

2012年 茨城大学講義
原子科学と倫理
平成24年12月26日
日立事業場(大学院理工学研究科)

核燃料サイクルの新元素・資源戦略

核廃棄物の元素変換

小澤 正基

東京工業大学原子炉工学研究所 原子力国際共同研究センター
<http://www.nr.titech.ac.jp/~ozawa/>

原子力国際共同研究センター

・2010年度設立

・ミッション

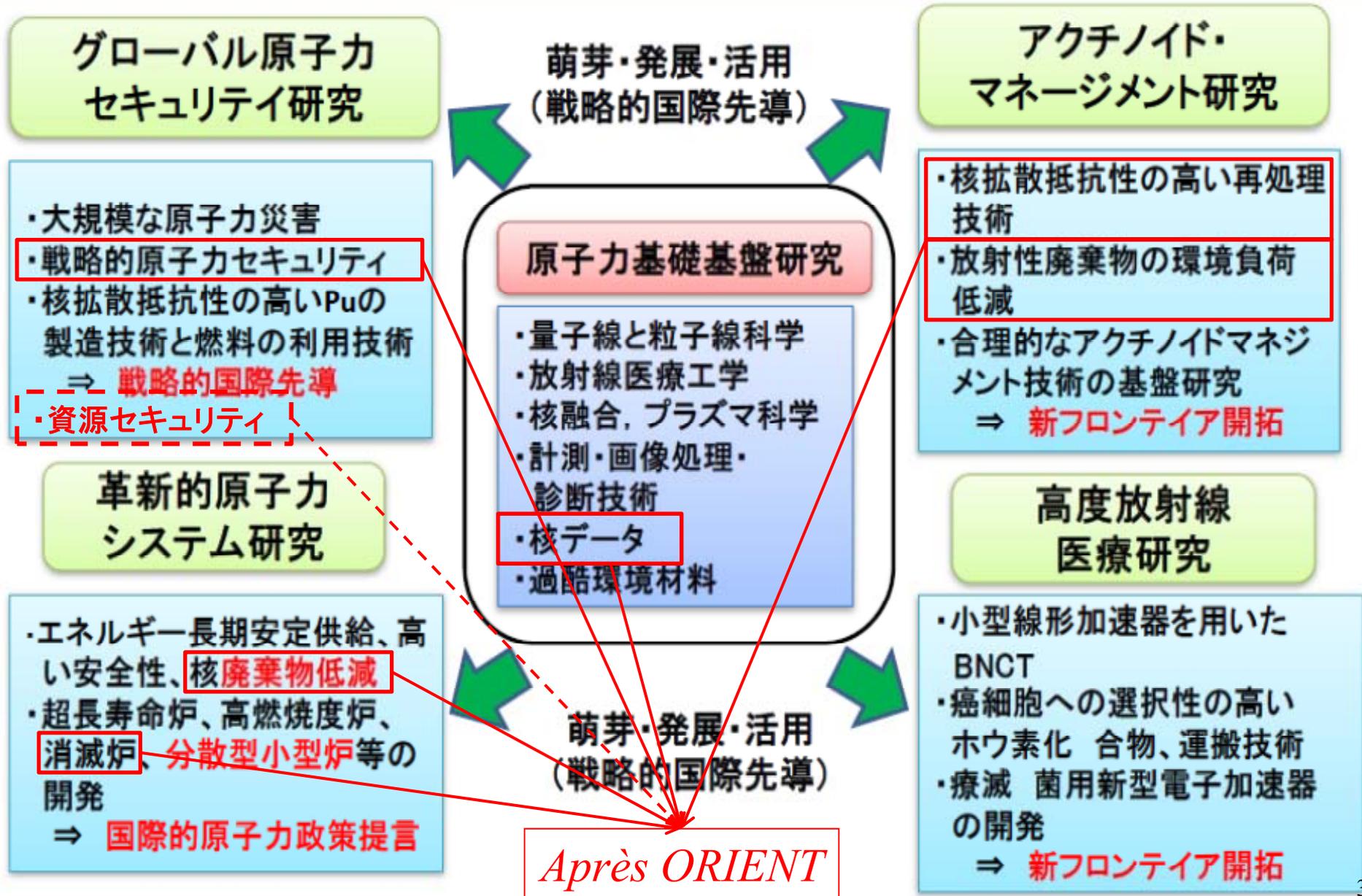
非国家主体による核テロリズムの脅威に備え、

- ・原子力の分野で、*Safety*(安全)に加え、*Security*(核テロ対策)及び
Safeguards(核不拡散・保障措置)の、所謂、“3S”を強化
- ・そのための、国際的な研究展開と人材育成を図る

・研究内容

- ・核拡散抵抗性の高い革新的原子力科学技術に関する研究；核兵器に転用困難な核拡散抵抗性の高いプルトニウム P^3 の製造やその利用技術
- ・先進的核燃料サイクル研究；環境性/核拡散抵抗性/資源セキュリティを強化する分離変換技術 (*Après ORIENT*)
- ・核地政学(*Nuclear Geopolitics*)、サイエンティストゲーム(成功への道)
(⇒ゼミ研究)

平和で安全・安心な生活の保障と社会の構築のための原子力研究



高密度エネルギー源としてのプルトニウム

PLUTONIUM: A WORLD ENERGY RESOURCE



1000tの使用済み燃料（≒約10tPu）は
2,000～2,500万tの原油と等価



クウェート年間産油量1億tの約 1/4に相当！

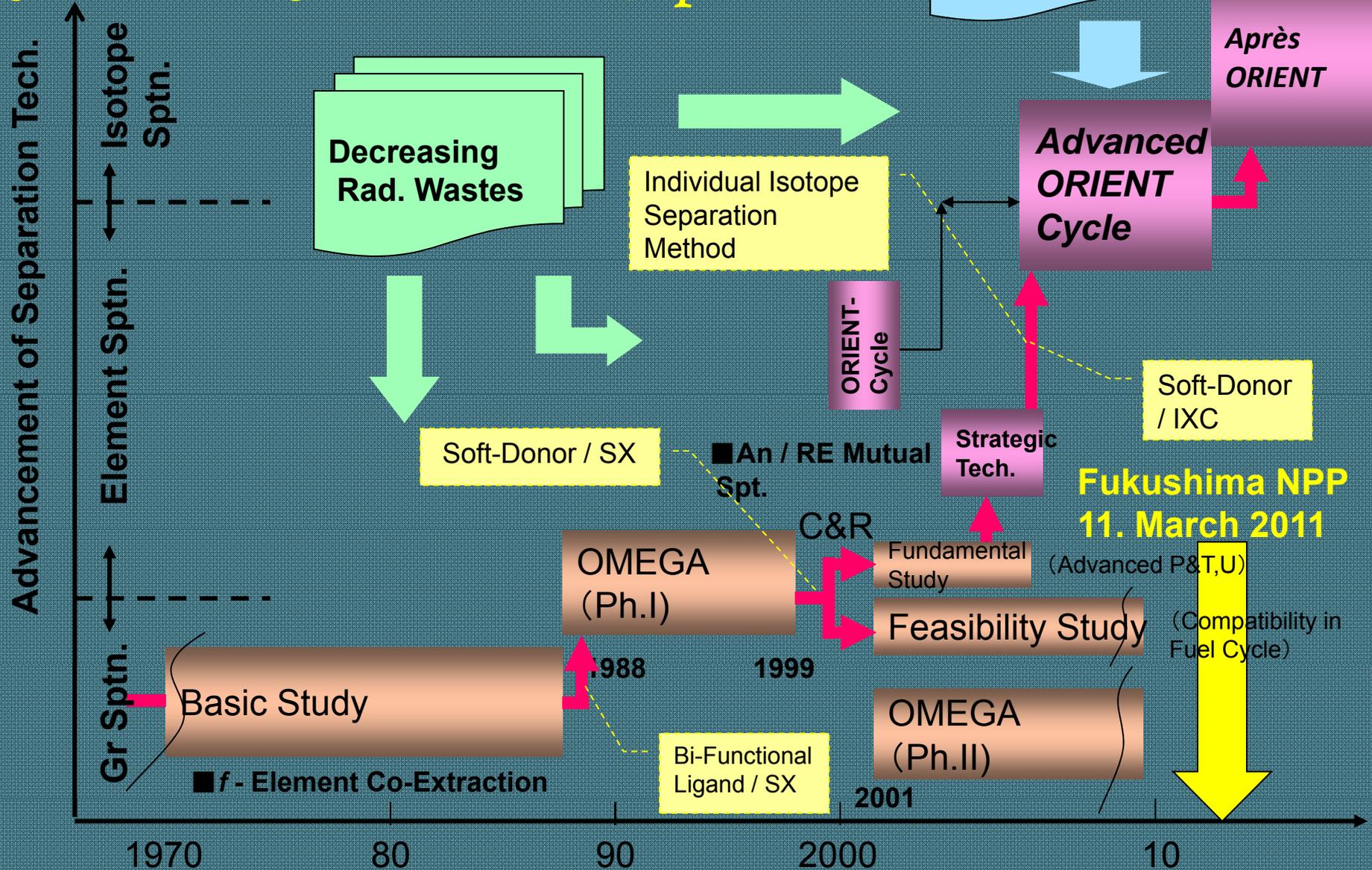


1 g of Pu

1 to 2 t of oil

1,000 t of recycled* spent fuel produce the same amount of
electricity as the combustion of 20 to 25 000 000 t of oil
(Kuwait's annual output: about 100 000 000 t of oil)

Historical View on P&T (Separation) Research on Rad. Wastes in Japan

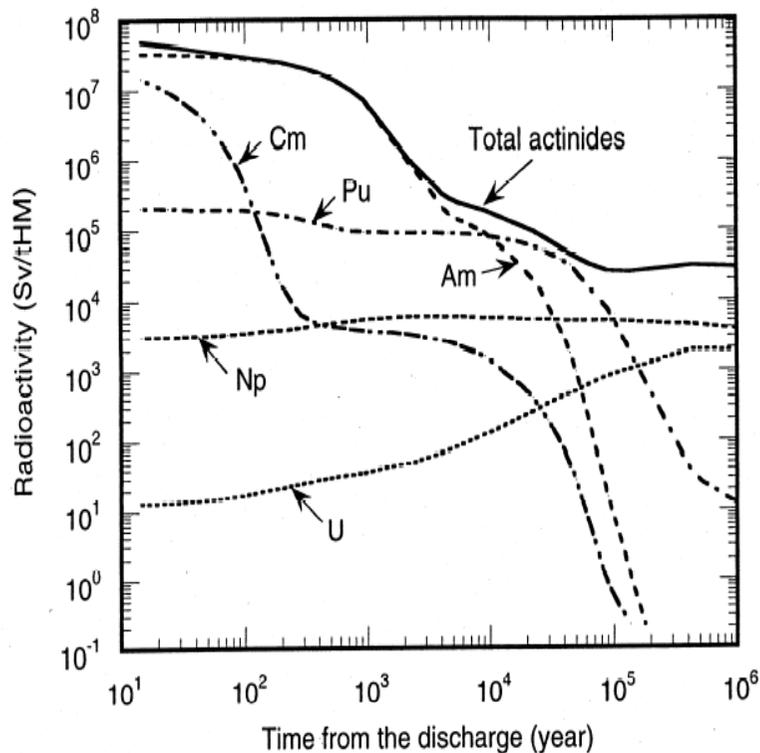


分離変換処理の意義及び効果

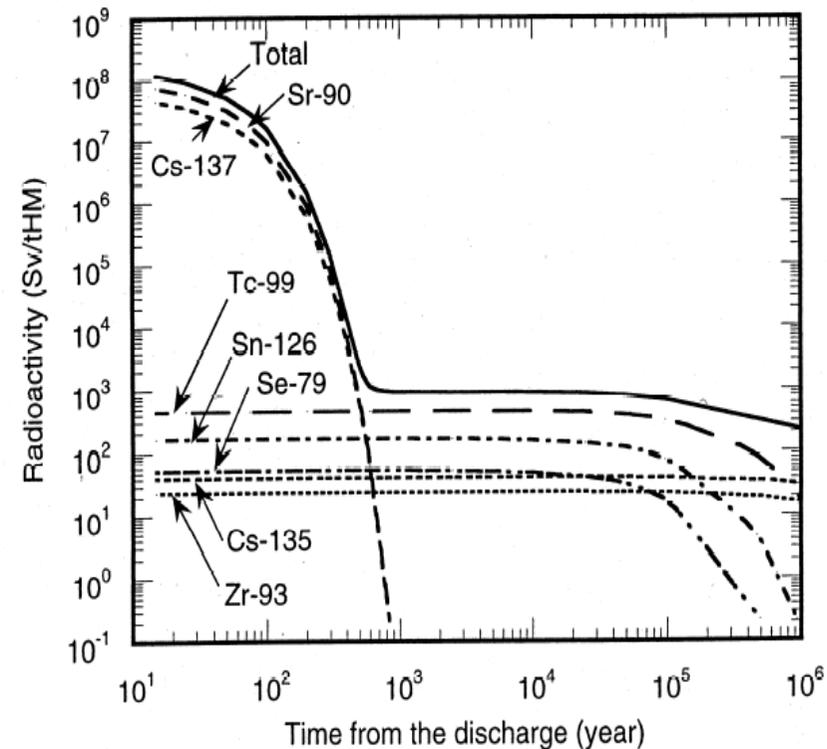
- ・地層処分を補完、ガラス固化体の放射性毒性の低減、処分場占有地の拡大

半減期; ^{241}Am :432.6年、 ^{239}Pu :2.41万年、 ^{244}Cm :18.1年、 ^{99}Tc :21万年、 ^{135}Cs :200万年、 ^{137}Cs :30.1年、 ^{129}I :1570万年

Potential radioactivity of actinides in the glasses from the standard reprocessing of PWR type spent fuel (4.1% ^{235}U , 40 GWd/tHM)



Potential radioactivity of main fission products in the glasses from the standard reprocessing of PWR type spent fuel (4.1% ^{235}U , 40 GWd/tHM)

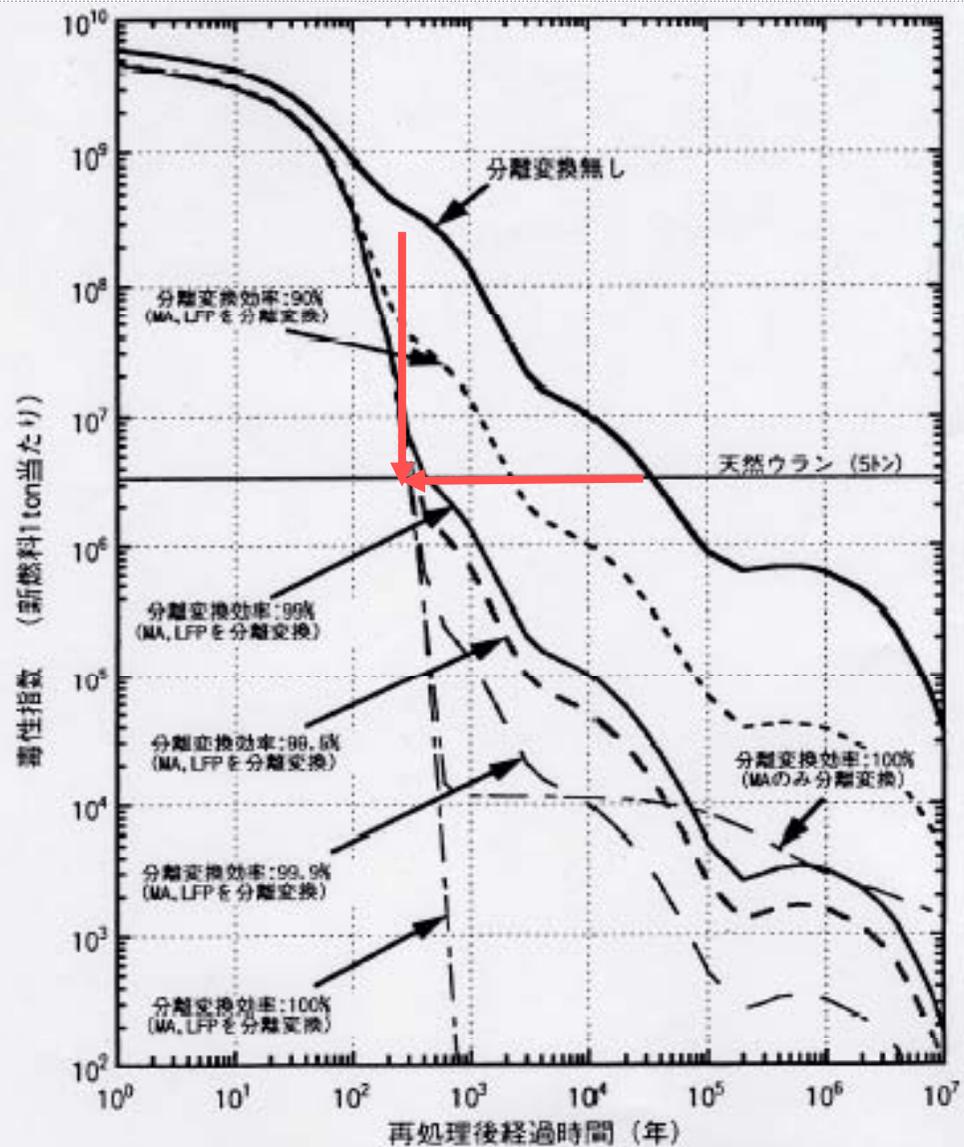


■分離変換の効果;高レベル放射性廃棄物の毒性が原料(天然ウラン)の毒性と同等以下まで低下する期間の短縮

◆ An , $LLFP$ の分離変換係数が99.9%の場合、その期間を数万年から数百年に短縮できる。

「長寿命核種(LLFP)の分離変換技術に関する研究開発の現状と今後の進め方」

平成12年3月31日
原子力委員会
原子力バックエンド対策専門部会



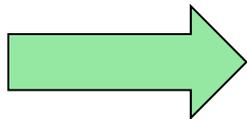
■ 分離変換による高レベル廃棄物の毒性の減少
(LFP:半減期が30年以上の核分裂生成物)

使用済燃料: 燃焼度33GWD/MT、3年冷却
再処理効率: 99.9%U, Pu回収

原子力のエネルギー・環境・資源セキュリティ

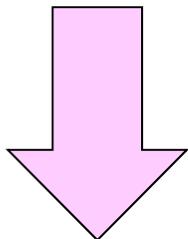
エネルギー、環境

- *Natural fossil fuels (Oil, Gas), U ; 40-80 years, Coal ; around 200years*
 サウジ・ヤマニ元石油相 “父は駱駝に乗った、私は車に乗る、息子は 飛行機を操縦する、しかしながら孫はまた駱駝に乗るだろう”(O.Q-Trias/European Commission, PL1.1 / ICENES2009, Ericeira, Portugal)
- *Worldwide CO₂ issue (waste of Oil!)*



