

国指定品新規公開施設を目指す収蔵展示施設の 消火設備の設置状況

—ハロン生産中止後の動向—

佐野 千絵・三浦 定俊

1. はじめに

文化財は火災のような緊急災害時には、いうまでもなく甚大な被害をうける。消失はもっとも甚だしい例であるが、消火作業による汚損も量が膨大であり、その処置には長期間、多大な人力を要するため、防火がもっとも重要である点は今後も変わらない。しかしやむを得ず火災となった場合、どのような方法で消火するか、あらかじめ十分に検討しておくこともまた必要である。特に公開展示施設においては、人命の尊重はいうまでもないが、資料の保存上あるいは事後の保存処置の上で、より有利な消火方法を選定することが重要となる。

文化財収蔵施設内の消火設備としては、資料が水で濡れた場合の被害を考え、文化庁は従前より「ガス系の消火設備」を推奨してきた。現法令で認可された消火設備としてはさまざまな設備があり、その定義上では粉末固体をガスに載せて撒く方式もガス系消火設備に入るが、文化庁の推奨している「ガス系の消火設備」は消火薬剤がガス状のものを指している。消火薬剤としては従来は二酸化炭素とハロンの二通りしかない。このうちハロンについてはその導入の時点で当研究所としては、「金属の腐食などを促進する可能性があり、推奨できない」という形の意見を出していたが、人命尊重という選択の中で、文化庁としてはこれまでハロンガス消火設備を設置するように公開施設に指導してきたのは周知の通りである。

本報においては、この3年間ほど、新しく国指定品公開施設をめざして建設された文化財収蔵施設で、どのような消火設備が選定されてきたかをまとめるとともに、東京芸術大学美術館（仮称）の消火設備選定に際して立ち会った消火実験のデータをもとに、新ガス系消火設備の文化財収蔵施設への導入に際して検討すべき点について述べる。

2. 新ガス系消火設備

代替ハロンにあたるフッ素系消火剤、不活性ガス系消火剤として現在使用されているものは、表1のようである²⁾。ヨーロッパ系は不活性ガス100%のものを使用する傾向にあり、また、フッ素系としてはFM-200の占有率が高いとのことである。

新ガス系消火設備はハロンガス消火設備に比べて、いずれの設備もさまざまな相違がある²⁾(表2)。FM-200システムはハロンガス消火設備の代替、NF1300システムは二酸化炭素ガス消火設備の代替として設定されたものである。もっとも設置上で問題になるのは総延長距離で、この両者はあまり遠くまで輸送することができないため、配管口径も大きくなり、また大きな施設では消火の主設備を2カ所以上に分ける必要が生じてくる。これに比べて窒素ガス系消火設備は消火ガスの圧力が高く、ハロンガス消火設備と同等の総延長距離が取れる。しかし配管口径がかなり大きくなり、また多量の窒素ガスを貯蔵する必要があるため、貯蔵室の大きさがかなり大きくなる。また、費用面での負担も大きいようで、この2点が主として導入を遅らせる要因となっている。また、これらの新ガス系消火設備の個別評価は設置部分ごとに行われるため、実際には施主が申請者となり、評価のための時間を要するほか、費用をも要する。

表1 新ガス系消火薬剤一覧 (一部のみ)

消火薬剤名	化学式	商品名
ハロン1301	CBrF_3	
HFC-23	CHF_3	Dupont, "FE-13"
HFC-227ea	$\text{CF}_3\text{CHFCF}_3$	Freat Lakes, "FM-200"
I G-541	N_2 52%, Ar 40%, CO_2 8%	Ansul, "Inergen"
I G-100	100% N_2	Cerberus, "NN-100"

表2 新ガス系消火設備の特徴

消火設備名	ハロン1301	FM-200	NF-1300	NN100	CO_2
消火薬剤	ハロン1301	HFC-227ea	HFC-23	N_2	CO_2
沸点/°C	-57.98	-16.4	-82.1	-195.6	-78.5
設計濃度vol% (酸素濃度vol%)	5.0(20.0)	7.7(19.4)	16.1(17.6)	40.3(12.5)	34.0(13.9)
貯蔵容器数比	1	2	2	7.5	3
最高使用圧力(kg/cm ² ,40°C)	53	49	104	110	110
主配管の総延長距離/m	100	50	50	100	100
配管の口径	Sch40	Sch40	Sch80	Sch80	Sch80
専用機械排気	要	要	要	要*	要
放出時間/秒	30	10	10	60	60
避圧口	不要	要(1.1cm ² /m ³)	要(2.4cm ² /m ³)	要(1.9cm ² /m ³)	場合により要

