技術展望

鉄鋼製品の環境負荷―LCAで考える鉄鋼素材―

Environmental Impacts of Steel Products —LCA of Steel Material—

礒 原 豊司雄*
Toshio ISOHARA

抄　録

製品の環境負荷は，ライフサイクル全体での評価（ライフサイクルアセスメント，LCA）が極めて重要である。特に鉄鋼製品は製造，使用段階の環境負荷が低いのみならず，他素材と比べて極めて高い回収率とリサイクル性を有しており，その効果も含めたLCAでの環境負荷は非常に低い。鉄鋼製品のリサイクル効果の計算法については国際規格化およびJIS化されており，リサイクル効果を含めた定量的なライフサイクルでの環境負荷のデータベースが世界的に公開されている。

Abstract

It is extremely important to evaluate the environmental impact of a product in its life cycle (life cycle assessment, LCA). Steel products have a low environmental impact in the production and use phases, and have an extremely high recovery rate and recyclability compared to other materials. Thus, its life cycle environmental impact including recycling effect is very low. The calculation methodology including recycling effect of steel products has been standardized as ISO standard and JIS. A database of life cycle inventory including recycling effects is available worldwide.

1. 製品の環境負荷

鉄鋼製品に限らず，ものづくりには環境負荷を伴うため製品は環境負荷を負っている。ここで環境負荷とは，資源，エネルギーの消費や，CO_2を代表とする温室効果ガス，SO_x，NO_x等の酸性化物質，フロン等オゾン層破壊物質などの種々の環境影響物質の排出をいうが，本稿ではCO_2排出量を中心に説明することとする。

2. 環境負荷発生とライフサイクルでの環境負荷評価

製品の環境負荷は，製品のライフサイクルの各段階で発生する。具体的には，原料採掘，原料製造，素材製造，部品製造，製品製造，製品使用，製品廃棄，上記それぞれの段階における輸送，およびリサイクルの各段階がある。

各段階における環境負荷は小さいほど良いが，より重要なのは，上記各段階での合計，すなわち製品のライフサイクル全体での環境負荷である。この評価をライフサイクルアセスメント（LCA）という。

製品の環境負荷評価においてLCAは極めて重要である。例えば自動車製品の場合，製品使用時の環境負荷，つまり燃費と強い相関がある走行時排出量が注目されるが，ここに注目しすぎると，製品製造時やリサイクル性といった他の段階での環境負荷の大きさを見逃しかねない（図1）[1]。

3. 鉄鋼製品のLCA：製造段階と使用段階

自動車に用いられる各素材毎の等価機能部品あたりの製造時（原料採掘まで含む）CO_2排出量の比較を図2[2]に示す。これで明らかなように，鉄鋼製品の製造時のCO_2排出量は，アルミニウムや炭素繊維といった軽量素材と比べてかなり低い。

アルミニウムは製造時に電力を非常に多く消費するため，製造国の電源構成にCO_2排出量が大きく依存するが，現状の世界のアルミニウム生産の過半は，石炭火力発電の割合が高い中国での製造なので，製造時のCO_2排出量が非常に大きい。炭素繊維も製造時の電気加熱が多い等の理由によりCO_2排出量が高い。

