高速炉

表1　海外のプラントでのナトリウム漏洩件数

イギリス

ＤＦＲ（実験炉）	７件	*
ＰＦＲ（原型炉）	２０件	

フランス

Rapsodie（実験炉）	２件	*
Phenix　（原型炉）	２３件	
Super-Phenix（実証炉）	３件	

ドイツ

ＫＮＫ-Ⅱ　（実験炉）	２１件
ＳＮＲ-300（原型炉）	１件

旧ソ連

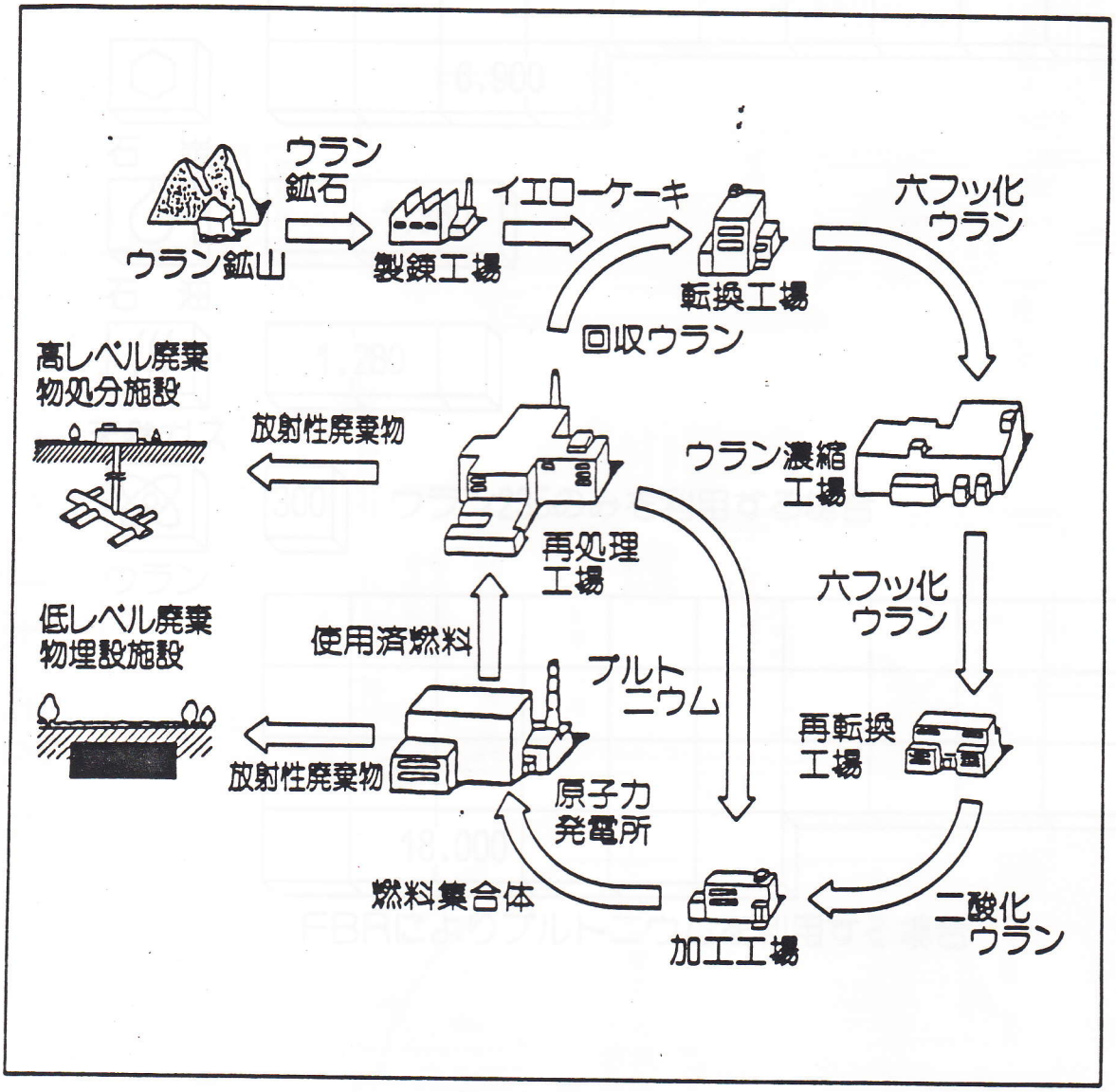
ＢＲ-10　（実験炉）	１９件
ＢＮ-350（原型炉）	１５件
ＢＮ-600（原型炉）	２７件 *

合　計　１３８件

注：ＤＦＲはNaK使用
　　アメリカの事例は未確認

＊印は一次系漏洩が明確になったものを含む

図1 原子燃料サイクル


ウラン
鉱石
ウラン鉱山
製錬工場
イエローケーキ
転換工場
六フッ化
ウラン
回収ウラン
高レベル廃棄
物処分施設
放射性廃棄物
ウラン濃縮
工場
再処理
工場
六フッ化
ウラン
低レベル廃棄
物埋設施設
使用済燃料
プルト
ニウム
再転換
工場
放射性廃棄物
原子力
発電所
燃料集合体
二酸化
ウラン
加工工場