*一般排気可

3. 国指定品公開施設の消火設備選定の推移

当研究所保存科学部では国指定品の新規公開施設の館内環境の設定に関わり、設計時点からさまざまなアドバイスを行っている¹⁾。モントリオール議定書締結国会合の決議に基づき平成6年1月1日よりハロンの生産等が全廃されたことに伴い、平成5年度頃からどのような消火設備を今後選んでいけばよいのか助言を求められる事例が増加し、消火設備の選定の見直しを行う必要に迫られた。しかし消火という特殊な状況の中での判断となるため、重要な方針は自治省消防庁消防研究所に従い、消火能力や人への影響などが評価済みの与えられた消火システムの選択枝の中から、より影響の少ない設備を選定することとした。消防庁消防研究所の見解としては、消火器等の使用事例を検証した結果、1980-91年に関しては博物館等からのハロンガスの放出は誤放出まで含めて1件もないとのことであり、この中でハロンバンク推進協議会が実際に活動を始めることとなった。また代替ハロン消火剤の選定にあたっては、消火能力に加えて、誤放出事故に備えての急性吸入毒性が低いことが重要であるのに対し、消火時の火災区画は無人であるとの想定であるため、分解ガスの毒性を理由に選定を避けるのは難しいとの見解が示された。

実際には消防庁予防課長から各都道府県消防主管部長あてに出された通知「ガス系消火設備等に係わる取扱いについて」(平成7年5月10日消防予89号および平成8年12月25日消防予265号, 消防危169号)に基づき、現在もガス系消火薬剤の消火性能および毒性の評価に加えて、実際に設置する場所の用途、使用形態、空間容積、設置方法、放出方法、維持管理等も含めて総合的に判断される形式となっており、財団法人日本消防設備安全センターにより、申請設備が設置される防火対象物またはその部分ごとに個別に評価が行われている。

表3 国指定品公開施設を目指す文化財収蔵施設が収蔵庫に選定した消火設備の推移

No.	博/美	運営母体	着工	開館	延べ床面積 (m ²)	消火設備
1	博	市	平成5年1月	平成6年10月	1,730	二酸化炭素
2	博	町	平成5年2月	平成6年10月	1,861	二酸化炭素ガス
3	博	市	平成5年2月	平成7年4月	2,021	消火栓
4	美	町	平成5年2月	平成6年11月	2,670	二酸化炭素ガス
5	博	市	平成5年3月	平成7年11月	1,086	消火栓
6	美	その他	平成5年3月	平成7年5月	1,442	ハロン
7	博	市	平成5年3月	平成7年3月	2,565	二酸化炭素ガス
8	博	市	平成5年6月	平成6年11月	1,875	消火栓
9	博	町	平成5年7月	平成7年5月	1,869	ハロン
10	美	市	平成5年7月	平成7年2月	2,997	二酸化炭素
11	美	市	平成5年7月	平成6年11月	4,100	消火栓
12	博	市	平成5年7月	平成7年11月	9,510	二酸化炭素ガス
13	美	その他	平成5年9月	平成6年10月	906	消火器
14	美	市	平成5年9月	平成8年11月	1,568	二酸化炭素ガス
15	美	市	平成5年12月	平成7年11月	1,305	消火器
16	美	市	平成6年1月	平成8年7月	6,251	二酸化炭素ガス
17	博	県	平成6年1月	平成8年10月	24,000	ハロン
18	博	その他	平成6年2月	平成8年3月	80	消火器
19	博	その他	平成6年2月	平成7年	1,027	消火栓
20	博	県	平成6年3月	平成7年10月	583	ハロン
21	美	その他	平成6年4月	平成7年11月	347	消火器
22	博	市	平成6年7月	平成8年5月	1,550	二酸化炭素ガス
23	博	市	平成6年10月	平成8年4月	4,226	消火栓
24	博	市	平成6年11月	平成9年11月	3,214	二酸化炭素ガス
25	美	市	平成7年3月	平成9年秋	5,254	消火栓
26	博	市	平成7年11月	平成9年11月	604	消火器
27	美	市	平成7年11月	平成9年11月	5,795	ハロン
28	美	その他	平成7年12月	平成10年4月	約3,000	不活性ガス系
29	美	市	平成7年12月	平成9年4月	5,360	消火栓+粉末消火器
30	博	県	平成8年		3,998	消火栓
31	美	市	平成8年2月	平成11年2月	8,836	不活性ガス系
32	美	市	平成8年5月	平成9年5月	300	不活性ガス系
33	美	町	平成8年5月	平成9年4月	3,741	ハロン
34	博	町	平成8年6月	平成10年7月	2,648	消火栓
35	博	市	平成8年7月	平成9年秋	773	消火器
36	博	市	平成8年7月	平成10年9月	1,980	二酸化炭素ガス
37	博	市	平成8年7月	平成10年10月	2,283	消火器
38	博	県	平成8年7月	平成11年3月	14,000	ハロン
39	博	県	平成8年8月	平成11年11月	17,606	不活性ガス系
40	博	市	平成8年10月	平成10年10月	1,000	二酸化炭素
41	博	その他	平成8年10月	平成10年5月	2,954	ハロン
42	博	市	平成8年10月	平成10年10月	3,450	不活性ガス系
43	美	県	平成8年10月	平成11年2月	12,500	ハロン
44	博	市	平成9年	平成12年3月	4,173	ハロン
45	博	県	平成9年4月	平成12年3月	4,950	消火栓
46	博	県	平成10年1月	平成12年	18,000	不活性ガス系

