

LIFE CYCLE ASSESSMENT METHODOLOGY REPORT



1	エグゼクティブサマリー	5
1.1	はじめに	5
1.2	目的	5
1.3	適用範囲	6
1.4	方法論	6
2	プロジェクトの背景	7
3	調査の目的	7
4	調査の範囲	8
4.1	システムの説明の概要	8
4.2	機能単位	8
4.3	システムの境界	9
4.3.1	技術の適用範囲	11
4.3.2	地理的範囲	12
4.3.3	タイム・カバレッジ	12
4.4	LCIA カテゴリーのアプリケーションの選択の例	12
4.5	データ収集	13
4.5.1	輸送	14
4.5.2	燃料・エネルギー - アップストリームデータ	14
4.5.3	原材料 - アップストリームデータ	15
4.5.4	大気、水、土壌への排出量	16
4.5.5	再利用される廃棄物	17
4.5.6	データ品質要件	17
4.5.7	フレア	17
4.5.8	例外	18
4.6	方法論の詳細	18
4.6.1	co-products の配分 (アロケーション)	18
4.6.2	資本財	21
4.6.3	EoL のフェーズ	21
4.6.4	カットオフ基準	22
4.6.5	平均化 (averaging)	22
4.7	ソフトウェアとデータベース	23
4.8	解釈	23
4.9	クリティカル・レビュー	23
5	データ品質	23
5.1	データ品質チェック	24
5.1.1	生データ	25
5.1.2	プロセス、サイトとルートデータ	25
5.2	データギャップ	25
6	世界鉄鋼協会のライフサイクルモデルの記述	26
6.1	鉄鋼製造	26
6.2	ライフサイクルインベントリ・モデリング	26
7	LCA の結果と分析	27
7.1	エネルギー需要と環境影響領域	28
7.1.1	一次エネルギー需要	29
7.1.2	地球温暖化係数	29
7.1.3	酸性化ポテンシャル	30
7.1.4	富栄養化ポテンシャル	31
7.1.5	光化学オゾン生成ポテンシャル (POCP: Photochemical ozone creation potential)	32
7.2	鉄スクラップの LCI 値	33
8	ライフサイクル解釈	34
8.1	重要な課題の識別	34
8.2	完全性、感度、一貫性チェック	37
8.2.1	完全性	37

8.2.2 感度.....	37
8.2.3 一貫性チェック.....	39
8.3 結論、限界及び提言.....	39
8.3.1 結論.....	39
8.3.2 限界.....	39
8.3.3 データの使用勧告.....	40
Appendices.....	41
Appendix 1: Description of steel products.....	42
Appendix 2: Representation of the BOF module.....	44
Appendix 3: Steel product manufacturing flow diagrams via the BOF and EAF routes.....	45
Appendix 4: Example data collection questionnaire.....	46
Appendix 5: List of participating companies.....	49
Appendix 6: List of upstream inputs and their sources.....	50
Appendix 7: Electricity grid mix information.....	56
Appendix 8: Steel LCI data explanation.....	58
8.2.1 Iron (ore).....	58
8.2.2 Ferrous scrap (net).....	58
8.2.3 Water consumption.....	59
8.2.4 Water emissions.....	59
8.2.5 Carbon dioxide.....	59
8.2.6 Particulates to air.....	60
8.2.7 Waste.....	60
8.2.8 Primary energy demand.....	60
8.2.9 Global warming potential.....	60
8.2.10 Other articles not reported.....	61
Appendix 9: System expansion assumptions.....	62
Appendix 10 : リサイクルの方法論（和訳）.....	63
Appendix 11: Deviations from the 2000 methodology report.....	72
Appendix 12: List of all available questionnaires.....	73
Appendix 14: Critical review: World Steel Association life cycle inventory Study for steel products.....	76
References.....	79

Acronyms

AP	Acidification potential
BF	Blast furnace
BF Gas	Process gas produced in the blast furnace
BOF	Basic oxygen furnace
BOF Gas	Process gas produced in the basic oxygen furnace
CO Gas	Process gas produced in the coke ovens
CRP	Critical review panel
DRI	Direct reduced iron
EAF	Electric arc furnace
ECCS	Electrolytic chrome-coated steel (tin-free steel)
ELCD	European Reference Life Cycle Database
EP	Eutrophication potential
GWP	Global warming potential
HDG	Hot-dip galvanized steel
HRC	Hot-rolled coil
ILCD	International Reference Life Cycle Data System
ISO	International Organization for Standardization
ISSF	International Stainless Steel Forum
LCA	Life cycle assessment
LCI	Life cycle inventory
LCIA	Life cycle impact assessment
NCV	Net calorific value
PED	Primary energy demand
POCP	Photochemical oxidant creation potential
worldsteel	World Steel Association

1 エグゼクティブサマリー

1.1 はじめに

あらゆる用途に対して最も適切な材料を選択する判断は、例えば、機能性、耐久性、コストなど、多岐にわたった技術的、経済的要因の考慮に左右される。持続的発展が重要な課題となっている中、素材を指定するためにますます重要となる要因は製造、製品の性能の観点からの材料のアプリケーションに関連する環境性能である。

環境性能を評価するのに利用できるツールの中で、ライフサイクルアセスメント（LCA）は、製造、製品の使用や EoL（end-of-life）の段階のすべての段階から潜在的な影響を考慮して環境性能を評価するための総合的なアプローチを提供する。これは、cradle-to-grave（ゆりかごから墓場までアプローチ）と呼ばれる。

LCA は、一般的に 4 つの主要コンポーネントで構成されている：

- 目的と調査範囲の定義;
- ライフサイクルインベントリー（LCI） - 調査されているシステムに関連する材料、エネルギー、排出量の目録のデータの収集と算定;
- ライフサイクル影響評価（LCIA） - 様々な環境影響カテゴリーへの貢献を評価するためのデータの分析;
- 解釈 - データは方法論、範囲、および調査の目的に照らして分析される。また全ての調査結論の品質が評価される。

世界鉄鋼協会（World Steel Association, worldsteel）は、地中の原材料の採掘から製鉄所の出荷ゲートに至る範囲における 15 の鉄鋼製品を対象として、その製造に関わる資源の利用・エネルギー消費・環境への排出という 3 つの項目を定量化するために、鉄鋼業界では三度目となる LCI 調査を行った。

以前の調査は 1995～1996 年および 2000～2001 年に行われた。各調査で使用されたサイトや企業はすべて同じではなく、以前のデータ収集を使用して鋼製品分析結果の時系列を示すことは意図されていない。

2000～2001 年の調査のデータは、新規データをチェックするために使用された。この調査は 2006 年に始まり、産業界の LCA 専門家グループからの技術支援を受けて世界鉄鋼協会主導で行われた。データは 2005 年から 2008 年間の一製造年に基づいて世界鉄鋼協会会員企業から集められた。その後、LCI データは、高炉/転炉ルート（鉄鉱石、鉄スクラップに基づく）および電気炉ルート（主に鉄スクラップに基づく）を介して生成された鉄鋼業界中間生成物について計算するために使用された。

工業製品を作るダウストリーム工程とその使用はこのインベントリーには含まれていない。また、鉄鋼製品は、リサイクルの EoL の処理を含めてモデル化されている。したがって、結果は、「cradle-to-gate」の調査、または「cradle-to-gate including end-of-life recycling」の調査、どちらとしても提示することができる。後者は、「cradle-to-cradle」の調査と呼ぶこともできる。世界鉄鋼協会の調査では、ゲートを出た後の更なる鋼の加工と使用段階、また鉄スクラップの処理（例えば収集、シュレッダー処理や梱包）を除外している。

調査の境界は、特に各自の製品システムと製品の使用段階への LCA を適用している顧客と協力することによって、製鉄所のゲートを越えたダウストリーム工程も含むように拡張することができる。

1.2 目的

調査の主な目的は、鉄鋼業界の世界的な LCI のデータベースを更新すること、そして顧客や外部の調査からの依頼に応え、信頼性が高く最新のデータを提供するために、ISO 14040:2006¹ と 14044:2006² に準拠しておりすでに厳格な鉄鋼製品の LCI の方法論を更に改善することである。

モデル、方法論及びデータ収集が更新された。改善点としては、加重平均のデータセット（製品平均はサイト生産量に基づいて算出）への移行、データ品質の向上などが挙げられる。さらなる目的は、鋼の環境性能の信頼性を高め、さらに対象のテーマに対する鉄鋼業界の専門的知見を更に発展させることである。

1.3 適用範囲

調査に含まれる以下 15 の製品は鉄鋼業界の主な最終製品である：厚板、熱延コイル、酸洗熱延コイル、冷間圧延コイル、finished 冷間圧延コイル、溶融亜鉛めっき鋼、電気亜鉛めっき有機被覆鋼、スズメッキ鋼板、電解クロムメッキ鋼板（ティンフリースチール）、UO 鋼管、溶接管、形鋼、鉄筋や線材。

エンジニアリング鋼はまだ更新されていないが、やがて完成することが予定されている。

製品は、建設、自動車、包装部門を含めダウンストリームの幅広いアプリケーションへの一般的な関連性がある。年次生産は worldsteel.org から入手できる世界鉄鋼協会鉄鋼統計 Yearbook³、に掲載されている。

ステンレス鋼製品は、本調査には含まれない。最近の欧州のステンレス鋼の調査の結果は、Eurofer⁴ から利用可能になっている。世界的なステンレス鋼のデータは国際ステンレス協会⁵ から入手可能である。

合計では、24 の高炉工程と 12 の電気炉工程を含む 15 社が運営する 49 のサイトが調査に参加した。この LCI の調査にデータを提供する会社で、全世界粗鋼生産量の 25%以上を生産している。

欧州の企業（オーストリア、ベルギー、フィンランド、フランス、ドイツ、イタリア、ルクセンブルク、オランダ、ノルウェー、スペイン、スウェーデン、英国）とアジアの企業（中国、インド、日本）が多く参加しており、操業構成の典型的な範囲が含まれている。北米は世界平均のデータセットに含まれており、北アメリカの平均データセットの開発を可能にするために著しい努力がなされている。

新しいサイトや企業のデータは提出され検証された後平均データセットに追加される。このレベルの網羅性は世界鉄鋼協会 LCI の調査を鉄鋼の最も代表的な LCI 調査として位置づけ、鉄鋼製品を含む LCA 調査を行うための健全な基盤を提供するものである。

1.4 方法論

LCA / LCI の結果の品質と妥当性、およびそれらを適用及び解釈することができる範囲は、使用された方法論に大きく左右される。このため、方法論は透明性があり、十分に解説してあることが重要である。方法論の選択に関するガイダンスを提供するため、そして透明性と報告のための規則を定めるために、国際標準化機構 (ISO) の規格が開発されている。関連する ISO 規格は、次のとおりである。

- ・ ISO 14040 : 2006 - 環境マネジメント - ライフサイクルアセスメント - 原則及び枠組み
- ・ ISO 14044 : 2006 - 環境マネジメント - ライフサイクルアセスメント - 要件とガイドライン。

世界鉄鋼協会 LCI のデータセットを収集し、開発することの目的は、今後の調査の様々な新興の影響評価手法を容易にすることである。

世界鉄鋼協会 LCI の調査は、ISO 14040 および ISO 14044 に基づいて行われてきた。前回のデータ収集と方法論は、LCA の専門家のインデペンデントクリティカルレビューパネル(CRP)によるクリティカルレビューを受けた。このアプローチは、調査の整合性を向上させ、方法論構築の指針に寄与した。CRP レポート全文は 2002 年の方法論報告書、「世界鉄鋼ライフサイクルインベントリー方法論レポート 1999-2000」に含まれている。

2010 年 2 月にリリースされた新しいデータの収集は、この報告書に詳述されているいくつかの変更点以外は、同じ方法論に基づいている。これらの変更は次のとおりである。

- ・製品固有の LCI を決定するために加重平均アプローチを使用(製品の平均をサイトの生産量に基づいて算出)。
- ・更新され、より具体的(例えば国別)でありより網羅的なアップストリームデータの利用。
- ・EoL のリサイクルを含む

2002 方法論レポートからの主な変更点の概要は、Appendix 11 にある。この報告書の目的は、世界鉄鋼協会鉄による古い鉄鋼製品 LCI と新しいものを比較することではなく、鉄鋼業界が採用した方法論の概要を提供することである。

データが参照される場合、それは例示の目的のためである。

LCI の調査は、世界鉄鋼協会ライフサイクルアセスメントのエキスパートグループのプロジェクトである。

2 プロジェクトの背景

この報告書では、世界鉄鋼協会による第三次 LCI 調査の概要を示し、鉄鋼製品の LCI データの方法論、結果、及び解釈を解説する。

この調査は、最初 1995/1994 年の鉄鋼生産データについて実施された。一度目の更新は、その後 2000/1999 年のデータについて行われ、さらにデータ品質の向上に対する世界鉄鋼協会の継続的な取り組みの一環として、今回 2005/2008 年のデータに更新された。

調査の主な目的は、世界レベル及び地域レベルの鉄鋼製品 LCI データを更新することである。現在利用可能な地域データは欧州のデータのみであるが、今後アジアや北米のデータも含まれるように拡張される。他のデータセットは限られた正確さや代表性のもとに作成されている、または古い情報を含んでいると考えられている。世界鉄鋼協会のデータには、データ収集および LCI の計算のための普遍的な方法論を用いて個々のサイトで収集された 2005 年から 2008 年の操業期間に関するデータが含まれている。

データ収集と方法論の開発は、世界の鉄鋼業界の内部と外部の両方の使用に堪えうる洗練された鉄鋼製品 LCI のデータベースを提供するために、大がかりな品質管理の対象となっている。

この報告書は、LCI の手法の詳細を説明することを目的としており、鉄鋼業界の生産プロセスの詳細については、他の出版物から入手可能である（世界鉄鋼協会ウェブサイトの worldsteel.org と steeluniversity.org を介して利用可能）。

この報告書は、広範囲にわたって詳細を記載しており、このデータを使用する鉄鋼業界の代表者と第三者との間の対話の基礎となることを意図している。

本書及び LCI データの両方の改善に関する提言を歓迎する。提言は世界鉄鋼協会 LCI データベースが将来更新される際に考慮される。

世界鉄鋼協会 LCI の調査は、ISO14040 : 2006 および 14044:2006 に基づいて行われており、更新された方法論と調査の報告は、専門家の独立したパネル（CRP）によってクリティカルレビューを受けている。このアプローチは、試験の完全性を改善し、透明性を確立するのに役立っている。最終的な CRP の報告書は、本報告書の Appendix 14 に示す。

更に、データ自体は欧州委員会の国際基準ライフサイクルデータシステム（ILCD）のガイドライン⁷に関連して審査を受けている。これらのガイドラインは ISO 14040:2006 及び 14044:2006 に基づいており、ライフサイクルデータ、方法および評価の質と一貫性を確保するとともに、詳細な LCA 調査のための技術的指針を提供している。

3 調査の目的

他の産業と同じく、鉄鋼業界内でも LCA は更なる関心の高まりをみせているテーマである。いくつかの鉄鋼会社と地域の鉄鋼協会は、主に包装、建設、自動車用アプリケーションに関連する独自の LCA 検討を行った。これらの調査はシステムの境界や方法論、目的が異なっていたとして、1996 年に世界鉄鋼協会の理事会は、矛盾や手間の重複を避けるために、最初のグローバル「鉄鋼業の製品の LCI」を開始した。1999/2000 データの更新と 2010 年にリリースされたこのデータの更新は同じ基準に従う。これらの更新は、世界鉄鋼業のより最新のデータを取得するために行われた。

このプロジェクトの目的は、次のとおりである。

- この 2010 アップデート調査のための元および更新された調査から鉄鋼製品 LCI のための世界共通の方法論を開発する。
- 鉄鋼業界の製品の世界的な LCI のデータを構築する。LCI は cradle-to-gate のデータおよび EoL のリサイクルを含む cradle-to-gate のデータの両方である。
- 業界の利害関係者とのコミュニケーションをサポートする。
- 業界のベンチマーク作成と環境改善プログラムを支援する。

各データ収集プロジェクトでは、方法論のレポートが生成され、LCA に関する ISO 規格の遵守を確保するためのクリティカルレビューを受けた。

調査の対象読者は、世界鉄鋼協会とそのメンバーが含まれている。さらに、集約され平均化されたデータは、鉄鋼業界の顧客、政策立案者、LCA の実務家、学界などの専門家および非専門家による、さまざまな外部活用のために提供される。データはまた、公共および独自のデータベースにて利用可能になる。

この LCI のデータは、より広範な境界と製品ライフサイクル全体での、LCIA を含む包括的な LCA のための基礎である。さらに、このデータは、製品のカーボンフットプリントのような単一の問題に対処するために使用することもできる。

この調査の結果は一般に公開された比較主張の中で使用することを意図するものではない。しかし、このデータは、比較主張が行われ、その調査の個別審査が行われる場合の調査には用いることができる。

データは、以下を含む他の目的のためにも使用することができる：

- エコデザイン/リサイクルアプリケーション用デザイン
- 特定の製品のベンチマーク
- 調達とサプライチェーンの意思決定
- 製品のタイプ I エコラベル基準に含める
- 特定の製品のライフサイクルベースタイプ III 環境製品宣言に含める
- 特定の指標の分析、例えば、カーボンフットプリントや一次エネルギー消費量。

以前のデータ収集調査との比較は行われていないが、これは後日行われることが計画されている。

結果の全体的なレベルは、以前の鉄鋼 LCI データと同じレベルにあり、特定の LCI の値が増減する変化が生じた。モデルおよび方法に加えられた変更は、データの品質および代表性を改善するためになされている。

適切な場合には保守的なアプローチがとられている。

4 調査の範囲

4.1 システムの説明の概要

LCA 調査の範囲は、ISO 14044:2006 のセクション 4.2.3.1 で定義されており、その中で特に、機能、機能単位、システム境界、調査のカットオフ基準を概説している。これらは、以下のセクションで概説されている。

4.2 機能単位

本調査の範囲内では、機能単位は、工場ゲート出荷時の鉄鋼製品 1 キロの生産である。アップストリームの影響は鉄鋼生産に加えて含まれているため、提供されたデータは、cradle-to-gate 間のデータと呼ばれている。

データが EoL リサイクルを含む cradle-to-gate として供給されることが意図される場合、機能には、製鋼工程で使用されるスクラップのアップストリームの負担と、鉄鋼製品の EoL リサイクルに関連するクレジットが含まれている。

鉄鋼生産システムからの co-products の生成に関する更なる機能は、セクション 4.6.1 で説明されているように、ISO 14040:2006 で推奨されている配分の手順を使用して考えられた。

この調査には 15 の鋼製品（下記 Table 1 参照）が含まれている。それらは鉄鋼製品の大部分 (> 95%) を占めるため、これらの製品が選択された。この段階で含まれていない他の製品は、通常以下に示す製品のいずれかから製造される。

寸法の範囲、厚さ、コーティングの厚さなどの各鉄鋼製品の詳細な仕様は、技術、設備と製品範囲に応じて、サイトごとに異なっており、詳細は Appendix 1 に詳述されている。製品カテゴリー内の仕様の範囲は、ある程度地域的・世界的な LCI の範囲に影響する。

データを提供するサイトの十分な数が存在していなかったとしてエンジニアリング鋼データがまだリストに含まれていない。エンジニアリング鋼と他の鉄鋼製品についてはデータ収集が継続中である。

この調査では、炭素及び低合金鋼（2%未満の合金含有量を有するもの）に着目した。特に、ステンレス鋼（少なくとも 12%のクロムを有する）は調査範囲外であったが、別の調査の基礎を形成する⁵。

Table 1: List of products covered by the study.

Product category	Manufacturing route	List of products
Long products	Blast furnace route and electric arc furnace route	Sections Rebar* Wire rod*
Flat products	Blast furnace route	Plate Hot-rolled coil Cold-rolled coil Pickled hot-rolled coil Finished cold-rolled coil Electrogalvanized* Hot-dip galvanized Tin-free steel Tinplated products Organic coated flats Welded pipes UO pipes

* only global data is currently available

4.3 システムの境界

この調査では、鋼の EoL のリサイクルを含む場合、または含まない場合の二通りを考えた、cradle-to-gate LCI の調査である（図 1 および以下の 2 を参照）。つまり、地中の原料（すなわちクレードル）から製鉄所から出荷する準備ができている完成製品（すなわちゲート）まで、製造工程の全てをカバーしている。EoL のリサイクルを含む cradle-to-gate LCI の調査では、EoL で、社会での使用寿命を全うした最終製品から鉄鋼をリサイクル（EoL スクラップ）することに関連した、正味のクレジットが含まれている。川下の最終製品の製造又はその使用は含まれていない。

鋼は多くの異なる用途で使用されているため、使用段階については、世界鉄鋼協会が提供する cradle-to-gate 間のデータセットに基づいて、鋼製品のダウストリームของผู้者によってモデル化されなければならない。鋼の使用者が材料レベルでの EoL のクレジットを含む鋼データセットを使用する場合、ユーザーがダウストリームの製品の end-of-life をモデルするときには二重カウントが発生していないことを確認しなければならない。

また、重要性に基づいて、cradle-to-gate（リサイクルありとリサイクルなし）インベントリーには次のものが含まれていない：研究開発、ビジネス出張、生産、閉鎖、修理、メンテナンス、清掃、法律サービス、マーケティング、管理事務所の運営、その他

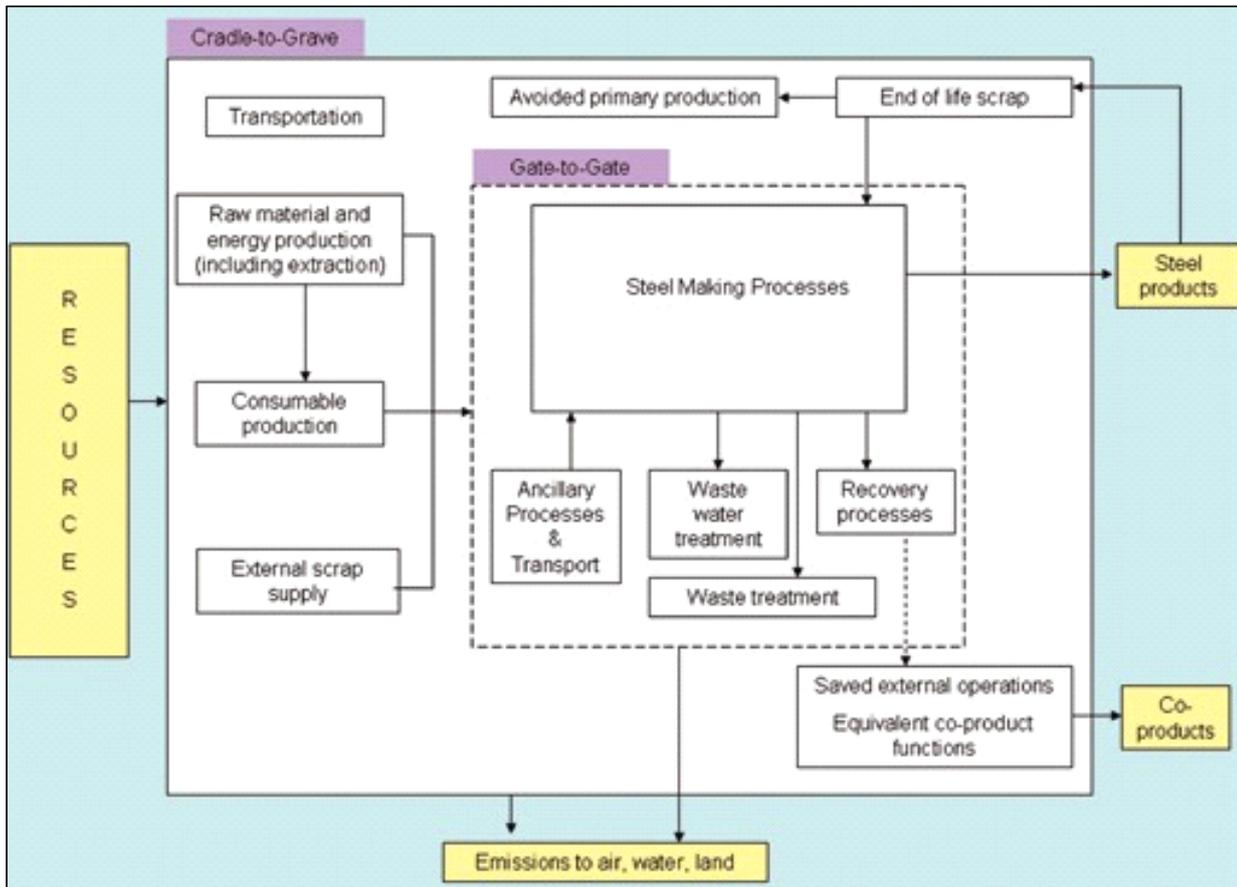


Figure 1: System overview, with end-of-life recycling

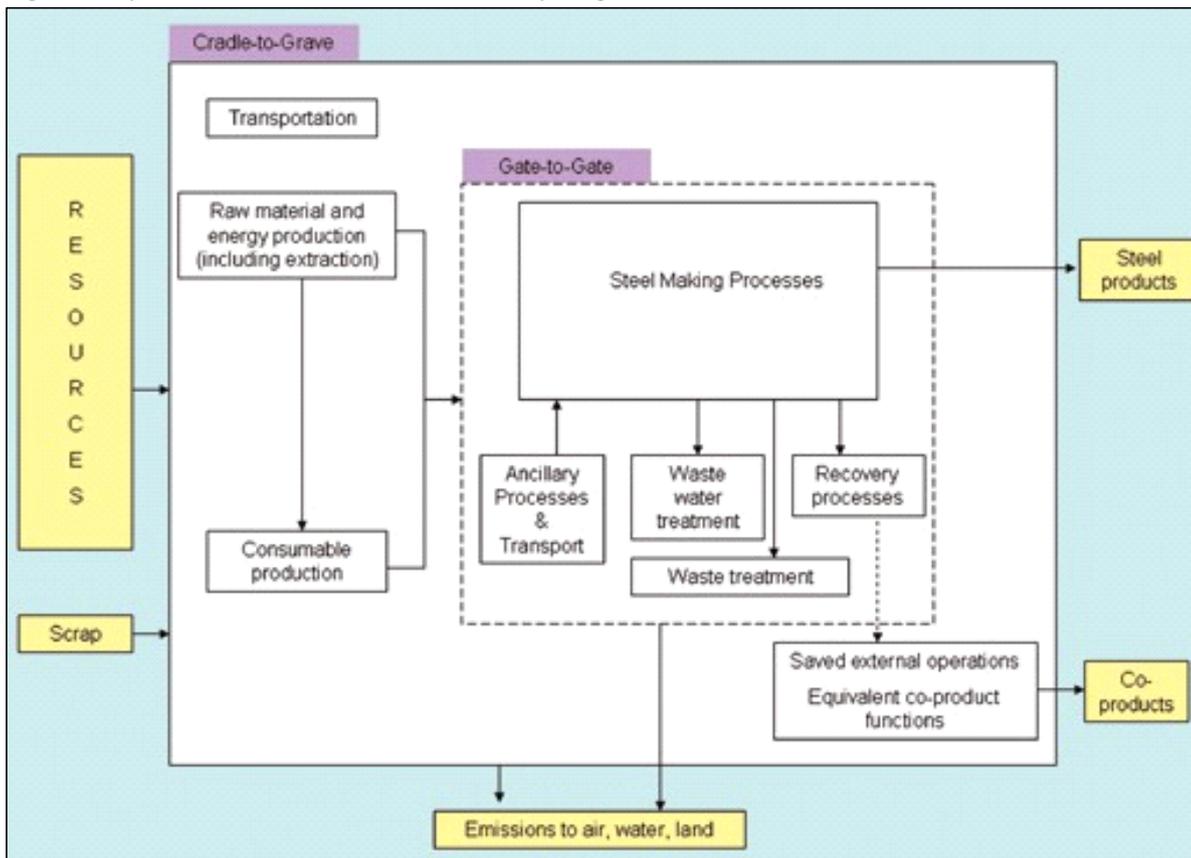


Figure 2: System overview, without end-of-life recycling

Figure 1 および Figure 2 に示すように、鉄鋼製品 LCI のシステム境界は、製鉄所内の活動、インプットされる原料の生産と輸送、エネルギー源およびその他製鉄に使われる消耗品（内部輸送のためのディーゼル、酸素、窒素など）を包含する。

