

2015年11月19日(木)第5回グリーン・スチール・セミナー
社会資本の整備・ライフサイクルについての最近の取組み
～鋼材の優れた環境性能について～
@フクラシア東京ステーション5H会議室



素材リサイクルにおける 鉄鋼材の優位性

東京大学大学院工学系研究科
マテリアル工学専攻
醍醐市朗



講演内容

- 産業エコロジーという学術分野
- リサイクル(物質循環)の促進
- リサイクルと同等に重要な資源対策
- 物質ストックとは
- 使用済み回収率(EoL-RR)
- 鉄鋼材のリサイクル性を評価する手法
- Hibernating stockと鉄鋼材回収性
- まとめ

講演内容

- 産業エコロジーという学術分野
- リサイクル(物質循環)の促進
- リサイクルと同等に重要な資源対策
- 物質ストックとは
- 使用済み回収率(EoL-RR)
- 鉄鋼材のリサイクル性を評価する手法
- Hibernating stockと鉄鋼材回収性
- まとめ

Industrial Ecology(産業エコロジー)



体外から取り入れた物質を用いて
必要な物質やエネルギーを生成する代謝により
活動を営んでいる。



環境から取り入れた物質を用いて
必要な物質やエネルギーを生成することで
活動を営んでいる。

- 物質やエネルギーを媒体とした相互作用を
産業の代謝(industrial metabolism)としてと
らえた研究

産業の代謝(物質循環)の“見える化”

マテリアルフロー
分析(MFA)
ライフサイクル
アセスメント(LCA)

問診票
資源消費
エネルギー消費

物質ストック

廃棄物
CO2排出

診断

処方箋・治療方針
政策・規制
技術開発



問診票
食事

体重
排泄

レントゲン検査
血液検査
心電図
胃カメラ



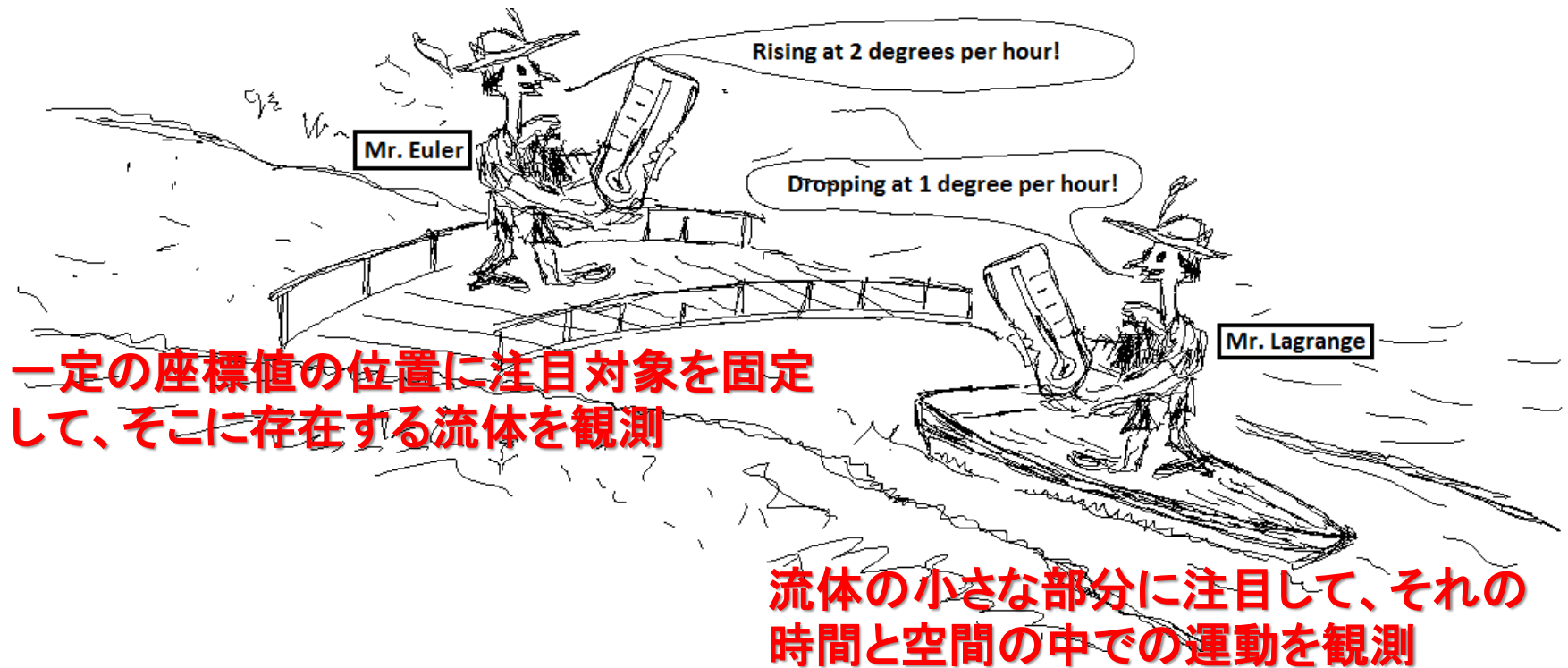
診断

処方箋・治療方針
生活指導
お薬



- ・ 自覚症状のない病理部分の早期発見や、予防が重要である。

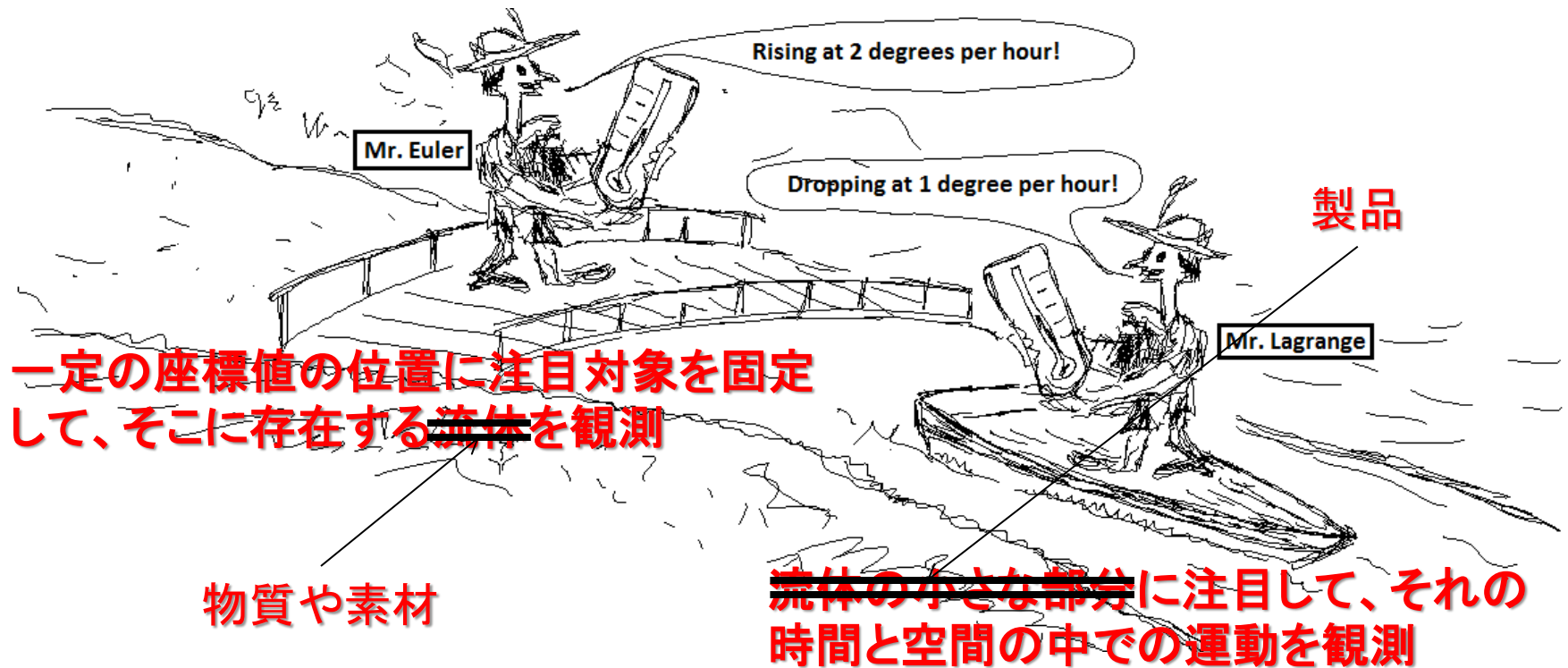
LCA (life cycle assessment) と MFA (material flow analysis)



ラグランジュ型とオイラー型は、流体を観測する異なる方法である

Lu Zhongwu: "Two Approaches of Substance Flow Analysis -An Inspiration from Fluid Mechanics" Engng Sci 2008, issue1, 2-8.

LCA と MFA



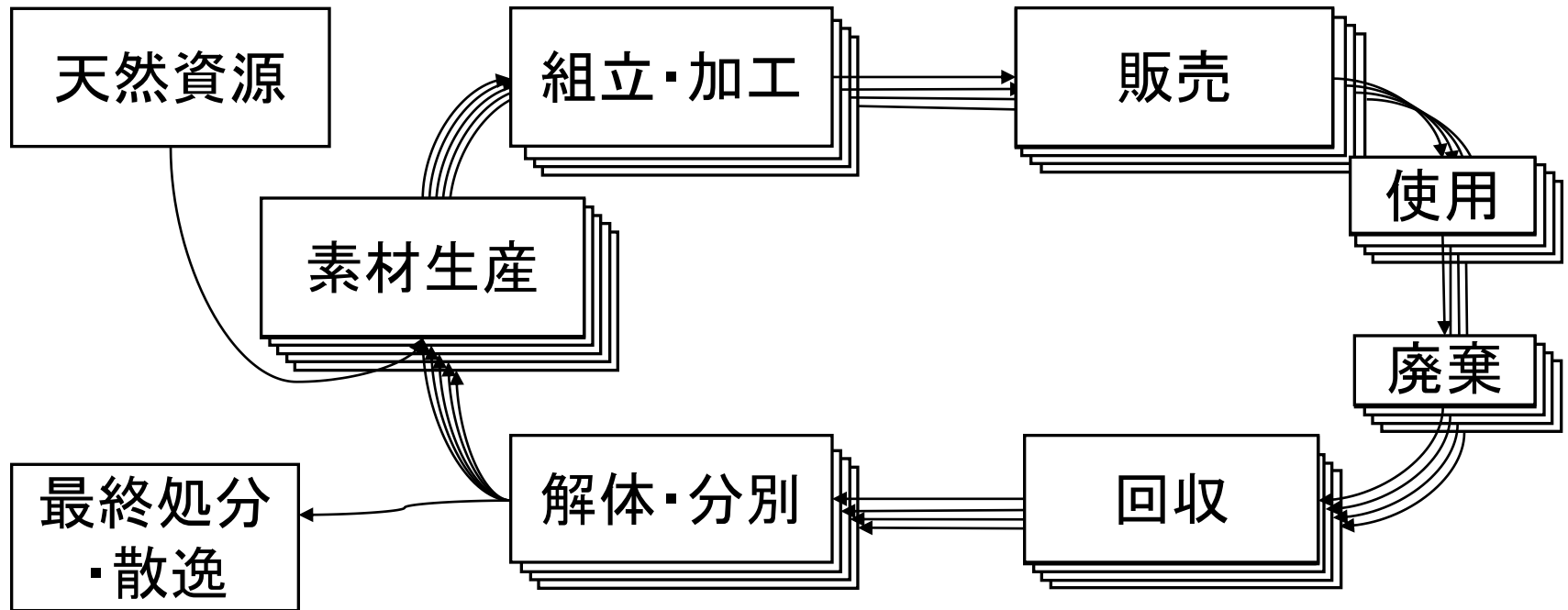
ラグランジュ型とオイラー型は、流体を観測する異なる方法である

Lu Zhongwu: "Two Approaches of Substance Flow Analysis -An Inspiration from Fluid Mechanics" Engng Sci 2008, issue1, 2-8.

