

モスクワ  
国立大学



原子力発電および産業活動により汚染された土壌の除染  
と修復のためのIPC利用  
ISTCプロジェクト No.1567

*Alexander Zezin, Valentina Rogacheva,  
Alexander Yaroslavov, Sergey Mikheikin*

2012年2月3-4日 東京



[www.istc.ru](http://www.istc.ru)

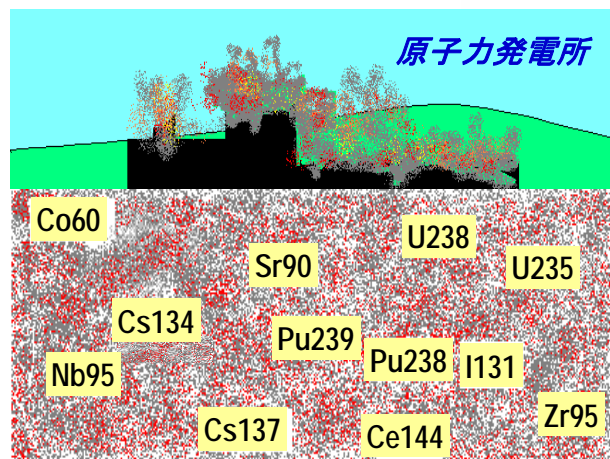
## トピックス



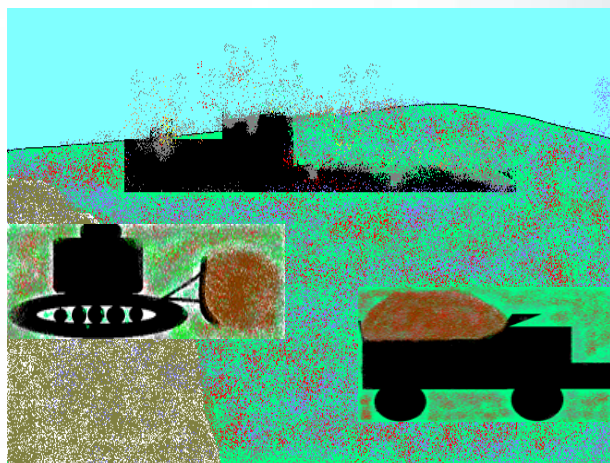
- 新世代**IPC**高分子結合剤の創造
- 汚染土壌の水や風による侵食を防ぐための新しい高分子結合剤の使用
- 開発した**IPC**高分子結合剤が生態学(植生)に及ぼす影響
- **IPC**高分子結合剤適用および土壌除染の技術



