

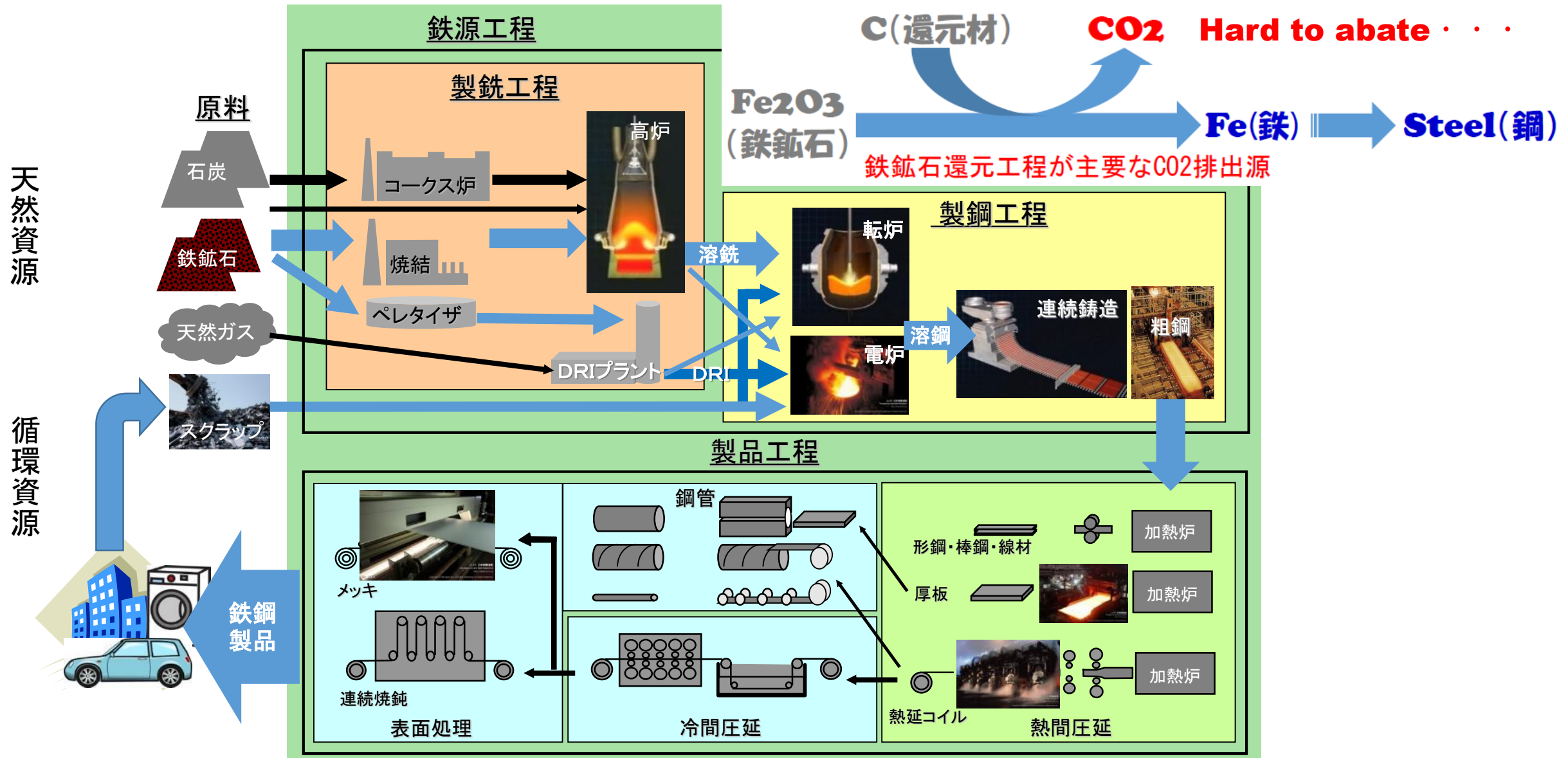
資源循環経済小委員会

鉄鋼資源循環 戦略と課題

2023年12月13日
一般社団法人日本鉄鋼連盟

Part 1：鉄のマテリアルサイクルとカーボンニュートラルに向けた戦略

鉄鋼プロセスの概要



材料のリサイクル



サーマルリサイクル (オープンループリサイクル)

廃棄物の焼却に伴う熱によって電力や蒸気としてエネルギーを回収する手法。わが国では、廃棄物減容化の必要性から実施される場合が多い。同一素材製造のための天然資源消費量削減効果はなく、廃棄物(燃焼灰等)の処分が必要となる。



カスケードリサイクル (オープンループリサイクル)

他素材への代替や、同じ素材へのリサイクルであっても性質の劣化(変化)を伴う有限のリサイクル手法。最終的には品質限界を外れ廃棄されることとなる。



クローズドループリサイクル

材料の持つ本来性質を損なうことがない形で同じ素材の原料として無限にリサイクルされる手法。クローズドループリサイクルでは、新たに投入される天然資源消費量の削減や、それに伴う環境負荷物質排出量の低減、廃棄物の削減が図られることから、オープンループリサイクルよりもサステナビリティの点で優れる。



自律的/持続可能な材料リサイクルの要件

- ① 分別が簡単にできること（磁力選別により不純物を簡単に除去可能）
- ② 再生利用のための負荷が低いこと（最も負荷の大きい還元プロセスが不要）
- ③ 経済合理的なリサイクルシステムが整備されていること

