

平成27年度環境研究総合推進費研究成果発表会、平成27年10月23日

廃自動車の行方を考える —資源と環境の視点から見た使用済み自動車—



京都大学環境科学センター
酒井伸一

使用済み自動車（ELV）の 資源ポテンシャルと環境負荷に関するシステム分析

研究代表者

酒井伸一（京都大学）

研究分担者

滝上英孝・梶原夏子（国立環境研究所）

田辺信介・高橋真（愛媛大学）

由田秀人（日本環境安全事業(株)）

平井康宏、浅利美鈴（京都大学）

発表内容

1. 解体調査に基づいた廃自動車の資源ポテンシャル
2. ハイブリッド車のレアアース元素回収ポテンシャル
3. 使用済み自動車中の鉛削減効果の将来推定
4. まとめと廃自動車リサイクルに対する次の一手

1. 解体調査に基づいた 廃自動車の資源ポテンシャル

背景と目的

- 自動車保有台数
 - 世界:**10億台(2010年)**
 - EU2.7億台(502台/1000人)、アメリカ2.4億台＝全体の50 %
 - **日本:約7900万台(2010年度、576台/1000人)**
 - 中国:2012年に1億台を超える
 - 2050年には24億台に到達する見込み。
- ELV発生台数
 - 世界:4000万台(2010年)＝保有台数の約4%
 - EU:1400万台(2010年)、1660万台(2020年)
 - **日本:330万台(2010年)、290万台(2020年)**
- 自動車産業に対する資源需要
 - 技術革新(次世代車の普及、電装化)に伴い、ELVの資源性は高まっている。
 - 多様な有害物質・資源性物質を含有

解体調査工程



1. 部品別に粗解体

- エンジン、座席シート、等

2. 所在別に計量と記録

3. 素材別に細解体

- 鉄、銅、樹脂、ガラス、等

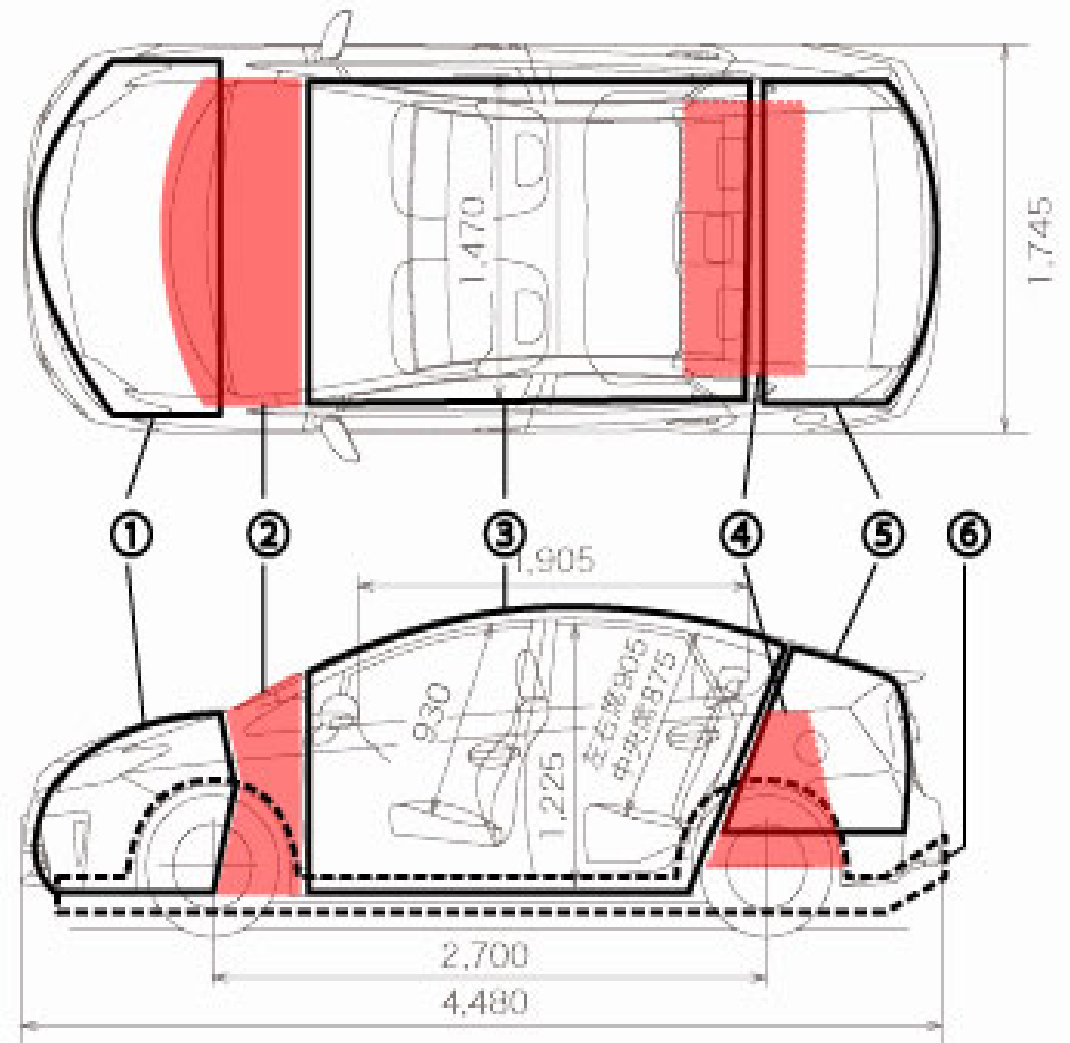
4. 化学分析(いくつかの部品について)

1. 鉄、銅、樹脂、ガラス、等

所在分類

有用部品の事前回収を検討する際に、部品の所在が重要な情報となる。

所在		No
エンジンルーム		①
内装	フロント	②
	座席空間	③
	リア	④
	トランク	⑤
外装	足回り	⑥
	その他	⑦
車体ボディ		⑧
その他		⑨



