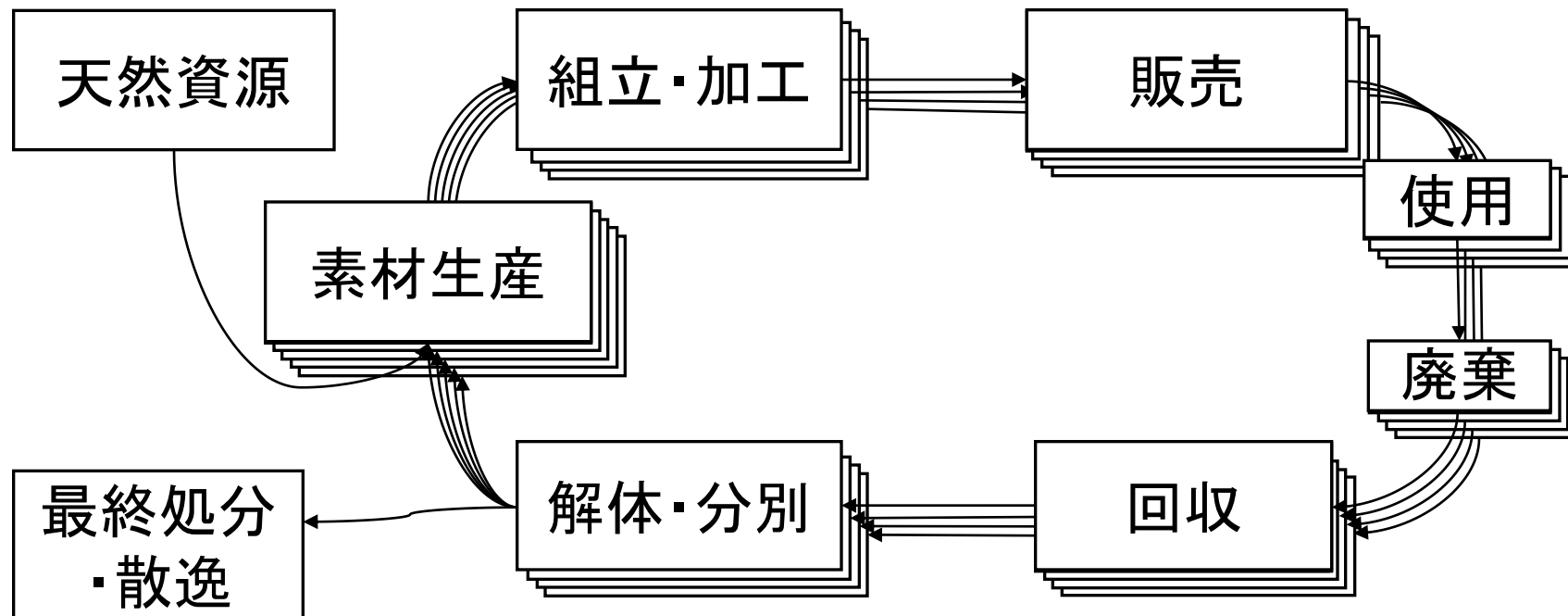

鉄鋼材の資源循環の現状

東京大学 大学院工学系研究科
マテリアル工学専攻
特任准教授 醍醐市朗

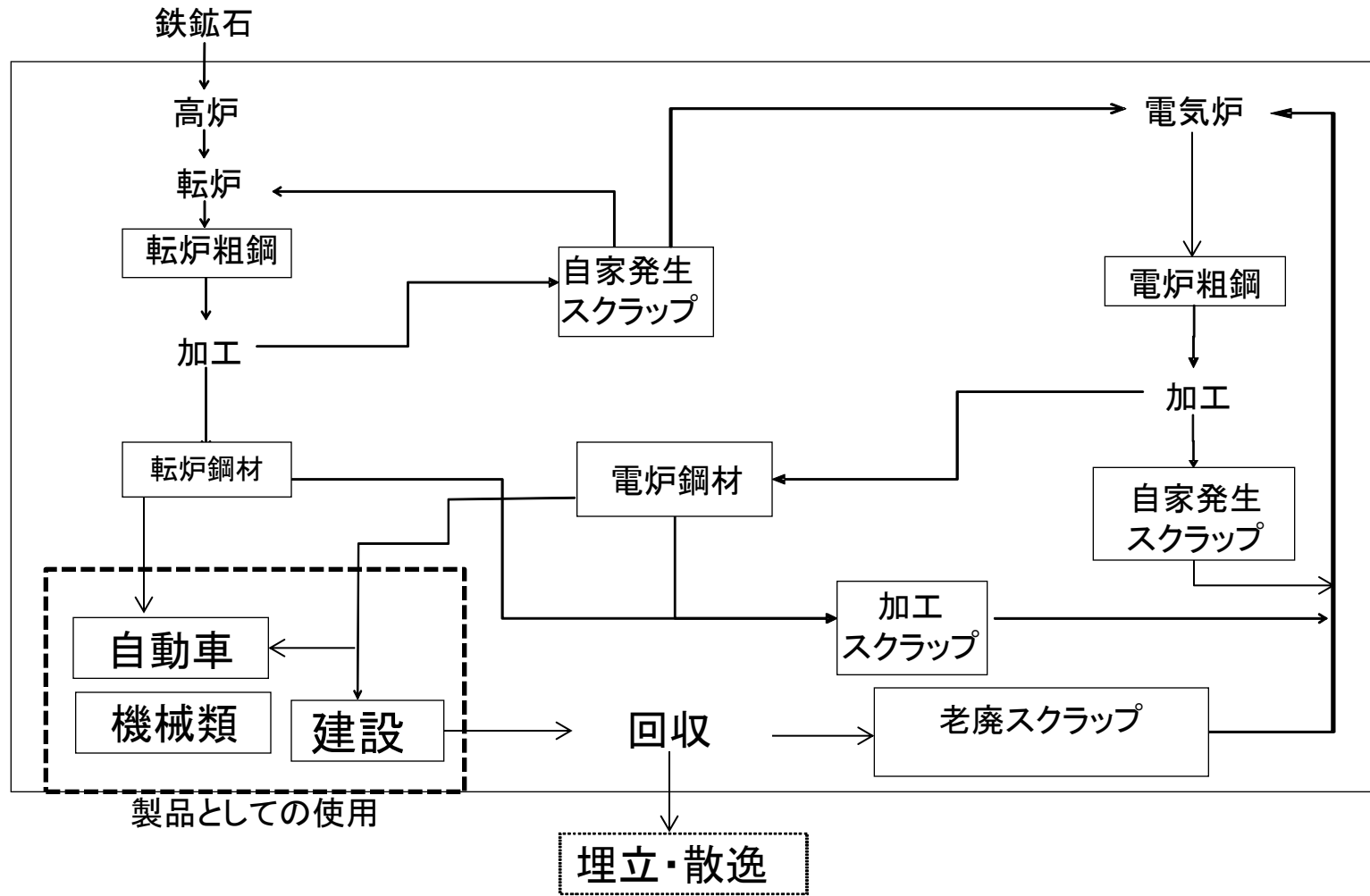
講演内容

- 製品ライフサイクルとマテリアルライフサイクル
- 銅やアルミのリサイクルと鉄鋼材のリサイクル
- 物質ストックの重要性とストック型社会

製品ライフサイクルと素材



製品ライフサイクルとマテリアルライフサイクル

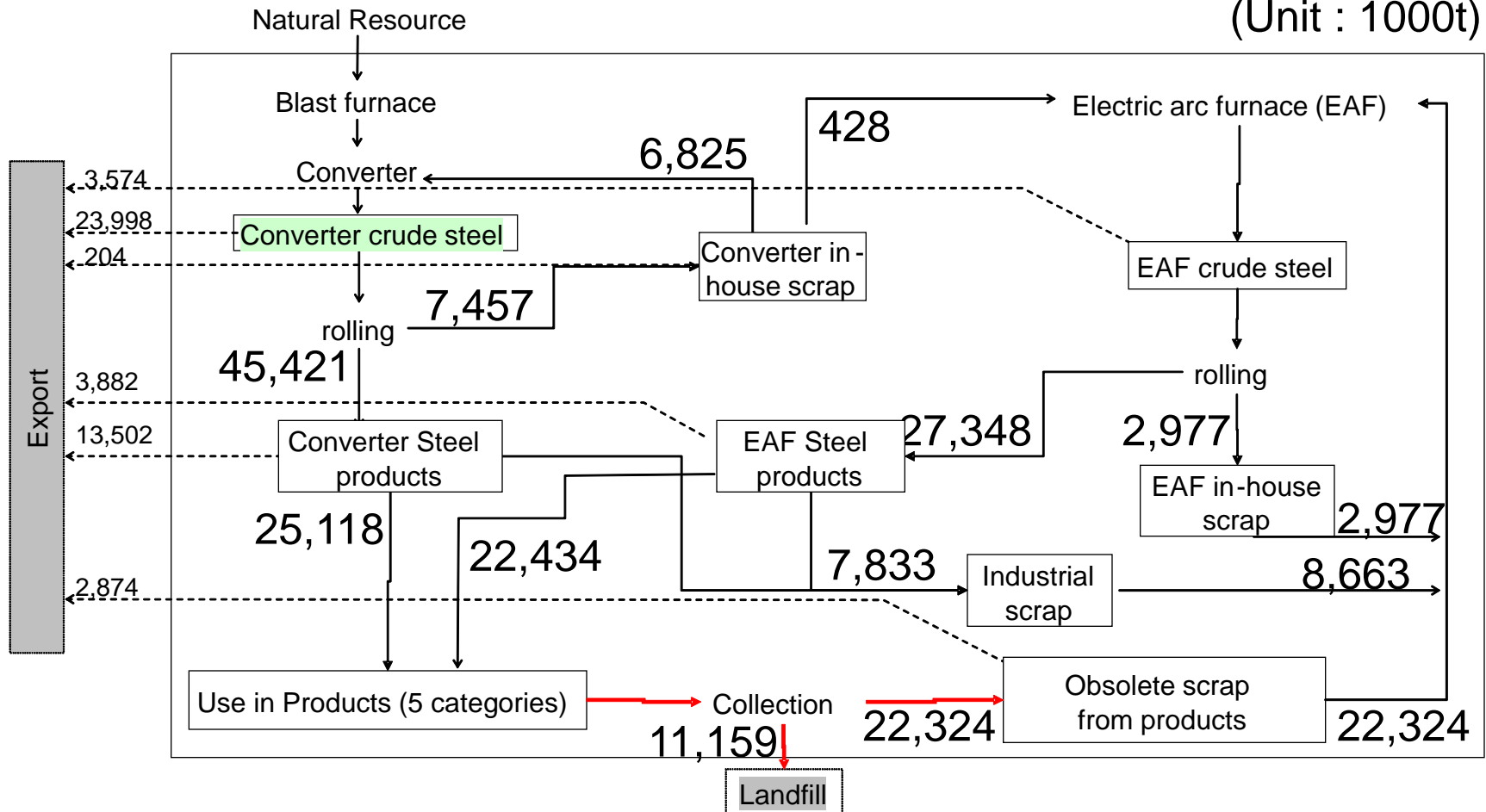


社会の中で何回使われているの？
社会の中で何年使われているの？

Material flow of steel in year 2000

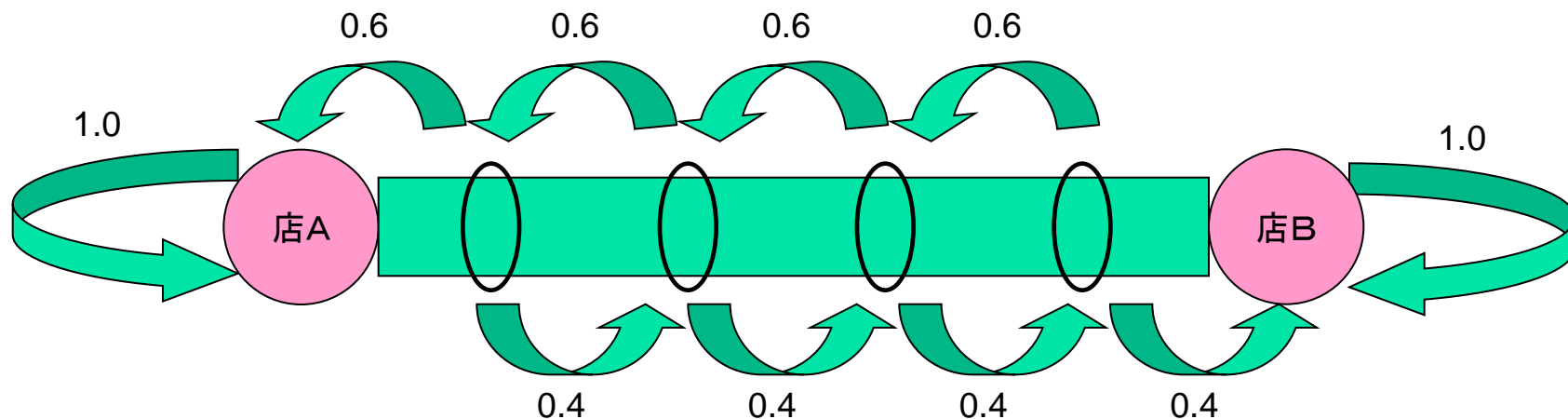
→ Obtained from statistics
→ Estimated

(Unit : 1000t)



