

2020年3月31日

## 報告書

実施期間 2019年7月1日～2020年2月29日

# アルミスクラップからのアルミグレード別 高度選別技術開発

株式会社マテック 苫小牧支店

丸山 貢

日産自動車株式会社 材料技術部

服部 直樹、 小金沢 泰一

# 概要

## 名称

アルミスクラップからのアルミグレード別高度選別技術開発

## 実施期間

2019年7月1日～2020年2月29日

## 開発/調査 代表者

株式会社マテック 苫小牧支店 丸山 貢

## 実施者

株式会社マテック 苫小牧支店 丸山 貢

日産自動車株式会社 材料技術部 服部 直樹、小金沢 泰一

## 目的

今後増加が見込まれる廃自動車から回収されたアルミニウムスクラップを水平リサイクルする為に必要な 5000 系及び 6000 系アルミニウムの高度選別技術について評価・実証を行う

## 実施内容

昨年度の実証により明らかとなった自動車部品の高度選別に必要な前処理（シュレッダー方法）と塗装膜の剥離状態を、本年は使用済み自動車を用いて検証し、使用済み自動車から高度選別を行った場合の精度、および経済性の評価を行う。

## 成果

使用済み自動車を一連の破碎選別後に得たミックスメタルを用いて、アルミニウムの高度選別を行った結果、高い選別品質を得ることを実証出来た。

（詳細 技術報告書参照）

# 自動車アルミパネル 高度選別試験実施報告

株式会社マテック

## 目次

1. 背景・目的
2. 本取組の課題
3. 検証の試料
4. 評価に使用する設備
  - 4-1. 使用する破砕機および選別機
  - 4-2. LIBS選別機
5. 使用済み自動車を用いたアルミニウム選別評価
  - 5-1. 評価に使用する破砕・選別の仕様
  - 5-2. 共通処理工程
  - 5-3. 追加処理工程
6. 縦型破砕による塗装膜の剥離評価
7. LIBS選別機による選別評価
  - 7-1. ミックスメタルの選別条件
  - 7-2. ミックスメタルの選別結果
8. LIBS選別されたミックスメタルの溶解・成分測定
  - 8-1. 溶解方法
  - 8-2. 発光分光測定および測定結果
9. 成分分析結果より選別精度の考察
  - 9-1. 仕様別 アルミニウム合金成分比較
  - 9-2. 合金種類別 アルミニウム合金成分比較
  - 9-3. 合金種類別 成分比較まとめ
10. アルミニウム選別回収の歩留り評価
  - 10-1. アルミニウム回収重量と使用済み自動車に含まれるアルミニウム展伸材重量推定値
  - 10-2. 破砕・選別工程でのミックスメタル回収率
  - 10-3. LIBS選別工程での5000系-6000系 アルミニウム回収率
  - 10-4. LIBS選別工程での5000系-6000系 アルミニウム回収率まとめ
11. 経済性の評価
  - 11-1. 各仕様における工数の違いによる選別コスト比較
  - 11-2. ランニングコスト
12. まとめ

## 1. 背景・目的

近年、厳しくなる燃費規制を背景に、軽量化を目的とした自動車車体へアルミニウム展伸材の適用が増加してきている。それらアルミニウム展伸材は、最終的に使用済み自動車として解体・破碎工程され磁力選別やX線選別を行い選別回収が行われ、アルミニウム素材としてリサイクルされている。

使用済み自動車より回収されたアルミニウムの主な使用用途として、自動車のエンジンブロックやトランスミッションケースといったアルミニウム鋳物部品へのカスケードリサイクルが一般的であり、より付加価値の高い展伸材へのリサイクルはほとんどされていない。

本取り組みでは、今後も環境規制の強化に伴い拡大が予想されるアルミニウム展伸材の原料として、使用済み自動車から回収されたアルミニウムスクラップを水平リサイクルするために必要な高度選別技術について評価・実証を行う。

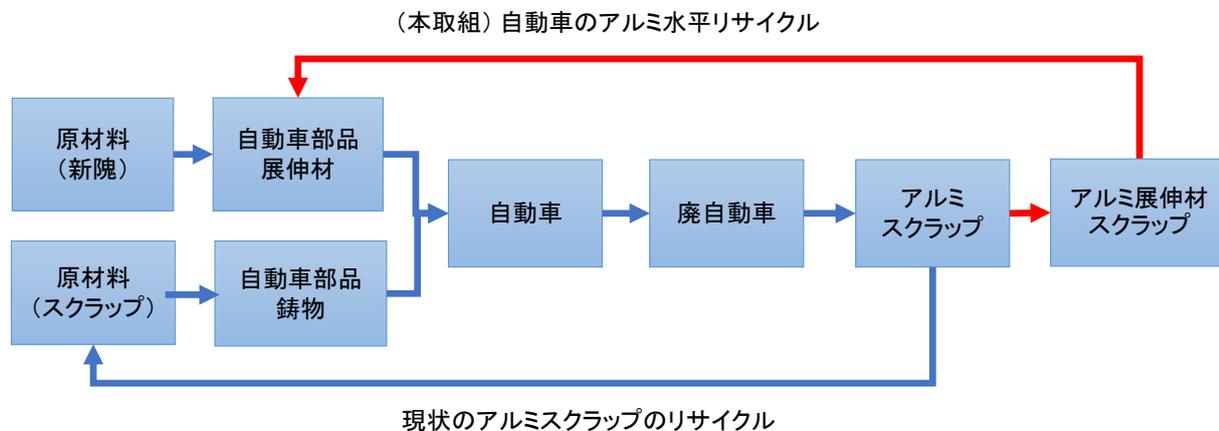


図1: 使用済み自動車のアルミニウムスクラップリサイクルフロー

## 2. 本取組の課題

現状、使用済み自動車から回収されたアルミニウムスクラップは展伸材への水平リサイクルがほとんど出来ていない。その理由として、以下に挙げる課題があり、それらを解決する必要がある。

自動車構造部品に適用されているアルミニウム展伸材は、その用途に応じて、アルミニウム合金種のうち、5000系合金（Al-Mg合金）及び6000系合金（Al-Mg-Si合金）が主に適用されている。その展伸材の原料としてアルミニウムスクラップを再利用する為には、鉄などの異材を除去する事はもちろん、アルミニウム合金毎に配合されている元素が異なる事から、アルミニウムスクラップをこの合金種ごとに選別する必要がある。

また、アルミニウム部品は自動車メーカーや車種毎に適用されている部品が異なり、どの部品がアルミニウム部品なのか、更にはその中で5000系、6000系合金の種類を把握し、選別するのは困難であり、展伸材への水平リサイクルを難しくしている。

次に、自動車の構造体に適用されている部品には、その表面に防錆や加飾を目的とした塗装が施されており、高度に材料種を識別する場合に用いられる元素の含有量を測定し選別する事への阻害要因となっている。

実際に含有金属の量を測定する場合、塗装は事前に削り取り、金属部分を露出させ、その部分で計測する必要があり、表面の塗装膜は選別高度化への一つの阻害要因となっている。

更に、自動車の構造体として機能する為には、周辺の部品と接合され、構造体を構成している。実際には鉄や5000系、6000系アルミニウムなどが部品として接合され構造体として構成されているケースが想定される。

これら接合されている部品を分離し、単体の材料まで解体する必要がある。

昨年、一昨年の実証試験では、アルミニウム部品を破碎選別処理したサンプルや塗膜面積の違うアルミニウム板のサンプルを用いてレーザー誘起ブレイクダウン分光法選別機（通称 LIBS選別機）による選別を行い、LIBS選別機がアルミニウム合金種類別の選別に有効である事を確認した。また、アルミニウム部品表層の塗装膜と破碎後のサイズが選別精度に影響があることが確認され、その有効な解決手段を見いだせた。

本年度は昨年、一昨年の実証結果を踏まえ、より多くの部品や材料を含む使用済み自動車よりアルミニウム合金種類別に高度選別を実証する事とし、以下2つの課題に取り組む事とする。

### 取組課題 1

使用済み自動車からアルミニウム展伸材の合金種別選別及び回収の実証

- 破碎方法や選別方法の異なる仕様を設定し、選別精度の差を評価・実証する。

### 取組課題 2

使用済み自動車からアルミニウム合金種類別スクラップ回収の経済性の評価

- 課題1で実施した選別回収実証における経済性評価を行う。

3. 検証の試料

使用済み自動車の破碎処理工程の中からアルミニウムスクラップを回収するため、試料として使用する使用済み自動車は、アルミニウム展伸材が車体外装に使用されている以下の車種および台数とした。  
 下表に示す 車種 計11台を 1ロットとし、アルミニウムスクラップを選別回収の評価を実施する。

表3：試料に用いる使用済み自動車の車種・台数およびアルミニウム部品の使用部位と想定重量

メーカー	車名	年式	台数/ロット	主なアルミニウム外装部品				アルミニウム重量(kg)		アルミニウム重量 合計(kg)
				フード	フロントドア	リアドア	トランク	台あたり	ロットあたり	
日産	リーフ	2011-2014	2	●	●	●		40	80	327
日産	フーガ	2004-2007	4	●	●	●	●	47	188	
トヨタ	プリウス	2004-2008	4	●			●	13	52	
マツダ	RX-8	2004-2005	1	●		●		7	7	

\* 各部品のアルミニウム重量は フード 6kg, フロントドア/リア ドア 17kg, トランク 7kg として仮定

写真3-1 リーフ



写真3-2 フーガ



写真3-3 プリウス



写真3-4 RX-8



: アルミニウム外装部品

4. 評価に使用する設備

4-1. 使用する破砕機および選別機

表4-1-1 破砕機一覧

破砕機種類	適用事例
2000HPカーシュレッダー	広く廃自動車の破砕に使用されている破砕機。ハンマー式で適用範囲が広い。ハンマーで「ちぎり取る」ように破砕するため、破砕後の形状は巻き込まれた形状が多い。
縦型破砕機	縦型破砕機の側面より材料を投入し、同心円のハンマーで素材を破砕し破砕機の底面より排出する。底面に設置されたスクリーンサイズによって破砕サイズと内部滞留時間を調整する。

