

## 呼気再使用式酸素呼吸器

長谷川 浩 治\*  
 末 吉 道 生\*  
 小 方 義 信\*

### 1. ま え が き

火災現場における長時間の防ぎょ活動や酸欠状態の中での救助活動の場合、従来から使用されている開放式または、循環式の呼吸器では、使用時間が短く、行動範囲も極度に制約され、頻繁にポンペの交換が必要であるなどの不便がある。又使用時間の延長をはかろうとすると、ポンペや付帯構成物が必然的に重くなって、隊員の行動範囲がせばめられ、疲労が激しくなるという欠点も出てくる。ここに紹介する酸素呼吸器は、現在の空気ポンペと同量の酸素ポンペを使用し、一回の呼吸で排出されている酸素を呼気の状態でも再使用することにより、呼吸器の重量を増加することなく使用時間の倍増をはかることを目的としたものである。従来の酸素呼吸器では、一回吸った酸素をそのまま排出し、新しい酸素を連続的に吸入しているが、消防活動における短時間の着用は別として、高濃度酸素の長時間吸入は有毒で、頭痛、麻酔、うっ血乳頭、髄液圧上昇、肺刺激などがありついには昏睡におちいるという。このような障害を防止するためにも、呼気によって純酸素希釈、通減して吸気することが望ましい。ここに報告する酸素呼吸器は、呼気混合の酸素を2~3回再使用することによって、経済的であり、ポンペの大きさと重量をも可及的に小さくすることも可能であるものである。

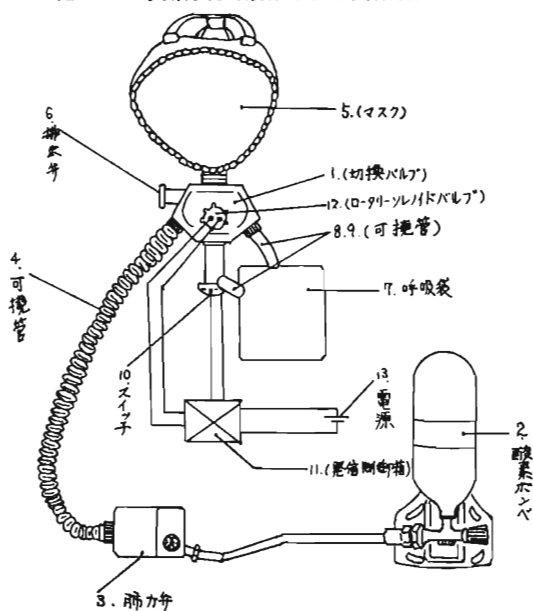
### 2. 呼気再使用酸素呼吸器の概要

本呼吸器は簡単にいうならば、東消型呼吸器に切換弁、呼吸袋およびその制御回路を取付けたものである。その概要は図-1に示す如く、マスク5を取付けた切換バルブ1に、携帯用酸素ポンペが定量供給減圧弁を介し可撓管で連通し、バルブ1には吸引時閉鎖しているダイヤフラム弁をもつ排気口が設けられ、かつ

収縮、膨張自在である呼吸袋7が可撓管8、9で連通しており、バルブ1の端部には呼吸作用で接(ON)、断(OFF)できるスイッチ10があり、これが数呼吸繰り返し、発信制御箱11に電線連絡し、また、バルブ1に連結し、バルブ1に連絡する呼気切換ヘロータリソレノイドバルブ12が制御回路11に通じ、制御回路は電源13に結線されている。

呼吸作用は、第一回目の吸引時純酸素をポンペ2から吸引し、その呼気はバルブ1を経て呼吸袋に放出する。このときは、排気弁側は閉鎖されている。2回目の吸引は、呼吸袋内の呼気を吸引しその呼気をバルブ1から再び呼吸袋に戻す。3回目の吸引も同様に繰り返し、4回目の吸引を呼吸袋から吸引し終ると同時に、制御回路よりロータリーソレノイドバルブに開放の信号が送られ、排気弁を開放し、呼吸袋口を閉鎖し、呼気は排気口から大気中に放出される。次に新しく吸引

