

甘しょの貯蔵と酸欠事故 について

全国化工澱粉工業協同組合
前専務理事 顧問

山 田 清

I. 農村において痛ましい酸欠事故

「芋畑穴で酸欠事故」という見出しの新聞報道は、余りにも痛ましい災害なので、われわれは大きなショックを受け、いまだにその記憶は生々しく脳裏に焼きついている。報道の概要は次の通りであった。

「2月7日の午後3時半頃、茨城県鹿島郡銚田町借宿のサツマイモ畑で、芋保存用の穴に入って作業していた同所A（51）が酸欠のため倒れた。助けようとして、穴に入った同所B（60）とその息子（29）も倒れた。

3人は病院に運ばれたが、B親子は既に死亡しており、Aも意識不明の重体である。

銚田署の調べによると、Aとその妻は芋畑にきて、芋保存用の穴の周囲が白いカビに覆われ、腐臭がしているのに気付いたが、Aは意に介することなく、作業のため穴に入ったところ昏倒したので、その妻はB親子に助けを求めたという。同署ではこの事故の原因は、芋の腐敗で穴の中が酸欠になったとみている」ということである。しかし、この記事から類推すると、大量のカビの発生も酸欠を助長し

たものと考えられる。

酸欠とか酸欠死という言葉は、世間一般の人々には耳慣れないが、労働衛生を掌管する労働省労働衛生局で調査したところ、このような事故は比較的多く発生し、人命に係わることが多いことを知ることができた。その状況を表1により示す。

II. 人命は地球より重い

これは20数年前、アメリカにおいて少年が廃坑に落ちた事件の時のことである。

少年の救出は難航をきわめ、二次災害により、救助隊員の生命も保障しかねる状態であったので、一時は救出断念に傾いたが、「人命は地球より重い」この世論により、あらゆる手段を講じ人知の限りを尽くし、多大のコストを惜しむことなくつかい少年を無事救出した。

以来、これが人命尊重の合言葉となり、その尊厳を高く位置づけることになったが、この理念は現在も社会のモラルとなり、人々の心に生き続けている。

今回の酸欠事故は、酸欠に関する予備知識があり、その対応に誤りがなければ、人命損

傷という痛ましい事故

につながらなかったと思うと寔に残念至極である。

昨日まで元気で農作業に励み、一家を支え世の中に食糧を供給してくれた善良な農家の働き手に、今後は絶対

表1 業種別酸素欠乏症発生状況（昭和40年～63年）

業種 死 亡 年 別	業 種	製 造 業										小 計	鉱 業	建 設	運 輸	貨 物 取 扱	農 林 水 産	商 業・ 金 融	そ の 他 の 事 業	合 計
		食料品製造業	繊維工業	木材・木製品業	製パルプ・紙・紙加業	工 品 製 造 業	化学工業	窯業・土石製品業	製金属製品製造業	機械・器具製造業	左記以外の製造業									
昭和40 ～53年	死亡	29				14	25	2	7	24	40	141	18	108	3	9	2	10	27	318
	蘇生	33	3	1		16	37	4	8	64	41	207	135	131	9	45	6	15	56	604
昭和54 ～63年	死亡	35				14	27	3	11	42	48	180	18	150	4	19	5	15	45	436
	蘇生	46	3	1		18	51	4	12	113	54	302	135	193	13	51	10	27	64	795
合 計		81	3	1		32	78	7	23	155	102	482	153	343	17	70	15	42	109	1231

にこのような悲惨な事故があってはならないとの思いから、全くの門外漢であるが、酸欠事故絶滅のために多少なりとも役立ちたいと、問題解明を試みることにした。

III. 酸素と人体の関係

人間は生ある限り、昼夜を分たず休みなく呼吸を続け、生命の維持に不可欠な酸素を吸収し炭酸ガスを排出している。酸素なくして人類は勿論のこと、この世の殆どの生物は生きることができない。

