The background of the slide features a complex, three-dimensional arrangement of interlocking metal rings, possibly made of steel or aluminum. The rings are highly reflective, showing bright highlights and deep shadows, which gives them a metallic and industrial appearance. The overall color palette is dominated by shades of blue and grey, with the rings themselves appearing in various tones of silver and blue. The lighting is dramatic, coming from the upper left, creating a sense of depth and highlighting the intricate geometry of the rings.

# 鉄鋼製品のリサイクル効果を考慮した LCA手法及びシミュレーション事例の紹介

一般社団法人 日本鉄鋼連盟

建設環境研究会

# 本日の説明内容



- I. 鋼材の環境優位性について……………【 5分】  
(鉄鋼製品ならではのリサイクルとは)
- II. リサイクリング効果を考慮したLCA手法について…【15分】  
(鉄鋼製品のCO<sub>2</sub>排出量に関するLCI算定手法を中心に)
- III. 既往のLCA研究事例に対する再評価……………【10分】  
(昭和橋旧橋解体工事に伴うLCAシミュレーションを対象に)
- IV. まとめ……………【 2分】
- V. 質疑……………【 5分】

# I. 鋼材の環境優位性



## 素材の特徴を活かした様々なリサイクル

鉄鋼建材（躯体） → 鉄鋼建材（躯体） → ？

コンクリート（躯体） → 砕石材（路盤材） → ？

製材・合板（躯体） → 再生紙・燃料 → ？

# I. 鋼材の環境優位性

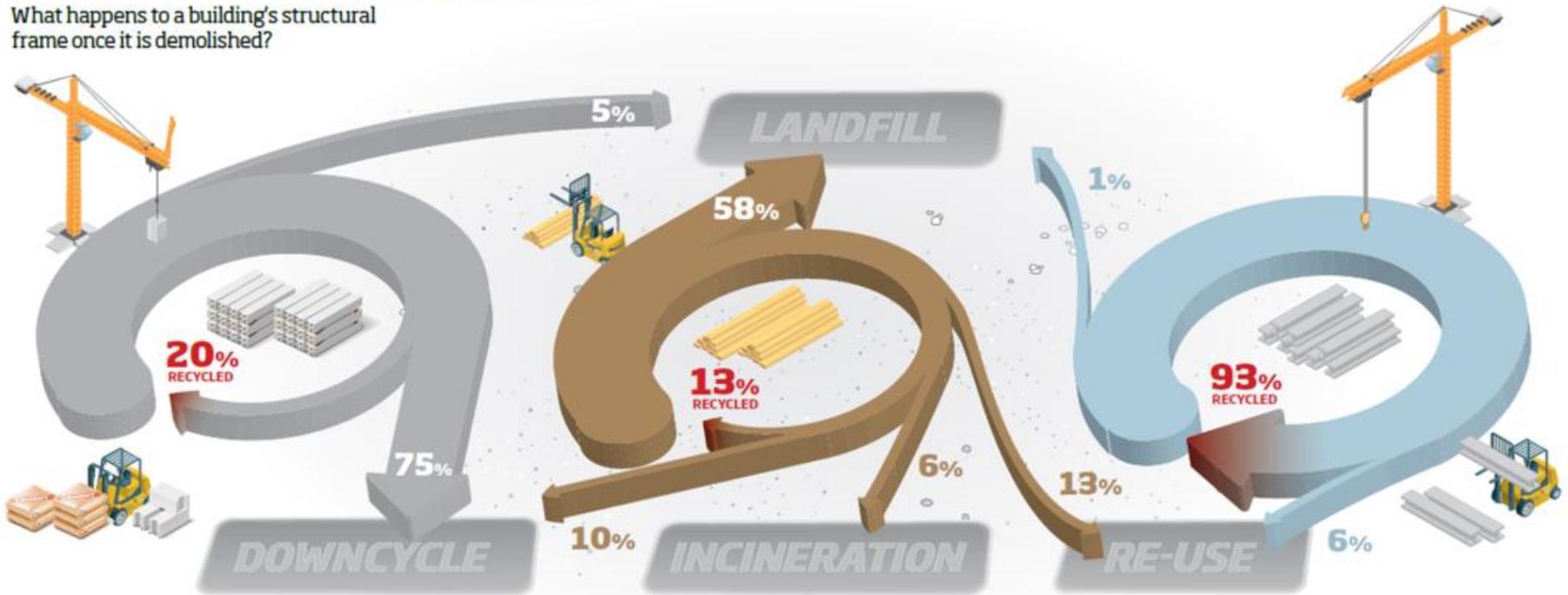


## 建材(躯体)ごとのリサイクルの違い

### END-OF-LIFE SCENARIOS

What happens to a building's structural frame once it is demolished?

出典: Steel Construction Info.



CONCRETE

コンクリート  
(鉄筋コンクリート)

TIMBER

製材・合板

STEEL

鉄鋼建材(鋼材)

# I. 鋼材の環境優位性



## リサイクルの定義

マテリアル リサイクル	水平 リサイクル	<p>リサイクルのうち、ある素材がリサイクル前と同じ用途に利用される場合を指す。</p> <p>Ex. 鉄骨・鉄筋(躯体) → 鉄骨・鉄筋(躯体)</p>
	カスケードリサイクル (ダウン サイクル)	<p>リサイクルのうち、ある素材がリサイクル前とは別の用途に利用される場合を示す。</p> <p>Ex. コンクリート(躯体) → コンクリート(路盤材)</p>
サーマル リサイクル		<p>スクラップや廃棄物等を焼却して、熱エネルギーを回収すること。熱回収ともいう。 (マテリアルリサイクルと区別)</p> <p>Ex. 製材・合板(躯体) → 燃料</p>

