

液化天然ガス (LNG) ローリー出荷基地 能力増強に伴う計装設備対応について

竹内文郎*

Upgrading of Instrumentation in Conjunction with the Expansion of Loading Port for LNG Lorries

* F. Takeuchi

Abstract— Negishi LNG Terminal of Tokyo Gas supplies city gas as well as liquefied natural gas (LNG) by lorries to end users. We have recently constructed additional loading ports for lorries in the view of the expected expansion of LNG sales. In order to realize new operation with additional loading ports, we have implemented an analysis on process behavior as well as facility upgrading to accommodate series of concerns arising from new operation.

Key Words: simulation analysis for pressure fluctuation

1. 緒言

東京ガスは、首都圏に都市ガスを供給するための3つの都市ガス製造工場（神奈川県にある根岸工場・扇島工場、千葉県にある袖ヶ浦工場）を有している（Fig.1 参照）。



Fig.1 Supply Area / Pipeline Network

工場では、栈橋に接岸したタンカーから液化された天然ガス (LNG) をタンクに受入れ、気化させ熱量を調整し都市ガス特有の臭いを付けた後に、都市ガスとしてガス導管を通じてお客さまにお届けしている (Fig.2 参照)。

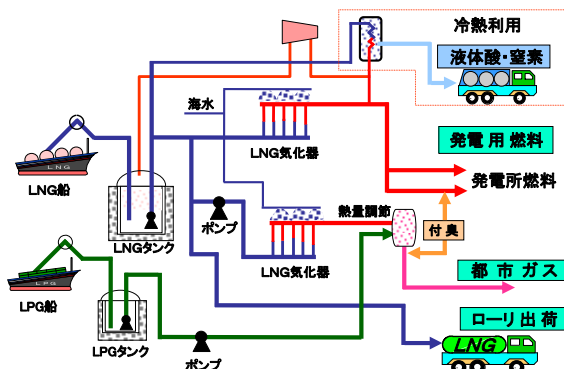


Fig.2 Production Flow

当社では、都市ガス製造工場からのガス供給だけでなく、ガス導管が通じていないお客さまに対しては、都市ガス製造工場で LNG をローリー車に積み込み、現地で LNG を都市ガスにしてお客さまに供給する事業を展開しており、近年 天然ガスの環境優位性等から、その需要が増加している。

当社のローリー出荷は根岸工場と袖ヶ浦工場で行っており、そのうちの根岸工場では6口の出荷ラインを保有している。しかしながら、本出荷口数では想定される LNG 販売量拡大への対応が困難なことが懸念され、より効率的且つ柔軟な出荷業務を構築するため、出荷口を1口増設することとした。

本運用を実現するに際し、ローリー出荷場の ESV (Emergency Shut Valve: 緊急時に閉となる弁) が閉となった時のメインラインの圧力上昇等の課題があった。

本課題に対し計装エンジニアとして各種アプローチを行い、シミュレーション解析及び解析結果に基づいた実機テスト、そして対策を実施したので、以下に報告する。

2. LNG ローリー出荷設備・運用概要

(1) 設備概要

① ライン構成

LNG を貯蔵しているタンクからローリー出荷場までのプロセスフローを説明する (Fig.3 参照)。

タンクに貯蔵された LNG はポンプで払い出される。払い出された LNG は圧力が高いため、ローリー車に積み込むために必要な圧力まで降圧する必要があり、そのために2台の圧力調節弁「液落し PCV」「ローリー出荷場 PCV」を設置している。また、ローリー出荷場に送液しているメインラインから分岐した圧力逃がしライン (設置理由は②サージ圧抑制を参照) を設置している。

② サージ圧抑制

LNG ローリー出荷場の圧力が異常に上昇 (以下、圧力 HH) した場合、配管の設計圧力を超過させないためにローリー出荷場 ESV を閉とするインターロックを設けている。この際にローリー出荷場の上流では、ESV を閉めたことで流体のもつ運動エネルギーが圧力エネルギーに変換されて、急激な圧力上昇 (以下、

* 東京ガス株式会社 (Tokyo Gas CO.,LTD.)
(Received March 30, 2009)

