



# 日本原子力学会誌

## Journal of the Atomic Energy Society of Japan

### 目次

研究アレルギー..... 初代会長 茅 誠 司 59(1)

創立10周年記念特集 わが国原子力研究10年の歩み ..... 61(3)

#### 研究論文

海水中のウランの採取, (II)

海水ウラン採取のための吸着剤.....尾方 昇, 垣花 秀 武 82(24)

高速増殖炉における Th-U-Pu 系のサイクル, (I)

.....早坂 秀 雄, 武田 征 一 87(29)

#### 総説

原子炉材料のスエリングとヘリウム損傷.....三島 良 績, 石野 榮 96(38)

#### 講演

Los Alamos 研究所におけるロケット用原子炉 ROVER 開発計画

..... J.D. Orndoff 106(48)

連載講座 II. わが国の動力炉開発, (その2)

天然ウランガス冷却炉.....新井 義 男 111(53)

談話室 ウラン濃縮に関する国際シンポジウムに出席して。(東 邦夫) ...120(62)  
ノボシビルスク核融合会議。(田中正俊)

◇新刊紹介◇「Seismic Methods for Monitoring Underground Explosions」,  
「Design of Nuclear Plants」, 「欧文誌」Vol. 6, No. 2 目次 .....124(66)

正誤表(Vol.10, No.12) 125(67)

会報 (10周年祝賀会記事(前付), 行事予定, 「昭和44年々会」, エンクロージャ, 炭チ  
ッ化系核燃料, 原子力推進の各研究専門委, 同位体分離特別専門委の新設, 炉中  
性子研究専門委の延長, 各専門委報告, 中部支部創立総会, H. ビアティエ氏講  
演会, 交換教授講演会, 編集後記, 主要会務, 他。(後付)「44年々会」プログラム) ...126(68)

1969年2月

# NIHON-GENSHIRYOKU-GAKKAI SHI

(Journal of the Atomic Energy Society of Japan)

## 編集委員

(○印は43,44年度)

### 委員長

西原 宏 (京大)

### 理事

○黒田 義輝 (東海大)

田中 浩 (古河電工)

○百田 光雄 (原研)

### 委員

青地 哲男 (原研)

秋元 勇巳 (三菱金属)

○石野 稜 (東大)

天野 恕 (原研)

石森 達二郎 (立教大)

○今井 隆吉 (原電)

○上野 馨 (原研)

遠藤 雄三 (電中研)

○大松 沢恭一 (東電)

菊池 武雄 (原研)

木村 幹 (教育大)

○近藤 達男 (原研)

近藤 正春 (都立大)

佐伯 誠道 (放医研)

○清水 彰直 (NAIG)

○清水 正巳 (昭和電工)

杉本 栄三 (原研)

鈴木 頼三 (動燃)

高田 田良夫 (鉛研)

田上 上嵩 (日立)

○田中 義久 (川崎重工)

能沢 正雄 (原研)

野沢 豊吉 (東工大)

○橋本 好一 (動燃)

○長谷川 賢一 (東大)

藤村 理人 (原研)

山岡 義人 (原研)

### 《学会事務局》

東京都港区新橋一丁目1番13号

(郵便番号 105) (東電旧館41号室)

日本原子力研究所内

Tel.(03)591-5481~9 (内線59)

(直通591-1927)

(関西支部)

大阪市西区靱1-118

大阪科学技術センター内

Tel. (06) 441-3682

Vol. 11, No. 2 (February 1969)

## CONTENTS

Collected Papers covering Ten Years of Progress  
of Nuclear Research in Japan..... 61(3)

### Original Papers

Collection of Uranium in Sea Water, (II)  
Adsorbents for Uptake of Uranium in Sea Water  
..... Noboru OGATA, Hidetake KAKIHANA... 82(24)

Cycle of Th-U-Pu System on Fast Breeder, (I)  
..... Hideo HAYASAKA, Seiiti TAKEDA... 87(29)

### Review

Swelling and Helium Damage in Reactor Materials  
..... Yoshitsugu MISHIMA, Shiori ISHINO... 96(38)

### Lecture

The Los Alamos ROVER Reactor Program  
..... J. D. ORNDOFF...106(48)

### Serial Articles

Development of Power Reactors in Japan, (2)  
Natural Uranium Gas Cooled Reactor  
..... Yoshio ARAI...111(53)

Book Reviews .....124(66)

Errata(Vol. 10, No. 12)...125(67)

Monthly Published by

Atomic Energy Society of Japan

c/o Japan Atomic Energy Research Institute

No.1-13, 1-chome, Shimbashi, Minato-ku, Tokyo, JAPAN.

# 創立10周年記念祝賀会

1969年2月15日 第1ホテル (天平の間)

## 日本原子力学会 10周年記念祝賀会

来賓席



大屋氏

竹中氏

江上氏

木内氏

水科氏

(祝辞全文は別掲してあります)



挨拶する大山会長

初めてお揃いの歴代4会長



(3代) 瀬藤象二氏

(初代) 茅 誠司氏

(4代) 一本松珠璣氏

(2代) 菊池正士氏

祝賀パーティー (オリンピア)



第1回 日本原子力学会賞の贈呈



副賞のZr製メダル  
製作：日建金属工業(株)  
素材：日本鉱業(株)

大山会長を囲んで受賞者一同



佐野氏



清水氏

井本氏

大塚氏

斎藤氏

会長

石森氏

青地氏

内田氏

山田氏

鶴飼氏

テーブルスピーチ



井上動燃理事長



矢木設立発起人



松前東海大学長



社団法人 日本原子力学会  
創立 10 周年記念祝賀会

と き 1969年2月15日(土) 13:30~16:30

と ころ 第一ホテル

○ 祝賀会 (13:30~15:00) (新館1階 弥生天平の間)

- (司会 実行委員 浅田忠一)  
実行委員長 向 坊 隆  
会 長 大 山 松次郎
1. 開会の辞
2. 挨拶
3. 来賓祝辞
- |  |                          |             |
|--|--------------------------|-------------|
|  | 文 部 大 臣                  | 坂 田 道 太 殿   |
|  | 科学技術庁長官<br>・原子力委員長       | 木 内 四 郎 殿   |
|  | 日本学会協議会長                 | 江 上 不 二 夫 殿 |
|  | 関連学協会代表<br>日本工学会会長       | 内 田 俊 一 殿   |
|  | 原子力産業界代表<br>日本原子力産業協議副会長 | 大 屋 敦 殿     |
4. 「第1回日本原子力学会賞」贈呈 (選考経過報告) 選考委員長代理 西 原 宏
- 論文賞(4件) (阪大)佐野忠雄-井本正介, (NAIG)清水彰直,  
(電発)大塚益比古-(原研)斎藤慶一, (原研)石森富太郎の各会員。
- 技術賞(3件) (日立)山田周治, (原産)内田秀雄, (原研)青地哲男の各会員。
- 奨励賞(1件) (京大)鶴飼正二会員。  
受賞者代表挨拶(佐野忠雄会員)
5. 会務協力者感謝状贈呈
- |  |             |             |
|--|-------------|-------------|
|  | 富士美術印刷(株)社長 | 田 中 富士男 殿   |
|  | (株)科学技術社社長  | 平 原 聰 宏 殿   |
|  | 学会事務局       | 正 本 実 閑 主 事 |
6. 閉会の辞
- 実行副委員長 山 田 太郎

○ 祝賀パーティー (15:00~16:30) (本館1階オリンピック)

- (司会・法費副委員長)
1. 乾 杯 宗像英二原研理事長
2. テーブルスピーチ 茅 誠司, 菊池正士, 瀬藤象二, 一本松珠璣の各歴代会長  
井上五郎動燃理事長, 矢木 栄氏, 松前重義東海大総長, 久世寛信会員。  
(祝電) 松下電器産業(株), 九州電力(株), 関西支部長

社団法人 日本原子力学会 役員一覽 (敬称略)

歴代会長・副会長

	会 長	副 会 長
(昭和34年度)	茅 誠 司	一本松 珠 璣, 駒 形 作 次
( " 35 " )	"	菊 池 正 士, 高 井 亮 太 郎
( " 36 " )	菊 池 正 士	福 田 勝 治, 伏 見 康 治
( " 37 " )	"	福 田 勝 治, 星 合 正 治
( " 38 " )	瀬 藤 象 二	浅 田 常 三 郎, 星 合 正 治
( " 39 " )	"	浅 田 常 三 郎, 矢 木 栄
( " 40 " )	一本松 珠 璣	木 村 毅 一, 矢 木 栄
( " 41 " )	"	木 村 毅 一, 山 田 太 三 郎
( " 42 " )	大 山 松 次 郎	向 坊 隆, 山 田 太 三 郎

現 役 員 (昭和43年度)

会 長	大 山 松 次 郎		
副会長	法 貴 四 郎,	向 坊 隆	
理 事 (庶務)	浅 田 忠 一,	森 島 国 男	
(会計)	飯 田 正 美,	高 島 洋 一	
(編集)	黒 田 義 輝,	田 中 浩,	西 原 宏, 百 田 光 雄
(企画)	安 藤 良 夫,	江 藤 秀 雄,	佐 野 忠 雄, 堀 憲 義,
	森 川 辰 雄		
監 事	神 山 貞 二,	田 中 直 治 郎	
(関西支部長)	伊 藤 俊 夫)		

○昭和43年度学会賞選考委員会○

(委員長) 向 坊 隆  
 (幹 事) 西 原 宏, 安 藤 良 夫  
 (委 員) 浅 田 忠 一, 伊 藤 俊 夫, 江 藤 秀 雄,  
 黒 田 義 輝, 佐 野 忠 雄, 高 島 洋 一,  
 田 中 浩, 堀 憲 義, 百 田 光 雄,  
 森 川 辰 雄

○創立10周年記念事業実行委員会○

(委員長) 向 坊 隆  
 (副委員長) 法 貴 四 郎, 山 田 太 三 郎  
 (委 員) 浅 田 忠 一, 安 藤 良 夫, 飯 田 正 美,  
 伊 藤 俊 夫, 神 原 豊 三, 草 野 光 男,  
 品 川 睦 明, 高 島 洋 一, 中 井 敏 夫,  
 西 野 治, 西 原 宏, 宗 像 英 二,  
 森 島 国 男, 若 林 良 一, 脇 坂 清 一

# 学会10年・略年表

(1958~1969年)

1958年	
11月5日	発起人会
25日	第1回実行委員会
"	学協会連絡検討小委員会
28日	第1回定款等検討小委員会
12月8日	第2回 "
10日	編集関係小委員会
17日	財務・事業計画合同小委員会
23日	第2回実行委員会

1959年	
1月12日	第3回実行委員会
24日	第4回実行委員会
28日	発起人総会
12,13日	第3回原子力シンポジウム
2月14日	創立総会
5月13日	関西支部結成
"	ワインバーグ博士講演会
6月22日	原子炉の性能と実験方法討論会
30日	日本原子力学会誌創刊
7月28日	社団法人設立許可
11月21日	原子力計測分科会
12月1日	セリグマン博士講演会

1960年	
1月19日	燃料要素破壊検出討論会
2月11~13日	第1回原子力研究総合発表会
16日	ギルバート氏講演会
29日	事故時被曝線量基準シンポジウム
3月22日	原子力気象討論会
4月28日	第2回通常総会
5月28日	東芝研究所見学会
6月7日	核燃料討論会
7月28日	放射線化学討論会
9月28日	臨界・臨界未満実験装置討論会
10月12日	RI供給討論会
11月25日	大山・山本両教授帰国講演会
12月6日	物理関係討論会

1961年	
1月17日	ウラン濃縮講演会
2月4日	安全性シンポジウム
" 15~18日	第2回原子力研究総合発表会
3月17日	放医研見学会
4月17~19日	原子力計測専門講習会
5月24日	第1回評議員会
	第3回通常総会
6月23日	低レベル放射能計測講習会
7月12日	シルバーマン、モーリス博士講演会
13日	核燃料検査講演討論会
9月22日	東大核研見学会
10月5~7日	第1回炉物理分科発表会
16日	スタイン、フィッシャー博士講演会
25日	再処理とPu開発討論会
11月23~29日	第1回核燃料分科発表会
12月9日	沸騰水型発電所の動特性・制御講演会
20日	伏見博士帰国講演会

1962年	
1月24日	原子炉用グラフィット講演会
2月13日	原子力研究投資シンポジウム
14~17日	第3回原子力研究総合発表会
3月14日	立教大原研見学会
5月21日	H. ホーヴェル氏講演会
25日	第2回評議員会
	第4回通常総会
6月26日	R. S. ポール博士講演会
8月13日	杉本、向坊両博士帰国講演会
21日	C. A. レニー氏講演会

27~28日	第1回資源探査討論会
9月21日	垣花、法貴両博士帰国講演会
10月3~5日	第2回炉物理分科発表会
10日	T. G. P. ルクレー博士講演会
11月1,2日	第2回核燃料分科発表会
2日	A. J. モーラジアン氏講演会
5日	M. ベネディクト博士講演会
9日	ステグラ、リーバマン両氏講演会
20日	研究炉共同利用シンポジウム
21日	ヴァンドリエ、トロシェリー両氏講演会
	レベック氏講演会
22,29日	N. J. フェリシー博士講演会
12月4,5日	同位体分離シンポジウム

1963年	
1月17日	R. ドートレー氏講演会
2月22,23日	第1回原子力総合シンポジウム
3月8日	J. H. キッセル氏講演会
4月8~10日	昭和38年々会(東海大)
9日	R. L. マレー教授講演会
5月9日	H. J. C. カウツ博士講演会
27日	第3回評議員会
	第5回通常総会
	J. G. モース博士講演会
7月15日	N. F. C. ビショップ氏講演会
8月27,28日	第2回資源探査現地討論会
9月30日	第3回炉物理分科会
10月4日	F. E. J. セビロー氏講演会
18日	カナダ型重水動力炉講演会
18,19日	第1回炉工学分科会
30日	第3回核燃料材料分科会
11月7~9日	第1回化学・化学工学分科会
11月20日	A. シャペリエ氏講演会

1964年	
2月12,13日	第2回原子力総合シンポジウム
3月18日	B. A. リスター博士講演会
23~28日	放射線計測講習会
4月7~9日	昭和39年々会(立教大)
25日	J. Nucl. Sci. Technol. 誌創刊
5月19日	第4回評議員会
	第6回通常総会
6月4日	B. C. リンドレイ博士講演会
8月18~20日	第3回資源探査現地討論会
10月8日	第3回ジュネーブ会議報告会
29日	高崎研見学会
11月4~7日	第4回炉物理・第2回炉工学分科会
7日	内部放射線被曝討論会
7, 8日	京大炉見学会
25~27日	第4回核燃料・炉材料分科会
30日	第2回化学・化学工学分科会

1965年	
1月18日	グリーンフィールド博士講演会
2月15,16日	第3回原子力総合シンポジウム
3月2日	サイランド博士講演会
4月5~8日	昭和40年々会(京都大)
19日	B. B. カニングム博士講演会
26日	M. ハイシンスキー博士講演会
5月27日	第5回評議員会
	第7回通常総会
8月3~5日	第4回資源探査現地討論会
9月1日	W. グロート教授講演会
8日	H. ウェストコット博士講演会
28日	L. ヤッフェ博士講演会
30日	P. フェント、G. ヤゴディン博士講演会
10月4~6日	第5回炉物理・第3回炉工学分科会

24~26日	第5回核燃料・炉材料分科会
11月4,5日	第3回化学・化学工学分科会
12月2日	ブル研・ホットラボ見学会
8日	J. チャーニック博士講演会

1966年	
2月8日	核燃料熱力学シンポジウム
14,15日	第4回原子力総合シンポジウム
3月29,30日	昭和41年々会(東工大)
4月12日	K. P. コーエン博士講演会
5月13日	F. S. ローランド、P. S. ベーカー博士講演会
5月14日	V. P. ギン博士講演会
23日	第6回評議員会
	第8回通常総会
7月6日	第1回研究炉シンポジウム
8月2~5日	第5回資源探査現地討論会
10月3~5日	第4回化学・化学工学分科会
11日	T. タムラ博士講演会
20日	F. H. スペディング博士講演会
24~27日	第6回炉物理・第4回炉工学分科会
25日	J. H. ライト博士講演会
26~28日	第6回核燃料炉材料分科会
27日	モーガン博士講演会
29日	炉材料熱力学シンポジウム

1967年	
1月28日	放射線事故シンポジウム
2月14,15日	第5回原子力総合シンポジウム
3月27日	D. シュミット博士講演会
4月5~7日	昭和42年々会(東大・工)
5月23日	フランスの再処理技術講演会
27日	第7回評議員会
	第9回通常総会
7月27日	ツバイフェル博士懇談会
8月18,19日	第6回資源探査現地討論会(垂水)
10月2~5日	昭和42年炉物理・炉工学分科会
4,5日	" 化学・化学工学分科会
7,8日	" 保健物理分科会(第1回)
11月16~18日	" 核燃料・炉材料分科会
24日	J. ザール氏講演会
12月16日	第1回臨時総会

1968年	
2月19,20日	第6回原子力総合シンポジウム
3月26~28日	昭和43年々会(早稲田大)
5月14日	第8回評議員会
	第10回通常総会
6月25日	第2回研究炉シンポジウム
7月23日	シーゲル博士講演会
	第1回学会賞公募
8月1~3日	第7回資源探査現地討論会(東濃)
9月5日	J. D. オルドフ博士講演会
10月9日	APDA 高速炉講演会
11月1~2日	昭和43年保健物理分科会
2~4日	" 核燃料・炉材料分科会
4~5日	" 化学・化学工学分科会
21~23日	" 炉物理・炉工学分科会

1969年	
2月15日	創立10周年記念祝賀会
	第1回学会賞贈呈
16,17日	第7回原子力総合シンポジウム
3月29~31日	昭和44年々会(東海大湘南)

# 第1回日本原子力学会賞 受賞者研究概要

## 論文賞 (4件)

### 101. U-C-N-O 系核燃料化合物の統計熱力学的諸性質に関する研究

大阪大学工学部 佐野 忠雄,  
井本 正介

(概要) 審査の対象となった過去3年間の主な実績をまとめると、

- (1) "The Stable Composition Range and Decomposition Pressure of UC-UN Solid Solution", *Thermodynamics of Nuclear Materials, 1967*, 301~315 (1968), IAEA.
- (2) "The Uranium-Nitrogen System", *J. Nucl. Sci. Technol.*, 4 [6], 283~288 (1967).
- (3) "The Uranium-Carbon-Nitrogen System", *ibid.*, 3 [5], 194~199 (1966).
- (4)  $UC_{1-x}O_x$  に関する研究, (II), 原子力誌, 9 [3], 132~138 (1967).

