

LNG 船 の ガ ス テ ス ト

渡 辺 輝 美*

LNG 船（低温式液化ガス船）では、一般船舶としての試運転のほか、完成後実貨物を使用して各種の試験が行われる。これをガステスト（使用試験又は基地テストとも言う）と言っている。このガステストは、完成後積荷地での積荷の前に、貨物タンク、防熱、各種荷役関係機器及び各種計測・監視装置等の性能を確認するために行う試験である。IMCO** ガスコード（IMCO 決議 A.

328 (IX) “液化ガスばら積船構造設備規制”）にも表1のように、各種の試験が規定されている。

このガステストは、LNG 船において行われる各種オペレーション（図1参照）をシミュレートすることにより、一般に次の項目について行われる。

- (1) ホールドスペースのドライイング又はイナーティン
グ（空気→乾燥空気又はイナートガス置換）

表 1 各種試験の規定（IMCO ガスコードによる）

	IMCO ガスコードの規定及び条文番号
貨物格納設備 （貨物タンク、防熱、2次防壁等）	(4.10.14) 貨物格納設備としてのすべての性能は、最初のクールダウン及び貨物の積揚荷中の設計上のパラメータに応じて証明されなければならない。設計上のパラメータを証明する重要な構造要素及び艤装装品の性能の記録は、保管され、主管庁に提供されなければならない。 (4.10.16) 船体構造については、最初の積荷航海時にコールドスポット検査を行わなければならない。
荷役関係機器 （貨物管、各種機器類）	(5.2.11 (c)) 性能試験 弁、付着品及び貨物又は、ガスを取り扱うために組み合わされた艤装品を含むすべての管装置は、最初の積荷時に又はそれ以前に通常の使用状態で試験しなければならない。
計装装置	(13.1.4) 計装装置は、使用状態で信頼性のあることを確認するために試験され、かつ定期的な間隔で再検定されなければならない。計装装置の試験方法及び再検定の間隔は、主管庁によって承認されなければならない。

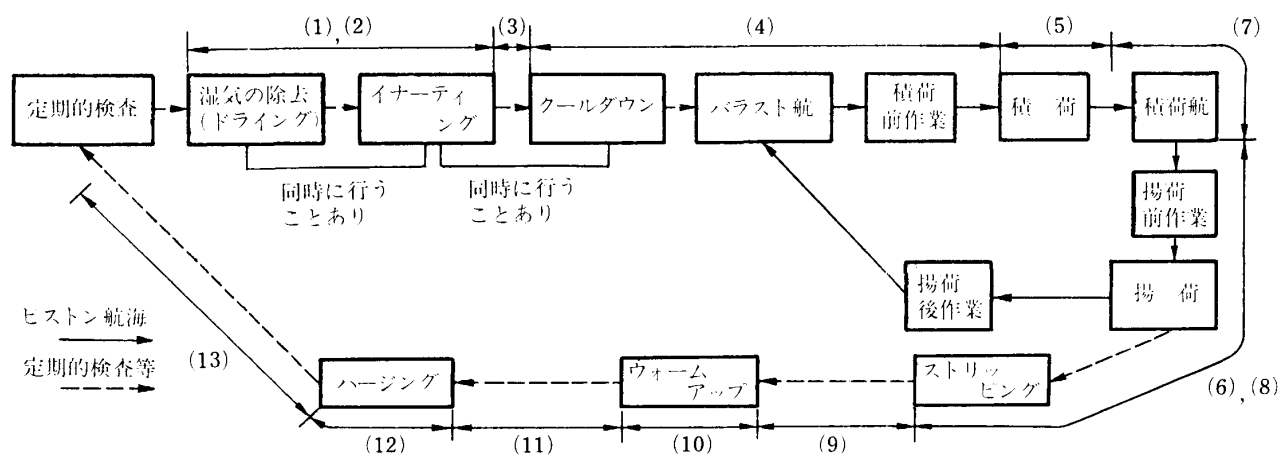


図 1 LNG 船のオペレーションとガステストとの対応

* 船体部

** “IMCO” は 1982 年 5 月 22 日より “IMO” と名称変更になった。

- (2) 貨物タンク及び貨物管のイナーティング（空気→イナートガス置換）
- (3) 貨物タンク及び貨物管内イナートガスの LNG ガスへの置換
- (4) 貨物タンク及び貨物管のクールダウン
- (5) LNG の積荷テスト
- (6) 貨物ポンプ作動テスト
- (7) ボイルオフガス燃焼テスト
- (8) LNG 揚荷テスト
- (9) 残液の気化
- (10) 貨物タンク及び貨物管のウォームアップ
- (11) 貨物タンク及び貨物管内 LNG ガスのイナートガスへの置換
- (12) 貨物タンク及び貨物管のエアリング又はパージング（イナートガス→空気置換）
- (13) ホールドスペースのエアリング又はパージング（イナートガス→空気置換）

また、これら (1) ないし (13) のテストに併行して表 2 に示すような各種機器のテストも行われる。

表 2 各種機器／装置のテスト時期

各種機器／装置名	テスト（又は運転）時期
貨物ポンプ	(6), (8)
貨物圧縮機	(3)～(12)
ヒーター／ペーパーライザー	(3), (4), (6), (7), (9), (10)
貨物温度／圧力制御装置	(2)～(13)
ボイルオフガス燃焼装置	(4), (6), (7), (9)
管, 弁, 継手, 管防熱等	(1)～(13)
液面指示装置	(5), (6), (8), (9)
低液面警報装置	(5), (6), (8), (9)
各種監視／警報／制御装置	(1)～(13)
温度検知装置	(3), (4), (9), (10)
ガス検知装置	(3)～(11)
圧力計測／監視装置	(1)～(13)
イナートガス装置	(1), (2), (11)
LN ₂ 貯蔵／供給装置	(1), (2), (11)
貨物タンク防熱	(4), (5)

これら (1) ないし (13) の項目のうち、(1) 及び (2) の項目については、必要なイナートガス又は乾燥空気が入手できれば、建造造船所の岸壁で行うのが普通である。

また、(9) ないし (13) の項目は行わずに、(8) のテスト終了後そのまま積荷地に向かうケースが一般的のようである。一方、船主／造船所側の事情により、13 までの項目すべてを行うこともある。IMCO ガスコードで規定している貨物格納設備／荷役装置／計測・監視装置のすべての性能に対する確認テスト要件上は、(8) の項目までのテストが主体となる。参考までに図 2 に、過去行われたある LNG 船でのガステストの項目とその所要時間の一例を示す。

以下、各項目ごとにテストの方法等概要を述べる。

1. LNG 船の貨物管系統図

ガステストの各項目の説明をする前に、ガステストを理解するうえで必要な LNG 船の貨物管系統図の概要を説明しておく。（図 3 参照）

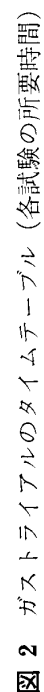
LNG 船の貨物管としては主として次の 4 系統がある。

- i) 貨物液管：主に積荷及び揚荷時の LNG の移送に使用する管
- ii) 貨物ガス管：主に積荷及び揚荷時に発生し又は陸上より供給される LNG ガスの移送に使用する管
- iii) 予冷管：主として貨物タンク等の予冷に使用する管
- iv) LNG ガス燃料管：LNG ガスをボイラへ移送するための管

これらの管は弁を介して複雑に接続されており、上記に述べた以外のいろいろな目的のためにも使用される。また、貨物管以外では貨物管と接続されたイナートガス管があり、ホールドスペース及び貨物タンクのイナーティングに使用される（このイナートガスラインは、エアリングにも使用される）。

LNG を取り扱う重要な機器としては次のものがある。

- i) 貨物ポンプ：LNG の揚荷に使用されるポンプであり、サブマージド型が多い。
- ii) 予冷ポンプ：予冷のために使用されるポンプであり、貨物タンクが 5 タンクあれば、2 タンク程度に設置されるのが一般的である。
- iii) 貨物ガスコンプレッサー：積荷及び揚荷時のボイルオフガスの処理のために使用する比較的大容量の H/D（ハイデューティ）コンプレッサー及び発生するボイルオフガスをボイラへ移送するために使用する小容量の L/D（ローデューティ）コンプレッサーとがある。
- iv) 貨物ガスヒーター：ボイルオフガスをボイラで燃料として使用するために加熱したり、貨物タンクをウォームアップするためにボイルオフガスを加熱



