

JAERI-memo

第 3442 号

(公 開)

原子力施設の事故解説

放 射 線 管 理 課

大 西 武

1969年2月

日 本 原 子 力 研 究 所

JAERI-memo published

Notice : This document is an interim memorandum prepared primarily for internal reference and does not present a final expression of the opinion of JAERI.

When this document is distributed externally, it is with the express understanding that JAERI makes no representation as to completeness, accuracy, or usability of information contained therein.

Enquiries about copyright and reproduction should be addressed to Division of Technical Information, JAERI, Tokai Research Establishment, Ibaraki, Japan.

公開 JAERI - memo

注：この memo は日本原子力研究所内における検討と利用のために作成された報告書を取りあえず公開するものであって、研究所としての最終報告ではありません。

複製あるいは入手は茨城県東海村日本原子力研究所技術情報部に問合せください。

原子力施設の事故解説

要 旨

世界の原子力施設の事故例を調査し、その原因、教訓、損害などに分けて分析し、解説を加えた。

1969年2月

日本原子力研究所東海研究所
保健物理安全管理部放射線管理課

大 西 武

Commentary of Nuclear Accidents in Nuclear Installations

Summary

The reports of the nuclear accidents occurred in the world were surveyed and their causes, precepts, property damages and others are reviewed.

February 1969

Takeshi Onishi
Radiation Control Section
Division of Health Physics and Safety
Tokai Research Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute

目 次

1	はじめに	3
2	事故一覧表	4
3	事故の原因	12
4	事故の教訓	21
5	事故の損害	28
6	その他	29
7	参考文献	

Contents

1	Preface	3
2	Accidents List	4
3	Causes of Accidents	12
4	Precepts of Accidents	21
5	Property Damages and Exposures	28
6	Miscellaneous	29
7	References	

1 はじめに

人類は過去20数年の原子力の歴史の中で、大はSL-1の事故から、小は軽微な汚染事故まで数多くの事故を経験しているが、一般的に言って原子力施設の事故は他産業の事故に比して少ないと言われている。これは比較的新しい原子力開発の歴史を安全優先の研究態度がリードしてきたたまたまのものであって、これが業務優先の後を安全性研究グループが追いかけている他産業の実態と大きくちがう点である。原子力産業における安全性優先の研究態度は、例えば初の放射線被曝による死者を出した1945年のLASLの臨界事故後、「全操作を通しての手順の安全性については、作業に関与する作業員全員の意見が一致していなければならない。もし何らかの不一致が生じた場合は意見が一致するまで運転を停止すること」という一項を含む規則をもうけたが、この規則が守られていたにもかかわらず、翌1946年には再び同じような事故を起したので今度は「この種の作業は遠隔操作装置が取り付けられるまで、すべて中止した」という事例に端緒に示されている。このような安全性優先の研究態度の基盤は多くの安全専門家の努力によって維持されており、将来ともこの態度がくつがえされるようなことがあってはならない。先に一般産業に比して原子力産業は事故が少ないと言ったが、これは勿論一般産業並みの事故はやむをえないといっているのではない。事故は起してはならない。原子力の分野においては出発の当初より安全性の研究が行なわれ、常に事故解析を通じて安全技術が進歩してきたので現在ではSL-1やWindscaleのような事故の起る確率はきわめて少ない筈であるが、今、仮りに日本においてこのような事故に匹敵する事故を起したならば、10余年の実績の上に大きく飛躍しようとする日本の原子力開発の前途は根底から大きくゆすぶられることになる。原子力施設に限らず他の諸施設においても、事故防止のためには多大な努力を払っているが残念ながら「事故絶無」の最終目標にはほど遠い。将来においても安全専門家の努力にもかかわらず半永久的にこの目標は達成できないであろう。しかしそれでもなお、この目標達成のための努力を続けなければならない宿命ともいふべき義務を安全専門家はになっている。そのためには過去に経験した事故例を分析し、整理して今後の安全対策に反映させなければならない。

2章に調査した事故の一覧表を示し、通し番号をつけ、この番号を3章以後の事故例の後の()内に示した。詳細については参考文献を参照していただきたい。

2. 事故一覽表

臨界事故					
1.	制御棒試験中の臨界事故 ^{1)~5)}	LASL	1949,	12,	-
2.	臨界集合体の臨界事故 ^{1)~5)}	Hanford	1951,	11,	16.
3.	臨界集合体の臨界事故 ^{1)~6)}	ORNL	1954,	5,	26.
4.	臨界集合体の臨界事故 ^{2)~7)}	ORNL	1956,	2,	1.
5.	Y-12プラントの臨界事故 ^{2)~5) 9)~15)}	Y-12	1958,	6,	16.
6.	化学プラントの臨界事故 ^{2)~5) 8) 15)~19) 19)}	LASL	1958,	12,	30.
7.	化学プラントの臨界事故 ^{2)~5) 20)~23) 3)}	ICPP	1959,	10,	16.
8.	化学プラントの臨界事故 ^{3) 4) 5) 24)~26)}	ICPP	1961,	1,	25.
9.	Recuplexの臨界事故 ^{4) 5) 24) 27)~31)}	Hanford	1962,	4,	7.
10.	Wood River Junctionの臨界事故 ^{4) 5) 22)~34)}	Wood River Junction	1964,	7,	24.
11.	臨界集合体の臨界事故 ^{1)~5) 15) 18) 133)}	LASL	1945,	8,	8.
12.	臨界集合体の臨界事故 ^{1)~5) 15) 18)}	LASL	1946,	5,	21.
13.	JEMIMAの臨界事故 ^{1)~5) 35)}	LASL	1952,	4,	18.
14.	GODIVAの臨界事故 ^{1)~5)}	LASL	1954,	2,	3.
15.	GODIVAの臨界事故 ^{2)~5) 8)}	LASL	1957,	2,	12.
16.	臨界集合体の臨界事故 ^{4) 36)}	LASL	1960,	6,	17.
17.	臨界集合体の臨界事故 ^{2)~5) 24) 36) 35)}	ORNL	1961,	11,	10.
18.	LRLの臨界事故 ^{4) 5) 31)~41)}	LRL	1963,	3,	26.
19.	臨界集合体の臨界事故 ^{1)~5)}	LASL	1945,	6,	4.
20.	臨界集合体の臨界事故 ^{1)~5) 42)}	LASL	1951,	2,	1.
21.	ZPR-1の臨界事故 ^{1)~5) 15) 18) 43)}	ANL	1952,	6,	2.
22.	NRX 炉の臨界事故 ^{3)~5) 44)~46)}	Chalk River	1952,	12,	12.
23.	BORAX-1の臨界事故 ^{1)~5)}	NRTS	1954,	7,	22.
24.	Yugoslaviaの臨界事故 ^{3)~5) 15) 18) 47)~49)}	Yugoslavia	1958,	10,	15.
25.	Alize-1の臨界事故 ^{4) 36) 52)}	Saclay	1960,	3,	15.
26.	SL-1の臨界事故 ^{3)~5) 24) 51)~56)}	NRTS	1961,	1,	3.
27.	VENUSの臨界事故 ⁵⁷⁾	Mol	1965,	12,	30.
28.	DRAGON炉の臨界事故 ^{2)~5)}	LASL	1945,	2,	11.
29.	USSRの臨界事故 ^{2)~5) 15) 18)}	USSR	1953, or 1954,		
30.	EBRの臨界事故 ^{3)~5) 58)}	NRTS	1955,	11,	29.
31.	HONEYCOMBの臨界事故 ^{2)~5)}	LASL	1956,	7,	3.
32.	HTR-3の臨界事故 ^{4) 36) 59)}	NRTS	1958,	11,	18.
33.	ZEPOの臨界事故 ^{4) 36)}	LASL	1962,	12,	11.

輸送中の事故

34. ウラン金属貨物の火災 ^{1) (c)}	Near Kansas City	1952,	10,	29,
35. UNH 溶液の飛散 ^{1) (c)}	Hanford	1954,	12,	30,
36. UF ₆ 輸送中の事故 ^{1) (c)}	Bardstown	1955,	10,	26,
37. 低放射性物質輸送中の事故 ^{7) (c)}	Monterey	1956,	7,	9,
38. 輸送中のトリウムの自然発火 ^{7) (c)}	Detroit	1956,	9,	22,
39. ラジウム-ベリリウム源輸送中の自動車事故 ³⁾	Grand Junction	1958,	6,	20,
40. 放射性廃棄物のトラック輸送 ^{2) 2) (c)}	Aiken	1959,	4,	2,
41. 汚染装置の梱包からの水の漏洩 ^(c)	U S A	1959,	6,	22,
42. 空容器のトラック輸送 ^(c)	U S A	1959,	7,	21,
43. 被照射燃料要素のトラック輸送 ^(c)	U S A	1960,	11,	20,
44. 放射性物質のトラック輸送 ^(c)	U S A	1961,	6,	15,
45. 放射線源のトラック輸送 ^(c)	U S A	1961,	7,	1,
46. 被照射燃料要素のトラック輸送 ^(c)	U S A	1961,	9,	22,
47. 輸送中の放射線源の漏洩 ^(c)	U S A	1962,	5,	7,
48. 廃棄物輸送中の汚染漏洩 ^(c)	U S A	1962,	7,	29,
49. 核分裂生成物の漏洩 ^(c)	U S A	1962,	8,	21,
50. 輸送中の放射性物質の漏洩 ³⁾	Jersey City	1963,	1,	14,
51. 遮蔽容器輸送中の汚染事故 ³⁾	Pocatello	1963,	8,	3,
52. トラックの汚染 ^(c)	U S A	1964,	1,	10,
53. 輸送中の事故 ^{3) (c)}	Kansas City	1964,	4,	22,
54. 廃棄物容器の汚染 ^(c)	U S A	1964,	5,	2,
55. 軽微な汚染 ^{3) (c)}	Pocatello	1964,	5,	18,
56. トレーラーの汚染 ^{3) (c)}	Apollo	1964,	7,	10,
57. 放射性物質輸送車の衝突事故 ^(c)	U S A	1964,	8,	22,
58. トレーラーの汚染 ^{3) (c)}	Middletown	1964,	9,	2,
59. 輸送容器の漏洩 ^{3) (c)}	Chicago	1964,	11,	11,
60. ウランのスクラップを積んだ貨車の脱線破壊 ^{7) (c)}	U S A	1956,	3,	24,
61. ウラン化合物を積んだ貨車の脱線 ^{7) (c)}	Western Mantana	1956,	4,	20,
62. 鉄道輸送中の火災 ³⁾	Freeport	1958,	5,	6,
63. 放射性廃棄物の鉄道輸送 ^(c)	U S A	1958,	9,	24,
64. 放射性廃棄物の鉄道輸送 ^(c)	U S A	1959,	5,	15,
65. 鉄道輸送中の汚染 ^{2) 2)}	Aiken	1959,	12,	12,
66. 被照射燃料要素の鉄道輸送 ^(c)	U S A	1960,	6,	2,
67. 放射性同位元素輸送中の貨車の火災 ^(c)	U S A	1962,	9,	14,
68. 輸送容器の汚染 ^(c)	U S A	1963,	12,	10,
69. 鉄道輸送中の事故 ^{3) (c)}	Madison	1964,	7,	23,

爆発事故

70. TNX 蒸発缶の爆発 ^{1) 64)}	S R L	1953.	1.	12.
71. BNLの事故 ^{65) 66)}	B N L	1957.	5.	15.
72. ドライ・ボックスの爆発 ^{3) 67)}	D O W	1957.	6.	14.
73. グローブ・ボックスの爆発 ³⁾	L A S L	1957.	8.	16.
74. グローブ・ボックスの爆発 ^{20) 21) 68)}	P N L	1959.	3.	31.
75. ドライ・ボックスの爆発 ^{20) 21)}	Miamisburg	1959.	8.	6.
76. 爆発によるプルトニウムの放出 ^{20) 21) 67) 70)}	O R N L	1959.	11.	20.
77. プルトニウム精製カラムの爆発 ^{71) 72)}	Fontenay	1962.	6.	26.
78. グローブ・ボックスの爆発 ^{37) 67) 73)}	D O W	1964.	6.	12.
79. グローブ・ボックス内の溶媒爆発 ^{37) 74)}	Chicago	1964.	11.	11.
80. プルトニウム切削屑酸化装置の爆発 ^{131) 132)}	A N L	-	-	-
81. グローブ・ボックス内の溶媒爆発 ⁷⁵⁾	U S A	-	-	-
82. 混合機の爆発 ⁷⁶⁾	-	-	-	-
83. 廃棄物用ドラム缶の爆発 ¹⁾	K A P L	1953.	2.	15.
84. ジルコニウムの爆発 ⁷⁶⁾	O R N L	1956.	5.	-
85. ウラン板の爆発 ⁷⁶⁾	-	1956.	6.	-
86. トリウムの爆発 ⁷⁾	Sylvania Electric Co	1956.	7.	2.
87. プルトニウム・カプセルの破損 ⁷⁷⁾	U S A	-	-	-
88. 再処理試験室の爆発事故 ⁷⁸⁾	原 研	1963.	2.	21.
89. ウラン-硝酸の爆発 ⁷⁹⁾	-	-	-	-
90. ウラン-硝酸の爆発 ⁷⁹⁾	-	-	-	-
91. プルトニウム入りガラス・カプセルの爆発 ⁸⁰⁾	Harwell	-	-	-

火災事故

92. ウラン・スクラップの火災 ¹⁾	Los Alamos	1949.	6.	27.
93. プルトニウム汚染廃棄物の火災 ¹⁾	Hanford	1951.	12.	4.
94. ウラン鑄造時の火災 ¹⁾	Los Alamos	1952.	12.	9.
95. プルトニウムの火災 ¹⁾	Hanford	1954.	5.	7.
96. プルトニウム切削片の火災 ¹⁾	Hanford	1954.	7.	27.
97. スラッグの火災 ¹⁾	Hanford	1955.	11.	1.
98. ジルコニウム被覆ウラン板の燃焼 ⁷⁶⁾	-	1956.	2.	-
99. 金属プルトニウムの火災 ^{5) 67)}	Rocky Flats	1957.	9.	11.
100. 低濃縮ウランの火災 ⁵⁾	Attleboro	1958.	6.	23.
101. ウラン切削中の火災 ³¹⁾	原 研	1958.	9.	16.
102. プルトニウムの火災 ⁶⁹⁾	U S A	-	-	-
103. 火災によるプルトニウム汚染の拡大 ^{31) 82)}	Hanford	1963.	11.	6.
104. プルトニウム切削片の火災 ⁷¹⁾	-	-	-	-

