

平成27年度低炭素型3R技術・システム実証事業

(低温加熱脆化技術による省エネ型高度選別  
マテリアルリサイクルシステムの開発)

## 報告書

平成28年2月29日



太平洋セメント株式会社



## 目次

<b>1. 実証事業の実施</b> .....	<b>1</b>
1.1 実証事業の概要 .....	1
1.1.1 目的、背景、課題等.....	1
1.1.2 実施体制.....	2
1.1.3 実証事業のシステム.....	3
1.1.4 低温加熱脆化のメカニズム.....	4
1.1.5 実証事業の実施体制.....	5
1.2 実証事業の結果 .....	10
1.2.1 有用金属等の回収を最も効率化させる加熱脆化温度の設定及び粉碎方法の選定 ...	10
1.2.2 投入物の構成レシピの設定.....	14
1.2.3 有用金属等と脆化固形物の石炭代替燃料価値の評価 .....	19
<b>2. 環境負荷低減効果の検証</b> .....	<b>42</b>
2.1 CO <sub>2</sub> 排出量削減効果の検討 .....	42
2.1.1 ガス化溶融処理との比較による CO <sub>2</sub> 削減効果試算.....	43
2.1.2 再選別処理との比較による CO <sub>2</sub> 削減効果試算.....	49
2.1.3 本技術の CO <sub>2</sub> 排出量削減ポテンシャル.....	55
2.2 排ガス削減効果の検討 .....	56
<b>3. 事業実現可能性等の検証</b> .....	<b>58</b>
3.1 建設費の算出 .....	58
3.2 事業計画の策定 .....	60
3.3 本処理技術の収益性 .....	61
3.4 本処理技術の事業展開性.....	66
3.4.1 自社既存施設への横展開 .....	66
3.4.2 受入対象廃棄物の横展開 .....	67
<b>4. 総括</b> .....	<b>71</b>
<b>5. 添付資料</b> .....	<b>73</b>

## 目 次

図 1.1-1	実施体制図 .....	2
図 1.1-2	本事業のシステム .....	3
図 1.1-3	低温加熱脆化のメカニズム .....	4
図 1.1-4	全体フロー図 .....	5
図 1.1-5	実証事業の実施分担 .....	5
図 1.1-6	広島ガステクノ・サービスでの実証実験処理フロー図 .....	6
図 1.1-7	クロダリサイクルでの実証実験処理フロー図 .....	7
図 1.1-8	太平洋コンサルタントでの実証実験処理フロー図 .....	9
図 1.2-1	脆化固形物の粒度分布および発熱量 .....	12
図 1.2-2	投入物の粒度分布および発熱量 .....	15
図 1.2-3	脆化固形物の粒度分布 .....	18
図 1.2-4	脆化物選別実験での選別実験結果 .....	20
図 1.2-5	金属資源回収の測定結果 (Fe) .....	24
図 1.2-6	金属資源回収の測定結果 (Cu) .....	26
図 1.2-7	金属資源回収の測定結果 (Au) .....	28
図 1.2-8	金属資源回収の測定結果 (Ag) .....	30
図 1.2-9	実証実験における金属資源のマテリアルバランス (%) .....	32
図 1.2-10	管状電気炉 写真 .....	38
図 1.2-11	燃焼試験模式図 .....	38
図 1.2-12	微粉炭と脆化固形物の燃焼性 .....	39
図 1.2-13	脆化物における選別工程にて回収されたヘビー (希少金属) とその金属構成 .....	41
図 2.1-1	ASR1t あたりの脆化にて燃焼される ASR 量率 .....	42
図 2.1-2	ガス化溶融処理のベースラインプロセス .....	43
図 2.1-3	ガス化溶融処理のリサイクルプロセス .....	44
図 2.1-4	再選別処理のベースラインプロセス .....	49
図 2.1-5	再選別処理のリサイクルプロセス .....	50
図 2.2-1	低温加熱脆化处理および脱塩処理におけるハロゲンのマテリアルバランス .....	57
図 3.1-1	想定設備フロー .....	58
図 3.2-1	今後のスケジュール .....	60
図 3.3-1	ASR1t あたりの収益 .....	62
図 3.3-2	売却益の内訳 .....	62
図 3.3-3	平成 24 年度～26 年度の銀の需給状況 (経済産業省資源エネルギー庁) .....	64
図 3.4-1	太平洋セメントのセメント事業国内拠点 .....	66
図 3.4-2	建設廃棄物における建築混合廃棄物の占める割合 .....	67
図 3.4-3	風力発電設備の推移 (総設置基数、1989-2014 年) .....	68
図 3.4-4	風力発電設備の撤去台数及び新規設置基数の推移 (1995-2030 年) .....	69
図 3.4-5	世界における風車の大型化 .....	70

## 表目次

表 1.1-1	実証事業の目的、背景、課題等 .....	1
表 1.2-1	加熱脆化実証試験概要.....	10
表 1.2-2	脆化固形物の粒度分布および発熱量.....	11
表 1.2-3	各処理温度の脆化固形物 写真資料.....	12
表 1.2-4	脆化した被覆銅線 写真資料.....	13
表 1.2-5	投入物のパターン .....	14
表 1.2-6	投入物 写真資料.....	14
表 1.2-7	投入物の三成分、発熱量.....	15
表 1.2-8	投入物の粒度分布および発熱量.....	15
表 1.2-9	実際に設定した投入物のパターン.....	16
表 1.2-10	加熱脆化実証試験の概要 .....	17
表 1.2-11	脆化固形物の三成分、発熱量.....	18
表 1.2-12	固形脆化物の粒度分布.....	18
表 1.2-13	脆化固形物 2,000kg の製造結果.....	19
表 1.2-14	投入物と脆化固形物 写真資料.....	19
表 1.2-15	脆化固形物の選別実証試験 .....	20
表 1.2-16	脆化固形物の選別実験結果 (H ライン処理) .....	21
表 1.2-17	脆化固形物の選別実験結果 (M ライン処理) .....	21
表 1.2-18	脆化固形物の選別実験結果 (A ライン処理) .....	21
表 1.2-19	脆化物の選別実験における有用金属の回収量の集計結果.....	22
表 1.2-20	燃料品位を有する脆化固形物の三成分、発熱量.....	33
表 1.2-21	燃料品位を有する脆化固形物の粒度分布.....	33
表 1.2-22	脆化固形物の粉碎実証試験概要 .....	34
表 1.2-23	粉碎品の粒度分布 .....	35
表 1.2-24	M ライン手選残渣、A ラインライトの粉碎前後の試料 写真資料.....	35
表 1.2-25	脆化固形物の水洗実証試験概要 .....	36
表 1.2-26	水洗試験における設備 写真資料.....	36
表 1.2-27	燃料品位を有する脆化固形物の三成分、発熱量、含有成分 .....	37
表 1.2-28	4 点加重平均の Cl の水溶性塩素および不水溶性塩素の内訳 .....	37
表 1.2-29	水洗廃水の回収量、pH、各種濃度 .....	37
表 1.2-30	脆化固形物の燃焼実証試験概要 .....	38
表 1.2-31	所定時間燃焼した際の重量減少率 (%) .....	39
表 1.2-32	脆化物と一般炭の発熱量比較.....	39
表 1.2-33	脆化物の選別による金属回収結果.....	40
表 2.1-1	ガス化溶融処理との比較における項目別の CO <sub>2</sub> 排出量 (ASR1t あたり) .....	44
表 2.1-2	ガス化溶融処理との比較における活動量及び CO <sub>2</sub> 排出量原単位 .....	45
表 2.1-3	出典一覧.....	48
表 2.1-4	再選別処理との比較における項目別の CO <sub>2</sub> 排出量 (ASR1t あたり) .....	50
表 2.1-5	再選別処理との比較における活動量及び CO <sub>2</sub> 排出量原単位 .....	51
表 2.1-6	出典一覧.....	54

表 2.1-7	実用設備規模での CO <sub>2</sub> 排出量削減効果試算結果(ガス化溶融処理との比較)	55
表 2.1-8	実用設備規模での CO <sub>2</sub> 排出量削減効果試算結果(再選別処理との比較)	55
表 3.1-1	主要設備概要	58
表 3.1-2	本技術パイロットプラントの建設費概算(百万円)	59
表 3.3-1	ASR1t あたりの収益	61
表 3.3-2	平成 26 年度の金地金の需給状況(経済産業省資源エネルギー庁)	63
表 3.4-1	建設混合廃棄物の排出状況(単位:万 t)	67
表 3.4-2	風力発電設備のサイズ(プロペラ式)	69
表 3.4-3	風力発電設備のブレードにおける構成重量	69
表 3.4-1	写真資料 広島ガステクノ・サービス	73
表 3.4-2	写真資料 クロダリサイクル	74

## 略称の一覧

本報告書では、以下のとおり略称の統一を図る。

### 略称

本報告書 での表記	正式名称	意味等
ASR	Automobile Shredder Residue	使用済自動車の処理過程で破砕機にかけて粉砕し、金属などの有価物を回収した後の残渣
SR	Shredder Residue	使用済自動車および廃家電の処理過程で破砕機にかけて粉砕し、金属などの有価物を回収した後の残渣
PVC	Polyvinyl chloride	ポリ塩化ビニル
建廃プラ	建設廃棄物由来の廃プラスチック	建設工事等に伴って発生する廃プラスチック類
廃プラ	廃プラスチック	—
CFRP	Carbon Fiber Reinforced Plastic	炭素繊維強化プラスチック



## (要約)

### ・目的

ASR 等には、有用金属やガラスが含まれているが、ASR の可燃物と複雑に絡み合い、現状の選別工程では、分離回収出来ないため、未利用となっている。

本実証事業では、ASR 等に含まれる未利用の有用金属・ガラス等のマテリアル回収、省エネかつ低 CO<sub>2</sub> での ASR 等の処理、脆化固形物のカロリーを維持し石炭代替燃料としての有効が可能となる、高効率な省エネ型高度選別リサイクル技術の構築を目的として、低温加熱脆化技術の適用を検討した。

### ・実証事業内容

本実証事業では、ASR 相当の SR について、低温加熱脆化処理を行い、有用金属等の回収を最も効率化させる加熱脆化温度および投入物の構成レシピの検討を実施した。

得られた脆化固形物については、金属選別処理による有用金属の回収と品位評価、有用金属回収後の脆化固形物の石炭代替燃料の価値評価などを実施した。

また、本技術全体について、他の処理技術との CO<sub>2</sub> 排出量の比較、有用金属の回収ポテンシャル、ハロゲン元素に関する排ガス削減効果などの環境負荷低減効果を検討した。

加えて、本技術の建設費、事業計画の作成を実施、事業実現可能性についても検証した。

### ・実証事業結果

- 1) 脆化固形物の回収率と形状、カロリー保持の観点から、脆化処理の適正温度帯は 300°C 程度、レシピは、木くずを 30%程度混練することが望ましいことが判明した。
- 2) 金属選別処理の結果、Au 131g/t、Ag 540g/t の回収物が回収されるなど、低温加熱脆化処理によって、金、銀等の希少な有用金属が効果的に回収できることが確認された。
- 3) ハロゲン元素は、排ガス発生が抑制され、脆化固形物内の残存量も、水洗による脱塩処理で除去された。
- 4) CO<sub>2</sub> 排出量削減効果は、ASR のガス化熔融処理と比較すると 2.1191t・CO<sub>2</sub>/ASR1t、事業規模が 28,000t/年の場合で約 61,000t・CO<sub>2</sub>であった。
- 5) 低温加熱脆化処理の実用化（低温加熱脆化の処理能力 4.0t/h）にあたり、貴金属選別・回収を除いた設備投資規模は約 8 億円と試算された（前処理、低温加熱脆化、排水、排ガス処理の土木・機械工事費として）。

### ・課題と今後の展開

本実証事業において、低温加熱脆化処理によって有用金属の回収が効率化されること、金属選別処理時のマテリアルバランスが確認されたことから、今後は低温加熱脆化物に適した、高効率な金属選別手法（金属選別工程・粉砕工程の順序、金属選別機・粉砕機の選定など）を精緻に検討する必要がある。

低温加熱脆化は、CFRP 素材等の難燃性・硬質な可燃物の処理にも有効なことから、幅広い横展開が期待される。

## Summary

### Objective

ASR (Automotive Shredder Residue) contains valuable metals and glass, which are intricately intertwined with combustibles. Therefore, it is hardly recyclable as it cannot be separated and recovered through conventional processes.

This demonstration project is designed to recover unused materials (valuable metals, glass, etc.) from ASR and dispose of ASR in an energy efficient manner (with low carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions) while using it as a substitute for coal with the calorific value of brittle solids maintained. It also involves inquest of incorporating low-temperature embrittlement technology to structure highly efficient energy-saving advanced separation and recycling technology.

### Demonstration project

First of all, SR (Shredder Residue) equivalent to ASR was heated at low temperature to determine the embrittlement temperature and the composition of inputs that maximizes the recovery of valuable metals, etc.

Then, the resulting brittle solids were examined to evaluate the recovery and quality of valuable metals through metal segregation processes, and the value of the residue (brittle solids following recovery of valuable metals) as fuel.

At the same time, the technology as a whole was examined, with a focus on: CO<sub>2</sub> emissions compared to other treatments; recovery potential of valuable metals; and environmental load reduction effects (reductions in halogen emissions, etc.). Also reviewed were the construction cost of the technology, the project master plan and the feasibility of the project.

### Demonstration results

1) The optimum embrittlement temperature is about 300 degrees C, given the recovery rate and configuration of brittle solids and their calorific value. Also recommended is to add wood waste approximately 30% of the total weight.

2) Metal segregation resulted in recovery of gold (Au) (131 g/t) and silver (Ag) (540 g/t), which proves that rare valuable metals such as Au and Ag can be recovered through low-temperature embrittlement technology.

3) Halogen emissions were reduced and residual halogen compounds in brittle solids were removed through desalination by flushing.

4) Compared to ASR gasification and melting treatment, CO<sub>2</sub> emissions were reduced by 2.1191 t-CO<sub>2</sub>/ASR 1t or by 61,000 t-CO<sub>2</sub> in the case of commercial treatment (28,000 t/y).

5) In commercializing low-temperature embrittlement technology (with a capacity of 4.0 t/h), the equipment investment cost is estimated at 800 million yen, excluding segregation and recovery of precious metals (specifically, the cost of civil engineering and mechanical equipment works for pretreatment, low-temperature embrittlement, wastewater treatment and exhaust-gas treatment facilities).

### Issues to be addressed and the development of the project

The demonstration project proves that valuable metals can be recovered more efficiently through low-temperature embrittlement technology while the material balance in metal segregation has been verified. Other issues to be addressed include a close examination of metal segregation processes (methods and sequence of highly efficient segregation and shredding, selection of segregators and shredders, etc.) suitable for low-temperature embrittlement.

Low-temperature embrittlement has a wide range of applications, including treatment of hard, flame retardant combustibles such as CFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastic).

事業実施体制（社名五十音順）

■実施主体		
太平洋セメント株式会社	中央研究所 第3研究部 分離技術チーム チームリーダー	石田 泰之
	環境事業部 営業企画グループ グループリーダー	生田 考
	環境事業部 営業企画グループ 参事	花田 隆
	環境事業部 営業企画グループ 主任	武田 隼一
	環境事業部 営業企画グループ 主務	鈴木 涼
	中央研究所 第3研究部 分離技術チーム 研究員	田村 典敏
	中央研究所 第3研究部 分離技術チーム 研究員	田中 宜久
	中央研究所 第3研究部 分離技術チーム 研究員	片岡 誠
	中央研究所 第3研究部 分離技術チーム 研究員	竹本 智典
	中央研究所 第3研究部 分離技術チーム 研究員	瀧澤 洸
■再委託先		
エコメビウス株式会社	代表取締役社長	木原 忠志
株式会社レノバ	環境イノベーション事業部 部長	加藤 健太郎
	環境イノベーション事業部 マネージャー	若林 史子
	環境イノベーション事業部 シニアコンサルタント	安藤 美保
	環境イノベーション事業部 シニアコンサルタント	木原 一樹
■アドバイザー		
東北公益文科大学	教授	古山 隆

# 1. 実証事業の実施

## 1.1 実証事業の概要

### 1.1.1 目的、背景、課題等

本実証事業は、ASR 等に含まれる未利用の有用金属・ガラス等のマテリアルを回収し、有効利用することを目的としている。さらに、ASR 等の処理を低エネルギーで行い、脆化固形物のカロリーを維持し石炭代替燃料としての利用を可能にすることで、高効率な省エネ型高度選別リサイクルの実現を目指すことを目的としている。

表 1.1-1 実証事業の目的、背景、課題等

項目	内容
目的	低温加熱脆化処理による ①ASR 等に含まれる未利用の有用金属・ガラス等のマテリアル回収 ②省エネ／低CO <sub>2</sub> でのASR 等処理 ③脆化固形物のカロリーを維持し石炭代替燃料としての有効利用 →高効率な省エネ型高度選別リサイクルの実現 【未利用有用金属 (Fe, Al, Cu, Au, Ag, Pd etc.)】
対象廃棄物	有用金属やガラス等のマテリアルを含有するASR、 シュレッダーダスト等の廃プラスチック等混合破砕くず 等
背景	ASRは年間約60万t発生。うち、金属やガラスが約9万t／年含有と推測される。これが未利用となっている。 未利用の理由は、ASRの可燃分と複雑に絡み合い、現状の選別工程では、分離回収出来ないためである。(シュレッダーダストも同様)
解決すべき課題	この未利用有用金属等のマテリアルを回収し、有効利用すること。 →ASR等内の可燃分と有用金属等を分離させ、選別回収可能にする。 ASR等の処理を低エネルギーで行うこと。

## 1.1.2 実施体制

本事業の実施体制図を図 1.1-1 示す。

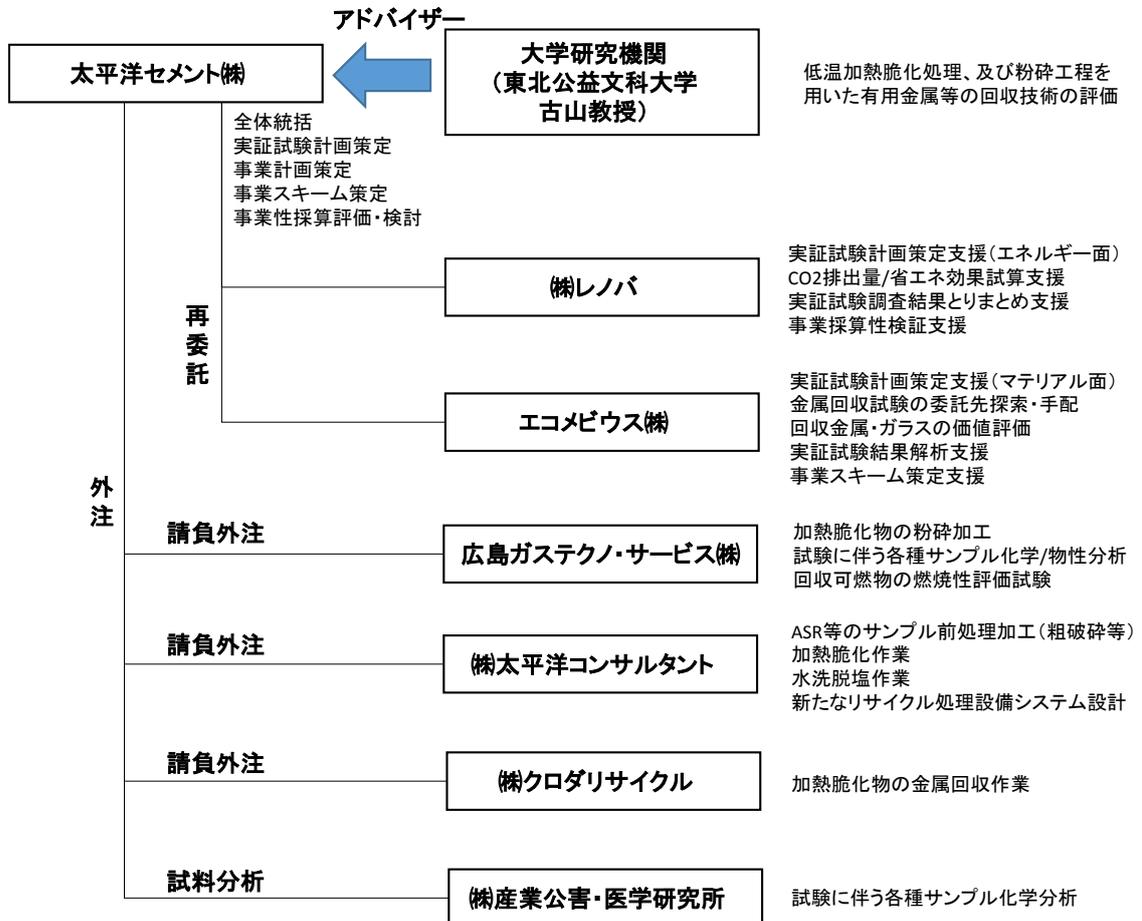


図 1.1-1 実施体制図

### 1.1.3 実証事業のシステム

本実証事業では、廃プラスチックなどの ASR/SR に含まれる可燃分を脆化させ、金属との分離を容易に、金属の回収効率を向上化させることを目的としている。更に、脆化物を石炭代替燃料として活用し、ASR/SR の全量有価物化を目指すものである。

脆化処理は既に確立された技術であるが、本実証事業は、200～300℃程度の低温加熱による脆化であるところが他との違いであり、新規開発ポイントである。

この 200～300℃の低温とする理由は、有用金属を回収した後の脆化固形物を有効利用するためのカロリー維持である。高温で脆化すると脆化固形物にカロリーがなくなり、付加価値が低下するために事業採算性が難しくなることから、その改善策として設定した。また、脱塩・粉碎・選別工程を追加し、マテリアル回収を種類別に可能にすることも従来と異なる点である。