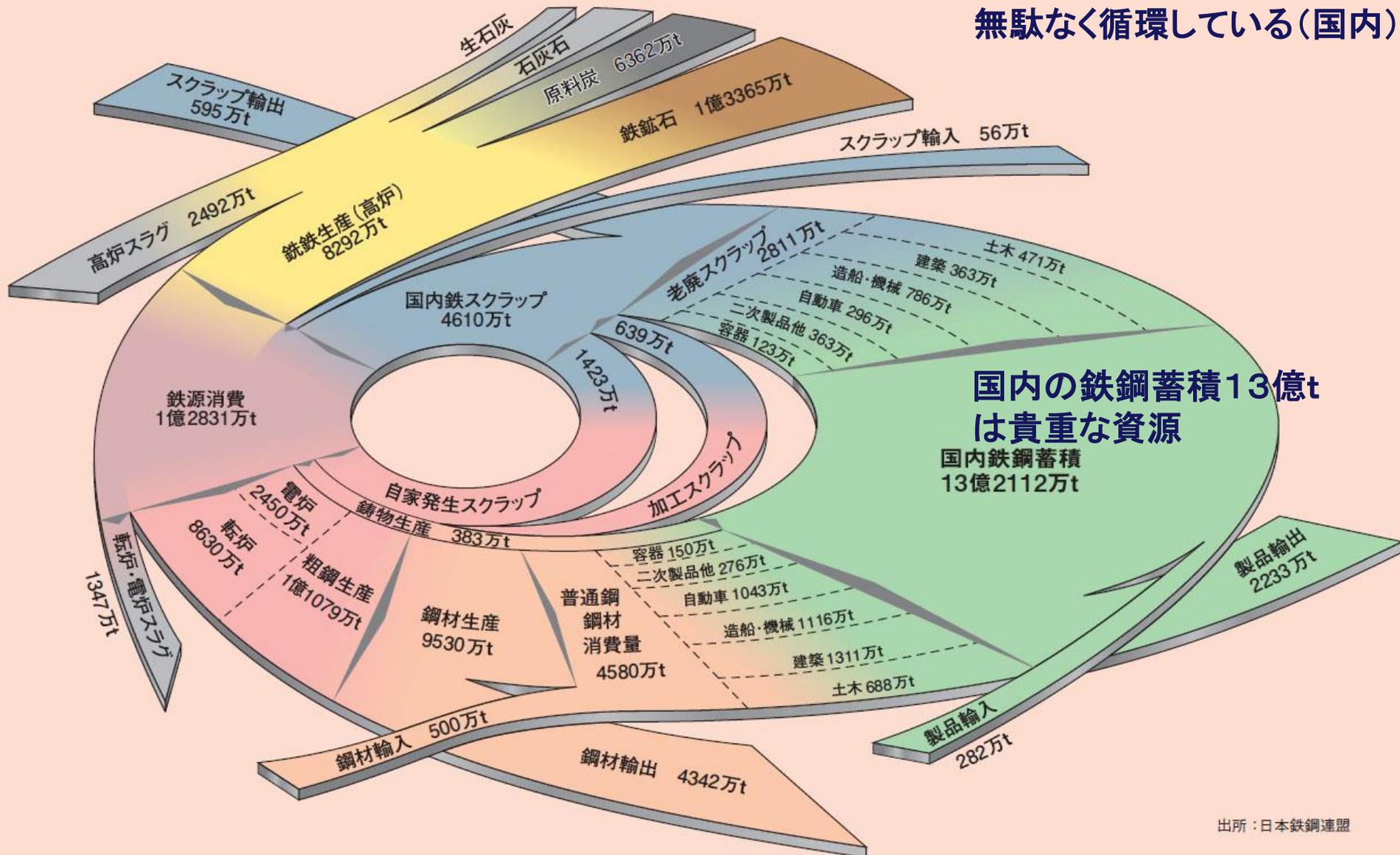
水平リサイクル可能な素材は、廃棄されず無駄なく循環する。  
鋼材はその数少ない素材の1つ

# I. 鋼材の環境優位性



■ 日本の鉄鋼循環図 (2010年度)

鉄鋼スクラップは、市場原理に基づき、  
無駄なく循環している(国内)