105.	プルトニウムの自然発火 ⁷⁷⁾	-	-	-	-
106.	放射性廃棄物の火災 ¹⁾	S R L	1954.	12.	14.
107.	ジルコニウムの火災 ^{76) 77)}	BAPL	1955.	5.	-
108.	放射性ナトリウムの火災 ¹⁾	KAPL	1955.	6.	11.
109.	フィルタ系の火災 ^{20) 21)}	LASL	1959.	7.	15.
110.	火災による放射性物質の飛散 ^{20) 21)}	Richland	1960.	2.	25.
111.	PM-3A原子力発電所の火災 ^{24) 83)}	南極	1962.	10.	7.
112.	フードの火災 ⁸⁴⁾	原研	1964.	7.	3.
113.	陰イオン樹脂の火災 ³⁷⁾	S R L	1964.	10.	1.
114.	Van de Graaffの火災 ⁷⁷⁾	-	-	-	-
115.	電熱器つけ放しによる火災 ⁷⁷⁾	-	-	-	-
116.	換気系の火災 ⁷⁷⁾	-	-	-	-

原子炉の事故

117.	燃料要素の局部的過熱による破損 ⁸⁵⁾	Hanford	1954.	10.	3.
118.	燃料要素の溶融 ⁸⁵⁾	Hanford	1955.	1.	4.
119.	原子炉燃料の漏洩 ¹⁾	North Carolina State College	1955.	5.	-
120.	EL-2の燃料被覆破損 ⁸⁶⁾	Saclay	1957.	10.	6.
121.	EL-2のConverterの溶解 ⁸⁶⁾	Saclay	1957.	11.	26.
122.	炉心タンクの漏洩 ⁸⁷⁾	ORNL	1958.	4.	4.
123.	EL-3の燃料破損 ⁸⁶⁾	Saclay	1958.	4.	13.
124.	NRU原子炉の事故 ^{88)~90)}	Chalk River	1958.	5.	23.
125.	EL-2の燃料被覆の破損 ⁸⁶⁾	Saclay	1958.	12.	27.
126.	EL-2の燃料被覆の破損 ⁸⁶⁾	Saclay	1959.	2.	16.
127.	SREの燃料要素破損 ^{71)~93)}	S R E	1959.	7.	26.
128.	WTRの燃料要素破損 ^{51) 94)}	W T R	1960.	4.	3.
129.	E T Rの燃料破損 ^{24) 95)}	NRTS	1961.	12.	12.
130.	M T Rの燃料破損 ^{24) 96)}	NRTS	1962.	11.	13.
131.	ORRの燃料破損 ⁹⁷⁾	ORNL	1963.	7.	1.
132.	燃料の誤装荷 ³⁷⁾	P N L	1964.	4.	17.
133.	BONUSの過熱器破損 ⁹⁸⁾	Puerto Rico	1964.	11.	11.
134.	Fermi炉の燃料破損 ^{99) 100)}	Enrico Fermi	1966.	10.	5.
135.	誤予想による炉出力の急上昇 ⁸⁵⁾	Hanford	1956.	1.	6.
136.	NRXにおけるコバルト・ベレットの飛散 ¹⁰¹⁾	Chalk River	1958.	7.	17.
137.	AE-6の事故 ¹⁰²⁾	Atomics International	1958.	12.	20.
138.	VBWRの減圧弁の誤操作 ¹⁰³⁾	Pleasanton	1959.	3.	9.
139.	インパイル・チューブの破損 ^{20) 21)}	NRTS	1959.	11.	30.
140.	ノズルの漏洩 ^{20) 21)}	S R L	1960.	4.	5.

141.	SPERT-III加圧器の破損 ⁹⁵⁾¹⁰⁴⁾	NRTS	1961.	10.	26.
142.	原子炉系の sight glass の破損 ²⁴⁾	SRL	1962.	10.	21.
143.	管栓による冷却材流量率の低下 ³⁹⁾	SRL	1964.	2.	24.
144.	減速材要素の破損 ¹⁰⁵⁾	HNPF	1964.	2.	-
145.	Rupture-Loop の故障 ¹⁰⁶⁾	Richland	1965.	9.	29.
146.	ケリウム ¹⁰⁷⁾ の漏洩	Mol	1967.	6.	16.

施設内の汚染事故

147.	ラジウムによる汚染 ¹⁾	ANL	1952.	6.	13.
148.	霧煙による実験室の汚染 ¹⁾	Hanford	1953.	2.	5.
149.	汚染事故 ⁷⁾	LASL	1956.	6.	21.
150.	線源にかけてあった覆いの破損 ⁷⁾	Eniwetok	1956.	6.	23.
151.	プルトニウムによる汚染 ⁷⁾	Hanford	1956.	-	-
152.	¹⁹² Ir による汚染 ⁸⁾¹⁰⁸⁾	Kellogg Co.	1957.	3.	13.
153.	ラジウムによる汚染 ¹⁰⁹⁾ Mexico City General Hospital		1959.	6.	-
154.	²²⁴ Cm による汚染 ²⁰⁾²¹⁾¹¹⁰⁾¹¹¹⁾	LRL	1959.	7.	3.
155.	クレーンの汚染 ²⁰⁾²¹⁾	SRL	1959.	8.	21.
156.	プルトニウム粉末の飛散 ²⁰⁾²¹⁾	LASL	1960.	4.	13.
157.	ホットセル内圧上昇による核分裂生成物の放出 ²⁰⁾²¹⁾¹¹²⁾	ORNL	1960.	4.	26.
158.	ドライ・ボックスの負圧破壊による汚染 ²⁰⁾²¹⁾	Miamisburg	1960.	7.	6.
159.	汚染冷却水による床の汚染 ²⁰⁾²¹⁾	SRL	1960.	9.	13.
160.	ポロニウムによる汚染 ²⁴⁾	Miamisburg	1961.	10.	20.
161.	¹⁰⁶ Ru による汚染 ¹¹³⁾	三菱原子力	1962.	3.	-
162.	プルトニウムの放出 ²⁴⁾⁷⁷⁾	Mound Lab.	1962.	7.	26.
163.	低レベル汚染の拡大 ³⁹⁾	Richland	1963.	2.	12.
164.	V. D. G. 棟の汚染 ¹¹⁴⁾	原研	1963.	3.	29.
165.	汚染した溶液の飛散 ³⁹⁾	Golden	1963.	4.	23.
166.	放射性溶液の漏洩 ³⁹⁾	Golden	1963.	6.	20.
167.	作業員による汚染の拡大 ³⁹⁾	NRTS	1963.	11.	15.
168.	放射性物質の放出 ³⁹⁾	Miamisburg	1963.	12.	21.
169.	軽微な汚染 ³⁹⁾	Richland	1964.	1.	23.
170.	アスファルトの汚染 ³⁹⁾	Santa Susana	1964.	3.	19.
171.	六弗化ウランの飛散 ¹¹³⁾¹¹⁵⁾	東芝中研	1965.	7.	27.
172.	⁹⁰ Y による汚染 ¹¹⁶⁾	京大炉	1965.	12.	21.
173.	中性子線源の破損 ¹⁾	USA	-	-	-
174.	化学プラントにおける空気汚染 ¹⁾	ICPP	1955.	1.	10.
175.	原子炉建家の汚染 ⁸⁾	Santa Susana	1957.	1.	4.
176.	AE-6 における放射能放出 ¹⁰²⁾	Atomics International	1959.	3.	25.

177.	炉室への放射能放出 ⁽¹³⁾	VBWR	1959.	5.	8.
178.	炉室への放射能放出 ⁽¹³⁾	VBWR	1959.	5.	10.
179.	²³⁸ Puによる空気汚染 ⁽²⁴⁾	Miamisburg	1961.	5.	11.
180.	UF ₆ の放出 ⁽²⁴⁾	ORNL	1962.	11.	13.
181.	プルトニウムによる手の汚染 ⁷⁾	Hanford	1956.	1.	17.
182.	プルトニウムによる汚染 ⁷⁾	Hanford	1956.	9.	21.
183.	トリチウムによる汚染 ⁷⁾	U S A	1956.	-	-
184.	プルトニウムによる汚染 ⁸⁾	Hanford	1957.	4.	22.
185.	金属プルトニウムによる刺傷 ^(2c) 21)	Richland	1960.	4.	26.
186.	プルトニウムによる汚染 ⁽²⁴⁾	Richland	1961.	6.	12.
187.	プルトニウム汚染を伴った切傷 ⁽²⁴⁾	Richland	1961.	10.	4.
188.	プルトニウム汚染の刺傷 ⁽²⁴⁾	Richland	1961.	12.	19.
189.	プルトニウム汚染を伴う切傷 ⁽²⁴⁾	Richland	1962.	5.	29.
190.	プルトニウム汚染を伴う刺傷 ⁽²⁴⁾	Richland	1962.	6.	2.
191.	プルトニウムによる汚染 ⁽²⁴⁾	S R L	1962.	10.	1.
192.	低レベルの汚染 ^(3c)	Hurwell	1962.	-	-
193.	プルトニウム配分作業時における指先刺傷 ^(13) 17)	放医研	1966.	3.	10.
194.	プルトニウムによる皮膚の汚染 ⁽¹⁸⁾	原燃	1967.	4.	3.
195.	⁹⁰ Srによる汚染 ^(3c)	Harwell	-	-	-
196.	指の傷の汚染 ^(3c)	Harwell	-	-	-
197.	プルトニウム汚染工具による刺傷 ⁽¹⁹⁾	S R L	-	-	-

環境の汚染

198.	下水道の汚染 ¹⁾	Ames	1951.	7.	-
199.	排水系統への放射能放出 ^(12c)	ORNL	1959.	10.	28.
200.	核爆発実験による環境の汚染 ⁽³⁷⁾	Nevada Test Site	1953.	5.	19.
201.	核爆発実験による環境の汚染 ⁽³⁷⁾	Bikini Atoll	1954.	3.	1.
202.	建設現場の汚染 ⁷⁾	ORNL	1956.	1.	16.
203.	Windscaleの事故 ^(108) 121)	Sellafield	1957.	10.	10.
204.	¹⁰⁶ Ruの放出 ^(20) 21) 12c)	ORNL	1959.	11.	11.
205.	放射性ヨウ素の放出 ^(24) 122)	S R L	1961.	5.	30.
206.	低レベル放射能の放出 ⁽²⁴⁾	S R L	1962.	2.	15.
207.	核爆発実験による牛乳の汚染 ⁽³⁷⁾	Nevada Test Site	1962.	7.	-
208.	核分裂生成物の放出 ⁽³⁷⁾	Idaho Falls	1964.	5.	10.
209.	トリチウム・ガスの放出 ³⁾	LASL	1958.	7.	25.
210.	放射性ガスの放出 ^(2c) 21)	LASL	1959.	7.	17.
211.	放射性ガスの放出 ⁽²⁴⁾	S R L	1962.	4.	18.
212.	放射性ガスの放出 ⁽²⁴⁾	S R L	1962.	11.	19.

213.	放射性ガスの放出 ²⁴⁾	S R L	1962,	11,	26,
214.	トリチウムの放出 ³⁷⁾	S R L	1963,	3,	14,
215.	トリチウムの放出 ³⁷⁾	S R L	1963,	7,	23,
216.	トリチウムの放出 ³⁷⁾	S R L	1964,	4,	23,
217.	トリチウムの放出 ³⁷⁾	S R L	1964,	6,	19,
218.	トリチウムの放出 ³⁷⁾	S R L	1964,	6,	28,
219.	トリチウムの放出 ³⁷⁾	S R L	1964,	7,	24,
220.	トリチウムの放出 ³⁷⁾	S R L	1964,	12,	22,
221.	トリチウムの放出 ^{123) 124)}	原 研	1967,	6,	5,

被曝事故

222.	不注意による被曝 ¹⁾	Nevada Test Site	1955,	3,	1,
223.	⁶⁰ Coによる被曝 ⁷⁾	Milford	1956,	1,	10,
224.	放射線被曝事故 ⁷⁾	Las Vegas	1956,	1,	18,
225.	r線による被曝 ⁷⁾	Fort Belvoir	1956,	5,	14,
226.	原子炉からの放射線による被曝 ⁷⁾	M T R	1956,	7,	23,
227.	ドック・サイドにおける試験運転中の被曝 ⁷⁾	SEAWOLF	1956,	8,	19,
228.	放射線被曝 ³⁾	ORNL	1957,	10,	4,
229.	X線技師の被曝 ³⁾	Middletown	1958,	6,	16,
230.	線型加速器による被曝 ^{20) 21)}	Livermore	1959,	1,	6,
231.	較正線源による被曝 ^{20) 21) 125)}	Nevada Test Site	1960,	10,	4,
232.	核分裂生成物による被曝 ²⁴⁾	Richland	1961,	7,	1,
233.	放射線被曝 ²⁴⁾	Denver	1962,	4,	-
234.	放射線被曝 ²⁴⁾	Puerto Rico	1962,	7,	24,
235.	放射線被曝 ²⁴⁾	Berkeley	1962,	9,	-
236.	放射線被曝 ²⁴⁾	Denver	1962,	10,	-
237.	放射線被曝 ³⁷⁾	Richland	1963,	4,	17,
238.	建設業者の被曝 ³⁷⁾	Richland	1963,	5,	16,
239.	X線による被曝 ³⁷⁾	Lynchburg	1963,	7,	25,
240.	シンクロトロンによる被曝 ³⁷⁾	Argonne	1963,	10,	17,
241.	全身被曝 ³⁷⁾	Columbus	1964,	1,	-
242.	全身被曝 ³⁷⁾	Shippingport	1964,	1,	-
243.	全身被曝 ³⁷⁾	Berkeley	1964,	2,	-
244.	サイクロトロンによる被曝 ³⁷⁾	Berkeley	1964,	4,	-
245.	放射線被曝 ¹¹⁴⁾	原 研	1964,	10,	8,
246.	加速器による被曝 ¹⁾	U S A	-	-	-
247.	β 線による手の被曝 ¹⁾	Operation Sandstone	1948,	5,	14,
248.	足の被曝 ¹⁾	Los Alamos	1948,	9,	-