講演内容

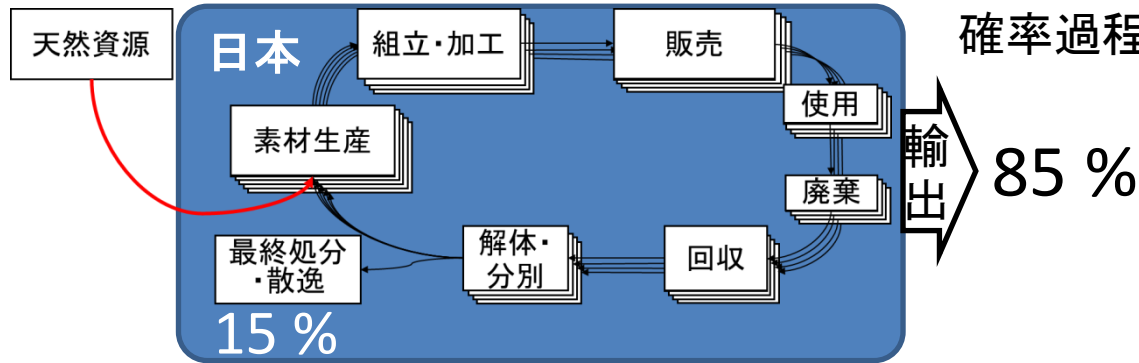
- 産業エコロジーという学術分野
- **リサイクル(物質循環)の促進**
- リサイクルと同等に重要な資源対策
- 物質ストックとは
- 使用済み回収率(EoL-RR)
- 鉄鋼材のリサイクル性を評価する手法
- Hibernating stockと鉄鋼材回収性
- まとめ

製品ライフサイクルと素材

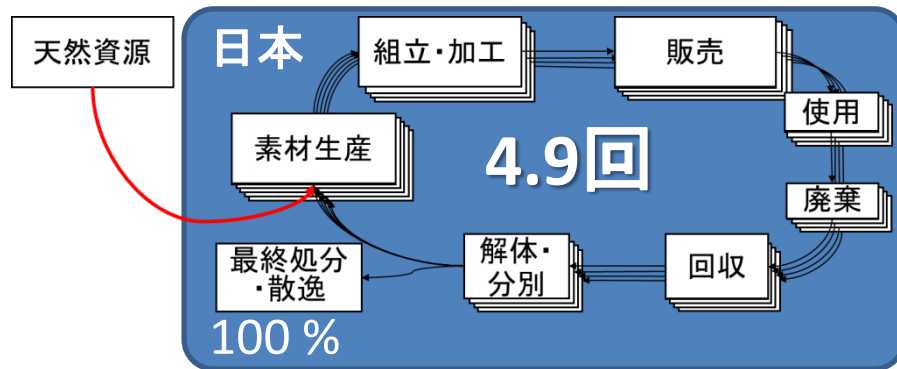


何サイクル循環している？

日本で還元された鉄の運命



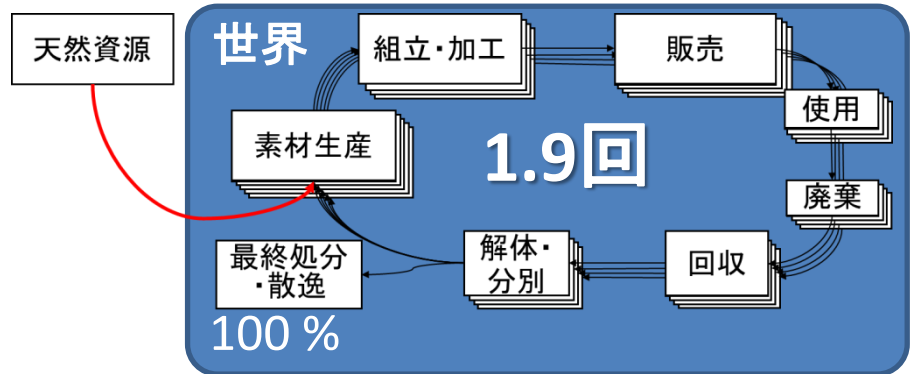
日本で還元された鉄の運命



日本

2005年の鉄鋼材フローを基に
確率過程論を用いて推計

還元された銅の運命



2000年の銅の物質フローを基に
確率過程論を用いて推計

何のために物質循環を促進？

- 天然資源消費量の削減
 - 製造原料(入口側)において、天然資源含有率が少なければよい
- 廃棄物発生量の削減
 - 廃棄時(出口側)において、最終処分される割合が低い方がよい

ちなみに、循環型社会促進(日本)、Circular Economy(欧州)、循環型経済(中国)

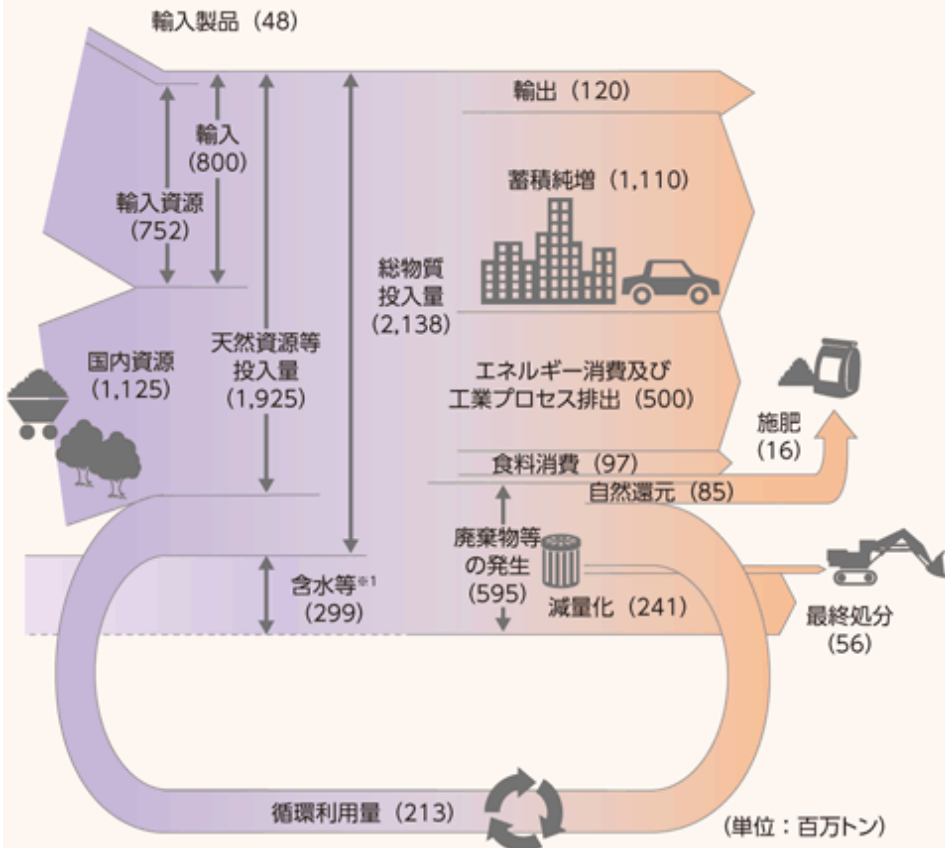
講演内容

- 産業エコロジーという学術分野
- リサイクル(物質循環)の促進
- **リサイクルと同等に重要な資源対策**
- 物質ストックとは
- 使用済み回収率(EoL-RR)
- 鉄鋼材のリサイクル性を評価する手法
- Hibernating stockと鉄鋼材回収性
- まとめ

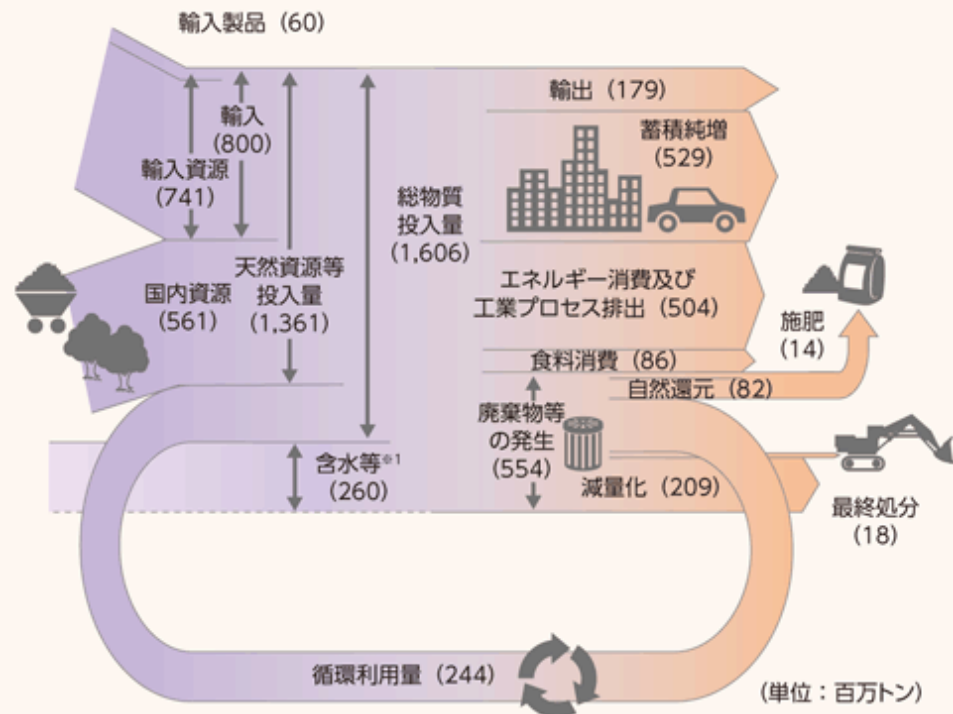
天然資源消費の削減と
廃棄物発生抑制
に向けた取組みとして
「資源循環の促進」の他に
どのような取組みが考えられるか？

日本における物質フロー

平成 12 年度(参考)