表4-1-2 選別機一覧

選別機種類	適用事例
渦電流選別機	磁石の内蔵されたドラムを高速に回転させることにより交番磁界を生み出し、この磁界の中を通過するアルミ、銅などの非鉄金属の内部に渦電流を発生させ、前方に跳ね上がらせる。
高磁力選別機	13000ガウスの強力な磁力で、わずかな磁性物も吸着する。
透過型X線選別機	対象物にX線を照射し透過量を計測することにより対象物の密度を計算する事で対象物の材料種の選別を行う。詳細な判定は不向きであり、また厚みによる影響が大きい。
LIBS選別機	レーザー誘起ブレークダウン分光法、通称LIBSと呼ばれる選別技術。レーザー照射により、対象物表面にプラズマを発生させ、その光の波長から含まれる成分及び量を計測する。対象物の表面にレーザーを照射する為、表面の状態（塗装、汚れ）の影響を大きく受ける。また、レーザーの焦点を連続して合わせる為、表面上の大きな凹凸もLIBS選別に適さない。

図4-1 2000HPカーシュレッダー

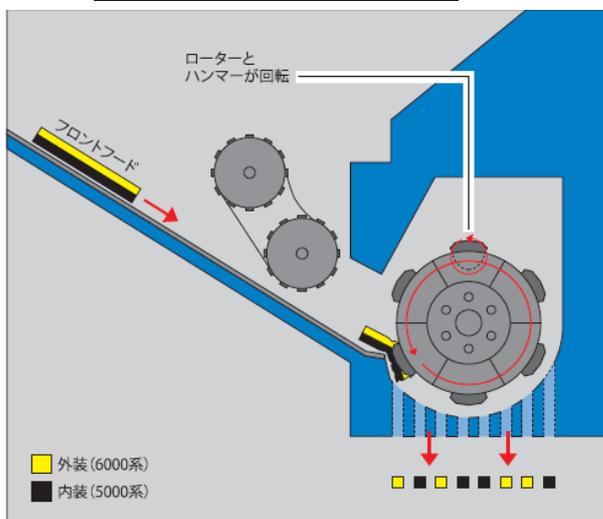


図4-2 縦型破砕機

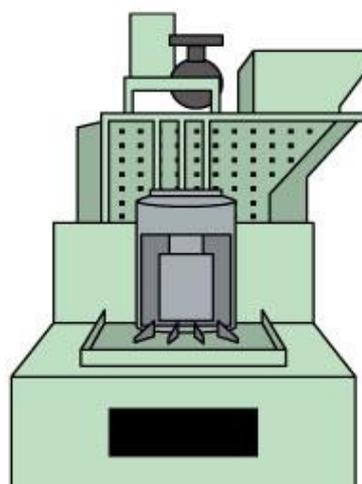


写真4-1 渦電流選別機



写真4-2 高磁力選別機



写真4-3 透過型X線選別機

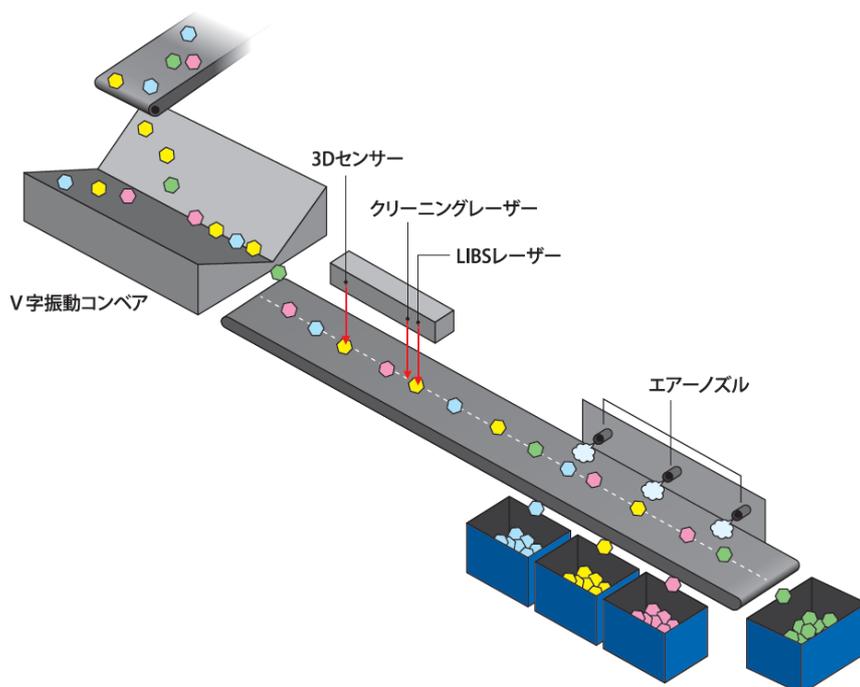
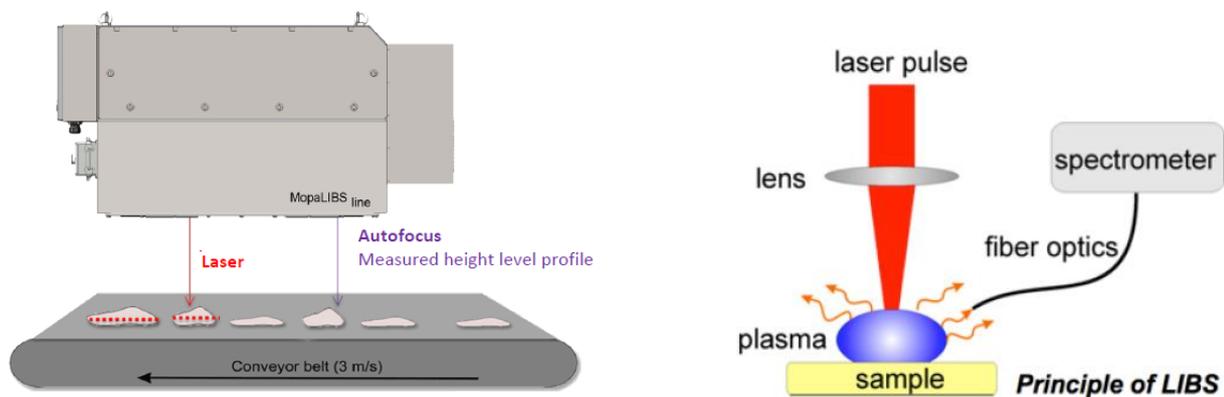


## 4-2. LIBS選別機

本実証試験で使用するLIBSは、試料に含まれる金属元素を測定する為に必要な、測定表面の状態を整えるクリーニングレーザーが設置されている。試料はクリーニングレーザー、LIBSレーザーの順に通過する。(図4-2-1左参照)

クリーニングレーザーで素材表面の付着物(塗装、汚れ)を除去した後、パルスレーザーをクリーニングした部分に照射し発生したプラズマを読み取り分析をする事で、元素の含有量を測定する。

図4-2-1: LIBS選別機 選別の仕組みとイメージ

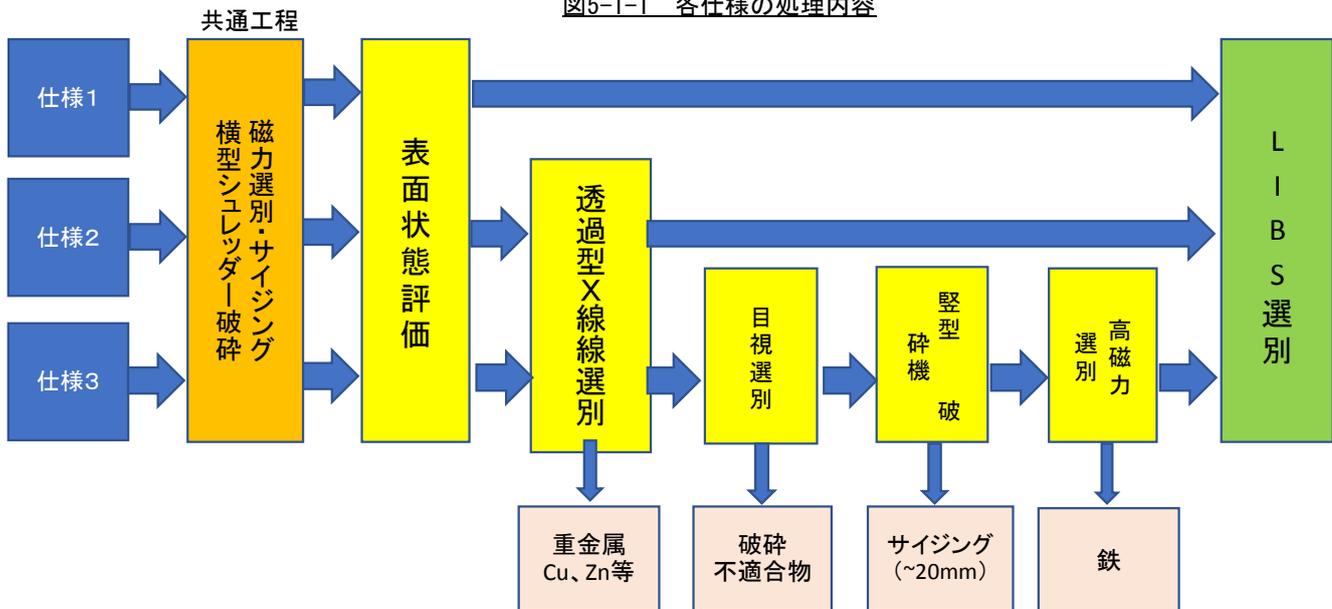


## 5. 使用済み自動車を用いたアルミニウム選別評価

## 5-1. 評価に使用する破砕・選別の仕様

今年度は、通常行われている使用済み自動車の破砕処理工程の中からアルミニウムスクラップを回収する。LIBS選別前に実施する処理を簡易的な工程から選別品質を重視し追加処理を行った計 3仕様を準備し、LIBSによるアルミニウム展伸材を選別回収を行う。