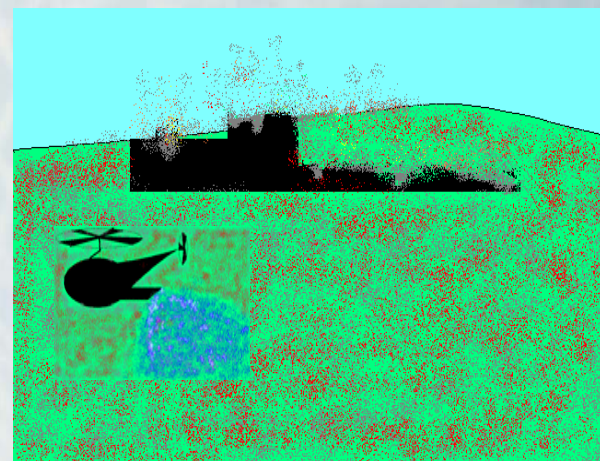
## 土壤汚染



## 除染



## 放射性ちりの抑制



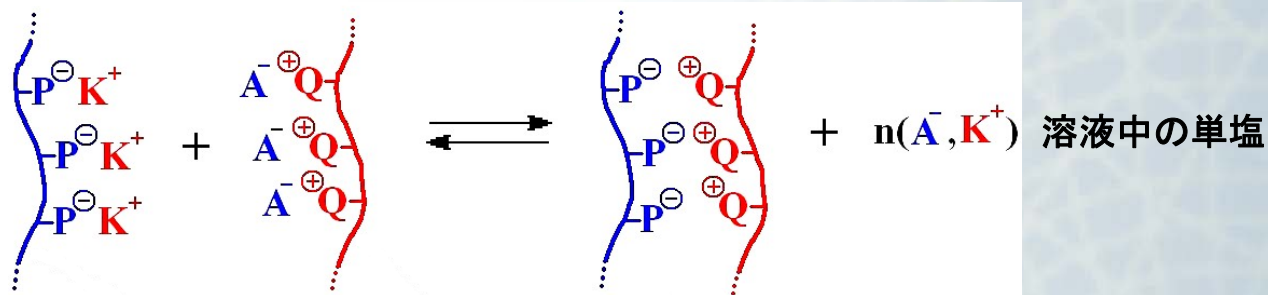
I S T C  
M H T Ц



[www.istc.ru](http://www.istc.ru)



このプロジェクトの主たる概念は、商業用に生産された逆荷電高分子電解質間の相互作用の結果として形成する、生態系に優しい高分子結合剤を使用することである。



水溶液中の個々の逆荷電高分子電解質

高分子電解質間錯体 (IPC)  
不溶性水膨潤  
(ミクロゲル)

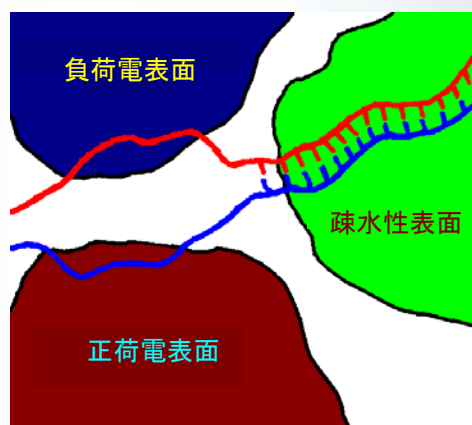
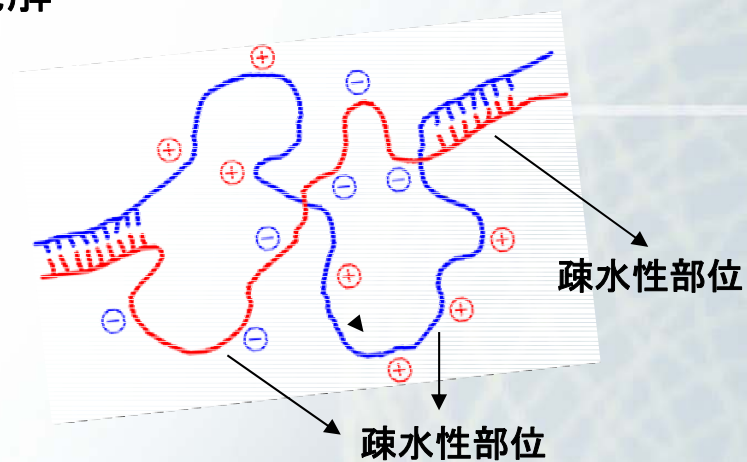
IPCは分散体(土壌、土、砂、廃棄物など)の結合剤の役割をはたす。単塩の濃度は高分子電解質間相互作用を制御する。可溶性均質状態から不溶性へと、また、その逆へと、体系を容易に移行させることができる。

このような考え方は、実際の結合剤処方の作成、また、その適用技術に関する根本原理となる。



[www.istc.ru](http://www.istc.ru)

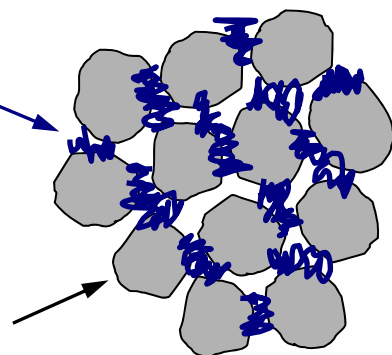
## 両親媒性高分子電解 質間錯体 (IPC)