*Nuclear (FBR)
 Renaissance in Europe,
 Asia, etc*

“原子力は中国の宝、ベトナムの夢”



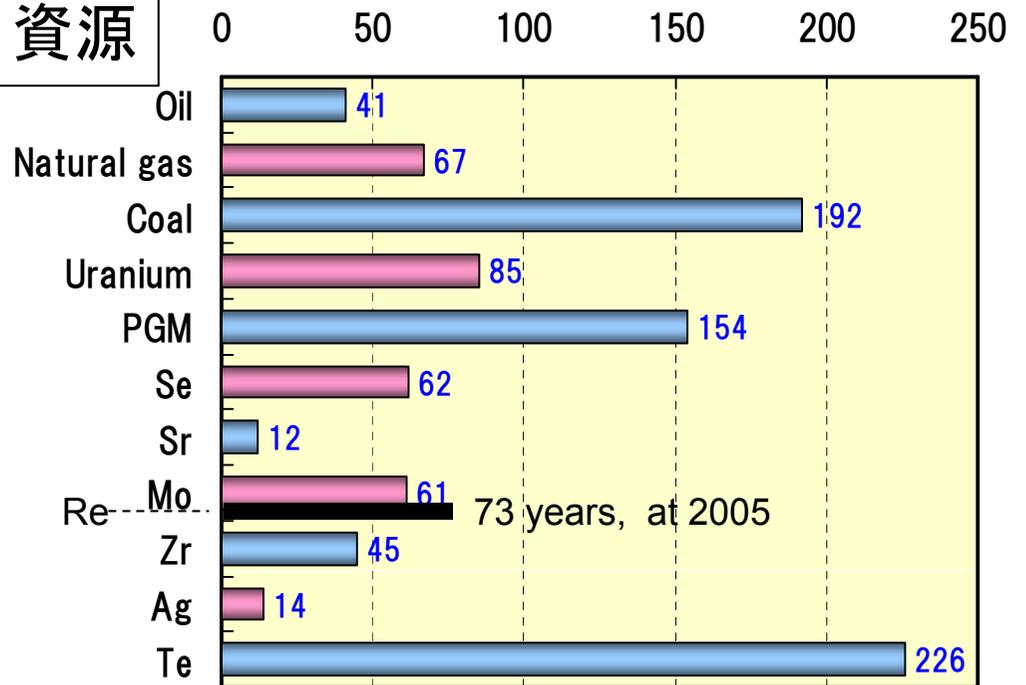
*3.11 Catastrophe of
 Fukushima NPP in Japan*

Urban Mine, Nuclear Ore

“都市鉱山”、“原子力鉱山”



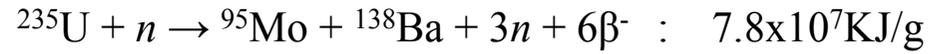
資源



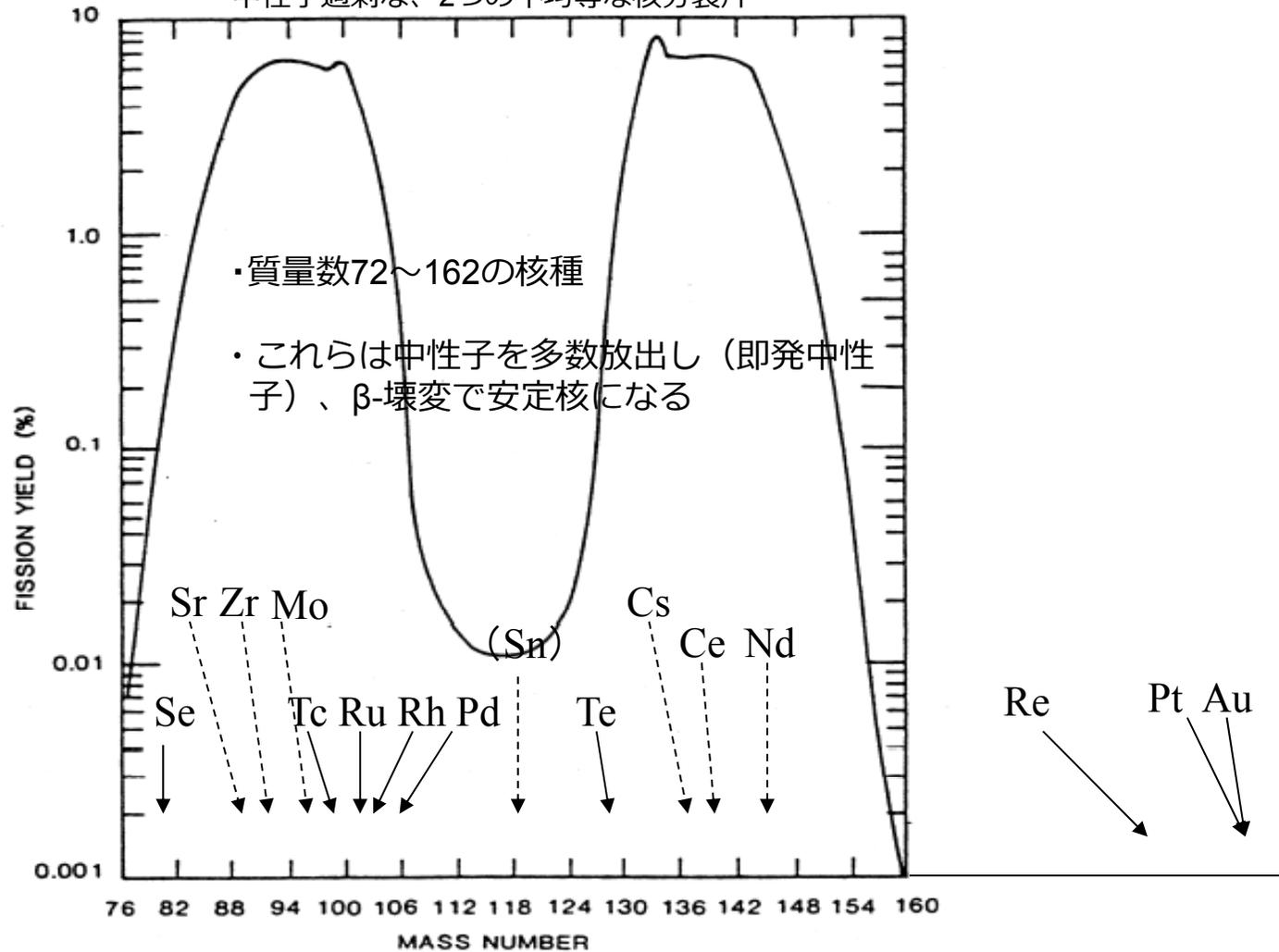
R/P Ratio (year) at 2004 on Estimated Available Time

- *PGM ; ca.200y, Rare Earth (RE) ; 850y. ca.90% of RE were from China*
- *About 1% of national GDP will drop, if ca. 20% of those supply decreased.*
- *Rare Metal (Earth) strategy will dominate the national security at very countries as the same as Energy.*

235Uの核分裂生成物



中性子過剰な、2つの不均等な核分裂片



熱中性子による²³⁵Uの核分裂収率

周期表でみる原子力レアメタル

- ・我国では 47 元素を“レアメタル”と認定（内、希土類 17 元素を含む）
- ・暫定的に 31 元素(有意量 (>10g/tHM) の元素に限定) を利活用の可能性の高い“原子力レアメタル”と定義（希ガス、ハロゲン、Cd, Sn, Sb, Bk, Cfは除く）

Group	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Period																		
1	1 H	FP 																2 He
2	3 Li	4 Be	Actinides  										5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
5	37 Rb	38★ Sr	39★ Y	40 Zr	41 Nb	42■ Mo	43● Tc	44▲ Ru	45▲ Rh	46▼ Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
6	55★ Cs	56★ Ba	57-71 Lanthanides	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
7	87 Fr	88 Ra	89-103 Actinides	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt									

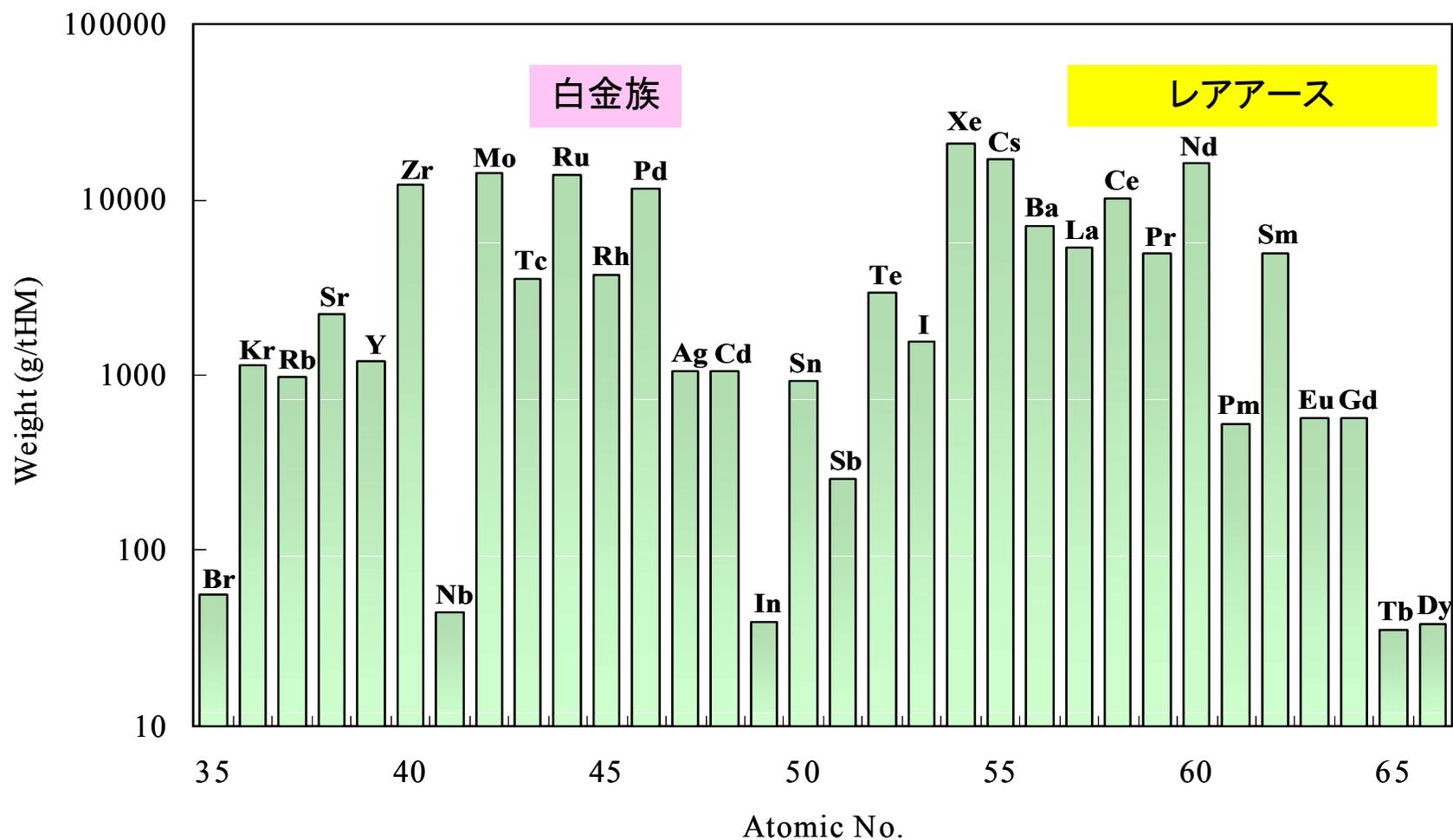
Lanthanides	57■ La	58 Ce	59 Pr	60■ Nd	61● Pm	62 Sm	63★ Eu	64 Gd	65 Tb	66■ Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
Actinides	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96★ Cm	97 Bk	98★ Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr

使用済み核燃料中の原子カレアメタル

高速炉使用済み燃料

* ^{99}Tc , ^{129}I ;
conventional P&T
nuclides

FBR MOX, Inner core, 150GWd/t, cooled 5 years



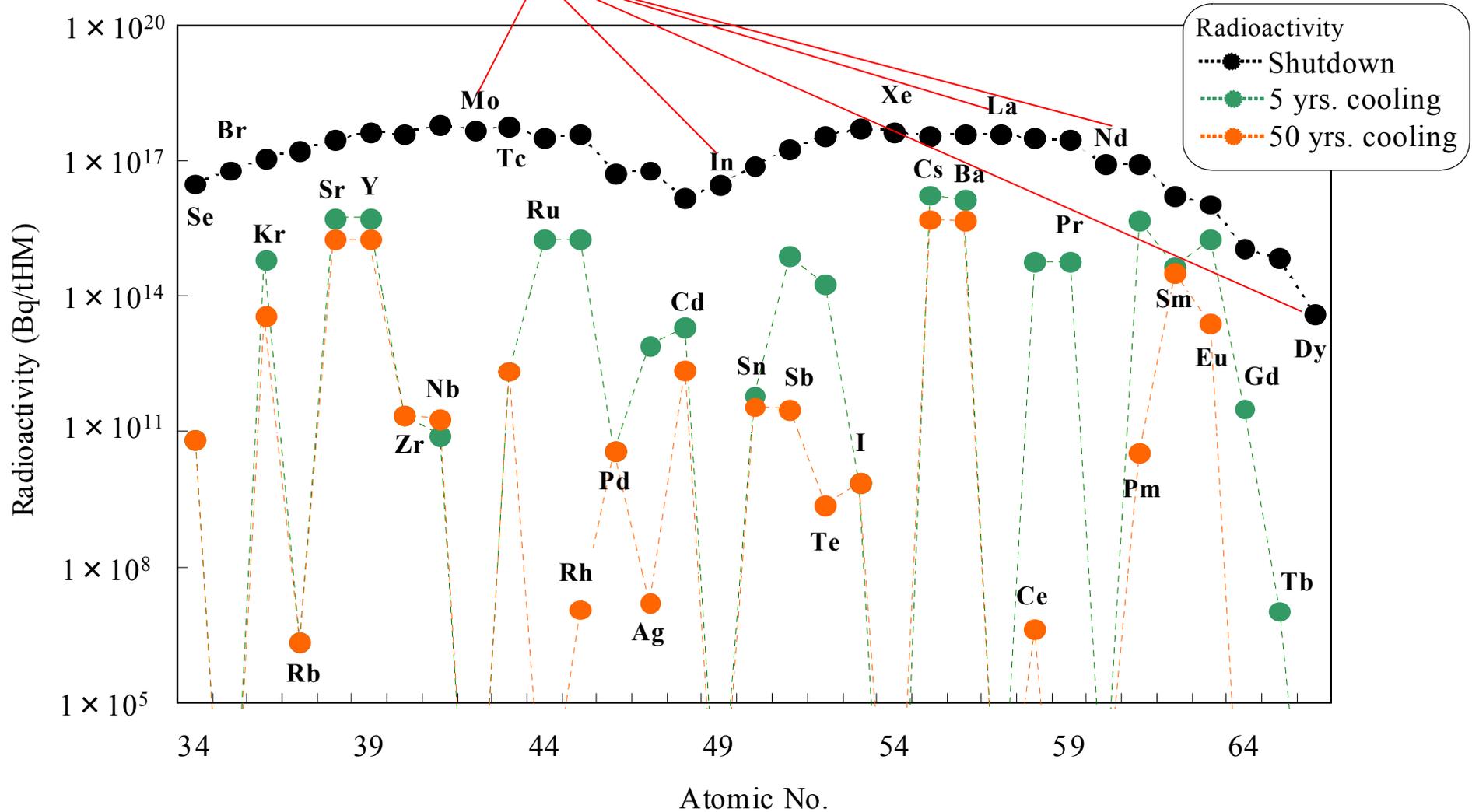
原子力レアメタルの放射性

高速炉使用済燃料

FBR MOX, Inner core,
150GWd/t, cooled 5
years

安定或いは極低放射性(取り出し時); < 数Bq/g

分離・利用

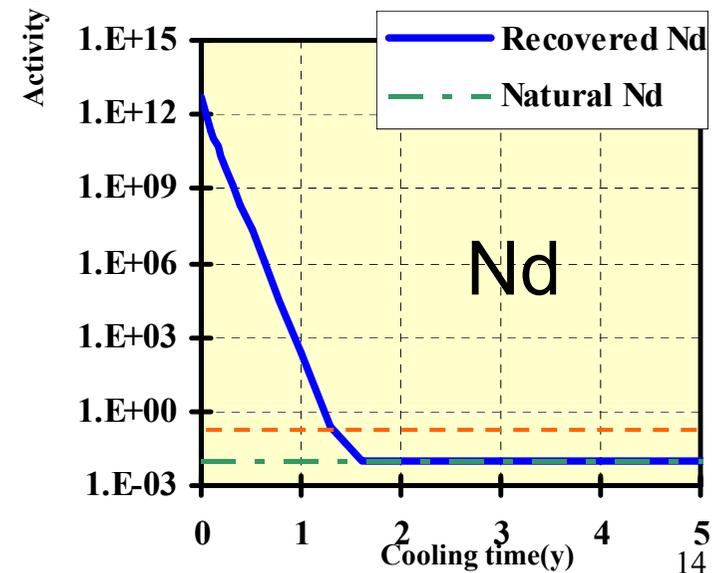
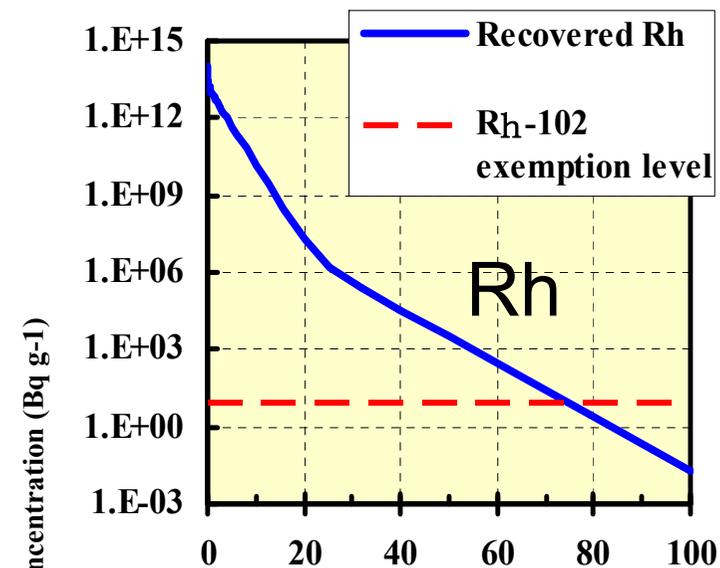