など国際的にも高く評価されている独創的な研究が多い。これらの研究はウランとプロパンとの反応で、わが国で初めて炭化ウランを合成して以来発展させて来

た U-C, U-C-O, U-C-N, U-C-N-O 系に関する基礎的研究の一環をなすもので、これらの成果により、高速炉燃料として有望視されている炭化ウラン、チ化ウランに関する知見は飛躍的に深められた。

ウラン化合物以外にも、ジルコニウムとその合金の酸化現象、あるいは液体金属の反応性等について広範な研究を行っており、また現在は高温における金属あるいは化合物への炭素の拡散、熱電子放出現象などについても研究成果をあげている。

これらの研究の成果は学術上まことにすぐれたものであって、原子力工学の分野に貢献することが極めて大であるとともに、核燃料物質に関する日本の基礎研究レベルの高さを、世界に認識せしめるにも大いに役立っている。

### 102. ガンマ線の反射透過問題に対する Invariant Imbedding 法の応用

日本原子力事業(株)研究部 清水 彰 直  
(主な協力者) 日本原子力事業(株) 水田 宏

(概要)  $\gamma$ 線が遮蔽体を通過して減衰する様子をより厳密に求めることは、遮蔽設計上非常に重要なことである。これに対して、従来は無限媒質にのみ適用できるモーメント法か、または、Monte Carlo 法等の非常に計算時間を必要とする繁雑な方法を用いていた。

粒子の媒質内での基本的振舞いから出発する計算手法をすでに応答行列法(原子力誌, 5 [5], 359 (1963))として中性子拡散の問題を解く方法に適用してきた。たまたま、この応答行列法は、Bellman の Invariant Imbedding 法と相似のものであることが解ったので、以後 Invariant Imbedding 法として $\gamma$ 線の透過問題に

適用したのが前記の論文である。

この方法によると、 $\gamma$ 線の透過の実測とも非常によく一致し、かつ従来用いられた Monte Carlo 法よりも非常に計算時間が短く、精度のよい結果を得た。この研究結果を高く評価した米国標準局に招へいされ、彼地にて多重層の問題を解決し、同局では従来の標準計算法であった Monte Carlo 法とあわせて Invariant Imbedding 法を採用している。

なお、この方法は高速中性子の遮蔽にも応用され、目下この方向の研究開発が進められている。

## 103. 原子炉雑音の基礎理論

電源開発(株)

日本原子力研究所

大塚 益比古,  
斎藤 慶一

- (1) M. OTSUKA, K. SAITO: "Space-Time Correlations in Neutron Distributions in a Multiplying Medium", *J. Nucl. Sci. Technol.*, **2**, 191~198 (1965).
- (2) K. SAITO, M. OTSUKA: "Theory of Statistical Fluctuations in Neutron Distributions", *ibid.*, **2**, 304~314 (1965).
- (3) K. SAITO, M. OTSUKA: "Transfer Function and Power Spectral Density in a Zero-Power Reactor", *ibid.*, **3**, 45~50 (1966).
- (4) M. OTSUKA, K. SAITO: "Neutron Fluctuations in a Multiplying Medium", *Nucl. Sci. Eng.*, **24**, 412~414 (1966).

(概要) 著者の1人大塚は、グラストン・エドランド著伏見・大塚訳『原子炉の理論』(みすず書房, 昭30)によって原子炉理論を国内に紹介し、ひきつづきわが国の原子炉物理の発展に努力して来た。原子炉雑音の基礎理論に関するこれらの論文は、大塚が日本原子力研究所の当時新進気鋭の研究者斎藤と共同して研究した成果である。

原子炉雑音とは炉内の中性子密度のゆらぎを意味するが、一見不規則なその変動を測定し分析することによって、その炉の動特性について有力な情報をうることができる。これらの論文は零出力炉を対象として炉

内中性子分布の空間時間相関関数を導き、炉雑音の理論的構造を明らかにした。

(1)の論文は、中性子検出カウンターの時間的相関に対するド・ホフマンの1点炉理論の拡張で、いわば物理的考察を軸にして直接上記相関関数を導いた。

(2)の論文では、中性子分布の2次の精密度の従う方程式を導き、さらにボルツマン方程式のグリーン関数を用いて解くことに成功し、結果は(1)論文に一致する。

(3)の論文では、上記の成果にもとづいて、原子炉雑音スペクトルと伝達関数を比較し、従来一致するとされていた両者がある周波数以上の領域では異なる構造をもつことを示した。中性子の統計的ふるまいを扱う基礎方程式の1つにバルおよびベルが導いたものがあるが、外観上きわめて特殊な形をしている。

(4)の論文では、それと(2)論文の方程式(およびその高次方程式)とが同等であることを示し、出発点の異なる理論的取扱いを一体化した。

以上の研究によって、核分裂連鎖反応自体に由来する炉雑音の理論的解明がなされたのである。

なお、炉雑音の研究は将来動力炉の異常を知る診断法などに重要な働きをすると期待されるが、その方向を目指す理論的研究も斎藤らは着手している。

## 104. 無機溶媒抽出法による放射化学的研究

日本原子力研究所

石森 富太郎

(概要) 放射化学の分野における独創的な研究は、国内外の評価が高く、特に無機溶媒抽出法による放射化学的研究の業績は顕著である。すなわち、核燃料開発の分野で利用されている約20種の有機抽出剤を用い、NaよりCmに至る60種にも及ぶ多数の元素につき、種々の鉍酸溶液と有機溶媒との間の挙動を調べた。40種以上の系で求められた分配比は10数編に及ぶ論文として報告されており、それらは無機溶媒抽出、データ集(I), (II)および(III)にまとめられている。これらの基礎データは混合放射性元素の相互分離、放射性同位元素の調製、あるいは分析化学における元素の相互分離ならびに応用の面にきわめて重要な知見を提供している。さらに、これらの結果を基にして、有機溶媒で抽出

した核燃料物質の直接固体化合物変換法に発展させ、従来の方法を著しく簡略化することに成功し、Na-アマルガムを使って水溶液中の核燃料元素を直接金属に変える方法も研究開発している。この溶媒抽出法は $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{233}\text{U}$ の単離,  $^{233}\text{U}$ 自発核分裂半減期測定, 短寿命核種の半減期測定などに利用され、みるべき成果が多い。

また、 $^{60}\text{Co}$ でラベルした沈殿剤を用いた一連の研究、同位体希釈分析法を併用した放射化学分析など新しい分野を開発しており、これらの研究は海外でも多く引用され参考にされている。その他、地球化学、分析化学の面における業績も大きく、原子力における放射化学の発展に貢献するところ顕著なものがある。

## 技 術 賞 (3件)

### 105. 研究用原子炉のパルス化および計測技術

(株)日立製作所 山 田 周 治

(主な協力者) 日立製作所 今 井 宗 丸,  
// 飯 塚 富 雄,  
// 吉 柳 清 美

(概要) 定格出力 100 kW のスイミングプール型研究用原子炉を改造して、パルス制御棒、後備停止装置などを付加して炉周期 15 msec, 最高出力 120 MW に達するパルス運転に成功し、原子炉の自己制御性を実証した。元来、このような原子炉の出力暴走実験はその安全性確保のための制限が厳しく、特にわが国でこの種の実験を実施することは安全上至難と考えられ、これらの実施に対しては高度の技術と機器の信頼性が要求される。

特にパルス制御棒、後備停止装置、制御系などに日立の技術の粋を集めて、わが国最初のパルス運転を成し

遂げた。現在まで約 150 回のパルス運転を実施して異常を認めなかった。

一方、パルス運転に伴う中性子密度、温度、圧力、歪などに関する速い現象の高温、高放射線下における測定も技術は、その再現性と精度において世界水準を抜くのである。

従来、これらのパルス運転技術およびここで開発された種々の測定技術は、高速炉の事故実験など原子炉安全性評価実験に利用されることはもちろん、物性、核物理実験のための高出力パルス中性子源などに利用され、実験技術の基盤としてその貢献度は大きい。

### 106. 軽水型動力炉の後備安全防護装置の研究

日本原子力産業会議安全特別研究会 内 田 秀 雄  
SAFE プロジェクト小委員会委員長

(主な協力者) (株)日立製作所 藤 江 秀 夫,  
三菱原子力工業(株) 横須賀 正 寿,  
日本原子力事業(株) 羽 田 幹 夫

(概要) 軽水型動力炉の安全解析のために、最大事故あるいは仮想事故を想定する場合は、1次冷却系が何らかの原因で破断するという仮定を立て、事故の波及を解析することが現在の一般の考え方である。こういう仮定に立つ場合、1次冷却系破断に続いて起る事象は、①冷却材が炉心および圧力容器から流出し、1次冷却系が急激に圧力降下、②炉心の冷却効果が減少、③燃料要素の温度上昇、④燃料要素の破壊あるいは溶融、⑤核分裂生成物が炉心内および圧力容器外格納容器へ流出、⑥さらに格納容器から漏出し、大気へ放散。である。勿論破断により、あるいは事象①により炉はスクラムされることは期待できる。また燃料要素被覆と冷却材の直接の反応いかんが④に影響を与え

ることも考えなければならない。こういう連続した事象に対処して、事故の拡大を防ぐ装置が広く(工学的)後備安全防護装置といわれるものである。これに関し、昭和 38 年日本原子力産業会議安全特別研究会に SAFE (Safety Assessment and Facilities Establishment) プロジェクト小委員会が設けられ、38, 39 両年度にわたり、(株)日立製作所、日本原子力事業(株)、三菱原子力工業(株)の各社が実験を分担(主として科学技術庁原子力平和利用研究委託費による)して、次の項目について共同研究を行なった。

① 1次冷却系破断後の圧力容器ならびに格納容器内の過渡現象と温度、圧力変化について理論的研究と模型実験、②電気加熱による模擬燃料要素に対する炉心

スプレアの冷却効果, ③コンテナ・スプレーによる核分裂生成物(特にヨウ素)に対する除染効果と容器内の冷却減圧効果を知るための模型容器を用いた実験, ④格納容器をケーブルなどが貫通する部分のガス気密性の実験, ⑤冷却材喪失事故解析計算, ⑥圧力抑制装置に関する研究。

(結果のまとめ)

- ①「冷却材の流出とそれに伴う過渡現象」では、1次冷却系配管の破断を模擬した実験を行なったが、圧力容器、格納容器内の圧力・温度の変化についての基礎概念が得られた。破断口からの蒸気と水との混合2相流の流出についても研究が行われた。
- ②「コア・スプレー」では、コア・スプレーによる加熱棒に対する効果には、大きく分けて蒸気と輻射による冷却、流下する水膜の蒸発冷却、フラッシングの3つの現象があることがわかった。この3種の伝熱現象について、それぞれ冷却効果を求め

る実験的資料が得られた。

- ③「コンテナ・スプレー」では、その冷却効果とヨウ素除染効果について基礎的資料が得られた。
- ④「貫通部の気密性」では、貫通部の漏洩量を模型実験によって測定する方法を知ることができ、漏洩量とそれに及ぼす圧力、温度等の影響の実体を把握する資料が得られた。
- ⑤「冷却材喪失事故解析計算」では、冷却系破断から格納容器外への分裂生成物放出に至る事故を系統的に検討するためには、どの現象のどういう解析をすることが必要であるかという問題点の抽出を試み、若干の計算を行なった。

以上、わが国で初めて工学的安全技術について、自主的に問題を取り上げ組織的に各界の協力によって研究を行なったものであり、その努力の結果は技術的には諸外国の注目の的となり、産業的にはわが国における軽水炉の安全技術確立に著しく貢献した。

## 107. 原研の再処理試験施設の設計・建設ならびに試験

日本原子力研究所  
再処理開発試験グループ代表

青地 哲男

(概要) 再処理試験施設については、昭和34,35年度における設計、36年4月における施設の着工、その後3回にわたる増設、41年5月における完工、さらにその後コールド試験を経て43年度に至り、第1次、2次ホット試験の実施を終え、第1次で18g、第2次で105gの高純度のプルトニウムを回収し、現在第3次ホット試験を実施中である。これらの試験を通して、装置ならびに施設は満足すべき状態で運転され、被曝あるいは空気汚染など安全上の問題も発生することなく、湿式再処理法を確立した。

この間、例えば主要装置である溶解、抽出装置については、当初最新の資料に基づいて設計・製作されたが、その後の試験で多くの問題点が発見され、このため定常状態の到達または維持がほとんど不可能であったので、例えば小流量定量エアリフト、圧力ポット、エアパルス方式等について開発を進めた。この結果、第1次、2次コールド試験においてその実用性を実証することができた。これはさらに第1次、2次ホット試験においてその性能の高さが検証された。この種の技術開発の態度は操作技術などの再処理技術の開発にも導入され、これについても高い総合的評価を得ること

ができた。

以上のように、湿式再処理法に関する工学的知見を得るため、必要最小限の試験施設を昭和35年以来、国産技術で設計、建設し、各種の試験を行ってきたが、昭和43年に実施された第1次、2次ホット試験によって、長期にわたって開発してきた設備の設計、操作技術など再処理技術の開発について総合的評価を得ることができた。すなわち、当初から計画されていた(1)再処理施設についての建設ならびに運転経験と“ノウ、ハウ”を得ること。(2)再処理技術の開発をはかること。(3)再処理関連技術者の養成をはかること。などの主目的を達成したことになる。その他、研究用プルトニウムの回収、動燃事業団再処理工場要員の養成の目的にも添い得たのである。

またこのことは、日本で最初の再処理施設が種々の技術的工学的問題点を克服して、国産技術で生まれたことを意味し、原子力分野における今後の自主技術開発をはかる上で大きな自信と明るい見通しを与えるもので、原子力開発に貢献するところ顕著なものである。

奨 励 賞

(1件)

**108. 均質系に対する単速輸送作用素の実固有値について；  
減速平板に対する輸送方程式の初期値問題**

京都大学工学部 鷗 飼 正 二 (昭14.11.3.生)

- (1) S. UKAI: "Real Eigenvalues of the Monoenergetic Transport Operator for a Homogeneous Medium", *J. Nucl. Sci. Technol.*, **3**, 263~266 (1966).
- (2) S. UAKI: "On the Initial-Value Problem of the Transport Equation for a Moderator Slab", *ibid.*, **3**, 430~436 (1966).

(概要) 中性子輸送方程式の数学的性質を、方程式に現われる作用素のスペクトル解析の立場から種々の場合について論じ、特に離散固有値について詳しく考察して次の事項を示した。

- (1) 無限均質減速材の場合を取り扱い、減速材の種類に無関係に連続スペクトルを持つこと、特に単原子ガスの場合には、その他に可付番無限個の離散固有値を有限区間に持つ。
- (2) 単速輸送方程式を考察し、負の無限大を唯一の集積点とする実離散固有値の無限列が存在する。
- (3) Kuščer-Corngold のモデルに基づいて気体、液体、固体の減速平板を取り扱った。すべての場合、複素平面の左半平面の点はことごとくスペクトルに属している。右半平面には、気体、固体の場合

はたかだか有限個の液体の場合は有限個または無限個の離散固有値が存在するが、しかし平板の厚さがある程度以上薄いと、離散固有値はまったく存在しない。

- (4) 同じく Kuščer-Corngold のモデルに基づいて、有限の大きさの減速材について考察し、(3)と同様の結果を得た。

従来、実際的な立場から、中性子輸送方程式の数値的解析については多数の人により研究が行われて来ているが、中性子輸送方程式を数学的立場から統一的に取り扱う試みは、方程式の簡単さにもかかわらず困難なため限られた場合についてみなされているにすぎなかった。

中性子輸送作用素の固有値スペクトルの観点からこの問題に取り組み、種々の減速材、ジオメトリー等の具体的な炉物理的対象を厳密な数学的手法で解き、この重要かつ困難な問題の解決法を一步前進せしめた。

すべての場合における中性子輸送作用素の複素固有値の問題は、未だ解決されていないので、これらの研究はこの問題の解決に重要な手がかりを与えるものであり、今後の発展が大いに期待できる。

## 「学会賞基金」応募者芳名一覧 (1968年12月現在)

1967年1月基金開始以来2年間に応募された方々の芳名を記し、厚く御礼申し上げます。  
この「基金」は今後とも常置的に受け付け窓口を設けておりますので、随時にご寄金下さるようお願いいたします。

(敬称略・受付順)

No.	氏名 (所属)	金額(円)	No.	氏名 (所属)	金額(円)
1	品川 睦明 (阪大・工)	2,000	54	田中 義久 (川崎重工)	2,000
2	脇坂 清一 (東京電力)	5,000	55	小早川 透 (原研)	2,000
3	吉島 重和 (NAIG)	2,000	56	(有)丸星印刷社	10,000
4	大山 松次郎 (超高圧研)	5,000	57	古舘 一善 (九州電機)	2,000
5	大山 彰 (東大・工)	2,000	58	豊田 正敏 (東京電力)	2,000
6	浅田 常三郎 (神戸製鋼)	2,000	59	長谷川 正義 (早大)	3,000
7	前田 七之進 (富士電機)	2,000	60	吹田 徳雄 (阪大・工)	2,000
8	石原 健彦 (原研)	2,000	61	昭和電線電纜(株)	10,000
9	丹羽 周夫 (原研)	2,000	62	日本アイ・ピー・エム(株)	30,000
10	浅井 卓夫 (大放研)	2,000	63	東海電気工事(株)	10,000
11	田上 嵩 (日立・中研)	2,000	64	東洋紡績(株)	10,000
12	原田 常雄 (東芝)	2,000	66	久布白 兼致	5,000
13	岡村 誠三 (京大・工)	4,000	67	昭和石油(株)中央技術研究所	10,000
14	桑島 謙三 (関電)	2,000	68	望月 博治 (川崎重工)	2,000
15	尾池 英夫 ( " )	2,000	69	大久保 忠恒 (東大・工)	2,000
16	中山 隆夫 (原研)	2,000	70	富士製鉄(株)	50,000
17	馬場 有政 (工業技術院)	2,000	71	杉原 清 (關西大・工)	3,000
18	植村 四郎 (旭硝子)	2,000	72	中根 良平 (理研)	2,000
19	佐野 忠雄 (阪大・工)	2,000	73	富島 広 (東芝中研)	2,000
20	大井 昇 (東芝)	2,000	74	八幡 製鉄(株)	50,000
21	青野 武雄 (電気化学)	5,000	75	オールガノ(株)	50,000
22	渡部 兼雄 (四国電力)	2,000	76	森口 欽一 (原研)	2,000
23	久保田 正 (MAPI)	2,000	77	中村 康治 (動燃)	2,000
24	松浦 辰男 (立大・原研)	2,000	78	武藤 弘 (原船団)	2,000
25	安西 浩治 (東京瓦斯)	2,000	79	橋本 隆三 (東大・工)	39,000
26	内田 秀雄 (東大・工)	2,000		大島 三郎 ( " )	
27	飯田 博美 (放医研)	2,000		野上 三治 ( " )	
28	菅野 昌義 (東大・工)	2,000		西野 治 ( " )	
29	新藤 夫 (原研・遮蔽)	2,000		関口 忠正 ( " )	
30	今井 美材 (動燃)	2,000		飯田 甲一 ( " )	
31	竹山 謙三郎 (鹿島建設)	2,000		高橋 洋一 ( " )	
32	太組 健児 (日立・中研)	2,000		丸節 夫 ( " )	
33	宇佐美 重健 (竹中工務店)	2,000		長谷川 賢一 ( " )	
34	片岡 巖 (船研)	2,000	80	日本碍子(株)	30,000
35	小倉 信和 ( " )	3,000	81	西堀 栄三郎 (原船団)	3,000
36	山岡 義人 (原研)	2,000	82	宗像 英二 (原研)	5,000
37	久世 寛信 (都立大)	5,000	83	浜井 専蔵 (工学院大)	2,000
38	伏見 康信 (名大プラ研)	3,000	84	(株)島津製作所	10,000
39	金岩 芳郎 (東芝)	3,000	85	横須賀 正寿 (MAPI)	4,000
40	稻葉 栄治 ( " )	2,000	86	西原 宏 (京大・工)	3,000
41	滝沢 正男 (東京写真大)	2,000	87	木村 毅一 (京大研)	5,000
42	村主 進 (原研)	2,000	88	日本原子力船開発事業団	50,000
43	菊池 正士 (東京理大)	10,000	89	日刊工業新聞社	10,000
44	中井 敏夫 (原研)	5,000	90	(株)利根ボーリング	10,000
45	福田 勝治 (東京電力)	2,000	91	谷口 薫 (日立・中研)	2,000
46	垣花 秀武 (東工大)	2,000	92	藤村 建支 (住友原子力)	2,000
47	岸本 通智 (清水共同発電)	2,000	93	稻生 光吉 (MAPI)	2,000
48	更田 豊次郎 (原研)	2,000	94	日本鋼管(株)	30,000
49	岡本 芳三 ( " )	2,000	95	三井信託銀行	20,000
50	立花 昭二 (原電)	2,000	96	日本原子力研究所	300,000
51	神山 貞二 (動燃)	2,000	97	牧野 直文 (原研)	2,000
52	鎌田 稔 ( " )	2,000	98	東陽通商(株)	10,000
53	森 芳弘 (信州大)	2,000	99	山田 周治 (日立・中研)	2,000
			100	平井 浩 (長瀬産業)	2,000
			101	三木 良太 (近大原研)	2,000

