

ナトリウム技術読本
Sodium Technology Handbook

2005年9月

核燃料サイクル開発機構

9.5.2 「常陽」メンテナンス建家火災事故^{5),6)}

(1) 火災発生の状況

平成13年10月31日午後8時42分頃、「常陽」の付属施設であるメンテナンス建家1階（管理区域内）に設置されている機器洗浄槽上部作業場において火災が発生した（図9.5-10、図9.5-11、図9.5-12）⁶⁾。午後8時55分に地元市町村を始めとする関係機関に通報連絡票（第1報）をFAXで発信し、午後9時10分に事故対策本部を設置して事故対応にあたった。

火災の発生は、火災報知器の作動を受けて中央制御室等での現場監視ITVで確認され、現場に駆けつけたセンター職員が最初はナトレックスを用いてナトリウム火災を考慮した初期消火を行い、その後は火災の状況から一般火災と確認されたためABC消火器を用いた消火活動を行ない、この消火活動によって火炎を伴う火災は抑制された。その後、大洗町消防署員到着後、同消防署員も加わって引き続き消火活動を行った。その結果、午後11時30分、大洗町消防本部員と消防署員が鎮火を確認した。

この間、排気筒モニタ、モニタリングポストの指示値および風下空気の測定の結果、この火災に伴う施設外部への放射性物質の放出はなく、環境への影響はなかった。また、消火対応等で現場に立ち入った消防関係者、従業員等の汚染・被ばくはなく、施設の汚染もなかった。

(2) 火災現場の状況

メンテナンス建家は、地上1階（一部3階）、地下2階（一部1階）であり、「常陽」の設備機器のナトリウム洗浄、分解、保守を行う施設である。機器洗浄槽は1階に設置されており、燃料交換時に発生するドリップパン（受け皿）上のナトリウムおよび小型機器に付着したナトリウムの洗浄を行う設備である。機器洗浄槽上部には、放射性ナトリウムが付着した機器等を取扱う作業場として、酢酸ビニールシートおよび防災シートに覆われたグリーンハウス（約3.3m×3.7m、高さ約2m）が設けられていた。

火災発生現場のメンテナンス建家1階では、1次系配管サーベイランス材取出し作業を行っていた。当日は小型ナトリウム弁の解体作業を行い、その後弁を機器洗浄槽上部のグリーンハウス内に移動し、弁の内部に残っているナトリウムを洗浄するための準備作業（洗浄は翌11月1日に行う予定であった。）を実施した。作業は午後6時35分に終了し、全ての作業員はメンテナンス建家から退域し、午後6時47分に施錠した。

火災の範囲は、機器洗浄槽の上部作業場の部分であった。燃えたとみられるものは、グリーンハウスとその内部にあったカートンボックス（紙製容器）、タイベックススーツ（作業着）、ゴム手袋、キムタオル（紙製タオル）等であった（図9.5-12、図9.5-13）⁶⁾。