Closed-loop Recyclingに必要な追加要件

- ④ リサイクルによる材料品質低下が生じにくいこと（図1）
- ⑤ 多様な製品に再生可能であること（図2、図3）

図1. 汎用金属のトランプ元素

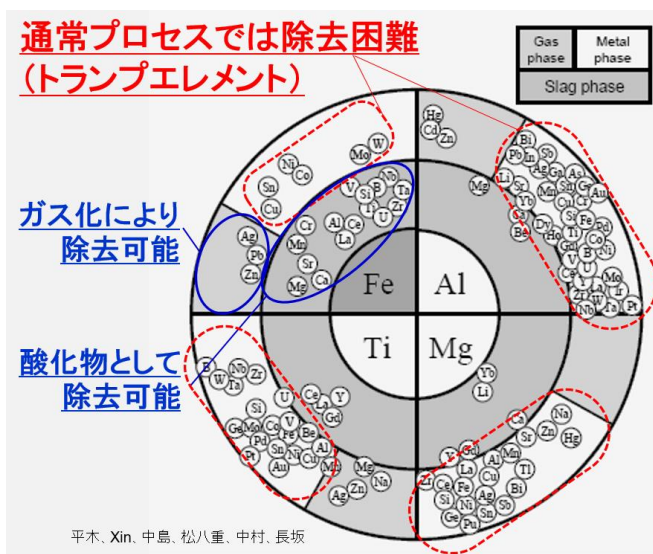
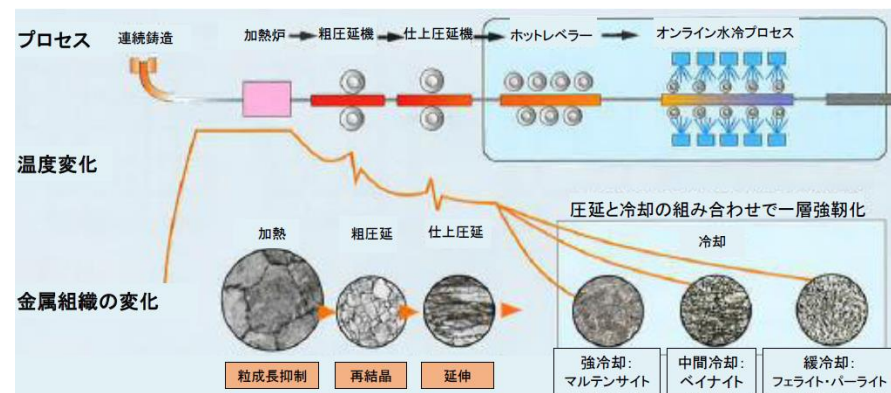
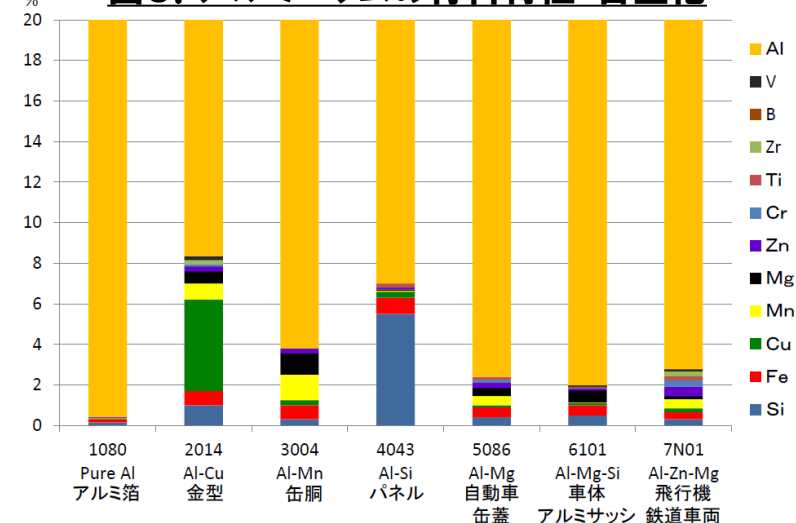


図2. 鋼材の材料特性:組織制御(微細構造の作りこみ)

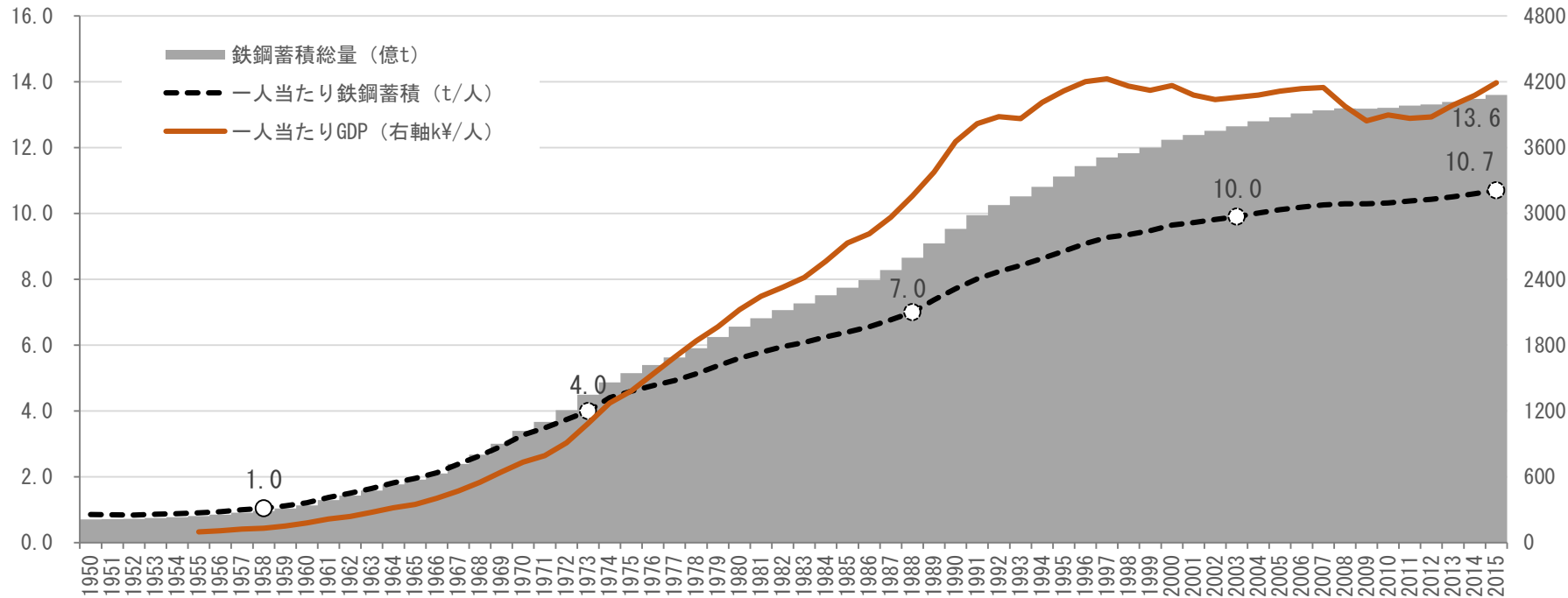


- 鉄鋼製品の特性は、組織制御(微細構造の作りこみ)によって実現される
- スクラップ溶解によって微細構造はリセットされ、再び新たな用途のための微細構造が作りこまれる