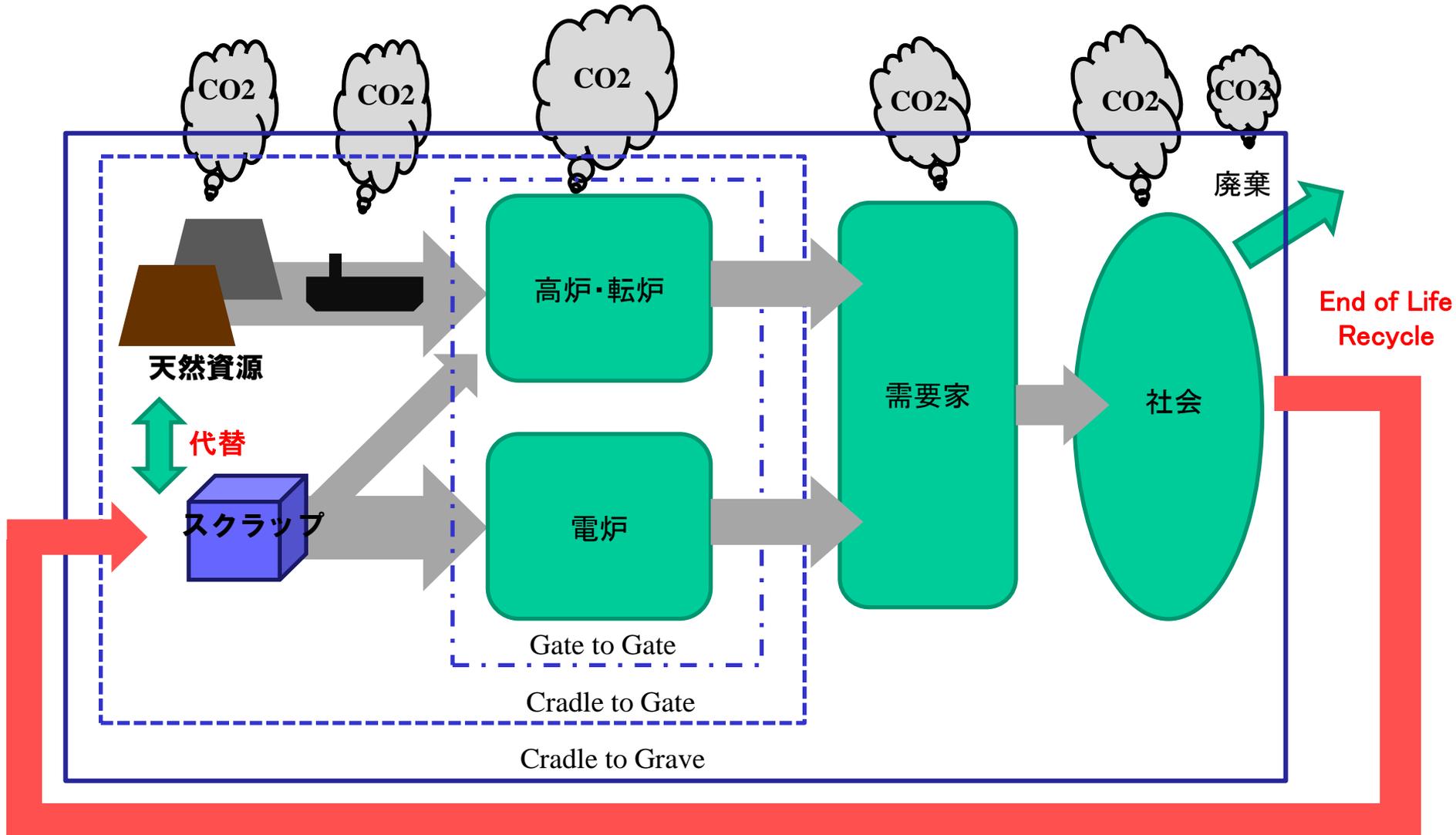




# Ⅱ. リサイクル効果を考慮したLCA手法

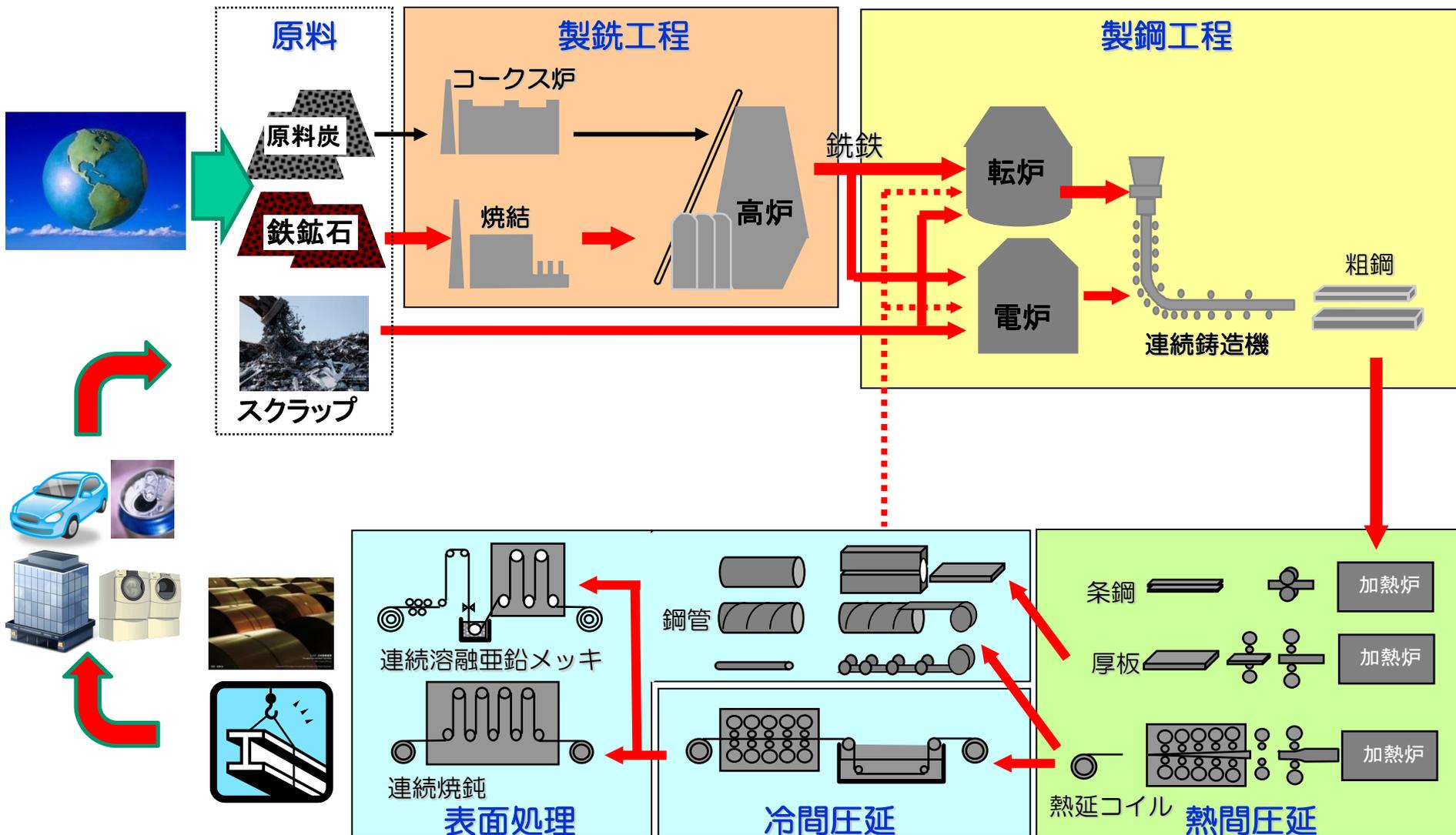


End of Life Recycleの基本的な考え方(境界条件)

