HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	膨脹型救命いかだの低温膨脹試験
Author(s)	小野, 延雄; 田畑, 忠司
Citation	低温科學. 物理篇, 27, 351-358
Issue Date	1970-03-31
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/18123
Type	departmental bulletin paper
File Information	27_p351-358.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

Nobuo ONO and Tadashi TABATA 1969 Inflation Test of Liferaft at Low Temperatures.
Low Temperature Science, Ser., A, 27. (With English Summary p. 358)

膨脹型救命いかだの低温膨脹試験*

小野延雄・田畑忠司
(低温科学研究所)

(昭和44年7月受理)

I. まえがき

船舶用の膨脹型救命いかだは，海難発生時の人命損失を最小限にとどめるために，船舶安全法によって20屯以上の船に常備することが義務づけられている救命設備のうちのひとつである。このような非常用の救命設備は，使う事態の起らないことが最も望ましいが，ひとたび使う必要が起った場合には，完全に作動するものでなければならない。これまでに，膨脹型救命いかだによって人命が救助された海難の例は数多くあり，救命いかだの効用は高く評価されている。しかし，冬の北の海では膨脹不足の救命いかだが無人のままで発見された例が若干あり，寒冷条件下での性能には改善すべき点があるのではないかと考えられてきた[1]。

その問題点のひとつに，ガス量が充分かどうかの設問があった。膨脹型救命いかだは，液化炭酸ガスを気化させて主気室をふくらませ，それによって浮力を持たせる構造になっている。甲種膨脹式と呼ばれる国際船用の救命いかだの適用温度基準が $-30\sim+66$°C，国内船用の乙種膨脹型救命いかだでも $-20\sim+40$°C と，その適用温度範囲がかなり広いために，寒冷条件下ではガス量自体が不足してしまうのではないかという疑問である。

いま，以下の試験に用いた8人乗りの乙種膨脹型救命いかだを例にとると，主気室1個あたりの内容積は図面上で0.373 m^3 であり，それを0.87 kg の炭酸ガスで満たすようになっている。0°C，1気圧での炭酸ガスの密度を1.976 kg/m^3 とし，内容積が温度や圧力によって変らないとすれば，炭酸ガスを理想気体とみなすとき，気室内の圧力と温度とのあいだの理論的関係は第1表のようになる。ここで気室内圧力 p は，大気圧を760 mmHg として，それとの差であらわすことにする。この表によれば，-20°C のときの気室内圧力は $+40$°C のときの圧力の4分の1位にまで減ってしまう。

第1表 内容積を一定とした場合の温度と気室内圧力との理論的関係

温度 θ	絶対温度 T	圧力 P	気室内圧力 p ($p=P-760$)
$+40$°C	313°K	1028 mmHg	268 mmHg
$+30$	303	996	236
$+20$	293	963	203
$+10$	283	930	170
0	273	897	137
-10	263	864	104
-20	253	831	71
-30	243	799	39

しかし，救命いかだの気室は合成ゴム引きの合成繊維で作られており，低温ではこの材質の収縮や硬化のために気室の内容積が小さくなると考えられるので，実際の気室内圧力は，低温時においても，この理論値ほどに

* 北海道大学低温科学研究所業績 第974号

は減少しないことが期待される。

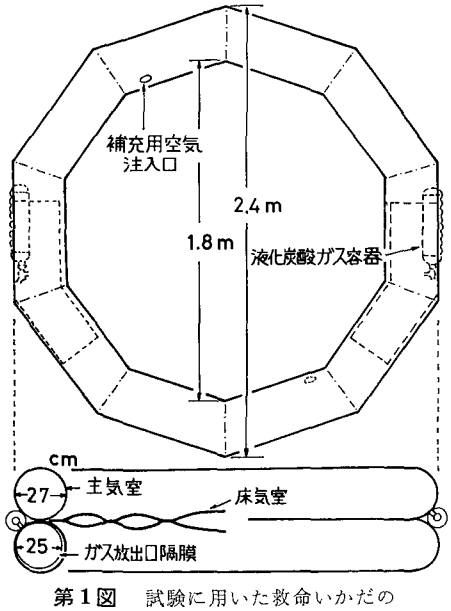
運輸省の試験内規によれば，救命いかだは先ほど示した適用温度範囲内で確実に作動し，3分以内に使用できること，また，常温では30秒以内に整形することが要求されている。しかし，低温での検査としては，−30°C での気室材料の屈曲試験があるだけで，救命いかだを低温で膨脹させる試験は行なわれていない。

