

液体ナトリウム取扱い安全指針

1968 年 12 月

日本原子力研究所

Japan Atomic Energy Research Institute

日本原子力研究所は、研究成果、調査結果の報告のため、つぎの3種の研究報告書を、それぞれの通しナンバーを付して、不定期に公開しております。

- | | | |
|-----------------|----------------------------------|-----------------|
| 1. 研究報告 | まとまった研究の成果あるいはその一部における重要な結果の報告 | JAERI 1001-3999 |
| 2. 調査報告 | 総説、展望、紹介などを含め、研究の成果、調査の結果をまとめたもの | JAERI 4001-4999 |
| 3. 年報、プログレスレポート | | JAERI 5001-5999 |
| 4. 資料 | 研究成果の普及、開発状況の紹介、施設共同利用の手引など | JAERI 6001-6999 |

このうち既刊分については「JAERI レポート一覧」にタイトル・要旨をまとめて掲載し、また新刊レポートは「研究成果要旨集」でその都度紹介しています。これらの研究報告書に関する頒布、版權、複写のお問合せは、日本原子力研究所技術情報部（茨城県那珂郡東海村）あてお申し越しください。

Japan Atomic Energy Research Institute publishes the nonperiodical reports with the following classification numbers:

1. **JAERI 1001-3999** Research reports,
2. **JAERI 4001-4999** Survey reports and reviews,
3. **JAERI 5001-5999** Annual reports and progress reports,
4. **JAERI 6001-6999** Information and Guiding Booklets.

Any inquiries concerning distribution copyright and reprint of the above reports should be directed to the Division of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, Japan

液体ナトリウム取扱い安全指針

要 旨

本報告は、高温ナトリウムの安全な取扱いの指針をあたえるものとして作製されたものである。内容は Na の物性および化学反応性；取扱法すなわち輸送，貯蔵，充填法等；ナトリウム施設の安全対策すなわち建屋，安全設計基準，事故対策，保守，修理法等；ナトリウム汚染機器洗浄法；火災対策；人体防護；事故例等が含まれている。なお，附録として危険物取扱法規の関連部分抜粋をのせてある。

1968年9月

日本原子力研究所 ナトリウム研究室
安全工学協会 ナトリウム防災研究委員会

Safety Guide-Book of Liquid Sodium Handling

Summary

This is the safety guide book for the handling of high temperature sodium, which includes the following contents : Properties and chemical-reactivities of sodium ; Handling techniques (transportation, storage, charging) ; Safety measures of sodium facilities (building, safety design criteria, measures of accidents, maintenance and repair) ; Recleaning of sodium-contaminated components ; Fire-fighting ; Human protection and so on. As an addendum, the relating parts of the Japanese governmental laws are also presented.

Sept. 1968

Sodium Technology Laboratory,
Tokai Research Establishment, JAERI

Committee of Sodium Hazard Study,
Japan Society for Safety Engineering

まえがき

わが国における高速増殖炉の実用化は、約20年後と予測されているが、その冷却材としての液体ナトリウムの技術開発は、最初に日立製作所、次いで日本原子力研究所東海研究所ナトリウム研究室においてすすめられ、その安全対策についても研究室内のみでなく、所外に対しても、いくつかの委託研究、調査が行なわれてきた。昭和42年6月には日本原子力研究所より安全工学協会に対して、「液体ナトリウム取扱い安全指針」の立案編纂の委託がなされた。安全工学協会においては、この目的のために協会理事北川教授を中心に付表のような原子炉の研究および製造、金属ナトリウムの製造、消火保安用品の製造、損害保険および安全工学界の関係諸専門家によって組織されるナトリウム防災研究委員会を設置した。

ナトリウム防災研究委員会は、主としてナトリウム研究室で用意された原案を中心として昭和42年6月の準備会を始めとし、合計8回の委員会討議、およびナトリウムの燃焼実験を行ない、昭和43年5月までにこの安全指針書を取りまとめた。なお、付録として危険物取扱い関係法規抜粋を添えてある。

目 次

緒 言	(北川 徹三)...	1
1. ナトリウムの物性とその反応性	(古川 和男)...	2
1.1 一般的性質	(古川 和男)...	2
1.2 ナトリウム-空気(酸素)反応	(秋田 一雄)...	2
1.3 ナトリウム-水(水蒸気)反応	(古川 和男)...	3
1.3.1 ナトリウム-水の反応式	...	3
1.3.2 ナトリウム-水反応に影響を与える因子	...	4
1.3.3 水蒸気爆発	...	5
1.4 ナトリウムとその他の化合物との反応	(左右田信一)...	5
1.5 Na と NaK の差異	(古川 和男)...	6
1.6 主要反応生成物の性質	(古川 和男)...	7
1.7 人体への影響	(左右田信一)...	7
2. ナトリウムの取扱い法	(古川 和男)...	8
2.1 ナトリウム地金	(古川 和男)...	8
2.2 固形ナトリウムの取扱い	(松尾直方)...	8
2.3 輸 送	(松尾直方)...	8
2.3.1 包装容器	...	8
2.3.2 輸送上の注意	...	8
2.4 貯 蔵	(松尾直方)...	9
2.4.1 一般屋内貯蔵倉庫の場合	...	9
2.4.2 大規模貯蔵の場合	...	9
2.5 充 填	(山田 栄吉)...	9
2.5.1 装置への充填	...	9
2.5.2 ループへの充填	...	10
3. ナトリウム施設の安全対策	...	11
3.1 ナトリウム取扱い建家とナトリウム処理室	(菊池 栄助)...	11
3.1.1 ナトリウム取扱い建家	...	11
3.1.2 ナトリウム処理室	...	11
3.2 ナトリウム装置用構造材料の選択	(古川 和男)...	11
3.3 ナトリウム装置設計上の安全対策	(古川 和男・渡辺 崇)...	12
3.3.1 機器、配管設計上の安全対策	...	12
3.3.2 計測系設計上の安全対策	...	14
3.3.3 運転上の安全対策	...	14
3.4 緊急時の対策	(古川 和男)...	15
3.4.1 漏洩検出および保護装置	...	15
3.4.2 ナトリウム漏洩事故時の緊急措置	...	15
3.4.3 停電時等の対策	...	15
3.5 装置の保守、修理上の安全対策	(古川 和男)...	15
3.5.1 一般対策	...	15
3.5.2 修理作業上の安全対策	...	15
4. ナトリウム汚染機器洗浄法	(古川 和男・山田 栄吉)...	17
4.1 方法の選択	...	17
4.2 空気中での水蒸気洗浄	...	17
4.3 不活性ガス中での水蒸気洗浄	...	17
4.4 アルコール洗浄	...	18
4.5 その他の洗浄法	...	18

4.5.1	高温度オイル洗浄	18
4.5.2	液化アンモニア洗浄	18
4.5.3	低温合金による洗浄	18
4.5.4	布などによる洗浄	18
4.6	注意事項	18
4.6.1	水洗	18
4.6.2	サンドブラスト	19
5.	火災対策	20
5.1	火災対策の原則	(左右田信一) 20
5.2	ナトリウム火災の消火方法	20
5.2.1	消火の原理	(左右田信一) 20
5.2.2	消火剤(付, 実施例)	(古川和男・山田栄吉) 20
5.2.3	ブランケット	(古川和男・山田栄吉) 21
5.2.4	真空吸引器	(古川和男・山田栄吉) 21
5.2.5	不活性ガスの使用	(古川和男・山田栄吉) 21
5.3	人体への防護	(浜野 治) 21
5.4	爆発防護	(左右田信一) 22
5.5	事後処理	(左右田信一) 23
5.6	消防隊の組織, 教育, 訓練	(左右田信一) 23
6.	人体防護	(古川和男・山田栄吉) 24
6.1	作業員の訓練	24
6.2	防護具	24
6.2.1	身体の保護	24
6.2.2	目および顔面保護	24
6.2.3	頭部および呼吸器保護	24
6.2.4	手の保護	25
6.2.5	足の保護	25
6.3	救急用具類	25
6.4	救急処置	25
7.	事故例	(山田栄吉) 26
文 献		26
あとがき		26
付表	安全工学協会ナトリウム防災研究委員会構成	27
付録	危険物取扱い関係法規抜粋	28
	消 防 法	28
	危険物の規制に関する政令	28
	危険物の規制に関する自治省令	32

緒 言

金属ナトリウムは、熱伝導性、電気伝導性などの金属的性質と強力な還元剤としての化学的性質を備えているので、近時その用途はつぎのように拡大されつつある。

(1) ナトリウムは、融点 97.8°C および沸点 883°C の広い範囲内で液状態をとるので常圧系として取扱い得る上に、金属としての高い熱伝導性を有するほか、中性子吸収断面積が小さい利点があるため、高温の液体ナトリウム原子炉の熱媒体として使用する高速増殖炉の開発が進められている。

(2) ナトリウムは、金属としての電気伝導性が高い上に、極めて軽い金属であるがため、ナトリウムを送電線の導電材料として使用すると、銅またはアルミニウムを用いるよりも経済的となる。ナトリウムの化学反応性を避けるためポリエチレン材料で被覆をおこなった電線が実用化されようとしている。

(3) 超音速航空機の製作に必要な金属チタニウムの製造、液体燃料に添加するアンチノック剤としてのアルキル鉛の製造、電気自動車の動力用電池としてのナトリウム・イオン電池の製造などのほか、化学工業用原料としての用途が増加しつつある。

しかるに一方において、ナトリウムは、これら多くの利点を有する外に、水、水蒸気、空気、酸素、ハロゲン化合物などとはげしい発熱反応をおこない、その反応生成物は人体に対する腐食性を有するので、ナトリウムを取扱う際には、ナトリウムのもつこれらの危険性を十分に理解し、あらかじめ危険防止の対策を講じなければならない。したがって、将来ナトリウムの需要が著しく大きくなるにつれて、大量のナトリウムを安全に取扱う技

術の確立が急がれている。

上にあげたナトリウムの諸用途のうち、とくに(1)は多量の高温度の液体ナトリウムをループ内を循環させながら使用する特徴があり、他の(2)、(3)などの用途と異なった安全対策を考える必要がある。また現在は、動力用原子炉の冷却材としての用途に限られているので、とりあえずこの目的のために、とくに液体ナトリウムの取扱いに関する安全指針を立案編集することになった。この「液体ナトリウム取扱い安全指針」が、わが国の重要課題である高速増殖炉の開発および運転に際して、ナトリウムによる危険防止のため貢献し得るならば幸である。

しかし将来は、液体ナトリウムが、原子炉冷却材としてだけでなく、広く他の熱媒体としても使用されるであろうし、またナトリウムを液状として配管輸送することも考えられるので、この液体ナトリウムの安全指針は、それらの方面にも利用されるであろう。

放射性ナトリウムについては、一般の放射性物質に対する安全対策に準ずることとし、この安全指針では省略した。なお、一般の固体ナトリウムの安全取扱いに関しては、日本化学会編、金属ナトリウム防災指針を参照せられたい。

この液体ナトリウム取扱い安全指針は、現在のわが国の知識と技術を基礎にして編纂せられたもので、決して完成されたものと言うことはできない。今後の実際的経験と研究成果とをとり入れ、将来、補足改訂を経て十分に満足すべき安全指針が編集されることを期待して止まない。

1. ナトリウムの物性とその反応性

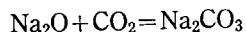
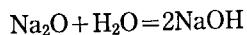
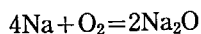
1.1 一般的性質

Na の物理的性質の一部を第1表に示したが、Na が高速増殖炉冷却材として最適と考えられる理由は、熱伝導がよいばかりでなく、好適な液体温度範囲（融点 97.8°C 、沸点 883°C [1atm]）のため常圧系として使えること、金属元素中でも周期律表の左端という特異性から18—8系ステンレス鋼を含めて耐熱金属材料のほとんどと溶け合わず共存性がよいこと、U, Pu 金属やセラミック燃料とも共存性がよいこと、稀ガス以外の主要な核分裂生成物をよく捕えて離さず安全上有利でまた安価であり、軽く（比重は 10°C 、 500°C でそれぞれ0.97, 0.83）、また軟かい金属（硬いチーズ程度）であるということ等が長所といえよう。

Na は稀ガスおよび窒素ガス以外のほとんどすべてのガスおよび液体（炭化水素は例外）と反応する。とくに酸素、ハロゲン、水素等を含んだ化合物とは爆発的に反応することがあるので、「消防法」、「危険物の規制に関する政令」により、危険物（第3類）に指定され指定数量5 kg 以上を取扱うには「危険物の規制に関する規則」（自治省令）がもうけられている。しかし、高温 Na の取扱いには十分なものではない。

1.2 ナトリウム—空気（酸素）反応

固体 Na は通常の状態では、空気中の酸素、水蒸気、炭酸ガスとは、次のような反応をおこし、酸化ナトリウム、水酸化ナトリウム、炭酸ナトリウムなどから成る表面皮膜を生ずる。

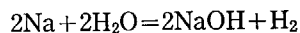


したがって、Na はその皮膜により空気を隔離されているので、常温では急激な反応は起こらない。しかし、温度が上ってこの皮膜が溶融するか、または温度の上った状態で被覆が何等かの方法で取除かれると、Na が直接空気と接触する結果、活発な反応をおこし、条件いかんでは発火にいたる。

それゆえ、固体 Na の発火温度はこの皮膜の除かれ方に左右されて一定せず、その融点 97.8°C 以上で発火の可能性があるが、固体が蒸気から凝縮したり、液滴の状態で放出されたときのように微粒子の場合には、反応熱による温度上昇のため、さらに低い温度（常温）でも発火する。これに対して、皮膜が存在する場合には、そ

の融点以下では発火は起こらない。炭酸ナトリウム、酸化ナトリウム、水酸化ナトリウムからなる皮膜の融点はその組成により多少変るが炭酸ナトリウムの含有率が30%以内のときには $280\sim 290^{\circ}\text{C}$ の範囲にあるから、実際上皮膜のある場合の Na の発火温度は $280\sim 290^{\circ}\text{C}$ となる。そこで、このことは Na が空気中の微量の水蒸気や炭酸ガスと容易に反応を起こして水酸化ナトリウムや炭酸ナトリウムとなることから、実験室などにおいてとくに乾燥した空気を使用しない限り、通常 conditions に適用できるものである。

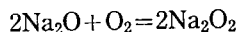
次に発火にいたる過程については、比較的乾いた空气中で Na を加熱してゆくと、表面は次第に金属光沢を失なって灰白色になるが、さらに加熱を続けると、前記の融点 $280\sim 290^{\circ}\text{C}$ 前後で Na 面は露出し、直に発火する。一方、湿った空気中においては、前記の三つの式のほか



の反応で水素ガスを発生するため、Na は膨潤し、多くの場合表面に沢山の凹凸をもった形状となる。しかし、その後の挙動は乾いた空気の場合と変らない。さらに Na を水中に投入すると量が多い場合、烈しい爆発をするが、これは上の式にもとづいて生じた水素と空気の可燃性混合気体が生じ、それが(1), (2), (4)などの反応の結果発生した熱により水面で爆発するものとみられる。

なお、雰囲気は空気ではなく酸素の場合も発火過程は似たものと考えられるが、純酸素でも水分をまったく含まない場合には、発火は容易に起こらないとも言われている。また、乾燥した窒素中では 500°C 以上に加熱しても発火しないが、このとき表面皮膜は暗褐色から紫色になる。

次に Na が発火した後は、生じた火災からの熱により次々に蒸発し、その蒸気は空気と混って拡散燃焼する。しかし Na の蒸気圧は、液体などにくらべて低いので火災は短かく、また燃焼に伴って生じた酸化ナトリウムの白煙を作るが、さらに、この酸化物はもし空気が十分にあれば



の反応にもとづいて過氧化物となるから、燃焼時に生ずる煙には両者が混っていることになる。いずれも刺激臭をもち、また人体に有害である。なお、燃焼して液面に生成した酸化物は比重が大きい（約 2.3 g/cm^3 ）ので大部分は液底に沈む。

Na の燃焼形式は、燃焼時に Na が溶融状態にあるから、有機液体などと同じ一種の液面燃焼で、燃焼速度は

第1表 Na および NaK の物性

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

物 性	温 度 (°C)	Na	NaK-44 (56 ^W / ₀ Na, 44 ^W / ₀ K)	NaK-78 (22 ^W / ₀ Na, 78 ^W / ₀ K)
融 点 (°C)		97.83	19	-11
沸 点 (°C)		882.9	825	784
蒸 気 圧 (mmHg)	97.81	8.65×10^{-8}		
	300	1.37×10^{-2}		
	400	3.54×10^{-1}	1.56	2.90
	500	3.91	12.3	22.0
	600	24.4	61.7	96.0
密 度 (g/cm ³)	20	0.9684 (s)	0.905	0.867
	97.81	0.9514 (s)		
	97.81	0.9270		
	100	0.9265	0.886	0.847
	300	0.8805	0.838	0.799
	500	0.8331	0.790	0.751
	600	0.8089	0.766	0.727
粘 度 (CP)	100	0.682	0.557	0.475
	300	0.340	0.281	0.249
	500	0.239	0.200	0.179
	600	0.212	0.178	1.161
比 熱 (cal/g °C)	25	0.2920 (s)		
	97.8	0.3258 (s)		
	100	0.3305	0.2690	0.2248
	300	0.3116	0.2553	0.2122
	500	0.3015	0.2489	0.2088
	600	0.2998	0.2484	0.2092
熱伝導度 (cal/cm sec °C)	100	0.205	0.0617	
	300	0.182	0.0648	0.0620
	500	0.159	0.0675	0.0626
	600	0.147	0.0686	0.0618
誘導放射能		²² Na 2.58 y		
		β^+ 0.542 MeV	同 左	
		γ 1.277 MeV	お よ び	
		²⁴ Na 15.0 h	⁴² K 12.52 h	同 左
		β^- 1.394 MeV	β^- 3.55 MeV	
		γ 1.368 MeV	γ 1.53 MeV	
		2.754 MeV		

