

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



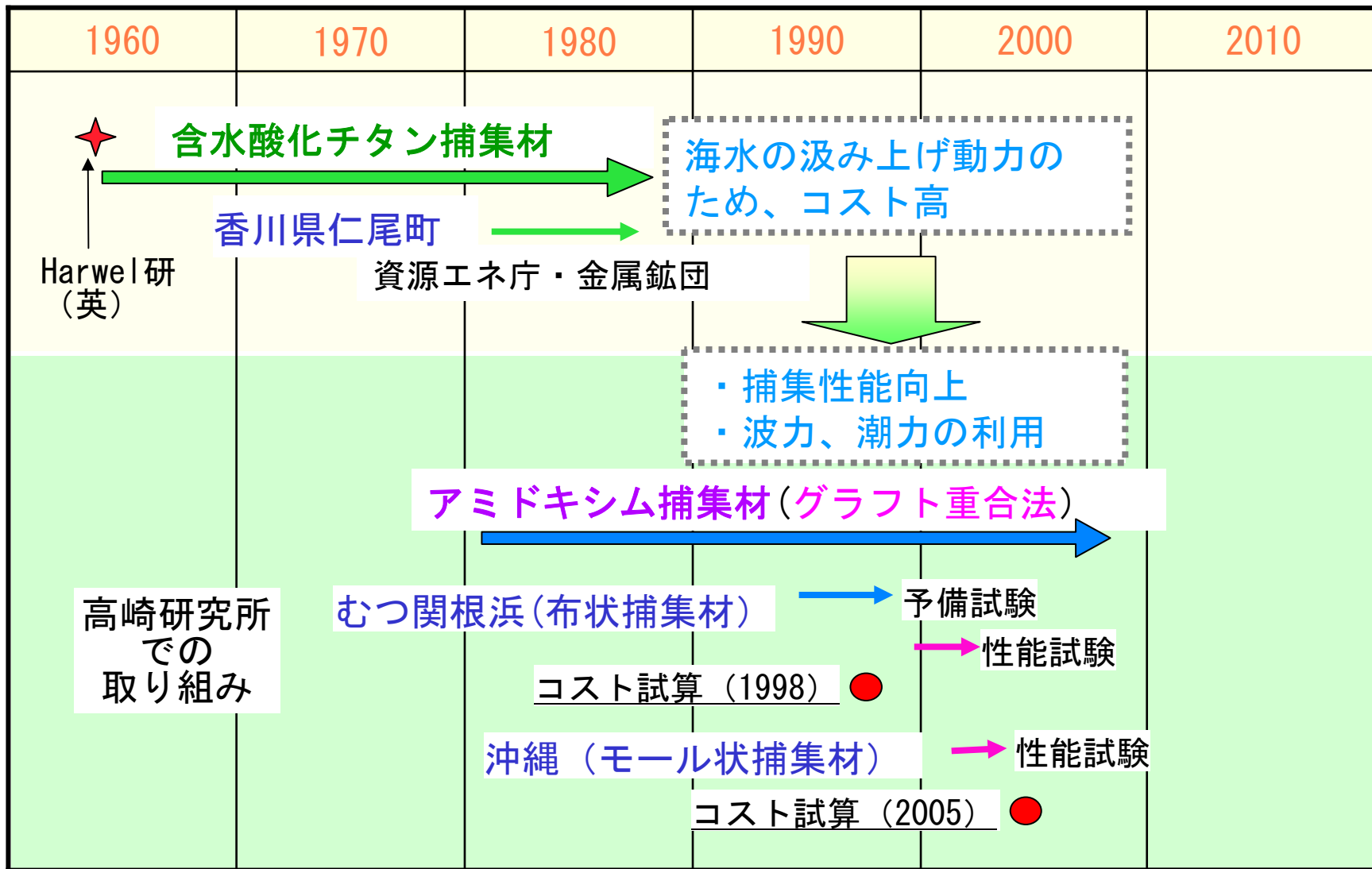