図-1 呼気再使用酸素呼吸器試作概要図

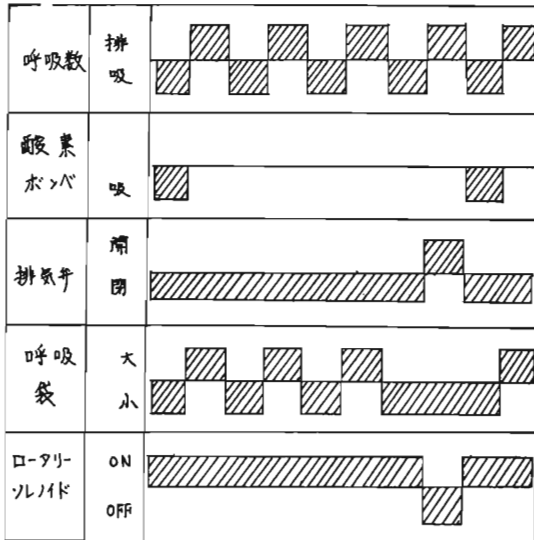


\* 第一研究室

する時は、第一回目の時と同じで、純酸素を吸引し継続して、呼吸袋内において、3回呼気吸引し元にもどる。このようにして貴重な純酸素の使用量を節約し、かつ長期使用が可能となることである。

呼吸数パルスに基づく、酸素ポンペ、排気弁、呼吸袋、ロータリーソレノイドの開閉作動及びパルスを示すと図2の通りである。

図-2 各部作動状況図



### 3. 呼気再使用式試作器のマンテスト

#### (1) 実験方法

(ア)被験者2名(A:20代)(B:30代)により、呼気再使用式酸素呼吸器(以下試作器という)を使用し、5分間連続使用における呼気再使用回数1回における呼吸袋内、及び排出呼気の酸素並びに炭素ガスの濃度測定をした。

(イ)実験方法(ア)と同様にして、被験者A・Bにより呼気再使用回数2回について酸素並びに炭酸ガス濃度を測定した。

(ウ)実験方法(ア)と同様にして、被験者C(20代)により呼気再使用回数3回について酸素並びに炭酸ガスの濃度を測定した。

(エ)負荷想定として、トレッドミル(4km/H・走行状態)を与えて、被験者A・Bにより前記(ア)と同様にして酸素並びに炭酸ガス濃度を測定した。

(オ)トレッドミル(4km/H)を与えて、被験者A・Bにより前記(イ)と同様にして酸素並びに炭酸ガス濃度を測定した。

#### (2) 実験使用機器

(ア)酸素ポンペ 4ℓポンペ使用 150kg/cm<sup>2</sup>(ポンペ

庄)

(イ)酸素濃度計 ペン式記録計

(ウ)炭酸ガス濃度計 ペン式記録計

(エ)ガスクロマトグラフ 記録計

(オ)トレッドミル

### 4. マンテスト実験結果

(ア)実験方法(ア)による酸素並びに炭酸ガス濃度測定結果。

表1

被験者A	年令20代	呼吸数前後 (回/分) 18 22	脈拍数前後 (回/分) 72 72
被験者B	年令30代	呼吸数前後 (回/分) 18 16	脈拍数前後 72 72

時 分 (分)	酸素濃度(%)		炭酸ガス濃度(%)	
	第一袋内呼気		第一袋内呼気	
	被験者A	被験者B	被験者A	被験者B
1(分)	70	61	3.46~3.7	3.45~3.6
2	80	78	3.35~3.55	3.5~3.75
3	85	86.5	3.35~3.4	3.3~3.5
4	86	88.5	3.4~3.45	3.46~3.65
5	86	89	3.35~3.45	3.35~3.4

(イ)実験方法(イ)による酸素並びに炭酸ガス濃度測定結果。

表2

被験者A	年令20代	呼吸数前後 (回/分) 16 24	脈拍数前後 (回/分) 78 78
被験者B	年令30代	呼吸数前後 (回/分) 16 20	脈拍数前後 ( / ) 72 90