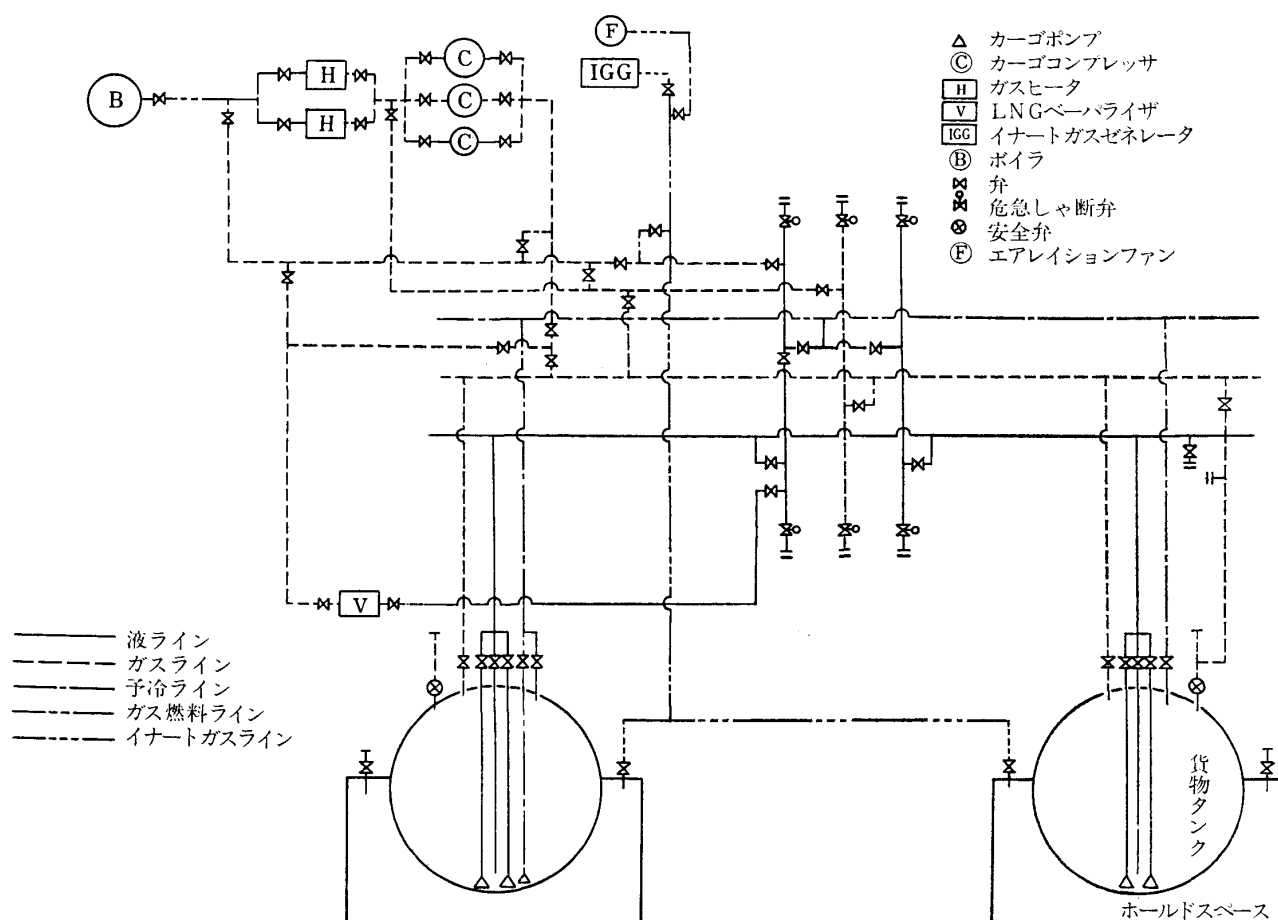


図 3 貨物管系統図

したりするために使用する。

- v) LNG ベイパライザー：貨物タンクの LNG ガス置換のために、陸上又は貨物タンクから供給された LNG をガス化するために使用する。

その他、ホールドスペース又は貨物タンクをイナーテイング／エアリングするために使用する IGG (イナータガス発生装置) やエアレイションファンが設置される。

2. ホールドスペースのドラインク又はイナーテイング

このオペレーションテストは、ガステストの前準備として普通、建造造船所岸壁で行われる。ドラインクは、貨物タンクのクールダウン後の防熱性能テストに関連して露点調整のために行われるが、防熱性能テスト終了後、IMCO ガスコードの要件に従ってホールドスペースはイナーテイングされる。一方、イナーテイングは、防熱テストの必要がない場合（同一建造方式の貨物タンクの場合、実績があれば防熱テストは省略することがある）に行われる。

ドラインク又はイナーテイングの手順は、図 4 に示すように、エアレイションファンよりの乾燥空気又は IGG

により発生したイナータガスをイナータガス管経由でホールドスペース底部より入れ、上部より大気へ放出する。この時、ホールドスペースの酸素濃度、露点、温度、圧力等が計測され、IGG の良好な作動も確認される。

3. 貨物タンクのイナーテイング

このオペレーションテストもホールドスペースのイナーテイングと同様に、ガステストの前準備として建造造船所岸壁で行われるのが一般的である。貨物タンクのイナーテイングに併行して貨物管系統のイナーテイングも行われる。このイナーテイングは、この後行われる LNG ガス置換の際、LNG ガスと空気の混合により貨物タンク及び貨物管内が爆発雰囲気になるのを防ぐために行われる。また、イナーテイングはドラインクも兼ねており、貨物タンク、貨物ポンプ等の機器類の氷結防止にもなる。

貨物タンクイナーテイングの手順（貨物管は省略）は、図 5 に示すように、IGG により発生するイナータガスは、イナータガス管→貨物液管経由で貨物タンク底部^{注1)}に導入される。一方、空気／イナータガスの混合体は、貨物タンク上部→貨物ガス管→貨物ベント管経由で、貨物ベントポストより大気へ放出される。この時、

