される。低炭素フェロクロムでは、還元シリコンやアルミニウムを用いる。低炭素フェロクロムは、高炭素フェロクロムよりも高価になる。相場によって異なるが、1.6～3倍程度の価格であるようだ。なお、後述のように高炭素フェロクロムの価格も上昇しているが、値上がり幅は低炭素フェロクロムの方が大きかった。やはり、ロシアの高い生産シェアが影響したようだ。低炭素フェロクロムは、少数派用途の中で、高炭素フェロクロムより小規模に使用するもので、需要量は、だいたい高炭素フェロクロムの十分の一程度のような。

低炭素フェロクロムの用途は主に特殊鋼製造と、成分調整用添加材料の二種類がある。

成分調整用添加材料とは、クロム成分が足りない場合に60～70%程度クロムを含む低炭素フェロクロムを投入することで、クロム成分を増すものである。例えば、ステンレス鋼では、再利用ステンレス等を溶解して、ステンレス成分の鋳物を作る。どうしてもクロムが不足する場合に、低炭素フェロクロムを加え調整する（なお、名前

も似て、成分も近いが、ステンレス鋳鋼は、大手ステンレスメーカー並みの大規模な冶金設備で製造するものではない。主に展伸材であるステンレス鋼とは、工業的性格が大きく異なる。）。成分調整のためにフェロクロムを加えるのに、脱炭という余計な成分調整を発生させては不合理である。大規模なステンレス鋼生産工場以外では、現実的に製造工程で脱炭を行うことは生産技術上、難しい。よって、低炭素フェロクロムを使用する。

特殊鋼製造用途では、低炭素フェロクロムを主要材料の一つとして、大量に使用する。例えば、6重量%のクロムを含む特殊鋼を、年間10,000 t 製造する場合、クロム純分で約600 t、低炭素フェロクロムで1,000 tが必要である。

特殊鋼とは、鉄に様々な成分元素を加えることで、強度や耐熱性などを持たせた鋼で、例えば、金型や切削工具に用いられる高速度鋼には、4～5重量%のクロムが含まれる。自動車のエンジンやパワトレに使用される特殊鋼も、強度や耐熱性が要求され、種類によって異なるものの、少量のクロムが添加されている。これら特殊鋼は、ステンレスと比べれば少量多品種となり、個々の用途においてはクロム使用量として目立つことはない。しかし、工業製品は何か一つ欠けても完成できないものである。多種多様な特殊鋼は、日本で自動車等の機械を製造するには、絶対に必要なものである。

2. ロシアと低炭素フェロクロム

ロシアには大量のクロム鉱石が埋蔵されている。一方、ロシアの金属としてクロムが挙げられることは多くない。ロシアのクロム鉱石の質が悪いため、量はあっても経済的競争力が弱いようだ。なお、どのように質が悪いかは、調べきれなかった。一応、ペルミのサラノフスコエ鉱床などで採掘されるが、ソ連時代にクロムの供給を担ったのは、主にカザフスタンで、現在でもクロム鉱石を輸入している。

クロムは資源の偏在は少ない。よって、資源確保の問題が少ない。資源を見る限り、ロシアがどうなるかが、あまり影響はないはずであった。

しかし、世界の低炭素フェロクロム生産での、ロシアのシェアは、2割に達しているようだ。一般的なフェロアロイは、製造に大量のエネルギーを消費する。一方で、繊細を極める高度な技術や、品質管理を要するわけではない。フェロアロイは、ロシア向き製品であったようだ。ソ連時代から残る工場で、各種フェロアロイの製造がなされる。

日本では、開戦前の低炭素フェロクロム輸入量の半分は、ロシア製であった（2021年、2020年とも同様）。理由は、ロシアで大量に生産される低炭素フェロクロムが、組成的に日本の要求に入ったからである。ロシアの低炭素フェロクロムの規格 GOST4757-91 の Fkh001 と Fkh001B は、JIS G2303 FCrL 1 のスペック値に入る。

低炭素フェロクロムをロシアに依存することになった理由は、資源の問題ではない。ロシアが低炭素フェロクロムを大量に製造し、コストが安かった。その結果、ロシア産のシェアが増えていた。資源ではなく、量的な生産能力とコストの問題である。なお、日本でも、国内必要量を賄う量ではないが、低炭素フェロクロムを製造している。

