

CO₂ 排出量算定の仕方～鉄鋼製品のLCA～

磯原 豊司雄

一般社団法人日本鉄鋼連盟 LCA 検討 WG 主査

日本製鉄（株） 技術総括部 部長代理



《PROFILE》

略歴：

東京大学大学院（化学工学専攻）修士課程修了
新日本製鐵（現日本製鐵）入社
環境化学研究開発，研究企画，LCA，低炭素化等の業務に従事

1 はじめに

CO₂ 排出量の算定で最も重要なのは、その計算範囲（システム境界）で、基本的には製品のライフサイクル全体で考える必要がある。製品のライフサイクル全体で考えた、種々の物質の環境からのインプット（採取）、アウトプット（排出）のデータ（原単位）の一覧リストをライフサイクルインベントリ（Life Cycle Inventory, LCI）という。LCI では温室効果ガス，酸性化物質等の様々な物質を扱うが、本稿ではCO₂，あるいはメタン等も含む温室効果ガスを対象として話を進める。

鉄鋼製品は基本的には素材製品（中間製品）であり、ライフサイクル全体といっても最終製品は極めて多岐にわたるため、使用段階は考慮しきれない。そのため、素材製品のシステム境界は、通常は、いわゆる cradle-to-gate と呼ばれる、鉱山（cradle）からの原料採掘，その輸送，鉄鋼製品製造の出荷門（gate）まで

の範囲で計算する。しかし、具体的な最終製品を想定すれば使用段階も考えられ、さらには製品寿命を迎えて廃棄された後のリサイクルの効果も含めてCO₂の排出量を考えるライフサイクルアセスメント（Life Cycle Assessment, LCA）は、素材製品においても重要である。本稿では鉄鋼製品のLCAを、製造，使用，リサイクルのそれぞれの段階に分けて検討する。

2 製造段階

鉄鋼製品は製造量が非常に多いため総排出量も多く、鉄鋼産業だけで日本のCO₂ 排出量（電力配分後）の13%程度を占める¹⁾。しかし例えば図1²⁾に示すとおり、新材製造時の質量あたりの温室効果ガス排出原単位（CO₂ 当量換算）を自動車車体で用いられる各素材と比較すると、鉄鋼製品の排出原単位は非常に低いことがわかる。