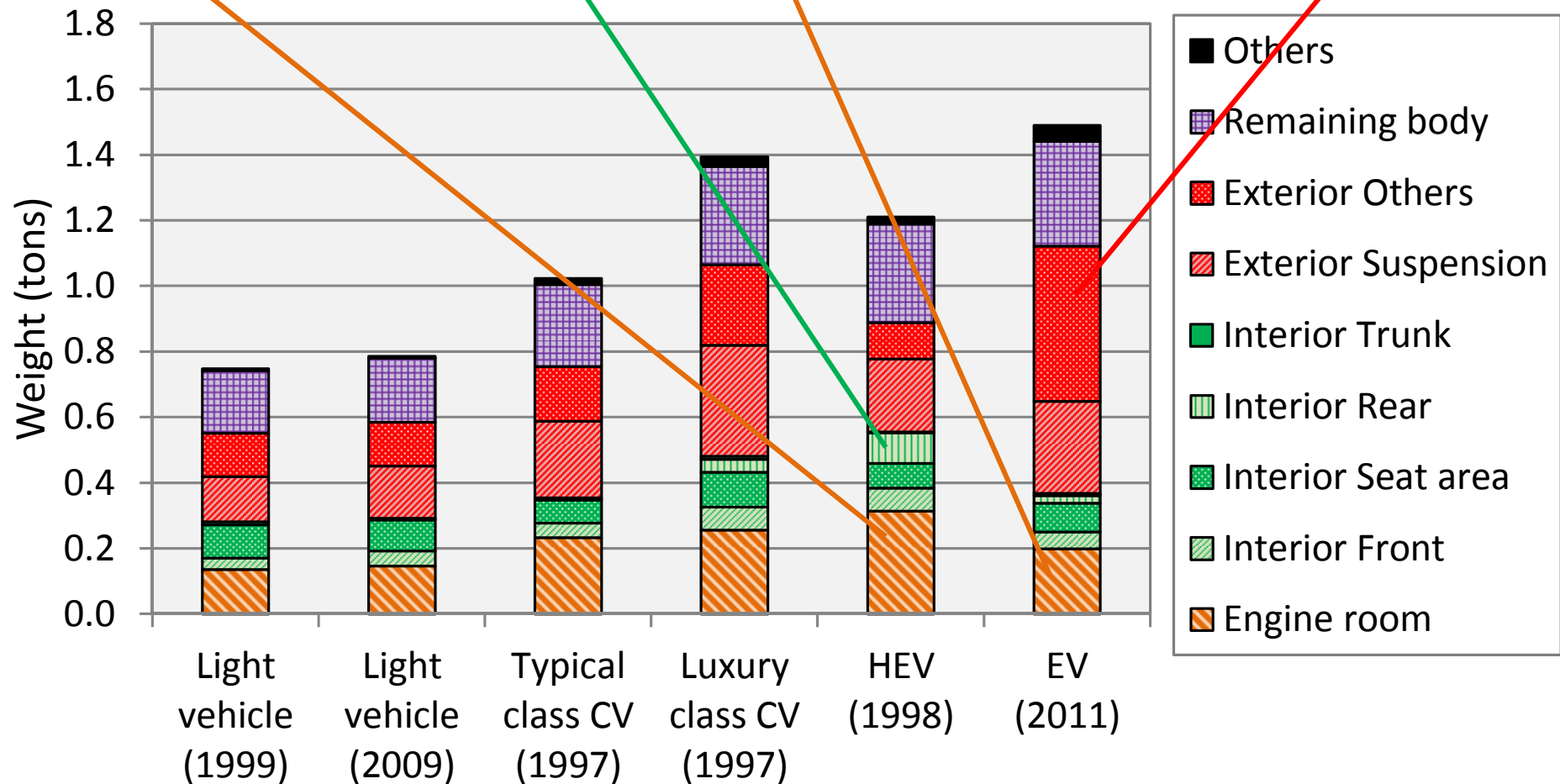
重量構成の車種間比較

ハイブリッドトランス
ミッション: 115 kg,
インバーター: 25.7 kg

NiMH電池ユ
ニット: 78.2 kg

トランスミッション:
99.0 kg,
インバーター: 35.0 kg

Li-ion 電池ユ
ニット: 294.0 kg



電子基板



- 高級車や次世代車の電子基板重量が大きい傾向
 - HEV: 3.8 kg
 - EV: 7.9 kg
 - 電子基板の60-90%が内装(フロント)に所在
 - EVについては様々な場所に散在。
→ 車種よりも製造年の影響か

