消火用としての高膨張ホウマツ

梅 津 実

資源技術試験所採鉱保安部（東京都北区浮間4-26-10）

High-Expansion Foam for Fire-Fighting.

Minoru UMEZU

Resource Research Institute, Mining and Safety Department
(Ukima, Kita-ku, Tokyo)

1 は し が き

最近いかなる分野においても界面活性剤がなんらかの形で利用されている。もちろん表題の消火に利用されているホウマツの発泡剤も界面活性剤である。

これまでホウマツ消火といえば炭酸ガスを発生する化学アワと空気アワといわれる機械アワとである。前者の消火に用いられた始まりは 1900 年ころ、Laurent が現在の Foamite 式のアワでナフタの火災を消火したのが最初である。この Foamite 方式は硫酸アルミニウム溶液と重炭酸ナトリウムとサポニンの混合溶液を混合器に送り、化学反応によって炭酸ガスを発生させ、そのときにできるアワを消火に用いるもので湿式法とも呼ばれる。ついで、1925 年 Urquhart が水流に直接薬剤を導入する方法、すなわち乾式方法を発明した。1927 年 Wagener は発泡させたアワで初めて消火に成功した。そして現在の空気アワ（エア・フォーム）として実際に発達したのは、1935 年 Schroeder らがエア・フォームノズルや固定装置を発達させてからである。発泡剤としては 1937 年 Sthamer が加水分解タンパク質を発明するまではサポニンや合成剤であった。1947 年エア・フォーム消火法による完全な消火設備が設計施行されて現在に及んでいる。

これら二つの消火方式に加えて高膨張ホウマツ（発泡倍率約 800~1,000）による消火は形状からホウマツプラグ（foam-plug）消火方式ともいわれる。このホウマツに関する研究は、1956 年イギリスの Eisner, Smith³⁾ 1959 年 Linacre⁴⁾ によって報告されている。これらの研究は鉱山の坑内での火災の消火に利用することから始まっている。しかし、現在では外国で坑内火災から一般火災、特に地下室、空港の倉庫、船舶などの火災にも利用されるようになっていく。わが国でも当資源技術試験所で著者らが 1960 年より応用研究を始めてより、現在のように主要都市の消防用の可動式のものを用意するまで

にいたった。

2 ホウマツの発生機構

ホウマツの発生方法には化学的発生法と機械的発生法の二つの方法がある。後者はさらに主水流の途中から発泡剤と空気を吸引してホウマツを作るエア・フォーム（油火災に使用するアワ消火法）方式、網に発泡剤を噴霧してこれに送気してホウマツを作る高膨張方式および単に液中に空気を吹き込んでアワを立てる方式などに分類される。これらのうちで最も膨張率が高く、しかも単位時間当たりのホウマツ量を多量に発生させることのできるのは本題の高膨張ホウマツ方式である。エア・フォーム方式のホウマツは 6~10 倍の発泡倍率であり、高膨張方式ホウマツは 1,200~1,000 倍の発泡倍率である。いま、この高膨張ホウマツの発泡機構について考える。図-1 は網に発泡剤を噴霧し、それにゆっくり送気するとき、ホウマツが形成されるまでの現象を推論したものである。図中の点は網の素線であり、数字は任意の時間間隔を示す。したがって、点と点の間が網目の大きさである。

図-1

1)の段階。発泡剤によって網は一様にぬれると網目に薄い膜ができる。

つぎに 1) の瞬間からある時間経った瞬間、すなわち 2)の段階。

2)送気の圧力によって、この薄い膜は送気と反対側にふくらみはじめる。

3)~4)の段階。そのうちの一つの膜が他よりも大きくふくらみ、気ホウの形をなす（図-1 の b）。

5)~6)の段階。ついで、この気ホウは送気によってふくらみは大きくなる。

7)の段階。気ホウの内圧と外圧の差が零にほとんど等しくなる瞬間にbは発ボウ溶液にぬれる。

8)~11)の段階。ほかの部分の網目に同じように気ホウが発生する。

かくして各単一気ホウは図のようなホウマツを形成してゆく。

この現象解析からわかるように気ホウは上述の単一気ホウと同じようにふくらみの大きさ、すなわちホウマツの大きさと発ボウ溶液の表面張力によって決定されるが、その上に噴霧量と送気速度がその要素に加わってくる。すなわち、送気速度と噴霧量をきわめて小さくすると非常に大きなアワが形成され数も少ないが、その逆の場合、送気速度と噴霧量を大きくするとホウマツの個々の小さいアワができ、アワの数は多くなる。この送気速度と噴霧量との関係は後述する。