時 分	酸素濃度(%)				炭酸ガス濃度(%)			
	被験者A		被験者B		被験者A		被験者B	
	第一呼気	第二呼気	第一呼気	第二呼気	第一呼気	第二呼気	第一呼気	第二呼気
1	57	57	42	41	3.6	4.1	4.35	4.8
2	79	79	66	66	3.5	4.0	4.95	5.35
3	79	79	76.5	76	3.55	3.94	4.95	5.40
4	71	70.5	78	77.5	3.4	3.85	4.75	5.65
5	71	70.5	81	80.8	3.5	3.8	4.7	5.0

(ウ)実験方法(ウ)による酸素並びに炭酸ガス濃度測定結果。

表 3

時 分	酸素濃度 (%)		炭酸ガス濃度 (%)	
	第一呼気	第三呼気	第一呼気	第三呼気
1	60	60	4.2	5.1
2	78.5	78	4.3	5.1
3	85	84.5	4.25	5.1
4	88.5	87.5	4.45	5.05
5				

(=)実験方法(=)による酸素並びに炭酸ガス濃度測定結果。

表 4

時 分 (分)	酸素濃度 (%)		炭酸ガス濃度 (%)	
	第一呼気		第一呼気	
	A	B	A	B
1	55~59	67	3.05~3.7	4~4.15
2	70~72.5	78.5	3.2~3.9	4.25~4.4
3	75~77.5	83	3.7~3.95	4.3~4.45
4	79~82	85	3.95~4.2	4.6~4.8
5	82~83	86	4.15~5.0	4.8

(=)実験方法(=)による酸素並びに炭酸ガス濃度測定結果。

表 5

時 分 (分)	酸素濃度 (%)				炭酸ガス濃度 (%)			
	A		B		A		B	
	第一呼気	第二呼気	第一呼気	第二呼気	第一呼気	第二呼気	第一呼気	第二呼気
1	62	62	66	66	4.9	5.4	4.85	5.3
2	80	79	85	85	5.1	5.45	5.85	5.9
3	84.5	84	87	87	5.35	5.55	5.85	6
4	85	84	88	88	5.65	5.9	6	6
5	86.5	86	89	89	5.85	6.1	5.45	5.5

## 5. 考 察

マンテストの結果、静止状態における1回呼吸使用の場合の袋内酸素濃度は安定するのに3~4分かかっており、これは肺内の残圧空気によって吸気純酸素が希釈されたためと思われる。その袋内酸素濃度は、77.5~90%の高濃度を示しており、排出呼気中においても83~89%のO<sub>2</sub>濃度を示している。炭酸ガスについては、短時間内において、3~4.2%の値を示し、排出呼気においては3.3~4.7%の炭酸ガス濃度になっている。運動負荷時(4km/H歩行状態)においては、静止状態と比較して、酸素濃度は大差を示さず79.5~86.5%の値を示しているが、CO<sub>2</sub>濃度については、2.75~5%と10%の増加がみられ、その排出呼気においては90%の増加が認められた。

又、静止状態における2回呼吸使用の場合の袋内酸素濃度は、1回呼吸および2回呼吸ともほとんど減少なく69~90%の濃度を示しており、その排出呼気において69~89%といく分低い濃度を示している。CO<sub>2</sub>ガスにおいては、個人差が大きくみられるが、静止状態1回呼吸に比べ20%増加しており、3.8~5.4%の値を示した。4km/H歩行状態では、2回呼吸使用の場合においても、酸素濃度の変化は、あまりみられない。しかしながら炭酸ガス濃度については、静止状態2回呼吸に比べ10~40%、4km/H歩行状態1回呼吸に比べ40%と、その増加は顕著である。その状態は図-3・4に示す通りである。

実験(=)~(=)の静止状態において本品の使用感は、息苦しさや苦痛感はなく、呼吸もみだれることはなかった。しかしながら、実験(=)、(=)の運動負荷時においては、呼吸の深さが増し、呼吸のリズムも早くなったが、息苦しさ等はそれほど感ずることはなく、ただ初回の実験であったため使用上に不安があった。

時間的要素については、酸素消費量を圧力計により測定したため、数値的に正確な酸素消費量ではなく、誤差が多いと思われる。その結果は、実験(=)~(=)において酸素消費量は、20l程である。もしかりに安全を考慮して、ボンベ残圧を、30kg/cm<sup>2</sup>とするならば、静止状態における使用時間は、2時間は使用可能と思われる。しかし、本品の目的である呼吸再回数による時間延長の変化は、今回のマンテストでは得ることはできなかった。

