



放射線防護技術の概要

4. 環境監視技術

安全部

資料番号: 81-5

Overview on Development of Radiation Protection Technology

4. Development of Technology on Environmental Monitoring

(Safety Division)

動燃事業団は、核燃料サイクルの全分野における幅広い開発業務を行っており、放射性物質を取り扱う施設も多岐にわたっている。これらの開発業務に伴い施設から環境へ放出される放射性物質は、放出源において放出基準値を下回っていることを確認している。このため、環境安全上問題となることはないが、一層の安全確保のため、各事業所周辺において定常的な環境監視を実施している。

本稿では、主に東海事業所における環境監視の考え方、監視計画、環境放射線の測定、環境放射能の分析・測定、施設周辺公衆の線量当量評価および環境放射能安全研究の概要について述べる。

4.1 はじめに

動燃事業団は、核燃料サイクルの全分野にわたる幅広い開発業務を行っており、放射性物質を取り扱う施設も多岐にわたっている。各施設から環境へ放出される放射性物質は、放出源において放出基準値を下回っていることを確認しており、環境安全上問題となることはないが、一層の安全確認のため、各事業所周辺において定常的な環境監視を実施している。また、環境監視技術の高度化等を目的として、放射性物質の環境中での挙動、移行パラメータ等に関する環境放射能安全研究を実施している。

各事業所の環境監視計画は、各事業所毎に施設からの放射性物質の放出量、種類等を考慮して定められている。特に、東海事業所は再処理施設を有しており、その潜在的環境影響を評価する観点から、幅広い視点で定常的環境監視および環境放射能安全研究が実施されている。本稿では東海事業所における環境モニタリングの現状、研究開発の状況を中心として、事業団における環境監視技術の概要を述べる。

4.2 環境監視の考え方および監視計画

環境監視の目標は、「環境放射線モニタリングに

関する指針」¹⁾(平成元年3月：原子力安全委員会)において、「モニタリングの基本目標は原子力施設周辺公衆の健康と安全を守るため、環境における原子力施設起因の放射線による公衆の線量当量が、年線量当量限度を十分下回っていることを確認することにある。」とされ、この目標は具体的には、以下の3項目に要約されるとされている。

- ① 公衆の線量当量を推定、評価すること。
- ② 環境における放射性物質の蓄積状況を把握すること。
- ③ 原子力施設からの予期しない放射性物質の放出による周辺環境への影響の評価に資するとともに、平常時のモニタリングを強化するか否かの判断に資すること。

事業団の行っている環境監視計画についても、この指針等を参考とし各施設の特徴を考慮して策定したものである。

施設から環境中へ放出された放射性物質は、大気および海洋環境中で拡散し、最終的には人に対し放射線被ばくをもたらし得ることが考えられる。

大気中へ放出された放射性物質の人への被ばく経路は、図4-1に示すように直接放射線による外部被ばく、吸入および経口摂取による内部被ばくが主

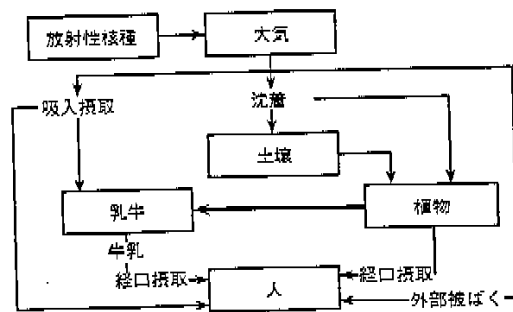


図 4-1 東海再処理施設の被ばく評価において考慮した陸上経路

な経路である。

東海事業所においては、直接放射線については、空間線量率および積算線量を、吸入については大気浮遊塵を、経口摂取については精米、牛乳、野菜、飲料水を、採取、測定する他、長期的変動傾向を把握する観点から土壌等の採取、測定を実施している。

海洋へ放出された放射性物質に起因する被ばく経路としては、海産物摂取による内部被ばくおよび海浜利用に伴う海岸砂からの外部被ばく、漁業活動に伴う漁網、船体等からの外部被ばくが考えられる。この被ばく経路の概念図を図 4-2 に示す。

