Tokyo IPFM Meeting

The cost of uranium from seawater

2010、March,19

Dr. Moriyasu Tokiwai (常磐井守泰)
Nuclear Solution Academy (NuSAC Inc.)

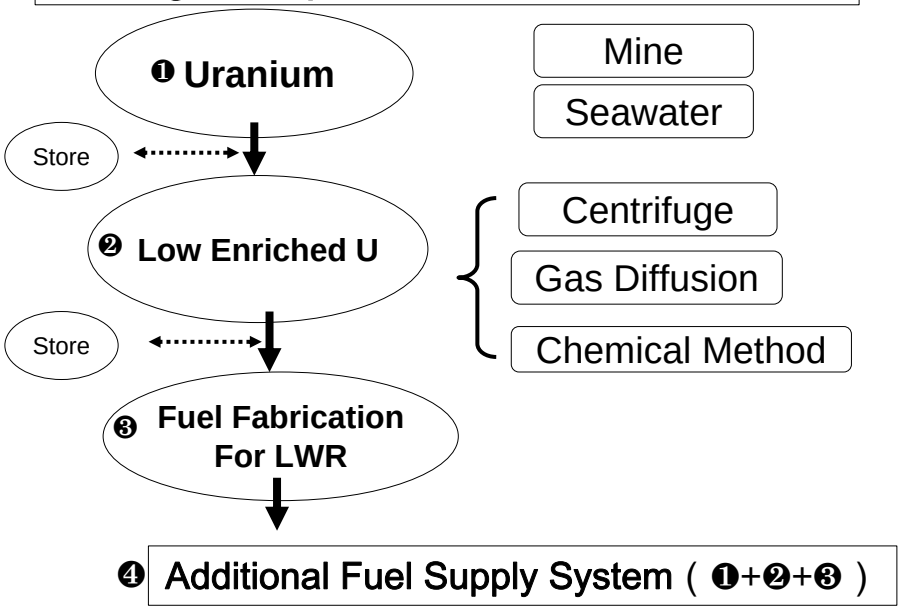
NuSAC Philosophy of Nuclear Energy

We believe the followings:

1. Solution for Issue of Uranium Shortage
   (1) Commercialization of uranium recovery from sea water will work a back stop of the world uranium supply.
   (2) Any countries have a right to recover uranium.
   (3) Uranium must be utilized for only peaceful use.

2. Solution for Issue of Highly Enriched U^{-235}
   (1) Principle of enrichment must be totally different from established enrichment technologies.
   (2) It is the time to prepare the inherently proliferation resistant enrichment technology of U^{-235}.

Fig1 Proposed New Front End



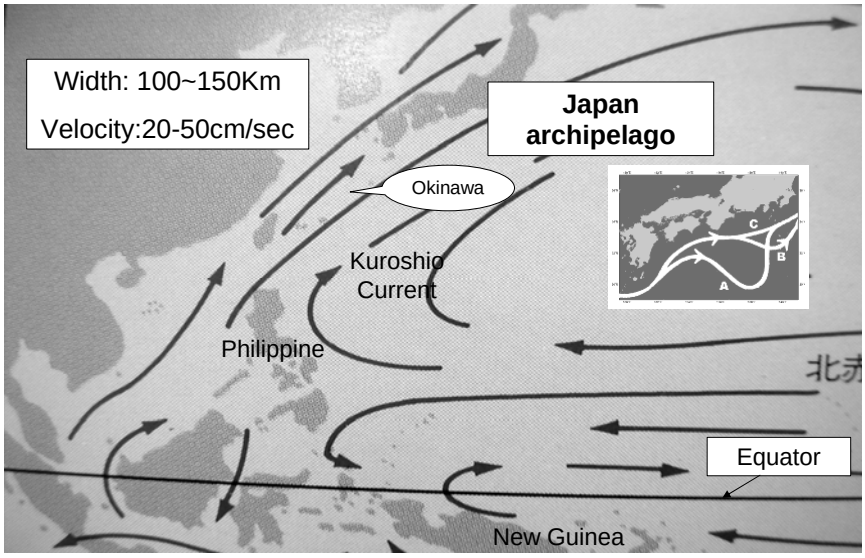


Fig3 Kuroshio Current

Concentration of Elements in Seawater

Element	ppb (μg/l)
Li	178
Rb	124
Sb	59
I	30
Cs	12
Mo	11

Element	ppb (μg/l)
U	3.3
As	2
V	1.39
Sc	1.29
Al	1
Zr	1

$UO_2(CO_3)_3^{4-}$ in natural sea water (pH8.2)

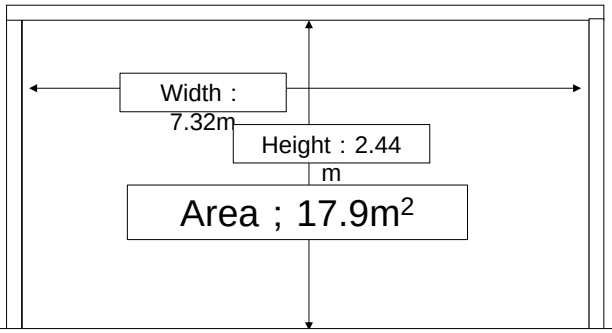
1000 m^3 of seawater contains 3.3 gram of uranium

