

核燃料再処理に伴い発生する希ガスの
回収および利用に関する調査

A Review on Recovery and Utilization of
Rare Gases from Fuel Reprocessing Plants.

March. 1975

動力炉・核燃料開発事業団

東海事業所

TOKAI WORKS

POWER REACTOR & NUCLEAR FUEL DEVELOPMENT CORPORATION

複製あるいは入手については、下記にお問い合わせください。

茨城県那珂郡東海村 〒319-11

動力炉・核燃料開発事業団

東海事業所技術部研究管理課 ☎ 東海 (02928) 2-1111 内線 238

© Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation -1975

Enquiries about copyright and reproduction should be adressed to;

Tokai Works, Power Reactor and Nuclear Fuel Development
Corporation,

Tokai, Ibaraki, Post No. 319-11, Japan.

核燃料再処理に伴い発生する希ガスの回収および利用に関する調査

報告者 今 哲 郎
 本 山 茂 二

期間 1974年11月1日 ~ 1975年3月11日

目的 放射性気体廃棄物の放出低減化技術開発に関係して重要な希ガスの分離回収と利用の現状ならびに問題点の調査検討。

要旨 本調査報告書は、核燃料再処理に伴って発生する希ガスの分離・回収技術および利用の現状ならびに関係する問題点等について取りまとめたもので、内容の要点は次のとおりである。

1. 発生する希ガスの量と放出による環境への影響 (K_r , X_e)
2. K_r , X_e の分離回収技術の現状。
3. K_r , X_e の利用の現状。
4. 回収 K_r , X_e のコスト試算。
5. 回収 X_e のセールス上の問題点。

目 次

はじめに	1
1. 核燃料再処理に伴い発生する Kr 、 Xe の量と、これらの放出による環境への影響	2
2. Kr および Xe の分離回収技術の現状	9
2.1 空気中からの希ガスの回収	9
2.2 核燃料再処理廃ガスからの希ガスの回収	9
3. Kr および Xe ガスの利用の現状	18
3.1 Kr ガスの利用	18
3.2 $Kr-85$ ガスの利用	18
3.3 Xe ガスの利用	22
4. 核燃料再処理廃ガスから回収した Kr および Xe のコストの試算	24
5. 再処理製品 Xe ガスが大規模に市販されるための問題点	26
おわりに	30
文献索引	31

はじめに

原子力開発の進展にともない、R I の利用は自然科学，工業，農業，医学など広い分野にまで拡張し，使用される核種，数量も年々増加し生産量も増大しつつある。

近く燃料再処理工場の運開も予定されており，その稼動とともに核分裂生成物が大量に地球上に蓄積されてくる。1 ton/日の再処理工場での燃料処理に伴い，K_r，X_eガスが1日当りそれぞれ約75ℓ(K_r-85，8000Ci)，750ℓ(何れも標準状態)が発生すると推定され，再処理廃ガス中に含まれている。これら希ガスが大量の換気と共に放出され，大気中に拡散するので，これら希ガスによる被ばく線量が小さいこと，また回収プロセスおよび濃縮された希ガスの貯蔵については安全上の問題点があり既設のプラントでは，これらの希ガスを除去しないで，そのまま大気中に放出されてきた。しかし，環境保全の観点から不必要な被曝はできるだけ低くおさえることが，早急の課題となり，環境への放出量の低減化を促進させるために，K_r，X_eの除去，回収についての技術開発が積極的に進められている。わが国でも，PNCは現在，再処理プラントからのオフガス中から，液化蒸溜法によりK_r，X_eを回収するために基礎試験および工学試験を行なっている。また，昭和50年度からは，パイロットプラントの詳細設計が開始される予定である。このパイロットプラントの稼動により回収，濃縮されたK_r，X_eをさらに相互に分離精製することにより，エネルギー源，照射線源などに有効に利用し得る規格のK_rおよび事実上ほとんど安定なX_eが大量に供給可能となるであろう。そこで今後，空気分離法により製造されたK_r，X_eに較べ再処理工場からのものはかなり安く生産できるので，これらのガスの大量の使用が可能になるであろうし，それとともにK_r，X_eの利用分野も一層拡大してゆくであろう。そこで本報告では，K_r，X_eの分離回収技術の現状，K_r，X_eガスの利用の現状，回収されたK_r，X_eのコスト試算，大量利用のための問題等について調査検討した結果を取りまとめた。

1 核燃料再処理に伴い発生するKr, Xeの量とその放出による環境への影響

Kr, Xeは、空気中に微量含まれているが、使用済核燃料中に、核分裂により生成したKr, Xeが大量に含まれている。第1表に希ガスの性質、第2表に同位体組成を示す。

第 1 表 希 ガ ス の 性 質

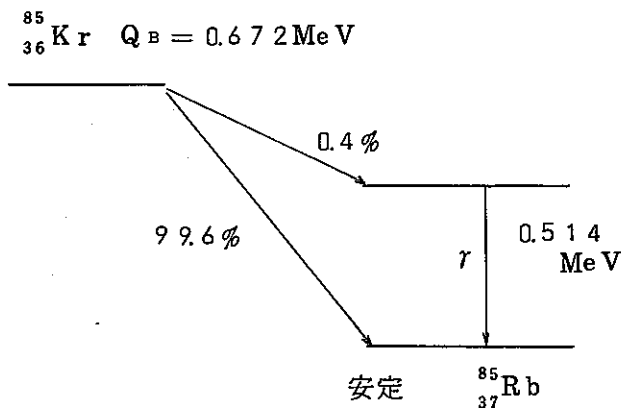
(1) KrおよびXeの性質*1

希ガス種類	Kr	Xe
同位体	(第2表参照)	
原子量	83.8	131.3
沸点	-153.2℃	-108.8℃
融点	-157.2℃	
密度	3.74 g/l	5.89 g/l
臨界温度	-63.8℃	16.6℃
臨界圧力	54.3 atm	57.6 atm
*2 空気中の存在量	1.139 ppm $4 \times 10^{-3} \text{ g/m}^3$ *3	0.087 ppm

(2) Kr-85の性質*4

半減期 10.76年
 比放射能 395Ci/年
 一般人に対する空気中の
 最大許容濃度 $3 \times 10^{-7} \mu\text{Ci/cm}^3$