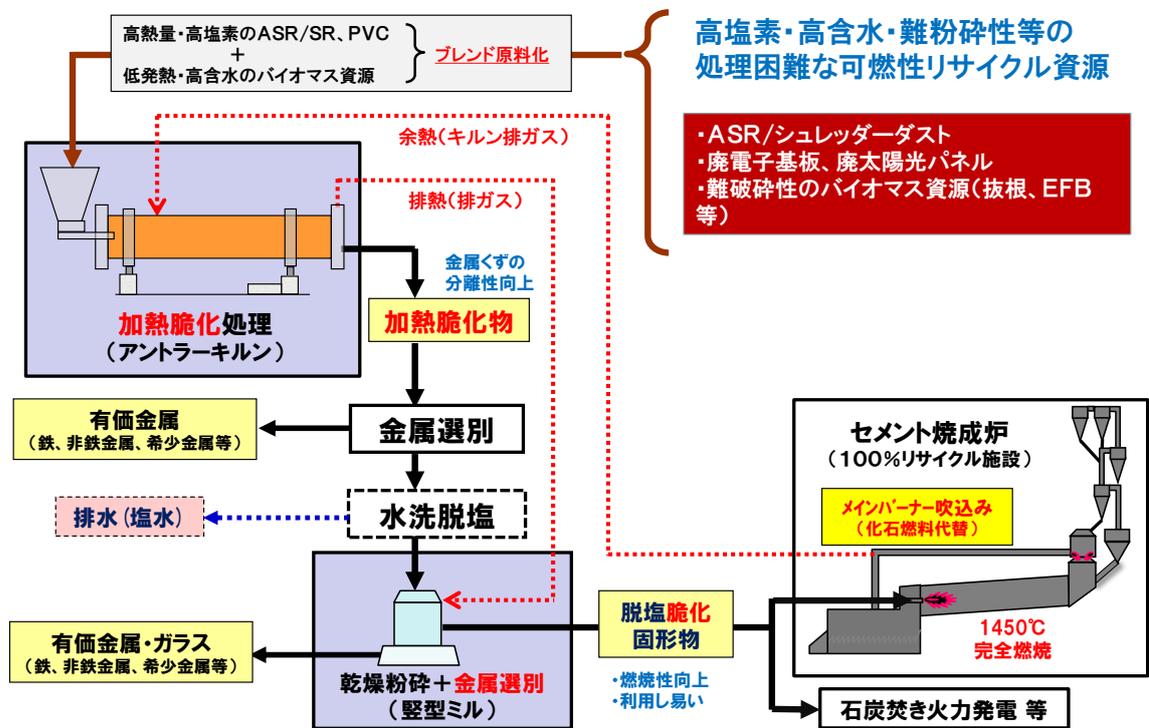


図 1.1-2 本事業のシステム

(備考: EFB とはパーム椰子空果房を指し、バイオマス発電の燃料としても使用されている)

### 1.1.4 低温加熱脆化のメカニズム

ASR 中の樹脂分（プラスチック、ウレタン、ゴム、合成繊維屑、ハーネス被覆等）は柔らかく（粘弾性が高く）、金属と複雑に絡み合っているため、そのままでは樹脂分の破碎、及び金属分離回収が困難である。

樹脂分は、加熱により低分子化、弾性消失、クラック発生などによる強度低下（脆化）が起きるため、樹脂分の破碎／粉碎性が向上し、金属分離しやすくなる。



図 1.1-3 低温加熱脆化のメカニズム

### 1.1.5 実証事業の実施体制

本実証実験の各工程の実施体制、仕様設備、処理フロー詳細図を図 1.1-5 に示す。本実証実験は、3 施設にて行った。SR の破碎から低温加熱脆化までを広島ガステクノ・サービス㈱の実験機、脆化物を金属と燃料代替となる脆化固形物に選別する工程を㈱クロダリサイクルの実機、選別された脆化固形物の粉碎、脱塩を㈱太平洋コンサルタントの研究設備にて行った。

尚、今回の実証事業では、実際に ASR を用いることが困難なため、品質面で ASR に相当する SR を使用している。以下の本文ではこの ASR 相当の SR を ASR と記載する。

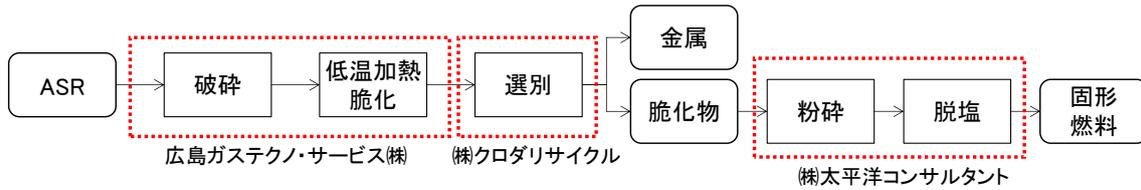


図 1.1-4 全体フロー図

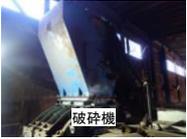
実施体制	実施設備		写真	
<div style="background-color: #0056b3; color: white; padding: 2px;">破碎</div> <div style="background-color: #0056b3; color: white; padding: 2px;">低温加熱脆化</div>	広島ガステクノ・サービス㈱	キルン 実験機 (30kg/h)		
<div style="background-color: #0056b3; color: white; padding: 2px;">選別</div>	㈱クロダリサイクル	実機		
<div style="background-color: #0056b3; color: white; padding: 2px;">粉碎</div> <div style="background-color: #0056b3; color: white; padding: 2px;">脱塩</div>	㈱太平洋コンサルタント	ラボ設備		 

図 1.1-5 実証事業の実施分担

## (1) 広島ガステクノ・サービスによる脆化実験

広島ガステクノ・サービスでは、破碎された ASR を再度破碎し、実験機である小型キルンに投入、低温加熱脆化処理の実験を行った。小型キルンの処理能力は 30kg/h である。この小型キルン炉を用いて、温度別の脆化実験、レシピ別の脆化実験等、本実証実験における脆化実験の全てを行った。なお、今回 ASR を再度破碎した理由は、小型キルンの投入口が小さかったためである。実用機では、ASR の直接投入を想定している。

脆化による排ガス処理については、脱臭炉にて二次焼却し、マルチサイクロンによってばいじんを収集するほか、排ガスを冷却し、活性炭や消石灰を用いて中和させ、バグフィルター、排気ファンを通じ、スクラバーにて苛性ソーダを加え、排水処理を行う。本事業では、この排ガス中に含まれる塩素等のハロゲンガスについても濃度確認を行った。

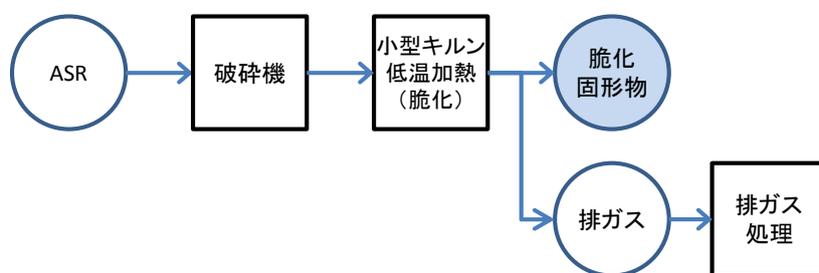


図 1.1-6 広島ガステクノ・サービスでの実証実験処理フロー図

## (2) クロダリサイクルによる選別実験

クロダリサイクルでは、広島ガステクノ・サービスにて脆化された脆化固形物の選別処理を行う。同社は、既に事業として ASR の再選別を行っており、本実証事業では同社の実機工程を利用して、金属と脆化固形物の選別、回収を行った。

同社の選別工程は、H ライン、A ライン、M ラインの 3 つに分かれている。まず H ラインの 5mm のふるいにて脆化固形物の一次選別を行い、5mm オーバーと 5mm アンダーに分ける。5mm オーバーは手選別にて非鉄を回収した後、M ラインに流れ、30mm ふるいで選別した後、渦電流等で銅等の非鉄を回収する。一方、5mm アンダーは A ラインに流れ、風力選別やエアテーブルでの振動ふるいを行い、希少金属を多く含有するミックスメタル（ART ヘビーと呼称）を回収する。同社の選別ラインにて回収された鉄、非鉄、希少金属以外の脆化物残さが石炭代替の固形燃料と整理した。図 1.1-7 にクロダリサイクルのフロー図を示す。

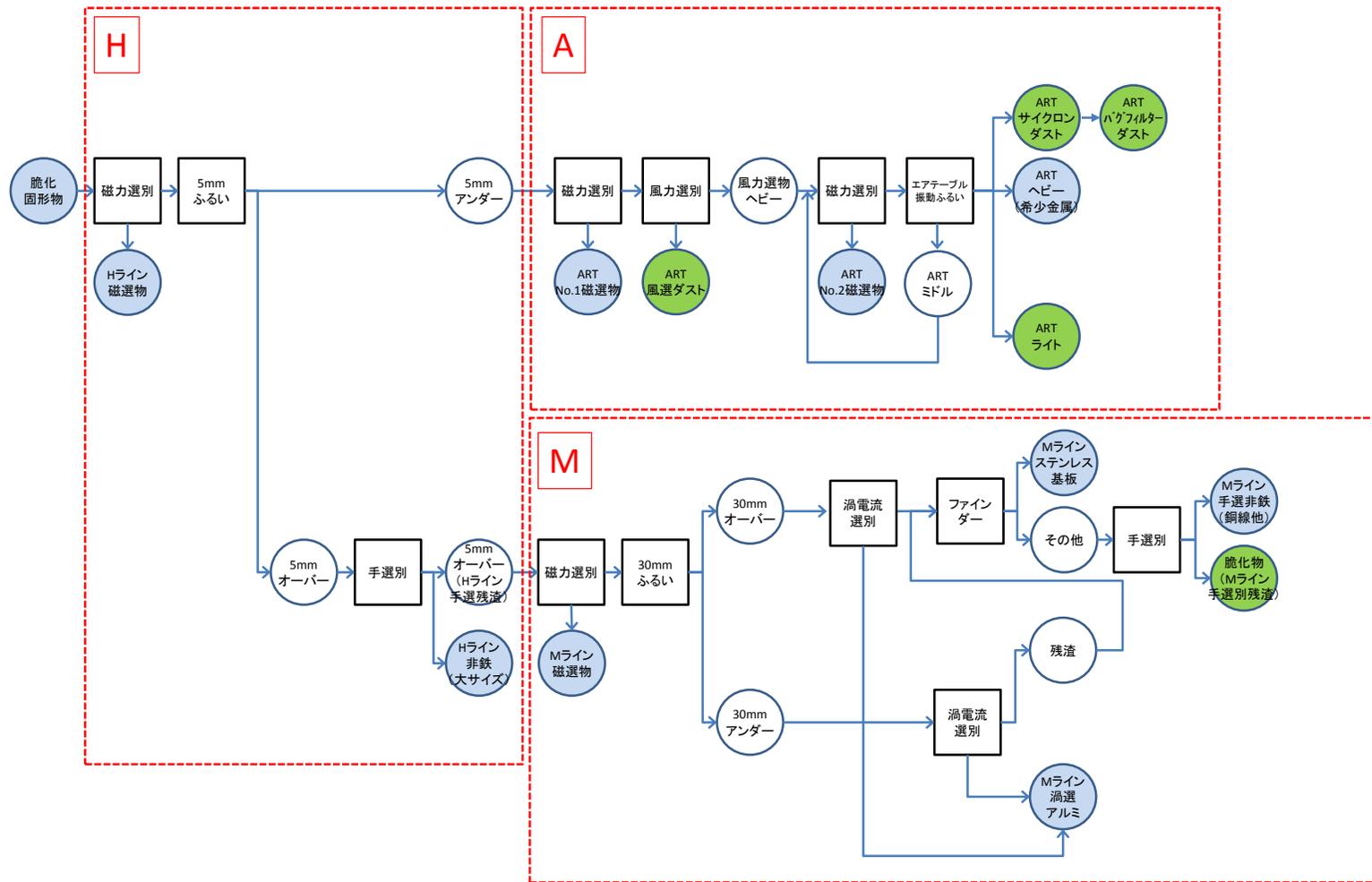


図 1.1-7 クロダリサイクルでの実証実験処理フロー図

### (3) 太平洋コンサルタントによる粉砕・脱塩実験

太平洋コンサルタントでは、クロダリサイクルにて回収された脆化固形物の粉砕、脱塩処理を行う。使用する設備は同社の研究施設保有の小型試験機である。残さとして回収した4つの脆化固形物を粒度別に2種類に分け、粒度の大きいものは粉砕後、脱塩のための水洗処理を、粒度の小さいものは、直接脱塩処理を行った。本工程では脆化物の燃料価値評価に加え、水洗による塩素等ハロゲンの濃度変化についても分析を行った。図 1.1-8 に太平洋コンサルタントのフロー図を示す。

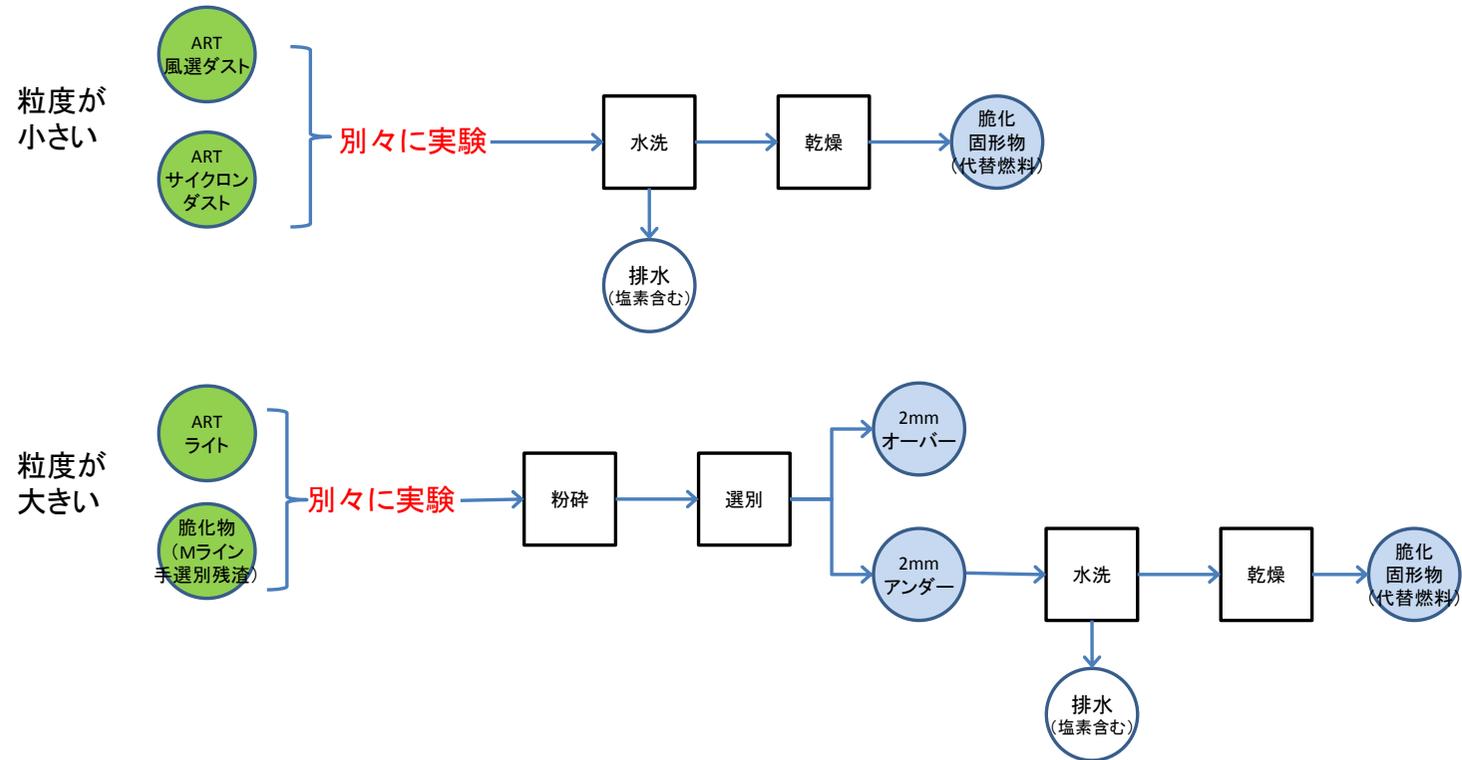


図 1.1-8 太平洋コンサルタントでの実証実験処理フロー図

## 1.2 実証事業の結果

### 1.2.1 有用金属等の回収を最も効率化させる加熱脆化温度の設定及び粉碎方法の選定

#### (1) 温度帯設定

ASRに含まれる有用金属である金、銀、銅の回収率が高くなる脆化温度を検討するため、広島ガステクノ・サービスのアントラーキルンを用いて、加熱脆化処理試験を実施した。

加熱脆化温度は、太平洋セメントの過去の検討実績を考慮し、250～350℃に設定した。また、加熱温度が高くなると脆化固形物の残存熱量が低下することを確認するため、500℃での加熱脆化も実施した。

本検討の投入物は、木くずなどは投入せず、ASRのみで実施した。なお、加熱脆化処理時にプラスチックが分解した際に発生する塩化水素を固形物に残存させるため、ASRに消石灰を混合した。混合比率はASR(94%)：消石灰(6%)である。

実施した試験の実施日、試験条件などは、表 1.2-1 に示す。本検討では、加熱脆化時の脆化程度の判断基準として、粒径を用いた。十分に脆化している場合、樹脂の低分子化、弾性消失、クラック発生などによる強度低下が起きていた。また、これに伴い樹脂同士の絡み合いが解消されやすくなっており(特に繊維層)、アントラーキルンから排出されるまでの間に衝撃、摩擦、絡み合いの解消などによって、粒子が細かくなっていると考えられる。

一方、十分に脆化していない場合は、強度低下や絡み合い解消効果が得られず、粒径もほとんど変化がない、または熱可塑性樹脂の軟化による粗大化が生じると考えられる。

上記の点を踏まえ、未処理品に対して、加熱後の処理物の5mm未満が多く、20mm以上が少ない場合、脆化していると判断した(未処理品の重量割合は、5mm未満が34%、20mm以上が44%)。

表 1.2-1 加熱脆化実証試験概要

項目	概要
実施日	2015/10/14-10/15
処理温度	・ 250℃ ・ 275℃ ・ 300℃ ・ 350℃ ・ 500℃
試験時間	各水準につき 1～2 時間
原料投入量	各水準につき 20～60kg (20～30kg/h)

## (2) 脆化温度帯実験結果

加熱脆化処理した際の脆化固形物の外観、熱量および粒径の分析結果は、表 1.2-2 の通りである。

250 および 275℃で処理した場合、外観は茶褐色で、発熱量は約 5,000cal/g であった。粒径は、5mm 未満の割合が 20%程度であり、20mm 以上が 40%以上となっており、十分に脆化されていなかった。未処理に対して、5mm 未満の割合が 10~20%減少しており、その他の粒径の割合が増加していることから、5mm 未満の熱可塑性樹脂が軟化して、周囲の樹脂、金属、木くずなどを取り込み塊状物になったか、5mm 以上の熱可塑性樹脂が軟化した際に取り込まれた可能性が考えられる。

特に、20mm 以上には、投入時とほぼ同じ形状の樹脂製品その他、樹脂、金属、木くずなどの集合体である塊状物が多く確認された。塊状物の大きさは、100mm 以上のものもあり、金属片や金属線などを取り込み、粗大化しているため、金属分離性が低く、金属選別による金属回収の障害となると推測された。また、塊状物は、熱可塑性樹脂が軟化したことで、塊としての一体性が高く、手持ちハンマーを用いても解砕が困難なものもあり、装置によって粉碎処理を行っても高い金属分離性は得られないと考えられる。

300 および 350℃で処理した場合、外観は黒色で、5mm 未満の割合が 50%以上であり、20mm 以上の割合が 15%前後となり、250 および 275℃で処理した場合に比べて、脆化していた。塊状物に取り込まれた金属が少なく、取り込まれた場合においても、容易に解砕できるため、金属分離性が高いと考えられた。被覆銅線の一部は、脆化した被覆部分が剥離して、銅線が露出していた。被覆部分が残存していた場合においても、指で擦る程度で被覆部分を剥離することが可能であった。

500℃で処理した場合は、回収できる発熱量が極端に低下することが分かる。

以上の結果から、熱量残存と金属分離性の観点から、ASR 単体の場合、好適な加熱脆化温度は 300~350℃と判断された。

表 1.2-2 脆化固形物の粒度分布および発熱量

試料	粒度分布 (mass%)				発熱量 (cal/g)
	<5mm	5-10mm	10-20mm	20mm<	
未処理	34	6	16	44	5,800
250℃	16	14	24	46	5,060
275℃	23	16	20	42	5,090
300℃	48	18	17	18	4,690
350℃	57	19	12	12	4,990
500℃	71	16	9	4	2,790