東海事業所においては、再処理施設からの処理済廃液の海洋放出の影響を調査するため、これら経路に係わる環境試料を採取、測定している。海産物については、東海村周辺の海産物消費実態調査等を基に、シラス、成魚（カレイ、ヒラメ）、海藻および貝を採取、測定するとともに、海岸砂、漁網および船体については表面線量を測定している。また、短期的および長期的な変動傾向を把握する観点から海水、海岸水および海底土を採取、測定している。

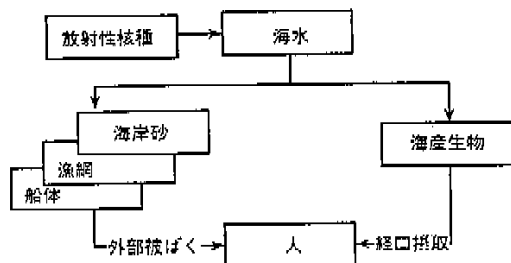


図 4-2 東海再処理施設の被ばく評価において考慮した海洋経路

4.3 環境放射線の測定

環境放射線の測定には、主にモニタリングステーションおよびモニタリングポスト等の固定観測局による線量率の連続測定、TLD（モニタリングポイント）を用いた積算線量の測定、放射線測定装置を積載した車両（モニタリング車）による移動測定等がある。

モニタリングステーションは、低線量率の空間γ線を測定するNaI(Tl)検出器、緊急時を想定した高線量率の空間γ線を測定する高圧電離箱検出器、ダストサンプラ等放射線モニタリング用機器の外、雨量計等の気象要素の測定機器を具備した野外測定設備である。モニタリングポストは、低線量率の空間γ線を測定するNaI(Tl)検出器、緊急時を想定した高線量率の空間γ線を測定する高圧電離箱検出器を有する野外測定設備である。

東海事業所では、モニタリングステーションを周辺監視区域内に2基、周辺監視区域外に3基設置し、モニタリングポストを周辺監視区域境界に7基、モニタリングポイントを周辺監視区域内および周辺監視区域外にそれぞれ15地点および25地点設置している。モニタリングステーションおよびモニタリングポストの固定観測局で連続的に測定した空間γ線線量率は、事業所内の環境監視テレメータ設備により自動的に収集処理している。

環境監視テレメータ設備については、現在では計算機によるデータの自動収集、処理が一般的であるが、東海事業所で自動化を計画した昭和48年当時は、大掛かりな自動監視設備の実現にはリスクを伴った。このため、当時最新機種であった汎用中型計算機（主記憶容量：128kB後に256kB）に工程監視用として実績のあった小型計算機をチャンネル接続することにより要求を満たし、昭和50年に運用を開始した。現在運用中の環境監視テレメータ設備は、図 4-3 に示すとおりである。データ収集項目は約80項目であり、周辺監視区域外のモニタリングステーションについては、NTTのD-1特定回線を通じて1分ごとにデータを収集、処理し、周辺監視区域内のモニタリングステーション・ポスト、気象観測設備等については、光通信ケーブルを通じて1分ごとにデータを収集、処理している。保存データは、10分値とし、小型計算機(IBM series 1)に一時保管した後、中型計算機(IBM 9375)に転送し、解析、保存している。運用形態は、小型計算機は24時間無停止運転、中型計算機はバッチ・モードでの運転である。