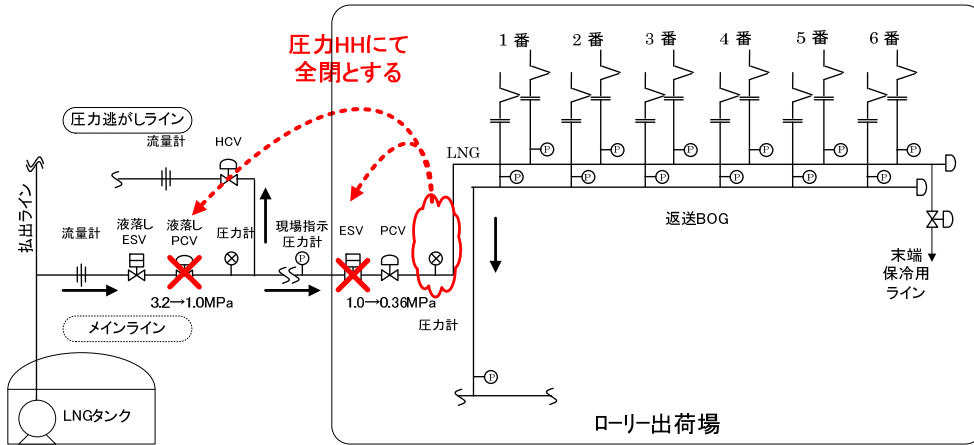


Fig.3 Process Flow

サージ圧)を引き起こす。このサージ圧を配管の設計圧力以下に抑制するため、以下の対策を実施している。

- a) 圧力逃がしラインの設置
- b) 圧力HH発生時に液落しPCV「閉」動作

a) はサージ圧を当該ラインに逃がし、メインラインの圧力上昇を抑制するためのものである。b)は払出ラインとメインラインを分離することでメインラインの圧力上昇を抑制するためのものである。尚、液落しESVではなく液落しPCVを「閉」とするのは、調節弁であるPCVの方がESVより流量を早く絞れるためである。

(2) 運用概要

出荷を開始する際は、オペレータがDCSにて圧力逃がしライン流量HCVの開度を変更し、液落しPCVの制御性を確保するための必要最小流量(15t/h)から出荷中のサージ圧を逃がすための必要流量(30t/h)に増量している。出荷が終了すると、再度15t/hに戻している。

3. 課題と対策

これまでサージ圧対策として、圧力逃がしラインの設置及び液落しPCV「閉」動作のインターロックを設けていた。

過去に実施したサージ圧実機テスト結果 (Table.1 参照)によると6口出荷時にローリー出荷場のESVが閉になると当該弁の上流圧力は1.70MPa(配管設計圧1.76MPa)まで上昇することが分かっている。

Table.1 Surge pressure for the Respective Lorry Loadings

ローリー出荷台数	ローリー出荷ESV上流圧力
2台	1.00MPa
4台	1.30MPa
6台	1.70MPa

今回、出荷口が6口から7口になり、メインラインに流れるLNGが増量することから、サージ圧が更に上昇し、配管の設計圧を超えることが懸念された。

(1) サージ圧抑制に対する検討

上記課題に対してシミュレーション解析を行った。解析する際に作成したモデル及び解析結果と結果に伴う対策を以下に記載する。

① サージ圧理論モデル

サージ圧は一般的に下記で表すことができる。

断面積Aの管路の流速が急に ΔU 下がったことにより圧力が ΔP 、密度が $\Delta \rho$ 大きくなり、その波面が波速Cで伝播していくものとする、 Δt の間に波面は $C\Delta t$ 進む。この時の運動量の増加分は次式となり

$$C\Delta t \cdot A \{ (\rho + \Delta \rho) (U - \Delta U) - \rho U \}$$

圧力差がした力積は次式となる

$$-\Delta P A \Delta t$$

次に運動量保存則から両者の釣り合いをとり、密度の変化は微小と仮定するとサージ圧における圧力上昇は $\Delta P = \rho C \Delta U$

で表すことができる。上記は理想化された状況であり、実際には配管面摩擦や配管の傾きなどの影響を考慮しなければならない。

② プラントモデルの作成

本シミュレーションを実施するにあたり、プラントのモデル精度が解析精度に大きく影響する。そこで払出ライン～ローリー出荷場までのライン (Fig.4 参照) について以下の通り実際のプラントを極力忠実に模擬することとした。

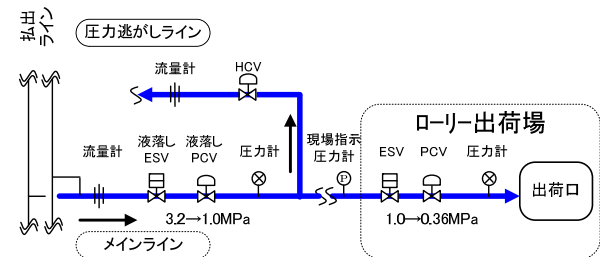


Fig.4 Simulation Model

a) 配管構成

PID 図面の情報 (配管径, 材質, 曲がり他) を反映

b) 機器類

オリフィス, バルブ等, 個々の機器毎に情報を反映

c) DCS

PID 定数, フィルタ定数等, 詳細情報を反映

③ 解析結果

a) ケーススタディその1 (Fig.5 参照)

