

本資料は ○/年 10月 ×日付けで登録区分、
変更する。

[技術情報室]

放射線防護等へのバイオテクノロジーの 適用に関する調査研究（Ⅱ）

（動力炉・核燃料開発事業団 委託研究成果報告書）

1992年 2月

株式会社野村総合研究所

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字村松4番地49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184
Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)

複製、

転載、引用等を行わないよう、また第三者への開示又は内容漏洩がないよう管理して下さい。また今回の開示目的以外のことには使用しないよう注意して下さい。

本資料についての問い合わせは下記に願います。

〒107 東京都港区赤坂1-9-13
動力炉・核燃料開発事業団
技術協力部 技術協力室



社内資料
PNC 1295 92-002
1992年 2月

放射線防護等へのバイオテクノロジーの 適用に関する調査研究（Ⅱ）

野村総合研究所

要 旨

近年、ライフサイエンスの研究レベルは飛躍的に向上し、生体を研究するためのツールとして、遺伝子工学、蛋白工学、糖鎖工学、発生工学、細胞操作技術など従来では到底実現できない実験系を作成すること、及びその利用による生物の研究が行われるようになってきている。

これらの研究ツールは、原子力開発や放射線利用の分野でも、生物や環境への影響、環境保全、環境修復などに研究においても、研究の新たな局面を拓く有用な手法となることが期待されている。本調査研究においては、原子力分野におけるバイオテクノロジーの適用の可能性を検討し、環境安全関連の分野における今後の研究開発の考え方、テーマの設定等について提案した。

本報告書は、株式会社野村総合研究所が動力炉・核燃料開発事業団の委託により実施した研究の成果である。

契約番号：030D0118

事業団担当部課室および担当者：東海事業所 安全管理部 環境安全課 住谷 秀一

目 次

I. 本調査の目的	1
II. 研究ユニットの整理	2
1. 前年度における研究分野の整理	2
1) 前年度における研究分野の整理	2
2) 原子力長期計画における本研究内容の位置づけ	5
3) 環境安全課における業務体系との整合性評価	13
2. 研究ユニット整理の考え方	15
3. 研究ユニットの評価基準設定	19
III. 研究ユニット評価	21
1. 研究ユニット評価	21
2. 研究ユニットのポジションニング	46
IV. 研究ユニットの検討	48
V. 研究体制の検討	61

I. 本調査の目的

核関連技術は、放射性廃棄物問題、事故リスクなどを考慮した場合、文明の負の遺産とも言える側面をもっている。原子力開発利用において、ヒトを含む生物や環境への放射線の影響を評価、低減することは、今後、原子力開発において重要な研究開発領域を形成するものであり、先端技術としての生体研究技術・利用技術を原子力利用技術のひとつのコアとして捉え、動力炉・核燃料開発事業団の研究体系の中においても従来の放射線医学とは別の視点にたったライフサイエンスへの取り組みを検討する時期に来ている。

近年、ライフサイエンスの研究レベルは飛躍的に向上し、生体を研究するためのツールとして、遺伝子工学、蛋白工学、糖鎖工学、発生工学、細胞操作技術など従来では到底実現できない実験系を作成すること、およびその利用による生物の研究が行われるようになってきている。これらの研究ツールは、放射線の生物や環境への影響や環境保全、環境修復のための研究においても、研究の新局面を拓く有用な手法となることが期待されており、原子力分野におけるバイオテクノロジーの適用の可能性を検討することは時代的な要請となっている。

このような背景を踏まえて、本調査「放射線防護等におけるバイオテクノロジーの適用に関する調査」においては以下の3点を目的として実施するものである。

- ・原子力分野と関連するライフサイエンス全体をレビューすること
(平成2年度実施)
- ・動燃として取り組むべき研究開発テーマを提案すること
(平成3年度実施)
- ・研究開発における実施体制について検討すること
(平成3年度実施)

Ⅱ．研究ユニットの整理

1．前年度における研究分野の整理

1) 前年度における研究分野の整理

前年度の調査研究において、以下の内容の研究分類のための考え方を提示した。

従来の環境モニタリングにおける線量の測定や核種分布の追跡では、生物は放射性核種を蓄積・濃縮する「一種の装置」として取り扱われており、生物を灰化して摂取した放射性核種の測定を行っているが、本来的には、放射性核種金属の摂取や放射線による影響を受けた「生きた生物の状態」を観測し、放射線によるダメージを推定するというレベルにまで達していることが望まれる。すなわち環境モニタリングにおける生物のモニタリングは、

『生物を「死せる放射性核種の集積装置」として捉えるだけでなく、生物は生きているのであって、「生きた生物としての状態の変化」を追うことによって実際に環境下の生物が受けている影響を観測する』

という概念にまで拡張することを掲げた。この考え方を基礎として、既存の研究のスタンスを次の2つに再分類した。

1. 生物を放射性核種の集積装置として捉え、集積装置としての利用方法の検討する。
2. 生物が放射性核種を集積あるいは放射線を被曝することによって受けた影響のモニタリングおよび影響のメカニズムの解明。

上記の2つの視点より、原子力関係におけるライフサイエンスと関連する研究分野を再分類した結果を研究分野、研究目的、研究内容、今後想定される研究テーマの4つの項目から事項の表に整理した。

本年度の調査目的である動力炉・核燃料開発事業団に対する研究開発テーマの提案は、基本的に上記の2つの概念から出発し、この概念から派生する研究開発テーマを設定することとする。

研究分野の整理 (1)

	研究分野	研究目的	研究内容	今後のテーマ設定等
生物を集積装置として捉え利用方法を検討	放射性核種を集積する生物に関する研究	放射性元素を高濃度に濃縮する生物の種類や生態を研究し、濃縮比の高い生物のスクリーニングや指標生物としての有効性を検討する。	放射性核種濃縮の解析(フナ、貝類、甲殻類、魚類) 放射性核種高濃縮生物の解析 重金属を高濃度に濃縮する生物の解析	高濃縮生物の探索、特にシダ植物、ワラビ、ゼンマイなど。 褐藻の品種改良による濃縮比の高い株の育種。 マダコをはじめとする元素局在傾向の強い生物の探索。 実験用生物としての飼育(培養)技術の開発。
	集積機構の解明・利用	濃縮比の高い生物の集積機構を解明し、集積機構を強化した生物や集積機構を模倣したリアクターの開発を目指す。	集積機構の解明 バイオソープション バクテリアリーチング	バクテリアリーチングのための高効率の菌株育種 高効率ウラン回収を目的とした海藻の品種改良 ウラン・放射性核種吸着生体分子の探索
	集積解除方法の開発	生体内(特に人体)に集積された放射性核種の体外放出のために放射性核種の体外排出を促進する方法を開発する。	体内汚染・蓄積に対する特定核種の除去方法の開発 安定ヨウ素の研究事例 各種キレート剤の開発事例 キレート剤のドラッグデリバリーシステム 天然物の利用	キレート剤のドラッグデリバリーシステムの開発 生体成分由来キレート成分の探索。 食品由来放射性元素体外排出促進物質の探索と応用食品の開発、及び食事療法の開発。 微生物由来放射性元素キレート物質の探索・同定

研究分野の整理 (2)

	研究分野	研究目的	研究内容	今後のテーマ設定等
影響のモニタリングとメカニズムの解明	放射線被曝による生体内の異常分子出現の観測	生体内における分子レベルの変化の観測系を開発する。	分子レベルでの解析 ・DNA ・染色体 ・酵素活性 ・膜 新規観測系の開発 ・モノクローナル抗体利用観測系	放射線照射によるDNA異常物質に対するモノクローナル抗体を作成し、異常分子の迅速かつ安易な検出システムを開発する。
	放射線被曝による代謝変化の観測	生体内における代謝レベルの変化の観測系を開発する。	代謝変化の観測 ・糖・脂質・核酸合成 ・臓器における代謝系	
	放射線被曝による細胞に対する影響の観測	分化・発生など分子レベル、代謝レベルよりも高次の生命現象における影響の評価系を開発。	単細胞系における影響評価 ・ヒト培養細胞系 ・微生物 ・発光細菌 多細胞系における影響評価 ・脾臓コロニー形成法 ・幹細胞	分化途上にある生体に対する影響の評価系の開発 幹細胞のダメージの緊急評価系の開発 幹細胞のダメージ回復の評価系の開発 被曝緊急時の再生系細胞の補給と影響最小化方法の開発 非細胞再生系細胞群に対する放射線影響の評価系 条件細胞再生系細胞群に対する放射線影響の評価
	放射線被曝による損傷の修復、放射線耐性機構の解明	放射線耐性生物の耐性機構を解明し、耐性機構の強化、欠損化、外来因子としての耐性機構の他種生物への導入、複数の耐性機構の相互作用の解明、新規修復系の探索等。	各種生物の放射線耐性 放射線抵抗性細菌 損傷修復系の研究 DNA損傷とその修復 放射線抵抗性細菌の抵抗性機構 SODにおける影響最小化 修復系の人為的な操作による生物の改変	クマムシの放射線耐性機構の解明。 放射線抵抗性細菌のスクリーニング、形態的・生理的研究。 放射線抵抗性遺伝子のクローニング。 放射性抵抗性遺伝子の機能解析
	放射線被曝による遺伝情報発現の変化の観測	放射線被曝による遺伝情報発現状態の変化を観測する。被曝により誘導される物質の検索など	既知遺伝子の発現状態の検出。 放射線被曝による発現状態が変化する(誘導される)遺伝子の検索。	
	放射線被曝の影響回避方法の開発	放射線被曝による生体への影響を最小化するための生物学的な防護方法を開発する。	放射線防護剤の開発 ・生体内の防護メカニズム解明 ・放射線防護剤の評価系の開発 ・放射線防護剤の具体例 食品における防護効果	細胞内の放射線防護剤のスクリーニング 生体内の特定の放射線防護物質をコードする遺伝子の発現制御系の研究。
	放射線ホルミシス	放射性ホルミシスの種類と原因を解明する。低線量放射線による「正の効果」が何故生じるのかを解明することによって、放射線影響のしきい値に対する議論に根拠を提出し、しきい値以下の線量の積極的な利用の可能性を探索する。	ホルミシス概念と研究の現状	微生物における低線量照射下における遺伝情報発現の非照射下との比較及び両者のmRNA比較。 放射線ホルミシスを応用した種子加工法の開発。 分子レベルの変化測定系を用いた放射線影響の解明。

2) 原子力長期計画における本研究内容の位置づけ

原子力委員会長期計画専門部会第三分科会においては、基礎研究の充実、基盤技術の開発の推進、先導的プロジェクトの推進について言及しており、動力炉・核燃料開発事業団としてのライフサイエンス分野における研究開発もこの枠組みを尊重した内容であることが求められることも想定されるため、本調査研究において提言する内容が原子力長期計画の中でどのように位置づけられるかを検討する。

原子力委員会基盤技術推進専門部会においては、以下にあげる4つの原子力基盤技術をとりあげている。

- ①原子力用材料技術
- ②原子力用人工知能技術
- ③原子力用レーザー技術
- ④放射線リスク評価・低減化技術

この中で放射線リスク評価・低減化技術の概念について、「放射線の人体への影響を評価する放射線リスク評価について、従来は疫学的な研究が中心であることに対して、最新のライフサイエンス分野の研究成果を積極的に取り入れることにより、より一層充実した知見を得ることや放射線リスク評価技術に係わる新しい技術を創出することが期待される」としている。

この中で研究分野を3分野に分類し、以下のように定義している。

①被曝線量評価技術

- (1) 放射性物質の環境への放出から、人体への到達までの環境中での放射性物質の挙動及び放射線の特性をより正確に把握するための技術開発
- (2) 人体へ到達した放射性物質の体内における挙動をより正確に把握するための技術開発

②放射線リスク評価

低線量のリスク評価を従来は、高線量域での線量効果関係を安全側に直線外挿することにより推定しているが、より確かな根拠を得るために、発ガン、発生障害、遺伝的影響に関して遺伝子あるいは分子レベルでの研究を中心としてリスク評価を行うための技術開発。

③放射線リスク低減化技術

環境に放出された放射性物質が人体に蓄積されることを防止するための生体移行防止、生体汚染等の放射線リスクの発生原因回避除去技術、及び放射線障害の防止、放射線抵抗力の増強を目指した放射線リスクの生物学的低減化技術の開発。

①被曝線量評価技術と②放射線リスク評価は、基本的に生体（ヒトを含む）と環境のモデル化と観測によるリスク評価を目指したパッシブな技術体系であり、③放射線リスク低減化技術は、生体（特にヒト）に対する改良・操作を目指したアクティブかつ応用的な側面が多い技術体系である。基本的には、医学領域（特にガン関連）とのオーバーラップが多く、特に放射線医学は、事実上ガン研究との関連性が強く、人体におけるリスク評価において必要となる要素技術は、全て医学を含む基礎生物学の領域に含まれるものであって、特に放射線リスク評価のために開発される技術体系というのではなく、基礎生物学的・分子生物学的な知見・手法・技術を放射線リスク評価のために利用可能であるということであり、技術的には可能なものの、ガンのための研究との共通項部分に関する研究が優先されてきたのが現状である。

原子力委員会による放射線リスク評価・低減化技術分野の上記3分類は、現段階において、最も妥当な技術領域定義・分類であり、本調査研究においてもこの分類を支持するものである。

しかしながら本調査における研究開発ターゲット設定のスタンスは、放射線リスク評価・低減化のみならず、原子力分野においてライフサイエンス研究体系の知見を利用して設定できるテーマ全体を対象としているため、研究開発ターゲット設定は一部重複するものの、より広い視点に立ったターゲット設定を行う。

原子力委員会における分類との相関関係を次項以下の表にあげておく。

1. 被曝線量評価技術

(1) 放射性核種の環境中での挙動及び放射線の特性の解析技術

大分類	中分類	小分類(必要となる要素技術)	備考
①挙動構成と予測システム開発技術	(a) 地球規模長期影響評価モデル開発	地球的未来モデル 広域拡散モデル 深海沈着モデル	
	(b) 地域規模モデル	大気・海洋輸送モデル 陸圏生体系モデル 水圏生体系モデル	
	(c) 極地規模モデル	沈着モデル 拡散移行モデル 植物移行モデル	
②測定技術高度化技術	(a) 低線量放射能検出技術	極低レベル放射能測定モデル 線室同時選別測定技術	
	(b) 長期高安定高精度測定技術	長期微小変動測定技術	
	(c) リモートセンシング技術	広域迅速測定技術	
	(d) 極限環境下放射能測定技術	化学形態別測定技術	
	(e) バイオロジカルドシメトリー技術		
	(f) 多元自動分析測定技術	物理形態別測定技術 比放射能測定技術	

