

第1回「超電力使用削減低品位銅電解精製プロセス技術開発」
研究開発プロジェクト 終了時評価検討会

議事録

1. 日時 平成29年12月25日（月）15：00 ～ 16：30
2. 場所 経済産業省 別館2階244会議室
3. 出席者

＜検討会委員＞（敬称略、五十音順 ※は座長）

高崎 康志	秋田大学大学院国際資源学研究科 准教授
高島 由布子	株式会社三菱総合研究所 主席研究員
高津 明郎	一般財団法人メタル経済研究所 主任研究員
(※) 山口 勉功	早稲田大学理工学術院 教授

＜研究開発実施者＞

神谷 太郎	独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構 金属資源技術部生産技術課長
滝口 浩之	独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構 金属資源技術部生産技術課員

＜事務局＞

資源エネルギー庁 資源・燃料部 鉱物資源課	
課長補佐	松田 達哉
係長	渡辺 雅

＜評価推進課＞

産業技術環境局 技術評価室	
技術専門評価職員	江間 祥三

4. 配付資料

- | | |
|-----|--|
| 資料1 | 「超電力使用削減低品位銅電解精製プロセス技術開発」研究開発プロジェクト終了時評価検討会 委員名簿 |
| 資料2 | 研究開発評価に係る委員会等の公開について |
| 資料3 | 経済産業省における研究開発評価について |
| 資料4 | 評価方法（案） |
| 資料5 | 「超電力使用削減低品位銅電解精製プロセス技術開発」研究開発プロジェクトの概要 |
| 資料6 | 評価用資料 |
| 資料7 | 「超電力使用削減低品位銅電解精製プロセス技術開発」技術評価結果報告書 |

の構成（案）

資料 8 評価コメント票

質問票

参考資料 1 経済産業省技術評価指針

参考資料 2 経済産業省技術評価指針に基づく標準的評価項目・評価基準

参考資料 3 平成 23 年度事前評価報告書

5. 議事概要

（1）座長選出

委員の互選によって、山口委員が本検討会の座長に選出された。

（2）評価検討会の公開について

事務局から、資料 2 により、評価検討会の公開について説明がなされた後、本評価検討会について、会議、配付資料、議事録及び議事要旨を公開とすることが了承された。

（3）評価の方法等について

事務局から、資料 3、4、7、8 により、評価の方法等について説明がなされ、了承された。

（4）研究開発プロジェクトの概要について

事務局及び実施者から、資料 5、6 により、本プロジェクトの概要について説明があり、以下の質疑応答がなされた。

高津委員：資料の 3 ページですが、バックグラウンドの数字を確認させていただきたいのですが、図があって下の文章のところで、スクラップ等のリサイクル原料から生産される銅地金の割合は約 1 割とあるが、日本の銅地金の生産量は 140 万から 150 万トンだが、そのうちの 14 万トンから 15 万トンがリサイクル原料から出来ているということですか。

神谷課長（JOGMEC）：そうですね。精鉱で 120 万トンくらいと言われているので、30 万トンくらいで 1 割だと少し少ないくらい。

高津委員：例えば 1 割とすると、15 から 20 万トンがリサイクル原料から生産されているとした場合に、リサイクル原料から精製される銅製錬では電解採取で行っていると書かれているが、この 15 万トンから 20 万トンのリサイクル由来の銅地金は、全て電解採取から作られているということですか。

神谷課長（JOGMEC）：いや、そうではない。

高津委員：そうすると通常のスメルターである、住友や三菱さん、JX さんもリサイクルを原料として銅地金を作っていますけども、そのトータルの量を合わせたら、15 万

トンから 20 万トンの内の大部分になる気がするのですが、現行のスメルターであればリサイクル原料から銅地金を作る場合に電解採取ではなく電解精製を使っている。そうすると、この電解採取でリサイクル原料から銅地金を作る場合の問題点になるような感じがしないのですが。