図5-1-1 各仕様の処理内容



## 破砕選別仕様の概要と目的

仕様1：共通処理である横型シュレッダー+磁力選別+サイジング（20～120mm）+渦電流選別で回収したミックスメタル

仕様1は一般的なELVの通常処理である共通処理のみを行い、追加工程を経ずそのままの状態でのLIBS選別の精度を検証する。

仕様2：共通処理後、透過型X線選別機で比重の重い金属（銅や亜鉛）を除去したミックスメタル

仕様2は、共通処理後のミックスメタルから透過型X線選別機2基を使用し、比重の重い金属を除去しアルミニウムスクラップの歩留まりを向上させたもので、一般的にはこの状態でアルミシュレッダーとして販売可能なレベルまで選別されている。

仕様3：仕様2の処理後、堅型破砕機で表面塗膜を除去し更に高磁力選別で微量の鉄分も除去したミックスメタル

仕様3は、仕様2と同じ処理を行ったミックスメタルから目視で堅型破砕機で破砕できないもの（鋳物など高負荷物）を除去し、残ったミックスメタルを堅型破砕機で破砕する事で、表面塗膜を除去を行う。また、共通処理の磁選機で除去しきれない微量の磁性物を除去するため高磁力選別機を使用し磁性物をできる限り除去したミックスメタル。

5-2. 共通処理工程

仕様1~3を適正なELV解体工程（液抜き、エアバッグの取り外し、フロンガスの除去等）を行った後、ロットごとに2000HPシュレッダーで破碎し磁力選別・サイジング（20~120mm）・ECS選別を行い次工程用のミックスメタルを回収した。また、エンジン・ミッション・足回り部品はELV解体工程で取り外しを行っている。

【図5-2-1 各仕様 共通処理工程】

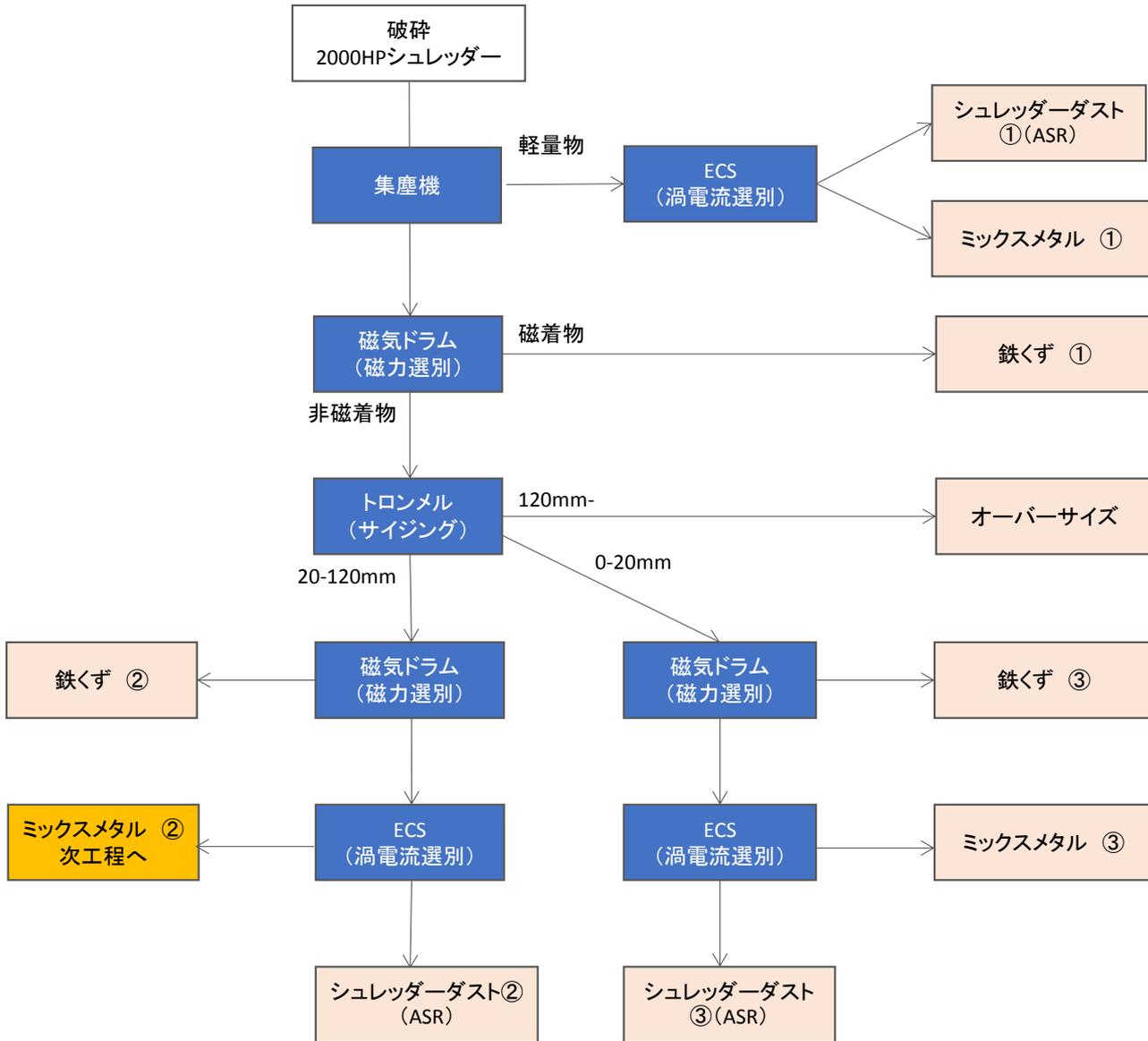


表5-2-1 共通工程における回収物 重量一覧表

	次工程へ										合計
	鉄屑①	鉄屑②	鉄屑③	ASR①	ASR②	ASR③	ミックス メタル①	ミックス メタル②	ミックス メタル③	オーバー サイズ	
仕様1	7,070	30	20	2,610	340	240	150	400	110	30	10,880
仕様2	7,040	20	30	2,520	310	390	140	420	130	30	11,030
仕様3	7,060	20	10	2,600	340	210	150	370	90	30	11,000

単位 : kg

5-3. 追加処理工程

共通処理実施後、仕様2, 3の追加工程における回収物と最終的にLIBS選別へ供試するミックスメタルの重量を以下に示す。

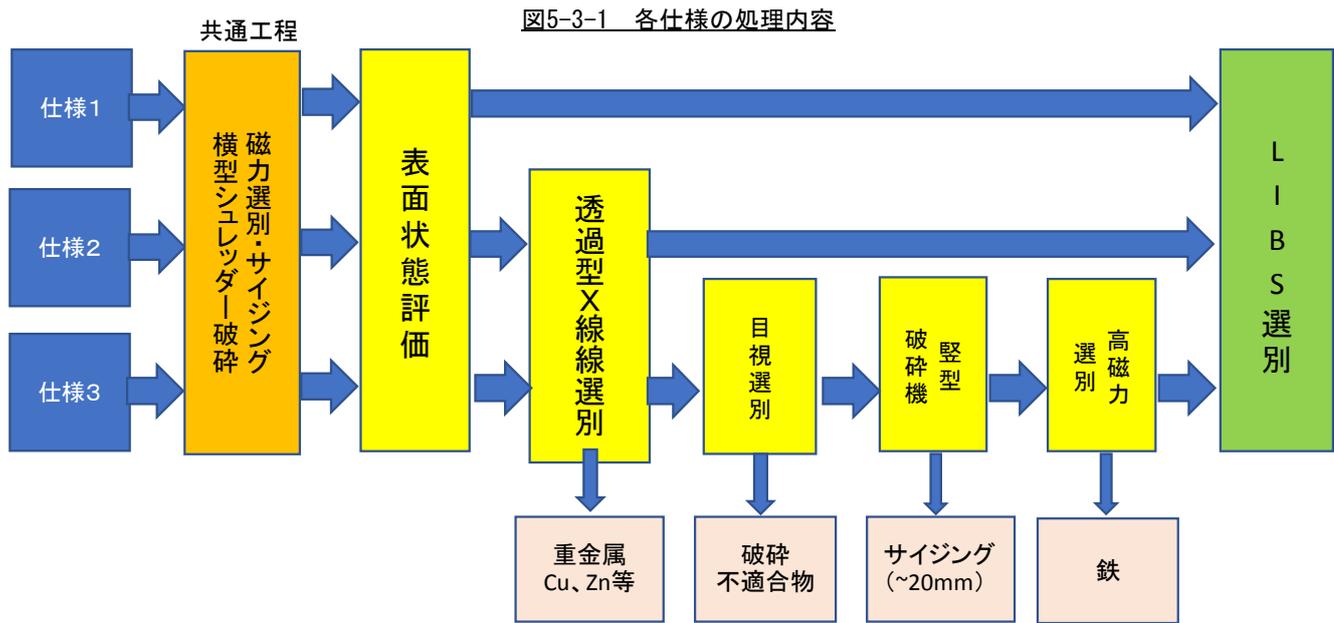


表5-3-1 追加工程における回収物 重量一覧表

	投入	透過型 ×線選別機	目視選別	縦型破碎機	高磁力選別	LIBSへの供試品 ミックスメタル
		重金属	破碎 不適合物	サイジング (~20mm)	鉄	
仕様 1	400					400
仕様 2	421	58				363
仕様 3	370	57	104	30	10	169