3 発ボウに関する諸要素

これまでに述べた発ボウ機構からホウマツの発生に対する要因を考えると、まず第1にあげられるのが発ボウさせるための最小限の圧力、すなわち発ボウ圧であり、第2にはホウマツを連続的に発生させて流送するための圧力（背圧と呼ぶ）。これは流送距離が増すにつれて増加するものである。このほかに発ボウに対しての網の影響、噴霧量と送風量の関係などが要因と考えられる。

3.1 発ボウ圧

気ホウ内の圧力を P_a 、気ホウ外の圧力を P_b とすると

$$P_a - P_b = 2\sigma/r$$

ここで σ は発ボウ剤の表面張力、 r は網目の距離（網素線間の距離）の半分。

図-2 間ゲキにできる気ホウ

すなわち、網の前面と背後の圧力差によってホウマツが発生する。また図-2^{1), 2)}のように気ホウaからbになるときを考えると間ゲキaの最小径のところで発ボウ圧 P は最大となり、気ホウ形成の最終段階bでは気ホウ圧はaのときよりも小さい。

気ホウaのときの最大気ホウ圧は上式とまったく同じであると考えてよい。したがって、発ボウ圧は発ボウ剤の表面張力と網目の大きさによって決定され、風量と噴霧量に影響しないが $P_a - P_b \geq 2\sigma/r$ の相関関係が考えられる¹⁾。 $P_a - P_b > 2\sigma/r$ の場合は気ホウが破れる場合、その逆は噴霧量に対して送風によって生ずる圧力が小さい場合で発ボウ剤のホウマツの変換効率の悪いことを意味する。したがって、発ボウ機の選択や操作においても常に発ボウ圧と

噴霧量の適切な条件を見いだすことに注意しなければならない。実験によるとカヤ網（網目 0.9 mm）の適正な発ボウ圧は 10~8 mmAq である。

3.2 背圧 (back pressure)

網の前面でホウマツを連続的に発生させ、流動させるには網の背後の静圧（これを背圧と呼ぶ）の適正な制御を必要とする。この圧力は発ボウ条件（たとえば網の種類、発ボウ剤、噴霧量など）によって変化するものであり、地下道や鉱山の坑道を通れるにつれて流動状況（流動速度、流送距離、地下道、坑道条件など）が変化するが、それにしたがって背圧³⁾を上昇させねばならない。すなわち、流送が進むにつれて網前面の圧力が上昇するので適正発ボウ圧を維持するためには背圧をそれに付随して上昇させねばならない。このことは送風機の選定に必要で欠くことのできない条件である。

図-3 背圧と送気量（噴霧量一定）

いま、ある距離をもった風洞にホウマツを流したときの背圧と送気量との関係の一例を図-3³⁾に示す。網面に一様に噴霧され網目に薄膜を作る発ボウ液は、ある背圧A点に達しないとホウマツに変換しない。この発ボウ点から背圧は送気量の増加とともに増加する（ただし噴霧量は一定）。背圧を P_A とし、網前面に生ずる圧力（ホウマツの流動抵抗）を P_B とすると $(P_A - P_B)$ が発ボウ圧であり、これらは流送距離、流動速度に無関係で発ボウ液、網の種類が決定すれば一定である。したがって、図-3中の④曲線は P_B の変化、すなわち流動抵抗の変化⑤の圧力曲線に発ボウ圧を付加した圧力変化曲線である。また網自体の通気抵抗をも考慮するならば

$$\begin{aligned} \text{背圧} &= (\text{発ボウ圧}) + (\text{ホウマツ流動抵抗}) \\ &+ (\text{網の通気抵抗}) \end{aligned}$$

実際には網の通気抵抗は他の抵抗に比べて省略できるほど小さい³⁾。

したがって、適正発ボウをうるためには背圧は流送距離の増加に従って変化させねばならない。この場合、発ボウ圧を含む背圧にもおのずから限界があることは当然考えられる。いま図-3中の④曲線はC点より⑤曲線を描く。このC点が送気量の限界点 $P_A - P_B \geq 2\sigma/r$ の均衡の限界となる。したがって、流動速度における限界で