Transported Metal Elements by Kuroshio Current

Element	ppb	10^6 ton U/y	ton U/y・m^2
Li	170	2840	2420
Mo	10	16	0.5
U	3.3	5*	0.15
V	1.3	3	0.1
Zr	1	1.6	0.05
Co	0.4	0.6	0.02

*Demand of Uranium in Japan is 8000 ton/year

Soccer Goal submerged in Kuroshio Current

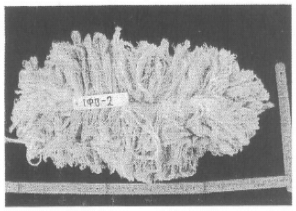


Current
0.2m/sec

Area	U ton/year
17.9m ^{2}	26

Latest and Largest Demonstration★

1. Selective Adsorption for Uranium
2. Large Capacity of Adsorption
3. Rapid Adsorption Rate

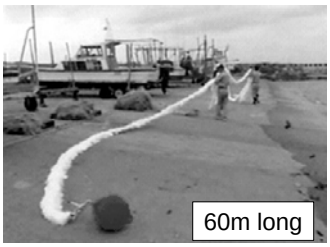


Amidoxime Adsorbent fabric was successfully fabricated

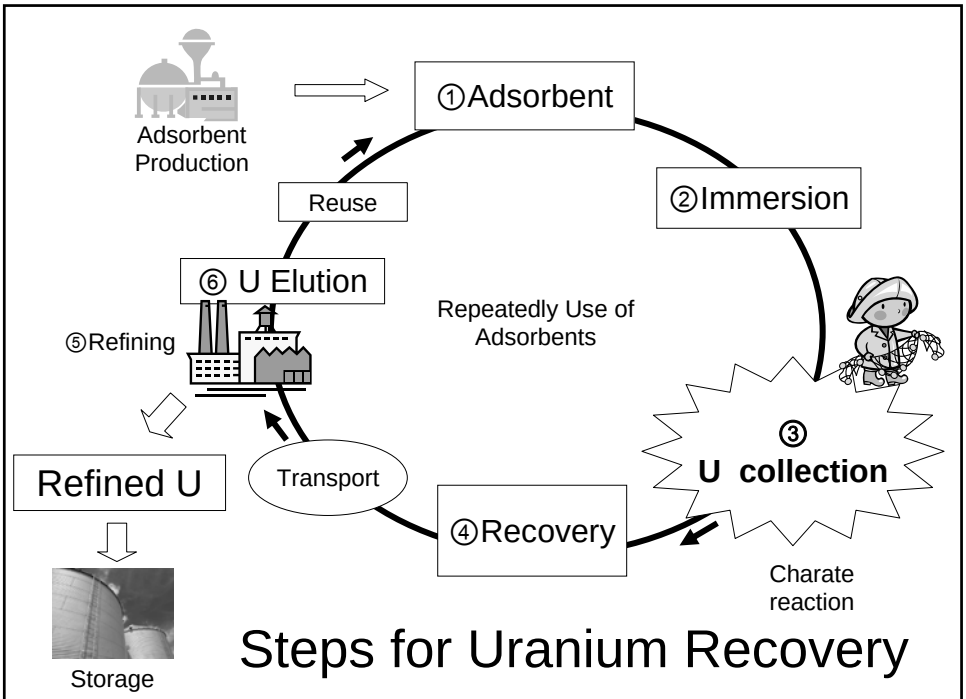
Charate reaction

Okinawa

2003-2004



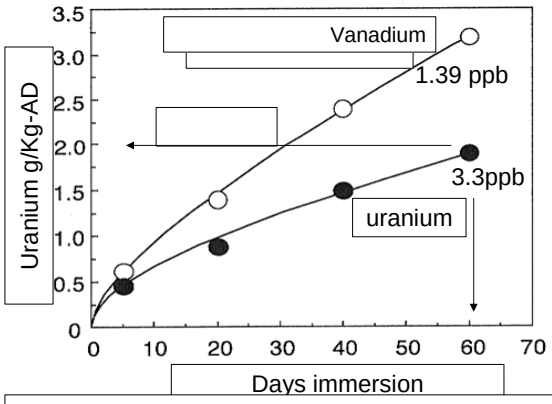
★那須高信、玉田正男、瀬口忠男、清水隆夫、魚谷正樹、鹿島遼一、日本原子力学会誌、Ｖｏｌ．４３，Ｎｏ．１０（２００１）
★玉田正男、瀬古典明、笠井昇、清水隆夫、日本原子力学会誌、Ｖｏｌ．５，Ｎｏ４（２００６）



Steps for Uranium Recovery

Adsorption Characteristics

2gram of Uranium /Kg-Adsorbent was demonstrated



Marine Test Result

2g-U/Kg-AD

↓

0.2%

↑

commercial uranium mine content > 0.1%

Cost Estimation ★

Capacity 1200ton/year

Table 2 Cost for production of adsorbent

Items	Cost (10^2 million yen/yr)	Percentage (%)
Depreciation expenses	20	2.8
Interest of seed money	5.7	0.8
Land rent	0.1	0.01
Cost of labors	28	3.9
Utility cost	64	8.8
Chemicals and materials	599	82.4
Maintenance for plant	7.7	1.1
Maintenance for building	2.2	0.3
Sum	727	100