天然鉍石 vs. 原子力鉍石

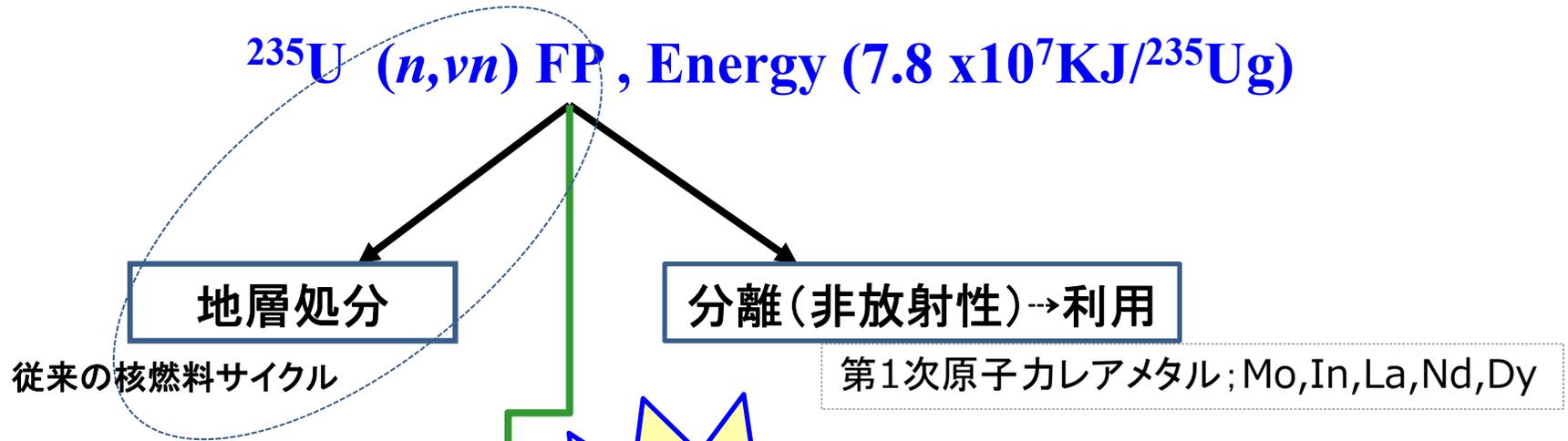
品位及び放射性

元素名	鉍石中の含有率 (ppm)	軽水炉使用済燃料中		FBR使用済燃料中		備考
		含有率(ppm)	比*1(-)	含有率 (ppm)	比*1(-)	
Se	(12~92)	50~98	1.4	140	7.1	鉍石中の含有率は、ロシアUGMK社の2004年銅生産実績と平均的な銅品位1~8%より算定
Mo	140	4,021~6,059	36	8,966	84	モンゴルのコルデネット鉍山実績
Rh	(0.4~0.6)	578~949	1,527	2,543	6,652	主な鉍山ではPGM生産量の1割程度をロジウムが占めるため、PGM品位の1/10と仮定
Pd	2.4~7.4	1,900~4,150	617	6,988	1426	カナダのノース・アメリカン・パラジウム社実績
Ag	46~201	102~251	1.4	715	5.8	アイルランドGalmony鉍山、コンゴDikulushi鉍山の実績
Te	(3.6~29)	634~842	45	1,840	113	鉍石中の含有率は、ロシアUGMK社の2004年銅生産実績と平均的な銅品位1~8%より算定

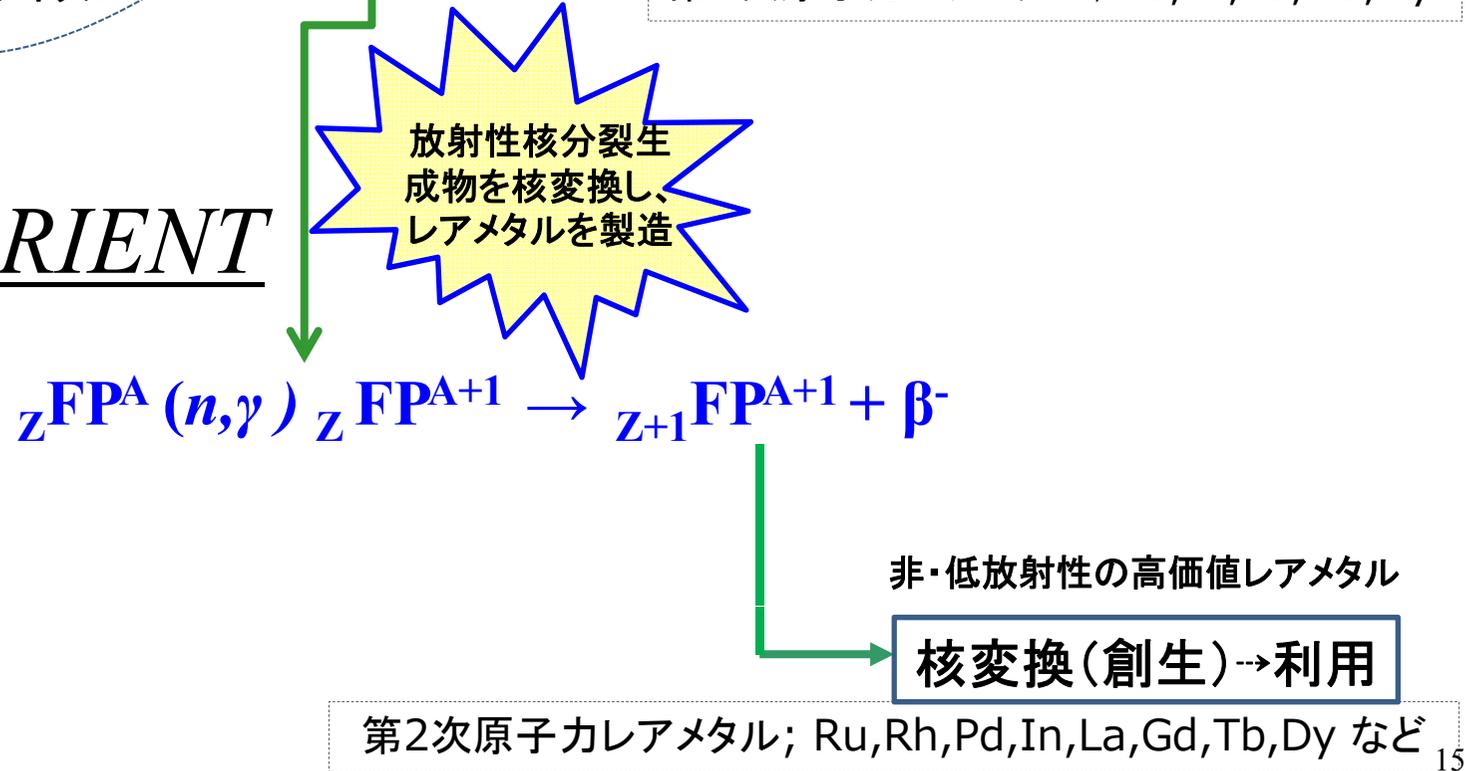
Time Dependency of Bq/g on Nuclear Rare Metals



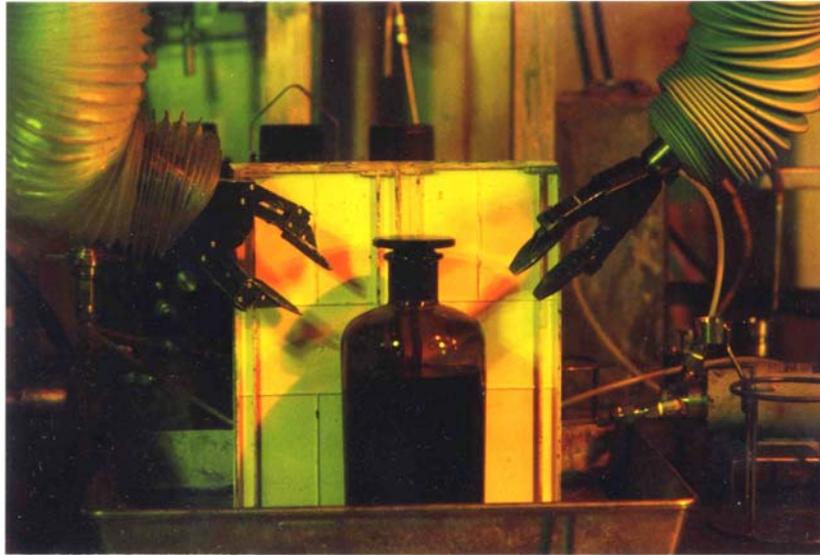
■ Advanced ORIENT Cycle



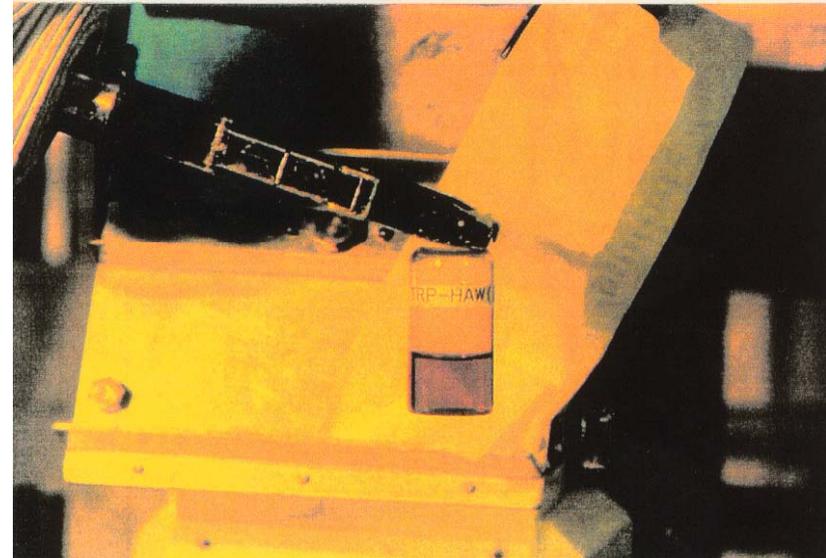
■ Après ORIENT



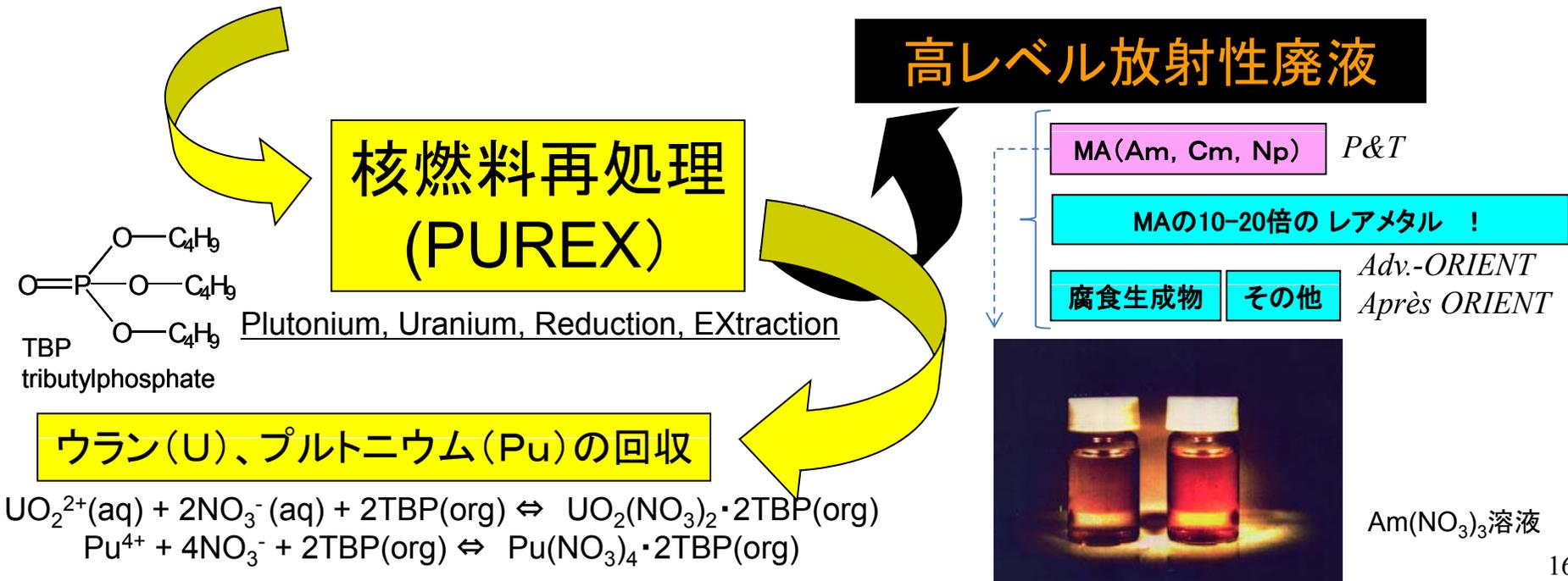
原子力鉍脈としての使用済核燃料、高レベル放射性廃液



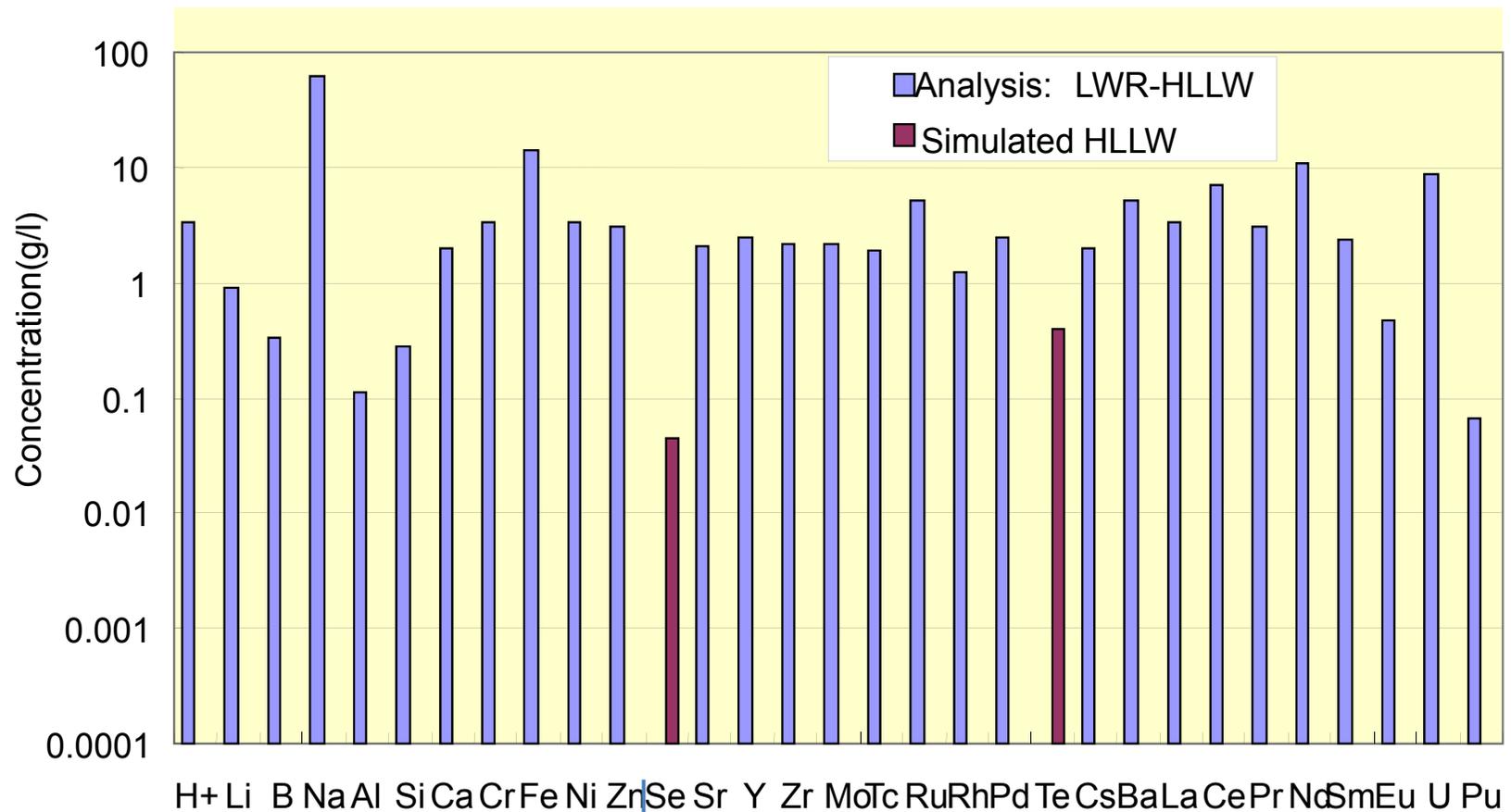
高速炉(「常陽」)照射済み燃料溶解液



高レベル放射性濃縮廃液(HLLW; 東海再処理工場)



実際の高レベル放射性廃液中のレアメタル濃度例



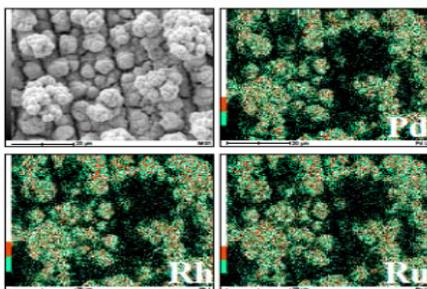
レアメタル

- U, Pu: $\leq 0.5\%$, MA (Am, Cm): $\sim 100\%$, FP: $>99.9\%$
- High conc. of Na and Corrosion Products, Trace of Organics (Degraded Solvent)
- Highly Oxidative (HNO_3 : 2~3M)
- Highly Radioactive (e.g., T $\cdot\alpha$: 6.5×10^7 , T $\cdot\beta$: 1.5×10^{10} , T $\cdot\gamma$: 7.0×10^9 Bq/ml)

参考; チェコ・ヤヒモフ(源泉); 10.5Bq(Rn-222)/ml、山梨・増富温泉; 160.7Bq/ml

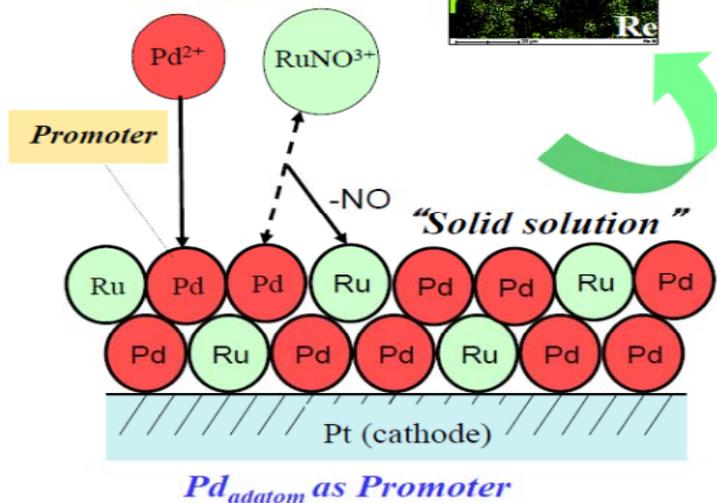
アンダーポテンシャルデポジッション(UPD)を利用した 白金族の分離

UPD(UnderPotential Deposition)とは？異種原子間の結合力が同種間よりも大きい場合に、REDOX電位よりも貴な電位で起こる析出現象。特異な触媒活性を示す。



Ru/Rh/Pd/Re in Solid Solution

No interaction

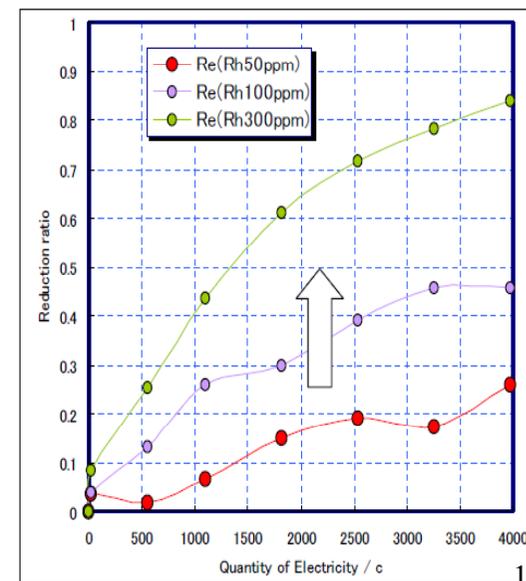
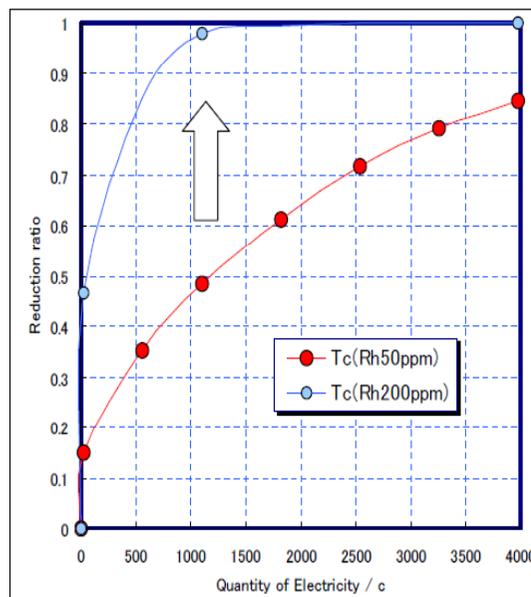


白金電極上で、
Pd²⁺あるいはRh³⁺の添加がTcO₄⁻及び
RuNO³⁺の析出を促進!