平成5年以降に着工した博物館等の延べ床面積と、収蔵庫に対して選定された消火設備を表3に示す。着工時期による違いを概括すると(図1)、平成5年度ではハロンガスの使用の見通しの立たない時期であったため、申請時期を早めてハロンを使用する施設と消火栓を選択する施設、二酸化炭素ガス消火設備を選定した館もいくつかあった。その後ハロンバンクがある程度機能し始めたために平成6年度にはハロンを選定する施設が再び増加している。平成7年5月10日通知「ガス系消火設備等に係わる取扱いについて」を受けて、新ガス系消火薬剤を使用した消火設備の個別の性能評価が進み、平成8年度以降には「イナージェン」や「NN-100」などの不活性ガス系消火設備の設置も増加しつつある。延べ床面積毎にみた場合には(図2)、1,000㎡未満の小さな施設では消火器や消火栓の対応が多いのが特徴であり、また7,000㎡を超える大きな施設では新ガス系消火設備の不活性ガス系消火設備などを選定する余力があることがうかがえる。3,000㎡クラスの施設が床面積の上でも資金面でも難しい大きさのようである。

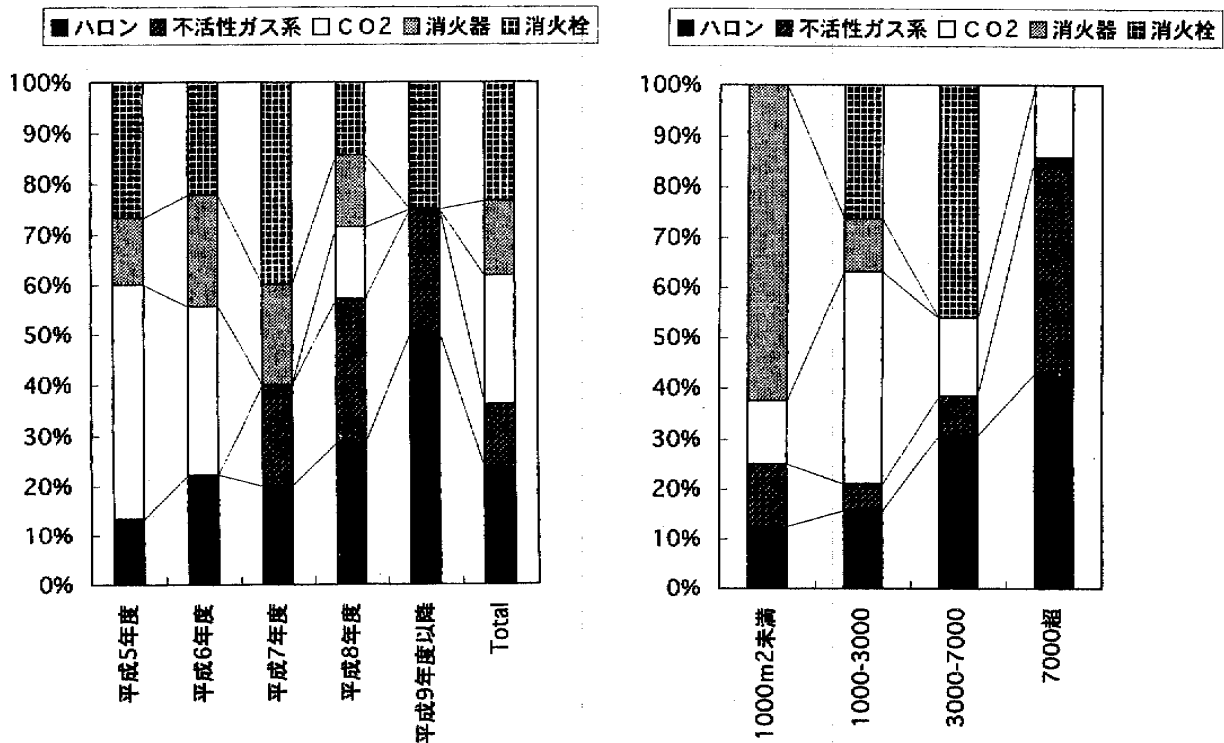


図1 収蔵庫に選定された消火設備
—着工時期による選定の傾向—

図2 収蔵庫に選定された消火設備
—延べ床面積による選定の傾向—

4. 新ガス系消火設備の文化財収蔵施設への導入にあたっての検討課題

同じガス系消火薬剤といっても、その消火機能はそれぞれに異なる。酸素濃度を下げて燃焼を減速させる方法、薬剤の分解により燃焼の中間生成物を停止させるものや薬剤そのものの冷却作用で消火するもの、それらの混合の形態もある。ここでは文化財収蔵施設への新ガス系消火設備の選定にあたり、どのような評価が必要であるか、その検討課題を明らかにしたい。