(2) 放射性核種の生体内代謝挙動の解析技術

大分類	中分類	小分類(必要となる要素技術)	備考
①代謝の高精度モデル化技術開発	(a) 分子レベル代謝モデル化技術		放射線被曝による生体内異常分子出現の観測 放射線被曝による代謝変化の観測
	(b) 細胞、組織、臓器レベル代謝モデル化技術	細胞内分布解析技術 臓器親和性解析技術 体内輸送追跡技術 代謝及び線量評価用モデル臓器開発	放射線被曝による細胞に対する影響の観測
	(c) 個体レベル代謝モデル化技術	摂取・体内分布・排出モデル開発技術 年齢影響解析技術 胎児移行機構解析技術 特殊環境下代謝解析技術 高精度預託評価技術(長半減期核種)	放射線ホルミシス
②代謝測定技術	(a) 全身及び臓器負荷量算定技術	高感度測定技術開発 高分解能測定技術開発 時系列追跡型測定技術開発	
	(b) バイオアッセイ技術	短寿命放射性核種利用技術 安定同位体利用技術 アクチバブルトレーサー利用技術	
	(c) 体内放射線分布精密理論測定技術	大面積半導体検出器の開発	
	(d) バイオロジカルドシメトリー技術		

2. 放射線リスク評価技術

(1) 放射線発ガンリスク

大分類	中分類	小分類(必要となる要素技術)	備考
① 遺伝的高リスク集団解析技術	(a) 高リスク個体検出技術	遺伝子クローニング技術 モノクローナル抗体技術 分子疫学的調査技術 染色体自動解析技術	分子生物学的一般技術
	(b) 知識ベース開発システム	ヒト遺伝子マップ作成	分子生物学的一般技術
② 生体制御システム解析技術	(a) 環境要因検出技術	微生物要因解析技術 影響因子の影響解析技術 ライフスタイルの影響解析技術 環境変異原との相互作用解析技術	医学的一般技術
	(b) 宿主要因検出技術	増殖因子による制御技術 分化誘導因子による制御技術 免疫活性因子による制御技術	医学的一般技術
③ 発ガン標的細胞定量技術	(a) 発ガン標的細胞検出系の開発	データベース整備	
	(b) 比較毒性学的検出系の開発	リスク評価ソフトシステム	
	(c) モデル動物開発	コンジュニクマウス技術 リコンビナントマウス技術 トランスジェニクマウス技術 受精卵凍結保存技術 クローン化遺伝子導入技術	既に確立

(2) 放射線による発生障害リスク

大分類	中分類	小分類(必要となる要素技術)	備考
①発生制御遺伝子検索・同定技術	(a) ほ乳類発生学基礎技術		
	(b) 遺伝子発現制御解析技術	胚細胞遺伝子解析技術 胚細胞遺伝子発現解析技術	放射線被曝による遺伝情報発現の変化の観測
②初期胚障害検出解析技術	(a) 発生工学技術の高度化	試験管内受精法 初期胚培養法 受精卵操作技術 遺伝子導入 核移植法 胚性幹細胞作成法 胚移植法	
	(b) 標的遺伝子注入・導入法の開発		
	(c) 障害定量化技術の開発	細胞障害解析技術 細胞分子障害検出技術	
③催奇形性解析技術	(a) 細胞分化解析技術		
	(b) 形態形成追跡法		
	(c) 試験管内催奇形性解析法	in vitro 器官形成・胎児期胚培養技術	
④大脳発達障害高感度検出技術	(a) 神経細胞発達追跡技術	脳形成画像解析技術	
	(b) 知能発達障害解析技術	霊長類を使用した実験技術開発	
	(c) 障害モデル実験動物開発	トランスジェニックマウス利用技術	
	(d) 知能障害定量化技術開発		

(3) 放射線の遺伝的リスク

大分類	中分類	小分類 (必要となる要素技術)	備 考
① 遺伝的変異検出基礎技術			
② DNA 変異検出技術	(a) 遺伝的高リスク群検出技術	放射線高感受性遺伝子解析技術 放射線抵抗性遺伝子解析技術	放射線被曝による損傷の修復、放射線耐性機構の解明
	(b) ヒト細胞変異検出技術	ヒト精子赤血球変異解析技術	
	(c) マウス突然変異検出技術		
③ ゲノム変異解析技術	(a) 遺伝的高リスク群検出技術	染色体不安定化遺伝子解析技術	
	(b) 生殖細胞障害検出技術	異種間体外受精法 生殖細胞障害検出法	
	(c) 染色体分染技術	染色体自動分画法	

3. 放射線リスク低減化技術

(1) 放射性リスクの発生原因回避除去技術

大分類	中分類	小分類 (必要となる要素技術)	備考
①放射線核種による生体汚染防止技術	(a) 生態学的手法を用いた環境放射能の低減化技術	吸着剤利用技術 環境放射能移行制御	集積機構の解明・利用
	(b) 生体内放射性核種の体外排泄除去技術	キレート剤、イオノフォア利用技術 抱接化合物利用技術	放射線被曝による影響回避方法の開発 集積解除方法の開発
②放射線誘発フリーラジカルの検出、捕捉、除去技術	(a) 放射線誘発フリーラジカルの消去技術	短寿命フリーラジカル定量化 フリーラジカル転移阻害技術 フリーラジカルスカベンジャーの開発	放射線被曝による影響回避方法の開発
	(b) 生体内における活性酸素による障害とその防御機構の検出技術		放射線被曝による影響回避方法の開発
	(c) 放射線防護への生理活性物質の利用技術		放射線被曝による影響回避方法の開発

(2) 放射線リスクの生物学的低減化技術

大分類	中分類	小分類 (必要となる要素技術)	備考
①未分化細胞利用技術	(a) 幹細胞の生体外培養と利用技術	多能造血幹細胞培養利用技術	放射線被曝による細胞に対する影響の観測
	(b) 人工遺伝子導入幹細胞移植技術	ヒト細胞への人工遺伝子の効率的導入技術 人工遺伝子を導入した幹細胞の移植安全化技術	放射線被曝による細胞に対する影響の観測
	(c) 生体防御機構活性化因子の利用技術	リンフォカイン モノカイン類の利用技術	
②遺伝子機能制御技術	(a) 発がんプロモーター、発がん遺伝子の阻害技術	プロモーター阻害物質検索 オンコジン活性凍結化技術	放射線被曝による遺伝情報発現の変化の観測
	(b) DNA修復遺伝子利用技術	修復遺伝子応用技術 修復遺伝子調整導入技術	放射線被曝による遺伝情報発現の変化の観測
	(c) 制がん遺伝子利用技術	ヒト細胞における制がん遺伝子の同定技術 同上の利用技術	放射線被曝による遺伝情報発現の変化の観測
③機能蛋白質利用技術	(a) 調節遺伝子産物の応用技術	トコリ、77プロモーター結合蛋白質の検索 トコリ、77プロモーターの同定と応用化技術	放射線被曝による遺伝情報発現の変化の観測
	(b) 細胞増殖因子の蛋白質工学的調節技術		

3) 環境安全課における業務体系との整合性分析

本調査で提案する研究開発テーマは、動燃事業団安全管理部環境安全課、環境技術開発部、先端技術開発室および技術開発推進部において将来的に検討、実施または委託可能であることが前提条件となっている。

したがって、提案する研究開発テーマの環境安全課における業務体系との整合性を検討しておくことが必要と考えられる。本節では、環境安全課における研究開発テーマを分析し、整合性を評価するための考え方を整理しておく。

安全管理部の研究開発課題の内、本調査に関連する部分に関する目標設定は以下の表の通りである。

区分	研究開発課題	研究開発目標
個人被曝線量当量測定 評価技術の開発	放射線防護の最適化研究	<ul style="list-style-type: none"> 核燃料施設における放射線防護の最適化手法の開発 安全設計最適化の予備検討
	外部被曝線量当量測定 ・評価技術の高度化	<ul style="list-style-type: none"> 線量計測システムの精度検証、新システム概念構築、実用化並びに手部被曝測定の自動化
	内部被曝線量当量測定 ・評価技術の向上	<ul style="list-style-type: none"> 低バックグラウンド-Ge検出器を用いた高感度・高分解能肺モニタの開発 標準日本人用内部被曝計算コード整備
環境安全技術の開発	環境影響評価手法に関する研究	<ul style="list-style-type: none"> 再処理施設の定常運転時・事故時期待廃棄物、液体廃棄物に起因する一般公衆の線量当量評価手法の開発 集団線量評価手法の整備 バイオテクノロジーの環境分野への適用
	環境評価パラメータに関する研究	<ul style="list-style-type: none"> フィールドデータの収集に基づくサイトスペシフィックな環境パラメータ（濃縮係数、移行率）の評価 物理・化学形態の環境パラメータに与える影響評価

環境安全課においては、原子力開発利用長期計画及び環境放射能安全研究年次計画を受けて実施されており、モニタリング技術の高度化を目指した研究開発を行っている。具体的な研究内容としては、

- ①定常運転に伴う線量当量評価に係わる計算コード及び評価手法の開発
- ②事故時における線量当量評価計算コード及び評価手法の開発
- ③環境中での放射性物質の挙動及び移行パラメータの調査
- ④環境試料中低レベル放射能分析法の開発及び高度化

これらの研究との連携を保ちつつ、特に環境安全課においては、バイオテクノロジーの原子力部への適用として、放射性廃棄物の処分に係る環境モニタリング技術の開発の視点からバイオセンサーとしての適用、事故時環境中放射性物質の回収技術としての適用、放射性物質の生物濃縮の観点から指標生物及び生物濃縮機構の調査・解明等を想定した研究開発テーマの設定が妥当であると考えられる。

2. 研究ユニット設定の考え方

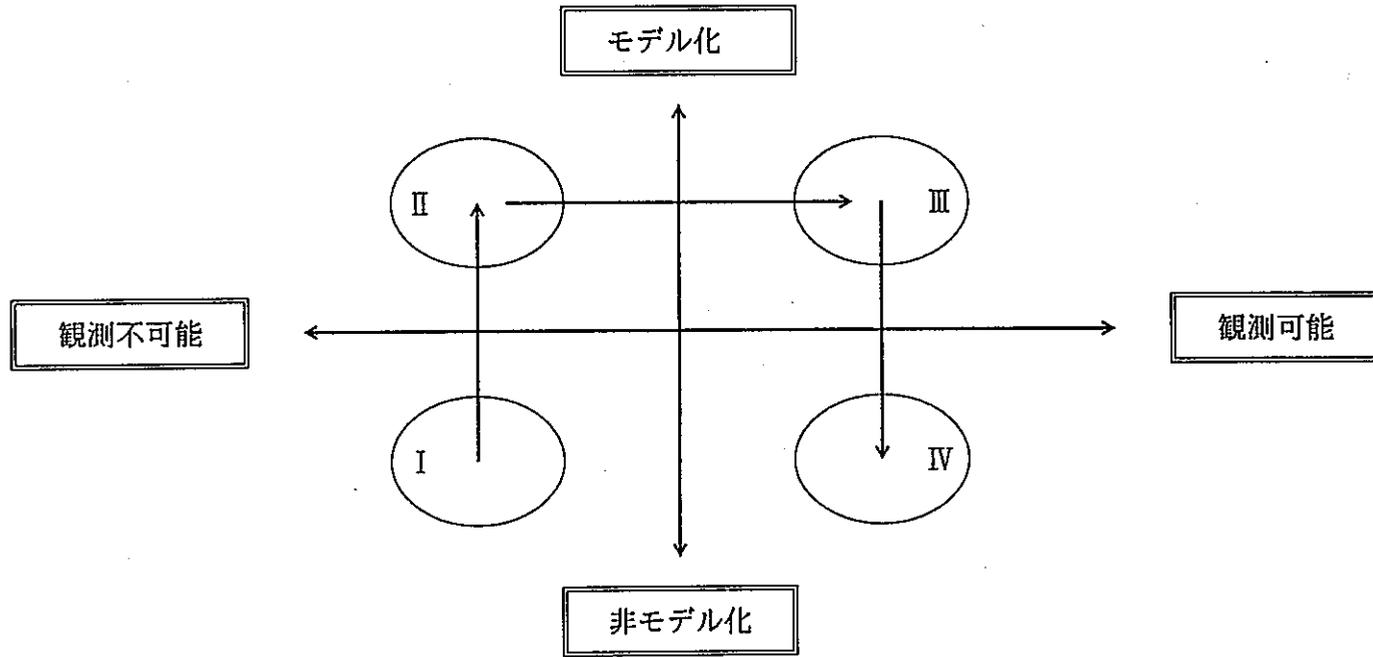
本調査において設定する研究ユニットは以下の考え方から設定するものとする。

生体系あるいは生態系を取り扱う場合に基本的にとるスタンスは、2種類である。研究ユニットはこの3種類に大別して設定するものとする。

- ①生体系を観測する
- ②生体系を利用する
- ③生物を探索する

生体系・生態系を観測するという場合には、次項の図に示すように観測しようとする対象が果たしてどの程度観測可能かということが一義的な問題となっている。一般的にいて、生物の個体あるいは生体内の反応は、現象面でおさえられていたとしても観測系に乗せるための適切な指標を設定できるかどうかによって、現象の実態をどの程度把握できるかが決定される。生体における複雑な現象（生体反応や機能など）は通常は開放系でかつ観測不可能である場合が多く、現象を簡単にモデル化することによって観測可能な系に近似し、最終的には観測可能な状態にもっていくことが試みられる。生体に対する放射線影響を見る場合には、現象があまりにも複雑であるために、常に生体の状態変化の一部をモデル化してかつそのうちのある1指標のみで観測していることが多く、非モデル化された実態ベースでの状態変化を観測できていないことが多い。したがって、どのような観測系を設定するかということが中心命題となった研究テーマが多く設定される。放射線リスク評価というものは全てこの観測系の設定から派生して行われ、各研究におけるリスク概念は設定された観測系の範囲において構築されるものであり、あくまで実際に起こり得る現象からモデル化された過程における近似解から導き出されるものである。