ランダム・ウォーク

- 酔っ払いが店Aと店Bの間の道でフラフラしている



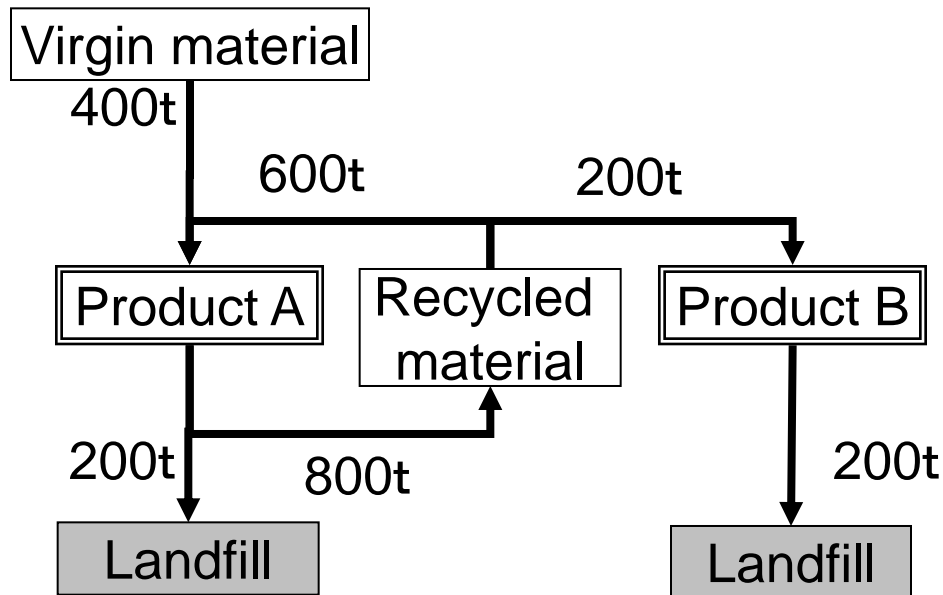
マルコフ連鎖モデルに必要なもの

状態と状態間の推移確率

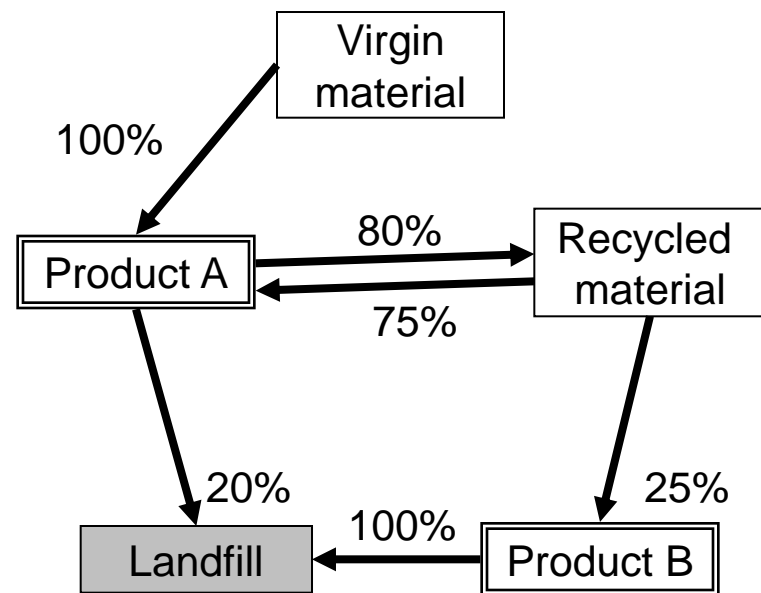
マルコフ連鎖モデルの応用

マルコフ連鎖モデル

マルコフ連鎖は、未来の挙動が現在の値だけで決定され、過去の挙動と無関係である(マルコフ性)。



マテリアルフロー

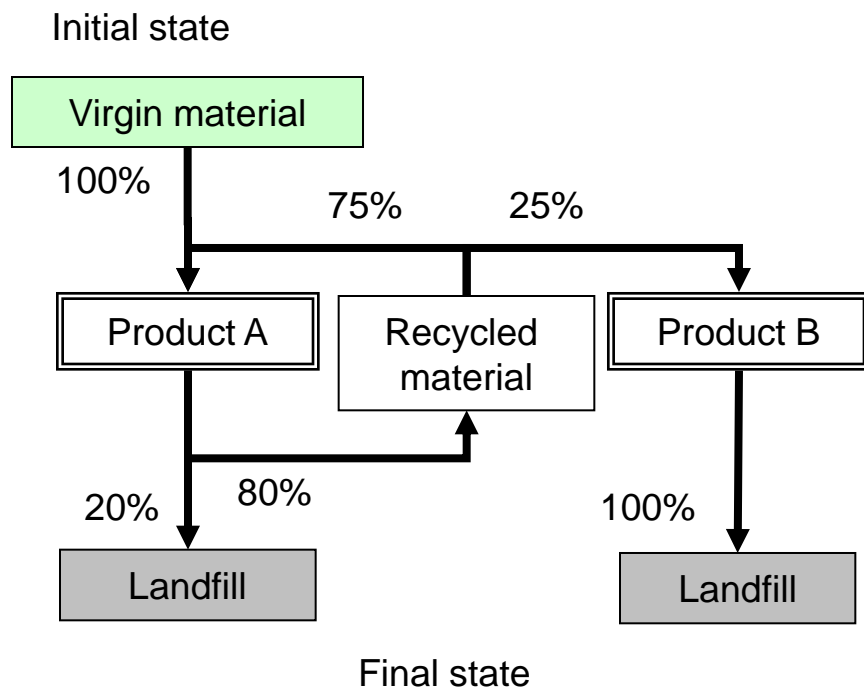


確率過程モデル

平均使用回数の定義

平均使用回数

元素は、初期状態から様々な中間状態を経て、無限回遷移したのちに吸収状態(最終処分)にたどり着く。その間に製品の状態を経た平均的な回数。



最終処分までの間の使用回数	確率
1回	0.2
2回	0.32
3回	0.22
⋮	
合計	1.00

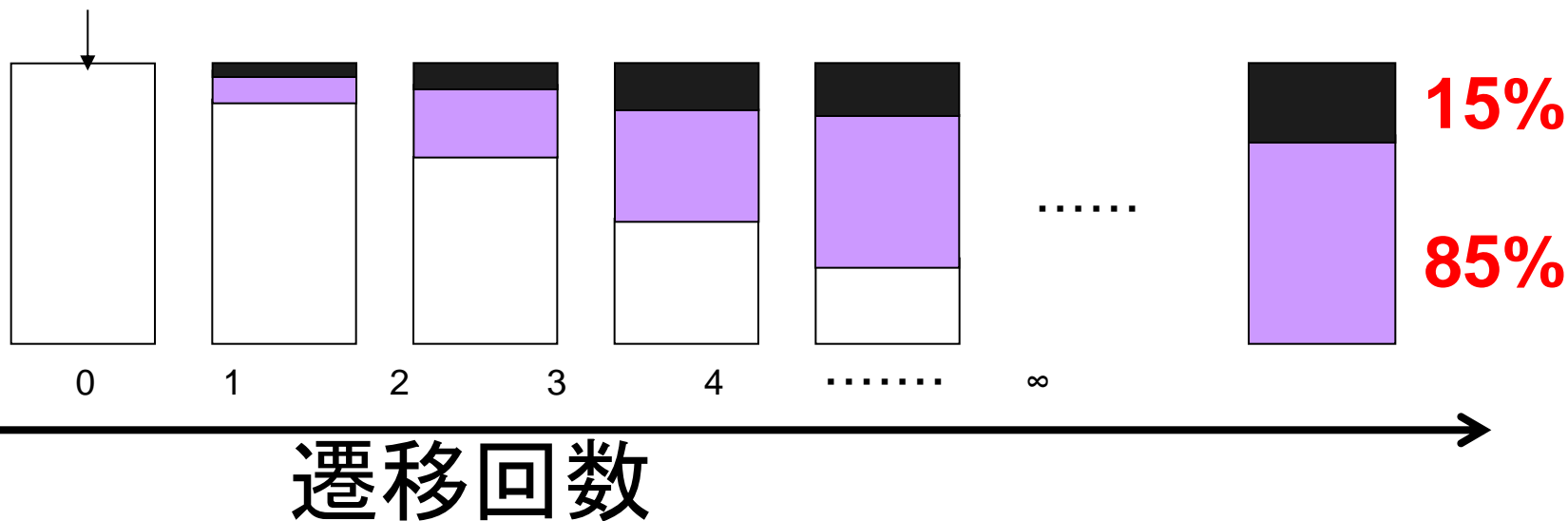
平均使用回数は、以下の式

$$1 \times 0.2 + 2 \times 0.32 + 3 \times 0.22 + \dots = 3.0$$

吸収状態（最終処分と輸出）

- Landfill
- Export
- Use in Japan

初期状態



日本で還元された鉄は、最終的に国内で最終処分される確率は15%で、残り85%は、半製品輸出、鋼材輸出、最終製品輸出、中古品輸出、スクラップ輸出により海外に送られている。

平均使用回数

	用途別平均使用回数(回数×確率)					平均 使用 回数	平均 滞留 年数
	土木・ 建築	機械類	自動車	容器	その他 諸成品		
結果	2.8	0.9	1.1	0.1	0.1	4.9	109