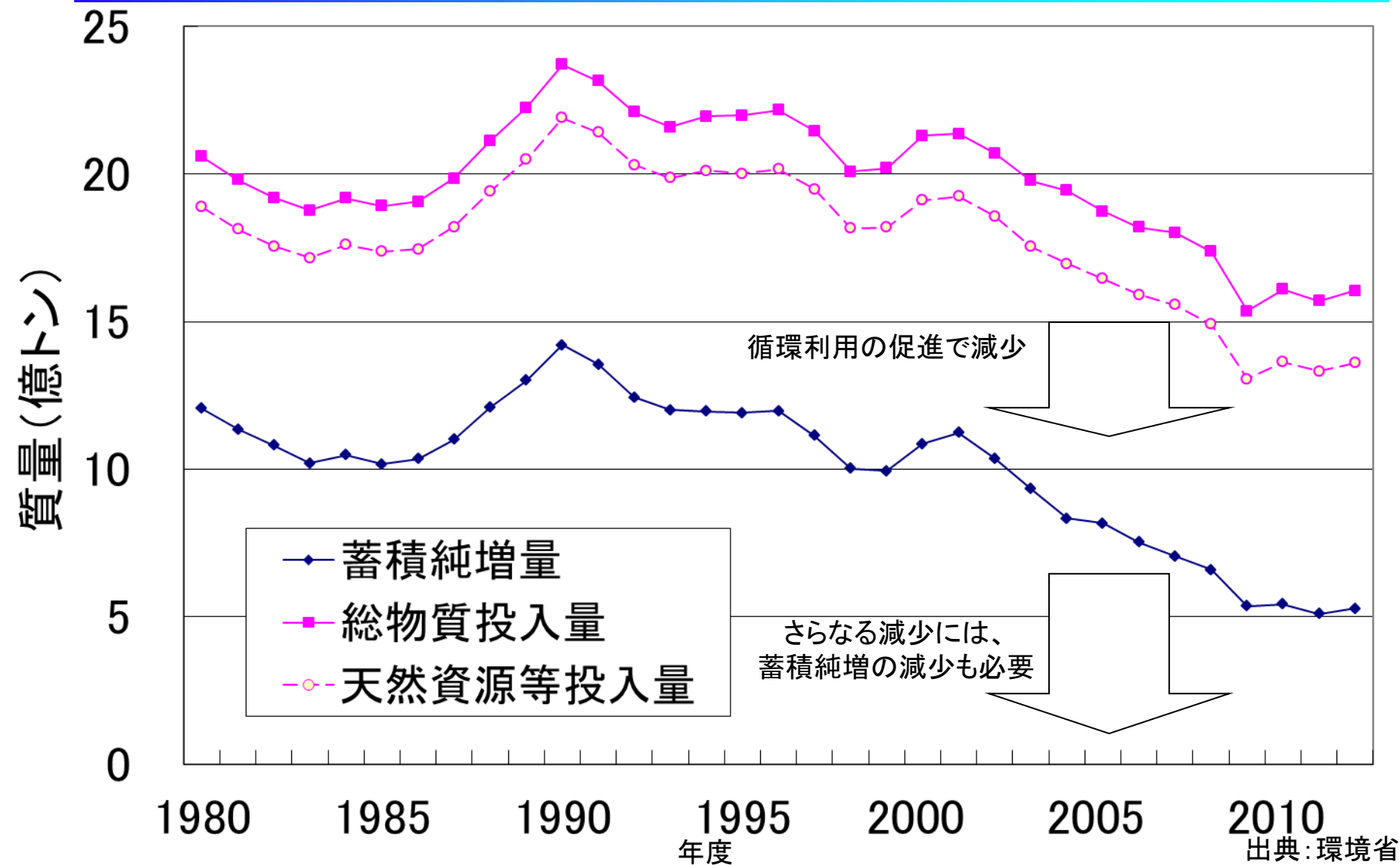
平成 24 年度



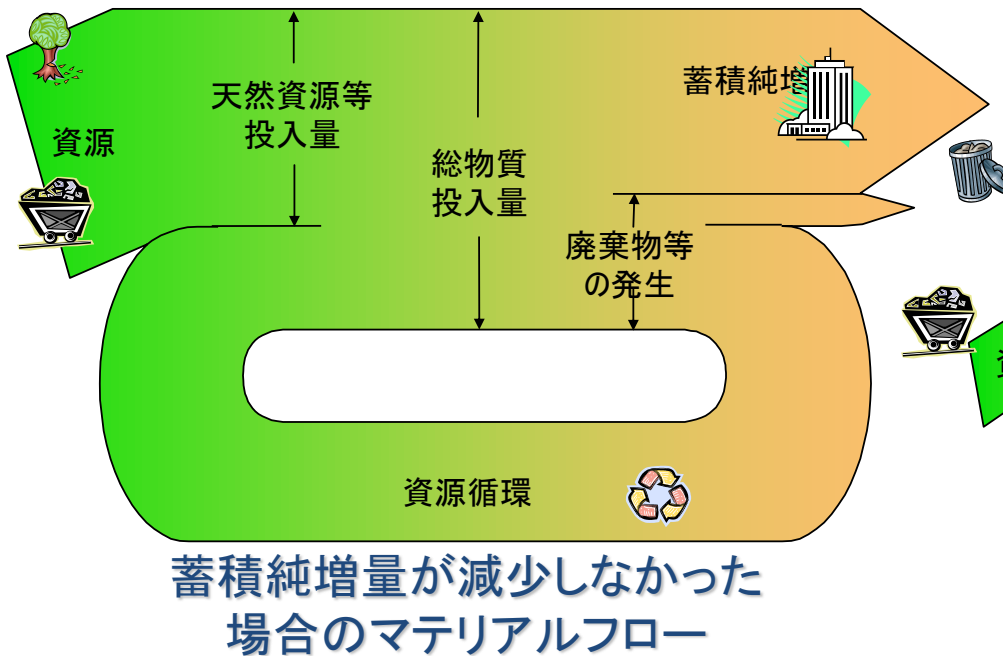
※ 1: 含水等: 廃棄物等の含水等 (汚泥、家畜ふん尿、し尿、廃酸、廃アルカリ) 及び経済活動に伴う土砂等の随伴投入 (鉱業、建設業、上水道業の汚泥及び鉱業の鉱さい)。
資料: 環境省

出典: 平成27年版 環境白書

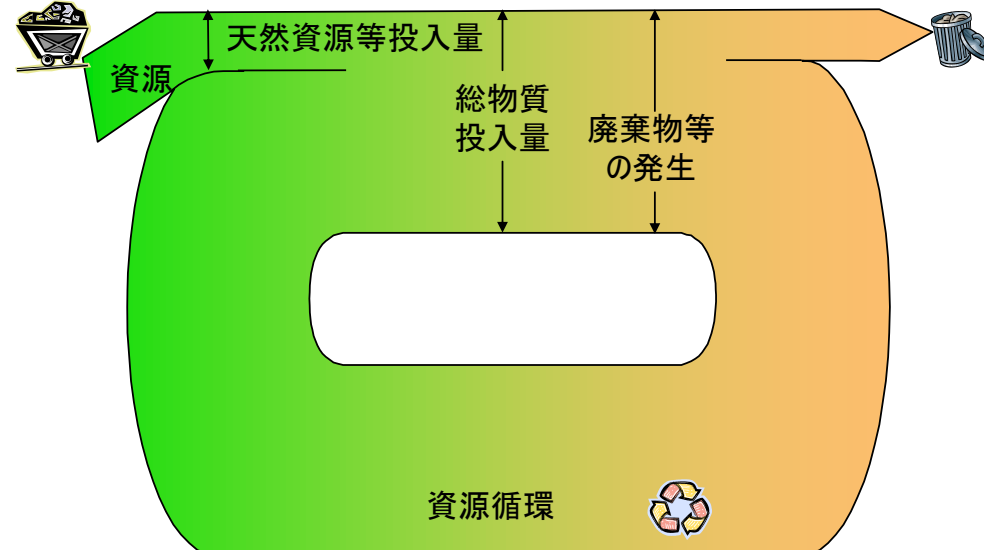
蓄積純増量(日本)



天然資源投入量の削減のために



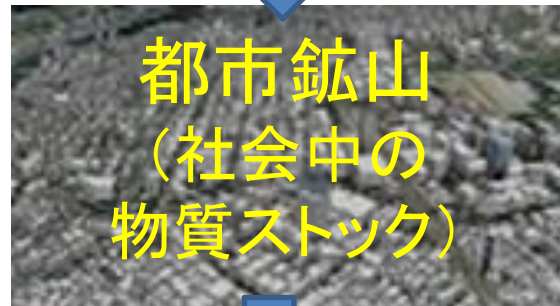
蓄積された結果、
都市鉱山となる



都市鉱山は 大きい方がよい？小さい方がよい？



累積採掘量

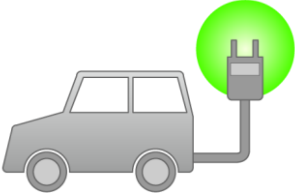


大きい方がよい

リサイクル
ポテンシャル

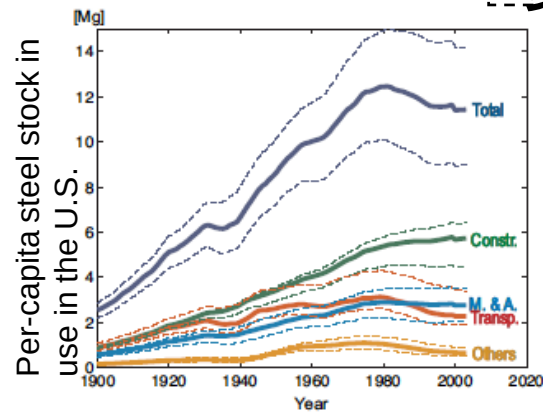
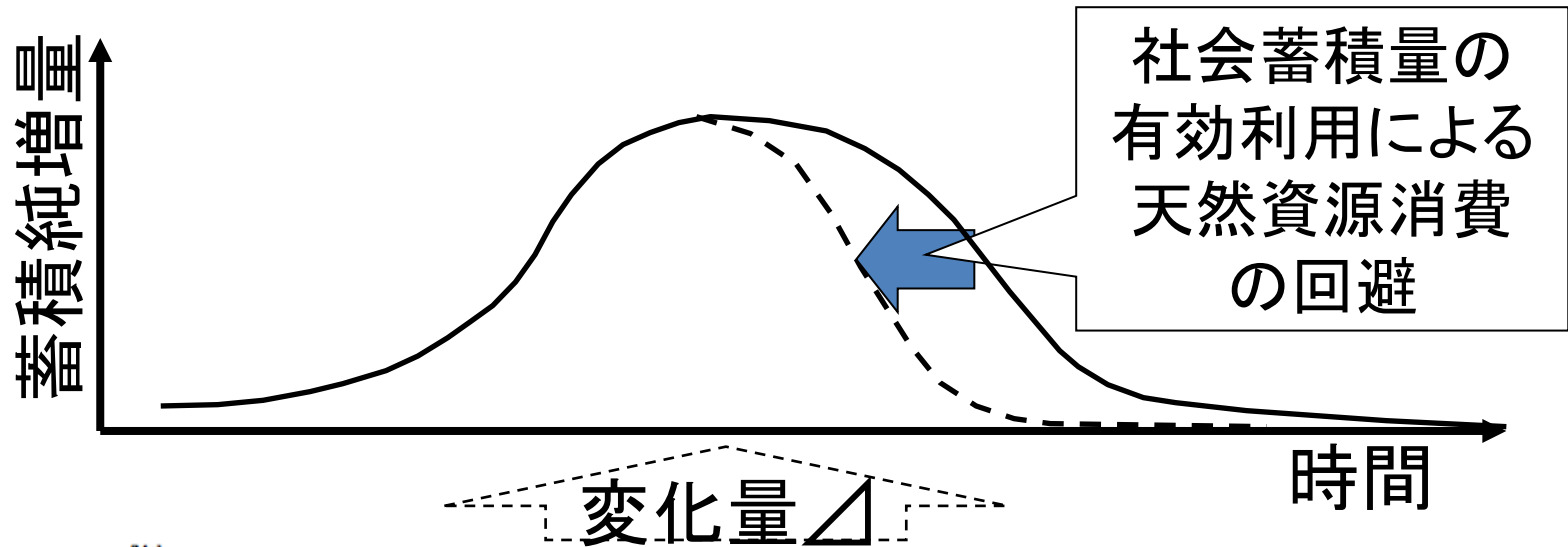


資源の使用原単位を小さくする

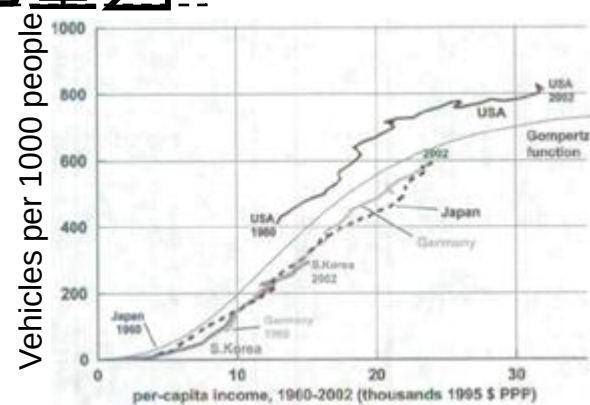
		90億人が 使った場合	Reserve base
2.5 インチ 液晶 	1.24 g-In/mobile phone 歩留り → 81 g-In/phone (歩留り100% → 1.1 x 10 ⁴ t-In)	7.3 x 10 ⁵ t-In >	1.6 x 10 ⁴ t-In
	70 g-Dy/EV	63 x 10 ⁴ t-Dy >	5 - 20 x 10 ³ t-Dy
	12 ton-steel/cap	1.1 x 10 ¹¹ t-Fe <	1.6 x 10 ¹¹ t-Fe

社会中の物質ストック(都市鉱山)の効率化
資源効率の向上

将来まで考慮した資源の必要量

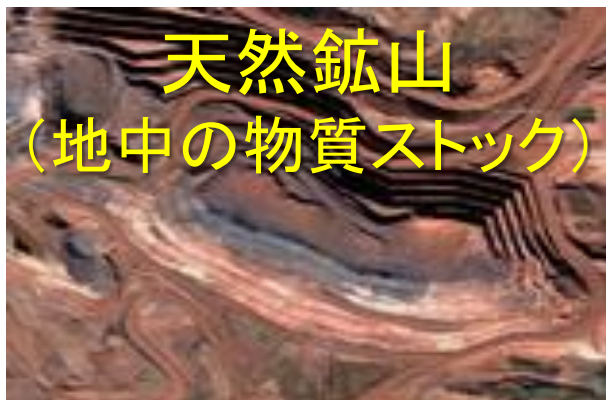


Mueller et al. (2006)



J. Dargey et al. (2007)

都市鉱山は人の手で造られる



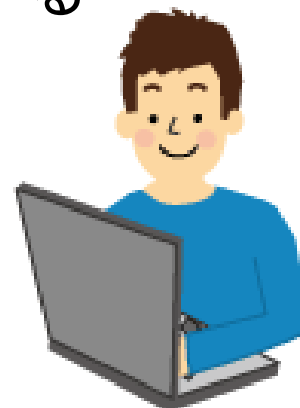
天然鉱山
(地中の物質ストック)