火災から Na 面への熱伝達に支配され、また表面温度は Na の沸点 883°C にまで上昇する可能性がある。一般に燃焼速度の数値は条件によって著しく変るから、正確なことはいえないが、大体の目安としては 100~300 mg/cm²·min 程度とみられ、さらに液体内の温度は下にいくほど指数関数的に減少している。

1.3 ナトリウム-水（水蒸気）反応

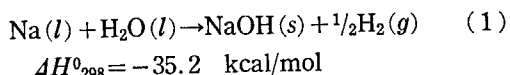
1.3.1 ナトリウム-水の反応式

Na と水との反応の特徴は、急激な発熱と、ガスの発生を伴ない、同時に腐食性のアルカリ性物質を生成することである。反応に際し、Na は反応熱のため溶融し、さらに一部は Na 蒸気になり、これが、水、水蒸気または空気中の酸素と急速に反応し多量の反応熱を発生す

る。同時に水素ガスを発生する。この水素ガスがさらに空気中の酸素と反応して爆発的に大きな燃焼熱を発生する。これらの反応の結果、高温度、高圧力を発生し、同時に腐食性のある反応生成物 (Na_2O , Na_2O_2 , NaOH など) からなる刺激性のヒュームを生成する。条件によってはデトネーションとなり衝撃波を生じ、装置や設備を破壊し、人間に対し有害作用をおよぼす。

1) 水との反応

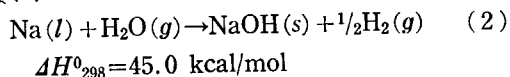
最も一般的な反応は次式で表わされる。これらは必ずしも当量の場合におこすのではなく、任意の割合で反応をおこす。



この反応の逆反応を起こすには、水素圧を 10^{50} atm 程度にする必要があるため、実際上は不可逆反応と見なしでよい。

2) 水蒸気との反応

水蒸気になっているときは次式に従う。激しい反応はおこさない。



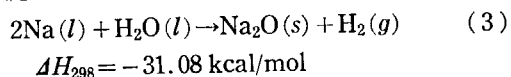
水蒸気は水分濃度が稀薄なので反応にあずかる水分量が限られているため、反応は Na 表面において比較的ゆるやかになめらかに進む。また水蒸気の層のために空気が直接 Na と接触することが妨げられている。この性質を利用して、Na やその酸化物で汚れている機器の洗浄には水蒸気を用いられている。

細かい噴霧状の水には、これと同じような性質がある。1lb (453.6g) の Na 塊を細かい水滴を含んだ湿った空気に 8 時間さらす実験がおこなわれた。この場合は煙も発生せず、爆発も起こらなかった。Na 水滴が小さいため、Na 表面での反応にあずかる水分量がうまく制御されて、反応速度は遅く、反応熱では Na は発火温度まで上げることができなかった。また生成した水素は急速に拡散してしまい、爆発可能な濃度には到らなかった。

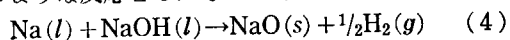
次いで、約 540°C の大量の Na 中に水滴をたらす実験がおこなわれた。Na の燃焼炎は一段と輝きを増したが激しい反応は見られなかった。これは水が水蒸気になり Na 表面まで到着し得ないということと、発生した水素が直ちに燃えて炎が輝くためである。

3) NaOH の融点 (318°C) 以上での反応

Na 過剰で NaOH の融点 (318°C) 以上では、次のような反応をする。

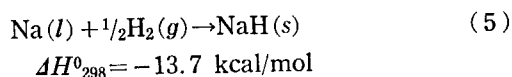


この反応は、前述の反応で生成した NaOH が溶融した後、次のような反応をしたものと考えられる。



4) 水素との反応

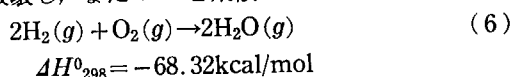
水素の圧力が水素化ナトリウム (NaH) の分解圧以上であるときは、Na は生成した水素と次のような反応をする。



Na と水との反応にあたり (1), (2) 式で予想されるほどの圧力増加がおきないのは、この理由による。

5) 酸素がある場合

生成した水素が、雰囲気中の酸素と爆発的に反応して装置を破壊し、また Na を飛散させる。



水素と空気との爆発性混合ガスの、最適混合比は空気中で水素 29.6% であり、常温における爆発下限界は 4% 上限界は 75% である。空気中に水素が 18% から 59% の範囲で混じるとデトネーションに移行しやすい。高温度では爆発範囲は拡大する。水素と酸素との反応エネルギーは比較的短時間 (ミリ秒の単位) に放出され、爆発音と衝撃波を生ずることもある。カバーガス中の酸素濃度が 5% 以下なら爆発、燃焼は起こらない。(第 1 図)

1.3.2 ナトリウム-水反応に影響を与える因子

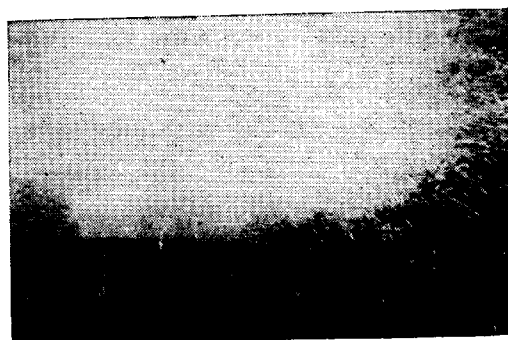
RICE らは大過剰の水と稀ガスを入れた容器中で、Na を反応させ、その圧力変化から反応時間を測定したら、数ミリ秒であったという。このように瞬間的な反応であるので、見掛け上の反応速度は Na の表面状態に基づく物理的状态に大きく影響される。

1) 反応接触面積

KING らは、種々の口径のノズルを用いて NaK を水中に流出させて、反応接触面積を調べた。ノズルからの流出速度が層流をなす程度では、接触面積は一定で反応は連続的に、順調におこなわれる。層流から乱流に変る遷移域では接触表面積が一定にならないため、圧力が急上昇している。それ以上流出速度が増加して乱流になると、水中にはいった直後に細滴に分散されて、接触面積は一定となり、反応はふたたび連続的に順調におこなわれる。

2) 圧力の効果

Na と水とが反応して生成する水素によって Na と水



第 1 図 固体 Na (約 50 g) と水の反応 (高温度の日)

との接触が断たれる。それ故圧力をかけていないと、連続的に、順調に反応が進まない。KING らはこの影響を調べるためにカバーガスとして窒素を用い、その圧力を変化させて、NaK と過剰の水との反応を調べた。カバーガスの圧力を常圧にしたときは、反応は不規則に進行して約 100kg/cm² 程度の高い圧力が現われた。しかし、初圧を 15kg/cm² 以上に高くすると反応は順調になり、高い圧力のピークは現われなくなった。

3) 反応熱の効果

Na と水の反応における反応熱は大きくて、条件によれば、反応後の温度は 100°C 以上に達する。SALMON はある仮定のもとに反応生成物の最終温度を理論的に計算して、定圧で 1580°C、定容で 1680°C を得ている。

ADAMS らによれば、熱交換器内の水が Na 中に漏れた場合にひきおこされる Na 系の温度上昇 ΔT (°C) は、水の漏洩速度を L (kg/sec)、漏洩時間を t (sec)、Na 量を W (kg) とすれば

$$\Delta T = 248 \left(\frac{L}{W} \right) t \quad (7)$$

で表わされるという。

一般に過剰の水の中に液体を注入しても、水の温度上昇は反応装置内の圧力下における水の沸点に制限されて高温になることはない。しかし、過剰の液体 Na の中に水が注入されると Na の温度は非常に高くなる。実験の結果によれば、反応後の温度は大部分が 540~930°C の間にあった。

4) 反応生成物

反応生成物である水素は気泡となって、前述のように反応物を引き離して反応速度を不均一なものにする。そのため攪拌を十分おこなえば反応は円滑に進む。また水素は空気と混合すると爆発性混合ガスを生ずる。Na の酸化物および水酸化物は腐食性が強く人体のみでなく、装置の材質も侵す。また熱交換器においては閉塞を起こす可能性がある。

5) その他

Na 過剰か水過剰かによって、反応形式、反応速度は大きな影響を受ける。

反応物と反応生成物の相の変化が反応速度に重要な影響を与える。水が蒸発して水蒸気になると、反応域の温度を下げ、また Na 表面を被覆して、反応速度をおそくする。

反応物の温度も反応形式、反応速度に影響を与え、反応物の融点に達すると 2 次反応を引き起こす。アルゴン・ガス中での mg 量の Na と水との反応は、Na 温度が 200~500°C なら、Na 滴は赤熱し、急激かつ不安定に進行する。しかし、540°C 位になると、さらに円滑に反応する。

また、反応速度は液体 Na の表面上を流れる水蒸気の流速やその分圧によって大きく支配される。

1.3.3 水蒸気爆発

高温の液体 Na が漏洩した場合には、水との接触による水蒸気爆発の危険性がある。例えば、床上の水滴または水溜りに高温の液体 Na が落ち比較的小量の水が大量の液体 Na におおわれるようになると、ほとんど瞬間的に水は沸点以上になり、水蒸気となるため、激しい爆発現象が起こり、液体 Na を周囲に飛散させる。したがって、液体 Na の漏洩の恐れのある機器を設置した室内の床などは常に乾燥状態に維持することが必要である。

1.4 ナトリウムとその他の化合物との反応

Na は水や空気以外の物質ともはげしく反応するので注意を要する。その主なものを列挙すれば次のようになる。

(1) 塩素化炭化水素

塩素化炭化水素は、Na と混合すると、場合により爆発性混合物を形成したり、ただちに分解、発火、爆発したりする。

(2) 1,2-ジクロロエチレン (C₂H₂Cl₂)

1,2-ジクロロエチレンをアルカリ性溶液において Na と作用させると、モノクロロアセチレンを生ずる。モノクロロアセチレンは、空気中において自然発火を起こす。

(3) テトラクロロエチレン (C₂Cl₄)

テトラクロロエチレンは、Na に接触すると爆発を起こす。テトラクロロエチレンをアルカリ性溶液において Na と作用させるとジクロロアセチレンを生ずる。ジクロロアセチレンは空気中において自然発火を起こす。

(4) クロロホルム (CHCl₃)

Na とクロロホルムの混合物は、衝撃により容易に爆発し強烈な破壊作用を呈する。

(5) ジクロルメタン (CH₂Cl₂)

Na はジクロルメタンと混合すると衝撃によりはげしく爆発を起こす。

(6) 塩化メチル (CH₃Cl)

Na と塩化メチルは爆発的に反応する。

(7) 四塩化炭素 (CCl₄)

四塩化炭素は高温の Na とはげしい爆発をおこす。

(8) フッ素 (F₂)

Na はフッ素中において自然に燃焼を起こす。

(9) 塩素 (Cl₂)

Na は低温においても、塩素と接触すると自然に発火する。

(10) 臭素 (Br₂)

Na に臭素が接触すると自熱状態となって燃焼

する。また Na の粉末に液状の臭素が混合したものは、機械的衝撃によりはげしい爆発を起こす。

- (11) 臭素アジド (BrN_3)
Na と臭素アジドが接触すると爆発を起こす。
- (12) 一塩化ヨウ素 (ICl)
Na と反応を起こすが緩慢である。
- (13) 五フッ化ヨウ素 (IF_5)
溶融 Na と五フッ化ヨウ素が混合すると爆発を起こす。
- (14) フッ化ニトロシル (NOF)
Na と白熱状態で反応しフッ化 Na を生ずる。
- (15) 五塩化リン (PCl_5)
溶融 Na は五塩化リンと接触すると発火または爆発を起こす。
- (16) 三塩化リン (PCl_3)
三塩化リンは、Na と接触すると、Na の融点温度において爆発を起こす。
- (17) 三フッ化ホスホリル (POF_3)
加熱された Na と三フッ化ホスホリルが接触すると Na は燃焼する。焼残物に水が接触すると、ホスヒン (PH_3) を発生し、自然発火を起こす。
- (18) フッ化水素 (HF)
Na はフッ化水素と接触して爆発を起こす。
- (19) 塩化水素 (HCl)
Na は塩化水素と接触して爆発を起こす。
- (20) フッ化銀 (AgF)
Na とフッ化銀を混合すると衝撃に敏感な爆発性混合物を形成する。
- (21) 塩化銀 (AgCl)
Na と塩化銀を混合すると、衝撃に敏感な爆発性混合物を形成する。
- (22) 臭化銀 (AgBr)
Na と臭化銀を混合すると衝撃に敏感な爆発性混合物を形成する。
- (23) ヨウ化銀 (AgI)
Na とヨウ化銀を混合すると、衝撃に敏感な爆発性混合物を形成する。
- (24) 二酸化炭素 (CO_2)
二酸化炭素は高温の Na とはげしく反応する。
Na と固体の二酸化炭素との混合物は爆発する。
- (25) 三酸化クロム (CrO_3)
Na は三酸化クロムと反応して白熱状態となる。
- (26) 酸化銅 (CuO)
加熱された Na と酸化銅は反応して白熱状態となる。
- (27) 酸化鉛 (PbO)
Na と酸化鉛との混合物は自然発火を起こす。
- (28) 酸化水銀 (HgO)

溶融した Na は酸化水銀を分解して小爆発を起こす。

- (29) 三酸化モリブデン (MoO_3)
三酸化モリブデンは Na により還元され白熱状態となる。
- (30) 酸化錫 (SnO_2)
Na は酸化錫と白熱状態となって反応する。
- (31) 二酸化イオウ (SO_2)
二酸化イオウは Na と溶融温度においてはげしく反応する。
- (32) 硫酸 (H_2SO_4)
稀硫酸は Na に接触すると爆発的に反応する。
- (33) 硝酸 (HNO_3)
Na は濃硝酸と接触すると自然発火を起こす。
- (34) ヒドラジン (NH_2NH_2)
Na とヒドラジンとは反応して、水素とアンモニアを発生するとともに、空気中において爆発を起こす白色の物質を生ずる。
- (35) ヒドロキシルアミン (NH_2OH)
Na はヒドロキシルとエーテル溶液中において反応してヒドロキシルアミン Na を生ずる。ヒドロキシルアミン Na は空気中において自然に燃焼する。
- (36) イオウ (S)
イオウを Na で摩擦すると爆発を起こす。
- (37) セレニウム (Se)
セレニウムは Na と反応して白熱状態となる。
- (38) エチルアルコール
固体の Na とエチルアルコールは、はげしい反応を起こす。
- (39) 酸無水物
固体の Na と酸無水物は、はげしい反応を起こす。
- (40) 水銀 (Hg)
固体の Na と水銀は、はげしい反応を起こす。
- (41) 亜鉛 (Zn)
固体の Na と亜鉛は、はげしい反応を起こす。
- (42) ビスマス (Bi)
固体の Na とビスマスは、はげしい反応を起こす。
- (43) 水素 (H_2)
溶融した Na は、水素とはげしく反応して、水素化物を生ずる。

1.5 NaK と Na の差異

Na は K と合金にすることによって、第 2 図の状態図から判るように融点が下がる。したがって、一般に予熱を要せず取り扱いが簡単になる利点がある。普通は高価

でしかも化学的により危険な K をなるべく少なくするため、融点が 19°C の 56% Na-44% K が使われる。第 1 表に示すように、熱的には Na よりはるかに劣るが、小型の諸実験には手軽に使われている。

次に Na と性質を比較してみる。

- (1) 融点が低い。
- (2) 熱伝導度が低い。
- (3) 液体であるから空気や水との反応が激しい。漏洩したとき凝固して止まることがないので、かえって危険である。
- (4) ゆるやかな酸化により爆発性の過酸化物 KO_2 ができ、有機物と混在すると爆発することがある。Armour 研究所では NaK を室温で使用中に、ストップコックのグリースやテフロンなどの有機弗化物または塩化物がまざり、爆発を起したという。
- (5) 凝固軸封が使えない。低温に長く保つと、Na が偏析する可能性がある。
- (6) 蒸気圧が約 3 倍高く、高温使用が困難である。
- (7) 高価である。

1.6 主要反応生成物の性質

(1) 酸化ナトリウム (Na_2O) :

純粋であれば白色、不純物または過剰 Na により褐色または灰色で加熱すると黄色になる。水と反応し、多量の熱を出して NaOH となる。二酸化炭素に接触すれば炭酸塩となる。昇華点 1260°C 、比重 2.27。