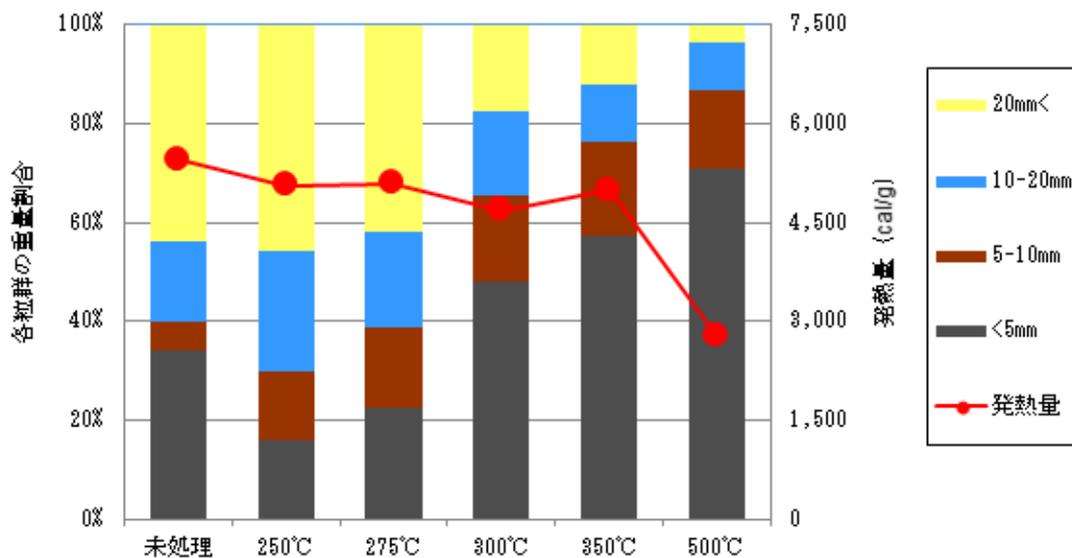
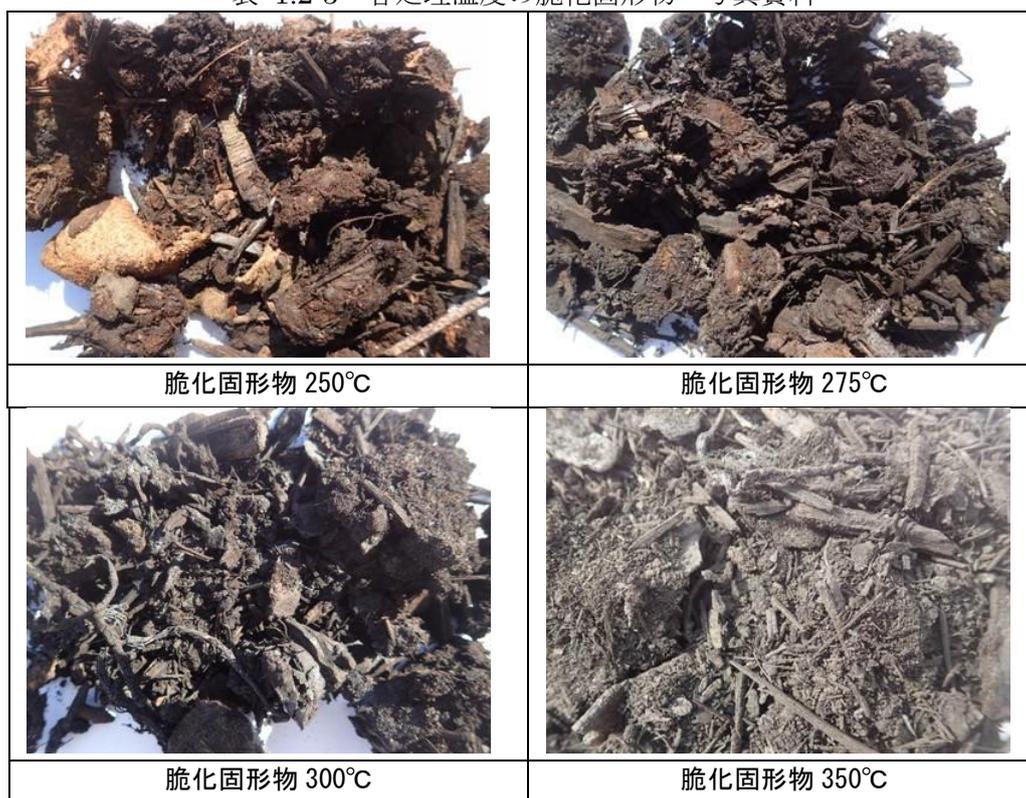


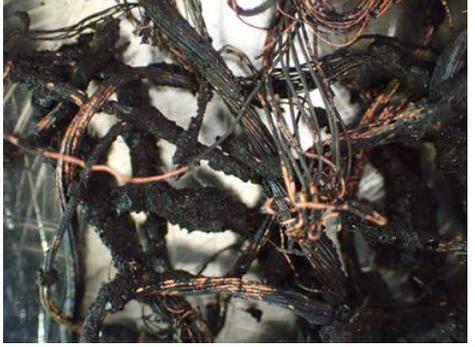
図 1.2-1 脆化固形物の粒度分布および発熱量

表 1.2-3 各処理温度の脆化固形物 写真資料



	
<p>脆化固形物 500℃</p>	
	
<p>塊状物 1 (20mm&lt;)</p>	<p>塊状物 2 (20mm&lt;)</p>

表 1.2-4 脆化した被覆銅線 写真資料

	
<p>脆化した被覆銅線 1</p>	<p>脆化した被覆銅線 2</p>

## 1.2.2 投入物の構成レシピの設定

### (1) 投入物の検討

脆化处理によって得られた燃料は、セメント焼成用燃料やボイラー燃料などを用途として想定している。しかしながら、粒度、保有熱量などの条件によって燃料価値は変化し、粗悪な場合は無価値となり汎用性が低下する。そこで、燃料としての価値を維持することを目的に投入物の構成レシピの検討を行った。

#### 1) 投入パターン

ASR 等の可燃性廃棄物による低温加熱脆化のための混合条件について、ASR、木くず、建廃プラの混合廃棄物等について単体および複数を組み合わせた複数のパターンでの検証を行った。

表 1.2-5 投入物のパターン

水準	投入物	ASR 比率
1	ASR 単体	100%
2	ASR+木くず	70%以上
3	ASR+建廃プラ	50%以上

なお、ASR 比率は、ASR と混合物を混ぜたものの中の ASR 割合を示し、以下の式で表される。

$$\text{ASR 比率} = \text{ASR} / (\text{ASR} + \text{混合物}) \times 100$$

表 1.2-6 投入物 写真資料

	
ASR	木くず
	
建廃プラ	

## 2) 投入物の性状

各投入物の三成分（水分、可燃分、灰分）及び発熱量を表 1.2-7、粒度分布を表 1.2-8 に示す。

熱量については、ASR は 5,800cal/g であった。木くずの熱量は ASR と比べて低く、建廃プラは高かった。

粒度分布については、ASR は、5mm 未満および 20mm 以上の割合が多く、5mm 未満には細かい繊維屑、金属、ガラスなどが多く、20mm 以上には繊維屑などが絡みあい粗大化したものやプラスチック片などが多く確認された。木くずは、いずれの粒度もほぼ同等の割合で含まれていた。建廃プラは、20mm 以上の割合が多く、ASR の 20mm 以上と同様に、プラ屑や繊維屑などが絡み合い粗大化したものが多く確認された。

表 1.2-7 投入物の三成分、発熱量

投入物	水分 (%)	可燃分 (%)	灰分 (%)
ASR	4.8	69.1	30.9
木くず	17.8	97.9	2.1
建廃プラ	3.0	78.5	21.5

備考) 水分のみ有姿ベースの分析値。その他は無水ベースの分析値

表 1.2-8 投入物の粒度分布および発熱量

試料	粒度分布 (mass%)				発熱量 (cal/g)
	<5mm	5-10mm	10-20mm	20mm<	
ASR	30	6	17	47	5,800
木くず	12	24	35	29	4,590
廃プラ	11	6	14	69	6,880

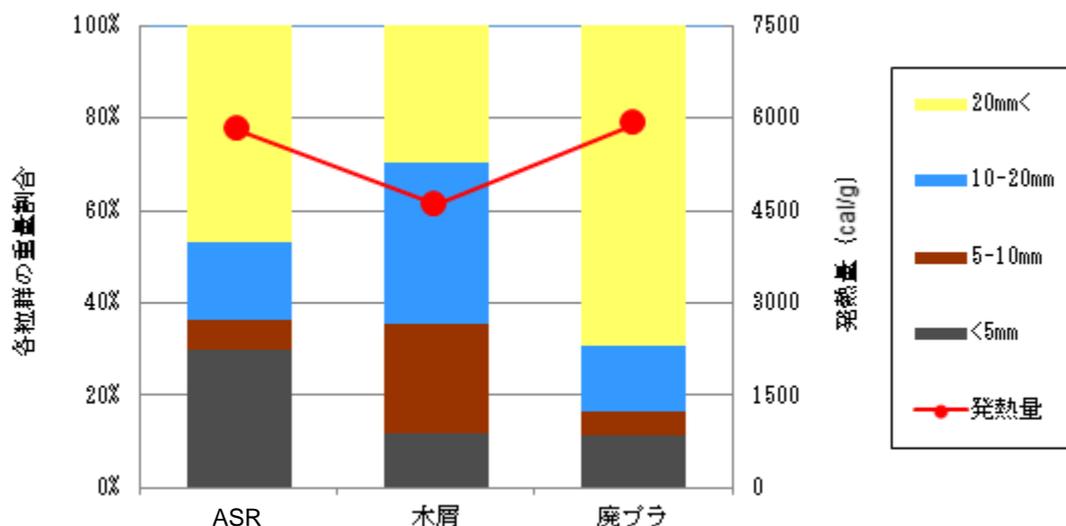


図 1.2-2 投入物の粒度分布および発熱量

## (2) レシピ案の検討

### 1) レシピの設定

木くず、建廃プラを混合した場合の投入物の ASR 比率は、加熱脆化処理を行うアントラーキルンに投入する際の定量供給機内およびアントラーキルン内でのハンドリング性(比重や粒子サイズなど)に大きな影響がないように設定した(ハンドリング性が大きく異なると、送り速度が異なる)。

具体的には、表 1.2-9 に示すように、木くず、建廃プラについて、各 2 パターンの ASR 比率とし、異なる混合物について同一比率混合した場合の比較を行うため、ASR 比率 70% のパターンを設定した。

木くずについては、ASR 比率 70%未満となると、ハンドリング性が大きく変化するため、ASR 比率 70%と 85%の 2 水準とした。建廃プラについては、ASR に近い性状のため、木くずよりも ASR 比率を低く設定することが可能であるため、ASR 比率 70%と 50%の 2 水準とした。

さらに、投入物に消石灰を混合して、加熱脆化処理時にプラスチックが分解した際に発生する塩化水素を固形物に残存させるため、ASR または ASR+混合物と消石灰の混合比率が 94% : 6%となるように消石灰を混合した。

表 1.2-9 実際に設定した投入物のパターン

水準	投入物	ASR 比率
1	ASR	100%
2	ASR+木くず	85%
3		70%
4	ASR+建廃プラ	70%
5		50%

備考) ASR または ASR+混合物 : 消石灰=94 : 6

## 2) 脆化実験結果

上記レシピにて、実施した試験の実施日、試験条件を表 1.2-10 に示す。

処理温度は、前述の検討結果を踏まえ、300～350℃の中間付近の 320℃で実施した。

表 1.2-10 加熱脆化実証試験の概要

項目	概要
実施日	2015/12/1-12/3
処理温度	320℃
試験時間	各水準につき 3 時間
原料投入量	各水準につき 90kg (30kg/h)

加熱脆化固形物の三成分及び発熱量を表 1.2-11、粒度分布を表 1.2-12 及び図 1.2-3 に示す。

発熱量については、ASR 単体の場合、4,300cal/g であり、建廃プラ、木くずを混合した場合、発熱量が向上する傾向であった。建廃プラ、木くずを混合した場合、ASR70%の発熱量は、いずれも約 4,800cal/g であった。

建廃プラを混合した場合は、建廃プラは ASR に対して、可燃分、発熱量が多く、灰分が少ないため、脆化固形物の発熱量向上に寄与したと考えられる。一方で、木くずを混合した場合に対し想定以上の熱量の増加が見られた。この原因として、熱量に寄与しない成分の脱離の影響が考えられる。今後、実験回数を増やし、原因解明の検討が必要である。

粒度分布については、ASR 単体は、20mm 以上の割合が 18%であり、加熱脆化前 (45%) に対して大幅に減少し、5mm 未満の割合が 40%であり、加熱脆化前 (29%) に対して増加していた。これは、加熱脆化処理によって、繊維層などの絡み合いが解かれたことによる効果と考えられる。一方、5～20mm の割合は増加しており、熱可塑性樹脂が軟化して、塊状化および粗大化したとみられる塊状物が確認されており、20mm 以上の塊状物も多く確認された。

建廃プラを混合した場合は、ASR 単体に対して、5mm 未満の割合が減少し、20mm 以上の割合が増加していた。これは、建廃プラの混合によって、投入物中の熱可塑性樹脂の総量が増え、塊状物が生成しやすくなったためと考えられる。建廃プラの場合、混合割合を増加させると、熱量は増加するが、塊状物が多くなることで、金属分離性が低下することに留意する必要がある。

木くずを混合した場合は、ASR 単体に対して、5mm 未満の割合が増加し、20mm 以上の割合が減少していた。この傾向は、木くずの混合割合の増加に伴い、顕著となっていた。加熱によって軟化せず、原型を留める木くずの混合により、塊状物の生成、塊状物同士の一団化を防止したためと考えられる。

以上の結果から、建廃プラ、木くずの混合によって、脆化固形物の発熱量の向上が期待されることが確認された。熱量残存、金属分離性の点を考慮すると、木くずの混合が好適であり、その混合割合は 30%程度が好適であると判断した。

表 1.2-11 脆化固形物の三成分、発熱量

水準	投入物	ASR 比率	水分 (%)	可燃分 (%)	灰分 (%)
1	ASR 単体	100%	0.0	50.6	49.4
2	ASR+木くず	85%	0.3	52.0	48.0
3		70%	0.7	64.6	35.4
4	ASR+建廃プラ	70%	0.0	63.2	36.8
5		50%	0.0	62.2	37.8

備考) 水分のみ有姿ベースの分析値。その他は無水ベースの分析値

表 1.2-12 固形脆化物の粒度分布

試料	粒度分布 (mass%)				発熱量 (cal/g)
	<5mm	5-10mm	10-20mm	20mm<	
ASR	42	19	20	19	4,300
ASR+木くず (ASR 85%)	45	17	19	18	4,600
ASR+木くず (ASR 70%)	49	18	19	14	4,770
ASR+廃プラ (ASR 70%)	36	20	22	22	4,760
ASR+廃プラ (ASR 50%)	22	17	27	34	5,000

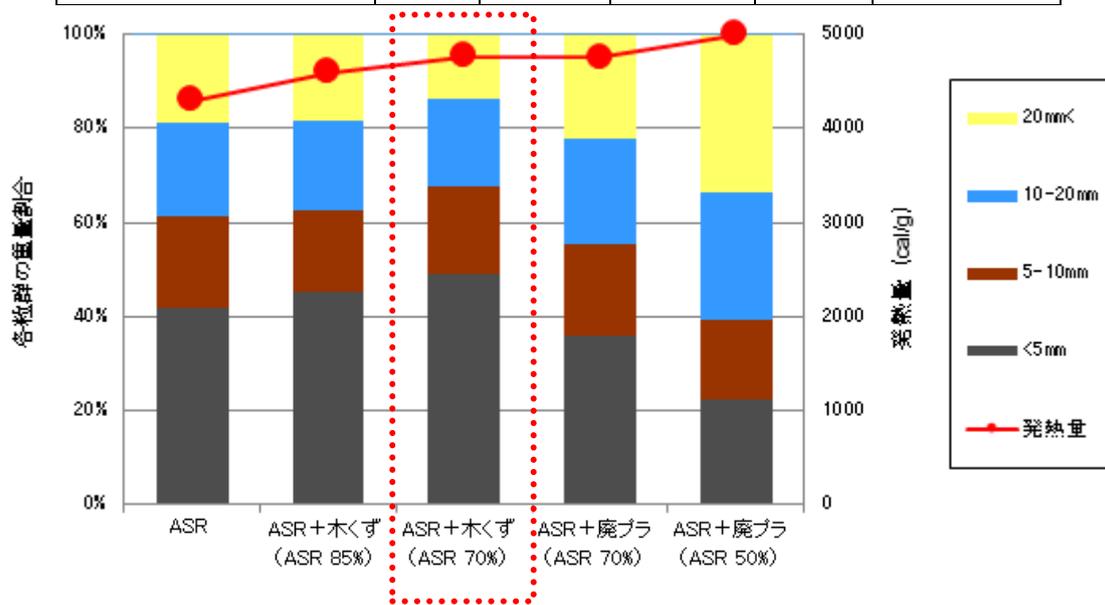


図 1.2-3 脆化固形物の粒度分布

### 1.2.3 有用金属等と脆化固形物の石炭代替燃料価値の評価

#### (1) 金属選別実証試験用の脆化固形物の製造

選別実証実験の実施には、約 2,000kg の脆化固形物が必要であるため、前述の加熱脆化処理の検討結果を踏まえ、ASR 単体の加熱脆化処理を実施した。また、処理温度を 320℃ とした。製造結果を表 1.2-13 に示す、予定通り、約 2,000kg を製造できた。

表 1.2-13 脆化固形物 2,000kg の製造結果

項目	試験結果
実施日	2015/11/3-11/6 2015/11/9-11/13
実施場所	広島ガステクノ・サービス
処理温度	320℃
試験時間	約 84 時間
投入物	ASR:100% (消石灰添加)
原料投入量	2,541kg (30kg/h)
脆化固形物回収量	1,961kg (23kg/h)
残存比率	77%残存 (23%減少)

表 1.2-14 投入物と脆化固形物 写真資料

	
投入物 (ASR)	脆化物
	
脆化物から取り出したワイヤーハーネス	

## (2) 金属選別実証実験結果

クロダリサイクルが保有する既存のダストリサイクル設備を利用して、脆化固形物約2,000kgの選別実証試験を実施した。

クロダリサイクルのダストリサイクル設備は、H、M、Aの3ラインから構成されている。Hラインでは、5mm篩いで5mmオーバー品と5mmアンダー品に篩い分けた。Mラインでは、渦電流選別装置などで5mmオーバー品の処理を行い、非鉄金属と、燃料として利用可能な塊状物に選別した。Aラインでは、風力選別装置とエアテーブルなどの比重差選別装置で5mmアンダー品の処理を行い、燃料として利用可能な低比重のダストと、金属品位が高いと思われる高比重のダストに選別した。

表 1.2-15 脆化固形物の選別実証試験

項目	試験概要
実施日	2015/11/25-11/26
実施場所	クロダリサイクル
投入物	脆化固形物
投入量	1,889kg

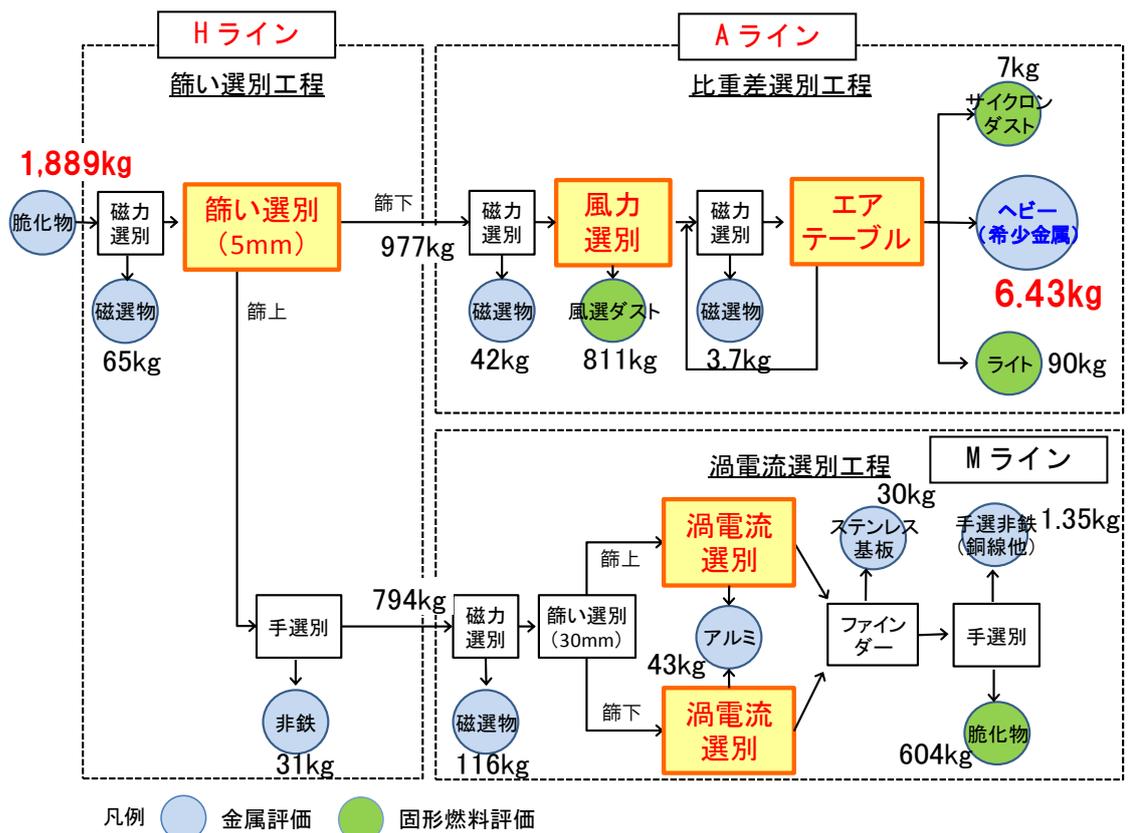


図 1.2-4 脆化物選別実験での選別実験結果

表 1.2-16 脆化固形物の選別実験結果 (Hライン処理)

INPUT		OUTPUT		備考
Hライン処理	kg	Hライン処理	kg	
脆化固形物	1,889.00	5mm アンダー	977.00	→Aラインへ
		5mm オーバー (Hライン手選残渣)	794.00	→Mラインへ
		Hライン磁選物	65.00	金属評価
		Hライン非鉄 (大サイズ)	31.00	金属評価
		合計	1,867.00	工程内ロスによる 22.00kg 減

表 1.2-17 脆化固形物の選別実験結果 (Mライン処理)

INPUT		OUTPUT		備考
Mライン処理	kg	Mライン処理	kg	
5mm オーバー (Hライン手選残渣)	794.00	脆化物 (Mライン手選別残渣)	448.00	固形燃料評価
		Mライン手選非鉄 (銅線他)	1.35	金属評価
		Mラインステンレス基板	30.00	金属評価
		Mライン渦選アルミ	43.00	金属評価
		Mライン磁選物	116.00	金属評価
		合計	794.35	工程内残さの混入に よる0.35kg 増

表 1.2-18 脆化固形物の選別実験結果 (Aライン処理)

INPUT		OUTPUT		備考
Aライン処理	kg	Aライン処理	kg	
5mm アンダー	977.00	Aラインサイクロンダスト	7.00	固形燃料評価
		Aラインバグフィルターダスト	0.00	発生せず
		Aラインヘビー (希少金属)	6.43	金属評価
		Aラインライト	90.00	固形燃料評価
		AラインNo.1 磁選物	42.00	金属評価
		Aライン風選ダスト	811.00	固形燃料評価
		AラインNo.2 磁選物	3.70	金属評価
		合計	960.13	工程内ロスによる 16.87kg 減

