

Development of Liquefaction circulation system for Liquid-Ar TPC detector

○ Muneyoshi Maki¹, Katsuyu Kasami¹, Takasumi Maruyama¹, Yutaka Yamanoi¹,
Takuya Hasegawa¹, Tomiyoshi Haruyama¹, Koichiro Nishikawa¹, Masashi Tanaka²

1 High Energy Accelerator Research Organization (KEK)

1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

2 WASEDA University 169-8050

1-6-1 Nishiwaseda, Shinjyuku, Tokyo

Abstract

We are developing the high efficiently circulation system for refining liquid argon to high purity for the hundred kton liquid argon TPC. In this measurement, the liquefaction efficiency was measured with the length and the material of the heat exchanger coil. The performance of re-condenser was measured with the test bench and the prototype cryostat with size of 250 L. The efficiency of liquefaction was about 86% with the test bench. With the system of connecting of the re-condenser to the 250LAr container, the flow rate of circulating gas is the maximum 25L/min on -188.5°C of cold head temperature and the maximum 48L/min on -185.7°C. When operating by 48L/min of flow rate of supplied gas, the liquid argon of 300L was able to circulate in about 82 hours.

液体アルゴン TPC 検出器用液化循環システムの開発

1. はじめに

LAr グループでは、100Kton クラスの液体アルゴン TPC(Time Projection Chamber Detector)建設を目指して様々な R&D を行っている。現在は、昨年度製作した 250L サイズの液体アルゴン TPC 検出器（以下 250LAr 容器）を用いた R&D を行っている。

R&D 項目として、(1) 液体アルゴンを純化させる為の高効率な循環システムの確立、(2) 液体アルゴンの長時間にわたる高純度保持、(3) 二相式検出器として用いる場合の仕様の洗い出し、(4) 大型容器の為の熱侵入量を抑えた構造、などが挙げられる。

現在我々は、(1) 液体アルゴンを純化させる為の高効率な循環システムの確立という点について取り組んでいる。循環の方法として、250LAr 容器内槽から蒸発した気体アルゴンを、フィルターで純化した後、再度液体アルゴンにして、250LAr 容器内槽に戻すシステムとしている。本稿では 250LAr 容器に増設した液化-循環システムとその運転結果について報告する。

2. 液化循環システム

2.1 電子ドリフト距離とアルゴン純度

液体アルゴン TPC 検出器は、液体アルゴン中を通った荷電粒子によって、アルゴン分子から電離した電子を読み取り、飛跡を再構成する検出器である。

熱収支等を計算する為に使用するアルゴンの物性値を表 1 に示す。検出器の巨大化には、液体アルゴン中の電子を長距離ドリフトさせなければならない。

電子のドリフト可能距離はアルゴン純度に依存しており、10cm ドリフトさせるには 5ppb、100kton クラスの検出器の様に、ドリフト距離が数十メートルにもなると、最低でも 50ppt 以下でなくてはならない。そこで、検出器内のアルゴンを純化フィルタに通して循環するシステムが必要となる。

表 1：アルゴン物性値

項目	仕様
化学式	Ar
分子量	39.95
気体密度	1.78kg/m ³ (0°C, 1atm)
液体密度	1.398kg/L (-185.7°C, 1atm)
比重(気体)	1.38(空気=1, 25°C, 1atm)
沸点	-185.7°C(1atm)
蒸発潜熱	167kJ/kg(-185.°C)
定容比熱 Cv	310J/kgK(0°C, 1atm)
定圧比熱 Cp	520J/kgK(0°C, 1atm)

2.2 液化循環システム

本実験における 250LAr 容器内アルゴンの循環システムを図 1 に示す。

本システムでは、250LAr 容器内槽から蒸発する気体アルゴンを、気体循環ポンプ(MB-602:Senior Aerospace)によって循環し、純化フィルタ(MC3000-903V:SAES Pure Gas, Inc.)を通過させた後、凝縮器で再凝縮して 250LAr 容器内槽に戻すシステムになっている。気体循環ポンプは、2 ヘッドのメタルベローズポンプで、低真空で大流量（最大 48L/min@Ar）が得られるように接続されている。気体循環ポンプ通過後のアルゴンは、約 20°C と温度が高い為、250LAr 容器内から取り出した気体アルゴン約-130°C と熱交換している。また、250LAr 容器内槽には下記の理由により内槽ヒータが設置してある。

- 強制的に気体循環量を増やすと、250LAr 容器内槽が負圧になり、不純物質が循環系に混

入する可能性があるので、液体アルゴンを加熱して、250LAr 容器内槽を正圧に保つ為

- 250LAr 容器内の液体アルゴンを、ヒータで強制的に気体化して、気体循環量を増やす為

2.3 凝縮器

液化循環システムでは、液化する為の凝縮器性能が重要である。現在 250LAr 容器に接続している凝縮器には、15L 程度の液体アルゴンが入っており、GM 冷凍機 (AL300:CRYOMECH 社) によって凝縮器内部の温度を調整している。冷凍機によって温度調整された液体アルゴンには、液化用コイルが浸かっており、250LAr 容器内槽から蒸発してきた気体アルゴンを凝縮して、250LAr 容器内槽に戻るようになっている。