(2) 過酸化ナトリウム (Na_2O_2) :

青味がかった淡黄色。加熱すると黄褐色。 655°C で分解せずに融解して暗黒色を呈し、次第に酸素を放出する。Na で容易に Na_2O に還元される。水と激しく作用して

NaOH となり、酸素を発生する。強い酸化剤で二酸化炭素 CO_2 と作用し、 Na_2CO_3 と O_2 になる。比重 2.81。

(3) 水酸化ナトリウム (NaOH) :

白色のもろい固体。純粋なものは融点 328°C であるが実際には水と炭酸塩とを含むので融点は約 10°C 低く、 318.4°C である。沸点 1388°C 、比重 2.13。

(4) 炭酸ナトリウム (Na_2CO_3) :

無水のものは通常ソーダ灰とよばれ、白色の粉末で、融点 852°C 、比重 2.5、その解離圧は 1000°C で 19mmHg 。この水溶液を 32°C 以下で結晶させると 10 水化物 (比重 1.45)、 $32\sim 35^{\circ}\text{C}$ では 7 水化物 (比重 1.56) が析出する。10 水化物は空気中で風化して 1 水化物となる。 32°C で結晶水に溶ける。水によく溶け、水溶液は加水分解して強いアルカリ性反応を示す。

1.7 人体への影響

(1) 皮膚

熔融した Na が直接皮膚に接触すれば、はげしい熱火傷の他にアルカリ火傷を起こし、皮膚のみならず筋肉ならびに骨組織をも腐食する。また熔融した Na の入った容器や配管などに直接、接触すれば、高温であるので皮膚火傷を起こす。アルカリ火傷は比較的出血が少ないが、治療は困難なことが多くひどい場合には死亡することがある。

(2) 眼

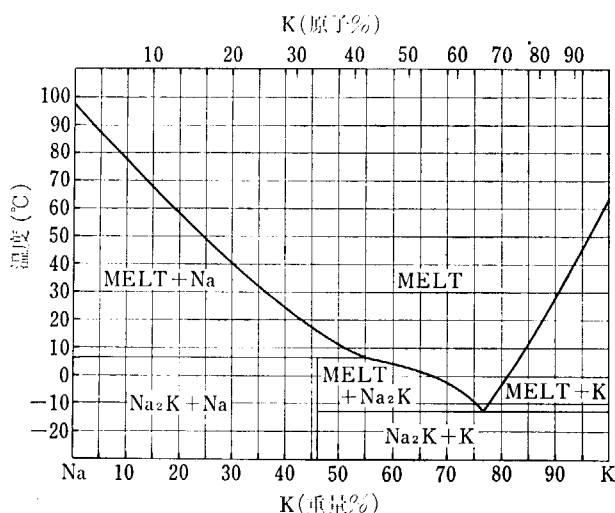
Na が水に接触したり、熔融した Na が水または低温の液体に接触する時には、Na 細片となって遠くまで飛散し、眼の中に飛び込むことがある。これらの細片は Na のこともあり、水酸化ナトリウムのこともあり、水酸化ナトリウム水溶液のミストのこともあるが、すべて発熱反応と水酸化ナトリウムによるタンパク質分解作用をおこし粘膜を侵し、さらに深所におよび、視力を低下させ失明に到らしめることが多い。

(3) 食道・胃

口の中に入り飲み込んだ時には、食道・胃の粘膜を侵され死亡することがある。急性または慢性的の吸収性中毒は起こさない。

(4) 呼吸器

Na の熱気やミストを吸入すれば、Na、水酸化ナトリウムならびに炭酸ナトリウムなどにより気管支、肺などに炎症を起こし、濃度が高い時には呼吸困難となり、死亡することがある。通常、作業室内における空気中の水酸化ナトリウム粉じんまたはミストの許容濃度は $2\text{mg}/\text{m}^3$ であるが、熔融した Na が噴出した際には相当濃度の高いものを呼吸することとなり危険である。



第 2 図 NaK 合金状態図

2. ナトリウムの取扱い法

2.1 ナトリウム地金

普通国内で市販されている Na 地金は、Castner 法で製造されているもので、製品は固体としてパラフィンとかケロシンまたは N_2 ガスでカバーされて市販されている。

通称“原子炉級”の Na は国内では現在月当り数トン規模まで供給可能である。Castner 法であるので Ca が少ないのは好ましい。参考までに分析例を第 2 表に示す。

第 2 表 原子炉級国産 Na の分析値 (ppm)

O	<12	Al	3~5
Ca	4~5	Fe	5~8
Cl	10~14	Mg	12~17
C	~20	Cu	~20
H	~20	Ag	~20
Si	2~3	K	>2200

原子炉級 Na の製品はアルゴンガスなどの不活性ガスでカバーし C, H, O などの汚染を防いでいる。

なお、米国においては Downs 法で製造していて、一般用 Na と原子炉級 Na との差は Ca 量だけで特殊なろ過器によるろ過と沈澱法によって Ca 量を減らしている。

高速炉用 Na の仕様としては EBR-II (米国高速実験炉) の Na の例を第 3 表に示す。

第 3 表 EBR-II の Na の仕様と分析値 (ppm)

	仕様 (max)	分析値
Ca	10	< 10
C	50	17
Cl	30	23
S	10	5
B	5	< 3
Li	20	< 0.5
Ag	20	< 3
Au	30	< 13
Cd	20	< 0.3
In	30	< 0.3
K	1,000	< 250
Na (Kを含む)	99.97%(min)	99.98%

2.2 固形ナトリウムの取扱い

固形 Na の取扱いについての注意事項は次の通りである。

(1) Na の取扱いは特定の場所で行ない、水分とは絶対に接触させてはならない。

(2) 固形の Na は室温でかなり容易に切断することができる。その際酸化を防ぐため、精製鉱物油でナイフおよび Na を被覆するとよい。

(3) Na 切断の前後には、灯油に 10~20% のイソプロピルアルコールをとかした液で酸化物を取り除くとよい。

(4) Na の細片は反応性が著しく大きいので、手早く安全に処理しなければならない。

(5) 道具は十分に乾燥状態を保つように考慮し、吸湿剤として乾燥ソーダ灰等を使用するのが望ましい。

(6) Na の表面汚染を防ぐために、不活性ガス雰囲気下でグローブボックスを利用するのが効果的である。

2.3 輸送

2.3.1 包装容器

Na は通常固形ブリック状で、金属製缶またはボルト締めの上蓋がある鋼製ドラム缶で輸送されるが、その他に鋼製ドラム缶に流込固化させて輸送する場合もある。その包装容器は次の通りである。(第 3 図参照)

内装	内装の仕様	外装	正味重量 (kg)	ブリック 1 個の重量 (kg) [例]
鋼製ドラム	板厚 0.8mm 以上気密に密封流込固化させたものに限る		<180	
鋼製ドラム	板厚 0.8mm 以上ブリック状の場合はパラフィンまたは軽油、灯油で表面を完全に被覆し、気密に密封		<180	1.25 1.5 3
金属製缶	板厚 0.3mm 以上、パラフィンまたは軽油、灯油で表面を完全に被覆し気密に密封	木箱	<30	同上

大量輸送の場合には専用タンク貨車 (30~40ton 積) により不活性ガス充填下で輸送される。タンク貨車の外側には加熱オイル循環用のコイルまたはジャケットがあり積降しは液状である。包装容器の外装には「禁水」と白地に赤色で「医薬用劇物」の表示が必要である。

2.3.2 輸送上の注意

輸送については消防法および危険物関係法令などにより規制されているが、輸送上の一般的な注意事項は次の通りである。

(1) 輸送取扱いには法定の危険物取扱い主任者が立



第3図 Na 輸送容器 (200ℓ ドラム缶ヒーター取付ずみ)

合い、その監督のもとで行なわなければならない。

(2) 運搬車輛には指定された「危険品」の標識を掲げる。

(3) 容器の移動や運搬に際して、引きずったり、落下したり、激突させるなどの粗暴な取扱いは思わぬ事故の原因となる。

(4) トラック、貨車、船などで運搬するときは、容器の転落防止のために歯止め、縄掛けをして確実に固定させ、また水や湿気に触れないように特に注意する。

(5) 酸化性塩類、腐食性液体および酸類などと混載してはならない。但し 0.5 kg 以下のものについてはこの限りではない。

(6) 工場内を運搬するときは、できるだけ専用の車を使用し、台車で運ぶ場合には絶対に突放してはいけない。

(7) 長大トンネル内を輸送する場合には、四輪自動車を使用しなければならない。

2.4 貯蔵

2.4.1 一般屋内貯蔵倉庫の場合

Na の貯蔵は 5 kg 以下の場合には火災予防条例準則、5 kg 以上の場合には消防法および危険物関係法令により規制されるが、貯蔵についての一般的な注意事項は次の通りである。

(1) Na は独立し、乾燥した平家建の耐火建築で、通気がよく床がコンクリートか金属板の倉庫に貯蔵しなければならない。

(2) 倉庫は屋根や窓から雨水が漏れないように設計され、床は水の流入を防止するため地面よりも高くする。

(3) 倉庫内の高所に換気口を設けて湿気の停滞を防

止し、場合により結露防止のため電熱による保温装置を設ける。

(4) 内部に水および蒸気のパイプを設置してはならない。

(5) 倉庫の面積は返送容器を含む最大予想在庫量を考慮して十分に大きくする。なお倉庫周辺の空地の幅は消防法の規定によらなければならない。

(6) 容器は適当な架台上に置き、水と偶然に接触することを防止する。

(7) 倉庫内には他の薬品類を収納しないようにし、特に酸化性塩類、腐食性液体、酸類と同置してはならない。

(8) 倉庫は定期的に点検して不良箇所の発見と補修改善に努め、保管の安全を図る。

(9) 発火時の消火用に乾燥砂など適当な消火剤を十分に備えつけておき、Na 火災用と色分けして置く。なお 50 kg 以上の Na を貯蔵する場合には、適当な火災感知設備を設置しなければならない。

(10) 実験室などで少量の Na を保管する場合には、パラフィン、軽油または灯油に浸漬してガラス容器内に密栓し、これを蓋つきの金属性容器に入れ、他の薬品類と隔離しておかなければならない。

2.4.2 大規模貯蔵の場合

大規模な屋外貯蔵タンクでは、タンク貨車で輸送された Na はオイル加熱されたパイプを通してタンク貨車と同様な構造の貯蔵タンクに真空吸引装置で移送されるが、大規模な貯蔵設備に必要な基本条件は次の通りである。

(1) 貯蔵タンクは種々の製造工程上の必要性から、加圧と減圧操作の両方が可能であるように設計する。

(2) 漏洩を防止するために貯蔵タンク底部には開閉口などを設けない。

(3) 貯蔵タンクの頭部の開閉口はあらゆる天候にも耐え、安全性を保つために安全防水の装置にしなければならない。

(4) 液体水準指示装置および高水準警報装置を備えなければならない。

(5) 貯蔵タンクの基礎は、その周囲を重量物が通るような場所でも特別に堅牢にする必要がある。

(6) パイプラインは排水が完全であるように設置しなければならない。

2.5 充填

2.5.1 装置への充填

装荷される装置は、(a) 無漏洩、(b) 清浄、(c) 乾燥、(d) 酸素を含まないことがまず確認されねばならない。洗浄には決してハロゲンを含むものを用いてはならない。最後にアルゴンガスでパージし、加圧および真空試験を行なう。真空にできないものは水分やオイルが十分

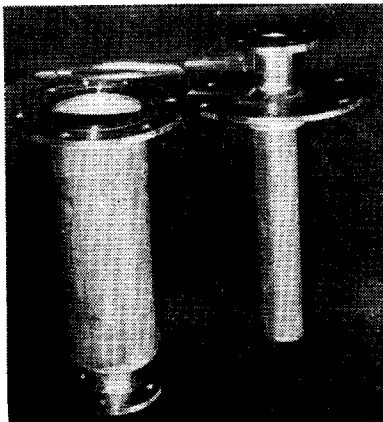
除かれ、酸素ガス濃度が2%以下であることを確認せねばならない。Na を注入する前には Na の温度と同程度の温度にし熱衝撃や Na 凝固を防ぐ。

Na の融解には、電気抵抗加熱、誘導加熱、ガス炎加熱、熱媒体加熱等が使われるが、局所加熱がおきないよう注意が払われるべきである。不活性カバースの熱膨脹も忘れてはならない。

装荷される装置には普通、貯蔵（またはダンプ）タンクがあって、まずこれに移される。それと Na 容器との連結は適当なパッキンを用いたステンレスパイプによる。配管の一部に、ステンレスペローズ（ガード金網付）を用いると操作が容易で、また電気予熱も楽である。途中に、精製用のステンレス鋼焼付フィルター（円筒コップ形、孔寸法20~50 μ ）をもうける（第4図）。

Na の移動には、安全上、自然流下方式はさけ、容器上部からサイホンを用いて

- a) 容器カバース圧入
- b) 装置側の減圧
- c) ポンプによる移送



第4図 ステンレス焼結フィルター（右のコップ状）

d) または、これらの組合せによるのがよい。

2.5.2 ループへの充填

ループへの充填は、普通貯蔵タンク（またはダンプタンク）から行なう。

貯蔵タンク中の Na の溶融法は、2.5.1 と同様に行ない、最終的にはタンク中の Na 温度を200~300°C にする。

充填されるループは、2.5.1 の装置と同様な試験をして、無漏洩、清浄、乾燥および酸素を含まないことを確認する。

これらを確認したループを予熱し、ループ内のすべての装置（コールド、トラップ、ブラッキング・インディケータを含む）、および配管を200~300°C の温度にする。ループ内を真空に引く。

これらの準備がととのってから、静かに充填を開始する。充填速度は弁、貯蔵タンクのカバースの圧力により調節する。充填にポンプを用いることもある。

Na がそれぞれの配管に到達したことは、配管に付着させてある熱電対により、配管の温度が Na の温度と等しくなったことで分る。Na が充填されつつあることを流量計と貯蔵タンクおよび、膨張タンクの液位の変化で常時確認する。所定液位になったことを膨張タンクの液面計で確認し、直ちに Na 充填弁を閉じ、Na のループへの充填を完了する。この際、覗き窓を利用できると一層安全である。

Na をループに充填した後は、配管や装置の Na は常に膨張タンクに通じていて、Na の熱膨脹を逃げるようにしておかなくてはいけない。また、ループに Na がある間は常に、貯蔵タンクを200~300°C に保ち、緊急時などの Na ドレンにそなえ、ドレン時の熱衝撃や Na の凝固を防がなくてはならない。

3. ナトリウム施設の安全対策

3.1 ナトリウム取扱い建家とナトリウム処理室

3.1.1 ナトリウム取扱い建家

Na を取り扱う建家に必要な条件は、貯蔵庫の場合と同様に、

- (1) あらゆる水分に対して隔離され、乾燥していること。
- (2) 防火性、および不燃性に富むこと。
- (3) 換気性のよいこと。
- (4) ガス爆発発火源がないこと。
- (5) 他の施設等から安全な場所にあること。

等である。

建家は雨水等の流入のおそれがなく、万一の事故の際にもできるだけ他に影響を及ぼさないような位置を選び、他の施設や一般の道路等から十分離れている必要がある。また事故の際の安全な避難通路と消防活動を行なえる余地とがなくてはならない。

水道や水、蒸気を使用する施設は、別建家もしくは隔離された別室に設けるべきである。特に風雨や洪水等に対する配慮が必要で、床は地面より十分に高く作り、屋根、壁、窓は暴風雨の際にも容易に破損したり、雨水が入らないような構造でなくてはならない。特に必要な場合には、屋根も壁と共に鉄筋コンクリート造とすることが許されるべきである。必要に応じて窓は網入りガラスとし、はめ殺しが望ましい。換気窓および扉も十分雨仕舞よく施行する必要がある。また結露防止についても考慮しておかなくてはならない。

建家は不燃材料を用い、少なくとも防火構造とし可能な限り耐火構造とすることが望ましい。発生の可能性のある Na_2O または、 NaOH のミストを排出するため、換気装置または数カ所の換気口を設ける。特に必要があれば、煙検知装置および火災警報装置を設ける。電気設備はできるだけ密閉型とすることが必要であらう。なお、特に危険または重要と考えられる区域は、気密室にして窒素ガスで置換し、漏洩時の発火を防ぐ。出入口は

2カ所以上設け、うち少なくとも1カ所は十分大きなもので直接外へ通ずることが必要である。この出入口の外側に乾燥砂場を作り、非常の際に、Na 付着物を放棄できるようにするとよい。雨天を考えて一部には簡単な屋根を設ける。

3.1.2 ナトリウム処理室

Na 処理室を設ける場合には、必要に応じコンクリートと鉄製の耐爆建築で耐爆性の窓越しにのぞきながら操作できる水および水蒸気供給系などをもつ。また、遠隔操作用のトングスその他もつける。床には鋼製スノコを敷く。

扉を用いて開いて操作する際、内側に鎖カーテンを下げ、または衝立をおいて飛沫を防ぐようにするのもよい。

また排煙、除煙用の施設をそなえる必要がある。スクラパーやコットレルもよいが、機械的可動部分のない水洗除煙装置も具合がよい。排煙する場合には適当な空気取入口を設け、例えば 60m^3 の部屋に対し少なくとも $50\text{m}^3/\text{min}$ の排風量が望ましい。(第5図)