図3. アルミニウムの材料特性:合金化



日本の鉄鋼蓄積実績推移

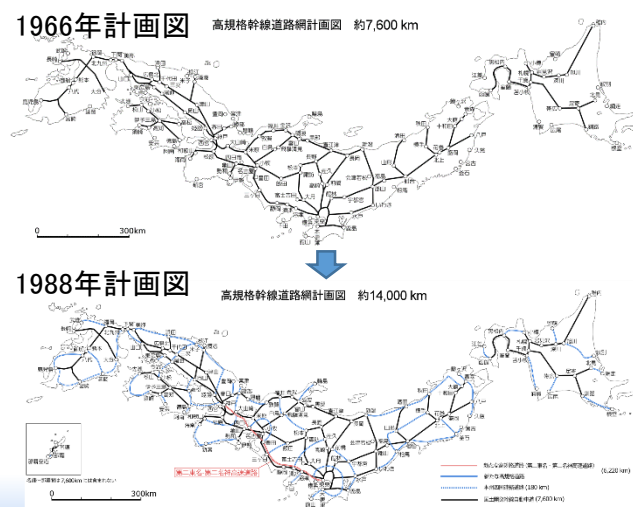


参考: 新幹線の建設・延伸

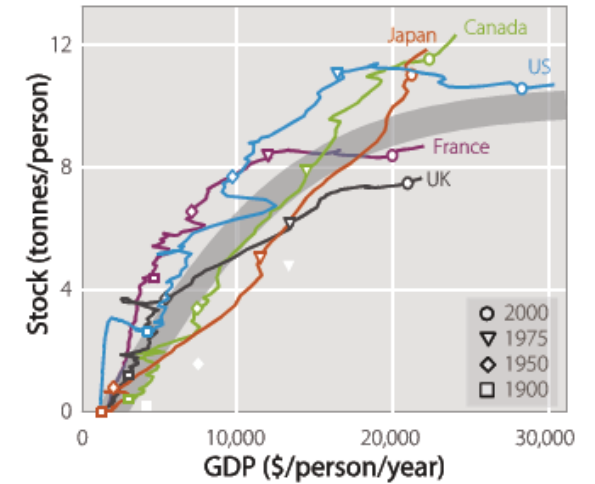


<https://commons.wikimedia.org/wiki/User:Hisagi>

参考: 高規格幹線道路網の建設・延伸

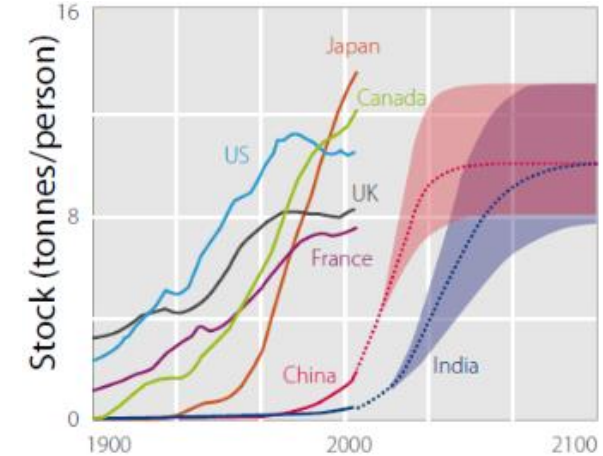


一人当たりGDPと鉄鋼蓄積との関係



出典: Muller, et.al, "Patterns of Iron Use in Societal Evolution", Environ. Sci. Technol. 2011, 45

中国・インドの将来想定

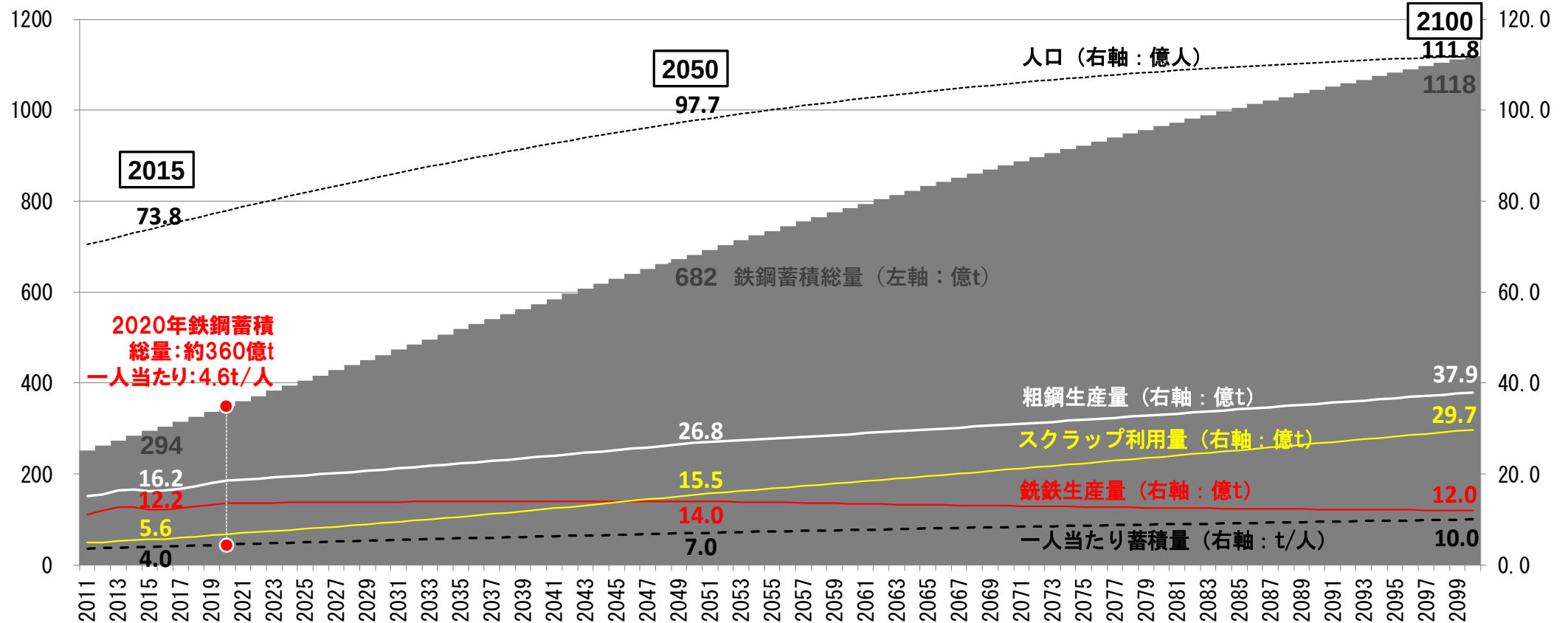


出典: "Sustainable steel: at the core of a green economy", World Steel Association, 2012

