

鉄鋼業のLCA

- 世界鉄鋼協会の考え方 -

グリーン スチール セミナー

2012年3月5日

日本鉄鋼連盟LCA検討WG主査

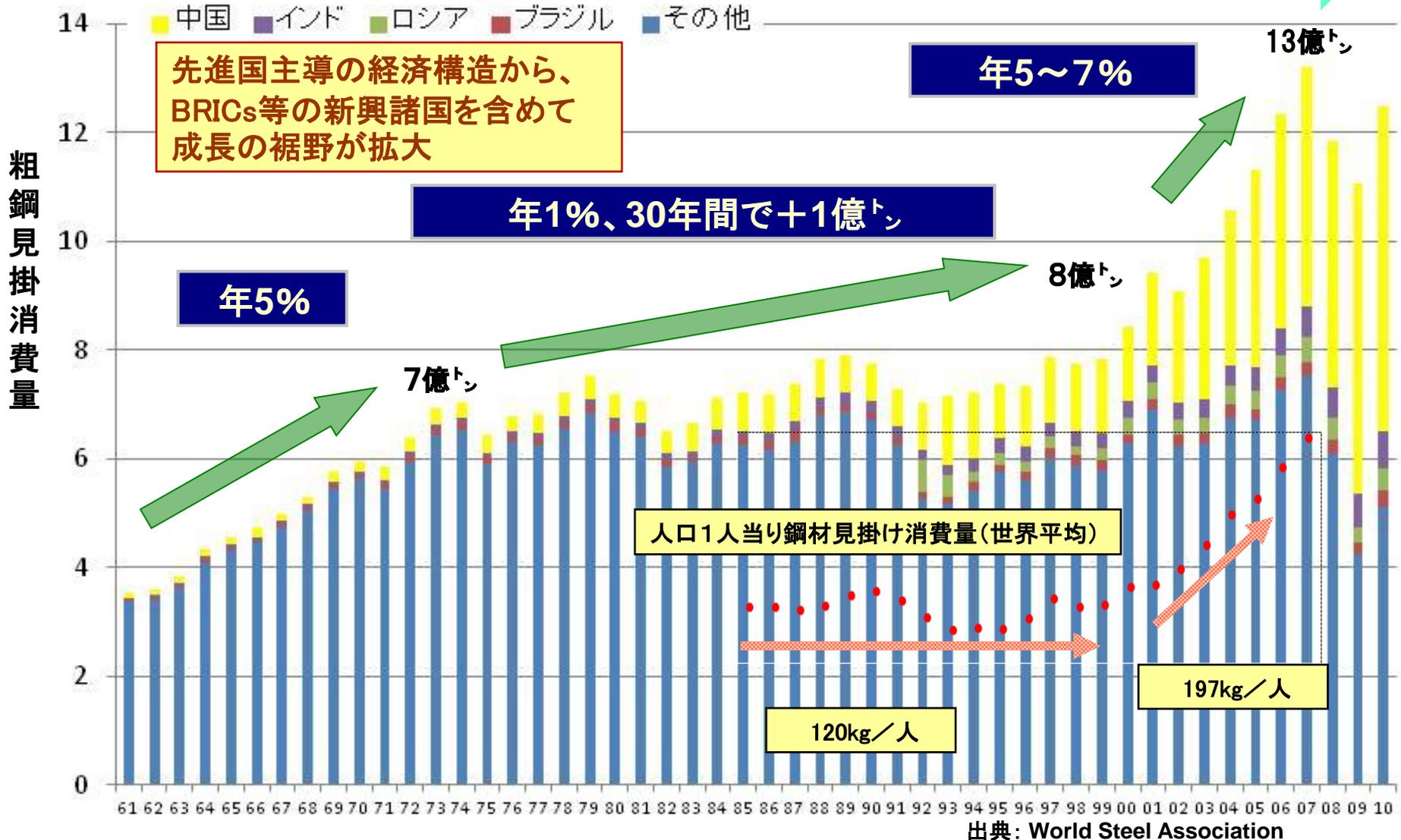
新日本製鉄 (株) 参与

川合 良彦

世界の鋼材需要の推移

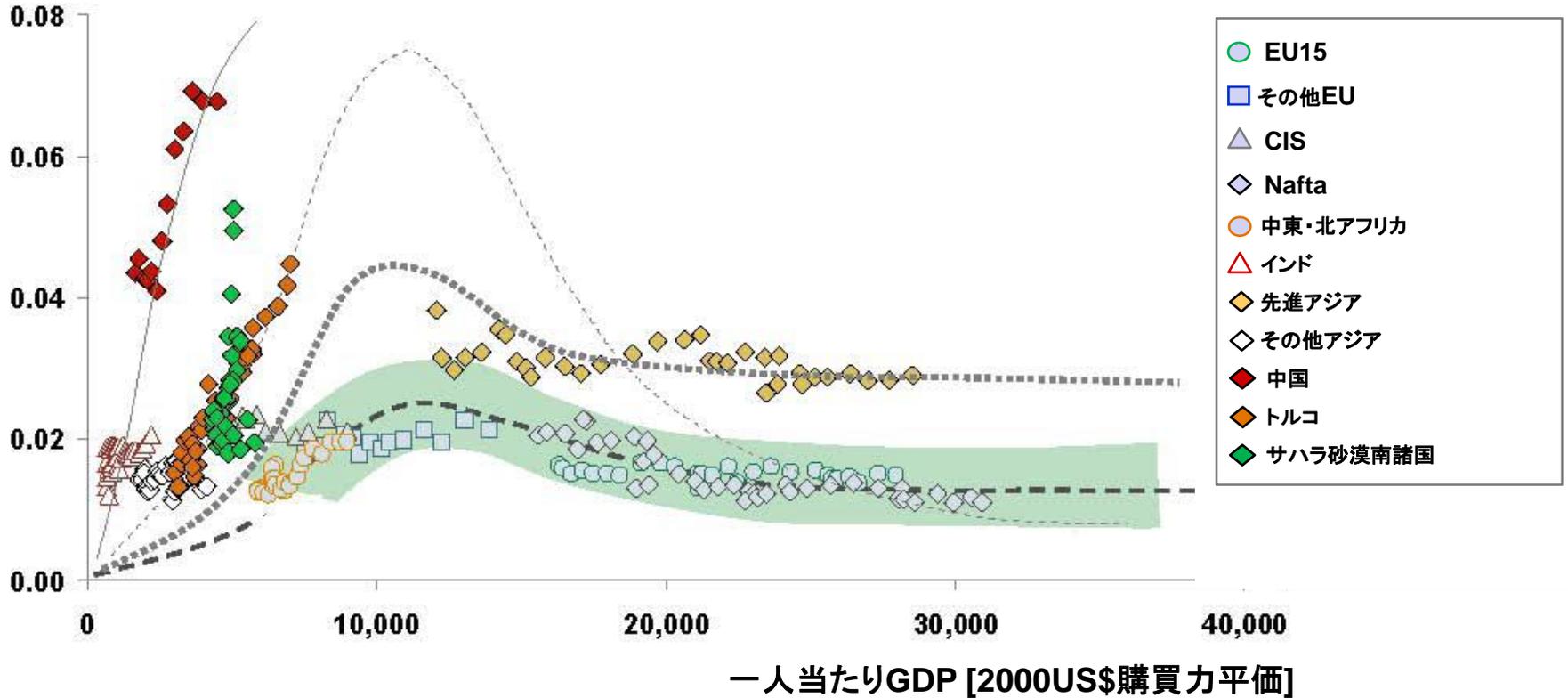
(億トン)

資源需給のタイト化



鋼材集約度曲線

GDP [2000US\$購買力平価] 当たり見掛鋼材消費 [kg / \$]



EU15: 1981-2007; その他EU: 1991-2007; CIS: 1992-2007; Nafta: 1970-2007; 中央・南米: 1979-2007;
 中東・北アフリカ: 1979-2007; インド: 1970-2007; 先進アジア: 1970-2007; その他アジア: 1979-2007

出典: World Steel Association

世界鉄鋼協会 (World Steel Association)

- 1967年、IISI (International Iron and Steel Institute) として設立
2008年、World Steel Associationに改称
- 加盟メンバー数：鉄鋼メーカー約170社（含、上位20社中17社）、各国・各地域鉄鋼連盟/協会、鉄鋼関係研究機関
- 加盟鉄鋼メーカーの生産シェア：世界全体の約85%
- LCA Expert Group：登録者数 124名

LCAとは

- 製品は、その原料採取から製造、廃棄に至るまでのライフサイクル（原料採取→製造→流通→使用→リサイクル・廃棄）の全ての段階において様々な環境への負荷（資源やエネルギーの消費、環境汚染物質や廃棄物の排出など）を発生させている。
- ライフサイクル評価（Life Cycle Assessment : LCA）とは、これらの環境への負荷をライフサイクル全体に渡って、科学的、定量的、客観的に評価する手法で、その活用により環境負荷の低減を図ることができる。
- また、ライフサイクル評価は、モノである「製品」以外に、「サービス」や、「製造プロセス」「廃棄物処理プロセス」等のシステムも対象となる。

鉄鋼業における LCA活動

➤ World Steel Association

- 1995年スタート
- 業界共通のLCIデータ分析ソフト開発
- 世界標準データの構築

➤ 日本鉄鋼連盟

- 1995年LCA検討WG発足
- IISI LCA Forumに参画し、先行していた欧州での評価体系を学ぶ。

➤ 経済産業省：製品等ライフサイクル環境影響評価技術開発

- 1998年スタート
- 5カ年計画、23工業会

鉄鋼業におけるLCA活動

- IISIによる世界統一鉄鋼LCAデータベースの構築 -

鉄鋼製品のデータベースは多数存在したが、精度・代表性には課題が多く、世界共通の信頼できるデータベース構築が求められていた。

- ①Boundaryが不統一であるため、副産物・副生ガスの取り扱い、主原料の採掘・輸送などの上流（上工程）のデータの扱いに一貫性なし。
- ②鉄鋼製造プロセスにおける品種別・工程別の相違がインベントリーに反映されていない。

IISI : International Iron and Steel Institute (国際鉄鋼協会)
2008年、World Steel Association (世界鉄鋼協会)に改称

