

平成21年6月2日
原子力委員会
定例会議

海水ウランの捕集技術

--- ウラン捕集材の観点から ---

(独) 日本原子力研究開発機構
量子ビーム応用研究部門
環境・産業応用研究開発ユニット
玉田 正男

海水中の有用金属資源

表1 海水中の全元素

元素	化学形	濃度mg/l	元素	化学形	濃度mg/l
H	H ₂ O	108,000	Nb		0.00001
He	He	0.0000069	Mo	MoO ₄ ²⁻	0.01
Li	Li ⁺	0.17	Ag	AgCl ₂ ⁻	0.00004
Be		0.0000006	Cd	Cd ²⁺	0.00011
B	B(OH) ₃	46	In		≪ 0.02
C	CO ₃ H ⁻ , 有機C	2.8	Sn		0.0008
N	有機N, NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺	0.5	Sb		0.0005
O	H ₂ O, O ₂ , SO ₄ ²⁻	857,000	I	I ⁻ , IO ₃ ⁻	0.06
F	F ⁻	1.3	Xe	Xe	0.000052
Ne	Ne	0.00014	Cs	Cs ⁺	0.0005
Na	Na ⁺	10,500	Ba	Ba ²⁺	0.03
Mg	Mg ²⁺	1,350	La		1.2 × 10 ⁻⁵
Al		0.01	Ce		5.2 × 10 ⁻⁶
Si	Si(OH) ₄	3.0	Pr		2.6 × 10 ⁻⁶
P	PO ₄ H ₂ ⁻	0.07	Nd		9.2 × 10 ⁻⁶
S	SO ₄ ²⁻	885	Nd		1.7 × 10 ⁻⁶
Cl	Cl ⁻	19,000	Eu		4.6 × 10 ⁻⁷
Ar	Ar	0.8	Gd		2.4 × 10 ⁻⁶
K	K ⁺	380	Dy		2.9 × 10 ⁻⁶
Ca	Ca ²⁺	400	Ho		8.8 × 10 ⁻⁷
Sc		0.00004	Er		2.4 × 10 ⁻⁶
Ti		0.001	Tm		5.2 × 10 ⁻⁷
V	VO ₅ H ₃ ²⁻	0.002	Yb		2.0 × 10 ⁻⁶
Cr	Cr ³⁺ , Cr ⁶⁺	0.00005	Lu		4.8 × 10 ⁻⁷
Mn	Mn ²⁺	0.002	Hf		< 0.000008
Fe	Fe(OH) ₃	0.01	Ta		< 0.0000025
Co	Co ²⁺	0.0001	W	WO ₄ ²⁻	0.0001
Ni	Ni ²⁺	0.002	Au	AuCl ₄ ⁻	0.000004
Cu	Cu ²⁺	0.003	Hg	HgCl ₄ ²⁻	0.00003
Zn	Zn ²⁺	0.01	Tl	Tl ⁺	< 0.00001
Ga		0.00003	Pb	Pb ²⁺	0.00003
Ge	Ge(OH) ₄	0.00006	Bi		0.000015
As	AsO ₄ H ²⁻	0.003	Rn	Rn	0.6 × 10 ⁻¹⁵
Se		0.0004	Ra		1 × 10 ⁻¹⁰
Br	Br ⁻	85	Th		0.00005
Kr	Kr	0.0025	Pa		2 × 10 ⁻⁹
Rb	Rb ⁺	0.12	U	UO ₂ (CO ₃) ₃ ⁴⁻	0.003
Sr	Sr ²⁺	8.0			
Y		0.0003			
Zr		0.000022			

海水の中には
77の元素が
溶け込んでいる



ウラン
0.0033 g
(3.3mg)

海水には45億トン
(鉱山ウランの
1000倍)