分散系に入ると、IPCは分散粒子の表面の相補領域と相互に作用し、両者を結合する。

IPCブリッジ

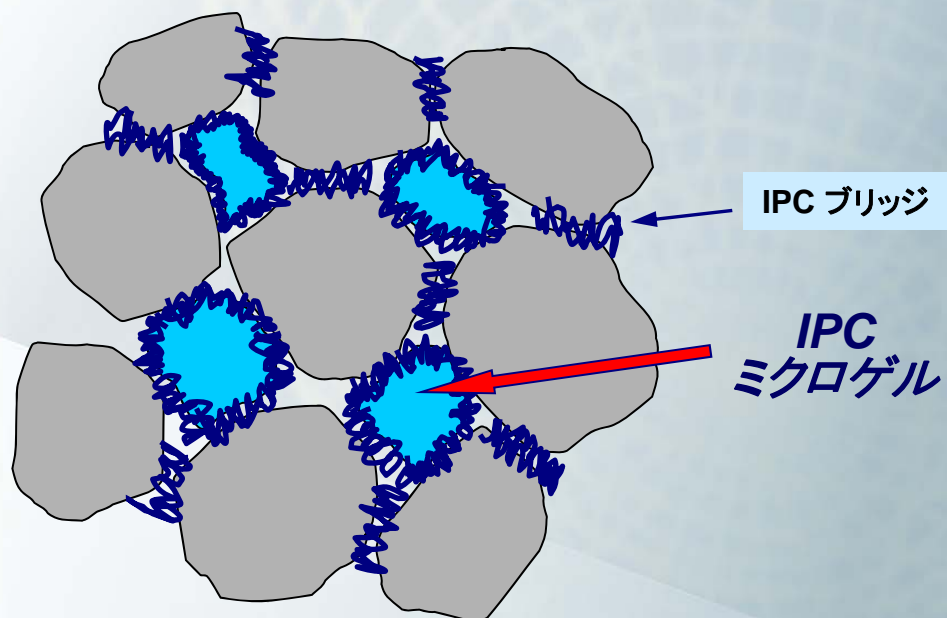
粒子



**IPC:**  
ナノサイズの粒子を効果  
的に結合



逆荷電で、弱架橋のミクロ  
ゲルと線状高分子電解質と  
の間のIPC ミクロゲル:  
ナノサイズの粒子を効果的  
に結合



IPC ブリッジ

IPC  
ミクロゲル

## 典型的な IPC 処方



処方は、加水分解ポリアクリロニリル (HPAN) とポリ-N、N-ジアリル-N、N-ジメチルアンモニウムクロリド (PDADMAC) で構成される。

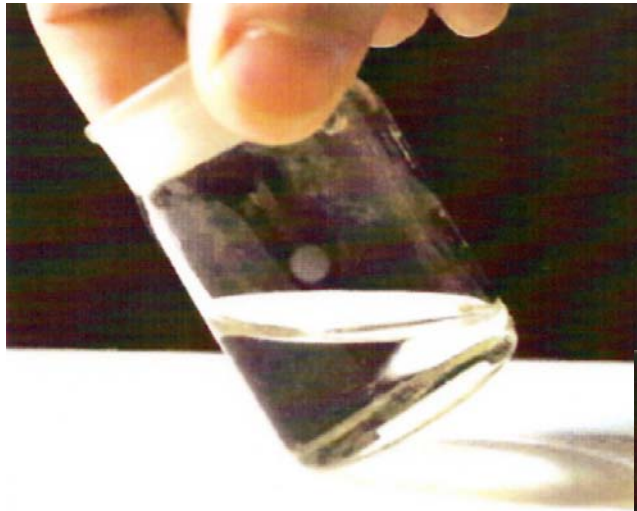
HPAN – 1%wt.  
PDADMAC – 1%wt.  
KNO<sub>3</sub> – 5% wt.  
水 – 残り