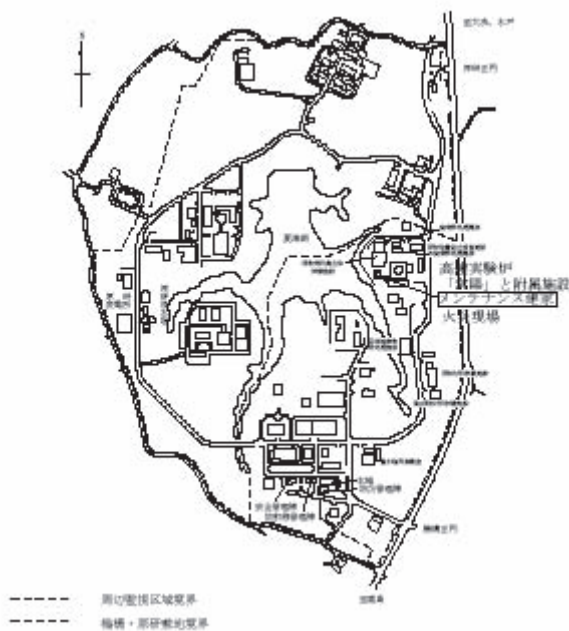


図 9.5-10 大洗工学センターの全体図⁶⁾

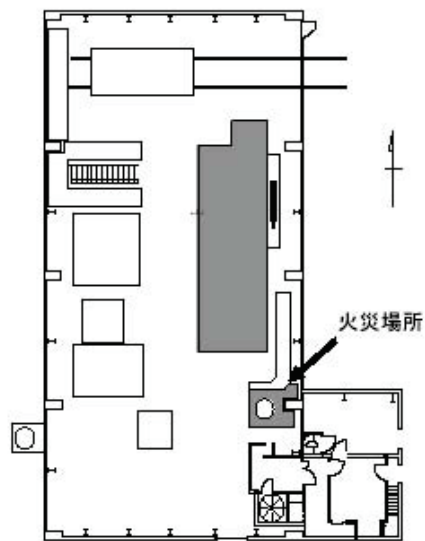


図 9.5-11 メンテナンス建屋1階平面図⁶⁾

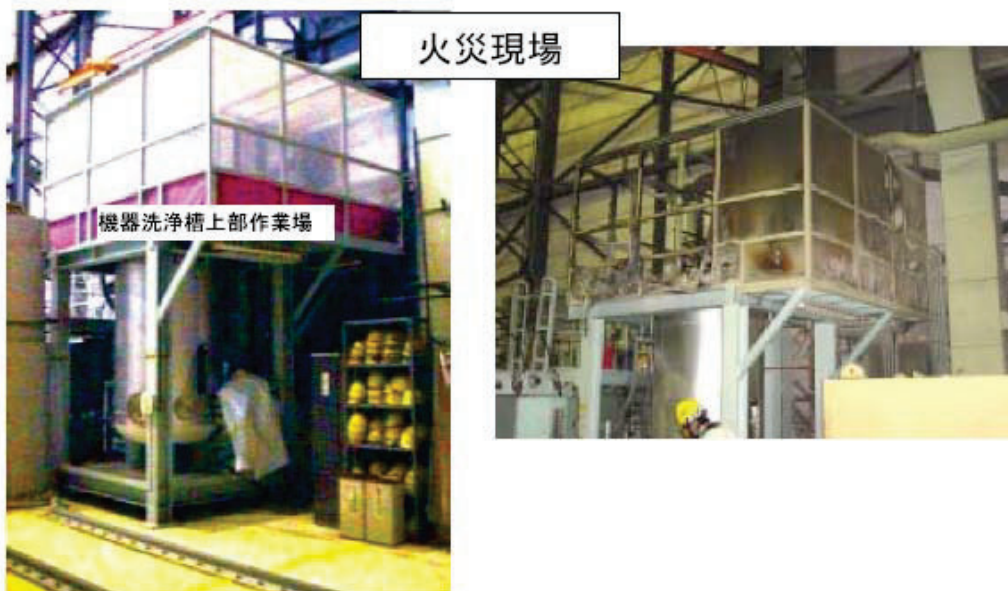


図 9.5-12 機器洗浄槽（火災前後の状況）⁶⁾

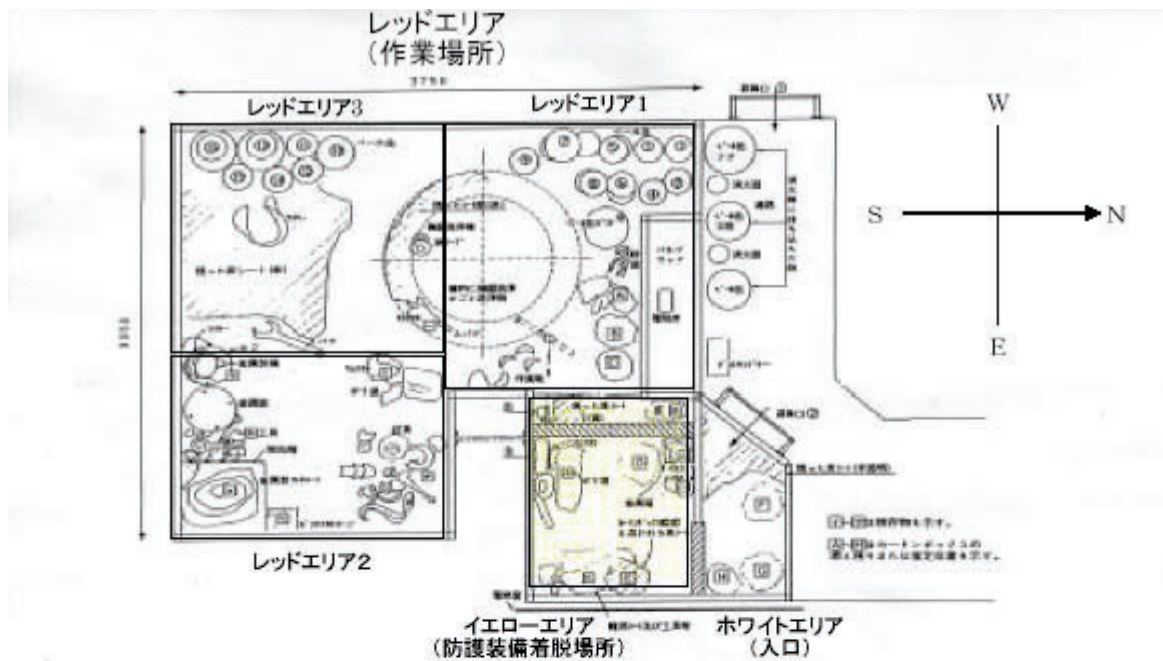


図 9.5-13 火災による延焼状況⁶⁾

(3) 原因究明

(i) 事故調査委員会

火災は、作業が終了して作業員が退去した後の火災であり、火災の原因を特定することが難しい状況にあったが、再発防止の観点から火災の原因を究明しておくことは極めて重要と考えられた。

