

## 〈3〉旧ソ連のアンチモンと経済安全保障

一般社団法人 ROTOBO ロシア NIS 経済研究所 研究員 渡邊 光太郎

### はじめに

中国がアンチモンの輸出管理をすると表明した。筆者の認識では、これまでアンチモンはそれほど関心の高いレアメタルではなかった。しかし、中国の輸出管理強化によって、急に注目された。中国のシェアが高い上、アンチモンは半導体製造にも使用する。経済安全保障の観点から、アンチモンに関心を持たれた方もいるのではないかと思う。

現在、中国に次ぐアンチモン鉱石の供給地は旧ソ連圏である。ロシアとタジキスタンで大規模にアンチモン鉱石が採掘されている。本稿では、旧ソ連圏のアンチモン関連産業の状況と、日本の経済安全保障の観点からの価値について述べる。

尚、本稿の主題は旧ソ連のアンチモンである。日本の産業界のアンチモン確保や、戦略物資としてのアンチモンを分析することではない。前者の分析には日本国内の関連業界の調査が必要である。また、後者の分析には米国等の軍需産業でのアンチモンのバリューチェーンを把握しなければならない。前者も相応の手間が必要だが、後者はとても手に負えない。本稿の範囲で答えに辿り着けない部分については、問題の所在だけを示すに留める。

### I. アンチモンと用途

アンチモンはレアメタルの一つとして扱われる

が、周期表では砒素の真下にあり半金属的な性質を持つ。単体のアンチモンは金属光沢を持つが、金属らしい靱性はなく脆い。化学的性質は砒素に近い。そこから推測される通り、砒素ほどではないが有毒である。毒性はアンチモン使用の足かせとなっている。

アンチモンは化合物として使用される場合が多い。金属として使用される場合でも、アンチモン単体で最終製品になることは少ないため、金属のアンチモンを見る機会は少ない。量的には三酸化アンチモンとして使用されるものが最も多い。図表1に、日本精鉱の化合物ごとの生産能力をまとめた(なお、日本精鉱は日本最大のアンチモン製品メーカーである)。生産能力と生産量は必ずしも一致しないものの、三酸化アンチモンの需要が圧倒的であることが読み取れる。図表1で純分という言葉を使用したのが、純分とはアンチモン以外の成分を除き、含まれているアンチモンの量を抜き出したものである。例えば、三酸化アンチモンは83.5重量%のアンチモンを含む。三酸化アンチモン1tを純分換算すると、835kgとなる。鉱石、精鉱、地金、各種化合物など、様々な形態で金属は流れていくが、鉱石、精鉱、各種化合物は余計な成分を含む。また、鉱石や精鉱はモノによって成分がバラバラである。そのままでは数量の比較ができないため、純分をとりだし比較する。しかし、残念ながら様々な形態の重量と純分は混同されがちである。特に、旧ソ連圏やアンチモンのよ

図表1 日本精鉱の製品別生産能力

	生産能力 (t)	アンチモン 純分(t)	割合
三酸化アンチモン	7,188	6,005	73%
アンチモン酸ソーダ	720	455	6%
金属アンチモン	300	300	4%
三硫化アンチモン	880	631	8%
塩化アンチモン	不明	不明	不明
三酸化アンチモン特殊加工品	570	476	6%
三酸化アンチモン粒度管理品	360	301	4%
三酸化アンチモン低不純物品			
高純度金属アンチモン	22	22	0.3%
合計	10,040	8,189	

出所：日本精鉱 Website 等より作成

うにマイナーな金属では混同が激しい。生産量の正確な数値は掴みにくいのが実態である。

図表2は日本企業が出荷する三酸化アンチモンの用途をまとめたものだが、やはり難燃剤が最大勢力である（国産されるものばかりでなく、三酸化アンチモンとして輸入される分もあるので、日本の三酸化アンチモン需要は図表2よりも多い）。図表3は金

図表2 2021年の日本企業製三酸化アンチモン用途

(単位:純分t)

難燃剤	3,948
塗料・顔料	168
ガラス	2
その他	715
合計	4,833

出所：JOGMEC マテリアルフローより作成

図表3 2020年の日本の金属アンチモン用途

(単位:純分t)

特殊鋼	257
蓄電池	326
その他	97
合計	680

出所：JOGMEC マテリアルフローより作成

属アンチモンの用途をまとめた。また、図表4に用途ごとにどのようなアンチモン製品が使用されているかをまとめた。

極めて雑駁に理解するなら、アンチモンの用途は大半が三酸化アンチモンの樹脂難燃剤で、金属でのアンチモン利用は限定的であり、半導体用はその中でも特に限定的とでも考えればいだろう。

半導体や一部で軍需らしい用途もあるが、アンチモンは日本においては極めて軍事色の薄い金属である。米国のように軍需産業が盛んな国では事情が異なる可能性もあるが、自動車や家電に使用される樹脂の量を考えれば、軍需用途が優位であることはイメージしにくい（ただし、USGSを参照しても、米国でのアンチモン需要で用途が把握されていない分も多い。調査をすれば別の実態が浮かび上がる可能性も完全には否定しない）。