249.	γ 線による手の被曝 ¹⁾	Los Alamos	1949.	2.	-
250.	放射線被曝 ¹⁾	Hanford	1953.	5.	11.
251.	β 線による火傷 ⁷⁾	LASL	1956.	4.	30.
252.	β 線による手の火傷 ³⁾	Univ. of California Radiation Lab.	1957.	6.	27.
253.	NS形加速器による被曝 ¹¹³⁾	日新電機	1959.	2.	2.
254.	軟 β 線による放射線被曝 ^{2c) 21) 126)}	ORNL	1960.	3.	8.
255.	Van de Graaffによる被曝 ¹²⁷⁾	Sandia Corporation	1960.	11.	8.
256.	Van de Graaffによる被曝 ^{2c) 21)}	Albuquerque	1960.	11.	11.
257.	低エネルギー放射線による被曝 ²⁴⁾	Argonne	1961.	2.	22.
258.	β 線火傷 ²⁴⁾	ORNL	1961.	10.	27.
259.	X線による被曝 ^{13c)}	Municipal Hospital	1961.	12.	6.
260.	指と手の放射線被曝 ²⁴⁾	Aiken	1961.	12.	13.
261.	放射線被曝 ³⁷⁾	Canoga Park	1963.	4.	15.
262.	放射線被曝 ³¹⁾	Cincinnati	1963.	4.	-
263.	手の被曝 ³⁴⁾	Berkeley	1963.	7.	8.
264.	^{90}Sr による被曝 ¹¹⁴⁾	原研	1963.	12.	7.
265.	手の被曝 ³⁷⁾	Richland	1964.	3.	11.
266.	手の被曝 ³⁷⁾	Notre Dame	1964.	6.	18.
267.	手の被曝 ³⁷⁾	Idaho Falls	1964.	7.	22.
268.	放射線被曝 ¹¹⁴⁾	原研	1966.	1.	20.
269.	加速器による被曝 ¹⁾	USA	-	-	-
270.	プルトニウムの体内摂取 ¹⁾	Hanford	1955.	2.	16.
271.	プルトニウムによる被曝 ⁷⁾	Hanford	1956.	6.	18.
272.	フィルタ交換時の内部被曝 ⁷⁾	Rocky Flats	1958.	2.	4.
273.	ポロニウムの吸入 ⁸⁾	Miamisburg	1958.	12.	4.
274.	^{210}Po による内部被曝 ^{2c) 21)}	Miamisburg	1959.	11.	30.
275.	甲状腺の被曝 ³⁷⁾	Mercury	1963.	6.	6.
276.	トリチウムによる被曝 ³⁴⁾	ORNL	1963.	10.	28.
277.	ポロニウムによる体内被曝 ³⁷⁾	Miamisburg	1964.	4.	27.
278.	プルトニウムの体内摂取 ³⁷⁾	Richland	1964.	7.	10.
279.	肺の被曝 ³⁷⁾	ORNL	1964.	12.	-
その他の事故					
280.	窒素による窒息死 ¹⁾	KAPL	1951.	3.	18.
281.	ウラン板の溶融 ⁷⁶⁾	-	1955.	1.	-
282.	Redox多目的溶解槽の事故 ^{2c) 21) 128)}	Hanford	1960.	4.	17.
283.	AGRでの事故 ¹²⁹⁾	AGR	1963.	11.	16.
284.	高レベルのプルトニウム廃棄物容器の破損 ³⁷⁾	Harwell	-	-	-
285.	グローブの離脱 ³⁷⁾	Harwell	-	-	-

3 事故の原因

原子力施設の事故約280例を臨界事故，輸送中の事故，爆発事故，火災事故，原子炉の事故，施設内の汚染事故，環境の汚染事故，被曝事故，その他の事故に分類し，その分類別に事故原因をまとめたものをFig. 1に示す。この図を作成するに当っては，1つの事故に原因が2つ以上ある場合は，全く異なる原因が2つ以上あったものとして計上した。例えば1952年のNRX炉の臨界事故では

① 誤操作 — 原子炉停止時に運転員が誤まってバイパスバルブを開けたため3本以上の shut-off-rod が上昇した。

② 機構不良 — バイパスバルブを閉じたことにより，rodは元の位置に戻ったと考えたが原因不明の機械的故障のため完全には元の位置に戻らなかった。

③ 誤指示 — 監督がボタン4と3を押せというつもりで4と1を押せと電話で誤指示した。

④ 機構不良 — shut-off-rod が完全に挿入されていなければインターロックにより引抜けないはずの他の shut-off-rod 4本がボタン1を押したために上昇。

⑤ 機構不良 — 手動によるスクラムを行なったが4本のうち1本が挿入されただけであった。

と種々の原因が複雑に重なり合って出力暴走となったものである。この場合は事故の原因は5つあったものとしてある。また原因を大きく人的要因と環境原因に分け，それぞれの要因をさらに細分してあるが，これは特に人的要因の場合，例えば誤操作と不注意のちがひ，あるいは違反と誤操作とのちがひなどは見方によって同じであるとも違っているともいえるので，一応多分に主観を交えて図のように分類してみた。したがってここでは個々の原因よりも，人的要因と環境要因に分けた場合，どの種の事故では，どちらがどれ位多いかという点に注目して頂きたい。

このように分類してみても感ずることは意外に人的要因が多いということである。環境要因は過去の事故要因を調査し，それをもとにして十分時間をかけて安全解析を行ない，要点は常にチェックできるようにしておけば相当程度削減できるが，人的要因の削減は困難である。人的要因削減の方法として教育訓練の徹底，作業環境の整備などがあげられるが，それだけでは不十分である。なぜならば意識的に違反，誤操作などしないかぎり，それはやはり不注意であり，この不注意は意識的に行なわれるものでないだけに，その対策には困難をとまらう。今後の安全対策の課題は誤操作などを含めた「不注意による事故」を具体的にどのような方法で排除していくかにあるように思われる。不注意による事故の対策として人間工学的，心理学的対策の必要性があげられるが，残念ながらこの分野の研究はまだ基礎研究の域を脱していない。したがってこれらの分野の応用研究の促進が望まれる。

Fig. 1では原因の分類を示しただけであるが，具体的にはどのような事例が事故に直結しているかを概観することも安全対策上必要と思われるので次に各分類毎に原因の具体例を示す。

1) 臨界事故

(1) 誤操作

- ① バルブを完全に締めていなかった。
- ② 臨界集合体の hand stacking中にレンガを落す。
- ③ 制御棒空気系のバイパスバルブを誤まって開く。

(2) 違反

- ④ 計算データをプロットしなかった（データのプロットはマニュアルで定められていた）。
- ⑤ モニタと安全回路に電源が入っていないまま臨界集合体を運転。
- ⑥ 新しいrodを挿入してから、現在挿入してあるrodを抜くように指示されたにもかかわらず、新しいrodを挿入しないで、挿入されていたrodを引抜いた。

(3) 誤判断

- ① 中性子反射体を近づけすぎた。
- ② 新しく設計したcontrol rodの比較実験中、poison効果の大きいrodを引抜いた。
- ③ 暴走実験で起した暴走が予想より大きかった。

(4) 不注意

- ① 制御棒の引抜きが原子炉の反応度にどう影響するか注意しないで制御棒を引抜く。
- ② 不用意に臨界事故現場に入って被曝。

(5) 連絡不十分

- ① バルブがリークしていたことを交替時に引継がなかった。
- ② 連絡不十分のまま（声が周囲の騒音に打消されて聞えなかった）バルブを開く。
- ③ 作業手順変更の引継をしなかった。

(6) その他（人的要因）

- ① ボタン4と3を押せというつもりで4と1を押せと指示。

(7) 設計不良

- ① 1本の制御棒の引抜きにより炉を臨界にすることができた。
- ② スイッチを「drain」にした後も溶液が容器に流入した。
- ③ インターロックをはずしたり、電源を切っても炉の運転が可能であった。

(8) 機構不良・故障

- ① ラムの中心がずれた。
- ② バルブを閉ちても制御棒が完全に落ちなかった。
- ③ 水位計の横にでているテーパピンがspiderを引掛けたためspiderが歪み、内側円筒を下向けに押えつける力がなくなり内側円筒が倒れた。

(9) マニュアル不備

- ① 装置のオーバーフローパイプの操作手順がなかった。
- ② 非定常操作のマニュアルなし。
- ③ 今迄達したことの無い出力レベルにまで自動制御でもっていった。

(10) 安全解析不十分

- ① 安全板を落したときの波動で液高が臨界高さを越す。
- ② 攪拌用の sparge air が入り過ぎたため、サイホン作用が始まり、溶液が非安全形状の廃棄物貯溜タンクに流入した。
- ③ 急速に上げたためベルヌーイの力が働いた。

2) 輸送中の事故

(1) 容器の漏洩

- ① 汚染物の梱包が雨にぬれ、後でこの水がリークして汚染。
- ② 積荷のドラム缶が漏洩。

(2) 車両の故障

- ① トラックのブレーキが故障して横転、火災となる。
- ② 貨車の扉が開き、ドラム缶が落ちて中味の一部分が飛散。

(3) 衝突、脱線

- ① 交通事故でガソリンタンクが破損して火災。
- ② 貨車が脱線して川に転落。

(4) 火災

- ① 輸送中のトリウムが自然発火。
- ② 放射性物質を積んだ貨車の hot box が発火。

(5) その他（環境要因）

- ① 空容器が汚染していた。
- ② トレーラーが構造上の欠陥のために横転。

(6) 落下

- ① 貨物を移動中に落す。

(7) 運転ミス

- ① 運転を誤まって川に落ちる。

(8) 荷作り不良

- ① 積荷をよく止めていなかったため移動して汚染。

(9) その他（人的要因）

- ① ブレーキの故障を知っていて運転し、転覆。

- ② キャスクを前方に移動させようとして失敗。

3) 爆発事故

(1) 化学反応

- ① 酸と有機物が蒸発缶内でニトロ化反応を起して爆発。
- ② アセトン洗剤の入っている壺に硝酸溶液を入れたため化学爆発。
- ② バイレックス壺に酸化カルシウムとウラン粉末の混合物を入れたのち、ロートを通して希硝酸を加えていたとき爆発(20回以上、同じような方法を行っていたが激しい反応の起ったことはなかった)。

(2) 可燃性気体の引火

- ① 可燃性油の蒸気が充満したところに、電動ブラシの火花が引火して爆発。
- ② グローブ・ボックス中のメタノール—空気の混合物が爆発(何故メタノールがグローブ・ボックス内に溜っていたか不明)。

(3) マニュアルの不備

- ① 液温記録計故障、濃度は比重記録計の指示範囲以上であったので、過去の経験にもとづく蒸溜時間を目安にして蒸溜を行なったため爆発。
- ② 溶液の酸性度が必要以上に高かった。

(4) 自然発火

- ① ジルコニウムをつめた鋼製ドラムが自然発火により爆発。

(5) その他(環境要因)

- ① プルトニウムを含む塩酸溶液3mlの入っている石英管をあけようとしたとき爆発(石英管の中味がリークしており、これは明らかにピンホールによるものであった。そこで作業員はピンホールがあいておれば内圧はないと考えて break open する前に冷却しなかった。合理的と思われたこの仮定は結果的には誤っていた)。

(6) 誤判断

- ① 供給液に有機溶媒は入っていないと考えていたけれども爆発の後で Amco 希釈液が蒸溜液受槽に入っていたことがわかった。

(7) 不注意

- ① 旋盤の油溜めに冷却材としてトリクロロエチレンを補給するつもりでトリクロロエタンを補給したため、この蒸気が引火して爆発。

(8) 誤指示

① " make Turco, acid and water " と指示 (Turco の次に water がぬけている)。

(9) 誤操作

① 自然発火したプルトニウムを決められた手順にしたがって処理しようとして四塩化炭素浴槽中に落とす。

(10) その他 (人的要因)

① 低温実験を行なったガラスカプセルに入ったプルトニウムの温度を徐々に上げて室温近くにもってきたとき爆発。

4) 火災事故

(1) 自然発火

① ウラン・スクラップが自然発火。

② プルトニウムを含む汚染廃棄物が自然発火。

(2) 装置の故障・過熱

① ジルコニウム被覆のウラン板を圧延中、温度制御器が故障し、温度が 1,800 F になってウランが燃えた。

② ウランを切削中に冷却水が不足して過熱発火。

(3) 化学反応

① プルトニウム精製施設で化学的発熱反応による火災。

② 電気蒸気脱脂器を用いてウランの脱脂中に発火。

(4) 漏電

① 水素が蓄積したところに漏電して火災。

② フード内の電気コンセントが劣化して漏電。

(5) その他 (環境要因)

① ウラン鑄造中に鑄型がこわれ、とけた金属が溶解炉の底から流れ出して火災。

(6) 溶接機の飛火

① フィルタ装置の改造中に溶接機の火花が飛火してフィルタが燃えた。

② 溶接作業中に飛んだ火花が原因でフィルタが燃えた (消火後 2 回再発火)。

(7) 誤操作

① 電気炉のプラグを差込むつもりで誤まって少量のプルトニウム金属と 200 ml の落花性油

が入っているビーカーのかかっている電熱器の電源を入れた。

② 電熱器をつけ放しのまま帰宅（スプリンクラーで自動消火）。

5) 原子炉の事故

(1) 機器の故障

① 炉周期を30秒になるように反応度を上げたが、実際には12秒になっていた。

② 加圧器の中の水中に入れてあった電熱器が水位計不良（実際の水位より20%高い値を示していた）により、電熱器が水面上に出て蒸気を直接加熱した。

(2) 設計不良

① 冷却用空気流量計の位置が悪かったため、空気流量計の指示と実際の空気流量とが一致していなかった。

② 燃料破損が検出されたため炉を停止したが、冷却水流の停止と炉の実質的停止の間に時間おくれがあったためコンバーターが溶解。

(3) マニュアル不備

① 中性子検出器の指示範囲が起動時に必要な感度を与えるには不十分であった。

(4) 安全解析不十分

① 予備の冷却材として使用していた有機化合物Tetralinの分解生成物が冷却材通路を部分的に閉塞した。

(5) その他（環境要因）

① タンク壁にウランのスケールがたまったため、その崩壊熱により壁に孔があいた。

② 燃料要素が沢山の小さな点で仕様とちがっていた。

(6) 誤操作

① 蒸気バイパス・バルブを誤まって閉じたため蒸気流が減少し、炉の圧力が上昇。

② 冷却管の圧力から管が詰ったことがはっきりわかったが直長はその指示に気付かず、この時のゲージの読みが指示範囲の中間になるように調整。

③ 燃料の装荷位置を誤まる。

(7) 不注意

① 実験に使用したネオプレン円板を取除くのを見落とす。

② 蒸気発生器の修理を行なった際、臨時にプロセス・パイプに取付けた管栓を取除くのを忘れた。

(8) 誤判断

- ① 被覆破損の警報がなったが、直長は前の経験から大胆になっていて、炉を停止するまでに時間をかけすぎた。
- ② 原子炉起動時に反応度損失率の予想を誤る。

(9) 違反

- ① 運転手順に反してバルブを開く。

(10) その他（人的要因）

- ① 原子炉容器壁の洗浄に使用したモップの糸屑などが燃料要素の一次冷却水入口にたまっていた。

6) 施設内の汚染事故

(1) 機器の故障

- ① 装置のバルブが漏洩。
- ② ポンベ加熱装置の温度制御装置が故障して温度が上昇し、ポンベに亀裂が入り、UF₆が漏洩。
- ③ 密封線源が破損して汚染が拡がった。

