

元素戦略10年 —その切り開いたものと これからの資源と材料—

2017.05.31 粉体粉末冶金協会 春季大会

物質・材料研究機構 アドバイザー
原田幸明

SCIENCE HAS WON AGAINST ECONOMY

- JAPANESE GENSO SENRYAKU
(PROJECT OF STRATEGIC ADVANCED MATERIALS)
FOR RARE EARTH AND CRITICAL METALS-

Kohmei HALADA

National Institute for Materials Science

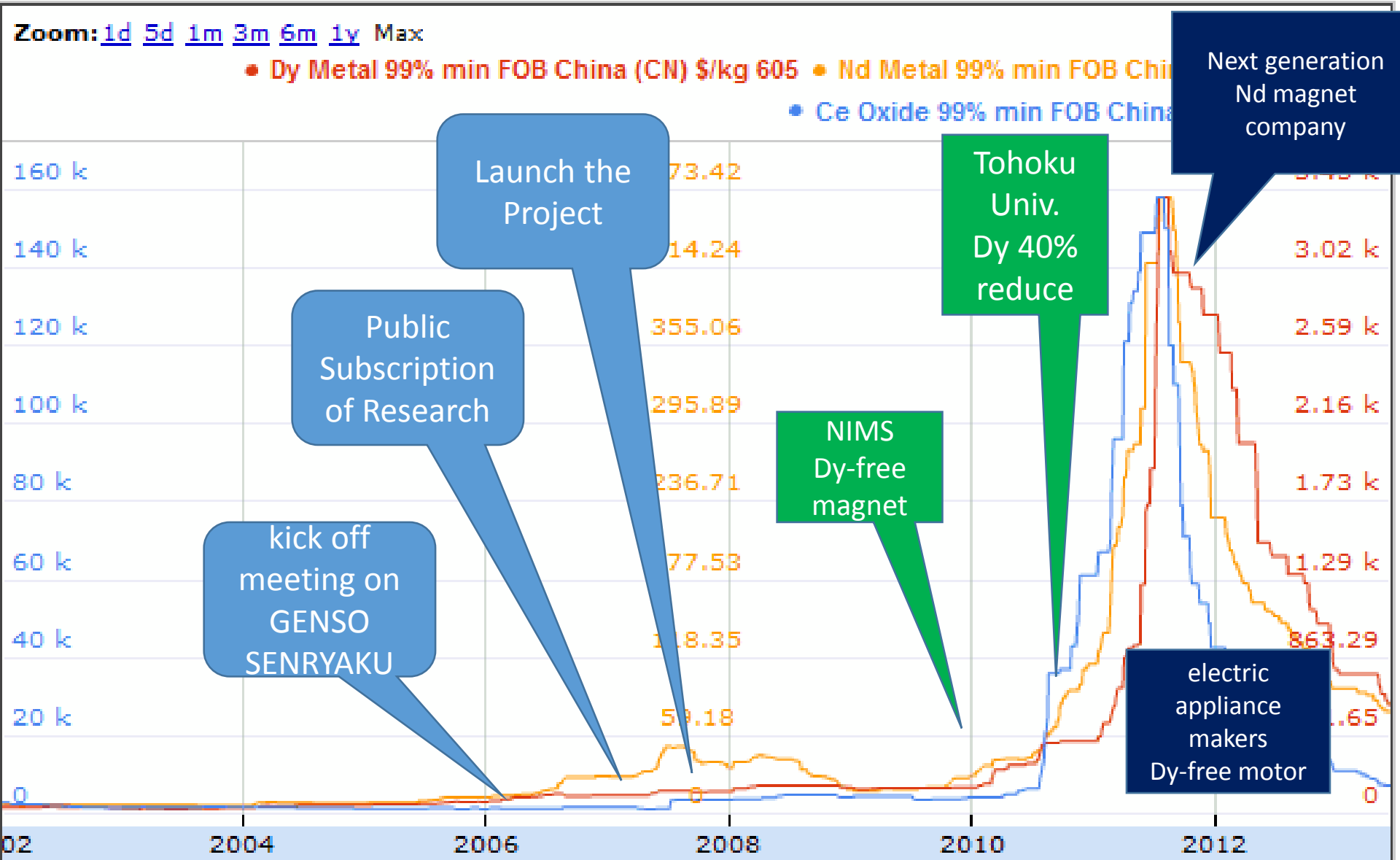
President of Inst. Japan LCA

President of Ecomaterilas Forum

Japan government launch a project named GENSO SENRYAKU

efficient use
alternatives
recycling

S&T project for advanced strategic elements



● collaboration of METI & MEXT ●

- Integrated strategic committee has put in.
- It covers from fundamental studies to practical studies.

MEXT

Science & Technology of Elements Project

NEDO(METI)

Rare metal substitution Project

Wide spectrum of element selection
From fundamental science,
aiming for radical substitution or drastic
reduction in quantity
Paradigm shift of materials research

Elements which need urgent action
(In, Dy, W, PGM, Tb, Eu, Ce)
Practical destination of research,
Intensive R&D

Substitution of rare elements into abundant one
Drastic improvement of materials efficiency

Check & Re-built each theme

Scientific bases for next generation,
Proposal of application research by 5 years

Numerical target of reduction in quantity,
Sample level production by 5years

Li代替
二次電池
高分子

白枠: 日本の重要レアメタル、点線はレアアース(希土類)

H																	He		
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne		
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar		
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr		
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe		
Cs	Ba	(Ln)	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn		
Fr	Ra	(An)															Ra		
		La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu			
		Ac	Th											U					

Zn代替
耐食メッキ
Al₂O₃

レアメタル代替
メモリ
Al₂O₃

レアメタル代替
電極材
P, Ca

In代替
透明電極
TiO₂

In代替
透明電極
ZnO

Pb代替
圧電素子
Ba

CeO₂代替
研磨技術
ZrO₂

W代替
超硬工具
TiCN

PGM代替
浄化触媒
遷移金属

Eu, Tb代替
蛍光体
P

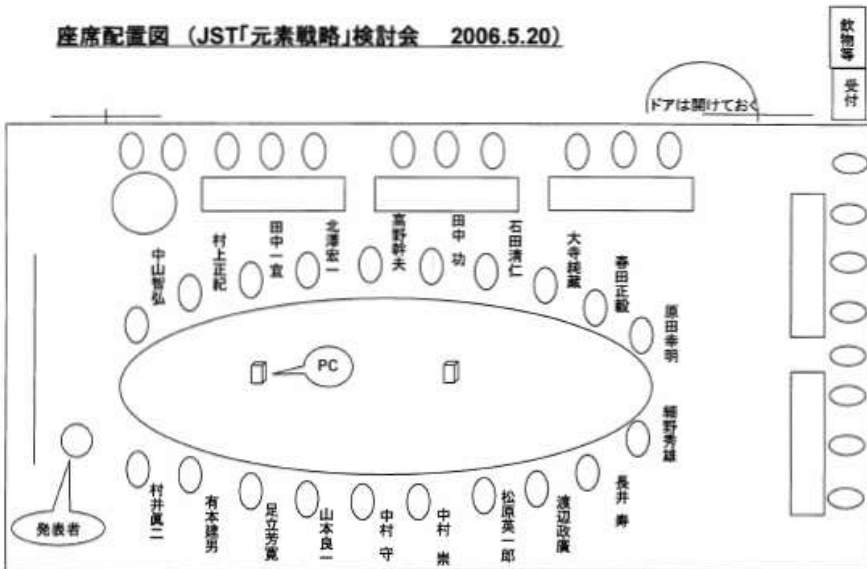
Dy代替
磁石

「元素戦略」検討会

平成 18 年 5 月 20 日 (土)
独立行政法人科学技術振興機構 (JST)
研究開発戦略センター (CRDS)
3 階大会議室

オーガナイザー : 田中 一宜 (JST・CRDS 上席フェロー)
コーディネーター : 村上 正紀 (京都大学大学院工学研究科 教授
/ JST・CRDS 特任フェロー)
サブコーディネーター : 中山 智弘 (JST・CRDS フェロー)

座席配置図 (JST「元素戦略」検討会 2006.5.20)























「元素戦略」の背景①

- 極めて強い社会ニーズが存在
 - グローバルなエネルギー・資源の供給逼迫
 - (人体を含めた) 自然環境に悪影響を及ぼす有害物質の不使用・規制
 - 素材の高騰 (硫黄やセレンさえも値上がり)
 - 素材高機能化に不可欠な希少元素の需要増加、産量低下、回収困難 (エネルギー・技術面)
 - 資源小国「日本」の知財による資源大国化のストーリー
 - 予防原則 (希少対策、環境対策)
「不確実な危機に対処するとき、私達自身が何を失ってもよいと判断するか。」
 - 国策としての“先駆的規制”の重要性の認識 尊敬と国益の両立
- 解決策に寄与するシーズが生まれつつある
 - ナノテクノロジーの急速な進歩
 - ナノ構造の制御 ⇒ 極めて多彩な機能の発現
 - ナノテクによる資源・エネルギー問題の解決への期待
- 国際情勢 中国の動向、米国の動向
 - 「Nano Science for Energy Needs」(NNI) を強く意識
 - 資源・エネルギーへの大幅投資

「元素戦略」の背景②

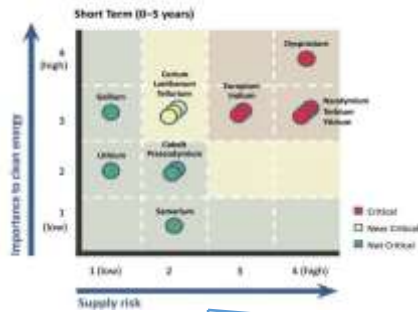
- 本質的な分野融合 (必然的な分野融合) への方策が必要
 - 化学、物理、データベース、シミュレーション、原子分子レベルのナノテクノロジー...
 - 知見・進展を総動員しなければ解決できない「必然的な分野融合」
 - 知識集約型製造技術の一種 (シンセシス)
- 知らずにみんなやってる元素戦略 → 「現代の錬金術へ」
 - 機能発現の最小単位は何か。→ 機能設計へ。
 - 機能解明研究 ⇄ 機能代替研究 裏表か？

白枠: 日本の重要レアメタル、点線はレアアース(希土類)

H																	He						
 Li リチウム	Be ベリウム	 米国エネルギー省のキーマテリアル  EUのクリティカルマテリアル														B ホウ素	C	N	O	F	Ne		
Na	Mg																	Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	 Sc スカンジウム	Ti チタン	V バナジウム	Cr クロム	Mn マンガン	Fe	 Co コバルト	Ni ニッケル	Cu	Zn	 Ga ガリウム	 Ge ゲルマニウム	As	Se セレン	Br	Kr						
Rb ルビウム	Sr ストロンチウム	 Y イットリウム	Zr ジルコニウム	Nb ニオブ	Mo モリブデン	Tc	 Ru	Rh	 Pd パラジウム	Ag	Cd	 In インジウム	Sn	Sb アンチモン	 Te テルル	I	Xe						
Cs セシウム	Ba バリウム	(Ln) ランタノイド	Hf ハフニウム	Ta タンタル	W タングステン	Re レニウム	Os	Ir	Pt 白金	Au	Hg	Tl タリウム	Pb	Bi ビスマス	Po	At	Rn						
Fr	Ra	(An)	 La ランタン	 Ce セリウム	 Pr プラセチウム	 Nd ネオジム	Pm	 Sm サマリウム	 Eu ユーロピウム	Gd ガドリウム	 Tb テルビウム	 Dy ジスプロシウム	Ho ホルミウム	Er エルビウム	Tm ツリウム	Yb イットルビウム	Lu ルテチウム						
			Ac	Th	Pa	U																	

Progress of discussion on criticality index of metals

Department of Energy; Criticality Matrix

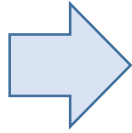
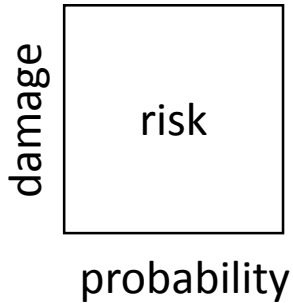


DOE matrix
(importance)
x (supply risk)

Criticality has Different two concepts

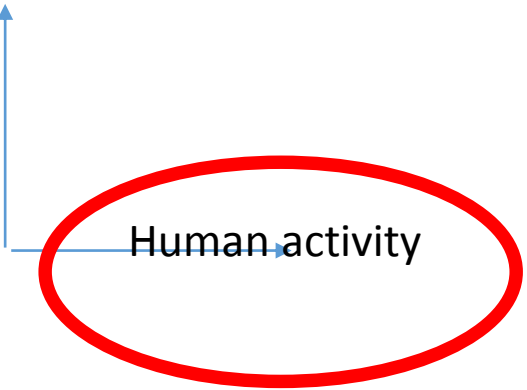
Criticality for supply chain
= supply chain risk