鉄鋼製品使用時の環境負荷は色々な評価があるが，自動車でいえば軽量化が使用時CO_2排出量に直結するので，軽量化の指標である強度あたりの密度を図3[3]に示す。図

* 技術総括部　部長代理　　東京都千代田区丸の内2-6-1　〒100-8071

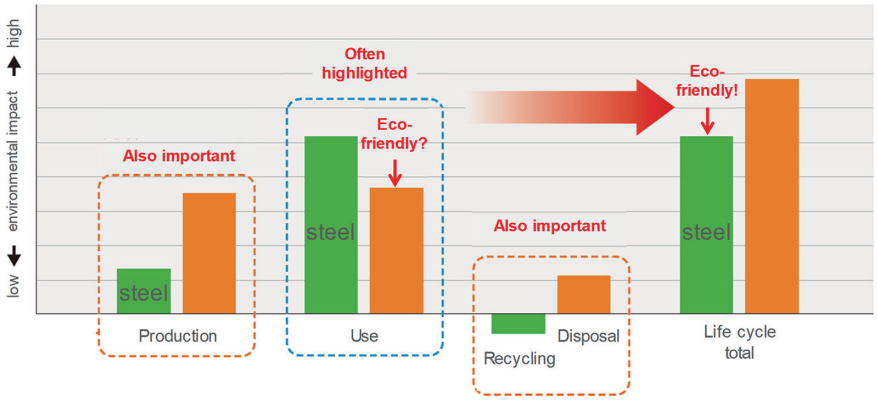

図１　ライフサイクルアセスメントの重要性[1)]
Importance of life cycle assessment[1)]

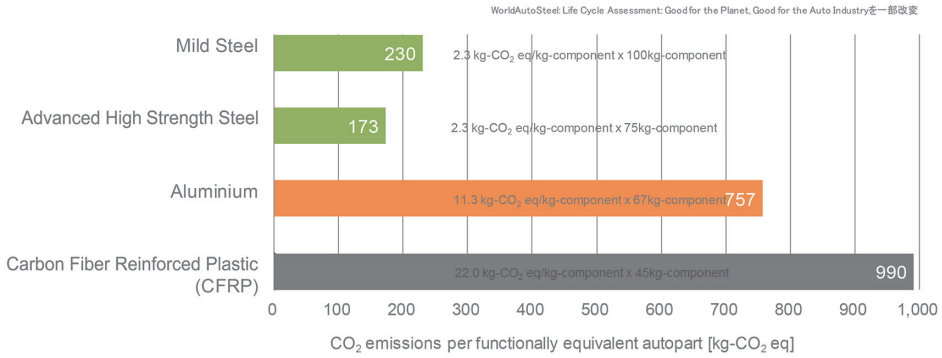

図２　各素材製造時の温室効果ガス排出量（等価機能あたり）[2)]
Greenhouse gas emissions from primary production per functional unit[2)]

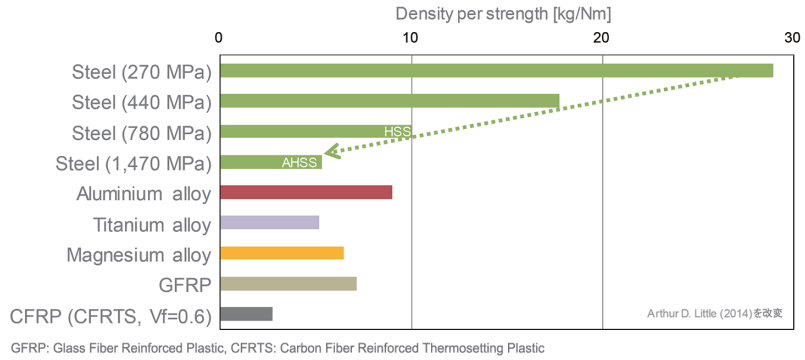

図３　各素材の強度あたりの密度[3)]
Specific density per specific strength of materials[3)]

のように自動車用鋼板の強度は非常に高くなってきているため，今や他の軽量素材と比肩しうる軽量化が実現されている。剛性等の課題は別途あるものの，鉄鋼製品は使用時の環境負荷も非常に低いといえる。

4.　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リサイクル性とその環境負荷低減効果である。鉄鋼製品は磁気選別が容易なこともありほぼ全量がスクラップとして回収されている。その上，図 4[4)] に示すように，鉄の場合は酸化精錬を行うことにより，ほとんどの不純物を除去することができるため，何度でも何にでもリサイクルできる。そのため，鉄鋼製品は，完全に閉じたリサイクル（クローズドループリサイクル）を形成している。