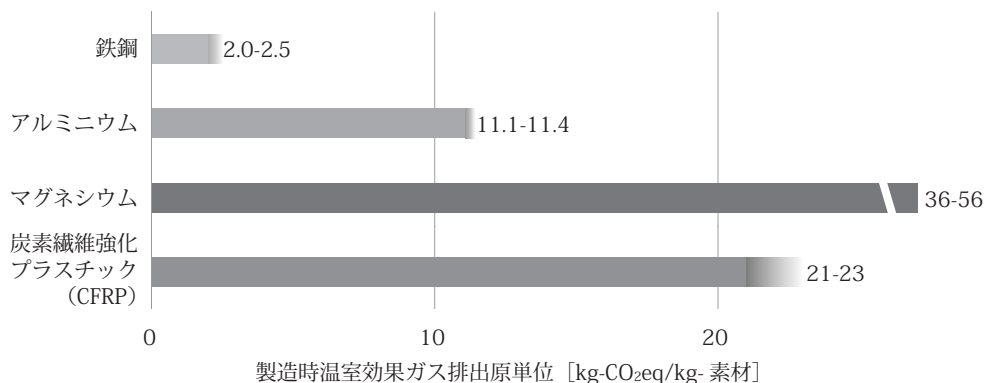


図1 自動車車体素材製造時の各素材の温室効果ガス排出原単位

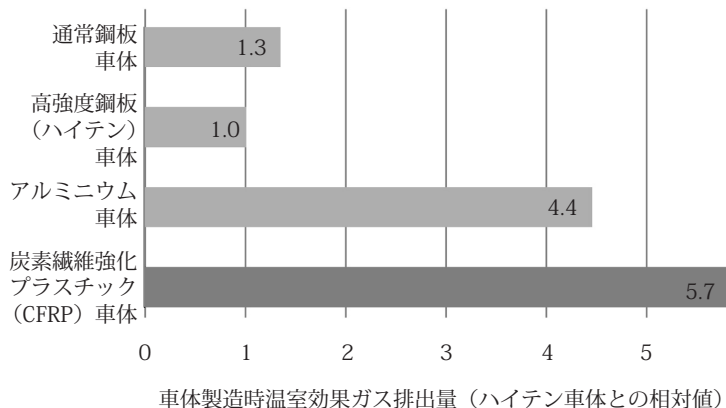


図2 自動車車体製造時の各素材の等価機能車体あたりの温室効果ガス排出量

上記は質量当たりの比較だが、鉄鋼と軽量素材とは密度がかなり異なるため、同一機能である等価車体あたりで比較したものを図2²⁾に示す。この場合でも、通常鋼板や高強度鋼板(ハイテン)はアルミニウム合金や炭素繊維強化プラスチックと比べ、製造段階の温室効果ガス排出量は、かなり低いことがわかる。

3 使用段階

製品使用時のCO₂排出については色々な評価があるが、自動車であれば質量が使用時のCO₂排出量に直結するので、使用段階の軽量度の指標として強度あたりの密度(比強度の逆数)で各素材を比較したものを図3³⁾に示す。図のように自動車用鋼板の強度は非常に高く、他の軽量素材と比肩しうる軽量化(=使用段階の低CO₂排出)が実現されている。従って、鉄鋼製品は十分に軽量で、自動車での使用時のCO₂排出も非常に低いといえることができる。

4 リサイクル性とリサイクル効果の考え方

4.1 鉄鋼製品のリサイクル性

製品のLCAにおいて、製造、使用段階とともに重要なのが使用後の廃棄段階のリサイクル性とリサイクル効果(天然資源代替に伴う環境負荷低減効果、CO₂排出削減ポテンシャル)である。鉄鋼以外の素材は一般に廃棄段階での回収率が低く、回収しても他素材と選別しにくい上、不純物をほとんど取り除くことができず、限定的な用途にしかリサイクルできないオープンループリサイクル(あるいはカスケードリサイクル)を形成している。一方、鉄鋼製品は磁気選別が極めて容易(磁石には事実上鉄のみがくっつく)で、かつスクラップとしての価値があるため、ほぼ全量が回収され、有価物として取引されている。その上、鉄鋼はスクラップ回収後に酸化精錬を行うことにより、ほとんどの不純物を酸化物(スラグ)

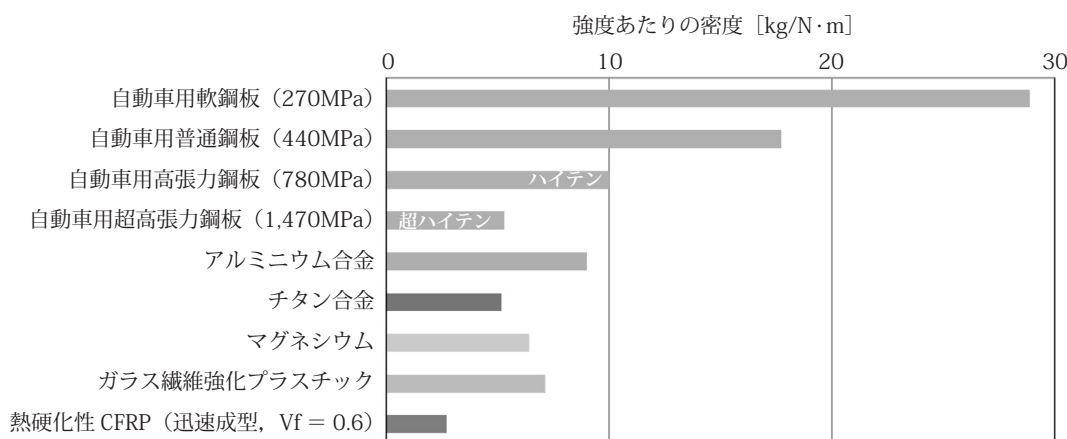


図3 各素材の強度あたりの密度

として分離除去することができる⁴⁾ため、素材本来の性質を失うことなく「何にでも何度でも」リサイクルでき、素材として閉じたクローズドループリサイクルを形成している。従って、鉄鋼製品のCO₂排出を考える上では、そのリサイクル効果も含めて考える必要がある。