用途	平均寿命[年]
土木・建築	30
機械類	12
自動車	13
容器	1
その他諸成品	12

※2005年の鉄鋼材フローからの推計値

平均使用回数とリサイクル率

$$1 + r + r^2 + r^3 + \dots = \frac{1}{1 - r} = N$$

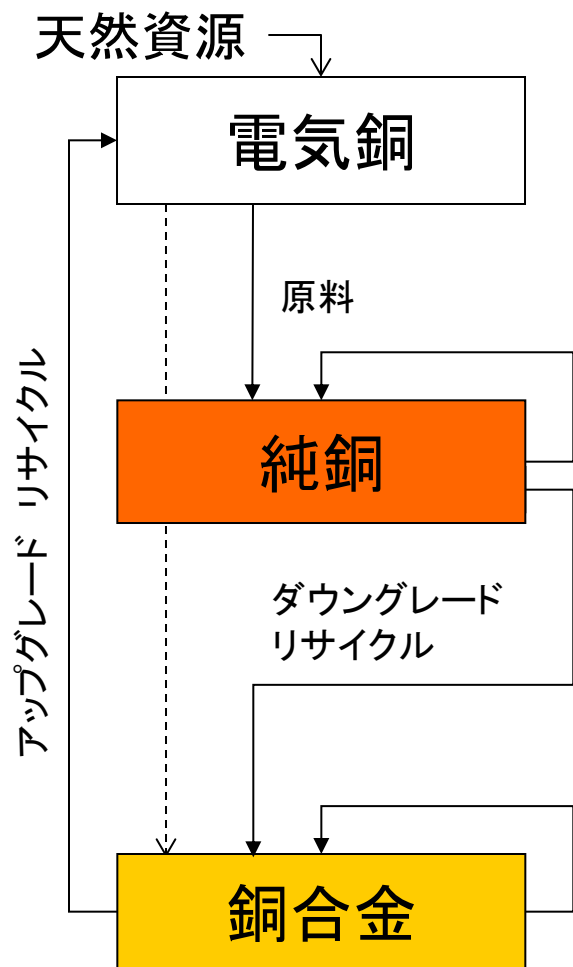
r: リサイクル率
N: 平均使用回数

r: リサイクル率	N: 平均使用回数
50 %	2 回
60 %	2.5 回
70 %	3.3 回
80 %	5 回
90 %	10 回
100 %	無限回

講演内容

- 製品ライフサイクルとマテリアルライフサイクル
- 銅やアルミのリサイクルと鉄鋼材のリサイクル
- 物質ストックの重要性とストック型社会

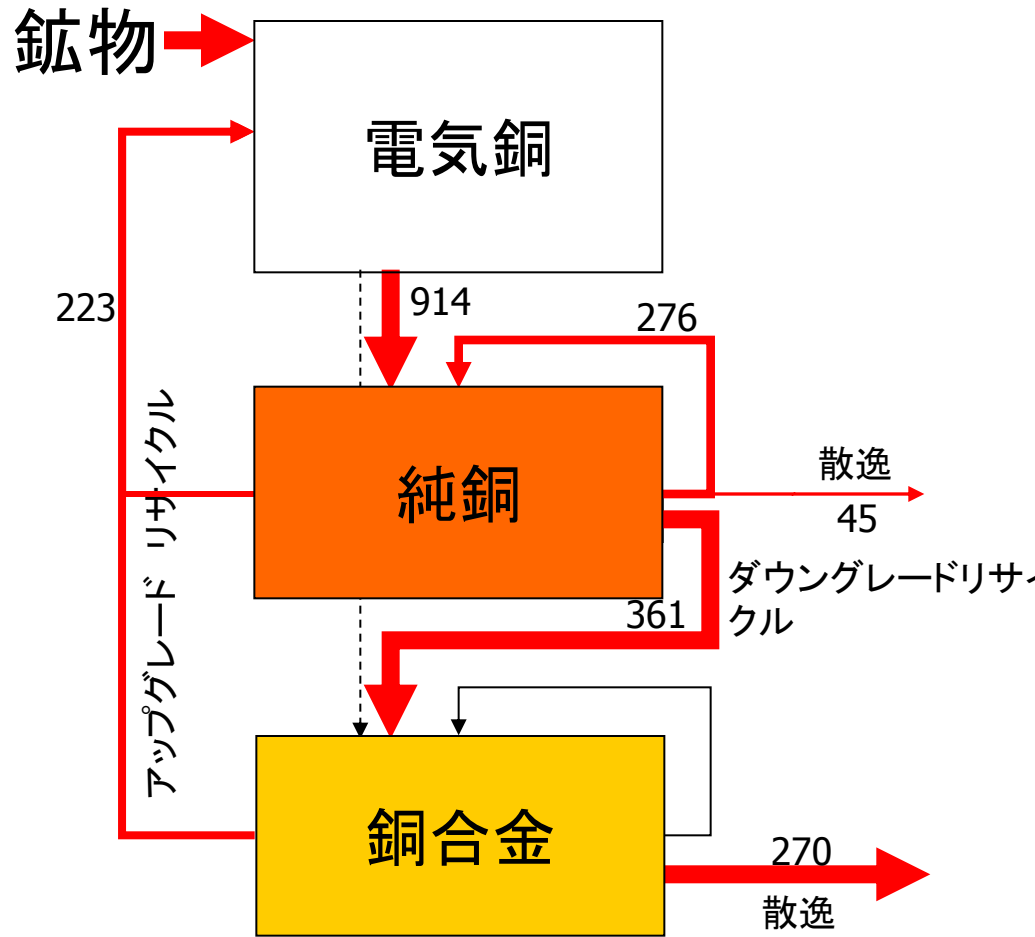
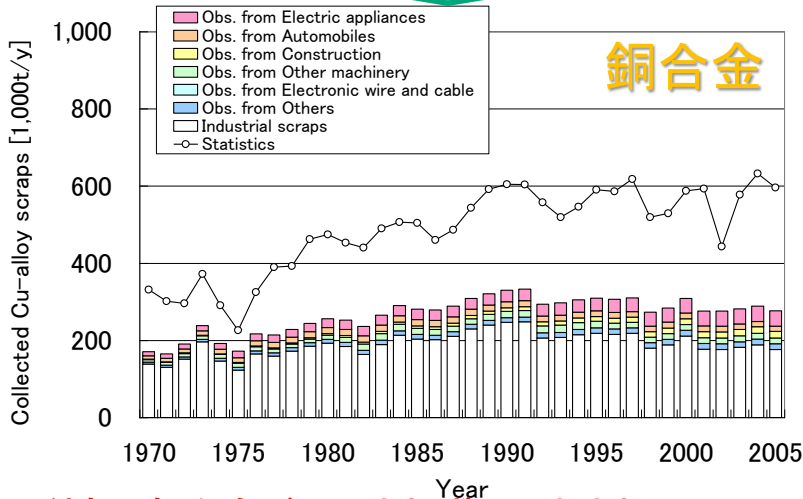
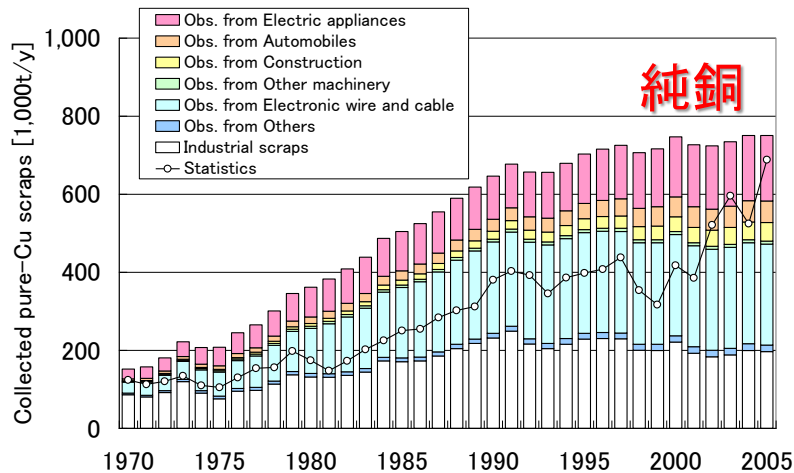
銅素材の循環利用



	代表的素材	Cu組成
純銅	無酸素銅	>99.90%
	タフピッチ銅	>99.90%
	りん脱酸銅	>99.90%
銅合金	黄銅 (亜鉛合金)	59.0 - 71.5%
	快削黄銅	57.0 - 63.0%

	Cu組成
銅スクラップ	>97%
銅合金スクラップ	>50%

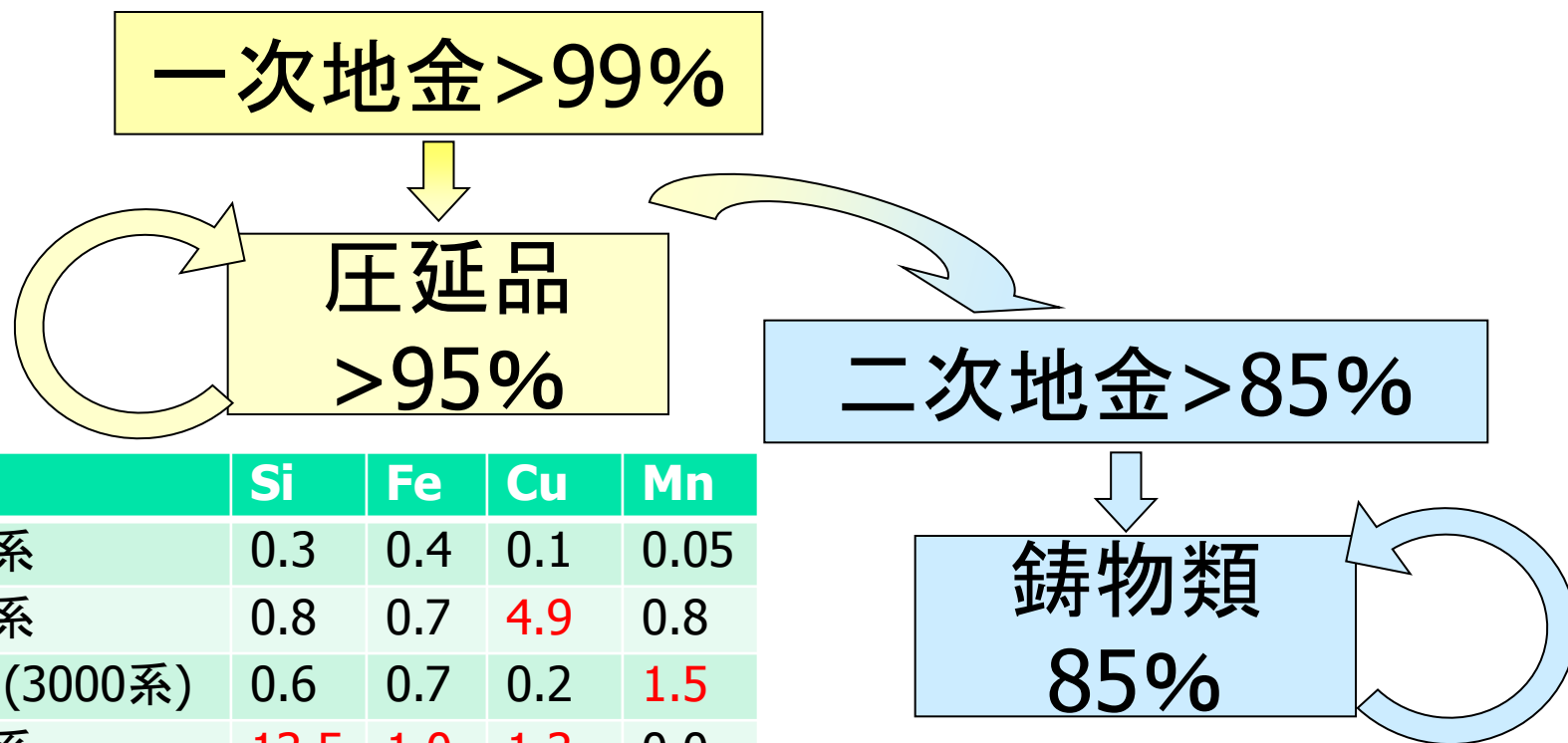
銅素材のカスケードリサイクル



純銅と銅合金が区別されずに回収されることとめっきの存在がカスケードの要因

I. Daigo et al., Resources, Conservation & Recycling 53 (2009) 208-217.

アルミニウム素材の循環利用

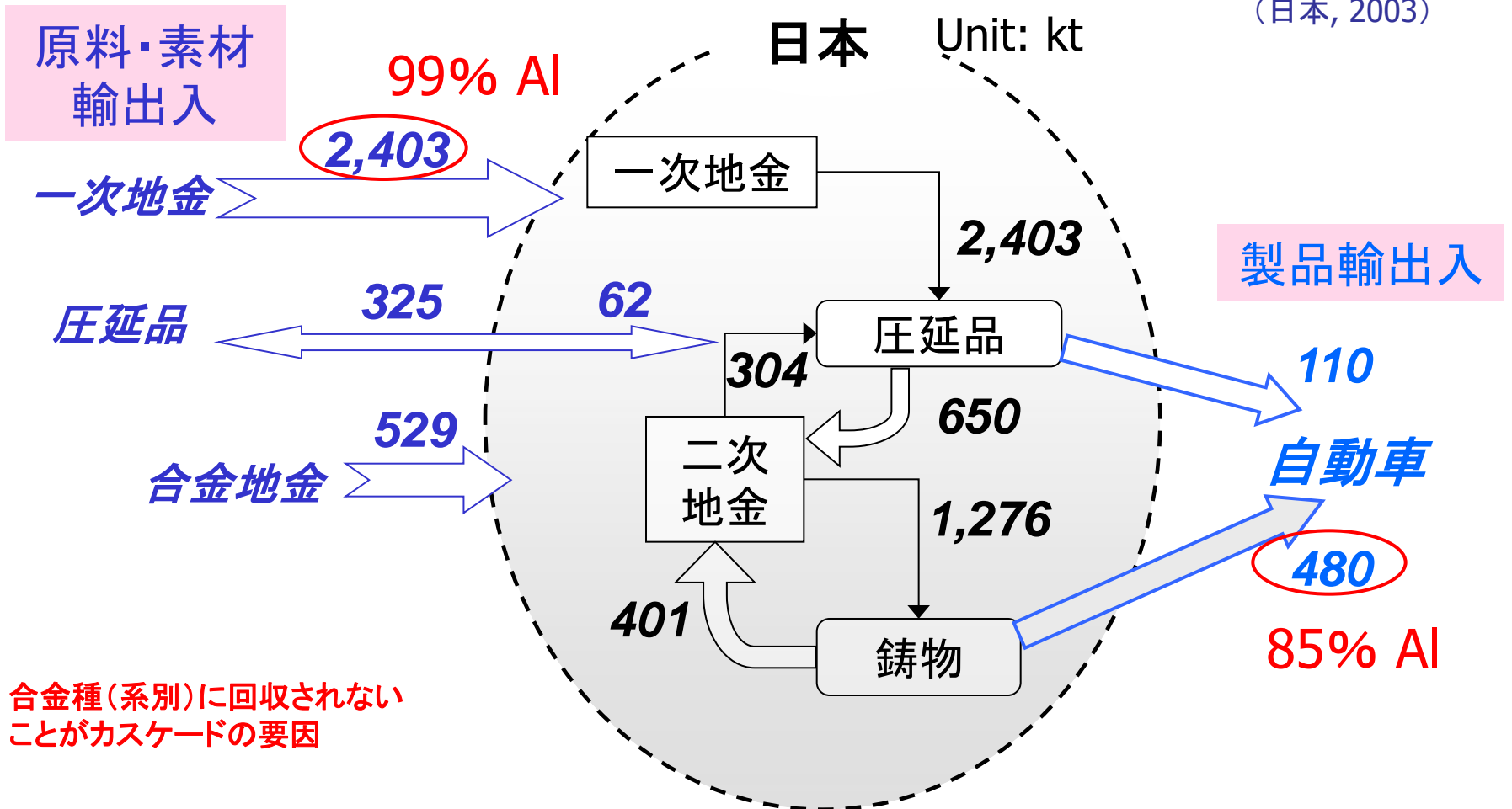


	Si	Fe	Cu	Mn
1000系	0.3	0.4	0.1	0.05
2000系	0.8	0.7	4.9	0.8
3003 (3000系)	0.6	0.7	0.2	1.5
4000系	13.5	1.0	1.3	0.0
5052 (5000系)	0.3	0.4	0.1	0.1
6061 (6000系)	0.8	0.7	0.4	0.2
7000系	0.2	0.2	2.1	0.2
8000系	0.2	1.5	0.05	0.0

	Si	Fe	Cu	Mn
鋳物	7.0	1.0	4.0	0.5
ダイキャスト	12.0	1.3	3.5	0.5

アルミニウムのカスケードリサイクル

(日本, 2003)



畑山博樹, 山田宏之, 醍醐市朗, 松野泰也, 足立芳寛: アルミニウムの合金元素を考慮した動的マテリアルフロー分析, 日本金属学会誌, 70(12), (2006) 975-980