表-1

網 の 種 類		網素線(mm)	網 目(mm)	空ゲキ率(%)
金	mesh 48	0.12	0.46	63
	" 60	0.11	0.36	59
	" 100	0.09	0.17	43
	" 200	0.05	0.08	38
その他	カ サ	0.37	0.92	51
	サ ラ	0.24	0.58	50
	ガ ー	0.20	0.64	57

図-4 背圧—流動速度

もある。著者はこの限界の速度を限界流動速度と呼ぶことにした。

3.3 網の影響

網目の大きさ、その材質などによって発ボウ速度や気ホウの大きさが影響される。網目 200, 100, 60, 48 mesh の金属製の網ならびに麻製カヤ、サラン製網、ガーゼを使って上記の相関性に関する実験を行なった。この実験の結果を図-4 に示す。

各網による限界流動速度を求めるために流動速度を増加させて実験を行なった。この限界流動速度によって網の発ボウ性の優劣を判定した。実験結果によるとカヤ網が一番すぐれている。図-5 は背圧と網目に関する実験

図-5 背圧—網目

結果でもカヤ網がすぐれている。すなわち、背圧が低いことは送風機の静圧特性に有利であるからである。著者らの開発した発ボウ用網はすべてカヤ網を使用している⁹⁾。

3.4 噴霧量と送風量との関係

噴霧量と送風量との間には密接な関係がある。しかし、実際上はこの二つの要素に噴霧する網の面積がこれに加わる。ある範囲内では噴霧量とそれに対する送風量は比例関係にあると考えられる(図-6 参照)。したがって、発ボウ量を増加するには噴霧量を増大させ、それに比例して送風量を増せばよいが発ボウ剤のかかる発ボウ用網の面積が限定されているので、ある限度以上噴霧させると発ボウ用網の液層を作ることになる。このため発ボウ圧、換言すれば送風量をさらに増大させねばなら

図-6 噴霧量と背圧、流動速度

くなる。すなわち、液層から薄い膜液にするまでの力を P' とすると発ボウ圧 $P=2\sigma/r+P'$ で圧力 P' が送風量の増加量となる。噴霧量と送風量との間に均衡がたもたれず、噴霧量が過剰であるときは網に液層ができ、液のドレインが増加し、ホウマツは発生しなくなる。また送風量が過剰になると前項で述べた限界速度以上の現象を起こすことになる。著者らの実験結果によるとカヤ網(二重張り)で発ボウ剤(表面張力約 30 dyne/cm)の変換効率を最大にする最適噴霧量は網単位面積 (m^2) 当たり 80~100 l/min, これに対する送風量は 80~100 m^3 /min で発ボウ倍率は 1000 である。ノズル、網によって多少異なる。

4 ホウマツの流動性

ホウマツによる消火法は遠方より風管や地下坑道一杯にホウマツをできるだけ速く被災地区に流送させることが特色である。ホウマツも他の多くの流体と同様距離の増大とともに、その流動抵抗も増すのは当然であるが、その抵抗が増すと発ボウ力すなわち送風機の静圧に影響し、発ボウ能力は低下し、ホウマツの流送速度は遅くなる。

流動速度は発ボウ量と流送する坑道の断面積によって

決定されるものであるが、発ボウ量そのものが流動抵抗と送風機の特性によって変化する。今その流動抵抗について少し述べることにする。

4.1 流動抵抗

一般に物質が管内を流れるときには、その流れに対する抵抗としては流動物質の粘性、流体が流れる管壁のあらさおよび速度などが関係する。

ホウマツが坑道内を流れる状態は空気や水のような Newton 流でなく、流れ管の周壁から中心に向かってわずかの距離だけに速度コウ配があり、大部分では速度コウ配は零で一種のせんのように流れる plug-flow で Bingham 流と考えられる。

またホウマツの粘性は非 Newton 粘性であることが知られている。Brooke-field 型粘度計を使って求めた粘度と速度の関係は減衰曲線となる。なお、ホウマツの粘性は発ボウ後の経過時間とともに増大する(図-7 参照)。

図-7 粘度と時間の関係

これはホウマツの Drainage の影響と考えられる。したがって、流送に対し必要以上に時間をかけることは流動抵抗を極端に増大することになり不利である。ホウマツの Drainage は一般にその半減時間をもって示されている。