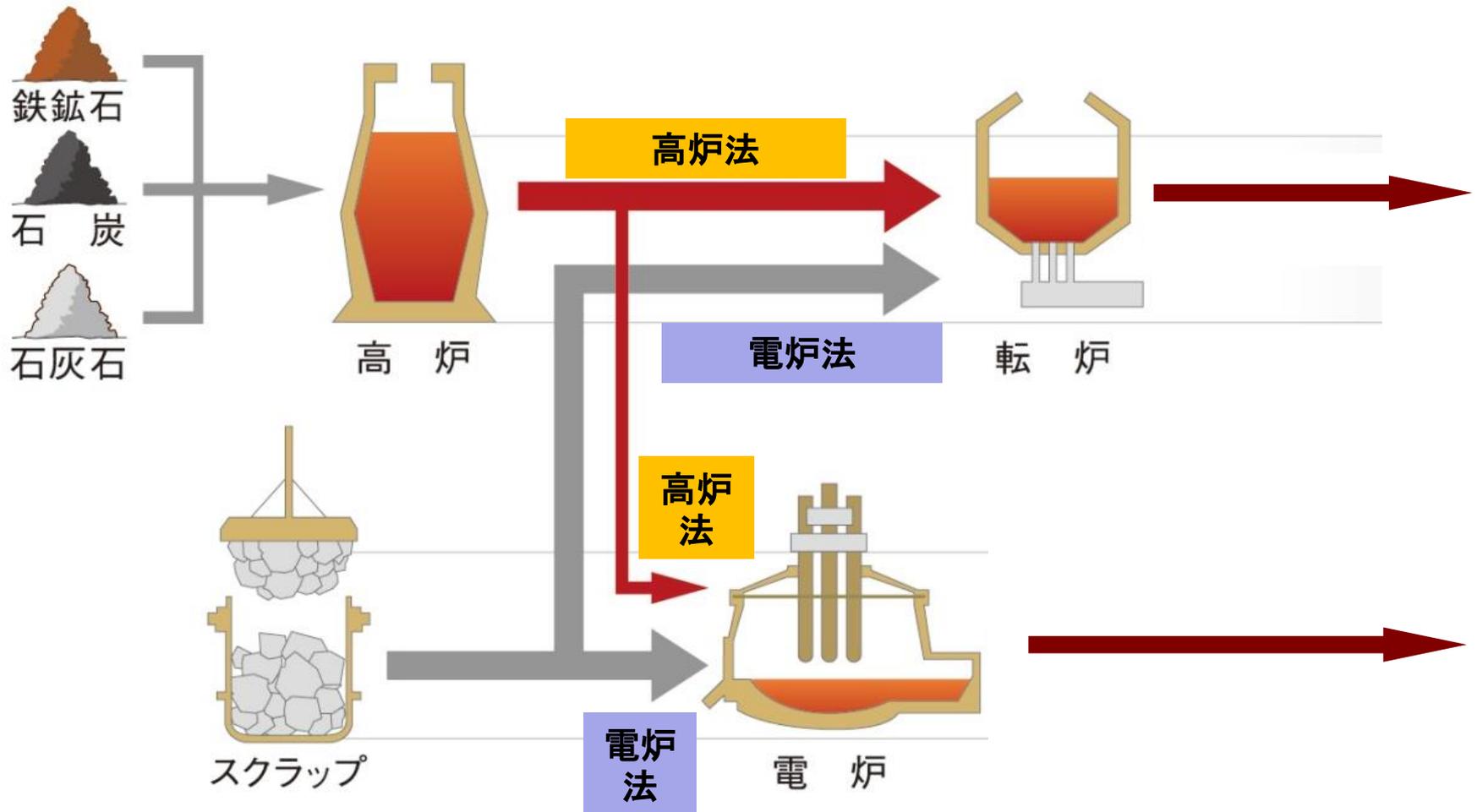




## 鉄鋼製造プロセスの概要



## Ⅱ. リサイクル効果を考慮したLCA手法



鉄鋼製品・・・ある比率で高炉法と電炉法の両方を効率よく利用

## Ⅱ. リサイクルング効果を考慮したLCA手法



参考：本説明における「高炉法」と「電炉法」について

### ○高炉法：

- ・主に鉄鋼石と石炭からつくられた銑鉄を用いた製鋼方法を指す。
- ・電気炉で、鉄鋼スクラップに銑鉄を混ぜて製鋼すること(銑鉄を添加すること)も含む。

### ○電炉法：

- ・鉄鋼スクラップを用いた製鋼方法を指す。
- ・転炉で、銑鉄に鉄鋼スクラップを混ぜて製鋼すること(鉄鋼スクラップを添加すること)も含む。

### ※注意

高炉法 ≠ 高炉メーカーの製鋼方法  
電炉法 ≠ 電炉メーカーの製鋼方法

## Ⅱ. リサイクルング効果を考慮したLCA手法



1 kg のスクラップで、電炉法によりY kg の鋼材を生産し、  
Y kg の高炉法による鋼材分のLCIを肩代わり(節約)する。

X<sub>pr</sub>: 高炉法による鋼材のLCI ( 0%スクラップ前提の理論値)  
X<sub>re</sub>: 電炉法による鋼材のLCI (100%スクラップ前提の理論値)  
Y : 電炉法における鋼材の生産効率(歩留まり)

とすると、

$$X_{pr} \cdot Y - X_{re} \cdot Y = (X_{pr} - X_{re}) \cdot Y \text{ 分のLCIを節約}$$
$$= \text{Scrap LCI と定義}$$