Kr-85の崩壊図



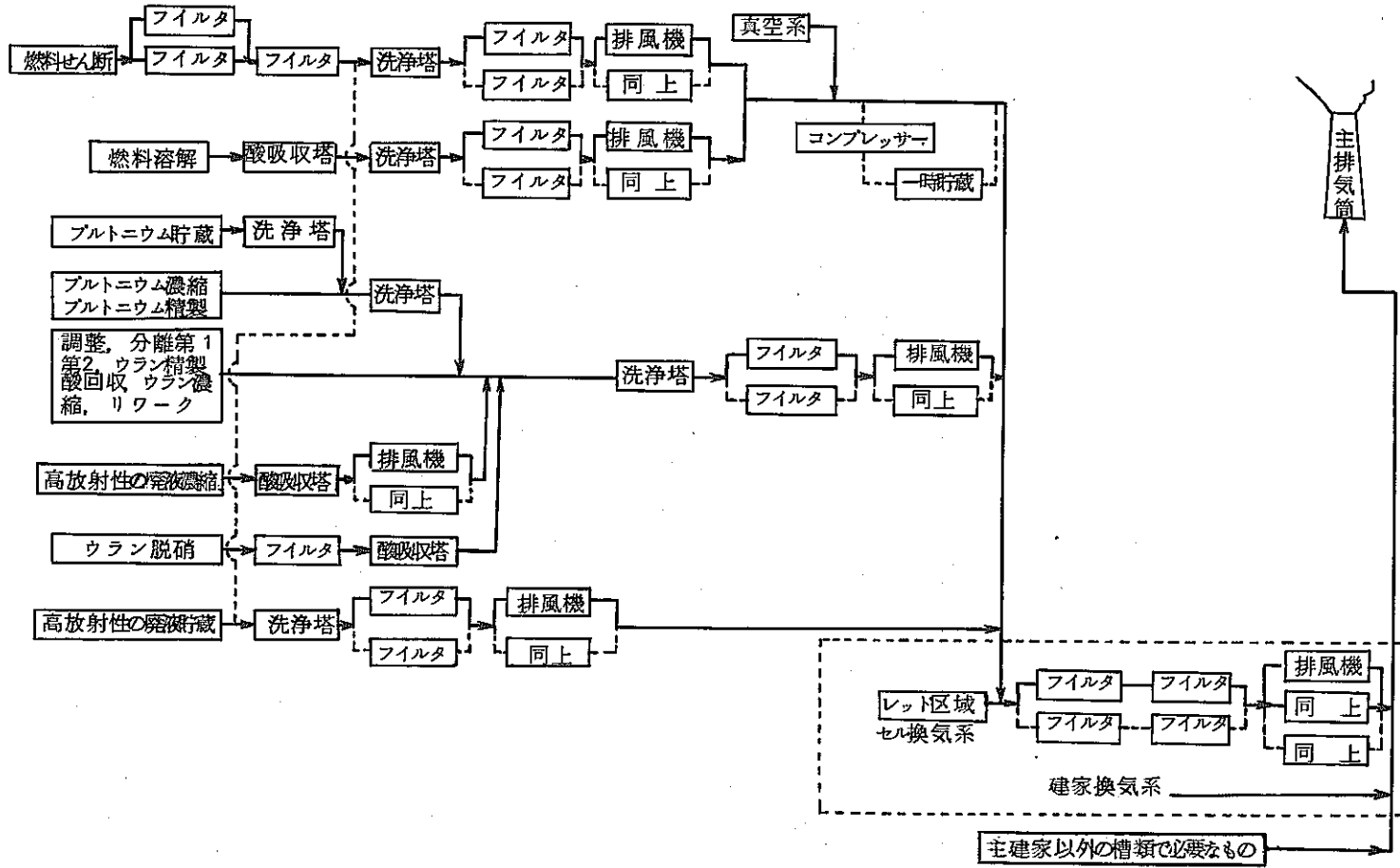
引用文献

- *1 岸井"クリプトンとキセノン" 化学と工業 26(9)148 (1973)
- *2 G. G. Handley: "Commercial Production of Kr and Xe" presented at the Noble Gas Symposium in Las Vegas, Nevada, Sep. 24-23, 1973
- *3 石原豊秀ら: "Kr-85の放射線防護" JAERI-memo 4782
- *4 W. P. Kirk: "クリプトン-85文献総覧と放射線障害の解析" NIRS-M-1

第2表 同位体組成 (低濃縮ウラン又はPu燃料
燃焼度 25,000MWD/T)

Xe			Kr		
同位体	Natural at %	F.P. at % (約)	同位体	Natural at %	F.P. at % (約)
124	0.096	—	78	0.354	—
126	0.090	—	80	2.27	—
128	1.92	0.15	82	11.56	0.2
129	26.44		83	11.55	11
130	4.08		84	56.90	31
131	21.18	8	85	—	6
132	26.89	22	86	17.37	52
134	10.44	29			
136	8.87	41			

これらの希ガスはせん断，溶解後オフガス処理系に入り，大量の工場換気に稀められ気象条件を選び，高い煙突から放出され，大気拡散される（動燃再処理工場のオフガス処理系のフローシートを第1図に示す）。また，オフガスの量とその成分組成を第3表に示す。第3表より1 ton/日の再処理工場で軽水炉燃料（燃焼度28,000MWD/T，冷却期間180日）を処理した場合，せん断および溶解廃気（平均流量1240Nm³/日）中にKrおよびXeがそれぞれ60 ppm（約75ℓ，Kr-85，8000Ci）600 ppm（約750ℓ—Krの10倍量—）含まれており¹⁾，また，廃ガス放射能の99.4%位までが，Kr-85の寄与によることがわかる。これらの希ガスの除去回収技術が原子力分野では，今なお開発途上にあるため既設の再処理工場から，これらの希ガスはすべて大気中に放出されている。動燃再処理工場から放出された廃ガスは大気中で拡散希釈されるが，年間の平均風速および風向から計算して最大濃度地点の年平均大気中濃度は $1.6 \times 10^{-8} \mu\text{Ci}/\text{m}^3$ と試算される。また，この時の被曝線量はICRP勧告方式で計算すると，一般人の全身に対し32mrem/年と試算されている。



第1図 槽類換気系概略フローシート(主要部分のみ)

第3表 廃ガスの量とその成分組成

(1) 1 ton/日の軽水炉燃料再処理に伴い発生にする廃ガスの量とその化学組成(推定)
 ~28,000MWD/T, 180日冷却

流 量	せん断オフガス	1,000 m ³ /日	} 1,240 m ³ /日
	溶解オフガス	240 m ³ /日	
化 学 組 成	N ₂	62.2 vol%	
	O ₂	33.9	
	Ar	0.7	
	Kr	6 × 10 ⁻³	
	Xe	6 × 10 ⁻²	
	NO _x	8 × 10 ⁻²	
	CO ₂	3 × 10 ⁻²	
	H ₂ O	3.1	
	CH ₄	2 × 10 ⁻³	

(2) 動燃再処理工場(0.7 ton/日)の廃ガスの放射能組成
 ~4%濃縮UO₂燃料, 35MW/t, 28,000MWD/T, 180日冷却

核 種	放 射 能 Ci/日
Kr-85	8 × 10 ³
Xe-133	1.76 × 10 ⁻⁴
I-129	1.5 × 10 ⁻⁴
I-131	1.44 × 10 ⁻³
H-3	4.9 × 1.0

さて、1 ton/日の再処理工場からのこれらの希ガスの年間放出量は年間300日稼働とすれば Kr および Xe の放出量は $2.25 m^3$ および $2.25 m^3$ と試算される。希ガスの除去回収技術が確立されない間は、環境へのこれらの希ガスの放出量が原子力発電の実用化に伴い飛躍的に増大してゆくの、次に生成する Kr 、 Xe の量とこれらの放出による地球上への蓄積量について検討してみる。

1971年の国連科学委員会報告²⁾³⁾によれば、第4表に示した様に西暦2000年には世界の原子力発電規模は、約4300GWeとなり、 $Kr-85$ の生成量は9,360MCi(1970年の約180倍)となるものと予測されている。希ガスの生成量は、 $Kr-85$ が全 Kr 中の6%を占める(第2表)とすれば、 Kr が約 $1.1 \times 10^5 m^3$ 、 Xe が約 $1.1 \times 10^6 m^3$ となるであろう。またわが国における希ガスの生成量は、1985年に原子力発電規模が60MWeとなり、累積再処理需要が8,600トン-Uと見積られている⁴⁾ので、 Kr が約 $645 m^3$ 、および Xe が約 $6450 m^3$ にもほえることになる。もともと、最近では原子力発電規模はかなり伸び悩んでおり、今後の規模に関しては見直しが必要となるであろう。生成した Kr がすべて、大気(約 $4.2 \times 10^{24} ml$)中に拡散され、全大気の1/2で均一に希釈されるとすれば、大気中の Kr 濃度は $5.620 pCi/ml$ (1970年の約400倍)になるものと予測されている。この濃度下における皮膚に対する一般人の線量限度は $4.7 mrem/y$ で、ICRP値の1/600に相当する様になる。

田島らによれば、2000年における日本の国民遺伝線量は第5表の様になり、大気放出による皮膚線量は $5.4 \times 10^2 man \cdot rem/y$ と予測されている⁶⁾。しかし、この被曝をどの程度のリスクと考えるべきかについては、極低放射線下における人体への影響を直接に知る確実なデータが今なお少なく、明確に評価しがたい現状である。したがって、そのリスクを楽観視すべきではなく、むしろ遺伝的影響という観点から重視すべきでこの分野の研究開発を積極的に行うべきである。今まで $Kr-85$ の蓄積によるグローバルな人体被曝を考えてきたが、それ以上に再処理工場周辺住民の被曝は重要視しなければならない。 $Kr-85$ の除去回収技術は、J.L. Russelらの述べている様に比較的容易にかつ経済的に確立しうると考えられるだけでなく、海外委託再処理も放射性廃棄物の処分の点で難しくなっており、また、わが国の人口密度も相当高く、かつ放射能汚染に対する国民の関心もきわめて高いことを合わせ考えるならば、できるだけ早期に Kr の除去回収技術を確立する必要がある。現在、わが国でも原子力委員会の"as low as practicable"という方針に基づき、動燃事業団は積極的に希ガス回収技術の開発に努めている。

第4表 全世界の発電容量とKr-85の生成・分布・被曝線量*1

西 暦 (年)	1970	1980	1985	1990	2000	備 考 : 2000年値 考 : 1970年値	ICRP基準値	
発電容量 (GW)								
全 世 界	94	345		1,610	4,260	約180倍		
(日 本)	(0.5)	(32)	(60)	(100)	(220)	(440)		
大気中のKr-85の総量 (μCi)	33~53	680		3,170	9,360			
大気中の濃度 *2 ($\mu\text{Ci/ml}$)	1.5×10^{-11} (実測値)				5.6×10^{-9} 全大気の $\frac{1}{2}$ で均一 にうすまると仮定	約400倍	一般人に対する空 気中最大許容濃度 $3 \times 10^{-7} \mu\text{Ci/ml}$	
線 量 mrad/y	皮 膚	0.02~0.03	0.3		1.6	4.7	約150倍	一般人の線量限度 3000mrem/y
	生殖線	$(1.4 \times 2.2) \times 10^{-4}$	2.8×10^{-3}		1.3×10^{-2}	3.9×10^{-2}	約200倍	} 500mrem/y
	全 身	$(1.1 \sim 1.8) \times 10^{-4}$	2.3×10^{-3}		1.1×10^{-2}	3.2×10^{-2}	約150倍	

*1 United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation : Environmental Radioactivity A/AC.82/R.265, A/AC.82/R.265/Add.1~4

