

爆発範囲の測定装置

Measurement Equipment for Explosion Limits

阿部 智信*
ABE Tomonobu

巽 泰 郎*
TATSUMI Yasuo

水野 全*
MIZUNO Masashi

1. はじめに

深冷式空気分離装置や高濃度オゾンを利用するプロセスを設計、運転管理する際には、安全を確保するために、可燃性ガスや自己分解性ガスの爆発範囲や、最小着火エネルギーを測定しておくことは非常に重要である。空気分離装置では、液体酸素または液体空气中に炭化水素などの微量成分が濃縮、固化する可能性が指摘されており¹⁾、本質的に危険性のない設計や運転条件で運転される必要がある。また、酸素同位体を濃縮分離するプロセス²⁾では、高濃度オゾンに Kr, Xe, CF₄などの爆発抑制剤を添加することで、安全を確保しているが、その爆発抑制効果は十分に確認しておく必要がある。爆発範囲の測定は、多くの実施例³⁾があるが、温度や各成分の状態、組成、着火源など、実際のプロセス内で想定される状態に合った条件でも測定しておく必要がある。筆者らは高濃度液体オゾンを利用するにあたって、CF₄を爆発抑制剤として利用した場合の抑制効果を調査するために、低温下、液体の状態でも爆発範囲を測定できる装置の設計製作をし、O₃-CF₄系の概略爆発範囲を測定した。その結果、本測定装置は繰り返し安全に燃焼・爆発試験が可能であることを確認した。

2. 測定装置の概要

今回設計製作した O₃-CF₄系ガス爆発範囲測定装置は、O₃の冷却・液化濃縮が可能で、着火に伴う爆発時にも爆発エネルギーを系外に放出できる圧力解放機構を備えている。また、圧力解放機構の動作遅れや不具合が生じた場合を想定して、測定対象ガスの濃度範囲や量、爆発前後の圧力比などから爆発容器に必要な耐圧を想定して設計しており、安全に実験が行えることをコンセプトにした装置である。

2.1 機器構成

測定装置は、

*開発・エンジニアリング本部山梨研究所安全・物性研究室

- ・測定対象ガスを液化、爆発させるための液化爆発槽
 - ・槽内にガスを供給するガス供給制御機器
 - ・着火させるための放電電源及び放電電極
 - ・液化爆発槽内ガス組成を計測するガス分析機器
 - ・排気ガスを処理し、排出するための排気設備
 - ・液化爆発槽を冷却する He 冷凍機
- から構成されている。

液化爆発槽は真空断熱槽により断熱されている他、前述の圧力解放機構を搭載している。機器構成を図1に示す。

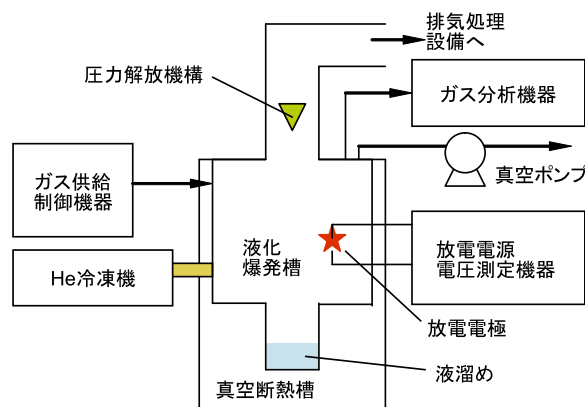


図1 爆発範囲測定装置概略構成図

2.2 構造

液化爆発槽や付属する主要機器の概略イメージを図2に示す。

3. 爆発範囲の測定例

測定装置を用いて、O₃-CF₄系爆発下限を測定した例を以下に示す。液化爆発槽内に純CF₄ガスを導入し、He 冷凍機により CF₄を液化した上で、O₃-O₂混合ガスを液化爆発槽内に追加導入した。低温の液化爆発槽内では、O₃のみを液化させ、液化しない O₂ガスは真空ポンプで系外に排気濃縮し、所定濃度の O₃-CF₄混合液を調製した。