ローリー出荷中は圧力逃がしライン流量を 30t/h に増量することでサージ圧を許容範囲内に抑制している。今回、出荷口が 6 口 (=出荷量 90t/h) から 7 口 (=出荷量 105t/h) になることにより、サージ圧を抑制するには圧力逃がしライン流量をさらに増量する必要があると考えられる。そこで、どの程度増量すれば良いかについて、シミュレーション解析を以下の条件で実施した。

- ・「基本」：対策前と同様の 30t/h
- ・「a-1」：圧力逃がしライン流量を 35t/h に増量
- ・「a-2」：圧力逃がしライン流量を 40t/h に増量

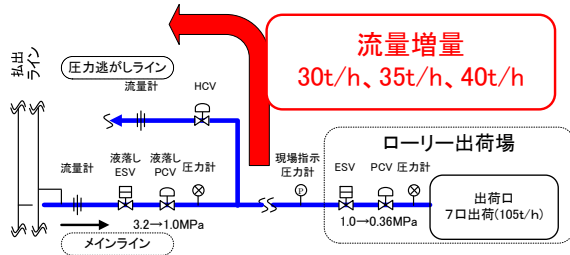


Fig.5 Case Study #1

基本ケースにおいては、配管設計圧 (1.76MPa) を超過することから、実際のプラントにおいても超過することが想定された。一方、圧力逃がしライン流量を 35t/h 以上にすることにより、サージ圧を配管設計圧以下に抑制できることが分かった (Table.2 参照)。

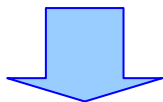
Table.2 Controlling Effect as a result of additional pressure release line

	leaser line		
	基本	a-1	a-2
圧力逃がしライン流量	30t/h	35t/h	40t/h
メインライン圧力	1.67MPa	1.55MPa	1.45MPa
ローリー出荷場ESV上流圧力	1.81MPa	1.67MPa	1.57MPa

b) ケーススタディその2 (Fig.6 参照)

「ケーススタディその1」にて、圧力逃がしライン流量を増量させることでサージ圧を抑制できることが分かった。しかし、圧力逃がしライン流量の増量はポンプの負荷を増加させることとなり、ポンプの運転費が上がることになる。そこで、ポンプの運転費低減を目的にポンプの負荷を低減し且つサージ圧を抑制する以下の検討を実施した。

- 圧力逃がしライン流量 HCV の開度を定常時は液落としし PCV の制御上必要な最低流量を確保する開度とする。
- ローリー出荷場の圧力 HH が発生した時のみサージ圧を抑制する圧力逃がしライン流量が確保できる開度とする。



【圧力逃がしライン流量HCVのEOV化】

*EOV (Emergency Open Valve : 緊急時に開となる弁)
本案の有効性を検証するため、シミュレーション解析を以下の条件で実施した。

- ・「b-1」：圧力逃がしライン流量を対策前の非出荷時と同様の 15t/h
- ・「b-2」：圧力逃がしライン流量を 1t/h に減量

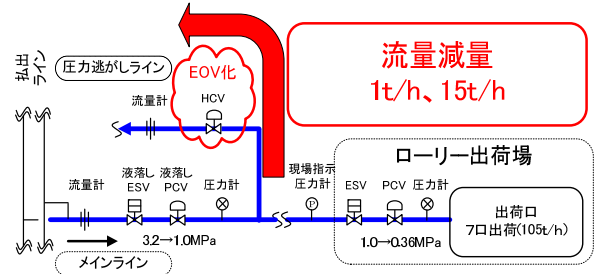


Fig.6 Case Study #2

いずれのケースにおいてもサージ圧を配管設計圧以下に抑制できることが分かった (Table.3 参照)。これは圧力逃がしライン流量 HCV の開速度が十分に早く、ローリー出荷場の圧力 HH が発生してからサージ圧が発生するまでの間で、サージ圧を十分に抑制できる圧力逃がしライン流量が確保できる開度に達するためである。

Table.3 Controlling Effect as a result of new EOV

	b-1	b-2
圧力逃がしライン流量	15t/h	1t/h
メインライン圧力	1.36MPa	1.22MPa
ローリー出荷場ESV上流圧力	1.47MPa	1.33MPa