表 1.2-19 脆化物の選別実験における有用金属の回収量の集計結果

項目	詳細	数量 (kg)
鉄スクラップ(磁選物)	Hライン磁選物	65.00
	Mライン磁選物	116.00
	AラインNo.1磁選物	42.00
	AラインNo.2磁選物	3.70
	合計	226.70
非鉄スクラップ	Hライン非鉄(大サイズ)	31.00
	Mライン渦選アルミ	43.00
	Mライン手選非鉄(銅線他)	1.35
	合計	75.35
レアメタル	Mラインステンレス基板	30.00
	Aラインヘビー(希少金属)	6.43
	合計	36.43

素材別の金属資源回収結果を以下に示す。対象とした金属資源は、鉄 ((Fe)、銅 (Cu)、金 (Au)、銀 (Ag) の4種である。

#### 1) 鉄 (Fe)

鉄は磁選物として回収しており、回収された磁選物の合計量は **226.7kg**、鉄濃度分析結果から算出された実質的な回収鉄量は **212.35kg** であった。投入した ASR に含まれる鉄量比の 103%に相当する結果が得られたことから、処理工程内に残っていた鉄が混入した可能性が考えられる。

# Fe

## 金属資源回収の測定結果

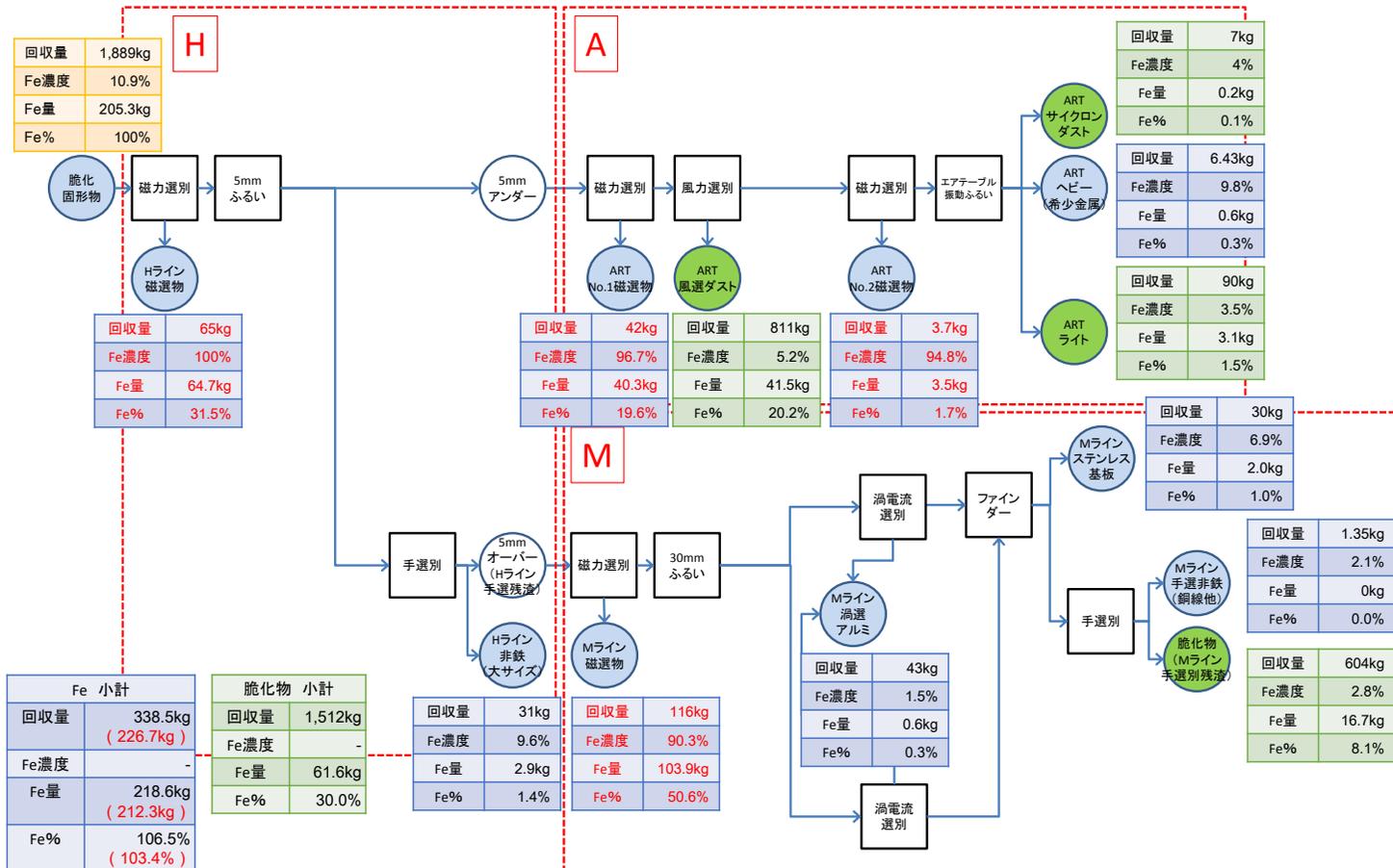


図 1.2-5 金属資源回収の測定結果 (Fe)

## 2) 銅 (Cu)

銅は非鉄スクラップ（Hライン非鉄、Mライン渦選アルミ、Mライン手選非鉄）とレアメタル（Aラインヘビー、Mラインステンレス・基板）として回収しており、回収された項目の合計量は111.78kg、銅濃度分析結果から算出された実質的な回収銅量は12.76kgであった。投入したASRに含まれる銅量比の18%に相当する結果が得られた。脆化物内に39%含まれていたことから、銅回収のための選別工程の工夫が必要であり、課題が残った。

# Cu

## 金属資源回収の測定結果

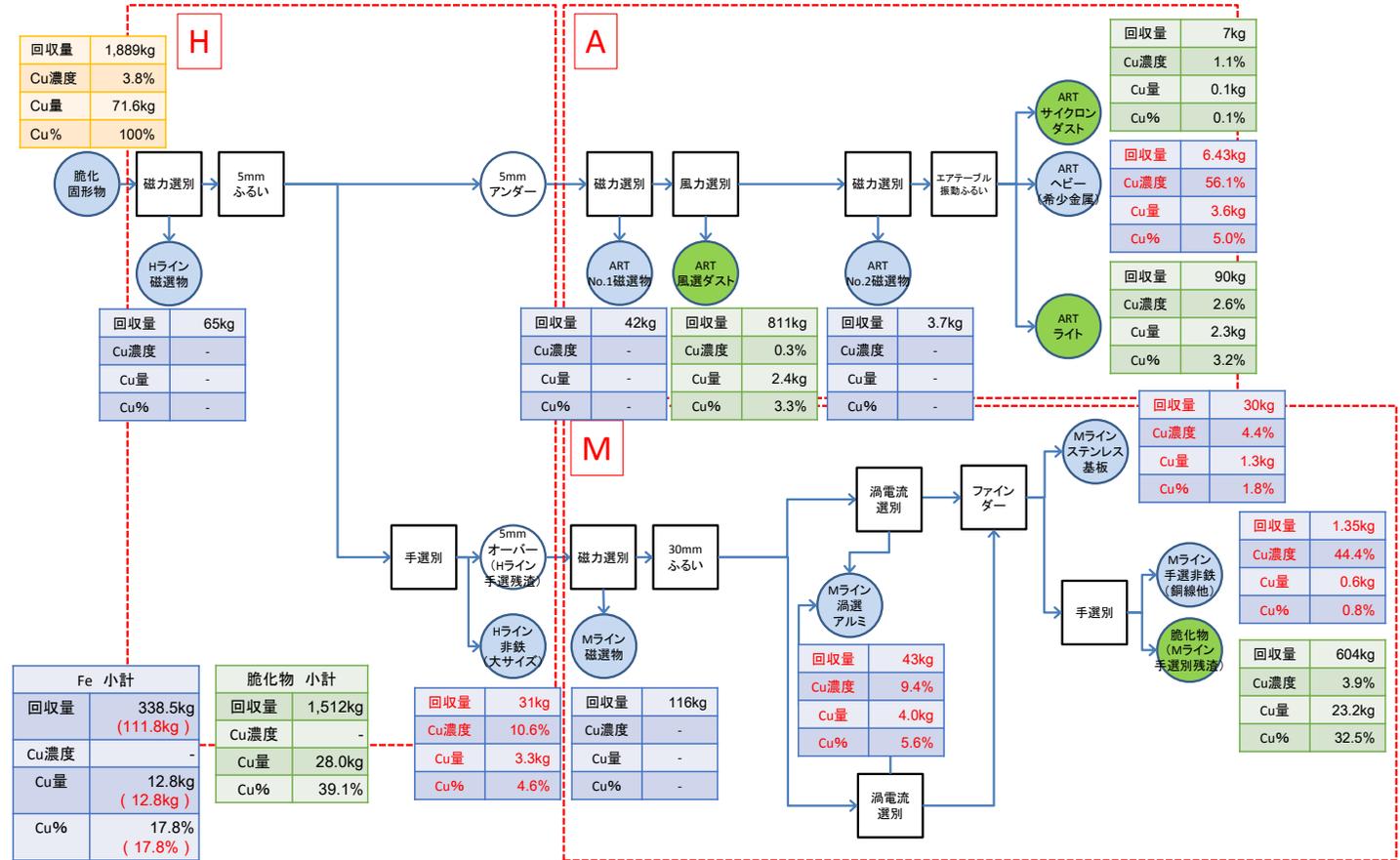


図 1.2-6 金属資源回収の測定結果 (Cu)

### 3) 金 (Au)

金はレアメタル (A ラインヘビー、M ラインステンレス・基板) として回収しており、回収された項目の合計量は 36.43kg、金濃度分析結果から算出された実質的な回収量は 0.87g であった。投入した ASR に含まれる金量比の 77% に相当する結果が得られた。概ね効果的な金回収が出来たのではないかと思われる。

# Au

## 金属資源回収の測定結果

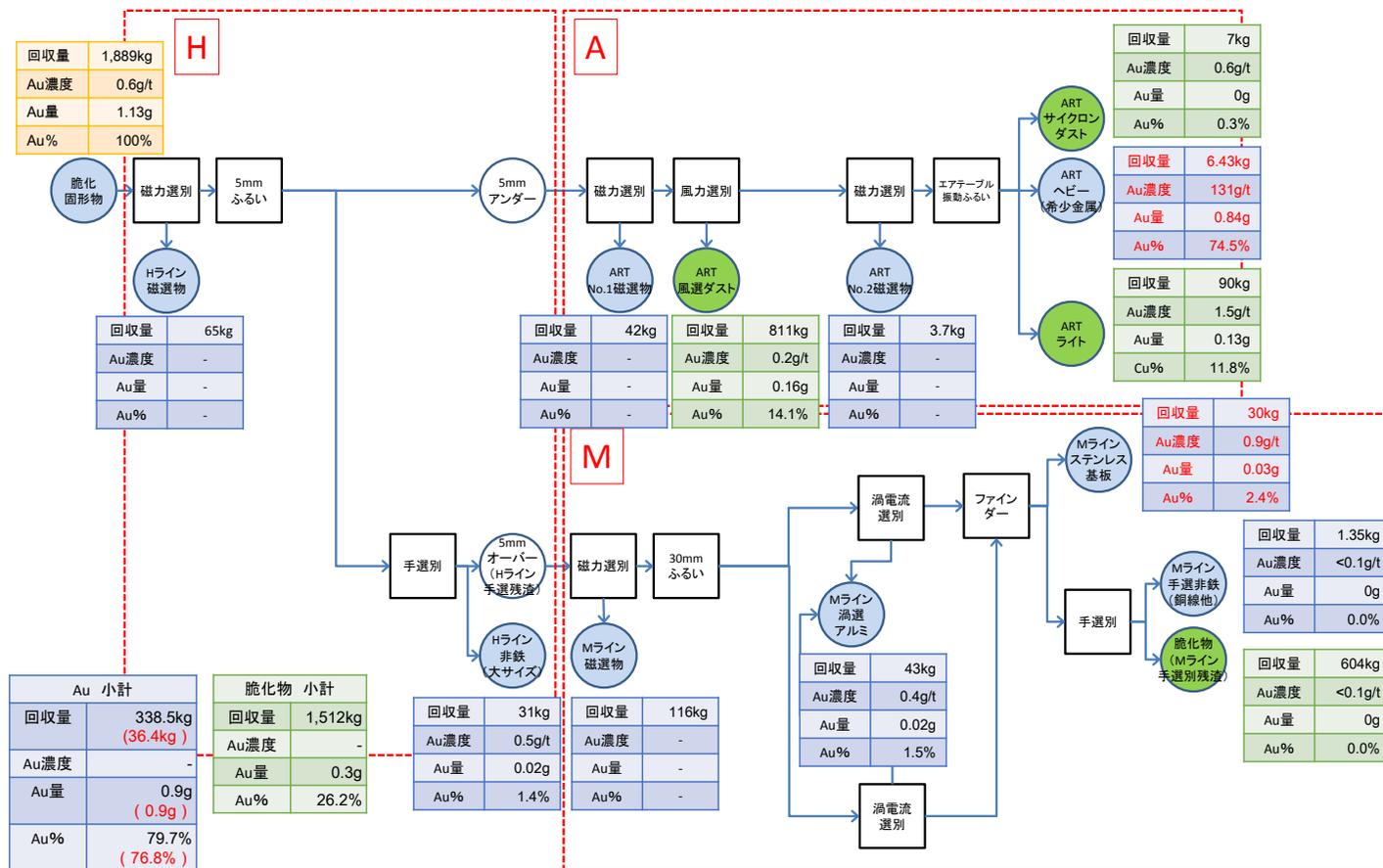


図 1.2-7 金属資源回収の測定結果 (Au)

#### 4) 銀 (Ag)

銀はレアメタル (A ラインヘビー、M ラインステンレス・基板) として回収しており、回収された項目の合計量は **36.43kg**、銀濃度分析結果から算出された実質的な回収銀量は **5.60g** であった。投入した ASR に含まれる銀量比の 14% に相当する結果が得られた。脆化物内に **65%** 含まれており、特に A ライン風選ダストの含有が **36%** と多かったことから、銀回収のための選別工程の工夫が必要であり、課題が残った。



## 5) 金属資源のマテリアルバランス

回収資源のマテリアルバランスを図 1.2-9 に示す。なお、算出にあたっては、合計が 100% となるよう、実際に回収された各資源からの積み上げにて行った。

金属資源別に見ると、鉄と金は実質回収された割合が 70%以上となったが、銅は 30%程度、銀は 14%程度と低い結果となった。脆化物に銅が 69%、銀が 65%流れていることから、特にこれらの含有濃度の高かった A ライン風選ダストと M ライン手選別残さからの回収工夫が求められる。

金、銀、銅は処理プロセスでは同様の挙動を示すことが多いが、本実証結果では金と銅は連動していたが、銀は異なる挙動を示していた。この理由として、金と銀の回収が連動したのは、元の状態において、銅と金は電子基板など接合して存在していたためではないかと考えられる。一方で、銀の回収が分散した理由は、リアガラスのフィルムに含有される銀が回収されたためであり、基板とガラスでは比重が異なることから、選別による回収ポイントが異なったのではないかと考えられる。

低温加熱脆化により銅と金が同時に回収出来ていることから、本処理技術は金の回収に効果的であると思われる。

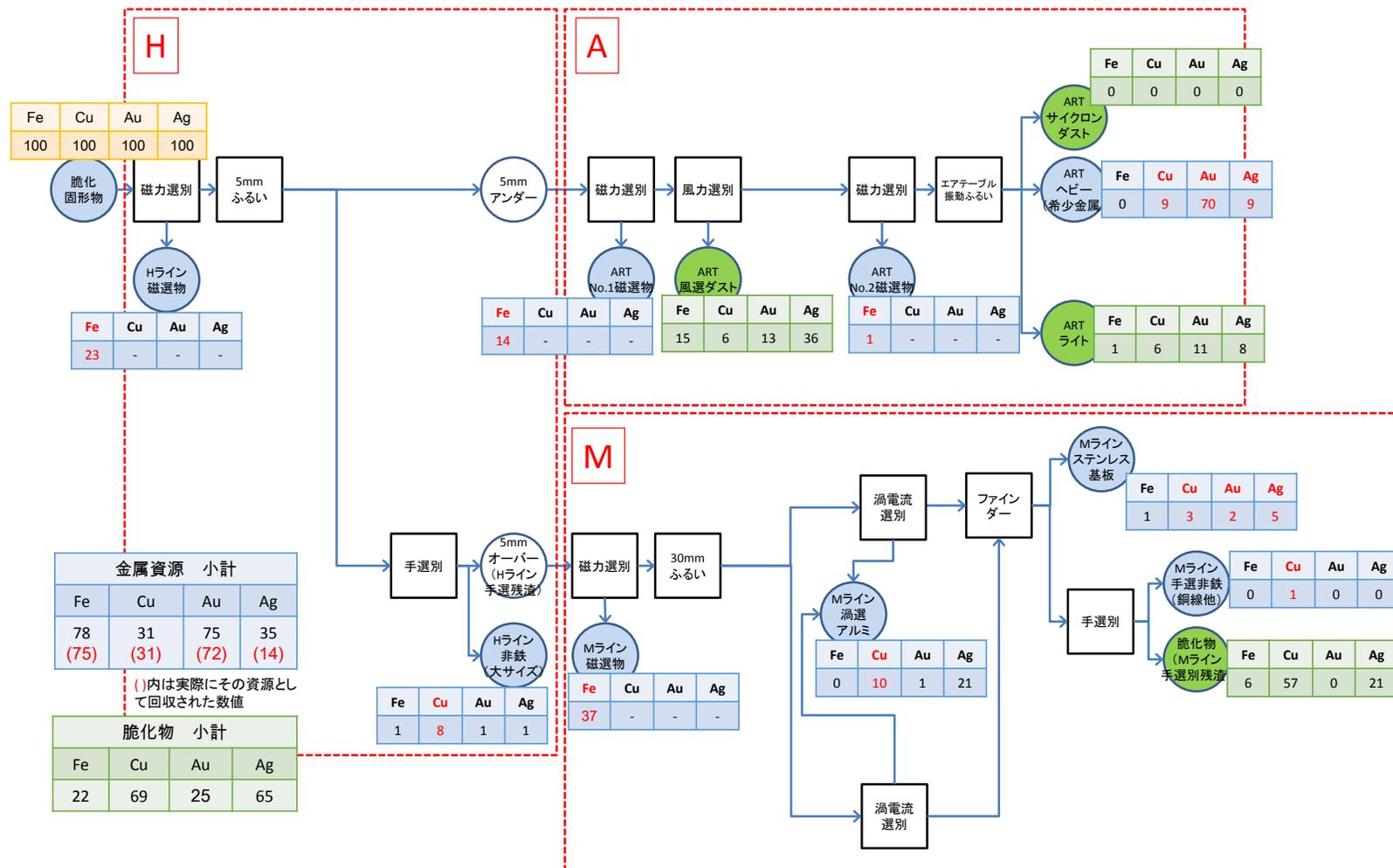


図 1.2-9 実証実験における金属資源のマテリアルバランス (%)

### (3) 脱塩処理実証実験結果

#### 1) 粉砕実証実験結果

燃料品位を有する脆化固形物は、Mラインの手選残渣、Aラインの風選ダスト、ライト、サイクロンダストの4種類である。それぞれの三成分及び発熱量を表 1.2-20、粒度分布を表 1.2-21 に示す。

これらの脆化固形物を、例えばセメントキルンの主燃料である石炭の代替燃料として利用する場合、粒径については、数 mm 程度であれば、特に問題なく利用できる。

本試験では、5mm 以上の粒子をほとんど含まず、2mm 未満の割合が 90 %以上であれば、そのまま代替燃料として利用できると判断した。前述の粒度分布に該当しない脆化固形物は、Mラインの手選残渣、Aラインのライトの2種類であり、2mm 以上には熱可塑性樹脂が軟化した塊状物の他に、プラスチックやゴム、金属、ガラスなどが含まれていた。

Mラインの手選残渣、Aラインのライトについては、2mm 未満の割合を増加させるため、粉砕試験を行った。実施した試験の実施日、試験条件などを、表 1.2-22 に示す。

表 1.2-20 燃料品位を有する脆化固形物の三成分、発熱量

試料	三成分 (%)			発熱量 (cal/g)
	水分	可燃分	灰分	
Mライン 手選残渣	1.3	57.7	42.3	4,190
Aライン 風選ダスト	1.5	51.8	48.2	3,830
Aライン ライト	1.5	26.9	73.1	1,900
Aライン サイクロンダスト	14.6	58.0	42.0	3,200

※水分のみ有姿ベースの分析値。その他は無水ベースの分析値

表 1.2-21 燃料品位を有する脆化固形物の粒度分布

試料	粒群毎の重量割合 (%)			
	<2mm	2-5mm	5-20mm	20mm<
Mライン 手選残渣	3.0	45.9	50.8	0.3
Aライン 風選ダスト	94.3	5.7	0.0	0.0
Aライン ライト	32.0	67.6	0.4	0.0
Aライン サイクロンダスト	99.0	0.2	0.8	0.0

※無水ベースの分析値

表 1.2-22 脆化固形物の粉砕実証試験概要

項目	概要	写真（粉砕機）
実施日	2015/12/14	
実施場所	太平洋コンサルタント	
使用装置	ボールミル (ミル容積 60L)	
装置条件	回転数：46rpm 媒体：鋼製球・円柱 媒体充填量：95kg	
投入物	Aライン・ライト Mライン・手選別残渣	
脆化固形物投入量	2.0kg	
試験時間	10分間	

粉砕試験後の M ラインの手選残渣、A ラインのライトの粒度分布は、表 1.2-23 の通りである。粉砕試験の結果、いずれも 2mm 未満の重量割合が 60%以上となった。2mm 以上には、粉砕が困難なプラスチックやゴム、金属などが確認された。

以上の結果から、M ラインの手選残渣、A ラインのライトともに、比較的容易に 2mm 未満に粉砕することが可能であった。

表 1.2-23 粉砕品の粒度分布

試料	粒群毎の重量割合 (%)			
	<2mm	2-5mm	5-20mm	20mm<
Mライン 手選残渣 粉砕品	64.3	18.6	16.8	0.3
Aライン ライト 粉砕品	77.7	22.1	0.2	0.0

※無水ベースの分析値

表 1.2-24 M ライン手選残渣、A ラインライトの粉砕前後の試料 写真資料



## 2) 水洗実証実験結果

選別試験、粉碎試験によって 2mm 未満の脆化固形物を容易に得られることが判明した。しかし、石炭代替燃料として利用する場合、粒径以外に含有成分が課題となる。特に、Cl 含有量については、例えばセメントの石炭代替として利用する場合、セメントの製造工程や製品への負荷や影響を考慮すると、0.5%以下であることが望ましい。