処理量のごく少ないとき、または処理する機会がめったになく、かつ、付近に害をおよぼすおそれがない場合には、もっと簡単な処理施設でもよい。例えば、2m 角くらいの鋼板の浅い箱の上に処理物をおいて、周りにアクリル板で囲をつくり、防壁の手前から水を注ぐようにしてもよい。

3.2 ナトリウム装置用構造材料の選択

一般に Na に対する構造材用諸金属の溶解性は低く、耐食材料を探すのは困難でない。まず

- (1) Fe, Ni, Cr, Co, Mn, Mo
- (2) V, Nb, Ta, W, Ti, Zr

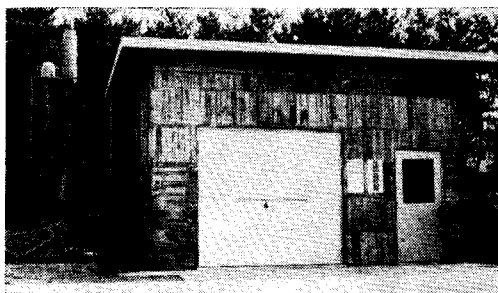
などがある。ただし、使用温度によっては不純物濃度が耐食性を支配するので、(1)では Na 中の酸素濃度を数 10 ppm 以下にする必要がある。(2)に対しては、数乃至 1 ppm 以下とする必要がある。

一方、液体 Na に可溶性の主要元素を挙げると

Cu, Au, Ag, Zn, Cd, Hg, Ga, In, Tl, Sn, Pb,
Sb, Bi, Se, Te, Th, L, K, Rb, Cs, Ca 等

となる。原則としてこれらを含む材料は使用してならない。

したがって実用構造材としては、一般に(1)の諸元素からなるもの、特にステンレス鋼類が最適である。 350°C 程度までであるなら普通鋼でよい。 550°C までなら、 $2\frac{1}{4}\text{Cr-1Mo}$ 鋼が使用できる。しかし、それ以上



第5図 原研 Na 研 Na 処理室 (左は除煙装置)

になると、18-8系のステンレス鋼〔例えば SUS27(304 S.S)〕もし特に耐熱度の高いもの、硬度の高いものを必要とする場合は、もっと Ni, Cr 組成の高いオーステナイト系ステンレス鋼や Ni 合金, Co 合金を選べばよい。

高純度 Na 中では Fe, Ni Co および Cr の酸化物層は還元され、裸の表面となる。したがって、金属同志がカジリ合ったり、加圧下での自己融着（600℃以下では起こりにくい）を起こしたりしやすいことも忘れてはならない。

非金属物質は低温ではある程度耐えるものもあるが、一般に Na に接触させるのは好ましくない。理論的に Na₂O より安定と思われているセラミックスも、Na₂O と複合酸化物を作ったり、逆に高純度 Na で還元されたりする。また粒界不純物や割れ目が原因となって侵されやすい。製法や Na 純度に強く影響されるわけである。

空気中で燃焼している Na に対しては低融スラグを作り、ステンレス鋼もかなり早く腐食されることを忘れてはならない。耐火保温材類は高温 Na に接触すると激しく燃焼する。

3.3 ナトリウム装置設計上の安全対策

使用目的により種々異なるが、一般に守らなければならない条件を列記する。

3.3.1 機器・配管設計上の安全対策

1) 法律・政令・規格

Na 装置設計の際に考慮すべき法律、政令、規格等として次に掲げるものが代表的である。

ナトリウム装置設計関連法律、政令、規格等（国内）

工業標準化法

日本工業規格（JIS）

消防法

危険物の規制に関する政令

危険物の規制に関する規則

労働基準法

ボイラおよび圧力容器安全規則

ボイラ構造規則

圧力容器構造規格

小型ボイラ構造規格および小型圧力容器構造規格

高圧ガス取締法

高圧ガス取締法施行令

高圧ガス取締法施行規則

高圧ガス取締法施行規則に基づく冷凍能力の算定基準等

電気事業法

電気事業法施行令

電気事業法施行規則

電気工作物の溶接に関する技術基準を定める省令

電気設備に関する技術基準を定める省令

発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令

発電用原子力設備に関する技術基準の細目を定める

告示

建築基準法

建築基準法施行令

ナトリウム装置設計関連法律規格等（外国）

米国

ASME Unfired Boiler and Pressure Vessel Code

ASTM Standards and Specification

ASA Standards and Specifications

ドイツ

ドイツ圧力容器協会推奨基準

この中で最も一般的に適用されるものは、工業標準化法、消防法および労働基準法である。工業標準化法に基づく日本工業規格（JIS）には、製図法、用語から、構造材料の成分、試験法、強度、形成、寸法等までが規定されている。厳密には、この規格の適用が義務づけられているのは、国および地方公共団体による購入品のみであるが、実際には、機械装置設計に広く応用されている。この規格には Na 装置特有の事項に関する規定はない。この規格と同様なもので米国の ASA 規格および ASTM 規格があり、日本においても米国規格に準拠して設計を行なう場合がある。

消防法が装置に適用されるのは、Na が消防法に定められている甲種第三類の危険物であることによる（Kについても同様である）。5 kg 以上の Na または K を製造、貯蔵もしくは取扱う場合、製造所、貯蔵所および取扱所の位置、構造および設備の技術上の基準は、消防法に基づく危険物の規制に関する政令によって規定されている。但し、Na の大規模な使用は一般的でないので、Na 特有の事項に関しては、石油類に関するほど厳密、詳細な規定はない。労働基準法に基づくボイラおよび圧力容器安全規則は、一般ボイラおよび圧力容器に広く適用されており、大気圧以上で設計される一部の Na 装置にも適用される。この規制中には、構造設計に関し、装置の強度上から詳細な規定がある。この規制と同様なもので、米国の ASME Unfired Boiler and Pressure Vessel Code があり、日本においても米国規格に準拠して設計を行なう場合がある。

2) 一般事項

(a) 一般に水および水蒸気用配管は Na 取扱い地域には許すべきでない。装置の見やすい所に「禁水」の表示をする。水を必要とする研究は別室または別建屋で行なうようにする。断熱材乾燥時の水凝縮にも気をつけるようにする。特に気密室における結露には十分な注意が必要である。

(b) 液体 Na を使用する装置には十分な余熱および精製装置をつけるようにする。一度、Na 凝固または不純物閉塞を起こさせると、危険な処理作業が必要となってくる。

(c) 熱応力

Na ループのような基礎に固定された機器が配管により連結されている系で使用温度が高い場合、主要配管部の熱応力の検討が必要となる。熱応力計算の目安として、また複雑な配管系にしても、比較的簡単に利用できるものとして ASA B31.1 piping Code Sect-6 (および The MW Kellogg Co. の Design of piping System, Sect-4) がある。

$$\frac{DY}{U^2(R-1)^2} \leq 0.03$$

D : nominal pipe size (in)

Y : resultant of restrained thermal expansion and net linear thermal displacement (in)

U : anchor distance (ft)

R : ratio of developed pipe length to anchordistance

という基準があり、その値をこえる時は配管に加わる曲げ、応力や振り応力を各種の方法により検討しなければならない。普通その時の許容熱応力は $1.25\sigma_c + 0.25\sigma_h$ (σ_c および σ_h はそれぞれ常温時および使用温度における許容応力) を採用している。

(d) 耐震計算

Na 施設の耐震強度は、Na 施設の破損時の防災設備の程度や建屋の耐震設計とも関連するが、原子力発電プラントの格納容器外の機器に適用されている、建築物等規準法施行令の 1.5 倍の値を準用し、 $0.3g$ の力が作用するものとして耐震計算を行なうのが適当であろう。

(e) Na は熱伝導度が大きいこともあり、構造体に大きな熱衝撃を与えやすい。したがって、厚さの変化はできるだけ少なくすべきである。

(f) 一般に Na が入りうる狭い隙間はないようにせねばならない。酸化物がたまり、腐食が促進される。

3) 加熱

(a) 装置加熱には抵抗電熱線加熱、交流誘導加熱およびガスバーナ加熱等が考えられる。装置の形状、位置および保守方法の関係で適当なものを選択しなければならないが、通常小型の装置や形状の複雑なものは、シーブヒーターなどの抵抗電熱線による加熱が簡便である。

(b) 交流誘導加熱はステンレス鋼に対しては非磁性なので、炭素鋼または Cr, Mo 鋼を被せて使用せねばならないが、漏洩 Na の収容、および検知用空間として使えるし、抵抗電熱線と異なり保温材の外に巻線をもつので保守が容易である。

(c) 長い簡単な配管部分には、変圧器の 2 次巻線と配管が直列になっている変圧器加熱が簡単で温度均一性もよい。しかし、Na がつまっていると特性が変わり、

また一部つまっていない所があると局部加熱される欠点がある。

(d) 冷却する場所の加熱はガスバーナ式が手軽であるが、温度変動が大きい構造が必要である。

4) 配管

(a) 配管や装置は、装荷、ガス抜き、排出および洗浄を容易にするため、できるだけドレン系へ帰る連続的な傾斜をつけて振付けるようにする。少なくとも 1° の傾斜が必要である。やむをえず Na ポット部が出来た場合には、専用のドレンを設けるようにする。

(b) 内径 20mm 以下の配管はなるべく用いないようにする。

5) 接続

(a) Na の漏洩は絶対許されない。一度漏れ始めると酸化腐食により孔が大きくなる。ロウ材の選択には、十分な注意を必要とする。特殊な無溶接継手もあるが、十分な監視下で使わねばならない。溶接が最良安全な機器製作法といって過言でない。酸化を防ぐため、不活性ガスアーク溶接がおこなわれるべきである。可動部および貫通部には、凝固軸封が使えるが、これも特別な注意を必要とする。

(b) 溶接は原則として、突合せとし、不活性ガスアーク溶接によるべきであり、必ず二層もり以上とする。割れや溶込みの不良は許されない。またスラグの巻込み、内面酸化やタレ込みの著しいものも不合格とすべきである。

6) 弁、膨張接手

弁や膨張接手に用いられるベローズは強度上の最弱点である。また寿命の推定が困難であるので、高温装置では、凝固軸封弁や曲り管におきかえるのがよいであろう。ベローズ弁はベローズの共振を避けねばならない。機械的装置や流れの不連続による振動が起これぬよう、注意深い設計が必要である。またベローズに圧力がかからないようにプラグのシートの下に最高圧力側がくるよう取付ける。弁は高温高压の用途には安全操作を確保するため、また弁座面が融着するような故障を防止するため弁構造材料の選定は極めて慎重におこなうようにする。

使用度の少ない低温弁は、バックシート型のパッキンググシール弁でもよい。

一般に、温度差 80°C 以上になるオーステナイト、ステンレス鋼配管には膨張接手を用いる必要がある。

7) タンク類

(a) 系内にあるすべての Na を収納できるダンプタンクをもつようにする。緊急の際の Na の急速なダンプに対処できるようにカバーガスは抜けるようにする。また系の加熱状態に応ずることができるよう温度による容積変化を 25% 程度見越しておく。

ダンプタンクの位置が最も重要で、系の最下部にタン

クを置いて液体 Na が重力によりタンクに流れ込むようにする。

(b) 系内 Na の温度変化による容積変化や、カバーガス圧力変化に伴う Na 量の変化を吸収するために膨張タンクをおく。タンク容量は系の温度範囲で十分なようにする。

(c) 可能な限り貯蔵タンクの底部出口管は取付けないようにする。

8) 水蒸気発生器の安全装置

Na—水反応による圧力波に対する装置保護の目的には、安全弁や破裂板が使われる。とくに蒸発管領域には数カ所につけられることがある。上部にガス空間を設けることが望ましいし、また水漏洩の早期発見装置をつける。

9) カバーガス

(a) Na に直接空気が接触しないようにアルゴンまたは窒素のカバーガス供給源を設ける。

窒素は 500°C 以上で鉄鋼を窒化するので注意を要する。

(b) ガス系には Na 蒸気トラップをつけ閉塞を起こさないようにする。ガスの純度が悪いと蒸気が配化され蒸着が促進される。

10) 保温

(a) Na 配管の保温は Na の凝固を防ぐために必要である。保温材は清掃されかつ乾いた配管の表面に取り付け密着させるようにする。使用温度に対する材料選択は 3.2 参照。

装置に対する保温は、外部保温は外部保温材表面の熱損失を約 3 kcal/m² と仮定すればよい。

(b) 配管との熱膨張の差ですき間ができるのを防ぐため、滑り合えるような重ね合せ部をもうける。

(c) 保温材表面の破損を防ぐため Al 板やプリキ板で掩ってもよいが、あまり完全にすると、Na 漏洩の早期発見に支障となる場合もある。

11) 洗浄

(a) 普通鋼管の場合、配管終了後の配管洗浄（スケール、油脂およびその他の除去）は、ピクリン液剤等を循環させて完全に洗浄しなければならない。この際、溶接部分等はハンマーリングをおこなうなどした方がよい。とくに高純度の Na が要求される配管や、流路が閉塞するおそれのある配管ではこのことが重要である。

さらに管は水洗したのち、乾燥した不活性ガスで完全に乾燥しなければならない。ただし、比較的小規模な、あまり重要でない装置においては清掃作業は管の内部を鋼製ワイヤブラシでこすってから三塩基磷酸溶液その他で洗浄してもよい。

(b) ステンレス鋼の場合は組立前に酸洗い、洗浄および乾燥を十分におこない窒素で置換して保管するのが望ましい。溶接後は高圧窒素で異物の吹飛ばしをおこな

うようにする。

12) 装置完成後の検査

(a) 外観検査により、アンダーカット、オーバーラップ、クレター、表面酸化、表面ビード等を検査する。

(b) ダイチェックで割れを調べる。

(c) 空気加圧試験および石けん液バブルテストをおこなう。

(d) 真空試験、He リーク試験により、He 漏洩が 10⁻² lmmHg/sec (lusec) 以下程度であることを確認する。

(e) 溶接部はできるだけ X 線検査可能な構造とし、100% X 線検査をおこなうのを原則とすべきである。

(検査上の注意は 5) の項参照)

3.3.2 計測系設計上の安全対策

(1) 温度測定は、熱電対その他適当なものを使用する。主要部には、予備の温度計を設けておくようにする。

(2) 液面測定には種々の方法が考えられるが、誤作動は大きな事故をまねきやすいので、2 組のしかもなるべく 2 種類の測定器を設けるようにする。

(3) 液体 Na の循環装置の場合は、流量計が必要となるが、永久磁石または電磁コイルを使った電磁流量計が適当である。オリフィス計、ベンチュリー計などの差圧によって測定する場合には、測定器の閉塞に対する注意などが必要である。

(4) 検出部の構成材料が Na に腐食されるおそれのない場合には、ステンレス鋼等で被覆するかステンレス鋼管内に挿入して Na に漬ける。

3.3.3 運転上の安全対策

(1) 自由液面上には窒素またはアルゴンのカバーガスを常圧 +10~30 mmHg 位で流す。

(2) Na 系のドレンラインとドレンタンクは、つねに Na の流動性を確保し、熱衝撃を防ぐため、200°C 以上の温度に保つようにする。

(3) コールドトラップよりも低温の個所が系内に生じないようにし、そこに不純物が析出する可能性を防ぐ。

(4) ドレンする場合は Na が残らないよう十分時間をかけておこなうようにする。

(5) 配管内で Na を凝固再溶融させないようにする。再溶解が必要ならば、開放端から順に溶解させてゆく。

(6) 一度 Na を通した装置は Na の有無にかかわらず、不活性ガスを満し、酸化汚染を防ぐ。

(7) ループ操作一般は、事前に十分検討の上、作成されたマニュアルに従って遂行され、誤操作など起こらないようにする。

3.4 緊急時の対策

まず装置設計、製作上において、絶対に破損、漏洩事故が発生しないように配慮されるべきであるが、もしそれが起きた場合、早期に発見でき、また災害が拡大しないような防護設備がほどこされているのが望ましい。

また一般に事故が起きるのは、ループの始動時、停止時および、停電時等の非定常時である。これらに関する事故対策上重要と思われることを以下に列挙しておく。

人体防護や火災対策一般については5.6を参照していただきたい。

3.4.1 漏洩検出および保護装置

(1) Na 漏洩の早期発見用の検出器は、できるだけ多数つけるようにする。電気短絡式や煙感知式その他のものが考えられている。

(2) 漏洩したNaにより人体傷害や機器損傷が拡大しないように、各機器下部に鉄製の受皿、トイ、スカート、スリーブ等を、上部にはカバーを設けられるようにする。可搬式受皿を用意しておくことも大切である。

漏洩Naが収納容器に導かれ空気との接触面を少なくするのも好ましい。高温Naを直接床コンクリートに触れさせるとハジけて危険である。なお、支柱その他をNa火災から守ることを忘れないようにする。受皿にバーミキュライトを入れておくと、これが表面に浮いて消火にも役立つ。