ロシアでフェロクロムを製造するのは7社あるようだ。内4社が低炭素フェロクロムを製造するが、上記規格内の炭素含有量の低炭素フェロクロムを製造するのは、ChEMK（ЧЭМК）と Kluchevsky Ferroalloy Plant（Ключевский завод ферросплавов）の2社のみである。ChEMKの商社 RFA International（スイス法人）の資料では、ChEMKは75万tのフェロアロイ生産能力を持ち、ChEMKの Website では、日本企業を含む、世界の鉄鋼大手が顧客リストに並ぶ（すべて事実かは未確認）。

ロシアの鉄鋼原料商社 Н П Т К "О С К"(統一造船企業とは無関係)の資料によると、2018年にChEMKの低炭素フェロクロムの生産量は18万トンであった。ちなみに、高炭素フェロクロムの生産量は、20万トンであり、合計38万tになる。日本フェロアロイ協会発行の、フェロアロイハンドブックによると、2018年のロシアのフェロクロムの生産量は、40万tとなる。この情報が正しいとすると、ChEMKの生産量は、全ロシアの生産量に近い。Kluchevsky Ferroalloy Plantの生産は、ロシアの他のフェロクロム生産者と同じく、小規模にとどまるものと推察される。但し、7社存在する中、40万t中、38万トンを1社で製造というのは、少し不自然である。ChEMZの存在が、圧倒的なのは事実と推察されるが、データが必ずしも完全でないことを匂わせる。

上記の情報を総合すると、日本が調達するロシア製低炭素フェロクロムは、ChEMKで生産されているものと考えられる。

原材料調達先が、ロシア国内とカザフスタンであるので、アルミニウムやチタンのように、原料調達問題を発生させる可能性は低い。また、後述の環境問題等を見る限り、古いロシア製のものを使用している可能性が高い。設備の更新を進めてきた他のロシアの金属メーカーと比較すると、制裁による設備調達問題を発生させる可能性は低いと推測される。

一方、報道を見ると ChEMK は、損害賠償請求訴訟を複数抱える上、環境汚染企業として批判されている。メーカーとしての健全性には、大きな不安がある。戦争に関係なく、供給問題を発生させる恐れが心配される。

3. 日本の業界への影響

開戦後、低炭素フェロクロム価格は、供給不安から上昇した。元々、2021年の年初から価格上昇中だったが、開戦により、価格上昇が加速した。4月には、開戦前の倍の値段に達した。値上がりは、戦争と無関係に2021年から始まっていたため、2021年の年初と比較すると、3倍以上に達した。

前述のように、低炭素フェロクロムの用途は、成分調整用途と、特殊鋼製造用途がある。

成分調整用途では、微妙な成分の差を調整するのみで、少量使用に留まる。全体コストに占める低炭素フェロクロムの割合は知っている。成分調整用途に使っている企業では、低炭素フェロクロム値上がりの影響は、深刻なものではなかった。

一方、特殊鋼の製造においては、コストへの大きな打撃があった可能性もある。特殊鋼の製造では主要材料の一つとして、低炭素フェロクロムを使用する。クロム以外の組成次第で、コストへの打撃の程度は異なるが、3倍も値上がりすれば数十パーセントレベルで、原材料コストが上昇することも考えられる。とは言え、大量に調達する場合は、長期契約を締結して固定価格で調達する場合も多い。実際の影響は、各社の事情で異なるだろう。

欧州では一部、物流が停滞した一方で、日本へのロシア製低炭素フェロクロムの出荷は、特に問題なく継続したと言われているようだ。供給不足にはならなかった上、夏以降、中国の景気減速の影響で、低炭素フェロクロムの需要が減り、価格も下がる。8月時点で、開戦前の1.7倍程度であり、白金族やニッケルと比較すると、価格が開戦前の状況に戻るのには遅かった。しかし、価格下落は続き、2022年11月後半の時点で、現在では開戦前の2～3割安の水準である。引き続き、ロシア製が多いという理由で不安定感を感じさせるが、原稿執筆時の状況では、戦争の影響はなくなったと言える。

