

# スクラップ溶解のインベントリ調査 報告書

2007.9

社団法人日本アルミニウム協会  
LCA 調査委員会

## 1. 目的

展伸用アルミニウムスクラップ溶解について、前回調査<sup>1)</sup>(1997年度事業)以降、新技術が導入されており、最新のデータをもとにそのインベントリを見直す。

## 2. 方法

### 2.1 システム境界

アルミニウム圧延工場に設置のスクラップ専用溶解炉による溶解工程を対象とし、図1の網掛け部分に示す溶解炉へのスクラップ原料装入からスクラップ溶湯(一部、固め)までとする。したがって、ドロス処理やスクラップ原料調達に伴う輸送は範囲外とした。

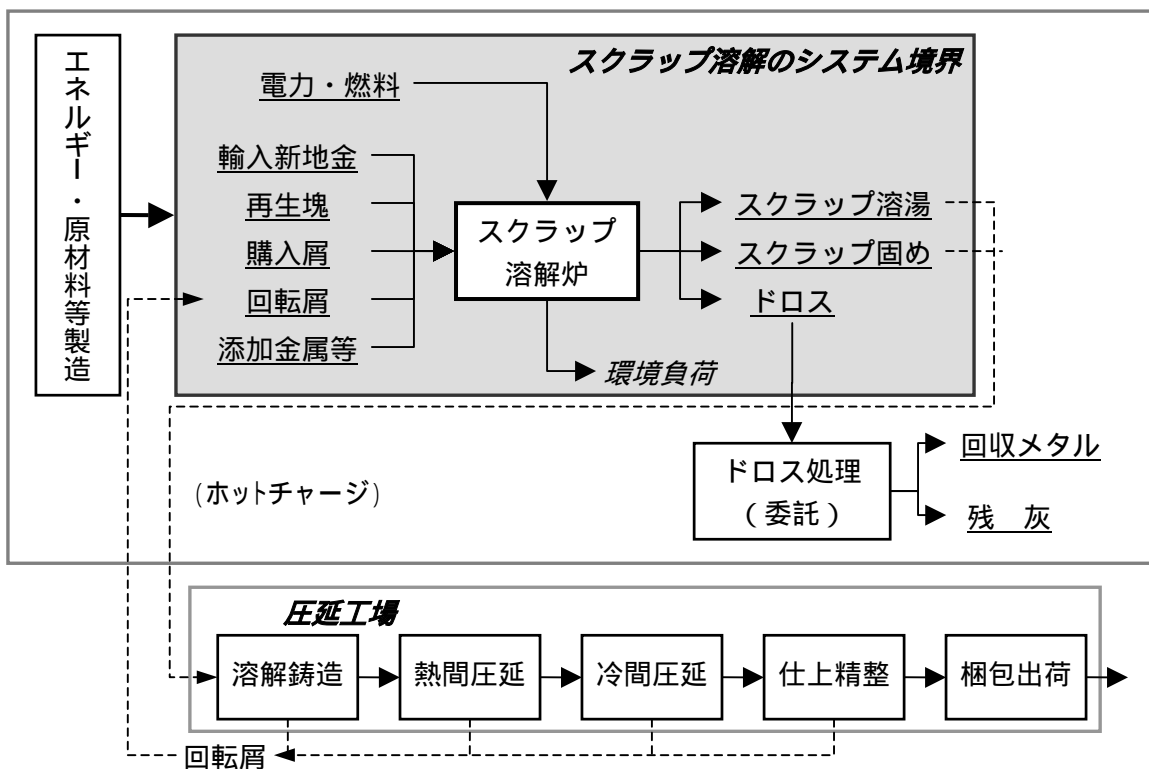


図1 スクラップ溶解のシステム境界

### 2.2 データ収集(フォアグラウンドデータ)

前回調査と同様な方法により、3社4工場のデータ(神戸製鋼・真岡、住友軽金属・名古屋、古河スカイ・福井および深谷)についてデータを収集した。対象期間は2005年度とした。

### 2.3 インベントリの算出

製品1kgあたりのインベントリを加重平均により算出した。製品としては、スクラップ溶湯およびスクラップ塊(固め)の合計とした。なお、購入スクラップについて、メタル分と塗料・付着油分等に分けてデータを得られなかったため、その重量には塗料等も含まれている。