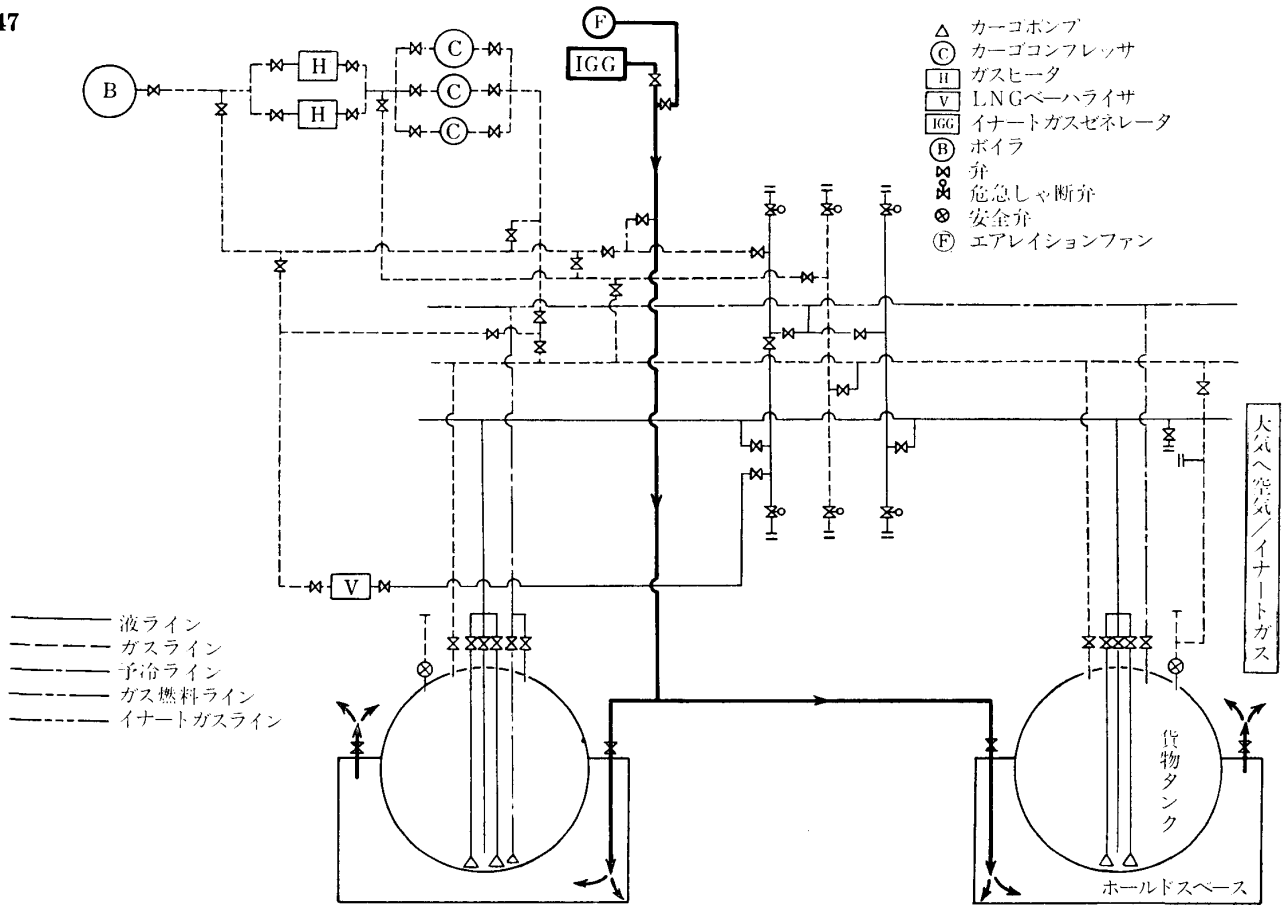


図 4 ホールドスペースのドライング又はイナートティング

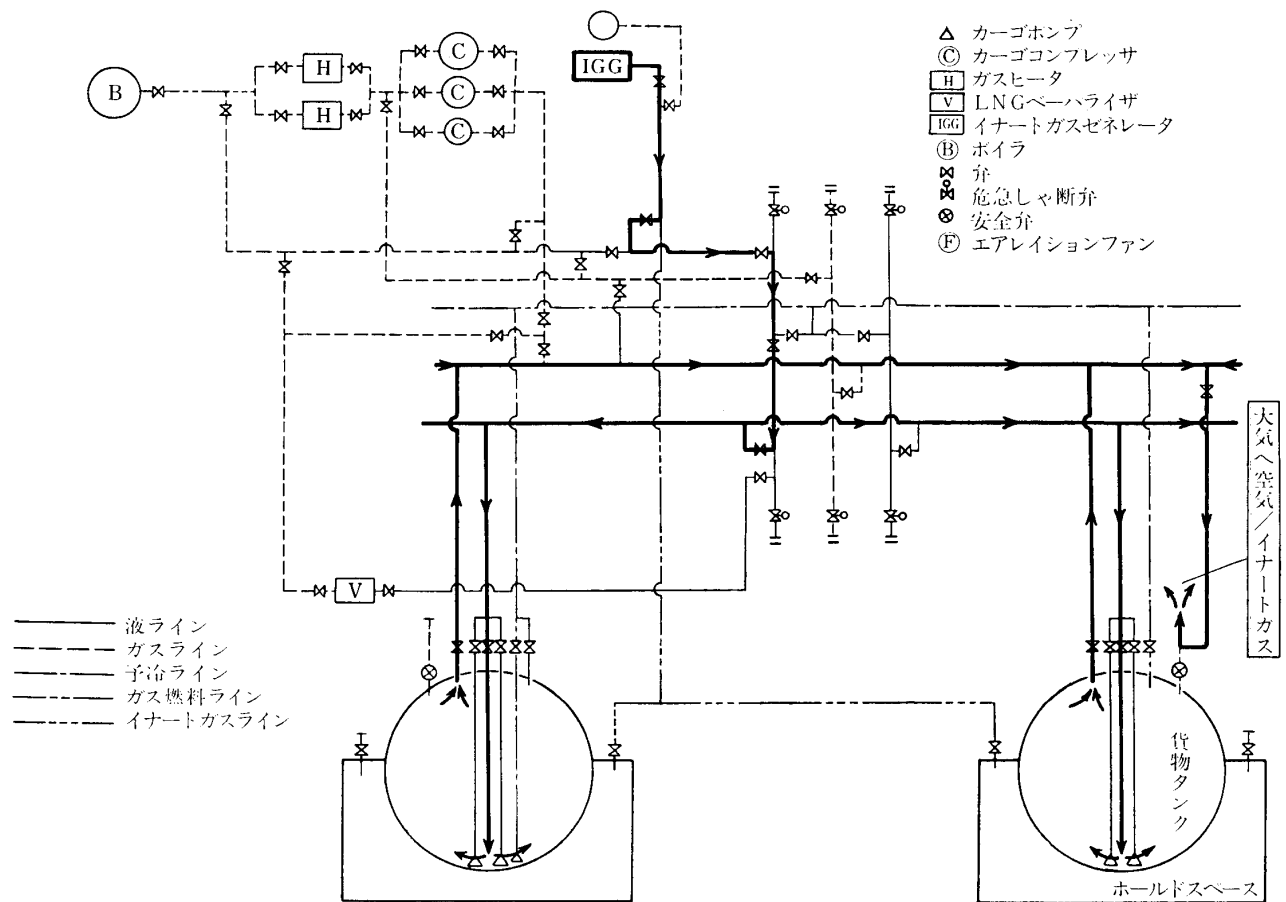


図 5 貨物タンクのイナートティング

貨物タンク内の酸素濃度、露点、圧力、温度等が計測され、同時にホールドスペースのイナーティングと同様に IGG の良好な運転も確認される。

4. 貨物タンク内イナーートガス→LNG ガス置換

貨物タンクのクールダウンの前に、貨物タンク内のイナーートガスを LNG ガスで置換するが、これには二つのケースが考えられる。ホールドスペース及び貨物タンクのイナーティングが終了した LNG 船は、これ以後のテストに使用する LNG の供給を受けるために、LNG 基地に向かうことになる。一つのケースは、この基地で LNG の供給を受けて行う LNG ガス置換である。もう一つのケースは、LNG 基地を離れて航海中^{注2)}に他の貨物タンクから LNG の供給を受けて行う LNG ガス置換である。

LNG 基地より LNG の供給を受ける場合の手順は、図 6 に示すように、陸上より供給を受けた LNG はマニホールド→貨物液管経由で LNG ベーパライザーに導かれガス化、昇温される。その常温の LNG ガスは貨物ガス管経由で貨物タンク上部より入れられる。一方、イナーートガス又はイナーートガス/LNG ガス混合体は貨物タ

ンク底部より H/D コンプレッサーを使用して、貨物液管→貨物ガス管→マニホールド経由で陸上へ戻される。

すでに LNG 基地でローディングされた LNG を使用して航海中に行う場合の手順は、図 7 に示すように、ストックされた貨物タンクの予冷ポンプを使用して、LNG を予冷管経由で LNG ベーパライザーに導き、ガス化、昇温される。その LNG ガスは貨物ガス管経由で貨物タンク上部より入れられ、一方、イナーートガス、又はイナーートガス/LNG ガス混合体は、タンク底部より貨物液管→貨物ベント管経由で、ベントポストより大気へ放出される。

これらのオペレーションテスト中、貨物タンクの酸素濃度、圧力、温度等の計測はもちろん、使用される H/D コンプレッサー及び予冷ポンプの良好な作動が確認される。

5. 貨物タンクのクールダウン

このオペレーションテストも LNG ガス置換と同様に、LNG 基地で行う場合と航海中に行う場合の二つのケースがある。貨物タンクのクールダウンと相前後して貨物管系統のクールダウンも行われる。このクールダウンは、LNG 積載時の局所的な温度差、熱衝撃及び急激