Criticality for global
sustainability



Probability of
Supply chain is damaged

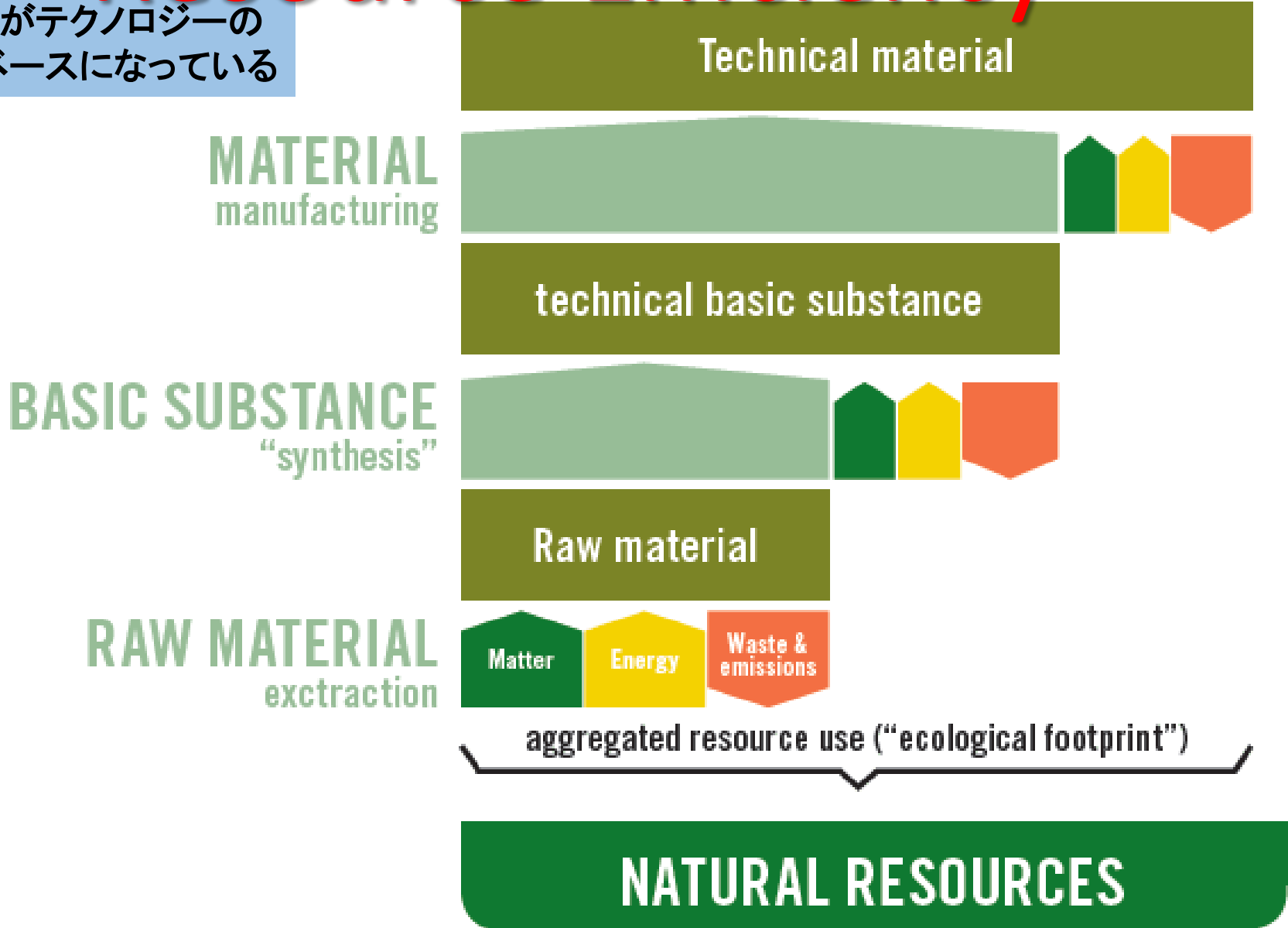
Global environment



Resource Efficiency

Figure 4: Aggregated resource use for technical materials

資源がテクノロジーの
ベースになっている



元素戦略

供給側

使用側

資源を探す

四つの実践

四つの実践が
需要です

未開発の地域から

未利用資源から

既採掘の残碎から

reduce

reuse

recycle

使わなくてすむものは使わない

徹底して使う

何度でも使う

よりありふれたものを使う

抜本的代替





受動型代替と未来型代替

これまでの代替技術

受動型

- ・ひっ迫資源に対応
- ・大量に使用しているものを変更
- ・既存の設計を満たす必要

これからの代替技術

未来型

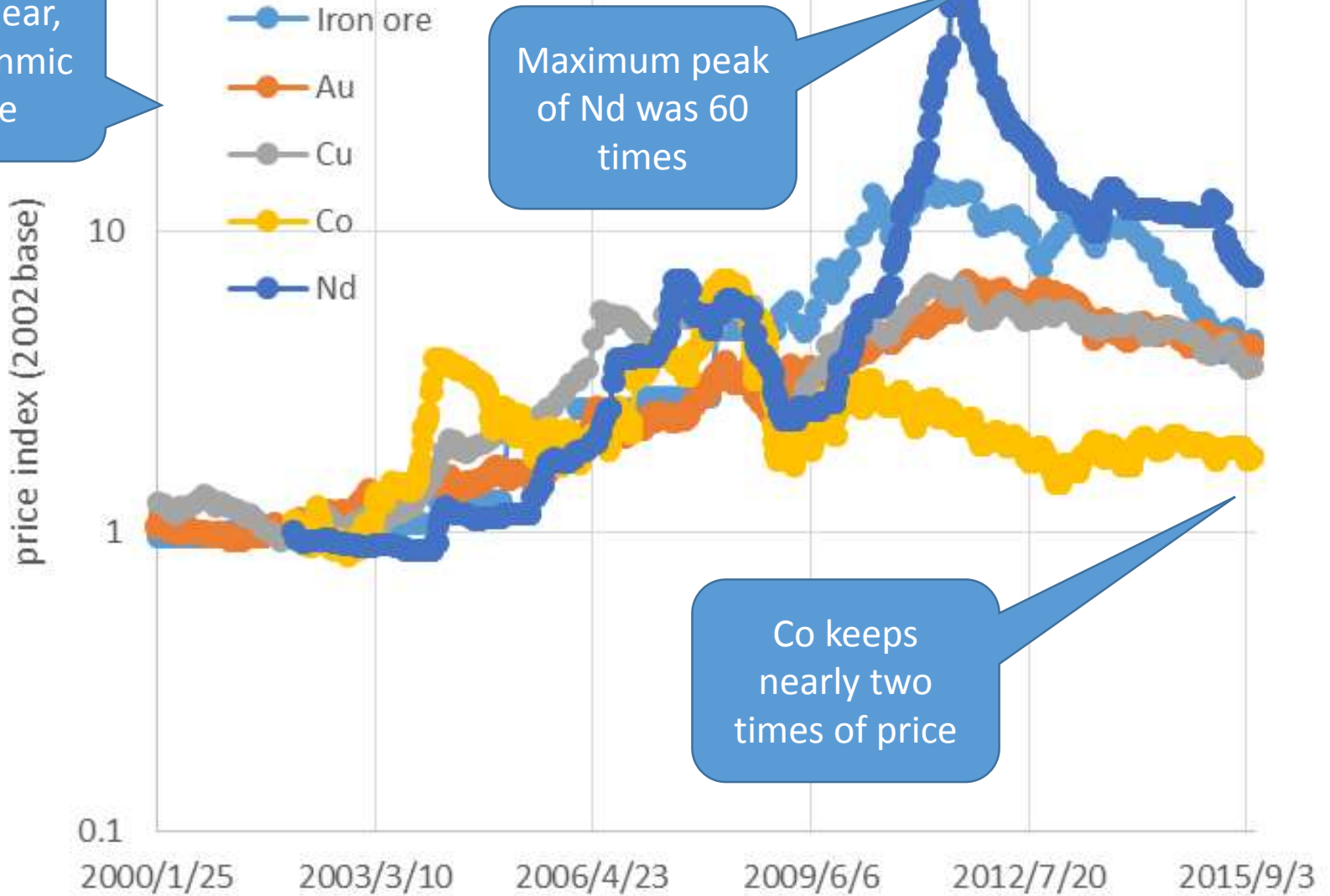
- ・有利に使える資源を活用
- ・これから需要の増えるものを準備
- ・製品設計と連動できる自由度