World Steel AssociationにおけるLCA活動

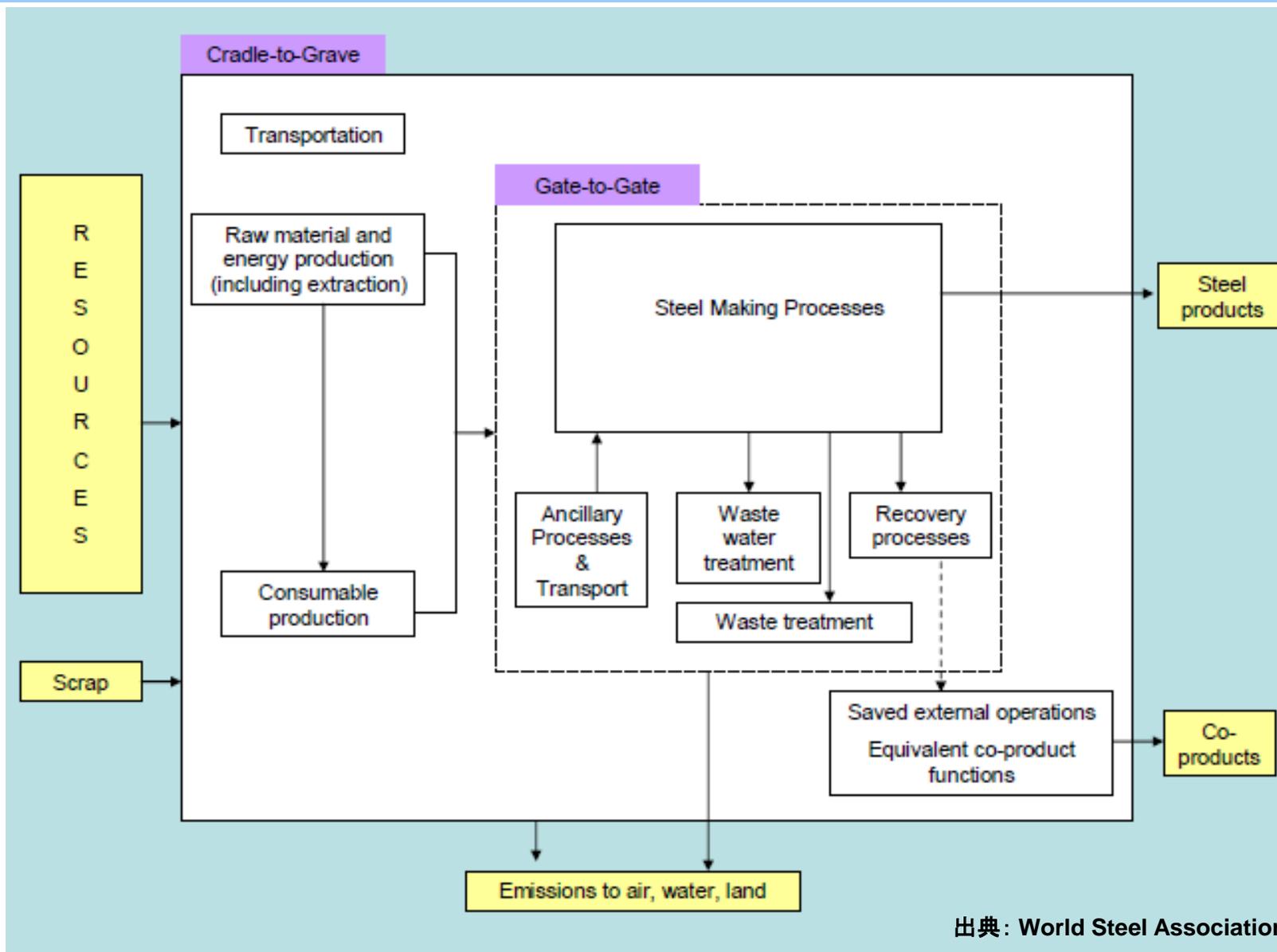
LCA Expert Group

- 世界各国鉄鋼メーカーより124名が登録。2回/年会議開催。
- 目標: 持続可能な発展及び環境問題への取り組みにおいて、世界鉄鋼業がリーダーシップを発揮できるよう、LCA面から支援
- 主要活動内容
 - LCIデータベースの運営管理、更新・改善: 現在までに3回のデータベース更新実施。スクラップ・リサイクルのLCI方法論確立。
 - 各鋼材需要分野におけるLCAケーススタディー
 - LCA関連メッセージの社会への発信
 - メンバー間のLCA関連情報交換
 - LCA関連標準、Eco-labelling、EPD (Environmental Product declaration)、などLCA関連の動向把握

IISI / LCI データベース（従来法）

- ① System Boundaryは**Cradle to Gate**:原料採掘から製鉄所の出荷までの鉄鋼製品の生産。Functional unitは、'gate'における鋼材1kgの生産。
- ② 鋼材の種類は15種類。板厚、強度などの層別はしない。
- ③ 使用電力構成は、各地域での発電電力構成とする。
- ④ 鉄鉱石・石炭海上輸送は、各地域でのデータを適用。
- ⑤ 副産物については、標準プロセスで製造される時の環境影響を控除する。(高炉ガス、コークス炉ガス、転炉ガス、高炉スラグ、製鋼スラグ、化成品)
- ⑥ **鉄スクラップのリサイクルによる環境負荷はゼロとしておく(輸送は考慮)。**
- ⑦ 廃棄処理に伴うエネルギー・環境負荷はゼロとする。

End of Life Recyclingを考慮しない場合のSystem Boundary



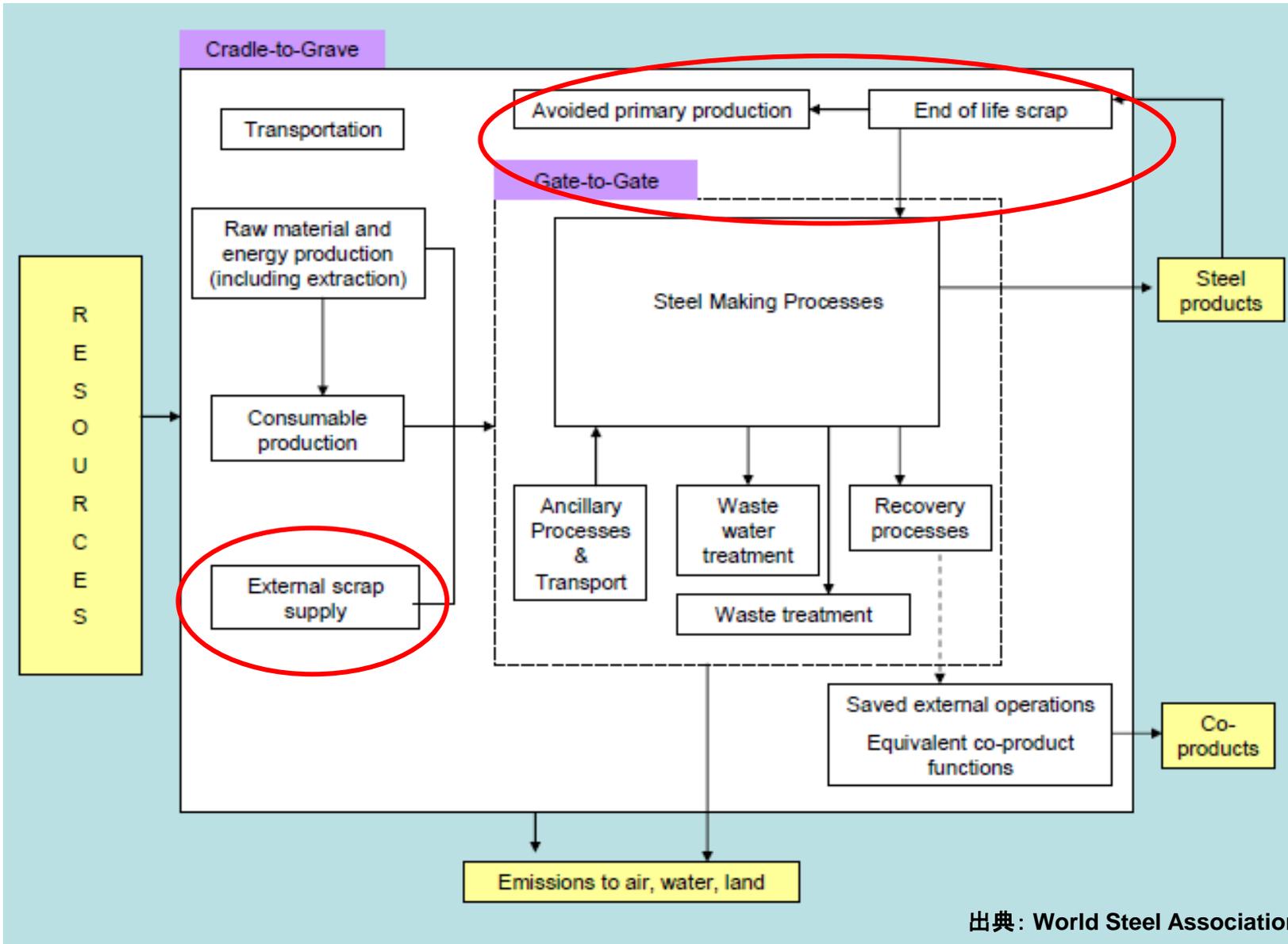
出典: World Steel Association

第3回 データ収集（2005-2008年データ） －従来方法論との相違点－

- ① 基本的には、前回データベースと同様。
- ② **スクラップの end of life recycling を織り込むケースを追加。**
- ③ サイト毎の生産量を用いた加重平均方式とし、従来と同様に世界平均値と地域平均値を算定。現状、地域平均値は欧州平均のみなるも、将来、アジア平均と北米平均を追加予定。
- ④ Upstreamデータは、地域ごとの数値を採用。
- ⑤ データ収集には、17カ国の主要鉄鋼メーカーが参画し、それらの世界鉄鋼生産量に占めるシェアは約25%。各国の最大級製鉄所49所のデータが収集されており、その生産量シェアは世界の約10%。（欧州、南北アメリカ、中国、日本、インド）
- ⑥ **GaBi 4 LCI modeling software** を使用（従来は、TEAM）。製鉄所データ収集は、インターネットベースのGaBi Web Questionnaire (SoFi)を使用。

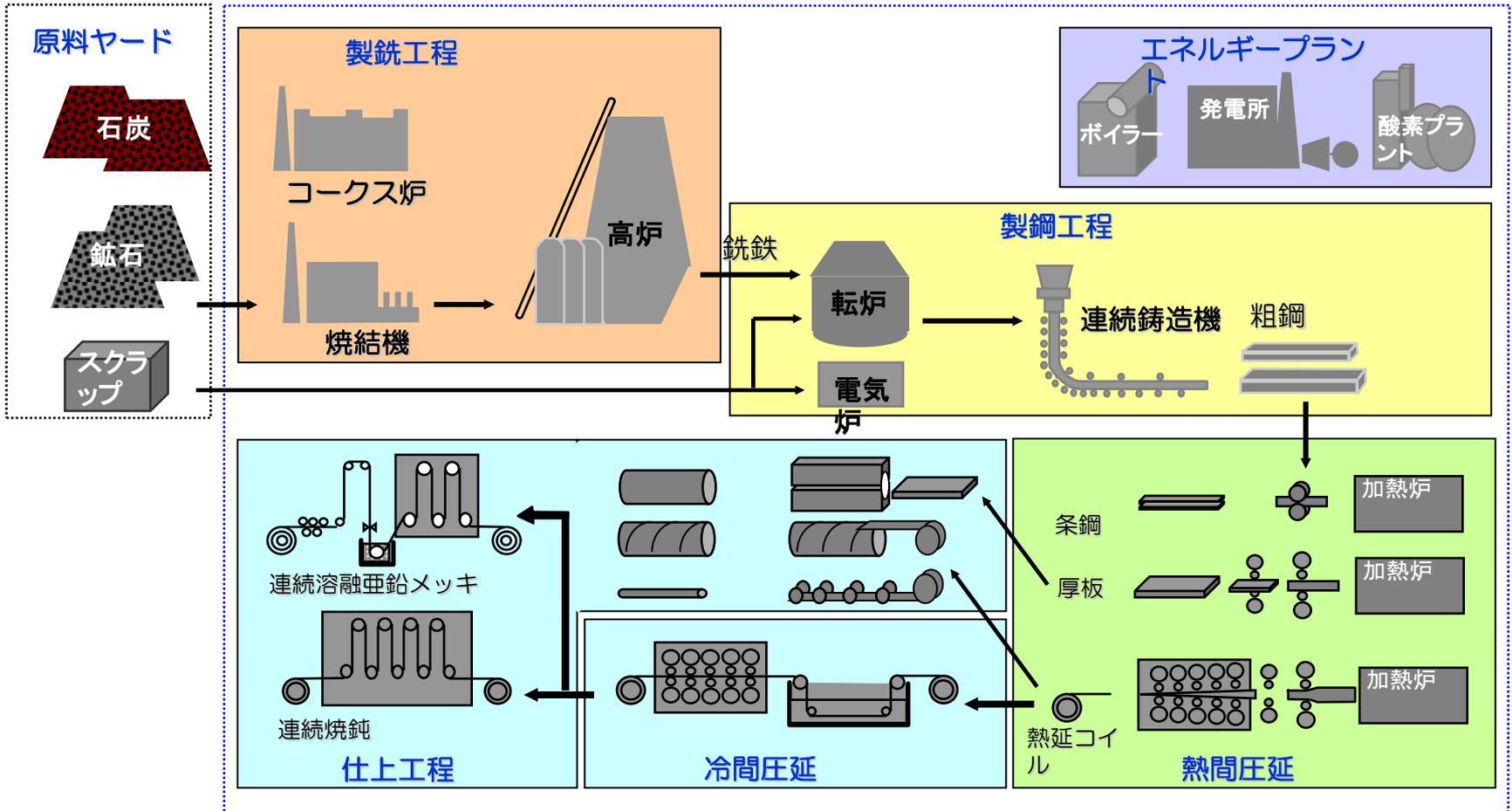
*PE International GmbH (version 4.3, 2008)