注: いずれも見掛消費ベースであるため、間接輸出入による増減が反映されていない

将来の鉄鋼需給想定

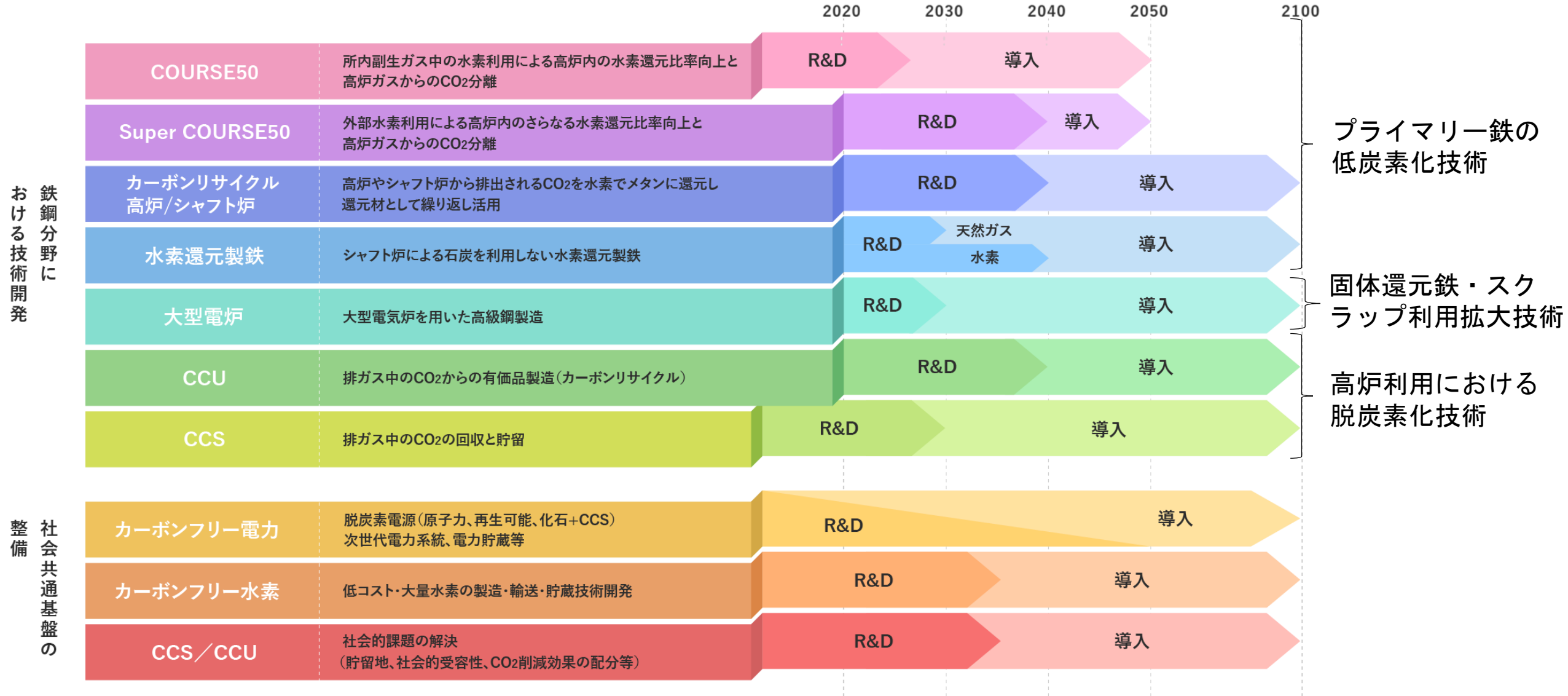
- ✓ 世界人口の増加と途上国の経済発展により、インフラ整備等に伴う世界の鉄鋼蓄積量は今後も拡大
- ✓ 鉄鋼蓄積拡大に應えるため、少なくとも今世紀中は現状並みのプライマリー鉄の供給が不可欠
- ✓ 鉄鋼蓄積拡大に伴いスクラップ発生量が増加し、今世紀半ばにはプライマリー生産量と逆転



鉄鉱石還元工程の低炭素化・脱炭素化とともに、今後増大するスクラップの高度利用が、鉄鋼セクターにおけるカーボンニュートラル・資源循環の鍵となる

日本鉄鋼連盟のカーボンニュートラルに向けたロードマップ

<https://www.carbon-neutral-steel.com/>

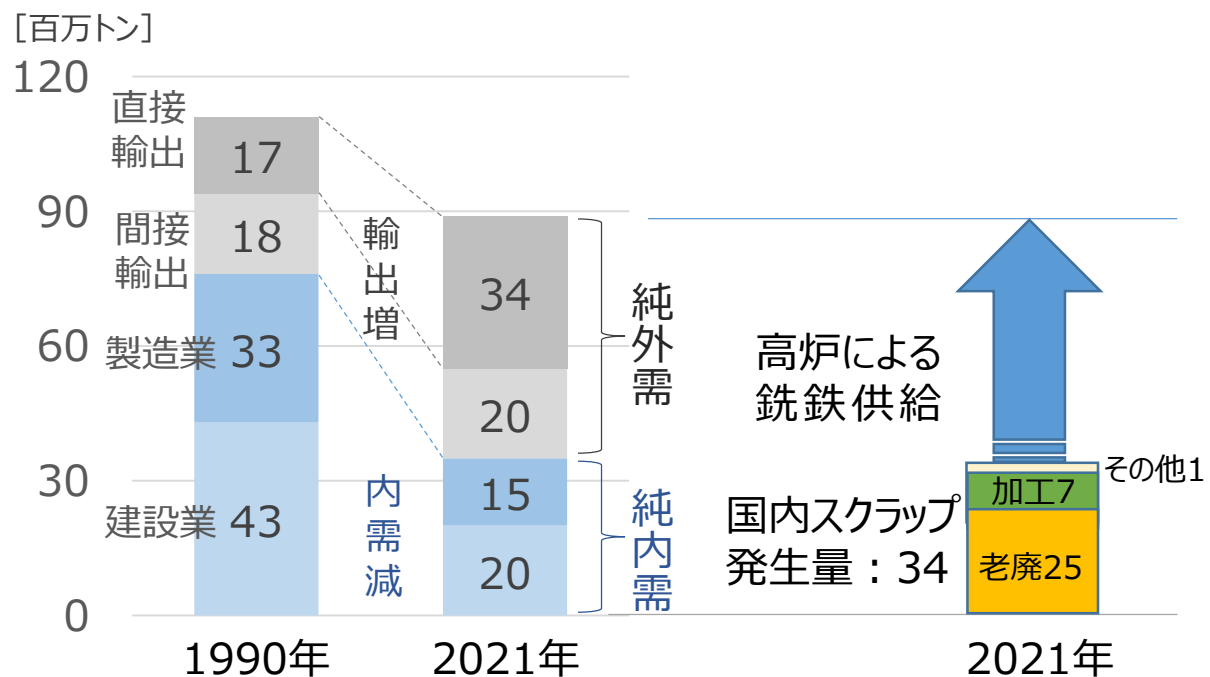


Part 2: 日本のスクラップリサイクルの現状と将来に向けた取り組み

日本の鉄鋼需給の特徴

- 日本の鋼材生産は約9000万トン。そのうち、5500万トンは純外需（直接輸出＋間接輸出）。
- 国内スクラップ発生量（詳細後述）は、約3500万トン（老廃＋加工）で、我が国産業の強みである「輸出」を含めた鋼材生産（約9000万トン）を賄うことができない。
- また、スクラップ品質面でも、日本鉄鋼業の強みである高機能鋼材生産に利用可能な高品位スクラップは不足している。