Prices have changed more drastically

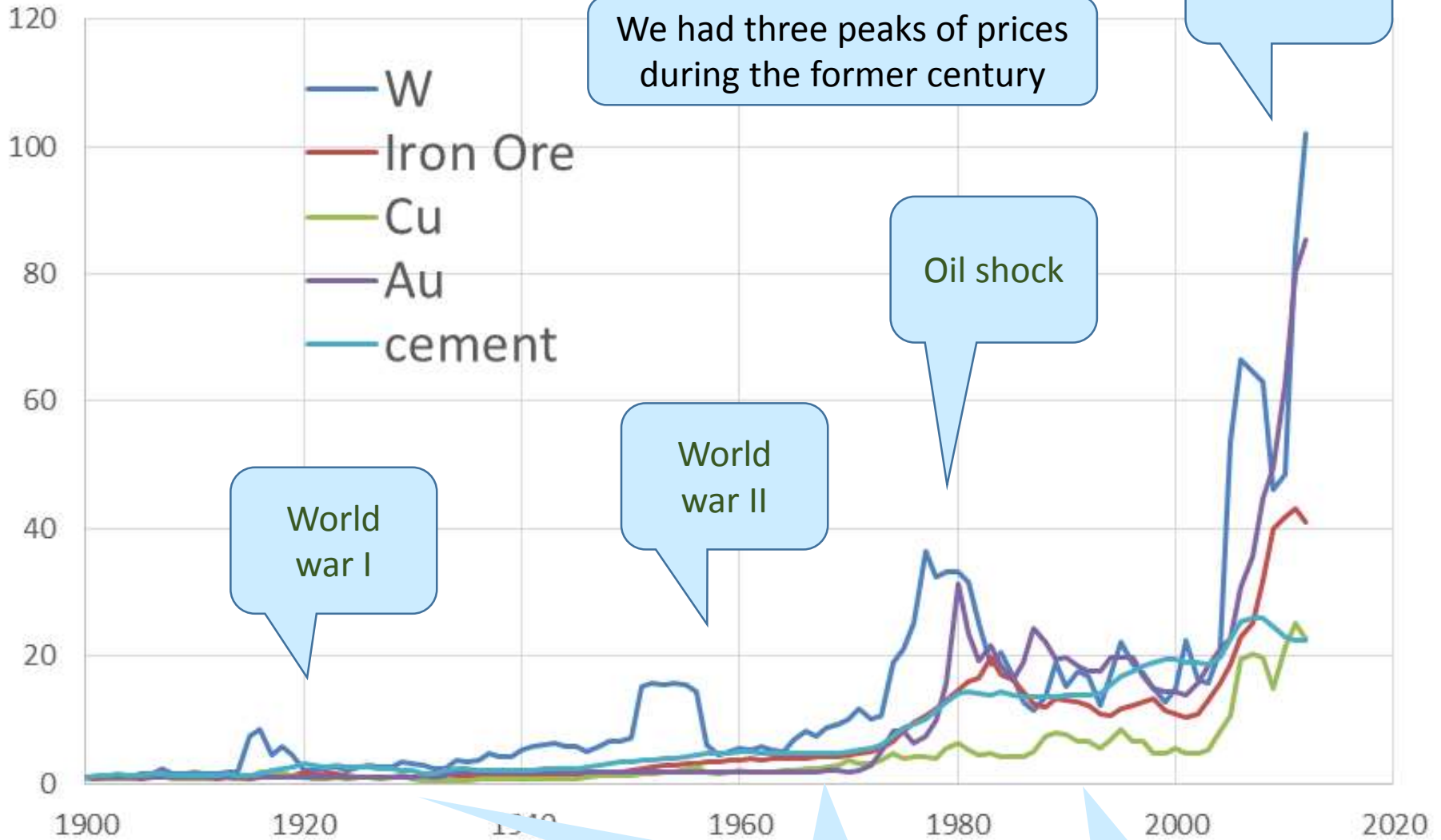
Not linear,
Logarithmic
scale

Maximum peak
of Nd was 60
times

Co keeps
nearly two
times of price



Historical resource price from 1900



We had three peaks of prices during the former century

now

World war I

World war II

Oil shock

After the peak, prices shifted higher levels

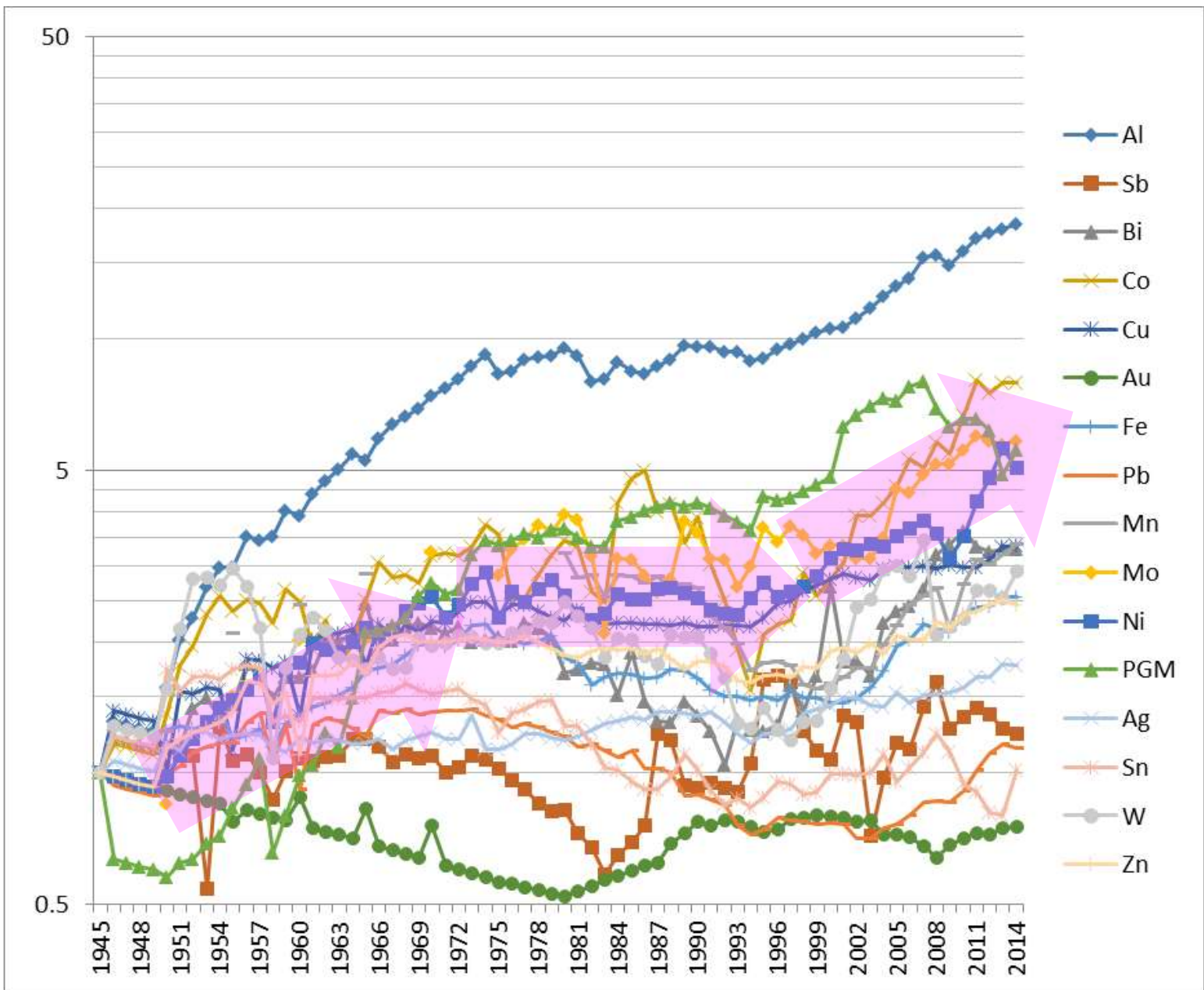
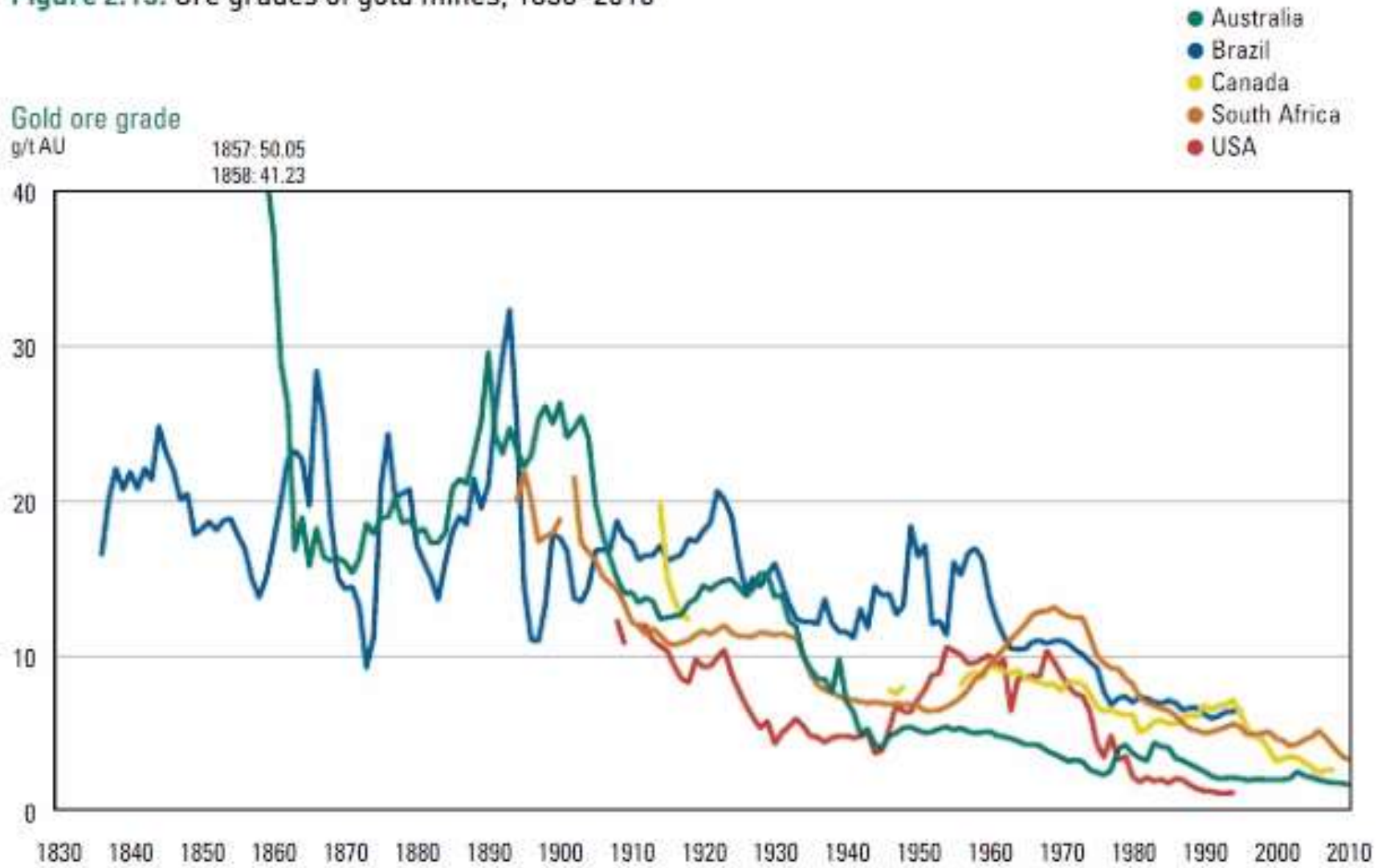


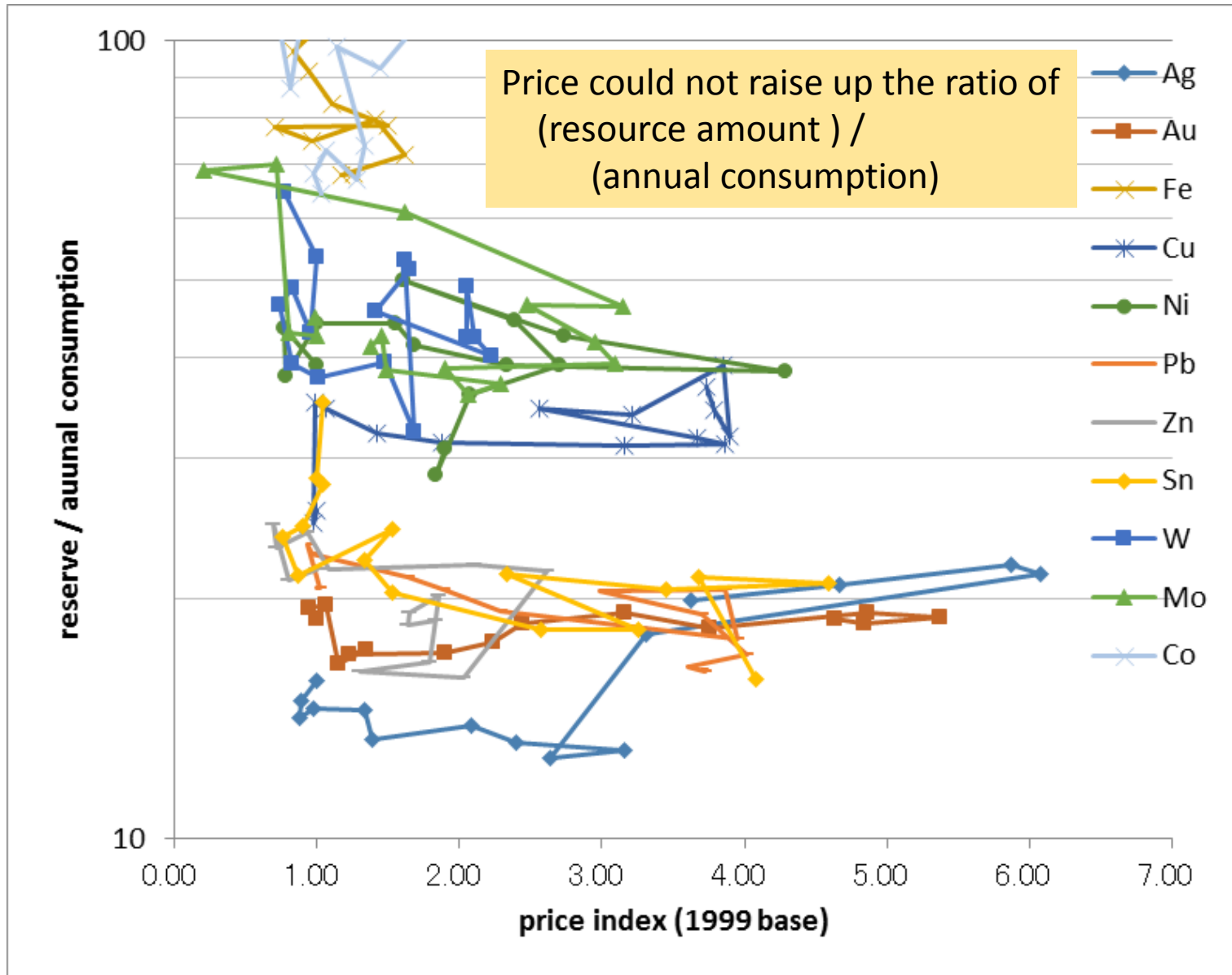
Fig.1 meta production index (1945base)