## Ⅱ. リサイクリング効果を考慮したLCA手法

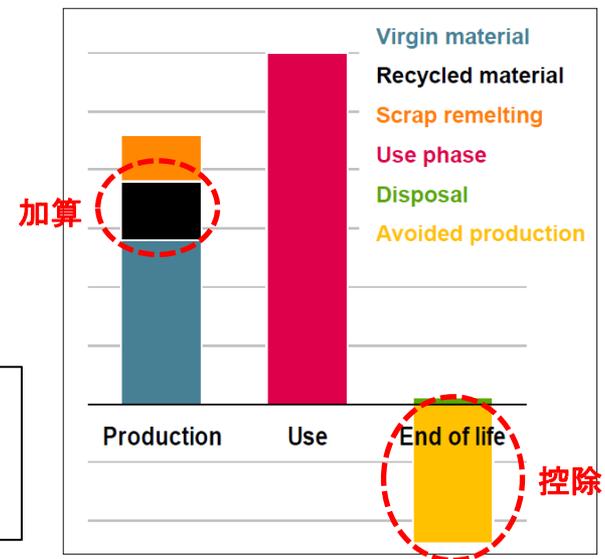


**Scrap LCI**を考慮しない鋼材のLCIから、回収率を考慮した**Scrap LCI**を**控除**(次代へ持ち越し)し、かつ、製造時の使用率に応じた**Scrap LCI**を過去の環境負荷分として**加算**(再配分)する。このとき、

- X : 鋼材のLCI(Scrap LCI 考慮なし=リサイクリング効果を考慮しない)
- RR : 鉄鋼スクラップ(老廃スクラップ)の回収率
- S : 製鉄プロセスにおけるスクラップ使用率

とすると、リサイクリング効果を考慮したLCI( $LCI_{Eol}$ )は、

$$LCI_{Eol} = X - RR \cdot \text{ScrapLCI} + S \cdot \text{ScrapLCI}$$



## Ⅱ. リサイクリング効果を考慮したLCA手法



$$LCI_{Eol} = X - RR \cdot \text{Scrap LCI} + S \cdot \text{Scrap LCI}$$

又は、 $\text{Scrap LCI} = (X_{pr} - X_{re}) \cdot Y$  であるから

$$LCI_{Eol} = X - (RR - S) \cdot (X_{pr} - X_{re}) \cdot Y$$

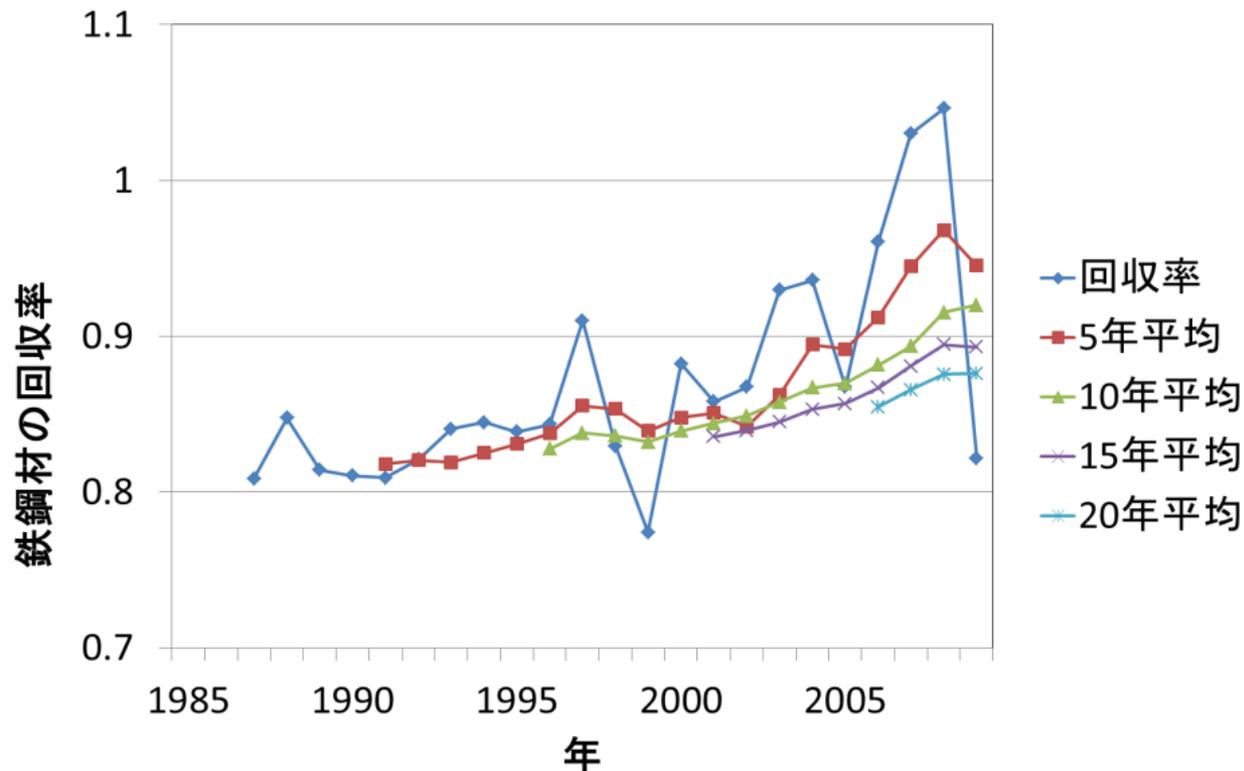
$LCI_{Eol}$	リサイクリング効果を考慮したLCI( $\text{CO}_2\text{-kg/kg}$ )
Scrap LCI	老廃スクラップのLCI( $\text{kg-CO}_2/\text{kg}$ )
X	Scrap LCIを考慮しない鉄鋼製品のLCI( $\text{kg-CO}_2/\text{kg}$ )。
$X_{pr}$	高炉法による鋼材のLCI。0%老廃スクラップ前提( $\text{kg-CO}_2/\text{kg}$ )
$X_{re}$	電炉法による鋼材のLCI。100%老廃スクラップ前提( $\text{kg-CO}_2/\text{kg}$ )
RR	老廃スクラップの回収率(Recycling Rate $\text{kg/kg}$ )
Y	電炉法の生産効率(歩留まり $\text{kg/kg}$ )
S	鉄鋼生産過程で使われる老廃スクラップの使用率( $\text{kg/kg}$ ) ここでは、加工スクラップや自家発生スクラップは対象としない。

## Ⅱ. リサイクル効果を考慮したLCA手法



### 回収率(RR)について

老廃スクラップの発生ポテンシャル(kg/年)に対する老廃スクラップの回収量(kg/年)の割合(kg/kg)で示す。回収率は、回収後に老廃スクラップを用いて製鋼される時の歩留まりを含まない。