石炭代替燃料として利用可能な 2mm 未満を篩い分けにより回収した M ラインの手選残渣および A ラインのライトの粉碎品、そのまま石炭代替燃料として利用可能な A ラインの風選ダスト、サイクロンダストについて、三成分、発熱量、含有成分を分析した結果は、表 1.2-27 の通りである。4 種類の脆化固形物は、混合した状態で燃料として使用することが想定されるため、金属選別試験時の回収重量をもとに、各加重平均値も併記した。

脆化固形物の Cl 含有量は、1、2%前後であり、石炭代替燃料として利用するには、Cl 含有量を水洗脱塩などによって、低減させる必要がある。そこで、以下の 4 種類の脆化固形物について、Cl 含有量を 0.5%以下に低減可能か検討を行うため、水洗試験を行った。また、水洗に際しては、排水処理が必要となるため、排水の性状の分析も実施した。実施した試験の実施日、試験条件などは、表 1.2-25 の通りである。

表 1.2-25 脆化固形物の水洗実証試験概要

項目	概要
実施日	2015/12/14
実施場所	太平洋コンサルタント
使用装置	攪拌羽根式攪拌機 ウォーターバス 吸引ポンプ
装置条件	攪拌羽根回転数：400rpm 水温：30°C保持
固液比	固体 500g：水 1500g
試験時間	水洗：30 分間 吸引脱水：30 分間

表 1.2-26 水洗試験における設備 写真資料

	
攪拌機およびウォーターバス	吸引ポンプ

水洗試験後の脆化固形物の水分、含有成分を表 1.2-27、水洗廃水の回収量、pH、各種濃度を

表 1.2-29 に示す。水洗試験の結果、水洗後の脆化固形物の Cl 含有量(4 種類の加重平均値)が 0.69%以下となった。Cl の内訳は、水溶性 0.26%、不水溶性 0.43%となっており、好適な水洗回数を設定することによって、0.4%まで低減可能であることが期待される。

以上の結果から、好適な水洗回数を設定することによって、良好な石炭代替燃料を製造することが可能であることが確認された。一方で、排水基準を遵守するための排水処理が必要となる廃水が発生することが判明した。

表 1.2-27 燃料品位を有する脆化固形物の三成分、発熱量、含有成分

試料	状態	三成分 (%)			発熱量 (kcal/kg)	F (%)	Br (%)	Cl (%)
		水分	可燃分	灰分				
M ライン 手選残渣 (粉碎後の 2mm 篩下)	水洗前	3.7	61.9	38.1	4,490	0.107	0.121	2.17
	水洗後	50.5	37.7	62.3	4,960	0.054	0.082	0.72
A ライン 風選ダスト	水洗前	1.5	51.8	48.2	3,830	0.026	0.122	2.13
	水洗後	28.5	49.0	51.0	3,650	0.000	0.074	0.70
A ライン ライト粉碎品 (粉碎後の 2mm 篩下)	水洗前	2.2	36.1	63.9	2,700	0.024	0.088	1.20
	水洗後	44.6	69.6	30.4	2,510	0.000	0.044	0.35
A ライン サイクロンダスト	水洗前	14.6	58.0	42.0	3,200	0.000	0.064	1.42
	水洗後	52.3	52.8	47.2	3,080	0.028	0.028	0.51
上記 4 種類の加重平均値	水洗前	2.5	45.1	54.9	4,020	0.058	0.119	2.09
	水洗後	38.4	45.7	54.3	4,100	0.022	0.075	0.69

備考) 水分のみ有姿ベースの分析値。その他は無水ベースの分析値

表 1.2-28 4 点加重平均の Cl の水溶性塩素および不水溶性塩素の内訳

	Cl 内訳 (%)	
	水溶性	不水溶性
水洗前	1.66	0.43
水洗後	0.26	0.43

表 1.2-29 水洗廃水の回収量、pH、各種濃度

試料	回収量 (mL)	pH (—)	Cl (mg/L)	CODMn (mg/L)
M ライン 手選残渣 (粉碎後の 2mm 篩下)	1,031	11.9	5,800	1,900
A ライン 風選ダスト	1,328	12.0	5,600	1,700
A ライン ライト粉碎品 (粉碎後の 2mm 篩下)	1,153	12.0	3,200	1,600
A ライン サイクロンダスト	1,159	9.1	3,500	520
(参考値)	—	5-9	(19,000) 海水濃度	160

(備考: 参考値として記載している pH および COD については、水質汚濁防止法における一律排水基準 (海域) に基づく。塩素濃度については、一般的な海水濃度を記載した。)

#### (4) 燃焼実証実験結果

水洗実証試験で得られた 4 種類の燃料について、セメントキルンの主要燃料である微粉炭に対する燃焼性（所定時間燃焼した際の重量減少率）を評価するため、管状電気炉を用いて、燃焼試験を実施した。

実施した試験の実施日、試験条件などは、表 1.2-30 の通りである。

表 1.2-30 脆化固形物の燃焼実証試験概要

項目	概要
実施日	2015/12/15
実施場所	太平洋コンサルタント
投入物	Mライン 手選残渣 Aライン 風選ダスト Aライン ライト粉砕品 Aライン サイクロンダスト
使用装置	管状電気炉
装置条件	・ 温度：1450℃、 ・ 雰囲気：大気（標準ガス使用。N <sub>2</sub> 78%、O <sub>2</sub> 21%） ・ ガス流量 1L/min
試験時間	0.5、1、2、4分



図 1.2-10 管状電気炉 写真

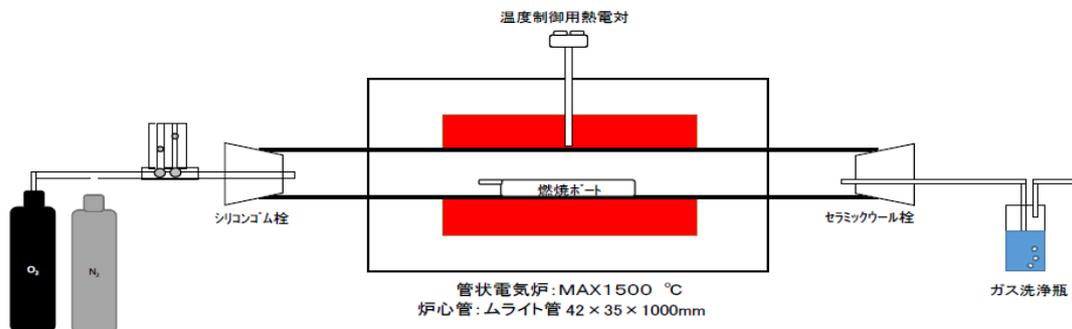


図 1.2-11 燃焼試験模式図

燃焼試験後の重量減少率は、表 1.2-31 の通りである。微粉炭は 0.5～4 分で重量減少率が増加し続けている一方、いずれの脆化固形物も 0.5～4 分でほとんど変化はなく、0.5 分で可燃分はほぼ燃焼していると判断した。

以上の結果から、脆化固形物は、微粉炭に対して、燃焼性が良く、燃焼性の点においても石炭代替燃料として問題なく利用できることが確認された。

表 1.2-31 所定時間燃焼した際の重量減少率 (%)

試料	燃焼時間 (分)			
	0.5	1	2	4
微粉炭	29	38	59	75
Mライン 手選残渣 (粉碎後の 2mm 篩下)	64	67	68	68
Aライン 風選ダスト	50	54	57	56
Aライン ライト粉碎品 (粉碎後の 2mm 篩下)	40	38	40	43
Aライン サイクロンダスト	55	55	55	57
上記 4 種類の加重平均値	58	60	60	61

表 1.2-32 脆化物と一般炭の発熱量比較

	発熱量	⇒一般炭の 67%を代替
脆化物	17.17GJ/t	
一般炭	25.7GJ/t	

出所) 環境省「算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧 (別表 1 燃料種別の発熱量)」

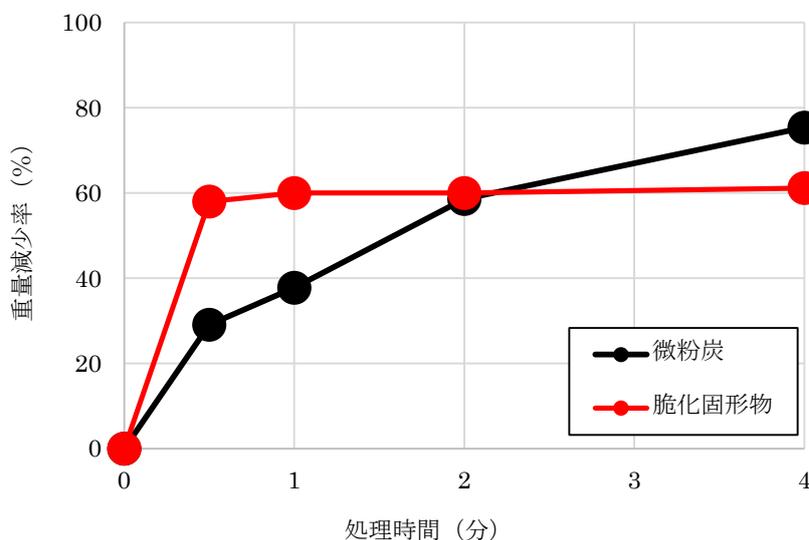


図 1.2-12 微粉炭と脆化固形物の燃焼性

(5) 回収された金属資源の品質評価

脆化固形物の選別にて回収された金属資源のうち、アルミは他金属の含有が多い状態であったことから、アルミではなく銅として評価されると思われる。各回収物にて品質評価される金属資源量は、鉄 212.3kg、銅 12.8kg、金 0.87g、銀 5.60g であった。

特に A ラインにて回収されたヘビー6.34kg には有用金属が濃縮されており、各金属資源の品位は、金 131g/t、銀 540g/t、銅 56.1%であった。地金価格では金 4,499 円/g、銀 57.35 円/g (2016 年 1 月 26 日時点。田中貴金属 HP より) を考慮すると、高付加価値の金属資源が回収されたと思われる。

表 1.2-33 脆化物の選別による金属回収結果

分析試料	Au (g)	Ag (g)	Fe (kg)	Al (kg)	Cu (kg)
H 磁性物	-	-	64.7	-	-
H 手選非鉄	0.02	0.23	2.9	9.5	3.3
ART No.1 磁性物	-	-	40.3	-	-
ART No.2 磁性物	-	-	3.5	-	-
ART ヘビー	0.84	3.47	0.6	0.1	3.6
M 磁性物	-	-	103.9	-	-
M 渦選アルミ	0.02	8.17	0.6	20.3	4.0
M ステンレス・基板	0.03	2.13	2.0	2.4	1.3
M 手選非鉄	0	0.02	0.0	0.1	0.6
<b>合計 (■着色部のみ)</b>	<b>0.87</b>	<b>5.60</b>	<b>212.3</b>		<b>12.8</b>

(備考：アルミは他金属の混入がある場合は評価不可となるため、全て銅評価とした。)

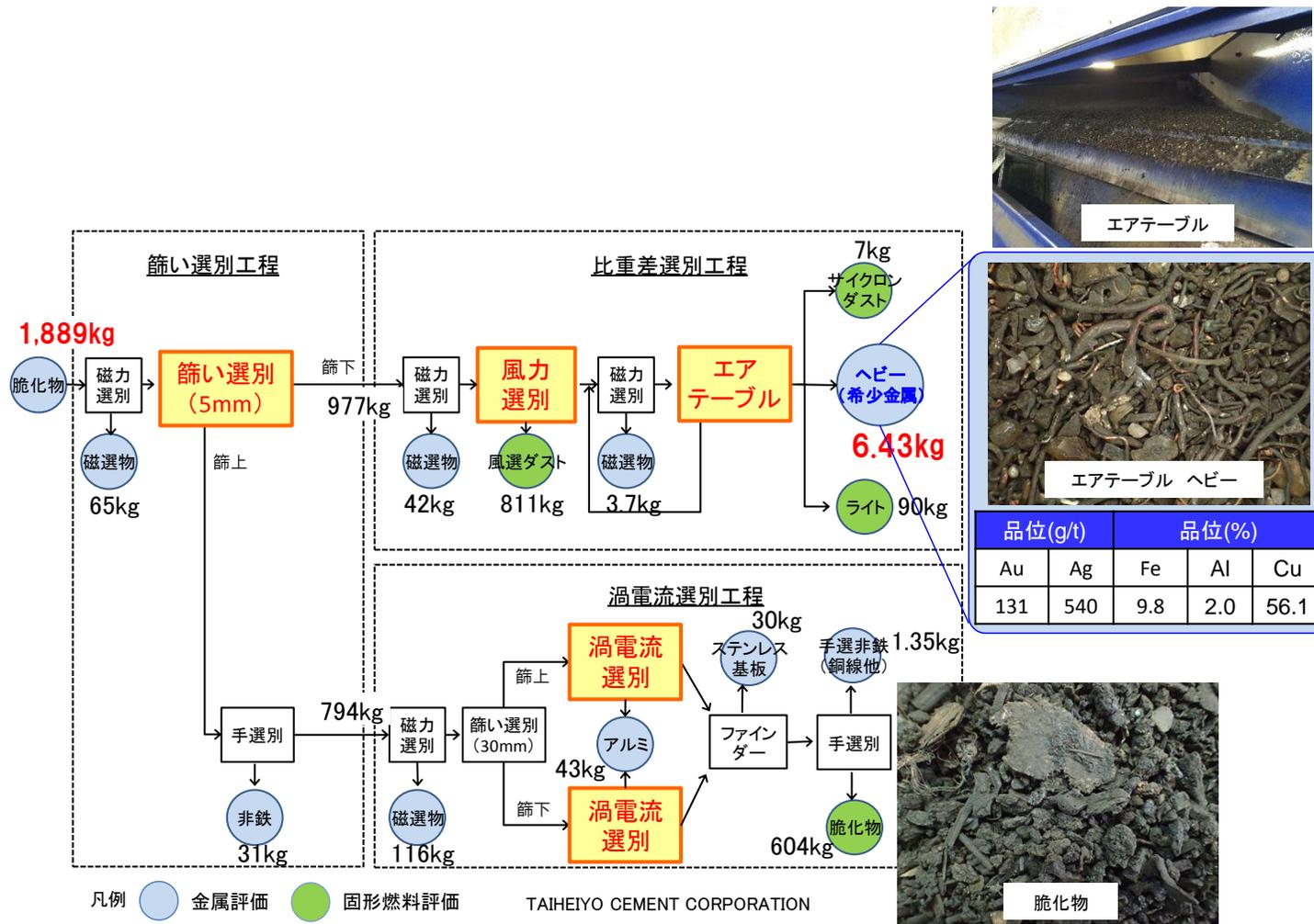


図 1.2-13 脆化物における選別工程にて回収されたヘビー（希少金属）とその金属構成

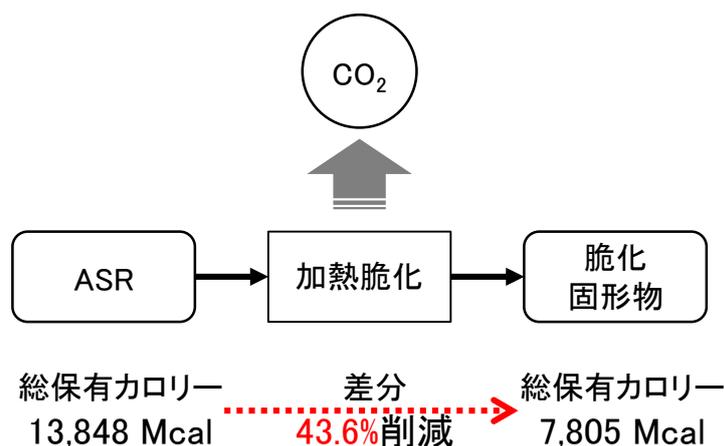
## 2. 環境負荷低減効果の検証

### 2.1 CO<sub>2</sub> 排出量削減効果の検討

加熱脆化处理における CO<sub>2</sub> 排出量について、他の処理技術との比較検討を行った。比較検討処理技術としては、ガス化熔融処理と再選別処理とした。

比較試算にあたり、低温加熱脆化では、加熱脆化工程と脱塩工程は実用プラント規模の設計データ、選別工程は実験を行ったクロダリサイクルの実機データを、ガス化熔融処理は文献データを、再選別処理はクロダリサイクルの実機データを用いた。クロダリサイクルでは実際に事業として ASR の再選別にて金属回収を行っていることから、比較検証データとして活用した。

バウンダリについては、いずれも運搬を除いた全プロセスを対象とし、処理工程およびリサイクルによる効果の全てについて、評価試算を行った。なお、低温加熱脆化处理における ASR 内化石資源由来の CO<sub>2</sub> 量については、投入時の総カロリーと生成された脆化物の総カロリーの差分を用いて、ASR1t あたりの脆化にて燃焼される ASR 量率を求めることにより算出した。



C(炭素)量の移動が不明(未測定)のため、  
ASR1tあたり0.436t分が加熱脆化により燃焼すると換算

「廃棄物の焼却及び製品の製造の用途への使用(その他の廃プラスチック類)」の  
燃焼のCO<sub>2</sub>排出係数にてCO<sub>2</sub>量算出

※排出係数は環境省「算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧(参考1)」を使用

図 2.1-1 ASR1t あたりの脆化にて燃焼される ASR 量率

## 2.1.1 ガス化溶融処理との比較による CO<sub>2</sub> 削減効果試算

ガス化溶融処理のベースラインプロセスと本事業のリサイクルプロセス、各プロセスの CO<sub>2</sub> 排出量を図 2.1-2 に示す。ガス化溶融処理と比較した場合、低温加熱脆化処理の CO<sub>2</sub> 削減効果は 0.9104 CO<sub>2</sub>-t/t となった。

なお、処理プロセスにおける CO<sub>2</sub> 発生量のみで比較すると、ガス化溶融では 1.9018 CO<sub>2</sub>-t/t、低温加熱脆化では 1.4120 CO<sub>2</sub>-t/t であった。処理プロセスのみの比較でも低温加熱脆化処理の CO<sub>2</sub> 削減効果が見られ、0.4898 CO<sub>2</sub>-t/t の削減効果と算出された。

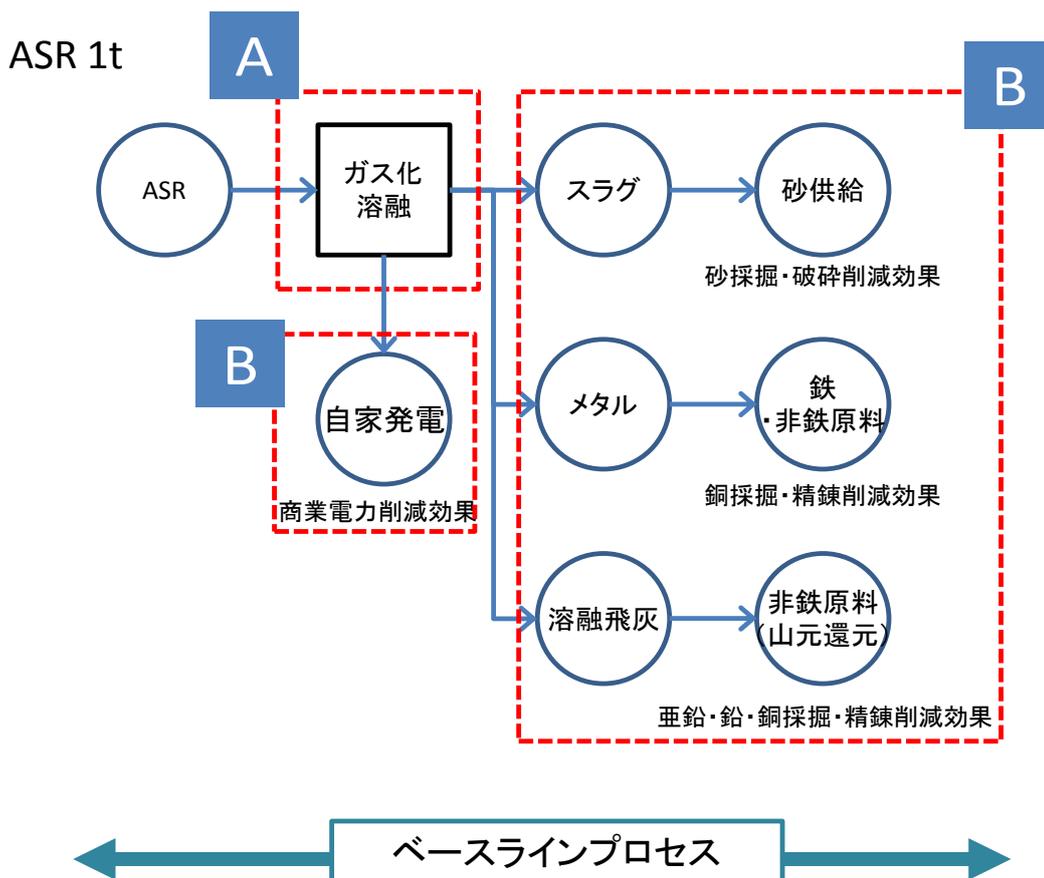


図 2.1-2 ガス化溶融処理のベースラインプロセス

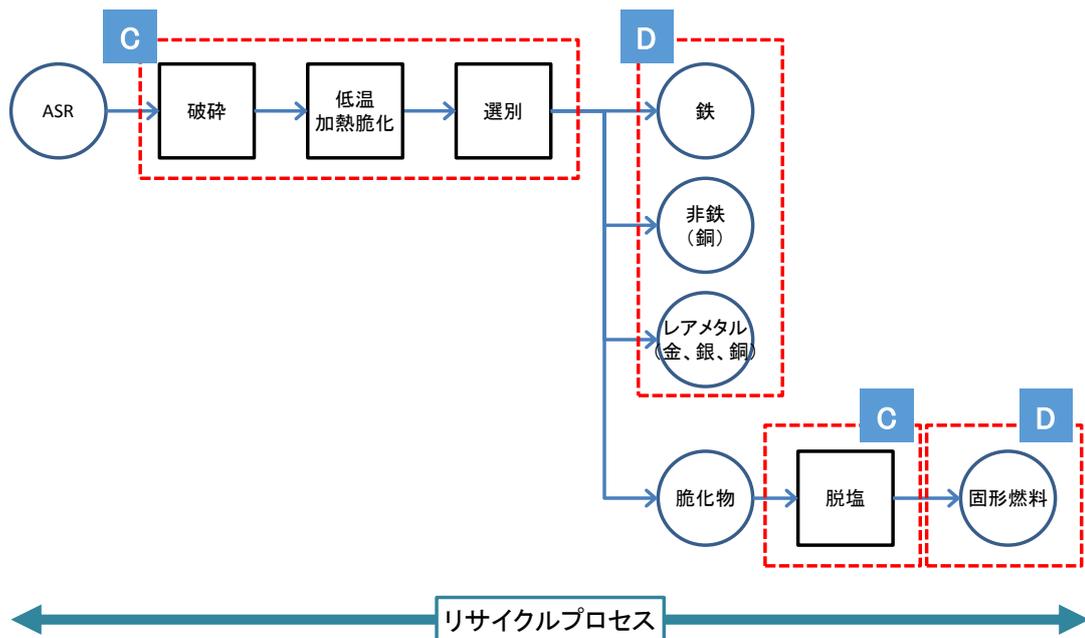


図 2.1-3 ガス化溶融処理のリサイクルプロセス

表 2.1-1 ガス化溶融処理との比較における項目別の CO<sub>2</sub>排出量 (ASR1tあたり)