~0.2%

日本の年間需要量

8000トン/年

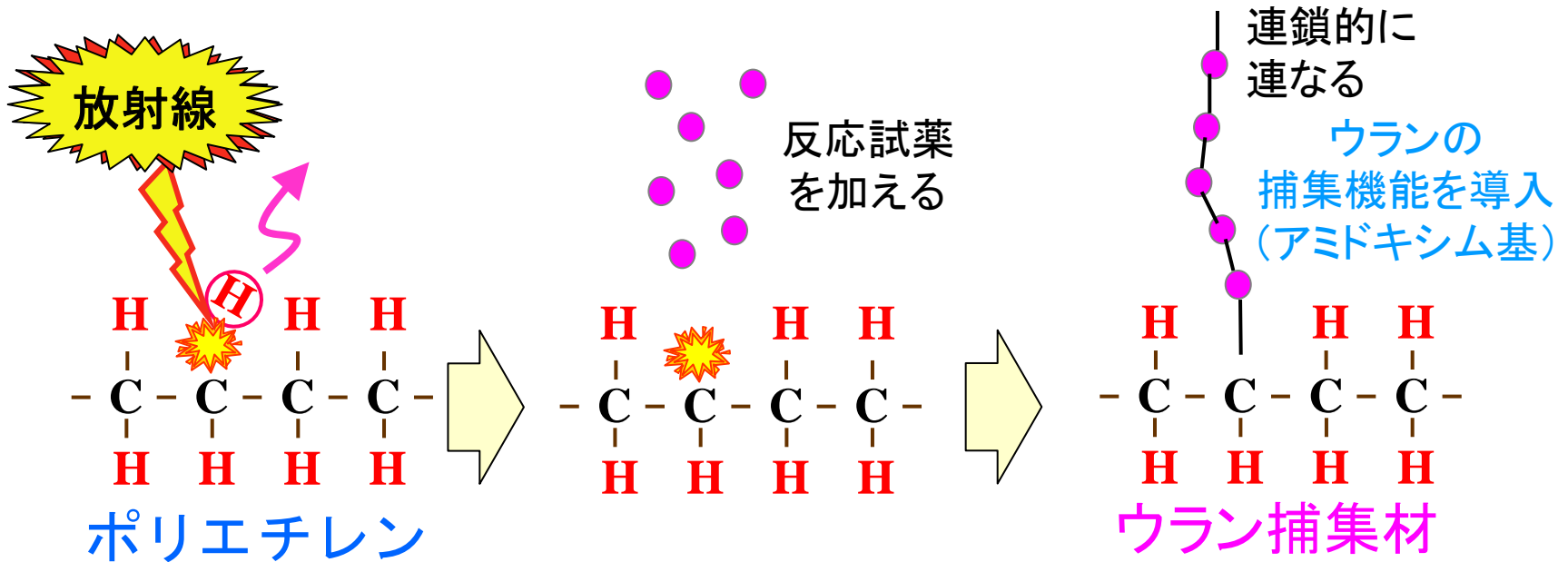
[出典] 重松 恒信:海水誌、21、221(1968)