## Ⅱ. リサイクル効果を考慮したLCA手法



### LCI<sub>EOI</sub>の試算に向けた条件(仮定値)の設定 (普通鋼鋼板(厚板)／普通鋼小棒(棒鋼)の2品種)

要素	仮定値		単位	備考
	普通鋼鋼板	普通鋼小棒		
X	1.97	0.82	kg-CO <sub>2</sub> /kg	国総研編「社会資本のライフサイクルをととした環境評価技術の開発に関する報告 2012.2」(以下「総プロ報告書」)より引用
X <sub>pr</sub>	2.04		kg-CO <sub>2</sub> /kg	報告書「建設分野における鋼構造物のLCA検討」5.1.4の3)の式より算出
X <sub>re</sub>	0.47		kg-CO <sub>2</sub> /kg	日本鋼構造協会「建設分野における鋼構造物のLCA検討小委員会」の調査により設定
RR	0.88		kg/kg	報告書「建設分野における鋼構造物のLCA検討」5.2.3による
Y	0.93		kg/kg	日本鋼構造協会「建設分野における鋼構造物のLCA検討小委員会」の調査により設定
S	0.05	0.95	kg/kg	

# Ⅱ. リサイクルング効果を考慮したLCA手法



## LCI<sub>EOI</sub>の試算結果

(普通鋼鋼板(厚板)／普通鋼小棒(棒鋼)の2品種)

●回収率RR=0.88の場合

	X (①)	RR	X <sub>pr</sub>	X <sub>re</sub>	Y	S	LCI <sub>EOI</sub> (②)	比率 (②/①)
普通鋼鋼板 (厚板)	<b>1.97</b>	0.88	2.04	0.47	0.93	0.05	<b>0.76</b>	0.38
普通鋼小棒 (棒鋼)	<b>0.82</b>					0.95	<b>0.92</b>	1.13

●回収率RR=1.00の場合

	X (①)	RR	X <sub>pr</sub>	X <sub>re</sub>	Y	S	LCI <sub>EOI</sub> (②)	比率 (②/①)
普通鋼鋼板 (厚板)	<b>1.97</b>	1.00	2.04	0.47	0.93	0.05	<b>0.58</b>	0.29
普通鋼小棒 (棒鋼)	<b>0.82</b>					0.95	<b>0.74</b>	0.91

## Ⅱ. リサイクル効果を考慮したLCA手法



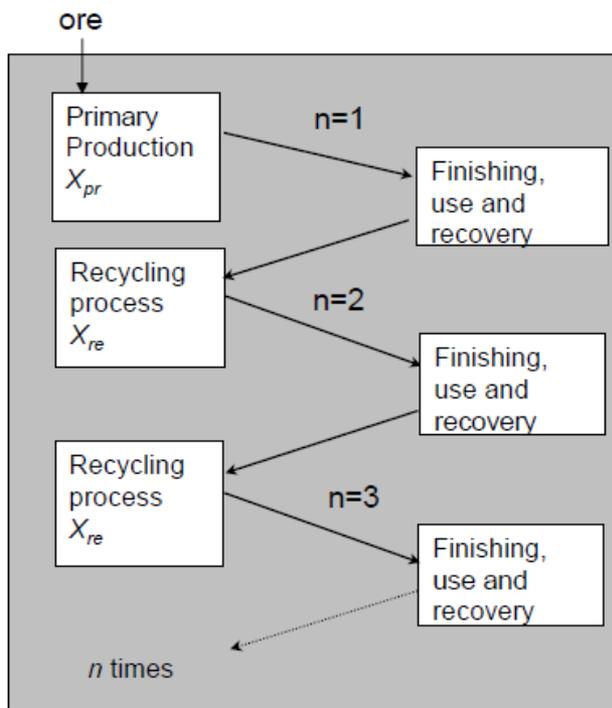
参考: マルチステップリサイクルの視点から (生涯環境負荷  $X \rightarrow LCI_{EoI}$ )

$$\text{Total mass} = 1 + r + r^2 + \dots + r^{n-1}$$

$$\text{Total cost} = X_{pr} + rX_{re} + r^2X_{re} + \dots + r^{n-1}X_{re}$$

$$\text{LCI for the whole system } X = \frac{X_{pr} + rX_{re} + r^2X_{re} + \dots + r^{n-1}X_{re}}{1 + r + r^2 + \dots + r^{n-1}} = (X_{pr} - X_{re}) \left[ \frac{(1-r)}{(1-r^n)} \right] + X_{re}$$

A Amato, L Brimacombe, N Howard. (1996) *Ironmaking and Steelmaking*, Vol23, No. 3, p235-241



$RR$  – recovery ratio

= scrap recovered/product input

$Y$  – through process yield  
(scrap to new product)

$r$  – overall recycling efficiency over 1 life

$r = RR \times Y$

$X_{re}$  – LCI value for recycling process (EAF)  
With zero allocation for scrap