そこで，低温時における救命いかだの膨脹過程がどのように進行するかを調べるために，次のような試験を行なった。低温実験室の室温を −10，−20，−30°C と変えて，それぞれの温度で救命いかだを膨脹させ，気室内圧力を測定して膨脹速度と温度との関係を調べた。また液化炭酸ガスに窒素ガスを添加した場合についても同様の試験を繰り返し，添加による膨脹速度の違いを調べた。以下は，その試験に用いた救命いかだの構造，試験方法，結果およびその考察などを記したものである。

なお，この試験は低温実験室内の床の上で行なったものである。海上では，たとえ気温は低くても，水温は海水の結氷温度（−1.8°C）以下には下がり得ないので，実際に海上で使用する場合と較べると，かなり厳しい条件で試験をしていることになる。

II. 試験に用いた救命いかだの構造

試験には，北海道の周辺海域で現在最も多く漁船に搭載されている藤倉ゴム株式会社製の8人乗りの乙種膨脹型救命いかだ，FRN-PB-8 型を使用した。このいかだの気室の構造や寸法を第1図に示した。運輸省の完成検査基準では，主気室内圧力が 70 mmHg のところでこれらの寸法と照合することが定められている。それで以下では，この内圧 70 mmHg を図面照合圧と呼ぶことにする。



第1図 試験に用いた救命いかだの気室の構造および寸法

一般に，乙種膨脹型救命いかだは，海上で膨脹させたとき，どちらの面が上になっても使用できるように，上下の主気室のあいだに手動膨脹の床気室が付いた構造になっている。上下の主気室にはそれぞれに液化炭酸ガスの入った容器が取付けてあり，充填装置の作動索を引くと，この容器から液化炭酸ガスが気室内に噴出して気化し，気室を膨脹させるしくみになっている。気室への流入口には不還弁と呼ばれる逆止弁がついており，また，噴射した液化炭酸ガスが直接気室の内壁に当るのを避けるために，気室の内側にはガス放出口隔膜と呼ばれる筒がある。補充用空気注入口からフイゴで空気を送り込んだり，栓をゆるめてガスを抜いたりすることによって，気室内の圧力は適当に調整することができる。

この救命いかだの本体は，平時には収納袋の中にたたんで入れてあり，漂流の際に必要な

付属品を入れた袋と一緒に，コンテナーの中に収められて船に搭載されている。非常時には，このコンテナーごと海上に手動で投下するか，水深4mの水圧で自動的にコンテナーが浮上するようになっているが，そのさいに船に結ばれている作動索が引かれて膨脹を開始する。今回の試験は，収納袋に収められた救命いかだの本体だけを用いて行なった。

III. 試験の方法

低温膨脹試験には，この試験のために購入した新しい救命いかだ（いかだAと呼ぶ）と，実演説明用として何回も膨脹させたことのある使い古したもの（いかだBと呼ぶ）とを使用した。

1. 通常の液化炭酸ガスを用いた低温膨脹試験

実際に船に搭載されているFRN-PB-8型救命いかだの主気室には，約870gの液化炭酸ガスが入った容器が取付けられている。その液化炭酸ガス容器を取付けたいかだを，試験温度にしてある低温実験室に少なくとも1昼夜は放置して，液化炭酸ガス容器やいかだの本体が充分その室温まで冷えるようにした。