先進オリエント
の研究例

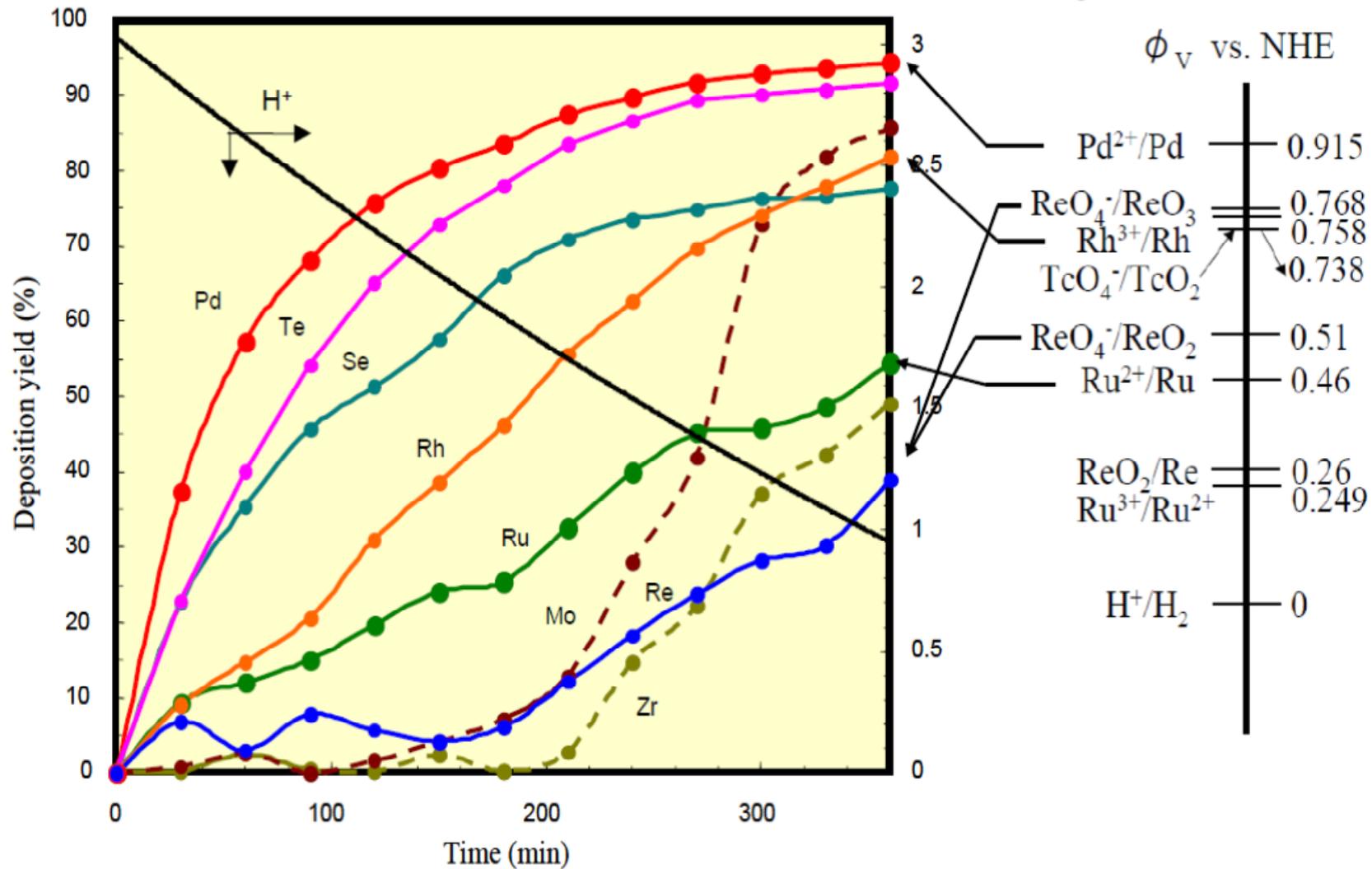
CEE Conditions

- Electrodes; Smooth Pt, Cathode (2cm²), Anode (8cm²), Ag/AgCl
- Catholyte; 0.5M HCl
- 50 °C
- Ic; 2.5mA/cm² (1hr) → 75mA/cm² (2hr) → 100 mA/cm² (4hr)



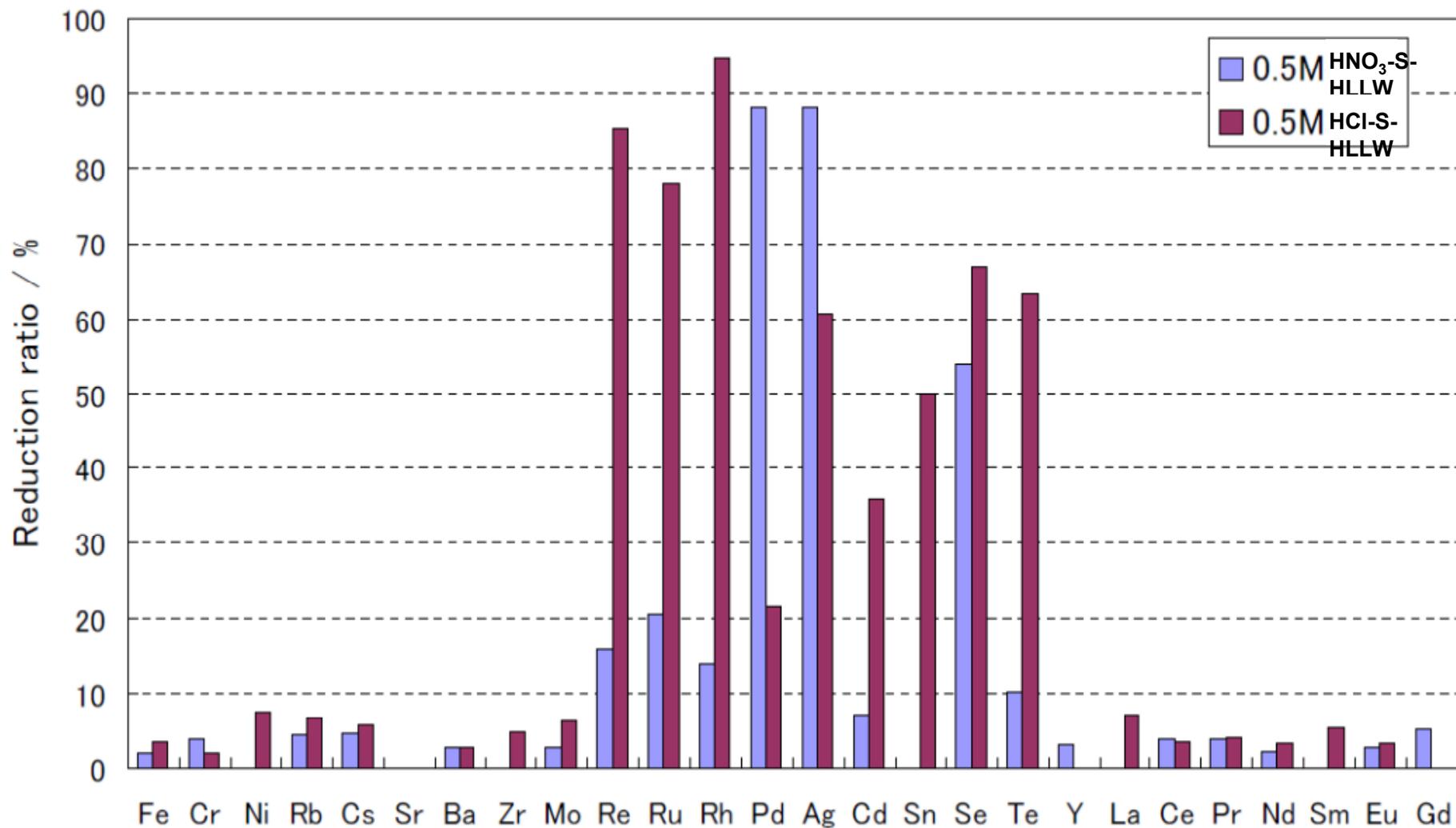
Sep.2 ; RMFP Separation by UPD-enhanced CEE

- Basis of CEE (Catalytic Electrolytic Extraction) utilizing UPD (Under Potential Deposition)



Separation of RMFP from Simulated HLLW

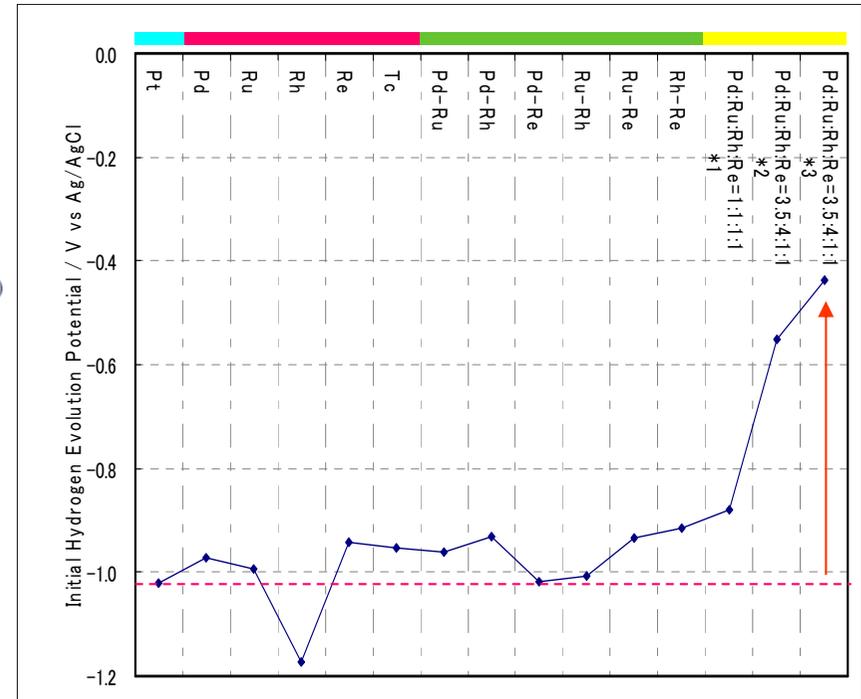
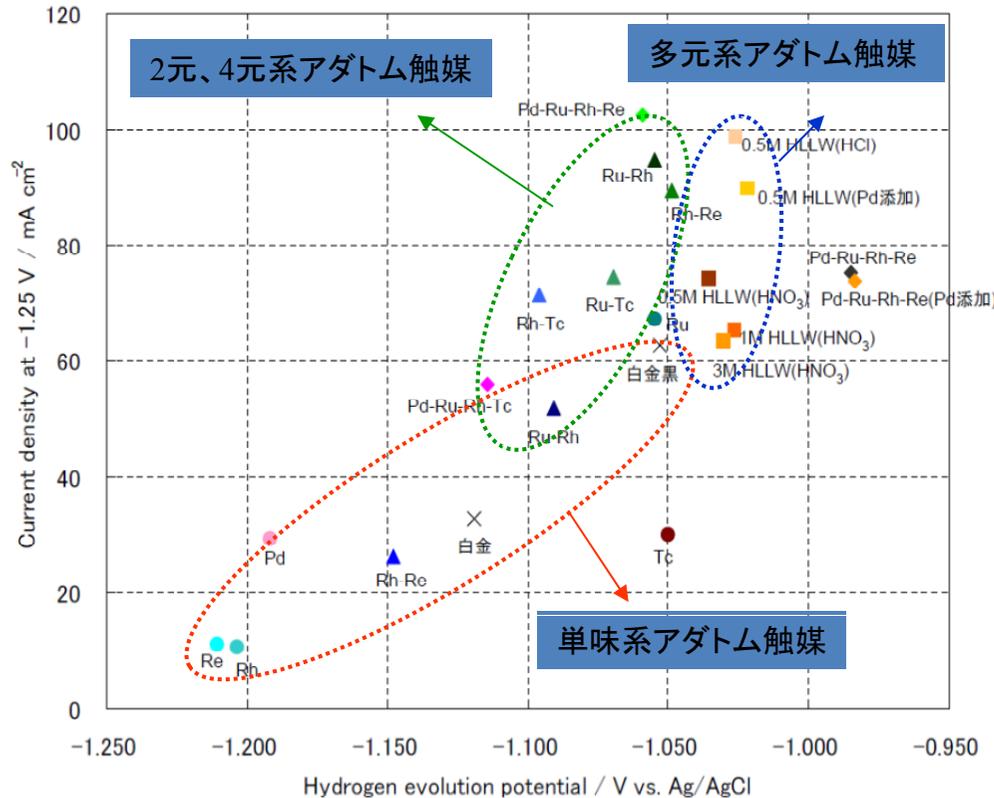
Electro-deposition of NRM in S-HLLW; HCl vs. HNO₃ media



Electrolysis; Catholyte: 50cm³, 50°C, Cathode: Pt_{smooth}, 2cm², I_c: 2.5mA/cm²(1hr)→75(2hr)→100(4hr),
ICP Atomic Emission Spectrometry

白金族/テクネチウム・アダトム電極の水素製造触媒利用

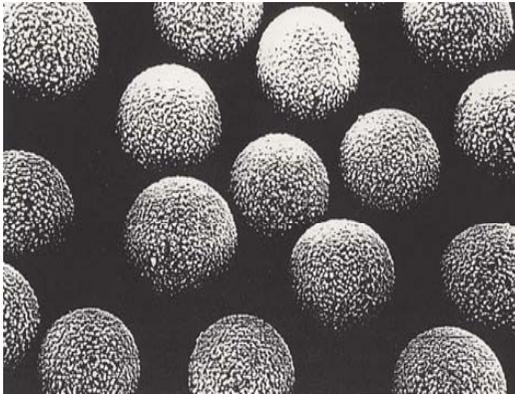
アダトム触媒表面は水素吸着席数が多く、アルカリ水や人工海水の電解で触媒活性が高い。現行Ni電極(商用電解)を代替する可能性が高く、酸素過電圧も低いので他分野でも有力な触媒となる可能性が高い。



【アルカリ電解水素製造】所定電位での水素発生速度(Y軸)は見掛けの水素発生開始電位(X軸)にほぼリニアに増加。4元系及び多元系の触媒活性は白金黒電極をも上回り、平滑白金電極の3倍強。Pdは活性には寄与せず、主としてRuが活性を支配。(単味及び二元(Rh)系で比べた場合)TcはReよりも触媒活性が優れる。