したがって、ある定義された生体现象においては、単独の観測系での評価が妥当であるのか複数の観測系を必要とするのかは常に吟味されるべき問題となっている。また現象が複雑であるが故に現象をモデル化すること自体が課題となっている場合も多く、モデル実験生物を作成することが当面の課題というような例も多く見受けられる。このため、研究テーマを評価する場合にはある観測系の開発がI～IVのどの段階にあるのかを把握しておくことが重要である。

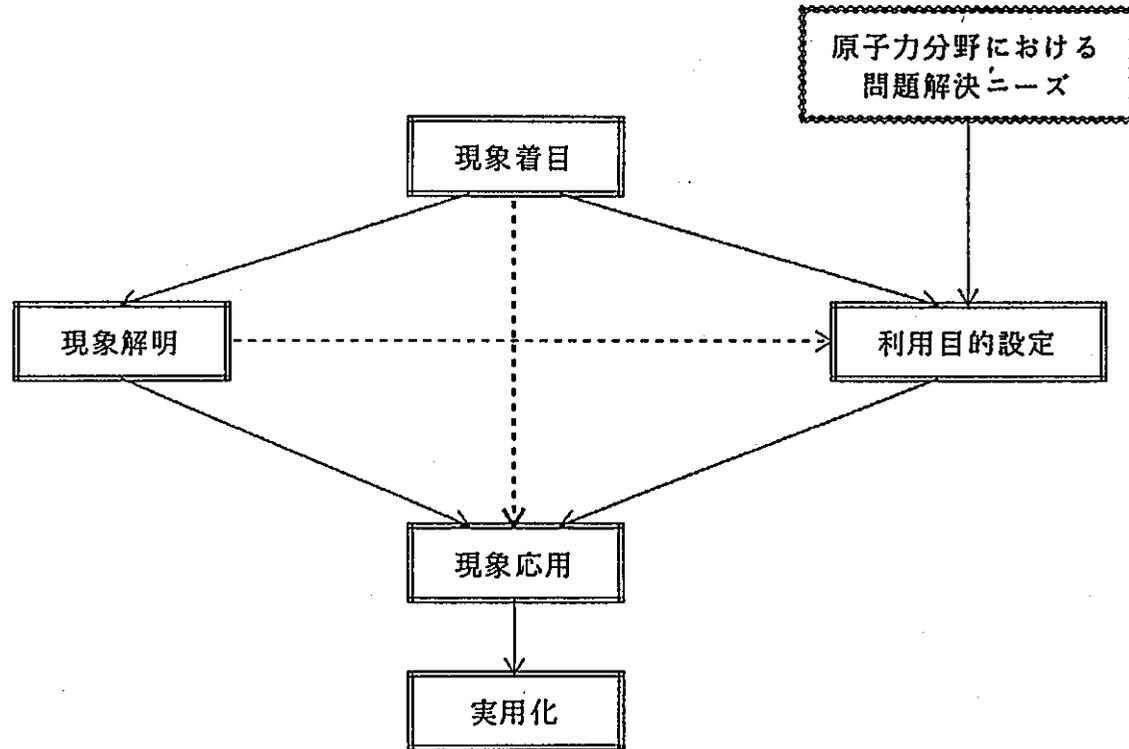


生体系・生態系観測の流れ

一方、生体と放射能、生体と放射性核種における現象面に着目し、その現象を利用するという視点に立った研究では、現象の利用目的が明確になっている必要がある。原子力関係における問題解決ニーズが何であるのかという点を分解しておくことが利用面での研究開発を促進するキーポイントとなる（次項図参照）。

生体における現象を応用するためには、現象の解明が必要であり、この部分では、観測系の設定が必要であることから、利用面での研究開発では観測系の開発自体も含んでいる場合が多いが、現象解明が部分的であっても利用面での開発が可能である場合も想定される。場合によってはブラックボックスであったとしての利用面が先行することも有り得る（太字破線）。これは微生物利用における有用な突然変異株の育種などに見られるケースである。

最後は、生物研究の基本である生物種の収集とスクリーニングを行うものである。これは、観測系あるいは利用系において概念が明確化した後に、これに適合する生物種を環境から採取するものであり、スクリーニング系を開発することによって、より利用目的を達することが可能な生物種を見いだすことを目的とするものである。



生体系・生体反応利用の流れ

3. 研究ユニットの評価基準設定

研究ユニットの評価方法は、研究領域の特性によって異なる評価方法を導入する。すなわち、研究ユニットを評価するにあたって観測系、利用系、探索系の研究ユニットを別々に評価し、共通の評価基準を加えて、最終的に3テーマを選定する。

1) 観測系の評価基準設定

観測系の評価軸設定においては、ある現象を観測する価値があるかどうかという問題の他に、観測する対象がどこまで観測可能であるのか、観測不可能であるのか、あるいはモデル観測系が設定できて観測できる状態にあるのか、実際の現象を観測できているのかという観測可能性の問題があり、観測レベルが現在どのタイプにあるのか、今後技術的な可能性から見て、観測レベルが向上する可能性があるのかが重要な評価基準となる。

評価軸	内 容
観測価値	現象を観測することにどのような価値があるか
観測タイプの現状	現在の観測のスタンスはどこまでできているか？
観測タイプの発展性	今後の観測タイプはレベルアップするか？

2) 利用系の評価基準設定

利用系を評価する場合には、着目している現象に関して、現象解明の可能性があるかどうか、利用目的の設定が妥当であるのかが評価の重要なファクターとなる。利用目的の設定においては、将来的に原子力分野における問題解決ニーズに適合したものであるかどうかの評価基準となる。

評価軸	内 容
現象解明の可能性	現象解明の進展度、今後の可能性
利用目的設定の妥当性	どのような利用目的か、それは妥当であるか
現象の応用可能性	現象を応用することは可能であるか
実用化可能性	コスト・フォーマツも含めて実用化の可能性はあるかどうか

3) 探索系の評価基準設定

観測系あるいは利用系における概念が明確化していることが前提となっているのが探索系の研究であるが、観測目的あるいは利用目的に合致した探索系を設定するための技術的な方法論が確立しているかあるいは確立可能であるかが評価の重要なファクターとなる。この他に、探索価値と探索コストから探索の実施可能性を評価する。

評価軸	内 容
探索価値	探索することにどのような価値があるか
探索系設定の技術的可能性	探索系を作成することが技術的に可能かどうか
探索コスト	探索系を実施する場合のコストの概算

4) PNCとしての評価基準設定

PNCとしての研究に着手することの妥当性を検討するために、動燃事業団の業務との連携性、現在動燃事業団もしくは環境安全課が保有している技術体系との関連性の有無を評価する。

評価軸	内 容
業務との関連性 動燃事業団全体 環境安全課	動燃事業団における業務との関連があるか 環境安全課における業務との関連があるか
保有技術との関連性 動燃事業団全体 環境安全課	動燃事業団の保有する技術との関連があるか 環境安全課における業務との関連があるか
研究としての新規性	新たに動燃が研究に着手・参入することに意味があるかどうか？同じ研究領域でも新規性の高いテーマ設定が可能か？

5) その他の評価基準

研究を遂行する上で必要となる期間を想定する。

評価軸	内 容
研究のタイムスパン	研究成果が出るまでの必要となる期間。 短期的／中期的／長期的の3段階で評価する。

Ⅲ. 研究ユニット評価

1. 研究ユニット評価

研究ユニットを観測系、利用系、探索系の各評価基準において評価した。評価は5段階で行い、その合計値によってランク付を行った（次項以下の表参照）。

各研究ユニットにおける評価は、研究ユニット個表にあげている。

観測系、利用系、探索系における上位2位までを以下に示す。評価結果のうち、PNCの既存の業務との関連性、PNC保有技術との関連性の項目における評価を挙げる。PNC保有技術の項目では人形峠を含むPNC全体での評価を行っている。業務との関連性の高いユニットは将来的にPNCの研究課題として検討に値するものであり、PNCの保有技術との関連性の高いものはPNCにとって研究着手の容易さを示している。

今後、検討の対象とするものは各評価系（観測、利用、探索）から選択した6研究ユニットとする。

6 研究ユニットのPNC業務・技術との関連性

区分	研究ユニットの内容	PNC業務との関連性	PNC保有技術との関連性
観測系	生体内元素変換の検証	3	4
	遺伝情報レベルでのホルミシス解析	1	1
利用系	バクテリアリーチングの高効率化	5	5
	海藻利用ウラン回収システムの開発	4	2
探索系	高濃縮能力生物の探索／植物の探索	5	5
	高濃縮能力生物の探索／元素局在生物の探索	4	2

研究ユニット一覧

区分	一般化したテーマ	主要なテーマ	備 考
観測	放射線耐性機構の解明	放射線抵抗性細菌のスクリーニング	
観測	放射線耐性機構の解明	放射性抵抗遺伝子のクローニング・機能解析	
観測	放射線耐性機構の解明	クマムシの放射線耐性に関する研究	
観測	極限環境下生育生物の放射線抵抗性	クマムシの放射線耐性機構に関する研究	
観測	モノクローナル抗体利用異常検出システムの開発	DNA関連物質の異常検出抗体の開発	
観測	生体由来防護物質遺伝子の制御系研究	生体内の放射線防護物質遺伝子の発現制御系の研究	
観測	分子レベルでの放射線ホルミシス解析	分子レベルの変化測定系を用いた放射線影響の解明	
観測	遺伝情報レベルでのホルミシス解析	特定遺伝子のmRNAを指標にした放射線影響解析	
観測	生体内元素変換の検証	微生物による生体内元素変換の検証	
探索	高濃縮能力生物の探索	シダ、ワラビ、ゼンマイを中心とした植物の探索	
探索	高濃縮能力生物の探索	マダコをはじめとする元素局在傾向の強い生物の探索	
探索	放射性各種の体内蓄積防止物質の探索	生体成分中の放射性核種キレート効果のある成分の探索	
探索	生物由来キレータの探索	微生物産生キレーターのスクリーニング	
探索	食品由来放射線抵抗性物質の探索	食品由来放射性核種体外排除成分の探索と機能性食品の開発	
探索	生体由来放射線防護物質の探索	細胞内の放射線防護物質のスクリーニング	
利用	生物濃縮能力の利用	褐藻の品種改良による濃縮比の高い株の育種	
利用	キレート剤のDDS開発	副作用の強いキレート剤のDDS開発	
利用	放射線ホルミシス利用生物生産系の開発	放射線ホルミシスを応用した種子加工法の開発	
利用	バクテリアリーチングの高効率化	リーチングのための高効率菌株の育種	
利用	海藻利用ウラン回収システムの開発	高効率ウラン回収用海藻の育種	

研究ユニット評価（観測系）

一般化したテーマ／主要テーマ	観測価値	観測タイプの現状	観測タイプの発展性	PNC業務との関連性	PNCの保有技術との関連性	研究の新規性	研究のタイムスパン	総合評価	順位
放射線耐性機構の解明／放射線抵抗性細菌のスクリーニング	4	3	3	1	1	2	中期的	14	8
放射線耐性機構の解明／放射線抵抗遺伝子のクローニング	4	3	2	1	1	4	中期的	15	7
放射線耐性機構の解明／クマムシの放射線耐性に関する研究	5	1	3	1	1	5	長期的	16	6
モノクローナル抗体利用異常検出システムの開発／DNA関連分子の異常検出抗体の開発	5	4	4	2	1	4	短中期的	20	2
生体由来防護物質遺伝子の制御系研究／生体内放射線防護物質遺伝子の発現制御	5	3	3	1	1	4	長期的	17	4
分子レベルでの放射線ホルミシス解析／分子レベルの変化計測系を用いた放射線影響系の解明	4	4	3	1	1	4	長期的	17	4
遺伝情報レベルでのホルミシス解析／特定遺伝子mRNAを指標にした影響解析	5	3	3	1	1	5	長期的	18	3
生体内元素変換の検証／微生物による生体内元素変換の検証	5	2	5	3	4	5	中期的	26	1

研究ユニット評価（利用系）

一般化したテーマ／主要テーマ	現象解明 の可能性	利用目的設 定の妥当性	現象の応 用可能性	実用化可能性	PNC業務 との関連性	PNC保有技 術との関連性	研究の 新規性	研究のタイム スケール	総合評価	順位
生物濃縮能力の利用／高濃縮比生物の育種	3	5	5	3	5	1	3	長期的	25	2
キレート剤のDDS開発／同左	3	4	5	4	1	1	3	中長期的	21	4
放射線ホルミシス利用生物生産系の開発 ／ホルミシス応用種子加工法の開発	2	4	4	3	1	1	1	中期的	16	5
バクテリアリーチングの高効率化 ／高効率菌株の育種	4	5	5	5	5	5	3	中期的	32	1
海藻利用ウラン回収システムの開発 ／高効率ウラン回収用海藻の育種	4	5	4	3	4	2	3	中長期的	25	2

研究ユニット評価（探索系）

一般化したテーマ／主要テーマ	探索価値	探索系設定の技術的可能性	探索コスト	PNC業務との関連性	PNC保有技術との関連性	研究の新規性	研究のタイムゾーン	総合評価	順位
高濃縮能力生物の探索／植物の探索	5	4	3	5	5	4	中長期的	26	1
高濃縮能力生物の探索／元素局在生物の探索	5	4	3	4	2	3	中期的	21	2
放射線耐性生物のスクリーニング ／放射線耐性細菌のスクリーニング	4	3	3	1	1	2	中期的	14	7
放射性核種の体内蓄積防止物質の探索 ／キレート効果のある成分の探索	5	4	3	3	1	4	中長期的	20	3
各種生物の産生するキレート剤の探索 ／微生物産生キレターの探索	4	4	4	4	1	3	中長期的	20	3
食品成分中の放射線に対して抵抗性を強化する食品の開発	5	3	3	2	1	5	中長期的	19	5
生体由来放射線防護物質の探索 ／細胞内放射線防護物質の探索	5	3	3	1	1	3	中長期的	16	6

