



# HOKKAIDO UNIVERSITY

|                     |                                                                                                         |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Title               | 塩化アルミニウム系イオン液体を用いたアルミニウムスクラップの電解精製 [論文内容及び審査の要旨]                                                        |
| Author(s)           | 布村, 順司                                                                                                  |
| Degree Grantor      | 北海道大学                                                                                                   |
| Degree Name         | 博士(工学)                                                                                                  |
| Dissertation Number | 甲第15841号                                                                                                |
| Issue Date          | 2024-03-25                                                                                              |
| Doc URL             | <a href="https://hdl.handle.net/2115/92142">https://hdl.handle.net/2115/92142</a>                       |
| Rights(URL)         | <a href="https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/">https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/</a> |
| Type                | doctoral thesis                                                                                         |
| File Information    | Nunomura_Junji_review.pdf, 審査の要旨                                                                        |



## 学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士 (工学) 氏名 布村 順司

審査担当者 主 査 教 授 上田 幹人  
副 査 教 授 林 重成  
副 査 教 授 菊地 竜也  
副 査 准教授 松島 永佳  
副 査 教 授 津田 哲哉 (千葉大学・大学院工学研究院)

## 学位論文題名

塩化アルミニウム系イオン液体を用いたアルミニウムスクラップの電解精製  
(Electrorefining of aluminum scrap using aluminum chloride ionic liquids)

使用済みのアルミニウムは、融点以上の温度で再溶解し、再生地金としてリサイクルされている。この際、他金属や様々なアルミニウム合金が混ざるため、再生合金の Al 純度は低下し、この工程が繰り返されることで最終的にリサイクル困難なアルミニウムスクラップとなり、埋め立て処分される。これら低品質のアルミニウムスクラップから、展伸材などの需要の多いアルミニウムにアップグレードが可能となれば、国内におけるアルミニウム資源の有効活用や環境負荷の低減に大きく貢献できる。本論文は、アルミニウムスクラップの新規リサイクル手法の確立のため、現行の電解精製法よりもはるかに低い室温付近で使用可能な、塩化アルミニウム ( $\text{AlCl}_3$ ) を主体とするイオン液体を用いてスクラップとして想定されるアルミニウム合金のアノード溶解特性とカソードにおけるアルミニウムの電析特性を明らかにし、適切な電解条件について検討した。

本論文は全 7 章から構成されている。

第 1 章では、現行のアルミニウムリサイクルプロセス、および高温の Al 電解プロセスの問題点を挙げるとともに、低温の  $\text{AlCl}_3$  系イオン液体を用いる電解精製法の優位性を述べた。その上で、イオン液体と固体のアルミニウムスクラップアノードを用いて電解精製する際、添加元素由来の金属組織に対するアノード溶解挙動とカソード上での電析挙動を解明することが高純度の精製 Al を得るために必要であることの重要性を説明した。

第 2 章では、固体のアルミニウム合金アノードを用いた電解精製に向けた基礎実験として、各種純金属 (Al、Fe、Si、Cu、Mn、Zn) をアノードとした分極測定を行い、Si がイオン液体電解液中にアノード溶解しないこと、その他は溶解開始電位がそれぞれ貴にシフトすることがわかった。これらの結果から、Si はアノード側で除去できる可能性、他の合金元素については電解精製時のアノード電位を適切に制御することで高純度の Al をカソード上で回収できることを示した。

第 3 章では、Al-Cu 合金をアノードとした際の電解精製において、金属間化合物  $\text{Al}_2\text{Cu}$  からの Cu イオンのアノード溶解電位と溶解した Cu イオンのカソード上での電析機構について明らかにした。 $\text{Al}_2\text{Cu}$  を含む Al-Cu 合金のアノード分極において、Al の溶解が進行しながら 0.8 V vs.

Al/Al(III) 付近で  $\text{Al}_2\text{Cu}$  のアノード溶解の電流密度のピークが現れた。0.8 V で定電位電解後のアノード表面および断面の SEM-EDS 分析により、 $\text{Al}_2\text{Cu}$  から Cu イオンが電解液中にアノード溶解し、カソードで Al と共に電析することが明らかになった。 $\text{Al}_2\text{Cu}$  の溶解が生じない 0.3 V では合金表面の Al のみが優先的に溶解し、カソードでは高純度の Al が電析した。これらの結果から、 $\text{Al}_2\text{Cu}$  のアノード溶解電位の制御により、 $\text{Al}_2\text{Cu}$  中の Cu の電解液への溶解が抑制され、電解精製される Al の純度を高められる事を明らかにした。

第 4 章では、Al-Mn 合金をアノードとした際の電解精製において、合金中に存在する Mn 固溶体、Al-Mn-Fe 系および Al-Mn 系の金属間化合物、各々の金属組織からの Mn イオンのアノード溶解電位と溶解した Mn イオンのカソード上での電析機構について明らかにした。純 Al と純 Mn の溶解電位差は約 0.1 V と小さいのに対し、Al-Mn 合金は形成される金属組織によって Mn イオンのアノード溶解電位が純 Mn よりも大きく貴になることがわかった。以上の結果より Mn-Al 合金をアノードとした電解精製では、アノードに用いる Al-Mn 合金を予め熱処理し、母相への Mn 固溶量を減らし、Al-Mn 系の金属間化合物への析出を促進させたアノード合金設計を提案した。

第 5 章では、金属間化合物  $\text{Al}_6\text{Fe}$  を有する Al-Fe 合金と  $\beta\text{-AlFeSi}$  を有する Al-Fe-Si 合金とをアノードとした際の電解精製挙動を比較し、金属間化合物中の Si が Fe イオンのアノード溶解とカソード上での Fe イオンの電析挙動に与える影響を明らかにした。定電位電解後のアノード表面および断面分析より、 $\text{Al}_6\text{Fe}$  を含む合金では 0.7 V 以下の電位にすることで Fe の溶解が抑制され、 $\beta\text{-AlFeSi}$  は 0.9 V で Al の溶解が進行するが、1.4 V にならなければ Fe の溶解が生じず、Si はいずれの電位でも溶解しないことを明らかにした。Al-Fe 合金に Si が添加されることで、金属間化合物  $\beta\text{-AlFeSi}$  が形成され、Fe の溶解電位をより貴側に变化させて、広い電位域で電解することが可能になった。

第 6 章では、Zn が固溶体を形成する Al-Zn 合金をアノードとした際の電解精製において、Al-Zn 合金からの Zn イオンのアノード溶解と溶解した Zn イオンのカソード上での電析を抑制するのに最適な電解液組成を明らかにした。60% $\text{AlCl}_3$ -40%EmImCl 電解液中と 67% $\text{AlCl}_3$ -33%EmImCl 電解液中では、Zn のアノード溶解時の挙動が異なり、60% $\text{AlCl}_3$ -40%EmImCl 電解液を用いることで、電解液中の Zn 成分が化合物としてアノードに固定されることで、純度の高い Al を電析できることを見出した。

第 7 章は本研究の総括である。

これを要するに、著者は各種 Al 合金のアノード溶解特性とカソードにおける電析特性を明らかにすることで、適切な電解条件によって純度の高い Al が電析することを実験的に証明した。本成果は、電解製錬の分野における工学的および学術的な進歩に貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格があるものと認める。