今回の実験では液化用コイルの材質及びコイル長さを変えて液化効率を測定した。また、凝縮器内冷凍機温度を変化させた場合についても測定を行った。

3. 凝縮器性能試験

凝縮器の性能試験は、単体試験と 250LAr 容器に接続した場合の二通りを行った。循環できる気体流量は、凝縮器内の冷凍機性能に大きく依存する。気体循環量、気体温度、外部からの熱侵入量、液化器内温度冷凍機能力等から系全体の熱収支を計算した。

また、液化用コイルの材料や長さによる熱収支の違いについても測定を行った。

液化用コイルについては、凝縮器単体試験では、銅製 3/8 インチ、肉厚 0.8mm、長さ 3.2m、6.9m、11.4m の 3 種類を用いた。また 250LAr 容器接続試験では、

銅製 3/8 インチ、肉厚 0.8mm、長さ 11.4m の物と、SUS 製 3/8 インチ、肉厚 1mm、長さ 12.1m の物を用いた。

3.1 凝縮器単体試験

単体試験では、気体アルゴンの供給量と放出量を質量流量計(CMS0200BTVN2001D0:azvil 社)を使って、開放系で測定を行った。凝縮器単体試験のフロー図を図 2 に示す。液化用コイルは、GM 冷凍機によって-188.5℃ (過冷却) に保たれた液体アルゴンに浸し、コイル内にアルゴンを流した。冷凍機は、実験初期では 150W 冷凍機(RDK-400B:住友重機械工業株式会社)を使用していたが、途中から冷凍能力の大きい 280W 冷凍機 (AL300:CRYOMECH 社) に交換した。測定結果を図 3 に示す。コイル長 3.2m では、供給気体量 10L/min を超えると、液化した気体量が 4L/min 以上増えなかった。また、液化率はグラフより約 86%であった。液化用コイル出口から、液体アルゴンと気体アルゴンが放出されたことより、コイル内は二相流の状態と考えられる。

3.2 凝縮器+250LAr 容器接続試験

250LAr 容器に凝縮器を図 1 のように接続し、供給気体量と、液化に要した熱量を測定した。

液化器単体試験より、液化用コイル内はアルゴンと過冷却の気体アルゴンの二相状態であると考えられる。今回は、放出された気体量を直接測定しなかった為、供給気体量とシステム全体の熱収支を用いて、気体アルゴンの液化に要した熱量を求めた。凝縮器内温度は-188.5℃と-185.7℃の二通りで行った。測定結果を図 4 に示す。供給気体量について見る