このため、火災原因の究明、問題点の摘出並びに再発防止対策の方針を示すために、11月6日、事故対策本部の下に『「常陽」メンテナンス建家火災事故調査委員会』を設置した。本委員会は、広い知見を入れた調査を行うため、消防の専門家等の外部専門家を含む委員により構成し、透明性の観点から一般公開で開催した。この委員会の指導の下、調査の実務を行うための作業グループを設けて、全社を挙げた体制で徹底した原因究明のための調査を進めた。

委員会では、事象調査により、火災発生前後の現場の状況、火災発生後の対応、事象進展に係わる事実確認を行うとともに、原因究明のための実験を含む技術調査を行った。また、事故の直接的および間接的原因を探るため人的要因の調査を実施した。

(ii) 原因究明

現場の状況から発火要因として疑われる、電気設備の過熱・漏電、当該グリーンハウス内の物品に起因した発火およびナトリウム作業に起因した発火の3点について調査した。検討の結果、前二者が発火元である可能性は極めて低いと考えられた。

一方、ナトリウムの発火可能性を確認するために基礎的な実験を行った。

実験の結果、①反応熱の蓄積による発火の可能性については、ナトリウムと水分の反応熱の蓄積は少なく、熱の散逸もあり発火の可能性が小さいことを確認した。②グリーンハウス内に持ちこまれていた物品とナトリウムの化学反応が生じる可能性も小さいことを確認した。しかし、③雰囲気からの湿分供給があり、ナトリウムと湿分の反応生成物（苛性ソーダ水溶液）が吸収されない素材（酢酸ビニルシート等）上にナトリウムが置かれている場合には、自然発火する場合があることを確認した（図9.5-14）⁶⁾。

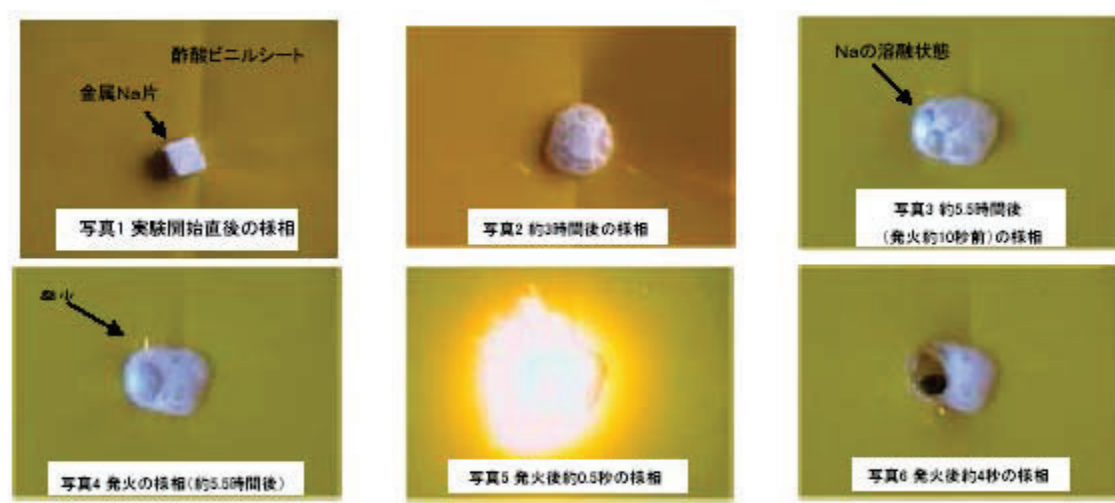
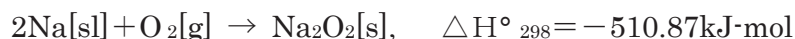


図 9.5-14 金属ナトリウム自然発火過程の様相 (Na 量 0.3g による実験) ⁶⁾

この発火機構は以下のように推定される。

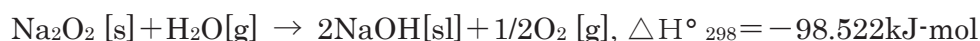
- (a) 初期段階:金属ナトリウム表面では室温大気環境で主に以下の反応が進行する(図 9.5-14 写真 1)。



※ 内部の Na との接面では、 $2\text{Na} + \text{Na}_2\text{O}_2 \rightarrow 2\text{Na}_2\text{O}$ となるが、ここでは省略する。

