

日光市文化財調査報告第12集

# 足尾銅山跡調査報告書9

平成31年3月  
日光市教育委員会

(表紙裏)

(見返し)

(見返し裏)

あし お どう ざん あと  
足尾銅山跡調査報告書9

2019.3  
日光市教育委員会

(なか表紙裏)

## 序

現在、文化財の保存・活用は、新たな展開を迎えようとしています。平成31年4月から改正文化財保護法が施行されますが、その柱は、「文化財をまちづくりに活かしつつ、地域社会総がかりで、その継承に取り組んでいくこと」であります。そのため、地域における文化財の計画的な保存・活用の促進や、地方文化財保護行政の推進力の強化を図ることが求められ、文化財の「活用」そして「地域や自治体」の役割が非常に高まっているところです。

このような状況のなか、本報告書では、「足尾銅山における鑿岩機使用の概略と本山動力所」、「通洞選鉱所における浮遊選鉱法の導入とその試行錯誤」の二本の論文をとりまとめました。本書で得られた知見を通して、足尾の産業遺産の保存・活用が促進されるとともに、足尾銅山が日本の近代化や銅鉱山における鉱害対策で果たした役割の一端をご理解いただければ幸いです。

最後になりましたが、調査報告書刊行に至るまで多大なご協力を賜りました古河機械金属株式会社並びに、ご指導、ご助言をいただきました文化庁文化資源活用課、栃木県教育委員会事務局文化財課をはじめとします関係機関の皆様に深く感謝いたします。

平成31年3月

日光市教育委員会  
教育長 齋藤 孝雄

# 足尾銅山跡調査報告書 9

## 目 次

(論文)

足尾銅山における鑿岩機使用の概略と本山動力所

青木達也・宮本史夫・・・・・・・・・・ 1

通洞選鉱所における浮遊選鉱法の導入とその試行錯誤

青木達也・宮本史夫・・・・・・・・・・ 11

本報告書の編集は、日光市教育委員会文化財課 課長斎藤信義のもと、世界遺産登録推進室上原晃・片根義幸・宮本史夫が担当した。

なお、作成にあたり次の諸氏、諸機関にご指導、ご協力を賜った。記して謝意を表したい。(順不同・敬称略)

河東義之・永井護・小風秀雅・青木達也・久能正之・山崎義宏・橋本清之

古河機械金属株式会社・古河機械金属株式会社足尾事業所

文化庁文化財部記念物課・栃木県教育委員会事務局文化財課

# 足尾銅山における鑿岩機使用の概略と本山動力所

青木 達也 宮本 史夫

## 1. 本調査報告の位置づけ

本調査報告の対象遺産は、図-1<sup>[1]</sup>の本山地区に残存している国指定史跡の「本山動力所跡」(写真-1に示したコンプレッサー室または圧気工場と呼ばれる施設)と、その中に置かれている圧気機(写真-2に示したコンプレッサーまたは空気圧気機とも呼ばれる機械)である。以降ではこれらに深く影響を与えた鑿岩機使用の概略とともに建造経緯を記す。なお、本調査結果は二次史料(書籍や報告書<sup>[2]</sup>および日本鉱業会誌の既往研究<sup>[3]</sup>)を参考としつつ、古河機械金属株式会社が所蔵するものや東京大学附属図書館および九州大学附属図書館が所蔵する一次史料<sup>[4]</sup>を主として用いて纏め上げたものであり、土木学会(第58回土木計画学研究発表会)で発表済みの論文から抽出し紹介するものである。

## 2. 本山動力所の建造に至るまでの経緯

### (1) 鑿岩機を用いた坑道開鑿の試行錯誤と圧気機

圧気機は採鉱作業で使われる鑿岩機の動力である圧気(圧縮された空気)を作り出す機械であるため、鑿岩機が導入される場所や台数や種類により、その設置場所、台数、出力(馬力)や種類なども影響を受ける。つまり、鑿岩機の導入の経緯が圧気機の導入の経緯に影響を与えることになる。

足尾銅山において鑿岩機が使用され始めたのは1886(明治19)年1月の通洞坑開鑿起工の時からであり、このとき「シュラム式」空気鑿岩機が使用された。なお、同年同月に本山でも横間歩ヒを西に掘り進む際に用いられた。その後も1888(明治21)年に小滝でも小滝大堅入の開鑿の際に同型の鑿岩機が使われた。こうして備前楯山直下の鉱源の開発を進めるために本山、小滝、通洞の各方面で各坑道の開鑿と貫通を進める目

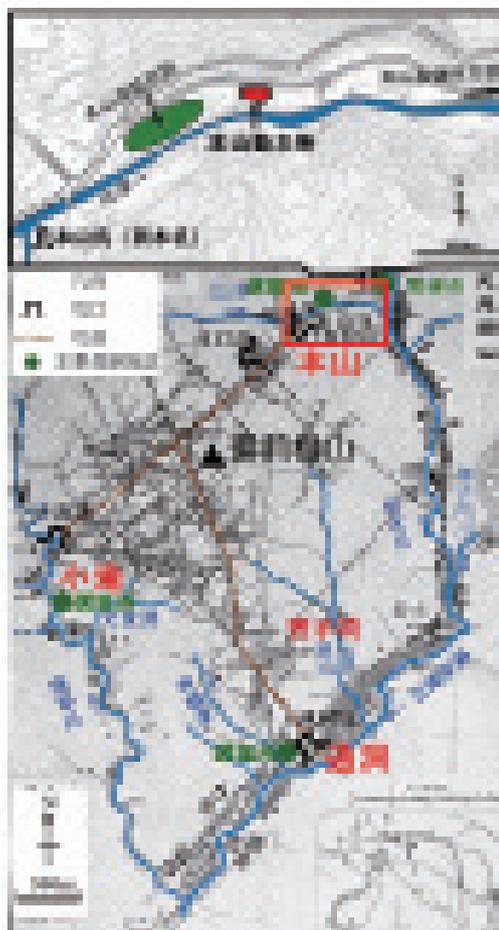


図-1 足尾銅山と本山動力所の位置関係



写真-1 本山動力所の北西側からの外観



写真-2 本山動力所の内部と残存する圧気機

的で「シュラム式」空気鑿岩機が使用されてきたが、1897（明治30）年になると同機の使用が一時中止されることになった。そして同年より1901年（明治34）年まで「シーメンス式」電気鑿岩機が代わりに用いられることになったが、良好な結果が得られなかったため、再び「シュラム式」空気鑿岩機が用いられることになった。さらに、1902（明治35）年になると「ウォーターライナー式」小型空気鑿岩機を用いたり（写真-3はウォーターライナーの一例）、

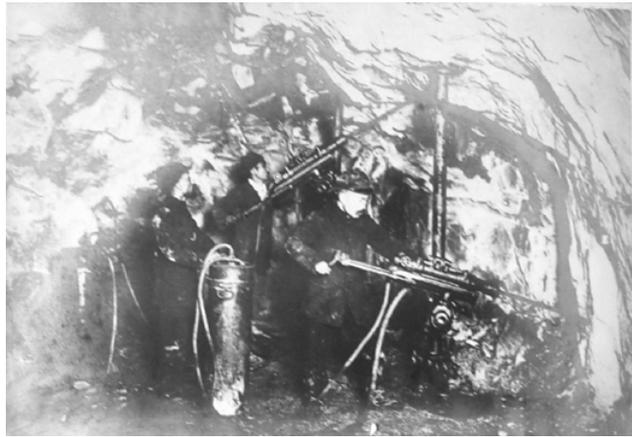


写真-3 ウォーターライナー使用中の様子

「ジャックソン式」手鑿岩機を用いて良好な結果を残せなかったり、翌年の1903（明治36）年には動力不足のために「シュラム式」と「ライナー式」の両方の使用を中止したものの、翌々年の1905（明治38）年に再びこれらの鑿岩機を用いつつ、「リトルウオンダー式」気槌鑿岩機（ハンマードリル）や「ショー式」気槌鑿岩機なども試用するなどした<sup>[6]</sup>。そして、1906（明治39）年には光盛第一堅坑（通洞坑レベルとその下部のレベルを繋ぐ坑内の堅坑）において「ライナー式」中形空気鑿岩機と「ライナー・テリアー」小形気槌鑿岩機を試用し結果が良かったことから翌年の1907（明治40）年から同堅坑に「ライナー式」大型空気圧気機を増設した。

このように1907（明治40）年までは鑿岩機については各種のもの試用がなされ、その結果、良好であったものが実用されるに至るといった経緯を辿っていた。そして用いられた場所についてみれば、本山方面、小滝方面と通洞方面において鋪と呼ばれる鉍石の採掘場ではなく、坑道の開鑿で用いられて、やがて通洞方面からの開鑿に限定されて使われることになっていった<sup>[6]</sup>。表-1は各方面で使用されていた鑿岩機の種類と台数を示したものであるが<sup>[7]</sup>、まずはその種類については「ライナー式」のものが最も多く、その次にライナー式で掘って落ちた大塊岩や発破後の岩盤突起部を処理するために用いられた小型の鑿岩機である「リトルウオンダー式」が多く（図-2<sup>[8]</sup>）、続いて「シュラム式」のものが多いことがわかる。導入当初は「シュラム式」が用いられ、利便性を見ながら各種の鑿岩機の導入の試行錯誤が行われ、淘汰された結果「ライナー式」のものが1907（明治40）年前後の時期で多く用いられることになっていったものと判断できる。

表-1 各方面で使用されていた鑿岩機の種類と台数（1909（明治42）年頃）

鑿岩機	通洞方面での使用台数	本山・小滝・通洞方面での使用台数合計	通洞方面での使用割合
ライナー式	53	59	90%
リトルウオンダー式	12	19	63%
ショー式	1	1	100%
ライナー式・ロックテリアー	1	1	100%
シーメンス式	1	4	25%
シュラム式		16	0%
インガースル式	1	1	100%
計	69	101	68%

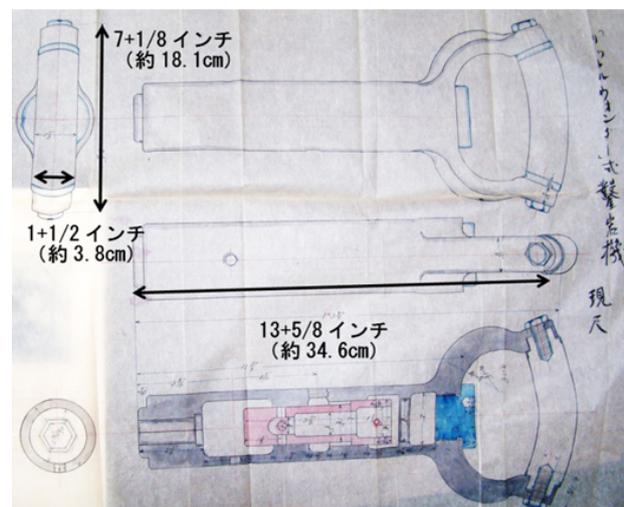


図-2 リトルウオンダー式鑿岩機

また、圧気機が設置された経緯についてみれば、1907（明治40）年の頃はライナー式とシユラム式で一台あたり40馬力から50馬力程度のものが設置されていたが、1910（明治43）年の直前の段階では全てライナー製で坑内に設置されており、当初は鑿岩機のメーカーが作っ

ていたものが導入されていたが、やがて性能的に優れていたライナー性に置き換えられていった経緯であった<sup>[9]</sup>。こうして、1910（明治43）年のころには表-2で示したように電動機でピストンを動かすタイプの小中大型のライナー製の圧気機が設置されていた<sup>[10]</sup>。図-3<sup>[11]</sup>は当時使用されていた圧気機の一つで、写真-4<sup>[12]</sup>は坑内の様子であり、図-4<sup>[13]</sup>は坑内の圧気機室（いわば坑内の動力所）である。この図の圧気機室は図中の左上の絵から枠（坑木は松、栗、檜などのもので、防腐剤を使わず保持期限は3年から5年程度）が五本合掌留（五本アーチ留）であり、その他の絵を含めた各寸法からは坑道の中でも「大廊下」と呼ばれるもの（例えば天狗大廊下などの幅13尺で高さ10尺程度のもの）よりも大きいことがわかる。

**(2) 鑿岩機の本格導入に伴う坑内における鉄管と圧気機の整備**

上述したとおり、1907（明治40）年ごろにおける鑿岩機は通洞方面からの開鑿に限定されるような使われ方がされていたが、採鉱作業の都合上、本山方面や小滝方面からの開発においても鑿岩機使用の必要性が生じ、「ライナー式」を主として「リットルウォンダー式」をその補助として使用するやり方が全山的に採られることになった。そして、本山方面では1908（明治41）年より光盛第二堅坑に設置してある圧気機より横間歩第二堅坑まで4インチの鉄管を敷設し、1909（明治42）年の1月中旬にこれを竣工させ、小滝方面では1907（明治40）年中に小滝地並上盤坑道大タテ入（タテは金へんに盾の字）付近に70馬力（ピストンを駆動させる馬力でこの時の圧気機が電動であったかどうかは不明）の圧気機を一台新設し1909（明治42）年3月より運転を開始して鑿岩機の使用を開始した。こうして、鑿岩機の本格導入とその動力施設である坑内の圧気機設備

表-2 坑内で使用された圧気機の大きさ別台数（1909（明治42）年頃）

圧気機の大きさ	ライナー式三吋鑽の運転可能数	圧気機の空気量	圧搾気圧(ポンド)	電動機の馬力	圧気機の台数
小形圧気機	4	275	100	50	1
中形圧気機	6	314	100	75	2
大形圧気機	8	550	100	100	3