4.2 流動距離と背圧

非圧縮性の流体が管内を流れる場合の管内の圧力降下は一般に

$$p = \lambda \cdot l / d \cdot v^2 / 2g$$

で示される。しかし、ホウマツの場合は前述したように非 Newton 粘性でしかもホウマツそのものの粘性が時間とともに図-7 のように変化するため、非常に複雑である。ホウマツの流動抵抗は前述のように流送距離とホウマツの粘性が主要な要素である。また、この流動抵抗はホウマツを流す場合の背圧のパラメーターとして示される。すなわち、背圧は発ボウ圧と流動抵抗の和である。いま著者は流送距離と背圧との相関性を見いだすため、試験炭鉱、ならびに九州のある炭鉱において、前者では 600 m (立坑 20 m)、後者では 1,000 m の流送実験を行なったので、その結果を図-8 に示す。この実験

(a) 実験炭鉱における流送状態 (時間と背圧との関係)

(b) 高膨脹ホウマツ流送時の背圧と発ボウ圧

図-8

でのホウマツの流動抵抗としては発ボウ網前面の静圧を測定した^{10), 11)}。

5 発ボウ剤

これまでに発ボウ剤として外国で使用されているものとしては、つぎのようなものがある。

1. Ammonium lauryl sulfate
2. Amino fatty acid
3. Alkyl-aryl sulfonate
4. Alkyl phenol
5. Alkylated ester
6. Alkylated phenol ether

著者らはアルキルベンゼンスルホン酸塩の安価であることを考え、これを主剤とした発ボウ剤を開発した。このほかにもわが国でも東京消防庁あるいはF社などでも個々に開発されている。これらに共通の特徴としては、このような発ボウ方式で十分なアウ立ちをし、かつ含水量の多い、安定性のホウマツであることである。いま上記 6 種の含水量あるいは安定性(ホウマツ量)と時間の

表-2 金属イオンに対する発ボウ剤 No. 25 の起ボウ力 (発ボウ直後のホウマツ, RM 法, 試験温度 13°C)

発ボウ剤濃度(%)	ppm イオン	50	100	150	200
		250mm	240mm	240mm	190mm
0.5	Ca ⁺⁺	265	260	250	240
		240	210	150	135
0.5	Fe ⁺⁺⁺	260	255	245	230
		265	250	245	230
0.5	Mg ⁺⁺	265	250	245	230
		265	250	245	230

図-9

関係についての実験結果を 図-9 に示す⁵⁾。

つぎに消火に使われるホウマツの発泡剤としては緊急性を必要とすることから、いかなる水質の水にも溶解し、十分な発泡を行なうことである。金属イオンに対する発泡剤(当所開発)の起ホウ力の実験結果を 表-2 に示す。また金属イオンによる発泡低下の対策としては軟化剤(たとえば EDTA (エチレンジアミン四酢酸))を使用して軟化させる方法と単に溶液濃度を大きくして起ホウ力を回復することもできる。いま後者の場合の実

表-3 発泡剤濃度を大きくした場合の起ホウ力の回復
(発泡 1min 後のホウマツ量, RM 法, 試験温度 25°C)

発泡剤濃度(%)		発泡剤濃度(%)			
イオン		0.5	1	2	3
Fe ⁺⁺⁺	Ca ⁺⁺	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
0 ppm	50 ppm	250	265	270	290
0	100	240	250	250	260
0	200	190	240	250	250
0	400	60	170	190	210
0	500	50	90	190	210
0	1,000	—	60	140	140
50	0	240	260	300	—
100	0	210	255	290	—
200	0	135	230	270	—
400	0	—	—	160	220
25	25	240	250	260	270
50	50	170	240	250	260
100	100	140	160	250	250
200	200	90	140	240	240
300	300	50	100	220	240

験結果を 表-3 に示す。この表からも解るように Fe²⁺ 200 ppm の場合には平常値の倍(1%)の濃度にすれば大体回復し、Ca²⁺ 400 ppm の場合は平常の6倍(3%)にすれば回復するという結果を得た。鉱山や炭鉱においては上記の条件はとくに必要であるが、なお、海底を採掘している炭鉱の坑内水を利用する場合は海水に対して溶解性のある発泡剤でなければならない。これもN社キディやF社などの発泡剤はすぐれているようである。

発泡剤の粘性を増してホウマツの安定性を増大させることができるがこれは 4・1 でもすでに述べたように長距離を流す場合には流動抵抗を大きくすることになり、ホウマツの流動性を悪くする結果にもなるため、その限界を考えなければならない。これらの問題については検討中である。