Figure 2.13. Ore grades of gold mines, 1830–2010



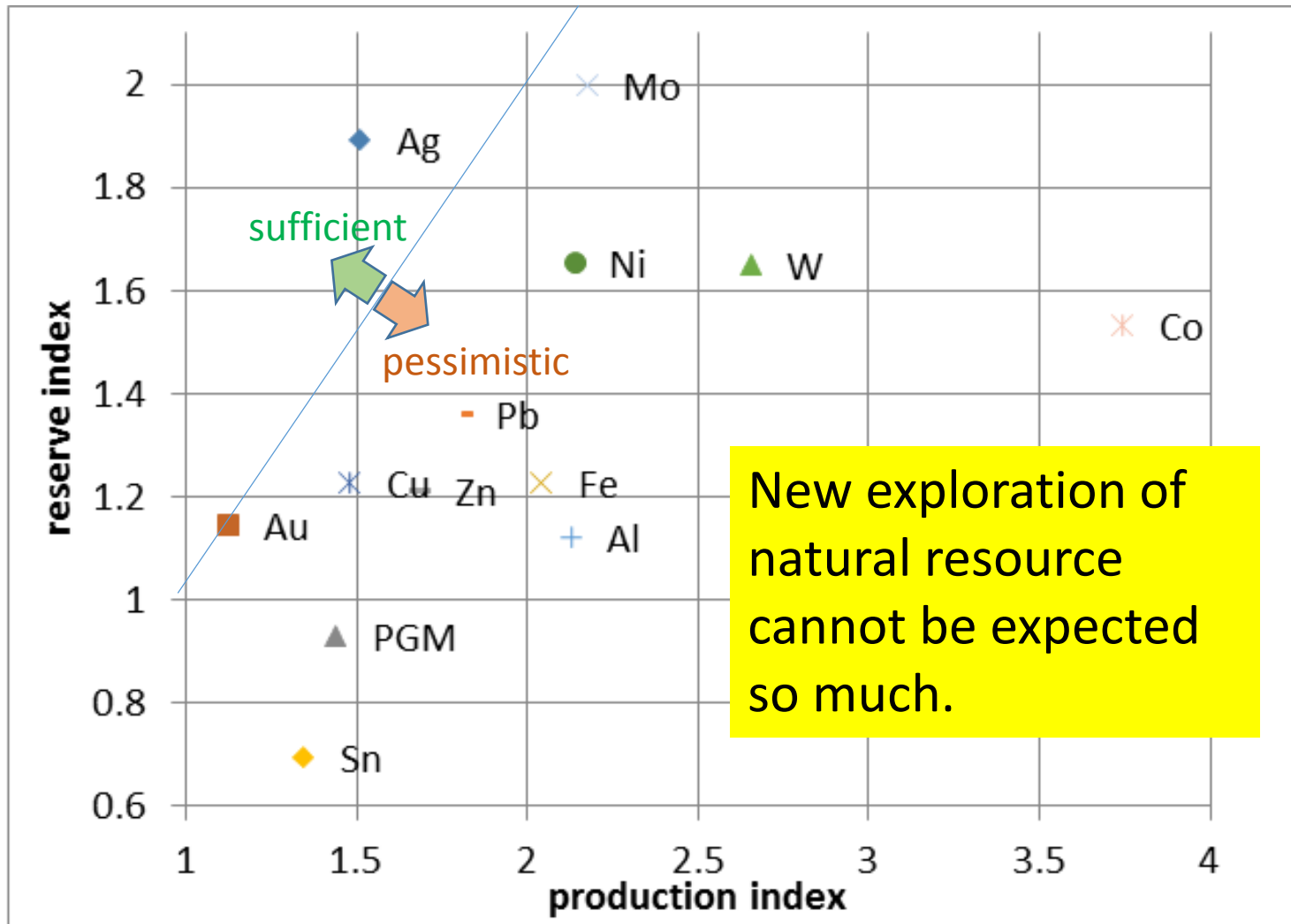
Source: Giurco *et al.*, 2010

この15年間で、金属価格は上昇したが埋蔵量は消費に対して減少している。



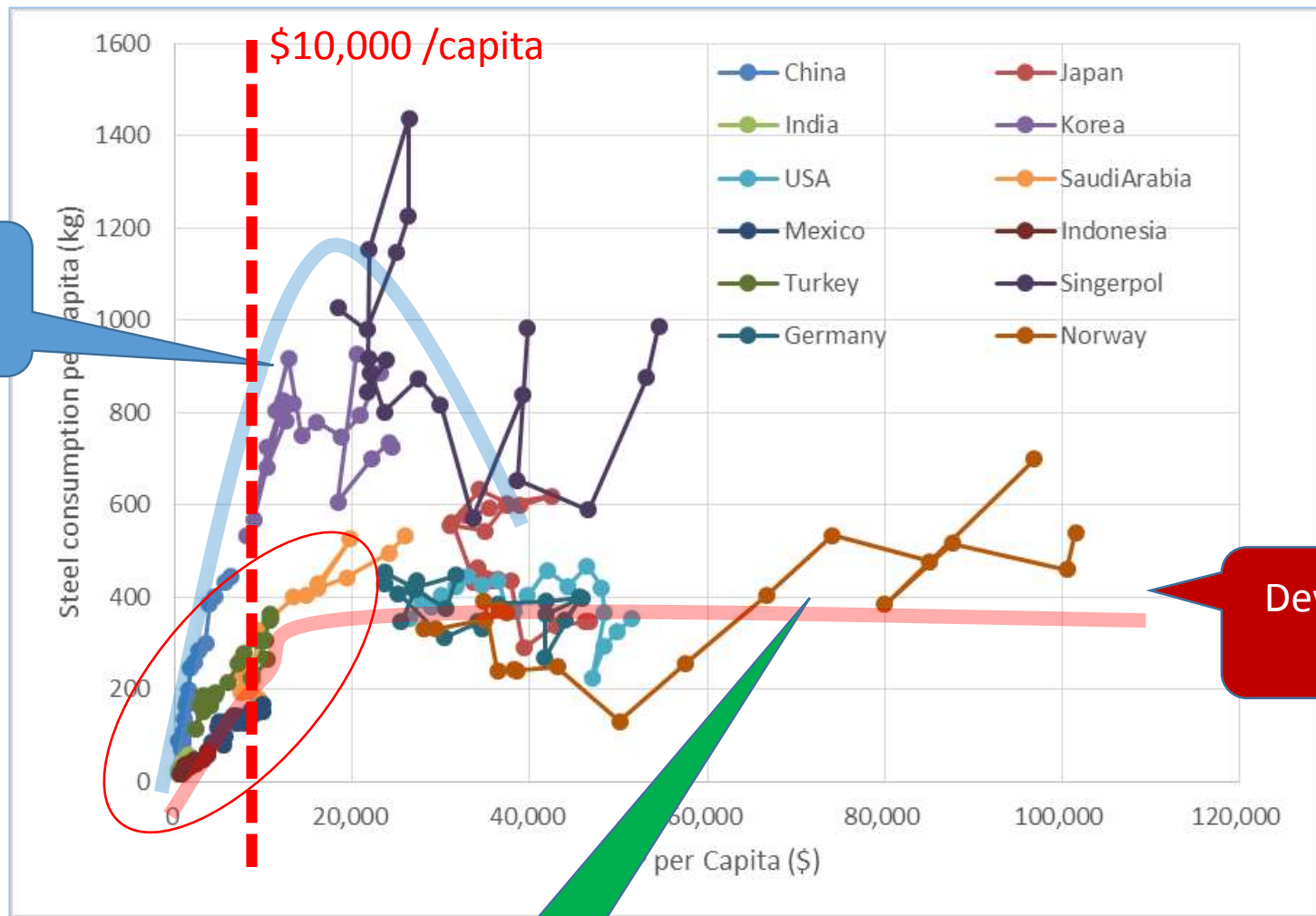
埋蔵量が消費を上回って増えたのは銀ぐらいである。

Sustainable reserve development line



Consumption/capt. reaches developed level when GDP capt. reaches \$10,000

Fe consumption / capita v.s. GDP/ capita from 1994 to 2014

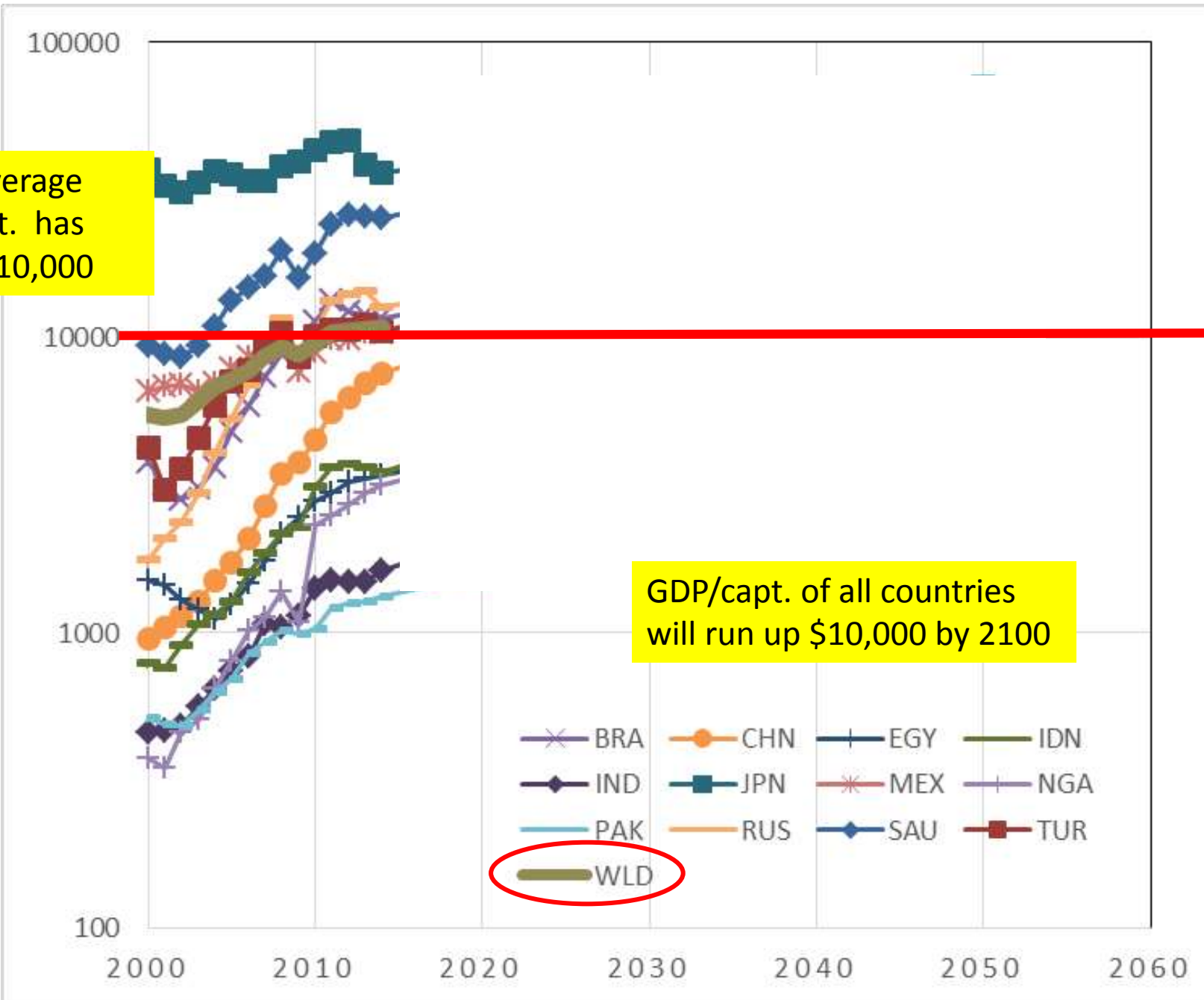


Exporting countries

Developed level

Consuming countries

World average GDP/capt. has run up \$10,000

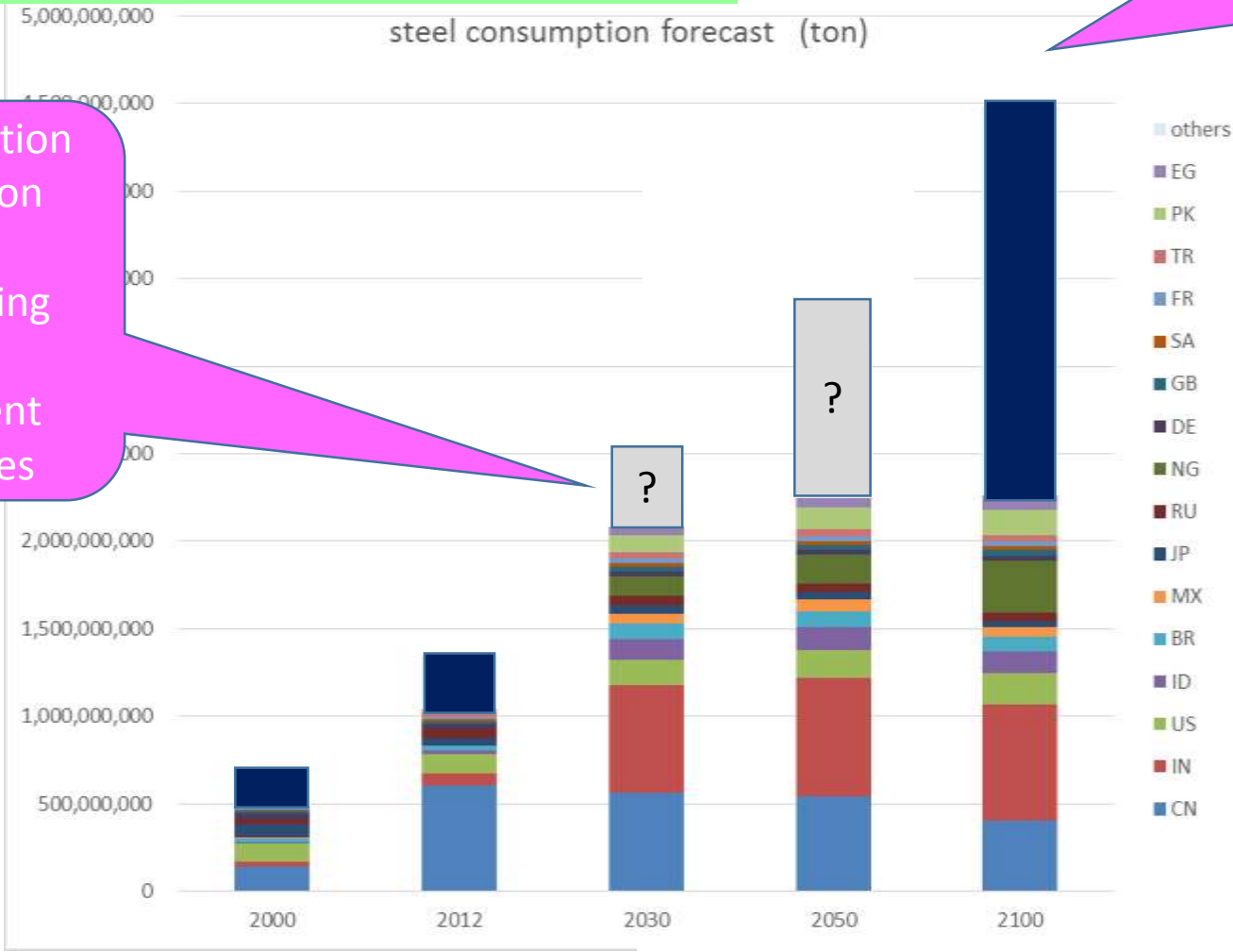


GDP/capt. of all countries will run up \$10,000 by 2100

Rough forecast gets to be simpler,
 (population) x (developed consumption level)