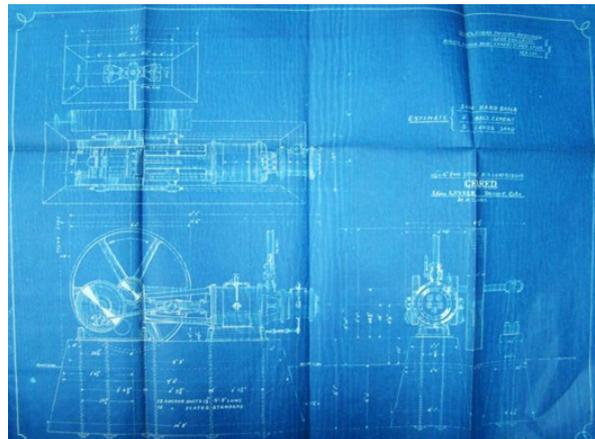


図-3 ライナー製の2ステージの圧気機

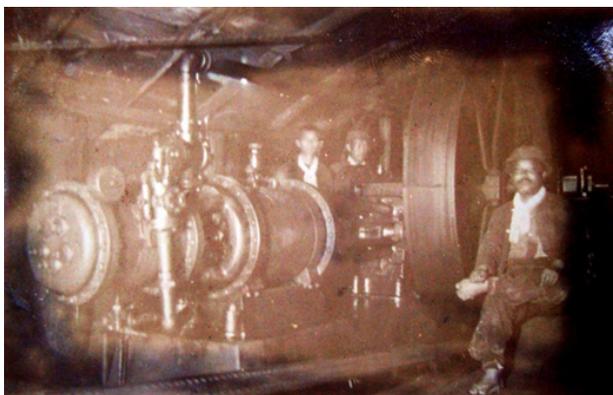


写真-4 坑内の圧気工場と圧気機

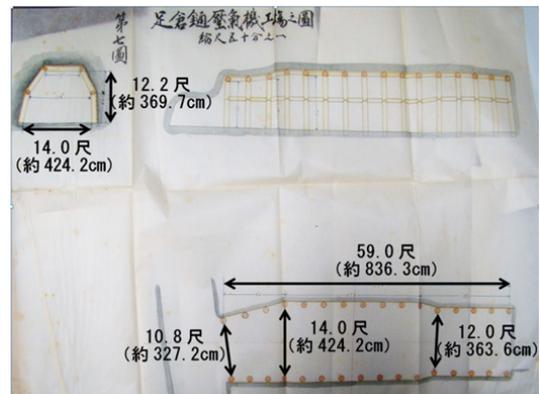


図-4 坑内の圧気工場の一例(足倉ヒ圧気機工場)

(坑内圧気工場とその内部の圧気機およびそこから延伸される圧搾空気運搬用鉄管)の整備が本山、小滝、通洞に進められ、本山方面、小滝方面、通洞方面のそれぞれで用いられる鑿岩機の動力(圧搾空気)がそれぞれの方面で賄われるといった素地が形成された<sup>[14]</sup>。

### (3) 鑿岩機の本格導入に伴う試験の実施

1912(明治45)年になると採鉱方法の一つである階段掘りを進めるために鑿岩機の一つである「ストーパー」の本格的導入に向けた動きも見られるようになった。これまで「ストーパー」については1895(明治28)年より徐々に試用で用いてきたが、機械の故障も多く導入に向けた動きが止まっていた。しかし、1912(明治45)年の上季において本山で「インガーソル式」ストーパーの試験が行われ、さらに1912(明治45)年上季の時点において本山と通洞で試験が行われ、この開鑿試験の成績で、開鑿量が手掘りで進めるよりも61.9倍で火薬代が2.2倍と、極めて良かったためにこれを用いて階段掘りが本格的に進められることになった<sup>[15]</sup>。こうして表-3で示した鑿岩機を含め<sup>[16]</sup>、採鉱の作業において「インガーソル」式の鑿岩機が活躍する場が増えつつ、機械掘りが主流となりその動力源である圧搾空気の工場建造の必要性が増していくことになっていった。

### (4) 坑外における動力所の新設の始まり

鑿岩機の導入が進んだことで、これまで坑内のそれぞれの開鑿場所近くに散在していた圧気機工場に対応するには不便を来すようになり、坑外に大圧気機工場(以降動力所とも記す)を建造して対応することが検討された。まずは通洞方面の工場として1911(明治44)年の上季から「新梨子圧気工場」(以降、通洞動力所とも記す)が新設されることになった。なお、据え付けられた圧気機は「ハリケン・インレット式・P.E-2番クロス・コンパウンド・ダイレクト・コネクテッド・エレクトリック・ドーブン圧気機」の2台で、最大圧力125フィート、使用圧力100フィート、空気量は毎分1,700立方尺(47.3m<sup>3</sup>)で、ピストンを直付けの電動機で動かすタイプのものでその電動機は「シンクロナス」式320馬力「エキサイター」30キロワットで毎分1,000回転するものであった。まずは1912(明治45)年上季に1台が据えつけられ、この1台と輸送費等と工場建造費などを含めて総経費約85,443円で、このうち機械費が約37,940円(圧気機1台約32,701円、基礎約3,323円、据付約1,915円)、輸送および装置費で約39,541円、建屋費が約2,940円であった<sup>[17]</sup>。そして1912(大正元)年9月に同型の圧気機1台(約32,162円)が追加で据えつけられた<sup>[18]</sup>。

### (5) 本山動力所及び小滝動力所の建造

1913(大正2)年の段階では、上述した1911(明治44)年建造の通洞動力所の1号機および2号機の圧気機(表-4)から送られて来る空気ですべての山の殆どを賄っており、これまで使用されてきた坑内の圧気機はその予備として用いられていた。通洞動力所が建造されて間もなくであった

表-3 鑿岩機の種別使用台数(明治45年下季)

鑿岩機種別	本山	小滝	通洞
ライナー式五番型C			39
ライナー式六番型八号	8	17	
インガーソル・サーゼント式B廿四番型	17		
ハードソック式リットルウォンダードリル		2	10
インガーソル式ストーパーBC十一番型	6		
インガーソル式ストーパーBC廿一番型	10		
サリバン式DA廿一番型			20
計(台数)	41	19	69

表-4 各動力所に導入された圧気機と現存状況

機体番号	クラス	当初設置年および設置場所	移設先	2018(平成30年)での状態
1号	PE-2	1911(明治44)年 通洞動力所 (新梨子圧気機工場)		不明
2号	PE-2			不明
3号	PE-2	1913(大正2)年 本山動力所 (本山圧気機工場)		不明
4号	PE-2			現存
5号	PRE-2	1916(大正5)年 小滝動力所 (小滝圧気機工場)	通洞動力所 (新梨子圧気機工場)	不明
6号	PRE-2		本山動力所 (本山圧気機工場)	不明
7号	PRE-2	1927(昭和2)年(増設) 通洞動力所 (新梨子圧気機工場)		不明
8号	PRE-2	1930(昭和5)年(増設) 本山動力所 (本山圧気機工場)		現存
9号	PRE-2-X	1939(昭和14)年(増設) 通洞動力所 (新梨子圧気機工場)		不明

が、鑿岩機を用いた全山的な開発が進められ坑内開発も鑿岩機に傾倒していくこと、また、今後進められるであろう現在よりも下部の開発を考えた場合、空気を遠距離の送達する事情から圧力低下（供給不足）も懸念されたことなどから、同年より本山においても通洞と同様に圧気機工場（以降、本山動力所と記す）を建造することになり翌年の1914（大正3）年1月に竣工した<sup>[19]</sup>。その後の1916（大正5）年、小滝においても圧気機工場（以降、小滝動力所と記す）が建造されることになった<sup>[20]</sup>。こうして坑内の圧気機は廃止され、坑外の動力所で賄われるという形が出来上がっていった。なお、空気の供給が坑内から坑外へと切り替わったことで、これまでと比較し好都合な部分と不都合な部分も生じるようになったが、好都合な部分については、高温多湿で膨張している空気を用いなくて済むこと、坑外からの空気が供給されることで坑内の通気的环境も良くなり労働環境が良くなること、坑内の空気ほど亜硫酸を含まないので圧気機の故障も少なくなること、坑内に散在していた圧気工場が本山と小滝と通洞の三箇所限定されるので監督上都合が良いこと、圧気機の気筒を冷やすための冷却水を得やすいこと、圧気機を動かすための働動線（電線）などを遠距離架設しなくて済むことなどがあった。そして、不都合な部分としては、圧搾空気を坑外から引き込むための鉄管に多くの費用を要すること、切羽などの各作業場に引き込む距離が長くなることから空気の漏えいと管内摩擦などから損失（圧力低下）が多くなることなどが見込まれた<sup>[21]</sup>。

### 3. 設置された圧気機と本山動力所の増改築

#### (1) 各動力所に設置された圧気機

足尾銅山において通洞、本山、小滝の動力所に導入された圧気機は当初それぞれ2台ずつで、それぞれ番号が振られ管理がされていた。通洞のものは1号機と2号機、本山のものは3号機と4号機、小滝のものは5号機と6号機であり、1号から4号機はインガーソルランド社製でCLASSはPE-2と呼ばれるものであり、5号と6号機は同じくインガーソルランド社製でCLASSはPRE-2と呼ばれるものである。その後、1927（昭和2）年には7号機（インガーソルランド社製でCLASSはPRE-2）が通洞動力所に増設され<sup>[22]</sup>、1930（昭和5）年には図-5のように8号機（インガーソルランド社製でCLASSはPRE-2）が本山動力所に増設され<sup>[23]</sup>、1939（昭和14）年には図-6のように9号機（インガーソルランド社製でCLASSはPRE-2-X）が通洞動力所に増設された<sup>[24]</sup>。さらにその後も小滝の方面での圧気機の使用が無くなったことから<sup>[25]</sup>、それらが移転された結果、通洞動力所には1号、2号、7号（増設分）、9号（増設分）、5号（小滝からの移設分）が整備され、本山動力所には3号、4号、8号（増設分）、6号（小滝からの移設分）が整備されていった<sup>[26]</sup>。主として鑿岩機として使用されたがその他にも空気捲揚機（タガーホイスト）の動力やその制動機用としても用いられていた<sup>[27]</sup>。以上を纏めると圧気機は前掲の表-4のとおりとなる。

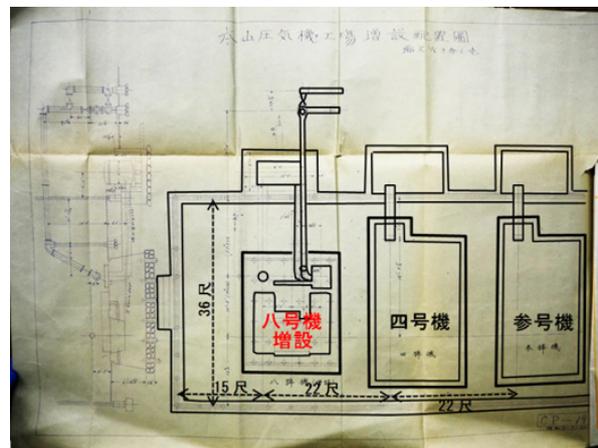


図-5 本山動力所の8号機増設時の申請図面

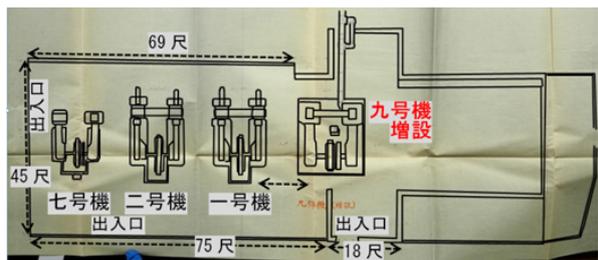


図-6 通洞動力所の9号機増設時の申請図面

## (2) 現存する圧気機

これまで、圧気機の移設というものが行われた経緯があり、さらに通洞動力所および小滝動力所の圧気機が現存していなかったため、本山動力所内に現存していた2台の圧気機の系譜が不明であったが、上述の経緯と現存する圧気機を照らし合わせ写真-5のように4号機と8号機が残されていることが明らかとなった。写真-6は4号機に取り付けられていた銘板で写真-7は8号機に取り付けられていた銘板であり、それぞれCLASSはPE-2とPRE-2であることも確認された。また、図-7はインガースランド社のカタログに掲載されていたPRE-2の機体であり、この図および機体の解説と8号機（PRE-2）を照合したところ、ほぼ欠損なく残っていることが判明した<sup>[28]</sup>。



写真-5 現存する4号機（手前）と8号機（奥）

## (3) 本山動力所の増改築

本稿で取りまとめられた圧気機設置の経緯によれば、上掲の表-4のように、本山動力所に設置されていた圧気機は増設および移設も含めると最大で4台となる。図-8は1927（昭和2）年9月の本山動力所とその周辺の様子を表すものであり、この当時は3号機および4号機の2台が格納されて時期である<sup>[29]</sup>。本山圧気機工場の敷地は出澤の上流側ではモーター修繕場や浴室の敷地と接している。この後の1930（昭和5）年には前掲図-5のように8号機増設されるため、図-8の東側の部分が増築され、また、1956（昭和31）年の夏の時点よ



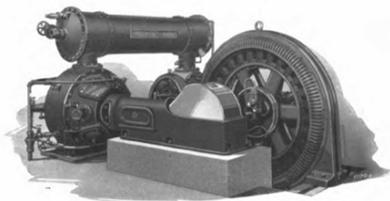
写真-6 4号機の銘板の確認状況



写真-7 8号機の銘板の確認状況

## PRODUCTS CATALOG

Class "PRE-2" Air Compressors  
Direct-Connected Electric Motor Drive  
Discharge Pressures 60 to 115 Pounds



Class "PRE-2" Compressors are of the duplex, two-stage construction having the rotor of the electric motor direct-connected to the compressor shaft. The heavy tangye frame construction is entirely enclosed and dust-proof, removable covers affording ready inspection of all running parts. Air cylinders are fitted with Ingersoll-Rand plate valves for both intake