また、製鉄所の外にある鉄鋼業界の co-products の回収および使用は、4.6.1 項で説明したように、システム拡張法を使用して考慮される。外部からのスクラップは取扱商社や他の鉄鋼生産設備、市町村の施設から供給される。Figure 1 に示されるように、EoL のリサイクルを含む cradle-to-gate データについては、最終製品の耐用年数終了時(EoL)における鉄スクラップリサイクルのクレジット及び鉄スクラップの使用に係るアップストリームの負荷は、このデータ収集の方法論及び範囲に含まれている。この負荷とクレジットを計算するための方法論はセクション 4.6.2 に含まれている。

様々なシステム構成要素を表す用語は次の通りである。「ルート」は、アップストリームの供給、輸送、co-products クレジットを含む包括的な cradle-to-gate システムを指す。「サイト」は、製鉄所の境界を指す。「プロセス」は「サイト」と「ルート」内のコンポーネントの単位工程である。この「プロセス」とは、主要プロセス及びそれに付随する個別設備（例えば、コークス炉や高炉）、または製鉄所における共通ユーティリティ（例：電気または蒸気を生成する発電所）を指す。こうした各プロセスについて、調査に参加するサイトがデータを提供するために必要とされる、全ての関連するインプットおよびアウトプットフローが特定されている。BOF モジュールの表現は、Appendix 2 に示す。

個々のプロセス（例えば焼結炉）を利用することにより、製鉄所で生成される中間材料の平均データセットを作成することができる。これは、特定のプロセスそれぞれの生産量に基づいた加重平均である。これは、例えば、コークス、焼結、溶銑などの原料をインポートしているサイトのために必要である。

個々のプロセスの分析は、データ/エラー分析を容易にするためにも使用することができる。また、ベンチマークや環境改善のための結果の潜在的な使用を支援することができる。

Table 2: Number of process stages represented in the study

Process stage	No. of processes	Process Stage	No. of processes
Cokemaking	21	Electrogalvanizing	5
Sintermaking	22	Hot-dip galvanizing	17
Pellet plant	4	Tin-free mill (ECCS)	4
Blast furnace	24	Tinplate mill	11
Direct reduced iron	1	Organic coating line	9
Basic oxygen furnace	24	Section mill	8
Electric arc furnace	12	Heavy plate mill	7
Hot strip mill	19	Rebar	6
Pickling plant	20	UO pipe	4
Cold-rolling mill	20	Welded pipe	4
Annealing and tempering mill	19	Wire rod	8
Total processes			269

主なデータは、22 の鉄鋼製造プロセスの段階ごと（Table 2 に分類表示される）、加えてボイラー、コンプレッサー、取水、排水、ヤードからの排出、輸送、NCV (net calorific value)、特定のフローの鉄及び炭素含有量について収集された。データはプロセスガスやスラグなどの鉄鋼業の co-products の使用についても収集された。

BOF ルートおよび EAF ルートを介する鉄鋼製品の製造フロー図を Appendix 3 に示す。

4.3.1 技術の適用範囲

鋼は主に 2 つの製造ルートにより生産されている。高炉/転炉ルートおよび電炉のルート（それぞれ、BOF および EAF ルート）である。

BOF ルートは、主に鉱石ベースであり、一般的には 35%またはそれ以下のスクラップを使用している⁸。このルートの製鋼段階は BOF を用いて行われる。EAF ルートは主に、100%スクラップベースの製鋼工程である。両方のルートは継続的に熱・冷間圧延プロセスに送りこまれる半製品を製造している。板製品の冷間圧延とコーティング、仕上げ工程が一緒になったものが、「冷間圧延ルート」とここでは呼ばれている。

原則として、すべての製品は、両方の処理ルートによって製造することができる。たとえば、多くの場合 EAF プロセスから生産される鉄鋼セクションは、タタ・スチールでは BOF と EAF 両方のルートで生産されている。また、一般的に BOF の製品と考えられているものが、ニューコアでは EAF ルートで生産されている。

条鋼製品は EAF と BOF 両方のルートから製造されている一方、板製品は多くの場合 BOF ルートにより製造される。これらのルートの両方が、このデータの更新に反映されており、各プロセスのためのデータを提供したサイトの数は Table 2 に明記されている。

平炉プロセスやインゴット鋳鋼製品などの製鉄技術は含まれていない。平炉製鋼およびインゴット鋳造技術は、経済的および環境上の理由から減少しており、CIS 及びインドで主に使用される傾向がある（セクション 4.5.8 を参照）。

4.3.2 地理的範囲

この調査に参加している鉄鋼会社は合わせて世界の鉄鋼生産量の 25%以上を生産しており、貢献サイト（世界の鉄鋼生産の 10%を生産している）は主要な生産国の中で特に生産量の多い国々である。参加率が一番高いのはヨーロッパである。参加しているサイトは、欧州の鉄鋼生産の 30%以上を占めている。参加企業のリストは、Appendix 5 に示す。

17 カ国に位置する計 49 サイトが調査に参加した。このデータは世界的な粗鋼生産の 10 パーセントを少し上回るぐらいであるが、主要な鉄鋼生産国と地域が含まれている：中国、インド、日本、北米、南米、ヨーロッパ。

データセットは公開され、利用できるようになってきているが、新たにデータを提供したい企業やサイトは、このデータセットの将来のアップデートに含まれる。データ収集は、より多くの会社で進行中であり、このデータが平均データセットに追加されることによりデータの代表性は向上していく。

現在、地域統計の報告のために定義されたグループは、世界全体及び欧州のデータが含まれている。アジアや北米のデータがまもなく利用できるようになる。鉄鋼製品は主に地域レベルやグローバルレベルで取引されているため、各国個別のデータよりもグローバル及び地域レベルの LCI 平均のほうが適切と考えられている。

4.3.3 タイム・カバレッジ

データ収集は一年間分のオペレーションに関連しており、データの年は各データポイントについての Questionnaire に示されている。データの大部分は 2005 年から 2008 年までの期間に集められており、この期間における世界の鉄鋼生産の代表であると考えられる。鉄鋼製造プロセスの改善は継続的に行われているが、これは他の主要な世界的変化よりも緩やかなものである。

4.4 LCIA カテゴリーのアプリケーションの選択の例

この LCI 調査では、将来の調査で様々な影響領域を検討することができるようにするため、鉄鋼製造ルートからのインプットとアウトプットをできるだけ多く含めることを目指した。主要なデータカテゴリの方法論的な側面は、セクション 4.5 で説明されている。

この調査の目的は、数々の異なる鉄鋼製品の LCI プロファイルを提供することであり、影響領域を分析することではない（影響領域は LCI プロファイルに含まれていないため）。また、正規化、グループ化や重み付けは世界鉄鋼協会の LCI データには適用されていない。

世界鉄鋼協会は、情報提供のみを目的として提供されている地球温暖化ポテンシャルを除いて、影響領域の情報は提供していない。しかしながら、ユーザーに提供された世界鉄鋼協会の LCI プロファイルは、ユーザーの選択するインパクト手法に従って、LCIA 結果を計算するために使用される。したがって LCIA 結果の選集は、

説明のみを目的としてこのレポートに含まれており、第 7 章でさらに詳細に書かれている。影響評価はライデン大学環境科学センターで取りまとめられた手法とデータに基づいている（CML 2001- Dec.079）。

例として選択された次の LCIA カテゴリーは、LCI のデータに適用される。

- 地球温暖化ポテンシャル（GWP、100 年指数）：地球規模で影響のある影響評価レベル；GWP は、主に鉄鋼業界からの温室効果ガス排出量の 98%以上を占める二酸化炭素とメタンの排出からもたらされる。予備的影響評価では、他の温室効果ガスは、CO₂ 換算ベースで、鉄鋼業界の温室効果ガス排出量の 2%以下に過ぎなかった。
- 酸性化ポテンシャル（AP）：地域的な影響のある影響評価レベル；AP は主に SO₂ と NO_x に起因する。
- 富栄養化ポテンシャル（EP）：地域的な影響のある影響評価レベル；鉄鋼業界内で、EP は主に NO_x 排出からもたらされる。
- 光化学オキシダントの生成ポテンシャル（POCP）：地域的な影響のある影響評価レベル；POCP（夏のスモッグとしても知られている）は、鉄鋼業界では主に一酸化炭素の排出からもたらされる。

完全な評価のためには、例えば生体（人）毒性、生態毒性、オゾン層破壊係数等、考慮される必要がある他の影響カテゴリーがある。

4.5 データ収集

世界鉄鋼協会の LCI モデルは GaBi4 上に作成されたものである。これは、TEAM LCA モデリングソフトで作成された、これまでの 2 回のデータ収集調査で用いられた以前の鉄鋼業界のモデルに基づいている。このモデルは、世界鉄鋼協会の LCA マネージャー、PE International と世界鉄鋼協会メンバーを含む専門家チームによって作成されており、鉄鋼生産プロセスを表している。

サイトのデータは、SoFi として知られているインターネットベースの GaBi Web Questionnaire を使用して収集されている。LCA ソフトウェアシステム GaBi4 は、特定のインターフェースを介して、Web ベースの Questionnaire プラットフォームと通信する。Questionnaire は Web プラットフォームにアップロードされており、各企業は、特定の Questionnaire に個別のパスワードで保護されたアクセス権を持っている。

別個の Questionnaire はプロセス段階の各々について利用可能であり、その例を Appendix 4 に示す。ボイラー/発電所、コンプレッサー、交流発電機等の補助的なユーティリティについても同様に用いる。各 Questionnaire には、次のようなカテゴリーのインプットとアウトプットのフローのリストが含まれている：材料やエネルギーのインプット、大気と水への排出、廃棄物、製品および co-products、回収された物質。

輸送データとフロー属性情報（例えば、真発熱量や、鉄または炭素含有量）などのさらなる情報も、Questionnaire に設けられている。管理者によるアクセス権の中央配分は、収集されたすべてのデータの機密性を確保する。

鉄鋼製造プロセスのアップストリームのインプットの詳細は、Appendix 6 に詳述されている。

GaBi Web Questionnaire のためのトレーニングマニュアルが利用可能である。また、Questionnaire の次のような特徴も、データ収集を容易にする。

- GaBi Web Questionnaire は、データを Excel で収集し関連する questionnaire にインポートすることを可能にする、エクスポート機能を持っている
- 各 Questionnaire では、その Questionnaire の単位製品あたりの各フローの量が示されている。これは、フローの値が正しい範囲と桁数であるかどうかを確認する簡単な方法を提供し、単位のエラーを回避するために役立つ。
- 鉄、炭素及び質量収支は、データ提出の検証を有効にするため、プロセスとサイトのレベルで見ることが出来る。

高品質のデータセットを確保するため、データは世界鉄鋼協会会員企業（つまり鉄鋼生産企業）によって、個々のサイトとプロセスごとに収集される。このデータは正常時及び非常時の操業を表すが、事故、流出や、同様の事象は除かれている。

データが GaBi Web Questionnaire で提供されると、まず各サイトの炭素、質量とエネルギー収支に対して基本的なチェックが行われる。次に、データを直接世界鉄鋼協会 GaBi モデルにインポートできる XML ファイルを作成するエクスポート機能を使用して、GaBi Web Questionnaire からエクスポートされる。この機能を使用することは、データ収集ツール（GaBi Web Questionnaire）とデータモデリングツール（GaBi）との間のデータ転送時の潜在的なエラーを除去することができるため、非常に有益である。

4.5.1 輸送

構内輸送の環境負荷は非常に小さい。最初の調査に使われたいくつかのサイトのレビューからは、粗鋼生産 1kg 当たり平均 0.001 リットルのディーゼル油が内部輸送のために消費されることが分かった。これはおよそ 0.03MJ 燃料エネルギー/kg 鉄鋼製品に一致する。それにもかかわらず、サイト内の鉄道車両用の電力ディーゼル消費量の燃焼は含まれており、調査に参加している各会社に対しても同じであると、保守的に考えられている。

外部輸送に関しては、主原料の質量、製鉄所へ輸送する手段及び距離が企業によって Questionnaire に記録された。これには鉄道（電気やディーゼルを搭載）、道路、海と川における輸送などが含まれた。

これらの輸送オプションのモデルは GaBi4 データベースから来ており、平均的な燃料供給で構成されている。平均的な燃料供給のデータは、ディーゼルについては EU15、そして重油、軽油と電気については EU25 のデータに基づいている。

すべての輸送モデルの機能単位は kg*km である。輸送は鉄鉱石、ペレット、石炭、スクラップ、石灰石、石灰、ドロマイト、また鉄鋼中間製品に含まれている。これらの原料はインプットの総トン数の重量比で 95%以上を占める（輸送されない水は除く）。

製鉄所のゲートからの、鉄鋼製品やその他の co-products の輸送は、LCIには含まれていない。

4.5.2 燃料・エネルギー - アップストリームデータ

すべてのエネルギー・インプット（例えば電気、加熱用燃料、内部輸送用ディーゼル）については、国/地域固有のアップストリームのインベントリが考慮されている。すべてのアップストリームデータが更新されている。電気と石炭については、前回のデータ収集以来重要な変更が行われているため、次のセクションで更に詳しく説明する。

4.5.2.1 電気

個々のサイトに関連付けられたグリッド電力の生産は、特に CO₂ 排出量に関して、LCIに大きな影響を与える可能性がある。したがって、それぞれの国のためにカスタマイズされた。データを提供している各サイトには、GaBi4 データベースで定義されているように、国別の電源構成が使用されている。

GaBi4 データベースから取得された電力の LCI プロファイルは、関連する cradle-to-gate システムの消費ミックス分析に基づいて、関連する環境負荷を定量化する。これには、国内の発電および特定の国にとっては最も重要な輸入品が含まれる。Appendix 7 は、この調査に使用された電源構成に関する詳細情報を提供する。

4.5.2.2 石炭

石炭のデータは過去の調査以来、大幅に改善された。使用されてきた世界の平均原料炭ミックスは、各国の 2006 年度のデータから作成された。これは、2006 年国際エネルギー機関（IEA）原料炭生産ミックスに応じ、（世界平均原料炭の低位発熱量 29.02 MJ/kg を使用）。石炭は、多くの場合、多くの様々な供給業者から供給され、この情報が世界鉄鋼協会に鉄鋼メーカーから提供されていないため、平均原料炭ミックスを使用した。

炭鉱から港や国の国境への、鉄道及び/または内陸輸送車による石炭製品の輸送が含まれている。生産国から消費国への国際輸送は、原料炭のデータセットから除外されており、この情報は、自分のサイトで石炭を使用している鉄鋼メーカー各社からの LCI データ収集 Questionnaire に提供されている。

データセットは、石炭採掘から石炭の選鉱までのサプライチェーン全体だけでなく、生産国の石炭ターミナルへの輸送を考慮する。すべての関連プロセス工程や技術はカバーされている。データは、坑内掘（約 67%）と露天掘（約 33%）を表している。インベントリーは、主に二次および文献データに基づいている。

メタン排出に関しては、正味値（発生する炭鉱メタン排出量から、使用する炭鉱メタンの排出量を引いた差）が提供されている。炭鉱メタン排出量のデータは、国際エネルギー機関(IEA)、地球科学・天然資源のためのドイツ連邦調査所 (BGR)、気候変動に関する国際連合枠組条約 (UNFCCC) から取得されている。炭鉱メタンの排出量は、世界の原料炭ミックスのサプライチェーンに対して、GWP に 62.2% 寄与している。

4.5.3 原材料 - アップストリームデータ

鉄鋼業界外のプロセスに関するデータ（例えばアップストリームの原料生産）は、調査で使用するために収集された。高いレベルのデータ品質を確保するため、世界鉄鋼協会はグローバル LCI の結果に大きく寄与していると判断されたアップストリーム工程に関わるデータを、直接他業界から、または業界団体から取得した。

可能な場合、データは材料の協会から直接取得された。それ以外の場合には、GaBi4 プロフェッショナル・データベースから取得された。これらのデータセットの導出のための方法論は、世界鉄鋼協会プロジェクトの範囲外であるが、主要な方法論とデータ品質面では世界鉄鋼協会の方法論と一致している。

アップストリームデータは、鉄鋼業の中で生産されているが、常に各企業がサイト内で生産しているとは限らない製品（例えば、コークス、焼結、溶銑）のためにも必要とされた。これについては、セクション 4.5.3.3 にさらに記載されている。

4.5.3.1 鉄鉱石

鉄鉱石は微粉状またはペレット状いずれかの状態で製鉄所に輸送される。これは、元の鉱石の品質と製鉄所の操業方法によって異なる。ペレット化は、高炉内で十分な通気性を確保するために非常に微細な鉱石に対して行われる。同様に粉鉱石は、高炉に装入するのに適した大きさ、気孔率及び強度の「graded sinter」と呼ばれる凝集した生成物を得るために、焼結される。

焼結は常に製鉄所で行われるが、ペレット化は鉱山会社あるいは鉄鋼メーカーのいずれかによって行われる。世界鉄鋼協会の LCA モデル内で使用されるアップストリームのペレット化データは、製鉄所の中におけるペレット化操業データに基づいている。製鉄所内のペレット化は一般的にプロセスガスを使用しており、プロセスガスの方が独立したペレット化工場で使用される購入電力よりも二酸化炭素排出濃度が高いため、GWP の観点からすると、環境への影響は通常高い。

LCI の調査の中で使用されている鉄鉱石採掘のアップストリームモデルは更新されている。この LCI データは鉄鉱石採掘産業による一次データであり、2008 年以降の鉄鉱石の採掘のものが収集されている。データは鉄鉱石生産の約 2.5 億トン占める 7 つの鉄鉱石鉱山をカバーしている。2008 年の世界の鉄鉱石生産は 21.8 億トンだった。

4.5.3.2 鉄スクラップ

スクラップの収集、分別および処理（例えばシュレッダー）のアップストリームデータはまだこの調査には含まれていない。次回のデータ更新に組み込まれる予定である。ただし、一般的に無視できるほど微細なものではあるが、外部から供給されるスクラップに関してはスクラップ取扱商社、地方自治体の施設や他の工場から製鉄所へのスクラップ輸送に伴う環境負荷が含まれている。最終製品の EoL における鉄鋼のリサイクル性を考慮する場合、スクラップの価値を示す環境負荷（Appendix 10 参照）は、鉄鋼製造プロセスへのスクラップのインプット及び最終製品が EoL に到達したときにリサイクルされる鉄鋼に対するクレジットに適用される。

これにより、最終製品の製造と使用段階を除き、ゆりかごから墓場までのデータ(Cradle to Grave Data)として鉄鋼製品の LCI データを利用することができる。この負担とクレジットを計算するための手順は、4.6.3 項で説明する。

製鋼工程へのスクラップ・インプットは 3 つの方法のいずれかで定義されている。

1. 内部スクラップ：BOF または EAF から発生し、同じ BOF または EAF に戻される鉄スクラップ
2. ホームスクラップ：製鉄所内のプロセス（BOF、EAF 以外）から発生し、BOF または EAF プロセスに戻される鉄スクラップ。
3. 外部スクラップ：製鉄所の境界外、所外から供給される鉄スクラップ。

4.5.3.3 所外から供給される中間生成物

半製品（製鋼段階での連続鋳造製品）は時々外部供給によって製鉄所へ持ち込まれる。サイトが特定可能である（これは一般的なケースである）場合には、中間生成物のアップストリームデータをダウンストリームの処理サイトに接続できるように、二つのサイトが GaBi モデル内で連結される。半製品の調達元が知られていない場合には、その製品の世界平均値が用いられる。

コークス、焼結、ペレット、還元鉄と溶銑も外部から供給することがある。これらは相当な量である可能性があるため、グローバルな LCI 調査の平均データが割り当てられた。それらはすべてグローバルに取引されるため、それに見合うよう輸送も含まれている。

4.5.4 大気、水、土壌への排出量

すべての既知の大気と水の排出量のリストが各工程段階に定義・策定されており、データ収集のためサイトの Questionnaire に含まれている。測定技術にはサイトによって差があるため、調査票で使用されるフローの合計リストは、1 サイトで定期的に収集される典型的な排出量のモニタリングデータよりも広範囲である。しかし、全項目リストはすべてのサイトが独自の排出データを提供することを可能にする。

サイトによってはデータの入手が困難な場合もあり、排出値は知られていなかった。特定の製鉄プロセスには、大気と水両方へ多数の排出フローがあることが知られており、これらは「算定報告対象排出（accounted emissions）」と定義され、以下にリストされている。

サイトがこのようなフローのためのデータを提供できない場合、これらのフローの平均値を意図的に減らすことを避けるため（サイトのデータの値がゼロであるとわからない）、サイトの「欠落データ(missing data)」には平均的なデータが割り当てられる。この平均値は、最低 3 つのサイトがデータを提供している場合、以下の対象フローの各々に関するデータを提出しているサイトと世界の平均値に基づいて算出される。二酸化炭素は、すべてのサイトから提供されている。他のフローについては、算定報告対象排出のデータを提供していないサイトは、5%~85%の範囲である。

Table 3: List of accounted air and water emissions

Accounted emission		Flows
Air	Greenhouse gases	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O
	Acidification gases	NO _x , SO _x as SO ₂ , HCl, H ₂ S
	Organic emissions	Dioxins VOCs (excluding methane)
	Metals	Cd, Cr, Pb, Zn
	Others	CO, Particulates (Total)

Water	Metals	Cr, Fe, Zn, Pb, Ni, Cd
	Others	N (except ammonia), P compounds, Ammonia, COD, Suspended matter

Table 3 のリストは、地球温暖化、大気の酸性化および富栄養化の指標、いくつかの金属、および水へのいくつかの追加的な排出が含まれている。大気と水の対象物質の詳細な説明は、Appendix 8に記載されている。

他の非対象排出（non-accounted emissions）も依然として重要な排出であると考えられており、データ収集時に提供された場合にはデータに含まれている。これらは一般的に、すべての製鉄所には存在するわけではなく、生産工程や原材料のインプットに応じて特定の工場から排出されるものである。したがって、すべてのサイトの欠落データに平均値が割り当てられることはない。

漏洩による排出量は、粒子状物質/ダスト排出量に統合されている。

特に水への排出量については、Questionnaire に記録される時、取水中の汚染物質量は、製鋼工程に帰属しないため、排水処理後に放出された水中の汚染物質から差し引かれた。都市部や工業地帯のダウンストリームのあるいくつかのサイトでは、放出水は摂取水よりもより純度が高い。ただし、サイトに入るこの（「汚染」）水の品質は、多くの場合提供されていない。そのため、水域への排出量の値は、正味排出量の面で過大評価されている可能性がある。

特定の鉄鋼製造プロセスのデータが入手不可能だった場合には、サイトの排水処理時に合算データが収集され、これらの環境負荷は、粗鋼に直接配分された。これは、BOF と EAF の Questionnaire のいずれかでデータが収集され、提出されたことを意味している。

埋立地（製鉄所の内部と外部の両方）に処分された材料と、焼却された材料は、廃棄物として分類された。

4.5.5 再利用される廃棄物

サイト内で回収された材料は、生成されたプロセスからのアウトプット、再度使用したプロセスのインプットとされた。各材料の正味のバランスは鉄鋼製品のモデルで算出した。スクラップやプロセスガスを除いて、これらの内部リサイクル材の正味のバランスは一般的に小さい。

最後に、外部使用のためのサイトから搬出された材料は、co-products（または再生可能な廃棄物）として分類されている。

いくつかの材料は部分的に廃棄物で部分的に副生成物である。このような場合、数値はサイトデータ収集のための Questionnaire に別々に含まれている。回収された材料については、回収した材料の応用も含まれている。配分手順は co-products にのみ適用した。

4.5.6 データ品質要件

世界鉄鋼協会が鉄鋼業界の製品の最も正確で代表的なデータを提供できることを確実にするためには、モデルで使用されるデータの質を非常に高くしなければならない。これを達成するために、生産者から直接収集されたデータを可能な限り使用した。他のすべてのデータについては、可能な場合は一次データを（例えばフェロ合金化合物）、そして GaBi プロフェッショナル・データベースからのアップストリーム LCA データを使用した。この後者の場合には、GaBi データは、世界鉄鋼協会のデータ収集プロジェクト用にカスタマイズされた。

4.5.7 フレア

プロセスガスは時々フレアスタックに送られ他の場所で使用されるのではなく燃焼されることがある。これはガスの供給と需要の変動及びガス回収設備の利用可能性に起因する。燃焼したガスは閉じ込められず消散するため、これらの排出量の測定は困難である。

フレアの排出量データの推定値は、サイトによって Questionnaire に入力された値、あるいは、他のサイトによって提供された平均排出量データに基づくデフォルトのデータが使用された。一部のサイトでは、プロセスデータにフレアのデータを含めているので、プロセスの排出量からこの情報を分離することはできない。

約 8 つのサイトがプロセスガスのフレアリング（燃焼放散）の排出データを提供した。平均 CO₂ 排出量を計算して、データにフレアリングの排出量が含まれていなかったサイトに使用されている。これは CO₂ だけが一般的に報告される排出量であるからだ。

全体的にフレアによる大気への排出量は、製造プロセス段階での大気への排出量に比べて、多くの場合非常に低いですが、それにも関わらずデータに含まれている。フレアリングからは生産物も経済的な利益も生まれない。関連する排出量は、それぞれのガス供給源モジュール（例えばコークス炉ガス、転炉ガス）の機能単位に完全に配分されている。

4.5.8 例外

2010 年には粗鋼生産の 98.7%が BOF または EAF いずれかのルートにより製造された。世界の鉄鋼生産量の約 1.3%を占める平炉生産およびインゴット鑄造鉄鋼生産は含まれなかった。炭素鋼の製品に関するこの調査の範囲には他の例外はない。

4.6 方法論の詳細

4.6.1 co-products の配分（アロケーション）

複数の製品があるシステムでは、製品ごとにシステムのインプットとアウトプットを関連付けるように配分のルールが定義されている。これは多くの有価な co-products（また、by-products としても知られている）を生成する BOF ルートの場合に特に重要であるが、また EAF ルートにおけるスラグにも適用される。

いくつかの方法が ISO 14040:2006 と ISO テクニカルレポート 14049 に記載されている。コークス炉、BF、BOF および EAF の主要な co-products とその配分方法を Table 4 に示す。システム拡張は、方法論の中に co-products を組み込むために使用されるアプローチとして鉄鋼業によって選択されており、以下にさらに詳細が記載されている。

Table 4: Steelmaking co-products

Production process	Main co-products	Allocation method
Coke oven	CO gas	System expansion
	Coke Benzene Tar Toluene Xylene Sulphur	System expansion
Blast furnace	Blast furnace gas Hot metal Slag	System expansion
Basic oxygen furnace (BOF)	BOF gas Crude steel Slag	System expansion
EAF	Crude steel Slag	System expansion

4.6.1.1 システム拡張法

この方法は、他のアプローチの問題の多くを回避するために最も一貫性のある解決法を提供するため、鉄鋼業にとって望ましい方法である。たとえば、配分ルールは、(溶銑を製造するための)メインシステム機能にすべてのシステムのインプット/アウトプットを帰することによって回避されるが、プロセスガスやスラグの生産は同様の機能性製品の代替生産を置き換えるためクレジットを与えられている。

ある程度まで、この方法は「オープンループリサイクル手順」としてみなすことができる。プロセスガスがシステム内のモジュールで消費される場合には、代替品の負担はシステムに追加されクレジットを相殺する。生成されたガスが全て現場で消費される場合には、インプット/アウトプットの値と排出量の値は、実際のサイトの値に相当する。

この方法は、ISO 14044:2006 の 4.3.4 項で引用されている。それは、配分を「回避」するので、好ましい方法の一つとして記載されている。しかし課題は選択される代替システムの選択と機能の等価性であり、選択されたものが現実と一致しているかどうかには十分な注意が払われてきた。例えば、高炉ガスは、同等の発生手段がない燃料である。これはアップストリームおよびダウンストリームプロセスのための燃料として使用され、鉄鋼生産システムの外部のシステムにエクスポートすることができる。従って潜在的に置き換えられる燃料について仮説を立てなくてはならない。平均では、エネルギー回収されずにフレアされる少量を除き、溶銑 1 kg 当たり 4.8 MJ の高炉ガスが生成される (セクション 4.5.7 を参照)。