研究ユニット個表

Seet No. 1	放射性核種を集積する生物（植物）
Seet No. 2	放射性核種を集積する生物（褐藻）
Seet No. 3	放射性核種を集積する生物（マダコ）
Seet No. 4	放射線耐性機構の解明（抵抗菌）
Seet No. 5	放射線耐性機構の解明（遺伝子のクローニング）
Seet No. 6	放射線耐性機構の解明（クマムシ）
Seet No. 7	集積解除（キレート剤）
Seet No. 8	集積解除（微生物産生キレーター）
Seet No. 9	集積解除（食品由来成分）
Seet No. 10	集積解除（キレート剤のDDS）
Seet No. 11	異常分子の観測（モノクローナル抗体）
Seet No. 12	放射線防護剤（細胞内防護物質のスクリーニング）
Seet No. 13	放射線防護物質（遺伝発現系の制御）
Seet No. 14	放射線ホルミシス（分子レベル）
Seet No. 15	放射線ホルミシス（種子加工）
Seet No. 16	バクテリアリーチング（菌株育種）
Seet No. 17	バイオソープション（海藻によるウラン回収）
Seet No. 18	放射線ホルミシス（遺伝情報）
Seet No. 19	生体元素変換

<p><主要テーマ> ジャンル：放射性核種を集積する生物</p> <p>放射性各種を高濃度に濃縮する生物を探索する 特に、シダ植物、ワラビ、ゼンマイの類を探索する</p>	<p><一般化したテーマ></p> <p>生物による放射性核種の濃縮能力の利用を目的とした対象生物の探索</p>		
<p><実用面でのインパクト> (放射線防護、環境にリクガとの関連など)</p> <p>放射性核種の植物による回収法の開発、汚染地域に植えて刈り取りを行い、汚染土壌の浄化を目指す。新たな指標生物として利用できる可能性もあり。</p>	<p><派生するテーマ></p> <p>ウラン鉱山周辺における濃縮植物の探索 食用植物における濃縮能力の比較 対象金属をレアアースまで拡大するのほひとつの方法</p>		
<p><研究目的の達成難易度></p> <p>目指すような能力を持つ植物が見つかるまでの我慢が必要。</p>	<p><着手の容易さ></p> <p>探索に費用はかかるが、方法論上の困難さはなく、容易に着手可能</p>		
<p><研究上の問題点></p> <p>極端に濃縮能力の高い植物が発見できた場合にのみ、この研究の価値がある。濃縮メカニズムが解明できない場合、濃縮能力を強化する場合には、突然変異誘発による育種方法に頼る必要がある。</p>	<p>研究分類</p>	<p>探索</p>	<p>研究目的</p> <p>生物濃縮能力の利用</p>
<p>研究ユニット評価</p>			
<p>探索価値</p>		<p>植物の濃縮能力を利用するための基盤整備。5点</p>	
<p>探索系設定の技術的可能性</p>		<p>指標植物を検査する通常の方法で可。簡便法を開発する必要あり。評価4点。</p>	
<p>探索コスト</p>		<p>探索範囲、リクガ数を増やすとコスト増大。3点。</p>	
<p>PNC業務との関連性</p>		<p>通常のリクガ業務の延長上にある。5点。</p>	
<p><バイオテクノロジーとの関連></p> <p>先端的なテクノロジーよりも、生物学的な知見が必要である</p>	<p>PNC保有技術との関連性</p>		<p>既に保有技術である。5点</p>
<p>研究としての新規性</p>		<p>濃縮能力の高い植物が発見された場合にあり。4</p>	
<p>研究のタイムパ</p>		<p>研究着手は早期に可能であるが、期間的に長期にわたる。中長期的。</p>	

<p><主要テーマ> ジャナル：放射性核種を集積する生物 褐藻の品種改良による濃縮比の高い株の育種</p>	<p><一般化したテーマ> 高濃縮生物の品種改良によるさらなる高濃縮生物の作出</p>																					
<p><実用面でのインパクト> (放射線防護、環境モニタリングとの関連など) バイオロジカルリーチングに利用可能性有り</p>	<p><派生するテーマ> 褐藻の金属濃縮機構の解明 →観測系のテーマ 褐藻以外の高濃縮生物の濃縮機構の利用と解明 →観測系のテーマ 金属イオン物質のスクリーニング</p>																					
<p><研究目的の達成難易度></p>	<p><着手の容易さ> 褐藻の入手のしやすさがどの程度であるのかによる</p>																					
<p><研究上の問題点> 品種改良手段の開発が必要。 濃縮メカニズムを解明した後、濃縮能力を強化する方法を開発するのが望ましいが時間的には突然変異による誘発方法がはやいと思われる。</p>	<table border="1"> <tr> <td>研究分類</td> <td>利用</td> <td>研究目的</td> <td>生物濃縮能力の利用</td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="background-color: #cccccc;">研究ユニット評価</td> </tr> <tr> <td>現象解明の可能性</td> <td colspan="3">分子レベルでの解析は一部で進展。方法論的には可能。評価3。</td> </tr> <tr> <td>利用目的設定の妥当性</td> <td colspan="3">放射性核種の回収/モニタリングへの応用という意味で妥当。評価5。</td> </tr> <tr> <td>現象の応用可能性</td> <td colspan="3">メカニズム解明なき場合も変異株で有用であれば応用可能である。評価5。</td> </tr> </table>		研究分類	利用	研究目的	生物濃縮能力の利用	研究ユニット評価				現象解明の可能性	分子レベルでの解析は一部で進展。方法論的には可能。評価3。			利用目的設定の妥当性	放射性核種の回収/モニタリングへの応用という意味で妥当。評価5。			現象の応用可能性	メカニズム解明なき場合も変異株で有用であれば応用可能である。評価5。		
研究分類	利用	研究目的	生物濃縮能力の利用																			
研究ユニット評価																						
現象解明の可能性	分子レベルでの解析は一部で進展。方法論的には可能。評価3。																					
利用目的設定の妥当性	放射性核種の回収/モニタリングへの応用という意味で妥当。評価5。																					
現象の応用可能性	メカニズム解明なき場合も変異株で有用であれば応用可能である。評価5。																					
<p><バイオテクノロジーとの関連> 藻類の遺伝子操作方法の開発と利用。 藻類の組織培養技術を利用した品種改良技術の開発。</p>	<table border="1"> <tr> <td>実用化可能性</td> <td>高濃縮能力の実現が必要である。評価3。</td> </tr> <tr> <td>PNC業務との関連性</td> <td>ウラン回収などで関連性あり。評価5。</td> </tr> <tr> <td>PNC保有技術との関連性</td> <td>育種技術、分子レベル解析技術はなし。1点</td> </tr> <tr> <td>研究としての新規性</td> <td>バイオソープションとして研究領域が確立。生きた生物をそのまま利用する例は少ない。3点。</td> </tr> <tr> <td>研究のタイムスパン</td> <td>長期的</td> </tr> </table>		実用化可能性	高濃縮能力の実現が必要である。評価3。	PNC業務との関連性	ウラン回収などで関連性あり。評価5。	PNC保有技術との関連性	育種技術、分子レベル解析技術はなし。1点	研究としての新規性	バイオソープションとして研究領域が確立。生きた生物をそのまま利用する例は少ない。3点。	研究のタイムスパン	長期的										
実用化可能性	高濃縮能力の実現が必要である。評価3。																					
PNC業務との関連性	ウラン回収などで関連性あり。評価5。																					
PNC保有技術との関連性	育種技術、分子レベル解析技術はなし。1点																					
研究としての新規性	バイオソープションとして研究領域が確立。生きた生物をそのまま利用する例は少ない。3点。																					
研究のタイムスパン	長期的																					

<p><主要テーマ> ジャンル：放射性核種を集積する生物 マダコをはじめとする元素の局在傾向が強い生物の探索</p>	<p><一般化したテーマ> 高濃縮生物の元素局在性の検討 濃縮係数が極端に高くなくても、臓器特異的に濃縮する生物の集積機構には、集積機構解明の糸口が隠されている</p>	
<p><実用面でのインパクト> (放射線防護、環境モニタリングとの関連など) 高濃縮生物のカタログの項目を増やし、濃縮機構を解明する対象生物の選定の一助とする</p>	<p><派生するテーマ> 生物種の拡大 微生物、藻類、植物、軟体動物 高濃縮生物の集積機構の解明</p>	
<p><研究目的の達成難易度> 濃縮の局在性を検査することは容易である</p>	<p><着手の容易さ> 海洋生物を対象とする場合には、その採集にコストがかかる</p>	
<p><研究上の問題点> 基本的には、単純作業であるため、生物種が集まれば分析は可能。作業量としては、膨大である。元素局在傾向の強い生物については、既存の文献で着目されているものから着手することが望ましい。生物種の範囲特定が困難。解析対象となる生物を大量に入手できるかどうかとも研究遂行上は重要なファクターとなる。</p>	<p>研究分類</p>	<p>観測</p>
	<p>研究目的</p>	<p>生物濃縮能力の解明</p>
	<p>研究ユニット評価</p>	
	<p>探索価値</p>	<p>局所的に濃縮係数の高い器官を持つ生物に着目することで濃縮機構の解明のターゲットを明確にできるため、この種の生物を探索することには非常に価値がある。評価5点。</p>
	<p>探索系設定の技術的可能性</p>	<p>技術的に可能。生物種によって異なるが臓器特定の濃縮を判定することは比較的容易である。評価4点。</p>
	<p>探索コスト</p>	<p>生物種の範囲によるが比較的高い。3点。</p>
<p><バイオテクノロジーとの関連> より迅速に解析する方法を開発する必要がある。臓器特定後の、分子レベルでの解析には、方法論がある程度確立しているため、解析が可能である。</p>	<p>PNC業務との関連性</p>	<p>指標生物に採取業務の延長上で可能。評価4点。</p>
	<p>PNC保有技術との関連性</p>	<p>特殊生物の元素局在性検討技術に難あり。2点</p>
	<p>研究としての新規性</p>	<p>代謝レベル、分子レベルまでの解析を行えば、新規性は高い。3点。</p>
	<p>研究のタイムスパン</p>	<p>長期的。</p>

<p><主要テーマ> ジャンル：放射線耐性機構の解明</p> <p>放射線抵抗性細菌のスクリーニング、形態的生理的研究</p>	<p><一般化したテーマ></p> <p>放射線耐性生物のスクリーニング</p>				
<p><実用面でのインパクト> (放射線防護、環境モニタリングとの関連など)</p> <p>放射線耐性の研究材料として有効なものカタログを増やす。</p>	<p><派生するテーマ></p> <p>放射線耐性因子の同定</p>				
<p><研究目的の達成難易度></p> <p>スクリーニング系の構築は容易。</p>	<p><着手の容易さ></p> <p>微生物に限れば単純な実験系の構築で、すぐに着手が可能。</p>				
<p><研究上の問題点></p> <p>放射線耐性生物が棲息している可能性の高い状況を選定することが重要。</p> <p>缶詰工場、高品質ウラン鉱など</p> <p>放射線耐性微生物の耐性機構の他種の微生物への移植は既に成功例があるが、耐性機構の系はひとつではないと推測されるため、耐性メカニズムの解明は何通りも試みる価値があるものと考えられる。</p>	研究分類	探索	研究目的	放射線耐性の機構解明	
	研究ユニット評価				
	探索価値	放射線耐性機構のためには、各種放射線耐性生物の研究が必要である。評価4点。			
	探索系設定の技術的可能性	高放射線環境下からの微生物の探索が可能な系をロボットなどを駆使して作る必要がある。3点			
	探索コスト	比較的高い。評価3点。			
<p><バイオテクノロジーとの関連></p> <p>スクリーニング系の構築は微生物学的な手法の基本的な技術で可能。放射線耐性生物は極めて少ないと考えられるため、スクリーニング上の問題点は少ないと想定される。耐性機構の解明においては、分子生物学的な手段、遺伝子工学的な手段の適応が可能である。</p>	PNC業務との関連性	関連性は非常に薄い。評価1点。			
	PNC保有技術との関連性	関連性は非常に薄い。評価1点			
	研究としての新規性	中程度。評価2点。			
	研究のタイムスパン	中期的。			

<p><主要テーマ> ジャンル：放射線耐性</p> <p>放射線抵抗性遺伝子のクローニング 放射線抵抗性遺伝子の機能の解析</p>	<p><一般化したテーマ></p> <p>放射線抵抗性因子の同定・機構解明</p>	
<p><実用面でのインパクト> (放射線防護、環境モニタリングとの関連など)</p> <p>放射線耐性機構の解明に貢献する。</p>	<p><派生するテーマ></p> <p>ほ乳類における耐性機構の解明 抵抗性の弱い臓器における耐性強化の方法論の開発 (超長期的テーマ)</p>	
<p><研究目的の達成難易度></p> <p>実験系としては単純な系が構築できる</p>	<p><着手の容易さ></p> <p>遺伝的なファクターで決定されている場合に方法としては確立という。</p>	
<p><研究上の問題点></p> <p>遺伝子のクローニングはできても、機能の解析は困難な場合は多い。耐性機構の分子レベルの解析においては、単一機能で耐性を実現しているとは考えにくい。そのため、モデル化した系での実験系を構築する必要がある。</p>	<p>研究分類</p>	<p>観測</p>
	<p>研究目的</p>	<p>放射線耐性の機構解明</p>
	<p>研究ユニット評価</p>	
	<p>観測価値</p>	<p>耐性機構の解明は、放射線防護上重要。4点 耐性機構の解明による低線量領域での影響評価に対する新規の指標を作成することが期待される。</p>
	<p>観測タイプの現状</p>	<p>モデル化による観測が可能(タイプⅢ)。3点。</p>
<p>観測タイプの発展性</p>	<p>非モデル化状態における観測は当面不可能。2点</p>	
<p><バイオテクノロジーとの関連></p> <p>遺伝子工学的な手法を用いることが多い。</p>	<p>PNCの業務との関連性</p>	<p>関連性はない。1点。</p>
	<p>PNCの保有技術との関連性</p>	<p>関連性はない。1点。</p>
	<p>研究としての新規性</p>	<p>1990年代のテーマ。評価4点。</p>
	<p>研究のタイムスパン</p>	<p>中期的。</p>