Percentage of Cost

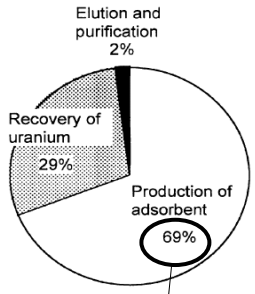
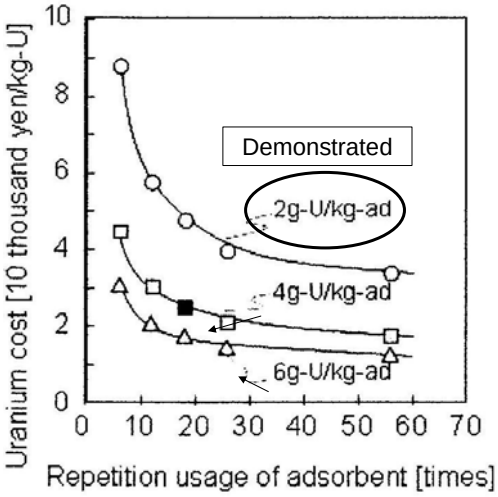


Fig. 5 Breakdown of current recovery cost of uranium

Cost Reduction is necessary

★那須高信、玉田正男、瀬口忠男、清水隆夫、魚谷正樹、鹿島遼一、日本原子力学会誌、Ｖｏｌ．４３，Ｎｏ．１０（２００１）
★玉田正男、瀬古典明、笠井昇、清水隆夫、日本原子力学会誌、Ｖｏｌ．５，Ｎｏ４（２００６）

Cost of Uranium from Seawater



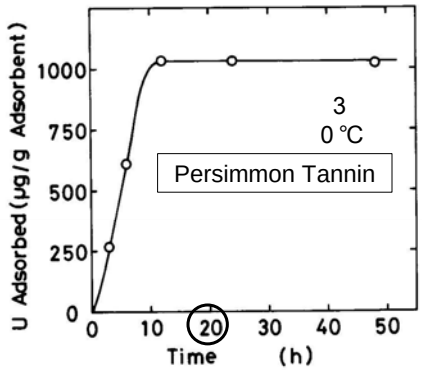
★Reported Expecting Collection Cost is 25,000yen/Kg-U

↓

~2.5 times of Spot Price 48$lb-$U_3O_8$,August,2009

★Masao Tamada ,"Current Status of Technology for Collection of Uranium from Seawater", ERICE Seminar 2009

Another Approach for Adsorbent



Rapid Collection

1 g-U/Kg-AD in 20hr

Fabrication Cost of Sakaguchi's Adsorbent is extremely high

FIG. 4. Time course of uranium recovery from natural seawater by the immobilized tannin. Twelve milligrams of the adsorbent were suspended in 5 L of natural seawater sampled at the coast of Miyazaki at 30°C.

* Takashi Sakaguchi, "Recovery of Uranium from Seawater by Immobilized Tannin", Separation Science and Technology, 1987, 22(6) ,pp1609-1623

New Approach

1 . Little Use of High Price Chemical Material

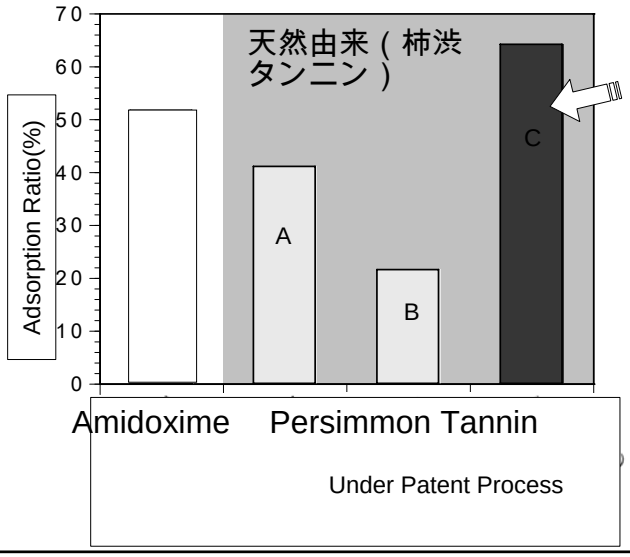
2. Simple Process

3 . Everything Low Price

Example

Development of Low Tech. Adsorbent
(Lab Test)