黒潮の運ぶ資源量

52万トン/年



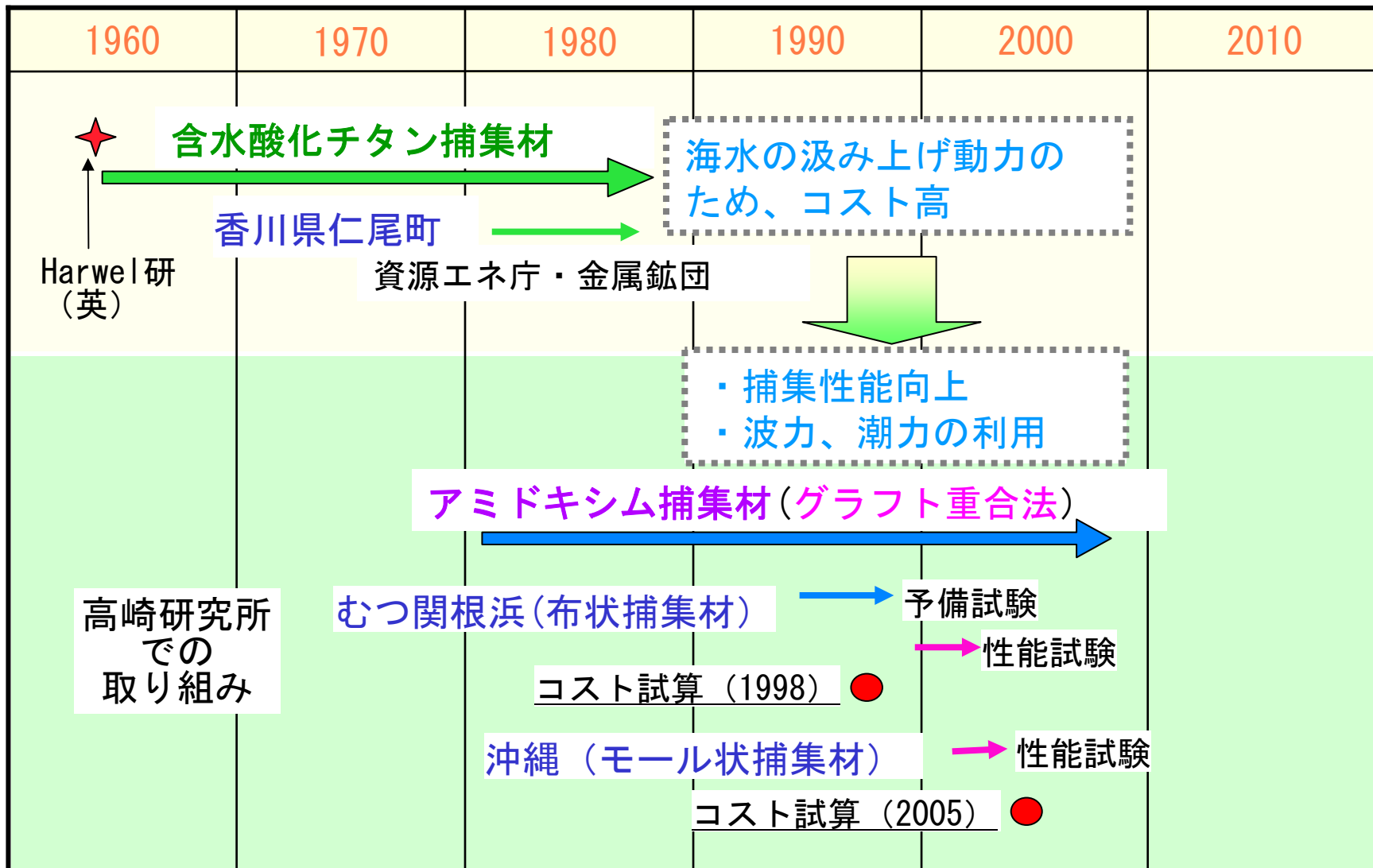
~0.2%

日本の年間需要量

8000トン/年

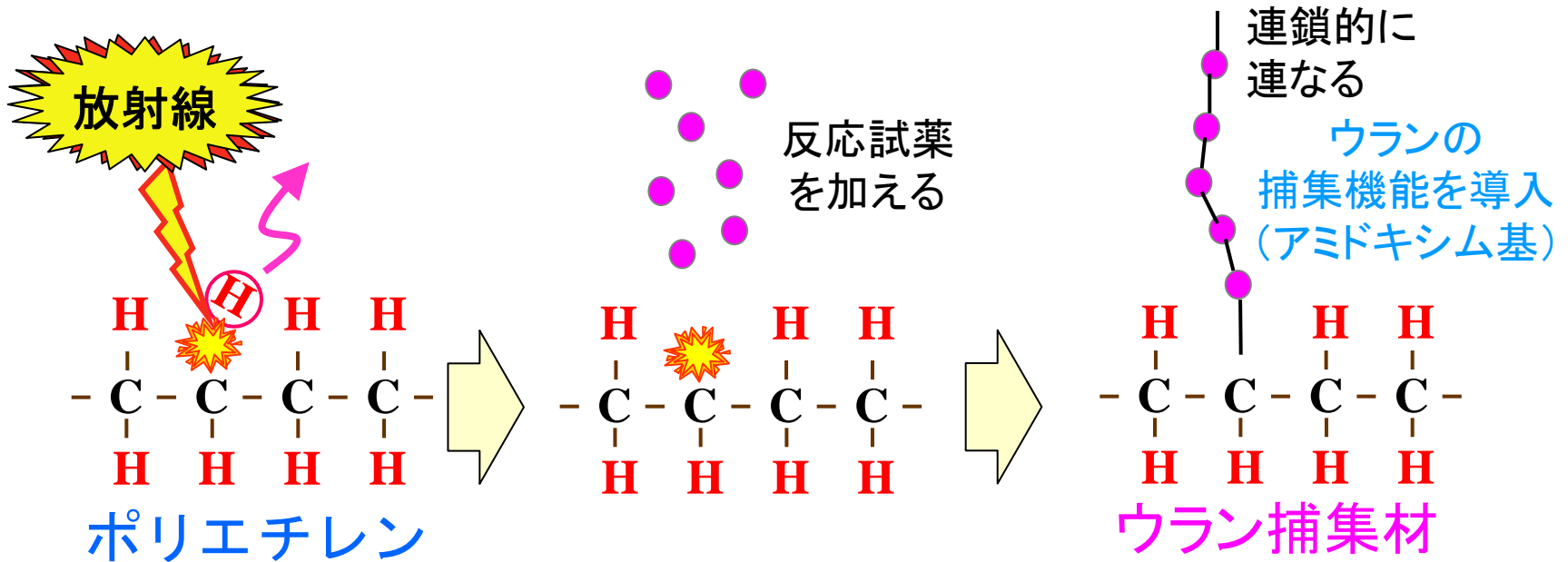
[出典] 重松 恒信:海水誌、21、221(1968)