Every country reaches developed level of consumption per capita

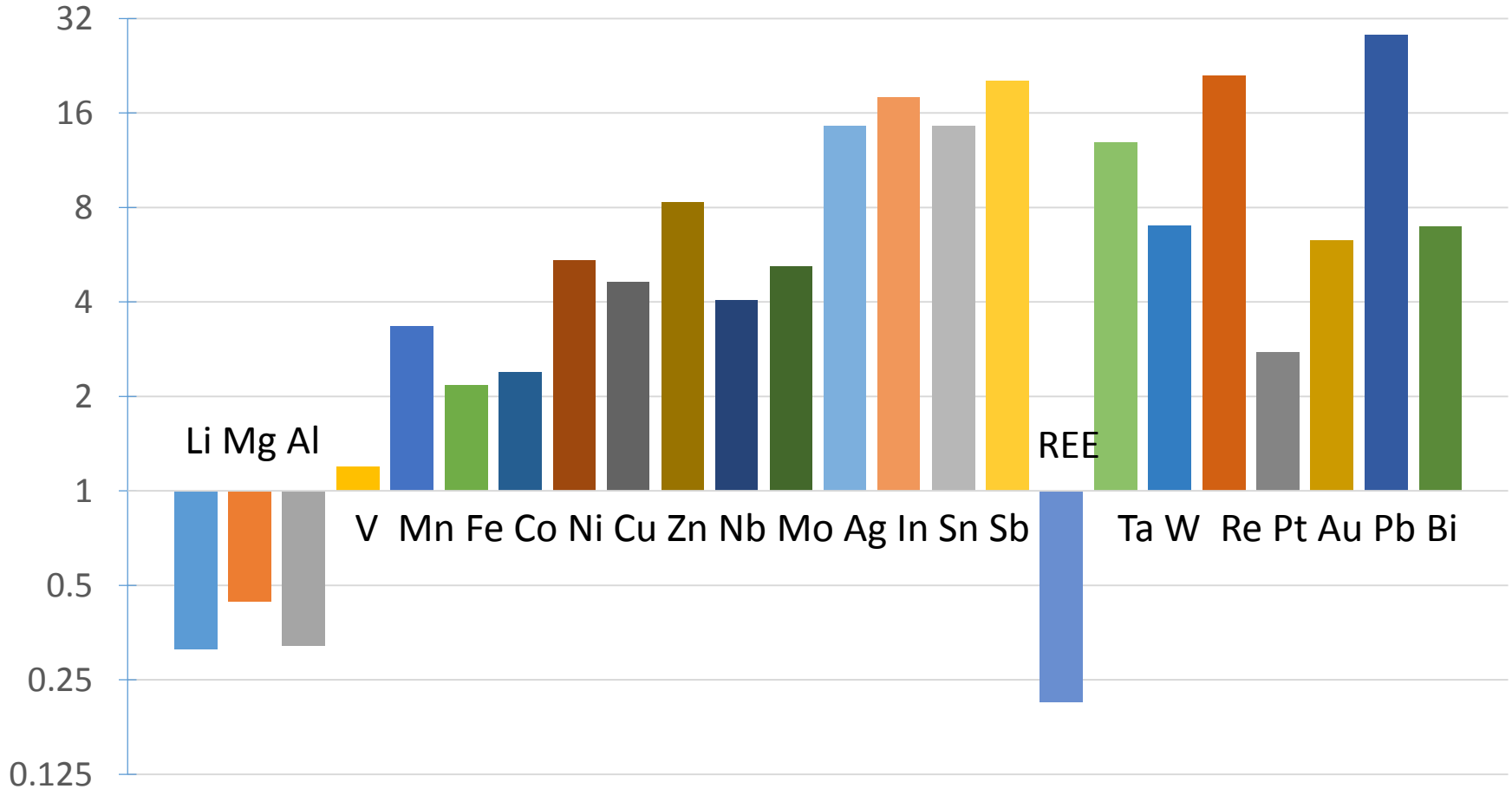
Consumption prediction with concerning only prepotent countries



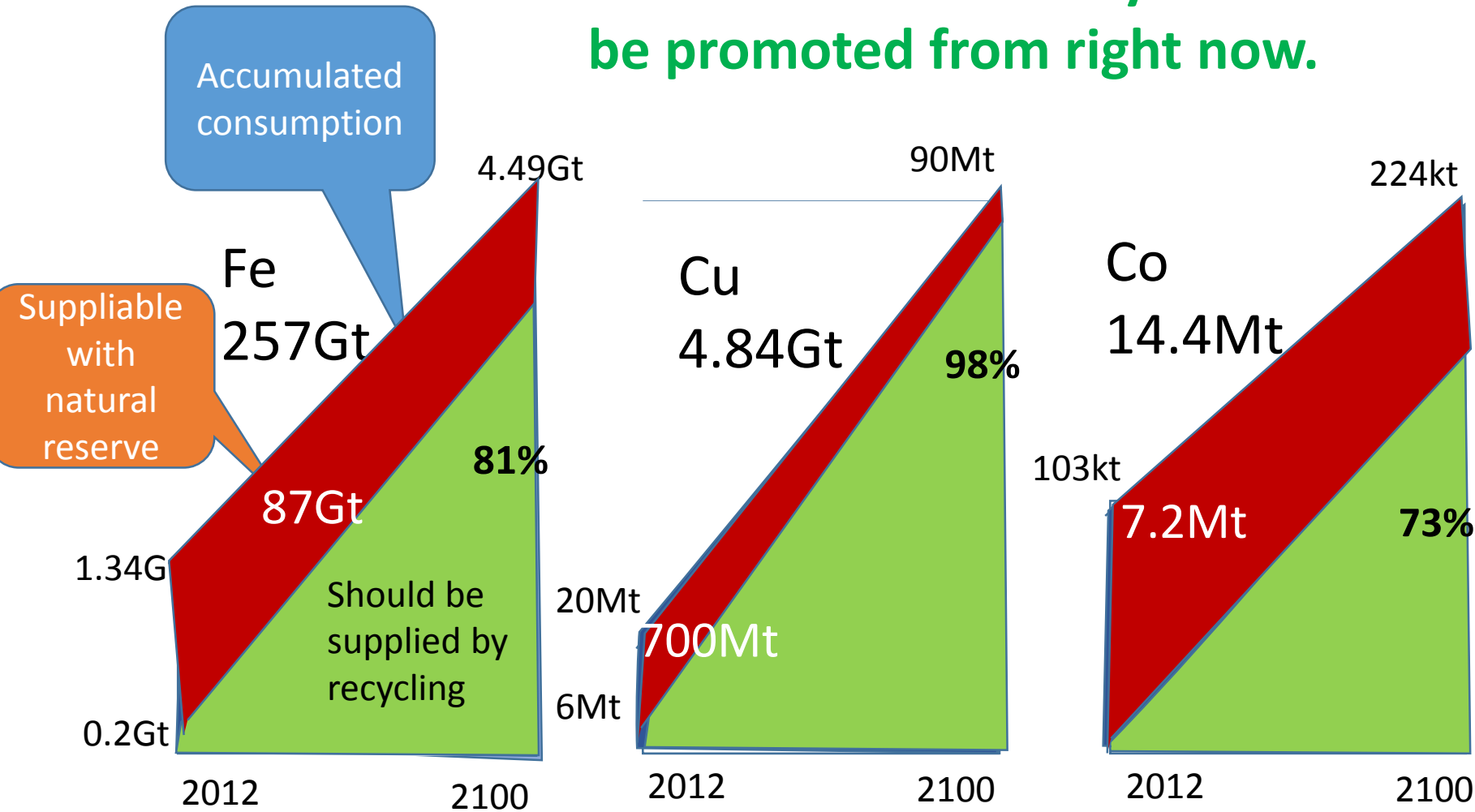
metal	Fe
Consumption/year at 10Gperson world	4.5Gton/year
Reserve	87Gton

Much more times of resources will be required by 2100.

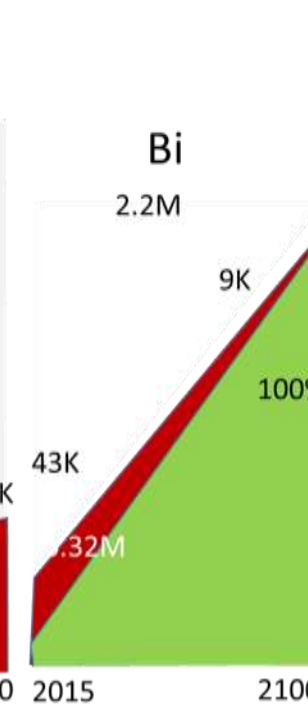
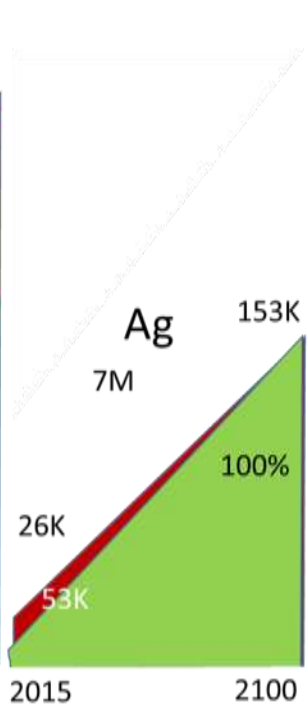
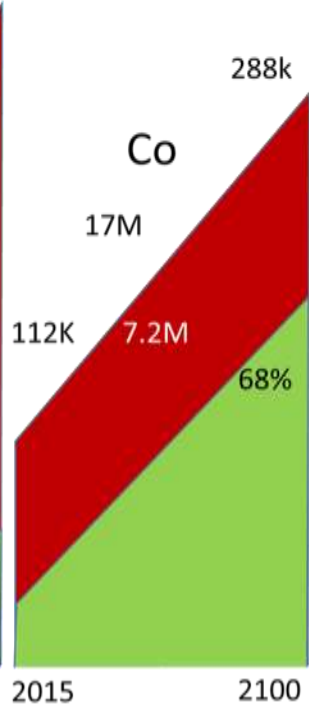
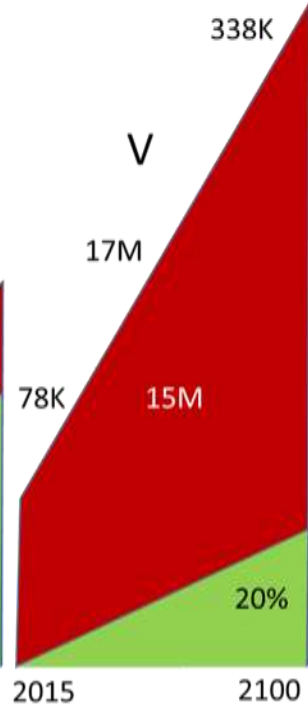
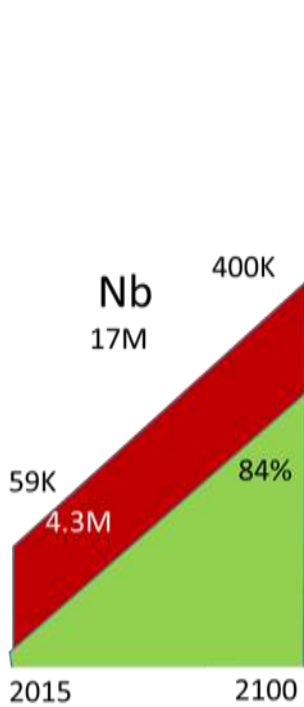
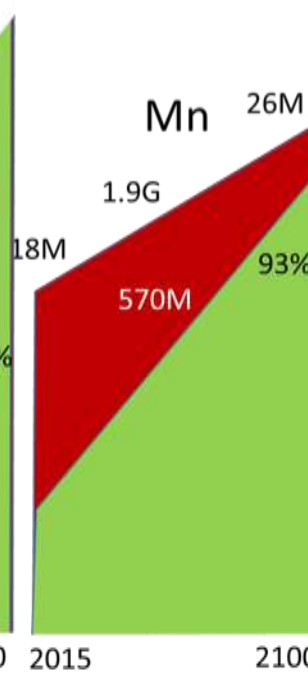
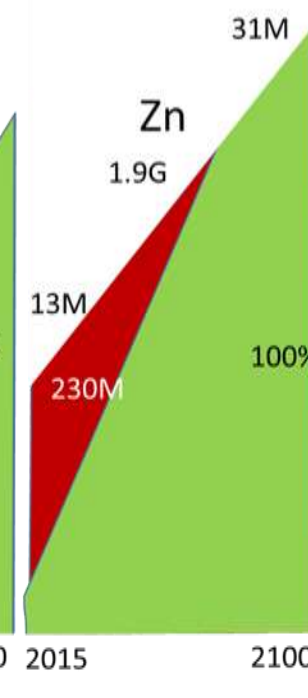
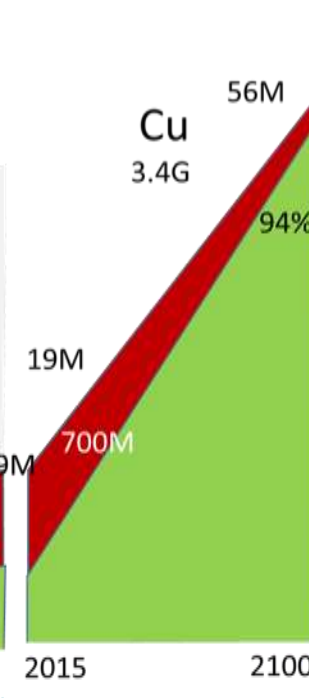
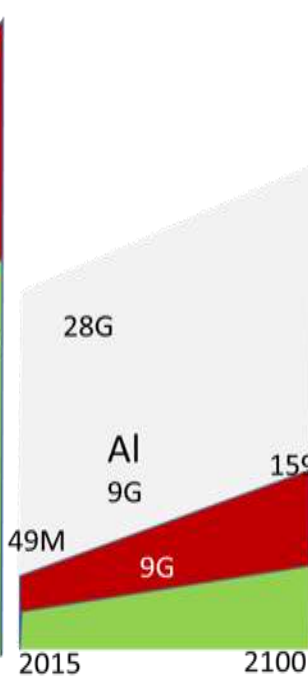
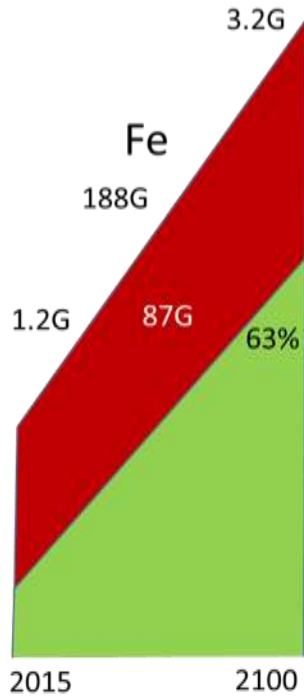
Estimated demand up to 2100 v.s. current reserve amount