Adsorbent (100mg)was shook in 1 litter natural Seawater for 24 hr



Current Achievement

↓

Expected cost is less than 1/3 of high tech adsorbent

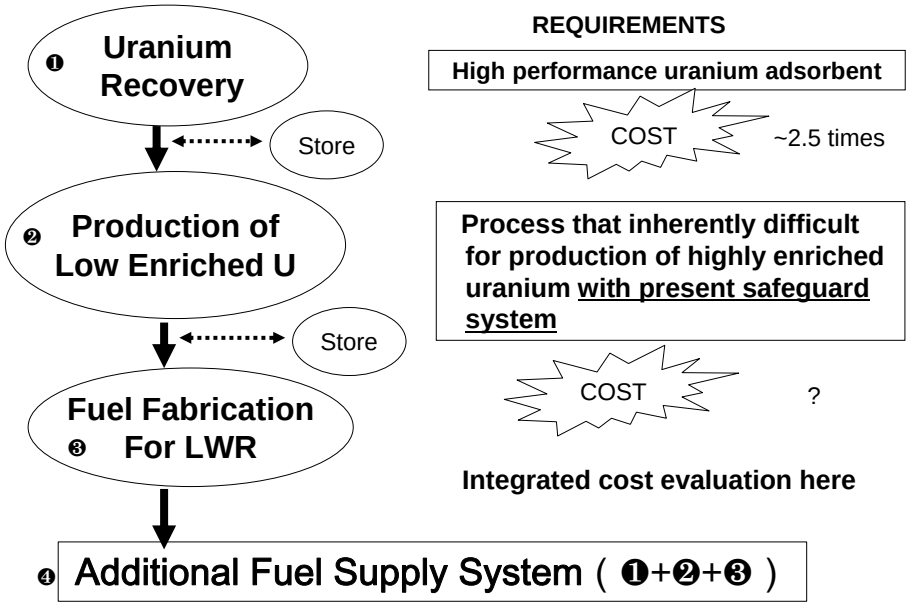
↓

Marine Test is planned

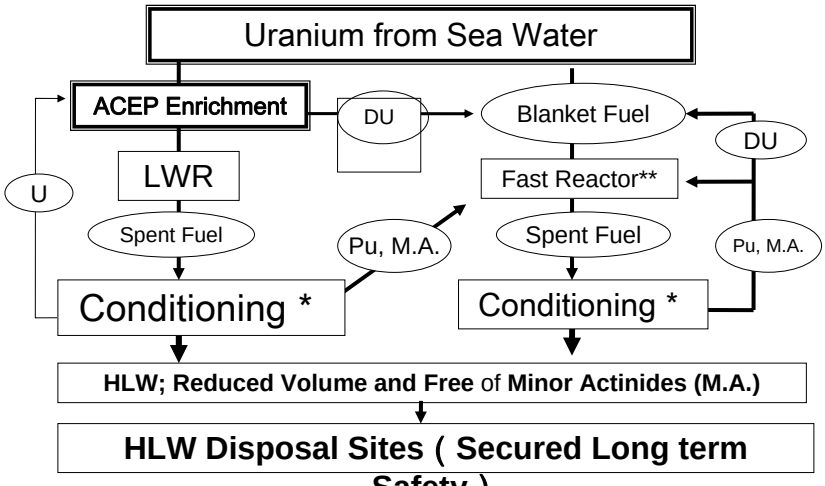
Conclusion

1. Cost of uranium from seawater is still higher than that of mining.
2. NuSAC is convinced that the progress of technology development will give a solution to uranium shortage issue.
3. NuSAC will continue the technology development.

Proposed Additional Technologies



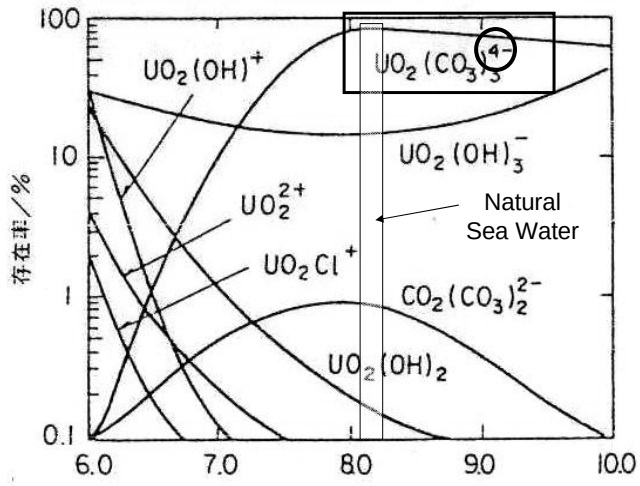
Utilization System of Recovered Uranium



*CONDITIONING= Electrorefining of spent fuel. **U,Pu,M.A.. inherently** co-deposition on the electrode → No pure plutonium recovery → Inherently proliferation resistant fuel recycle.

**FAST REACTOR; Fast spectrum reactor designed for burner or breeder of actinides and for enhancement of inherent safety of core.

Fig 3 Nature of Sea Water



Chemical State of Uranium

Change of Priority for Spent Fuel Treatment

Past Day ⇨ Future

(1) The first priority of reprocess was Pu extraction (PUREX) → (2)

(2) The second priority of reprocess was <u>volume reduction</u> of spent fuel to HLW glass and <u>minor actinide partitioning</u> → (1)

(3) <u>**Proliferation potential**</u> was the primary concern for reprocessing. → (3)

Pyroprocess* or advanced PUREX will be reaccessed

↓

Pu extraction will be no longer the first priority of spent fuel treatment.

* Originally developed by Argonne National Laboratory and Japan is the successor of pyroprocess.

Roles of LWR and Fast Reactor (FR)

(1)**LWRs** yield inevitably Pu, and long lived elements (Minor Actinides,M.A.)

(2)Direct disposal would be unrealistic, then spent fuel treatment is necessary for volume reduction.

(3) Inherently, **Pyroprocess** electrorefiner cannot separate Pu from M.A.. All actinides (U,Pu,M.A.) are recovered together. These material cannot be directly used for explosive devices at all.