4.1 熱分解ガスの毒性

ハロン系消火薬剤は物質の燃焼の過程でできる中間生成物を捕獲して燃焼を止める作用が主の

消火薬剤であるが、当然その際に自分自身は熱により分解される。その化学形からもわかるように分解した結果、臭素やフッ素の水素化物、すなわちフッ酸や臭化水素などの酸となり、これらは水に溶解すると強く金属を腐食する。人間に対しても喉や目などの粘膜に対しては強く作用し、濃度次第ではかなりの刺激を受けると考えられる。このような熱分解ガスの毒性について、電子機器部品について実際のシステムにて検証した実験の報告が一部にあるが、明確にカタログにて説明している商品はいまだのところ見あたらない。一方、財団法人日本消防設備安全センターによる「ガス系消火設備等評価の設備等個別評価について」の報告書の中では問題として取り挙げられており、消火ガス薬剤そのものの毒性とともに熱分解ガスの毒性の程度およびその排気方法について適切であるかが評価されている。このような情報は評価がなされてはじめて施主側に知らされるという点が問題ではないかと考えている。

ハロン代替物質の毒性評価に関する研究委員会報告書(平成7年度、自治省消防庁消防研究所)によると、ハロン1301は主反応部内温度が750°C以上の高温になると急激に分解し始めるといわれている³⁾。また、約300°Cで分解が始まるとの報告もあり、その実験条件下での代替ハロン消火薬剤の熱分解温度は約400°Cとのことであった⁴⁾。高温の反応部内にガスを停留させた場合と通過させた場合、窒素気流下と酸素の共存下ではその分解挙動は一様ではなく、代替ハロンはハロン1301に比べて熱分解しやすいかどうか、まだ明らかとはなっていない。これらの条件下では1,000°C以上の高温で、代替ハロンのうちフッ素系の消火剤では、最終的にはフッ化水素を主成分とするフルオロカーボン類になる。

いずれの実験系も実際の火災の類推には至っていないのが実情であり、実際の火災でどのような熱分解物がどのくらいの量で生成するのか未知の状況である。本来無人の区画となる場所であり、またその対人影響のみが検討課題となり対物的な影響は全く検討されていないため、博物館等で実際に起こり得る状況を設定して模擬実験を行い、鉄片やブロンズ片などの文化財の使用材料を用いての暴露実験を行うことが、文化財収蔵施設への選定の上で早急に必要である。

不活性ガス系の消火剤については、消火剤自身の熱分解生成物はないが、消火時間がより長くなる傾向があり、その際の燃焼生成物のCO濃度が文化財材質に対してどのような影響を与えるか、特に高濃度の暴露の影響を検討されたことはないため今後の検討を必要とする。

いずれの消火システムにしても火災の小さい内に感知し消し止めることができれば、その影響はより小さくなる。ここに取り上げたような個別の影響の可能性だけでなく、消火システム全体として、その文化財材質の劣化に与える影響の大きさを評価することが必要である。

4.2 放出時の温度降下

二酸化炭素ガス消火設備については、ガス放出時に室内の温度が約20°C下がるといわれている。これは液体状のCO₂が噴出する際の蒸発潜熱による冷却効果と消火剤そのものの比熱が大きいための効果と言われている。東京芸術大学新美術館の実施設計にあわせて(株)能美防災妻沼工場新消火剤実験施設においてNF1300、FM200、NN100システムの消火実験が行われた(平成8年6月10日)。この実験は(株)能美防災の方案によるものであるが、得られたデータは重要なものであるのでここに記載し、各システムの問題点を検討する。実験室は天井、床、壁すべてALC構造で、容積は6m×6m×2.8mhで101m³(図3)、この容積に対してちょうど必要量の消火剤を設定濃度まで設定時間内で放出した。温度計測点は5点(図3参照)、湿度計測点は1点(室内、床上約1m、トレンドロガー(株)JMS使用、計測間隔は不明)である。実験ケースは3通り、放射後の室内の状況を確認するためのNN100およびFM200の放射実験、NN100によるケーブル火災の消火実験、NF1300による木材の消火実験であった。