<p><主要テーマ> ジャンル：放射線耐性 クマムシの放射線耐性に関する研究</p>	<p><一般化したテーマ> 昆虫の放射線耐性機構の研究</p>				
<p><実用面でのインパクト> (放射線防護、環境モニタリングとの関連など) 新たな放射線耐性機構の発見が期待される</p>	<p><派生するテーマ> 昆虫の遺伝子工学的手法の開発。</p>				
<p><研究目的の達成難易度> 時間的に極めて長期にわたる基礎研究で難易度は高い</p>	<p><着手の容易さ> 方法論の確立が第一であるために研究の進展には時間がかかる。</p>				
<p><研究上の問題点> クマムシの確保が問題。 耐性機構が何によるのかという原因の特定が非常に難しい。 高温耐性、低温耐性、真空耐性などの他の耐特殊環境性の原因の究明も必要。</p>	<p>研究分類</p>	<p>観測</p>	<p>研究目的</p>	<p>放射線耐性の機構解明</p>	
	<p>研究ユニット評価</p>				
	<p>観測価値</p>	<p>特殊な耐性機構を有する可能性が高く、放射線防護における新たな方法論の突破口になる可能性が高い。評価5点。</p>			
	<p>観測タイプの現状</p>	<p>観測対象の確定もモデル化による観測も行われていない(観測タイプI)。評価1点。</p>			
	<p>観測タイプの発展性</p>	<p>放射線耐性の原因を分解する知見が集積する必要がある。期待値は高く評価3点。</p>			
<p><バイオテクノロジーとの関連> 昆虫のバイオテクノロジーは、カイコ以外はそれほど発達していないため、研究インフラ整備が必要</p>	<p>PNCの業務との関連性</p>	<p>関連性はない。評価1点。</p>			
	<p>PNCの保有技術との関連性</p>	<p>関連性はない。評価1点。</p>			
	<p>研究としての新規性</p>	<p>新規性は高い。評価5点。</p>			
	<p>研究のタイムスパン</p>	<p>長期的。</p>			

<p><主要テーマ> ジャンル：集積解除（キレート剤） 生体成分中に含まれているキレート効果のある成分を探索する</p>	<p><一般化したテーマ> 生体由来の放射性核種の排出促進物質の探索</p>			
<p><実用面でのインパクト>（放射線防護、環境モニタリングとの関連など） もともと生体成分中にある化合物であるため、副作用が少なくすみ必要な時に大量投与が可能である。</p>	<p><派生するテーマ> スクリーニングして得られた化合物に対して、より機能的な分子を求めて誘導体を合成し、よりキレートとして有効でかつ副作用の少ない化合物を求めめる。</p>			
<p><研究目的の達成難易度> 長期的テーマであるが実施可能な研究テーマであり、難易度は中程度。</p>	<p><着手の容易さ></p>			
<p><研究上の問題点> 放射性核種に対するキレーターを探索する必要がある。 キレート能で物質を分離することができるかどうかの問題。 オリジンの生物を何にするかで用途が変わる。 微生物由来では人体に使用できない（抗原性が強すぎる） ほ乳類由来（ラット、マウス）などをオリジンに探索し、類似の分子をヒトで探索することが研究の筋道である。 排出促進効果の測定が必要な分だけスクリーニング系の構築が困難である。</p>	研究分類	探索	研究目的 放射性核種の体内蓄積防止	
	研究ユニット評価			
	探索価値	事故時の対応策のひとつとして有用。評価5点。		
	探索系設定の技術的可能性	金属結合分子のスクリーニング系構築という意味では既存の方法論で可能。評価4点。		
	探索コスト	中程度。評価3点。		
<p><バイオテクノロジーとの関連> 目的とする物質が見つかった場合にその物質の大量生産系を構築することが必要である。</p>	PNC業務との関連性	関連性は低いが、原子力関係者全般にニーズは高い。評価3点。		
	PNC保有技術との関連性	関連性はない。分子レベルでの解析。評価1点。		
	研究としての新規性	メタロチオネインなどでやられているが、より元素特異性の高い分子を検索することに意義がある。評価4点。		
	研究のタイムスパン	中長期的。		

<p><主要テーマ> ジャンル：集積解除</p> <p>金属を濃縮する微生物の産生するキレートスクリーニングする</p>	<p><一般化したテーマ></p> <p>各種生物の産生するキレート剤の探索</p>	
<p><実用面でのインパクト> (放射線防護、環境モニタリングとの関連など)</p> <p>金属濃縮に微生物のキレートを利用する。低コストである。排水中からの回収。化学合成した吸着剤よりもコスト的に優位にあることが必要。</p>	<p><派生するテーマ></p> <p>キレート剤が見つかった場合、大量生産方法の開発 生物由来物質をリード化合物とした新たなキレート剤の開発</p>	
<p><研究目的の達成難易度></p> <p>比較的容易である。</p>	<p><着手の容易さ></p> <p>比較的容易である。</p>	
<p><研究上の問題点></p> <p>キレターの効率的な探索方法の開発が必要である。</p>	<p>研究分類</p>	<p>探索</p>
	<p>研究目的</p>	<p>生物由来キレターの探索</p>
	<p>研究ユニット評価</p>	
	<p>探索価値</p>	<p>排水処理用の金属キレターを低コストで実現することには意味がある。評価4点。</p>
	<p>探索系設定の技術的可能性</p>	<p>技術的に可能。4点。</p>
<p><バイオテクノロジーとの関連></p>	<p>PNC業務との関連性</p>	<p>金属特異性が高ければ業務に使用できる可能性有 評価4点。</p>
	<p>PNC保有技術との関連性</p>	<p>関連性はない。1点。</p>
	<p>研究としての新規性</p>	<p>バイオソープションの領域。評価3点。</p>
	<p>研究のタイムスパン</p>	<p>中長期的。</p>

<p><主要テーマ> ジャンル：集積解除 食品中に含有している放射性核種の体外排除を促進する成分を探索し、その成分を強化した機能性食品を開発する。さらに食事療法としての有効な使用法も開発する。</p>	<p><一般化したテーマ> 食品成分中の放射線に対して抵抗性を強化する食品の開発。</p>				
<p><実用面でのインパクト> (放射線防護、環境トリッグとの関連など) 放射性核種の体内蓄積の可能性がある場合に即座に副作用の心配をすることなく大量に服用ができる。</p>	<p><派生するテーマ> 食品成中の放射線防護剤になる成分の探索</p>				
<p><研究目的の達成難易度> 比較的困難である</p>	<p><着手の容易さ> 食品ということで研究材料の入手が極めて容易、マウスでスクリーニング。</p>				
<p><研究上の問題点></p> <p>ビボでのアッセイ系を構築する必要があり、膨大なスクリーニングを行う必要がある。 何を放射線によるダメージの指標にするかが問題。指標設定によって、スクリーニング系の設定が決定されるため、ダメージ指標そのものがこの研究のポイントとなる。 既に味噌で効果有りという報告があるが、スクリーニングの対象を他の食品にも拡大することだが、加工食品か生鮮食料品かという問題が残る。</p>	<p>研究分類</p>	<p>探索</p>	<p>研究目的</p>	<p>食品由来放射線抵抗性強化物質の探索</p>	
	<p>研究ユニット評価</p>				
	<p>探索価値</p>	<p>食品由来ということで安全性が高く探索価値は高い。評価5点。</p>			
	<p>探索系設定の技術的可能性</p>	<p>構築可能である。評価3点。</p>			
	<p>探索コスト</p>	<p>大学の研究室レベルで可能。抗ガン剤としての可能性もあるため、かなりのコスト負担には耐えらると想定される。評価3点。</p>			
<p><バイオテクノロジーとの関連></p> <p>分離精製技術、ダメージ評価におけるビボアッセイ系の確立を生きた状態で行うための方法論に確立が重要である。</p>	<p>PNC業務との関連性</p>	<p>ユーザーとして業務上使用する可能性あり。2点</p>			
	<p>PNC保有技術との関連性</p>	<p>関連性はない。1点。</p>			
	<p>研究としての新規性</p>	<p>食品由来として大規模なスクリーニングの例はない。評価5点。</p>			
	<p>研究のタイムスパン</p>	<p>中長期的。</p>			

<p><主要テーマ> ジャンル：集積解除</p> <p>キレート剤のためのドラッグデリバリーシステムの研究</p>	<p><一般化したテーマ></p> <p>左に同じ</p>																					
<p><実用面でのインパクト> (放射線防護、環境モニタリングとの関連など)</p> <p>既存のキレート剤の効果を上げ、副作用を低減することが可能 従来は使用できなかった薬剤も使用できる可能性がある</p>	<p><派生するテーマ></p> <p>抗ガン剤等の一般医療用薬品におけるDDS開発と基本的には変わらないが標的対象臓器が異なるため、臓器標的性において共通する医薬品との共同開発という形式が望ましい。→一般薬用DDSの開発。</p>																					
<p><研究目的の達成難易度></p> <p>DDSの標的志向性をどのように出すかが問題。</p>	<p><着手の容易さ></p>																					
<p><研究上の問題点></p> <p>キレート剤の種類と物性が限られているため、これに適したDDSの開発には、医薬品メーカー等の協力が必要になるケースも考えられる。</p>	<table border="1"> <tr> <td>研究分類</td> <td>利用</td> <td>研究目的</td> <td>キレート剤のDDS開発</td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="background-color: #cccccc;">研究ユニット評価</td> </tr> <tr> <td colspan="2">現象説明の可能性</td> <td colspan="2">標的指向性の実現の手段の選択が問題。評価3点 標的指向性という現象を開発することが第一ステップ。</td> </tr> <tr> <td colspan="2">利用目的設定の妥当性</td> <td colspan="2">副作用の低減化はキレート剤を使用する場合の最重要課題。4点</td> </tr> <tr> <td colspan="2">現象の応用可能性</td> <td colspan="2">標的指向性自体が現象の応用。5点</td> </tr> </table>		研究分類	利用	研究目的	キレート剤のDDS開発	研究ユニット評価				現象説明の可能性		標的指向性の実現の手段の選択が問題。評価3点 標的指向性という現象を開発することが第一ステップ。		利用目的設定の妥当性		副作用の低減化はキレート剤を使用する場合の最重要課題。4点		現象の応用可能性		標的指向性自体が現象の応用。5点	
研究分類	利用	研究目的	キレート剤のDDS開発																			
研究ユニット評価																						
現象説明の可能性		標的指向性の実現の手段の選択が問題。評価3点 標的指向性という現象を開発することが第一ステップ。																				
利用目的設定の妥当性		副作用の低減化はキレート剤を使用する場合の最重要課題。4点																				
現象の応用可能性		標的指向性自体が現象の応用。5点																				
<p><バイオテクノロジーとの関連></p> <p>標的志向性を出すために、モノクローナル抗体を使用することも考えられる。</p>	<table border="1"> <tr> <td>実用化可能性</td> <td>高い。4点。キレート剤用DDSは、用途が限定される。</td> </tr> <tr> <td>PNC業務との関連性</td> <td>関連性は低いが潜在ユーザーではある。1点</td> </tr> <tr> <td>PNC保有技術との関連性</td> <td>関連性はない。1点。</td> </tr> <tr> <td>研究としての新規性</td> <td>DDS開発は既存テーマだが、キレート剤を対象にしている例は少ない。3点</td> </tr> <tr> <td>研究のタイムスパン</td> <td>中期的。</td> </tr> </table>		実用化可能性	高い。4点。キレート剤用DDSは、用途が限定される。	PNC業務との関連性	関連性は低いが潜在ユーザーではある。1点	PNC保有技術との関連性	関連性はない。1点。	研究としての新規性	DDS開発は既存テーマだが、キレート剤を対象にしている例は少ない。3点	研究のタイムスパン	中期的。										
実用化可能性	高い。4点。キレート剤用DDSは、用途が限定される。																					
PNC業務との関連性	関連性は低いが潜在ユーザーではある。1点																					
PNC保有技術との関連性	関連性はない。1点。																					
研究としての新規性	DDS開発は既存テーマだが、キレート剤を対象にしている例は少ない。3点																					
研究のタイムスパン	中期的。																					

<p><主要テーマ> ジャンル：異常分子の観測</p> <p>生体内において放射線照射を受けた場合に生成されるDNA関連物質に対してモノクローナル抗体を作成し、その異常分子の検出を迅速にかつ安易に行う方法を開発する。</p>	<p><一般化したテーマ></p> <p>生体関連物質のうち、異常な架橋や切断が起きているもの検出に対してモノクローナル抗体を用いたアッセイを行うことで、生体が放射線影響を受けていることの判定を複数のパラメーターに対して容易に行える</p>	
<p><実用面でのインパクト> (放射線防護、環境モニタリングとの関連など)</p> <p>低線量放射線の被曝効果を分子レベルで判定することができるため、放射線防護をという観点から体内に起きている変化の追跡は意義深いことである</p>	<p><派生するテーマ></p> <p>膜の異常に対するモノクローナル抗体による検出</p>	
<p><研究目的の達成難易度></p> <p>既に、DNA関連物質に対する抗体は取られているため、構築できる実験系である</p>	<p><着手の容易さ></p> <p>方法論的には既に確立しているため、着手は容易である。</p>	
<p><研究上の問題点></p> <p>抗原として何を使用するかによって研究内容はかなり異なる。</p>	<p>研究分類</p> <p>観測</p>	<p>研究目的</p> <p>モノクローナル抗体利用異常分子検出システム</p>
<p>研究ユニット評価</p>		
<p>観測価値</p>		<p>DNA関連異常分子の検出は、低線量域における放射線影響を検討する上で意義が高い。5点</p>
<p>観測タイプの現状</p>		<p>一部で非モデル化/観測可能(タイプIV) 観測対象分子の範囲の拡大が必要だが、対象分子によってはモデル化のステップが必要。4点</p>
<p>観測タイプの発展性</p>		<p>対象分子の選択によって異なる。4点</p>
<p><バイオテクノロジーとの関連></p> <p>モノクローナル抗体の利用</p>	<p>PNCの業務との関連性</p>	<p>直接はないが、ユーザーにはなり得る。2点</p>
	<p>PNCの保有技術との関連性</p>	<p>関連性はない。1点</p>
	<p>研究としての新規性</p>	<p>人体のチェックを日常的に行うことには新規性が高い。4点。</p>
	<p>研究のタイムスパン</p>	<p>短中期的。</p>