---

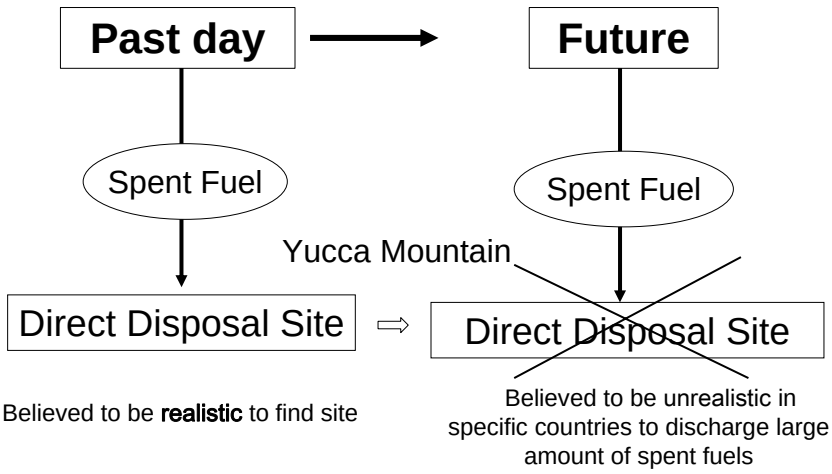
(1) Introduction of **Fast Reactor (FR)** is the evolution of safety. Inherent safety by metallic fueled core was demonstrated at EBR-**II**,Idaho,1984 .

(2)Fast neutrons destroy all actinides . This will decrease the burden of HLW coming from both LWR and FR.

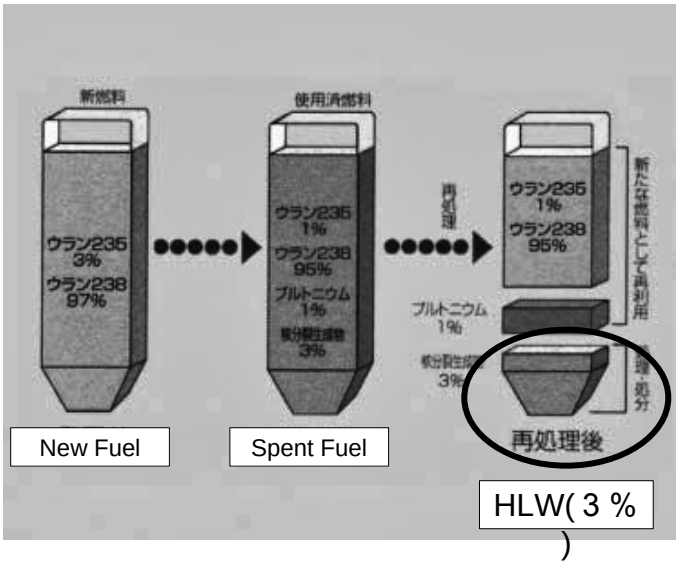
(3) Same as (3) of LWR.

Change of HLW Position

Recovered Uranium from Sea Water



Chemical Process for Spent Fuels



New Fuel

Spent Fuel

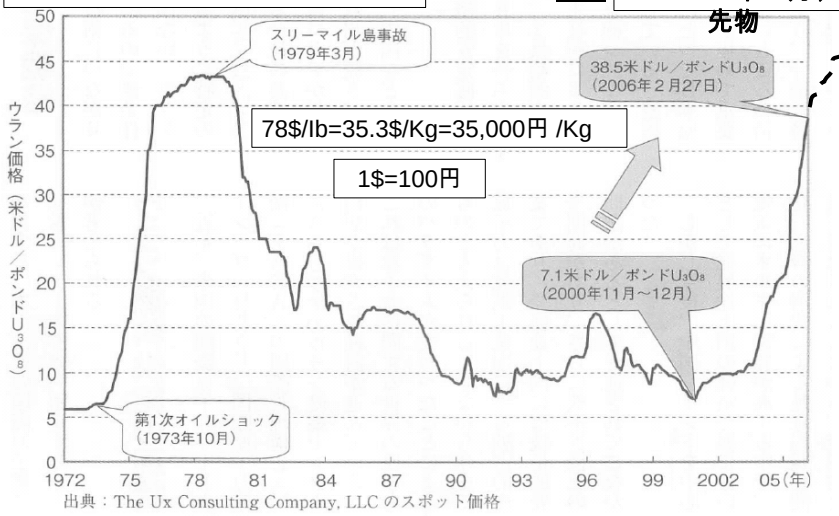
HLW(3 %)