海水ウラン捕集の経緯



放射線グラフト重合

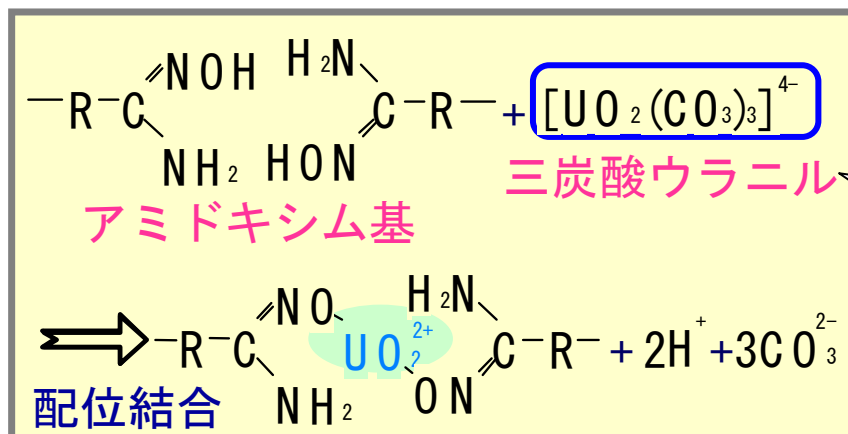
新たな性質を接ぎ木する技術



放射線のエネルギーで
C (炭素) と
H (水素) の
結合が切れ、活性点
(ラジカル) が生じる

目的とする化学構造を
ポリエチレンなどの
基材に導入して捕集材を
合成可能

官能基の選択



海水中での
ウランの
溶存形態

アミドキシム捕集材の選択性

捕集材中濃度
海水濃度

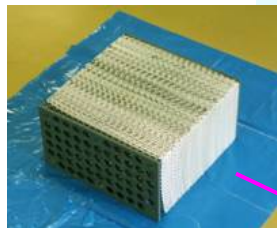
元素		海水中濃度 [μg/L]	捕集材中濃度 [μg/g-ad]	濃縮係数
Na	ナトリウム	1.08×10^7	618.5	0.057
K	カリウム	3.80×10^5	45.9	0.12
Al	アルミニウム	2	86.94	4.35×10^3
Pb	鉛	0.03	108.82	3.62×10^6
Ti	チタン	1	1.49	1.49×10^3
Fe	鉄	2	414.44	2.07×10^5
Co	コバルト	0.05	23.57	4.71×10^5
Ni	ニッケル	1.7	78.17	4.60×10^4
U	ウラン	3.2	63.72	1.99×10^4
V	バナジウム	2	96*	4.8×10^4