排気モニタ測定値および気象観測データが自動的に収集できることから、大気中放射性物質の拡散シ

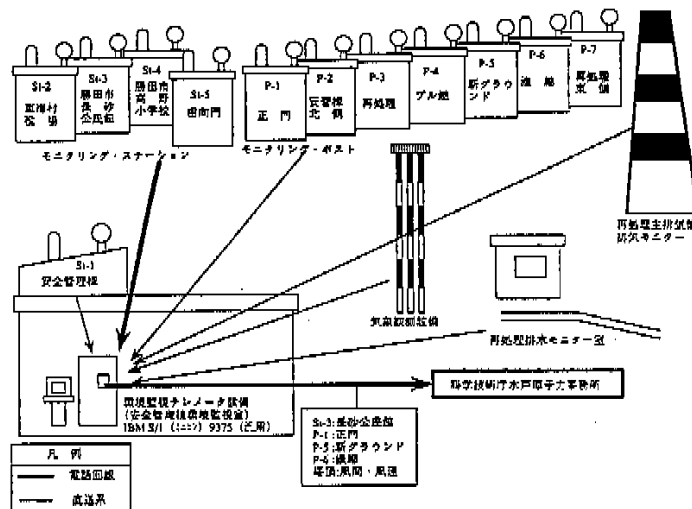


図4-3 東海事業所環境監視テレメータ設備

ミュレーションを行い、結果をグラフィック表示できる DIAMOND システムを開発している。DIAMOND は、以下の機能を有している。

- ① 大気拡散計算
ガウスブルームモデルにより大気中濃度を計算する。
- ② 放射性雲に起因する線量当量評価
ガウスブルーム拡散モデルを用い、点減衰核種分法により ^{85}Kr による外部被ばく経路の線量当量を計算する。
- ③ 沈着放射能濃度の評価
乾性沈着および降水洗浄を考慮した地表面沈着量を計算する。
- ④ 呼吸摂取による線量当量評価
年令別の吸入摂取による線量当量を計算する。
- ⑤ 汚染した地表面からの外部被ばく評価
汚染地表面からの外部被ばく経路による線量当量を計算する。

図4-4にDIAMONDによるシミュレーションの一例を示す。

4.4 環境放射能分析・測定技術

事業団の各事業所においては、被ばく経路、各施設から放出される放射性物質の種類および量、施設周辺の環境条件等を考慮し、対象試料、対象核種、採取場所等を設定し、定常的な環境放射能の分析、測定を実施している。

東海事業所においては、陸上環境試料として、浮遊塵、大気中水分、雨水、降下塵、飲料水、葉菜、

精米、牛乳、表土、河川水および河底土、また海洋環境試料として、海水、海岸水、海底土および海産生物と広範な試料を採取、測定している。分析対象核種は、 ^3H 、 ^{14}C 、 ^{90}Sr 、 ^{137}Cs 、 $^{239,240}\text{Pu}$ 等の比較的半減期の長い核種である。

定常モニタリングにより得られた測定結果は、国、県等に定期的に報告するとともに、放射性物質の環境移行等の挙動調査の基礎資料としている。海洋監視における海水、海産物および海岸砂中の放射性物質濃度測定結果からは、海産物への濃縮係数、海岸砂の汚染係数を算出し、施設周辺の環境条件を考慮した線量当量評価に係わるパラメータとして、

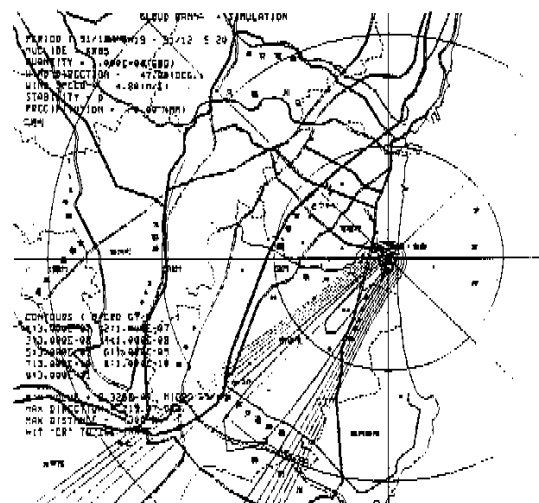


図4-4 DIAMONDによるシミュレーションの一例

再処理施設の安全審査等に反映している。

定常的な環境監視に係わる環境放射能分析・測定技術については、国が定める各種環境試料中放射能分析の標準マニュアルである科学技術庁分析マニュアルに、事業団が開発した分析手法が多数採用されており、特に環境試料中プルトニウム分析法については、ほぼ全面的に反映されている。