3.4.2 Na 漏洩事故時の緊急措置

(1) 煙その他により漏洩が発見されたなら、まず漏洩の程度状況を確め、事態に応じて次の措置をとる。

(2) ごく微量の洩れの場合には、仮に止める方法はないかを考える。

例えば、弁のペローズからの洩れの場合はバックシートを用いて止まることがある。またその付近を低圧、低温にする方が好ましい。受け皿を下において監視しつつ、運転を必要最小限な時間続けることもある。

(3) 漏洩部付近のみをドレインしてループ運転を続行できないか考えてみる。

(4) かなり激しい洩れの場合には、その付近の電気事故を防ぐため、主電源を切り手早くドレインをおこなう。

(5) 非常に激しい洩れで、しかもその上部に止め弁がある場合には、その弁を閉じて上部のNaの流出するのを防ぐ。また可能ならば、別系統の配管で上部のNaをドレインする。

(6) 事故が重なってドレインが不可能となり、しかも洩れを止める弁がない場合には、保温材を除き、凝固させてNaの流れを止める方法をとる場合もある。そのための道具を用意しておく必要がある。

3.4.3 停電時等の対策

停電時には、ただちに非常電源により照明および計器

盤機能の確保がおこなわれねばならない。ついでポンプを低速運転してNa凝固を防ぐ。さらに電源の余裕に応じて、露出部の保温、一部の加熱器による加熱等によって温度保持につとめる。Na凝固のおそれが生じた場合は、安全のため、全系のNaをドレインする。これらの操作マニュアル整備および実地訓練を常におこなっておくべきである。

3.5 装置の保守修理上の安全対策

3.5.1 一般対策

(1) 作業に十分な空間、足場を整えておく。

(2) 消火装置を手近におく。

(3) 作業には防護具をつけ、少なくとも2人で互いに注意しあいつつおこない、迅速に完了させる。作業の放置は好ましくない。

(4) 取外しを要するユニットは、装置全体にNaが満たされている場合にはNaが確実に固化するように注意し、冷却完了後取外し作業をおこなうようにする。

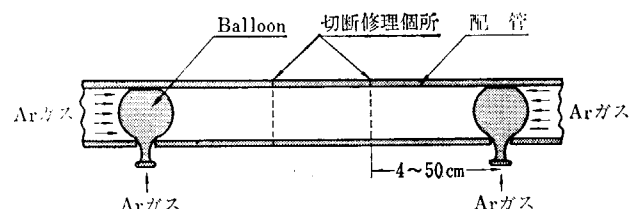
(5) ユニットの取外し後は、装置内にNaの存在の有無にかかわらず、盲フランジを取付け、空気との接触を遮断するようにする。

3.5.2 修理作業について

(1) Na用配管を切断する必要がある場合は、(イ)完全ドレン、(ロ)部分ドレン、または(ハ)その部分のNaを冷却凝固させたのち、パイプカッター、金ノコギリまたは、グラインダーを用いて行なう。油を使ってはならない。とくにNaKの場合は必ずさけるべきである。切断中は系中のガス圧調整に注意し、開口部はゴム栓や風船〔次項参照〕でふさぎ、系を汚さないようにする。溶接前に、口から少なくとも10cmの間はNaを十分に削り取るか、拭いとるようにする。

(2) 風船法 (balloon technique) : 排液された4インチ以上の大型配管の修理に使われる方法である。

室温までに冷えたのち第6図のように切断箇所から40cm位離れた所に5cmのパイロット孔を明け、長頭の風船を管内に挿入し、ふくらませて空気侵入を防いで、切断溶接作業をおこなわせるのである。系内の不活性ガス圧は常圧より10~20mmHg高くし、風船はそれより40~100mmHg高くする。ドリル屑を系内に入れてしまわないようにすること、溶接前に管内をアルコール



第6図 Balloon 挿入状態概略図

でしませた布でよく拭いて、酸化Naの屑を除くことを忘れてはならない。修理が終わったら、パイロット孔をラーパー付プラグ、キップ付ニップル等でふさいで溶接する。

(3) 凝固法 (freeze technique) : Na が排液されていない配管の修理に使われる。

保温材を取除いた後、切断部をドライアイス等で強制

冷却する。その他の部分のNaは液状に保たねばならないので、十分な注意を要する。2インチ配管までであれば急速冷却してもよいが、それ以上の太い配管に対しては熱衝撃を加えないよう徐々に冷却する必要がある。再加熱にもとくに注意を払い、不均衡かつ、急速な昇温はさなければならない。

4. ナトリウム汚染機器洗浄法

4.1 方法の選択

Na の付着した機器部品の廃棄や修理にあたっては、まず Na を洗浄しなければならない。安全に、また熱や腐食で機器をそこなわないようにおこなうのは容易な作業ではない。Na 取扱技術中最も危険を伴う作業といってもよいであろう。水素や煙の発生を伴ない、場合によっては爆発の可能性もあるので、防護衣、遮蔽壁および処理用施設の整備を十分におこなうべきである。

洗浄する機器は、可能な限り切断して開放状態にし、機械的に、またはヒーターやガス加熱により、できるだけ Na を去除しておくべきである。

空気中でのスチーム洗浄が最も一般的で、Na を取出しにくい形状の場合にも使われる。不活性ガス雰囲気中でのスチーム洗浄には密閉、換気およびドレインの可能な容器を必要とするが、反応速度が加減できてホットスポットの形成を防ぐことができる。

アルコールまたは、高温オイル洗浄法は、スチーム法を利用できない小型で複雑な構造のものに使用される。

アンモニア法は高価で臭気を伴うが、金属表面を損ねない方法として優れている。しかし、これらの選択基準は明確なものではなく、しばしばいくつかの方法を組合せる必要がある。いずれの方法によっても最終的には水洗し、反応物を除くのが好ましい。

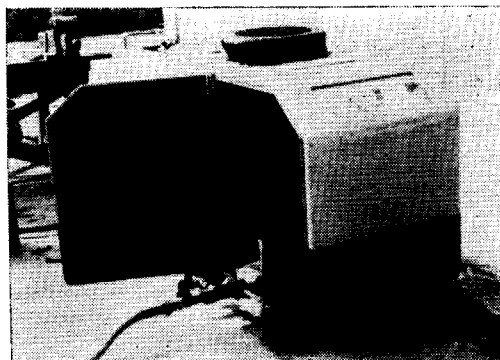
4.2 空気中での水蒸気洗浄

水蒸気は、十分加熱し、水滴を含まないようにする。処理体は金属皿上にのせ、 100°C 以上に予熱されていることがのぞましい。

これは、外側を水蒸気で加熱しておこなうこともできる。Na が吹飛ばされて水溜りに落ち、反応して爆発することがあるので注意せねばならない。この方法が最も安全かつ、経済的な方法である。なお使用する乾燥水蒸気には、軽油加熱の可搬式ドライスチームクリーナを使うのが簡便である。(第7図)(第8図)

4.3 不活性ガス中での水蒸気洗浄

水蒸気がアルコールに比べてよい点は、安価で引火せず、 $1\text{ mol H}_2\text{O}$ から 0.5 mol H_2 ができるので体積膨張がないことである。しかし比熱が小さいので、機器が容易に過熱されることを忘れてはならない。また NaOH や Na_2O のフィルムが Na 表面をおおうのが問題となる。



第7図 ドライスチームクリーナー (品和工業により試作)



第8図 ドライスチームによる Na の溶解処理

とくに低压 (例えば $1/10$ 気圧) の蒸気を相当の速度で送り続けると、容易に 800°C 以上となり、NaOH が乾燥固化 (融点 318°) し、ついで Na と反応して、 Na_2O (昇華温度 1260°C) ができ、粉末となったものは飛ばされて、ノズルの閉塞を起こす危険性がある。 Na_2O がつまると作業は中断され、これと水との反応も危険である。したがって、 350°C 以上にならないよう水蒸気供給速度を制御すべきである。

一例として、4インチ配管系の洗浄例を紹介する。まず、 200°C 位に予熱し、内部を不活性ガスで置換する。次に約7気圧 (160°C) の蒸気を約 50 l/hr 位の速度で送入し、弁を切り換えて各管路を20分位ずつ洗う。温度計で系の温度が蒸気温度まで下ったことを確認する必要がある。次に水蒸気を減らして 100°C の水にかえてゆく。反応が起こると容易に沸騰し反応を弱めてくれるので好都合である。

終りに排水し、次第に温度を 250°C 位まで上げて通気乾燥する。

弁などはすべて遠隔操作によらなければならない。

4.4 アルコール洗浄

水に比べて反応が遅く、また沸騰しやすく温度上昇が押えられるのが長所で、手軽に広く利用されているが、少し高価であることと、引火性であるのが欠点である。室の換気には十分気をつけ、また機械的または不活性ガスによる攪拌も、安全でスムーズな反応をおこなわせるのに必要である。1 mol の Na とアルコールから $\frac{1}{2}$ mol の H_2 ガスが発生するので、その排除にも気をつけなければならない。

反応速度は分子量、含水量、OH 基数、温度等に関係する。メタノールは早すぎ、ブタノールは遅すぎるのでエタノール、プロパノールあたりが適当である。エチレングリコール、モノブチルエーテルを使い、反応速度を単純アルコール添加で加減するのもよい。

NaK は反応が早いのでアミルアルコールか、燈油に 20% プロピルアルコールを添加したものなどが適当である。しかし、 KO_2 と有機物との爆発反応の可能性も忘れてはならない。

標準的な操作法としては、不活性ガスを充した被洗浄器を 50°C 位に予熱し、95% エタノールを少しずつ入れ、反応による沸騰がおきたら中止し、また追加してゆく。ときどき攪拌し反応が進まなくなったら、水分を 10, 20, 50% と高めたアルコール水溶液に置換し、最後に十分水洗し乾燥をする。

アルコールを使用した場合問題となるのは、Na との反応で生成するアルコラートの挙動である。アルコールに対するアルコラートの処理可能濃度を第 4 表に示す。エチラート以上では処理可能濃度は急激に減少する。このようなアルコラートの不溶な部分が、Na を覆って完全な処理を妨げ最終的な水処理のときに機器を破損したり、人身事故を招くことがある。

第 4 表 アルコール中へのアルコラートの処理可能濃度

溶液	温度	20°C	35°C	40°C	50°C
CH_3OH-CH_3ONa		28.0%	30.1	30.5	31.2
$C_2H_5OH-C_2H_5ONa$		4.3	5.0	7.0	8.6
$C_3H_7OH-C_3H_7ONa$		1.4	2.1	3~	—
$C_4H_9OH-C_4H_9ONa$		0.7	1.0	1.6	1.8

純度のよくない工業用アルコールを使うと、洗浄面高分子物質がこびりつく心配があることも忘れてはならない。含水量の高いアルコールを間違えて使用しないように注意すべきであり、また使用量はなるべく多くして、その熱容量で急激反応を防ぐ配慮も必要である。

(付) NaK カプセルの NaK 処理法

カプセルをクロシン中で切削後、NaK をクロシン-プロピルアルコール (5:1) または純ブチルアルコールにあげるとよい。NaK は溶液中にボール状となって沈

み、反応の進行につれて NaK が H_2 泡によって浮いて表面に上ってくる。NaK-空気、NaK- H_2O 、NaK-アルコール等の反応の結果、NaK 小滴は金属光沢を失ない白色かす状となってさらに H_2 を放出し、溶液表面に多量の泡を形成する。これは攪拌すれば分散溶解する。溶液には白色分散体 (水酸化物およびアルコラート) が残る。反応は、約 1 時間を要する程度にするのが好ましい。

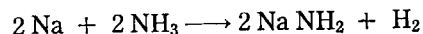
4.5 その他の洗浄法

4.5.1 高温オイル洗浄

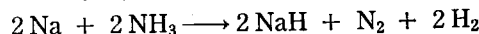
200°C で、鉱物油により機械的に洗うこともできる。しかし、十分な洗浄は不可能である。

4.5.2 液化アンモニア洗浄

無水アンモニアは低温では Na を溶解するが、高温になると、Na と反応してアמידとなり、水素ガスを発生する。



300°C になると反応はきわめて早くなり、それ以上ではアמידが分解して



となる。

アンモニアは 20°C、8 気圧で液体となるので、この状態でゆっくりと Na を溶解洗浄させることができる。溶解度は 100 g の NH_3 に約 20 g である。終点は液が濃青色となることによりわかるので新しい液と取りかえる。 Na_2O はほとんど溶解しないが 2~5% の NH_4Cl を加えるととける。しかし再使用予定のステンレス鋼製装置には適用できない。

なお、アンモニウム・クロライド塩が閉塞を起こすことがあるので注意しなければならない。

220~240°C の間で $NaNH_2$ を作らせて処理するのもよい。

Fe, Zr, Cu, H_2O , 酸化物等が触媒となって反応は加速される。

4.5.3 低融合金による洗浄

Pb-Sr-Bi 系などの低融合金に Na がとけることを特殊な目的に応用することができる。たとえば、原子炉使用済燃料体に付着した放射性 Na を洗いとるのに利用されている。その後、酸洗いをおこない水プールに移す。

4.5.4 布などによる洗浄

表面についた少量の Na は、ごく少量の水またはアルコールでしめらせたボロ布でぬぐうとよい。その布は廃棄焼却する。

4.6 注意事項

4.6.1 水洗

洗浄した金属表面にはフィルムができていますので、必ず十分に水洗する。金属中にしみこんだ Na を除くには、1 日以上水洗をする必要があろう。水槽につけておくのもよい。

4.6.2 サンドブラスト

高純度に高温でさらされた金属表面は鏡面のようになっている。しかし、悪条件や放置で荒れた表面になった場合には、上記の諸洗浄操作の次に乾燥空気を使ってサンドブラストすることも考えられる。しかし、放射性 Na 系に対して応用してはならない。

5. 火 災 対 策

5.1 火災対策の原則

火災対策の原則としては、出火防止、拡大防止、および、消火の三つに大別できる。

出火防止の原則は水その他、Na と反応しやすい物質と完全に隔離することであり、場所の選定、包装、数量制限などがとくに重要である。

拡大防止の原則は主として爆発防止と延焼防止であり、それゆえ消火資材の選定にはとくに注意を要する。量が少なければ、むしろ安全な場所で完全に燃焼してしまつた方がよい。また、延焼を防止するためには、Na の使用または貯蔵場所には引火性、爆発性および可燃性の物品を接近しておかないことがとくに重要である。

消火については後述するように、消火資材の選定が重要であり、もし資材の選定を誤まれば、かえって火災を拡大させ、また多くの人々に傷害を与えることとなり、危険である。またさらに、Na が燃焼する場合には酸化ナトリウムの濃厚な煙霧を発生するので、人体の防護をおこなわないで消火活動をおこなうことは、非常に危険である。

Na の火災は、塩化ナトリウム、リン酸トリナトリウム、黒鉛などの不活性物質の乾燥粉末および乾燥した砂などを使用することが望ましく、炭酸ナトリウム（炭酸水素ナトリウムではない）を用い窒素を発射材としたものが好適である。

水、四塩化炭素、C.B. 液（塩化臭化メタン）、二酸化炭素、泡、または普通のドライケミカル（ NaHCO_3 リン酸アンモニウム）消火剤は望ましくない。

Na 火災の特殊性は、溶解した Na が燃焼するので、たとえ乾燥した粉末により表面が被覆されて、一時的に空気との接触が遮断されたとしても、熔融した Na が完全に固化して温度が低下しなければ、被覆の亀裂発生部分から再燃し、完全に消火することはできない。したがって、大量の熔融した Na 火災においては、被覆のみならず冷却を重要視しなければならず、また冷却に水や空気を使用することができないので、冷却には特別の考慮が必要である。冷却方法には、水が直接熔融 Na の表面にかからないようにすることが可能であり、しかも容器破損の危険がない場合には容器の外側に水を大量に注いで冷却することもある。もしそれが不可能ならば、熔融 Na の中へ Na と反応しない冷却剤たとえばステンレス鋼の屑を用意しておき、一時に大量投入することなどが考えられている。

5.2 ナトリウム火災の消火方法

Na 火災はその量が少なく、また水その他の Na と反応する物質と接触しない限りは、とくに危険というものではない。しかし、大量の Na が燃焼し、続いて二次、三次の爆発を起こした場合には、真に危険な状態となる。したがって、初期消火が完全におこなわれるような対策を準備しなければならない。

5.2.1 消火の原理

Na の火災は、一般の油火災と同様に冷却と窒息の原理が適用される。ただし、Na の熔融温度が高く、また反応性が大いなので、特殊の消火剤、冷却材を用意しなければならない。冷却材には水が使用できないので Na と反応しないものを選択しなければならない。また発射材には、窒素を使用することが望ましい。

5.2.2 消火剤

(イ) パーミキュライト粉末（粗粒）

比重が軽く、熔融した Na の上に浮ぶので、窒息効果が大きく、優れた Na 火災用消火剤の一つである。湿気を吸収しないような貯蔵方法をとるのが望ましい。

(ロ) 乾燥炭酸カルシウム粉末

(ハ) 乾燥炭酸 Na 粉末

(ニ) 乾燥リン酸 Na 粉末

(ホ) 乾燥塩化 Na 粉末

(ヘ) 乾燥黒鉛粉末

(ト) 乾燥砂

(ハ)(ニ)(ホ)(ヘ)(ト)は完全に乾燥しているときには被覆と冷却効果を兼ねて消火効果が大きい。が、熔融 Na より比重が大いなので、大量の粉末が沈んで Na を容器の外にあふれさせ、また、水分を含んでいるときには爆発的に Na が溢出、飛散して、火災を拡大させるので注意を要する。これらの粉末を貯蔵するには、完全に乾燥した後、直にポリエチレン製の袋の中に密封して 1 kg 程度の小袋に分けたものを、少なくとも Na の量の $\frac{1}{3}$ 以上は保有する必要がある。