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



都市鉱山
(社会中の物質ストック)



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

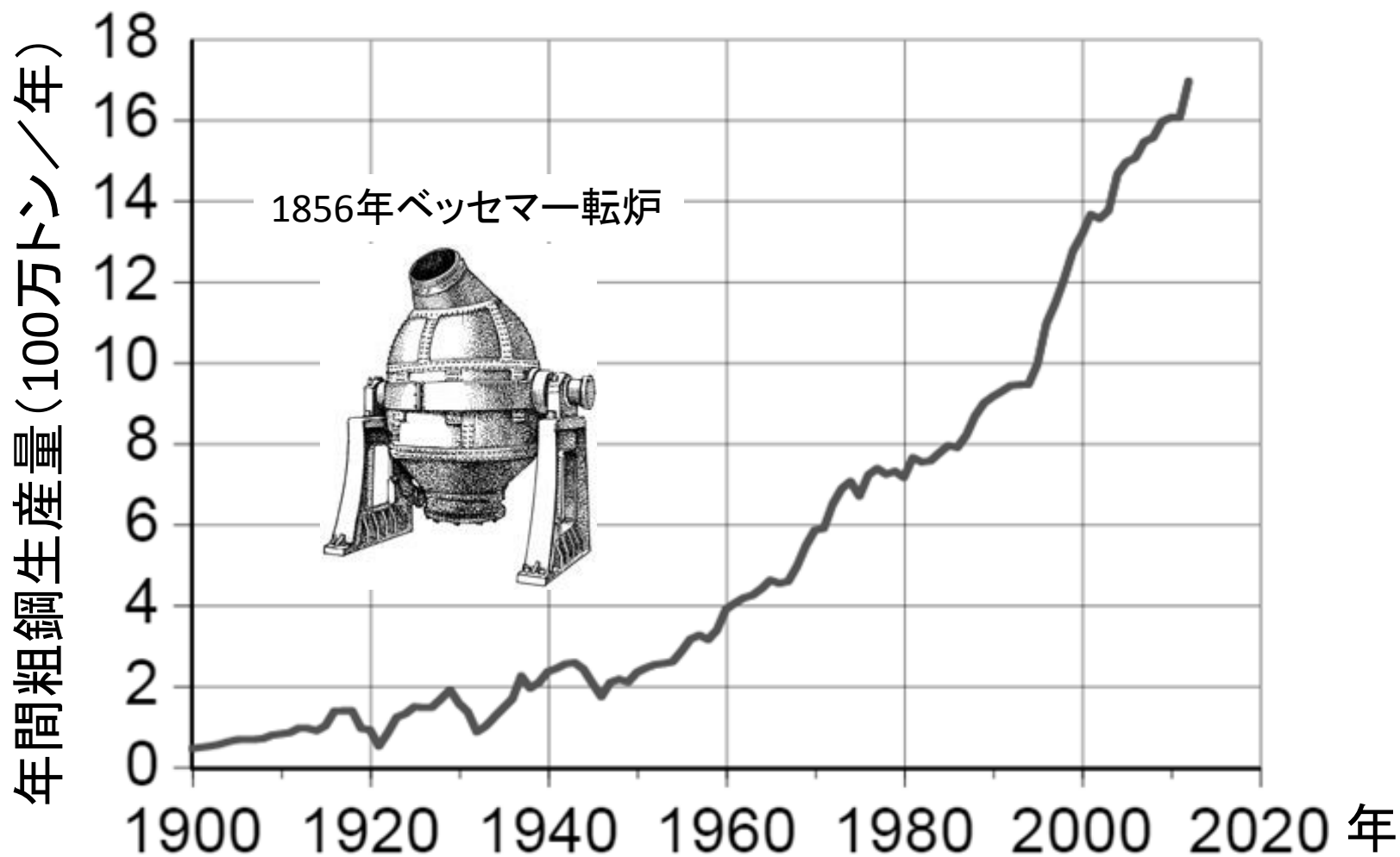
今のままで消費した多くの物質は
リサイクル困難な低品位な都市鉱山

- 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
 - 易解体設計、材料技術（合金種の低減・材料識別技術・リサイクルプロセス）など

講演内容

- 産業エコロジーという学術分野
- リサイクル(物質循環)の促進
- リサイクルと同等に重要な資源対策
- **物質ストックとは**
- 使用済み回収率(EoL-RR)
- 鉄鋼材のリサイクル性を評価する手法
- Hibernating stockと鉄鋼材回収性
- まとめ

粗鋼生産量の推移



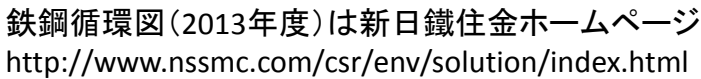
<http://historum.com/ancient-history/41856-ancient-industry-21.html>

鉄鋼材のストック



鉄鋼材のストック

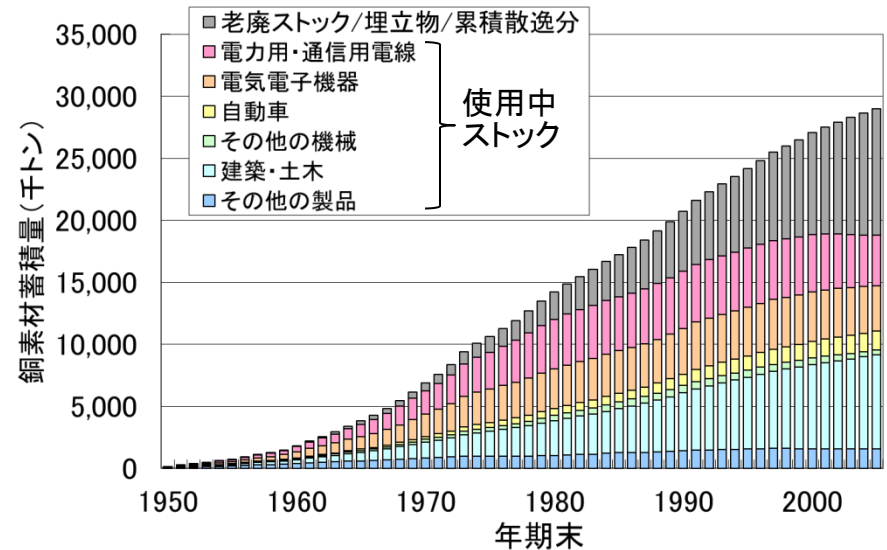
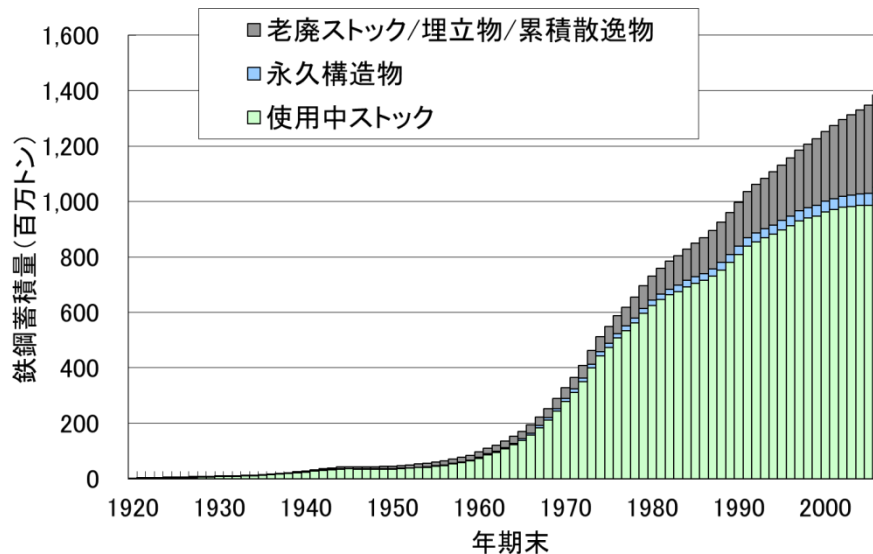




都市鉱山とin-use stock(在役蓄積)