一方、環境中での放射性物質の挙動調査の観点から、環境放射能分析・測定技術の高度化について研究、開発してきている。

^3H については、大気中に存在する水分状 ^3H (HTO)およびガス状 ^3H (HT)を弁別採取する大気中 ^3H サンブラを開発し、大気中のこれらの ^3H の水準を調査するとともに、環境中での変動傾向を調査してきた。現在では、大気中 ^3H 調査に合わせ、土壌水分中および植物中 ^3H の分析法を検討し、陸上環境中での ^3H の動態について調査している²⁾。図4-5に大気中HTOおよびHT濃度の経年変化を示す。なお、開発した大気中 ^3H サンブラは、日本原子力研究所、青森県等でも採用されている。

^{14}C については、炭素含有量が多く日本人の主食である精米を中心に大気、葉菜、牛乳中の ^{14}C 分析法を開発してきた。分析法としては、試料中の ^{14}C を炭素吸収剤(カーボソープ)に吸収させ液体シンチレーションカウンタ(以下LSCと略記)で定量する迅速分析法および試料中の ^{14}C をベンゼンに合成しLSCで定量する精密分析法を開発し、原子力施設周辺環境の ^{14}C 環境手法を確立した³⁾。現在の ^{14}C 濃度は、これらの方法により大気、精米、葉菜、牛乳ともに、比放射能で約16dpm/g炭素であることを確認している。

アクチニド核種および核分裂生成核種の分析法の開発については、長半減期核種であり、核分裂収率の高い核種に着目し、アクチニド核種としては、プルトニウム同位体である ^{241}Pu 、 ^{242}Pu の娘核種であ

る ^{241}Am および ^{241}Am の娘核種であり放射性廃棄物の処理・処分に係る環境影響評価の観点から注目されている ^{237}Np を対象とし、核分裂生成核種については、 ^{99}Tc 、 ^{129}I および希土類元素に属する ^{147}Pm 、 ^{151}Sm を対象に開発を進めている。

図4-6に、東海沿岸海域において採取した海藻(ワカメ、カジメ等の褐藻)中 $^{239,240}\text{Pu}$ 濃度の1977年から1990年までの経年変化を示す。濃度は、大気圏内核実験によるフォールアウト・レベルにあり、徐々に減少傾向にあることがわかる。その他の核種についても、同様の傾向が見られる。このことは、東海再処理施設からの処理済廃液の海洋放出による環境への長期的影響がないことを示している。

^{241}Pu については、 $^{239,240}\text{Pu}$ 分析法を用いプルトニウム同位体として精製した後、LSCで定量する分析法を開発し、環境中での濃度レベルを把握するとともに、 $^{241}\text{Pu}/^{239,240}\text{Pu}$ 放射能比が約3～4であることを確認した⁴⁾。

^{241}Am については、鉍酸-メタノール系陰イオン交換法により精製し、Si-SSDで定量する $^{239,240}\text{Pu}$ との系統分析法を開発し、環境中での挙動および濃縮係数等の線量当量評価に係わるパラメータについて調査している^{5),6),7)}。

^{237}Np および ^{99}Tc については、環境中の濃度が非常に低レベルであることから、放射能測定に代えて、近年注目されている誘導結合プラズマ質量分析法(ICP-MS)による定量法を検討し、各種環境試料中の濃度レベルを調査中である⁸⁾。

^{129}I については、環境中での挙動が複雑であり、また長半減期核種であることから、その環境中での挙動を把握することが重要とされてきた。このことから、環境中の ^{129}I を中性子放射化分析法を用い定量する分析法を開発し、土壌等の濃度レベルを把握するとともに、大気経路に起因する沈着速度、葉菜等への移行係数等の線量当量評価に係わるパラメー