【人工海水電解水素製造】4元系の水素発生開始電位は平滑白金に比べ、約0.6V貴側にシフト⇒より少ないエネルギー負荷で多くの水素が得られる可能性。

3級ピリジン樹脂によるレアアース・マイナーアクチニド (*f*-元素)の分離

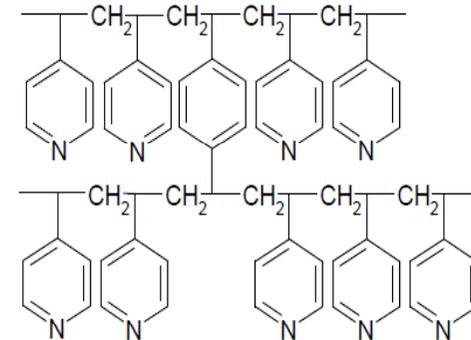


シリカビーズ

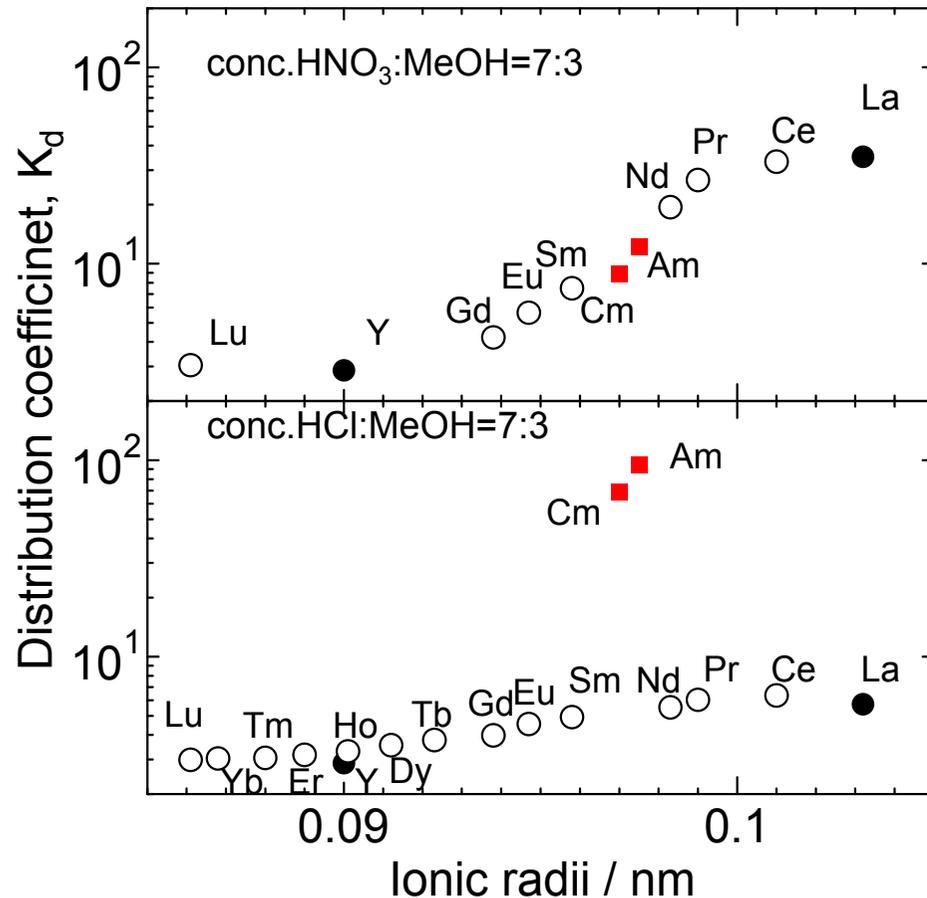
(*f*-元素)の分離



Co-polymerization of 4-Vinyl Pyridine (4VP) and Di-Vinyl Benzene (DVB) on High Porous Silica Carrier $\phi 60\mu\text{m}$

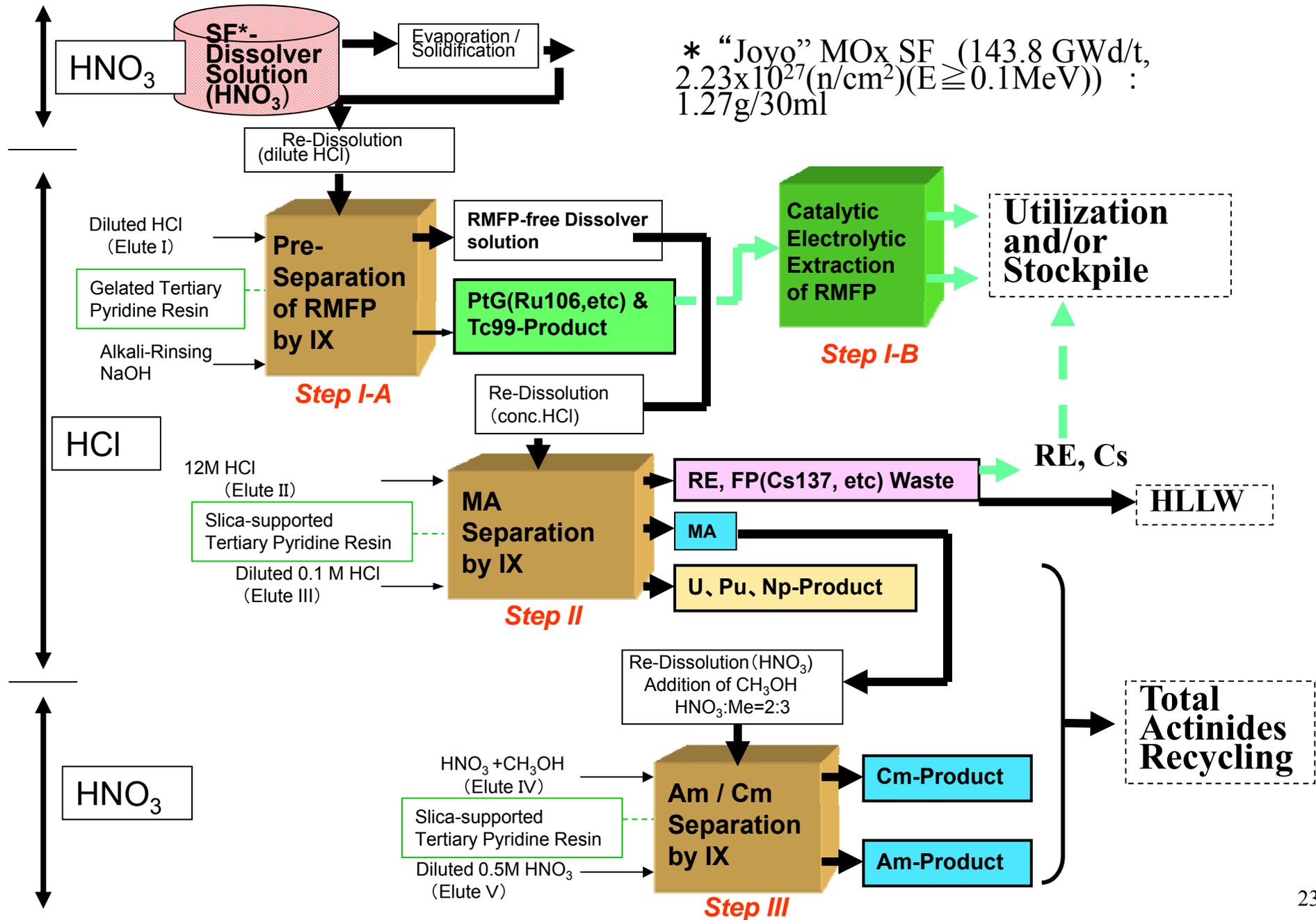


3級ピリジン



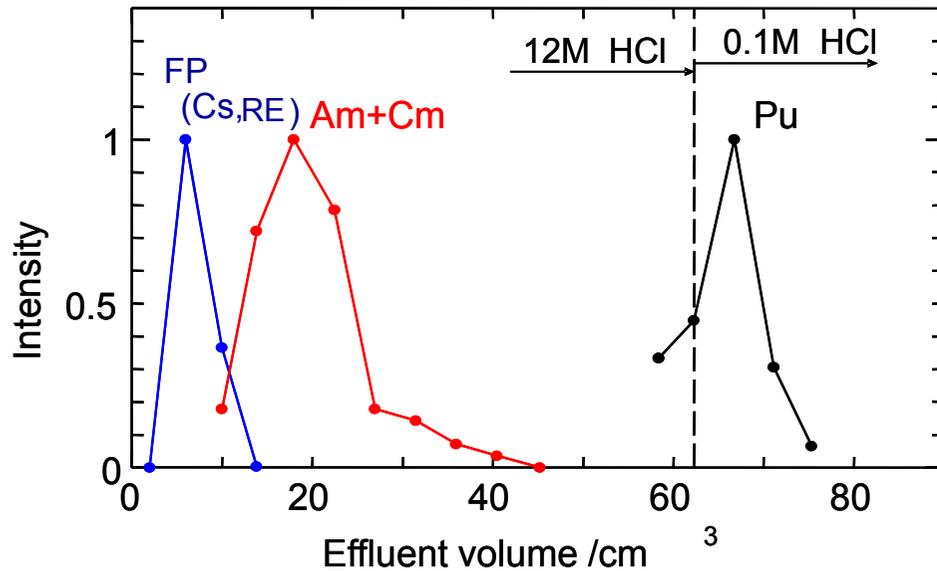
- HNO₃ 中では, 分離係数(SF)はイオン半径に依存
 - ⇒ MA及びREのグループ内(*Intra-group*)分離には硝酸溶液を用いる。
- HCl 中では, 分離係数は、イオン半径ではなく、4*f* / 5*f* 元素のソフト性の差異に依存
 - ⇒ MA/REのグループ間(*Inter-group*)分離(群分離)には塩酸溶液を用いる。

Active Experiment Flow-sheet using FR Irradiated Fuel



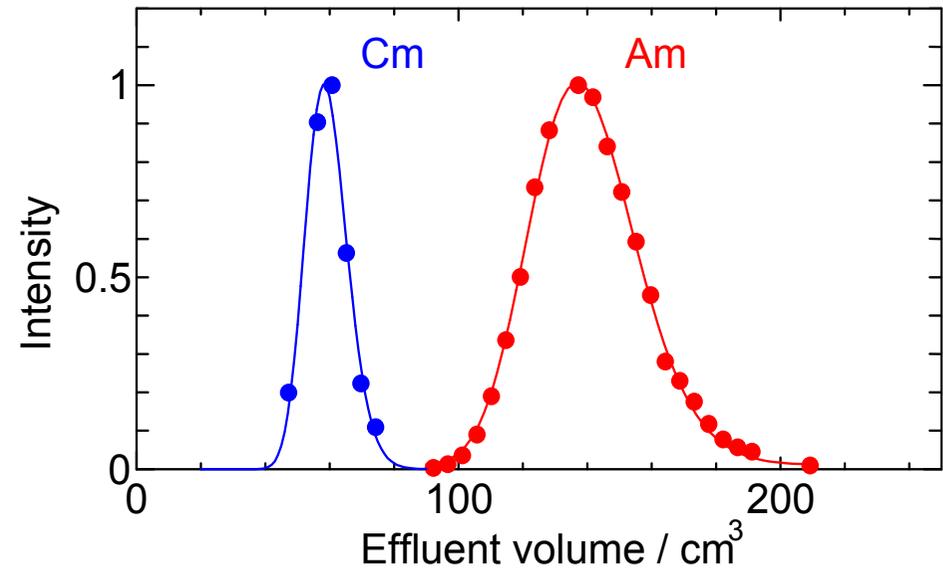
Hot Experiment Results

Inter Group (4f/5f) Separation



- Perfect Removal of ^{106}Ru and ^{125}Sb
- Recovery Rate of ^{241}Am Product
 - >95% (for *StepII* + *StepIII*)
- DF for ^{241}Am Product (MA/RE Sptn.)
 - $\text{DF}^{155}\text{Eu} > 1.0 \times 10^5$
- SF of ^{243}Cm for ^{241}Am Product (Am/Cm Sptn.)
 - $\text{SF}_{\text{Cm/Am}} > 2.2 \times 10^3$
- Impurities of ^{241}Am Product
 - $\text{RE}^{(144}\text{Ce}+^{155}\text{Eu}) / ^{241}\text{Am} < 0.3 \text{ ppm}$
 - $^{243}\text{Cm} / ^{241}\text{Am} < 1 \text{ ppm}$
 - $\gamma\text{FP}^{(106}\text{Ru}+^{125}\text{Sb}+^{137}\text{Cs}) / ^{241}\text{Am} < 1.8 \text{ ppm}$
- Impurities of ^{243}Cm Product (Am/Cm)
 - $^{241}\text{Am}/^{243}\text{Cm} = 7.8 \times 10^3 \text{ ppm}$

Intra Group (5f) Separation



- possibly more than 99.9%
- far more than $1 \sim 2 \times 10^3$
- far less than 1%
- possibly less than 1%

原子力レアメタルの仕分け

元素群	放射化学特性(Bq/g)	鉱石としての品位(Kg/t; 高速炉使用済み燃料(内側炉心)の例)及び資源的インパクト	分離法の例(SX; 溶媒抽出、IXC; イオン交換クロマト)	利用の例	既往技術との関連	
核分裂生成物	白金族(ルテニウムRu、ロジウムRh)	短半減期核種を含む。Ruは備蓄後40年で $<10^2$ Bq/g、Rhは80年で <10 Bq/g、の安全基準濃度レベルにまで低減。	Ru13.4 Rh3.7 Pd11.8 Tc3.4 量的インパクト大	触媒的電解採取法(CEE) 3級ピリジン樹脂(IXC) MIDOA(SX)	備蓄後、通常使用。触媒(水素製造、燃料電池など)利用	白金族の分離はガラス固化処理操作性の向上に寄与 99 Tc及び 106 Ruの除去は再処理プロダクトの除染性の向上に寄与
	テクネチウムTc、白金族(パラジウムPd)	長半減期核種を含む。ただし放射性毒性は極めて低い。			取り出し後、隔離使用。触媒利用。TcのレニウムRe(戦略元素)代替利用。	
	モリブデンMo、ジスプロシウムDy、他、重希土類	取り出し時、安定。	Mo14.3 Dy0.038	MIDOA(SX)、3級ピリジン樹脂(IXC)	(高次化)Moの 99 Mo- 99m Tc剤製造原料	Dyは”元素戦略”対象
	希土類(La、Nd、Pr、Gd、Tb)、インジウムIn	La、Ndは取り出し時、Pr、Gd、Tb、In、Ruは備蓄後50年で、それぞれ <0.1 Bq/g	La5.3 Nd16.4 Pr4.9 Gd0.67 量的インパクト小	3級ピリジン樹脂(IXC)	先端産業利用	Inは”元素戦略”対象
	セシウムCs、ストロンチウムSr	中半減期核種を含む。	Cs16.2 Sr2.0	Cs; AMP(IXC)、CCD(SX)、他 Sr; DCH18C6(SX)、D18C6-GAALG(IXC)	137 Csの 60 Coの代替線源利用。熱電発電利用。	ガラス固化体の環境負荷低減に寄与(処分場スペースの縮減)
	ウランU、プルトニウムPu、マイナーアクチニド(Am、Cm、Np)	長寿命核種(Cmを除く)	N.A.	TODGA(SX)、3級ピリジン樹脂、PDA(IXC)、TPEN(SX)	核燃料利用	ガラス固化体の環境負荷低減に寄与(内臓放射性毒性の低減)
	その他元素(利用優先性が低い元素)	放射性希土類Y、Ce、Pm、Sm、Eu	N.A.	中性子捕獲反応; n, γ 反応 99 Tc(n, β^-) 100 Ru, 196 Hg(n, γ) 197 Hg $\rightarrow \beta + \text{decay} \rightarrow$ 197 Au	元素変換	固化処理・地層処分 核変換技術 核拡散抵抗性
天然放射性元素	自然界の放射性物質(ウランU、トリウムTh)	N.A.	N.A.	CMPO-TRUEX(SX)、他	核燃料サイクル内で燃焼処理。核燃料利用 希土類産業の廃棄物	

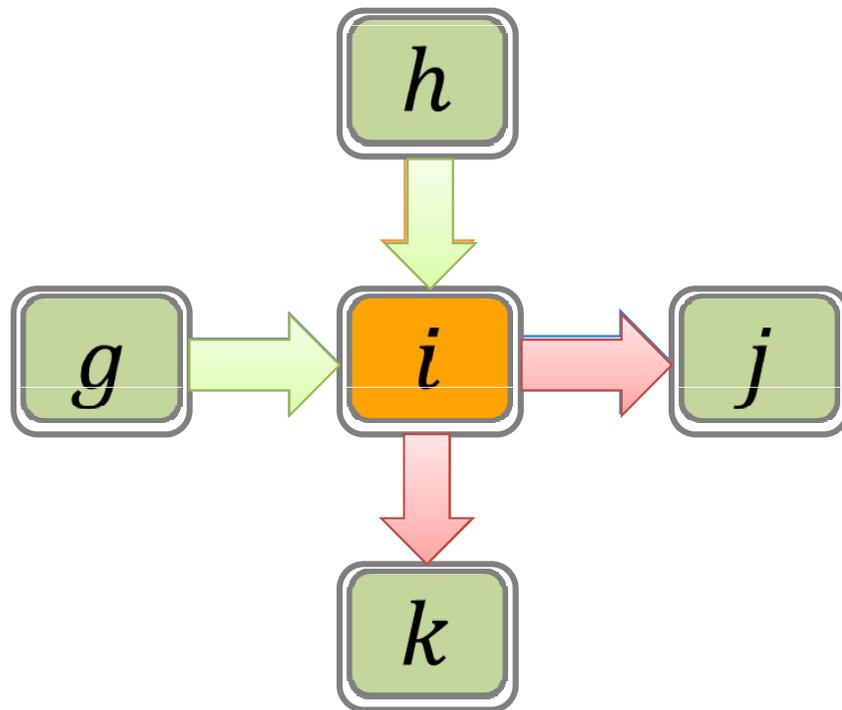
原子炉による元素・資源創生

Après ORIENT

核変換モデル

- * 核種*i*の周りにおける中性子照射による核反応と崩壊
核種*i*の数密度*N_i*の時間変化

$$\frac{dN_i}{dt} = \overset{\text{生成}}{\sigma_{g \rightarrow i} \phi N_g(t) + \lambda_{h \rightarrow i} N_h(t)} - \overset{\text{消費}}{\sigma_{i \rightarrow j} \phi N_i(t) - \lambda_{i \rightarrow k} N_i(t)}$$



$N_i(t)$: 核種*i*の数密度[個/cm³]

ϕ : 中性子束[個/cm²·s]

$\sigma_{p \rightarrow q}$: 核種*p*から核種*q*への
核変換における断面積[cm²]

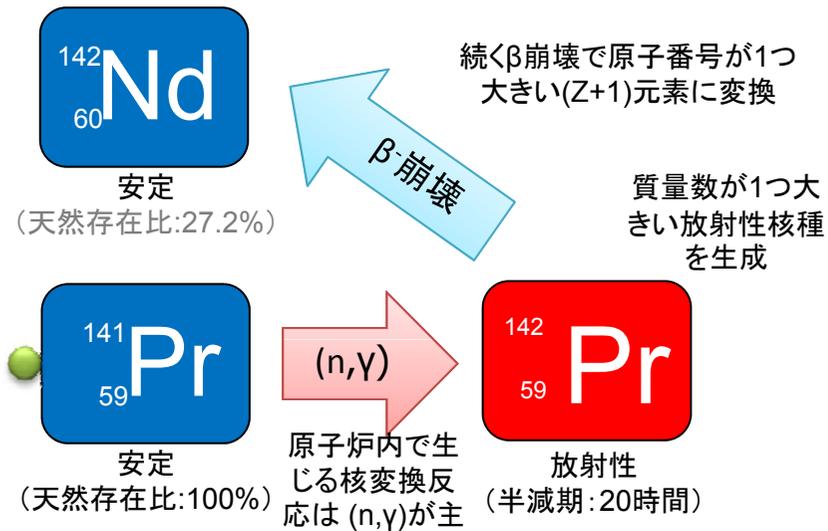
$\lambda_{p \rightarrow q}$: 核種*p*から核種*q*へと
崩壊する時の崩壊定数[回/s]