No.	氏名	(所 属)	金額(円)	No.	氏名	(所 属)	金額(円)
102	若林良一	(NAIG)	5,000	162	中国電力(株)		
103	日本エクスラン工業(株)		10,000	163	四国電力(株)		
104	高砂熱学工業(株)		10,000	164	九州電力(株)		
105	法貴四郎	(住友電工)	5,000	165	電源開発(株)		200,000
106	新崎正治	(住友原子力)	2,000	166	山田太三郎	(原子力委員)	10,000
107	石川島播磨重工業(株)		60,000	167	野村 孜	(NAIG)	2,000
108	石川一郎	(原船団)	10,000	168	森川辰雄	(NAIG)	5,000
109	住友金属工業(株)		10,000	169	日本原子力発電(株)		200,000
110	兵藤知典	(京大・工)	2,000	170	矢島聖使	(東北大)	2,000
111	川崎正之	(原 研)	1,000	171	百田光雄	(原 研)	2,000
112	神原豊三	(日立・中研)	5,000	172	深井佑造	(NAIG)	3,000
113	原子燃料公社		50,000	173	太田光雄	(三菱電機)	2,000
114	加賀山 正	(原 電)	3,000	174	草野光男	(明電舎)	5,000
115	堀 憲	(MAPI)	5,000	175	清水彰直, 飯島俊吾	(NAIG)	2,000
116	正本実関, 田村祐三, 田村善子, 石川博道, 東条玲子	(学会事務局)	5,000	176	立教大学原子力研究所		10,000
117	飯田正美	(関西電力)	5,000	177	山室信弘	(東工大)	2,000
118	藤咲洋平	(ダイセル)	2,000	178	藤村理人	(原 研)	2,000
119	松田仁作	(東芝・中研)	2,000	179	動力炉・核燃料開発事業団		50,000
120	住田健二	(阪大・工)	2,000	180	坂上栄一	(松下電器)	3,000
121	福富博	(東工大)	2,000	181	垣花秀武	(東工大)(追加)	50,000
122	片山信夫	(東 大)	2,000	182	日本 鋳 業 (株)		10,000
123	酒井孝次郎	(TAIC)	2,000	183	竹越尹, 中田清兵衛, 西脇一郎, 佐藤孝平, 甲賀将之, 天野文雄, 清水定明	(電 試)	10,000
124	中川重雄	(立大・原研)	5,000	184	石川 寛	(動 燃)	3,000
125	宇野秀郎	(原 研)	2,000	185	石川 潔	(NAIG)	2,000
126	井上清	(日立・中研)	2,000	186	大塚益比古	(電源開発)	2,000
127	浦賀重工業(株)		20,000	187	片山三郎	(古河電工)	5,000
128	大石純	(京大・工)	3,000	188	上田隆三	(原 研)	2,000
129	三輪博秀	(神戸工業)	2,000	189	永島菊三郎	(住友原子力)	2,000
130	大島正幸	(川崎重工)	1,000	190	浅田忠一	(原 電)	5,000
131	(株)ブリヂストンタイヤ		20,000	191	藤江秀夫	(日立)	2,000
132	大橋収司	(動 燃)	2,000	192	須藤欽吾	(東北大)	1,000
133	松本直史	(科学技術社)	3,000	193	高田良夫	(船 研)	2,000
134	山本善次	(電力中研)	5,000	194	牧野格次, 亀井孝信, 水田 宏, 青木克忠, 青山宏一, 小松一郎	(NAIG)	4,000
135	(株)電業社機械製作所		10,000	195	青木敏男	(関西電力)	2,000
136	島史朗	(日立・中研)	5,000	196	木村逸郎	(京大炉)	2,000
137	和嶋常隆	( " )	2,000	197	斎藤慶一	(原 研)	2,000
138	新井公雄	( " )	2,000	198	三島良績	(東大工)(追加)	5,000
139	川合敏雄	( " )	2,000	199	鹿島建設(株)		30,000
140	柴田俊一	(京大炉)	2,000	200	能沢正雄	(原 研)	2,000
141	鹿毛量, 加藤英正	(日立・中研)	2,000	201	中田正也	(船 研)	2,000
142	鷓木丈夫	(東京電力)	2,000	202	伊従功, 奥村幸輝, 村山雅二郎, 山路昭雄, 山越寿夫, 伊藤泰義, 吉村富雄, 黒須顕二, 野間口道義, 竹内清, 佐藤健一郎, 布施卓嘉, 成合英樹, 三浦俊正, 金井康二, 植本紘太郎	(船 研)	5,000
143	永根五郎	( " )	2,000	203	日立造船(株)		30,000
144	後藤業明	(関西電力)	2,000	204	伊藤忠電算サービス(株)		30,000
145	浅田弥平	(住友原子力)	2,000	205	葛岡常雄	(日立)	3,000
146	若林二郎	(京大・工研)	2,000	206	川崎重工業(株)		40,000
147	津谷和男	(金材研)	2,000	207	東京芝浦電気(株)		80,000
148	服部禎男	(中部電力)	2,000	208	日本原子力事業(株)		50,000
149	大和田謙	(原 研)	2,000	209	木村健二郎	(東京女子大)	3,000
150	寺沢昌一	(日立・中研)	2,000	210	萩原善次	(東北大)	2,000
151	青木均俊	(原子力委員)	10,000	211	富士電機製造(株)		50,000
152	伊藤俊夫	(関西電力)	5,000	212	清水建設(株)		50,000
153	佃俊雄	( " )	3,000	213	古河電気工業(株)		30,000
154	森元行	(中央電力協)	2,000	214	(株)神戸製鋼所		30,000
155	関川俊男	(東京理大)	2,000				
156	北海道電力(株)						
157	東北電力(株)						
158	東京電力(株)						
159	中部電力(株)		2,000,000				
160	北陸電力(株)						
161	関西電力(株)						

No.	氏名	(所 属)	金額(円)
215	白石 健介	(原 研)	2,000
216	村上 健一	(原子力局)	2,000
217	(株)日立製作所		100,000
218	石田 泰一	(動 燃)	2,000
219	青木 成文	(東工大)	2,000
220	昭和電工(株)		30,000
221	三菱原子力工業(株)		40,000
222	(株)大林組		20,000
223	三菱電機(株)		40,000
224	三菱重工業(株)		50,000
225	高橋 博	(B.N.L.)	3,000
226	住友化学工業(株)		20,000
227	住友金属工業(株)	(追加)	10,000
228	住友電気工業(株)		20,000
229	住友原子力工業(株)		20,000
230	三菱金属鉱業(株)		30,000
231	大成建設(株)		20,000
232	住友金属鉱山(株)		20,000
233	(株)明電舎		20,000
234	杉本 一六	(MAPI)	5,000
235	高橋 修一郎	( " )	1,000
236	黒川 良康	( " )	1,000
237	高島 洋一	(東工大)	2,000
238	堀 雅夫	(原 研)	2,000
239	一本松 珠璣	(原 電)	10,000
240	炉物理特別専門委員会		10,000

合 計 4,804,000

◎賛助会員(62社) 4,220,000円

○電力関係 (11社)240万円

○原子力法人 (4法人)45万円

○原子力5グループ (29社)97万円

NAIG (5社)22万円, 住友(7社)14万円

MAPI (7社)21万円, TAIC (5社)20万円

FAPIG (5社)20万円

○鉄鋼関係 (3社)13万円

○一 般 (16社)24万円

◎個人会員(227名) 584,000円

# 研究アレルギー



初代会長  
日本学術振興会々長

茅 誠 司

ある電子工学関係の生産会社の社長さんから最近聞いた話である。その会社で本年 100 名位の技術系大学卒業者を採用したが、その面接の際に何を会社でやりたいかと質問したところ全員が『研究をしたい』と答えたという。只の 1 人も『生産をやりたい』と言わなかったことはこの社長さんに大きな驚きと失望を与えたようである。

しかし、この答えは私共のような大学に深く関係していた者にとっては、やはりそうかと得心がゆくように思う。何故かという、大学では、研究して学術の水準を高めること、その研究を裏付けとして学生を教育することの 2 つが目標であるけれども、現状では第 2 の教育よりも第 1 の研究のほうが遙かに重要視されていて、研究に没頭しうることが大学教授の特権であるとさえ考えられている。従ってこの傾向が大学卒業生にもいつの間にか込みこんでしまって、一番貴いのはよい製品を作ることよりも、研究によって新しい知識をうることだと思ひこんでしまっていた結果が、最初に述べたような返事となって現われてきたのではないかと思う。

原子力の場合、これが日本では欧米に遙かに遅れているという事情からさらに強く研究の必要性が叫ばれるように思う。事実、ここ 10 年の間に原子力関係の研究者はどんどんと増加し、最近では独創的な研究成果もいくつか現われて学会、その他で褒賞の対象となるものが出てきたようである。そしてこのような研究者が増加することは極めて望ましいことは申すまでもない。

しかし、原子力発電のように完全とはいえないまでも既に外国では商業ベースにのってきた分野では、この設備を製造し、設置し、運転することも研究に対して少しも劣らない重要なものであることを強調したい。特に日本には欧米ではあまり考えなくともよい地震とか颱風といったような特殊事情があるので、それを克服するに必要な技術的な問題点も沢山存在する。これを纏った研究課題として研究者に提出してその解決を要求することも是非しなければならないことである。ここで重要なことは、既にルーティン化されたと思われる運転や製造に従事する場合でも、それを改善するにはどうしたらよいかをいつも考え続けて仕事をするのではなからうか。そうしてそれが思いがけない画期的な改善となった例は少なくない。

原子力発電所はこれからどんどん作られてゆく。以上のような意味でこれを建設し運転してゆくことは非常に重要なことであって、純然たる研究でないからといって劣視すべきではない。大学からの新卒業生が、仮りに建設することを嫌って研究のみを志望するようなことがあったとしたら、それは大変な思い違いであることを強く指摘したい。また大学においても研究にもまして学生の教育に力を入れて頂きたい希望をここに付言する。若し過去においてそうであったならば、現在の大学の紛争は起らなかったかも知れない、といったらこれは言い過ぎであろうか。

(1969年 1月31日記)

## 創立10周年記念祝賀会祝辞集

(1969年2月15日)

### 1. 文部大臣 坂田 道太殿

本日ここに日本原子力学会創立10周年記念祝賀会が開催されるにあたり、ひとことお祝のこたばを申し述べます。

当学会は、原子力の平和利用に関する学術および技術の進歩をはかり、会員相互の連絡研修を行なうことを目的として、昭和34年に創立され、以来各種の事業を遂行してこられたのでありまして、その研究成果が逐年多数にのぼり、内外学界から高く評価されつつあることは、まことに力強い限りであります。当学会が、創立以来多くの困難を克服して順調な発展をとげ、いまや特色ある学術団体として確固たる地歩を築くにいたりしましたことは、ひとえに歴代会長をはじめ会員各位のたゆみない精進の賜であると推察いたします。本日の祝賀会にあたり、皆方のこれまでのご熱意とご協力に対して深く敬様意を表します。

今日世界各國は、きそって科学技術の振興に力を注いでおりますが、とりわけ原子力に関する学術の研究と、その応用面の産業技術の開発は、いよいよめざましく関連諸科学の分野も多方面にわたり、これに伴って原子力を専攻する科学者および技術者の数が急速に増加しております。このときにあたり、当学会がここに創立10周年を迎えて、記念祝賀会を開き、将来いっそうの発展を期されるとともに、この機会に第1回日本原子力学会賞の贈呈を行なわれてひろく研究の意欲高揚につとめられることは、まことに意義深いものがあります。

会員各位には、どうか本日を契機として、さらに相互の親和を深められ、新たな決意をもって、各自の専攻部門の研究に力を注ぎ、原子力研究の重要な団体としての使命を達成されるとともに、今後ますます国家の発展と人類の繁栄に貢献されるよう希望してお祝いのことばといたします。(代読・水科科学官)

### 2. 原子力委員長 木内 四郎殿

本日ここに日本原子力学会の創立10周年記念祝賀会にお招きいただき、一言ご挨拶申し上げます機会を得ましたことは、私の深く喜びとするところであります。

顧みますれば、昭和30年に原子力基本法が制定され、わが国が原子力開発に本格的に取り組む始めて以来、本年度をもって満13年を迎えることとなります。

この間、貴学会をはじめ関係各位のご努力により原子力開発の基盤が築かれ、現在ではわが国各地において、原子力発電所の建設がすすめられ、原子力第1船につきましてもまもなく進水を迎えようとしております。また、放射性同位元素等の利用も各種産業に広く普及するなど、原子力開発は、今や応用研究および実用化

の段階に入りつつあります。

私も原子力委員会では一昨年「原子力開発利用長期計画」を決定し、現在これに基づきまして、各方面の開発を推進しているところでありますが、とくに将来の原子力発電を左右するといわれる高速増殖炉および新型転換炉につきましましては、動力炉核燃料開発事業団を中心として、その自主開発を鋭意進めております。

一般に科学技術の開発は、幅広い基礎研究の充実と研究者、技術者の養成があってこそはじめて大きな飛躍が可能となることは広く認められるところでありますが、なかでも原子力につきましましては、その開発は多方面における基礎研究の上に立って進められるものであり、またその開発の成果は、わが国全般の科学技術水準の向上をもたらすものであります。このような意味で、貴学会におかれましてはその創立以来、年會、分科會等の開催を通じ、学術的研究に努められ、わが国原子力界の水準向上に多大の貢献をなされましたことに対して、原子力開発の一端を担う者として、ここに深く感謝申し上げる次第であります。

またこのたび、貴学会の10周年を記念して新たに「日本原子力学会賞」を制定されましたことは、原子力の平和利用を強力に推進する観点から極めて大きな意義を有するものと存じます。

私どもは、今後とも原子力平和利用の研究開発に鋭意努力する所存でございますが、貴学会におかれましても、原子力関係の基礎研究の拡充に従来にも増して意を尽されるとともに、とくに科学者、技術者の養成面での一段のご活躍により、今後とも一層の発展をなさらんことをお祈りいたしまして私のご挨拶といたします。

### 3. 日本学術会議会長 江上 不二夫殿

本日ここに日本原子力学会創立10周年記念祝賀会が挙行されるにあたり、日本学術会議を代表して祝詞を申し述べる機会を得ましたことは、私の大きな喜びとするところであります。

俗に10年ひと昔といいますが、日本学術会議の原子力特別委員会が、原子力学会設立のためにいろいろと奔走していたのはつい昨日のように思われます。

この短い10年の間に原子力学会は着実に、しかもすばらしい発展を遂げられました。会員数の上でも、また財政規模からみてもこの10年間に約3倍になられたとのことですが、これは一面では、日本における原子力科学の成長のめざましさを示すと同時に、原子力学会に属する会員の方々のたゆまぬ精進の成果であると思えます。

原子力学会のもう1つの特徴は、学会活動の活発さとその水準の高さにあると思えます。

和文、欧文による学会誌の毎月の発行をはじめ

め、原子力総合シンポジウム、春の年會、秋の分科會に加えるに20に及ぶ研究専門委員会の活動、さらには原子力交換教授講演會の開催とその活動の多彩さはまさに学会活動の模範とも云えるものと存じます。

このたびは創立10周年を記念して、日本原子力学会賞を制定され、本日その第1回の表彰が行なわれるということですが、この10年間の若々しい活動のあとをふり返り、将来の限りない発展を思うとき、まことにふさわしい有意義な行事であると思えます。

わが国における原子力科学の重要性がいよいよ高まり、その急速な発展が期待されている今日、この10年間に皆様方が達成された成果とそのご苦労に対して深い尊敬の念を表わすとともに、日本原子力学会が今後ますます発展し世界の学界に大きな寄与をされるとともに、原子力の平和利用を通じて国民の福祉に貢献するという科学者として最も光榮ある任務を着実に果たされるよう祈ってお祝いの言葉といたします。

### 4. 日本工学会々長 内田 俊一殿

本日、日本工学会の有力のメンバーである日本原子力学会の10周年記念祝賀会に当りまして、私はたまたま日本工学会会長の職にありますため、会員56学協を代表いたしまして祝辞を申し述べますことを光榮に存じます。

広島原子爆弾に驚かされました私達は、終戦処理のさ中に「原子力の平和利用」が華々しくアメリカから宣伝され、戸惑ったことを思い出します。原子力とは？ 核融合とは一体何であろうか？ という素朴な疑問にぶつかったことを思い出します。それから、ようやく10数年が経ったかと思いますが、わが国におきましても数十万キロの大型原子力発電所が続々と建設され、原子力船の建造も着手されましたほか、実験研究用などの原子炉は続々と開発建設されつつある現状に目を見張る次第であります。

承われば、日本原子力学会の創立の端緒となったのは、日本学術会議および関連30余学協会共催の「原子力シンポジウム」であり、これら関連学協会における原子力に対する深い関心すなわち、未来の原子力に対する洞察と評価の結果によって産学協同により必然的に誕生したものと存じます。日本原子力学会は、よく、産業界と関連学協会の開発研究に対する協力を結果されて、今日の偉大な成果に貢献されましたことに絶大な敬意を表しますとともに心からお祝を申し述べます。

なおお慰を申せば、今日の偉大な成果の中には欧米先進国の模倣の域を出ないものもあるかと存じます。日なお浅い日本にとりましては、これは当然とは存じますが、今後ますます精進されまして、先進国を抜く独自の道を開拓され、わが国は勿論、世界人類幸福のため貢献されすよう、お祈りするとともに私達学協会も協力いたしたいと存じます。(代読・竹中副会長)

本会創立10周年記念特集

## わが国原子力研究10年の歩み

### Collected Papers covering Ten Years of Progress of Nuclear Research in Japan

- |                  |                      |
|------------------|----------------------|
| I まえがき           | VII 核燃料・材料           |
| II 原子炉の導入と開発     | VIII 再処理・廃棄物処理・同位体分離 |
| III 炉物理          | IX 放射化学              |
| IV 遮蔽            | X 放射線化学              |
| V 計測・制御          | XI 保健物理              |
| VI 熱伝達・構造強度・圧力容器 |                      |