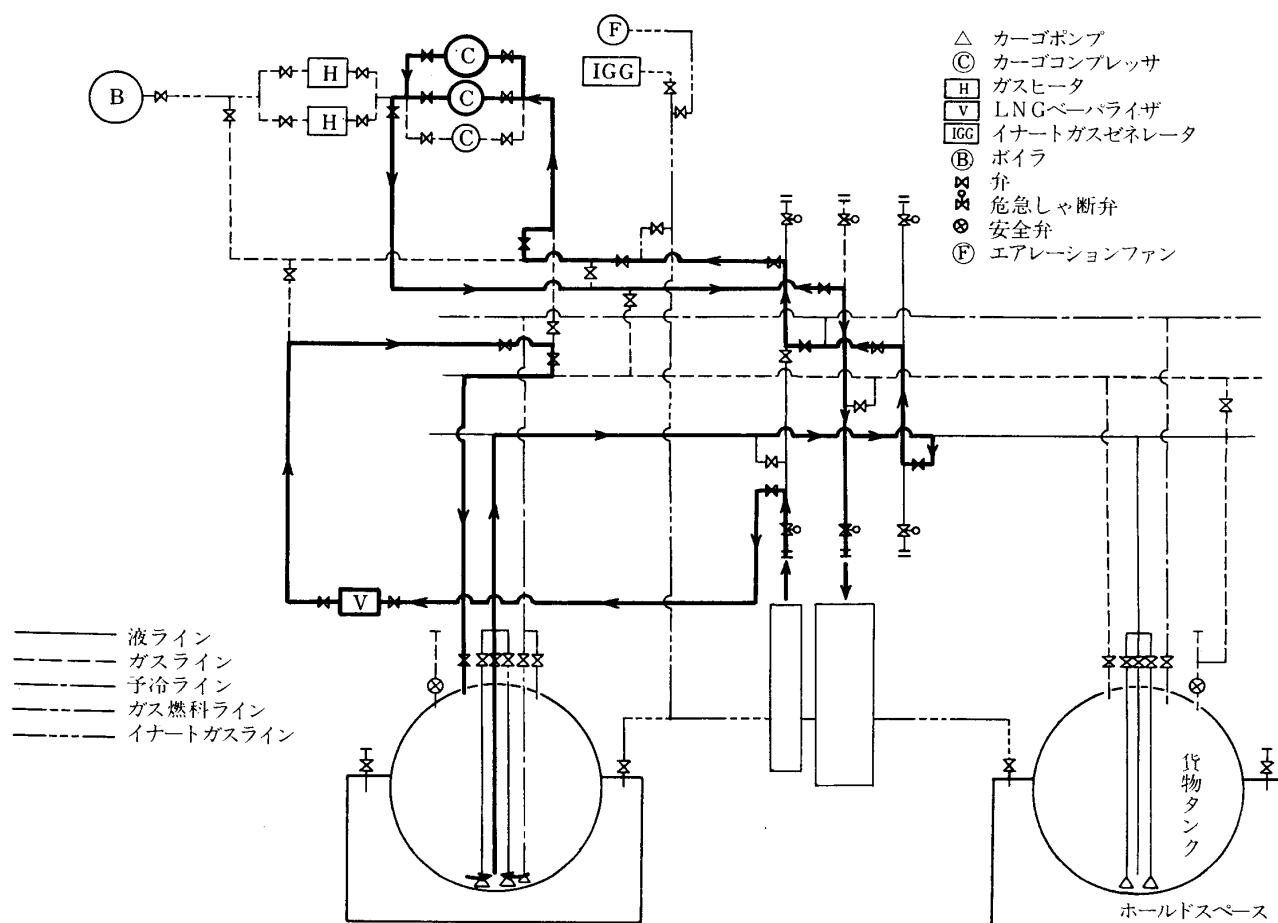


図 6 貨物タンク内イナーートガス→LNG ガス置換 (陸より LNG 供給の場合)

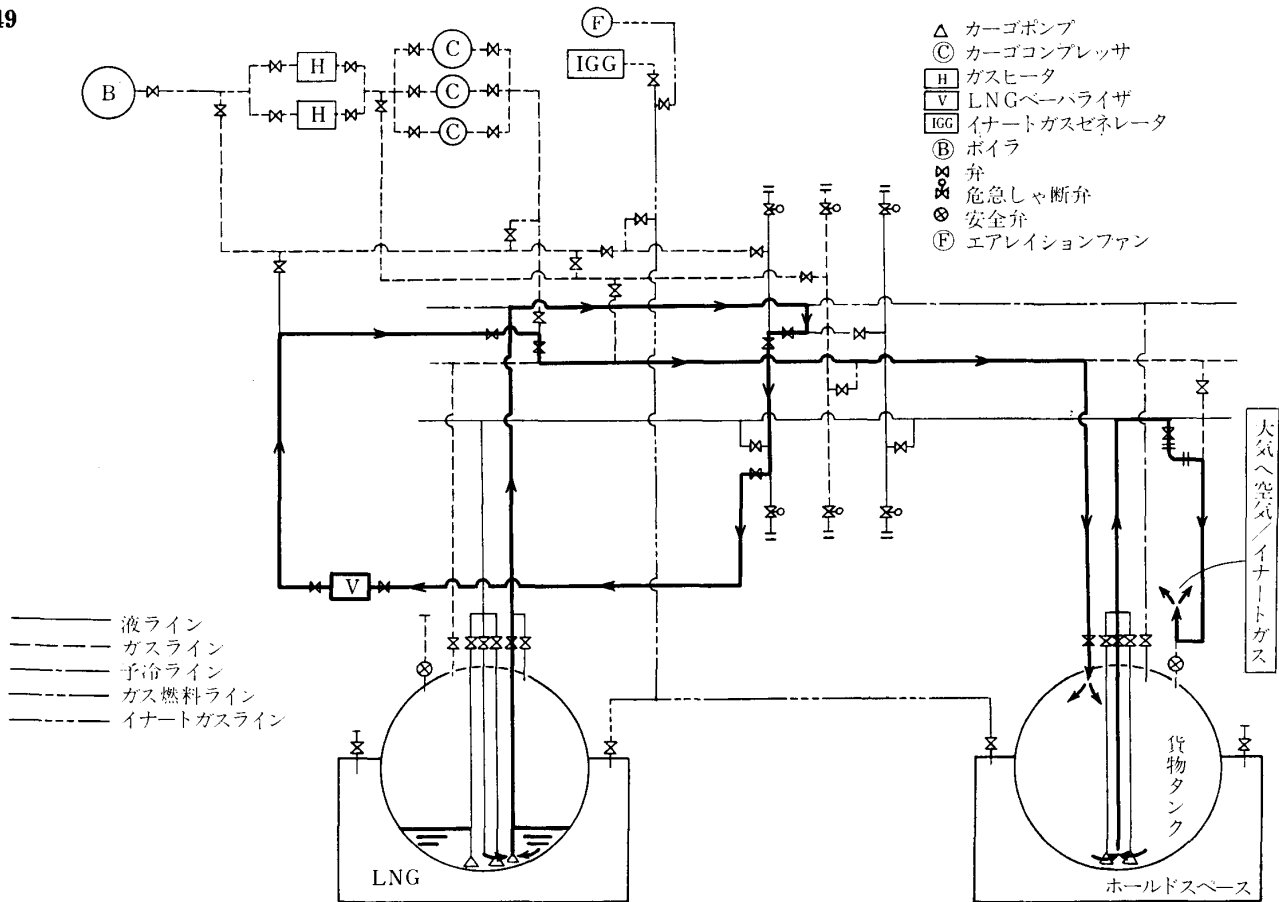


図 7 貨物タンク内イナートガス→LNG ガス置換 (貨物タンク内の LNG 使用の場合)

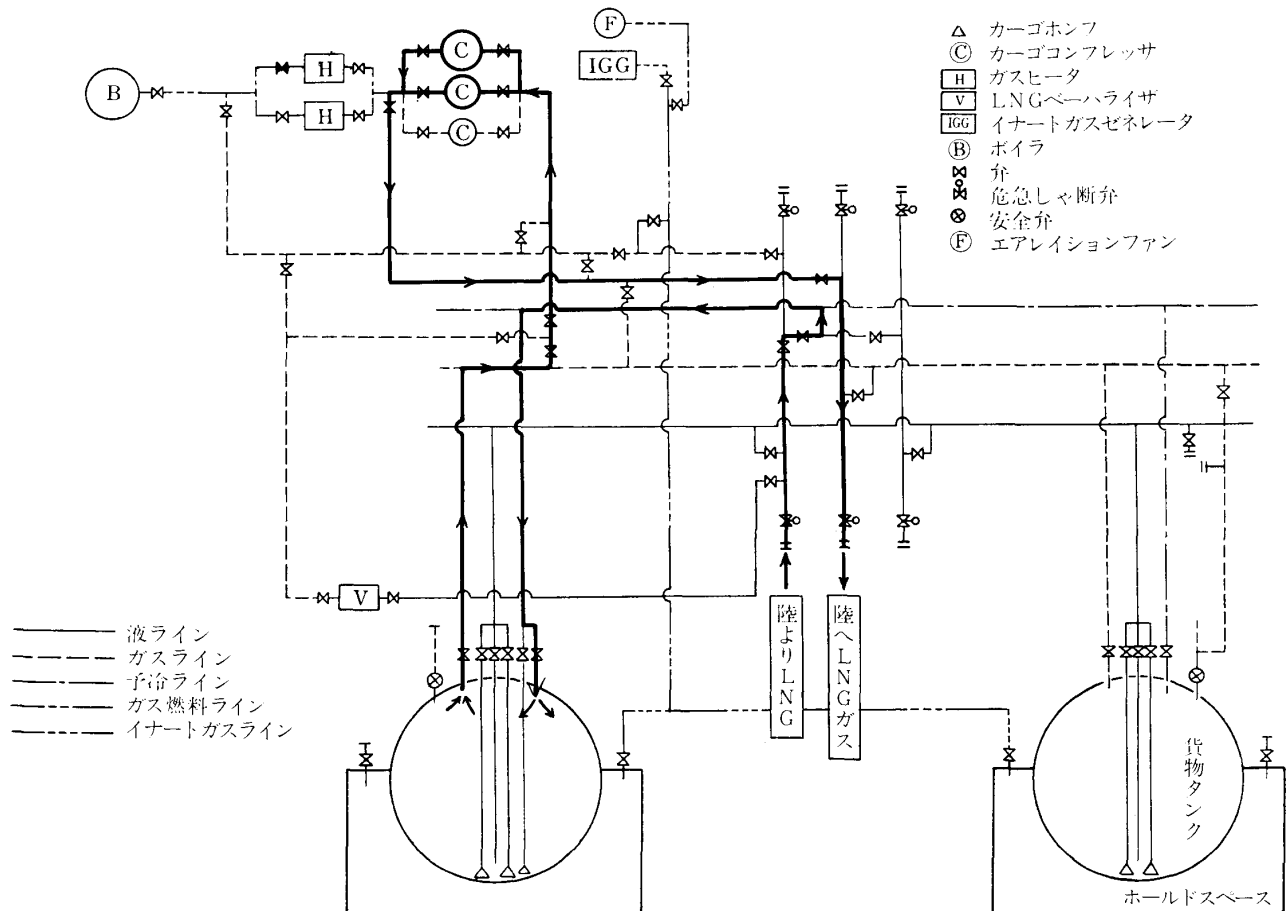


図 8 貨物タンクのクールダウン (陸より LNG 供給の場合)