人間が激しい運動や、労働時に呼吸があらくなるのは、多量に消費された酸素を吸収するためのものであり、空気中の薄い高山にて酸素吸入器にたよるのも、生命維持に必要な酸素を補給するためであることは今更論ずるまでもない。

(1) 空気の組成

人間が一刻も休むことなく呼吸している空気、その中に含まれる酸素が20%以上あるのは、太陽系の九惑星の中で地球だけである。他の惑星やそれらの衛星には酸素は殆どない。したがって地球だけが、人類を始め多くの生物が生存し得る唯一のものである。人類は、大気中の酸素の恩恵を最大限に受けている生物なのである。参考までに、人類に不可欠な空気の組成を示せば、表2の通りである。

(2) 脳と酸素

人類の極限的な脳は、細胞内で酸素とブドウ糖から大量のエネルギーをつくり、これを利用して活動が続けているが、その優れた機能は酸素により支えられている。

人間の脳の重量は、約1.4kgで体重の約2%に過ぎないが、その酸素の消費量は、全身の必要量の20~25%を占めており、身体の種類臓器、器官のうちで最大の酸素を消化している。

常に休みなく活動しているのは脳と心臓であるが、その単位重量当りの酸素の消費量を比べると、脳は心臓の100倍である。人体のすべての支配者であり、生命の根源である脳の重要性によるものである。

常に休みなく活動しているのは脳と心臓であるが、その単位重量当りの酸素の消費量を比べると、脳は心臓の100倍である。人体のすべての支配者であり、生命の根源である脳の重要性によるものである。

(3) 人体における酸素の摂取と利用

脳の必要とする酸素は、肺に吸入された空気から肺毛細管を流れる赤血球の中のヘモグロビン（鉄タンパク）に結合して濃縮化され、心臓ポンプによって、脳をはじめ全身すべての組織に送られる。

酸素は、そこで赤血球を離れて脳細胞にとり込まれ消費される。肺に吸入される空気に酸素が欠乏していると、脳は酸素を貯蔵することができないから、直ちに酸素エネルギーが枯渇するので、脳細胞の活動は停止して意識障害や昏睡等に陥いる。

これは、極めて危険な状態である。危機から脱出する意欲を失い、短時間のうちに破局に陥いる。脳の酸素の供給が2分以上止まれば、大脳の細胞が崩壊し始め、6分以上では、呼吸中枢に崩壊が及び、脳死の段階に達することになる。人類は地上最強の脳を持つ生物であるが、その反面、その脳は酸欠には最も弱い存在なのである。

(4) 酸素濃度と人間の状態

人間は空気中の酸素の濃度が、16%まで下

表2 空気の組成

構成ガス	容積比率%	分圧mmHg
酸素	20.93	159.1
窒素	78.09	593.5
二酸化炭素(炭酸ガス)	0.03	0.2
アルゴンその他の希ガス	0.95	7.2
計	100.00	760.0

表3 酸素濃度と酸素欠乏症の症状等との関係

段階 (ヘンダー ソンの分類 による)	空気中酸素		動脈血中酸素		酸素欠乏症の症状等
	濃度	分圧	飽和度	分圧	
	(%)	(mmHg)	(%)	(mmHg)	
	18	137	96	78	安全下限界だが、作業環境内の連続換気、酸素濃度測定、安全帯等・呼吸用保護具の用意が必要
1	16~12	122~91	93~77	67~42	脈拍・呼吸数増加、精神集中力低下、単純計算まちがひ、精密筋作業拙劣化、筋力低下、頭痛、耳鳴り、悪心、吐気、動脈血中酸素飽和度85~80%（酸素分圧50~45mmHg）でチアノーゼが現われる
2	14~9	106~68	87~57	54~30	判断力低下、発揚状態、不安定な精神状態（怒りっぽくなる）、ため息頻発、異状な疲労感、酩酊状態、頭痛、耳鳴、吐気、嘔吐、当時の記憶なし、傷の痛み感じない、全身脱力、体温上昇、チアノーゼ、意識朦朧、階段・梯子から墜落死・溺死の危険性
3	10~6	76~46	65~30	34~18	吐気、嘔吐、行動の自由を失う、危険を感じても動けず叫べず、虚脱、チアノーゼ、幻覚、意識喪失、昏倒、中枢神経障害、チェインストークス型の呼吸出現、全身痙攣、死の危機
4	6以下	46以下	30以下	18以下	数回のあえぎ呼吸で失神・昏倒、呼吸緩徐・停止、痙攣、心臓停止、死