代替燃料の選択は最初の調査に述べられている感度分析の対象となった。鉄鋼生産において生成されるエネルギーとしてのガス (例えば、高炉ガス、コークス炉ガス、転炉ガス等) は、同等の熱エネルギー又はそれぞれの国の電力供給網の電力を生成するために必要なエネルギーと交換することを前提とするように注意した。例えば鉄鋼が日本で生産され、プロセスガスがエクスポートされ電気を置き換える場合、日本の電源構成が使用される。

サイトで使用されていないがそのシステム境界を越え搬出される余剰ガスは、熱エネルギーを置き換えるために使用されるか、または電気を生成するために近隣の発電所に供給される。一般に、これらのガスの代替燃料は、石炭、燃料油、天然ガスであり、通常石炭が主である。

システム拡張は、石炭、重油、軽油、天然ガスと比較し燃料の生産と燃焼の双方を考慮しており、またプロセスガスを燃焼するための努力も考慮している。燃料品質と大気への排出量の面では搬出されるガスはいつも彼らが置換する燃料 (例えば天然ガス) よりも良いものではなく、これらの場合にはシステム拡張のアプローチは、鉄鋼製品が評価されているインベントリー内のフローの一部に増加をもたらすことがある。

置換される燃料または電気は、サイトによる報告 (データ収集プロセスの一環として世界鉄鋼協会に提出される)、および各国の電源構成によって決定される。

同じように、既知の販売先に販売されているスラグなどの重要な素材 co-products は、機能的に類似した製品を置換することを想定している。BF スラグは、例えば、セメント製造 (セメント製造において、またはセメントの代替として)、道路建設、骨材、又は肥料として使用される。平均では、溶銑の 1 kg ごとに高炉スラグは 0.3 kg 生成される。使用する原材料に依存する発生率が、場合によっては 0.35 キロの高さであり得る。参加サイトのいくつかのサンプルにおいて、生成された BF スラグの全量の約 95% が回収され、80% 以上はセメント製造のために使用される。いくらかのスラグは外部に搬出されず、製鉄所内での建設等に使用される。

収集したデータにおけるスラグの使用に関する詳細については、Table 5 に示されている。コンクリート (スラグを使用) と鉄鋼製品の両方が使用されている調査では、スラグのクレジットをダブルカウントしないように注意が必要である。

Table 5: Slag recovery rates and usages

	Total recovered	Cement	Roadstone	Fertiliser
BF slag	>94%	82%	17%	<1%
BOF slag	>95%	9%	83%	8%

EAF slag	100%	9%	91%	0%
----------	------	----	-----	----

この方法では、co-products の最終用途に基づいて異なる「クレジット」がリサイクルに与えられるため、環境の観点から鉄鋼 co-products のリサイクルルートを選択肢を区別することができる。これは、業界内でのリサイクルの環境価値を強化する。

配分シナリオは co-products の実際の使用を示さない。例えば、高炉スラグに適用される配分は、セメント作りや骨材に使用されるスラグの実際の比率を考慮していない。セメントの節約の環境上のメリットは少なくともエネルギー資源や大気への排出量の点で、骨材に関連したものよりもはるかに高い。

また、システム拡張は鉄鋼製造プロセスで発生するダスト、スケール、油等の配分に使用される。回収されるすべての物質に対して作られた仮定の詳細は、Appendix 9 に含まれている。

システム拡張を使用すると、プロセスユニットの初期（実際の）インベントリーが、ルートレベルでの全体的な LCI への個々の貢献を表す結果に保持されている。

4.6.1.2 分割（partitioning）

世界鉄鋼協会の方法論の中では、エネルギーの分割が製鉄所内の発電所の様々な製品（電気、温水、蒸気、圧縮空気と送風空気）への配分に使用されている。これらのデータカテゴリは、サイトの Questionnaire を通じて収集した。

「分割」は、システムが同様の機能を持つ材料製品を生成する場合に使用される配分プロセスである。システムが燃料などのエネルギー製品を生成する場合、製品の相対的なエネルギー値に基づいて配分を行うことが可能である。これは、エネルギーの分割と呼ばれる。

4.6.1.3 EAF ルート

システム拡張は、スラグ、粉塵、スケール、油などの EAF の co-products に、BOF ルートの co-products のために行われているのと同じ方法で適用される。BOF ルートと EAF ルートとの間の一つの顕著な違いは、後者の co-products のクレジット/デビットがはるかに低いことである。

4.6.1.4 まとめ

各関連工場が発電及び熱源に使用されるプロセスガスの割合（コークス炉、BF および BOF ガス）を定義した。発電に使用されるプロセスガスの量は全国平均グリッド電力に置き換わるものと仮定される。同様に、熱源として使用される量は、施設で使用される適切な化石燃料（単数または複数）を置き換わるものと仮定される。

また、置き換えられるエネルギーの選択は、調査の目的、特にその時間スケールに左右されることが考えられる。たとえば、（短期的な）記述的調査の場合は、限界的な電力生産が優先的に適用される。対照的に、平均的な「構築」モデルは（長期的な）展望調査のために好ましいであろう。

GaBi 世界鉄鋼協会 LCI モデルにおけるシステムの拡張法の構築は、当該の各 co-products のためのさまざまなシナリオを記述するための柔軟性を提供する。例えば、スラグは、セメント、肥料または骨材/路盤材を置き換えることができる。プロセスガスは、内部または外部で使用することができ、異なる熱またはエネルギー源を置き換えることができる。この情報は会員企業によって提供される。これが不可能な場合には、モデルによって、以下に合致するデフォルトのシナリオが適用される：

- ・ 骨材（アグリゲート）/ 路盤材を代替するスラグの使用
- ・ 熱エネルギーのために使用される天然ガスを代替するプロセスガスの使用

骨材/ 路盤材と天然ガスのデフォルト値がシステムに与えるクレジットは最も低いため、これらのケースの両方で保守的なアプローチが取られた。すべてのサイトは、スラグやプロセスガスの仕向け先の情報を提供した。サイトで説明されていない回収ガスやスラグについては、デフォルトのシナリオが適用された。

結論として、システムの拡張法を複数の機能を持つシステムとして選択した。これは、この方法が鉄鋼生産ルートと環境と鉄鋼生産ルートの実際の相互作用を厳密に表し、不健全な理論的なシナリオを回避するためである。最も重要なことは、この方法は鉄鋼業界に有利な LCI 結果をもたらすわけではないことである。

世界鉄鋼協会 LCI モデルにおけるシステムの拡張法の構築は、分析のため各システムの拡張のシナリオを必要に応じてスイッチオフすることができる。更に、代替的な機能システムに置き換えるための柔軟性を提供する。この機能は、さまざまなシステム拡張シナリオの感度分析を可能にし、将来的には機能的に類似した製品を置換するように処理可能な廃棄物の代替用途の調査を促進する。

4.6.2 資本財

資本財の面では、以前の調査で検討し、それを含まないことを決めた。生産設備など資本財は、本調査には含まれていない。

4.6.3 EoL のフェーズ

鉄鋼は完全にリサイクル可能である。したがって、鉄鋼、特に寿命を迎えた最終製品からリサイクルされる鉄スクラップに関わる LCA 調査においては、リサイクルを考慮することが重要である。また、鉄鋼は鉄鋼製造プロセスへの不可欠なインプットであり、この鉄スクラップのインプットは、LCA の調査において考慮されるべきである。

世界鉄鋼協会の方法論はこれらの要因の両方を考慮する。再利用されるときには鉄鋼製品の成長市場が存在し、鋼の固有の特性は普遍的であり、鋼が何度も何度も再利用されうる。

世界中で発展した鉄鋼のリサイクルシステムの成熟度が鉄鋼メーカーやスクラップの取扱商社による関連製品での鉄スクラップ利用の調和を可能とし、新たな鉄鋼製品で使用するスクラップ処理のコストを最小限に抑えている。様々なスクラップの等級の選別により、ある製品は低品質の製品にリサイクルされ、同様にしてある鋼スクラップは航空宇宙用途などの高品質な製品にリサイクルされている。必要が生じた場合、不純物処理から鋼の更なる分離を行うことができる。

従って、閉ループアプローチは鋼のリサイクルに適用することができる;これは、閉ループ材料リサイクルの配分の手順について説明してある、ISO 14044:2006 のセクション 4.3.4.3 に従う。「The Declaration by the Metals Industry on Recycling Principles」は、ISO 14044:2006 に記載されているリサイクルの更なる解釈を提供する。

以下の式で示されるように、この「閉ループ材料のリサイクル方法」の一般的なライフサイクルの式が適用される。

$$\text{LCI for 1 kg of steel product including recycling} = X - (\text{RR} - \text{S}) Y(\text{X}_{\text{pr}} - \text{X}_{\text{re}})$$

Where:

X is the cradle-to-gate LCI of the steel product

(RR - S) is the net amount of scrap produced from the system:

RR is the end-of-life recycling rate of the steel product

S is the scrap input to the steelmaking process – this is the net scrap consumed in the steelmaking process and does not include internal scrap. Home scrap is considered when the scrap comes from a process which occurs on the steelmaking site, but does not contribute to any of the production stages of the product.

$Y(\text{X}_{\text{pr}} - \text{X}_{\text{re}})$ is the LCI value of steel scrap:

Y is the process yield of the EAF (i.e. >1kg scrap is required to produce 1kg steel)

X_{pr} is the LCI for 100% primary metal production. This is a theoretical value of steel slab made in the BOF route, assuming 0% scrap input.

X_{re} is the LCI for 100% secondary metal production from scrap in the EAF, assuming 100% scrap input.

より詳しい説明は、Appendix 10 に記述されている。

スクラップ回収、選別及び処理（例えば破碎）のアップストリームデータは、将来のモデルに組み込まれることが予定されている。この場合、これらの影響は、鉄鋼製造プロセスへのインプットとして利用される鉄スクラップ、すなわち上記の式の S に割り当てられる。製鉄所のサイトで発生するスクラップ処理は、現在のデータセットに組み込まれている。

4.6.4 カットオフ基準

元々の調査では、材料フローの記録およびシステム内の些細なインプット/アウトプットを追求する必要性を回避するため、基準が設定された。これらは以下の通りである：

- 1。プロセス段階へのエネルギー・インプットは加熱用燃料、電気、蒸気、圧縮空気を含めて記録された。
- 2。除外物質フローの合計は、質量、エネルギーや環境関連の 5%を超えてはならない。しかし、実際には各工程段階に対する材料のインプットの少なくとも 99.9%が含まれた。
- 3。（重量が）各プロセスの段階の廃棄物総トン数の 1%未満の廃棄物は、サイト外で扱われるもの以外、記録されなかった。

基準 2 が達成可能だったのは、サイト・インプットのトン数は、鉄鉱石、ペレット、石灰石、スクラップ、ドロマイト、かんらん石、蛇紋石、金属添加物、耐火物、コークス、焼結、溶銑および中間鉄鋼製品などの比較的少数のインプットによって計量されているためである。これらのインプットは、各製造プロセスへの材料インプットの 99%以上を占める。

4.6.5 平均化 (averaging)

以前のデータ収集とは対照的に、平均値が特定の製品に対する各製鉄所の生産トン数に応じて加重平均（サイト生産量に基づいて算出製品の平均）を用いて計算した。算術平均を使用するという以前の決定は、政治的な決断であり、加重平均への移行は、より堅牢な、科学的なアプローチである。

LCI はまだ垂直方向に（製造プロセスに沿って）計算されている。すなわち、LCI が各製鉄所ごとに計算され（縦集計）、その結果の値が貢献した製鉄所間で平均化される（Figure 3 を参照）。データのベンチマークおよび解釈については、単純平均的なアプローチを使用した。つまり、各サイトを等しい重み付けで処理した。

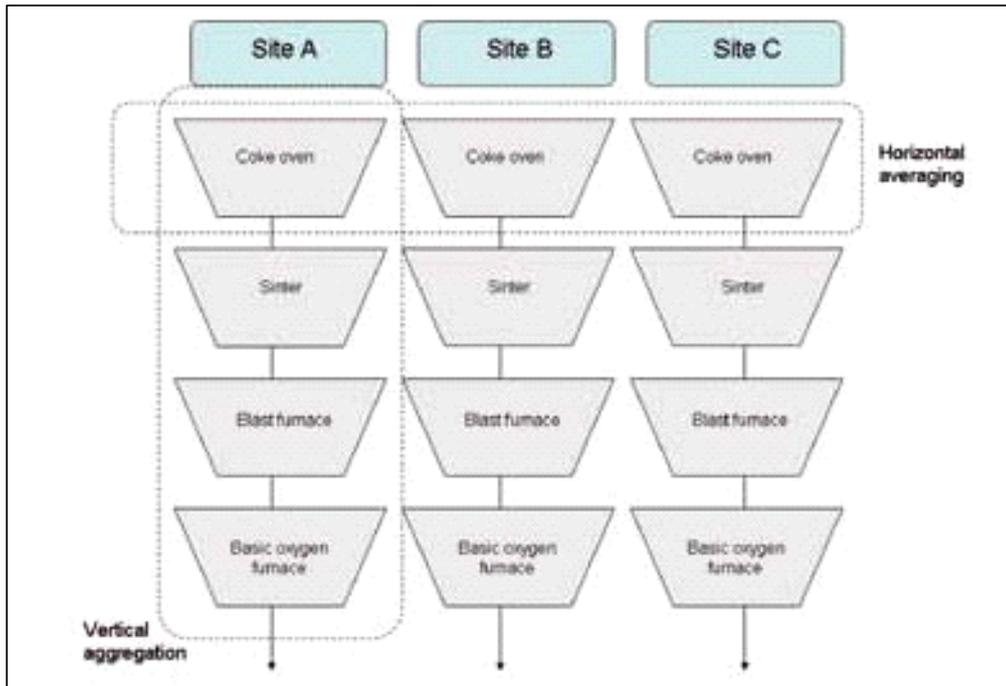


Figure 3: Horizontal averaging and vertical aggregation

4.7 ソフトウェアとデータベース

鉄鋼生産の LCA モデルは、PE INTERNATIONAL 社が開発したライフサイクルエンジニアリングのための GaBi4 ソフトウェアシステム、(バージョン 4.3、2008 年) を用いて作成された。モデルと合わせて、GaBi Web Questionnaire が、データ収集のために使用された。データがセクション 4.5 で説明されたように収集された後、モデリングを行う GaBi にインポートされた。GaBi4 プロデータベースは、セクション 4.5.3 で説明されたように多くのアップストリーム・インプットに使用した。

GaBi ソフトウェアの新しいバージョンが利用可能になると世界鉄鋼協会のモデルが更新される。

4.8 解釈

LCI/LCIA の結果は目的と範囲に従って解釈される。解釈は次の項目について説明する。

- ・ 全体的な結果や、特定の影響カテゴリーへの主要な貢献要因などの重要な調査結果の特定 (第 8 章を参照)。
- ・ データをシステム境界に含めるか除外するかを選択や方法論の選択の妥当性を示すための完全性および感度の評価 (8.2.2 項を参照)。
- ・ システム機能、機能ユニットとシステム境界の定義の妥当性に対する結論、制限および推奨事項 (8.3 項を参照)。

4.9 クリティカル・レビュー

この方法論が ISO 14044:2006 に準じた LCA の方法論に正しく従っていることを確実にするために、クリティカルレビューが行われた。この世界鉄鋼協会の LCI データ収集プロジェクトの更新は、世界鉄鋼協会が開発した、前の方法論に基づいている。方法論にはいくつかの変更が加えられ、これらの変更点はクリティカルレビューの主要な対象の一つである。以前の方法論からの変更点の概要は、Appendix 11 に記載されている。クリティカルレビュー報告書は、Appendix 14 に含まれている。

また、データは、欧州委員会の ILCD ガイドラインに関して、審査を受けている。

5 データ品質

この調査のために使用されているデータは、次の 3 つの方法で分類することができる。

- ・ 世界鉄鋼協会会員企業から収集された一次データ（gate-to-gate データ）
- ・ いくつかのアップストリーム・インプットの一次データ（例えば、業界団体や生産者からの鉄化合物のデータ）
- ・ GaBi4 プロフェッショナル・データベースからの gate-to-gate 一次データとバックグラウンドシステム

各サイトから提供されるデータへの大がかりなチェックに起因して、データの全体的な品質は高く、技術的範囲の観点から記載されたシステムを代表するものであると考えられる。一次データは鉄鋼メーカー自身から直接収集されるため、これらの生産者との徹底的な分析や（意見）交換を可能にする。

鉄鋼業界は、独自のデータとモデルで使用されるアップストリームデータの品質を向上させるために努力している。以下の Figure 4 は、データ収集運動の組織の概要を示す。

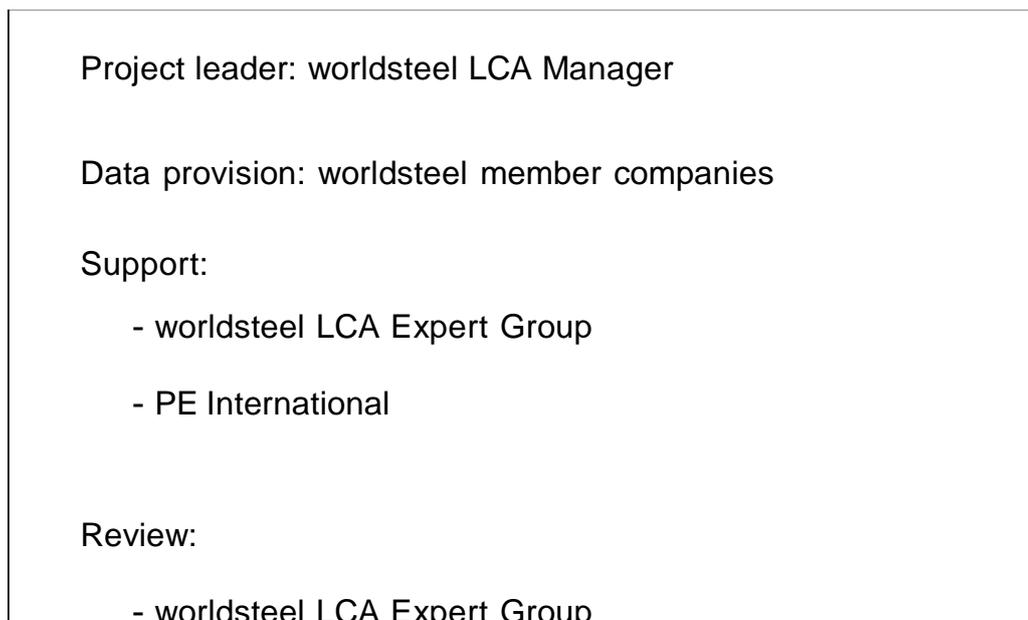


Figure 4: Organisation of the worldsteel data collection

世界鉄鋼協会会員企業から集めた、一次、gate-to-gate データを最高品質であったことを確認するために、各メンバー企業は、データ収集のユーザーガイドを備え、GaBi Web Questionnaire の使用方法についての研修を実施した。世界鉄鋼協会の LCA マネージャーは、データ収集運動に関する具体的な質問に答えるための Web 会議や電話に対応可能である。

Gate-to gate データ

鉄鋼生産と加工上のすべてのデータは GaBi Web Questionnaire を使用してサイトごとに収集した。提出されたすべてのデータは、インプットとアウトプットの妥当性のために何度もチェックして収集され、他のデータのベンチマークとなった。

GaBi アップストリームデータ

GaBi プロのデータベースからすべてのデータが一貫性のあるシステムの境界とアップストリームのデータで作成された。専門家の判断や記事は、この調査のための材料およびエネルギーをモデル化するために適切なデータセットを選択するために使用した。GaBi データセットの詳細なデータベースのマニュアルは <http://documentation.gabi-software.com/> でアクセスすることができる。

5.1 データ品質チェック

GaBi Web Questionnaire（データシート）は、世界鉄鋼協会と PE INTERNATIONAL とで設定された世界鉄鋼協会の LCA モデルに基づいている。プロセス間の関連する全てのフロー、プロセスとの相互接続はモデルに含まれている。ある単位から別の単位へ変換するとき起こり得るヒューマンエラーを回避するために、データ収集

の担当者は、各自望ましい単位でデータを指定することができた。例えば、天然ガスは kg、MJ、GJ、Nm³ を、kWh などの単位で入力することができる。

SoFi データ収集ツールは、ユーザーが個々のプロセス間で鉄、炭素および質量収支のチェックを行うことができた。このデータは分析のため世界鉄鋼協会が抽出することができた。世界鉄鋼協会の LCA マネージャーに加えて、個々のデータセットへのアクセス権を与えられた鋼の専門家によってデータ・コレクション内のエラーが発生しなかったことを確認するためのプロセスを調べるために、更なる作業が行われた。これは、すべてのサイトの個々のプロセスを検査し、インプットとアウトプットを比較することにより行った。専門家はデータが既知の製造実態数値等と一致していることを確認するために鉄鋼製造プロセスの知識を活用した。

5.1.1 生データ

サイトから提出されたすべての項目に記入された GaBi Web Questionnaire は、世界鉄鋼協会によって個別かつ系統的にチェックされた。例えば水平ベンチマーキングのために、GaBi システムによって提供されるような一般的な妥当性チェック（例えば炭素収支チェック）ならびにベンチマークチェックを適用した（Figure 3 を参照）。最初のチェックは、GaBi Web Questionnaire で利用可能なバランスチェック機能ソフト（エネルギー、質量、炭素、鉄バランス）を利用して、データを入力している各サイトで行われた。

通常値の範囲外と疑われるデータや重要な情報の欠落は、データの目視検査や分析によって検出され、修正を要求された。Questionnaire は GaBi ソフトウェアに直接インポートされた。更新機能は、データ品質チェックが行われデータが更新されるときに中間データのインポートを可能にする機能としても利用可能である。手動インポートは必要でなく、変換における誤りや入力ミス回避した。更なるデータのチェックは各サイトのベンチマーク・プロセスによって行われた。これはサイト間で同じプロセスを比較することによって、水平方向の平均のアプローチを使用して行われた（Figure 3 参照）。

データが欠落しているか間違っていることが疑われた場合、全ての必要データが望ましい品質になるまで、各サイトへ説明を求めた。

5.1.2 プロセス、サイトとルートデータ

データチェックはサイト（gate-to-gate）とルートレベルで行われ、また各段階で提供されたデータが正確であることを確認するためにベンチマーク分析が行われた。データチェックに含まれたのは：

- ・ 各プロセスの生成物 1kg 当たりの炭素と鉄のバランス
- ・ ボイラーを含むプロセス毎のエネルギー消費量、
- ・ 大気や水への排出量
- ・ 異なるプロセス段階間の生産量およびスクラップの発生・消費量
- ・ LCIA レベルチェック。

データチェックは、データに関する質問や矛盾を明確にするためデータ提供者との継続的なコミュニケーションを要する反復的なプロセスだった。

調査に含まれる各製品について利用可能なサイト固有のルートを、（個々の計画を設定することで）平均化することにより、製品の LCI が GaBi にて算出された。鉄鋼製品 LCI 平均データセットは製造プロセスに沿った合算法（図 3 を参照）を用いて計算された。これは、サイト X からの製品 A の LCI を計算し、そしてサイト Y からの製品 A との平均を、製品 A の生産量の加重平均（サイトの生産量に基づいて計算された製品平均）を計算するものである。

最終的な製品特定の LCI 結果は、最終の LCI 結果が正確で頑健であることを確認するために、世界鉄鋼協会の LCA 専門家に配布された。

5.2 データギャップ

データにギャップがあった場合には、データ収集の担当者は欠落したデータを提供するように要請される。これが不可能だった場合には、他の鉄鋼の生産拠点から収集したデータに基づいた平均値が欠けているデータセ

ットに組み込まれた。全ての大気と水への排出量についてはこの平均アプローチをとった。これはセクション 4.5.4 で説明されている。

データがエネルギーや材料のインプットに関して欠落している場合、サイトはこの不足している情報を提供するよう要請された。

6 世界鉄鋼協会のライフサイクルモデルの記述

世界鉄鋼協会の LCA モデルは、階層構造に構築されている：

- ・プロセスチェーン、すなわち鉄鋼製造プロセスのみ
- ・gate-to-gate、プロセスチェーンプラスユーティリティ
- ・cradle-to-gate レベル、アップストリームデータ、代替物を含む、
- ・cradle-to-gate、リサイクルを含む。

gate-to-gate レベルのモデルは、すべての鉄鋼製造プロセス（プロセスチェーン）だけでなく、必要とされる追加のオンサイトの補助的サービスで構成されている。これは、ボイラー、コンプレッサー、廃水処理などを含む。cradle-to-gate レベルはこれに次いで、gate-to-gate レベルを含むだけでなく、関連するすべてのアップストリーム工程（原料インプット）と代替物、廃棄物処理などを含む。これは Figure 2 に示されている。

最高レベルである、リサイクルを含む cradle-to-gate (Figure 1 を参照) は、cradle-to-gate レベルだけでなく、鉄鋼製造プロセスで鉄スクラップを使用することと、製品寿命の終わりに到達した最終製品からの鋼の EoL リサイクルの影響を考慮している。これらのリサイクルの側面を含む方法論はセクション 4.6.3 で説明されている。

各サイトは鉄鋼製品の製造の完全な生産チェーンを考慮した独立したモデルである。しかし、場合によっては鉄鋼製品の製造は 1 つのサイトのみで行われるわけではない。たとえば、ある会社ではサイト A で鋼スラブを製造した後、ブリキに処理するためにサイト B にスラブを輸送する。この状況はスプリット・ルートと呼ばれ、世界鉄鋼協会モデル内では製品の LCI を計算するため 2 つのサイトは連結されている。それにもかかわらず、サイト A と B の環境への影響は依然として別々に測定することができる。

6.1 鉄鋼製造

鉄鋼生産は製鉄、一次・二次精錬、鋳造、熱間圧延を含むいくつかの処理段階を含む。これらに続いて、以下の製造プロセスのいくつかが適用される：冷間圧延、焼鈍、焼戻し、コーティングおよび/または熱処理。

鋼は原材料（例えば鉄鉱石、石炭、石灰岩）もとにすることまたは鉄スクラップをリサイクルすること、どちらかによって作ることができる。二つの主な処理ルートは次のとおりである。

- ・主に鉄スクラップ、また銑鉄や直接還元鉄を使用する EAF
- ・主に原材料と低鉄スクラップ・インプットを使用する一貫プロセス。多くの場合 BF や BOF ルートと呼ばれる。

これらの複雑なプロセス、特に BOF ルートは多くの異なる形状及びサイズを持つ多種多様な鋼組成物を、各々の鋼の使用の要件に密に適合させて生産している。これらは 2 つの異なるプロセスのルートではなく、どちらのルートはもっぱら「一次」製鋼や「二次」製鋼ルートと分けられるものではない。EAF は多くの場合一次材料（銑鉄や DRI）を含むことができ、BOF はスクラップも含んでいる。

GaBi4 ソフトウェアでモデル化されている鉄鋼生産ルートの表現は Appendix 3 に示されており、さらなる詳細は steeluniversity.org で見ることができる。

6.2 ライフサイクルインベントリー・モデリング

鉄鋼生産のための LCA モデルは GaBi4 LCA ソフトウェアツールで構成されており、平炉鋼の生産を除いたすべての可能な鉄鋼生産ルートを反映している。これによって鉄鋼生産拠点の 98% 以上が参加することを可能にしている。製鉄プロセスの複雑さは世界鉄鋼協会モデルの複雑さに反映される。

一般的なモデルは、データ収集プロセスに参加するすべてのサイトで使用できるよう構築されている。これによって一貫性が保証され、個々のプロセスとプロセスチェーンから cradle-to-gate レベル、EoL のリサイクルを含むすべてのレベルでの計算を可能にする。モデルはまた、水平（同一プロセス異製鉄所）及び垂直（同一製鉄所一連のプロセス）レベルでの計算を可能にし（Figure 3 参照）、これはベンチマークおよびデータ分析のために非常に有用である。

データ収集は GaBi Web Questionnaire を用いて行った。これはプロセスごとの材料、エネルギー担体、排出、廃棄物及び co-products を含む、すべての必要なインプットおよびアウトプットが含まれている。すべての関連する Questionnaire の概要は Appendix 12 に設けられている。データの収集が完了したら、鉄鋼製品 LCI の計算のために世界鉄鋼協会 GaBi LCA のモデルにインポートする前に、セクション 5.1 で説明されているようにすべてのチェックを行う。各企業は、企業データの機密性を確保するためにパスワードで保護された質問票へのアクセスを持っている。