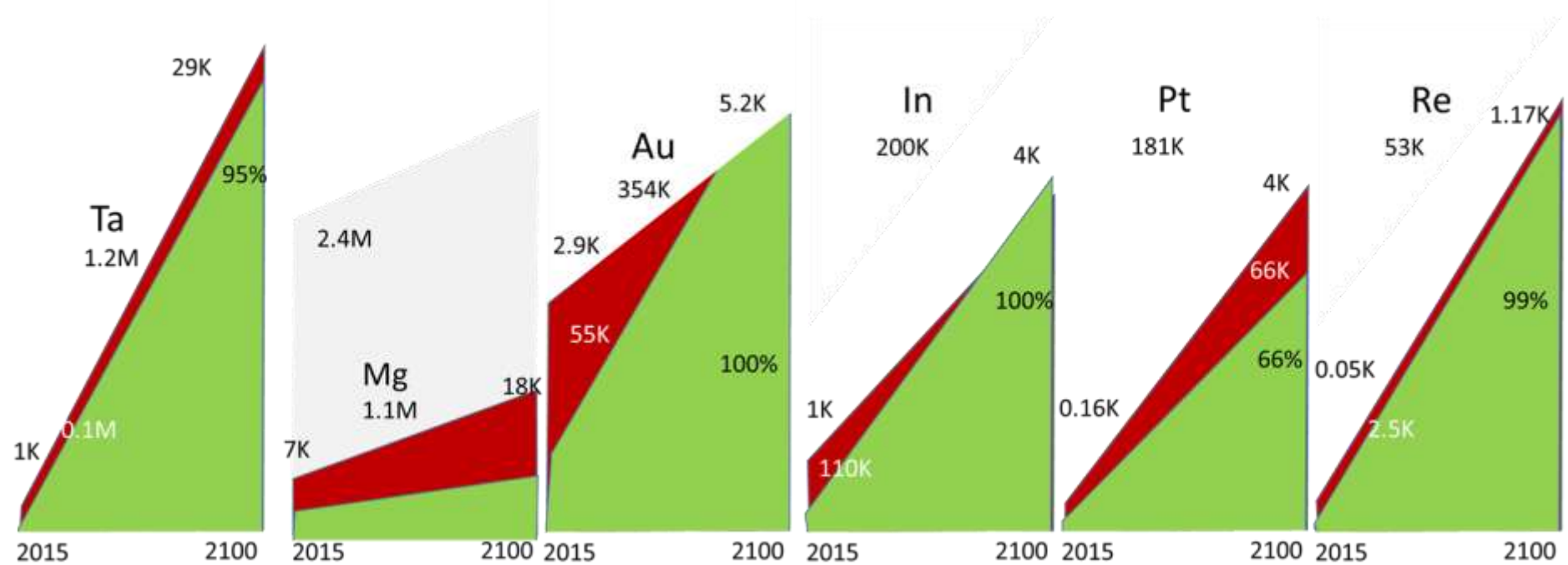
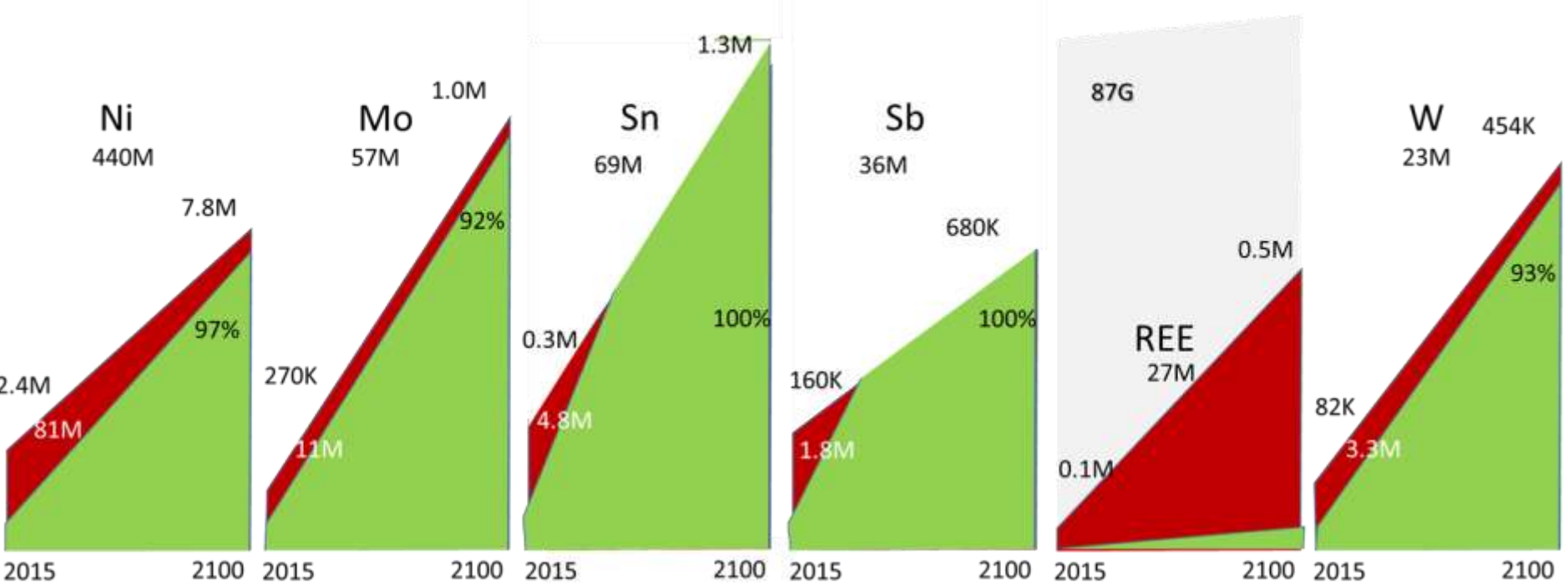


The circulation society must be promoted from right now.



Estimated accumulated consumptions till 2100 with simple assumption of linear growth





2100年の世界

- 化石燃料と鉱物資源はほとんど天然由来はゼロ



Circular Economy Strategy



Closing the loop - An EU action plan for the Circular Economy

The European Commission adopted an ambitious **Circular Economy Package**, which includes revised legislative proposals on waste to stimulate Europe's transition towards a circular economy which will boost global competitiveness, foster sustainable economic growth and generate new jobs.

The Circular Economy Package consists of an [EU Action Plan for the Circular Economy](#) that establishes a concrete and ambitious programme of action, with measures covering the whole cycle: from production and consumption to waste management and the market for secondary raw materials. The [annex to the action plan](#) sets out the timeline when the actions will be completed.

The proposed actions will contribute to "**closing the loop**" of product lifecycles through greater recycling and re-use, and bring benefits for both the environment and the economy.

The **revised legislative proposals on waste** set clear targets for reduction of waste and establish an ambitious and credible long-term path for waste management and recycling. Key elements of the revised waste proposal include:

- A common EU target for recycling 65% of municipal waste by 2030;
- A common EU target for recycling 75% of packaging waste by 2030;
- A binding landfill target to reduce landfill to maximum of 10% of all waste by 2030;
- A ban on landfilling of separately collected waste;
- Promotion of economic instruments to discourage landfilling ;
- Simplified and improved definitions and harmonised calculation methods for recycling rates throughout the EU;
- Concrete measures to promote re-use and stimulate industrial symbiosis - turning one industry's by-product into another industry's raw material;
- Economic incentives for producers to put greener products on the market and support recovery and recycling schemes (eg for packaging, batteries, electric and electronic equipments, vehicles).



クライアント領域(C)

Shift+Alt+F12



The circular economy

Walter R. Stahel

23 March 2016

A new relationship with our goods and materials would save resources and energy and create local jobs, explains Walter R. Stahel.



PDF



Rights & Permissions

Subject terms: [Economics](#) · [Society](#) · [Materials science](#) · [Policy](#)



Gaming the gamers



Can a video game company tame toxic behaviour?

Scientists are helping to stop antisocial behaviour in the world's most popular online game. The next stop could be a kinder Internet.