- (b) 次段階:

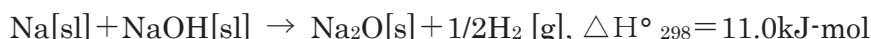
- (i) 金属ナトリウム(Na)表面が過酸化ナトリウム(Na_2O_2)に被われると(a)の進行は鈍り湿分との反応が始まる。



- (ii) 表面が十分に水酸化ナトリウム(NaOH)に変質し、さらに湿分により NaOH の潮解が進行すると部分的に Na_2O_2 や酸化ナトリウム(Na_2O)の被覆が消失、金属 Na 面が現われる。Na が空気と接触しない潮解溶液に被われた部分では、潮解溶液中の水分との反応が生じる。



- (a) および(b)の反応はいずれも発熱反応であるため、金属 Na 表面で以下の吸熱反応も並行して進むことが可能となる(図 9.5-14 写真 2)。



※ 実際には、他にも NaH が生成する反応、 $2\text{Na} + \text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_2\text{O} + \text{NaH}$ なども発生する。

- (c) しばらくは、生成 NaOH や O_2 、 H_2 の泡に被われるなどしながら、緩慢に(a)~(c)のような反応が繰り返されるが、次第に NaOH が Na に比して多量になり、残存 Na 片全体を覆うようになると、発熱に比して吸熱が小さいことから NaOH 中にある Na は保温効果にも助けられて溶融に至る。
- (d) 比重の関係($\text{Na}[\text{l}]:0.95$, $\text{NaOH}[\text{l}]:2.13$)から溶融 Na は NaOH 表面に浮遊するようになり、(a)から(c)の反応が激しく進行するようになる(図 9.5-14 写真 3)。このとき残存 Na は NaOH 溶液中を激しく移動する様相を呈する。
- (e) 最終的に溶融した Na が空気と触れ発火し(図 9.5-14 写真 4)、周辺の発生 H_2 を燃焼させる(図 9.5-14 写真 5)。

この発火機構をナトリウム量と発火時間の関係から実験的に求めた結果、ナトリウム量が

0.5g 以下の少量となるとカートンボックス内に濡れキムタオルがあって水分が存在する場合には、ナトリウム量が少ないほど早期に発火する傾向が認められ、0.3g 以上であれば数時間経過後に発火する場合が確認された。

発火からカートンボックスの延焼に至る事象を確認するため、実験結果や事故後の聞き取り調査結果を踏まえ、カートンボックス内に濡れキムタオル、アルコール部分湿りタオル、固絞りキムタオルとともに 0.3g 程度のナトリウム片を 6 個分散して配置した実験を実施した。実験は内容物と内部配置を換えた 4 ケース（表 9.5-1）⁵⁾ で実施した結果、カートンボックスの延焼に至るケースが確認された。