作動索を引いた瞬間からストップウォッチで時間を計り，適当な時間ごとに血圧計を改造した圧力計で気室内の圧力を測定した。また，その作動索を引いた時刻から，はじめは10秒ごと，のちには30秒ごとに膨脹状況の写真を撮った。

膨脹してしまったいかだについては，空気補充用の栓をとり，気室をまるめたり電気掃除機で吸出したりして気室内の炭酸ガスを出来るだけ抜いたのち，新しい液化炭酸ガスの容器を取り付けて，次の温度の試験に移った。試験は，まず−15℃で簡単な予備試験を行なったのち，−10，−20，−30℃で行なった。−10，−15℃ではいかだA，B共，−20℃ではいかだB，−30℃ではいかだAを用いて膨脹試験を行なった。

2. 窒素ガスを添加した場合の低温膨脹試験

あとで結果を示すように，通常の液化炭酸ガスだけを用いた試験では，温度が下がると膨脹に長い時間がかかることがわかった。その原因を調べるために，通常の液化炭酸ガスが870g入った容器内に，43gの窒素ガスを添加したものを用いて，前項と同様の試験を繰り返した。

試験温度としては−10，−20，−30℃を選び，それぞれの温度でいかだAといかだBとを膨脹させて試験を行なった。

3. いかだ気室の伸縮試験

低温度で膨脹させる一連の試験を終えたのち，気室の材料の伸縮に関する補足的な試験を行なった。

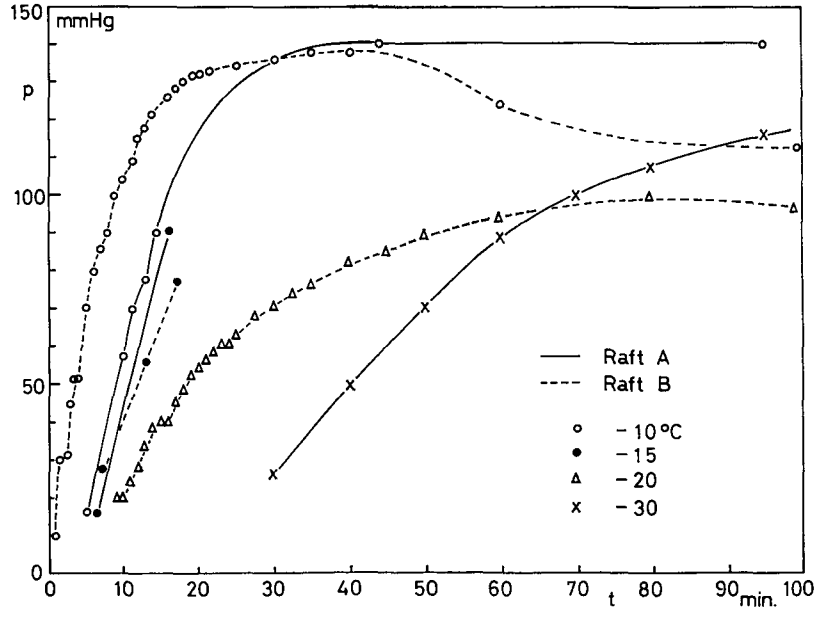
第1図に見られる主気室を環状の筒と考えるとき，筒のまわりの方向と筒の長さの方向とに，それぞれ約30cmの間隔でしるしを付けた。このしるし付けは，−10℃，内圧145mmHgのところで行なった。その救命いかだを−10，−20，+10℃で膨脹させて，そのしるしの間の距離が温度や圧力によってどのように変るかを測定した。なお，この試験にはいかだAを用いた。