Naoko Okamura and 243,150 others like this.



nature
الطبعة العربية

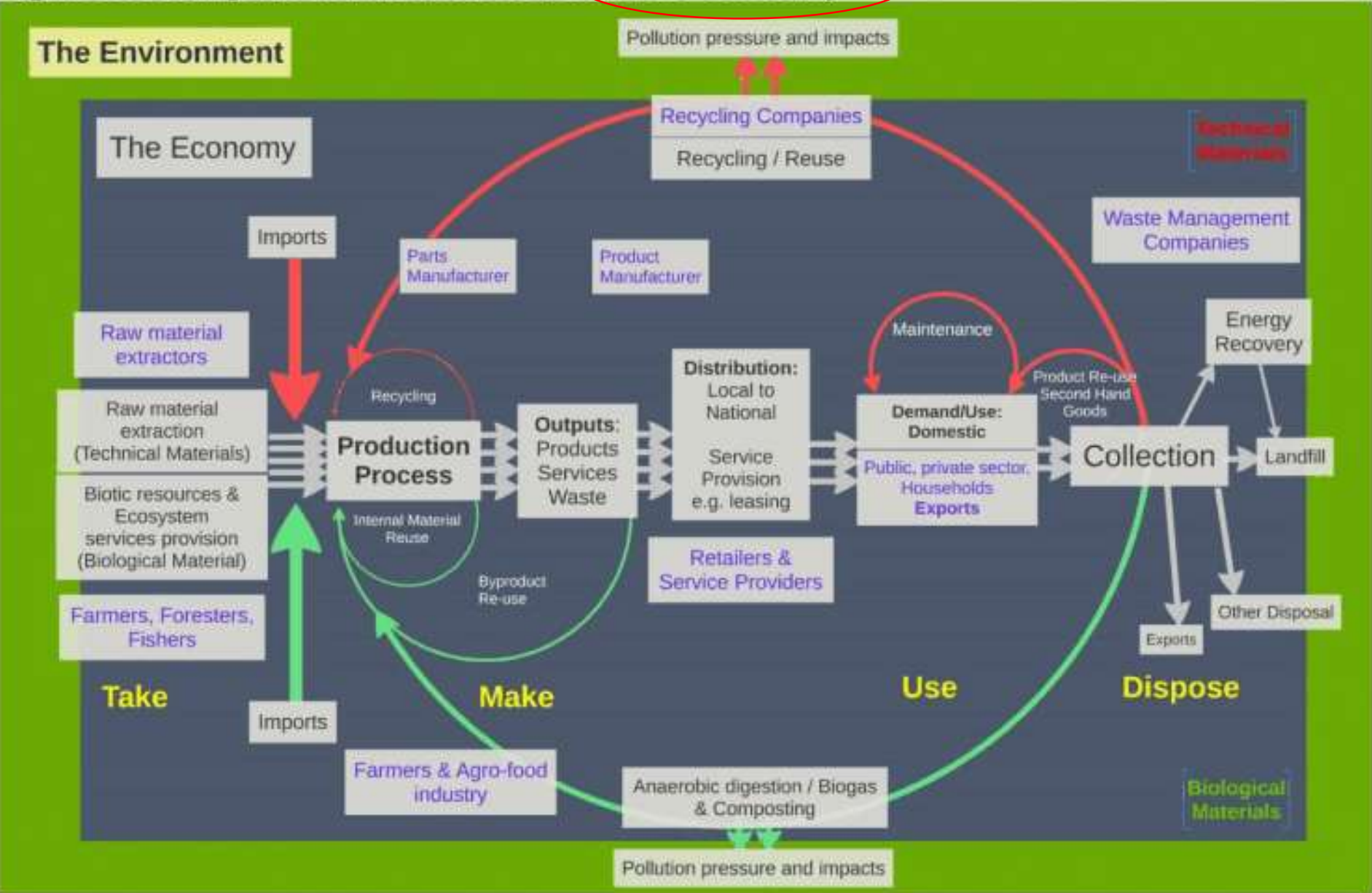


Recent

Read

Commented

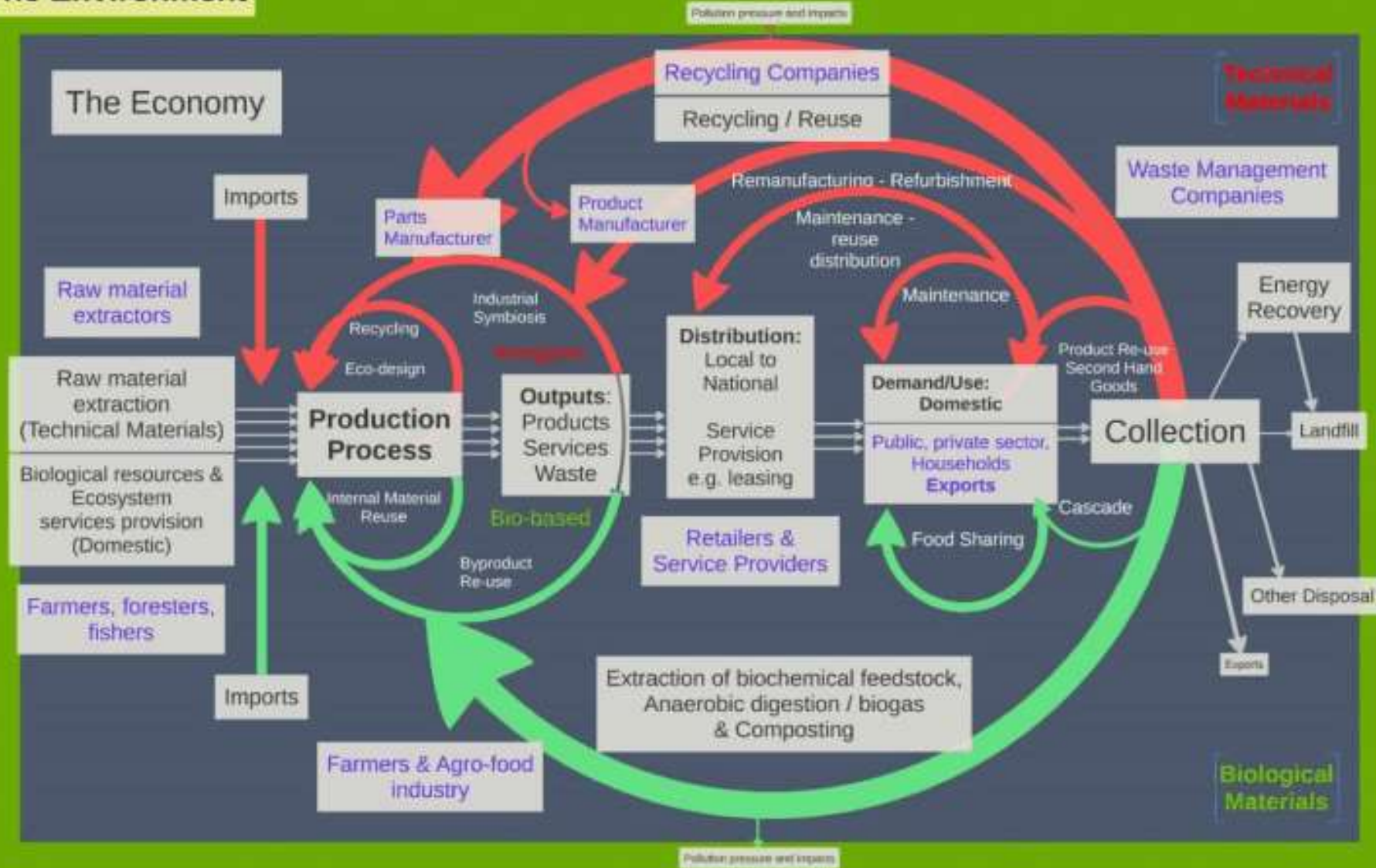
Figure E1: Simplified illustration of a linear economy



Source: Own representation, P ten Brink, P Razzini, S. Withana and E. van Dijl (IEEP), 2014

Figure E2: Simplified illustration of a circular economy

The Environment



Source: Own representation, P ten Brink, P Razzini, S. Withana and E. van Dijk (IEEP), 2014

遍廻社会

ubiquitous circulation society

ubi-culation society

- 身近に使えるものから使い
- 不要物を廃棄物にせず
- 地球環境圏とのやりとりを極力減らす

循:ものによりそっていく、まわる

遍:もれなくゆきわたる。あまねく

環:めぐって端のないこと、かこむ

廻:めぐる、まわる

循環型社会(3R)とCircular Economy(CE)の違い

	3R	CE
目的	最終処分の減量 (アウトプット)	資源効率の改善 (インプット)
利得	社会の経済外負担の軽減	多資源消費大規模製造とは異なる新規の投資対象の形成
主な手段	再資源化	使用済み製品の高度多様再利用
使用済製品	再資源化の対象	使うべき対象
主な主体	リサイクラー、製造業の環境担当	使用サービス提供者、中小の製品化業

Achieving a Circular Economy: How the Private Sector Is Reimagining the Future of Business

Caterpillar 社のremanufacturing

*with the customer in the long term and help him reduce his lifecycle owning and operating costs.”—
Bob Paternoga, Cat® Reman General Manager*

Caterpillar has a number of examples of this in its product portfolio. One of the most well-known involves an engine block with a removable sleeve in the cylinder bore. When the component is recovered, this material can be removed and replaced to return the engine to as-new performance. Previous techniques for remanufacturing engine blocks have involved reboring the engine cylinder and using a larger piston, but this can be done only up to three times before the quality of the product is affected. Additive manufacturing is also another option in use—cylinder bores can be resprayed with metal to return them to as-new condition.



is returned (as long as it meets core return criteria). The core deposit is generally the difference between the remanufactured part price and the new part price, thus incenting the customer to return the core and repair before failure. The high rate of core returns—94% in 2014—enables Caterpillar to salvage more parts from returned cores, driving down remanufacturing costs. True to the definition of remanufacturing, Caterpillar’s remanufactured products meet original tolerances and specifications, and are tested to ensure that performance is the same as when new, if not better. All Caterpillar remanufactured products are sold with the same warranty afforded to new Caterpillar parts.

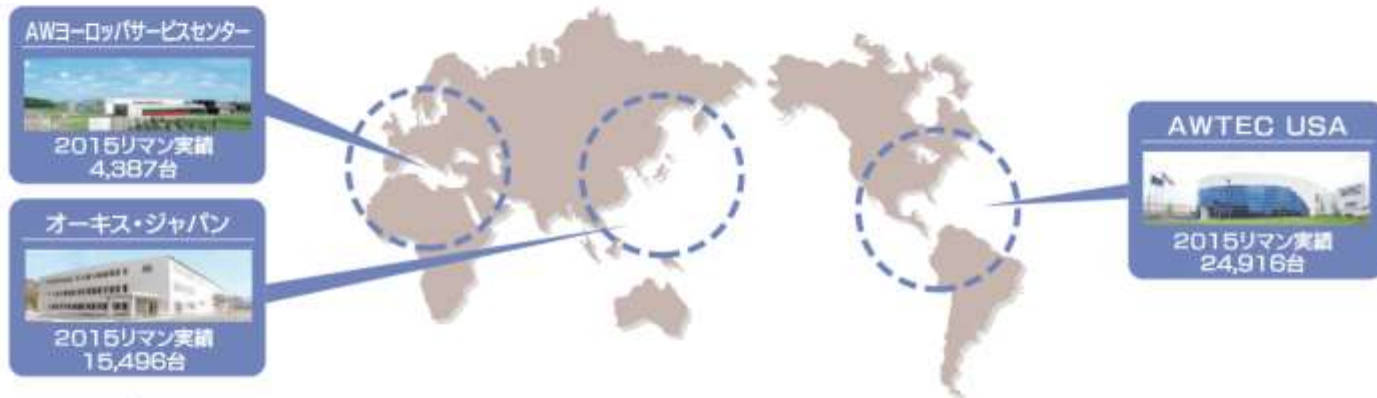
“Some companies may wash, repair, and paint, but true remanufacturing requires complete disassembly, inspection against engineering criteria, and additive

	分解の程度	処理後の品質	品質管理
リマニュファクチャリング(リマン)	完全に分解する	新品と同等	厳密な品質検査
リファービッシュ リコンディショニング	必要な部分だけ分解	中古品として必要な品質まで回復	それなり
レトロフィット	新しい要求を満たすように改造	改造品として必要な品質まで回復	それなり
(狭義の)リユース 中古販売(製品・部品)	清掃程度	入荷時のまま	しない

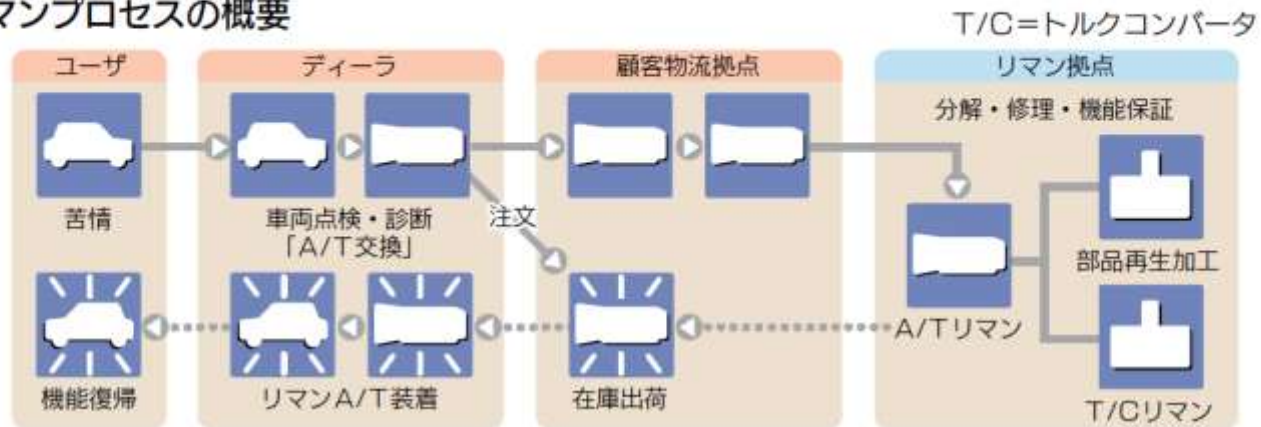
アイシンの事例

リマニュファクチャリングとは

一言で言えば、A/Tの再生事業です。再生したA/Tを修理交換用に安価に供給しています。私たちはリマン活動を通じて、廃棄物の低減と資源の有効活用をはかり、地球環境保全に貢献していきます。オーキス・ジャパン（愛知県）、AWTEC USA（北米）、AWヨーロッパ（欧州）の3拠点で、市場から回収したA/Tを分解・修理・機能保証しています。