レアアース創生モデル

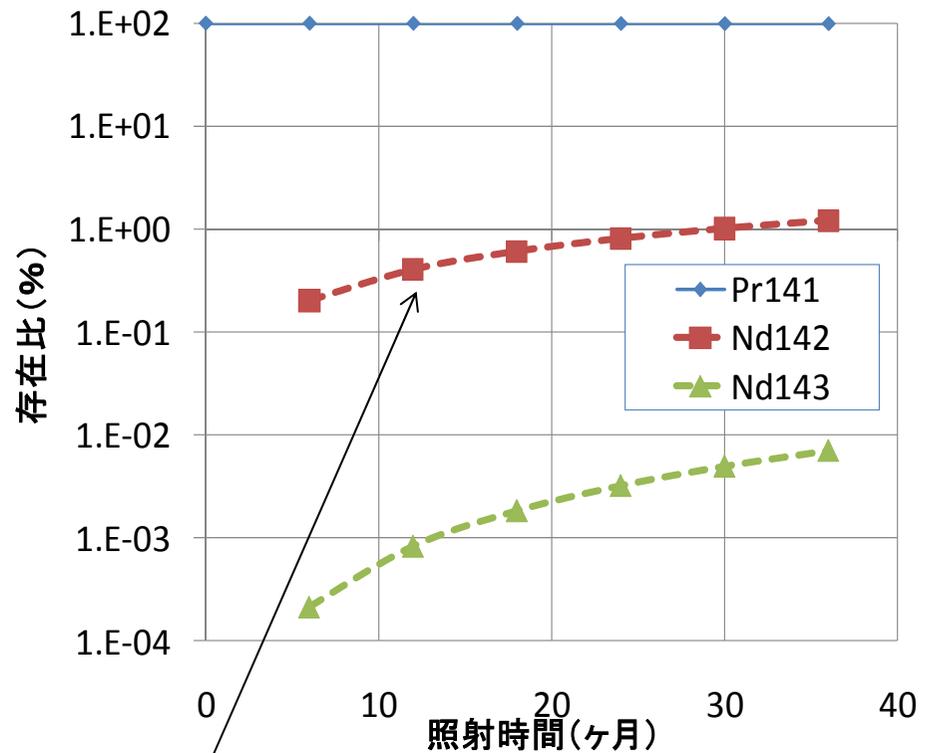
Background

第27回希土類討論会2C-08, 2010

希少・有用・高価



PWRでのNd生産量簡易評価



従来の検討; PWR条件での Pr(n, γ)Nd変換効率
は1年照射で1%弱

燃焼チェーン (Baの核変換によるLaの創生) Computational Tools and Models

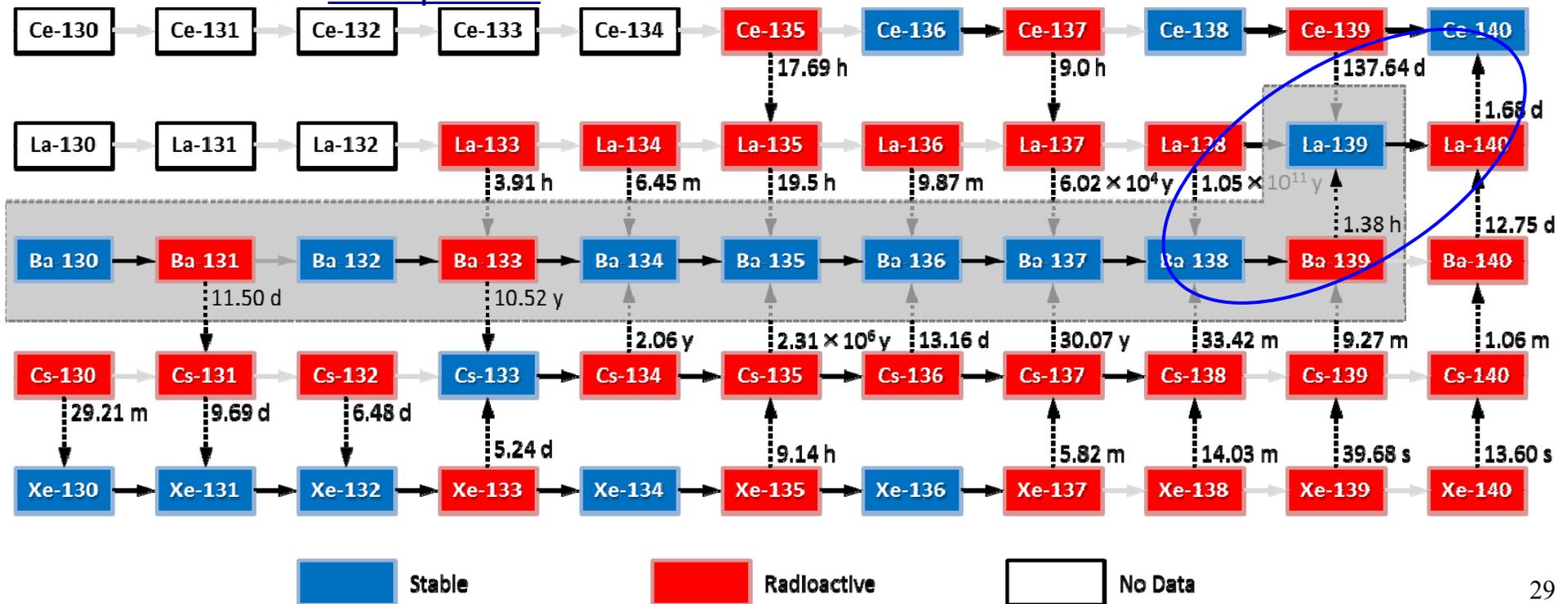
□ Ba in PWR Spent Fuel (5-Year Cooling after Discharge)

- ➔ FP Ba : Radioactive due to Ba-133 (10.52 y)
- ➔ Isotope Fraction : Ba-138 (Stable) : ~ 80%

□ To Easily Evaluate the Neutronic Feasibility Depending on XS(σ) and Flux(Φ)

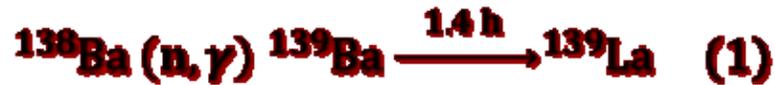
- ➔ Development of Excel Program to Solve the “Bateman Equations”
- ➔ By Using “Exponential Matrix”

➔ Based on the Burnup Chain for La Production from Ba



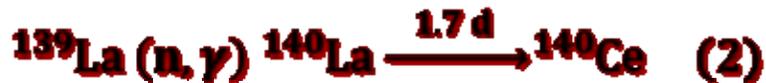
La創生を巡る“生成”と“消費”の核反応

□ Simple Path to La-139 (Stable)



【生成反応】

- Small Capture XS (σ) of Ba-138
- Smallest in Thermal & Fast Energy

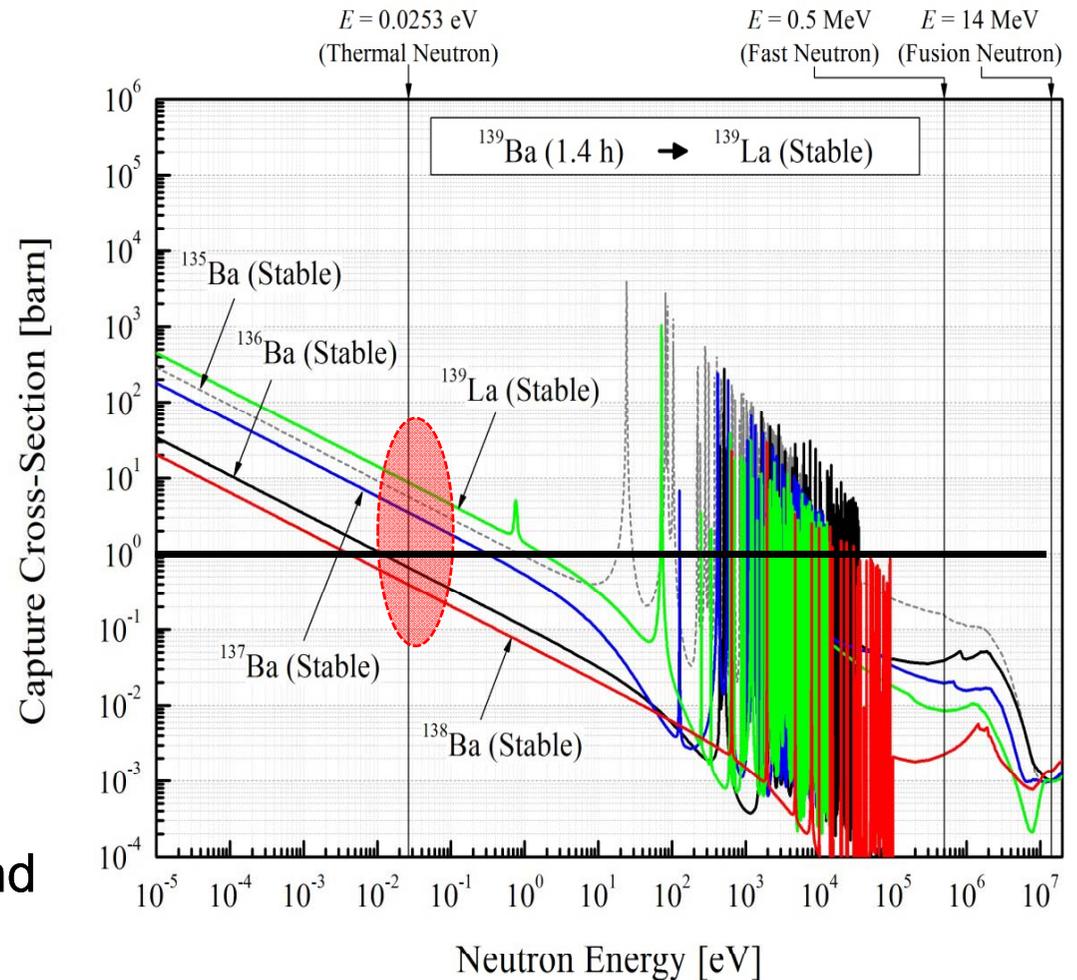


【消費反応】

- Large Capture XS (σ) of La-139

□ Competition of production (1) and consumption (2)

➡ Neutronic Feasibility on (1) > (2) ?



熱中性子条件でのLa生成の例 ; 中性子束の依存性 Results and Discussions

□ Production Rate of La at Thermal Energy with Different Neutron Flux

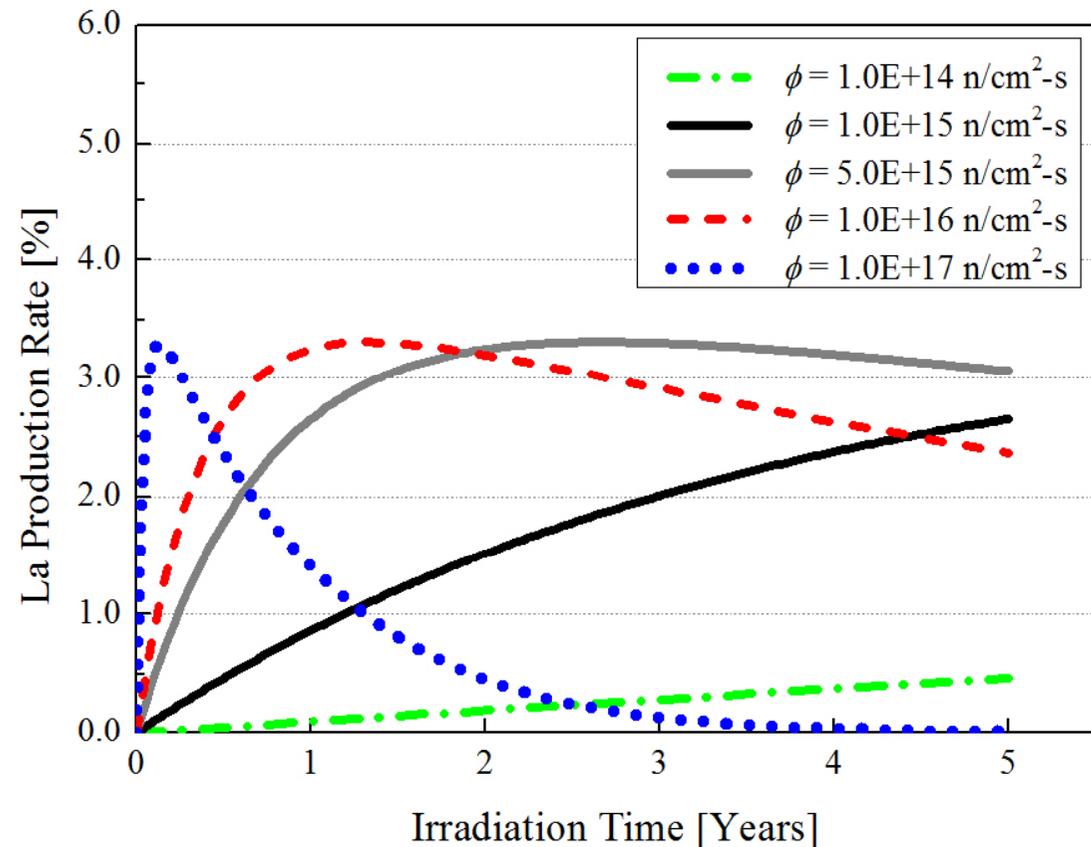
➔ Maximum Achievable Production Rate : < 3.5%

(Even though at Much Higher Neutron Flux than Typical)

➔ Due to Much Larger Capture XS of La-139

($\sigma_{\gamma} = 8.94 \text{ b}$)

□ Relatively Small Capture XS of La-139 to Ba-138 Required !!!



共鳴エネルギー領域を利用するLa生成

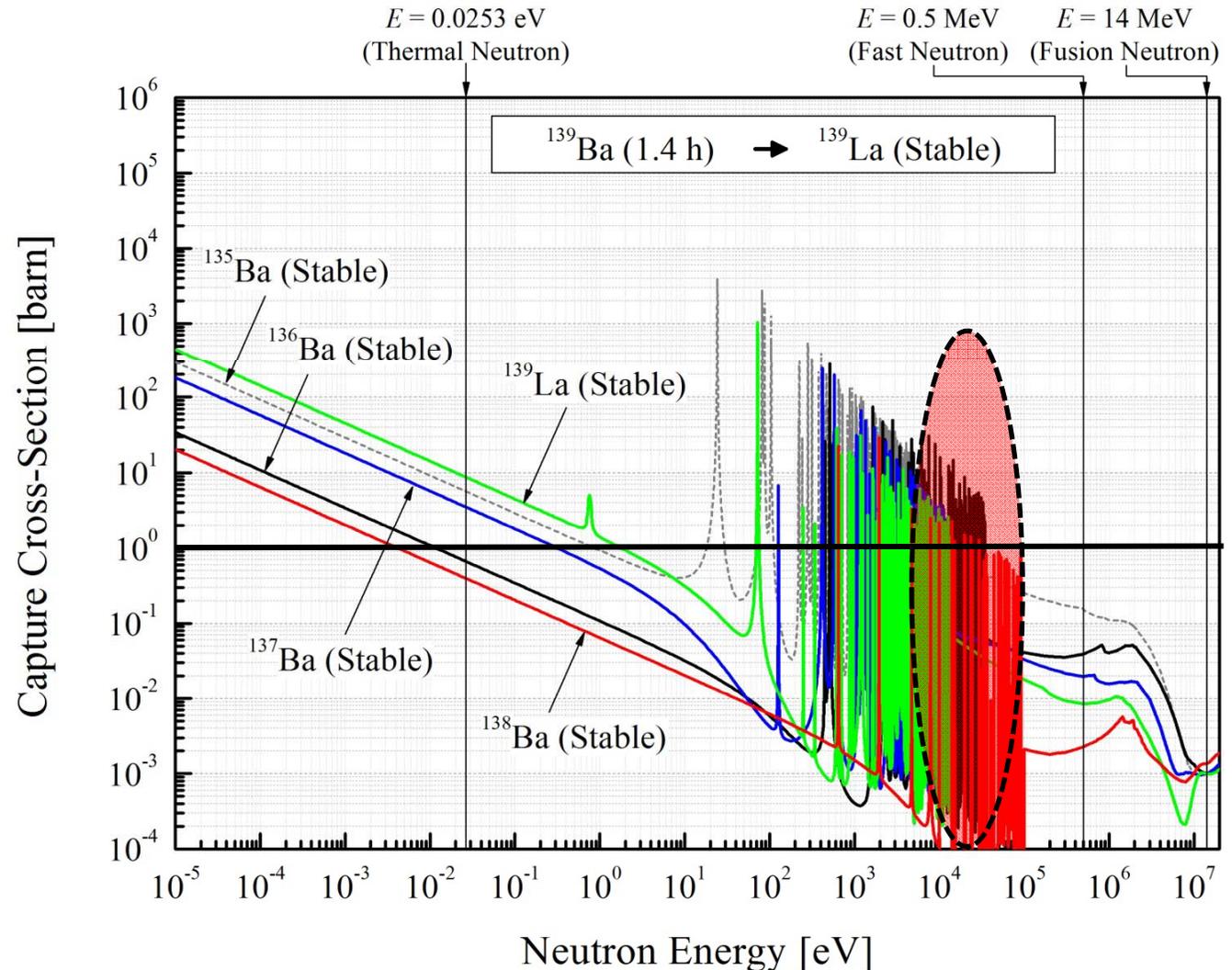
□ Resonance of Ba-138 in Higher Energy compared with La-139

□ Neutron Spectrum of FBR MONJU

- ➔ $E > 10$ keV : 82 ~ 91%
- ➔ $E > 100$ keV : 40 ~ 56 %

□ Proper Moderation of Neutrons in Blanket

- ➔ Focusing on 10 ~ 100 keV
- ➔ May Provide a Higher Production Rate of La-139



□ Production Rate of La at Resonance Energy of Ba-139

➔ In the Same Neutron Irradiation Condition of **MONJU Blanket**

➔ Changing Only Capture XS of Ba-139 to Resonance-Average XS

($\sigma_\gamma = 0.27$ b)