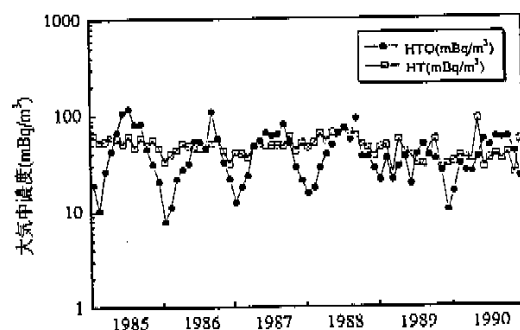


図4-5 大気中HTOおよびHT濃度の経年変化

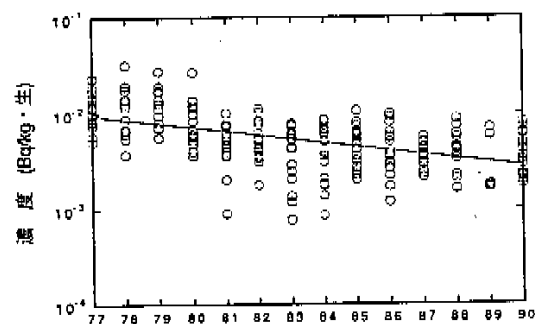


図4-6 海藻中 $^{239,240}\text{Pu}$ 濃度の経年変化

タを調査している^{90,10)}。

^{147}Pm および ^{151}Sm については、純 β 線放出核種であり、かつ希土類元素に属していることから定量が困難とされていたが、 ^{241}Am 分析法を応用し、希土類元素として精製した後、高速液体クロマトグラフ装置を用いることにより希土類元素を単離し、LSCで定量する分析法を開発した^{11,12)}。

人形峠事業所においては、天然放射能である環境中ラドン濃度の測定および評価手法の確立を目的とした研究開発を行っている。

4.5 周辺公衆の線量当量評価

再処理施設からの放射性核種の放出に起因する一般公衆に対する線量当量は、環境監視の実測値をもとに算出することを原則としているが、環境監視結果から施設の寄与を弁別することができない場合は、放出記録および気象観測データに基づき年間の線量当量を算出することとしている。しかし、これまでの環境監視の経験によると、施設寄与を弁別して評価することは困難であることから、公衆の線量当量評価は、放出記録等をもとに計算により評価している。

気体廃棄物に起因する線量当量の評価は、放射性雲からの外部被ばく、吸入摂取による内部被ばくおよび農・畜産物摂取による内部被ばくの各被ばく経路ごとに評価している。液体廃棄物に起因する実効線量当量は、海産物摂取による内部被ばく、漁業活動および海浜利用による外部被ばくについて評価している。

東海事業所では、これまで再処理施設の平常運転に係わる線量当量評価の目的から開発・整備した計算コードを用いて線量当量を算出している。放射性雲からの外部被ばくについてはKR85G¹³⁾を、吸入摂取および農・畜産物摂取による内部被ばくならびに地表沈着による外部被ばくについてはORION-II¹⁴⁾を、海産物摂取による内部被ばくおよび漁業活動ならびに海浜利用による外部被ばくについては、CORALを用いている。これらの計算コードの概要は以下のとおりである。

① KR85G

KR85Gは、再処理施設の平常運転に伴い、排気筒から放出される ^{85}Kr の放射性雲からのガンマ線に起因する線量当量の算出に用いる計算コードとして開発したものである。計算方法は、「発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に対する評価指針」に準じており、点減衰核積分法により計算した空気吸収線量率に基づき計算点への各方位の寄与を合算し、年間の線量

当量を算出する。

② ORION-II

ORION-IIは、核燃料サイクル施設の平常運転に伴い、大気中に放出される放射性物質の空气中濃度、地表面沈着濃度、食物中濃度および一般公衆の線量当量を評価するために開発した計算コードである。

放射性物質の大気中における拡散は、ガウス型拡散式を基本として計算し、拡散過程における減衰補正としては、重力沈降、乾性沈着、降水洗浄および放射性崩壊を考慮している。線量当量は、公衆個人の線量として与えられ、内部被ばく経路として、吸入および経口摂取による線量当量を、外部被ばく経路として、浸漬線量および地表面沈着からの外部被ばくによる線量当量を計算する。

③ CORAL

CORALは、再処理施設の平常運転に伴い、再処理施設から海洋へ放出される放射性物質に起因する一般公衆の外部および内部被ばくによる線量当量を算出、評価するために開発した計算コードである。

液体廃棄物の放出後の海洋における拡散、海産物への移行、漁具等への移行等を考慮して、線量当量を算出、評価する。

これらの計算コードを用い、再処理施設からの放出源情報および気象情報等から算出した実効線量当量算出結果の経年変化を図4-7に示す。実効線量当量は、 $1\mu\text{Sv/y}$ 未満であり法令で定める周辺監視区域外の実効線量当量限度(1mSv/y)の1,000分の1未満であった¹⁵⁾。