図-7 カタログに掲載されているPER-2の図と解説

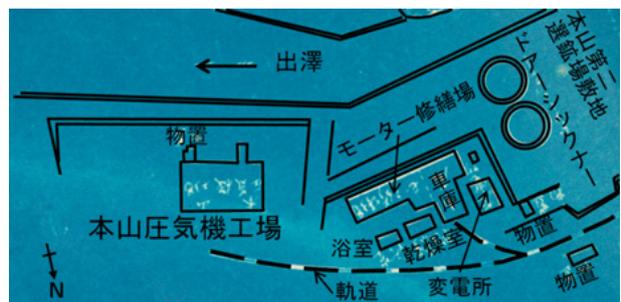


図-8 本山動力所とその周辺施設（昭和2年）

りも前に6号機が移設されるため、図-8の西側の部分がさらに拡張され増築されたはずである。このことは現在進めている建屋の調査（栃木県建築士会への委託調査）においても、図-9のように建造当初の部分とその後の増築された部分とが明らかとなった<sup>[30]</sup>。本山動力所の建屋は木造軸組（クイーンポストトラス）構造、平屋建て、切妻屋根で屋根棟部に2か所の採光用の腰屋根が取り付けられている。本山動力所に限らず、一般的なこととして、動力所（圧気工場）には日常の管理不足や運転トラブルなどにより圧気機を停止させた場合、採鉱作業が停止されることとなり、鉱山の操業上大変不都合を生じることになる。そのため、清浄で塵埃を含まない空気を確保し、清掃および点検などが適切に行えるよう、換気と採光に配慮した造りが求められる。本山動力所の建屋は1914（大正3）年1月に竣工した箇所を基として、換気と採光が行える造りを保ちつつ増改築が進められてきたものと推測できる。

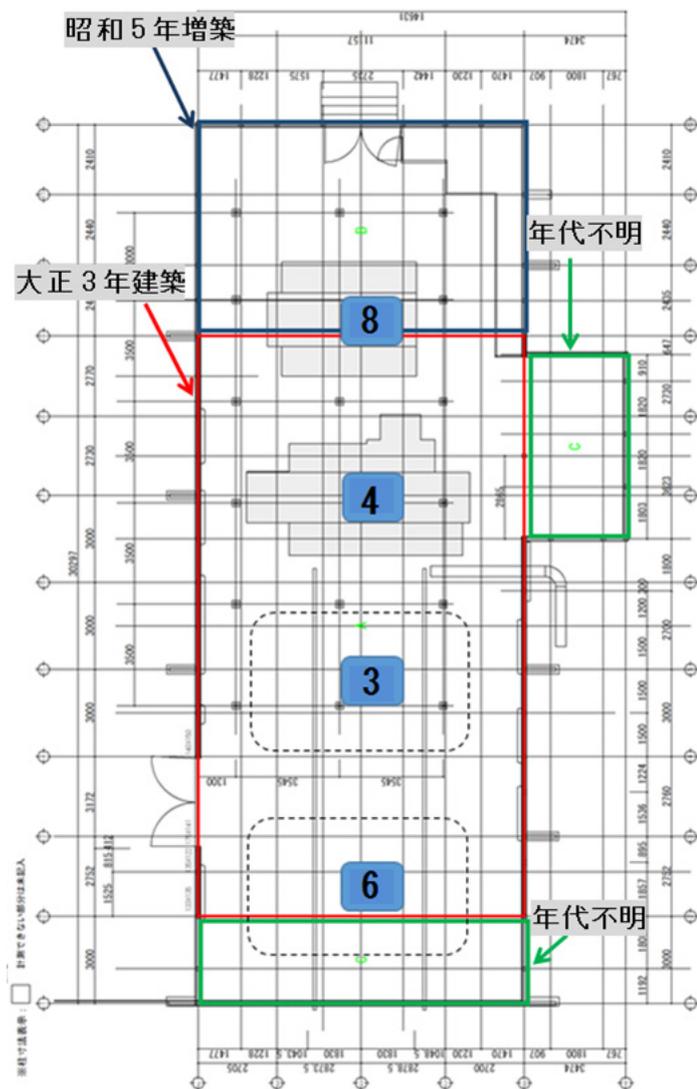


図-9 本山動力所建屋の増改築状況調査

謝辞：本調査を進めるにあたり、一次史料の閲覧では古河機械金属株式会社、東京大学附属図書館および九州大学附属図書館の協力、お茶の水女子大学大による史料整理の恩恵を受けた。さらに現状調査においては河東義之氏（小山工業高等専門学校名誉教授）から指導を頂いた。ここに記して感謝の意を表したい。

#### 補注

[1] 足尾銅山の全体図については1913（大正2）年に発行されたものに地区名、河川名、主要施設位置、坑口、坑道などの記載を加筆した。

[2] 代表的なものとして文献1）から文献12）がある。

[3] 代表的なものとして文献13）から文献20）がある。

[4] 本研究で用いた古河機械金属所蔵の一次史料は文献23）、文献24）、文献25）、文献27）、文献28）、文献29）であり、これまで未公開となっていたものである。古河の史料は1907（明治40）年に起こった鉱夫らによる暴動のために焼失したのもあったが、焼失を免れたものは現在も残っており、本研究の文献調査ではそれらの史料にあたり本研究に資する上記の文献から各史実の記載を発見している。なお、史料の総量は、段ボール箱にして120箱以上、冊数にして1,000冊以上

上確認されている。これらの文書は足尾銅山の鉱業事務所と国（東京鉱山監督局など）や栃木県、古河の本社との間で交わされた命令、伺い、認可、報告などのもので、施設についていえば、鉱区、探鉱・採鉱、選鉱、製錬、軌道、電話、電気、水道など多岐にわたっている。この他に本研究では、東京大学附属図書館所蔵の実習報文である文献21)と、文献22)、文献26)と九州大学附属図書館所蔵の実習報文である文献30)と、文献31)、文献32)を用いている。これらは、明治時代から昭和の時代にかけて、旧帝国大学の鉱山学科（または探鉱・冶金系）の学生が鉱山の現場を学ぶため、全国の金属鉱山や炭鉱に出向き、その記録を報告として残したものである。東京大学附属図書館には足尾銅山に來山した学生らの実習報文が25冊ほど所蔵されており、九州大学附属図書館には11冊ほど所蔵されている。これらの実習報文は製本されたものであるが、その中身は学生自身の手書きで書かれており、図面や写真などとともに足尾銅山の探鉱・採鉱、選鉱、製錬、組織、労働者の生活などが細かく書かれている。図面や文書の内容は著者である学生が実習の際に受入先である鉱業所から入手したり聞き取ったりしたものであるとの判断から、本研究では古河機械金属所蔵の一次史料を補完する意味合いで用いている。

[5] 文献21)のpp.92-109から引用した。鑿岩機使用の開始が1886(明治19)年であることについては文献2)にも記載があり、同文献pp.90-91では本山で1886(明治19)年1月から用いられていること、pp.93では小滝では1888(明治21)年4月から用いられていること、さらにp.95では通洞で1886(明治19)年1月から使用を開始していることが確認できる。また、この時期にいろいろな鑿岩機が使用されていることがわかるが、文献21)によれば「シーメンス式」電気鑿岩機と「ジャックソン式」手鑿岩機と「リットルウォンダー式」気槌鑿岩機および「ショー式」気槌鑿岩機については良好な結果を残せなかったと記されている。なお写真-3は1909(明治42)年頃のものであるがウォーターライナーを使用している例として文献21)から引用し掲載した。鑿岩機に二つ管がつながっており、一つは空気が送られて来る管で、もう一つは写真中央の左側にある水の入ったタンクから水を得るものであり、その水がせん孔中の繰り粉を押し出す働きをする。

[6] この時代、手掘りで掘る鉱夫は「坑夫」と呼ばれ鑿岩機を操作して坑道などを開鑿を進める鉱夫は「進鑿夫」と呼ばれていた。なお、文献21)のp.93の中で1907(明治40)年に光盛第一堅坑と箕子橋堅坑下に圧気機を設置し、横間歩第三堅坑では鑿岩機を使用していることが記されているが、これらはどれも通洞方面の開発として位置づけられる。そのため、1907(明治40)年では鑿岩機は通洞方面でのみの使用となっていたことが窺える。

[7] 文献21)のp.93の表を引用し加筆した。

[8] リットルウォンダー式鑿岩機の図は文献21)のpp.102-103に挿入された図面を引用し加筆したもの。

[9] 1907(明治40)年の頃の圧気機については文献22)のpp.67-68の掲載内容を引用し、1910(明治43)年のころの圧気機については文献21)のp.105から引用した。なお、文献21)の同記載によれば、ライナー式は鑿岩機4台を動かすことができ、シュラム式は鑿岩機3台を動かすことができ、シュラム式のはライナー式のものに比べて劣ると記されている。

[10] 文献21)のp.105の表を引用した。

[11] 圧気機の図は文献21)のpp.104-105に挿入された図面を引用し加筆したもの。ライナー製の圧気機が使用されていたことを示す重要な証拠である。図面には「tow stage」との記載があり、その図でも大きさの違うシリンダー部分が2箇所確認できる。また、電動ではあるが、後に本山動力所に導入されることになった圧気機と異なり、電動モーターが直付けされたタイプのものではないことがわかる。本研究によって新たに示された知見である。

[12] 文献21)のpp.106に挿入された写真を引用した。写真には圧気機と機械夫が写っており、坑内の圧気機工場の存在と様子を示す重要な証拠である。

[13] 文献22)のpp.63-64に挿入されていた図を引用し加筆した。同文献の年代から1907(明治40)年ごろの坑内における圧気機工場(いわゆる坑内の動力所)の様子を知り得る。足倉とは本山方面のヒである。

[14] 文献23)のpp.46-47の記載内容を参考とした。

[15] 文献24)のpp.23-26の記載内容を参考とした。火薬代については開鑿量が増えれば消費量が増えるので、手掘りで進めた場合、ストーパーと同じ量を掘るとすると火薬代も61.9倍程度になる理屈が成立つ。しかし、火薬代が2.2倍ということは2.2/61.9で、1/28.1程度に代金を抑えたことになる。つまりストーパーの使用により作業能率が著しく向上しつつも単位開鑿量に対する火薬代を著しく抑えたことになる。この後の時代も鑿岩機の導入が進むため、開鑿量が増えて

いくが鑿岩機が導入されることで消費火薬量が減るのではなく、増えることになるので、その点、注意を要されたい。なお、本文中の「インガースル式」ストーパーと記載の部分については、文献24)のp.23では「ハードソック式」と書かれており、同文献のp.43では「ハードソック式」との記載が「インガースル式」に加筆修正されており、本研究中では「インガースル式」を記載している。また、1912(明治45)年の本山と通洞の試験の後すぐにまた本山で試験が行われている。

[16] 表の鑿岩機の種別と台数については文献45)のpp.34-35から引用した。

[17] 文献24)のpp.65-67を引用した。1911(明治44)年の上半に工事に着手し、1912(大正元)年の9月に2台のインガースルランド社の圧気機を据え付けいったん工事を終えた。

[18] 文献25)のpp.60-61を参考とした。

[19] 文献26)のp.45の内容から、通洞動力所のみでは何れ不足を来すため本山動力所を建造していたと判断した。

[20] 文献27)および文献28)中の工作課の報告の中で特に経緯を知ることができる。小滝の動力所は圧気機の到着が予定よりもずいぶん遅れたため竣工も遅れた。文献27)では1916(大正5)年2月の記載に「小滝圧気機工場新設工事ハ合宿所移轉終了シ目下造作ニ従事ス」とあり、さらに11月の記載に「小滝圧気機工場新設工事 同機据付ヲ了シ試運轉ニ着手シタルモ機械ノ一部未着ノ為メ来季ノ繰越」とあり、文献28)では1916(大正5)年12月の記載に「小滝圧気機工場新設 用水引込ソーダ水槽等約八分通り進工」とあり、建屋を含めた動力所全体の竣工は1916(大正5)年の年末かそれを超えた可能性も考えられる。なお、本研究ではこれらの記載と文献29)の記載を参考として小滝動力所の圧気機の設置を1916(大正5)年としている。

[21] 文献26)のp.45から引用した。

[22] 文献29)によれば1930(昭和5)年6月30日付で足尾銅山から東京鑛山監督局長宛に足庶五年第三〇八號「御届」が出されており、この中で35キロワット以上の原動機を使用している圧気機を報告しており、それによれば、通洞の動力所には1号、2号、7号が設置されており、本山の動力所には3号、4号が設置されており、小滝の動力所には5号、6号が設置されていることが示されている。本文中に掲載の1号から7号機までのクラスについてはこの文書を参考とした。なお、各実習報文の中ではクラスや出力についてこれらの記載と異なっている部分が見られるが本研究では実習報文の方を誤記として扱った。

[23] 文献29)によれば1930(昭和5)年11月15日付で足尾銅山から東京鑛山監督局長宛に足庶五年第五六八號「御届」が出されており、本山動力所に第8号機の増設工事を1930(昭和5)年11月25日完了予定で進める旨が書かれている。図-5はその際の添付図面である。

[24] 文献29)によれば1939(昭和14)年5月12日付で足尾銅山から東京鑛山監督局長宛に足庶第874號「空気圧縮機増設届」が出されており、その中で通洞坑外(1号機の西側川下)にインガースルランドのクラスP・R・E-2-Xを設置する旨が書かれており図-6に示した図面が添付されている。

[25] 文献30)のp.60にはこれが記載されたであろう1956(昭和31)年の夏の時点において小滝の圧気機の記載はなく、5号機が通洞の動力所に、さらに6号機が本山動力所にあることが記載されている。また、文献31)のp.72にもこれが記載された1962(昭和37)年の夏の時点において小滝の圧気機の記載はなく、そのうえ5号機自体についての記載がなく、6号機が本山動力所にあることが記載されている。このことより遅くとも1956(昭和31)年の夏の時点よりも前に小滝で圧気機が使用されることがなくなり、5号機は通洞の動力所に、6号機は本山の動力所に移設されたと判断した。なお、これらのことから5号機のみ1956(昭和31)年から1962(昭和37)年の間のいずれかの時点で全く用いられなくなったものと判断できる。