なお、HSコード7202.49（炭素4%以上のものを除くフェロクロム）の輸入通関統計を確認すると、輸入量の内のロシアのシェアは低下している。

2021年の累計輸入量の52.0%を占めたロシアのシェアは、2022年9月までの累計輸入量では39.9%まで低下している（シェアの比較なので、期間は敢えて合わせていない）。中国、ドイツの割合が増えている。中国の需要減少や、相場の変化で各社の競争力に変化があった。戦争の影響かどうかは、現時点では何とも言えない。

戦争によって、ロシアからの供給は途絶しなかったが、一時的に価格が2倍になった。特殊鋼生産のコストを悪化させた可能性がある。一方、供給に大きな障害が発生しなかったこと、中国の景気減速の影響により、価格は減少に転じた。ニッケル、アルミニウム等に比べ、価格下落のスピードは遅かったが、現在では開戦前の水準に戻っている。

戦争の影響により、日本側では価格上昇の影響が発生した。しかし、2022年末までに影響は消えている。ロシア側は、戦争に関係なく不安感があるものの、今のところ戦争の影響は見られない。

しかし、低炭素フェロクロムのロシアの生産シェアが高い以上、ロシアが供給できなくなった場合の影響は大きいと推察される。また、ChEMKは戦争に関係なく、一定の不安感を覚えさせられる。引き続き注視が必要である。

各論IV アルミニウム

ロシアは世界のアルミニウム市場において、5%程度のシェアを持っていた。中国製アルミニウムは、自国内で消費される傾向にある。一方、ロシア製アルミニウムは、大半が輸出される。世界市場では5%を超える存在感を持っていた。しかし、現在の需給バランスでは、ロシア産アルミニウムは必ずしも必要とされていないようだ。ロシア製アルミニウムは、忌避の対象となっている。また、アルミニウム価格は一時上昇したものの、現在は開戦前の水準を下回る。結果、ロシアのアルミニウム産業は、営業・調達両面で打撃を受けた。一方、日本への影響は限定的であったと見られる。

しかし、アルミニウムの需給が変化した場合、アルミニウム市場に変化が発生する可能性は残る。引き続き注視は必要である。

1. ロシアのアルミニウム産業

アルミニウムの鉱石はボーキサイトであるが、ボーキサイトがアルミ製造の要素ではない。どの金属も鉱石だけで作れるわけではないが、アルミニウムの場合、特に電力が重要である。製錬コストの中で数十パーセントに達する高い割合を示す。ニッケル、亜鉛、銅等、他の金属でも電気分解で製錬を行う。しかし、アルミニウムは1分子あたりの還元に必要な電子の数と、分子が軽いことにより、同一重量あたりの製錬に必要な電力は多い。アルミニウム生産を理解する上で、最重要事項である。

ロシアでは、ルサルがアルミニウム製錬を担っている。ロシアでアルミニウム製錬を行う企業は事実上、一社と考えてよい。また、ロシアにもアルミ展伸材メーカーは存在するが未発達である。事実上、ロシアのアルミニウム産業は、ルサールのアルミ製錬と同一と見做しうる。

ルサルは、展伸材等の機械メーカーが使用する部材までの加工は行わず、製錬のみを行っている。ロシアでは、KUMZ等の展伸材メーカーは存在するが、規模は限られる。また、アルミニウムを使用する産業も未発達である。ルサールの製錬したアルミニウムの大半は、地金やビレットなどの付加価値が低い状態で輸出される。これが、だいたい世界の5%程度のシェアを占める。

ボーキサイトからアルミナ（酸化アルミニウム）を作り、電気分解により還元し、金属のアルミニウムを製造する。これが、アルミニウム製錬の大雑把な流れである。ロシアはボーキサイトを産出するが、ルサールの必要分を賄うことはできていない。不

足分は、輸入するとともに、鉍石としての経済性に劣る霞石（ネフィリン）から製造したアルミナを使用する。ロシアは経済性に劣る鉍石を使用しなければならないほど、アルミニウム資源に乏しいと理解するのが正しい。

ルサールに競争力がある理由は、ソ連時代に建設された減価償却済み巨大水力発電所から供給される安価な電力を利用できることにある。アルミ製錬はお隠れエネルギー産業的性格を持つ。