本装置は、①液溜めの液を全量気化させて気相での放電による着火（以下全ガス気相着火）する方法、②

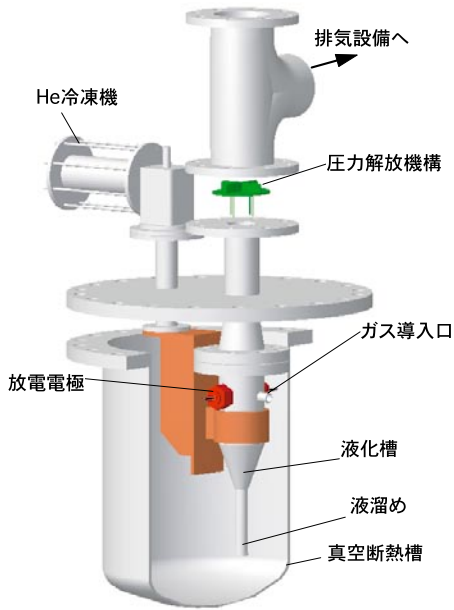


図2 爆発範囲測定装置概略イメージ図

液溜めに液を一部残し、液を気化させながら気相に着火（以下気液共存気相着火）する方法、③放電電極を液化爆発槽内の液溜めまで延長し、液相に直接放電させる方法（液中着火）の3方法が可能である。

これらの試験を行った結果を表1及び図3に示す。表1において全ガス気相着火及び気液共存気相着火では、燃焼爆発を観測した最小のO₃濃度を示した。また、液中着火は、放電しても爆発が起こらなかった濃度を示した。ここで放電エネルギーは、事前に放電電極の静電容量を計測しておき、放電時の電極間に生じる最大電圧から算定した。放電エネルギーを増加させることにより爆発範囲が低濃度側に広がる可能性のあることが示唆される結果が得られた。また、図3に全ガス気相着火で得られた結果を示した。図中の右上側が分解爆発を起こす可能性のある濃度領域と推定できる。これらの結果から、本装置で条件を変えて試験を行うことで、より実設備に近い条件での測定ができることが確認できた。

表1 O₃-CF₄系混合ガス爆発下限測定例

放電エネルギー	約0.1mJ	約3mJ
全ガス気相着火*1	29%	—
気液共存気相着火*1	25%	20%
液中着火*2	—	18%以上

*1 燃焼爆発を観測した最小 O₃ 濃度

*2 放電しても爆発が起こらなかった濃度

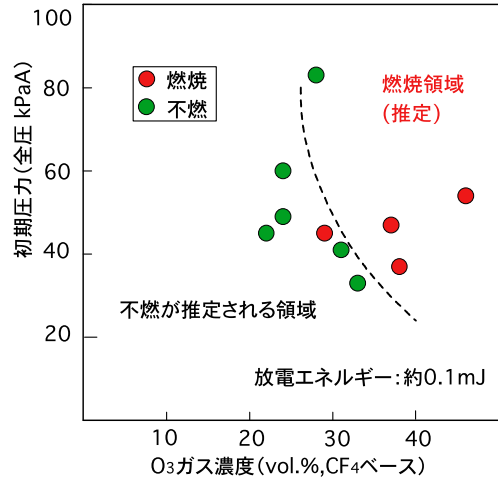


図3 O₃/CF₄混合ガス放電着火試験結果例

4. まとめ

本装置を用いて、O₃-CF₄系ガスの爆発範囲測定ができたことで、これらの試験を繰り返し安全に行えることを示した。爆発下限はガスの濃度だけで決定されるものではなく、温度、圧力、ベースガス、放電エネルギー、着火位置などによって変わる。O₃-CF₄系については、それらの各因子を含めた試験を行えば、高精度に爆発濃度を規定できると考えられる。また、空気分離装置内の蒸留塔や熱交換器にある液体酸素や液体空気中の微量成分の濃縮、固化に起因する危険性についても基礎的な物性データを、本装置の技術を利用して採取することができ、設計基準、運転管理基準に反映させられることが期待できる。

謝辞

本成果は独立行政法人産業技術総合研究所との共同研究契約に基づき行われたものであり、装置設計及び試験に多大な支援をいただいたことに深く感謝いたします。

参考文献

- 1) CGA P-8. 4-2006. Safe operation of reboilers / condensers in air separation units.
- 2) 大陽日酸. 酸素同位体の濃縮方法及び濃縮装置. 特開2006-272090. 2006-10-12.
- 3) ISO 10156-2 : 1996. Gases and gas mixtures-determination of fire potential and oxidizing ability for the selection of cylinder valve outlets.