非火災時の NN 100 の放出により室内温度は放出後 2 分で約 3℃ 低下した (図 4)。FM 200 は放出後約 2 分で約 10℃ の低下があった (図 5)。いずれの場合も放出直後、消火薬剤の充満している室内に入っても特に悪心なども感じられず、特に作業上に問題は感じられなかった。NF 1300 に用いられている薬剤の比熱はより大きく、放出の際の温度低下は 13℃ にも達するとのことである。それぞれの結果から、相対湿度は NN 100 の放出により約 58%RH, FM 200 の放出で約 65% RH まで低下した後、放射後の時間経過に伴い徐々に室内の相対湿度が上昇する様子が見られる。

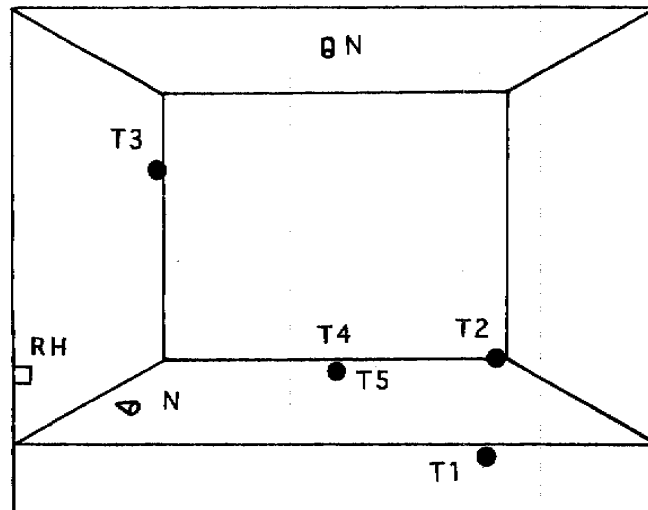


図 3 実験室模擬図

T 1 ~ T 5 : 温度測定点①~⑤ RH : 相対湿度測定点
N : ノズル噴射位置 (天井および床下)