*2 地球上の総大気量は約 $4.2 \times 10^{24} \text{ ml}$ (0℃, 1気圧)である。

第5表 2000年における日本の国民遺伝線量の推定

被 曝 源		全 身 man-rem/y	皮 膚 man-rem/y	
世界の施設	H-3	1.7×10^3	5.6×10^5	
	Kr-85	1.3×10^4		
日本の施設	H-3	1.5×10^3	5.4×10^2	
	大気放出	（発電所）		10^3
		（再処理）		1.2×10
	沿岸放出	（発電所）		1
（再処理）		2×10		
合 計		1.7×10^4	5.6×10^4	

2 KrおよびXeの分離回収技術の現状

2.1 空気中からの希ガスの回収

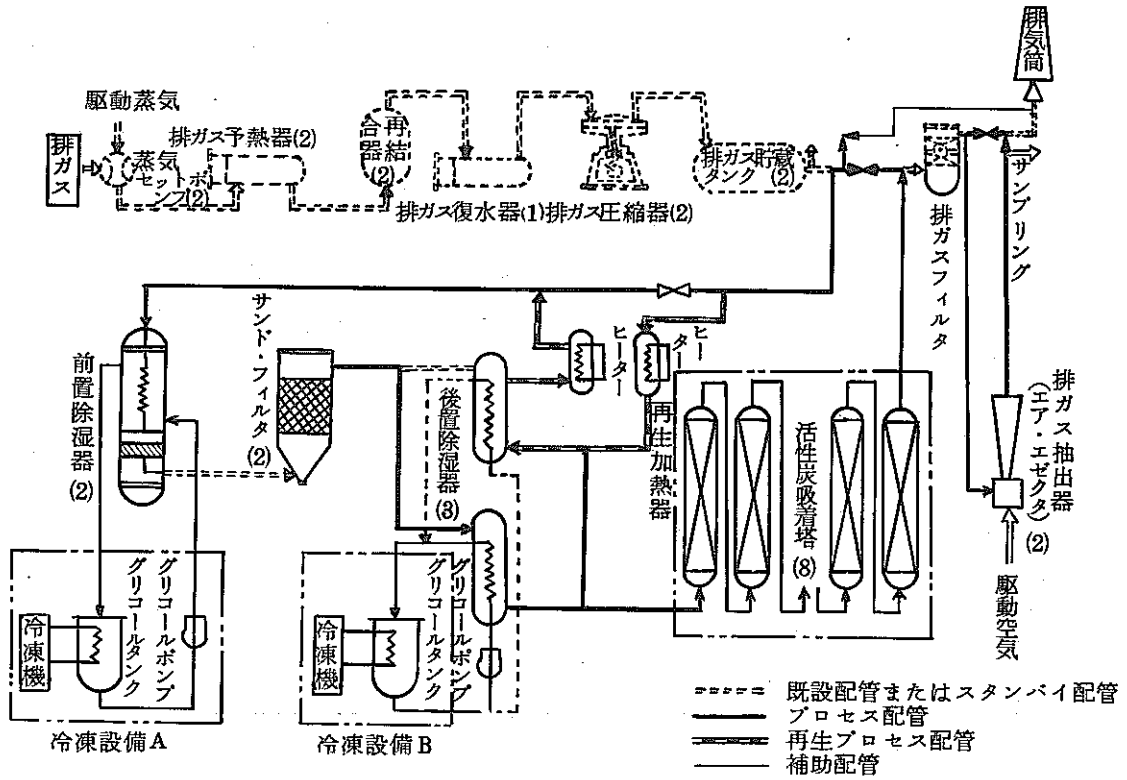
現在市販されているKr, Xeは空気中より回収濃縮したものである。KrおよびXeの濃度はそれぞれ1.14 ppm, Xe 0.087 ppmと極めて低濃度のため⁷⁾, 空気分離プラントにより空気中から直接分離回収するのは商業的になりたないで、酸素分離器および窒素分離器内の液体酸素からの副産物として、これらの希ガスを回収製造している。

今日、アメリカではLINDE社がEast Chicagoにある1200 ton/日の酸素プラントからKr 1000 m³/年, Xe 75 m³/年生産している⁸⁾。一方、Air Products and Chemicals Inc.(APCI)ではClevelandにある25,000 Nft³/minの空気プラントでKr 210 m³/年(93%), Xe 15.4 m³/年(7%)製造している⁷⁾。

このAPCIプラントでは、まず、大気中のKrを3500 ppm, Xeを350 ppmに濃縮し、次にバッチ蒸溜でKrを85%, Xeを8.5%に濃縮し、さらに同方法で、Kr, Xeをともに99.995%に濃縮精製し、製品として販売している。その製品Xe中のKr濃度は25.0 ppm以下であるという。C.A.Rohrmanによれば、Xe中のKr濃度は、今日の最新鋭の酸素プラント(酸素1000 ton/日処理し、85%回収する)では、通常20 ppm位で5 ppmまで低減可能であり、技術的には、もっと低減化できるだろうと主張している⁹⁾。わが国では帝国酸素株式会社が仏のエールリキッド社から技術導入してKr, Xeを国産しており、製品の純度は99.95%, Xe中のKr濃度は450 ppm以下である。Krのコストは、大量購入のケースがアメリカでは0.50 \$/ℓであり、日本では400~500円/ℓであり、少量(10 m³以下)の購入のケースが、日本では600~700円/ℓとなっている。Xeのコストは、大量購入のケースがアメリカでは10 \$/ℓであり、少量(1 m³以下)の購入のケースが、アメリカでは20~35 \$/ℓであり、日本では2000~5000円/ℓとなっており、XeのコストがKrより少量しか生産できないので、約数10~数100倍割高となっている。

2.2 核燃料再処理廃ガスからの希ガス回収

原子力発電の大規模な実用化にともなって、放出されるKr-85による環境汚染防止のための回収技術の確立と回収されたKr-85の有効利用分野の拡大をめざし、今日、世界各国で技術開発が進められている。すでに原子炉廃ガスからの希ガス回収については、活性炭吸着法による希ガスホールドアップ装置が実用化に成功し、今日、BWRにはこの装置が必ずとりつけられる様になった。第2図に、敦賀原子力発電所に設置された装置のフローダイヤグラムを示す¹¹⁾。



第2図 希ガスホールドアップ装置フローダイアグラム

この装置内で希ガスが活性炭に吸着されているうちに短半減期の希ガス核種が減衰してしまうので、結局環境に放出される放射能は第6表に示す様に1ケタ程度低減化する^{10) 11) 12)}。

第6表 希ガスホールドアップ装置設置前後の放射能放出実積
(スタックからの平均放出率)

(1) 敦賀発電所

項目 \ 年度	45年	46年 ¹⁾	47年 ²⁾
総放出量	$1.3 \times 10^5 \text{Ci}$	$4.2 \times 10^4 \text{Ci}$	$3.5 \times 10^3 \text{Ci}$
年平均放出率	4.2mCi/s	1.3mCi/s	0.22mCi/s

注：1) 昭和46年12月3日より希ガスホールドアップ装置の運転開始

2) 47年度は4～9月の値である。

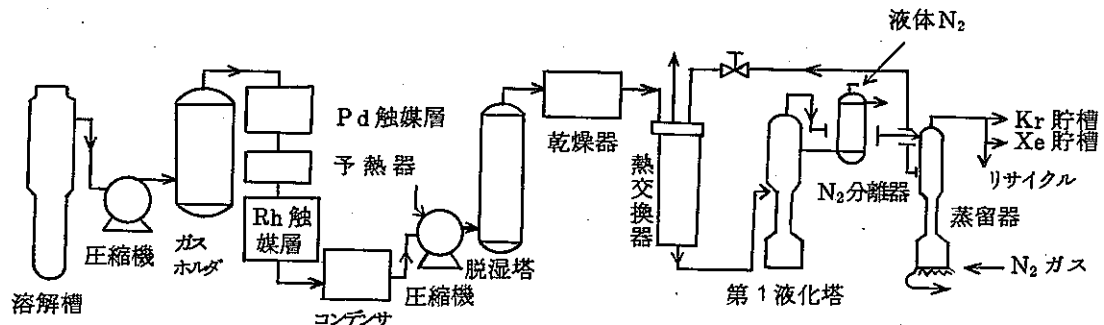
(2) 福島1号機

昭和46年		昭和47年	
月	平均放出率 (mCi/s)	月	平均放出率 (mCi/s)
4	3.8	1	1.4
5	3.9	2	2.7
6	0.9	3	3.6
7	2.5	4	4.7
8	3.1	5	1.6
9	2.0	6	1.3
10	—	7	0.3
11	0.3	8	0.6
12	2.3	9	0.4

注：昭和47年7月から希ガスホールドアップ装置の運転開始

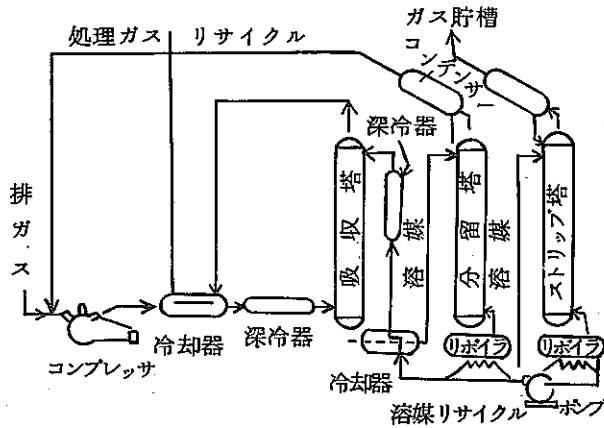
この装置の実用化により原子炉からの環境放出規制値 500 mrem/年から管理目標値を 5 mrem/年にするように大巾に激しくなった。