処方の消費は、1ヘクタールあたり10トン／1 m<sup>2</sup>あたり1リットルである。





## IPC結合剤適用技術の図解

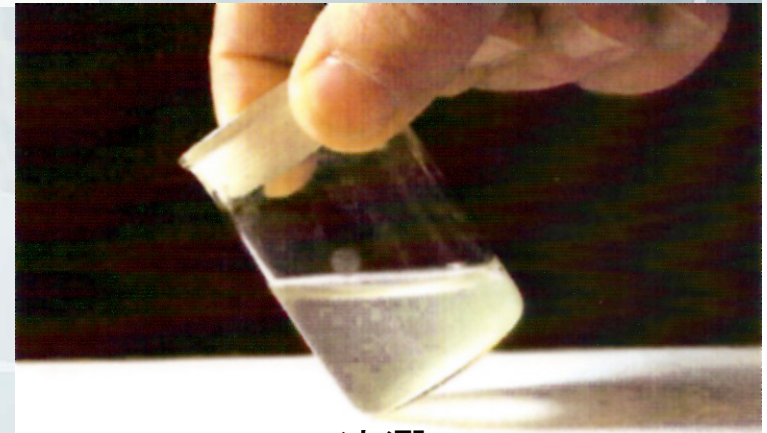


高分子電解質混合物の  
水・塩溶液



純水の添加

このプロセスの知識は、IPC結合剤適用技術  
を作り出す鍵である。



IPCの沈澱





IPC製剤は、利用できる機械を使って、  
表土や土などに適用する。



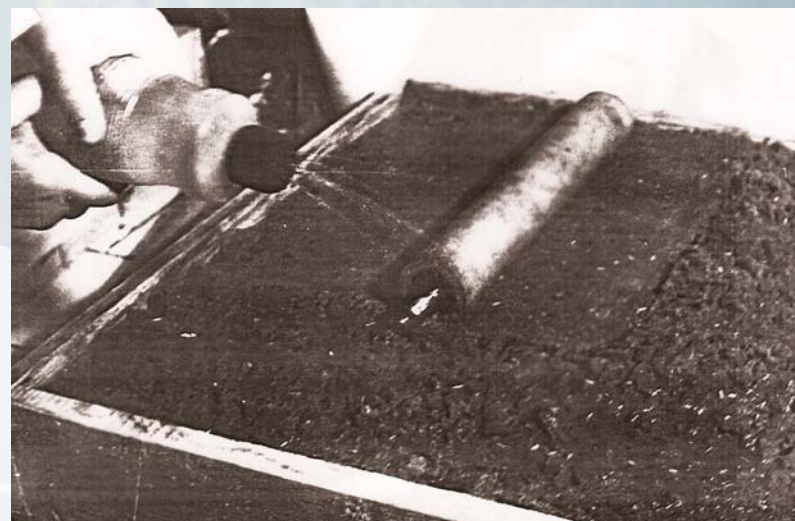
処理の結果、5～10 mm の表土は製剤に浸る。  
乾かすと、この層は固い土壌-高分子クラストに変わる。



保護クラストは自己回復できる。



IPC処理を施した土壌をほぐす



湿ったIPCの可塑性 – 土壌クラスト



[www.istc.ru](http://www.istc.ru)