環境負荷(大気圏排出物等)については、データが得られなかったため後述の表1に示す排

出係数により算出した。なお、スクラップに付着する塗料等からの環境負荷は考慮していない。

#### 2.4 バックグラウンドデータ

LCIの算出には、(社)産業環境管理協会によるLCAソフトウェアJEMAI-LCA Pro (Ver.2) 付属のデータベース<sup>2)</sup>を使用した。電力については、日本国内平均値を用いてLCIを算出した。燃料および電力の排出係数を表1に示す。

ドロスについては、工場内で回収されるメタルはスクラップ塊(固め)と同等として扱い、処理を委託している量をもってドロス量として集計した。委託処理による回収メタル量を調査したが、残灰の利用についてはその利用形態を把握できなかったため対象外とした。

表1 燃料の排出係数 (kg-emission/unit)

|         |           | Unit            | MJ/unit | CO <sub>2</sub> | NO <sub>x</sub> | SO <sub>x</sub> |
|---------|-----------|-----------------|---------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 製造時     | 石炭(一般炭)   | kg              | 0.22    | 0.138           | 0.00076         | 0.00018         |
|         | コークス      | kg              | 3.3     | 0.724           | 0.00111         | 0.00027         |
|         | A重油       | L               | 0.04    | 0.115           | 0.00009         | 0.00010         |
|         | C重油       | L               | 0.04    | 0.123           | 0.00010         | 0.00011         |
|         | 軽油        | L               | 0.03    | 0.109           | 0.00009         | 0.00010         |
|         | 灯油        | L               | 0.03    | 0.104           | 0.00008         | 0.00009         |
|         | 揮発油(ガソリン) | L               | 0.03    | 0.096           | 0.00008         | 0.00008         |
|         | LPG       | kg              | 0.01    | 0.177           | 0.00045         | 0.00014         |
|         | LNG       | kg              | 0       | 0.359           | 0.00052         | 0.000004        |
|         | 都市ガス      | Nm <sup>3</sup> | 1.7     | 0.378           | 0.00044         | 0.00005         |
|         | 電力(国内平均)  | kWh             | 6.5     | 0.446           | 0.00024         | 0.000084        |
| 使用(燃焼時) | 石炭(一般炭)   | kg              | 26.6    | 2.410           | 0.00176         | 0.00184         |
|         | コークス      | kg              | 30.1    | 3.243           | 0.00142         | 0.00304         |
|         | A重油       | L               | 39.15   | 2.713           | 0.00074         | 0.00130         |
|         | C重油       | L               | 41.99   | 3.009           | 0.00148         | 0.00462         |
|         | 軽油        | L               | 38.0    | 2.610           | 0.00076         | 0.000057        |
|         | 灯油        | L               | 36.75   | 2.494           | 0.00061         | 0.000000        |
|         | 揮発油(ガソリン) | L               | 34.6    | 2.322           | 0.00020         | 0.000004        |
|         | LPG       | kg              | 50.4    | 2.999           | 0.00118         | 0.00000         |
|         | LNG       | kg              | 54.57   | 2.695           | 0.00083         | 0.00000         |
|         | 都市ガス      | Nm <sup>3</sup> | 46.1    | 2.296           | 0.00068         | 0.00000         |
|         | 電力(国内平均)  | kWh             | 3.6     |                 |                 |                 |
| ライフサイクル | 石炭(一般炭)   | kg              | 26.8    | 2.548           | 0.00252         | 0.00202         |
|         | コークス      | kg              | 33.4    | 3.966           | 0.00251         | 0.00336         |
|         | A重油       | L               | 39.2    | 2.828           | 0.00083         | 0.00133         |
|         | C重油       | L               | 42.0    | 3.131           | 0.00158         | 0.00473         |
|         | 軽油        | L               | 38.0    | 2.719           | 0.00084         | 0.00015         |
|         | 灯油        | L               | 36.8    | 2.599           | 0.00069         | 0.00009         |
|         | 揮発油(ガソリン) | L               | 34.6    | 2.418           | 0.00028         | 0.00009         |
|         | LPG       | kg              | 50.4    | 3.176           | 0.00163         | 0.00014         |
|         | LNG       | kg              | 54.6    | 3.055           | 0.00135         | 0.000004        |
|         | 都市ガス      | Nm <sup>3</sup> | 47.8    | 2.674           | 0.00112         | 0.000046        |
|         | 電力(国内平均)  | kWh             | 10.1    | 0.446           | 0.00024         | 0.000084        |