#### I. まえがき

わが国における原子力の平和利用が、研究開発のベルトに乗って動き始めてから、すでに10年余を経過した。ベルトの動きは必ずしも一定ではなかったようであるが、先進国の研究の追試、技術導入の幼年期から、ともかくひとり立ちの態勢を必要とする青春期を今日迎えたものといえよう。強大国の引くコントロールの糸が多少気にはかかるが、ベルトの回転は本調子に入ったようである。本学会が2月15日に創立10周年を迎えるに当たって、わが国における原子力研究開発の歩みを総合的に振り返ってみることも、今後の前進のために少なからぬ意義をもつものであろう。こうした意図のもとに創立10周年記念特集(ささやかすぎるが)としてこのテーマを選んだ次第である。

編集方針としては、肩のこらない読物となることを心掛けて、参考文献などは思い切って削除させていただいた。また、部門によっては多少記事の重複する箇所も見られるが、境界にまたがる分野では、これはやむをえず、むしろ当然ともいえることであって、各章の執筆者の論旨を尊重した。

非常に限られた誌面内で10年余の経験や過程を網羅することは、もとより不可能なことであるが、広く関係分野を概観できる一助となれば幸いと思う。

(特集小委員長 東海大 黒田義輝)

#### II. 原子炉の導入と開発

わが国の原子炉開発の歴史は国産研究炉(JRR-3)の設計ならびに関連研究と購入研究炉(JRR-1, JRR-2)の建設で幕をあげた。すなわち、当初、①ウォーターボイラ型研究炉(JRR-1, 50 kWt)、②CP-5型研究炉(JRR-2, 10 MWt)を購入建設し、③天然U重水減速研究炉(JRR-3, 10 MWt)をできるだけ国産で建設する、計画で開発が進められ、現在では別表に示す炉が稼働ないしは建設中にまで発展した。

原子力開発を相当遅れて着手したわが国としては、まず研究開発の主要な道具・研究炉を持ち、これらを用いて原子力開発を推進するとともに、原子炉建設を通してそのシステム・エンジニアリングを身につけ、ついで動力炉開発に進むこのステップをとることは当然のことであった。

##### 1. 研究炉・試験炉

JRR-1の原子炉部はアメリカ製であったが、JRR-2では相当部分が三菱グループで製作され、さらにJRR-3では設計・製作・建設のほとんどをわが国で行うまでになった。これら研究炉の組立はわが国メーカーの手で行われ、その上各種研究施設・建家などはほとんどわが国で設計・製作されたので、これらの経験は以後の原子炉建設に非常に役立った。

JRR-3はわが国初の国産炉なので、その設計・製作

に当り、実物大炉心ならびに燃料流動試験、燃料、制御棒および同駆動装置、燃料取扱いキャスクなど多くの開発試験や試作が行われた。

一方、炉の建設や運転に際して遭遇したトラブル(例えば JRR-2 の重水洩れ問題とその修理、国産燃料製作の努力、あるいはホットのハンドリング装置が経験不足より一般的に遮蔽その他重装備になり操作や保守の容易さが犠牲になって相当改修がなされたなど)とその対策、あるいは改良の経験は非常に貴重なものであった。また、JRR-2 (材料試験も行えるよう10 MWt になった)および JRR-3 におけるインパイルループの経験は JMTR のそれに資するところ大であった。

JRR-1 は1957年8月臨界に達し、以後順調に稼動し照射、RI 生産あるいは技術者訓練など、その役割を十分に果たしてきたが、JRR-2 は熱交換器の洩れ、第1次燃料の不完全問題等に労働問題も加わって、臨界は1960年10月、そして定常利用運転は1963年10月より開始され、その研究炉利用の面で相当な遅れを生じた。

このほか相前後して船用炉研究のための JRR-4、京大炉、日立炉、東芝炉などいくつかの研究炉が別表のと

おり建設され原子力開発の一翼を担った。

動力炉開発に重要な大型照射試験を行う材料試験炉(JMTR)が産業界などより要望され、1960年より日本原子力研究所(以下原研)で調査ならびに概念設計が行われた。以後 JMTR 設置論議も出たが、結局設置と決定し、原子力産業5グループの共同(とりまとめ日本原子力事業)で設計・製作・建設がなされ、工程通り1968年3月臨界に達した。この間、燃料熱除去、模擬圧力容器の応力測定ならびに解析、制御装置関係など数多くの開発試験や試作が行われた。不幸にしてプール水洩れ問題が生じ、その利用が遅れているが修理後1969年初め稼動の予定で、今後動力炉開発に大いに活用されよう。

## 2. 動力炉

動力炉の開発は次の2つの流れで行われてきた。

- (1) 外国ですでに開発された炉を導入しその技術を早く修得し、ついで改良を加えていく。
- (2) 将来炉の開発を地道に進めていく。

### (1) 導入動力炉

東海炉および JPDR は上述の線に沿って導入されたが、前者は商用なのに対し、後者は実験炉の性格であった。しかしながら、導入とはいえ東海炉においては、黒鉛の組み方に耐震上独特の配慮をし、あるいは中空燃料を採用するなど、また JPDR では将来強制循環への改造の配慮など最新技術を取り入れる考慮がなされた。

東海炉は、輸入圧力容器材の欠陥、蒸気発生器の振動あるいはガス循環機室の火災などのトラブルが重なり、その経験は貴重ではあったが、発電は大きな遅れを来たすとともに、発電費の上昇も招き、以後本炉型の評価はわが国では低くなり、今後建設されることは非常に後退した。

JPDRは、① BWRの経験や特性を調べる以外、②燃料を含む国産部品の特性ならびに耐久試験などを行い、軽水炉の国産化に貢献することを目的に導入され、現在技術者養成、国産燃料の照射、炉内計装機器の開発などが行われ、また臨界実験装置(TCA)では試作燃料、原子力船炉心試験等が実施されてきた。さらに一步前進させて、強制循環、出力密度倍増(45 kW/l)の JPDR-II 計画が進められている。なお、圧力容器内面ステンレス鋼クラッドにヘアクラックが起りいろいろ検討された。

一方、軽水炉の評価が近来とみに上がり、各電力会社とも軽水炉建設計画を持ち、すでに5基が現在建設中である。国内関係メーカーはその国産化に力を注い

別表 わが国における原子炉一覧

原子炉	臨界	型式	出力
研究炉			
JRR-1	1957. 8. 27	ウォーター ボイラ	50 kWt
JRR-2	1960. 10. 1	CP-5	10 MWt
近畿大学炉	1961. 11. 11	アルゴノー ト	0.1 Wt
立教大学炉	1961. 12. 9	トリガII	100 kWt
日立炉	1961. 12. 25	プー ル	100 kWt
東芝炉	1962. 3. 13	プー ル	100 kWt
JRR-3	1962. 9. 12	天然U重水	10 MWt
武蔵工大炉	1963. 1. 30	トリガII	100 kWt
京都大学炉	1964. 6. 25	プー ル	1 MWt
JRR-4	1965. 1. 28	プー ル	1-3 MWt
JMTR	1968. 3. 30	タ ソ ク	50 MWt
動力炉			
JPDR	1963. 8. 22	BWR	12.5 MWe
東海炉	1965. 5. 4	改良コ ール ダ ホ ール	165 MWe
敦賀炉	(1969)	BWR	322 MWe
美浜-1	(1970)	PWR	340 MWe
福島-1	(1970)	BWR	400 MWe (460)
美浜-2	(1972)	PWR	500 MWe
福島-2	(1973)	BWR	784 MWe
特殊貨物船	(1971)	PWR	36 MWt

であり、近い将来大部分を国産でまかなえるようになる。

原子力船の開発はすでに1956年より議題になったが、本格的には'63年8月日本原子力船開発事業団が設立され、現在'71年度完成予定で計画が進められている。船用炉は船体運動に対する加速度や船特有の荷荷特性(前後進切換など)の条件などが課せられ、炉型はPWRが採用された。そして今までに炉心構造、燃料集合体模型試験、振動下での熱除去試験、JRR-4における遮蔽実験あるいはTCAにおける炉心実験などの開発試験が行われた。

## (2) 将来炉

原子炉開発の初期より増殖炉が考慮され、U-Pu系(高速増殖炉で記述)とU-Th系の2つがまず研究された。後者については、最初水均質炉が燃料装荷量と中性子経済などの観点より考慮され、スラリー流動試験装置、あるいは'61年には臨界実験装置も完成したが、その頃HRE-2における燃料溶液の不安定性が明らかになり、その研究の後退とともに自然消滅の形になった。

水均質炉の開発と前後して'58年半均質炉構想が提起され、臨界実験装置やビスマスループ建設、インパイルループも含めて燃料や再処理など各分野の開発が行われたが、それまで重点をおいていたビスマス冷却に対して半均質炉評価委員会で否定的評価を与えられ、その開発進行が滞滞した。同系のDragon, AVR, Peach Bottomの開発状況や、折から核燃料資源問題より天然U使用が強調されたことなどから、半均質炉に代わって'63年重水減速炉が登場してきた。

原研はこの決定を受けて、まず冷却材選定のため重水、沸騰軽水、有機材、炭酸ガスを各冷却材とした300MWeプラントの概念設計を原子力産業グループに発注し、その結果、沸騰軽水と炭酸ガスを採り上げた。その直後、わが国の動力炉開発について再検討することになって諸々の審議が重ねられたが、'66年5月原子力委員会は重水減速沸騰軽水冷却炉を高速増殖炉とともに開発することに決定した。このため動力炉・核燃料開発事業団が設立され、ここを中心に原型炉(165MWe, Puセルフサステイニングサイクル)を'74年稼働させることを目標に、本炉型の開発が進められ、現在大型開発試験施設(臨界実験装置, 安全試験施設, 熱ループ, コンポーネントテストループ等)などの建設や各部の試作, 開発が行われている。

(動燃事業団 沢井 定)

## 2. 高速炉

### (1) 冷却系の開発

液体金属回路の試作による熱伝達等の基礎研究は、すでに'56年度より日立研究所において開始された。この装置は日立製作所が'56年度原子力平和利用研究費補助金を受けて作ったもので、NaKによるステンレス鋼の静的腐食、純度管理、熱伝達等の基礎研究を目的としていた。同研究所ではその後実験を液体Naでも行い、また電磁ポンプも試作して高温Naによる動的腐食等の基礎研究を行なった。

一方、原研においてはNa用構造材料の開発を長期計画として取り上げ、'60年度より日立との共同で高流速腐食試験を発足させた。この腐食試験ループではNaKおよびNaを用い、最高600°C, 10m/secまで多くの試験が行われた。'62年頃から原研内において高速増殖炉開発の必要性が再認識され、'63年には腐食試験ループを精製法試験ループに改造することが認められ、同年完成の後コールド・トラップ, ホット・トラップおよび不純物計等の試験が行われた。'64年度にはNa特研建屋およびループ等の設置が認められ、'65年度中に建屋, マザー・ループ, ドーター・ループが相継いで完成され、各種の信頼度の高いデータが得られた。この建屋建設と並行して原研から民間各社にNa用計測器, 防災用具, 各種バルブ等が委託研究として出され、Na技術の進歩に貢献して来た。

民間各社においても、この頃から高速増殖炉の冷却材についての研究が盛んになり、原子力平和利用研究補助金等を受けて、Na用機械式ポンプ(日立), 電磁ポンプ(三菱原子力・東芝), Naループ(東芝・三菱原子力・富士電機), 中間熱交換器(三菱原子力)および各種のNaループ用計測装置, 弁類の開発が行われ、さらに小型蒸気発生器の設置(三菱原子力)が予定されている段階である。

### (2) 炉設計および炉物理実験

高速増殖炉の設計研究としては、'58年までに電力中央研究所において行われた。この設計研究は長期間運転しても反応度が下がらないよう、転換率をほぼ1に保つ高速炉で、初装荷燃料として約10%の濃縮Uを使用しNaで冷却するものであった。この設計研究はその後、熱中性子導入の効果, Puを使用してプランケットの配置を変えた効果等の計算がされた。大学でも、高速増殖炉の安定性研究, U-Th系高速中性子炉の検討がされた。'60年代に入ってから大型電子計算機の使用が比較的容易になり、原研を主として各大学, 各メーカーは鋭意その利用法を開発し、その後の核

・熱・構造設計等に大きな便宜を与えることとなった。

高速中性子系の実験としては、原研において'58年度ブランケット指数実験装置を完成していたが、速中性子コンバータ用濃縮Uの到着を待って'61年7月から実験が開始された。この実験はJRR-1の熱中性子柱を用いて行われ、速中性子コンバータとして濃縮U 2 kg, ブランケット材として天然U 2.3t.を用い、放射化法, 原子核乾板法, フィッション・チェンバ法によって諸種のデータが求められた。この実験は一応の成果が得られたので'61年度で打ち切られた。この頃から原研では7~8年後に高速実験炉を建設することに目標をおき、'63年から高速増殖炉の炉物理的研究を行うための高速臨界装置を建設する準備を始めた。この臨界実験装置は'63年度末その建設について民間企業と契約を行い、'64年度安全評価の作業を終了し、'65年9月設置許可、'67年4月29日臨界に達した。この高速臨界実験装置は水平2分割型と呼ばれるもので、初期燃料は20%濃縮Uの金属薄板をプラスチック被覆したもので、濃縮度希釈用の天然U薄板、冷却材模擬用のステンレス鋼被覆Na, Al板、構造材模擬用のステンレス鋼板などが準備されている。この装置では理論と実験との比較ができ、将来はPu燃料を装荷して臨界実験を行うことが計画されている。

この建設と並行して原研では、高速実験炉(100 MWt)および高速実用炉(1,000 MWe)の設計を進め、国内の設計技術を育て、開発上の問題点を抽出するに資する所が多かった。一方、日立中研は'65年度より指数実験を行っており、東京大学では小出力の高速中性子源炉を建設することを決め、'68年度に予算を計上して設置許可を受けた。この中性子源炉は高濃縮金属Uを使用する熱出力最大2 kWの空冷式高速炉で、原研東海研究所内に建設されるはずである。

### (3) 大型炉の開発体制

原子力委員会は'61年2月原子力開発利用長期計画を立てて施策の規準として来たが、高速炉研究の内外の進展とその将来性を考え、'64年2月高速増殖炉に関する懇談会を設けて開発の基本方針策定のため検討を行なって来た。'64年9月第3回原子力平和利用国際会議で明らかにされた各国の意欲をも考慮し、同年10月動力炉開発懇談会を発足せしめて日本における開発の具体策について意見を求めた。各委員とも高速増殖炉の開発を推進すべきことに意見がまとまり、'65年7月動力炉開発懇談会に2つのワーキング・グループ(新型転換炉および高速増殖炉)を設けてさらに検討を続けることとした。この2つのワーキング・グルー

プは'66年初め相次いで懇談会に報告書を提出し、原子力委員会は3月、'67年度を目途に特殊法人を新設してここに開発の責任を集中すること、および5月に「動力炉開発の基本方針について」を内定し、新型転換炉および高速増殖炉を国のプロジェクトとして推進するために、動力炉開発臨時推進本部を設置することを内定した。この案は衆議院科学技術振興対策特別委員会の動力炉開発に関する小委員会報告で支持され、また原子力産業会議等民間各界からも支持されて同年6月決定され、高速増殖炉分科会を発足させて、開発に必要な項目ならびに'67年度にとりかかるべき項目、資金計画等を審議し、可及的速かに推進本部に答申することになった。この答申をまって推進本部は9月、'67年度の開発計画を立てて原子力委員会に報告した。

1967年3月、原子力委員会は'67年度原子力開発利用基本計画を立て、高速増殖炉および新型転換炉の開発については、新特殊法人「動力炉・核燃料開発事業団」(以下動燃事業団)が、原研、民間等関係諸機関の協力を得て開発を行うこととした。さらに、動燃事業団の動力炉開発業務に関する基本方針および第1次基本計画を決定し、高速増殖炉に関してはPu混合酸化物系燃料を用いるNa冷却型高速増殖炉を開発することを目標とし、実験炉としては熱出力約10万kW程度のものを'72年度頃、原型炉としては電気出力20万~30万kW程度のものを'76年度頃臨界に至らせることを想定し、原研、大学、国公立試験研究機関、民間企業等の協力を確保するみちを講じ、動燃事業団を中核とする一元的責任体制のもとに研究・開発を行うことになった。

動燃事業団は現在、高速実験炉について、これまで原研で行なって来た設計研究を基として各界の協力のもとに第3次概念設計を行っており、原型炉については'69年1月末予備設計を終り'69年度から第1次概念設計を行おうとしている段階である。関連研究施設としては、原研に既設の装置のほかに、新たに $\alpha$ - $\gamma$ ケープ・システム、2 MW Naループ試験システム、小型機器材料試験システム、炉構造大型機器試験装置、蒸気発生器等の施設を作っていく予定である。

### (4) 海外協力

研究員もしくは調査団の海外派遣はしばしば行われて来たが、'65年12月、原研はイギリス原子力公社との間で高速炉研究開発に関する情報交換と協力のための協定を締結した。また、'66年5月電力中央研究所はアメリカのAPDA(原子力発電開発協会)との間に、高速炉およびPuの研究開発に関する協力計画の一般的事項について合意に達し、電力中央研究所ではこの国

際協力計画のために日本フェルミ炉委員会を設置して日本側窓口としている。

また動燃事業団は、'68年2月12日フランス原子力公社(CEA)との間に協定を結び、液体金属冷却高速炉に関する一般的な情報交換および協力を進めることとした。(動燃事業団 三木良平)

### Ⅲ. 炉物理

#### 1. 前期の5年

本誌6巻8号(1964年)に「炉物理研究5年の歩み」を書いた。それは原研の高橋博氏の協力を得たもので8ページに及び、そのうち論文リストが4ページを占めた。リストには総説・資料・委員会報告14件を含めて135件の論文が記されている。その記事の主な読者対象は炉物理研究者自身を考えていたので、内容はかなり自省的なものであり、今回の企画とはやや性格を異にしている。

前期「5年の歩み」では、第1に炉物理研究者の層の厚みの問題にふれ、今後の発展のためには研究者層を厚くする努力をしなければならないと述べた。

つぎに、炉物理研究を3つの典型に分類し、①基礎的研究、②プロジェクトの一翼をなす研究(契約研究)および③炉心概念設計を考えた。とくに基礎研究については、当面の実用価値に思いわずらって研究のホコ先を自ら丸めるような甘さがあってはならないと述べた。

そのあと各論として、炉物理の各分野について研究成果を簡単に紹介したのであるが、既発表の論文はほとんど理論ないし計算に関するものであって、その理由としては実験研究には準備に時日を要するからだとして説明した。このことは全く予想どおりであって後期5年には多くの実験研究が行われて成果が発表されている。

#### 2. 研究連絡組織の充実

「5年の歩み」以後の炉物理研究活動を振りかえってみるとき気をつくことは、研究のための横の組織、あるいは研究連絡組織が大いに充実して来たことである。それらのほとんどが本学会の専門委員会の形をとっている。