IV. 試 験 結 果

1. 通常の液化炭酸ガスを用いた低温膨脹試験

末尾につけた図版Ⅰには，−10，−15，−20，−30°C の各温度で，救命いかだを液化炭酸ガスだけで膨脹させたときの，10，20，30，50秒，1分20秒，2，3，4分後の写真を示してある。この写真から，気室がほぼドーナツ状にふくらむのには，−10°C では20秒，−15°C では1分20秒，−20°C では4分位と，温度が下がるにつれて膨脹に長い時間がかかることがわかる。しかし，この程度の時間では，外形が整うだけで気室はまだ柔らかく，気室内圧力もまだほとんどあがっていない。

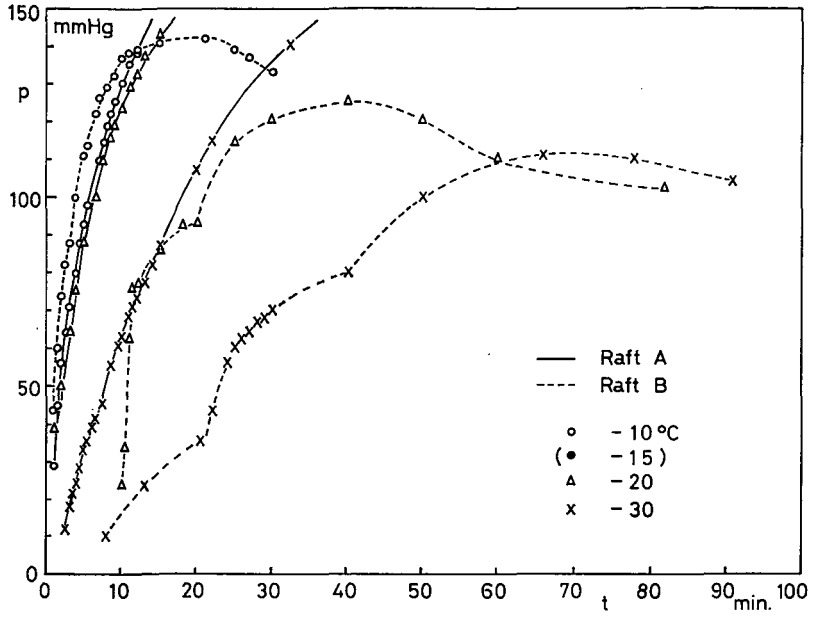
それぞれの場合の気室内圧力の増加曲線を第2図にまとめて示した。気室内圧力が図面照合圧70 mmHg に達するまでの時間を読取ると，−10°C では約10分以内であるのが，−20°C では30分，−30°C では50分と，試験温度が低くなると気室内圧力の増加速度がかなり悪くなる結果が得られた。乙種いかだの膨脹基準時間の3分では，−10°C で試験したいかだ B が内圧50 mmHg を示したのがあるだけで，ほとんどの場合がまだ大気圧以上の圧力を生じていなかった。しかし，−20°C や −30°C の場合でも，1時間近くの時間がたてば，図面照合圧を上回る100 mmHg 以上の内圧が得られることが第2図からわかる。



第2図 通常のガス容器を用いた場合の気室内圧力の増加曲線

2. 窒素ガスを添加した場合の低温膨脹試験

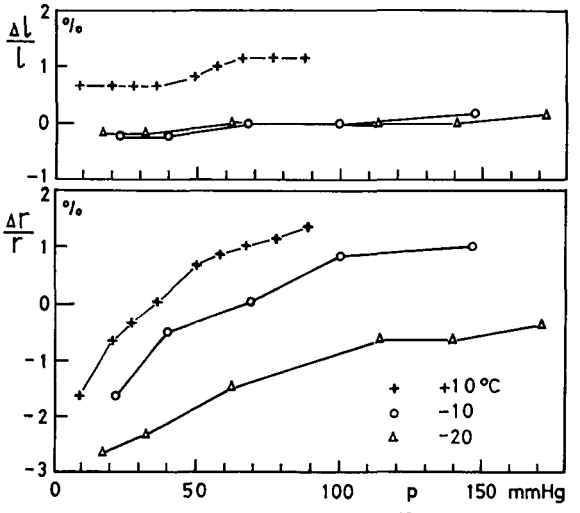
液化炭酸ガスに窒素ガスを添加した場合の気室内圧力の増加曲線を第3図にまとめて示した。膨脹基準時間の3分での気室内圧力は，−10°C ではいかだ A, B とも図面照合圧70 mmHg を越え，−20°C ではいかだ A がほぼ図面照合圧に近く，−30°C でもいかだ A は20 mmHg 程度の内圧を生じているなど，窒素ガス添加の効果がはっきり現われているのを見ることができる。