(2) 化学反応

- ① 溶液と輸送管との化学反応で輸送管に孔があき、溶液が漏洩。

(3) 装置の不備

- ① セル内の負圧を維持するための適当な装置がなかった。

(4) マニュアル不備

- ① 汚染していることを知らないでグローボックスで作業し、その時に使用した工具を他の場所にもち歩いて汚染（汚染標識がなかった）。

(5) その他（環境要因）

- ① 過去何回も問題なく行なわれていた一連の軽微な手順の変更。

(6) 不注意

- ① ラドンに対する遮蔽を考えないでラジウム1gを事務用金庫に入れて長年保管していたため、ラドンを媒体として建家が汚染。
- ② 不注意で高放射能廃棄物濃縮器のカランドリヤから汚染した使用済冷却水が廊下に流れ出て汚染。
- ③ グローボックス片付け中に手に刺傷。

(7) 違反

- ① 汚染したビーカーを知らずに手にして汚染（規則通りのモニタをしなかった）。

(8) 誤操作

- ① バルブ操作を誤ったため減衰箱装置の内圧が上って破損し、減衰箱から吹出たヘリウムガスがターゲットを破壊。

(9) その他（人的要因）

- ① 汚染したガラス装置を持運っていた作業員が他の人に突当って落す。
② スケジュールに合わせるため作業時間を繰上げ、所定の12時間待たなかったため異常に多量の放射能が放出された。

7) 環境の汚染事故

(1) 装置の故障

- ① 蒸発缶のスチームトラップと熱交換器の両方がリークし、放射能が廃液処理系に放出された。
② ガス取扱装置のポンプのピストリングが故障してトリチウムを放出。
③ バルブが故障してガスがリーク。

(2) 核実験

- ① 核実験を行なった時の放射性雲は人が住んでいる島の方向には流れないものと予想していたが風向が変わったため島に放射性物質が沈降。

(3) その他（環境要因）

- ① 排風機系にたまっていた放射能が排風機修理後に煙突から放出された。

(4) 不注意

- ① 不注意でトリチウムをプロセス装置から煙突に接続されている配管にポンプで送る。
② 不注意かバルブの故障でバルブが閉り切っていなかった。

(5) 誤操作

- ① バルブの誤操作でリークしたトリチウムが煙突から放出された。

(6) 誤標示

- ① 蒸気力で開くバルブの標示が誤っていたため排出側に蒸気を入れた。

(7) その他（人的要因）

- ① 非常に短い冷却時間の使用済燃料の計画外溶解を行なった。

- ② 下水中の放射能を除去する化学処理法を開発中に feed material が変わったため炉過水にメソトリウムが混入し、下水道が汚染。

8) 被 曝

(1) 装置の故障

- ① パネル警報ランプが消えていたのでX線室に入った。
② 安全インターロックの故障に気付かないでビーム室に入って被曝。

(2) 設備不良

- ① グローブボックスに標準のマニピュレーターを取付けていなかったため短かいトングを用いて作業したために被曝。

(3) その他(環境要因)

- (1) 被曝の積算をうまくやっていなかったために被曝が $3\text{rem}/3\text{ヶ月}$ を越す。

(4) 不注意

- ① 1.6Ci のラジオグラフィ用線源をシャツのポケットに入れる。
② モニタが準備されていたにもかかわらず、これをもたないで危険区域に入って被曝。

(5) 違反

- ① 加速器室に入るとき運転員に連絡せず、かつ警報を無視。
② 遠隔操作で作業するよう指示されたのに直接手で扱う。

(6) 誤判断

- ① ケープ内で照射済み試料をマニピュレーターの黒いゴム製爪当てと誤って拾い上げた。
② 判断を誤り flux wire を直接手で扱う。

(7) 教育不十分

- ① 加速器の取扱未熟による被曝。

(8) その他(人的要因)

- ① 作業前に測定したとき、軟 β 線源(スクラップ)が水に遮蔽されていたのに気付かず、その後水を抜いてスクラップを片付けた時に被曝。
② X線装置の遮蔽板が薄すぎた。

4 事故の教訓

事故が起れば、その背景、原因を検討し、今後再び事故を起さないように対策を立てなければならぬ。種々の事故を調査し、その勧告あるいは教訓をみてみると当然のことながら直接事故に関係した施設の改善とそれに伴うマニュアルの改訂および教育訓練の必要性を強調しているものが多い。これら個々の勧告あるいは教訓はそれ自体貴重なものであるが一般的でないものが多い。しかしある一つの事故の勧告、教訓であっても一般的にどのような事故にも共通しており、将来の安全対策立案上非常に有用であると思われるものも少なくないので、以下10項目について、その内容を紹介し、その意義を考えてみる。

1) 原子炉以外の施設の設計・運転においても最大想定事故に対する安全性を十分検討する必要がある(1959年ORNLの ^{100}Ru 放出事故)。個々の装置についてよりも、むしろ完成された装置全体の安全工学的再検討を行なうこと。特に装置のいづれの部分についても誤操作による異常運転の可能性に特に注意すること(1961年 # ICPP # 化学プラントの臨界事故)

前者の教訓は1959年11月1日にORNLで起った ^{100}Ru 放出事故(204)の結果、学んだものである。この事故は排気系統にたまっていた放射能が排気系統保守作業後の再起動に伴って煙突から放出されたものであるが、何故排気系統に多量に放射能がたまっていた(排風機表面の線量率は80 R/hもあった)かという点に問題がある。排風機が高汚染していたという事実は、排気系にある電気集塵器とフィルタが期待通りの機能を果たしていなかったか、あるいはこれらの装置を入れていなかったとき施設を運転したかのいづれかであると考えられている。いづれにしても事前に十分な安全性の検討を行なっていなかったことは確かであり、これが上述のような教訓として指摘されている。原研においては昭和41年6月から「使用施設等運転委員会」でその安全性が検討されているが、原研以外の諸施設においてはどの程度の安全性検討がなされているのであろうか。日本の場合「放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律」で規制される放射性物質取扱施設の使用許可に当って、原子炉の場合のような厳しい安全審査は行なわれていないけれども、施設を安全に運転する立場から自主的な安全解析を行なっておくことが大切である。

原子力施設においては経済性と安全性の適当な均衡がよく問題になる。原則的には安全性優先であるが経済性を無視したり、安全性を過度に重視したりしたのでは原子力開発の円滑な進歩を望むことはできない。経済性と安全性の均衡の問題は施設の設計・運転に当っては最大想定事故(仮想事故ではない)として何が考えられるかを時間をかけてよく検討し、これをもとにして決めなければならない。その際安全性の立場から経済性を重視しても譲れない線を明らかにしなければならない。最大想定事故にどのような事故を選ぶか、そしてその対策は如何にすべきかを十分時間をかけて検討することが必要である。経済性と安全性の均衡点はよく討論した結果として得られるものであり、施設の建設・運転を急ぐあまり安全性の検討に不備があるようなことがあってはならない。また安全性の検討に時間的制約があると、ともすれば「安全側である」という理由で十分な検討がなされないまま放置されがちであるが、このような安全性検討の安易な態度は経済性を軽視する態度であって、施設が大型化すればする程、経済的負担が大きくなり、ひいては原子力開発にブレーキをかける結果になる。

この事故で煙突にモニタを備えていたにもかかわらず、 ^{150}Ci におよぶ放射能の放出を検出

していない。その原因がモニタを運転していなかったことによるものか、故障によるものかなど放射線管理的立場から問題であるが資料不足のためはつきりしない。

後者の教訓は1961年1月25日にICPPで起った臨界事故(8)の後、調査委員会がまとめた数項目の勧告の中の1項である。この事故はポンプが詰ったので、この詰り物を取除くために貯水槽の水面に空気圧をかけて、強制的に水をポンプに送り込んで詰り物を取除いたが、その後連絡不十分のままバルブの切換を行なったために、蒸発缶下部の安全形状部から上部の非安全形状部に核分裂性溶液が吹き上げられて起ったものである。この事故の調査委員会は「溶液が蒸発缶上部に吹き上げられた機構は、もしPM#areaの10ガロンの加圧タンクと pump suction line の間の手動バルブが閉じていなかったと仮定すれば、多量の空気が一時に蒸発缶下部から供給されて溶液が吹き上げられたと考えられるので容易に説明できる」と述べているがPM areaにいた作業員はバルブを閉じたと証言しており、上の仮定上の機構を完全には認めていないので、この溶液が吹き上げられた原因ははつきりしていない。恐らくPM areaの作業員は操作区域の作業員の連絡通りバルブを閉じたが、操作区域の作業員はPM areaの作業員がバルブを閉じたことを確認しないで蒸発缶とポンプのサクシヨン側との間のバルブを開けたために、その時間関係からみてPM areaの作業員がバルブを閉じるのよりも操作区域の作業員がバルブを開いた時間が恐らく数秒間早かったのでこの事故になったように思われる。

一連のバルブ操作において、その開閉の数秒の差が事故に直結することが考えられる場合は操作マニュアルを完備し、連絡の方法を確立することが必要であるが、マニュアルの整備には十分な安全解析が必要である。大きなプラントになると各系統毎に設計・建設の担当者が違う場合が多いので個々の系統についての安全解析がなされていても、更に、完成された装置全体の安全工学的再検討が必要になる。また誤操作を皆無にすることができない以上、誤操作による異常運転の可能性を念頭においた安全解析でなければならぬことは当然である。

2) 全操作を通じての作業手順の安全性については、作業に関与する作業員全員の意見が一致していなければならない。もし何らかの不一致が生じた場合は意見が一致するまで運転を停止すること(1945年 LASL 臨界事故)。

この項は1945年8月8日にLASLで起った臨界事故(11)の後、同事故の再現実験を行なった後で特別委員会が定めた規則から引用したものである。この事故は6.2Kgのプルトニウム炉心の周囲に4.4Kgのタングステン・カーバイトのレンガを手で積んでいたとき、レンガが手からすべって集合体の中央に落ちて起ったものである。参照した事故文献だけからみる限り、何故このような規則を新たに定めなければならなかったのかわからないが、その内容は非常に重要なものを含んでいる。恐らく、よりよい安全のための勧告を出すために再現実験までやって十分な安全解析をやり、その討論の結果がこのような形で表現されたものと思われる。この事故の起った翌1946年にも同じような事故を起し、前の事故後に定めた諸規則が守られていても、なお事故が起ることを知った委員会が「この種の作業は遠隔操作装置が臨界集合体に取付けられるまで、すべて中止した」ことは、この委員会がいかに安全性の問題に真剣に取り組んだかを示している。しかしここで、すべての場合に安全性に関して全員一致の原則が守れるか

どうかという問題がある。そして全員一致が得られない時はどうするか。この規則では全員の意見が一致するまで運転を停止することになっているが、検討に時間がかかり過ぎるといふ場合、あるいは意見がわかれて、いつまでたっても平行線をたどるような場合も考えられる。そうするとこの規則を守るといふことは実質的には実験あるいは操作を停止するということになる。このような場合の解決法は何であろうか。その方法としては討論の過程の中で出てきた問題を中心にして安全性の再検討を行ない、その際、考え得る事速に十分対処し得る対策を整え、万一異常の兆候が発見された場合は躊躇なく停止することを確認してから運転を再開することであろう。またその際、定期的に安全性の再確認を行なう必要があることは勿論である。

3) 誤操作をしないということは保証できないので、装置の設計・制御は通常の誤操作あるいは機構の故障があっても安全であるような条件を定めることを目標として、すべての点で可能な限りの改良を行なうことが必要である(1952年 Chalk River NRXの臨界事故)。

NRXの臨界事故(22)は前述した通り、誤操作—機構不良—誤指示—機構不良—機構不良と種々の原因が複雑にからみ合っただけのものである。事故の直接のきっかけは地下にいた運転員が制御棒の空気系にある3~4個のバイパスバルブを誤まって開いたという誤操作によるものである。そのため3本以上の制御棒が原子炉の停止時に上昇してしまった。そしてこの制御棒を元に戻すための一連の操作中に機構不良、誤指示が重なってSL-1に次ぐ(発生月日はSL-1よりも古い)原子炉の重大事故(損害約150万ドル—SL-1の損害は435万ドル)となったものである。問題のバルブのいくつかは安全のためにハンドルを外してあったので全部のバルブを開くことはできなかった。そういう意味では誤操作を防止するための一応の対策は立てていたわけであるが、結果的には不十分であった。

この項でいっていることは換言すれば“fail-safe”な設計を強調しているに他ならない。誤操作あるいは不注意といったものは無意識のうちに行なわれるものだけに、これを皆無にすることは至難なことである。ここにこの項の重要性があり、原子炉の安全性については原子炉自体の固有の安全性、耐震設計などと共に炉設計上の要点となっている。

4) 作業員にとって近代的プラントの複雑性と危険性のすべてを理解することは困難である。問題は時には狂いかもしれない計器を作業員が信頼するところにあるので、できるだけ綿密な保守点検が必要である(1955年*ICPP#化学プラントの空気汚染事故)。

この項はsumpにたまった高放射性の液体をjet pumpで移送していたとき、sumpの水位計が故障していたため、液体の移送が完了したにもかかわらず、まだ液体が残っているような誤指示をしていたことと作業員が空気を吸いはじめたためにjet音が変わったことに気付かなかったためにプラント内の空気が汚染したという1955年のICPPにおけるプラント内空気汚染事故(174)の教訓として得たものである。