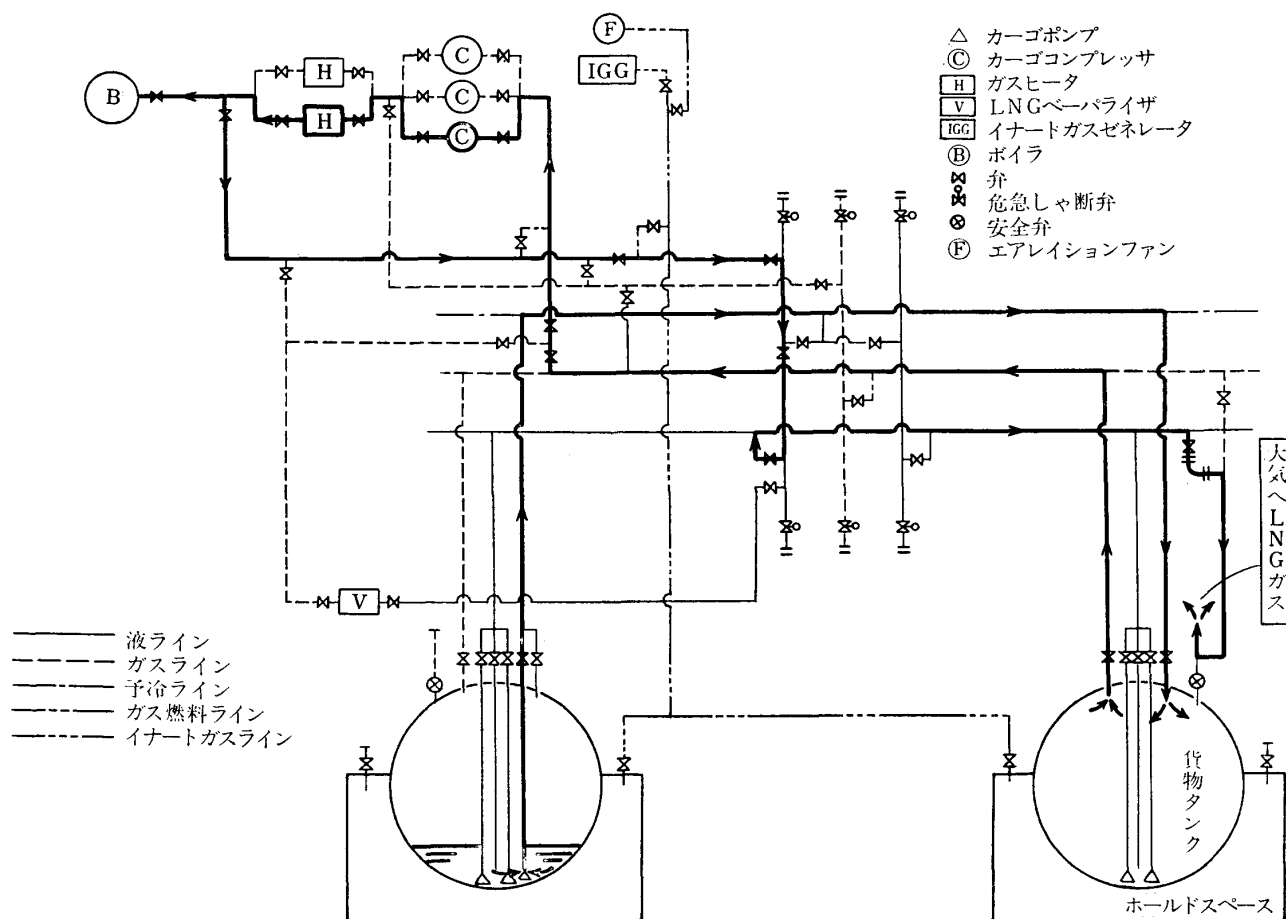


図 9 貨物タンクのクールダウン (貨物タンクの LNG 使用の場合)

なボイルオフガス発生を防ぐために行う。

LNG 基地より LNG の供給を受ける場合の手順は、図 8 に示すように、基地より供給を受けた LNG はマニホールド→貨物液管→予冷管経由で、貨物タンク内のスプレーノズルより貨物タンクに放出される。発生するボイルオフガスは、H/D コンプレッサーを使用して貨物タンク上部より貨物ガス管を通して基地に戻される。

既に LNG 基地でローディングされた LNG を使用して航海中に行う場合の手順は、図 9 に示すように、ストックされた貨物タンクの予冷ポンプを使用し、LNG を予冷管を通してクールダウンする貨物タンクのスプレーノズルから放出する。発生するボイルオフガスは、貨物ガス管経由で L/D コンプレッサーで吸引され、LNG ガスヒーターで適当な温度まで加熱された後、ボイラへ送られる。また、余剰のボイルオフガスは、貨物ガス管→貨物液管→貨物ベント管を経由してベントポストより大気へ放出される。

これらのテスト中、貨物タンクの各部の温度及び圧力、ホールドスペースの温度及び圧力等が計測され、また、使用される H/D 及び L/D コンプレッサー、LNG ガスヒーター及び予冷ポンプの良好な作動も確認される。こ

の時ボイルオフガス燃焼装置のテストとして、実際にボイルオフガスと燃料油との比率をいろいろ変化させて燃焼させる。更にクールダウン終了後、タンク防熱材の検査が行われる。これは普通、防熱材表面のコールドスポット^{注3)}をホールドスペースの中から発見しようというものである。

6. ローディング

本来、ローディングテストは LNG を満載にした時貨物タンク構造等が安全であることを確認するものであるが、国内 LNG 基地で入手できる量に制限があるので、ガステスト時には、ポンプ作動テストに必要な量 (普通 2~4% 程度) だけローディングする^{注4)}。

ローディングの手順は、図 10 に示すように通常のローディングと同様、基地よりの LNG はマニホールド→貨物液管経由で、既にクールダウンされた貨物タンクに積載される。発生するボイルオフガスは、貨物ガス管経由で H/D コンプレッサーを使用して基地へ戻される。この時、クールダウンオペレーションの時に計測される各項目に加えて、貨物タンク液レベルが計測され、液面計の作動が確認される。