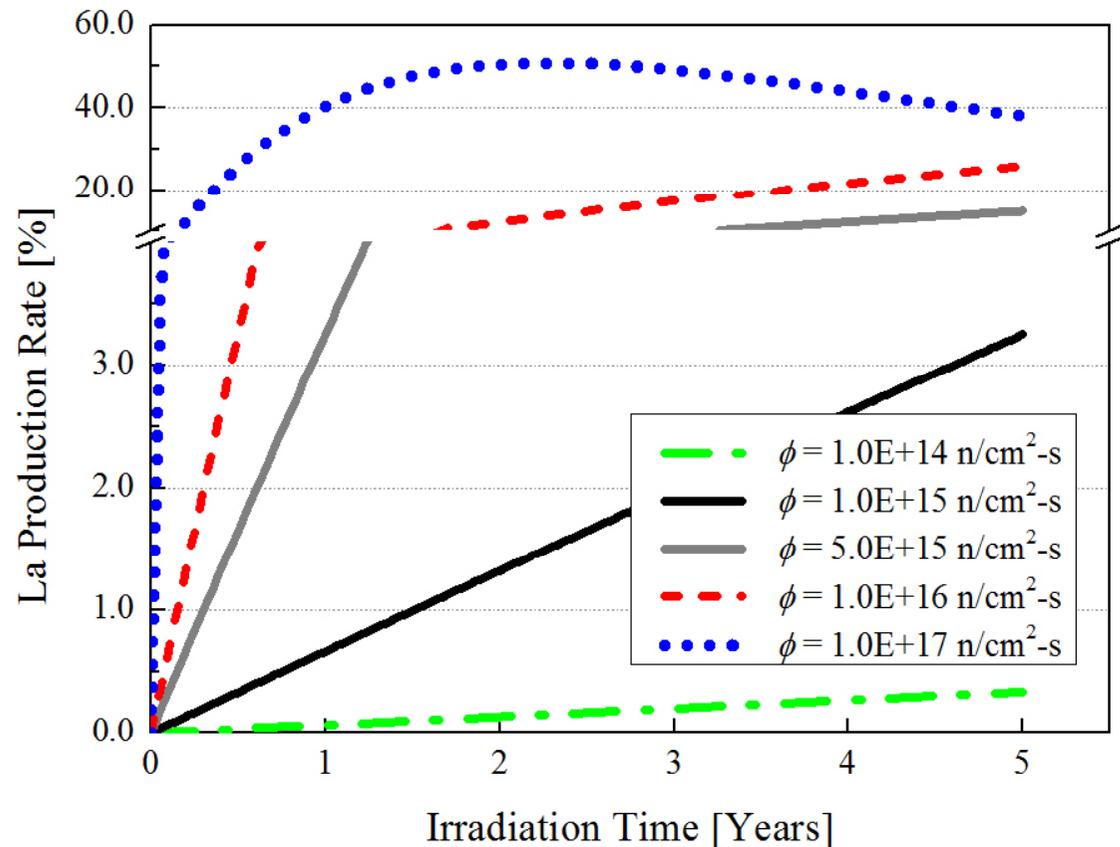
□ Higher Feasibility

➔ Proper Moderation of Neutrons in Blanket

➔ Higher Neutron Flux than 1.0×10^{15} n/cm²-sec

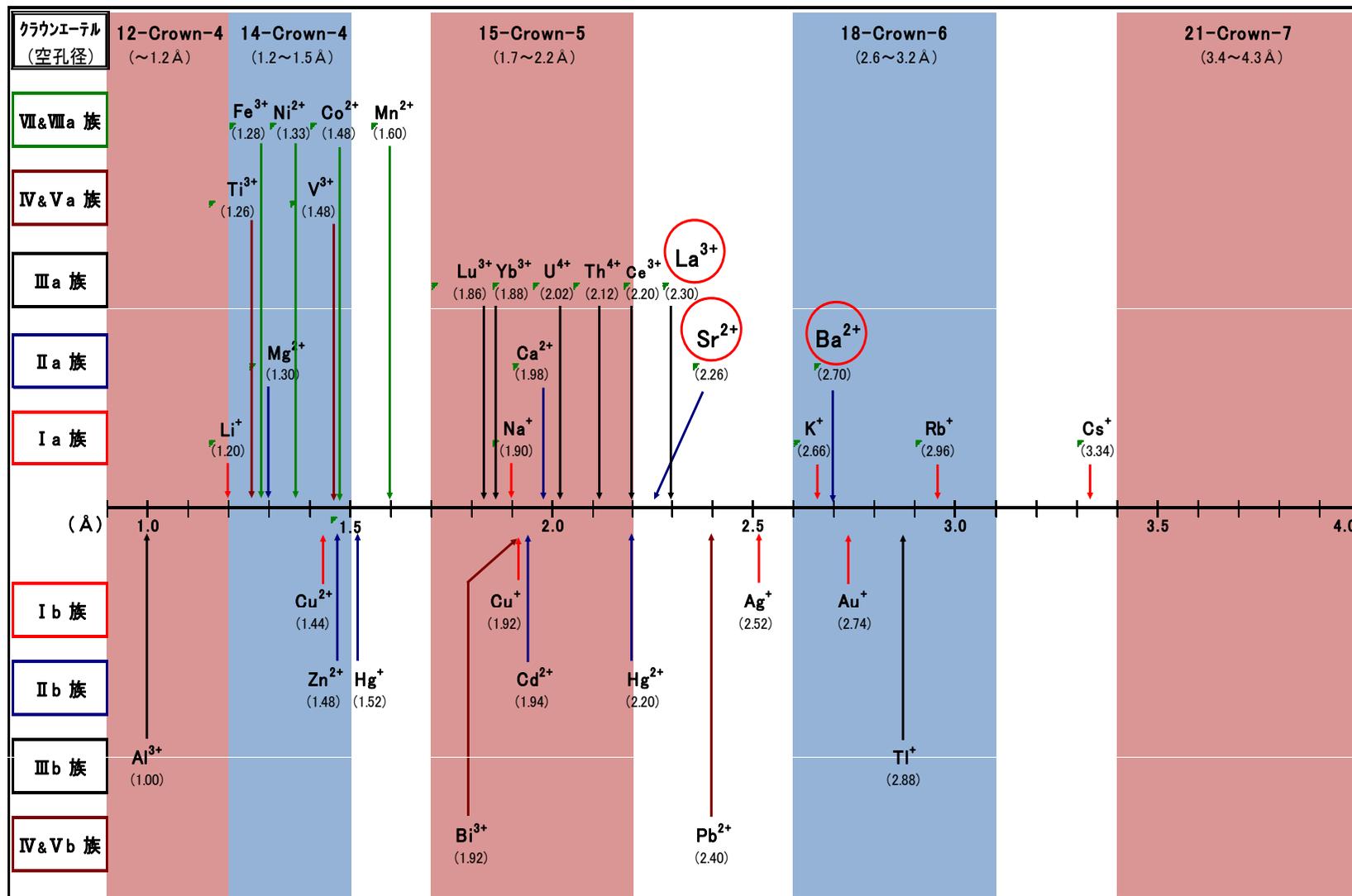
* 常陽MK-II炉心 3.05×10^{15} n/cm²-sec

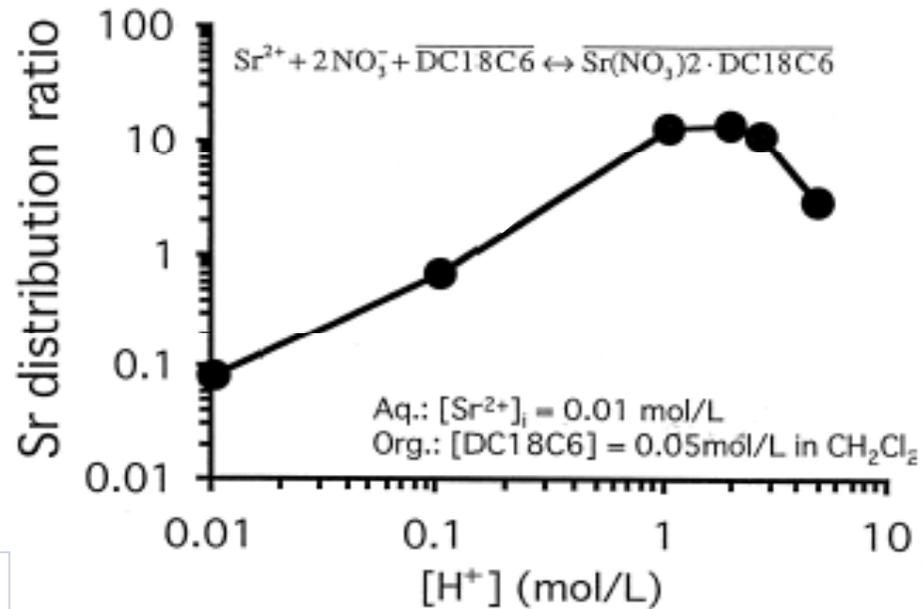
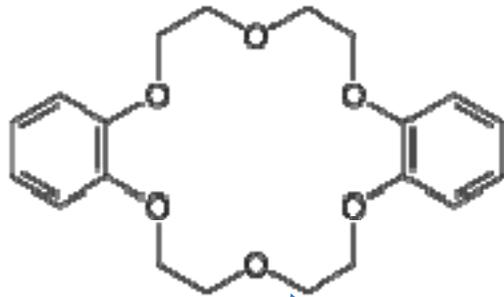
➔ Larger Production Rate of La-139 Expected



Ba/Laの抽出・分離

クラウンエーテルと錯体形成が報告されている金属イオンの直径を空孔径と比較すると下図のようになり、今後La, Baの分離だけでなく、各種イオンの分離に応用が期待できる

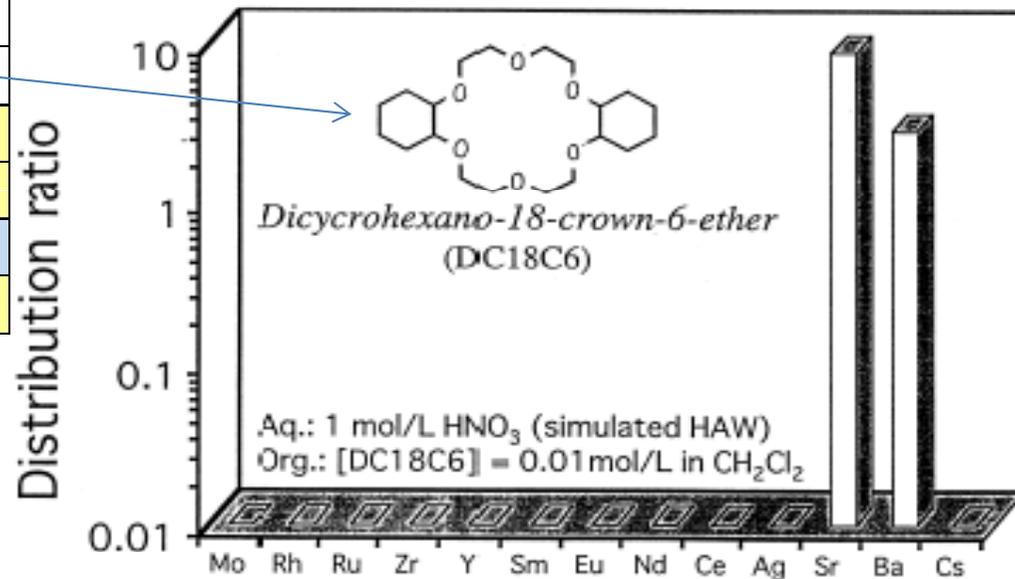




DC18C6のSr分配比に対する酸濃度依存性

Table. The maximum extraction constant value of nitrates of metals from the nitric acid solutions by DB18C6 and DC18C6 solutions in chloroform

Ion	Radius, r, Å	Extraction constant value	
		DB18C6	DC18C6
Ba ²⁺	1.35	<0.001	27
Sr ²⁺	1.13	<0.001	72
La ³⁺	1.15	<0.001	0.6
Pu ⁴⁺		0.17	2223

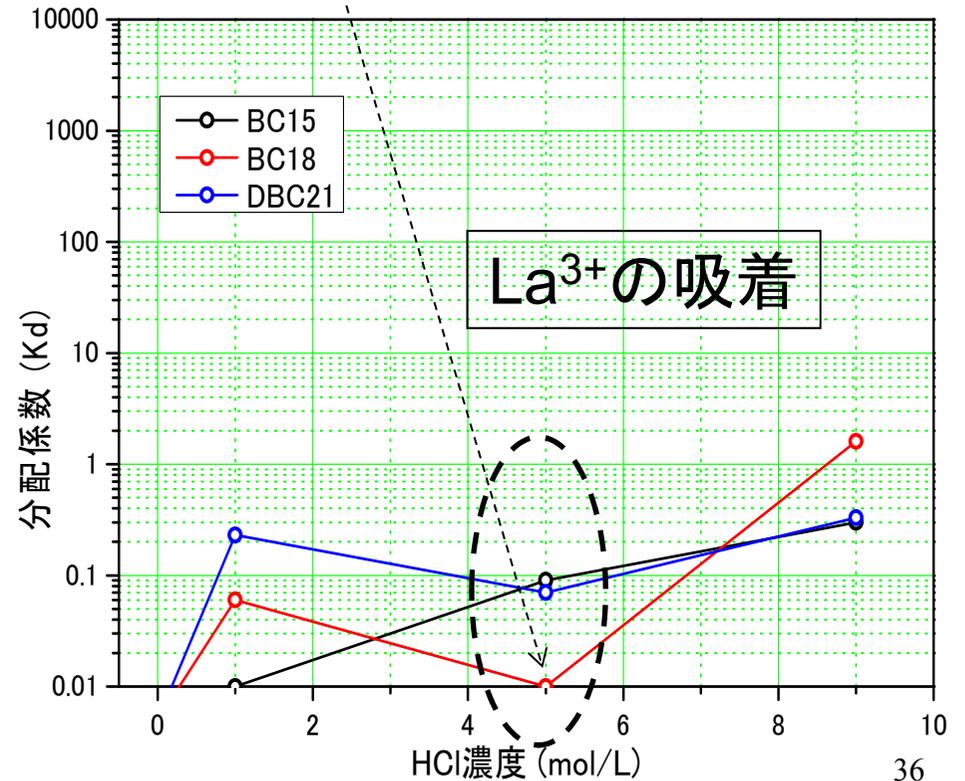
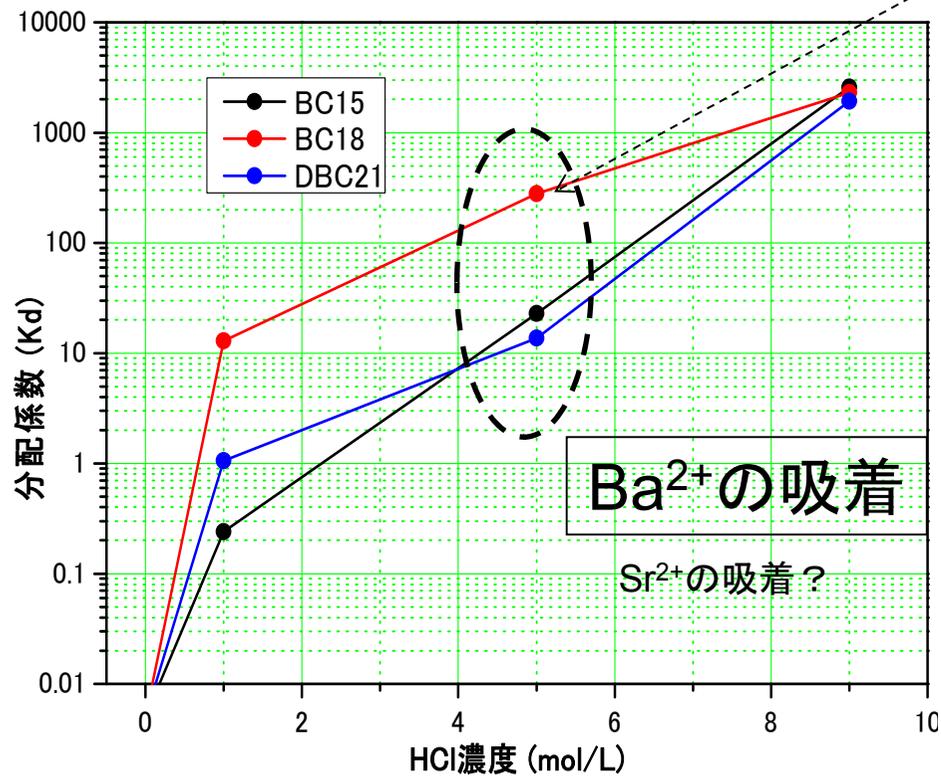
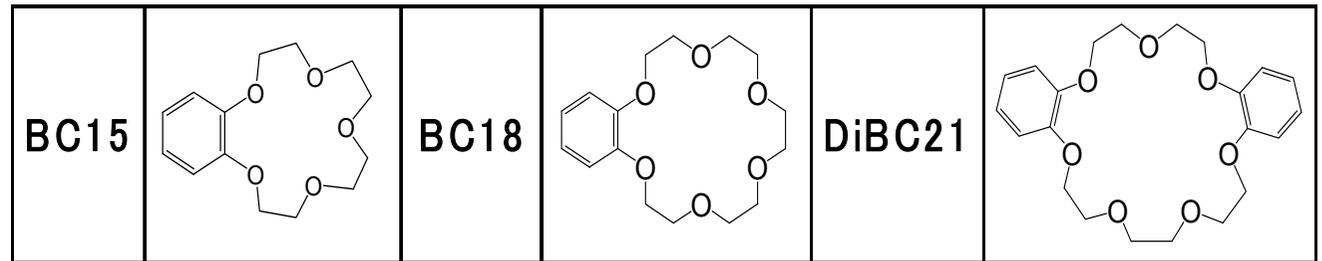
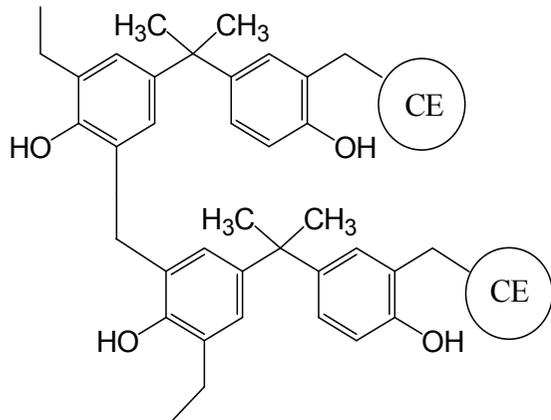


Elements
DC18C6のSr選択性

DBC18;ロシアの文献では両者吸着せず

Ref.