End of Life Recyclingを考慮する場合のSystem Boundary



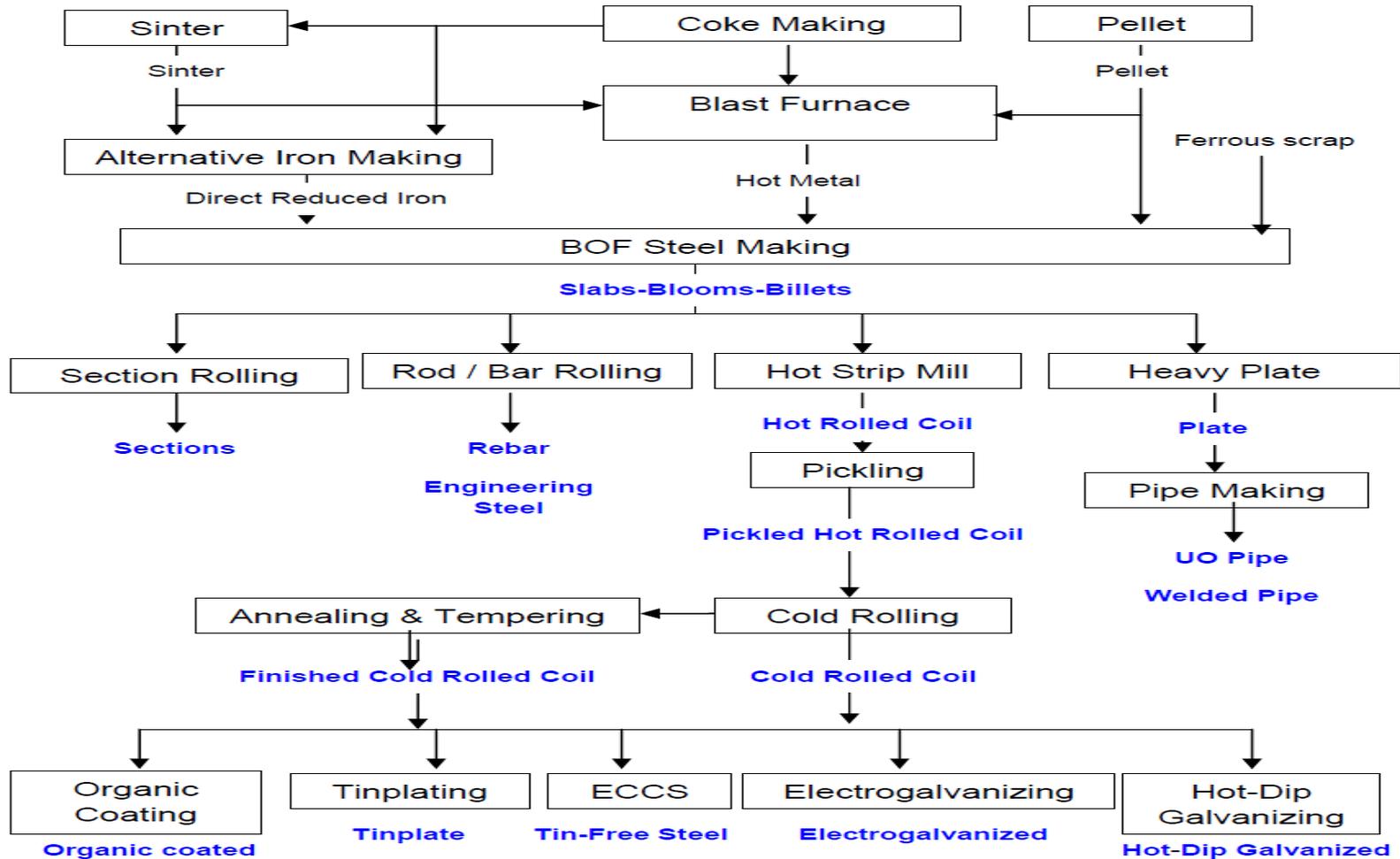
出典: World Steel Association

鉄鋼材料の製造プロセス



鉄鋼製造プロセスフロー図 - 高炉ルート -

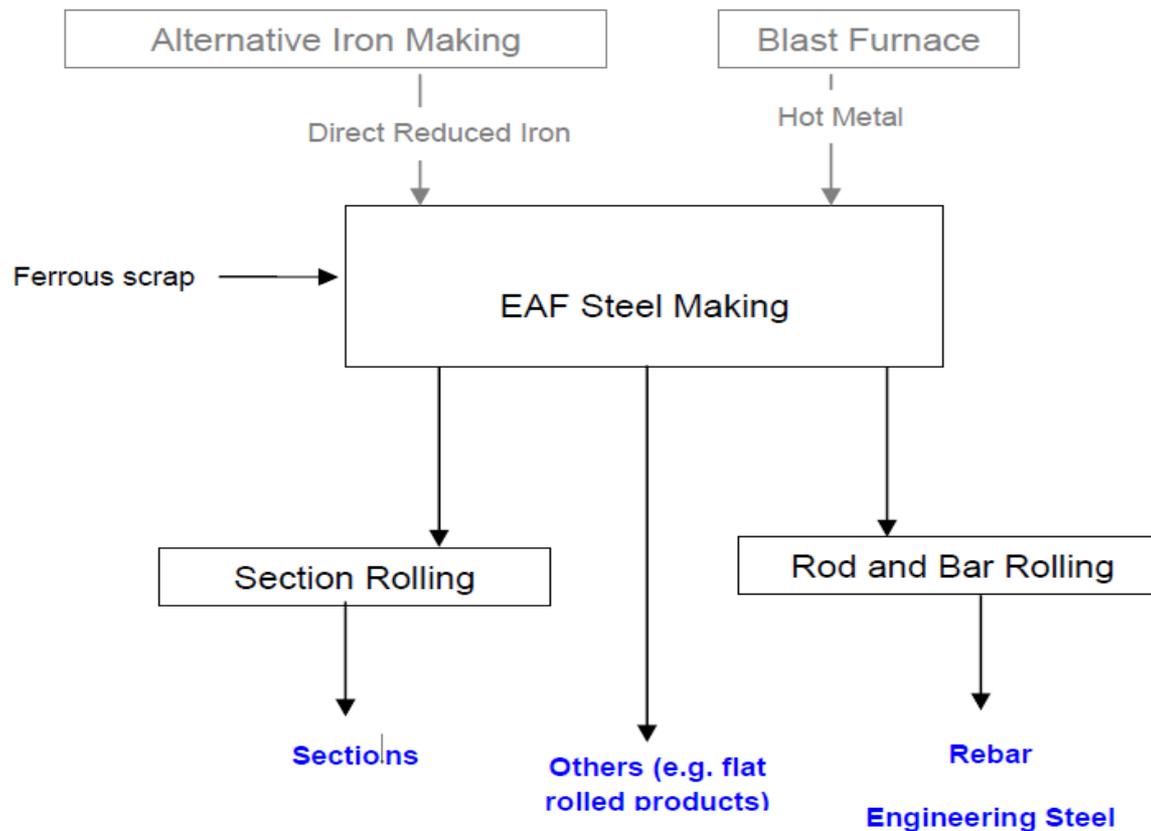
BLAST FURNACE ROUTE



Typical representation of steel making processes. Process routes can vary; all routes not included. Steel products highlighted in bold blue text.

出典: World Steel Association

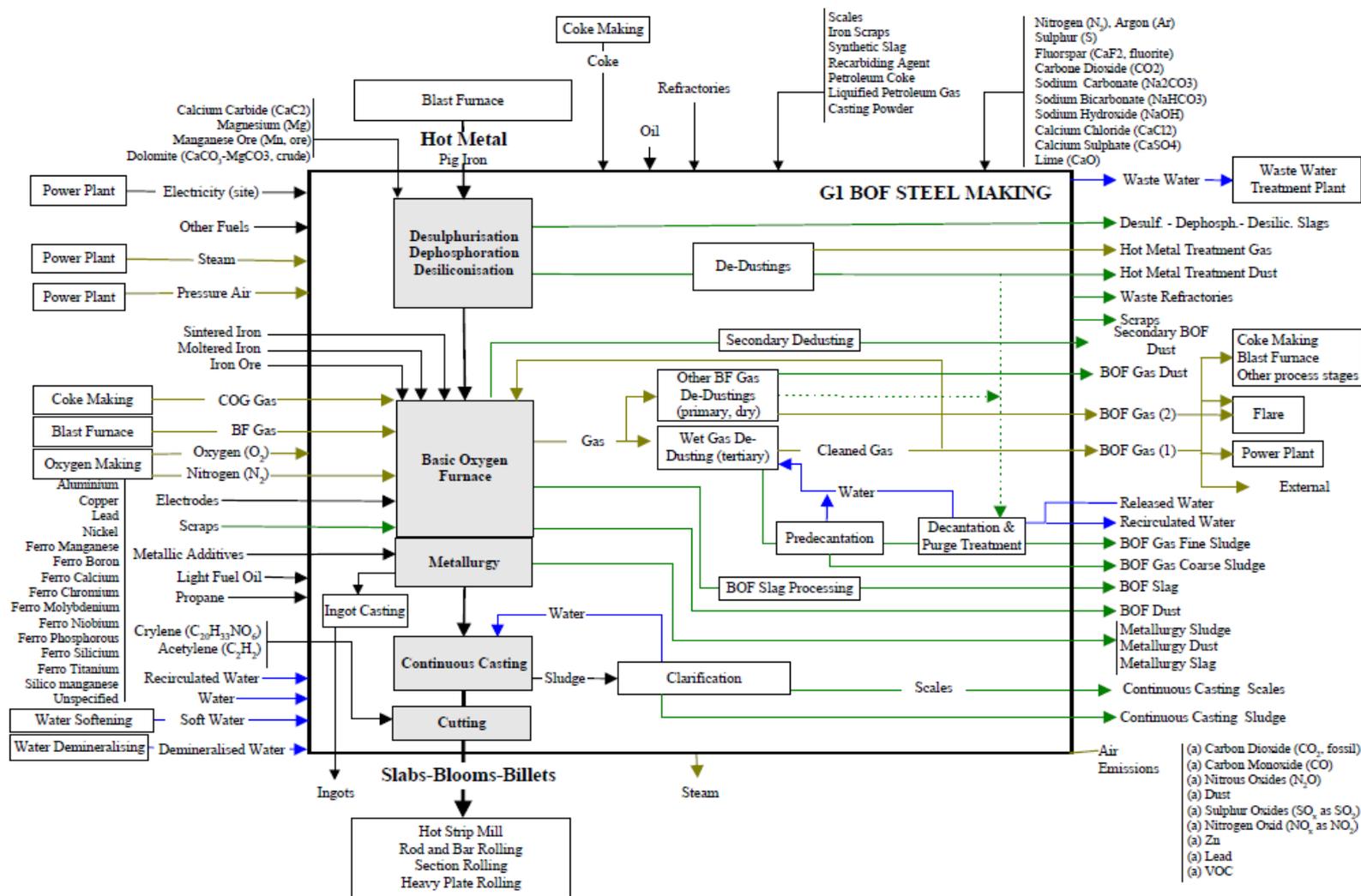
ELECTRIC ARC FURNACE ROUTE



Typical representation of steel making processes. Process routes can vary; all routes not included.
Steel products highlighted in bold blue text.