神谷課長 (JOGMEC) : この下の説明で言いますと 2 番目の方の不純物の多いリサイクル原料の場合、粗銅品位が低くなるということで、現状では三菱さんとか住友さんとか精鉱と混ぜて使っているということで、かなり高い品位ものを作っている。

高津委員 : 通常のそのスメルターであれば、リサイクル原料の銅品位に関係なく、出てくる精製アノードの品位は変わらないと思います。通常のスメルターであれば、自溶炉とか転炉とかを使っている以上は、リサイクル原料を使おうが、精鉱を使おうがアウトプットである精製アノードの品位は変わらないと思うんですけども。そうしたらスメルターとすると、別に電解採取でやっている訳ではないですから。本当であれば日本の年間の総生産量 150 万トンとしたときに、電解採取から出てくる銅地金はどのくらいなのか。

神谷課長 (JOGMEC) : 1 万トン程度。

高津委員 : 150 から 140 万トンあるうち、たかだか 1 万トンに焦点を当てて技術開発をするというインパクトがあまりよく分からないのですが。

神谷課長 (JOGMEC) : これについてはかなり極端な例、全量リサイクルをモデルケースとして話をしている。

高津委員 : それが日本の銅地金の生産に対する比率が、リサイクル原料から電解採取法を使って出てくる割合が大きければ電力原単位を下げる、CO₂の排出を削減するという意味が出てくるとは思いますが、1%未満のものに対して、いくら技術開発をしてCO₂をどうしようが、残りは既存のスメルターでやっている訳ですから、インパクトがあまり感じられない。

神谷課長 (JOGMEC) : それに関しては今後と考えている。ご説明しましたが、どんどん不純物が増えていく状況があると、不純物が多くなるとアノード品位を高めることをしなくてはならなくなる。その時にこういった精製技術が効いてくるのではないかな。あと、電解につきましても、学会等で不動態化を研究されている先生方もいらっしゃって、今の段階では 150 分の 1 とかのインパクトでしかないと思いますが、今後そういった不純物の増加とか、あるいはリサイクル原料の増加といった形になった時に粗銅の品位を上げていかなければならない、といったところでの精製技術に役立つのでは無いか。

高津委員 : それはリサイクル原料が入って、例えば銅以外の品位が下がるとした場合であっても熔錬のところでコントロールすれば、精製アノードの品位は今とあまり変わらず、リサイクル原料をたくさん使ったからスメルターが作っている精製アノードの銅品位が下がるとは思わない。だからそれは違うと思う。

神谷課長 (JOGMEC) :そこは熔錬のところで出来るということもあるでしょうし、その後で熔錬で取り切れない、例えば銅ロスが多くなってしまうから、その後で精製しなければいけないねといった可能性はないのでしょうか。熔錬の段階でスラグの方に、不純物のために銅ロスが増えてしまうといった可能性はございませんか。

高津委員 :それは乾式の方ですけども、熱力学的に分配が決まっていってとか。

山口座長 :現行のプロセスではアノード純度を99.5%に維持するように、ヒ素とかアンチモンとかビスマスとかをコントロールして、電解精製で問題ないようなものを作っている。更にリサイクル原料が増えてきた場合、その許容値を超えてしまう可能性もあると思う。乾式の方で十分対応できればいいという高津委員のご発言だと思いますけども、スマルターとして鉱石を処理しているところは、実際、リサイクル原料の処理が多くないのが実情です。

高津委員 :リサイクル原料の処理というのは、非常に副産物が出ないので、今のスマルターでもリサイクル原料を集めてやっているけれども、電解採取への切り替えなんて全くないだろう。今の設備で担保できるだろう。この話を読んでみると、最後にDOWAさんが出てくるので、DOWAさんに特化した感じに見えてきて、他のスマルターに関しては、このプロジェクトに関するメリットがあまりないのではないかなという感じがする。DOWAさんのように非常にリサイクル原料を扱うようなところであれば電解採取によってメリットはあるかもしれないが、偏った方向性になっていないか。

神谷課長 (JOGMEC) :それに関しては、形としては、電解採取を電解精製に変えるというプロセスになっていますけども、要素技術を見た時に、今後の不純物とか低品位化の。