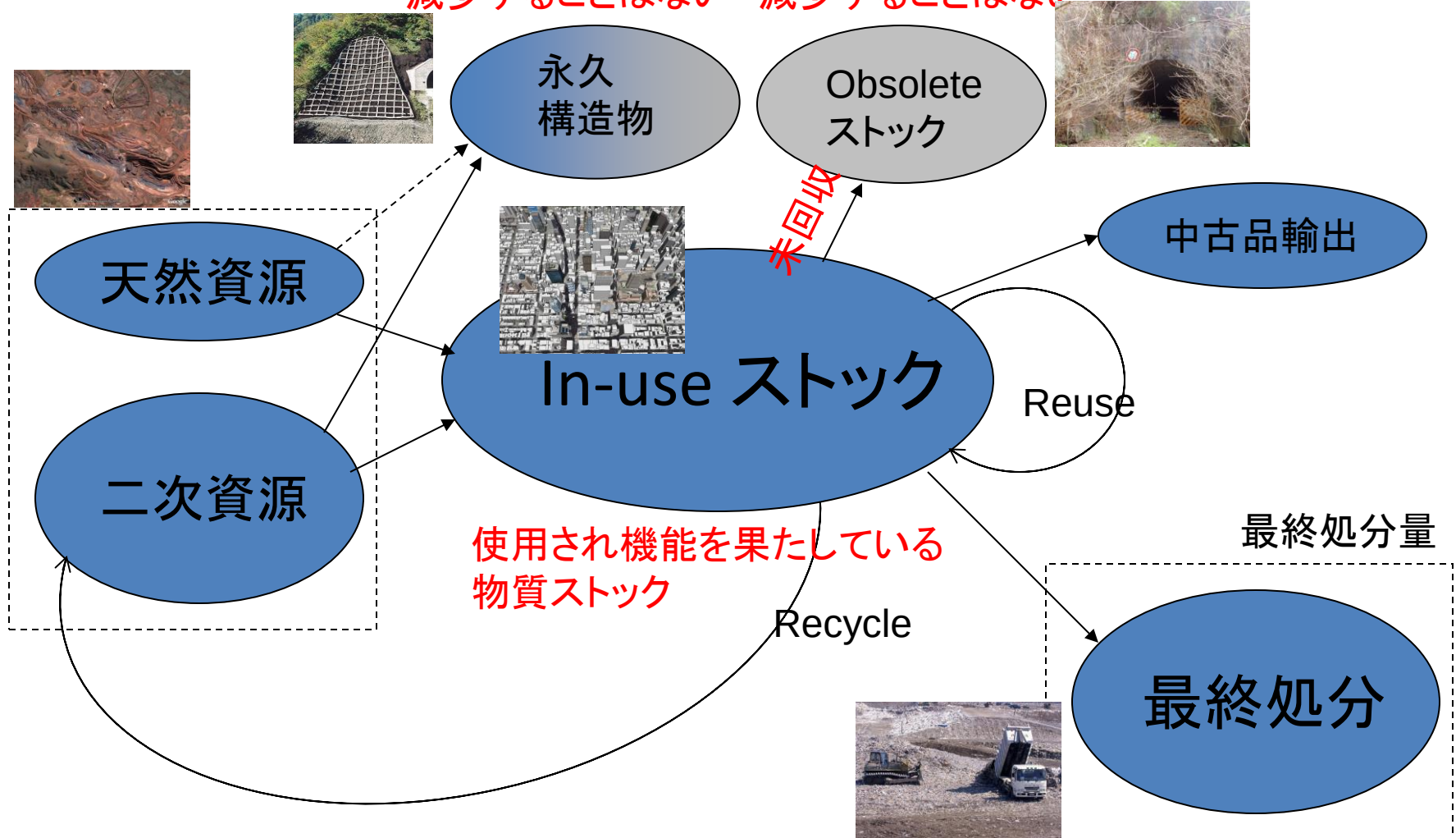


物質ストックとして計上されるが、機能を発現せず、既に使用済みとなっている物質ストックがある



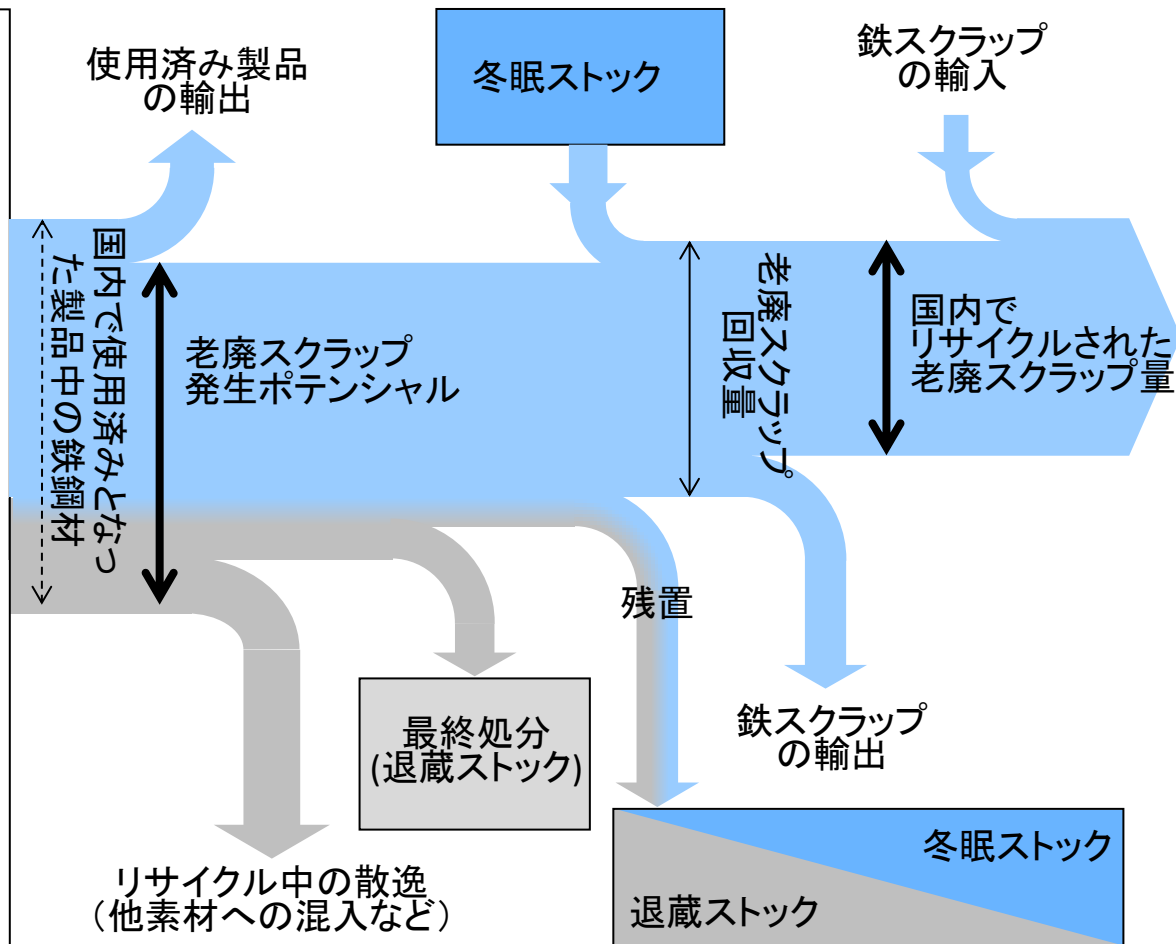
物質ストックのReduceのためには？

減少することはない 減少することはない





In-use stocks



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

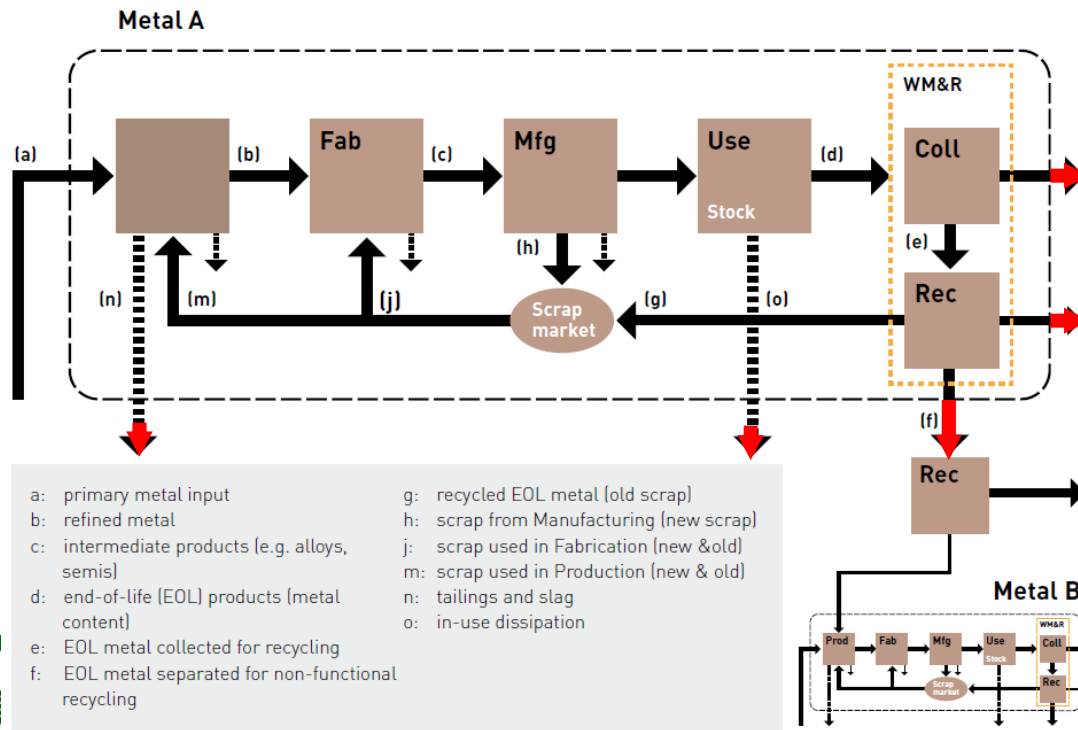
講演内容

- 産業エコロジーという学術分野
- リサイクル(物質循環)の促進
- リサイクルと同等に重要な資源対策
- 物質ストックとは
- **使用済み回収率(EoL-RR)**
- 鉄鋼材のリサイクル性を評価する手法
- Hibernating stockと鉄鋼材回収性
- まとめ

国際資源パネル (International resource panel)

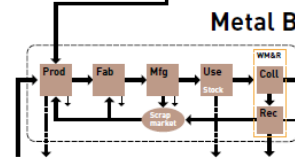
金属のリサイクル率(状況報告), 2011.

1. Old scrap collection rate: $CR = e / d$
2. Recycling process efficiency rate = g / e
3. End-of-life recycling rate: $EoL-RR = g / d$
(non-functional EoL-RR = f / d)
4. Recycled content: $RC = (j + m) / (a + j + m)$
5. Old scrap ratio: $OSR = g / (g + h)$



利用システムからの散逸量を減少させる方が良い

1 - 散逸率 = EoL-RR



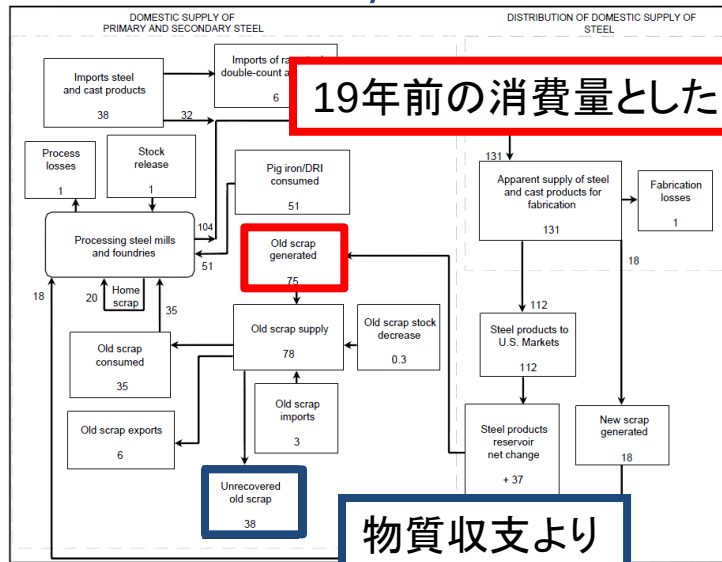
報告されているEoL-RRs

	EoL-RR [%]	OSR [%]	RC [%]
Fe	52, 67, 78, 90	54, 52, 66, 65	28, 41, 52

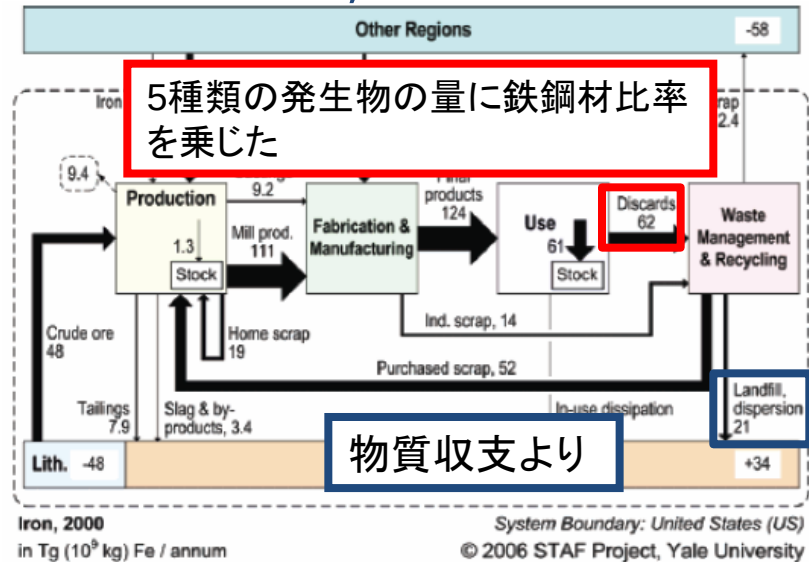
使用済み製品中の鉄鋼

システムからの散逸分

52% 米国, 1998



69% 米国, 2000



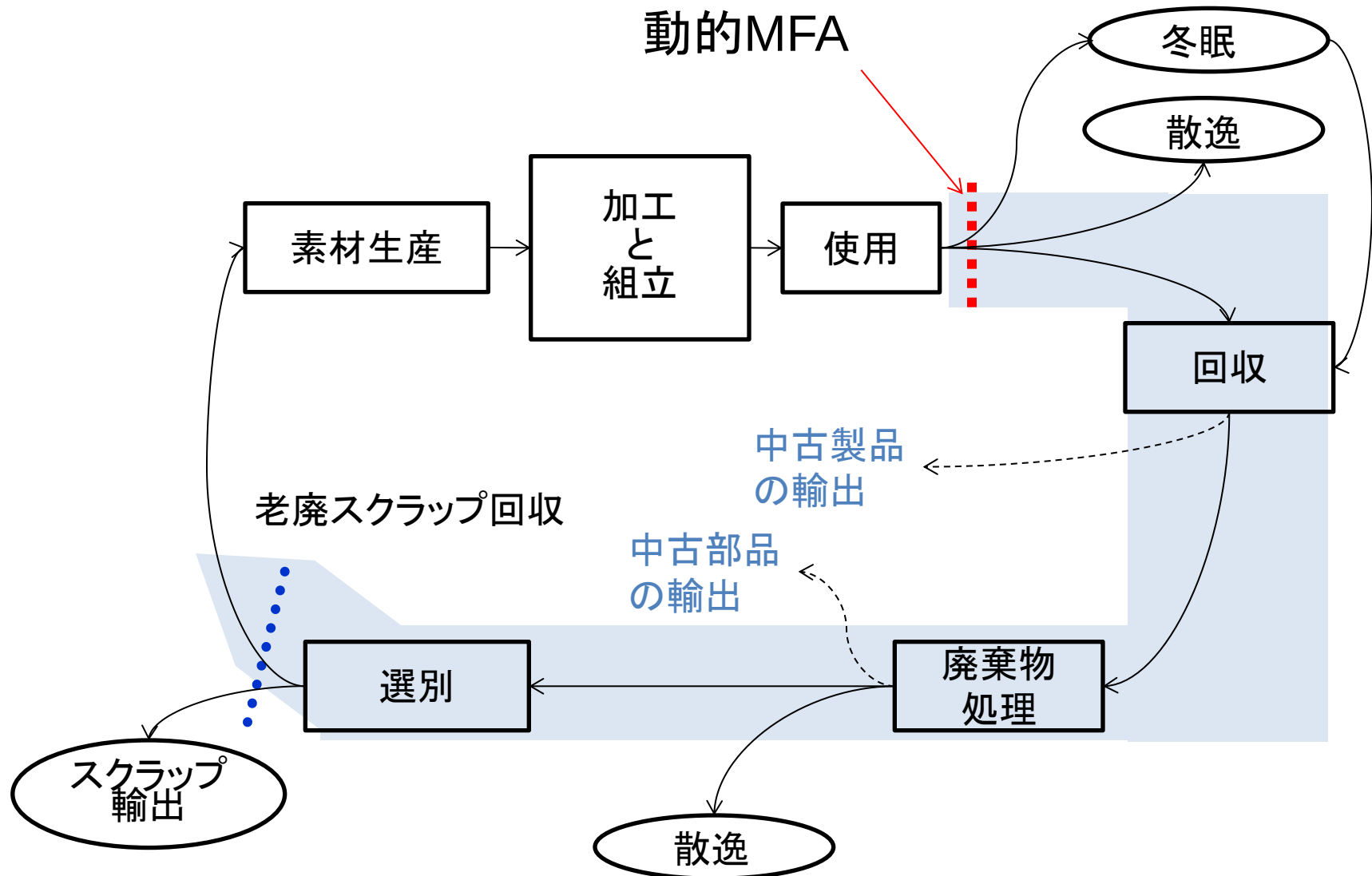
[Left] IRON AND STEEL RECYCLING IN THE UNITED STATES IN 1998 (Open File Report 01-224). USGS