(チ) その他の乾燥粉末薬剤

重曹またはリン酸トリアンモニウムを主成分とするものがあるが、Na が熔融している状態においては、混合している可燃性材料が発炎し、またリン酸アンモニウムが Na と反応してアンモニアを発生し、大きな炎を発生する。したがって、少量の Na の火災では消火に成功しても、大量の Na 火災に対しては、

消火困難となり、また火災を周囲に拡大する結果となる。また発射材には二酸化炭素よりも窒素を使用することが望ましい。水、泡、酸、アルカリ、四塩化炭素、C.B. 液などの反応性を有する消火剤は使用してはならない。

実施例

以上に述べたのは原則論であるが、二、三の典型的な粉末消火剤の消火挙動の実際を約 1 kg の Na pool が激しく燃焼している場合に関して示しておく。

試験条件

気 温 28°C 湿度 82~85%
Na 量 1.25kg
表 面 積 465cm²
深 さ 約 3 cm
容器材料 ステンレス鋼 (SUS 27) 製 平皿
(16cm×29cm×5.5cm)

灯油で着火させ、Na 温度が約 400°C になってから、消火剤をシャベルで静かに撒布した。(第 9 図)

- (イ) CaCO₃: 1 回分では、炎、煙ともに治まらず、Na 温度も上昇した。計 4 回分かけて鎮火した。水をかけると発炎し、クラストが溶解しにくく長時間を要した。(第 10 図)
- (ロ) Na₂CO₃: 1 回分でほとんど鎮火、2 回分で完全であり、温度も急速に低下した。水処理も容易である。(第 11 図)
- (ハ) NaHCO₃: 1 回分で炎、煙ともに治まった。(第 12 図)
- しかし、Na 温度は上昇した。また 2~3 分後に小さい孔ができて発煙を始めた。(第 13 図) 水処理はかなり困難である。
- (ニ) MYTEX: 1 回分でほとんど鎮火。温度は余り変化しない。2 回分で完全鎮火。数分後には黒斑点ができ炎が起始する。水処理は容易である。
- (ホ) 粗粒パーミキュライト: 少量かけたのでは発光を伴い、激しく燃焼する。一時に数回分かけないと有効でない。また燃焼を始める。

(ヘ) 乾燥砂: 1 回分ずつかけたのでは沈んでしまい Na が表面にしみ出て来る(第 14 図)。そのうち砂と反応を始め激しく燃え出した(第 15 図)。Na 温度 600°C 以上に上昇。

以上から見ると、少くもこのような燃焼条件では Na₂CO₃, MYTEX, NaHCO₃ が有効であることがわかる。また少量の砂やパーミキュライトの使用はかえって火勢を強めることが明らかとなった。同類の珪酸塩等からなる保温材類も高温 Na に触れると激しく発光しつつ燃えて、火災を大きくする可能性がある。(第 16 図)

ただし、石綿系の MGB は燃焼が連鎖的に進行しない。(密度が低いと思われる。)(第 17 図)

5.2.3 ブランケット

窒素消火を目的として、不燃性のブランケットを使用することも有効である。柔軟性もあり、第 1 次的な Na 火災の鎮火に有効で他の消火剤と併用すれば効果が上る。

5.2.4 真空吸引器

Na 火災が発生した場合に、すみやかに熔融した Na を吸引し、タンク内に収納することを目的として使用される。ポンベからの高圧、窒素ガスによるエジェクターで減圧し、鋼管製ノズルから熔融 Na を吸引し、タンクに格納してしまうものである。

一般に火災を消火するのに現在最もよいといわれる方法は、火災の初期において火炎が他物に拡大する以前にパーミキュライトまたは不活性の乾燥粉末を大量散布して表面を被覆し、続いて、熔融 Na を真空吸引器により他のタンク内に収納密封をおこなうことである。しかし大規模の Na 火災においては、冷却のための種々の対策が考慮されなければ、消火は不可能である。

5.2.5 不活性ガスの使用

不活性ガスで表面を被覆することも、少量の Na 火災においては消火方法の一つであるが、高温の Na に低温の圧力の高い不活性ガスを直接衝突させると、かえって Na が爆発的に飛散して、火炎も拡大させるので危険である。とくに二酸化炭素は高温の Na と反応するので危険である。

第 5 表

	消 火 剤	みかけ比重	1 回の使用量 (375cc)	特 性								
イ	消石灰 (CaCO ₃)	0.92	345 g	粒度 325 mesh 以下, 825℃ で分解 ⁽²⁾ , 水分0.175%								
ロ	ソーダ灰 (Na ₂ CO ₃)	1.27	475 g	粒度 <table><tr><td>100up</td><td>200</td><td>325</td><td>PAN</td></tr><tr><td>4.0</td><td>12.6</td><td>12.2</td><td>70.0</td></tr></table> 851℃ で分解 ⁽¹⁾ , 水分0.404% (日本ドライケミカル BC), 270℃ で脱炭酸 ⁽¹⁾	100up	200	325	PAN	4.0	12.6	12.2	70.0
100up	200	325	PAN									
4.0	12.6	12.2	70.0									
ハ	重曹 (NaHCO ₃)	1.33	500 g	主成分 NaCl								
ニ	MYTEX	1.13	425 g	粒径 ~ 4 mm 水分0.073%								
ホ	粗粒パーミキュライト	0.080	30 g									
ヘ	乾燥砂	1.60	600 g									

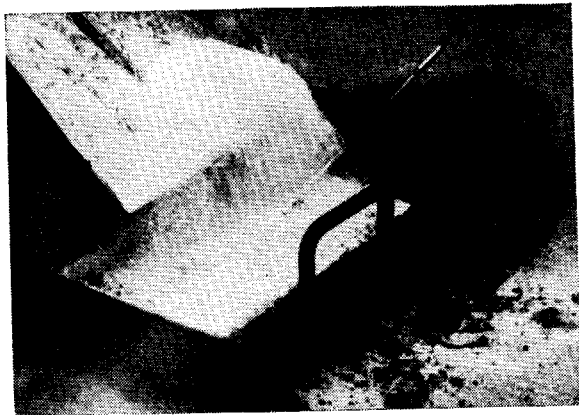
⁽¹⁾ 化学便覧 (応用編), ⁽²⁾ 化学便覧



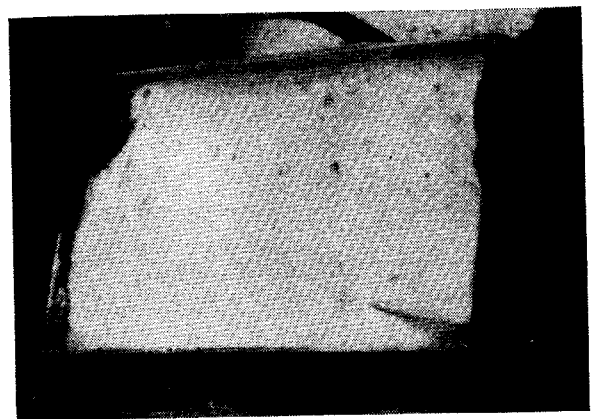
第 9 図 燈油は燃えつきナトリウムに着火し、白煙をだしている。ナトリウム温度 約 350°C.



第 10 図 CaCO_3 を 1 回分かける。白煙激しくなる。



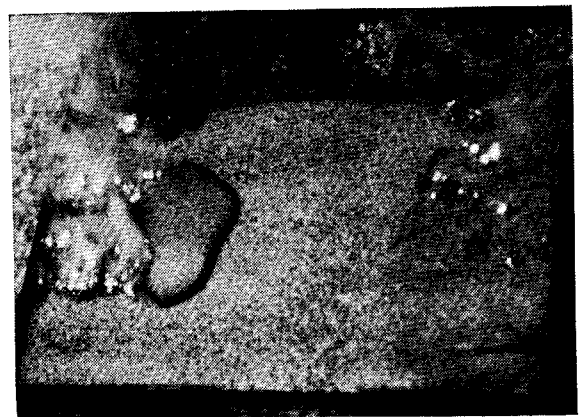
第 11 図 Na_2CO_3 をかけると、ナトリウムの白煙も治まり、すみやかに鎮火する。



第 12 図 NaHCO_3 を 1 回分かけた後の状態を示す。ほぼ完全に消火したようにみえる。



第 13 図 その消火剤をかけて約 2 分後黒い穴ができ、発煙をはじめる。



第 14 図 乾燥砂を 3 回分かけた後の状態を示す。ナトリウムが浮き上り発火している。

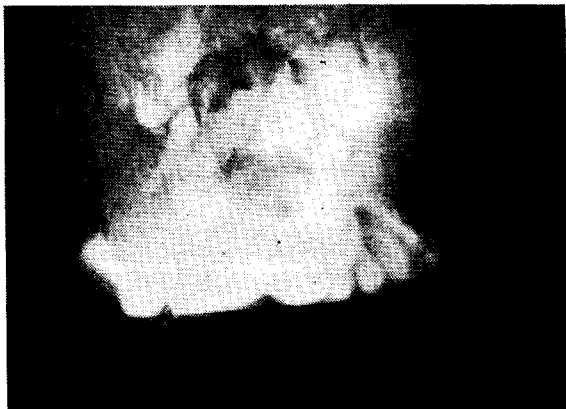
て、消火作業をおこなわなければならない。

5.3 人体の防護

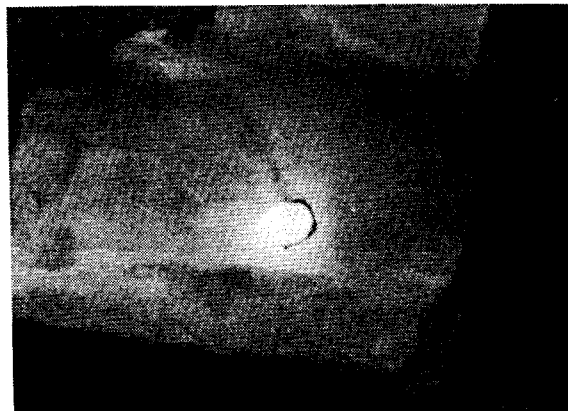
Na の火災を消火するには、火災に接近して注意深い操作をおこなわなければならないので、爆発による傷害や煙霧吸入による呼吸障害などを起す危険がある。したがって、完全な防護具（7. 人体防護参照）を着用し

5.4 爆発防護

Na の火災においては、水やその他の物質とはげしい反応を起して爆発することがあるので、Na を取扱ったり、貯蔵する場所においては、その配置を安全の立場



第 15 図 その後 2 分経過した所、砂とナトリウムは激しく反応を始め、炎、白煙が著しい。ナトリウム温度は約 600°C まで上昇した。



第 16 図 パーライトとナトリウムの反応を示す。ナトリウムは炎を大きくして燃え、程度はシリカライトと区別できなかった。



第 17 図 MGB と燃えているナトリウムの反応を示す。MGB は燃えたがブルーフェルトのように穴はできなかった。

から検討し、引火性物質、爆発性物質、可燃性物質および酸、アルカリなどの危険物から隔離し、もし隔離できないときには鉄筋コンクリートの防爆壁で囲むことが望ましい。また消火用水が他から流れこんで爆発を起さないように、傾斜を外側に向って作っておくことも望ましい。また排水溝を必ず設け、安全な場所に水を流して、水がたまらないように計画されなければならない。

発生した水素が爆発しないように照明器具、電気機器、配線、スイッチなどは、できるだけ建物または防護壁の外側に設け、その場所における裸火の使用は禁止する。また人体防護の目的から、遠隔操作か、自動式固定消火装置を設けることが望ましい。

5.5 事後処理

鎮火後の残留 Na は、放置しておくとも再燃し、床などを損傷し、また火災を再び起こすので、すみやかに除

去、洗滌および廃棄する必要がある。燃焼を終わったと思われる残渣中にも必ず Na が残っていて、発火、爆発の危険があるので、消火作業と同様の注意が必要である。

残渣は乾燥した鉄製のシャベルですくって金属容器に移し安全な場所に運搬し、消火剤または窒素を封入する。他の物質と化合した Na は、取り除くことが困難であるので、ノミと金づちを使用して除去する。長い間放置すると炭酸塩となり、固化し硬い塊となるので、なるべく早く処置をおこなう。

火災現場の洗浄は、まずアルコールを使用して払拭し、次に水蒸気処理をおこない、さらに水で洗い流す。

5.6 消防隊の組織、教育および訓練

- (1) Na の使用、貯蔵、輸送などをおこなう場合における消火は、特殊の知識および経験を必要とするので、一般の消防隊においても特殊の教育、訓練をおこなうと同時に、現場の従業員に対しても初期消火の教育、訓練をおこなう必要がある。
- (2) 他の職場の従業員が許可なく Na を取り扱っている場所に入らないように教育する。
- (3) 水その他の化合物と Na とのはげしい反応について直接眼で見させ、耳で爆発音を聞かせる教育をおこなう。
- (4) 防護用機器、消火装置などの保管場所および使用方法などの教育、訓練は、定期的に繰り返しおこなう。
- (5) 使用しては危険である消火器は現場に置かないことはもちろんであり、使用厳禁することを徹底的に教育し、さらに使用厳禁の標示を見やすいように付ける。
- (6) Na 火災専用の消火器は、他の消火器と区別するために色分けをおこなう。(たとえば赤色と黄色のしま模様を塗る。)

6. 人 体 防 護

Na 災害防止措置は十分おこなうべきであるが、不幸にして Na の漏洩事故等がおきたときのために、作業員に十分な対策訓練をおこなっておき、また適切な防護具を使用させる必要がある。Na を廃棄および洗浄する作業についても同様である。

6.1 作業員の訓練

作業員は、Na 取扱い作業に関する安全指針をよく理解しておかねばならない。作業の危険度に応じた防護衣の選定、着用法、Na の危険性の実態に関する知識、器材の安全な取扱い法、運転事故対策、救急措置、消火法、後始末法などが、実施訓練によって十分体得されていなければならない。またその後の経験に基づき、具体的条件に即して逐次改善されなければならない。

6.2 防護具

現在、燃焼 Na に耐えるような完全な防護具はない。したがって危険度に応じ、作業性を不必要にそこなわない程度の種々の等級の防護具を用意しておく必要がある。たとえば、

- (A級) 化学実験用装備（帽子、顔面シールド、難燃性布地の前かけ）（第 18 図）
- (B級) 軽作業用装備——Na ループの弁操作用 および洗浄作業用（顔面シールド付ヘルメット、難燃性布地の前かけ、皮手袋、半長靴）（第 19 図）
- (C級) 消火作業用装備（ニッケル箔張付顔面シールド付ヘルメット、ニッケル箔張付難燃性布地の上衣およびズボン、皮手袋、半長靴、通風管付）（第 20 図）

の 3 段階にすることもよい。なお、これらの器材は十分乾燥状態で保持され、着脱の容易なものでなければならない。

6.2.1 身体保護

素肌を現わさぬよう長袖、長ズボンの脱着しやすいものを着用し、次に耐火処理したビニロン厚布等の前掛けを着る。

(A・B級)：これは長袖でカフスのないものがよく、えりも Na が入り込まぬようにきっちりしたものがよい。もっと被災の確率が高い作業や消火作業用には、ビニロンに Ni 箔（約 0.01mm 厚）を張ったもの等が適している。

(C級)：デザインは上記のものと同様でよい。暑気および湿気を除くには、空気を身体との間に送入するとい。

これらのものも十分な耐久力がないので、Na が付着したなら直ちに脱衣できるデザインと訓練が必要である。なお、外国においてはアスベスト衣なども推奨されているが、湿度の高い我国では耐久力が低いことを忘れてはならない。