高津委員 :わかるんですが、今後の問題は、リサイクル原料から銅地金を作る場合に、スマルターがリサイクル原料を処理していく上で、電解採取を採用することは無いと思う。

神谷課長 (JOGMEC) :それはないだろう。ですから、これは電解採取に行かないような形で粗銅を作るという。

高津委員 :いけないというか、もともと140から150万トンのうち、ほとんどは今のスマルターで、精鉱から作るのもあるけれど、リサイクル原料からも作れているわけですね。

神谷課長 (JOGMEC) :現在は10%程度ですね、投入量で。精鉱に対して10%程度のリサイクル原料で、その中には高品位の銅とか銅管とか電線とかも含まれている。さらに廃基板とかもっと不純物の多いものが増えてきている。そうすると不純物が多くなると、そういうときに、電解採取をしようとは誰も思わないが、電解採取をしなくても電解精製で電解できるような粗銅を作らなければいけない。その時に乾式でこういったことが色々と役に立つのではないか。

高津委員：今の通常のスマルティングのプロセスにおいて不純物の多いリサイクル原料を投入させる場合に、出てくる精製アノードの純度が本当に下がるのかどうかというのが一番の問題ですよね。その辺については検証されているのでしょうか。

神谷課長 (JOGMEC)：それについては別途、熔錬のところで不純物の影響については現在調べているところ。どの程度あがったら影響が出てくるのかなど。

高津委員：スマルターでどこまでリサイクル原料を処理するかに関わってきますが、実際に現場で操業する場合には、スクラップ原料の投入比率を決めて、無理して精製アノードの品位を下げるような操業はしないと思う。ある程度限度があって入れてく話になるので、精製アノードの銅品位が、平均すると 99.2% くらいですが、リサイクル原料を使うことによって大幅に変化するとかは、操業上はあまりないと思う。

神谷課長 (JOGMEC)：あと精鋳の品位も下がってきているのではないかと思います。

高津委員：精鋳の品位は、結果として不純物として出てくるスラグとか硫酸の量が増えるだけで、精鋳の銅品位が下がった分、例えば硫黄が増えても単に出てくる SO₂ ガスが増えてくるだけで。

神谷課長 (JOGMEC)：アンチモンとか水銀だとかそういったものも増えてくるんじゃないかと思うのですが。

高津委員：水銀とかは揮発性があるのでガスに飛びますし、アンチモンもたぶん飛びます。結果的に製錬をすれば、精鋳中の銅品位が下がるということは相対的に S とかシリカが増えますが、それはその分だけアウトプットされるガスとかスラグの量が増えるだけで、効率が落ちるだけ。同じ銅量を取る時にたくさん飛ばさなくてはいけないというだけであって、出てくるマットは関係ないと思う。

山口座長：現行のプロセスはアノードに問題無い程度に考えながら熔錬をしているのだと思います。それで精鋳に対するリサイクル原料比が決まってくるのだと感じています。それが崩れた場合とか。

高津委員：ただそれは硫酸やスラグの量が増えるだけで、ただ効率が落ちるだけで、精鋳品位が下がっても、これまで 100 溶かして 10 だったものが 100 とかして 8 とかになるだけで、残ったものは全て外に出てしまうので、逆にその副産物を取るのが大変だと思います。この資料を読んだ時に、なぜ電解採取でやるのかなという、バックグラウンドが分からないというか、今のままでも十分できているというのが率直な感想だった。

神谷課長 (JOGMEC)：もちろん現状においては、150 万トンに対する 1 万トンですから、非常にインパクトは低いですが、将来的なことを考えると不純物の増加とか大きな問題になってくると思うので、こういった電解精製技術もありますし、電解に関しても学会などで不動態化が問題になっていると認識している。それについても、こういった形で基礎的な研究をして、こういった問題があるのだと活用できるの