[Right] Wang T. et al.: Env. Sci. Tech. 41, (2007): 5120-5129

多くの金属素材にとって、欠落データを探し、より確度の高いリサイクルに関わる統計を得るためには、大規模な研究とデータ収集のための労力が必要である。

[Graedel et al. 2011, JIE 15(3), 355-366]

EoL-RRの推計手法

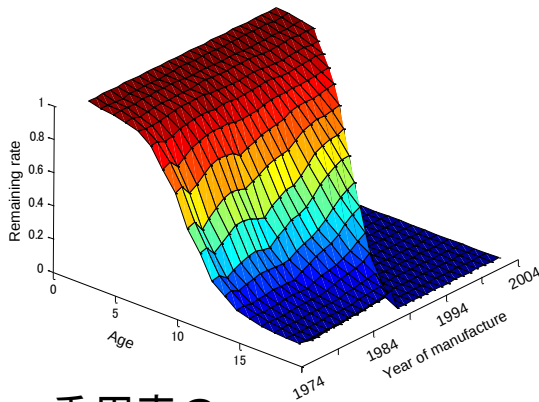
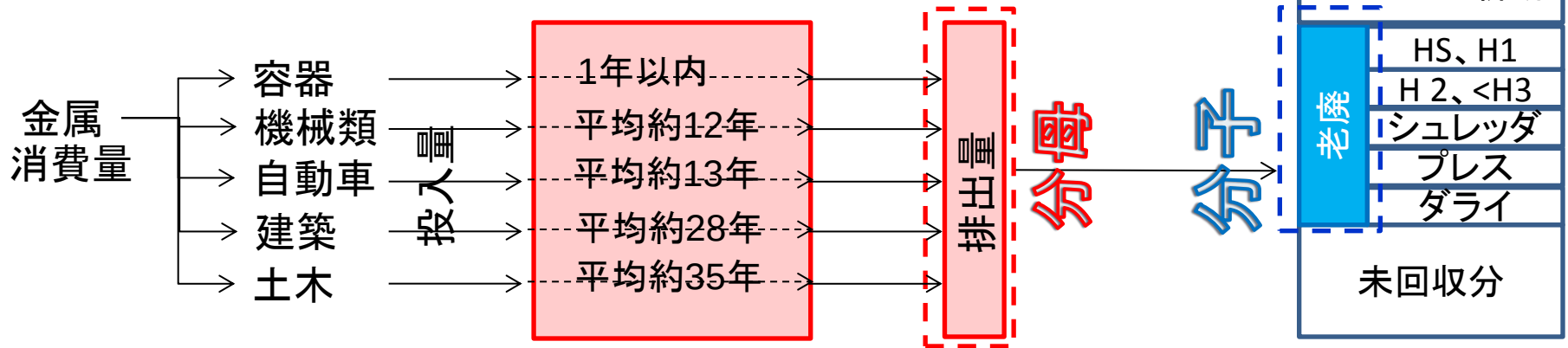


講演内容

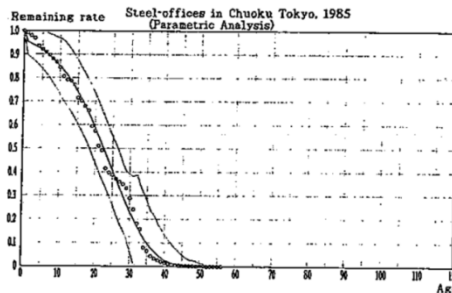
- 産業エコロジーという学術分野
- リサイクル(物質循環)の促進
- リサイクルと同等に重要な資源対策
- 物質ストックとは
- 使用済み回収率(EoL-RR)
- 鉄鋼材のリサイクル性を評価する手法
- Hibernating stockと鉄鋼材回収性
- まとめ

手法とデータ入手可能性

➤ 動的MFA(material flow analysis)



乗用車の
残存率



S造事務所の残存率

用途別

形状別

用途別のEoL-RRは
導出できない

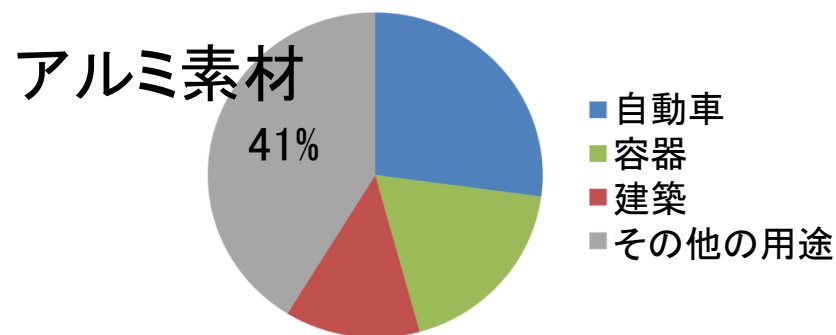
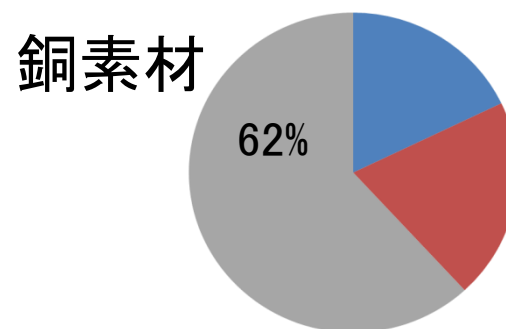
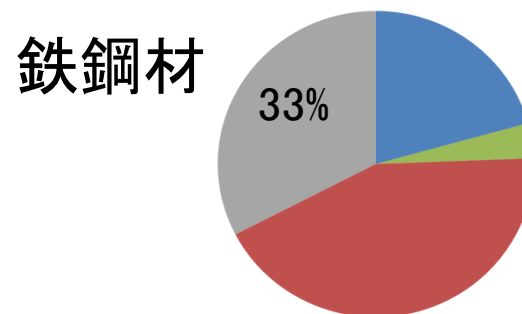
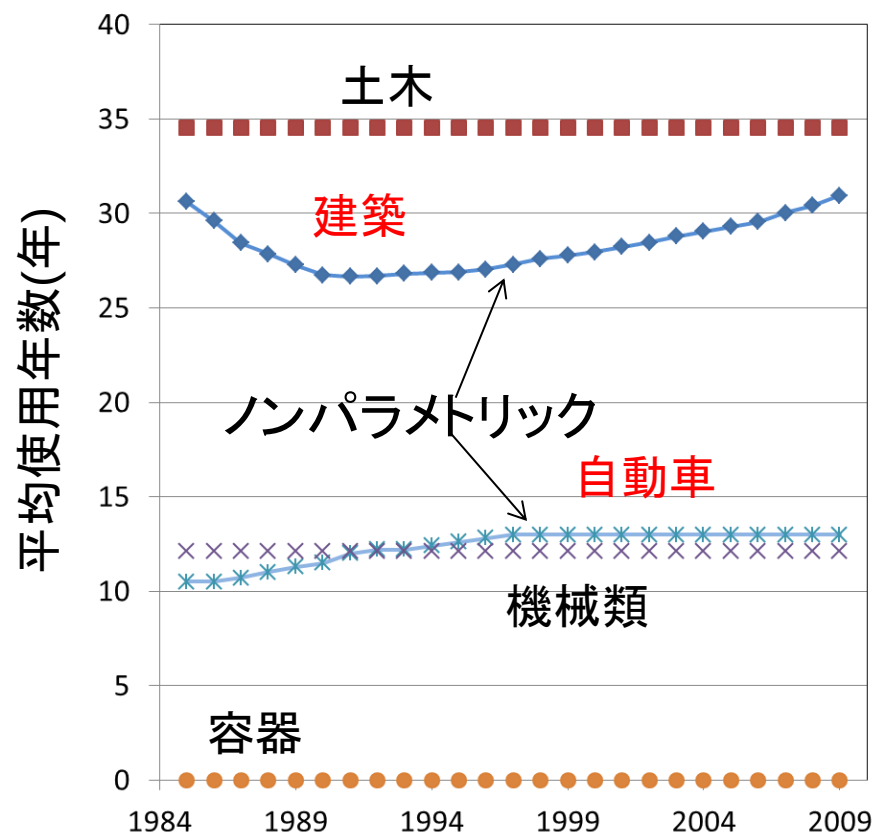
鉄鋼材