土壌-IPC クラストは湿った状態で塑性があり、乾いた状態では硬度が高い。これは、ハリケーンの時ですえ、水と風邪による侵食を防ぐ。



風速 30 m/s未満



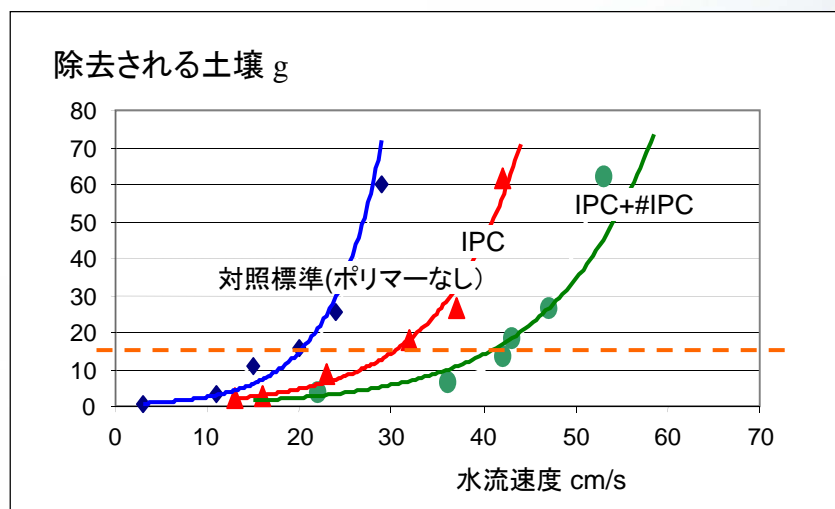
風速 30 m/s以上

土壌 - IPC クラストは、耐風食性が高い。





# IPC処理土壌の水による侵食



未処理土壌(対照標準)では水流20 cm/sで、IPC-処理土壌では 30 cm/s で、(IPC+#IPC)-処理土壌では 40 cm/s で、同量(15 g)の土壌の除去が観察される。