出典: World Steel Association

GaBi / worldsteel 鉄鋼LCIモデル プロセスモジュールの例 — 製鋼工程 —



出典: World Steel Association

対象鋼種：15鋼種

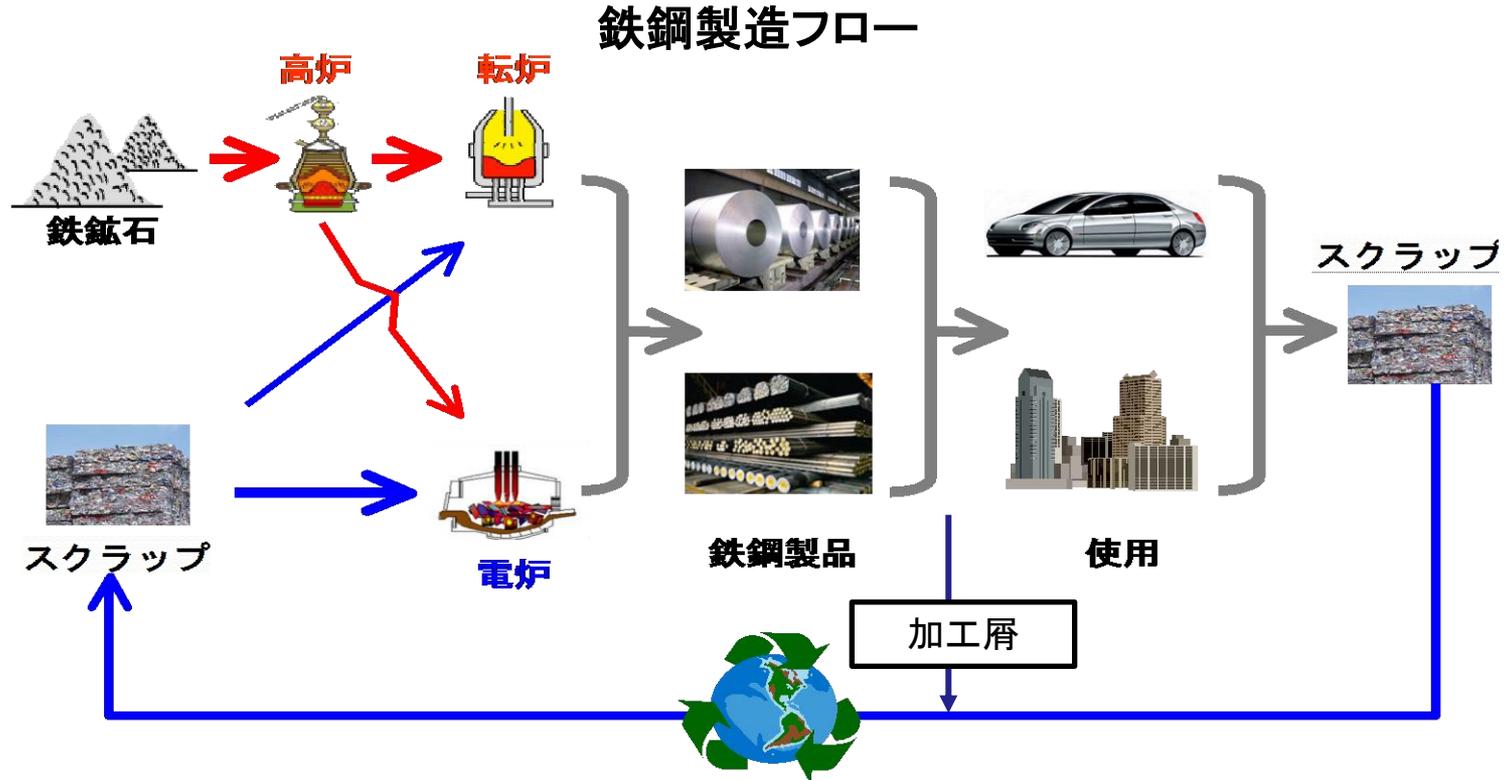
製品分類	製造ルート	製品リスト
長尺製品 (Long Products)	高炉ルート および 電気炉ルート	形鋼* 鉄筋鋼* 線材
鋼板製品 (Flat Products)	高炉ルート	厚板 熱延コイル 冷延コイル 酸洗熱延コイル 精整冷延コイル 電気亜鉛メッキ鋼板* 熔融亜鉛メッキ鋼板 ティンフリー鋼 ブリキ製品 塗装鋼板 (Organic Coated Flats) 溶接鋼管 UO鋼管

- 鋼板製品は殆どが高炉ルートで製造されるため、電気炉ルートの鋼板製品は除外したが、鋼板用の電気炉ルートは世界の一部(北米など)でその生産量を増加しつつあるので、将来の調査では考慮することを検討中。
- 工業用鋼 (Engineering Steel) 及びその他鋼種については、データ収集が不十分なため、今回のデータベースには含まないが、データ収集継続中。
- 形鋼、鉄筋鋼、電気亜鉛メッキ鋼板については、現状、世界平均データのみ。
- ステンレス鋼は対象外(別途、ISSFIにて検討)

出典: World Steel Association

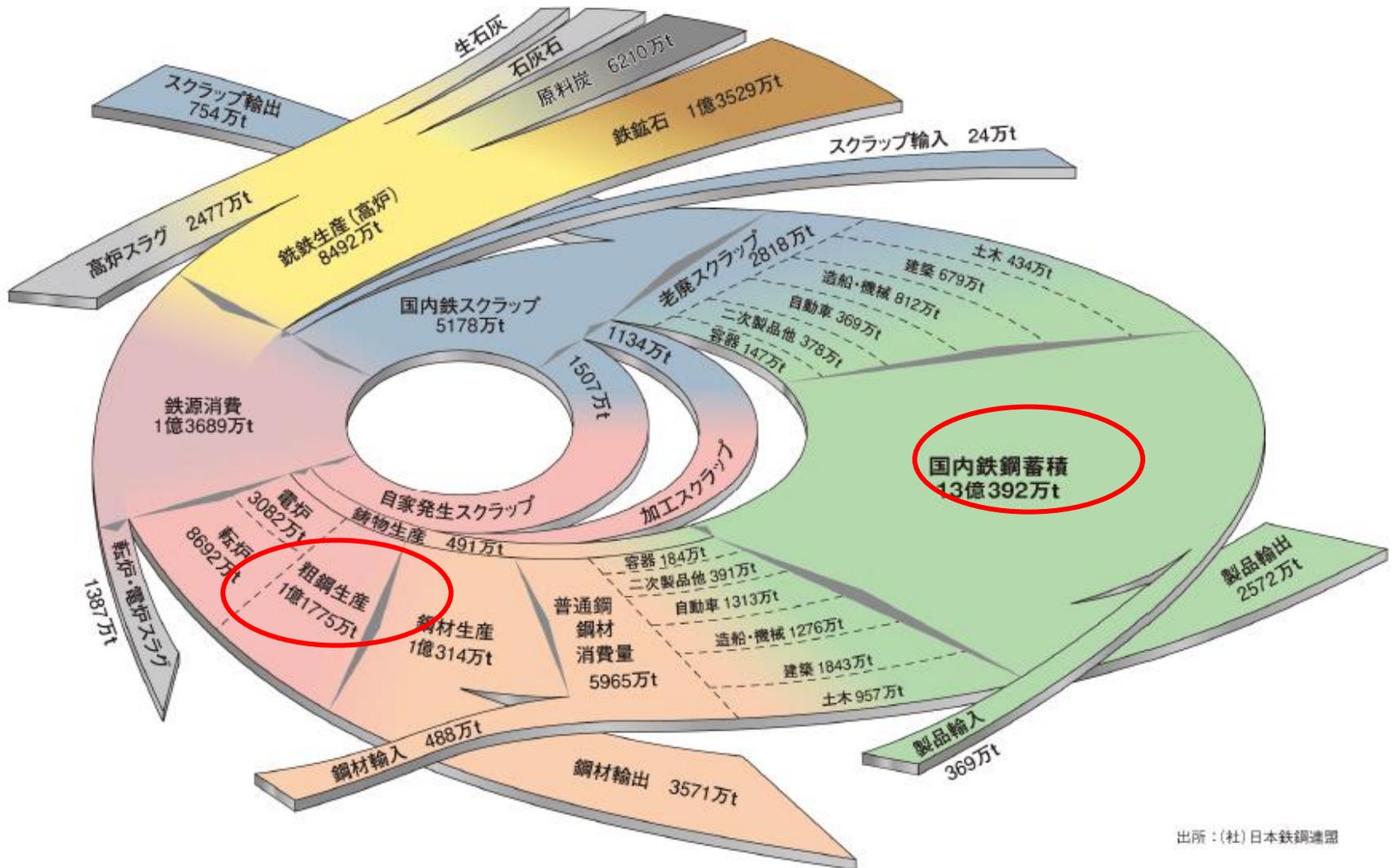
鉄鋼製造プロセスと鉄源

- 鉄鋼製品の原料、通称「鉄源」は、鉄鉱石とスクラップ。
- 鉄スクラップも、最初は鉄鉱石から製造された鉄鋼製品のリサイクル資源であり、需要に応じて供給を増やすことはできない。
- 鉄鋼使用製品となる過程で発生する加工スクラップと、使命を終えて回収される老廃スクラップとに大別される。