たとえば、原子炉設計にとって核反応データの実測・収集・整理・評価は重要で不可欠の仕事であるが、この核物理と炉物理をつなぐ分野にシグマ専門委員会が生まれた(1963)。この組織は海外の国際組織とも手を結んで着実に活動しており(本誌に定期的に活動報告を出している)、とくにその世話役の方々の地味な努力

には感謝のほかはない。

また、炉中性子に関しては炉中性子研究専門委員会が生まれ(1967)、とくに基礎研究の交流の場として育ちつつある。この委員会は「炉中性子研究」と名づける研究速報をすでに20号近く出して来たが、ここにも研究を深めるために苦勞をいとわぬ人々がいる。

そのほかにも炉物理のいろいろな分野で、また炉物理に関連のある分野で、炉物理研究特別専門委員会をはじめ多くの研究組織が生まれて来たが、紙数の制限もあってここでは名称などを列記するにとどめ、詳細はそれぞれの委員会報告にゆずりたい。

(専門委員会) (期間, 年/月) (活動報告, 巻号年)  
計算コード '60/8~'63/7 「原子力計算コード  
開発の現状」('62/12)

原子力コード特別 '65/6~  
臨界実験 '61/5~'63/3 5[12]1963  
「原子炉物理実験」('68/8増刷)

炉物理実験研究 '63/6~'65/3 7[6]1965

炉解析研究 '65/4~'67/3

炉物理研究特別 '67/4~

炉中性子研究 '67/4~ 「炉中性子研究」(毎月)

炉雑音解析研究 '63/6~'67/3 7[7]1965;9[8]1967

原子炉動特性測定解析研究

'67/4~'69/3

シグマ '63/4~'65/3 7[5]1965

シグマ特別 '65/6~ 9[10]1967

原子力直接発電研究 '63/10~'66/8 8[1, 3]1966

高速炉研究 '64/10~'66/9

高速炉技術研究 '66/10~'68/9 10[11]1967;  
成果報告書('68/11)

高速増殖炉研究 '68/10~

高速炉 Na 技術特別 '68/8~

原子力 MHD 発電研究 '65/4~'69/3

パルス中性子炉研究 '66/4~'68/3

パルス中性子炉設計研究 '68/4~

パイルドシメトリ研究 '66/10~'68/9

照射計測研究 '68/10~

昨1968年春、学会に炉物理連絡会が組織された(初代当番校京大炉(熊取))。そして連絡会報「炉物理の研究」を出しはじめた。かつて原研の炉物理談話会がになっていた役割をもっと広い基盤で考えることができるようになったのも1つの進歩であるが、会員数はまだ約140名であり、原子炉物理が原子力工学の基礎であることを考えると、まだまだ層の厚さは不十分であるといわねばならない。

これら各種の研究連絡組織が研究者層の実質的な厚みを増す上に少なからぬ役割を果たしていると思われる。もちろん委員会によっては理想に遠いものもあるが、またちょっと油断すると組織はすぐ老化してしまふものであるから、今後の努力はいわずもがなのことであり、また学会誌上に活動報告を積極的に出していただきたい。新しい炉物理連絡会をどのように発展させ定着させるかも1つの大切な課題であろう。

上述の学会の組織のほかにも、たとえば物性関係の研究者との交流の場として原研に中性子非弾性散乱研究会があり、京大炉にも各種の研究委員会がある。

炉雑音の研究では、昨1968年9月日本學術振興会の援助をえて日米合同セミナーを開くことができたことも報告しておきたい。

### 3. 研究活動の概観

#### (1) 核物理

原子炉設計に要求される核反応の情報を得るための核物理研究の状況はシグマ特別専門委員会によって掌握されている。研究は原研およびいくつかの大学で行われており、とくに原研ではバンデグラフを用いて keV および MeV 域を、リニアックを用いて eV および keV 域を、また炉中中性子を用いて冷中性子および eV 域での全断面積その他の測定を進めて来た。

けれども必要な核データはまだほとんど海外の成果に依存しているのが原子炉開発の現状である。

#### (2) 炉定数

核反応データはそのままの形ではなく炉定数の形にまとめられた上で炉設計などに使用される。それは、計算機の非常な発展にもかかわらず中性子輸送方程式を相当に近似した形にしなければ数値計算ができないためであって、計算機用近似計算法(コード)の改良発展と対応して適切な炉定数の作成が要請される。この方面の作業はシグマ特別専門委員会の炉定数グループにおいて推進されている。

#### (3) 中性子輸送

媒質中の中性子の移動は、輸送あるいは減速、熱化、拡散と呼ばれ、その取扱いは炉物理の基本の1つである。かつては解析的処理によって中性子輸送の特長を論ずる研究もあったが、近年は計算機に適合した近似計算法とその応用が多い。したがって、利用しうる計算機の性能に応じ、またその性能の向上に応じて、各方面で種々の方法が研究されている。また放射線遮蔽の基礎研究は中性子輸送理論の研究と共通する面をもっている。

輸送方程式の固有値問題といった基礎的研究では、

最近京大などで研究が進められている。

一方、動力炉開発が経済性追求の段階に入った結果、格子設計などには高い精度が要求されるようになり、衝突確率法ではとくに原研、NAIG(日本原子力事業)などの研究が目立つ。

#### (4) 熱中性子散乱

熱中性子炉にあっては熱中性子スペクトルの知識が重要であるが、熱中性子の散乱には媒質分子の構造が影響するので、熱中性子化は1つの特長ある研究分野をなしている。この方面の研究は、原研、阪大、東工大、メーカー研究所などで行われ、シグマ特別専門委員会に熱化グループが存在する。

#### (5) 共鳴吸収

熱中性子炉および大型高速炉で中性子スペクトルの比較的軟かい炉では中性子の共鳴吸収が重要である。共鳴吸収はかつては理想化されたモデルについて比較的きれいな形に表式をまとめることができたのであるが、計算の精度が要求されるようになるとその近似方法が難しい。この問題は原研、メーカー研究所、東工大、京大などで主として研究されている。

#### (6) 核設計研究

原子炉が輸入されている間は本格的な研究はないが、自主開発に伴ってこの分野の重要性は増してくる。新型転換炉に関する原研、メーカーの研究、高速増殖炉実験炉に対する原研、メーカーの研究のほかに、高速炉では東大や京大、Th 炉では東工大の研究などがある。

#### (7) 計算コード

すでに述べたように、最近の理論計算は事実上もっぱら計算機によるので、数値計算法の研究は計算コードの開発の形をとる。既述の炉定数や中性子拡散・散乱などのほか、中性子スペクトル、クラスタ燃料の核特性、動特性解析、燃焼計算等々すべてコード開発が必要になる。したがって、各種のコード開発が行われる結果になるが、原研の場合を別にして、メーカーで開発されるものは重要なものほど財産視されるのでその公開の方法には工夫が必要であろう。

#### (8) 臨界実験解析

この10年間に原研をはじめ各所に臨界装置ないし臨界未満装置が設置された。それらによる各種の実験とその解析が少なからず公刊されている。

臨界装置では、熱中性子系では AHCF, SHE, TCA, JMTRC(以上原研), OCF(日立), NCA(NAIG), 住友CA があり、後者の3つと TCA はいずれも軽水炉用である。高速中性子系では原研の FCA が1967年4月

初回臨界に達した。

#### (9) パルス中性子, 中性子波伝播

パルス中性子を打込むことによって, 非増倍系ないし臨界未満系の核特性を調べる方法もすでに定着して, 原研, 阪大, 東工大などで研究されている。この方法は中性子の減速拡散の研究にとくに適している。

媒質中の中性子波伝播の問題は新しい分野であり, 阪大, 京大, 東北大などで先駆的研究が始まっている。この分野では理論上の中性子波と実験上のものの対応関係などに検討すべき問題が残されている。

#### (10) 中性子のゆらぎ

この分野のうち, 炉雑音すなわち中性子密度の変動の研究は, 原研, 京大, 東海大, NAIG, 日立などで行われており, 零出力炉から次第に高出力炉の方に研究の焦点が移りつつある。一方, Rossi- $\alpha$  法に代表されるような中性子検出カウンターの相関とその分析については, 原研, 京大, 東工大, 阪大などで研究が進められている。

炉雑音解析のための NAIG の 2 検出器法の着想は注目されている。

#### (11) 中性子測定法

炉物理の実験的研究はすべて中性子の測定に依存していることはいままでもない。精度の高い実験をするには測定法の開発ないし測定方法の吟味検討が重要である。このことはよく知られているにもかかわらず, その研究を着実に進めることは容易でない。原研や東工大, 京大などで行った論文が公刊されているほかあまり見当たらないのもそのような事情を反映していると思われる。

最近では  $^3\text{He}$  による高速中性子測定について 武蔵工大や日立などで研究中と伝えられるが, これに限らず, 測定法に関しては根気よく研究を進めて成果を公刊するところまでぜひ頑張ってもらいたいし, またこの種の地味な努力に敬意を払いたいものである。

#### (12) 動力炉解析など

運転している実験炉や動力炉の炉心特性解析もまた炉物理の重要な 1 分野と考えられる。これまで動力炉に関しては JPDR に関する原研の研究, 東海発電炉に関する原電および原研の研究がある。

そのほか Pu の熱中性子炉利用を旨とする原研や動燃事業団の研究, また燃料交換法についての原研などの研究がある。

以上きわめて簡単な紹介にとどまり, 各分野で活躍中の研究者諸氏にとっては相当に不満なものになったことをおそれる。しかしながら, このような10周年記

念企画にたよらないで今後は, 炉物理研究者が自発的に定期的に研究成果の総合報告を学会誌上にまとめる習慣をつけるようにしたいものである。

#### 4. 今後の課題

今回の10年の歩みの執筆に当っては研究機関の多くから参考資料を送っていただいた。すでに述べたように紙数制限のゆえにそれらを十分活用できなかったのは申し訳なく思っている。

その中で気付いたことの1つとして, 原研の場合, 前期「5年の歩み」以後に公刊された論文(総説・解説・装置の紹介などを含まず)の数が炉物理関係で266件(核物理関係56件, 遮蔽関係19件を含む)である。このうち所内報告 JAERI-memo が74件含まれていたのをそれを差し引けば, 約200件弱となる。もとより研究の成果は論文の数のみで論じうる性格のものではないが, 原研以外から送られた資料から対応する件数を数えると100件にみたく, 連絡のなかった研究機関を含めても原研の数字には達しないだろうと思う。

現在主な大学には原子核工学ないし原子力工学の教室があるが, それぞれが広範な原子力分野に対して手広く構えた組織であるため, 炉物理をとり出してみると, これまでの原研に匹敵するような厚みのある布陣がとれない事情にあるのではなからうか。近年原研はその性格づけをめぐって流動しているが, 今後かりに原研が炉物理研究の中核的地位から自ら引き下がるような事態になれば, それにとって代わる組織を育てることは容易なことではないと思われる。

これまでメーカー研究所では炉物理の基礎研究に相当の働きをして来た。けれども最近輸入炉の国産化が進み, またナショナル・プロジェクトの動力炉開発が本格化するにつれて, 要員の必要から次第に基礎研究面から人材が引き上げられてゆく気配がみえる。

現在では, 国家機関か民間企業かを問わず1つの大きなプロジェクトには多くの資金と時間と技術者・研究者が固定される。そこでは基礎的研究までが企画され計画化される。ところがわが国の場合にはプロジェクトは一般にせつがちであり, かつ先進国の後を追う性格をもつため, 基礎研究面は海外の成果に依存する傾向が強く, 国内の基礎研究は重視されず, 場合によってはかえって疎外されるように見える。

わが国の原子力開発が先進国の水準に達し, さらに独自の開発を行う時代までは, わが国の炉物理研究を推進する刺激をプロジェクトに求めることには無理があるのかも知れない。その意味で学会の研究組織のもつ意義はとくに大きいと思われる。

終りに、草稿を読んで適切な助言を下された東工大の古橋 晃氏に感謝する。

(電源開発 大塚 益比古)

#### IV. 遮 蔽

放射線遮蔽という分野はこの分野外をやっている人人にはどのようなものかはつかみにくいものようである。われわれは原子力研究の中に放射線遮蔽という独立の分野があると主張し、先進諸国に劣らない研究成果をあげるべく努力して来た。以下これらの過去10年の歩みをふり返ってみよう。

##### 1. 10年前の状況

他の原子力の各分野と同様、わが国のこの方面の研究成果は皆無に等しかった。研究設備、研究者も同様皆無に等しかった。1956～7年頃原研にて石川らが行なったJRR-3(国産1号炉)の遮蔽計算にも、用いられたデータは全部外国のものであり、計算機も電動式机上計算機であった。

##### 2. 放射性同位元素を用いた $\gamma$ 線の物質透過および散乱の実験

大きな実験施設、大型計算機がなかったために当初の研究は $\gamma$ 線源を用いて行われた。現在までに行われた主な研究は、平板多重層透過 $\gamma$ 線のビルドアップ係数の測定、透過 $\gamma$ 線のスペクトルの測定、体積線源近傍の $\gamma$ 線線量の測定およびビルドアップ係数の測定、鋼管壁のビルドアップ係数の測定、後方散乱 $\gamma$ 線のアルベド、散乱 $\gamma$ 線スペクトルの測定などである。これらの研究は大部分は終了したとはいえ、現在もなお引き続き実施されているものもある。

##### 3. 原子力船の計画が遮蔽研究に与えた影響

原子力第1船の建造計画の発足と共に、原子炉遮蔽が建造費に及ぼす影響の大きいことが判明した。日本原子力船研究協会に原子力各系列会社、造船会社等の研究者が集まり、運輸技術研究所、原研の協力を得て資料および計算コードの収集および開発を行い、また遮蔽研究に欠くことのできないスイミングプール型原子炉の計画をたて、後にこれはJRR-4として原研に設置された。

##### 4. 中性子および $\gamma$ 線の物質透過の計算

今まで多数の計算コードが個々の場合を対象に作られた。そのうち注目される理論計算を2, 3あげる。原子炉遮蔽計算を対象として、中性子の物質透過を計算する除去拡散コードを主体とするRACが作られた。このコードは1次 $\gamma$ 線、2次 $\gamma$ 線の透過、遮蔽体中の温度分布と熱応力の計算も可能である。

中性子と $\gamma$ 線の壁状物質の透過に対して、Boltzmann輸送方程式をDiscrete Ordinate法で数値解を求めるコードが開発され、良好な結果が得られた。

Invariant Imbedding法が $\gamma$ 線の物質透過および後方散乱の問題に応用されて良好な結果が得られた。

##### 5. 研究用原子炉による実験

原研を初めとする2, 3の研究機関に研究用原子炉が設置されるに及び、原子炉を用いた遮蔽研究が積極的に開始された。

JRR-4のプール中に原子力船1次遮蔽体のモックアップをおき、多重層中の中性子および $\gamma$ 線の分布の測定、およびクーリングダクト中の中性子および $\gamma$ 線のストリーミングおよび付近の線量分布が測定された。これらの測定値は計算値と比較され、計算コードの有用性の確認がなされた。

他の原子炉においても、中性子の物質透過、ダクトストリーミングなどの研究が行われ良好な結果が得られた。

##### 6. その他の中性子透過実験

原子炉中性子以外にも中性子源が種々あるが、これらを用いた中性子透過実験は比較的少ない。最近電子リニャックで発生する中性子の物質透過実験が行われた。

##### 7. ダクトストリーミング

ダクトストリーミングに関しても理論的、実験的な研究が最近数年間積極的に行われた。金属ダクトのアルベド成分の決定、Line of Sight法による計算結果と実験データとの対比、オフセットダクト中の中性子のストリーミングなどの研究が行われた。

##### 8. 本学会における活動

本学会の創立当初は、年会および研究発表の分野に遮蔽という分野はなかった。当初はおそらく放射線物理あたりに出していたのではないかと思う。その後、この分野の重要性も認められ、研究者も勝手に自分で遮蔽という分野を書いて応募したりするに至り'63年頃より1分野と認められるようになった。その頃より研究者の間に急速な研究者間の連絡組織づくりの話が高まり「遮蔽研究専門委員会」を持つべきであるとの結論が出てその実現に努力した。幸いにして当時の企画委員会は、われわれの、自からの研究分野を興すことの努力を認められ、'64年研究専門委員会として出発した。この専門委員会は現在も「遮蔽実験研究専門委員会」として活動を続けている。

(京大 兵藤和典)

## V. 計測・制御

原子炉の計装,放射線計測,動特性,制御の分野の研究開発について,この10年を振り返ってみる。なお,放射線計測は,炉物理,保健物理,遮蔽などの分野に関連しているので,本章では炉工学的な見地から検出器およびその周辺について述べる。

### 1. 原子炉計装

わが国における炉計装開発研究がその端緒を開いたのは, JRR-3 の設計が始まってからであるといえる。その後,民間での原子炉,臨界実験装置などの自主開発が軌道に乗り(1960),中性子計装を中心とする研究炉の計装が実用化の第一歩を踏み出した。当時,計測回路は真空管式であったが,間もなく回路の半導体化の研究がメーカーおよび原研において盛んとなり(1961),'65年頃には一応の成果が得られるに至った。引き続き半導体回路による計装の性能向上に努力が払われ,高信頼度のものが得られるようになった。一方,動力炉の計装も'65年頃から手が付けられ,今日ある程度の成果を得ている。

中性子検出器は,'60年に $\gamma$ 線補償形電離箱がすでに試作され,また核分裂計数管についても研究が行われている。中性子計装回路には,直流増幅器,対数周期計,線形増幅器,線形計数率計,対数計数率計などがあるが,これらはすべて当初 JRR-3 用に真空管式なものとして開発された。しかし,民間原子炉では一部トランジスタ式が開発をみた。その後,材料試験炉を目標として全半導体化の研究が原研で推進される一方,メーカー(東芝,神戸工業など)でも同様な開発研究が行われた。特に微小直流の安定な増幅器の開発が,電界効果型トランジスタの出現により急速に進み,実用に供せられるに至った点が記憶に新しい。

動力炉の炉内計装は,比較的最近になってインコア・チェンバが東芝,ボイドメータが日立,原研で主として研究に着手され,JPDRでの性能試験を終えている。また,セルフ・パワー中性子検出器の開発も行われた。

原子炉用特殊計装としては,過渡時の反応度変化を指示する反応度計,ペリオドメータの変形などの開発が'62年頃より始められた。最近になって,炉雑音の特性を利用した原子炉停止反応度計,原子炉安全性モニタの開発が進められた。また,危険故障を極端に小さくする方式として動的論理回路を用いた原子炉の安全系が研究され実用化の段階に至っている。

破損燃料検出装置は, JRR-3, JPDR などの原子炉

について,それぞれ特長ある方式が開発されている。また,特殊な研究として, HTR のパルス運転用に開発された計測系をあげることができる。

### 2. 放射線計測

初期は先進国の技術を取り入れることが主であったが,'60年頃から海外にやや遅れて原研,東芝などで表面障壁形,PN 接合形の半導体検出器の研究が始められた。その後研究は各所で行われるようになり, $\alpha$ 線のみならず中性子線用検出器も開発された。また, $^6\text{Li}$  サンドイッチ形中性子スペクトロメータなどの製作も行われた。最近になって上記の研究グループの手によって, $^6\text{Li}$  ドリフト Ge 検出器の開発が行われ,すでに実用化されている。