以下、アンチモンの用途の代表的なものを紹介する。

### 1. 樹脂難燃剤

三酸化アンチモンが樹脂の難燃剤として使用される。アンチモンの用途として最大勢力である。日本では産業的に使用するアンチモンの8割程度が難燃剤用途である。自動車の内装材や家電にポリプロピレンなどの樹脂が多用されているが、難燃化目的の

図表4 用途別アンチモン製品の種類

用途	アンチモン製品の種類
難燃剤	三酸化アンチモン
PET触媒	三酸化アンチモン
顔料	三酸化アンチモン
ガラス	三酸化アンチモン
蓄電池	金属アンチモン
特殊鋼	金属アンチモン
シリコン半導体	金属アンチモン（高純度） 三酸化アンチモン（高純度）
化合物半導体	アンチモン化インジウム
電子部品	三酸化アンチモン 金属アンチモン

出所：JOGMEC マテリアルフロー、USGS 等より作成

アンチモンが少量含まれている。

この難燃剤は臭素化合物との合わせ技で成り立っているが、アンチモンだけでなく臭素も健康的に望ましくないとされる。欧州の環境規制により、アンチモンは臭素とともに排除されそうな勢いであった。しかし、今のところ難燃剤用途のアンチモンの使用が、極端に減った様子はない。樹脂難燃剤業界の動向はアンチモンの物量的需要を決定付ける。アンチモン確保の重大さ、深刻さは難燃剤業界次第である。

## 2. 鉛との合金

歴史的なアンチモンの用途は鉛との合金である。鉛は極めて柔らかい金属で材料として使用しにくい。アンチモンを混ぜることで硬くなり扱いやすくなる。バッテリーに使用される鉛にも混ぜられている。また、アンチモンと鉛の合金は鋳造後、凝固した時に体積が増える。鋳造時、文字を彫った部分に合金が行き渡るため、活字合金として使用された。

銃弾に使用する鉛にアンチモンを混ぜているかは分からないが、仮に混ぜているとすれば国によってはそれなりの使用量になろう。

鉛も有害な物質であり使用は減りつつある。活字合金は印刷技術の進歩で使われなくなっている。長期的な傾向としては、鉛とともに使用する用途は減少していくものと思われる。

## 3. 半導体

半導体用のアンチモン利用は、シリコン半導体のドーピング材と化合物半導体原料の2つに大きく分けられる。どちらにしても、量的には極めて少ないという点に留意が必要である。半導体材料用のアンチモンを製造する企業は日本精鋳だけではないが、図表1の高純度アンチモンの物量からだいたい想像できよう。純化能力さえ確保すれば、物量的に不足することはあり得ない（仮に純化能力を中国に依存していれば、不足する可能性がある）。

### (1) シリコン半導体

アンチモンは、n型シリコンを作るドーピング材として用いられている。集積回路には大量のトランジスタが作りこまれている。電子が余ったn型シリコンと、電子が足りないp型シリコンの組み合わせでトランジスタが作られる。アンチモンは、隣と同

じくn型シリコンを形成するのに使用される。

シリコンの価電子が4であるのに対し、アンチモンの価電子は5である。アンチモンをシリコンに混ぜるとその部分だけ電子が余った状態になり、この電子が自由電子となりn型シリコンになる。

n型ドーピング材としてのアンチモンの使われ方にも、2種類ある。一つ目はシリコンウェハを作る際に添加するもので、もう一つは半導体製造工程で使用されるものである。

半導体用シリコンは高純度が要求される。0.9999999999%と9が11個並ぶほどの純度となる。ドーピング材がこの純度を台無しにはしないので、ドーピング材も高純度が要求される。ドーピング材そのものも不純物であり、多すぎれば半導体として機能しなくなる。ドーピング材の添加量はppbレベルである。

### ①シリコンウェハ製造時に加える金属アンチモン

シリコンウェハは単結晶をスライスして作る。単結晶は、熔融したシリコンをCZ法によって結晶を成長させつつ引き上げて作る。シリコンを熔融する際、金属アンチモンを加えることで、引き上げられる結晶全体がn型シリコンとなる。

シリコンウェハでは、作りやすいホウ素をドーピングしたp型が多数派であるようだ。n型は少数派である上、n型ウェハ用のドーピング材でもアンチモンより隣が多いようだ。筆者は半導体に詳しくないので、使い分けをどうしているのかは分からないが、シリコンウェハ製造用のドーピング材の中でもアンチモンはマイナーな存在である。

### ②イオン注入用酸化アンチモン

前述のとおり集積回路はn型シリコンとp型シリコンを組み合わせ、シリコンウェハ上にトランジスタを作りこんで製造する。具体的にはn型層とp型層をパターンを変えつつ重ねて作っていく。n型層、p型層は、イオン注入法により作る。n型層を形成する物質か、p型層を形成する物質をイオン注入法でシリコンウェハに浸み込ませる。n型層を形成するイオンとしてアンチモン・イオンも使用され、イオン源として高純度酸化アンチモンが使用されている。なお、同じ用途で隣や砒素も用いられている（数量的にどれが優位かは筆者では調べきれなかった）。

イオン注入によって作りこまれるn型層も、p型層も電子顕微鏡でなければ見えないサイズである。