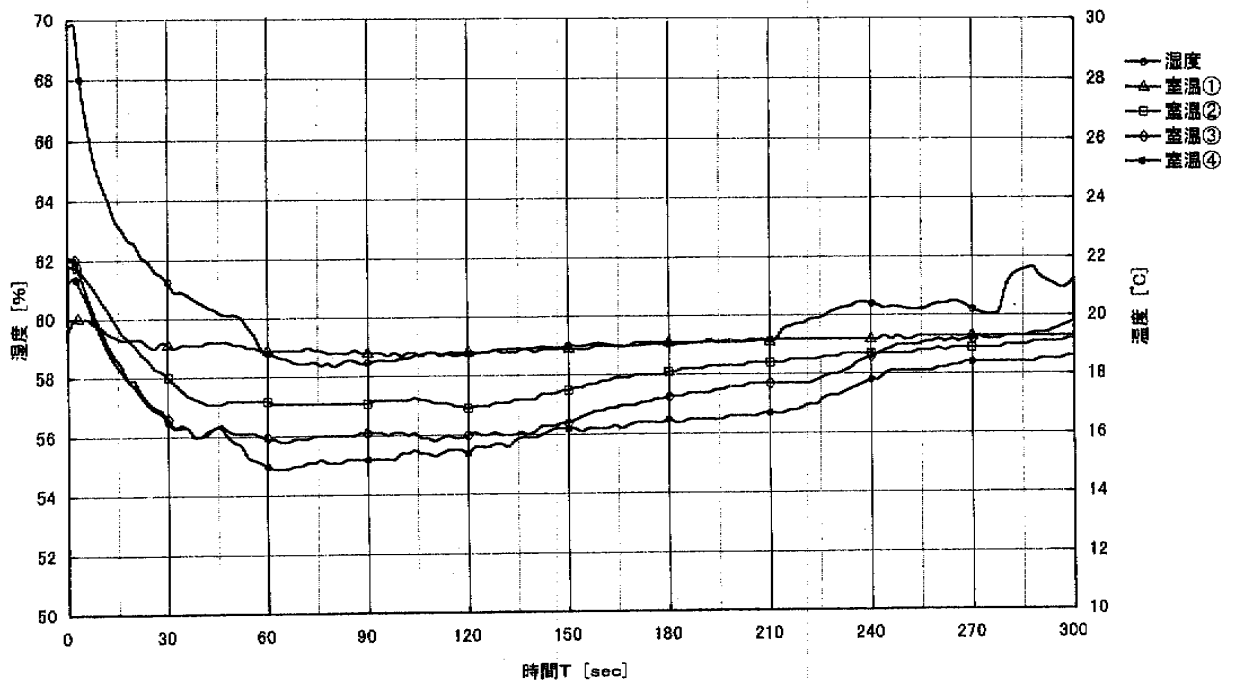


図 4 NN 100 の放出実験 (非火災時)
放出開始を 0 秒とする。

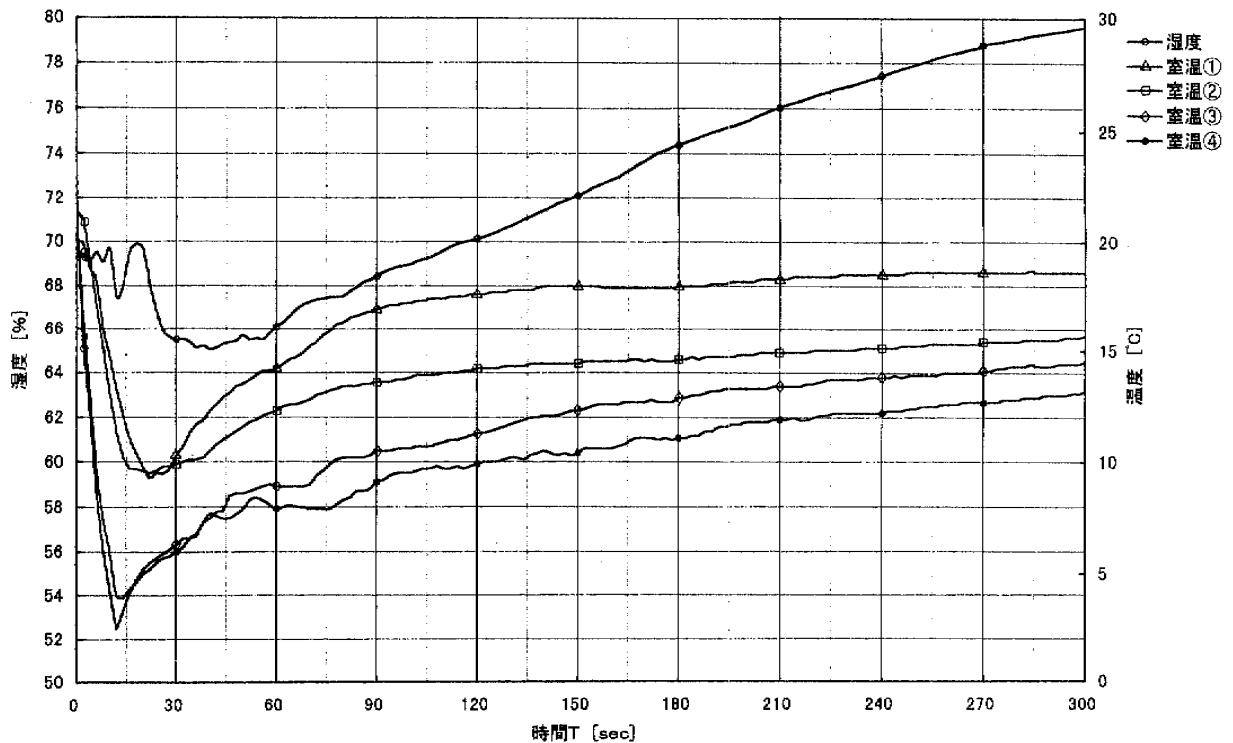


図5 FM 200 の放出実験 (非火災時)
放出開始を0秒とする。

まず、NN-100の放出による相対湿度変化について検討する。もし密閉された室内で水分量の変化がなくゆるやかに温度が下降した場合には、この実験条件 20°C $70\% \text{RH}$ では 3°C 低下により、湿り空気線図上をA→Bと移動し、空間の相対湿度は $80\% \text{RH}$ となり結露はおこらないはずである(図6)。しかしNN-100の消火剤には乾燥窒素ガスが用いられており、これが急激に放出され設計濃度約 $40\% \text{vol.}$ になるまで室内の空気は置換される結果、室内の水分は室外に押し出され放出前の6割、約 8 g/m^3 となる。実際の状況は約3分後に 18°C $60\% \text{RH}$ 、空気中の水分量にして約 9 g/m^3 となっている。実測値の方が湿っていることを示すこの 1 g/m^3 の差は、室内の相対湿度のむらを示している可能性がある。これは推論であるが、消火ガスの拡散はノズルの形状で決まり、この場合には壁づたいにすばやく拡散するよう設計されていたため壁際がよく冷えて一部水滴がつき、これが再び室内に放出されているのかもしれない。いずれにせよ、この結果から、この実験では相対湿度計測用のセンサーを壁、床上 1 m 高さに設置しているため空間全体の相対湿度がどの程度平均化されているか不明であり、室内での相対湿度変動のむらを計測する必要があると言える。このようにNN-100の放出により室内は全体としては乾燥する方向に変化することがわかった。一方、高圧下で貯蔵しているガスを一時に放出するため、断熱膨張によりガスの温度は急激に下がり露点以下となるため、空気中に水滴が分散して浮遊し一時的な視界不良となる。実際には空気中の水分量は下がり乾燥するにもかかわらず、資料そのものは少し湿る感じとなる特異な環境である。またノズル位置での温度低下は空間全体の温度低下よりもいくらか大きく、天井付近の結露については起こる可能性があることも、最後に指摘しておく。