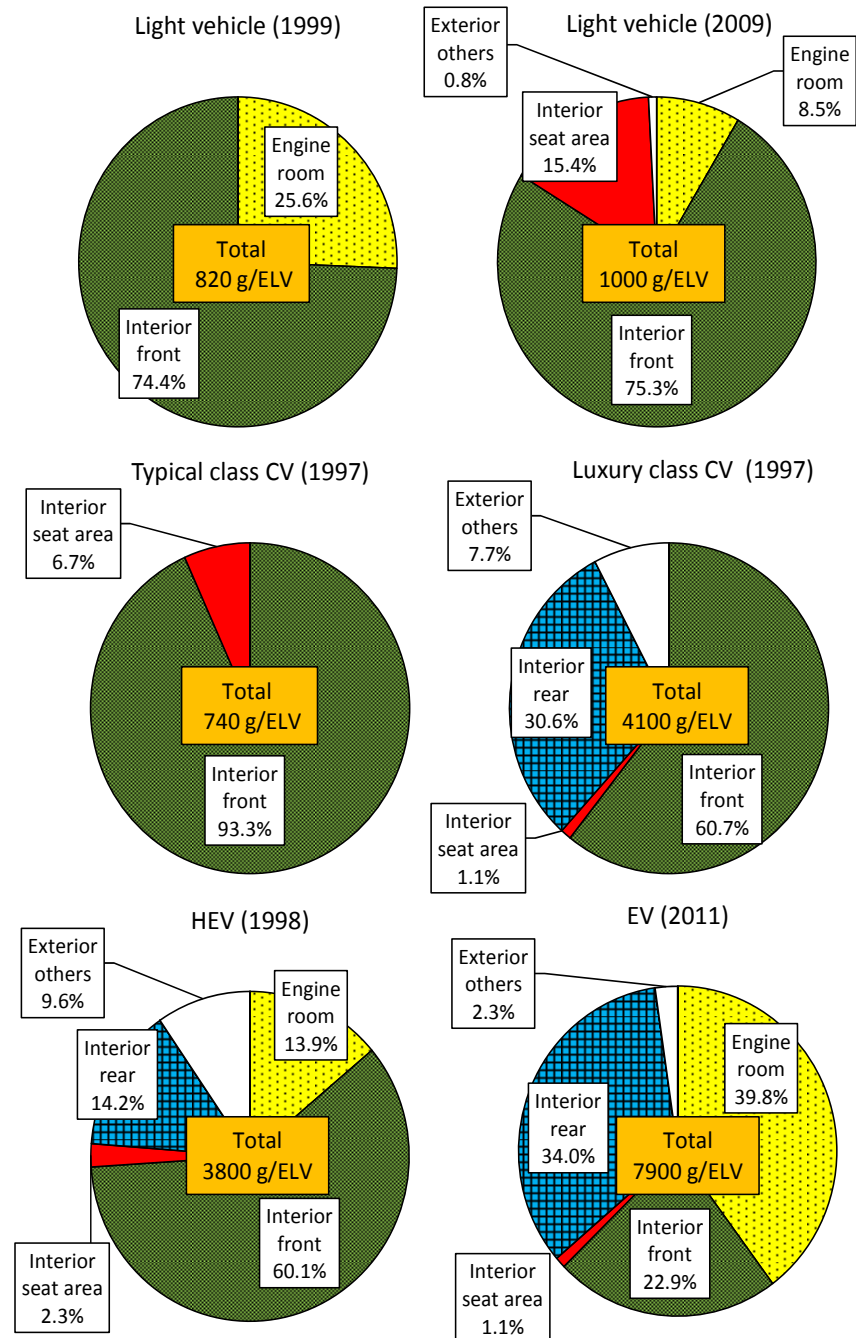


Fig. 所在別の電子基板重量構成

走行制御系の電子基板 の含有元素濃度

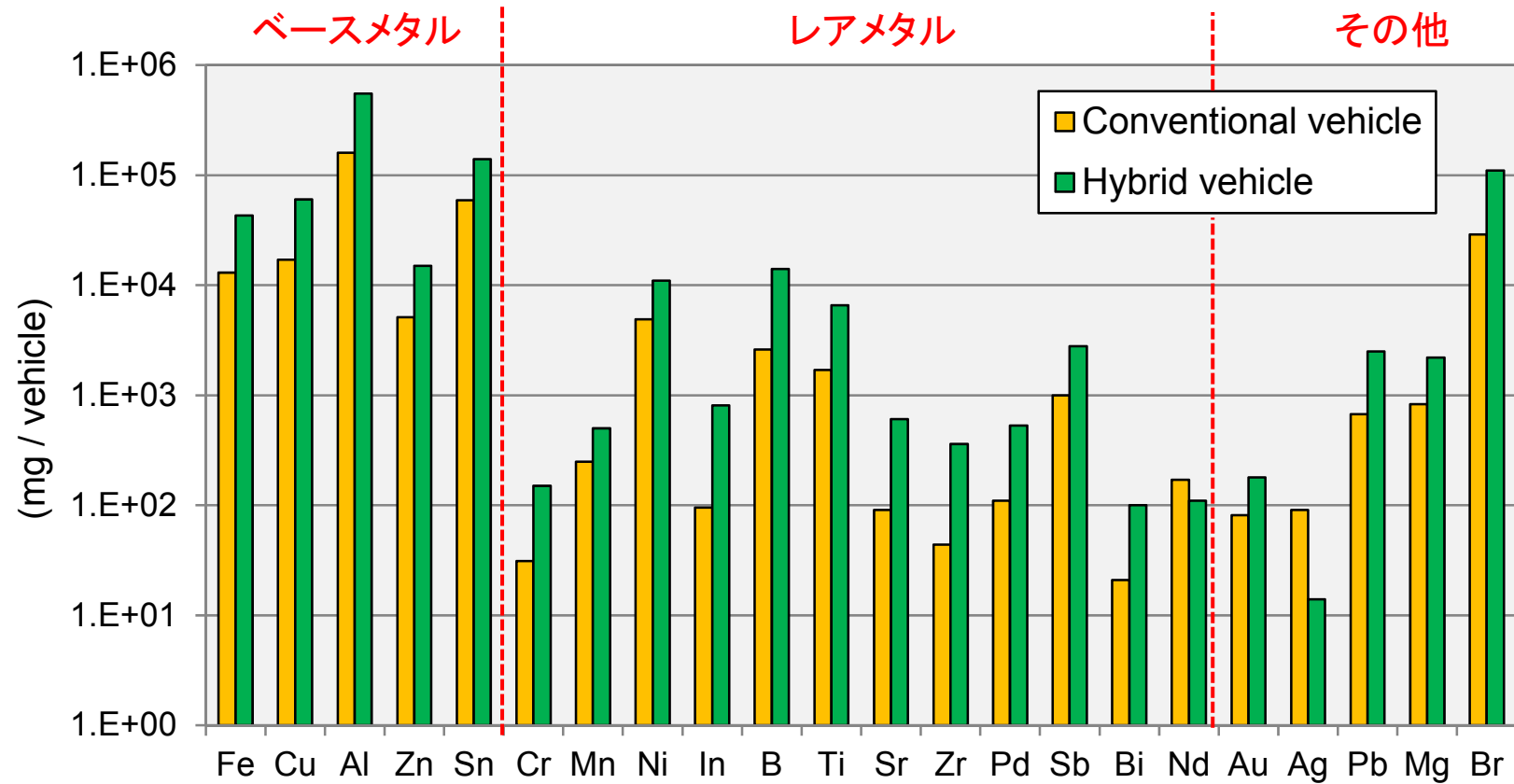
※平均値として

- **10,000 ppm以上**
 - ベースメタル: **Fe, Cu, Al, Sn**
 - 他: **Br**
- **1,000 ppm以上**
 - ベースメタル: **Zn**
 - レアメタル: **Ni, B, Ti, Sb**
 - 他: **Mg, Pb**
- **Over 100 ppm以上**
 - レアメタル: **Mn, In, Sr, Zr, Pd, Nd**
 - Others: **Ag**

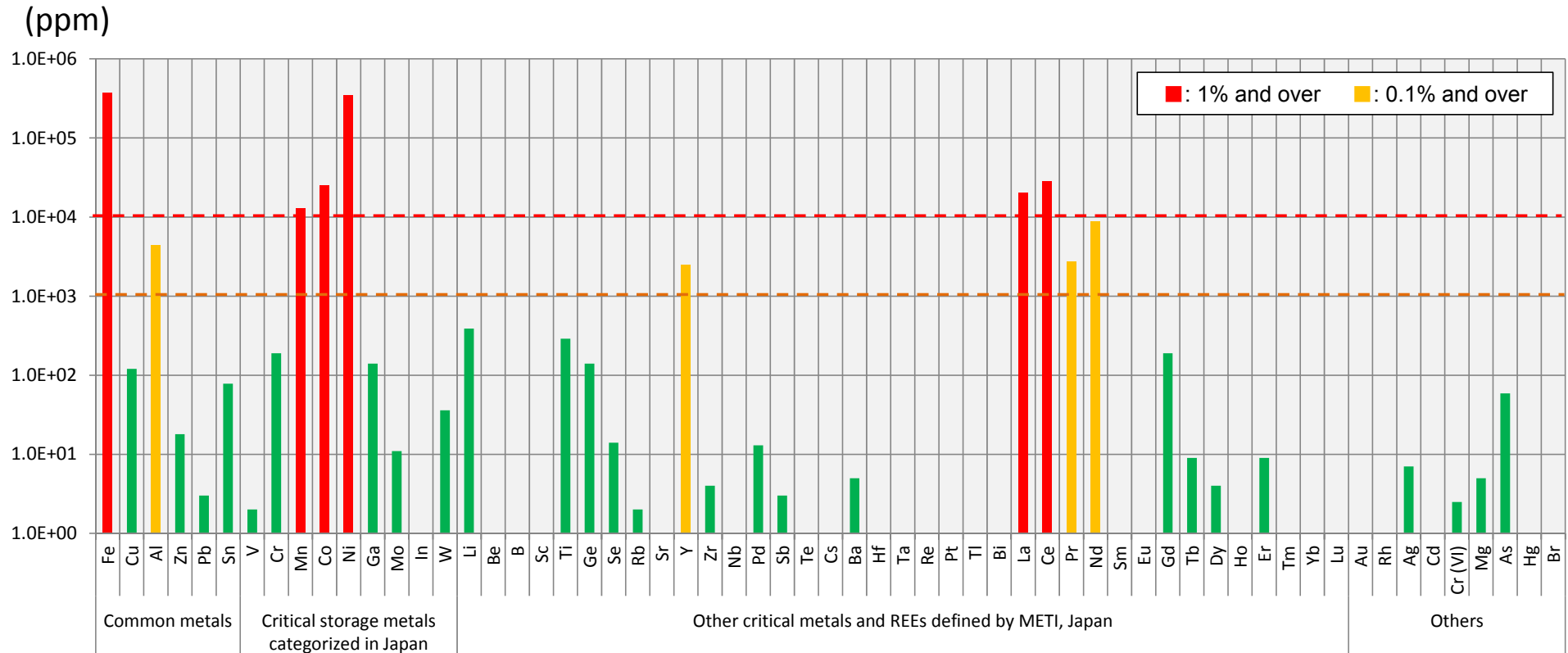
		Conventional vehicle (N = 5)			Hybride vehicle (N = 14)		
		Min	Max	Average	Min	Max	Average
Common metals	Fe (mg/kg)	8300	23000	16000	1000	50000	17000
	Cu (mg/kg)	15000	71000	33000	15000	35000	25000
	Al (mg/kg)	150000	220000	190000	98000	290000	210000
	Zn (mg/kg)	3200	14000	8500	150	19000	6600
	Sn (mg/kg)	36000	95000	73000	25000	89000	56000
Critical storage metals categorized in Japan	Cr (mg/kg)	22	72	41	27	700	86
	Mn (mg/kg)	36	560	210	38	1600	310
	Co (mg/kg)	7	24	15	2	34	14
	Ni (mg/kg)	2400	8800	5300	35	11000	3900
	Ga (mg/kg)	1	3	2	1	10	3
	Mo (mg/kg)	2	260	52	1	3	0
	In (mg/kg)	22	210	120	43	800	310
	W (mg/kg)	40	93	27	1	66	11
Other critical metals and rare earths defined by METI	Li (mg/kg)	6	19	12	7	32	17
	B (mg/kg)	1800	4100	3000	3300	7700	5500
	Sc (mg/kg)	0	0	0	0	0	0
	Ti (mg/kg)	540	2900	1600	450	10000	3000
	Sr (mg/kg)	29	180	100	90	450	240
	Y (mg/kg)	2	22	5	1	14	3
	Zr (mg/kg)	12	120	37	16	1600	190
	Nb (mg/kg)	1	44	16	1	110	39
	Pd (mg/kg)	22	310	130	5	570	220
	Sb (mg/kg)	540	2100	1300	30	5300	1300
	Ba (mg/kg)	6	11	9	6	120	17
	Hf (mg/kg)	1	5	1	1	66	9
	Ta (mg/kg)	1	67	14	1	63	10
	Bi (mg/kg)	5	64	26	2	270	45
	Ce (mg/kg)	1	4	3	3	400	35
	Pr (mg/kg)	5	7	2	1	13	2
	Nd (mg/kg)	2	560	120	1	86	34
Sm (mg/kg)	0	0	0	1	19	4	
Dy (mg/kg)	1	1	0	3	50	9	
Others	Au (mg/kg)	1	200	94	3	210	72
	Ag (mg/kg)	2	1100	220	2	10	5
	Pb (mg/kg)	540	980	830	770	2000	1100
	Mg (mg/kg)	1000	2000	1300	420	1600	840
	As (mg/kg)	2	9	5	4	21	9
	Br (mg/kg)	21000	44000	33000	32000	59000	46000