✓ 日本の鋼材需要



出典：一般社団法人 日本鉄鋼連盟

データ出典：鉄源年鑑第33号（2022）

✓ 日本鉄鋼業の強み

社会のグリーン化に伴い、電磁鋼板や高張力鋼板などの高品質・高機能鋼材の要求が高まり、事業成長の機会へ

例1) xEV化

例2) 電力インフラ構築

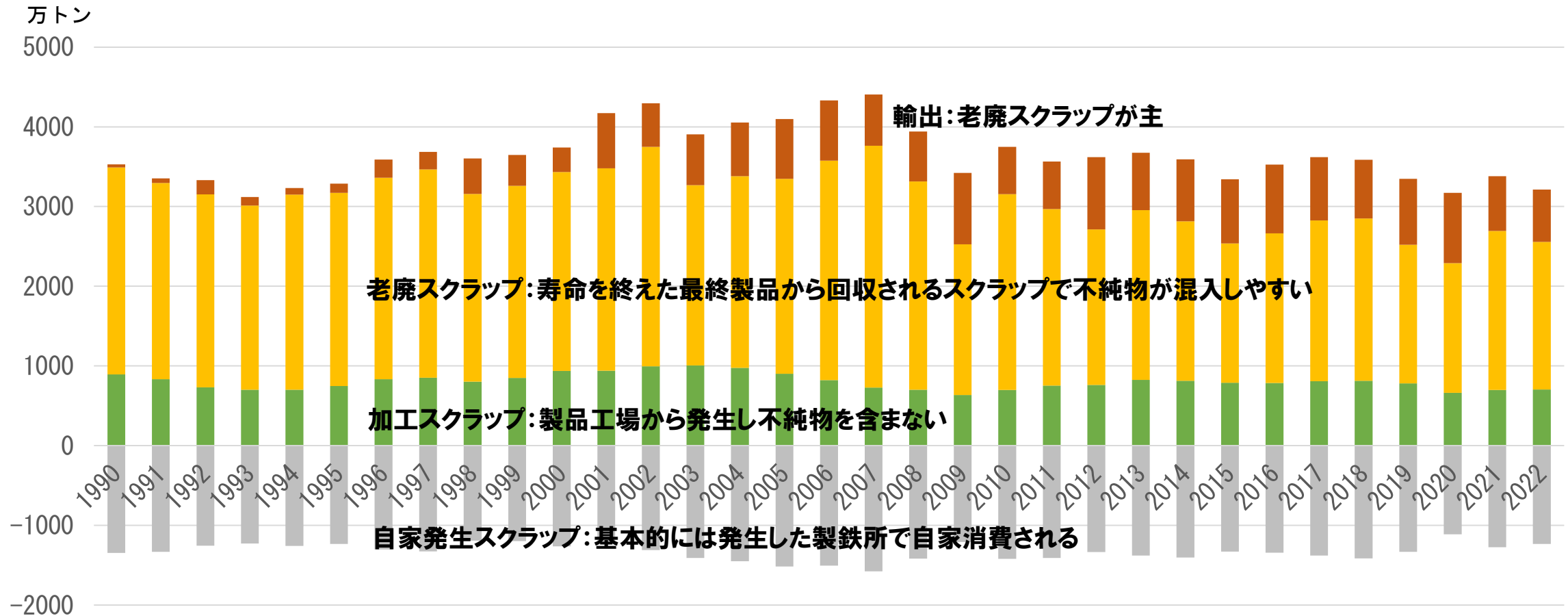


高級電磁鋼板は、日本製鉄、JFEなど、世界でも製造可能なメーカーは数社に限定

出典：11/7 GX実行会議資料より

日本の鉄スクラップ発生実績推移

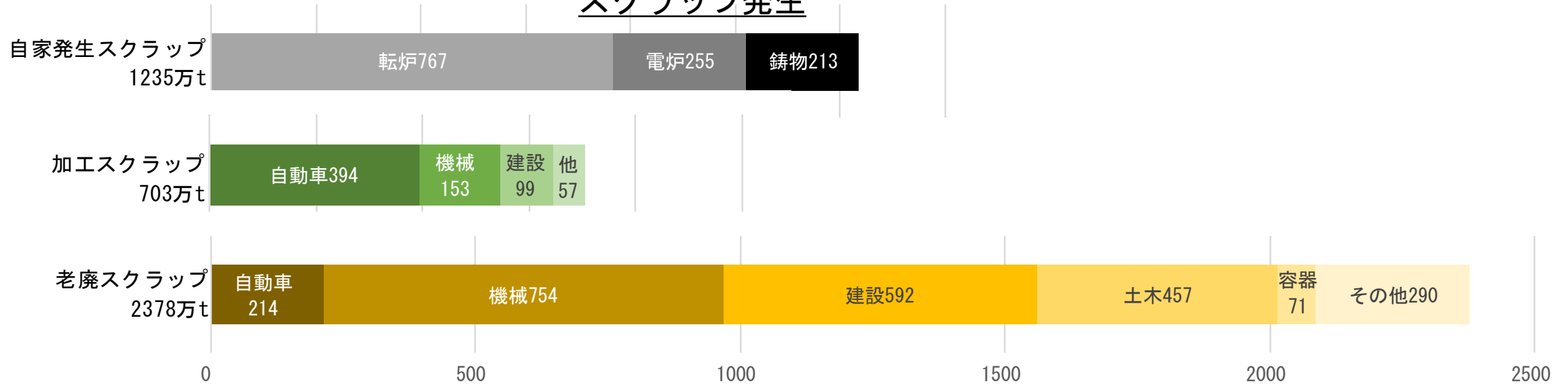
- 国内スクラップの発生・利用は減少傾向
- 年間600～800万トン程度のスクラップ輸出



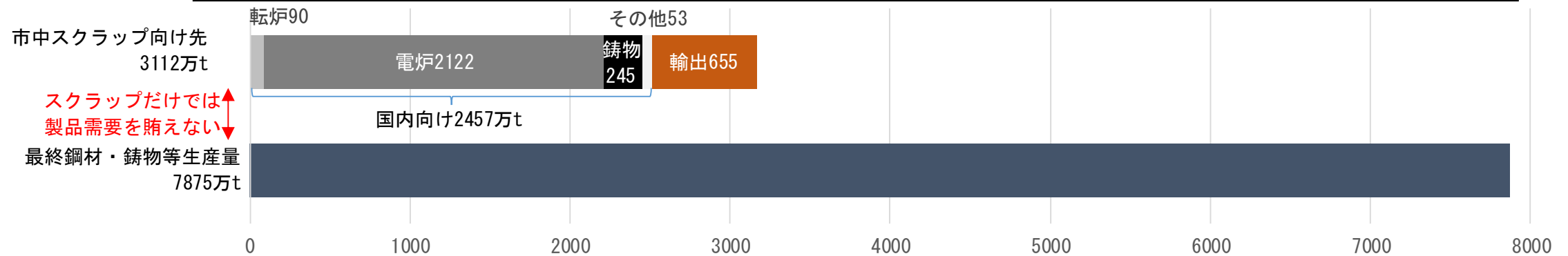
出典：鉄源年報データを用いて日鉄総研作成

国内スクラップバランス(2022年度実績)