GaBi における世界鉄鋼協会の LCA モデルは「パラメータ化」されている。これは、GaBi4 のグローバルパラメータファンクション（モデルに広範囲に意味する）を使用することによって：

- ・計算される特定の製品を選択することができる – 一つの製品だけが生産/モデル化されるように、モデルが調整されている
- ・結果は、システムの拡張を除く場合及び含む場合を計算することができる
- ・結果は、アップストリームデータの有無にかかわらず計算することができる
- ・データは、垂直または水平のアプローチを用いて計算することができる（Figure 3 参照）
- ・EoL のリサイクル率は、様々な EoL のリサイクル率を反映するように変更することができる。

また、地域/国別のアップストリームデータなどの考慮はパラメータで処理される。

特定の製品を製造する各サイトのルートまたは cradle-to-gate レベルの工程は垂直方向（製造ラインに沿って）に集約され、加重平均（サイトの生産量に基づいて算出した製品の平均）を作成するために使用された。少なくとも 3 つのサイトの最小値が寄与した各製品のデータを使った。これは、データ提供者との秘密保持契約を尊重し、製品の LCI の代表性を向上させる。

7 LCA の結果と分析

この章では、本調査で検討された鉄鋼製品の影響評価を提供していない。これらは、妥当性チェックと例示の目的のみのために考慮される。

15 の鉄鋼製品のための LCI データは worldsteel.org を介して要求に応じ世界鉄鋼協会から無料で入手できる。データは、GaBi の i-report 機能を使用し、GaBi4 ソフトウェアから直接起こすことで簡単に提供される。これはデータセットを生成する際にエラーが発生する可能性を低減する。提供されたデータは LCI のデータであり、通常は EoL のリサイクルを含めた cradle-to-gate データである。提供されるデータの説明は、Appendix 8 に記載されている。

Table 6 は、形鋼、熱間圧延コイルと溶融亜鉛めっき鋼という 3 つの鉄鋼業界の製品の典型的な影響を示している。この分析のために、3 つの製品は鉄鋼製品の広い範囲をカバーするように選択されている。形鋼は EAF と BOF ルートの両方で生産されている。熱間圧延コイルは BOF のルートから生産される最初の製品の一つである。第三の製品、溶融亜鉛めっき鋼は、冷間圧延、酸洗、焼鈍、焼戻し及び亜鉛めっきなどの多くの追加のプロセスを経た製品である。

データは世界平均のデータセットに基づいており下記を含む。

- ・cradle-to-gate
- ・85%の典型的な EoL リサイクル率（RR）でのリサイクルを含む cradle-to-gate。-

この EoL のリサイクル率は、製品が耐用年数の終わりに達したとき最終製品中の鋼の 85%がリサイクルされることを意味する。鋼の EoL リサイクル率は最終製品のタイプに依存する。自動車セクターの典型的な比率は 95% 以上、建設は 85%程度、パッケージングは 70%程度である。これらの値は世界鉄鋼協会の LCA 専門家の判断に基づいている。これらの参照のために利用可能な公共の情報源がなく、唯一の指針として意図されている。鉄鋼製品の EoL リサイクル率のためのより頑健なデータを収集するための作業がまだ進行中である。

また、上述の値はデータを要求する人のための指針としてのみ使用されている。また、製品のリサイクルは将来的に向上すると考えられるため、これらの値は控えめな数字になっている。データの要求が受理され、異なる EoL リサイクル率が指定された場合、この指定された値を使用することができる。

7.1 エネルギー需要と環境影響領域

影響評価はライデン大学の環境科学センターがまとめた手法とデータに基づいており、次の LCIA のカテゴリーが含まれている。

- 地球温暖化ポテンシャル (GWP 100 年) : 地球規模で影響のある影響評価レベル; GWP は、主に鉄鋼業界からの温室効果ガス排出量の 98%以上を占める二酸化炭素とメタンの排出に起因する。予備的な影響評価では、他の温室効果ガスは CO₂ 換算ベースで、鉄鋼業界の温室効果ガス排出量の 2%以下に過ぎなかった。
- 酸性化ポテンシャル (AP) : 地域的な影響のある影響評価レベル; AP は主に SO₂ と NO_x に起因する。
- 富栄養化ポテンシャル (EP) : 地域的な影響のある影響評価レベル; ;鉄鋼業界内で、EP は主に NO_x の排出に起因する。

光化学オキシダントの生成ポテンシャル (POCP) : 地域的な影響のある影響評価レベル; POCP (夏のスモッグとしても知られている) は、鉄鋼業界内では主に一酸化炭素の排出に起因する。

一次エネルギー需要 (PED) は、鉄鋼製品の製造の全体的なエネルギー需要の指標として含まれる。

これらのデータは例示であり、具体的な調査のために使用すべきではない。地域やグローバルレベルでのすべての鉄鋼製品の最新の LCI データについては、worldsteel.org を参照すること。

Table 6: Life cycle impact assessment results of steel products

		PED MJ	GWP kg CO ₂ e	AP kg SO ₂ e	EP kg phosphate	POCP kg ethene e
Sections, 1 kg	Cradle-to-gate	19.6	1.6	0.0045	0.00036	0.0008
	Including recycling	16.4	1.2	0.0037	0.00034	0.0006
	Recycling benefit	-3.2	-0.4	-0.0008	-0.00002	-0.0002
Hot-rolled coil, 1 kg	Cradle-to-gate	21.6	2.0	0.0052	0.00035	0.00094
	Including recycling	11.9	0.9	0.0025	0.000282	0.00035
	Recycling benefit	-9.7	-1.1	-0.0027	-6.8E-05	-0.00059
Hot-dip galvanized steel, 1 kg	Cradle-to-gate	27.5	2.5	0.0074	0.00048	0.0012
	Including recycling	17.5	1.3	0.0047	0.00041	0.00061
	Recycling benefit	-10.0	-1.2	-0.0027	-0.00007	-0.00059

上記の Table 6 で選択した 3 つの製品は、一般的な鉄鋼製品であるが異なる製造要件および用途を有する。熱間圧延コイルは、一般的に製造業者によってさらに最終製品に加工され、輸送、建設、造船、圧力容器、パイプライン等に使用することができる。溶融亜鉛めっき鋼は、一般的に、熱延コイルにさらなる処理（例えば、冷間圧延、コーティング、焼戻し、アニーリング）を加えたものであり、耐腐食性を提供する亜鉛の薄層を有し自動車、建設、家電等、多くの用途に使用することができる。形鋼は熱間圧延機で圧延され、I 形鋼、H 形鋼、ワイドフランジ梁やシートパイルが含まれている。彼らは多くの場合、直接使用のための市場で見かけられる。

形鋼のデータは EAF と BOF ルートの両方から来ている。最新の世界鉄鋼協会 LCI データに基づく、スクラップの原単位は典型的には形鋼 1 トンの当たり約 0.6 トンである。熱間圧延コイルと溶融亜鉛めっき鋼は一般的に BOF ルートで生産されているため、形鋼 1 トン当たりのスクラップの消費量は約 0.1 トンから材 0.15 トンとかなり低くなる。

7.1.1 一次エネルギー需要

上述の3つの製品のPEDは、Figure 5に示されている。

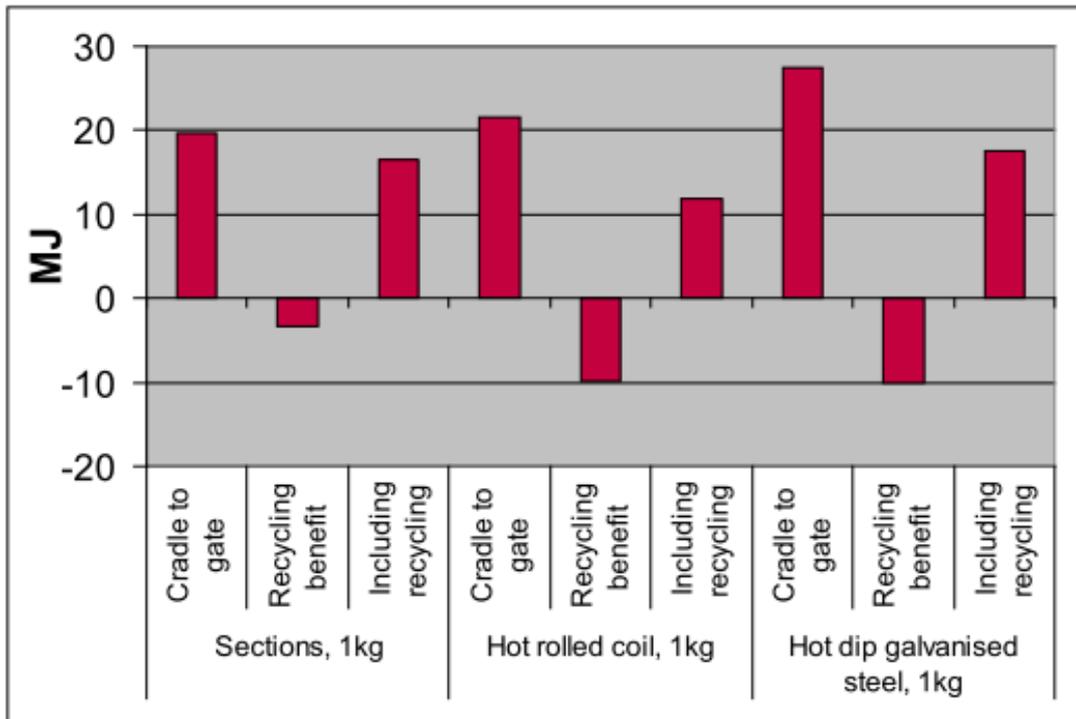


Figure 5: Primary energy demand (MJ) of steel products

この PED は、再生可能な資源と再生不可能な資源の両方で構成されている。上に示した3つの製品ごとの cradle-to-gate のデータについては、需要の97%以上は非再生可能資源からのものであり、大半がハード石炭の消費に起因している（下の Figure 6 を参照）。ウランの消費は電力消費のアップストリームプロファイルにのみ付随している。

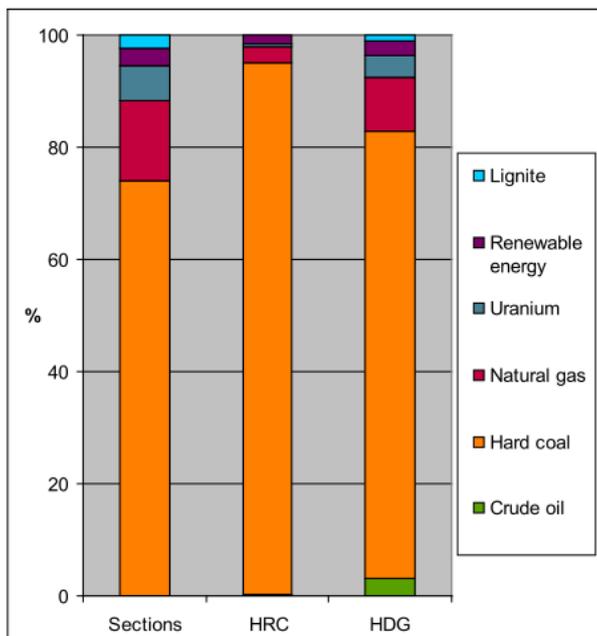


Figure 6: Contributions to primary energy demand of steel products

7.1.2 地球温暖化係数

上述の3つの製品のGWPをFigure 7に示す。

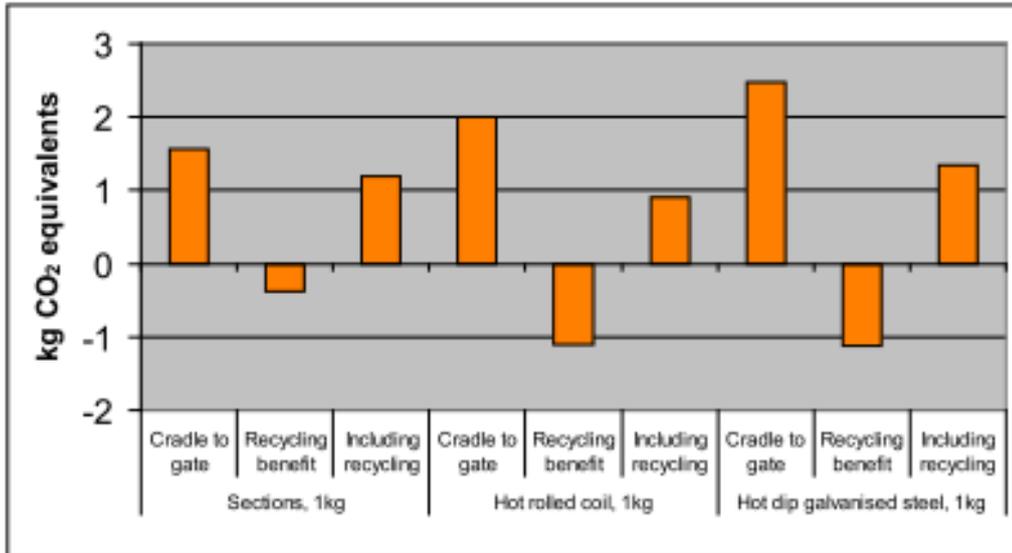


Figure 7: Global warming potential (CO₂e) of steel products

鉄鋼製品の GWP は、鉄鋼業界のすべての温室効果ガス排出量の 98%以上を占め、CO₂とメタンの排出によって占められている。メタン排出量は主にプロセス内およびコークス製造のために使用される石炭から来る。Figure 8 は GWP への寄与を示しており、カテゴリー「その他」は、一酸化二窒素、六フッ化硫黄、非メタン揮発性有機化合物(non-methane volatile organic compounds)および炭化水素を含む。

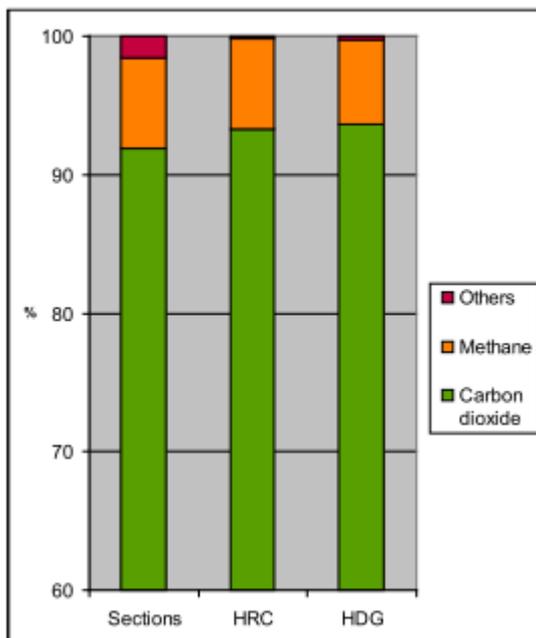


Figure 8: Contributions to global warming potential of steel products

7.1.3 酸性化ポテンシャル

上述の 3 つの製品の酸性化ポテンシャルは、Figure 9 に示されている。

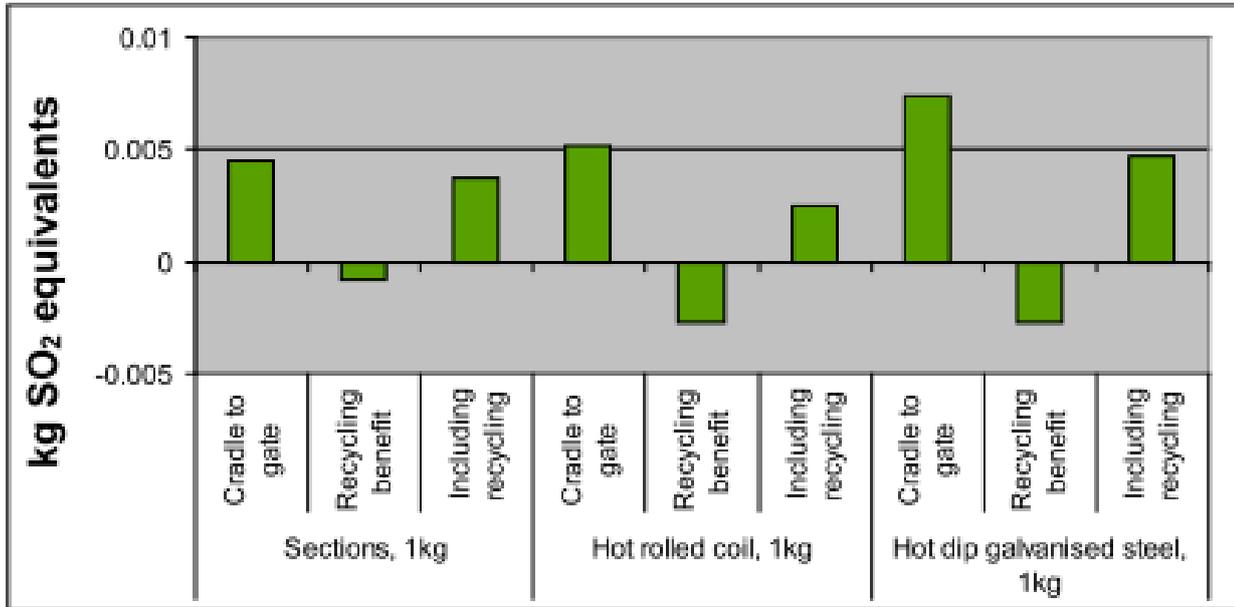


Figure 9: Acidification potential (SO_e) of steel products

鉄鋼製品の酸性化ポテンシャルは大気への排出によるものが97%を占める。Figure 10 に示すように、主な原因は二酸化硫黄(sulphur dioxide)および窒素酸化物 (nitrogen oxides) である。

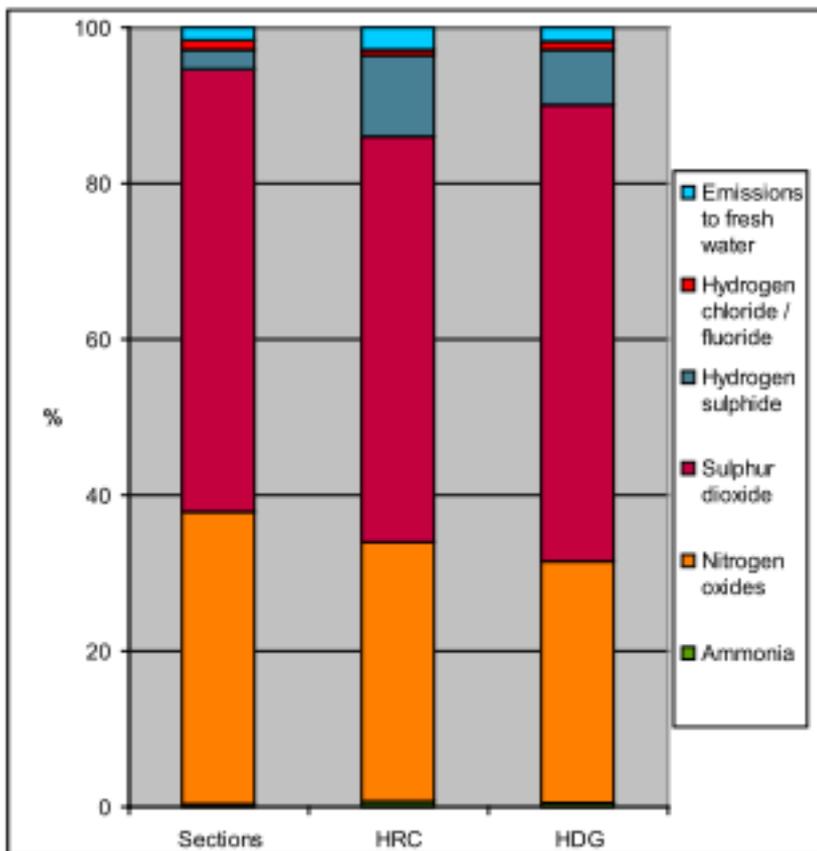


Figure 10: Contributions to acidification potential of steel products

7.1.4 富栄養化ポテンシャル

上述の3つの製品の富栄養化ポテンシャルは、Figure 11 に示されている。

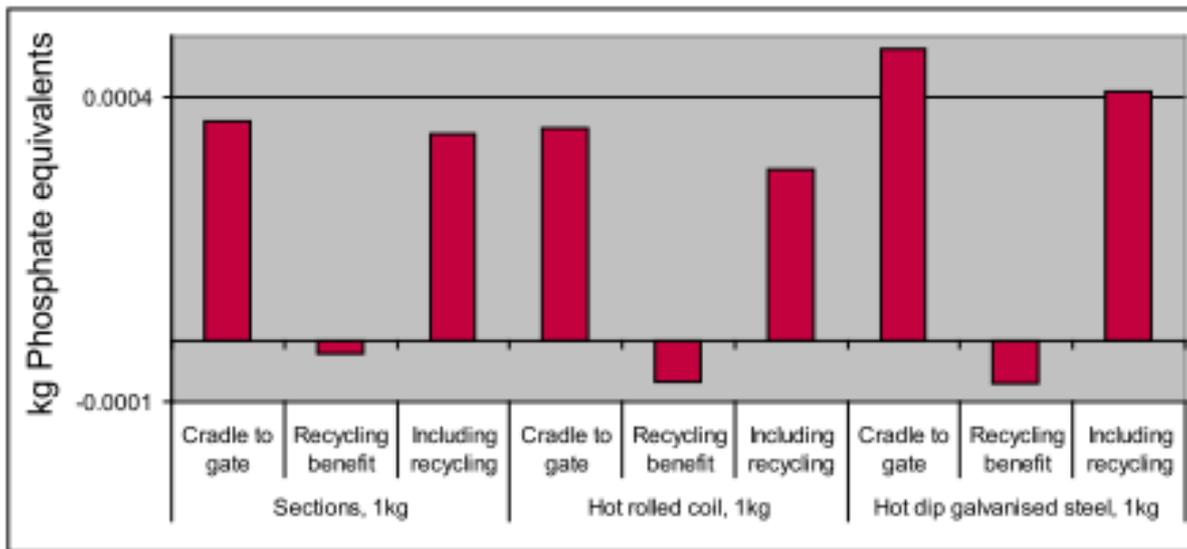


Figure 11: Eutrophication potential (PO 3- e) of steel products

鉄鋼製品の富栄養化ポテンシャルは、大気への排出によるものが94パーセント以上をしめる。主な要因は、窒素酸化物である。この影響に寄与する水への排出は、窒素を含む物質、例えば硝酸、アンモニア等である。寄与は Figure 12 に示されている。

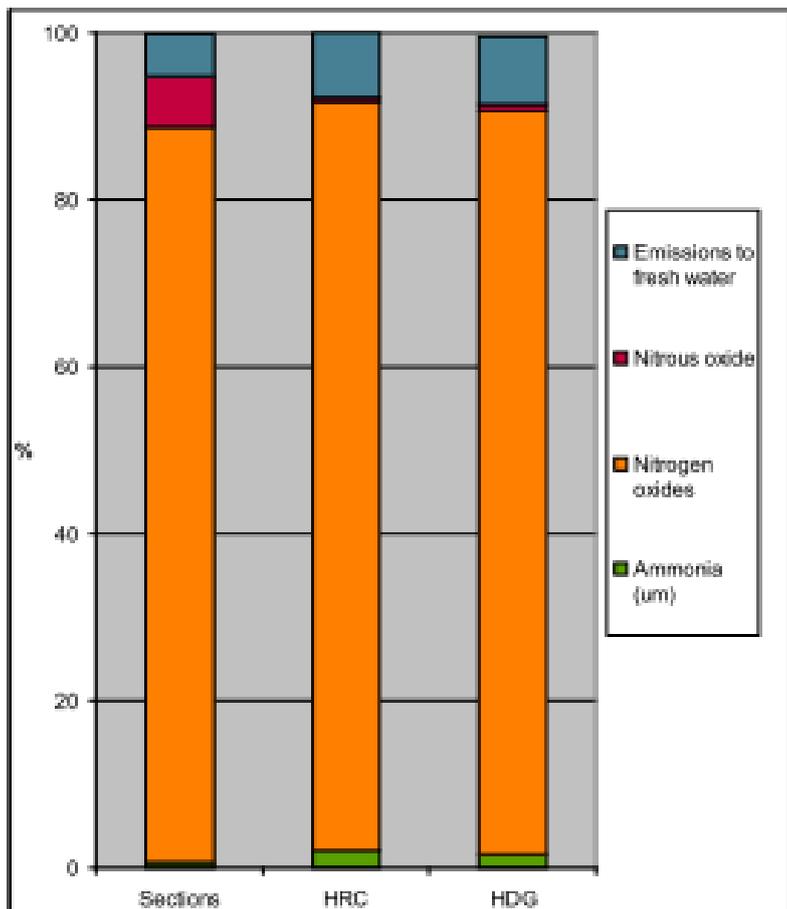


Figure 12: Contributions to eutrophication potential of steel products

7.1.5 光化学オゾン生成ポテンシャル (POCP: Photochemical ozone creation potential)

上記の3つの製品のPOCPは、Figure 13 に示されている。

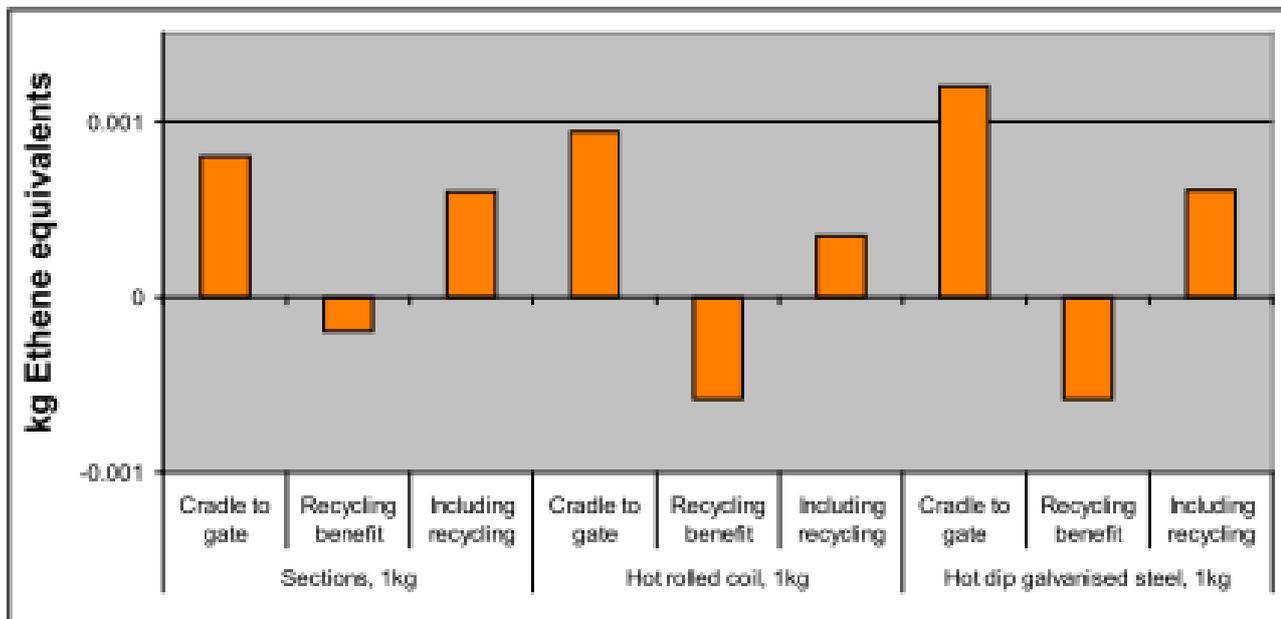


Figure 13: Photochemical ozone creation potential (C₂H₄e) of steel products

鉄鋼製品の光化学オゾン生成ポテンシャルへの寄与は一酸化炭素が60%以上を占めている。光化学オゾン生成ポテンシャルに貢献する他のすべての主要な物質は、Figure 14に示されている。