4.2 鉄鋼製品のリサイクル効果の考え方

鉄鋼製品は上述のようにほぼ全量がリサイクルされているため、CO₂排出量の算定においてはそのリサイクル効果も考慮に入れないと鉄鋼製品の本来のLCIの計算にならない。

鉄鋼製品のリサイクル効果を含めたLCIの計算法は、世界鉄鋼協会（World Steel Association, worldsteel）がその計算法を示し、ISO 20915:2018規格やJIS Q 20915:2019にて規格化されている⁵⁾。その考え方を

図4に示す。図4において、赤いバー（A）は鉄鋼製品製造時のcradle-to-gateのLCI（CO₂等の排出原単位）を示す。鉄鋼製品は将来リサイクルされるので、当該製品が将来生み出すスクラップにより天然資源からの製造時のCO₂排出量（A）相当量を差し引くマイナスのCO₂排出量が、リサイクル効果に相当すると考えられる。ただし、スクラップの再生プロセス（スクラップ溶融等）におけるCO₂排出や、再生時の歩留、スクラップ回収率によりその効果は減じるため、これらの値を差し引くと、実質のリサイクル効果は図のBになる。

もし製造時にスクラップを使用する場合は、図5のようになる。すなわち、製造時に使用するスクラップ量（B1）の分だけ、将来生み出されるスクラップが実質目減りするるので、その量を図4のリサイクル効果（B＝この図ではB2）から差し引く。