諸施設が近代化し、オートメーション化してくると計器が人体の五感の役割をはたすことになる。それだけに作業員は数多くの計器の信頼度を気にしていたのでは仕事にならない。したがって作業員は計器に絶対の信頼をおいて作業をすることになるので計器の故障、特に指示不良は施設の安全上非常に重大な問題になる。計器を信頼していた作業員がjet音の変化に気

付かなかったのはむしろ当然であろう。

NRXにおけるコバルベレットの飛散事故(136)は冷却空気流量計の設置位置が不適當であり、実際の流量より高い値を計器が指示していたために起ったものであり、SPERT-Ⅱ加圧器の破損事故(141)は水位計の指示値が実際の水位よりも20%高い値を示していたために起ったものであり、またWindscaleの事故(203)はウランの熱電対が正常運転時に最高ウラン温度となる位置に置かれてあって、ウィグナー放出の際に最高ウラン温度となる位置にはなかったため、原子炉運転員は原子炉前面中央部のウラン燃料は彼が読取った温度よりも恐らく高かったこと、および温度上昇率が観測値よりも大きかったことを知らなかったこと、および原子力出力計が正常運転に対しては正しいけれども、ウィグナー放出作業時には不当に低い読みを与えるものであったことを知らなかったことが原因になっている。

施設の近代化によって操作員の人員削減をはかることに逆比例して保守点検のための技術者を確保する必要のあることを忘れてはならない。また計器の誤指示が施設の安全性に及ぼす影響も十分検討し、その結果を保守点検の綿密さ、頻度などに反映させる必要がある。

5) 信頼性のない計器類は使用してはならない(1961年 SRP 放射性ヨウ素の放出)。

この項は1961年のSRPにおける放射性ヨウ素の放出事故(205)に関連してここにあげてみた。或る意味では前記4)と同じことであるが、4)は計器を信頼している場合であり、この項は信頼していないにもかかわらず使用している場合であって、そこに本質的な違いがある。この放射性ヨウ素放出事故の直接の原因は短期間冷却の使用済燃料の計画外の溶解によるものである。このような短期間冷却の使用済燃料を何故急に溶解しなければならなかったのかわからないが、とにかく事前に十分な安全評価を行っていないのは確かである。「計画外の作業を行なう場合は安全性の検討を十分行ない、計画書ないしは作業手順を作業員に徹底させる必要がある」と事故後になって反省している。新しい実験、非定常作業、急ぐ作業などを行なう場合は、とにかく安全性の検討がおろそかにされる傾向があるので注意を要する。第2の原因として信頼性のない測定器を使用していたことがあげられる。装置、設備が近代化してくると測定器の信頼度が重要な問題となることは前述した通りである。測定器が完全に故障してしまえば使用不能であるから交換あるいは修理するのでよいが、どうにか動いてはいるがその信頼度に疑問があるといったような場合は、どちらかといえば信頼度がないと知りながらも使用していることが多いのではなからうか。この事故例は信頼度のない測定器は使用してはならないことを示唆している。信頼度のない測定器を使用していたために発見・処置が遅れたことは明らかである。測定器を稼動している以上は、その信頼度の有無とは無関係に異常が検出された場合はその都度、原因をチェックしなければならない。信頼度のない測定器を使用している場合は異常が検出されても、とにかく信頼度がないとの理由で放置されがちで、そのために事故処置がおくれる。測定器の信頼度に疑問がある場合は直ちに信頼できる測定器と取換えるか、別の補助手段を講じなければならない。

6) 経験豊かな作業員の直感にもとづく決定でも、放射性物質の取扱手順の十分な解析の代りにはならない(1962年 Mound Lab. プルトニウム放出事故)。

この項は1962年7月26日のMound Lab.におけるプルトニウム放出事故(162)の教訓として得られたもので、「作業の慣れ」に対する警告である。作業に慣れ、経験を積んでくると、ある一つの作業に関する軽微な変更は経験にもとづく直感により処理される傾向が現われてくる。その変更も当初は注意しても、回を重ねるにしたがって特に問題なければ、それが定められた手順だと錯覚してしまふようになる。このようにして既成の事実となった手順は十分な安全性の検討がなされていないために、ある時は安全であったものが次も安全であるという保証がない。そこで特に操作手順あるいは安全手引の手順を直感により変更することは絶対さげなければならぬ。操作の繁雑さ、あるいは新方式開発などのために手順などを変更したいときは十分な安全解析を行ない、できれば前の手順を決めた関係者の意見を聞くことが必要である。豊かな経験にもとづく直感事例としては正しい場合が多いであろうが、事故に結びつく可能性のある変更はtry-and-errorという考え方が許されないだけに慎重な上にも慎重な万全の措置をとらなければならない。この例の他に1953年1月のSRPにおけるTNX蒸発缶の爆発(70)のように、液温記録計は故障しており、濃度は比重記録計の指示範囲以上であったので、過去の経験にもとづいて蒸溜時間を目安にして蒸溜を行なったために爆発を起した例もある。

7) 原子炉が原因不明のスクラムを起したときは原因がわかるまで再起動してはならない。

この項は特定の事故の結果として得られた教訓というのではないが、事故例調査の段階で事故防止上非常に重要であると考えたのでここに挙げた。原因不明のスクラムが起った後、原因がわからないまま再起動して原子炉事故を起した例としては1958年のChalk River NRU原子炉の事故(124)、1960年のWTRの燃料要素破損(128)、1962年のPM-3Aの火災(111)などがある。原子炉が大型化するにしたがって、予定の出力を維持することが一つの重要な運転目的となり、不測のスクラムが起った場合、運転員はできるだけ早く元の出力にもどすべく最大の努力を払う。特に発電炉の場合はこの傾向が著しい。この運転員の努力自体は当然のことであるが、ともすれば安全性の軽視につながりがちである。運転継続に主力をそそぐあまり、スクラムの原因追求がおろそかにされがちである。簡単に原因がわかる場合はよいが、なかなかわからない場合は概して再起動してみるという措置がとられがちである。再起動を試みること自体、必ずしも悪いことではないが、その場合は安易に再起動してはならない。手順としてはスクラムの原因追求に全力を払うべきである。そして原則としてはスクラムの原因がはっきりして、その原因が除去されるまでは再起動すべきではない。上記の事故例は不測のスクラム後の安易な再起動が事故につながったものである。しかし不測のスクラムがその後の調査ですべてその原因がわかるとは限らない。Fig. 1の原子炉の事故原因の図に原因不明の割合が多いことはある意味ではその裏付けになる。そのような場合は考えうる原因に対する安全性を検討し、初臨界にも似た気持で一つ一つの項目をチェックし、一段階毎に安全性を確認しながら出力を上げていかなければならない。万一異常が検知された場合は、2)項で述べたように直ちに運転停止をして、その原因を追求しなければならない。そのためには平常時の運転マニュアルの他に、原因不明のスクラムに続く出力上昇のための運転マニュアルを定めておく必要がある。1960年のAlize-1の事故(25)では事故後一応の措置は取ったものの基本的障害の原因が確認されていないために同種の事故が再発するのではないかと危惧している。

8) 核暴走事故直後の事態を適切に処理するには妥当な程度の権限を与えられ、有能かつ、よく訓練された保健物理グループが必要である(1958年 Y-12 臨界事故)。綿密な予防措置にもかかわらず、事故が起ったときは、よく訓練されたスタッフにまざるものはない(1962年 NRTS MTRの燃料要素破損事故)。

この項の前半は1958年Y-12における臨界事故(5)に対する勧告として出されたものの1つである。臨界事故に限らず、大きな事故になれば、その適切な事故処置をとるためには十分な専門的知識をもち、妥当な程度の権限を与えられた保健物理グループが必要であることはいうまでもないことであるが「妥当な程度の権限」に関し、何が妥当かとなると一該には言えない。この妥当な範囲は施設の内容、グループの構成メンバーあるいは作業の緊急性などによってちがってくる。例えばSL-1の事故の場合、保健物理員は200 R/h 以上の放射線場に入るための許可を与えることができる権限を与えられていたので、彼は行方不明の作業員を捜索するためにこの権限を行使し、500 R/h の線量率の所まで入室することを許可している。線量率の上限を500 R/h としたのは、これが測定器の検出限界だったからである。後半はgasket materialが一次冷却系に詰って冷却水の流れを妨害したため冷却不十分となり、燃料が融解したという1962年のNRTSにおけるMTRの燃料要素破損事故(130)から学んだものであり、事故後、保健物理、保守およびMTRの運転員のとった処置は優れたものであったと賞讃している。

1954年のHanfordにおける燃料要素の局部的過熱による破損事故(117)は原子炉の起動に責任をもつ主任運転員が事故を起したこの特殊な原子炉についての知識が比較的浅かったために電離箱測定装置の測定範囲を変えるのに必要以上の時間をとり、他の測定器の指示に気がつかなかったことが原因になっている。一方、同じHanfordにおける1956年の誤予想による炉出力の急上昇(135)時には、比例中性子計数管の指示が振り切れた時主任運転員は当初これを誤指示であろうと思って感度の悪い電離箱のスイッチを入れたがこれも振り切れたので、彼は誤指示でないことを知り原子炉を緊急停止しないで、できるだけ早く制御棒の挿入を行なったために燃料破損は起らなかった。これは主任運転員の早い判断と行動のたまものであった。

施設が近代化し、自動化しても、結局それを操作するのは人間であることを忘れてはいけな

9) 事故後の入室は計画的に行なうこと。これ以前に入ることのできるのは人命救助の場合だけである(1964年 Wood River Junction の臨界事故)。

この項は1964年のWood River Junction の臨界事故(10)後、調査委員会が指摘した事項から抜萃したものである。この臨界事故は施設の不備、操作マニュアルの欠陥、業務連絡の不完全、操作員や監督の不注意などが複雑に重なり合っ

攪拌中はウランが分散し、また空気泡や渦があるため臨界未満になっていたものが攪拌の停止により、これらが消滅したとき臨界に達し、沈殿物の生成により停止したものと思われる)。この2回目の臨界超過事故は判然としなかったが彼等が中性子被曝を受けていることから、このことが推定されている。

これは事故後の再入室が無雑作、無計画であったために無用の被曝をした例である。建家への再入室が十分よく計画されたものでなかったことは明らかである。再入室の最初の2回は適当な測定器をもっていかなかった(携行した測定器の最高目盛は100mR/hであり、現場の放射線量率はそれよりも高かった)し、また適当な防護衣やマスクを着用していなかった。この例のような臨界事故後の入室あるいは爆発、火災などの後の入室は特に入念な入室計画が必要である。

臨界事故を起した系はその状況に十分対処できる計画が作成されるまで、そのままにしておかなければならない。入室計画に際しては再臨界の可能性についても十分な検討を行わなければならない。これ以前に入ることの許されるのは人命救助の場合だけである。しかしこの場合といえども全くの無計画、無防備であってはならない。人命救助で入室する場合は現場の状況を正確に把握するために、あらゆる努力を払うべきであり、そのためには非常事故時の行動要領を作成し、非常用の携帯型高放射線レベル測定器および防護器材を常備しておかなければならない。また、非常事故は稀に起るものであるので記憶を新たにするために継続的訓練が必要であり、訓練の際には認可された手順および実際的な状況を徹底させることが必要である。

10) 作業員には急性の放射線障害と慢性の障害との違いをよく教えておくこと(1951年KAPL窒素による窒息死)。

この項は1951年KAPLにおける窒息死事故(280)の教訓である。この事故はエアーラインマスクを着用した作業員が、エアーラインに窒素が通されていることを知らないでバルブを開けたために窒息死したというものである。したがってこの事故は「呼吸用空気系はその目的だけに使用すること」が守られればなくすることができる。しかし、もしこの作業員が急性の放射線障害と慢性の障害のちがいをよく知っておれば彼はマスクをぬいで退出することができたであろう。あるいは逃げ出さないまでもマスクをとっただけで、若干の汚染空気を吸吸することにはなるが、死はまぬかれたであろう。

一般に放射線障害の危険性が過大視される傾向があるため、原子力専門家の間にさえ、放射線障害は一般の疾病よりも数倍も危険であると考えている人がいる。そのために「いざ」という時に誤まった行動をとる結果になるので、急性と慢性の放射線障害の差異、放射線障害と一般の疾病との関係、許容量の意味および時間との関係などについての教育を徹底的に行なう必要がある。放射線障害を恐れるあまり、放射線から逃れることに夢中になり、重大な一般災害を受けるようなことになっては何にもならない。

5 事故と損害

事故を損害という立場からみてみよう。これは大きく経済的損失を伴う損害と人身障害とに分けて考えることができる。

1) 経済的損害

事故の損害を経済的見地からみてみるということは大切なことであるが、事故報告文獻に必ずしも経済的損害がいくらであったか書いていない。しかし米国における1943年～1964年の事故例を経済的損失という見地から調査している文献(TID 22268 Operational accidents and radiation exposure experience)があるので、ここに紹介しておく。Fig. 2は5万ドル以上の損害のあった事故の統計である。これからみると原子力施設の事故で最も損害の大きいのは火災事故でこれに原子炉事故が続いている。(JAERIメモ 6 3 233 原子力施設の事故概要では原子炉事故ではあっても、その内容が臨界事故であるものは臨界事故として分類したが、この図では原子炉事故としている)。しかしこれにカナダのNRX炉の事故(損害約150万ドル)および1965年のRupture-Loopの事故(145)(損害895,000ドル)を加えると火災事故と原子炉事故の損害は殆んど同じになる。この他にWindscaleの事故、NRUの事故などを加えれば原子事故の方が多くなるであろう。原子力施設における最大の事故はSL-1の事故(26)で損害は435万ドルであり、これに1962年のUnion Carbide Corp.のガス拡散セルの爆発火災事故(損害290万ドル)が続いている。1事故当りの損害の平均は火災事故より原子炉事故の方が2.5倍位大きい。小さい事故では汚染による損害が大きい。1960年のSRPにおける汚染冷却水による床の汚染事故(159)のように汚染した使用済冷却水が不注意で廊下に流れだし、広範囲の汚染を起したために除染費25万ドルを費している例もある。

2) 人身障害

人身障害で最大のものは「死」である。今までに放射線事故で8人が死亡しており、これがいづれも臨界事故によるものであることは注目値する。Table 1は死亡者を出した臨界事故の一覧である。

参照番号	年月日	施設名	被曝量	死者数	事故概要
6	1958.12.30	LASL	12,000 ^{rem} ±50%	1	化学プラントで誤まって多量のプルトニウムが入ったタンクを攪拌
10	1964. 7.24	WoodRiver Junction	骨盤部 46,000 ^{rad} 頭部 14,000 ^{rad}	1	安全形状の容器に入った濃い硝酸ウラン溶液を非安全形状の容器に注ぐ
11	1945. 8. 8	LASL	800 ^{rep}	1	Pu炉心の周囲にタンクステン、カーバイドのレンガを手で積んでいて落す

参照番号	年月日	施設名	被曝量	死者数	事故概要
12	1946. 5.21	LASL	rep 900	1	プルトニウム塊にベリリウムの中空半球をかぶせていたときドライバーが滑って上半球がプルトニウム塊の入っている下半球の上に完全に落ちてしまった。
24	1958.10.15	Boris Kidrich Institute	rem 1,100	1	重水のレベルが制御されないまま上昇して臨界超過となる。オゾンの臭いで臨界に気付く。
26	1961. 1. 3	SL-1	—	3	制御棒を手で引抜く?