次に、FM-200の放出後の変化について検討する(図5)。FM 200の設計濃度は約 8% 、空気中の水分の内、乾燥したFM 200の消火ガスのため室外に放出されるものはこの条件下では約 1 g/m^3 のはずである。しかし、平衡状態に達したと考えられる約5分後の状態は 14°C $80\% \text{RH}$ 、その時点での空気中の水分量は 10.5 g/m^3 であり(図6)、FM 200消火ガスによる室内空気の置換に加

えて約 1.5 g/m^3 の水分が空気中から奪われている。これはいずれかの場所で空気中の水分が奪われていること、すなわち結露があったことを示している。FM 200 の消火剤は液体で貯蔵されており、気体に変化した上で膨張拡散するため室内の温度低下は著しく、放出直後で約 10°C 、これは図 6 からわかるように明らかな結露条件であり、放出直後の室内ではあらゆるところで結露が起こる。放出後 5 分後の平衡状態では放出直後より約 3°C 温度は上昇しているが、ちょうどその分、室内の相対湿度は減少して約 $80\% \text{RH}$ となっている(図 6, A→C→D→F)。実際には室内は噴出直後は白濁して視界不良となった。また、結露が主として起こるのは放射ノズルとそのまわりであろうが、放射ノズルの設置位置や消火剤の噴射の方向、収納棚との位置関係を見直し、収蔵にあたっての注意点を再検討する必要があることがわかった。