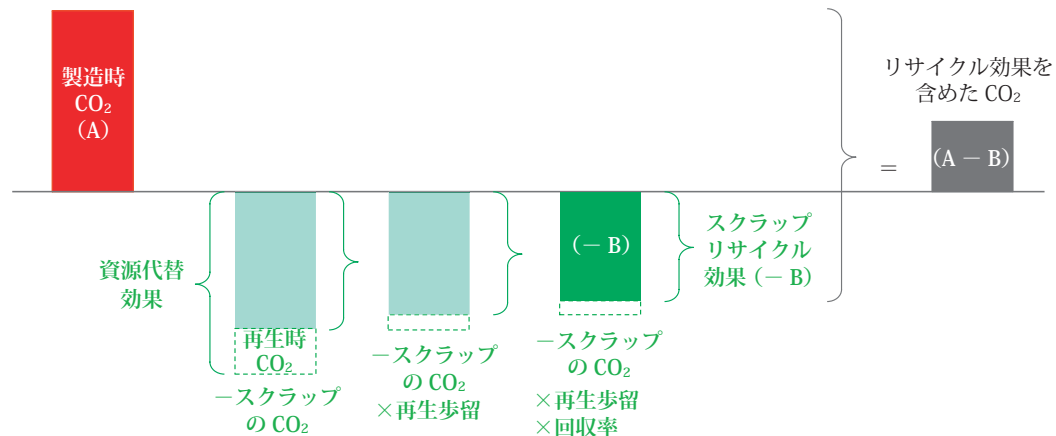


図4 ISO 20915規格のリサイクル効果の考え方（製造時にスクラップを使用しない場合）

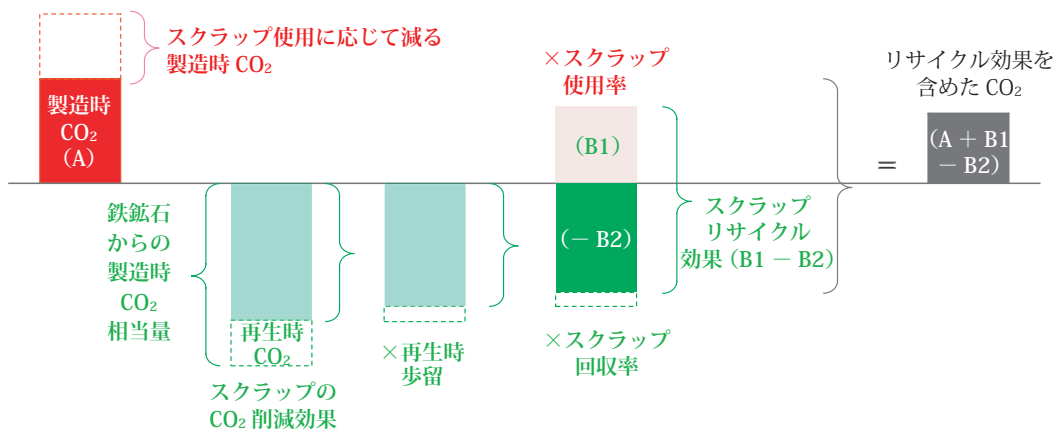


図5 ISO 20915規格のリサイクル効果の考え方（製造時にスクラップを使用する場合）

この場合、製造時のCO₂排出量(A)はスクラップ使用量に応じて減少しているが、その減少量は実はB1と同じである⁵⁾。これは、リサイクル効果を考慮したライフサイクル全体でのCO₂排出原単位は製品製造時のスクラップ使用量によらず一定となることを示している。すなわち、スクラップ使用量が少ない高炉材も、多い電炉材も、スクラップ使用によるリサイクル効果を考慮すれば、製品のライフサイクルにおけるCO₂排出原単位は同じである。これは、上記規格から導かれる重要な結論である。

5 鉄鋼製品のリサイクル効果を含めたCO₂排出量データ

上記規格に基づき計算された鉄鋼製品のLCIデータは、世界鉄鋼協会、および日本鉄鋼連盟で、それぞれ世界(データ収集協力各社)平均値⁶⁾、日本(日本鉄鋼連盟でのデータ収集協力各社)平均値⁷⁾が公表されており、データ請求すれば無料で入手できる。特に日本平均値は日本の粗鋼生産量の85%をカバーしており、鉄鋼製品のCO₂排出原単位の最も信頼がおけるデータといえることができる。

なお、各社の個別製品のCO₂排出原単位については、一部の製品において、SuMPO環境ラベルプログラム(一般社団法人サステナブル経営推進機構が運営)におけるエコリーフ宣言⁸⁾やEPD(Environmental Product Declaration)と呼ばれる環境ラベルとして公開されている。図6にその一例を示す。図6の枠で示されているように、「製造のみ」の値(cradle-to-gate)に加えて、「製造+間接影響」の欄にリサイクル効果を含めた値が記載されている。これを見てわかる通り、鉄鋼製品におけるリサイクル効果は大きく、製造段階のみの値(図6の例では2,000 kg-CO₂eq/t)に対して、リサイクル効果も含めた値(同870 kg-CO₂eq/t)は半分以下になることがわかる。

エコリーフ
タイプⅢ環境宣言 (EPD)
登録番号: JR-AJ-19003E-B

エコリーフ環境ラベルプログラム
一般社団法人サステナブル経営推進機構
東京都千代田区蔵前2-2-1
https://ecoleaf-label.jp

NIPPON STEEL
日本製鉄株式会社

外法一定H形鋼 ハイパービーム®
(NSHYPER BEAM™)

製品単位: 1 t

登録番号: JR-AJ-19003E-B
適用PCR番号: PA-180000-AJ-02
PCR名: 建設用鉄鋼製品 (中鋼材)
公開日: 2019年12月6日
検証合帳日: 2019年11月29日
検証方式: 産品別検証方式
検証番号: JV-AJ-19003
検証有効期限: 2024年11月28日

製造サイト: 和歌山製鉄所、鹿島製鉄所
主な原料: SH400A, SH400B, SH490B, SH440SA, SH440B, SH490A, SH490B, SH490VA, SH490VB, SS400, NSY345B
形状: H形鋼 (外法一定タイプ)
寸法規格: 標準規格 (JIS S 400), H400(19)×400(112)×H1,200(122)×B500(140)
*Ecoleaf登録・表示等は登録者による

お問い合わせ先
日本製鉄株式会社 環境・建材事業部
https://www.apponeet.com/product/contact/structuralsteel.html

登録番号: JR-AJ-19003E-B

エコリーフ
タイプⅢ環境宣言 (EPD)
登録番号: JR-AJ-19003E-B

エコリーフ環境ラベルプログラム
一般社団法人サステナブル経営推進機構
東京都千代田区蔵前2-2-1
https://ecoleaf-label.jp

① ライフサイクル影響 評価結果
製造+リサイクル 製造のみ

影響領域	製造+間接影響 ※1	製造のみ ※2	単位
気候変動 IPCC 2013 GWP 100a	870	2000	kg (CO ₂ 換算)
酸性化	0.49	2.2	kg (SO ₂ 換算)
光化学オキシダント	0.65	0.89	kg (C ₂ H ₄ 換算)