かなと。

高津委員：精製アノードの不純物というか、銅の品位で不動態化の発生の有無に直接的に関係しているストーリーになっているが、実際に通常の精製アノードというか、99.2%の精製アノードを使っても実際に電解では場合によっては不動態化は起こる。必ずしも精製アノードの銅品位とか不純物品位とかが直接不動態化現象の根源になっているというのは、ゼロではないにしても支配的な因子かどうかは疑問があるところであります。

神谷課長 (JOGMEC)：ここではスライムの話だけしていますが、実際にはニッケル濃度とか液温であるとか電解液の組成とか、そういったものを 10 条件以上調べています。ですので、この段階ではアノード品位にフォーカスして話をしたが、他にニッケル濃度であるとか液温、添加物を変えたりして、こういう結果になったということ。

高津委員：そうなると電流密度が 200A/m^2 くらいになると思うけども、これは通常の電解精製より低いレベルですから、通常はもう少し上がっていて 250 以上あると思いますし、電流密度が高ければ高いほど不動態化の発生確率は上がると思います。アノードから溶け出る速度が変わってきますから、その辺の方が影響がより大きいような気がします。

山口座長：ありがとうございます。電解採取を対象とした理由の明確化とか今回の成果をいかに電解精製に活用できるか、高電流密度での電解精製にこのデータをどう活用していくかといったことも重要と思います。

高島委員：二点ほどあります。まず、4 ページ目の国が実施することの必要性のところの最後に、「わが国の銅製錬業界の競争力強化に重要である」というのがありますが、競争力強化に繋がるためには、この技術が我が国銅製錬業界の武器にならないわけだと思いますが、この方法を使うと電力をそんなに使わなくて済みますよということだとしても、他の国にいくと電気代がとても安いという話だと、同じ技術が流出してしまったら電気代の安いところでやるという話になるのかなと思うと、これが本当に競争力になるためには、この技術の知財的な話とか取扱を注意しないといけないのかなと思っていて、その辺はどうなっているのか、というのが一点目。二点目は、費用対効果を計算していただいていて最終的に投資回収期間を 10.4 年となっていますが、これはこの業界の企業さんから見た時にどういう風に見える数字なのかなというのが知りたい。右肩上がりの業界ではないかもしれないことを考えた時に、設備を入れるにはそれなりに改修が必要だったりとかするなかで、10.4 年というのを見て、やろうと皆さん判断するのかというあたりの率直な感想を聞かせていただければ。

神谷課長 (JOGMEC)：知財関係については契約上はバイドール条項で全て DOWA メタルマインさんや千葉工業大学さんに特許等はいくこととなっています。電力代は仰

られるとおり、他の国の方が安いということも当然ありまして、日本での競争力強化というか、弱くなるのを防ぐという感じかもしれません。電力代が高い中でいかにコストを下げていくかと。あと 10.4 年というのが長いのか短いのかというと、率直に言うとは少し考えるところかなと。

高崎委員：何点かあるのですが、12 ページのところで、色々な条件で電解試験をやられて、一点だけ 168 時間でセレンが増えたというのは、何か理由があるのでしょうか。

神谷課長 (JOGMEC)：色んなものがでできますので、理由というところは、なぜセレンかというのはちょっと分らないです。頑張ったがセレンが達成出来なかったということ。例えば銀が出てきますが、それは臭化銀として落とすということが出来たが、セレンはちょっと力不足だった。具体的に何が悪かったというのは分らない。

高崎委員：銀を落としすぎてセレン化銀で落ちないという話ではないのでしょうか。

神谷課長 (JOGMEC)：色んな条件で試していて、セレンが落ちる条件もあったが、これをやるとこれがダメという形になって、最終的にどこがというのが分らない。ただ、結果として鉛の品位をもう少し下げてあげると何とかなるのではないかなという結果にはなっています。