リマンプロセスの概要



アイシンの実施例

重点活動と沿革

- 新製品立上と同時にA/Tリマンを開始し確実に市場を拡大
- 再生使用部品の拡大(例:T/C、ブッシュなどの再生)
- 輸送用リターナブルコンテナ採用による廃棄物低減



地球環境保全へ貢献



今後の展開

- HVリマン化の推進
- 廃却部品
救済活動の推進

1969年5月 AW設立と同時にA/Tリマン開始	1988年4月 AWTEC USA開始	1988年7月 AWヨーロッパサービスセンター開始	2000年4月 T/Cリマン開始	2004年10月 トヨタ製A/Tリマン開始	2011年12月 リニアSOL開始	2014年6月 AWTEC CVTリマン開始
1994年8月 リマン専門工場設立	1999年12月 リターナブルコンテナ採用開始	2003年4月 オーキス・ジャパン(株)設立(AWから分社化)	2007年11月 AW製CVTリマン開始			

ライフサイクル設計の要求事項

Requirement of Lifecycle Design for Environment

製品システムの寿命延長

材料の寿命延長

環境負荷の小さい材料の選定

材料集中度の改善

環境負荷の小さいプロセス管理

配送の効率化

製品システムの寿命延長

適度な耐久性

パーツの適応可能性

交換可能性 調整可能性 **グレードアップ性**

製品の信頼性

部品の信頼度 構造の信頼度 **単純で少ない部品**

使用条件維持性

性能の保全性 修復可能性

再生産可能性

使用済みを新品同様に

解体容易 部品の耐疲労、耐損傷 **生産ラインの適応性**

再利用可能性

主機能喪失後の部分利用性

遍廻型(ubi-culation)社会の 材料要件

- 長寿命化 製品寿命の数倍の材料寿命
- 高信頼性 リユース、リマンを保証
- 修復性・修理可能性
- 易分解性
- カスタム化可能性
- 洗浄性、リフレッシュ性
- 水平リサイクル性
- その場加工性
- 省資源性

長寿命性

- 製品寿命 \div 材料寿命 から
材料寿命 \gg 製品寿命へ
- 材料の優れた特性を売りにできる
built to last
- 耐劣化機構 ← 材料技術の神髄
- 自己修復材料
自己治癒材料 → 寿命管理
ALCA 自己治癒性耐熱セラミクス

高信頼性

- 寿命予測
劣化機構の科学
疲労限など
- 劣化モニタリング
非破壊検査
劣化のvisualization

修復性、修理可能性

- 自己修復材料
自己治癒材料 → 長寿命化

- 修理可能性
包丁
菓子折り缶

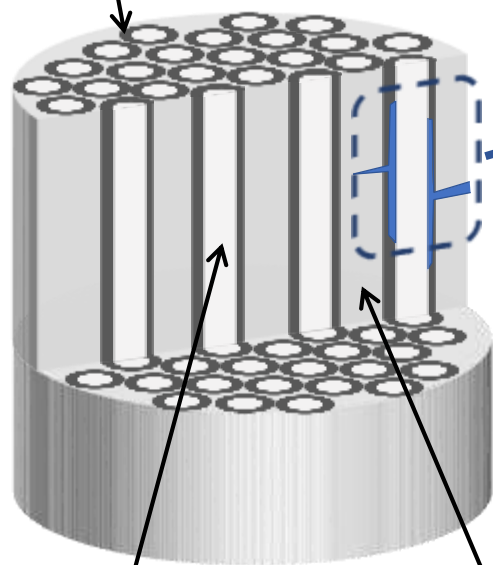
リバーシブル変形

自己治癒機構

■ 開発のポイント

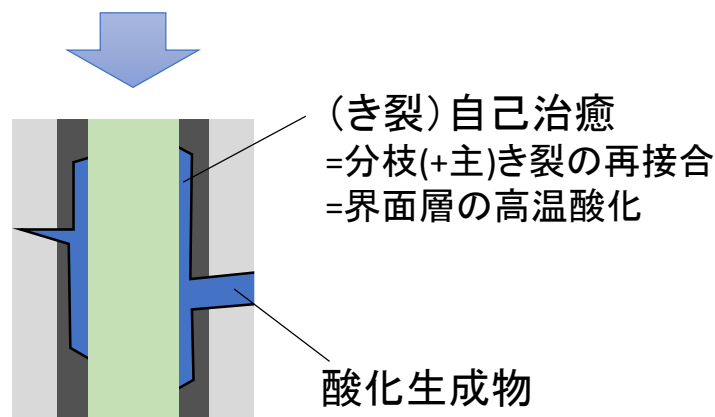
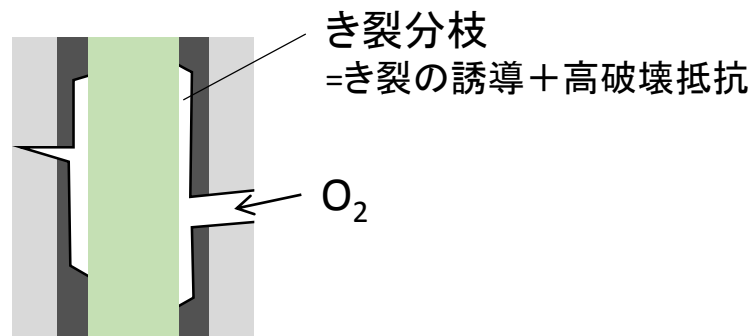
- 使用環境下で活性な自己治癒性を発現する界面層物質の選定
- き裂を界面層へ分枝させる各層の強度バランス

非酸化物(自己治癒エージェント)
界面層



酸化繊維束

酸化母材



(き裂) 自己治癒
= 分枝(+主)き裂の再接合
= 界面層の高温酸化

酸化生成物

易分解性

- 双方向接合技術
「付けるだけ」から「こわす」も
- 形状変化機構

カスタム化可能性

- 大量生産から少量多品種生産
- 製品条件に応じたカスタム化可能性
(含む 耐熱材料)
- 3D造形、4D造材

洗浄性、リフレッシュ性

- リユースの多くの負荷は洗浄工程
- シェア等の前提
- 表面処理、表面再処理への対応

水平リサイクル性

- リサイクル材が、バージン材と同一の性能を持つ
- リサイクルの合致した合金設計
ALCA 耐熱Ni基リサイクル合金
- 劣化機構の解明、強度現出要素の解明
特にプラスチック
- 総合性能型(よい材料)から、合目的型(使える材料)への設計基準の転換

水平リサイクルのための技術

- 金属 : 成分でなく組織で制御する ○
- プラスチック : 高分子+添加物構造の 強度の科学
- セラミクス : 損傷回復機能の獲得



その場加工性

- 向上にもちかえられない
- 製品に付随したまま
- 基本的形状を損なわない
 局部溶解、局部改質
 computerized local processing
- 表面処理、表面改質

省資源性

- 目的機能あたりの材料使用量を少なくする
cost とのcoupling
- 用途、環境にあった組織設計
応力方向、熱傾斜方向など
- 形状付与と組織制御の結合
→ Tailored material

含 Recycle ,
by-product

身近なものを使って
良いものをつくる

社会システム、
インフラシステム・デザイナ
との協働

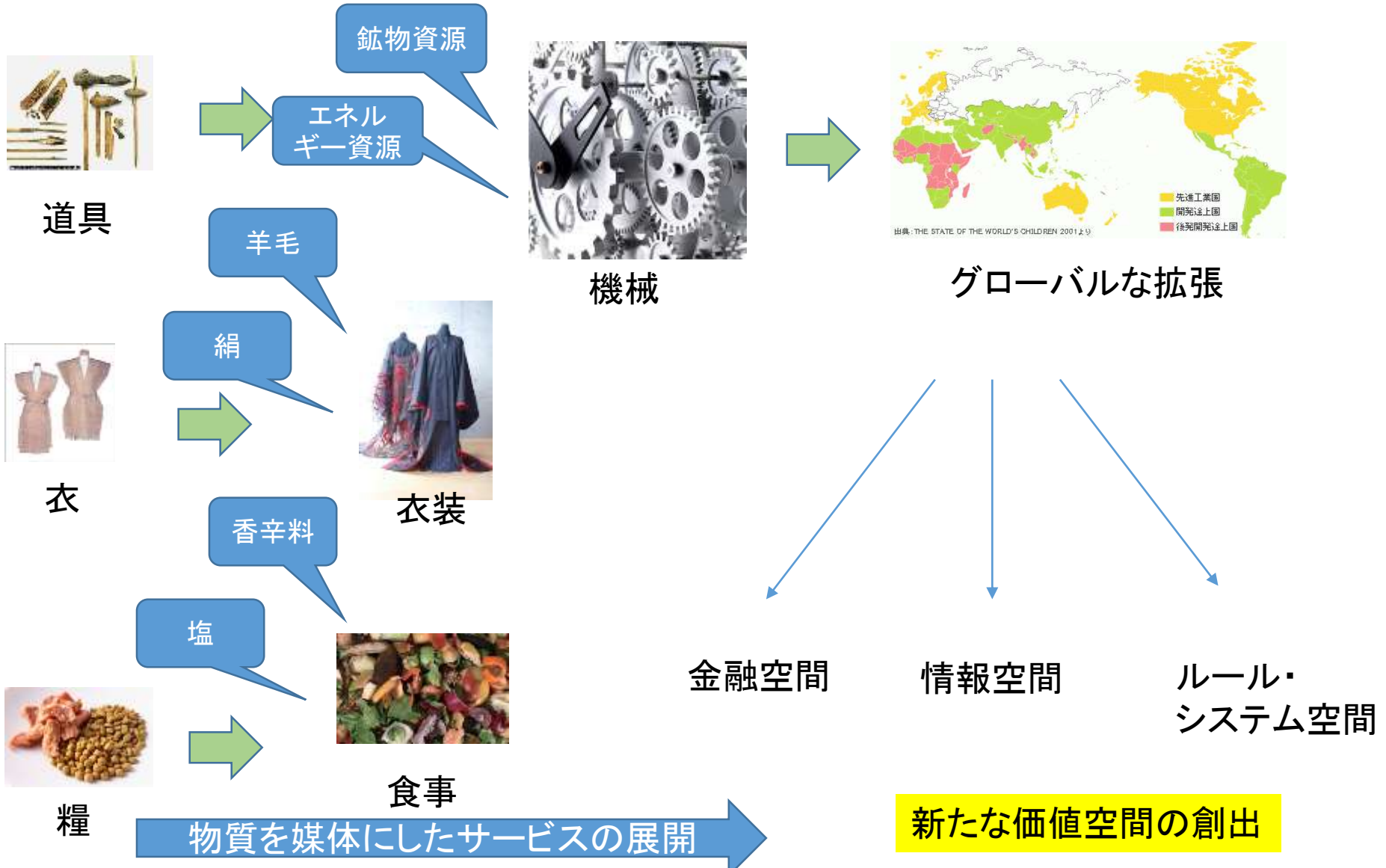
安心できる社会システムニーズ
エネルギー、水、輸送、など

良質のものを集めて
優れたものをつくる

世界に良い素材を売る

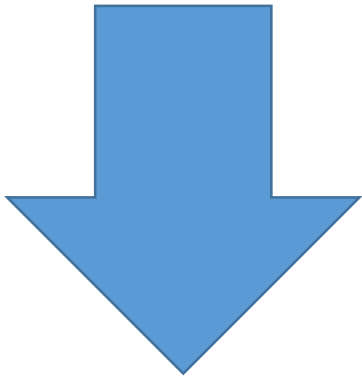
適当な素材を安く使いこなす

付加価値≡サービス, 満足の代償



良質のものを集めて
優れたものをつくる

「世界の工場」
新興市場を意識



どこでもできる
そこそこのものを
安く、早く提供する

成熟市場の土俵を変える

「優れたもの」とは「機能」だけでなく
「持続可能性」

そこに付加価値を与える



Sustainable
spciety

生活様式
社会システム

Social mind

材料科学

Physical base

日本が世界に示すWaの技術

- 「Mottainai」:
サステイナブルな資源利用と循環、
身近なものから優れたものを創る
- 「Omotenashi」:
需要者の要求に合わせてられる、
「生産者論理の押し付け」の無い技術とサービス
- 「Kawaii」:
小エネルギー、小資源のマニュファクチャリング

磁石技術におけるWaの技術