クラウンエーテル樹脂によるBa/Laの吸着分離



講義の纏め、今後の展開

- 原子力＝エネルギーといった、“Single Issue”の技術・システムは脆く、崩れやすい。
“資源を創る原子力”、“命を救う原子力”など、原子力の多様性を伸ばす戦略変換を図る必要がある
- 核燃料サイクル技術を内向きから外向きに戦略変換する。資源性(Resourceability)と廃棄物利用(Reuse)に関し、非原子力分野との連携と共生を強める

⇒ *Adv.-ORIENT Cycle, Après ORIENT* 研究の推進

レアメタルは先端産業に直結した重要元素で、我国のGDPを制する。白金族及びレアアースなどは資源が局在化しており、戦略物質として取り扱われる可能性が極めて高い

- 核分裂反応はエネルギーの生産とともに31種を超えるレアメタルを創生する。使用済み燃料や高レベル放射性廃液は“廃棄物”ではなく、核燃料サイクルを人工資源の”鉱脈”として捉える発想(戦略)の転換と戦術の構築が必要である。廃棄物を資源に転換すれば、廃棄物量も減らすことができる
- 原子炉は新たな物質供給源(原子力鉱山)として、資源小国である日本の資源確保戦略に寄与する可能性があるが、安全性及び経済性についての評価が問われる。我が国に一つぐらい元素・核種(レアメタル、放射性同位元素RI)生産炉があってもよいではないか

- 当面、中性子捕獲(n, γ)反応によるレアメタルの創生と改質の可能性を追求し、ゆくゆくは米・大学などと協力して中性子照射実験を行い、核データ自身の信頼性を含む元素変換の検証を行う

⇒ カリフォルニア大学UC-Irvineと共同研究(計画中)

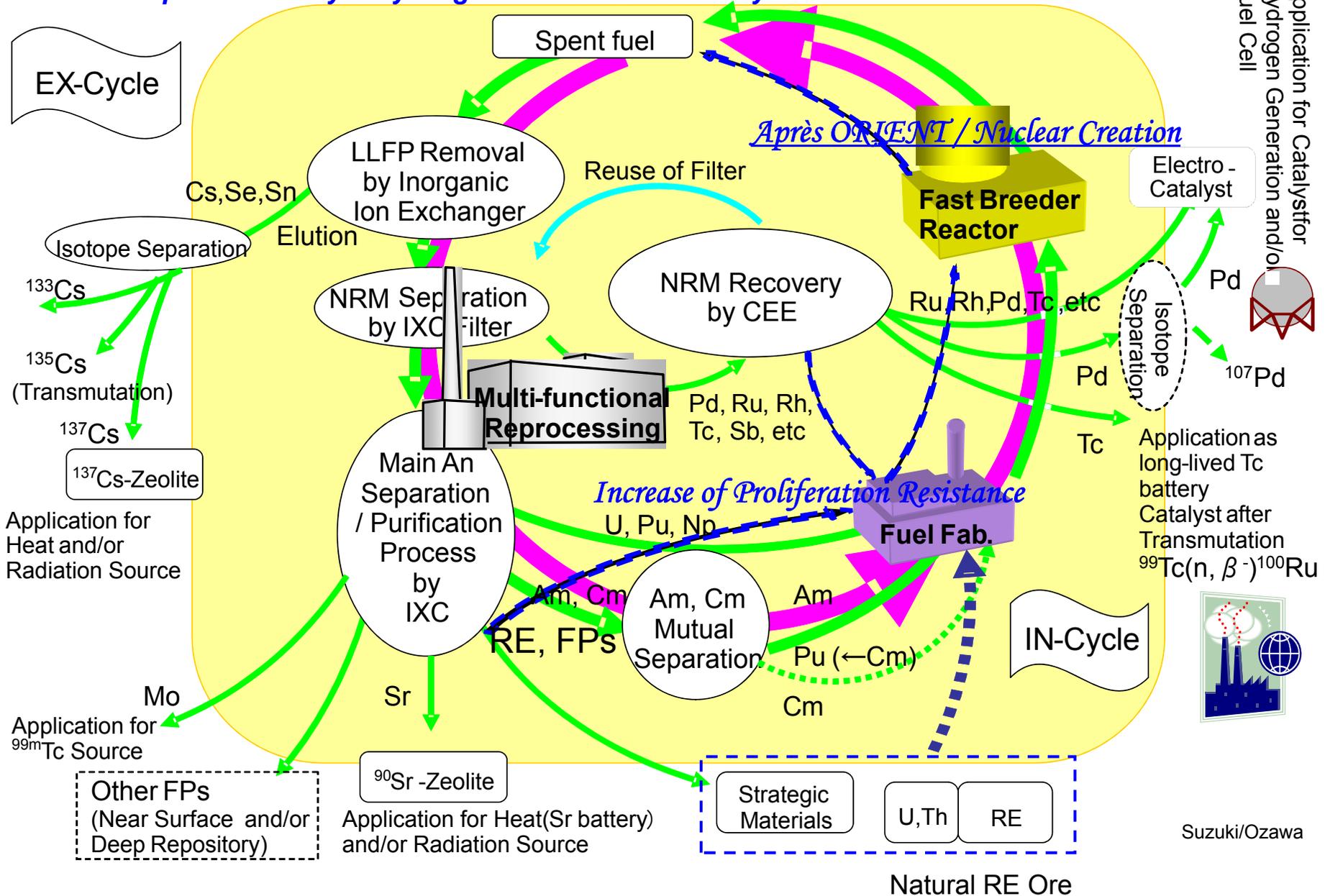
“レアメタル生産原子炉”の設計に向けた工学評価に進みたい

- 当該分野の学術レベルを維持・向上させるための基礎研究を継続し、優秀な人材を育成する。そのための国際交流は絶やすこのとのないようにしたい

⇒ 第2回日中大学間核燃料サイクル学術討論会(2013.6.19-24, 蘭州大学)を開催する

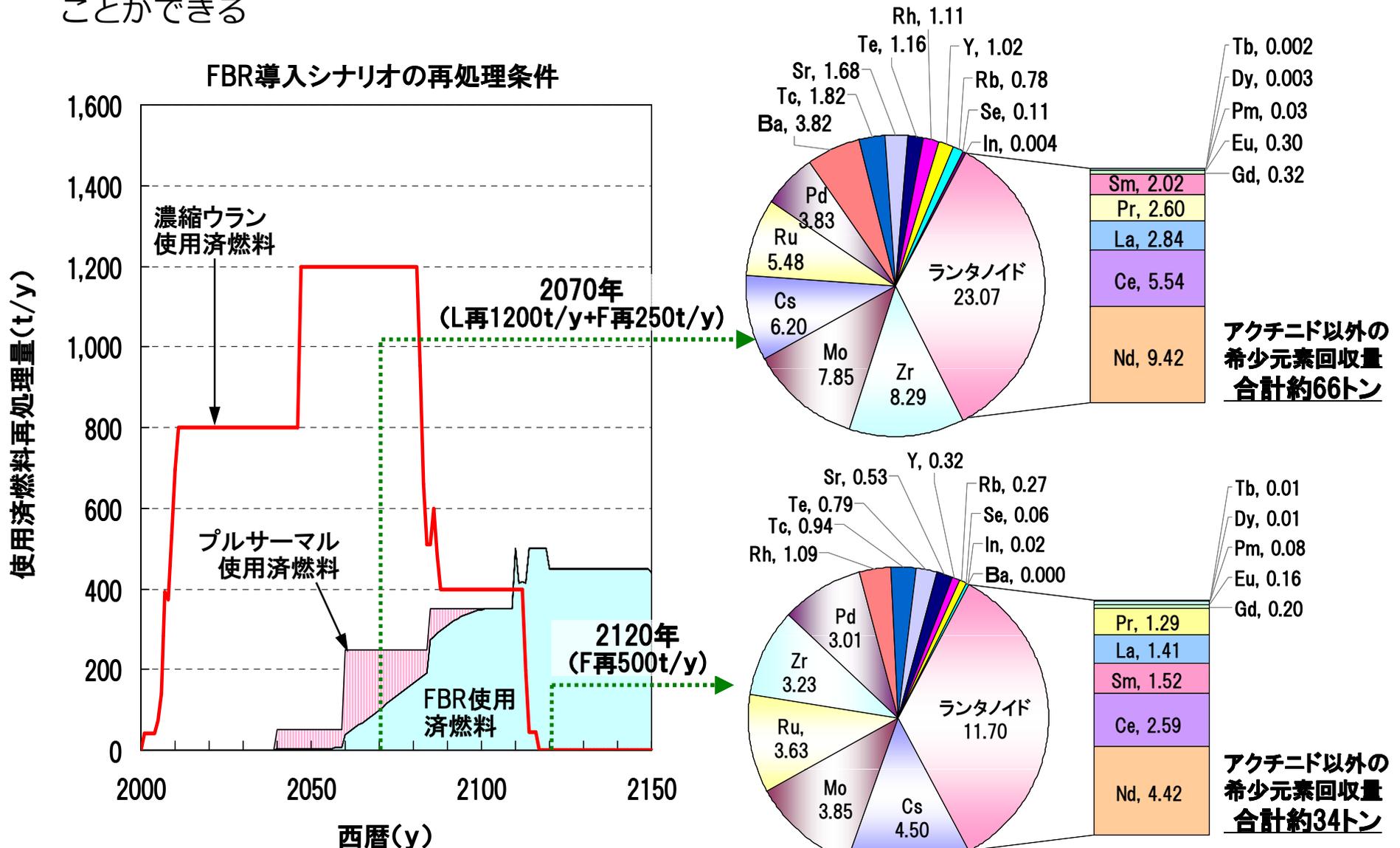
先進オリエンタサイクル構想 since 2006

Advanced Optimization by Recycling Instructive Elements Cycle



FBR導入シナリオに基づくレアメタル回収予測（回収率99%）

- 白金族の我国における国内需要の例（2006）；Ru:3.7t, Rh:2.7t, Pd:50.6t
- 2070年の核燃料サイクルを想定すると、2006年需要のRu全量、Rh約40%、Pd約7%をまかなうことができる



* 福島第一原発事故以前のシナリオに基づく

下水から金 (Au) の回収！



長野県(諏訪建設事務所)プレスリリース 平成 21 年(2009 年)1 月 28 日

諏訪湖流域下水道において汚泥焼却灰から『金』の回収を始めました。

諏訪湖流域下水道豊田終末処理場(愛称:クリーンレイク諏訪)の下水汚泥焼却灰等には金が含まれています。金が含まれている焼却灰は売却が可能であることから、平成20年10月から売却を始め、今月末に初めての売却収入があります。売却収入については、流域下水道の維持管理のために活用し、流域下水道を利用する皆様へのサービス向上を図ってまいります。金の回収の概要は、下記のとおりです。

実施前(今まで)

当処理場の汚泥焼却灰の中にはヒ素が多く含まれており、これの溶出を防ぐため溶融結晶化処理をして人工骨材として有効利用していますが、下記については骨材化が不可能なため、特別管理産業廃棄物として処分していました。

- 1 溶融飛灰(焼却灰を溶融結晶化する過程で発生するばいじん)
- 2 年1回の定期修繕に伴う溶融結晶化炉停止時の焼却灰
- 3 溶融過程で発生する不良スラグ



実施後(これから)

溶融飛灰等の金の含有量試験により、一定の含有が認められる場合、有価物として金属製錬会社へ売却します。

【平成20年10月分】

売却収益 約500万円(溶融飛灰 約500万円、焼却灰 0円)

排出量 溶融飛灰 1.4t 焼却灰 19t

金の含有量 溶融飛灰 約1,890g/t 焼却灰 約35g/t

参考)平成20年度年間売却予想数量(金の市場価格及び含有量により変動します。)

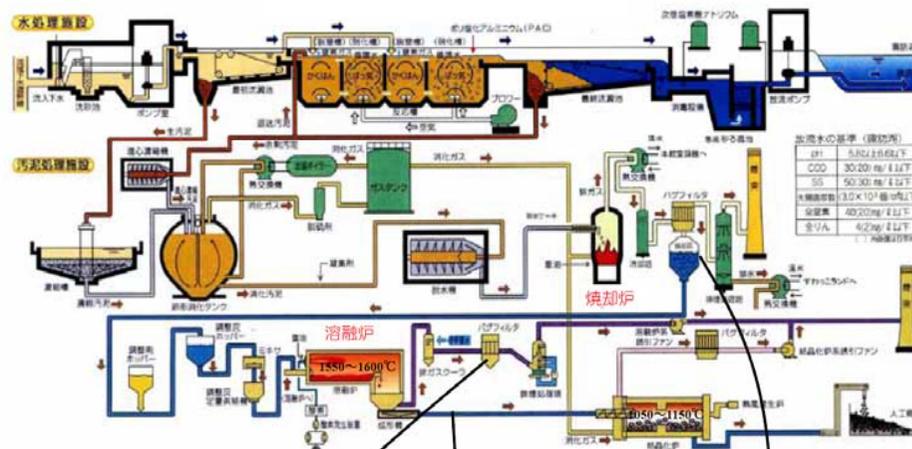
溶融飛灰 5t

焼却灰 60t

諏訪建設事務所流域下水道課
(課長)中山 幹英 (担当)小松 英雄
電話:0266-57-2945(直通)
0266-53-6000(代表)内線2461

1890g x 5t x 約3500円(金)/g ÷ 3,300万円/年

豊田終末処理場 処理フロー



金の回収の概要
平成19年10月から平成20年12月までに発生した溶融飛灰等を処分する中で、10月に搬出した溶融飛灰1.4tと焼却灰19tに金が含有しており、約500万円の売却収益がありました。残りの溶融飛灰等についても3月までに順次、売却収益額が確定します。

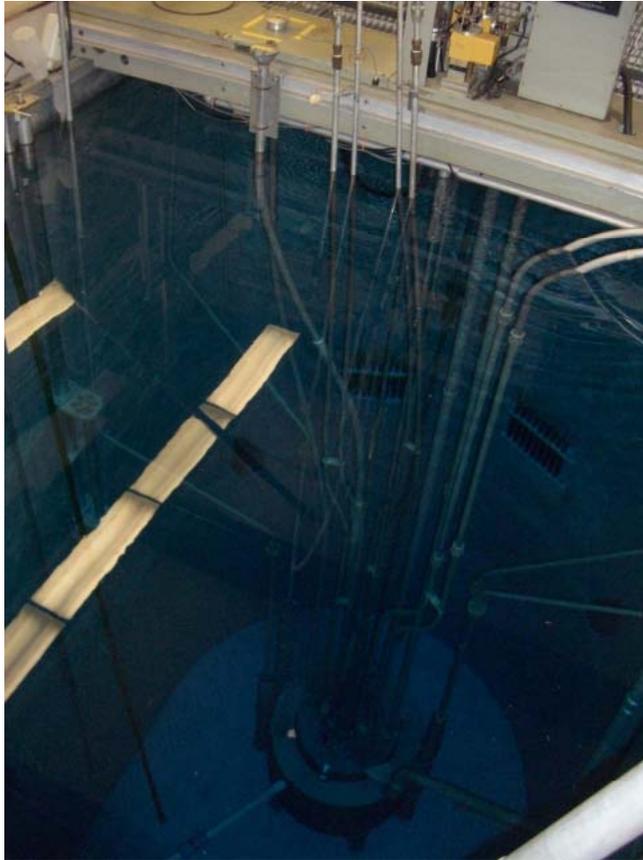
飛灰とは?

溶融炉で溶融処理する際、排ガスの中に飛んでいる灰で、バグフィルタで捕集されます。

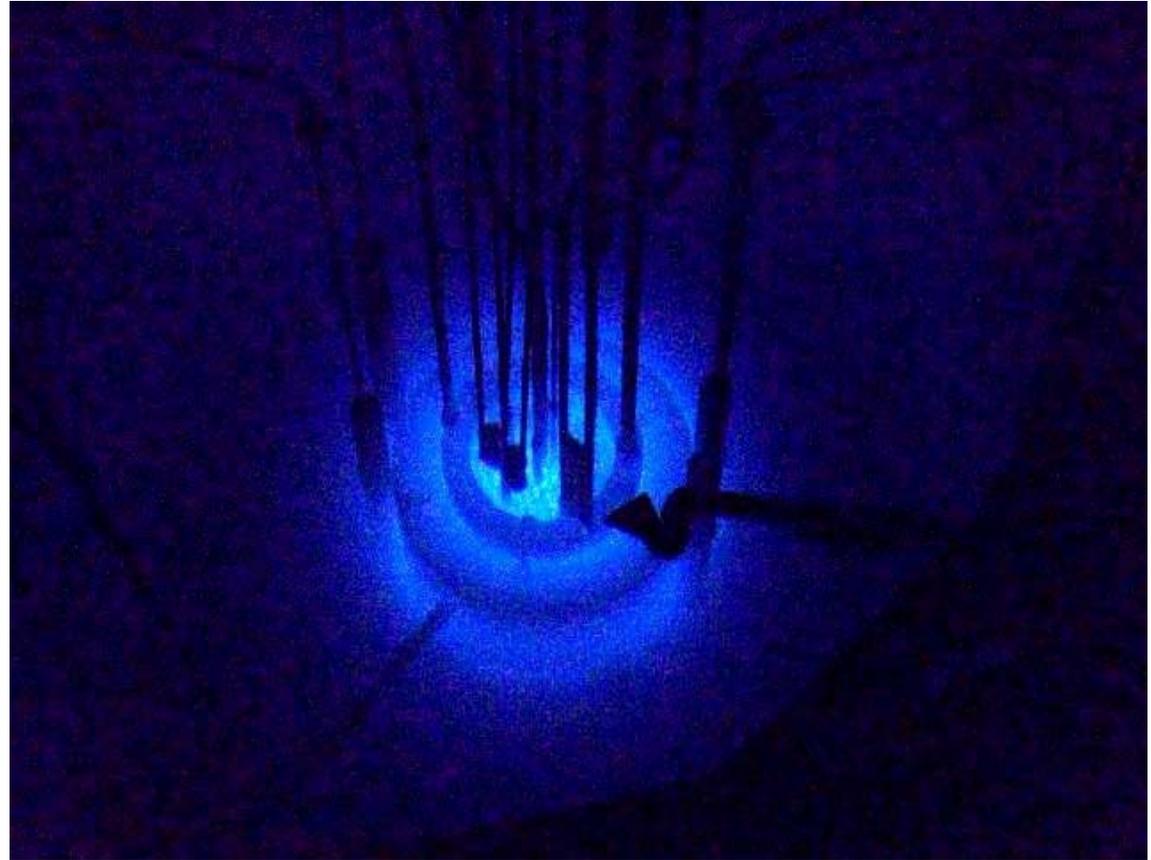
処理場の運転経費

- ・処理場全体: 約14億3千万円
- ・溶融炉: 約1億7千万円

カリフォルニア大学アーバイン校UCIのTRIGA炉



臨界前



臨界中

2012.7.20撮影

第1回日中大学間核燃料サイクル学術討論会

主催：上海交通大学核科学工程学院・東京工業大学原子炉工学研究所

2011年11月30日～12月3日、於上海交通大学



The 1st China-Japan Academic Symposium on Nuclear Fuel Cycle

ASNFC 2011

日中大学間核燃料サイクル学術討論会

- 中国、日本、米国、ロシアの25ヶ所の大学及び研究機関から約80名の研究者、学生が参加
- 本討論会の目的: 日中大学間で核燃料サイクル領域の学術交流、人材育成、協力事業の拡大・推進を図る
- 第1回討論会では、上海交通大学の張傑学長が歓迎挨拶
- 第2回討論会は、2013年6月19～24日に、中国の蘭州大学で開催予定

鄧小平 南巡講話(1992)

”中東有石油、中國有稀土、日本有知惠”

小澤(2011)