[26] 文献31)のpp.72-73で通洞および本山動力所内に整備されている圧気機の番号を確認した。この他、空気を送付する管は腐食や酸に強いことなどから塩化ビニルが用いられ、その他にも鑄鉄管や銅管、引抜鋼管、ゴムなども用いられていたことが記されている。

[27] 圧気機が鑿岩機と捲揚機とその制動機に用いられていたことは文献29)中の足庶五年第三〇八號「御届」と文献32)のpp.27-28で確認できる。また同内容から捲揚機がタガーホイストであることが確認できる。さらに、同ホイスト(ウインチ)が圧搾空気動くものであることが文献33)のpp.124-125で確認できる。なお、坑内の全ての捲揚機が圧搾空気を動力としていたわけではないのでその点注意を要したい。

[28] 写真-5と写真-6と写真-7は2018(平成30)年5月撮影のもので、写真-6の上部中央左には「CLASS PE-2」の

文字が確認できる。なお、写真-7には「PRE-2」の文字が確認できるが、見えづらいので写真の上に加筆して掲載している。  
また、図-7は文献34)の「9207-Page30」から引用したものである。

[29] 図-8は文献35)から引用し加筆した。

[30] 増改築跡に関する詳細な検証結果は文献36)として纏められている。

#### 参考文献

- 1) 鉱山懇話会：日本鉱業発達史，上巻，1932.
- 2) 栃木県史編さん委員会：栃木県史，史料編，近現代九，ぎょうせい，1980.
- 3) 日本経営史研究所：創業100年史，古河鉱業株式会社，1976.
- 4) 五日会：古河市兵衛翁伝，富士印刷株式会社，1926.
- 5) 茂野吉之助：木村長兵衛翁伝，富士印刷株式会社，1937.
- 6) 茂野吉之助：木村長七自伝，富士印刷株式会社，1938.
- 7) 足尾町教育委員会，足尾町文化財調査委員会：足尾銅山の産業遺跡，随想社，2006.
- 8) 経済産業省：近代化産業遺産群33，2007.
- 9) 文化庁文化財部記念物課：近代遺跡調査報告書-鉱山-，ジエース教育新社，2014.
- 10) 村上安正：足尾を歩く-足尾の産業遺産を訪ねて-，わたらせ川協会，1998.
- 11) 小野崎敏：小野崎一徳写真帳 足尾銅山，新樹社，2006.
- 12) 村上安正：足尾銅山史，随想社，2006.
- 13) 日本鑛業会：足尾鑛山現況，日本鉱業会誌，30巻，353，pp.577-607，1914.
- 14) 日本鑛業会：往復動空気壓縮機の發達，日本鉱業会誌，35巻，418，pp.1164-1172，1919.
- 15) 青山秀三郎：鑛山の空気壓縮機，日本鉱業会誌，40巻，476，pp.823-865，1924.
- 16) 鈴木揆一：インガーソルランド會社製鑿岩機の特長，日本鉱業会誌，40巻，476，pp.823-865，1924.
- 17) 青山秀三郎：空気壓縮機の試験，日本鉱業会誌，42巻，499，pp.905-916，1926.
- 18) 下村弥太郎：欧米の鉱山で見た採鉱技術，日本鉱業会誌，77巻，876，pp.401-412，1961.
- 19) 山口梅太郎：鉱山における圧縮空気の高圧化について，日本鉱業会誌，84巻，960，pp.457-464，1968.
- 20) 佐藤一夫：神岡鉱山における圧縮空気の高圧化，運転合理化，日本鉱業会誌，85巻，974，pp.411-418，1969.
- 21) 古市六三：足尾銅山通洞採鑛報告，四冊之内第二巻，東京大学附属図書館所蔵，1910.
- 22) 玉木二五三九：足尾銅山通洞採鑛報告，東京大学附属図書館所蔵，1907.
- 23) 坑部課：坑部課事業記録，明治四十二年上季，古河機械金属，編纂年不明.
- 24) 坑部課：坑部課事業記録，明治四十五年上季，古河機械金属，編纂年不明.
- 25) 坑部課：坑部課事業記録，明治四十五年下季，古河機械金属，編纂年不明.
- 26) 小島庸一：足尾銅山通洞報告，東京大学附属図書館所蔵，1919.
- 27) 足尾鑛業所：操業月報，大正五年度，古河機械金属，編纂年不明.
- 28) 足尾鑛業所：操業月報，自大正五年十二月至大正六年十一月，古河機械金属，編纂年不明.
- 29) 庶務課：庶務課文書，自昭和五年至昭和二十六年三月，捲揚機汽罐一般機械之綴，古河機械金属，編纂年不明.
- 30) 今田尚男：足尾銅山本山坑実習報告，九州大学附属図書館所蔵，1957.
- 31) 河内広太郎：足尾鑛業所通洞坑実習報告，九州大学附属図書館所蔵，1963.
- 32) 鶴飼誠：足尾通洞坑報告，九州大学附属図書館所蔵，1941.
- 33) 永積純次郎：採鉱学，第4巻，丸善，1936.
- 34) Ingersoll-Rand Company：Ingersoll-Rand products，From No.9207 Superseding 9107，First Edition，1921.
- 35) 足尾鑛業所：足尾銅山建家配置圖，1927.
- 36) 栃木県建築士会：国指定史跡 本山動力所建屋修復案・本山鉱山神社修復案，足尾銅山関連建造物基礎調査および修復案作成業務委託，2017.

# 通洞選鉱所における浮遊選鉱法の導入とその試行錯誤

青木 達也 宮本 史夫

## 1. 本調査報告の位置づけ

本調査報告では、図-1<sup>[1]</sup>に示す通洞選鉱所<sup>[2]</sup>における明治中期以降から昭和10年までの間の浮遊選鉱法の導入過程とその試行錯誤と、本山地区と小滝地区の選鉱場の休廃止と通洞第二選鉱所との関係、さらには、通洞第二選鉱所敷地内に建てられた亜鉛工場や湿式製錬の試験施設と、昭和に入ってからの新工場および周辺のシックナーの建設までの経緯を記す。なお、以降で記す調査結果は一次史料<sup>[3]</sup>を主として、既往の研究報告<sup>[4]</sup>およびその他の資料<sup>[5]</sup>を用いて纏め上げ土木学会（第38回土木史研究発表会）で発表がなされている論文から抽出し紹介するものである。

## 2. 浮遊選鉱の試験と導入過程

大正時代に入ると古河の技師である山田と小島が欧米を視察し、欧米の選鉱方法の先進ぶりに驚愕したことなどもあり<sup>[6]</sup>、足尾銅山にも浮遊選鉱法<sup>[7]</sup>の技術の導入が進められることになった。欧米の他鉱山の選鉱所をそのまま模倣するのではなく、本山、小滝、通洞の各選鉱所にある古い機械を入れ替えて改善しつつ、従来からの人と機械によって行われる選鉱作業<sup>[8]</sup>の流れの一作業に浮遊選鉱機を入れ、選鉱作業全体（手選選鉱と比重選鉱と浮遊選鉱）で精鉱の実収率を上げるとともに、製錬所での粉鉱処理のために精鉱の品位を上げることを目指すことになった。こうして、比重選鉱法と浮遊選鉱法を組み合わせる導入試験が小滝の第三選鉱所で1915（大正4）年4月から開始された。試験は第一回から第五回まで行われ<sup>[9]</sup>、その中で、各選鉱機械の鉱量、品位、水量、濃度などが計測されるとともに、候補として検討されている大角式浮遊選鉱機（図-2<sup>[10]</sup>のもの）と、ミネラルセパレーション（図-3<sup>[11]</sup>のもの）の2種の浮遊選鉱機の有用性が比較された。その結果、比重選鉱に使用されていた機械についてはより実収率が高い機械に代えられ、浮遊選鉱機についてはミネラルセパレーションが採用されることとなった。

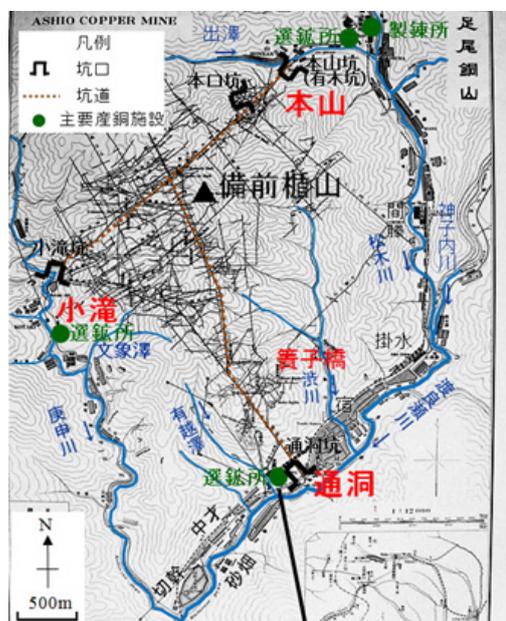


図-1 通洞選鉱所の位置と現況写真

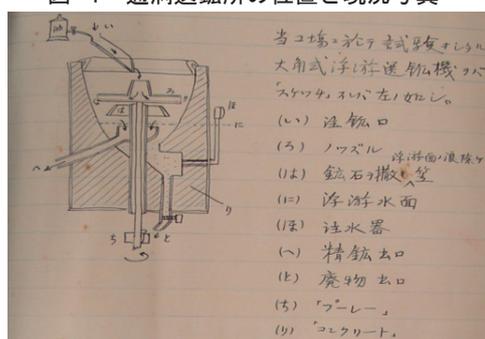


図-2 大角式浮遊選鉱機



図-3 ミネラルセパレーション型浮遊選鉱機

### 3. 通洞選鉱所の変遷

#### (1) 浮遊選鉱法導入試験の成功と本山第二選鉱場と通洞第二選鉱所の改修計画

1916（大正5）年ごろの足尾銅山では、坑内から産出される粗鉱の含銅品位が下がり、従来の選鉱機械では選鉱処理が困難になるであろうという見通しが持たれ、さらに、選鉱所についていえば働力と用水を節約し、合わせて運搬効率の改善を図り、選鉱費を削減することが必要とされるなど、選鉱方法については全山的な改善が求められていた<sup>[12]</sup>。このような情勢のもとで、先述した小滝第三選鉱所での比重選鉱機械と浮遊選鉱機械の試験結果により足尾銅山の選鉱法の革新の目途が立ったこともあり、足尾銅山では全山的な選鉱所の改修が進み始めることとなった<sup>[13]</sup>。まず始めに本山と通洞選鉱所の改修の検討がなされ、本山の選鉱所においては第二選鉱所を改修して機械を入れ替えてさらに第三選鉱所を廃止し、通洞では第二選鉱所を改修して機械を入れ替えるため、まずはこれらの許可申請が1916（大正5）年12月11日付でそれぞれ東京鉱務署長宛に出された。史料-1<sup>[14]</sup>はそれらのうち通洞第二選鉱所についてのものであり、表-1<sup>[15]</sup>はそれに添付された仕様書に記載された導入予定の選鉱機械類の一部である。こうして、通洞選鉱所は浮遊選鉱法の導入で図-4<sup>[16]</sup>の状態から、以降、改修に伴う手続きが進められることになった。

#### (2) 浮遊選鉱法の導入過程と新たな選鉱法が全山的に及ぼした影響

前述のとおり、本山第二選鉱所と通洞第二選鉱所において浮遊選鉱法が導入されることになったが、この浮遊選鉱法の導入の影響はこの二箇所の選鉱所だけではなく、以降、全山的に及ぼされることになる。

御願  
 当社足尾銅山ニ於ケル坑内産出粗鉱ノ含銅品位其他ノ關係ヨリ選鉱方法ニ變更ヲ加フルノ必要相生シ候ニ就テハ今般別紙仕様書ノ如ク通洞第二選鉱工場ヲ改修仕度候ニ付御許可被成下別紙關係書類圖面相添ヘ此段及御願候也  
 大正五年十二月十一日  
 東京市麹町区八重洲町一丁目一番地  
 古河合名會社  
 右代表者社員 古河虎之助  
 東京礦務署長 中村清彦殿

史料-1 東京鉱務署宛の通洞選鉱所の改修願

表-1 大正5年12月11日申請時の機械数の比較

大正5年12月現在での選鉱機械とその台数			改修後における導入予定選鉱機械とその予定台数		
機械名称	台数	作業分類	機械名称	台数	作業分類
クラドル	12	分級	120粒斜格子	8	分級
150粒水平格子	1	分級	60粒斜格子	8	分級
70粒水平格子	1	分級	60粒手選台	8	選別
60粒水平格子	1	分級	洗浄機	2	分級
150粒以上大割台	1	粉碎	35粒トロンメル	4	分級
洗浄給鉱用フィーダー	2	分級	35粒ヒツキングベルト	2	選別
40粒トロンメル	2	分級	17粒トロンメル	4	分級
35粒トロンメル	4	分級	2粒トロンメル	4	分級
25粒トロンメル	2	分級	10"×7"プレーキクラッシャー	2	粉碎
17粒トロンメル	8	分級	16"×10"プレーキクラッシャー	1	粉碎
9粒トロンメル	8	分級	36"サイモンズチッククラッシャー	2	粉碎
5粒トロンメル	6	分級	14"×30"クロムロール	2	粉碎
3粒トロンメル	6	分級	10"×30"クロムロール	1	粉碎
2粒トロンメル	8	分級	17粒トロンメル	2	分級
コメットクラッシャー	1	粉碎	2粒トロンメル	2	分級
プレーキクラッシャー	1	粉碎	9粒トロンメル	2	分級
クロム式ロール	2	粉碎	5粒トロンメル	2	分級
スターバンド式ロール	2	粉碎	9粒トロンメル	4	分級
70-40粒不動手選台	1	選別	6尺コーン	2	分級
60-35粒不動手選台	1	選別	5尺トロンメル	4	分級
大粒シツカー	30	選別	8尺コーン	1	粉碎
細粒シツカー	27	選別	デクレイニングテーブル	4	選別
二重水圧分類器	9	選別	大粒ハルツジツク三聯式	20	選別
リンクンパツハ水圧分類器	2	選別	大粒ハルツジツク三聯式	8	選別
自然分類器	10	選別	ハンロックツツク	2	選別
オーバーストローム式テーブル	20	選別	4.5"×36"スターテバンドロール	2	粉碎
ウィルフレウスライムテーブル	2	選別	3粒トロンメル	2	分級
電動機	3	その他	8尺コーン	2	粉碎
			8尺コーン	3	粉碎
			6尺コーン	3	粉碎
			ウィルフレラッピングテーブル	6	選別
			縷片式スクリーン	2	分級
			縷片式スクリーン	4	分級
			ウィルフレクリーニングテーブル	9	選別
			ハーデンミル	2	粉碎
			テフロシツクマシン	1	選別
			浮遊選鉱機	1	選別
			6尺コーン	1	粉碎
			リバーフィルター	1	産物と水の処理
			エーキンスクラッシャー	6	粉碎
			40尺ドアシツカー	2	産物と水の処理
			精鉱斜道捲揚機	1	その他
改修前の作業分類別機械数			改修後の作業分類別機械予定数		
分級機械数	61		分級機械数	54	
粉碎機械数	7		粉碎機械数	30	
選別機械数	102		選別機械数	61	
その他	3		その他	1	
合計数	173		合計数	146	