表4 酸欠現象の原因と酸欠事故発生場所等一覧表

原因分類	場 所	状 況
化学的な空気中酸素消費	金属の酸化（水酸化鉄の形成）	鉄製タンク類、ボイラー、ボールミル内、鋼材・スクラップ積載船の船倉、船底浸水防水区画、バラストタンク、ボイドスペース内
	鉱石の酸化（水分存在下で硫化鉄の酸化）	金属鉱山の坑道、岩盤掘削トンネル、製鉄所の原料鉱石ホッパー、鉱石・石炭運搬船の船倉
	地下水、水道水の鉄分の酸化	水道水の取水井、ビル地下・屋上の貯水槽内、地下水湧出坑道・すい道・立坑・暗きょ排水路
	還元状態の砂屑の鉄分の酸化（圧気工法、大気圧変動による地層内空気流通）	建設基礎立坑、機坑、潜函、シールド坑、すい道、地下空洞、ビル地下の深井戸ポンプ室およびその周辺地下作業室
生物学的な空気中酸素消費	乾性油（不飽和脂肪）塗料の酸素吸収	植物性塗料・原料・油脂、食用油、魚油、ベントなどの貯蓄タンク内、ベント塗装後の地下室、船倉、機械室
	微生物の呼吸作用	下水道、汚水トラップ、マンホール、し尿処理槽、清掃工場生ごみビット、引揚沈船の船倉、抗生物質製造タンク・発酵タンク・醤油等の発酵製品貯蔵タンク、製糖工場のタンク類
	嫌気性菌のガス生産	下水道マンホール、し尿処理槽、塵芥埋立地の地下掘削環境におけるメタンガス充満
	果菜、穀類、木材の呼吸作用	食品工場、食料品倉庫の貯蔵サイロ、ホッパー、バナナむろ、穀物、木材チップ等の生植物性物資輸送船の船倉、牧草・飼料貯蔵サイロ
内燃機関、燃焼器具等による大量酸素消費	人間の呼吸による酸素消費	冷蔵庫、狭い地下室、タンク、コンテナなどに長時間閉じ込められた場合
	地下作業場、井戸内、タンク内、船底密閉室、地下室等での内燃機関動力の使用、トーチランプ、熱焼・加熱・暖房器具の使用。一般化炭素中毒を伴う	
不活性ガスによる酸素希釈・排除	窒素封入、窒素パージ（火災・爆発・酸化防止）	可燃ガス、還元性物質の貯蔵タンク内。タンク、配管等の気管テスト後のタンク類。窒素封入電話線中継マンホール内
	深冷剤の気化逸出	ドライアイス貯蔵庫、漁船、ビル地下室、冷凍倉庫の冷凍機故障、解体修理の際のフロンガスの逸出。コンテナ車内ドライアイス、液体窒素の気化充満。凍結貯蔵用液体窒素の漏洩
	不活性ガスの噴出、滞留	炭坑内、頁岩層掘削トンネル内、ガス田地帯の建築基礎坑内のメタンガス噴出。密室ヒット内に窒素、アルゴン、炭酸ガス等の滞留。地下フロバンガス配管内残留ガスの噴出
	消火用ガスの噴出	船室、船倉、地下駐車場、可燃物取扱所などの炭酸ガス消火装置の誤操作・故障で噴出
石油ガス遊離、低沸点溶剤の気化	石油タンカーの油槽内、精油所のタンク内、パイプ内洗浄用フロン剤の漏洩気化	