実験によって延焼したカートンボックスの実験例を図 9.5-15⁵⁾ に示す。

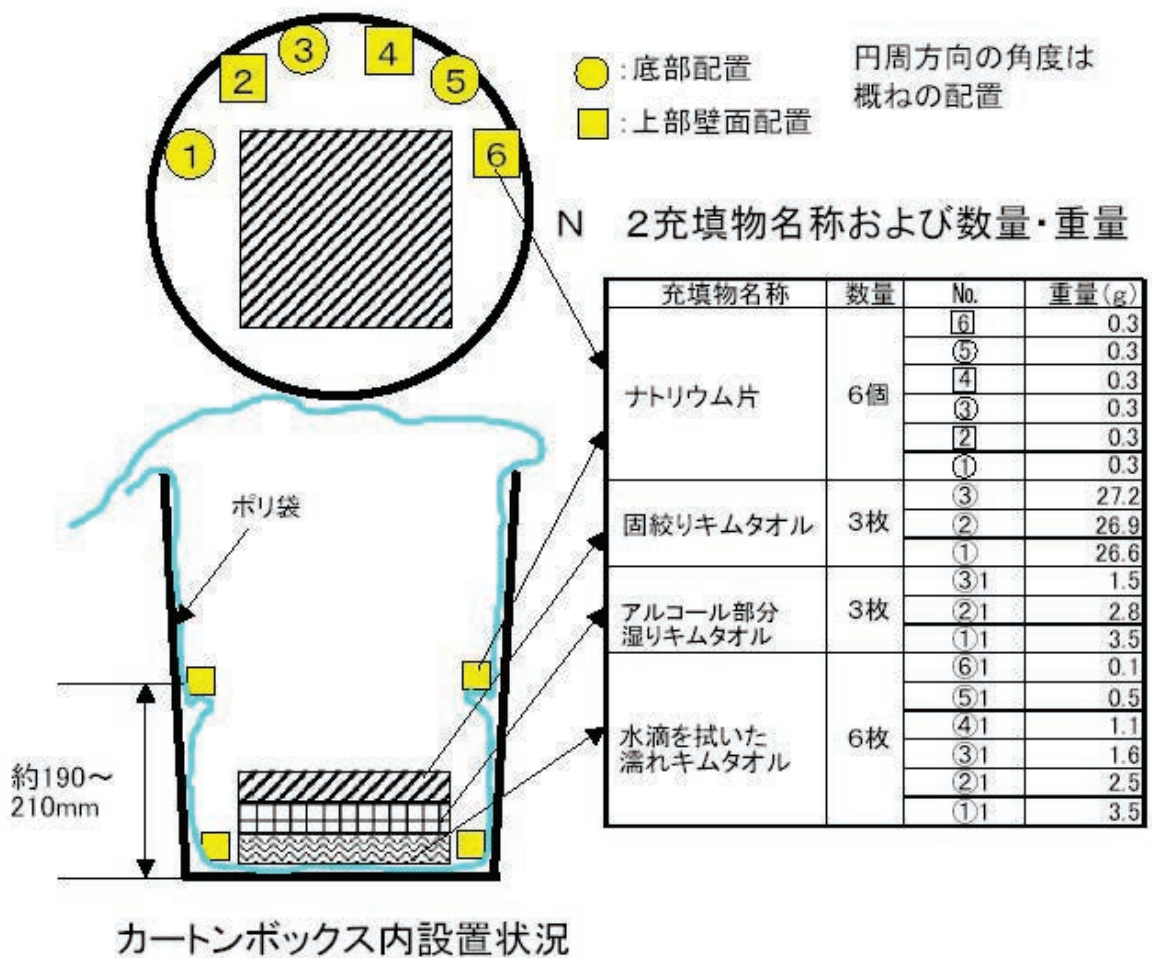
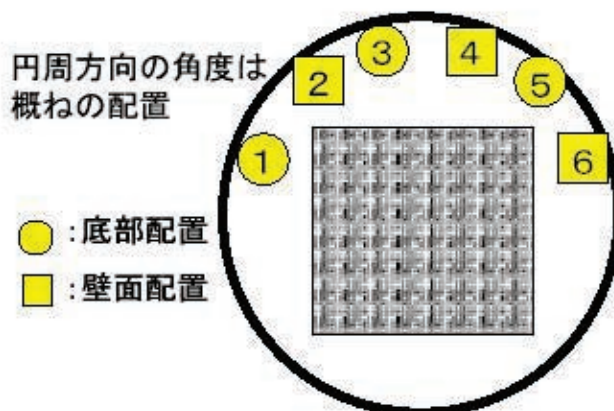


図 9.5-15 カートンボックス内試料配置（ケース N-2）⁵⁾

表 9.5-1 発火位置の観察結果⁵⁾

ケース	試料番号	設置位置	観察結果*
N-1	①	底部	発火せず
	②	側面(約190~200mmH)	発火(開始446分後に発煙を目視確認)
	③	底部	発火(開始322分後の定時観察時に発火の痕跡を確認)
	④	側面(約190~200mmH)	発火せず
	⑤	底部	発火せず
	⑥	側面(約190~200mmH)	発火せず
N-2	①	底部	出火(開始297分後、⑤または⑥から発火と推定)
	②	側面(約190~210mmH)	
	③	底部	
	④	側面(約190~210mmH)	
	⑤	底部	
	⑥	側面(約190~210mmH)	
N-3	①	底部	発火せず
	②	側面(約60~70mmH)	発火(開始265分後に発煙を目視確認)
	③	底部	発火(実験後の観察により発火痕跡を確認)
	④	側面(約60~70mmH)	発火せず
	⑤	底部	発火(実験後の観察により発火痕跡を確認)
	⑥	側面(約60~70mmH)	発火せず
N-4	①	底部	発火せず
	②	側面(約190~210mmH)	発火せず
	③	底部	発火せず
	④	側面(約190~210mmH)	発火せず
	⑤	底部	発火(実験後の観察により発火痕跡を確認)
	⑥	側面(約190~210mmH)	発火せず

*: N1, N3およびN4は実験中及び実験後の観察記録に基づく。N2は実験中の観察記録に基づく。



これらの結果を総合的に評価し、直接的な発火原因としては、可燃性のもの（作業時の廃棄物入りカートンボックス等）に発火物質（作業時に脱落あるいは見逃したもの）が混入し、発熱反応が生ずる条件で発火し延焼したと推定された。発火物質としては、作業時に脱落し、作業に伴って発生した廃棄物あるいは作業衣等に付着したナトリウムの可能性が高いと推定された。