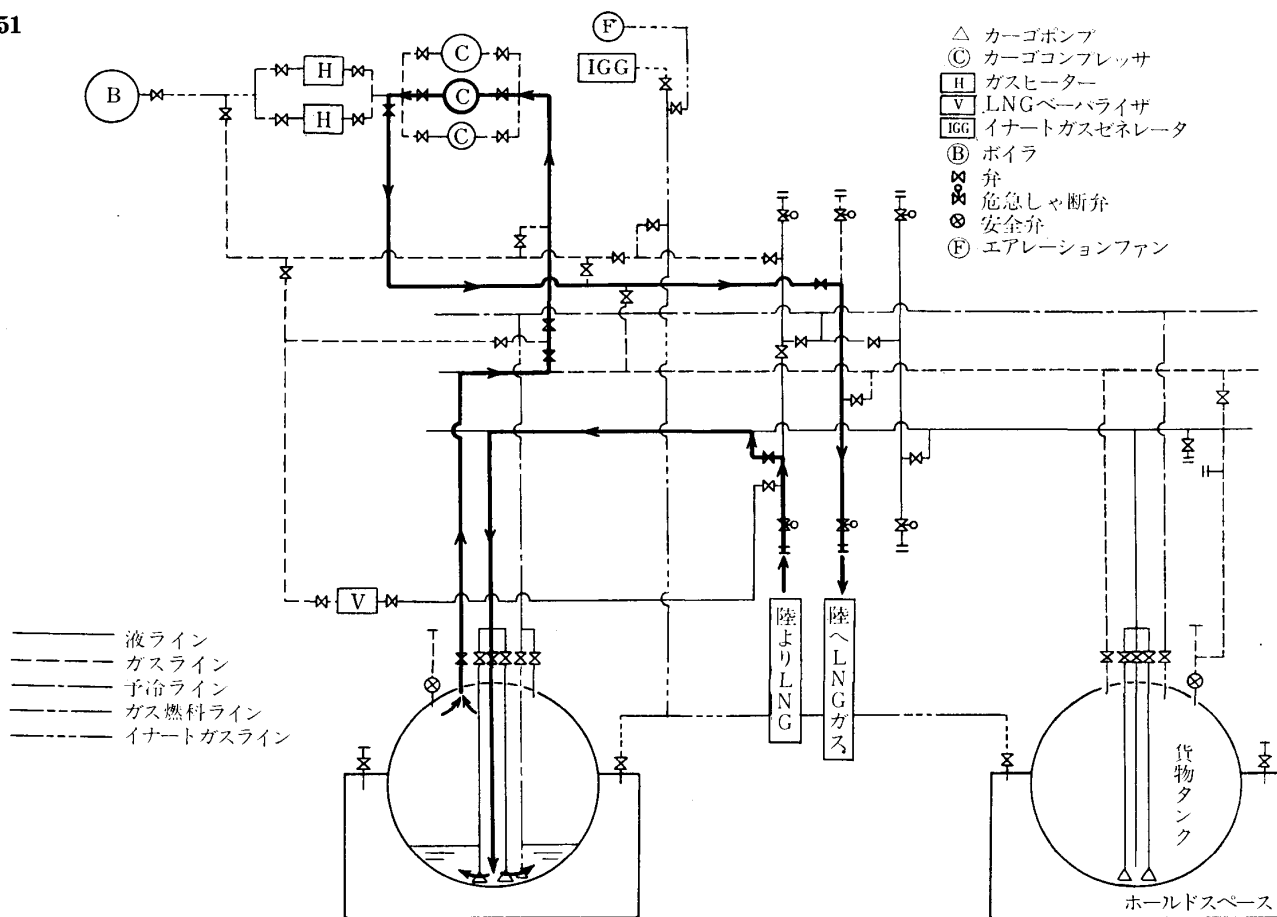


図 10 ローディング

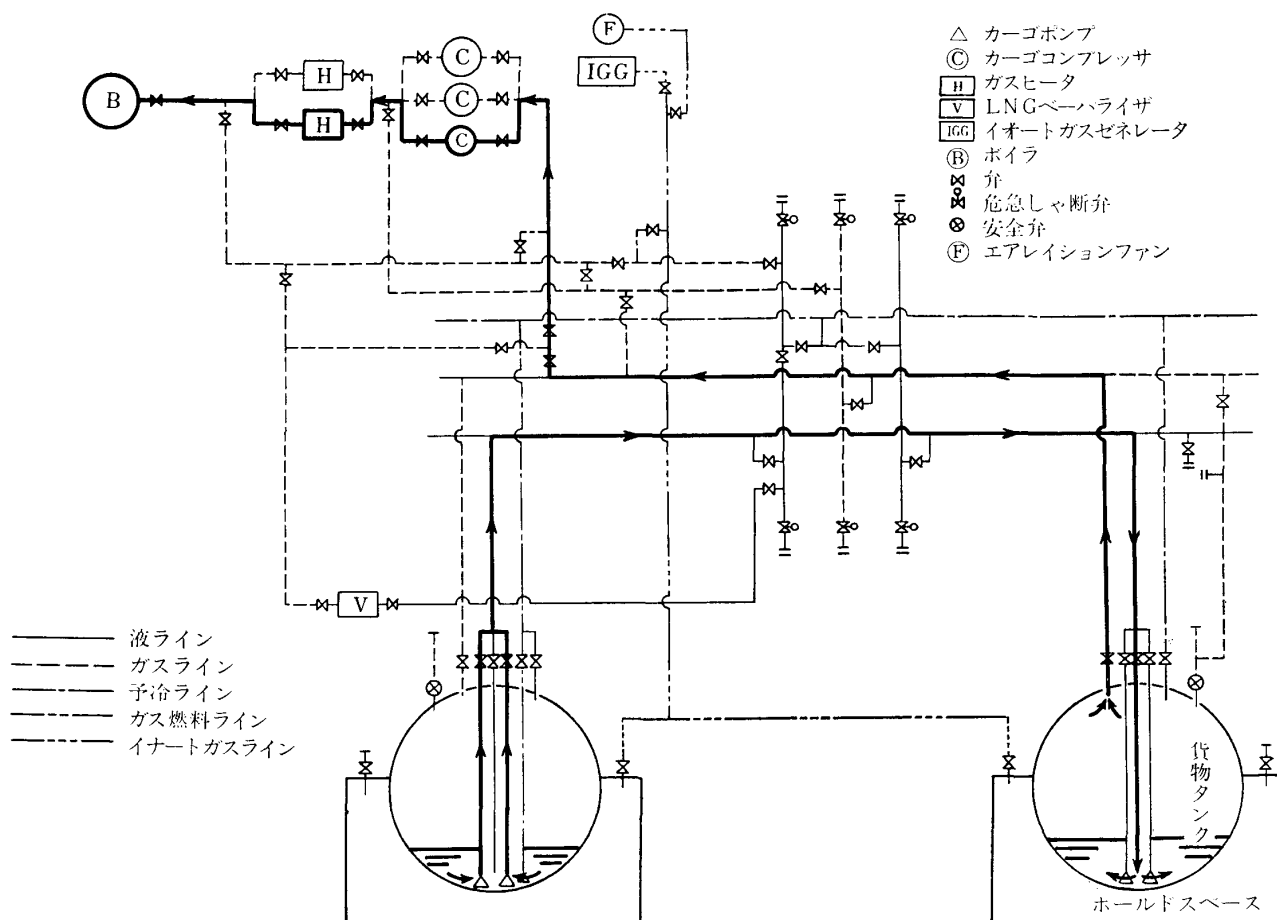


図 11 貨物ポンプ作動テスト

7. 貨物ポンプ作動テスト

貨物タンクのクールダウン終了後、LNG 関連機器の中で最重要機器であり、また、ガステスト時によくトラブル^{注5)}のある貨物ポンプを作動させ、その性能及び良好な作動を確認する。

その手順は、**図 11** に示すように、既に積載された貨物ポンプの LNG を主貨物ポンプ 2 台を使用して貨物液管経由で他の貨物タンクに移送する。一方、発生するボイルオフガスは貨物ガス管経由で L/D コンプレッサー及び LNG ガスヒーターを通してボイラへ送り、そこで処理する。順次貨物タンクを変えて、例えば次のようにすべて貨物ポンプを作動させる。

No. 3→No. 4→No. 5→No. 2→No. 1→No. 3

この時、クールダウンオペレーション時の各項目以外に貨物ポンプの電流、吐出圧力及び貨物タンク液レベル等が計測される。また、ボイルオフガス燃焼装置もテストされる。

8. アンローディング

すべての貨物ポンプ作動テスト終了後、貨物タンク内

に残った LNG^{注6)}のうち必要量^{注7)}だけ残して陸上基地へ揚荷し、ガステストを終了する^{注8)}。

その手順は、一般のアンローディングと同様、**図 12** に示すように、貨物ポンプ内の 2 台の貨物ポンプを使用し、貨物液管→マニホールド経由で陸上基地へ LNG をアンローディングする。その時不足する LNG ガス（貨物タンクの負圧を防ぐため）は陸上より供給する。計測する項目は、ローディングと同様である。

9. LNG 残液気化及びウォームアップ

前項までのテストは、通常のエペレーションを想定して行うものであるが、この項以降のエペレーションテストは、定期的検査等のためドックインする時のことを想定して行うものである。

ドックインする前の作業の第 1 段階として、貨物タンク内に残った LNG^{注9)}を気化させ、それが完了すれば引き続き、貨物タンクをウォームアップする。その手順は、**図 13** に示すように、貨物タンク内の低温ボイルオフガスを H/D 及び L/D コンプレッサーを使用して吸引し、LNG ガスヒーターを通して加熱し貨物液管経由で貨物タンク底部より吹き込み LNG の気化を促す。更に発生