鉄鋼材リサイクルにおける銅の濃化

- 銅は酸化製錬で除去困難
- リサイクル時に混入

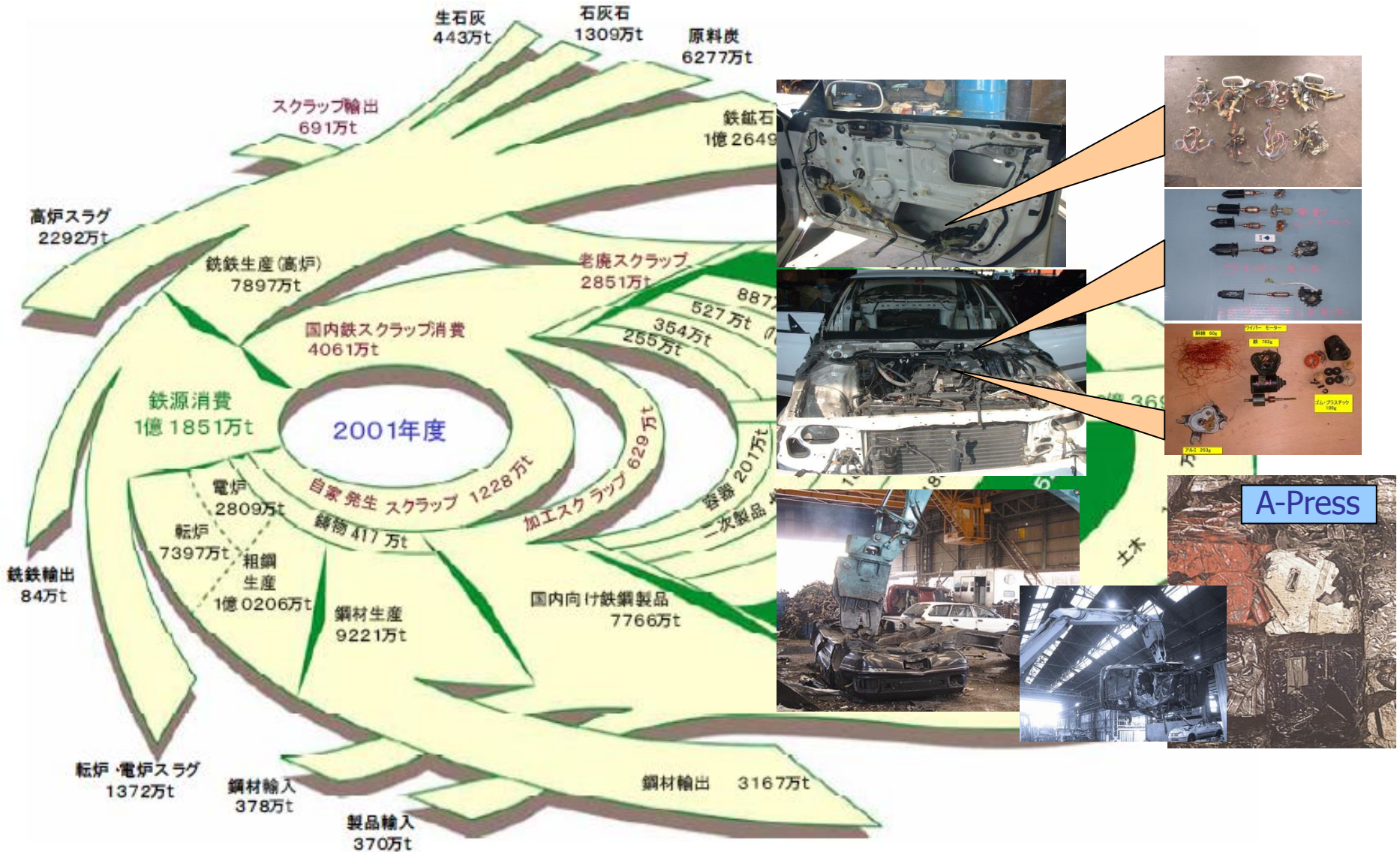
□ 銅濃度の観測

- 大規模なサンプル調査
- 代表性の確保が困難
- スクラップに混入する銅の量は同定困難

⇒ モデルを構築し、マテリアルフロー分析によって銅の濃化挙動をシミュレーション

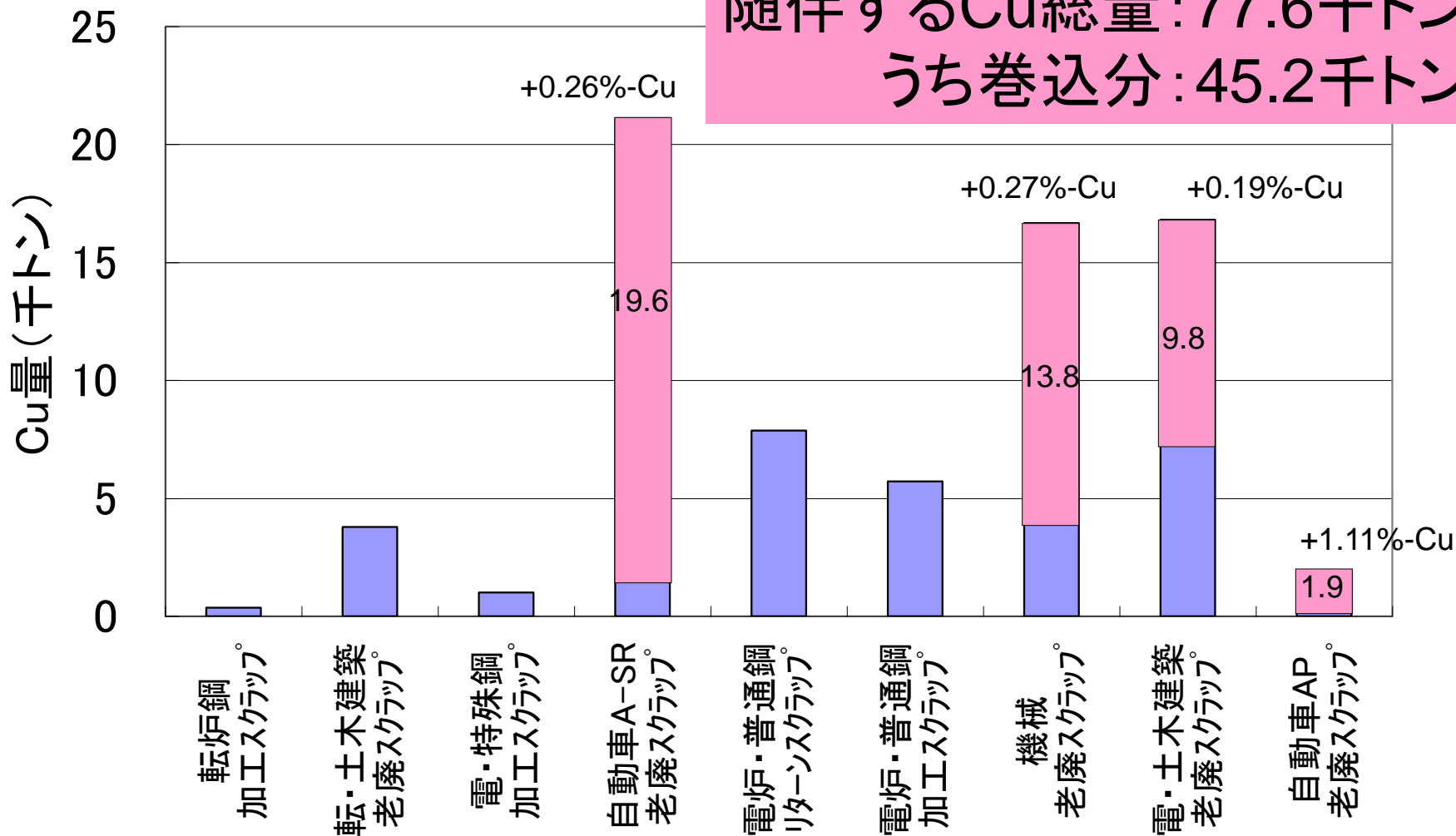


鉄鋼材の循環利用

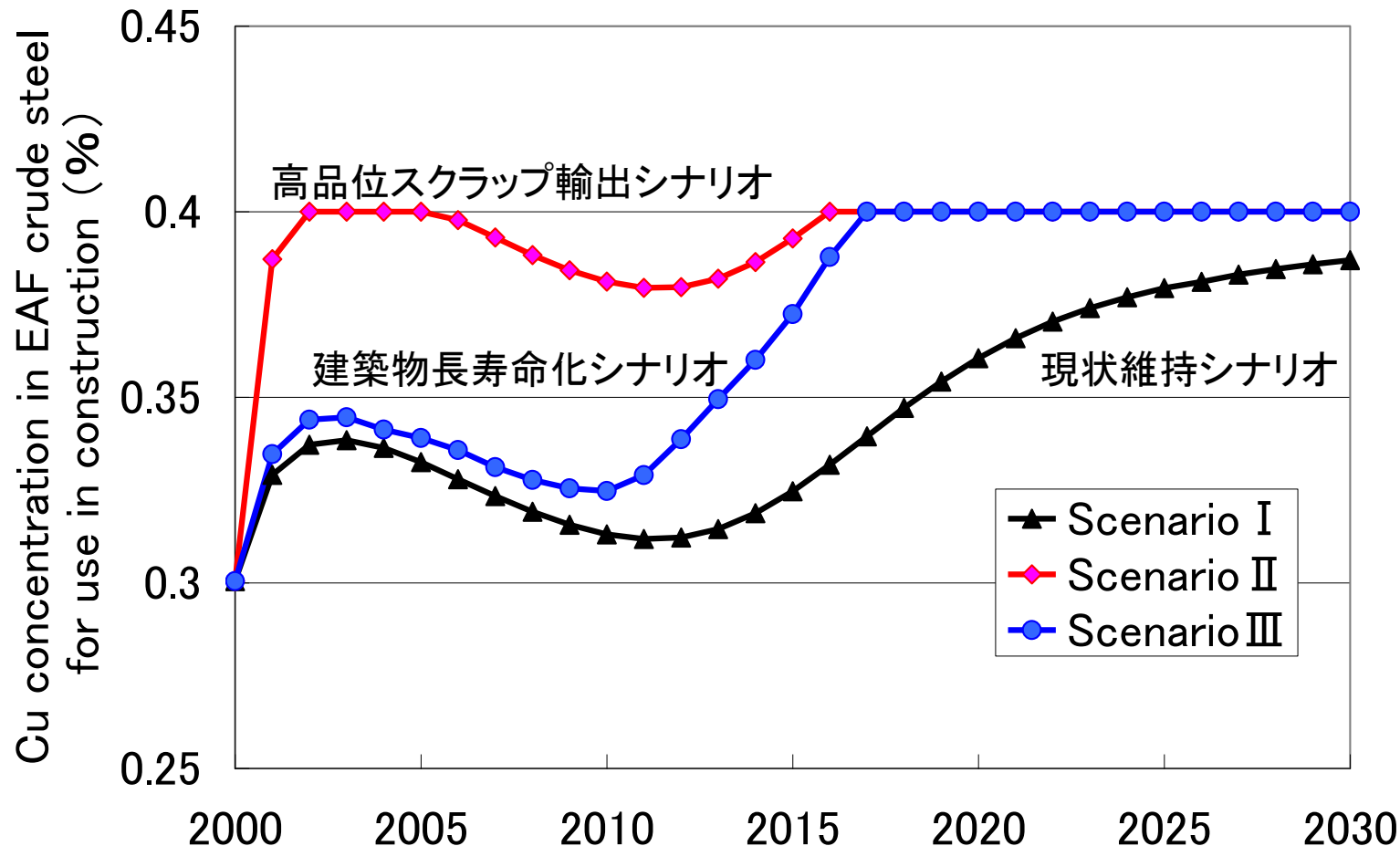


Cu量で見るコンタミの状況

随伴するCu総量：77.6千トン
うち巻込分：45.2千トン

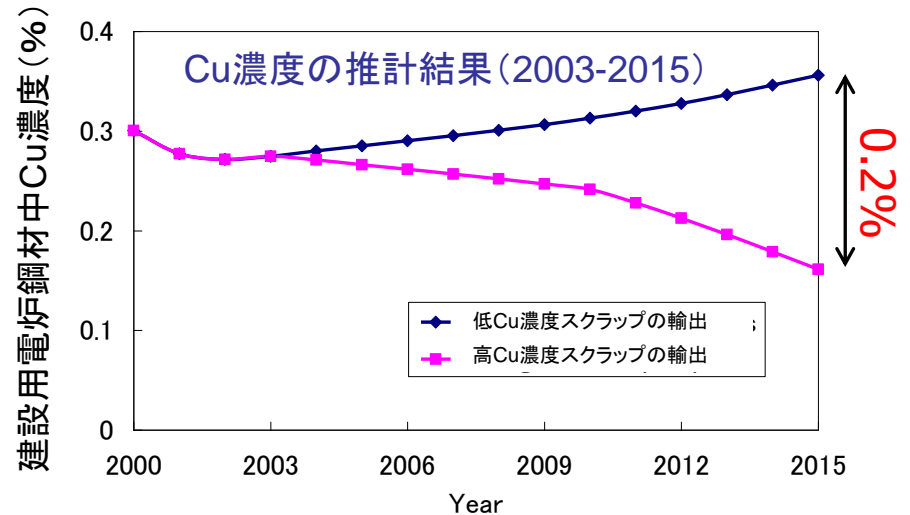
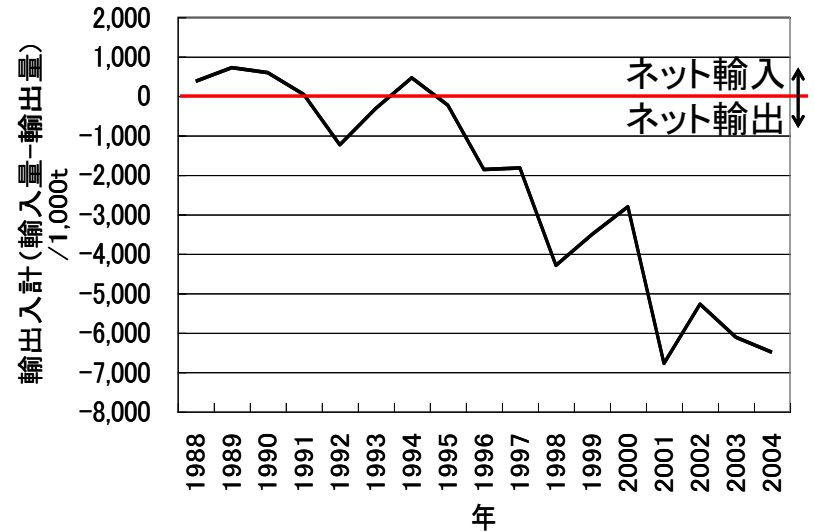