一方、核燃料再処理廃ガスからの希ガス回収については、低温活性炭吸着法、液化蒸溜法、溶媒吸収法、隔膜法などの開発が進められてきたが、いずれの方法も実機で未だ実証されてはいない。最も進んでいる方法は、液化蒸溜法で、アメリカの Idaho Chemical Processing Plant (ICPP) で開発中であり、Isotope 製造の目的でパイロットプラントを作り、再処理実廃気の一部を処理し、試験的に Kr-85 を回収している^{13) 14) 15)} (第3図)。



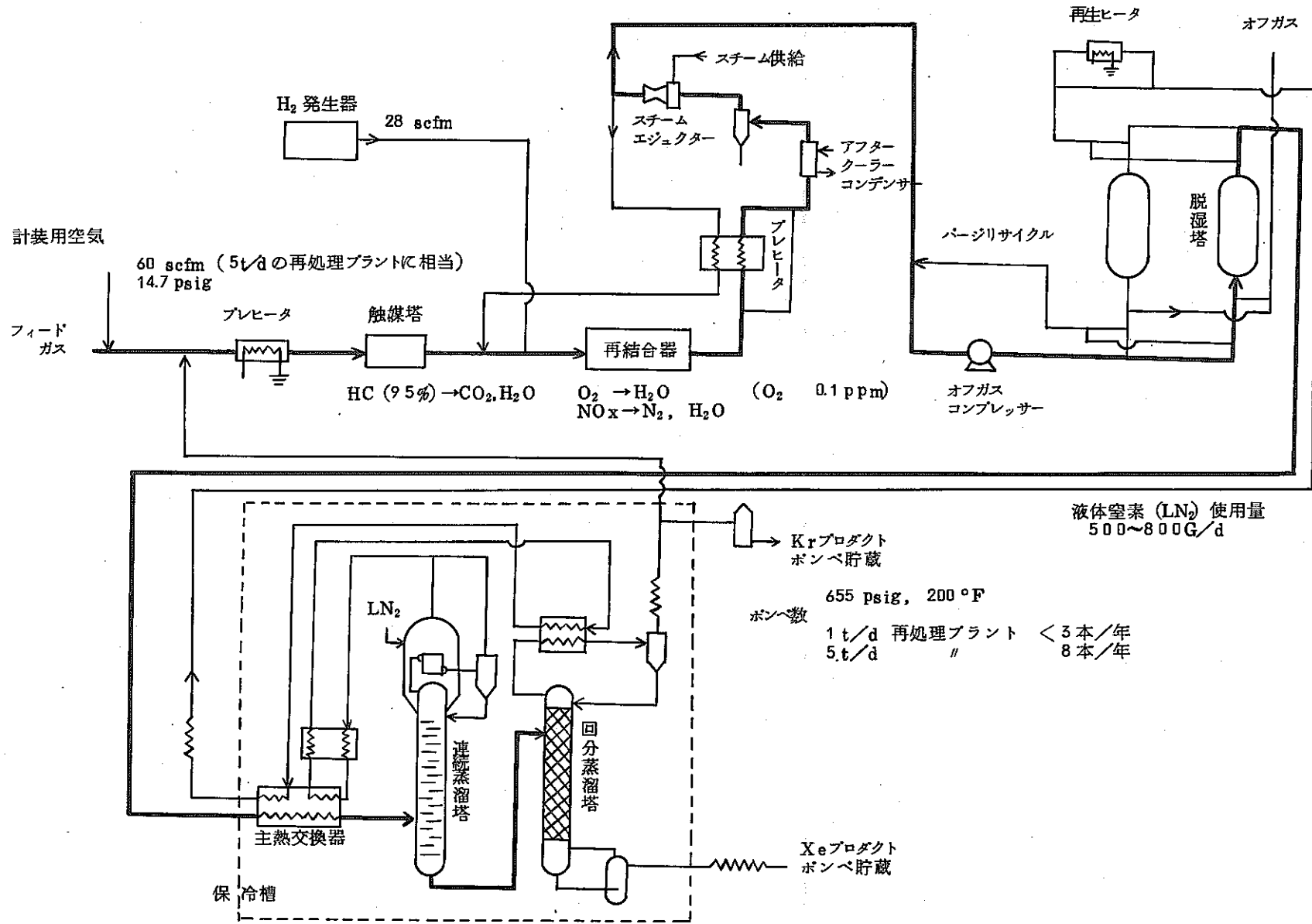
第3図 ICPPの液化蒸溜法パイロットプラントフローシート

Freon 溶媒吸収法は、アメリカのOak Ridge Diffusion Plant (ORGDP)でパイロットプラントを建設し開発中である⁶⁾⁷⁾が、その実用化にはここ数年を要するものとみられている(第4図)。



第4図 ORGDPの溶媒吸収法パイロット・プラントフローシート

液化蒸溜法による再処理廃ガス中の希ガス回収プラントは、すでに現在までに実証された空気分離技術(液化蒸溜技術)と原子炉廃ガス中の希ガス回収技術(前処理技術)の経験を組合せれば実用化が可能とみなされている。すでに、L I N D E社では1ton/日の再処理工場の廃ガスからKr-85を99.9%回収可能であるという¹⁸⁾。第5図にL I N D E社の提唱しているフローシートを示す。



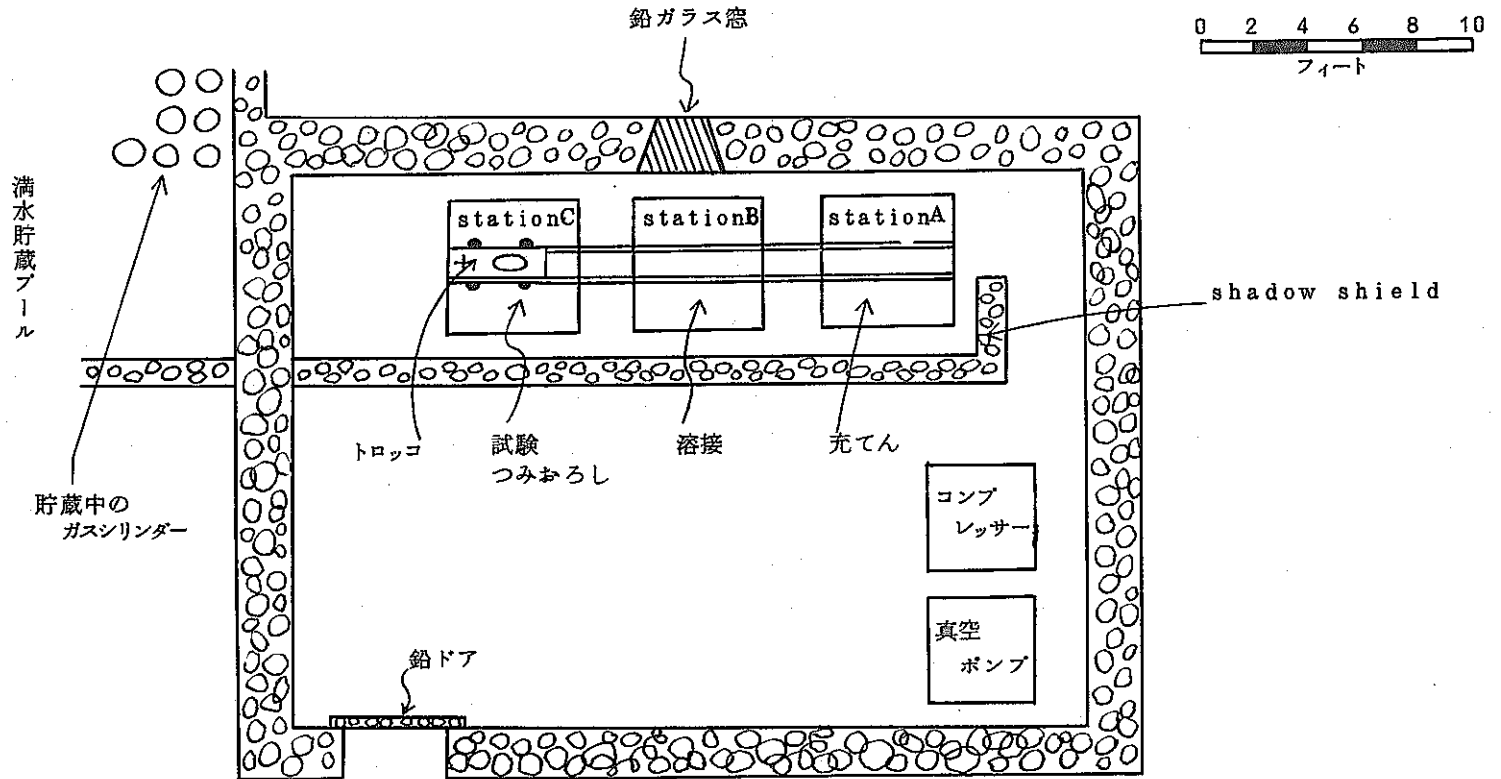
第5図 再処理オフガスから希ガス回収フローシート (LINDE方式) 18)