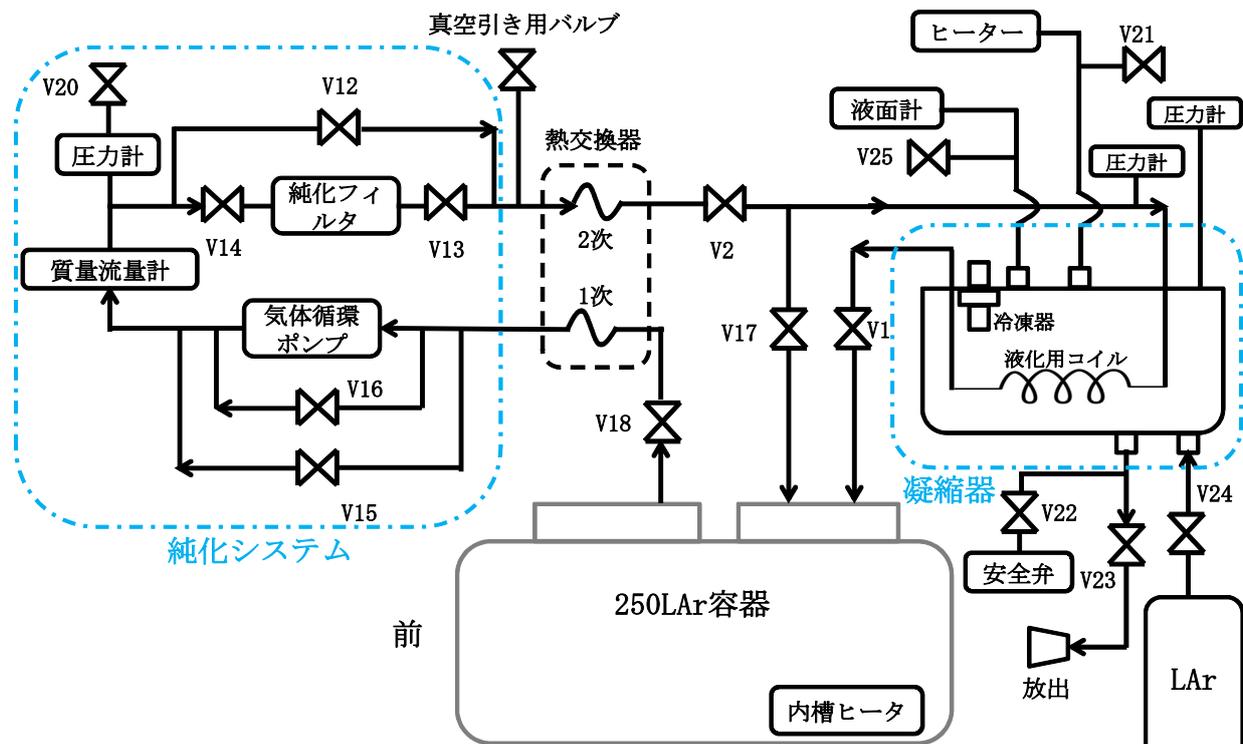


図 1 : 250LAr 容器と液化循環システム

と、凝縮器内温度 -188.5°C で最大 $25\text{L}/\text{min}$ 、 -185.7°C で最大 $48\text{L}/\text{min}$ であった。最小供給気体量は、両温度ともに $13\text{L}/\text{min}$ であった。銅 11.4m の測定結果を見ると、供給気体量が $20\text{L}/\text{min}$ を超えた辺りから、液化に要した熱量が横ばいになっている。コイル材質や凝縮器内温度の違いによる液化効率の違いは見られない。以上の結果から、供給気体量 $48\text{L}/\text{min}$ で運転した場合、 250LAr 容器内液体アルゴン (300L) を循環するのに、約 82 時間を要する。

4. まとめ

凝縮器単体試験では供給気体量に対する液化率は約 86% だった。液化用コイル出口からは気体アルゴンと液体アルゴンが吐出されており、コイル内は二相流になっていると考えられる

凝縮器+ 250LAr 容器接続試験では、凝縮器内温度 -185.7°C での供給気体量は、最大 $48\text{L}/\text{min}$ 、最小 $13\text{L}/\text{min}$ であった。銅 11.4m と SUS 12.1m の液化用コイルでは、板厚や材質の違いによる差は見られなかった。

参考文献

- [1] “A Possible Future Long Baseline Neutrino and Nucleon Decay Experiment with a 100 kton Liquid Argon TPC at Okinoshima using the J-PARC Neutrino Facility.”
A. Badertscher, et al hep-ph:0804.2111
- [2] 日本機械学会 伝熱工学資料 改訂第5版
- [3] エアウォーター株式会社による
<http://www.awi.co.jp/business/industrial/gas/argon.html>

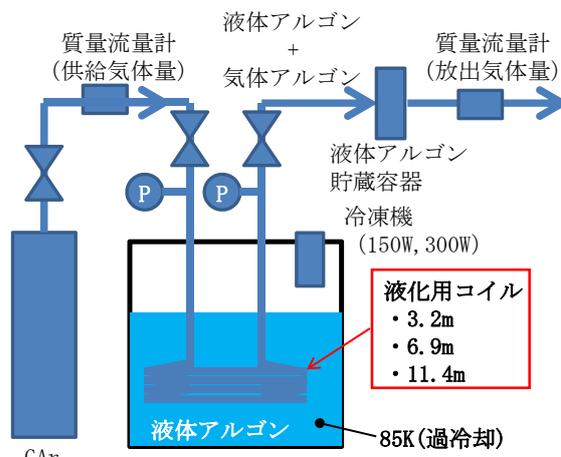


図 2：凝縮器単体性能試験

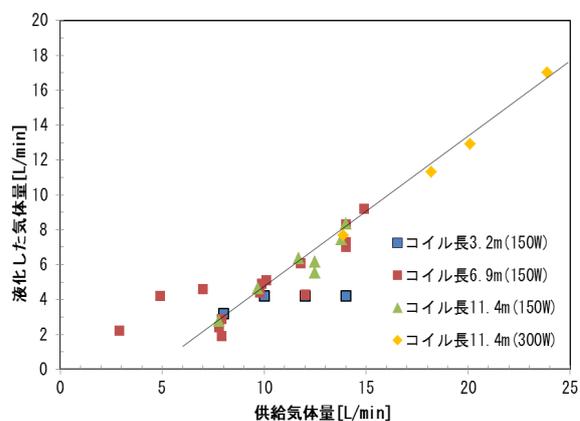


図 3：供給気体量と液化した気体量

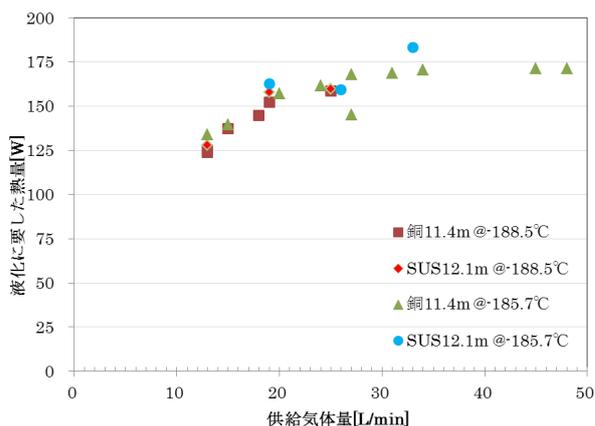


図 4：供給気体量と液化に要した熱量