# 海水ウラン捕集の経緯



# 放射線グラフト重合

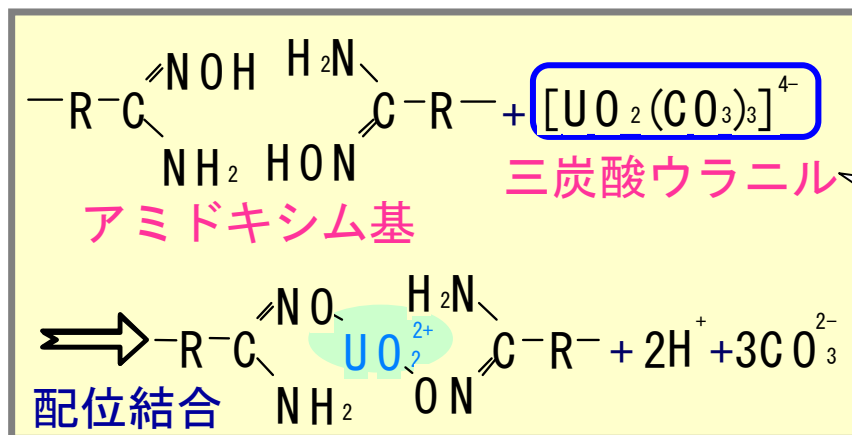
新たな性質を接ぎ木する技術



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

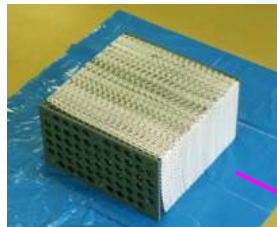
元素		海水中濃度 [μg/L]	捕集材中濃度 [μg/g-ad]	濃縮係数
Na	ナトリウム	$1.08 \times 10^7$	618.5	0.057
K	カリウム	$3.80 \times 10^5$	45.9	0.12
Al	アルミニウム	2	86.94	$4.35 \times 10^3$
Pb	鉛	0.03	108.82	$3.62 \times 10^6$
Ti	チタン	1	1.49	$1.49 \times 10^3$
Fe	鉄	2	414.44	$2.07 \times 10^5$
Co	コバルト	0.05	23.57	$4.71 \times 10^5$
Ni	ニッケル	1.7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

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

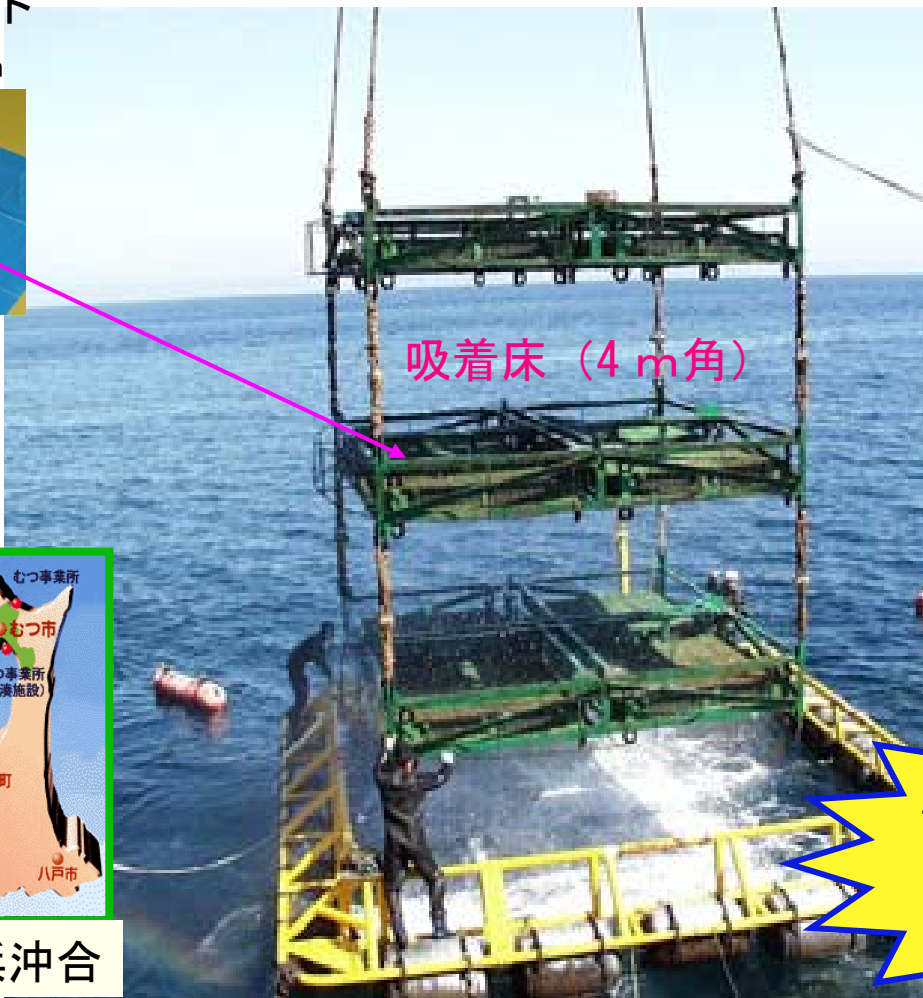
29cmx29cmx16cm



120枚の  
布状捕集材  
を積層



むつ関根浜沖合



吸着床 (4 m角)