高崎委員：アンチモンと鉛を除去していくわけですけども、鉛製錬工程に持って行くものがあるのですが、鉛製錬工程側で受ける分には問題無いということでしょうか。

神谷課長 (JOGMEC)：そうですね、鉛製錬工程に持って行ける。

高崎委員：21 ページ目の電解試験なのですが、14 ページで液流を与える試験はかなり大きなサイズでされているが、こちらの 20 ページの方も。

神谷課長 (JOGMEC)：いや、これはラボレベルの小さな試験。

高崎委員：液の流れみたいなイメージというのが、どうされたのかなと。横から液を入れているのかなと。ラボレベルでは。

神谷課長 (JOGMEC)：これは流していないというか、循環はしてますが吹きつけはしていない。小さなレベルでアノードも 15mm×15mm と小さなものを使っています。

高崎委員：20 ページの実験はこういう結果でしたけども、大きなものでやって不動態化しなかったというのが最初の方。実際に近いものとは違うということ。

神谷課長 (JOGMEC)：20 ページの下の方にいくと、不純物が結構入ったりするので、これは純粋に研究としてこういったものが影響するのかを調べるということ。

高崎委員：先ほどの高津さんの質問の中にあつた他の会社さんは十分処理出来ているところに、DOWA さんの炉から出てくる量の少ないものに着目したという話について、通常の製錬で今後問題になるのではないかなという硫酸の処理の弊害というのは無いということなのか。

神谷課長 (JOGMEC)：硫酸の処理は特段ない。

高崎委員：通常の直島などの他の製錬所では硫酸がだぶついてきた時に、こちらの方法です

と硫酸を作らなくて良いわけです。そういったメリットがあって、ただ今は電解採取じゃないと出来ないの電解精製できれば良いでしょうという研究のような感じを受けたのですが、どちらかと言うと、かなり高不純物でも電解精製の技術が出来たということ。数%ではあるんですけども、硫酸がだぶついて従来の製錬方法では回らなくなることはないとは思いますが、実際に高不純物が増えてきた時に、ここまで不純物が増えても電解できるんですよということを示唆しているのかなと。

神谷課長 (JOGMEC) : これは銅品位でいうと 95%くらいのところで電解精製している。高津さんが言われたように今は 99.2%ぐらい、それが 4%くらい下がったところで出来ると。91%でやるとすぐに不動態化してしまう。そのあたりを、どの程度落ちてくるのか、熔錬とかの技術で 99.2%を維持するというのもあるが、その数%のところで効いてくるもの。

山口座長 : 電解精製のところで、一般的な電流密度かもしれませんが、高不純物が存在すると不動態化を起こして、その不純物をどの程度まで低減すれば、ある意味許容量が分かったというのは大変望ましいと思います。さらに高電流密度の電解に及ぶためには、どう不純物の条件が変わってくるのか、そこまで発展していれば非常に良かったのかなと思います。ここからは質問ですが、液流れを作ることによって目的の時間まで不動態化しなかったということですけども、今回のコスト計算にこの液流れの設備を設置するということは計算に入っているのでしょうか。

神谷課長 (JOGMEC) : はい。18 ページでいいますと、設備投資の中に液を吹き付けるという部分も入っています。

山口座長 : このように不純物濃度が高いとその後の電解液の浄液でコストが掛かるかもしれませんが、電解採取に比べて今回の酸化精製をすることによって浄液のコストが下がるといったことがあるのでしょうか。

神谷課長 (JOGMEC) : 浄液のコストが下がるかどうかまでは計算をしていません。例えば、ニッケル濃度が高くなると粘性が増えて電解が止まるというのがあるが、ニッケルの浄液設備とか、そういったものは多少は不純物が多いなどで増強する必要があるのかもしれない。

山口座長 : 酸化精製などで事前に不純物を除去することができれば、浄液コストが下がる可能性はあるということでよいでしょうか。

神谷課長 (JOGMEC) : そのとおり。

高津委員 : 先ほど高崎先生が言われた、セレンがたまたまた LME グレードに届かなかったものがあるというお話ですけども、実際に分析はどういう風にやられたのですか。

神谷課長 (JOGMEC) : 分析は、実はできあがったカソードが一様では無いので、部分をとって平均をしている。

高津委員：その部分部分というのは中まで、バルクまでですか。

神谷課長 (JOGMEC)：ちょっとそこまで分からない。液を吹き付けたことによって、吹き付けた部分に液の流れの跡があって、そういった部分と何もない部分とでとって、その平均値。だから中までは取っていない。