2. 戦争の影響

ロシアはアルミニウム市場で一定の存在感を持つため、開戦当初は影響が心配された。しかし、アルミニウムの実需は減少しており、世界市場において広範囲でのアルミニウム不足は発生しなかったと見られる。価格は開戦前の水準を下回っている。

需給バランスから、現状のアルミニウム市場は、必ずしもロシアからの調達を必要としないようで、ロシア産アルミニウム忌避の動きが広がった。2022年下半期以降の経営実績は発表されていないが、ルサールは営業上、打撃を受けていることが予想される。

ロシアはアルミニウム鉍石のボーキサイト資源に乏しい。一部で採掘は行われているが、原材料の半分以上を輸入に依存した。オーストラリアが、ロシアに対するアルミナの禁輸を行った。また、ルサールはアルミナ製造の一部をウクライナで行っていた。これまでどおりのアルミナ調達が困難になった。ルサールは代替調達先として、中国からのアルミナ調達を増やしたが、コストアップを招いたとの報道がある。また、ノリリスクニッケル等の他の金属産業と同じく、メンテナンスを含む設備調達に問題が発生している可能性がある。ロシアのアルミニウム産業は、営業、調達両面で制裁による打撃を受けたと見られる。

一方、アルミニウム価格等を見る限り、現状は、ロシア産アルミニウムなしでもアルミニウム不足を発生させないようだ。個別ケースでは、問題が発生したかもしれない。しかし、全体的に見ると、日本を含め、ロシア以外のアルミニウム関連産業には、戦争による大きな影響はなかったものと見られる。

なお、需給バランスに大きな変化があれば、ロシア産アルミニウムが使用できないことが、不足の原因の一つとなり得る。パラジウム、チタンと比較すれば、日本の業界に大きな影響を発生させる可能性は低いと思われるが、状況の注視は必要である。それでも、パラジウム、チタンほどの深刻さはないものと思われる。

各論V リチウム・レアアース等レアメタル

ロシアのリチウム、レアアースの資源は乏しいため、日本への影響は小さい。しかし、電池材料への関心の高さに基づき、ロシアのレアメタルを含む産業政策動向も含め紹介する。

2023年初頭の段階では、ロシアではリチウムの採掘は行われていない。また、リチウム関連製品で競争力のあるものはない。2023年に入り、コルモジョルスコエリチウム鉱床の採掘権が、ロスアトムとノリリスクニッケルの合弁企業によって落札された。しかし、本件が他の国で行われているリチウム資源開発と同等と扱えるかは、今の時点では、分らない。

現在、レアアースの採掘は行われているが、有力な供給源とは見なされていない。ロシア国内では、レアアースを元素毎に分離する工程がないため、分離前の混合物を輸出している。仮に、現状のまま資源開発に成功しても、混合物の輸出が増えるのみである。

資源大国ロシアのイメージが先行するため、大きな誤解を生んでいるが、ロシアに資源の乏しい金属は多い。ロシアの市場での競争力が大きい金属でも、アルミニウムは資源の一部しか自給できず、チタンに至っては鉱石の全量を輸入してきた。マンガンやチタンはウクライナへの依存度が高かった。

ロシアはリチウム、レアアース、ニオブ、タンタル、マンガン、クロム、チタン、アルミ等の資源に乏しく、これまでも自給が問題になっていた。裏を返せば、これらの金属は、資源供給地としてロシアには期待できないことになる。ロシアは開戦前より、エネルギー資源輸出に頼らない経済構造実現のため、輸入代替政策を進めてきた。ロシアに乏しい金属資源においても、資源自給を目指し、鉱床開発を目指してきた。また、衰退したタングステン、モリブデンの鉱山の再生を再生するプロジェクトも行われている。しかし、鉱床開発に限らず、輸入代替政策は必ずしも成果をあげていなかった。不足金属の鉱床開発においても、開戦前に大きく状況を変えるような成果を実現していなかった。

開戦により、ロシアは多くの品目で輸入に困難が発生した。もともと、行っていた輸入代替政策は、技術主権政策と名前を変えて継続することになった。以前は産業多様化が目的であったが、今では輸入困難対応が目的となった。一部の金属では、実際に輸入に支障が発生したようだ。ロシアでは、開戦後、不足資源開発政策が強化されている。