C.A.Rohrman によれば、現在、建設中のアメリカのAGN社の5ton/日の再処理工場Barnwell Plantには液化蒸溜法が廃ガス処理工程に組込まれ、Kr-85を95%回収できる様になるという。(しかし、その後、別の文献によれば液化蒸溜法ではなく、Freon溶媒吸収法による概念設計研究を行うことになったらしいので、彼の主張は正しくないかもしれない²⁹⁾。また、彼によれば、現在の空気分離技術ではXe製品中のKr濃度を5ppmにおさえることができるので、再処理廃ガス処理の場合にもこの技術レベルが保持できるならば、Kr-85が6%を占める(第2表)ものとしてXe中のKr-85による放射能を約450 $\mu\text{Ci}/\ell$ におさえることができるだろうと予測している。ORNLでは、最近、実験室規模の回収試験で、Xe中のKrを2 $\mu\text{Ci}/\ell$ まで低減化できたという⁹⁾。したがって、近い将来パイロットプラント規模でも、このレベルまでXe中のKr濃度を低減化できることになるだろう。なお、回収されたKr、Xeの貯蔵に関しては、ガスボンベ貯蔵、包接化合物中に分散させる等の方法が考えられるが、ボンベ貯蔵以外の技術はまだ基礎研究の段階にとどまっております現状での実用化は期待できない。またボンベへの高圧Kr-85ガスの長期貯蔵技術は、まだ研究開発途上にあるため、おそらく150 $\text{Kg}/\text{cm}^2\text{G}$ の高圧に充てんすることはリーク防止の点で困難と考えられるので、当面50~60 $\text{Kg}/\text{cm}^2\text{G}$ 位に充てんして貯蔵するのが適当であろう。

なお、大量のKr-85のボンベ充てん作業時は、Kr-85の放出する γ 線の寄与により、かなり高放射線レベル下の作業となるため、設備には十分な遮蔽対策を行う必要がある。

J.O.Blomekeは第6図の様な充てん設備の概念設計を行っている²⁸⁾。

次に、5ton/日の再処理プラントから回収されたボンベを貯蔵する場合に関し、ボンベの本数、放射能、発熱量、壁温度を試算した。試算結果は第7表の様になり、この表から次のことがわかる。



第6図 Kr 充てん設備の概念図

第7表 再処理プラントからのKr発生量とKr回収に伴う貯蔵ポンベ数

PNC1842-75-06

レポーター	筆者		B.A.Foster*2							
	筆 者		J.O.Blumke (ORNL-TM-2677)							
再処理プラント規模 (ton/y)	1500 (5 ton/d)		1500 (5ton/d)		2600 (10 ton/d)					
燃料の燃焼度 (MWd/ton)	~30,000		33,000		LWR33,000 (150日冷却)		LMFBR*1 53,000			
Krの発生量 (m³/y)	183		189		657*1		150日冷却		30日冷却	
Kr-85の放射能 (Ci/y)	1.5×10 ⁷		~1.68×10 ⁷		2.9×10 ⁷		2.6×10 ⁷		2.65×10 ⁷	
Xeの発生量 (m³/y)	-		-		-		-		-	
Xeの放射能 (Ci/y)	-		-		-		1.9×10 ⁴		2.1×10 ⁴	
回収Krのポンベ貯蔵										
ポンベの容量 (ℓ)	50		50		50				50	
充てん圧力	150 kg/cm ² G		2000 psig (140 atg)		2200 psig (150 atg)				2,200 psig (150 atg)	
ポンベ充てん物	Krのみ	Kr-Xe	Krのみ	Krのみ	Kr-Xe	Kr	Kr-Xe	Krのみ	Xeのみ	Kr-Xe
ポンベ本数 (本/y)	24	255	27*1	28	160	26	134	26	108	134
ポンベ放射能 (Ci/本)	6.1×10 ⁵	5.6×10 ⁴	4.2×10 ⁵	1.0×10 ⁶	1.8×10 ⁵	1×10 ⁶	2×10 ⁵	1.0×10 ⁶	2.3×10 ⁶	3.3×10 ⁶
ポンベ発生熱 (Whr)	900	80	610	1700	290	1520	-	1550	8,150	9,700
ポンベ壁温度 (°C)	-	-	127	157	-	-	-	-	-	-
				(空気自然 対流)						

*1 ORNL-TM-2677より筆者が試算したものである。

*2 B.A.Foster et.al " Long term stonage technique for Kr-85 " 13 th AEC air cleaning conference.

- ① LWR燃料の場合、筆者等の試算例は、B.A.Fosterら²⁷⁾やJ.O.Blomekeら²⁸⁾の試算した結果と、回収ポンペの本数、放射能/本、発生熱/本については、ほぼ一致している。
- ② ポンペの充てん物が K_r のみの場合、 K_r-Xe 混合の場合に比較し、ポンペの本数が1ケタ少なくなる代わりに、ポンペ当りの放射能量や、ポンペ当りの発熱量が1ケタ高くなる。おそらく、ポンペの発熱コントロールや漏洩ガスの管理、 r 線の遮蔽などの点でも相当厳しい管理体制が必要となる。
- ③ LMFBR燃料については150日冷却した場合は、LWR燃料(150日冷却)とほぼ同じコントロールですむことがわかるが、一方、30日冷却した場合は、予想通りXeの放射能が K_r よりも高く、そのため、 K_r-Xe 混合ガスポンペ当りの発熱量は9700whと K_r のみのその約6倍ほど高い。したがって、その安全対策、特に除熱が大きな問題点となることがわかる。

したがって、これらの点を十分に考慮して、 K_r 回収ポンペ貯蔵技術を早期に確立する必要がある。また、高レベル廃液と違い K_r-85 は、ガス状物質であり、ポンペに一度充てんしてしまえばリーク対策だけが問題となり、主として貯蔵施設の排気管理程度の努力で管理しうるので、楽観視されている。しかし、不活性なガスであるため、安定な化合物にしたり、固化することは極めて難しく、一度放出されると、すぐに拡散してしまう点を忘れてはならない。

回収 K_r の長期貯蔵技術に関しては、世界的にも研究開発を開始したにすぎない。原子力発電を推進する限り、この点に関しても、他の放射性廃棄物の処分と同様に、国家がその最終処分の責任を負わざるを得ないだろう。したがって、最終処分までを含めた長期貯蔵システムの確立をめざし、積極的に技術開発を行なわなければならない。

3 KrおよびXeガスの利用の現状

ここでは、KrガスおよびKr-85ガスさらにXeガスの利用の現状についてのべる。なお、以下に述べる様に各種の利用方法があるが、特に大量な利用が期待されるのは、KrおよびXeガスの電球への利用であり、Kr-85に関しては、高速道路の照明燈への自発光源としての利用などが考えられる。

3.1 Krガスの利用¹⁹⁾

(1) 白熱電球

ヨーロッパ、アメリカでは、Krを充てんした白熱電球が一般家庭用として市販され、Kr需要の大部分を占めている。

ランプにはKr 70~80% その他Ar, N₂を含む混合ガスが約100ml充てんされている。

不活性ガスをランプに充てんすることにより、タングステンフィラメントの蒸発が抑えられ、この抑制効果はガスの分子量が大きいほど顕著であるから、通常アルゴン封入電球に比べ、フィラメントを高温にでき、一方、封入ガスの熱伝導による損失はアルゴンに比べて小さいため、白色光に近い光をえることができる。

(2) ケイ光燈

ケイ光燈は、水銀ガスの放電で発生する紫外線で管壁に塗られたケイ光体を励起し、そのケイ光を照明に利用するものである。通常は、水銀とともにアルゴンが封入されて放電開始電圧を低くし放電を容易にしている。アメリカではKrとアルゴンとの混合ガス(50%:50%)を使う例がある。Krは放電開始電圧を下げる効果がアルゴンより顕著であり、同時に電極付近での電圧降下を小さくし、これに対応する入力損失も少ないし、ケイ光燈の効率を上げる。

3.2 Kr-85ガスの利用

Kr-85は第1表に示した様な性質を持ち、その放出する放射能は次の様な種々の利用が考えられる。

(1) 放射線計測器利用

放射線の吸収、散乱あるいは減速等の諸作用は、物の厚さ等量的なものを測定する計測器に利用される。

Kr-85の応用例として、厚さ計およびリークディテクターがある。

a) 厚さ計^{20, 21)}

厚さ計には、透過型と反射型の2種類があり、被測定物の厚さに適応したエネルギーの線源が用いられる。Kr-85は、厚さ10~130 mg/cm²の被測定物に適用される。線源の強さは、一般に強いほど測定誤差が小さくなり、測定範囲も大きくなるが、あまり大きくなると遮蔽等安全上の諸対策が厄介になるため、使用検出器の種類、感度より5~50 mCiの線源が基準とされている。

b) リークデテクター^{20, 21)}

気密性を試験しようとするものを密閉容器に入れ、一度真空にしたのち、放射性ガスを圧入し、ガスを回収後試料を取り出し、試料中に入り込んだ放射能を測定してリークの有無を検出する機器である。圧入する放射性ガスとして、多くの場合にKr-85が用いられている。