出所： JEMAI-Pro 付属データベース<sup>2)</sup>による

注) エネルギーについて、製造時のエネルギーは製造に必要なエネルギー (MJ/unit)、使用(燃焼)時のエネルギーは発熱量 (MJ/unit)、ライフサイクルはこれらを合算したライフサイクルエネルギー (MJ/unit)を示す。なお、石油精製のデータについては、今後、製造工程を考慮したデータを用いて見直していく予定。

電力は2005年度の国内平均(水力ほか9.1%、火力60.1%、原子力30.8%)を適用。

### 3. 結果

スクラップ溶解 1kg あたりの主要なインベントリを表 2 に示す。エネルギーは直接分のみを示し、発電時のエネルギーは含んでいない。CO<sub>2</sub> 排出量もサイト（工場）における発生分のみである。参考までにスクラップ溶解炉のうち、誘導炉を除く溶解炉の集計も行った。

資源採取まで遡及したライフサイクルインベントリ（LCI）を表 3 に示す。

表 2 スクラップ溶解 1kg あたりのインベントリ

| 項 目         |                 | 単位              | 全溶解炉     | 誘導炉除く    | 備 考          |      |
|-------------|-----------------|-----------------|----------|----------|--------------|------|
| 入<br>力      | 新地金             | kg              | 0.001    | 0.001    | 塗料等を含む       |      |
|             | 購入スクラップ         | kg              | 0.483    | 0.542    |              |      |
|             | 回転屑             | kg              | 0.555    | 0.500    |              |      |
|             | 再生塊             | kg              | 0.001    | 0.001    |              |      |
|             | マグネシウム          | kg              | 0.0011   | 0.0012   |              |      |
|             | マンガン            | kg              | 0.0004   | 0.0004   |              |      |
|             | 投入原材料（小計）       |                 | kg       | 1.042    | 1.045        |      |
|             | 電力              | kWh             | 0.141    | 0.046    |              |      |
|             | A 重油            | L               | 0.010    | 0.011    |              |      |
|             | B・C 重油          | L               | 0.010    | 0.012    |              |      |
|             | 灯油              | L               | 0.031    | 0.036    |              |      |
|             | LPG             | kg              | 0.0017   | 0.0020   |              |      |
|             | 都市ガス            | Nm <sup>3</sup> | 0.024    | 0.028    |              |      |
|             | エネルギー消費（計）      |                 | MJ       | 3.63     |              | 3.80 |
| 電力          |                 | MJ              | 0.51     | 0.17     | 電力：3.6MJ/kWh |      |
| 燃料          |                 | MJ              | 3.13     | 3.63     |              |      |
| 出<br>力      | スクラップ溶湯         | kg              | 0.946    | 0.992    |              |      |
|             | スクラップ塊(固め)      | kg              | 0.054    | 0.008    |              |      |
|             | アルミドロス(委託処理)    | kg              | 0.034    | 0.032    |              |      |
|             | 回収蒸気            | kg              | 0.044    | 0.035    |              |      |
|             | CO <sub>2</sub> | kg              | 0.196    | 0.227    | 計算値          |      |
|             | NOx             | kg              | 0.000059 | 0.000069 | 計算値          |      |
|             | SOx             | kg              | 0.000060 | 0.000070 | 計算値          |      |
| 処理委託廃棄物（産廃） |                 | kg              | 0.0029   | 0.0024   |              |      |

表 3 スクラップ溶解 1kg あたりのライフサイクルインベントリ（LCI）

| 項 目    |                 | 単位 | 全溶解炉      | 誘導炉を除く     |
|--------|-----------------|----|-----------|------------|
| 入<br>力 | 石炭              | kg | 0.015     | 0.006      |
|        | 原油              | kg | 0.051     | 0.059      |
|        | 天然ガス            | kg | 0.028     | 0.025      |
|        | ウラン（資源）         | kg | 0.0000012 | 0.00000004 |
|        | ボーキサイト          | kg | 0.0052    | 0.0059     |
|        | アルミスクラップ        | kg | 1.038     | 1.041      |
|        | エネルギー           |    | MJ        | 4.80       |
| 出<br>力 | CO <sub>2</sub> | kg | 0.287     | 0.285      |
|        | NOx             | kg | 0.00020   | 0.00021    |
|        | SOx             | kg | 0.00018   | 0.00020    |