スクラップ発生



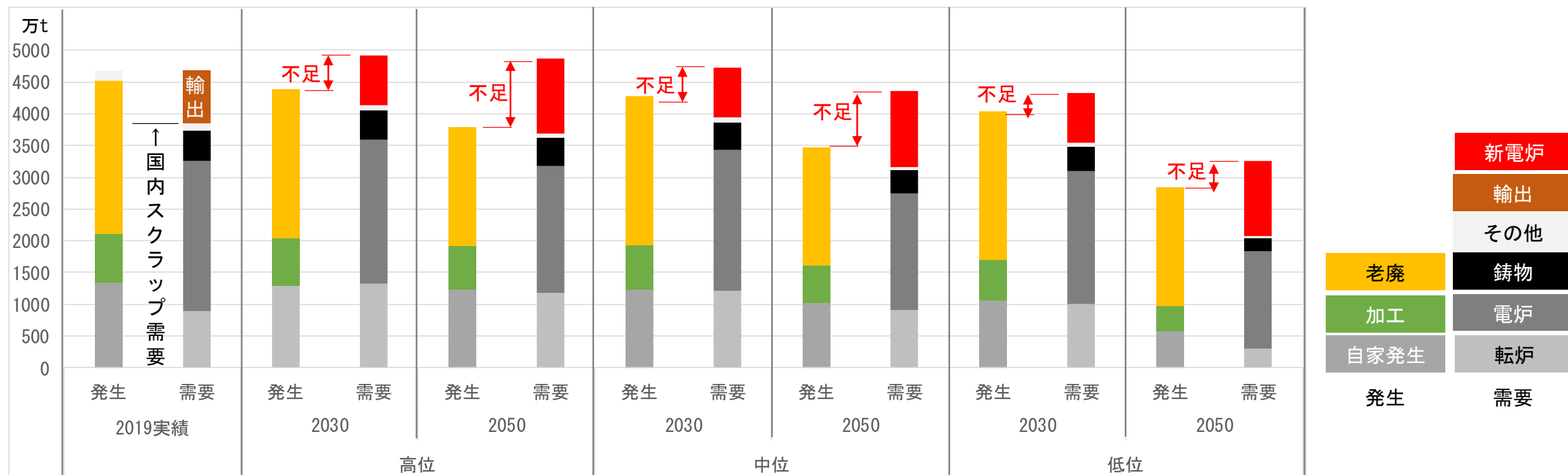
市中スクラップ（加工＋老廃）の向け先と鉄鋼製品（最終鋼材・鋳物等）生産量との関係



出典：スクラップ発生/向け先は鉄源年報，第34号（2023）データを用いて日鉄総研作成
最終鋼材・鍛鋼・鋳鋼は鉄源年報、鋳鉄生産量は日本鋳造協会による

国内スクラップ需給バランス想定

- いずれのシナリオでも国内スクラップ需要量は発生量を上回る
- 現在主として建築・土木向けの鉄鋼製品製造に用いられる低品位スクラップは余剰傾向
- 高炉メーカーの電炉導入に伴い、品質要求度の高い製品製造に必要な高品位スクラップは不足傾向
- スクラップの高品位化に向けた取り組みが必要
- スクラップ不足分は、還元鉄（HBI）等鉄鉱石由来の冷鉄源の活用が必須となる見通し



出典：「カーボンニュートラルを踏まえた我が国金属産業の持続的発展に向けた調査事業，2022」データより日鉄総研作成

国内鉄鋼需要想定

- 高位シナリオ：輸出競争力維持（2050年自動車輸出/鋼材輸出現状維持）
- 中位シナリオ：第6次エネルギー基本計画前提（2030年粗鋼生産量9000万 t）
- 低位シナリオ：輸出競争力喪失（2050年自動車輸出/鋼材輸出ゼロ）

建築・土木は人口比例
造船・産機・その他の輸出は維持

鉄鋼需要想定前提

		高（現状維持）	中（エネ基）	低（輸出大幅減）
国内向け先鋼材出荷量	建築・土木	人口と同率で減少	人口と同率で減少	人口と同率で減少
	自動車（国内向け）	一人当たり生産台数、一台あたり鋼材使用量維持	一人当たり生産台数維持 一台あたり鋼材使用量減少	一人当たり生産台数、一台あたり鋼材使用量ともに減少
	自動車（輸出向け）	輸出台数現状並み 一台あたり鋼材使用量現状並み	2050年に3割減 直線的に減少	2050年にゼロ 直線的に減少
	産機	現状維持	現状維持	現状維持
	船	現状維持	現状維持	現状維持
	その他	人口と同率で減少	人口と同率で減少	人口と同率で減少
	鋼材輸出	現状並み	2050年に3割減 直線的に減少	2050年にゼロ 直線的に減少

鉄鋼需要想定

万トン

	2019 実績	高位		中位		低位	
		2030	2050	2030	2050	2030	2050
建築・土木	2,080	1,969	1,685	1,969	1,685	1,969	1,685
自動車（国内）	892	844	722	784	578	728	462
自動車（輸出）	895	895	895	799	626	577	0
産機	725	725	725	725	725	725	725
船	425	425	425	425	425	425	425
その他	907	858	735	858	735	858	735
輸出	3,521	3,521	3,521	3,146	2,465	2,271	0
鋼材消費	9,445	9,237	8,707	8,707	7,238	7,554	4,031
粗鋼生産	9,843	9,600	9,049	9,049	7,522	7,851	4,190
粗鋼対2019差		-2%	-8%	-8%	-24%	-20%	-57%

出典：カーボンニュートラルを踏まえた我が国金属産業の持続的発展に向けた調査事業，2022

スクラップ発生想定前提

種類	考え方
内部	内部スクラップ＝粗鋼生産量×内部スクラップ発生率 内部スクラップ発生率：13.53％（2019 年度実績）
加工	加工スクラップ＝部門別加工スクラップ発生量の合計（自動車、建材他） 部門別加工スクラップ発生量＝部門別鉄鋼加工量×部門別加工スクラップ出荷率 部門別鉄鋼加工量＝部門別鋼材消費量（普特）＋部門別鋳物鉄生産量 部門別加工スクラップ出荷率は 2014 年度日本鉄源協会「加工スクラップ発生実態調査」による
老廃	老廃＝鉄鋼蓄積量×老廃スクラップ発生率 鉄鋼蓄積量は 2020 年以降、毎年 891 万トン（2003 年から 2019 年の蓄積量増分の年平均）のペースで増加すると仮定。 鉄鋼蓄積量：2030 年 15.0 億トン、2050 年 16.8 億トン 老廃スクラップ発生率：2030 年 1.56％、2050 年 1.11％（過去傾向から外挿）