(2) トレーサー利用

放射性同位元素は、元素、化合物等の移動、変化の経過を追跡できる等の利点があるため、トレーサーとして利用される。

a) ガスの流れへの応用²⁰⁾

ガスの流れの追跡等に利用されるトレーサーの選択にあつて、1) 温度の低下によつて凝縮しないこと、2) 接触する物質と化学反応を起こさないこと、3) 運動学的粘度(粘度/密度)が被追跡ガスのそれになるべく近いこと等を考慮する必要がある。そのため、Kr-85のような不活性ガスが通常広く利用される。利用面として、煙道中の気体の混合速度の測定、溶鉱炉内のガスの通過時間の測定、室内換気状態の調査、大気汚染の調査、坑内気流の測定、ガスの漏洩検査等がある。

b) 真空科学研究への応用²²⁾

R I 気体をトレーサーとして用いると、

- 1) 検出感度は電離真空計などによるよりも遙かによくなる上に関与気体のみを追跡できる。
- 2) 非放射性気体で同位体希釈を行ない、系の圧力を増加させていく場合、検出感度および精度が圧力に無関係である。
- 3) γ 線放射体を用いれば系の dead Space を小さくできる。

など多くの利点があるので真空科学における利用に期待がもてる。

Kr-85を利用した研究例としてグラファイトの表面積測定がある。

補給器からKr-85とKrの混合気体を蒸発させ、サーミスタ計で圧力を測定した後、拡散によつて吸着室に気体を送り込む。平衡に達したら、グラファイト上の吸着Kr-85から放出される γ 線を計数する。この方法で最小表面積10cm²まで測定し得る。

(3) 線源, エネルギー利用

a) 自発光源^{21), 23)}

自発光源は, 電力が不要なため, 1) 電力供給が不能な場所や設置に費用がかかる場所に利用できる。2) 停電などによるトラブルの心配がない。3) 燃焼しつくすことがないので確実な光源が供給できる。4) 自発光源による装置は, 二次電源供給への電線やコネクションを必要としないなどの利点がある。

American Atomics Corporation (AAC) において高速道路標識用として十分な輝度を持つ I-LITES で知られている Kr-85 の自発光源の開発計画が 1963 年以来続けられ, 1969 年 6 月に米国で初めての機能的な自発光源の交通管理信号がアリゾナ州の Phoenix に設置されている。信号には方向指示器, ONLY 指示, 矢印があり, 66 個の I-LITES の径は 1 インチで, I-LITES 1 個当り, 1 Ci の濃縮された Kr-85 が含まれている。各ライトは信号の表面から 5 インチ内側にあり, 金属製円筒状の shell の中に二重に封入されてある。

事故等に対する防護策として各ライトの周りに金属の遮蔽が行なわれている。

信号の輝度は 10 ft L で, 地上の放射線はバックグラウンドよりやや高く, 夜間における可視距離は 500 ft であった。1969 年 12 月に信号表面の検査を行なったが, I-LITES はすべて機能されており, 据付けられたときの状態とほとんど変わりがなかった。また 27 個のライトについて, ランダムに光量測定を行なったところ平均発光量は年間当り 7% の減少を示した。

原子力発電の進展, 再処理工場の稼働にともない Kr-85 が大量に副産物として生成回収されるようになると, 現価格は大幅に安くなることが期待され, 高速道路標識の照明としての利用面においても期待できる。

しかし, Kr-85 を利用するに当っては, 放射能の最終処分に関連して生ずる多くの問題の解決を促進させることが必要である。

b) 静電荷の除去^{20, 21)}

Kr-85 の電離放射線照射により生ずるイオンを利用し, 静電除去ができるので, 工業分野において障害となっている作業中の静電気の帯電対策として除電器への利用が考案されている。

c) 原子電池^{20, 21)}

放射線のエネルギーを適当な方法 (1) 直接充電型 (荷電粒子を真空容器内の電極に直接集める方法), 2) 二次電子型 (二次電子を出しやすい物質に β 線をあて, 二次電子を集める方式), 3) 接触電位差型, 4) 半導体接合型, 5) 熱電対型等) で電気的エネルギーに変換させる。利点として, 長時間にわたって一定の電流を取り出

すことができ、しかも連続使用に耐え、高温、高圧、強電場、強磁場でも使用できる。
無人灯台、宇宙空間の諸機器等の電源としての利用が考えられる。

(4) 放射線化学利用^{21), 24)}

a) 液相化学反応への応用

Kr-85は、ほとんどβ線のみを放出すると考えてよいので、遮蔽が容易であること、β線エネルギーの吸収は100%近く使用できるのでエネルギー利用効率がきわめて高いことなどの理由により放射線化学反応および食品照射への利用が有望である。応用例として過去においてアセチレンの気相重合が試みられている。また、アクリルアミドの重合において、Kr-85のβ線による化学効果とCs-137のγ線による化学効果を比較したところ、ある条件の範囲内で、同一線量で同一の結果が得られ、化学反応へKr-85が利用しうることが実証されている。

液相放射線化学反応では、大量の吸収線量を必要とするため、一つの化学プロセスについて、数10万Ciないし数100万CiのKr-85の使用が期待できる。しかし、Kr-85の化学反応への応用にあたって、開発すべきつぎの技術上の問題がある。

- (1) Scale-upの技術開発
- (2) Kr-85の分離、濃縮技術
- (3) 線源の使用後における浄化方法の開発
- (4) 各種溶媒に対する溶解度
- (5) 密封貯蔵の容器の開発
- (6) β線による線量測定技術
- (7) flow概念を入れたプラントの技術開発

b) 固体化学反応への応用

微少な物質中の空間にKr-85を加圧して入れ、反応を起こさせる方法である。

液相反応に比べてβ線の利用効率は低い、特殊な反応を起こさせる可能性は十分にある。しかし、Kr-85の取扱いは、液相よりもっとむづかしく、固体化学反応への利用は、液相の技術が完成してから、可能性が判明するものと思われる。

c) 固体化線源の応用

すでにKrF₄その他の化合物が知られており、安定な化合物が作られるならば、Sr-90線源のように金属板の上に蒸着して、薄い金属膜で表面を蔽い、密封線源として化学反応にも利用できる。

とくに、高分子化学がfine chemistry化の方向にあるとき、maintenanceがほとんど不用の線源としての利用が期待でき、このとき、Kr-85は数10万Ciないし数100万Ciの単位でプラントが作られる可能性は十分に期待できる。

(5) 医学への利用^{20), 21), 25)}

Kr-85は、低い血液溶解度、高い油脂溶解度、速い拡散性などの生理学的な性質、並びに検出のし易さは鑑別診断に有用である。応用として

- 1) 全身脂肪分の測定
- 2) 循環系の研究
- 3) 肺機能の研究
- 4) 歯の構造
- 5) elastin の表面積の測定

などがあり、使用されるKr-85の量は通常 $\mu\text{Ci} \sim \text{mCi}$ の範囲である。そのほか眼病や皮膚病などの放射線治療にも利用される。

具体例¹⁾

心内短縮の測定

Kr-85が肺毛細管を通過するときその95%が肺胞内に排出される性質を利用する。右→左短絡のときは、短絡より上流にKr-85溶液を注入すると、その直後に動脈血中に現われるKr-85の量は大きい。また、それから短絡量を概算できる。左→右短絡のときは短絡部より上流の左心内にKr-85溶液を注入すると、Kr-85は短絡を通過して著しく早期に呼気中に現われる。またKr-85ガス吸入により左→右短絡量を概算する試みも行なわれている。

3.3 Xeガスの利用¹⁹⁾

主に電気工業に用いられる。その他医学(人体用麻酔ガス)への応用が考えられる。

(1) 白熱電球

Xeを充てんすると、数ボルト程度の低電圧で効率の良い電球ができる(Xeは最大100ml封入)。Krよりもタングステンの蒸気を抑える効果が顕著である。これは熱伝導によるフィラメントからの熱損失が少ないからである。従ってフィラメントの温度が高くできるので、光は白色光に近くできる。一方封入ガスの熱伝導による入力損失が少なくできるので効率が良い。

(2) ハロゲンランプ

ガス入電球にさらにヨードを添加したもので、管壁温度が600℃以上になる条件で点灯するとフィラメントの蒸発がさらに少なくなる。

(3) 高圧アーク燈

高圧Xeガスの放電で発生するアークは、生ずる可視光エネルギーの絶対量とアークの単位表面積あたりの発光量とが共に高い。またスペクトル分布は6500°Kの黒体からの

発光に近く太陽光に似ている。従って標準白色光源，色彩鑑別用光源，映画あるいはテレビスタジオ照明用などに使われている。

(4) フラッシュランプ

太陽光に近く，瞬間発光量の多い光源として写真撮影に用いられる。日本及びドイツで開発が著しい。

(5) その他

原子量が大きくて放射線吸収能が高く，また放電開始電圧が低いので計数管の充てんガスとして用いられる。その他，小型超音速風洞，ショックチューブ，キセノン泡箱などにも使用される。