#### 4. 考 察

##### 4.1 前回調査との比較

前回調査（1996年度データ）の結果との対比を表4に示す。

表4 スクラップ溶解のインベントリ（〔溶湯+塊〕1kgあたり）

| 項 目    |                 | 単 位                 | 前回(1996)    | 今回(2005)    |
|--------|-----------------|---------------------|-------------|-------------|
| 対象溶解量  |                 | kt                  | 113.7       | 195.4       |
| 入<br>力 | 投入原材料（小計）       | kg/kg               | 1.051       | 1.042       |
|        | 電力              | kWh/kg              | 0.360       | 0.141       |
|        | A重油             | L/kg                | 0.0285      | 0.0099      |
|        | B・C重油           | L/kg                | 0.0067      | 0.0103      |
|        | 灯油              | L/kg                | 0.0186      | 0.0306      |
|        | LPG             | kg/kg               |             | 0.00017     |
|        | 都市ガス            | Nm <sup>3</sup> /kg | 0.0009      | 0.0242      |
|        | エネルギー消費（計）      | MJ/kg               | 3.44 (5.54) | 3.63 (4.44) |
| 電力     | MJ/kg           | 1.30 (3.39)         | 0.51 (1.30) |             |
| 燃料     | MJ/kg           | 2.14                | 3.13        |             |
| 出<br>力 | スクラップ溶湯         | kg/kg               | 0.917       | 0.946       |
|        | スクラップ塊(固め)      | kg/kg               | 0.083       | 0.054       |
|        | アルミドロス          | kg/kg               | 0.048       | 0.034       |
|        | 回収蒸気            | kg/kg               |             | 0.044       |
|        | CO <sub>2</sub> | kg/kg               | 0.157       | 0.196       |
|        | NOx             | kg/kg               | 0.00002     | 0.000059    |
|        | SOx             | kg/kg               | 0.00020     | 0.000060    |

注) エネルギーにおいて、( ) は電力の発電効率（38.9%）を考慮した値

工場におけるエネルギー消費原単位は3.44 3.63 MJ/kgと約6%増加しているが、電力について発電効率を考慮したエネルギーでみると5.54 4.44 MJ/kgと約20%の低減となる。これは燃焼式溶解炉の増設があったため、相対的に電力が減少し、燃料が増加している。

CO<sub>2</sub>排出量はこのエネルギー事情の変化に対応して増加している。なお、このCO<sub>2</sub>は工場での発生分のみで、電力分は含まれていない。

##### 4.2 ライフサイクルでみた溶解エネルギーについて

スクラップ溶解の直接エネルギーは上述のとおりであるが、ライフサイクルエネルギー消費（LCE）および二酸化炭素排出（LCCO<sub>2</sub>）は表5に示すように、今回調査ではそれぞれ約15%および約7%減少している。( )内の\*印は誘導炉を除く値である。新地金製造のエネルギー（LCE）は140.9 MJ/kg<sup>3</sup>）であり、スクラップ溶解に必要なエネルギーは新地金の約3.4%（誘導炉を除くと3.2%）となる。

表5 スクラップ溶解のLCEおよびLCCO<sub>2</sub>

| 項 目                                  | 単 位   | 前回(1996) | 今回(2005)       |
|--------------------------------------|-------|----------|----------------|
| エネルギー（LCE）                           | MJ/kg | 5.70     | 4.80 (4.44*)   |
| CO <sub>2</sub> （LCCO <sub>2</sub> ） | kg/kg | 0.309    | 0.287 (0.285*) |

#### 4.3 スクラップ溶解のエネルギー効率

スクラップ溶解に必要なエネルギーは理論的には以下ようになる。ここで、アルミニウムの比熱 7.6 cal/deg·mol、溶融潜熱 2.6 kcal/mol とする（理科年表による）。

- ・ スクラップ加熱（室温 660 ）：

$$7.6(\text{cal/deg}\cdot\text{mol}) \times 4.186 \times 660(\text{deg}) / 26.98(\text{g/mol}) = 778 (\text{J/g}) = 0.778 \text{ MJ/kg}$$