4.8 環境放射能安全研究

環境放射能安全研究は、昭和52年度以来、原子力

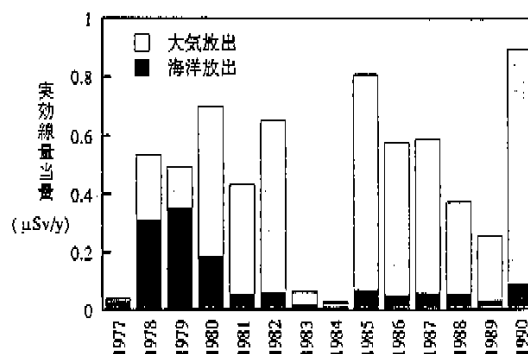


図4-7 東海再処理施設からの放射性核種放出による実効線量当量評価結果

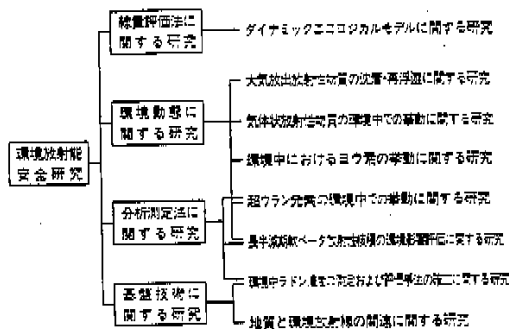


図4-8 動燃における環境放射能安全研究体系図

安全委員会環境放射能安全研究専門部会が策定した「環境放射能安全研究年次計画」に基づき、今後の原子力開発利用の拡大と多様化に対応し、原子力に対する国民の関心の高まりを背景として、国民の健康の確保、環境の保全等安全の確保に関する技術および知見のより一層の充実を図るとともに各種指針等の整備や安全審査に当たっての判断資料となるデータの蓄積に資することを目的として推進されている¹⁶⁾。

動燃事業団が現在実施している環境放射能安全研究の研究体系を図4-8に示す。研究体系は、線量評価法に関する研究、環境動態に関する研究、分析測定法に関する研究、基盤技術に関する研究の4つに大別される。各々の研究内容の概要を以下に示す。

- ① ダイナミックエコロジカルモデルに関する研究については、事故時の放射性物質の拡散、移行、蓄積を現実的に評価するため、事故発生時の時期（時間的）、生物学的および地域的変動を評価するパラメータを用いたダイナミックなモデルを構築するとともに、モデルの評価精度を左右する移行パラメータについて、わが国固有データを入手するための調査を行っている。
- ② 大気放出放射性物質の沈着・再浮遊に関する研究については、大気中に放出された粒子状放射性物質の粒度分布等を測定評価し気象要因等により再浮遊する機構を解明するとともに、乾性沈着および湿性沈着を評価し放射性物質沈着・再浮遊に関する機構を解明することを目的としている。
- ③ 気体放射性物質の環境中での挙動に関する研究については、大気、植物および土壌中 ^3H 濃度変化から、環境中での変動要因を評価すると同時に、ガス状 ^3H の環境中での挙動を解析するとともに、 ^{14}C について環境試料の精密測定法

を確立し、線量当量評価に係わるパラメータを評価する等の研究を行っている。

- ④ 環境におけるヨウ素の挙動に関する研究については、耕作土、葉菜等について ^{129}I 濃度レベルを調査するとともに、環境中での移行に係わるパラメータについて検討している。
- ⑤ 超ウラン元素の環境中での挙動に関する研究については、大気、土壌、農作物等の極低レベルPu, Am濃度を把握するための分析技術の高度化を行うとともに、 ^{237}Np 等の分析技術を開発している。
- ⑥ 長半減期ベータ放射性核種の環境影響評価に関する研究については、長半減期ベータ核種である ^{99}Tc , ^{147}Pm 等について、各種環境試料の分析手法の確立に努め、これらの核種の環境中での挙動を調査している。
- ⑦ 環境中ラドン濃度の測定および評価手法の確立に関する研究については、環境中ラドン濃度測定データの比較検証のために、ラドン濃度基準校正場を開発し、校正手法を確立することを目的としている。また、大気中のラドン濃度、地面からのラドン湧出率および気象観測データを組み合わせた拡散評価法を確立するとともに、ラドン娘核種濃度および娘核種粒径分布を測定し、線量当量の評価についても検討している。
- ⑧ 地質と環境放射線の関連に関する研究については、既存の車載型放射線測定装置（カーボン）による全国踏査データを基に、 γ 線測定データと地質との相関を調査するためのデータベースを作成することを目的としている。