6. 堅型破碎による塗装膜の剥離評価

仕様3で堅型破碎機の破碎前後でミックスメタル中の外装パーツの展伸材アルミニウムスクラップを抽出し、塗膜の剥がれ度合を目視で確認し、回収した塗装の残り具合によって4グループに分類した。(塗装多い 1⇒2⇒3⇒4 塗装少ない)

その後、4つに分類されたアルミくずのうち代表的なものを10ヶ選定し、画像解析による塗膜剥離状況の定量化を行った。

画像分析の手順は以下。

1. 破碎物を画像認識し、各ピース全体を2次元化し、面積を算出する。
2. コントラストの差を利用して塗装が残っている部分を認識し、その面積を算出する。
3. 1及び2で求めた面積の割合で塗装面積割合(%)を算出する。

補足：

・画像解析では色のコントラストで塗膜と素地の識別を行う事から、例えば素地と同色のシルバー塗装では判定が難しい。  
 さらに、削れて塗膜が薄くなる等の影響は考慮されない。その為目視による選別を優先し4つに分けた上で、それぞれ4つの剥離状態の定量化を実施した。

- ・塗装膜状況測定面は外観より確認できる面を表面として測定し、その反対を裏面として定義。

写真6-1 : 画像解析手順1



写真6-2 : 画像解析手順2 ( 塗装面積測定 (赤=塗装面積) )



全体ピクセル数 = 972,836  
 塗装ピクセル数 = 501,146  
 塗装剥離面積 = 471,690  
 塗装割合(%) = 51.5%

表6-1 : 仕様3 堅型破碎機前の塗膜剥離状況

破碎前	1	2	3	4
重量	10.00	26.00	47.00	37.00
塗装面積 10ヶ平均値	71.4%	50.7%	29.2%	7.3%

平均 30.6%

表6-2 : 仕様3 堅型破碎機後の塗膜剥離状況

破碎後	1	2	3	4
重量	8.50	25.50	45.00	35.00
塗装面積 10ヶ平均値	64.1%	40.5%	21.0%	1.1%

平均 22.5%

堅型破碎機の破碎前(2000HPシュレッダー破碎後)の評価で、最も塗装残面積が大きいグループでも約71%、平均では30.6%となった。

堅型破碎機の破碎後の評価では、最も塗装残面積が大きいグループで約64%、平均では22.5%となり、破碎前後で約8%塗装膜面積が少なくなった。

【参考資料】 塗装面積グループ写真

堅型破砕機 破砕前

グループ1



塗膜残存率 平均71.4%

グループ2



塗膜残存率 平均50.7%

グループ3



塗膜残存率 平均29.2%

グループ4



塗膜残存率 平均7.3%

堅型破砕機 破砕後

グループ1



塗膜残存率 平均64.1%

グループ2



塗膜残存率 平均40.5%

グループ3



塗膜残存率 平均21.0%

グループ4



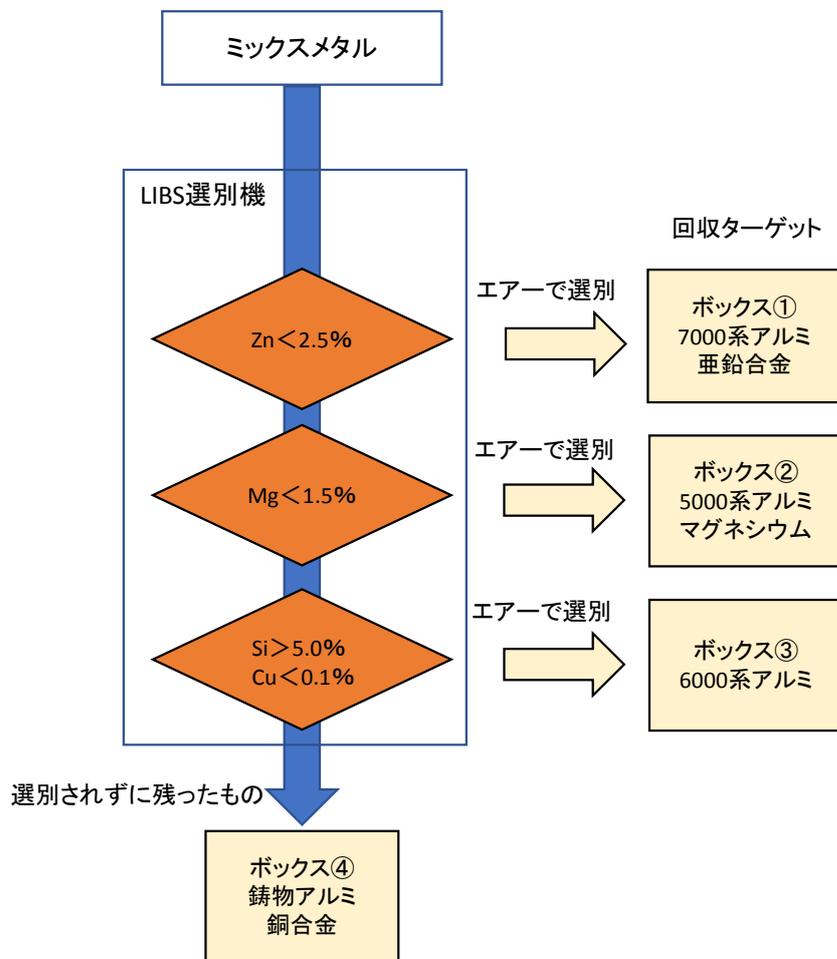
塗膜残存率 平均1.1%

7. LIBS選別機による選別評価

7-1. ミックスメタルの選別条件

5の工程を経て準備した検証用のミックスメタルを用いて、LIBSによる選別評価を実施した。LIBS選別における選別の閾値は、自動車に使用されているアルミニウムのうち5000系合金と6000系合金を狙い以下設定にて選別を実施した。

図7-1 LIBS選別機 選別設定値



その他LIBS 設定条件

コンベアスピード 2.8m/秒

クリーニングレーザー 出力：1mJ、照射頻度：100,000回/秒 100kHz、照射時間：100ns(ナノ秒)

LIBSレーザー 照射頻度：100,000回/秒 20kHz、照射時間：100ns(ナノ秒)

7-2. ミックスメタルの選別結果

7-1の条件にて準備した3仕様のミックスメタルの選別評価を実施した。各仕様のそれぞれのボックスに回収された金属の重量を以下に示す。

表7-2 LIBS選別試験で選別された各材種の重量

	投入	ボックス① 7000系	ボックス② 5000系	ボックス③ 6000系	ボックス④ 鋳物アルミ	回収合計
仕様 1	400	66	50	84	196	396
仕様 2	363	24	40	93	189	346
仕様 3	169	15	29	38	80	162

【参考資料】LIBS選別試験で選別された各材種の外観

仕様1

ボックス① 7000系アルミ



ボックス② 5000系アルミ



ボックス③ 6000系アルミ



ボックス④ 鋳物アルミ



仕様2

ボックス① 7000系アルミ



ボックス② 5000系アルミ



ボックス③ 6000系アルミ



ボックス④ 鋳物アルミ



仕様3

ボックス① 7000系アルミ



ボックス② 5000系アルミ



ボックス③ 6000系アルミ



ボックス④ 鋳物アルミ



## 【参考資料】LIBS選別にて取得した成分測定結果の一部

No	Al	Cu	Si	Mg	Zn	Fe	Mn	判定
1	0.99	0.58	0.94	0.10	0.39	0.00	0.08	6x
2	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	unknown
3	0.99	0.05	0.43	0.29	0.04	0.09	0.01	6x
4	0.99	0.00	0.49	0.48	0.15	0.22	0.03	6x
5	0.99	0.00	0.18	3.31	0.23	0.00	0.17	5x
6	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	unknown
7	0.99	0.51	0.96	0.32	0.08	0.11	0.05	6x
8	0.01	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	unknown
9	0.01	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	unknown
10	0.99	0.00	15.22	0.13	0.51	1.86	0.48	rest
11	0.99	0.00	0.22	3.09	0.00	0.06	0.20	5x
12	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	unknown
13	0.99	0.18	0.09	0.65	4.36	0.31	0.00	7x
14	0.99	2.60	13.54	0.00	0.81	0.99	0.23	rest
15	0.99	0.01	0.49	0.35	0.00	0.09	0.01	6x
16	0.99	0.13	0.11	0.82	3.61	0.10	0.09	7x
17	0.99	0.01	0.43	0.30	0.11	0.21	0.03	6x
18	0.99	0.00	0.16	3.35	0.61	0.03	0.18	5x
19	0.99	0.00	0.81	0.25	0.27	0.00	0.07	6x
20	0.99	0.00	0.27	3.21	0.14	0.00	0.18	5x
21	0.99	0.00	0.96	0.28	1.42	0.00	0.22	6x
22	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	unknown
23	0.98	0.00	2.88	0.00	4.30	0.00	0.22	7x
24	0.99	0.00	0.10	0.00	0.07	0.08	0.00	6x
25	0.99	0.16	0.30	0.00	1.49	0.00	0.51	6x
26	0.99	0.39	0.33	0.00	0.82	0.23	0.03	6x
27	0.99	0.66	1.01	0.01	1.27	0.07	0.06	6x
28	0.99	1.26	12.66	0.34	0.70	0.86	0.14	rest
29	0.99	0.19	0.01	0.65	4.21	0.13	0.00	7x
30	0.99	0.00	14.38	0.39	0.00	0.59	0.40	rest
31	0.01	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	unknown
32	0.99	0.00	0.16	3.84	0.30	0.17	0.24	5x
33	0.99	0.62	1.18	0.00	1.37	0.00	0.03	6x
34	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	unknown
35	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	unknown
36	0.98	0.26	0.21	3.79	0.11	1.06	0.04	5x
37	0.99	0.00	14.04	0.51	0.05	0.62	0.00	rest
38	0.99	0.70	1.04	0.24	1.14	0.13	0.20	6x
39	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	unknown
40	0.99	0.67	0.92	0.20	0.06	0.24	0.07	6x