- ・ スクラップ溶融（固体 液体）：

$$2.6(\text{kcal/mol}) \times 4.186 / 26.98(\text{g/mol}) = 0.403 (\text{kJ/g}) = 0.403 \text{ MJ/kg}$$

$$\text{理論溶解エネルギー} = 0.778 + 0.403 = \underline{1.18 \text{ MJ/kg}}$$

したがって、溶解のみのエネルギー効率は 32%（= 1.18 / 3.63）となる。

#### 4.4 スクラップ溶湯装入の効果

圧延工場のスクラップ溶解炉では、大部分が溶湯のまま溶解炉に装入されるいわゆるホットチャージ法が採用されている。

前回調査において、スクラップ溶解は溶解鑄造工程に含めて集計しているが、表 6 に示す当該 4 工場のデータを示す。なお、全原料装入量に対する溶湯装入比率（平均）は 6.1%である。

表 6 当該 4 工場の溶解鑄造工程のエネルギー（単位 MJ/kg）

| 電力   | 燃料   | エネルギー（計） |
|------|------|----------|
| 0.14 | 3.49 | 3.63     |

この溶解鑄造工程のエネルギーには、溶解エネルギーのほかに保持・鑄造に関わるエネルギーが含まれており、その割合（溶解 / （溶解 + 保持 + 鑄造））を 0.9 とし、燃料のみが使われると仮定すると、溶解のエネルギーは 3.14 MJ/kg（= 3.49 × 0.9）となる。

溶解エネルギー効率は 38%（= 1.18 / 3.14）となり、溶解炉の容量が大きいこともありスクラップ溶解よりもよい。

ホットチャージをしない場合の溶解エネルギーを E（MJ/kg）とすれば、

$$E (\text{MJ/kg}) \times (100 (\%) - 6.1 (\%)) = 3.14 (\text{MJ/kg})$$

より、 $E = 3.34 (\text{MJ/kg})$ となる。

すなわち、1kg のホットチャージは、冷材で投入した場合に必要となるエネルギーに相当する 3.34（MJ/kg）の省エネをもたらし、スクラップ溶解で投入したエネルギー 3.63（MJ/kg）の実に 92%を次工程で有効利用可能にしているとも考えることができる。

#### 4.5 ドロスの評価

ドロス処理について、前回調査時の投入エネルギーを適用し、回収メタル量については今回調査した結果を用いて評価した。ドロス 1kg 処理のインベントリを表 7 に示す。

表7 ドロス処理のインベントリ<sup>1)</sup>

|                                 | 項目                | 単位  | 原単位      | 備考           |
|---------------------------------|-------------------|-----|----------|--------------|
| 入<br>力                          | アルミドロス            | kg  | 1.000    | 塗料等を含む       |
|                                 | 電力                | kWh | 0.253    | 前回調査         |
|                                 | LPG               | kg  | 0.0065   |              |
|                                 | エネルギー             | MJ  | 1.24     | 電力：3.6MJ/kWh |
| 出<br>力                          | 回収メタル             | kg  | 0.304    | 今回調査         |
|                                 | 残灰                | kg  | bal.     |              |
|                                 | CO <sub>2</sub>   | kg  | 0.019    | 計算値          |
|                                 | NOx               | kg  | 0.000008 | 計算値          |
|                                 | SOx               | kg  | 0.000000 | 計算値          |
| イ<br>ラ<br>ク<br>イ<br>ル<br>フ<br>サ | LCE               | MJ  | 2.93     |              |
|                                 | LCCO <sub>2</sub> | kg  | 0.126    |              |
|                                 | LCNO <sub>x</sub> | kg  | 0.00006  |              |
|                                 | LCSO <sub>x</sub> | kg  | 0.00002  |              |

このドロス処理による回収メタルを再生塊として評価し、スクラップ溶解のインベントリへの影響を検討した。

再生塊のインベントリとして、本調査によるスクラップ溶解の値を用いると、スクラップ溶解のライフサイクルインベントリ(LCI)は表8のようになる。ドロス処理による負荷と回収メタルの効果はほぼ相殺される。残灰の利用について評価する必要があるものの、処理量が少ないことからスクラップ溶解のインベントリへの影響は無視できると考えてよい。

表8 ドロス処理による回収メタルを考慮した場合のスクラップ溶解のインベントリ

|         | 投入量           | エネルギー<br>(MJ) | CO <sub>2</sub> 排出<br>(kg-CO <sub>2</sub> ) | 備考       |
|---------|---------------|---------------|---|----------|
| スクラップ溶解 | スクラップ 1.0 kg  | 4.80          | 0.288                                       |          |
| ドロス処理   | ドロス 0.034 kg  | 0.099         | 0.0045                                      |          |
| 再生塊(控除) | メタル 0.0103 kg | -0.049        | -0.0030                                     | 回収メタル相当量 |
| 計       |               | 4.85          | 0.290                                       |          |