プロセス	カテゴリー	項目	処理	排出量 CO <sub>2</sub> -t/t	
ベースライン プロセス	A	処理プロセス	ガス化溶融 (運転、燃焼)	1.9018	
	B	リサイクル効果	発電	0.4690	0.4839
			スラグ、銅、亜鉛、鉛回収	0.0149	
本事業の リサイクルプロセス	C	処理プロセス	破砕、低温加熱脆化 (運転、燃焼)、 選別、脱塩	1.4120	
	D	リサイクル効果	鉄、銅、金、銀回収	0.0003	0.9045
			石炭代替	0.9042	
CO <sub>2</sub> 削減効果 (A-B) - (C-D)				0.9104	

表 2.1-2 ガス化溶融処理との比較における活動量及び CO<sub>2</sub> 排出量原単位

項目				活動量			排出原単位			出典	
				項目名	数量	単位	原単位名	数値	単位		
ベースライン	A	処理プロセス	ガス化溶融				ASR1t あたりの ASR 焼却溶融における CO <sub>2</sub> 排出量	1.24	tCO <sub>2</sub> /t	1	
							ASR1t あたりの重油利用における CO <sub>2</sub> 排出量	0	tCO <sub>2</sub> /t		
							ASR1t あたりのコークス利用における CO <sub>2</sub> 排出量	0.529	tCO <sub>2</sub> /t		
							ASR1t あたりの石灰石利用における CO <sub>2</sub> 排出量	0.033	tCO <sub>2</sub> /t		
							ASR1t あたりの LPG・軽油利用における CO <sub>2</sub> 排出量	0.0221	tCO <sub>2</sub> /t		
							ASR1t あたりのコークス製造における CO <sub>2</sub> 排出量	0.0775	tCO <sub>2</sub> /t		
							ASR1t あたりの石灰石製造における CO <sub>2</sub> 排出量	0.000163	tCO <sub>2</sub> /t		
	B	リサイクル効果	発電				ASR1t あたりの売電における CO <sub>2</sub> 排出量	0.469	tCO <sub>2</sub> /t	1	
			スラグ由来の砂代替	ASR1t あたりの砂採掘代替量	0.257	t/ton-ASR	砂採掘 1t あたりの CO <sub>2</sub> 排出量	0.00000694	tCO <sub>2</sub> /t	7	
			メタル由来の銅代替	ASR1t から回されるメタルに含まれる銅量	0.032912	t/ton-ASR	電気銅製造 1t あたりの CO <sub>2</sub> 排出量	0.00367	tCO <sub>2</sub> /t	3	
			山元還元 (銅、亜鉛、鉛)					ASR1t あたりの焙焼炉における CO <sub>2</sub> 排出量	0.011	tCO <sub>2</sub> /t	1
								ASR1t あたりの塩化発揮における CO <sub>2</sub> 排出量	0	tCO <sub>2</sub> /t	
								ASR1t あたりの電力利用における CO <sub>2</sub> 排出量	0.00616	tCO <sub>2</sub> /t	
								ASR1t あたりの塩酸製造における CO <sub>2</sub> 排出量	8.44E-08	tCO <sub>2</sub> /t	
					ASR1t あたりの転炉ガス製造における CO <sub>2</sub> 排出量	0.00017	tCO <sub>2</sub> /t				
					ASR1t あたりの Zn 再資源化における CO <sub>2</sub> 排出量	-0.00199	tCO <sub>2</sub> /t				
					ASR1t あたりの Pb 再資源化	-0.0003	tCO <sub>2</sub> /t				

項目				活動量			排出原単位			出典
				項目名	数量	単位	原単位名	数値	単位	
本 事 業 の リ サ イ ク ル プ ロ セ ス	C	処 理 プ ロ セ ス				におけるCO <sub>2</sub> 排出量				
						ASR1tあたりのCu再資源化におけるCO <sub>2</sub> 排出量	-0.000263	tCO <sub>2</sub> /t		
			破砕	ASR1tあたりの電気使用量	87.50	kwh/ASR1t	電気の使用におけるCO <sub>2</sub> 排出係数	0.000579	t-CO <sub>2</sub> /kWh	6
			低温加熱脆化	ASR1tあたりの電気使用量	106.40	kwh/ASR1t	電気の使用におけるCO <sub>2</sub> 排出係数	0.000579	t-CO <sub>2</sub> /kWh	
				ASR1tあたりの都市ガス使用量	0.04	1,000Nm <sup>3</sup> /ASR1t	都市ガスの使用におけるCO <sub>2</sub> 排出係数	2.23	tCO <sub>2</sub> /1,000Nm <sup>3</sup>	5
				ASR1tあたりの脆化により燃焼するASR量	0.4363807	t/t	廃棄物の焼却及び製品の製造の用途への使用(その他の廃プラスチック類)	2.77	tCO <sub>2</sub> /t	
			Hライン磁力選別	ASR1tあたりの電気使用量	0.4502	kwh	電気の使用におけるCO <sub>2</sub> 排出係数	0.000579	t-CO <sub>2</sub> /kWh	6
			Hラインふるい(5mm)	ASR1tあたりの電気使用量	5.3322	kwh	電気の使用におけるCO <sub>2</sub> 排出係数	0.000579	t-CO <sub>2</sub> /kWh	
			ART磁力選別No.1	ASR1tあたりの電気使用量	0.1863	kwh	電気の使用におけるCO <sub>2</sub> 排出係数	0.000579	t-CO <sub>2</sub> /kWh	
			ART風力選別	ASR1tあたりの電気使用量	0.2139	kwh	電気の使用におけるCO <sub>2</sub> 排出係数	0.000579	t-CO <sub>2</sub> /kWh	
			ART磁力選別No.2	ASR1tあたりの電気使用量	0.5319	kwh	電気の使用におけるCO <sub>2</sub> 排出係数	0.000579	t-CO <sub>2</sub> /kWh	
			ARTエアテーブル	ASR1tあたりの電気使用量	0.3784	kwh	電気の使用におけるCO <sub>2</sub> 排出係数	0.000579	t-CO <sub>2</sub> /kWh	
			Mライン磁力選別	ASR1tあたりの電気使用量	0.2433	kwh	電気の使用におけるCO <sub>2</sub> 排出係数	0.000579	t-CO <sub>2</sub> /kWh	
			Mラインふるい(30mm)	ASR1tあたりの電気使用量	0.2747	kwh	電気の使用におけるCO <sub>2</sub> 排出係数	0.000579	t-CO <sub>2</sub> /kWh	
			Mライン渦電流選別(30mmオーバー)	ASR1tあたりの電気使用量	1.4542	kwh	電気の使用におけるCO <sub>2</sub> 排出係数	0.000579	t-CO <sub>2</sub> /kWh	
Mラインファインダー	ASR1tあたりの電気使用量	0.8323	kwh	電気の使用におけるCO <sub>2</sub> 排出係数	0.000579	t-CO <sub>2</sub> /kWh				
Mライン渦電流選別	ASR1tあたりの電気使用量	0.5332	kwh	電気の使用におけるCO <sub>2</sub> 排出係数	0.000579	t-CO <sub>2</sub> /kWh				

項目			活動量			排出原単位			出典
			項目名	数量	単位	原単位名	数値	単位	
D	リサイクル効果	脱塩	ASR1tあたりの電気使用量	2.2486276 12	kwh	電気の使用における CO <sub>2</sub> 排出係数	0.000579	t-CO <sub>2</sub> /kWh	
		鉄回収	ASR1tあたりの鉄回収量	0.212346 6	t/ton-ASR	粗鋼製造 1tあたりの CO <sub>2</sub> 排出量	0.00119	tCO <sub>2</sub> /t	2
		銅回収	ASR1tから回収される銅量	0.012758 2	t/ton-ASR	電気銅製造 1tあたりの CO <sub>2</sub> 排出量	0.00367	tCO <sub>2</sub> /t	3
		金回収	ASR1tから回収される金量	0.000000 9	t/ton-ASR	金地金製造 1tあたりの CO <sub>2</sub> 排出量	0.028	tCO <sub>2</sub> /t	4
		銀回収	ASR1tから回収される銀量	0.000005 6	t/ton-ASR	電気銀製造 1tあたりの CO <sub>2</sub> 排出量	0.0268	tCO <sub>2</sub> /t	4
		石炭代替	ASR1tあたりの固形脆化物燃料の石炭代替分	0.3880741	t/t	石炭(一般炭)における CO <sub>2</sub> 排出係数	2.33	tCO <sub>2</sub> /t	5

(備考：CO<sub>2</sub>削減効果を保守的に算出するため、ベースラインプロセスにおける ASR の焼却溶融にかかる燃焼分の CO<sub>2</sub>排出量原単位は過去文献値を、事業実施プロセスの低温加熱脆化にかかる燃焼分の CO<sub>2</sub>排出量原単位は、数値の大きな環境省「算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧(参考1)」のその他廃プラスチック類の燃焼の値を用いた。)

(備考：出典の番号は表 2.1-3 参照)

表 2.1-3 出典一覧

No.	出典
1	廃棄物資源循環学会論文誌, Vol. 23 No. 6, pp. 264-278, 2012、長田守弘・真名子一隆・平井康宏・酒井伸一「自動車破碎残渣 (ASR) の資源化・処理に関するライフサイクルアセスメント」
2	経済産業省経済産業政策局調査統計部編「平成 12 年鉄鋼統計年報」
3	日本鉱業協会「環境自主行動計画報告書 (経産省向け)」
4	(独) 産業技術総合研究所 (2005) 阿島俊一「直島製錬所における貴金属製錬」, 資源と素材, Vol. 109 (1993), p. 1048 銅製錬スライムからの一般的な製造法について」聞き取り、文献情報、モデルをもとに算出
5	環境省「算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧 (参考 1)」
6	環境省「電気事業者別排出係数 平成 26 年度実績」 (代替値)」
7	通商産業大臣官房調査統計部編: “本邦鉱業の趨勢”, (1999) 環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部: “産業廃棄物排出・処理状況調査報告書/平成 12 年度実績”, (2003) 統計表より大理石採石、かんらん岩採石の各鉱業のデータを合算して平均値を算出

## 2.1.2 再選別処理との比較によるCO<sub>2</sub>削減効果試算

再選別処理のベースラインプロセスと本事業のリサイクルプロセス、各プロセスのCO<sub>2</sub>排出量を図2.1-4に示す。再選別処理と比較した場合、低温加熱脆化処理のCO<sub>2</sub>削減効果は0.6553 CO<sub>2</sub>-t/tとなった。

再選別処理によって発生する選別残さの処理方法によって削減効果は大きく変動する。仮に再選別残さを全て埋立処理したとして比較すると、低温加熱脆化処理によるCO<sub>2</sub>削減効果は▲0.4916 CO<sub>2</sub>-t/tとなり、低温加熱脆化のCO<sub>2</sub>排出量が多くなった。しかしながら、現実的には残さを焼却による減容を行わずに埋立処理することはリサイクルの観点から現実的とは思われない。従って、再選別処理と比較しても低温加熱脆化処理はCO<sub>2</sub>削減効果があると考えられる。

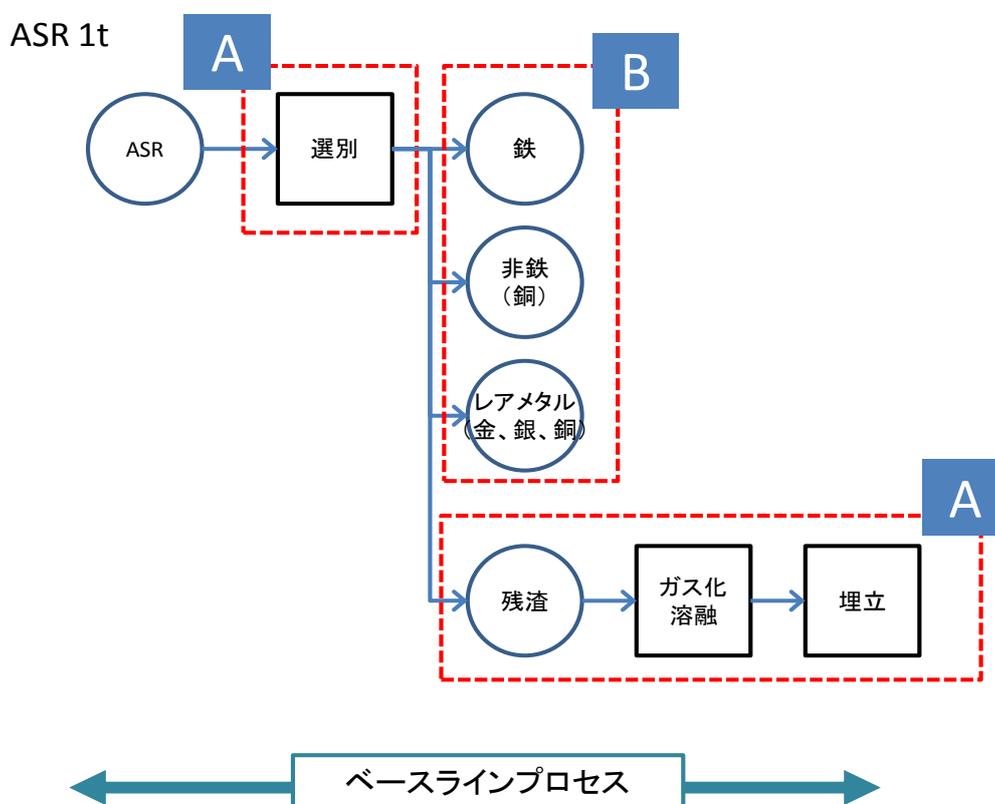


図 2.1-4 再選別処理のベースラインプロセス

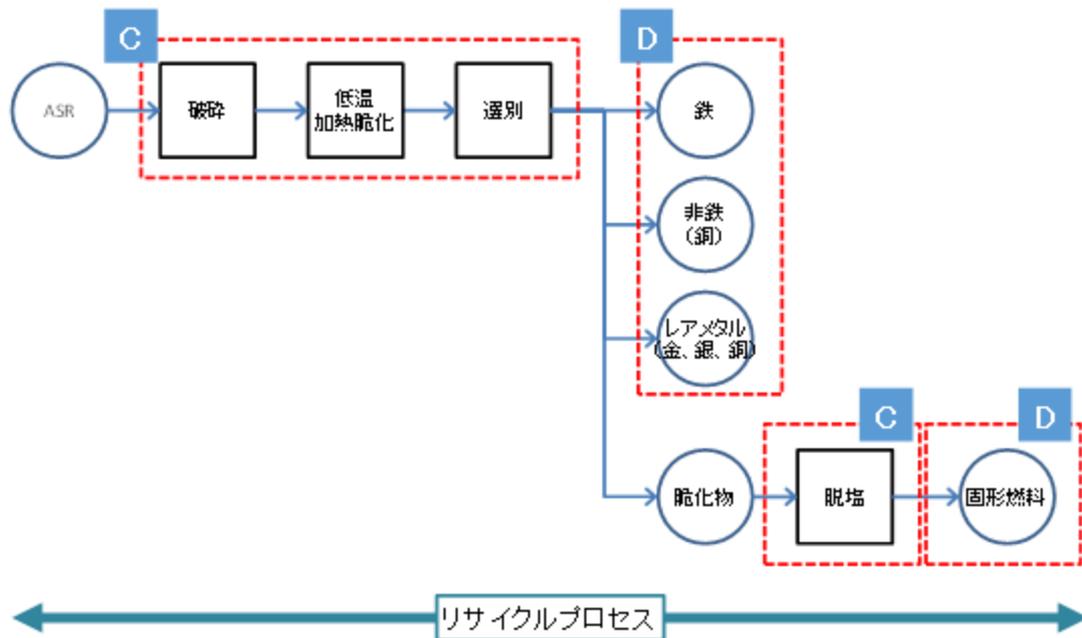


図 2.1-5 再選別処理のリサイクルプロセス

表 2.1-4 再選別処理との比較における項目別の CO<sub>2</sub>排出量 (ASR1t あたり)

プロセス	カテゴリー	項目	処理	排出量 CO <sub>2</sub> -t/t	
ベースライン プロセス	A	処理プロセス	選別	0.0133	1.5389
			ガス化溶融 (運転、燃焼)、埋立	1.5256	
	B	リサイクル効果	鉄、銅、金、銀回収	0.0001	0.3761
			発電	0.3760	
本事業の リサイクルプロセス	C	処理プロセス	破碎、低温加熱脆化 (運転、燃焼)、 選別、脱塩	1.4120	
	D	リサイクル効果	鉄、銅、金、銀回収	0.0003	0.9045
			石炭代替	0.9042	
			CO <sub>2</sub> 削減効果 (A-B) - (C-D)	0.6553	

表 2.1-5 再選別処理との比較における活動量及び CO<sub>2</sub>排出量原単位

項目			活動量			排出原単位			出典	
			項目名	数量	単位	原単位名	数値	単位		
ベースラインプロセス	A	処理プロセス	Hライン磁力選別	ASR1t あたりの電気使用量	0.58333333	kwh	電気の使用における CO <sub>2</sub> 排出係数	0.000579	t-CO <sub>2</sub> /kWh	6
			Hラインふるい(5mm)	ASR1t あたりの電気使用量	7.04442761	kwh	電気の使用における CO <sub>2</sub> 排出係数	0.000579	t-CO <sub>2</sub> /kWh	
			ART 磁力選別 No. 1	ASR1t あたりの電気使用量	0.30975589	kwh	電気の使用における CO <sub>2</sub> 排出係数	0.000579	t-CO <sub>2</sub> /kWh	
			ART 風力選別	ASR1t あたりの電気使用量	0.35900808	kwh	電気の使用における CO <sub>2</sub> 排出係数	0.000579	t-CO <sub>2</sub> /kWh	
			ART 磁力選別 No. 2	ASR1t あたりの電気使用量	4.45109848	kwh	電気の使用における CO <sub>2</sub> 排出係数	0.000579	t-CO <sub>2</sub> /kWh	
			ART エアテーブル	ASR1t あたりの電気使用量	3.24070833	kwh	電気の使用における CO <sub>2</sub> 排出係数	0.000579	t-CO <sub>2</sub> /kWh	
			Mライン磁力選別	ASR1t あたりの電気使用量	0.48200758	kwh	電気の使用における CO <sub>2</sub> 排出係数	0.000579	t-CO <sub>2</sub> /kWh	
			Mラインふるい(30mm)	ASR1t あたりの電気使用量	0.57722012	kwh	電気の使用における CO <sub>2</sub> 排出係数	0.000579	t-CO <sub>2</sub> /kWh	
			Mライン渦電流選別(30mmオーバー)	ASR1t あたりの電気使用量	3.05587121	kwh	電気の使用における CO <sub>2</sub> 排出係数	0.000579	t-CO <sub>2</sub> /kWh	
			Mラインファイナダー	ASR1t あたりの電気使用量	1.80671296	kwh	電気の使用における CO <sub>2</sub> 排出係数	0.000579	t-CO <sub>2</sub> /kWh	
			Mライン渦電流選別	ASR1t あたりの電気使用量	1.12048611	kwh	電気の使用における CO <sub>2</sub> 排出係数	0.000579	t-CO <sub>2</sub> /kWh	
			残さの焼却・溶融	ASR1t あたりの焼却量	0.80176767	t/t	ASR1t あたりの ASR 焼却溶融における CO <sub>2</sub> 排出量	1.24	t-CO <sub>2</sub> /t	
							ASR1t あたりの重油利用における CO <sub>2</sub> 排出量	0	t-CO <sub>2</sub> /t	
							ASR1t あたりのコークス利用における CO <sub>2</sub> 排出量	0.529	t-CO <sub>2</sub> /t	
				ASR1t あたりの石灰石利用における CO <sub>2</sub> 排出量	0.033	t-CO <sub>2</sub> /t				