一つ目は改修に要する期間と全山的な選鉱所のバランスである。比重選鉱法と浮遊選鉱法を組み合わせる際に導入される機械類が選鉱工程を完了させる上で機能的および台数的に十分であり、かつ作業が複雑にならないような配置や組合せがなされなくてはならず、このための試行錯誤は実際の導入の過程の中で行わざるを得ない。さらに、この試行錯誤に伴って導入を見込んでいた機械類を変えざるを得ないことになれば、当初より目論んでいた本山、小滝、通洞の各選鉱所に担わせる鉱石の処理量のバランスも変化するため、浮遊選鉱法の導入は局所的なものだけでなく結局のところ全山的な選鉱所のバランスを再検討させることにつながる。そのため、史料-2から史料-10<sup>[17]</sup>に示した通り、本山第二選鉱場と通洞第二選鉱所の改修計画以降、小滝の選鉱所についての改修も視野に入れて全山的改修が検討されることになっていった。それぞれの選鉱所とも改修に着手しながらも最適な鉱石の処理の流れとそれを構成する機械類を模索しながら進められたため、途中で設計変更を要し、結局のところ、比重選鉱法と浮遊選鉱法を組み合わせ新たな選鉱法を採用し全山的な選鉱所の改修が落ち着くまでには数年間を要することになった。なお、1916（大正5）年12月11日付で出された通洞第二選鉱所の完了届が出されたのは1919（大正8）年3月であり、その後も増設による回収が繰り返されることになっていった。さらに、この試行錯誤の過程の中で、小滝選鉱所の改修に向けた動きは変化し廃止へと繋がっていくことになった。

二つ目は採鉱における鉱床開発の促進と鉱石の有用性の拡大である。比重選鉱法と浮遊選鉱法を組み合わせ新たな選鉱方法がこれまでよりも低品位の鉱石の処理を可能とさせたことで、それまで坑内から搬出するに値しないほど品位が低い鉱床が、採鉱するに値するほどの価値を有することになり、これによって採鉱できる箇所が広がったのである<sup>[18]</sup>。

三つ目は廃棄物処理（廃石、廃滓、廃水）についてである。これまでは選鉱後に廃棄せざるを得なかった廃石が銅の回収が可能な鉱石として価値を有することになり、選鉱工程において廃棄されるものの含銅量の幅が狭まった。さらに、切幹沈

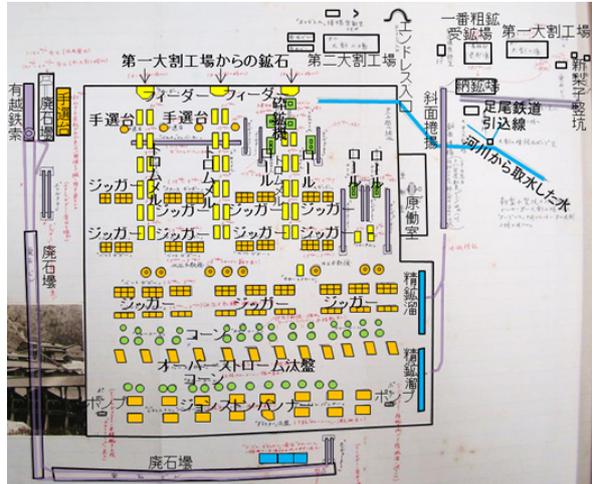


図-4 浮遊選鉱法導入直前の通洞選鉱所の施設配置

大正六年六月二十四日 採鉱課長  
 經理課長殿  
 當課選礦工場ニ於ケル用水並ニ經費ノ節減ノ關係ヨリ選礦方法ニ變更ヲ加フルノ必要相生ジ候ニ就テハ今般別紙仕様書ノ如ク本山並ニ通洞第二選礦工場ヲ改修仕度又未ダ設置出願致サバル小滝第二第三選礦工場ノ設置ヲ出願致度候ニ付可然御取計下サレ度別紙關係書類圖面相添へ此段及御依頼候也

史料-2 社内經理課宛の各選鉱所の改修及び設置伺

足庶五四七號  
 選礦工場改修願  
 當礦山選礦工場ニ於ケル用水並ニ經費節減ノ關係ヨリ選礦方法ニ變更ヲ加フルノ必要相生シ候ニ付テハ今般別紙仕様書ノ如ク本山並ニ通洞第二選礦工場ヲ改修シ反射爐ノ完成ヲ俟ツテ操業ヲ開始致度別紙仕様書、圖面並ニ添申書相添願上候也  
 大正六年七月五日  
 栃木縣採掘權登録第五號及第八八號  
 足尾銅山鑛業代理人 浅野幸作  
 東京鑛務署長 中村清彦殿

史料-3 東京鑛務署宛の本山及通洞第二選鉱場改修願

東鑛六年第一九三號  
 栃木縣採掘權登録第五號  
 足尾銅山  
 鑛業代理人 浅野幸作  
 大正六年七月九日付願出ニ係ル選礦場改修ノ件認可ス  
 大正六年七月廿七日  
 東京鑛務署長中村清彦

史料-4 本山及通洞第二選鉱場改修認可

澱池脇に仮工場が建てられ、選鉱所からそれまで砂滓（廃滓）として捨てられていたものを再選鉱し銅を改修することが行われ始めた<sup>[19]</sup>。また、選鉱で使用した廃水は、増強されたシククナー<sup>[20]</sup>とポンプで再利用できるようにし、廃水量の増加を抑えつつ取水した水の節約も実現させた。

四つ目は製錬についてである。選鉱所から製錬に回されることになる精鉱も変化するため、これに適するであろう新たな反射炉の導入の可能性（製錬所で試験的に導入されたが結局失敗に終わった製錬用の炉）やこれまで行われていた乾式製煉の代わりに亜硫酸ガスを著しく抑えることのできる湿式製錬<sup>[21]</sup>の導入の可能性（通洞第二選鉱所敷地内で試験が実施されたが実用に至らなかった製錬方法）を持たせることになった。なお、この湿式製錬については大正時代の末に通洞第二選鉱場の敷地内で実施されていることから以降で詳述する。

### (3) 本山選鉱場の休止および小滝選鉱場の廃止と通洞選鉱所の増設

先述したとおり、浮遊選鉱法を組み合わせた新たな選鉱法の導入が足尾銅山の鉱源開発から製錬に至るまで影響を及ぼし、各生産拠点における選鉱のバランスにも変化を生じさせた。本山においては第三選鉱場が1919（大正8）年に廃止され<sup>[22]</sup>、小滝選鉱所においては第三選鉱工場の改修を進めた後すぐに小滝第二工場と第三工場の廃止が進められた<sup>[23]</sup>。そして、この後以降においてもその他の事情も含みながら通洞第二選鉱場が増設されていくことになった。一つは坑夫の減少と粗鉱の搬出量の激減である。史料-11<sup>[24]</sup>に示すようにこれらのことが影響して本

東嶺七年第一九六號  
栃木縣採掘權登録第五號  
八八  
鑛業代理人 木部一枝  
大正七年十二月十五日附選礦工場改修設計變更願ノ件認可ス  
大正八年二月十二日  
東京鑛務署長 中村清彦

史料-8 東京鑛務署からの改修認可

足庶七年第一〇〇六號  
選礦工場改修設計變更願  
曩ニ東嶺第一九三號ヲ以テ御認可ヲ得候當所各選礦工場改修ノ儀着々進行中ニ御座候處右設計中ニハ稍々複雑ニシテ不便ノ箇所モ有之候ニ付設備相互間ノ聯絡ヲ圓滑ニシ操業ノ便ヲ計リ更ニ經費ノ節約ヲ企劃スルノ目的ヲ以テ各工場共別紙仕様書ノ通り設計變更致度候間何卒御認可被成下度關係書類並圖面相添へ此段及御願候也  
栃木縣採掘權登録第五號  
八八  
大正七年十二月十五日  
足尾銅山鑛業代理人  
木部一枝  
東京鑛務署長 中村清彦殿

史料-5 東京鑛務署宛の改修變更願

採發第六〇號  
大正七年十二月六日  
經理課長殿  
選礦工場改修工事變更之件  
大正六年六月出願當時ニ於ケル各選礦工場設備ハ稍々複雑ニシテ現今ニ於ケル技術ノ進歩ニ伴ハサルノ狀況ナルヲ以テ設備ヲ簡單ニシ操業ノ便ヲ計リ更ニ經費ノ節約ヲ企劃スルノ目的ヲ以テ各工場共別紙仕様書ノ通り改修工事ヲ變更致度候ニ付可然御手續相煩度此段及御依頼候也  
追而附屬圖面ハ追テ提出可致候

史料-6 社内經理課宛の改修工事變更伺

足庶八年第一〇號  
御願  
曩ニ大正七年十二月十五日附足庶第一〇〇六號ヲ以テ當所各選礦工場改修變更ノ儀ニ付キ御認可申請書提出致候處同書類附屬各選礦場系圖ニ誤記有之事ヲ發見致候ニ付テハ甚ダ御面倒恐縮ノ次第二御座候得共新タニ各工場選礦系圖提出致候間御取替被成下度此段御願申上候也  
大正八年一月七日  
栃木縣採掘權登録第五號  
八八  
足尾銅山鑛業代理人  
木部一枝  
東京鑛務署長 中村清彦殿

史料-7 東京鑛務署宛の選鉱系図變更願

足庶八年第二四八號  
選礦工場改修工事完成届  
大正八年二月十二日附東嶺七年第一九六號ヲ以テ御認可相成候当初選礦工場改修工事ノ儀今般竣成致候ニ付テハ此段及御届候也  
大正八年三月十五日  
栃木縣採掘權登録第五號  
八八  
鑛業代理人  
木部一枝  
東京鑛務署長 中村清彦 殿

史料-9 東京鑛務署への工事完了届

山と通洞で支えていた足尾銅山の選鉱作業の重心が通洞に傾いていくことになった。そして小滝の第一選鉱場の廃止と本山の第一と第二の休止が進められることになった。なお、通洞第二選鉱場には休止となった本山の選鉱場<sup>[25]</sup>から機械類が通洞に持ち込まれたほか、全山の鉱石の選鉱を担うための増設がなされることになった。

さらに二つ目のこととして、採鉱における鉱石の質の変化なども挙げられる。1923（大正12）年3月4日には鉱石中の珪酸の量が多い事より熔鉱（製錬の一作業）で多額の経費が掛かるようになり、そのため選鉱の段階で珪酸を取り除く目的で足尾銅山から東京鉱務署長に「選鉱場設備増設願」が出され、同年

の5月7日に認可を受けて同年7月8日には一部の完成届を出して同月の12日付で認可を受けるなどしている<sup>[26]</sup>。さらに1925（大正14）年には、この時代の鉱源の主力であった河鹿から閃亜鉛鉱（亜鉛の硫化物を主とする鉱石）が産出されたことが影響し<sup>[27]</sup>、この閃亜鉛鉱の処理のため、通洞第二選鉱所の敷地内の第一大割工場のところに移設されていた通洞第一工場の側（つまり納鉱場の東隣で法面にかかる位置）<sup>[28]</sup>において「亜鉛選鉱場」が建設されることになった<sup>[29]</sup>。なお、この「亜鉛選鉱場」では浮遊選鉱法が導入され、さらにマグネチック汰盤（磁力選鉱機）が導入されている<sup>[30]</sup>。

#### （4）通洞第二選鉱場敷地内における湿式製錬法の試み

足尾銅山における鉱害については水の問題と土砂の問題と鉱煙の問題があるが、鉱煙に関してはその中に含まれる亜硫酸ガスや鉱塵（重金属の塵）の処理が進められ、本山にある製錬所において1897（明治30）年に脱硫塔が導入され、さらに1915（大正4）年に稀釈法、1918（大正7）年にはコットレル電気収塵機の導入がなされる経緯を辿ってきた。しかし、製錬所周辺の荒廃した山林は回復せず水源涵養林としての機能を失った状態が続いたため、それが要因と考えられる渡良瀬川下流域の濁水と洪水の問題については解決がなされておらず、特に亜硫酸ガスの処理については脱硫塔と稀釈法の導入の効果が期待通りにはならない結果となっていたため、今後、解決すべき課題となっていた<sup>[31]</sup>。このような鉱害問題の状況下において、浮遊選鉱法を組み合わせた新たな選鉱法が採用されたことで、通洞選鉱場では粒径が細かな精鉱がより多く扱われるようになり、この流れが亜硫酸ガスの処理の新たな試みと繋がっていくこととなった。古河は米国のアホで行われていた湿式製錬の成果が亜硫酸の消費率95%近くであったとされることから、この新たな湿式製錬法が成功すれば大気中に放散される亜硫酸ガスが差し支えないものになるとの判断で、通洞選鉱場から出されたものと切幹沈澱池に沈澱している泥鉱と原堆積場の泥鉱の三種を用いた試験を行うため1925（大正14）年12月15日付で「湿式製錬試験工場」の設置許可申請を行った。これに添付されていた「湿式精錬試験工場設計説明書」によれば、上記の三種の鉱石（粉鉱）を焼鉱していったん全て硫酸銅とし、それを冷却後に稀釈された硫酸用液に漬けて溶解させこれによって生じた硫酸銅溶液を還元し電解槽に入れて電気分解を行う仕組みとなっている。こうしてこのための試験工場が1926（大正15）年6月16日に図-5<sup>[32]</sup>で示した位置に完