第3図　窒素ガスを添加した場合の気室内圧力の増加曲線

3. 気室の伸縮試験結果

気室の筒の長さ方向とそれに直角な周囲方向とに約30 cm間隔のしるしをつけ，その長さの変化を調べた。液化炭酸ガスの気化によって，気室が膨脹していく際の気室材質の温度は，試験温度よりはかなり低い温度を示し，しかも刻々と変化していると考えられるので，ここではいったん膨脹させたあとで気室内圧力を減圧しながらいろいろに変えて，この長さの変化を測定した。



第4図　気室の筒の長さ方向 $\left(\frac{\Delta l}{l}\right)$ と周りの方向 $\left(\frac{\Delta r}{r}\right)$ の伸縮率 (%)

気室の筒の長さ方向のしるし間の長さを l，周囲方向の長さを r とし，共に −10°C，内圧 70 mmHg のときの長さを基準にして，それぞれの伸縮率 (%) の変化を示したのが第4図である。試験温度の低下と共に縮み，圧力の増加によって伸びる結果が得られている。この図から，気室の内容積 v の変化を

$$\frac{\Delta v}{v} = 2\frac{\Delta r}{r} + \frac{\Delta l}{l} \quad (\%)$$

とみなして求めることができる。

V. 結果の考察

通常の液化炭酸ガスだけで膨脹させた第2図に示した結果を見ると，−20，−30℃という低い温度の場合でも，膨脹開始後1時間以上もたてば，気室内の圧力が100 mmHg程度にまで達することがわかる。このことは，救命いかだが低い温度で膨脹しにくくなる原因が，液化炭酸ガスの絶対量の不足にあるのではなく，低温度での気化の遅れにあることを意味している。

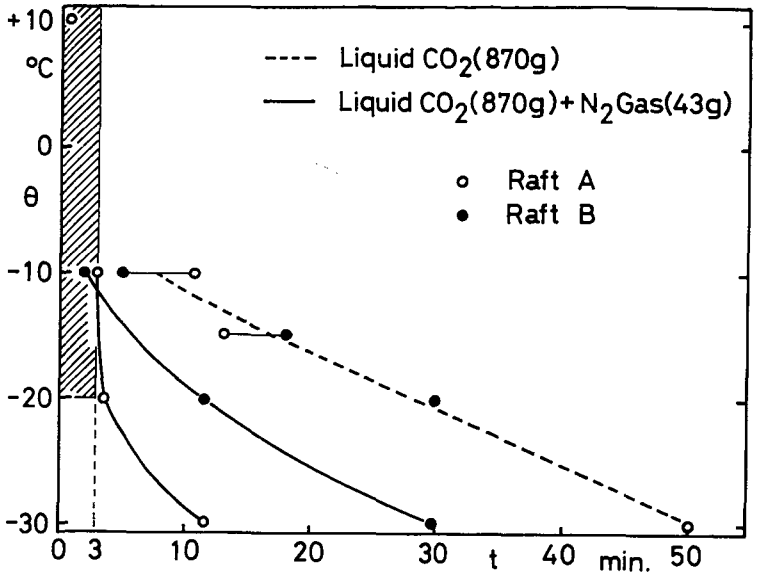
大気圧近くの圧力では，炭酸ガスは液相として存在することができないので，作動索が引かれて液化炭酸ガス容器内の圧力が開放されると，液化炭酸ガスの一部は気化熱を吸収して炭酸ガスになり，一部は融解熱を放出してドライアイスに変る。このドライアイスは，周囲から供給される熱量によって，やがては全部気化してしまう。低い温度で膨脹させると，このドライアイスの量が増し，また周囲から供給される熱の流れも弱いので，ドライアイスが完全に気化するのには，かなり長い時間がかかってしまうものと思われる。