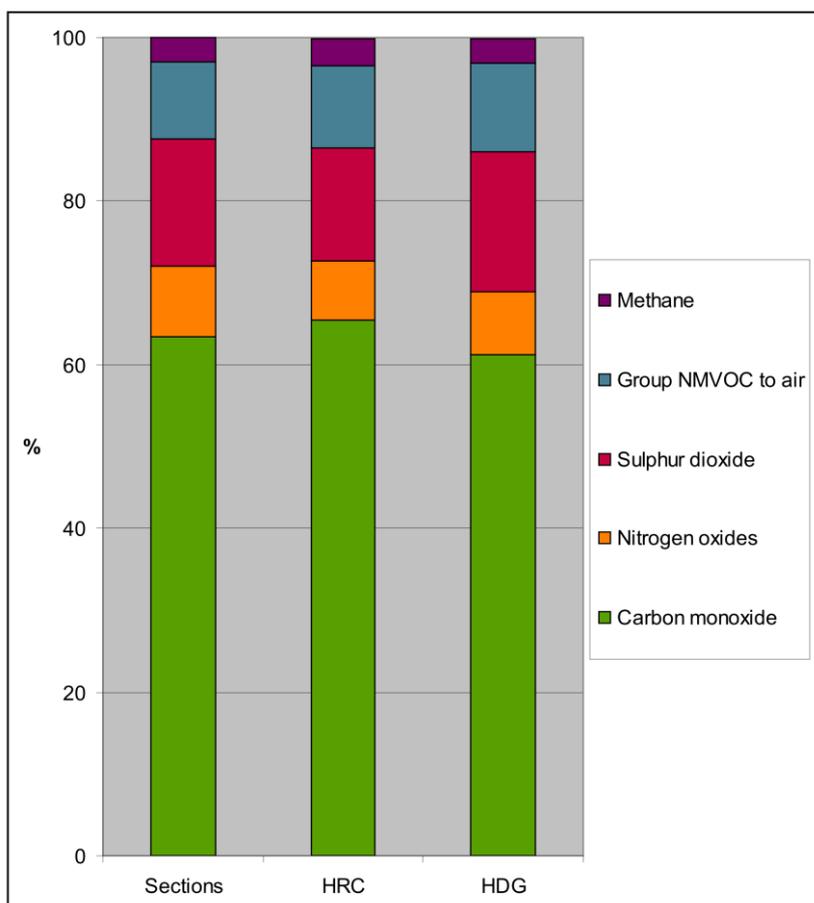


Figure 14: Contributions to photochemical ozone creation potential of steel products

7.2 鉄スクラップの LCI 値

鉄スクラップのための LCI を決定するための方法論はセクション 4.6.3 で説明し、さらに Appendix 10 で議論されている。クレジットは最終製品が寿命迎えた時に生成される正味のスクラップに与えられている。この正味のスクラップは以下のように決定される。

正味のスクラップ = EoLにおいてリサイクルされる鋼スクラップ量 - スクラップ投入量

この場合、EoLのリサイクル率は、最終製品の鋼1トン当たりのリサイクル鋼の x トンとして表される。

これも一般的に百分率として表される。スクラップ投入量も製造された鋼の1トン当たりの鉄スクラップ x トンと表現されるべきである。この式を使用すると、将来リサイクルに利用可能になる鉄スクラップの LCI は、今日消費されるスクラップと同じであると考えられる。

この場合スクラップ投入は通常正味のスクラップ投入を意味する。すなわち、検討されているプロセスで生成される再循環、内部または自家スクラップは考慮していない。

熱間圧延工程から生じて転炉に戻されるスクラップは熱間圧延コイル用に投入される外部スクラップとして含まれていない。そのため投入されるスクラップは多くの場合老廃スクラップや、対象の製品の downstream 工程で発生した加工スクラップであると考えられている。

セクション 7.1 で示される結果は、スクラップのリサイクルのためのこの正味のクレジットが含まれている。1kg の鉄スクラップのリサイクルの影響は Table 7 に示されている。これは 4.6.3 項の式と方法を用いて計算されている。

結果は一例に過ぎない。

Table 7: Example impact categories and PED for 1 kg of steel scrap

Impact category	LCI for 1 kg steel scrap
PED, MJ	13.4
GWP (100 years) kg CO ₂ -e	1.51
AP, kg SO ₂ -e	0.0037
EP, kg Phosphate-e	9.97E-5
POCP, kg Ethene-e	0.00081

これにより、製鉄プロセスで 1 kg のスクラップ消費毎、およびその寿命をむかえた最終製品からリサイクルされる鋼 1 kg 毎に、Table 7 に表示されるデータを適用することができる。スクラップ消費による負荷は鉄スクラップの LCI の加算をもたらす。最終製品の EoL における鋼のリサイクルのクレジットは鉄スクラップ LCI の減算をもたらす。

8 ライフサイクル解釈

この調査の主な目的は、顧客や外部の研究からの要求を満たす信頼性の高い最新のデータを提供するために鉄鋼業界の世界規模の LCI のデータベースを更新し、ISO 14040:2006 及び 14044:2006 規格に準拠してすでに厳格な LCI の方法論を改善することである。

報告書のこのセクションでは、構築されたライフサイクルデータ、影響評価の種類及びデータに含まれるライフサイクルステージの各々に関して、ライフサイクルの研究の重要な側面をまとめる。

8.1 重要な課題の識別

第 7 章では、一次エネルギー消費の cradle-to-gate の値に寄与する主要なエネルギー源と 4 つの影響カテゴリー（GWP、AP、EP、および POCP）に寄与する主な排出を示している。

以下の Figure 15 から 17 は、PED と上述の 4 影響カテゴリーへの寄与を、異なるライフサイクルステージについて、cradle-to-gate の LCI 値の基準値（100%）を用いて示している。PED へは、上流の寄与が支配的である。

一方、他の4影響カテゴリーは、オンサイトすなわち gate-to-gate の活動からより大きな影響を受けている。例外は、形鋼と溶融亜鉛めっき鋼板の AP であり、上流の寄与が主要要因である。

Figure に示すように、co-products の配分（システム拡張）と EoL のリサイクリングのクレジットは製品の環境影響の合計を変える。

Figure 15 は、形鋼による PED と前述の4つの影響カテゴリーへのライフサイクルの寄与の世界平均値を示している。cradle-to-gate のデータは、基準値を100%としている。これは、gate-to-gate のデータ、鉄鋼製造プロセスへの投入によるアップストリームからの寄与、副生成物の配分による寄与により構成される。これに続いて、正味の EoL リサイクルクレジット（負の値）、そして全体的な値（EoL のリサイクルを含んだ cradle-to-gate）を示している。

このレポートでは、鉄鋼製品が EoL 段階でリサイクルされるであろう鉄の量すなわち RR の例として 85% を使用している。

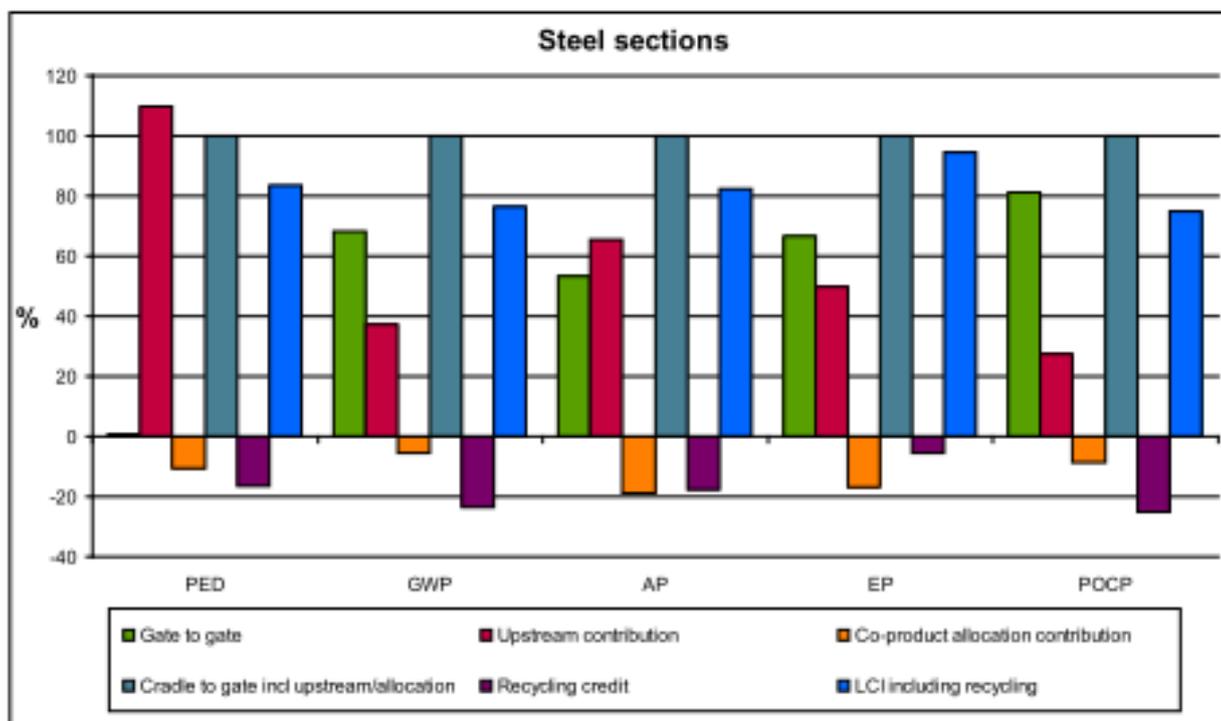


Figure 15: Life cycle contributions to PED and impact categories for steel sections

上記の形鋼と同じ説明に基づいて、Figure 16 は、熱間圧延コイルによる PED と前述の4つの影響カテゴリーへのライフサイクルの寄与（グローバル平均）を示している。

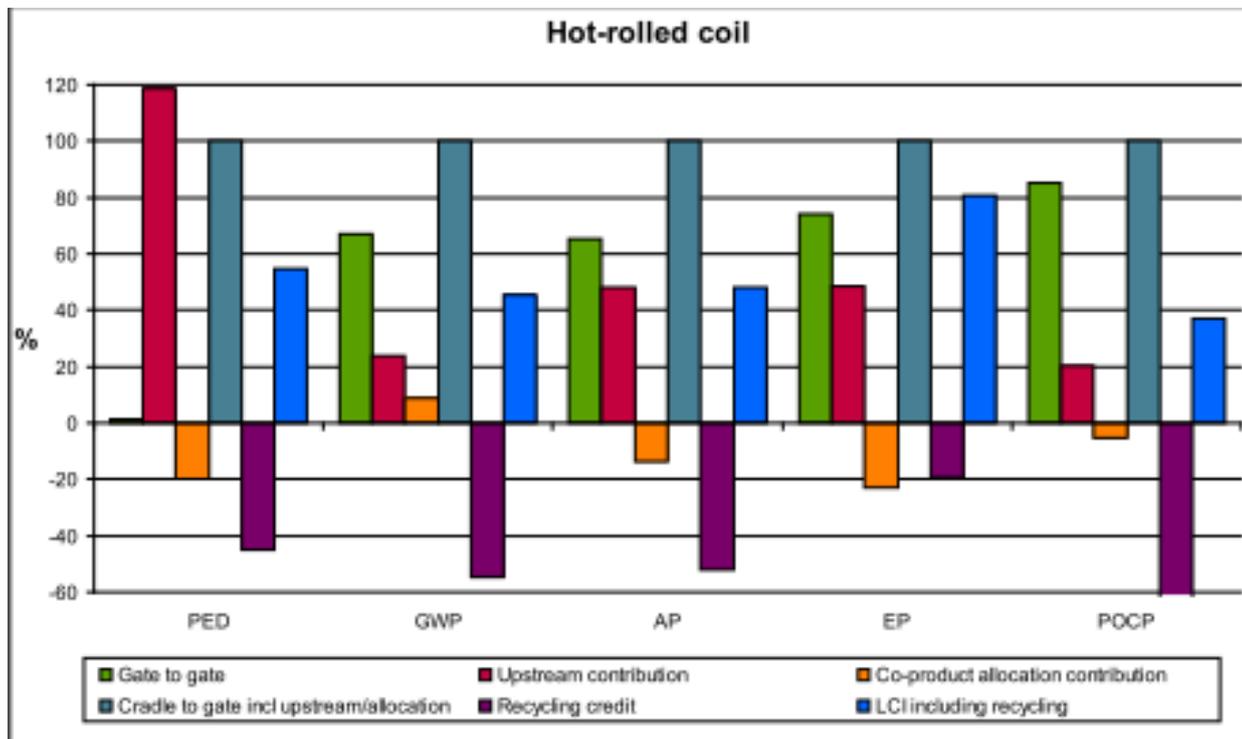


Figure 16: Life cycle contributions to PED and impact categories for HRC

そして最後に、Figure 17 は溶融亜鉛メッキ鋼板による前述の4つの影響カテゴリーへのライフサイクルの寄与を示している（グローバル平均）。

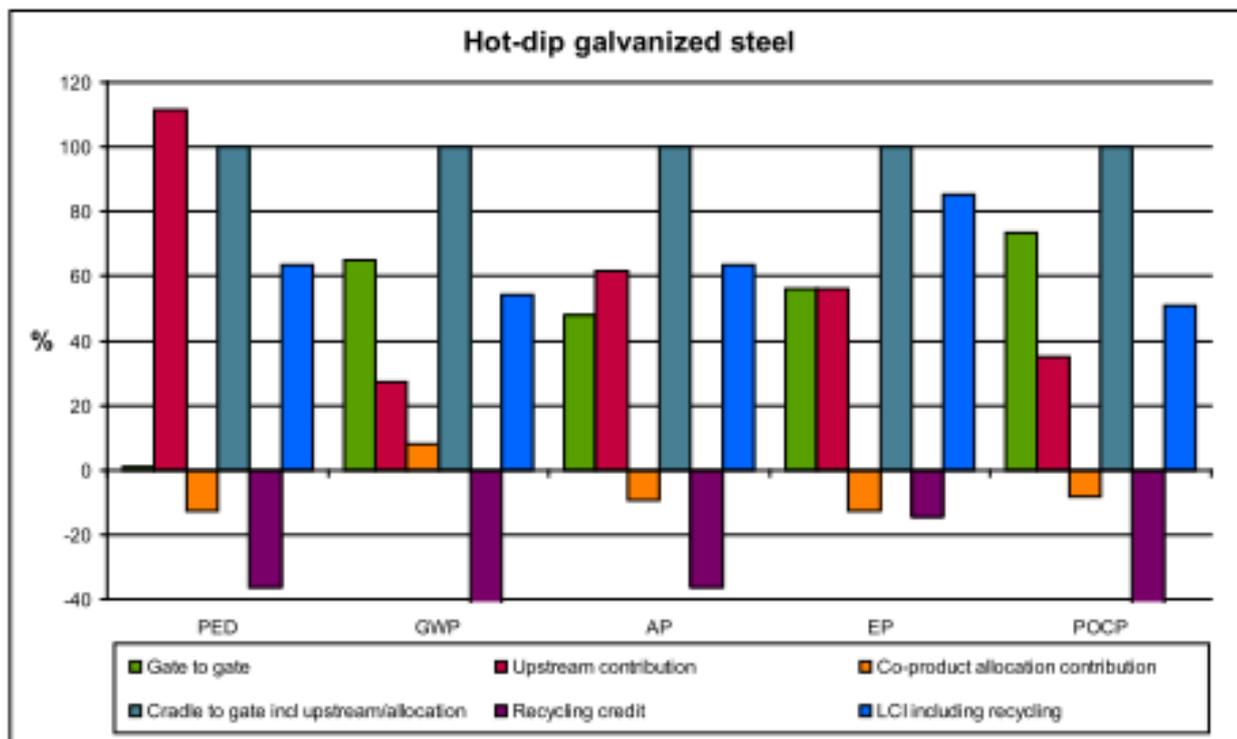


Figure 17: Life cycle contributions to PED and impact categories for HDG steel

Table 8 は、影響カテゴリーと PED のそれぞれへの主要な寄与要因をまとめたものである。鉄鋼生産はエネルギー集約型産業である。エネルギーや電力の消費は製鋼工程からの環境負荷への主要な寄与要因の一つである。そのため、それらが製品の LCIA に与える影響は、電源やエネルギー消費をたびたび決定付けることになる製鉄所の所在地に明らかに大きく依存している。

Table 8: Life cycle significant flows, phases and processes (excluding the end-of-life phase)

Impact category	Main input/output	Main phase	Main processes
-----------------	-------------------	------------	----------------

PED	Hard coal (75–95%) Natural gas (0–15%)	Upstream (~ 100%)	Upstream energy: electricity and fuels
GWP (100 years)	Carbon dioxide (90–95%) Methane (~ 6%)	Gate-to-gate (> 60%) Upstream (20–30%)	
AP	Sulphur dioxide (50–60%) Nitrogen oxides (30–40%) Hydrogen sulphide (< 10%)	Gate-to-gate (40–60%) Upstream (40–60%)	
EP	Nitrogen oxides (>90%) Nitrous oxide (~ 2%) Ammonia (~ 2%) Chemical Oxygen Demand (~ 2%)	Gate-to-gate (55–75%) Upstream (~ 50%)	
POCP	Carbon monoxide (60–70%) Sulphur dioxide (10–20%) NMVOCs (<10%) Nitrogen oxides (<10%)	Gate-to-gate (> 80%) Upstream (~ 20%)	

LCIに鉄鋼製品のEoLリサイクル性を含めると、鋼材を含む製品またはサービスの全体的な影響をとらえることが出来る。上記の Figure 15-17 に示した値は、正味のスクラップ生産量、すなわち、製品の寿命終了時にリサイクルされる鋼の量（EoLリサイクル率）から、鉄鋼生産プロセスへのスクラップ・インプットの量を差し引いたものである。

このため、同じEoLリサイクル率に基づくと、スクラップ投入量が高い製品（例えば、形鋼）は、スクラップ消費量が少ない製品よりも、EoLのリサイクルの全体の正味クレジットが小さくなる。

8.2 完全性、感度、一貫性チェック

8.2.1 完全性

世界鉄鋼協会のLCAモデルでは、完全性チェックが下記について分析するために gate-to-gate のレベルで行われた。

- ・各々の鉄鋼製造プロセスの完全性
- ・各鋼材に関連するエネルギーや材料インプットの網羅性
- ・主要なアウトプット（算定報告対象排出）、co-products 及び廃棄物の網羅性

これらのチェックに続いて、cradle-to-gate 完全性チェックはすべての重要なアップストリームデータのカバレッジを確保するために行われた。

8.2.2 感度

どのLCA手法でも、一定の仮定及び方法論的な選択を行う必要がある。世界鉄鋼協会の方法論については、これらのような決定のうちの一つに対して感度分析が行われており以下に説明する。三つの側面が選択されている：

- ・システム拡張：特に鉄鋼業の co-products は有益であり広く使用されているため、co-products の扱いは重要な方法論的課題の一つである
- ・内部輸送：軽油消費量のみ感度分析に含まれている
- ・梱包：梱包材料は研究から除外されている。

EoLでの鉄スクラップのリサイクルは世界鉄鋼協会の方法論のもう一つの重要な側面である。これは感度分析の一部として含まれていないが、EoLのリサイクルを含む場合の影響は章7および8のグラフに見ることができる。リサイクルの方法論はAppendix 10においてより詳細に説明する。

この分析のために、3つの代表的な製品が選択されている。形鋼は、EAFとBOFルートの両方で生産されている。熱間圧延コイルはBOFのルートから出てくる最初の製品の一つである。第三の製品、溶融亜鉛めっき鋼は、冷間圧延、酸洗、焼鈍、焼戻し及び亜鉛めっきなどの多くの追加のプロセスを経た製品である。

8.2.2.1 システム拡張 感度分析

鉄鋼製造プロセスからの co-products へシステム拡張を適用することの妥当性を分析した。システム拡張を使用する背景になった理由はセクション 4.6.1 で説明されており、この方法を選択することの PED と GWP への影響は、世界平均のデータを使用してセクション 7.1 で示されている。

Table 9: Sensitivity analysis of system expansion

		PED MJ	GWP kg CO ₂ e
Sections, 1 kg	Excluding system expansion	21.75	1.65
	Including system expansion	19.64	1.56
	% Difference	-9.7%	-5.7%
Hot-rolled coil, 1 kg	Excluding system expansion	25.96	1.83
	Including system expansion	21.64	2.01
	% Difference	-16.6%	9.8%
Hot-dip galvanized steel, 1 kg	Excluding system expansion	31.61	2.35
	Including system expansion	27.59	2.47
	% Difference	-12.7%	5.1%

Table 9 にシステム拡張が世界鉄鋼協会の LCI データに与える影響を示す。これは鉄鋼業界の co-products はセメント、路盤材、肥料など原料の代替としてでも、あるいは製鉄所内部または外部のエネルギー源または電力の代替としてでも、どちらの形でも価値があることを実証している。

GWP へのシステム拡張の寄与はプラスマイナス 5%から 10% である。形鋼は EAF および BOF ルートの両方から作られている。EAF ルートは、サイト内外で他の形態のエネルギー供給を代替するために使用されるプロセスガスを生産しない（ただし、使用するかもしれない）。

プロセスガスは比較的炭素強度が高いため、炭素強度が低い他のエネルギー源を置き換えるために使用される場合、鋼の LCI にとってクレジットではなく付加的な負担をもたらす。

PED へのシステム拡張の寄与は 10%~17%の範囲である。これは、サイト上で再利用するか外部にエクスポートすることができる炭素集約的なプロセス（コークス炉、BF および BOF）からの co-products の回収によるものである。データはすでに鋼の製造を主生成物として、そしてプロセスガスを co-product としてエネルギー消費量を表している。

これらのプロセスガスは、良好な発熱量を有しているため、効率的に回収することが出来る。形鋼については BOF およびプロセスガスが生成・回収されない EAF の両方で作られているため、PED の便益は低くなっている。

PED と GWP は両方とも鉄鋼製造の重要な側面である。多くの場合、LCA の研究で考慮されている他の影響領域は AP、POCP および EP を含むが、これらの鉄鋼業との関係性は比較的低い。これらの影響領域は、第 7 章でさらに検討されている。

8.2.2.2 内部輸送に関する感度解析

内部輸送の環境負荷は非常に小さい。最初の研究のサイトのサンプルにおける調査では、粗鋼 1kg あたりのディーゼル使用量は平均 0.001 L を示し、これは約 0.03MJ fuel energy/ kg-steel となる。しかし、構内の車両のためのディーゼル消費量は含まれている。

8.2.2.3 梱包の感度分析

以前の LCI データ収集の研究では、包装材料の影響は無視できることが示された。そのため本研究では製鉄所に供給された材料の梱包は含まれていない。しかしながら、コイルをまとめるために使用される鋼ストラップについては、この材料は鋼材でありデータは多くの場合容易に利用可能であるため、利用可能な場合、Questionnaire の中でデータが要求及び提供されている。上流の負荷として熱間圧延コイルがスチールストラップに割り当てられている。

8.2.3 一貫性チェック

会員企業の各々によって提供されるデータの整合性を確認するために、鉄、炭素およびエネルギー収支をサイトごとにそしてプロセス・レベルで実施した。また、ベンチマークチェックは、例えば、すべてのコークス炉またはすべての高炉を比較するなど水平レベルで行われた (Figure 3 を参照)。これは、gate-to-gate および cradle-to-gate レベルで行った。

8.3 結論、限界及び提言

クリティカルレビューは、方法論に加えられた変更が ISO 14040:2006 と ISO 14044:2006 に準拠していることを確認するために行われている。

この研究は、世界の鉄鋼製造法の 98%以上を代表し、グローバルベースで企業による鉄鋼生産の 25%以上をカバーしている。

データの完全性と正確性は、提供されたデータが世界の鉄鋼業界の最高の品質であることを確認するためにチェックされた。

8.3.1 結論

本研究は、15 の鉄鋼業界の製品について世界平均値として、さらに内 12 製品については EU 平均値として LCI のデータを提供する (Table 1 参照)。新規製鉄所データの追加は、データの地理的な広がりと代表性を高めるために、継続的な活動である。

LCA 調査では、EoL のシナリオは常に考慮されるべきである。世界鉄鋼協会の方法論は鉄鋼製品の EoL のリサイクルが含まれており、この手法を推奨する。

8.3.2 限界

鉄鋼メーカーによって提供されるデータは、2005 年から 2008 年の範囲である。これらの企業の環境パフォーマンスを改善するための継続的な対策により、今後数年間にわたって改善が生じ、これらを鋼材 LCI データに組み込む必要があることに留意すべきである。

また、本研究で完全に示されていない企業や地域がいくつかある。だが、世界鉄鋼協会の LCI データ収集プロジェクトにこれらのサイトを組み込むよう努力中である。

それゆえデータと方法論は、レポートにリストされている製品と、BOF ルートと EAF ルートを介した鉄鋼製造プロセスに適している。平炉などの他の製造法には適していない。

データは、ステンレス鋼製品には使用できない。

8.3.3 データの使用勧告

鉄鋼 LCI データを使用して LCA 調査を実施する場合には、実施者は適切な鋼材が使用されること、および方法論の条件が理解されていることを確実にするため（特に鉄鋼製品の EoL リサイクルに関して）、世界鉄鋼協会 LCA マネージャーと連絡をとることが望ましい。

世界鉄鋼協会から入手可能な製品の詳細な説明は Appendix 1 に記されている。各製品の使用可能性のマトリックスは、Appendix 13 に記されている。鉄鋼は世界的に取引される商品であるため、グローバル平均データを使用することは多くの研究にとって適切である。また、生産地域の選択を指定した場合、地域のデータも提供される。

研究の結果は、2005 から 2008 年世界の鉄鋼生産を反映しており、さらに新しいサイトが世界鉄鋼協会のデータ収集プロジェクトに参加してきている。従って、適宜世界鉄鋼協会鋼 LCI データセットを更新する必要がある。これによってデータに変更が生じることがある。このような変化が発生した可能性があると感じる場合、世界鉄鋼協会の LCA マネージャーに連絡することが適切である。

世界鉄鋼協会はこのデータをできるだけ簡単に使用できるように、LCA のソフトウェアツールとデータベースにデータセットを提供する努力をしている。正しい鋼材が選択されており、方法論が十分に理解されていることを確保するよう留意すべきである。

9 Appendices

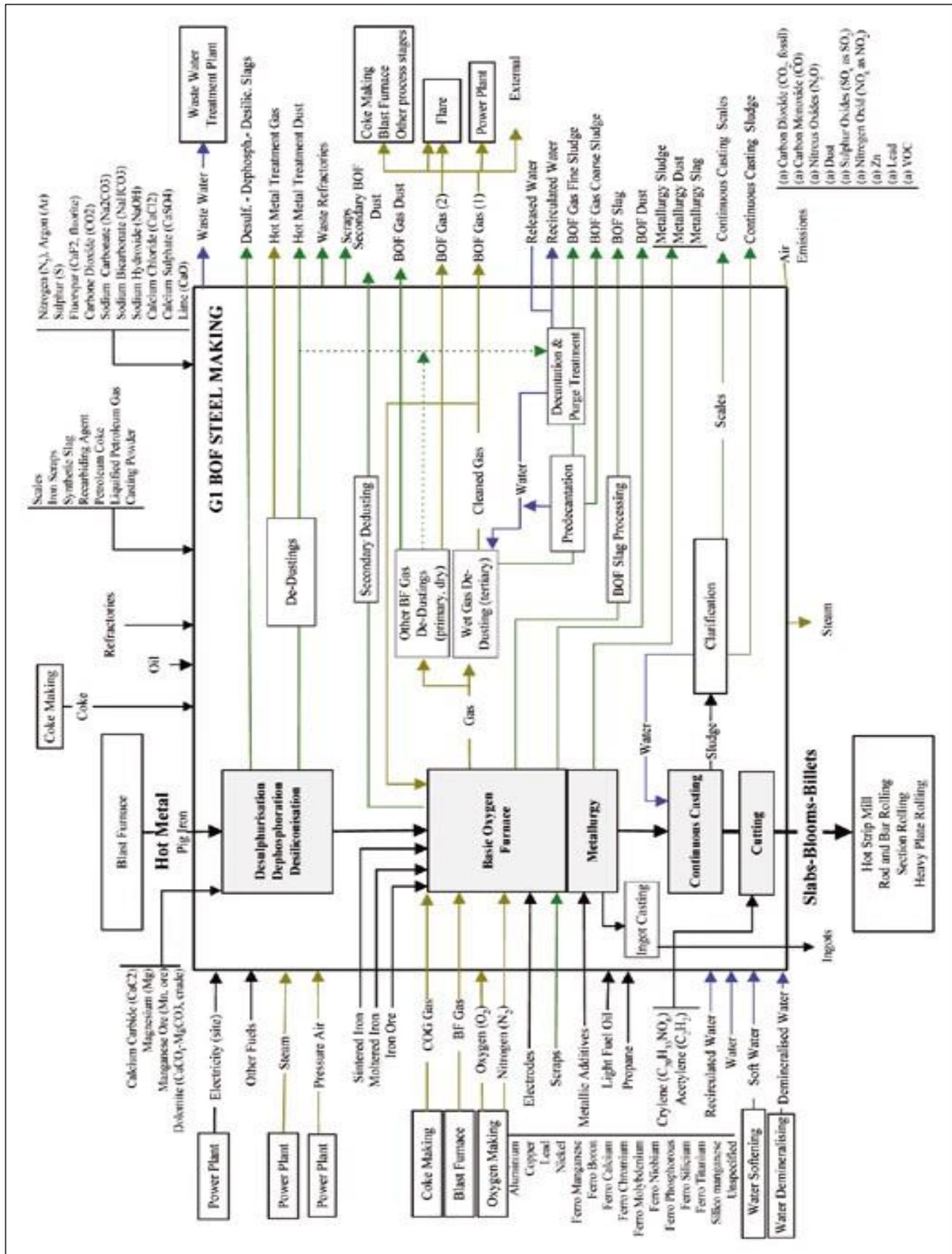
Appendix 1: Description of steel products	42
Appendix 2: Representation of the BOF module	44
Appendix 3: Steel product manufacturing flow diagrams via the BOF and EAF routes.....	45
Appendix 4: Example data collection questionnaire.....	46
Appendix 5: List of participating companies.....	49
Appendix 6: List of upstream inputs and their sources.....	50
Appendix 7: Electricity grid mix information.....	56
Appendix 8: Steel LCI data explanation	58
Appendix 9: System expansion assumptions	62
Appendix 10: Recycling methodology	エラー! ブックマークが定義されていません。
Appendix 11: Deviations from the 2000 methodology report	72
Appendix 12: List of all available questionnaires	73
Appendix 13: Matrix of steel product uses.....	74
Appendix 14: Critical review: World Steel Association life cycle inventory Study for steel products.....	76