シンチレータについては, NaI シンチレータなどが初期の頃からすでに商品化されていたが,さらに特殊用途として大形のもの,中性子用などが開発された。

放射線モニタは,メーカーの手により年々改良され,特に半導体化してからはますます小形軽量となり, $\alpha$  モニタを除いてはほぼ完成しかつ標準化されている。

ガラス線量計は'60年頃より研究が始まり,すでに完成し製品化されている。放射線検出器としてはこのほかに電流電離箱や各種の計数管があるが,特記すべき研究はない。

放射線計測用電子回路としては,当初256チャンネルなどの多重波高分析器の開発が行われたが,真空管式のもので性能のよいものは得られなかった。しかし,電子工学の進歩とともに性能のよいものが得られるようになった。また時間分析器の開発も行われた。

### 3. 原子炉動特性

動特性の理論的解析,模擬の段階を経て初期の実験的研究は,'59年頃より JRR-1 を通して原研,大学,メーカーにより行われた。零出力および高出力における炉雑音解析がバンドパス・フィルタ技術または相関法を用いて実施された。また同時に周波数応答法による伝達関数が測定された。炉雑音解析法は, JRR-2 で踏襲された後'61,'62年に至って HTR, TTR, JRR-3 の運転開始に伴い新たな研究段階に入った。炉雑音のパワースペクトル密度からの臨界未満反応度の推定,炉出力絶対値の測定,中性子系への応用などについて成果が続いた。一方,'62年頃から原研を中心として進められたバイナリー・ノイズ法も, M 系列型信号の開発に伴い JRR-3 の低出力および高出力伝達関数測定に用いられて良好な結果を得た。一方,パワースペクトル密度測定に際してバックグラウンド・ノイズを除去する

有力な道具として、2検出器法がNAIGにおいて開発された(1965)。KUR, JPDRの完成とともに高出力炉における雑音解析が行われた。一方、周波数応答法もJRR-2, JRR-3, JPDRに適用されたが、特にJPDRでは油圧サーボ機構によって制御棒を振動させるパイルオッシュレータ方式が採用された。

炉雑音解析の理論的研究は、電源開発、原研を中心に'64年頃より種々なアプローチにより始められ、零出力モデルについては一応完成したといえる。温度フィードバックをもつ高出力炉雑音モデルについても、京大炉で行われた研究に続いて原研から新たな成果が得られた(1968)。同様にBWRの炉雑音モデルもNAIGから提出された(1968)。また、Kalmanフィルタによる最適推定に基づく臨界未満反応度推定法が提出された(阪大, 1968)。

動力炉動特性の研究は、ガス炉, BWR, PWRなどの炉型について各所で行われたが、特にBWRについては沸騰現象のメカニズムの記述を含めて'58年頃より解析が進められ、'61年頃原研、日立などで一応の成果が得られた。一方、大振幅の動特性の解析は、京大工研、日立などで初期はアナログ計算機、後期はデジタル計算機を用いて実施された。ガス炉については、温度係数が正の場合の解析、制御の安定性、Xe振動圧などが原研、電試などで研究された。動力炉の安定性の研究については、古典的な方法以外にLapunovの第2の方法によるものも提出された(北大)。

空間依存動特性の研究は、まずガス炉、軽水炉などについてのXe振動の解析から開始された(1959)。この方面の研究は最近では、重水炉について検討が行われており、安定条件の導出、過渡時の出力変化の計算など、ほぼまとまった結果が得られている。一方、反射体付炉、結合炉、多領域炉について空間依存動特性の研究が、モード展開法またはノード展開法さらに炉雑音解析の手法をもとに京大、日立、東工大、原研などで始められて現在に及んでいる。これに伴って計算コードの開発も行われた。理論的解析に対応して、SHE臨界集合体について周波数応答法による空間依存性の検証が実施された(京大)。一方、高出力におけるJPDRの低周波領域の空間依存性が、前述の周波数応答法により示された。

#### 4. 原子炉の制御

原子炉を持たない初期の時代には原子炉動特性を模擬したシュミレータを用いて制御系の設計を行うか、あるいは試作制御装置の特性を調べるかなどの研究が主で、中性子レベルとかペリオドを一定に保つなどの

制御に限られたものであった。国産原子炉が計画され実際に製作される段階に至って初めて地に足のついた開発が進み、'61~'62年頃には研究炉に関する限り技術的にはほぼ問題のない状態になった。'62年頃より計算機制御の原子炉への応用研究が開始され、これにXe毒作用の最小化などの最適制御の開発が続いた。さらに最近に至って中性子束分布の最適制御など、分布パラメータ系としての取扱いが研究の対象となってきた。

初期の古典的制御技術の段階では、JRR-3, HTR, TTRなどにおける制御棒駆動装置、出力自動制御系、制御リレー回路などの開発が成果としてあげられる。

計算機制御の原子炉への応用としては、まずTTRについて単能デジタル計算機による自動起動実験が行われた。続いて同じ炉について汎用計算機により、起動前および停止時点検を含めた運転の自動化の研究が進められ、'66年には国際的にみてトップレベルの成果を収めた。また、自動起動を中心とした同種の研究が、HTRおよびJRR-1によっても行われた。この間、実験は一部しか行われていないが、JPDRなどの動力炉の計算機制御の構想として興味あるものが1, 2散見された。

現代制御理論にもとづく最適制御の適用としては、まずXe毒作用に対する最適炉停止法についての研究が電試において開始され、'63年から現在にかけて原研、東大、京大において活発に行われている。この間JRR-2による実験も試みられた。一方、最短時間制御の研究は'63年頃より着手され、TTRによる実験が行われた。また、中性子束分布や結合炉の最適制御、さらに連続燃料交換における燃焼度の最大化などの諸問題が、電試、阪大、日立、東大などを中心として進められており、今後最適化の手法は、単に制動の分野ばかりでなく炉工学、炉設計などの種々な分野でますます活用されることと思われる。

なお、Wienerフィルタによる炉雑音の統計的制御に関する研究も行われた。

#### 5. 学会における活動

1963年6月より本学会の専門委員会として「原子炉雑音解析専門委員会」が発足し、わが国における炉雑音研究を推進する上で極めて大きな役割を果たした。同委員会は'67年3月をもって終了し、動特性の手法全般を対象とする「原子炉動特性測定解析研究専門委員会」が発足して今日に及んでいるが、本年4月からは「動力炉動特性研究専門委員会」として新発足する予定である。

(東海大 黒田 義輝, 動燃事業団 鈴木 頼二)

## VI. 熱伝達・構造強度・圧力容器

この10年における熱伝達、構造強度、圧力容器などの原子炉工学の課題に関する展望を、限られた紙面にもれなく記述することは不可能であるので、研究の動向を概観するに止める。

### 1. 原子炉開発に及ぼす技術水準

原子炉(動力炉)の建造は、多種多様の科学技術を総合してはじめて可能なことはいままでもない。そのためには、工業の広い分野にわたる広範囲の技術の水準が高いことが必要である。ところで、研究開発を推進めるにあたって、精度のよい有用な実験データをものにし、それを設計に反映させるために、実験設備を大型化し(いわゆる実験炉なども含めて)、実働条件にならって実験しようという最近の傾向によれば、上に述べた技術水準の高さが研究開発にも影響することになる。たとえば高速炉の開発のために、いわゆる Na 技術が工業として定着し成長することがぜひ必要である。わが国の動力炉の建設が外国技術の導入という形で出発したとはいえ、その建設の段階における種々の貴重な経験が技術の水準を高めることに役立ったことは事実であろう。原子炉の耐震構造設計をはじめスーパーヒータにおける流れによる管の振動(それに伴う疲労破損)の究明と対策など、みなそうである。

### 2. 熱伝達、流動の研究

このような問題のほか、動力炉の安全性を確保し経済性を向上するために多くの基礎的な研究がわが国の種々の機関で行われてきた。熱伝達の分野についていうと、たとえばガス冷却炉では、フィン付き管の対流や輻射による熱伝達および圧力損失、環状燃料や管群形燃料における対流熱伝達など、水冷却炉では、円環流路の乱流熱伝達や圧力損失、臨界圧付近の対流熱伝達、気泡力学、核沸騰熱伝達、過渡沸騰熱伝達、管内流沸騰熱伝達、バーンアウト、2相流の流動様式、ボイド分布、スリップ比、圧力損失、キャリオバ、キャリアンダ、臨界流、雑音解析、水力学的振動、噴霧冷却、冷却材喪失事故時の緊急冷却における熱伝達など沸騰や2相流に関する研究が多い。そのほか、スラリーの流動と熱伝達、有機液体の管内流沸騰熱伝達、内部発熱を伴う流体の対流熱伝達、熔融ビスマスの流動、水銀の対流熱伝達(磁場の影響を含む)、Na 流動や沸騰などが研究されてきた。これらの研究は本学会はじめ多くの学協会で発表されたものである。ところでこのような研究はいわゆる“炉外実験”が主である。実際の原子炉において重要な問題は、燃料被覆管と冷却材と

の間の熱伝達ばかりでなく、燃料中の熱伝導や燃料と被覆管の間の熱移動(いわゆるギャップコンダクタンス)であって、原子炉において照射中の燃料棒の材料学的、冶金学的変化に伴う熱移動の変化を時間を追って解明することが肝要である。安全性を確保するためには燃料棒の挙動に対する正確な情報を常に持つていなければならない。このためには、炉内実験とその解析が必要で、温度計測や熱伝導率の測定などのほか、いわゆる炉内計装や計測法の開発も重要なことである。ここにも高度の技術のうらづけが要求されるが、材料試験炉などの活用が期待される。

### 3. 炉材料の照射効果に関する研究

動力炉に使用される種々の材料は、高温や高圧のもとで種々の放射線の照射を受けながら流動する冷却材にさらされている。したがって、実働材料の腐食について究明する必要がある。特に水冷却炉での Zr の水素吸収や鋼の応力腐食、Na 中での質量移行などである。ところで、炉心構造材の照射に伴う性質の変化のうち照射脆化の現象は、大型構造物(たとえば圧力容器)や動的荷重を受ける部材にとっては極めて重大な問題である。これについては、鉄鋼照射試験合同委員会で研究されてきたことは特筆すべきであろう。しかし、熱中性子炉の場合と異なり、高速炉の材料は、特に高温の Na 中において被曝中性子量の高いものであるから、わが国の高速炉の開発には、燃料被覆材のほか炉心構造材や圧力容器の材料について、照射効果を含めて研究開発することが緊急かつ重要といわねばならない。

### 4. 圧力容器の研究

動力炉の鋼製圧力容器の設計コードとしては、極限設計論にもとづいてアメリカ機械学会が制定している。これは原子炉の全寿命中に作用する機械的および熱的な負荷を推定し、これらによって生ずる応力を圧力容器の細部にわたって分類して、各応力に対する限界値を設けたものであるが、もちろん、クリープ、低サイクル疲労、熱応力、熱疲労、サーマルラッチェット、熱衝撃などが設計にあたっては充分に考慮されなければならない。わが国においても、このコードに相当する規格の必要性が早くから認識されていたが、火力発電技術協会が検討して、'67年末に原子力圧力容器規程を提案している。ところで、果して上の設計コードだけで充分かどうか。原子炉圧力容器の運転中に生ずる脆性破壊事故の検討や、圧力容器の製作および運転中に生ずる欠陥の検査法や検査基準の確立がぜひ必要である。また、原子炉各部の溶接部や圧力容器内面のス

ステンレス鋼クラッド部などについては技術的検討を充分行わねばならないし、もし損傷を発見した場合には、その原因をすみやかに究明して対策をたて、将来のために正しい技術的情報をもたらさねばならない。

原子炉における材料、燃料、流動、熱伝達、質量移行、構造強度、圧力容器、計測、計装などはみな互いに深い関連がある。わが国のこの方面の研究開発が、施設の整備、充実によって強力に進展することを祈って止まない。

(この一文は、本学会誌に連載された「原子力科学技術の進歩」のうち、「原子炉熱設計法、原子炉材料技術、原子炉構造技術の各進歩」、ならびに『原子力総合シンポジウム予稿集』などを参照したことを付記して、各著者に感謝する。)

(京大 岐美 格)

## Ⅶ. 核燃料・炉材料

わが国で原子力材料という正式の看板をかかげて調査を始めたのは、1954年末に発足した原子力発電資料調査会のヤ金グループ(主査、橋口隆吉教授)と日本学術振興会122委員会の前身となった原子炉材料固体物理研究班(主査、同上)であるが、関係の研究室ではこれより数年前から海外文献調査は始められていたようである。原研、つづいて原燃の発足、'54年度より始まった原子力行政、原子力補助金による研究助成以来活動が本格的になったことは他の分野と同じである。過去10年間のこの分野での研究開発は大別して、国立研究機関(原研、原燃ひきつづいて動燃事業団、金材技研など)、民間研究機関(各原子力グループなど)および企業、大学に分けて回顧することができよう。

### 1. 国立研究機関における研究の発展

原研では、当初固体物理関係の有力メンバーが主力となって材料の照射効果に関する基礎研究を行うことと、国産1号炉(JRR-3)の燃料体製造の技術確立を目標とする工学的研究を行うことに重点がおかれたが、あわせて、Al合金、Zr合金、ステンレス鋼の純水を相手とする腐食の研究も金材技研、軽金属協会、前記学振122委員会との協力の下に行われた。原燃では、国内ウラン資源の開発とアメリカ ORNL 開発のエキサー法導入による金属ウラン精製法の研究をはじめ、ついでゾル・ゲル法による  $UO_2$  の製造技術確立、研究炉および動力炉の燃料要素の検査技術確立の努力がつづけられ、金材技研では前記腐食に関する研究とBe、Th製錬などの研究が始められた。また電試黒田研ではU、Be、Zr その他の純金属製造についての草分けの研究が行われた。

### 2. 大学における研究の発展

大学関係の学科、講座の新設は科学技術庁による研究所の新設よりおくれたが、'57年の東北大学の希有金属学、同選研の原子核燃料や金学、京大の原子炉燃料学より順次講座が新設された。しかし、研究そのものはこれよりかなり前から始められ、化学者による新金属の精錬の研究、核燃料化合物の製造研究、固体物理グループによる物性研究につづいて、工学関係者による物理冶金的、製造技術の基礎的研究へと進んでいった。

### 3. 民間における研究の発展

民間での研究は、原子力平和利用委託金または補助金の助成もあって、'54年の重水、黒鉛、'55年のステンレス鋼を最初として広く行われた。これらはわが国で近い将来設置を予定される原子炉の使用材料を目標にすることが多いので、そのテーマは時代とともに変遷している。すなわち、第1期はJRR-3の国産建設、コールダーホール型炉の導入、JRR-1、-2の建設という時代で、金属U燃料棒の製造技術確立のための研究がまず住友金属、日立の両社により行われ、Al合金およびステンレス鋼の溶接施工法の確立についての研究が溶接協会によって実施され、理研では'56年からAl合金の腐食の研究が進められた。コールダーホール型炉の受入れがきまると、マグノックスの国産化についての研究が古河電工、神戸製鋼によって始められ、16~72枚のヒレ付きの被覆管の製作が前者によって'58年に行われた。また古河電工は前記住友金属の押出法に対して圧延法によるU棒の製造を原研と共同で研究し、アメリカのCatalytic Construction社の乾式製錬法を入れてUの製錬にも着手し、住友金属鉱山はADU沈殿法をドイツのDegussa社から入れて製造研究を開始し、三菱金属鉱業も独自の方法で金属U・ダービーの製造を始めた。こうしてわが国の金属U燃料の製造技術は確立したが、東海発電所の燃料は当分イギリスから輸入とされたため希望を失い、わずかにJRR-3炉の第2次装荷以後の燃料を住友金属と古河電工が分担製作したのに止まっている。

MTR型またはETR型とよばれるAl被覆のAl-U合金板状燃料の方は、まず三菱原子力が研究をはじめ、古河電工と住友電工がこれにつづき、今では材料試験炉の燃料を後二者が製造している。またJRR-2炉用の同心円筒型燃料は住友電工が'65年に製造した。こうしてJRR-1~4に至る原研の研究炉と各大学、民間原子力グループ設置の研究炉と臨界実験装置の燃料や材料の一部が国産されるようになった。他方、軽水

炉の導入にあわせてまず三菱原子力が  $UO_2$  ペレットとスレージング法による軽水炉用燃料棒の製造の研究を始め、つづいて住友電工、東芝、日立、古河電工なども  $UO_2$  ペレットの製造と軽水炉燃料集合体の組上げ技術の確立を目指しての研究を開始し、神戸製鋼、住友金属では'57年よりジルカロイ被覆管の製造研究をはじめ最近生産工場の建設予定を発表した。また最近では三菱金属もこれに加わっている。

ステンレス鋼被覆管については、'55年の日本特殊鋼管以来各ステンレス鋼メーカーが研究したが、今日被覆管の製造者として残っているのは住友金属と神戸製鋼である。Zr スポンジ国産の努力は大阪チタニウムと東洋ジルコニウムとによって'56年頃から始められたが、そののち後者のみとなり、良質のスポンジを欧米に多く輸出したが、'64年には親会社の日本鉱業に吸収された。軽水炉燃料の端栓溶接については'59年溶接協会の共同研究に始まり、金材技研および各メーカーの研究もあって、TIG、電子ビーム双方の溶接施工法が確立した。また軽水炉用 Zr 合金を開発する研究が理研、東大、早大の共同研究で'57年に、ジルカロイの水素吸収など燃料の安全性についての研究が、原産の燃料安全小委員会(委員長 筆者)により'60年以降今日までつづいて行われている。また、 $CO_2$  ガス炉用の Zr-Cu-Mo 合金の研究が'59年に古河電工と東大の共同で行われて改良合金が開発された。

Be については、電試と日本碍子が最も早く研究を始め、ついで東大、金材技研、東北大も加わって'60年から金属ベリリウム研究懇談会ができて連絡をとりつつ今日に及んでいる。この間電解法による Be の製法が日本碍子によって工業化されて'62年にはアメリカへ技術輸出され、この地金を用いて EL-4 型の Be-Ca 合金被覆管の試作、JMTRC、JMTR の反射体の国産に成功した。東北大、金材技研、日本碍子、東大では、集合組織、延性、He による延性低下の改善などの研究が最近まで行われている。

SAP については、'60年に住友電工で研究を行なったが、その後実用の見込がないのであまり発展していない。Hf は'59年に東洋ジルコニウムがスポンジをつくり、加工実験が'61年に東大と三菱原子力で、制御棒の製作が'65年に日本真空技術で行われた。同じ制御棒用の Ag-In-Cd 合金は'58年の東大の研究につづき'60年に三菱原子力で製造研究が行われ、最近は原子力船用制御棒の製作に進んだ。遮蔽用のボロン入り鋼は'57年の川崎製鉄、'59年の日本冶金の製造研究、'61年の溶接協会の溶接研究があり、 $^{10}B$  濃縮の研究は'56、