また，このドライアイスが，液化炭酸ガス容器，気室，それらのあいだの充填装置や不還弁などのうちのどこにどのように出来るかによって，気化に要する時間に大きな差が出ることが考えられる。とくに，容器出口から充填装置，不還弁を経て気室に到るまでのあいだは，内径が数mm程度の狭い流路であり，この部分がドライアイスでつまると気化の速度がかなり遅れることが予測される。

液化炭酸ガスの容器内には，先におもりのついた柔軟な管があって，液化炭酸ガスはその底の方からこの管を通って気室に送り込まれるようになっている。容器内に窒素ガスを添加封入して，容器内の圧力が開放される瞬間に，その窒素ガスの圧力によって液化炭酸ガスを出来るだけ早く気室内に送り込めば，ドライアイスは気室内に多くつくられ，早く気化させることができると考えられた。

今回の試験で添加した窒素ガスの量43 gは，ドライアイスの昇華温度ではほぼ容器内容積を占める程度の量である。また，この量は，0℃，1気圧では0.03 m^3の体積を占め，気室内容積の約8%に相当する。したがって，この窒素ガスの添加は，膨脹後にはガス量の増加として気室内圧力に効くことが考えられるが，膨脹中には内圧増加に直接効くよりも，液化炭酸ガスを気室に送り込む役割として関与しているものと思われる。その結果は第3図に示したように，窒素ガスの添加によって膨脹に要する時間がかなり短縮されることがわかった。このことから通常の液化炭酸ガスだけで膨脹させた場合には，容器の中や充填装置あるいは不還弁といった狭い流路にドライアイスが出来ていることが推測される。それゆえ，この狭い流路を広げたり曲りを少なくしたりしてこの部分の抵抗を減らすように改良すれば，膨脹に要する時間が短縮される可能性があることになる。

窒素ガス添加の効果を見るために，第2図と第3図から気室内の圧力が図面照合圧70 mmHgになるまでの時間を読みとって，試験温度との関係を調べたのが第5図である。窒素ガスを添加したことによって，膨脹時間が約半分に短縮されたことがわかる。とくに，いかだAは，乙種膨脹型救命いかだの適用温度下限の−20℃においても，その基準膨脹時間の3分にほぼ近い時間で内圧70 mmHgに達する結果を示している。



第5図　気室内圧が 70 mmHg になるまでの時間と試験温度との関係

しかし，いかだによる膨脹時間の差も大きく，いかだ A といかだ B とでは，膨脹時間の温度に対する変りかたもかなり異なっている。いかだ B は，−10°C では通常の液化炭酸ガスの場合も窒素ガス添加の場合もいかだ A より早く 70 mmHg に達するが，試験温度の低下にほぼ比例して膨脹時間が延びるために，−20，−30°C ではいかだ A よりかなり遅れるようになる。

このようないかだによる膨脹の様子の違いは第 2 図や第 3 図にも見られ，いかだ B では気室内圧力が休み休み増加していき，また，ある最高値を示したあと時と共に減少してしまう結果が得られている。この原因はよくはわからないが，いかだ B が実演説明用として何回も膨脹を繰り返したために生じた気室材質の疲労や劣化によるのかも知れない。