スクラップ需要想定前提

消費部門	考え方
転炉	転炉スクラップ消費＝転炉粗鋼生産量×転炉スクラップ消費原単位 転炉粗鋼生産量＝粗鋼生産量－電炉粗鋼生産量 転炉スクラップ消費原単位＝20％（2019 年の 11.9％から、将来 CO2 対応ニーズにより 20％まで上昇すると想定）
電炉	電炉スクラップ消費量＝電炉粗鋼生産量×電炉スクラップ消費原単位 電炉粗鋼生産量＝普通鋼電炉粗鋼生産量＋特殊鋼電炉粗鋼生産量 普通鋼電炉粗鋼生産量：各シナリオの建築・土木部門の鋼材消費量に連動 特殊鋼電炉粗鋼生産量：各シナリオの自動車部門の鋼材消費量に連動 電炉スクラップ消費原単位：101％（2015～2019 年度実績平均）
鋳物	鋳物スクラップ消費量＝鋳物生産量×鋳物スクラップ消費原単位 鋳物生産量：各シナリオの粗鋼生産量に連動 鋳物スクラップ消費原単位：137％（2015～2019 年度実績平均）
その他	各シナリオの粗鋼生産量に連動
新設電炉	新設電炉スクラップ消費量＝新設電炉粗鋼生産量×電炉スクラップ消費原単位 新設電炉粗鋼生産量：2030 年度 776 万トン、2050 年度 1,176 万トンと想定 電炉スクラップ消費原単位：101％（2015～2019 年度実績平均）

スクラップ発生想定

万トン

	(実績) 2019	高位		中位		低位	
		2030	2050	2030	2050	2030	2050
内部スクラップ発生量	1,332	1,299	1,225	1,225	1,018	1,062	567
加工スクラップ発生量	781	746	688	708	586	639	402
老廃スクラップ発生量	2,401	2,342	1,865	2,342	1,865	2,342	1,865
その他（未分類）	166						
合計	4,680	4,388	3,778	4,275	3,469	4,044	2,834
粗鋼生産量（参考）	9,843	9,600	9,049	9,049	7,522	7,851	4,190

スクラップ需要想定

万トン

	2019 年度	高位		中位		低位	
	実績	2030	2050	2030	2050	2030	2050
転炉	889	1,316	1,180	1,218	907	1,000	300
電炉	2,368	2,275	1,998	2,213	1,833	2,101	1,535
鋳物	486	466	439	439	365	381	203
その他	108	70	66	66	55	57	31
輸出	829	0	0	0	0	0	0
新設電炉	0	786	1,191	786	1,191	786	1,191
消費計	4,680	4,913	4,875	4,722	4,351	4,326	3,260
発生計	4,680	4,388	3,778	4,275	3,469	4,044	2,834
発生－消費		-525	-1,097	-447	-882	-282	-426

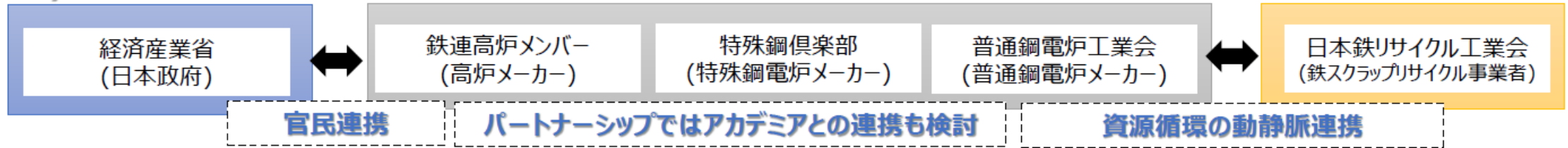
出典：カーボンニュートラルを踏まえた我が国金属産業の持続的発展に向けた調査事業，2022

スクラップ需給並びに高品位化の方向性

- スクラップ発生量については、第6次エネルギー基本計画の前提となった2030年粗鋼生産量を9,000万tとする「基本(中位)シナリオ」、将来にわたり現在の我が国製造業の国際競争力が維持されるものとする「高位シナリオ」、2050年に自動車および鋼材の輸出がなくなる「低位シナリオ」、**いずれのシナリオにおいても現状を下回る。**
- スクラップ需要については、鉄鋼各社公表ベースでの電炉化の進展と、温暖化対策強化のための転炉でのスクラップ比率拡大により、いずれのシナリオにおいても、**スクラップ発生量を超える需要が想定**され、将来スクラップ輸出余力がなくなることに加え、さらにスクラップまたは直接還元鉄等の輸入が必要となる。
- スクラップ品位に関しては、電炉における高級鋼製造ニーズに応えるべく、**スクラップの回収、加工段階での分別強化による高品位化**(不純物混入が少なく、高度な加工や分別によって不純物混入割合を保証できるスクラップ)が必要。
- スクラップの高品位化に向けては、**シュレッダーでの破碎サイズの小粒化、ギロチンシャーでの切断長の短尺化**により、不純物分離性が改善が期待される。これらのオペレーションには、生産性の低下やコストの上昇を伴うため、加工能力拡大のための支援やコスト上昇に見合った市場での評価が必要。

日本鉄鋼業界はAll JapanでCEパートナーシップに参画

1)参加メンバー



2)アプローチイメージ



ほぼ全量リサイクルされている鉄スクラップの一部から新たに高品位の鉄スクラップの循環を創り出す!
All Japanで既存の循環もイノベーション!



結論に代えて

再生材利用の促進

- Open-Loop Recyclingの特性を持つ材料について、再生材利用の促進は重要。
- 当面の間再生材だけで需要を満たすことができない中、持続可能なClosed-Loop Recyclingの特性を持ち、そのほとんど（90%以上）がリサイクルされている鉄鋼材料については、あえて再生材利用を促進する必要はない。
- 資源有効利用・廃棄物削減の観点からは、「再生可能な材料」の利用が重要と思慮。

循環配慮設計による易資源化等

- スクラップに混入するトランプエレメントの低減・コントロールは、スクラップによる高級鋼材製造に当たって重要であり、構造物（最終製品）の易解体性の向上、スクラップ加工における高品位化の取り組みを進めることが必要。

循環の可視化（パフォーマンス評価）とディスクローズ

- ISO 20915/JIS Q 20915（鉄鋼製品のLCI計算手法）に準拠したEPDの取得・公表を推進中。
- 鉄鋼の場合、Recycled Contentによる評価は、資源節約やグローバルなCO2削減には寄与せず、限りあるスクラップの取り合いを招くことになるため避けるべき。