## 5. まとめ

圧延工場におけるスクラップ溶解について、2005年度のデータをもとにインベントリを作成した。

- ・ 前回調査に比べて、燃料式溶解炉の増加により工場における直接エネルギーは増加するものの、ライフサイクルエネルギー消費（LCE）およびライフサイクル二酸化炭素排出（LCCO<sub>2</sub>）では10～15%前後の低減がはかれている。これらは、リジェネレーターの採用、燃焼技術の向上等による効果と考えられる。
- ・ スクラップ溶解のエネルギー（LCE）は、新地金製造のLCE<sup>3)</sup>に対して、3.4%程度である。
- ・ スクラップ溶解によるホットチャージは、スクラップ溶解に必要な直接エネルギーの92%を次工程で省エネに有効利用していると考えることができ、その効果は明らかである。

## 参考文献

- 1) (社)日本アルミニウム連盟 LCA 委員会：「アルミニウム圧延品インベントリデータの作成」(1998.6)
- 2) (社)産業環境管理協会による LCA ソフトウェア JEMAI-LCA Pro (Ver.2) 付属データベース
- 3) (社)日本アルミニウム協会 LCA 調査委員会：「わが国の輸入アルミニウム新地金の LCI ～IAI データによる見直し～」(2004.10)

(補足)

### 再生地金 3%の議論について

従来より使われている再生地金の再生のためのエネルギーは製錬のためのエネルギーの3%ですむという表現が現在も妥当と言えるかどうかを、今回の調査をベースに再検証してみる。

#### (1) 従来3%算出方式での再評価

- ・ 従来採用されていた新地金のエネルギーは、化学経済研究所<sup>1)</sup>による地金製錬エネルギー(アルミナ製造と電解精錬)の31.532 Mcal/kg (= 132 MJ/kg)である。このデータは直接エネルギーであり、副資材および輸送は含まれていない。
- ・ 従来3%とされているのは、溶解工程エネルギー(直接エネルギー)を上記の地金製錬エネルギーと比較した数字である。(ライフサイクルの概念がなかった)
- ・ この値を用いれば、本調査のスクラップ溶解の直接エネルギー3.63 MJ/kgは新地金のエネルギーに対して2.8%となる。

この考え方を採用した場合は、今回の調査でも従来から言われている3%が妥当であることが再確認できたといえる。

#### (2) ライフサイクルエネルギーで評価する場合

LCA的観点からはライフサイクルエネルギー(LCE)で評価する必要があるが、アルミニウム地金を対象にする場合は大きな問題点がある。それはアルミニウム地金のLCEが製錬時の電力が水力発電によるものか火力発電によるものの電源構成によって大きく左右されるからである。また、ライフサイクルエネルギーを算出するにあたって、各種データベースによるバックグラウンドデータを用いるが、これらのデータのばらつきはかなり大きく、使用するデータによって結果が異なることがある。

比較の基準になる数字が他動的に大幅に変動するなかで、比較結果の3%だけを議論するということは意味がないと言わざるを得ない。

今後の3%の議論は、直接エネルギーベースを採用し、比較対象の基準の数字をある程度固定した上での比較とすることにしたい。

以上を踏まえた上での本報告書の評価結果であるが、参考までに以下のとおりであった。

- ・ 新地金のLCE調査対象年度に日本に輸入された新地金の製錬電源構成の水力発電比率は約70%である。
- ・ 4.2項に述べたように、新地金のLCE 140.9 MJ/kgに対して、スクラップ溶解のLCE 4.80 MJ/kgは3.4%となる。誘導炉を除いた場合のLCE 4.44 MJ/kgは3.2%となる。
- ・ 再生されたスクラップの溶湯を次工程(鑄造工程)にホットチャージした場合は、上

記再生エネルギーのうち 3.34MJ/kg が有効利用されることに相当する。なお、調査対象事業所での再生溶湯のホットチャージ比率は 95%であった。

- 1) (社)化学経済研究所：「基礎素材のエネルギー解析調査報告書」(1993)

以上