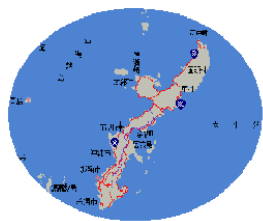


3年間の  
実海域試験

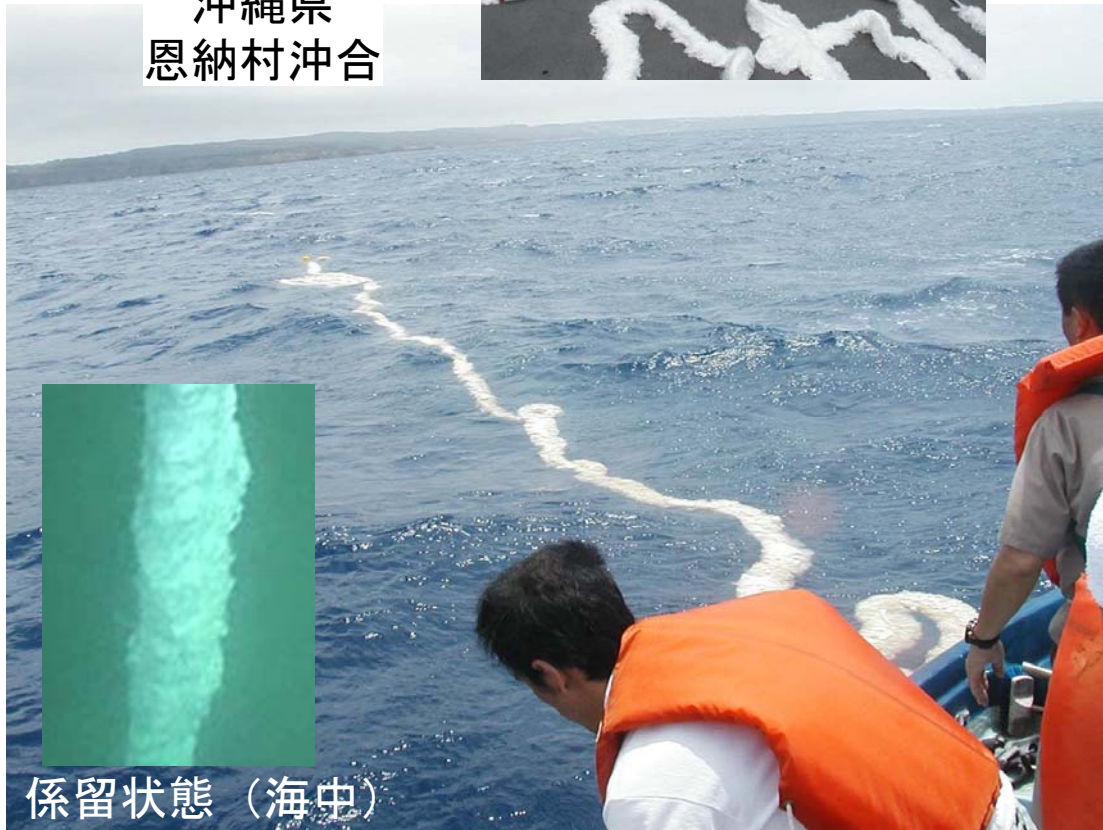
1kgのウラン  
捕集に成功

捕集材カセットを充填した吸着床の引き上げ作業

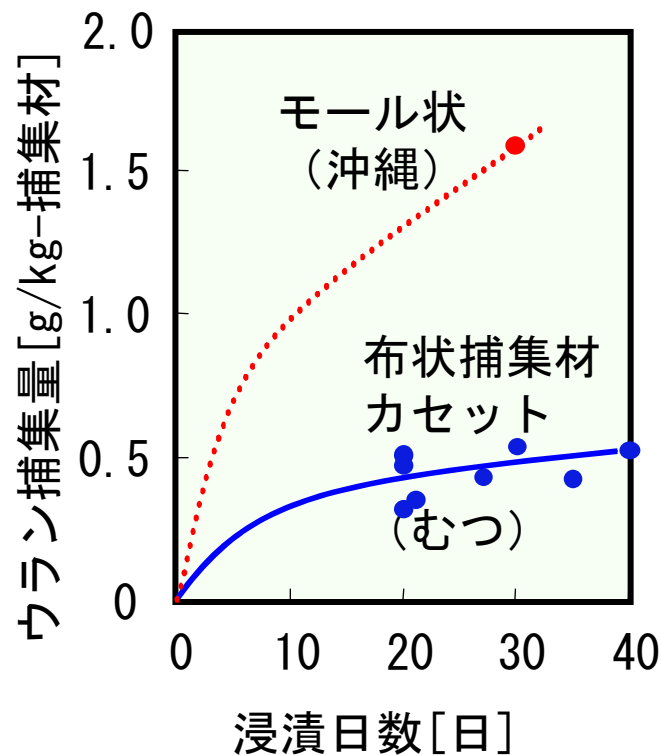
# モール状捕集材の性能評価試験



沖縄県  
恩納村沖合