4 核燃料再処理廃ガスから回収した K_r 、 X_e のコストの試算

核燃料再処理廃ガスからの希ガス回収技術が確立され、特に、回収 X_e 中の K_r 濃度をできるだけ低減化するほど回収 K_r -85の貯蔵スペースの節約ができるだけでなく、大量に回収した X_e は、空気より分離回収した X_e よりも安価に供給できる様になり、核燃料再処理費を低減化することが可能である。

ここで、 K_r 、 X_e の回収量について比較してみると、次の様なことがわかる。5000 ton/日の空気分離プラントの場合、 K_r および X_e の年間回収量は、それぞれ 210 m^3 、 15.4 m^3 である⁹⁾のに対し、1 ton/日の再処理工場からの回収量(より正確には、100%回収技術が実証されていないので発生量と言うべきであろう)は、それぞれ、 22.5 m^3 、 225 m^3 となる。両者の場合、希ガスの回収量が相互に逆の関係にあることがわかる。

また、C.A.Rohrmanによれば、 X_e 360 m^3 製造するに要する時間について比較してみると、5000 ton/日の空気分離プラントでは、 $4 \times 10^9\text{ m}^3$ の空気処理が必要で、それには年間300日稼働として、4年間かかるが、一方、5 ton/日の再処理工場(燃焼度25,000 MWD/TのLWR燃料を処理し希ガスを95%回収する)では、わずか6ヶ月(113日)要するにすぎない⁹⁾。また、原子力発電が急速に実用化してゆくと、この様なハイペースで大量の K_r および X_e が発生し回収されてゆくことになるが、これらの希ガスのコストは1980年にはどの程度まで下げられる様になるだろうか? C.A.Rohrmanによれば⁹⁾、 X_e の場合、現在空気分離生産品は m^3 程度の販売の場合には、約 $\$10/\ell$ であり、再処理生産品も同程度のコストで販売できるであろうが、これが1980年になると、再処理生産品が大量供給可能となるため $\$0.5 \sim 1.0/\ell$ (STP)となると推定される。麻醉用の X_e は使い方が独得で他の製法による製品より性能がすぐれているため $\$1.5 \sim 3.0/\ell$ となるだろう。もし $\$10/\ell$ のコストで空気分離した X_e の販売シェアを再処理回収 X_e で置き換えれば約24万ドルの収益が得られることになる。 X_e コストが $\$0.5/\ell$ と仮定し、5 ton/日の再処理回収 X_e が販売できるとすると年間約50万ドルの収益が得られることになる。 K_r の場合は、再処理製品が現在 $\$22/\text{Ci}$ ($\$8700/\text{g}$)であるが、1980年には $\$0.25 \sim 0.5/\ell$ となり、これは現在の空気分離製品($\$0.50/\ell$)の約 $\frac{1}{2}$ 位までコストを下げうることを示している。

特に注目したのは現在の空気分離製品の X_e のコストが m^3 単位の販売で約 $\$10/\ell$ と K_r のコストの200倍(わが国の場合は数10倍)であるものが再処理製品としての X_e が出まわることにより、1980年にはほぼ現在の空気分離製品 K_r と同程度のコストまで廉価となることである。

ここでは、再処理製品希ガスが空気製品と同様に利用されうるという前提で希ガスのコストの試算が行なわれていることに注目しなければならない。

次に、現在まで実用化されている再処理製品の利用例と、今後、大規模に再処理製品が利用されるための問題点について、考察する。

5 再処理製品Xeガスが大規模に利用されるための問題点

再処理製品希ガスのうち、最も大規模な実用化が期待されるのはXeを利用した白熱電球(Xeランプ)である。現在最も普及しているXeランプには常圧でXeが約100ml封入されている。再処理製品Xe中にはKr-85の混入が避けられず、Xeランプ中に封入されたKr-85の放射能濃度を計算してみると、Xe中にKrが200ppmおよび5ppm含まれる場合、全Kr中にKr-85が6%含まれているとして、それぞれ $1760 \mu\text{Ci}/100 \text{ml}$ および $44 \mu\text{Ci}/100 \text{ml}$ となる。もし、最初のORNLの実験室規模での分離技術が再処理実機プラントに適用できるならばその濃度は $0.2 \mu\text{Ci}/100 \text{ml}$ まで低減できる。次に、法規制の現状およびこれらのKr-85濃度を含むXeガスランプが現行の放射線障害防止法の規制対象物に該当するかどうか検討する。

(1) 法規制の現状

放射線障害防止法では次の様な定義でアイソトープの使用を規制している。すなわち、アイソトープが非密封状態の場合、濃度が $0.002 \mu\text{Ci/g}$ をこえ、かつ数量がKr-85ならば $1 \mu\text{Ci}$ をこえるものが規制の対象となり、密封状態の場合、濃度が $0.002 \mu\text{Ci/g}$ をこえ、かつ数量が $100 \mu\text{Ci}$ をこえるものが規制の対象となっている。(密封の条件としては「正常な使用状態で開封または破壊のおそれのないこと、漏えい、浸透等により散逸して汚染するおそれのないこと」と定めている)。また、この定義に該当するアイソトープは、施行規則第15条の使用の基準により使用施設(非密封の場合は作業室)で行なう様に定められている。Kr-85の最大空気許容濃度(MPC)_aは一般人が $3 \times 10^{-7} \mu\text{Ci}/\text{cm}^3$ 、職業人が40hr/wのとき $10^{-5} \mu\text{Ci}/\text{cm}^3$ 、168hr/wのとき $3 \times 10^{-6} \mu\text{Ci}/\text{cm}^3$ に規制されており、一般人が $3 \times 10^{-7} \mu\text{Ci}/\text{cm}^3$ 濃度のKr-85の無限大の雲の中に連続的にいる場合にうける年間被曝線量は、ICRP-9(公衆に対する線量限度)によれば、全身が500mrem、皮ふが3,000mremと定められている。

(2) 次に、これらのKr-85濃度を含むXeガスランプが現行の放射線障害防止法の規制対象物に該当するかどうかについて、

- ① まず濃度が規制値²⁶⁾ $0.002 \mu\text{Ci/g}$ を超えるかどうかであるがFPXeの密度が 5.98g/l である⁹⁾から、 $0.002 \mu\text{Ci/g}$ は $0.12 \mu\text{Ci/ml}$ に相当し、したがって、最新のORNLの技術でさえもXe中のKr濃度は法令の濃度規制値を超えてしまうことがわかる。
- ② しかし、濃度規制値をこえても、数量の点で $1 \mu\text{Ci}$ を超えなければ非密封線源に該当せず現行法の規制対象からはずれてしまう法体系となっている。
- ③ また、Xeランプは、おそらく、光源部がガラスの容器または面で保持されることになるであろうから、衝撃、振動に対する抵抗もよわく、ランプ中のガスが漏れることは避け

られえないので、密封線源としての条件、すなわち、正常な使用状態で開封または破壊のおそれのないこと、漏えい、浸透等により散逸して汚染するおそれがないこと、を満たすのはきわめて難しく、また使用状態の管理についても色々な新しい問題が数多く派生するので、密封線源として実用化されるのはきわめてせまい分野に限定されるであろう。しかし、ここでは、これらの問題点を一時留保し、技術的にも密封状態を保持できると仮定した場合について考察してみると、数量が $100\mu\text{Ci}$ 以下のものは法規制対象外となりうるが、具体的には、再処理製品のうちXe中のKr濃度が約 10ppm まで低減化できれば、それに該当するし、もちろん 5ppm のものは、そのままでも対象外となっている。しかし、前述した様に、Xeランプを仮に密封線源として取扱うのは、未解決な問題点が多く、また非密封の線源として取扱う場合も、現行法の規制対象規制物質とすれば、管理体制がきわめてきびしくなるので、一般家庭までその様なXeランプが普及するのは、むずかしいことになるだろう。

- (3) そこで次に、法規制を全然うけない最大の数量 $1\mu\text{Ci}$ 未満を含むXeランプが一般家庭に普及したとし、換気のない6畳間にあるXeランプ1個が破損した場合について、その部屋に住む人間の呼吸する空気中のKr-85濃度について検討してみる。