6.2.2 眼および顔面保護

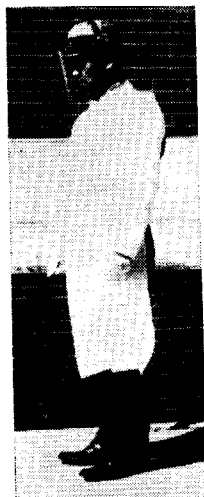
A・B級には、ポリカーボネイト全面顔覆い（1.5mm 厚）がよい。

C級用には、もっと厚手のものを用いるとよい。また眼鏡を通常つけているものも、カップタイプの安全眼鏡をさらに着用するのが望ましい。（第 21 図）

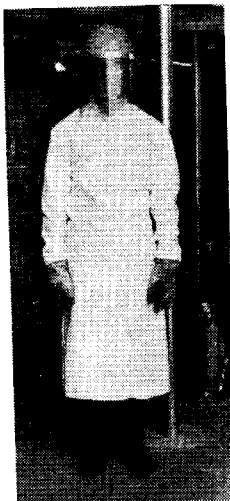
6.2.3 頭部および呼吸器

A級用には、綿製安全帽で十分であろう。

B級用には、ポリエステル製ヘルメットをつけるのが



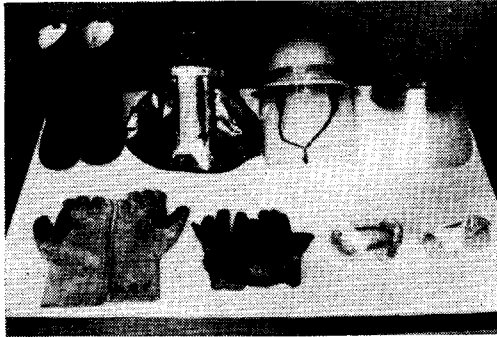
第 18 図 化学実験室用防護具



第 19 図 軽作業用防護具



第 20 図 重作業用防護具（重松製作所に委託試作）



第 21 図 防護用部品（重松製作所に委託試作）

よい。かなり丈夫で感電の心配もない。

C級用にはその上にニッケル箔を張付けたものがよいであろう。

呼吸器保護用に適当な吸収剤がないので、マスクをした上に空気カーテンによる煙の排除(C級)、または空気または酸素自蔵式の完全気密マスクを用いる。

6.2.4 手の保護

固体 Na を取り扱う場合には、ポリエチレン、ブチルゴム、クロロプレン、またはビニール製の手袋を用いて Na OH との接触をさける。高温 Na 作業には、クロームなめし皮の長手袋が最適である。高温のバルブ操作や消火作業に、アスベストグローブを重ねて使用する必要があることもある。

6.2.5 足の保護

A級用には皮靴でよい。

B・C級用には、厚い皮製の安全半長靴がよい。C級

には、靴の上にニッケル箔張りのズボンのすそをかぶせる。

6.3 救急用具類

Na 被災事故がおきた場合、できるだけ早く医師の治療を受けるべきであるが、応急措置用の器材を用意しておく必要がある。使用上の注意は次項にのべる。

- | | |
|---------------|-----------------|
| (イ) 洗眼器 | (ニ) タンカ |
| (ロ) シャワー等 | (ホ) 3～5% 稀酢酸中和液 |
| (ハ) 衣類切り取りハサミ | (ヘ) 3% 硼酸水溶液 |

6.4 救急処置

危険をともしなう作業に従事するときは、少なくとも2人が組になって作業をおこない、必要に応じ直ちに1人が救急作業にかかれるようにする。Na の付着した衣類は直ちに脱ぐ必要があるが、場合によってはハサミで切り取る。身体に Na が付着したらすぐに取除いてから十分な水洗をシャワー等でおこなわねばならない。眼を薬傷した場合は、直ちに洗顔器で十分水洗する。水洗が最も適確迅速な緊急措置である。また Na をのみこんだ場合には、大量の水を飲むのがよい。そして直ちに医師の治療をうける。

Na 除去に鉱物油を使うのは好ましくない。皮膚組織にアルカリを閉じこめ、アルカリ中和の効果がなくなり、薬傷がひどくなるからである。

7. 事 故 例

7.1 ループにおけるナトリウム漏洩事例

- (1) Na ループの電磁ポンプを予熱し、Na をチャージしようとしたとき、過熱してしまい、またポンプに過大な電流を流したので、電磁ポンプの電極が過熱し、Na 導管が破断し、チャージ中の Na が漏洩、発火した。直ちに漏洩箇所附近のバルブを閉め、関係電源を切り消火した。

(発火時刻 16:15)

- (2) Na ループ運転中に、電磁ポンプの電極を溶接してある Na 導管から Na が漏洩し発火した。直ちに運転を停止し、Na をタンクにドレインした。漏洩の原因は、Na 導管に何らかの原因で応力が集中し、微小なクラックが生じたためである。

(発火時刻 18:00, 21:00)

- (3) 700°C で使用していた Na ループの 25 Cr-20Ni ステンレス製鋼エコノマイザーから少量の Na が漏洩し発火した。直ちに運転を中止し Na をタンクにドレインした。漏洩の原因はエコノマイザー製作中に微小なクラックが発生していたためと思われる。

(発火時刻 15:30)

- (4) Na ループ運転中ベローズ弁の弁棒上部より

400°C の Na が少量漏れだした。バルブを全開にしたところ、バックシートとグランドパッキングで漏出が止められたのでその回りの運転は続行した。漏出の原因はベローズの一部に亀裂が発生したためであった。

(発火時刻 10:00)

- (5) 真空蒸溜装置に Na をチャージし、ループへ戻しながらクリーニング中にメタルパッキングのフランジのしめつけが不十分であったため、グローブボックス内の Ar 雰囲気中に Na が漏れていることを真空蒸溜が終了したときに発見した。

7.2 ナトリウム処理時の事例

- (1) Na が付着したパイプ等を深さ 50cm の水槽に入れて水処理した後にパイプ等を動かしたところ、パイプ内部に完全に水が入ったため、管の切り口で水素爆発が起こった。
- (2) 粉末消火剤で消火した Na を受け皿に入れて水処理した後、生成された固形物をはがした際に内部の未反応 Na が床面の水と爆発反応した。
- (3) Na の付着したパイプをエタノールで処理洗浄しようとした際、発熱反応によりアルコールに引火した。

文

- 1) "Liquid-Metals Handbook (Na-Nak Suppl.)" TID-5277 (July 1955) AEC & Dep. Navy (USA)
- 2) "Sodium-its manufacture, properties and uses" SITTING M. Reinhold Pub. Co. (N.Y.) (1956)
- 3) "高速炉用液体 Na 工学の現況と問題点" (三訂版) 古川和男: JAERI-memo 2719, (未公開) (1967)

献

- 4) "A Study of Sodium Fires" GRACIE J.D., DROHE J.J.: NAA-SR-4383 (Oct. 1967)
〔(訳)「ナトリウム火災の研究(改訂版) 古川, 井口, JAERI-memo 2184, (未公開) (1966)〕
- 5) "原子力開発のための液体ナトリウム技術と防災" 古川和男, 井口八枝: 安全工学, 6, No. 1, p. 1 (1967)

あ と が き

原研技術顧問北川徹三教授には、数年前の開発開始当初から Na 防災に関し、種々有益な御指導をいただいております。結果として現在まで何らの傷害事故なしに開発を進め、迎えつつある新しい発展段階に即応することができつつある事を深く感謝しております。今回はまた激戦の中を委員長としておまとめいただいたこの指針は、安全性確保、ひいては高速増殖炉開発の一層の活発化に大きく貢献するものと思います。また終始御熱心に御協力

下さいました委員各位および事務局の方々に改めて御礼申し上げます。

ただ、我国における液体 Na 技術開発は、まだ緒に付いたばかりであり、さらに適切な指針へ改善の余地が多いことは、検討中にも指摘された所です。より完全なものとするため今後も種々の助言をお願いいたします。

ナトリウム研究室

古川和男・山田栄吉

〔付 表〕

安全工学協会 ナトリウム防災研究委員会構成 (五十音順)

出席者 () 内 は 代 理 者				所	属
委員長	北 川 徹 三			横 浜 国 立 大 学	工 学 部
委員	秋 田 一 雄			東 京 大 学	工 学 部
"	大 野 正 剛			日本原子力事業(株)	研 究 部
"	河 原 誠 二	(厚 母 栄 夫)		(株) 日 立 製 作 所	日 立 研 究 所
"	菊 池 栄 助			日本原子力研究所	大 洗 研 究 所
"	国 分 英 徳	(高 木 克 弘)		住友原子力工業(株)	東 京 支 社
"	相 良 毅	(沢 田 裕)		(株) 鉄 興 社	
"	里 山 正 蔵	(福 井 資 夫)		東京芝浦電気(株)	中 央 研 究 室
"	左 右 田 信 一			損害保険料率算定会	
"	塚 原 康 武	(米 原 実)		日本ドライケミカル(株)	
"	友 田 千 年	(田 下 正 紀)		電力中央研究所	
"	中 川 弘	(伊 藤 純 夫)		東 京 電 力 (株)	原子力開発研究所
"	難 波 桂 芳			東 京 大 学	工 学 部
"	日 塔 光 輝			昭 和 電 工 (株)	研 究 開 発 部
"	浜 野 治			(株) 重 松 製 作 所	
"	古 川 和 男			日本原子力研究所	東 海 研 究 所
"	堀 子 恒 雄	(新 保 忠 吉)		日 本 曹 達 (株)	工 業 本 部
"	松 尾 直 方			金 曹 工 業 会	
"	松 野 武 雄			横 浜 国 立 大 学	工 学 部
"	山 田 栄 吉			日本原子力研究所	東 海 研 究 所
"	吉 見 宏 孝			富 士 電 機 製 造 (株)	開 発 部
"	若 園 吉 一			京 都 大 学	工 学 部
"	渡 辺 崇			三菱原子力工業(株)	原 子 力 部
オブザーバー	後 藤 田 正 一			動力炉・核燃料開発事業団	
事務局	岡 田 啓 次 郎			安全工学協会事務局	
"	小 木 曾 千 秋			横 浜 国 立 大 学	工学部大学院学生
"	佐々木 貞 明			横 浜 国 立 大 学	工 学 部 学 生

付 録

危険物取り扱い関係法規抜粋

Na, K 等は法規上、危険物として取り扱われている。
その貯蔵所および取扱所（実験室もこの一種）に関する
法規を抜粋して示すこととした。

消 防 法（昭和23年7月14日 法律186号）
（改 正 昭和42年 法律 80 号）

第10条 指定数量以上の危険物は、貯蔵所（車両に固定
されたタンクにおいて危険物を貯蔵し、または取り扱
う貯蔵所を含む。以下同じ。）以外の場所でこれを貯蔵
し、または製造所、貯蔵所および取扱所以外の場所で
これを取り扱ってはならない。ただし、所轄消防長ま
たは消防署長の承認を受けて指定数量以上の危険物
を、10日以内の期間、仮に貯蔵し、または取り扱い場
合は、この限りでない。

2 別表に掲げる品名を異にする2以上の危険物を同一
の場所で貯蔵し、または取り扱い場合において、当該
貯蔵または取扱いに係る危険物の品名ごとの数量をそ
れぞれの指定数量で除し、その商の和が一以上となる
ときは、当該場所は、指定数量以上の危険物を貯蔵
し、または取り扱っているものとみなす。

3 製造所、貯蔵所または取扱所においてする危険物の
貯蔵または取扱は、政令で定める技術上の基準に従っ
てこれをしなければならない。

4 製造所、貯蔵所および取扱所の位置、構造および設
備の技術上の基準は、政令でこれを定める。

第11条 製造所、貯蔵所または取扱所を設置しようとす
る者は、政令で定めるところにより、製造所、貯蔵所
または取扱所ごとに、消防本部および消防署を置く市
町村の区域にあっては当該市町村長、消防本部および
消防署を置かない市町村の区域にあっては当該区域を
管轄する都道府県知事の許可を受けなければならない。
製造所、貯蔵所、または取扱所の位置、構造または
設備を変更しようとする者も同様とする。

第11条の2 製造所、貯蔵所または取扱所の位置、構造
または設備を変更しないで当該製造所、貯蔵所または

別 表

種 別	品 名	数 量
第 三 類	金属「カリウム」	5キログラム
	金属「ナトリウム」	5
	炭化カルシウム(カーバイド)	300
	りん化石灰	300
	生 石 灰	500

取扱所において貯蔵しまたは取り扱う危険物の種類ま
たは数量を変更しようとする者は、変更しようとする
日の10日前までに、その旨を市町村長等に届け出なけ
ればならない。

危険物の規制に関する政令

（昭和34年9月26日 政令第306号）
（最終改正 昭和40年9月21日 政令第308号）

（危険物の区分）

第1条 消防法（以下「法」という。）第2条第7項に規
定する危険物は、甲種危険物および乙種危険物に区分
する。

2 甲種危険物は次に掲げるものとする。

三 第3類の危険物のうち、金属「カリウム」およ
び金属「ナトリウム」

（設置の許可の申請）

第6条 法第11条第1項前段の規定により製造所、貯蔵
所または取扱所（以下「製造所等」という。）の設置の
許可を受けようとする者は、次の事項を記載した申請
書を、当該製造所等が消防本部および消防署を置く市
町村の区域にあるときは当該市町村の長、消防本部お
よび消防署を置かない市町村の区域にあるときは、当
該区域を管轄する都道府県知事に提出しなければならない。

（一） 氏名または名称および住所ならびに法人にあっ
てはその代表者の氏名および住所

（二） 製造所等の別および貯蔵所または取扱所にあっ
てはその区分

（三） 製造所等の設置の場所（移動タンク貯蔵所にあ
っては、その常置する場所）

（四） 貯蔵し、または取り扱う危険物の類、品名およ
び最大数量

（五） 製造所等の位置、構造および設備

（六） 危険物の貯蔵または取扱の方法

（七） 製造所等の着工および完成の予定期日

2 前項の申請書には、製造所等の位置、構造および設
備に関する図面その他自治省令で定める書類を添付し
なければならない。

（変更の許可の申請）

第7条 法第11条第1項後段の規定により製造所等の位
置、構造または設備の変更の許可を受けようとする者
は、次の事項を記載した申請書を前条第1項の市町村
の長または都道府県知事（以下「市町村長等」という。）
に提出しなければならない。

（一） 氏名または名称および住所ならびに法人にあっ

- ては、その代表者の氏名および住所
- (二) 製造所等の別および貯蔵所または取扱所にあつては、その区分
- (三) 製造所等の設置の場所（移動タンク貯蔵所にあつては、その常置する場所）
- (四) 変更の内容
- (五) 変更の理由

2 前項の申請書には、製造所等の位置、構造または設備の変更の内容に関する図面その他自治省令で定める書類を添付しなければならない。

(製造所の基準)

第9条 法第10条第4項の製造所の位置、構造および設備（消火設備および警報設備を除く。以下この章の第1節から第3節までにおいて同じ。）の技術上の基準は、次のとおりとする。

一 製造所（生石灰および第6類の危険物を取り扱う製造所を除く。）の位置は、次に掲げる建築物等から当該製造所の外壁またはこれに相当する工作物の外側までの間に、それぞれ当該建築物等について定める距離を保つこと。ただし、イからハまでに掲げる建築物等について、不燃材料（建築基準法（昭和25年法律第201号）第2条第9号の不燃材料のうち、自治省令で定めるものをいう。以下同じ。）で造った防火上有効なへいを設けること等により、市町村長等が安全であると認めた場合は、当該市町村長等が定めた距離を当該距離とすることができる。

(イ) ロからニまでに掲げるもの以外の建築物その他の工作物で、住居の用に供するもの（製造所の存する敷地と同一の敷地内に存するものを除く）

10メートル以上

(ロ) 学校、病院、劇場その他多数の人を収容する施設で、自治省令で定めるもの

30メートル以上

(ハ) 文化財保護法の規定によって重要文化財、重要民俗資料、史跡もしくは重要な文化財として指定され、または重要美術品として認定された建造物

50メートル以上

(ニ) 高圧ガスその他災害を発生させるおそれのある物を貯蔵し、または取り扱う施設で、自治省令で定めるもの

自治省令で定める距離

(ホ) 使用電圧が7,000ボルトをこえ、35,000ボルト以下の特別高圧架空電線

水平距離 3メートル以上

(ヘ) 使用電圧が35,000ボルトをこえる特別高圧架空電線

水平距離 5メートル以上

2 危険物を取り扱う建築物その他の工作物（危険物

を移送するための配管その他これに準ずる工作物を除く。）の周囲に、その取り扱う危険物の最大数量に応じ、次の表に掲げる幅の空地を保有すること。

ただし、自治省令で定めるところにより、防火上有効な隔壁を設けたときはこの限りでない。

危険物の取扱最大数量	空地の幅
指定数量の10倍以下の数量	3メートル以上
指定数量の10倍をこえる数量	5メートル以上

3 製造所には、自治省令で定めるところにより、見やすい箇所に製造所である旨を表示した標識および防火に関し必要な事項を掲示した掲示板を設けること。

4 危険物を取り扱う建築物は地階を有しないものであること。

5 危険物を取り扱う建築物は、壁、柱、床、はりおよび階段を不燃材料で造るとともに、延焼のおそれのある外壁を耐火構造とすること。

6 ……屋根を不燃材料で造るとともに、石綿板、金属板その他の軽量な不燃材料でふくこと。

7 ……窓および出入口には、甲種防火戸または乙種防火戸を設けること。

8 ……窓および出入口にガラスを用いる場合は、網入ガラスとすること。

9 ……液状の危険物を取り扱う建築物の床は、危険物が浸透しない構造とするとともに適当な傾斜をつけ、かつ、ためますを設けること。

10 危険物を取り扱う建築物には、危険物を取り扱うために必要な採光、照明および換気の設備を設けること。

13 危険物を取り扱う機械器具その他の設備は、危険物のもれ、あふれまたは飛散を防止することができる構造とすること。

14 危険物を加熱し、もしくは冷却する設備または危険物の取り扱いに伴って温度の変化が起こる設備には、温度測定装置を設けること。

16 危険物を加圧する設備またはその取り扱う危険物の圧力が上昇するおそれのある設備には、圧力計および自治省令で定める安全装置を設けること。

19 指定数量の10倍以上の危険物を取り扱う製造所には、有効な避雷設備を設けること。ただし周囲の状況によって安全上支障のない場合においてはこの限りでない。

21 危険物を取り扱う配管は、金属管、陶管等耐熱性を有するものであること。

22 電動機および危険物を取り扱う設備のポンプ、弁、接手等は、火災の予防止上支障のない位置に取り付けること。

(屋内貯蔵所の基準)