ると酸欠症があらわれる。この濃度は、ローソクの炎や安全燈の灯の消える瞬間の酸素濃度である。酸素濃度が更に低下した場合、表3のような状態に陥いる。

Ⅳ. 酸欠現象の発生とその防災

酸欠現象とは、既述したように人が呼吸する空気中の酸素濃度（通常は約21%）が低下するか無くなることであるが、この現象を引き起す条件は、大別すると次の二つである。

第一は、大気が入り込みにくく、また換気の悪い閉鎖的、半閉鎖的な空間である。

第二は、空気中の酸素の吸収、消費、希釈追い出し等を引き起す物質が存在することである。説明の便宜のため、系統的に分類したものを表4に掲げる。

(1) 酸欠現象の発生原因

表4のうち、特に農業と関聯の深い項目は「生物学的な空気中の酸素消費に原因する酸欠現象」であるので、主としてこれについて敷衍することにする。

① 果菜類、穀物等→生植物の呼吸作用。

これら生植物は、酸素を吸収し炭酸ガスや窒素酸化物を放出するので、限られた空間で換気不十分な場所では酸欠やガス中毒がおこる。

② 微生物（カビ類）→呼吸作用。

カビ類は、重量単位で人間の100倍以上の酸素を吸収するので、これが大発生すると構内（穴ぐら）は忽ちのうちに酸欠状態に陥い

表5 生物の酸素消費量

ヒ ト	200
原生動物のパラメシウム	500
藻類 クロレラ	40,000
糸状菌 フザリウム	10,000
細菌 アゾトバクター	1,200,000

酸素量 (kg当たり30℃, ml/hr)

る。表5にその数値を示す。

③ 有機物の腐敗と細菌の増殖。

構内（穴ぐら）に貯蔵された果菜類は、細菌の栄養源でもある。有機物に附着し或いは空気中に浮遊している腐敗菌等は、構内（穴ぐら）の増殖に適した温度、湿度により活発に増殖してその腐敗を進める。これらの細菌は多量に酸素を消費（表5）するので、構内（穴ぐら）は酸欠状態になる。酸欠が進み無酸素状態になると、嫌気性菌により人体に有害なメタン、硫化水素等も発生する。

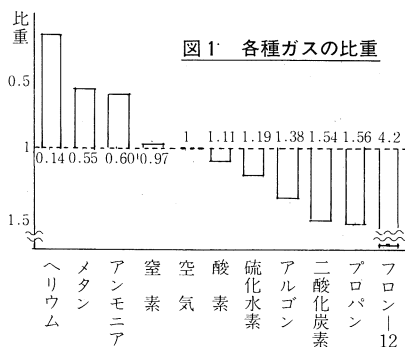
④ 地中の酸化現象と気圧の影響。

構内（穴ぐら）等の所在するところの土質に鉄分が多く含まれ、その上湿度、温度が高いと酸化現象が起り、酸素が消費され酸欠が進む。尚、低気圧になると、この低酸素の空気が構内（穴ぐら）に押し出されてくるので酸欠現象が生じる。

(2) 酸欠と事故防止

酸欠は重度の場合、人体の生命を奪いあるいは中枢神経を犯すことにより、植物人間化してしまう危険がある。最悪の場合は、たった一回の吸入で死亡することもある。

尚、酸素や二酸化炭素、一酸化炭素、メタン等は無色、無臭、無味なので、その存在および濃度等は人間の感覚で識別できない。こ



のことは特に認識しておかなければならない。

酸欠事故の基本的対策は次の三つであるが、この三本柱は、その一つが欠けても完全とはいえない。不完全なるが故に人命を失った例が屢々起っているからである。

① 換気実施上の留意点

酸欠症等を防止するためには、爆発、酸化等のため換気することのできない場合を除き、酸素濃度を18%以上に保つように換気する。尚、換気上の留意事項としては

(イ) 構内（穴ぐら）等の気積の“5倍以上”を有害でない空気により換気する。

(ロ) 換気効果確認のため、一応の目安として換気開始15～20分後に、酸素濃度の“再度測定”を行ない安全を確める。構内（穴ぐら）の気積、換気機器の能力等により時間差があるので注意を要する。