項目			活動量			排出原単位			出典	
			項目名	数量	単位	原単位名	数値	単位		
						ASR1t あたりの LPG・軽油利用における CO <sub>2</sub> 排出量	0.0221	t-CO <sub>2</sub> /t		
						ASR1t あたりの コークス製造における CO <sub>2</sub> 排出量	0.0775	t-CO <sub>2</sub> /t		
						ASR1t あたりの 石灰石製造における CO <sub>2</sub> 排出量	0.000163	t-CO <sub>2</sub> /t		
				ASR1t あたりの埋立量	0.24213384	t/ton-ASR	埋立（電気）	0.00328		t/ton-ASR
							埋立（軽油）	0.0000785		t/ton-ASR
	B	リサイクル効果	自家発電	ASR1t あたりの焼却量	0.80176768	t/t	ASR1t あたりの売電における CO <sub>2</sub> 排出量	4.69E-01	t-CO <sub>2</sub> /t	2
			鉄回収（粗鋼代替）	ASR1t あたりの鉄回収量	0.08966899	t/ton-ASR	粗鋼製造 1t あたりの CO <sub>2</sub> 排出量	0.00119	t-CO <sub>2</sub> /t	3
			銅回収（電気銅代替）	ASR1t から回収される銅量	0.0041659	t/ton-ASR	電気銅製造 1t あたりの CO <sub>2</sub> 排出量	0.00367	t-CO <sub>2</sub> /t	4
			金回収（金地金代替）	ASR1t から回収される金量	2.672E-08	t/ton-ASR	金地金製造 1t あたりの CO <sub>2</sub> 排出量	0.028	t-CO <sub>2</sub> /t	4
			銀回収（電気銀代替）	ASR1t から回収される銀量	7.8425E-07	t/ton-ASR	電気銀製造 1t あたりの CO <sub>2</sub> 排出量	0.0268	t-CO <sub>2</sub> /t	5
本事業のリサイクルプロセス	C	処理プロセス	破砕	ASR1t あたりの電気使用量	87.50	kwh/ASR1t	電気の使用における CO <sub>2</sub> 排出係数	0.000579	t-CO <sub>2</sub> /kWh	6
			低温加熱脆化	ASR1t あたりの電気使用量	106.40	kwh/ASR1t	電気の使用における CO <sub>2</sub> 排出係数	0.000579	t-CO <sub>2</sub> /kWh	
				ASR1t あたりの都市ガス使用量	0.04	1,000 Nm <sup>3</sup> /ASR1t	都市ガスの使用における CO <sub>2</sub> 排出係数	2.23	t-CO <sub>2</sub> /1,000Nm <sup>3</sup>	5

項目			活動量			排出原単位			出典
			項目名	数量	単位	原単位名	数値	単位	
			ASR1t あたりの脆化により燃焼する ASR 量	0.4363807	t/t	廃棄物の焼却及び製品の製造の用途への使用（その他の廃プラスチック類）	2.77	t-CO <sub>2</sub> /t	
			Hライン磁力選別	0.4502	kwh	電気の使用における CO <sub>2</sub> 排出係数	0.000579	t-CO <sub>2</sub> /kWh	5
			Hラインふるい(5mm)	5.3322	kwh	電気の使用における CO <sub>2</sub> 排出係数	0.000579	t-CO <sub>2</sub> /kWh	
			ART 磁力選別 No. 1	0.1863	kwh	電気の使用における CO <sub>2</sub> 排出係数	0.000579	t-CO <sub>2</sub> /kWh	
			ART 風力選別	0.2139	kwh	電気の使用における CO <sub>2</sub> 排出係数	0.000579	t-CO <sub>2</sub> /kWh	
			ART 磁力選別 No. 2	0.5319	kwh	電気の使用における CO <sub>2</sub> 排出係数	0.000579	t-CO <sub>2</sub> /kWh	
			ART エアテーブル	0.3784	kwh	電気の使用における CO <sub>2</sub> 排出係数	0.000579	t-CO <sub>2</sub> /kWh	
			Mライン磁力選別	0.2433	kwh	電気の使用における CO <sub>2</sub> 排出係数	0.000579	t-CO <sub>2</sub> /kWh	
			Mラインふるい(30mm)	0.2747	kwh	電気の使用における CO <sub>2</sub> 排出係数	0.000579	t-CO <sub>2</sub> /kWh	
			Mライン渦電流選別(30mmオーバー)	1.4542	kwh	電気の使用における CO <sub>2</sub> 排出係数	0.000579	t-CO <sub>2</sub> /kWh	
			Mラインファイナダー	0.8323	kwh	電気の使用における CO <sub>2</sub> 排出係数	0.000579	t-CO <sub>2</sub> /kWh	
			Mライン渦電流選別	0.5332	kwh	電気の使用における CO <sub>2</sub> 排出係数	0.000579	t-CO <sub>2</sub> /kWh	
			脱塩	2.248627612	kwh	電気の使用における CO <sub>2</sub> 排出係数	0.000579	t-CO <sub>2</sub> /kWh	
D	リサイクル効果	鉄回収	ASR1t あたりの鉄回収量	0.2123466	t/ton-ASR	粗鋼製造 1t あたりの CO <sub>2</sub> 排出量	0.00119	t-CO <sub>2</sub> /t	2

項目	活動量			排出原単位			出典	
	項目名	数量	単位	原単位名	数値	単位		
	銅回収	ASR1t から回収される銅量	0.0127582	t/ton-ASR	電気銅製造 1t あたりのCO <sub>2</sub> 排出量	0.00367	t-CO <sub>2</sub> /t	3
	金回収	ASR1t から回収される金量	0.0000009	t/ton-ASR	金地金製造 1t あたりのCO <sub>2</sub> 排出量	0.028	t-CO <sub>2</sub> /t	4
	銀回収	ASR1t から回収される銀量	0.0000056	t/ton-ASR	電気銀製造 1t あたりのCO <sub>2</sub> 排出量	0.0268	t-CO <sub>2</sub> /t	4
	石炭代替	ASR1t あたりの固形脆化物燃料の石炭代替分	0.3880741	t/t	石炭（一般炭）におけるCO <sub>2</sub> 排出係数	2.33	t-CO <sub>2</sub> /t	5

(備考：出典は表 2.1-6 を参照)

表 2.1-6 出典一覧

No.	出典
1	廃棄物資源循環学会論文誌, Vol. 23 No. 6, pp. 264-278, 2012、長田守弘・真名子一隆・平井康宏・酒井伸一「自動車破碎残渣 (ASR) の資源化・処理に関するライフサイクルアセスメント」
2	経済産業省経済産業政策局調査統計部編「平成 12 年鉄鋼統計年報」
3	日本鉱業協会「環境自主行動計画報告書 (経産省向け)」
4	(独) 産業技術総合研究所 (2005) 阿島俊一「直島製錬所における貴金属製錬」, 資源と素材, Vol. 109 (1993), p. 1048 銅製錬スライムからの一般的な製造法について」聞き取り、文献情報、モデルをもとに算出
5	環境省「算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧 (参考 1)」
6	環境省「電気事業者別排出係数 平成 26 年度実績」 (代替値)」
7	通商産業大臣官房調査統計部編：“本邦鉱業の趨勢”，(1999) 環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部：“産業廃棄物排出・処理状況調査報告書/平成 12 年度実績”，(2003) 統計表より大理石採石、かんらん岩採石の各鉱業のデータを合算して平均値を算出

### 2.1.3 本技術のCO<sub>2</sub>排出量削減ポテンシャル

本技術の事業実現可能性を検討するにあたり、処理規模は低温加熱脆化 4.0t/h 処理で、24 時間、300 日運転で 28,800t/年を想定している。この規模で加熱脆化処理を行った場合、従来のガス化溶融処理と比較して CO<sub>2</sub>排出量は約 26 千 t/年の削減効果が見込めるとの試算結果が得られた。再選別処理（残さはガス化溶融後、埋立）との比較では、CO<sub>2</sub>排出量は約 6 千 t/年の削減効果が見込めるとの試算結果となった。

表 2.1-7 実用設備規模での CO<sub>2</sub>排出量削減効果試算結果（ガス化溶融処理との比較）

プロセス	カテゴリー	項目	排出量 CO <sub>2</sub> -t/t
年間処理量（想定）			28,800
ベースライン プロセス	A	処理プロセス	54,771
	B	リサイクル効果	13,936
本事業の リサイクルプロセス	C	処理プロセス	40,666
	D	リサイクル効果	26,050
CO <sub>2</sub> 削減効果 (A-B) - (C-D)			26,219

表 2.1-8 実用設備規模での CO<sub>2</sub>排出量削減効果試算結果（再選別処理との比較）

プロセス	カテゴリー	項目	排出量 CO <sub>2</sub> -t/t
年間処理量（想定）			9,600
ベースライン プロセス	A	処理プロセス	14,774
	B	リサイクル効果	3,611
本事業の リサイクルプロセス	C	処理プロセス	13,555
	D	リサイクル効果	8,683
CO <sub>2</sub> 削減効果 (A-B) - (C-D)			6,291

## 2.2 排ガスによる環境負荷の削減効果の検討

ASR の低温加熱脆化処理、脆化固形物の金属選別処理および水洗脱塩処理の結果から、ハロゲン元素 (Cl、Br、F) のマテリアルバランスを評価し、排ガスの環境負荷を低減したシステムの構築が可能か検討した。

本評価では、ASR 由来のインプット量を 100 として、金属資源へのハロゲンの移行はゼロとして、マテリアルバランスの評価を実施した。

また、排ガスへのハロゲンについては、排ガスの成分分析を実施した。シュレッダーダストや脆化固形物などの固体試料のハロゲンのフロー量の差異から算出した。ガス測定時間は 6 時間である。排水のハロゲンについても、同様の考え方で算出した。

なお、F については、ASR 中の F 含有量が、定量下限値 (0.001%) 未満であったため、マテリアルバランス評価が困難であった。排ガスの「F、HF 等」については、大気汚染防止法において施設ごとの排出基準が 1~20mg/Nm<sup>3</sup> と定められているが、低温加熱脆化処理時の HF の濃度は、1.5 mg/Nm<sup>3</sup> であり、簡易的なスクラバーによる排ガスの処理、または主に HCl 捕捉剤として混合している消石灰の ASR への添加量増加によって、排ガスの環境負荷を低減することが可能である。

Br については、排ガスへの移行は確認されなかったことから、消石灰の混合によって、CaBr<sub>2</sub> などの形で脆化固形物に残存されていたと推測される。水洗脱塩処理によって、約 40% が排水へ移行しており、固形燃料として利用する脆化固形物中の Br を低減することが可能であると判断される。

Cl については、排ガスへの移行が約 40% 確認された。これは ASR 中の Cl 含有量が当初想定 of 2 倍であったため、混合した消石灰量ではすべての HCl を捕捉できなかったことに起因すると考えられる。過去の太平洋セメントの技術検討の結果から、消石灰の混合量を 2 倍に増量 (今回の事例では ASR : 消石灰 = 94% : 6%) にすれば、ほぼ全量の HCl を CaCl<sub>2</sub> などの形で捕捉可能であることから、排ガスへの移行を防ぐことができると考えられる。

また、Cl は、水洗脱塩処理によって約 40% が排水へ移行しており、固形燃料として利用する脆化固形物中の Cl を低減することが可能であると判断される。以上の結果から、ハロゲンについては、消石灰の混合によって、脆化固形物中にハロゲン化カルシウムなどの形で残存させることが可能であることが確認された。

ハロゲン化カルシウムとして残存したハロゲンは、水洗脱塩処理によって、容易に洗浄することが可能であることが確認された。従来技術では、排ガス側にも排水側にもハロゲンなどの有害物質が移行してしまい、両者の処理システムの構築が必要であったが、本技術を用いることで、排ガスの環境負荷を低減して、主に排水側で有害物質などの処理を行う効率的なシステムの構築が可能になると期待される。

- ・ Cl : 排ガスに約4割移行 (ASRの含有量が想定以上であったため。消石灰増量で抑制可能)。水洗によって、約4割が排水に移行。
- ・ Br : 排ガスへの移行は少量 (脆化固形物に残存)。水洗によって排水に4割移行。
- ・ F : ASRの含有量が定量下限値未満であるため、評価困難であった。排ガス中の濃度は極めて低く、排ガスへの移行は少量と推測。

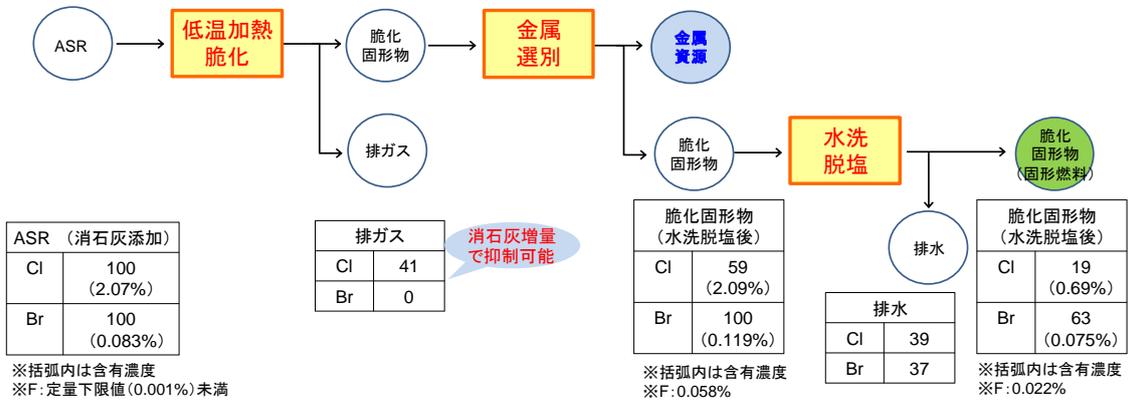


図 2.2-1 低温加熱脆化处理および脱塩処理におけるハロゲンのマテリアルバランス

### 3. 事業実現可能性等の検証

#### 3.1 建設費の算出

本技術の事業実現可能性を検討するにあたって、どの程度の投資額となるのか建設費を試算した。なお、建設費の検討にあたっては、以下の2点に留意してその規模を決定した。

- ①プロセス的に規模が大きくなるに従ってスケールメリットが出てくること
- ②現在の ASR 等の事業を実施している経験から現実的な収集量であること

(試算条件)

- ・ 処理規模：塩素含有廃プラ 4.0t/h 処理（300 日運転で 28,800t/年処理）を想定
- ・ 処理フロー：想定設備フローを図 3.1-1 に示す。

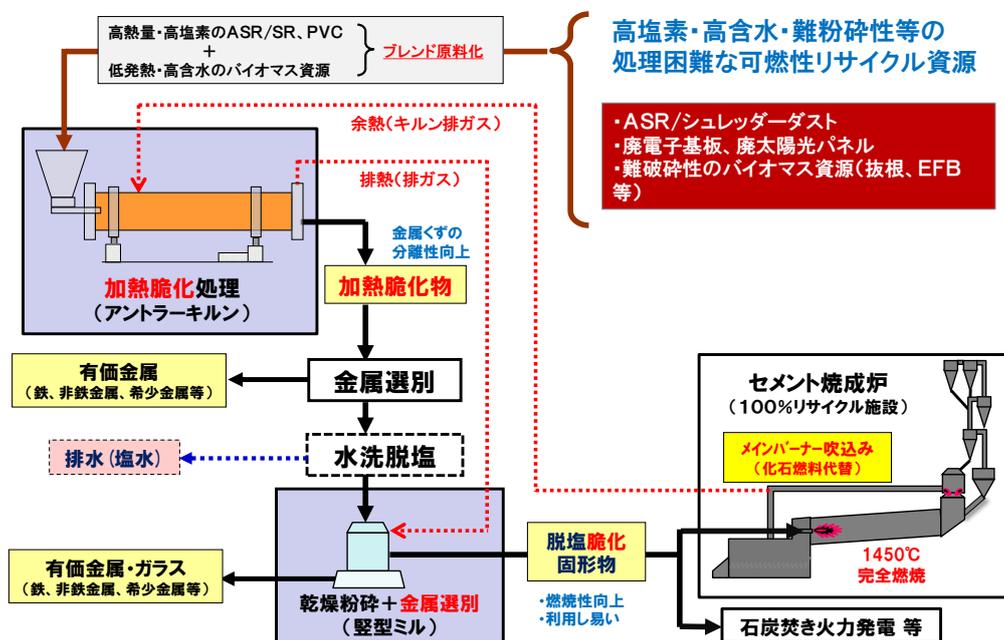


図 3.1-1 想定設備フロー

- ・ 主要設備概要：表 3.1-1 に示す

表 3.1-1 主要設備概要

設備	詳細
前処理設備	原料供給機、破砕機、分別機
加熱脆化設備	加熱脆化炉、水洗・固液分離装置、排ガスダクト
廃水処理設備	廃水ピット、反応槽、固液分離装置、放流水槽
排ガス処理	セメントプロセスへの接続

ここで、排ガス処理工程はセメント工場への付設を前提とした場合、排ガスデータから特別な設備は不要と判断し、セメントキルン工程への接続するに必要な設備費を計上した。

(概算の建設費の結果)

上記条件で試算した設備費は表 3.1-2 の通りであり、約 8 億円となった。

表 3.1-2 本技術パイロットプラントの建設費概算 (百万円)

	土工工事	機械工事	合計 (電気工事含まず)
前処理設備	150	216	366
加熱脆化設備	35	239	274
廃水処理設備	11	33	44
排ガス処理設備	12	93	105
		合計	789

本試算では、今回の試験結果に基づき、燃料化した場合の概略の設備費を算出したが、今後は、電気工事費などの試算を行なうとともにシステム全体の選定設備の妥当性を実機検証する必要がある。また、今回の設備積算では貴金属回収に係わる設備コスト試算も、設備フローの精査が完了していないため、含まれていない。

### 3.2 事業計画の策定

事業展開を念頭に置いた今後のスケジュールを図 3.2-1 に示す。

- ・平成 28 年度は、コストと性能を鑑みて、好適な処理フローおよび設備選定を主体に実証試験業務を実施し、事業性の評価を行う。
- ・平成 29 年度は、実施場所の選定をすすめ、28 年度の結果に基づいた基本設計、詳細設計を実施する。
- ・平成 30 年度が建設フェーズ、平成 31 年度から大型実証による検証を兼ねた事業化運転を目指す。

項目	H27年度		H28年度		H29年度		H30年度		H31年度	
	上期	下期								
<b>計画策定</b>	→									
試験計画の策定										
サンプル 性状調査										
<b>小規模実証試験</b>		→								
加熱脆化試験										
脆化物 金属回収試験										
脆化物 脱塩試験										
脆化物 粉碎試験										
<b>実証試験と事業性の検討</b>			→							
加熱脆化、粉碎・選別を組み合わせパターン別の事業性のシミュレート、好適な処理フローの選定										
好適な処理設備の選定										
建設用地の選定と必要許認可、関連法令の確認										
<b>基本・詳細設計</b>					→					
1/10～1/1規模の大型実証設備で検討										
<b>大型実証機の建設</b>							→			
<b>事業を兼ねた大型実証試験の開始</b>									→	

図 3.2-1 今後のスケジュール

### 3.3 本処理技術の収益性

加熱脆化処理によって回収される各種マテリアル資源（Fe、Cu、Au、Agの金属資源等）の回収ポテンシャル量や市場全体に占める効果等について試算を行った。

ASRに含まれている未利用有用金属の含有量と回収可能量の分析結果を表 3.3-1 に示す。特に選別工程にて回収されたヘビーでは有用金属の濃縮が見られ、分析の結果、金 131g/t、銀 540g/t、銅 56.1%の高い品位が確認されたことによる効果と考えられる。

脆化固形物をセメント製造（焼成）用の石炭燃料代替として活用すると仮定した場合、別に設計検討しているパイロットプラントレベル（ASR；4.0t/h、年間28,800t）にて試算した事業コストと収益を比べても、十分に事業採算性は得られるものと想定された。

さらに、想定している低温脆化処理のパイロットプラントにおいて金が2.00t、銀が8.23t回収できる見込みとなる。国内における年間の流通量は、金が74.06t、銀が4,677.90tとなっていることから、それぞれ2.70%、銀は0.18%の供給量に値する。これらの結果から、特に金について、貴重な資源の回収に貢献できるものと考えられる。

表 3.3-1 ASR1tあたりの収益

		ASR1tあたりの収益				28,800t/年の場合の収益			
		量		収益		量		収益	
処理費	ASR	1.0	ton	25,000	円	28,800	ton	720,000,000	円
代替効果	一般炭	0.39	ton	4,658	円	11,232	ton	52,318,656	円
売却益	鉄スクラップ	212.35	kg	1,168	円	6,115,680	kg	7,143,114,240	円
	銅	12.76	kg	6,188	円	367,488	kg	2,274,015,744	円
	金	0.87	g	3,906	円	25,056	g	97,868,736	円
	銀	5.60	g	321	円	161,280	g	51,770,880	円
合計				41,240	円			10,339,088,256	円

（備考：運搬コストは含まず。）

各金属資源買取価格根拠：2016年1月26日時点

鉄（鉄スクラップ（H2/東京））<http://www.japanmetal.com/iron-steel-price>

銅（上銅（新切れ）/東京）<http://www.japanmetal.com/nonf-metal-price>

金 <http://gold.tanaka.co.jp/commodity/souba/d-gold.php>

銀 <http://gold.tanaka.co.jp/commodity/souba/d-silver.php>



図 3.3-1 ASR1tあたりの収益

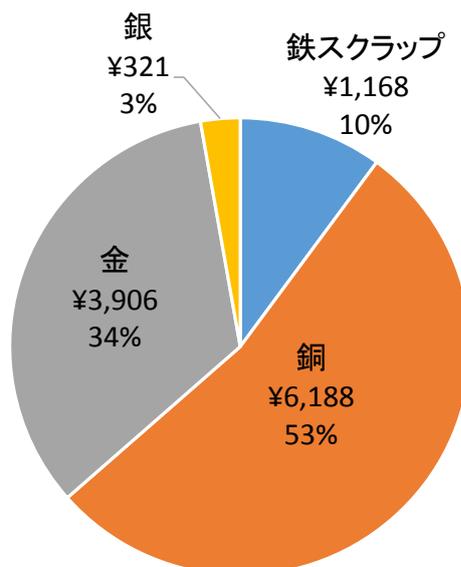


図 3.3-2 売却益の内訳

表 3.3-2 平成 26 年度の金地金の需給状況（経済産業省資源エネルギー庁）

					(単位:g)	
項目		コード	受入	払出	受入－払出	
期初在庫数量		1				
生産・輸入	当月生産数量	2	73,077,627		73,077,627	
	新産金	3	57,796,886		57,796,886	
	再生金	4	14,113,184		14,113,184	
	加工業者から	5	11,101,406		11,101,406	
	消費財から	6	2,977,782		2,977,782	
	準消費退蔵品から	7	33,996		33,996	
	当月輸入数量	8	986,914		986,914	
供給(*)		9	74,064,541		74,064,541	
私的保有 受入・払出(*)		10	41,886,461	35,599,172	6,287,289	
流通	特定貴金属取扱事業者間取引	11	106,767,150	85,142,693	21,624,457	
	その他の取引	12	71,435,756	65,004,847	6,430,909	
当月国内流通受払計(*)		13	178,202,906	150,147,540	28,055,367	
月間 受払量	消費者需要	電気通信機・機械部品用	14		27,462,249	-27,462,249
		歯科・医療用	15		7,648,080	-7,648,080
		メッキ用	16		1,550,527	-1,550,527
		その他	17		8,820,710	-8,820,710
	小計①	18		45,481,566	-45,481,566	
	準消費退蔵	宝飾用	19		7,393,955	-7,393,955
		美術工芸品用	20		980,972	-980,972
		メダル用	21		452,979	-452,979
		その他	22		4,253,733	-4,253,733
	小計②	23		13,081,639	-13,081,639	
中計(①+②) (*)		24		58,563,205	-58,563,205	
当月輸出数量 (*)		25		71,480,569	-71,480,569	
計(*の計)		26	294,153,909	315,790,485	-21,636,577	
月末在庫数量		27		480,850,187	-480,850,187	