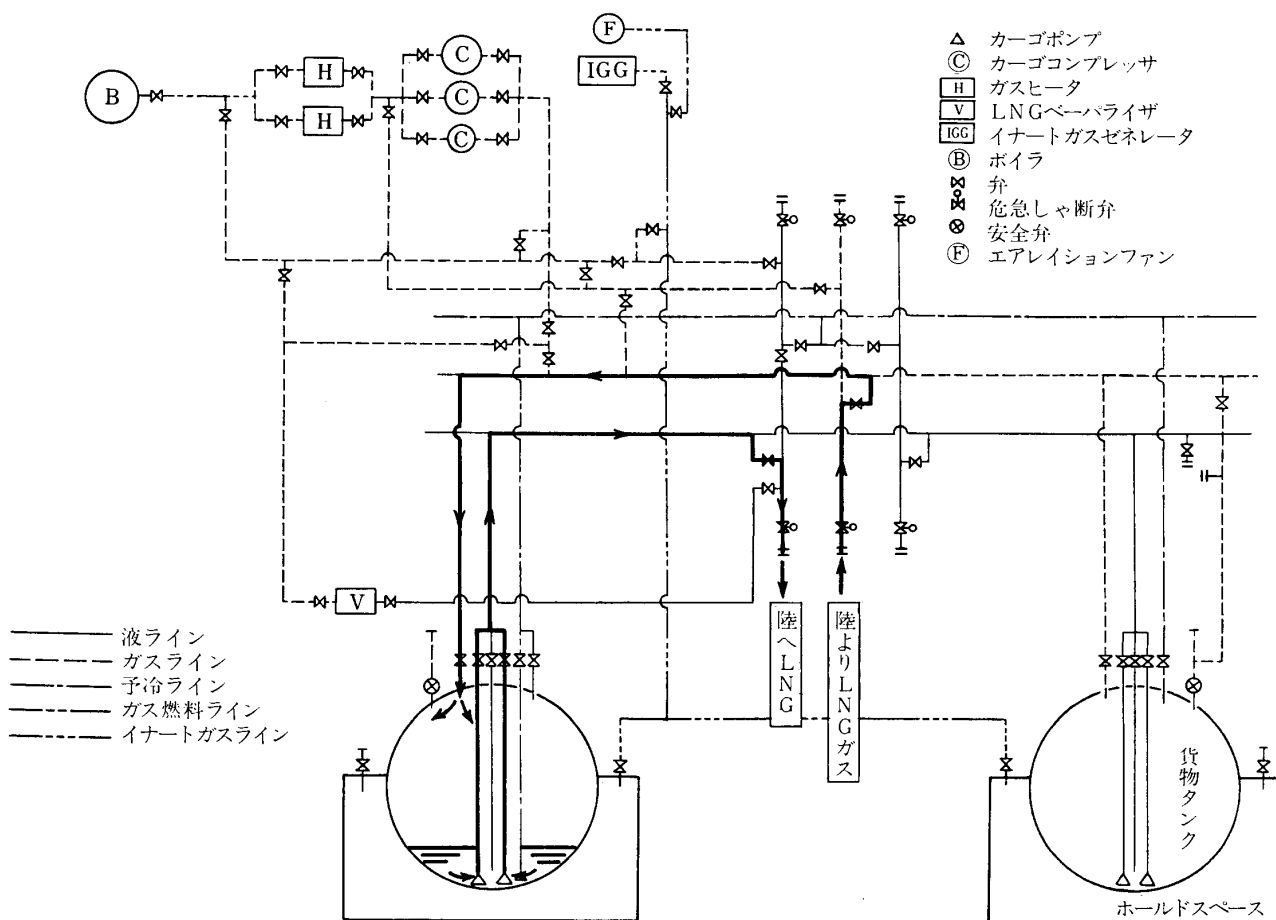


図 12 アンローディング

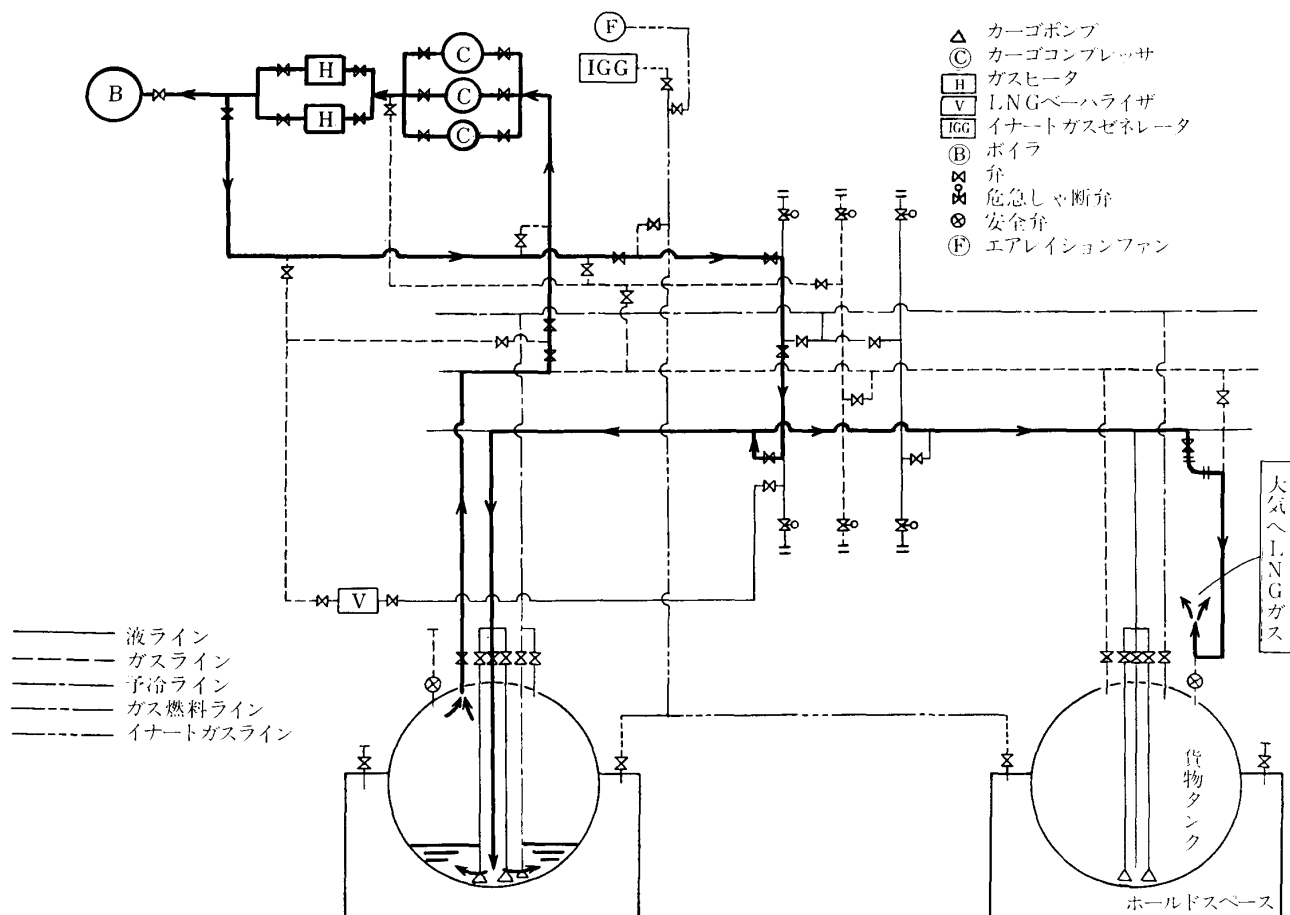


図 13 貨物タンク内の LNG の浅液気化及びウォームアップ

するボイルオフガスはボイラで処理し、また、余剰ボイルオフガスはベント管を通してベントポストより大気へ放出される。この時必要に応じ、温度、圧力、液レベル等が計測される。

10. イナーティング (LNG ガス→イナートガス置換)

ドックインする前の作業の第2段階として、貨物タンク内 LNG のガスをイナートガスで置換する。これは3項の”貨物タンクのイナーティング (空気→イナートガス)”で説明したことで、貨物タンク内のガスが空気であるか LNG ガスであるかの違いだけなので、ここでの説明は省略する。3項及び図5参照。

11. 貨物タンク及びホールドスペースのエアリング

ドックイン前の作業の最終段階として、貨物タンク及びホールドスペース内のイナートガスを空気と置換する。

貨物タンクのエアリングの手順は、図14に示すように、エアレーションファンを使用して貨物ガス管経由で

貨物タンク上部より空気を吹き込む。一方、イナートガス/空気混合体は貨物タンク底部より貨物液管→ベント管経由でベントポストより大気へ放出される。ホールドスペースのエアリングの手順は、2項で説明したホールドスペースのドライビングと全く同じである。3項及び図4参照。

以上、一般的な LNG 船のガステストの概要を説明してきたが、これがすべての LNG 船に当てはまるとは限らない。それは、LNG 船の貨物タンク方式の違い、配管方式の違い、ガステストの行われる基地の事情あるいは船主/造船所側の事情等によると考えられる。ただ、ここで説明してきたことと大きな相違はないであろう。