東鑛七年第一九六號  
栃木縣採掘權登録第 五 號  
八八  
鑛業代理人 木部一枝  
大正八年三月十五日工事完成届出ニ係ル左記工作物使用  
ノ件認可ス  
大正八年三月二十六日  
東京鑛務署長 中村清彦  
記  
一、選鑛場

史料-10 東京鉱務署からの選鉱所の使用認可

足庶十年第二八三號  
大正十年五月十三日  
本店庶務課長殿  
本山第二選鑛工場操業休止之件  
最近坑夫ノ減少ニツレ搬出ニ番粗鑛量モ激減シ從テ現在  
本山通洞選鑛工場共其取扱能力ノ半ニモ達セス此際經費  
其他ノ事情ニ鑑ミニ番粗鑛ノ全部ヲ運搬系統上最モ有利  
ナル通洞選鑛工場ニ搬出處理致ス事トシ右工場ハ當分操  
業休止可致御了承相成度尚其筋ニハ別紙ノ通り届出候間  
此段御通知申上候也

史料-11 東京鉱務署への工事完了届

成し、同月の22日付の東京鑛山監督局長の使用認可を受けて使用が開始された<sup>[33]</sup>。なお、この湿式製煉工場の試験は昭和の時代に亘って行われたが実用化にはつながらなかった<sup>[34]</sup>。

#### (5) 鉱床の変化がもたらした問題と亜鉛工場における優先浮遊選鉱法の試験

大正期中頃より行われてきた浮遊選鉱法は後に単一浮遊選鉱法（または単純浮遊選鉱法）と呼ばれたもので、銅の場合であれば銅鉱石としての粗鉱から目的鉱物である銅を廃棄対象となる石部（脈石）と分離して浮遊させ、亜鉛の場合であれば亜鉛鉱石（閃亜鉛鉱）としての粗鉱から目的鉱物である亜鉛を石部（脈石）から分離して浮遊させるものであり、



図-5 湿式製煉試験工場の位置

1925（大正14）年からは銅鉱石は通洞第二選鉱工場で閃亜鉛鉱石は亜鉛選鉱場（亜鉛工場）でそれぞれ選鉱が行われ始めた。ところが、1928（昭和3）年頃になると採鉱を進めていた鉱床の一部である光盛河鹿から産出される粘土質の銅鉱石を他の鉱床から産出される鉱石と一緒に処理をすると全体的に実収率を大きく下げってしまうことが判明し、また、鉱石中に存在する目的鉱物ではない鉄が浮いてくるなどの問題も抱えはじめ、目的鉱物であるものの処理がこれまでの単一浮遊選鉱法ではうまくいかなくなってきた<sup>[35]</sup>。そのため、優先浮遊選鉱法の導入が検討され<sup>[36]</sup>、粘土質鉱石を単独に処理するための試験（改造と設備の増設）が亜鉛工場およびその付近で進められることになった。こうして1928（昭和3）年1月12日付で足尾銅山から東京鑛山監督局長宛に申請が出され、1928（昭和3）年6月21日付で東京鑛山監督局長からその認可を受けて進められていった<sup>[37]</sup>。

#### (6) 鉱床の変化がもたらした問題と通洞第二選鉱工場における対応

先述したように大正期の末頃においては、採掘される鉱石の種類や質の変化から、亜鉛工場が建設され、さらにその亜鉛工場およびその付近において粘度質鉱石の処理試験施設が建設されてきたが、この鉱石の変化への対応は通洞第二選鉱工場でも当然ながら行われることになった。こうして前回の1923（大正12）年の増設による申請から3年ほど経過した1926（大正15）年4月30日に足尾銅山から東京鑛山監督局長へ「通洞選鉱工場設備増設願」が出され再び設備の増設や変更の手続きが試行錯誤的に行われ始めることになっていった。この申請では、粗鉱に鉄が多く含まれるようになってきているために銅の品位が下がってしまっていることと、浮遊選鉱の作業に悪影響をおよぼすスライム<sup>[38]</sup>の処理設備を増強することの二つを改善して実収率を向上させようとするのが目的で、これらを成すために、鉱石破碎用の機械類を増やして単体分離の機能を増強し、さらに分級機械も増やして分級率を高め、比重選鉱の段階では磁力選鉱機を加えて鉄を除去し、この工程からの精鉱をさらに砕いて細かくした後に浮遊選鉱機で回収することで対応し実収率を上げようとするものであった。しかし、この申請による増設含め、その後の試行錯誤は各箇所改良の必要から長引き、昭和の時代に突入していった。

### (7) 実収率低下とスライム処理への対応の継続

昭和の時代に入ってから、選鉱においては実収率の低さとスライム処理の問題が解決されていなかった。そのため、1930（昭和5）年4月10付で足尾銅山は「通洞第二選鉱工場操業一部変更願」を東京鑛山監督局長宛に出して破碎や粉砕のための機械と分級のための機械と浮遊選鉱機などの増設を図った。この申請が同月の24日に認可され進められることになったが<sup>[39]</sup>、度重なる大正末からの改修<sup>[40]</sup>により通洞第二選鉱場の状態が錯雑であったため、1930（昭和5）年からは大改修が行われる場合に申請手続きをするとの旨の指示を鉱山監督局より受けた<sup>[41]</sup>。そして、この指示に合わせていったん通洞第二選鉱工場の現状を整理するために同年8月7日付で同年4月末日現在の設備についての関係書類と図面が東京鑛山監督局に提出された。図-6<sup>[42]</sup>はその際の配置図である。その後も中止や変更の必要に迫られたため1932（昭和7）年まで細かな変更や中止が行われ続けた<sup>[43]</sup>。図-7<sup>[44]</sup>は1932（昭和7）年8月の頃の通洞第二選鉱工場内の機械類の配置である。

### (8) 新工場の建造と選鉱廃棄物処理の増強

1934（昭和9）年ごろになると通洞第二選鉱場ではこれまで扱ってきた二番粗鉱の他に新たに貧鉱（品位約1.10%）を処理することになり、それに対応するため設備を変更する必要に迫られていた<sup>[45]</sup>。一方で、選鉱所の過程で出される廃石と廃水（泥渣が混じる廃水）の処理については、従来通り廃石は有越堆積場に索道で運搬処理され廃水については選鉱場敷地内のシクナーで繰り返し選鉱用に使う水とコンクリートの菅で切幹沈澱池に送る濃縮液（泥渣が濃縮後された廃水）とに分けられ、さらに切幹沈澱池で溜められた泥渣が原堆積場（切幹沈澱池よりも下流にある堆積場）に運ばれるという流れで行われていたが<sup>[46]</sup>、この廃水の部分でも改良を加える必要に迫られていた。そして、この二つの事情への対応を図るため、まずは二番粗鉱および貧鉱の処理に必要な機械類の変更をすべく、1934（昭和9）年4月30日付で「通洞第二選鉱工場機械一部変更願」を提出した。しかし、この対応についても手続きを繰り返すことになり、結局のところ上述した二つの事情に加えて選鉱工場の機械類が大変磨損しているとの事情も合わせて、新たな100尺のシクナー2台を中心とする廃水処理施設と二番粗鉱のみを扱う新工場（増設工場とも呼ばれる工場）の建造に向けた申請が1935（昭和10）年1月14日付でそれぞれ出され<sup>[47]</sup>、第二選鉱工場の東北側に隣接して新工場（図-8<sup>[48]</sup>のもの）およびその関連施設（手選工場、一番粗鉱場、中間粗鉱場、精鉱場、堅坑、捲揚機、50尺シクナー4台）と100尺シクナー2台が図-9<sup>[49]</sup>の位置にそれぞれ建造された。それを写したものが図-10<sup>[50]</sup>である。なお、100尺シクナー2台を中心とする廃水処理施設はその後も変更が行われている<sup>[51]</sup>。



図-6 通洞第二選鉱場敷地内の施設配置

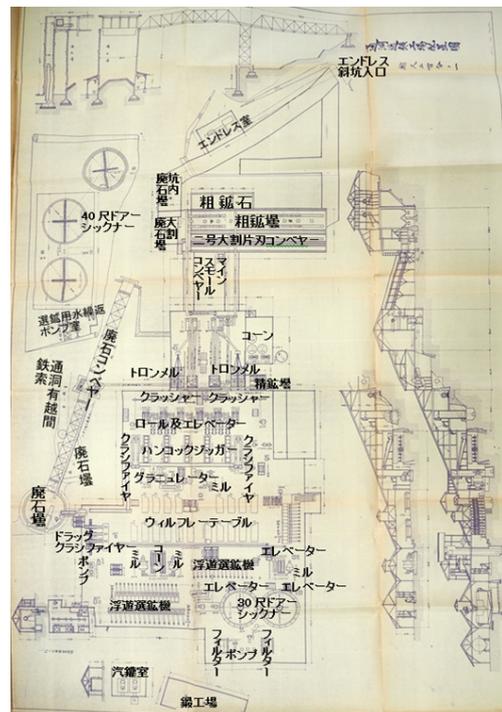


図-7 通洞第二選工場内の機械配置

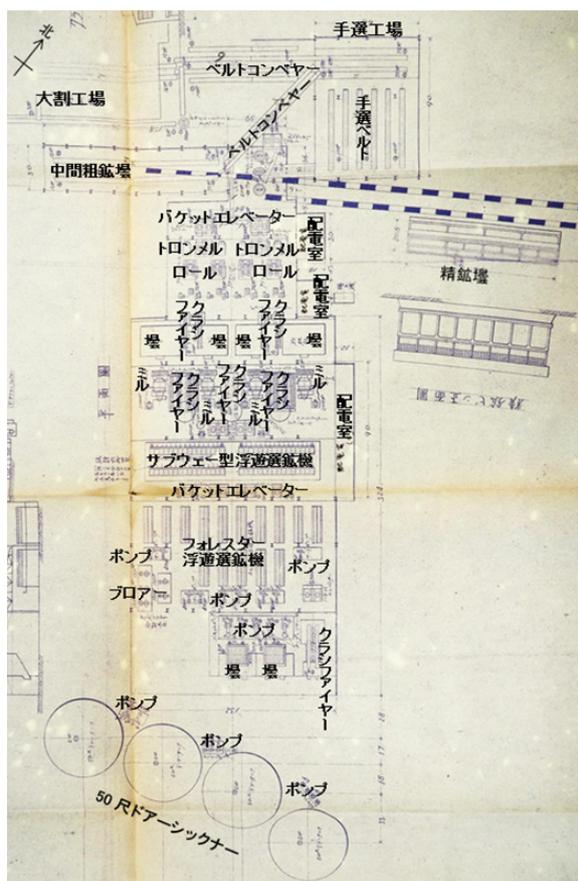


図-8 新工場と設備

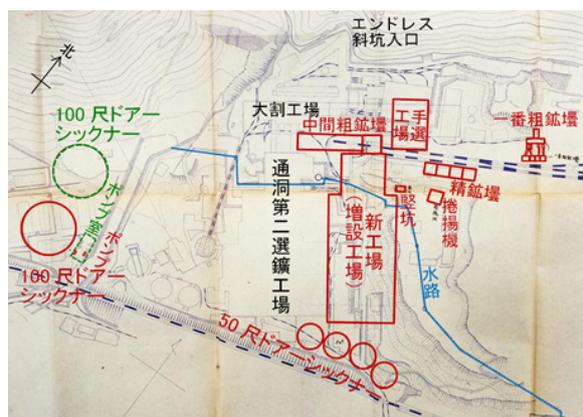


図-9 通洞第二選鉱場と新工場とシクナー



図-10 新工場 (増設工場) の竣工写真

謝辞：本研究を進めるにあたり、古河機械金属株式会社、東京大学附属図書館の協力、お茶の水女子大学大による史料整理の恩恵を受けた。ここに記して感謝の意を表したい。

#### 補注

[1] 足尾銅山の全体図については1913（大正2）年に発行されたものに地区名、河川名、主要施設位置、坑口、坑道などの記載を加筆した。写真は筆者が2017（平成29）年の調査の際に撮影したものである。

[2] 選鉱とは主に鉱石を物理的に分ける作業であり、その作業は物理的性質を利用した様々な方法が存在する。「選鉱（所）」の過程ではそれらの方法を用いながら最終的には選鉱の次の工程である「製錬（所）」に送る「精鉱」と、送らずに廃棄する「廃滓（廃石、尾鉱など）」とに鉱石が分けられることになる。1877（明治10）年以降から古河による足尾銅山の経営が始まるが、大正時代の中ごろまで、古河は本山、小滝、通洞の地区において選鉱所を設け、それぞれの地区の主要坑口から搬出された鉱石の選鉱処理をそれぞれの選鉱所で行っていた。なお、本山地区の選鉱所（本山選鉱所）は第一から第三まであり、小滝地区の選鉱所（小滝選鉱所）も第一から第三まであり、通洞地区の選鉱所（通洞選鉱所）は第一から第二までであった。また、本研究の中では「選鉱所」と「選鉱場」と「選鉱工場」という用語が用いられているが、「選鉱場」は後に「選鉱所」と呼ばれ現在に至っているため、この双方は同義的に選鉱を行う施設群を指しものとして用い、「選鉱工場」とはその施設のうち銅の粗鉱から精鉱を産出する工場自体を指すものとして用いる。