天然ウラン価格の推移

$78.00

UXC

２００８年２月、先物

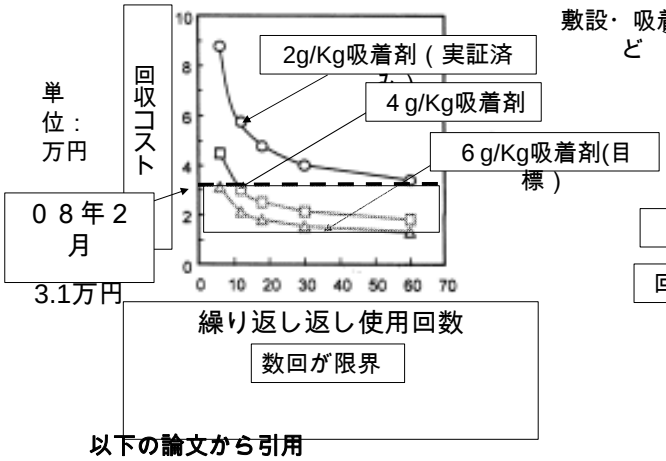


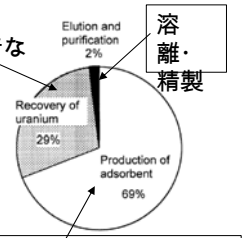
78$/Ib=35.3$/Kg=35,000円 /Kg

1$=100円

高田ほか、エネルギ - フォーラム、２００８年１月、の図に追記

海水からのウラン採取技術開発の総括





回収コストの評価結果

以下の論文から引用

玉田正男、瀬古典明、笠井昇、清水隆夫：「モール状捕集システムによる海水ウラン捕集のコスト試算」；日本原子力学会誌、Vol.5,No4,2006

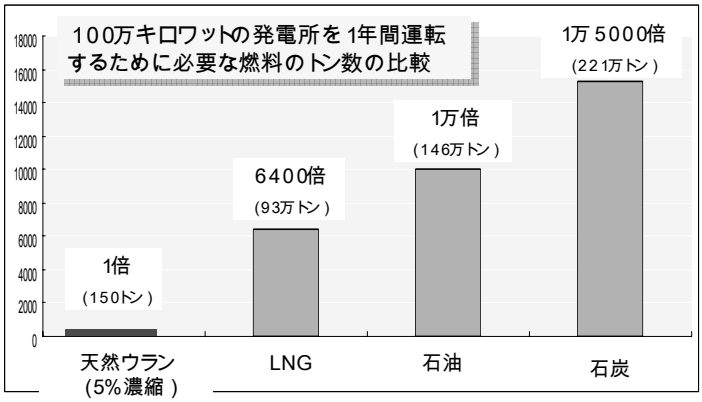


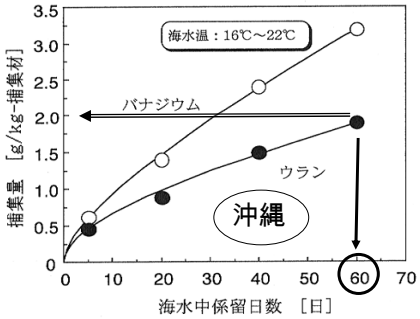
図-１ 主要エネルギーの備蓄効果

ウランはエネルギーの缶詰。回収ウランは備蓄する

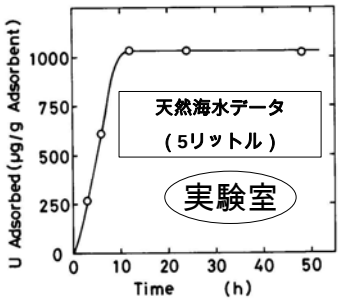
吸着材の比較

* 宮崎大学名誉教授

旧原研で開発



* 坂口孝司開発



アミドキシム型吸着材

（電子線グラフと重合）

柿渋タンニン吸着材

（ベンベルグ繊維に固定化）

柿渋タンニンの実海域でのデータを整備する必要がある。

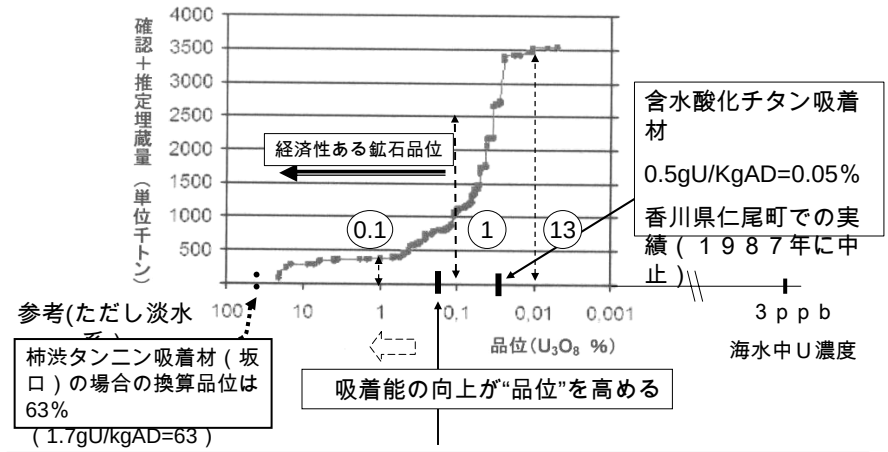
海水中の希少金属

資源	海水中濃度（ｍｇ/トン）	推定溶存総量（億トン）	海外依存率（％）
コバルト	0.1	1	100
イットリウム	0.3	3	100
チタン	1	15	100
マンガン	2	30	90
バナジウム	2	30	100
ウラン*	3	45	100
モリブデン	10	150	100
リチュウム	170	2 330	100
ホウ素	4 600	63 020	100
ストロンチウム	8 000	109 000	100

* 日本の年間ウラン需要量　：　８ｘ１０^{3} ㌧/年、濃度は3ｐｐｂ

**備蓄金属は７元素
コバルト、マンガン、バナジウム、モリブデン、クロム、ニッケル、タングステン）

鉱石の品位と埋蔵量の関係



経済性ある鉱石の品位は0.1~１%程度と言われている。アミドキシム型吸着材は６０日の浸漬で同等の“品位”を 達成しているように見える（2gU/Kg AD=0.2%U（玉田、２００６年実証、旧原研）。違いは、「石」と「高分子繊維」