また、間接的・背景的原因を探るため、今回の機器洗浄槽上部での作業の特殊性、作業計画のチェック、火災防止、放射性ナトリウム取扱いの教育、および組織体制の 5 つの視点から要因を分析した。

（４） 問題点の抽出

大洗工学センターにおいては、30 年のナトリウム取扱いの歴史の中で、安全管理に関連する具体策を共通安全作業要領集等に集大成し、体系的に整備しており、ナトリウム取扱い作業を安全に行ってきた。しかしながらナトリウムに起因した火災が発生したことから、これまでの作業方法や安全管理のあり方について、どこに不十分なところがあったのかを検討し、問題点を抽出した。

直接的な事故要因に係る問題点として、

- ①大気開放下での作業において脱落ナトリウムが散逸することを防止する配慮が十分でなかった。
- ②作業においてナトリウムが気付かない部分に付着して見逃した場合を想定し、使用した可燃性機材との隔離対策が施されていなかった。
- ③作業場内に多くの可燃物が残されていたことが挙げられた。

間接的・背景的要因に係る問題点として、当該作業が非定常作業であり、放射線管理とナトリウム取扱いの両立という厳しい作業環境にあったが、ナトリウム取扱いに対する配慮、潜在的リスクの認識、作業計画策定時の作業分析、教育訓練、等に現場に即した対応という面で不十分な部分があったと考えられた。また、整理整頓や可燃物管理等における施設管理者の現場把握にも十分でない点があった。

（５） 再発防止対策

事故調査委員会の検討結果を踏まえて再発防止対策を検討し、「常陽」各施設における放射性ナトリウムを大気開放下で取り扱う場合の対応処置、火災発生防止策として以下の改善策を実施した。

（i） 直接的要因対策

直接的要因対策としての放射性ナトリウム付着物の処置フローを図 9.5-16⁶⁾、グリーンハウス作業現場への資機材の配置例を図 9.5-17⁶⁾に示す。また、鋼製キャッチパン、鋼製ナトリウム保管容器、鋼製容器および鋼製容器を保管する鋼製保管棚、鋼製バット並びに煙感知装置、防災シート等の資機材を整備（図 9.5-18）⁶⁾するとともに、これらの運用を「常陽」ナトリウム取扱作業要領書」に定め周知徹底した。