[3] 本研究で用いる一次史料とは古河機械金属所蔵の文献1)と文献9)と文献11)と文献15)と文献19)および東京大学附属図書館所蔵の文献2)である。

[4] 古河の社員であった渡邊、藪内、加藤、高草木などがそれぞれ日本鉱業会誌に寄せた足尾銅山の選鉱技術に関する諸々の研究報告などである。これらからは部分的に当時の足尾銅山の選鉱技術と通洞選鉱所の変遷の一部を知り得るが、変遷

の詳細は知り得ない。

[5] 鉱山・産業遺跡研究会から出されている「足尾銅山「選鉱」の概要」というものがある。この中では選鉱所で用いられた比重選鉱、浮遊選鉱、重液選鉱などの技術が示されており、通洞選鉱所に導入された機械類の一部を図や写真で掲載している。しかし、技術や機械類の変遷の一部を知り得るにとどまっている。また、郷土史家らによる著書には文献10)と文献13)などがあるが、ここでも技術や一部の機械類が示されるにとどまっており、変容していく過程を具に知ることはできない。

[6] 文献2)の記載内容を参考とした。

[7] 文献3)によれば、浮遊選鉱法とは面張力、静電、膠状態の作用により粒状金属または硫化物粒子を水または他の溶液上の表面に浮遊させて他の石部（母岩などと言いかれる目的鉱物以外のもの）と分離、選別する方法であるとしている。この方法は試験的規模ではそれまで諸地方で実施されてきてはいたものの、1905（明治38）年にオーストラリアのブローケン・ヒルで営業的に採用され、それ以降、オーストラリアで特に亜鉛の産出に寄与し、他の硫化物に対する成績も良かったことからその後世界各地の選鉱所で競って採用されることになった。最も盛んに採用されていったのが北アメリカで1912（明治45）年にButte and Superior Copper Companyに大浮遊選鉱場が設置され、その後アメリカ国内に広まりアメリカの選鉱界に一大改革を及ぼすことになった。技術的にみればそれまで利益の出ないような貧鉱すらも処理できるようなものであったため、それまで品位が低く捨てる程度の鉱石の処理を可能とさせ、さらにそのようなものしか産出できていなかった鉱山をも復活させるなどの影響を及ぼした。なお、上述のとおり、この浮遊選鉱法が実用化して広まっていく発端はオーストラリアの鉱山であったが、技術的にはもう少し前から生み出されて改良の歴史が始まっており、主流となっていく油を使った浮遊選鉱法の特許は1860年（安政7）年にイギリス人のウィリアム・ヘーネス（William Haynes）によって取得されている。その後、様々な方法や改良が加えられ、それらの特許がイギリスとアメリカ、イタリアなどで取得されていった（オーストラリア人による特許はアメリカやイギリスで特許取得されている）。そしてその技術はイギリス、アメリカ、チリ、オーストラリアの鉱山で採用されたという経緯を辿る。ちなみに足尾の小滝第三選鉱所で試験導入に用いられたミネラルセパレーション浮遊選鉱機の基礎となる技術は1903（明治36）年にミネラルセパレーション株式会社（Minerals Separation, Ltd.）を組織したジョン・バロット（John Ballot）とエッチ・ピカード（H. F. K. Picard）とエッチ・サルマンが1905（明治38）年4月にイギリスで、さらに同年5月にアメリカで特許を取得しているものである（他の資料では1906年としているものもある）。一方、日本について記せば、同様に文献3)によると、1892（明治25）年に石見の銅ヶ丸鉱山（銀・銅・亜鉛）にて試験的な導入がされ（おそらく日本における嚆矢であろうとされている）、1908（明治41）年には岐阜の神岡鉱山（金・銀・銅・蒼鉛・亜鉛・鉄）が試験的に導入しその翌年から実地導入をしており、1912（大正元）年には宮城県の高田鉱山（銀・銅・鉛・亜鉛・安質母尼）で、1913（大正2）年には石川県能美郡の澤鉱山（金・銀・銅・鉛・亜鉛）で、1914（大正3）年には山口県の喜和田鉱山（銅・錫・重石）、1915（大正4）年には山形県の吉野鉱山（金・銀・銅・鉛・亜鉛）と北海道後志の廣尾鉱山（金・銀・銅・鉛・亜鉛・硫化鉄）と岡山県の吉岡鉱山（金・銀・銅・亜鉛・硫化鉄）が、さらにその後には足尾銅山、生野鉱山、尾小屋鉱山、日立鉱山、山佐鉱山において導入がなされている。なお、特許について記せば、小坂鉱山に勤めその後には武田鉱業を設立させた武田恭作が1912（大正元）年にガスを用いる技術（大正2年3月出願、大正2年6月特許）で、1915（大正4）年には古河合名会社で大角右門が考案した浮遊選鉱装置（大正3年10月出願、大正4年7月特許）で、さらに小島甚太郎が考案した浮遊選鉱装置（大正2年7月出願、大正4年10月特許）で、1915（大正4）年には同社の名義の活栓（大正5年8月出願、大正5年9月特許）で、そして同年に西澤金山の高橋源三郎が浮遊選鉱装置（大正5年6月出願、大正5年9月特許）と岩瀬幸三が浮遊選鉱装置（大正5年10月出願、大正5年11月特許）などでそれぞれ出している。

[8] 文献6)のpp.36-43および文献7)によれば一般的なこととして、選鉱所では、「貯鉱」、「粉碎」、「分粒」、「選別」、「運搬」、「産物と水の処理」、「秤量と試料採取」といった作業が行われる。「貯鉱」は選鉱の前の工程である「採鉱」で採取運搬された鉱石を受入れて貯めておく作業で、「粉碎」は有用鉱物と石部（廃棄対象となる部分）を含んで一塊になっている鉱石を破碎して有用鉱物と石部がそれぞれ単体として扱えるように分離する作業であり、「分粒」はこれら単体となったそれぞれの粒をその粒の大きさや粗さなどで分ける作業である。なお、この「分粒」の方法として「篩分け」と「分級」といったものがあり、例として、「篩分け」では1mm以上のもののように大きな粒が扱われ、「分級」ではより細かいものが扱われたりする。「選別」は選鉱作業の中で核となる作業であり、「有用鉱物」と「石部」との物理的性質の差を利用してこの

両者を分ける作業である。その性質とは「色や光沢」、「比重」、「表面の物理化学的性質」、「磁性」、「電気伝導度あるいは誘電率」、「形状（球、板、針等）」、「固さ、軟らかさ」、「靱さ、脆さ」、「熱によって粉化する性質」、「摩擦係数」などである。この他にも作業の担い手によって作業を分類する見方があり、文献3)によれば、主に「人の手で分ける方法」と主に「機械を用いて分ける方法」に分ける見方もある。前者を「手分離」、後者を「機械分離」などともいう。「手分離」の代表的な方法が「手選」であり、「手選」は人が「色や光沢」で識別して主に塊鉱などの大きなものの処理の段階で実施される。「機械分離」は「手選」と比べるとより多くの方法が存在している。詳しく示せば、まずは細かさの違いはあれ、鉱石を砕く作業（砕鉱や磨鉱など）が行われ、一単体が一鉱物となるように処理がなされる。その後、鉱石の粒の大きさや種類で分粒して選別する作業が行われる。なお、分粒および選別後の鉱石を再び砕く作業に回した後に分粒および選別作業が繰り返し行われる場合がある。さらにそれらの過程で鉱石を「濾過」、「乾燥」、「濃縮」といったことなども行われる。選別を行う際の方法については、比重を利用する方法（「比重選鉱法」と呼ばれる方法）や表面化学の原理を用いて浮かせて分離（物理的分離）させる方法（「浮遊選鉱法」と呼ばれる方法）のほか、「光学選鉱法」、「静電選鉱法」、「磁力選鉱法」などと呼ばれる選鉱法もある。「比重選鉱法」についていえば、他の選鉱法と比べると古くから行われてきており、代表的なものの例としては跳汰機やジグといった機械を用いた「跳汰法」、淘汰盤や揺動テーブルといった機械を用いた「淘汰法」などと呼ばれる方法がある。「跳汰法」とは水の中に大きさ、形状、比重などが違う鉱石を入れて上下に動かし、上騰する水流を与えるなどした場合、最終的には沈降速度の速いものが先に沈み、沈降速度が遅いものがその後沈み層をなすため、同じような性質を有する鉱物を集められるという方法である。また、「淘汰法」とは細かな鉱石（鉱粒）に対して、振動盤などで往復運動による振動を与えると、比重の違いによってやがて分けられることを利用した方法である。選鉱所ではこれらの方法を段階的に用いて作業が行われる。そして、時代が進み新たな方法などが実用化されると、従来の方法などと組み合わせて経済的で効率の良い流れが検討されることになる。なお、本稿中に登場する「重液選鉱法」は「比重選鉱法」の一種として現代では分類分けがなされている。大正中期以降の通洞選鉱所では「跳汰法」や「淘汰法」などの古くからの「比重選鉱法」を主とした「選別」の中に新たに「浮遊選鉱法」が加わり、さらに1948（昭和23）年から本格導入が始まる「重液選鉱法」が加わっていくことになる。また、同じく登場する「シクナー」については「精鉱」を「濃縮」のための装置と「廃滓」を凝集するための装置として導入されるものがある。

[9] 第一回から第五回目までの試験の内容については文献2)をもとにした。

[10] 文献2)からの引用。

[11] 文献2)からの引用。

[12] 文献1)中にある古河が東京鉱務所長へ宛てた「本山第二選鉱工場改修願（大正5年12月11日）」と「通洞第二選鉱工場改修願（大正5年12月11日）」の中で、「当社足尾銅山ニ於ケル坑内産出粗鉱ノ含銅品位其他ノ関係ヨリ選鉱方法ニ変更ヲ加フルノ必要相生シ候ニ就テ」とある。さらに同文献中の「通洞第二選鉱工場改修仕様書」の中では「働力、用水ノ節約並ニ場内運搬設備ノ改善ヲ計ラントス」とあり、鉱石の品位の低下と選鉱費の節約が全山的な選鉱場の改修の理由となっていたことがわかる。

[13] 文献2)のpp. 260-261の「小瀧選鉱ノ成績ニ元ヅイテ大正五年度ニ通洞選鉱ノ一部改築セラルルコトナリ」との記載から小滝第三選鉱工場での試験結果が他の選鉱所の改修に影響を与えていたことがわかる。

[14] 文献1)からの引用。

[15] 文献1)から引用し加筆した。

[16] 文献2)から引用し加筆した。

[17] それぞれ文献1)から引用した。

[18] 文献1)の「通洞選鉱工場改修案補遺説明書」の中で「第一、本改修案ニヨリ手選方法ヲ改良シ多量ノ片刃ヲ産出スルヲ得ルニヨリ豫テ研究中ノ浮遊選鉱ノ進歩ト相俟テ其含銅実収率ヲ七〇%（計算上七一・八%）ニ高メ得ベキ見込ミナリ而シテ其産出精鉱及ビ廃滓ノ含銅品位ハ左表ノ如クナラシメ得ベキ豫定ナリ（中略）第二、改修後ニ於ケル粗鉱供給ノ方法 本山、通洞両選鉱場改修後其取扱能力ノ増加ニ伴ヒ将来増産スルニ要スベキ二番粗鉱ノ数量ハ壹日参百噸即チ二千七百七拾車ナリトス（中略）第三、前記（三）ニ示ス方法ニヨル粗鉱ノ品位及ビ切羽ノ定目 現在ノ存在量計算法ハ肉眼鑑定法ニヨル一番粗鉱鑑定量ヲ基準トスル共将来ニ於テハ當山鑛床中一見肉眼ニヨリテ鑑別シ難キ銅鑛ノ微粒ヲ有スル部分ヲモ要蚕食セシムベキ計劃ナレバ現在豫期セサル方面ニ多大ノ鑛源ヲ発見シ得ベキ見込ミナリ」とあり、浮遊

選鉱法を組み合わせた新たな選鉱法が採鉱できる鉱源の幅を広げたことがわかる。

[19] 文献1)の「切幹沈澱池粘砂処理選鉱新設仕様書」が1916(大正5)年9月25日の日付で作成され10月4日に東京鑛務署長宛に出されており、その中で「切幹沈澱池ヨリ浚渫機ニヨリ浚渫セル選鉱流失砂滓ヲ再選鉱スル目的ヲ以テ該池付近ニ選鉱場ヲ新設セントス」として「浮遊選鉱機を含む機械が導入されることが記載されている。なお、許可は1917(大正6)年3月2日に出されている。工事は同年の6月2日に完成し、6月8日に使用認可が出された。

[20] シックナーは有用鉱石または廃滓の微粒子が水と混じった懸濁体を水とそれ以外に分けつつ、有用鉱物または廃滓を凝集するための装置である。有用鉱物についていえば、次の選鉱の作業や次の工程である製錬に送る際に水分を取り除くことが求められる場合がありそのために使われる。廃滓についていえば、最終的に堆積場に持っていかれることになるが、廃滓に含まれる水分が多いほど廃棄物としての体積が増すので、選鉱の段階でできる限り水分を減らすことは堆積場の容量をいたずらに使用することを避けることにつながる。その結果、使用中の堆積場の使用年数を伸ばすとともに新たな堆積場の建設数を減らすことができる。またこれらの都合で分離された水分は再利用が可能な水となるため、選鉱作業の中で再利用することができる。

[21] 文献9)によれば「湿式精煉試験工場設置願」が1925(大正14)年12月15日に東京鑛山監督局長宛に出されている。

[22] 文献1)によれば1919(大正8)年3月12日の採鉱課から経理課宛に出された文書に「追而本山選鉱工場完成ニ伴ヒ従来ノ第三工場原鑛ハ總テ新設第二工場ニ於テ處置ノ事ニ操業變更ニ付該工場ハ全廢致候」とある。さらに、1919(大正8)年3月29日付で「本山第三選鉱工場廢止届」が東京鑛務署長宛に出されている。