（東海事業所安全管理部 住谷秀一、岡田好宏、飛田和則、篠原邦彦）

参考文献

- 1) 「環境放射線モニタリングに関する指針」, 原子力安全の日会（平成元年3月）
- 2) 片桐裕美, 渡辺 均, 住谷秀一, 成田 伸, 「環境中でのトリチウムの動態について」, 第30回環境放射能調査研究成果論文集（昭和62年度）, 昭和63年11月
- 3) 渡辺均, 片桐裕美, 篠原邦彦, 「環境試料中炭素-14分析およびそのレベル」, 日本保健物理学会第26回研究発表会要旨集, 平成3年5月
- 4) 住谷秀一, 林 直美, 片桐裕美, 成田 伸, 「環境試料中の ^{210}Po 測定法の開発」, 動燃技報 No.66, 1986年6月
- 5) N.Hayashi, J.Ishida, A.Yamato, M.Iwai, and M.Kinoshita, "Determination of ^{238}Pu and ^{241}Am in Environmental Samples", J.Radiation Nuclear Chem. Vol.115, No.2 (1987) 369-376
- 6) N.Hayashi, H.Katagiri, O.Narita, and M.Kinoshita, "Concentration Factors of Plutonium and Americium for Marine Products", J.Radiation Nuclear Chem. Vol.138, No.2 (1990) 331-336
- 7) N.Hayashi, Y.Maruo, H.Katagiri, and K.Shinohara, "Study on the Behavior Radionuclides in Marine Environment under the Monitoring Program of the Tokai Reprocessing Plant" 3rd Int.Conf.on Nuclear Fuel Processing and Waste Management (RECORD '91 Apr.1991)
- 8) 森田重光, 清水武彦, 篠原邦彦, 松井武行, 「誘導結合アークスペクトル分析法を用いた長半減期放射性核種の定量」, 第33回環境放射能調査研究成果論文集（平成2年度）, 平成3年11月

- 9) H.Katagiri, O.Narita, A.Yamato and M.Kinoshita "Low Level Measurements of ^{129}I in Environmental Samples", J. Radioanal. Nuclear Chem. Vol.138, No.1 (1990) 187-192
- 10) 篠原邦彦、「線量当量評価に用いる環境・バイオモニタ設定の一例について」, 動燃技報No.77, 1991年3月
- 11) 住谷秀一、「環境試料中Pm-147およびSm-151分析法の開発」, 第33回環境放射能調査研究成果発表録集(平成5年度), 平成2年11月
- 12) S.Samiya, N.Ikayoshi, H.Katagiri and O.Narita, "A Radiosanalytical Method for Samarium-151 and Promethium-147 in Environmental Samples", PNC TN843091-001, (1990年12月)
- 13) 北原義久, 成田 脩, 浅野智宏, 石本洋一郎, 龍口 清, 「再処理工場の平常運転に伴い大気放出される ^{85}Kr に起因するクラウド・ガンマ線ばく露量計算プログラム: KR85G」, PNC TN841-81-44, 1981年8月
- 14) 篠原邦彦, 浅野智宏, 成田 脩, 「ORION-II: 原子力施設からの放射性物質の大気放出に起因する環境中濃度およびばく露量を評価するための計算コード」, PNC TN8410 87-17, 1987年5月
- 15) K.Shinohara and T.Asano, "Environmental Dose Assessment for Low-Level Radioactive Effluents Discharged from Tokai Reprocessing Plant", Health Physics 62 (1), p.58-p.64 (1992)
- 16) 原子力安全委員会環境放射能安全研究専門部会, 「環境放射能安全研究年次計画(平成3年度~平成7年度)」, 原子力安全委員会月報9号, 通巻第144号