6 消 火 効 果

物が燃えるとはき、その物質の性質によって燃え広がりがちが違う。一般に燃焼速度が速ければ火災帯の広がりは速く、消火は困難をきわめる。いま火災帯の広がりを拘束し、燃焼速度すなわち燃焼物質から発生する可燃性ガスの発生速度と消火効果の関係を考えると、燃焼速度の速いほど単位面積当たりの消火に必要な消火用水や消火剤は多量を要する。この関係を流送ホウマツ消火法によって検討した。当所のホウマツ消火実験風洞を使用して消火時間とホウマツ消費量を測定した。なお、使用した燃焼物は燃焼速度のわかっている物質で、しかも再現性のある物質ということから液体燃料を用いることにした。その実験結果を 表-4 に示す。この場合、燃焼速度の影響だけでなく燃焼の際に発生する可燃性ガスが消火を妨げる。アセトン、アルコールとガソリン、白燈油では前者の方が消火しにくいようである。これは一つに

表-4 種々の燃料に対する消火効果
(ホウマツ流動速度 9.1 cm/sec, 燃料の量各 50 cc)

燃 料	アセトン	メチルアルコール	ベンゼン
燃焼速度 (cm/min)	0.25	0.098	0.29
消火所要時間 (sec)	28.6	23.0	19.6
ホウマツ消費量(m ³)	0.0282	0.0243	0.0203
	トルエン	ガソリン	白 燈 油
燃焼速度 (cm/min)	—	0.47	0.22
消火所要時間 (sec)	15.0	21.4	19.4
ホウマツ消費量(m ³)	0.0166	0.0231	0.0194

は液体の蒸発速度にも大きく影響しているようにも考えられるが明確でない。いま、ホウマツによる消火過程の一例を述べる。

表-4 に示したような揮発性燃焼物はホウマツに一度覆われたかのようにでも部分的に取り巻いているホウマツを破り、蒸気ないしは火災を発生し、これを幾度か繰り

返しながら消火していく。ベンゼンなどになるとホウマツでおおわれた空間内に可燃性ガスが充満し、このガス相が高温を保っているとおおっているホウマツ層の一部が破壊されることによりホウマツ層周辺部にある空気が供給され、爆発限界濃度となり、爆燃現象を部分的に生ずることがある。これが大規模になると爆発の危険性は増大する。この事実から鉱山の火災で石炭などが燃え可燃性ガス（主としてメタンガス）が発生したり、あるいはメタンガスが湧出する場合に同じ危険性をもつことになる。したがって、可燃性ガス濃度を爆発限界から避けるようにしなければならない。

このような危険性を避けるためにホウマツに含まれる空気に代わって不活性ガスを混入し、窒息効果も同時に著しくすることが考えられる。著者は一例として炭酸ガス 47.5% 混入したガスによってホウマツを発生させ、消火実験を行なった結果、消火時間は空気だけのときよりも約 1/2.5 短縮できた。しかし、これも人が生存していると思われる箇所に行なうことは危険のようである。また現段階では大量の不活性ガスを放出する装置に問題点である。

これまでは液体燃料の燃焼について論じてきたが、木材などの固体燃料の場合は液体の燃焼に比して温度はあまり高くないが消火のときの温度降下状況はまったく異なり、消火に非常に時間を要している。木材や石炭のような固体燃焼物の窒息作用による消火は、液体と異なって“くすぶり現象”を呈するため、冷却作用による消火に比して効果は劣る。完全消火のためにはホウマツによって煙や熱気流を制圧し、危険性がなくなってからできるだけ火源に近よって“おき”を排除しながら最後には注水消火することが最も望ましい。

7 高膨張ホウマツの機器とその応用

現在、諸外国はもちろんわが国でもホウマツ発生機は当所の資技試型を初め消防関係でもすでに実用機器として販売されている。

ホウマツ発生機を大別すると、可搬式と固定式に別けられる。

i) 可搬式 ホウマツ 発生機：火災現場近くまで可搬して風管あるいは地下道や鉱山坑道内を充満させて流送させる方式、消防車、あるいは鉱山の炭車に積載できるようになっている。現在の東京消防庁、そのほか主要都市の消防にて装備しているのは、この型式のものである。図-10(a) は当所で考案した鉱山用、あるいは地下道用としての実用機である。発ポウ倍率は 1000~800 倍である。