Appendix 1: Description of steel products

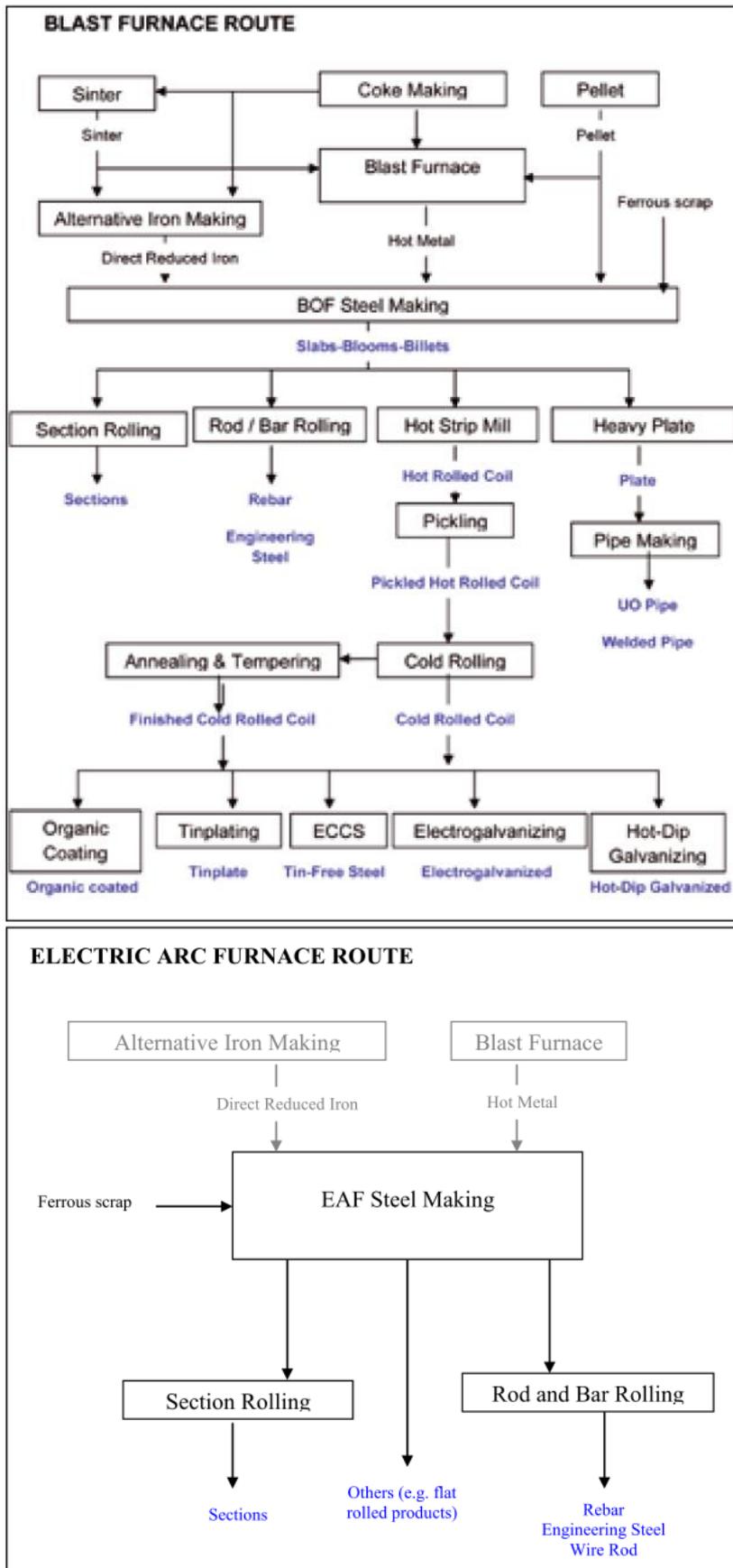
Product	Product description
Plate	A flat steel sheet rolled on a hot-rolling mill; can be further processed. Includes use in the following sectors: structural steels, shipbuilding, pipes, pressure vessels, boilers, heavy metal structures, offshore structures, etc. Typical thickness between 2 and 20 mm. Maximum width is 1,860 mm.
Hot-rolled coil	Steel coil rolled on a hot-strip mill; can be further processed. Applications in virtually all sectors of industry: transport, construction, shipbuilding, gas containers, pressure vessels, energy pipelines, etc. Typical thickness between 2 and 7 mm. Typical width between 600 and 2,100 mm.
Pickled hot-rolled coil	Hot-rolled steel from which the iron oxides present at the surface have been removed in a pickling process; can be further processed. Applications in virtually all sectors of industry: transport, construction, shipbuilding, gas containers, pressure vessels, energy pipelines, etc. Typical thickness between 2 and 7 mm. Typical width between 600 and 2,100 mm.
Cold-rolled coil	Obtained by a further thickness reduction of a pickled hot-rolled coil. This step is achieved at low temperature in a cold-reduction mill; can be further processed. Used as primary material for finished cold-rolled coils and coated coils. Typical thickness between 0.15 and 3 mm. Typical width between 600 and 2,100 mm.
Finished cold-rolled coil	Obtained by heat treatment (annealing) and strain-hardening of cold-rolled steel to achieve final mechanical properties making the steel suitable for further uses (forming and bending); can be further processed. Classified into the following: formable steels, high strength formable steels, weathering structural steels, structural steels, hardenable steels. They have excellent forming properties, electromagnetic properties, paintability, weldability, and are suitable for fabrication by forming, pressing and bending. Applications include domestic applications, automotive applications, lighting fixtures, electrical components (stators, rotors) and various kinds of roofing applications, profiled sheets, wall elements, etc. Typical thickness between 0.3 and 3 mm. Typical width between 600 and 2,100 mm.
Hot-dip galvanized steel	Obtained by passing cold-rolled coil through a molten zinc bath, to coat the steel with a thin layer of zinc to provide corrosion resistance; can be further processed. Has excellent forming properties, paintability, weldability, and is suitable for fabrication by forming, pressing and bending. Applications include domestic applications, building applications (e.g. wall elements, roofing applications), automotive applications (e.g. body-in-white for vehicles, underbody auto parts), lighting fixtures, drums and various kinds of sections applications, profiled sheets, etc. Typical thickness between 0.3 and 3 mm. Typical width between 600 and 2,100 mm.
Electro galvanized steel	Obtained by electro plating finished cold-rolled steel with a thin layer of zinc or zinc-nickel to provide corrosion resistance; can be further processed. Has excellent forming properties, paintability, weldability, and are suitable for fabrication by forming, pressing and bending. Applications include domestic applications, building applications (e.g. wall elements, roofing applications), automotive applications (e.g. body in white for vehicles underbody auto parts), lighting fixtures, drums and various kinds of sections applications, profiled sheets, etc. Typical thickness between 0.3 and 3 mm. Typical width between 600 and 2,100 mm.
Rebar	A steel reinforcing bar is rolled on a hot rolling mill; can be further processed. This product is used to strengthen concrete in highway and building construction also as primary product for the wire rod process.

Sections	A steel section rolled on a hot-rolling mill. Steel sections include I-beams, H-beams, wide-flange beams, and sheet piling. This product is used in construction, multi-story buildings, industrial buildings, bridge trusses, vertical highway supports, and riverbank reinforcement.
UO pipe	UO pipe is usually large in diameter and produced one piece at a time by forming plates. The plate is first pressed into a U shape by the U-press, and then into an O shape by the O-press. Relatively thick material is used for making UO pipes, so submerged arc welding is used for joining. UO pipe is mainly used as line pipe for transporting petroleum and natural gas in large quantities and over long distances.
Welded pipe	A flat plate steel coil that is bent and welded into a tube. It can be found on the market for final use. A heavy-wall pipe is technically used to transport fluids (e.g. oil, gases, water, chemicals).
Wire rod	Wire rod is a rolled steel product, produced from a semi and having a round, rectangular or other cross-section. Particularly fine cross sections may be achieved by subsequent cold forming (drawing). Wire rod is wound into coils and transported in this form.
Tinplate	Obtained by electro-plating a thin finished cold-rolled coil with a thin layer of tin. It can be found on the market in coil or in sheets and is further processed into finished products by the manufacturers. Tin-plated steel is used primarily in food cans, industrial packaging (e.g. small drums). Typical thickness between 0.13 and 0.49 mm. Typical width between 600 and 1,100 mm.
Tin-free (ECCS)	Also known as Electrolytic chrome coated steel (ECCS). Obtained by electro-plating a thin finished cold-rolled coil with a thin layer of chrome. It can be found on the market in coil or in sheets and is further processed into finished products by the manufacturers. ECCS is used primarily in food cans, industrial packaging (e.g. small drums). Typical thickness between 0.13 and 0.49 mm. Typical width between 600 and 1,100 mm.
Organic coated	Obtained by coating a steel substrate with organic layers such as paint or laminated film. The substrate is mainly hot-dip galvanized coil but may also be electrogalvanized coil, finished cold-rolled coil or tin-free steel. It can be found on the market in coil or in sheets and is further processed into finished products by the manufacturers. Used in all activity sectors, e.g. construction (roof, wall and ceiling claddings, lighting, radiators, etc.), general industry (e.g. office furniture, heating, ventilating, air conditioning), domestic appliances (refrigerators, washing machines, small kitchen appliances, computer casings, VCR & DVD casings, etc.) and packaging. Typical thickness between 0.15 and 1.5 mm. Typical width between 600 and 1,300 mm.

Appendix 2: Representation of the BOF module



Appendix 3: Steel product manufacturing flow diagrams via the BOF and EAF routes



Typical representation of steelmaking processes. Process routes can vary; not all routes are included. Steel products highlighted in blue.

Appendix 4: Example data collection questionnaire

Fiscal period: 2008

Site: Steel Site 1, Steel Company Questionnaire: Hot strip mill

Tab: Inputs

Name	Unit	Value	Quality of data	Source	Year
Flows	-	-	-	-	-
Production residues in life cycle	-	-	-	-	-
Waste for recovery	-	-	-	-	-
Hot rolling sludge	kg	150	Measured	Factory	2008
Oxycutting slag	kg		Calculated	Literature	
Scales internal	kg		Estimated	Other	
Scarfing dust	kg		n.a.	Factory	
Steel scrap (Home scrap)	kg		n.a.	Factory	
Used oil	kg		n.a.	Factory	
Waste water treatment sludge	kg		n.a.	Factory	
Resources	-	-	-	-	-
Material resources	-	-	-	-	-
Renewable resources	-	-	-	-	-
Water	-	-	-	-	-
Water (fresh water)	kg		n.a.	Factory	
Water (sea water)	kg		n.a.	Factory	
Water (softened, deionized)	kg		n.a.	Factory	
Water Cooling fresh	kg		n.a.	Factory	
Water Cooling sea	kg		n.a.	Factory	
Valuable substances	-	-	-	-	-
Energy carrier	-	-	-	-	-
Electric power	-	-	-	-	-
Power	MJ		n.a.	Factory	
Fuels	-	-	-	-	-
Crude oil products	-	-	-	-	-
Heavy fuel oil	kg		n.a.	Factory	
Light fuel oil	kg		n.a.	Factory	
Liquefied petroleum gas	kg		n.a.	Factory	
Natural gas products	-	-	-	-	-
Natural gas	kg		n.a.	Factory	

Name	Unit	Value	Quality of data	Source	Year
Other fuels	-	-	-	-	-
Basic Oxygen Furnace Gas (MJ)	MJ		n.a.	Factory	
Blast furnace gas (MJ)	MJ		n.a.	Factory	
Coke oven gas (external supply, in MJ)	MJ		n.a.	Factory	
Coke oven gas (MJ)	MJ		n.a.	Factory	
Smelting furnace gas (MJ)	MJ		n.a.	Factory	
Mechanical energy	-	-	-	-	-
Compressed air for process	m ³		n.a.	Factory	
Thermal energy	-	-	-	-	-
Hot water (MJ)	MJ		n.a.	Factory	
Steam (MJ)	MJ		n.a.	Factory	
Materials	-	-	-	-	-
Intermediate products	-	-	-	-	-
Inorganic intermediate products	-	-	-	-	-
Ferric chloride	kg		n.a.	Factory	
Ferrous sulphate (FeSO ₄)	kg		n.a.	Factory	
Hydrochloric acid (100%)	kg		n.a.	Factory	
Nitrogen gaseous	kg		n.a.	Factory	
Oxygen gaseous	kg		n.a.	Factory	
Sodium hydroxide (100%; caustic soda)	kg		n.a.	Factory	
Sodium hypochlorite	kg		n.a.	Factory	
Sulphuric acid (100%)	kg		n.a.	Factory	
Organic intermediate products	-	-	-	-	-
Lubricant	kg		n.a.	Factory	
Propane	kg		n.a.	Factory	
Metals	-	-	-	-	-
Cold-rolled coil (from DSP)	kg		n.a.	Factory	
Slab (from BOF)	kg		n.a.	Factory	
Slab (from EAF)	kg		n.a.	Factory	
Slab (from external supply)	kg		n.a.	Factory	
Steel strap	kg		n.a.	Factory	
Minerals	-	-	-	-	-
Lime quicklime (lumpy)	kg		n.a.	Factory	
Refractories (magnesia, alumina, chromic oxide)	kg		n.a.	Factory	
Refractories (silica, alumina)	kg		n.a.	Factory	

Name	Unit	Value	Quality of data	Source	Year
Operating materials	-	-	-	-	-
Anticorrosing Agent (unspecified)	kg		n.a.	Factory	
Antifur Agent (unspecified)	kg		n.a.	Factory	
Detergent	kg		n.a.	Factory	
Grease	kg		n.a.	Factory	
Water for industrial use	kg		n.a.	Factory	
Waste water treatment	-	-	-	-	-
Aluminum sulfate	kg		n.a.	Factory	
anticorrosing agent	kg		n.a.	Factory	
Antifoaming Agent (unspecified)	kg		n.a.	Factory	
Antifur Agent (unspecified)	kg		n.a.	Factory	
Carbon dioxide	kg		n.a.	Factory	
Citric acid (C H O)	kg		n.a.	Factory	
Coagulation agent	kg		n.a.	Factory	
Compressed air	m ³		n.a.	Factory	
Ferric chloride	kg		n.a.	Factory	
Flocculating agent	kg		n.a.	Factory	
Hydrochloric acid (100%)	kg		n.a.	Factory	
Hydrogen peroxide (H O)	kg		n.a.	Factory	
Lime quicklime (lumpy)	kg		n.a.	Factory	
Natural gas	kg		n.a.	Factory	
Nitric acid	kg		n.a.	Factory	
Oxygen gaseous	kg		n.a.	Factory	
Phosphoric acid	kg		n.a.	Factory	
Polyelectrolyte	kg		n.a.	Factory	
Power	MJ		n.a.	Factory	
Soda (sodium carbonate)	kg		n.a.	Factory	
Sodium bisulphite	kg		n.a.	Factory	
Sodium chloride (rock salt)	kg		n.a.	Factory	
Sodium hydrosulfite (Na O S)	kg		n.a.	Factory	
Sodium hydroxide (100%; caustic soda)	kg		n.a.	Factory	
Sodium hypochlorite	kg		n.a.	Factory	
Sodium nitrite	kg		n.a.	Factory	
Steam	MJ		n.a.	Factory	
Sulphuric acid (100%)	kg		n.a.	Factory	
Water (fresh water)	kg		n.a.	Factory	
Water (sea water)	kg		n.a.	Factory	
Water for industrial use	kg		n.a.	Factory	

Appendix 5: List of participating companies

The following companies contributed to the LCI released in February 2010.

ArcelorMittal

Baosteel

CELSA

Gerdau

JFE

JSW

Kobe Steel

Nippon Steel

Nisshin

Ruukki

SAIL

SSAB

Sumitomo metal

TataSteelEurope

ThyssenKrupp Steel

voestalpine

Appendix 6: List of upstream inputs and their sources

Item	Process Information	Country	Year	Source
Acetylene	Ethine (acetylene), SACHSSE-BARTHOLOME process	DE (Germany)	2005	PE
Activated carbon	–	DE	2005	PE
Aluminium	The common raw material for aluminium production, bauxite is composed primarily of one or more aluminium hydroxide compounds, plus silica, iron and titanium oxides as the main impurities. It is used to produce aluminium oxide through the Bayer chemical process and subsequently aluminium through the Hall-Heroult electrolytic process.	RER (Europe)	2002	PE
Aluminium chloride	Aluminium chloride hexahydrate	DE	2005	PE
Aluminium sulphate	Aluminium sulphate	DE	2005	PE
Ammonia	Ammonia is produced almost exclusively by the HABER-BOSCH process. First, synthesis gas has to be produced. It is a mixture of nitrogen and hydrogen (not to be mistaken for the more common CO/H ₂ synthesis gas). Nitrogen is gained from air by fractionation, hydrogen from natural gas by steam reforming. The latter process produces CO and CO ₂ , which can either be converted to methane or oxidised entirely to CO ₂ .	RER	2002	PE
Ammonium sulphate	Ammonium sulphate mix (by-product)	DE	2005	PE
Anthracite	Country specific data, based on hard coal mix for each country	Country specific	2002	PE
Argon	Gaseous, LINDE process	DE	2005	PE
Bauxite	Opencase and underground mining	RER	2004	PE
Benzene	Benzene produced from reformat gasoline, pyrolysis gasoline or from toluene dealkylation, consisting of the distribution of technologies used for the production of benzene, representing the respective country / region. The technology shares were taken from national statistics.	RER	2005	PE
BOF slab	1kg global slab, weighted average	GLO (Global)	2010	worldsteel
Calcium chloride	(from epichlorohydrine synthesis)	DE	2005	PE
Carbon dioxide	From HABER-BOSCH process (ammonia synthesis, NH ₃ /C ₂)	DE	2005	PE

Item	Process Information	Country	Year	Source
Cement	<p>CEM I 32.5 (39.6%) CEM I 42.5 (36.5%) CEM I 52.5 (7.6%) CEM III 32.5 (16.3%)</p> <p>The main processes in cement production consist of raw material extraction, production of clinker, and cement grinding. The extraction of the main raw material from the quarry normally takes place in the immediate area of the cement works. Portland cement (CEM I) is primarily made up of finely ground clinker cement and a smaller amount of ground materials. Other cements may also include constituents such as slag sand (CEM III), natural puzzolan such as trass (CEM IV), fly ash, oil shale burn-out or limestone. The most important agent is the blast furnace cement (CEM III).</p>	DE	2001	PE
Coal	Country specific data, based on hard coal mix for each country	Country specific	2002	PE
Coal for coke making	Coking coal production mix - see section 4.5.2.2	GLO	2006	PE
Coal for injection	Country specific data, based on hard coal mix for each country	Country specific	2002	PE
Coke	1 kg global coke, weighted average	GLO	2010	worldsteel
Copper	Global copper mix: electrolyte copper 99,99% world-mix. Outokumpu was modelled for Chile, ISA smelt for Australia and the Mitsubishi process for Indonesia.	GLO	2002	PE
Diesel	Three regional LCIs for diesel, based on hydro-skimming and more complex refineries including hydro treatment, conversion (e.g. cracking) and refining processes	RER, Japan, USA	2003	EU: ELCD ²⁰ and PE USA and Japan: PE
Direct reduced iron	1kg global DRI, weighted average	GLO	2010	worldsteel
Dolomite	Burned dolomite	DE	2005	PE
Dolomite (crude)	Dolomite extraction	DE	2005	PE
Electricity	See Appendix 7	Country specific	2002	PE
Electrode	Electrode mix	GLO	2005	PE
Ferric chloride	Ferric (III) chloride (hexahydrate)	DE	2005	PE
Ferro chrome	Ferro Chromium (high carbon)	GLO	2005	ICDA

Appendix 6: continued

Item	Process Information	Country	Year	Source
Ferro manganese	Production of ferro-manganese (77% Mn) with high carbon content. The direct process chain includes the mining and the beneficiation of the ore (South African specific and mining and beneficiation are at the same operation site), a sinter and melting process (electric furnace), the transport to the port of transshipment (Rotterdam) and the subsequent 300 km transport to the German trade market.	ZA (South Africa)	2000	PE
Ferro molybdenum	Ferro molybdenum (67% Mo)	NA	2008	Molybdenum
Ferro nickel	Ferro Nickel (32% Ni)	NA	2008	PE
Ferro silicum	Ferro silicon mix (90%)	DE	2000	PE
Ferro vanadium	Ferro Vanadium (FeV 80%)	ZA	2005	PE
Ferrous sulphate	Ferrous (II) sulphate	DE	2005	PE
Gasoline	Three regional LCIs for gasoline, based on hydro-skimming and more complex refineries including hydro treatment, conversion (e.g. cracking) and refining processes	RER	2003	PE
Heavy fuel oil	Three regional LCIs for heavy fuel oil, based on hydro-skimming and more complex refineries including hydro treatment, conversion (e.g. cracking) and refining processes	RER, Japan, USA	2003	EU: ELCD and PE USA and Japan: PE
Hot metal	1 kg global hot metal, weighted average	GLO	2010	worldsteel
Hydrochloric acid	100% hydrochloric acid mix. The 'mix' process considers the technologies involved in the production of hydrochloric acid, based on the technology distribution of the respective technology for the country.	DE	2005	PE
Hydrogen	Electrolysis of water and hydrocracking of hydrocarbons, steam reforming of natural gas or heavy fuel oil for the industrial scale production of hydrogen.	RER	2005	PE
Hydrogen peroxide	50%; H ₂ O ₂ . Anthraquinone process	DE	2005	PE
Iron ore	See section 4.5.3.1	GLO	2008	worldsteel
Kerosene	Three regional LCIs for kerosene, based on hydro-skimming and more complex refineries including hydro treatment, conversion (e.g. cracking) and refining processes	RER	2003	PE

Appendix 6: continued

Item	Process Information	Country	Year	Source
Lead	Lead (99.995%), primary lead produced on the traditional process route. Does not include lead and zinc recovery.	RNA	2000	PE
Light fuel oil	Three regional LCIs for light fuel oil, based on hydro-skimming and more complex refineries including hydro treatment, conversion (e.g. cracking) and refining processes.	RER, Japan, USA	2003	EU: ELCD and PE USA and Japan: PE
Lime	CaO; quicklime lumpy, manufactured technically by deacidifying limestone (CaCO ₃) at temperatures over 900°C. This leads on average to the production of 7.58 kg CO ₂ /t quick lime. These emissions are physically determined and they dominate the CO ₂ balance of the lime burning process.	DE	2000	PE
Limestone	CaCO ₃ ; washed	DE	2005	PE
Liquefied petroleum	Liquefied gas (LPG; 70% Propane; 30% Butane), refining process	GLO	2003	PE
Lubricants	Based on hydro-skimming and more complex refineries including hydro treatment, conversion (e.g. cracking) and refining processes.	RER	2003	PE
Magnesium	Magnesium Pidgeon process	CN	2004	PE
Manganese	South Africa and Australia cover 90% of world manganese production (International Manganese Institute). 80% of the mining takes place underground and 20% in open cast operations. The beneficiation is done at the mining site. The manganese ore is crushed and processed. The concentrate is then reduced by intense heating in a calcination process. Manganese metal is produced during electrolysis by addition of ammonia and sulphuric acid. The end product is manganese 99%.	ZA	2002	PE
Natural gas	Country specific data, based on natural gas mix for each country	Country specific	2002	PE and IEA
Nickel	Global Nickel mix. The nickel ore is mined, milled and in-situ concentrated by flotation. Then, the heading is transported to a nickel works where it is roasted and smelted. The nickel matte remains after separation of the cinder. From this product, the high-purity nickel is extracted in a refinery.	GLO	2002	PE
Nitric acid	98%. Two-step oxidation of ammonia to nitrogen monoxide and further to nitrogen dioxide and the absorption of the latter in water.	DE	2005	PE
Nitrogen	Air and power to produce gaseous nitrogen	NA	2007	PE
Olivine	Silica sand (excavation and extracting)	RER	2005	PE

Appendix 6: continued

Item	Process Information	Country	Year	Source
Oxygen	Air, cooling water and power to produce gaseous oxygen	NA	2007	PE
Pellet	1 kg global pellet, weighted average	GLO	2010	worldsteel
Petroleum coke	Three regional LCIs for petrol coke at refinery	RER, Japan, USA	2003	PE
Phosphoric acid	100%, wet process	DE	2005	PE
Polyethylene	Polyethylene low density granulate (PE-LD)	RER	2005	PlasticsEurope
Polyvinyl chloride	Polyvinyl Chloride granulate (bulk, B-PVC)	RER	2005	PlasticsEurope
Propane	Three regional LCIs for propane free refinery	RER, Japan, USA	2003	PE
Quartz sand	Silica sand is mined together with kaolin and feldspar using bucket excavators or bucket chain dredgers. The material is elutriated and the sand sieved in a multi step process.	DE	2005	PE
Refractories (all)	Insulation brick (high in alumina)	DE	2005	PE
Sand	Silica sand is mined together with kaolin and feldspar using bucket excavators or bucket chain dredgers. The material is elutriated and the sand sieved in a multi step process.	DE	2005	PE
Scrap	See section 7.2			worldsteel
Serpentine	Kaolin: mined, as kaolin, normally together with silica sand and feldspar using bucket excavators or bucket chain dredgers.	DE	2005	PE
Silicon mix	Usually, silicon metal and ferro-silicon are commonly produced in low-shaft three phase submerged electric arc furnaces (open or semi-closed type). The furnace rotates in intervals which homogenises the molten metal and because of this saves 5-10% electric energy. The silicon metal production under examination is calculated with the import mix from 2003. The following import countries of silicon to the German market are considered: USA 42%, United Kingdom 19%, Japan 17% and Russia 12% (around 90% of the import mix to Germany).	DE	2000	PE
Sinter	1 kg global sinter, weighted average	GLO	2010	worldsteel
Sinter/pellet fines	1 kg global sinter, weighted average	GLO	2010	worldsteel
Sodium carbonate	Soda (Na ₂ CO ₃), produced by the Solvay process	DE	2005	PE

Appendix 6: continued

Item	Process Information	Country	Year	Source
Sodium chloride	Rock salt is obtained from salt mines by use of machines or leaching techniques.	RER	2005	PE
Sodium hydroxide	100% caustic soda from brine extraction, electrolysis and purification	RER	2005	PlasticsEurope
Sodium hypochlorite	50% solution	DE	2007	PE
Sodium sulphate	Sodium sulphate production and refining	GLO	2005	PE
Steam	Steam (mp)	RER	2005	PlasticsEurope
Steel strap	Hot-rolled coil	GLO	2010	worldsteel
Sulphur	Based on hydro-skimming and more complex refineries including hydro treatment, conversion (e.g. cracking) and refining processes	RER	2003	PE
Sulphur trioxide	SO from evaporation of sulphuric acid	DE	2005	PE
Sulphuric acid	Oxidation of sulphur over sulphur dioxide to sulphur trioxide (contact procedure in several reactors with different catalysts), loosened in concentrated sulphuric acid in several columns and forms thereby a still higher concentrated sulphuric acid.	RER	2005	PE
Surface cleaning agent	Non-ionic surfactant (fatty acid derivative)	-	2005	PE
Synthetic gas	Synthesis gas (H ₂ :CO = 3:1). Produced from water (steam) and methane (natural gas). The latter can be replaced with other hydrocarbons and	DE	2005	PE
Tar	Based on hydro-skimming and more complex refineries including hydro treatment, conversion (e.g. cracking) and refining processes	RER	2003	PE
Tin	Indonesia is one of the biggest tin producers in the world beside Peru. The mining operation of the tin sand considered in this data set is considered with the dredging technology (off shore). The mined tin sand (approx. 25% Sn) is transported to the beneficiation plant by using conveyer belts.	ID	2000	PE
Titanium dioxide	Chloride process	RER	2005	PE
Zinc	Global zinc mix	GLO	2005	PE

Appendix 7: Electricity grid mix information

The power grid mix that is used for each site is relevant to the location of each steelmaking site, by country. All data has been taken from the GaBi 4 software and is listed in more detail below. The data is a cradle-to-gate inventory and is in compliance with ISO 14040: 2006 and 14044: 2006.