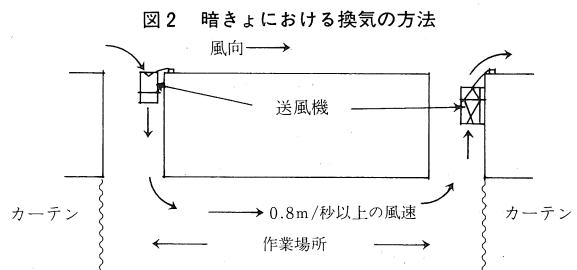
(ハ) 作業員が、構内（穴ぐら）に入ってから換気は続行しなければならない。

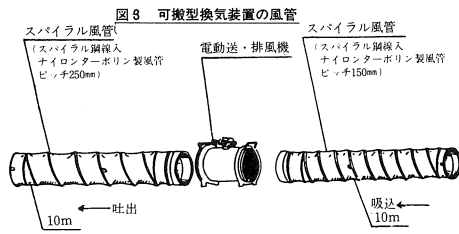
(ニ) 送風機の送風口あるいは換気装置の吸気口は、できるだけ作業現場に近づけて行う。

② 送風、換気機器の使用上の留意点

(イ) 送風機

図2に示すように、風上から風下へ送風する。構造物の平均断面において0.8m/秒以上の風速とする。





(ロ) 換気装置

一般的には、図3に示す「可搬型換気装置」(折たたみ式ダクト)を取付けて使用することが多い。

使用上特に留意すべき点は、 airflow が短絡したり、換気不十分な場所を残さないこと。送风管が長くなると、通気抵抗が大きくなるので風量は減少する。ポイントである換気量は風量と相関する。それ故、末端の風量は測定する必要がある。測定方法は次による。

$$F = a \times u$$

F : 風量 $m^3/分$
 a : 末端の断面積 m^2
 u : 末端における平均風速 $m/分$
 (中心風速 ~ 0.84 倍 $\sim$ 概数)

③ 空気呼吸器と使用上の留意点

酸欠等のおそれがあり、その場所に立入って作業する時は、“酸素濃度の測定”と“換気”により人体に被害のない状態にすることが原則であるが、次に示すように“換気”できない場合、あるいは“換気不十分の場合がある。

(イ) 換気が行えない場合

- 引火、爆発を防止するための不活性ガスが、充てんしてある場合(引火性液体、LPGタンク、化学的反應装置の内部等)
- 鮮度保持のため、不活性ガスが封入してある場合(果菜等の生鮮食料品等)
- 換気すると、周囲に悪臭を放散するおそれのある場合(浄化槽、汚物タンク等)

(ロ) 換気不十分の場合

○ 地層の関係上、酸欠空氣の湧出量が極端に多い場合(井戸、たて坑、ずい道等)

○ 構造上、充分な換気が行えない場合(タンク、化学設備、船殻等)

○ 事故の被災者を救出する時、十分な時間的な余裕がない場合等)

○ 作業開始前に、酸欠等の濃度測定のため危険な場所に立入る場合等

以上のような場合は、必ず“空気呼吸器用の保護具”を装着しなければならない。特に酸欠症発生の場合、救助者が二次災害を起すケースが多いので、必ずこの器具を装着すべきである。また、救出作業にあたる最低限の人員分は必ず備付けておくことが必要である。

④ 安全帯および避難救出用具の備付け

万一の事故に備えて、前記の器具の他に安全帯、梯子、繊維ロープ、吊り足場、滑車等は非常の場合に作業者を退避させ、または、救出するために必要なので、常時備えておかなければならない。