高津委員：通常、電気銅の不純物の品位とかを評価する場合には、例えば液面に近いところは割と不純物が高い。同じ板でも不純物の濃度が違う。それと表面とバルクでも違ってくるので、通常はドリルで穴をあけて、その屑を上下真ん中などを決めて、その平均サンプルでとる。局部的にとって測ってしまうと、不純物が高い部分があって、その板全体の品質を言えていないところがあって、その辺の評価のところは、サンプリングの数とかバルクまでとって評価したら。セレンだけが高いというのは通常ではあまり考えられないので。出てきた電気銅の表面がどうだったのかは写真がないので分かりませんが、アノードの表面に吹き付けてスライムを落としています、スライムは必ず撒き散るので、カソードの表面につくと、そこに例えばセレンがはいっていたりすると、その部分を取ってしまうと部分的に不純物のばらつきがあるので、評価方法をしっかりとやられたら。セレンが出るというのが分からなくて、しかも 114 時間では問題なかったけれども 168 時間では出ましたということは、ひょっとしたら表面に付いていたのかもしれない。その辺はもう一度検証されたらセレンは出ないような気がします。

神谷課長 (JOGMEC)：分かりました。分析方法については確認してご説明します。一つ私も見落としていましたが、セレンについてはスライムの影響があるだろうとのことです。

高津委員：それから不動態化が発生したときの電圧の変位のグラフってないんですか。

神谷課長 (JOGMEC)：ちょっと付け忘れしました。

高津委員：何時間までがオクケーで、どこかで発生している。急激に電圧が上がって、そこで電流が流れなくなると、その電圧の変化なので、おそらく不動態化が発生する前には、多少電圧の動きが今までと違って怪しくなってくると思うのですが、その辺のデータがあると。横軸が時間で縦軸が電圧のグラフがあれば見せていただきたいなど。

神谷課長 (JOGMEC)：結構、急激に上がるという感じ。基本的には急激に不動態化で上がるというグラフになっています。

高津委員：それはアノードに液を吹き付け続けてもということですか。

神谷課長 (JOGMEC)：はいそうです。

高津委員：電圧は無限大にあがるのですか。

神谷課長 (JOGMEC)：そうですね、無限大に、垂直にあがる。

高島委員：先ほどの質問と同じなんです、10.4 年の考え方についてお話がありましたが、この技術は開発が終わった後に、誰がどう抱えて、いつどのように社会に実装さ

れそうなのか、されなさそうなのか、事業アウトカム達成までのロードマップの見込の話をしてもらえますか。

神谷課長（JOGMEC）：10.4 年ということですので、企業の判断ということになるかと思いますが。こういった技術に関しましては機会があるごとに発表してますし、大学の先生が継続されていけば学会等でも発表されていくと。特段、今の段階で何年後に入るというのは、私の方からは申し上げられないというか、分からない。個別の技術の中で、こういった部分を取り入れていこうといった判断がされると考えている。

高島委員：民間企業さんはそれぞれのご判断があるので、見えないところもあるだろうが、どこかの大学さんでは、これをまだまだブラッシュアップする開発をしようとしているとか、それによって値段が下がる見込があるとか、そういった話がありますか。

神谷課長（JOGMEC）：24 ページに書いている大学では研究は続けている。いきなりコストが下がるかは分からないが、研究は続けていただいている。資料 6 の 6 ページ目で、論文としても 1 本発表いただけてますし、学会発表ということで何回もしていただいている。これは継続していくのかなと。

山口座長：色々ご質問等があるかもしれませんが、追加の質問があれば質問票で事務局へ問い合わせさせていただきたい。

（５）今後の予定について

評価コメント票の提出期限を平成 30 年 1 月 15 日とすることを確認した。また、第 2 回評価検討会を平成 30 年 1 月下旬に書面で開催予定とした。