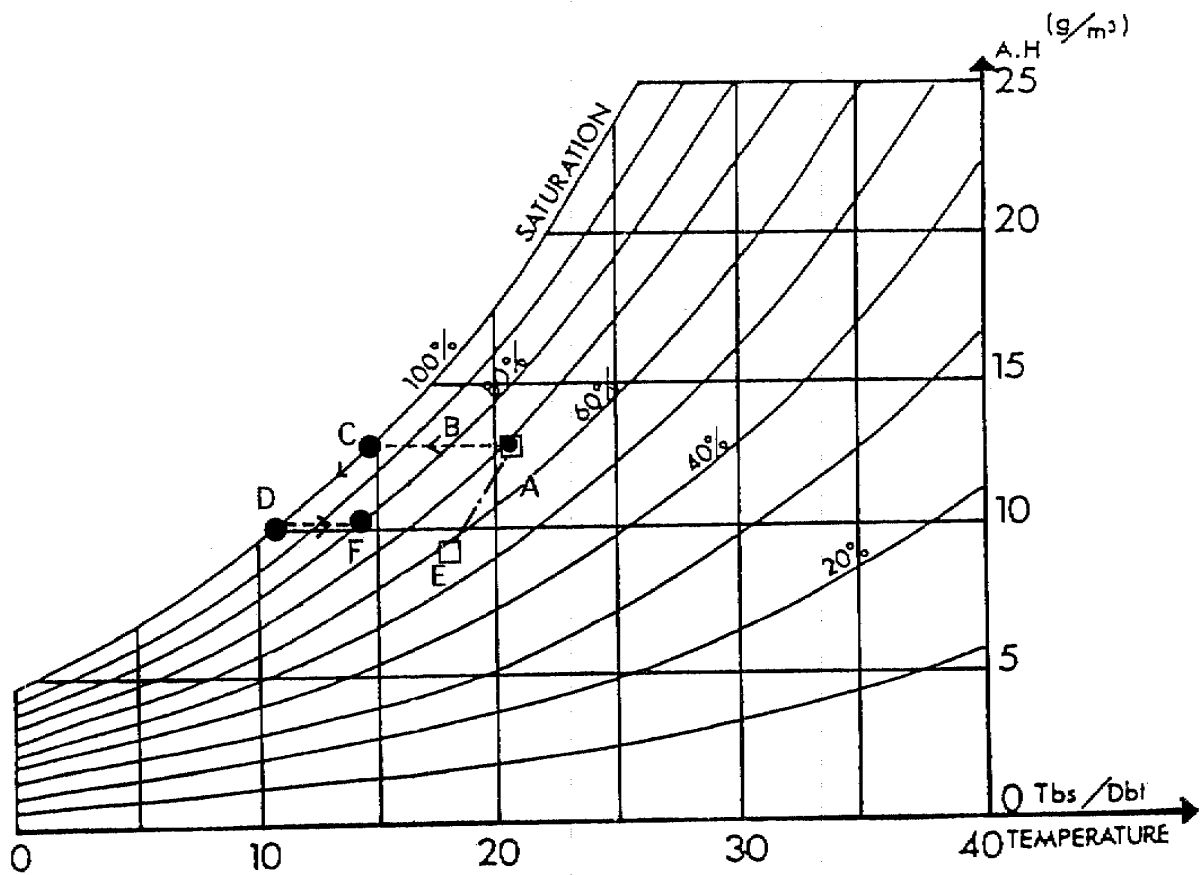


図 6 放出実験時の温度湿度の湿り空気線図上の推移

□ : NN 100 ● : FM 200 A : 実験開始時 E, F : 2分経過後

4.3 噴出直後の室内の圧力上昇

データには取られていないが、噴出の際のガス圧は予想よりも大きく、噴出口から約 3 m の距離にあったキャンバスが力を受けて転倒した。放射ノズルの方向によっては噴射により物理的な損失を受ける可能性もあり、面で受けた場合の噴出圧力を見積もる必要がある。また、いずれの新ガス系も多量の消火薬剤を短時間に噴出するため、施設内の圧力が一時的に上がり、それを避

けるための避圧口が必要となる。例えば NN-100 の場合、 $6 \times 6 \times 4 \text{ h m}^2$ の部屋で約 300 cm^2 のダンパー窓が必要になるわけであるが、実際にこの程度の開口部が温度湿度の維持の上でどのくらいの負荷となるか、外壁に面していないことが多く二重構造になっている収蔵庫でどのような位置に設置できるのか、今後の検討が必要である。

5. おわりに

火災という非常時において、何もかも失うよりはましとは言えるが、火災はもっとも身近な災害であり、あらかじめ最善の方策をたてることは必要であろう。熱分解ガスの影響、消火剤放射時の結露と風圧、これらのデータを求めることが文化財収蔵庫への消火設備の選定の上で重要なファクターとなるため、今後とも関係団体に働きかけて基礎データの収集に努めたい。またいざという時に備えてハード面の充実だけではなく、出火時の体制まで含めて防災体制の見直しを現場の方々には繰り返しお願いしたい。

謝 辞

本報をまとめるにあたり、ご助言を賜りました自治省消防庁消防研究所 企画研究官 佐藤公雄氏および実際のご指導をいただきました消防第二研究室長 斎藤 直氏に感謝をいたします。また実験の機会を与えてくださった東京芸術大学新美術館（仮称）建設準備室の皆様、データの解析にあたりご協力いただきました（株）能美防災新ガス推進室 山田氏をはじめ、こころよくデータの使用を許可してくださった（株）能美防災の関係者の方々に、紙面を借りて感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 三浦定俊・佐野千絵：特設 文化財を守る 2. 保存環境の考え方，設備と管理，29(2)，No. 374，35-39 (1995)
- 2) ハロン代替物質の毒性評価に関する評価委員会報告書（平成6年度 最終報告），平成7年9月，自治省消防庁消防研究所
- 3) ハロン代替物質の毒性評価に関する評価委員会報告書 最終報告(平成7年度)，平成7年12月，自治省消防庁消防研究所
- 4) 上原陽一：ハロン代替物質の高温環境下における熱分解性状—熱分解ガスに関する実験結果—，pp. 25-44，ハロン代替物質の毒性評価に関する評価委員会報告書（平成6年度 最終報告），平成7年9月，自治省消防庁消防研究所
- 5) 猿田弘行：高温環境下におけるハロン代替物質の分解生成ガス，pp. 45-46，ハロン代替物質の毒性評価に関する評価委員会報告書（平成6年度 最終報告），平成7年9月，自治省消防庁消防研究所

Trend of Choice of Fire Suppression Systems in Museums of Japan after Phase-out of Halon 1301's Production

Chie SANO and Sadatoshi MIURA

Halon 1301 has been long used for fire protection in many museums in Japan, but they stopped the production on December 31, 1993 as a result of the depletion of stratospheric ozone. Planners of a new museum could not decide which fire extinguishant should be selected by facing the recent break-off of production at that time.

The Tokyo National Research Institute of Cultural Properties advises museums how they should design their facilities to have an adequate environment for exhibition of nationally designated cultural objects in collaboration with the Agency for Cultural Affairs (*Bunkacho*) as reported before. In this report, we analyzed a trend of choice of fire suppression systems in museums after 1993. Big museums will be able to employ new fire extinguishants used as alternative fire suppression agents like inert gases in spite of their costs for installation. The changes of temperature and humidity were also studied experimentally without a breaking of fire. As a result, we should take into consideration of effect of decomposition products on materials used in cultural objects. We should also think about changes of temperature, humidity and pressure to the objects at the time of injection when we adopt the fire extinguishant in museum.