このほかに図-10(b) のように原動機を使わないでエア・ジェットにて空気を吸引して発ポウさせる方式 (aspirating type) のものがある。これは発ポウ倍率

図-10(a) 鉱山用発ポウ装置

図-10(b) アスピレート型ホウマツ発生機

図-11(a)

図-11(b)

が小さく 200~300 程度である。したがって、流動もエア・フォームのような平面的な流れをするのでエア・フォームと同じようなところに使用することが望ましい。

ii) 固定式ホウマツ発生機：航空機の格納庫、倉庫、地下駐車場あるいは船舶など一部スプリンクラーに代わって固定設備し、火災感知器と連動させることにより、火災の拡大を防止できる（図-11 a, b 参照）。この型式のものはわが国ではあまり知られていないようであるが、水噴霧消火設備やスプリンクラー設備など水を用いる場合と違って初期に火災が鎮火したときでも冠水による損害が比較的小範囲ですむという利点をもっている。また船舶などのように小さく区切られた

場合などは非常に有効である。

外国では、すでにこの方式に対する規格が一部定められているようである。すなわち、ノールウェー船舶協会のフォームの規格の一例を参考までに述べる。ただし、発ポウ原液に関するものをあげると

1. 発ポウ原液は有毒であってはならない。皮膚または粘膜に特別な刺激を与えないもの
2. 発ポウ原液の粘性は 0°C で 110 cps の最大粘度を有し、 20°C で 6~7.5 の酸性度のもの
3. 原液は -5°C から $+60^{\circ}\text{C}$ までの温度で物理的にも化学的にもなんらかの変化を示してはならない。原液は性質を変化しないで少なくとも 12 カ月の貯蔵が可能でなければならぬ。 $+5^{\circ}\text{C}$ ~ $+24^{\circ}\text{C}$ の範囲の温度では密閉容器に貯蔵した場合には、出荷後 6 カ月における沈殿物は容量で 0.1% を越えず、出荷後 12 カ月で 0.15 vol% を越えないものでなければならない。沈殿物がもしある場合には、静かに振っただけで完全に分離し、ASTM 規定 80 mesh のフルイを楽に通過するものでなければならない。
4. 発ポウされたホウマツは粘性があり、15 min 後に初めの水分の 25% を少なくとも含んでいなければならない。試験は鉱山局からの報告書 No. 5632 (RI of Bureau of Mine) の附則に記載された方法で行なう。

などと詳細にわたる規定が示されている。

8 む す び

消火のためのアワとはどんな性質であり、またどうあるべきかということについて概略を述べた。現在、実用

化されている発ポウ剤や発ポウ機はもちろん完全なものでない。高膨張ホウマツについてより進んだ研究が期待されるしだいである。

(昭和 44 年 7 月 19 日受理)

文 献

- 1) J.J. Bikerman "Foams" (1953)
- 2) J.J. Bikerman "Surface Chemistry" (1958) Academic press. inc.,
- 3) H.S., Eisner, P.B. Smith, "Firefighting in underground road-ways, experiments with foam plugs" S.M.R.E. No. 130, June 1956
- 4) E.T. Linacre, "Practical aspects of foam-plug method. of fighting large mine-airway fires" S.M.R.E. No. 179, Aug. 1959
- 5) J. Nagy., R.W. Basues, E.M. Murphey, "Control of Mine fire with high-expansion foam plugs." Bureau of Mine R.I. No. 5419
- 6) 佐々木 "泡沫現象" 化学実験学第 1 部 4 巻
- 7) 日本化学会編 "界面化学" 実験化学講座 7
- 8) 松隈, 梅津, 山尾 "坑内火災対策としての泡沫制御 (第 1 報) 網の影響について" 九州鉱山学会誌, **33** (3), 昭和 40 年 3 月
- 9) 松隈, 梅津, 山尾 "消火に使用される高膨張泡沫" 火災学会論文集, 15 巻 1 号 (1966)
- 10) 松隈 "坑内自然発火ならびに坑内火災対策に関する新技術" 日本鉱業会講演要旨集 (昭和 41 年秋季大会) 日本鉱業会誌, **83**, 946 号 (1967)
- 11) 松隈 "早期密閉 (空気袋) と泡沫流送試験について" 日本鉱業会講演要旨集 (昭和 43 年秋季大会) 日本鉱業会誌, **84**, 965 号 (1968)