第 4 図では，試験温度が低下すると，気室の材質が収縮して，気室の内容積が減少することを示した。第 1 表の気室内圧力と温度とのあいだの理論的関係は，内容積を一定として計算したものである。いま，第 4 図に得られた結果を使って，内圧が 70 mmHg のときの各温度での値から，+10°C における内容積を 1 としたときの −10，−20°C での内容積を計算すると，それぞれ 0.97 および 0.93 となる。気室の内容積がそのように変わるとして，気室内圧力と温度とのあいだの理論的関係を計算しなおすと，第 2 表のようになる。ただし，気室内圧力の値は +10°C での容積が図面上の内容積 0.373 m^3 になっているとして計算したものである。気室の内容積の減少を考慮すると，−20°C でも 100 mmHg 以上の内圧が期待できることがわかる。また，このことから 通常の液化炭酸ガスだけで膨脹させた第 2 図の結果で，時間がたつと 100 mmHg 近い値を示すことができた

第2表　内容積を変えた場合の気室内圧力と温度とのあいだの理論的関係

温　度 θ	絶対温度 T	容積比	圧　力 P	気室内圧力 p
+10°C	283°K	1	930 mmHg	170 mmHg
−10	263	0.97	891	131
−20	253	0.93	893	133

のは，気室が温度の低下と共に収縮する材質で作られていたためであったと考えられる。なおこの気室の収縮によって，寒冷条件下では浮力が若干減少することになるが，それについてはここに指摘するだけにとどめたい。

VI. 結　　語

乙種膨脹型救命いかだの低温膨脹試験を行なって，次のような結論を得た。

現在使用されている液化炭酸ガスだけの場合でも，低温時の気室の収縮を考慮に入れれば気室内圧力は 100 mmHg 程度が期待できる。しかし，3 分以内に膨脹させるためには，液化炭酸ガスをできるだけ早く気室内に送り込んで気化させる必要があり，窒素ガスの添加や，液化炭酸ガス容器と気室とのあいだの狭い流路の抵抗をできるだけ少なくする改良が望まれる。

この研究は，筆者のひとり田畑が昭和 41 年度の北海道の委託研究を受けて始められたものである。低温膨脹試験にあたっては，低温科学研究所海氷研究グループの諸氏，藤倉ゴム株式会社および北藤ゴム株式会社の方々の御協力を頂いた。厚く感謝の意を表わします。

文　　献

1) 田畑忠司 1967 海難防止対策に伴う冬季酷寒洋上における膨脹式救命いかだの性能並びに改良に関する研究．北海道科学研究費指定課題研究報告書 (昭和 41 年度), 79–85.