(kg)

## ② 銀 Silver

区分	24年度計 FY 2012	25年度計 FY 2013	24年計 CY 2012	25年計 CY 2013	26年計 CY 2014
供給	4,553,656	4,775,300	4,790,895	4,815,727	4,676,909
月初在庫	799,599	878,820	999,120	1,037,918	964,069
生産	1,738,518	1,746,959	1,764,533	1,731,478	1,791,816
発生	325,275	261,250	348,620	267,977	227,983
輸入	1,690,264	1,888,271	1,678,622	1,778,354	1,693,041
需要	4,364,228	4,726,035	4,583,277	4,641,596	4,785,666
内需	965,317	1,076,625	1,089,298	1,040,576	1,044,679
写真感光用硝酸銀	251,610	217,820	349,570	223,970	230,708
その他の硝酸銀	34,073	34,216	35,989	32,962	34,751
接点	99,881	115,057	105,311	121,025	65,302
展伸材	158,368	176,793	160,148	170,376	180,583
銀ろう	64,382	56,378	62,163	60,797	58,494
その他	357,003	476,361	376,117	431,446	474,841
輸出	3,398,911	3,649,410	3,493,979	3,601,020	3,740,987
月末在庫	878,820	797,566	1,037,918	964,069	909,373
生産業者	58,863	68,677	79,733	79,721	66,263
販売業者	229,030	148,432	379,770	292,801	243,628
消費者	590,927	580,457	578,415	591,547	599,482

図 3.3-3 平成 24 年度～26 年度の銀の需給状況（経済産業省資源エネルギー庁）

(本事業の採算性について)

本事業の採算性について、検討すべき項目を以下に記す。

[収益]

- ①処理益
- ②燃料・有価金属としての売却益

[支出]

- ①人件費
- ②燃料・電力
- ③工業用水・下水放流費
- ④薬剤費
- ⑤減価償却費・修繕費

本業務の中では、減価償却に係わる設備の建設費に関して、4t/h で約 8 億円という概算の金額を得るに至った。しかしながら、採算性を算出するためには、処理対象の収益や、設備運営にかかわる労務費、薬剤費等の項目も検証しなければならない。その上で採算性を得るための要員数の決定(制御レベルの決定)、減価償却期間の精査、コスト圧縮等の検討を行う必要がある。

貴金属回収に関しては、収益への影響が大きい可能性があるが、貴金属回収の好適な設備フローが本事業検証で精査できていない。このため、今回の設備積算についても貴金属回収に係わる設備コスト試算の精査が必要である。

### 3.4 本処理技術の事業展開性

#### 3.4.1 自社既存施設への横展開

本実証事業にて確立した低温加熱脆化处理技術を用いて、自社及びグループ会社のセメント工場（国内 9 工場、海外 9 工場）への横展開を検討している。対象廃棄物は、ASR、シュレッターダストの他、建廃系のプラスチックや木くずの混合廃棄物、高含水・難破碎のバイオマス廃棄物である。自社及びグループ会社のセメント工場は全国的に分布していることから、各地域の廃棄物を網羅的に受け入れる体制が出来ると考えている。

回収した有価金属については、電炉や非鉄製錬に有価売却、脆化固形物は石炭代替燃料として自社およびグループ会社のセメントキルン燃料として利用する他、石炭燃料を使用しているボイラー事業者に売却することを想定している。なお、自社での年間石炭消費量は約 239 万 t で生成した脆化固形物は全量自社消費が可能であり、用途確保は既になされている。

本処理技術はオンサイト式の処理も可能である。自社グループ会社のセメント工場への導入だけでなく、国内大手シュレッター会社、建設現場等、難破碎の処理困難物が大量かつ継続的に発生する場所に、本処理技術をパッケージとして導入する等、普及展開が見込まれる。



図 3.4-1 太平洋セメントのセメント事業国内拠点

(出所：太平洋セメント(株)HP <http://www.taiheiyo-cement.co.jp/company/busi/world/japan-2.html>)

### 3.4.2 受入対象廃棄物の横展開

低温加熱脆化により、様々な可燃性処理困難廃棄物の処理が可能となる。事例として、建設混合廃棄物や CFRP 等が挙げられる。

建設混合廃棄物は 2012 年度に年間 280 万 t 排出されており、リサイクル率は 57.4%に留まっており、29%は埋立処理されている。リサイクル率が伸び悩む要因として、分別処理やコストが課題となっているが、低温加熱脆化処理を行うことで、分別処理が容易となると考えられる。建設混合廃棄物は 2016 年には 159 万 t、2020 年には 144 万 t まで排出量は減少すると見込まれているものの、本処理技術はこれらのリサイクル率の向上に寄与することが期待できる。

表 3.4-1 建設混合廃棄物の排出状況 (単位：万 t)

年度	1995	2000	2002	2005	2008	2012	2016	2020
アスファルト・コンクリート塊	3,565	3,009	2,975	2,606	1,992	2,577	1,990	1,838
コンクリート塊	3,647	3,527	3,512	3,215	3,127	3,092	2,916	2,768
建築汚泥	978	825	846	752	451	657	481	419
<b>建設混合廃棄物</b>	<b>952</b>	<b>485</b>	<b>337</b>	<b>293</b>	<b>267</b>	<b>280</b>	<b>159</b>	<b>144</b>
建設発生木材	632	477	464	471	410	500	407	419
その他	140	153	139	363	134	164	195	192
合計	9,914	8,476	8,273	7,700	6,381	7,270	6,149	5,780

備考)「その他」とは「廃プラスチック、紙くず、金属くず」を含む

備考) 2016 年度及び 2020 年度の数値は GROWTH 関数を用いて算出した

出所) 経済産業省「平成 24 年度建設副産物実態調査結果【参考資料】」

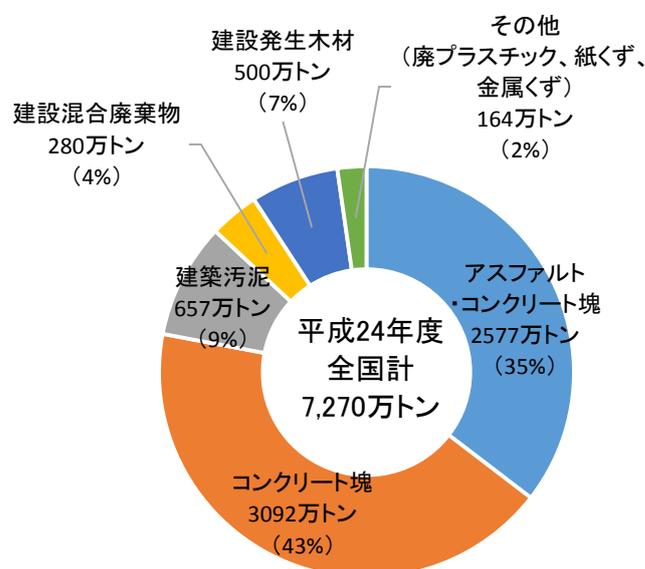


図 3.4-2 建設廃棄物における建築混合廃棄物の占める割合

備考) 経済産業省「平成 24 年度建設副産物実態調査結果【参考資料】」よりレノバ作成

また、我が国は2030年度までの長期エネルギー需給見通しを策定しており、その中で再生可能エネルギーの拡大を図っている。日本は海に囲まれており、今後、海洋エネルギーとして洋上風力発電の普及が見込まれている。風力発電の普及拡大に伴い、設備に利用される炭素繊維強化プラスチック（以下、CFRP）等が大量に廃棄される可能性が高い。

CFRPは高い強度と軽さを併せ持つ材料となっているが、難破碎・難燃性のため、多くの既存処理施設では破碎・焼却が困難となっている。本処理技術を用いて脆化することにより、その後の処理が可能となる。2014年時点で国内における風力発電の設置基数は2,000基を上回っており、2030年には撤去が必要となる風車が150台を超えると予測されている。リサイクルを円滑に進める上で、本技術の横展開が期待される。

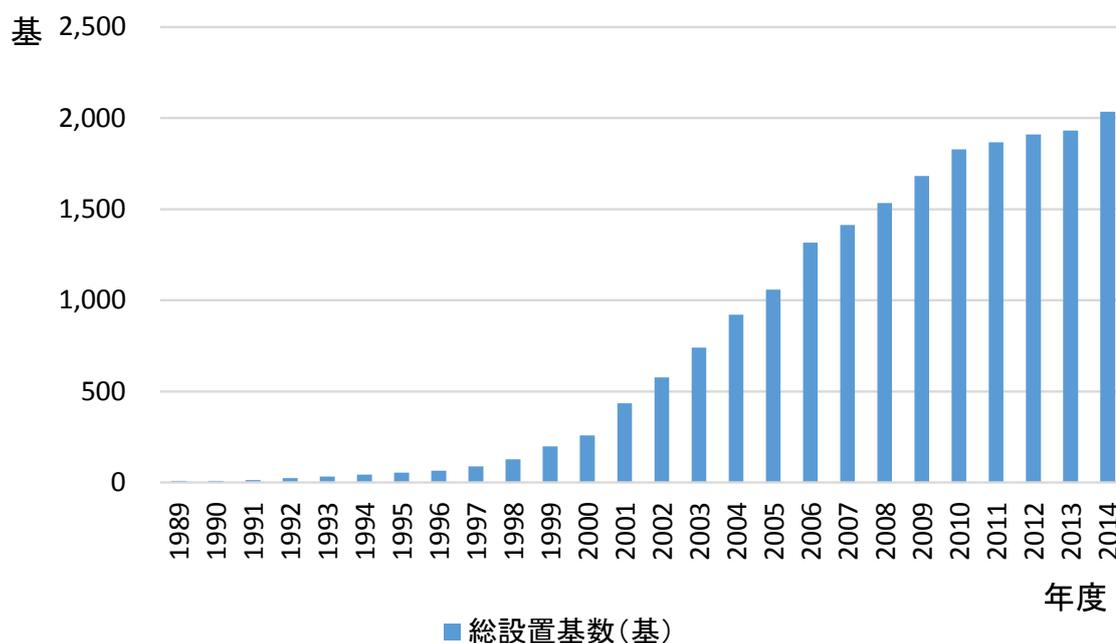


図 3.4-3 風力発電設備の推移（総設置基数、1989-2014年）

出所) 国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発事業「日本における風力発電設備・導入実績2015年」よりレノバ作成

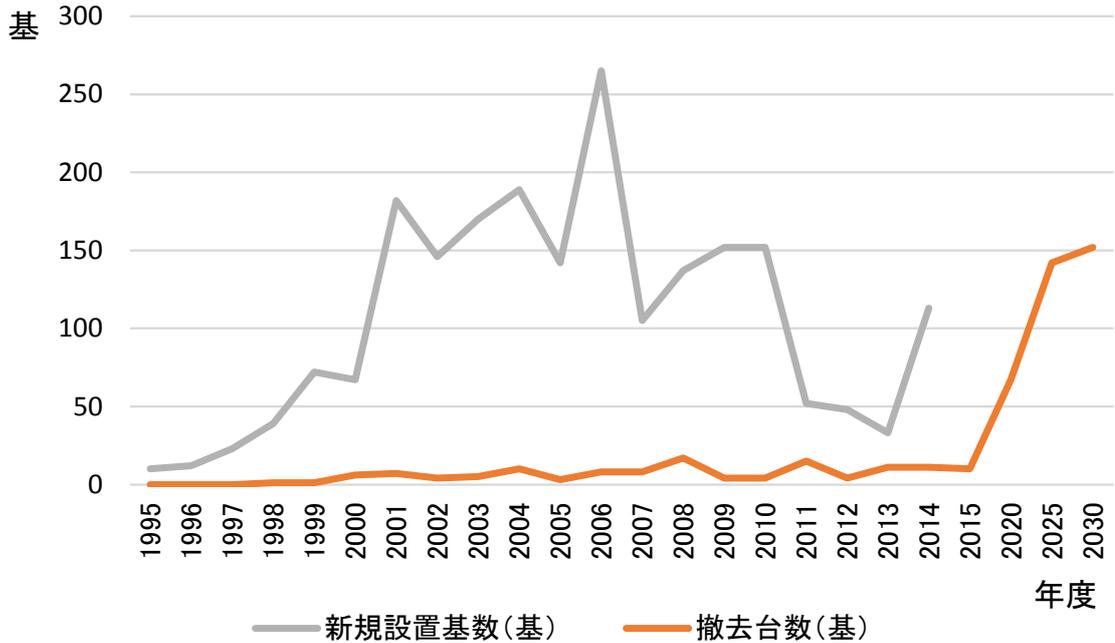


図 3.4-4 風力発電設備の撤去台数及び新規設置基数の推移 (1995-2030年)  
備考) 2015-2030年の撤去台数は、設置年次から20年後に廃棄されるものとして算出した。  
出所) 国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発事業「日本における風力発電設備・導入実績 2015年」よりレノバ作成

表 3.4-2 風力発電設備のサイズ (プロペラ式)

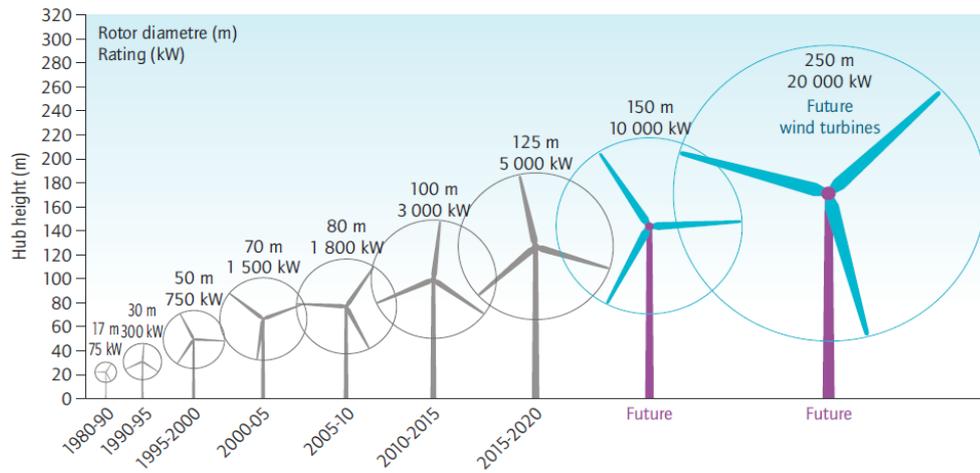
定格出力	タワー高さ	羽根直径
600kw	40~50m	45~45m
1000kw~2000kw	60~80m	60~90m

出所) NEDO 再生可能エネルギー白書「風力発電の技術の現状とロードマップ (2009)」よりレノバ作成

表 3.4-3 風力発電設備のブレードにおける構成重量

定格出力	300kW	600kW	1000kW	2000kW	2500kW
ローター直径	30m	48m	54m	80m	80m
一般鋼材	0.540	2.345	2.731	4.690	7.172
エポキシ樹脂	1.125	4.885	5.690	9.770	14.943
グラスファイバー	2.250	9.770	11.379	19.540	29.885
合計	3.915	17.000	19.800	34.000	52.000

Figure 14: Growth in size of wind turbines since 1980 and prospects



Source: adapted from EWEA, 2009.

図 3.4-5 世界における風車の大型化

(出所 : INTERNATIONAL ENERGY AGENCY 「Technology Roadmap Wind energy 2013 edition」)

## 4. 総括

本実証事業では、ASR 相当の SR について低温加熱脆化処理を行い、有用金属等の回収を最も効率化させる加熱脆化温度および投入物の構成レシピを検討の上、得られた脆化固形物を選別処理し、有用金属の回収と品位評価、有用金属回収後の脆化固形物の石炭代替燃料の価値評価などを行った。この他、本技術全体について、他の処理技術との CO<sub>2</sub> 排出量の比較、有用金属の回収ポテンシャル、ハロゲン元素に関する排ガス削減効果などの環境負荷低減効果を検討した。

実証実験の結果、脆化固形物の回収率と形状、カロリー保持の観点から、脆化処理の適正温度帯は 300°C 程度、レシピは木くずを 30% 程度混練することが望ましいことがわかった。金属選別処理の結果、Au 131g/t、Ag 540g/t の回収物が回収されるなど、低温加熱脆化処理によって、金、銀等の希少な有用金属が効果的に回収できることが確認された。ハロゲン元素については、排ガスとしての発生が抑制され、脆化固形物内の残存量も水洗による脱塩処理で除去された。

CO<sub>2</sub> 排出量削減効果は、ASR のガス化熔融処理と比較すると 0.9104t-CO<sub>2</sub>/ASR1t、事業規模が 28,000t/年の場合で約 26 千 t-CO<sub>2</sub> であった。

低温加熱脆化処理を実用化するにあたり、これまでの検討結果より、低温加熱脆化の処理能力は 4.0t/h を想定している。貴金属選別・回収を除いた設備投資規模は、前処理、低温加熱脆化、排水、排ガス処理の土木・機械工事費として合計約 8 億円と試算された。

本実証事業により、低温加熱脆化処理によって有用金属の回収が効率化されること、金属選別処理時のマテリアルバランスが確認されたことから、今後は低温加熱脆化物に適した高効率な金属選別手法について、金属の選別工程や粉碎工程の順序、金属選別の手法や設備選定、粉碎機の選定など、精緻に検討する必要がある。

当社では、本実証事業にて確立した低温加熱脆化処理技術を用いて、自社及びグループ会社のセメント工場（国内 9 工場、海外 9 工場）への横展開を検討している。対象廃棄物は、ASR、シュレッターダストの他、建廃系のプラスチックや木くずの混合廃棄物、高含水・難破碎のバイオマス廃棄物である。自社及びグループ会社のセメント工場は全国的に分布していることから、各地域の廃棄物を網羅的に受け入れる体制が出来ると考えている。

回収した有価金属については、電炉や非鉄製錬に有価売却、脆化固形物は石炭代替燃料として自社グループ会社のセメントキルンの燃料として利用する他、石炭燃料を使用しているボイラー事業者へ売却することを想定している。なお、自社での年間石炭消費量は約 239 万 t で生成した脆化固形物は全量自社消費が可能であり、用途確保は既になされている。

この他、低温加熱脆化は、CFRP 素材等の難燃性・硬質な可燃物の処理にも有効なことから、幅広い廃棄物への横展開が期待される。

### 【総括のポイント】

- 1) 脆化固形物の回収率と形状、カロリー保持の観点から、脆化処理の適正温度帯は 300℃程度、レシピは、木くずを 30%程度混練することが望ましい。
- 2) 金、銀等の希少な有用金属が効果的に回収された。
- 3) ハロゲン元素は、排ガス発生が抑制され、脆化固形物内の残存量も、水洗による脱塩処理で除去された。
- 4) CO<sub>2</sub> 排出量削減効果は、ASR のガス化熔融処理と比較すると 0.9104t-CO<sub>2</sub>/ASR1t、事業規模が 28,000t/年の場合で約 26 千 t-CO<sub>2</sub>であった。
- 5) 低温加熱脆化処理の実用化（低温加熱脆化の処理能力 4.0t/h）にあたり、貴金属選別・回収を除いた事業規模は約 8 億円と試算された。  
（前処理、低温加熱脆化、排水、排ガス処理の土木・機械工事費として）
- 6) 選別工程については、本事業にて実施した既存施設での実験結果をもとに、低温加熱脆化物に適した、高効率な金属選別手法を精緻に検討する必要がある。
- 7) 低温加熱脆化を自社及びグループ会社に導入し、難処理廃棄物の受入処理を行う他、脆化固形物を石炭の代替燃料として利用する計画を検討している。
- 8) 低温加熱脆化処理技術は CFRP 素材等の難燃性・硬質な可燃物の処理にも有効なことから、幅広い廃棄物への適用が期待される。

## 5. 添付資料

表 写真資料 広島ガステクノ・サービス

	
ASR	ASR
	
破砕機	アントラーキルン (実験用)
	
大型キルン (実機)	大型キルン投入口 (実機)

表 写真資料 クロダリサイクル

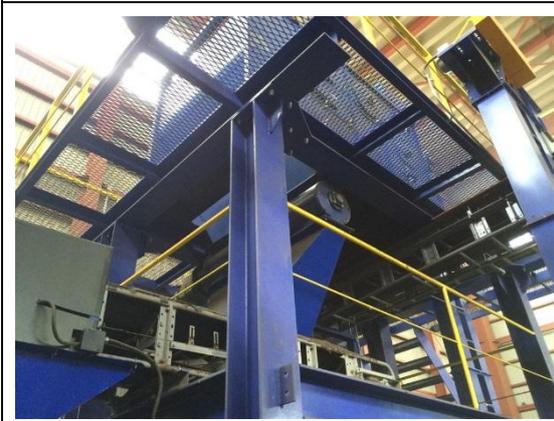
	
<p>Hライン</p>	<p>Hライン (磁力選別)</p>
	
<p>Hライン (磁選物)</p>	<p>Hライン (5mmふるい)</p>
	
<p>Hライン (手選別)</p>	<p>Hライン (5mmオーバー、Mラインへ)</p>



Aライン



Aライン (磁力選別)



Aライン (風力選別)



Aライン (エアテーブル)



Mライン



Mライン (磁力選別)



Mライン (篩い選別)



Mライン (渦電流、青いBOX部分)



ファインダー



Mライン (手選別)



Hライン磁選物



Hライン手選物

	
Mライン磁選物	



平成 27 年度低炭素型 3 R 技術・システム実証事業

低温加熱脆化技術による省エネ型高度選別マテリアルリサイクルシステムの開発 報告書

平成 28 年 2 月

太平洋セメント株式会社  
環境事業部

TEL 03-5531-7417

この印刷物は、国等による環境物品等の調達に関する法律（グリーン購入法）に基づく基本方針の判断の基準を満たす紙を使用しています。