走行制御系電子基板の元素含有量比較

多くの元素でHEVの方が高級車より含有量が多い傾向を確認



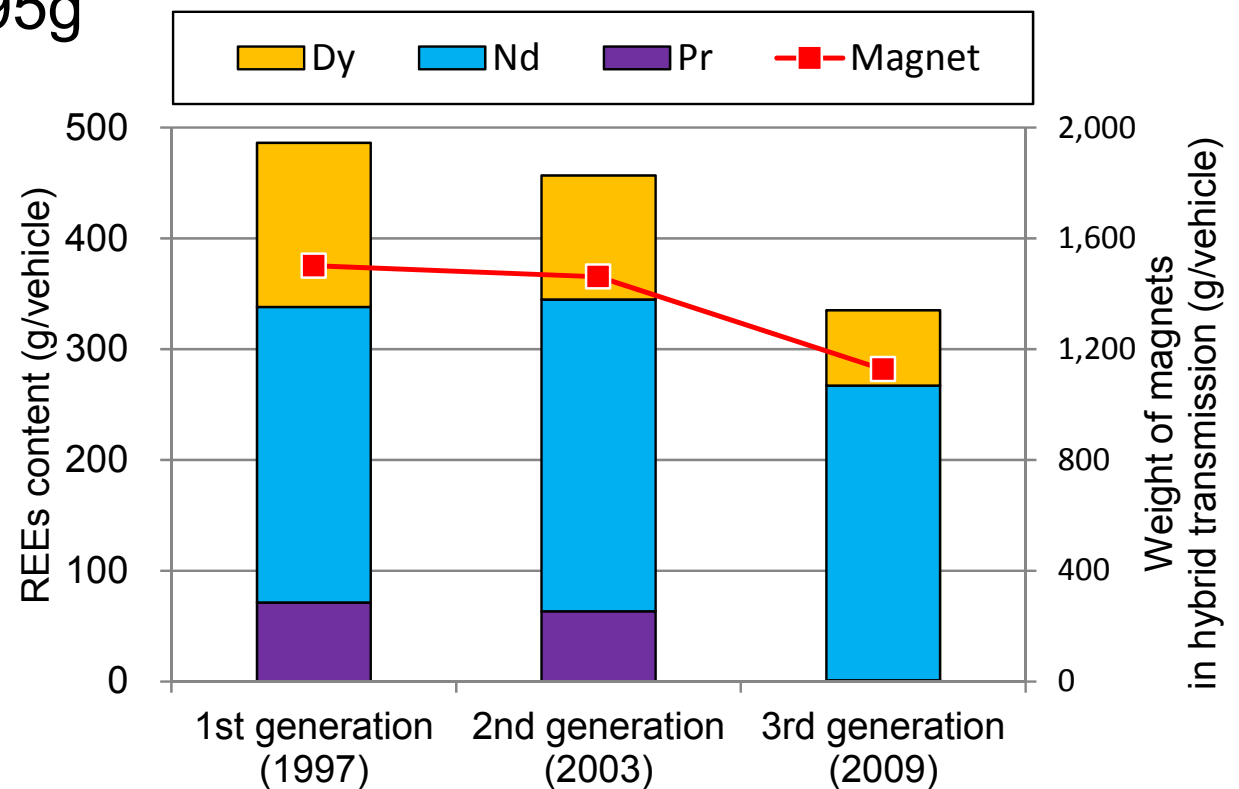
NiMH電池セル中の含有元素濃度



- **1%以上**: Fe, Mn, Co, Ni, La, Ce
- **0.1%以上**: Al, Y, Pr, Nd
- 電池セル合計43.4 kgなので、
16 kg-Fe, 0.56 kg-Mn, 1.1 kg-Co, 15 kg-Ni, **0.87 kg-La, 1.2 kg-Ce**, 0.19 kg-Al,
0.11 kg-Y, **0.12 kg-Pr, and 0.38 kg-Nd**

ハイブリッドトランスミッション中の 磁石重量とREEs

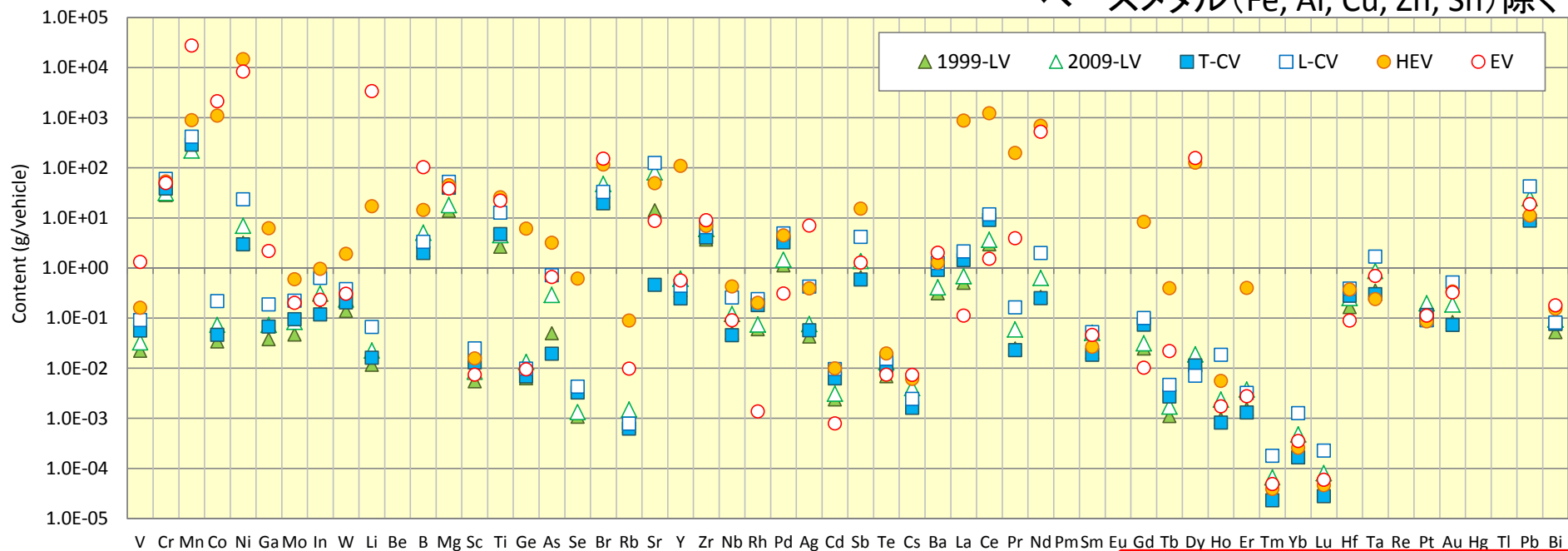
- 磁石重量の減量に伴い、REEs含有量も減少:
 - 486 g (初代) → 457 g (2代目) → 335 g (3代目)
 - 初代－3代目間で**31.1%減**
- EVのREEs含有量: 695g
 - HEVよりも高い。



14 ※一部既往研究のデータも使用

ELV1台あたりの元素含有量

ベースメタル (Fe, Al, Cu, Zn, Sn) 除く



V Cr Mn Co Ni Ga Mo In W Li Be B Mg Sc Ti Ge As Se Br Rb Sr Y Zr Nb Rh Pd Ag Cd Sb Te Cs Ba La Ce Pr Nd Pm Sm Eu Gd Tb Dy Ho Er Tm Yb Lu Hf Ta Re Pt Au Hg Tl Pb Bi