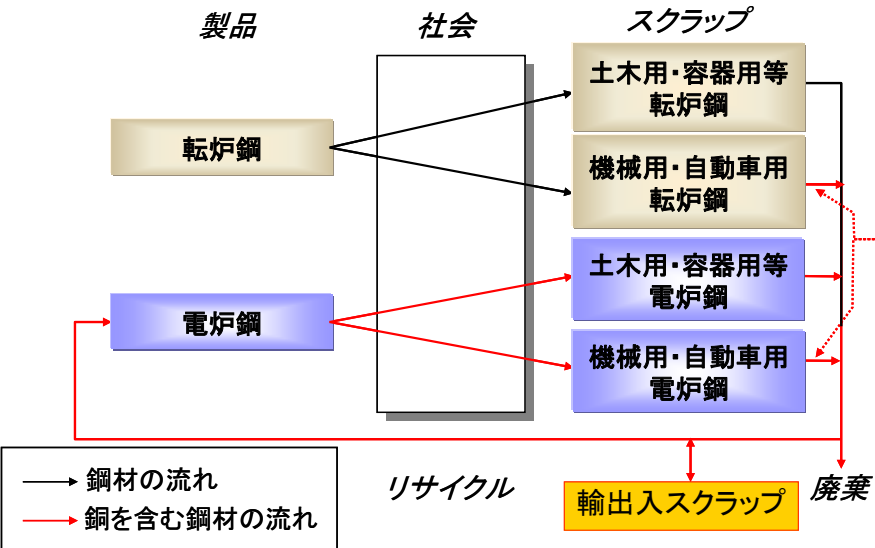


建設用電炉鋼材中のCuの濃化推計



醍醐市朗, 藤巻大輔, 松野泰也, 足立芳寛: 鋼材循環利用における環境負荷誘発量解析のための動態モデルの構築, 鉄と鋼, 91(1), pp. 171-178, (2005)

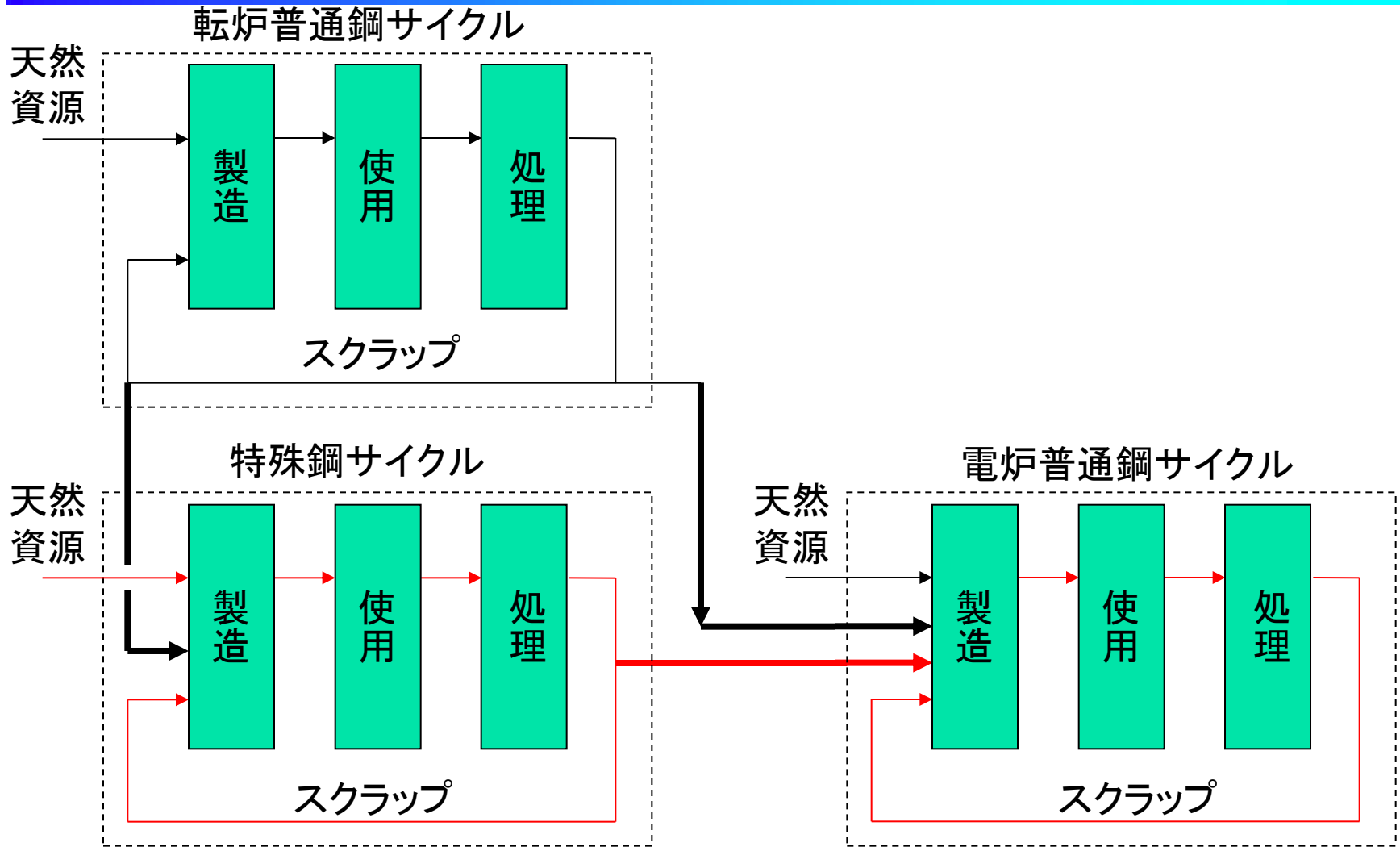
スクラップ輸出と銅の濃縮との関係に着目



藤巻大輔, 五十嵐佑馬, 醍醐市朗, 松野泰也, 足立芳寛
 : 鉄スクラップの輸出による国内鋼材の品位変化に関する考察,
 鉄と鋼, 92(6), 401-405, (2006)

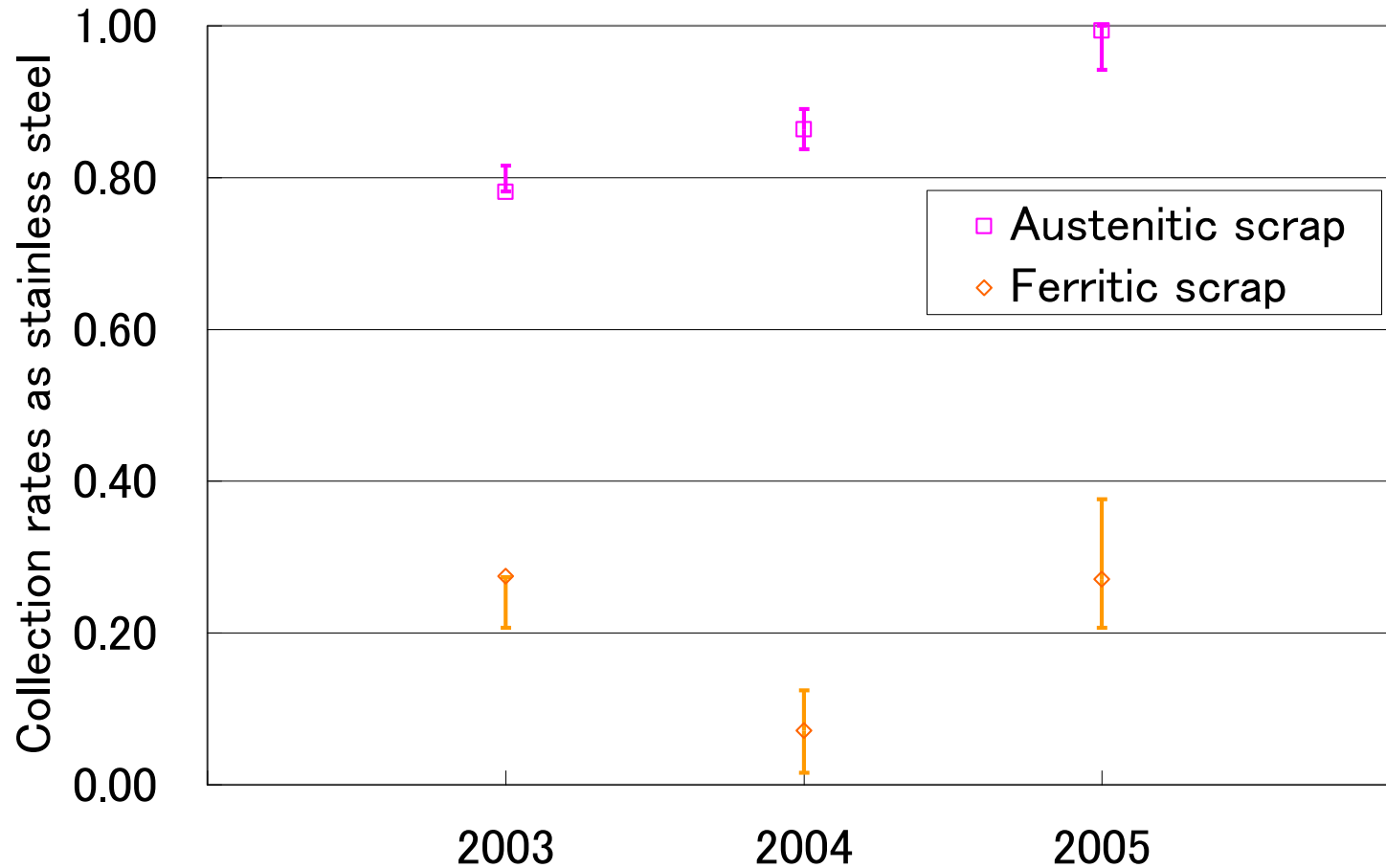


Crの物質フロー分析(システム境界)

