

液体窒素 100L 容器 転倒と対策

宗本 久弥

琉球大学 研究基盤センター

1. はじめに

事例¹⁾はときどき見聞きするが、遂に私の番が来た。満タンの液体窒素100L 容器を運搬中、僅かな段差にキャスターが引っ掛かり、転倒させてしまった。なぜ引っ掛かったか、容器はどうなったか、対策はどうしたか、それぞれについて報告する。

なお、当該容器は Air Liquide の TP100²⁾である。国産で普及している SUS (ステンレス) / 鉄の容器³⁾と異なり、軽量なアルミ製でキャスターも付属しないため特製台車⁴⁾を履かせている。台車込みで空重量40kg (SUS/鉄容器の半分)、満重量120kg、外径50cm、高さ1.3m ほどである。



図 1. 事故後の液体窒素容器

2. 転倒

事故は一人で運搬中の屋外で起きた。微妙な曲面に設置されたグレーチング (格子状の溝蓋) の端が 1cm 浮いており、キャスターが引っ掛かってしまった。運ぶのが速過ぎたため、勢い余って容器が傾いた。容器と台車はしっかり固定されているので荷崩れではなく、台車ごと転倒した。傾き始めた容器は



図 2. 転倒現場



図 3. 支障した段差

回り込んで押し戻そうとしてもキャスターで横移動してしまい、一人では立て直すことができなかった。スケート等でバランスを崩しツルツルとってしまう感じに似ているだろうか。LGC の下敷きになった事故⁵⁾も頭をよぎり、最後まで格闘はせず、諦めて容器から逃げた。しかし途中までは支えていたので、転倒の衝撃は小さく抑えられた気もした。私自身も怪我はなかった。

倒れた容器は、不思議と直ちには液やガスの吹き出しがなかった。すぐ容器の引き起こしにかかったが、頭部は持ち上がるものの、垂直に立てようとするとやはりキャスターで力が逃げてしまい、一人では難しかった。幸い近くにいた方の助けを得て、二人がかりで起こすことができた。

さて転倒の原因だが、正直言って油断である。現

場は運び慣れた場所であり、特製台車に採用しているクッションキャスター⁶⁾のお陰でグレーチングは物ともせず通過できる⁷⁾ので、普通に歩く速さで容器を押していた。また、グレーチングの浮きは意識していなかった。浮いた部分を避けていけば、いやもっとゆっくり丁寧に運んでいけば、事故は防ぐことができた。クッションキャスターで運びやすかったのが裏目に出たとも言える。グレーチングを通らずに済む経路もあるので、普通のキャスターなら初めからその迂回路を選んでいただであろう。

なお、最近は防犯カメラやドライブレコーダーの普及で事故映像がよく見られるが、残念ながら本件ではスマホも何も転倒を記録したものが無い。

3. 容器の状況

当初、容器は肩部の打痕以外、異常は見られなかった。液体窒素は -196°C のため、容器は二重殻の真空断熱構造となっているが、断熱も問題なさそうだった。しかし、液を使い切ると外槽が結露した。真空漏れを起こしつつも、内槽に液体窒素がある間はソーptionポンプが効いていたようである。

SUS/鉄の容器では、内槽を薄肉 SUS の首管（ネックチューブ）で吊っており、落下や転倒の衝撃でこの薄肉管が変形する^{8,9)}。液体酸素容器の場合は要注意で、亀裂から真空断熱の空間に酸素が吸い込まれ、多層断熱材（MLI、スーパーインシュレーション）のアルミ箔やマイラーが燃焼して爆発する事故も起きている^{8,10)}。

一方、本件 TP100はアルミの容器で、首管は FRP になっている。FRP 管は変形せず割れそうであるが、目視では異常なかった。内視鏡で内槽も見たが、アルミの変形はなかった。（図4で左側に多数見える凹みは、液面計付きサイフォンを抜く度に、液面計のフロートをガイドする金具が当たる痕）



図 4. 内視鏡で内槽から見上げた首管

しかし、ヘリウムリークディテクターにより真空漏れが二か所確認された。一か所は首管と外槽の接合部（FRP - アルミ）で接着の剥離。もう一か所はシールオフバルブ（真空を封じ切る弁）の付け根で、弁は直撃を受けた訳でないが、外槽の瞬間的な歪みにより熔接に罅が入ったと思われる。