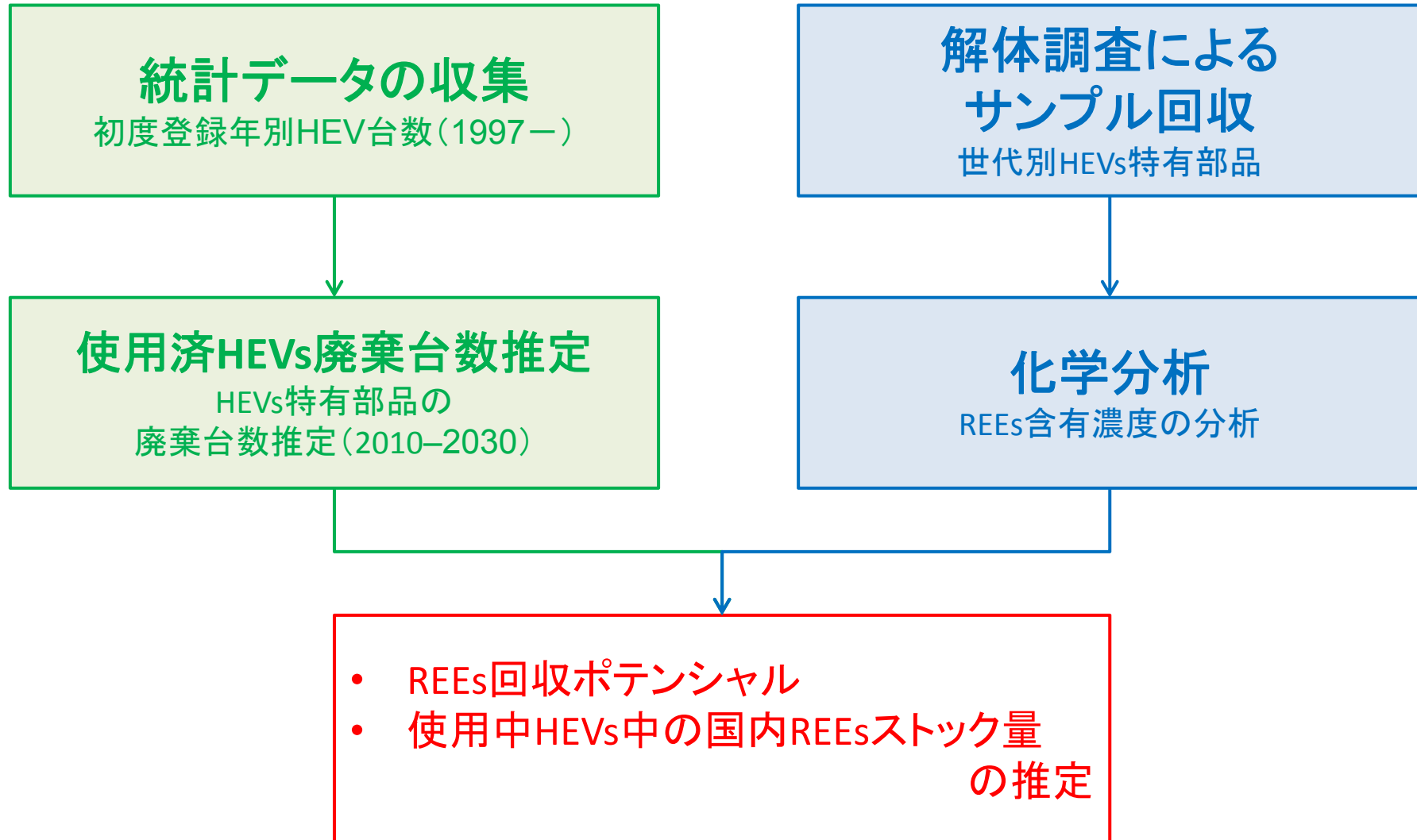
	軽自動車 (1999)	軽自動車 (2009)	普通自動車 (1997)	高級車 (1997)	HEV (1998)	EV (2011)
1000 g over				Mn	Mn, Co, Ni, Ce,	Mn, Co, Ni, Li,
100 g over	Cr, Mn,	Cr, Mn,	Cr, Mn,	Cr, Sr,	Cr, Br, Y, La, Pr, Nd, Gd, Dy,	Cr, B, Br, Nd, Dy,
10 g over	Ni, Mg, Br, Sr	Ni, Mg, Br, Sr,	Ni, Mg, Br,	Ni, Mg, Ti, Br, Ce,	Li, B, Mg, Ti, Sr, Sb,	Mg, Ti,
1 g over	B, Ti, Zr, Pd, Ce	B, Ti, Zr, Pd, Sb, Ce,	B, Ti, Zr, Pd, La, Ce,	B, Zr, Pd, Sb, Ba, La, Nd, Ta,	Ga, In, W, Ge, As, Zr, Pd, Ba,	V, Ga, Sr, Zr, Ag, Sb, Ba, Ce, Pr,

2. ハイブリッド車の レアアース元素回収ポテンシャル

目的と研究対象

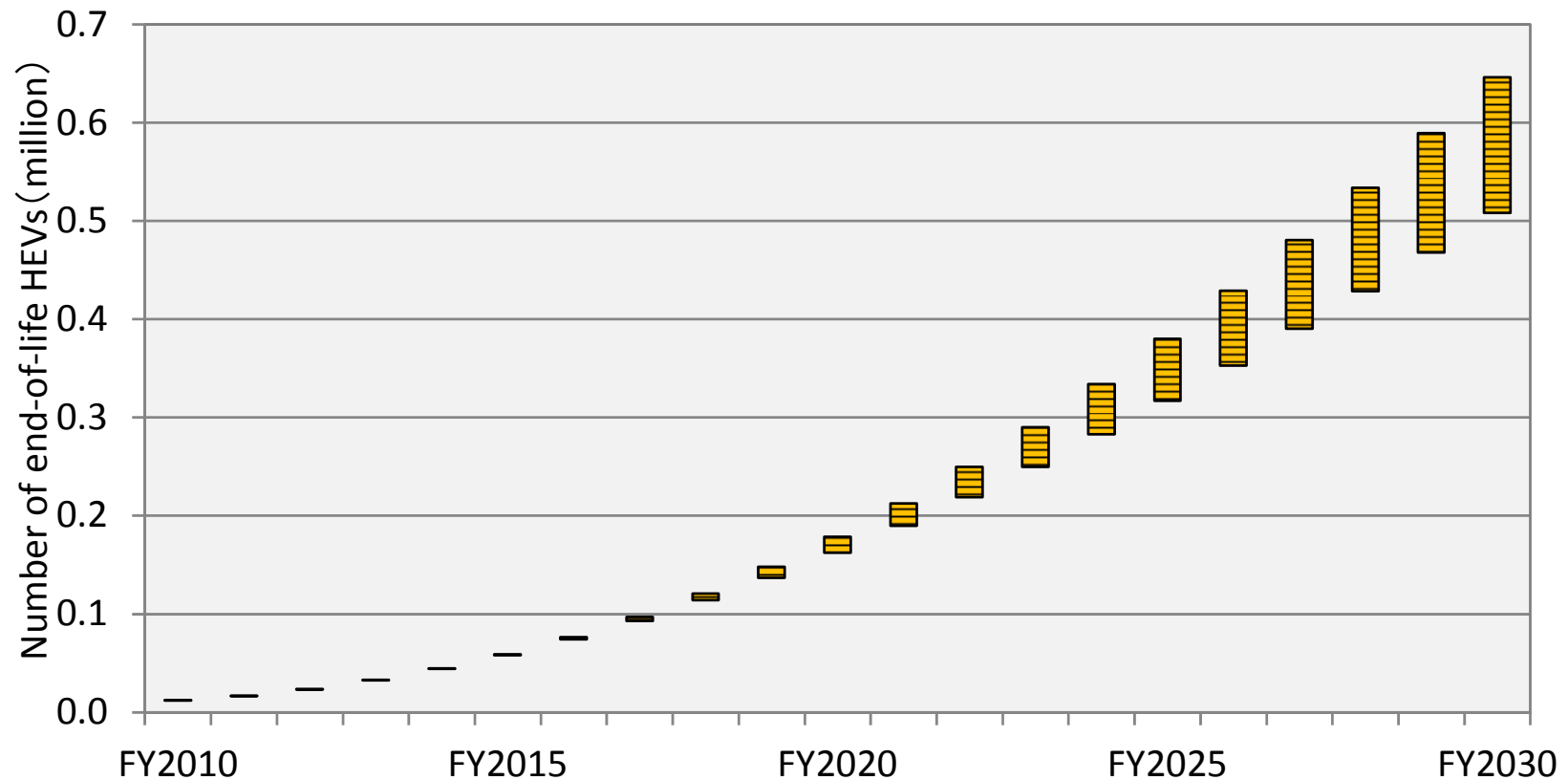
- 目的
 - HEV特有部品に由来するREEs回収ポテンシャルを明らかにする。
 - 資源性物質の例としてREEsに着目
 - 使用済HEVs特有部品のREEs含有量全量を「回収ポテンシャル」と定義
- 研究対象
 - HEVs特有部品：
 - ハイブリッドトランスミッション
 - 駆動モーター、ジェネレーター中のモーター磁石
 - ニッケル水素電池(NiMH電池)
 - NiMH電池セル
 - NiMH電池ユニット中の他の構成部品(電子基板等)は対象外
 - HEVsは製造時期により3区分:
 - 第1世代:1997-2002年度
 - 第2世代:2003-2008年度
 - 第3世代以降:2009年度ー
 - 推定期間:2010–2030年度
 - 対象地域:国内(輸出入は除く)