Table 1 Table of Criticality Accidents Resulting in Fatalities

SL-1の事故では3名の死亡者を出しており、人身障害という点からも最大の事故である。この3名の直接の死亡原因は爆発による負傷であるが、例え爆発による負傷が直接の死因になり得なかったとしても放射線被曝のために死亡していたであろうと思われる。これらの被曝量を推定した報告は見当たらない。この他に詳細は不明であるが1954年に核爆発実験後のfall outにより日本漁民が被曝して死亡、1956年に1946年～1948年にかけて度度放射線被曝したBNLの保物員が骨に最大安全量の1,000倍を摂取して死亡、1957年にはBerkeleyの作業員が“1942年に放射性物質による被曝をした”と主張して白血病で死亡した例などがある。また調査した範囲内では爆発事故で5人が死亡しているが、これはいづれも爆発そのものによる死亡であって高放射線被曝によるものではない。その他原子力施設内での一般災害による死亡事故は相当数にのぼっているがこれについてふれることはこの目的ではない。

局部被曝では手の被曝が多く、中には5,000Rを越える被曝をして放射線火傷の現われた例もある。内部被曝は10例程あり、許容量の数倍～10倍の体内摂取をしているが障害という観点からでは特に問題にはならない。

6 その他

1) 1955年1月4日にHanfordのKW原子炉で燃料要素の溶解事故(118)があった。これは正確な反応度特性をとる実験で、そのためには数100本のプロセス冷却管を固いネオプレンの円板で正規の冷却水配管系から遮断することが必要であった。この円板を取除くとき、1つの円板を見落し、それが1本の冷却管の排出側に残ったままになった。実際には円板は他の7本の管の吸入側、排出側あるいは両方に残っていたが、それらは個々のプロセス管の水圧をモニタするゲージ装置の試験によって、そのあり場所がわかっていた。何らかの理由で1本の管のゲージが見落されたため、それは試験の間に点検されたゲージの異常な読みには出て来なかった。冷却系について後で試験を行なったとき詰った管をチェックする機会があった。こ

のときその管（流れのない）について記録された圧力は、はっきりと管が詰っていることを示していた。しかし直長はこの指示に気付かなかった。このゲージは機械技手によって、その時の読みが指示範囲の中間になるように調整された。この調整が行なわれたために冷却水流のない状態が重大な破損が起るまで存在したであろうことは明らかである。

これに対して特別調査委員会は、①ネオブレン円板を取除くの見落したためにそのチャンネルの冷却が不十分となり燃料が破損したが、これに対し委員会は過失は誰か一個人にあるというより、むしろ適当な詰り物を取除く操作手順が欠如していたと感じ、②冷却水圧力計の初期の試験で異常状態は認められた筈であり、この時の高いゲージの読みに気付かなかったという事実は採用していた点検方式が悪かったことによるもので誰か一個人の責任ではない、としている。このような考え方は他の種々な事故時の調査委員会の態度と異なり異色あるものである。一般的観点からすればこの事故は「不注意」として簡単に片付けられてしまうものであるが、ただ不注意ということで片付けてしまうと、後の対策があるそかになりがちである。不注意の原因がどこにあり、その対策はどうあるべきかを検討するには、この委員会がとったように、その原因を明らかにして、不注意といわれる事故を起さないような対策を考えなければならぬ。事故の原因の章でのべたように不注意は意識的に行なわれるものではない。それだけに「不注意」による事故の原因撲滅が今後の課題となることは明らかである。

2) Y-12の事故の後で事故調査グループは種々な項目をまとめた勧告の中で次のような項目をあげている。

- ① 核安全は経済的に実行可能な範囲内で材料と工程の特徴を十分生かした装置を設計することによって具体化すること。② 同様に経済的に実行可能な範囲内において、1つの施設内でなった濃縮度の燃料を処理する場合は、全施設は最も濃縮度の高いものを基準にして設計すること。

この勧告は勧告の中に経済性をもちこんでいる唯一の例である。安全性と経済性の問題については、3の1)でもふれた通りであり、原子力産業といえども経済性を無視しては成立たない。安全性を考えるに当っては経済性を無視しても譲れない線を出さなければならないが、経済的、技術的に不可能な勧告を出すということはおよそナンセンスである。何が経済的に可能な範囲かということは施設によって異なるが、安全性の立場からの要求は技術水準にてらして格一的に決めることができる。そこで勧告を出す場合は絶対条件としての勧告と、希望条件としての勧告に分けて出すのがよいと思われる。ただ希望条件の実施についてはその受入れ可能な範囲を明らかにした上で、改めて安全性の検討を行ない、満たされない部分については別に安全対策を講じなければならない。

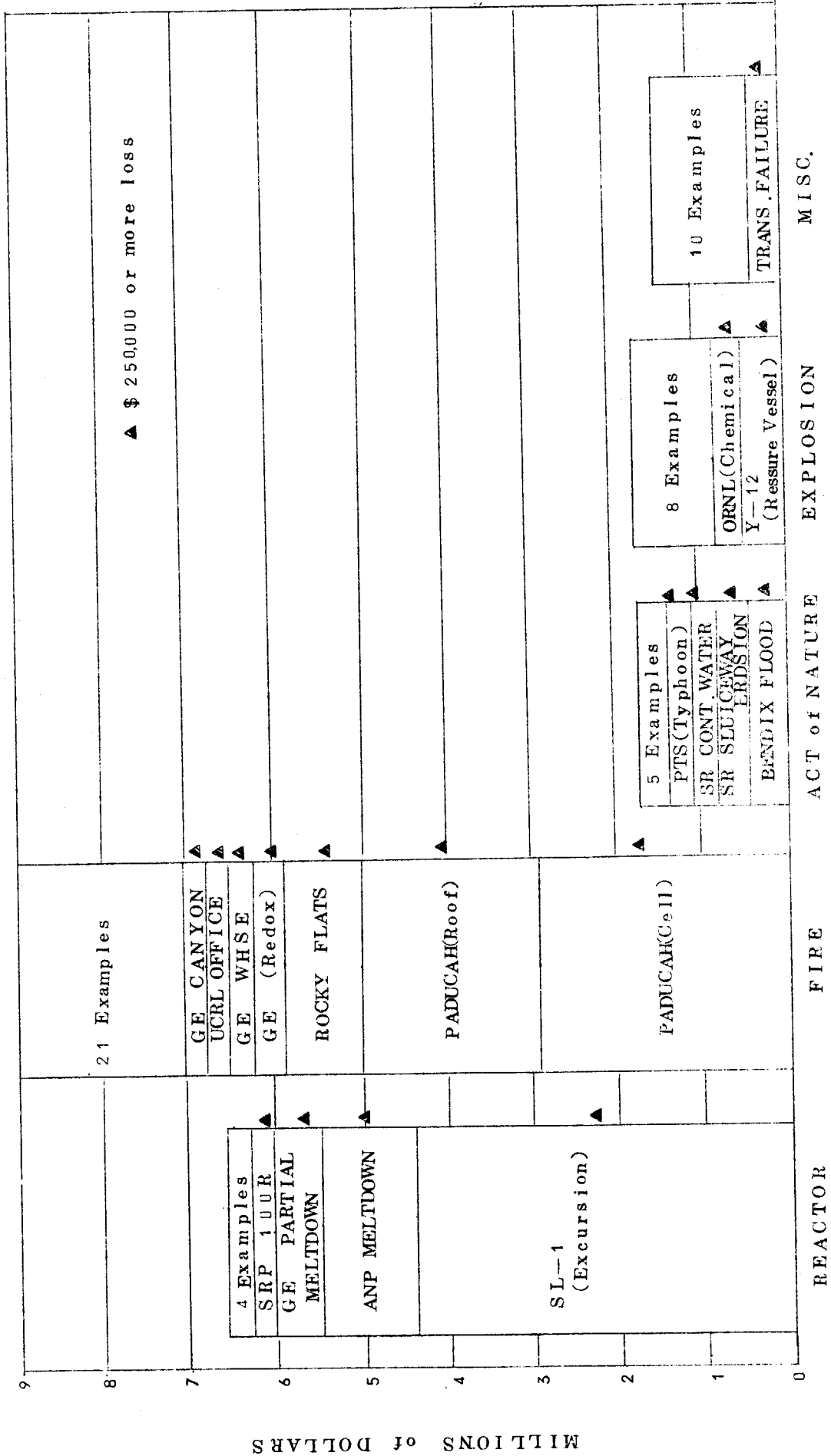


Fig. 2 Accidents Causing AEC Property Loss (\$50,000 or more, 1943 to 1964)

7 参 考 文 献

- 1) DANIEL R. HAYES; A summary of accidents and incidents involving radiation in atomic energy activities, June 1945 through December 1955, U. S. Atomic Energy Commission, Technical Information Service report TID-5360 (1956)
- 2) W. R. STRATTON; A review of criticality accidents, Progr. Nucl. Energy, Series N, Technology, Engineering and Safety V. 3, Pergamon Press, London, P163~205 (1960)
- 3) W. R. STRATTON; A review of criticality incidents, OECD, Criticality Control, Karlsruhe Symposium, P491~533 (1961)
- 4) W. R. STRATTON; A review of criticality incidents
- 5) 原子燃料公社安全管理室; 臨界管理参考資料(I) - 臨界管理ならびに臨界事故 -, (1966)
- 6) J. T. THOMAS, D. CALLIHAN; Radiation excursions at the ORNL Critical experiments laboratory, ORNL-2452
- 7) DANIEL F. HAYES; A summary of incidents involving radioactive material in atomic energy activities Jan. - Dec. 1956, TID-5360 (Supplement), (1957)
- 8) U. S. Atomic Energy Commission; A Summary of industrial accidents in USAEC facilities, TID-5360 (Suppl. 2)
- 9) Accidental radiation excursion at the Y-12 plant June 16, 1958, Y-1234 (1958)
- 10) F. S. PATTON; Criticality accident at the Oak Ridge Y-12 Plant, Nucl. Safety 1/62 P59~63
- 11) D. CALLIHAN, J. T. THOMAS; Accidental radiation excursion at the Oak Ridge Y-12 Plant - I. Description and physics of the accident, Health Physics 1/64 P363~372 (1959)
- 12) J. D. McLENDON; Accidental radiation excursion at the Oak Ridge Y-12 Plant - II. Health physics aspects of the accident, Health Physics 2/61 P21~29 (1959)
- 13) G. S. HURST, R. H. RITCHIE, L. G. EMERSON; Accidental radiation excursion at the Oak Ridge Y-12 Plant - III. Determination of radiation dose, Health Physics 2/62 P121~133 (1959)
- 14) G. A. ANDREWS, B. W. SITTERSON, A. L. KRETCHMAR, M. BRUCER; Accidental radiation excursion at the Oak Ridge Y-12 Plant - IV. Preliminary report on clinical and laboratory effects in the irradiated employees, Health

Physics 2 42 P134~138 (1959)

- 15) G. S. HUFST, R. H. RITCHIE; Radiation accidents: dosimetric aspects of neutron and gamma ray exposures, ORNL-2748 part A (1959)
- 16) H. C. PAXTON et al; Los Alamos criticality accident, December 30, 1958, Nucleonics 17 44 April, P107 (1959)
- 17) H. C. PAXTON et al; Nuclear critical accident at the Los Alamos Scientific Laboratory on December 30, 1958, LAMS-2293 (1959)
- 18) R. H. RITCHIE; Dosimetry aspects of nuclear accidents, Nucl Safety 2 41 P71~75
- 19) C. E. GUTHRIE; Los Alamos criticality accident, Nucl Safety 1 41 P37~38
- 20) U. S. Atomic Energy Commission; A summary of industrial accidents in USAEC facilities, TID-5360 (Suppl. 3)
- 21) U. S. Atomic Energy Commission; A summary of industrial accidents in USAEC facilities, TID-5360 (Suppl. 3) (Revised), (1961)
- 22) W. L. GINKEL et al; Nuclear incident at the Idaho Chemical Processing Plant on October 16, 1959.
- 23) J. W. ULLMANN, J. P. NICHOLS; Idaho Chemical Processing Plant criticality incident, Nucl. Safety 1 43 P75~77
- 24) U. S. Atomic Energy Commission; A summary of industrial accidents in USAEC facilities 1961~1962, TID-5360 (Suppl. 4) (1963)
- 25) R. C. PAULUS et al; Nuclear incident at the Idaho Chemical Processing Plant on January 25, 1961, IDO-10036 (1961)
- 26) J. P. NICHOLS; Idaho Chemical Processing Plant criticality incident of January 25, 1961, Nucl. Safety 3 42 P71~73
- 27) C. N. ZANGER; Summary report of accidental nuclear excursion Recuplex operation 234-5 facility, TID-18431
- 28) H. M. PARKER, C. E. NEWTON; The Hanford criticality accident: dosimetry techniques, interpretations and problems, BNWL-SA-6
- 29) A. R. KEENE; Radiation protection aspects of the Recuplex incident of April 7, 1962, HW-77295 (1963)
- 30) J. K. SOLDAT; Recuplex incident, April 7, 1962, emission of fission products from the 291-Z stack, HW-77345
- 31) D. CALLIHAN; Accidental nuclear excursion in Recuplex operation at Hanford in April 1962, Nucl. Safety 4 44 P136~144
- 32) J. A. AUXIER; Nuclear accident at Wood River Junction, Nucl. Safety 6 43 P298~301
- 33) 宮永一郎, 井上義教; 米國 Wood River Junction 核燃料回收工場における臨界事故,