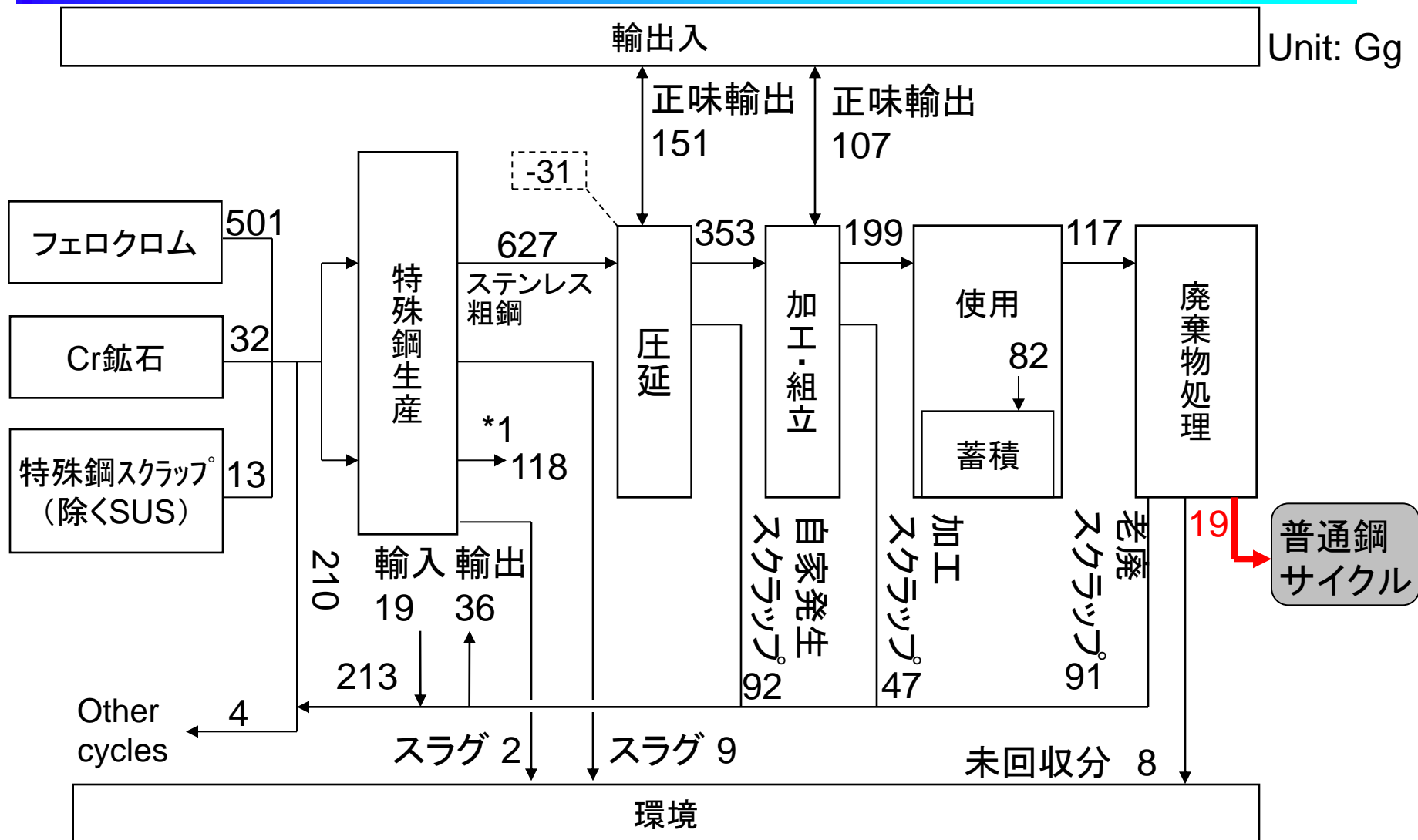


N.R.: natural resource

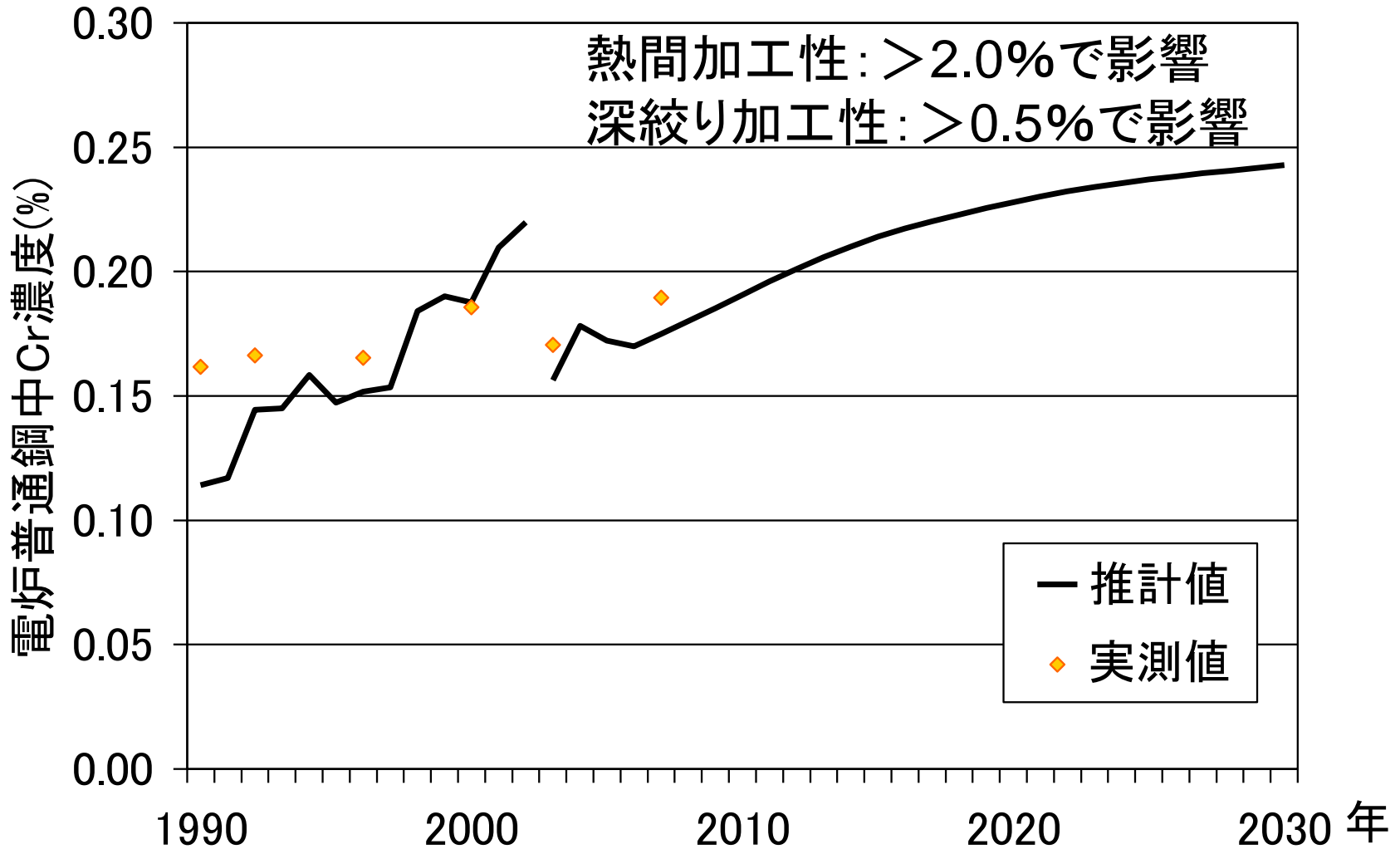
使用済み製品からのステンレス鋼のステンレス鋼スクラップとしての回収率



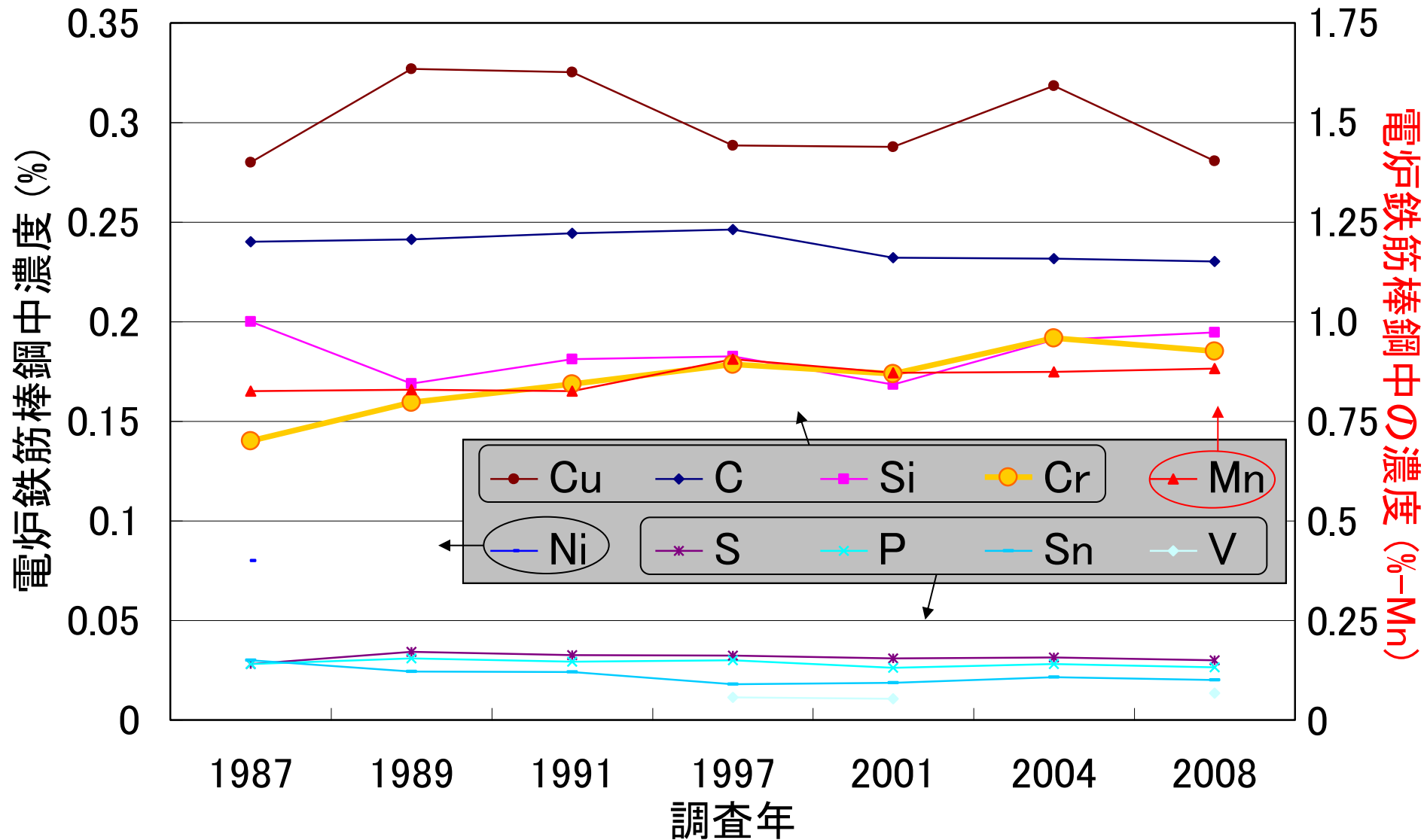
ステンレス鋼に含まれるCrのSFA



電炉普通鋼のCr濃度の推計結果



電炉鉄筋棒鋼の化学組成の推移



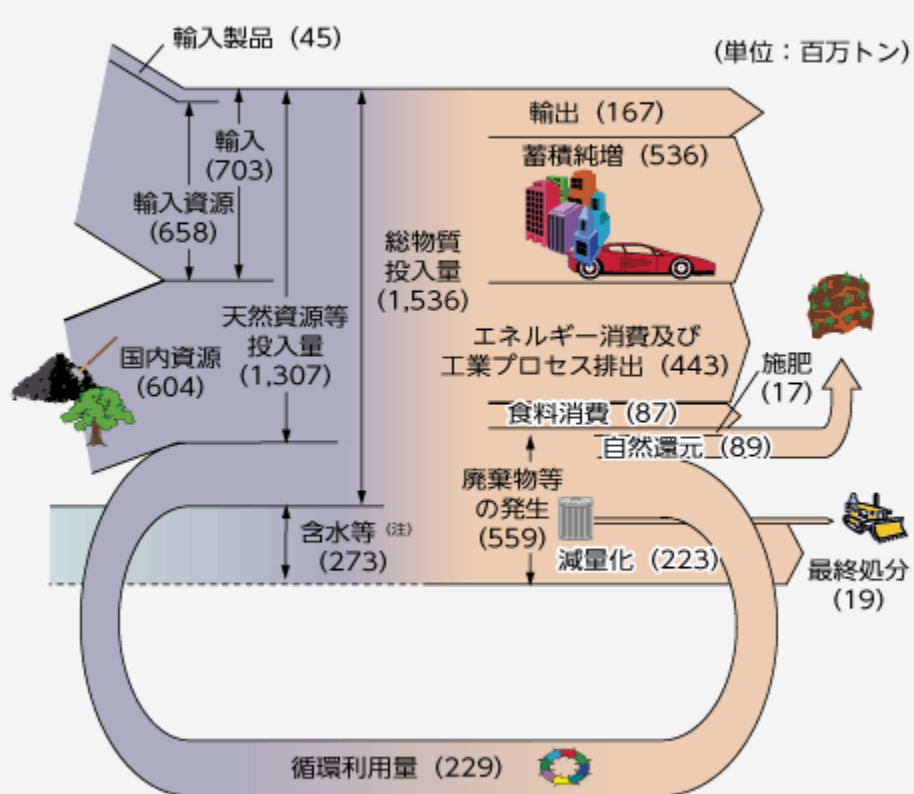
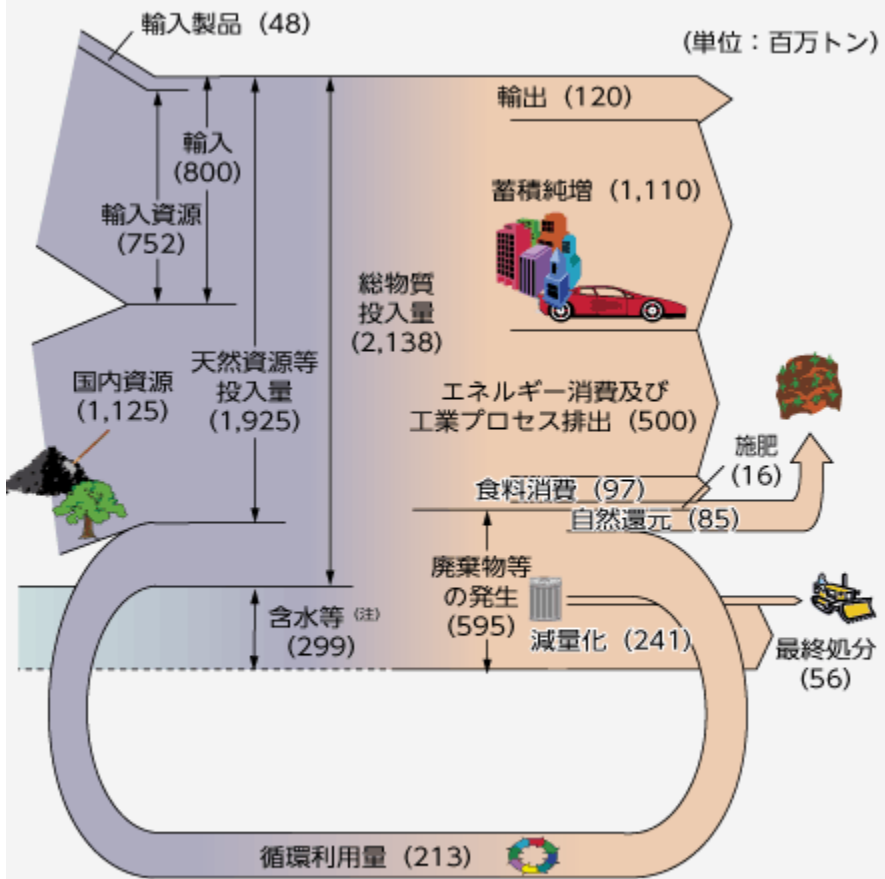
講演内容