推定手順



使用済HEVs廃棄台数

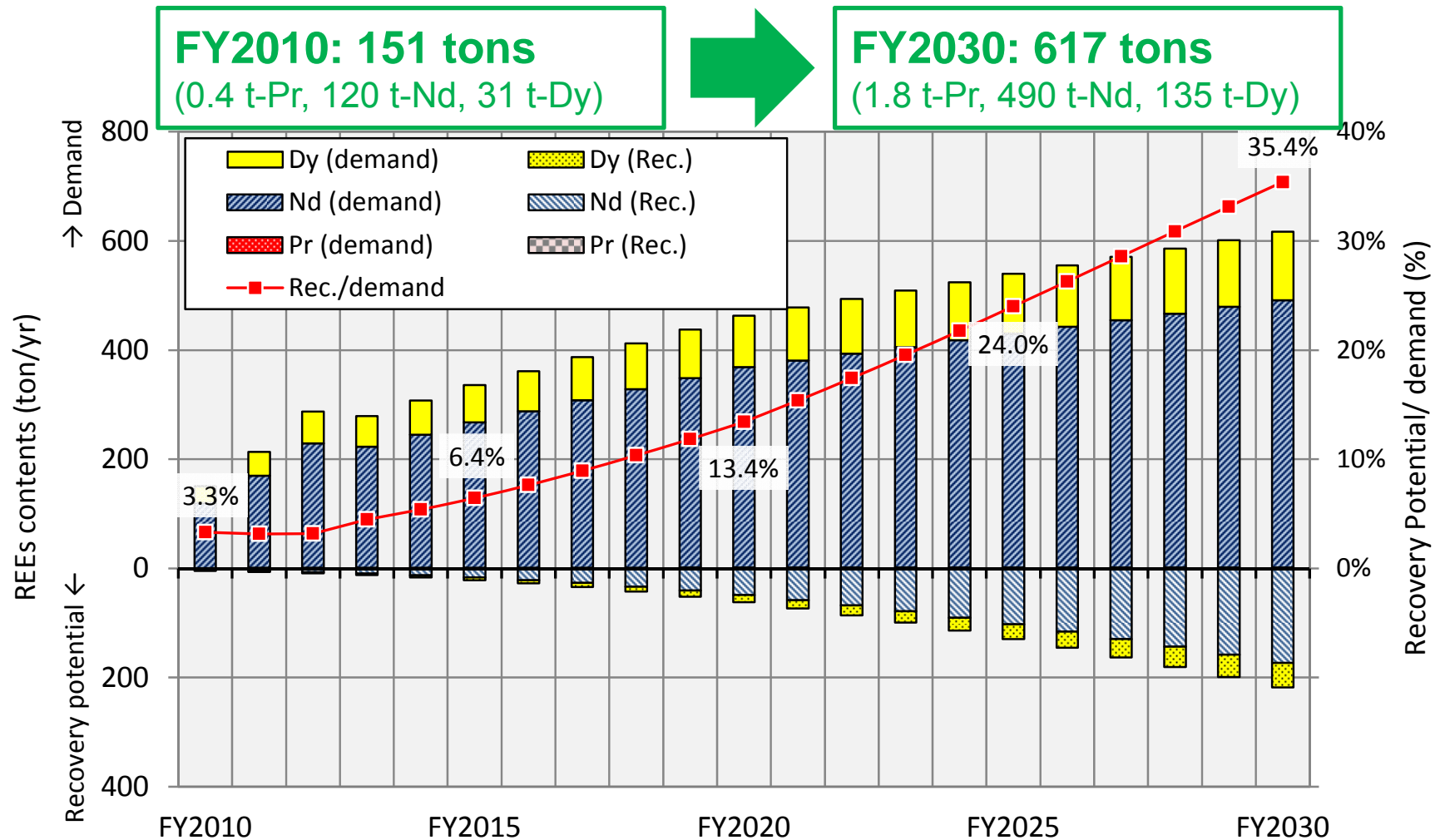
- 使用済HEVs廃棄台数は2010年度は11000台であるのに対し、2030年度には51-65万台まで増加



ハイブリッドトランスミッション由来の REEs需要および回収ポテンシャル

REEs需要 (最大ケース)

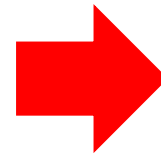
- 「需要」とは当該年の新HEV用ハイブリッドトランスミッション用途での需要を指す。



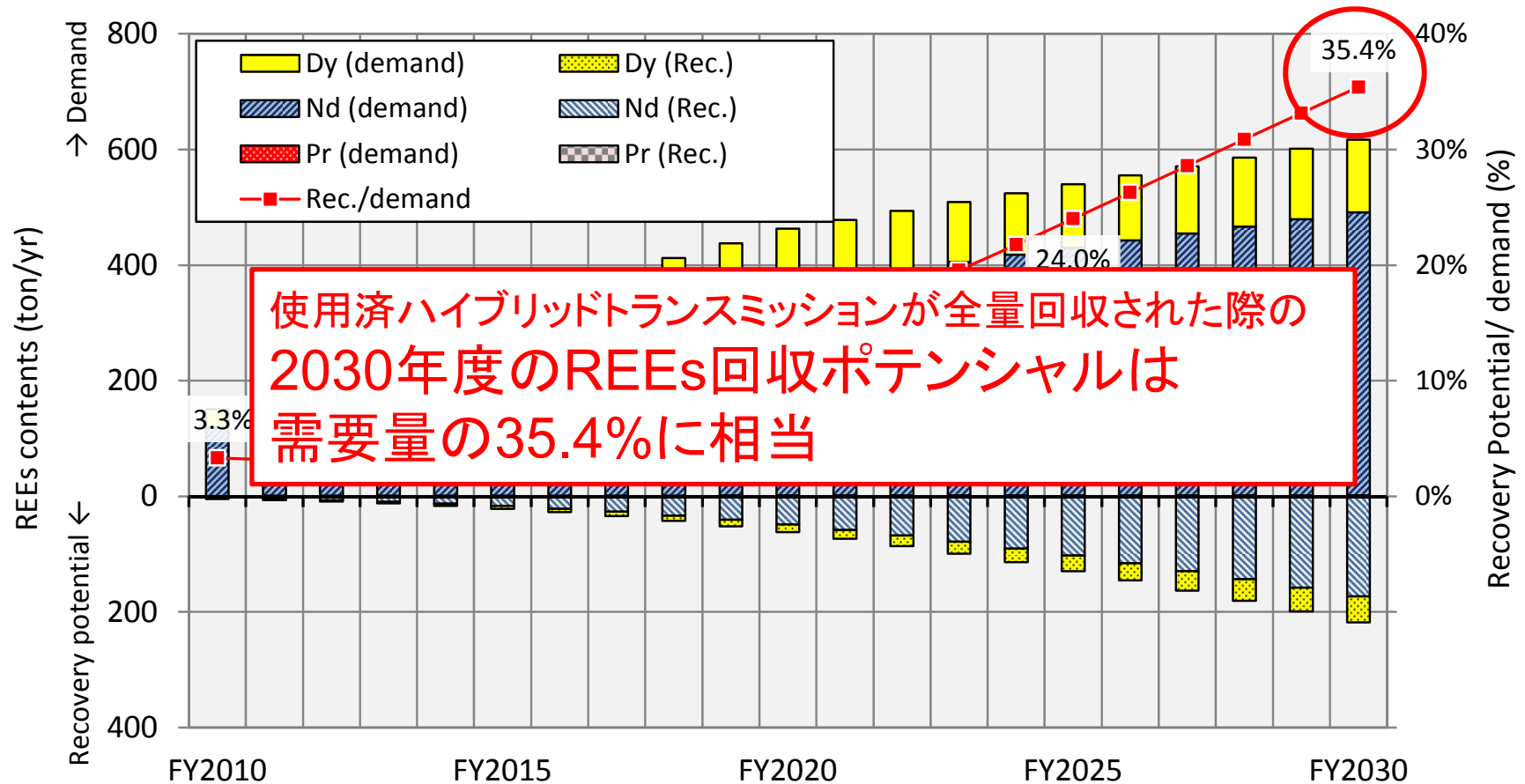
ハイブリッドトランスミッション由来の REEs需要および回収ポテンシャル

- REEs回収ポテンシャル(最大ケース)

FY2010: 5.0 tons
(0.6 t-Pr, 3.1 t-Nd, 1.3 t-Dy)



FY2030: 218 tons
(1.5 t-Pr, 172 t-Nd, 45 t-Dy)

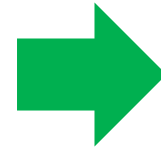


NiMH電池ユニット由来の REEs需要および回収ポテンシャル

- REEs需要 (最大ケース)