- 日本保健物理協議会 = ュ - ス №17 P1~3 (1965)
- 34) HERBERT KOUTS et al; Report of the AEC technical review committee, Nov. 6, (1964)
 - 35) E. C. MALLARY et al; Neutron burst from a cylindrical untamped O₂ assembly, LA-1477 (1952)
 - 36) 原子燃料公社 安全管理室; 臨界管理参考資料(II) (1966)
 - 37) GORDON M. DUNNING; Nuclear safety in fallout situations, Nucl. Safety 4 №3 P 69~77
 - 38) DIXON CALLIHAN; Criticality excursion of November 10, 1961, ORNL-TM-139 (1962)
 - 39) U. S. Atomic Energy Commission; A summary of industrial accidents in USAEC facilities 1963~1964, TID-5360 (Suppl. 5) (1965)
 - 40) R. L. KATHREN, W. C. DAY, D. H. DENHAM, J. L. BROWN; Health physics following a nuclear excursion: The LRL incident of 26 March 1963, Health Physics 10 P183~192 (1964) or UCRL-7345
 - 41) 飯島敏哲; LRL における臨界集合実験装置の暴走について, 日本保健物理協議会 = ュ - ス №6 P7~9 (1963)
 - 42) R. W. PAINE; A study of an accidental radiation burst, LA-1289 (1951)
 - 43) R. O. BRITTAN et al; Technical review of ZPR-1 accidental transient the power excursion, exposures and clinical data, ANL-4971 (1953)
 - 44) W. B. LEWIS; The accident to the NRX reactor on December 12, 1952, AECL-232
 - 45) W. J. EDWARDS; Fission products release from the NRX 1952 accident, CRDC-1177 (1963)
 - 46) 日本原子力研究所 原子炉研修所; 基礎課程講義編 - 原子炉の安全対策, P241~245, JAERI-memo 第1793号 (1964)
 - 47) Yugoslavian criticality accident, October 15, 1958, Nucleonics 17 №4 April, 1959, P106, 154, 155, 156
 - 48) H. JAMMET et al, translated by T. L. SHIPMAN; Study of six cases of accidental acute whole-body irradiation, AEC-tr-3774
 - 49) A. D. CALLIHAN; Kidrich Institute accident, Nucl. Safety 1 №1 P38~40
 - 50) E. P. EPLER; Failure of Alize-1 reactor safety system, Nucl. Safety 5' №2 P172~173
 - 51) CAPTAIN A. NELSON; Some aspects of the WTR and SL-1 accidents, IDO-19308 (1963)
 - 52) AEC's PITTMAN reports on the SL-1 accident, Nucleonics 19 №3 March 1961, P62~69

- 53) Sequence of events related to the SL-1 incident at the NRTS Jan. 3 through 15, 1961, IDO-19302 section 2 P21~34 (邦訳 飯島徹哲; SL-1 原子炉事故後の防護活動について, 日本保健物理協議会ニュース 162, 1963, P14~24)
- 54) SL-1の事故, 1962年版原子力年鑑 P517~518
- 55) JOHN R. HORAN, C. WAYNE BILLS; Health physics at SL-1, Nucleonics 19 1612 Dec. 1961, P43~46
- 56) WM. B. COTTRELL; The SL-1 accident, Nucl. Safety 3 163 P64~74
- 57) VENUS accident; Nuclear Engineering 1967, Jan. P36~37
- 58) J. H. KITTEL, M. NOVICK, R. F. BUCHANAN; The EBR-1 meltdown physical and metallurgical changes in the core, ANL-5731 (1957)
- 59) E. P. EPLER; HTRE-3 excursion, Nucl. Safety 1 162 P57~59
- 60) U. S. Atomic Energy Commission; A summary of transportation incidents in atomic energy activities 1949-1956, AECU-3613 (1957)
- 61) D. E. PATTERSON, V. P. DEFATTA; A summary of incidents involving USAEC shipments of radioactive material 1957-1961, TID-16764
- 62) D. E. PATTERSON, A. MEHN; A summary of incidents involving USAEC shipments of radioactive material 1962, TID-16764 (Suppl. 1)
- 63) A summary of incidents involving USAEC shipments of radioactive materials, 1963~1964, TID-16764 (Suppl. 2) (1966)
- 64) T. J. COLVEN, G. M. NICHOLS, T. H. SIDDALL; TNX evaporator incident Jan. 12, 1953, DP-25 (1953)
- 65) BNL incident of May 1957, Nucl. Safety 2 161 P51~53
- 66) L. G. STANG; Some safety recommendations pertinent to hot laboratories, BNL-3641
- 67) E. A. PUTZIER; Plutonium hazards and accident experiences, RFP-621 (1965)
- 68) Metallic plutonium incidents, USAEC Accident and fire prevention information issue 1696 (1959)
- 69) L. J. KING, W. T. McCarley; Plutonium release incident of November 20, 1959, ORNL-2989
- 70) H. N. CULVER, W. B. COTTRELL; Plutonium release from the Thorex Pilot Plant, Nucl. Safety 1 163 P78~80
- 71) Translated by E. R. APPLEBY; Final report on the accident which occurred during a purification of plutonium on ion-exchanger resins June 26, 1962, in the radiochemical building of CNWFAR. July 26, 1963, HW-TR-78 (1964)
- 72) J. BARGHUSEN, A. A. JONKE; Rupture of plutonium anion-exchanger column

- at Fontenay-aux-Roses, Reactor Fuel Processing 7 №4 P303~304
(1964)
- 73) Burning plutonium chips explode in carbon tetrachloride degreasing bath, USAEC Serious accident issue №246 (1965)
- 74) Explosion within glovebox disperses contamination, USAEC Serious accidents issue №242 (1965)
- 75) Hazardous solvent use causes explosion in a glovebox, USAEC Serious accidents issue №261 (1966)
- 76) 原子力産業会議；原子力関係の金属の爆発事故，原子力海外事情 2 №2 P81~92
- 77) J. R. BUCHANAN, L. J. KING; Accidents in nuclear operation, Nucl. Safety 4 №4 P147~155
- 78) 榊原茂雄；再処理復旧作業(2)，高放射性物質取扱者訓練テキスト
- 79) Fires and accidents of interest, Living with radiation P141~176
- 80) 非常事故措置および事故の経験，日本保健物理協議会ニュース №10-11-12, P84~89 (1964)
- 81) 村主進；昭和33年9月16日に発生した冶金特研事故記録，日本原子力研究所東海研究所 (1958)
- 82) J. BARGHUSEN, A. A. JONKE; Incident in plutonium processing facility at Hanford, Reactor Fuel Processing 7 №4 P297~303 (1964)
- 83) J. R. BUCHANAN; PM-3 A nuclear power plant fire, Nucl. Safety 4 №3 P86~89
- 84) 武田良一，山岡義人，本島健次，高田稔，菊池栄助；廃棄物処理場におけるフード火災事故の原因調査報告，JAERI-memo 1784 (1964)
- 85) J. R. BUCHANAN; Hanford reactor incident, Nucl. Safety 4 №1 P103~107
- 86) P. BALLIGAND; Reactor incidents at Saclay, Nucleonics 18 №3 March 1960 P82~85
- 87) H. C. CLAIBORNE; Leak in the homogeneous reactor test core tank, Nucl. Safety, 1 №1 P15~16
- 88) J. W. GREENWOOD; Contamination of the NRU reactor in May, 1958, CRR-836 (1959)
- 89) A. F. RUPP; NRU reactor incident, Nucl. Safety 1 №3 P70~73
- 90) E. O. HUGHES, J. W. GREENWOOD; Contamination and cleanup of NRU, Nucleonics 18 №1 P76~80 (1960)
- 91) W. B. McDONALD, J. H. DEVAN; Sodium reactor experiment incident, Nucl. Safety 1 №3 P73~75
- 92) A. A. JARRETT et al; SRE fuel element damage - An interim report, NAA-SR-4488 (1959)

- 93) A. A. JARRETT et al; SRE fuel element damage - Final report, NAA-SR-4488 (Suppl.) (1961)
- 94) R. B. KORSMEYER; Westinghouse Testing Reactor incident, Nucl. Safety 2 №2 P70~73
- 95) J. R. BUCHANAN; Accidents in nuclear energy operations, Nucl. Safety 3 №4 P90~96
- 96) R. A. COSTNER; MTR fission-break incident, Nucl. Safety 4 №4 P144~147
- 97) A. L. COLOMB, T. M. SIMS; ORR fuel failure incident, Nucl. Safety 5 №2 P203~207
- 98) E. M. KING, E. L. LONG; BONUS superheater failure, Nucl. Safety 7 №1 P113~118
- 99) 電力中央研究所日本フェルミ炉委員会事務局; フェルミ炉の故障とその後の経過について, JFRCM-9010 (1967)
- 100) 電力中央研究所日本フェルミ炉委員会事務局; フェルミ炉の経過について, JFRCM-9011 (1967)
- 101) K. W. REID; The cobalt spill at NRX July 1958, IOI-158 (1958)
- 102) J. R. ENGEL; Abnormal events in operation of AE-6 water boiler research reactor, Nucl. Safety 4 №2 P102~105
- 103) O. H. KLEPPER; Vallecitos Boiling-Water Reactor operating experience through March 1960, Nucl. Safety 3 №1 P80~87
- 104) R. E. HEFFNER, T. R. WILSON, D. P. HALLS, W. W. HICKMAN, K. R. HOOPINGARNER; SPERT-III pressurizer vessel failure, IDO-16743, (1962)
- 105) L. E. KELLER, R. H. DAVIDSON; Hallam Nuclear Power Facility operating experience, Nucl. Safety 7 №2 P236-242
- 106) AEC Division of Reactor Development and Technology; Rupture-loop failure in plutonium recycle test reactor, Nucl. Safety 7 №2 P242-247
- 107) 原子力産業新聞第393号 (昭和42年7月15日) (1967)
- 108) 1. Kellogg radiation incident, 2. Windscale reactor accident, Nucleonics 15 №12, December 1957, P41~43 および P89~91
(2.の邦訳: 原子力資料 №20, 昭和33年1月 P6~21, 原子力産業会議)
- 109) Massive contamination revealed in Mexico, Nucleonics 17 №7 July, 1959, P26
- 110) N. B. GARDEN, CARROLL DAILEY; High-level spill at the Hilac, UCRL-8919 (1959)
- 111) OSCAR SISMAN; High-level spill at the Hilac, Nucl. Safety 1 №4 P88~89

- 112) W. B. COTTRELL; ORNL Incident of April 1960, Nucl. Safety 2 №1 P53~55
- 113) 放射線事故に関するシンポジウム報告, 京都大学原子炉実験所 KURRI-TR-34
- 114) 日本原子力研究所保健物理安全管理部安全対策課資料
- 115) 皆川洋二; 六弗化ウラン飛散事故について, 日本保健物理協議会ニュース №22 (1966)
- 116) 桂山幸典; 汚染事故とその対策, 日本放射性同位元素協会ニュース, №141, (1966)
- 117) 江藤秀雄; プルトニウム配分作業時に起った指先刺傷事故とその措置について, 保健物理 2 №1 P116~120 (1967)
- 118) 原 梯二郎; プルトニウムによる皮膚汚染例について, 保健物理 2 №3 P146 (1967)
- 119) P. B. VERNON, R. M. HALL, G. A. PODA; Monitoring, decontamination, and bio-assay of a plutonium-contaminated injury, DPSPU 63-30-5 (1963)
- 120) H. N. CULVER; Activity releases at Oak Ridge National Laboratory, Nucl. Safety 1 №4 P83~88
- 121) 宮永一郎; Windscale 第1号炉の事故について - 特にその環境汚染について -, 公衆衛生 第23巻 第8号 P465~470 (1959)
- 122) W. L. MARTER; Radioiodine release incident at the Savannah River Plant, DPSPU 63-30-26 B (1963) or Health Physics 2 P1105~1109
- 123) V. D. G. 建家のトリチウム・ガス異常放出について, 安全ニュース臨時号 №1 June 1967 および №2 June 1967 (1967), 日本原子力研究所東海研究所安全対策課
- 124) V. D. G. トリチウム・ガス異常漏洩の改善具体策について, 安全ニュース №10, July - Aug. 1967 P14~15, 日本原子力研究所東海研究所安全対策課
- 125) LA A. MANN; Source incident at Nevada Test Site, Nucl. Safety 3 №1 P90
- 126) C. D. CAGLE; Radiation incident at the ORNL Multicurie Fission-Product Pilot Plant, Nucl. Safety 2 №2 P73~75
- 127) W. D. BURNETT, H. L. RARRICK, G. E. TUCKER; Van de Graaff electron beam exposure at Sandia Corporation, Nucl. Safety 4 №4 P155~157 (1963)
- 128) J. C. BRESEE; Redox multipurpose dissolver incident, Nucl. Safety 2 №4 P52~55
- 129) AGR での事故; 海外事情 2 №1 P38~39, 日本原子力産業会議
- 130) RUDOLF GRABIGER, OTTO NEHRKORN; Radiation damage to the right hand as the result of an industrial accident, AEC-tr-6521 (1964)
- 131) D. R. McFEE, H. V. RHUDE; Cutting wheel residues in plutonium waste causes explosion, Health Physics 10 P757~760 (1964)
- 132) Cutting wheel residues in plutonium waste explosion, USAEC Serious accident issue No. 258 (1965)
- 133) 大西武, 南賢太郎, 小岸美雄, 佐藤信之, 村田幹生; 原子力施設の事故概要, JAERI-memo 第3233号 (未印刷) (1968)