土壌の耐水性分類によると、30 cm/sの水流で侵食されたサンプルは耐侵食性が高いと考えられている。





# IPCを用いて、放射性ちりの広がりを抑制

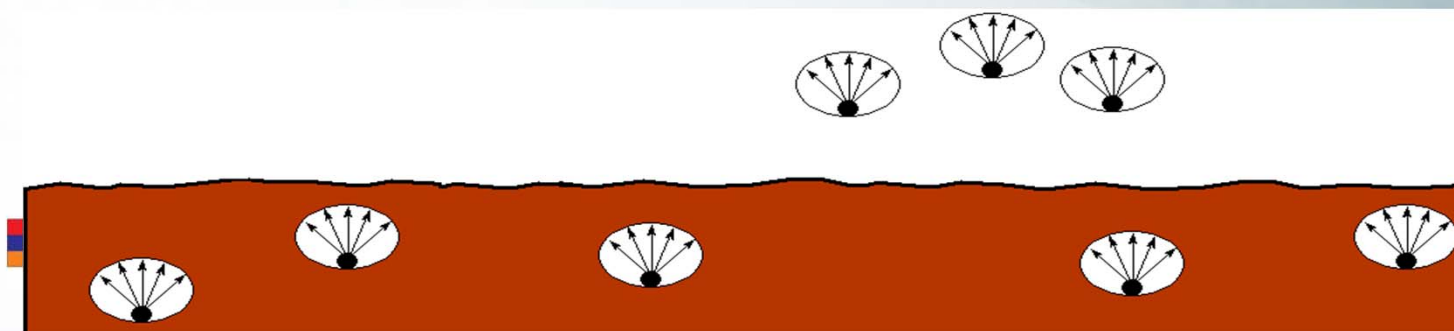
13

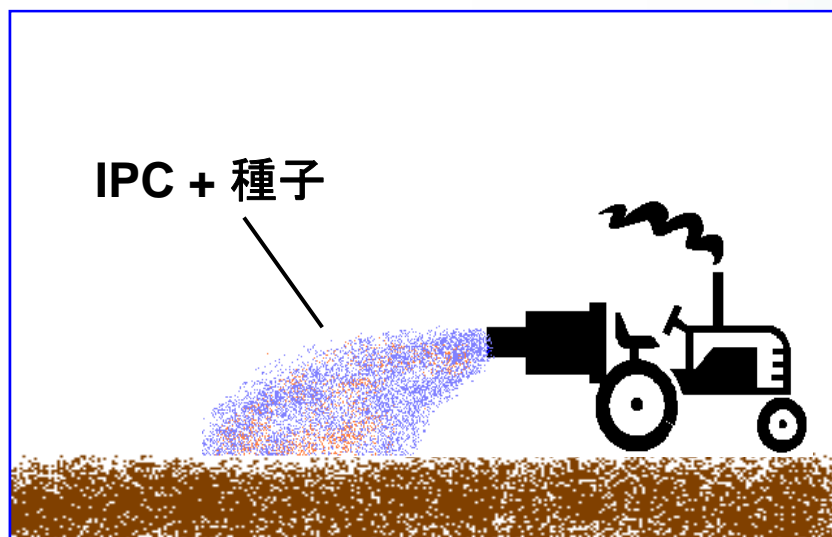
土壌試験片上の空気流に含まれるエアロゾルの比放射能

空気流速度は10 m/s

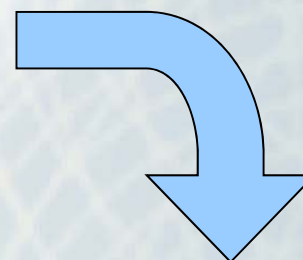


サンプ ル	放射能 $10^{-6} \text{ Cu} \cdot \text{m}^{-3}$	
	処理前	処理後
1	4.9	0.1
2	37.5	3.2
3	97.6	6.5
4	56.4	1.3
5	179.3	4.1

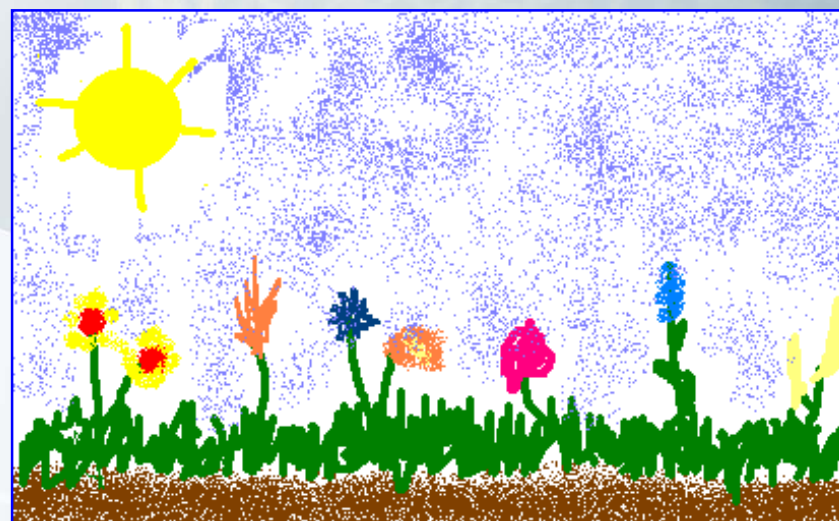




I S T C  
М Н Т Ц



修復



[www.istc.ru](http://www.istc.ru)

土壌- IPC クラストは、草の生長を抑制せず、  
成長を刺激することができる。



↓   ↓   ↓   ↓   ↓  
対照標準   IPCの成分   IPC  
スーダングラス



↓   ↓  
スーダングラス   混合芝草



# IPC処方への高分子電解質および支持塩の使用



N	IPC	C <sub>IPC</sub> , wt. %	塩 (C, wt. %)
1	HPAN-PDADMAC	2.0	NaCl/CaCl <sub>2</sub> (1.8/0.4)
2	HPAN-PDADMAC	2.0	KCl/MgCl <sub>2</sub> (1.9/0.4)
3	HPAN-PDADMAC	2.0	KNO <sub>3</sub> /CaCl <sub>2</sub> (2.70/0.42)
4	HPAN-PDADMAC	2.0	NaCl/MgCl <sub>2</sub> (1.8/0.4)
5	CMC-PDADMAC	1.65	NaCl/CaCl <sub>2</sub> (1.26/0.44)
6	CMC-PDADMAC	1.65	KCl/CaCl <sub>2</sub> (1.64/0.77)
7	CMC-PDADMAC	1.65	KNO <sub>3</sub> /CaCl <sub>2</sub> (2.5/0.4)
8	CMC-PDADMAC	2.0	KNO <sub>3</sub> /MgCl <sub>2</sub> (2.0/0.4)
9	CMC-PDADMAC	2.0	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> /CaCl <sub>2</sub> (1.6/0.3)

広く使用されている無機肥料をIPC処方中の塩として使うことも判明している。

IPC	NaCl	NaCl/CaCl <sub>2</sub>	KNO <sub>3</sub>	KNO <sub>3</sub> /CaCl <sub>2</sub>
HPAN-PDADMAC	3.0	1.80/0.40	5.0	2.70/0.42
CMC-PDADMAC	2.0	1.26/0.44	3.9	2.5/0.4