銅素材

アルミ素材

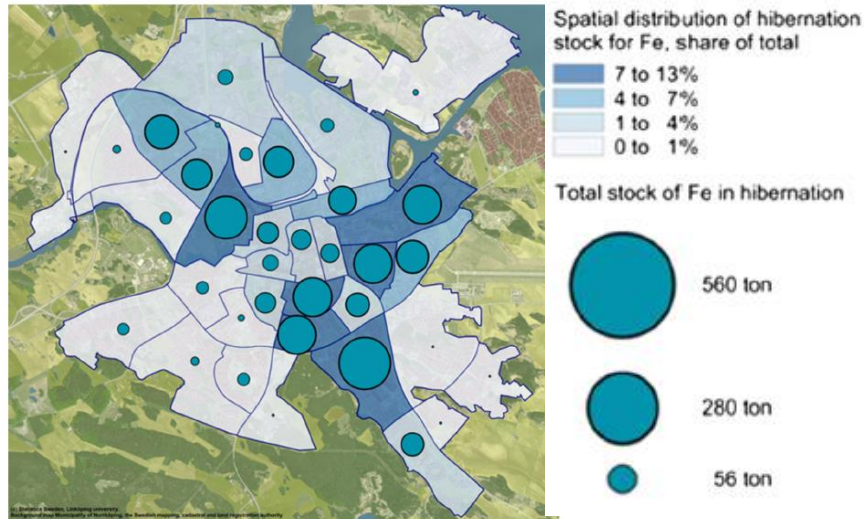
日本

製品使用年数分布の変化



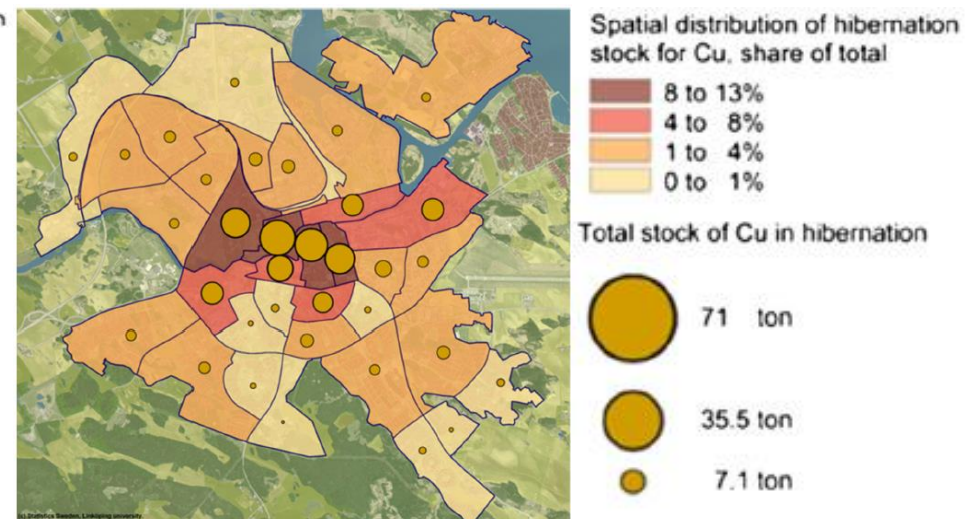
冬眠ストックの事例 ノーショーピング市, スウェーデン

鉄



使われていない
都市ガスと地域熱供給
のためのインフラ

銅



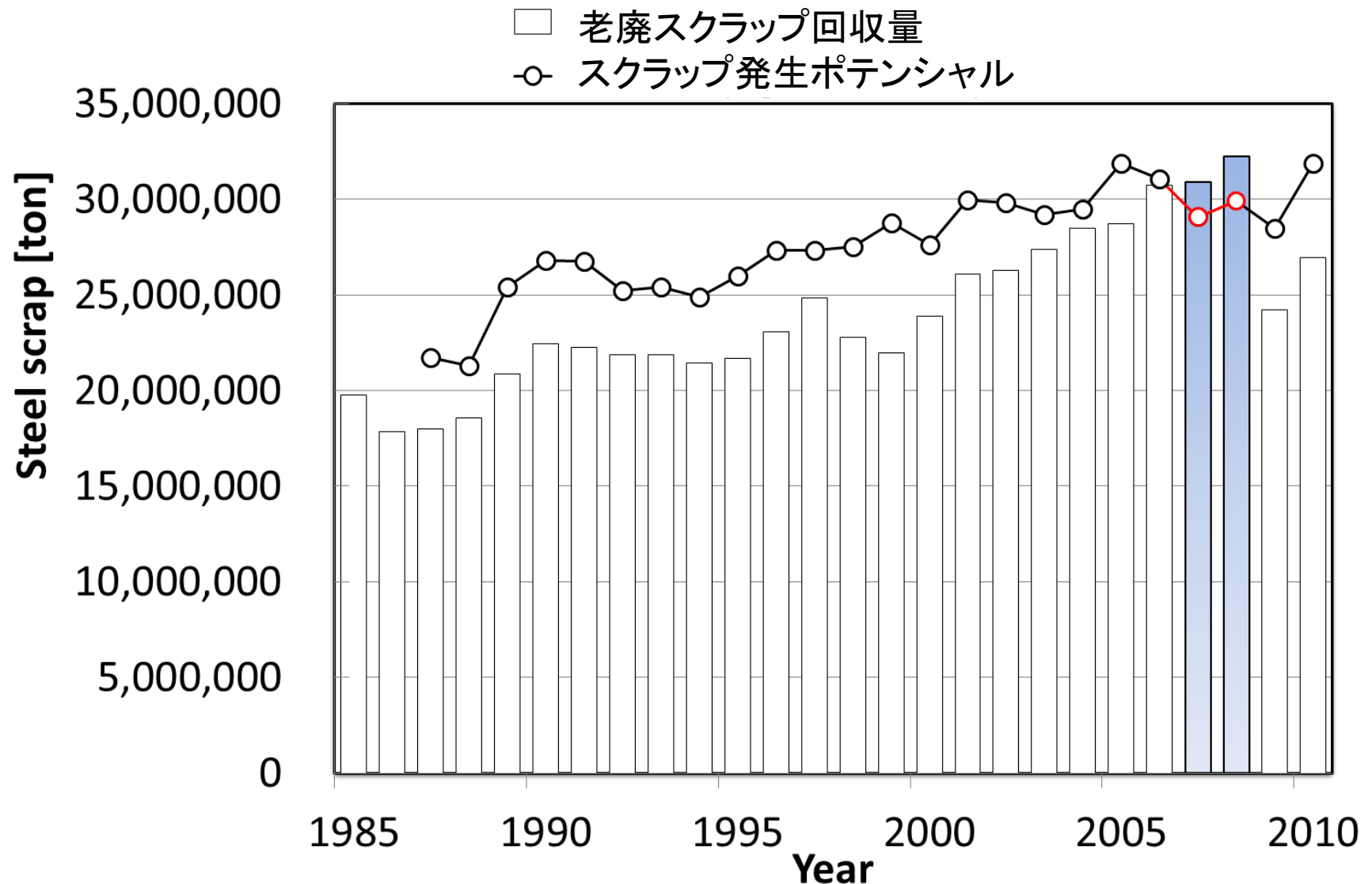
使われていない
直流と交流電力のための
インフラシステム

B. Wallsten et al. / Journal of Cleaner Production 55 (2013) 103-111

講演内容

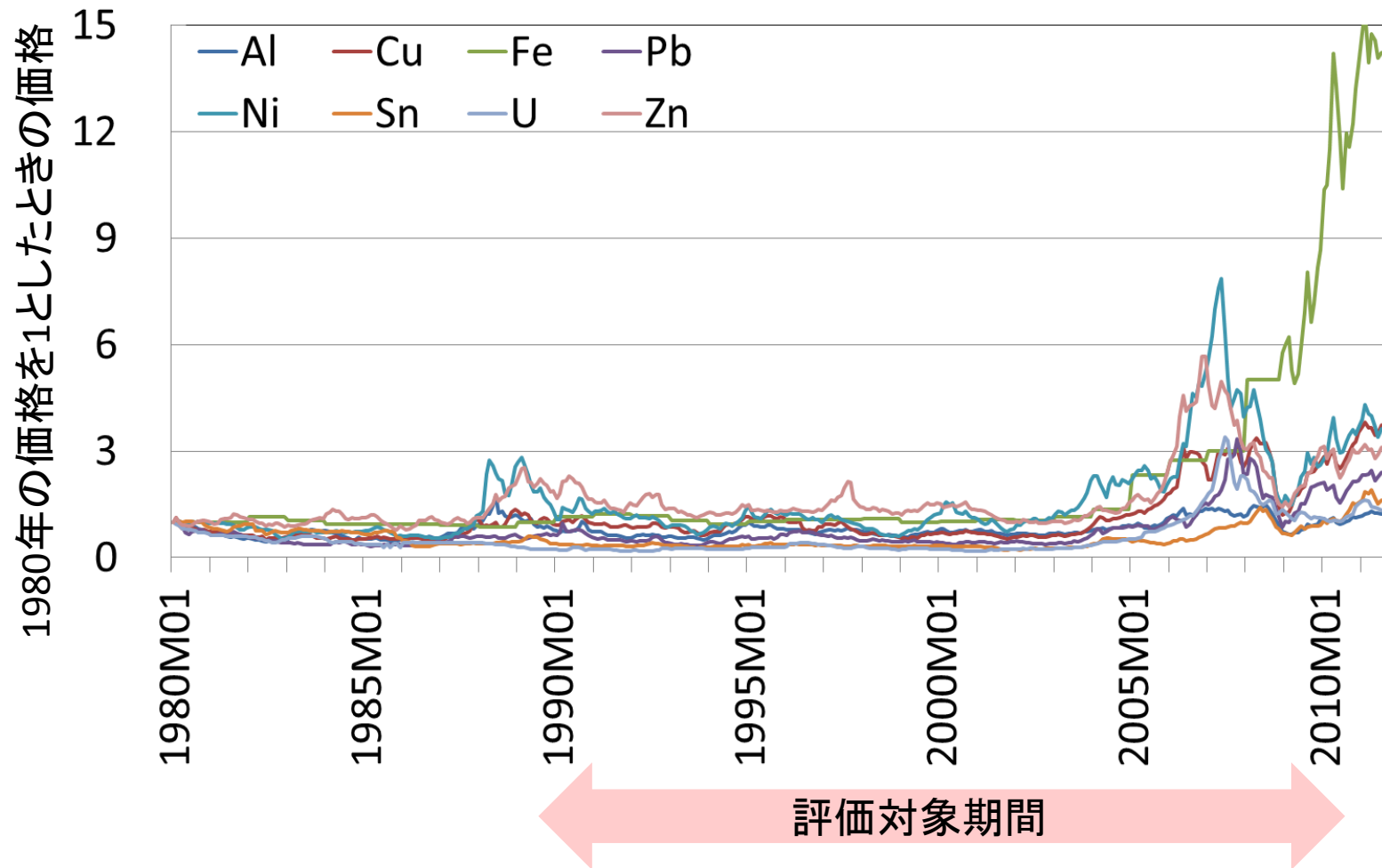
- 産業エコロジーという学術分野
- リサイクル(物質循環)の促進
- リサイクルと同等に重要な資源対策
- 物質ストックとは
- 使用済み回収率(EoL-RR)
- 鉄鋼材のリサイクル性を評価する手法
- Hibernating stockと鉄鋼材回収性
- まとめ

発生ポテンシャルと回収量

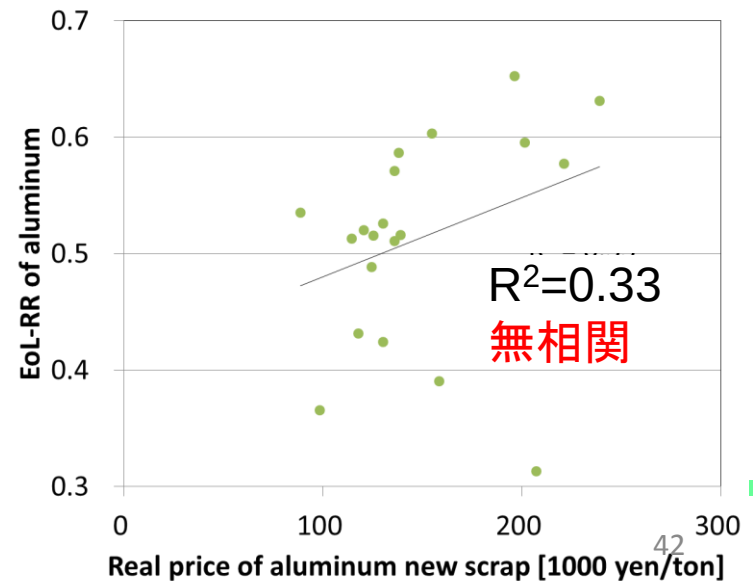
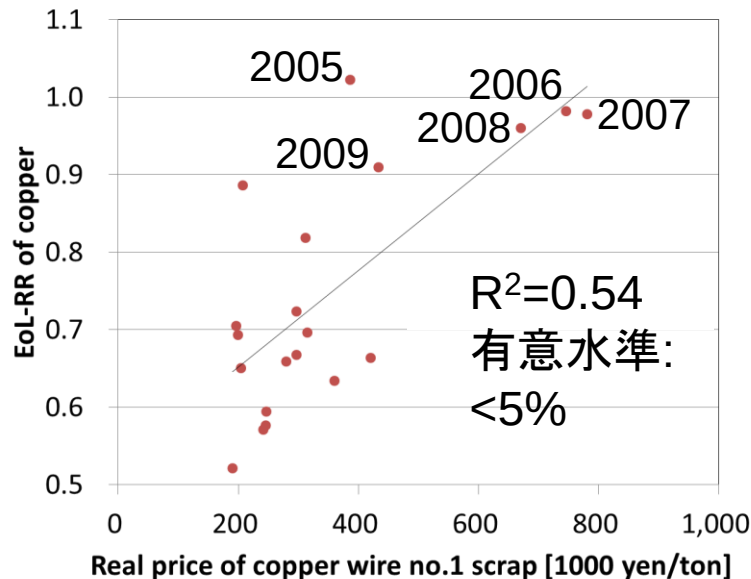
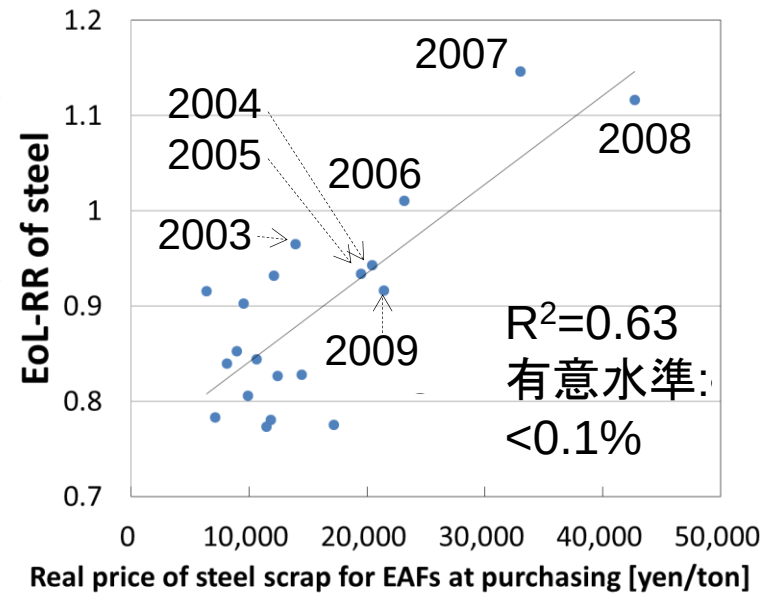
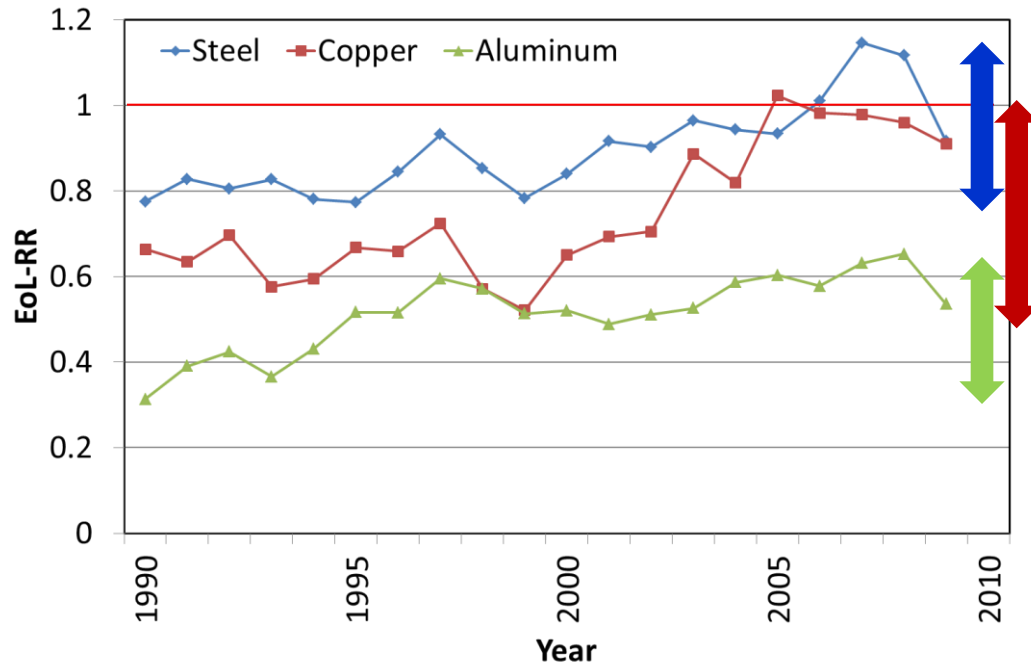