## 8. LIBS選別されたミックスメタルの溶解・成分測定

LIBSにてアルミニウム合金毎に選別・回収されたミックスメタルをボックスごとに、全12ロットを溶解の上、インゴットを作成。

### 8-1. 溶解方法

回収したミックスメタルを各仕様 ボックスごとに それぞれ 1チャージで溶解し、インゴットを製造。  
黒鉛ルツボ炉で、燃料はLPガスを使用し溶解した。

写真8-1-1 黒鉛ルツボ炉



写真8-1-2 インゴット



### 8-2. 発光分光測定および測定結果

8-1 で作成したインゴット全12種から、それぞれ測定用に5個のサンプルピースを作成し発光分光測定法を用いて成分分析を実施し

写真8-2-1 発光分光測定装置



表8-1-1 仕様1 溶解後の成分一覧

仕様1	ボックスNo	AL	Cu	Si	Mg	Zn	Fe	Mn
ボックス1	7000系	94.48%	0.00%	-1.36%	1.80%	4.20%	0.73%	0.07%
ボックス2	5000系	94.05%	0.23%	0.60%	4.23%	0.20%	0.31%	0.26%
ボックス3	6000系	92.09%	0.23%	3.58%	2.01%	0.48%	0.65%	0.23%
ボックス4	いもの	76.26%	3.15%	7.42%	8.97%	3.42%	0.20%	0.17%

表8-1-2 仕様2 溶解後の成分一覧

仕様2	ボックスNo	AL	Cu	Si	Mg	Zn	Fe	Mn
ボックス1	7000系	94.18%	0.29%	1.35%	2.12%	1.48%	0.25%	0.16%
ボックス2	5000系	93.97%	0.14%	0.72%	4.39%	0.13%	0.30%	0.25%
ボックス3	6000系	92.44%	0.59%	3.31%	2.10%	0.17%	0.67%	0.27%
ボックス4	いもの	79.83%	0.67%	8.10%	9.87%	0.48%	0.69%	0.12%

表8-1-3 仕様3 溶解後の成分一覧

仕様3	ボックスNo	AL	Cu	Si	Mg	Zn	Fe	Mn
ボックス1	7000系	90.70%	0.26%	1.08%	2.14%	4.05%	0.26%	0.13%
ボックス2	5000系	94.52%	0.13%	0.55%	4.17%	0.10%	0.20%	0.25%
ボックス3	6000系	95.50%	0.31%	1.25%	2.21%	0.19%	0.23%	0.20%
ボックス4	いもの	81.65%	0.95%	5.47%	10.08%	0.74%	0.58%	0.27%

9. 成分分析結果より選別精度の考察

今回使用済み自動車から、LIBS選別を経て取得したアルミニウムの成分値と、表9に示す一般的に自動車に使用されているアルミニウム合金の成分を比較し選別精度の検証を行う。

表9 比較対象 アルミニウム合金成分の規格値

	AL	Cu	Si	Mg	Zn	Fe	Mn
7N01	-	0.20%	0.30%	1.50%	4.50%	0.30%	0.45%
A5182	-	0.15%	0.20%	4.50%	0.25%	0.35%	0.35%
A6016	-	0.20%	1.25%	0.43%	0.20%	0.50%	0.20%
ADC12	-	2.50%	10.80%	0.30%	1.00%	1.30%	0.50%

\*各材種 規格上限値もしくは、中央値

9-1. 仕様別 アルミニウム合金成分比較

図9-1-1 仕様1 比較対象との成分値差

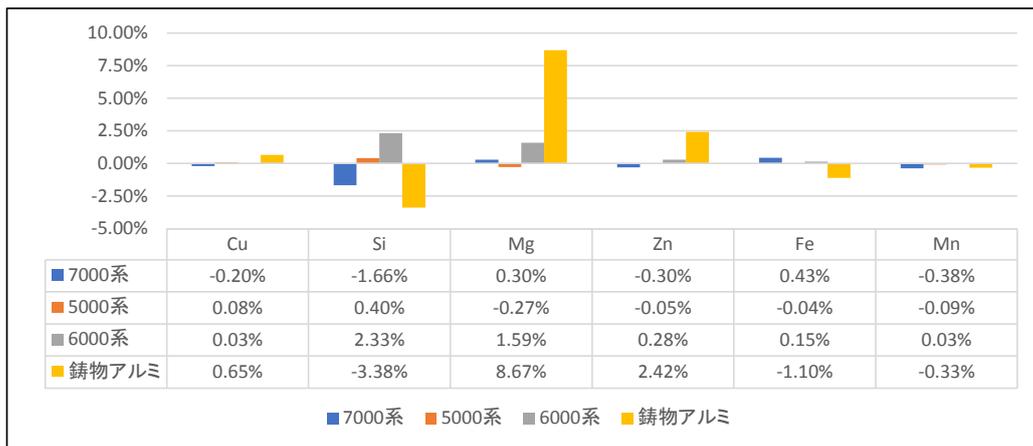


表9-1-2 仕様2 比較対象との成分値差

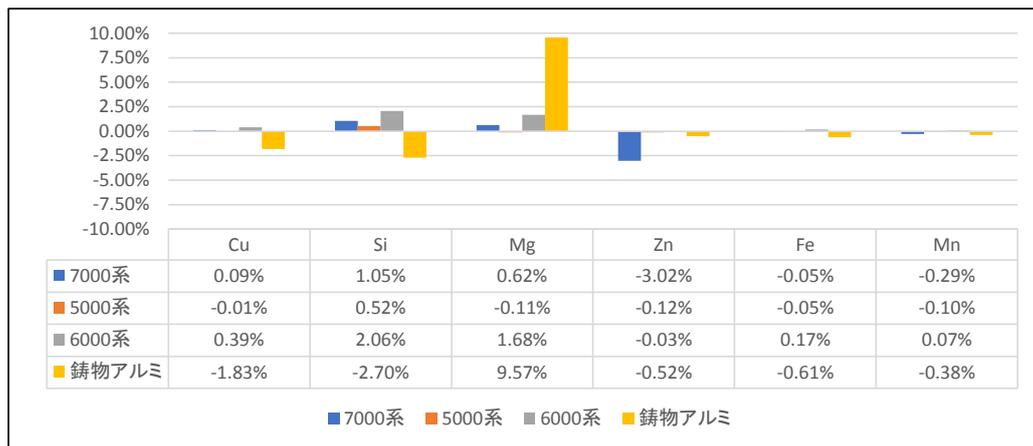
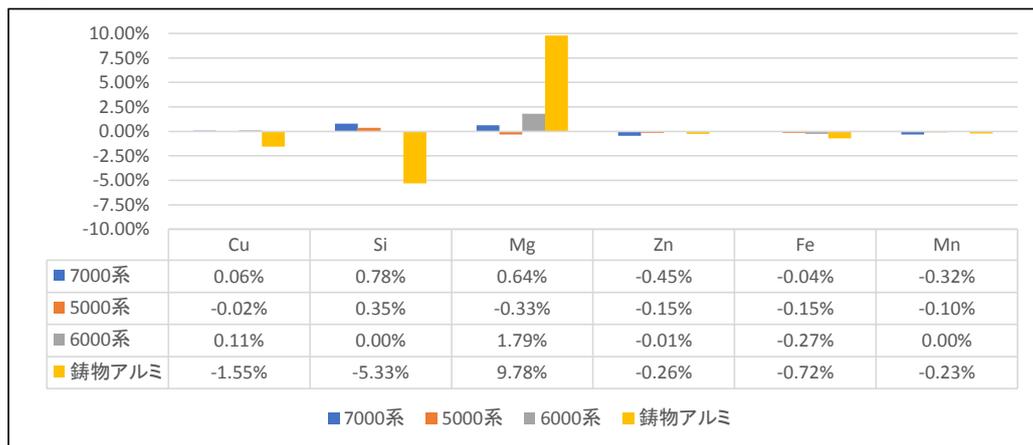