さらに、アルカリ土金属の塩の代わりに、部分的に単塩を用いることにより、塩濃度を減少させることも分かった。





IPC処方適用の成功、主としてその高い効率、有用性、および、安価で生態系に優しいことを考慮し、これをより魅力的にするために、一連のアプローチを提案する。



1. 異なる地域や国での商業生産を考え、高分子電解質の選択を広げること。
2. 土壌に固有の有機化合物や有機物質の適用を通して、塩の選択を広げること。
3. 水に容易に、速く溶解できる高濃度の、あるいは、乾燥した製剤を作るための技術を綿密に作り上げること



## 土壌の除染プロセスにおける IPC製剤の使用

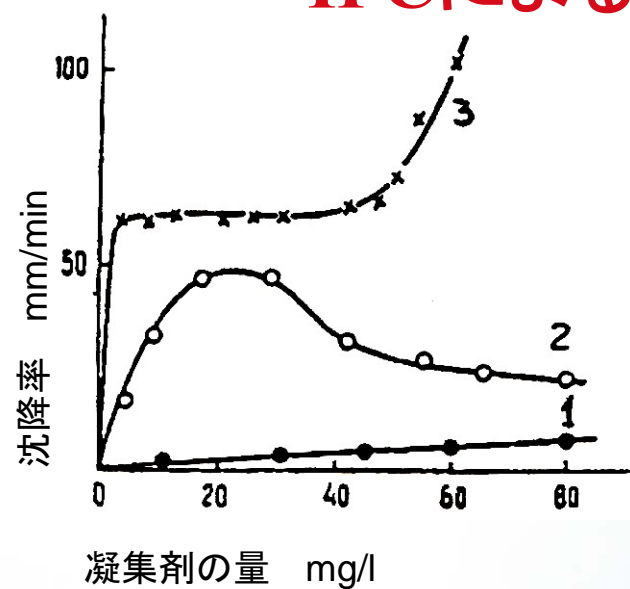


除染には、汚染された土壌あるいは土壌-IPCクラストの収集と圧縮固化が含まれる。これは、利用できる機械を使用して、土壌から保護クラストを機械的に分離することによって実施できる。汚染が構造化クラストの中に存在するので、この手順は環境に対して危険ではない。

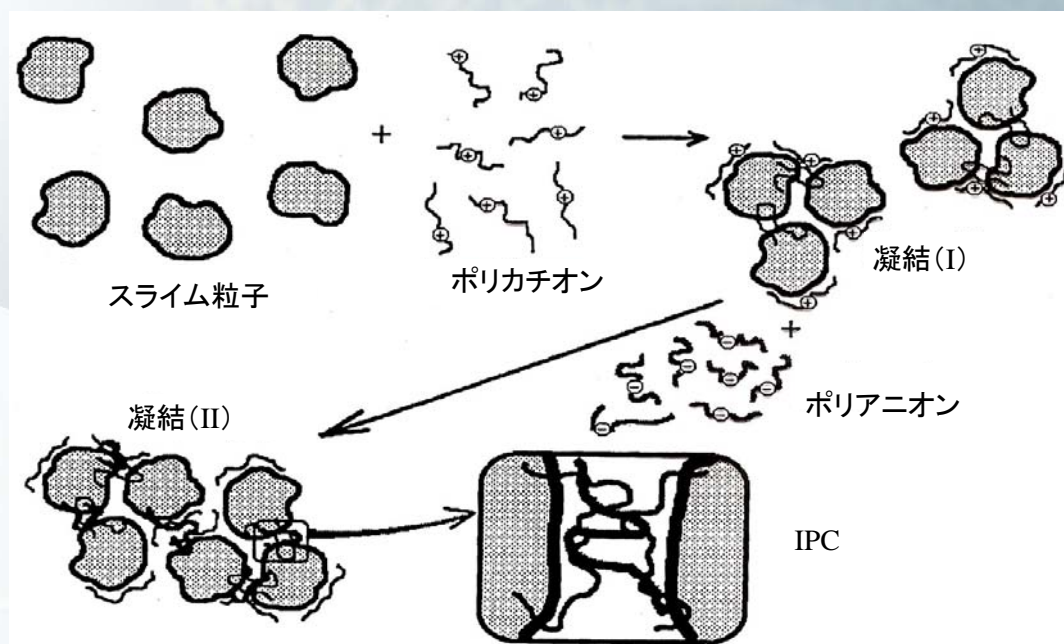
除染の主たる手順は、選別機のようなよく知られた技術を用いて、集めた土壌(土)の高汚染部分を分離することである。放射性核種の大半は、非常に分散した部分、4～5%-wtの範囲に位置する。この部分の濃縮と分離は効果的な凝縮によってのみ達成できる。これは、結合剤として使用したのと同じIPC製剤を用いて、成功させることができる。