海水ウランの政策上の位置

海水ウランは無尽蔵

<u>設問１</u>

海水ウランと再処理は政策的に整合するのか？

<u>設問2</u>

海水ウランと高速増殖炉とは政策的に整合するのか？

設問3

海水ウランの実用化の世界へのインパクトが全く考慮されていないではないか。

この設問に対する周到な答えを用意しないまま、現在に至っている。 世論を喚起してみるか→勉強会を立ち上げた理由の一つ。

海水ウランの位置づけ（過去と将来）

海水ウランの軽水炉利用

過去 → **現状と将来**

使用済み燃料 → 使用済み燃料

再処理不要

呼称はどうあれ、減容処理は必要

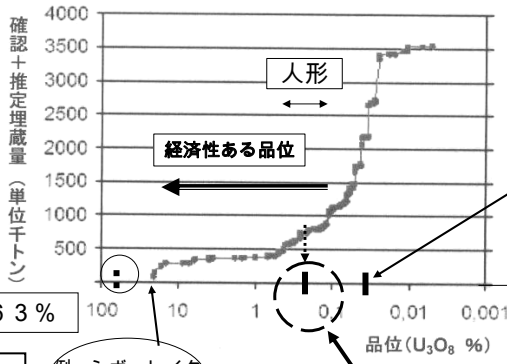
例：ヤッカマウンテン

直接処分が出来る ⇒ 直接処分は非現実的

直接処分は、低コスト、かつ核拡散の懸念が小とされた（再処理、高速炉を望まない米国が奨励)。日本にも同調者が結構いた。

次々に処分場を開場することのリスクが予想以上に大きいことが分ってきた。大量の使用済み燃料の**「減容処理」**がより重要と認識されるようになった。米国は、減容処理を「燃料処理」と表現。

ウラン鉱石の品位と埋蔵量の関係



含水酸化チタン吸着材

0.5gU/KgAD=0.05%

香川県仁尾町（１９８７年に中止）

参考

1.7gU/gAD=６３％U

柿渋タンニン吸着材（淡水系）

例：シガーレイク鉱山（カナダ）

吸着容量の改良（高品位化）

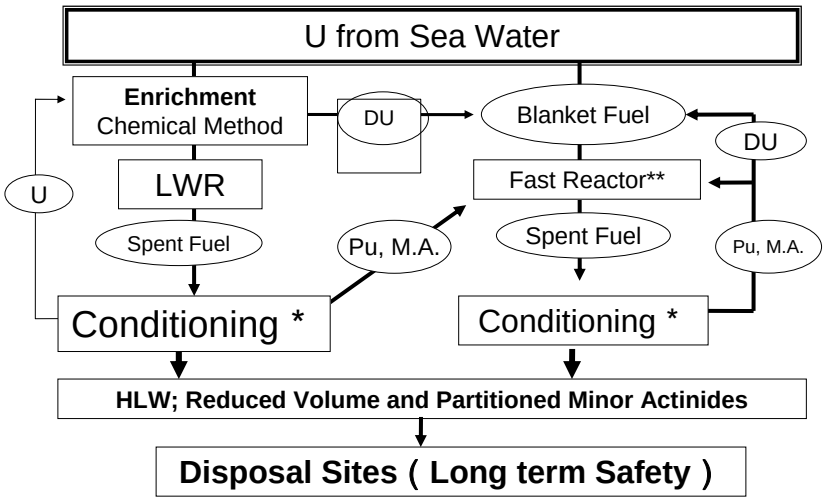
0.0000003%（３ｐｐｂ）

海水中濃度

経済性ある鉱石の品位は0.1~１%程度と言われている。

アミドキシム型吸着材は６０日の浸漬で同等の“品位”を 達成しているように見える（2gU/Kg AD=0.2%U（２００６年実証、旧原研）

Utilization of Recovered Uranium



*Pyroprocess in which Pu is Inherently difficult to recove and Inherient Proliferation Resistant Recycle by Pyroprocess of Spent Fuel.

再処理にはＰｕの軍事転用が極端に困難な処理法として**乾式再処理**が開発されている

** Fast Spectrum Reactor (Burner for Actinides). Enhanced Passive Safety by Metallic Fuel

---

＊既往研究

（旧原研、電中研）

実海域試験

（延縄方式60日間係留）

２０００～２００４

1200トン/年

吸着材製造・・・原研

係留システム・・・電中研

単位：万円/Kg

回収コスト

2g/Kg吸着剤（実証済み）

4 g/Kg吸着剤

6 g/Kg吸着剤（目標）

スポット価格幅

０８年２月 3.1万円/Kg

繰り返し返し使用回数

敷設・係留 輸送など

溶離・精

2%

Recovery of uranium 29%

Production of adsorbent 69%

アミドキシム型捕集材

製造

新吸着材の研究（＊＊）と残る課題を分析 →プロジェクト要素の提案

実海域試験からのコスト評価

6年前は10倍以上だったウラン コストが２．５倍以内に縮まった（現在）

草木染

❶捕集材の製造費が69%と大きい→安さと高性能を兼ね備えた新吸着材の開発（生体材料と染色技術）
❷数回の繰り返し使用で吸着性能が７～８割に劣化する→脱着で官能基が劣化しない捕集材の設計
❸溶離・精製コストが２%は過小ではないか→水にU^{+6}を不溶のU^{+4}へ還元する**バチルス菌**が利用できないか
❹これまでは大規模・集中立地に特化→**中小規模・分散捕集**の新システム（**漁業との協業**）の提案と経済性評価
❺検討範囲は国内のみ、技術もウラン精製までに限定→**備蓄や濃縮**を含む**フロントエンド**として検討をする必要