<p><主要テーマ> ジャンル：放射線防護剤 細胞内の放射線防護物質のスクリーニング</p>	<p><一般化したテーマ> 生体内の放射線防護剤のスクリーニング</p>				
<p><実用面でのインパクト> (放射線防護、環境モニタリングとの関連など) 生体内の放射線防護システムの全容解明に一歩近づく</p>	<p><派生するテーマ> 放射線耐性細菌における放射線防護機構を担う物質のスクリーニング</p>				
<p><研究目的の達成難易度> 防護物質をどのような系でスクリーニングするかがキーポイントだが難易度高</p>	<p><着手の容易さ> 酵素/蛋白/糖/脂質/核酸と多品種に検討する必要がある</p>				
<p><研究上の問題点> 防護効果の測定をインビトロで行う実験系の構築が必要。</p>	<p>研究分類</p>	<p>探索</p>	<p>研究目的</p>	<p>生体由来防護物質の探索</p>	
	<p>研究ユニット評価</p>				
	<p>探索価値</p>	<p>安全性の高い放射線防護剤開発と生体内の放射線防護システムの解明。評価5点。</p>			
	<p>探索系設定の技術的可能性</p>	<p>放射線影響の指標を何にとるかが課題。分子レベルの解析が必要となる。技術的には可能。評価3点</p>			
	<p>探索コスト</p>	<p>中程度。3点。</p>			
<p><バイオテクノロジーとの関連> インビトロ再構成系のような実験系を構築する場合には、構成する物質自体を大量生産する必要がある。</p>	<p>PNC業務との関連性</p>	<p>関連性はない。1点。</p>			
	<p>PNC保有技術との関連性</p>	<p>関連性はない。1点。</p>			
	<p>研究としての新規性</p>	<p>古典的なテーマだが、いい物質は未発見。3点</p>			
	<p>研究のタイムスパン</p>	<p>中長期的。</p>			

<p><主要テーマ> ジャンル：放射線防護物質</p> <p>生体内の特定の放射線防護物質をコードする遺伝子の発現制御系の研究</p>	<p><一般化したテーマ></p> <p>生体内の放射線防護物質をコードする遺伝子の発現制御系の研究</p>		
<p><実用面でのインパクト> (放射線防護、環境ヒトゲノムとの関連など)</p> <p>生体内における放射線防護物質はいかなる遺伝情報階層の中でその発現を制御されているのかが明らかになるとその誘導方法も開発可能になる。</p>	<p><派生するテーマ></p> <p>防護物質発現のスイッチングの分子論的な研究</p>		
<p><研究目的の達成難易度></p> <p>これは、プロモーター検索の実験系であり、既存の方法が適用できるがレベルの高い実験である。</p>	<p><着手の容易さ></p> <p>実験系を構築することはかなり高度な作業</p>		
<p><研究上の問題点></p> <p>生体内の放射線防護物質にどのようなものがあるかも不明な段階であるが、プロモーターの支配構造が共通である可能性だけをたよりにしているため、仮設にすぎない。</p> <p>既に判明している防護物質に関してだけの発現制御のシステムを解明するにしても高等動物では複雑な部分は多いため、酵母などの比較的扱いやすい生物を扱うことがポイントである。</p>	<p>研究分類</p>	<p>観測</p>	<p>研究目的</p> <p>生体由来防護物質遺伝子の制御系研究</p>
<p>研究ユニット評価</p>			
<p>観測価値</p>		<p>放射線影響評価を分子生物学的なレベルで行うものであり、正確な影響評価の指針作成にもつながる重要な研究である。5点</p>	
<p>観測タイプの現状</p>		<p>遺伝子修復系の一部で分子レベルの観測が実現している。3点</p>	
<p>観測タイプの発展性</p>		<p>放射線影響のよる発現量変化が起きた遺伝子全てを検索することが将来的に可能になる。3点</p>	
<p><バイオテクノロジーとの関連></p> <p>遺伝情報の発現制御という意味では、蛋白-DNA相互作用の解析が必要である。</p>	<p>PNCの業務との関連性</p>		<p>関連性はない。1点</p>
	<p>PNCの保有技術との関連性</p>		<p>関連性はない。1点</p>
	<p>研究としての新規性</p>		<p>新規性は高い。4点</p>
	<p>研究のタイムスパン</p>		<p>長期的。</p>

<p><主要テーマ> ジャンル：放射線ホルミシス 分子レベルの変化測定系を用いた放射線影響の解明</p>	<p><一般化したテーマ> 放射線ホルミシス現象解明のための分子レベル酵素レベルでの観測パラメータの探索</p>	
<p><実用面でのインパクト> (放射線防護、環境にリカとの関連など) 分子レベルでのホルミシスの研究は少ないため、遺伝情報発現系に対する研究のインパクトは強い。とりわけ、放射線防護においてにリスク評価に対してしきい値の存在を分子レベルで検証できるならば、意義は大きい。</p>	<p><派生するテーマ></p>	
<p><研究目的の達成難易度> 生体が生きた状態での分子レベルの変動を追跡する系を構築することは非常に困難</p>	<p><着手の容易さ> 分子生物学的な手法に精通していることが必要。</p>	
<p><研究上の問題点> パラメーター設定の妥当性と各種パラメーターの同時測定が必要である。何の分子で見るとかという見当を付けることが難しい。観測できる分子から対象にすることが研究のスタートでもある。</p>	<p>研究分類</p>	<p>観測</p>
	<p>研究目的</p>	<p>分子レベルでの放射線ホルミシス</p>
	<p>研究ユニット評価</p>	
	<p>観測価値</p>	<p>分子レベルでの影響評価指標作成に意義あり。4点。</p>
	<p>観測タイプの現状</p>	<p>分子種の特定さえできれば系の開発は容易。4</p>
<p>観測タイプの発展性</p>	<p>発展性は期待できる。リアルタイム性をどう実現するかによる。3点</p>	
<p><バイオテクノロジーとの関連> 異常分子の出現を観測する系の開発ができていれば、その観測系でホルミシス現象が起きているかどうかの解明に役立つ。観測方法としては、NMR、PCR、モノクローナル抗体などを使用した系が感度もよく、低線量放射線の影響を観測するには適している。</p>	<p>PNCの業務との関連性</p>	<p>関連性はない。1点。</p>
	<p>PNCの保有技術との関連性</p>	<p>関連性はない。1点。</p>
	<p>研究としての新規性</p>	<p>ホルミシス研究の770-f方法としては新しい。4点</p>
	<p>研究のタイムスパン</p>	<p>長期的。</p>

<p><主要テーマ> ジャンル：放射線ホルミシス 放射線ホルミシスを応用した種子加工法の開発</p>	<p><一般化したテーマ> 放射線ホルミシスを利用した生物生産高効率化への応用</p>			
<p><実用面でのインパクト> (放射線防護、環境モニタリングとの関連など) 農業の効率化、高生産性化</p>	<p><派生するテーマ> ホルミシスを利用した農業への応用 ホルミシスを利用した漁業への応用</p>			
<p><研究目的の達成難易度> 再現性のあるデータの裏づけがまず必要である</p>	<p><着手の容易さ> 実験系の構築は簡単である</p>			
<p><研究上の問題点> 植物の発芽率が向上し、農業上の利用が一般化するためには、ホルミシス用の照射に対する一定の安全基準が必要である。</p>	<p>研究分類</p>	<p>利用</p>	<p>研究目的 放射線ホルミシス利用生物生産系の開発</p>	
<p>研究ユニット評価</p>				
<p>現象解明の可能性</p>		<p>放射線の利用方法を開発することが目的であり、現象の解明は長期的な課題である。2点</p>		
<p>利用目的設定の妥当性</p>		<p>農業への利用が展開可能であれば、種子加工ビジネスとして成立する。4点</p>		
<p>現象の応用可能性</p>		<p>現象の応用そのものが本テーマである。4点。</p>		
<p><バイオテクノロジーとの関連> 放射線によって何が種子の中で起こっているのかを同定するために、ノーザンブロットングを行い、非照射種子と比較することによって、発芽に対する影響を遺伝子レベルで評価できる。</p>	<p>実用化可能性</p>		<p>再現性・放射条件設定などの検討が必要。3点</p>	
	<p>PNC業務との関連性</p>		<p>関連性はない。1点。</p>	
	<p>PNC保有技術との関連性</p>		<p>関連性はない。1点。</p>	
	<p>研究としての新規性</p>		<p>新規性という意味ではない。1点。</p>	
	<p>研究のタイムスパン</p>		<p>中期的。</p>	

<p><主要テーマ> ジャンル：バクテリアリーチング バクテリアリーチングのための高効率の菌株の育種</p>	<p><一般化したテーマ> バクテリアリーチングの高効率化の研究</p>			
<p><実用面でのインパクト> (放射線防護、環境モニタリングとの関連など) 資源問題の解決</p>	<p><派生するテーマ> バクテリアリーチングのプロセス改善の研究</p>			
<p><研究目的の達成難易度> 基本的にはバクテリアの育種であり、変異株の分離と解析であるため、容易</p>	<p><着手の容易さ> 既に行われていることであるので、着手は容易だが、場所の制約がある</p>			
<p><研究上の問題点> 高効率にリーチングすることができる変異株をスクリーニングする系をつくるのが難しい。</p>	<p>研究分類</p>	<p>利用</p>	<p>研究目的</p>	<p>バクテリアリーチングの高効率化</p>
	<p>研究ユニット評価</p>			
	<p>現象解明の可能性</p>	<p>酸化還元という意味での解明はできているが、微生物において分子レベルでの解明の進んでおらず分子生物学的手法による解明が期待されている。4点。</p>		
	<p>利用目的設定の妥当性</p>	<p>既に利用されている。5点。</p>		
	<p>現象の応用可能性</p>	<p>現象は既に応用されている。5点</p>		
<p><バイオテクノロジーとの関連> 高効率な変異株の変異部位の解析、あるいは、変異株の遺伝子を野生株にショットガンクローニングして高効率になる変異の確定が可能。</p>	<p>実用化可能性</p>	<p>実用化されている。5点。</p>		
	<p>PNC業務との関連性</p>	<p>ウラン資源獲得という意味から関連性は高い5点</p>		
	<p>PNC保有技術との関連性</p>	<p>人形峠において実証試験中である。5点。</p>		
	<p>研究としての新規性</p>	<p>微生物育種という観点からの試みは少ない。3点</p>		
<p>研究のタイムスパン</p>	<p>中期的。</p>			

<p><主要テーマ> ジャンル：バイオソープション 海藻の品種改良による高効率ウラン回収用海藻の開発</p>	<p><一般化したテーマ> 海藻がウランを吸着させるメカニズムの研究</p>			
<p><実用面でのインパクト> (放射線防護、環境にリカとの関連など) 資源問題の解決</p>	<p><派生するテーマ> ウランを吸着している化合物の化学合成による人工吸着膜の作成</p>			
<p><研究目的の達成難易度> 海藻に品種改良の方法を開発する必要がある。</p>	<p><着手の容易さ></p>			
<p><研究上の問題点></p>	<p>研究分類</p>	<p>利用</p>	<p>研究目的 海藻利用ウラン回収方法の開発</p>	
	<p>研究ユニット評価</p>			
	<p>現象解明の可能性</p>		<p>ウラン吸着のメカニズムは中長期的には解明可能4点。</p>	
	<p>利用目的設定の妥当性</p>		<p>ウラン資源獲得という観点から妥当。5点。</p>	
	<p>現象の応用可能性</p>		<p>吸着能力の強化を実現出来れば、ウラン吸着現象を応用できる。4点。</p>	
<p><バイオテクノロジーとの関連> 高吸着海藻の遺伝子工学的な育種 (可能であれば)</p>	<p>実用化可能性</p>		<p>イオン交換樹脂とのコスト競争となるが、回収コストの低減化が実用化のための条件となる。3点</p>	
	<p>PNC業務との関連性</p>		<p>ウラン資源獲得という意味で関連性が高い。4点</p>	
	<p>PNC保有技術との関連性</p>		<p>関連性はない。2点。</p>	
	<p>研究としての新規性</p>		<p>実用化研究の新規性は高い。3点。</p>	
	<p>研究のタイムスパン</p>		<p>中長期的。</p>	

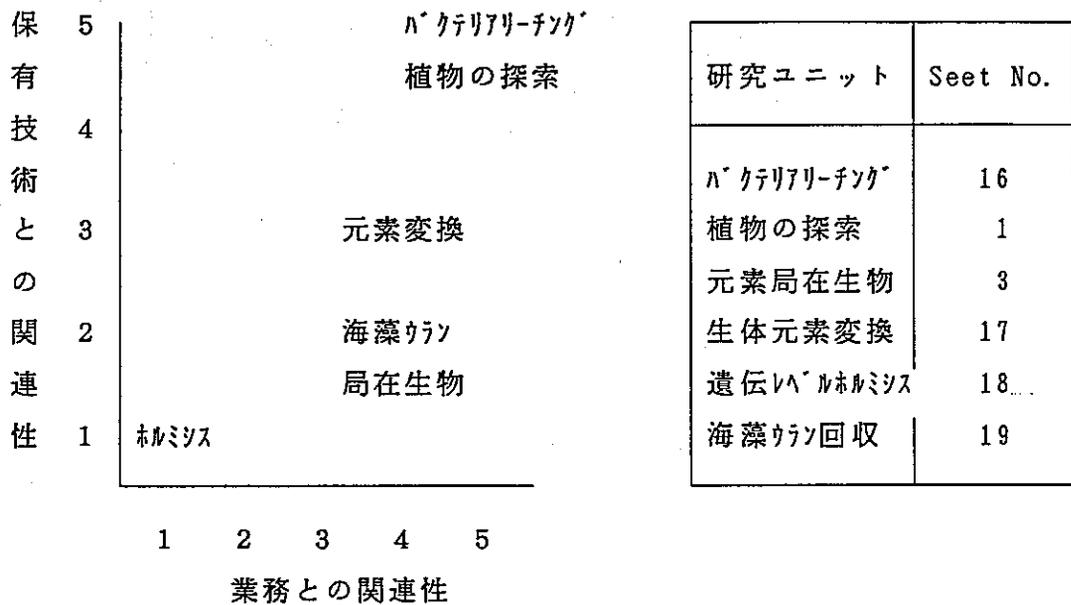
<p><主要テーマ> ジャンル：放射線ホルミシス×遺伝情報発現の変化</p> <p>微生物における低線量照射下における遺伝情報発現の非照射下との比較及び両者のmRNA比較</p>	<p><一般化したテーマ></p> <p>低線量照射下における遺伝情報発現の非照射下との比較及び両者のmRNA比較</p>		
<p><実用面でのインパクト> (放射線防護、環境ヒトリカとの関連など)</p> <p>低線量照射下における遺伝情報発現の変化を遺伝子レベルで確証を得る。</p>	<p><派生するテーマ></p> <p>放射線耐性菌における同様の比較</p>		
<p><研究目的の達成難易度></p> <p>技術的には容易。</p>	<p><着手の容易さ></p>		
<p><研究上の問題点></p> <p>対象とする遺伝子の設定</p>	<p>研究分類</p>	<p>観測</p>	
	<p>研究目的</p>	<p>遺伝情報発現レベルのホルミシス解析</p>	
	<p>研究ユニット評価</p>		
	<p>観測価値</p>	<p>低線量照射下における影響評価をメッセンジャーRNAで観測するため、ホルミシス現象の定量化のための分子的な根拠を提出する。5点。</p>	
	<p>観測タイプの現状</p>	<p>分子生物学的なテクニックが発展し、観測可能な範囲になりつつある。3点。</p>	
<p>観測タイプの発展性</p>	<p>観測の定量性の実現が課題。3点。</p>		
<p><バイオテクノロジーとの関連></p> <p>遺伝子工学的な手法を用いる (RNAの検出など)</p>	<p>PNCの業務との関連性</p>	<p>直接的な関連性はない。1点。</p>	
	<p>PNCの保有技術との関連性</p>	<p>保有技術との関連性はない。1点。</p>	
	<p>研究としての新規性</p>	<p>新規性は高い。遺伝レベルのホルミシス解析は研究例がない。5点。</p>	
	<p>研究のタイムスパン</p>	<p>長期的。</p>	