# IPCによるスライム種の凝結



スライム濃度 10 wt.%  
 粒径 70  $\mu$   
 1-HPAN  
 2-PDADMAC  
 3-IPC





## IPC凝結の利点

- 中間MMの構成高分子電解質における高い有効性 ( $< 10^{-5}$ );
- 凝集剤過剰投与による安定化領域の欠如
- 濃縮相の高い緊密さ
- IPC凝縮剤再生成および再利用の可能性





## 他の分野のIPC適用

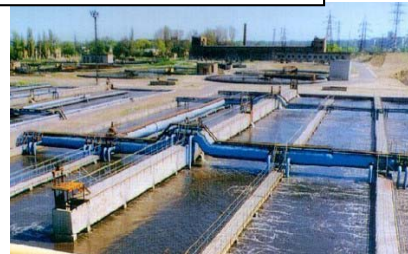


(仮の)道路や離着陸場の建設



移動砂の固定化  
(砂漠化コントロール)

産業廃水の浄化



大都市、鉱山、処理企業などにおける集じんコントロール



一時的に使用されていない鉱山  
投棄場の保全

排水システムの建設



土壌再生カナル用斜面の  
処理



緊急時、拡大面の保護



道路や鉄道の斜面の  
処理



## 結論



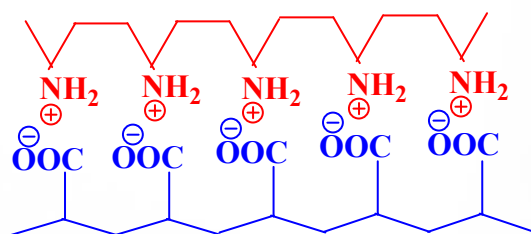
結果は、特に土壌、土、砂、尾鉱などの異なる分散系の結合剤として、高分子電解質間錯体(IPC)を適用する可能性が広く存在することを明確に証明している。放射性核種で汚染された分散体の処理に適用することは、汚染の拡散防止に特に有効である。

同じIPC製剤を汚染分散体の除染や土壌の修復に適用することは特に重要であり、有望である。

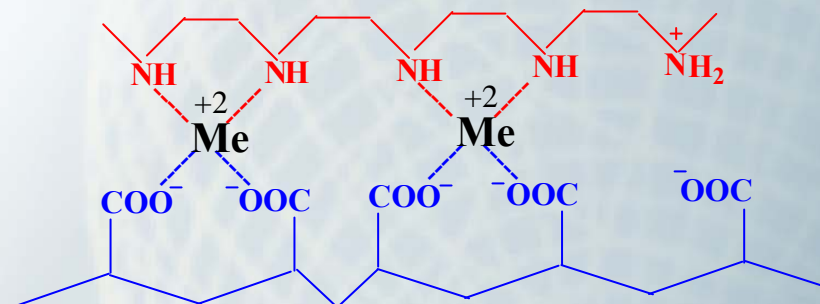
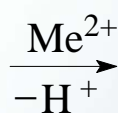
IPC製剤は、砂泥やスラッジの脱水剤として使用できる。



IPC は、希釈水溶液からの金属イオン  
吸着に使用できる  
 ( $10^{-5} - 10^{-6}$  M)



IPC PAA-PEI



三重 IPC-金属錯体 (TPMC)





ありがとう!