探査の努力で発見する可能性は高くなるとは言え、資源の存在は自然によるものである。戦争で輸入できなくなったからと言って、都合よく鉱脈ができるわけではない。日本が太平洋戦争中にいやというほど思い知ったことである。ソ連時代よりなされてきた探査で発見できなかった優良鉱床が、突如として見つかる可能性は低い。また、政治的目的で開発が進んだ鉱床の経済性は要精査である。現在のところ、ロシアのリチウム、レアアース関連は、政治案件に見える。

ロシアで問題となっている不足金属には、ニオブのようにロシアで本物の需要が存在すると思われるものもある。しかし、リチウムやレアアースについては、そもそも、必要性を感じさせるものがない。

レアアースでは、現在のところ、分離工程がロシア国内にないという問題があるが、レアアース磁石の生産ライン等もなく、何をもって不足としているか分からない。リチウムイオン電池は、メーカーはあるが、規模も競争力も限られる。現在の需要はゼロに近いと断定しても、あまり間違いではないだろう。

そもそも、リチウムやレアアースが重視されるのは、自動車産業におけるEV化の流れによるものである。しかし、ロシアでは自動車産業は、質的にも量的にも未成熟である。

ロシアでも、技術主権政策の下、EV関連技術の垂直統合を構想する。とはいえ、内燃機関車の開発・生産の能力も怪しい状況で、EVだけ急速に発展させられる可能性は低い。リチウムイオン電池やレアアース磁石の製造には、高度な技術が必要だが、ロシアでは技術の蓄積も乏しい。パワエレやインバーター等の他のEV関連技術も未発達である。中国からのフルターンキー的技術移転で外見だけ作ることは可能かもしれない。それ以上は、実現しない可能性のほうが高い。

製品ができそうもないのに、原材料のみ需要が発生することはあり得ない。よって、ロシアでリチウムやレアアースを確保する必要性そのものが、疑問である。

開戦後、活発になったリチウム、レアアースの動きは、緊急性や合理性が感じられない。産業的リテラシーが低いため、合理的な産業政策を立案できていないと推測される。

リチウムやレアアースに関しては、ロシアの動向が日本に影響する可能性はないと思われる。現にシェアの高い金属や、影響力を持っていたロシアの金属の注視は必要である。しかし、ロシアのリチウムやレアアースは、注視する価値のあるものに見えない。一方、ロシアの産業政策は、失敗例として他山の石となり得る。

VI 航空会社・航空機産業

2022年2月の開戦により、日露双方の航空機運航に影響が発生した。日本側では、ロシア領空通過を避けた結果、欧州への飛行は大迂回をすることになった。また、戦争による原油価格高騰は、燃料コストへの影響を発生させていると推測する。しかし、ロシア側で発生した影響に比べれば、影響は比較的軽微と言える。本項では、ロシア側の影響について扱う。

1. 開戦前の状況

ソ連時代、ロシアは航空大国であり、現在でも、一定の地位を有する。しかし、旅客機の分野では、ソ連時代末期には旧西側に対し、技術的に遅れた状態になっていた。ソ連末期に開発した機種で挽回を試みたが、果たせなかった。質的にも追いつけなかった上、ソ連崩壊で生産が進まなかった。

結果として、ロシア製航空機は減勢に減勢を重ねた。2010年代には単通路機（ボーイング737、A320）以上のロシア製旅客機は、実質的に絶滅した。リージョナルジェット以下の規模の旅客機で、一部、ロシア製が運航されるに留まる。旅客機の最大勢力は単通路機であり、ロシアにおける航空輸送のほぼ全てはボーイング、エアバス製の旅客機に依存することになった。これら機体はすべてリース機であった（英領バミューダ登録の機体が最大多数であった。）。

2. 開戦の影響

ロシアの航空会社は、2014年以降、制裁の影響をうけたこともあった。しかし、全体的に見れば、制裁の影響は軽微であった。他の航空会社と同様、コロナ禍による影響はあったものの、ボーイング、エアバスの機の運航に支障はなかった。