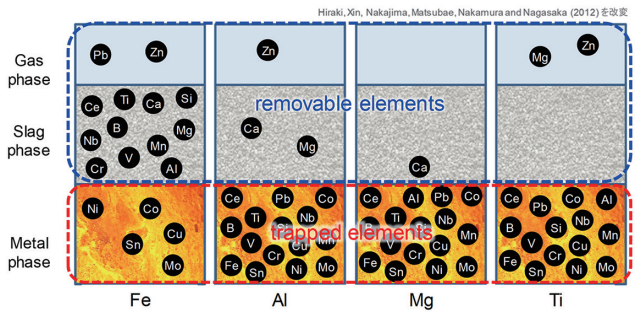

図４　酸化による不純物の除去[4)]
Removal of impurities by oxidation[4)]

これに対して他の素材は一般に回収率が低い（選別しにくい）上，不純物を取り除きにくく，鉄鋼のようなクローズドループリサイクルを実現している素材製品は少ない。

5. リサイクル効果の考え方

鉄鋼はこのようにほぼ全量がリサイクルされているため，環境負荷の計算においてはそのリサイクル効果も考慮に入れないと正しい LCA にならない。

リサイクル効果（環境負荷低減効果）の考え方は ISO 20915 規格や JIS Q 20915 に定められており[5]，図５の緑で示される。リサイクルは天然資源からの製造を回避できるので，将来生み出されるスクラップの使用により天然資源からの製造時の CO_2 排出量（A）相当量を差し引く効果（マイナスの環境負荷）がある。ただし，再生プロセスにおける CO_2 排出や，再生時の歩留，スクラップ回収率をこれに乗じる必要があり，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６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減少するので，その量を図 5 のリサイクル効果 B（図 6 では B2）から差し引く。

この場合，製造時の CO_2 排出量（A）はスクラップ使用量に応じて減少するが，その減少量は実は B1 と同じである。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環境負荷は製品製造時のスクラップ使用量によらず一定となるということを示している。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，リサイクル効果を考慮すれば製品の環境負荷は同じである。鉄鋼製品の場合リサイクル効果の影響がいかに大きいかがよくわかる。

この計算法に基づく鉄鋼製品の環境負荷の値（Life Cycle Inventory，LCI）は，日本平均値[6]，および世界平均値[7]がそれぞれ日本鉄鋼連盟，および World Steel Association（worldsteel）で公開されている。

6. LCAの考え方の重要性

図７に，350 mL の PET ボトル，アルミ缶，スチール缶の各飲料容器の LCA 結果を示す[8]。これによれば，PET ボトルやアルミ缶と比べて，スチール缶がリサイクル効果を含めても含めなくてもライフサイクル全体での CO_2 排出量が最も少ないことがわかる。また，蓋部（アルミニウム）の環境負荷が，胴部（スチール）の環境負荷と同じ位の環境負荷であることもわかる。

LCA により，素材選択の重要性，環境負荷削減対策に有効な対象等をより明確に把握することが可能になる。特に，製品の CO_2 排出削減貢献量や，リサイクル効果は LCA で初めて把握できるようになる。地球温暖化対策に向けて，企業のバリューチェーン全体での CO_2 排出量削減が求められてきつつあるが，その基礎になるのが製品の LCA であり，今後 LCA の考え方はますます重要になってくるであろう。

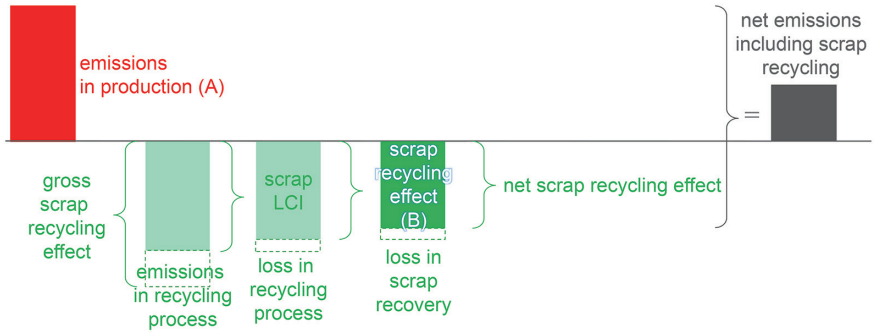

図５　ISO 20915 規格のリサイクル効果の考え方（製造時にスクラップを使用しない場合）
Calculation methodology of recycling effect in ISO 20915 standard, without use of steel scrap