Country	Age	Original data sources	Grid
Argentina	2002	GaBi 4 based on national statistics, IEA etc.	46% natural gas, 43% hydro, 7% nuclear, 2% heavy fuel oil, 1% solid biomass, 1% blast furnace gas
Australia	2002	GaBi 4 based on national statistics, IEA etc.	52% hard coal, 25% brown coal, 12% natural gas, 7% hydro, 2% heavy fuel oil, 1% blast furnace gas, 1% solid biomass
Austria	2002	GaBi 4 based on European Commission's ELCD	67% hydro, 15% natural gas, 8% hard coal, 3% heavy fuel oil, 2% brown coal, 2% solid biomass, 1% blast furnace gas, 1% waste
Belgium	2002	GaBi 4 based on European Commission's ELCD	58% nuclear, 22% natural gas, 12% hard coal, 3% blast furnace gas
Brazil	2002	GaBi 4 based on national statistics, IEA etc.	83% hydro, 4% nuclear, 4% natural gas, 4% heavy fuel oil, 3% solid biomass, 1% hard coal, 1% blast furnace gas
Canada	2002	GaBi 4 based on national statistics, IEA etc.	58% hydro, 13% nuclear, 11% brown coal, 8% hard coal, 6% natural gas, 2% heavy fuel oil, 1% solid biomass
China	2002	GaBi 4 based on national statistics, IEA etc.	77% hard coal, 18% hydro, 3% heavy fuel oil, 1.5% nuclear
Finland	2002	GaBi 4 based on European Commission's ELCD	30% nuclear, 17% hard coal, 15% natural gas, 14% hydro, 13% solid biomass, 8% peat, 1% blast furnace gas, 1% heavy fuel oil
France	2002	GaBi 4 based on European Commission's ELCD	78% nuclear, 12% hydro, 4% natural gas, 4% hard coal
Germany	2002	GaBi 4 based on European Commission's ELCD	29% nuclear, 26% brown coal, 23% hard coal, 9% natural gas, 5% hydro, 3% wind, 2% waste, 1% blast furnace gas, 1% heavy fuel oil
India	2002	GaBi 4 based on national statistics, IEA etc.	64% hard coal, 11% hydro, 11% natural gas, 5% heavy fuel oil, 5% brown coal, 3% nuclear
Italy	2002	GaBi 4 based on European Commission's ELCD	35% natural gas, 31% heavy fuel oil, 16% hydro, 12% hard coal, 2% blast furnace gas, 2% geothermal, 1% waste
Japan	2002	GaBi 4 based on national statistics, IEA etc.	27% nuclear, 22% natural gas, 22% hard coal, 13% heavy fuel oil, 8% hydro, 5% blast furnace gas, 1% solid biomass, 1% gaseous biomass
Korea	2002	GaBi 4 based on national statistics, IEA etc.	36% nuclear, 36% hard coal, 13% natural gas, 9% heavy fuel oil, 4% blast furnace gas, 2% hydro
Luxembourg	2002	GaBi 4 based on European Commission's ELCD	71% natural gas, 27% hydro, 1% waste, 1% wind

Country	Age	Original data sources	Grid
Netherlands	2002	GaBi 4 based on European Commission's ELCD	59% natural gas, 25% hard coal, 4% nuclear, 3% blast furnace gas, 3% heavy fuel oil, 3% waste, 1% solid biomass, 1% wind
Norway	2002	GaBi 4 based on European Commission's ELCD	99% hydro (plus blast furnace gas, natural gas, solid biomass and waste)
Singapore	2002	GaBi 4 based on national statistics, IEA etc.	38% nuclear, 33% brown coal, 23% hydro, 3% hard coal, 2% natural gas
Spain	2002	GaBi 4 based on European Commission's ELCD	28% hard coal, 25% nuclear, 13% natural gas, 11% heavy fuel oil, 11% hydro, 5% brown coal, 3% wind, 1% solid biomass
Sweden	2002	GaBi 4 based on European Commission's ELCD	46% nuclear, 46% hydro, 3% solid biomass, 2% heavy fuel oil, 2% hard coal, 1% blast furnace gas
United Kingdom	2002	GaBi 4 based on European Commission's ELCD	39% natural gas, 32% hard coal, 23% nuclear, 2% hydro, 2% heavy fuel oil, 1% gaseous biomass
United States of America	2002	GaBi 4 based on national statistics, IEA etc.	48% hard coal, 20% nuclear, 18% natural gas, 6% hydro, 3% heavy fuel oil, 2% brown coal, 1% solid biomass, 1% waste

Full documentation can be found at:

<http://database-documentation.gabi-software.com/index.php?id=6689>

Appendix 8: Steel LCI data explanation

This appendix explains some of the main features of the datasets and clarifies potential ambiguities. Datasets have been developed for all products both globally and regionally (currently the only regional datasets available are for Europe) whenever more than three sites contributed. This is necessary to maintain confidentiality between companies and to ensure a minimum level of representativeness.

The datasets are provided as a static report which has been generated using the GaBi 4 software. They are distributed in RTF format to enable ease of use of the data. The reports contain the following information:

8.1 Data provision information

The name and company for whom the data have been prepared is indicated on the front page of the report together with the details of the person who has provided the data on behalf of worldsteel and the date on which the data has been provided. Due to the vast amount of data contained in the worldsteel LCI data, updates may occur following corrections or adjustments to improve methodology, but this will be done on a timely basis.

8.2 LCI flows

This section gives additional clarification about some of the flows included in the worldsteel i-reports for LCI data. The data are generally provided including the credits and burdens of steel recycling. This means that a burden is given for the steel scrap that is used in the steelmaking process and a credit for the steel that will be recycled from the final product when it reaches the end of its life.

Only major flows are shown in the data sheets, namely the major raw materials and the 'accounted' emissions (see section 4.5.4). Where end-of-life recycling has been taken into consideration, the material resource list does not add up to 1 tonne of resources per tonne of steel product due to the credits applied for end-of-life recycling.

Information on other flows is also available.

8.2.1 Iron (ore)

The mass of iron ore in the ground is reported in kg of iron oxides (mainly FeO , Fe_3O_4 , Fe_2O_3) and excludes the mass of overburden.

8.2.2 Ferrous scrap (net)

This describes the net quantity of ferrous scrap taking account of imports and exports from the system. It includes both steel and iron scrap (although iron scrap usage is generally small). When the recycling credits and burdens are included, the scrap input is not listed as the associated upstream burden has been included instead.

Ferrous scrap includes:

scrap from external supply (scrap merchants, municipal facilities or other factories), 'Circulating' scrap from within the steelworks but outside the manufacturing system for the steel product route. Thus for intermediate stages (e.g. hot-rolled coil) net scrap input may be elevated owing to inputs from downstream stages (e.g. cold rolling). This scrap component tends to decrease with additional process stages. Scrap generated and reused within the manufacturing system is not included as this flow is internal to the system.

8.2.3 Water consumption

The net water consumption per kg of steel product is listed in the datasets. In addition to the water used directly on site, the water used in the upstream processes is also included. In contrast to the previous study, the water used in coal mining is also included.

The quantity of salt water used by the steel plants is recorded. It is mainly used for indirect cooling and therefore it is not contaminated with pollutants coming from the processes.

Fresh water used by the steel plants has several origins: surface water (river and lake), deep water (e.g. mine water) or 'technosphere' sources (other industrial plants, waste water treatment plants, etc.).

8.2.4 Water emissions

Obtaining accurate LCI results for water usage and water emissions is a difficult task, partly because rain water and evaporation influence the balance. There is sometimes a lack of metering, and the water networks within industrial plants are complex. Effluents from different process units are mixed, intensively recycled between process units to minimise the intake from the environment, and finally often treated in common waste water treatment plants. This makes it difficult to allocate the water usage and water emissions between individual process units.

Regarding water emissions specifically, when recorded in the questionnaires, the pollutant amounts in the intake were subtracted from the pollutant amounts in the discharged waste water because they are not attributable to the steelmaking processes. For some sites located downstream of urban and industrial areas, the outflow water is purer than the intake. However, there are many gaps for this category of data for which it is not possible to calculate an estimate. Therefore, the values of waterborne emissions are potentially overestimated in terms of net emissions.

These aspects account for the variability of data regarding water usage and water emissions. Better metering and monitoring will help to reduce this in future.

8.2.5 Carbon dioxide

This flow indicates both fossil and mineral sources of CO₂ (e.g. combustion of natural gas, oil, lime calcinations, and the oxidation of coal). In addition to providing CO₂ data, the environmental indicator for global warming potential is also provided, for information only, as this is one of the most commonly requested indicators.

8.2.6 Particulates to air

This flow includes all types of airborne particulate emission, including PM 10 and PM 2.5.

In the extended list of flows, the emission of particles to air is split into a number of sources including PM 10, PM 2.5, fugitive emissions, etc. However, as the data are not always reported in the same format, this split is not always complete.

8.2.7 Waste

The full list of waste flows is available and covers the different wastes for disposal and recovery. Overburden materials were recorded separately as deposited material.

In steelmaking, process metallurgy (BF, BOF, metallurgy) slags are used as the steelmakers' tool for the important roles of separating iron from the other constituents in the ore, and to remove any unwanted elements from the steel and incorporate them in a stable slag structure. When the liquid iron or steel is removed from the process, the slag accompanies it.

By carefully controlling the separation and treatment of this slag, the steel maker generates a slag product that can be sold in certain markets, of which the main ones are aggregate and cement. Other smaller markets exist, such as sandblasting and agriculture. If there is a lack of demand in these markets, the steel maker might not process the slag in this way, and therefore it must go to landfill. Only in these circumstances does slag become waste.

8.2.8 Primary energy demand

The primary components of an LCI are the material inputs and outputs that are taken from or are emitted to earth. Certain material inputs, (e.g. coal, oil etc.) constitute energy as well as mass inputs, which can be calculated based on calorific value. Within the LCI data sheets, the total primary energy demand (including renewable and non renewable resources) is provided, based on the net (low) calorific value. This information is provided for information only and should not be used in addition to the data provided in the material inputs section of the datasheet.

Total primary energy is the sum of all energy sources which are drawn directly from the earth, such as natural gas, oil, coal, biomass or hydropower energy, and includes non-renewable and renewable energy. Non-renewable energy includes all fossil and mineral primary energy sources, such as natural gas, oil, coal and nuclear energy. Renewable energy includes all other primary energy sources, such as hydropower and biomass.

A full breakdown of energy is available.

8.2.9 Global warming potential

In the same way, GWP is also listed in addition to the main input / output flows. Again, this is not in addition to the other flows mentioned in the results table, but serves as an indicator of one of the most sought-after environmental indicators.

8.2.10 Other articles not reported

Within the data sheets, only the major raw materials are shown for simplification reasons. Concerning the air and water emissions, all 'accounted' emissions (see section 4.5.4) are reported in the data sheets.

The full list of flows is available. Depending on the product, a wide variety of other alloy metals such as copper, manganese and molybdenum can also be used but always in low quantity. Lead can be incorporated in higher quantity in some special products called “free cutting” steels.

This was not included in the study due to lack of data. Other natural resources used for the production of crude steel are abundant materials such as sand, sodium chloride and clay.

In addition, tin is used as the coating material for tinplated coil (an average of 3.5 g of tin per kg of tinplated coil according to the study). Some chromium compounds, mainly chromic acid, are also used either for pre-coating treatments (passivation) and /or as a coating material for electrolytic chrome coated steel (tin-free steel).

Appendix 9: System expansion assumptions

Steel co-product	Co-product function	Avoided production	Data source
Blast furnace slag, basic oxygen furnace slag, electric arc furnace slag	Cement or clinker production	0.9 tonne per tonne of cement	GaBi 4 average of 4 cement types: CEM I (32.5, 42.5, 52.5) and CEM III (32.5) (DE)
	Aggregate or roadstone	Gravel production	GaBi 4 (DE)
	Fertiliser	Lime production	GaBi 4 (DE)
Process gas (coke oven, blast furnace, basic oxygen furnace, off gas)	Heat production for internal or external use	Coal, heavy fuel oil, light fuel oil or natural gas	GaBi 4 (Country specific)
	Electricity production	Electricity production	GaBi 4 (Country specific)
Electric arc furnace dust	Zinc production	Zinc production	GaBi 4 (Global)
Electricity from energy recovery	Electricity production	Electricity production	GaBi 4 (Country specific)
Steam from energy recovery	Heat generation	Steam production	GaBi 4 (EU: PlasticsEurope)
Hot water from energy recovery	Heat generation	Steam production	GaBi 4 (EU: PlasticsEurope)
Ammonia	Any ammonia application	Ammonia production	GaBi 4 (EU)
Ammonium sulphate	Any ammonium sulphate application	Ammonium sulphate production	GaBi 4 (DE)
Benzene	Any benzene application	Benzene production based on different technologies	GaBi 4 (EU)
BTX	Any BTX application	Benzene production based on different technologies	GaBi 4 (EU)
Scales	Metallurgical input to steelmaking	Iron ore extraction	worldsteel
Sulphuric acid	Any sulphuric acid application	Sulphuric acid production	GaBi 4 (EU)
Tar	Any tar application	Tar production	GaBi 4 (EU)
Used oil	Heat generation	Coal, heavy fuel oil, light fuel oil or natural gas	GaBi 4 (Country specific)
Zinc	Any zinc application	Zinc production	GaBi 4 (Global)
Zinc dust	Any zinc application	Zinc production	GaBi 4 (Global)
Electrode	Electrode making	Electrode mix	GaBi 4 (Global)

Appendix 10 : リサイクルの方法論（和訳）

10.1 はじめに

世界鉄鋼協会は、cradle-to-grave 全体の鉄鋼製品の LCA モデリングを行う LCA 実務者を支援するために、エンド・オブ・ライフ(EoL)リサイクルの評価を含む鉄鋼製品の LCI データベースを開発した。この付録では、世界鉄鋼協会が採用した「クローズドマテリアルループリサイクルの方法論 (closed material loop recycling)」がこれらの LCI を作成するためにどのように使用されてきたかを説明する。この付録に示す指針は助言であり、LCA 調査の目的と範囲に応じて、他の代替的な方法が有効な場合がある。

10.2 選択したリサイクルアプローチの理論的根拠

世界鉄鋼協会 LCI データ収集の方法論は、cradle-to-gate アプローチを考慮しており、また次の方法でリサイクルを考慮している：

- ・ 鉄鋼製造プロセスへのスクラップインプットへの配分、及び
- ・ 製品全体システムからの鉄スクラップアウトプットへの配分（例えば、建物や自動車の製品寿命により生じるスクラップ）

システムがスクラップのインプットとアウトプットの両方を有する場合、上記の鉄スクラップのインプット及びアウトプットをシンメトリーに処理するため、それぞれに一貫した配分手順を適用する必要がある。世界鉄鋼協会の方法論はこのケースを仮定している。

この方法論を処方する際に、世界鉄鋼協会は、リユース、リサイクルのための配分手順を定める ISO14044:2006 に従っている。この規格の中で、開ループ(open-loop)と閉ループ(closed-loop)リサイクリングの区別が為されている。開ループリサイクルは、材料が新しい異なる製品にリサイクルされる、または固有の材料特性が変化する製品システムを説明するために使用される。閉ループリサイクルは、固有の材料特性が変化しない場合、または同じ製品タイプにリサイクルされる場合に適用される。固有の材料特性が変化しない場合、これはクローズドマテリアルループリサイクル (closed material loop recycling) としても知られている。

鋼のリサイクルの大部分は、スクラップの再溶融を経て新しい鋼が製造され基本的な鋼材固有の特性は変化しない。したがって鋼のリサイクルは閉じたループとみなすことができる。この状況では ISO14044 : 2006 に「その場合、二次材料の使用が原（一次）材料の使用と置き換わるため配分の必要がなくなる」と記されている。このガイダンスは、世界鉄鋼協会がスクラップのインプットとアウトプットに対処するために採用した「クローズドマテリアルループリサイクルの方法論 (closed material loop recycling)」のリサイクル方法論の基礎となっている。

この付録で概説されている世界鉄鋼協会のリサイクルアプローチは、全ての LCA 調査のために助言されるアプローチである。しかし、世界鉄鋼協会はリクエストに応じて cradle-to-gate のデータを提供することもできる。

10.3 リサイクルのアプローチ

リサイクルを考慮する方法については多くの進行中の議論があり、またリサイクルを違った方法で考慮しているスタンダードや方法論は多い。そのような出版物の例をいくつか以下に示す。

- World Resources Institute/World Business Council for Sustainable Development standards developed under the GHG Protocol Initiative¹⁶
- PAS 2050 (Publicly Available Specification 2050: Specification for the assessment of the life cycle greenhouse as emissions of goods and services), British Standards Institute, Carbon Trust, DEFRA¹⁷
- CEN TC 350: Sustainability of construction works (draft)¹⁸
- ISO 14067: Carbon footprint of products (draft)¹⁹
- ILCD: The European Commission's International Reference Life Cycle Data System Handbook⁷

議論の多くの基礎を形成している二つの主なリサイクルのアプローチは、カットオフアプローチと end-of-life (EOL) アプローチである。

カットオフアプローチ (100-0)

カットオフアプローチは、調査対象の製品システム内でのみ発生するリサイクルの影響や便益それぞれまたは両方を考慮している。異なる製品システム間のクレジット付与や環境負荷の配分はなく、廃棄時点における鉄スクラップは再溶融以外のアップストリームの環境影響は持たないものと考えられる。このアプローチでは、金属リサイクルの便益はインプット側でのみ考慮されており（considered as being ‘free’）、end-of-life のリサイクルはリサイクル率に関係なく顧みられない。このため、このアプローチは recycled content method としても知られている。

ポリシーの観点では、この方法は製品に使われるリサイクル材の割合を高めることに重点をおくことにつながる。図 10.1 は、カットオフアプローチがライフサイクルの各段階にどのように適用されるかを示す。鉄鋼の処分から影響は、もしあるとすれば、ごくわずかである。

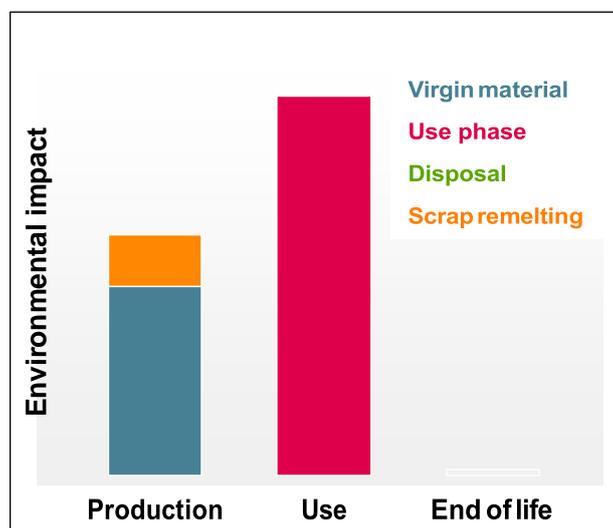


Figure 10.1: Cut-off approach for a product system that uses both primary and recycled steel inputs

End-of-life (EoL) アプローチ (0-100)

End-of-life (EoL) アプローチは、異なるライフサイクルにわたる異なる製品システム間の環境影響とクレジットの割り当てを考慮しており、リサイクルに対して全てを考慮に入れたアプローチをとっている。また製品システムの環境影響は end-of-life におけるリサイクリング率に依存している。

このアプローチは、別の製品システムを含有するように調査の範囲を広げるといような、システム拡張の観点からも考えられる。材料が end-of-life において再利用される場合、次のライフサイクルにおいて必要とされるバージン材生産の要求削減により回避される負担に基づいて製品システムにクレジットが付与される。

同様に、すべてのリサイクル素材は、以前のライフサイクルと負担を共有するために、製品システムに同等の負担を追加する。このアプローチは、リサイクルすることで同じ特性を有するバージン材料の製造を回避するので、クローズドマテリアルループ法（closed material loop method）としても知られている。このアプローチは特に end-of-life 製品のリサイクル率が知られている鋼などの金属には適切である（セクション 10.5）。

ポリシーの観点では、この方法は製品の寿命の終わりにリサイクルすることに重点をおくことにつながる。図 10.2 は、EoL アプローチがライフサイクルの各段階にどのように適用されるかを示す。鋼の処分から影響は、もしあるとすれば、ごくわずかである。

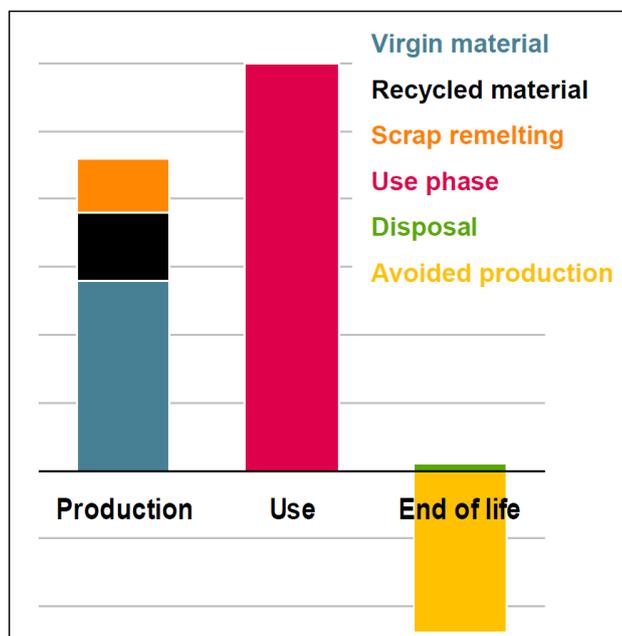


Figure 10.2: End-of-life approach for a product system that uses both primary and recycled steel inputs

時には 50-50 法といわれる、妥協的なアプローチがとられる。この方法は 2 つの極端なアプローチの任意の中間点 (様々な中で)を表す。

50:50 方法は、カットオフアプローチと EoL アプローチの中間点に位置する。このような理由から、この方法はリサイクルコンテンツと EoL リサイクリング両方にクレジットを与える妥協的なアプローチとして認識されている。この方法は、妥協ではあるが、リサイクルコンテンツか EoL リサイクリングどちらにインセンティブを与えたほうが有益かどうか明らかなでないシステムの場合の解決策となりえる。

The Declaration by the Metals Industry on Recycling Principles¹³ は、リサイクルコンテンツアプローチと EoL アプローチとの区別、またなぜ後者が金属業界で支持されるのかを明確に定義している。

10.4 スチールのリサイクルの実践

クローズドループリサイクルの方法論の背後にある理論的根拠を理解するためには、まず鉄鋼のリサイクルについて理解するのが有益である。鋼の製造においては、用語「一次生産」は一般に、高炉 (BF) で鉄鉱石から鉄 (溶銑) を指す。この溶銑はその後鋼を作るために basic oxygen furnace (BOF) で処理される。「二次生産」は「リサイクル」経路を指し、典型的には古い鋼の再溶融によってスクラップから新しい鋼を生産する電気アーク炉 (EAF) プロセスである。

しかし、一次生産は BOF ルートに固有のものではなく、同様に二次生産は EAF に固有のものではない。例えば、BOF 経路における鉄のインプットとして 10~30%のスクラップを使用するのが一般的である。鉄鋼の一次生産は、事前に還元された鉄が EAF プロセスへの供給原料として使用される場合など EAF ルートでも行われる。

EAF と BOF のプロセスは、どちらも一次及び二次鉄鋼を生産する (図 10.3 を参照)。

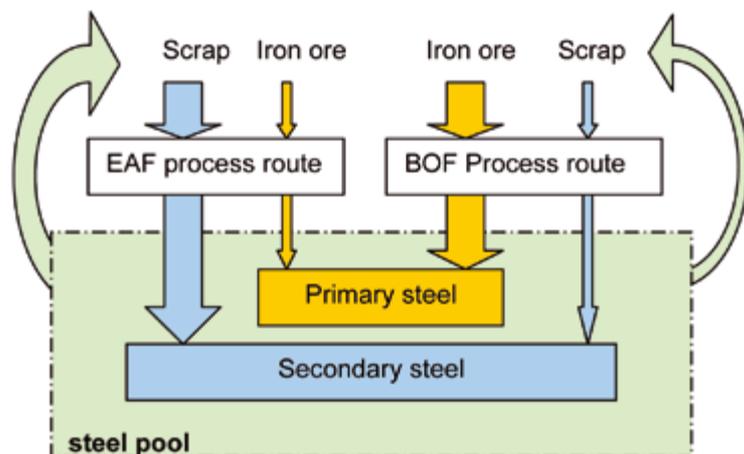


Figure 10.3: Connection between primary and secondary steel production

鋼は100%リサイクル可能であり、スクラップはリサイクルルートでの冶金・加工プロセスに応じて、同じ（またはより高いまたはより低い）グレードの鋼に変換することができる。鉄筋などの一部のリサイクル製品は最小限の処理を必要とする一方で、高い価値のエンジニアリング鋼は、厳しい仕様を満たすためにより多くの冶金・加工プロセスの制御を必要とする。製品の最終的な経済的価値はリサイクル材の含有量によって決定されるのではなく、リサイクル鋼を大量に含有する高価値製品例は多くある。

いくつかの鉄鋼製品は、低い不純物元素を要求する仕様であり、これは一時原料を使用することで最も費用効果的に達成することができるため、主に一次経路を介して供給される。多くの場合、不純物元素が低いスクラップの方がリサイクル処理しやすいため、より高い市場価値を持つ。

高まる世界の鉄鋼需要は、鉄スクラップを吸収するための継続的な能力があることを意味する。歴史は市場を満たすために必要なすべての鋼を製造するのに十分なスクラップが発生していないことを示している。鉄鋼製品の回収率は高く、この状況はスクラップ収集の不足によるものではない。

10.5 クローズドマテリアルループリサイクル (Closed material loop recycling)

リサイクル方法の選択は、調査の目標と範囲だけでなく、製品のライフサイクルに使用される材料のリサイクルシステムにも左右される。世界鉄鋼協会の方法論においてクローズドマテリアルループ方法 (closed material loop method) をデフォルトとして適用する理論的根拠を以下に示す：