温度: 25°C、カラム: 3L/min、7日間、捕集材: 0.2g *: 海水への浸漬実験からの推定値

布状捕集材の性能評価試験

捕集材カセット

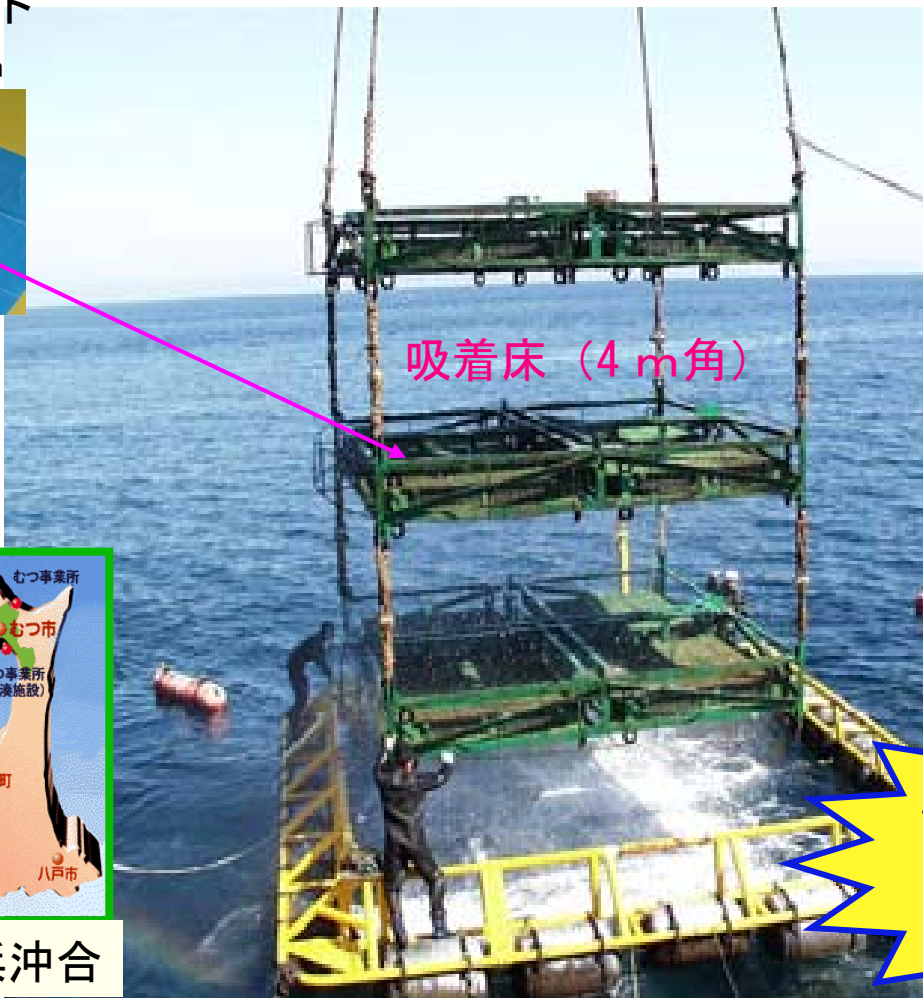
29cmx29cmx16cm



120枚の
布状捕集材
を積層



むつ関根浜沖合



吸着床 (4m角)