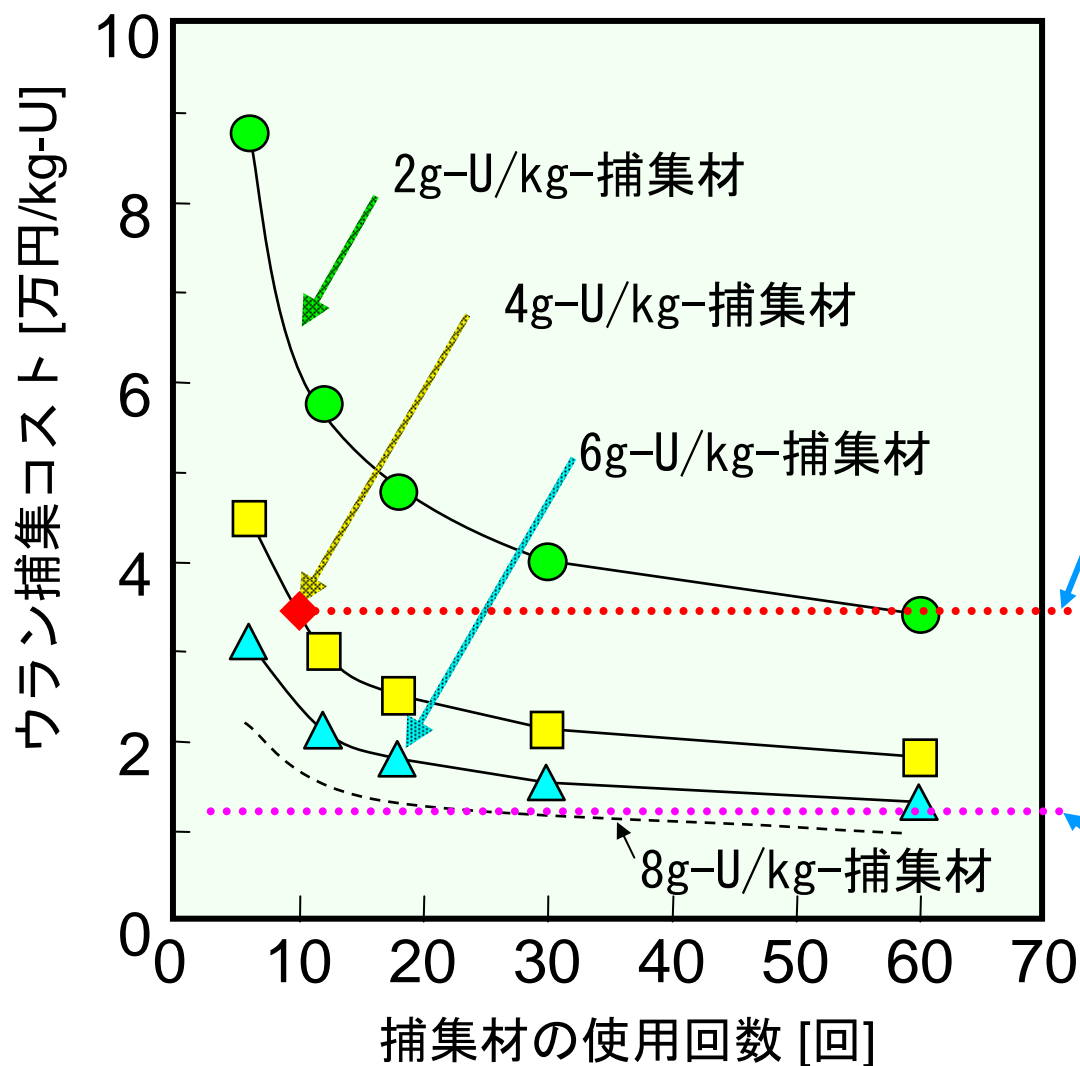
係留状態 (海中)



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-U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>

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