- 製品ライフサイクルとマテリアルライフサイクル
- 銅やアルミのリサイクルと鉄鋼材のリサイクル
- 物質ストックの重要性とストック型社会

日本のマテリアルフロー

平成12年度 (参考)

平成21年度



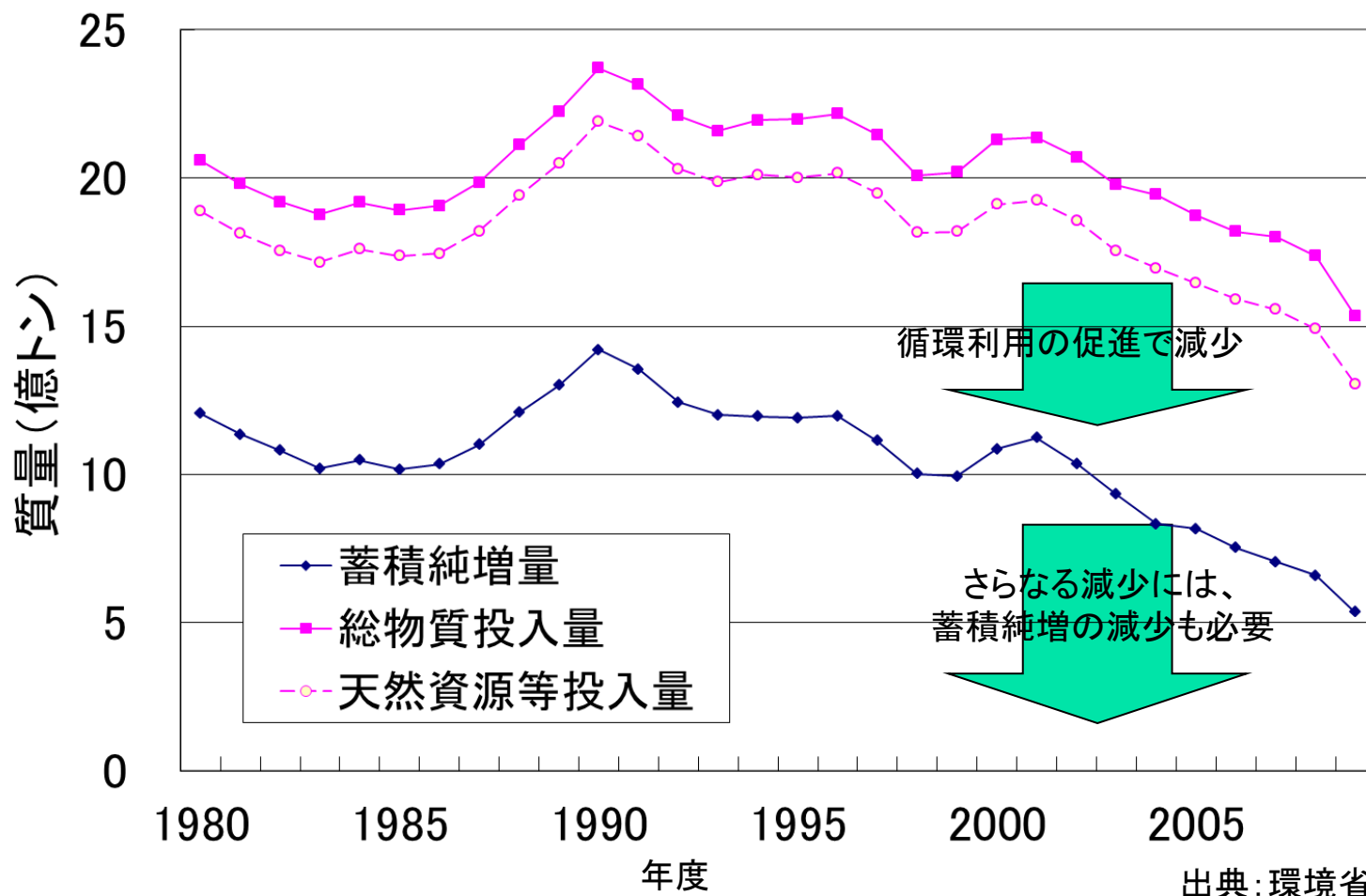
注：含水等：廃棄物等の含水等（汚泥、家畜ふん尿、し尿、廃酸、廃アルカリ）及び経済活動に伴う土砂等の随伴投入（鉱業、建設業、上水道業の汚泥及び鉱業の鉱さい）

出典：環境省「第二次循環型社会形成推進基本計画の進捗状況の第4回点検結果について」

出典：平成24年版 環境白書

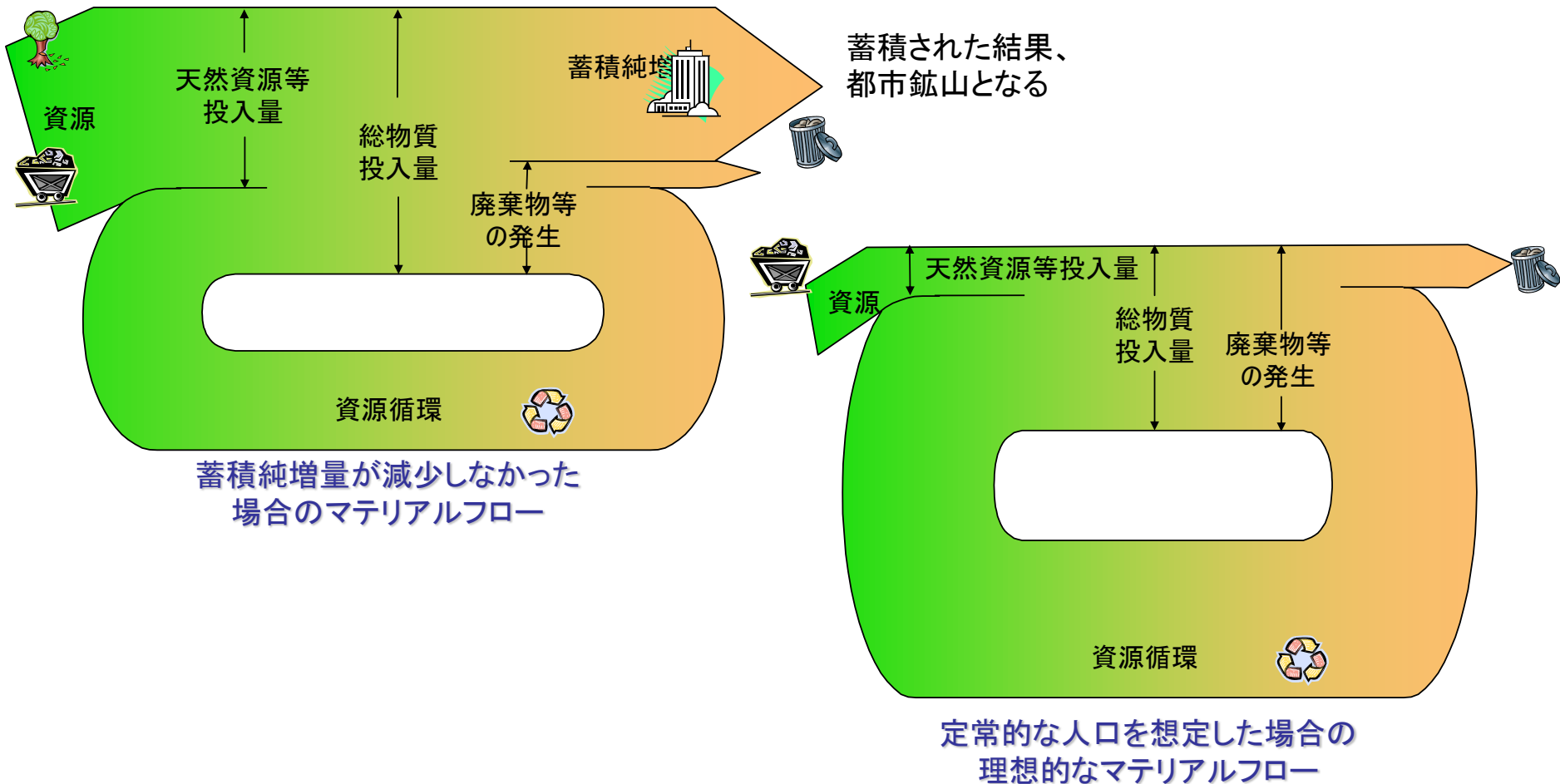


蓄積純増量(日本)の推移



蓄積純増量は、資源投入量に対しほぼ一定割合で推移

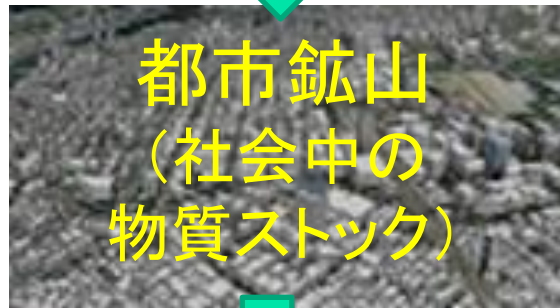
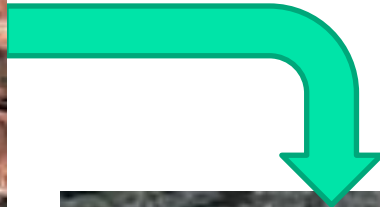
天然資源投入量の削減のために



都市鉱山は 大きい方がよい？小さい方がよい？

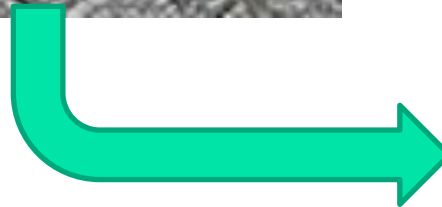


累積採掘量

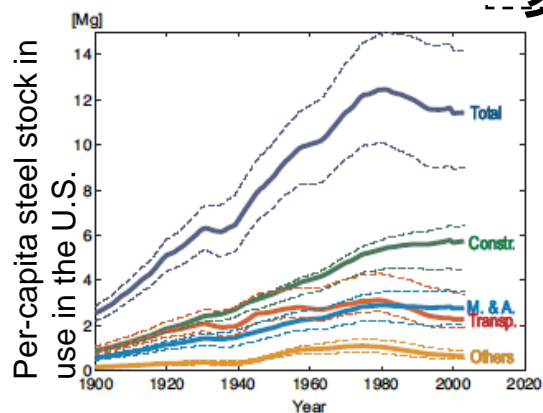
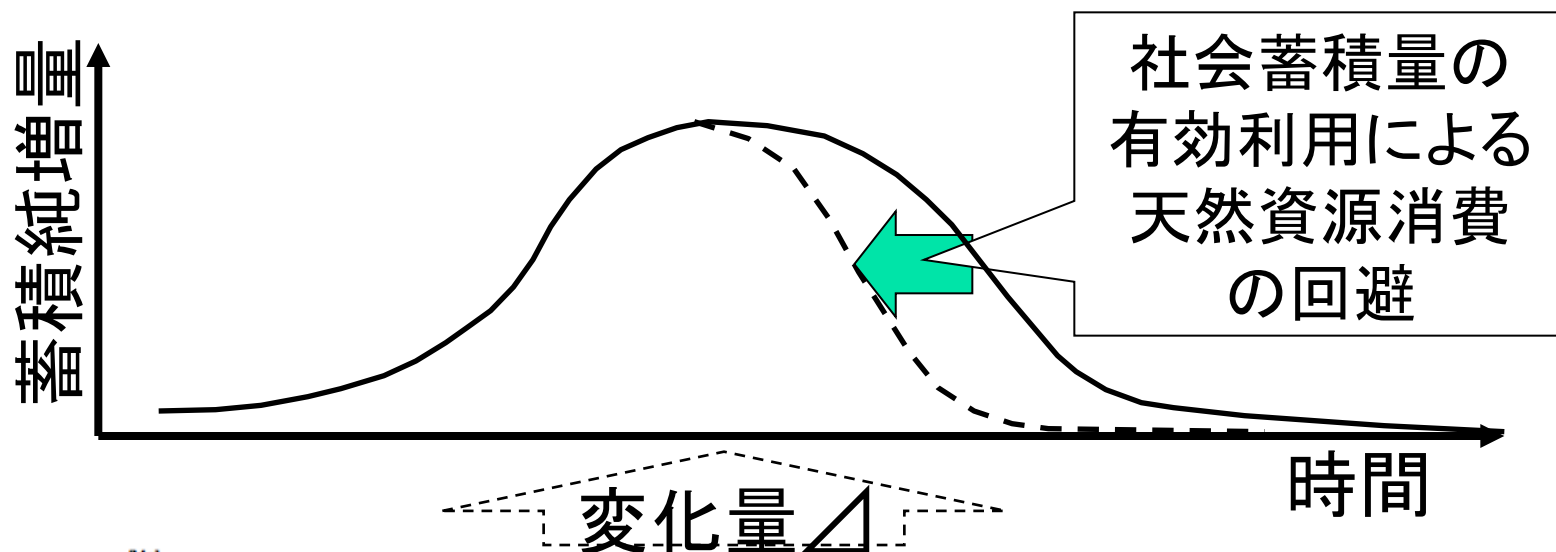