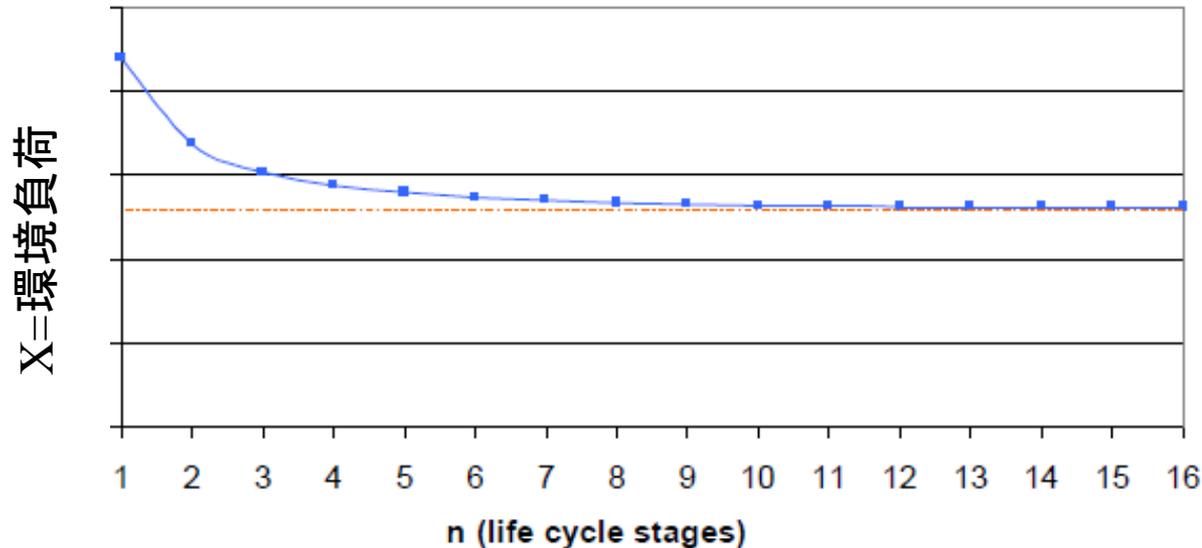
$X_{pr}$  – LCI value for primary process (BF)  
With zero allocation for scrap

$n$  – number of life cycles (primary cycle  $n=1$ )

## Ⅱ. リサイクル効果を考慮したLCA手法



生涯環境負荷  $X = \text{初期負荷} + \text{総合リサイクル効率} \times (\text{リサイクル負荷} - \text{初期負荷})$



$$n \longrightarrow \infty$$

$$r^n \longrightarrow 0$$

$$(1 - r^n) \longrightarrow 1$$

$$X = X_{pr} + r(X_{re} - X_{pr})$$

worldsteel  
ASSOCIATION

$X_{pr}=2.04, X_{re}=0.47, r=0.88 * 0.93$  と仮定  $\rightarrow X=0.76$   
( $LCI_{Eol}$ )

総合リサイクル効率 = 回収率(RR) × 電炉歩留(Y)

## Ⅲ. 既往のLCA研究事例に対する再評価



### ～昭和橋旧橋について～

- ・国道122号線が利根川を渡る部分にかつて位置していた道路橋。平成18年に解体。
- ・その解体工事について以前にJSSC「鋼構造物の解体・回収時の環境負荷に関する調査研究小委員会」で取り上げており、JSSCテクニカルレポートNo.89にて参照可能

### ～概要～

橋梁形式	: 鋼合成鈹桁 1 連 + 鋼ランガー桁 7 連 + 鋼合成鈹桁 5 連 (上部工S造、下部工RC造)
橋長	: 658.3m
幅員	: 7.0m (車道: 2 車線、歩道: なし)
架設年	: 昭和 37 年
供用終了年	: 平成 18 年
供用期間	: 44 年間

## Ⅲ. 既往のLCA研究事例に対する再評価



### ～既往の研究事例における評価の方針～

「社会資本のライフサイクルをととした環境評価技術の開発に関する報告書－社会資本LCAの実践方策－」(国土交通省国土技術政策総合研究所、土木学会)＝**「総プロ」**に示された手法を基に行った。採用したCO2排出量原単位も総プロに準拠。

総プロ手法では、環境負荷を社会資本整備の意思決定レベルに合わせ、構想、設計、施工、資材選定の4つのレベルに分類したうえで算定するとしているが、ここでは具体的な資材や施工機械が明確になっていることから、**「施工レベル」**に相当

# Ⅲ. 既往のLCA研究事例に対する再評価



## (1) 昭和橋旧橋のLCA(総プロ評価方針に基づく)

ライフステージ別・排出起源別 CO<sub>2</sub> 排出量集計 (供用期間 44年)

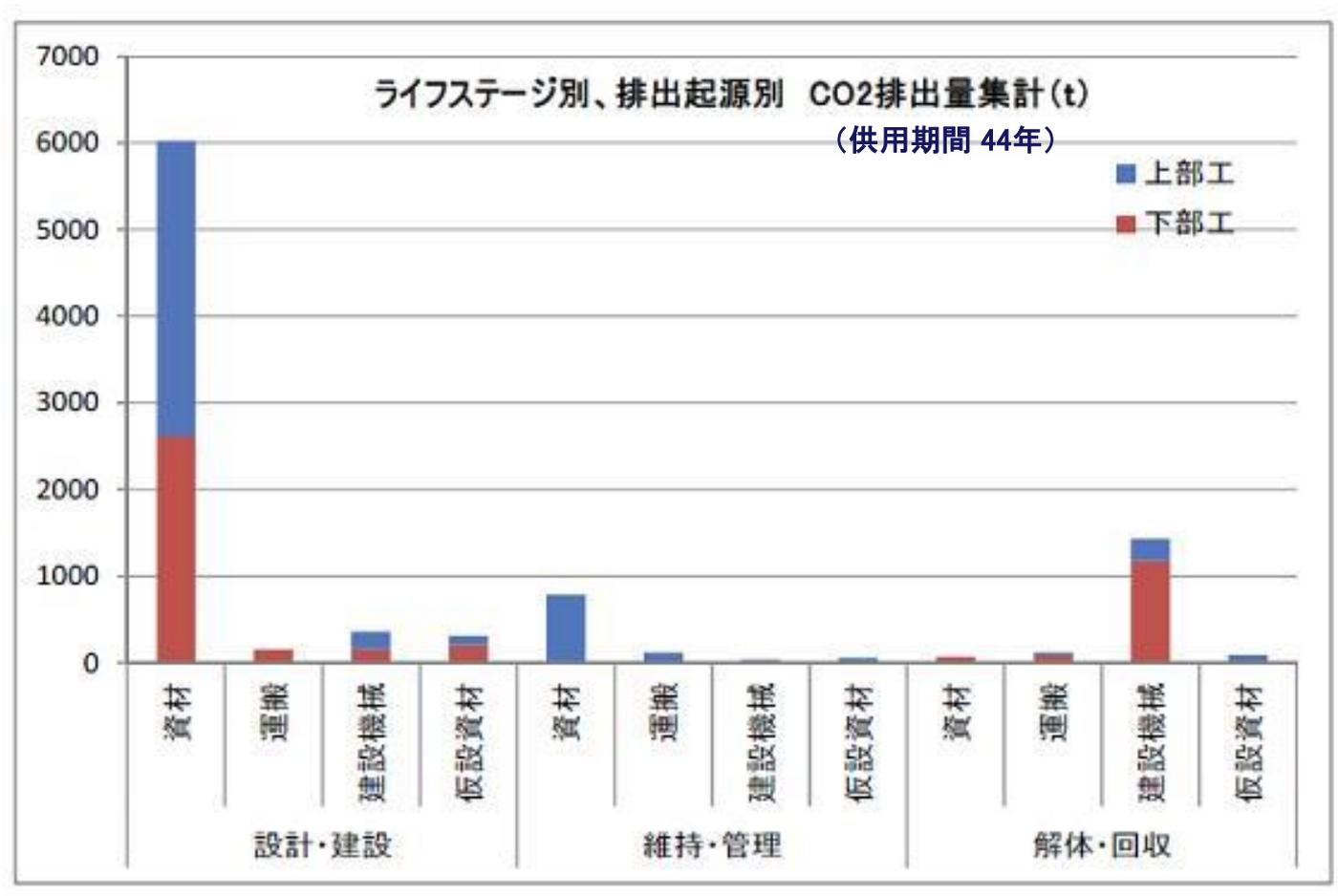
(単位: t)