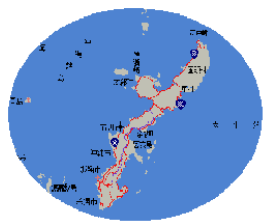


3年間の
実海域試験

1kgのウラン
捕集に成功

捕集材カセットを充填した吸着床の引き上げ作業

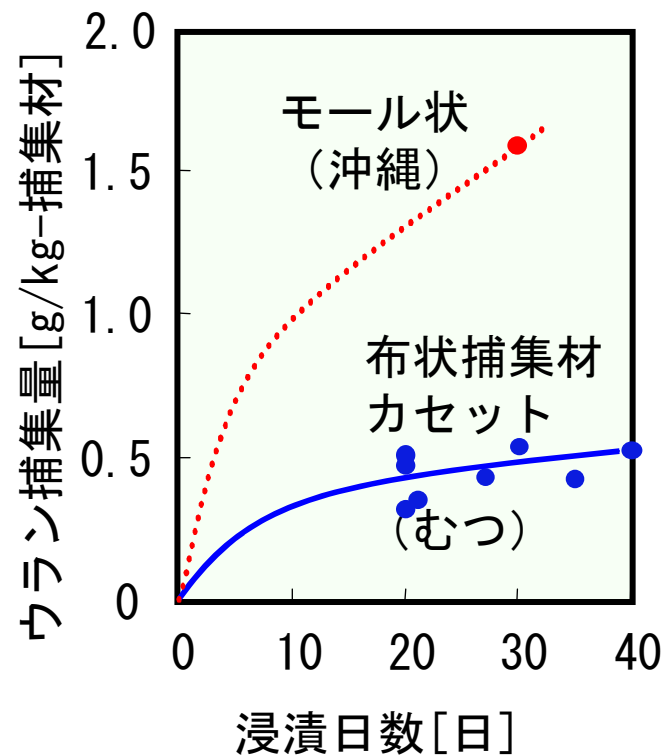
モール状捕集材の性能評価試験



沖縄県
恩納村沖合



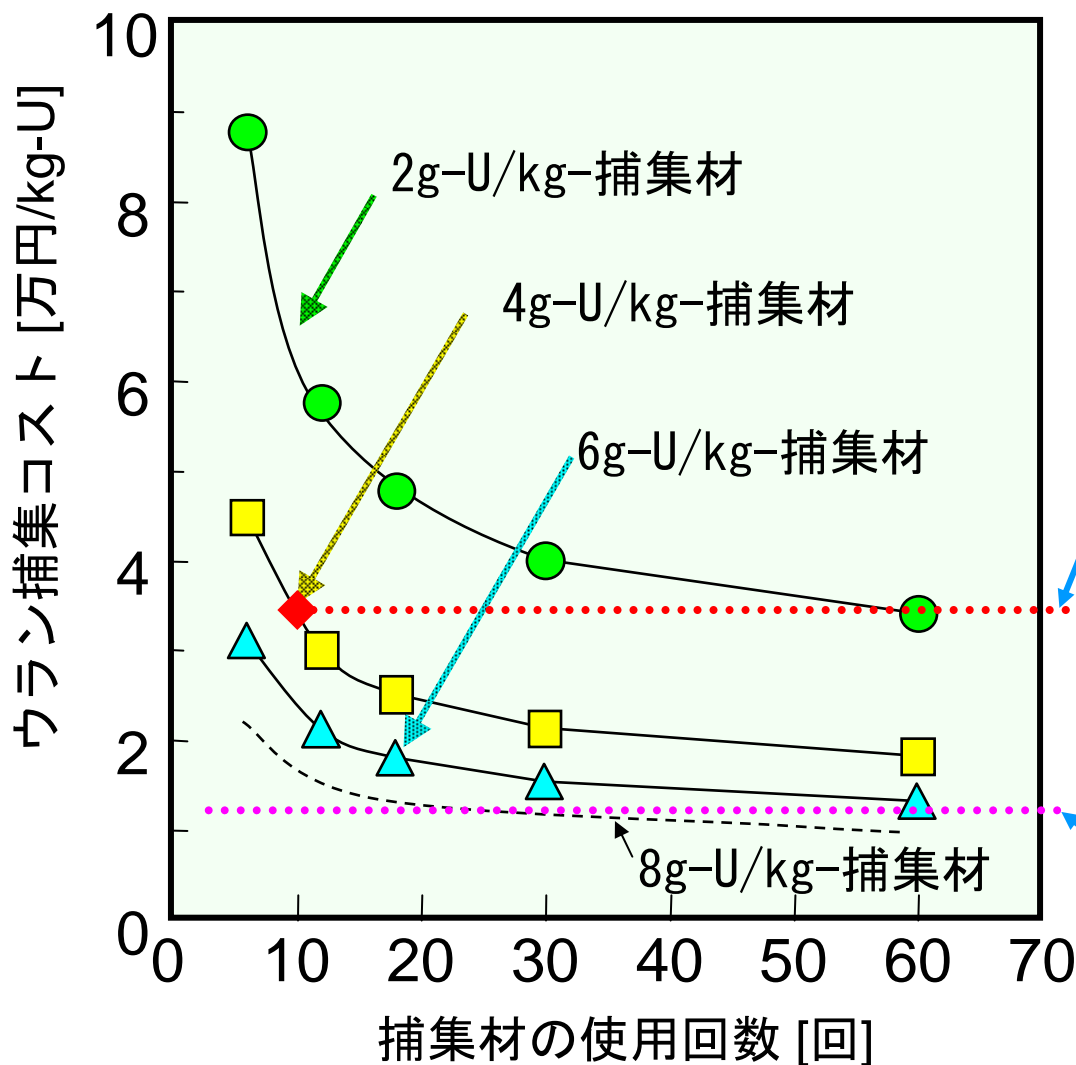
係留状態 (海中)



海水温度効果が1.5倍
海水との接触効率が2倍

吸着床を必要としないので軽量化が可能:コスト低減

モール状捕集システムによるコスト評価



4g-U/kg-捕集材
8回繰り返し使用

3万2千円/kg-U
 { 捕集材製造: 60%
 ウラン回収: 36%
 溶離・精製: 4%

実験室のデータに基づいた
達成可能なコスト

繰り返し使用の耐久性

捕集性能の向上

2009.5 週間スポット価格
\$51/ポンド-U₃O₈

1万3千円/kg-U
目標とするコスト

年間1200tのウラン捕集規模でのコスト試算結果

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コスト試算、日本原子力学会和文論文誌 5(2006)358-363

今後の研究開発

1) 海水ウランの捕集材の耐久性能評価

(財)海洋生物環境研究所との共同研究

海水循環槽（中央研究所：千葉県御宿）による捕集材の性能評価と加速試験法の開発

研究開発
を開始

2) 海水ウラン捕集材の捕集性能の向上

- ・シミュレーションにより海水中のウランに対して、極めて高い選択性を有する化学構造を設計
- ・新しい化学構造を放射線グラフト重合により、導入して合成

外部資金
への応募

3) 漁業と調和した捕集システムの開発

モール状捕集システムの実証試験(100kg捕集)と海洋資源への影響



海水ウラン捕集技術の実用化に目処をつける