[23] 文献1)によれば1919(大正8)年8月10日に小滝第三選鉱工場の一部変更のための改修願が出され、同年8月25日に東京鑛務署長よりそれについての認可が出されている。そして1920(大正9)年1月12日付で竣工届が東京鑛務署長宛に足尾銅山から出されている。しかしその後すぐの1920(大正9)年5月6日付で操業上の都合により小滝第二選鉱工場と第三選鉱工場と小滝索道(小滝選鉱工場から水山堆積場間の索道)を廢止するとの旨の届を東京鑛務署長宛に足尾銅山から出すための文書が作られている。なお、文献10)のp.147に1920(大正9)年の3月16日撮影とする写真106が掲載されており、そこには焼失したことが書かれている。これらのことから、小滝の選鉱所は当初改修によって使用を継続する予定でいたものの、火災が直接的な原因となって廢止に至ったものと考えられる。足尾の地元では通洞選鉱場に浮遊選鉱法が入って選鉱所が統合されることになったので、小滝の選鉱所も不要になり、火をつけた可能性もあるとの見方がされる場合もあったが、これらの史実から判断するとそれは誤りであることがわかる。さらに1920(大正9)年8月28日付で小滝の第一選鉱工場を9月1日より一年間休止するとの旨の届が東京鑛務署長宛に足尾銅山から出されている。

[24] 史料-11は文献11)からの引用。内部文書であるため、表向き理由ではなく、実際の事情が垣間見られるものである。

[25] その後に進められた本山の選鉱所の休止については文献11)によれば、その後、1年ごとに休止の手続きを更新する形で手続きが進められていった。

[26] 文献11)に掲載の内容を参考にした。

[27] 文献13)によれば「河鹿(かじか)」とは不規則な形の鉱床に対しての足尾特有の呼称であり、明治末に発見された鉱床(後に光盛河鹿と呼ばれる鉱床)が白粘土の下から発見されたため、石を剥ぐ捕まえることができる鱒(かじか)の語呂合わせでこのような不規則な形の鉱床を「河鹿」と呼ぶようになったとされる。大正期においてこの河鹿(鉱床)が盛んに開発されていたことが同文献のpp.267-279で確認できる。また、文献14)によれば、「閃亜鉛鉱(せんあえんこう)」は「河鹿」から産出されることは周知の事実であり、さらにこの「閃亜鉛鉱」は黄鉄鉱、黄銅鉱、硫砒鉄鉱、方鉛鉱を伴い、磁硫鉄鉱と共存しているとしている。以上のことから、この時代の鉱床の開発が進められる中で「閃亜鉛鉱」の処理も必要となってきたことが確認できる。

[28] 文献15)によれば、通洞第一選鉱所の移転は当初案より変更され、再度、1913(大正2)年6月24日に移転工場の許可申請が足尾銅山から東京鑛務署長宛に出され、同年の7月3日に通洞第二選鉱所敷地内の大割工場(第一大割工場)の西南側に移転することで認可を得ている。また、文献2)のp.259では「第一工場ニ属スル重ナル建物ハ受鉱場ニ納鉱場ナリ」との記載があり、文献15)で示された西南側という記載とこれらの記載を含めると通洞第一工場の機能が納鉱場の東側部分(大割第一工場寄り)で担われるようになったという判断ができる。

[29] 文献11)によれば、そのための「選鉱場設備増設願」が足尾銅山から東京鑛務署長に1925(大正14)年9月8日

付で出され、同月の15日に認可を受けて同月17日に「選鑛場設備増設工事完成届」を出し、同月29日に使用認可を受けている。

[30] 文献11)中の「選鑛場設備増設願」に添付されている「通洞選鑛工場増設仕様書」によれば扱われる閃亜鉛鉱の量は一カ月あたり乾鉱で390噸。品位は16%で含亜鉛量は62.4噸とされている。また、これを処理するための機械類として「ブレーキクラッシャー」、「サンプルロール」、「ハーゲンチコンカルボールミル」、「トロムメル」浮遊選鉱機、「ウィルフレータ盤」、「マグネチック汰盤」やその他の機械が導入されており、建坪は77坪であった。

[31] 足尾の鉱害の問題の経緯は文献16)が詳しい。

[32] 文献9)から引用し加筆した。

[33] 文献9)の東鑛一四年第一九三號の文書を論拠とした。

[34] 文献19)では1930(昭和5)年の図面からは湿式製煉試験工場の記載が確認できるが、その翌年以降の図面上ではその存在が確認できない。そのため、実用化につながらなかったものと判断できる。

[35] 文献11)を参考とした。

[36] 文献17)のpp.147-159によれば、優先浮遊選鉱法とは二種類以上の同族の浮遊性鉱物が混じっている時、目的とする鉱物を優先的に浮遊させる選鉱法である。採鉱過程から送られてくる粗鉱中に同族の浮遊性鉱物が混じっているような場合、浮遊させたくない同族の鉱物が少ないケースではあまり問題にならないが、多く混じるケースでは従来の単一浮遊選鉱法のやり方では問題が生じた。そのため、従来の浮遊選鉱法や浮遊選鉱法を一工程として取り入れている選鉱の手順にも試行錯誤的に改良が加えられ、浮遊具合に差をつけて同族の鉱物の中から優先的に目的鉱物を浮かび上がらすことができる技術や手順が確立されていった。この技術は単一浮遊選鉱法に対する言葉として「優先浮遊選鉱法」と呼ばれるようになった。

[37] 文献11)を参考とした。

[38] 文献11)の「通洞選鑛工場設備増設願」に添付されていた「通洞第二選鑛工場設備増設仕様書」によれば増設の理由として「前出願(大正十二年三月四日附足庶十二年第八八號)當時ニ比シ當銅山産出元鑛ハ著シク含鐵量ヲ増加シ爲メニ精鑛含銅品位ノ低下ヲ来シタルカ故ニ之カ上昇ヲ計リ次テ未タ不十分ナリシスライム取扱設備ヲ充実シ併セテ一般實収率ノ高上ヲ企圖セントスルモノナリ」とあることから分かる。なお、導入された機械類については同じく「通洞第二選鑛工場設備増設仕様書」を参考とした。

[39] 文献19)によれば、1930(昭和5)年4月10付の「通洞第二選鑛工場操業一部変更願」は同月24日で認可を受けており、その後1931(昭和6)年1月9日付で「通洞第二選鑛工場変更工事一部完成届(足庶六年第一三號)」と同年12月26日付で「通洞第二選鑛工場変更工事一部完成届(足庶六年第七一六號)」が出されている。しかしその後、これに対して1932(昭和7)年8月2日付で分級機と粉碎機の中止のための「御届(足庶七號四八二)」と運搬用機械の中止のための「御届(足庶七號四八三)」と粗鑛壘と粉碎機の一部変更のための「通洞選鑛場一部変更願(足庶七號四八四)」が相次いで出されるなどしており、3年以上もかかっているが中止や変更が繰り返されている。

[40] 文献11)によれば、この間、1926(大正15)年4月30日の増設願に関する追伸書が同年の7月12日に出され、同月29日には東京鉱山監督局長からの照会に対する回答書が出され、さらに、1928(昭和3)年1月12日に「通洞第二選鑛工場設備増設工事設計一部変更願」が出され、同年9月2日にも一部変更願が出され、さらに10月16日には図面訂正と同月23日には記載内容修正(どちらも東鑛一五年第七〇號に対する回答)があり、これでも収束せず、1929(昭和4)年3月22日にも「通洞第二選鑛工場設備増設工事設計一部変更願」が出され、これについても同年5月17日に修正願を出している。

[41] 文献19)の「足庶五年第三八一号届書ニ就テ」の文書の中にこの指示に関する経緯が記載されている。

[42] 図-6は文献19)から引用し加筆した。赤線の部分はこの時の申請に伴い新たに変更した部分と判断できる。

[43] 文献19)によれば1930(昭和5)年4月10日付の申請の分の一部完成届が1931(昭和6)年1月9日付と1931(昭和6)年12月26日付で出されており、さらに1932(昭和7)年8月2日付で「通洞選鑛所一部変更願」が出され、途中、同年9月27日付で一部修正がなされ、同年11月7日付で「通洞選鑛場一部変更工事完成届(足庶七年七一三號)」が出されている。なお、文献19)中の1932(昭和7)年9月27日の足尾の庶務係から本店庶務課長に宛てた内部文書の中で「鉱山監督局の鉱業課(担当課)が小さな変更についてはいちいち届出および認可の必要がなく大変煩わしいとの旨のことを示して

おり、再度、大改修のみの届出でよいとしている」とのことを記している。それほど細かな変更や中止が数多く出され続けたことがこのことから分かる。なお、この文書の中で、「鉱山監督局が大改修のみの申請でいいとしながらも以前に提出した図面と現在の設備との間で齟齬があるということで足尾銅山に対して質疑を出している」との記載があり、数多くの変更や中止があり、そのため届出なども数多くあり、それによって手続きが大変になってきており、細かく届出を出せば提出図面が錯雑になり、細かく出さなければ図面との違いを指摘されて鉱山監督局から質疑を受けるといった状態になっていたことがわかる。

[44] 図-7は文献19)から引用し加筆した。

[45] 文献19)中の1934(昭和9)年4月30日付「通洞第二選鉱工場機械一部変更願(足庶九年第三九九號)」に添付されている「説明書」に変更が必要な理由としてこのように書かれている。

[46] 文献19)中の1934(昭和9)年9月30日付「選鉱場製煉工場現状報告ノ件(足庶九年第八九六號)」に添付されている「選鉱工場設備現状調(昭和九年九月十五日現在)」の内容を参考とした。

[47] 文献19)中によれば「通洞第二選鉱工場機械一部変更願(足庶一〇年第二六六號)」と「通洞第二選鉱工場増設願(足庶一〇年二六七號)」が足尾銅山より東京鉱山監督局長宛に両方とも1935(昭和10)年1月14日付で出されており、これがもとになり同年の増設は行われていることがわかる。なお、同年10月までに修正や中止が行われており、2月25日付の足庶一〇年四五五號と足庶一〇年四五六號で修正、3月29日付の足庶一〇年五九七號と足庶一〇年五九八號で再修正、10月21日付の足庶一〇年一四五三號で中止がなされている。最終的に「通洞第二選鉱工場増設工場完成届(足庶一一年第一〇三號)」が1935(昭和)10年12月6日付で出されている。上記「足庶一一年」の記載は誤記の可能性が考えられるが本稿ではそのまま記載した。

[48] 図-8は文献19)中の上掲3月29日付足庶一〇年五九八號の再修正の際に添付されていた図面をもとに加筆した。

[49] 図-9は、上掲「通洞第二選鉱工場増設願(足庶一〇年二六七號)」に添付されていたものから引用し加筆した。波線の部分は1935(昭和10)年6月12日の「通洞第二選鉱工場一部変更工事完成届(足庶一〇年八七七號)」で完成したとされる部分。実線の部分はその後完成した部分である。

[50] 図-10は古河機械金属所蔵の写真で、撮影年月日は不明。写真には「昭和十年十月竣工 設計施工 鐵筋コンクリート株式会社」との記載がある。

[51] 文献19)中の1935(昭和10)年10月以降の記載を参考とした。

## 参考文献

- 1) 経理課庶務係：選鉱施設ニ関スル綴，自大正五年十二月至同九年八月，古河機械金属所蔵，編纂年代不明。
- 2) 黒河内平治：足尾銅山報告，中，東京大学所蔵，1916。
- 3) 日本鉱業新聞社：最新浮遊選鉱法，金子活版印刷所，1917。
- 4) 北澤武男：選鉱法草案，日本鉱業新聞社，1920。
- 5) 日本科学技術連盟：最近海外に於ける非鉄金属選鉱・製錬一技術の進歩，杉田屋印刷株式会社，1950。
- 6) 高桑健：選鉱工学，上巻，改新版，共立出版株式会社，1958。
- 7) 中村威一：最新選鉱技術事情鉱種別代表的プロセス編(1)一銅一，金属資源レポート，pp. 45-62 石油天然ガス・金属鉱物資源機構，2013。
- 8) 高桑健：選鉱工学，下巻，改新版，共立出版株式会社，1960。
- 9) 庶務係：濕式精煉ニ関スル綴，自大正十四年十二月至昭和四年十二月，古河機械金属所蔵，編纂年代不明。
- 10) 小野崎敏：小野崎一徳写真帖足尾銅山，新樹社，2006。
- 11) 庶務係：選鉱施設ニ関スル綴，自大正十年五月至昭和四年七月，古河機械金属所蔵，編纂年代不明。
- 12) 藤川徳次：最新選鉱法，第一編碎鉱工場，木綿調帯合資会社，1916。
- 13) 村上安正：足尾銅山史，随想社，2006。
- 14) 渡邊新六，小岩井宗義：足尾銅山産閃亜鉛礦，岩石礦物礦床學，pp. 38-40，17巻，1号，1937。
- 15) 経理課庶務係：選鉱施設ニ関スル綴，自明治二十八年十月至大正二年十二月分，古河機械金属所蔵，1917。
- 16) 青木達也：足尾銅山における鉱害対策の変遷に関する研究，宇都宮大学博士学位論文，2015。

- 17) 山口吉郎：浮游選鉱法，第 11 刷，岩波書店，1937.
- 18) 今泉常正：選礦一次スライムの沈降特性，日本鉱業会誌，pp. 319-328，78 卷，886 号，1962.
- 19) 庶務係：選礦ニ関スル綴，自昭和五年四月至昭和十年五月，古河機械金属所蔵，編纂年代不明.

# 足尾銅山調査報告書 9 執筆者

(執筆順)

青木 達也 あおき・たつや  
宮本 史夫 みやもと・ふみお

宇都宮大学地域デザイン科学部技術専門職員  
日光市教育委員会事務局文化財課 副主幹

日光市文化財調査報告第 12 集  
足尾銅山跡調査報告書 9

発行日 平成 31 年 3 月 29 日

編 集 日光市教育委員会事務局文化財課

発 行 日光市教育委員会

〒 321-1261

栃木県日光市今市 304-1

TEL 0288-25-3200

印 刷 有限会社 高橋平板社