## 6. ま と め

ここに報告した呼吸器は、一度放出した呼吸を数度繰り返し吸気することにより、長時間使用又は重量軽減をはかる目的で、研究開発した試作器である。ここ

で問題になるのは、呼気再使用回数の決定であるが、今回のマンテストや、肺胞内分圧計算例から、3回呼気使用までは可能と思われる。又これにともなう呼吸気袋の大きさについては、通常の呼吸に必要な容量、2 lとした。理由としては、袋をあまり大きくすると、活動時の障害や、着装時に困難がともなう為と、仮に袋内呼気量が不足しても、肺力弁が動き、不足分が酸素ポンベ側から吸気できるようになっている為である。又今回試作器の機構で、ダイヤフラム弁スイッチによる呼気カウント回路は、製作上の問題で困難であったため、呼吸袋の収縮時に接・断する袋内スイッチ（磁気近接スイッチ）を用いたカウント方法、ならびに、手動、自動タイマー方式により、排気弁を開閉することにより実施した。

実験は、安全を考慮して5分～10分の短時間において実施したもので、静止状態において2時間使用可能の結果が得られたが、これは5分という短時間の圧力計による酸素消費量から計算したものであり、ただし

図-3 被験者Aによる酸素濃度

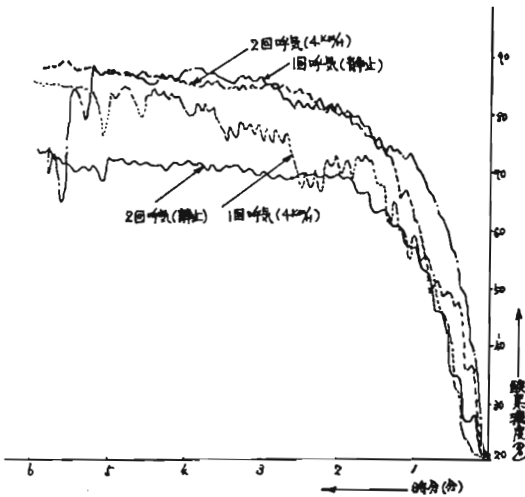
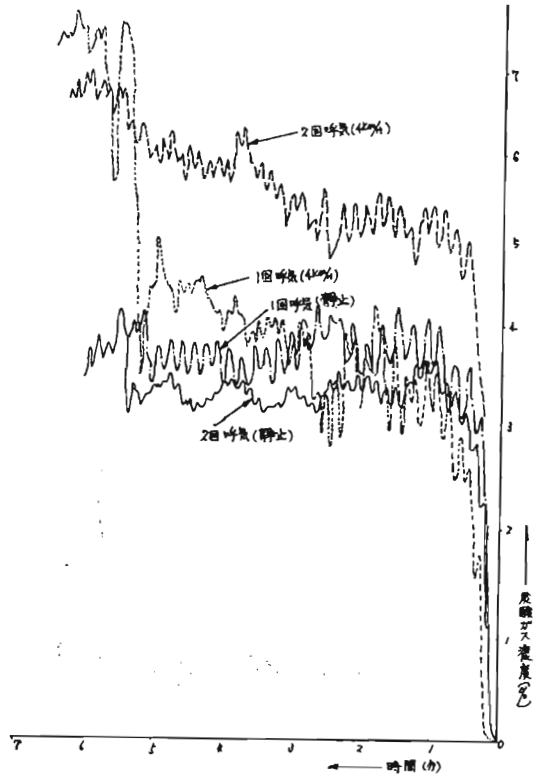


図-4 被験者Aによる炭酸ガス濃度



に長時間使用可能と決断するには無理があるが呼気再使用による酸素呼吸器は、長時間使用および軽量化に著しい期待ももてるものである。今後は、さらに高酸素濃度下における炭酸ガス濃度の人体に対する影響等を含め、時間的要素を加味した人体に対する適応性の検討が必要であり医学的見地からの問題をさらに研究していくことが今後の課題である。

### 参考文献

1. 斉藤 一, 三浦豊彦「労働衛生ハンドブック」  
労働科学研究所