開戦により、制裁のレベルは桁違いとなった。EU空域の飛行禁止、リース契約強制解除、ロシア運航の旅客機の耐空証明剥奪、旅客機に対するプロダクトサポートの禁止等がなされた。ロシアの旅客機の大半は、ボーイング、エアバス製のリース機であった。違法占有の機体を、耐空証明のない違法運航している状態になった。更に、技術的サポートを受けられない状態にある。日本において、同様の状態になった場合、技術上、コンプライアンス上、航空路は一切維持できないと思われる。しかし、ロシアは元航空大国である上、コンプライアンスに対する考え方が特殊である。

3. ロシアの対抗策と見通し

ロシアは飛行機の返却禁止、独自の耐空証明による運航の強行、独自の航空インフラ・技術による運航の維持で対抗した。加えて、ロシア製旅客機を増産し、西側製旅客機の代替を目指すとしている。しかし、現実性には疑問が多い。結論としては、時間が経つに従い、航空路は劣化していくと推察される。

(1) 短期的運航維持

ロシアの旅客機の大半は、耐空証明を取り消された。これに対し、ロシアの航空当局 Rosaviatsiya は、代替となる耐空証明を発行し、ロシアのレジ番が付与された（英領バミューダの VP、VQ で始まるもの等が、ロシアの RA で始まるものになった。）。

Rosaviatsiya は認定に関する独自ルールを作っている。違法占有の旅客機を、技術的に怪しい状態で無理やり飛行させている。日本基準で考えれば、出鱈目なのだが、出鱈目を強行できるだけの技術力があっても言えなくもない。国際線運航では、差押や乗り入れ制限で、大きな問題が出ている。一方、国内線や制裁の影響を回避できる一部国際線はとりあえず維持できることになった。

(2) 既存西側航空機維持

ボーイング機、エアバス機、エンブラエル機等、西側の機体は、メーカーのサポートが得られない。交換部品の入手は、どうも完全に不可能ではないようだが、大きな支障が出ている（交換部品の事情は、今年度は解明できなかった。）。すでに、共食い整備と呼ばれる、他の機体から取り外した部品で、やり繰りすることがなされている。

①部品製造の現実性

ロシアは、航空機産業を持つ。よって、定性的に同等の部品を製造できる場合も少なくないと推定する。しかし、旅客機が必要とする膨大な部品を、すべて製造することは、ボーイングやエアバスでもできない、世界中に散らばるサプライヤーで分業してようやく成り立っている。ロシアが同様のサプライヤー網を自力で、短期間に構築することは、不可能である。

②エンジン整備

ロシアは、航空エンジンも自国で製造する能力がある。PD-14 では、効率に大きな影響のある高圧1段目タービンプレードに、第四世代単結晶合金を使用する等、優れた要素技術を持つかもしれない分野もある。しかし、現在運航中の輸入旅客機のエンジンは、ロシアの開発力・技術力だけで維持できるものではない。航空機のエンジン整備には、部品、マニュアル、治具が必要である。部品は共食い整備で一定数確保できるとしても、マニュアル、治具は、整備認定のない工場では存在しない。ロシアでは、A320ceo の CFM56-5A/B 及びボーイング 737NG の CFM56-7B のみ、S7 テクニクが整

備認定を持つ。これらのエンジンでは、部品さえ入手できれば、ルール上どうかは別として、維持可能な可能性もある。しかし、他のエンジンでは、分解整備が必要になった段階で使えなくなる。A320ceo、737NG 以外の機種は、可動エンジンが尽きることにより、飛行不能になっていくと予想される。大型機すべて、A320neo、737MAX、エンブラエル機等、広い範囲の機種が該当する。

③イランとの比較

イランは長らくロシアと同様の状態に置かれてきた。イランは旧式機を用いて、航空路を維持してきた。イランとロシアを比較すれば、近年でも航空機を自主開発するロシアのほうが、航空技術は遥かに上である。しかし、ロシアとイランでは、経済規模も国土の広さもまったく異なる。維持しなければならない可動機数が文字通り桁違いである。イランの航空路維持とロシアの航空路維持では、難易度がまったく異なるものと推定する。

(3) ロシア製航空機製造

ロシア製航空機で、ボーイング、エアバスを代替することは困難である。過去 10 年、年間数十機のレベルで製造できた機種は SSJ のみである。SSJ は航続距離が短く、機体のサイズも小さいリージョナルジェット機である。加えて、現行使用は、制裁で輸入できない輸入部品を多用するため、部品在庫がなくなり次第、製造できなくなる。純国産化のための新派生を開発中であるものの、量産立ち上げには、年単位の時間を要すると思われる。