(2) 対策

上記の結果をまとめると以下となる。

a) ケーススタディその1

圧力逃がしライン流量 HCV の EOV 化をしない場合、圧力逃がしライン流量を 35t/h に増量

b) ケーススタディその2

圧力逃がしライン流量 HCV の EOV 化をした場合、圧力逃がしライン流量を 15t/h 以下に減量

a) b) を比較し、圧力逃がしライン流量を極力減量し、また出荷開始・終了の度を実施している圧力逃がしライン流量 HCV の開度変更をなくすことができる b) の EOV 化を採用することとした。尚、圧力逃がしライン流量は、バルブへの負担 (一般的に 10% 程度以下は流速が増大し振動・騒音が発生) を勘案し、10% 以上 (=圧力逃がしライン流量 15t/h) とした。

4. 実機テストと対応

シミュレーション結果と実機における圧力等の挙動を比較するために、以下の実機テストを実施した。

(1) 試験方法

対策工事を実施する前に、シミュレーションと実機

における圧力等の挙動を比較するため、模擬的に7口出荷相当の負荷を作成し実機テストを実施した (Fig.7 参照)。

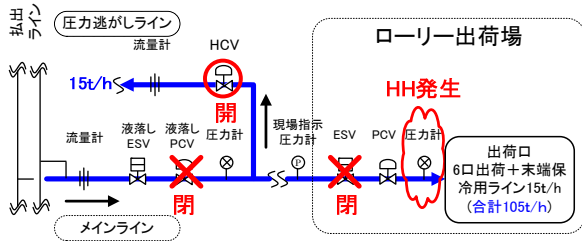


Fig.7 Testing Line at the site

- 6口出荷中にローリー出荷場末端の保冷用ライン流量 HCV にて 15t/h を流し、7口出荷相当の負荷を確保 (計 105t/h)
- 圧力逃がしライン流量は 15t/h
- ローリー出荷場の圧力 HH 信号を模擬で入力 (これによりローリー出荷場 ESV : 閉, 液落し PCV : 閉) し、同時に圧力逃がしライン流量 HCV を開

(2) 試験結果

サージ圧の実測値はローリー出荷場 ESV 上流にて 1.25MPa (ブルドン管にて測定), メインラインにて 0.82MPa (伝送器にて測定) であり, EOV 化により配管設計圧 1.76MPa を下回る結果となった (Table.4 参照)。

Table.4 Actual Pressure measured

測定場所	実機	シミュレーション	測定方法
ローリー出荷場 ESV 上流圧力	1.25MPa	1.47MPa	ブルドン管
メインライン圧力	0.82MPa	1.01MPa	伝送器

シミュレーション結果との相違は, シミュレーションは圧力が高めとなるように, 配管の摩擦係数等のパラメータを設定しているためである。本解析の目的はサージ圧が配管設計圧を超越しないことであり, そのためシミュレーション結果は高めとなるようにパラメータを設定し, どのような場合でも配管設計圧を超越しないことを検証しているため, この程度の相違は問題ないと判断する。

(3) 対応

上記結果を受け, 既存のインターロックに圧力逃がしライン流量 HCV の「開」動作を追加した (Table.5 参照)。

Table.5 Status of Interlock after Implementation

	動作	備考
ローリー出荷場 ESV	閉	既存
液落し PCV	閉	既存
圧力逃がしライン流量 HCV	開	追加

5. 効果

(1) オペレータ業務の負荷低減・オペミスの防止

これまで, 出荷開始時及び終了時にオペレータが

DCS にて圧力逃がしライン流量 HCV の開度変更を実施していた (頻度: 出荷は2回/日あることから変更操作は計4回/日)。EOV 化を実施することで当該弁の開度は常時固定となったため上記の作業が不要となり, オペレータ業務の負荷低減及びオペミスの防止に寄与した。

(2) ポンプの運転費削減

サージ圧を抑制するための圧力逃がしライン流量は, EOV 化しない場合 35t/h 必要だが, EOV 化したことで 15t/h 以下にすることができ, ポンプの運転費を削減することができた。

6. 結言

LNG ローリー出荷口の増設を実施するにあたり, ローリー出荷場の ESV が閉となった時のメインラインの圧力上昇等の課題があったが, シミュレーション解析・実機テスト等を実施することで諸課題を解決した。

また, オペレータ業務の負荷低減・ランニングコストの低減を実現し, 現時点においても設備・運用とも良好に機能している。