- 1.鉄スクラップは重要な経済的価値を有している。これは、スクラップが回収される場合にはリサイクルのために使用されることを意味する。これは、鉄スクラップの市場はすでに十分に確立されており、リサイクル材の需要を作る必要がないことを意味する。
- 2.スチールは、一次及び二次製品の固有の特性が同等であるように、クローズドマテリアルループ (closed material loop) にてリサイクルされる。換言すれば、二次原料の生産は一次生産を置換する。
- 3.鋼のリサイクルの規模はEoLのリサイクル率によって駆動されているため、異なる地域及びさまざまな最終製品カテゴリのリサイクル率の影響はEoLアプローチで把握することが出来る。
- 4.鉄スクラップの需要がスクラップの供給力を超えている。これは一部、鉄鋼製品の寿命が長いことにも起因する。製品の寿命の終わりに簡単に解体できリサイクルできる製品を設計することは、より多くの鉄スクラップのリサイクルを可能にする。

クローズドマテリアルループ法を用いる時、リサイクルのため回収された鉄スクラップには通常クレジット（または便益）が割り当てられる。スクラップが新製品の製造に使用される場合、スクラップインプットには配分（または負債）が関連付けられている。このようにして、正味のスクラップ生産に起因する便益または正味のスクラップ・インプットに起因する負債を説明することができる。ISO14044:2006の指針に基づき、例えば同等の（バージン）代替鉄源など回避される負荷に関連付けられている値がスクラップに割り当てられている。

鋼の場合には、スクラップを使用することによって置き換えられるバージン製品の最良の近似は、鋼の鑄造品（インゴット）または鋼スラブなどの、認識できる最初の鋼製品である。この場合には、（EAFルートによる）スクラップからの二次鋼は BOF ルートからの一次鋼を回避すると主張することができる。このアプローチではスクラップへの配分は、二次製鋼におけるスクラップ及び鉄鋼の生産量を考慮するよう調整する必要がある。

世界鉄鋼協会の方法論は、cradle から grave に及ぶ製品の全体のライフサイクルを考慮するため、EoL アプローチに従っている。この場合の「墓場（grave）」は鉄スクラップがリサイクルされる炉である。

10.6 世界鉄鋼協会の方法論

鉄鋼製造工程での鋼スクラップの使用及び製品の寿命終了時（EoL）における鉄スクラップの生産についての世界鉄鋼協会の方法論について下記に詳細に説明している。

10.6.1 必要な用語

以下の説明に使用される、鋼やリサイクルに関連するパラメータを定義する必要がある。主な用語を以下に示す。

- 1.回収率（recovery rate, RR）：鋼製品の寿命の間にスクラップとして回収される鋼の割合。これは、調査対象の鉄鋼製品の製造後に生成されるスクラップ全てを含む。
- 2.金属歩留（Y）は：EAFの歩留まり（または効率）である。これは、スクラップインプットに対する鉄鋼アウトプットの比である（すなわち、1キログラムの鋼を生産するために、1キログラム以上のスクラップが必要）。
- 3.一次鉄鋼生産の LCI(X_{pr})：0%スクラップインプットを想定した、100パーセント BOF ルートからの一次鉄鋼生産の理論的な LCI。
- 4.二次鉄鋼生産の LCI (X_{re})：100パーセント EAFによるスクラップの二次鉄鋼生産の LCI（スクラップ= 100%と仮定した場合）。
- 5.これらの用語の中の X は、任意の LCI パラメータである（例えば天然ガス、二酸化炭素、水、石灰岩など）
6. S は、特定の製品を作るために鉄鋼製造工程で使用されるスクラップの量である。

10.6.2 鉄スクラップの LCI

世界鉄鋼協会の方法論は、スクラップインプットの負担と製品寿命終了時（EoL）における鋼のリサイクルのクレジットが等しく、またすべてのスクラップが平等に扱われていると仮定している。実際には鉄鋼製品や鉄スクラップの多数のグレードが存在するが、それぞれのグレード別に LCI を計算することは現実的ではない。

製品寿命終了時（EoL）にスクラップを収集し鉄鋼製造プロセスを通してそれをリサイクルすることは、一次（バージン）鉄鋼生産の節約を可能にする。

これは、一貫ルート（integrated route）または BOF 鉄鋼製造ルートとして知られているが、実際にはこのプロセスでも常に一定量の鉄スクラップは必要とされる。したがって 100%新しい素材（0%スクラップインプット）を使用するプロセスはなく、この理論値は算出する必要がある（セクション 10.6.3 を参照）。

また、スクラップは処理または新しい鋼を作るためにリサイクルする必要があるため、スクラップそのものが一次鋼（primary steel）を置き換えるわけではない。EAF プロセスは、100%スクラップリサイクルの一例であるが、プロセスへのインプットとして hot metal または DRI を使用している電炉（EAF）も存在する。

加えて EAF プロセスは 100%効率的ではない。1kg の鋼を作るために、1kg 以上のスクラップを必要とする。

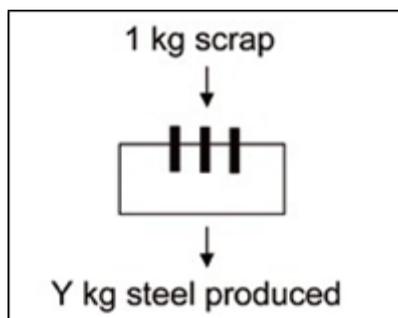


Figure 10.4: The yield of the EAF process

スクラップに関する LCI は、鉄鋼の一次生産 (0%スクラップインプットを想定) の回避に関連するクレジットから、鉄スクラップのリサイクルに関連した負担を差し引いたものに、この方法の歩留を乗じたもの (このプロセスの損失を考慮するため) と等しくなる。

$$\text{ScrapLCI} = (X_{pr} - X_{re})Y$$

X_{pr} = 理論的な 100 パーセント BOF ルートからの一次鉄鋼生産の LCI(スクラップのインプット=0%と仮定)。

X_{re} = 100 パーセント EAF によるスクラップからの二次鉄鋼生産の LCI (スクラップ= 100%と仮定)。

これらの用語の中の X は、任意の LCI パラメータである (例えば天然ガス、二酸化炭素、水、石灰岩など)。従って、スクラップの CO₂ は以下のように計算される。

$$\text{CO}_2\text{Scrap} = (\text{CO}_2\text{pr} - \text{CO}_2\text{re}) Y$$

Y は、EAF の歩留まりである (すなわち、1 キロ鋼を製造するために 1 キロ以上のスクラップが必要とされる)。

X_{re} と Y の値は世界鉄鋼協会の LCI データ収集活動により鉄鋼メーカー自身から収集されているため業界で知られている。しかし、 X_{pr} の理論値は算出する必要がある。

10.6.3 100%一次 BOF 鋼の理論値、 X_{pr}

100%一次 BOF 鋼の理論値 (X_{pr}) は、鉄鋼メーカーによって提供される実際のデータに基づいて世界鉄鋼協会により算出される一次 (または BOF) ルート経路で作られる鋼スラブ (steel slab) の LCI に基づいて計算することができる。鋼スラブは一定量のスクラップを含有しており、このスクラップは virgin steel のみを考慮するために、LCI から「除去」する必要がある。

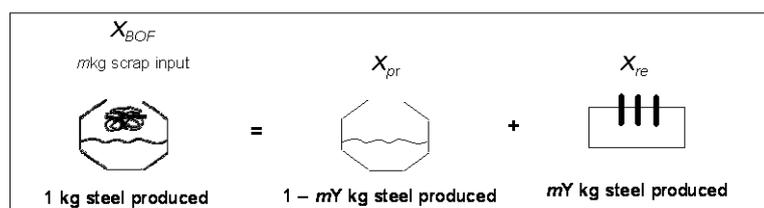


Figure 10.5: Theoretical value of X

「除去」する必要がある BOF プロセスへのスクラップインプット (鋼生産 1 キログラムあたりスクラップ m キログラム) は、mY キログラムの鉄鋼を生産する EAF プロセスによって溶融される (Y は鉄鋼製造工程の歩留)。これにより、理論的な 100 パーセント一次ルート (X_{pr}) は、1-mY キログラムの鉄鋼を生産する必要がある。

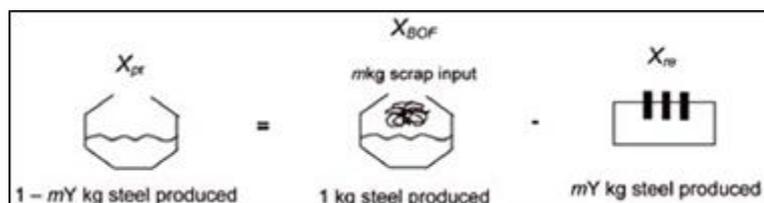


Figure 10.6: Theoretical value of X

実際には:

$$X_{BOF} = (1 - mY)(X_{pr}) + mYX_{re}$$

$$Y = \frac{1}{Scrap_{re}}$$

m = BOF ルートへのスクラップインプット (ScrapBOF) 、 であり、 従って、

$$mY = \frac{Scrap_{BOF}}{Scrap_{re}}$$

次に:

$$X_{BOF} = \left(1 - \frac{Scrap_{BOF}}{Scrap_{re}}\right)(X_{pr}) + \left(\frac{Scrap_{BOF}}{Scrap_{re}}\right)X_{re}$$

この式を変形すると、100% 1次鋼の理論値を算出することができる :

$$X_{pr} = \frac{X_{BOF} - \left(\frac{Scrap_{BOF}}{Scrap_{re}} X_{re}\right)}{1 - \frac{Scrap_{BOF}}{Scrap_{re}}}$$

ここで、この Xpr の値はスクラップ LCI の式に含めることができ、したがって、LCI の各インプットと各アウトプットに適用される。

$$X_{pr} = \frac{1.7558 - \left(\frac{0.119}{1.092} 0.386\right)}{1 - \frac{0.119}{1.092}}$$

X_{pr} = 1.9 kg CO₂

もしスクラップインプットゼロの Xpr の理論値を決定するために、XBOF と Xre の値に基づいて外挿が行われた場合には、CO₂ 1.9 キロの Xpr は同じ値に達するであろうことに留意すべきである。

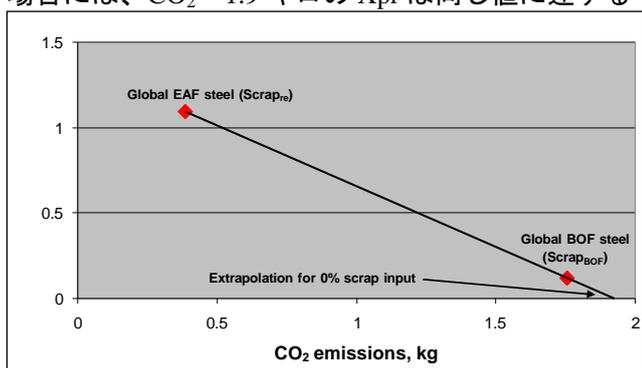


Figure 10.7: Extrapolation to show CO₂ emissions for 0% scrap input

そして CO₂ のための式は以下のようなになる (X= CO₂) :

$$ScrapLCI = (X_{pr} - X_{re})Y$$

$$ScrapLCI = [1.92 - 0.386] \frac{1}{1.092}$$

Scrap LCI = 1.405kg CO₂

10.6.4 スクラップ LCI 計算の概要

セクション 10.6.2 および 10.6.3 に記載されている鉄スクラップの LCI を決定するための方法は、図 10.8 に要約することができる。図では例として CO₂ を使用している。

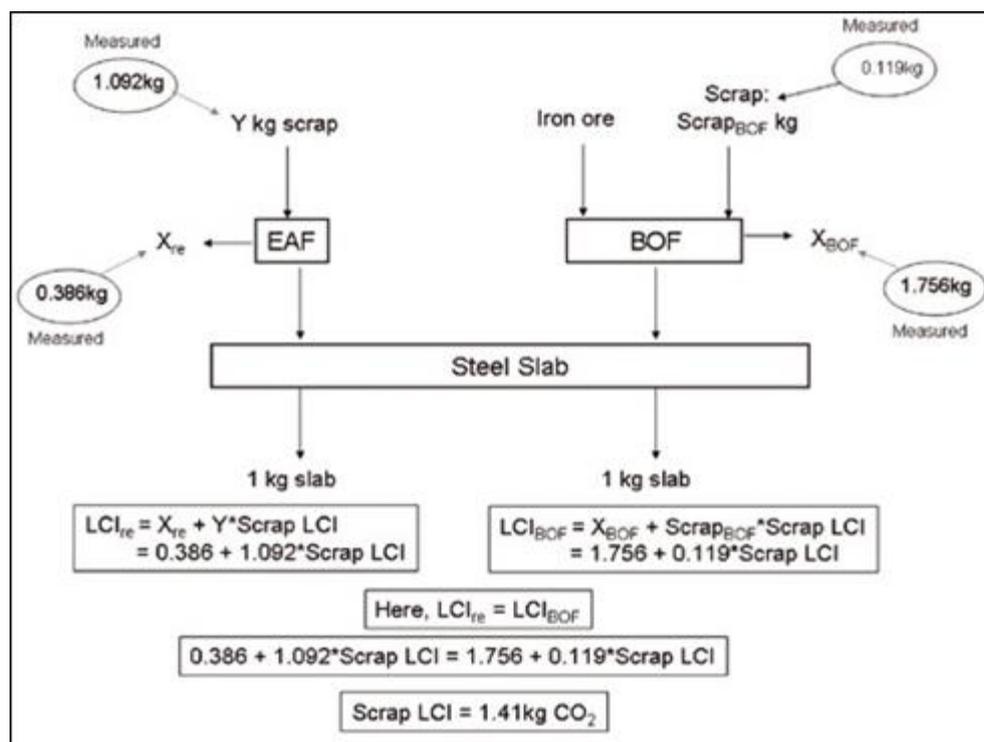


Figure 10.8: Overview of scrap LCI calculations

10.6.5 スクラップ LCI の負担とクレジットの適用

Scrap LCI = $(X_{pr} - X_{re})Y$ として定義されているスクラップ LCI は、EoL のフェーズを含めるために、鉄鋼製品 cradle-to-gate LCI に適用されている。クレジットは製品の寿命終了時 (EoL) にリサイクルされる鉄鋼スクラップの量に対して与えられ、これは RR と呼ばれる。しかし、リサイクルの際に、鉄鋼製造工程で使用されるスクラップ (S と称する) に対し負担 (burden) を適用する必要がある。

したがって、一製品の EoL を含む cradle-to-gate の LCI は、以下のように計算することができる。

$$LCI_{\text{including EoL}} = X - (RR - S)(X_{pr} - X_{re})Y$$

X は、調査対象製品の cradle-to-gate の LCI である。すなわち、全てのアップストリーム及び鉄鋼生産を含む。

EoL リサイクルを含む鉄鋼製品の LCI を計算するための、二酸化炭素排出量の例を以下に示す (グローバルな熱延コイル、85%のエンドオブライフリサイクル率を使用)。

スクラップの値 $(X_{pr} - X_{re})Y$ は上記で計算されており、熱間圧延コイルの CO₂ 排出量とスクラップ含有量は、2010年2月に発表された世界平均データから提供されている。

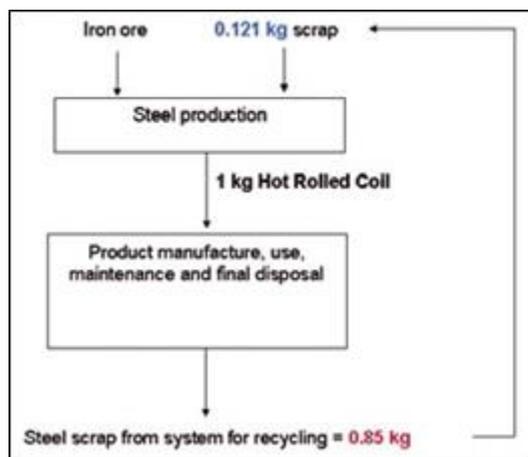


Figure 10.9: Example cradle-to-grave system

$$LCI_{includingEoL} = 1.889 - (0.85 - 0.121) * 1.405$$

$$LCI_{includingEoL} = 0.86 \text{ kgCO}_2$$

この例では、最も一般的に使用される LCI フローの一つである二酸化炭素が使用されているが、同様の計算方法が全ての LCI のインプットとアウトプットに適用される。

Appendix 11: Deviations from the 2000 methodology report

This methodology covers an update of the global steel industry LCI data. The methodology is based on the previous studies and methodology report which has been critically reviewed by a peer review panel. During this update, changes were made to the previous methodology, and for ease of comparison, these differences are summarised here. Further information can be found in the relevant sections of the report.

- The modelling software used for this update is GaBi 4. All upstream data which have not been collected by worldsteel from industry associations are based on GaBi 4 upstream data. The previous study used the TEAM modelling software and the associated DEAM database.
- Data collection was conducted using the GaBi Web Questionnaire, which was created through an interface with the worldsteel model in GaBi 4. The previous study used an Excel-based questionnaire.
- In creating the steel product LCI data, a weighted average is now used, based on the production volume of the specific product from each site. The previous study used an arithmetic average based on political decisions within the steel industry.
- For coal upstream data, the modified German coal LCI data are no longer used. The average global coking coal mix that is now used is developed from data from different countries, according to the 2006 IEA coking coal production mix, with a specific adaption by lower heating value from average hard coal to coking coal (using a lower heating value of global average coking coal of 29.02 MJ/kg).
- The electricity input to each site is based on the national electricity grid mix for the location of each site and uses GaBi upstream data for this. Previously, the electricity input was adapted for each country using the 'Energy Statistics of OECD Countries, 1997-1998, 2000 Edition' and the 'Energy Agency Statistics - US Department of Energy, North American Electric Reliability Council (NAERC)'.
- In contrast to the previous LCI data results, the recyclability of steel at the end of a final products' life is considered in the steel product LCI. A burden is applied to the scrap input to the steelmaking process and a credit is applied to the steel that will be recycled when the
 - final product reaches the end of its life. This enables the practitioner to utilise the steel product LCI data as cradle-to-grave, excluding final product manufacture or use phase. Data excluding these recycling aspects are available on request. The allocation procedure for calculating this burden and credit is detailed in section 4.6.3. If the user of steel uses steel datasets including the end-of-life credits on the material level, it has to be checked that no double-counting occurs when the user models the end of life of the downstream product.
- In addition to now using country-specific electricity grid mix data, country specific data is also provided for inputs of anthracite, coal and natural gas. The other energy related inputs (e.g. heavy fuel oil and propane) are now region-specific data. This was not previously the case, where one average value was used.

Appendix 12: List of all available questionnaires

- Coke oven
- Sinter plant
- Blast furnace
- Alternative ironmaking
- Basic oxygen furnace
- Electric arc furnace
- Direct sheet plant
- Plate mill
- Hot strip mill
- Pickling
- Cold-rolling
- Annealing and tempering
- Section rolling
- Rebar
- Engineering steel
- Wire rod
- Seamless pipe making
- UO pipe making
- Welded pipemaking and tubemaking
- Electrogalvanizing
- Hot-dip galvanizing
- Electrolytic chrome coating (ECCS or tin-free steel)
- Tinplating
- Organic coating
- Softening/deionising water
- Application of co-products
- Boilers (power plants)
- External power supply
- Destination of process gases (coke oven, blast furnace, basic oxygen furnace, off gas)
- Flaring of process gases (coke oven, blast furnace, basic oxygen furnace)
- GHG accounting (coke oven, blast furnace, basic oxygen furnace, off gas)
- Fresh water supply
- Sea water supply
- Isolated blast air compressor
- Isolated compressed air compressor
- Isolated turbo alternator
- Stockpile emissions

Appendix 13: Matrix of steel product uses

	1 = preferable	Plate	Pipe	Hot Rolled Coil	Pickled Hot Rolled Coil	Cold Rolled Coil	Finished Cold Rolled Coil	Electro-Galvanized	Hot-Dip Galvanized	Organic Coated	Tin Plate	Electrolytic Chromed Coated Steel	Section Rolling	Rebar	Engineering Steel	Wire Rod
Framework	Profiles			1	1	2		2	1				1			
	Framing								1							
Automotive	Body in white				2		1	1	1	2					1	
	Structural parts				1		1	1	1	2						
	Engine														1	
	Drive equipment														1	
	Transmissions														1	
	Wheels				1											
	Tyres															1
Construction	Structural parts		1	1					2	1			1			
	Wall elements							1	1	1						
	Basement												1	1		
	Concrete reinforcement													1		
	Cladding			2				1	1	1						
	Roofing								1	1						
	Farm building walls								2	1						
	Gutter system (ducts)								1	1						
	Chimney ducts			2												
	Construction components			2	2			1	1	1						
	Farm building components								2	1						
	Doors and garages								2	1						

	Fences							2								
	Stairs		1					2								
	Tiles							2	1							
	Ceiling components						1	1	1							
	Floor components		1				2	1								
	Inside decoration panels								1							
	Partition walls						2	1	1							
	Inside panels food industry								1							
	Security rails on roads							1								
Home appliances	Furniture					2	1		1							
	White goods					1	1	1	1							
	Heating, ventilation and air conditioning					1	1	1	1							
Packaging	Steel food and general line cans								1	1	1					
	Pails										1					
	Beverage cans								1	1	1					
	Drums					1	1									
Machinery	Rail											1				
	Machines					1									1	
	Pipes		1													
Others	Tubes		1	2		1										
	Pools							2	2							
	Water tanks							1								
	Greenhouses							2	2							
	Signs							2								
	Tools														1	
	Dies														1	
	Wires												1		1	

Appendix 14: Critical review: World Steel Association life cycle inventory Study for steel products

14.1 Commissioned by

World Steel Association (worldsteel), Brussels, Belgium

14.2 Review panel

Dr. David Dowdell, Cheltenham, England

Prof. Dr. Matthias Finkbeiner (chair), Berlin, Germany Prof. Dr. Atsushi Inaba, Tokyo, Japan

Prof. Dr. Steven B. Young, Waterloo, Canada

14.3 Reference

- ISO 14040 (2006): Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework
- ISO 14044 (2006): Environmental Management - Life Cycle Assessment – Requirements and Guidelines

14.4 Scope of the critical review

The review panel had the task to assess whether

- the methods used to carry out the LCA are consistent with the international standards ISO 14040 and ISO 14044
- the methods used to carry out the LCA are scientifically and technically valid,
- the data used are appropriate and reasonable in relation to the goal of the study,
- the technological coverage of the steel industry in the prevalent LCA study is representative of current practice,
- the interpretations reflect the limitations identified and the goal of the study, and
- the study report is transparent and consistent.

The review was performed according to paragraph 6.2 of ISO 14044, because the study as such is not intended to be used for comparative assertions intended to be disclosed to the public.

This does not preclude, that the data may be used in studies where comparative assertions are made, provided a separate review of that study is carried out. This review statement is only valid for this specific report in its final version received on 22.06.2011.

The analysis of the LCI model and the verification of individual datasets are outside the scope of this review.

14.5 Review process

The review process was coordinated between worldsteel and the chair of the review panel. As a first step in the review process, the panel members were selected based on their technological and LCA competence. In addition, it was intended and achieved that the panel members represent the main steel producing regions (Americas, Asia and Europe). After the review panel was established the first draft final report was submitted to the panel on 29.10.2010. The kick-off-meeting (telephone conference) to provide general comments and to agree on the review process was held on 11.11.2010.

The review panel provided 267 comments of general, technical and editorial nature to the commissioner by the end of 2010. Worldsteel responded by providing an updated report addressing the majority of the comments on 21.02.2011 which was discussed in a second review meeting (telephone conference) on 02.03.2011. The meeting addressed the actions taken on the review comments and allowed common understanding to be reached on unresolved issues. To implement some of the comments more time was needed in order to collect and consolidate information from member companies. These issues were resolved in a third review call on 27.04.2011. The main outcome of this call was the decision to add an annex entitled "Recycling Methodology Description" to the report that provides a detailed and transparent documentation of the chosen recycling approach. Due to the importance of this topic, it was seen as valuable to address it in a comprehensive way. This annex was discussed in a final review call on 17.06.2011. The feedback provided and the agreements on the treatment of the review comments were adopted in the finalisation of the study. The final version of the report was provided on 22.06.2011. All critical issues and the majority of recommendations of the review panel were addressed in a comprehensive and proper manner.

The review panel checked the implementation of the comments and agreed to the final report. The review panel acknowledges the unrestricted access to all requested information as well as the open and constructive dialogue during the critical review process.

14.6 General evaluation

The study is the result of a cooperative effort of the leading steel producers in the world organised by its global industry association worldsteel. The current study is the second update of the first LCIs provided in 1995/6 with a first update in 2000/1. As a result, the methodology has reached a high level of maturity and the study is performed in a professional manner using state-of-the-art methods. The outstanding feature of this study is the large amount of primary data collected to reach representative results for global steel production. Primary data were collected at 49 sites operated by 15 companies, including 24 blast furnace operations and 12 electric arc furnace operations. The companies contributing data to the LCI study account for over 25% of global crude steel production. Geographically, they cover Europe (Austria, Belgium, Finland, France, Germany, Italy, Luxembourg, the Netherlands, Norway, Spain, Sweden, and the UK), Asia (China, India and Japan) and North America.

The LCI data are provided as cradle-to-gate with or without end-of-life recycling. Because the focus of the study is the production of a material that can be used in a variety of products with very different use profiles, the chosen cradle-to-gate approach is appropriate. The guidance in the report with regard to the treatment of the end-of-life phase is comprehensive and

well documented. As the decisions involved in modeling recycling contain value choices it is appreciated, that worldsteel provides not only the datasets with its own recycling approach but also datasets without end-of-life credits. This allows the data user to make their own value choices for a particular study.

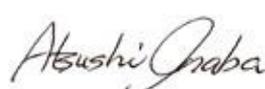
Several assumptions were addressed and checked by sensitivity analyses of critical data and methodological choices. As a result, the report is deemed to be representative for the global production of steel. The defined and achieved scope for this LCI study was found to be appropriate to achieve the stated goals.

14.7 Conclusion

The study has been carried out in compliance with ISO 14040 and ISO 14044. The review panel found the overall quality of the methodology and its execution to be of a high standard for the purposes of the study. The study is reported in a comprehensive manner including a transparent documentation of its scope and methodological choices.



Matthias Finkbeiner

David Dowdell

Atsushi Inaba



Steven B. Young 10 July 2011

References

1. ISO 14040: 2006 – Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework
2. ISO 14044: 2006 – Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines
3. The World Steel Association, Steel Statistical Yearbook, 2011
4. EUROFER, Methodology Report: Life Cycle Inventory on Stainless Steel Production in the EU, PE International, March 2011
5. ISSF LCI data for stainless steel products, www.worldstainless.org
6. IISI, World Steel Life Cycle Inventory Methodology Report 1999 – 2000. Brussels, October 2002
7. European Commission - Joint Research Centre - Institute for Environment and Sustainability: International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook - General guide for Life Cycle Assessment - Detailed guidance. First edition March 2010. EUR 24708 EN. Luxembourg. Publications Office of the European Union; 2010.
8. AISE, The Making, Shaping and Treating of Steel - Steelmaking and Refining Volume, The AISE Steel Foundation, 0-930767-02-0
9. The Centre of Environmental Science at Leiden University, CML 2001 – December 2007
10. International Energy Agency:
Mix information: IEA – International Energy Agency <http://www.iea.org/Textbase/stats/> Heating values: IEA – International Energy Agency, Coal Information
11. Extraction and Processing: BGR – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (German Federal Institute for Geosciences and Natural Resources) <http://www.bgr.bund.de/> WCI – World Coal Institute <http://www.worldcoal.org/>
12. Methane-emissions: UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change, country specific CRF-tables 1.B.1 <http://unfccc.int/>
13. Atherton, J. (2006). Declaration by the Metals Industry on Recycling Principles. The International Journal of Life Cycle Assessment, 12(1), 59-60. doi: 10.1065/lca2006.11.283
14. GaBi 4 software system for life cycle engineering, PE INTERNATIONAL GmbH (version 4.3, 2008)
15. The World Steel Association, worldsteel.org
16. World Resources Institute/World Business Council for Sustainable Development: Corporate Standard and Product Standard developed under the GHG Protocol Initiative
17. BSI British Standards Institute (2008): PAS 2050 "Specification for the measurement of the embodied greenhouse gas emissions of products and services" on Carbon footprinting. And: BSI British Standards (with DEFRA and Carbon Trust) (2008). Guide to PAS 2050 - How to assess the carbon footprint of goods and services. ISBN 978-0-580-64636-2
18. CEN TC 350: Sustainability of construction works, draft
19. ISO 14067: Carbon footprint of products, draft
20. European Reference Life Cycle Database (ELCD) <http://lca.jrc.ec.europa.eu/lcainfohub/datasetArea.vm>