最後に、LNG 船のガステストの特色、注意事項及び意義等を示して結びとしたい。

(1) LNG 船のガステストは、LNG 基地だけでなく、海上で航行中に行われるという特殊性があり、海上航行中に行うことに伴う危険性として、例えば貨物タンク防熱材検査のように、ホールドスペース等の交通及び足場の完全でない場所での検査があり、船体の動揺には注意を要する。また、LNG 船の場合、

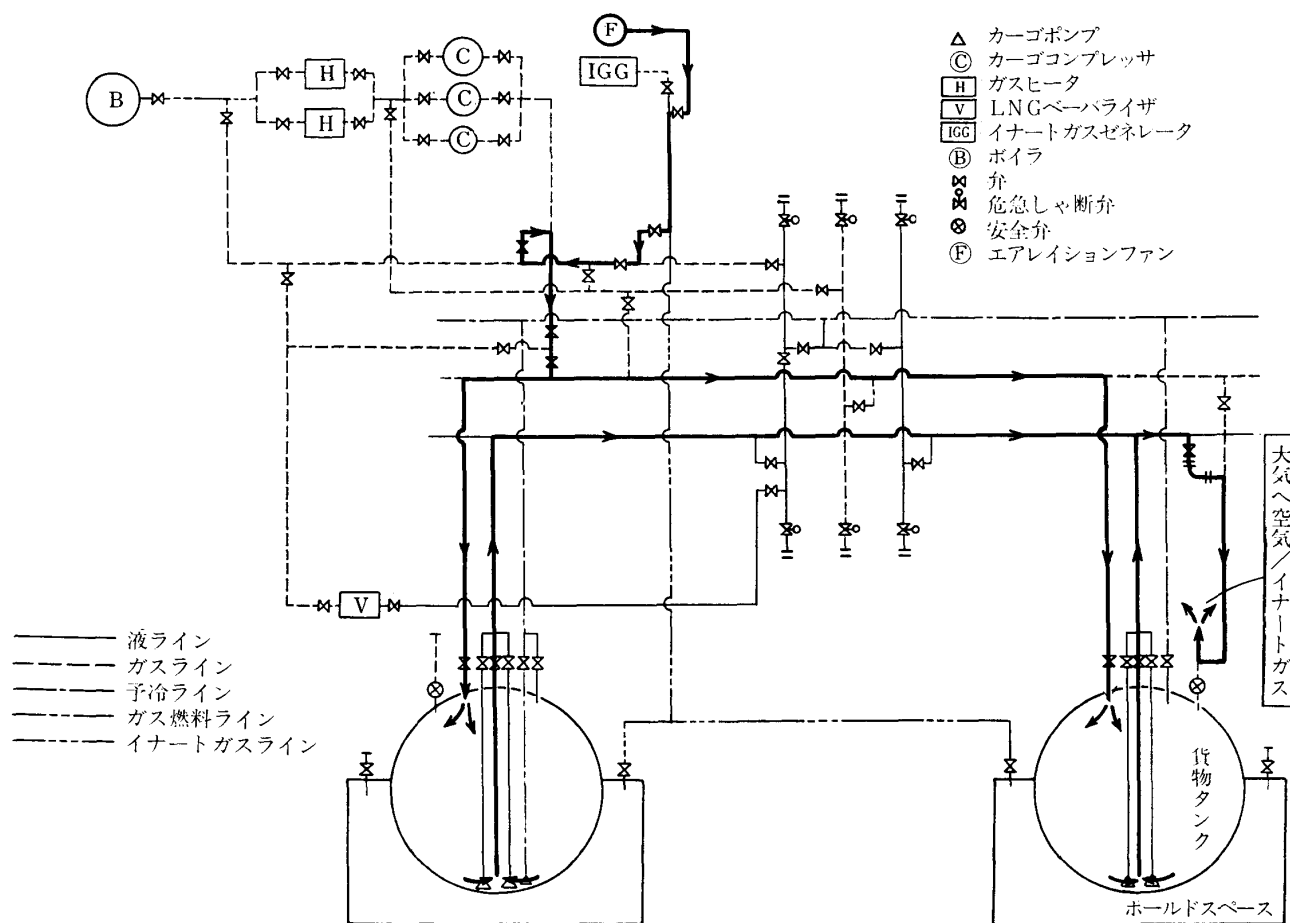


図 14 貨物タンクのエアリング

LPG 船と違い、LNG ガスを大気へ放出することがあり、これに対する引火、爆発の危険性には細心の注意が必要である。

- (2) ガステストでは、貨物格納設備、各種荷役装置及び計測／監視装置の正常な作動の確認が第一義的なものであるが、使用者側にとってはオペレーションに関し、作業／手順の確立、問題点の抽出と改良も重要であり、ガステスト時にはあらかじめ“荷役作業チェックリスト”を作成しておき、それに基づき各チェック項目について調査しデータの収集をしておくべきであろう。
- (3) ガステスト時には、設計段階では気づきにくい設備上及びオペレーション上の不備／問題点が発見されることがある。これらの不備／問題点は、将来の設計にフィードバックできるし、また、使用者側のオペレーション上改造等が必要な場合でもガステスト時に発見されたものであれば、実際のオペレーション時に発見されたものに比べると、その修復は比較的容易にできる。
- (4) ガステストの一つの目的として、貨物配管等の工作／施工上の不備／不良なものの最終確認がある。

例えば、施工時の締め付け不足によるフランジからの LNG ガス／液の漏れは、ガステスト時に容易に発見され（ガステスト時のチェック項目としてすべてのフランジからの漏れチェックがある）、このような実際のオペレーション時に起こり得るような不備に対する修復手順の確立もできることになる。

- (5) ガステストは、実際のオペレーションのシミュレーションテストとは言え、万一事故が起こった場合、周囲環境に対して与える影響は極めて大きい。したがって、LNG 船のガステストは、過去行われた LPG 船のガステストの実績、諸外国の LNG 船のガステストの記録及びモデルテスト等の結果に基づき、船主／造船所／LNG 基地協議のうえ、慎重に計画すべきであろう。

注 1) 各種ガス置換（空気⇔イナートガス、イナートガス⇔LNG ガス）は、貨物タンク内のガス置換の効果を早める目的で貨物タンク内ガスを乱さないようにするため、ガスの比重を考慮し例えば、比重の大きいものを貨物タンク底部より導入し、上部より排出する。比重が小さい場合はその逆である。ちなみに各種ガスの比重の大小は

次のとおりである。

(イナータガス＞空気＞LNG ガス)

- 注 2) LNG 船の場合 LPG 船と違い、その特色であるボイルオフガス燃焼装置のテストを行う必要があるが、基地又は港湾等の事情（基地又は港湾内ではボイルオフガスの燃焼、又は LNG ガスを大気に放出を禁止した規定がある場合がある）で、このテストは基地又は湾内で行うことができない場合がある。そのため、LNG のローディングが行われる貨物タンクを含めた一部の貨物タンクに対しては、LNG 基地で、その他の貨物タンクに対しては航行中に LNG ガス置換及びクールダウンを行う。
- 注 3) 防熱材に欠陥があれば、貨物タンクを低温（クールダウン）にした時、防熱材表面のアルミ板又は船体構造に霜が付く現象を言う。
- 注 4) 貨物タンクが初めて採用されるタンク方式の場合、最初のローディング満載試験を行うことがある。
- 注 5) 貨物タンク内及び関連機器類のイナーティング及びドライアップ不十分により、貨物タンク内を低温にした時、貨物ポンプの各種回転部の狭いスペースが氷結し、また、その他の理由により貨物ポンプが作動しないことがよく

ある。

- 注 6) 貨物タンク内に残った LNG の量は、ローディング後の他の貨物タンクのクールダウン及びボイルオフガス燃料装置に使用するため、ローディングした時の量に比べて少ない。
- 注 7) 一般に低温式液化ガス船は、積荷地に航行中、積荷地での時間節約のために貨物タンクのクールダウンを行うので、貨物タンク内に少量の液化ガス (LNG/LPG 等) を残しておく。
- 注 8) 前にも述べたが、通常ガステストはこのアンローディングをもって終了し、船舶は積荷地に向かう。しかし、船主／造船所の事情又はその他の事情のため、建造造船所に戻る場合、アンローディングテストは行わず、貨物ポンプ作動テストに引き続き、残液の気化及び貨物タンクウォームアップテストに移ることになる。
- 注 9) ガステスト時の貨物タンク内 LNG 残液は、クールダウン及びボイルオフガス燃焼装置のテストで使用するとは言え、かなりの量であるが、通常のオペレーションでは揚荷によってほとんど残っていない。