'57年理研、'60年東海大で行われた。

高速炉関係では、原燃(現動燃事業団)の Pu 開発部で混合酸化物燃料の製造を目ざす研究が精力的につづけられ、わが国の実験炉用燃料開発のための照射試験が海外で行われ、316 ステンレス鋼の製造研究が住友金属、神戸製鋼で進められた。新しい被覆材である V については'59年以来東大での基礎研究があり、'67年には日本碍子が電解、Mg 還元の方による地金製造に成功し、同年原研、原燃、日本碍子、東大、金材技研などによるバナジウム研究会が発足した。液体金属については、平均質炉に関連して Bi の研究が初期に原研で行われ、東北大、日立、原研で Na 技術開発とステンレス鋼などの腐食研究がつづけられたが、Na 製造は昭和電工、日本曹達、鉄興社で行われている。高速炉開発に伴って大洗地区に大型の Na ループが建設され、従来の原研の Na 特研とあわせて研究は積極化し始め、68年には三菱金属が V 合金の Na 腐食の研究を始めた。これら新金属材料の開発に伴って必要となる分析技術の確立については、U は原燃と原子力金属懇話会、Th は後者、Zr、マグノックスは分析化学会および原研、V、Na は動燃事業団、原研が中心となって進められ、Zr については JIS もできている。また試験検査法については、非破壊検査協、溶協による共同研究、原燃検査専門委員会による燃料検査基準作成の共同研究につづいて、'60年には通産省の安全基準委員会、'68年には電気協会での燃料体検査基準委員会が出来た。

#### 4. 大学における基礎研究

これらの原子力開発のコースにそった諸研究の土台となる大学の研究についてはすでに前述したものもあるが、大別して化学グループによる高純度燃料材料の製造、新しい燃材料の製法、濃縮関係および再処理の基礎研究、物理冶金グループによる合金開発、燃料・材料の物性および照射効果の研究などに分けることができ、その1つ1つについては紙数の関係で省略するが成果は本会誌にも数多く発表されている。そのほか安全に関する研究についてもジルカロイの水素化物問題、F.P.移動、事故時の被覆管の挙動などについての基礎研究が燃料安全研究の一環として東大、東工大で行われた。

#### 5. 将来の展望

以上限られた字数の中で大勢を展望したように、この10年の燃料・材料の研究は、まずこれらの新しい物質、材料に触れてみて欧米のデータを追試することから始まったが、今日では物理化学、固体物理など基礎研究ではすでにその成果と独創性が外国にも認められる

に至り、工業技術的にも Be 精製技術の輸出にはじまって、近い将来燃料、材料も輸出の可能性が見込まれるに至った。

これからの研究は、燃料では炭化物燃料のより安価な製造法、多元系の開発による化学量論比の裕度拡大、チッ化物、ケイ化物系などの新材料の開発、これらの物性、特に照射下の挙動についての解明、これらの製造技術の確立といった方向に重点が指向されよう。Pu の熱中性子炉利用にも工学的に未解明の点が多いが、高速炉燃料となるとわが国では全くこれからの努力に期待せねばならない。材料方面での最大の重点は被覆材の開発で、その成否が動力炉の性能向上の成否をきめるといえよう。軽水冷却系の Nb 合金、ガス冷却系の Be 合金、高速炉系での V 合金いずれももうひと頑張りせねばならないし、後者では耐熱合金系の改良研究も重要である。しかし、合金開発のわが国の腕前は世界的にも定評があるから、この分野では期待できよう。特に燃料と被覆材の両立性の研究は酸化物以外の新燃料物質を実用するためにきわめて重要である。燃料体を除く構造材料については、高照射量に対する耐性の向上がこれからの主眼で、照射下のクリープ、疲労、耐食性といったデータの集積が必要であろう。しかしこういう工学的データの完備とともに、それを十分正しく使いこなせるための基礎研究の重要性を特に強調しておきたい。(東大 三島良績)

## Ⅷ. 再処理・廃棄物処理・同位体分離

### 1. 再処理研究の発展

再処理の研究は原研にその研究炉からの使用済燃料の処理施設をつくることに関連してとりあげられ、原研およびその計画の指導にあたった東大および東工大において当初進められた。検討の結果、先進諸国と同様ピュレックス溶媒抽出法を主体とする湿式法が採用され、国内技術によってこれを達成するためプロセス化学的および化学工学的研究が始められた。前者においては TBP およびアミン類の溶媒の放射線損傷とその抑制の研究成果にみるべきものがあつた。装置については1959年設計、'60年モックアップ装置試験をへて'61年には処理能力300 kg ウラン/バッチの施設の建設製造に入り、'65年には連続コールド試験を行い、'68年3月には JRR-3 燃料によるホット運転を始め Pu 約120 g を回収するに至った。この再処理試験計画は'61年から原研・原燃(現動燃事業団)の共同研究として推進され、動燃事業団再処理工場の要員訓練に大いに貢献してきた。

一方、現行法において再処理事業の独占実施機関と定められている動燃事業団においては、諸外国の技術的検討をへて'62年には湿式ピュレックス法による処理能力0.7 t./日 の再処理工場の予備設計について国際的に見積り照合を行い、主体部についてはイギリスの Nuclear Chemical Plant 社を選定し'64年設計完了に至った。つづいて詳細設計入札がなされフランスの Saint Gobain 社が選定され、'69年1月には設計完了となっている。原子力委員会では'59年再処理専門部会を設けて討議をすすめて、'62年の最終報告書で、'68年頃までにプラントを完成させることが望ましい旨を述べたが、この目標から相当遅れ当初予定されていた原電東海炉の使用済燃料は当面はイギリス原子力公社へ送られて処理されることになった。工場設置のための安全審査書類は'68年8月提出され、早急に東海村に敷地を決定して着工し'72年10月から営業運転に入ることが予定されている。

U・Pu 燃料サイクルとならぶ Th・<sup>233</sup>U サイクルについては、初期に原研で水均質増殖炉の開発に関連して検討されたが、同計画の中止とともに放棄され、その特異な生成物である Pa の化学的研究が金沢大等において進められている。また半均質炉プロジェクトの一環として、その再処理の研究が原研において'59~'62年に行われた。

### 2. 乾式再処理の研究

乾式再処理については、'58年から原研でフッ化物揮発法の基礎化学的研究が進められ、現在小型流動層によるUのフッ素化・Pu 実験の準備等が行われている。また'60~'65年には塩化物分留法が研究されてかなりの除染効果をあげ、第3回ジュネーブ会議にも報告されたが、工業化に必要な諸データが外国にもなくすべてを自力で開発しなければならないことを考慮し、先進国の採っているフッ化物法に集中することになった。当初は'74年頃につくられると考えられた第2再処理工場はフッ化物法によることが予想されたが、国内外の開発のテンポからみてそれは難しく、現在'75~'84年の実用化を目ざして努力が続けられている。京大にフッ化物法の研究施設が整備されており、高温冶金法については東大その他で基礎研究がなされている。

### 3. 放射性廃棄物の処理

放射性廃棄物の処理については、再処理のような制限もなくまた身近な問題であるため、比較的ひろい範囲において研究が進められた。とくに活発に研究されたのは R.I. 利用から生ずる低レベル廃棄物の処理であつて、廃液の化学処理、イオン交換樹脂および膜に

よる処理, 蒸発処理とくに飛沫同伴の除去, 固体の焼却処理, スラッジの凍結再融解処理, セメント・アスファルトによる固化処理, 仮焼処理等について, 原研, 大阪府放中研, 放医研, 東大, 東工大, 京大, 京大炉, 九大, 東北大, 荏原製作所, 栗田工業等において研究が進められた。また気体廃棄物については, 第3回ジュネーブ会議に報告された日本原子力事業の包接化合物法による希ガス処理, 原研・動燃事業団・東大等を中心とする原安協グループによる再処理希ガス処理の研究, 原研・日立・武田薬工等による活性炭処理の研究ないしはチャーコールフィルタの開発等が注目される。

これらの成果を反映して'65年には国際原子力機関(IAEA)の廃棄物処理訓練セミナーの第1回が10ヵ国の人を対象として, 初めてわが国(東海村)で開かれ, また同機関の廃棄物処理プロセスのガイドブック4種のうちの1つ(蒸発処理)の編集がわが国に割り当てられる等国際的にも相当の地位を勝ち得ている。

廃棄物処理施設としては, '58年原研東海研究所につくられた施設を初めとして, 相当完備したものが放医研, 京大炉, 日本原子力事業(川崎), 第一原子力産業(武山), 住友原子力工業(宝塚)等に見られるが, 実際処理に使われているものは少なく, 多くの事業所では日本放射性同位元素協会が政府補助金を受けて'59年に開始した廃棄物の一括集荷貯蔵サービスに頼っている。ただ協会自体は国内に4貯蔵所をもつだけで処理施設はもたず, 原研の施設の余力を利用して処理を行っている状態である。

#### 4. 関連委員会等の活動

廃棄物全般について, 原子力委員会は'61~'64年その廃棄物処理専門部会において検討せしめたが, 原子力発電の急速な展開はそれからの固体廃棄物の処理処分について早急に方針を確立し対策をたてることの必要性を痛感させるに至った。'68年原安協はこれにこたえて海洋投棄を前提とした処理処分の技術的検討を行う専門委員会を設け, なお地中埋没についても検討することとした。従来は単純だが高価な保管廃棄しか考えられていなかったが, 多様大量の廃棄物の発生は別の処分法の開拓を要求している。海洋投棄容器については, 理研, 土木学会委員会, 電力中研等において研究され, また海洋環境については放医研, 気象研, 東大等において着実な研究が進められ, 全国民の納得できる安全でしかも経済的な解決法の見出だされることが期待されている。

再処理からの廃棄物としては, 現在は原研の再処理試験施設の運転から出された約4万Ciの廃液が地下タ

ンクに貯蔵されているにすぎないが, 将来の大問題として注目されている。とくに動燃事業団再処理工場からの処理済み排液の海洋放流の安全性に関しては, 国の特定総合研究の1つとして'66年以来各機関協力のもとに研究が進められている。(原研 石原健彦)

#### 5. 同位体分離に関する研究

同位体分離に関する研究の歩みについては, すでに本誌(5[9], (1963))に, この分野の開拓者である千谷氏の詳しい報告があり, また7[8](1965)には, 同位体分離研究専門委員会がその後の経過を述べている。この分野の研究のほとんどはわが国の原子力開発の計画に沿ってというよりは, 個々の大学, 研究所の自発的意図によるものであり, 比較的活発にまた独創性に富んだ研究が多く, 研究人口も徐々に増えつつある。本節では原子力に密着したもので, すなわち重水, U, Li, ホウ素などの分離について, この10年の経緯を簡単に述べる。

重水に関しては, 初期に重水専門部会ができ, 昭電, 旭化成, 日本酸素, 東北大金研などの活動により, 工業的分離の技術の確立を目指した研究が行われていたが, 最近は全くといってよいほど, この問題は忘れ去られた感があり, 新型転換炉の開発が取り上げられた今日, 重水の自国生産はその意志があれば, いつでもできるという楽観があるとすれば, 大いに反省する必要があるろう。

Uに関しては, ごく最近, わが国でもU濃縮を行うことに対する技術的可能性, 経済評価の資料を1975年までに得ることを目途とすることになったが, 諸外国の最近の動向からみて, もっと早急に開発が行われる必要があるろう。遠心分離法についてはこれまで動燃事業団, 日本原子力事業, 東芝グループ, 東工大などによってAr, SF<sub>6</sub>などを用いた大型あるいは小型遠心機の分離実験, 遠心機の設計の問題, 分離の方法などについて, 基礎的, 開発的研究が行われてきた。工業化に対する多くの問題をなお残しているとはいえ, 着実にその可能性の途を開きつつある。

隔膜法については, これまで京大でその基礎的研究を, また最近では理研, 住友グループにより膜の開発研究を行なってきており, その成果は比較的早い時期に現われそうな状況にある。

化学的分離法は, 全くわが国独自の方法であり, 東工大, 原研, 動燃事業団などにより研究されたもので, その工業化の問題は別として, U同位体の分離を試み, その効果を認めている点は注目に値しよう。

Liの同位体分離は, 東工大, 東北大, 東大など, 多

くの研究者により取り上げられており、その中には基礎的研究からさらに工業化の可能性の検討を行なっているものもある。

ホウ素の分離は、理研で  $\text{BF}$ ,  $\text{BF}_3 \cdot \text{CH}_3\text{F}$  錯体の共沸点を利用した交換反応による分離法の研究が行われたが、工業的にも興味あるわが国独自の方法である。

その他、熱拡散、ノズル分離などの研究、他の同位体の分離実験など、わが国でもかなり幅広く同位体分離の研究が行われている。(東工大 高島 洋一)

## Ⅱ. 放射化学

### 1. 研究炉の利用

1958年 JRR-1 が稼動し始めたことは、放射化学の研究にも大きな影響を与えた。第2次大戦後は科研サイクロトロン稼動率が下がっていたこともあって、それ以前は天然放射性核種あるいは放射性フォールアウトを材料に研究するか、わずかな輸入 R.I. に頼って実験するほか仕方のなかった事情であった。そのため、出力が小さく、したがって、中性子束も低い研究炉ではあったが、JRR-1 がさいわい順調に稼動したので、みずから放射性核種をつくり、放射化学を研究するという長年月待ちこがれられていた望ましい環境が整った。その後、研究炉の数が増すにつれ、また、利用できる中性子束が高くなるにつれて、研究の自由度は飛躍的に大きくなった。ホットラボ・ $\alpha$ 放射体用実験室などの研究施設と  $\gamma$ 線波高分析器などの実験設備が活用できるようになったのも、この10年間の特長であり、上述の事情好転をさらに加速した。

#### (1) 放射化分析

わが国では戦前すでに理研サイクロトロンを用いた先駆的放射化分析が行われていたこと、浜口(東大理)、木越(学習院大)両教授ほかがシカゴ学派の中性子放射化分析の手法を身につけて帰朝早々であったこと等々の好条件に恵まれて、原子炉による放射化分析はJRR-1 共同利用開始早々から研究され、短時日のうちに Zr 中の Hf の定量法を初め多数の業績が世に出た。

以後、利用できる研究炉の数も増加したので、順調に各方面に応用され、今日では特別の分析法と考えられず、放射化学から離れて化学分析の一方法になりきった。また、東芝中研では中性子発生装置を開発して速中性子放射化分析を試み、さらに、生産管理用分析法にまで仕上げようと志すに至っている。

#### (2) 放射性核種の調製と分離精製

元来わが国は希有金属の無機化学的・分析化学的バックグラウンドの高い国であったから、極めて多数の

元素に属する放射性核種を調製し、これを単離精製することはきわめて自然かつ容易に行われた。ただ熱中性子炉で可能な核反応の種類は数多くないから、この10年間にわが国で発見された新核種はその例が少なかったのも当然であろう。一方、原研電子線リニヤアクセレータを用いて、 $^{47}\text{K}$  など数個の新核種が見出されたことが光っている。

これに反して、分離精製法の研究は多彩かつ精巧を極めたといつてよい。ビキニの“死の灰”に関連して、イオン交換樹脂による核分裂生成物の分族法が開発されたのは早くも10数年も以前のことになるが、つづいて金沢大では溶媒抽出法による核分裂生成物分族法が構成された。また、原研では[有機リン酸・有機アミン等を抽出剤とする各種の溶媒抽出系における多種イオンの挙動を総括的に調査し、そのデータに基いて多数の分離法を考案した。その他、各種のクロマトグラフィ、蒸留法、電気化学的諸法など試みられなかったものはなかったほどに研究された。

たとえば、迅速単離が困難であった Cs 同位体も、リン酸ジルコニウムを主成分とする無機イオン交換体イオナイト C、あるいは放医研で開発された特殊処理をしたイオン交換樹脂の助けをかりて容易に分離精製されるようになるなど、現状では Sr, Ru, 希土類元素等に秀れた新分離法が期待されているほかは、核分裂生成物の分離法はほぼその大綱が確立されたといえる。

#### (3) ホットアトム化学

必ずしも原子力工業に深い関連はないかもしれないが、最近10年間のわが国における放射化学研究を評価する際に見落してはならない分野である。

斎藤研究室(東大・理および理研)のバイオニア的業績はすでに国際的評価を得ていると判断されるほか、放射壊変に伴うホットアトム効果を研究した塩川研究室(東北大・理)および高比放射能 R.I. の製造を目的としながらも基礎研究的にも高く評価される原研 R.I. 製造部の業績も注目される。1967年には世界各国からこの分野の専門家が来日、京都でシンポジウムが催された。また原研と台湾の国際協力研究も行われた。

今後は、反跳トリチウムと有機低分子の反応等を中心に移しながら、また、放射線化学との関連を深めながら発展してゆくことであろう。

### 2. 原子炉化学への寄与

#### (1) 核分裂の化学

上述のように、核分裂生成物の分離に多くの研究が行われ、また、Uターゲット中での核分裂生成物の行動が意欲的に研究されたにもかかわらず、中性子によ

る核分裂の放射化学的研究は意外なほど低調であった。梅沢氏ら(原研)の遮蔽核種  $^{149}\text{Pm}$  の収率測定に言及しておけば、総説者の義務を果たしたことになる。

関連研究としても、陽子による核分裂,  $^{238}\text{U}$  の自発核分裂, および飛跡による核分裂数測定等多少の研究が挙げられるにすぎない。この分野には、将来、力を注がなくてはならないと感ずる。

### (2) 超ウラン元素の化学

核燃料核種の増殖に関連する諸元素として着目され、当然のことながら、容易に調製・輸入できるものから研究開始された。

Np については、 $^{238}\text{U}(n, \gamma)^{239}\text{U} \xrightarrow{\beta^-}$  で容易に得られる  $^{239}\text{Np}$  を用いた詳細なトレーサ化学的研究に続いて、輸入品  $^{237}\text{Np}$  を用いた常量の研究に進んでいる。

Pu は、1959年 JRR-1 で照射Uターゲットから単離して以来、 $^{239}\text{Pu}$  をトレーサとした研究が数年間続いたのち、輸入品による常量での研究に移った。原研の再処理試験(前出)の成功にも寄与したといえる。また、無機化学全書 VII-2 巻としてハンドブックも編纂された。

Am は全く輸入品  $^{241}\text{Am}$  に依存して実験が行われ、Cm では、 $^{241}\text{Am}(n, \gamma)^{242}\text{Am} \xrightarrow{\beta^-}$  で得られる  $^{242}\text{Cm}$  を用いてトレーサ化学的に、また、U.S.AEC から贈与された 2 mg の  $^{244}\text{Cm}$  を用いて常量化学的に研究が進んでいる。

このように、Cm までの諸元素について、多少の経験と知識を持つようになっているので、通例核燃料中に生ずる超ウラン諸核種すべてに対応できる体制になったといえる。超キュリウム元素はまだわが国で調製されていない。今後、努力すべき目標である。

超ウラン元素ではないが、Th 増殖炉で重要な  $^{233}\text{U}$  も小規模な調製・単離がくり返されたのち、1.5 kg の  $\text{ThO}_2$  の長期照射を終り近く可秤量の  $^{233}\text{U}$  が単離される予定である。

### (3) 放射化学的モニタリング諸法

戦前から磨き上げられてきた放射化学分析は、この10年間に全く実用段階に入った感が深い。核反応等の研究に利用される場合はさておき、測定器の発達に助けられつつ放射線管理の日常業務その他に広く活用されている。たとえば、石渡氏(原研)は JPDR に勤務し、軽水炉冷却水の化学的管理を組織化した。また、京大炉・原研では箔放射化を利用して、エネルギー領域別の炉内中性子のドジメトリーを試みている。最後に、使用済み燃料のパーンアップ測定では、 $^{137}\text{Cs}$  法を中心とした、1960, '67年の2回にわたる JRR-1 燃