<p><主要テーマ> ジャンル：生物元素変換 微生物による生物元素変換の是非の確認</p>	<p><一般化したテーマ> 生物における元素変換の確認（微生物以外にも対象を拡大する）</p>		
<p><実用面でのインパクト>（放射線防護、環境にリカとの関連など） 現代物理学にインパクトを与えるだけでなく、今後の常温核融合研究に多大な影響を与えることとなる。</p>	<p><派生するテーマ> 植物による元素変換、海洋生物による元素変換</p>		
<p><研究目的の達成難易度> 超微量な元素分析の技術自体はPNCは保有しており、厳密な培養条件の設定にされ確立すれば、研究の実施自体は比較的容易であると考えられる。</p>	<p><着手の容易さ> 実験系を構築のデザインはすぐにも可能である。</p>		
<p><研究上の問題点> 実験材料となる生物、微生物の選択が重要である。厳密な実験条件を実現するためのノウハウは、培養機器メーカーとの共同と開発が必要がある。</p>	<p>研究分類 観測</p>	<p>研究目的 生体内元素変換の検証</p>	
	<p>研究ユニット評価</p>		
	<p>観測価値</p>	<p>現象の真偽を確認することの意義が大きい。5</p>	
	<p>観測タイプの現状</p>	<p>装置の工夫が必要だが、現状の技術レベルで可能である。2点。</p>	
	<p>観測タイプの発展性</p>	<p>事実が確認されれば、発展性のある実験系の構築も想定される。5点。</p>	
<p><バイオテクノロジーとの関連> 元素変換が実際に起きていることが確認された場合に、細胞内のどの器官で起きているかの同定には、既存のバイオテクノロジーの手法が使用できる。器官の確認や関与遺伝子の特定においては、分子生物学的な手法が活用可能である。微生物育種の手法によって、元素変換が起きない変異株の分離なども検討課題である。</p>	<p>PNCの業務との関連性</p>	<p>原子物理学という点から関連性有り。3点。</p>	
	<p>PNCの保有技術との関連性</p>	<p>元素定量技術は、PNCの根幹技術。4点。</p>	
	<p>研究としての新規性</p>	<p>国内他の研究機関では行えない研究。新規性は高い。5点。</p>	
	<p>研究のタイムスパン</p>	<p>中期的</p>	

2. 研究ユニットのポジショニング

評価の結果、観測系、利用系、探索系の各2ユニットについて以下の視点からの再評価を行い、最終的に検討する研究ユニットを決定する。

● PNC業務／技術との関連性

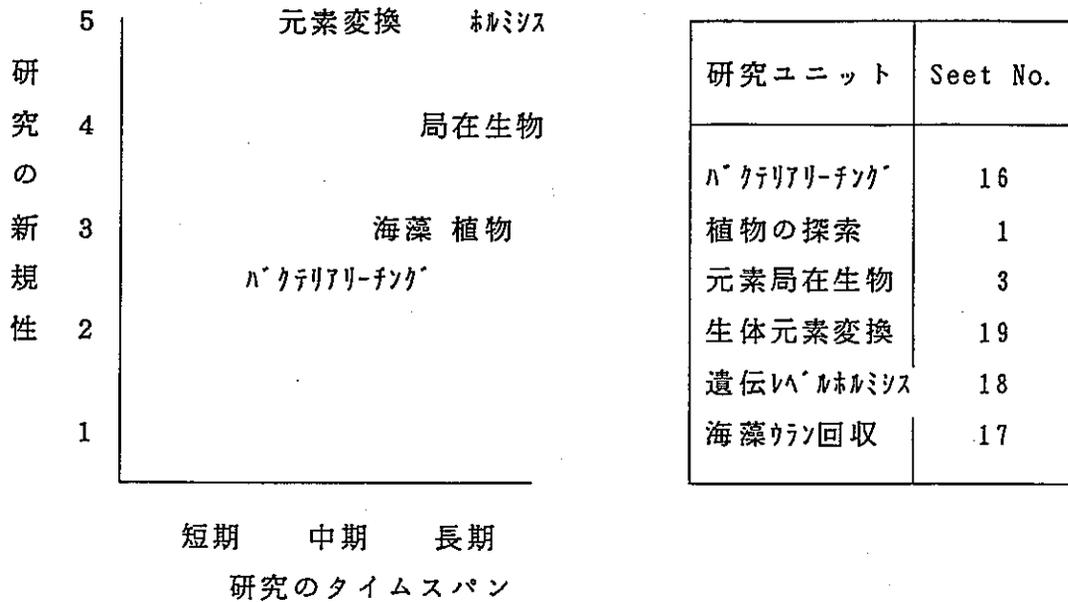


: 業務との関連性から検討してPNCが着手するのに望ましくないと考えられるのは、「遺伝情報レベルでのホルミシス解析」である。

: 保有技術との関連性から検討してPNCが着手するのに望ましくないと考えられるのは、「遺伝情報レベルでのホルミシス解析」である。

: バクテリアリーチングは既に人形峠において検討されているため、今回の検討からは除外して考える。

● 研究の新規性／研究のタイムスパン



：全ての研究ユニットは、中期的～長期的な研究期間を要する。
 中期的に成果が期待できるのは、「生体内元素変換」「細菌」である。

：研究の新規性という視点からは、「生体内元素変換」の評価が高い。

● 4つの評価指標から見た総合評価

4指標の総合評価を以下に示す。

4指標の総合評価

研究ユニット	保有技術から見た関連性	業務との関連性	研究の新規性	研究のタイムスパン	合計
細菌	5	5	3	中期的	13
生体内元素変換	4	3	5	中期的	12
元素局在生物	2	4	4	中長期的	10
高濃縮植物の探索	5	5	3	長期的	13
遺伝細菌	1	1	5	長期的	7
海藻タン回収	2	4	3	中長期的	11

IV. 研究ユニットの検討

3 研究ユニットに関する研究動向を整理し、研究テーマ及びその周辺に関する現状を展望し、今後想定される研究テーマ、研究の発展性、有用性に関して整理を行った。

バイオテクノロジーとの関連性について、研究に必要な要素技術の整理を行い、研究の取り組み方に関して、動燃として研究目標、研究スケジュールに関して検討を行った。

1. 放射性核種高濃縮植物の探索

1) 研究動向

シダ植物、ワラビ、ぜんまい等植物における金属濃縮の事例では、特定金属が濃縮されるメカニズム解明に関しては一切研究は行われていない。文献類として報告があるのは、T. Matubaraらによるシダ類の報告だけであるがこれらの文献においても濃縮のメカニズムに関しての言及は行われていない。

ここでの研究目的は、最終的に生物の放射性核種の濃縮能力を利用することであり、環境モニタリングにおける指標生物の採取とは研究スタンスが異なる。そのため第一歩としての実験材料としての高濃縮生物（特に植物）の探索であるため、高濃縮植物の収集を出発点とするものである。シダ類では同じ土壌で生育している他の植物に比べて、数百倍以上のウラニウムを特異的に摂取、濃縮し、数pCi/gのラジウムを蓄積するが、植物の中には他の各種についても高濃度に放射性核種を濃縮する種が存在する可能性がある。ここでの探索対象は、通常の植物に比較して数百倍～数千倍の濃縮能力を持つ植物を想定している。

2) 研究テーマ設定

研究テーマは以下の視点から設定される。各テーマについてその詳細を述べる。

<探索段階>

・放射性核種の分布と探索地域の照合

放射性各種の分布により、特定核種を濃縮する植物がそもそもどの地域に分布しやすいかの検討を付けることが可能かに関するF Sが必要である。

特定の各種が通常よりも多く分布する地域には特定の核種をより高濃度に集積する植物が存在する可能性が高い。逆に植物分布(種の分布)と特定核種の分布に相関が全く見られないことが立証された場合には探索地域のターゲティングは不可能ということになり、ランダムな植物の採取と濃縮の程度の分析を行う必要が出てくる。

・ウラン鉱山周辺における集中的な探索

ウラン鉱山周辺には、ウランを利用する植物が分布している可能性が高く、日本においても人形峠周辺などでの集中的な植物の採取と含有放射性核種の分析を行うことも高濃度放射性核種集積植物の探索の方法論の一つとして想定される。

・植物分類学的アプローチ

最もオーソドックスな方法論ではあるが、探索する植物分類学的な見地からターゲットしていくことで、金属濃縮を行っている植物自体の整理を行い、高濃度金属濃縮植物の種の特徴を割り出すアプローチ方法も想定できる。種による濃縮比の差異からどの種が濃縮比が高いかに関する予測が可能なデータを集積することが作業の第一フェーズとなる。

<機構解明段階>

・濃縮の特徴・濃縮器官の特定

金属濃縮がどのプロセスで行われているかの解析と金属の濃縮が特定の植物のどの器官で行われているかを特定することがこのテーマの目的である。根から吸収された金属が最終的に植物のどの部位で蓄積されるのかを測定する。

・濃縮メカニズムの分子論的解明

特定の金属が濃縮されるメカニズムを分子的に解明する。濃縮されている金属の化学種の特定、金属結合分子の有無の確認・分離・同定・構造決定を経て、分子レベルでの最終的な濃縮状態の把握を行う。分子レベルでの金属の追跡は、植物体外から根を通じて植物体内に吸収されるプロセスから、濃縮されてストックされるまでの全過程に関して実施されることが望ましい。

・濃縮メカニズムの遺伝学的解明

金属濃縮の遺伝的な特性を交配などの遺伝的手法を用いて解析する。これらの結果から特定金属の濃縮は、遺伝的にどのような形質であるのかが判断される。研究の対象となる植物が既に遺伝的な解析が進んでいる植物の場合には、研究は比較的容易に進展するが新種の植物である場合には遺伝的な特性を詳細に研究することは困難である。

・濃縮メカニズムの分子生物学的解明

金属結合分子など金属濃縮に関わる分子が特定できた段階で、分子生物学的な手法を用いることが可能となる。蛋白性の物質である場合には直接コードしている遺伝子のクローニングに着手することが可能であり、遺伝子の解析から対象としている分子の発現条件を推定することが可能となる。またクローニングした遺伝子の周辺の遺伝子を解析することにより、対象金属の濃縮にかかわる遺伝子群の解析が可能となり、金属濃縮プロセスに関する知見の拡大が期待できる。

- ・植物内金属代謝の総合的な検討

植物体内における特定放射線核種の代謝の全プロセスを検討する。金属の各器官や吸収時期ごとの代謝変化を追跡し、各プロセスで関与する分子の実際の吸収蓄積における役割を確認する。

<応用段階>

- ・濃縮メカニズムの強化

当該植物における濃縮メカニズムの強化を図る。具体的には突然変異誘発による手法と遺伝子工学的手法の2種類が想定される。

突然変異手法を用いる場合には突然変異を化学物質や放射線などにより誘発し、金属濃縮能力が高まった株を選別する。

遺伝子工学的な手法を用いる場合には、金属結合分子の遺伝子増幅を植物ゲノムに対して導入したり（ボンバーインジェクションなどを使用する）ホストベクター系が確立している場合にはそれを利用して結合分子の遺伝子増幅をかける。単分子の量的な強化で金属濃縮能が増加する場合には上記の方法で強化が可能であるが、金属濃縮のプロセスが複雑でひとつのシステム全体を強化することを検討することが必要である場合には別の方法をとることとなる。システムが関与する遺伝子の発現制御システムそのものを利用したプロモーター／リプレッサー系の改変などが想定されるひとつの方法である。

- ・濃縮メカニズムの他植物への移植

濃縮メカニズムを解明した後は、より繁殖力が強力な植物は他の種の植物への濃縮能力の移植を検討する。当初はペチュニアなどの既に他形質の導入が容易な種を利用することになるが、将来的には濃縮能力を利用するのに最も望ましい植物種への移植を検討することになる。

- ・濃縮メカニズムの効果的な応用方法の開発

濃縮能力を土中からの特定金属のリーチング方法としての利用を検討する。このために要求される条件を明確にすることが必要である。

3) 研究の有用性

当研究を行うことにより以下の有用性が期待できる。

- ・核兵器工場周辺での応用

近年、米国で問題となっている核兵器工場周辺における高放射能地域に対してその土地の条件にあった特定放射性核種濃縮植物を繁殖させる。土中における特定放射性核種は、刈り取られて乾燥の後、特殊な方法で焼却され、汚染地域における特定放射線核種は土中から回収されることとなる。

- ・原子力施設周辺での応用

これは上記、核兵器工場周辺と同様放射能汚染が拡大した地域における対処として想定されるものである（旧ソ連における状況を想定したもの）。極めて対象となる範囲が広範囲となるため、植物の利用方法は検討を要する。土中の特定金属の濃縮能力が強化されているといっても膨大な面積に一種類の植物で埋めることは不可能であるため、一定範囲の農地における土壤汚染の改善などに利用できるものと考えられる。刈り取りを行った後の処分は上記と同様である。