日本における鉄鋼製品の循環

■ 日本の鉄鋼循環図（2006年度）

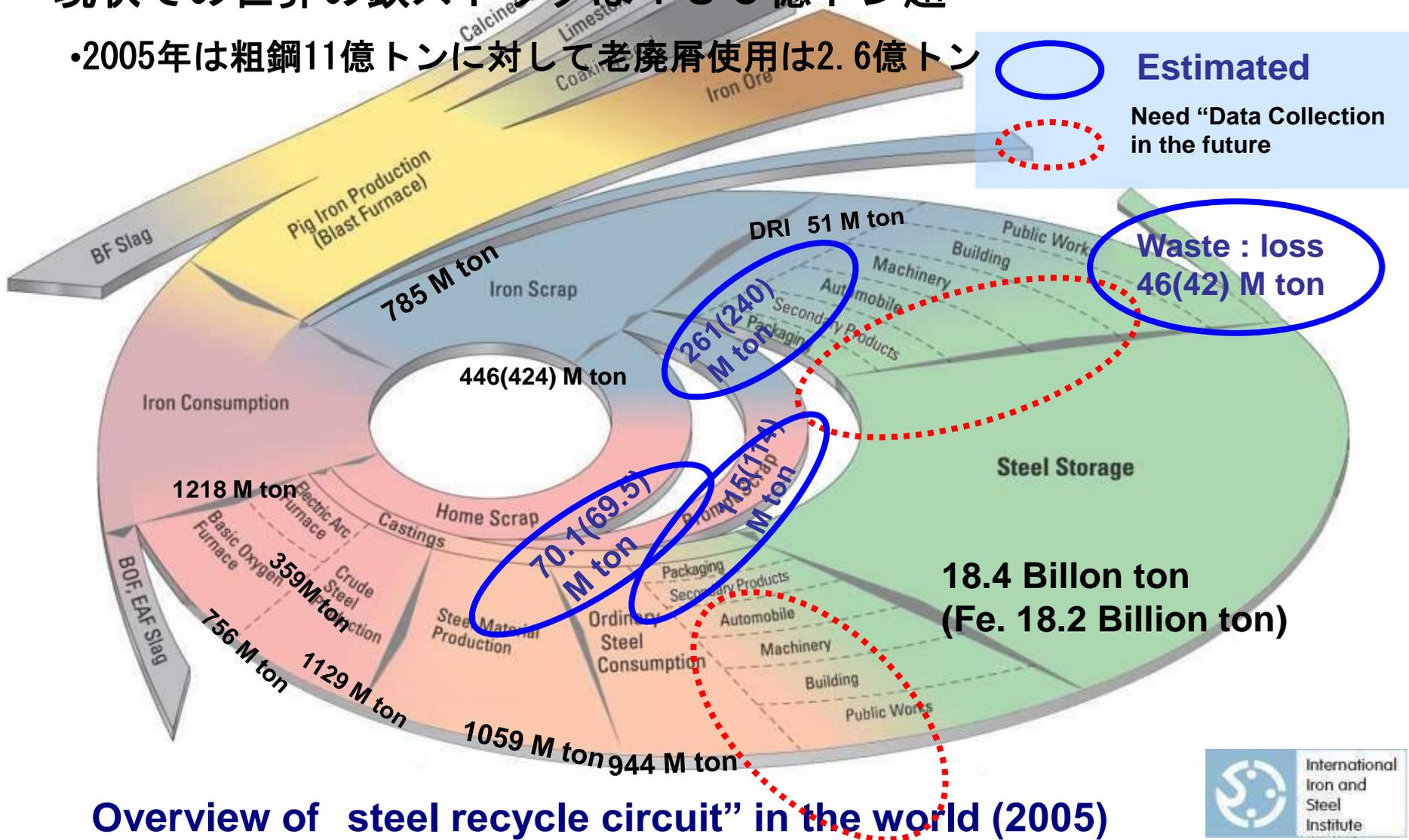


出所：(社)日本鉄鋼連盟

世界の鉄の循環：100%リサイクル可能な鉄

-現状での世界の鉄ストックは180億トン超

•2005年は粗鋼11億トンに対して老廃屑使用は2.6億トン



Overview of "steel recycle circuit" in the world (2005)



製品毎の回収率と製品寿命

品目別回収率

分類	種類	回収率	平均寿命	
容器類	スチール缶	97%	≤1年	実績と推定の比較可能
	その他		10年	
自動車	自家用車	97%	≒10年	実績と推定の比較可能
家電等	家庭用製品	95%	≤10年	
建築	家屋等	95% コンクリート屑発生	30-50年	実績と推定の比較可能
土木	基礎・ダム・橋 トンネル等	55% 45%は社会基盤	≥30年	
機械製品	工業製品	97%	≒10年	
その他	レール・列車等	90%	20年	

鉄鋼製品におけるリサイクルの位置づけ

・ ISO14044に基づく考え方

- 鉄鋼製品のように再溶解により固有の特性を変化させずに新たな鋼材を生産する場合：Closed-Loopと見なせる。

・ 鉄鋼製品でのリサイクリングシステム

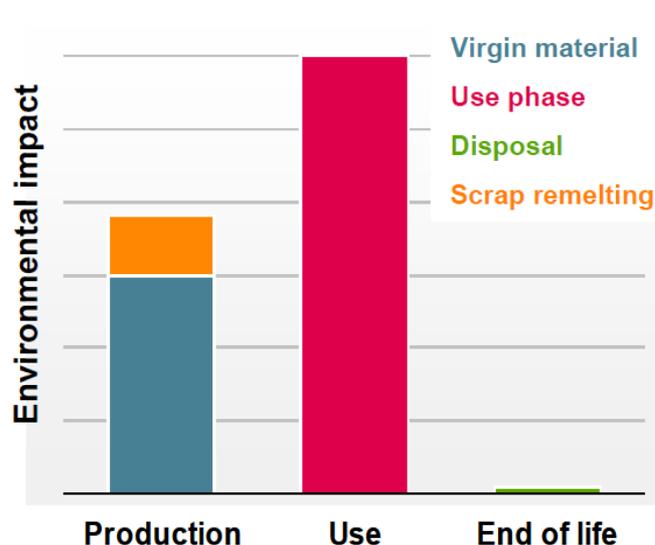
- 高炉と電炉は各地域により、それぞれが得意とする製品を製造しており、結果として量、品質の両面での機能分担が図られたリサイクルシステムが構築されている。
- 資源面も含め両者は相互に補完しあっており、鉄鋼製品全体をシステム境界として定義でき、鉄鋼製品のリサイクルはClosed-Loopと見なせる。

・ 将来のシナリオ

- 世界の鉄鋼需給は今後も増加が予測され、高炉法による一次原料の生産は引き続き世界規模で確保される。
- 今後のリサイクリングシステムの高度化と社会整備により、こうしたシステムは永続的に維持可能である。
- 鉄鋼製品のリサイクル優位性
 - ・ 回収が容易(磁選)・品質の劣化が少ない・商品の要求に応じた作りこみが可能etc.

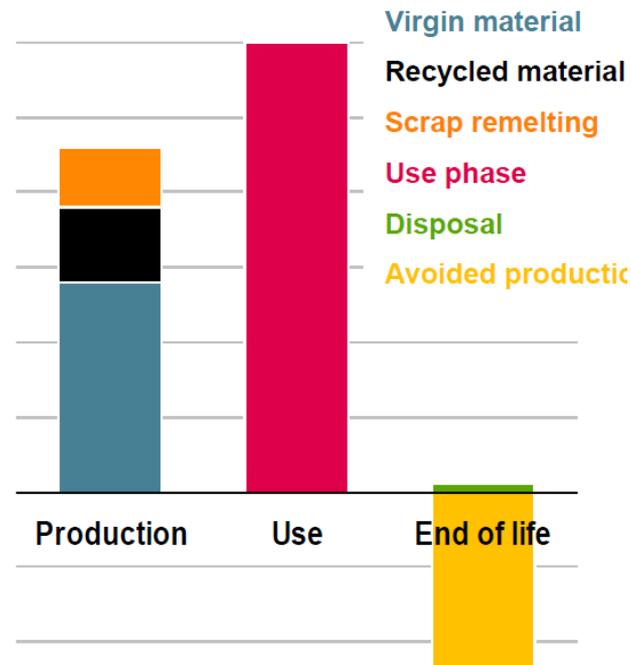
リサイクル方法論

Cut-off approach (Recycled content method)



- ◆ 対象とする製品システム内でのみ発生する、リサイクルによる負荷 / クレジット(控除)を考慮。
- ◆ 異なる製品システム間での環境負荷控除や割付はなし。
- ◆ リサイクルされるスクラップには過去のライフサイクルの環境負荷の割付なし。

End of life approach (Closed material loop method)

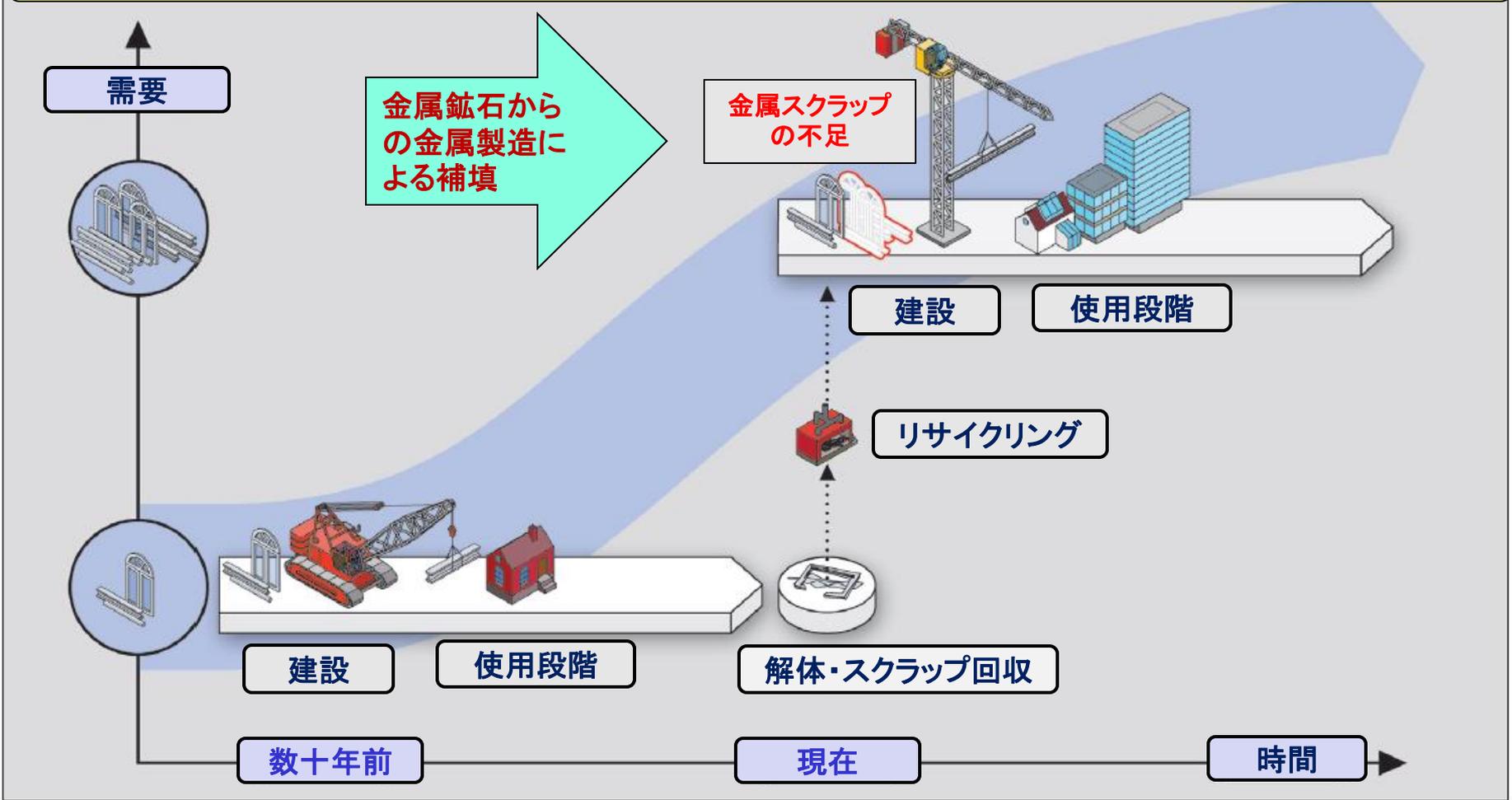


- ◆ 異なる製品システム、異なるライフサイクルの全てを対象として、リサイクルによる負荷とクレジットを考慮する包括的アプローチ。
- ◆ End of life スクラップのリサイクルにより、次のライフサイクルにおいて1次ルート(鉄鉱石ルート)の生産量低減分相当の環境負荷が低減される(avoided burden)。
- ◆ 同時に、リサイクルされるスクラップには過去の環境負荷が割付られる。

出典: World Steel Association

建物に関する金属スクラップのリサイクル

建物に使用されている金属の寿命は数十年 ⇒ 回収スクラップのみでは現在の需要不満足



出典: METALS FOR BUILDINGS (欧州金属産業のアライアンス)

リサイクル原理に関する金属業界宣言

-Declaration by the metals industry on recycling principles -
November 30, 2006

- **世界の金属業界は、end of lifeアプローチを強力に支持。**

- **Cut-off アプローチ (Recycled content アプローチ) :**
 - 経済的問題あるいは市場の未成熟が原因でリサイクルが十分行われていない素材のリサイクルを検討する場合に適する。
 - 製品中のリサイクル素材の比率増加を意図する場合の指標として有効。
 - 既に回収・リサイクルが効率的に実施されている金属素材には不適。
 - 現実の環境影響を評価できないことに加え、市場の歪や環境面、経済面での非効率化につながりかねない。