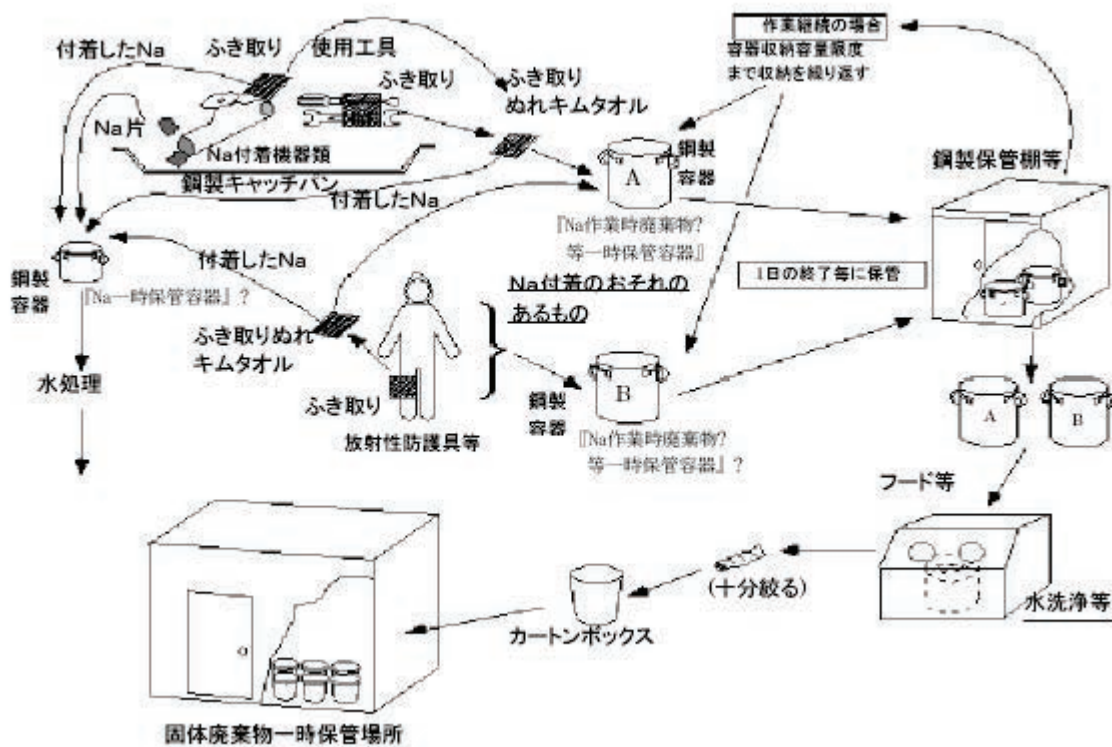


図 9.5-16 放射性ナトリウム付着物の処理フロー⁶⁾

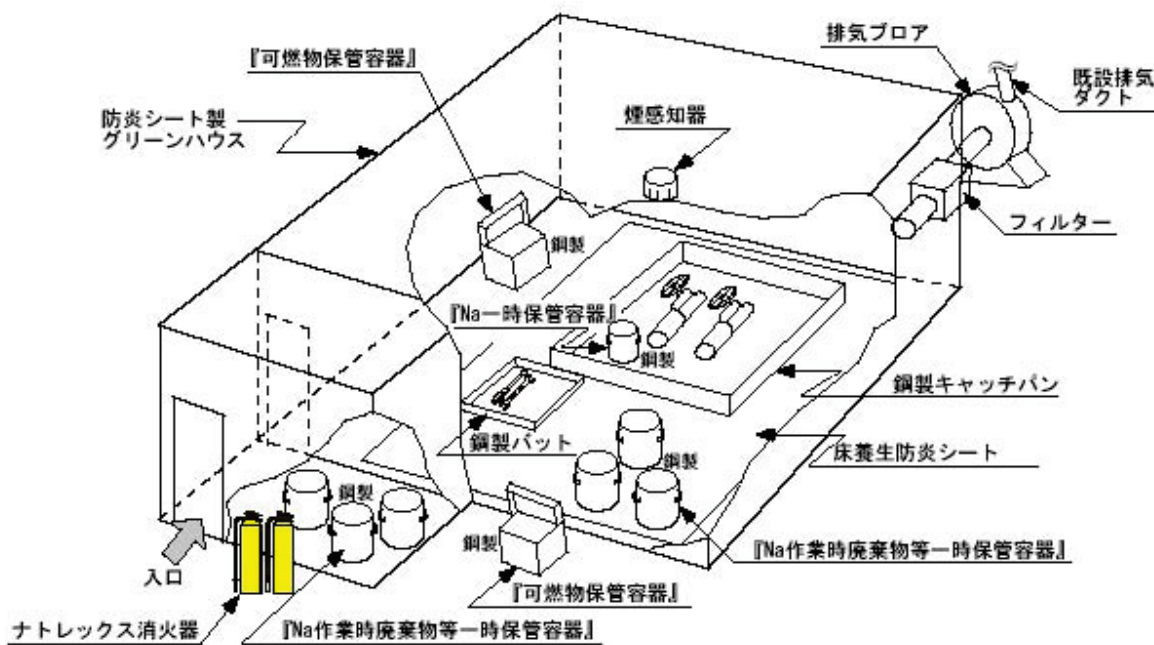


図 9.5-17 放射性ナトリウムを取扱うグリーンハウス作業現場の配置⁶⁾



図 9.5-18 整備した資機材⁶⁾

(a) 放射性ナトリウムの脱落対策

大気開放下での放射性ナトリウム作業時には、放射性ナトリウムが付着した機器から放射性ナトリウムが脱落したとしても、その散逸を防ぎかつ安全に回収できるようにするため、取扱い機器等の下を十分にカバーできる鋼製キャッチパンを当該作業場所の下部に置く。

(b) 放射性ナトリウムの散逸防止

(i) ナトリウムの回収および処理

作業時に脱落した放射性ナトリウムおよびぬれキムタオルに付着した放射性ナトリウムは、専用の鋼製ナトリウム保管容器に回収して収納し、水等により反応させて処理する。

(ii) ナトリウムが付着した可能性のあるものの収納および処理

放射性ナトリウムが付着しているおそれのある装置類、作業工具類、放射線防護具等および作業場は、作業終了の都度、ぬれキムタオルでふき取り、使用後のぬれキムタオルおよびふき取り後の放射線防護具等は、鋼製容器に収納してグリーンハウス外に設けた鋼製保管棚等に保管する。

(iii) ふき取り後の装置類、作業工具等の処置

放射性ナトリウムをふき取った後の装置類、作業工具等は、グリーンハウス内の鋼製バッ

ト上で保管する。

(c) グリーンハウス内での発火等の監視

グリーンハウス内での放射性ナトリウム等による発火を監視し、早期に検知するため、煙等をモニタする。煙感知装置はグリーンハウスを設置する都度、その場所に移動可能な可搬型のものとし、中央制御室に警報を表示する。