＊玉田正男、瀬古典明、笠井昇、清水隆夫：「モール状捕集システムによる海水ウラン捕集のコスト試算」；日本原子力学会誌、Vol.5,No4,2006、11

＊＊田中、常磐井，正木、“天然由来成分による海水ウランの吸着材の調査”、電中研研究調査資料、2008

変化する原子力

変化	２００９年１２月の	約２０年前の状況
軽水炉市場	世界が市場となった	国内だけが市場だった。
資源ナショナリズム	囲い込みなどもあり、資源が買えないかもしれない時代となった	世界中の安いところから自由に資源を買えた
ウラン価格	一時、約７０ドル/ポンドU_3O_8に高騰（現在は４０ドル程度）	約１０ドル/ポンドU_3O_8と安く、将来も軟調に推移すると見られていた
海水ウランの価値	新しい吸着材で鉱山ウランの２．５倍程度までコスト差が縮まった	海水ウランのコストは鉱山ウランの数十倍と見積もられた（＊＊）
原子力を見る目	CO_2排出が極少かつ基幹電源としての有効性が認識された	地球環境は議論の対象でなく、再生可能エネルギーへの過剰な期待が
日本のフロントエンド政策	国際核燃料供給構想のもとで日本も核燃料供給国の役割を果たすと	市場は国内だけで、核燃料のサプライチェーンを展開することは想定外
濃縮ウラン供給能力	世界の濃縮の能力不足が深刻化すると懸念される	旧ソ連の兵器用高濃縮ウランからの供給が需要を補っていた
核不拡散問題	核不拡散体制の綻びが懸念されている。特に高濃縮ウランの製造技術の拡散が喫緊の国際問題となってきた	不十分ではあったが、核不拡散体制が機能していた（ＮＰＴ）

＊原研の電子線グラフト重合法による高性能アミドキシム型吸着材（２ｇＵ/Ｋｇ吸着材）の開発と電中研の清水らのフローと付きのモール状吸着材の発明の成果で差が縮まった

＊＊香川県仁雄町での金属工業事業団の実証試験、含水酸化チタン吸着材の性能が低すぎた、１９８６年

草木染方式のウラン吸着材の性能評価試験結果（2009年 12月 10日）

処理	担持基材	吸着官能基	海水中U濃度 [μg/L]	振盪前/後のpH	海水残液中U [μg/L]	U吸着量 [μg]	Uマスバランス (海水 - 残液) [μg/L]	吸着率 [%]	U吸着量 [mg-U/g-AD]
A-21001 前処理	Pイ	なし 前処理のみ	3.3	8.13/ -	3.113	0.0004	0.187	0.0	0.0000
	Pロ		3.3	8.13/ -	3.101	0.0009	0.199	0.0	0.0000
	Pハ		3.3	8.14/ -	3.127	0.0005	0.173	0.0	0.0000
	Pニ		3.3	8.12/ 8.06	3.258	0.0017	0.042	0.1	0.0000
	Pホ		3.3	8.11/ 8.05	3.107	0.0031	0.193	0.1	0.0000
	Pヘ		3.3	8.12/ 8.05	2.968	0.0031	0.332	0.1	0.0000
B-21051 前処理＋官能基付与	Pイ	柿渋タンニン（3%）	3.3	8.09/ 8.08	3.186	0.0105	0.114	0.3	0.0001
	Pロ		3.3	8.10/ 8.08	2.616	0.5067	0.684	15.4	0.0051
	Pハ		3.3	8.11/ 8.08	3.214	0.0094	0.086	0.3	0.0001
	Pニ		3.3	8.11/ 8.07	2.752	0.5001	0.548	15.2	0.0050
	Pホ		3.3	8.11/ 8.06	2.932	0.0917	0.368	2.8	0.0009
	Pヘ		3.3	8.07/ 8.06	2.742	0.1574	0.558	4.8	0.0016
	Cロ		3.3	8.09/ 8.08	2.841	0.2763	0.459	8.4	0.0028
	Cニ		3.3	8.09/ 8.05	2.952	0.3054	0.348	9.3	0.0031
	Cヘ		3.3	8.11/ 8.06	2.943	0.2399	0.357	7.3	0.0024
B-21053 前処理＋官能基付与	Pイ	工業用タンニン（3%）	3.3	8.09/ 8.13	3.173	0.0196	0.127	0.6	0.0002
	Pロ		3.3	8.08/ 8.09	**0.664**	**1.0376**	2.636	31.4	0.0104
	Pハ		3.3	8.11/ 8.05	3.078	0.0233	0.222	0.7	0.0002
	Pニ		3.3	8.08/ 8.02	1.922	**1.4318**	1.378	43.4	0.0143
	Pホ		3.3	8.07/ 8.08	2.935	0.1510	0.365	4.6	0.0015
	Pヘ		3.3	8.06/ 8.06	1.438	**1.5342**	1.862	46.5	0.0153
	Cロ		3.3	8.13/ 8.03	**0.646**	0.7345	2.654	22.3	0.0073
	Cニ		3.3	8.07/ 8.07	2.084	**1.2864**	1.216	39.0	0.0129
	Cヘ		3.3	8.10/ 8.04	**0.795**	**2.1165**	2.505	**64.1**	0.0212
アミドキシム（比較材）			3.3					**51.2**	

Confidential

高性能吸着材（ＡＤ）の用途

前提条件

１．数日で、２～１０ｇＵ／ＫｇＡＤ

２．製造コスト５０～５００円／ＫｇＡＤ

３．製造能力　ＡＤを数百～数千トン

⇩

１．海水ウランの海外展開

２．ウラン鉱山の環境浄化

３．ウラン鉱石のバイオリーチング

４．ウランを含むチタン鉱石からの精錬廃棄物処理

５．ウランを含む石炭灰の処理

６．ウラン以外への応用