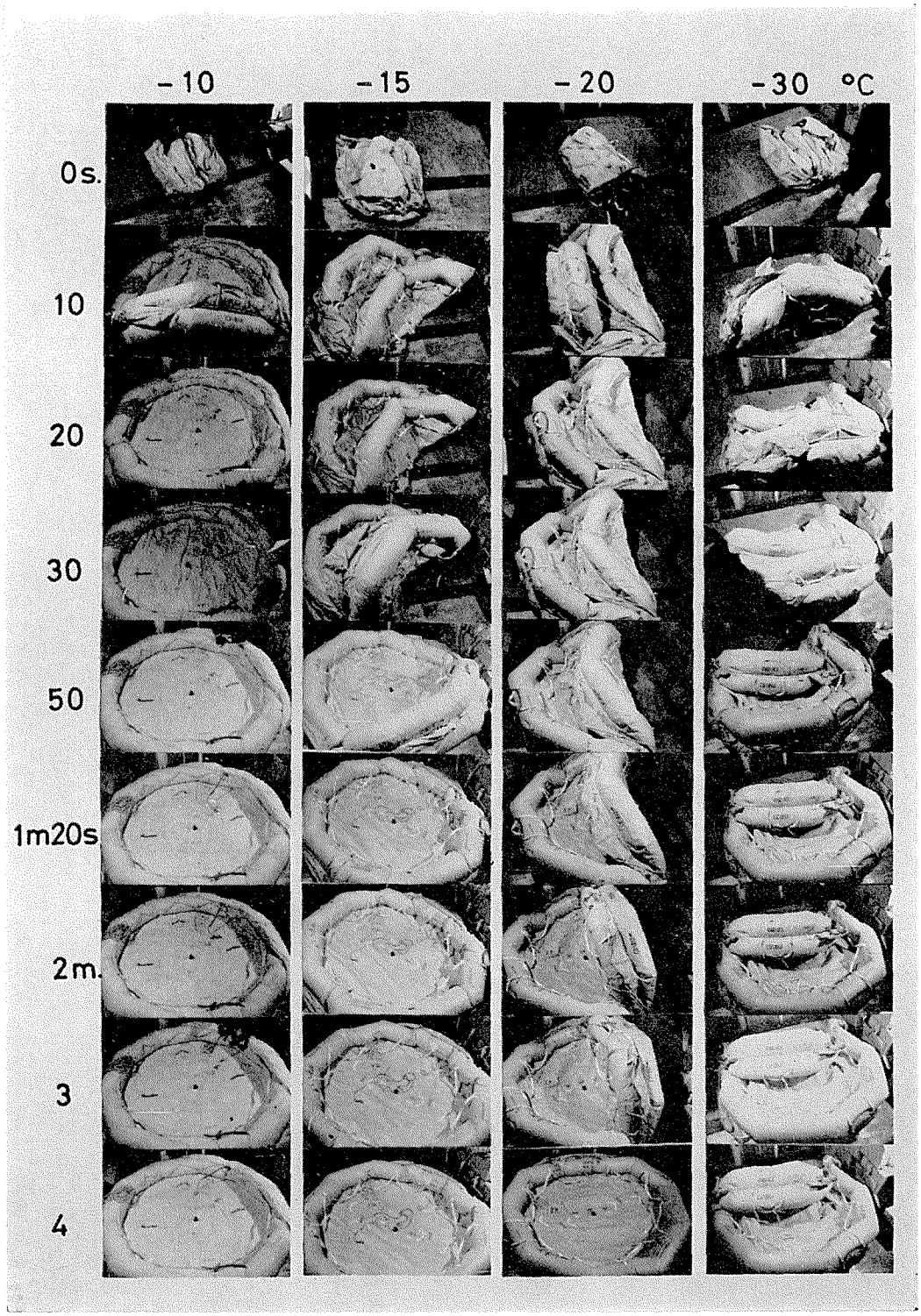
Summary

Inflating tests of inflatable liferafts were performed by the use of the usual CO_2 gas bottles and CO_2+N_2 gas bottles at ambient temperatures of −10, −15, −20 and −30°C.

The raft used in these tests is illustrated in Fig. 1. The gas-pressure inside the buoyancy tube was measured as a gain over the atmospheric pressure, at suitable time intervals during the process of inflation. The inner-pressure vs. time curves at various temperatures are shown in Figs. 2 and 3, corresponding to the use of CO_2 gas and of CO_2+N_2 gas, respectively. It is found from Fig. 2 that the inner-pressure inflating by the usual CO_2 gas reaches a satisfying pressure after such a long time as one hour.

The results of the tests on the effect of an addition of N_2 gas are summarized in Fig. 5. The figure indicates the relationship between the ambient temperatures and the time required to reach the inner-pressure 70 mmHg after the inflation is started. The shaded area shows the standard inflating-time. Rafts A and B respectively correspond to a new one and a used one. The time required to inflate the raft shows a long delay with the fall of the ambient temperature.

The buoyancy tube shrinks with the falling temperature (Fig. 4). It is fortunate that owing to the decreases in volume of the buoyancy tube, the inner-pressure does not suffer a large decrease with the falling of the temperature as was seen in the pressure depression of theoretical consideration under a constant volume (cf. Tables I and II).


−10
−15
−20
−30 °C
0s.
10
20
30
50
1m20s
2m.
3
4