標準的な日本家庭の6畳間の容積は、面積 $2.7\text{m}\times 3.6\text{m}=9.72\text{m}^2$ 、高さ 2.1m とすれば約 21m^3 となる。この6畳間で、再処理製品Xe (Kr含有量 0.1ppm 、Kr-85 $0.9\mu\text{Ci}/100\text{ml}$)ランプが破損した場合、その部屋の空気中のKr-85濃度は、 $4.5\times 10^{-8}\mu\text{Ci}/\text{ml}$ となるが、一般人の最大空気中濃度(MPC)_aは $3\times 10^{-7}\mu\text{Ci}/\text{ml}$ である²⁶⁾から、これは(MPC)_aの約 $1/10$ の濃度であることがわかる。また、ORNLの最新の技術が、再処理希ガスプラントに織込まれてXe中のKr-85濃度 $0.2\mu\text{Ci}/100\text{ml}$ XeのXe製品が製造され、このガスを含むXeランプが上記の部屋で破損した場合、その部屋の空気中のKr-85濃度は $9\times 10^{-9}\mu\text{Ci}/\text{ml}$ となり(MPC)_aの約 $1/30$ の濃度となる。(参考までに、Kr含有量 200ppm および 5ppm の再処理製品Xeガスがランプに封入され、上記の部屋に破損したと仮定した場合について、その部屋の空気中のKr-85濃度を試算してみると、それぞれ $8.4\times 10^{-5}\mu\text{Ci}/\text{ml}$ および $2\times 10^{-6}\mu\text{Ci}/\text{ml}$ となりそれぞれ(MPC)_aの約 280 倍および約 7 倍の濃度となる。)

(MPC)_a濃度のKr-85を含むXeガスを一般人が連続して吸入した場合の年間被曝線量を、ICRP-Pub.9による公衆に対する線量限度とあわせて第8表に示した。

第8表

カテゴリー	法規制値 ¹⁾	法規制対象外となるために必要となる操作		
		200 ppmの場合 ²⁾ (1760 $\mu\text{Ci}/100\text{ml}$)	5 ppmの場合 ²⁾ (44 $\mu\text{Ci}/100\text{ml}$)	0.20 $\mu\text{Ci}/100\text{ml}$ の場合 ²⁾
密封線源	<ul style="list-style-type: none"> • 0.002 $\mu\text{Ci}/\text{g}$ • 100 μCi⁴⁾ • 密封状態の保持 	³⁾ 1/20に希釈必要	操作不要	
非密封線源	<ul style="list-style-type: none"> • 0.002 $\mu\text{Ci}/\text{g}$ • 1 μCi 	³⁾ 1/2000に希釈必要	³⁾ 1/50に希釈必要	

注：1) この条件を超えると、法規制の対象となることを示す。

2) $\text{Kr}-85$ のフィード時の濃度

3) $\text{Kr}-85$ のフィード時の濃度をどの程度希釈するかを示す。

4) $\text{Kr}-85$ 100 μCi は約10 ppmに相当する。

したがって、Xe中にKr 5 ppmを含む再処理製品を1/50に希釈したガスを充てんしたXeランプが上記の部屋で破損した場合にうける一般人の被曝線量は、最大許容空気中濃度が(MPC)aの約1/10であるから、約1/10となる。

けれども、ここでのべた最大許容空気中濃度や被曝線量の数値は目安程度に参照すべきもので、あまりこだわるのは次の様な理由で意味がない。すなわち、

- ① これらの数値は、職業人が1週間168時間または1週40時間作業し、50年間一定レベルのものを連続して吸収する場合の被曝値を、一般人の場合に拡大して、単に目安線量としてその1/10をとったにすぎないこと。
- ② また、実際にランプが破損した場合の汚染空気による外部被曝は、わずかにすぎず、日本間はその設計の上から考えても、外気との通気が比較的よく、まして、オフィスや工場などでは空調装置も完備しているであろうから、被曝時間はきわめて短時間にすぎなくなるであろうし、また汚染空気濃度も急速に減衰してゆくだろう。

したがって、これらの被曝線量になるとはとうてい考えられない。それでは、Xe中のKr 85濃度が、どの程度ならば問題とせずすみかと言えば、やはり、専門的な場での検討をまつしかないであろうが、少なくとも、Kr含有量0.1 ppmの再処理製品は非密封線源としての法規制対象とはなりえず、6畳間で破損した場合も(MPC)aの1/30にすぎないので、管理体制上の問題点や、消費者の購買意欲などの問題点は依然残るが、一応その製品の実用化が期待できると言えよう。

お わ り に

再処理工場の稼動にともない、 K_r および X_e ガスが大量に発生し、環境へ放出されるが、分離回収技術が確立し、希ガス除去回収パイロットプラントをメインプラントに付設し、運転を開始すると、従来、空気分離プラントより副産物として生産され、市販されていた製品と同程度の品質の K_r 、 X_e が、毎日大量生産されるため、有効に利用できるようなれば、現価格の大幅な低下が期待できる。

K_r および X_e の利用については、希ガス特有の物理、化学的な性質ならびに K_r の放射能を有する性質が関係してくる。非放射性の K_r および X_e は電気工事面に、 K_r-85 は主として密封線源として厚さ計等に実用されている。しかし本文で記述したように、将来多くの分野での利用が期待できる。利用を拡大するには、 K_r-85 についてみると各分野での利用開発もさることながら、大線量の密封線源や放射線化学への利用など大量に使用する分野での利用開発が特に必要であり、その分野での普及、発展がなければならぬ。再処理工程より分離精製された K_r および X_e を利用する場合には K_r-85 は勿論のこと、 X_e といえども備かではあるが K_r-85 が含まれているため、放射線防護上の問題が残るので、まず安全に利用し得る技術、管理方法などについて十分な開発をすすめ、その確立をはかることが必要であると考えらる。

文 献 索 引

- 1) 動燃動向資料
- 2) United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation;
Environmental Radioactivity A/AC.82/R.265, A/AC.82/R, 265/Add.1-4.
- 3) 右原ら；
"Kv-85の放射線防護"，JAERI-memo 4782.
- 4) 日本原子力産業会議；
"原子力ポケットブック"，昭和49年度版 p.164.
- 5) J.L.Russel and F.J.Galpin；
"A Review of measured, and Estimated offsite Doses at the Frel Reprocessing Plants." Sym on the management of Radioactive Wasles from Fuel Reprocessing, OECL-Paris, Nov. 27th-Dec. 1st (1972)
- 6) 田島英三ら；
"原子力長期計画と国民線量の推定"，日本原子力学会誌 Vol. 14 (3) 133 (1972).
- 7) G.G.Hundley；
"Commercial Production of Kr and Xe"，presented at the Noble Gases Symposium in Los Vegas, Nevada Sep.24-28, 1973.
- 8) PNC 部内資料；
"Capability and Experience in Rare Gases Production and Purification"
UCC, Linde Div.
- 9) C.A.Rohrmann；
"Fission-Product Xenon and Krypton-An Opportunity for Large-Scale Utilization Iso. & Rad. tech. Vol 8 No.3. 253 (1971).
- 10) 下里ら；
"BWR希ガスホールドアップ装置の運転特性"，日立評論 Vol. 55 No. 5 441.
- 11) 谷村喜作；
"原電敦賀発電所 採用する希ガスホールドアップ装置"，原子力工業 Vol. 17, No. 10 31 (1971).
- 12) 田島ら；
"原子力産業における環境問題"，ソフトサイエンス社 p.138 (1972).
- 13) C.L.Bendixson et al；
"1972 Operation of the ICPP Rare Gas Recovery Facility" ICP-1023 (1973)
- 14) C.L.Bendixson et al；
"Operation of the ICPP Rare Gas Recovery Facility during Fisical year 1970"，ICP-1001 (1971).
- 15) C.L.Bendixson et al；
"Rare Gas Recovery Facility at the Idaho chemical Processing Plant"，IN-1221 (1969).

- 16) S.R.Merriman et al;
"Experimental Investigation of the removal of Kr and Xe from contaminated gas streams by selective absorption in fluorocarbon solvents phase I completion report" K-1780 (1970).
- 17) J.R.Merriman et al;
"Removal of Kr-85 from Reprocessing Plant off-gas by Selective absorption", K-L-6201 (1972).
- 18) J.S.Davis & J.R.Martin;
"A cryogenic approach to fuel reprocessing gaseous radwaste treatment" presented at the ANS National Meeting Chicago, June 10-15, 1973.
- 19) 岸井貫;
"クリプトンとキセノン", 化学と工業, Vol. 26. No. 9 148 (1973).
- 20) 日本放射性同位元素協会;
"アイソトープ便覧", (1970).
- 21) 井上義教;
"環境汚染からみた⁸⁵Kr", 保健物理, 7 157 (1972).
- 22) 泉大義大;
真空科学における放射性同位元素-¹³³Xeおよび⁸⁵Krの利用-, 真空, 14, 155(1971)
- 23) H.H.Dooley, J.Snyder;
"Experimental Self-Luminous Overhead-type Traffic Sign", Isotope and Radiation Technology, 8, 1, 161 (1970)
- 24) 重松友道;
"クリプトン-85の利用開発", 原子力工業, Sep 18. 34(1972).
- 25) William P.Kirl;
"クリプトン-85 文献総覧と放射線障害の解析", 放医研 NIRS-M-1
- 26) 日本放射性同位元素協会;
"放射性同位元素業による放射線障害の防止に関する法令集" (1968年7月)
- 27) B.A.Foster et. al;
"Long Term Storage Technique for Kr-85" 13th AEC Air Cleaning Conference
- 28) J.O.Blomeke;
"Management of Noble-gas Fission Product Wastes From Reprocessing Spent Fuels" ORNL-TM-2677
- 29) Nucleonics Week;
April 27 (1972) vol 13. No.7