表9-1-3 仕様3 比較対象との成分値差



## 9-2. 合金種類別 アルミニウム合金成分比較

表9-2-1 7000系 比較対象との成分値差

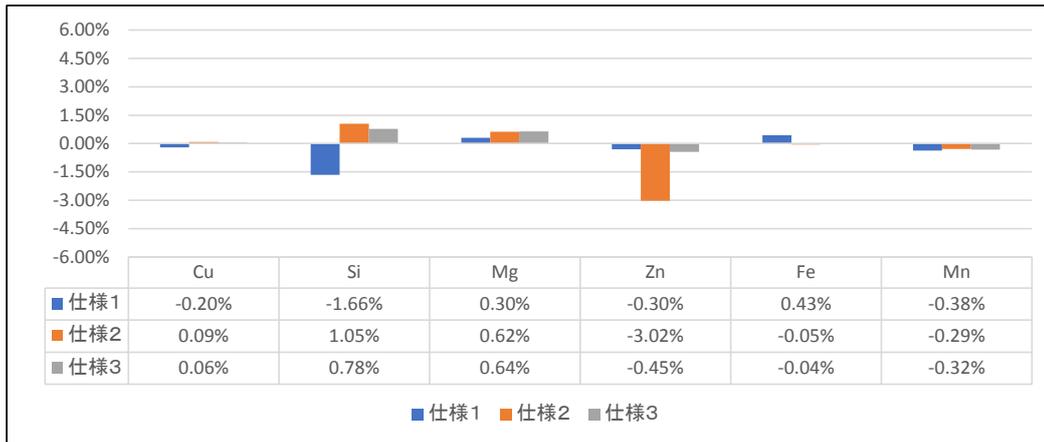


表9-2-2 5000系 比較対象との成分値差

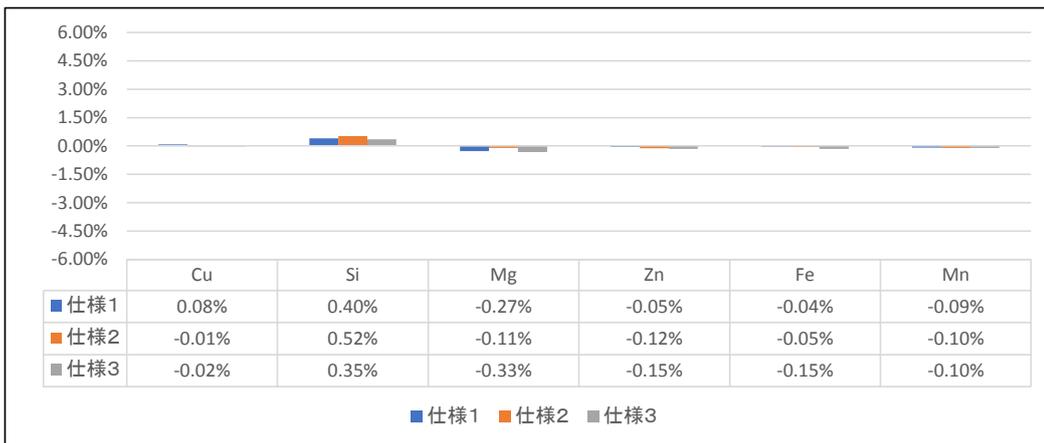


表9-2-3 6000系 比較対象との成分値差

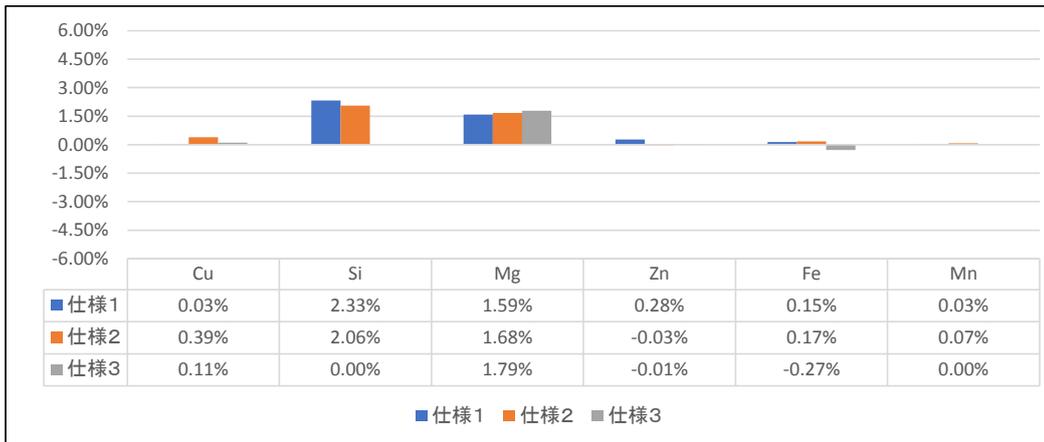
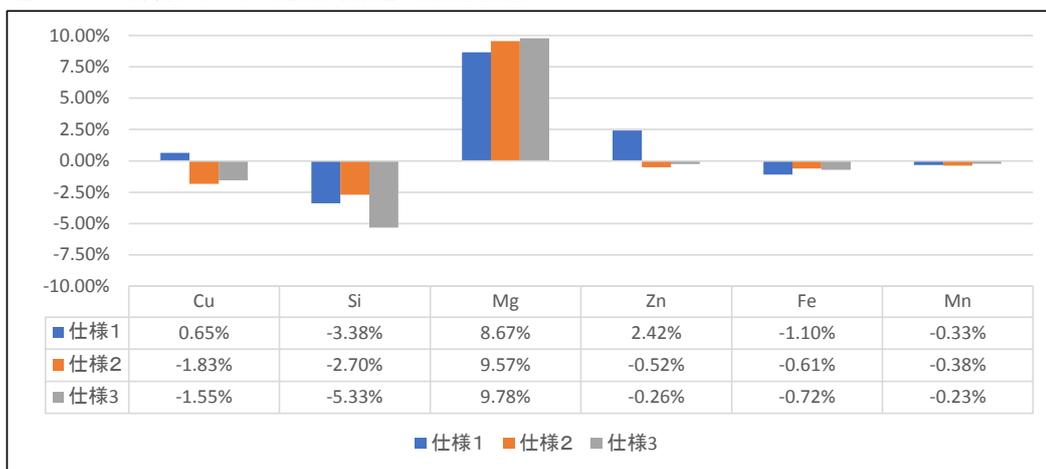


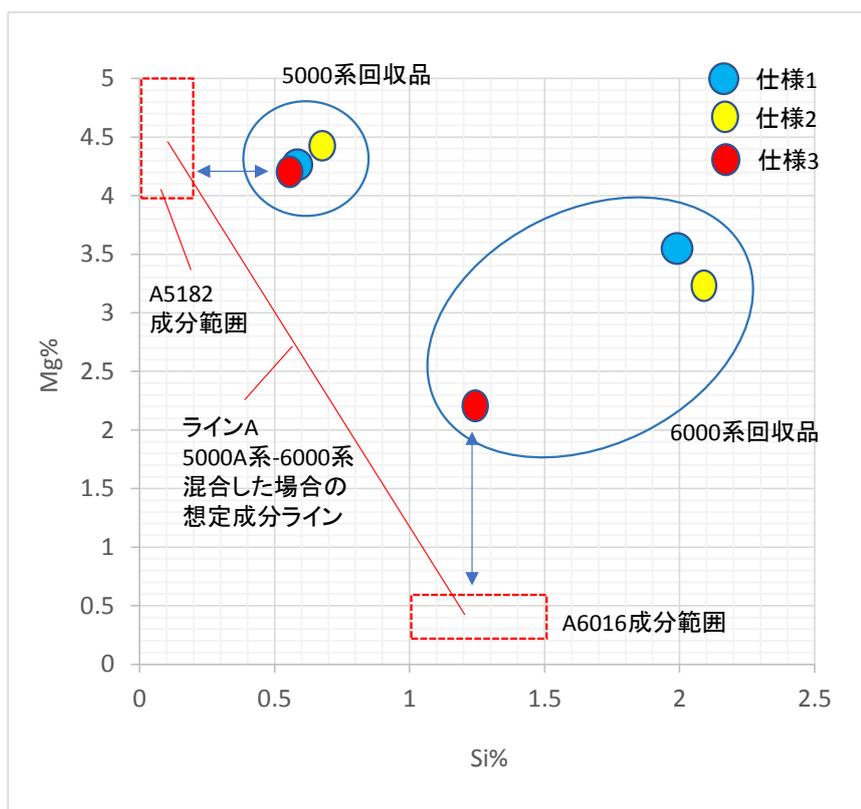
図9-2-4 鋳物アルミ 比較対象との成分値差



9-3. 合金種類別 成分比較まとめ

今回の主な回収ターゲットである5000系、6000系合金をアルミニウムの主要な合金元素である Si, Mg成分において比較対象との比較した結果を以下に示す。

図9-3-1 合金成分値比較結果



5000系合金：

- ・ 仕様1～3において、成分値に大きな差は認められないが、Si量が比較のA5182規格値より高く、Si量の多い6000系合金もしくはアルミ鋳物の混入あったと推測される。
- ・ 6000系の混入が主とした場合、グラフ上のラインA上を推移する。一方で ボックス4 鋳物アルミに含まれるSi量が仕様1から3に掛け減少傾向である事から、アルミ鋳物の混入によるSi成分の増加と推測される。
- ・ アルミ鋳物の混入によるSi量の増加とした場合、材料成分値より、仕様3でおよそ2%程度の混入となる。

6000系合金：

- ・ 仕様1～3においてMg量が比較のA6016規格値より高く、Mg量の多い5000系合金もしくはMg鋳物の混入あったと推測される。
- ・ 仕様1, 2 はSi量が3%以上と高く、Si量の多いアルミ鋳物の混入が推測される。
- ・ 比較材と最も近い成分である仕様3はにおいて、5000系の混入が主とした場合グラフ上のラインA上を推移する事から、今回のMg量増加はMg鋳物の混入によるものと推測する。
- ・ 仕様3がMg鋳物の混入によりMg量の増加とした場合、材料成分値より、およそ2%程度の混入となる。

10. アルミニウム選別回収の歩留り評価

10-1. アルミニウム回収重量と使用済み自動車に含まれるアルミニウム展伸材重量推定値

試験に使用した車両11台に使用されているアルミニウム展伸材の推定重量と各仕様で回収した5000系、6000系の重量比較を行った。

表10-1-1 LIBS選別による回収率

	LIBS選別回収重量			使用済み自動車に含まれる アルミニウム展伸材推定重量(kg)	推定 回収率
	5000系	6000系	合計		
仕様1	50	84	134	327	41%
仕様2	40	93	133	327	41%
仕様3	29	38	67	327	20%