世界の原子力発電設備容量

－１９９５年６月末現在－

（単位：万ｋＷ，グロス電気出力）

順位	国名	運転中 出力	運転中 基数	建設中 出力	建設中 基数	計画中 出力	計画中 基数	合計 出力	合計 基数
1	米国	10,474.1	109	121.1	1			10,595.2	110
2	フランス	5,979.3	55	730.0	5	303.0	2	7,012.3	62
3	日本	4,053.1	49	499.7	5	165.0	2	4,717.8	56
4	ドイツ	2,392.0	21					2,392.0	21
5	ロシア	2,125.6	26	540.0	6	749.6	13	3,415.2	45
6	カナダ	1,669.9	22					1,669.9	22
7	英国	1,291.5	34	125.8	1	486.4	4	1,903.7	39
8	ウクライナ	1,288.0	14	600.0	6			1,888.0	20
9	スウェーデン	1,036.9	12					1,036.9	12
10	韓国	861.6	10	510.0	6	400.0	4	1,771.6	20
11	スペイン	740.0	9	381.0	4	104.0	1	1,225.0	14
12	ベルギー	580.9	7					580.9	7
13	台湾	514.4	6			260.0	2	774.4	8
14	ブルガリア	376.0	6					376.0	6
15	スイス	317.5	5					317.5	5
16	リトアニア	300.0	2					300.0	2
17	フィンランド	240.0	4					240.0	4
18	中国	210.0	3	120.0	2	1,397.0	14	1,727.0	19
19	インド	195.5	10	188.0	6	188.0	6	571.5	22
20	南アフリカ	193.0	2					193.0	2
21	ハンガリー	184.0	4					184.0	4
22	チェコ	176.0	4	194.4	2			370.4	6
23	スロバキア	174.0	4	176.0	4			350.0	8
24	メキシコ	135.0	2					135.0	2
25	アルゼンチン	100.5	2	74.5	1			175.0	3
26	スロベニア	66.4	1					66.4	1
27	ブラジル	65.7	1	261.8	2	811.2	6	1,138.7	9
28	オランダ	53.9	2					53.9	2
29	カザフスタン	15.0	1					15.0	1
30	パキスタン	13.7	1	32.5	1			46.2	2
31	ルーマニア			330.0	5			330.0	5
32	イラン			229.3	2	152.0	4	381.3	6
33	キューバ			88.0	2	176.0	4	264.0	6
34	トルコ					274.6	3	274.6	3
35	エジプト					187.2	2	187.2	2
36	タイ					100.0	1	100.0	1
37	イスラエル					55.0	1	55.0	1
合計		35,823.5	428	5,202.1	61	5,809.0	69	46,834.6	558

注１：　順位は運転中の設備容量順を原則とし，順次，建設中および計画中の容量順とした。

表4.1　液体金属の熱的性質——軽水との比較

	ナトリウム Na	カリウム K	NaK (Na 22%, K 78%)	水銀 Hg	軽水 H_2O
温度 t〔℃〕	300	300	300	300	300
圧力 p〔atm〕	1.00	1.00	1.00	1.00	87.61
密度 ρ〔kg/m³〕	880	770	809	12,880	713
比熱 Cp〔kcal/kg·℃〕	0.316	0.185	0.212	0.0323	1.36
粘度 μ〔kg/m·sec〕	3.43×10^{-4}	2.45×10^{-4}	2.82×10^{-4}	9.51×10^{-4}	0.92×10^{-4}
動粘性係数 ν〔m²/sec〕	0.392×10^{-6}	0.318×10^{-6}	0.349×10^{-6}	0.0738×10^{-6}	0.129×10^{-6}
熱伝導率 k〔kcal/m·h·℃〕	60.0	35.0	22.0	11.9	0.340
熱伝導率 * h〔kcal/m²·h·℃〕	92,400	48,563	43,725	45,850	32,340

* $u=5$ m/sec, $d_e=0.8$ cm の場合
計算式　液体金属 $Nu=7+0.025Pe^{0.8}$，軽水 $Nu=0.023Re^{0.8}Pr^{0.4}$

する腐食性は非常に小さく，材料共存性がよい．

（5）値段が比較的安い．

（6）比重は1以下で軽く，ポンプ動力が少なくてすむ．

（7）電気伝導度が高いので，電磁ポンプが使用できる．

これに対して欠点としては，

（1）化学的に活性であり，とくに水，空気と反応するので漏洩対策を講じておく必要がある．

（2）常温で固体なので系統には予熱装置が必要である．

表4.3　ナトリウムの化学反応性

対物	ナトリウム
酸素	活性大
窒素	無反応
水素	300℃ 以上では活性大
水	反応大
炭素	反応し Na_2C_2 生成
アンモニア	反応し $NaNH_2$ を生成
一酸化炭素	液体アンモニア中以外ではカルボニルを生成せず
炭酸ガス	反応
ハロゲン：	
フッ素	発火
塩素	反応
臭素	緩慢に反応
ヨウ素	反応せず
硫酸濃	かなり激しく反応
（冷）薄	非常に激しく反応

表4.2　ナトリウムの物性

Na	原子番号	11	融解の体積膨張　2.5%
			融解の潜熱　27.05 cal/g
	原子量	22.9898	蒸発の潜熱　1005 cal/g

物性	温度（℃）	Na
融点（℃）		97.83
沸点（℃）		882.9
蒸気圧 (mmHg)	97.81	8.65×10^{-8}
	300	1.37×10^{-2}
	400	3.54×10^{-1}
	500	3.91
	600	24.4
密度 (g/cm³)	20	0.9684(s)
	97.81	0.9514(s)
	97.81	0.9270
	100	0.9265
	300	0.8805
	500	0.8331
	600	0.8089
粘度 (CP)	100	0.682
	300	0.340
	500	0.239
	600	0.212
比熱 (cal/g·℃)	25	0.2920(s)
	97.8	0.3258(s)
	100	0.3305
	300	0.3116
	500	0.3015
	600	0.2998
熱伝導度 (cal/cm·sec·℃)	100	0.205
	300	0.182
	500	0.159
	600	0.147
誘導放射能		^{22}Na 2.58 y β^- 0.542 MeV γ 1.277 MeV ^{24}Na 15.0 h β^- 1.394 MeV γ 1.368 MeV 2.754 MeV