※1: A1~A3およびDの合計 ※2: A1~A3の合計

内訳	項目	単位	A1~A3合計	[A1] 原材料調達	[A2] 原材料加工	[A3] 製品の製造	[D] 間接影響
気候変動 IPCC 2013 GWP 100a	kg-CO ₂ eq	2.0E+03	6.3E+02	1.2E+02	1.2E+03	-1.1E+03	
オゾン層破壊	kg-CFC-11eq	2.4E-06	1.7E-07	7.9E-10	2.3E-06	-2.0E-07	
酸性化	kg-SO ₂ eq	2.2E+00	5.3E-01	6.7E-02	1.6E+00	-1.7E+00	
光化学オキシダント	kg-C ₂ H ₄ eq	8.9E-01	4.8E-03	1.0E-03	8.8E-01	-2.4E-01	
富栄養化	kg-PO ₄ -P ₄ eq	4.1E-02	3.7E-05	7.1E-13	4.1E-02	-2.1E-02	

② ライフサイクルインベントリ分析関連情報

項目	単位
非再生可能資源	9.0E+02 kg
非再生可能エネルギー	3.0E+04 MJ
再生可能資源	8.9E+02 kg
再生可能エネルギー	9.7E+02 MJ
淡水の消費	3.9E+00 m ³

③ 材料及び物質に関する構成成分

④ 算定結果に関する追加情報

1. 間接影響として、JIS Q 20915に基づく鉄鋼材料のリサイクル効果を評価し、上記の表 [D] にその値を記載した。間接影響分は上記の表 [A1] ~ [A3] の合計値に加算される。計算に使用したリサイクル率は93.1% (計算はJIS Q 20915に従い、2014年度の国内データ (出典: 日本鉄鋼連盟、スチール缶リサイクル協会) を使用)

2. 輸送シナリオはPCRに従った。

図6 鉄鋼製品のエコリーフの例⁸⁾

6 最後に

鉄鋼製品は、上述のようにほぼ全量が素材としてのクローズドループリサイクルを形成しているため、その実態に即してリサイクル効果を含めて CO₂ 排出量を考えることが極めて重要であり、その考え方を正しく理解した上で鉄鋼製品の CO₂ 排出量を計算し、LCA を考えることが必要である。

また、鉄鋼製品は鉄鋼メーカー自身による CO₂ 排出量データが整備されており、入手も容易なので、ぜひ、これらの信頼性の高いデータを用いた CO₂ 排出量計算や LCA 検討を行っていただければ幸いである。

参考文献

- 1) 環境省, 2020 年度温室効果ガス排出量排出量 (確報値)
- 2) WorldAutoSteel, Life Cycle Assessment : Good for the Planet, Good for the Auto Industry (http://www.worldautosteel.org/download_files/Communication/Communication%20-%20Car%20Manufacturers%205.0_A4_20130404.pdf) を一部改変
- 3) アーサー・D・リトル (ジャパン), 平成 25 年度産業技術調査事業重要技術分野に関する技術動向等調査 成果報告資料 (https://img.minsaku.com/wp-content/uploads/2019/02/08160842/E004083_sankobunken3.pdf), P. 22 (2014) から作図
- 4) 平木岳人ら: 第 23 回廃棄物資源循環学会研究発表会 (2012) 23_269
- 5) 磯原豊司雄ら: 鉄鋼製品のクローズドループリサイクル, 第 17 回日本 LCA 学会研究発表会 (2022) 3-B1-03
- 6) worldsteel, Life cycle inventory (LCI) request form (<https://worldsteel.org/steel-by-topic/life-cycle-thinking/lca-lciform/>)
- 7) 日本鉄鋼連盟, 鉄鋼業界の取り組み: LCI データコレクション (<https://www.jsf.or.jp/business/lca/data/index.html>)
- 8) SuMPO 環境ラベルプログラム (<https://ecoleaf-label.jp/>)