⑤ 酸素濃度の測定について

空氣中の酸素濃度の測定は、酸欠症防止のための基本である。酸素濃度欠乏状態は人間の感覚で感知できないので、酸素濃度測定器による測定が唯一の方法である。

酸欠による災害を防止するためには、まず、構内(穴ぐら)の酸素濃度を正確に知ること、必要に応じて換気を行い、また、空気呼吸器等の保護具を使用することである。

もし、測定結果が正確でなかった場合、その後の対応に欠落を生ずることになり、人命損傷という最悪の事態を引き起こすことになる。

(イ) 酸素濃度を正しく測定

- 適切な“測定器”を選定し、常時備えておくこと。

○常に正しい“保守管理”を行ない、正確に測定が行えるようにしておくこと。測定場所と測定時期を正しく定めること。

○正しい“測定操作”を行うこと。

○測定者は、平素から測定器の取扱いに習熟しておくこと。

○測定結果を正しく評価し得るようにしておくこと……等が必要である。

(ロ) 酸素濃度測定器について

空気中の酸素濃度測定器にはいろいろの種類がある。それぞれの測定器は、正確さ、耐久性、操作および保守の難易度等について、各々特徴があるから充分調査研究の上、用途にあった機器を選定することである。

現在、多くの酸素濃度測定器があるがその中で、取扱いの簡便性、その他の理由で「ガルバニ電池式酸素計」が殆どの現場で使用されている。簡易測定法としては「検知管法」が使用されていることを参考までに附記しておく。

これらの測定器の構造、操作の方法、使用上の注意、定期点検等については、購入・使用にあたっては、各機器に添付されている「説明書」を熟読すると共に、メーカーあるいは販売業者等から充分説明を聞いたり、実地に講習を受けるなどして、取扱い上誤りなきよう万全を期してもらいたい。

V. む す び

酸欠現象のメカニズム、酸素と人体の関係、酸欠発生の原因とその事故防止等についてそのあらましを述べてきた。

甘しょの穴ぐら貯蔵の酸欠問題についても、ここに述べた原理、原則に基づいて忠実に処理するならば、事故は未然に防止できる。

吾が国や中国などでは、未だに危険防止の

方法として、穴中に灯のついたローソクをおろしたり、小鳥を放ったりしているとのことであるが、このようなことは、往々にして事故の原因となるおそれがある。ローソクの炎は、空気中の酸素が16%以下になると消えるので、一応の安全の確認はできるが、メタン等可燃性ガスが発生している場合爆発のおそれがあるので、この方法は避けるべきである。小鳥（じゅうしまつ）の実験例では、通常、人間がこん倒する酸素濃度でも小鳥は墜落しないので、この測定法も危険である。

参考：小鳥は、空気中の酸素濃度が7.5%曝露時間20分でも異状なく、5.8%でも生存し、5.4%以下にて斃死する。人間は16%にて酸欠症状を起す。

尚、防毒マスク、防塵マスク等は、酸欠事故防止には全く役に立たない。これを誤信して死亡した例もあるので、特に注意を喚起しておきたい。

人間の知覚で判別できない酸欠。これは常に死と隣合せで存在している。この酸欠事故から人命を守るのは、万全な酸欠事故対策以外に方策はない。しかし、この対策を実施するには、各種器材を調達する多額の費用を要する。その上、機器の保守管理、操作等の知識技術を必要とするので、小規模のいも作農家では負担に無理が生ずるであろう。従って、いも耕作組合あるいは農協等において、共同施設にすることを考慮すべきであろう。

甘しょ貯蔵の穴ぐらの構造を改善して、換気の促進、腐敗や黴の発生を防除することなども当面の研究課題であるが、農水省の構造改善事業の一環であるキューリング法を実現できれば、この問題は抜本的に解決し得るであろう。この件については、同省の畑作振興課より種々ご教示を頂いているので、機会があれば後述したいと考えている。