Closed-loop Recyclingを反映したLCI計算手法の標準化

worldsteel LCA方法論

worldsteel（世界鉄鋼協会） LCA方法論の考え方

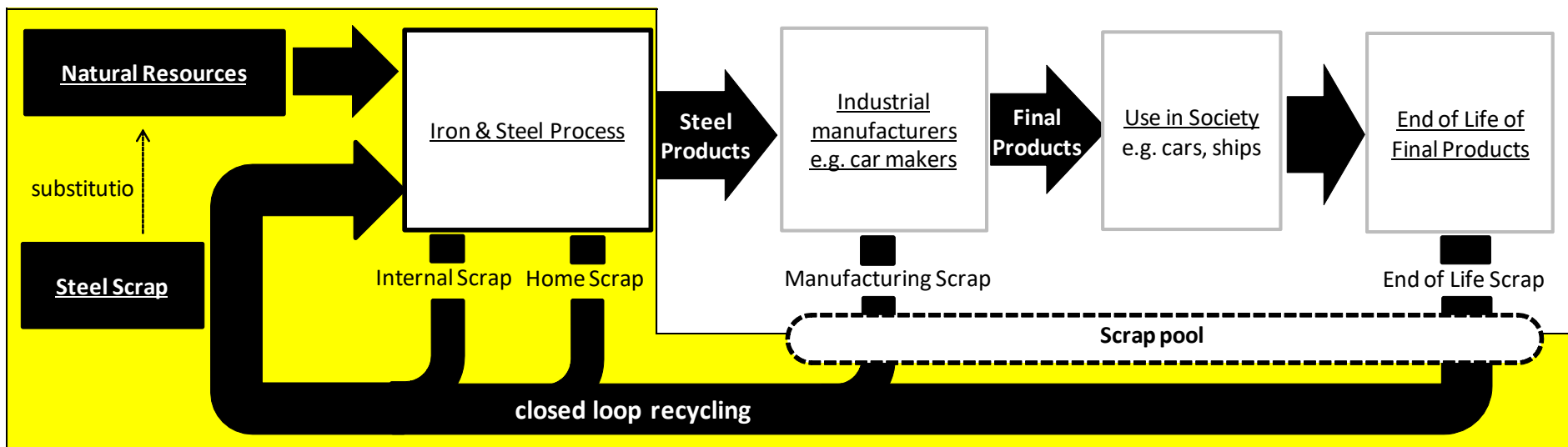
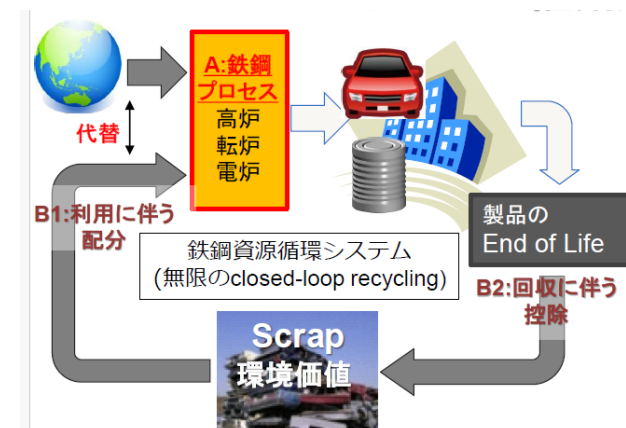
- 高炉法・電炉法が一つの鉄鋼資源循環システムを形成（無限のclosed-loop recycling）
- スクラップは「環境価値」を有し、無限に循環
- スクラップの環境価値とは、その利用によって削減される天然資源やCO2排出量等
- スクラップの環境価値は経済的価値と同様に スクラップ回収時・利用時に控除・配分される



日本の提案により国際標準化・1年後にJIS制定

ISO 20915-2018: LCI calculation methodology for steel products

JIS Q 20915-2019: 鉄鋼製品のライフサイクルインベントリ計算方法



国内外の鉄鋼各社は、ISO 20915に基づくEPDを発行し、リサイクル効果を見える化



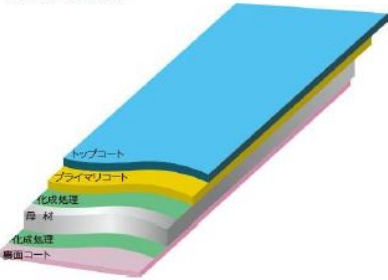
エコリーフ
タイプⅢ環境宣言 (EPD)
登録番号: JR-AJ-22005E

SuMPO環境ラベルプログラム
一般社団法人サステナブル経営推進機構
東京都千代田区鍛冶町2-2-1
https://ecoleaf-label.jp

NIPPON STEEL
日本製鉄株式会社

塗装鋼板(建設用)
(Color Coated Steel Sheets for construction)

塗膜構造 (代表例)



算定単位

1 t

算定対象段階

☐ 最終財 ☒ 中間財

製造段階 (原材料調達、原材料の輸送、製品の製造) 及び間接影響

製品の型式、主要仕様・諸元

製造サイト: 瀬戸内製鉄所
主な規格: 日本製鉄規格
※詳細はELシート®備考欄に記載
形状: コイル、シート板
主な板厚 (単位mm、t=板厚): t=0.3~1.2

登録番号	JR-AJ-22005E
適用PCR番号	PA-180000-AJ-03
PCR名	建設用鉄鋼製品 (中間財)
公開日	2022年4月21日
検証合格日	2022年3月18日
検証方式	個別検証方式
検証番号	JV-AJ-22005
検証有効期間	2027年3月17日
PCRレビューの実施	
認定日等	2019年 10月 1日
委員長	松野 泰也 (千葉大学)
第三者検証者*	
外部検証員	洲上 智子

ISO14025およびISO21930に従った本宣言及びデータの



エコリーフ
タイプⅢ環境宣言 (EPD)
登録番号: JR-AJ-22005E

SuMPO環境ラベルプログラム
一般社団法人サステナブル経営推進機構
東京都千代田区鍛冶町2-2-1
https://ecoleaf-label.jp

①ライフサイクル影響評価結果

影響領域	製造+間接影響※1	製造のみ※2	単位
気候変動 IPCC 2013 GWP 100a	1300	2400	kg-CO ₂ eq
酸性化	0.90	2.6	kg-SO ₂ eq
富栄養化	0.027	0.048	kg-PO ₄ -eq

スクラップリサイクル効果を含まない数値と
リサイクル効果を含む数値を併記
利用者の目的に応じて選択可能

内訳	項目	単位	合計	[A1] 原材料調達	[A2] 原材料の輸送	[A3] 製品の製造	[D] 間接影響
気候変動 IPCC 2013 GWP 100a	kg-CO ₂ eq	2.4E+03	4.4E+02	1.3E+02	1.9E+03		-1.1E+03
オゾン層破壊	kg-CFC-11eq	2.1E-05	1.1E-07	8.3E-10	2.1E-05		-2.1E-07
酸性化	kg-SO ₂ eq	2.6E+00	5.0E-01	6.5E-02	2.1E+00		-1.7E+00
光化学オキシダント	kg-C ₂ H ₄ eq	2.2E-02	4.5E-03	9.9E-04	1.7E-02		-2.4E-01
富栄養化	kg-PO ₄ -eq	4.8E-02	1.2E-03	7.5E-13	4.7E-02		-2.1E-02

スクラップリサイクル効果

②ライフサイクルインベントリ分析関連情報

項目	単位
非再生可能資源	6.0E+02 kg
再生可能資源	1.1E+03 kg
非再生可能エネルギー	3.7E+04 MJ
再生可能エネルギー	-3.7E+02 MJ
淡水の消費	6.4E-01 m ³

④廃棄物関連情報

項目	単位
有害廃棄物	- kg
無害廃棄物	2.1E+00 kg

※ライフサイクルにおける廃棄物量を示しています。

⑤算定結果に関する追加情報

1)間接影響として、JIS Q 20915に基づく鉄鋼材料のリサイクル効果を評価し、本宣言上①ライフサイクル影響評価結果内訳表上の【D】間接影響列にその値を記載した。間接影響分は上記の表【A1】～【A3】の合計値に加算される。