単位: kg

- ・今回のLIBS選別では、対象の車両11台に含まれるアルミニウム展伸材のうち、20~40%程度の重量を回収出来たに留まった。
- ・今回実施した各破碎・選別工程におけるミックスメタル回収率について以下にまとめる。

10-2. 破碎・選別工程でのミックスメタル回収率

表10-2-1 共通処理（破碎、集塵、サイジング）におけるミックスメタル回収量および割合

	ミックスメタル (20~120mm)		集塵ライン ミックスメタル		ミックスメタル (~20mm)		合計
	回収量	回収率	回収量	回収率	回収量	回収率	
仕様1	400	60.6%	150	22.7%	110	16.7%	660
仕様2	420	60.9%	140	20.3%	130	18.8%	690
仕様3	370	60.7%	150	24.6%	90	14.8%	610

単位: kg

表10-2-2 追加工程におけるミックスメタルの回収量及び割合

	共通処理		透過型X線選別		縦型破碎		高磁力選別	
	回収量	回収率	回収量	回収率	回収量	回収率	回収量	回収率
仕様1	400	100%						
仕様2	420	100%	363	86%				
仕様3	370	100%	313	85%	179	57%	169	94%

※ 縦型破碎には目視選別とサイジング（~20mmの除去）を含む。

単位: kg

- ・共通処理において、LIBS選別向けに回収されたミックスメタル（20~120mm）の回収率は約60%となり、全工程で最もロスが大きい。
- ・処理工程数が増えるとLIBS選別向けのミックスメタル回収率は低下し、工程の多い仕様3では27%程度まで低下する。

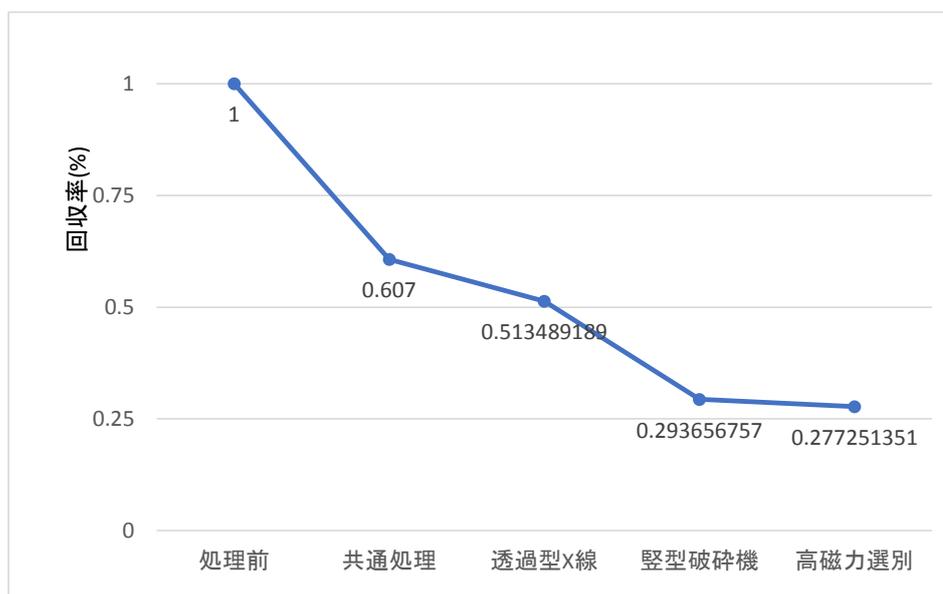


図10-2-1 仕様3における各工程でのミックスメタル回収率推移

## 10-3. LIBS選別工程での5000系-6000系 アルミニウム回収率

LIBS選別はレーザー照射により発生したプラズマを読み取りその光の波長から成分分析を行う。レーザーは固定式で測定対象物はコンベアーによりレーザーの下を通過する必要がある。レーザーの下を通過しなければ分析自体が行われない。また、分析表面に塗装などの阻害要因があった場合、分析精度が低下する事から、使用済み自動車から発生した代表的なサンプルを用いて回収率の検証を行った。

## 検証項目

- ① 通過：サンプルが形状要因などで転がったり、動いたり、サイズが小さい為、LIBSレーザーの下を通過しない場合を想定。
- ② 判別：塗膜の影響を受け分析結果が取得出来ない場合を想定。
- ③ 選別：判定後の各ボックスへ選別する際に、エアブローがうまく当たらず、選別ミスが生じることを想定。

## ① 通過

## 大きさによる影響の検証

形状が平らな板状の展伸材でサイズを変えたサンプルを用意し影響を検証した。

表10-3-1 板状サンプル 大きさの影響検証結果

大きさ (cm)	数	通過	通過確率
大 (7×7)	49cm <sup>2</sup>	5	5/5 100%
中 (5×5)	25cm <sup>2</sup>	5	5/5 100%
小 (3×3)	9cm <sup>2</sup>	5	4/5 80%

## 板材が丸まった形状による影響の検証

丸まっている形状の展伸材でサイズを変えたサンプルを用意し影響を検証した。

表10-3-2 丸形サンプル 大きさの影響検証結果

大きさ (cm)	数	通過	通過確率
大 (12×12)	100cm <sup>2</sup>	5	4/5 100%
中 (7×7)	49cm <sup>2</sup>	5	4/5 80%
小 (4×4)	16cm <sup>2</sup>	5	4/5 80%

## 球状の鋳物アルミからの影響の検証

転がりやすいと考えられる球状で、展伸材よりもかさ比重の高い鋳物アルミでサイズを変えたサンプルを用意し影響を検証した。

表10-3-3 鋳物アルミ 大きさの影響検証

大きさ (cm)	数	通過	通過確率
大 (10×10)	100cm <sup>2</sup>	5	5/5 100%
中 (7×7)	49cm <sup>2</sup>	5	3/5 60%
小 (4×4)	16cm <sup>2</sup>	5	2/5 40%

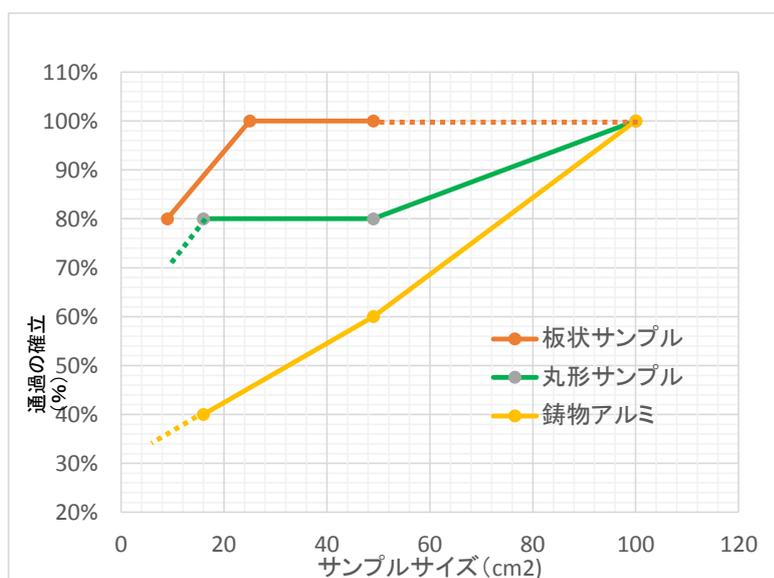


図10-3-1 形状・サイズ別の通過確率

## &lt;通過の検証結果&gt;

- ・LIBSレーザーの下を通過する為には、サンプルのサイズと形状が大きく影響する。
- ・サンプルが大きく、板状である事が好ましい。小さく丸まったサンプルは判定自体が行われず、異物混入の要因となりうる。

②判定, ③選別

塗装膜の残面積による影響の検証

同じサイズ (5cm x 5cm) のサンプルで塗装面積割合の違うサンプルを使用し判定精度を検証する。

表10-3-4 塗装膜の影響検証結果

塗装面積	塗装面積割合	数	判定結果	判定確率	選別結果	選別確率
大	71.4%	5	5/5	100%	5/5	100%
中	50.7%	5	5/5	100%	5/5	100%
小	29.2%	5	5/5	100%	4/5	80%
極小	7.3%	5	5/5	100%	5/5	100%

大きさによる影響の検証

サンプルの大きさが大きくなると、判定機会が多くなり、塗装除去部分を通過する可能性が上がり精度が高くなる。塗装面積割合が同じ (約70%) で、大きさの違うサンプルを用意し、その影響を検証した。

表10-3-5 塗装面積割合と大きさの影響検証結果

大きさ (cm)	数	判定結果	判定確率	選別結果	選別確率
大 (7 x 7)	49cm <sup>2</sup>	5	5/5	5/5	100%
中 (5 x 5)	25cm <sup>2</sup>	5	5/5	5/5	100%
小 (3 x 3)	9cm <sup>2</sup>	5	3/5	2/3	67%