現在、開発中の新型旅客機 MC-21 も、輸入部品完全代替が要求され、開発は遅れている。これらの新型機の輸入部品完全代替がいつになるかは不明である。どう頑張っても、2～3年で年間数十機レベルでの生産を実現するのは、困難と思われる。

一方、ソ連時代に開発された Tu-214 の生産数を増やすという案もある。しかし、ソ連時代の機種は、せいぜい年間 3 機程度しか製造されていない。これを年間数十機まで増やすのは、新機種の立ち上げに近い時間を要するものと推定される。仮に、ソ連開発の機種が本当に純ロシア製だとしても、そう簡単にボーイング、エアバスの旅客機を代替できる数はそろわない。

また、新型機、旧型機共通の問題であるが、ロシアの航空機工場では、多数の輸入設備が使用されている、制裁でこれらの設備のサポートも不可能になっている。生産を順調に進められるかに疑問が残る。

提言

1. ロシア製金属の監視継続

2023年初頭までの間は、ロシア要因により深刻な金属入手難は発生しなかった。また、価格の上昇も、開戦直後に留まったものが多かった。チタンやニッケルの価格上昇は、必ずしもロシア要因だけではない。

しかし、ロシア社会が戦争により不安定になり、ロシアにおける生産活動も制裁の影響が出ているのも確かである。今後も、ロシアが供給を維持できるとは限らない。引き続き、状況の監視継続が必要である。

2. パラジウム不足緊急対応の研究

パラジウム不足が発生した時に備え、不足の間だけコールドエミッション規制を一時的に緩和する研究が必要と思われる。

3. 日本のチタン産業保護

日本には技術的優位性を持つチタン産業があるが、需給バランスに翻弄されてきた。また、VSMPOの今後の扱いが、大きな不確定要素となっている。現在、特需の追い風がある。しかし、一方で、供給能力の調整、設備投資等に難しい判断が要求されている。極端な需給バランス変化の影響や需要者の業界構造は、一企業の努力では克服が困難である。日本のチタン産業が永続的に存在できるよう支援が必要である。

4. ロシア制裁影響調査継続の意義

ロシアは自ら始めた侵略戦争により、国際社会との経済的協力関係を大きく失った。ロシアは、先端技術を中心に海外依存が大きく、製造業でも生産に障害が多発している。一方、日本は依存の内容が異なるものの、売上や原材料や低コスト品等の調達において、海外依存度は高い。戦争によりロシアで起こった事象は、貿易に障害が発生した場合、内容を変えて日本で起こる可能性が高い。事例として研究することにより、経済安全保障研究等に有益な知見が得られると思われる。

5. 産業的リテラシーの重要性

ロシアでは輸入代替、技術主権と、国産化率向上を一貫して目指している。しかし、戦争・制裁以前から、実質的な海外依存脱却ができていなかった。ロシアのリチウム、レアアース確保戦略や航空路維持策に見るように、非現実的な発想が散見される。これらは、中身のある技術開発や、業界に対する理解の不足による。他山の石とするべきである。

6. 台湾有事経済影響に対する注意喚起

台湾有事に関して、軍事的に心配している方々はいるかもしれない。しかし、日本は、米国と中国の双方と貿易を行わねば経済が成り立たない。また、台湾との経済関係も深い。日本との関係の薄いロシアですら、散発的に調達難を発生させた。仮に中国、台湾、米国が関係する中で、貿易に障害が発生すれば、影響はロシアの比ではない。営業上の悪影響は言うまでもない。台湾有事は軍事だけの問題でなく、軍事衝突に至らなくても、緊張が高まるだけで、我が国の経済への影響は大きい。本件は十分に認識されるべきである。

令和4年度ロシア地域貿易投資促進事業
ロシア市場環境調査

ウクライナ侵攻の日露製造業への影響
パラジウム、チタン等、関連業界の分析

2023年3月発行

編集・発行

一般社団法人ロシアNIS貿易会
ロシアNIS経済研究所
東京都中央区新川1-2-12
電話 (03) 3551-6218

©禁無断転載