- **End of lifeアプローチ**
 - 製品のend of life時点において、理論的に回収可能な量に対して実際に回収されてリサイクルされた量の比率を定義。
 - 素材の将来の利用可能性を最大化することを狙う場合の指標として有効

リサイクル原理に関する金属業界宣言

-Declaration by the metals industry on recycling principles -
November 30, 2006

参加した国際金属業界団体

Eurofer (European Confederation of Iron and Steel Industries)

Eurometaux

International Aluminum Institute

International Chromium Development Association

International Copper Association

International Council on Mining and Metals

International Stainless Steel Forum

International Zinc Association

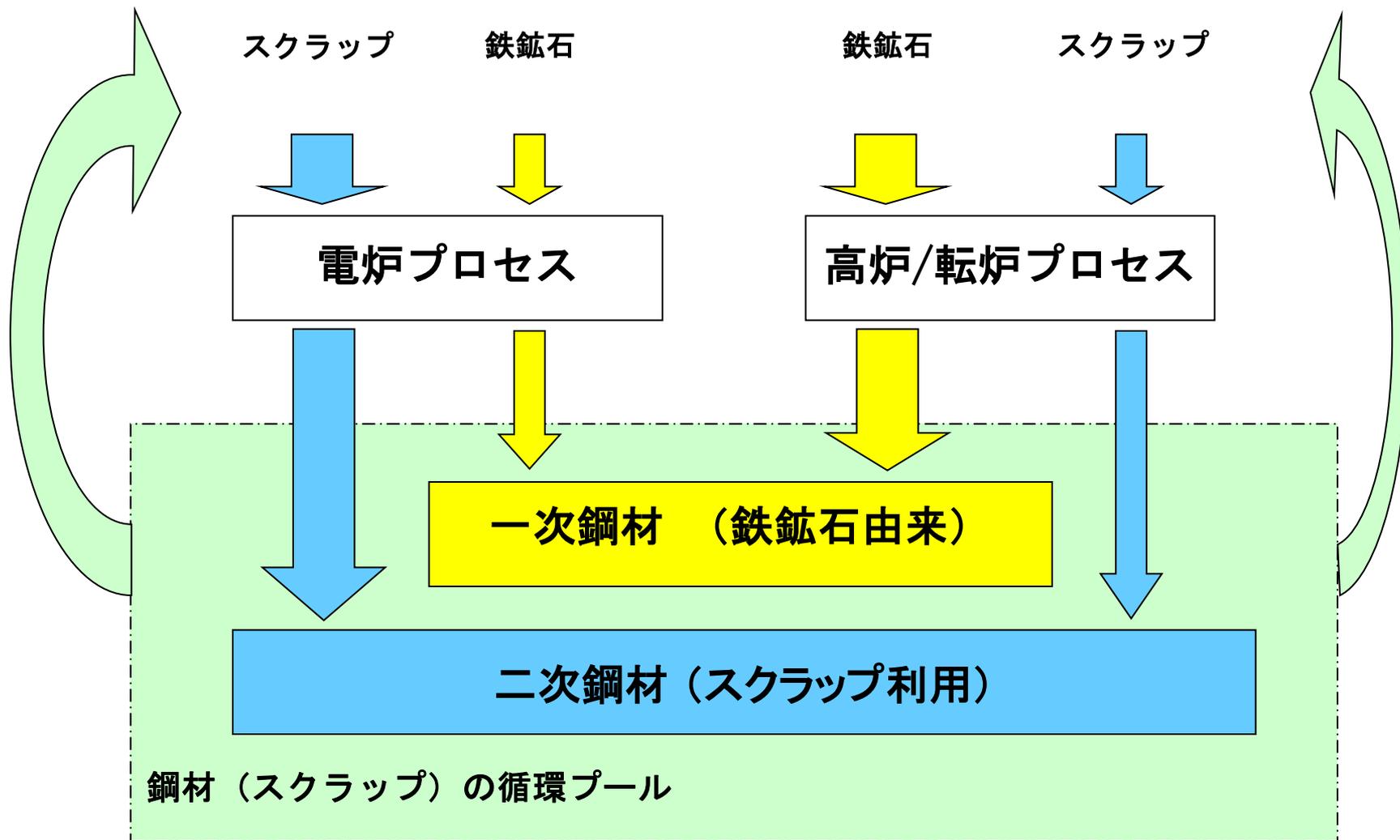
Lead Development Association International

Nickel Institute

World Steel Association

鉄鋼製造プロセスにおける1次ルートと2次ルート

出典: World Steel Association



鋼材でのスクラップリサイクルの評価方法

リサイクルを考慮したLCIの算出(高炉/転炉ルート)

—スクラップの負荷とクレジット—

$$\text{LCI}_{\text{including EoL}} = X - \text{RR Scrap LCI} + \text{S Scrap LCI}$$

スクラップリサイクルのクレジット

スクラップリサイクルの負荷

$$= X - (\text{RR} - \text{S}) \text{Scrap LCI}$$

X: 鋼材のLCI(スクラップリサイクル無・cradle to gate)

Scrap LCI: スクラップのLCI

RR: Recovery Rate

(EoL の回収率)

寿命を終えた鉄鋼製品がスクラップとして回収される比率

S: 製鉄プロセスで使用されるスクラップ量

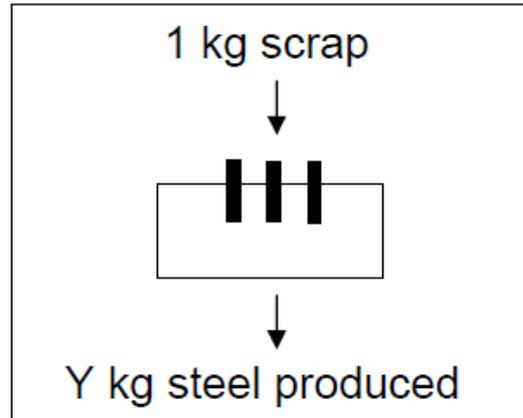
スクラップリサイクルの評価方法

Y = Metallic Yield (プロセス歩留)

2次プロセス(電気炉ルート)においてスクラップから鋼材を生産する際の効率。

X_{pr} = LCI for primary steel production (1次鋼材のLCI) <高炉ルート(0%スクラップ)>

X_{re} = LCI for secondary steel production (2次鋼材のLCI) <電気炉ルート(100%スクラップ)>



$$Y < 1$$

出典: World Steel Association

ISOの定義では、1 kg のスクラップは、Y kg の2次鋼材を生産し、Y kg の1次鋼材を代替することから、1 kgのスクラップ使用により、 $X_{pr} Y - X_{re} Y = (X_{pr} - X_{re}) Y$ のLCIを節約可能。

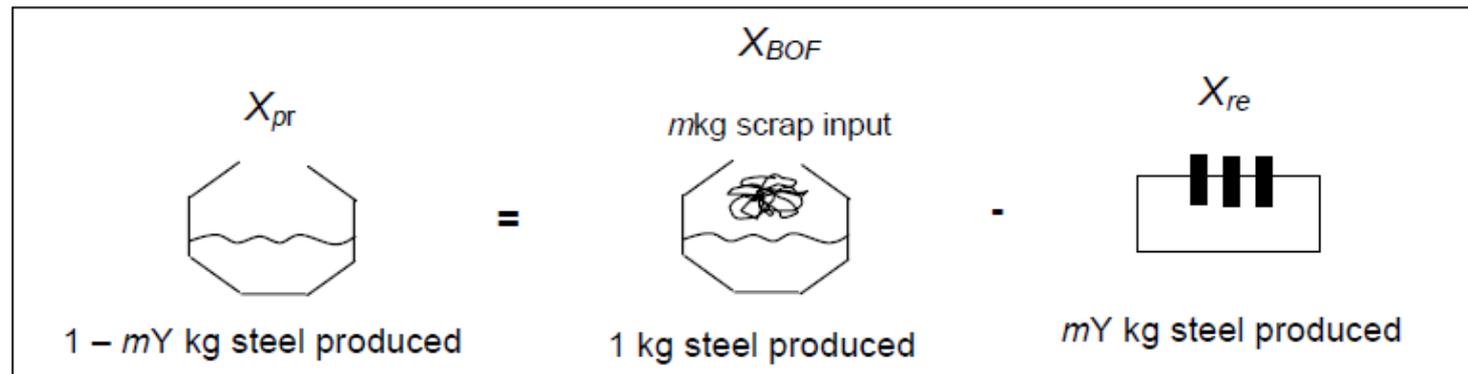
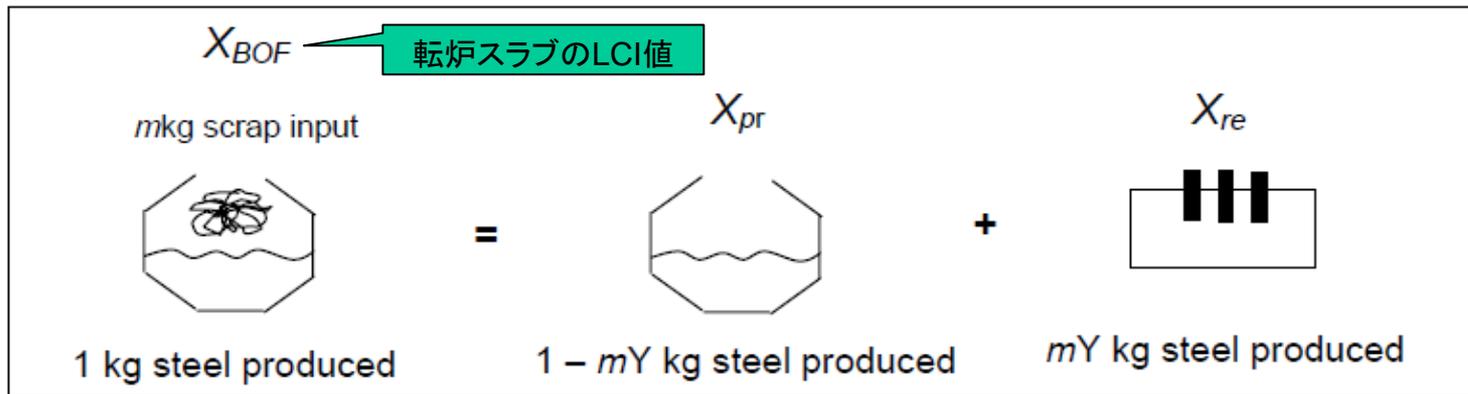
(代替ルートから $X_{pr} Y$ のLCIを節約するが、同等の役割を果たすためには、 $X_{re} Y$ のLCIを浪費する。)

即ち、スクラップへのLCI割り当て **Scrap LCI = $(X_{pr} - X_{re}) Y$**

スクラップリサイクルの評価方法

- 境界を拡張してスクラップのインプットとアウトプットの配分を含めると両システムは等価である。
- 鉄鋼製品のような閉ループでのシステム全体でのLCIIは、原料ソースやプロセスに依存せず、リサイクルのレベルや歩留、及び1次プロセスに対するリサイクルプロセスの相対的な環境負荷の差異に依存することになる。
- 結果として、 $X_{pr} > X_{re}$ であれば、リサイクルは有益であると言える。
- 実際には、高炉/転炉プロセスでもスクラップを使用しており、鉄鋼メーカーからの提出データには X_{pr} は含まれていないため、これを計算する必要あり。