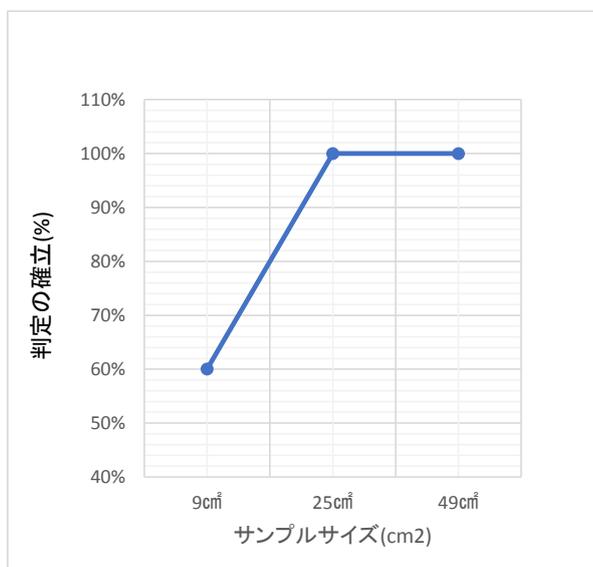


図10-3-2 大きさと判定精度

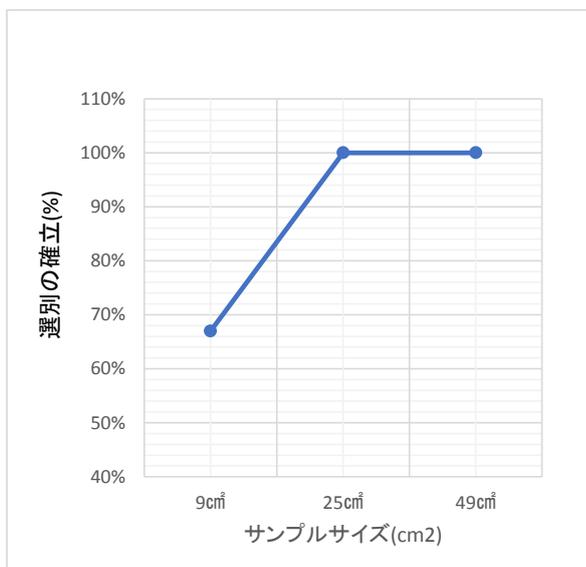


図10-3-3 大きさと選別精度

<判定・選別の検証結果>

- ・今回の実車を使用した評価では、塗装膜による判定ミスの影響は小さい。
- ・サンプルサイズが小さいと判定ミス、選別ミスにつながり、回収率へ大きく影響する。

10-4. LIBS選別工程での5000系-6000系 アルミニウム回収率まとめ

実際の使用済み自動車より回収したアルミサンプルを用いて、LIBS選別の回収精度へ影響を与える3つの要素 通過、判定、選別の検証を行った。

- ・サンプルのサイズが大きく、板状である事が好ましい。
- ・小さく、丸まったサンプルは判定自体が行われず、異物混入の要因となりうる。
- ・今回の実車を使用した評価では、塗装膜による判定ミスの影響は小さい。
- ・サンプルサイズが小さいと判定ミス、選別ミスにつながり、回収率へも大きく影響する。

以下にLIBS選別において、サンプルサイズによる回収率を整理した物を示す。サンプルサイズが小さいと全ての工程で回収率の低下が生じ、最終的に判定、回収される確率は3割程度となる。

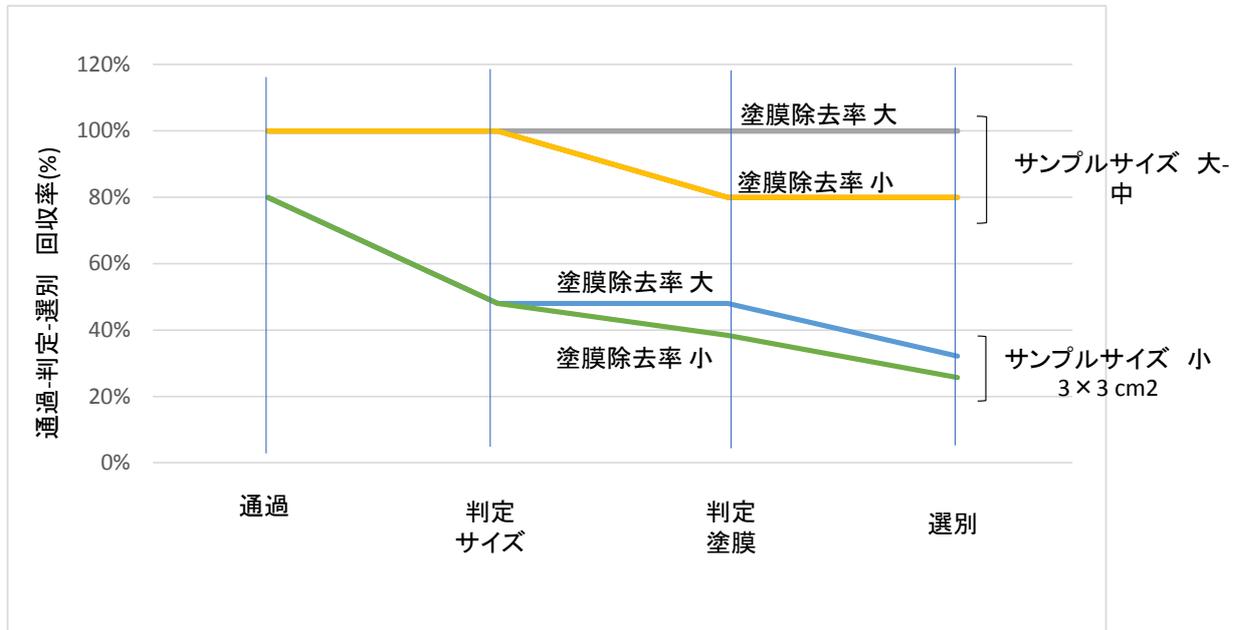


図10-4-1 LIBS選別における回収率低下状況

【参考】LIBS選別工程での5000系-6000系 アルミニウム回収率に使用したサンプル外観

塗装膜の影響調査 大きさがほぼ同じで、塗装面積割合の違う4種類のサンプル

サイズ中 塗装割合 大

サイズ中 塗装割合 中

サイズ中 塗装割合 小

サイズ中 塗装割合 極小



大きさの影響調査 塗装面積割合が同じ（約70%）で大きさを変えた板状アルミ（サイズ 大 中 小 各5枚）

サイズ大 塗装割合 大

サイズ中 塗装割合 大

サイズ小 塗装割合 大



【参考】LIBS選別工程での5000系-6000系 アルミニウム回収率に使用したサンプル外観

形状が丸まっている展伸材でサイズを変えたもの（サイズ 大 中 小 各5枚）

サイズ大



サイズ中



サイズ小



鋳物アルミニウムでサイズを変えたもの（サイズ 大 中 小 各5枚）

サイズ大



サイズ中



サイズ小



## 11. 経済性の評価

通常のアルミスクラップのリサイクル工程である仕様2と仕様1、仕様3の経済性を比較検証する。

## 11-1. 各仕様における工数の違いによる選別コスト比較

各工程におけるコストを以下の通り表す。

仕様1: <共通処理> + <LIBS>

仕様2: <共通処理> + <透過型X線選別> + <LIBS>

仕様3: <共通処理> + <透過型X線選別> + <堅型破碎機> + <高磁力選別> + <LIBS>

## 11-2. ランニングコスト

表11-2-1 選別設備の生産能力および製品1t当たりの消費電力(周辺機器を含む。)

	処理能力 (t/h)	電力量 (kWh)	電力量 (kWh/t)
透過型X線選別機	3.0	104	34.7
堅型破碎機	1.5	50	33.3
高磁力選別機	2.0	5	2.5
LIBS選別機	1.0	55	55

生産能力は、最終工程のLIBS選別機の能力が一番低いことから、全工程ともに同じ処理能力 1t/hとする。

仕様毎の消費電力

仕様1 = LIBS

仕様2 = 透過型X線選別機+LIBS

仕様3 = すべて

表11-2-2 ランニングコスト算出の前提条件

生産能力	製品生産能力 1t x 稼働 16h x 250日/年 = 4,000t	
電力単価	18円/kWh	
人員	仕様1	2人 2組2交代 (1人x2直)
	仕様2	4人 2組2交代 (2人x2直)
	仕様3	6人 2組2交代 (3人x2直)
労務費単価	4百万円/年・人	
修繕費	仕様1	500万円
	仕様2	1500万円
	仕様3	2000万円
燃料・その他費用	1000万円	

表11-2-3 各仕様毎のランニングコスト

	電力費	人件費	修繕費	その他費用	合計
仕様1	625円/t	2,000円/t	1,250円/t	2,500円/t	6,375円/t
仕様2	1,449円/t	4,000円/t	3,750円/t	2,500円/t	11,699円/t
仕様3	2,093円/t	6,000円/t	5,000円/t	2,500円/t	15,593円/t

上記の前提条件に基づきランニングコストを求めると、仕様1、2で約5000円/t、仕様2、3で約4,000円/tの差が出た。仕様間でのコストの差が販売価格の差と比較してどのようなコストパフォーマンスになるかによって、今後ミックスメタルをどのように破碎・選別していくのかの検討材料となる。

## 12. まとめ

使用済み自動車の破砕処理後に排出されるミックスメタルから、アルミニウム展伸材をアルミニウム展伸材としてリサイクルさせるために必要な処理方法及び経済性の検証を実施した。

### 取組課題 1

使用済み自動車からアルミニウム展伸材の合金種別選別及び回収の実証

- ・使用済み自動車から所定の解体・破砕を行い回収されたミックスメタルより、LIBSを用いてアルミニウムを合金別に選別する事は可能である事が実証出来た。
- ・今回の使用済み自動車を用いた検証では、LIBS前に工程を追加した仕様3が成分測定結果から、もっとも回収精度が高く一般的な規格材との成分比較より90%を超える選別精度と推測する。

### 取組課題 2

使用済み自動車からアルミニウム合金種類別スクラップ回収の経済性の評価

- ・今回の検証では使用済み自動車からミックスメタルを回収し、その後にLIBS選別を実施した。その為、それぞれの工程においてロスが生じ、最終的にLIBSにより回収されたアルミニウム展伸材の重量は仕様3で約 20%と推測される。
- ・今回実施した処理工程のうち仕様3で、ランニングコスト 約 15,000円/tとなった。
- ・今後 今回実施した検証結果より、各工程の改善による歩留りの向上 やランニングコストの圧縮が必要と考える。