大きい方がよい

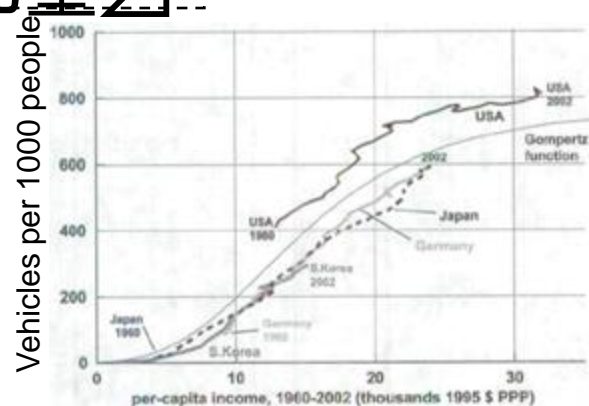
リサイクル
ポテンシャル



将来まで考慮した資源の必要量

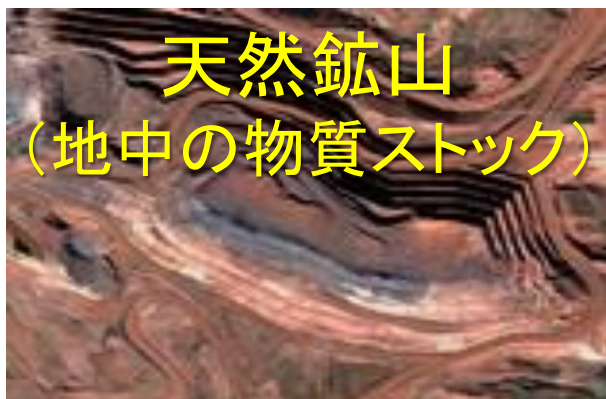


Mueller et al. (2006)

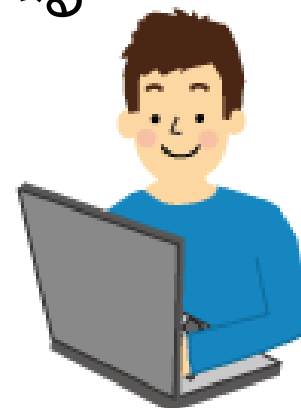


J. Dargey et al. (2007)

都市鉱山は人の手で造られる



都市鉱山から採掘(排出)される鉱物(廃棄物)ありきで、選鉱・精錬(リサイクル)方法を考えている



なるべく小さく かつ リサイクルし易い 都市鉱山を造る

都市鉱山の造山に必要な材料技術

今のままで消費した多くの物質は
リサイクル困難な低品位な都市鉱山

■ なるべく小さな都市鉱山

- 少ない資源使用での機能発現
- 高機能化（必要な機能の総量は一定）

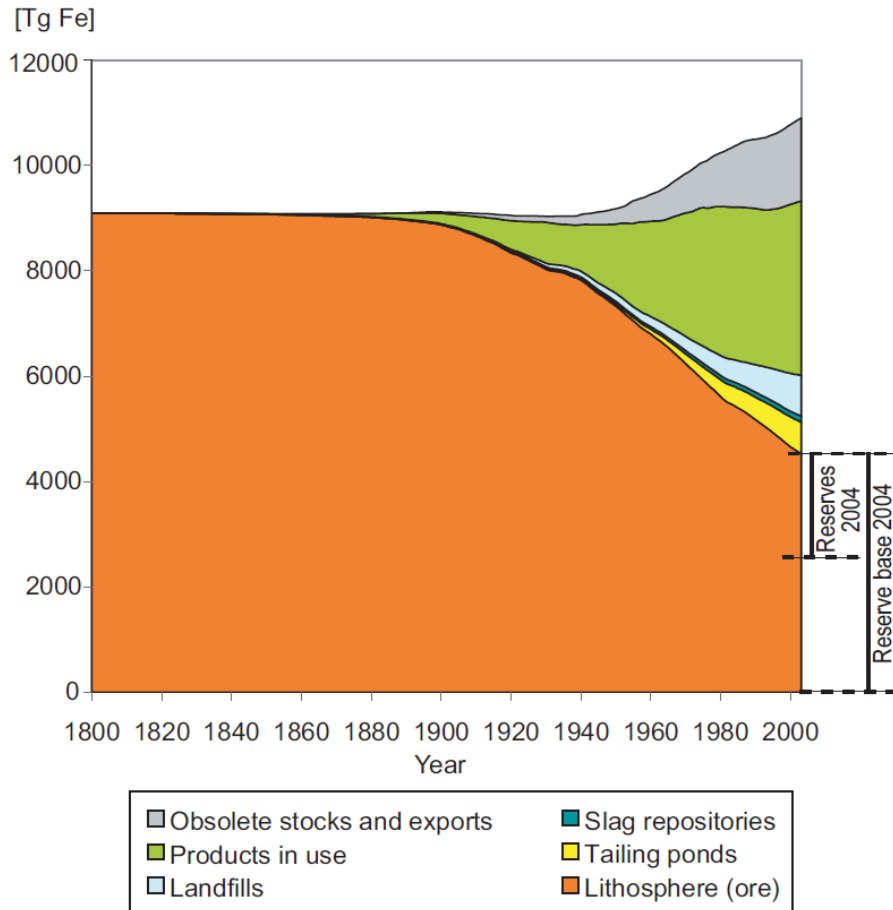
■ リサイクル容易な都市鉱山

これから
の課題

合金種の低減（組織制御での多機能化など）
材料識別技術（識別元素の添加など）
など

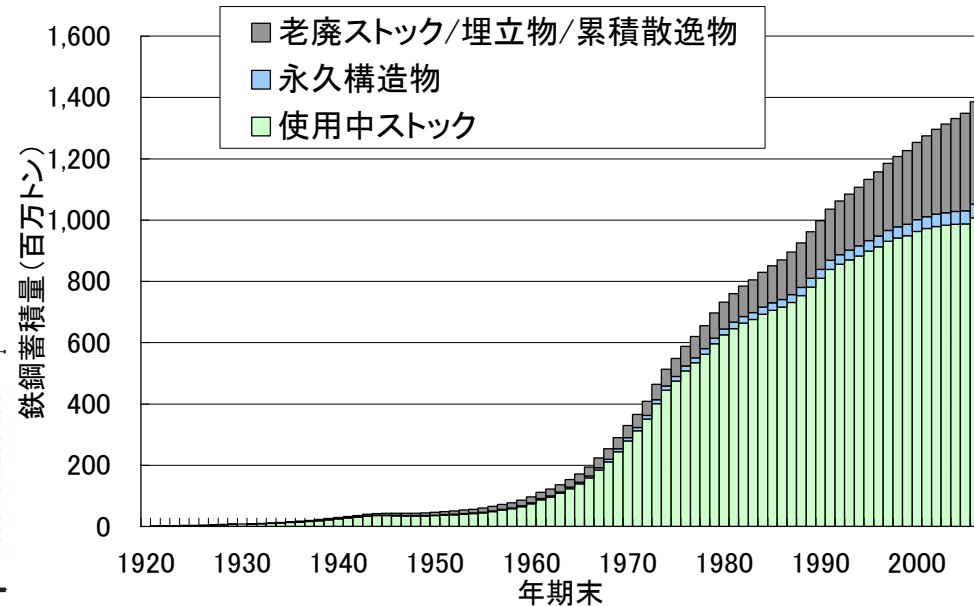
物質ストックの内容物（鉄鋼材を中心に）

Historic U.S. iron stocks , 1800–2004



(Müller et al., 2006)

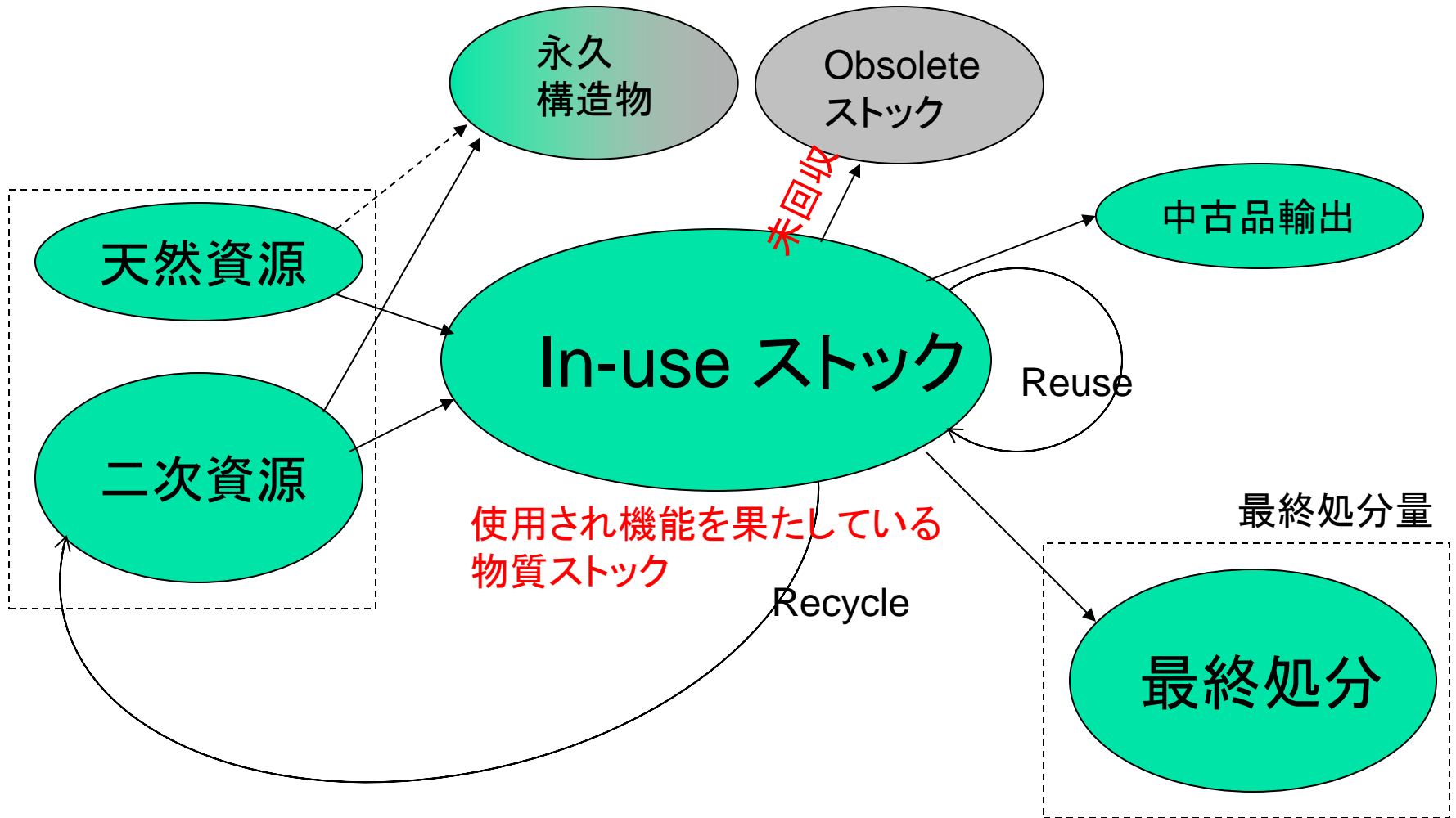
Historic steel stock in Japan, 1920-200



(醍醐, 2008)

物質ストックのReduceのためには？

減少することはない 減少することはない



まとめ

- 製品ライフサイクルとマテリアルライフサイクル
 - **リサイクルの推進**は、資源消費を削減する
- 銅やアルミのリサイクルと鉄鋼材のリサイクル
 - **リサイクルの質**も重要になってくる
- 物質ストックの重要性とストック型社会
 - 発生したもののリサイクルだけではなく
物質ストックを上手く管理する社会
(設計の段階から考慮する等)への移行が必要