(d) 放射性ナトリウムの放射性廃棄物への混入防止対策

保管したぬれキムタオルおよび放射線防護具等は、放射性ナトリウムが付着している可能性を考慮して、一連の放射性ナトリウム取扱い作業が終了した時点で、フード内で付着している可能性のある放射性ナトリウムを水等により完全に洗浄してからカートンボックスに入れる。また、当該キムタオル等が鋼製容器から直接カートンボックスに入らないように徹底するために、発生から安定化处理までを「記録票」に残すよう要領に定め、洗浄処理のためのフードは、鋼製容器からの取出しとカートンボックスへ入れる作業を行う区画を別とする配置設計とし、作業は従業員等の監督下で行うこととした。

(e) ナトリウムの取扱い作業場所からの可燃物の排除

放射性ナトリウムを取り扱うグリーンハウスの壁、天井および床は、これまで汚染防止のために用いていた酢酸ビニル等の可燃物に換えて、全て防炎シート製とする。また、作業場所に可能な限り可燃物を持ち込まないように作業前後に整理整頓を行い、毎日の作業終了時には作業場所から可燃物を持ち出す。放射線管理の観点からグリーンハウス内に可燃物を保管する場合は鋼製容器に保管する等、防火処置を確実に行う。

なお、発災場所である機器洗浄槽上部の再発防止対策では、恒久的な使用を目的として、従来の防炎シート製のグリーンハウスから鋼製のハウスに変更するとともに、放射性ナトリウムが付着している可能性のあるぬれキムタオルおよび放射線防護具等を水洗浄処理するフードを設置した。

(ii) 背景的要因対策

背景的要因対策については、ナトリウム取扱い教育訓練にビデオも導入して発火、延焼、ふき取り等の実務に即した内容を追加、この教育を認定要件とする等の認定制度の見直し、受注先の作業者の技能認定、リスクアセスメント、軽微な作業要領の変更およびパトロールに係る要領類の制定・改訂を行い、これらの運用を開始した。

(a) ナトリウム取扱い作業者の技術レベルの向上および認定制度の導入

(i) ナトリウムの教育・訓練

従来の教育・訓練項目（ナトリウムの性質、取扱いの基本、ナトリウム火災消火、被災時の応急措置および作業実施時のOJT）に加え、ナトリウムのふき取り方法や残ナトリウムの処置方法のような個々の実作業に即した具体的留意点を取り入れた教育・訓練を行う。

(ii) ナトリウム取扱い作業における認定制度の見直し

放射性ナトリウム取扱い作業の監督者について、実験炉部内で従来から運用されている「実験炉部重要業務資格認定制度」の中での放射性ナトリウム取扱い作業の実務経験に関する認定要件のうち教育内容等を見直し、必要に応じて再認定する。

(iii) 受注先の作業者の技術能力の認定要件の確認

受注先の作業者の技術的能力に対する認定要件を定めて仕様書に記載し、作業者がこの要件を満たしていることを書類によって確認する。また、「常陽」で初めて放射性ナトリウムを取り扱う作業者に対しては、作業前に教育・訓練を行って放射性ナトリウムの基礎的知識に関する技能認定を行う。

(b) 作業計画の立案

(i) リスクアセスメントの実施

作業計画の立案に当たっては、作業分析を行うとともにリスクアセスメントにより危険要因を評価する。特に、過去に経験のない作業計画を立案する場合は、未経験部分について重点的に作業分析およびリスクアセスメントを行う。また、作業の内容と項目に変更が生じた場合は、再度、作業分析を行うとともにリスクアセスメントにより危険要因を再評価する等、適切な変更管理を行う。

(c) 施設、作業場所管理の適正強化

(i) 施設、設備の管理体制の整備

当該設備に対する火災再発防止対策を一元的に管理するチームを施設管理者の下に定め、管理責任が明確な体制とする。管理担当チームは、チェックシート等により作業終了後の点検結果をチェックするとともにその結果を施設管理者に報告する。

(ii) 安全パトロール等の強化

「常陽」専任の安全衛生主任者をおき、安全管理の強化を図った。また、従来実施していた安全パトロールについて検討し、使用頻度が少ない設備および非定常作業で状況が変化する現場に対しては、着目点をあらかじめ定めるとともにパトロール頻度を増やすなど、安全パトロールを強化した。また、部長や安全衛生主任者が直接現場に赴き、作業現場や作業状況の確認を行うことに安全パトロールの意義があるとの観点から、部長および安全衛生主任者自らが行うパトロールを、部長パトロール、安全衛生主任者パトロールとして安全衛生パトロール実施要領に定めた。

(d) リスクマネジメントの推進

ナトリウムを取扱う作業における火災のリスクを適切に評価するため、現在導入を進めているリスクアセスメントの要領の中に、ナトリウムを取扱う作業の計画について火災発生防止や延焼防止に関するリスク評価項目を定める。また、リスクアセスメントを運用・管理する仕組みの早期定着を図り、リスクマネジメントを確実に遂行する。