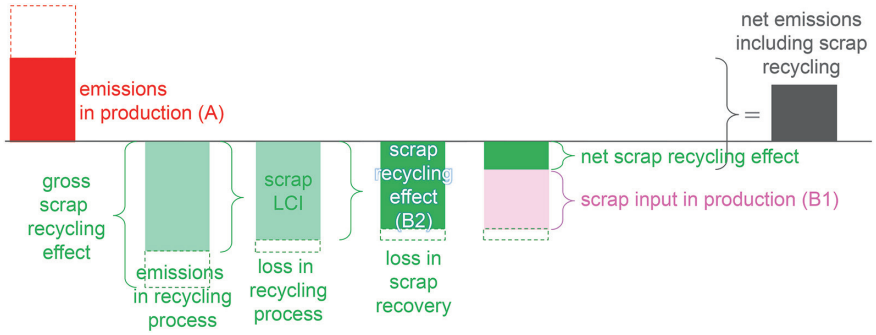

図６　ISO 20915 規格のリサイクル効果の考え方（製造時にスクラップを使用する場合）
Calculation methodology of recycling effect in ISO 20915 standard, with use of steel scrap

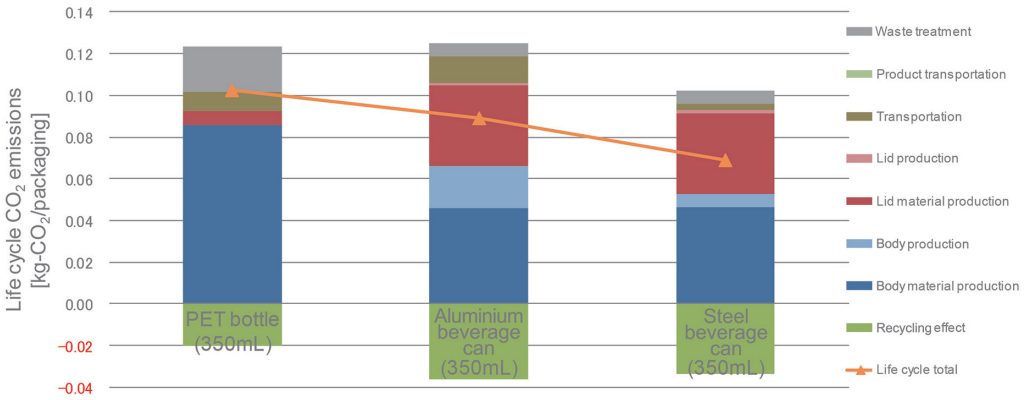

図 7　飲料容器の LCA
LCA of beverage packaging

参照文献

1) 日本製鉄(株)：季刊新日鉄住金．Vol. 20，(2017)
2) WorldAutoSteel: Life Cycle Assessment: Good for the Planet, Good for the Auto Industry を一部改変
3) アーサー・D・リトル(ジャパン)(株)：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．(2014) を改変
4) 平木岳人　ほか：第 23 回廃棄物資源循環学会研究発表会．23_269 (2012) を改変
5) 礒原豊司雄　ほか：鉄鋼製品のリサイクル効果を考慮したライフサイクルインベントリ計算法の ISO･JIS 規格化．第 15 回日本 LCA 学会研究発表会．C1-07 (2020)
6) (一社)日本鉄鋼連盟：https://www.jisf.or.jp/business/lca/data/index.html
7) World Steel Association: https://www.worldsteel.org/steel-by-topic/life-cycle-thinking/lca-lciform.html
8) (財)政策科学研究所：環境省請負調査 平成 16 年度 容器包装ライフ･サイクル･アセスメントに係る調査事業報告書―飲料容器を対象とした LCA 調査―．(2005)

礒原豊司雄　Toshio ISOHARA
技術総括部　部長代理
東京都千代田区丸の内2-6-1　〒100-8071