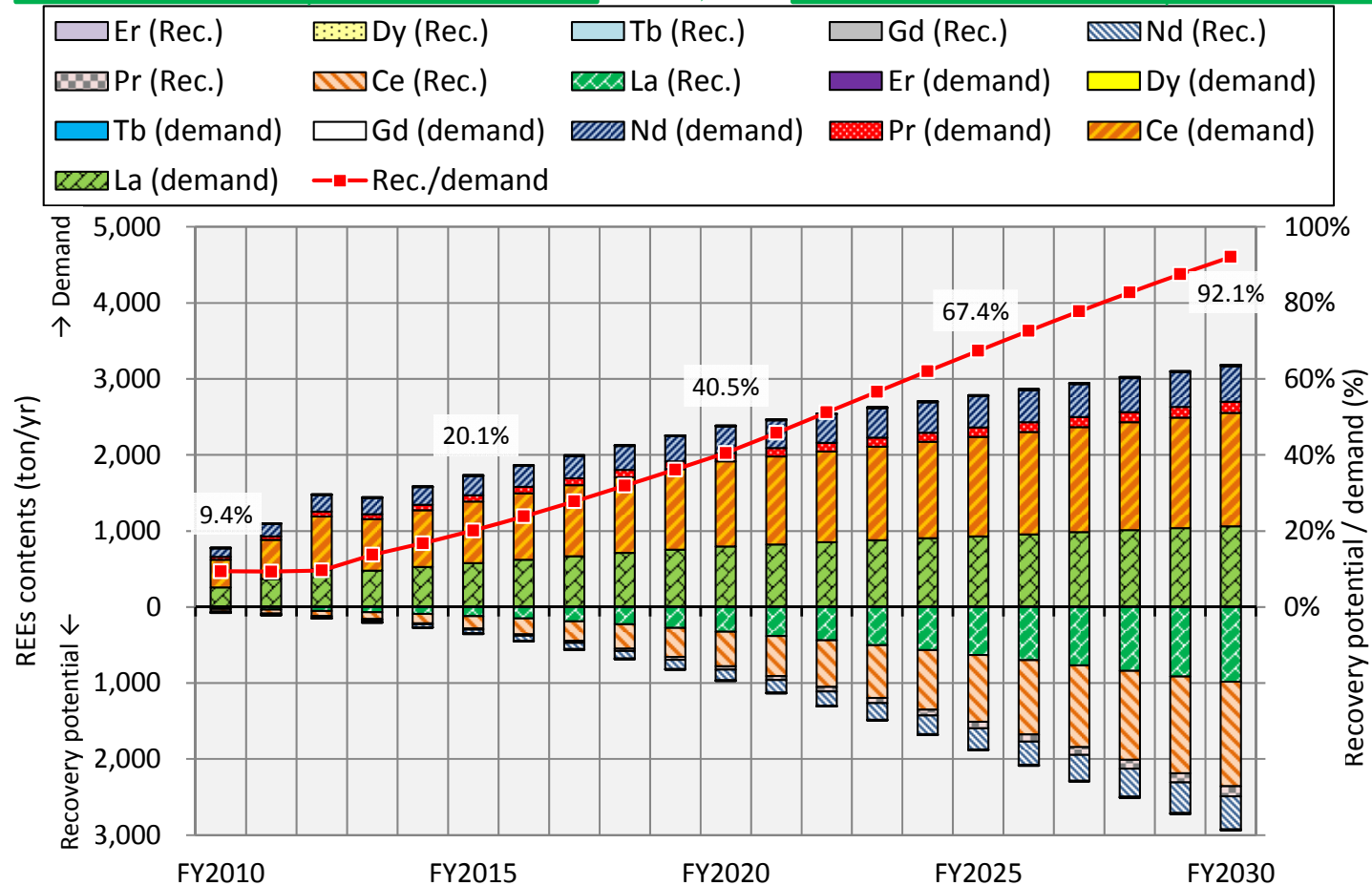
FY2010: 777 tons

(260 t-La, 364 t-Ce, 35 t-Pr, 115 t-Nd, 2.5 t-Gd. etc.)



FY2030: 3,180 tons

(1070 t-La, 1490 t-Ce, 144 t-Pr, 469 t-Nd, 10 t-Gd. etc.)

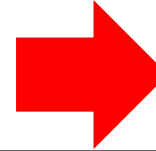


NiMH電池ユニット由来の REEs需要および回収ポテンシャル

- REEs回収ポテンシャル(最大ケース)

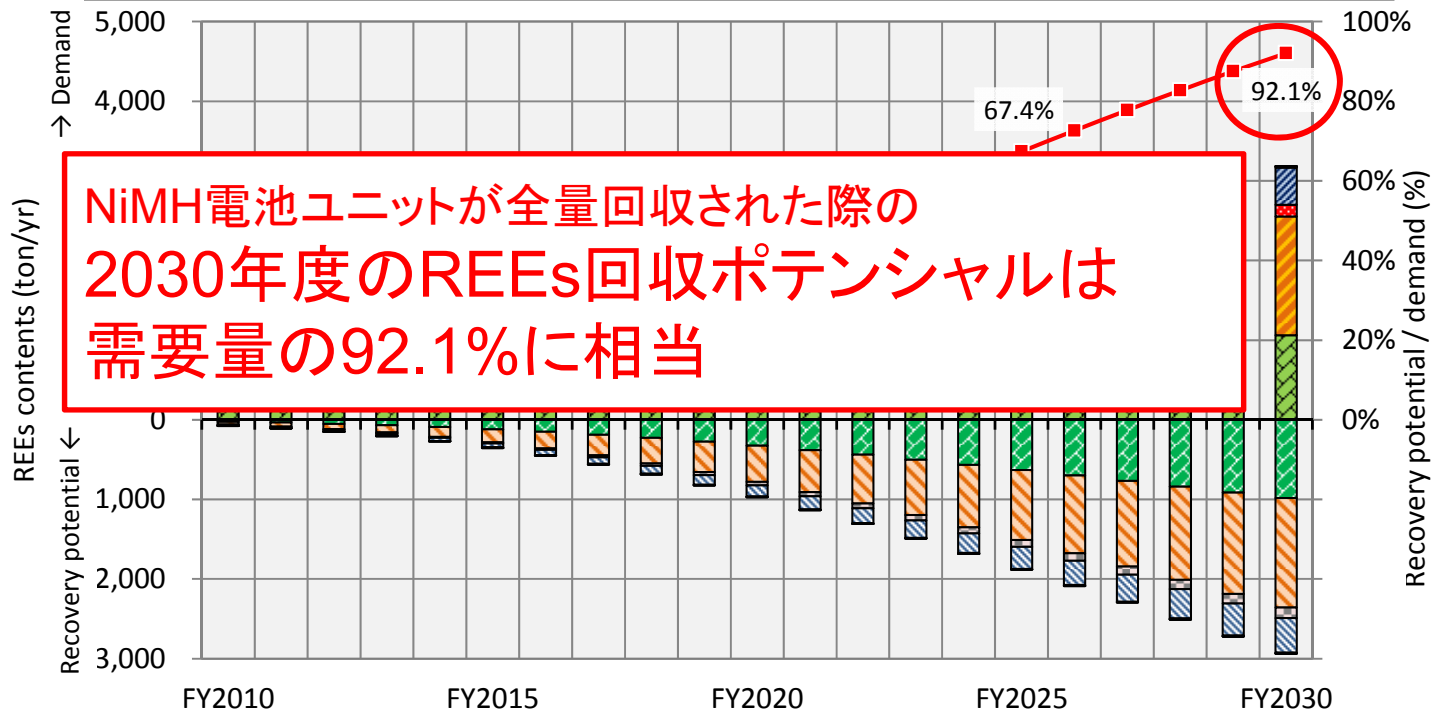
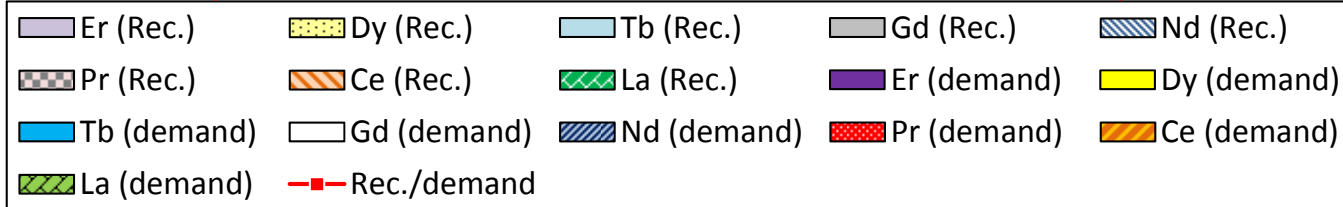
FY2010: 73 tons

(24 t-La, 34 t-Ce, 3.3 t-Pr, 11 t-Nd, 0.2 t-Gd, etc.)