100% 1次鋼材（スクラップ° 0%）の理論LCI値、 X_{pr} の計算



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

ここで、 $m = \text{Scrap}_{BOF}$, $Y = 1 / \text{Scrap}_{re}$ とすると、

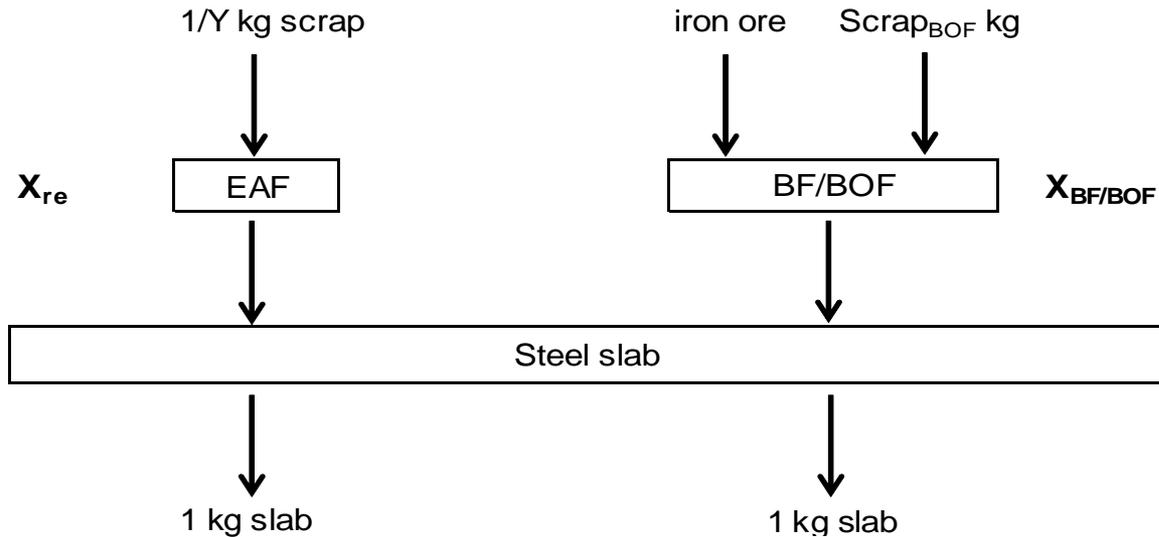
$$X_{BOF} = \left(1 - \frac{\text{Scrap}_{BOF}}{\text{Scrap}_{re}}\right)(X_{pr}) + \left(\frac{\text{Scrap}_{BOF}}{\text{Scrap}_{re}}\right)X_{re}$$



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

出典：World Steel Association

Scrap LCI の計算



$$LCI_{re} = X_{re} + 1/Y \cdot \text{Scrap LCI}$$

$$LCI_{BF/BOF} = X_{BF/BOF} + \text{Scrap}_{BOF} \cdot \text{Scrap LCI}$$

ここで、 $LCI_{re} = LCI_{BF/BOF}$

$$X_{re} + 1/Y \cdot \text{Scrap LCI} = X_{BF/BOF} + \text{Scrap}_{BOF} \cdot \text{Scrap LCI}$$

$$\text{Scrap LCI} = \frac{X_{BF/BOF} - X_{re}}{1/Y - \text{Scrap}_{BOF}}$$

P25 より $X_{BF/BOF} = (1 - Y \cdot \text{Scrap}_{BOF}) \cdot X_{pr} + Y \cdot \text{Scrap}_{BOF} \cdot X_{re}$

$$\text{Scrap LCI} = \frac{Y \cdot (X_{BF/BOF} - X_{re})}{1 - Y \cdot \text{Scrap}_{BOF}}$$

$$= \frac{Y \cdot [(1 - Y \cdot \text{Scrap}_{BOF}) \cdot X_{pr} + Y \cdot \text{Scrap}_{BOF} \cdot X_{re} - X_{re}]}{1 - Y \cdot \text{Scrap}_{BOF}}$$

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

出典: World Steel Association

鋼材でのスクラップリサイクルの評価方法

—スクラップの負荷とクレジット—

<熱延コイルの例(高炉/転炉ルート)>

$$LCI_{\text{including EoL}} = X - \underbrace{RR \text{ Scrap LCI}}_{\text{スクラップリサイクルのクレジット}} + \underbrace{S \text{ Scrap LCI}}_{\text{スクラップリサイクルの負荷}}$$

$$= X - (RR - S) \text{ Scrap LCI}$$

S: 製鉄プロセスで使用されるスクラップ量
 X: 鋼材のLCI(スクラップリサイクル無・cradle to gate)
 RR: Recovery Rate (EoL リサイクル率)
 寿命を終えた鉄鋼製品がスクラップとして回収される比率

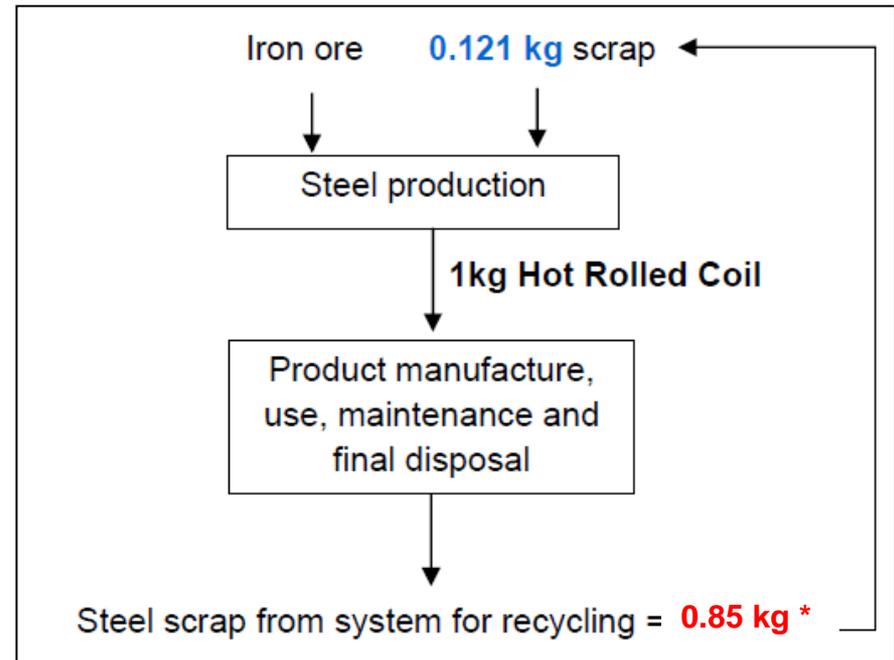
例えば、X: CO₂ を例にとると、

$$\begin{aligned} \text{Scrap LCI} &= (X_{\text{pr}} - X_{\text{re}})Y \\ &= (1.92 - 0.386) \times 1/1.092 \\ &= 1.405 \text{ kg CO}_2 \end{aligned}$$

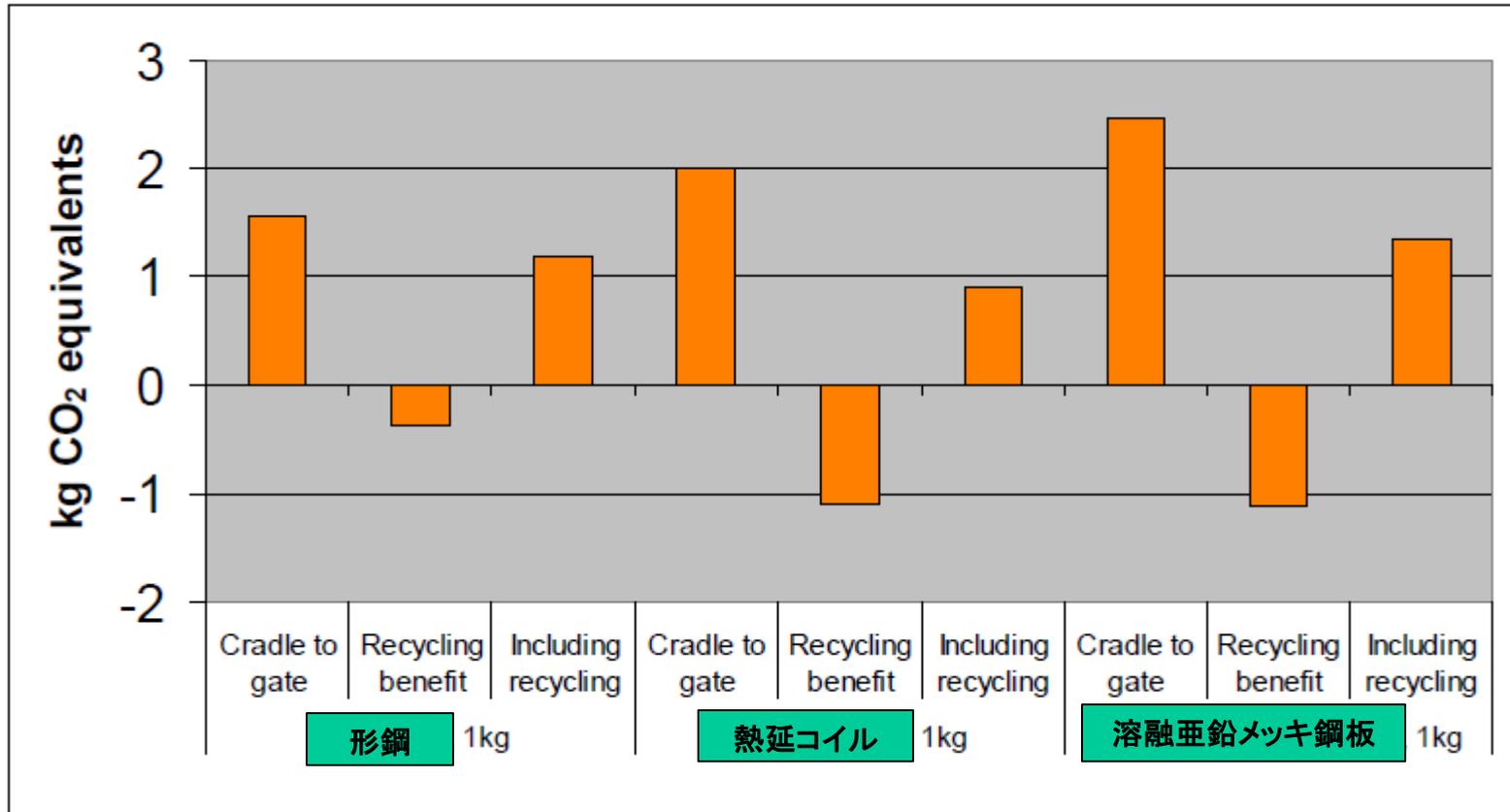
$$\begin{aligned} LCI_{\text{including EoL}} &= 1.889 - (0.85 - 0.121) \times 1.405 \\ &= 0.86 \text{ kg CO}_2 \end{aligned}$$

数値は、第3回データベース構築で得られた世界平均値。

* RR = 0.85 kg worldsteel 資料より



Impact Assessment の例 (Global Warming Potential)