ラジオアイソトープ研修所専門課程

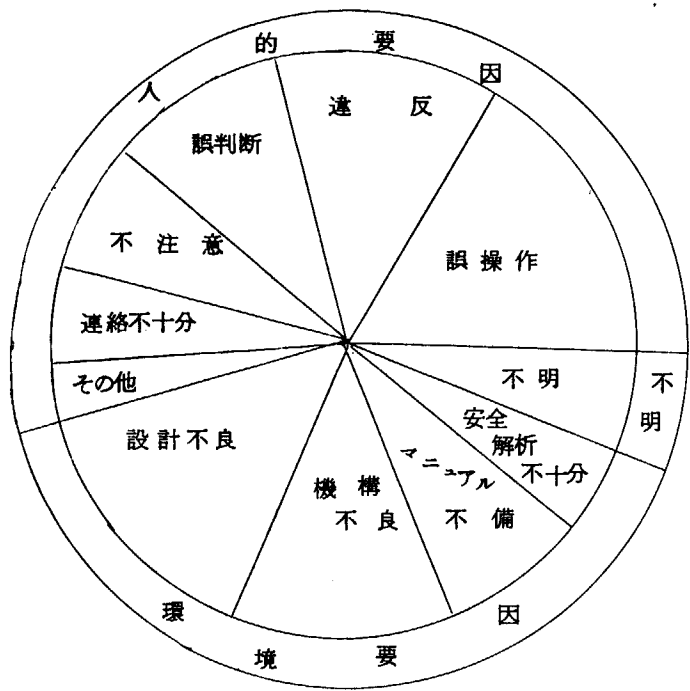
(RIの工業への利用コース)

講義	義 (28単位)	2単位	濱田	達二	1単位	加藤	正夫
放射線概論		2	伊藤	岳郎	1	佐野	博敏
放射線測定器と測定法		3	村上悠紀雄		1	坂岸	昇吉
工業利用とアイソトープ		2	瑞穂	満	1	山中	和
放射線測定回路		1	三輪	博秀	1	山	
計測および工程管理		2	篠原	健一	1	石河	寛昭
放射線源		1	重松	友道	5	野口	正安
放射線照射技術		1	榎本	茂正	3	瑞穂	満
RIと蛍光X線		1	大野	明	3	大野	明
密封線源取扱法		1	藤井	正一	3	佐々木	吉方
RIの遮蔽と照射施設		1	小林	久信	5	大塚	敏
中性子測定法		1	大野	明	4	小林	久信
ラジオグラフィ		1	友田	宜忠	2	田中	高彬
オートラジオグラフィ		1	大塚	敏	5	坂東	昭次
放射線利用機器		1	小林	昌敏	5	小林	昌敏
野外におけるトレーサー利用		1	平山	達	5	和田	延夫
RIの化学工学への応用		1	松山	晃	5	小林	昌敏
食品照射		1	飯島	弘	5	富永	洋
RIの金属への利用		1	有泉	昌	5	放射線の測定	
RIの土木工学への利用		1			5	放射線の測定	

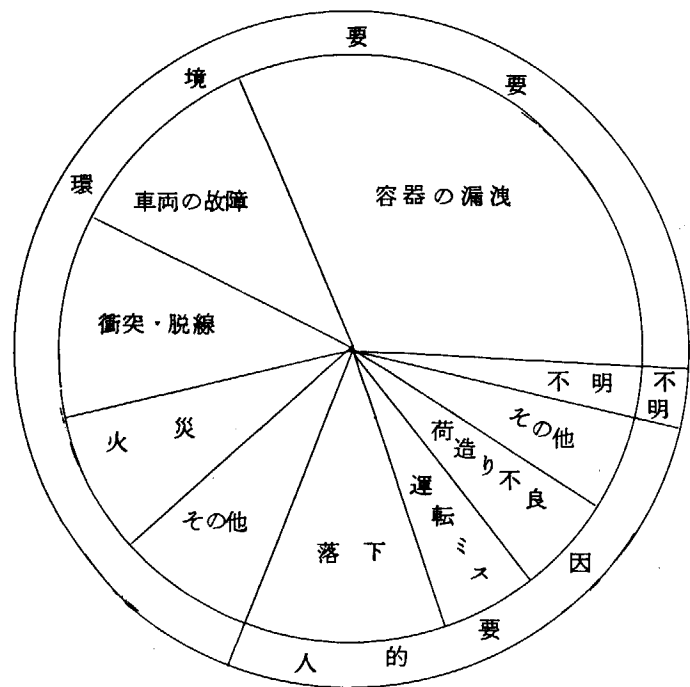
実験 (50単位)

G-Mカウンター	5	石河	寛昭
シンチレーションカウンター (I線スペクトロメーターを含む)	5	野口	正安
レートメーター	3	瑞穂	満
ラジオグラフィ	3	大野	明
オートラジオグラフィ	3	佐々木	吉方
厚さ計, 水位計, 水分計に関する実験	5	大塚	敏
中性子測定実験	4	小林	久信
ドオジメトリ・サーベイング	2	田中	高彬
放射化分析 (於 東海研究所)	5	坂東	昭次
中性子散乱実験 (logging)	5	小林	昌敏
励起X線分析	5	和田	延夫
		小林	昌敏
		富永	洋
放射性トレーサーによる流量, 流速, 希釈率の測定	5	放射線の測定	
		小林	昌敏

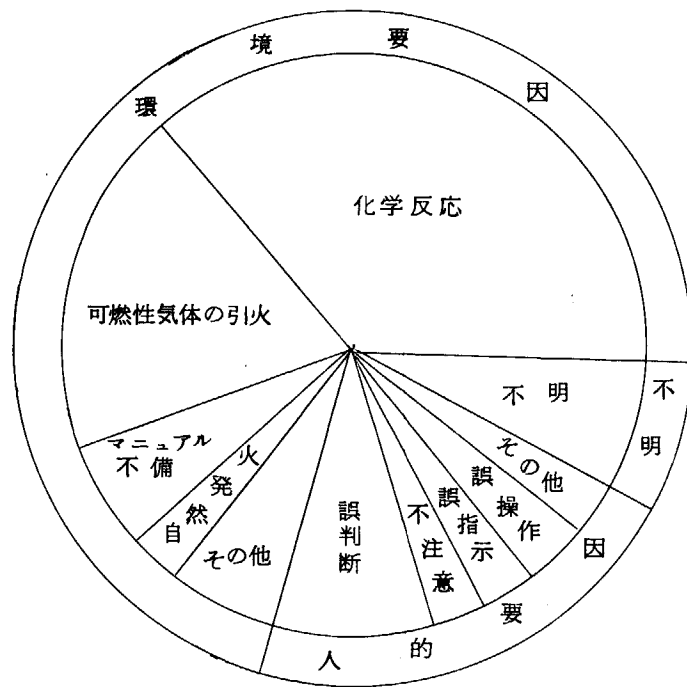
This is a blank page.



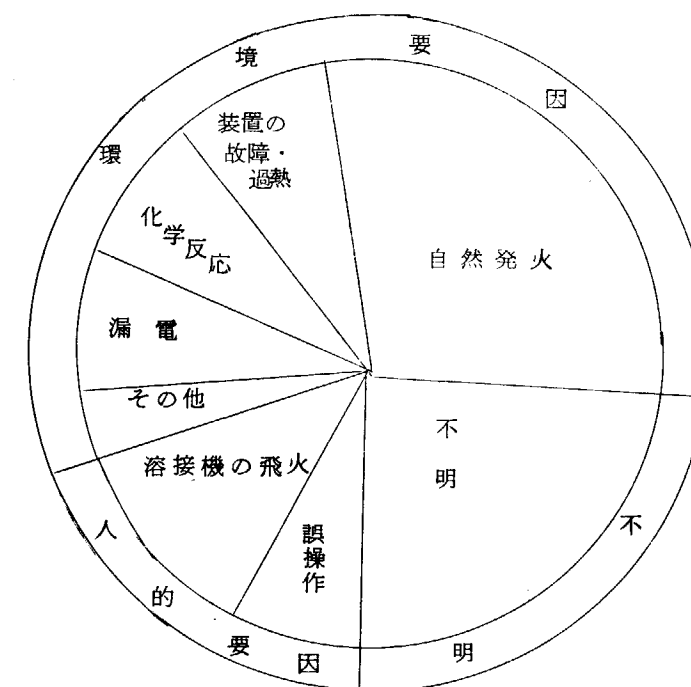
臨界事故 (33 例)



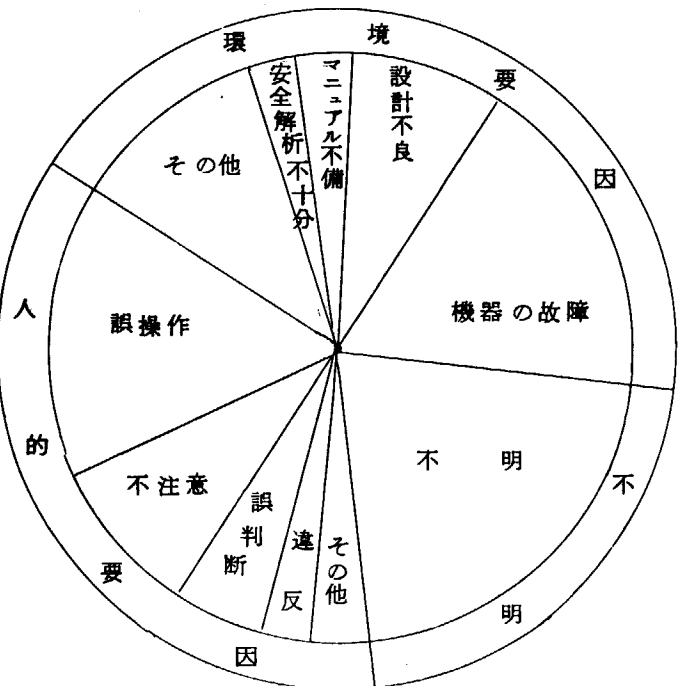
輸送中の事故 (36 例)



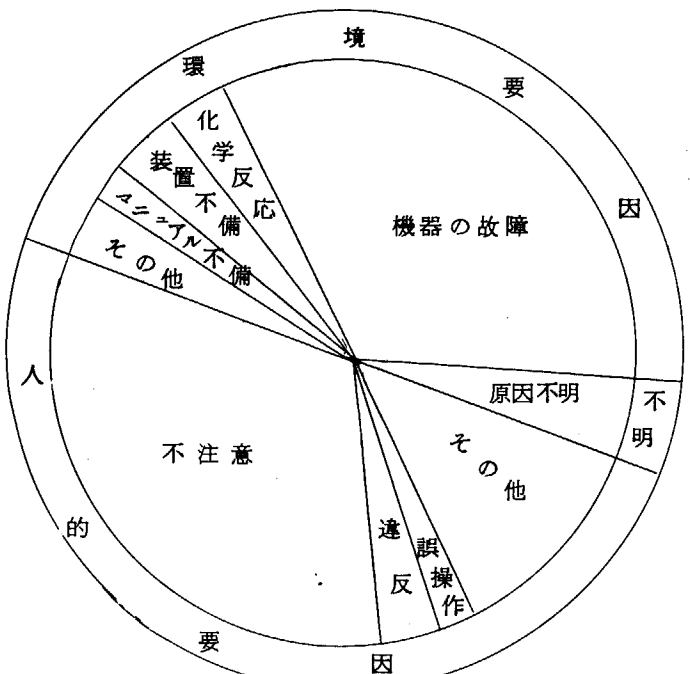
爆発事故 (22 例)



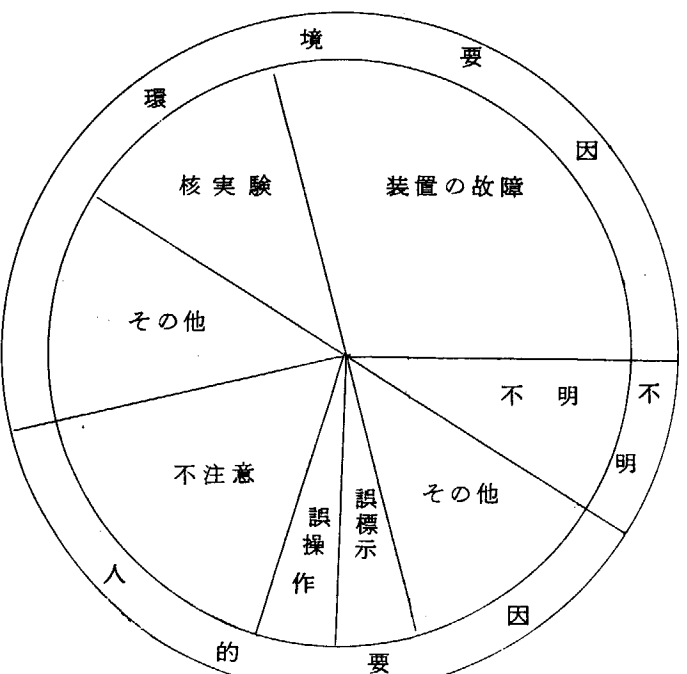
火災事故 (25 例)



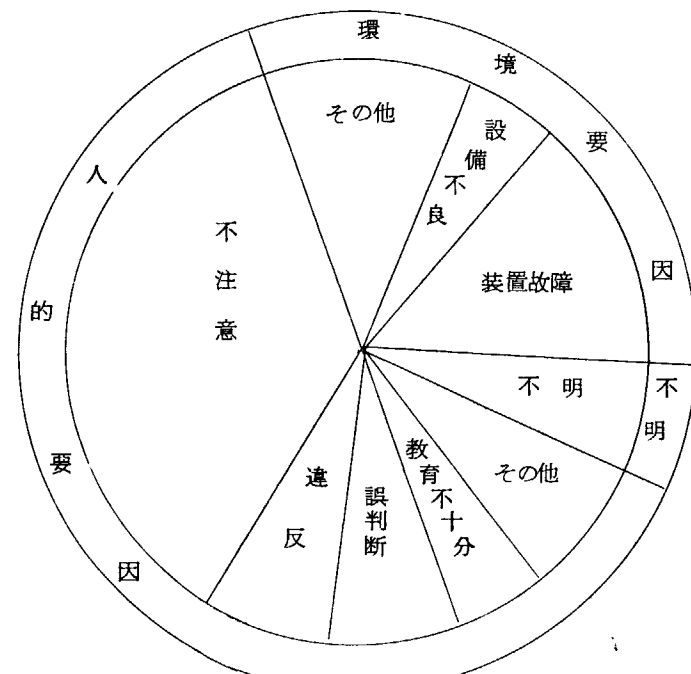
原子炉の事故 (30 例)



施設内の汚染事故 (51 例)



環境の汚染 (23 例)



被曝事故 (58 例)

Fig.1 Causes of Accidents