FY2030: 2,930 tons

(982 t-La, 1374 t-Ce, 133 t-Pr, 432 t-Nd, 9.3 t-Gd, etc.)



3. 使用済み自動車中の 鉛削減効果の将来推定

背景

- Pbは自動車に使用されている代表的な有害物質の1つ
- 日本自動車工業会の自主目標により対策が進む
 - 対象:乗用車、貨物車 ※軽自動車除く
 - 対象物質:Pb, Cr⁺⁶, Hg, Cd
 - Pbの削減目標と達成状況:

物質	目標	達成状況
Pb	<ul style="list-style-type: none">• 1996年比(1,850 g/台)で2006年以降に10%以下まで低減。 ※鉛バッテリー除く。	2001年度: 463 g-Pb/台 2003年度: 370 g-Pb/台 2005年度: 240 g-Pb/台 2007年度: 103 g-Pb/台 2010年度: 86 g-Pb/台

使用済自動車(ELV)やASR中の将来のPb削減効果を推定

推定手順

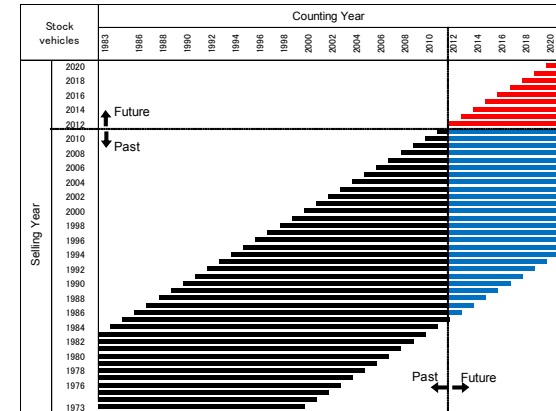
1台当たりPb含有量設定
→初度登録年別、部品別

ASR中のPb含有量推定
 1. 未削減ケース(1996年度時点から変化なし)
 2. Pb削減(最少ケース):新型車と同じPb使用量
 3. Pb削減(最大ケース):フルモデルチェンジ時にPb削減

ELV処理フロー中のPb分配率の設定
→部品別

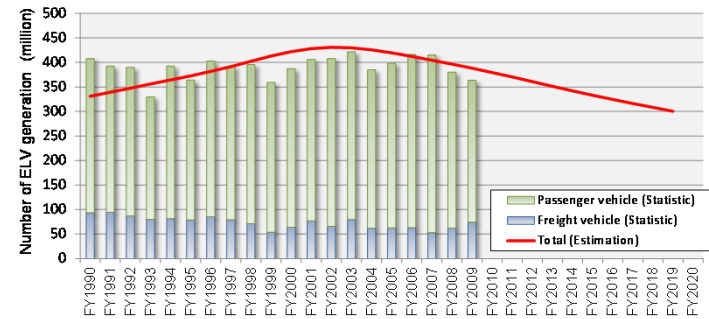
ASR重量の推定
→年度別推移(1990-2020)

ASR中のPb含有量、濃度推定
→年度別推移(1990-2020)

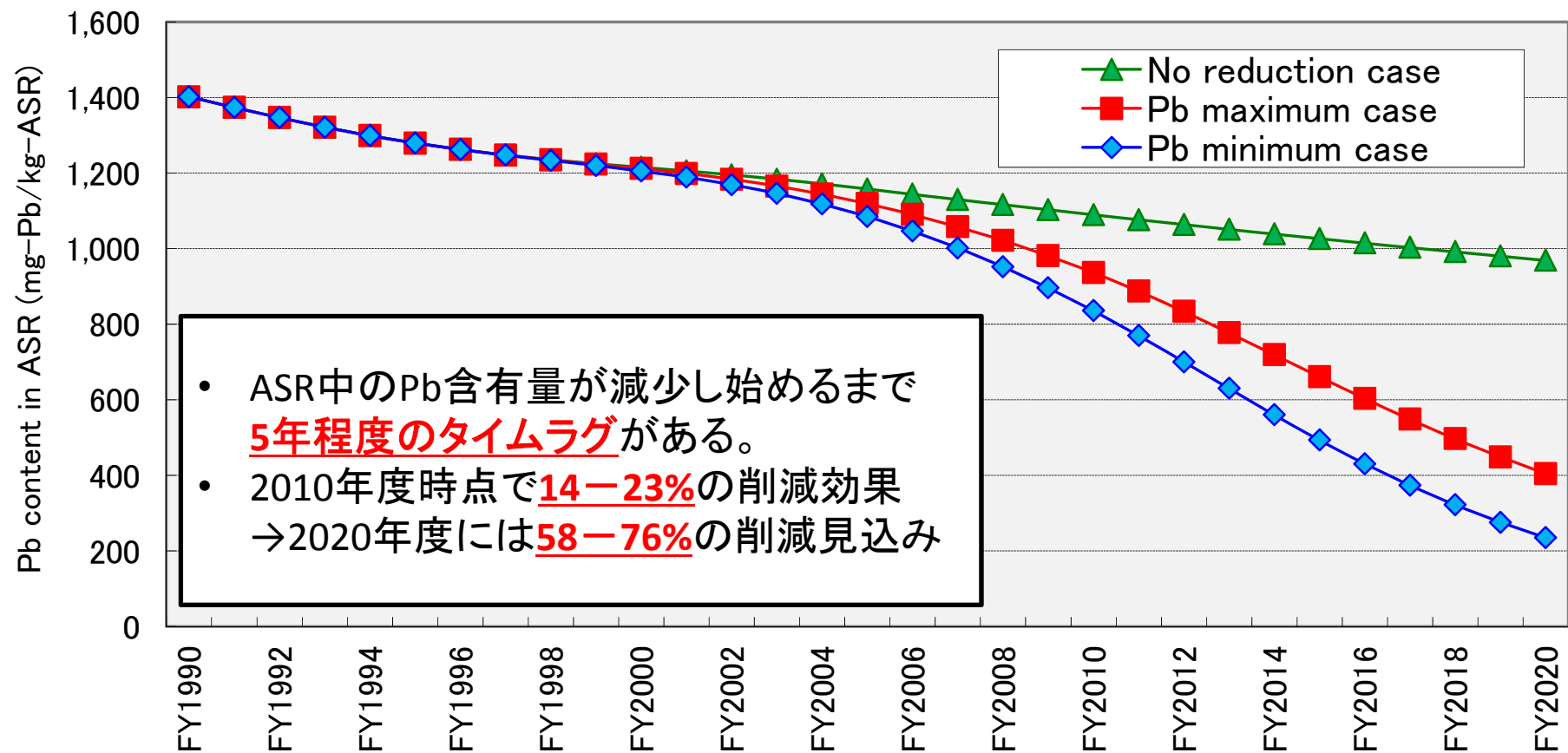


国内自動車使用台数の推定

ELV廃棄台数推定



ASR中のPb濃度の将来予測



まとめ

本研究での到達点

- 次世代車を含む計6台の解体調査を実施し、素材構成や有害・資源性物質の含有量を明らかにした。
- 資源性物質の例として、HEVs特有部品に由来するREEsの回収ポテンシャルを明らかにし、資源回収の重要性を確認した。
- 有害物質の例として、ELV及びASR中のPb濃度の将来予測を行い、長寿命な自動車においては使用削減効果が表れるまで時間を要することを確認した。

ELVリサイクルの今後

ELVの資源性・有害性を念頭においた3Rシステムの構築に向けて、次の3点が重要

1. 資源性・有害性と解体との関連でみた有用部品の特定と類型化、選別戦略
 - 解体、破砕からASRまでのフローで、効果的な部品取り外しと資源回収
2. 自動車設計やASR対策との関連でみた電装化や新型車への対応
 - HEV特有部品など増加する使用済み次世代車への対応
 - 資源性物質のASR混入回避のための、上流での事前回収・資源回収
3. ELVリサイクルを通じた有害物質管理と資源性物質の循環を評価する指標の検討
 - 現行の再資源化率に加え、リサイクルの質に着目した指標や目標、モニタリング