*The Center of Environment Science at Leiden Universityの方法論とデータ処理による。

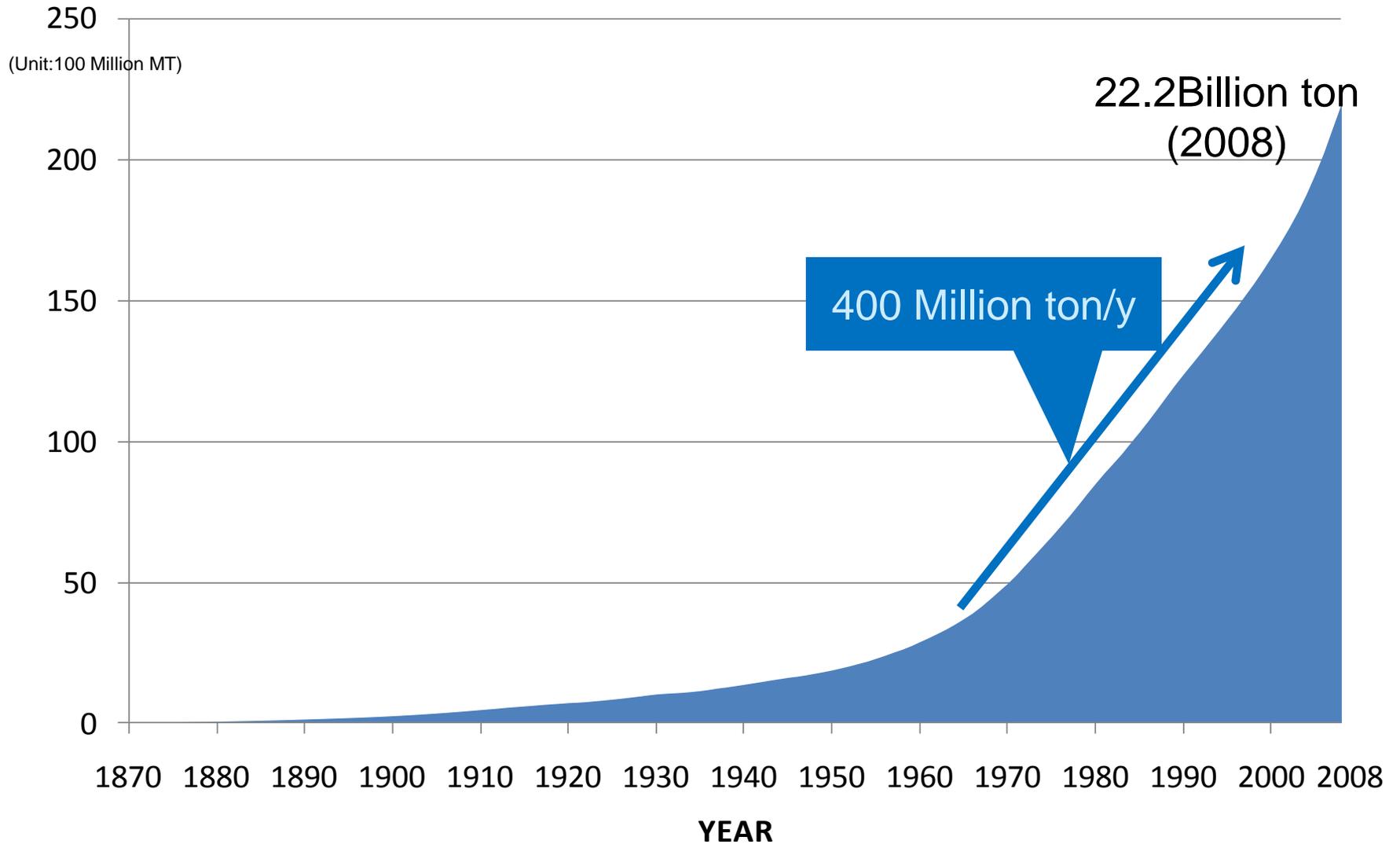
**GWP 100 years: 鉄鋼の場合、CO₂ とメタンが支配的で、約98%を占める。

注意: この例は、LCIの世界平均値を用いた cradle-to-gateのデータであり、スクラップリサイクル率は、典型的な値として、85%を使用。特定の検討に使用してはならない。

出典: World Steel Association

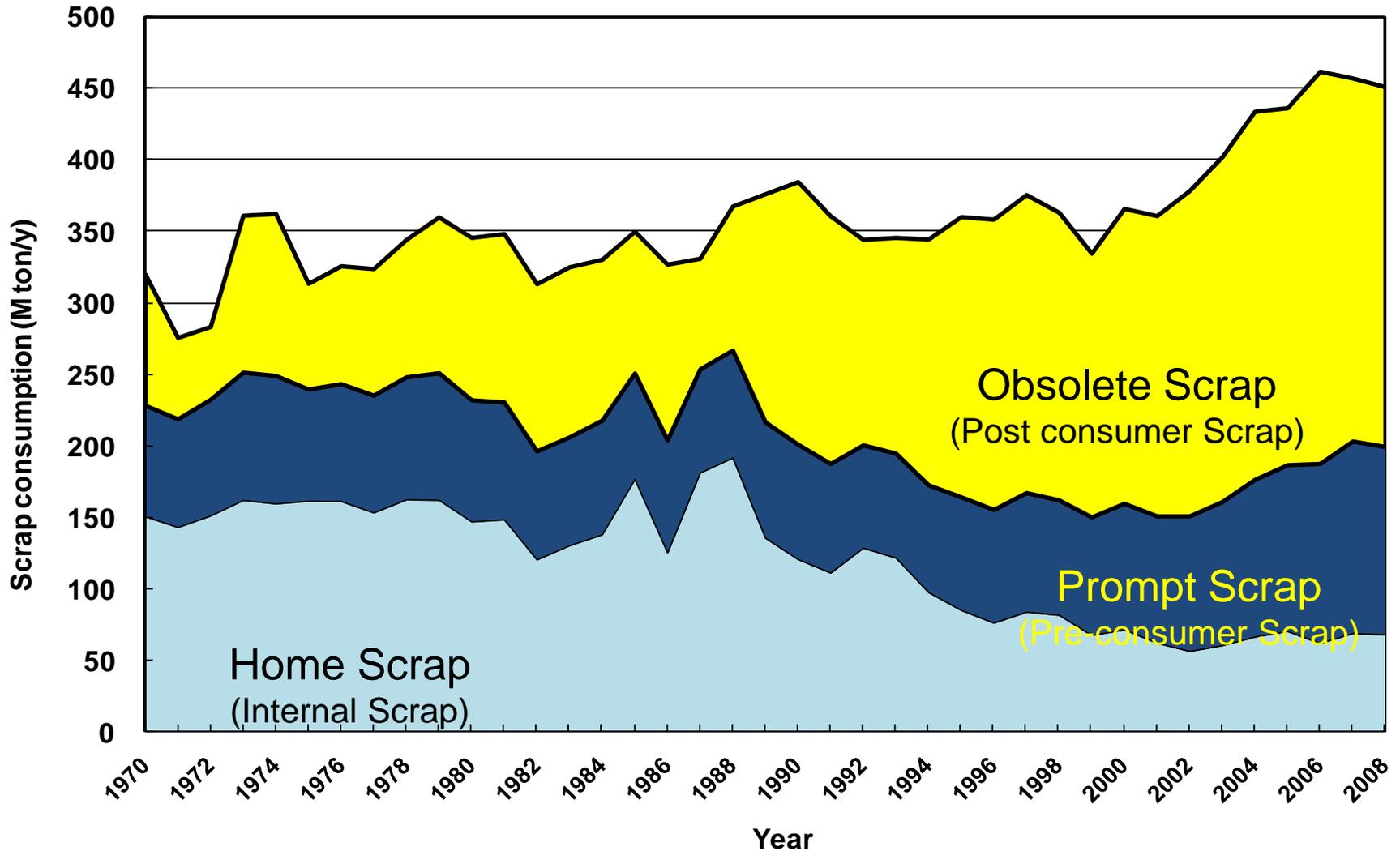
世界の鉄鋼蓄積量

WSA "Steel Recycling Circuit" in the world, September 2010報告書より抜粋

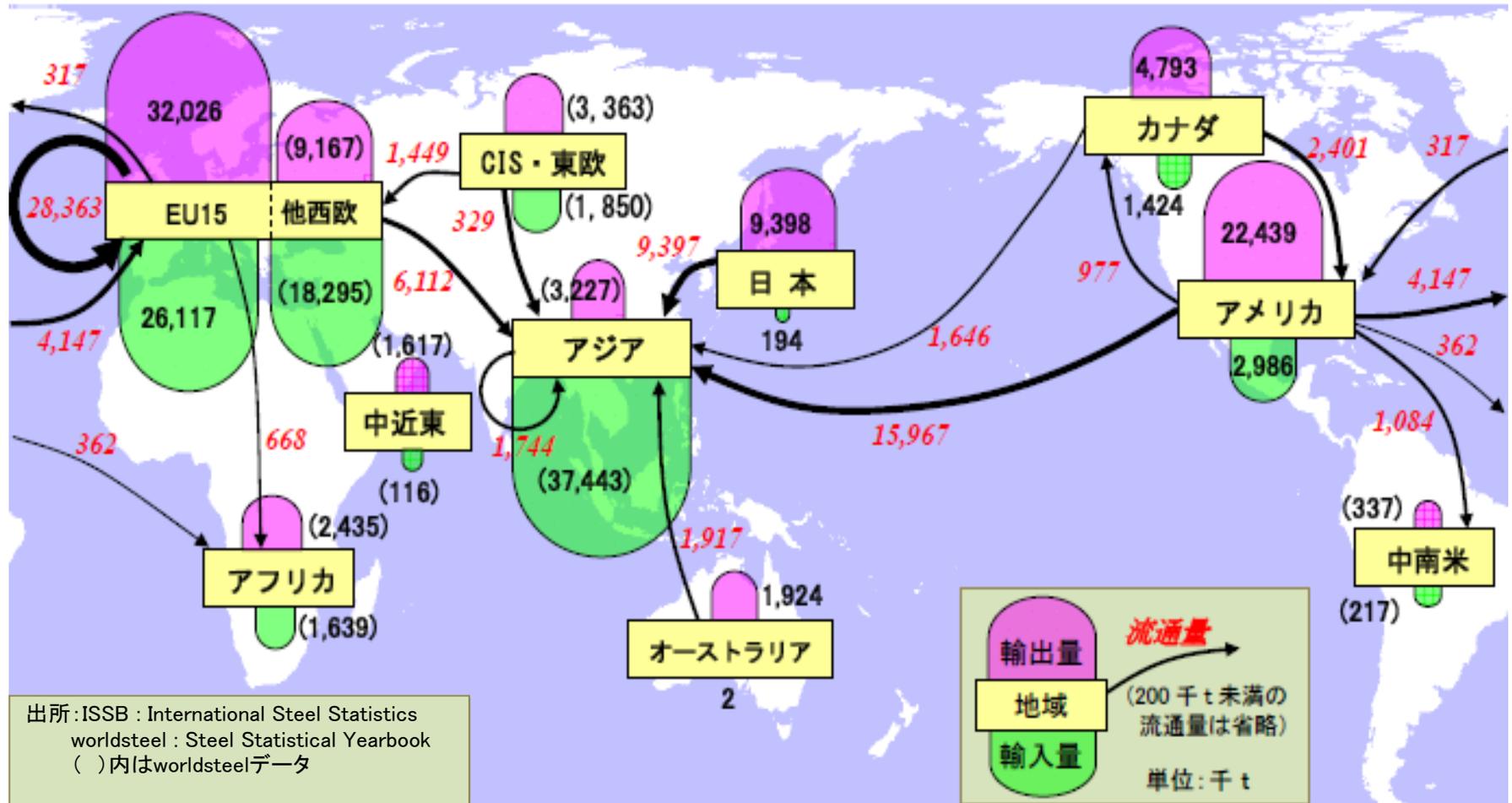


World scrap recovery, 1970-2008 (IISI)

WSA "Steel Recycling Circuit" in the world, September 2010報告書より抜粋



世界のスクラップ流通(2009年)



出典: 日本鉄源協会

End of life スクラップリサイクル率の考え方

- 鋼材は国際商品であり、スクラップ発生も国を跨って起こるため、スクラップリサイクル率は**世界平均**を採用するのが妥当。(worldsteel LCA Expert Groupの基本合意)
- 各種定義が存在するが、End of Lifeリサイクル率としては、以下の定義が採用可能。
 - 老廃スクラップ回収率 = 85% (鉄鋼ロス = 15%)
(過去数十年に亘る世界のスクラップデータの解析結果に基づく。
"Steel Recycling Circuit in the world", Sept. 2010 より)
 - 需要分野別リサイクル率
 - 国別、地域別リサイクル率
- 今後、worldsteelにて継続検討予定。