料溶液に関する測定経験をもとにして、最近では JR R-3 燃料についての測定が行われた。近く日常分析として実施されねばならないものである。

### 3. R.I. の製造

原研では創立早々から R.I. 製造を計画し、JRR-1 の稼動開始直後から試験生産を試みた。JRR-2, -3 が稼動し始める頃、壮大な R.I. 製造棟を完成し、フランス技術を導入して、核分裂生成物を除く多数の processed isotope の本格的生産を開始した。'67年の放射能取扱量は4,500 Ci に上っているし、日本人特有のキメ細かい管理のため品質も国際級となった。

さらに、原研リニヤアクセレータを用いて、 $^{133}\text{Cs}$  ( $\gamma, n$ ) 反応で作られる半減期6.7日の  $^{133}\text{Cs}$  のような独特の製品も開発されて輸出すらされているほか、ホットアトム効果を利用して高比放射能に濃縮された  $^{32}\text{P}$ ,  $^{51}\text{Cr}$ ,  $^{54}\text{Cu}$  も生産されている。

一方、東芝中研では、照射した硝酸ウラニル六水塩を炉内で加熱溶融して、核分裂生成物である 9.2 hr- $^{135}\text{Xe}$  を抽出する技術を開発して医療用需要に応えた。

最近、理研が完成したサイクロトロンは、高キュリー製品には不向きであるが、従来原子炉で生産した核種とは異なる興味ある R.I. 調製に適しており、今後の動向に注目されるものがある。(原研 石森 富太郎)

## X. 放射線化学

原子力平和利用の第3の柱として登場した放射線の利用は、資源の乏しいわが国では非常に重要視され、放射線を利用した化学および化学工業の開発を旨としてこの10年間研究が進められた。また欧米諸国とほとんど同時に、わが国でも放射線化学の研究が始められたので、この10年間に得られた研究成果は世界各国より高く評価されている。とくに高分子化学の分野における基礎研究が盛んで、その成果を工業化の段階まで発展させるため、高崎研究所を設立して開発研究にも力を入れている。最近における基礎研究の充実と相まって、放射線化学の工業化も本格的な段階に発展することが期待される。

### 1. 放射線高分子

Charlesby によってポリエチレンの照射効果の研究が報告されて以来、初期の放射線化学の研究は高分子化学に関する研究が盛んであった。これは低分子化合物に比べて僅かの線量で著しい効果が現われるためである。高分子の放射線効果は高分子の種類や照射条件によっても変化する。主な効果は、主鎖の切断による

分子の崩壊と、側鎖の切断に伴う分子間の架橋の2つに大別される。しかし多くの高分子では、架橋と崩壊が同時に起っており、その確率の大小によって最終的な効果が決定される。

### (1) 架橋と崩壊

架橋を起す主な高分子は、ポリエチレン、ポリスチレン、ポリエステル、ポリ塩化ビニル、天然ゴム、シロキサン樹脂である。わが国でも各種の高分子について多くの研究が行われている。最近では、架橋の反応機構、添加物の効果の研究が盛んであり、岡田氏によってポリエチレンおよびポリプロピレンの架橋のG値が $N_2O$ の存在下で増大することが示された。

崩壊を起す主な高分子は、ポリイソブチレン、ポリメタクリル酸メチル、ポリ塩化ビニリデン、ポリ四フッ化エチレン、繊維素およびその誘導体などである。わが国においてもいろいろの高分子について研究が行われている。架橋する高分子と崩壊する高分子を適当な割合で含む共重合体を作ると、放射線効果を最小にすることができる。とくにポリスチレンのようなフェニル基をもつ高分子を入れると安全な共重合体が得られる。このような現象はフェニル基の保護効果と呼ばれ、2, 3の系について研究が行われた。

高分子溶液の放射線効果は、溶媒からの影響を受けるので固体高分子を照射する場合と異なる変化を示す。ポリビニルアルコール水溶液、天然ゴムラテックスなどについて、溶液中の高分子の濃度、pH、添加物、照射線量の影響が研究されている。

### (2) 照射高分子ラジカル

高分子を照射すると、反応中間体として高分子ラジカルが生成する。照射高分子にできるラジカルは電子スピン共鳴吸収(ESR)で測定することができる。ポリエチレン、ポリメタクリル酸メチル、ポリ四フッ化エチレンなど多くの高分子ラジカルがESR法によって研究されている。たとえば、ポリエチレンを照射すると



などができる。(B)のラジカルは長寿命であり、また低温においては(A)のラジカルが生成されることが大西氏らによって確かめられた。

## 2. 放射線重合とグラフト共重合

ビニル系モノマーの放射線重合は、高分子化学への放射線の利用として興味ある分野の1つである。放射線で照射すると、イオンやラジカルなどの活性種が作

られるので、重合触媒を加えなくても、また常温でも低温でも、モノマーは容易に重合する。

### (1) ラジカル重合

いろいろのモノマーについて、放射線による塊状重合、溶液重合が研究されている。エチレンの気相重合については早くから研究が行われていたが、その工業化研究が最近活発に行われている。高崎研究所はポリエチレンの融点より低い温度で、400気圧で重合させ、特徴ある粉末ポリエチレンをつくることに成功した。現在10lの反応容器を用いて流通法試験装置を開発中である。

### (2) イオン重合

放射線重合の特徴の1つとしてイオン機構で重合が起る。スチレン、ニトロエチレン、アクリロニトリル、イソブチレンなどはイオン重合を起すことが岡村氏ら、田畑氏らによって確かめられた。イオン重合の特徴はラジカル抑制剤の影響を受けることなく、重合速度は線量率に比例し、また活性化エネルギーは0、または負となることにある。

最近、十分脱水した系について重合を行うと非常に高い重合速度が得られ、しかも線量率依存性は0.5に近づくことが明らかにされた。これはフリーイオンによって重合が開始されるもので、スチレン、 $\alpha$ -メチルスチレン、イソブテン、ニトロエチレンなどについて研究されている。

### (3) 固相重合

一般に化学反応は気相、液相で行われる場合が多く、固相で行われる場合はきわめて少ない。放射線による固相重合はアクリルアミド系のモノマーについて研究されており、重合にはモノマー結晶の格子欠陥が重要な役割を果している。

放射線高分子研究協会大阪研究所の岡村氏らによって研究されたトリオキサンの固相重合の成果をもとにして、高崎研究所において大規模な開発研究が行われており、加工性のよいポリオキシメチレンの製造に成功した。

モノマーを低温、固相で照射すると、ラジカルは捕捉されるのでイオン機構で重合が起る。たとえば、ヘキサメチルシロキサンは、液相ではほとんど重合しないが、固相の場合のみ重合する。これはイオン機構によるものである。最近は大圧下の固相重合が田畑氏らによって研究されており、重合速度に及ぼす圧力効果が求められている。

### (4) 放射線グラフト共重合

放射線によるグラフト共重合は照射によって高分子

鎖中に活性中心を容易に作る事ができるので、任意の高分子と任意のモノマーの組合せが可能である。グラフト共重合体は化学的に結合した2種類の高分子A, Bからなっているので、グラフト共重合体の性質は、高分子Aの性質の一部と高分子Bの性質の一部を兼ね備えている。

セルロースはグラフト共重合させにくいものであったが、桜田氏らの研究により、水とメタノールにモノマーを溶かした溶液に浸漬することによって容易にグラフトさせることに成功している。この成果は、高崎研究所において、ポリノジック繊維へのスチレンのグラフト重合の開発研究にまで発展した。ポリエチレンに種々のモノマーをグラフトして耐熱性の向上や、ポリ塩化ビニルに種々のモノマーをグラフトさせて機械的性質の改善が、電気通信研究所と高崎研究所でパイロット規模で研究されている。

最近ではグラフト共重合体の構造と物性の研究が盛んに行われ、放射線グラフト共重合体の実用化も近いものと思われる。

### 3. 基礎研究

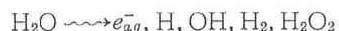
最近の数年間に放射線化学の基礎研究の分野において目ざましい進歩が見られた。放射線が物質に当たると、最初にイオン、励起分子、ラジカルなどの中間活性種ができる。放射線化学の特徴は、これら中間活性種のきわめて短時間に起る反応に起因するものである。最近これら短寿命の中間体の直接検出や、その反応過程が明らかにされた。

#### (1) イオン分子反応

放射線化学の初期過程でイオン分子反応が重要な役割を果たすことが、Stevenson らによって明らかにされてから、200種以上のイオン分子反応が知られている。飯塚氏らによってアルコールのイオン分子反応の研究が報告されている。また志田氏らによって *n*-ブタンの放射線分解におけるスカベンジャー効果や  $N_2O$  によるスカベンジャー効果が研究され、それぞれ気相、液相におけるイオン過程の寄与を明らかにした。

#### (2) 水和電子

水の放射線分解の初期生成物として、還元性ラジカルは水素原子のほかに、水和電子( $e_{aq}^-$ )の存在が実証された。



水和電子の研究も盛んに行われ大野氏によってフェロシアン水溶液の光分解から生ずる水和電子を用いて種々の溶質との反応速度定数が求められた。またいろいろの水溶液についてその収率を測定し  $G_{e_{aq}^-} = 2.8$  が

得られている。

#### (3) パルス放射線分解

照射中にできる短寿命中間活性種の構造や反応が、パルス放射線分解の研究から最近明らかになった。わが国においてはこの方面の研究は遅れているが、片山氏らによって $\alpha$ -メチルスチレンのパルス照射から短寿命活性種としてアニオンラジカルの同定がなされている。

放射線化学の今後の課題としては、基礎研究をさらに充実して、この成果を工業化の発展のために利用することである。(原研・高崎研 団野 皓文)

## Ⅴ. 保健物理

保健物理が本来、原子力の開発利用に伴う放射線障害の防止という具体的目的をもって出発したことから、基礎的研究よりも放射線防護、放射線管理の実務上の問題解決をまず対象としたことは当然である。わが国での研究開発は、1957年原研に保健物理部が設置された時からその活動が開始された。約10年を経た今日、原子炉、核燃料再処理、R.I. 製造、ホット・ラボなど原子力主要施設についての実際上の経験を通して、これらの放射線管理上の実際的問題処理に関して一応の成果と自信を得た段階であるといえる。一方、本格的な再処理工場建設や高速実験炉など今後の施設に伴う問題と、現在までに得られた技術の精密化、効率化と同時に、より基礎的な研究に取り組むことが、これからの保健物理の動向となると考えられる。

### 1. 放射線管理用測定器およびモニタリング技術の開発

#### (1) 個人被曝測定器の開発

当初、医療用放射線すなわち診療用X線と $\gamma$ 線を対象とした2種のフィルム・バッジのみがJISとして制定されていたが、原子力利用に伴い $\beta$ 線、中性子線の被曝測定の必要がある上、 $\gamma$ 線についても広いエネルギーを対象とする性能が要求されたため、その開発が行われ、現在ではほとんどこの新しいタイプの測定器が原子力施設で利用されている。一方、従来の蛍光ガラスの性能を著しく改良して個人被曝測定器として使用可能なものが東芝中研で研究開発され、感度、線量特性、フェイディングその他で、フィルムに優る性能によって欧米でも高く評価されている。また、熱蛍光体素子のこの方面への応用も活発に行われ、性能のすぐれた素子ならびに測定器の開発が松下電器中研で進行中である。今後はこれらの新しい測定器がそれぞれの特徴を生かして種々の目的の被曝測定器として使用され

ることが期待される。

事故被曝測定器の開発は、核分裂バースト放射線を得ることが困難なため、部分的性能の実験結果しか得られていなかったが、1968年 ORNL の HPRR を使用する国際比較に原研が参加する機会を得、Pu や Np を含む標準しきい値測定器とよい一致を示すことが確認された。速中性子測定に関しても前述の蛍光ガラスを利用した Etch Pit 法が現在各所で開発され、原子核乳剤法の他に有力な手段となる可能性がある。

また個人放射線警報計についても放医研で振動容量型のものが開発された。

## (2) 放射線測定器の開発

サーベイ・メータおよび放射線測定器については、主として原研保健物理関係者と業者との協力により、ほとんどの機種についての国産化が完了し、これらは広く諸外国へも輸出されているものもある。

測定に問題の多い中性子についても、Anderson のレム・カウンタと別の構想から、BF<sub>3</sub> 計数管を利用した減速型レム・カウンタが原研で開発され、原子炉周辺の測定はもとより、サイクロトロンや高エネルギー電子加速器などからの中性子線測定にも使用された。

低レベルγ線の線量測定については、従来の電離箱による方法に対して、パルス計測の安定性を十分活用したパルス線量測定器や、NaI 検出器を利用したエネルギー依存性のない測定器、これらに伴う電子回路の開発などが原研で完成し、遮蔽研究や環境放射線測定に実用されている。

β線被曝が被曝管理の盲点となりやすい点から、通常のサーベイ・メータによるβ線測定の校正定数が確立された(原研)。また低レベルβ線測定に関しては、放医研グループが優れた構想のバックグラウンド減少法を開発した。これは同時に波高分析器によってβ線スペクトルをとることにより、超微量β放射能の核種同定にも使用でき、国内は勿論、諸外国の特許も獲得してその性能を高く評価されている。

## (3) ダストモニタなどの開発

放射線汚染区域のダスト・モニタとしては、最初沓紙移動型が輸入され、これをモデルとして改良が進んだが、現在では固定沓紙型の優秀さが確立されて各所で標準型として使用されている。重水炉で問題となるトリチウムや Ar ガスを初めとする不活性ガスについても十分使用に耐える測定法やモニタが用意された。

重要核種の1つであるヨウ素のモニタについては、その化学的性状によるフィルタの捕捉率に問題があり、サンブラ部の開発が中心となっているが、湿度、

温度などの影響や経時的な性能について May Pack を改良したものがテストされている。

Pu 空気汚染の MPC がバックグラウンドの Rn 娘核種より低く、これを分離モニタするための特殊なモニタが開発され、現在ではバックグラウンド  $10^{-11} \mu\text{Ci}/\text{cc}$  の時、 $1\sim 2(\text{MPC})_{\text{Pu}} \cdot \text{hr}$  の検出感度が得られている。なお ICRP の新しい Lung Dynamics の考え方に対応して、粒子サイズ分離型のサンブラの開発が今後の問題として残されている。

## 2. 身体汚染の測定・評価技術

内部被曝の研究は、放射線医学、放射線生物学などと密接な関係をもつが、放射線防護の立場からは、身体汚染の測定、体内汚染分布、移行、これらに基づく被曝線量評価の研究を中心とする。最初に手をつけた Bioassay は尿中 gross β 計測から始まり、原子力施設の建設の進行に伴って対象核種別の測定が拡大し、現在では糞中 Pu の分析測定に至っている。一方、'61年原研に全身カウンタが完成してから、γ線を対象とした *in vivo* counting の威力を発揮することになった。その後放医研、東大など全国数箇所の大学研究所により精巧な全身カウンタが建設されて活躍している。

1958年以降の大気圏核爆発実験の <sup>90</sup>Sr、<sup>137</sup>Cs などのフォールアウト核種は恰好のトレーサとして放射線影響の研究に使用され、保健物理の分野にも強い刺激を与えた。

体内汚染の分布や移行の研究についても、これらフォールアウト核種はよい対象となったが、さらにこれと化学的に類似した核種(<sup>85</sup>Sr、<sup>132</sup>Cs、<sup>86</sup>Rb、<sup>103</sup>Ru など)を積極的に体内に摂取して行う研究もあらわれた。

これらの結果を利用して、体内の種々の Compartment 間の化学物質の移動の解析、メタボリズムなどより基礎的な生物学的研究も盛んになって来た。今後の課題としては、これらの体内分布や移行にもとづき、各器管ごとの被曝線量の推定や実測、またさきに述べた Lung Dynamics にもとづく肺各部線量の推定や Lung counter の技術開発が進められるであろう。

## 3. 環境汚染の拡散と移向

環境汚染は気体液体固体状廃棄物とその源となり、拡散媒体としては大気、海洋(河川水)および地中(地下水)に分類できる。これらが直接、間接人間に影響を与える。

大気拡散については、これが原子炉立地条件の重要な因子であるため、東海村周辺で'56年にすでに煙による調査が開始されている。ついで原電東海発電所の

排出気体拡散に関して大規模な実験を、各研究所職員の参加した原子力気象調査会が行なった。その結果、わが国の公式解析法としていわゆるイギリス気象局方式が採用されることになった。その後原研では JRR-2 の出力上昇に伴う Ar 放出に関して、上記方式では解析不能の静隠時の被曝測定が放射線測定器を使用して行われて大きな成果をあげた。また放射性雲からの被曝に関して submersion model の不合理の打開のため、実験と理論解析が行われ、通常使用される放出高、あらゆる気象条件の場合の計算が完了した。その結果は、現在のモニタリング・ポスト方式の性能評価に利用できる。今後も大気拡散研究のためのトレーサ物質放射化学法や沈着速度、局地気象のモデル化、事故時のための大規模野外放出実験などが追究されるであろう。

海洋についても、東海村沖において海潮流の状況把握と拡散能力の評価について研究調査が続けられ、現在では東海村海域ではその1点から放出した廃液の流下方向濃度分布が一応推定可能になった。しかし、海洋については、再処理工場の低レベル廃液海中放出計画により初めて本格的に取り上げられ、現在5年計画の第2年目の研究調査が各大学研究所の参加で精力的に進められている。

現在では地中埋没が許可されていないので地中拡散

の研究は将来の課題であろう。発電炉からの固体廃棄物の海洋投棄についてその容器、リーチングの影響、最適海域の選定などが次の問題となる。

Food-chain については放医研、公衆衛生院などを中心に重要核種について部分的に研究が行われるとともに、特に海産物の濃縮係数について実験室規模を出る実験が予定されている。

#### 4. その他

放射線汚染区域の作業に伴う機器、床、着衣、皮膚その他の汚染除去技術は、平常業務としては支障のないところまで開発された。防護衣や呼吸防護具についても武蔵工大などを中心として積極的に開発が進んでいる。しかし Pu 汚染などの汚染除去作業のための加圧服その他はまだ経験が少ない。また高速炉で問題となる Na, NaK の取扱作業衣などの研究は今後本格化すると思われる。

最初に述べたように、本章では実務上関連の深い面を重点的に述べたが、放射線量の絶対測定、マイクロドメトリー、放射線生物学など基礎的な面でも平行して研究が行われている。今後の10年ではこれらの分野の比重が次第に大きくなることが期待される。

(原研 宮永一郎)

## 「原子炉物理実験」(再版)

### 会員特価頒布

本会臨界実験専門委員会成果報告書『原子炉物理実験』(A5判 244頁, コロナ社発行)は、39年1月発行以来大学、研究所、会社等でテキストとしても利用され、好評です。再版に当り一部増補しましたので、ご希望の方は事務局へ。会員特価 800円(定価 1,100円, 下 90円)

第1章 臨界近接

第2章 制御棒の校正

第3章 反応度係数の測定

第4章 動特性に関する炉物理定数の測定

第5章 出力の校正

第6章 中性子束分布の測定

第7章 中性子スペクトルの積分測定

第8章 熱中性子利用率と共鳴吸収の測定

第9章 指数実験

第10章 パルス法実験

第11章 Rossi- $\alpha$  法による中性子寿命と実効増倍係数の測定

付録 装置要目表