VACSEAL¹¹⁾を塗布してみると、弁の熔接部は漏れが止まったが、首管の方は一時的に改善したものの、耐久性がなかった。液の重量や振動がかかる部分なので仕方がない。スタイクキャストで継目を塞いでみることも考えたが、仮に直ったとしてもまた一時的かわからず、使用中に劣化すると危険なので（酸素



図 5. 打痕とシールオフバルブ



図 6. 首管と外槽の継目にヘリウム吹きかけ

と違い燃焼の恐れはなく、またシールオフバルブが安全弁を兼ねているとはいえ)、信頼性がないと判断し修理は断念した。容器は新品でなかったのがせめてもの救いか、9年目での更新となった。

4. 対策

油断せず慎重に運搬することはもちろんだが、事故防止のためまず経路を改め、グレーチングを避けるようにした。他に危険箇所の見落としがないかも点検した。

次に運用面で改善を図った。この容器は年間約3,500Lの供給に用いており、100Lを使い切る都度、年に35回程度運搬していた。それを満タンにせず、週70L×年52回に変更した。100kgと軽くなり、慣性・重心とも若干下がって転倒の危険性が軽減された。回数は増えてしまったが、作業自体は少し楽になった。また作業が週一回に固定され、容器が空になるタイミングを見計らう必要もなくなった。

台車も改良した。当初の形状(容器外周に直接キャストを配置)は製作が容易で一般的だが、これを星形に改造し、キャストを外に張り出した。力学的解析はしていないが、キャストが少し外に出るだけでも容器の安定性は向上する。



図 7. 新旧台車

二人で運搬できれば猶安心である。しかし前記の対策により、今のところそこまでの必要性は感じておらず、無理に人手は割いていない。SUS/鉄の重い容器(満重量160kg)でキャストも附属のままであれば、二人体制は検討すべきであろう。

5. まとめ

油断から1cmの段差で100Lの液体窒素容器を倒してしまった。容器は真空漏れし、信頼性を鑑み修理は諦めた。運用を改め、台車も改良し、転倒の対策としている。

	ハード面	ソフト面
原因	不規則な段差 クッションキャスター	気付かず 油断を生み速すぎ
対策	充填量を減らす 台車改良	運搬回数を増やす 危険箇所点検、迂回

最後に、私の失敗を寛容してくださった関係各位、修理をご支援いただいた東大物性研低温液化室の鷲山玲子氏、台車改良にご協力いただいた本学工学部技術部の照屋泰彦氏、安江洋人氏に感謝する。

参考文献 (URLは2020年1月31日現在)

- 例えば、藤原基靖
「ヒヤリハット! 一液体窒素容器転倒を例に—」
分子研技術課 Activity Report 2017
<https://www.tech.ims.ac.jp/sites/default/files/kanae33.pdf>
- マイサイエンス <https://www.mysci.co.jp/al-tp>
- エーテック LICON、クライオワン DLS、ジェック東理社セルフアー (SP) の各社カタログ、取説
- 宗本久弥「寒剤運搬容器の台車改良」
平成 24 年度愛媛大学総合技術研究会 報告書
<http://www.ltc.u-ryukyu.ac.jp/etc.html>
- L G C 配送中の転倒死亡事故 (7/1)
ガスレビュー No.823 号 (2015 年 09 月 01 日)
<http://gasreview.gasreview.co.jp/list/index.php?bid=830>
- ハンマーキャスター カタログ
<https://www.hammer-caster.co.jp/products/new/83/>
- 比較動画 <https://youtu.be/ZDsfeMddhwU>
- 高圧ガス保安協会 京都府医療用超低温酸素容器爆発事故調査報告書
https://www.khk.or.jp/public_information/incident_investigation/hpg_incident/safety_alert_03.html
https://www.khk.or.jp/Portals/0/resources/activities/incident_investigation/hpg_incident/pdf/2004-038.pdf
- ジェック東理社 取扱説明書
液化ガス貯蔵・運搬容器 SP-50 SP-120 SP-250
http://www.jecctorisha.co.jp/digitalcatalog/catalog/jecc/ebook/download/teion/pdf/sp_om_j.pdf
- 神奈川県
液化酸素用低温容器破裂事故の原因と安全対策
<http://www.pref.kanagawa.jp/docs/a2p/cnt/f5050/p1162431.html>
- シリコーン系封止剤 <http://www.vacseal.net/>