		資材	運搬	建設機械	仮設資材	計
設計 ・ 建設	上部工	3,402	0	198	105	3,705
	下部工	2,623	153	167	209	3,152
	計	6,025	153	365	314	6,857
維持 ・ 管理	上部工	786	119	36	63	1,004
	下部工	0	0	0	0	0
	計	786	119	36	63	1,004
解体 ・ 回収	上部工	0	30	248	96	375
	下部工	71	90	1,182	0	1,343
	計	71	120	1,430	96	1,717
合計	上部工	4,188	149	483	264	5,083
	下部工	2,695	242	1,349	209	4,495
	計	6,882	392	1,832	473	9,578

# Ⅲ. 既往のLCA研究事例に対する再評価



## (1) 昭和橋旧橋のLCA(総プロ評価方針に基づく)

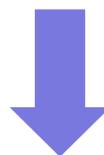


# Ⅲ. 既往のLCA研究事例に対する再評価



## (2) 昭和橋旧橋のLCA (リサイクル効果を考慮した再評価)

(1) のLCAで用いた鋼材のCO<sub>2</sub>排出量原単位  
=「総プロ」が提示した値に準拠



ここで、LCI<sub>EoI</sub>で試算したCO<sub>2</sub>排出量原単位(仮定値)を  
代入して再評価を試みる

	リサイクル考慮無 (総プロ)	リサイクル考慮有 (本提案)	差異
厚板 (普通鋼鋼板)	1.97	0.76	-1.21
鉄筋 (普通鋼小棒)	0.82	0.92	+0.10

# Ⅲ. 既往のLCA研究事例に対する再評価



## (2) 昭和橋旧橋のLCA (リサイクル効果を考慮した再評価)

ライフステージ別 CO2 排出量集計 (供用期間 44年)

(単位:t)

	設計・建設	維持・管理	解体・回収	合計	構成比率
上部工	3,705 ⇒2,197 (59%)	1,004 ⇒946 (94%)	375	5,083 ⇒3,518 (69%)	53% ⇒44%
下部工	3,152 ⇒3,188 (101%)	0	1,343	4,495 ⇒4,530 (101%)	47% ⇒56%
合計	6,857 ⇒5,385 (79%)	1,004 ⇒946 (94%)	1,717	9,578 ⇒8,048 (84%)	

## IV. まとめ



### I. 鋼材の環境優位性について

- ・ **水平リサイクル**可能な素材だからこそ、価値が下がらず何回も製造～利用～回収が繰り返され、廃棄されない。

### II. リサイクリング効果を考慮したLCA手法について

- ・ **水平リサイクル**素材の特性を活かし、高炉/電炉の区別を無くした包括的なアプローチである。
- ・ 回収率(RR)を上げることで、より環境負荷を低減できる。

### III. 既往のLCA研究事例(昭和橋旧橋)に対する再評価

- ・ リサイクリング効果を考慮することで、特にS造部分の環境負荷を大きく低減。
- ・ 上記の低減代は、鉄筋、形鋼あるいは将来製造される鉄鋼製品へ広く・薄く再分配される。

# IV. まとめ



## 参考：本説明内容の詳細を記した資料

～本日配布した報告書「建設分野における鋼構造物のLCA検討」の目次より抜粋～

5	新しいLCAモデルの提案	76
5.1	リサイクル効果を考慮したLCAモデル	76
5.1.1	鉄鋼製造におけるリサイクルの位置付け	76
5.1.2	リサイクル効果を考慮した評価方法	77
5.1.3	鉄鋼製品の製造における高炉法と電炉法の関係	77
5.1.4	worldsteelの方法論	78
	(1) 鉄鋼スクラップのLCI	78
	(2) $LCI_{EoI}$ の算出方法	78
	(3) 理論値 $X_{pr}$ の算出方法	79
5.2	鉄鋼スクラップの回収率について	80
5.2.1	金属素材の回収率推計における課題	80
5.2.2	回収率の定義と推計手法	83
5.2.3	回収率の時系列変化	85
5.2.4	未回収の鉄鋼スクラップに関する考察	87
5.3	$LCI_{EoI}$ によるLCA試算事例	94
5.3.1	鉄鋼製品の $LCI_{EoI}$ の試算	94
5.3.2	$LCI_{EoI}$ を用いた昭和橋旧橋の再評価	96
5.3.3	試算結果を受けての留意点と考察	97

# 参考：昭和橋旧橋（写真）