第10条 第2条第1号の屋内貯蔵所の位置、構造および設備の技術上の基準は次のとおりとする。

- 1 屋内貯蔵所の位置は、前条第1号に掲げる製造所の位置の例によるものであること。
- 2 危険物を貯蔵し、または取り扱う建築物（以下この条において「貯蔵倉庫」という。）の周囲に、その貯蔵または取り扱う危険物の最大数量に応じ、次の表に掲げる幅の空地を保有すること。

危険物の貯蔵最大数量	空地の幅	
	当該建築物の壁、柱および床が耐火構造である場合	左欄に掲げる場合以外の場合
指定数量の5倍以下の数量		0.5メートル以上
" 5倍をこえ10倍以下	1メートル以上	1.5 "
" 10倍をこえ20倍以下	2 "	3 "
" 20倍をこえ50倍以下	3 "	5 "
" 50倍をこえ200倍以下	5 "	10 "
" 200倍をこえる数量	10 "	15 "

- 3 三屋内貯蔵所には自治省令で定めるところにより、見やすい箇所に屋内貯蔵所である旨を表示した標識および防火に関し必要な事項を掲示した掲示板を設けること。
- 4 貯蔵倉庫は平家建とし、かつその床を地盤面以上に設けること。
- 5 1の貯蔵倉庫の建築面積は、150平方メートルをこえないこと。
その他、前条第5号、第6号、第7号、第8号、第9号、第10号、第19号を参照のこと。
- 10 ……貯蔵倉庫の床は、床面に水が浸入し、または、浸透しない構造とすること。

（一般取扱所の基準）

第19条 第9条の規定は、第3条第3号の一般取扱所の位置、構造および設備の技術上の基準について準用する。

（消火設備の基準）

第20条 消火設備の技術上の基準は、次のとおりとする。

- 1 製造所、屋内貯蔵所、屋外タンク貯蔵所、屋内タンク貯蔵所または一般取扱所のうち、その規模、貯蔵し、または取り扱う危険物の品名、および最大数量等により火災が発生したとき著しく消火が困難とみられるもので、自治省令で定めるものは、自治省令で定めるところにより、別表に、掲げる対象物について同表においてその消火に適応するもの、とされる消火設備のうち、第1種、第2種または第3種の消火設備、ならびに第4種および第5種の消火設備を設置すること。
- 2 製造所、屋内貯蔵所、屋外タンク貯蔵所、屋内タ

ンク貯蔵所、屋外貯蔵所または一般取扱所のうち、その規模、貯蔵し、または取り扱う危険物の品名および最大数量等により、火災が発生したとき消火が困難と認められるもので、自治省令で定めるものは、自治省令で定めるところにより、別表に掲げる対象物について同表においてその消火に適応するものとされる消火設備のうち、第4種および第5種の消火設備を設置すること。

- 3 前2号の自治省令で定める製造所等以外の製造所等にあつては、自治省令で定めるところにより、別表に掲げる対象物について同表においてその消火に適応するものとされる消火設備のうち、第5種の消火設備を設置すること。

- 2 前項に掲げるもののほか、消火設備の技術上の基準については、自治省令で定める。

（警報設備の基準）

第21条 指定数量の10倍以上の危険物を貯蔵し、または取り扱う製造所等で自治省令で定めるものは、自治省令で定めるところにより、火災が発生した場合自動的に作動する火災報知設備その他の警報設備を設置しなければならない。

（基準の特例）

第23条 この章の規定は、製造所等について、市町村長等が危険物の品名および数量、危険物の貯蔵または取り扱いの方法並びに製造所等の周囲の地形その他の状況等から判断して、この章の規定による製造所等の位置、構造および設備の基準によらなくとも火災の発生および延焼のおそれが著しく少なく、かつ、火災等の災害による被害を最少限度に止めることができると認めるとき、または予想しない特殊の構造、もしくは設備を用いることにより、この章の規定による製造所等の位置、構造および設備の基準による場合と同等以上の効力があると認めるときにおいては、適用しない。

（通 則）

第24条 法第10条第3項の製造所等においてする危険物の貯蔵または取り扱いのすべてに共通する技術上の基準は次のとおりとする。

- 1 当該製造所等について、許可を受けた数量以上または品名以外の危険物を貯蔵し、または取り扱わないこと。
- 2 製造所等においては、みだりに火気を使用しないこと。
- 3 製造所等には、係員以外の者をみだりに出入させないこと。
- 4 製造所等においては、常に整理および清掃に努めるとともに、みだりに空箱その他の不必要な可燃物を放置しないこと。
- 5 危険物のくず、かす等は、1日に1回以上当該危険物の性質に応じて安全な場所で廃棄その他適当な

処置をすること。

- 6 危険物を貯蔵し、または取り扱う建築物の工作物または設備は、当該危険物の性質に応じ、遮光または換気をおこなうこと。
- 7 危険物は、温度計、湿度計、その他の計器を監視し、当該危険物の性質に応じた適正な温度または湿度を保つように取り扱うこと。
- 8 危険物を貯蔵し、または取り扱う場合においては、当該危険物がもれ、あふれ、または飛散しないように努めること。
- 9 危険物を貯蔵し、または取り扱う場合においては、危険物の変質、異物の混入等により、当該危険物の危険性が増大しないように措置を講ずること。
- 10 危険物が残存し、または残存しているおそれがある設備、機械器具、容器等を修理する場合は、安全な場所において、危険物を完全に除去したのちにおこなうこと。
- 11 危険物を容器に収納して貯蔵し、または取り扱うときは、その容器は、当該危険物の性質に適応し、かつ、破損、腐し、さけめ等がないものであること。
- 12 危険物を収納した容器を貯蔵し、または取り扱う場合は、みだりに転倒させ、落下させ、衝撃を加え、または引きずるなど粗暴な行為をしないこと。
- 13 可燃性の液体、可燃性の蒸気もしくは可燃性のガスがもれ、もしくは滞留するおそれのある場所または可燃性の微粉が著しく浮遊するおそれのある場所では、電線と電気器具とを完全に接続し、かつ、火花を発する機械器具、工具、履物等を使用しないこと。
- 14 危険物を保護液中に保存する場合は、当該危険物が保護液から露出しないようにすること。

第25条 法第10条第3項の製造所等においてする危険物の貯蔵または取扱の危険物の類ごとに共通する技術上の基準は、次のとおりとする。

3 第3類の危険物は、水との接触を避けること。

2 前項の基準は、危険物を貯蔵し、または取り扱うにあたって、同項の基準によらないことが通常である場合においては、適用しない。この場合において、当該貯蔵または取扱については、災害の発生を防止するため、十分な措置を講じなければならない。

(貯蔵の基準)

第26条 法第10条第3項の危険物の貯蔵の技術上の基準は、前2条に掲げるもののほか、次のとおりとする。

1 の2 屋内貯蔵所においては、危険物は、自治省令で定めるところにより容器に収納し、かつ、品名別ごとに取りまとめて貯蔵するとともに、建築物の内壁から0.3メートル以上、危険物の品名別ごとに0.3メートル以上それぞれ間隔を置くこと。ただし自治

省令で定める危険物については、この限りでない。

2 前号本文の場合においては、同一品名の自然発火するおそれのある危険物または災害が著しく増大するおそれのある危険物を多量貯蔵するときは、指定数量の10倍以下ごとに区分し、かつ0.3メートル以上の間隔を置いて貯蔵すること。ただし自治省令で定める危険物については、この限りでない。

(取扱の基準)

第27条 法第10条第3項の危険物の取扱の技術上の基準は、第24条および第25条に掲げるもののほか、この条に定めるところによる。

3 危険物の取扱のうち詰替の技術上の基準は、次のとおりとする。

- 1 危険物を容器に詰め替える場合は、自治省令で定めるところにより収納すること。
- 2 危険物を詰め替える場合は、防火上安全な場所でおこなうこと。

5 危険物の取扱のうち廃棄の技術上の基準は次のとおりとする。

- 1 焼却する場合は、安全な場所で、かつ、燃焼または爆発によって他に危害または損害をおよぼすおそれのない方法でおこなうとともに、見張人をつけること。

政 令 別 表

消 火 設 備 の 区 別		対 象 物 の 区 別		
		建築物その他の工作物	電気設備	第三類の危険物
第一種	屋内用消火栓	○		
	屋内用消火栓に代る可搬式動力消火ポンプ	○		
第二種	水幕消火設備	○		
第三種	水蒸気又は霧状の水を放射する固定式消火設備	○	○	
	泡消火設備	○		
	蒸発性液体消火設備		○	
	不燃性ガス消火設備		○	
	粉末消火設備		○	
第四種	棒状の水を放射する大型消火器	○		
	霧状の水を放射する大型消火器	○	○	
	その他大型消火器類(略)			
第五種	水バケツ	○		
	各種小型消火器類(略)			
	乾燥砂			○

2 埋没する場合は、危険物の性質に応じ、安全な場所でおこなうこと。

3 危険物は、海中または水中に流出させ、または投下しないこと。ただし他に危害または損害をおよぼすおそれのないとき、または災害の発生を防止するための適当な措置を講じたときは、この限りでない。

(運搬容器)

第28条 法第16条の規定による危険物を運搬するための容器（以下「運搬容器」という。）の技術上の基準は、次のとおりとする。

1 運搬容器の材質は、鋼板、アルミニウム板、ブリキ板、ガラス、陶器その他自治省令で定めるものであること。

(註) 自治省令でこの条以外に定める運搬容器

金属板、ポリエチレン、紙、プラスチック、ファイバー板、塩化ビニール、麻、わら、木

2 運搬容器の構造および最大容積は、自治省令で定めるものであること。（別表第3参照）

危険物の規制に関する自治省令

(昭和34年9月26日 総理府令第55号)
(昭和40年10月 省令第28号)

第3章 製造所等の位置、構造および設備の基準

(不燃材料)

第10条 令第9条第1号本文ただし書の自治省令で定める不燃材料は、コンクリート、れんが、石棉板、鉄鋼、アルミニウム、モルタルおよびしっくいとする。

(学校等の多数の人を収容する施設)

第11条 令第9条第1号ロの自治省令で定める学校、病院、劇場その他多数の人を収容する施設は、それぞれ次の各号のとおりとする。

1 学校教育法第1条に定める学校のうち、小学校、中学校、高等学校、盲学校、ろう学校、養護学校および幼稚園

2 医療法第1条に定める病院

3 劇場、映画館、演芸場、公会堂その他これらに類する施設で、300人以上の人員を収容することができるもの。

4 生活保護法第38条第1項の保護施設、児童福祉法第7条の児童福祉施設老人福祉法第14条第1項の老人福祉施設または身体障害者福祉法第5条の身体障害更生援護施設または精神薄弱者福祉法第18条の精神薄弱者援護施設で、20人以上の人員を収容することができるもの。

(空地の幅に関する防火上有効な隔壁)

第13条 令第9条第2号ただし書（令第19条において準用する場合を含む。）の規定により同号の表に掲げる幅の空地を保有しないことができる場合は製造所または一般取扱所の作業工程が他の作業工程と連続してい

るため建築物その他の工作物の周囲に空地の幅をとることにより当該製造所または一般取扱所の当該作業に著しく支障を生ずるおそれがある場合で、かつ当該製造所または一般取扱所と連続する他の作業工程の存する場所との間に小屋裏に達する防火上有効な隔壁を設けた場合とする。

第17条 ……………

1 標識は、幅0.3メートル以上、長さ0.6メートル以上の板であること。

2 標識の色は、地を白色、文字を黒色とする。

第18条 ……………

1 揭示板は、幅0.3メートル以上、長さ0.6メートル以上の板であること。

2 揭示板には、貯蔵し、または取り扱う危険物の類別、品名および貯蔵最大数量または取り扱い最大数量ならびに危険物取り扱い主任者の氏名を表示すること。

3 前号の揭示板の色は、地を白色、文字を黒色とすること。

4 第2号の揭示板のほか、第3類の危険物を貯蔵し、または取り扱う製造所等にあつては地を青色、文字を白色として「注水厳禁」と表示する。

第4章 消火設備および警報設備の基準

第29条 所要単位は、消火設備の設置の対象となる建築物その他の工作物の規模または危険物の量の基準の単位をいう。

2 能力単位は、前項の所要単位に対応する消火設備の消火能力の基準の単位をいう。

第30条 建築物その他の工作物または危険物の所要単位の計算方法は、次の各号のとおりとする。

1 製造所または取扱所の建築物は、外壁が耐火構造のものにあつては、延べ面積100平方メートル、外壁が耐火構造でないものにあつては、延べ面積50平方メートルを一所要単位とすること。

2 貯蔵所の建築物は……………150平方メートル……………75平方メートル……………

4 危険物は指定数量の10倍を一所要単位とすること。

第31条 第5種の消火設備の能力単位の数値は、別表第2のとおりとする。

第32条 令第20条の規定により、消火設備の設置の基準は、次のとおりとする。

4 第4種の消火設備は、半径30米の円の面積に1個設けること、ただし第1種、第2種または第3種の消火設備と併置する場合を除く。

5 第5種の消火設備は……………製造所等にあつては15メートルの距離ごとに1個設けること。ただし、第1種から第4種までの消火設備と併置する場合を除く。

第34条 ……………

- 1 第3種……………の危険物を取り扱う製造所または一般取扱所においては当該危険物の量が指定数量の10倍以上であるもの、または、床面積が600平方メートル以上のもの……………
- 2 ……………前項各号に掲げる……………の消火設備の設置の基準は、次のとおりとする。
 - 1 製造所、屋内貯蔵所、屋外貯蔵所または一般取扱所においては、第4種の消火設備をその放射能力範囲が建築物その他の工作物および危険物を包含するように設け、ならびに第5種の消火設備をその能力単位の数値が、危険物の所要単位の数値の5分の1以上になるように設けること。

自治省令<別表2>

消火設備	種 別	容量又は重量	対象物に対する能力単位	
			第四類または第六類の危険物に対するもの	電気設備ならびに第四類および第六類の危険物を除く対象物に対するもの
棒状または霧状の水を放射する小型消火器	水（炭酸ガス筒入式）	9ℓ—11ℓ		1.0
		19ℓ—38ℓ		2.0
		39ℓ—76ℓ		3.0
		95ℓ		4.0
	水槽付ポンプ	9ℓ—11ℓ		2.0
		13ℓ—19ℓ		3.0
	酸 アルカリ	5ℓ—9ℓ		1.0
		9ℓ—19ℓ		2.0
蒸発性液体を放射する小型消火器				
不燃性ガスを放射する小型消火器		略		略
消火粉末を放射する小型消火器	粉末（蓄圧式又は圧縮ガス筒入式）	1.5kg	3.0	
		3.0kg	5.0	
		4.0kg	7.0	
		5.5kg	8.0	
		7.5kg	9.0	
		11.0kg	10.0	
水 バ ケ ッ	消火専用バケツ	8ℓ		3個にて1.0
	水槽（消火専用バケツ6個付）	80ℓ		1.5
	水槽（消火専用バケツ6個付）	190ℓ		2.5
乾 燥 砂	乾燥砂（スコップ付）	50ℓ	0.5	0.5

第38条 ……………製造所等の警報設備の設置の基準は次のとおりとする。

- 1 指定数量の100倍以上の危険物を取り扱う製造所、もしくは一般取扱所で屋内にあるもの、指定数量の100倍以上の第3類の危険物を貯蔵し、もしくは取り扱う屋内貯蔵所……………においては自動火災報知設備を設けること。

第44条 ……………運搬容器および包装の外部におこなう表示は、次のとおりとする。

- 1 危険物の品名および化学名
- 2 危険物の数量
- 3 収納する危険物に応じ次に掲げる注意事項
 - ハ 第3類の危険物においては「禁水」

<別表3>

類 別	危険物 品 名	運 搬 容 器		収 納		包 装	
		材質 及び 構造	最大容積 又は最大 収容重量	収納 率	収 納 方 法	外 装	緩衝 物
第 三 類	金属ナトリウム	鋼製ドラム	220ℓ		溶融状態のものを収納して密封		
		ブリキかん	40ℓ		パラフィンまたは軽油または灯油で満たして密封	木箱または鋼板製箱	
	金属カリウム	ガラスびん	0.5ℓ		危険物を収納したガラスびんにパラフィン、軽油または灯油で満たし更にこれをブリキかんに入れて密封	木箱	

<別表4>

	第一類	第二類	第三類	第四類	第五類	第六類
第一類		×	×	×	×	×
第二類	×		×	○	○	×
第三類	×	×		○	×	×
第四類	×	○	○		○	○
第五類	×	○	×	○		×
第六類	×	×	×	○	×	

（筆者註） 第4類は油脂、石油、アルコール類

- 備考 1. ×印は、混載することを禁止する印である。
 2. ○印は、混載にさしつかえない印である。
 3. この表は、指定数量の $\frac{1}{10}$ 以下の危険物については適用しない。