- ・必要資源のリーチング手法としての応用

ウラン高濃縮植物が実現した場合には、ウラン鉱山周辺での栽培による鉱山開発の影響の最小化などのへの応用が想定される。

4) 研究に必要な要素技術

- ・植物分類学的知識・知見

植物探索においては実際の植物分類学的な知見が必要となる。植物の採取などのフィールドワークにおいては不可欠の知識である。

- ・植物の金属代謝研究技術

金属が植物体内においてどのように代謝されるかについての知見ならびに研究手法が高濃度放射性核種濃縮植物の解析には必要である。

- ・金属の簡便な微量検出技術

実際にフィールドで採取した植物の濃縮能力を検査するには膨大な作業を必要とするが、スクリーニングの段階では簡便な手法を開発する必要がある。

- ・植物の遺伝子工学

植物の遺伝子工学は、濃縮メカニズムの解明、濃縮能力の移植などの場合に必要となる技術である。現在の遺伝子工学が適用可能な植物の範囲と実際に操作が必要な植物とが一致する場合は問題がないが、一致しない場合には、新規に操作系を開発する必要があるため、時間を要する。

- ・植物育種技術

採取に必要な特性の付与のためには植物育種技術が必要である。古典的な交配技術の他、細胞融合技術を利用した育種技術の導入も必要である。

- ・植物組織培養技術

確立した株の増殖、品種改良のための細胞融合時に必要となる。

- ・フィールド実験技術

特定の金属の濃縮能力の検定については、実験室レベルの水耕培養だけでなく、実際にフィールド実験を行う必要がある。そのための実験フィールドは特殊なフィールドであり、通常の農地等とは異なるためこれらの実験用地は場合によっては国外に求める必要があり、フィールド実験に伴う作業用の機械なども独自に開発する必要がある。

5) 研究目標と想定スケジュール

研究目標と研究期間は各段階ごとに以下のように想定される。

第1段階：特定核種の高濃縮植物の探索（～5年）

第2段階：濃縮メカニズムの解明（3年～5年）

第3段階：濃縮メカニズムの応用（3年～5年）

当初PNCが着手するのは、第1段階である。

2. 海藻によるウランの回収

1) 研究動向

バイオマスによる金属の回収は、バイオソルベントによる吸着と遊離からなるプロセスとして注目されている。一般的な金属の回収精製技術は、今日ほぼ完成の域に達しているが新規に用途開発されつつあるレアメタル特に希土類については用途開発に平行してそれに応じた回収精製方法を確立する必要があるとされている。水溶液中の金属の回収の目的に海藻類を用いた例は現段階では非常に少なく、Kuyucak&Voleskyの報文や矢杉らの報文によれば、海藻類には優れた金属吸着能力を示すものが多く、我国では生物資源的に期待できることから、研究の進展が望まれている。現在までのところ、バイオソープションで実用化されているのは、ミズーリー州の鉾山廃水からの鉛および亜鉛の除去の例があるが、実用化目標として最も高いの貴金属類を含むレアメタルである。

ウランに限定せず海藻利用による金属回収全般の技術開発の推進について言及する。

2) 研究テーマ設定

研究テーマ設定は以下の順に設定可能である。

<海藻の選択>

レアメタル・放射線核種を選択的、特異的に吸着する海藻のスクリーニングを行う。選択的な吸着能を持つ株の獲得を目指す。

<海藻の品種改良>

スクリーニングの結果、選択された株に対して吸着能を高めるための突然変異誘発を試みる。吸着能が高まった株に対しては、遺伝的な解析が可能な品種である場合にはマッピングを行い、遺伝子座の確定を行うことも検討課題である。

<吸着メカニズムの解明>

細胞表面における吸着メカニズムを解明する。具体的に吸着を担当している分子の同定、分子の生合成過程、分子の利用状況、分子の遺伝子的な同定・クローニング、金属吸着を行う生物的な合理性の解明などを目的とする。

<吸着メカニズムの利用>

吸着メカニズムの解明が終了した後の検討課題には以下のようなものが想定される。

・吸着担当分子の化学合成とのその利用

吸着担当分子だけを合成し、樹脂などに吸着させることにより既存のイオン交換樹脂よりも高性能な金属吸着材料を開発する。

・吸着能力を強化した海藻の育種

遺伝子工学的な手法を用いて吸着に関与する遺伝子の増幅を行い、吸着能力を強化する。

<スケールアップのための研究>

- ・ 実験室レベルでの金属吸着をパイロットプラントにまでスケールアップするための研究を行う。実際にプラントを稼働した場合のコスト試算やシステム上の問題点の把握を目的とする。

3) 研究の有用性

本研究の有用性は、次の3点である。

- ・ 金属の回収精製方法として海洋にほぼ無尽蔵の含有される金属を獲得できる。
- ・ 本研究の技術的なシーズは、方法論として貴金属、レアメタルなどの経済価値の高い金属の他、エネルギー・安全保障上重要な金属資源を国内調達できる技術的な手段を提供する。
- ・ 生物の繁殖力を利用した低コスト・無公害な金属の回収方法の開発を目的としている。

4) 研究に必要な要素技術

研究に必要な要素技術は以下の技術である。

- ・ 海藻の培養技術
海藻の実験系である以上、海藻の培養技術が必要である。
- ・ 海藻の育種技術
海藻の品種改良において必要となる。
- ・ 細胞表面分子の解析技術
海藻の細胞表面における金属吸着状態を解析する場合に必要となる。

5) PNCの研究目標と想定スケジュール

研究目標を段階的に設定し、必要と想定される期間を示す。

第1段階：海藻の選択（1年～2年）

第2段階：海藻の品種改良（2年～4年）

第3段階：吸着メカニズムの解明（3年）

第4段階：吸着メカニズムの利用（3年）

第5段階：スケールアップ研究（1年）

第2段階と第3段階は同時平行で研究可能である。

3. 生体内元素変換

1) 研究動向

研究動向は、「放射線防護等へのバイオテクノロジーの適用に関する調査研究(1)」においてレビューした以上の研究報告はない。

基本的には、世界でこの種の研究を行ったことがあるのは、牧野らと米国国防総省のみであるが彼らの研究も学会からは黙殺されている。

これらは基本的な検証手段としての精度に問題があるためであり、より厳密な実験条件のもとに実験を行えば、生体内元素変換の是非を確認することが可能である。

2) 研究テーマ設定

< 培養装置の開発 >

厳密な実験条件を実現するための培養装置を開発する。培養装置と資料のサンプリングにおける誤差を最小化するための工夫を行うことで生体内元素変換を検証するのに十分な精度を実現することも目指す。嫌気培養と好気培養の2種類の装置を開発する。

< 微生物の検討 >

微生物の種による差異の有無を検討する。

3) 研究の有用性

生体内元素変換の是非を確認し、常温下での核融合の可能性を生物という装置内において検討する。

4) 研究に必要な要素技術

研究に必要な要素技術は以下の2つである。

- ・ 厳密な培養装置を構成する技術
- ・ 元素定量技術（既にPNCは保有している）

5) PNCの研究目標と想定スケジュール

第1段階：厳密な条件を実現する培養装置の開発（2年）

第2段階：培養条件の検討（1年）

上記のように3年で実験結果がでる短期的な研究と考えることも可能であるが、仮に生体内で元素変換が起きていた場合にはさらに研究課題が蓄積する。

仮に生体内元素変換が起きていた場合以下の研究課題が想定される。

第3段階：細胞内における元素変換器官の同定

第4段階：生体内元素変換関与分子の同定

V. 研究体制の検討

1. 研究のスケジュール

3つの研究に関して同時平行的に研究に着手した場合の想定される研究スケジュールを以下の示す。生体内元素変換では比較的短期間に結果が期待できるが、海藻による金属吸着や高濃縮植物研究においては長期的な取り組みが必要となる。

研究スケジュール

年度	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
生体内元素変換	← 培養装置の開発 →		← 培養条件の検討 →		← (検証された場合) 変換器官の同定 →					
高濃度濃縮植物	← 特定核種の高濃縮植物の探索 →					← 濃縮メカニズムの解明 →				
海藻金属吸着	← 海藻の選択 →		← 海藻の品種改良 →			← 吸着メカニズムの解明 →			← 吸着メカニズムの利用 →	

2. 研究の実施体制

研究の実施体制について検討する。基本的にPNCにおいては生物関連の研究資源がないことを前提に外部調達・研究委託を想定した研究体制の構築を想定する。各研究ユニットごとに①国内関連研究者②必要な研究資源③想定される研究体制についてコメントを加える。

1) 生体元素変換

①国内関連研究者

現在この領域の研究者は、フランス国際大学小牧が生物実験を行っている他は、工業技術院の猪又が独自の理論の中で実験例を紹介しているに過ぎない。

②必要な研究資源

微生物培養技術が必要であるが、小牧らの実験では培養スケールは1リットル程度の規模で十分としているため、より条件を厳密にするための工夫が必要であるが想定しうる最も厳密な条件（微量の元素の定量のための培養槽）のための装置を組み立てたととしても1千万円程度の装置となるものと考えられる。

元素分析における主要な技術は既にPNCの既存の業務体系の中で保有されているために培養装置及び培養ノウハウの獲得のみで実施可能である。

必要となる研究員は1～2名程度である。

③研究体制の構築

研究体制として想定できるのは、生物関連の分析化学の研究室と実験装置及び実験条件に関してのアドバイスを受けることが必要である。

基本的にはPNC内で設備を持つことが必要である。

2) 海藻金属吸着

① 国内関連研究者

国内における研究者を示す。金属のバイオソープションによる回収の研究に関連する研究を行っているのは、以下の研究者のみである。

- ・秋田大学鉱山学部：藤田豊久教授のグループ
- ・宮城工業高専：矢澤・桑原グループ
- ・岡山大学農学部：田野教授グループ
- ・東京工業大学：古橋新太郎グループ
- ・宮崎大学：坂口教授グループ

この他生物の金属結合蛋白質に関して研究を行っているのは、東京大学農学部
の山崎教授のグループなどがある。

② 必要な研究資源

研究設備として必要なものは、海藻の培養装置、海藻の品種を冷凍保存する設備の他、通常の生物系の実験室規模の空間が必要である。

求められる研究員の資質としては、分子生物学関係の経験を持つ研究者が望ましい。

③ 研究体制の構築

a. 海藻の選択

海藻を取り扱った経験のある研究者とのジョイントが望ましい。

海藻の培養と金属吸着を定量化するための方法論を獲得するためには、既存にこの種の研究を行っている宮崎大学の坂口教授のグループと研究協力することで実験系の早期立ち上げが可能である。

金属に対するバイオソルベントとして藻類を考える場合に、その分類は学者によって異なるが、約2万種（地球上の全植物が約35万種）が10ほどの門に分けられており、その多くが重金属吸着能を持つことから海藻の選択には既存の文献の知見を活用するにしても、追試も必要であるため膨大な作業を必要とする。

このため、吸着能力の高い藻類をスクリーニングする過程においては、PNC内における通常のモニタリング業務に支障のでない範囲での活動といった取り組みではなく、「海水からの金属回収」のみを目的とした専門のグループによる組織的な対応が必要となるものと考えられる。

b. 海藻の品種改良

海藻の品種改良自体のノウハウは、各県の水産試験場が育種技術を保有しており、品種自体の選択に関しては水産試験場などとの共同研究を想定することが妥当である。藻類の品種改良技術自体は、水産庁系の研究機関との共同研究が最も適切であると考えられる。

c. 吸着メカニズムの解明

吸着メカニズムの解明に関しては分子生物学的な手法を利用する必要があるため、金属結合蛋白質のクローニングの経験がある研究者との共同研究が望まれる。金属結合分子の分離・精製・同定・構造決定・クローニング・メカニズム解明のための高度な生化学的な手法の開発などにおける分析機器の利用では高度な経験が要求されるため、元素分析の技術と分子生物学的な手法の両者が必要な研究となる。

メカニズム解明は、基本的に研究全体を委託研究として実施することが必要であり、東京大学農学部山崎教授グループなどに代表される分子生物学的な手法と金属分析の手法を持つ研究室が委託先として適切である。

d. 吸着メカニズムの利用

吸着メカニズムの利用においては、実際のパイロットプラントを構築することが必要であり、海水からの金属吸着プラントは鉱業会社と共同で開発することが望まれる。バイオソープションは極めて汎用性の高い技術であり、金属ごとの特徴があるものの、基本的な技術の構成は同じであることから鉱業会社のインセンティブは強いものと考えられる。

既にバイオソープションの対象として報告されているものとしては、重金属陽イオン（銅、亜鉛など）、貴金属錯イオン（金、銀、白金等）、核燃料金属（ウラン、トリチウム）、環境汚染金属（水銀、砒素、鉛、カドミウム、クロム等）、アルカリ土類金属、レアメタル、モリブデン、セレン、レアアースなどがある。

したがって、産業上の応用範囲は極めて広く、幅広く産業界との連携が可能な分野となっている。安全保障上重要な金属の自給、環境保全、重金属による環境汚染の防止などバイオソープションの利用価値は高く、基盤技術として捉えられるべき範疇に属する。したがって金属精錬関連企業との共同研究などを広範囲な共同研究ニーズがあるものと想定され、共同研究に至らない場合でも研究への協力をとりつけることは可能であり、研究体制の構築においては十分に企業の協力をとりつけることが重要である。

3) 高濃度濃縮植物

① 国内関連研究者

既に指標生物となっている植物に関しては知られており、それ以外の植物に関して専門に研究している研究者は少ない。

したがって、既知の高濃縮植物の解析を行う研究者はいても、未知の高濃縮植物の探索を行っている研究機関、研究者は見受けられない。

② 必要な研究資源

研究投資の大部分は植物の採取に向けられるため、必要となるのは新規の高濃縮植物を探索するための人的なコストである。採取してきた植物に対しての濃縮の程度を検出するための技術は既にPNCは保有していることからいかに求める植物が得られるまで植物の採取を続行できるか否かという問題となる。

③ 研究体制の構築

基本的にPNC内部で研究体制を構築することが妥当であるが、研究体制の構築にあたっては、以下の点に留意することが必要である。

- ・ 通常のモニタリング業務との位置づけの明確化
- ・ 他のモニタリング業務を実施している機関との連携