EoL-RRの評価期間

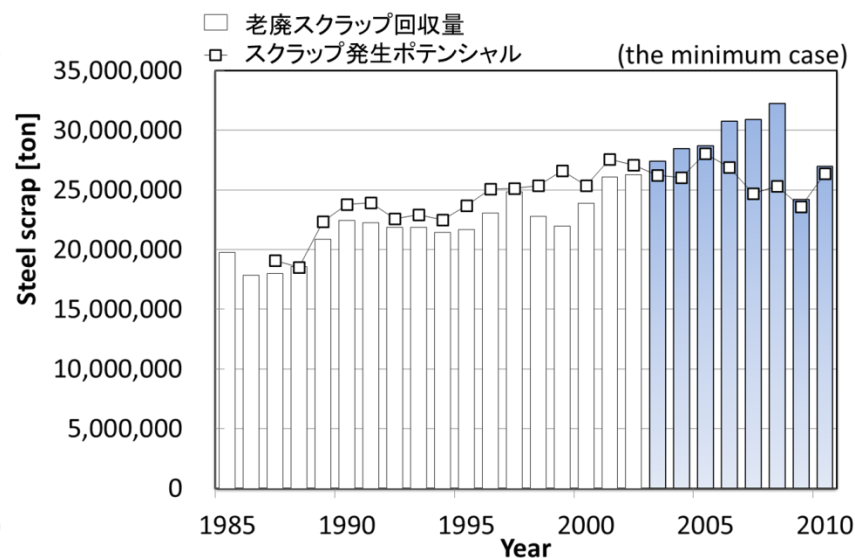
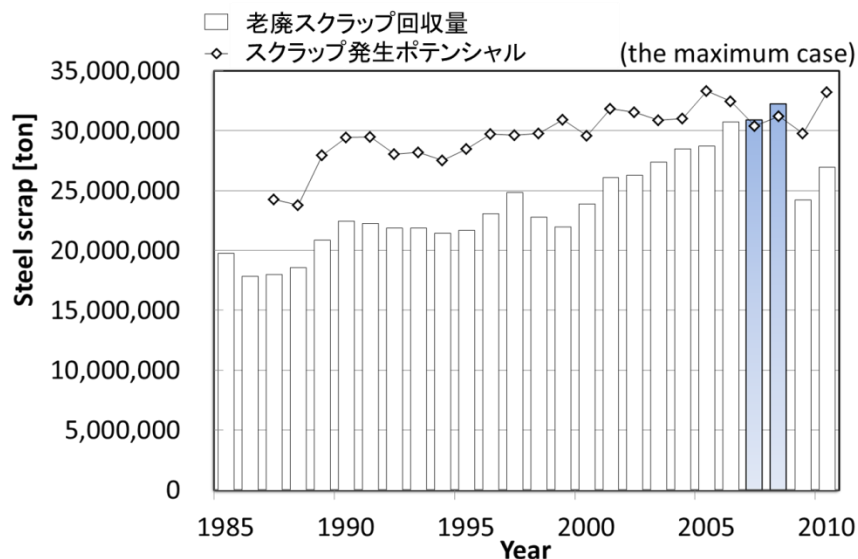
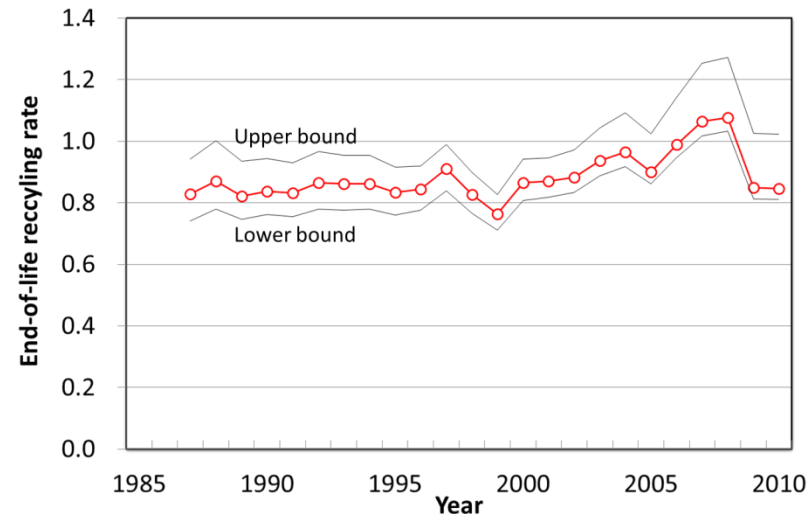
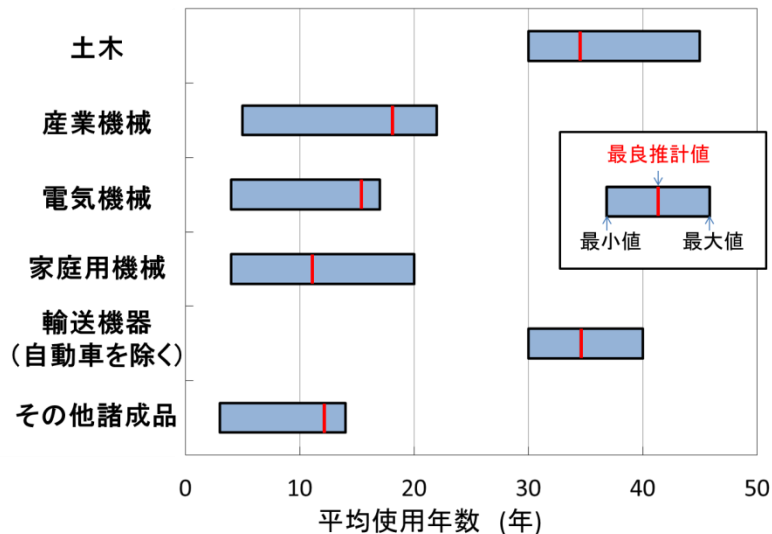
➤ 各種資源価格の推移



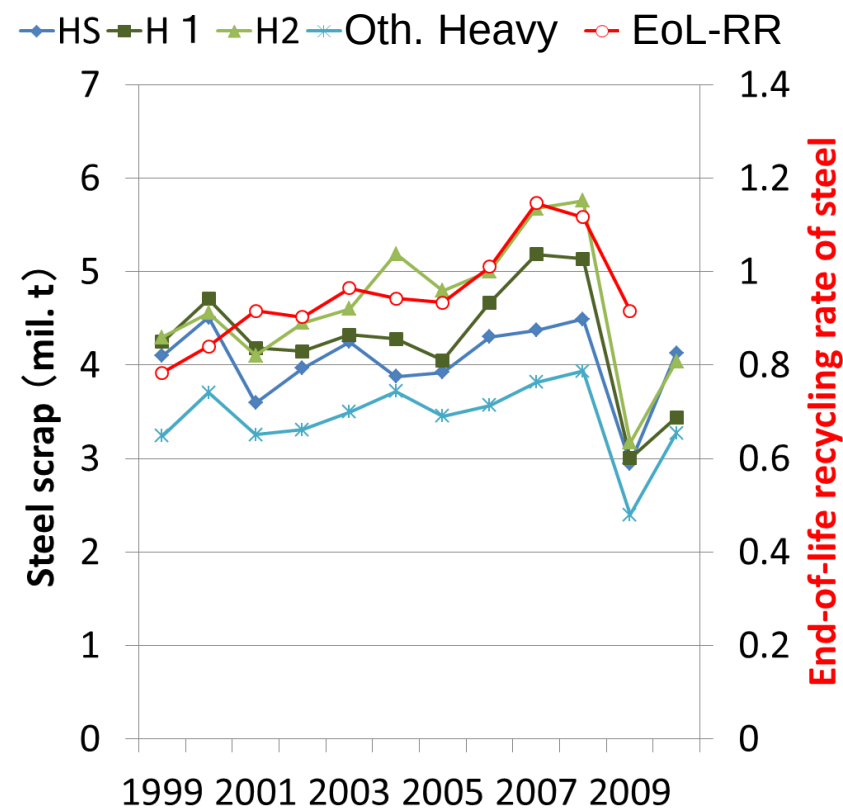
日本におけるEoL-RRの推移



使用年数における不確実性



どのようなスクラップが回収されたり、されなかったり



	Coefficient of correlation
H2	0.70
ドライ	0.69
その他	0.60
H1	0.56
その他ヘビー	0.48
Aプレス	0.42
HS	0.32
Cシュレッダ	0.32
新断	0.19
Aシュレッダ	0.10
可鍛コロ	-0.14
故銑	-0.19
Cプレス	-0.60

- 郊外に有る農機具等
- 小ロットの雑モノ

冬眠ストック



残置されても障害物にならず、売却価格よりも回収コストの方が高い場合に生じる



使用中ストック



老廃
スクラップ

講演内容

- 産業エコロジーという学術分野
- リサイクル(物質循環)の促進
- リサイクルと同等に重要な資源対策
- 物質ストックとは
- 使用済み回収率(EoL-RR)
- 鉄鋼材のリサイクル性を評価する手法
- Hibernating stockと鉄鋼材回収性
- まとめ

持続可能な材料使用

磁性による他素材との分離の容易さ

電解を経ずに製鋼時に不純物除去が可能

不純物濃度の許容濃度の高さ

使用済み製品からの時間バッファも含めた回収率の高さ

